令和 4 年度

無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業

（自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4））

令和 5 年 3 月

（委託先）

国立大学法人　東京大学

国立大学法人　東海国立大学機構

国立研究開発法人　産業技術総合研究所

株式会社三菱総合研究所

目　次

はじめに····· 4
第 1 章　ユースケースの検討····· 12
1-1.　プレ実証に基づくユースケース検討(モデル地区検討含む) ····· 12
I.　地域の特性別のユースケース類型化、アーキテクチャ検討 ····· 13
1) 協調型システムの活用が期待されるユースケースの精査 ····· 13
2) 協調型システムによるレベル 4 自動運転サービスの活用が期待される地域特性の整理 ····· 52
3) 協調型システムの実現のためのキーテクノロジーの整理 ····· 55
II.　レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討 ····· 75
1) 協調型交通安全システムの構築 ····· 75
2) 道路空間の利便性向上シナリオの構築 ····· 100
3) 都市サービスと連携した新モビリティのニーズ分析とシナリオ創出 ····· 141
1-2.　事業モデルの検討 ····· 154
I.　協調型システムの事業モデルの詳細化 ····· 155
1) 協調型システム検討・他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を踏まえた、レベル 4 自動運転サービス実現に必要な協調型システムの整理 ····· 155
2) 協調型システムを実現するためのステークホルダーの整理 ····· 157
3) 協調型システムの事業モデル案の詳細化 ····· 159
II.　事業モデルのフィージビリティスタディ ····· 161
1) 自動運転実証事例調査 ····· 161
2) 規制・法制度の整理 ····· 164
3) その他に対応が必要と考えられる事項 ····· 168
III.　導入検討マニュアル案の作成 ····· 169
1-3.　モデル地域での技術、サービス実証 ····· 180
I.　モデル地域で協調型を導入した時の効果、社会受容性等の調査 ····· 181
1) モデル地域における事業モデルの検討 ····· 181
2) モデル地域における他のモビリティ、都市サービスとの間でのデータ活用方法の検討 ····· 182
3) モデル地域における実証に備えた評価方法の検討 ····· 191
II.　地域と連携したモビリティサービスの実用化に向けた連携構築、モデル地域での実証成果を活用した他地域への横展開の検討 ····· 202
1) モデル地域におけるワークショップを通じた体制構築 ····· 202

2) 技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ ····· 203
第 2 章　協調型システム検討····· 204
2-1.　協調型システムの国際動向の分析・戦略作成 ····· 204
I.　米欧中での協調型システムの開発・導入状況の分析 ····· 205
1) 欧米中の動向調査 ····· 205
2) 欧米専門家との意見交換 ····· 337
3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催 ····· 341
4) 国際標準化戦略のための情報収集 ····· 344
2-2.　協調型システムの検討、評価 ····· 351
I.　各種協調型システムの性能評価・比較 ····· 351
1) 協調型システムに求められる要件の整理 ····· 351
2) レベル 3 以下の車両への協調型システムの適用 ····· 415
3) 車両、人の移動、地図情報等の連携を考慮した協調型システムの構築と性能比較 426
2-3.　地図情報やデータ連携スキームの検討 ····· 463
I.　地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討 ····· 463
1) データ連携アーキテクチャのブラッシュアップ ····· 463
2) データ連携 PF の API の検討・定義 ····· 469
3) データ連携 PF の通信インタフェースの試作評価による改良・定義 ····· 482
4) 協調型路側機の機能拡張 ····· 530
5) データ連携 PF のプロタイプ実装とアルゴリズム検討 ····· 548
6) データ連携 PF の評価環境の構築 ····· 566
7) データ連携 PF と協調型路側機の評価 ····· 570
8) データ連携と活用に関する法的な問題の検討 ····· 611
9) 歩道等のデジタル地図と車道のデジタル地図の統合方式の検討 ····· 634
10) モビリティと都市サービスのデータ融合のためのプラットフォームの概念設計·· 642
11) データ連携 PF と都市データプラットフォーム連携のためのインタフェース開発· 658
2-4.　協調型システムの評価環境の拡充 ····· 664
I.　デジタルツインによる協調型システムの評価環境構築、協調型システムの評価手法の開発 ····· 664
1) フィジカル空間での試験環境整備 ····· 664
2) サイバー空間での評価 ····· 689
第 3 章　仕様項目間共通で実施した事項····· 706
3-1.　テーマリーダーの選定 ····· 706
3-2.　テーマ別の分科会の開催 ····· 707

3-3.　統括委員会 WG ····· 709
3-4.　項目ごとの役割分担 ····· 712

はじめに

1. 事業目的

自動運転等の先進モビリティサービスは、世界的な脱炭素の潮流の中、技術の活用において環境負荷の低減への貢献や、少子高齢化や人口集中などの社会課題に対し、移動の自由の確保・地域活性化・交通事故削減・移動の効率化・人材不足解消などに貢献することが期待されており、我が国の産業競争力の観点からも、先進的な取組が期待されている。

本テーマ 4 は、2021 年 3 月に経済産業省・国土交通省が共同で開催する自動走行ビジネス検討会において示された、2025 年頃までのロードマップのうち、レベル 3 以下の自動車や、自転車、歩行者等が混在する空間において、自動運転レベル 4 サービスを実現させるために取り組むテーマと位置付けられている。以下にテーマ 4 に関する本事業 5 か年の成果目標を記載した。

＜テーマ 4 の 5 か年成果目標＞

混在空間でレベル 4 を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組

- **2025 年頃までに、協調型システムにより、様々な地域の混在交通下において、自動運転レベル 4 サービスを展開。**
- **モデル地域を定めて、地域の道路環境・交通状況等の特性に応じて、最適な協調型システムを導入。**
- **レベル 4 だけでなく、レベル 3 以下や他のモビリティなどの運転・運行支援にも活用。**

出所：自動走行ビジネス検討会 - 報告書「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針 Version5.0」（2021 年 4 月）

2. 事業の実施方法

(1) テーマ 4 全体に共通する実施方針（本コンソーシアムが発揮する強み）

本コンソーシアムでは、以上の経緯を鑑み、テーマ 4 を通じて以下の具体事項に取り組んだ。

- 今後の少子高齢化社会による人材不足や、ポストコロナの新たな生活様式への対応、持続可能でカーボンニュートラルな都市づくりなど、様々な社会課題の中、我が国における混在交通下における協調型システムを活用した自動運転レベル 4 サービスの実現に向けたモデルケースを提示した。
- 自動運転レベル 4 サービスの実現を通じ、地域のモビリティの改善やデータ流通の加速によるスマートシティ実現を通じたより良い都市の実現に貢献することを意識し、レベル 3 以下の自動運転や他のモビリティ等への活用・連携を可能とするデジタル道路交通データプラットフォームを提案した。
- 本テーマ 4 の取組を通じ、我が国における自動運転レベル 4 サービスの実用化に向けた知

と新技術の拠点（“イノベーションハブ”）の創出、及び今後の我が国の国際的競争力向上を目指し、持続可能な技術促進・研究開発・人材育成の基盤を構築した。

(2) テーマ別事業内容に対する実施方法

1) レベル 2 サービスの取組実績を活かし、自動運転レベル 4 サービス実現に向けて、あるべき協調型システムの姿を定義し、あるべき制度を実施する

- 本コンソーシアムでは、東京大学が柏の葉地区等でレベル 2 自動運転実証実験に取り組んでいる等、取組初年度から実フィールドで検証しながら課題の整理や分析をしつつ、新たな技術・事業要素の検証が出来る環境を提供できる強みを有した。
- 協調型システムの個別技術要素の研究・事業に留まらず、今後の自動運転レベル 4 サービス実現に向けて、事業（カネ）やデータが持続的に循環するようなエコシステムを形成することが必要であり、本コンソーシアムではエコシステムの検討に当たって、「自動運転」や「モビリティ」に囚われることなく、都市との繋がりなどの幅広い視点で検討した。
- そのため本検討においては、既存の制度・枠組みの範囲内で考えるのではなく、あるべき協調型システムを定義し、その上で既存の制度・枠組みに課題があれば改善提案を行った。

2) 特定の技術等に依存することなく、大学の中立性を活かして取り組む

- 本コンソーシアムでは、東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構（以下、UTmobI）に所属する研究者を中心に、専門的知見を有する大学や研究機関等により構成される。東京大学内は生産技術研究所が窓口となり調整等を実施した。
- 本テーマに必要とする専門性は多岐にわたるため、機械工学、交通工学を始め、行政学や都市工学など幅広い専攻分野の研究者が部局を横断して研究活動を行う UTmobI を核とし、大学中心という特色を活かし、特定の技術に依存せず中立的な検討に取り組んだ。
- また、コンソーシアムとして大学内連携に留まることなく、日本をけん引する産官学連携の体制を組み本プロジェクトに取り組んだ。例えば、東京大学を中心とした国内 21 大学の研究者の連携体制である「モビリティ・イノベーション推進連絡協議会」（2018 年発足）を活用し、モビリティの革新に関わる国内の知の集積拠点として、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学や同志社大学、電気通信大学等と学術的な連携に取り組んだ。また、事業化に向け必要不可欠な産業界の意見を広く取り入れることとし、特に、日本自動車研究所や産業技術総合研究所との協力覚書の下、日本をけん引する産官学連携の体制で取り組んだ。
- SIP 自動運転事業など、既に実施されている事業と重なる分野もあるが、それらの成果を積極的に活用できる体制とした。特に本コンソーシアムは政府事業に関わっている者も多く、その特長を生かした。

3) ガラパゴス化を避けるため国際的な協調を取りながら検討を推進し、国際標準化などへのインプットを通じた国際競争力強化に寄与する

- 欧州の SHOW プロジェクトとの協力や日独連携など、UTmobI がこれまで構築してきた海外とのネットワークを活用し、適宜国際動向の反映、本取組の海外発信を意識しながら取り組んだ。
- 様々な技術的、非技術的課題に対し、国際的な協調も図りながら、我が国として自動運転レベル 4 サービスの実現に向けた協調型システムの姿について、具体の取組地域での検証を元に取りまとめた。さらに成果を国際標準化活動の場等への提案に活用することにより、我が国関連産業の国際競争力の強化に貢献した。
- 本プロジェクトのメンバーは、ISO／TC268（スマートシティ） SC2（持続可能なモビリティ）委員長等の役職にて、国内のコアメンバーとなっている。本取組の成果を持ち込む国際標準化活動の場として活用していった。

■ 本年度実施事項

本テーマは、2025 年頃までに協調型システムによる様々な混在交通下に置いて、自動運転レベル 4 サービスを実現することに寄与するよう、5 か年の取組を想定して実施した。本年度は取組 2 年目として、昨年度取り組んだ机上検討やモデル地域におけるワークショップ等を通じた検討事項をもとに、テストフィールド等において実際に協調型システムの活用、データを活用した事業モデルの試行などを通じ、3 年目以降の本格的な公道実証およびその先の全国横展開等に寄与するためのインプットを得ることを目的とした。

協調型システムを活用するべきユースケースは、OEM やインフラメーカーをメンバーとした統括委員会 WG を通じて 2021 年度においても検討を進めてきたが、2022 年度も引き続き OEM、インフラメーカーとともに WG での議論を進め、特にニーズが高い順に信号交差点通過、無信号交差点通過、路上駐車回避について、柏の葉地区におけるプレ実証を通じてインフラ協調の性能を検証した。柏の葉地区は、国交省都市局、総務省のスマートシティ事業に採択されており、様々なデータアセットや地域での取り組み体制があり、協調型自動運転レベル 4 サービス導入のための環境が整っている。まず柏の葉地区において技術・運営面で一貫した課題整理・ロールモデルを作りつつ、地域類型に沿って他地域展開を図る進め方を念頭に置き、以下のような 5 か年計画を想定した。

＜柏の葉地区＞

- 22 年度：柏の葉地区での将来的な協調型自動運転レベル 4 サービスの運営モデル・体制づくり【机上検討完了】
- 23 年度-24 年度：22 年度成果の運営モデル・体制を実証実験を通じて検証、検証結果によ

り見直し、柏の葉地域内における他事業との連携

- 25 年度：柏の葉地区での事業化目処（柏の葉モデルの実装手順・マニュアルとりまとめ）

＜他地区展開＞

- 22 年度：柏の葉地区以外の地域において、地域の特徴を踏まえた運営モデル・体制案の検討
- 23 年度：柏の葉地区でできない課題の検証のため、新たな検証地域（展開先候補）の洗い出し、実証計画策定
- 24 年度：展開先候補での実証実験実施、モデル検証
- 25 年度：展開先候補での事業化目処

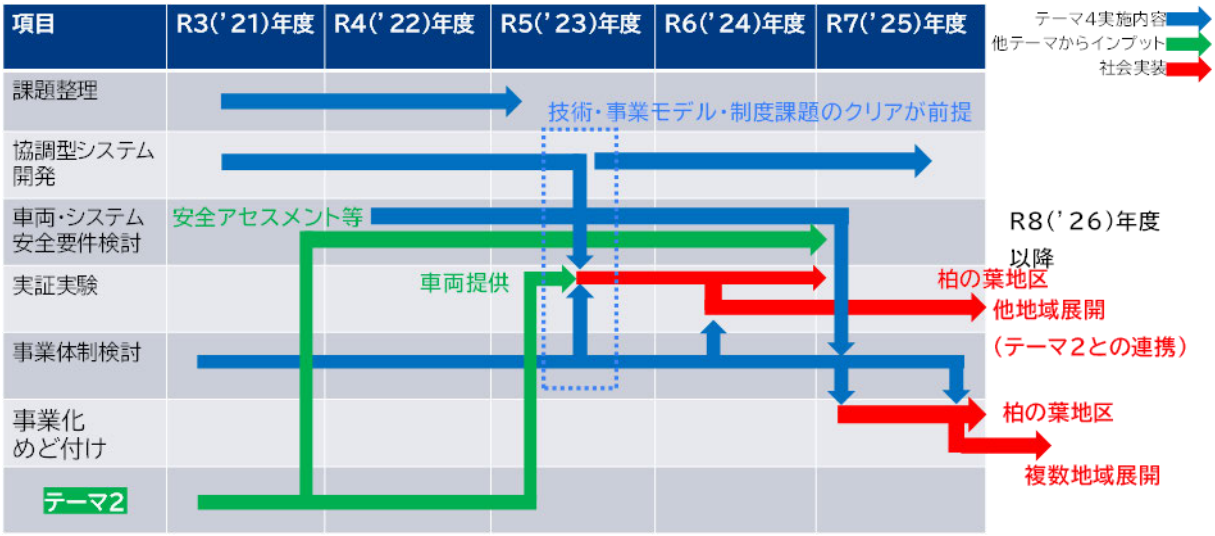


図 1　25 年に向けた 5 か年での地域展開イメージ

まず、1-1 にて、2021 年度に整理した協調型システムによる自動運転レベル 4 サービスのユースケースに基づき、必要な要素技術（キーテクノロジー）を構成するアーキテクチャを構築・評価した。統括委員会 WG などの機会を通じ、インフラメーカーや OEM とともに機能評価・安全性評価のための評価項目の検討と、システム要件の詳細検討を進めた。さらに、2023 年度以降協調型システムの研究開発の過程で実フィールド（公道等）を対象に検討・検証するため、他地域への横展開につなげることを意識し、地元との体制構築、モデル地域における事業モデル検討味見を行った。

以降の実施事項について、1-2、2-2、2-3 はモデル地域等の特定の地域を想定しない、一般的な協調型システムにおける課題の整理と解決策の検討を行う事項とし、それらを実フィールドで検討・検証する事項を 1-3 及び 2-4 と整理した。

1-2 は、1-1 にて挙げられた協調型システムを活用するレベル 4 サービスを実現するための課題のうち、事業モデルの観点での課題に対するアプローチを検討した。2021 年にて机上検討を行っ

た協調型システムによる自動運転レベル 4 サービス実現のために必要なコスト等とそれらを回収していくための事業モデルを、モデル地域に当てはめながらフィージビリティを検討した。また、今後の継続的なサービス維持に向けて、サービス事業者等を含めた地域において必要な体制を検討した。一方、1-1 において整理した課題のうち技術的な課題については、2-2 及び 2-3 にて検討した。2-2 は、自動運転レベル 4 サービスの協調型システムを構成するアーキテクチャの全体像を整理し、協調型システム、データ連携 PF、都市データ PF の連携方策を検討・整理した。2-3 は 2-2 で整理するアーキテクチャのうち、道路交通に関する事項を中心に取り扱い、協調型システムによって得られるデータの活用方法やデータ間の連携方法等を検討した。2023 年度以降、複数のモデル地域にて検証を行うため、今年度中に基礎開発を終了させた。

1-3 は 1-2 にて整理した事業モデルの課題や、2-2 及び 2-3 にて整理した協調型システムやデータ活用等の課題について、モデル地域を対象として検討した。2-4 は、主に 2-2 にて検討した協調型システムの評価方法を実現するための評価環境をフィジカル（実在のテストコース）／サイバー環境に整備し、評価を実施した。

2-1 の国際連携活動については、各事項の検討内容と連携しながら常時取り組んでいくこととした。

■ 本年度実施事項フロー

前述した本年度の実施事項をフローにまとめると以下の通り。

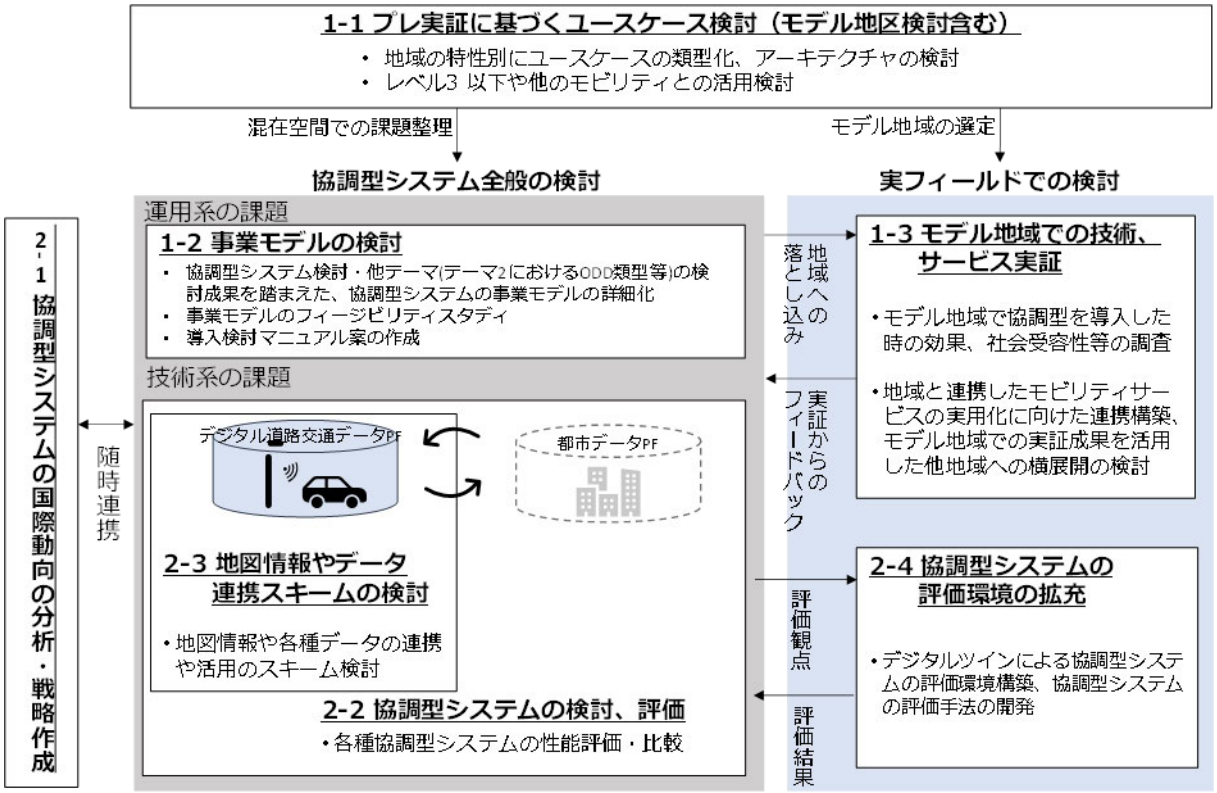


図 2　本年度実施事項フロー

■ 実施体制と役割分担

テーマ 4 は、以下の体制により実施する。経済産業省からの受託者は東京大学を幹事機関とし、それ以外に国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学、産業技術総合研究所、三菱総合研究所とした。受託者は、日本自動車研究所、同志社大学、電気通信大学、清水建設、パナソニック他、モデル地域の地元自治体、関連メーカーの業界団体等と連携を取りながら、事業を推進した。

図 3　テーマ 4 体制図

上図の主体の他に、自動運転レベル 4 サービスの社会実装を見据え、研究機関のみならず、以下の主体とも密に連携し、事業を推進した。

- ITS Japan 自動運転研究会
- ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG
  （OEM、信号機メーカー、インフラメーカー等から構成）
- 自動車 OEM 各社
- 先進モビリティ株式会社
- ダイナミックマップ基盤株式会社
- 通信キャリア会社
- 柏市
- 柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK）
- 柏 ITS 推進協議会
- 東京都市大学
- 日本大学

  等

第1章　ユースケースの検討

1-1.　プレ実証に基づくユースケース検討（モデル地区検討含む）

＜この項目での実施事項＞

I.　地域の特性別のユースケース類型化、アーキテクチャ検討

II.　レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- モデル地域の設定、地域別の実施内容の設定
- 混在空間における自動運転レベル 4 サービスの実現のための 2023 年以降の実証実験に実装可能な要素技術開発
- 2023 年以降の実証実験を意識したモデル地域での走行ルート検討
- 協調型システムのレベル 3 以下の車両や他の交通参加者への活用方法
- GNSS 不活時に位置同定を補償するための 3 次元地図自動構築技術の構築と精度評価

■ 該当項目の必要性

安全な自動運転レベル 4 の実現には、周辺の交通状況を把握する必要があるが、自律システムでは、自車周辺の局所的なセンシングに限定される。本テーマが対象とする、自家用車、バス、自転車等のレベル 3 以下の車両や歩行者が共存する混在環境下においては、インフラセンサー等の情報を活用した協調型システムによる問題解決が有効と考えられる。

したがって、本項目においては、協調型システムによる自動運転のユースケースを整理し、それらを検証するためのモデル地域を選定し、実環境を踏まえた検討を行うための事前整理を行った。

■ 該当項目の目標

混在空間における自動運転レベル 4 サービス実現のため、協調型システムを活用するべきユースケースを整理し、インフラ協調のあり方を検討した。また、それらの検討内容の検証にふさわしいモデル地域を選定した。

■ 実施方針

我が国や海外における自動運転サービスの取組や研究の成果を活用し、協調型システムを活用するユースケースを検討した結果から、2025 年の協調型システム実現に向けて優先的に取り組むユースケースを抽出した。この結果から、2023 年の実証実験に解決が求められるユースケースを具体化した。

テーマ 2 と情報交換をしながら、車両で解決できる問題と、インフラ協調によって解決できる

問題を整理し、2023 年に計画している実証実験案の具体化を行った。

また、本テーマの成果を国内の他地域へ横展開することを念頭に置き、幅広い地域特性を踏まえた検討を行うことが出来るよう観点を整理した。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ. 地域の特性別のユースケース類型化、アーキテクチャ検討

1) 協調型システムの活用が期待されるユースケースの精査

(1) 国内外の事例によるユースケースの整理

i) はじめに

協調型システムの活用が期待される具体的な交通シナリオであるユースケースについて、論点の整理および、一例として詳細な検討を行うため、柏の葉地区での調査結果（参考文献）を調査した。柏の葉の事例を対象として現在のルート設定を仮定するとき、ユースケースの議論を進めるにあたり、協調型システムとして想定される機能のレベルを仮定して、共著型システムとして論じられる内容をおおよそ切り分け、着目すべき点を設定した。その中で、一つの例を取り上げ、構成例を紹介した。最後に、精査した結果の記述に当たり必要な検討項目を整理した。

自動運転の実現に向けた研究開発を俯瞰して見たとき、車両の機能の高度化とともに、インフラに機器を設置することで、自動走行を実現できる確からしさを高めようとする試みは古くからおこなわれてきた[1]。これをふまえて協調型システムのユースケースを検討するにあたり、車両とインフラで混在環境下における自動運転の機能を分担する、すなわち、車両が分担する機能が多くなればインフラの分担する機能は少なくなり、その反対もしかりという、トレードオフの関係があるという前提である。仮に、現時点の SAE レベル 2 の自動運転に相当する機能を持った自動運転バス（柏の葉地区で進められている、柏 ITS 推進協議会による部分実証）と同等の機能および性能を有するレベル 4 の車両があると考えたとき、一般環境下で走行する自動運転バスにおいてドライバーが自動走行に対して手動で介入した操作の記録は参考となる。自動運転レベル 2 の機能による自動走行を長期にわたり継続している柏の葉地区での実証実験では、実走行中にどのような状況下で同乗するドライバーが自動走行を中断する判断を行ったのかをデータ収集するプロジェクトも実施されている。また、SIP-adus でも協調型自動運転システムが有効に機能する状況が検討されており、臨海部実証実験などを通じてその効果が検証されている[2]。ここから成果公表されドライバーを引用し参照すると、協調型システムの活用が期待されるのは、他の交通参加者と自動運転バスのインタラクションが存在する状況であると考えられる。本事業で扱う「ユースケース」が協調型システムの構成を自然言語によって記述する、PEGASUS プロジェクトや SAKURA プロジェクト等でも用いられた[3]、交通の状況を専門家の知見を踏まえて自然言語によって記述する Functional Scenario[4]をもとに、その状況下にあって自車がどのように動くのかを含めて考えるものだとすれば、本事業でも協調型自動運転で想定される交通状況とともに、期

待される自車の動きやそれにともなうインフラに設置された機器への期待も、専門知見に基づいた議論によって自然言語を使って記述されることは妥当である。協調型自動運転の概念はこれまでの自動車を中心とした自動運転だけにとどまらないことから、多様な分野の専門知見が必要であり、それぞれの専門家が議論に参加することも予想される。そこで、本年度の事業では、協調型自動運転システムが期待されるユースケースの整理に際して、協調型システムとして考えられる機能や性能とその分担割合の多寡を表形式で整理する案を作成した。この表の上に、過去のプロジェクトの結果等を調査してマッピングすることで、2025 年に実現しうると強く期待される協調型システムの概要が見えてくると期待される。

ⅱ） 協調型自動運転への期待とユースケース

① 協調型システムのコンセプト整理

過年度の事業では各地の実証実験で見られるユースケースの整理を実施し、自動運転の継続が阻害される可能性のある点について車両を制御するモデルから検討を行った。そのうえで、協調型システムが有効に働くシナリオの例を示した。

昨年度の成果を踏まえ、本年度は有効なユースケースの抽出に向けて車両とインフラによる協調型自動運転の考え方を整理した。協調型という言葉の持つ意味は広く、プロジェクト内外を問わず、個々の参加者がイメージする姿は異なっているためユースケース検討の際に想定するインフラの機能、車両の機能を想定しにくい。そこで、協調型システムを数種類に分けて概念を検討し、関係者間での議論を展開する際にどの内容を議論しているのを把握するものとして、整理を行った。例えば、自動運転レベル 4 を対象としたリスク最小化制御（Minimal Risk Maneuver 略称、MRM）の分類体系化[5]では、自動走行が可能な条件（ODD）の境界でリスク最小状態での停車を実現するＭＲＭが実行される際に、車両単独で対応する自律型とインフラとで協調して対応する協調型の特徴を整理しており、安全性と交通の円滑性の観点から望ましい MRM 挙動の概念を導いている。この文献では自律型と協調型を MRM 発動時という限定的な状況を対象とはしているが、自律型と協調型を定義してその効果を検討している。

本事業では、より一般的な走行状態で、インフラ機器および車両のシステムに想定される機能を 3 段階ずつ設定したもの組みあわせて 9 通りに分け、それぞれの組み合わせが有効に機能するユースケースの検討を行った。

検討に当たり、まず以下の観点を設定した。

- 自動運転を実現する機能を提供する要素として、車両とインフラを設定した。
- 車両とインフラの機能を段階的に設定し、その組み合わせによって自動運転による走行が実現されるものとした。

- インフラ側、車両側とのインタラクションは何かしらの手段によって実現できるものとして、ここに存在する伝達手段は理想的な状態にあると仮定した。
- 例）インフラ側から車両側へ通信によって車両の加減速を指示する制御信号が伝達される場合、通信の遅れや欠損はここでは考えない。
- 自動運転に関して過去数年にわたり行われたプロジェクトも整理できる構成として、過去のプロジェクトの知見を本プロジェクトでも効率的に取り込めるように留意した。

自動運転の議論においては、運転の自動化を一定の指標に沿って段階を分けて議論することが多い。車両については、SAE J3016 によって定められ、国内でも自動運転レベルとして知られている 5 段階の自動運転レベル(Level of Automation: LoA)がある。インフラについても同様の議論がなされており、デジタル環境を活用した自動運転のためのインフラ支援レベル、Infrastructure Support levels for Automated Driving: ISAD が存在する。インフラの支援を 5 段階で定義し、車両へ対してデジタルデータを送らないレベル E、標識といった静的な情報を送信することができる機能を備えたレベル D。静的、動的な情報全てを送信する機能を備えたレベル C。これに加えてさらにミクロな交通状況を把握してそのデータをリアルタイムで自動運転車に提供するレベル B。インフラから車両の行動を誘導できるレベル A が定義されている。[6]

以上の観点を元に、車両側の機能と、インフラ側の機能を次のように 3 段階ずつ設定した。ここでは、本年度は過年度の事業で検討した、知覚、認知、判断、操作の各段階を踏まえながら、車両とインフラのそれぞれが機能を分担するとして、その組み合わせによる協調型自動運転の類型を素案として示し、今後の議論の議論を整理するものとなる表を作成した。判断の高度さ 3 段階については先行するドイツの自動運転レベル 4 プロジェクトである UNICARGIL の知見[7]を参考として、何らかの入力を受けてから反応を返す時間の長短を分けて設定し、車両側では自動運転レベルを、インフラ側では ISAD のレベル分けも参考とした。両者ともに、インタラクションの存在しない機能（例えば、情報提供のみ)、限定的な条件に対して短い時間で反射的に動作できるもの、思考を経るように複雑な処理による判断が必要で反応までに一定の時間が必要なもの、これらを想定して段階分けることとした。

【車両の走行に関する機能】

車両 1　　センシングのみ（情報を得て人が運転する）

- システムは交通シナリオに対応した運転操作を行わない。運転操作の全てはドライバーが行うと仮定した。

車両 2　　限定的なシナリオへ対応できる（自動運転レベル 2 以下）

- 運転支援機能として、場所、天候、時間などが極めて限定されたシナリオの範囲内で運

転操作の一部を自動で行うと仮定した。

車両 3　　シナリオから予測ができる（自動運転レベル 3 以上を想定）

- 自律走行機能として、システムの責任において走行することが可能な機能や性能を有する。交通シナリオを認識し、そのシナリオの中で合理的に予見可能な現象に対して、国交省ガイドラインが定める適切な対応行動をとれる機能および性能を備えると仮定した。

【インフラ機器が走行に関与する機能】

インフラ I　　センシングのみ（情報提供のみを行う ISAD Level C 以下を想定）

- インフラ側にはセンシングを行い、その結果を情報提供する機能のみがあると仮定した。

  例）車両接近に連動した表示板や、接近情報のデジタル配信など

インフラ II　限定的なシナリオへ対応できる（ISAD Level B 以上を想定）

- インフラ側に、移動体を知覚、認識、判断をする知能がある。ここでは、自動運転による移動サービスが想定されている場所、環境、時間に限りそれが実現可能であると仮定する。

  例）静的・動的な物標の情報のデジタル情報を車両へ送信する

インフラ III　シナリオから予測できる（ISAD Level A 以上を想定）

- インフラ側に、移動体を知覚、認識、判断をする知能がある。ここでは、自動運転車両の経路によらず、インフラは設置された場所や環境内で制約なく自律して動作すると仮定する。

  例）静的・動的な物標の情報に加え、走行車速や走行車線について車両を誘導する機能を持つ。

以上を組み合わせて、協調型システムの構成として整理したコンセプト 9 個を設定した。

【車両 1×インフラ I】：自動運転レベル 1 以下の車両に対して、静的・動的なデジタル情報がインフラから提供される。

車両は人間のドライバーによって運転される。インフラは人間の運転を補助するもので、円滑な交通を実現する信号機や、運転に際して認識すべきことを伝える標識など、あらかじめ定められた簡単な条件内での情報を伝える。

【車両 1×インフラ II】：自動運転レベル 1 以下の車両に対して、ミクロな交通状況のデジタルデータがインフラから提供される。

車両は人間のドライバーによって運転される。インフラは人間の運転を補助するものだが、限定された交通シナリオの中で条件分岐などを経て、発進や停止といった指示を行う。

【車両 1×インフラ III】: 自動運転レベル 1 以下の車両に対して、インフラから交通状況と走行速度や車線を誘導する情報が提供される。

車両は人間のドライバーによって運転される。インフラは人間の運転に対して発進指示や停車指示といった一定の指令を与える。インフラ側にはその指示を行うために歩行者や自転車といった他の移動体を知覚・認識し、その行動を予測して指令を下す判断が可能な機能がある。

【車両 2×インフラ Ⅰ】: 自動運転レベル 2 の運転支援の車両に対して、静的・動的なデジタル情報をインフラから提供される。

車両は人間のドライバーが運転するが、その操作の一部または複数を車両の自動走行システムが実行する。インフラは一定の条件下で車両に対して周辺の環境や移動物体の情報を提供する。

【車両 2×インフラ II】: 自動運転レベル 2 の運転支援の車両に対して、ミクロな交通状況のデジタルデータがインフラから提供される。

車両は人間のドライバーが運転するが、その操作の一部または複数を車両の自動走行システムが実行する。インフラは人間の運転を補助するものだが、限定された交通シナリオの中で条件分岐などを経て、発進や停止といった指示を行う。

【車両 2×インフラ III】: 自動運転レベル 2 の運転支援の車両に対して、インフラから交通状況と走行速度や車線を誘導する情報が提供される。

車両は人間のドライバーが運転するが、その操作の一部または複数を車両の自動走行システムが実行する。インフラは、交通シナリオの推移を予測し、車両の適当な行動を判断したのちに、その車両に対して指令を送る。車両はこの指令に従って走行する。

【車両 3×インフラ I】: 自動運転レベル 3 以上の自動運転車両に対して、静的・動的なデジタル情報をインフラから提供される。

車両は特定の条件下でシステムが運転する。車両は交通シナリオから予測を行い、適当な行動を判断し実行する。インフラは人間のドライバーに対する情報適用と同等のことを行う。

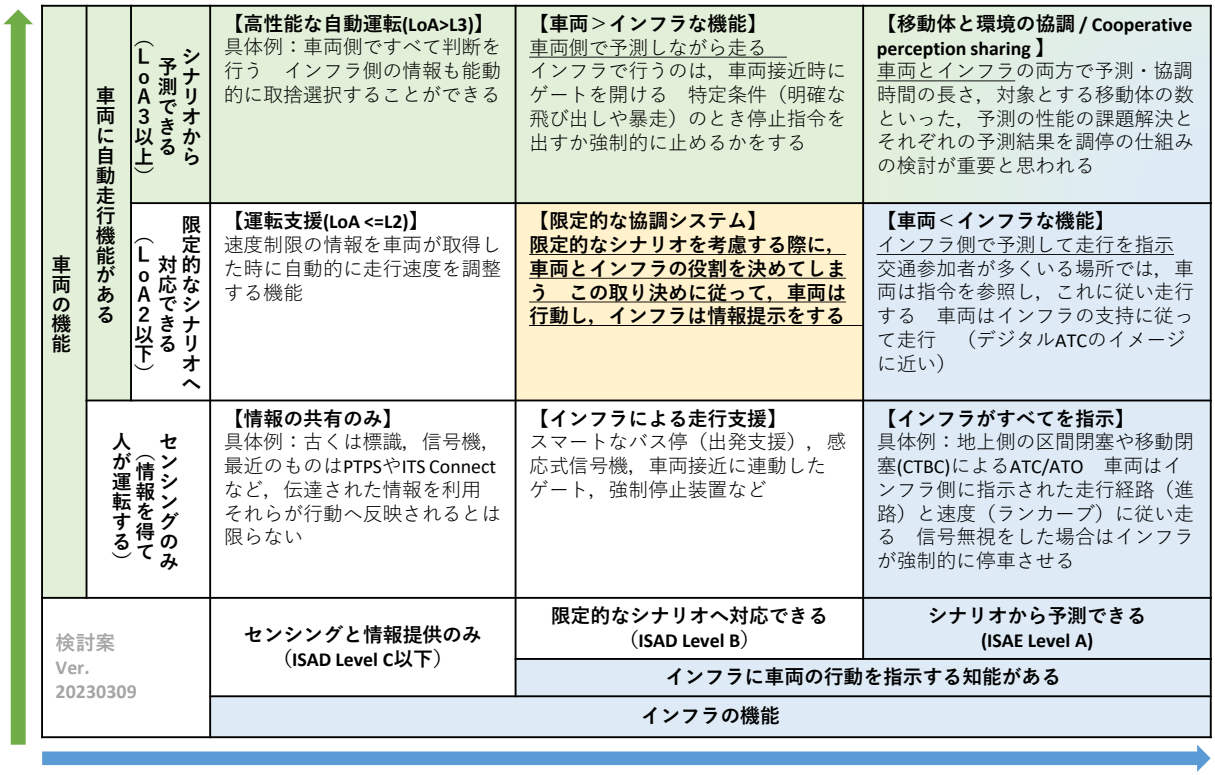
【車両 3×インフラ II】: 自動運転レベル 3 以上の自動運転車両に対して、ミクロな交通状況のデジタルデータがインフラから提供される。

車両は特定の条件下でシステムが運転する。車両は交通シナリオから予測を行い、適当な行動

を判断し実行する。インフラはシステムが運転する際に必要な情報の取得を補助するものだが、限定された交通シナリオの中で条件分岐などを経て、発進や停止といった指示を行う。

【車両 3×インフラ III】：自動運転レベル 3 以上の自動運転車両に対して、インフラから交通状況と走行速度や車線を誘導する情報が提供される。

車両は特定の条件下でシステムが運転する。車両は交通シナリオから予測を行い、適当な行動を判断し実行する。インフラは、交通シナリオの推移を予測し、車両の適当な行動を判断したのちに、その車両に対して指令を送る。車両の判断とインフラの判断の相互が作用しながら交通状況はシナリオとして推移する。これらを図示したものを図 4 に示す。



図注）ここでは路車間の情報伝達での遅延や欠損は考慮されていない。表中で使われている語について、反射とは、if-then 条件に従って動作を実行するものと定義する。予測を行うとは、自分も含めた移動物体の行動を、ある有限の時間だけ予測して、その結果に基づいて動作を行うと定義する。3 段階のうち、最も高いものは複雑な処理を経てなされるもの、中間に位置するものは、特定の条件下に対応した反射によってなされるもの、最も低いものは判断を要しないものと想定した。

図 4　協調型自動運転として想定される機能の組み合わせ整理案

組み合わせ整理をした図で右上に位置するものが、インフラと車両の機能が双方高度化し、それぞれを活用した交通として成立する、将来の実現が望まれるインフラ協調型の自動運転に当たる。この組み合わせに至るまでに、車両側からの高度化の検討とインフラ側からの高度化、ある

いは、双方を同じように高度化してゆくというアプローチが想定される。これまで自動運転の実証実験などで行われてきた取り組みが位置するところをマッピングすることで、車両側、インフラ側それぞれがどの段階まで実証されているか、あるいは既に実用に供されているのかを検討することができる。これを行うために、整理した 9 つの組み合わせに対して、過去に行われてきた自動運転に関するプロジェクトについてマッピングを試みたものが下表である。ここで例として挙げたものは一例であり、今後変化する可能性もある。

この結果を見ると、これまでに多く行われてきたプロジェクトは、車両の機能は自動運転レベル 2 以下に相当する高度運転支援（ADAS）であり、インフラから情報提供を受けるものが多いことが分かる。国内で進められている各種の自動運転実証実験は多くがこの部分に該当すると予想される。そこで、柏の葉での取り組みを具体例として、ドライバーではなくシステムが車両の走行を実行する場合に有効なインフラ支援の在り方について検討し、柏の葉における混在交通下での自動運転レベル 4 走行実現に向け、茨城県境町で行われている自動運転実証実験の運行内容を参考に、遠隔監視システムのあり方や、車内オペレータの役割等、運用面の観点から今後取り組むべき要件の整理を行った。

表 1　関連する先行プロジェクトの分類表上へのマッピング案

<table>
<tr><td rowspan="3">車両に求める機能の高度さ</td><td>例：自動化された、軌跡や車線の維持、加減速の実行、車間・車速の維持</td><td>【高性能な自動運転(LoA>L3)】※車両単独での自動運転
• 自動車専用道路でのレベル 3 自動運転が可能な市販車[8]</td><td>【車両＞インフラな機能】※車両の機能と限定的なインフラ機能の活用
• 福井県永平寺町実証実験（電磁誘導線＋遠隔操作 L3）[9]</td><td>【移動体と環境の協調/Cooperative precision sharing】※協調型自動運転の理想像であり、まだ研究開発の途上にある</td></tr>
<tr><td></td><td>【運転支援 LoA<=2】※ADAS から単体の運転支援まで広く該当する
• SIP-adus 臨海部実証[2]
• 路車協調制御の実験[10]
• 路面電車右直衝突の防止**[11]
• <u>柏の葉部分実証での自動運転バス走行[12][13]</u>
• <u>境町の自動運転取り組み</u></td><td>【限定的な協調型システム】※限定的な機能および性能の自動走行（L2 以下）の車両による走行
• 磁気ネイルや電磁誘導線による誘導を利用する自動運転[14]
• インフラ設置機器からの危険情報提供を受ける自動運転[15]</td><td>【車両＜インフラな機能】※限定的な機能および性能の自動走行（L2 以下）の車両による走行
• インフラが誘導や指示を行う自動走行[16]</td></tr>
<tr><td>例：人間が運転</td><td>【情報の共有のみ】※人間による運転を補助するインフラ
• 情報提示版、接近車両情報の呈示[17]</td><td>【インフラによる走行支援】※インフラ設備を活用して、自動運転車以外へも利益をもたらす取り組み</td><td>【インフラがすべてを指示】※インフラが支持するとおりに人間が運転する。</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>例：位置情報、標識情報、信号情報、周辺車両情報等を提供</td><td colspan="2">例：停車指示、発車指示、走行経路指示
周辺車両接近情報</td></tr>
<tr><td colspan="3">インフラ側に求める機能の高度さ</td></tr>
</table>

表注）

＊POV：Personal Owned Vehicle 個人が所有する車。** 路面電車の前方左側にいる乗用車が右折で進路を横断する際に衝突することの防止を目的として、V2V 通信で乗用車へ情報提供するサービスの実験。

② 柏の葉地区の実証実験でのコースで見られるシナリオ

柏の葉地区の自動運転バス実証実験については、手動介入の状況を記録する取り組みも進められている。この研究は自動運転の高度化を目指すものとは、やや趣旨が異なるものの、その結果を参考にすることはできる。この研究では以下の 6 シナリオが手動介入の多い運行記録で見られたと示されている。[12][13]

以下は参考文献[13]からの引用である。

“事例 1：交差点での大型車通過（認知・判断）”
“事例 2：左側方の自転車すり抜け（判断）”
“事例 3：後方から接近する緊急車両（判断）”
“事例 4：バス停を出発する路線バス（認知・判断）”
“事例 5：無信号横断歩道（認知・判断）”
“事例 6：道路上での作業（認知・判断）”

注）括弧内の記載は、運転操作の四段階である知覚、認知、判断、操作のいずれに困難さがあるのかを分析したものである。

これらの事例に共通するものを考えると、以下の点が車両から見た時に自動走行が難しいと予想される場面として導かれる。

(1) 交通シナリオの初期段階では相手の交通参加者の行動予測が難しい。
  - 補足：現状ではドライバーの動作等を通じて周辺交通参加者とのインタラクションがなされていることが多い。あるいは、ごく短時間のシナリオないしシーンから、次に起こることをドライバーが予測して運転している状態であり、いわゆる「かもしれない運転」に相当する。

(2) シナリオの途中で自車が取れる行動の選択肢が少なくなるとき。
  - 補足：例えば、単路部分で駐車車両を追い越したときに対向車線へ車体が出ている状態にあるとき、対向車線の車両が自車へ接近してくる場合。

上記の事態を避けるために求められる技術的な解決方法は周辺にいる交通参加者の行動に対する予測の精度を向上させることである。自動運転車両からみたとき、周辺の移動物体の行動をすべて把握することは難しい。衝突の懸念がある際にこれを回避するために予め減速を行う「かもしれない運転」は多く行われているが、これは、情報の少ない場合における防衛的な運転行動と

みられる。移動サービス車両の場合、車内での安全性確保や乗り心地向上の観点からは加減速は極力少なくすることが望まれる。そこで、自動運転車両が走行する経路上に予めセンサー等を取り付けておき、自動運転車のセンサー計測範囲を仮想的に広くし、時間的にも将来の状態を把握できるようにすることで、上記 2 点を解決することが期待される。これがインフラ側に期待される姿の一つと言える。

過年度の実施内容とあわせて考えると、インフラ支援が有効なユースケースは課題点 2 つを踏まえ以下のとおりとなる。

- 周辺の交通参加者の相互作用、すなわち、インタラクションが多くなりやすい場面。無信号交差点、信号付き交差点や、駐車車両回避の場合など。現行ではドライバー同士が相手の行動を読みながら運転している交通シナリオに該当する。

これに対して、協調型のインフラ支援へ期待される役割は以下のとおりとなる。

- 周辺の交通参加者の行動を認識し交通シナリオの推移を予測する。交通シナリオの中で自動運転車が衝突を回避することができないシーンに至る前に、これを回避するように交通参加者へ働きかける。

iii） 茨城県境町におけるレベル 2 自動運転車運用の事例

① 茨城県境町での取り組み

境町は、町内に鉄道駅がなく、住民の主な移動手段は自家用車であるが、高齢単身世帯が増加する中でバスへのニーズが増加している。そのような状況の中、地元バス事業者のドライバー採用難といった課題を解決するため、境町では仏 NAVYA 社の自動運転バスの導入を決定し、2020 年 11 月より運行を開始した。以降、走行ルートを拡大し、2023 年 2 月時点で図　5 に示す 2 つのルートで自動運転バスの運行を行っている。

境町の自動運転バスは、新型コロナ感染症の影響を受けつつも、継続して一定の乗車人数を維持しており、住民の移動手段として利用されている。2023 年 2 月時点で高速バスターミナル便を 4 往復、町内便を 5 往復運行しており、走行便数は 2020 年 11 月 26 日から 2023 年 1 月 31 日までで計 12,611 便、乗車人数はのべ 13,905 人となっている。

境町の自動運転バスの走行ルートは、歩道がなく幅員が狭い道路環境のため、路上駐車・歩行者・自転車などの障害物が多数存在する交通環境となっており、加えて信号がある交差点や、信号がなく見通しの悪い交差点も複数存在する。そのため、境町においても柏の葉同様、協調型システムの活用について検討を行っている。

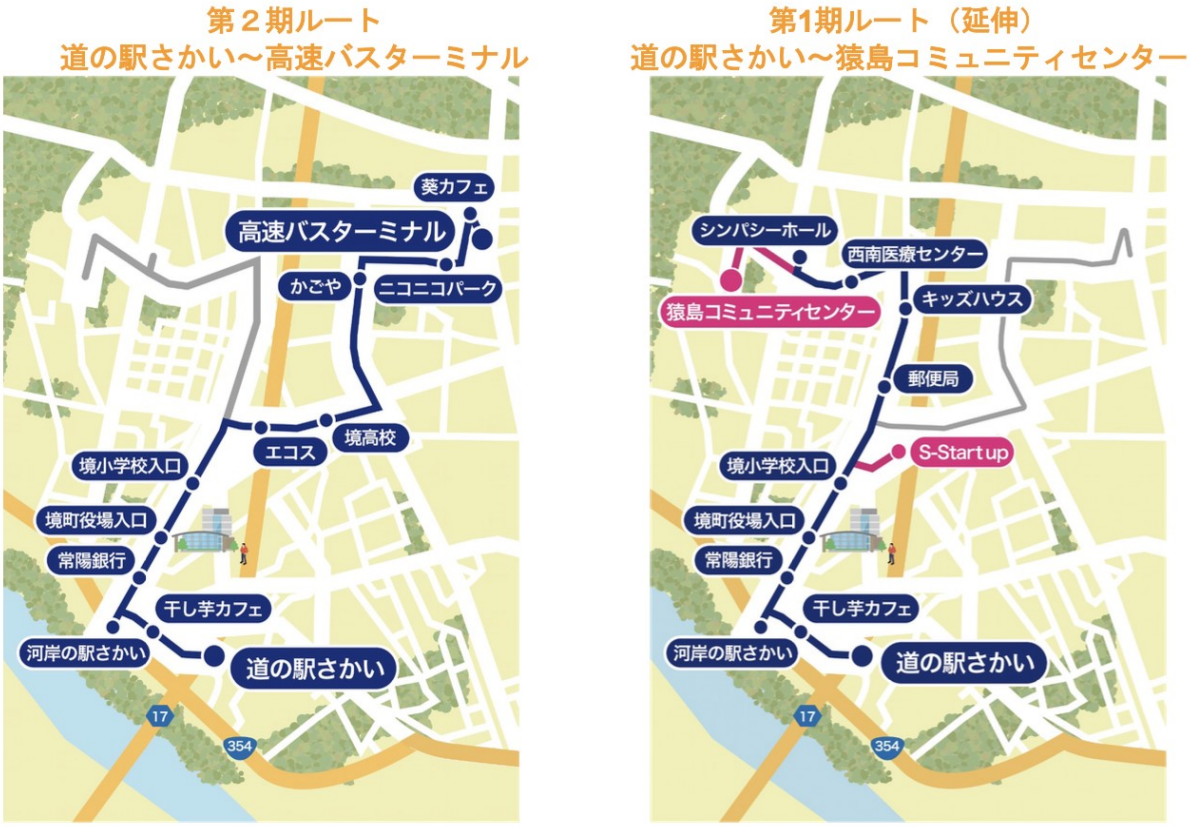


図 5　境町自動運転バス運行ルート（2023 年 2 月時点）

② 運行体制

境町の自動運転バスの運行体制は、町が多数の自動運転実証実験の経験を持つ BOLDLY 株式会社に運行業務を委託する形で行われている。日々の車両の運行・遠隔監視については、交通事業者である株式会社セネックが BOLDLY 株式会社より委託を受けで実施し、車両の定期点検等は、地元整備工場の平川モータースや、BOLDLY 株式会社の技術者（仏 NAVYA 社からメンテナンスのライセンスを取得）が実施する体制となっている。

実際の自動運転バスの運行に関しては、町内の施設内に遠隔監視センターを設立するとともに、車内の運行スタッフは地域住民を積極的に雇用するなど、地元地域に根付いた運行体制を取っている。

③ 車内のオペレータと遠隔監視の役割

自動運転バスの運行について、境町では自動運転バスに車内のオペレータが乗車するとともに、遠隔監視センターから遠隔監視を行うことで、安全を確保した運行に取り組んでいる。ここでは、境町で行われている車内のオペレータと遠隔監視の役割について、自動運転バスの運行前、運行中、運行後のフェーズに分けて整理した。

自動運転バスの運行前では、車内に乗車するオペレータが運行前の点検を実施し、自動運転車

両運行プラットフォームである Dispatcher に点検した結果の情報を入力する。一方、遠隔監視者は、Dispatcher を通じてオペレータの点検内容や運行条件等の確認を行い、運行開始の許可を行う。

自動運転バス運行中は、車内に乗車するオペレータは運行業務を行う。現時点、境町の自動運転バスはレベル 2 での運行となっているため、路上駐車車両の回避等では、オペレータが周辺環境に注意を払った上でオーバーライドを行っている。また、オペレータは乗客のフォローや、乗客に具合の悪い人が出たとき等のトラブル対応も行う。遠隔監視者は、Dispatcher を通じてリアルタイムに車内外の映像等を確認し、遠隔監視を行うとともに、トラブル発生時にはオペレータのサポートを行う。

自動運転バスの運行終了後は、車内に乗車するオペレータが運行後の点検を行い、運行前点検と同様、Dispatcher に点検結果の情報を入力する。遠隔監視者は点検内容の確認を行った上で、運行終了の許可を行う。

このように、境町では、運行前後の点検をオペレータだけでなく遠隔監視者も確認することで、運行前後の点検漏れを防ぐ仕組みを構築している。（図 6）

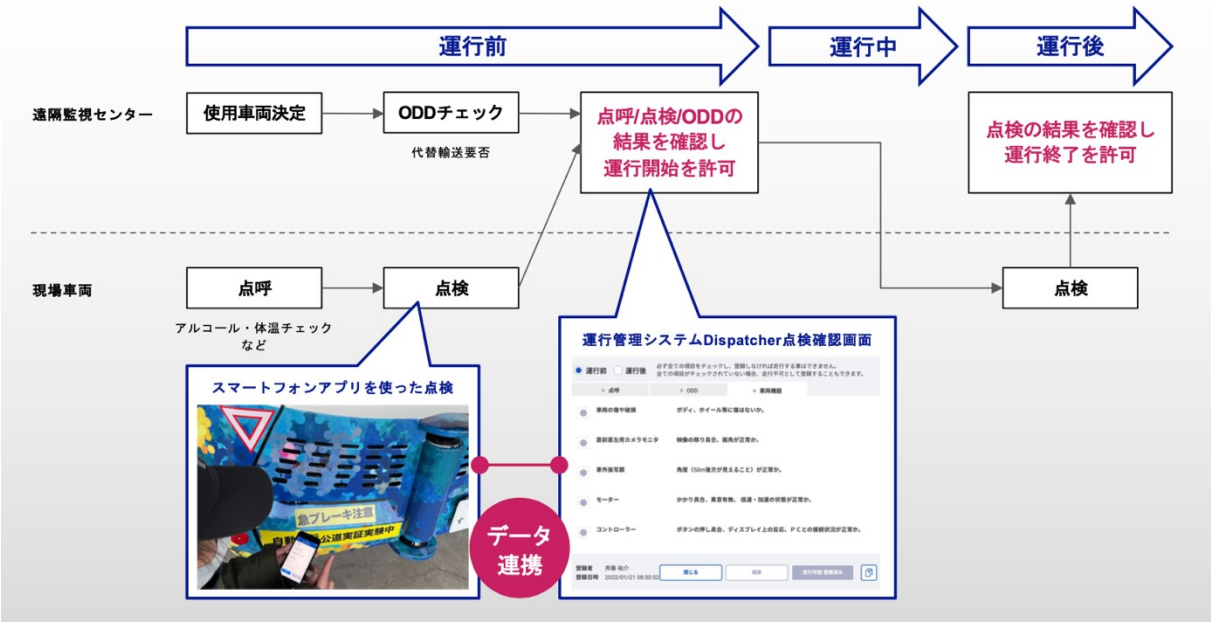


図 6　茨城県境町での運行車両点検の仕組み

④ 柏の葉での自動運転レベル 4 走行に求められる運用面での要件整理

柏の葉における混在交通下での自動運転レベル 4 走行実現に向け、運用面で取り組むべき内容、要件について、1)で整理した茨城県境町での取り組み内容を参考に整理した。なお、今回の整理はあくまでも境町の取り組みを参考に行ったものであり、柏の葉での実際の運用に向けては、今回整理した内容を参考に具体的な検討を行うことが今後求められる。

1.　改正道路交通法を考慮した運行体制

2023 年 4 月より施行されるレベル 4 での特定自動運行に係る改正道路交通法では、運行の形態として、特定自動運行主任者が特定自動運行用自動車に乗車する方法（以下、「乗車型」という）と、特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに特定自動運行用自動車の状況を映像及び音声により確認することができる装置で、内閣府令で定めるものを、運行を管理する場所に備え付け、特定自動運行主任者を配置する方法（以下、「遠隔監視型」という）が存在する。

効率的な運用を考えると遠隔監視型が理想と考えられるが、実際柏の葉での運行を想定した場合、歩車混在空間での運行となるため、運行当初から遠隔監視型を採用することは社会受容性や、緊急時の対応等を考慮すると困難と考えられる。そのため、当面の対応として、将来を見据え遠隔監視型としつつ、車内にも「その他の特定自動運行のために使用する者」を添乗員として乗車させるような運行体制が考えられる。

2.　遠隔監視システムに求められる要件の整理

前述した 1. のような運行体制を想定した場合、まずは柏の葉での自動運転バスの運行管理や、データ分析等を行う遠隔監視システムが必要となる。加えて、柏の葉では協調型システムを活用した自動運転走行を想定しているため、路側インフラ設備等の協調型システムの状態監視を行う機能も遠隔監視システムに求められる。ここでは遠隔監視システムに求められる要件を整理した。

遠隔監視システムに求められる要件としては、以下のようなものが考えられる。

まず遠隔監視装置として、改正道路交通法及び同法施行規則に定める通り、特定自動運行用自動車に取り付けられた装置から送信された、当該特定自動運行用自動車の周囲の全方向の道路及び交通の状況、当該特定自動運行用自動車の車内の状況に係る鮮明な映像及び明瞭な音声、当該特定自動運行用自動車の位置情報を常時かつ即時に受信することができることが求められる。加えて、協調型システムを活用した特定自動運行を行う場合、路側インフラ設備等を含めた協調型システムの状態監視、通信途絶時や故障時のエラー通知等、協調型システムの状況を遠隔で監視できる機能を有する必要があると考えられる。

また、遠隔監視センターでは、特定自動運行主任者が上述した映像および位置情報を視覚により認識するための機能を有するディスプレイ等の機器が必要となる。加えて、特定自動運行主任者が特定自動運行用自動車の車内にいる者及び車外にいる者との間で音声の送受信により通話をするための無線通話装置も必要となる。

更に、将来の複数の特定自動運行用自動車による運行を想定した場合、1 台の車両にトラブルが発生した際に他の特定自動運行用自動車の遠隔監視が継続できなくなる場合も想定される。サービスの継続性を考えると、運行車両が 1 台でも遠隔監視者が何らかの理由で遠隔監視を継続できなくなった場合を想定し、柏の葉で行う遠隔監視に加え、他の遠隔監視センターでも遠隔監視の

バックアップが実施できるような体制を構築する必要があると考えられる。

車内乗務員と遠隔監視の役割の整理

柏の葉における混在交通下での自動運転レベル 4 走行実現に向け、1. で記述した運行体制を想定した場合に、車内に乗車する「その他の特定自動運行のために使用する者」（以降、車内添乗員）と、遠隔監視を行う特定自動運行主任者（以降、遠隔監視者）の役割について整理を行った。

レベル 4 の自動走行を想定し、車内乗務員が運行業務を担わない場合車掌として主に乗客の支援等を行うことになり前述の車内添乗員（「その他の特定自動運行のために使用する者」）としての役割を担う。具体的には、乗客に対する乗車案内や観光案内、また車椅子の方や体の不自由な乗客に対する乗降のサポート等が考えられる。加えて、事故が発生した場合の救護等の役割が考えられる。

一方、遠隔監視者は、特定自動運行主任者として、運行前後に遠隔監視システムを活用した車両点検、点呼を行い、天候や路面の状況等の走行環境条件について確認する。また、自動走行運行中は、遠隔監視システムにより自動運行用自動車の作動状況・車内外の状況を監視するとともに、車両からアラートが発出された際には、システムの指示に従い対応を行うことが求められる。具体的には、軽微な車両のエラー等の場合は、映像による確認や、車内添乗員との通話による状況把握、事故・災害時には警察や消防への通報、駆け付け要員への連絡、緊急車両接近時には停車指示を行う等が考えられる。その他、運行中に乗客の体調不良が発生する等、運行管理上の必要性に応じ、自動運行用自動車の停発車指示を行うことが求められる。

上記に加え、遠隔監視型では、特定自動運行主任者とは別に遠隔にて常駐し、事故やトラブル等現場からの求めに応じて現場に駆けつける現場措置業務実施者を設ける必要がある。

柏の葉の走行ルートは複雑な混在交通下であるため、自動運転レベル 4 サービス実証実験の初期段階では、車内乗務員が必要に応じて手動運転により緊急自動車を優先させる等、システムが単体で完結できない運行業務を担う可能性もある。したがって実際に車内乗務員の担うべき役割は、実証実験の段階や運行される自動運転のレベルに応じ変化することが予想され、それぞれの段階に応じ、遠隔監視者との役割分担も検討していく必要がある。

iv) インフラに設置した機器が有効に働くユースケースの具体化に向けて

柏の葉の事例からは、レベル 2 の自動走行を行っているバスの視点から見て、実際の交通環境下でどのようなシナリオに対して協調型自動運転システムが有効に作用するのかという観点を具体的な事例から考えるとき、衝突を回避することが不可能なシナリオに至るよりも前に、その回避に有効な情報を提供することであるという考察を導くことができた。

境町の事例もレベル 2 の自動走行ではあるものの、自動運転レベル 4 を活用したサービスを実際に運用する際にも想定される運用体制が先駆的に行われているもので、柏の葉での自動運転レ

ベル 4 を利用したサービス実現を想定した場合にも同様の課題が現れることと想定される。詳細な検討は今後求められるものの、協調型自動走行システムにおける遠隔監視システムを導く示唆が得られた。

ここで述べた期待される役割をインフラに設置された機器が普遍的に数多くの交通シナリオで実現することは、全ての場所にセンサー等の機器を設置することと同義となるため極めて難しいが、ルートや走行範囲を限定することができるならば、遭遇する確率の高い交通シナリオを限定することができるため、より具体的な交通シナリオ、その際に考えられる交通参加者の動きを考慮したユースケースを記述することができ、インフラに設置した機器へ期待する役割も限定的になる。そのため、移動サービスのような時間と空間が限定されたものにたいして協調型自動運転を用いることが望ましい。

本年度は協調型のインフラ支援に期待される点について抽象度の高い表現による記述を行った。具体的に自動運転サービスを行うルートが決定されたのちは、協調型インフラの支援が有効な具体的ユースケース、および、具体的な支援方策と提供する機能や性能の設計も可能である。

本事業の検討ではインフラとの協調を前提とする自動運転車両が有効に機能するユースケースの抽出を目指し、その前段階としてインフラに設置された機器と自動走行車両とに期待する機能の度合いによる考え方を整理した。本事業内でもインフラに設置する機器と車載する機器とのそれぞれについて自動運転可能な条件を拡大するための研究開発が継続して実施されているところであるが、これらを組み合わせた後の全体像としてどのようなシステムの姿があり得るのかを議論することは、2030 年代に実現が強く期待される自動運転システムの構成を検討する際に有効であるだけでなく、その達成に必要な要素技術のうち、足りない部分を明確にすることが可能になると期待される。ここで必要とされる技術については、在来の自動車業界だけでなく、自動運転に関連する研究分野の動向も含めて広く調査検討を行うことで、既に研究開発がなされた要素技術や、これからの研究開発が期待される分野を発見することも考えられる[18]。

協調型自動運転として期待されるインフラの補助を得て自動走行するシステムの提案自体は、自動運転の技術開発における黎明期には提案がなされてきたものであるが、現在までに公道上を走行する自動運転のシステムとして広く普及したシステムには至っていない[19]。協調型自動運転普及に向けた取り組みをめざすとき、これまでの取組をもう一度俯瞰し、あらためて必要な技術、改良によって実運用に耐えうる技術、これまでの自動運転の技術開発がたどってきた道からは離れたところより入ってくる新しい技術（Emerging Technology）への着目と、実運用に向けた応用は避けて通れないと考えられる。本プロジェクトで実施したユースケース検討はその判断基準となるものであり、継続した検討が求められる。

参考文献

[1] 古川修、ITS に関する自動車の制御技術の現状と今後の課題、計測と制御、Vol.40, No.3, pp.027-213、https://doi.org/10.11499/sicejl1962.40.207

[2] SIP 自動運転（システムとサービスの拡張）システム実用化 WG 協調型自動運転通信方式検討 TF、SIP 協調型自動運転ユースケース -2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-、第 1 版、2019

[3] 令和 2 年度高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた研究開発・実証事業：自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト、2020、経済産業省委託調査報告書、(委託先：日本自動車研究所)

[4] S. Urbrich, T. Menzel, A. Reschka, F. Schuldt, M. Maurer, Defining and Substantiating the Terms Scene, Situation and Scenario for Automated Driving, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015, pp.982-988

[5] 吉野純司、平岡敏洋、霜野慧亮、梅田学、須田義大、自動運転におけるリスク最小化制御の分類、自動車技術会路文集 Vol.53(2022) 、No.6、pp.1095-1101

[6] 塚田学、協調型自動運転に向けた通信技術とその展望、技術情報協会、自動運転車に向けた電子機器・部品の開発と制御技術、2022、ISBN:978-4-86104-884-5

[7] UNICARagil news Juli 2020 (Half-time event issue)、https://www.unicaragil.de/en/news.html

[8] 波多野邦道、加納忠彦、世界で初めてレベル 3 の型式指定を受けた自動運転技術の概要、学術の動向、2022、Vol.27、No.2、pp.2_70-2_761、https://doi.org/10.5363/tits.27.2_70

[9] 加藤晋、遠隔システムを用いた無人自動運転移動サービス、学術の動向、2022、Vol.27、No.2、pp.2_77-2_81、https://doi.org/10.5363/tits.27.2_77

[10] 市原直樹、米陀佳祐、菅沼直樹、自動運転における ITS 無線を用いたジレンマゾーンでの急減速の削減、自動車技術会論文集、2021、52 巻、2 号、pp.413-418、https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.52.413

[11] 須田義大、中野公彦、平沢隆之、吉田秀範、鈴木高宏、長谷川智紀、坂本一朗、山本康典、小嶋浩一、藤元秀樹、東耕一、広島で実施した世界初の ASV 公道実証実験－路面電車と自動車の車車間通信型サービス、生産研究、2014、66 巻、2 号、pp.215-218、https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.66.215

[12] 霜野慧亮、中野公彦、鈴木彰一、岩崎克康、須田義大、柏の葉地区を走行する自動運転バスを対象としたデータ収集と分析の試み、生産研究、2022、74 巻、1 号、pp.85-89、https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.74.85

[13] 霜野慧亮、中野公彦、鈴木彰一、梅田学、岩崎克康、須田義大、柏の葉地区を実例とした自動運転バスの走行状態の分析と可視化、生産研究、2023、75 巻、1 号、pp.83-88、

https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.75.83
[14]加藤晋、ラストマイル移動サービスを社会実装するための自動運転と実証評価、サービソロジー、2019、Vol.6、 No.3、pp.22-28、https://doi.org/10.24464/serviceology.6.3_22
[15]栃木県自動運転バスチャレンジプロジェクト、令和 4 年第 3 回協議会 参考資料 2、http://abc-project.tochigi.jp/doc/R3_3_shiryou2.pdf
[16]大前学、久松尭史、松下寛治、佐藤周也、岡田成弘、道路側に設置した認識・制御装置からの誘導による 自動車の局所自動運転システムの開発と評価、自動車技術会論文集、2016、47 巻、3 号、pp. 807-814、https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.47.807
[17]多田昌裕、飯田克弘、倉内文孝、平岡敏洋、金澤文彦、有馬伸広、運転者挙動解析に基づくITS 合流支援追突防止情報提供サービスの効果検証、土木学会論文集 D3(土木計画学)、2013、69 巻、1 号、pp.1-11、https://doi.org/10.2208/jscejipm.69.1
[18]霜野慧亮、鈴木彰一、梅田学、内村孝彦、須田義大、自動車技術会論文誌に基づく国内の自動運転研究に関連する分野の変遷に関する分析、自動車技術会春季学術講演会 2022 学術講演会予稿集、文献番号 20225190
[19]津川定之、自動運転システムの 60 年、計測と制御、2015、54 巻、11 号、pp797-802

(2) 想定されるハザードとリスク分析によるユースケース整理

項目 1)において整理したユースケースを基に、自律型走行において想定されるハザードとリスク分析を行った。この分析により自律型走行での実現はセーフティやセキュリティの観点から不十分であり、協調型システムの活用が有効と考えられるユースケースを整理した。

2021 年度は上記のユースケースを例に、運転行動の各段階（認知・予測・判断・操作）を参考として、ハザードの検討を行った。本事業で設置された、車両メーカー、インフラ機器メーカーからなる、ワーキングの委員を対象として、想定している自動運転の機能イメージおよび想定している使用場面（ユースケース）についてアンケート調査を実施した。2022 年度では過年度アンケート結果を分析し、追加アンケートを実施することにより、ユースケースの整理を継続して実施した。

i) 2022 年度アンケート調査の実施

2021 年度［令和 3 年度無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4)］に実施した自動運転車両を開発する OEM 等へのアンケート調査に追加して、サービスカーを主体に自動運転車両を開発また運用する事業者を対象に、協調型システムに関するユースケース毎の必要なインフラ情報についてアンケート（以下、2022 年度アンケート調査という。）を実施した。

① 2022 年度アンケート調査対象先

- サービスカー自動運転スタートアップ　3 社（2021 年度の対象先 1 社と合わせ計 4 社）
- 交通サービス事業者　1 社

② 調査票

次ページに示す。

③ 実施時期

2022 年 12 月～2023 年 1 月

協調型システムによる提供情報等に関するアンケート

本アンケートは、経済産業省の「無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4））」の一環として、東京大学が、全国のサービスカー（中型バス等）の自動運転レベル 4 等に向けた取り組み状況などを調査させていただくものです。

本アンケートは、上記事業の報告書としてとりまとめる予定ですが、本アンケートでのご意見等のとりまとめに際しては、回答者を伏せたかたちで取り扱います。

上記内容をご理解の上、ご協力いただける場合はアンケート調査へのご回答をお願いいたします。

1. サービスカー（中型バス等）の自動運転の取組状況について

現在のサービスカー（中型バス等）の自動運転の取組状況について、実施箇所・地域、実施時期をご記入ください。

回答欄

例）○○県○○市　　2022 年○月～

2. インフラ協調の実施状況について

自動運転の取組箇所で、インフラ協調を実施している場合、その内容についてご記入ください。

回答欄

実施箇所・地域	インフラ協調の有無	協調内容	インフラメーカ
例）○○県○○市	あり	信号情報連携	□□社

3. インフラ協調を実施している場合で、インフラ協調の課題について

インフラ協調の課題があればご記入ください。

回答欄

例）検知対象、検知精度、検知範囲、データフォーマット　等

4. インフラ協調の必要性について

インフラ協調の必要性について、次頁以降の下記ユースケースごとに、ご記入ください。

・ユースケース 1：信号交差点の右左折

・ユースケース 2：路肩駐車が多い箇所での路肩の駐停車車両の回避

・ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過

(1) ユースケース 1：信号交差点の右左折

■ 信号交差点の左折時

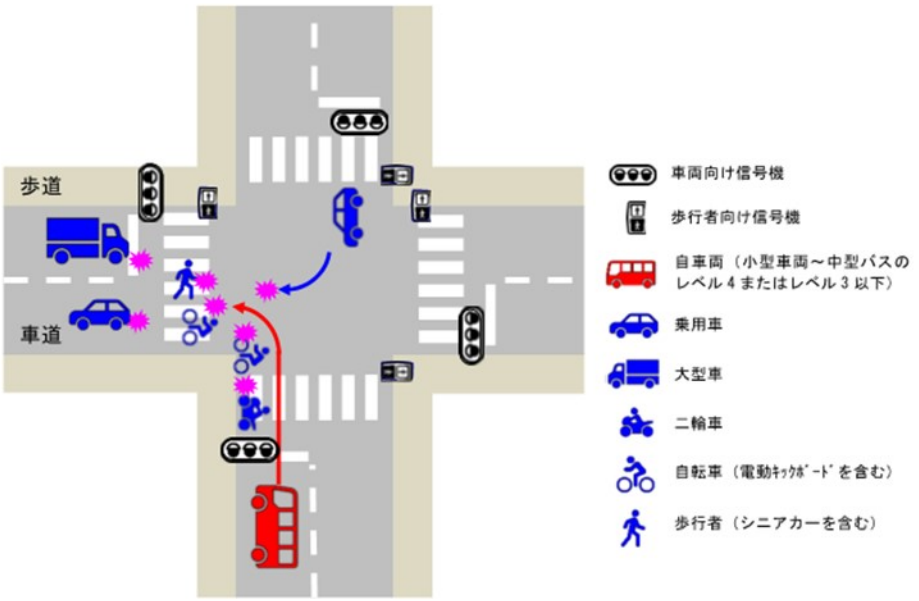


図　信号交差点の左折時に協調型システムが想定されるシナリオ

下記の項目のうち、自らのセンサーで検知可能と想定される情報について、“進路予測可：◎、位置検知可：○、検知不可：×、どちらともいえない：△”をご記入いただき、また検知する際の条件や性能などがございましたら、可能な範囲でご記入ください。

自動運転レベル 4 で協調型システムから提供して欲しい情報をお答えください。

レベル毎に、各情報及び項目の必要性について、5 段階評価（必要なし 0 1 2 3 4 必須）でご記入ください。

回答欄

インフラからの提供が考えられる情報	検知可否 進路予測可：◎、 位置検知可：○、 検知不可：×、 どちらともいえない：△	協調型システムから提供して欲しい情報の必要性
a. 左折先横断歩道周辺の歩行者		
b. 左折先横断帯周辺の自転車		
c. 同一車線の二輪車		
d. 同一車線の自転車		
e. 左折先対向車線の自動車		
f. 対向車線の自動車		
g. 対向車線の二輪車		
h. 車両用信号のサイクル情報	―	
i. 歩行者用信号のサイクル情報	―	

■ 信号交差点の右折時

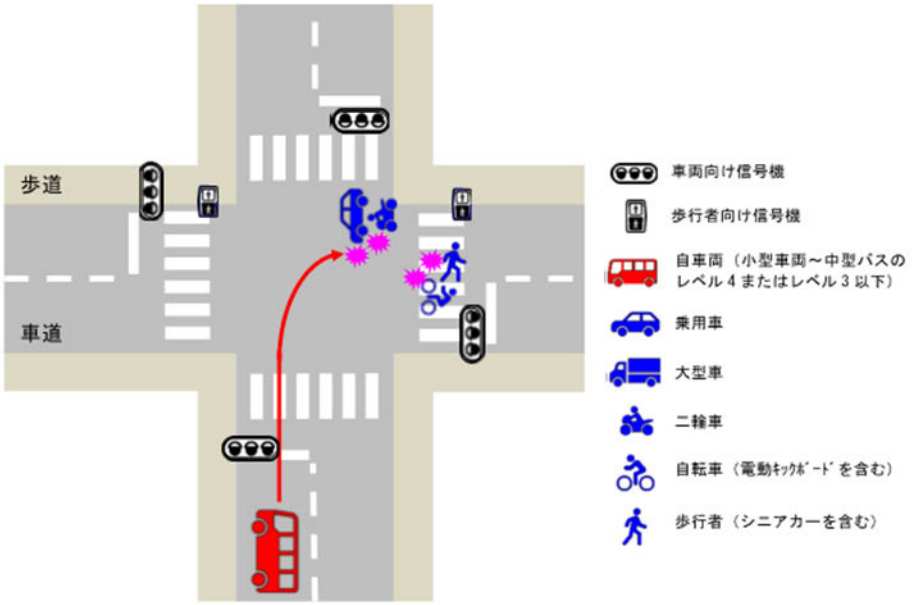


図　信号交差点の右折時に協調型システムが想定されるシナリオ

下記の項目のうち、自らのセンサーで検知可能と想定される情報について、“進路予測可：◎、位置検知可：○、検知不可：×、どちらともいえない：△”をご記入いただき、また検知する際の条件や性能などがございましたら、可能な範囲でご記入ください。

自動運転レベル 4 で協調型システムから提供して欲しい情報をお答えください。

レベル毎に、各情報及び項目の必要性について、5 段階評価（必要なし 0 1 2 3 4 必須）でご記入ください。

回答欄

インフラからの提供が考えられる情報	検知可否 進路予測可：◎、 位置検知可：○、 検知不可：×、 どちらともいえない：△	協調型システムから提供して欲しい情報の必要性
a. 右折先横断周辺の歩行者		
b. 右折先横断帯周辺の自転車		
c. 対向車線の二輪車		
d. 対向車線の自動車		
e. 車両用信号のサイクル情報		
f. 歩行者用信号のサイクル情報		

(2) ユースケース 2：路肩駐車が多い箇所での路肩の駐停車車両の回避

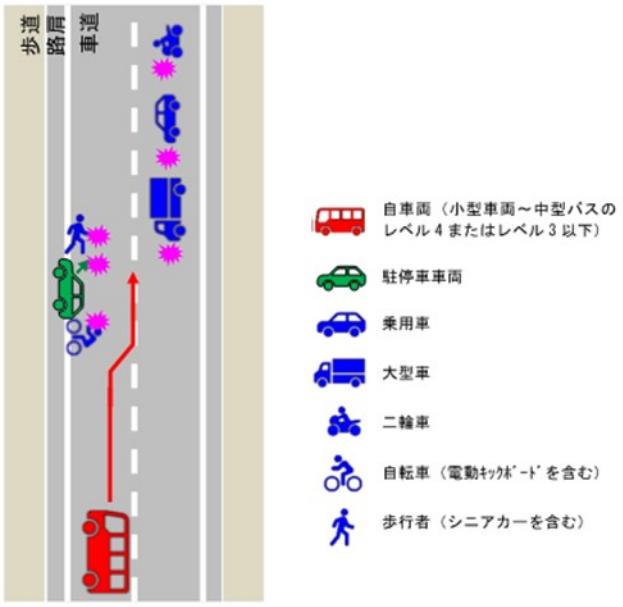


図　路肩に駐停車する車両の回避時に協調型システムが想定されるシナリオ

下記の項目のうち、自らのセンサーで検知可能と想定される情報について、“進路予測可：◎、位置検知可：○、検知不可：×、どちらともいえない：△”をご記入いただき、また検知する際の条件や性能などがございましたら、可能な範囲でご記入ください。

自動運転レベル 4 で協調型システムから提供して欲しい情報をお答えください。

レベル毎に、各情報及び項目の必要性について、5 段階評価（必要なし 0 1 2 3 4 必須）でご記入ください。

回答欄

インフラからの提供が考えられる情報	検知可否 進路予測可：◎、 位置検知可：○、 検知不可：×、 どちらともいえない：△	協調型システムから提供して欲しい情報の必要性
a. 対向車線の自動車		
b. 対向車線の二輪車		
c. 同一車線の自転車		
d. 車道の歩行者		
e. 路肩の駐停車車両		
f. 回避するための走行位置		

(3) ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過

■ 見通しの悪い無視号交差点の優先道路走行時

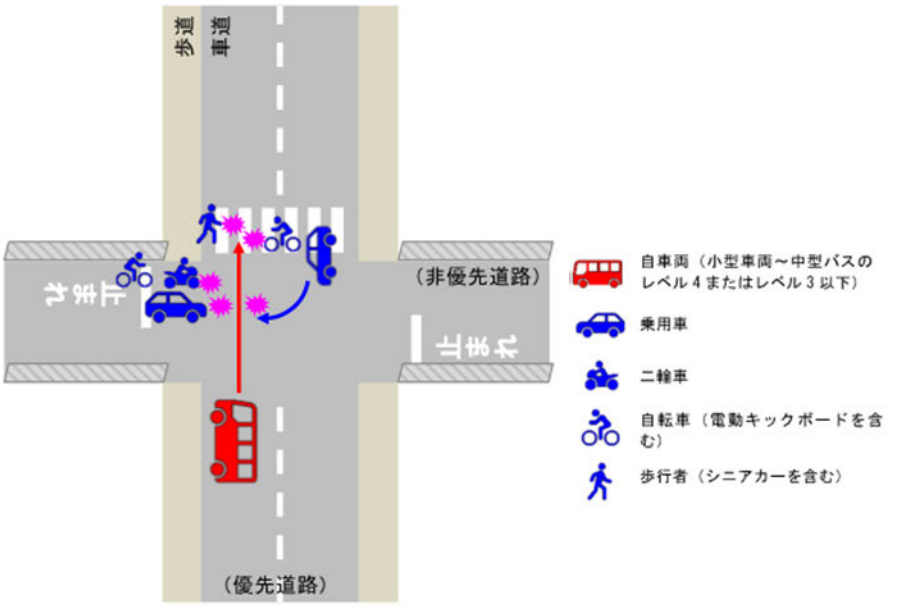


図　無視号交差点の優先道路通過時に協調型システムが想定されるシナリオ

下記の項目のうち、自らのセンサーで検知可能と想定される情報について、“進路予測可：◎、位置検知可：○、検知不可：×、どちらともいえない：△”をご記入いただき、また検知する際の条件や性能などがございましたら、可能な範囲でご記入ください。

自動運転レベル 4 で協調型システムから提供して欲しい情報をお答えください。

レベル毎に、各情報及び項目の必要性について、5 段階評価（必要なし 0 1 2 3 4 必須）でご記入ください。

回答欄

インフラからの提供が考えられる情報 ・優先車線（自車線） ・非優先車線（交差車線）	検知可否 進路予測可：◎、 位置検知可：○、 検知不可：×、 どちらともいえない：△	協調型システムから提供して欲しい情報の必要性
a. 非優先道路の自動車		
b. 非優先道路の二輪車		
c. 非優先道路の自転車		
d. 優先道路横断歩道周辺の歩行者		
e. 優先道路横断歩道周辺の自転車		
f. 対向車線の自動車		
g. 対向車線の二輪車		

■ 見通しの悪い無視号交差点の非優先道路走行時

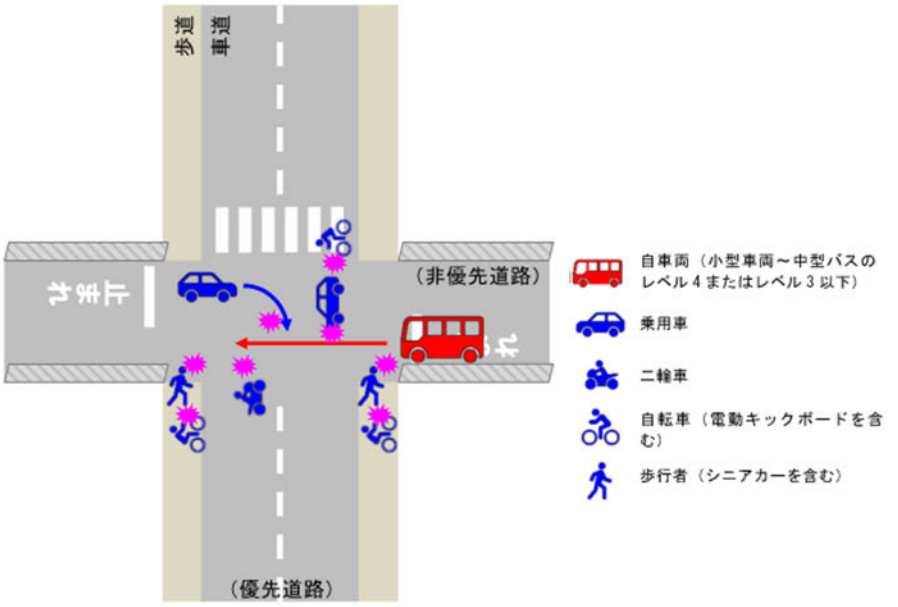


図　無視号交差点の非優先道路通過時に協調型システムが想定されるシナリオ

下記の項目のうち、自らのセンサーで検知可能と想定される情報について、“進路予測可：◎、位置検知可：○、検知不可：×、どちらともいえない：△”をご記入いただき、また検知する際の条件や性能などがございましたら、可能な範囲でご記入ください。

自動運転レベル 4 で協調型システムから提供して欲しい情報をお答えください。

レベル毎に、各情報及び項目の必要性について、5 段階評価（必要なし 0 1 2 3 4 必須）でご記入ください。

回答欄

インフラからの提供が考えられる情報 ・非優先車線（自車線） ・優先車線（交差車線）	検知可否 進路予測可：◎、 位置検知可：○、 検知不可：×、 どちらともいえない：△	協調型システムから提供して欲しい情報の必要性
a. 優先道路の自動車		
b. 優先道路の二輪車		
c. 優先道路の自転車		
d. 優先道路進入口周辺の歩行者		
e. 優先道路進入口周辺の自転車		
f. 優先道路先の歩行者		
g. 優先道路先の自転車		
h. 対向車線の自動車		
i. 対向車線の二輪車		

5. その他のご意見について

その他に、今後、検討すべき事項等があればご記入ください。

回答欄

6. ご回答いただいた方について

本アンケートにご回答いただいた方についてご記入ください。

なお、ご回答いただいた方が複数名いらっしゃる場合は、部署名はすべて記入いただき、お名前と連絡先は主担当者様（部署を併記）としてください。

回答欄

会社名： 部署名： お名前： 連絡先：(TEL) (E-mail)

■本調査に関する問い合わせ先

株式会社 長大　社会基盤事業本部　第１計画事業部 第２計画部

西坂（nisisaka-j@chodai.co.jp）、　三好（miyoshi-t@chodai.co.jp）

東京大学　生産技術研究所　次世代モビリティ研究センター(ITS Center)

萩野（mkhagino@iis.u-tokyo.ac.jp）、上西（jounishi@iis.u-tokyo.ac.jp）

以上で、アンケート終了です。ご協力ありがとうございました。

1.　2022 年度アンケート調査結果

サービスカーを主体に自動運転車両を開発また運用する事業者へ実施した 2022 年度アンケート調査をもとに、下記 3 つのユースケースについて、インフラ協調の必要性を整理した。

なお、当該整理にあたって、2021 年度アンケート調査で実施したサービスカー自動運転スタートアップ 1 社も加えて集計を実施した。

- ユースケース 1：信号交差点の右左折
- ユースケース 2：路肩駐車が多い箇所での路肩の駐停車車両の回避
- ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過

➢ ユースケース１：信号交差点の右左折　（左折時）

表 2　信号交差点左折時のインフラ協調の必要性

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報	自動運転車両が協調型システムから必要な情報		備考
	進路予測可：◎ 位置検知可：○ 検知不可：× どちらともいえない：△	0:必要なし～4：必須の 5 段階		
			平均	
a. 左折先横断歩道周辺の歩行者	○～◎	0～2	1.0	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える。巻き込みという点でも確認の多重化は有用と考える
b. 左折先横断帯周辺の自転車	△～◎	0～2	1.0	・△（前方から高速で来るものは不可） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える巻き込みという点でも確認の多重化は有用と考える
c. 同一車線の二輪車	△～◎	0～1	0.8	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える巻き込みという点でも確認の多重化は有用と考える
d. 同一車線の自転車	△～◎	0～1	0.8	同上
e. 左折先対向車線の自動車	○～◎	0～0	0.5	同上
f. 対向車線の自動車	△～◎	0～2	1.0	同上
g. 対向車線の二輪車	△～◎	0～2	1.0	同上
h. 車両用信号のサイクル情報	―	1～4	3.0	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・2. サイクル情報はあれば有用だが必ずしも必要ではない。4. ただし、灯火情報は必要と考える。
i. 歩行者用信号のサイクル情報	―	0～4	2.0	同上

➢ ユースケース 1：信号交差点の右左折　（右折時）

表 3　信号交差点右折時のインフラ協調の必要性

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報	自動運転車両が協調型システムから必要な情報		備考
	進路予測可：◎ 位置検知可：○ 検知不可：× どちらともいえない：△	0:必要なし～4：必須の 5 段階		
			平均	
a. 右折先横断歩道周辺の歩行者	△～◎	0～3	1.3	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
b. 右折先横断帯周辺の自転車	△～◎	0～3	1.3	同上
c. 対向車線の二輪車	△～◎	1～4	2.0	・△（自動車の影に隠れている場合は不可） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
d. 対向車線の自動車	△～◎	1～4	2.0	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
e. 車両用信号のサイクル情報	―～◎	1～4	3.3	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・2. サイクル情報はあれば有用だが必ずしも必要ではない。4. ただし、灯火情報は必要と考える。
f. 歩行者用信号のサイクル情報	―～◎	0～4	2.0	同上

➢ ユースケース 2：路肩駐車が多い箇所での路肩の駐停車車両の回避

表 4　駐停車車両回避時のインフラ協調の必要性

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報	自動運転車両が協調型システムから必要な情報		備考
	進路予測可：◎ 位置検知可：○ 検知不可：× どちらともいえない：△	0:必要なし～4：必須の 5 段階		
			平均	
a. 対向車線の自動車	△～◎	1～3	1.8	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
b. 対向車線の二輪車	△～◎	1～3	1.8	・△（前方車の影に隠れている場合は不可） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
c. 同一車線の自転車	△～◎	0～1	0.8	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
d. 車道の歩行者	×～◎	1～4	1.8	・◎（死角は×） ・△（車の影に隠れている場合は不可。ただし死角の検知は可能。） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
e. 路肩の駐停車車両	○～◎	0～3	1.3	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
f. 回避するための走行位置	―～◎	0～4	2.3	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・4. 回避に必要な幅などがあれば白線マタギなどの判断に使用できるため有用。

➢ ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過　（優先道路走行時）

表 5　優先道路走行時のインフラ協調の必要性

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報	自動運転車両が協調型システムから必要な情報		備考
	進路予測可：◎ 位置検知可：○ 検知不可：× どちらともいえない：△	0:必要なし～4：必須の 5 段階		
			平均	
a. 非優先道路の自動車	×～◎	1～4	3.3	・◎(死角は×) ・◎(センサーの視野が確保されるまでは不可) ・△（道路形状による） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・4. 情報がなければ徐行となる。情報があることがわかっていて走行車両がないことがわかれば徐行しないなどの措置が可能で可用性が上がるため有用
b. 非優先道路の二輪車	×～◎	1～4	3.3	・◎(死角は×) ・△(車の影に隠れている場合は不可) ・△（道路形状による） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・4. 情報がなければ徐行となる。情報があることがわかっていて走行車両がないことがわかれば徐行しないなどの措置が可能で可用性が上がるため有用
c. 非優先道路の自転車	×～◎	1～4	3.3	同上
d. 優先道路横断歩道周辺の歩行者	○～◎	0～4	1.3	・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・4. 情報がなければ徐行となる。情報があることがわかっていて走行車両がないことがわかれば徐行しないなどの措置が可能で可用性が上がるため有用
e. 優先道路横断歩道周辺の自転車	○～◎	0～4	1.3	同上
f. 対向車線の自動車	△～◎	1～2	1.5	・△（制御に使うことは困難） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
g. 対向車線の二輪車	△～◎	1～2	1.5	同上

➢ ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過　（非優先道路走行時）

表 6　非優先道路走行時のインフラ協調の必要性

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報	自動運転車両が協調型システムから必要な情報		備考
	進路予測可：◎ 位置検知可：○ 検知不可：× どちらともいえない：△	0:必要なし～4：必須の 5 段階		
			平均	
a. 優先道路の自動車	×～◎	1～4	3.3	・△（道路形状による） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・4. 基本的に非優先であれば停止する運用。死角で最終安全確認のための措置として有用と考える
b. 優先道路の二輪車	×～◎	1～4	3.3	同上
c. 優先道路の自転車	×～◎	1～4	3.3	同上
d. 優先道路進入口周辺の歩行者	×～◎	1～4	3.0	同上
e. 優先道路進入口周辺の自転車	×～◎	1～4	3.0	同上
f. 優先道路先の歩行者	△～◎	0～4	1.5	・◎（他車/者等による死角に隠れている場合は不可）・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・△（制御に使うことは困難） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
g. 優先道路先の自転車	△～◎	0～4	1.5	・◎（他車/者等による死角に隠れている場合は不可）・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・△（検出範囲に限界あり） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
h. 対向車線の自動車	△～◎	1～2	1.3	・△（制御に使うことは困難） ・1（スムーズな運行のためにはあると良い） ・1. 進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用と考える
i. 対向車線の二輪車	△～◎	1～2	1.3	同上

ii） 協調型システムとして必要な情報の抽出

車両タイプ別の協調型システムへの期待として、OEM（乗用車）と、サービスカーを主体に自動運転車両を開発また運用する事業者へのアンケートを再整理した。

① 車両タイプ別の協調型システムへの期待

- OEM（乗用車）とバス車両等のサービスカーを対象に、自動運転車両で検知・予測できる情報と、インフラから必要な情報を調査
- OEM（乗用車）とサービスカーでは違いあり

表 7　乗用車とサービスカーの違い（2021・2022 年度アンケート調査）

	OEM（乗用車）	サービスカー
協調型システムへの期待	自動運転車両で予測・検知可能な情報が多く、協調型システムから必要な情報は少ない 協調型システムからの情報も、あれば有益と考えているが、情報の信頼度や責任分担が明確にならないと判断できないとの意見	自動運転車両で予測・検知可能な情報はあるものの、検出範囲に限界がある車両を用いるサービスも検討しているため、協調型システムからの情報への期待値が大きいと想定 車内乗員保護（立ち乗り）の観点も有り強い加減速をかけられないため、早期の情報取得のニーズあり
協調型システムから必要な情報	信号のサイクル情報	信号のサイクル情報 交通参加者情報（例えば、右折信号交差点であれば、右折先横断歩道周辺の歩行者・自転車や、対向車線の自動車・二輪車　等）

【まとめ】

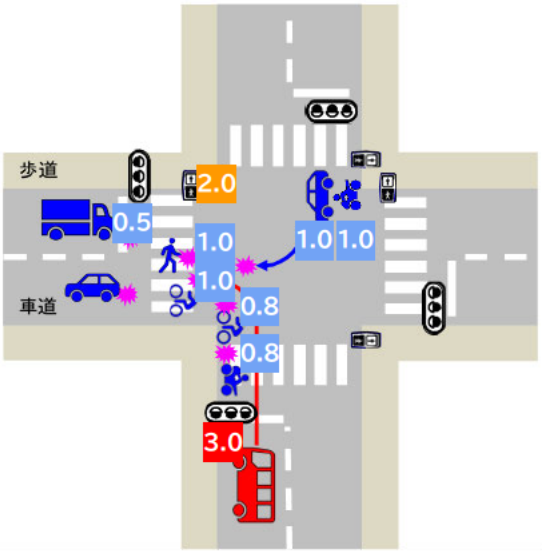
- サービスカーにとってインフラ協調の役割は大きい
- サービスカーは走行ルートが固定されており、インフラ協調することで、早期の導入・展開が期待できる
- OEM（乗用車）は、インフラからの情報の信頼度や責任分担が明確にならないと判断できないという意見があり、まずは運転支援向け（レベル 2）で実績を把握しながら、適用範囲を拡大していくことで、安全性の向上に期待できる

② サービスカーが協調型システムから必要な情報

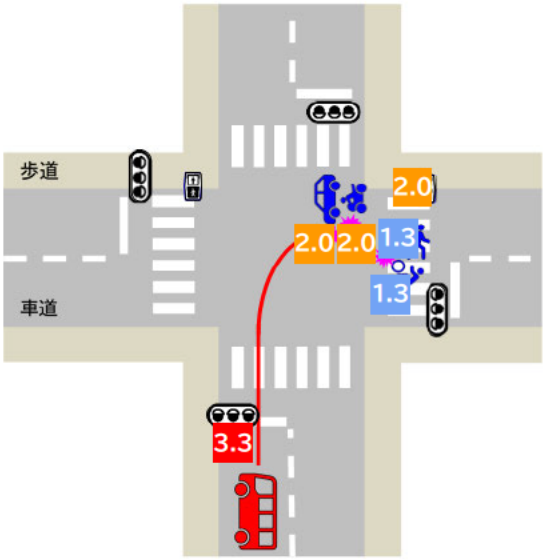
- サービスカーが協調型システムから必要な情報は、信号のサイクル情報に加え、交通参加者情報（例えば、右折信号交差点であれば、右折先横断歩道周辺の歩行者・自転車や、対向車線の自動車・二輪車　等）

● ユースケース１：信号交差点の右左折》

《左折時》



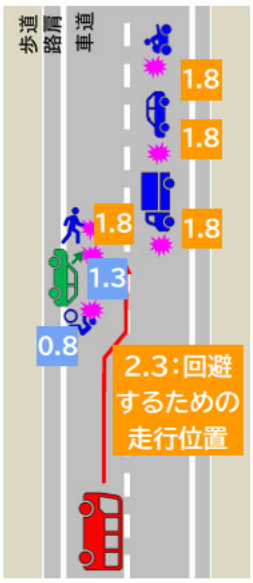
《左折時》



必要なし　　必須

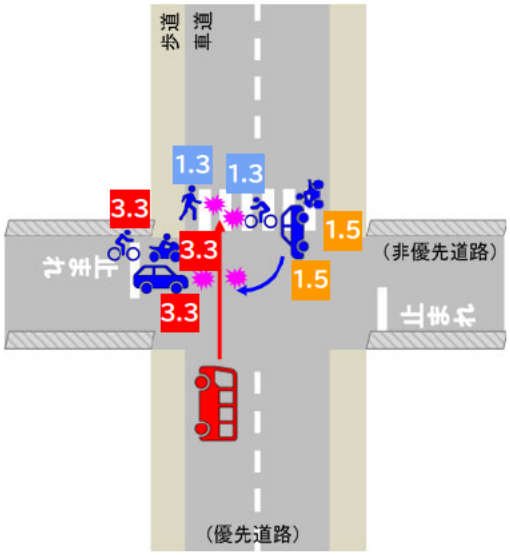
必要性：5段階

- ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避

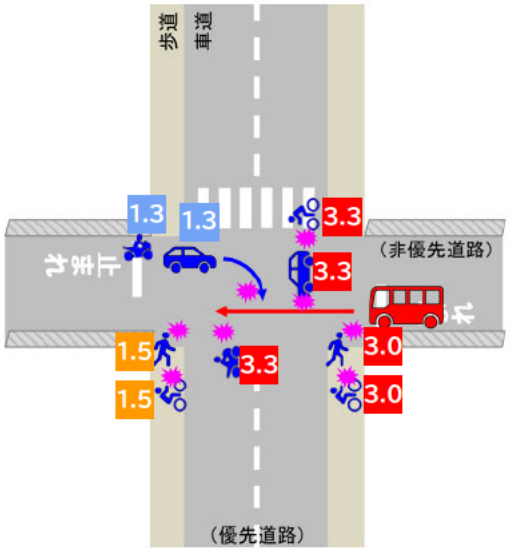


- ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過

《優先道路走行時》



《非優先道路走行時》



必要性：5段階

必要なし　　必須

【参考】自動運転車両で予測・検知可能な情報、及び、自動運転車両が協調型システムから必要な情報　OEM とサービスカーの比較

- ユースケース 1：信号交差点の右左折　（左折時）
  - 「車両用信号、歩行者用信号のサイクル情報」の必要性は、2.0 を超える結果となった。
  - 交通参加者（a～g）に関する情報の必要性は 1 程度であるが、「スムーズな運行のためにはあると良い」「進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割、巻き込み確認の多重化であれば有用」とのご意見があった。

表 8　OEM・サービスカー別の情報ニーズの再整理（2021・2022 年度アンケート）

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報 進路予測可：◎、位置検知可：○、 検知不可：×、どちらともいえない：△		自動運転車両が協調型システムから必要な情報 0:必要なし、4：必須の 5 段階	
	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社
a.左折先横断歩道周辺の歩行者	○～◎	○～◎	0～1	0～2
b.左折先横断帯周辺の自転車	○～◎	△～◎	0～1	0～2
c.同一車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～1	0～1
d.同一車線の自転車	○～◎	△～◎	0～1	0～1
e.左折先の対向車	○～◎	○～◎	0～1	0～0
f.対向車線の自動車	○～◎	△～◎	0～1	0～2
g.対向車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～1	0～2
h.車両用信号のサイクル情報（現示含む）	－	－	1～4	1～4
i.歩行者用信号のサイクル情報（現示含む）	－	－	1～2	0～4

- ユースケース 1：信号交差点の右左折　（右折時）
  - 「車両用信号、歩行者用信号のサイクル情報」、「対向車線の二輪車、自転車」の必要性は 2.0 を超える結果となった。
  - 「右折先横断歩道周辺の歩行者、自転車」の必要性は 1 程度であるが、「スムーズな運行のためにはあると良い」「進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割、巻き込み確認の多重化であれば有用」とのご意見があった。

表 9　信号交差点右折時における協調型システムから必要な情報等

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報 進路予測可：◎、位置検知可：○、 検知不可：×、どちらともいえない：△		自動運転車両が協調型システムから必要な情報 0:必要なし、4：必須の 5 段階	
	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社
a. 右折先横断歩道周辺の歩行者	○～◎	△～◎	0～1	0～3
b. 右折先横断帯周辺の自転車	○～◎	△～◎	0～2	0～3
c. 対向車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～2	1～4
d. 対向車線の自動車	○～◎	△～◎	0～2	1～4
e. 車両用信号のサイクル情報	―	―～◎	1～4	1～4
f. 歩行者用信号のサイクル情報	―	―～◎	1～2	0～4

- ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避
  - 「対向車線の自動車、二輪車」、「車道の歩行者」、「回避するための走行位置」の必要性は 2 程度である
  - 「同一車線の自転車」、「路肩の駐停車車両」の必要性は 1 程度であるが、「スムーズな運行のためにはあると良い」「進路予測・認識間違えなどを減らすための冗長としての役割、巻き込み確認の多重化であれば有用」とのご意見があった。
  - 1 社は回避するための走行位置は「回避に必要な幅などがあれば白線マタギなどの判断に使用できるため有用」とのご意見があった。

表 10　路肩駐停車車両の回避における協調型システムから必要な情報等

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報 進路予測可：◎、位置検知可：○、 検知不可：×、どちらともいえない：△		自動運転車両が協調型システムから必要な情報 0:必要なし、4：必須の 5 段階	
	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社
a.非優先道路の自動車	△（位置関係による）、◎	△～◎	0～1	1～3
b.非優先道路の二輪車	△（位置関係による）、◎	△～◎	0～1	1～3
c.非優先道路の自転車	△（位置関係による）、◎	△～◎	0～1	0～1
d.優先道路横断歩道周辺の歩行者	○～◎	×～◎	0～1	1～4
e.優先道路横断歩道周辺の自転車	○～◎	○～◎	0～1	0～3
f.対向車線の自動車	○～◎	－～◎	0～1	0～4
g.対向車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～1	1～3

- ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過　（優先道路走行時）
  - 「対向車線の自動車、二輪車」の必要性は 2 程度、「非優先道路の自動車、二輪車、自転車」の必要性は 3.0 を超える結果となった。
  - 「優先道路横断歩道周辺の歩行者、自転車」の必要性は 1 程度であるが、「スムーズな運行のためにはあると良い」「情報がなければ徐行となる。情報があることがわかっていて走行車両がないことがわかれば徐行しないなどの措置が可能で可用性が上がるため有用」とのご意見があった。

表 11　見通しの悪い無視号交差点の通過（優先道路走行）時における協調型システムから必要な情報等

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報 進路予測可：◎、位置検知可：○、 検知不可：×、どちらともいえない：△		自動運転車両が協調型システムから必要な情報 0:必要なし、4：必須の 5 段階	
	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社
a.非優先道路の自動車	△（位置関係による）、◎	×～◎	0～1	1～4
b.非優先道路の二輪車	△（位置関係による）、◎	×～◎	0～1	1～4
c.非優先道路の自転車	△（位置関係による）、◎	×～◎	0～1	1～4
d.優先道路横断歩道周辺の歩行者	○～◎	○～◎	0～1	0～4
e.優先道路横断歩道周辺の自転車	○～◎	○～◎	0～1	0～4
f.対向車線の自動車	○～◎	△～◎	0～1	1～2
g.対向車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～1	1～2

- ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過　(非優先道路走行時)
  - 「優先道路先の歩行者、自転車」の必要性は 2 程度、「優先道路の自動車、二輪車、自転車」、「優先道路進入口の歩行者・自転車」の必要性は 3.0 を超える結果となった。
  - 「対向車線の自動車、二輪車」の必要性は 1 程度であるが、「スムーズな運行のためにはあると良い」「進路予測･認識間違えなどを減らすための冗長としての役割であれば有用」とのご意見があった。

表 12　見通しの悪い無視号交差点の通過（非優先道路走行）時における協調型システムから必要な情報等

情報	自動運転車両で予測・検知可能な情報 進路予測可：◎、位置検知可：○、 検知不可：×、どちらともいえない：△		自動運転車両が協調型システムから必要な情報 0:必要なし、4：必須の 5 段階	
	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社	OEM(乗用車)3 社	サービスカー4 社
a.優先道路の自動車	△（遮蔽物との位置関係による）、○	×～◎	1～2	1～4
b.優先道路の二輪車	△（遮蔽物との位置関係による）、○	×～◎	1～2	1～4
c.優先道路の自転車	△（遮蔽物との位置関係による）、○	×～◎	1～2	1～4
d.優先道路進入口周辺の歩行者	△（遮蔽物との位置関係による）、○	×～◎	1～2	1～4
e.優先道路進入口周辺の自転車	△（遮蔽物との位置関係による）、○	×～◎	1～2	1～4
f.優先道路先の歩行者	○～◎	△～◎	0～1	0～4
g.優先道路先の自転車	○～◎	△～◎	0～1	0～4
h.対向車線の自動車	○～◎	△～◎	0～1	1～2
i.対向車線の二輪車	○～◎	△～◎	0～1	1～2

2) 協調型システムによるレベル 4 自動運転サービスの活用が期待される地域特性の整理

(1) 地域の特性の整理

自動運転レベル 4 サービスは様々な地域で導入が期待されるが、その導入形態は、地域特性や解決したい課題・ニーズによって異なるものとなる。

地域特性については、関係省庁等の類似プロジェクトをレビューし、以下の 4 パターンに類型化できることを確認済みである。

表 13 関係省庁等の類似プロジェクトにおける地域特性分類パターンの概要

主体・取組み	①経済産業省/国土交通省 スマートモビリティチャレンジ		②国土交通省 スマートシティモデル事業	③国土交通省 新型コロナ危機を契機としたまちづくり	④内閣官房 官民ITS構想・ロードマップ
該当資料	IoTやAIが可能とする新しいモビリティサービス関する研究会（経済産業省）	都市と地方の新たなモビリティサービス懇談会（国土交通省）	スマートシティの実現に向けて【中間とりまとめ】	「新型コロナ危機を契機としたまちづくりの方向性」（論点整理）	官民ITS構想 ロードマップ
地域特性分類パターン	■ 大規模都市 ■ 公共交通普及中規模都市 ■ 自家用車中心中規模都市 ■ 郊外・過疎地域	■ 大都市型 ■ 大都市近郊型 ■ 地方都市型 ■ 地方郊外・過疎地型 ■ 観光地型	■ オールドニュータウン ■ 大規模ターミナルのユニバーサルデザイン ■ 都市機能集積地の安全・安心の確保 ■ 観光拠点の魅力向上 ■ 地方都市における移動の足の確保 ■ 都市施設の管理の高度化・効率化	■ 大都市 ■ 郊外 ■ 地方都市	■ 公共交通が普及している都市部 ■ 自家用車による移動が中心の都市部 ■ 地方部
（参考）当該事業の展開	・19年度:13地域 ・20年度:16地域 ・21年度:14地域	・19年度:19事業 ・20年度:38事業 ・21年度:12事業	・先行モデルプロジェクト:15事業 ・重点事業化促進プロジェクト:23事業	・モデル都市:13都市	―

表 14 地域特性の類型パターン

No	類型パターン
1	大規模都市
2	公共交通普及中規模都市
3	自家用車中心中規模都市
4	郊外・過疎地域

大規模都市では、公共交通網が既に整備されており、オフィスや商業施設等の立地も多い。一方、バス・タクシー、自家用車、自転車、歩行者が高密に混在する環境も多く、限定空間と比較して自動運転レベル 4 の技術的難易度は高くなる。新たな移動ニーズの喚起や、先進的な取り組みを通じた社会付加価値向上等を目的とした、各種インフラと連携した形態での自動運転レベル 4 サービス導入に、高い親和性があると考えられる。

公共交通普及中規模都市では、ある程度の公共交通が普及しているが、地域によって移動ニーズやサービス水準に差異がある場合が多い。鉄道駅や大規模施設等の周辺では、一定の移動ニー

ズがある一方、その他の地域では移動ニーズが低密な場合もある。他の交通手段との混在レベルも地域によって大きく異なる。まちづくりや他の交通手段とも適切に連携した形態での自動運転レベル 4 サービス導入が求められる。

自家用車中心中規模都市では、居住地等が低密に拡がりつつも、公共交通網が十分でなく、運転免許や自家用車の保有状況によっては日常移動に制約のある住民が多く存在する。人口減少や高齢化により、担い手不足が進んでいる場合も多い。自動運転レベル 4 サービスは、地域の移動の足を確保するための選択肢の一つとなり得る。

郊外・過疎地域では、自家用車中心中規模都市と同様に公共交通網が十分でないうえに、移動ニーズも限定的である。地域の移動の足を確保するため、自動運転レベル 4 サービスを含む各種交通手段から、持続可能な形態で運用する必要がある。

一方、自動運転レベル 4 を含む各種移動サービスの導入形態は、必ずしも上記地域特性分類によって決定されるものではない。個別地域の解決したい課題・ニーズによって、地域に合った形態でのサービスが求められる点に留意が必要である。

(2) モデル地域の選定

本事業では、他モードとの混在レベル、ステークホルダー、主な立地施設等の状況を踏まえ、多様な地域特性を有するモデル地域として「柏の葉」「藤沢」「豊洲」の 3 地域を選定済みである。

表 15　モデル地域（柏の葉・藤沢・豊洲）の特徴

	地域		
	柏の葉	藤沢	豊洲
他モードとの混在レベル	高	中	低
ステークホルダーの数	中	少	少
スマートシティ開発事業者	有	有	有
開発状況	開発済地域（＋今後開発予定地域あり） 1999:東大柏キャンパス開設 2005:柏の葉キャンパス駅開業 2014:柏の葉スマートシティ街びらき	開発済地域 2014: Fujisawa サステナブル・スマートタウン街びらき	新規開発地域 2022:豊洲6丁目複合施設 街びらき予定
主な立地施設	商業施設・集合住宅・大学・医療施設等	戸建住宅	オフィス・商業施設
自動運転サービス導入状況	駅と大学を結ぶ自動運転バス（L2）営業運行実証実験を実施中	住宅街向け自動配送ロボットの公道実証を実施中	（計画段階）
本PJにおける地域関係者	柏市役所（交通政策課） 柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK） 先進モビリティ（株） 東武バス（株） 東武バスセントラル（株） 三井不動産（株） パシフィックコンサルタンツ（株） 東京大学 他、柏ITS推進協議会メンバー	パナソニックホールディングス（株）	清水建設（株）

ここで、2)(1)に記載した通り、自動運転レベル 4 サービスの導入形態は、個別地域の解決したい課題・ニーズによって異なる。ある地域での導入形態を、そのまま他地域に適用できるものではない。また、現時点で国内には自動運転レベル 4 サービスの導入事例は無く、技術面・事業面の双方で、前例のない新たな取り組みを推進する必要がある。したがって、まずは導入地域を絞って先行事例を実現し、ここで得られたノウハウを他地域に展開していくことが、各地域における将来的な自動運転レベル 4 サービス展開に繋がると考えられる。

上記を踏まえ、関係者と協議の上、既にレベル 2 自動運転の実証が行われており、中規模都市の鉄道駅周辺のためノウハウの横展開に際し汎用性も高いと考えられる「柏の葉」を、2025 年度の事業化目途付けを見据えて技術実証・サービス実証を行うモデル地域とし、「豊洲」「藤沢」は、事業モデルに対する示唆を得るための検討を行うモデル地域とした。

3) 協調型システムの実現のためのキーテクノロジーの整理

2021 年度は、課題の洗い出しと解決すべき問題を把握するとともに、駐車場出入り口におけるモビリティ・移動体の認識、交差点におけるオクルージョン回避、GNSS ロスト時における自己位置推定を具体的なターゲットシーンとして決定した。これらのターゲットシーンに対する具体的な解決策として、駐車場からの出入り口に対しては俯瞰カメラと機械学習を用いた解決を、オクルージョンに対してはマルチカメラネットワークシステムで多視点することにより解決を、GNSS ロスト時に対しては統合型位置計測技術を用いた解決を図り、その実装・実証に向けて検討を進めた。

本年度は、1)及び 2)にて整理した協調型システムのユースケースを念頭に置き、協調型システムを実現させるために必要なキーテクノロジーを整理した。現在想定したキーテクノロジーは以下の 3 点

(1) 自動運転レベル 4 サービスに資するインフラセンサーシステムの実装・評価、

(2) オクルージョンに頑健なインフラセンサーシステムの提案、

(3) 自動運転レベル 4 サービスを可能にする多重性を持った統合型位置計測システムの実装

であり、これらのキーテクノロジーを統合した協調型システムの全体アーキテクチャを検討した。結果として、インフラセンサーシステムとして俯瞰型およびマルチ型のカメラシステムを用いた検出・位置情報取得および LiDAR 情報も活用した位置計測システムの有効性および実環境への導入可能性を確認した。

(1) 自動運転レベル 4 サービスに資するインフラセンサーシステムの実装・評価

2021 年度に設計した協調型路側機等を、協調型システムのユースケースとして選定した交通環境（信号交差点右折、横断歩道、路上駐車等）を観測できる試験コース内および一般市街地に設置し、計測車両とのデータ連携環境を構築する。実験走行により、自律系センサーでは計測困難な交通参加者や、予測困難な行動等を抽出し、レベル 4 走行時に必要な機能要件（ODD）を分析する。

検討したインフラセンサーシステムにより、駅前ロータリー、駐車場出入口等の交通環境下における移動体（車両、歩行者、自転車）等を検出、追跡し、その結果を自動運転車に通信により配信し、減速・緊急停止等に利用する協調型システムの実証・評価を行う。

以下に開発した手法とその成果を示す。

全体の構成は以下の通りであり、図 7 にも構成を示す。まず協調型路側機に取り付けられた俯瞰カメラにより、歩行者や自転車を検出し、トラッキングすることにより、速度・加速度を推定し、移動先を予測する。次にその予測先を通信により、協調型自動運転車両に伝達する。自動運転車両は、その結果を受けて、減速・停止などを決定、実行する。また図 8 に想定するインフラ

センサーシステムと交通環境の例を示す。ここでは路側帯に自動車が駐車しており、自動運転車両から駐車車両の奥にいる歩行者や自転車が見えにくくなるような環境である。

- 俯瞰カメラ：歩行者・自転車のトラッキング、移動先の予測
- 俯瞰カメラ↔自動運転車：予測した移動先を通信（今回は Wi-Fi 利用）経由で伝達
- 自動運転車両：受け取った情報をもとに減速・停止の決定・実行

図 7　インフラセンサーシステム全体の構成

図 8　想定環境の例

物体検出には YOLOv3 を利用しており、人の頭部に注目している。この理由は、図 9 のように体や足元が隠れても最後まで映り、検出が可能であるからである。また、速度・加速度等を推定する際にも、対象の方向の影響を受けにくく、誤差が生じにくいためである。現在、検出するクラスは、頭、自動車である。なお、歩行者、自転車は別途検出可能である。頭を検出、追跡し、カルマンフィルタを用いることにより速度・角速度、またその加速度を推定している。

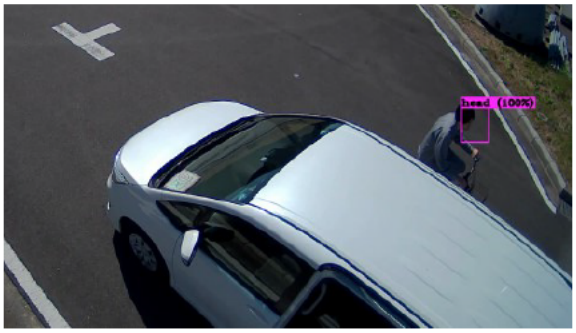


図 9　自転車の乗員の頭部検出

自動運転車両の停止に要する距離は車両によって違いはあるが、図 10 の通り、バスに乗客が乗車していることを考慮し、ある程度滑らかに停止するとした。表 16 に自動運転車両の初速度を時速 20km、30km の時、最大減速度を 0.2G、 0.25G として計算した結果を示す。

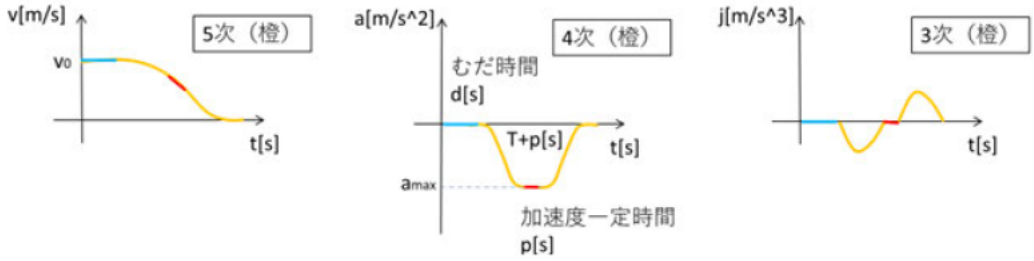


図 10　想定する自動運転車両の減速・停止のための速度・加速度・加加速度

表 16　停止に要する距離

最大減速度＼初期速度	20 /3.6 [m/s]	30 /3.6 [m/s]
0.2 x9.8[m/s^2]	9.4[m]	15.7[m]
0.25 x9.8[m/s^2]	8.8[m]	14.8[m]

この結果から、俯瞰カメラからの検出範囲は、少なくとも上記の停止距離に駐車車両数台分（俯瞰カメラからも、駐車車両の場所と高さにより歩行者と自転車が見えなくなる）と自動運転車両の車長を加えたものとする（俯瞰カメラから自動運転車両も検出している状況を想定したものであるが、自動運転車両の検出を想定するかは考え方次第である）。今年度に関しては、初速度時速 20km、最大減速度 0.25G とし、25～30m とした。

協調型自動運転車両として、スズキにより提供された図 11 を用いた。

図 11　協調型自動運転車両

実施している状況は図　12 に示すように駐車車両の近く、自動運転車両からは見えない場所から歩行者や自転車が道路に出るものである。なお、自動運転車の制御は、VRS 方式の RTK-GNSS を 2 基用いることにより位置・姿勢を得て、参照経路を設定し、自動運転している。

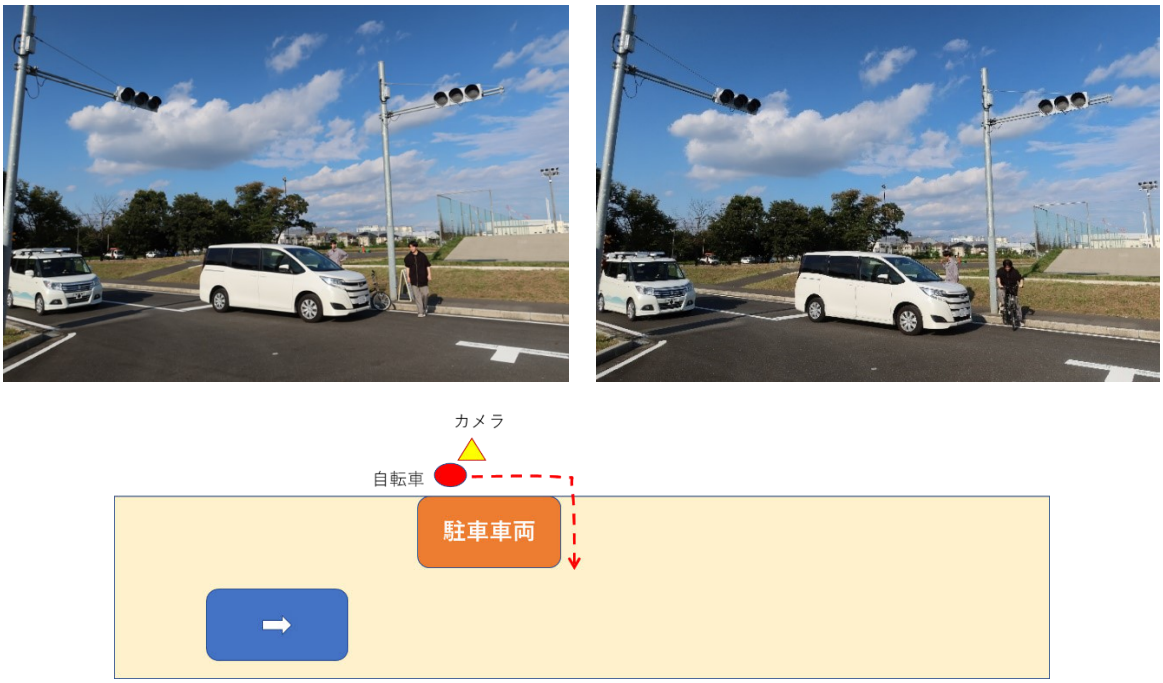


図 12　実験実施状況

トラッキングした予測結果は数値で協調型自動運転車両に伝達されるが、分かりやすくするために図に示したものを図 13 に示す。ここで、ピンク点が歩行者の検出した結果（現在地点）、赤点はカルマンフィルタにより予測した 1 秒後の地点であり、黄点は実際に 1 秒後に歩行者が通った地点である。

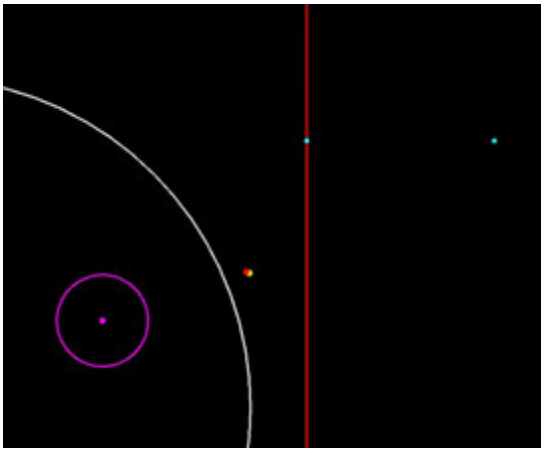


図 13　歩行者の検出と追跡・予測結果

検出結果を協調型自動運転車両に送信することで、自動減速・停止する実験も実施し、歩行者の前で停止することが可能になった。

ただし、歩行者や自転車の予測結果が状況により、1m 程度の誤差が出ることがあり、俯瞰カメラを仮にポールに取り付けており、それがキャリブレーションした状況から動いていることが明らかとなった。このため、図 14 のように信号機のステーにステレオカメラを設置した。単眼カメラではなく、2 眼ステレオカメラとしたのは、検出した頭部の地上からの高さを日本人の標準身長から求めているため、歩行者や自転車の位置に誤差が生じ、さらに予測結果にも誤差を生じるため、距離を計測することにより、頭部高さの精度を向上し、さらに予測結果を向上させるためである。

図 14　信号機へのステレオカメラ設置

このステレオカメラからの撮影画像は図 15 の通りである。より広く交差点を見るために、画角の広いものを選択した。キャリブレーションにより歪み補正した画像は図 16 の通りである。

図 15　超広角カメラの撮影画像

図 16　歪み補正画像

ここまで、歩行者と自転車の飛び出し検知を目的として来たが、同じシステムを利用することにより、駐車車両の動き出しを検出・予測することも出来る。もちろん、動き出す前に予測することは出来ないが、図 17 のようにどの車にもあるフロントガラスの四隅を歩行者・自転車と同様に、ディープラーニングにより検出し、各点、もしくは上側の 2 点、下側の 2 点を追跡することにより、歩行者・自転車と同様に位置、速度などを求め、予測することが可能となる。

図 17　フロントガラスの四隅検出

実験環境を図 18 に示すが、車線も事前に検出しておく。歩行者・自転車と同様にカルマンフィルタを用いて駐車車両の動き出し予測ができ、走行車線を走行している協調型自動運転車両に通知する。

図 18　駐車車両の動き出し検知

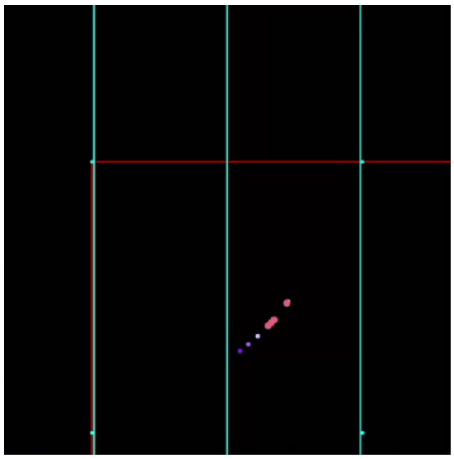


図 19　駐車車両の動き出し後の走行予測

(2) オクルージョンに頑健なインフラセンサーシステムの提案

i)　概要

昨年度はオクルージョン問題に対応する自動運転支援に向けて、高速カメラネットワークを用いたインフラセンサーシステムの導入について検討した。実施項目は以下の通りである。

- 駅ロータリー周辺など、具体的なシーンと手法について検討
- 高速カメラネットワークシステムの開発
- 高速カメラネットワークシステム評価系の構築

本年度は、昨年度の成果を引き継ぎ、実環境に合わせたシステムの改良を行いつつ、以下の内容を実施項目として検討した。まず、2021 年度に課題検討したオクルージョン問題に頑健なインフラセンサーシステムとしてマルチスマートカメラシステムを導入し、混在交通環境でも物標情報を抽出できる検出機能の実装および評価を行った。また、2023 年度以降の実証実験実施に向けた問題点の事前把握・改善のための総合的な検討を行った。詳細な実施内容としては、ii) マルチスマートカメラシステムによる物標情報検出アルゴリズムの実装と評価、iii) オクルージョン対応に向けたマルチスマートカメラシステムの検討と評価システムの構築、および iv) 屋外フィールド（東京大学柏キャンパス ITS 実験フィールド）での技術検証と評価を行った。

ii)　マルチスマートカメラシステムによる物標情報検出アルゴリズムの実装と評価

移動体の物標情報としては物標ラベルと位置データが挙げられ、計測後のデータ処理により、速度ベクトルなどの形で出力することも考えられる。基本物標情報となるラベルと位置データの取得には、AI 基盤アルゴリズムが広く活用されている。ここでは高い検出精度と早い推定速度を誇る YOLOv5 を選定して、物標情報検出の性能評価を行った。

性能評価では、ライブカメラによる実道路交差点における俯瞰動画、実験フィールドでの撮像動画やスケールダウン模型から得られた実験動画などを、ワークステーションおよび 2022 年度製

作の高速スマートカメラ上に実装した YOLOv5s を用いて処理し、検出精度と検出速度の確認を行なった。その結果（図 20)、検出精度としては十分活用が期待できるが、当該スマートカメラでは物体検出速度が数 fps 以下であり、速度改善が必要であることがわかった。

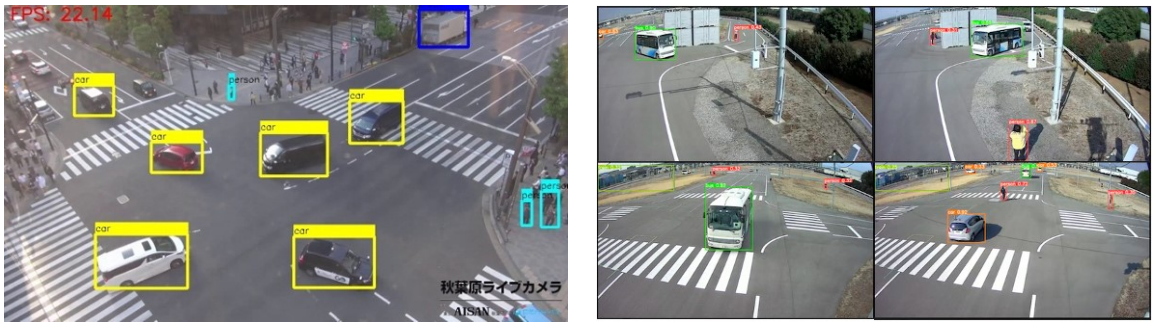


図 20　YOLOv5s による物体検出（ライブカメラとフィールド実験動画）

そこで、GPU が搭載されており CUDA 並列処理を支援する高速スマートカメラ(Baumer 社 VAX-50C.I.NVX)を選定し導入した。この導入により、フレームレート 100 fps における画像解像度が 960×720 pixel 以上と向上し、GPU+CUDA による YOLOv5 の処理速度は 10 fps 以上となり、大幅な改善が確認できた。また、YOLOv5 による画像処理にセルフウィンドウ法を用いた高速画像処理手法を加えて（図 21)、物標トラッキング速度を撮像速度まで引き上げることができた。一般ビデオフレームレートの 3 倍以上の高速トラッキングより、情報フィードバックの迅速化と計測精度の向上が期待できる。

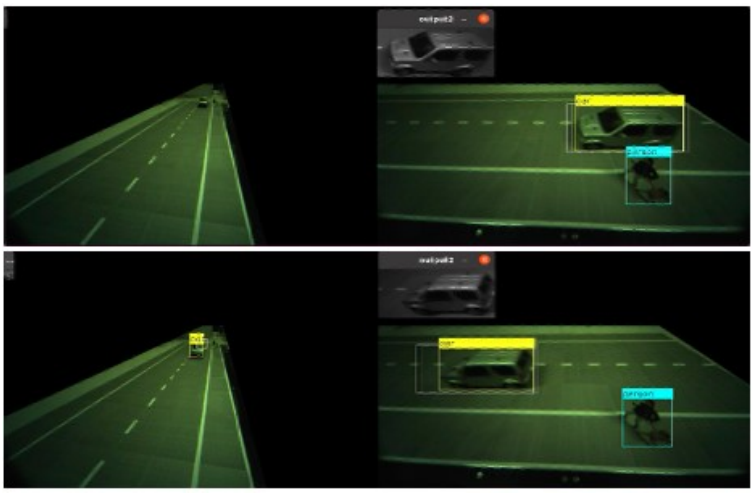


図 21　セルフウィンドウ法による物体検出速度の改善（スケールダウン模型）

iii) オクルージョン対応に向けたマルチスマートカメラシステムの検討と評価システムの構築

実交差点における現実問題として、車両搭載のセンサーだけでは対応が難しいオクルージョン下の物標情報センシングがあり、ユースケースから自動運転車両の左折または右折時のインフラ側による支援を検討した。オクルージョンに頑健なマルチカメラシステムの仕様検討には屋内スケールダウン模型（図 22）を用いた。信号機側取り付けたカメラと路肩側に取り付けた追加のカメラの協調による支援について検討し、屋外フィールド実験におけるカメラ配置が決定できた。

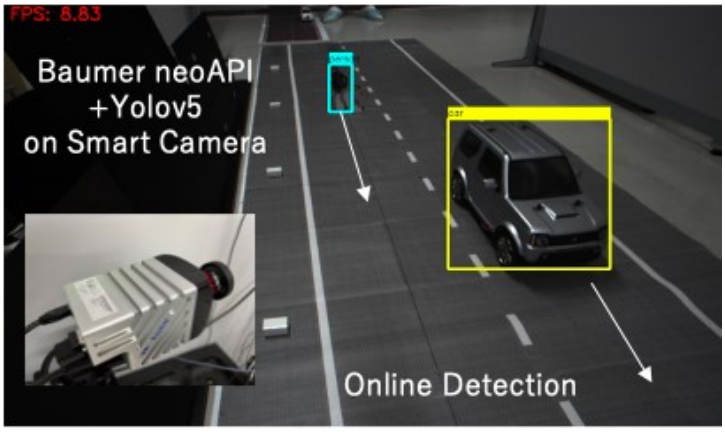


図 22　スケールダウン実験によるカメラシステムの検討

さらに、自動走行ルート上の交差点環境をリアルに再現したスケール 1:24 のジオラマ模型を用いて、定量的評価ができる評価システム(図 23)を制作した。この構築したシステムをベースに、画像内検出情報から 3 次元空間情報を復元する手法や右折時の対向直進車によるユースケースなどを検討した。CG などを用いたシミュレーションのように実験条件の調整ができる上、シミュレーションだけでは困難な実マルチスマートカメラシステムの光学系やネットワーク特性などがそのまま評価できることが特徴である。

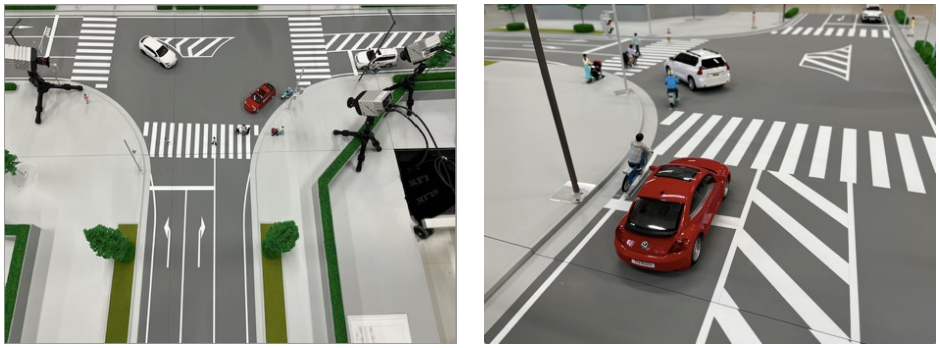


図 23　ジオラマ模型による屋内評価システムの構築

屋内評価システムを用いたスケールダウン実験での検出例を図 24 に示す。右折待機中の自動運行車両に対する対向直進車の潜在的な衝突を再現した。また、交差点周辺の移動体が問題なく

検出できることを確認した。

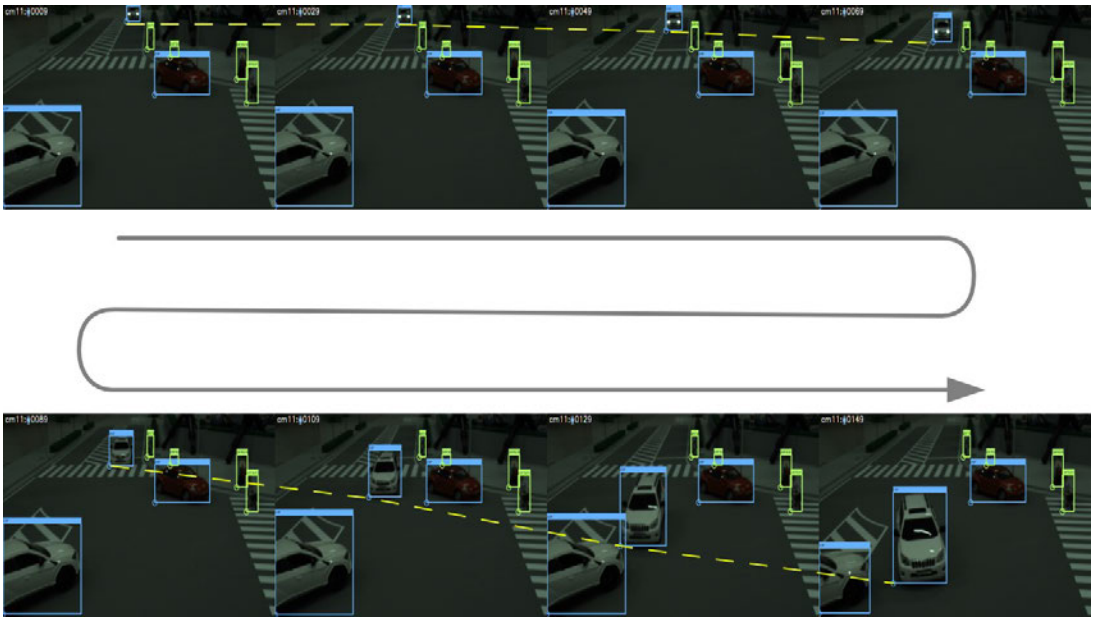


図 24　スケールダウン実験における対向直進車を含む交通参加者の検出例

iv)　屋外フィールド（東京大学柏キャンパス ITS 実験フィールド）での技術検証と評価

① 実験条件

東京大学柏キャンパス ITS 実験フィールドにおいて、構築したマルチスマートカメラシステム及び移動体の情報検出アルゴリズムの技術検証を行った。協調型システムの活用が期待されるユースケース検討において抽出したシーンのうち、特に重要度が高い右折時のオクルージョン領域センシング及び左折時の巻き込み領域センシングを検証シナリオとして選定した。具体的には交差点内で左折しようとしている車両の脇から自転車がすり抜けてくるシーン（S1）、同じく交差点内で左折しようとしている車両の横を自転車が左折するシーン（S2）、交差点脇の歩道前で停車している自転車の横を車両が通過するシーン（S3）、同じく交差点脇の歩道前で停車している自転車の前を車両が左折するシーン（S4）について検証した（図 25）。各シナリオでは自動運行車両の左折支援{S1、 S2、 S4}と、右折支援{S1、 S3、 S4}を想定した。オクルージョンを生成する車両として、2 トントラック（いすゞ・エルフ）及び乗用車（スズキ・ソリオ）を利用し、オクルージョンされる車両として、自転車を用いた。提案システムの定量評価のため、光学式モーションキャプチャシステムを用いた同時計測を行い、車両の位置及び動きに関する真値として用いた。

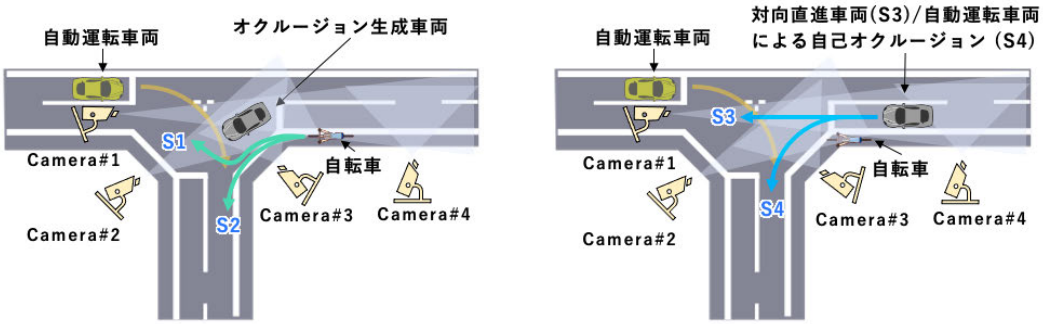


図 25 実験シナリオ（左：自転車走行、右：車両走行）

実験時のシステムのセットアップを図 26 に示す。ワールド座標系は図 26 に示すように、交差前の停止線と中央線の交点を原点とし、X 軸を中央線上に、Y 軸を鉛直上方に、Z 軸を停止線上に、右手系をなすように設定した。各カメラは約 4 メートルの高さに設置され、解像度は 960×720 pixel、フレームレートは 100 fps で行なった。なお、実験時の天候は快晴であった。

図 26　実験システム（マルチカメラシステムと実験車両）

本実験では今後活用可能なフィールド上の走行データ取得のため、撮像画像は全てスマートカメラの内部ストレージ(eMMC)に記録した。高速撮像時の処理時間制限により、記録作業以外のデータ処理をオンラインで行うことが難しく、物体検出とトラッキングは記録終了後オフラインで行なうことにした。しかし、動画像の記録が不要な場合には、トラッキングの最大処理速度が 100fps 程度で十分早いため、オンラインでも対応可能である。実験中のカメラ映像およびカメラの配置を図 27 に示す。各カメラの括弧[]内の数字は設置高さ(cm)を表す。

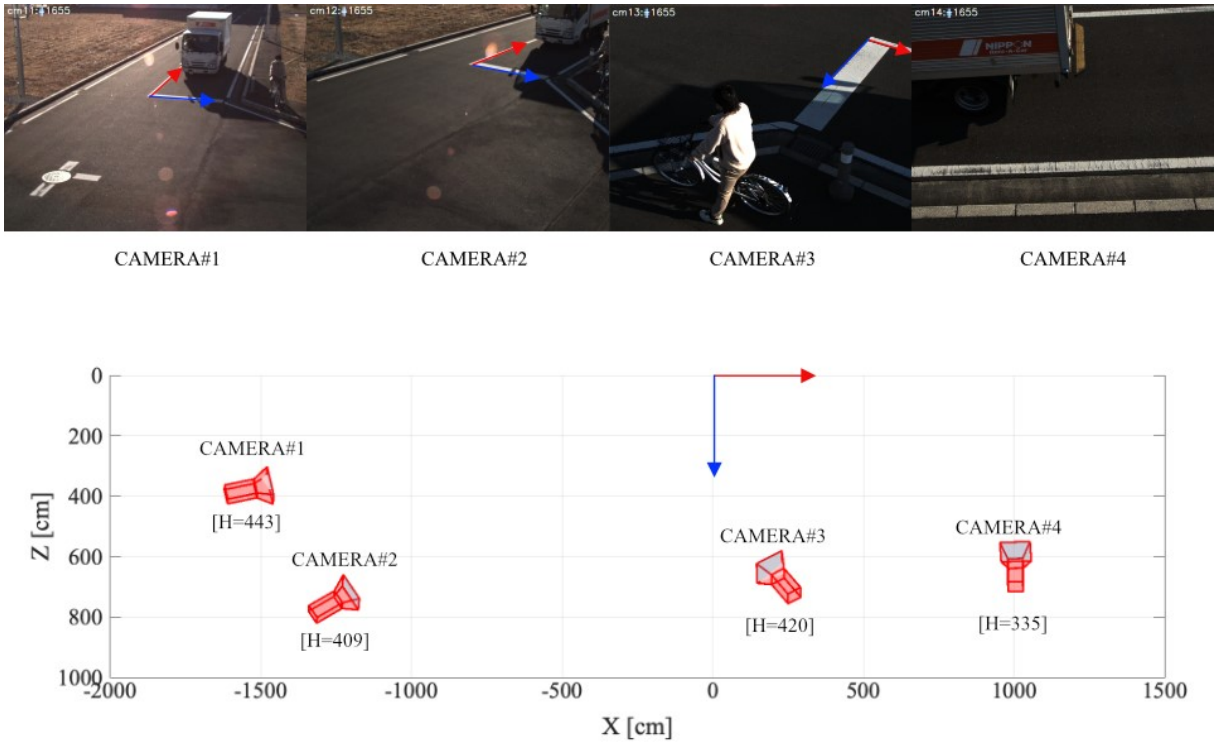


図 27　実験中のカメラ映像(トラック、S4)

② 解析結果

まずは、トラックを用いた実験を行なった。交差点内で左折しようとしている車両の脇から自転車がすり抜けてくるシーン（S1）におけるマルチカメラでのトラッキングの様子を図 28 に示す。各カメラで検出された車両、自転車、人の移動による、実座標空間での軌跡を表しており、前方カメラだけを用いた場合と比べ、側方カメラを併用したマルチカメラを用いた場合は、部分的なオクルージョンがあっても安定して計測できることを確認した。ここで、点線で表示した軌跡は、モーションキャプチャシステムによって計測した結果(車:赤、自転車：グレー)であり、計測真値として比較のために用いた。

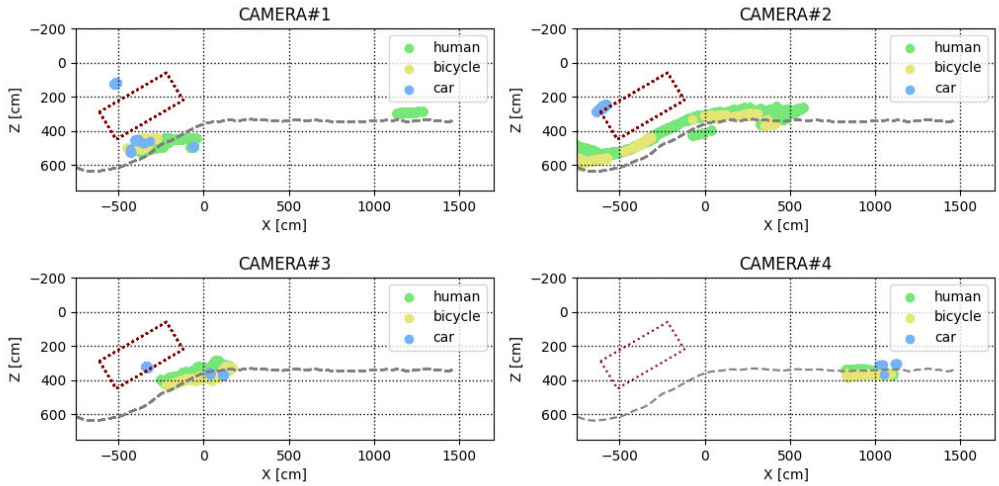


図 28　マルチカメラによるトラッキング結果Ⅰ（トラック、自転車すり抜け:S1）

次に、交差点内で左折しようとしている車両の横を自転車が左折するシーン（S2）におけるマルチカメラでのトラッキングの様子を図 29 に示す。シーン（S1）と同様に、一部のカメラでオクルージョンによる計測精度の低下があっても、他のカメラで計測結果を補完している様子が確認できた。位置情報だけでなく、ラベルの認識も改善されていることが分かった。

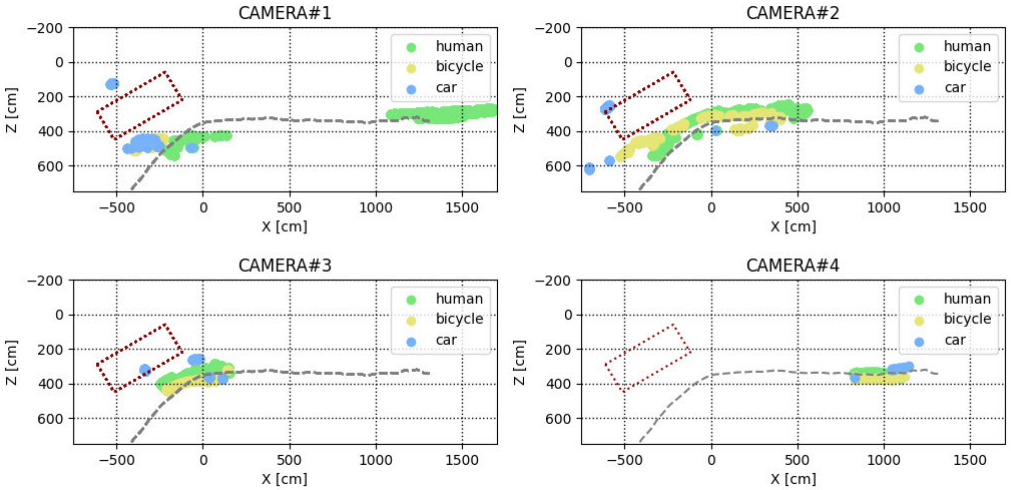


図 29　マルチカメラによるトラッキング結果Ⅱ（トラック、自転車左折:S2）

次に、交差点脇の歩道前で停車している自転車の横を車両が通過するシーン（S3）におけるトラッキング結果を図 30 に示す。シーン（S3）では、車両と自転車間の距離による検出精度の検証を行い、対向直進車両と自転車の位置が精度良く計測できていることを確認した。カメラ#3 と#4 は画角や高さを路肩の物標検出に最適化しているため、この検証シーンにおける車両計測精度は

高くないが、必要に応じて調整することにより改善することが可能である。

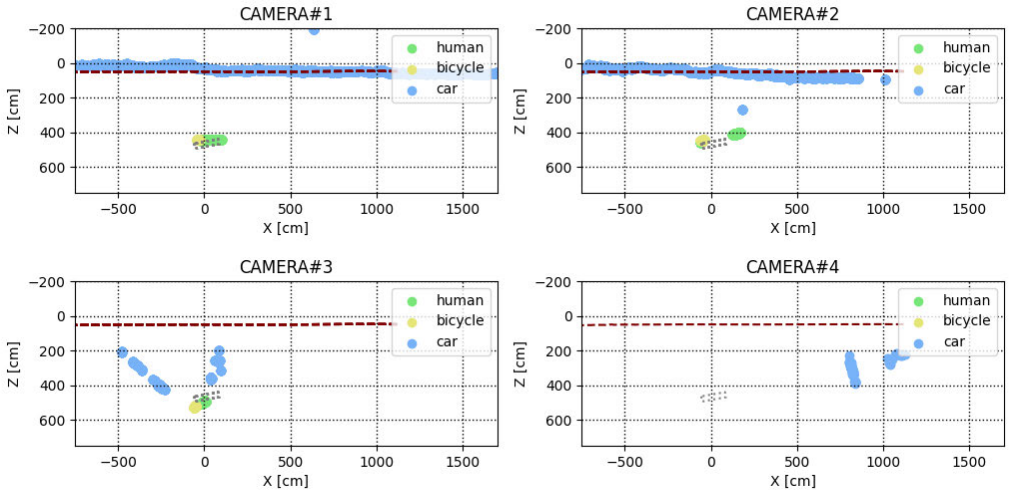


図 30　マルチカメラによるトラッキング結果Ⅲ（トラック、対向直進車両:S3）

最後に、交差点脇の歩道前で停車している自転車の前を 2 トントラックが左折するシーン（S4）におけるトラッキング結果を図 31 に示す。シーン（S3）と同様に車両と自転車の計測が精度良く行われたことを確認した。カメラ#1 は対向車線上の計測に、カメラ#2 は交差点内車道の計測に、カメラ#3 は交差点内路肩の計測にそれぞれ最適化されていることが分かる。

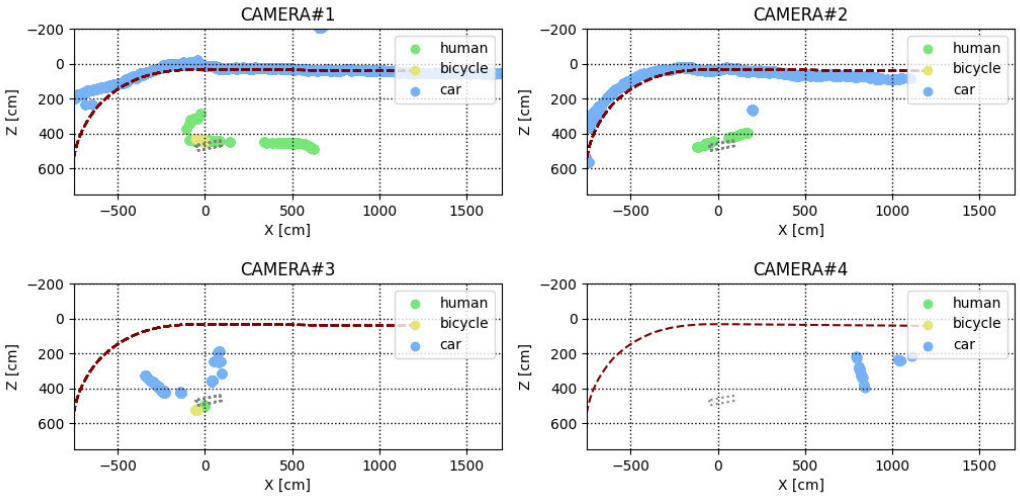


図 31　マルチカメラによるトラッキング結果Ⅳ（トラック、自動運行車両左折:S4）

乗用車を用いた実験（図 32）においても同様な傾向が確認できたが、図 32 のカメラ#1 で見え

るように、オクルージョンによる影響がトラックの時（図 28 のカメラ#1）と比べて、小さいことが分かった。設置カメラの高さと車両の全高によって差はあるものの、オクルージョン下のラベルと位置計測においてマルチカメラ協調による同時計測が有効であることを確認した。

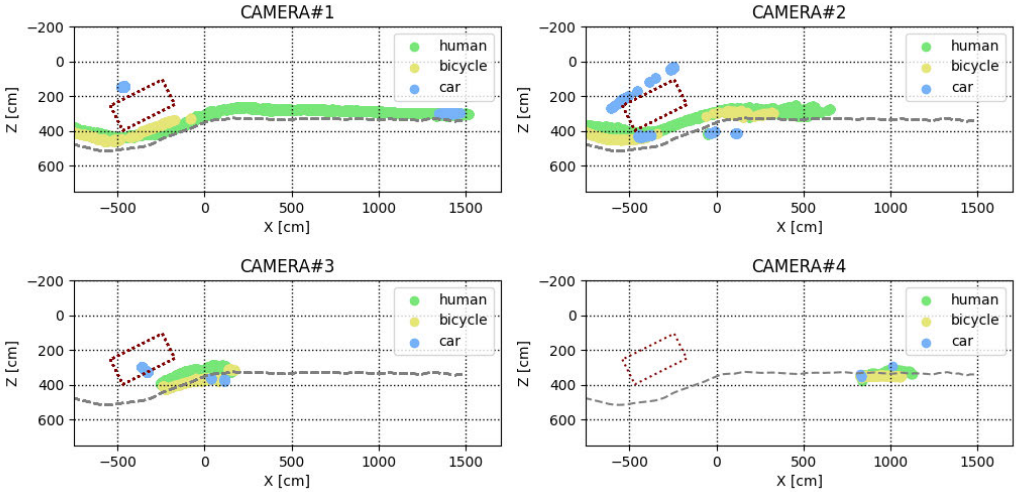


図 32　マルチカメラによるトラッキング結果Ⅴ（乗用車、自転車すり抜け:S1）

S1 から S4 までの各シーンにおいてカメラ 4 台からのデータを統合した一例を図 33 に示す。各カメラの配置位置を考慮し、（図 26 の X 軸における）有効なデータ範囲を以下のように決めた。

カメラ#1：500<x、カメラ#2：-700<x<500、カメラ#3：-250<x<250、カメラ#4：700<x<1250 カメラ#3 と#4 においては、FOV の設定上、人と自転車の検出結果だけを用いた。図 28-図 31 の結果と比べると、データ統合より、オクルージョンの影響が軽減されていることがわかる。

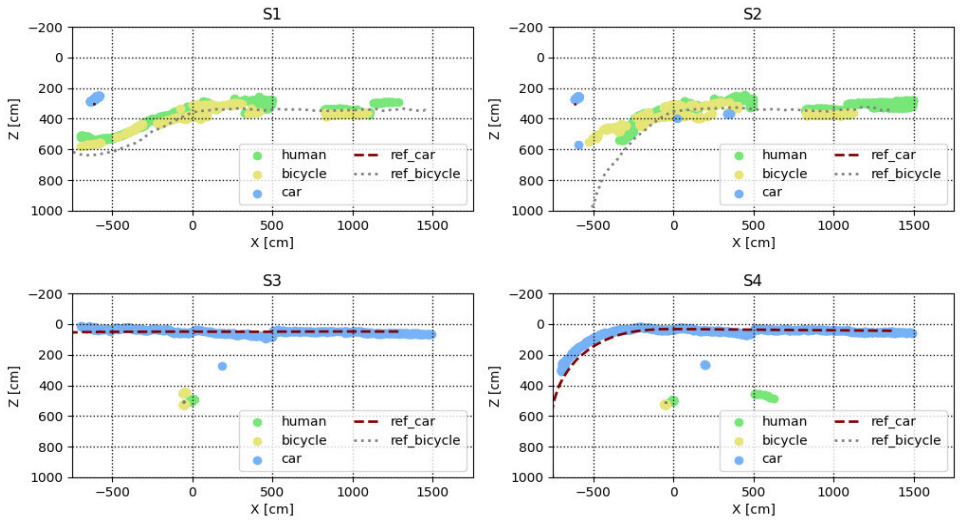


図 33　マルチカメラ協調によるトラッキング情報の統合結果

本年度は、物標情報検出アルゴリズムの選定・検証とスマートカメラへの実装、オクルージョン問題に頑健なマルチカメラシステムの提案と評価システムの構築、屋外実験フィールドでの技術検証を実施した。その結果、自動運転レベル 4 を実現する上での技術的課題である、交差点内車両の左折および右折時に起こりうる死角領域のセンシングにおいて、マルチカメラを協調して動作させることにより、前方に設置したカメラのみを用いる場合よりも安定した物標情報の抽出が可能であることを実証し、自動運転レベル 4 の実現に資することを確認した。さらに、マルチカメラからのデータを統合する手法の検討や検出アルゴリズムの改善などについても着手しており、実道路環境への適用を目指す。

(3) 自動運転レベル 4 サービスを可能にする多重性を持った統合型位置計測システムの実装

自動運転レベル 4 を実現するための基盤技術として、車両の位置計測系を従来の GNSS による方法から拡張し、LiDAR やカメラによるデータ照合型位置推定技術を柔軟に組み合わせることのできる、統合型位置計測システムを実装する。特に様々な自動走行実証実験等で実績のある 3 次元構造物地図と LiDAR 計測データをマッチングさせることで位置推定を行う技術を統合し、GNSS の精度が失われた場合や GNSS の仕様が困難な環境下でのレベル 4 自動走行を実現するための技術開発を行う。2021 年度は、LiDAR 点群を活用した位置計測系の試作および評価試験結果を実施し、LiDAR 点群により地図生成および位置計測が可能であることを確認した。本年度は、LiDAR 点群による地図生成機能の高精度化、および、GNSS による位置計測システムに大きな誤差が生じた際に、他の位置計測系を活用し自動的に計測結果を補正することのできる、統合型位置計測システムの構築を目的に研究開発を実施した。

3 次元構造物地図を用いた位置計測方法には地図構築コストが大きく、サービス実現の障害となる課題がある。そこで本年度は、自動運転車両に搭載されている障害物等を検出するための LiDAR を用いて 3 次元構造物地図を自動生成する方法を構築する。これにより、3 次元構造物地図を自動運転車のみで生成できるようになるので、地図構築コストの課題を解決できる。地図を生成する方法は、移動する車両の LiDAR 点群データを順次位置合わせすることで走行コース周辺の構造物を地図データとして構成する、Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) 手法を用いる。SLAM 技術には生成時の移動および姿勢推定誤差により数百メートル以上の距離に適用すると歪みが生じる場合がある。また、相対的な運動を計測するのみなので、GNSS で用いる絶対座標系と統合することが難しい。そこで、GNSS による計測データと SLAM による地図構成技術を複合することで、絶対座標系において歪みの少ない 3 次元構造物地図を構成する。提案技術の構成を図 34 に示す。

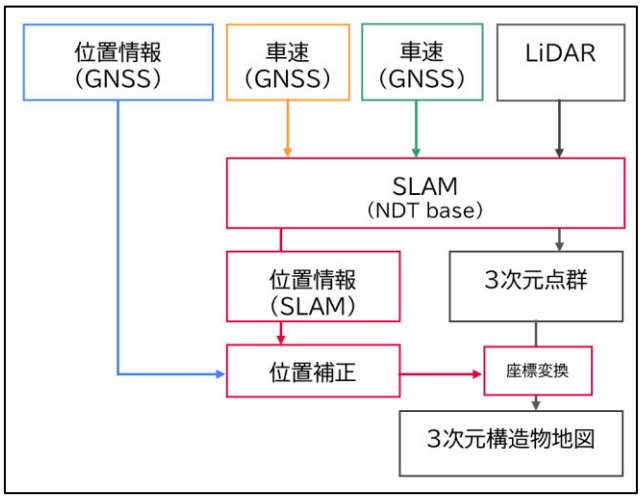


図 34　LiDAR による 3 次元構造物地図生成

次に、本手法の評価について報告する。評価のために LiDAR および GNSS を搭載した自動運転車両により 3 次元点群および GNSS 位置情報を計測し、その生成精度を評価する。GNSS 位置情報は位置計測制度 10cm 以下と推測される、RTK 方式で Fix 解が得られている走行データを用いる。まず、図　35 に生成した地図データと GNSS により得られた走行経路および SLAM により推定し、地図生成に用いた走行経路を示す。この結果から、GNSS および SLAM 両者の経路は一致しており、SLAM により地図が絶対座標系において正確に生成できていることが分かる。両経路間の平均誤差は 0.17ｍであり、最大誤差は 0.45ｍであった。このように高精度に SLAM 技術による地図生成が可能であれば、GNSS の精度が失われた際にも車両位置情報を補助的に計測し、自動走行を継続することができる。その精度に関しては次で報告する。

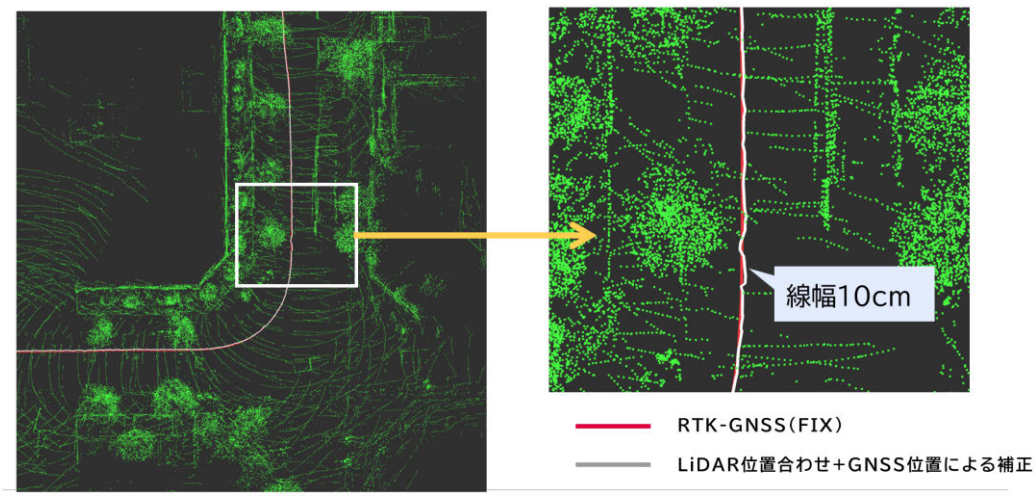


図 35　GNSS を活用した 3 次元構造物地図生成結果

GNSS の位置計測精度は衛星からの信号が途絶える際に低下するので、上空を遮蔽する構造物が多い環境では運用が難しい。これを 3 次元構造物地図と LiDAR を用いた位置計測技術により補助することで、GNSS 計測制度が低下した際にも、車両位置計測精度を保つことができるので、より安全に自動走行を実施することができる。そこで、柏エリアで使用しているバス型車両と同じセンサーを搭載する自動運転車両を、先進モビリティの協力により陸橋等で衛星信号の遮蔽や起きやすい経路において走行させ、データ収集を行った。そして、この計測データを用いて本稿で提案する統合型位置推定システムにより位置情報を補償する効果検証を実施した。GNSS から LiDAR により位置計測系の情報に切り替えるためには、GNSS による位置計測精度が低下したことを検出する必要がある。そこで、SLAM 技術により計測した地図の走行経路をもとに、GNSS による計測位置と LiDRA による計測位置を比較するとともに、車両運動の連続性を確認することで、GNSS の計測位置信頼性を評価した。その結果を図 36 および表 17 に示す。まず、図 36 に示すように、GNSS による位置計測は陸橋等の上方の遮蔽物がある地点において大きな誤差が生じる場合がある。これに対して統合型位置計測システムは GNSS による位置計測誤差の増大を検出し、補正を実施できることが確認できた。具体的には、6769 回の位置計測中、1913 回の補正を実施した。補正時に GNSS による位置計測に生じていた誤差の分布を表 17 に示す。補正が実施された地点のうち約 90%が 4m 以内の誤差であったが、30m 以上の大きな誤差が生じている地点もあった。いずれの場合においても、数 m 以上の誤差が生じている検出し、補正を実施できることが確認できた。以上のように、GNSS による位置計測制度が失われた地点を検出し、位置計測精度を維持することが可能となった。次年度は、柏エリア等の自動運転実証コースにおいて統合型位置計測システムを継続的に使用し性能評価データを蓄積することで、実運用に使用可能な頑健性を備えることを確認する。

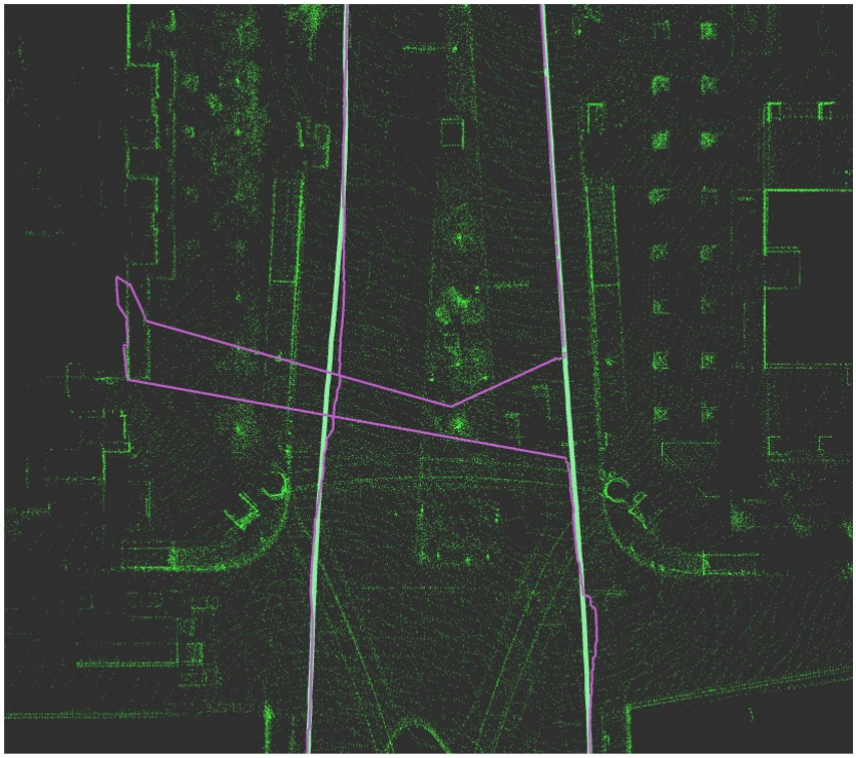


図 36　統合型位置計測システムによる補正結果

表 17　統合型位置計測システムによる補正効果

平均誤差(m)	3.6

誤差(m)	頻度(回)	比率(%)
0 ～ 2	630	33
2 ～ 4	1073	56
4 ～ 6	28	1
6 ～ 30	102	6
30 ～	72	4

II. レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討

協調型システムにより自動運転レベル 4 サービスに必要なインフラの維持経費を、自動運転レベル 4 サービスのみで回収することは困難と見込まれる。そのため、項目 I の仕様策定に際し、協調型システムのインフラや自動運転レベル 4 サービスに伴い得られる情報の、レベル 3 以下や他のモビリティにおける活用を検討する。また、他のサービスと連携して価値を高められる共創的なモビリティサービスのサービスデザイン手法の確立と実証に取り組む。

1) 協調型交通安全システムの構築

■ 該当項目の背景と目的

協調型レベル 4 協調型システムを事業として成立させる上での課題として、協調型システムで得られる車載センサーやインフラセンサーで計測した情報をレベル 3 以下の車両や、歩行者、自転車等の他モビリティで活用することが挙げられる。また、レベル 3 以下の車両や歩行者、自転車等が混在する環境を走行する協調型システムの課題として、車道領域内では歩行者や自転車等の交通弱者の検出・追跡を車載センサーやインフラセンサーで行えるものの、車道領域外では各センサーの範囲外となる可能性があり、車載センサーとインフラセンサーでは検出・追跡に限界が存在することが挙げられる。

一方で、同じ道路空間を移動する交通弱者の問題として、単路や交差点を横断中の交通事故が挙げられる。このような事故の防止には、交通弱者自身の位置や挙動を把握できることとともに、周辺車両の位置や挙動を把握できることが必要である。周辺車両の情報については、協調型自動運転システムで得られる情報を利活用することが考えられる。また、交通弱者の多くはスマートフォン等のモバイル端末を所持していることが想定され、このようなデバイスで交通弱者自身の情報を計測し、共有することができれば、協調型自動運転システムにおける課題も解決できる可能性がある。

以上のことを踏まえ、本項目では、協調型自動運転システムで得られる情報を利活用し、協調型自動運転システムの弱点である交通弱者の検出・追跡を補完できるシステムの構築を目指す。前記点を達成するため、交通弱者に関する情報と協調型システムから得られる車載センサーやインフラセンサー等から採取された情報を利活用し、交通弱者の安全性を向上させるために交通弱者を支援できる協調型交通安全支援システムを構築する。図 37 に当該システムの一例として信号交差点における交通弱者である歩行者を支援するシステムの概略を示す。

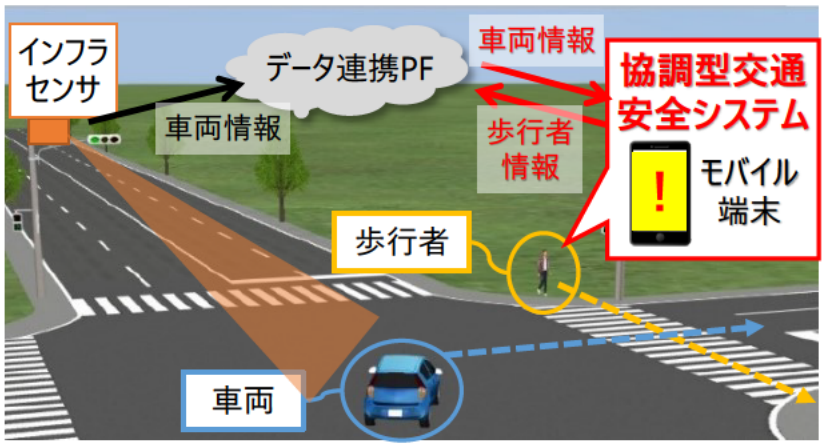


図 37　協調型交通安全システムの概略（信号交差点における歩行者支援）

2021 年度は、スマートフォン等のモバイル端末を用い、他の機器から得られる情報を利活用した協調型交通安全システムを構築できるか検討するため、人対車両（V2P）の場面に限定して検討を行い、5G スマートフォン端末とエッジクラウドサーバーを用いたシステム（図 38）を開発し、実環境において衝突判定や歩行者および車両に対する通知が可能であることを確認した。また、通信遅延や方位角精度は安全支援の観点で十分であることを確認できた一方で、システムを実現する上で位置精度向上の必要性を確認した。

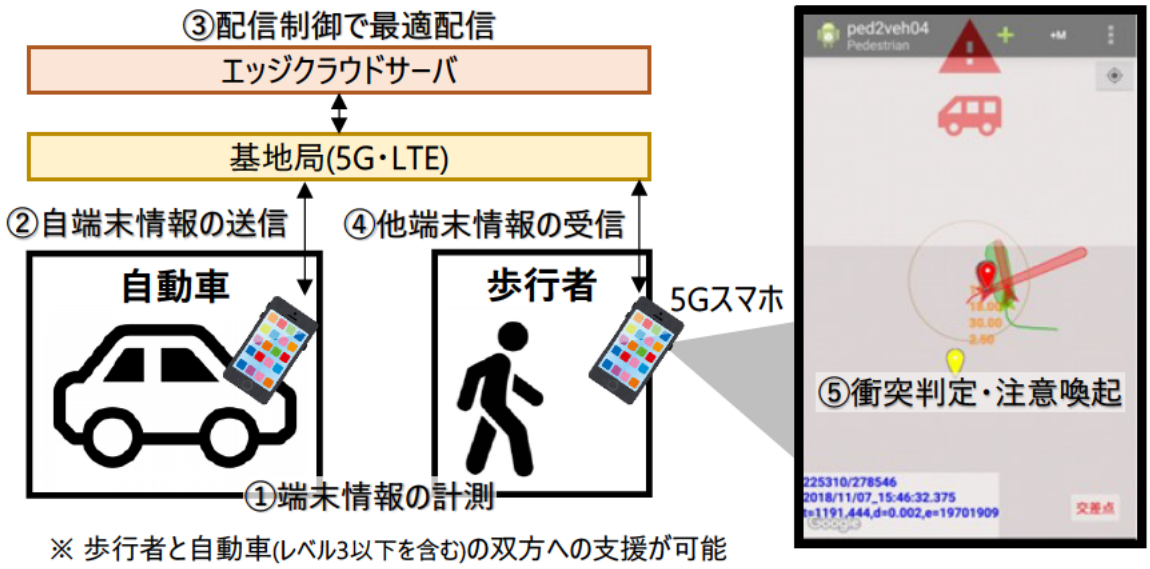


図 38　2021 年度に開発した協調型交通安全システムの構成

2022 年度は、2021 年度にモバイル端末を用いた協調型交通安全システムの妥当性を確認できたことから、当該システムを拡張する。具体的には、支援対象を歩行者とともに交通弱者に分類される自転車に拡張する。また、要素技術開発として、2021 年度に開発したシステムにおいて課題

であったモバイル端末による位置測位精度の向上を目指し、高精度測位技術に取り組む。

■ 実施方針

協調型交通安全システムを自転車対象に拡張するにあたっては、まず自転車を支援する方策を設定するため、交通事故統計データとヒヤリハット事象を分析し、支援ユースケースを検討した。次に、得られた支援ユースケースに基づき、協調型システムから得られる情報を利活用し、自動車に対して自転車の安全性を向上できる支援方策について検討した。そして、検討した支援方策を協調型交通安全システムにおいて実現できるように、その機能要件および仕様を拡張し、テストコースにおいてシステムの性能等について評価した。

モバイル端末における高精度測位技術については、Visual Positioning System（VPS）に着目し、スマートフォンのアプリケーションとして VPS を実装する方法について検討した。そして、検討内容に基づき、VPS を含むスマートフォンの位置測位アプリケーションを開発し、実環境においてアプリケーションの性能等について評価した。

■ 実施事項と実施方法

(1) 協調型交通安全システムの開発

i) 自転車支援ユースケースの検討

自転車支援方策を設定するため、自動車と自転車が遭遇し、衝突する可能性のある自転車支援ユースケースについて検討した。検討にあたっては、実際に自動車と自転車の事故に関する情報が必要であるため、公益財団法人交通事故総合分析センター（ITARDA）が提供する SIP 事故パターンデータを分析に用いた。SIP 事故パターンとは、ITARDA が平成 26 年度から平成 30 年度まで「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム」研究の中で「交通事故死者数低減効果見積もり解析手法に係る調査」の一環で策定した死者数の多い 210 パターンの交通事故パターンのことである。ただし、SIP 事故パターンデータ等の交通事故統計データのみでは、どのように自動車と歩行者が衝突するに至ったかの過程までを把握することはできない。そこで、自動車と自転車が衝突してはいないものの、自動車を運転するドライバーが衝突を回避するために急ブレーキを踏んだ事象を含む東京農工大学が収集・管理するヒヤリハットデータベースを分析に用いた。ヒヤリハットデータベースには、イベント型のドライブレコーダーで記録されたタクシーのヒヤリハットデータが収録されており、速度や加速度等の車両情報とともに、車両正面方向やドライバーの様子を映したカメラ映像が含まれている。

まず SIP 事故パターンデータを分析し、自動車対自転車事故が一般道においてどのような道路形状で発生しやすく、そのときに自動車がどのように行動していたかについて分析した。次に SIP 事故パターンデータの分析結果を踏まえ、ヒヤリハットデータベースを用いてどのような要素が影響して自動車と自転車の衝突に至ったのかについて分析した。最後に、ヒヤリハットデータベ

ースの分析結果を踏まえ、自転車支援ユースケースを設定した。

① SIP 事故パターンデータの分析

SIP 事故パターンデータでは、道路形状や行動類型等で分類されたパターン毎の事故発生件数や、事故時の天候や法令違反等の割合がまとめられている。本項目では、SIP-adus の HP にて公開されている 2013 年から 2017 年までの 5 年間の SIP 事故パターンデータと、ITARDA が有償で提供している 2018 年から 2019 年までの 2 年間の SIP 事故パターンデータを用いて分析した。そして当該データのうち、自動車と歩行者が関わる人対車両事故を分析するため、道路種別が「一般道」であり、第一当事者が「四輪車」かつ第二当事者が「自転車」、あるいは第一当事者が「自転車」かつ第二当事者が「四輪車」である表 18 に示した 25 パターンを分析対象とした。なお、以降で示す発生件数や発生割合は、2013 年から 2019 年までの 7 年間の交通死亡事故件数およびその件数に基づき算出した割合である。

表 18　分析対象とする SIP 事故パターン

No.	パターンコード	道路	1 当	2 当	事故類型	道路形状	車行動類型	相手位置
1	PCB-RE13-DS1	一般道	四輪車	自転車	追突	交差点付近	発進・直進	同方向
2	PCB-RE21-DS1	一般道	四輪車	自転車	追突	トンネル・橋	発進・直進	同方向
3	PCB-RE22-DS1	一般道	四輪車	自転車	追突	カーブ・屈折	発進・直進	同方向
4	PCB-RE23-DS1	一般道	四輪車	自転車	追突	一般単路	発進・直進	同方向
5	PCB-CR11-DS3	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	信号交差点	発進・直進	右から
6	PCB-CR11-DS4	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	信号交差点	発進・直進	左から
7	PCB-CR12-DS3	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	右から
8	PCB-CR12-DS4	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	左から
9	PCB-CR13-DS3	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	交差点付近	発進・直進	右から
10	PCB-CR13-DS4	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	交差点付近	発進・直進	左から
11	PCB-CR23-DS3	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	一般単路	発進・直進	右から
12	PCB-CR23-DS4	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	一般単路	発進・直進	左から
13	PCB-OT23-DS1	一般道	四輪車	自転車	追抜追越	一般単路	発進・直進	同方向
14	PCB-TL11-TL1	一般道	四輪車	自転車	左折時	信号交差点	左折	同方向
15	PCB-TL11-TL2	一般道	四輪車	自転車	左折時	信号交差点	左折	対向
16	PCB-TL12-TL1	一般道	四輪車	自転車	左折時	無信号交差点	左折	同方向
17	PCB-TR11-TR1	一般道	四輪車	自転車	右折時	信号交差点	右折	同方向
18	PCB-TR11-TR2	一般道	四輪車	自転車	右折時	信号交差点	右折	対向
19	PCB-ZZ13-DS3	一般道	四輪車	自転車	相互その他	交差点付近	発進・直進	右から
20	PCB-ZZ23-DS1	一般道	四輪車	自転車	相互その他	一般単路	発進・直進	同方向
21	PCB-ZZ23-DS3	一般道	四輪車	自転車	相互その他	一般単路	発進・直進	右から
22	PBC-CR11-DS3	一般道	自転車	四輪車	出会い頭	信号交差点	発進・直進	右から
23	PBC-CR11-DS4	一般道	自転車	四輪車	出会い頭	信号交差点	発進・直進	左から
24	PBC-CR12-DS3	一般道	自転車	四輪車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	右から
25	PBC-CR12-DS4	一般道	自転車	四輪車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	左から

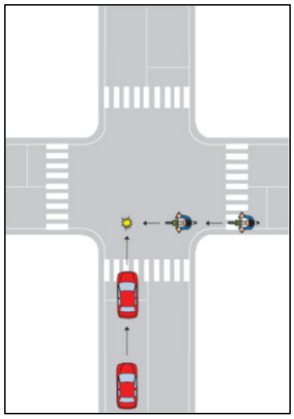
事故パターンのうち、発生件数が多い 5 パターンを件数が多い順に表 19 に示し、各事故パターンにおける自動車と自転車の位置関係がわかる鳥観図を図 39 に示す。5 パターンのうち、4 パターンで自動車側の行動類型は「発進・直進」であり、そのうち 3 パターンは無信号交差点において左右からやってくる自転車と自動車が交錯するパターンである。これら 3 パターンにおいて

自転車が進行する方向は異なるものの、自動車と自転車の位置関係は類似しており、無信号交差点において自動車と自転車が衝突するパターンとしてまとめることができる。次に件数が多いのは、単路において自動車が先行する自転車に追突するパターンである。以上の SIP 事故パターンデータの分析より、自動車と自転車が衝突する事故の典型パターンとして以下の二つのパターンを抽出した。

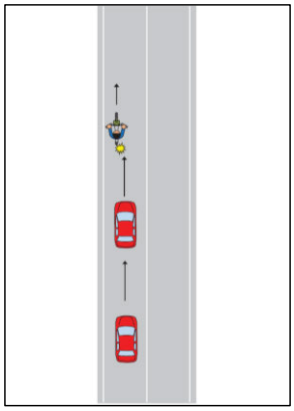
- 無信号交差点において、直進する自動車が右から進入してきた自転車と衝突するパターン
- 直進する自動車が、先行する自転車と衝突するパターン

表 19　発生件数が多い SIP 事故パターン

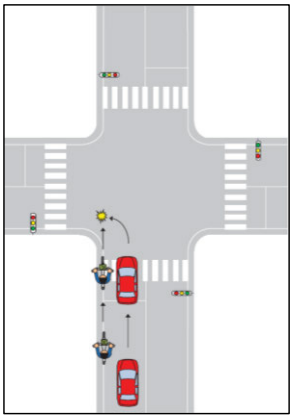
No.	パターンコード	道路	1 当	2 当	事故類型	道路形状	車行動類型	相手位置
7	PCB-CR12-DS3	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	右から
4	PCB-RE23-DS1	一般道	四輪車	自転車	追突	一般単路	発進・直進	同方向
14	PCB-TL11-TL1	一般道	四輪車	自転車	左折時	信号交差点	左折	同方向
24	PBC-CR12-DS3	一般道	自転車	四輪車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	右から
8	PCB-CR12-DS4	一般道	四輪車	自転車	出会い頭	無信号交差点	発進・直進	左から



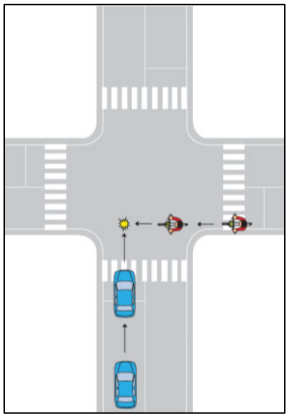
1. PCB-CR12-DS3 13.8%



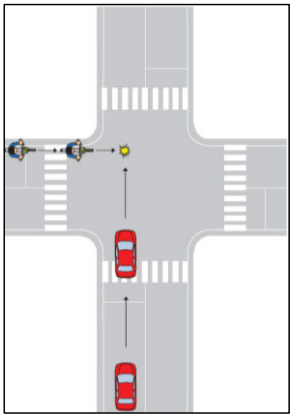
2. PCB-RE23-DS1 11.7%



3. PCB-TL11-TL1 9.2%



4. PBC-CR12-DS3 8.3%



5. PCB-CR12-DS4 7.0%

図 39　発生件数が多い SIP 事故パターンの鳥観図

出所：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム
交通事故死傷者低減効果見積もり解析手法に係る調査　平成 30 年度　受託研究報告書　添付資料

② ヒヤリハットデータベースの分析

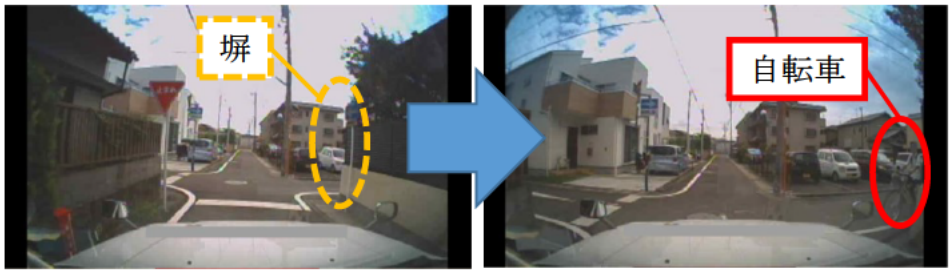
東京農工大学ヒヤリハットベースには、イベント型のドライブレコーダーで記録されたタクシーのヒヤリハットデータが収録されている。前後方向の減速度が 0.45G を超えたときに自動でイベントの記録が開始され、減速トリガーの前 10 秒と後 5 秒のデータが記録される。各データには速度や加速度等の車両情報と、車両正面やドライバーの顔を映すカメラ映像が含まれている。さらに、熟練した評価者により、ヒヤリハットを起こした相手の情報や周囲環境の状況等についてアノテーションが付加されている。ヒヤリハットデータベースに収録されているデータのうち、表 20 に示す検索条件を満たすヒヤリハットデータ 625 件を分析対象とした。可能な限り事故に近い状況を分析するためにヒヤリハットレベルを「事故」または「ヒヤリハット：高」に設定し、車両周辺だけでなくドライバーの状況も確認するためにカメラ数を「2」に設定した。

表 20　分析対象とするヒヤリハットデータの検索条件

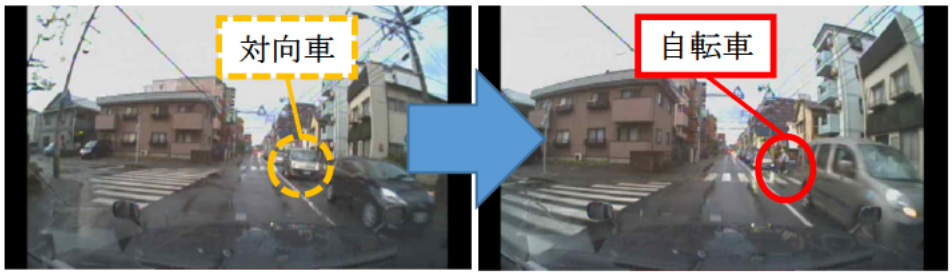
項目	検索条件
ヒヤリハットレベル	事故、ヒヤリハット：高
カメラ数	2
対象種別	自転車

SIP 事故パターン分析において抽出した典型パターンを踏まえ、シーン A：「無信号交差点で、直進するドライバーが右から進入する自転車に対して急ブレーキを踏んだシーン」（102 件）とシーン B：「直進するドライバーが先行する自転車に対して急ブレーキを踏んだシーン」（76 件）をそれぞれ抽出し、分析した。

まずシーン A に関して分析を行った結果、車両正面方向の映像で横断する歩行者の存在が確認できるにも関わらず、ドライバーが気づかずに進行するようなドライバーに明らかな過失がある事象や、直進する自動車の方向を全く確認せずに自転車が交差点内に飛び出すような自転車に明らかな過失がある事象が多く見られた。このように自動車のドライバーと自転車が互いの存在に気づかないことにより、衝突に至っていると考えられる。自動車に搭載されたセンサーから自転車を観測することができれば、ドライバーおよび自転車に対する介入は可能であり、かつ車両情報を自転車側に提供することができれば、自転車に対する支援も可能である。しかし、102 件中 62 件（60.8%）において、途中まで自動車から自転車を直接観測できない視界阻害が発生していた。図 33 に示すように、建物や柵等の静止障害物に加えて、周辺に存在する他車両も視界阻害となり自動車から自転車が観測できない状況が見られた。このように自動車から自転車を直接観測できない状況では、自転車が車両に情報を提供したり、インフラに設置されたセンサーから得られる情報を活用したりすることが有効であると考えられ、本項目で構築を目指す協調型交通安全システムが有効に作用するシーンであると考えられる。



塀による視界阻害があるシーン



対向車による視界阻害があるシーン

図 40　シーン A において視界阻害が存在した事例

次にシーン B について分析した結果、シーン A と同様にドライバーの自転車の見落としや自転車の急な車道への飛び出し等の事象が多く見られた。またシーン A とは異なり、自転車は車両と同じ車道上あるいは隣接する歩道上を走行していたため、視界阻害が発生する場面は相対的に少なかった。図 41 に示す代表的な事例のように、自転車が前方の障害物（駐車車両等）を回避するために車道上にはみ出す事例や、自転車が進路を変更して歩道から車道に飛び出す事例が多く見られた。歩道から車道に飛び出す事例においては、車道と歩道の境界に存在する街路樹や植木、駐車車両等が視界阻害となる事例も見られた。ただし、当該シーンでは、視界阻害は発生していないものの、自動車に搭載したセンサーの情報に加えて、自転車から車両に情報を提供し、ドライバーを支援することで当該シーンの事故を回避できると考えられる。また、自転車からは後方から接近する自動車を認識することは難しいため、車両から自転車に情報を提供することによって、自転車に対しても有効な支援が可能になると考えられる。以上のように、シーン A と同様にシーン B においても協調型交通安全システムは有用であると考えられる。

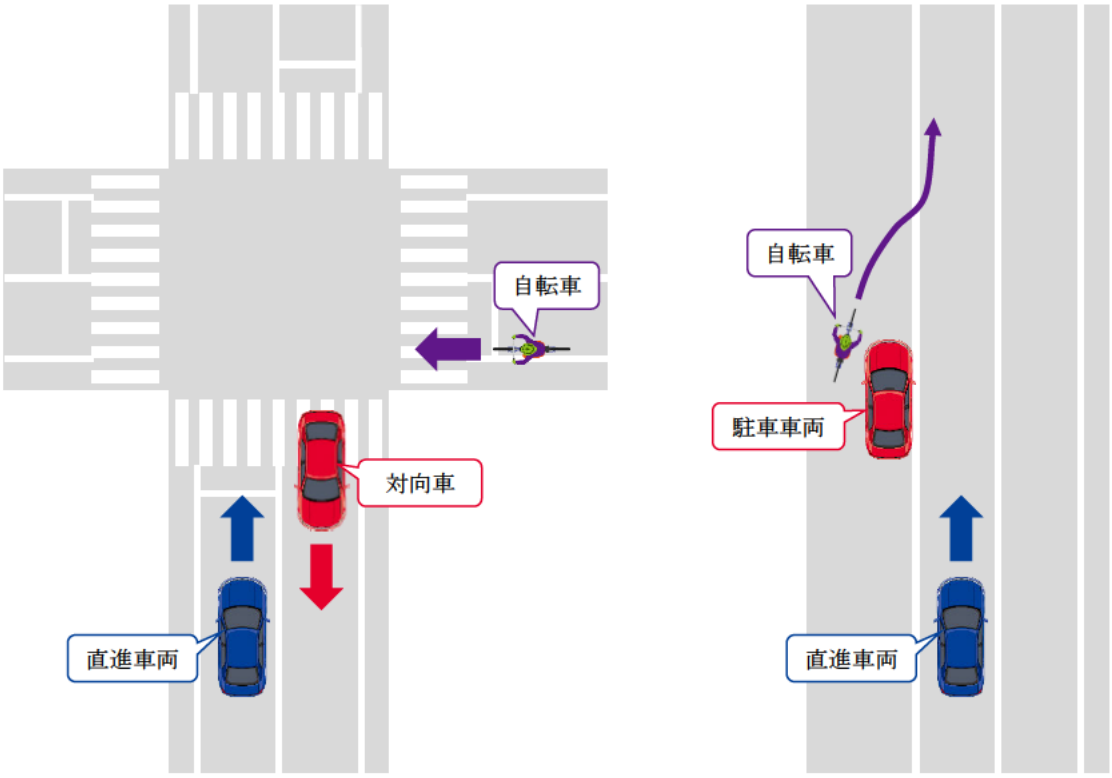
自転車が駐車車両を回避して車道にはみ出してくるシーン

自転車が歩道から車道に進入してくるシーン

図 41　シーンBにおける代表的な事例

③ 自転車支援ユースケースの設定

SIP 事故パターンデータの分析より、無信号交差点で直進する自動車が右から進入する自転車と衝突するパターンと、直進する自動車が先行する自転車と衝突するパターンの二つが自動車対自転車事故の典型パターンであることがわかった。さらに、ヒヤリハットデータベースの分析より、前記二つのパターンのうち、前者のパターンは静止障害物やその他の車両による視界阻害によって発生していることが確認でき、後者のパターンについても一部視界阻害が影響していることを確認できた。以上のことから、自転車支援ユースケースとして、協調型交通安全システムが有効に作用することを想定し、自動車と自転車の間に視界阻害が存在するユースケースを設定した。具体的には、図 42 に示した二つのユースケースを設定した。



無信号交差点における直進車両と自転車のユースケース　　直進車両と先行する自転車のユースケース

図 42　自転車支援ユースケース

ii)　自転車支援方策の要件設定

自動車と自転車の衝突を避けるためには、どちらかあるいは両者に衝突の可能性を通知し、行動を変えさせることが必要である。また衝突の可能性を両者あるいはいずれかに通知するためには、将来的な衝突可能性を判定できることが必要である。二者間の衝突を判定するためには、それぞれの位置と方位、速度が分かれば、将来的な経路が重なるかどうかで衝突を判定することができる。また設定した自転車支援ユースケースでは、互いを直接観測できない状況も含まれるため、相手の情報を直接観測する以外の手段で取得できることが必要である。以上より、自転車支援方策の要件を以下のように設定した。

- 自動車と自転車のそれぞれの位置と方位、速度の情報を取得できること。ただし、相手の情報を直接関する以外の手段で取得できること。
- 自動車と自転車の情報に基づいて将来の衝突可能性を判定できること。
- 判定した衝突可能性に基づいて自動車と自転車のいずれかあるいは両者に通知できること。

自転車の搭乗者（サイクリスト）は、歩行者と同様にスマートフォン等のモバイル端末を所持していることが想定でき、必要な情報を計測することは可能である。また自動車も搭載する機材により精度は異なるが、必要な情報の計測は可能である。互いに計測した情報を、直接あるいは

他の機器を介してやり取りすることにより、上記要件を満たす支援方策を実現できる。2021 年度は、V2P 支援方策に対して同様な要件を設定し、歩行者が所持する端末と車両に搭載した端末が、エッジクラウドサーバーを介して情報をやり取りし、各端末において衝突判定することによって支援方策を実現した。自転車に対する支援も同様な方策により実現できると考えられる。

iii) 協調型交通安全システムの拡張

① システム要件の追加

2021 年度は、視界阻害のある V2P 支援ユースケースに対する支援方策の要件を満たすため、協調型交通安全システムの要件として以下の 4 点を設定した。

- 他の機器を使用せずに、モバイル端末だけで自端末の位置、方位、速度の情報を取得できること。
- 他の機器を使用せずに、モバイル端末だけで他の端末や交通参加者、インフラからの情報を受信できること。
- 他の機器を使用せずに、モバイル端末だけで自端末の情報を他の端末や交通参加者、インフラに提供できること。
- モバイル端末で自端末と他の端末あるいは交通参加者との衝突を判定し、その衝突可能性を通知できること。

自転車支援方策の要件は、2021 年度に設定した V2P 支援方策の要件と一致するため、前記システム要件を満たす協調型交通安全システムを実装することにより、自転車支援ユースケースにおいても支援可能になると考えられる。ただし、自転車は歩行者よりも速度が高いため、自動車との衝突余裕時間が短く、ドライバーおよびサイクリストに対する衝突可能性の通知を、より各人が確実に認識できるように行う必要がある。特に、サイクリストは歩行者とは異なり、自転車を運転しているため、視覚情報以外による通知手段も備える必要がある。歩行者に対する衝突可能性の通知は、歩行者が所持するモバイル端末を介した通知（音声やバイブレーション等）に主として限定される。これに対してサイクリストへの通知は、モバイル端末からの通知に限らず、モバイル端末が自転車と連携することができれば、自転車に搭載した機器から行うこともできる。また、それにより搭乗者であるサイクリストのみではなく、車両のドライバーを含む周辺の交通参加者に対しても衝突可能性を通知することが可能になる。以上を踏まえ、協調型交通安全システムを自転車に対する支援に拡張するため、以下の点をシステム要件に追加した。

- モバイル端末で判定した衝突可能性を、自転車およびその搭載機器を通して、搭乗者および周辺の自動車ドライバーに通知できること。

② システムの実装

設定した協調型交通安全システムの要件を満たすシステムとして、2021 年度に実装したシステ

ムに加え、自転車およびその搭載機器との連携を追加したシステム（図 43）を実装した。自転車および歩行者、自動車はそれぞれ同じ 5G スマートフォンを用いる。5G スマートフォン端末では、まずスマートフォンに内蔵された GPS アンテナで測位した情報と地図情報を活用して自端末の位置、方位、速度を取得する。取得した自端末の情報を周期的にエッジクラウドサーバーにアップロードする。アップロード先のエッジクラウドサーバーでは端末の情報を収集するとともに、他の端末に情報を配信する。スマートフォン端末は配信されてきた情報を受信し、自端末の情報と合わせて衝突判定を行い、必要に応じて注意喚起や警報を行う。具体的には、自端末と他端末の情報から図 43 の⑤に示すような移動予報円を用い、衝突判定を行う。また、通知仕様については 2021 年度に実装したシステムと同様に、パナソニック株式会社が平成 26 年度から平成 30 年度まで「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム」研究の中で「歩車間通信技術の開発」の一環で開発した歩車間通信システムの通知仕様を踏襲した（図 44）。

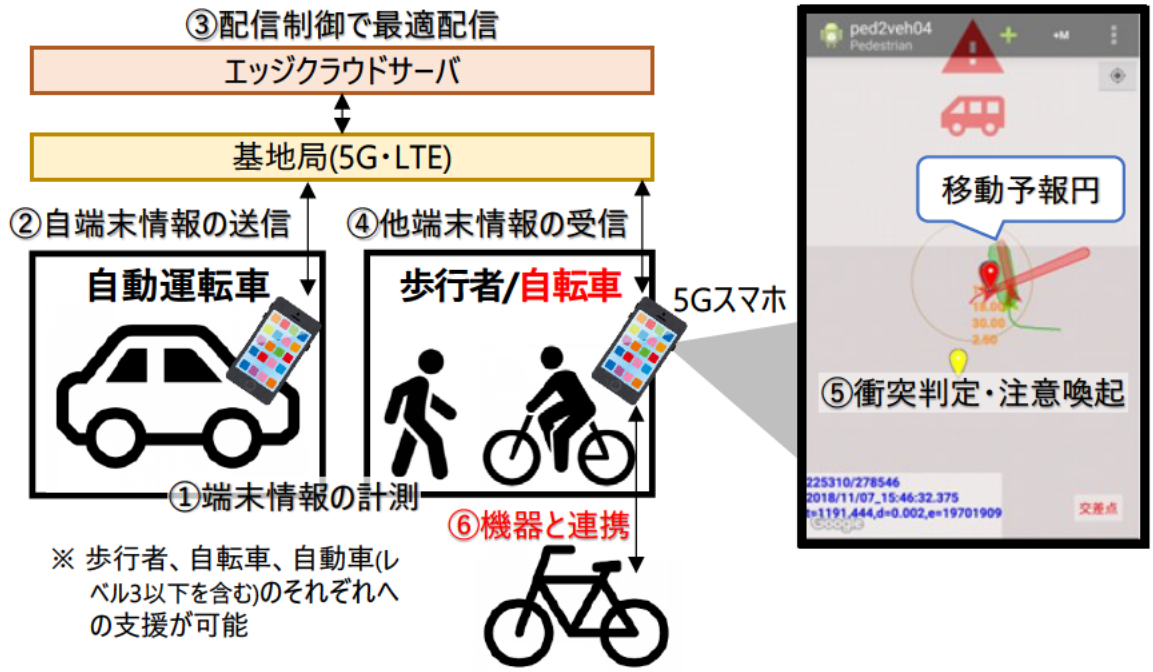


図 43　拡張した協調型交通安全システムの構成

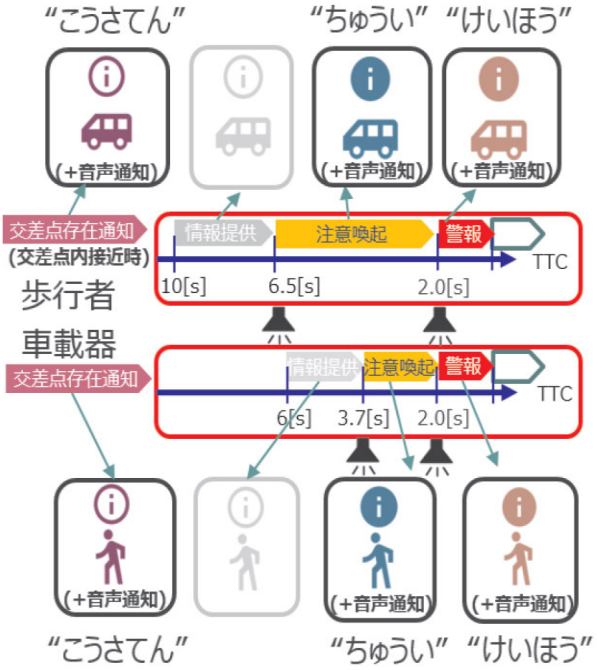


図 44　協調型交通安全システムの通知仕様

出所：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム　歩車間通信技術の開発
平成 30 年度　研究成果報告書

2021 年度に実装したシステムと連携可能な自転車および搭載機器として、図 45 に示す自転車システムを開発した。当該システムは、電動アシスト自転車をベースとし、無線通信（Bluetooth）で接続した 5G スマートフォン端末を介してエッジクラウドサーバーに接続し、他の 5G スマートフォン端末と連携することができる。また、このシステムには設定した二つの自転車支援ユースケースに対して、自転車のサイクリストまたは自動車のドライバーに対する支援方策を可能とする機器（振動モーターと LED ライト）をそれぞれ搭載している。自転車システムの構成図を図 46 に示す。

図 45　協調型交通安全システムの自転車システム外観

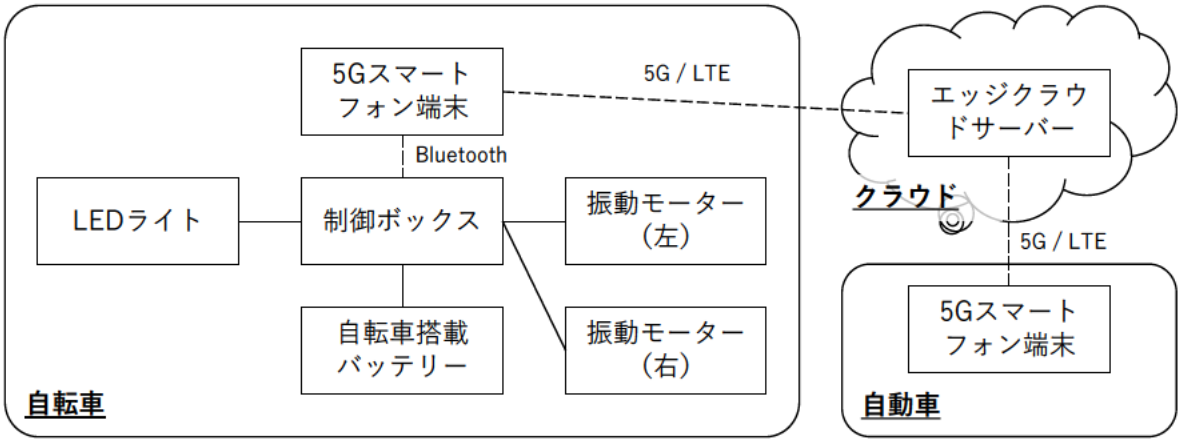


図 46　協調型交通安全システムの自転車システム構成

無信号交差点における直進車両と自転車のユースケースでは、サイクリストに対して素早く衝突可能性を伝達することができる方策が必要である。そこで、自転車のハンドルのグリップ部付近に搭載した振動モーターを用い、衝突判定の結果、サイクリストに「情報提供」を通知するタイミングでグリップ部を振動させる仕様とした。また、衝突する可能性のある対象との相対位置関係により、表 21 に示すように振動モーターの振動パターンを変更し、衝突可能性だけでなく、衝突対象が存在する位置も提示する仕様とした。

表 21　振動モーターによる通知の振動パターン

衝突対象の相対位置	振動パターン
前方	左右同時
後方	左右交互
左方	左右同時3回 ⇒ 左のみ3回
右方	左右同時3回 ⇒ 右のみ3回
不定	左右同時

直進車両と先行する自転車のユースケースでは、ドライバーに対して自車線に進入してくる自転車の存在を通知することができる方策が必要である。そこで、自転車の後部に搭載した LED ライトを用い、衝突判定の結果、ドライバーに「情報提供」以上を通知するタイミングで LED ライトの点灯仕様を変化させた。具体的には、表 22 のように通知レベルに合わせて LED ライトが点滅する周波数[Hz]が異なる点灯パターンを実装した。

表 22　LED ライト点灯による通知の点灯パターン

点灯パターン	衝突対象なし	通知レベル 情報提供	注意喚起	警報
1	OFF	1	2	12.5
2	1	12.5	12.5	12.5

iv)　協調型交通安全システムにおける自転車支援方策の評価

前項目で示したように、各自転車支援ユースケースに対応する支援方策を、協調型交通安全システムとして実装した。実装した支援方策について評価を実施した。

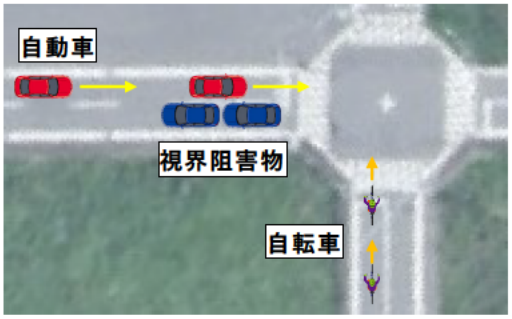
① 評価方法

実装した支援方策が支援として有用であるか評価するためには、まず実装した方策が正常に、要求した仕様通りに作動することが不可欠である。また今回実装した方策は、人間であるサイクリストあるいはドライバーが自転車の搭載機器を介して衝突可能性を認識できることも必要である。そこで、支援方策の「作動性能」に関する評価と、支援方策の「認識性能」に関する評価に分けて評価を実施した。

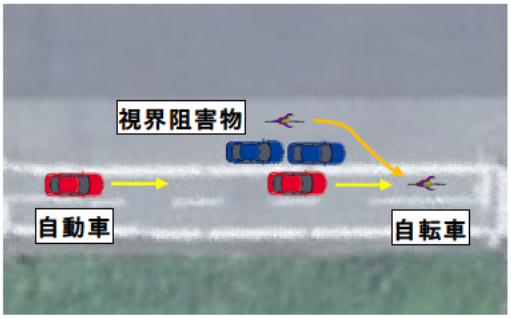
作動性能に関する評価は、東京大学生産技術研究所千葉実験所 ITS R&R フィールド（図 47）において実施した。前記テストフィールドに、各ユースケースと対応するシナリオ（図 48）を再現し、各支援方策（振動モーターによる通知と LED ライト点灯による通知）の作動率および作動精度を評価した。作動率とは、自転車および自動車に搭載した RTK（Real Time Kinematic）端末で測位した情報に基づく衝突判定で「情報提供」と判定した試行のうち、各支援方策が作動した試

行の割合である。作動精度とは、前記 RTK 測位情報に基づく衝突判定で「情報提供」と判定した時刻と各支援方策が作動した時刻とのずれのことである。なお、事前に前記テストフィールドにおける通信状況を確認した結果、限定された領域においてのみしか 5G 通信ができなかったため、実験では 5G スマートフォン端末とエッジクラウドサーバー間のやり取りには LTE 通信を用いた。

図 47　東京大学生産技術研究所千葉実験所 ITS R&R フィールド



無信号交差点における直進車両と自転車のユースケース



直進車両と先行する自転車のユースケース

国土地理院 空中写真を加工して作成 (2023年2月10日取得)

図 48　自転車支援ユースケースと対応する実験シナリオ

認識性能に関する評価において、振動モーターによる通知の認識性能の評価は、自転車で直進走行中（約 15km/h）にランダムなタイミングで振動モーターを「前方」の振動パターンで作動させ、そのときにサイクリストが振動モーターを作動させた回数のうち、振動を認識した回数を用いて認識率を評価した。LED ライト点灯による通知の認識性能の評価は、予め LED ライト点灯が作動する際の動画を準備し、支援方策に関する事前知識のない人に閲覧してもらい、LED ライト点灯を認識した回数を用いて認識率を評価した。

② 評価結果

無信号交差点における直進車両と自転車のユースケースにおける実験を実施した様子を図 49 に、直進車両と先行する自転車のユースケースにおける実験を実施した様子を図 50 に示す。支援方策の作動性能に関する評価を実施した結果、**エラー！ 参照元が見つかりません。**に示す結果が得られた。支援方策の作動率はいずれも 100%であった。また作動精度について、振動モーターによるサイクリストへの通知では、「情報提供」の目標値（衝突 10 秒前）に対して、平均で 1 秒未満の誤差で作動し、有効に作動することが確認できた。これに対して LED 点灯による後続ドライバーへの通知では、「情報提供」の目標値（衝突 10 秒前）に対して平均で 2 秒遅く作動する傾向にあった。「情報提供」が数秒遅く作動するものの、「注意」「警報」は平均 1 秒程度の誤差で作動しており、通知が適切に作動していることを確認できた。「情報提供」が目標値よりも遅く作動した理由として、当該自転車支援ユースケースでは、自転車が自動車の進路に向けて進行して衝突可能性が生じる特性上、衝突可能性がそもそも 10 秒前に発生していない可能性がある。自動車と自転車の進路が交錯し、衝突可能性が生じるとともに作動した結果として目標値よりも遅く作動したことが考えられる。以上の結果より、実装した支援方策が一部ユースケースの制約を受けるものの、設計した仕様の通り作動することを確認した。

図 49　無信号交差点における直進車両と自転車のユースケースにおける実験の様子

図 50　直進車両と先行する自転車のユースケースにおける実験の様子

表 23　自転車支援方策の作動性能の評価結果

支援方策	作動率 [%]	作動精度（作動タイミングー目標値）[s] 情報提供 目標値：10s	注意換気 目標値：6.5s	警報 目標値：2s
振動モーターによる通知	100	−0.7	−0.5	0.3
LED点灯による通知	100	−2.0	−1.2	0.7

支援方策の認識性能に関する評価を実施した結果、**エラー！ 参照元が見つかりません。**に示す結果が得られた。振動モーターによる通知については、12 名の実験協力者に対して自転車走行中に 5 回ずつランダムなタイミングに振動モーターによる通知を作動させた結果、全試行（60 回）において実験協力者が通知を認識することができた。よって、振動モーターを用いることにより、自転車走行中のサイクリストに対して視覚や聴覚以外のモダリティで衝突の危険性を通知できることがわかり、実装した方策の仕様が有用である可能性を確認した。ただし、実験協力者のコメントより、ハンドルの左右で知覚する振動の強さに差異があったため、今後振動パターンによる接近対象の方向等を正確にサイクリストに提示するためには、振動モーターに対してさらなる改善が必要である。

LED 点灯による通知については、いずれも 40 %程度の認識率であった。本評価は図 51 に示すように、昼間に撮影した LED 点灯の映像を実験協力者に見てもらい、LED 点灯の認識可否を評価したため、実験協力者も LED が点灯していることを認識しにくかったと考えられる。分析したヒヤリハット事象を見ても夜間の事象が多く見られており、実装した方策でも夜間であれば有効に作用すると考えられ、実験協力者からもそのようなコメントが得られた。ただし、昼間に自転車が割り込む事象も考えられるため、明るい環境であってもドライバーが自転車による衝突可能性を認識しやすい点灯パターンについては、今後も引き続き検討が必要であると考えられる。

表 24　自転車支援方策の認識性能の評価結果

支援方策	認識率[%]
振動モーターによる通知	100
LED点灯による通知（点灯パターン1）	36
LED点灯による通知（点灯パターン2）	45

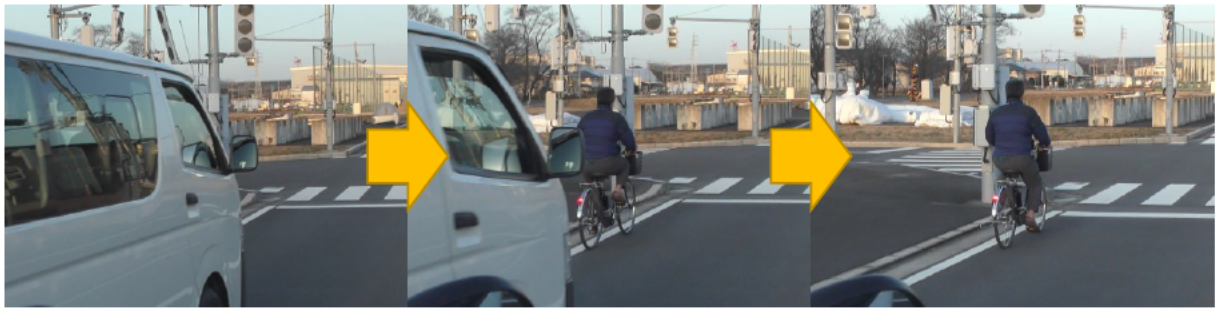


図 51　LED 点灯による通知の認識性能評価に用いた動画の一部

(2) 高精度測位技術の開発

i)　VPS のスマートフォンにおける実装方法の検討

GPS（Global Positioning System）が衛星との通信情報を利用して位置を特定することに対して、VPS は主に画像情報を利用して位置を特定するシステムである。カメラ等を用い、周囲環境の特徴点を取得し、取得した情報を予め把握している周囲環境と照合することにより、位置情報を特定することが可能になる。VPS は屋内環境において 1.0 m 程度の位置測位精度を達成できることが示唆されており、この測位手法を活用することにより、屋外環境においても位置測位の精度を向上できると考えられる。一方で、VPS は位置測位にあたって、周囲環境情報と位置の関係性を事前に把握しておくことが必要である。そのため、屋外環境において VPS を実現するためには、このようなリファレンスデータを事前に把握することが課題である。

前記課題に対して、Google LLC は ARCore Geospatial API を提供している。この API を利用することにより、Google ストリートビューの生成で得られた情報をリファレンスとし、画像情報から位置を推定することが可能になる。前記 API を利用した VPS により、表 25 に整理したように、GPS と比較して高い位置測位精度を実現できる可能性がある。しかし、VPS の課題として速度追従性が低いことが挙げられる。具体的には、GPS が自動車走行時でも追従が可能であることに対して、現在提供されている API に基づく VPS では歩行程度の速度における使用が推奨されている。そのため、歩行速度以上で移動時に正確な位置情報が得られない可能性があり、何かしらの補完処理が必要である。そこで、VPS をスマートフォンアプリケーションとして実装するにあたり、パーティクルフィルタを VPS の補完として用いることとした。

表 25　スマートフォン端末を用いた位置測位手法の比較

性能項目	GPS	VPS
位置精度	数m	1m未満～数m
速度追従性	～自動車走行速度	～歩行速度

ii)　VPS を搭載したスマートフォンアプリケーションの開発

図　52 に示すような位置測位システムを含むスマートフォンアプリケーションを開発した。位置測位システムは、スマートフォンに搭載されている GPS と前項で述べた API を用いた VPS、パーティクルフィルタを用いた GPS と VPS の FUSION、これら三つから出力する位置情報を選択する SELECTOR で構成される。FUSION のパーティクルフィルタにおいて、滑らかな軌跡（時系列で連続する位置情報）が得られるように、状態空間モデルとして持続モデルの一階差分型を採用した。また、一時的に GPS や VPS の入力情報に欠損が発生した場合には、前回の状態から継続した状態推定を行う仕様とした。SELECTOR では、GPS および VPS の補足有無と、VPS の精度情報を用い、図 53 に示す状態遷移図に従って出力する位置情報を選択する。なお、NONE の場合にはいずれの GPS と VPS の両者が補足できていないため、位置情報を出力しない。図　54 に実装したスマートフォンアプリケーションで位置測位した際のアプリケーション画面を示す。画面上部に地図を、画面下部にカメラ画像を示しており、このタイミングでは「VPS」で位置測位された結果がテキストおよび地図上に表示されている。

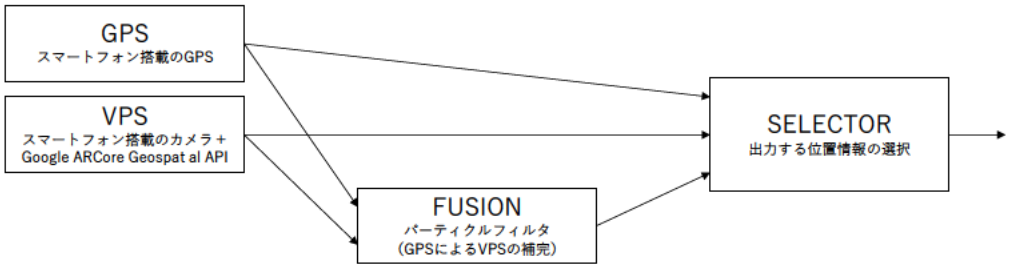


図 52　位置測位システムの構成

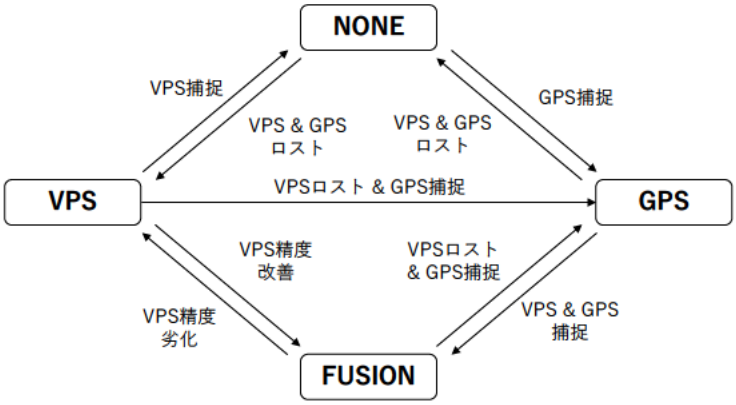


図 53　位置測位システムの SELECTOR 内の状態遷移

図 54　VPS を搭載したスマートフォンアプリケーションの実行画面例

iii)　VPS を搭載したスマートフォンアプリケーションの評価

① 評価方法

前項で開発した VPS を搭載したスマートフォンアプリケーションの位置測位精度について評価を実施した。端末で得られる位置情報に基づいて支援を行う上では、位置精度とともに、方位角精度も重要である。そのため、位置と方位角の精度について評価した。また、GPS の課題が建物の遮蔽による位置精度の劣化であることから、VPS を用いることによってこの課題を解決できるか確認するため、GPS の位置精度の劣化が予想される非開放地も含めて評価を行った。また開発したアプリケーションにおいて実装したパーティクルフィルタが有効に作用しているか確認するため、

移動速度が異なる条件においても評価を行った。表 26 に示す条件において、開発した VPS を用いたアプリケーションの精度と、GPS のみを用いたアプリケーションの精度を評価し、その結果を比較した。表内の開放地とは図 55 左に示した柏キャンパスと柏の葉キャンパス駅間を運行する自動運転バスの運行経路内にある信号交差点に向かう歩道であり、非開放地とは図 55 右に示した柏の葉キャンパス駅前にあるららぽーと柏の葉の渡り廊下の下を通過する歩道である。開放地では RTK-GPS で測位した位置および方位角に対する測位値の差分を誤差とし、非開放地では RTK-GPS の測位精度が担保できないため、予め測位精度を担保して計測できた二つのリファレンス地点を結ぶ直線に対する位置および方位角の測位値の差分を誤差とした。各評価条件で 3 回ずつ図に示した経路を移動し、開発したスマートフォンアプリケーションとスマートフォンに搭載された GPS 単体による測位精度を評価した。

表 26　スマートフォンアプリケーションの評価条件

条件No.	評価場所	移動速度
1	開放地	約4km/h（歩行者）
2	開放地	約15km/h（自転車）
3	非開放地	約4km/h（歩行者）
4	非開放地	約15km/h（自転車）

開放地　　非開放地

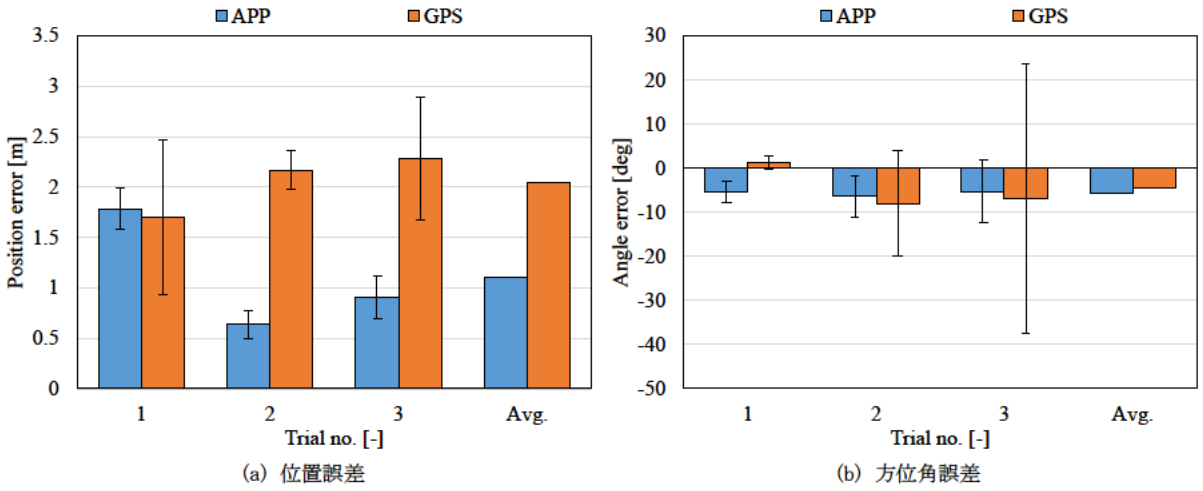
国土地理院 空中写真を加工して作成 (2023年2月10日取得)

図 55　スマートフォンアプリケーションの評価場所

② 評価結果

開放地において約 4 km/h（歩行者相当）で移動した条件 A の位置精度および方位角精度の結果を図 56 に示す。スマートフォンに搭載された GPS（GPS）による位置精度は平均で 2.0 m 程度あ

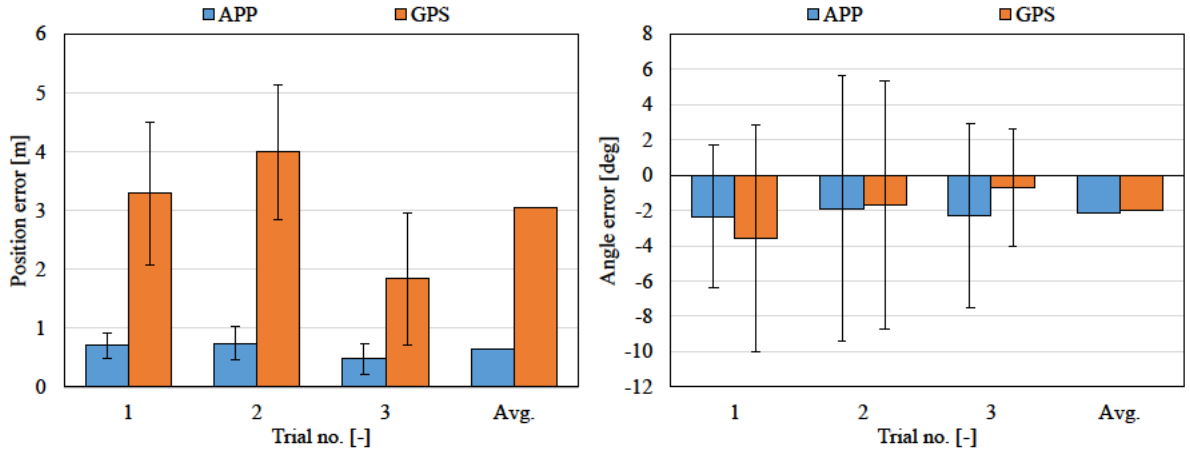
ったことに対して、開発したスマートフォンアプリケーション（APP）の位置精度は 1 回目が 1.5 m を超えたものの、2 回目と 3 回目はともに 1.0 m を下回り、平均で GPS より高い位置精度（約 1.1 m）を示した。また方位角については、平均で GPS と APP の間に大きな差はなかったものの、いずれも目標値である 22.5 deg を達成できることを確認した。APP の 1 回目の測位における位置精度が低かったのは、アプリケーションを起動してすぐの測位であり、VPS が不安定であったためであると考えられる。VPS 測位が安定した 2 回目以降では高い位置測位精度が確認できた。



(a) 位置誤差　(b) 方位角誤差

図 56　位置精度および方位角精度の評価結果（条件 A）

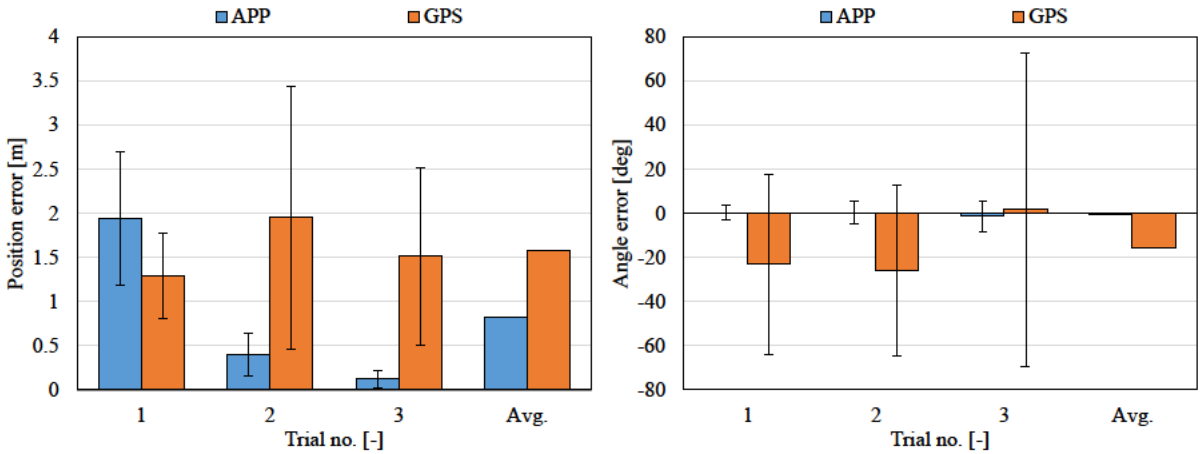
開放地において約 15 km/h（自転車相当）で移動した条件 B の位置精度および方位角精度の結果を図 57 に示す。GPS では条件 A に対して移動速度が高くなった結果、位置精度が劣化し、約 3.0 m の誤差が見られた。これに対して APP では、条件 A に引き続いて測位を実施したこともあり、VPS 測位が安定して動作し、平均で約 0.6 m の精度で位置を測位することができた。また方位角については、条件 A と同様に GPS と APP 間に大きな差は見られず、ともに目標値を達成できることを確認した。以上より、自転車相当の移動速度の条件においても、VPS 測位を搭載したスマートフォンアプリケーションにより、スマートフォンに搭載した GPS のみよりも高い精度で位置測位できることを確認した。



(a) 位置誤差　(b) 方位角誤差

図 57　位置精度および方位角精度の評価結果（条件 B）

非開放地において約 4 km/h（歩行者相当）で移動した条件 C の位置精度および方位角精度の結果を図　58 に示す。条件 A と同様に APP の 1 回目は VPS 測位の動作が不安定で、位置誤差が増大したものの、APP は平均で GPS よりも小さい誤差で位置測位でき、その誤差が約 0.8　m であることを確認した。また方位角については、非開放地である影響もあり、GPS の誤差の平均は他条件と同等であったものの、誤差の標準偏差（ばらつき）が増大することが確認された。これに対して APP では、このばらつきが GPS の 10%程度に抑えられていた。以上の結果より、非開放地の歩道においても VPS 測位を活用することにより、GPS のみよりも高い精度で位置および方位角を測位できることを確認した。



(a) 位置誤差　(b) 方位角誤差

図 58　位置精度および方位角精度の評価結果（条件 C）

上記の結果より、開発した VPS を搭載したスマートフォンアプリケーションを用いることによ

り、GPS 単体の測位よりも高い精度で位置測位が可能となり、VPS が安定的に動作する条件において位置精度 1m 未満を達成できることが確認できた。また前記精度は、歩行者程度の移動速度だけでなく、自転車の移動速度にも対応でき、かつ開放地だけでなく、GPS による測位精度が劣化する非開放地においても有効に動作することを確認した。

(3) まとめ

本項目では、2021 年度にモバイル端末を用いた協調型交通安全システムの妥当性を確認できたことから、当該システムを自転車対象に拡張した。まず自転車を支援する方策を設定するため、交通事故統計データとヒヤリハット事象を分析し、自転車支援ユースケースとして、無信号交差点において直進車両の左右から来る自転車が交差点に進入するユースケースと、直進車両の前に先行する自転車が割り込んでくるユースケースを設定した。次に、各ユースケースにおいてサイクリストあるいはドライバーに衝突可能性を通知する方策として振動モーターによる通知と、LED 点灯による通知を設定し、協調型交通安全システムにおいて前記方策を実装した。テストコース等における評価の結果、いずれの方策とも正常に作動し、かつ設定した仕様に対して 1 秒程度の精度で通知できることを確認した。また各方策により、サイクリストまたはドライバーが通知された情報を確実に認識できることを確認した。

本項目ではさらに 2021 年度に開発したシステムにおいて課題であったモバイル端末による位置測位精度の向上を目指し、高精度測位技術について検討した。モバイル端末における高精度測位技術については、Visual Positioning System (VPS) に着目し、スマートフォンのアプリケーションとして VPS を実装する方法として、Google LLC の ARCore Geospatial API とパーティクルフィルタを活用し、VPS を含むスマートフォンアプリケーションを実装した。公道環境における評価結果より、VPS 測位を含む開発したアプリケーションにより、誤差 1.0 m 未満の位置測位を実現できることを確認した。よって、VPS が GPS を補完し、スマートフォン端末における位置測位精度を向上できることを確認するとともに、それを現実的にアプリケーションとして実装できることも確認できた。

支援方策において、作動率は 100 %であったものの、作動精度は 1 秒程度の誤差を残していた。特に自転車が自動車の前に進入するユースケース（シナリオ）において、作動するタイミングが仕様と異なっていた。これは現在の自動車や自転車の位置・速度に基づいて直進する前提で将来経路を予測しているからであり、自転車が自動車の前に進入するといった経路変化がある場合に、その状況を適切に考慮できていないことが誤差に影響しており、今後考慮する必要がある。また参加者が直進する前提となっている仕様であるため、歩行者や自転車の急な飛び出しに対して、自動車のドライバーに衝突可能性を通知することも現状は難しく、今後の課題である。

VPS を活用することにより、位置誤差 1.0 m 未満を達成できた。しかし、場所や状況によっては誤差が大きくなる場面が散見された。特に今回は歩道から VPS を使用しており、ARCore Geospatial

API がリファレンスとしている車道で取得した Google Street View 情報とは見え方が異なることが影響した可能性がある。より安定的に、高い位置精度を実現するためには、高い位置精度が要求される限定領域において三次元データベースを構築し、当該データベースに基づいて位置測位を行うことが挙げられる。よって、さらなるスマートフォン端末を用いた位置測位の高精度化が今後の課題である。

2) 道路空間の利便性向上シナリオの構築

機能が明確な道路空間は、自動運転車両だけでなく、無秩序な路上駐停車や乱横断を防止する対策として、路上駐停車両や横断歩行者を含むレベル 3 以下の他のモビリティの利便性向上にも繋がる可能性がある。

2021 年度に実施した既往研究成果の調査やモデル地域におけるプレ実証調査では、道路幅員構成や空間設計が自動運転レベル 4 車両に与える影響とその要因について仮説を構築した。あわせて、横断歩行者等の移動体の情報を試験的に収集し、それらの挙動と道路空間設計の関連性を考察した。

2022 年度は、2021 年度に構築した多様な道路利用者の利便性向上が期待される道路空間設計に対する仮説を検証するために、詳細な観測調査等により交通流シミュレータを用いた検証に必要となるデータを収集し、交通流シミュレータを構築した。また、構築した交通流シミュレータによりシナリオ評価の試行を行った。

(1) 対象地域のデータ収集

(1)-1　収集対象

2021 年度の整理結果を踏まえ、追加収集が必要なデータを整理した。収集が必要なデータ一覧を表 27 に示す。また収集対象地域を図 59 に示す。

表 27　収集が必要なデーター覧

必要データ項目	データ概要	シミュレーション入力・検証データ	取得データ	取得対象箇所	2022年度4月時点取得状況
道路構造・道路ネットワーク	ノード(Node)	.	デジタル道路地図データ(独自形式、シェープファイル形式、など)	対象エリア全域	○(取得済)
	リンク(Link)	リンク番号、上流ノード番号、下流ノード番号、リンク長、関連道路線形・属性番号、道路容量(Q)、自由流速度(V)、ジャム密度(K)			○(取得済)
	道路線形・属性(Road)	道路線形・属性番号、関連リンク番号、リンク長、道路種別(高速、国道など)、道路線形(緯度、経度のリスト)、規制速度			○(取得済)
	交差点内動線(Track)	動線番号、上流接続リンク、下流接続リンク、動線の長さ、動線線形(緯度経度のリスト)、道路容量(Q)、自由流速度(V)、ジャム密度(K)			-
交通規制・交通管制データ	信号制御データ(Signal)	信号制御機番号、設置先ノード番号、サイクル長、現示、スプリット、オフセット	信号制御データ(独自形式)	対象エリア全域	×(未取得)
	通行規制データ(道路閉鎖)	規制先リンク番号、規制開始時刻、規制終了時刻	デジタル道路地図データ		×(未取得)
	通行規制データ(車線閉塞)	規制先リンク番号、規制先レーン番号、規制開始位置(リンク下流端からの距離)、規制末尾位置(リンク下流端からの距離)、規制開始時刻、規制終了時刻			×(未取得)
	通行規制データ(右左折禁止)	規制先リンク番号、規制先方向(右左折)、規制開始時刻、規制終了時刻			×(未取得)
	通行規制データ(車種規制)	規制先リンク番号、規制先レーン番号、規制開始位置(リンク下流端からの距離)、規制末尾位置(リンク下流端からの距離)、規制対処車種(小型、大型、バス)、規制開始時刻、規制終了時刻			×(未取得)
交通需要(自動車交通)	発生・集中ゾーン定義(ポリゴン)	ゾーン番号、ゾーン位置・形状(緯度経度のリスト)、車両の発着対象リンク番号(リスト)	発生・集中ゾーンは独自に作成	-	-
	一般車OD交通量(車種別・時間帯別)	発生ゾーン番号、集中ゾーン番号、発生時間帯、車種(小型、大型)、発生台数(車種別)	交差点内方向別交通量(時間帯別(15分集計)、車種別、方向別)		×(未取得)
	公共交通(バス)OD交通量(路線、時間帯別)	発生ゾーン番号、集中ゾーン番号、発生時間帯、車種(バス)、発生台数(車種別)、走行経路(リンクリスト)	バス路線データ、バス時刻表データ		△(一部取得済)
	自動運転バスOD交通量(路線、時間帯別)	発生ゾーン番号、集中ゾーン番号、発生時間帯、車種(バス)、発生台数(車種別)、走行経路(リンクリスト)	自動運転バス路線データ、運行スケジュールデータ		×(未取得)
交通流、車両、ドライバ特性	基本車種情報	車種番号、乗用車換算係数、車長、車幅	実験データor　初期データはSIPで使用したものを適用。	初期データはSIPで使用したものを適用。	○(初期はSIP成果活用)
	追従モデルパラメータ	希望速度、最大加速度、希望減速度、安全ヘッドウェイ時間、ジャム車間距離、希望加速度、自然減速度、最大減速度			○(初期はSIP成果活用)
	車線変更判断パラメータ	前方探索範囲、速度低下許容幅、巡行時速度幅、車線変更判断距離、追い越し希望受諾確率、走行車線復帰確率、最小ギャップ、最小TTC			○(初期はSIP成果活用)
人流データ	歩行者交通量	横断歩道位置、横断歩道交通量(サイクルあたりの横断人数)、歩行者速度	交差点内歩行者交通量データ	補足資料に記載。	×(未取得)
交通実態	現況再現性検証用データ	交差点方向別交通量	交差点内方向別交通量(時間帯別(15分集計)、車種別、方向別)	補足資料に記載。	×(未取得)
		最大滞留長	最大滞留長(交差点別、時間帯別(15分毎))		×(未取得)
		区間旅行時間	区間旅行時間(時間帯別(15分集計)、路線別、方向別)		○(取得済)
		区間平均速度	区間平均速度(時間帯別(15分集計)、路線別、方向別)		○(取得済)
		路上駐停車	駐停車時間、駐停車位置、車種		×(未取得)

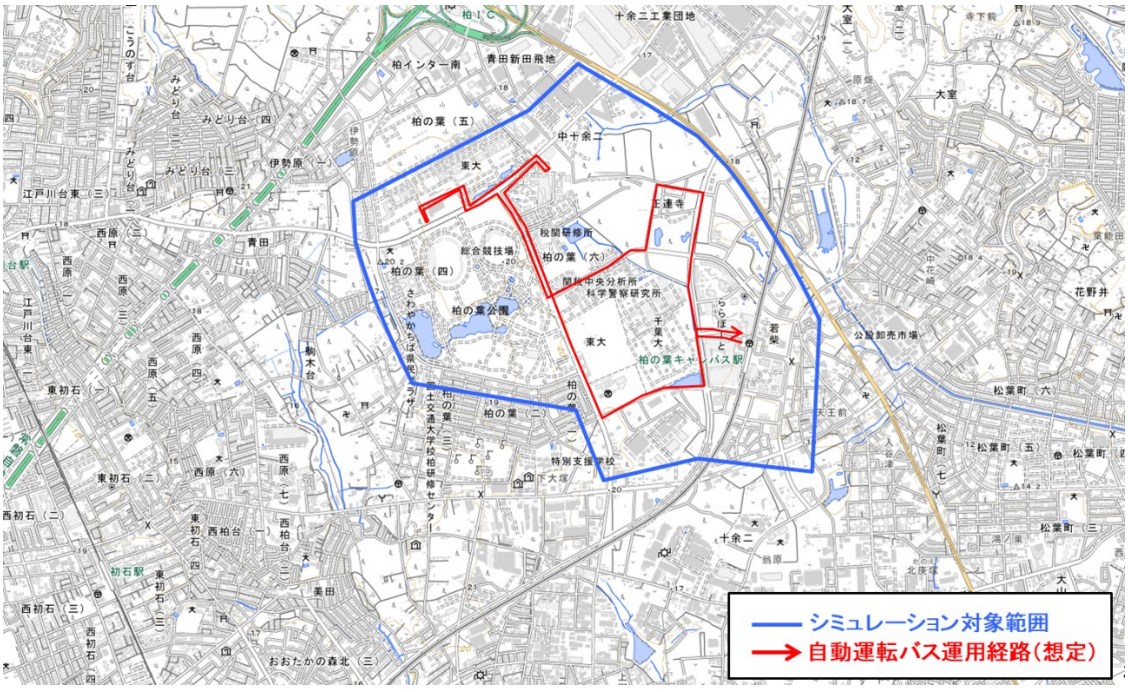


図 59　シミュレーション対象範囲

交通規制・交通管制データとして信号制御データ、交通需要データとして車種別・時間帯別 OD 交通量作成のための交差点方向別交通量データとバス情報（路線、時刻表）データ、交通流・車両ドライバー特性に関わるデータ、人流データとして主要交差点における歩行者交通量、交通実態データとして、前述した交差点方向別交通量データおよび滞留長データ、区間旅行時間データ、駐停車車両に関わるデータの収集を行った。

(1)-2　収集方法

現地調査として、シミュレーション対象エリア内の主要交差点における交差点交通量調査、及び駐停車車両調査を行った。調査日は年間の平均的な交通状態からシナリオ評価を可能とするために 10 月とし、5・10 日と土日祝日の前後を避けた日として以下の日時を計画した。

- 令和 4 年 10 月 18 日（火）7:00～19:00（12 時間）
  （予備日：令和 4 年 10 月 25 日（火））

調査時間は自動運転バスが走行する時間帯と朝ピークと夕ピークを含む時間帯として 7:00～19:00 の 12 時間とした。調査時間中が概ね晴天または曇りである日に行うものとして、調査実施予定日前日の昼に気象庁が発表する天気予報を参考に調査実施の可否判断を行い、荒天（雨、台風等）や災害等により平常交通が見込めないと判断した場合は、予備日に順延とした。なお、駐停車車両調査として、定点に配置した調査員による詳細調査と、走行する車両から撮影した画像をもとに行う走行調査の 2 種類の調査を実施した。それぞれの実施時間帯を表 28 に示す。

表 28　駐停車車両調査の調査日・調査時間

調査日		2022 年 10 月 18 日（火）
調査時間	詳細調査	7 時～9 時（2 時間）、11 時 30 分～13 時 30 分（2 時間）
	走行調査	7 時～13 時（6 時間）、14 時～18 時（4 時間）

調査当日の柏の葉キャンパス周辺地域の天気は、調査開始の 7 時台は霧雨、8～17 時台は曇り、18 時台は雨であった。降雨による交通量への影響は小さいという現地の判断によって調査を 19 時まで行った。参考として気象庁による調査当日の天気情報（地点：千葉）を表 29 に示す。

表 29　調査当日の天気（地点：千葉）

時刻（時台）	天気	降水量（mm）	気温(℃)	湿度(%)	風速(m/s)	風向
1	雨	1	19.7	97	1	西南西
2	雨	0.5	19.7	97	0.4	北北東
3	雨	1.5	19.5	96	2.2	東
4	雨	1	17.5	91	3	北北東
5	雨	3	16.7	95	3.5	北北東
6	雨	2	16.8	96	3.2	北北東
7	雨	0	16.6	92	3.2	北北東
8	曇	0	15.9	86	4.7	北北東
9	雨	0	15.6	84	3.4	北北東
10	曇	0	16.2	86	2.5	北東
11	曇	―	16.6	83	3.1	北東
12	曇	―	17	76	3.6	北東
13	曇	―	17.4	72	4	北北東
14	曇	―	17.4	68	5.4	北東
15	曇	―	17.6	65	4.9	北東
16	曇	―	17.8	66	4.5	北東
17	曇	―	17.5	67	3.4	北東
18	曇	―	17.2	68	3.7	北東
19	曇	―	17.1	69	2.8	北北東
20	曇	―	16.3	73	3.4	北
21	曇	―	15.5	73	4.5	北北東
22	曇	―	15	75	2.9	北
23	曇	―	14.2	76	4.3	北北東
24	雨	0	13.8	75	3.3	北

交差点交通量調査箇所を地図上に示したものを図 60 に示す。また各交差点名と所在地を表 30 に示す。

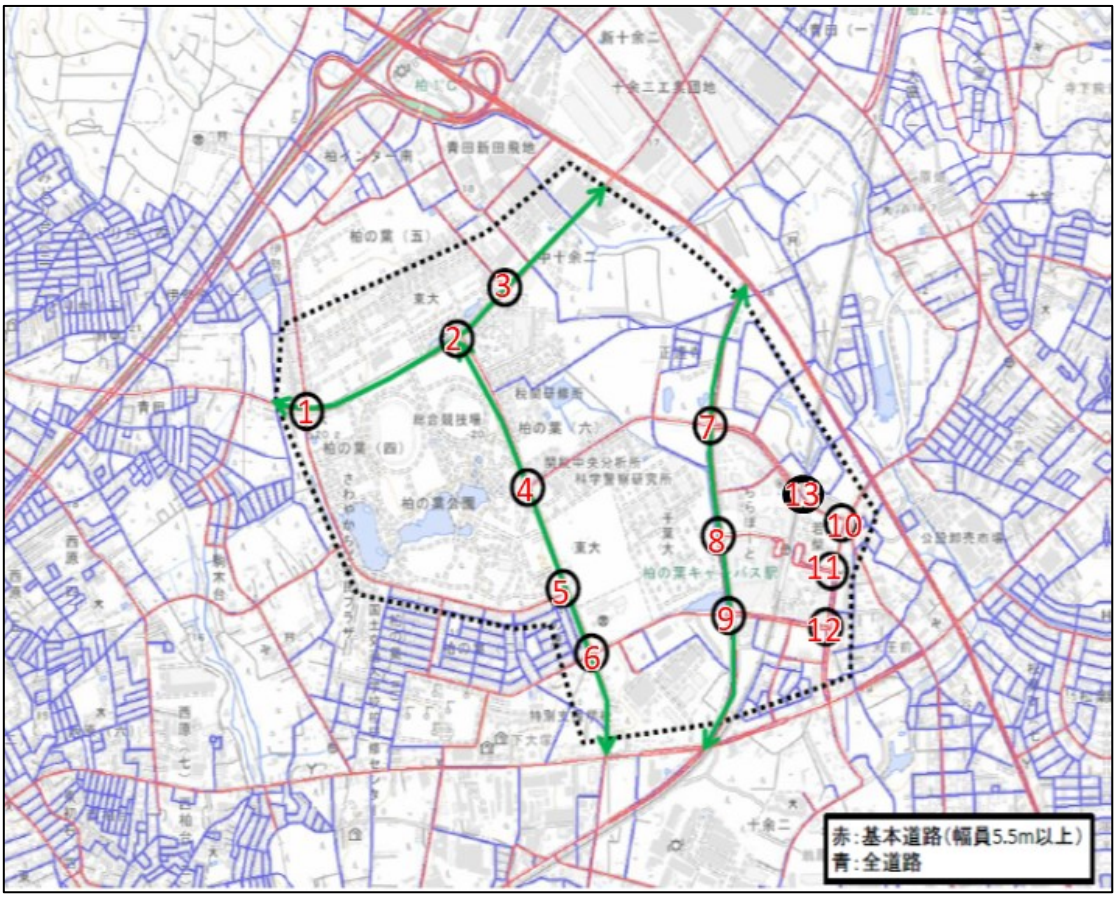


図 60　調査箇所図（背景は地理院地図）

表 30　調査対象交差点

No.	調査地点名称（仮称）	代表所在地
1	十余二小北交差点	柏市柏の葉5-1-79
2	柏の葉公園北交差点	柏市柏の葉5-1-5
3	国立がん研究センター東病院入口交差点	柏市柏の葉5-1-5
4	柏の葉公園中央交差点	柏市柏の葉6-3-5
5	柏の葉公園南交差点	柏市柏の葉4-1
6	柏の葉高校前交差点	柏市柏の葉1-1-4
7	正連寺南交差点	柏市若柴164-6
8	駅西口交差点	柏市柏の葉6-2-1
9	ららぽーと柏の葉南交差点	柏市若柴264-1
10	駅北東交差点	柏市若柴226-1
11	駅東口交差点	柏市若柴164
12	駅南東交差点	柏市若柴276
13	柏の葉キャンパス駅北押しボタン式信号	柏市若柴226-44

交差点交通量調査の調査箇所は 2023 年度以降のシナリオ評価でシミュレーションの実施を予定する 13 か所の信号交差点を対象とした。調査員は図 61 に示す様に各交差点の歩道上で調査を行い、その際、十分な通行幅を確保し、通行者の妨げにならないようにした。

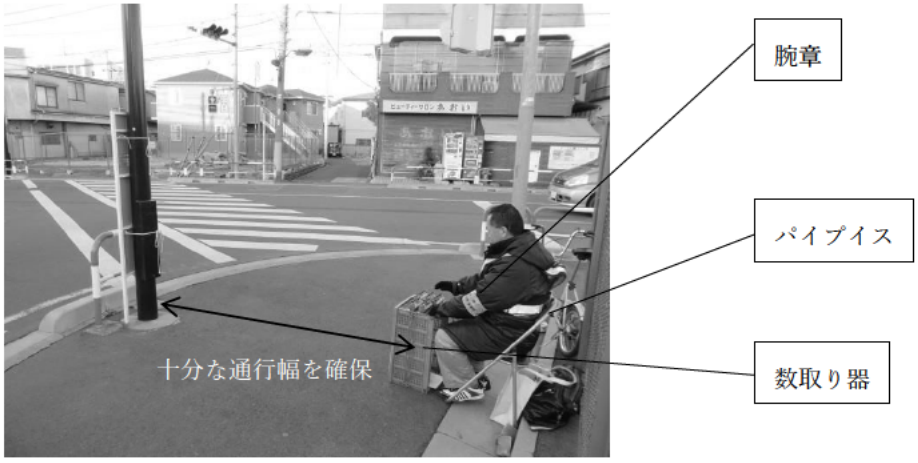


図 61　調査状況例（交通量調査員）

駐停車車両調査の調査箇所は 2023 年度以降のシナリオ評価でシミュレーションの実施を予定する柏の葉公園東側（区間 A）及び県道 47 号のマンション前（パークシティ前）（区間 B）を対象とした。調査員は新型コロナウイルス感染対策を行いながら調査を行った。詳細調査における調査員の記録風景を図 62 に、走行調査におけるカメラの設置状況等を図 63～図 66 に示す。

図 62　調査員による記録風景（調査区間 B-2②：パークシティ前）

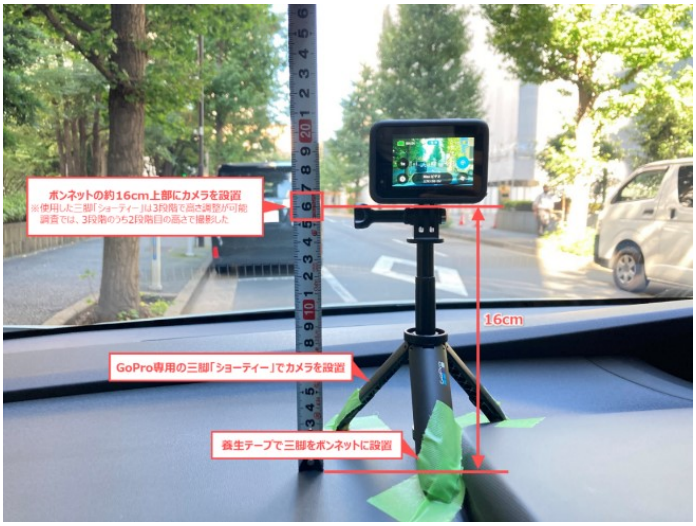


図 63　Go Pro 設置位置イメージ①（調査車両②の場合）

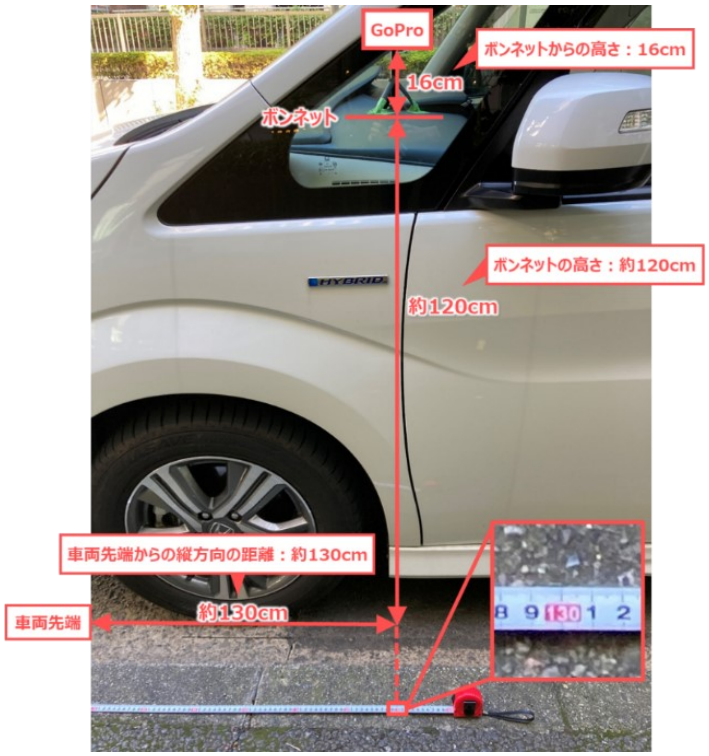


図 64　Go Pro 設置位置イメージ②（調査車両②の場合）

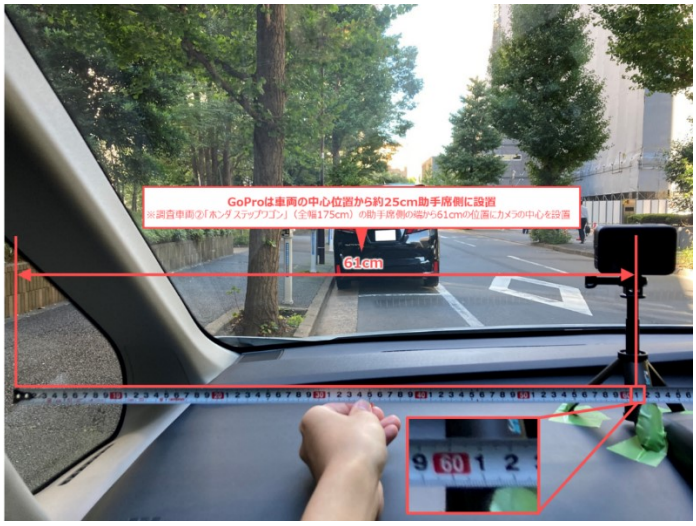


図 65　Go Pro 設置位置イメージ③（調査車両②の場合）

図 66　Go Pro 設置位置イメージ④（調査車両②の場合）

交差点交通量調査及び駐停車車両調査の、現地調査項目等を以下に示す。

① 交差点方向別交通量調査

調査対象交差点において、設定位置を通過する自動車の通行数を、方向別、観測区分別（4 区分、表 31 参照）に計測した。集計する間隔は 15 分とした。

表 31　交通量調査における区分と分類

観測区分	車種	ナンバー	内訳
小型車	乗用車	3, 5, 7	軽乗用車、普通乗用自動車、小型乗用自動車
	小型貨物車	4	軽貨物車、小型貨物自動車（ライトバン含む）
大型車	バス	2	路線バス、観光バス等
	普通貨物車	1	普通貨物自動車、特殊用途自動車（緊急自動車、クレーン車等）、特殊自動車（ロード・ローラ、スタビライザ等）、大型貨物自動車及び特定中型貨物自動車（セミトレーラー等）

※車頭番号 8 の特殊(種)車及び外交官ナンバー、自衛隊車両等は、大きさ･形状により該当する車種に分類する。

② 交差点歩行者交通量調査

調査対象交差点の横断者（自転車・歩行者）の通行数を方向別に計測した。集計する間隔は、15 分とした。

③ 交差点流入部滞留長調査

調査対象交差点の信号が赤から青に変わった瞬間の停止線から最後尾までの車列長（滞留長）を流入部別に計測した。観測は、15 分ごとに 1 回とし、計測単位は 10m とした。なお、観測は滞留長の最大車線とした。

④ 信号制御内容調査

調査対象交差点の信号現示、青時間、サイクル長を各時間帯（8:00～9:00、13:00～14:00、17:00～18:00）に 1 回計測した。なお、感応式信号機の場合は複数回（最低 3 回）計測した。

⑤ 押しボタン式信号利用状況調査

調査対象交差点の押しボタンが押された回数を各時間帯（7:00～8:00、8:00～9:00、12:00～13:00、13:00～14:00、 17:00～18:00、18:00～19:00）に計測した。調査票に記入する間隔は、30 分ごととした。また、各時間帯に 1 回、ボタンが押された場合の信号現示を計測した。

⑥ 駐停車車両調査

交通流シミュレータのパラメータ値を設定するためのデータとして路上駐停車車両の実態に関する調査（詳細調査及び走行調査）を実施した。

(1)-3　収集結果

各交差点での交差点方向別交通量の調査例として、地点 7 におけるデータ収集結果を図 67～図 71、および表 32 に示す。

また、駐停車車両調査のデータ収集結果の例を図 72～図 75 に示す。

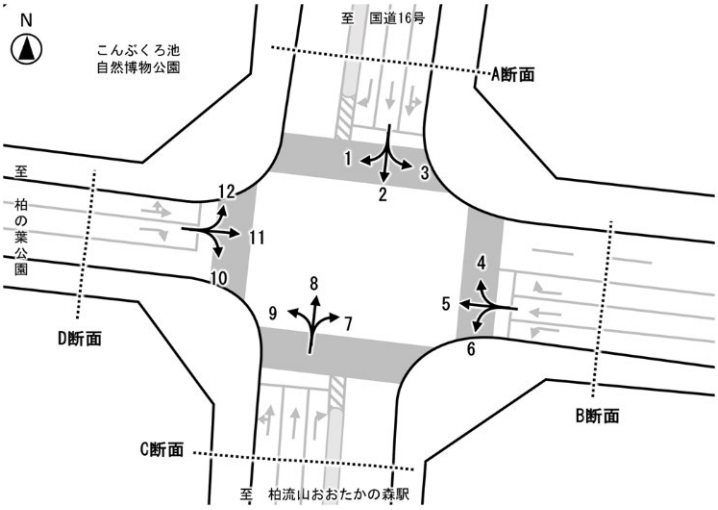


図 67　地点 7 正連寺南交差点

表 32　地点 7 交差点の方向別交通量抜粋

方向	方向1							方向2							方向3						
区分	小型車		大型車		合計	大型車混入率	時間係数	小型車		大型車		合計	大型車混入率	時間係数	小型車		大型車		合計	大型車混入率	時間係数
時間帯	乗用車	小型貨物車	バス	普通貨物車				乗用車	小型貨物車	バス	普通貨物車				乗用車	小型貨物車	バス	普通貨物車			
7:00 ～ 7:15	2	1	0	0	3	0 0	2 4	12	7	0	6	25	24 0	1 1	1	1	0	0	2	0 0	0 7
7:15 ～ 7:30	1	0	0	1	2	50.0	1.6	21	5	1	10	37	29.7	1.6	1	1	0	0	2	0.0	0.7
7:30 ～ 7:45	3	1	0	0	4	0 0	3 2	30	9	4	10	53	26 4	2 2	3	0	0	1	4	25 0	1 4
7:45 ～ 8:00	2	0	0	1	3	33 3	2 4	30	4	1	7	42	19 0	1 8	3	0	0	1	4	25 0	1 4
8:00 ～ 8:15	3	0	0	0	3	0.0	2.4	26	14	2	4	46	13.0	1.9	4	0	0	0	4	0.0	1.4
8:15 ～ 8:30	3	0	0	0	3	0.0	2.4	32	7	1	11	51	23.5	2.1	3	0	0	0	3	0.0	1.1
8:30 ～ 8:45	1	0	0	0	1	0.0	0.8	19	9	1	7	36	22.2	1.5	5	1	0	2	8	25.0	2.9
8:45 ～ 9:00	2	1	1	0	4	25 0	3 2	31	5	2	8	46	21 7	1 9	4	1	0	1	6	16 7	2 2
9:00 ～ 9:15	1	0	0	0	1	0.0	0.8	26	9	1	11	47	25.5	2.0	2	0	0	0	2	0.0	0.7
9:15 ～ 9:30	4	2	0	3	9	33 3	7 1	28	7	2	7	44	20 5	1 9	7	0	0	0	7	0 0	2 5
9:30 ～ 9:45	1	1	0	1	3	33.3	2.4	19	2	1	10	32	34.4	1.3	2	3	0	0	5	0.0	1.8
9:45 ～ 10:00	1	0	0	1	2	50 0	1 6	31	10	1	14	56	26 8	2 4	7	2	0	0	9	0 0	3 2
10:00 ～ 10:15	2	0	0	2	4	50.0	3.2	42	6	2	11	61	21.3	2.6	7	0	0	0	7	0.0	2.5
10:15 ～ 10:30	3	0	0	0	3	0 0	2 4	22	8	1	13	44	31 8	1 9	7	0	0	2	9	22 2	3 2
10:30 ～ 10:45	2	1	0	0	3	0.0	2.4	33	3	0	8	44	18.2	1.9	4	1	0	0	5	0.0	1.8
10:45 ～ 11:00	3	1	0	1	5	20.0	4.0	29	8	0	10	47	21.3	2.0	6	1	0	1	8	12.5	2.9
11:00 ～ 11:15	1	1	0	1	3	33.3	2.4	30	6	0	12	48	25.0	2.0	6	0	0	0	6	0.0	2.2
11:15 ～ 11:30	1	0	0	0	1	0.0	0.8	36	8	0	8	52	15.4	2.2	6	3	0	2	11	18.2	4.0
11:30 ～ 11:45	1	0	0	2	3	66.7	2.4	49	5	0	14	68	20.6	2.9	3	1	0	2	6	33.3	2.2
11:45 ～ 12:00	2	0	0	1	3	33.3	2.4	19	10	0	6	35	17.1	1.5	6	1	0	1	8	12.5	2.9
12:00 ～ 12:15	2	0	0	0	2	0 0	1 6	28	5	0	6	39	15 4	1 6	3	0	0	4	7	57 1	2 5
12:15 ～ 12:30	2	0	0	0	2	0.0	1.6	37	7	1	5	50	12.0	2.1	2	1	0	2	5	40.0	1.8
12:30 ～ 12:45	0	0	0	1	1	100 0	0 8	23	7	0	7	37	18 9	1 6	1	1	0	1	3	33 3	1 1
12:45 ～ 13:00	3	1	0	0	4	0 0	3 2	38	5	1	10	54	20 4	2 3	7	1	0	1	9	11 1	3 2
13:00 ～ 13:15	1	1	0	1	3	33 3	2 4	40	9	0	5	54	9 3	2 3	8	0	0	2	10	20 0	3 6
13:15 ～ 13:30	2	2	0	0	4	0.0	3.2	41	7	1	2	51	5.9	2.1	3	0	0	0	3	0.0	1.1
13:30 ～ 13:45	5	1	0	0	6	0.0	4.8	41	10	0	8	59	13.6	2.5	9	1	0	0	10	0.0	3.6
13:45 ～ 14:00	2	0	0	0	2	0 0	1 6	24	7	0	1	32	3 1	1 3	8	0	0	0	8	0 0	2 9
14:00 ～ 14:15	0	1	0	0	1	0.0	0.8	28	6	0	7	41	17.1	1.7	3	2	0	1	6	16.7	2.2
14:15 ～ 14:30	2	0	0	0	2	0.0	1.6	35	8	4	10	57	24.6	2.4	3	0	0	0	3	0.0	1.1
14:30 ～ 14:45	2	2	2	0	6	33.3	4.8	25	8	0	7	40	17.5	1.7	2	1	0	0	3	0.0	1.1
14:45 ～ 15:00	1	0	0	0	1	0 0	0 8	41	7	1	2	51	5 9	2 1	2	0	0	0	2	0 0	0 7
15:00 ～ 15:15	1	0	0	0	1	0.0	0.8	40	10	0	9	59	15.3	2.5	3	0	0	1	4	25.0	1.4
15:15 ～ 15:30	0	0	0	0	0	0 0	0 0	23	3	2	6	34	23 5	1 4	3	0	0	1	4	25 0	1 4
15:30 ～ 15:45	0	0	0	1	1	100.0	0.8	39	5	0	6	50	12.0	2.1	0	1	0	1	2	50.0	0.7
15:45 ～ 16:00	0	0	0	0	0	0.0	0.0	39	7	1	5	52	11.5	2.2	7	2	0	0	9	0.0	3.2
16:00 ～ 16:15	2	0	0	0	2	0.0	1.6	40	11	0	6	57	10.5	2.4	3	0	0	0	3	0.0	1.1
16:15 ～ 16:30	1	1	0	0	2	0.0	1.6	52	2	0	6	60	10.0	2.5	4	0	0	2	6	33.3	2.2
16:30 ～ 16:45	2	0	0	1	3	33.3	2.4	34	4	0	2	40	5.0	1.7	5	0	1	0	6	16.7	2.2
16:45 ～ 17:00	3	0	0	0	3	0.0	2.4	46	9	0	10	65	15.4	2.7	2	1	0	0	3	0.0	1.1
17:00 ～ 17:15	3	1	0	0	4	0 0	3 2	33	7	0	5	45	11 1	1 9	4	1	0	2	7	28 6	2 5
17:15 ～ 17:30	2	0	0	0	2	0.0	1.6	40	3	3	3	49	12.2	2.1	2	3	0	2	7	28.6	2.5
17:30 ～ 17:45	3	0	0	0	3	0 0	2 4	69	7	1	3	80	5 0	3 4	5	0	0	0	5	0 0	1 8
17:45 ～ 18:00	0	0	0	0	0	0.0	0.0	68	1	1	2	72	4.2	3.0	0	1	0	0	1	0.0	0.4
18:00 ～ 18:15	0	1	0	1	2	50 0	1 6	48	6	0	3	57	5 3	2 4	9	1	0	0	10	0 0	3 6
18:15 ～ 18:30	0	1	0	0	1	0.0	0.8	32	7	2	2	43	9.3	1.8	9	0	0	0	9	0.0	3.2
18:30 ～ 18:45	1	0	0	0	1	0.0	0.8	51	5	1	4	61	8.2	2.6	6	4	0	0	10	0.0	3.6
18:45 ～ 19:00	3	1	0	0	4	0 0	3 2	60	8	3	0	71	4 2	3 0	6	1	0	0	7	0 0	2 5
7時台計	8	2	0	2	12	16.7	9.5	93	25	6	33	157	24.8	6.6	8	2	0	2	12	16.7	4.3
8時台計	9	1	1	0	11	9.1	8.7	108	35	6	30	179	20.1	7.5	16	2	0	3	21	14.3	7.6
9時台計	7	3	0	5	15	33.3	11.9	104	28	5	42	179	26.3	7.5	18	5	0	0	23	0.0	8.3
10時台計	10	2	0	3	15	20 0	11 9	126	25	3	42	196	23 0	8 3	24	2	0	3	29	10 3	10 4
11時台計	5	1	0	4	10	40.0	7.9	134	29	0	40	203	19.7	8.6	21	5	0	5	31	16.1	11.2
12時台計	7	1	0	1	9	11 1	7 1	126	24	2	28	180	16 7	7 6	13	3	0	8	24	33 3	8 6
13時台計	10	4	0	1	15	6.7	11.9	146	33	1	16	196	8.7	8.3	28	1	0	2	31	6.5	11.2
14時台計	5	3	2	0	10	20 0	7 9	129	29	5	26	189	16 4	8 0	10	3	0	1	14	7 1	5 0
15時台計	1	0	0	1	2	50.0	1.6	141	25	3	26	195	14.9	8.2	13	3	0	3	19	15.8	6.8
16時台計	8	1	0	1	10	10.0	7.9	172	26	0	24	222	10.8	9.4	14	1	1	2	18	16.7	6.5
17時台計	8	1	0	0	9	0.0	7.1	210	18	5	13	246	7.3	10.4	11	5	0	4	20	20.0	7.2
18時台計	4	3	0	1	8	12.5	6.3	191	26	6	9	232	6.5	9.8	30	6	0	0	36	0.0	12.9
12時間計	82	22	3	19	126	17 5	100 0	1 680	323	42	329	2 374	15 6	100 0	206	38	1	33	278	12 2	100 0
車種構成比	65.1	17.5	2.4	15.1	100.0	－	－	70.8	13.6	1.8	13.9	100.0	－	－	74.1	13.7	0.4	11.9	100.0	－	－

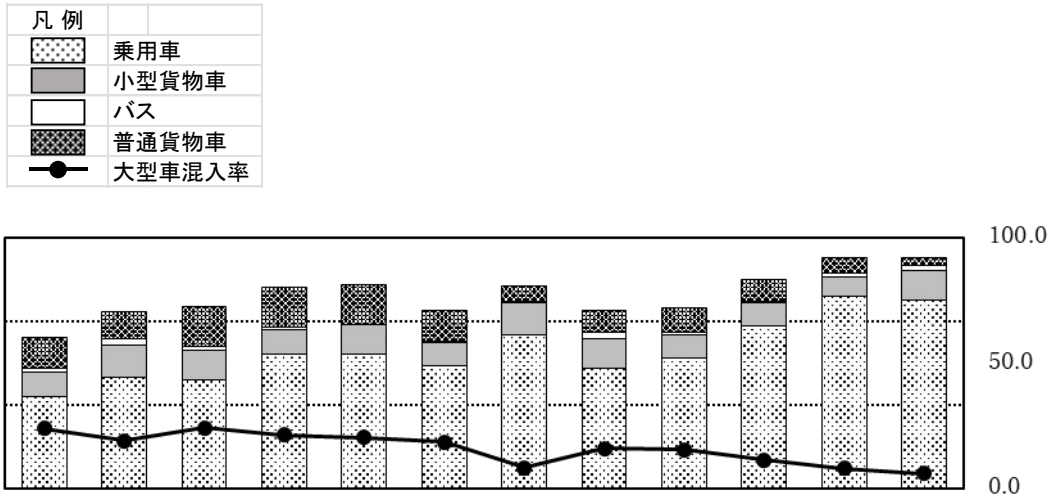


図 68　A 断面流入(方向 1+2+3)

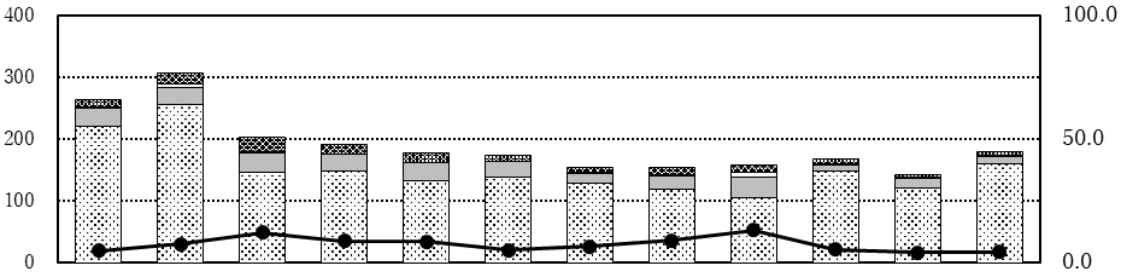


図 69　B 断面流入(方向 4+5+6)

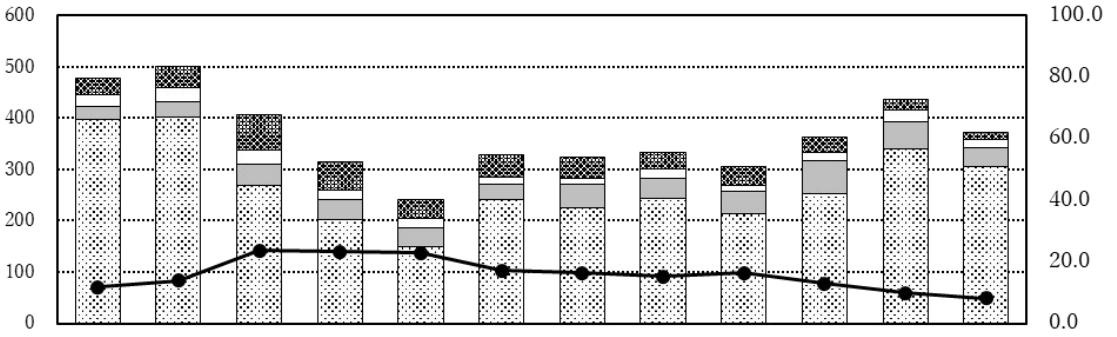


図 70　C 断面流入(方向 7+8+9)

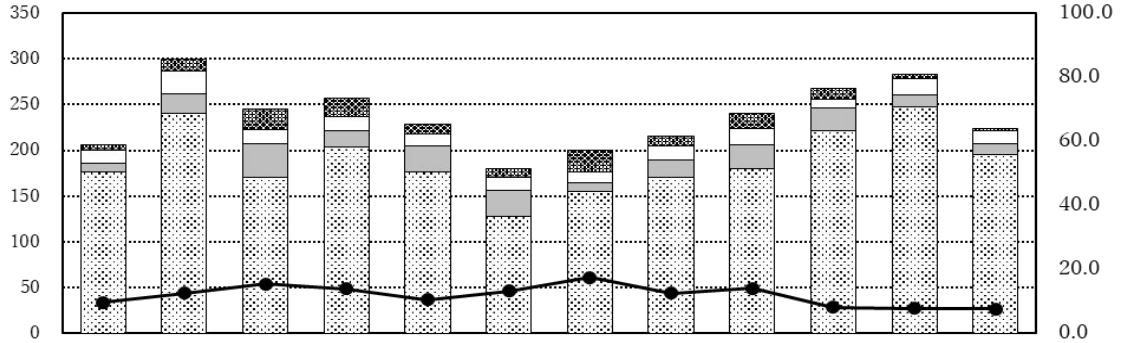


図 71　D 断面流入(方向 10+11+12)

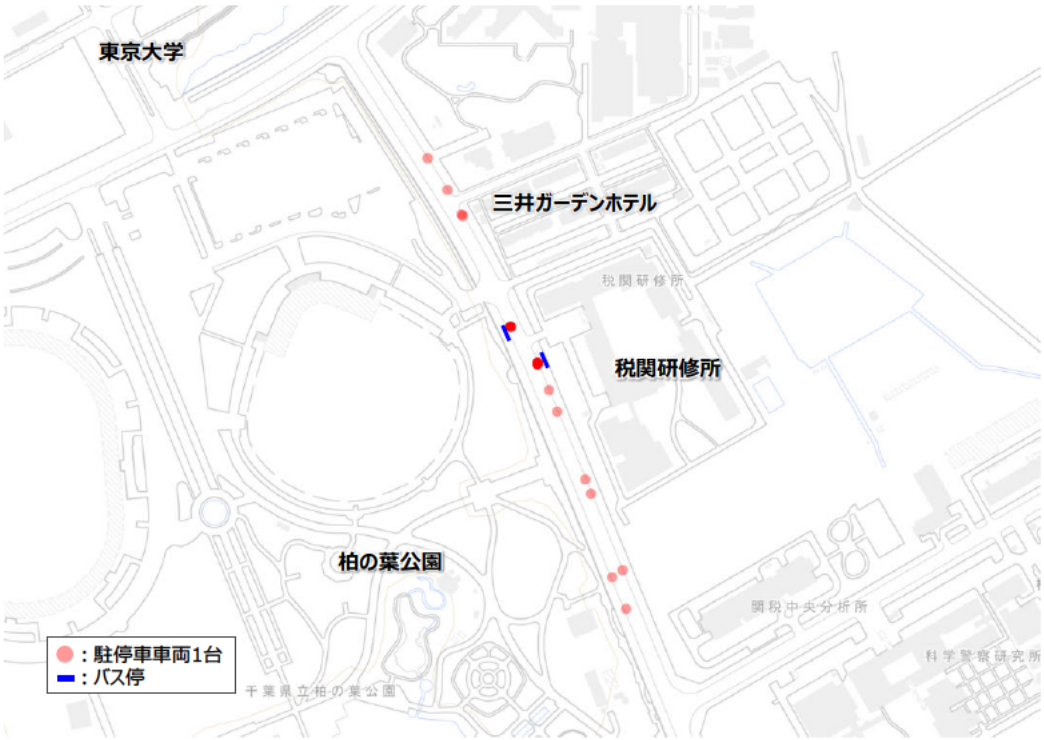


図 72　朝・昼ピークにおける駐停車車両位置図（区間 A）

図 73　朝・昼ピークに置ける駐停車車両位置図（区間 B）

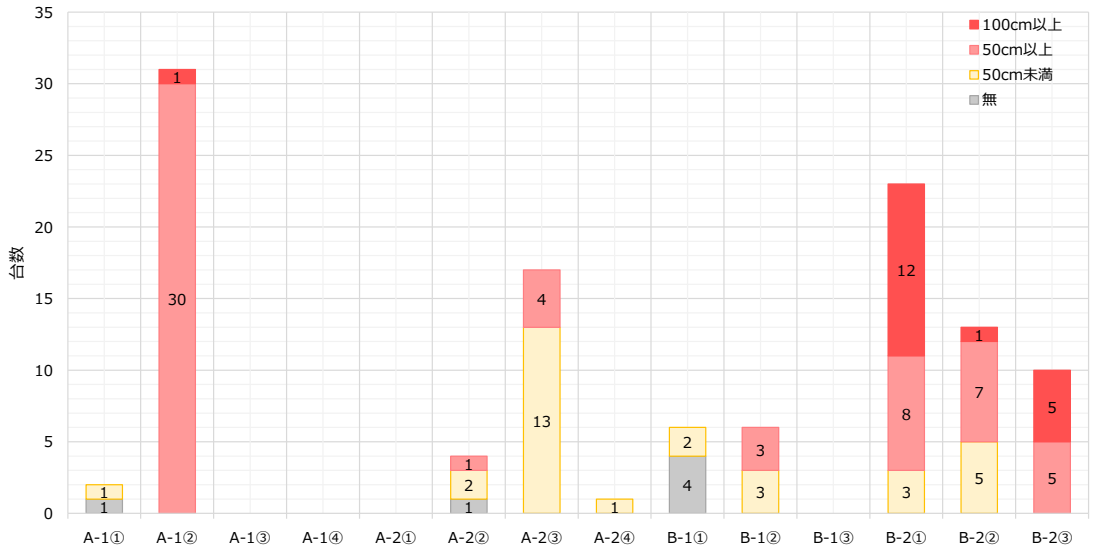


図 74　調査対象区間別・はみ出し幅員別・駐停車台数

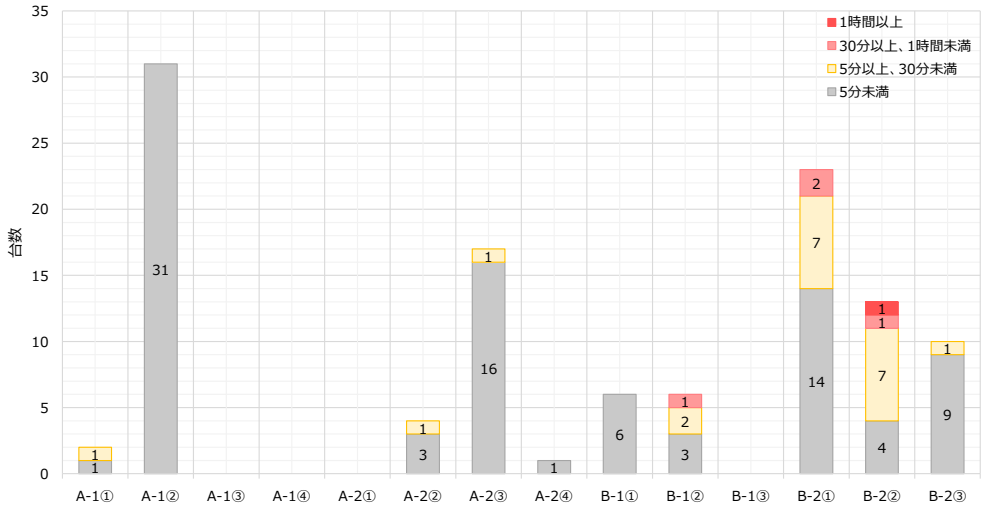


図 75　調査対象区間別・駐停車時間別・駐停車台数

(2) 交通流シミュレータ用データ収集

(2)-1　収集対象

(1)で述べた現地調査のほかにも、収集可能なデータについての調査や関係者へのヒアリング等を行い、信号制御履歴データ、インフラセンサーシステムが取得したセンサーデータ、バス挙動データ、プローブデータから算出した車両旅行速度等データを収集した。以下、それぞれのデータの概要について述べる。

① 信号制御履歴データ

信号制御履歴データは、千葉県警察の協力を得て入手した。以下にデータ項目を示す。各デー

タについて、現地調査日である 2022 年 10 月 18 日（火）の 7:00～19:00、および 2022 年 10 月 23 日（日）の 7:00～19:00 の時間帯のデータを入手した。

- 信号階梯図データ・・・流動図および各ステップにおける各信号の制御について記載されたもの。（図 76）
- 制御履歴データ・・・各ステップの秒数を制御の切り替え時刻と共に収録したもの。（表 33）

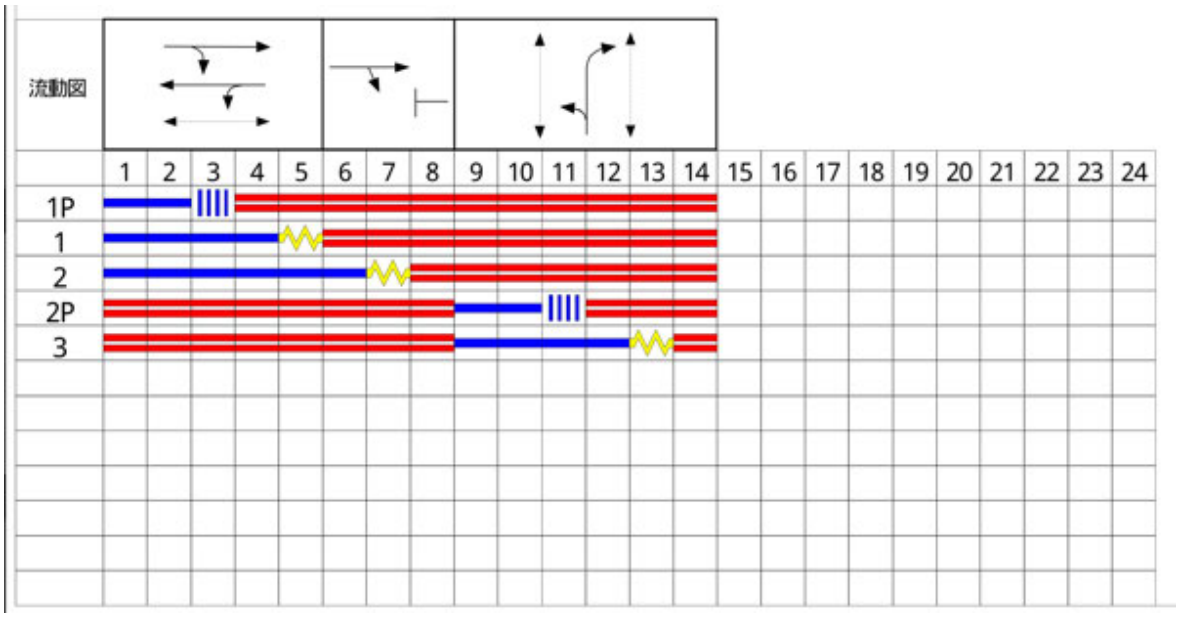


図 76　信号階梯図データ

表 33　制御履歴（スプリット値）データ

提供日付	2022年9月9日(金)		交差点番号	109235				交差点名称	国立がんセンター東病院脇							
ｻｲｸﾙ開始時刻	ｽﾃｰﾀｽ	ｻｲｸﾙ長	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12:01:08	標準	101	13	24	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:02:49	標準	101	13	31	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:04:30	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:06:10	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:07:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:09:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:11:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:12:50	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:14:30	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:16:10	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:17:50	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:19:30	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:21:10	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:22:50	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:24:30	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:26:10	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:27:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:29:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:31:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:32:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:34:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:36:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:37:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:39:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:41:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:42:50	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:44:30	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:46:10	標準	100	13	30	5	2	3	6	3	3	11	13	4	2	3	2
12:47:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:49:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:51:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:52:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:54:30	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:56:10	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2
12:57:50	標準	100	13	23	5	2	3	6	3	3	11	20	4	2	3	2

② インフラセンサーシステムデータ

実証実験エリアにおいては、自動運転バス運行区間上にインフラセンサーシステムが導入されている。そこで、各インフラセンサーシステムを管理している株式会社 IHI、コイト電工株式会社、日本信号株式会社にヒアリングを行い、一部の側道飛び出し検知センサーデータ、駐停車検出センサーデータ、右折支援センサーデータの提供を受けた。

表 34 に側道飛び出し検知センサーデータ、駐停車検出センサーデータの取得日と総レコード数を示す。表 35 に各データのデータ送信ポイント情報、表 36 に各データの検知ターゲット情報の例を示す。

表 34　側道飛び出しセンサーデータ、駐停車検出センサーデーター覧

No.	データ名	取得日	総レコード数
1	データ送信ポイント情報_20221018_側道飛び出し検知.csv	2022/10/18	463207
2	データ送信ポイント情報_20221018_駐停車検出.csv	2022/10/18	371946
3	検知ターゲット情報_20221018_側道飛び出し検知.csv	2022/10/18	149384
4	検知ターゲット情報_20221018_駐停車検出.csv	2022/10/18	327794
5	データ送信ポイント情報_20221023_側道飛び出し検知.csv	2022/10/23	455585
6	データ送信ポイント情報_20221023_駐停車検出.csv	2022/10/23	115837
7	検知ターゲット情報_20221023_側道飛び出し検知.csv	2022/10/23	93268
8	検知ターゲット情報_20221023_駐停車検出.csv	2022/10/23	73734

表 35　データ送信ポイント情報

データ送信ポイント情報_側道飛び出し検知

センサーの位置　検知総数

	intersection_id	route_id	system_state	generate_info_time	vehicle_walker_detect_info	base_point_coordinate_x	base_point_coordinate_y	detect_total
11:16.0	101	0	0	666432270.4	1	35.897924	139.945914	3
11:16.2	101	0	0	666432270.5	1	35.897924	139.945914	3
11:16.4	101	0	0	666432270.6	1	35.897924	139.945914	3
11:16.6	101	0	0	666432270.6	1	35.897924	139.945914	3
11:16.8	101	0	0	666432270.7	1	35.897924	139.945914	3
11:17.0	101	0	0	666432270.8	1	35.897924	139.945914	3
11:17.2	101	0	0	666432270.9	1	35.897924	139.945914	3
11:17.4	101	0	0	666432271	1	35.897924	139.945914	3

データ送信ポイント情報_駐停車検出

センサーの位置　検知総数

	intersection_id	route_id	system_state	generate_info_time	vehicle_walker_detect_info	base_point_coordinate_x	base_point_coordinate_y	detect_total
00:01.2	102	0	0	666407520.5	1	35.896602	139.949602	1
00:01.9	102	0	0	666407520.8	1	35.896602	139.949602	1
00:02.0	102	0	0	666407520.8	1	35.896602	139.949602	1
00:02.1	102	0	0	666407520.9	1	35.896602	139.949602	1
00:02.2	102	0	0	666407520.9	1	35.896602	139.949602	1
00:02.3	102	0	0	666407520.9	1	35.896602	139.949602	1
00:02.4	102	0	0	666407521	1	35.896602	139.949602	1

表 36　検知ターゲット情報

検知ターゲット情報_側道飛び出し検知

時刻　車両の速度　車両の位置

	intersection_id	route_id	generate_info_time	object_type	object_id	speed	point_coordinate_x	point_coordinate_y	distance_from_intersection
2022/10/18 0:01:54.676	101	0	1666018915	0	119	12.6	-13.5	64.9	54.9
2022/10/18 0:01:54.832	101	0	1666018915	0	119	12.2	-13.1	63.6	53.6
2022/10/18 0:01:55.114	101	0	1666018915	0	119	11.9	-12.8	62.8	52.8
2022/10/18 0:01:56.145	101	0	1666018916	0	119	11.9	-12.7	62.1	52.1
2022/10/18 0:01:58.301	101	0	1666018918	0	119	12.3	-12.1	57.6	47.6
2022/10/18 0:01:58.614	101	0	1666018919	0	119	12.5	-11.1	52.6	42.6
2022/10/18 0:02:00.052	101	0	1666018920	0	119	12.5	-10.2	48.3	38.3
2022/10/18 0:02:00.645	101	0	1666018921	0	119	12.4	-9.4	45	35
2022/10/18 0:02:01.208	101	0	1666018921	0	119	12.2	-8.7	41.6	31.6

検知ターゲット情報_駐停車検出

時刻　車両の位置　車両サイズ

	intersection_id	route_id	generate_info_time	object_type	object_id	speed	point_coordinate_x	point_coordinate_y	distance_from_intersection	width	length
2022/10/18 0:00:02.349	102	0	1666018802349	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:02.404	102	0	1666018802404	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:02.556	102	0	1666018802556	0	66	0	-1.4	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:02.610	102	0	1666018802610	0	66	0	-1.3	24.9	160.9	3	3
2022/10/18 0:00:02.761	102	0	1666018802761	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:02.865	102	0	1666018802865	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:02.967	102	0	1666018802967	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:03.022	102	0	1666018803022	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:03.173	102	0	1666018803173	0	66	0	-1.3	25	161	3	3
2022/10/18 0:00:03.228	102	0	1666018803228	0	66	0	-1.3	25	161	3	3

側道飛び出し検知データを可視化すると図 77 に示す通りとなった。一方、駐停車検出データを可視化すると図 78 に示す通りとなった。

図 77　側道飛び出し検知データの可視化例

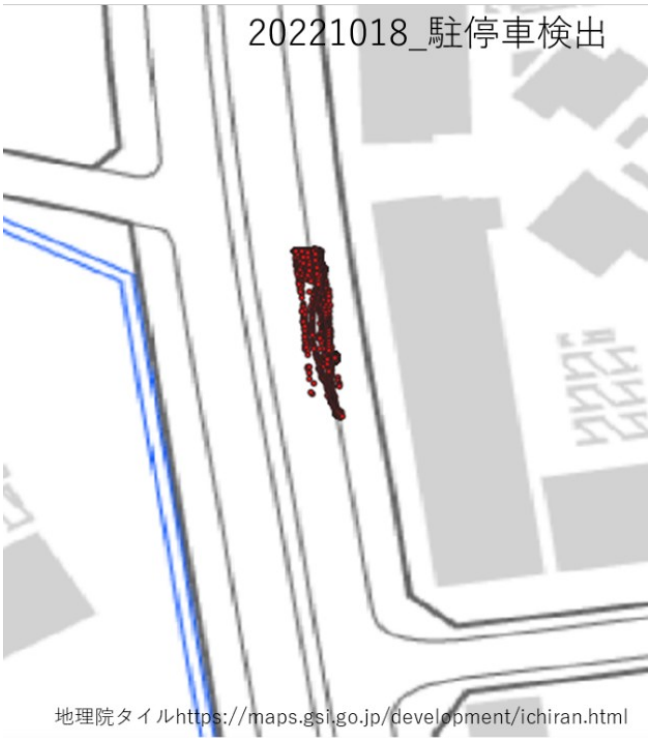
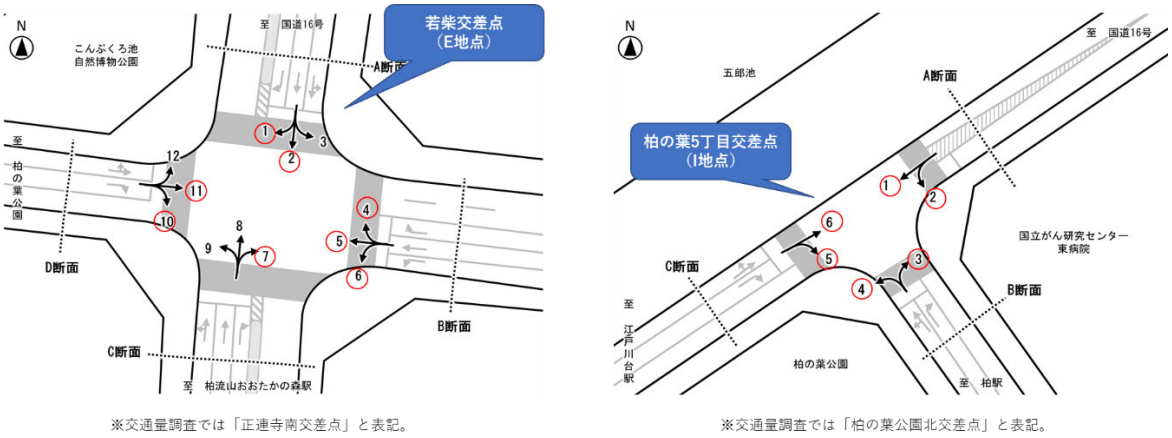


図 78　駐停車検出データの可視化例

右折支援センサーデータについては、図 79 に示す 2 交差点における方向別交通量データの提供を受けた。

図 79　右折支援システムセンサー情報の入手対象（I 地点、E 地点）

なお、右折支援センサーデータの提供を受けた対象交差点は、現地における交差点交通量調査も実施している箇所である。交差点交通量調査の計測箇所との対応（図中赤丸が右折支援センサーデータの計測方向）を図 80 に示す。



※交通量調査では「正連寺南交差点」と表記。

※交通量調査では「柏の葉公園北交差点」と表記。

図 80　交差点交通量調査計測箇所との対応

両者の傾向を把握するため、交差点交通量調査計測値との比較を行った。図 81、図 82 に交通量比較結果を示す。一部の計測方向、時間帯で乖離を生じており、仮に調査員による交差点交通量調査結果を正とすると、小型車の交通量については 4.7 台/15 分、大型車については 1 台/15 分

程度の誤差であった。なお、右折支援システムセンサーでは、自動二輪車もカウントの対象としているなど、計測車種の定義が同条件ではないことに留意が必要である。

また、右折支援システムセンサーにおいては、今後交通量カウント手法の改善による精度向上が期待できるほか、LiDAR と真値で相関があることが確認されていることから、シミュレータで交通状況の傾向を把握することは可能であると考えられる。

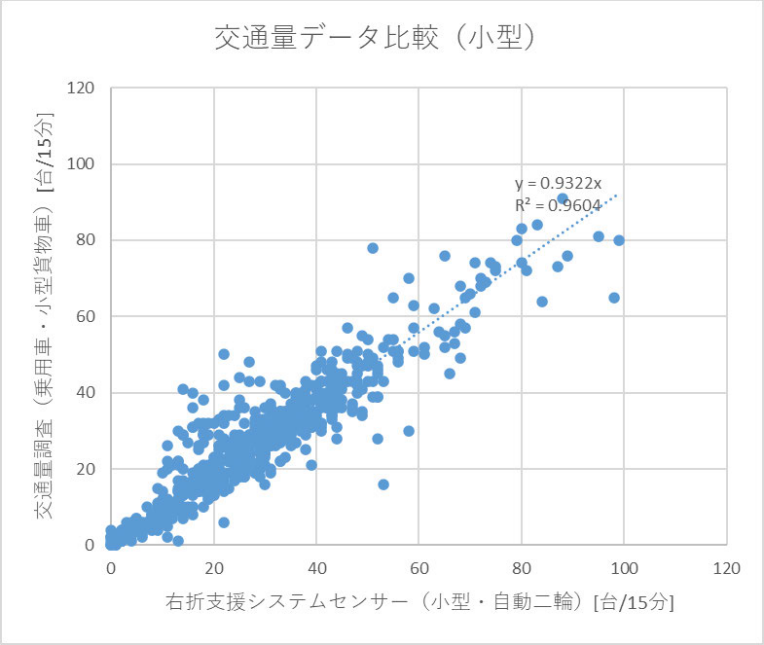


図 81　交通量比較（小型車）

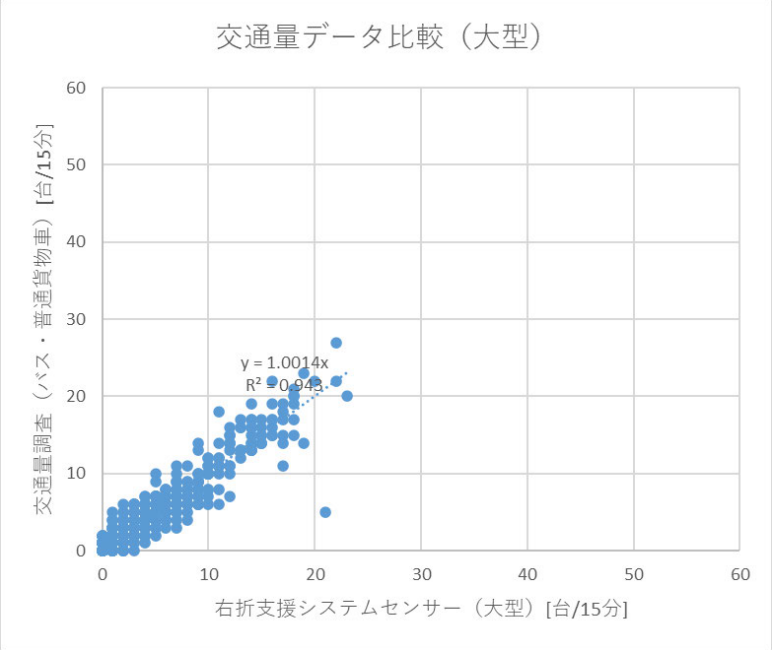


図 82　交通量比較（大型車）

③ バス運行データとバス挙動データ

評価対象ネットワーク範囲内を走行するバスについて情報収集を行った。バス運行データは既存の Web サービスやバス運行会社が公表している路線図などから収集した。柏の葉キャンパス駅 - 東京大学柏キャンパス間のシャトルバス及び東武バスの運行情報を整理した結果の一部を抜粋したものを表 37 に示す。

表 37　バス時刻表と路線の整理

バス停名称	1便目	2便目	3便目	4便目	5便目	6便目	7便目	8便目	9便目	10便目	11便目
柏の葉キャンパス駅西口	6:24	7:32	8:30	11:23	13:20	15:01	16:55	18:13	19:05	21:05	22:13
柏の葉六丁目	6:25	7:33	8:31	11:24	13:21	15:02	16:56	18:14	19:06	21:06	22:14
一号近隣公園	6:26	7:34	8:32	11:25	13:22	15:03	16:57	18:15	19:07	21:07	22:15
税関研修所	6:27	7:35	8:33	11:26	13:23	15:04	16:58	18:16	19:08	21:08	22:16
国立がん研究センター	6:30	7:38	8:36	11:29	13:26	15:07	17:01	18:19	19:11	21:11	22:19
柏の葉公園北	6:31	7:39	8:37	11:30	13:27	15:08	17:02	18:20	19:12	21:12	22:20
東大前	6:32	7:40	8:38	11:31	13:28	15:09	17:03	18:21	19:13	21:13	22:21
東大西	6:32	7:40	8:38	11:31	13:28	15:09	17:03	18:21	19:13	21:13	22:21
県民プラザ	6:33	7:41	8:39	11:32	13:29	15:10	17:04	18:22	19:14	21:14	22:22
柏の葉公園西	6:34	7:42	8:40	11:33	13:30	15:11	17:05	18:23	19:15	21:15	22:23
柏の葉公園住宅前	6:35	7:43	8:41	11:34	13:31	15:12	17:06	18:24	19:16	21:16	22:24
三井住宅前	6:36	7:44	8:42	11:35	13:32	15:13	17:07	18:25	19:17	21:17	22:25
柏の葉高校前	6:37	7:45	8:43	11:36	13:33	15:14	17:08	18:26	19:18	21:18	22:26
十余二	6:38	7:46	8:44	11:37	13:34	15:15	17:09	18:27	19:19	21:19	22:27
柏特別支援学校入口	6:40	7:48	8:46	11:39	13:36	15:17	17:11	18:29	19:21	21:21	22:29
高田原交番	6:40	7:48	8:46	11:39	13:36	15:17	17:11	18:29	19:21	21:21	22:29
駒木	6:41	7:49	8:47	11:40	13:37	15:18	17:12	18:30	19:22	21:22	22:30
十太夫	6:42	7:50	8:48	11:41	13:38	15:19	17:13	18:31	19:23	21:23	22:31
小山小学校前	6:43	7:51	8:49	11:42	13:39	15:20	17:14	18:32	19:24	21:24	22:32
流山おおたかの森駅東口											

バス停名称	1便目	2便目	3便目	4便目	5便目	6便目	7便目	8便目	9便目	10便目	11便目
流山おおたかの森駅東口	6:59	8:13	9:06	12:00	14:00	15:36	17:37	18:55	19:45	21:42	22:44
小山小学校前	7:00	8:14	9:07	12:01	14:01	15:37	17:38	18:56	19:46	21:43	22:45
十太夫	7:01	8:15	9:08	12:02	14:02	15:38	17:39	18:57	19:47	21:44	22:46
駒木	7:04	8:18	9:11	12:05	14:05	15:41	17:42	19:00	19:50	21:47	22:49
高田原交番	7:05	8:19	9:12	12:06	14:06	15:42	17:43	19:01	19:51	21:48	22:50
柏特別支援学校入口	7:06	8:20	9:13	12:07	14:07	15:43	17:44	19:02	19:52	21:49	22:51
十余二	7:08	8:22	9:15	12:09	14:09	15:45	17:46	19:04	19:54	21:51	22:53
柏の葉高校前	7:09	8:23	9:16	12:10	14:10	15:46	17:47	19:05	19:55	21:52	22:54
三井住宅前	7:10	8:24	9:17	12:11	14:11	15:47	17:48	19:06	19:56	21:53	22:55
柏の葉公園住宅前	7:11	8:25	9:18	12:12	14:12	15:48	17:49	19:07	19:57	21:54	22:56
柏の葉公園西	7:12	8:26	9:19	12:13	14:13	15:49	17:50	19:08	19:58	21:55	22:57
県民プラザ	7:13	8:27	9:20	12:14	14:14	15:50	17:51	19:09	19:59	21:56	22:58
東大西	7:14	8:28	9:21	12:15	14:15	15:51	17:52	19:10	20:00	21:57	22:59
東大前	7:15	8:29	9:22	12:16	14:16	15:52	17:53	19:11	20:01	21:58	23:00
柏の葉公園北	7:16	8:30	9:23	12:17	14:17	15:53	17:54	19:12	20:02	21:59	23:01
国立がん研究センター	7:19	8:33	9:26	12:20	14:20	15:56	17:57	19:15	20:05	22:02	23:04
税関研修所	7:20	8:34	9:27	12:21	14:21	15:57	17:58	19:16	20:06	22:03	23:05
一号近隣公園	7:21	8:35	9:28	12:22	14:22	15:58	17:59	19:17	20:07	22:04	23:06
柏の葉六丁目	7:22	8:36	9:29	12:23	14:23	15:59	18:00	19:18	20:08	22:05	23:07
柏の葉キャンパス駅西口											

交通シミュレーションによる定量的な評価にあたり、バスの走行挙動をモデル化する必要がある。走行挙動の精緻化を行うために、交差点の右左折行動において速度、加速度の変化を分析しシミュレーションのパラメータ設定に活用する。データの取得にはスマートフォン端末を使用し、GPS ロガー、加速度計のデータ記録アプリケーションを使用した。現地でバスに乗り、計測した座標データを地図上に可視化した結果を図 83 に、速度データの時間推移を図 84 に示す。

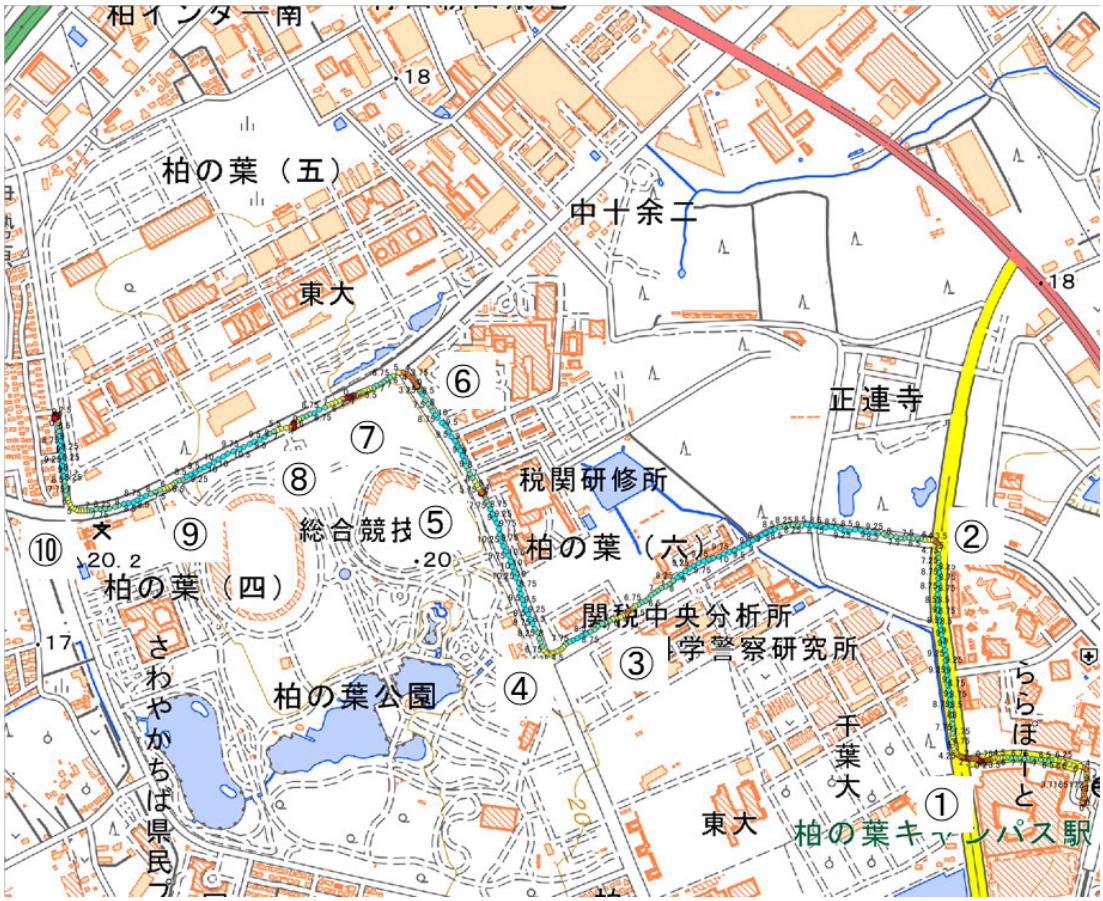


図 83　バス走行挙動調査時の GPS 座標データ

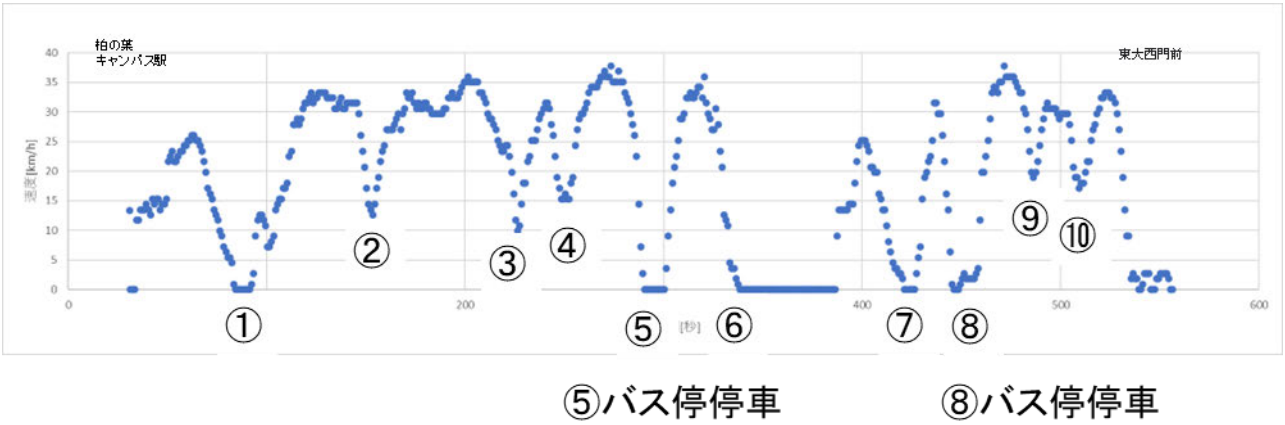


図 84　バス走行挙動調査時の速度推移

④ プローブデータから算出した車両旅行速度等データ

国土交通省関東地方整備局の協力を得て、柏 ITS 推進協議会道路情報利活用部会が ETC2.0 プローブデータ（走行履歴情報）を分析することで算出している、車両旅行速度等データを入手した。

(3) 交通流シミュレータの構築

(3)-1　現況再現ケース作成

① 作成手順

現況再現ケースにおいては、2021 年度にプロトタイプ（道路ネットワークモデル等の整備）を作成しており、その成果を基に 2022 年度収集したデータを活用して現況再現ケースを作成した。図 85 に作成手順を示す。

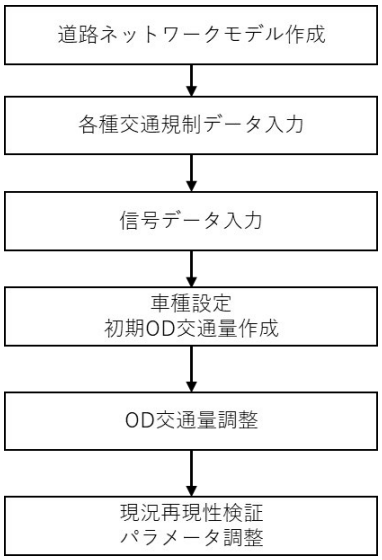


図 85　現況再現ケース作成手順

「道路ネットワークモデル作成」においては、2021 年度に作成したネットワークモデルに実証実験コースの候補路線が一部存在していなかったため、地図データベースから追加した。

「各種交通規制データ入力」においては、現在使用されていない道路などについて規制設定を行い、走行可能路線を実際に利用されている道路に限定した。「信号データ入力」においては、2022 年度に入手した信号制御履歴情報を入力し、時間帯に応じた実際の制御をシミュレーション上でも再現できるようにデータ入力した。

「車種設定・初期 OD 交通量作成」においては、2022 年度に調査した交差点交通量データ（時間帯別、車種別、方向別）を基に、シミュレーション対象エリア内の道路ネットワーク端点からの流入台数を、各交差点の方向別交通量を基に作成した方向別比率で配分し、各ネットワーク端点までのトリップ数を求め、初期 OD 交通量とした。ただし、この手法で作成した OD 交通量は必ずしも観測値通りの交通量で状況再現できる保証はないため、「OD 交通量調整」にて各調査した交差点の各流入断面の交通量に合うように OD 交通量を調整した。その後、「現況再現性検証・パラメータ調整」の工程において、シミュレーション値と観測値を比較して再現性を検証し、乖離が生じている部分については各種パラメータの調整を行った。

② 現況再現性の検証

②-1 通過交通量

交差点調査を行った交差点の時間帯別流入交通量（15 分集計値）とシミュレーション結果を比較した。図 86 に比較結果を示す。全体的には概ね再現状況は良好だが、駅周辺での湧き出し、染み込みを考慮していないため、一部の断面においては乖離がみられることがわかった。

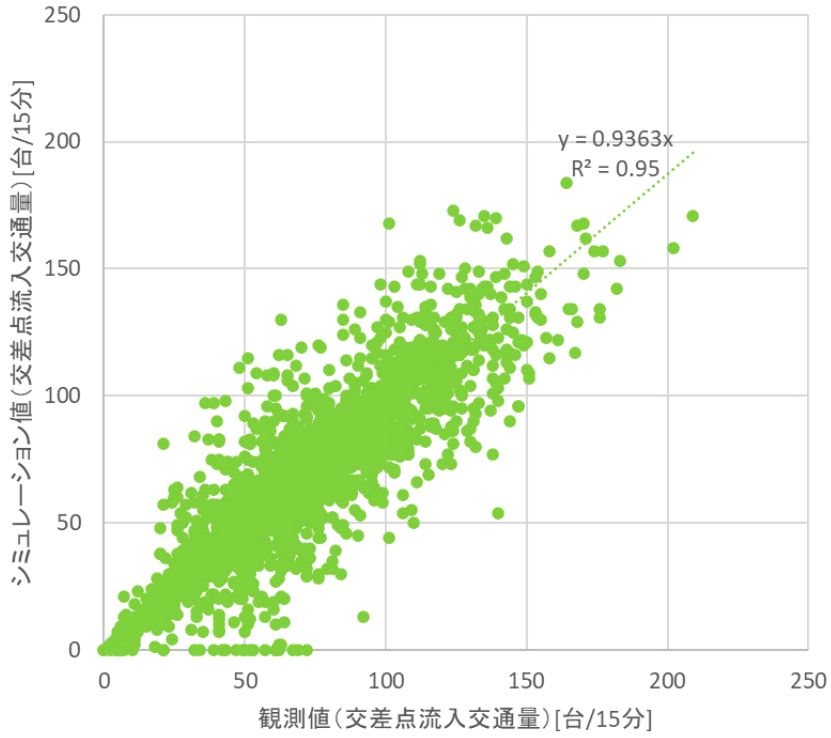


図 86　現況再現ケース通過交通量の再現性検証結果

また、ある区間においては、シミュレーション結果で交通量がゼロとなる時間帯があり（朝、夕においては交通量が確認された）、これは経路選択モデルや OD 交通量の設定に起因するものと考えられる。今後は、湧き出し、染み込みが多いと考えられる区間を中心に、湧き出し、染み込み需要の設定と OD 交通量の再調整、経路選択モデルのパラメータ調整等による再現性向上を図ることが課題となる。

②-2 区間旅行時間・速度

対象ネットワーク内の主要区間の区間旅行時間・速度について、実測値とシミュレーション結果を比較した。比較に際しては、柏 ITS 推進協議会がプローブデータより分析した区間旅行時間・速度を参照し、比較対象の実測値とした。実測値とシミュレーション結果を比較した区間を図 87 に示す。シミュレーション対象エリア内における駅周辺や自動運転バスの実証実験区間となっている主要路線を中心に検証を行った。

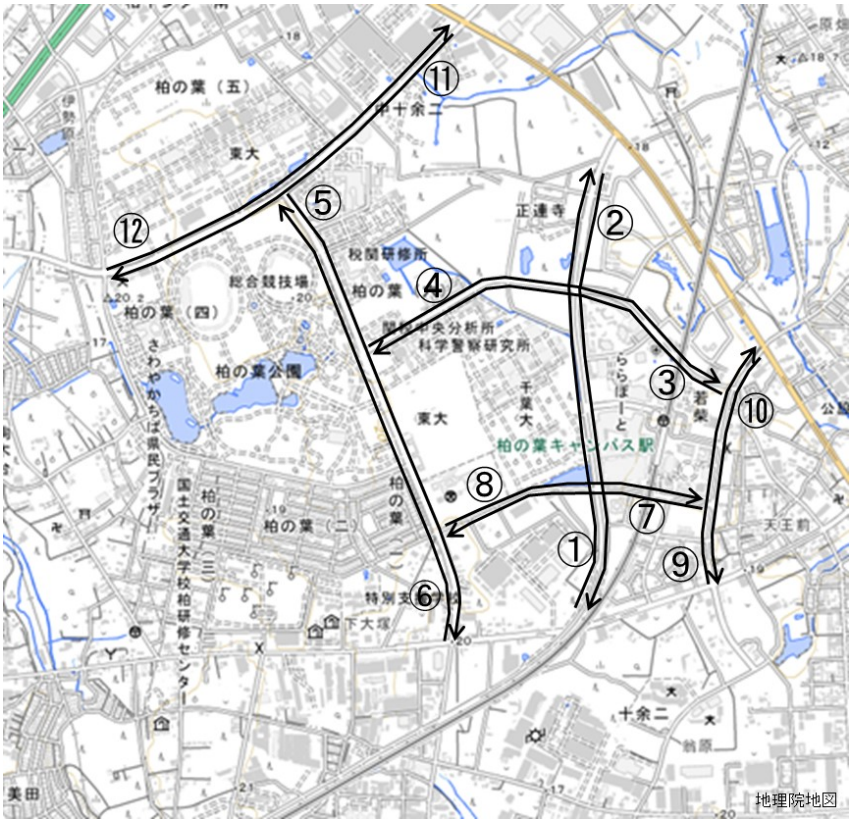


図 87　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証区間

各区間の比較結果を図 88～図 97 に示す。概ね傾向が一致している区間と乖離を生じている区間の双方が見られる。交通量の現況再現性も確認しつつ、収集したセンサーデータや今後収集するデータ等から車両挙動パラメータの調整などを行うことで、区間旅行時間・速度の精度向上を図ることが今後の課題である。

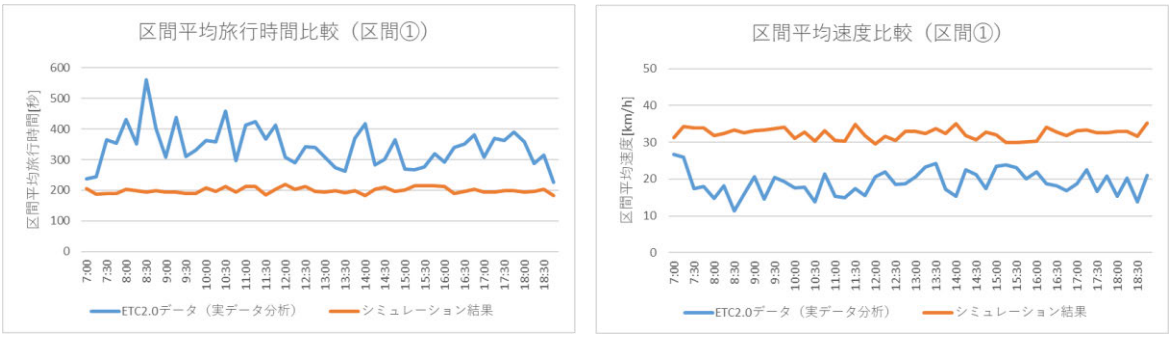


図 88　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間①）

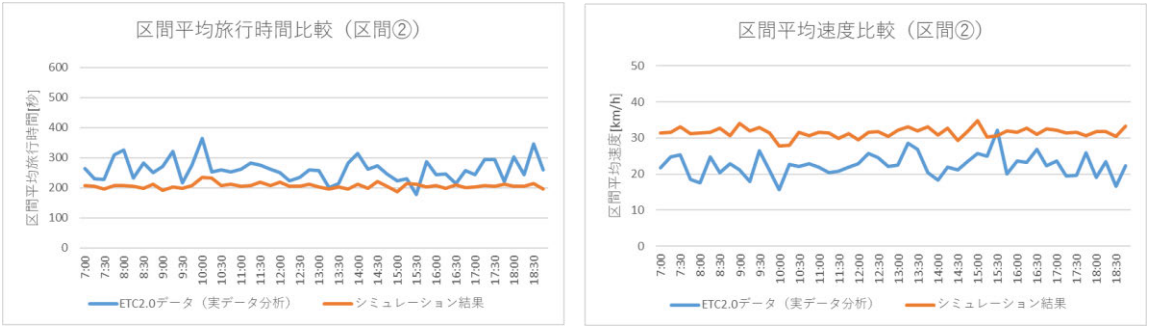


図 89　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間②）

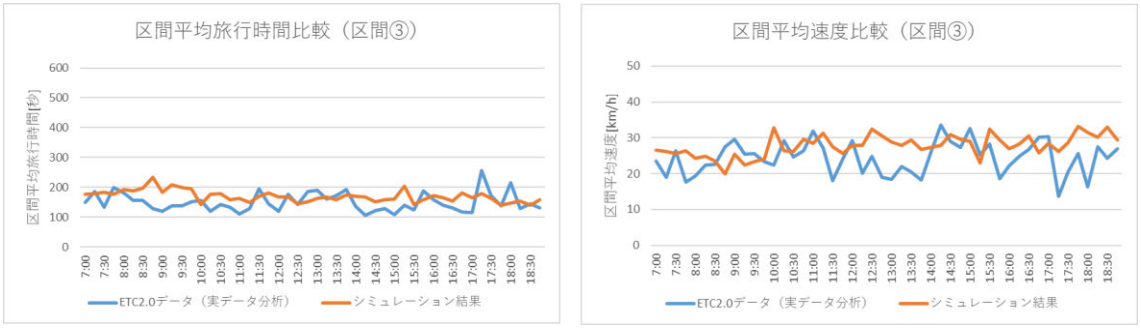


図 90　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間③）

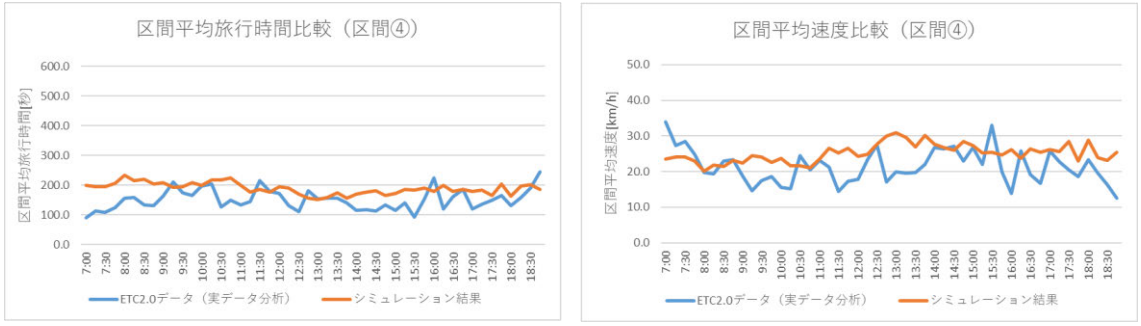


図 91　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間④）

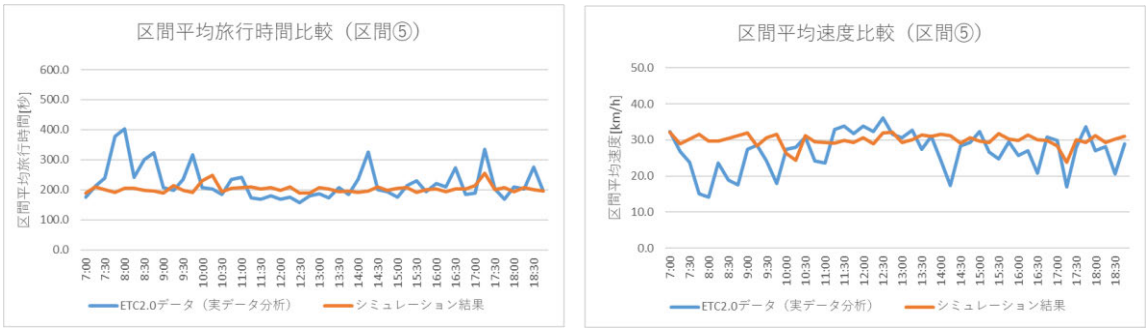


図 92　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑤）

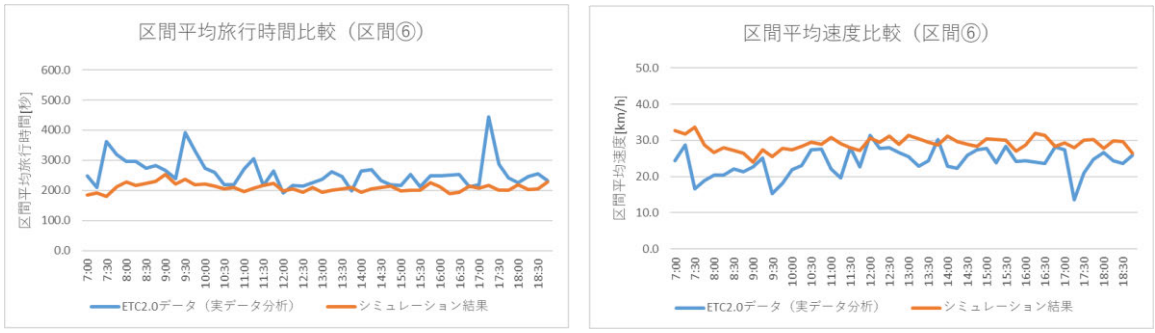


図 93　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑥）

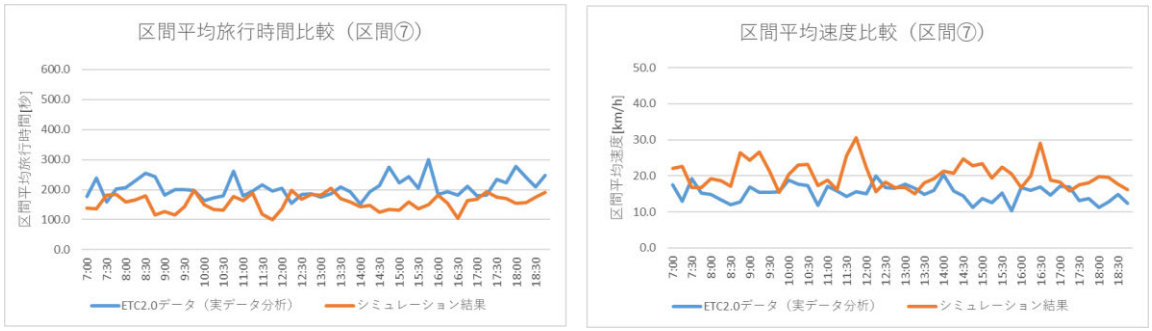


図 94　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑦）

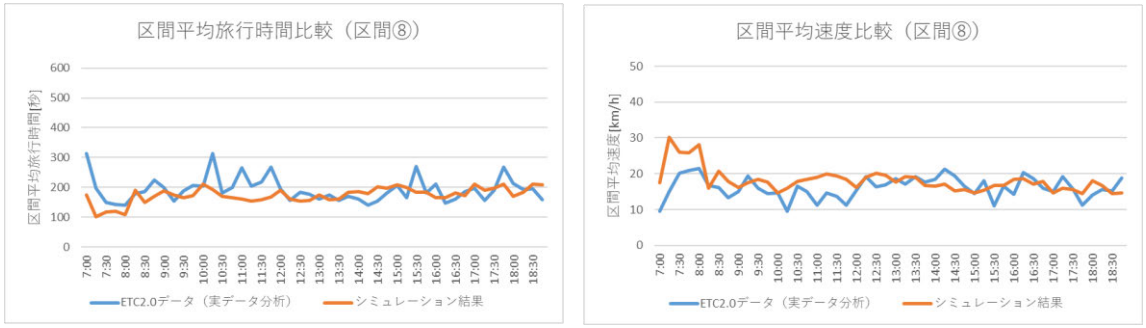
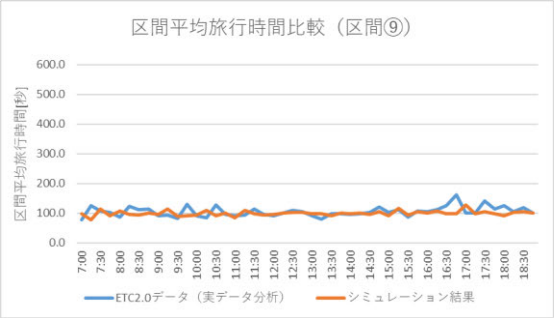


図 95　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑧）



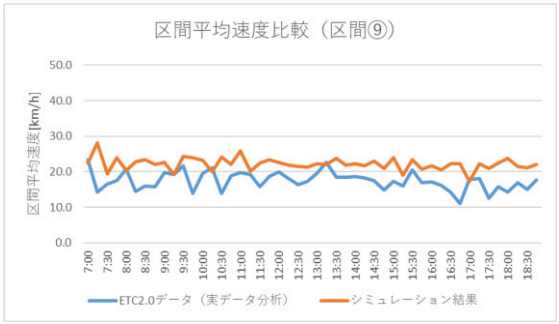
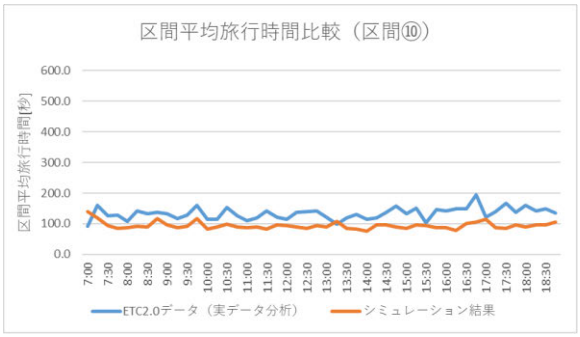


図 96　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑨）



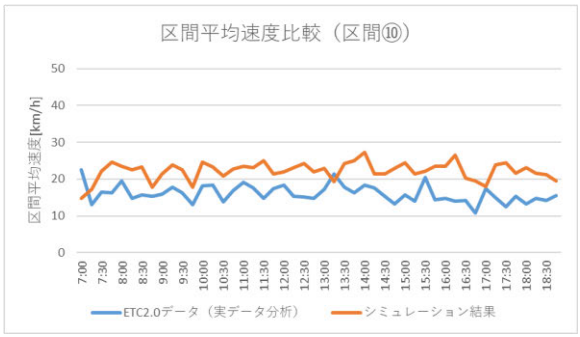


図 97　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑩）

(3)-2　評価シナリオの検討と評価に必要な機能の実装

① 評価シナリオの検討

2021 年度に検討・整理したシナリオケースの中から評価ケースを選定してその施策実施の効果を評価する。2021 年度に検討・整理したシナリオケースを表 38 に示す。2022 年度は道路空間の利便性向上シナリオの構築の観点から、インフラ側施策における③～⑧の項目の中から選定することとした。

表 38　施策評価ケース一覧

施策	評価ケース
インフラ側施策	①横断防止策等による乱横断防止
	②バルブアウト設置横断歩道の設置による横断箇所の誘導
	③走行帯内での回避可能性向上：道路幅員配分変更（停車帯整備：路側拡幅＋ゼブラ縮小）
	④走行帯内での回避可能性向上：道路幅員配分変更（路上駐車場設置）
	⑤走行帯内での回避可能性向上：道路幅員配分変更（停車帯（バスベイ：切り込み）設置）
	⑥駐停車抑制：道路幅員配分変更（物理的路側縮小・車道と自転車レーン間ラバーポール設置）
	⑦駐停車抑制：車道・歩道間の横断防止柵設置
	⑧駐停車抑制：自動運転バス走行路のマーキング
	⑨交差点：歩車分離現示の導入（右左折時の速度向上？）
	⑩交差点：右直分離現示（右直事故防止？）
	⑪交差点：右折レーンの延伸（後続直進車への影響縮小）
	⑫交差点：停止線の後退（左折時の手動介入抑制）
自律型自動運転	①路上駐停車回避（走行帯内）
	②路上駐停車回避（車線変更）
	③路上駐停車回避（手動介入）
	④信号灯色検知・危険箇所検知による予備加減速
	⑤信号交差点での直進
	⑥信号交差点での右折（右折レーン進入含む）
	⑦信号交差点での左折
	⑧無信号交差点での直進
	⑨無信号交差点での右折（右折レーン進入含む）
	⑩無信号交差点での左折
	⑪横断歩道での歩行者等の検知、衝突回避
	⑫横断歩道以外での歩行者等の検知、衝突回避
	⑬路上工事回避
	⑭路上工事回避（手動介入）
	⑮片側1車単路部での衝突回避（駐停車回避：中央線またぎ車両の回避）
協調型自動運転	①信号情報による走行支援（V2I）
	②信号情報による走行支援（V2N）
	③交差点の情報による走行支援
	④異常車両（駐停車車両）の通知による走行支援
	⑤ハザード情報による走行支援
	⑥移動サービスカーの操作・管理

2022 年度の実施評価ケースとしては、③について路上駐停車用のスペースを確保することによる自動運転バス、周辺交通流への影響を評価することとした。実施評価ケースには表 39 に示す 3 ケースを想定して、シミュレーションによる施策評価を行う事とした。

表 39　実施ケース設定一覧

	ケース設定のシナリオ	パラメータ設定等
ケース1	•自動運転バスが走行している状況。 •走行車線を走行する車両は余裕幅に応じて車線変更orすり抜けして路上駐停車を回避する。	自動運転バスの挙動パラメータは文献や一般の路線バスの挙動を参考に設定。
ケース2	•自動運転バスが走行している状況。 •走行車線を走行する車両は余裕幅に応じて車線変更orすり抜けして路上駐停車を回避する。	自動運転バス挙動についてはケース1の設定を参照。 ケース0の路上駐停車の設定に対して、走行車線の余裕幅を0.5m大きくとる。
ケース3	•自動運転バスが走行している状況。 •道路幅員配分変更策によって路上駐停車スペースが確保されている状態。走行車線を走行する車両は速度を落とさず通過可能。	自動運転バス挙動についてはケース1の設定を参照。ケース0の路上駐停車設定に対して、走行車線の余裕幅=車線幅員とする設定（路上駐停車の影響はなし）。

2022 年度の評価シナリオの実施にあたり表 40 に示す内容を評価指標とすることとした。

表 40　評価指標の項目一覧

	評価指標	目的
1	• 路上駐停車区間の平均旅行時間・速度 （全体の平均、自動運転バス）	全体の交通流への影響度評価 自動運転バスの定時性評価
2	• 一般車の時系列速度・加速度変化 • 自動運転バスの時系列速度・加速度（加加速度）変化	全体交通流の円滑性評価 自動運転バスの円滑性評価

② 評価に必要な機能の実装

評価シナリオの実施に当たり、2 つの機能をシミュレーションに実装した。

②-1 路上駐停車モデル

路上駐車モデルは乗用車、バス、トラック等が道路の路肩に駐停車し、走行車線にはみ出すことで車線の一部を占有する事象をモデル化する機能である。駐停車車両が路肩に駐停車する際は第一車線の一部を占有する。駐停車する車両は確率的にネットワーク上に生成され、所定の時間の経過後に消滅する。確率的に表現されるパラメータは以下の通りである。

確率的に表現するパラメータ

：駐車台数[台/時]・リンク下流端からの駐車位置[m]・駐車時間[秒]・はみだし幅[m]

ここで、駐停車車両を生成する際は、他の車両との接触を防ぐために、時空間的に重ならないよう生成する必要がある。そのため、駐停車車両や走行車両がその地点に存在している場合、あるいは走行車両が、駐停車車両生成位置の上流近傍に存在している場合には生成することを保留し、付近に車両が存在しなくなったら駐停車車両を生成することとした。近傍とは、走行車両が現在の速度から最大減速度で停止する際に、車頭間隔を空けて停車するために要する距離とした。

②-2 路上駐停車回避モデル

路上駐停車回避モデルは、前述の路上駐停車モデルにより生成する路上駐停車車両に対して、走行車両が回避して走行するモデルである。路上駐停車の回避の方法には車線を維持する場合と追い越し車線に車線変更をして走行する場合の 2 種類がある。走行車両の車線変更の意志決定は、走行する車線の幅員から駐停車車両によって占有される幅を引いた残余幅と、走行車両の全幅に基づいた車線変更判断の閾値を比較し、残余幅が閾値よりも狭い場合に車線変更の意志決定を行うものとした。

走行車両は駐停車車両の横を通過する際に駐停車車両の影響を受けて速度を落として走行をする。この時の走行速度は走行車線の残余幅に依存する。この通過する際の速度を希望速度として、区間を通過する上流から速度を減速しながら接近して通過するモデルを実装した。通過の際の希望速度は既往研究を整理することでパラメータを定式化することとした。有効幅員と希望速度補正係数の定式化に関する作業手順を図 98 に示す

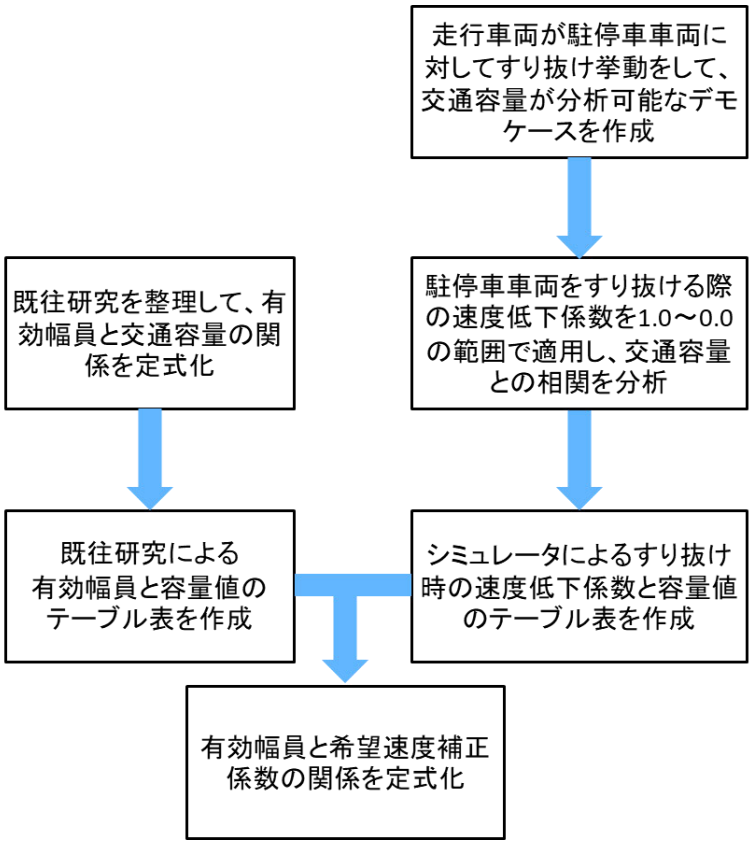


図 98　希望速度補正係数パラメータの定式化手順

既往文献の調査により、路上駐停車車両のはみだし幅と交通容量の相関を整理した結果を図 99 に示す。

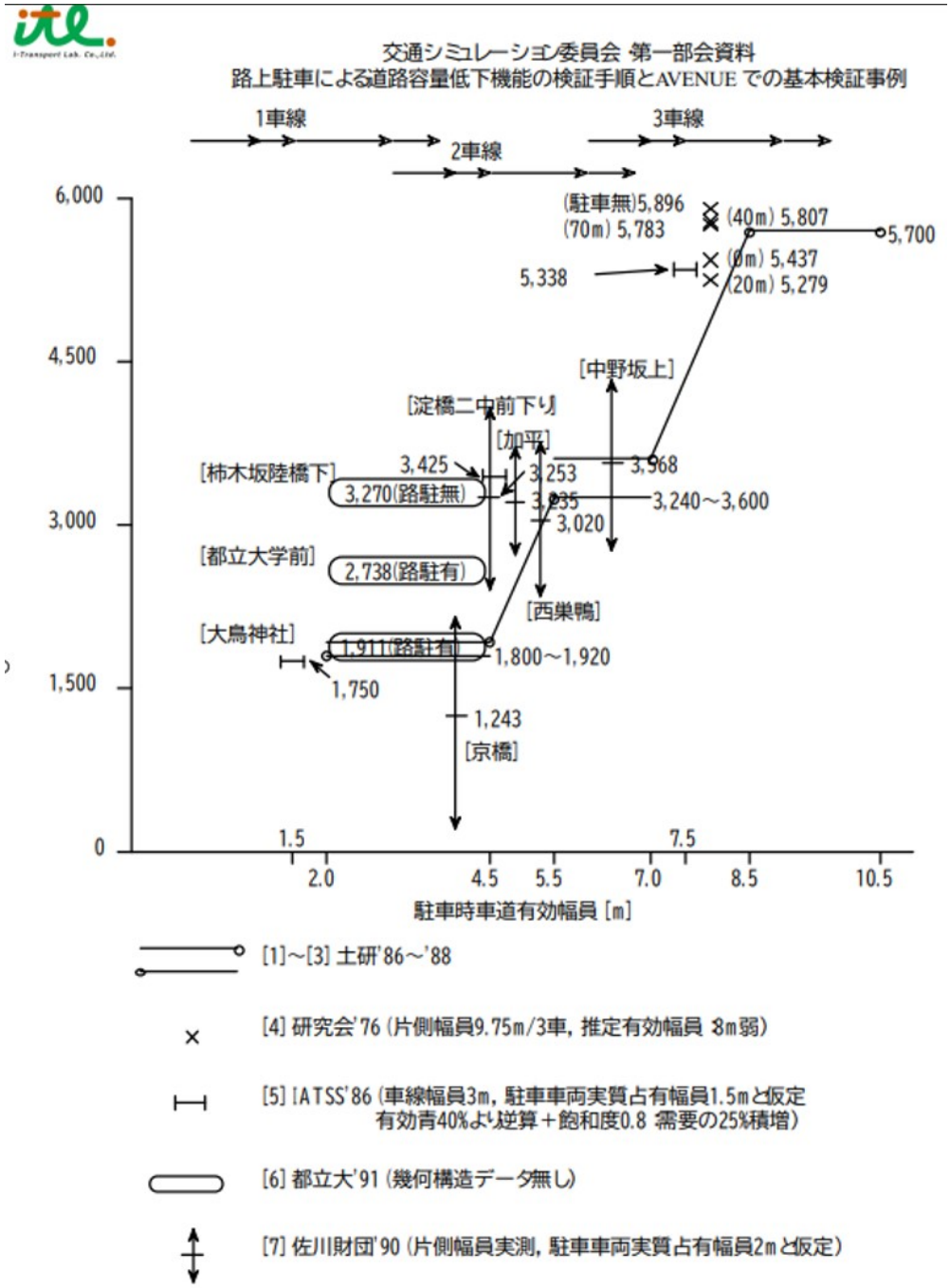


図 99　既存の路上駐車による容量低下に関する研究の成果を比較した図

この相関関係を定式化すると有効幅員に対する第 1 車線及び第 2 車線の交通容量は図 100 のとおりとなる。

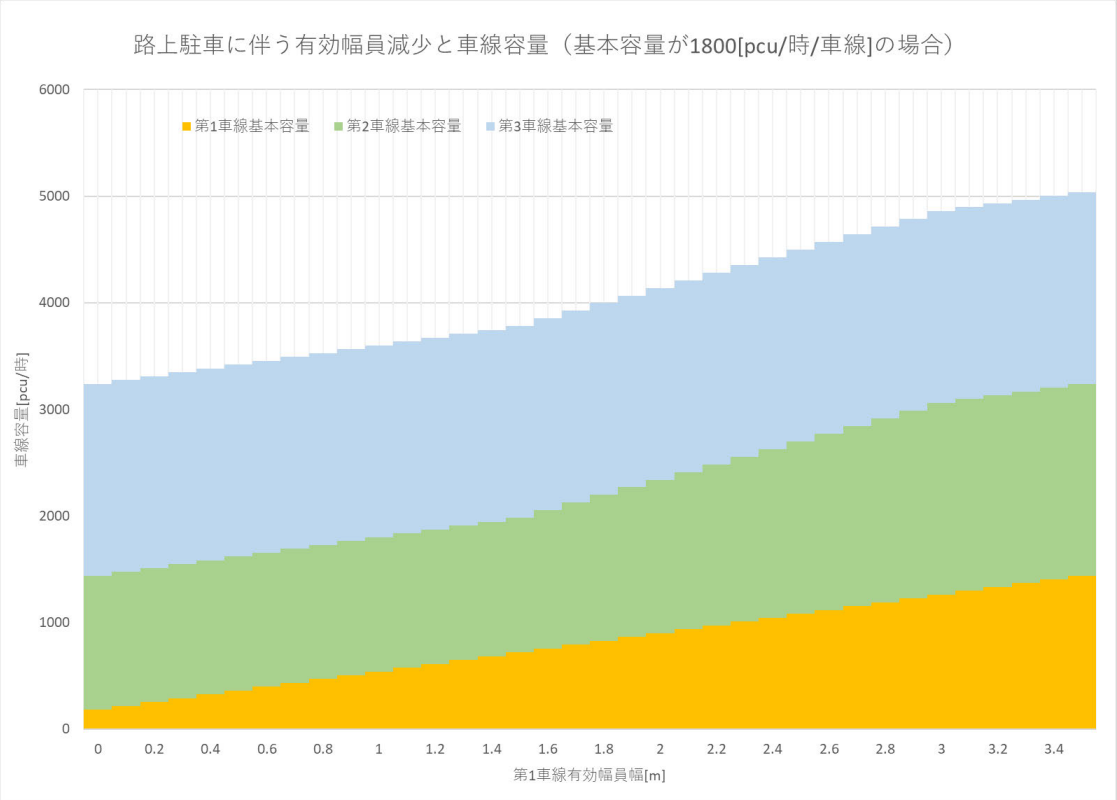


図 100　既往研究から定式化した道路容量値の推移

次に交通流シミュレータに実装した路上駐停車モデルにおいて、希望速度補正係数の交通容量との相関を検討した。図 101 に示すとおり駐停車車両を配置してその区間を通過するデモケースを作成した。通過の際の速度の低下の度合いから、交通容量の変化を評価した。交通容量の評価のために、リンクの上流からは十分な需要を設定した。

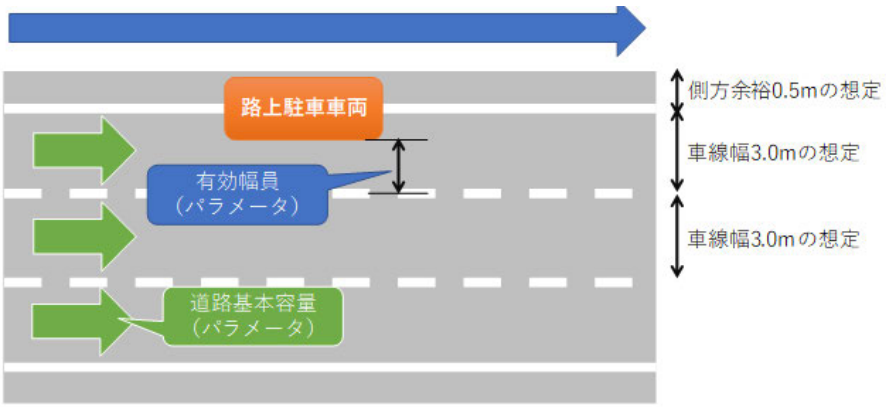


図 101　希望速度補正係数の定式化のためのデモケース

一例として、路上駐停車車両が存在する区間の希望速度補正係数を 0.2 として、飽和交通量で

車両を走行させた際の車両の軌跡図を図 102 に示す。

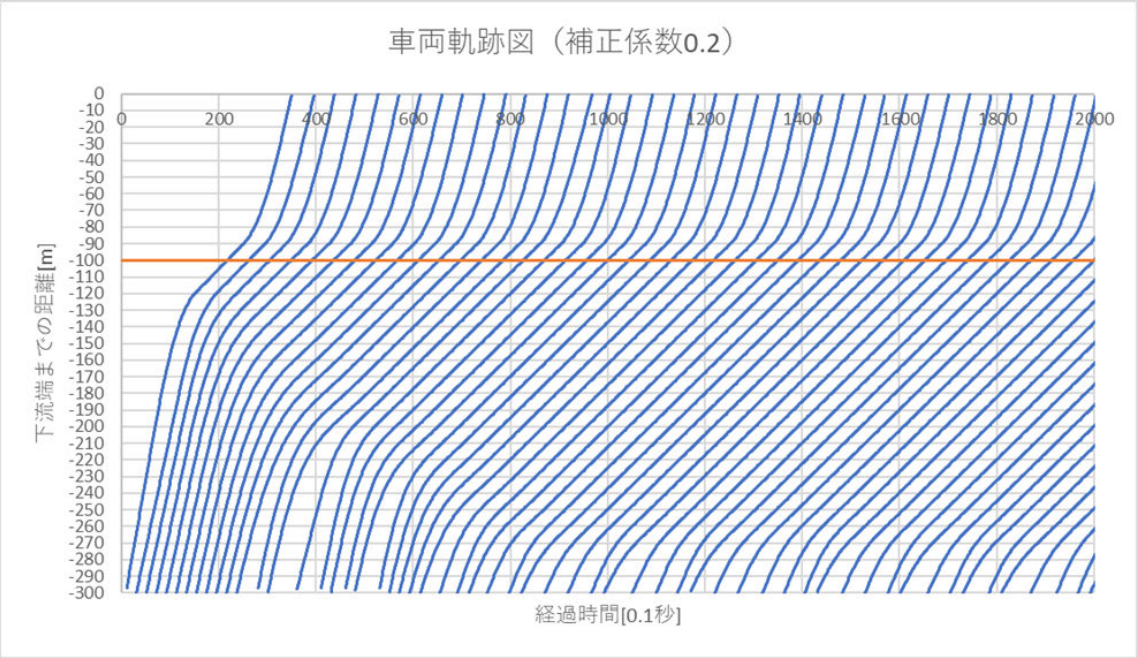


図 102　飽和交通流における路上駐停車車両通過時の車両軌跡

シミュレーション結果から得られた希望速度補正係数と交通容量の相関関係を図 103 に示す。

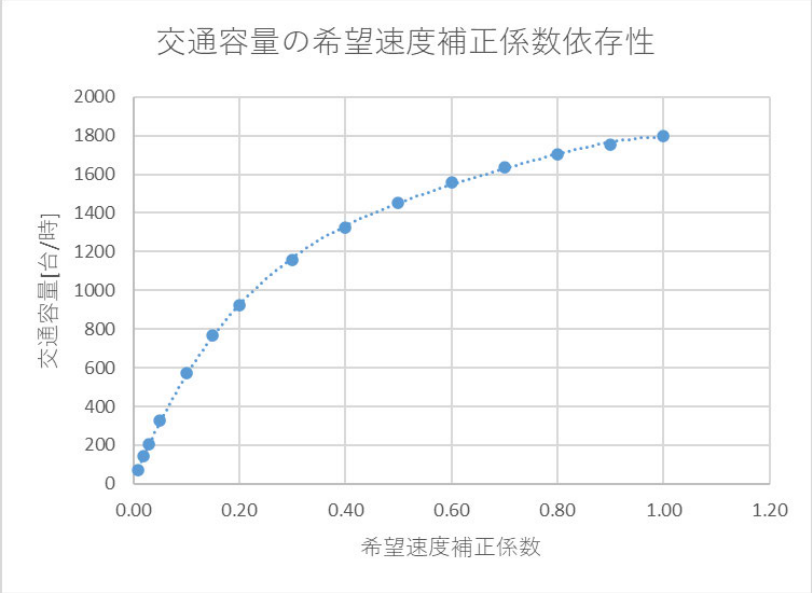


図 103　希望速度補正係数と交通容量の相関図

図 100 で定式化した有効幅員と交通容量値の相関と、図 103 で得られた希望速度補正係数と交

通容量の相関から、有効幅員に応じた希望速度補正係数は図 104、図 105 に示す通りとした。

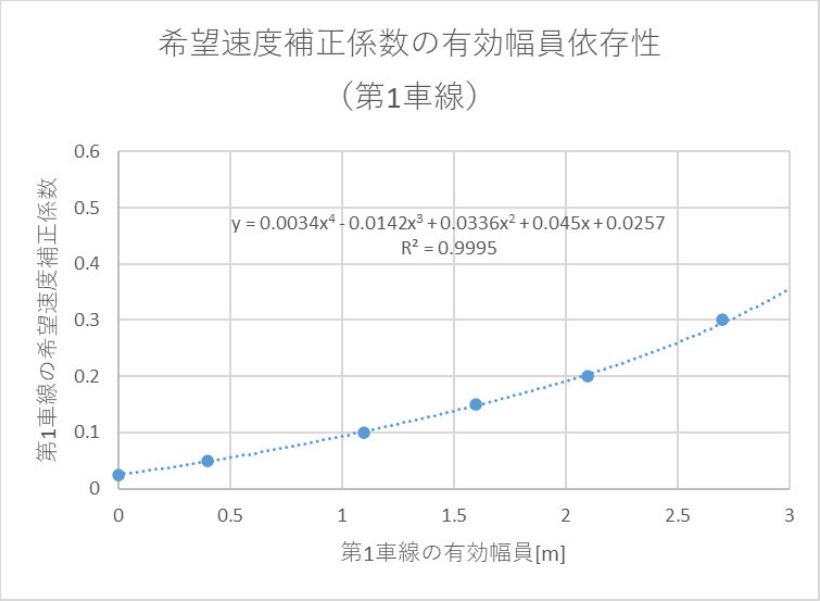


図 104　有効幅員と希望速度補正係数の相関図（第 1 車線）

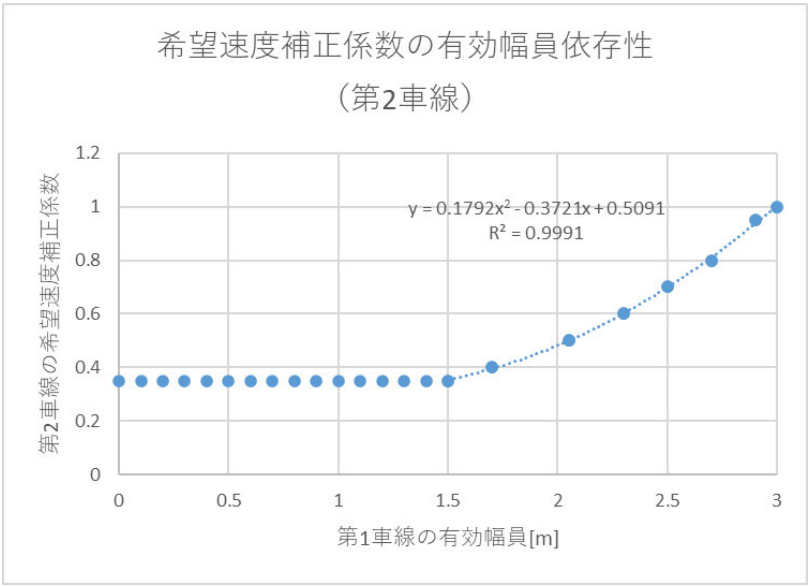


図 105　有効幅員と希望速度補正係数の相関図（第 2 車線）

(3)-3　シナリオケース評価

① シナリオ構成

シナリオケース評価にあたり、現況再現ケースで作成したネットワークから評価対象区間を抽出して評価用シナリオのデータセットを作成した。評価用抽出路線には路上通停車の現地調査を行った柏の葉公園東側の税関研修所前と県道 47 号パークシティ前の路線を候補として、交通量調

査を行った信号交差点に接続する道路を追加した経路選択の余地がないネットワークを抽出して走行挙動を評価することとした。抽出箇所案として候補としたエリアを図 106 に、抽出後のネットワークを図 107、図 108 に示す。

図 106　ネットワーク抽出箇所案

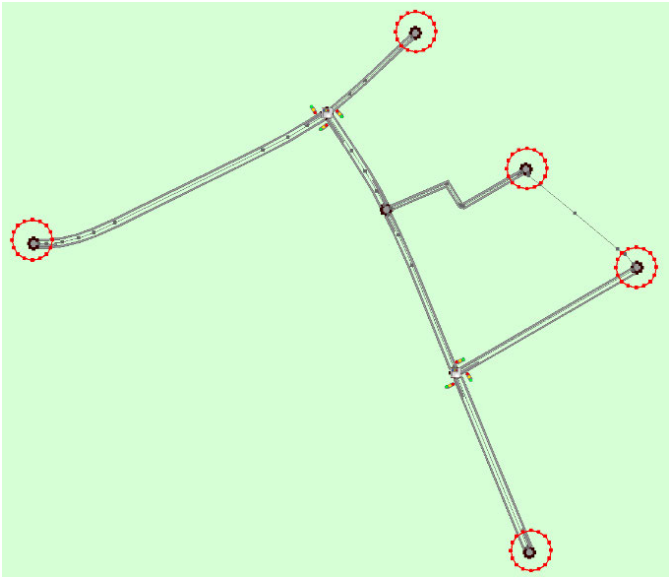


図 107　抽出したネットワーク図（税関研修所前）

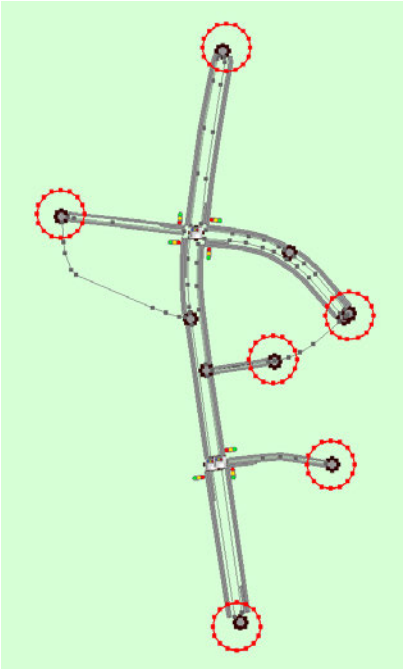


図 108　抽出したネットワーク図（パークシティ前）

2022 年度は、パークシティ前のネットワークにおいて北から南に向かう路線を対象として、7:00-9:00 のピーク時間帯でシナリオケースの評価を試行する事とした。

対象区間の交通需要は上流の信号交差点(調査地点 No.7)での交通量の観測量をベースとした。調査地点 No.7 の流入観測交通量を流入台数、調査地点 No.8 の流出観測交通量を流出台数としたときの各車種の累積交通量を確認したところ、乗用車に関しては流出累積台数が流入累積台数より常に大きい状態であったため、流入台数を補正するために、評価区間の中間にあるノードと接

続する脇道から乗用車の流入があるものとして交通需要を設定した。

シナリオ評価では、現状の交通状況に自動運転バスを導入した際の交通流の評価を行う。自動運転バスの交通需要は、バスの観測量交通量（48 台／2 時間）の内 25%（12 台／2 時間）と仮定した。バスと自動運転バスの総数を変えないために、自動運転バスでの増加分はバスの交通需要から減じた。

小型車、大型車、バス及び自動運転バスの挙動パラメータは「平成 30 年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：地域交通 CO2 排出量可視化技術の開発及び実証」に記載されている内容から設定した。表 41 に各車種の挙動パラメータを示す。

表 41　車両の挙動パラメータ

	小型車	大型車	バス	自動運転バス
最大加速度[m/s2]	1.6	1.4	1.4	0.812
最大減速度[m/s2]	3.6	3.6	3.6	3.6
希望減速度[m/s2]	1.623	1.829	2	2.188
自然減速度[m/s2]	0.24	0.24	0.3	0.197
近傍探索距離[m]	200	200	200	300

路上駐停車モデルのパラメータは、(1)で述べた現地調査による収集データから、駐停車台数、駐停車位置、駐停車時間、はみだし幅の平均値と分散値を算出し、ピーク時間帯（7：00-9：00）のモデルパラメータを定義した。

2022 年度は、表 39 で策定したケース 2、3 の実施シナリオの内容で、道路幅員配分変更の施策評価を模擬することとした。具体的には、ケース 2 では、はみだし幅を算出した平均値から 0.5m 分を差し引いた値を設定し、ケース 3 では、路上駐車車両の駐車スペースが十分に確保されている状況を模擬し、路上駐停車車両を配置しない設定でシミュレーションを実行した。

② シミュレーション試行結果

構築した交通流シミュレーションを用いて表 40 の評価指標について評価を行った。旅行時間の集計では、評価区間の下流端まで走行した車両について、旅行時間及び旅行速度を集計した。集計結果を図 109 及び図 110 に示す。

いずれのケースでも自動運転バスの平均旅行時間がその他の車両の平均旅行時間よりも長い結果が得られた。また、自動運転バスとそれ以外の車両のどちらにおいても、ケース 1 からケース 3 にかけて、順に平均旅行時間が減少する結果が得られた。すなわち、表 41 で示した車両挙動のパラメータ設定、および路上駐停車回避モデルを組み込んだ上でケース毎に路上駐停車車両の影響が異なるパラメータを設定していることと整合する交通流シミュレーションが実施できている

ことを確認できた。

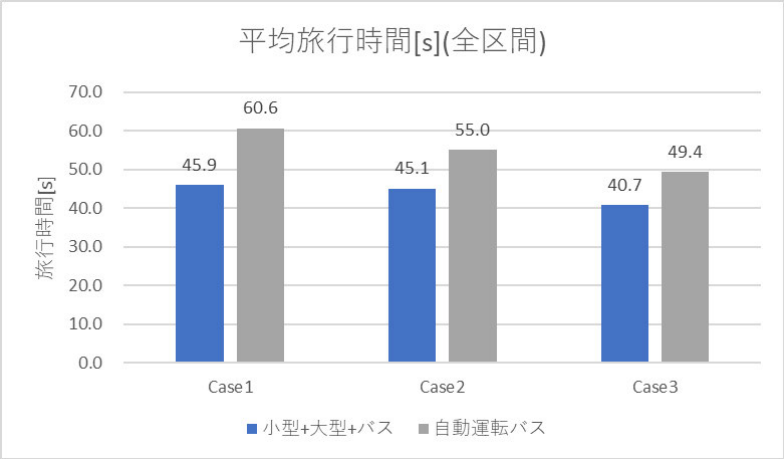


図 109　ケース別区間平均旅行時間

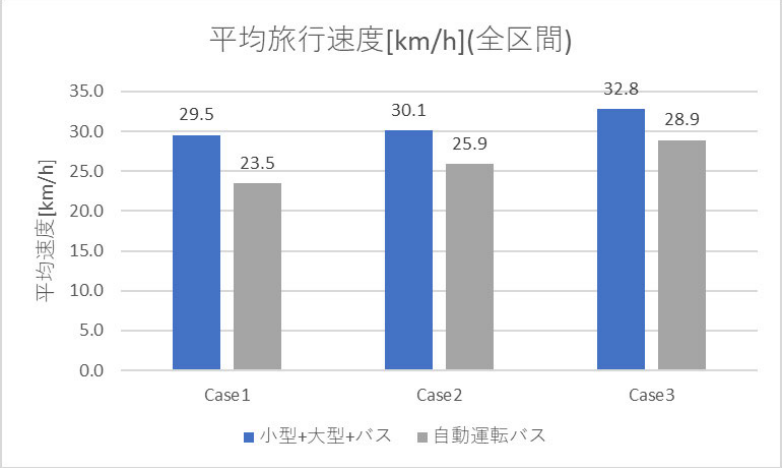


図 110　ケース別区間平均旅行速度

円滑性の評価として、減速あるいは定常状態から加速を行う頻度をケース別、地点毎に集計した。集計結果を図 111 に示す。

駐停車車両の影響を受けるケース 1、ケース 2 では、評価区間の下流端から 300m～200m の地点において路上駐停車車両を通り過ぎてから加速している状況が確認された。ケース 1 との比較では、ケース 2 は再加速の頻度が少なくなる結果となっており、路上駐停車車両の影響が小さくなるようパラメータ設定していることと整合的な結果が得られた。ケース 3 では路上駐車車両の影響を受けないので、200m～300m の区間では減速と再加速の挙動は現れていないが、160m～170m の区間で合流車両との影響を受けて減速しており、加速回数が増加している結果となった。

またいずれのケースでも下流端では、信号現示による停止の影響を受けている状況が再現されていることを確認した。

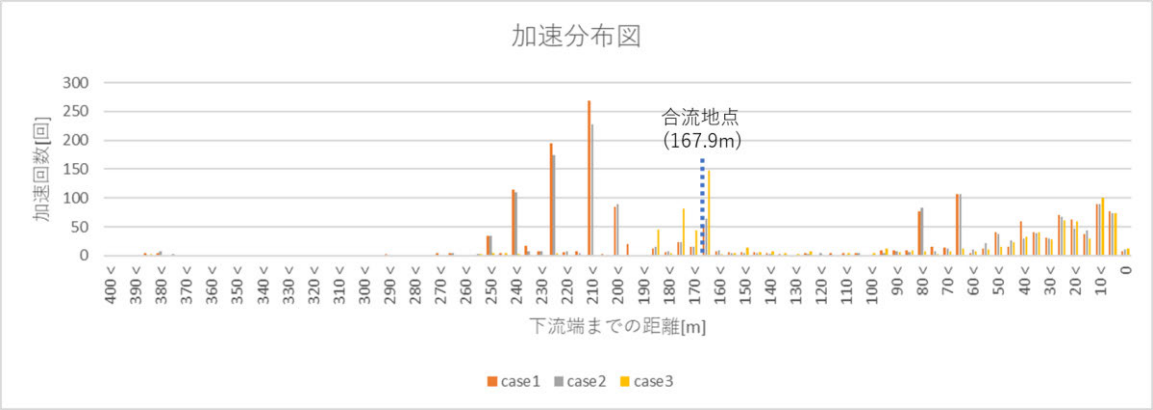


図 111　距離帯別加速回数

＜2022 年度実施成果のまとめ＞

- 対象地域のデータ収集として、2021 年度に収集したデータに加え、追加調査が必要なデータについて現地調査を実施し、交差点方向別交通量調査データ及び路上駐停車車両データを収集した。また、シミュレーションでのシナリオケースの評価に必要なデータのうち、調査以外（関係者への協力要請等）で入手し得るものとして、バス路線、バス時刻表データ、画像センサーデータ、信号制御データ等の交通データを収集、整理した。
- シミュレーションの現況再現ケースとして、調査等で収集したデータを入力情報として現況再現モデルを構築した。現況再現モデルを用いて、交通量、区間旅行時間、速度のパラメータに着目して現況再現性を確認した。
- 評価に必要な機能の実装として、路上駐停車機能（路上駐停車モデル）、路上駐停車回避機能（路上駐停車回避モデル）を MicroAVENUE に実装した。また、シナリオケース（路上駐停車策）案と評価指標案の提示を行った。
- シナリオ評価として、路上駐停車のシナリオケースの仕様を検討し、検討した評価指標を用いてシナリオケースの評価試行を行い、想定した評価が実施可能であることを確認した。

＜2025 年度までの実施事項＞

2025 年度までの実施事項として、特定自動運行移動サービスが周辺交通へ及ぼす影響の評価事例の構築に取り組んでいく。本成果は、2026 年度以降に特定自動運行による自動運転移動サービスを全国展開するにあたり、道路交通法に基づく特定自動運行に対する許可基準④及び⑤に関する評価手法およびその適用事例を示すものとなる。

3) 都市サービスと連携した新モビリティのニーズ分析とシナリオ創出

■ 該当項目の背景と目的

協調型自動運転技術とそれを用いたバス等のモビリティは、今後の社会にとっての重要な技術／プロダクトである。しかしながら、それをどういったサービス（ビジネス）として社会実装するか？という議論がなければ、先端的な技術やプロダクトの社会実装は達成できない。そこで、2022 年度は、2021 年度に検討した、都市サービスと連携した新モビリティサービスのシナリオ仮説に関する詳細なニーズ分析・受容性検証を、柏の葉地区を対象としたサービスの具体化を通じて実施する。また、柏の葉地区とは異なる規模や地域性を有する都市を対象としたアンケート調査も行い、サービスシナリオ仮説の地域依存性（受容性の地域差）を検証・分析する。

■ 実施方針

2022 年度は、2021 年度に検討した 2 つのサービスシナリオ（①生活者ニーズや混雑状態を考慮し、飲食店等の予約を連動させることで地域移動を促すモビリティサービス、②ヘルスケアと連携したモビリティサービス）のうち、地域のステークホルダーや住民との対話・議論においても期待が高く、かつ、技術的な実現性も高いと考えられる「シナリオ①」を中心に扱うこととした。そして、シナリオ①を中心として各種モビリティサービスシナリオに対して、柏の葉地域とは異なる規模や地域性を有する都市を対象とした Web アンケート調査を実施し、サービス案の汎用性や受容性の地域差などを分析する。

■ 実施事項と実施方法

(1) Web アンケートの設計

昨年度検討したサービスシナリオを含む各種モビリティサービス案(シナリオ仮説)に対して、柏の葉地域とは異なる地域（都市）における受容性やその地域差を調査するために、柏の葉以外の多様な地域（都市）に居住している生活者を対象とした Web アンケート（図 112、図 113）を設計した。

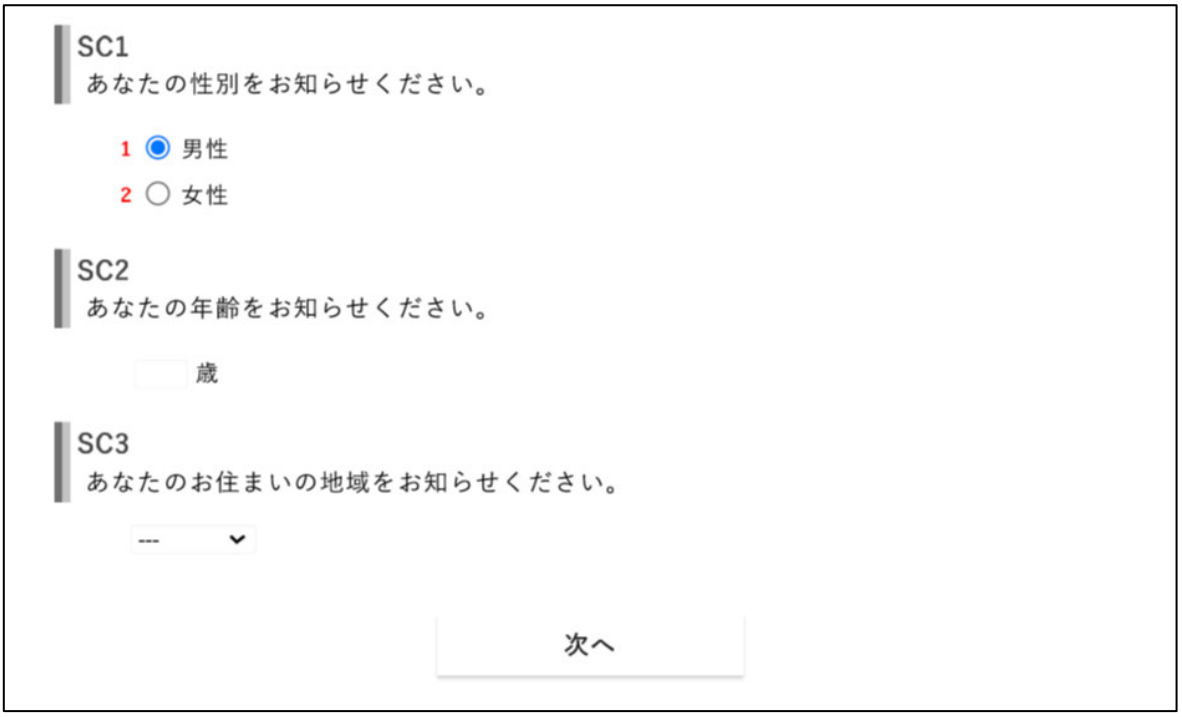


図 112　画面イメージ①

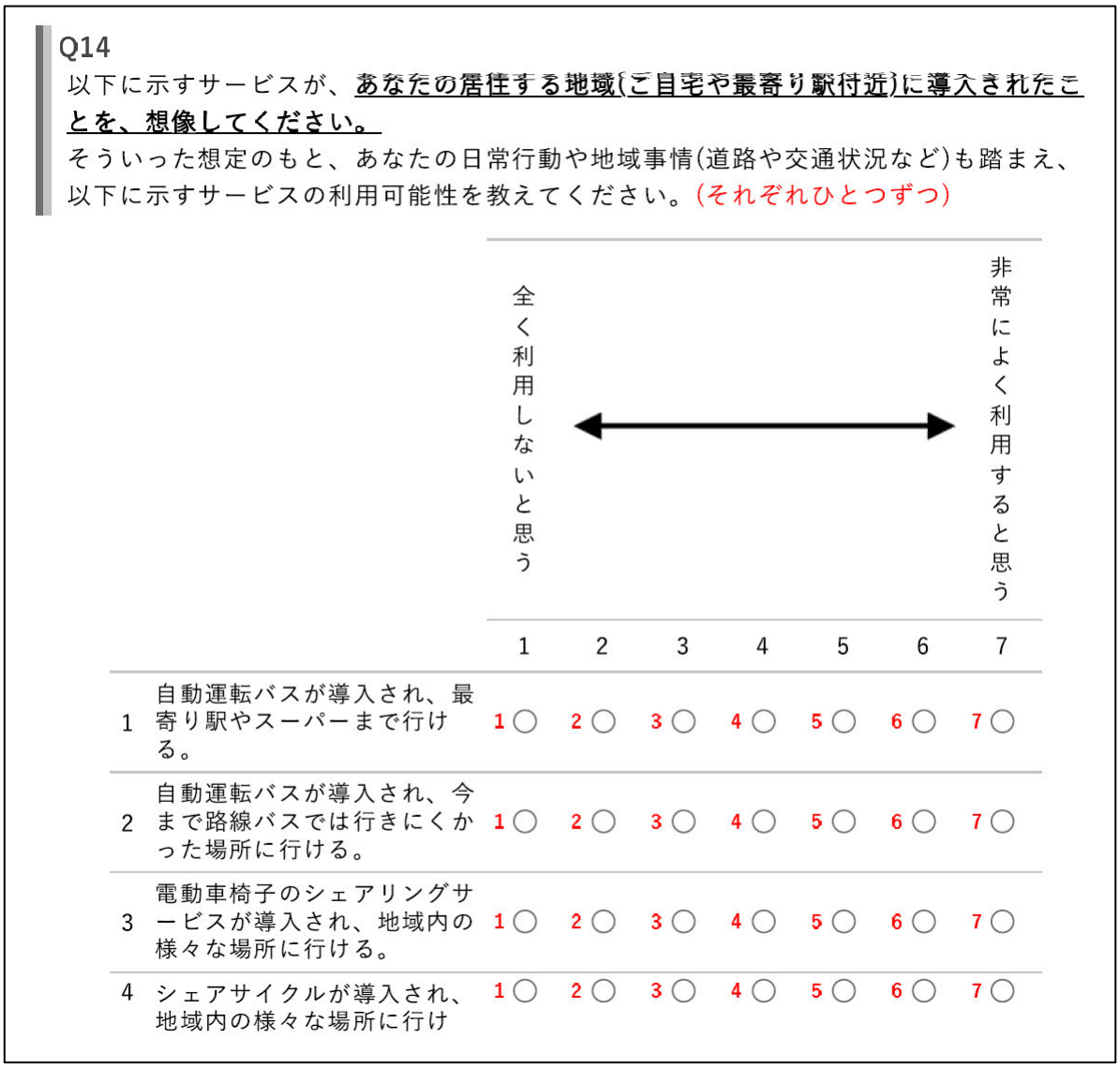


図 113　画面イメージ②

i)　設問の構造

今回のアンケート調査では、各種サービス案に対する受容性の地域差（ばらつき）を調査することが主な目的であるが、それ以外にも、受容性のばらつきを生じさせる要因の候補として、「年代」と「パーソナリティ（価値観）」も加えた。なお、パーソナリティについては、昨年度の取り組みの中で明らかになった、モビリティサービスに関するパーソナリティを特徴づける 5 つの質問項目を用いた。表 42 に、本調査で用いた質問項目の全体概要を示す。

表 42　本調査で用いた質問項目の概要

設問カテゴリ	設問数
基本項目（年齢、性別、子供有無等）	7問
スクリーニング（郵便番号等で回答者のスクリーニングを実施）	3問
属性（外出頻度、普段の移動手段等）	8問
パーソナリティ	1問
各サービス案の利用意向	2問
現状の公共交通への満足度	2問

ii）　対象地域

本調査では、我々がサービス案を検討している柏の葉地域との一定の類似性を担保するために、スマートシティやMaaS（自動運転を含む）に関する取り組みを行っている都市の中から、規模や特徴が異なる5つの都市（※以下参照）を選択し、調査対象とした。

- 東京都中央区（都心型）
- 東京都江江東区のベイエリア（都心型）
- 神奈川県藤沢市（郊外型）
- 茨城県つくば市（郊外型）
- 茨城県日立市（地方型）

iii）　調査したサービス案

本調査では、回答者に以下のサービス案を提示した（表 43）。ここには、昨年度検討したもの以外のサービス案も含まれているが、生活者の意見を幅広く聞くために意図的に加えた。本調査では、昨年度の検討内容をベースに、改めて関係者間でディスカッションを行い、以下のサービス案を創出した。これらのうち、複数の使い方や目的があるサービス案については、複数のサービス案に分けることとした。

- 自動運転バス
- 電動車椅子のシェアリングサービス
- シェアサイクル
- 電動キックボード
- カーシェアリング
- 地域のスポットを循環するバス
- 予約して利用できる乗合式のバス
- 予約して利用できる乗合式のタクシー
- 自動運搬ロボット

- 乗り物と飲食店が同時予約できるサービス
- 地域の様々な移動手段が月額で利用できるサービス
- スマホから駐車場の空きや混雑状況が確認できるサービス
- スマホから地域のイベントや店舗の割引情報が確認できるサービス

表 43　本調査で提示したサービス案

（略）	提示したサービス案
自動運転バス（スーパーや駅）	自動運転バスが導入され、最寄り駅やスーパーまで行ける
自動運転バス（行きにくかった場所にいける）	自動運転バスが導入され、今まで路線バスでは行きにくかった場所に行ける
電動車椅子シェア	電動車椅子のシェアリングサービスが導入され、地域内の様々な場所に行ける
シェアサイクル	シェアサイクルが導入され、地域内の様々な場所に行ける
電動KB	電動キックボードが導入され、地域内の様々な場所に行ける
カーシェア	カーシェアリングが導入され、地域内の様々な場所に行ける
循環バス	地域の主要スポット（駅、図書館、役所、スーパーなど）を循環するバスが導入され、地域内の様々な場所に行ける
乗合バス	好きな時間（事前に予約した時間）に乗れる乗合式のバス（定員：5-6名）が導入され、地域内の様々な場所に行ける
乗合タクシー	好きな時間（事前に予約した時間）に乗れる乗合式のタクシーが（定員：2-3名）導入され、地域内の様々な場所に行ける
運搬ロボ_代替	自動運搬ロボットが導入され、あなたがスーパーに行って買ったものを、代わりに自宅まで運んでくれる
運搬ロボ_短時間	自動運搬ロボットが導入され、ネットスーパーで買ったものが、数時間後には自宅に届く
運搬ロボ_デリバリ	自動運搬ロボットが導入され、オンラインで注文した飲食物が、数時間後に指定した場所・時間（地域内の集会所や公園等）に届く
同時予約_席確保	バスやシェアサイクル等の乗り物と飲食店での食事が同時に予約でき、店舗に着いたら、席がちゃんと確保（予約）されている
同時予約_すぐ提供	バスやシェアサイクル等の乗り物と飲食店での食事が同時に予約でき、店舗に着いたら、すぐに商品が提供される
同時予約_割引	バスやシェアサイクル等の乗り物と飲食店での食事が同時に予約でき、食事が終わった後に、乗り物の割引券がもらえる
サブスク	地域の多様な移動手段（バスやシェアサイクルなど）が、月額料金を払えば、自由に利用できる
混雑可視化	自分のスマホから、周辺道路の渋滞状況、駐車場/駐輪場の混雑状況がわかる
割引情報	自分のスマホから、地域のイベント情報や店舗（飲食店や食品販売店など）の割引情報がわかる

(2) Web アンケートの実施

本調査は、以下通り実施し、計 2,870 件の回答を収集した。

- 調査方法：Web アンケート調査
- 調査期間：2022 年 12 月 21 日から 26 日
- 調査範囲：以下の都市に居住されている方
  - 東京都中央区（都心型）
  - 東京都江東区のベイエリア（都心型）
  - 神奈川県藤沢市（郊外型）
  - 茨城県つくば市（郊外型）
  - 茨城県日立市（地方型）
- 収集数：2,870 件
  - 東京都中央区：500 件
  - 東京都江東区のベイエリア：316 件
  - 神奈川県藤沢市：1,237 件
  - 茨城県つくば市：513 件
  - 茨城県日立市：304 件

(3) Web アンケートの実施結果

以下に、本アンケート調査で得られた結果のうち、主要なものを示す。

まず、図 114 と図 115 は、本調査の回答者の主な属性情報を示している。

図 114　回答者の属性（世帯収入と性別）

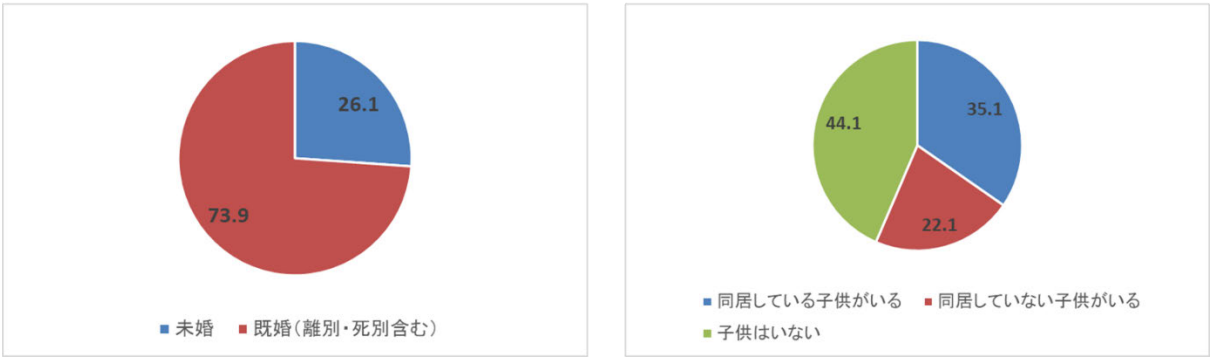


図 115　回答者の属性②（婚姻状況、子どもの有無）

図 116 に各サービス案に対する利用意向の回答結果（全世代、地域の平均値）を示す。利用意向の回答に使っていただいた尺度は、1（全く利用しないと思う）～7（非常によく利用すると思う）の 7 段階であった。図 116 からわかるように、「混雑可視化」「割引情報」「循環バス」「自動運転バス（行きにくかった場所にいける）」といったサービス案に対して、比較的に高い利用意向があった。

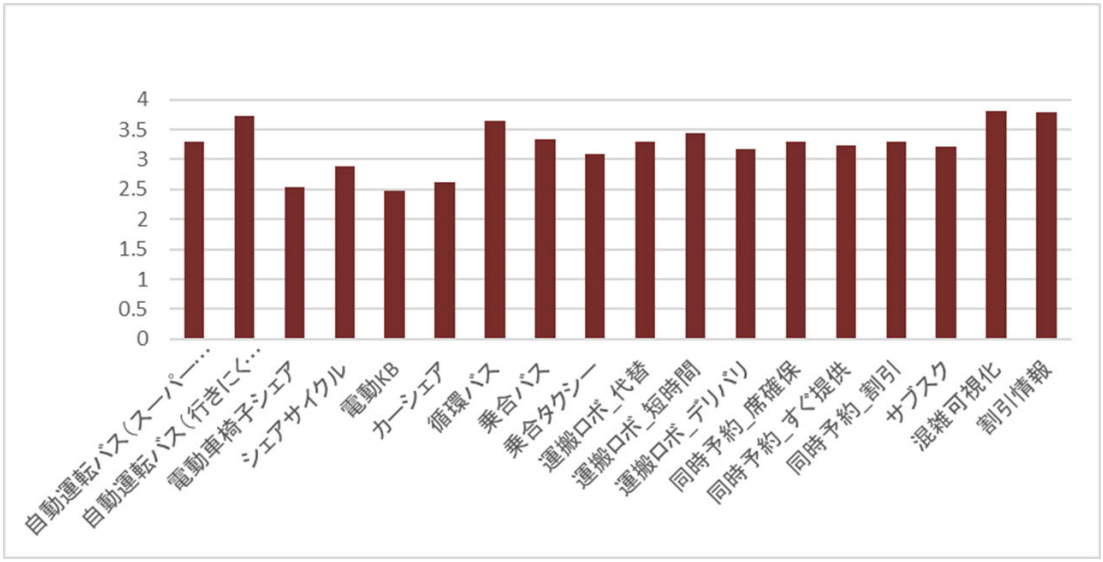


図 116　各サービス案に対する利用意向（全体の平均）

次に、年代ごとの利用意向の違いを分析した結果を図 117 に示す。図 117 からは、全般的に、若い世代の方が新しいサービスに対する利用意向が高いことが分かる。特に、「混雑情報」と「割引情報」の発信（スマホ等で閲覧）については、若い世代の利用意向が高い。一方、食品や食事（デリバリー）の自動運搬ロボットに関しては、30 代～40 代の利用意向が高いことが分かる。これは、結婚や出産、育児などが多い年代であることが影響していると考えられる。また、若い世代はシェアリングサービスへの利用意向が他の年代よりも比較的高く、その一方で、高齢の世代

はバス（※自動/手動に関わらず）への利用意向が比較的高いことも読み取れる。これは、シェアサービスは、サービス利用前の予約や利用中の運転操作など、利用にあたってのユーザ側のアクティビティ（負担）が多くなりがちであり、このことが高齢者に敬遠されてしまいがちな要因だと考えられる。

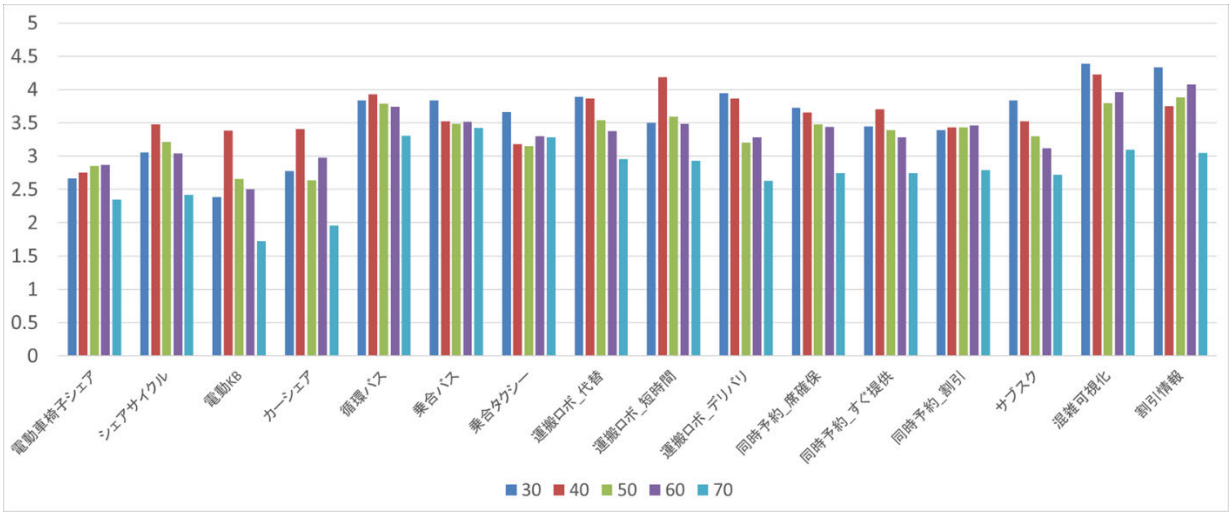


図 117　年代ごとの利用意向の違い

居住地域ごとの利用意向の違いを分析した結果を図 118 に示す。図 118 からは、シェアリングサービス（電動車椅子シェア、シェアサイクル、電動 KB、カーシェア）の利用意向は、都市圏などのさまざまなスポットや店舗が高密度に存在している地域の方が高いことが分かる。一方で、郊外や地方では、「混雑情報（※駐車場や道路の混雑情報」や「割引情報」の利用意向が比較的高くなっている。これは、郊外や地方の方が、自家用車による移動が多いためだと考えられる。

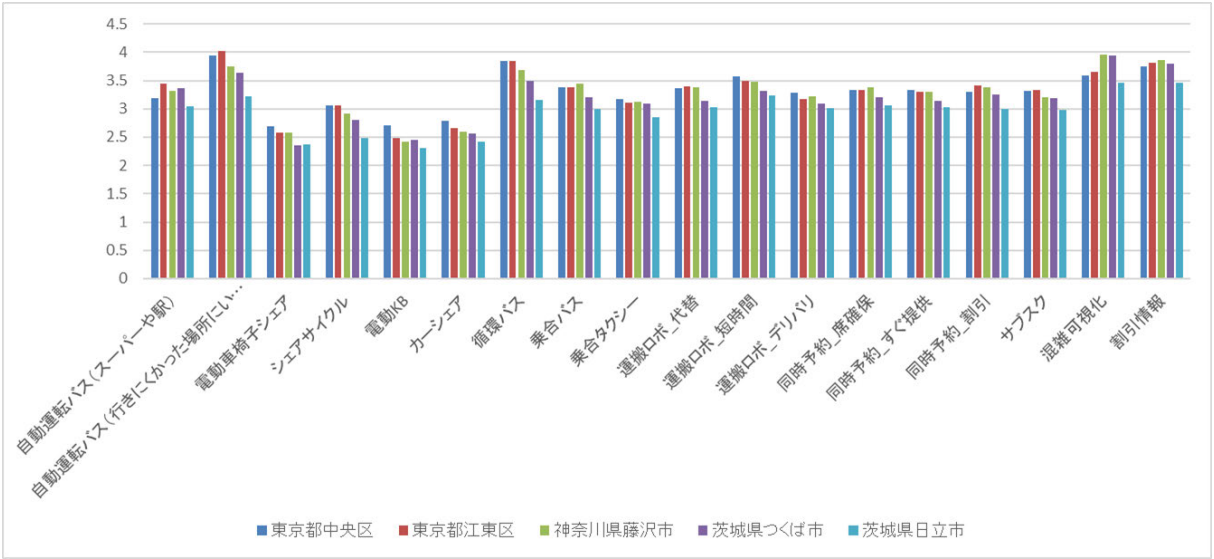


図 118　居住地域ごとのサービス利用意向の違い

次に、回答者のパーソナリティ（価値観）ごとの利用意向の違いを分析した図を、図 119～図 123 に示す。これら 5 つのグラフは、順に、「交通情報検索やキャッシュレス決済などスマホやデジタル技術をよく使うほうだ」「ＳＮＳで情報発信をしたり、多くの人とコミュニケーションをとるのが好きだ」「自動車を運転するのが好きだ」「健康的な食事や運動（ウォーキングなど）に取り組んでいる」「新しい商品やサービス、アプリを利用することが好きだ」という 5 つのパーソナリティ項目と利用意向の関係性を表しているグラフである。

これらのグラフのうち、例えば、図 123 からは、「新しい商品やサービスが好き」なパーソナリティを持つユーザは、本調査で示した各サービス案にも、全般的に、高い利用意向を示している。一方、「自動車を運転するのが好き」といったパーソナリティ（図 121）は、バスなどの乗合型のサービスの利用意向には影響がないことが分かる。

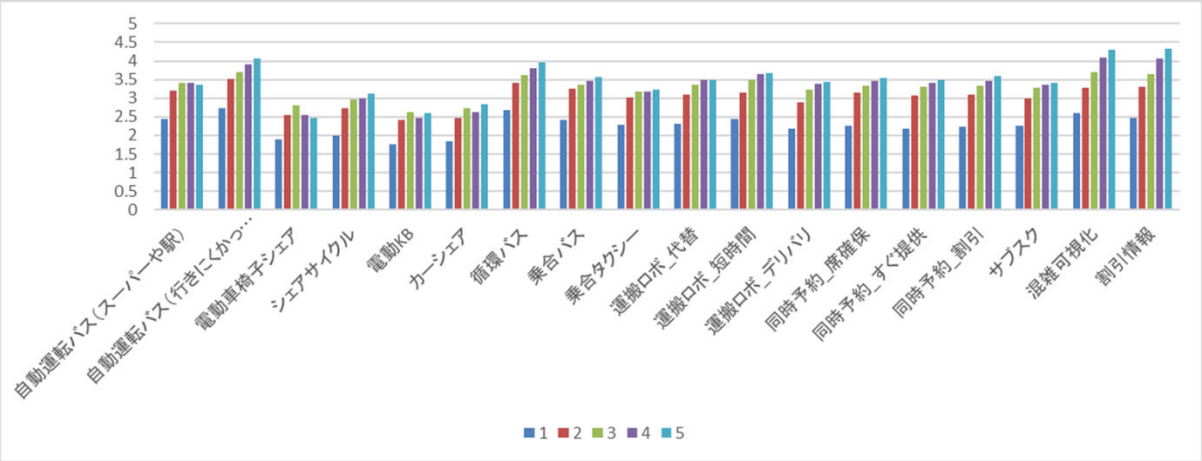


図 119　パーソナリティ（スマホやデジタル技術をよく使う）と利用意向

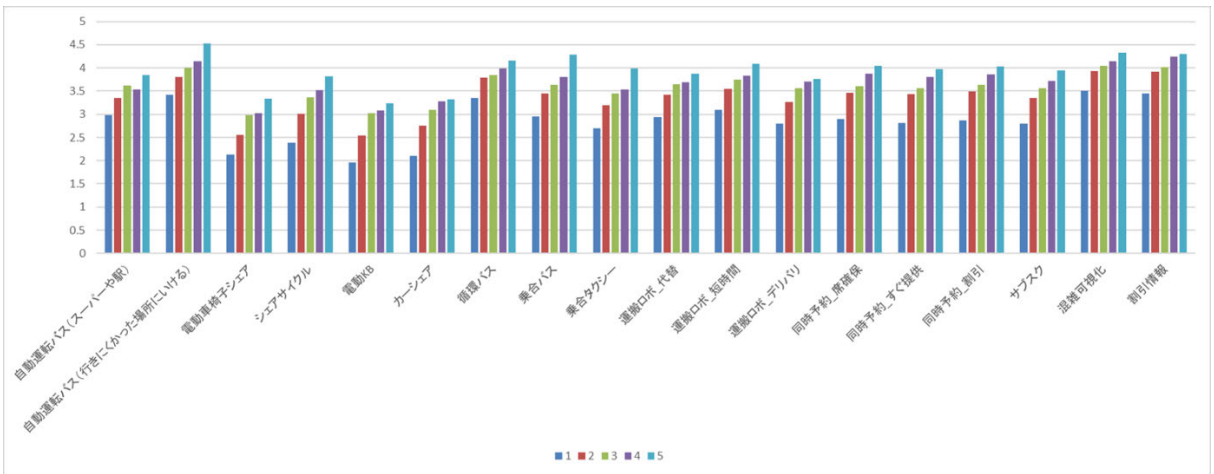


図 120　パーソナリティ（ＳＮＳで情報発信）と利用意向

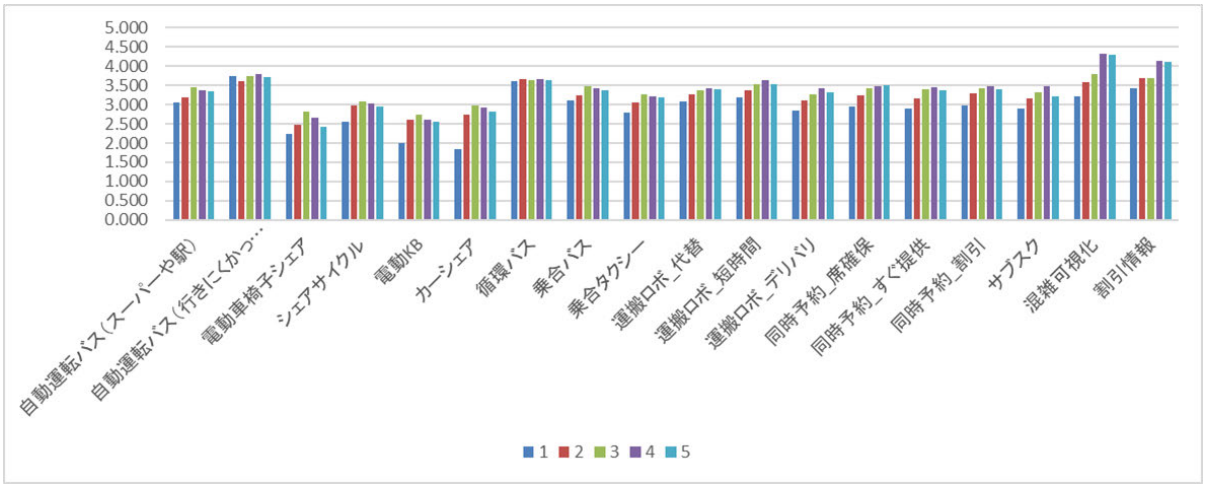


図 121　パーソナリティ（運転するのが好き）と利用意向

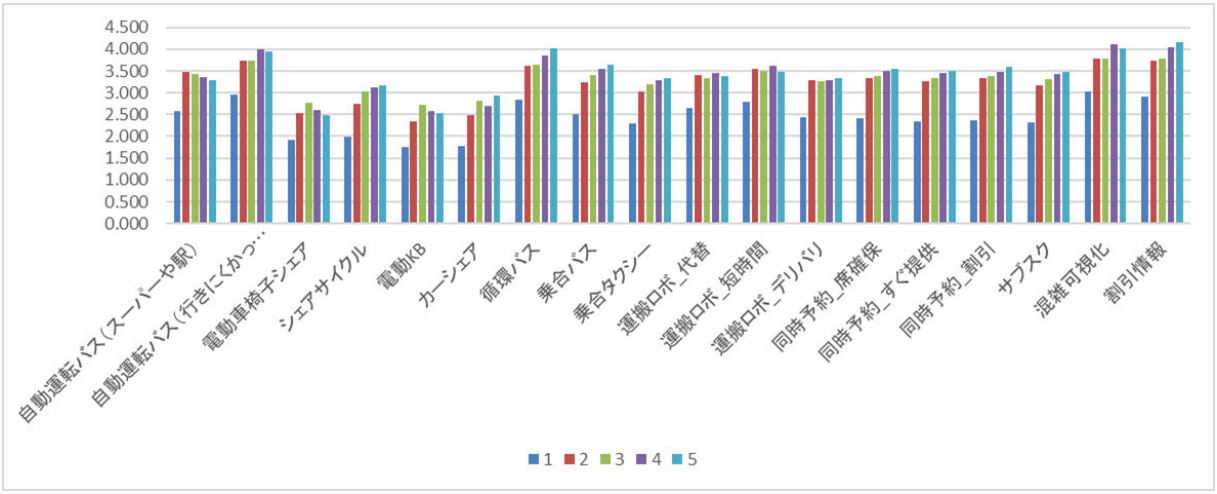


図 122　パーソナリティ（健康的な食事や運動）と利用意向

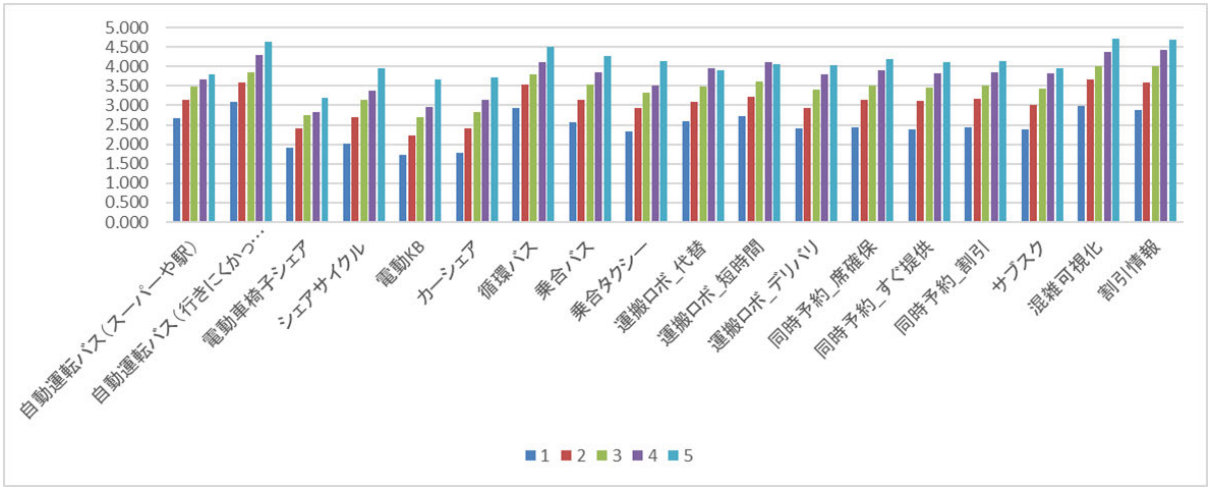


図 123　パーソナリティ（新しい商品やサービスが好き）と利用意向

また、本調査では、表 43 に示すサービス案のもととなったサービスバリエーション（以下に再掲）に対して、「あなたが居住する地域で最も使われそうなもの」「あなたが居住する地域で最も使われなさそうなもの」を回答して頂いた。

- 自動運転バス
- 電動車椅子のシェアリングサービス
- シェアサイクル
- 電動キックボード
- カーシェアリング
- 地域のスポットを循環するバス
- 予約して利用できる乗合式のバス
- 予約して利用できる乗合式のタクシー
- 自動運搬ロボット
- 乗り物と飲食店が同時予約できるサービス
- 地域の様々な移動手段が月額で利用できるサービス
- スマホから駐車場の空きや混雑状況が確認できるサービス
- スマホから地域のイベントや店舗の割引情報が確認できるサービス

その結果を、居住地域ごとに示したものが図 124 と図 125 である。このグラフからは、バスや自転車など、モビリティとして社会に既に浸透しているものは利用意向（受容性）が高くなりやすい、ということができる。また、本設問と併せて実施した自由記述回答には、「近隣地域で自動運転バスの実証実験をやっているから」という理由で、自動運転バスを選択した回答者も一定数いた。このことから、モビリティや新技術を社会に導入する際には、それに対する「慣れ」といった要素も重要であることがわかる。また、電動車椅子などのパーソナルモビリティは、「道路が狭いから」という交通状況的な理由や、「高齢者の事故が起こるかもしれない」といったユーザの操作に対する不安を心配する声が多かった。また、自動と手動には関係なく、バスという交通手段は、「予約などが不要で手軽に使える」という理由でポジティブなものとして回答した方も多かった。

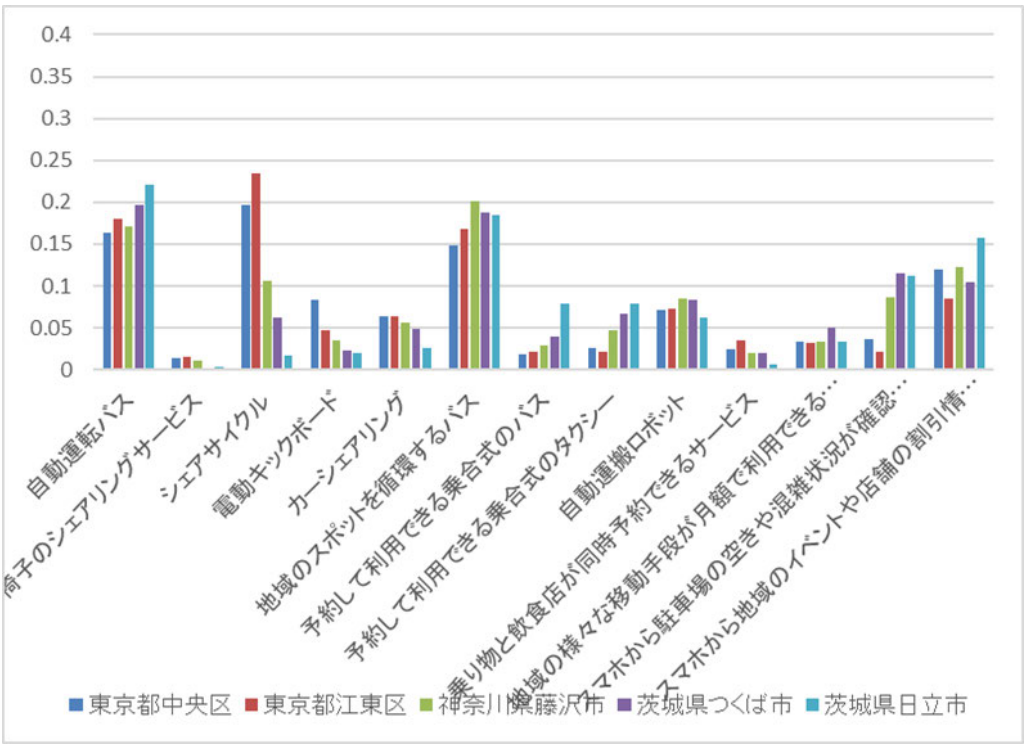


図 124　地域で最も使われそうなサービスを選択してもらった結果

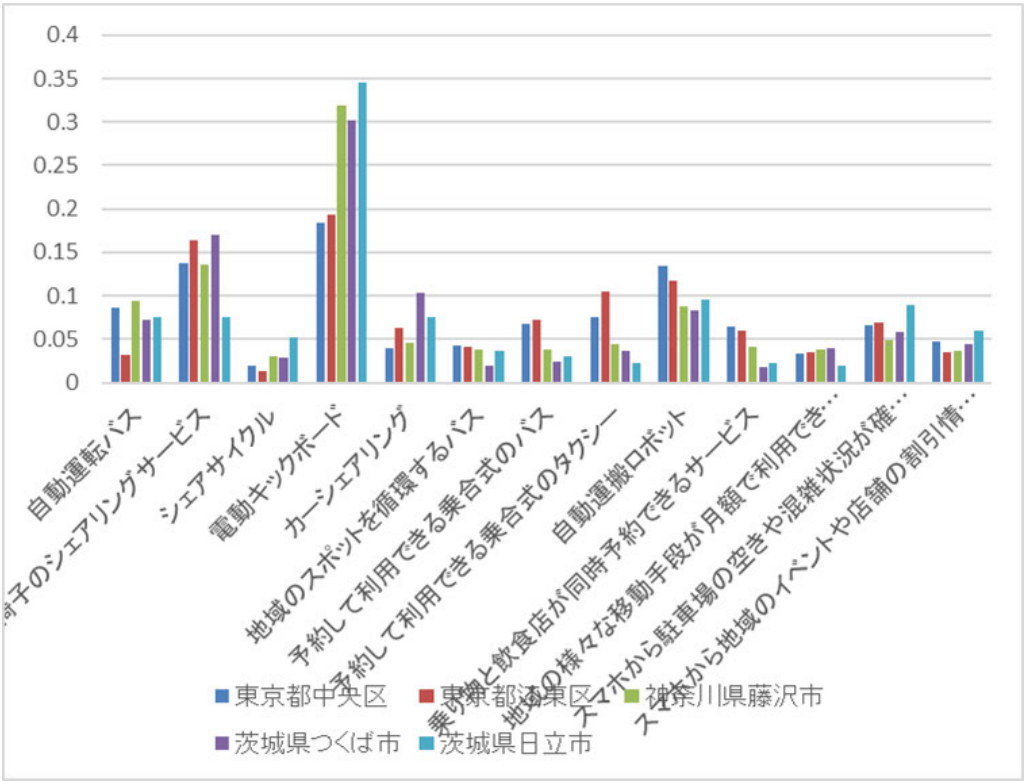


図 125　地域で最も使われなさそうなサービスを選択してもらった結果

以上に述べた結果は、調査結果の一部のみを示しているが、今回の調査からは、新たなモビリティサービスの利用意向には、年代、居住地域、パーソナリティによってある程度の差がでることがわかった。特に、高齢者は、サービス利用にあたってユーザ側が何かしなければいけないものは敬遠しがちであった。また、本結果からは、地域ごとでサービスに対するニーズが異なることが確認できた。これは、今後、自動運転バスを含む新たなモビリティサービスを様々な地域に展開していく際に、全く同じソリューションをどの地域に対しても適用するわけではなく、地域ごとにソリューションをカスタマイズするような「マス・カスタマイゼーション」型のソリューションと、それを実践するためのサービス設計（デザイン）の方法や標準プロセスが必要になることが示唆された。

■ 今年度の成果物

- 混在空間における自動運転レベル 4 サービスの実現のための 2023 年以降の実証実験に実装可能な要素技術開発
- 2023 年以降の実証実験を意識したモデル地域での走行ルート検討
- 協調型システムのレベル 3 以下の車両や他の交通参加者への活用方法
- GNSS 不活時に位置同定を補償するための 3 次元地図自動構築技術の構築と精度評価

■ 次年度以降の実施事項

- 今年度に検討した課題の検証をモデル地域やテストコースにて研究開発
- 統合的位置同定システムの構築と精度評価

1-2. 事業モデルの検討

＜この項目での実施事項＞

I. 協調型システム検討、他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を踏まえた、協調型システムの事業モデルの詳細化

II. 事業モデルのフィージビリティスタディ(ステークホルダーとなりうる事業者・団体、地域の住民等へのヒアリング等)

III. 導入検討マニュアル案の作成

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 自動運転レベル 4 サービスの展開に向けた協調型システムの事業モデル案
- 移動サービス事業者等に伝えるための導入検討マニュアル案(ドラフト版)

■ 該当項目の背景と目的

混在空間において自動運転レベル 4 サービスを実現するためには、技術成立性のみならず、事業として成立することの検討も必要不可欠である。実地域での事業化や横展開にあたっては、「レベル 2～レベル 3」から「レベル 4」に引き上げるために必要な協調型システムを踏まえ、これを実現するための体制・コスト構造の整理、コスト回収方策の検討が必要である。また、各地域に展開するにあたっては、個別の地域や事業者が抱える事情を捉え、これらの解決方策として自動運転レベル 4 サービスが位置付けられることが望ましく、現場のニーズを捉えたリアリティのある事業モデル案の整理が必要である。

混在空間における自動運転レベル 4 サービスの実現に向けて、協調型システム検討・他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を踏まえた協調型システムの事業モデルの詳細化、事業モデルのフィージビリティスタディ（ステークホルダーとなりうる事業者・団体、地域住民へのヒアリング等）を行い、自動運転レベル 4 サービスの展開に向けた協調型システムの事業モデル案を取りまとめ、導入検討マニュアル案（ドラフト）を作成することとした。

■ 実施方針

協調型システム検討、他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を活用しながら、現場のニーズを踏まえた現実的な整理を行った。

また、2025 年以降の横展開を視野に入れ、事業モデル案を分かりやすく移動サービス事業者等に伝えるための導入検討マニュアル案（ドラフト版）を作成した。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ. 協調型システムの事業モデルの詳細化

1) 協調型システム検討・他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を踏まえた、レベル 4 自動運転サービス実現に必要な協調型システムの整理

混在空間における自動運転レベル 4 サービスの実現には、車載カメラやセンサーに依存する自律型システムのみでなく、信号情報や死角情報等を通信で受け取ることによる協調型システムの導入が必要と考えられる。ここでは、自動運転レベル 4 サービス実現に必要と考えられる協調型システムの整理を行った。

協調型システムに関する検討を踏まえると、自動運転レベル 4 サービスの実現にあたっては、自動運転システムを備えた車両が、磁気マーカー等の道路インフラを活用して自己位置推定を行いながら、信号情報や物標情報を通信で受け取り、遠隔監視を受けながら走行する形が想定される。したがって、自動運転レベル 4 サービス実現に必要な協調型システムを以下の通り整理した。

表 44 自動運転レベル 4 サービス実現に必要な協調型システム

分類		概要
車両	ベース車両	バス等の車両本体(手動運転向けに開発・製造されたものでも可)
	自動運転システム	従来のドライバーに代わり、認知・判断・操作の一連プロセスを担う車載システム
道路インフラ		主に車両の自己位置推定等を補助する道路側のインフラ (例:磁気マーカー・誘導線・誘導用ペイント)
協調インフラ	信号情報	信号情報(交通信号機の灯色情報・残秒数情報等)を通信で車両へ提供するためのインフラ
	物標情報	物標情報(路側センサーで検知される移動物の位置・状態等に関する情報)を通信で車両へ提供するためのインフラ
遠隔監視システム		車内外の状態を遠隔地から監視するシステム

自動運転レベル 4 サービスを実現するにあたり、上記機能のうち、車両(ベース車両・自動運転システム)は必須である。

一方、道路インフラ、協調インフラ、遠隔監視システムは、ODD やサービス形態によって要否が異なると考えられる。例えば、車両側で十分な自己位置推定精度を確保できる場合、道路インフラが不要となるケースもある。また、車載センサー類で信号検知や物標検知を十分に実施できる場合、協調インフラが不要となるケースもある。特定自動運行制度(後述)における特定自動運

行主任者等が車両に同乗する場合、遠隔監視システムが不要なケースも考えられる。

ただし、他の交通参加者が混在する市街地等においては、様々な外乱要因が生じ得る。このような混在空間では、車両のみで自動運転レベル 4 サービスを実現することは困難であり、各種インフラとの連携が不可欠と考えられる。

2)　協調型システムを実現するためのステークホルダーの整理

2023 年 4 月から、改正道路交通法が施行され、特定自動運行を行うためには、同法に基づき対応する必要がある。

ここでは、改正道路交通法に基づいて特定自動運行を行う上で必要となるステークホルダー、ならびに地域における交通サービスの導入や持続的な運営に必要となるステークホルダーを検討し、協調型システムを活用した自動運転レベル 4 サービスを実現するためのステークホルダーを整理する。

改正道路交通法に基づき、特定自動運行を実施するためには、下図のような形で、許可を得ることが必要となる。この許可制度において想定されるステークホルダーは、特定自動運行実施者、特定自動運行主任者、都道府県公安委員会、国土交通省大臣、市町村の長等である。

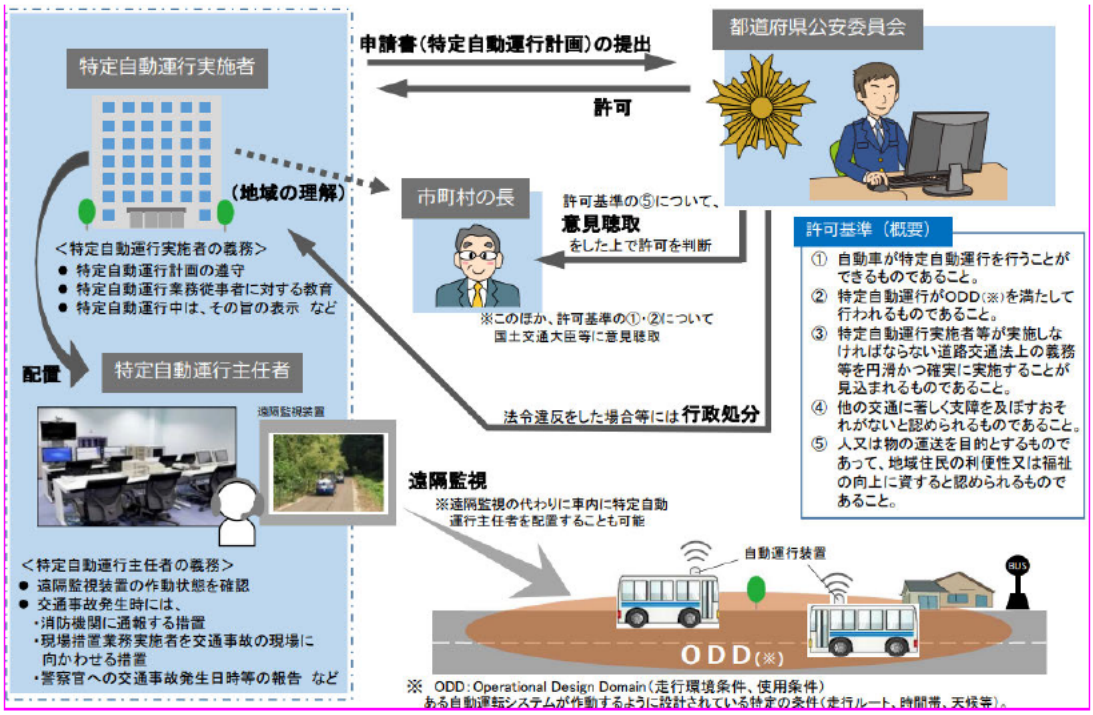


図 126　特定自動運行の許可制度のイメージ

出所：警察庁,特定自動運行に係る許可制度の創設について,
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/L4-summary.pdf (2023/3/15 確認)

また、交通サービスの導入・運営においては、持続可能な交通サービスの実現を目指すことが重要であり、行政や交通事業者等の地域のステークホルダー間の連携が不可欠である。国土交通省のアフターコロナに向けた地域交通の「リ・デザイン」有識者検討会でも地域交通を持続可能な形で「リ・デザイン」する方策が検討されており、交通サービス提供体制等の事例が紹介され

ている。

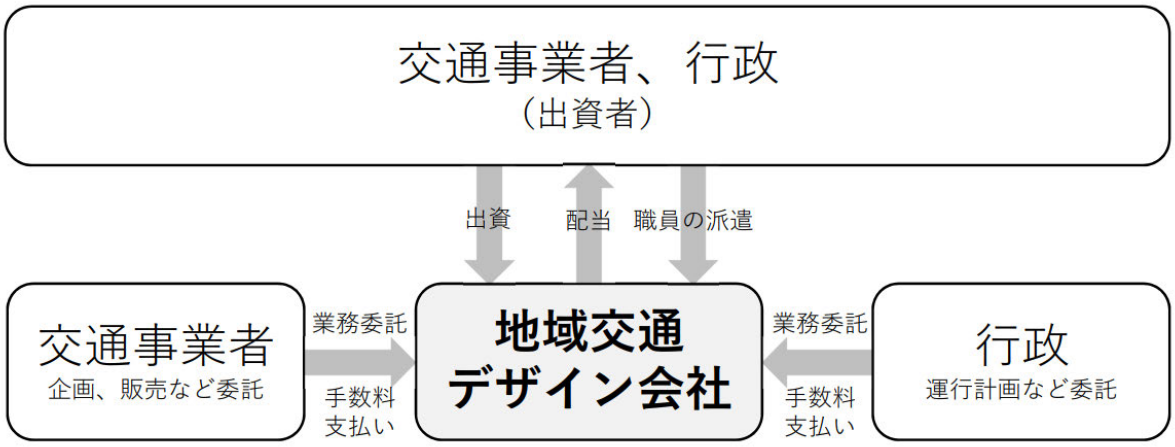


図 127　交通サービス提供体制の一例

出所：国土交通省，アフターコロナに向けた地域交通の「リ・デザイン」有識者検討会【資料 5】広島電鉄説明資料，
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001484133.pdf（2023/3/15 確認）

上記を踏まえた特定自動運行の導入及び一般的な交通サービス導入におけるステークホルダー及びその役割は以下の通り。

表 45　想定されるステークホルダー及びその役割

分類	ステークホルダー	役割
交通サービスの提供	交通事業者	利用者のニーズを踏まえた交通サービス・情報の提供
	行政	交通サービスの運行委託、支援、地域公共交通のあり方の検討等
	商業施設・病院・事務所・学校等	地域公共交通を支える担い手
特定自動運行の実施	特定自動運行実施者	特定自動運転を行う事業者のことであり、特定自動運行計画を策定・申請し、都道府県公安委員会から、特定自動運行を行うことの許可を受けた者
	特定自動運行主任者	レベル4自動運転サービスの運行を担当する責任者のこと。遠隔監視装置の作動状態を確認したり、交通事故発生時には、消防機関への通報や警察官への報告等を行う
	都道府県公安委員会	レベル4自動運転サービスを実現するにあたり、特定自動運行計画に対して、実施可否の判断・許可を行う
	国土交通省大臣	特定自動運行許可を判断する際の意見聴取先
	市町村の長	特定自動運行許可を判断する際の意見聴取先

出所：国土交通省，地域公共交通づくりハンドブック，
https://wwwtb.mlit.go.jp/hokushin/content/000104120.pdf（2023/3/15 確認）
出所：警察庁,特定自動運行に係る許可制度の創設について，
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/L4-summary.pdf（2023/3/15 確認）

3)　協調型システムの事業モデル案の詳細化

1)及び2)で整理した協調型システムを実現し、システムを利用した自動運転レベル4サービスに繋げるためには、関連する多様なステークホルダー（自治体、まちづくり組織、地域デベロッパー、運行事業者、等）の連携が不可欠となる。

後述するモデル地域での検討結果等を踏まえ、自動運転レベル 4 サービス実現のためのステークホルダーの連携の在り方の一例として、以下の形で整理した。

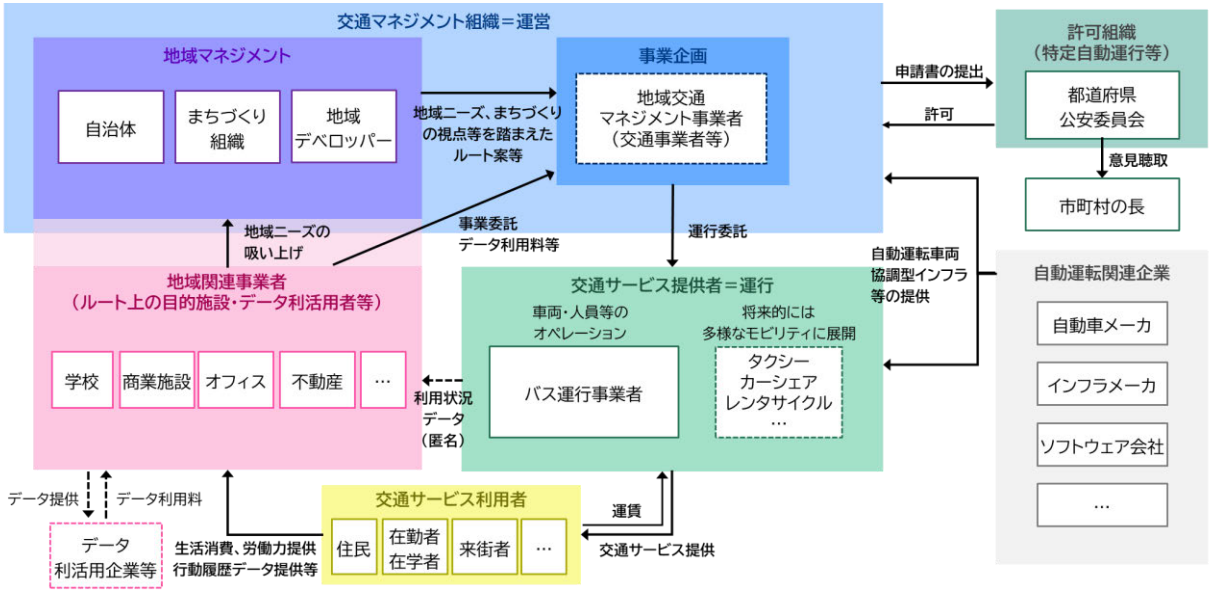


図 128　ステークホルダーの連携の在り方の一例

上記の整理では、主なプレイヤーとして、「交通マネジメント組織（地域マネジメント・事業企画)」「地域関連事業者」「交通サービス提供者」「交通サービス利用者」「許可組織」「自動運転関連企業」に分類している。各々の主な役割は以下の通りである。

- 交通マネジメント組織：自動運転レベル 4 サービスの全体を企画する役割を持ち、機能としては更に「地域マネジメント」「事業企画」の 2 つに分かれる。地域マネジメントはルート案の策定、関係者との調整等を実施する機能であり、またルート案策定にあたっては、地域の関連事業者（自動運転レベル 4 サービスのルート上の目的施設等）から、移動に関するニーズを吸い上げて適宜反映させる。事業企画は実際の運行を計画する機能であり、計画を交通サービス提供者と適宜調整する。
- 交通サービス提供者：実際にモビリティの運行、自動運転レベル 4 サービス提供を実施する主体であり、バス運行事業者や、タクシー・カーシェア・レンタサイクル等のモビリテ

ィを取り扱う事業者を想定する。

- 地域関連事業者：自動運転レベル 4 サービスの運行ルートと関わる地域の事業者であり、運行ルートについて、地域の事業者側の観点から交通マネジメント組織（地域マネジメント）に適宜要望を伝える。
- 交通サービス利用者：地域住民や地域への来訪者等の、自動運転レベル 4 サービスを用いる主体。
- 許可組織：自動運転レベル 4 サービスを実現するにあたって、交通マネジメント組織や交通サービス提供者が作成する自動運転レベル 4 サービスの運行計画（特定自動運行計画等）に対して、実施可否の判断・許可を行う主体。バス事業として運行する場合は、特定自動運行計画に係る許可のほか、道路運送法の規定に基づき許可を受ける必要がある。
- 自動運転関連企業：協調型自動運転レベル 4 サービスを実現するのに必要となる、自動運転車両や遠隔監視のためのシステム、路車連携のためのインフラ等の開発を担う主体。自動車メーカー、インフラメーカ、ソフトウエア会社等が代表的なプレイヤーとして考えられる。

2)の整理結果及び過年度に整理した地域特性やサービス形態、モデル地域における事業モデルのアイデアを踏まえ、協調型システムの事業モデル案を詳細化する。

II. 事業モデルのフィージビリティスタディ

1) 自動運転実証事例調査

事業モデル案を各地域へ展開するためには、個別の地域や事業者が抱える事情を踏まえ、現場のニーズを捉えたリアリティがあるものである必要がある。

個別の地域や事業者が抱える事情、自動運転導入に踏み切った動機を把握し、リアリティをもった検討を行うため、自動運転サービスに対するニーズや自動運転のメリットの観点から、日本国内の自動運転実証・実装事例の実施目的を整理した。

2019 年以降の（継続を含む）日本全国における自動運転実証・実装事例は、下図に示す通り、都心や地方部、観光需要のある地域やニュータウンなど、全国津々浦々、約 20 カ所で行われている。また、自動運転導入は、それぞれの地域が直面している多様な課題に対する解決策として、期待されているため、自動運転導入の動機は、人手不足や高齢者のためのラストワンマイルの担保など、多岐にわたる。

図 129　日本全国の自動運転実証・実装事例

MRI にて作成

自動運転実証・実装への取組動機を下図に示すように整理した。動機は、「地域の課題解決を行いたい」という課題解決型ものと、「新たなモビリティサービスを導入することによる付加価値を地域に還元したい」という付加価値創出型の大きく 2 つに分けられる。

前者の課題解決型の動機には、高齢者や観光客といったような特定のターゲットに向けて移動の足を用意するといった解決策と、地域に張り付く様々な社会課題に対する解決策がある。特定ターゲットを持たない地域課題解決としては、特に、渋滞緩和やまちの回遊性向上、交通事故防

止といったような、より街中の生活を安心・快適なものに向上させる形のものが挙げられる。特に、「人手不足」なども、自動運転ならではの導入動機として取り上げられることが多い。

後者の価値創出型の動機には、貨客混載など、規制緩和も視野に入れた、新たなサービス・在り方としてのモビリティ運用を検討するためのものが挙げられる。特に自動運転を実装するフェーズにおいて、持続可能に運営・運用していくにあたって、収益性は重要な視点である。そのためには、関係者の整理や調整、ビジネスモデルの整理・検討が必要であるため、それらを見通して既に実証に取り組んでいる事例もいくつか存在する。

表 46　自動運転実証・実装事例の取組動機

自動運転導入の動機についてカテゴライズ			事例番号	目的一覧	自動運転必須性
課題解決型	特定ターゲットに向けた施策	高齢者の移動	⑦	丘陵住宅地区における住民の免許返納後の地区内移動を補完するため	△
			⑫	高齢者等の日常生活の移動手段の確保	△
			⑳	高齢化が進む郊外型の団地における将来を見据えた移動支援サービスの検証	△
			⑩	大津市：高齢者の移動手段や観光客の二次交通等の確保	△
		観光客の移動	⑱	観光客の足として活用、地域の交通事情課題に対し自動運転バスの開発を継続しながら営業運行を行う	△
			⑥	観光客の行動変容、移動手段の転換、消費促進	△
			⑰	鉄道駅から周辺施設への移動手段の不足の解消、鉄道利用におけるさらなる観光誘客促進	△
	地域課題解決	渋滞緩和・回遊性向上	⑪	町内の回遊性の向上、人口の増加、地域活性化を促進	△
			⑥	県内の慢性的な渋滞の緩和、駐車場不足の解消	○
		まちの特性に関する課題解決	⑬	郊外ニュータウンの住宅地としての機能回復、コミュニティの活力を取り戻す、既存の公共交通へのアクセス性向上、きめ細かな移動手段の提供、利便性の高い新しい交通ネットワークを実現	◎
			⑤	東日本大震災復興からの帰還人口や交流人口の増加を目標とする地方部での持続可能な『復興地域型MaaS』を目指す	○
		既存交通に対する代替手段の確保	⑧	日立市：鉄道廃線区間の交通手段の確保、周辺バス路線の再編による路線効率化 交通事業者：自動運転技術の商用実装、運転士不足を背景とした省人化	◎
		人材不足解消・費用負担軽減	⑭	運転手不足への対応や運行コストの縮減など公共交通の抱える課題の解決	◎
			④	コミュニティバスの「ドライバーの高齢化」「利用者の減少」「運行経費の増加」の解消、課題解決手段としての次世代モビリティサービスの活用検証	◎
			⑯	地域住民の負担軽減と安全性の向上	○
		交通事故削減	⑩	京阪バス株式会社：事故防止や運転士不足対策	◎
付加価値創出型	未来社会の公共交通サービスの在り方	未来社会の公共交通サービスの在り方の検討	⑨	様々な移動目的を支える公共交通サービスを提供、自動運転バスの高頻度運行などによる複数鉄道を組み合わせた移動需要の喚起を図る	◎
			⑲	2025年大阪・関西万博会場内外の輸送における、レベル４を見据えた自動運転車両を核とした次世代の交通管制システムの提供	◎
			⑤	段階的な人口増加に対応する持続可能な公共交通サービスの成立・持続可能な仕組みとするためサービス車両への自動運転の導入	◎
		社会受容性・事業性の検討運営検討	②	新しいモビリティサービス（ゆっくりカート、相乗りタクシー）の事業性・社会受容性の確認	○
	新たなビジネスモデルの創出	貨客混載	①	自動運転による貨客混載に取り組んで周辺地域と町内スーパーの商流・物流のあり方を探る	△
			③	オンデマンドシステムを導入した地域バスを軸に、宅配や集荷等の貨客混載に関する実証を実施し、消費者や事業者が享受可能なメリットを探る 荷主とのやりとりや現金収受が発生しないDMの配達と掛け合わせる	△
		オープンイノベーション	⑮	オープンイノベーションの推進、新たなビジネスモデル創出、持続可能なモビリティサービスの実現、将来の地域交通課題の解決	◎

このように、事業性や関係者調整の観点等、事例の横展開に関する知見を持つ事例をピックアップし、いくつかの自動運転実証事例について、ヒアリングを実施した。ヒアリングから明らかとなった事項を以下にまとめる。

【自動運転実証事例における課題全般】

- 行政や交通事業者など、関係者間の調整が重要となる。実証を重ねるにつれて、スムーズに調整が進むようになった。
- 自治体としては、自動運転車両を過疎地にこそ走行させたい思いがある。一方で、中心市街地や観光路線で、自動運転サービスを事業化できれば、そこでの利益や余剰ドライバーを過疎地へ移転できるという考え方もある。地域の状況を踏まえた、合理的な戦略が必要となる。
- 技術面よりも体制構築面に課題がある。地域の交通事業者が継続的に運用できるサービスであることが重要である。
- 事業モデルとしては、全体的にコストを抑える努力を行っているが、現実的にはバス運賃

だけで運営経費は賄えない。自治体（市町村）・自治体（都道府県）・交通事業者それぞれでどう分担するかが課題である。

- そもそも、地域の交通事業者の中には、新規事業や自動運転に取り組むこと自体が異端と受け止められる場合もある。成功事例を示すことさえできれば、横展開が進むと期待される。

【自動運転運行事例における横展開可能/不可能な知見】

- 横展開できるノウハウとして、「官民で自動運転導入戦略を検討し、役割分担を行うこと」が挙げられる。自治体は積極的な関係者調整の姿勢、運行事業者側は覚悟を持った事業実施が必要だろう。
- 関係者調整にあたって、他地域の事例をもとに相談・交渉すると、議論が進めやすい傾向にある。実際の事例に基づくノウハウが整理されていると良い。
- 横展開が難しい点は、「地域特有の課題と向き合い、具体的なサービスを検討する」フェーズである。
- 同じ自治体内でも、数 km 離れた地区では、交通事業者の事業状況や地区の課題等が異なることもあり、一律で地域交通サービスを実装することは難しい。。この課題は自動運転だけでなく、オンデマンド運行等他のサービスも同様で同じ苦労があるだろう。

【自動運転ならではの価値について】

- 無人運転により車を呼ぶ心理的ハードルが下がることで、外出しやすくなることが挙げられる。
  - 「一人なのにタクシーを呼ぶことは申し訳ない」と思ってしまう人もいる。そのため、無人になると、移動需要が増えて外出機会増加やまちの活性化につながるのではないかと考えている。
  - また、特に地方部では、プライバシー確保の観点でも、潜在的にニーズあるのではないだろうか。

2)　規制・法制度の整理

i)　自動運転レベル 4 に関する規制・法制度等の整備状況

2022 年 4 月、第 208 回国会において、SAE レベル 4 に相当する、運転者がいない状態での自動運転である特定自動運行の許可制度の創設等を内容とする道路交通法の一部を改正する法律が成立した。また、道路交通法関係では「道路交通法の一部を改正する法律の施行に伴う関係政令の整備に関する政令案」等に対する意見募集が 2022 年 10 月 28 日から 2022 年 11 月 26 日まで実施され、2022 年 12 月に公布、2023 年 4 月 1 日に施行となる予定である。同政令では、特定自動運行の許可制度に関する関係整理等が整備されている。他方、道路運送車両法関係では、「道路運送車両の保安基準等の一部を改正する省令等」が 2023 年 1 月 4 日に公布・施行された。同省令では、特定自動運行のため自動運行措置の要件について運転者が不在となる場合を想定とした規定の整備や、・高速道路での車線維持機能を有する自動運行装置の要件について、上限速度引上げ及び車線変更機能の要件追加の国際基準の国内への導入について触れられている。

なお、特定自動運行の申請は上述の道路交通法上の規定に基づき行うが、自動運転車両を路線バスやコミュニティバスとして運行する場合は、特定自動運行に関する申請のほか、道路運送法上の規定に基づき申請を行う必要がある点に留意する必要がある。

ii)　特定自動運行の概要

特定自動運行は以下のように定義される。

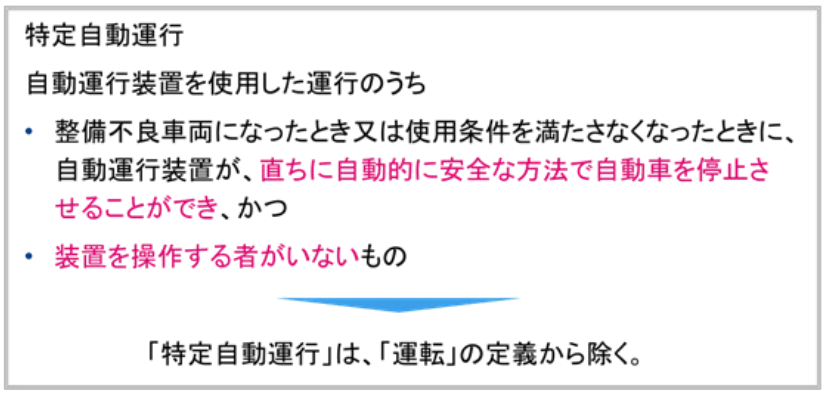


図 130　特定自動運行の定義

また、レベル 4 に相当する無人自動運転による移動サービスを実施する場合、道路交通法に定められた「特定自動運行」としての許可を取得する必要がある。特定自動運行に必要な体制と役割は以下の通りである。

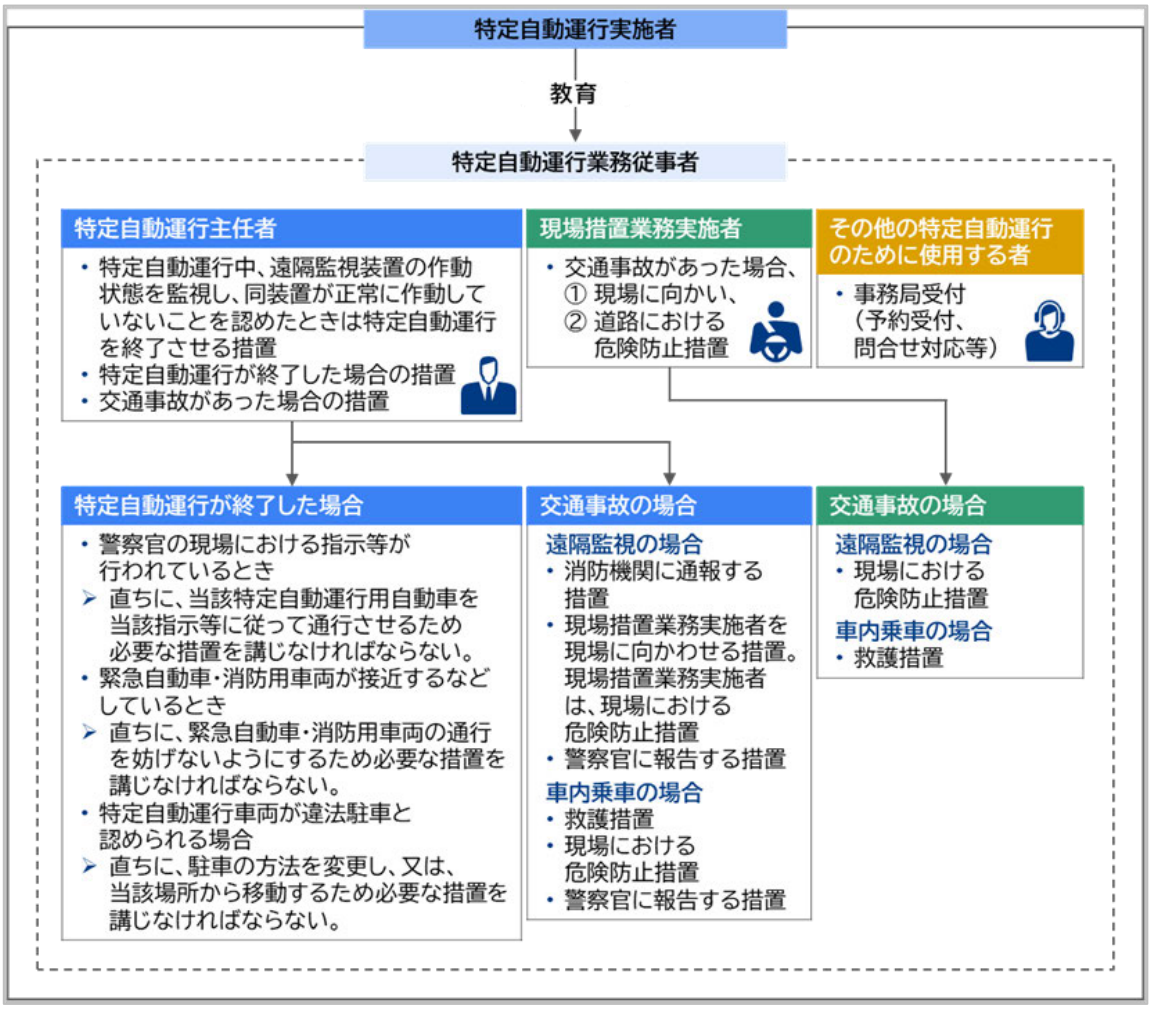


図 131　特定自動運行に必要な体制と役割

特定自等運行実施者は、申請書（特定自動運行計画）を策定し、各都道府県公安委員会に提出し、運行の許可を得る必要がある。申請・許可の主な流れは以下の通りである。

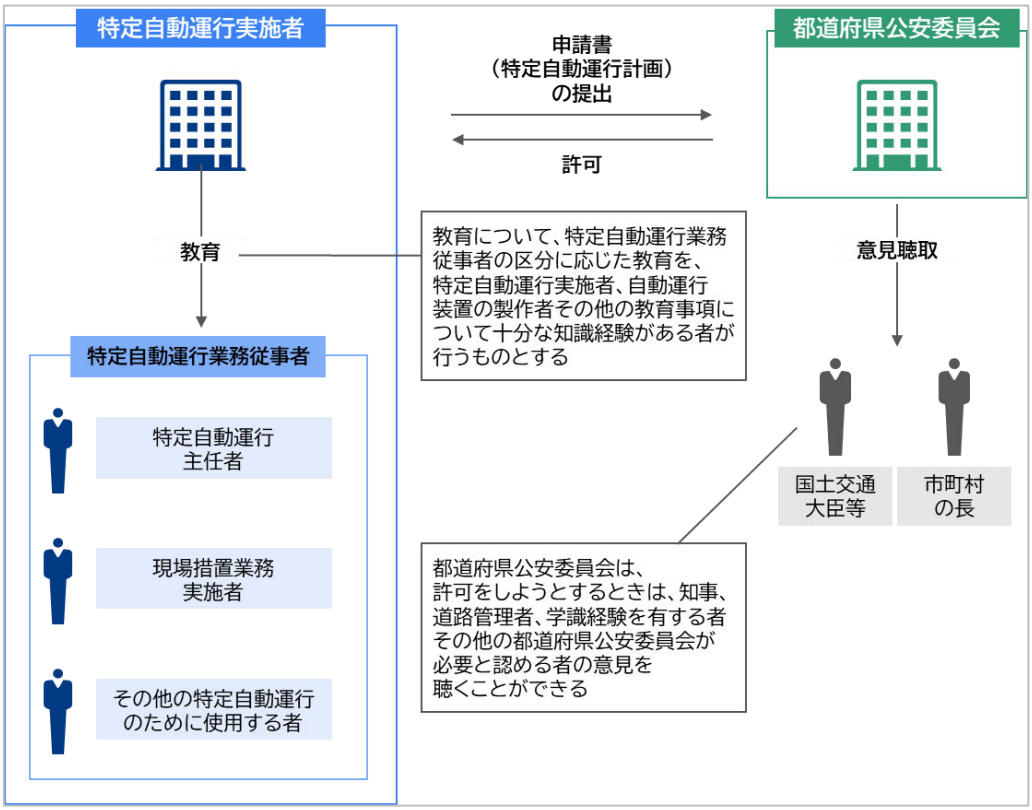


図 132　申請・許可の主な流れ

特定自動運行を行うにあたっては、特定自動運行を行おうとする場所を管轄する公安委員会の許可を受ける必要があり、道路交通法第七十五条の十二第二項の申請書の様式に則り申請を行う必要があり、申請書には以下の事項を記載する必要がある。

表 47　特定自動運行の許可の申請書の様式等

項目	記載内容
特定自動運行を行う者に関する事項	・特定自動運行を行う者の氏名又は名称及び住所並びに法人の代表者の氏名並びにその役員の氏名及び住所【法】
特定自動運行に関する計画（特定自動運行計画）	
特定自動運行に使用する自動車に関する事項	・特定自動運行用自動車の車名及び型式【法】 ・自動車登録番号又は車両番号及び車台番号【法】 ・長さ、幅及び高さ【規則】 ・自動運行装置に係る使用条件【規則】
特定自動運行に関する事項	・特定自動運行の経路【法】 ・特定自動運行を行う日及び時間帯【法】 ・特定自動運行により運送される人又は物【法】 ・特定自動運行を行うための前提となる気象の状況【規則】 ・特定自動運行を行うための前提となる道路の構造並びに特定自動運行及び特定自動運行が終了した場合に講じられる措置が他の交通に及ぼす影響の程度【規則】
特定自動運行の場所に関する事項	・特定自動運行を管理する場所の所在地及び連絡先【法】
特定自動運行実施者又は特定自動運行業務従事者が実施しなければならない措置に関する事項	・第七十五条の十九第一項に規定する教育の具体的内容及びその実施方法【法】 ・第七十五条の十九第二項の規定による特定自動運行主任者の指定及び同条第三項の規定による現場措置業務実施者の指定の方法【法】 ・第七十五条の二十第一項に規定する措置の実施方法及び当該措置を講ずるための装置、人員その他の体制【法】 ・第七十五条の二十第二項の規定による表示の具体的方法【法】 ・第七十五条の二十一、第七十五条の二十二及び第七十五条の二十三第一項から第三項までの規定による措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順【法】 ・法第七十五条の二十四の規定により読み替えて適用する法第三十三条第三項の規定による措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順【規則】 ・法第七十五条の二十四の規定により読み替えて適用する法第七十五条の十一第一項の規定による表示の具体的方法【規則】 ・法第七十五条の二十四の規定により読み替えて適用する法第七十五条の十一第二項の規定による措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順【規則】

各都道府県公安委員会では提出された申請書をもとに、以下の 5 項目を基準として確認し、市町村の長及び国土交通大臣等に意見聴取を行ったうえで、許可を判断される。具体的な特定自動運行の許可基準は以下の通りである。

表 48　特定自動運行の許可基準

項目	許可基準	意見聴取先	特定自動運行計画との対応
車両情報	自動車が特定自動運行を行うことができるものであること	国土交通大臣 等	車両情報
運行情報（ODD）	特定自動運行がODDを満たして行われるものであること	国土交通大臣 等	運行情報
特定自動運行実施者又は特定自動運行業務従事者の実施事項	特定自動運行実施者等が実施しなければならない道路交通法上の義務等を円滑かつ確実に実施することが見込まれるものであること	－	オペレーション
他の交通への影響	他の交通に著しく支障を及ぼす恐れがないと認められるものであること	－	（現時点では示す答えなしのため）今後議論・検討要
特定自動運行地域への影響	人又は物の運送を目的とするものであって、地域住民の利便性又は福祉の向上に資すると認められるものであること	市町村の長	（現時点では示す答えなしのため）今後議論・検討要
自動運行装置	当該条件（走行環境条件）における自動運行装置の性能が保安基準に適合すると認められるものであること	国土交通大臣 等	自動運行装置（センサー、コンピュータ）
特別装置自動車（手動による運転時は通常のハンドル・ブレーキと異なる特別な装置（コントローラ等）で操作する自動車） ※自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準	・実験の趣旨等 - 自動運転の実用化に向けた実証実験であること ・実施場所・日時 - 一般の道路利用者の通行に特段の著しい支障を及ぼす場所及び日時が含まれないこと ・安全確保措置 - 最高速度 - 交通の状況、道路環境等に鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度とすること - 自動運転の公道実証実験中である旨の表示 ・実験車両等の構造等 - 道路運送車両の保安基準の規定に適合していること（緩和認定を含む） - 乗客を乗せて走行することを予定しているときには、できる限り急ブレーキ等にならないなど、乗客の安全にも十分配慮すること ・監視・操作者となる者 - 教育・訓練の実施 - 法律上の運転者としての義務・責任の認識 - 必要な運転免許の保有	警察官 等	車両

3) その他に対応が必要と考えられる事項

前述の規制・法制度への対応以外に、自動運転レベル 4 サービスの実現にあたり関係省庁と連携しての対応が必要と考えられる主な事項として、以下が考えられる。

- データ活用・連携：データ保有・利用の権利の整理、データ信頼度などに関する責任の整理、公的目的に資するデータの公共性確保方策の検討、情報通信のセキュリティ確保、セキュリティ・インシデントへの対応 等
- プライバシー・個人情報保護：自動決済、車内監視の在り方等
- 信号情報提供：通信方式、非集中制御交差点対応、(V2N 配信の場合) 信号情報センター整備、特定自動運行に適用する際の手続き・審査 等
- 信号情報提供以外のインフラ連携：障害物検知等をインフラ連携で実施する場合の仕様、通信方式、特定自動運行に適用する際の手続き・審査 等
- 自動運行補助施設：磁気マーカー等の自動運行補助施設を特定自動運行に適用する際の手続き・審査 等

III. 導入検討マニュアル案の作成

2025 年以降の横展開を見据え、事業モデル案を各地域の移動サービス事業者等に伝えるための導入検討マニュアル案（ドラフト版）を作成した。

作成にあたっては、1-3 で行うモデル地域での関係者との協議等を踏まえ、移動サービス事業者が事業実施判断にあたって重視するポイント等を整理した。また、1-3 において、どの地域でも活用可能な汎用性・現実性のある評価方法を検討するなど、使いやすさ・分かりやすさにも配慮したものとした。

なお 2022 年度はドラフト版を作成した。次年度以降も引き続き更新を行い、2023 年度に初版、2025 年度に改訂版を作成する予定とする。

(1) マニュアルの構成

導入検討マニュアル案は 2 部構成とし、第Ⅰ部では、混在空間での自動運転レベル 4 移動サービスの導入検討にあたり、留意が必要な事項を紹介する。ここでは、どのような移動サービスを導入するか（自動運転レベル 4 サービスを導入するか、その他の移動サービスを導入するか等）、その検討の流れも含めて提示する。また、第Ⅱ部では、実際に自動運転レベル 4 移動サービスを導入する際の具体的な手順・手続きを説明する。

表 49　マニュアルの全体構成

部	概要
はじめに	本マニュアルのスコープや使い方について
第Ⅰ部	混在空間でのレベル4自動運転サービスの導入検討について
第Ⅱ部	混在空間でのレベル4自動運転サービスの導入時の手順･手続きについて

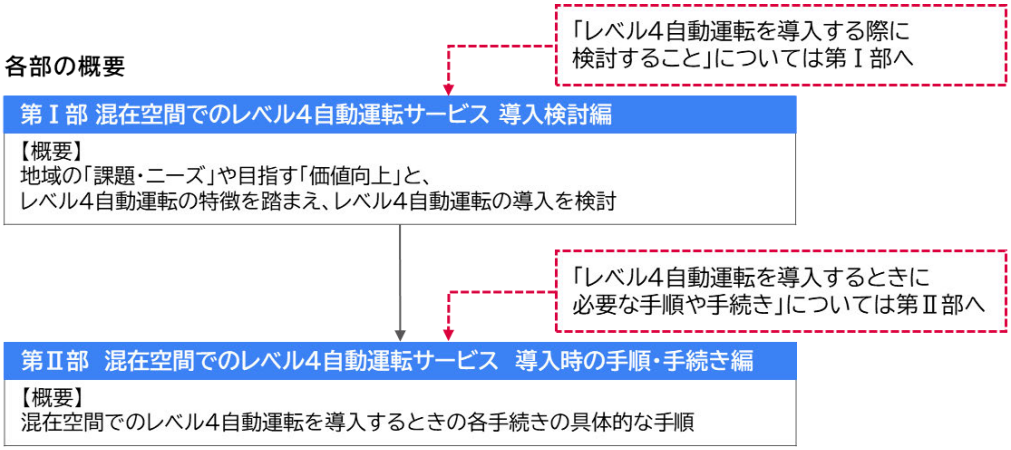


図 133　各部の概要

(2) 想定する読者と読者のステータス

導入検討マニュアル案は自動運転レベル 4 の導入を検討する際に参考となる資料として位置づける。そのため、地域に何らかの移動サービスの導入を検討中であり、地域の実情や課題・ニーズ等は一定程度整理されている読者を対象としており、また、導入する移動サービスとして、「自動運転レベル 4」を含めて検討、もしくは、関心のある読者を対象とする。具体的には、バス会社等の交通事業者だけでなく、対象地域の自治体や住民、企業、まちづくり団体等の関係の皆さまにも読んでいただくことを想定する。

表 50　想定する読者

確認の対象	読者の状況
移動サービス導入の検討状況	• 何らかの移動サービスの導入を検討中 • 地域の実情、課題・ニーズ等は一定程度把握済 • 導入する具体的な移動サービスは未定だが、自動運転の導入を視野に含めている、もしくは自動運転の導入を目指している
導入対象	• 既に地域に存在する移動サービスの代替・変更、新規導入を検討している人のいずれも対象

(3) 各部の概要

本節では、「(1)」でマニュアル全体像と記載概要について示し、「(2)」及び「(3)」で各部の要点を示す。

i） マニュアルの全体像と記載概要

表 51 マニュアルの全体像と記載概要

はじめに マニュアル全体像		
1. 本マニュアルのスコープ	(1) 本マニュアルの構成	• 導入検討編及び導入時の手順・手続き編の2部構成 ✓ 第Ⅰ部は、混在空間でのレベル4自動運転 導入検討の方法について ✓ 第Ⅱ部は、混在空間でのレベル4自動運転 導入時の手順・手続きについて
	(2) 想定する読者や読者のステータス	• 本マニュアルの読み手としてどのような読者を対象としているか ✓ 自動運転の導入を視野に入れて地域の移動サービスの導入を検討している自治体・事業者、地域企業等を対象
第Ⅰ部 混在空間でのレベル4自動運転サービス 導入検討編		
1. 地域の移動サービスの位置づけ	(1) 地域の移動サービスの現状や目的	• 本マニュアルが対象としている地域の移動サービス、地域の移動サービスの現状及び目的について
	(2) 旅客輸送を行うための基礎情報	• 旅客輸送を行うための基礎情報、旅客自動運送事業の定義、一般旅客自動車運送事業の種別について
2. 自動運転移動サービスの特徴	(1) 社会課題解決手段としての自動運転	• 人口減少・高齢化の続く地域における移動手段の確保など、社会課題から見る将来のモビリティ社会像、自動走行が果たすべき役割について
	(2) 運転自動化レベルと本マニュアルの対象	• 自動運転、運転自動化レベルの定義と本マニュアルでの対象について
	(3) 運転自動化レベル4の定義・実現できるサービス	• 運転自動化レベル4でできること、技術面での要検討事項について
	(4) 自動運転システムの種類：自律型と協調型	• 自律型自動運転/協調型自動運転の違いについて
3. レベル4自動運転サービス導入検討時の留意点	(1) レベル4自動運転サービス導入の検討	• レベル4自動運転サービス導入検討時の留意事項の全体像について
	(2) レベル4自動運転サービス導入検討時に確認すべき地域の特性	• レベル4自動運転サービスを導入検討するという観点で、地域に移動サービスを導入する際に確認すべき地域の特性を整理
	(3) レベル4自動運転サービスの導入により期待できること	• レベル4自動運転サービスを導入することで、期待できること
	(4) レベル4自動運転サービスを導入検討時の留意事項	• レベル4自動運転サービスを導入する際に留意すべき事項をQA方式で整理
第Ⅱ部 混在空間でのレベル4自動運転サービス 導入時の手順・手続き編		
1. はじめに	(1) 混在空間でのレベル4自動運転サービス手続き・手順の全体像	• はじめに、レベル4自動運転導入時手順・手続きの全体像
2. サービス計画立案	(1) サービスの目的・内容・利用者	• 提供する移動サービスの目的と、それを踏まえたサービス内容と想定利用者について
	(2) 実施体制	• レベル4自動運転サービスを実施する体制、法制度を踏まえた実施体制、運行にかかる管理業務、点検内容等について
	(3) ルート・運行計画	• 具体的なルート設定や運行計画(運行頻度、運行時間等)策定検討の流れ(特定自動運行区間だけでなく導入を検討している全ルートを想定)
	(4)事業採算性	• 支出と収入の考え方を提示したうえで、事業採算性の考え方を整理
	(5)社会的費用便益分析	• 社会的費用便益分析の概略検討のフローや事例を紹介
	(6) リスクアセスメント	• 想定しうるリスクの洗い出し、リスクアセスメントの検討と実行
	(7) 社会受容性	• 社会受容性の検討
3. 特定自動運行計画の策定	(1) 実施計画の策定	• 「1. 」のサービス計画立案をもとに、特定自動運行区間における具体的な実施計画を策定するための考え方について
4. 審査・許認可	(1) 審査・許認可の概要	• レベル4自動運転サービスを運行する(特定自動運行の)ために必要な審査・許認可の整理
5. サービス導入・評価	(1) サービス導入後の評価	• サービス導入後の評価方法(利用実態調査や収支評価など)について

ii） 第Ⅰ部 混在空間での自動運転レベル 4 導入検討編

第Ⅰ部では、混在空間での自動運転レベル 4 移動サービスの導入検討にあたり、留意が必要な事項を整理した。前半では、地域の移動サービスの位置づけを示すことで、地域に移動サービスを導入する際に理解しておくべき基礎情報を整理した。移動サービスを計画するにあたっては、どのような「まちづくり・地域づくり」を目指すことから検討を開始し、その目指す「まちづくり・地域づくり」を実現するために必要となる移動サービスの内容や利用者を決めていくことが

ポイントとなる。

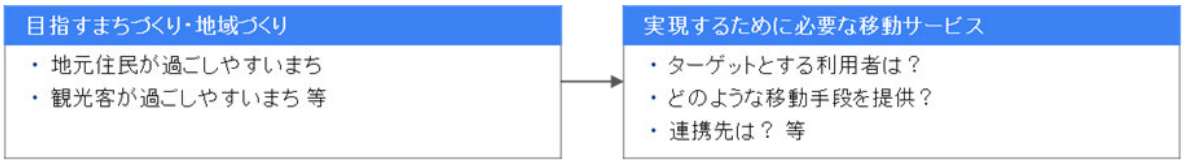


図 134　地域の移動サービスの目的

また、自動運転レベル 4 サービス導入を検討するにあたり必要な自動運転移動サービスに関する情報を、自動運転移動サービスの特徴として整理した。具体的には、担い手不足や移動手段が確保できないことによる移動の自由の制限といった社会課題や、環境問題・カーボンニュートラルへの貢献も求められているところ、新たなモビリティ活用の視点が我が国に山積する様々な社会課題の一助を担う可能性が高いと見込まれていること、さらに派生効果として、効率的な車両運用・エネルギーマネジメントによるカーボンニュートラルへの貢献や、新たなビジネス・付加価値創出等、一見モビリティ分野とは関係のない付加価値までを生み出すポテンシャルがあると考えられている等の観点で、社会課題解決手段としての自動運転の位置づけ等を整理した。

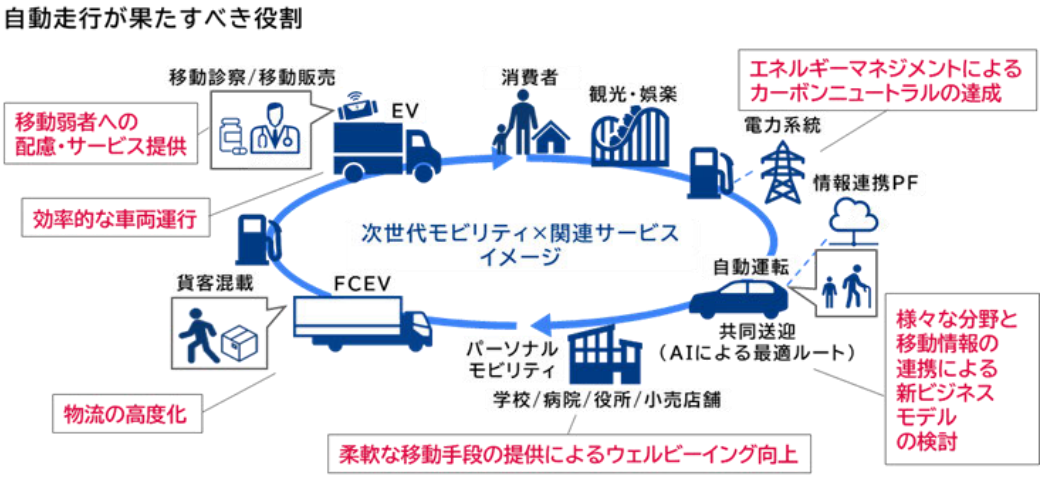


図 135　自動走行が果たすべき役割

出所：内閣官房,官民 ITS 構想ロードマップ,
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20210615/roadmap.pdf
(2022/7/26 確認)
経済産業省,自動走行ビジネス検討会，自動走行ビジネス検討会報告書 version6.0,
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/pdf/20220428_1.pdf (2022/7/26 確認)
三菱総合研究所，未来社会構想 2050, https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/ecovision/dia6ou000001mwnz-att/ei20191107_mirai2050_overview.pdf (2022/12/9 確認)

加えて、自動運転システムの基礎情報として、運転自動化レベルの定義や実現できるサービス、

自動運転システムの種類について、本導入検討マニュアル案の対象範囲（自動運転レベル 4）とともに整理した。

表 52　運転自動化レベルの定義と対応する車両の呼称

レベル	概要	操縦主体	対応する車両の呼称
運転者が一部またはすべての動的運転タスクを実行			
0	• 運転者がすべての動的運転タスクを実行	運転者	-
1	• システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者	運転支援車
2	• システムが縦方向及び横方向両方の車両運転制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者	
自動運転システムが（作動時は）すべての動的運転タスクを実行			
3	• システムがすべての動的運転タスクを限定領域において実行 • 作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム（作動継続が困難な場合は運転者）	条件付自動運転車（限定領域）
4	• システムがすべての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム	自動運転車（限定領域）
5	• システムがすべての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に（すなわち限定領域内ではない）実行	システム	完全自動運転車

本マニュアルで対象としているレベルはレベル4

「運転者不要」という点で、L3以下とL4以上では大きく異なる

出所：内閣官房,官民 ITS 構想ロードマップに加筆して作成,
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20210615/roadmap.pdf
(2022/7/26 確認)
国土交通省,自動運転の実現に向けた国土交通省の取り組み 参考資料,
https://www.mlit.go.jp/common/001227121.pdf (2022/12/9 確認)

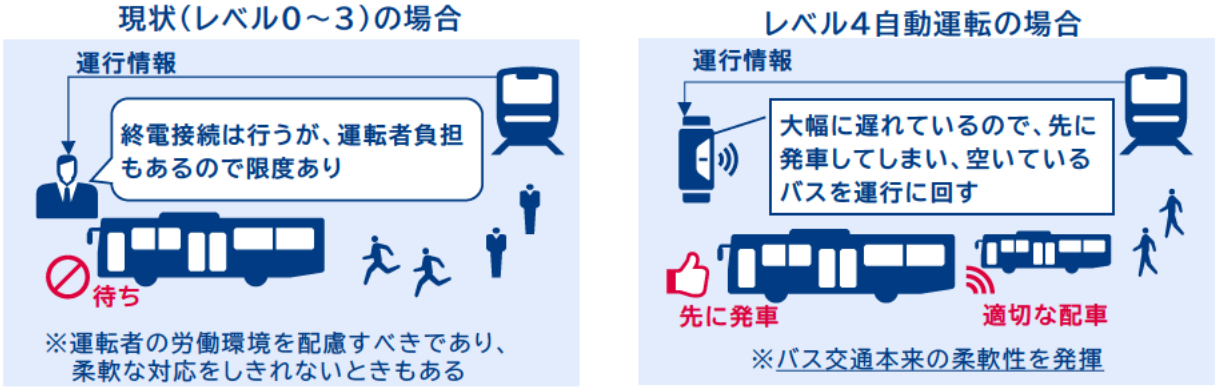


図 136　自動運転レベル 4 で実現できること（例：終電乗り換え）

表 53　自動運転システム：自律型と協調型の違い

自動運転システム	定義
自律型自動運転システム	車載システム(車載センサ・高精度地図等)のみで自動運転を行うことができるシステム
協調型自動運転システム	自律型自動運転システムをベースに、通信を用いて入手した交通環境情報等を活用することでより幅広いODDの自動運転を行うことができるシステム

出所：内閣官房,官民 ITS 構想ロードマップに加筆して作成,
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20210615/roadmap.pdf
(2022/7/26 確認)
国土交通省,自動運転の実現に向けた国土交通省の取り組み 参考資料,
https://www.mlit.go.jp/common/001227121.pdf (2022/12/9 確認)

そのうえで、自動運転レベル 4 サービス導入検討時の留意事項を、確認すべき地域の特性や期待できることといった観点を踏まえて、留意すべき事項がイメージしやすいよう QA 方式で整理した。

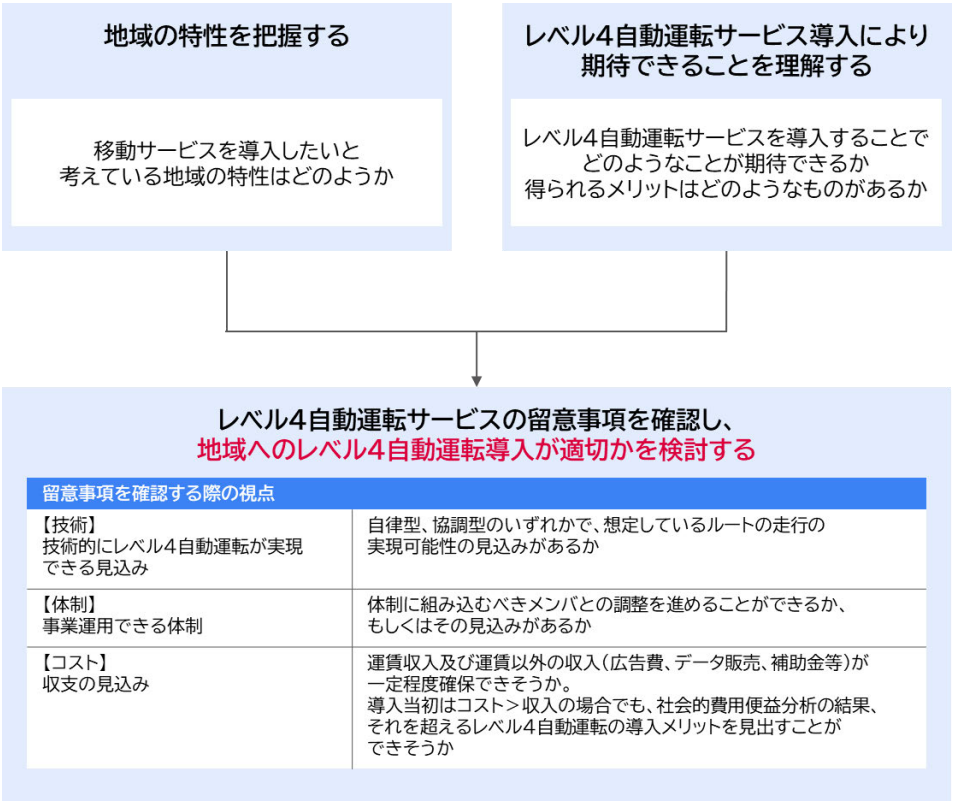


図 137　自動運転レベル 4 サービス導入検討の流れ

表 54　自動運転レベル 4 移動サービス導入時の留意事項（一部抜粋）

	分類	Q	A
技術	想定エリア	どのようなエリアなら運行することができますか。運行が難しいエリアはありますか。	• 他の交通との混在度が低く、路幅に余裕があるほど技術的には導入しやすいルートです。 • 交差点が多いルートや直右の交差点は苦手です。また、一定の速度で国道等の交通量の多い道路を走行すること、もしくは横切ること等は苦手です。ただし、車載システム、路側機システム等を活用することで解決できる部分、低速であれば走行可能ある場合もあります。 • 狭い路幅の道路での路上駐車が多いエリアは苦手です。予め道路事情を確認するとともに、必要に応じて改善を図っていくことが大切です。 • 一定の運転技術が必要になるほどの狭い路幅は苦手です。ただし、選択する車両の大きさ等にもよるため、需要と車両仕様をしっかりと検討することが重要です。 • その他、豪雪地域の雪の季節なども現在の技術では苦手です。
		人が多いエリアは運行することができますか。	• 人が多すぎるエリアは得意ではありませんが、車載システム、路側機システム等を活用することで解決できる部分もあります。想定ルートの人通りやどのような通行形態（歩道と車道が完全に隔離されているか、歩道の歩行者数、自転車の交通量等）かについて確認することが大切です。
		朝や夕方にラッシュがあるエリアを運行したいのですが可能ですか。	• 歩行者・自転車・路上駐車の数が増加する場合、走行の難易度は上がりますが、車載システム、路側機システム等を活用することで解決できる部分もあります。また、走行する路幅や速度でも難易度が異なります。予め想定ルートの状況を把握したうえで、運行時間や頻度等も含めて検討することが大切です。
		自動運転車両が走行するための専用レーンを設置する必要がありますか。	• 専用レーンを導入することで、技術的には導入しやすくなりますが、必ずしも必要というわけではありません。

iii）　第Ⅱ部　混在空間での自動運転レベル 4 導入時の手順・手続き編

第Ⅱ部では、地域に自動運転レベル 4 サービスを導入するにあたり、具体的な導入手順や必要となる手続きについて整理した。

具体的な手順は、まず、提供するサービスの計画案を検討したうえで、特定自動運行計画を策定し、申請を行う流れである。サービス導入後は継続的に評価を行い、提供サービス内容の変更要否を検討することで、より質の高いサービスの提供が期待できる。

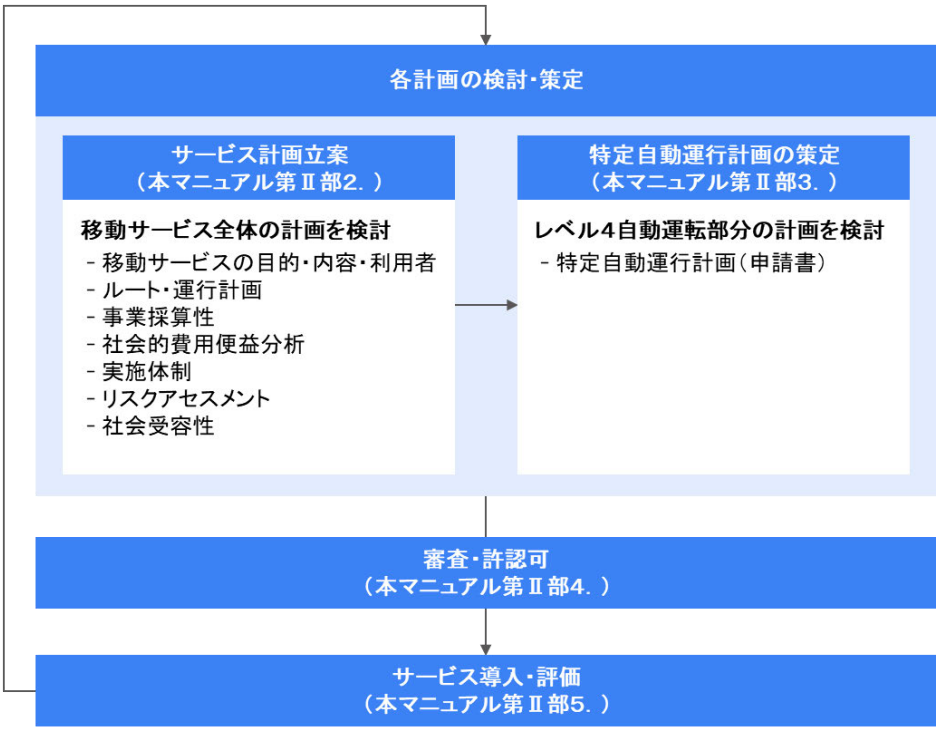


図 138　混在空間での自動運転レベル 4 導入時の手順・手続きの全体像

また、自動運転レベル 4 サービスを提供するためには、各種法制度に従う必要があるため、自動運転サービスに関わる法制度についても整理した。

表 55　自動運転移動サービスに関わる法制度

項目	国内法/ガイドライン	関連省庁（例）
交通ルール・免許	• 道路交通法	• 警察庁
民事責任	• 自動車損害賠償保障法（自賠法） • 製造物責任法（PL法） • 民法	• 国土交通省、金融庁 • 消費者庁 • 法務省
刑事責任	• 刑法 • 自動車運転死傷処罰法	• 法務省
車両の安全確保	• 道路運送車両法 • 自動運転車の安全技術ガイドライン	• 国土交通省
ヒトを運ぶサービス	• 道路運送法	
モノを運ぶサービス	• 貨物事業者運送事業法	
個人情報・データ	• 個人情報保護法 • AI・データの利用に関する契約ガイドライン	• 内閣府 － 個人情報保護委員会 • 経済産業省
電気通信	• 電気通信事業法	• 総務省
その他	• 車庫法、駐車場法 • 旅行業法	• 警察庁、国土交通省 • 観光庁

改正道路運送法を中心とした各法制度を踏まえたサービス計画立案の検討項目及びその概要について整理した。

表 56　サービス計画立案の検討項目

(1)移動サービスの目的・内容・利用者
(2)実施体制
(3)ルート・運行計画
(4)事業採算性
(5)社会的費用便益分析
(6)リスクアセスメント
(7)社会受容性

いずれの項目においても、柏の葉地域での検討事項を反映したうえで、法制度の改正やガイドラインの更新状況等を踏まえ、初版に向けて継続して更新予定である。

次に、特定自動運行計画の策定に向けて必要な手続き・手順を整理した。導入検討マニュアル案では、改正道路交通法を中心として警察庁や国土交通省にて公表されている各情報（2023 年 1 月末時点）を踏まえ、特定自動運行計画の策定に必要な情報を整理した。なお、自動運転レベル 4 の運行許可制度を盛り込んだ改正道路交通法は 2023 年 4 月 1 日に施行されることが正式決定され、改正法の施行期日を定めた政令等を閣議決定されている。特定自動運行計画の策定についてもサービス計画立案と同様、柏の葉地域での検討事項を反映したうえで、法制度の改正やガイドラインの更新状況等を踏まえ、初版に向けて継続して更新予定である。

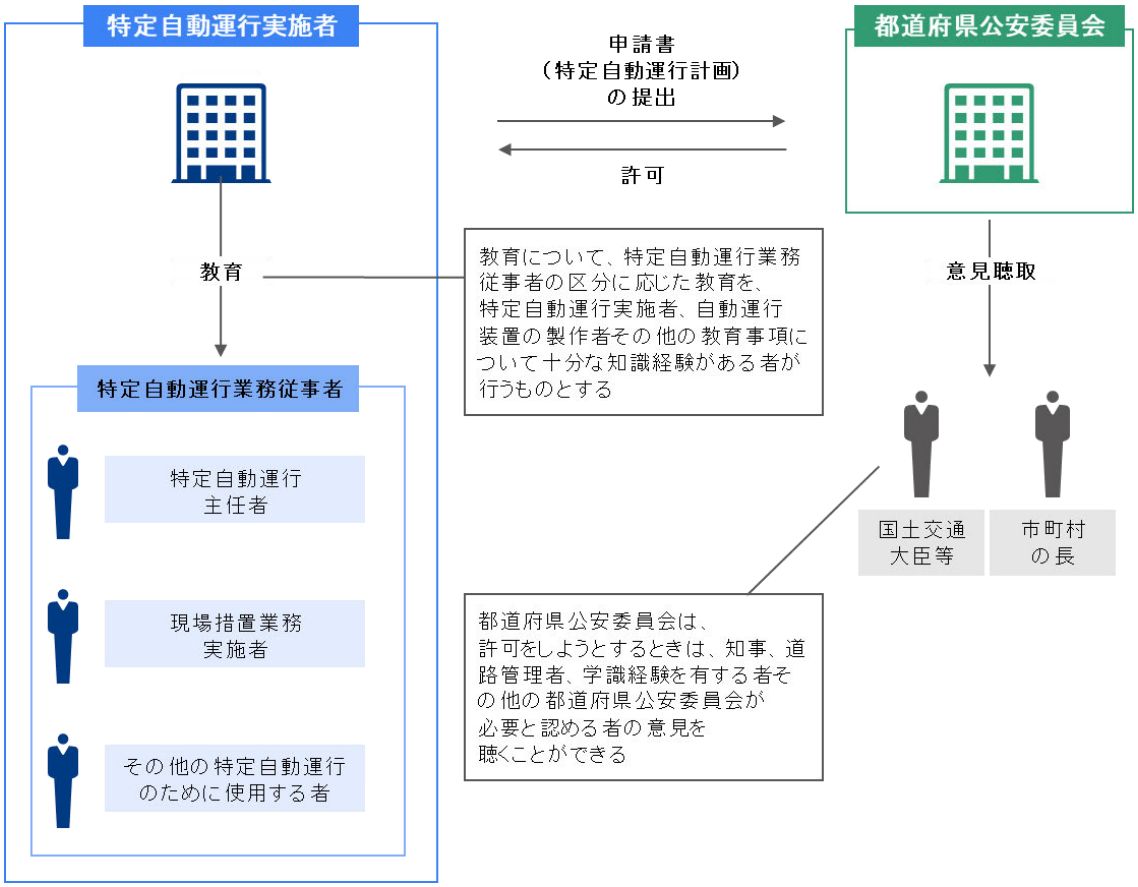


図 139　申請・許可の主な流れ

表 57　条件における必要な許可

運転者		車両	運行条件
運転者なし		---	特定自動運行許可を受けることで可能
運転者あり	遠隔に運転者あり	特別装置	運転者ありの運用であれば道路使用許可を受けることで可能
		通常のハンドル・ブレーキ	
	車内に運転者あり	特別装置	
		通常のハンドル・ブレーキ	運転者ありの運用であれば特段の手続きなく可能

表 58　特定自動運行の許可基準

項目	許可基準	意見聴取先	特定自動運行計画との対応
車両情報	自動車が特定自動運行を行うことができるものであること	国土交通大臣 等	車両情報
運行情報(ODD)	特定自動運行がODDを満たして行われるものであること	国土交通大臣 等	運行情報
特定自動運行実施者又は特定自動運行業務従事者の実施事項	特定自動運行実施者等が実施しなければならない道路交通法上の義務等を円滑かつ確実に実施することが見込まれるものであること	－	オペレーション
他の交通への影響	他の交通に著しく支障を及ぼす恐れがないと認められるものであること	－	(現時点では示す答えなしのため)今後議論・検討要
特定自動運行地域への影響	人又は物の運送を目的とするものであって、地域住民の利便性又は福祉の向上に資すると認められるものであること	市町村の長	(現時点では示す答えなしのため)今後議論・検討要
自動運行装置	当該条件(走行環境条件)における自動運行装置の性能が保安基準に適合すると認められるものであること	国土交通大臣 等	自動運行装置(センサー、コンピュータ)
特別装置自動車(手動による運転時は通常のハンドル・ブレーキと異なる特別な装置(コントローラ等)で操作する自動車) ※自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準	• 実験の趣旨等 - 自動運転の実用化に向けた実証実験であること • 実施場所・日時 - 一般の道路利用者の通行に特段の著しい支障を及ぼす場所及び日時が含まれないこと • 安全確保措置 - 最高速度 - 交通の状況、道路環境等に鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度とすること - 自動運転の公道実証実験中である旨の表示 • 実験車両等の構造等 - 道路運送車両の保安基準の規定に適合していること(緩和認定を含む) - 乗客を乗せて走行することを予定しているときには、できる限り急ブレーキ等にならないなど、乗客の安全にも十分配慮すること • 監視・操作者となる者 - 教育・訓練の実施 - 法律上の運転者としての義務・責任の認識 - 必要な運転免許の保有	警察官 等	車両

(4) まとめ

今年度は、移動サービス事業者等に伝えるための導入検討マニュアル案（ドラフト版）を作成した。前述の通り、柏の葉地域での検討事項を反映したうえで、法制度の改正やガイドラインの更新状況等を踏まえ、初版に向けて継続して更新予定である。

1-3. モデル地域での技術、サービス実証

＜この項目での実施事項＞

I. モデル地域で協調型を導入した時の効果、社会受容性等の調査

II. 地域と連携したモビリティサービスの実用化に向けた連携構築、モデル地域での実証成果を活用した他地域への横展開の検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 2023 年度以降の検討に向け、モデル地域において地域の関係主体を巻き込んだ事業推進体制による、データ連携方法・役割分担案の整理結果
- 自動運転レベル 4 サービスの導入効果評価方法案

■ 該当項目の背景と目的

自動運転レベル 4 サービスの実現にあたっては、様々な技術要素・非技術要素が関連すると考えられ、これらの様々な要素を整理する必要がある。

また、自動運転レベル 4 サービスの持続可能な形での実現及び普及を目指す上では、レベル 2、3 や他のモビリティ、さらには都市サービスなどに本テーマの成果を展開し、共通化を図ることによって、波及効果の最大化、及び持続可能なモビリティ社会の実現を目指すことが必要である。

本項目では、自動運転レベル 4 サービスの実現に必要な、様々な技術要素・非技術要素を棚卸し、相互の関係性を整理することを目指し、これにより地域特性を踏まえたモビリティサービスの実用化に向けた地域でのエコシステムを構築し、モデル地域において実証することで、他地域への横展開にあたっての知見を得ることを目標とする。

特に、データ活用に関しては、自動運転レベル 4 サービスに必要なデータ、及び自動運転レベル 4 サービスにおいて生成されるデータを、モデル地域での実証を通じて、レベル 3 以下や、他のモビリティの運転・運行支援、さらに都市サービスで活用可能とすることを目標とする。

■ 実施方針

モデル地域での実証を通じて、地域の特性に応じた協調型システムの導入を促進する中で、レベル 4 だけではなく、レベル 3 以下や他のモビリティ、都市サービスでの活用も視野に入れて、事業モデルやデータ連携スキームを検討する方針とする。

2021 年度は、複数の混在交通環境（走行環境等）のパターンにおいて、様々な協調型システムの技術要素・非技術要素を検証できるようモデル地域を選定した上で、先導調査としてワークショップ等により活用するデータ等を検討した。

2022 年度は、より運行に関わる関係者を巻き込み、試験フィールドで技術実証を行うための準備を行う。

特に、データを活用した事業モデルの観点や、本プロジェクト終了後の持続的なサービス提供に向けた実施体制、サービス実現に向けた法律関係の課題点についても考慮する方針とする。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ. モデル地域で協調型を導入した時の効果、社会受容性等の調査

1) モデル地域における事業モデルの検討

事業モデルの実現にあたっての課題の解決策として、1-2 で整理した役割分担にしたがって、モデル地域での関係者との検討を行った。

なお、検討にあたっては、1-1 で整理した通り、2025 年度の事業化目途付けを見据えて技術実証・サービス実証を行うモデル地域である「柏の葉」において、事業モデルで抽出された関係者である柏市、UDCK、三井不動産、パシフィックコンサルタンツ、東武バス、東武バスセントラルと連携して実施した。

2) モデル地域における他のモビリティ、都市サービスとの間でのデータ活用方法の検討

2021 年度は、モデル地域における、他のモビリティ（レベル 3 以下の自動車交通や、自転車・歩行者など自動車以外の道路交通）や都市サービス、施設内サービスとの連携によるデータ活用のユースケースを検討した。

2022 年度は、モデル地域において、自動運転レベル 4 サービスと他のモビリティ、都市サービスとの間で、各種データを連携、流通させるための全体アーキテクチャ（要素間の連携の仕方、関係性の整理）、手続き等を、事業モデル検討で抽出されたステークホルダーと共に検討した。データ連携や事業モデルを成立させるための技術を検証するための準備を、協調型システム検討と連携して行った。なお、データ連携のアーキテクチャや技術を検証するための検討成果の詳細は、後述する。

(1) 都市サービスとの連携可能性

自動運転レベル 4 サービスは導入することが目的ではなく、利用してもらい、住民の生活の質の向上に寄与することが重要である。自動運転レベル 4 サービスを利用してもらうためには、移動の需要を喚起することが必要であり、モビリティと都市サービスの連携が必要である。

以上の背景から、自動運転レベル 4 サービス及びその運用情報と都市サービスの情報を合わせて発信することで、移動のきっかけをつくり、移動手段を提供し、都市サービスを享受できる一連の仕組みの開発を行った。各ステークホルダーの役割について以下に示す。

なお、システムの詳細については 2-3 を参照のこと。

表 59　データ活用における各ステークホルダーの役割例

ステークホルダー	役割等
交通マネジメント組織 （地域マネジメント）	● 都市サービス情報を発信する基盤の整備 ● 都市サービス情報を発信する媒体の設置 ● 都市サービス情報の発信に係る地域関連事業者調整
交通マネジメント （事業企画）	● 都市サービス及び交通サービス利用者のニーズを踏まえた交通サービスの検討
地域関連事業者	● 各店舗等の情報提供
交通サービス提供者	● 各交通サービスの運行情報の提供

(2) 他のモビリティとの連携可能性

協調型システムに集められたデータの活用方法として、他のモビリティへの活用が考えられる。他のモビリティとして、自動配送ロボットと案内ロボット・物流用ロボットを例に、活用例を以

下に示す。

なお、他のモビリティとの具体的な連携方法や必要な手続き等については、各ステークホルダー間で別途検討が必要である。

表 60　他のモビリティとの連携例

モビリティ等	活用例
自動配送ロボット	● 信号機連携により交差点でのスムーズな走行を可能とすることで、配送範囲の拡大、利用ニーズの増加が期待できる。 ● 自動配送ロボットのカメラやセンサーの情報を協調型システムと連携させることで、危険箇所の情報の収集に活用することが想定できる。
案内ロボット、物流用ロボット	● 協調型システムから運行状況や到着予測時刻の情報を入手することで、来訪者の誘導に活用することで、施設の利便性の向上が期待できる。

(3) 柏の葉地域における検討

技術実証・サービス実証を行うモデル地域である「柏の葉」におけるデータ活用方法の検討を進める上では、データ収集・連携の対象とする道路、つまり自動運転レベル 4 サービスの走行ルートを検討することが重要である。2022 年度は、ルート案の作成とその絞り込み方法の検討を実施した。

走行ルートを策定するにあたっては、地域住民や来訪者等の移動先となるような主要な拠点を通ることが、ビジネスモデル成立のためには必要不可欠となる。柏の葉地域での走行ルート検討の際には、下図に記載されている、柏の葉キャンパス駅の周辺の主要施設を参考にした。

- TX柏の葉駅(西口・東口)
- 東京大学柏キャンパス
- 国立がん研究センター東病院
- 三井リンクラボ柏の葉
- 三井ガーデンホテル・パークサイド
- 東葛テクノプラザ
- 柏の葉公園・総合競技場
- さわやかちば県民プラザ
- 柏の葉T-Site
- KOIL 16 Gate
- 柏の葉1～3丁目三井住宅
- 柏公設卸売市場
- 十余二工業団地

図 140　ルート案の概要と技術難度から見る実現可能性

表 61 柏の葉地域関係者を含めて議論中である
協調型自動運転レベル 4 サービスが実現可能と想定されるルート案一覧

ルート名		ユーザー		ルート概要		
		想定乗客	停車場所	既存路線バスルートとの競合	右直回数	特徴
シャトル1	現状ルート+バス停追加	公園利用者/大学関係者/ホテル利用者	駅西口・東大・ホテル・公園		3回	現状ルートからバス停追加したルート 技術難易度: 現在と同等
シャトル2	柏の葉公園・総合競技場	公園イベント参加者(ラグビー観戦他)	駅西口・公園・競技場		2回	イベント(試合など)開催時のシャトルバスとして不定期運転を想定したルート
シャトル3	東大＋がん研究センター病院	大学関係者/病院ユーザー/ホテル利用者	駅西口・東大・病院・ホテル	有	4回	停車需要高い大学と病院を力バーしたルート 技術難易度: 病院停車の際の難易度が高い その他: 都市OSとの連携可能性あり
循環1	東口発の現状ルート	公園イベント参加者/公園利用者/ホテル利用者/大学関係者/三井住宅住民	駅東口・東大・ホテル・公園・競技場・三井住宅住民丁目		2回	東口発着版の現状ルート 技術難易度: 数か所技術難易度高い部分あり
循環2	東口発の柏の葉公園・総合競技場	公園イベント参加者/公園利用者/三井住宅住民	駅東口・公園・競技場・三井住宅1丁目		1回	東口発着で、シャトルルート2を循環化したルート 技術難易度: 数か所技術難易度高い部分あり
循環3	東大・柏の葉公園・三井住宅	公園利用者/大学関係者/ホテル利用者/県民プラザ利用者/三井住宅住民	駅西口・東大・ホテル・公園・競技場・県民プラザ・三井住宅1-3丁目	有	2回	西口発で公園西側を回るルート その他: 住民のニーズについて要調査
循環4	東口発の東大・柏の葉公園・三井住宅	公園利用者/大学関係者/ホテル利用者/県民プラザ利用者/三井住宅住民	駅東口・東大・ホテル・公園・競技場・県民プラザ・三井住宅1-3丁目	有	1回	循環ルート3を東口発にしたルート その他: 住民のニーズについて要調査
循環5	東口発の東大・柏の葉公園・三井住宅(その2)	公園利用者/大学関係者/ホテル利用者/県民プラザ利用者/三井住宅住民	駅東口・東大・ホテル・公園・競技場・県民プラザ・三井住宅1-3丁目	有	1回	循環ルート4を柏の葉高校南側交差点の狭小部分を通らない形に変更したルート
循環6	東大・病院・柏の葉公園・三井住宅・東口	公園利用者/病院ユーザー/大学関係者/ホテル利用者/県民プラザ利用者/三井住宅住民	駅東口・東大・ホテル・病院・公園・競技場・県民プラザ・三井住宅1-3丁目	有	2回	循環ルート4を病院を経由する形に変更したルート

① <u>シャトルルート 1</u>

現状ルートに対し、停車値を追加した形のルートであり、大学関係者、公園利用者、ホテル利用者を想定乗客としている。現行ルートで技術難易度は変わらない。

図 141 シャトルルート 1 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

② シャトルルート 2

イベント（試合時等）開催時のシャトルバスとして、不定期での運行を想定。

図 142 シャトルルート 2 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

③ シャトルルート 3

病院を停留所に追加したルートで、病院停車の際の右直・病院ロータリー走行の技術的難易度が高い。停車の需要が高い大学・病院を 2 つをカバーしている。それに加え、ルート上にはホテルもあるため、ホテル利用者も想定乗客として見込まれる。

ルート全長	• 5.2km（往復）/2.9km（東大→がんセンターの到着時）
想定ユーザー	• 大学関係者、病院ユーザー、ホテル宿泊者
技術的難易度（右直回数等）	• 右直：4回
過去事故件数内訳	• 6件 （高齢者：1、自転車:2、二輪車:1、その他:2）
特徴・その他	• 病院に停車する際の右直、病院ロータリーにより、現行ルートよりも難易度が高い。 • 停車の需要の高い東大、がんセンターをカバーしている。 • 事前チェックイン等、都市OSとの連計可能性あり。

図 143 シャトルルート 3 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

④ 循環ルート 1

東口を発着する、現状のルートを循環型へ変更したルート。公園利用者・ホテル利用者・大学関係者・三井住宅住民等が想定乗客として挙げられる。一方で、柏の葉高校南側交差点やららぽーと駐車場入り口付近に技術的難所があり、対策が必要。

ルート全長	• 5.4km
想定ユーザー	• ラグビー観戦客、柏の葉公園利用者、ホテル利用者、大学関係者、三井住宅住民
技術的難易度（右直回数等）	• 右直：2回（循環） • 柏の葉高校南側交差点が狭小であり何らか対策が必要か • ららぽーと駐車場入口の待ち行列車両が想定され、対策が必要か
過去事故件数内訳	• 12件 （高齢者：4、自転車:2、二輪車:1、こども：1、その他:4）
特徴・その他	• 東口を発着する循環ルート

図 144 循環ルート 1 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

⑤ 循環ルート 2

シャトルルート 2 と同様に、柏の葉公園にてイベント（試合等）への対応を目的としたルート。

イベント参加者、ホテル利用者、三井住宅住民をユーザーとして想定している。また、柏の葉高校南側交差点やららぽーと駐車場入り口等の技術的難所が高い地点を走行予定。

ルート全長	• 4.6km
想定ユーザー	• ラグビー観戦客、柏の葉公園利用者、ホテル利用者、三井住宅住民
技術的難易度（右直回数等）	• 右直：1回 • (シャトル・ルート2と同様に)公園近くの右直を検討する必要がある • 柏の葉高校南側交差点が狭小であり何らか対策が必要か • ららぽーと駐車場入口の待ち行列車両が想定され、対策が必要か
過去事故件数内訳	• 8件 （高齢者：4、自転車：1、二輪車：1、こども：1、その他：2）
特徴・その他	• 柏の葉公園でラグビーを行う際のシャトル・ルート2を循環化したもの

図 145 循環ルート 2 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

⑥ 循環ルート 3

三井住宅周辺（公園西側）を循環する西口発のルート。大学関係者、公園利用者、ホテル利用者、三井住宅住民を乗客として想定している。また、柏の葉高校南側の交差点が技術的難所として挙げられる。

ルート全長	• 5.7km
想定ユーザー	• 大学関係者、柏の葉公園利用者、ホテル利用者、県民プラザ利用者、三井住宅住民
技術的難易度（右直回数等）	• 右直：2回 • 柏の葉高校南側交差点が狭小であり何らか対策が必要か
過去事故件数内訳	• 12件 （高齢者：6、自転車：4、こども：1、その他：1）
特徴・その他	• 三井住宅（公園西側）をぐるっと回る西口発のパターン • 三井住宅の住民が乗るのか不明 • 公園西側を通すコストの割にメリットが少ない

図 146 循環ルート 3 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

⑦ 循環ルート 4

循環ルート 3 を東口発着に変更したパターン。大学関係者、ホテル利用者、公園利用者、三井住宅住民を乗客として想定している。柏の葉高校南側の交差点が技術的難所として挙げられる。

図 147 循環ルート 4 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

⑧ 循環ルート 5

循環ルート 4 から柏の葉高校南側交差点を直進することで、技術的難易度を解消したルート。大学関係者、ホテル利用者、三井住宅住民を乗客として想定している。

図 148 循環ルート 5 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

⑨ 循環ルート 6

循環ルート 4 に病院を通る経路を追加したルート。大学関係者、ホテル利用者、三井住宅住民を乗客として想定している。

図 149 循環ルート 6 の概要

©GeoTechnologies, Inc. iPC 許諾番号：「PL1702」三菱総合研究所作成

これから、これらのルート候補案から絞り込むにあたって、需要面・事業面・技術面それぞれからの検討が必要となる。

例えば、技術面としては、2025 年までに実現可能な技術の範囲内での検討を求められることになる。そのため、候補ルート上で通過の難易度が高い箇所を洗い出し、対応の可否を関係者で確認する必要がある。

次に、需要面の検討としては、実際に柏の葉地域へ自動運転サービスが実装した際に、技術が独り歩きしたり、採算性を先行して検討したために自動運転ならではの価値をおざなりにする計画にならないよう、地域全体のまちづくりを見据えた交通需要等を検討する必要がある。また、地域関係者に対してヒアリング等を実施し、通過すべきポイント等の地域ニーズを洗い出す必要がある。2022 年度に実施した地域関係者へのヒアリングや協議等の結果としては、柏の葉住宅を通る循環ルートへのニーズが高いことが分かった。

最後に、事業面としては、自動運転サービスとして持続的に運営できるような、無理のないビジネスモデルの構築が必要となる。そのため、協調型システムの構築・運営に係るコスト等も含め、収支シミュレーションを実施する必要がある。2022 年度に実施した想定乗降客数等の検討結果としては、柏の葉住宅を含むルートが採算性が高いことが分かった。

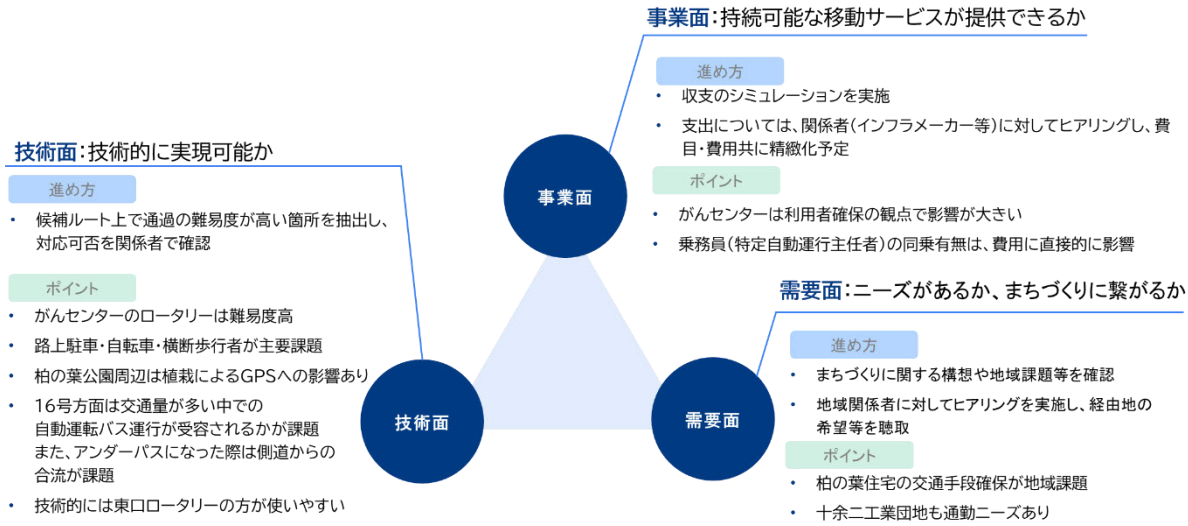


図 150　ルート候補案の絞り込みに当たって必要な 3 つの視点

このように様々な側面から、柏の葉地域の関係者を交えて議論を進め、それぞれの側面の現状、制約条件、優先順位付け等を検討し、2023 年度以降に、ルートを絞り込む計画としている。

3)　モデル地域における実証に備えた評価方法の検討

2021 年度に検討した、モデル地域において次年度以降に事業化の観点から実証等を行うための評価項目等を踏まえ、具体的なステークホルダーと共に、自動運転レベル 4 サービスの想定効果、効果波及先、効果の測り方等の検討を行う。評価方法を 1-2 で作成する導入検討マニュアル案に反映することを見据え、汎用性・現実性等を意識して検討する。

(1) 収支モデル

モデル地域において協調型自動運転レベル 4 サービスを実現するにあたり、モデル地域（柏の葉）での具体的な運行を想定した上で、収支モデルの試算を行った。

i)　収支モデルにおける仮定

収支モデルを作成するにあたっては、種々の状況を考慮し以下の条件を仮定した。

- 収支モデルとして、事業企画組織・交通サービス提供者を一体として見た際の、収入・支出を検討
- 運行するバスとして、いすゞ社の中型路線バスであるエルガミオを仮定。運行形態がいくつか想定されるが、本試算では郊外Ⅱ型での運行（定員：座席 28 人+立席 29 人+乗務員 1 人）とする
- バスは 24 時間運行（うち、日常点検に要する時間を 2 時間）とする
- 運行時間帯は朝（6-10 時)、昼（10-16 時)、夕方（16-22 時)、深夜（22-4 時）の 4 区分で検討を実施。時間帯によって、移動需要や運行本数、運賃を分けて試算を実施
- 協調型インフラの利用に対しては、毎年一定額の支払いが生じると仮定
- バスの走行速度は約 20km/h で想定し、前章に記載した検討実施中のルートを鑑みて、1 台のバスで 1 つのルートを最大 3 往復（循環ルートの場合 3 周）できると仮定。仮定の中でそれ以上に運行本数を増やす時間帯がある場合、バス台数を増やすことで対応
- 運賃収入としては、乗客が乗車の度に支払う都度払いの他に、企業から定額で支払いを受けることで、当該企業の社員が支払い無しで乗ることができるような形態の運賃収入も想定

上記仮定に基づき、運賃・定員等、収支モデルにおける運賃収入に係るパラメータは以下の通り。

表 62　運賃収入に関して設定可能なパラメータの例

項目	単位
一人あたり運賃(朝)	円
一人あたり運賃(昼)	円
一人あたり運賃(夕方)	円
一人あたり運賃(深夜)	円
バス定員(朝)	人
バス定員(昼)	人
バス定員(夕方)	人
バス定員(深夜)	人
定員充足率(朝)	%
定員充足率(昼)	%
定員充足率(夕方)	%
定員充足率(深夜)	%
時間あたり本数(朝)	往復
時間あたり本数(昼)	往復
時間あたり本数(夕方)	往復
時間あたり本数(深夜)	往復

ii)　収支モデルの考え方

現時点では、収支を計算するための情報として、定まっていない、あるいは判明していない要素も数多くある。そのため、今回収支モデルを試算するにあたっては、収入・支出に関して「シナリオ」を複数設定することで、将来的にあり得るパターンに対してできる限りの収支の試算を実施した。

現時点において収支がプラスのシナリオについては、仮に実際にシナリオで設定した条件が実現すれば持続的にサービス提供可能になり、逆に収支がマイナスとなるシナリオについては、持続的なサービス提供は難しい。

iii)　シナリオ別収支

今回試算に際して設定したシナリオは以下の通り。

表 63　収支検討時のシナリオ

#	概要	主なパラメータ設定
1	標準シナリオ	• 通勤･通学等の日常的な利用を想定 (現在のルート案の、循環ルート3等)
2	土日の需要UP	• イベントの開催を通して土日の需要が高まるスポットを通るルートを想定(現在のルート案の、循環ルート2等) • 土日の運行本数を標準シナリオの1.5倍に変更
3	協調型インフラ使用料UP	• 協調型インフラを運営する主体に対して、事業企画組織･交通サービス提供者が一定の使用料を支払う形を仮定しているが、この費用が上昇する場合(協調型インフラ使用地域の減少等)を想定 • 標準シナリオで仮置きした金額の2倍に変更

① 標準シナリオ

標準シナリオでは、自動運転レベル 4 サービスが通勤・通学等の日常的な利用に用いられることを想定して試算を実施。

標準シナリオでの収入・支出や設定の詳細については以下の通りであり、年間約 1600 万円の赤字となる。

表 64　標準シナリオにおける支出シミュレーション結果

支出関連

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
運行費	協調型インフラ使用料	10,000,000	現在は仮置きの数値。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	人件費	40,462,857	L4自動運転実装当初、日中の運行では補助員を乗せる想定。 それぞれ1人が付く想定で、24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)。 1日のうち、2台体制は10h(朝・夕方)で、深夜は無人+緊急時駆けつけの体制とする。 補助員の時給を2,000円で仮定し、会社負担は倍の4,000円とする。
	修繕費	5,232,640	国交省資料を参照し、走行1kmあたりの修繕費を28円で仮定。 2台体制が10hで24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)、20km/hで走行とし、運行時間のうち80%を走行とする。 ※ 自動運転車の場合、更に修繕費が発生する可能性あり。今後要精緻化
	減価償却費	0	リースの形態での自動運転バスの使用を想定するため、0円とする
	自動車リース料	8,000,000	2台のリースを仮定。購入代金は2,000万円とし、バスの償却期間が5年であり、1台あたりの年間のリース料を2,000/5=400万円とする。
	通信費	5,000,000	運行管理システム等の使用料を想定。現在は仮置きの数値 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	保険料	500,000	通常の営業用バスの保険料を100,000円と仮定。実現初期には自動運転バスの方が保険料が高くなると考えられるため、通常の5倍と仮定。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
販管費	人件費	63,510,000	遠隔監視の人員を1人で想定。24h体制で、時給を3,000円と仮定し、会社負担は倍の6,000円 駆けつけ要員に対しては、駆けつけ要員の所属する会社に対して払う金額を5,000円/人・hとする
計		132,705,497	

表 65　標準シナリオにおける収支の概算結果

収入関連

都度払い関連パラメータ(平日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	70	%
定員充足率(昼)	20	%
定員充足率(夕方)	60	%
定員充足率(深夜)	10	%
時間あたり本数(朝)	5	往復
時間あたり本数(昼)	3	往復
時間あたり本数(夕方)	5	往復
時間あたり本数(深夜)	2	往復

都度払い関連パラメータ(休日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	50	%
定員充足率(昼)	60	%
定員充足率(夕方)	50	%
定員充足率(深夜)	20	%
時間あたり本数(朝)	4	往復
時間あたり本数(昼)	4	往復
時間あたり本数(夕方)	4	往復
時間あたり本数(深夜)	2	往復

企業からの定額払い関連パラメータ

項目	値	単位
参考となる一人あたり運賃	210	円
1日あたり利用者数	100	人
都度払いからの割引率	80	%
契約社数	2	社

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
都度払い	年間あたり運賃	82,291,440	上記パラメータから算出
企業からの定額払い	運行委託料	34,339,200	上記パラメータから算出
計		116,630,640	

収支合計　△16,074,857円/年

② 土日の需要 UP シナリオ

本シナリオでは、標準シナリオで想定していた通勤・通学等での日常的な利用に加えて、土日

に催されるイベント等への参加者の移動需要の取り込みについても行うと仮定。

上記の仮定に基づき、標準シナリオから休日の運行本数を増やして設定しており、その分収入（運賃）、支出（人件費等）がどちらも増える形となっている。

本シナリオでの試算結果は以下の通りであり、年間約 130 万円の黒字となっている。

表 66　土日の需要 UP シナリオにおける支出シミュレーション結果

支出関連　　休日の運行本数変更により人件費上昇

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
運行費	協調型インフラ使用料	10,000,000	現在は仮置きの数値。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	人件費	47,137,143	L4自動運転実装当初、日中の運行では補助員を乗せる想定。 それぞれ1人が付く想定で、24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)。 1日のうち、2台体制は10h(朝・夕方)で、深夜は無人+緊急時駆けつけの体制とする。 (土日の朝・昼・夕方は3台体制) 補助員の時給を2,000円で仮定し、会社負担は倍の4,000円とする。
	修繕費	5,232,640	国交省資料を参照し、走行1kmあたりの修繕費を28円で仮定。 2台体制が10hで24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)、20km/hで走行とし、運行時間のうち80%を走行とする。 ※ 自動運転車の場合、更に修繕費が発生する可能性あり。今後要精緻化
	減価償却費	0	リースの形態での自動運転バスの使用を想定するため、0円とする
	自動車リース料	8,000,000	2台のリースを仮定。購入代金は2,000万円とし、バスの償却期間が5年であり、1台あたりの年間のリース料を2,000/5=400万円とする。
	通信費	5,000,000	運行管理システム等の使用料を想定。現在は仮置きの数値 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	保険料	500,000	通常の営業用バスの保険料を100,000円と仮定。実現初期には自動運転バスの方が保険料が高くなると考えられるため、通常の5倍と仮定。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
販管費	人件費	63,510,000	遠隔監視の人員を1人で想定。24h体制で、時給を3,000円と仮定し、会社負担は倍の6,000円 駆けつけ要員に対しては、駆けつけ要員の所属する会社に対して払う金額を5,000円/人・hとする
計		139,379,783	

表 67　土日の需要 UP シナリオにおける収支の概算結果

収入関連

都度払い関連パラメータ(平日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	70	%
定員充足率(昼)	20	%
定員充足率(夕方)	60	%
定員充足率(深夜)	10	%
時間あたり本数(朝)	5	往復
時間あたり本数(昼)	3	往復
時間あたり本数(夕方)	5	往復
時間あたり本数(深夜)	2	往復

都度払い関連パラメータ(休日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	50	%
定員充足率(昼)	60	%
定員充足率(夕方)	50	%
定員充足率(深夜)	20	%
時間あたり本数(朝)	8	往復
時間あたり本数(昼)	8	往復
時間あたり本数(夕方)	8	往復
時間あたり本数(深夜)	4	往復

企業からの定額払い関連パラメータ

項目	値	単位
参考となる一人あたり運賃	210	円
1日あたり利用者数	100	人
都度払いからの割引率	80	%
契約社数	2	社

休日の運行本数を変更

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
都度払い	年間あたり運賃	106,328,880	上記パラメータから算出
企業からの定額払い	運行委託料	34,339,200	上記パラメータから算出
計		140,668,080	

収支合計　1,288,297円/年

③ 協調型インフラ使用料 UP シナリオ

標準シナリオでは、関係者へのヒアリング等から、自動運転レベル 4 サービスを運行する際の

協調型インフラ使用に対する料金を、年間 1,000 万円と仮定している。ただ、今後の協調型インフラの開発状況・導入状況等によって大きく変わってくることが想定されるため、本シナリオでは協調型インフラ使用料を倍の 2,000 万円と仮定して試算を実施。

本シナリオでの試算結果は以下の通りであり、年間約 8,700 万円の赤字となっている。

表 68　協調型インフラ使用料 UP シナリオにおける支出シミュレーション結果

支出関連

協調型インフラ使用料を変更

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
運行費	協調型インフラ使用料	20,000,000	現在は仮置きの数値。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	人件費	47,137,143	L4自動運転実装当初、日中の運行では補助員を乗せる想定。 それぞれ1人が付く想定で、24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)。 1日のうち、2台体制は10h(朝・夕方)で、深夜は無人+緊急時駆けつけの体制とする。 補助員の時給を2,000円で仮定し、会社負担は倍の4,000円とする。
	修繕費	5,232,640	国交省資料を参照し、走行1kmあたりの修繕費を28円で仮定。 2台体制が10hで24h運行(うち2hは日常点検で運行しないため除外)、20km/hで走行とし、運行時間のうち80%を走行とする。 ※ 自動運転車の場合、更に修繕費が発生する可能性あり。今後要精緻化
	減価償却費	0	リースの形態での自動運転バスの使用を想定するため、0円とする
	自動車リース料	8,000,000	2台のリースを仮定。購入代金は2,000万円とし、バスの償却期間が5年であり、1台あたりの年間のリース料を2,000/5=400万円とする。
	通信費	5,000,000	運行管理システム等の使用料を想定。現在は仮置きの数値 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
	保険料	500,000	通常の営業用バスの保険料を100,000円と仮定。実現初期には自動運転バスの方が保険料が高くなると考えられるため、通常の5倍と仮定。 ※ 今後、ヒアリング等を通じて精緻化予定
販管費	人件費	63,510,000	遠隔監視の人員を1人で想定。24h体制で、時給を3,000円と仮定し、会社負担は倍の6,000円 駆けつけ要員に対しては、駆けつけ要員の所属する会社に対して払う金額を5,000円/人・hとする
計		149,379,783	

表 69　強調型インフラ使用料 UP シナリオにおける収支の概算結果

収入関連

都度払い関連パラメータ(平日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	70	%
定員充足率(昼)	20	%
定員充足率(夕方)	60	%
定員充足率(深夜)	10	%
時間あたり本数(朝)	5	往復
時間あたり本数(昼)	3	往復
時間あたり本数(夕方)	5	往復
時間あたり本数(深夜)	2	往復

都度払い関連パラメータ(休日)

項目	値	単位
一人あたり運賃(朝)	210	円
一人あたり運賃(昼)	210	円
一人あたり運賃(夕方)	210	円
一人あたり運賃(深夜)	420	円
バス定員(朝)	28	人
バス定員(昼)	28	人
バス定員(夕方)	28	人
バス定員(深夜)	28	人
定員充足率(朝)	50	%
定員充足率(昼)	60	%
定員充足率(夕方)	50	%
定員充足率(深夜)	20	%
時間あたり本数(朝)	8	往復
時間あたり本数(昼)	8	往復
時間あたり本数(夕方)	8	往復
時間あたり本数(深夜)	4	往復

企業からの定額払い関連パラメータ

項目	値	単位
参考となる一人あたり運賃	210	円
1日あたり利用者数	100	人
都度払いからの割引率	80	%
契約社数	2	社

大項目	中項目	金額(円/年)	備考
都度払い	年間あたり運賃	106,328,880	上記パラメータから算出
企業からの定額払い	運行委託料	34,339,200	上記パラメータから算出
計		140,668,080	

収支合計	△8,711,703円/年

(2) 協調型システムの費用負担軽減策の検討

自動運転レベル 4 サービスの概算収支をモデル化したところ、特に初期段階においてコストが

大きく、事業化に向けてはコスト負担の軽減が必要であると考えられる。ここでは、協調型システムの費用負担の軽減策について、以下の 2 つのケーススタディを行った。

- ケース 1：協調型システムの他サービスへの活用
- ケース 2：建物管理システムとの連携

i） 協調型システムの他サービスへの活用

ここでは、協調型システムを自動配送ロボットによる配送サービスへ活用した場合の、配送サービス事業者による協調型システムの費用負担の可能性について検証した。

① 協調型システムを活用することにより期待する効果

協調型システムを活用することにより期待する効果として以下の 2 点が挙げられる。

- 自立走行性能が低くても安全に交差点を横断するための補助機能。
- 自動配送ロボットからの通信断などのトラブル発生時にも状況把握や対処を容易にするための遠隔監視のバックアップ。

② ケーススタディ

ここでは、藤沢地域をモデルとしてケーススタディを行った。

(a) 前提条件の設定

配送需要、ロボット配送機能、遠隔管制機能について設定し、シミュレーションを行った。配送エリアを以下に示す。

図 151　配送エリア

(b) シミュレーション結果

➢ 遠隔オペレータの業務効率化

信号機、配送ロボットと遠隔オペレータの連携度合いによって、遠隔オペレータの作業負荷がどのように変化するか試算した。

信号機連携がない場合の遠隔オペレータによる監視操作時間は 1 日（営業時間 8 時間）あたり約 78 分、信号機連携があり一部遠隔オペレータが介入する場合の遠隔オペレータによる監視作業時間は約 72 分、信号機連携があり遠隔オペレータの介入がない場合の遠隔オペレータによる監視作業時間は約 64 分となった。

信号機連携をすることで、1 日当たり約 500 円、年間数十万円の費用削減効果となることが明らかになった。

➢ 商圏拡大による配送量の増加

配送ロボット 4 台、営業時間 8 時間として配送件数の試算を行った。なお、1 店舗当たり時間毎に発生する配送件数は 4 件、1 件当たりのロボット配送による収入は 500 円と設定した。

信号機連携がない場合の配送件数は 32 件、信号機連携がある場合の配送件数は 50 件となった。

信号機連携をすることで、1 日当たり約 1 万円の収入の増加が期待できることが明らかとなった。

③ 協調型システム費用負担軽減に向けた考察

信号機連携により交差点でのスムーズな走行が実現することにより、遠隔オペレータの業務効

率化となり費用削減効果が期待できる結果となった。また、信号機連携により商圏が拡大し、対象店舗が増加することで、配送件数が増加して、収入の増加が期待できることが示された。

以上より、協調型システムと連携することで、自動配送ロボットによる配送サービスの事業性向上への寄与が期待されると言える。配送サービスに限らず、協調型システムと連携することでメリットを享受できるサービスと共同利用することにより、協調型システムの利用料負担を軽減することが考えられる。

ii） 建物管理システムとの連携

ここでは、自動運転レベル 4 サービスの実現にあたって、建物管理システムと連携することによる協調型システムの費用負担の可能性について検証した。

① 建物管理システムと連携することにより期待する効果

建物管理システムと連携することにより期待する効果として以下の点が挙げられる。

- 送迎サービスにおいて、全区間で自動運転レベル 4 サービスを運用するための補助機能

② ケーススタディ

ここでは、豊洲地域をモデルとしてケーススタディを行った。

(a) 前提条件の整理

現在通勤者向けに運行している無料シャトルバスを自動運転レベル 4 サービスに置き換えた場合についてシミュレーションを行った。シミュレーションにあたっては、第二種運転免許保有者の乗車有無、遠隔オペレータの有無による導入ステップを設定し、事業性の比較を行った。

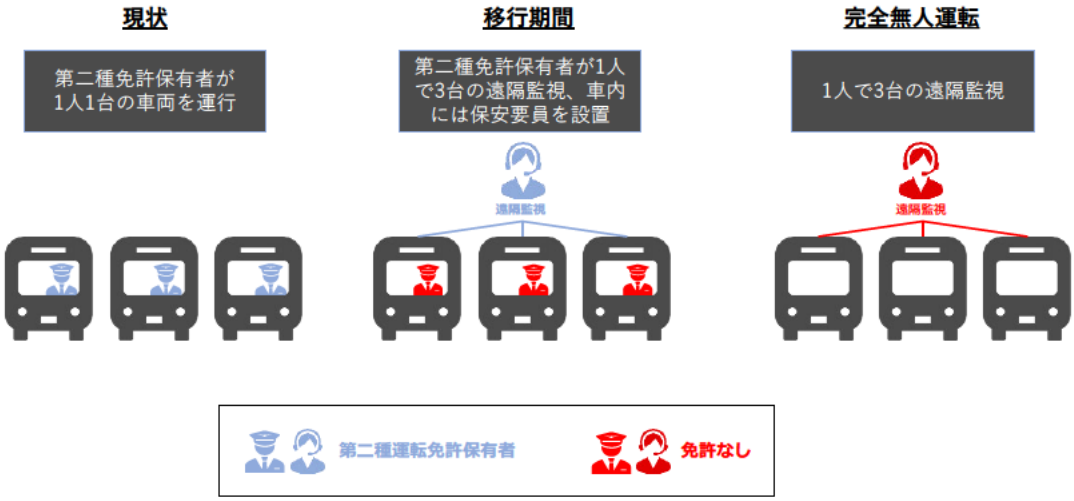


図 152　導入ステップの考え方

配送需要、ロボット配送機能、遠隔管制機能について設定し、シミュレーションを行った。配送エリアを以下に示す。

(b) シミュレーション結果

- 遠隔オペレータの業務効率化

施設の付帯サービスとしてのシャトルバスが自動運転レベル 4 サービスに置き換わった場合の費用について、現状、移行期間、完全無人運転の場合の比較を行った。

現状の場合は、年間約 3,275 百万円、移行期間の場合は、年間約 3,636 万円、完全無人運転の場合は、約 2,258 万円となった。

自動運転のための車両価格の上昇、遠隔監視のための費用の加算があることから、移行期間では費用が上昇するが、完全無人運転により人件費を低減することで、将来的には現状より年間約 1,000 万円の費用の削減が期待できることが明らかとなった。

③ 協調型システム費用負担軽減に向けた考察

送迎サービスの全区間での自動運転レベル 4 サービスが実現することにより、第二種運転免許保有者の削減、遠隔オペレータの業務効率化を図ることが可能となり、費用削減効果が期待できる結果となった。

事業者としては施設オーナーを想定するが、この場合、施設の敷地内のインフラについては施設オーナー側で設置することが考えられる。センサーやカメラなど建物管理システムと連携することで、施設側としてもより高度なサービスの提供が可能となり、施設利用者へのサービスの付加価値提供につながる。

施設利用者へのサービスとして送迎サービスを提供する施設オーナーに限らず、送迎サービスをすでに導入している事業者や、建物管理システムを有する施設オーナーなど、自動運転レベル 4 サービスの実現によりメリットを享受できる主体と連携することで、協調型システムの利用負担の軽減や、初期導入費用の低減に寄与すると考えられる。

(3) 評価方法

ここまで、自動運転レベル 4 サービスの概算収支及び協調型システムの費用負担の軽減策について考察を行ったが、事業性の確保に向けては更なる対応が必要である。自動運転レベル 4 サービスは、公益的な側面のある事業であり、事業性の検討にあたっても社会便益を考慮することは妥当であると考えられる。

ここでは、社会便益を含む自動運転レベル 4 サービスの評価方法について整理した。

ⅰ） 社会便益の整理

自動運転レベル 4 サービスを導入することにより想定される社会便益について下表に例示する。

表 70 自動運転レベル 4 サービス導入により想定される社会便益

項目	概要
安全性の向上	交通事故件数、被害者の低減
利便性の向上	24 時間化、高頻度運行、オンデマンド運行などによる利便性の向上 交通弱者への対応
効率性の向上	運転手不足への対応
その他	先進技術導入による地域イメージの向上（地域ブランディング）

ⅱ） VE による評価

自動運転レベル 4 サービスの評価方法として、価値工学に基づいて評価することが考えられる。

表 71 価値の考え方

$$V(\text{価値}) = \frac{F(\text{機能})}{C(\text{コスト})}$$

機能	● 製品やサービスの働き、効用、効果を表す。性能、信頼性、操作性（使い勝手、使いやすさ）、保守性、安全性、デザインなどが含まれる。
コスト	● 生産者・事業者側のコスト 構想～設計／材料費（調達費含む）／製造／流通／アフターサービス・保守／廃棄処理 ● ユーザ側のコスト 購入／運用（ランニングコスト）／廃棄

価値を高めるために、5 つの方策が想定される。

自動運転レベル 4 サービスの実現に向けては、協調型システムや車両など現状よりもコストが増加することは避けられないことから、「方策 3 戦略的機能向上」を目指す方向性が望ましいと考えられる。

表 72　価値を高めるための方策

方策		機能	コスト	要点
1	コストダウン	→	↓	従来サービスの機能を維持したままコスト削減を行う。
2	機能向上	↑	→	コストを維持したまま機能向上を行う（付加価値を足す）。
3	戦略的機能向上	↑↑	↑	コストが増加した以上の魅力的な機能向上を図る。
4	戦略的コストダウン	↓	↓↓	コストダウンに伴い機能が減少するが、その減少幅以上にコストダウンを図る。
5	機能向上とコストダウン	↑	↓	（実現困難）

II. 地域と連携したモビリティサービスの実用化に向けた連携構築、モデル地域での実証成果を活用した他地域への横展開の検討

1) モデル地域におけるワークショップを通じた体制構築

モデル地域における自動運転レベル 4 サービス推進にあたり、関係主体との連携体制構築が必要不可欠となる。本年度ではモデル地域（柏の葉地域）関係者（柏市、三井不動産、東武バス・東武バスセントラル等）とワークショップを実施し、サービスのあり方や 2023 年度以降の実証に向けたルートの具体化等に関する議論を通じて、関係性の構築を図った。

また、2023 年度以降の検討・推進体制についても議論を実施し、連携してモデル地域における実証を勧めていくための体制を構築した。

具体的な検討・推進のための仕組みとして、柏の葉地域において中心となる関係者を集めて情報共有・議論を行うための定例会議を、来年度から実施することを合意した。

ワークショップでは地域関係者から交通需要に関する意見も聴取し、柏の葉キャンパス駅から出発して、柏の葉公園や住宅地を経由する循環ルートに対してニーズがあることが確認できた。

2) 技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ

統括委員会を設置し、各サブチームにおける検討状況を統合的な観点からチェックしつつ、全体的な調整・方針を決定した。また、サブチーム間が有機的に連携することを促し、自動運転レベル 4 サービスの実現に必要な、様々な技術要素・非技術要素を整理し、相互の関係性を整理しながら検討にあたった。

また、混在環境で自動運転レベル 4 サービスを実現させるための課題は、技術面からのアプローチに限らず、制度面、運用面からのアプローチを含んだ包括的な観点から検討するため、モデル地域の事業モデルの検討に対する、技術面からの留意事項について共有しながら検討にあたった。

(1) 統括委員会の開催

統括委員会は、テーマ 4 内におけるサブチーム間の連携を促進し、テーマ 4 におけるプロジェクト推進の意思決定の機関としたものである。詳細については 2-4 を参照のこと。

(2) 技術・事業それぞれの検討結果の統合ととりまとめ

i) ルート候補案に対する技術的難易度検討ポイント

協調型システム検討評価サブチームより、技術的な難易度を検討する際に必要な要素について共有があった。

- 道路自体の特徴
  - 交通量
  - （車幅に対する）道路幅
  - 交差路の特徴
- 道路構造の特徴、影響
- 通行者の種類（例：学校が近くにある等）
- 検出の難しい車両（自転車等）の交通量
- 乱横断の有無
- 自動運転レベル 4 に必要となりそうな情報（協調型路側機への要件に影響）
- 周辺環境（交通参加者属性に影響）

第2章　協調型システム検討

2-1.　協調型システムの国際動向の分析・戦略作成

＜この項目での実施事項＞

I.　米欧中での協調型システムの開発･導入状況の分析

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 欧米を中心とした自動運転レベル 4 サービスに関する情報収集整理（情報収集･整理結果は、他の実施項目における検討に活用）
- 既存の人的ネットワークを活用し、今後の連携に向けた欧米プロジェクトと関係構築

■ 該当項目の必要性

自動運転レベル 4 サービスを実現するためには様々な課題に対する解決方法を検討する必要があるが、課題へのアプローチを検討する上で、国際的な協調を取ることが重要である。

特に、我が国特有の課題を扱いながらも、諸外国のアプローチや考え方と異なる方向での検討にならないよう、情報収集を行い、国際動向を踏まえた取組とする必要がある。

また、本テーマにより得られた知見、成果等は我が国として国際標準化の場へ提案できる可能性があるため、動向を注視しながら、将来の標準化戦略等にも反映させる必要がある。

■ 該当項目の目標

諸外国における協調型システムの開発・導入状況の分析を行い、本テーマを国際的観点も視野に入れた取組とすること。

■ 実施方針

欧州 SHOW プロジェクトとの協力や日独連携など、UTmobI 等がこれまで構築してきた海外とのネットワークを活用し、適宜国際動向の反映、本取組の海外発信を意識しながら取り組む。

さらに、国際標準化活動の場等への提案に繋げることにより、我が国の関連産業の国際競争力強化に貢献する。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ.　米欧中での協調型システムの開発・導入状況の分析

1)　欧米中の動向調査

(1) 公開情報を通じた動向調査

ウェブサイト等で公開されている情報を活用し、産・官・学による自動運転レベル 4 サービスに関する欧米等の取組内容の動向調査を行い、情報を整理する。

なお中国は、コンソーシアム・他テーマでの動向調査と連携し、効率的な情報収集を行う。なお、その場合、本テーマのスコープである、混在空間における協調型システムの観点から、調査事項を整理・共有し、調整・依頼することとする。

目次

■ **本書の目的**
- 2022年間の欧米の動向を主要国際会議での議論、関係公開情報の調査によりまとめた

■ 目次

- 全体動向 ---- 2
- 車両型式による自動化動向 ---- 4
- 欧州動向 ---- 7
- 欧州戦略に基づく活動 ---- 9
  - ✓ ERTRAC ---- 9
  - ✓ CCAM ---- 13
  - ✓ Horizon Europe ---- 16
  - ✓ 2Zero ---- 20
- Horizon Europe(HE) ---- 23
  - ✓ CCAM EC Work Program ---- 29
  - ✓ HE注目プロジェクト ---- 27
- TRB ARTSでとらえた情報 ---- 44
- TRAでとらえた情報 ---- 49
- 欧州法規動向 ---- 93
- 各国動向 ---- 125
- 米国動向 ---- 135
- 米国での交通事故実態 ---- 136
- USDOTによる戦略 ---- 141
- USDOT各局の活動 ---- 149
  - ✓ OST-R ---- 151
  - ✓ FTA ---- 160
  - ✓ NHTSA ---- 165
  - ✓ FHWA ---- 167
  - ✓ FMSCA ---- 172
- National Park実験結果 ---- 178
- TRB ARTRでとらえた情報 ---- 184
  - ✓ 自動運転に関する州の取り組み ---- 184
  - ✓ Automated BusとShuttle ---- 197
  - ✓ Teleoperation ---- 202
  - ✓ 輸送の自動化(トラック) ---- 221
- ITS World Congressでとらえた情報 ---- 224
- SIP-adus Workshopでとらえた情報 ---- 226
- 自動運転車の公道事故 ---- 244
- 一般記事情報 ---- 249

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧米動向概況

■ 2022年度末の自動運転の概況

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

モビリティ・サービスのLevel 4自動化に向けた欧米動向概況

■欧米ともに環境への対応が自動車、交通システム開発の主流となり具体的取り組みが本格化し始めた
■自動運転にも交通効率の向上、移動に対する行動変革等環境への貢献が期待されている
■実証実験は、サービスによる濃淡の変化のもと継続しているが、依然持続的商用サービスとしての展開には至っていない
■実証実験を通じて明確となった具体的課題(技術領域と技術以外の課題)解決が今後の展開の鍵となる

【活動の取り組み】
- 2050年に向けた環境対応への包括的戦略下での活動が本格化し、関係業界の資源投入の最優先としての取り組みが進む
- 自動運転も利用者の行動変容や移動効率向上等環境への貢献が期待されている
- 2021年から公募が開始されたHE:Horizon Europe研究開発活動も環境への対応が拡大
- 自動運転実装に向けた活動は、HEの予算を活用し、CCAM Partnershipを中心とした関係者連携を強化した活動を推進
- 欧州委員会による無人自動運転基準(2024に見直し)が発行され無人自動運転の実装拡大を促進
- EU離脱したUKも、無人運転導入に向けた基準案、遠隔支援に関する基準案の発行等、社会実装を促進する活動を推進

提起されてきた共通課題
- 安全性を確保し、環境への貢献等社会に価値のある自動運転の実用化
- 無人運転車両の導入に向け、従来にない車両基準の設定、安全性向上のための遠隔支援技術、遠隔操作に関する運用要件等の整備
- ドライバー廃止に対処する新しい業務の定義、自動運転に対する遠隔支援要件、遠隔支援含めたSafety Driverの役割定義
- 走行を支援する協調型システムを含むインフラ、交差点の再構築、電動化を支援する充電インフラ含めた運行環境の整備
- 実装可能な地域、条件付きの実装等の現実的導入を基準化に反映させる取り組み
- 諸課題へ対処する法律の柔軟性や新法律作成
- 他の道路利用者を含めた社会受容性の構築、持続的ビジネスモデルの必要性

【活動の取り組み】
- 環境対応が主流となり、電動化、電動車のためのインフラ準備などが関係業界間での最重要課題となっている
- 民間スタートアップが主導するRobotaxiの開発は継続しているが、他道路利用者との共存、環境への貢献、ビジネスとして成立性等の課題が提起されている
- 物流、トラックの自動化の進化が先行
- USDOTは、自動運転の促進に向けた「Transforming Transportation Advisory Committee:TTAC」を設置
- 標準化を含めた自動運転の実現に向けた遠隔支援技術開発が本格化
- NHTSAにより発行された自動運転の事故実態(第1報)によると、自動運転車への軽微な追突事例が多いと報告されている

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

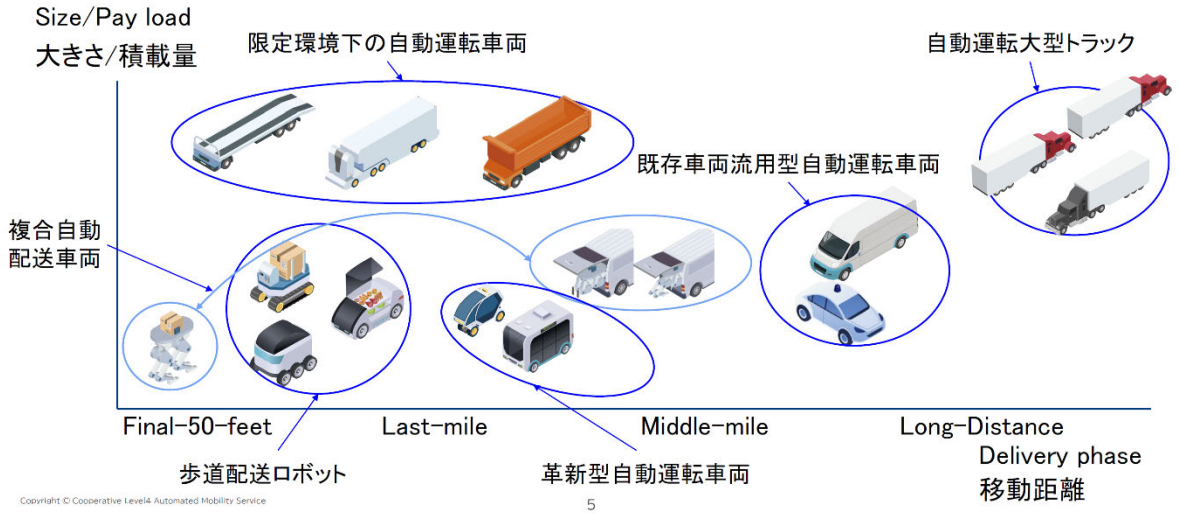
車両型式による自動化動向

■サイズ、用途などによる車両形式による自動化動向

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

車両形式による自動化動向

■ 2020年COVID-19の影響で物流領域での自動化が拡大する状況下での自動化開発の方向性



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

車両形式による自動化動向：2022年末

■ 開発の進展からみられる環境の変化　➡ ：進化状況

限定環境下の自動運転車両 ➡
☞採鉱、港湾など閉鎖空間での専門業者による活用が進む

複合自動配送車両 ➡
☞玄関口に車載機が配送
- 開発の進化情報無
- 玄関口までへの人、物の輸送は重要課題として認識されている

自動運転大型トラック
☞単独長距離自動運転トラック ➡
- 米国テキサス、アリゾナ等の規制緩和地域で多くの実証実験が進行中
- 制度整備に伴い、米国では、採用地域の拡大、実装が近いと予想される
- 欧州からは米国ほどの情報がない

☞隊列走行後続車両の無人化 ➡
- ODDに基づき、運転手の役割が不要な際に、同乗するが運転責任を持たないで車両を運行させるLevel 4の検討も行われている

歩道配送ロボット
☞小型配送専用ロボット ➡
- 大学キャンパス等での実装事例が報告されているが、一部の企業が撤退するなど、今後の展開は商用による収益性が課題と思われる
- 空港ビル内、ビル内での配送への展開事例や、ドローンによる配送等今後の展開が注目される

革新型自動運転車両
☞コントロール系を装備しない車両 ➡
- 専門運転手を不要とする自動運転車両の実現には期待が高く、各地で検討が進む
- 暫定法規、認証の取り組みも進められ暫定展開が可能な環境に至りつつある
- 商用展開には課題が多い
- 遠隔監視システムや外部との協調システムの活用にも開発が拡大
- 持続的導入に向け、法律、制度等課題解決要

既存車両流用型自動運転車両
☞ロボタクシー ➡
- 米国でCruise, Waymo等による実証実験が進むが、NHTSAの調査対象になるなど、安全性、信頼性の課題とビジネスとしての持続性に懸念と、輸送効率の課題が指摘されている

☞Cut away車両流用中型バス ➡
- 米国での実証実験での活用例があるが、運転席を備える必要性はないため、過渡期としての活用に留まる見込み

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州動向

- 全体戦略とCCAMの推進
  - ERTRACの活動の重要性を確認
- 全体戦略における役割
  - ERTRAC：輸送のための技術プラットフォーム
  - CINEA：環境戦略への対応

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州の全体戦略

- 各種活動の統合により持続性があり、スマートで強靭なモビリティの実現を目指す

Six European Commission priorities for 2019-24：
欧州委員会の**6つの重要課題**：2019/7/16発行

A European Green Deal
欧州のグリーンディール

A Europe fit for the digital age
デジタル時代にふさわしい欧州

European Green Deal：2019/12/11 → 環境戦略

Shaping Europe's digital future：2020/2/19 → デジタル戦略

Sustainable and Smart Mobility Strategy
2020/12/9発行

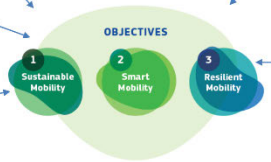
CINEA：EC統括組織
2021/4/1活動開始

ERTAC：EC認定道路交通研究会
2003年設立

CCAM：産官学連携Partnership
2021/4キックオフ

1,250億円(ECより625億円)

R&I活動



SRIA（Strategic Research and Innovation Agenda）
達成に向けた包括ロードマップ：2020/11発行

Horizon Europe
EU資金提供プログラム：2021/4公募開始

環境、エネルギ、モビリティ1.9兆円

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州戦略に基づく活動

■ ERTRACの活動

https://www.ertrac.org/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ERTRAC

■ ERTRAC：The European Road Transport Research Advisory Council

- 道路輸送のための欧州技術プラットフォーム
- 欧州委員会に承認され、支援をされている

【ERTRACの任務】

1. 欧州における道路輸送の研究と革新のための戦略的ビジョンを提供
2. 戦略的研究アジェンダ(SRA)の定義と更新、実施研究ロードマップを通じて、ビジョンを達成するための戦略とロードマップを定義
3. 道路交通の研究とイノベーションへの効果的な官民投資を刺激
4. 道路輸送に関する欧州、国、地域の官民の研究開発活動間の調整の改善に貢献
5. 欧州の研究・イノベーション能力のネットワーク化とクラスタリングを強化
6. 欧州の研究及び技術開発へのコミットメントを促進し、欧州が研究者にとって魅力的な地域であり続けることを確保し、運輸産業の国際競争力を強化
7. 研究・革新のための欧州フレームワークプログラムHorizon Europeの実装を支援

ERTRACのメンバー構成

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ERTRAC

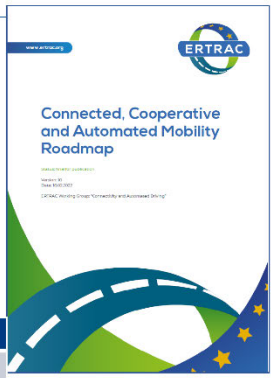
■ ERTRAC Working Groups

- 下記各WGがそれぞれの領域でロードマップを作成公表

1. Urban mobility ：2017年2月発行
2. Long Distance Freight Transport ：2019年12月発行
3. Energy & Environment ：2022年12月発行
4. Road Transport Safety & Security ：2021年11月発行
5. Global Competitiveness ：未発行
6. **Connectivity and Automated Driving ：2022年5月発行**

■ Connectivity and Automated DrivingのRoadmap

- 下記5章構成で2050年のビジョン達成に向けた対応がまとめられている



	章	要点	内容	根拠
1	Vision 2050	自動化ドメインは接続され、交通モードは全ての市民の利益のために同期される	道路交通の長期的全体像と主要課題を提供	長期的ビジョン
2	Agenda 2030	それぞれのドメインに対して様々なユースケースを提供	ドメイン、ユースケースとそれらの個別の特長を表現	研究、規制、投資の運用アジェンダ
3	Outlook 2040	ユースケースの拡大と進展	今後10年間で、ユースケースとビジネスモデルを進化させる方法	運用アジェンダと長期ビジョンをリンク
4	Key Enablers	2050年の課題解決に必要なenablers	インフラ、AI、評価の主要なenablerは、市場製品と並行して恒久的開発が必要	技術、投資、ビジネスモデルは、密接に関係している必要がある
5	Projects and Initiatives	EUプロジェクトの概容、国内、EU、国際的活動の概要	欧州、世界各国で行われている活動の概要を提示	現状報告

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

11

ERTRAC

■ Connectivity and Automated DrivingのRoadmap

【注目点】

- Agenda 2030では、下記4つの自動運転ドメインに分類：早期実現ドメインとの解釈

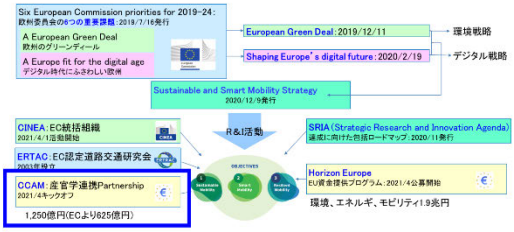
1. 高速道路と指定街道：代表的ユースケース
   1. Traffic Jam Chauffeur:L3は渋滞時最大60km / hで、前方の車両に追従、オプションで車線変更。システムは 車両を安全に停止させれる
   2. Highway Chauffeur:車線変更を含む時速130kmまでの高速道路L3。システムは、緊急車線で車両を安全に停止可能
   3. Safe Auto-follow:高速道路L4は一般車両で時速130kmまで、トラックは時速90kmまでのL4隊列走行/自動追従。ドライバーの介入は不要
   4. Hub-to-hub transport: 監視対象指定街道内のターミナル/ハブ間の L4 トランスポート
2. 密閉区域
   1. 限定区域での操作のための典型的な高レベルのユースケース
   2. 利便性と駐車施設の効率を向上させるL4Valet parking
   3. 限定区域でのL4人や貨物の安全ドライバー(遠隔監視)の無低速シャトル。
   4. 安全性と生産性を向上させる作業場でのL4バスの自動運転
   5. L4ターミナル/ハブでの生産性、安全性を向上させる無人トラック/トレーラー操作
3. 都市混合交通
   1. 自動駐車、低速で動作するゲートエリアなどの制限されたアプリケーション
   2. 専用レーンでのレッドカーペットのユースケース
   3. 人と物の住宅ラストマイル輸送
   4. 混合トラフィックの事前定義されたルート上のバス(のような)アプリケーション
   5. 定義された道路網内の柔軟なルートで走行するタクシーのような運行
4. 郊外道路
   - 事前に定義されたルートで運行される無人の共有および/または公共シャトルサービス、ごみ収集などの自動化された地方自治体サービスは、農村地域での高度な自動運転の初期のユースケースとして高い可能性がある
   - 非常にコンパクトで低速の自動運転車を使用したファーストマイル/ラストマイル配送サービスは、 農村部での初期の技術的実現可能性と経済的実行可能性 を備えたユースケースになる

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

12

欧州戦略に基づく活動

■ CCAM Partnershipの活動



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

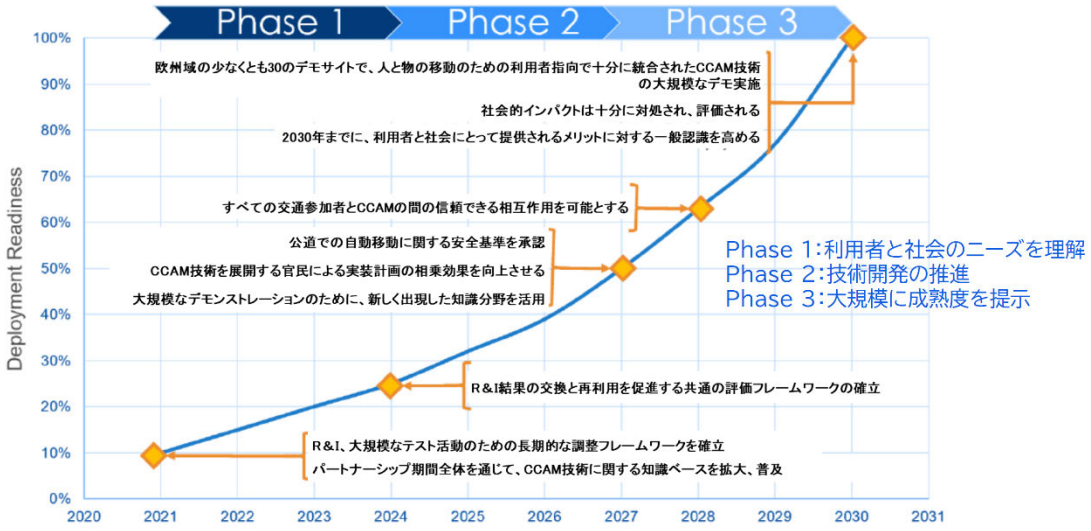
CCAMの活動状況

■ 活動
- CCAM Horizon Europe Researchの募集項目形成に貢献
- 欧州、国際レベルでのネットワーキングの機会
- 研究プロジェクトの成果を基に、CCAM戦略的研究（SRIA）を更新
- 他の多くの欧州、国際的なStakeholderとの共同活動
- 欧州の標準化と規制の発展に貢献

■ 時期
- Phase 1：利用者と社会のニーズを理解
- Phase 2：技術開発の推進
- Phase 3：大規模に成熟度を提示

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAM：3段階の実装



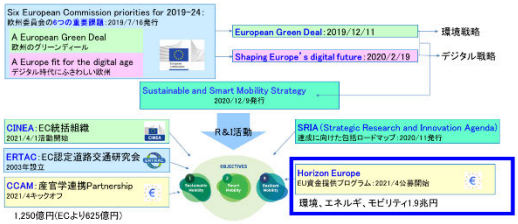
Phase 1：利用者と社会のニーズを理解
Phase 2：技術開発の推進
Phase 3：大規模に成熟度を提示

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

15

欧州戦略に基づく活動

■ Horizon Europeの活動

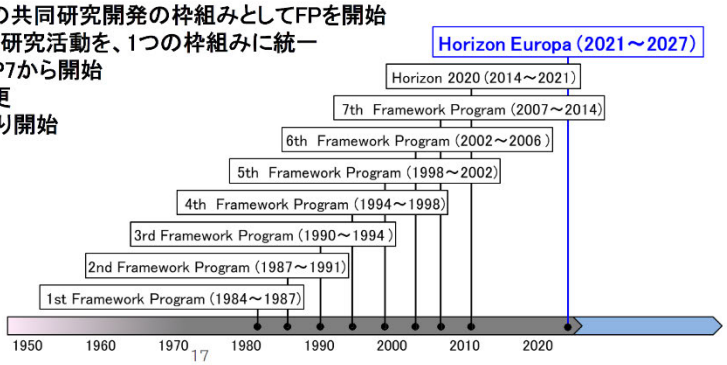


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

16

欧州のフレームワークプロジェクト（FP）

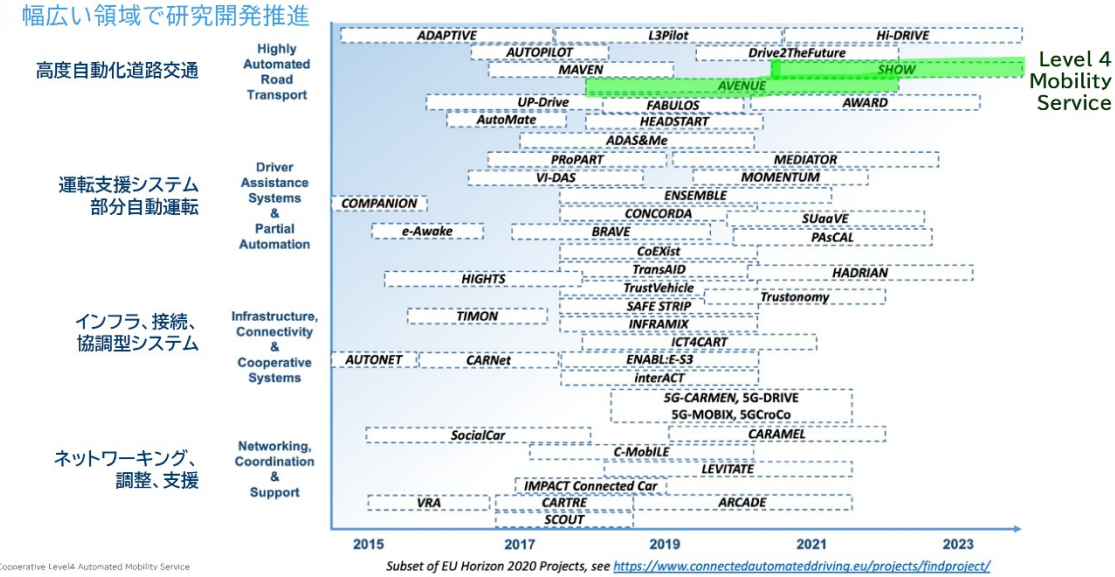
- 1984年、欧州共同体（EC）の共同研究開発の枠組みとしてFPを開始
- 別々に実施されていた各種研究活動を、1つの枠組みに統一
- 自動運転プロジェクトは、FP7から開始
- Horizon 2020より名称を変更
- Horizon Europeが2021年より開始



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Horizon 2020までの自動運転関連プロジェクト

- 幅広い領域で研究開発推進



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Subset of EU Horizon 2020 Projects, see https://www.connectedautomateddriving.eu/projects/findproject/

Horizon 2020で最終段階を迎える主要自動運転プロジェクト

■ Horizon 2020での成果、Horizon Europeへの継承は要着目

https://l3pilot.eu/
https://www.hi-drive.eu/
https://h2020-avenue.eu
www.show-project.eu
https://platooningensemble.eu/
https://award-h2020.eu/

Flagship Automated Road Transport 'Horizon 2020' projects

乗用車の自動化プロジェクト

Large Scale Pilots of automated driving systems for passenger vehicles

モビリティーサービスの自動化プロジェクト

Fully automated urban road transport and shared AV fleets in urban areas

輸送サービスの自動化プロジェクト

Multi-brand truck platooning and autonomous real logistics operations

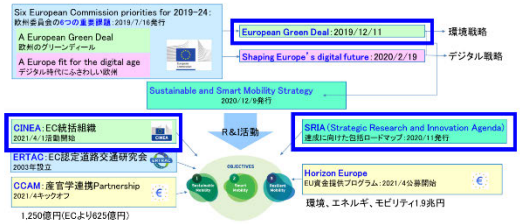
Projects' Acronym		
L3Pilot 2017/9～2021/8 36m€ 12か国34パートナー	HIDRIVE 2021/7～2025/6 37m€ 41パートナー	
AVENUE 2018/5～2022/4 20m€ 20パートナー	SHOW 2020/1～2023/12 36m€ 13か国69パートナー	
ENSEMBLE 2018/6～2022/3 20m€ 19パートナー	AWARD 2021/1～2023/12 26m€ 12か国29パートナー	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

19

欧州戦略に基づく活動：環境

■ 2Zero



Home - 2Zero Emission

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

20

2Zero：Towards Zero Emission Road Transport

■ 欧州全体で排気ガスゼロ道路モビリティへの移行加速を目的としたHorizon Europeの資金を得た共同プログラムパートナーシップ

- 2021年6月23日に開始
- European Green Car Initiative(EGCI:2009-2013),European Green Vehicle Initiative (EGVI 2014-2020)の成果に基づく
- 5つの技術プラットフォーム(ERTRAC, Eposs, ETIP-SNET, ALICE, Battery Europe)の支援を受け活動を実施

【2Zeroの焦点】

- 乗用車、トラック、バスから二輪車、新車コンセプトまで、あらゆるタイプの車両を対象
- 活動は、強く相互に関連する4つの柱を中心に編成される
  1. BEV、FCEV向けの車両技術と車両駆動技術
  2. エネルギーシステム、関連する充電インフラへのBEVの統合
  3. Zero tailpipe(排出ガスゼロ)のための革新的なコンセプト、ソリューション、サービス
  4. 持続可能で革新的なロードモビリティソリューションのためのLCA(Life Cycle Analysis)、循環経済アプローチ

Home - 2Zero Emission　　2Zero H/Pより

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

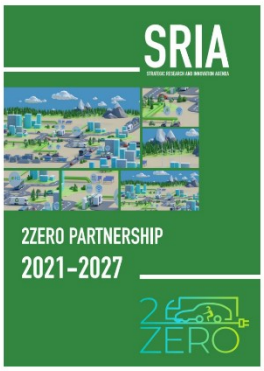
2Zero：Towards Zero Emission Road Transport

■ 資金提供を受けたプロジェクト

EGVIAfor2Zero－民間によるPARTNERSHIP

EGVIA: European Green Vehicle Initiative Association

SRIA: Strategic Research and Innovation Agenda



■ 2Zero PartnershipをSRIAのアップデートとして発行2022年12月15日

【2Zero Partnershipの狙い】

- 挑戦的な研究プログラムを設定し、システムアプローチを使用して欧州で排気ガスゼロの道路輸送の開発を加速、共通のビジョンを開発、気候中立でクリーンな道路輸送システムのための複数の利害関係者のロードマップを提供
- 空気の質、人と商品の移動の安全性が向上し、イノベーション、生産、サービスにおける将来の欧州のリーダーシップを確保
- 気候中立的な道路輸送システムへの道を開くことで、欧州グリーン ディールの成功に貢献

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Horizon Europe

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Horizon Europe

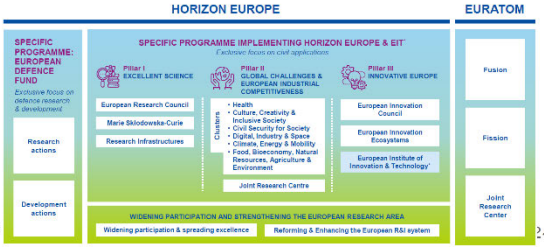
【概要】

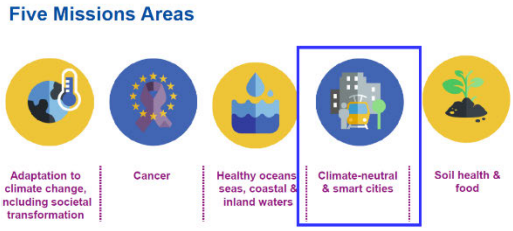
- 2021年～2027年プロジェクト:予算95.5B€
- 3つのピラー

1. 卓越した化学
2. 世界課題と欧州の産業競争力
3. 革新的な欧州

- EUの5つのミッション

1. 気候変動への適応:2030年までに少なくとも150の欧州の地域・コミュニティが気候変動に強靭になることを支援
2. がん:欧州の「がん対策計画」と協力し、予防、治療法、より長く、より良く生きるための解決策を通じて、2030年までに300万人以上の人々の生活を改善する
3. 2030年までに海と水を回復する
4. 2030年までに100の気候中立スマートシティ
5. 欧州のための土壌対応:2030年までに健康な土壌への移行をリードする





Horizon Europe

【概要】

- ピラー2傘下6つのクラスター：53.5B€

Pillar II

Budget for clusters & for JRC

in current prices

Cluster 1	Health	€8.246 billion (including €1.35 billion from NGEU)
Cluster 2	Culture, Creativity & Inclusive Societies	€2.280 billion
Cluster 3	Civil Security for Society	€1.596 billion
Cluster 4	Digital, Industry & Space	€15.349 billion (including €1.35 billion from NGEU)
Cluster 5	Climate, Energy & Mobility	€15.123 billion (including €1.35 billion from NGEU)
Cluster 6	Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture & Environment	€8.952 billion
	JRC (non-nuclear direct actions)	€1.970 billion

Clusters are including a budget for Partnerships and Missions
NGEU is Next Generation EU programme – Recovery Fund

European Commission

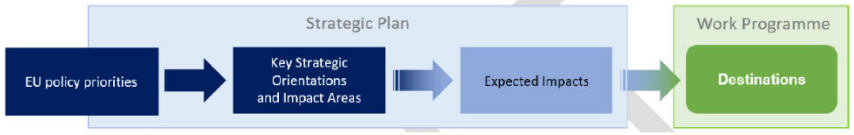
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

25

Horizon Europe

【政策から目的の設定】

- EU政策の優先事項→戦略的方向性→期待する影響→目的地



Key Strategic Orientation A

Promoting an open strategic autonomy by leading the development of key digital, enabling and emerging technologies, sectors and value chains to accelerate and steer the digital and green transitions through human-centred technologies and innovations

Key Strategic Orientation B

Restoring Europe's ecosystems and biodiversity, and managing sustainably natural resources to ensure food security and a clean and healthy environment

Key Strategic Orientation C

Making Europe the first digitally enabled circular, climate-neutral and sustainable economy through the transformation of its mobility, energy, construction and production systems

Key Strategic Orientation D

Creating a more resilient, inclusive and democratic European society, prepared and responsive to threats and disasters, addressing inequalities and providing high-quality health care, and empowering all citizens to act in the green and digital transitions

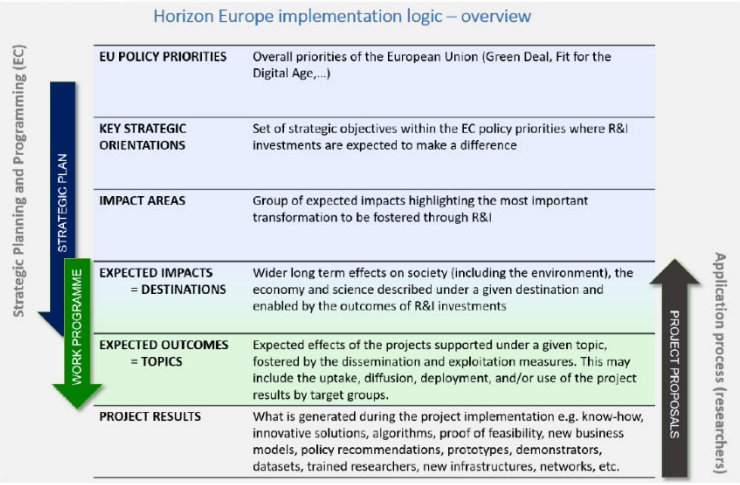
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

26

Horizon Europe

【政策から目的の設定】

- EU政策の優先事項→戦略的方向性→期待する影響→目的地



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

27

Horizon Europe

【クラスター5：Climate, Energy ＆ Mobilityで6つのゴールを設定】

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

28

CCAM EC Work Program 2021-2024

- 2022年11月29日発信情報

https://www.ccam.eu/draft-ec-work-programme-2023-2024-published/?utm_source=LK&utm_medium=post&utm_campaign=Promo+Draft+HE+WP+23-24

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

29

Work Program（WP）2021-22トピックス

■ 2021年から22年の公募案件

領域	内容	年	総額(略)
大規模実証実験	人と物のための統合された共有自動化されたモビリティソリューションのための欧州のデモンストレーター（2022-D6-01-01）	22	2件を想定 総額50M€
車両技術	複雑な環境条件に対処する車載認識、意思決定技術（2021-D6-01-01）	21	2件総額15M€
	高度に自動化された車両の安全性を確保のための信頼性の高い乗員保護技術とHMIソリューション（2022-D6-01-02）	22	8M€
評価	CCAMシステムの安全性検証のための共通アプローチ（2021-D6-01-02）	21	15M€
	人間が運転する車両と比較したCCAMソリューションのパフォーマンスを評価するための人間の行動モデル（2022-D6-01-03）	22	8M€
車両の交通システムへの統合	物理、デジタルインフラストラクチャ（PDI）、CCAMを可能にしサポートする接続と協力（2021-D6-01-03）	21	2件総額18M€
	フリート、トラフィック管理システムにCCAMサービスの統合（2022-D6-01-04）	22	2件総額10M€
可能とする主要技術	サイバーセキュアで復元力のあるCCAM（2021-D6-01-04）	21	2件総額12M€
	人工知能（AI）：CCAMの説明可能で信頼できる概念、手法、モデル（2022-D6-01-05）	22	2件総額12M€
社会受容と利用者のニーズ	社会経済的、環境的影響の分析と、ニーズに基づくCCAMソリューションの社会的、市民的、ユーザー的側面の評価（2021-D6-01-05）	21	2件総額8M€
コーディネーション	欧州、EU全体の知識ベースにおける大規模なデモンストレーションパイロットのより良い調整のためのフレームワーク（2021-D6-01-06）	21	6M€

総額162M€

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

30

Horizon Europe Work Program 2021採択プロジェクト

【CCAM関連採択プロジェクト】

Outcomes CCAM related topics Call 2021

Cluster	Acronym		Budget	start date	Int
Vehicle Technologies	EVENTS	ReliablE in-Vehicle pErception and decisioN-making in complex environmenTal conditions https://cordis.europa.eu/project/id/101069614	5,5M €	01/09/2022	
	ROADVIEW	Robust Automated Driving in Extreme Weather https://cordis.europa.eu/project/id/101069576	6,6M €	01/09/2022	
Validation	SUNRISE	Safety assUraNce fRamework for connected, automated mobIlity SystEms https://cordis.europa.eu/project/id/101069573	13,4 M€	01/09/2022	US
Integration	AUGMENTED CCAM	Augmenting and Evaluating the Physical and Digital Infrastructure for CCAM deployment https://cordis.europa.eu/project/id/101069717	8,9M €	01/09/2022	
	PoDIUM	PDI connectivity and cooperation enablers building trust and sustainability for CCAM https://cordis.europa.eu/project/id/101069547	8,9M €	01/10/2022	
Key Enabling Technologies	SELFY	SELF assessment, protection & healing tools for a trustworthY and resilient CCAM https://cordis.europa.eu/project/id/101069748	5,9M €	01/06/2022	JP-AU
	CONNECT	Continuous and Efficient Cooperative Trust Management for Resilient CCAM https://cordis.europa.eu/project/id/101069688	5,6M €	01/09/2022	
Societal aspects	Move2CCAM	MethOds and tools for comprehensive impact Assessment of the CCAM solutions for passengers and goods https://cordis.europa.eu/project/id/101069852	2,5M €	01/09/2022	US
	SINFONICA	Social INnovation to FOster iNclusIve Cooperative, connected and Automated mobility https://cordis.europa.eu/project/id/101064988	3,7M €	01/09/2022	
Coordination	FAME	Framework for coordination of Automated Mobility in Europe https://cordis.europa.eu/project/id/101069898	5,6M €	01/07/2022	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Work Program 2021採用トピックス概要-1/2

【Horizon Europeとして開始したプロジェクト】

車両技術

- ROADVIEW：異常気象下で堅牢な自動運転
- EVNTS：複雑な気象下で信頼性のある車載認知判断機能の開発

評価

- Sunrise: CCAMシステムの安全性検証のため拡張可能な安全保証フレームワークの開発、実証

統合

- AUGUMENTED CCAM：CCAM展開のための物理的、デジタル インフラの拡張と評価
- PODIUM：CCAMユースケースでの、高いレベルの自動化を可能にする接続性と協調のイネーブラーとニーズを特定、評価

サイバーセキュリティと堅牢性

- SELFY：CCAM エコシステムの安全性、セキュリティ、堅牢性、回復力を高め、分散型グローバル ソリューションを生成
- CONNECT：信頼推論フレームワークの定義により、CCAMセキュリティと安全性の収束に対処

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Work Program 2021採用トピックス概要-2/2

【Horizon Europeとして開始したプロジェクト】

社会経済要因

- SINFONICA：CCAMに関連するニーズ、欲求、懸念を管理可能かつ活用可能な方法で収集、理解、および構造化
- MOVE2CCAM：モビリティ、社会経済、公衆衛生、環境に対するCCAM介入の影響評価を可能にする実用的なシステム ダイナミクスに基づく影響評価ツールを開発

調整、支援

- FAME：CCAM利害関係者の協力を支援するために学んだベストプラクティス、教訓の共有を促進する共通の方法論とツールを開発

** Budget shared between Cities Mission, CCAM and 2Zero*
Budget 2023: 50 M€ (not considering joint topic) Budget 2024: 52 M€

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Horizon Europe Work Program 2022採択プロジェクト

【CCAM関連採択プロジェクト】

Outcomes CCAM related topics Call 2022

Cluster	Acronym		Budget	start date	Int
Demonstrators	MODI	A leap towards SAE L4 automated driving features https://cordis.europa.eu/project/id/101076810	23M €	01-10-2022	
	ULTIMO	Advancing Sustainable User-centric Mobility with Automated Vehicles https://cordis.europa.eu/project/id/101077587	24M €	01-10-2022	
Vehicle Technologies	AWARE2ALL	Safety systems and human-machine interfaces oriented to diverse population towards future scenarios with increasing share of highly automated vehicles https://cordis.europa.eu/project/id/101076868	8M€	01-11-2022	
Validation	i4DRIVING	Integrated 4D driver modelling under uncertainty https://cordis.europa.eu/project/id/101076165	8M€	01-11-2022	CN US
Integration	CONDUCTOR	Fleet and traffic management systems for conducting future cooperative mobility https://cordis.europa.eu/project/id/101076165	4.5M €	01-11-2022	
	IN2CCAM	Enhancing Integration and Interoperability of CCAM eco-system https://cordis.europa.eu/project/id/101076791	5.5M €	01-11-2022	
Key Enabling Technologies	AI4CCAM	Trustworthy AI for CCAM https://cordis.europa.eu/project/id/101076911	6M€	01-11-2022	
	AITHENA	AI-based CCAM: Trustworthy, Explainable, and Accountable https://cordis.europa.eu/project/id/101076754	6M€	01-11-2022	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Horizon Europe注目プロジェクト

- ULTIMO：大規模実証実験プロジェクト
- FAME:新しい欧州でのCCAM研究開発、大規模実証、評価の連携活動
- SINFONICA： 包括的なCCAM輸送システムの設計と構築への参加型フレームワークを定義

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Work Program 2022採択プロジェクト：ULTIMO

- 大規模実証実験はUITPが受託：プロジェクト名ULTIMO

【ULTIMO】UNLOCKING LARGE-SCALE AND PASSENGER-CENTRIC AUTOMATED MOBILITY

【目的】

- On Demandの乗客中心の自動化モビリティの開発

【概要】

- SHOWやAVENUEなどの過去のプロジェクトの経験に基づいて、欧州3都市（Kronach・Germany）Oslo・Norway、Geneva・Switzerland）に大規模なフリートを展開し、商業レベルの公共交通機関サービスを実現する
- Deuitshe Bahnが主体として欧州8か国、23のパートナー
- 4年間プロジェクト（2022年末または2023年1月開始）

ULTIMO

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT

PRESS RELEASE

UNLOCKING LARGE-SCALE AND PASSENGER-CENTRIC AUTOMATED MOBILITY: NEW EUROPEAN PROJECT ULTIMO LAUNCHES

BRUSSELS, BELGIUM
1 DECEMBER 2022

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州委員会の支援による連携支援活動:FAME

- FAME:Framework for coordination of Automated Mobility in Europe
  - 2022年7月～2025年6月ERTICOが幹事組織となり運営

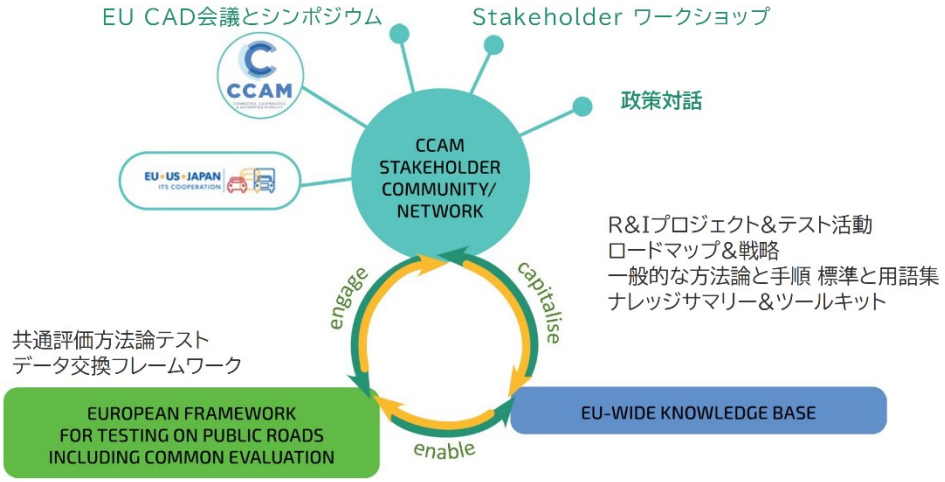
VRA	CARTRE	ARCADE	FAME
2013-2016	2016-2018	2018/10-2022/7	2022/7-2025/6

FAMEに参画するパートナー

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州委員会の支援による連携支援活動:FAME

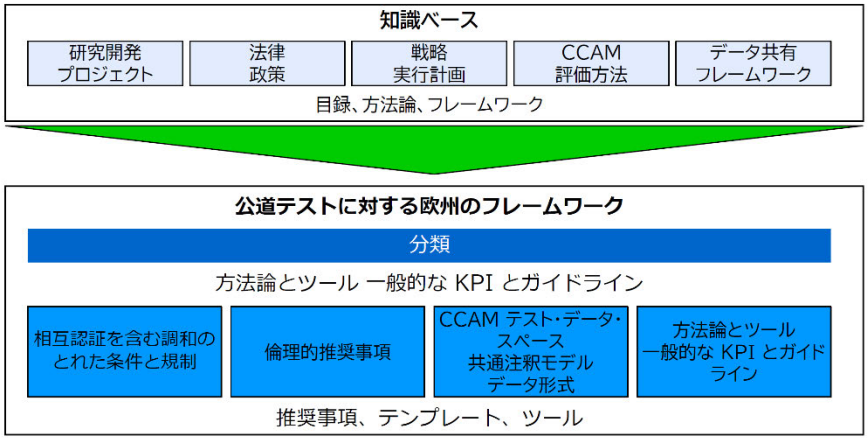
- 関係活動の連携の中心としてFAMEが機能する



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州委員会の支援による連携支援活動:FAME

■ 関係活動の連携の中心としてFAMEが機能する



支援
- R&Iアジェンダ
- PilotとDemoの編成と設定
- 事業への移行
- 加盟国の調整

対象組織
- CCAM利害関者
- 当局、都市
- 決裁者
- 市民

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州委員会の支援による連携支援活動:FAME

● CCAMデーターの扱い

データ共有フレームワーク
- データの再利用を可能にするための実践的な推奨事項
- FOTとNDSに焦点を当てる
- 契約・契約、トレーニング、申請手続き、財務モデルの支援

共用CCAMテストデータ空間
- テストデータ交換の円滑化に重点を置く
- GAIA-Xの原則に基づき構築
- 既存のソフトウェア・プラットフォームの実装

CCAM のモビリティ・データ空間
- CCAMクラスターのツールとデータセット
- CCAMと他のデータスペース間のリンク
- CCAMサービスのデータプロバイダーとデータユーザーへのリンク

NDS
- Navigation Data Standard

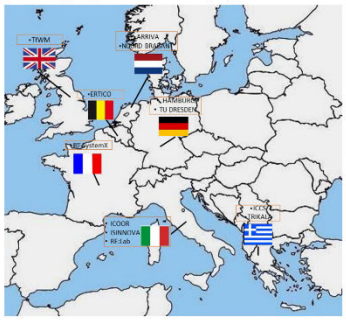
GAIA-X
- ドイツの連邦経済産業省が2019年10月に立ち上げた欧州のクラウド／データ基盤構築プロジェクト
- 2021年にドイツとフランスからそれぞれ11社、合計22社が加盟して活動を開始

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SINFONICA-Social innovation to foster inclusive Cooperative, connected and Automated mobility

- プロジェクトの目的
  - 包括的なCCAMシステムのための知識ベースを作成し、利用者のニーズと要件、脆弱な利用者のための整理を行い、利害関係者が、情報に基づいた意思決定を可能とする
  - 包括的なCCAM輸送システムの設計と構築に、市民と関連する利害関係者を関与させるための参加型フレームワークを定義
  - 社会的に革新的で市民志向のCCAM長期計画と都市での大規模デモのための推奨事項とガイドラインを提供
- 期間:3年間(2022年9月～)。
- 予算: €3,949,414 (439.5 PM)

コンソーシアム:
コーディネーター: ICOOR (Giulia Renzi)
7か国12パートナー: 都市/地域4カ所は、パイロットサイト
Hamburg (DE), Trikala (GR), West Midlands (UK), Noord Brabant (NL)



WP1: SINFONICAフレームワークの設定
WP2: 利用者とCCAMの課題のモビリティニーズを捉えるための SINFONICA戦略の形成
WP3: CCAMに対する期待、懸念、要望を理解する
WP4: シンフォニカナレッジマップエクスプローラ
WP5: 包括的で公平でアクセス可能な将来のCCAMのための戦略、方法論、推奨事項
WP6: コミュニケーション、開拓、能力開発とアウトリーチ
WP7: プロジェクト管理

SINFONICA

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

41

Horizon Europe Work Program 2023-2024

【Cluster 5 Climate, Energy & Mobility関連プログラム】

【概要】

- 作業プログラムの採択は、Horizon Europeのウェブサイトで発表される
- グリーンとデジタルの移行を加速し、2050年までに欧州での気候中立達成に経済、産業、社会の変革に貢献
- COP21パリ協定のコミットメントを達成し、広範なEUの輸送、気候、エネルギーの目標達成には輸送が気候と自然環境に与える影響を減らすことは喫緊の優先事項
- 研究は、EUがこれらの主要分野で設定した野心的な目標を達成する上で重要な役割を果たす
- 輸送の変革は、EUの次の研究、イノベーション資金プログラム、気候中立でスマートシティに関するHorizon Europeミッションエリアを提供するための鍵

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

42

Work Program（WP）2023-24募集トピックス案

■ 大規模実証実験はゼロエミッション化を目標に設定

CCAM clusters	HE Cluster 5 Work Programme 2023/2024 - CCAM Topics	Year	Budget	# of projects
Large-scale demonstration	Cities' Mission WPの共同トピック:都市部における人と貨物のユーザー中心の共有ゼロエミッションモビリティのための共同設計スマートシステムとサービス	2023	50*	2
Vehicle Technologies	クラウドエッジの連続体に接続されたCCAMのための一元化された、信頼性が高く、サイバーセキュアでアップグレード可能な車載電子制御アーキテクチャ	2024	12	2
	車載体験を最適化し、包括性を確保する利用者中心の車両技術とサービスの開発	2023	8	2
Validation	開発シナリオ、トレーニング、仮想テスト、CCAMシステム検証のためのシナリオ作成	2023	20	1
	動的に進化する輸送システムにおけるCCAMおよび関連するHMIのシナリオベースの安全保証	2024	14	1
Integrating the vehicle in the transport system	運用設計ドメイン(ODDs)の継続性または拡張性を向上させるインフラストラクチャ対応ソリューション	2023	12	2
	CCAM エコシステム内の混合トラフィックにおける異種アクターのオーケストレーション	2024	12	2
Key Enabling technologies	CCAMアプリケーションのための高度で集合的な認識と意思決定のためのAI	2024	10	2
Societal aspects & user needs	CCAMソリューションの設計、開発、実装における欧州の多様性の統合により、モビリティの公平性をサポート	2023	8	2
	雇用と教育に対するCCAMの影響、CCAM開発に合致するスキルの計画、雇用拡大の前提条件	2023	2	1
Coordination	主要な開発計画とEU-CEM(カスタマー・エクスペリエンス・マネジメント)の実装のための堅牢な知識とノウハウの移転	2024	4	1

** Budget shared between Cities Mission, CCAM and 2Zero*
Budget 2023: 50 M€ (not considering joint topic) Budget 2024: 52 M€

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

TRB ARTS 2022で捉えた情報：欧州

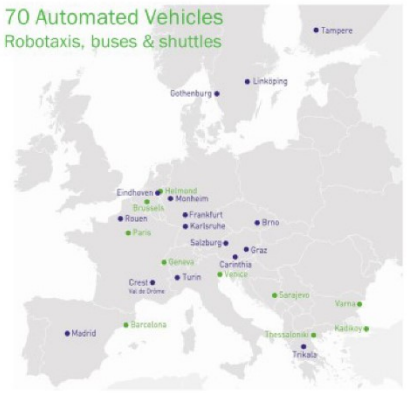
■ SHOWプロジェクトの経験

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SHOWプロジェクト：実証実験での学び

■ 実証実験が開始され結果の集積開始

SHOW is the largest initiative for shared Automated Mobility in Europe



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SHOWプロジェクト：実証実験での学び

■ 実証実験結果からの教訓を報告

3地区のSHOWパイロットから学んだ教訓

充電と車両メンテナンス	安全オペレータの労働条件	道路インフラ
• 充電、クリーニング、メンテナンスの準備 • 具体的な知識が必要	• バスの運転するより単調 • スキルはITの性質を持つ •	• 「質素な」インフラを奨励 • シャトルがインフラに適応（その逆ではない）

Anund, et al. (2022): "Lessons learned from setting up a demonstration site with autonomous shuttle operation – based on experience from three cities in Europe". Journal of Urban Mobility.

The TRB 2022 Annual
Automated Road Transportation Symposium
TRB TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SHOWプロジェクト：実証実験での学び

■ 実証実験結果からの教訓を報告

ドイツのオペレーターからのフィードバック

“自動化されたサービスは、従来のバス サービスよりもオンデマンド サービスでの展開が容易”

- 混合車両群での柔軟性の向上(サイズやバリアフリー等)
- ドライバーを不要とする本来の経済的利点
- オンデマンドサービスが既に存在する場合、予約アプリは利用可能

TRB TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
The TRB 2022 Annual Automated Road Transportation Symposium

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

47

SHOWプロジェクト：実証実験での学び

■ 実証実験結果からの教訓を報告

ドイツのオペレーターからのフィードバック
自動化オンデマンドサービスのための未解決課題

- 仮想停留所の管理は?
- オペレータが頻繁に必要とされないようにするにはどうすればよいか?
- 人間の援助なしに車両のアクセシビリティを確保する方法は?
- 夜間の高い安全認識を保証する方法は?

TRB TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
The TRB 2022 Annual Automated Road Transportation Symposium

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

48

TRA 2022で捉えた情報：欧州

■各種欧州プロジェクト間の連携

TRA
TRANSPORT RESEARCH ARENA
LISBON 2022
14 - 17 NOVEMBER

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Session 27「Horizon Europeと他のプロジェクトの連携」

目的

- 新しい道路輸送技術と道路輸送セクター（電動化、CCAMの分野等）における欧州産業の競争力を高めるHorizon Europeを超えたEUの資金調達と機会の周知のEuropean Commission DG R&I企画セッション
- 既に開始されている道路輸送プロジェクトHi-DriveやICT4CARTのによる成果やプロジェクト間の連携を報告
- セッション内容は省略するが、各発表での興味深い情報をまとめた☞次ページ以降

ORGANISERS:

- Ludger Rogge, European Commission, DG R&I

MODERATOR:

- Philippe Froissard, Head of Unit, European Commission, DG R&I

SPEAKERS:

① Philippe Froissard, Head of Unit, European Commission, DG R&I
② Ludger Rogge, European Commission, DG R&I, Unit "Future Urban & Mobility Systems"
③ Alan Haigh, Senior Expert, European Commission, DG R&I
④ Pablo Perez-Illana, Deputy Head of Unit, Horizon Europe Transport, Climate, Infrastructure and Environment Execution Agency (CINEA)
⑤ Stephan Neugebauer, Chair of EGVIAfor2Zero
⑥ Armin Graeter, Chair of CCAM Association
⑦ Aria Etemad, Automated Driving, Volkswagen Group Innovation (coordinator of the L3-Pilot and HI-DRIVE project)
⑧ Angelos Amditis, Institute of Communication & Computer Systems (ICCS), Greece (coordinator of the ICT4CART project)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

②道路輸送分野におけるEC資金提供プログラムの概要

■ 注目プロジェクト3件(◎)を次ページに解説

	Programme	Period	Total budget	Funding mode	Eligible applicants	Min. Consortia	Project budget	Project duration	TRL	Scope
	CEF Transport	2021-27	25.8 B€	Grants	All	1	>1M€	2-5 years	>4	輸送におけるインフラ投資
	AFIF (CEF Transport)	2021-23	1.5 B€	Grants, financing	All	1	>1M€	<3 years	>7	代替燃料供給インフラの展開を支援
	Innovation Fund	2020-30	38 B€	Grants	All	1	>2,5M€	<5years	>5	革新的な低炭素技術の実証
	LIFE Programme	2021-27	5.48 B€	Grants	All	1	1-3M€	<10 years	>4	環境保護
◎	Digital Europe Programme	2021-27	7.6 B€	Grants	All	1	1-30 M€	1-2 years	>4	欧州のデジタルトランスフォーメーションを推進
◎	EIT Urban Mobility	2020-26	400 M€	Grants	SMEs	2	1 M€	<3 years	>4	都市型モビリティスタートアップへの投資
◎	EIC Accelerator	2021-27	10.1 B€	Grants, equity	SMEs	1	2,5M€ (grant), 15M€ (equity)	<2 years	5-9	中小企業がゲームを変えるイノベーションを開発、拡大を支援

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

②道路輸送分野におけるEC資金提供プログラムの概要

Digital Europe Programme

- Date space for mobility（WP 2022-Call 3:WP 2022 公募3）

【目的】

- モビリティ用の運用データスペースを展開、参加者がデータを利用可能にし、制御された単純で安全な方法でデータを共有可能とする
- データへのアクセスと共有を容易にするためのガバナンスメカニズムと組み合わせた技術インフラストラクチャを作成する実装プロジェクト

【予算】

- 8m€

EIT(European Institute of Innovation and Technology) Urban Mobility

【対象】

- 未来のモビリティ
- 持続可能な都市物流
- モビリティ&エネルギー
- アクティブモビリティ

【予算】

- 400m€(2020～2026)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

②道路輸送分野におけるEC資金提供プログラムの概要

EIC(European Innovation Council) Workprogramme 2022

【3つの資金調達方式】

EIC PATHFINDER		EIC TRANSITION		EIC ACCELERATOR	
early-stage technology research	€350 million	technology validation and spin-out	€131 million	commercialisation and scale-up	€1.16 billion
grants	< €4 million	grants	< €2.5 million	grants	< €2.5 million
				equity investments	< €15 million

【予算】
- 1.7b€

【対象】
- 新しい市場を創出、既存の市場を変革の可能性を秘めた、影響力の大きいイノベーション拡大を狙う新興企業や中小企業
- 科学的発見、技術的ブレークスルーに基づくイノベーション(「ディープテック」)
- 長期間多額の資金が必要であり、個人投資家だけではリスクが高すぎるイノベーション

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

参考: TRL: Technology readiness Level

- TRL: 技術の準備レベル

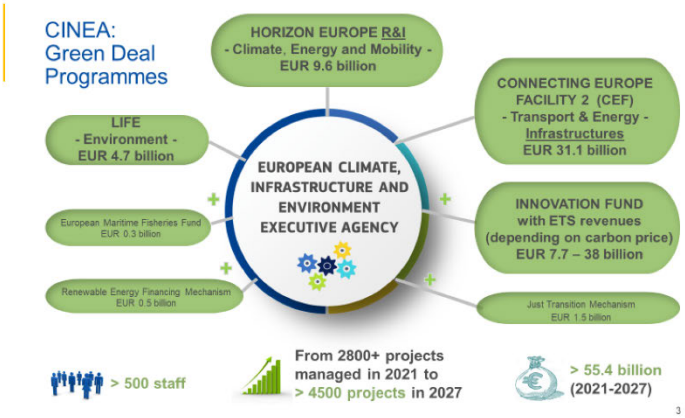
TRL 9	actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)	運用環境で実証された実際のシステム (主要な実現技術の場合は競争力のある製造;または宇宙で)	実装段階
TRL 8	system complete and qualified	システムが完全で認定済み	
TRL 7	system prototype demonstration in operational environment	運用環境でのシステムプロトタイプのデモンストレーション	
TRL 6	technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	関連する環境で実証された技術 (主要な実現技術の場合は産業に関連する環境)	開発段階
TRL 5	technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	関連する環境で検証された技術 (主要な実現技術の場合は産業に関連する環境)	
TRL 4	technology validated in lab	試験場で検証された技術	
TRL 3	experimental proof of concept	実験的概念の実証	研究段階
TRL 2	technology concept formulated	技術コンセプト策定	
TRL 1	basic principles observed	基本原則の確認	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

②CINEAによる研究から展開までのEUの資金調達の例と機会

CINEA

- European Climate Infrastructure and Environment Executive Agency
  - EU政策の実施とEUプログラムと相乗効果の創出に向け欧州委員会を支援
  - プロジェクトのライフサイクル全体の運営で受益者と実施者を支援
  - Green Dealプログラムの実行を支援



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

③Horizon Europeと他のEUプログラムとの相乗効果の必要性

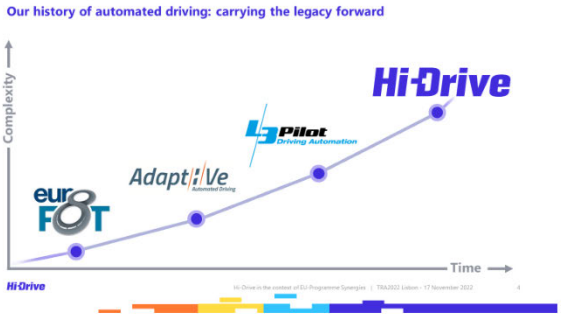
- 異なる予算のプロジェクト間の連携により成果拡大した事例
- Horizon Europeも他のEUプロジェクトとの連携により相乗効果を出すことが必要

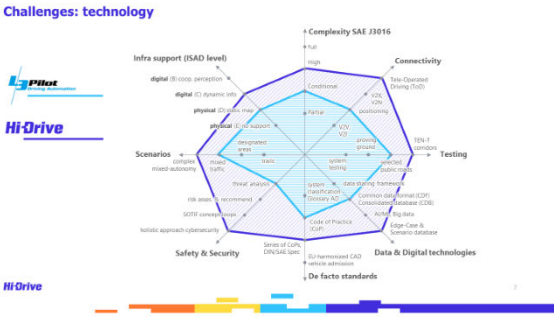
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑦Hi-Driveの観点によるEUプログラムの連携効果

【Hi-Driveリーダーによる発表】

- 自動運転の性能評価は、EuroFOTからAdaptive, L3Pilot, Hi-Driveへと進化
- 対応レベルもプロジェクトの進化により拡大



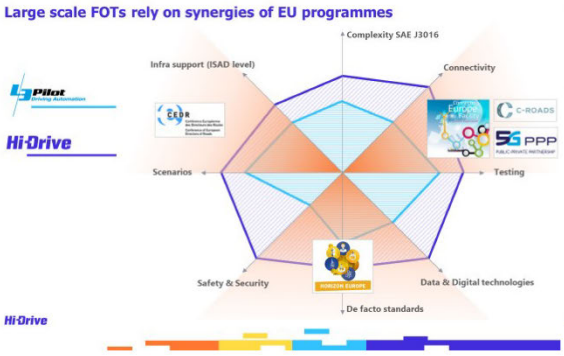


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑦Hi-Driveの観点によるEUプログラムの連携効果

【Hi-Driveリーダーによる発表】

- 大規模実証実験実施にはEUプログラムによる連携が重要
- プロジェクトの進化に合わせた「Code of Practice」を成果として発行

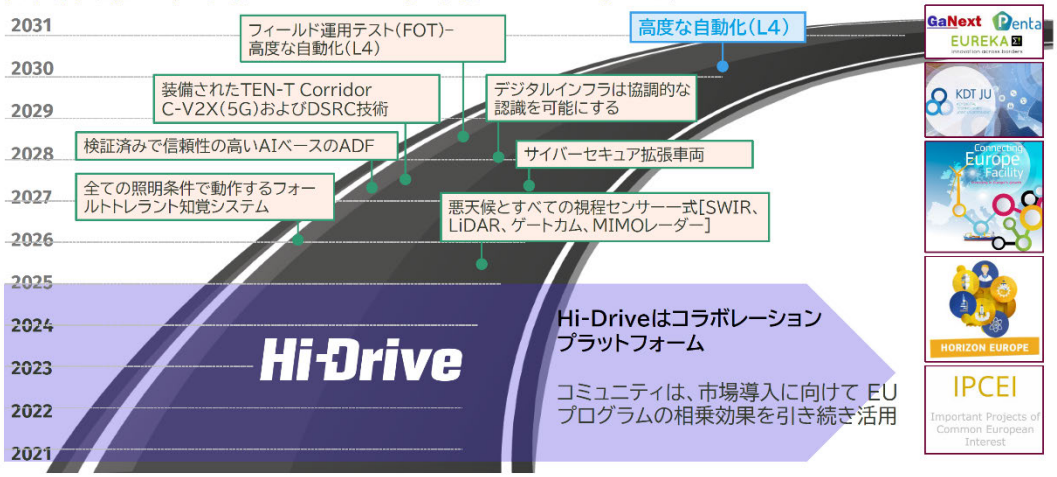


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑦Hi-Driveの観点によるEUプログラムの連携効果

【Hi-Driveリーダーによる発表】

高度自動化の市場導入：Level 4の市場導入は2030年を想定



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑧ICT Infrastructure for Connected and Automated Road Transport

ITC4CARTプロジェクトの目的

- 自動化に向け汎用性の高いICTインフラを設計、実装、検証し、より高いレベルの自動化（最大Level 4）への移行を可能する
  - 様々な業界（通信、自動車、IT）の技術進歩をまとめ、適応、改善
  - 主要なワイヤレス技術（セルラー[LTE / 5G]、ITS-G5）を柔軟なアーキテクチャに統合して、ハイブリッド通信アプローチを採用
  - 強力な連携構築により、既存の施策、プロジェクトの相乗効果を高める

【プロジェクト概要】：ART-01-2017

- 予算：10.2m€
- 期間：2018～2022
- 参加国：EU9か国
- パートナー：21パートナー
- 受託リーダー組織ICCS（Institute of Communication & Computer Systems of the National University of Athens）

【カギとなる技術要素】

- Hybrid connectivity
- Data management
- Cyber-security
- Data privacy
- Accurate location

https://www.ict4cart.eu/

ICT4 CART

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

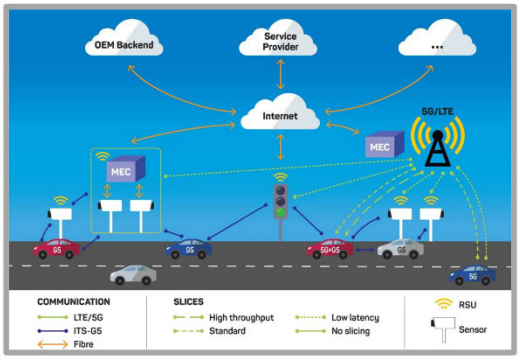
⑧ICT Infrastructure for Connected and Automated Road Transport

【具体的目標】

1. より高いレベルの自動化のため最も信頼性が高く効果的な機能的、技術的接続要件を特定（SAE L3、L4）
2. データ集約のための標準ベースの分散IT環境を実装、テストにより、ドライバー、車両、脆弱な道路利用者、インフラストラクチャに関するすべてのデータを収集および管理
3. EUの政策に従いサイバーセキュリティとデータプライバシー保護を実装
4. 様々なソースの情報を組み合わせ、データ融合のためのツールとアルゴリズムを適応させ、位置同定を改善
5. ユースケースとテストサイトを通じてICTインフラストラクチャアーキテクチャを検証、実証
6. クロスセクターデータの革新的な活用に向け、新たなビジネスモデルと市場サービスの創出
7. 公的機関の介入が必要な場合、標準化機関や政策立案者にプロジェクト成果を提供

【解決策案】

- ハイブリッド通信アプローチに従った柔軟なネットワークアーキテクチャ
- クラウドコンピューティングとMEC技術に基づく分散IT環境
- アーキテクチャのすべてのレイヤーにおけるサイバーセキュリティとデータプライバシーのメカニズム



ICT4CART High-Level Architecture

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑧ICT Infrastructure for Connected and Automated Road Transport

【Use caseのシナリオ】

- UC1:スマートパーキングとIoTサービス
  - SCN1.1: Ulm, Germanyにおけるスマートパーキングと IoTサービス
  - SCN1.2: Verona, Italyにおけるスマートパーキングと IoT管理
- UC2:インフラ情報に基づく車両自動化レベルの動的適応
  - SCN2.1:Graz市, Austriaの特別な条件での動的車高調整、車両自動化レベルの適用、引継ぎ
  - SCN2.2: イタリア・トレント高速道路における車両自動化レベルの動的適応
  - SCN2.3:Verona, Italyにおける車両自動化レベルの動的適応
- UC3: 交差点（都市）& 車線合流（高速道路）– ”Virtual Mirror”
  - SCN3.1: 都市環境における周囲の交通を「見る」ための仮想ミラー
    - SCN3.1.a: Ulm市, Germany
    - SCN3.1.b: Verona市, Italy
  - SCN3.2: Verona市, ItalyのGLOSA（青信号最適化速度アドバイザリー）
  - SCN3.3: Autostrada del Brennero, Italyでの車線合流
  - SCN3.4: 都市と高速道路の位置における正確な測位（Germany and Autstria）
- UC4: 国境を越えた相互運用性
  - SCN4.1:Brenner国境におけるItaly-Austriaの国境を越えた相互運用性（車両自動化レベルの動的適応）

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

⑧ICT Infrastructure for Connected and Automated Road Transport

【関係プロジェクトとの連携】

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

TRA 2022で捉えた最新動向

- Session 45
  - C-ROADs
  - C－ITSの欧州における展開：協調型ITSは現実

https://www.c-roads.eu/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

C-ITSの実態

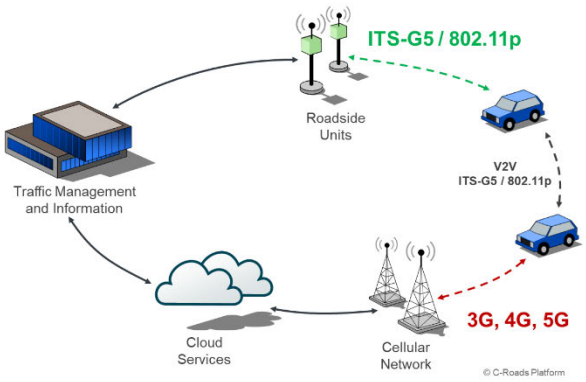
- 欧州は、大規模なC-ITS展開が現実である唯一の地域
- 協力がなければ実現しなかった
  - 当局間の協力
  - 道路事業者間の協力
  - 自動車産業との連携
- 接続性はC-ITSの重要な実現技術だが、協力意欲と全ての利害関係者間の信頼が現状の基盤を形成
- 現在の展開状況は、さらなる研究開発活動の基礎を形成

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

ハイブリッド通信ミックスに基づくC-ITS

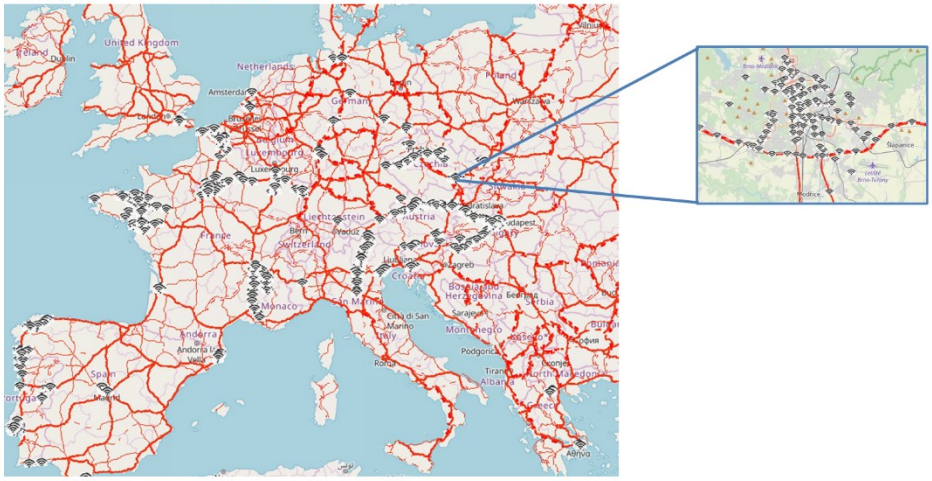
- 短距離通信と長距離通信は互いに補完関係



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

ITS-G5路側ユニットの配備状



https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

C-ITSによる効果

- C-ITSサービスが主要道路網に沿って展開されているが、都市部ではさらに高い拡張性が想定される
- C-ITSサービスは、個々の車のドライバーをサポートする以上の効果がある
- 公共交通機関と緊急サービスを含めることは優先度が高い
- C-ITSサービスは、公的機関が最新のな旅行規制（都市部の車両アクセス制限：Urban Vehicle access restrictions：UVARs）について旅行者に通知するのに有効

☞C-ITSはモビリティの新たな領域を構築
☞C-ITSエコシステムの恒久的な運用に備える必要ある

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

C-Roadsドイツ：パイロットとC-ITS Service

Phase I – 2016-2021
Focus on motorways (interurban)

Phase II – 2019-2023
Urban use cases („Urban Nodes“)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

C-Roadsドイツ：パイロットとC-ITS Service

https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州域でのC-ITSの展開

C-Roadsドイツ：パイロットとC-ITS Service

Pilot Status

- 展開されたRSU(CRG-UN)：約150
- 運用サービス:HamburgおよびDresdenで運用可能なGLOSA、PVD、TSP、KasselのGLOSA、DresdenのVRU
- 残りのサービスは2022年と2023年に継続
- 2022年10月ドイツで国境を越えた実証実験
- ドイツは、多くの都市が関与するこれらのパイロットテストを継続し、都市と都市間のインターフェースにも取り組む

GLOSA: Green Light Optimal Speed Advisory
PVD: Probe Vehicle Data
TSP: Traffic Signal Priority Request
VRU: Vulnerable Road User Protection

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

© TAVF-Geschäftsstelle

© Magistrat der Stadt Kassel

© Fraunhofer IVI

27

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

71

TRA 2022で捉えた最新動向

■ Session 20　持続的道路安全

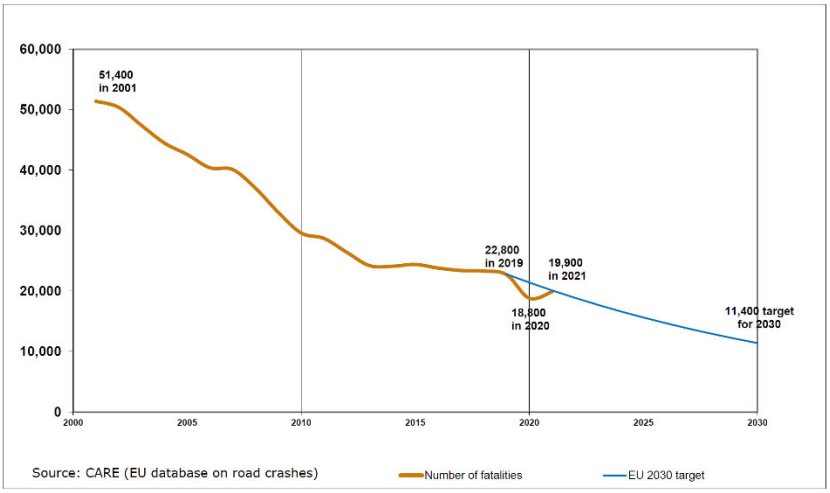
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

72

持続的道路安全

欧州の交通事故環境

■ 減少傾向が続いたが、2021年は増加に転じ、積極的な対策が必要



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

持続的道路安全

欧州の交通事故環境

■ 8つのKPIを設置し対応策を実施

	Indicator	Definition
1	**Speed**	制限速度内で走行している車両の割合
2	**Safety belt**	シートベルトまたはチャイルドシートを正しく使用している乗員の割合
3	**Protective equipment**	保護用ヘルメットを着用した電動二輪車および自転車のライダーの割合
4	**Alcohol**	血中アルコール含有量 (BAC) の法的制限内で運転しているドライバーの割合
5	**Distraction**	ハンドヘルド モバイル デバイスを使用していないドライバーの割合
6	**Vehicle safety**	EuroNCAPの安全性評価が所定の値以上の新しい乗用車の割合
7	**Infrastructure**	安全性評価が合意された値を超える道路を走行した距離の割合
8	**Post-crash care**	人身傷害の発生に続く緊急通報から、緊急サービスの衝突現場への到着までに経過した時間 (分および秒)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

持続的道路安全

欧州の立法計画

- EU運転免許証指令、国境を越えた執行指令の改訂（2023年第1四半期の採用予定）
- Roadworthiness：2023年後半

欧州の立法：最新の動向

- 一般的な車両安全規制
  - 採用済の詳細な実装ルール：
    - インテリジェントスピードアシスタンス、
    - 緊急車線維持
    - アルコールインターロックの設置
    - ドライバーの眠気警告　等
- TEN-T規則の改正
  - 輸送ノード（港湾、空港、都市ノード）のモード間の接続に重点が置かれる
  - インフラ（橋梁・トンネル）に重点を置いた交通安全の強化
- アーバンモビリティフレームワーク
  - 424の「都市ノード」における持続可能な都市モビリティ計画 – 100,000人以上の住民またはTEN-Tの地域の首都
  - 交通安全が集まるKPIの1つに
  - マイクロモビリティデバイスの安全な使用に関するガイダンス
- Horizon Europe Cluster 5で交通安全に対応
  - 3つの取り組み
    1. 都市部の安全性/道路輸送の安全性
    2. 水上の安全性と回復力
    3. 航空の安全性と回復力。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

75

TRA 2022で捉えた最新動向

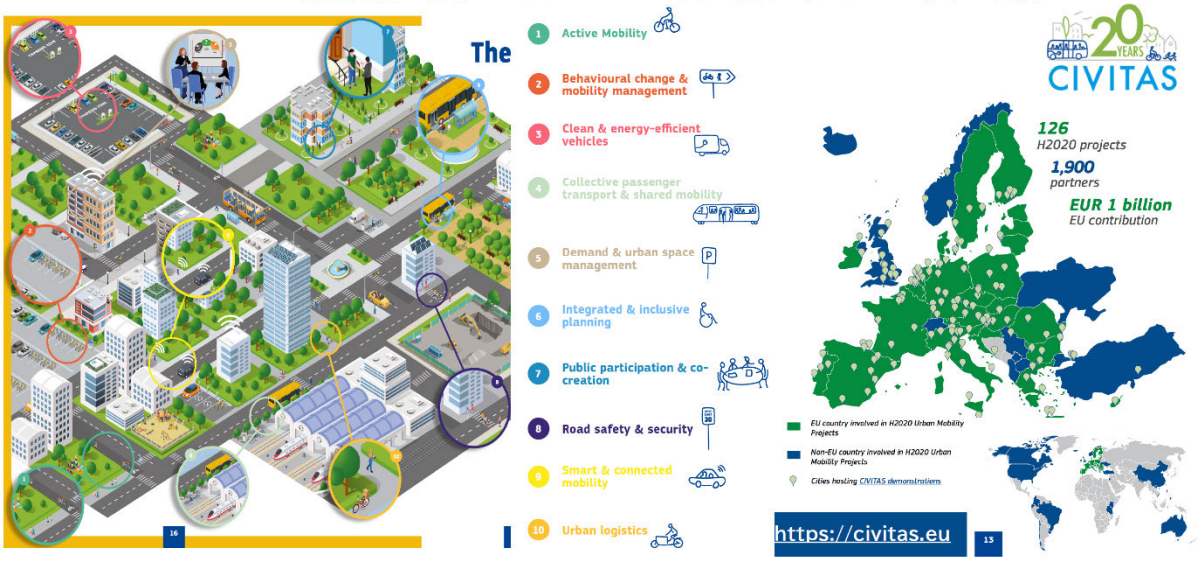
- Session 19　都市モビリティの変革に関する国際協力
  - CIVITASプロジェクト：スマートで持続可能な都市モビリティを全ての人に現実にするために都市を支援

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

76

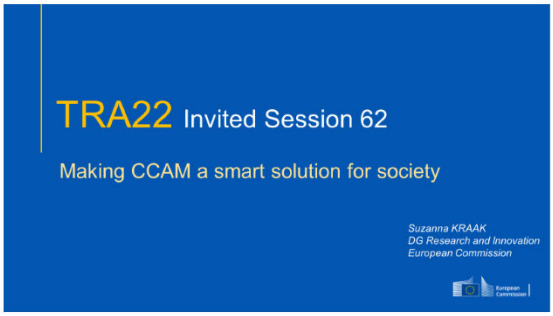
都市モビリティの変革に関する国際協力

CIVITAS：スマートで持続可能な都市モビリティを全ての人に現実にするために都市を支援



TRA 2022で捉えた最新動向

- Session 62　CCAMを社会のスマートなソリューションに活用
  - CCAMへの取り組みと関係するHorizon 2020, Horizon Europeのプロジェクトを紹介



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

欧州委員会による政策

December 2019

- ゼロエミッション車の普及拡大
- 持続可能な代替ソリューションを一般企業に提供
- デジタル化と自動化のサポート
- 接続性とアクセスの改善

February 2020

- 欧州共通モビリティデータ空間を含むEU共通の相互運用可能なデータ空間の確立
- ITS指令と委任規制の見直し
- 国内アクセスポイントを連携する強力な調整メカニズム

December 2020

- EUの輸送システムを持続可能、スマート、強靭化する
- 2030年までに自動運転モビリティを大規模に展開
- 10の主要分野で82の取組み
- ITSとCAMの展開と運営、国境を越えたAV、充電インフラ、5Gの促進

December 2020

- 2030年までに「気候に中立でスマートな欧州都市」を少なくとも100都市実現
- これらの都市が、2050年までに全ての欧州の都市が気候中立になることを支援する実験、イノベーションの中心であることを確認
- 112のミッション都市を選択

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

CCAM の可能性

- 道路での死亡者をほぼゼロにするための方向性
- モビリティサービスのアクセシビリティの向上
- 交通の効率的により、輸送による有害な排出物削減に寄与

目的

乗客と物品向け革新的CCAMシステムとサービスの展開を加速

ECビジョン

我々はCCAM ソリューションが必要

- 公共部門による適切な支援により、輸送システムに完全に統合されている
- ドライバー中心のアプローチからモビリティユーザー指向のアプローチに移行する新しいモビリティコンセプトを支援

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

European Partnership on CCAM

野心:

- CAM、ロジスティクスのサービスとシステムの開発と市場実装を支援

欧州パートナーシップの目的:

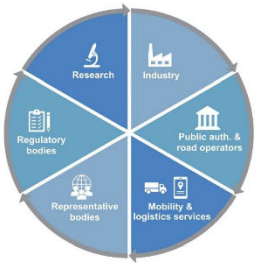
- CCAM分野におけるEUのR&Iの取り組みと連携
- R&Iへの投資と事前展開を調整するため一貫した長期アジェンダの策定と実施
- 2030年までに、欧州全域の人と物のための包括的でユーザー指向のCCAMソリューションの大規模なデモを実施

予算:10億ユーロ(500百万ユーロのEC拠出)

現状:

- 戦略的研究イノベーションアジェンダ(SRIA)の発行
- 2021年欧州委員会とパートナー間のMOU調印
- 2022年第3四半期に最初のHE公募プロジェクト開始
- WP 23-24 2023年第1四半期の公開内容最終確認中

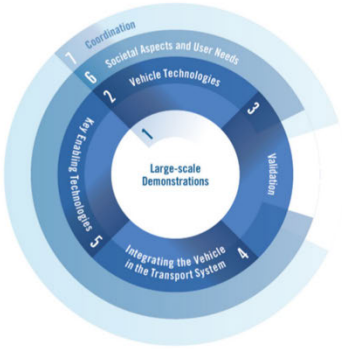
187社以上の
会員企業・団体



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

Strategic Research & Innovation Agenda (SRIA)



→ パートナーシップを導くための複数年ロードマップ

→ 7つの主要なR&I分野の活動、リソース、タイムラインのポートフォリオについて説明

→ クラスター6:社会的側面とユーザーニーズ

- CCAMの開発、展開、規制は、特定のニーズ、影響(プラスとマイナス)、コストに関し、根拠ある理解に基づいている必要がある
- CCAMが社会的、経済的、環境的なニーズと目的に役立つ受け入れ可能なソリューションを提供するための前提条件は、ユーザー、社会的側面を考慮すること

→ 基礎要素の開発から、テクノロジーの成熟、大規模なデモの実装まで

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

Horizon 2020における自動運転公募

ID	Acronym	Start date	End date	Topic	Action Type	Status	Topic
723021	**BRAVE**	01-06-2017	28-02-2021	ART-04-2016	RIA	Closed	Safety and end-user acceptance aspects of road automation in the transition period (EU funding: €13,5Mio)
723395	**interACT**	01-05-2017	30-04-2020	ART-04-2016	RIA	Closed	
723324	**TrustVehicle**	01-06-2017	31-05-2020	ART-04-2016	RIA	Closed	
815098	**PAsCAL**	01/06/2019	30/11/2022	MG-3.3-2018	RIA	Closed	Social acceptance and driver behaviour (EU funding: €15,6Mio)
814999	**SUaaVE**	01/05/2019	30/10/2022	MG-3.3-2018	RIA	Closed	
815003	**Trustonomy**	01/05/2019	30/07/2022	MG-3.3-2018	RIA	Closed	
815001	**DriveToTheFuture**	01/05/2019	31/10/2022	MG-3.3-2018	RIA	Closed	
875597	**HADRIAN**	01/12/2019	31/05/2023	DT-ART-03-2019	RIA	On-going	Human centred design for the new driver role in highly automated vehicles
824361	**Levitate**	01/12/2018	31/05/2022	DT-ART-02-2018	RIA	Closed	Assessment of impacts, benefits and costs of connected, cooperative and automated driving systems (EU funding: €5Mio)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

Horizon Europe：CCAM公募

CALL: HORIZON-CL5-2021-D6-01

Topic HORIZON-CL5-2021-D6-01-05

社会経済的、環境的影響の分析と、ニーズベースのCCAMソリューションに対する社会的、市民的、ユーザーの側面の評価

ID	ACRONYM	Title	Action	Budget	Start date	End date	Duration (months)
101069852	Move2CCAM	MethOds and tools for comprehensive impact Assessment of the CCAM solutions for passengers and goods	RIA	2,577,344.00 €	01-09-2022	28-02-2025	30
101064988	SINFONICA	Social INnovation to FOster iNclusIve Cooperative, connected and Automated mobility	RIA	3,759,723.75 €	01-09-2022	31-08-2025	36

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CCAMを社会のスマートなソリューションに活用

CCAAMの優先度と課題

1. CCAM技術とシステムの安全性、セキュリティ、堅牢性の向上と耐靭性の確認
2. 道路利用者、CCAM、「従来の」車両、インフラ、サービスの間の安全で信頼できる相互作用により、より安全で効率的な輸送の流れ（人と商品）とインフラ容量の効率的利用を実現
3. 2030年までにCCAMソリューションが、利点と限界、リバウンド効果を明確に理解され、一般に受け入れられる
4. 欧州における公的、私的研究開発、大規模なテスト、実装計画のより良い連携

CCAMは、社会のためのスマートソリューションとして、人と物のモビリティのための安全で持続可能なソリューションを提供

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

85

LEVITATEプロジェクト概要

CAVシステムの社会的レベルの影響

【LEVITATEプロジェクト概要】

- プロジェクトコーディネーター：Loughborough University
- 期間：2018年12月～3.5年プロジェクト
- パートナー：10か国12組織
- 予算：6.4m€ Horizon 2020

levitate

Loughborough University, toi, POLIS, National Technical University of Athens, Transport for Greater Manchester, AIT, swov, CARRS, aimsun., UMTRI, City of Vienna

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

86

LEVITATEプロジェクト概要

なぜLEVITATEか？

- 安全性、モビリティ、環境、繁栄の面でCATSへの高い期待
- これまでの研究のほとんどは、CAVの技術と機能に焦点
- 移行段階では、車両と車両が可能にするサービスの影響の可能性についての知識にギャップがある
- 既存のシステムの影響を測定し、将来のシステムの影響を予測する必要性は大きな課題
- 評価の側面は、安全性、モビリティ、環境など幅広く、多くの関連要素が将来のモビリティ予測の複雑さを増している

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

87

LEVITATEプロジェクト概要

CCAMの影響ディメンション

23の異なる影響、3つのカテゴリに分類

- 直接的な影響(内側の円)
- 全体的な影響(中央の円)
- より広い影響(外側の円)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

88

LEVITATEプロジェクト概要

LEVITATEの方法

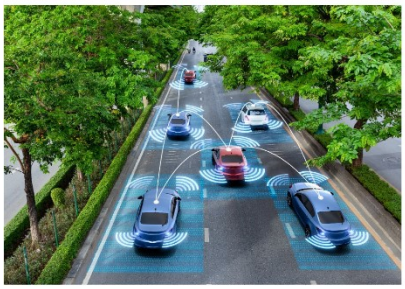
Copyright © Coo ed Mobility Service

LEVITATEプロジェクト概要

ユースケース

3つの自動化のユースケースを検討

乗用車



都市交通

貨物輸送

特定のサブユースケースを各ユースケースについて調査

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

LEVITATEプロジェクト概要

ユースケース

Use case	Sub-use cases					
Urban mobility	2点間Shuttle Single point to point shuttle	広域2点間Shuttle Point to point shuttle across wide area	オンデマンド任意位置間Shuttle On demand anywhere to anywhere shuttle	オンデマンドラストマイルShuttle On demand last mile shuttle	オンデマンド配車サービス On demand e-hailing service	
Passenger cars	CAV専用レーン Dedicated lanes for CAVs	道路使用料金 Road use pricing	駐車スペース規制 Parking space regulations	駐車料金政策 Parking Price Policies	自動運転車ライドシェア Automated ride Sharing	青信号最適速度アドバイザリー Green light optimal speed advisory
Freight and logistics	自動化都市配送 Automated urban delivery	自動化貨物混載 *Automated freight consolidation*	ハブ間自動輸送 Hub to hub automated transport	都市橋梁隊列走行 Platooning on urban bridges		

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

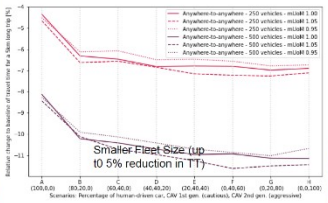
91

LEVITATEプロジェクト概要

都市交通と乗用車

自動都市シャトル

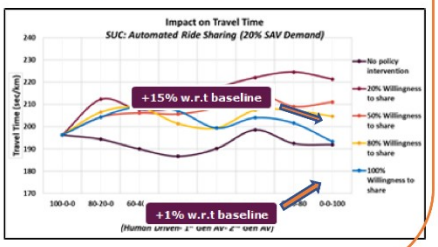
- ベースラインに対し、「どこからでもどこへでも」が提供される場合、**MPR(Market Penetration Rate)**による移動時間が短縮
- 都市交通に**CAV**を導入することで移動時間が短縮されることが示された



Larger Fleet Size (up to 11% reduction in TT)

自動ライドシェアリング

- **SAV**の経路循環走行による発生する交通渋滞による移動時間の増加
- 旅行者による共用乗車への(不)許容意欲は、移動時間に直接影響
- 共有意欲が高い→移動時間が短い



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

92

欧州法規動向

■安全と新モビリティに関する新基準

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

車両安全と「Automated Mobility」に関する新基準

■ EU General Safety Regulationを設定

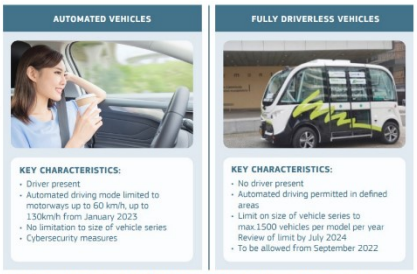
- 欧州全域での安全装備設定義務によりドライバーを支援、乗客、歩行者、サイクリストの保護性能を向上させる
- 完全自動運転車両「Fully driverless cars」の公道での利用を可能とする
- EUは、交通安全、自動運転の領域でリーダー

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

「Automated Mobility」に関する新基準

自動運転車両：自家用車等

主な特徴：
- ドライバー乗車
- 高速道路での自動運転モード制限が、最大60Km/hから最大130Km/h　2023年1月
- 車両のサイズに制限なし
- サイバーセキュリティ対策



完全無人車両

主な特徴：
- ドライバー乗車無し
- 許可地域で自動運転可能
- 車両毎台数は1500台/モデル/年に制限：2024年7月までに見直し
- 2022年9月から認可

どのような技術基準が法規化されるのか？
- 技術の成熟度
- データ記録
- サイバーセキュリティ対策

- 高速道路での自動運転実現機能（車線維持と車線変更）
- 市場での安全性の監視
- ドライバーとの相互作用

- 設定領域での自動運転実現機能
- 市場での高度な安全性の監視
- 乗客や道路利用者との交流
- リモート介入オペレーター
- 新型式車両設計の可能性（運転席なし）

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

安全装備に関する新基準

- 速度維持装備
- カメラ、センサーによる後退検知
- 眠気警報
- 緊急停止信号
- サイバーセキュリティ対策

- 車線維持支援
- 先進緊急ブレーキ
- イベントデーターレコーダー

- 歩行者、自転車との衝突防止検知、警報
- タイヤ空気圧検知システム

- 散漫運転警報
- 安全で長期間性能維持のできるタイヤ

- 安全ガラス

- 自転車、歩行者の直接視認性向上
- イベントデータレコーダー

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転：欧州の法律動向

■2022年11月　EETimmes Europeの記事より

EE Times Europe - Autonomous Vehicles: How Is Europe Doing?

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転に係る専門家の欧州動向の分析

■ 著者：Egil Juliussen
- IHS Automotiveのインフォテインメントおよび ADASの元研究Director。
- 独立自動車業界アナリスト
- EEタイムズの「エギルの目」コラムニスト
- IHS Automotive Company Profile: Acquisition & Investors | PitchBook

■ **概要**
- 過度に楽観的な期待を無視しても、自動運転車が自動車、輸送業界に大きな影響を与えることは明確
- AV時代は、いつの問題であり、「いつ」は地域やAVのユースケースによって異なる
- 本記事では、AV業界の複数のセグメントでヨーロッパがAVに対する活動に焦点
- データが入手可能な場合は、米国および中国との比較を含む
- 比較のために、AV業界が今後10年でどのように進化する可能性があるかの全体像を含めた
- AV市場を形作るユースケース、標準、規制とともに、AVハードウェア、ソフトウェア技術を含む

Egil Juliussen

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

AV進化フェーズ -1/4

- HardwareとSoftware
  - 主要なハードウェア、ソフトウェア企業は、2015年から2018年の間に開発開始
  - 現在、予想よりも長いテスト段階にある
  - 先行する開発者は、広範なAVモデリングとシミュレーションを行い、数十億マイルの仮想運転、路上テストも多岐にわたり、数千万マイル実施
  - 先行ソフトウェアプレーヤーは、独自のソフトウェアによる「運転」:「ソフトウェアドライバー」を開発、テスト
  - ロボタクシー/ロボトラックの組み合わせが最も一般的
  - 展開フェーズに移行する鍵は、「ソフトウェアドライバー」に可能な限り多くのエッジケースを学習させること
  - エッジケースは、ソフトウェアドライバーが従来のテストで経験したことのない運転条件
  - 展開フェーズでは、LiDARやその他のセンサー性能を含むハードウェアシステムの性能が重要な要素
  - ハードウェアの冗長性は、システムまたはコンポーネントに障害が発生した場合の保護手段として必要
  - ソフトウェア展開とは、ドライバーレス操作を意味し、リモートオペレーターによる遠隔操作・監視が必要
  - ソフトウェアリーダーは、複数のユースケースで複数の企業が使用できるソフトウェアドライバープラットフォームを提供
  - ボリューム展開フェーズでは、現在最も高価なハードウェアであるLiDAR等AVシステムの価格が急速に下落

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

AV進化フェーズ -2/4

- Use case
  - AVのユースケースには、さまざまな複雑な運転様式があり、固定ルートAVが最も簡単
  - 物流セグメントの一部である歩道AVも、車両の低速操作(本質的に歩行者の歩行速度)のために比較的簡単
  - Robotaxiは、自転車、歩行者、他の道路利用者を含む複雑な運転環境のために、最も困難なセグメント
  - Robotruckは、市街地走行において同様の複雑さを構成
  - Robotaxiの高速道路走行は単純だが、運動エネルギーの大きい移動中車両を停止させるには長い距離が必要なため、高速走行には追加の安全保証が必要
  - 現在、大規模なパイロット運用が進行中であり、主要なRobotruck、Robotaxi会社は、基盤技術から収益源を生み出している
  - 使用されているパイロット車両のほとんどは安全ドライバーが乗車するが、一部の無人Robotaxiパイロットは米国と中国で稼働中
  - 次のステップは、特定のAVユースケースの展開
  - 展開フェーズは2023年から2025年にかけて発生すると予想され、時期は国やユースケースにより異なる
  - 米国では、Robotaxi、Robotruckが先行する可能性がある
  - 中国では、Robotaxiが先行
  - 欧州では、固定ルートAVが先行
  - ボリューム展開の時代には、Robotaxiのユースケースが最も価値のあるセグメントになると予想
  - Robotruckと物流専用AVは、2番目に価値のあるセグメントになると予想
  - 固定/柔軟なルートのユースケースをカバーするサービスとしてのモビリティ(MaaS)は、大量輸送機関との相乗効果を生み出す

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

AV進化フェーズ -3/4

Standards

- 最初の基準は、SAEインターナショナルによるAVレベルの説明とAV操作の機能定義
- SAEは6つのAVレベル(L0～L5)を定義しており、L0は自動運転がない、L1とL2はADAS機能、L3～L5は自動運転
- L5は10年ほど実行可能ではないと予想されるため、この記事はL4に焦点
- AV運用の機能定義は、新たなAV規制でもAV業界全体で使用されているため、理解することが重要
- SAEの用語の概要
  - ODD(限定領域):AVが動作できる場所を定義し、多くのタイプの乗客や物資輸送を含むユースケースを指定。ユースケースと運転セグメントごとに異なる仕様を持つ
  - OEDR(対象物検知および応答):ビジョン、ソフトウェアドライバプラットフォームを介して運転環境を監視し、応答
  - DDT(動的運転タスク):ステアリング、速度制御、ブレーキなど、ソフトウェアドライバプラットフォームによって実行されるたすく。DDTには、OEDR機能と最も重要な機能である衝突回避も含まれる
  - ADS(自動運転システム:特定のODDに対してDDT全体を持続的に実行するハードウェアおよびソフトウェアプラットフォームで構成される。AVセンサーシステムとソフトウェアドライバープラットフォームを含むAVコンピューターシステムで構成される

- 表1の通りISO 21448(SOTIF)、UL 4600、IEEE P2851の3つの重要なAV規格が存在
- UNECE WP.29サイバーセキュリティとOTAソフトウェアアップデートもAVにとって重要
- 次のレベルの標準は、AVのユースケースをカバー
  - ISO 22737低速自動運転(LSAD)はこれらの最初のもの
  - ODDは標準化が必要として欧州では実際に作業が進行中

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

AV進化フェーズ -4/4

Regulation

- 規制は常に新しい技術開発に遅れをとり、AVもそのケース
- カリフォルニアは例外で、2015年にテスト許可プログラムの管理を開始
- AV規制とはほど遠いが、多くの企業がセーフティドライバー付きでAVテスト開始を可能にした
- カリフォルニアでは100社近くの企業がAVをテストしており、商用利用許可を含むように拡大
- 現在、50社(うち5社はヨーロッパ)が安全ドライバー付きでのテストの許可を持っており、7社がカリフォルニアの特定の地域でドライバー無テストの許可を取得
- Cruise、Nuro、Waymoの3社は、特定の地域でドライバー無展開許可を取得
- EUは最も包括的なAV規制を発表しており、現在ドラフト段階にある
  - 性能規制を満足するAV性能仕様と適合性仕様の2つの主要なトピックをカバー
  - 欧州でのAV展開フェーズをガイドし、他の地域に直接的および間接的な影響を及す

- AV規制の次のステップは、ボリューム展開の拡大に伴ってAVソフトウェアドライバーの改善を追跡すること
  - 衝突統計に基づき、ソフトウェアドライバーがすべてのユースケースで人間のドライバーよりも優れていることを確認することが特に重要

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

表-1 AV進化フェーズ

Table 1: Phases of AV Evolution				
Hardware technology	**Development** • AV system • AV processors: GPU • Sensors: LiDAR, radar	**Hardware testing** • AV modeling & simulation • Extensive on-road testing • Meet AV standards & regulations	**Hardware deployment** • AV system performance • LiDAR sensor performance • Hardware redundancy	**Volume deployment** • AV system prices decline • LiDAR & sensor prices drop • Redundancy & reliability
Software technology	**Development** • AI & neural-network tech • Vision fusion platforms • AV software platforms	**Software testing** • Simulation & on-road tests • Software driver testing • Learn all edge cases (goal)	**Software deployment** • L4 use-case focus • Software driver platforms • Driverless & teleoperation	**Volume deployment** • L4 use-case volumes • Software driver advances • L5 testing starts
AV use cases	**Vehicle segments** • Passenger segments • Goods segments • Use-case research	**Use-case testing** • Fixed-route & MaaS • Robotaxis & robotrucks • Goods-only AVs	**Use-case deployment** • U.S.: Robotaxis & robotrucks • China: Robotaxi is first • Europe: Fixed-route first	**Volume use cases** • Robotaxis the likely leader • Robotrucks & goods AVs • MaaS & mass-transit synergy
AV-related standards	**AV definitions** • SAE L3, L4, L5 • ODD/OEDR/DDT/ADS • ISO 26262 safety	**AV-centric standards** • ISO 21447 SOTIF • UL 4600: driverless focus • IEEE P2851 & UNECE WP.29	**AV use cases** • ISO 22737 LSAD • Other use-case standards • ODD standards likely	**Future standards** • Global standards updates • Regional standards • New standards
AV regulation	**AV test permits** • Primarily states & cities • California leads • China & others entering	**AV-centric regulation** • Road legislation to allow AVs • AV performance specs • AV compliance specs: EU leads	**AV use-centric** • Type-approval legislation • U.S.: AV self-certification • "Driver license" for AVs	**AV use tracking** • Lifetime AV safety tracking • Human vs. AV driving skills • Experience-based updates

2015年

→2030年をイメージ

ODD = operational design domain;
OEDR = object event detection and response;
DDT = dynamic driving tasks;
ADS = automated driving system;
LSAD = low-speed autonomous driving;
MaaS = mobility-as-a-service
(Source: Egil Juliussen, October 2022)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-1/7

表-2に欧州概況示す

- **AV Hardware技術**
  - 欧州はほとんどのハードウェアカテゴリで遅れをとっている
  - 大陸の自動車OEMはTier1とサプライチェーンから必要なものを購入できるため、問題ではない
  - Infineon、NXP、STMicroelectronicsは、従来のレーダーチップで優れている
  - Tier 1は、ADAS用の従来のレーダーシステムに強く、その技術の重要性が高まるにつれて、4Dレーダーに移行する必要がある
  - Tier 1は、ADASでの成功により、カメラシステムでもうまく機能する
  - 一部のOEMは、Nvidiaチップを使用するのではなく、AV用に独自のSoCを設計する場合もある
  - VWは、チップについてQualcommと契約を結んでいると発表
  - 主要なTier 1は、GPUベースのチップについてNvidiaと強力な契約を結び、OEMにAVシステムを提供
  - LiDARは依然として弱点だが、数社の欧州OEMとTier 1はLiDARの新興企業に投資か、関係を持つ
  - 主要な欧州Tier 1は、LiDARサプライヤーであるか、またはサプライヤーになる予定

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-2/7

表-2に欧州概況示す

AV Software技術

- ソフトウェアによる車両の制御はこれまでで最も難しいソフトウェア開発：Waymoはそう考えている
- 欧州にはAVソフトウェアドライバーレースのスタートアップがいくつかあるが、リーダーにはなっていない
- フィンランドのSensible 4は、冬の天候でのAVソフトウェアテストに重点を置いており興味深い
- 英国のOxboticaは、鉱業やエネルギーなどの産業分野の特殊車両に注力、固定ルートAVにも注力しており、Oxboticaの投資家でありAVの開発会社であるZFと協力
- 欧州の自動車会社は、主に米国のAVソフトウェア会社に依存、中国市場では、中国のAVソフトウェア会社と協力することが期待されている

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-3/7

表-2に欧州概況示す

AV Usecase

- 欧州では、EasyMileとNAVYAが自動運転Vanを提供により、固定ルートAVユースケースのリーダー
  - 両社は、複数の大陸の多くの国や都市で100以上のテストを実施
  - これらのAVのコストは、ボリューム展開には高額過ぎる
  - Bosch、Continental、ZF等の欧州Tier 1の参入は、固定ルートAVセグメントを加速させる可能性有
- 欧州では、物理的に最小のセグメントである歩道AVでも好調
  - 350万台以上の配達を行い、世界中で400万マイル以上を走行したStarship Technologiesの成功による
  - Starship Technologiesは2014年にエストニアで設立された欧州の会社で、現在サンフランシスコに本社を置くが、エストニアでエンジニアリング業務を維持
- Robotaxiでは欧州が遅れており、将来の最大のAV市場セグメントになると予想されている
  - AVおよびRobotaxiのテスト許可を取得することの難しさは、欧州の開発活動が低い主な理由
  - スマートフォンベースのライドヘイリングは、欧州の多くの都市や国での規制上の問題で、制限されている
  - 大量輸送機関の質の高さにより、配車の必要性が制限されており、同様にRobotaxiの利用増加を遅らせる可能性有
  - 主要なソフトウェア開発者がソフトウェアドライバープラットフォームを改善するにつれて、複数の欧州OEMがRobotaxiセグメントに参入する可能性がある
  - VWは Argo.ai と密接に関わっており、5月に米国のAustin（テキサス州）とMiamiの2都市で配車と商品配達の無人テストを開始（Argo.AI不調情報あり）
  - Argo.aiは、Munichで安全ドライバーを使用してAVをテスト（Argo.AI不調情報あり）
  - VWは、2025年から2026年の期間に ID.BuzzのAVバージョンを導入する予定
- 欧州も自動運転トラックに遅れをとっているが、いくつかの欧州トラックOEMは主要なAVソフトウェアドライバー会社と関係がある
  - DaimlerはWaymoと協力しており、VWのTraton子会社はTuSimpleと協力
  - VolvoはAuroraと協力しており、IvacoはPlusと連携

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-4/7

表-2に欧州概況示す

AV Test

- 欧州はAVテストで米国と中国に遅れをとっており以下様々なユースケースで欧州での概況を示す

- 欧州ではRobotaxiのテストは限定的
  - 欧州の自動車会社の多くはカリフォルニアでAVテストを行っているか、行っていたが、Waymo、Cruise、一部の中国企業と比較して、一般的に結果が悪い
  - VWとMobileyeは最近ドイツでAVテストを開始
  - OxboticaはUKでAVテストを実施

- 欧州では自動運転トラックのテストはほとんどない
  - 米国でのロボトラックのテストは、ソフトウェアドライバー会社と協力して、最大物流会社とトラックOEMにより実施
  - 一部の物流会社は、AVハードウェアを実装し、ソフトウェアドライバープラットフォームを使用しているため、欧州の大手トラック会社のトラックを使用
  - Ivecoは最近、イタリアでPlusとの閉鎖コースでのRobotruckテストを完了し、公道テストを開始する
  - Einrideはスウェーデンでも電気トラックをテストしているが、閉鎖環境でのみ

- 物品輸送のみのAVテストは、米国のNuroが主導し、複数の商用パイロットが進行中
  - 中国のNeolixには、広範なテストとパイロット運用の対象である同様の製品がある

- 欧州では、EasyMileとNAVYAの世界的な取り組みにより、固定ルートAVのテストのリーダーとなっている
  - Oxboticaは固定ルートAVもテスト中

- 歩道AVの展開のフロントランナーであるStarshipは、歩道でのテストをリード
  - 活動の多くは大学のキャンパスで行われ、AVは学生にファーストフードを配送
  - 食料品の配達は、英国やその他のヨーロッパ諸国でも人気がある

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-5/7

表-2に欧州概況示す

AV Standards

- 欧州はAVセグメントの技術基準の開発とリリースに非常に積極的であり、今後もリーダーであり続けるだろう
  - 欧州は安全基準のリーダー
  - その多くは、自動車開発への体系的なアプローチを必要とする型式承認手順に由来
  - AVのユースケースではさらに重要となる
  - 欧州は、現在の車両よりAVに一層重要な自動車のサイバーセキュリティとリモートソフトウェアアップグレードの標準化の推進力

AV Regulations

- 欧州は、意味のあるAV規制において米国よりもはるかに進んでいる
  - 英国とEUはどちらも、予備的なAV規制を発表
  - ドイツとフランスも早期のAV規制を導入しており、最新のEU規制に従うことが期待されている
  - EU規制の中核はAVの型式認証であり、これにより自動車業界と規制当局の両方にとって専門知識が高まる

- 安全性の面では、米国のOEMが採用している自己認証システムは、欧州の型式承認システムより劣っている
  - 自己認証には対抗力がある:米国での積極的な訴訟
  - 欠陥が発見された場合、OEMは訴えられることが予想されるが、訴訟には時間がかかり、そもそも死傷者の発生を防ぐためではなく、すでに発生した危害に対応して提起される

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-6/7

表-2に欧州概況示す

OEMs

- AV戦略は OEMにより異なる
  - ハードウェアは、複数のTier1サプライヤーと新興のAVサプライチェーンから入手可能
  - 一部のOEMは、LiDARおよび4Dレーダーの開発をセンサーの新興企業に投資
- OEMのAVソフトウェア戦略は、その成功に不可欠
- いくつかのOEMは、ソフトウェアドライバーのスタートアップの大部分を買収または所有
  - GMはCruseを買収し、HondaはCruseに投資
  - FordとVWは Argo.ai の大部分を所有(2022年末に解消)
  - Renault、Stellantis、Vovoは、Waymoと連携
  - Mercedes Benzは、AVを含むソフトウェア活用車両でNvidiaと協力
- 多くのOEMはRobotaxiセグメントに参加すると予想され、Robotaxiの5年後には、個人用AVにつながる
- 多くのOEMは、商品配送事業者にAVを供給する可能性が高く、固定/フレキシブルルートAV用のバンを目標とする
- テスト分野では、欧州OEMは米国の主要企業に遅れをとっている
  - Robotaxiセグメントが2023年と2024年に展開に移行する場合は不利になる可能性があるが、パーソナルAV市場ではおそらくそのようにはならない
  - EU OEM向けには、さらに多くのAVテストが進行中

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

欧州におけるAVの現状-7/7

表-2に欧州概況示す

まとめ

- 欧州がAVの開発において米国と中国に遅れをとっている
- AVの鍵となるのは、AIベースのニューラルネットワークやディープラーニング技術などのソフトウェア技術であり、欧州はこれらのソフトウェアセグメントで遅れをとっており、欧州のAV技術開発に影響を与えている
- 多くの欧州の自動車会社は、主要なAVソフトウェアプラットフォーム企業と強い関係を持っている
- 良い例は、Argo.ai の主要な投資家であったVW(2022年末連携解消)
- 欧州では、一般の人々の間でライドヘイリングの利用が少なく、テスト許可の利用可能性が限られているため、Robotaxiではるかに遅れている
  - 問題は、Robotaxiの大量展開がおそらく5年先であるため、欧州が追いつくことができるかどうか
  - 欧州企業は2025年以降、欧州でより良い地位を占めると予想するが、米国、中国、日本、韓国をリードする可能性は低い
- 欧州もRobotruckに遅れをとっているが、その強力なグローバルトラックメーカーであるDaimler、VW-Traton、Volvoは、主要なソフトウェアドライバープラットフォーム企業と良好な関係を築いている
  - 欧州のトラックメーカーがヨーロッパで強力な競争相手であるはずであり、米国と中国でもうまくいく可能性があることを意味する
  - 重要なのは、欧州で安全ドライバーによるRobotruckのテストを増やすこと
- 欧州は、固定/フレキシブルルートAVは欧州の大量輸送産業の需要と一致し、リーダーになる見込み
  - EasyMileとNAVIAが開発したAVシャトルは、現在、大量に使用するには高価すぎる
  - 欧州の大手自動車会社は、販売台数の段階をキックスタートするためにステップアップするか?
  - 一部のOEMは、固定ルートAVアプリケーション向けにバンベースのAVを提供する可能性がある
  - VWはそのバンベースAVOEMリストの先頭に立つ可能性有
  - Bosch、Continental、ZFなどのティア1も可能性がある

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

表-2　AVにおける欧州の取り組み

Table 2: How Is Europe Doing in AVs?			
	Topic	**Key Information**	**Implications/Impact**
AV hardware technology	• AV processors • LiDAR • Radar • Camera	• Europe is behind: Nvidia leads • Europe lags; a few startups • Europe OK; 4D radar is a need • Europe OK; Tier 1s to leverage ADAS	• OEMs OK via Tier 1 suppliers • OEMs OK via Tier 1 suppliers • OEMs OK via Tier 1 suppliers • OEMs OK via Tier 1 suppliers
AV software technology	• AV platforms • Software driver • Edge cases	• Europe is behind: U.S. & China lead • Europe is behind: U.S. & China lead • Europe is behind: Limited testing	• OEMs lag; AV platform deals help • OEMs lag; AV platform deals help • OEMs lag; AV platform deals help
AV use cases	• Robotaxis • Truck AVs • Fixed-route AVs • Goods delivery • Sidewalk AVs	• Europe is behind: U.S. & China lead • Europe is behind: U.S. leads • Europe was pre-pandemic leader • Europe is behind: U.S. & China lead • Europe a leader via startups	• Limited EU ride-hailing, mass transit • OEMs lag; AV platform deals help • EU mass-transit synergy to be leader • EU needs startups or market entrants • Starship is key to future growth
AV testing	• Robotaxis • Truck AVs • Fixed-route AVs • Goods delivery • Sidewalk AVs	• Europe far behind: U.S. & China lead • Europe is behind: U.S. leads • Europe lost momentum in pandemic • Europe is behind: U.S. & China lead • Europe is a leader: grocery & meals	• Regulation delays will help in Europe • OEMs lag; AV platform deals help • EU startups need help; larger firms • Leverage sidewalk AV expertise? • Europe will remain a leader
AV standards	• Technical • L4 & L5 safety • Cyber & OTA	• SAE, ISO, IEEE, UL, UNECE • Europe is a leader • Europe leads with WP.29	• Europe among leaders • Type approval to build expertise • Type approval to build more expertise
AV regulation	• AV performance • AV compliance	• Europe leads: EU & U.K. regulation • Europe leads: EU & U.K. regulation	• Type approval to build expertise • Type approval to build expertise
OEMs	• AV hardware • AV software • AV use cases • AV testing	• Varies by OEM; some are behind • Varies by OEM; some are behind • Varies by OEM; some are behind • Varies by OEM; most are behind	• Most OK via partners & supply chain • Most OK via partners & supply chain • Some OK via partners & supply chain • Most need more testing experience
Tier 1s	• AV hardware • AV software	• Varies by Tier 1; some are behind • Varies by Tier 1; most are behind	• Top Tier 1s will do well in AV systems • AV software platform deals needed

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

111

参考資料

- 欧州法規
- 090166e5efbd7481.pdf
- 090166e5efbd7a4f.pdf

- 分析
- EU Releases ADS Legislation Draft - EE Times

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

112

自動運転：欧州の法律動向

■ 2022年4月　EUが発行した自動運転システムに関する法案
EETimmes Europeの記事より

EU Releases ADS Legislation Draft - EE Times

2022年8月5日付法規原文：https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1426&from=EN

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

■ **用語**
- 自動運転システム（ADS）：ハードウェアおよびソフトウェアシステムを介して動的運転タスク機能を実行
- 運用設計ドメイン（ODD）：ADSが動作できる環境を定義
- オブジェクトとイベントの検出と応答（OEDR）：運転環境を監視し、応答
- ダイナミックドライビングタスク（DDT）：OEDR機能の使用に基き、ステアリング、加速、ブレーキを作動
- 最小リスク操作（MRM）：ADSは、可能な限り安全な場所で停止するまで減速
- 最小リスク条件（MRC）：ADS が MRM を作成した後に到達

■ **概要**
- EU ADS 法案には、ADS性能要件と ADS認証評価の2つの主要部分がある
- ADSの性能要件は、自動運転車（AV）が欧州で型式承認を受けるために必要な機能を指定
- ADS認証評価では、型式承認を得る前に AV を評価、監査、テストする方法を指定

EU Automated Driving System Legislation Overview		
	Key Information	**Other Information**
ADS performance requirements: Annex 2	• Describes ADS requirements: 5 traffic scenarios • Functional and operational safety requirements • Cybersecurity & & software management systems • Event data recorder: Data requirements • Operating manual: Detailed information needed	• Perform entire DDT based on ODD • Safety & Minimum Risk Maneuvers • Based on UNECE WP.29 • 11 listed events, 5 parameters • Part of type-approval documentation
ADS compliance assessment: Annex 3	• Consideration of most relevant ODD scenarios • Assessment and audit of ADS design concept • Pass- and fail-criteria to assess ADS safety • ADS modelling & simulation (M&S) • ADS safety performance during deployment	• Audit by type-approval organization • Audit by type-approval organization • Audit by type-approval organization • Audit by type-approval organization • ADS report requirements while in service
Data Source: EU-ADS-Legislation-Draft; Table Source: Egil Juliussen, May 2022		

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

- **ADSの性能要件と詳細の概要**
  - ADS性能要件は、安全な動作のための安全要件を含め、AVのソフトウェアとハードウェアを設計するための鍵
  - 前ページの表は、ADS要件の概要を示す
  - ADS要件では、5つの交通シナリオを使用して、必要な機能について説明
  - ADSは、全ての交通シナリオに対して動的運転タスク（DDT）全体を実行する必要があり、満たすべき機能的、操作上の安全条件も指定
  - MRM は、衝突や危険な状況を回避するために重要
  - ADSには、サイバーセキュリティ、ソフトウェア管理システムも組み込まれている必要がある
  - ADS の性能を追跡するには、イベントレコーダーが必要
  - 型式承認申請の一部として詳細な操作マニュアルが必要

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

- **ADSの性能要件と詳細の概要**
  - 右表はADSの性能要件について詳しく説明

ADS Performance Requirements		
	Key Information	Other Information
DDT under normal traffic scenarios	• Perform entire DDT based on ODD • ADS must demonstrate anticipatory behavior • Detect and respond suitably to objects & events	• ADS must operate at safe speeds • When interacting with other road users • Relevant for the DDT within the ODD
DDT under critical traffic scenarios	• ADS to perform DDT critical traffic scenarios • Perform foreseeable critical traffic scenarios • ADS shall be able to detect the risk of collision • ADS cannot do human characteristics weighting • Equal human life protection: inside & outside AV • If crash occurs, ACT should do MRM	• DDT under emergency operation • Reasonable traffic scenarios in ODD • Avoid collision via emergency operation • If collision-human risk is unavoidable • AV passenger & outside human road users • To reach Minimum Risk Condition (MRC)
Minimum Risk Maneuver (MRM)	• During MRM, ADS decelerates (less than 4m/s) • ADS can leave MRC after positive self-check	• To a standstill in safest possible place: MRC • Or intervention by operator or teleoperator
DDT at ODD boundaries	• ADS shall recognize ODD conditions-boundaries • Snow, rain, fog, road & lane markings, day, night • At ODD boundary ADS performs MRM → MRC	• ADS must anticipate exits from the ODD • Time of day, geographic area • And if available, warn operator-teleoperator
DDT under failure scenarios	• ADS shall detect and respond to a malfunction • ADS shall evaluate its ability to fulfil entire DDT • ADS shall respond safely to a fault/failure	• ADS shall self-diagnose faults and failures • If not, notify occupants, operator, teleoperator • If failure, execute fallback to achieve MRC
Human machine interaction	• Safe operation data regarding safety hazards • Audio-video link with teleoperator if available • MRM request by occupants if teleoperation • Visual view of occupant space if teleoperator	• For vehicles transporting occupants • Based on ISO 7010 E004 • Teleoperator control: doors-emergency exits • To assess situation inside & outside AV
Functional & operational safety	• Demonstrate functional & operational safety • Based on crash statistics or careful driver data • Safety compliance over ADS lifetime use	• Completed during design & development • And state-of-the-art technology • Wear & tear, sensor focus, traffic scenarios
Cybersecurity & software management	• ADS protection from unauthorized access • ADS shall support software updates • Tracking of software version for each vehicle • New type-approval required for updates	• Based on UN regulation #1552 (WP.29) • Based on UN regulation #1563 • Especially for any crash or related events • Software, hardware or update of both
EDR: Event data recorder: Data requirements	• ADS to activate EDR for 11 listed events • 5 ADS data parameter to be recorded • EDR placed in structurally safe location • EDR protection against manipulation	• During ADS operation • Software version # must be included • Demonstrated by appropriate documentation • Demonstrated by anti-tampering design
Manual driving	• ADS allows safe manual driving for maintenance • Manual driving above 6 km/hour	• Or takeover after Minimum Risk Maneuver • Then considered dual mode vehicle
Operating manual	• ADS detailed operating manual is required for: • Owner, occupants, service operator, teleoperator • ADS functional description & technical measures • Submitted to type-approval authority	• To ensure safe operation of ADS • Instructions to users, operators & passengers • Maintenance, infrastructure, environmental • Annexed to the type-approval certificate
Periodic tests	• Periodic roadworthiness tests are required • Check correct functionality and software integrity	• Check correct operational status • Based on 2019 EU regulation 62110
MRM=Minimum Risk Maneuver		
Data Source: EU-ADS-Legislation-Draft; Table Source: Egil Juliussen, May 2022		

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

ADS コンプライアンス評価の概要

- 第1セクションでは、型式承認組織がADSの機能を評価し、EU法への準拠を評価する方法を要約
  - ADSの評価、審査、テストには、ADSのパフォーマンス要件よりもはるかに複雑で仕様がある
  - 最初のタスクは、道路の種類などの ODD シナリオ(都市、地方、高速道路等)を使用法を検討
  - ODD評価の他の要素は、車線変更、合流、右左折、横断、その他の運転タスクなどの一般的な操作が含まれる

- 第2セクションは、ADS設計コンセプトの監査と評価
  - 製造元が提供するすべてのADSドキュメントの評価が含まれる
  - メーカーの安全管理システムも監査されている

- 第3セクションは、実行される運転試験の説明
  - さまざまな運転状況でのADSの安全性を評価する合格または不合格のテスト

- 第4セクションは、対象メーカーのモデリングとシミュレーション(M&S)と、M&Sシステムの能力を調査

- 最後のコンプライアンス評価では、展開後に ADSの性能を追跡
  - 車両の型式承認を維持するために追跡して型式認証組織に報告する必要があるものに関する情報が含まれる
  - このセクションについては、以降で詳しく説明

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft: ADS機能とトラフィックシナリオ - 1/3

ADS機能とトラフィックシナリオ

- EUの法案では、通常のトラフィックから重大なトラフィック イベント、障害イベント、MRM まで、5つのトラフィック シナリオを使用してADS 機能を指定
- 要件はDDTとODDに焦点、各シナリオは以下

1. **通常のトラフィックシナリオ:**
   - ADSは、ODDによって決定されるDDT全体を実行する必要がある
   - ADSは、車両の縦方向および横方向の動きを制御することにより、安全な速度で動作し、他の道路利用者から適切な距離を維持する必要がある
   - ADSは安全上のリスクに合わせて行動を適応させ、人命の保護を最優先する必要がある
   - ADSはオートバイ、自転車、歩行者、障害物(破片、紛失した貨物など)を含む他の道路利用者との相互作用における予測可能な行動を示す必要がある
   - ADSは、交通事故、交通渋滞、道路工事、交通安全担当者、法執行機関、緊急車両、交通標識、道路標示、環境条件を検出して対応する必要がある
   - その他の要件は、規制草案に詳述されている

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft: ADS機能とトラフィックシナリオ - 2/3

2. **危険なトラフィックシナリオ:**
   - ADSは、ODD内の合理的に予測可能な全ての重要トラフィックシナリオに対しDDTを実行する必要がある
   - ADSは緊急状態にあり、他の道路利用者との衝突リスクや突然現れる障害物を検出し衝突を回避、車両の乗員や他の道路利用者の安全リスクを最小限に抑えるために緊急操作を自動的に実行できる必要がある
   - このセクションの2つの項目は非常に興味深いものであり、いわゆる「トロリー問題」に対処しようとしている
   - 次の2つのステートメントが存在
     1. 人命に対するやむを得ない代替リスクがある場合、ADSは、人間の個人的特性に基づいて重み付けしてはならない
     2. 完全自動運転車外の他の人命の保護は、完全自動運転車内の人命の保護に対し下位扱い(subordinated)してはならない
   - 衝突が発生した場合、ADS はMMR を実行して MRCに到達する必要がある
   - ADSおよび/またはオンボードオペレーター(該当する場合)、またはリモート介入オペレーター(遠隔操作)のセルフチェックによって安全な操作が確認されるまで、ADSは通常の動作を再開できない
   - 衝突を別の衝突を引き起こさずに安全に回避できる場合、ADSによって回避される

3. **最小リスク操作:**
   - MRM中、ADSは、周囲の交通、道路インフラに基づいて、4.0m/s以下に減速し、最も安全な場所で停止する
   - 深刻なADSまたは車両の故障が発生した場合は、より高い減速値が許可される
   - AVは、ADSおよび/またはオンボードオペレーターまたはテレオペレーターがMRMの原因が存在しなくなったことを確認した後にのみMRC状態から回帰

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft: ADS機能とトラフィックシナリオ - 3/3

4. ODD境界:
   - ADSは、1つ以上のODD条件が満たされない場合を検出し応答する
   - ADSは、雨、雪、霧、霧、時刻、光の強度、道路と車線、地理的領域等のODD条件を認識する必要がある
   - ADSがODD境界に至ったらMRMを実行、MRCに到達、オペレータ/テレオペレータに警告する必要がある
   - ODDの条件と境界は、製造業者が設定する必要がある
5. 失陥シナリオ:
   - ADSは、ADSの性能を著しく損なわないADSの故障/失陥に安全に対応する
   - ADSは、ADSおよび/または車両の誤動作を検出して対応し、故障、失陥を自己診断する必要がある
   - ADSは、DDT実行を妨げる失陥の発生時、MRCを実現するために安全なフォールバック応答を実行する
6. ヒューマンマシンインタラクション:
   - 安全な運転のために必要に応じて、車両の乗員に適切な情報を提供する
   - テレオペレーターが安全コンセプトの一部である場合、ADSは、車両の乗員がオーディオビジュアルリンクを介してテレオペレーターに電話をかける手段を提供する
   - ADSは車両の乗員に、ADSを停止させるための最小限のリスク操作を要求する手段を提供する
   - テレオペレーターが安全コンセプトの一部である場合、ADSは車室と車両の周囲の視覚的監視を提供し、テレオペレーターが状況評価可能とする(例:ISO16505:2019の第6章に準拠したカメラ)
7. マニュアル運転:
   - ADSが手動運転を許可する場合、車両には安全なドライバーコントロールが必要
   - 手動運転は、メンテナンスやMRM完了後の引き継ぎに使用可能
   - 時速6kmを超える速度での手動運転では、車両はデュアルモード車両と見なされる

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

■ **機能、操作上の安全性には定期的なテスト**

- 製造業者は、設計、開発プロセス中にADSの機能的、操作上の安全性に許容可能な程度の考慮が払われていることを実証する必要がある
- 製造業者は、ADSの運用上の安全性を定義する合格基準を定義する必要がある
- 本基準は、バス、コーチ、トラック、車の現在のEU事故データを許容基準として使用することを1つのオプションとして提案
- 本基準には、1,000万時間の運用あたり1人の死亡者(1時間の運用あたり10 ^ −7人の死亡者)の致死率がリストされている
- 有能で慎重に運転されたマニュアル車と最先端の技術からの性能について収集されたデータは、運用上の安全基準の他の選択肢
- 製造業者は、センサーのコンポーネントの劣化、新しい交通シナリオなど、ADSの安全性と寿命にわたる継続的なコンプライアンスを管理する必要がある
- ADSには、定期的なRoadworthinessテストが必要
- 本基準では、テストに対して次の機能を指定
  - ✓ 車両の主制御スイッチを作動させ、電球をチェックした後、故障警告信号の状態を視覚的に観察することにより正しい動作状態を確認
  - ✓ 電子車両インターフェースの使用による正しい機能とソフトウェアの完全性を確認
  - ✓ 2019 EU規制62110に従って電子車両インターフェースを使用すること推奨
  - ✓ 62110規制は、耐道路性試験に必要な技術情報を提供

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

■ **サイバーセキュリティとソフトウェア管理**

- 本基準にサイバーセキュリティ防御の強力な要件が含まれている
- 全てのADSが国連規則第1552号に従って不正アクセスから保護されることを要求
- UNECE WP.29を参照
- 無線ソフトウェアアップデート(OTA)も強力に支援
- ADSは、ネガティブイベントが発生したときにどのソフトウェアバージョンが使用されるかを追跡するための要件を含むソフトウェアアップデートをサポートするものとし、データは分析のために保存される
- ADSの存続期間中のソフトウェアアップデートも重要視
- ソフトウェアの更新に対し、ハードウェアやソフトウェアの機能が変更された場合、新しい型式認証が必要になる場合もある

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

- **イベントデータレコーダのデータ要件**
  - イベント データ レコーダーは、ADS の一部として必要
  - ADS機能の将来の改善のための分析、または複雑、望ましくないADS操作中に起こった事実を説明するために必要
  - 本基準には、ADSのアクティブ化/再初期化、ADSの非アクティブ化、ADSからテレオペレーターに送信される要求、テレオペレーターによる送信要求/入力、緊急操作の開始、緊急操作の終了、衝突の検出、EDRトリガー入力、ADS MRMエンゲージメント、車両が到達したMRC、ADSの障害など、記録する必要のある11のイベントがリストされている
  - 本基準には、発生理由、日付、GPS位置、秒単位によるタイムスタンプなど、記録する5つのデータパラメータがリストされている
  - ソフトウェアのバージョンも記録する必要がある
  - EDRは、衝突に耐えられる安全な場所に配置する必要があり、車両メーカーが文書化する必要がある
  - EDRは操作から保護する必要があり、改ざん防止設計によって実証する必要がある

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ADS Legislation Draft

- **操作マニュアル**
  - 製造元は操作マニュアルを提供する必要がある
  - 操作マニュアルの目的は、所有者、車両の乗員、輸送サービスオペレーター、オンボードオペレーター、テレオペレーター、関連する国内当局への詳細な指示を通じて、AVの安全な操作を保証すること
  - マニュアルには、ADSの機能説明と、チェックや車両のメンテナンス作業、オフボードインフラストラクチャ、輸送、物理インフラストラクチャの要件などの技術的対策を含める必要がある
  - マニュアルには、制限速度、専用車線、今後の交通との物理的な分離、環境条件、オンボードオペレーターやテレオペレーターなどの安全な操作のための運用上の対策などの運用上の制限も含める必要がある
  - 操作マニュアルは、型式承認の申請とともに型式承認機関に提出され、型式承認証明書に添付される

  - 次回のコラムでは、EU ADS 法案における型式承認のコンプライアンス評価に焦点を当てる（未発表）

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転各国動向：イスラエル

- 2022年11月8日　Net記事より

https://www.timesofisrael.com/israel-to-test-self-driving-public-bus-systems-in-two-year-national-pilot/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

イスラエルは2年間の国家プロジェクトで自動運転公共バスシステムをテスト

- イスラエルイノベーションオーソリティ（IIA）は、自動運転公共バス実証試験に、イスラエルのバス会社、地元および世界の技術系スタートアップで構成される4つのコンソーシアムを採用

【概要】

- 6,100万NIS（17.21M＄）の自動公共交通機関国家計画の一環として、自動運転バスとシャトルの公共交通機関への統合を検討
- 2022年初め、Knesset（イスラエルの立法府）は、企業がタクシーやバスなどの自動運転共有輸送を、乗客を車両に乗せて、イスラエルの道路で安全ドライバーなしで操縦できる法律を可決し、自動運転公共交通機関の国家計画と、2022年夏にTel Aviv（およびMunich）で自動運転タクシー（「Robotaxi」）と配車サービスの実証事件開始予定だったIntelの自動運転子会社であるMobileyeへの計画を実施可能とした

【実証実験4つのグループ】

1. Egged：イスラエルの主要なバス事業者、最大の都市間ルートを持つ
2. Dan：Gush地域のみ
3. Metropoline：イスラエル南部、Tel AvivとBeershebaの間、シャロン地域の都市間を往来するバス路線を提供）
4. Nateev Express： Nazarethを拠点とし、北部のUpper Galileeを横断するルートを運営する

←Egged社電動バス

Ban Buss社新電動バス→

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

イスラエルは2年間の国家プロジェクトで自動運転公共バスシステムをテスト

- イスラエルイノベーションオーソリティ(IIA)は、自動運転公共バス実証試験に、イスラエルのバス会社、地元および世界の技術系スタートアップで構成される4つのコンソーシアムを採用

【4グループの連携関係:世界的連携】
- イスラエル、フランス、トルコ、ノルウェー、米国に拠点を置くスタートアップ組織と提携

【各社の連携関係】
- Egged社
  - 約20か国のさまざまなテスト環境ですでに使用されているフランスの自動運転車の開発者(名前非公開)と提携
- Dan社
  - 長年のパートナーであるモビリティ、ライドシェアリング会社のVia Transport(テルアビブとその周辺でバブルシャトルシステムを運営)、フランスの自動電動バス開発会社社であるEasyMile、イスラエルの企業である自動運転セキュリティの新興企業であるEnigmatos、自動運転車向けの支援技術メーカーOttopiaと提携
  - EasyMileはすでにフランスとドイツに自動運転バスのフリートを持つ
- Metropoline社
  - Ottopia、トルコのバスメーカーであるKarsan、ミシガン州を拠点とする自動運転ソフトウェアプラットフォームAdastec、ノルウェーのフリート管理会社Applied Autonomyと提携
  - AdastecとApplied Autonomyは、ミシガン州とノルウェーの自動運転技術の他のパイロットプログラムを実施中
- Nateev Express
  - Ramat Ganにあるイスラエル最大の病院Chaim Sheba Medical Center、(Tel Hashomer Hospital)とその周辺で自律シャトルを運用するためのカメラベースのレベル4/5自動運転プラットフォームの開発者であるイスラエルの企業Imagryと提携

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転各国動向:UK

- 2022年7月に発行されたConnected and automated Vehiclesに関する白書による法律への取り組み

Centre for Connected and Autonomous Vehicles - GOV.UK (www.gov.uk)

Connected and automated vehicles (CAV) | BSI (bsigroup.com)

Centre for Connected & Autonomous Vehicles

bsi.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Connected and automated Vehicleの開発と安全

- 英国政府は、CAV技術の安全で確実な出現を形作るために、2015年にCentre for Connected and Autonomous Vehicles（CCAV）を設立
- BSI は、CAV 技術の試行に関与する組織である CCAV、UK CAV Eco-system と協力し、試行と開発テストから始めて、CAV の安全で確実な展開を加速
- 実用化の促進のためにBSIは各種Guidanceを発行

【発行したガイダンス】
- PAS 1880：自動運転車の制御システムの開発と評価のためのガイドライン
- PAS 1881：自動運転車の運用上の安全性の確保 – 仕様
- PAS 1882：インシデント調査を目的とした自動運転車試験のデータ収集と管理 - 仕様
- PAS 1883：自動運転システム（ADS）の運用設計ドメイン（ODD）分類法-仕様
- PAS 1884：自動運転車のテストとトライアルにおける安全オペレーター-ガイド
- PAS 1885：自動車サイバーセキュリティの基本原則-仕様
- BSI Flex 1890 v4.0：CAV語彙集

◆ 2021年～2022年に自動運転に関する法律がドイツ、フランス、オーストラリア等で発行された（細部は関係省庁による報告書が発行済であり省略）
◆ UKによる取り組み含め、2022年8月に発行されたEU法規案を含め、国際的な統一法規化への動向は要着目

BSI CAV Standards Roadmap 2022

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

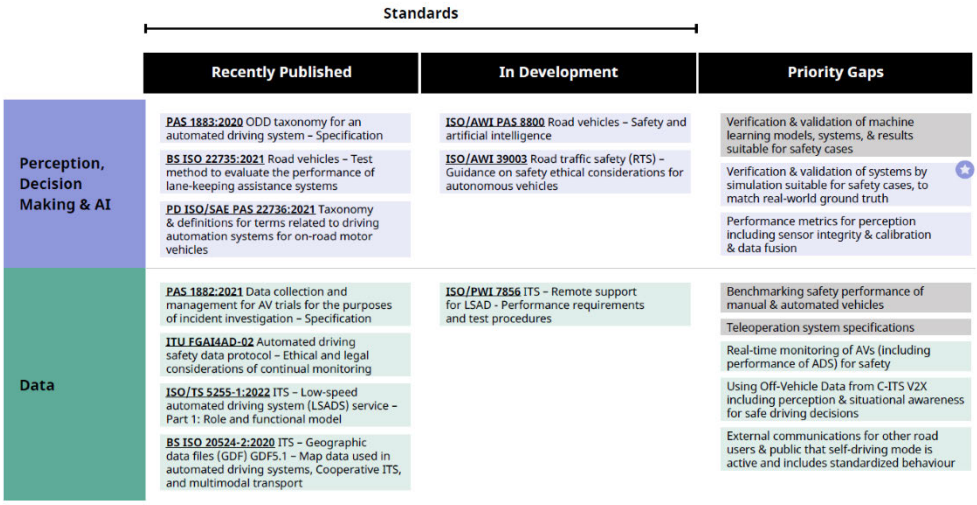
BSI CAV Standards Roadmap 2022

Standards

	Recently Published	In Development	Priority Gaps
Safety & Assurance	PD/ISO PAS 21448:2019 Road vehicles – Safety of the intended functionality PAS 1881:2020 Assuring the operational safety of automated vehicles – Specification SAE J3016 Taxonomy & definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles UL 4600 Evaluation of autonomous products BS ISO 26262:2018 Functional safety BS ISO 22737:2021 LSAD systems for predefined routes – Performance requirements, system requirements & performance test procedures ASAM OpenDRIVE®	ISO/AWI 23793-1 MRM for automated driving – Framework, straight stop and in-lane stop ISO 34501 Road vehicles - Terms and definitions for test scenarios for ADS ISO 34502 Road vehicles - Scenario-based safety evaluation framework for ADS ISO/WD 34503 ODD taxonomy SAE J3259 Taxonomy & definitions for ODD ISO/AWI TS 5083 Safety for ADS – Design, verification and validation	Standard behaviours in response to emergency vehicles (incl. high priority messages) Library of scenarios/test cases for testing & type approval of CAVs & systems (may include by simulation) Guidance on how to apply SOTIF ISO 21448 Minimal risk manoeuvre & conditions for ADS failures & other malfunctions HMI standards for handover & takeback/fallback functionality includes monitoring of safety driver & training
Perception, Decision Making & AI	PAS 1883:2020 ODD taxonomy for an automated driving system – Specification BS ISO 22735:2021 Road vehicles – Test method to evaluate the performance of lane-keeping assistance systems PD ISO/SAE PAS 22736:2021 Taxonomy & definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles	ISO/AWI PAS 8800 Road vehicles – Safety and artificial intelligence ISO/AWI 39003 Road traffic safety (RTS) – Guidance on safety ethical considerations for autonomous vehicles	Verification & validation of machine learning models, systems, & results suitable for safety cases Verification & validation of systems by simulation suitable for safety cases, to match real-world ground truth Performance metrics for perception including sensor integrity & calibration & data fusion

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

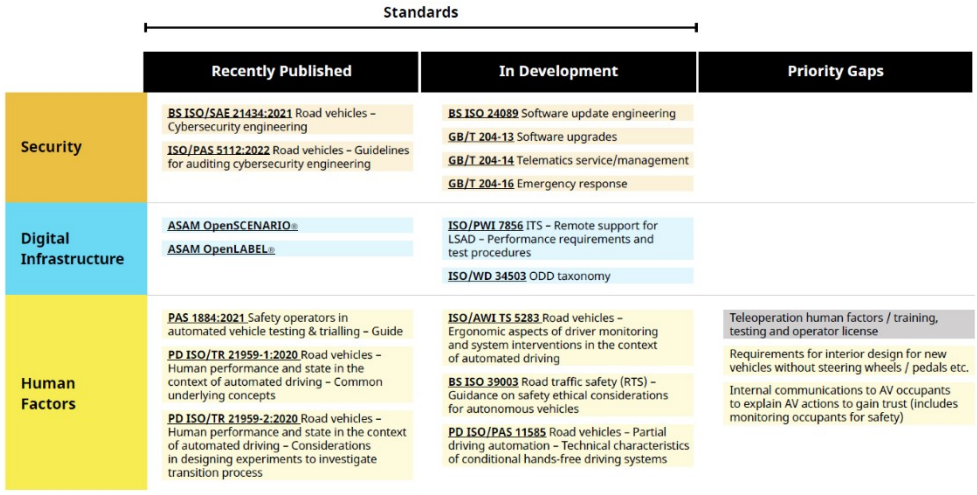
BSI CAV Standards Roadmap 2022



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

131

BSI CAV Standards Roadmap 2022



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

132

UK一般情報

- UKで初めての「無人」バスの実証事件が開始　Edingurgh & East 2022年4月25日
  - 5台の自動運転バスのテストをCAVForth Pilotの一環として2週間のテストを開始
  - Stagecoat East Scotland社により実施されるテストは乗客なしで実施される
  - 2022年夏には乗客を乗せて実施と発表

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Cooperative Level 4
Automated Mobility Service

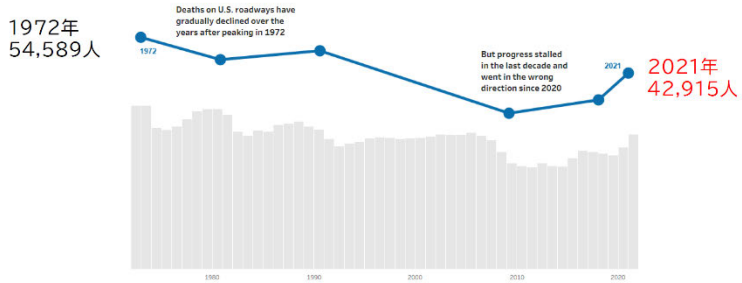
米国動向

- 社会課題
  - 交通事故死者増加への対応
- 研究開発5ヵ年計画（2022～2026）発表：2023年1月11日
- USDOT各局の取り組み
- 主要国際会議での関心情報

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国の交通事故実態：

- 交通事故死者が増加傾向にあり対策が急務

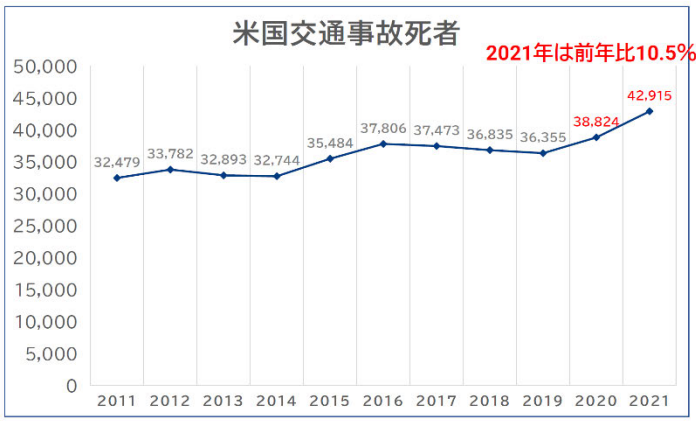


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国の交通事故死者推移

- 2019年から増加
- 2022年もさらなる増加見込

2022年の顕著な死者増加領域
- 複数車両衝突事故　:16%
- 都市道路での事故　:16%
- 65歳以上のドライバー　:14%
- 歩行者　:13%
- 大型トラック関連　:13%
- 昼間　:11%
- オートバイ　: 9%
- 自転車　: 5%
- スピード違反　: 5%
- アルコール関連　: 5%



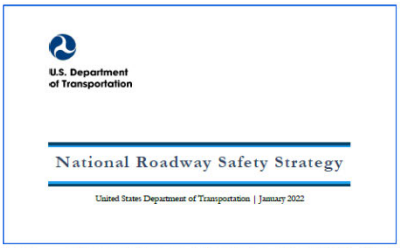
出典：USDOT

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

137

米国の交通安全への取り組み

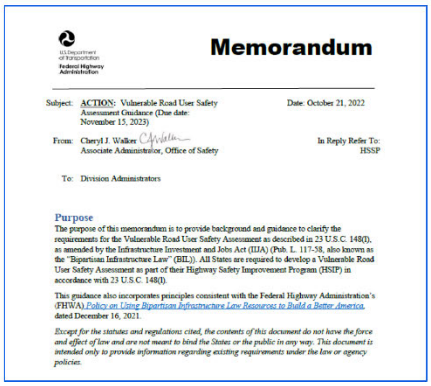
- 背景
  - 2019年から米国の交通事故死者増加傾向
  - 2022年1月に、特に交通弱者（VRA）の安全確保を目的とした「National Roadway Safety Strategy」を発行
  - 2022年も依然交通事故死者が増加傾向にあり、2022年10月によりVRAの安全性向上に向けたガイダンス「Guidance for the Highway Safety Improvement Program」を発行
  - 同時にBIL（The Bipartisan Infrastructure Law）に基づき、＄5Bの資金援助プログラムを「Safe Streets and Roads for All 」設置


U.S. Department of Transportation

National Roadway Safety Strategy

United States Department of Transportation | January 2022

出典：https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2022-02/USDOT-National-Roadway-Safety-Strategy.pdf
U.S. Department of Transportation Announces New Guidance to Improve Safety for Vulnerable Road Users under President's Bipartisan Infrastructure Law | FHWA (dot.gov)


Memorandum

Subject: ACTION: Vulnerable Road User Safety Assessment Guidance (Due date: November 15, 2023)
Date: October 21, 2022

From: Cheryl J. Walker, Associate Administrator, Office of Safety
In Reply Refer To: HSSP

To: Division Administrators

Purpose

The purpose of this memorandum is to provide background and guidance to clarify the requirements for the Vulnerable Road User Safety Assessment as described in 23 U.S.C. 148(l), as amended by the Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA) (Pub. L. 117-58, also known as the "Bipartisan Infrastructure Law" (BIL)). All States are required to develop a Vulnerable Road User Safety Assessment as part of their Highway Safety Improvement Program (HSIP) in accordance with 23 U.S.C. 148(l).

This guidance also incorporates principles consistent with the Federal Highway Administration's (FHWA) *Policy on Using Bipartisan Infrastructure Law Resources to Build a Better America*, dated December 16, 2021.

Except for the statutes and regulations cited, the contents of this document do not have the force and effect of law and are not meant to bind the States or the public in any way. This document is intended only to provide information regarding existing requirements under the law or agency policies.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

138

Guidance for the Highway Safety Improvement Program

■ **目的**
- 脆弱な道路利用者の安全評価要件を明確にすること

■ **脆弱な道路利用者の安全性評価**
1. スケジュール、頻度
2. 法令、規制要件
3. 資金調達機会
4. 脆弱な道路利用者の安全性評価と他の HSIP「Highway Safety Improvement Program」、脆弱な道路利用者の活動との関係

■ **安全システムアプローチ**
- 全ての道路利用者の死者、重傷者の撲滅
- ヒューマン エラーを予測し対応
- 人体への衝突衝撃エネルギーを許容レベル内に維持
- システム内の安全上のリスクを特定
- 保護システムの冗長性を構築し、システムの一部に障害が発生した場合に他が保護を提供
- システムを設計、構築、管理、使用する全ての人の間で、死者、重傷者ゼロというビジョン・ゼロの目標を達成する責任を共有

■ **対策の方向性**
1. スペース内でユーザーを分離(例:分離された自転車レーン、歩道、歩行者保護島など)
2. 交通量を減らすための物理的機能を実装(例:自動強化道路、道路制限)
3. 時間内にユーザーを分離(例: 先頭の歩行者の間隔)
4. 注意力と認識力の向上(例: 横断歩道の視認性の向上、歩行者ハイブリッド ビーコン、照明)
5. スピード違反取締り戦略の実施(例: スピードセーフティカメラ)

出典:USDOT

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Safe Streets and Roads for All (SS4A)

■ **活動例**
- 道路の死亡者や重傷者をなくすための目標タイムラインを含むリーダーシップのコミットメントと目標設定
- アクションプランの策定、実施、委員会、タスクフォース、実施グループ等の構造計画
- 安全性分析
- 利害関係者との関与とコラボレーション
- 公平性
- ポリシーとプロセスの変更
- 戦略とプロジェクトの選択
- 進捗状況と透明性

■ **助成金を活用した活動例**
- 低コストの道路安全処理をシステム全体に適用
- 一般的なリスクを特定して改善
- 経路の改善
- 歩行者安全向上信号の採用
- 問題領域のコミュニティメンバーと協力
- 自転車道ネットワークの開発を支援
- 速度管理戦略を実行
- 学校や公共交通機関サービスへの安全なルートを作成
- 革新的な技術、戦略の採用を促進
- 新しいインフラ、革新的なインフラストラクチャに伴う教育キャンペーンの実施
- 標準の適用、新しいデータ収集、分析技術、戦略を実装
- 接続された交差点ベースの安全ソリューションや車両からインフラストラクチャ(V2I)、制限速度警告システム(インテリジェントスピードアシスタンス[ISA]など)の設置等高度な輸送技術を展開
- 道路逸脱事故対策
- ファーストレスポンダーサービスの改善
- 管轄区域間で安全データを統合し、分析データリソースを構築

出典:USDOT

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国動向：USDOTによる戦略

- Five-Year Research, Development and Technology Strategic Plan
- インフラ投資と雇用法（IIJA）
- 「超党派インフラ法」（BIL）

U.S. Department of Transportation
Research, Development, and Technology (RD&T) Strategic Plan (FY 2022-2026)

Building a Better Transportation Future for All

U.S. Department of Transportation Releases Five-Year Research, Development and Technology Strategic Plan | US Department of Transportation

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ARTS 2022プログラムに見る米国の関心事概況

- USDOT幹部によるプレゼンテーション
  - Secretary Pete Buttigieg
    - ✓ 自動運転による交通への貢献や社会への貢献等幅広い可能性、米国の成長への重要性を発表
    - ✓ 今後の促進に向けた新しい取り組みを紹介

「Transforming Transportation Advisory Committee：TTAC」の設立

【TTAC】
- 運輸イノベーションのニーズ、目的、計画、アプローチを長官に助言と勧告するために設立

【主要検討課題】
- ✓ 新興技術の安全、安心、公平、環境にやさしく、アクセスしやすい展開への道筋
- ✓ 統合されたアプローチと、新興テクノロジー、自動化を展開するためのアプリケーションのクロスモーダル統合を促進
- ✓ 安全で生産的な米国の労働力の成長、支援、経済的競争力と雇用の質を促進するイノベーションを奨励
- ✓ 技術やインフラを含む変革的な交通データの安全な交換と共有を奨励するアプローチとフレームワーク
- ✓ サイバーセキュリティソリューションを特定向上させ、交通システムやインフラのプライバシーを保護

【活動状況】
- ✓ 安全擁護者、労働者、技術専門家（自動化、データ、プライバシー、サイバーセキュリティ等）、業界代表者の利益と意見を代表する25人を募集中（2022年8月19日〆切）
- ✓ 近日中に第1回の会議を開催

https://www.transportation.gov/priorities/transformation/transforming-transportation-advisory-committee#:~:text=The%20Transforming%20Transportation%20Advisory%20Committee,and%20approaches%20for%20transportation%20innovation.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Five-Year Research, Development and Technology Strategic Plan

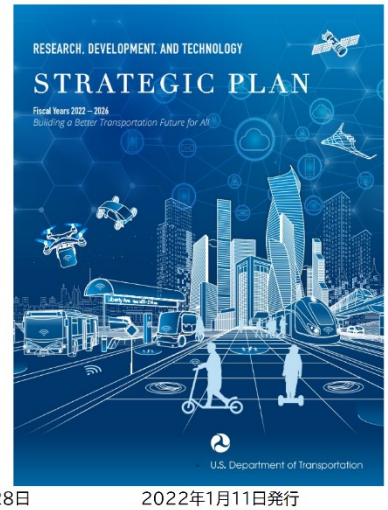
■ 全ての人により良い移動の提供と題したUSDOTの「研究開発技術戦略」を発表：2023年1月11日

【概要】

- 狙い
  - ✓ 戦略的研究ビジョンの確立
  - ✓ DOT研究を導くための研究の優先順位を定義
  - ✓ 技術の商業化と展開を加速するための業界コラボレーションにコミット
- ✓ USDOTのStrategic Goalsに向けた**交通研究の主要目的**
  - ✓ 安全の推進
  - ✓ 輸送のサイバーセキュリティリスクの軽減
  - ✓ 人とモノの移動性の向上
  - ✓ 渋滞の緩和
  - ✓ 交通インフラの耐久性向上と長寿命化
  - ✓ 既存の交通システムの保全
  - ✓ 環境保全

2022年1月公表されたUSDOT Strategic Goals

バイデン政権で初めて2022年3月28日STRATEGIC GOALが公表された



2022年1月11日発行
STRATEGIC PLAM

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Five-Year Research, Development and Technology Strategic Plan

■ 研究優先課題に対する目的と戦略を定義

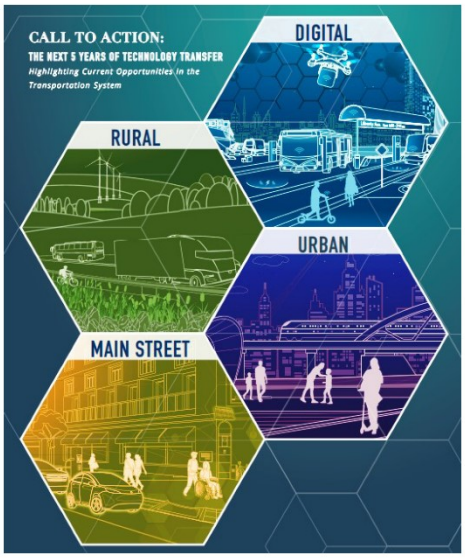
Strategic Goals	重要課題	研究の優先事項
安全	**交通事故死者ゼロ** 輸送関連の重傷、死亡事故のない未来に進化	ヒューマンファクター データ駆動型システムの安全性 サイバーセキュリティ
経済的成長と国際競争力	**レジリエントなサプライチェーン** 深刻な混乱に耐え、迅速に回復できるマルチモーダル貨物システムを構築	レジリエントなサプライチェーン 高度な資産管理 システムパフォーマンス 質の高い仕事への道を構築
公平性	**全ての人に公平なモビリティ** 全ての利用者に安全で、手頃な価格で、アクセスしやすく、便利なモビリティオプションを提供する公平な交通システムを構築	公平性とアクセシビリティの評価 モビリティイノベーション 富の創造
気候と持続可能性	**Net Zero排出量** 温室効果ガス排出量がNet Zeroの経済を支える輸送システムを構築	脱炭素化 持続可能で回復力のあるインフラ
変革	**統合された将来の交通システム:** 人を中心としたモビリティを提供する接続されたインテリジェントインフラを開発	統合されたシステム データ駆動型洞察力 新技術・新規技術

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Five-Year Research, Development and Technology Strategic Plan

■ 活動の募集：次の5年間の技術の普及
- 交通システムにおける現在の機会例

【技術移転の応用例】
- デジタル
  - 運用効率、コラボレーション、公共の関与を改善するためのデータツールとテクノロジーの進歩
- 地方
  - 農村交通をより安全で持続可能にするための革新的なアプローチ
- 主要道路
  - 安全性、公平性、持続可能性を向上させるためのマルチモーダル技術ソリューション
- 都市
  - 都市クリーンに、安全に、効率的にするスマートなソリューション



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA

■ インフラ投資と雇用法（IIJA）

【超党派のインフラ法案：Bipartisan Infrastructure Bill】
- INVEST in America法（HR 3684）として第117回米国議会により制定され、2021年11月15日にジョー・バイデン大統領によって署名された米国連邦法

【経緯】
- 当初、連邦援助の高速道路、輸送、高速道路の安全性、自動車運送業者、研究、危険物、鉄道などのDOTプログラムに関連する条項を含む＄547～715Bのインフラパッケージ
- 議会交渉の後修正され、インフラ投資と雇用法（IIJA）に改名され、元の下院法案の輸送と道路の提案に加えて、ブロードバンドアクセス、きれいな水と電力網の更新のための資金を含むように改訂された
- 改訂版は約＄1.2Tの支出に加え、議会の定期的承認予定額に＄550Bを加えた予算が承認され、2021年8月10日に上院、11月5日下院で可決、10日後にバイデン大統領署名により法制化された

■ Biden-Harris政権「超党派インフラ法」に基き、総額＄1.5B、26プロジェクト発表：2022年9月15日
- Infrastructure for Rebuilding America（INFRA）の競争的助成金プログラムから＄1．5B拠出
- 米国輸送システムの安全性、強靭性を強化、サプライチェーンのボトルネックの解消により貨物輸送を改善
- 全国のプロジェクト支援のため、INFRAプログラムへの資金を50%以上増加
- 今後5年間で、超党派インフラ法はINFRAプログラムに今回の＄1.5Bを含む総額＄8Bが利用可能になった

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

The INFRA Grants Program

INFRA: Infrastructure for Rebuilding America

- The INFRA Program
  - 農村部、都市部での貨物、人々の移動の安全性、効率性、信頼性を向上させる国、地域的に重要なマルチモーダル貨物、高速道路プロジェクトへの助成金プロジェクト
  - 2022年より利用可能で3種類の資金
    - ✓ Mega Grants: National Infrastructure Project Assistance program (49 U.S.C. 6701)
    - ✓ INFRA Grants: Nationally Significant Multimodal Freight and Highway Projects program (23 U.S.C. 117)
    - ✓ Rural Surface Transportation Grant: (23 U.S.C. 173)
- 2022年9月15日に発表された26件の採用プロジェクト
  - 下記焦点領域で選定されたプロジェクト→INFRA AWARDS FY2022

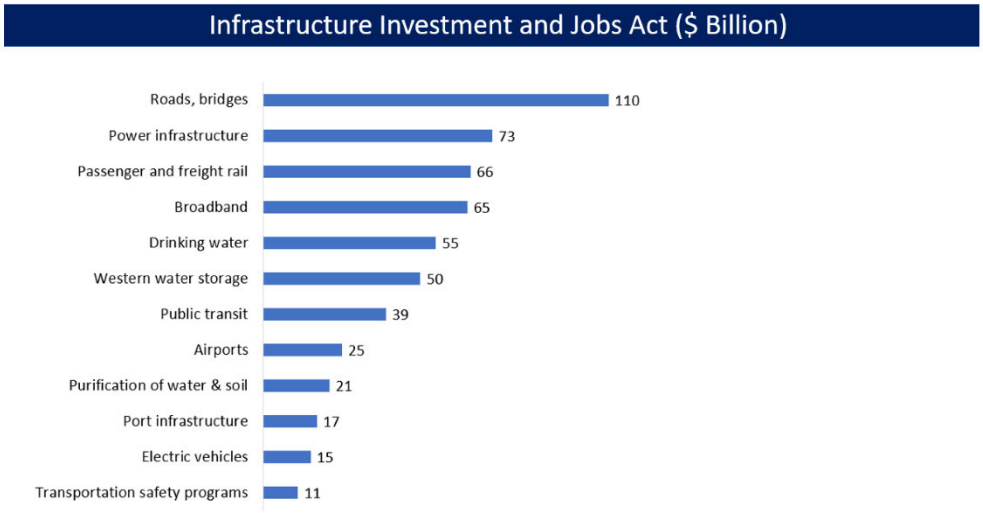
出典：President Biden's Bipartisan Infrastructure Law - The White House

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

147

Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA

- インフラ投資と雇用法（IIJA）



出典：https://en.wikipedia.org/wiki/Infrastructure_Investment_and_Jobs_Act#/media/File:Infrastructure_Investment_and_Jobs_Act_Summary.png

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

148

米国動向：各局の活動

■USDOTによる自動運転への取り組み

自動運転関係組織
- **連邦道路管理局：FHWA**
- **連邦自動車運輸安全局：FMCSA**
- 連邦鉄道局：FRA
- **連邦交通局：FTA**
- **連邦海事局：MARAD**
- **国家道路交通安全局：NHTSA**
- **技術研究担当運輸次官補室：OST-R**
- パイプライン・有害物質安全局：PHMSA
- セントローレンス水路開発公社：SLSDC

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

USDOTによる自動運転への取り組み

USDOT

■ Strategic Plan：6つの戦略目標
☞ 安全と変革に焦点

安全
- 全ての人々に安全な交通システム
- 輸送事故での死者、重傷者ゼロの未来

変革
- 未来のためのデザイン
- 目的志向の研究・革新への投資により現在の課題に対処し今後数十年間全ての人に役立つ将来の交通システム構築

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

OST-R
自動運転の導入に向けた幅広い施策の実施
- ARPA-I
- 10K Intersection Safety Challenge
- UTC Program
- HASS COE
- SMART Grant Program
- ITS4US Deployment Program
- Advanced Transportation Technologies and Innovative Mobility Development (ATTIMD)

FTA
輸送の自動化に向けた戦略作成と各種施策の実施
- Integrated Mobility Innovation (IMI)
- Accelerating Innovative Mobility (AIM)
- ADS Demonstration Grants
- Transit Automation Research
  ☞Strategic Transit Automation Research (STAR) Plan
- Transit Bus Automation Research

NHTSA
自動運転車両の安全性確保に向けた各種取り組み
- 自動運転車の事故報告義務
- 操作系を持たない車両の安全基準改定
- NCAPの改訂への着手

FTWA
自動運転車の実装に向けたインフラ対応
- Center of Excellence for New Mobility and Automated Vehiclesの設置

FMCSA
商用車の自動化に向けた各種施策
- Automated CMV Evaluation (AEC)Program
- 商用車に運転支援採用拡大に向けた取り組み

USDOTによる自動運転への取り組み

- OST-R　The Office of the Secretary for Research and Technologyの活動

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

技術研究担当運輸次官補室OST-Rの活動

- 大学交通センター(UTC)プログラム：$500m資金調達/5年
  - 資金調達の優先事項
    - ✓ 人やモノの移動性の向上
    - ✓ 渋滞の緩和
    - ✓ 安全の推進
    - ✓ 耐久性の向上と拡張と交通インフラの寿命の延長
    - ✓ 環境保全
    - ✓ 既存の輸送システムの保全
    - ✓ 輸送サイバーセキュリティリスクの軽減
- モビリティの強化と交通の革命(SMART)：$100m　2022～2026
  - 高度なスマートシティやコミュニティ技術やシステムに焦点を当てた実証プロジェクトに資金を提供

☞156ページ

- 先端研究プロジェクト組織-インフラ(ARPA-I)
  - 米国が先進的な交通インフラ技術と材料の世界的リーダーであることを確実にする革新的なインフラストラクチャ技術と機能の開発と展開
- 高度に自動化されたシステム安全中核的拠点(HASS COE)
  - 自動化技術の安全性をレビュー、評価、検証できる人材を育成
- Advanced Transportation Technologies and Innovative Mobility Development (ATTIMD)
  - 高度な輸送技術と革新的なモビリティ展開の開発に資金を提供：9/19/22に公募開始、11/18/22〆切
- Complete Trip-ITS4US展開プログラム

☞160ページ

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

技術研究担当運輸次官補室OST-Rの活動

2022年11月日米欧3極会議

■ 交差点安全の革新

【背景】

米国での交通事故死者増加への対応

【交差点での安全向上策に対するRFI（Request for Information）を発行】

- 先進運転支援システム（ADAS）技術
- 自動運転車（AV）の技術
- 視覚的、可聴警告システムと組み合わせて交差点に装備

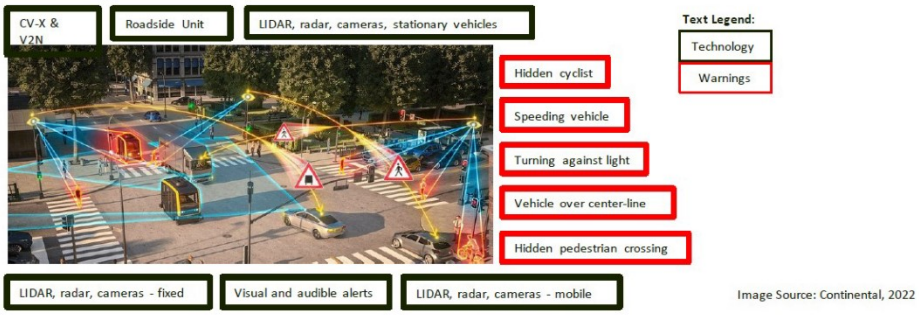


Image Source: Continental, 2022

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

153

Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program

■ SMARTプロジェクト

- 超党派インフラ法により、2022-2026会計年度に年間＄100Mを充当
- 輸送効率と安全性を向上させるために、高度なスマートコミュニティ技術とシステムに焦点を当てた実証プロジェクトを実施するために公共部門機関に助成金を提供する
- 公募受付：2022年11月18日
- 採択発表：2023年初頭

■ SMARTプロジェクトの対象

- Coordinated automation
- Connected vehicles
- Sensors
- Systems integration
- Delivery/logistics
- Innovative aviation
- Smart grid
- Traffic signals

SMART

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

154

Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program

■ SMARTプロジェクト事例-1/3

- 安全性と信頼性
  - ✓ 先進運転システム(ADS:Advanced Driving Systems)等の活用により、作業者の安全性を高め、衝突や交通事故を削減
  - ✓ 正着制御、車線維持、バスの路肩操作などの機能を含む、バスや緊急車両など公共車両用の先進運転支援システム(ADAS)による安全性の向上と軽微な衝突に関連するコストの削減
  - ✓ センサーやその他の技術を活用し、インフラ検査と資産管理プロセスの強化し、修理状態の改善、コスト削減、安全性を向上
  - ✓ 緊急車両、バス、公共車両に、信号機の優先順位の供与
  - ✓ Workzone Data Exchange基準採用により、作業者、旅行中の一般市民を保護、移動の遅延を削減
  - ✓ 安全な移動のために、道路清掃車や除雪車等の自動メンテナンス車両の先進運転システムにより、道路や歩道を整然と維持
  - ✓ 踏切検知による応答性の高い交通管理を可能とする
  - ✓ 線路への不法侵入の検出を活用し侵入の抑制と人命保護

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program

■ SMARTプロジェクト事例-2/3

- EquityとAccess
  - ✓ データベースの活用による収入に応じた運賃の割引を必要な人たちに提供
  - ✓ 技術の活用により、歩道、バス乗り場、自転車レーン、縁石処理等全ての人向けのインフラを改善
  - ✓ 気候、公衆衛生、社会経済データを輸送運営に統合することで公平性の向上
  - ✓ 予約、スケジューリング、経路により、障がい者移動サービスの応答性、柔軟性、効率を向上
  - ✓ 自動車椅子固定システムを移動、障がい者移動、地域移動車両に統合することにより、車椅子の乗客の輸送を強化
- ClimateとResilience
  - ✓ 港湾、複合輸送コンテナヤードのトラック予約システムにより、港湾ゲートの渋滞、排出ガスを削減
  - ✓ ラストマイル配送の代替手段を運営するデジタルツールを使用し、ゼロエミッションゾーンや共有道路等、地域の目標達成を支援
  - ✓ V2G技術の導入により、ピーク時、停電時にグリッド容量の増加、グリッドへの電力の供給
  - ✓ コリドーに沿った軌道解析を活用して、信号タイミングの調整により、渋滞を削減
  - ✓ 道路の洪水、大気質、樹冠、歩道のアクセシビリティなどの環境条件をマッピング、監視するツールを使用して、モビリティとインフラの回復力を向上させる

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program

■ SMARTプロジェクト事例-3/3

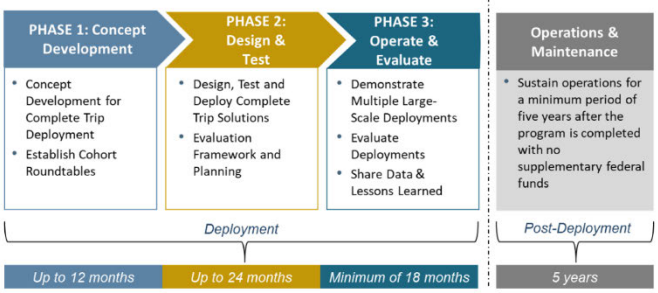
- Integration
  - ✓ 縁石管理のデジタル化により、貨物の積み込み、積み下ろし、乗り継ぎを含む目的とモード全体の利用最適化を行い、地域経済を支援し、モビリティを改善、渋滞を緩和
  - ✓ 適応可能なスマートインフラにより、歩行者やサイクリストの優先権のオンデマンド変換を促進
  - ✓ センサーを用いた舗装の品質、標識、横断歩道のリアルタイムの監視により、運用とメンテナンスを改善
  - ✓ AI、デジタルツインなどの高度なツールを活用し、渋滞の再発防止により、歩行者や自転車、その他の複雑な問題への投資を優先
  - ✓ 乗用車、トラック、バス、サイクリスト、歩行者に対し、センサーを通じて収集する継続的な交通データと交通信号システムや輸送計画ツールと統合し安全性と機動性を向上させる
  - ✓ Automated Traffic Signal Performance Measure（ATSPM）搭載の信号を活用し、交通信号の運用と管理を改善し、機関の目標をサポートする評価基準を開発する

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Complete Trip-ITS4US展開プログラム

■ Complete Trip –ITS4US Deployment Program

- ITS JPO が主導し、OST、FTA、FHWA の支援を受け、場所、収入、障害に関係なく、全ての利用者が全ての交通モードでシームレスに移動できるようにするUSDOT マルチモーダル、複数年40m$プロジェクト
- サービスの行き届いていないコミュニティに、重要なサービスに、より効率的で手頃な価格のアクセス可能な交通手段を提供する方法を確立
- 障害を持つ人々、高齢者、低所得者、地方住民、退役軍人、英語力の限られた旅行者など、コミュニティに焦点を当てた全ての旅行者のモビリティの課題を解決
- コミュニティが地域のパートナーシップを構築することを可能とする
- 3つのフェーズで実行
  - ✓ フェーズ1：コンセプト開発
  - ✓ フェーズ2：設計とテスト
  - ✓ フェーズ3：運用と評価
  - ✓ 導入後の運用と保守



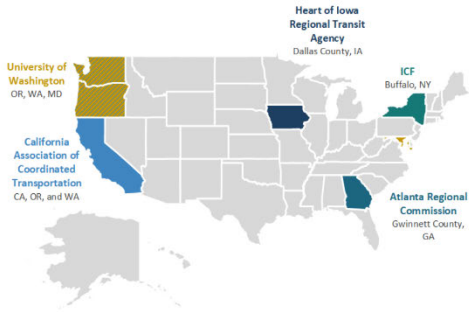
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Complete Trip-ITS4US展開プログラム

■ Complete Trip –ITS4US Deployment Program

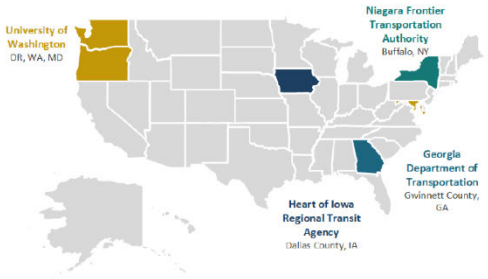
Phase 1受託組織

1. University of Washington
2. Heart of Iowa Regional Transit Agency
3. ICF/Buffalo, NY
4. Atlanta Regional Commission
5. California Association of Coordinated Transportation



Phase 2受託組織

1. University of Washington
2. Heart of Iowa Regional Transit Agency
3. Niagara Frontier Transportation Authority Buffalo, NY
4. Georgia Department of Transportation



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

159

USDOTによる自動運転への取り組み

- FTA: Federal Highway Administrationの活動

Federal Transit Administration

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

160

FTAが実施するMobility Innovation Project

- **Accelerating Innovative Mobility (AIM)**
  - 交通システムの設計、サービス、および資金調達を改善するための先進的なアプローチを促進することにより、交通業界全体のイノベーションを支援
- **Accessible Transportation Technologies Research Initiative (ATTRI)**
  - アクセス可能な交通手段と独立したモビリティを促進するための変革的なソリューションを特定し、調整し、開発し、実装
- **Enhancing Mobility Innovation (EMI)**
  - デマンドレスポンス公共交通機関を促進するソフトウェアソリューションなど、モビリティを改善し、利用者体験を向上させる乗客中心のモビリティの革新を支援
- **Integrated Mobility Innovation (IMI)**
  - 公共交通機関の有効性を高め、効率を高め、品質を向上させ、安全性を促進し、旅行者の経験を向上させるための革新的で効果的な実践、パートナーシップ、技術の提供
- **Mobility on Demand (MOD) Sandbox**
  - スマートフォン・アプリ、自転車・カーシェアリング、需要に即応したバス・バン・サービスなどの新しいモビリティ・ツールを統合する交通機関やコミュニティを支援
- **Mobility Payment Integration (MPI)**
  - 交通ネットワーク全体における交通決済に先進的進化技術を開発
- **Transit Bus Automation Research**
  - 人工知能(AI)、機械学習、ロボティクスの公共交通機関への応用に関する研究

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FTA
トランジットバスの自動化 - プロジェクトアップデート

- **統合モビリティイノベーション(IMI)プログラム**
  - Connecticut DOT: CTfastrak BRTプロジェクト用のNew Flyerバスが準備され、2023年6月に課金サービス開始予定
  - Arlington, TX: 1年間の RAPID サービスが終了、2年間サービスを延長する追加現地資金を確保
- **革新的モビリティ(AIM)プログラムの加速**
  - WRTA、VTA: First Transit との契約を最終決定し、2023 年春にオハイオ州でテスト開始予定
  - Houston METRO:: プロジェクト開始
- **ADSデモンストレーション助成金**
  - CCTA: Rossmoor Senior Community shuttles projectに資金調達、CCTAは、郡病院のアクセス可能なシャトル プロジェクトのインフラストラクチャのニーズについて、CA州Martinezと協力
  - IOWA大学: 6 つの運転フェーズのうち最初の 2つが完了

New Flyer Autonomous Bus

May Mobility

University of Iowa

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FTA
トランジットバスの自動化 - プロジェクトアップデート

■ Accesssibility

- 車椅子乗員の乗降、車椅子の固縛の自動化検討

https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/2022-08/FTA-Report-No-0228.pdf

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FTA
トランジットバスの自動化 - プロジェクトアップデート

■ 戦略的トランジットオートメーションリサーチ(Strategic Transit Automation Research (STAR) Plan)

- 「STAR Plan」(2018-2022)は終了

【FTAによる「Transit Bus Automation Research：バス輸送自動化研究」の目標】

- 安全で効果的な輸送自動化の導入を実現する研究の実施
- 輸送の自動化の展開の障壁を特定して解決
- 他のセクターの技術を活用して、交通の自動化業界を進化
- 市場対応の技術を現実世界の環境で実証
- 輸送関係者社会に知識を伝達

【STAR Planが焦点とする活動】

- 自動運転車の展開や自動化技術の統合などにより安全性の向上
- 輸送業務の効率と生産性の向上
- サービス頻度と柔軟性の向上による顧客体験と満足度の向上

【トランジットバスオートメーションに対するNOFO(Notice for Funding Opportunity)

- 2022年9月22日にNOFO発行、2022年11月21日〆切

- 「STAR Plan 2.0」(2023-2027)：策定中
- 2022年6月2日にRFI(Request for Information)を発行
  - ✓ 産業界のStakeholdersに、安全、効率、公平性、環境へのやさしさを提供する公共交通と関係する労働力の維持のための次の段階の研究、共同活動、技術開発、デモに関する提案を要望
  - ✓ RFIを通じて寄せられたコメントは、FTAがSTARプラン2.0を策定するための重要な情報を提供
- ✓ 2022年8月のAPTAtechでWorkshop実施(2022年8月30日：情報未公表)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

USDOTによる自動運転への取り組み

- NHTSA:　National Highway Traffic Safety Administrationの活動

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

NHTSA
安全を主体とした取り組み

■ 交通事故の実態
- 全米での交通事故死者は増加傾向で大きな課題となっている(P-XX参照)

■ その他の活動
- 自動運転に関する交通事故報告の義務化:2022年6月に結果報告(P-YY参照)
- 操作系の無い車両に対する乗員保護基準の公表:2022年3月10日
- NCAP5☆の改訂に関するコメント要請:2022年3月3日
- 11月1～3日にパブリックミーティングを実施予定
  - Human Factors Research
  - Vulnerable Road Users
  - Behavioral Safety Research
  - Driver Assistance and Driving Automation
  - Vehicle Cybersecurity and Emerging Hazards
  - Occupant Protection and Advanced Crash Test Dummies
  - Virtual Testing and Computational Biomechanics
  - Equity in Vehicle Safety
  - Safe System Approach

https://www.nhtsa.gov/events/research-public-meeting-2022

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

USDOTによる自動運転への取り組み

- FHWA：Federal Highway Administrationの活動

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

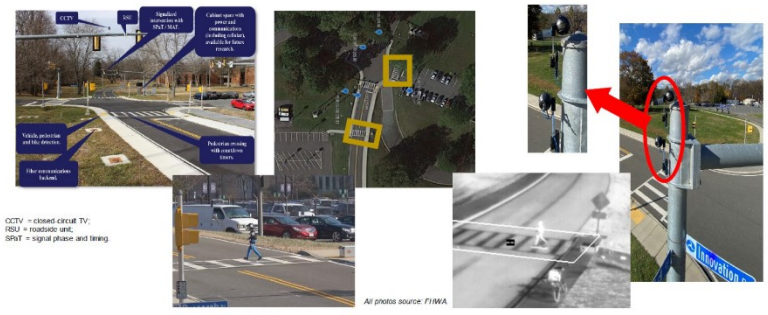
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FHWA
自動運転に関連する活動

■ Center of Excellence for New Mobility and Automated Vehiclesの設置
- 新しいモビリティと高度自動運転車両が土地利用、都市設計、輸送、不動産、株式、地方自治体の予算に与える影響に関する研究を収集、実施、資金提供することを目的

■ Vulnerable Road User（脆弱な道路利用者）Research Plan
- 郊外の幹線道路に適した宿泊施設を含む、道路の安全性向上
- 交通速度と交通ストレスの少ない経路へのアクセスが、安全性と自転車と徒歩の割合に与える影響
- 交通手段の改善の予測割合と自転車と徒歩の安全性に与える影響を評価するためのツール

脆弱な道路利用者検出用
インフラ機材



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FHWA
自動運転に関連する活動

- **Connected and Automated Vehicle Education (CAVe)-in-a-Box:CAVの教育用素材**
  - 実際のハードウェアを使用して、CAVe ecosystem をコンパクトでポータブルな形式で表現
  - 大学、コミュニティ カレッジ、実地訓練、科学、技術、工学、数学のイベントで使用するための実践的学習経験用労働力開発ツール
  - 開発されたツール:ビデオ教材
    1. Road Side Unit (RSU)
    2. Onboard Unit
    3. V2X Hub
    4. CAVe-in-a-box
    5. Signal Phasing and Timing (SPaT) and MAP (Intersection Map)
    6. Traffic Management Center
    7. Maintenance
    8. How to Build CAVe-in-a-box
  - 実証実験用のポータブルCAVシステムを構築できる

RSUトレーニングビデオ

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FHWA
自動運転に関連する活動

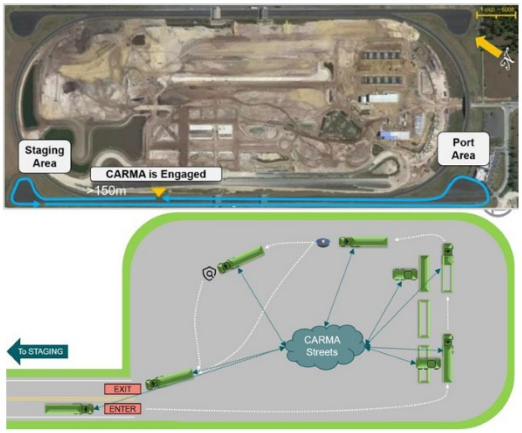
- **Vehicle-to-Everything (V2X) Hub and MAP作成ツール開発**
  - 展開者が CAV 装備の交差点でブロードキャストする相互運用可能なMAPメッセージ作成に有効
- **Virtual Open Innovation Collaborative Environment for Safety (VOICES)**
  - 知的財産を保護しながら協調運転機能を開発、テスト、検証する業界を支援

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FHWA
協調運転自動化(CDA)貨物:自動港湾業務と自動商用自動車運転

■ ゴール

- 商用自動車（CMV）オートメーションを使用した輸送用コンテナの積み下ろしをサポートするアプリケーションの開発



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

171

USDOTによる自動運転への取り組み

● FMCSA: Federal Motor Carrier Safety Administrationの活動

FMCSA
Federal Motor Carrier Safety Administration

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

172

FMCSA
自動運転に関する活動

■ Automated CMV Evaluation (ACE)Program

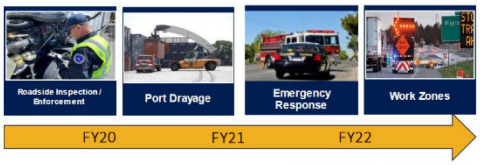
- 多面的な研究、開発、テストプログラム
- 各地での実車テスト
- ADS を装備したCMVと沿道職員との相互作用に焦点
- テスト結果は、将来の安全政策と規制に反映

【経緯】
- ADS 研究計画の策定（2018）
- ADS技術搭載トラック開発3台(2018-2020)

【2021年の主要成果】
- 走行中の自動CMV状態確認プロトタイプの沿道でのテスト
- 車両のサイバーセキュリティテストのドラフト作成
- 自動ハザード三画表示板の展開に関するフェーズ I SBIR プロジェクト完了

【2022年主要ADSプロジェクト】
- 電子検査
- 人間 -- ADS チームの運転
- ADS 搭載の CMV における人的要因
- 緊急対応と作業ゾーン

Focus Areas

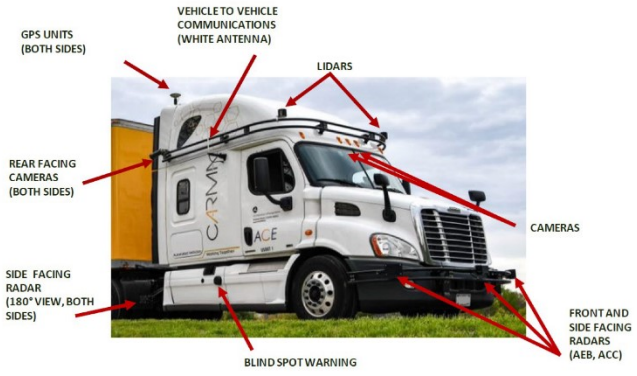


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FMCSA
自動運転に関する活動

■ Automated CMV Evaluation (ACE)Program

ACEテスト車両のセンサー



ACEテスト車両

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FMCSA
運転支援システムに関する活動

■ Accelerating ADAS Adoption by Fleets and Drivers

【Tech-Celerate活動目標】

- トラック業界による先進運転支援システム（ADAS）の採用を加速して、死傷者、交通事故を削減

【目的】

- 業界団体と提携し、全国的な訴求活動を実施して、ADAS の全国的な採用に対する技術的、市場の障壁を特定
- ドライバーやメンテナンス担当者向けのトレーニング資料を含む、フリート向けの訴求資料の開発
- データの収集と分析を実施し、訴求活動の有効性と展開率を評価

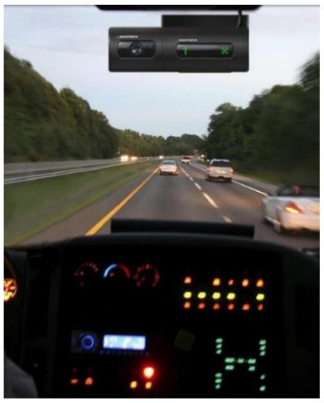
TECH CELERATE NOW
Advanced Driver Assistance Systems
U.S. Department of Transportation
Federal Motor Carrier Safety Administration
ATA AMERICAN TRUCKING ASSOCIATIONS
TMC
ATRI
OOIDA Foundation

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FMCSA
車載安全監視データによるADAS衝突安全解析

■ 現状

- バージニア工科大学交通研究所（VTTI）に48ヶ月の研究プロジェクトを発注し、44,000台以上のトラックから経験的なCMV ADASの安全有効性を示すデータを取得



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FMCSA
ACE研究プログラム活動

■ 6つのキー2022 AVプロジェクト
- 電子検査
- 人間 - ADSチームの運転
- ADS搭載CMVにおける人的要因
- ハザードトライアングルの自動展開
- 作業区域の安全
- 緊急時対応

■ 進行中のADS展開助成金
- 混合フリートを管理するためのトラック輸送フリートオペレーションの概念
- 自動化テクノロジーをどこにでも導入

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

USDOTによる自動運転への取り組み

● National Parkでの実証実験結果

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

国立公園内での自動運転シャトルの実証実験

- 2021年夏に実施したYellowstone National ParkとWright Brothers National Memorialで実施した実験結果報告が発行された：2022年6月
- 実証実験概要

The Electric Driverless Demonstration in Yellowstone (TEDDY)

Location	Yellowstone National Park
Operator	Beep
Vehicle(s)	2 Local Motors Olli shuttles
Operating Days	Seven days, Monday–Sunday
Service Day	7:00 am – 9:00 pm (9 hours of service with two breaks)
Service Route(s)	Two Routes (1.5 miles, 3 stops / 1.6 miles, 4 stops)

Local Motors
Olli Shuttle
2022年市場撤収

Connected Autonomous Shuttle Supporting Innovation (CASSI)

Location	Wright Brothers National Memorial
Operator	Transdev
Vehicle(s)	1 EasyMile EZ10 shuttle
Operating Days	Five days, Monday–Friday
Service Day	10:00 am – 4:30 pm (5.5 hours with one break)
Service Route(s)	One Route (1.5 miles with 2 stops)

EasyMile
EZ10 Shuttle

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

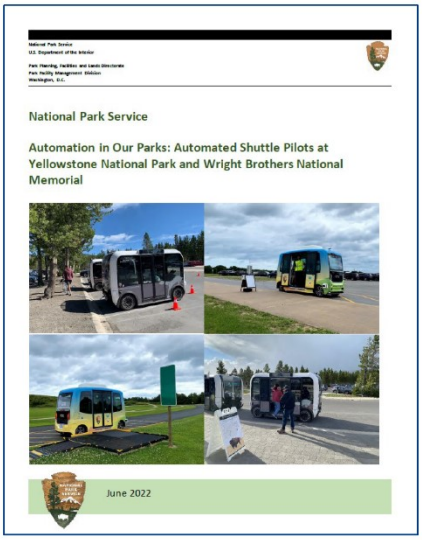
179

国立公園内での自動運転シャトルの実証実験

- 着目点
  - 2地区で実施された実証実験を興味深くまとめられている

【報告書の構成】

1. パイロットテストの概要
2. テストサイトの準備
3. 評価
   - ✓ 車両性能
     - インシデント：追突された事例有
     - 速度
     - バッテリ利用
     - 天候の影響
     - 自動運転の解除
4. パイロット試験での学習



National Park Service

Automation in Our Parks: Automated Shuttle Pilots at Yellowstone National Park and Wright Brothers National Memorial

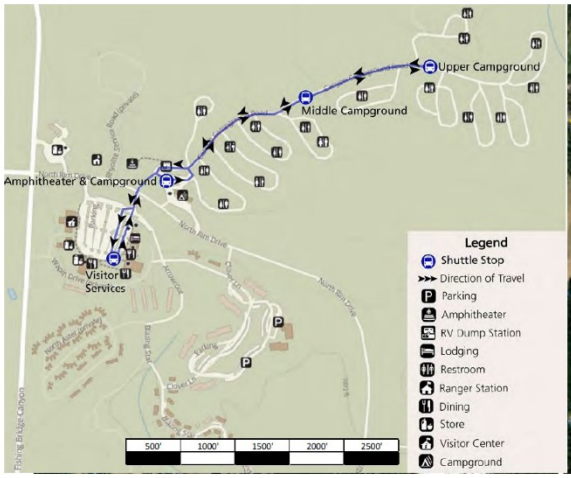
June 2022

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

180

国立公園内での自動運転シャトルの実証実験

- Yellowstone National Park
  - Safety Driverまたはシステムにより自動運転が解除された回数、条件、要因が報告されている

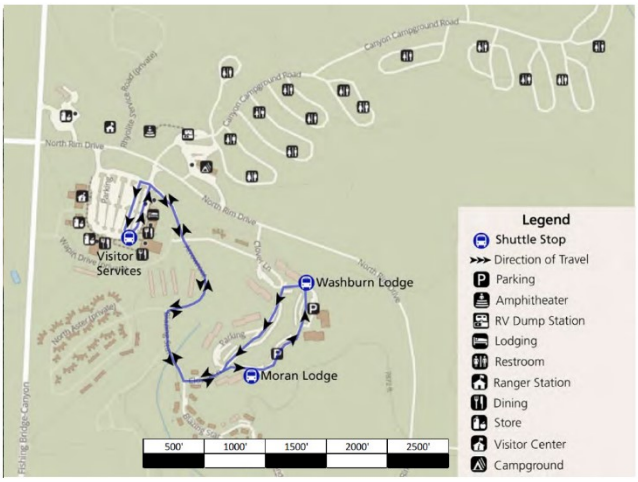


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

181

国立公園内での自動運転シャトルの実証実験

- Yellowstone National Park
  - Safety Driverまたはシステムにより自動運転が解除された回数、条件、要因が報告されている

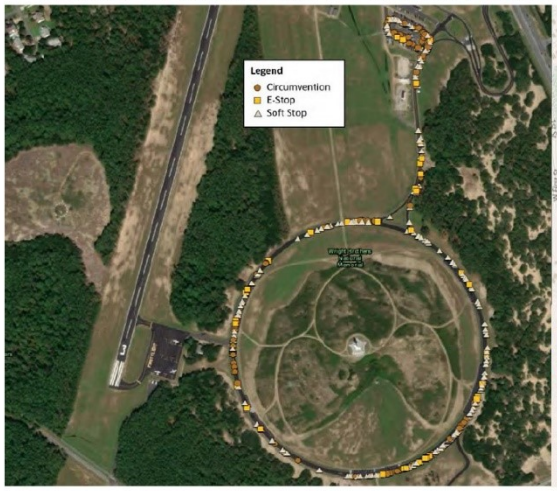


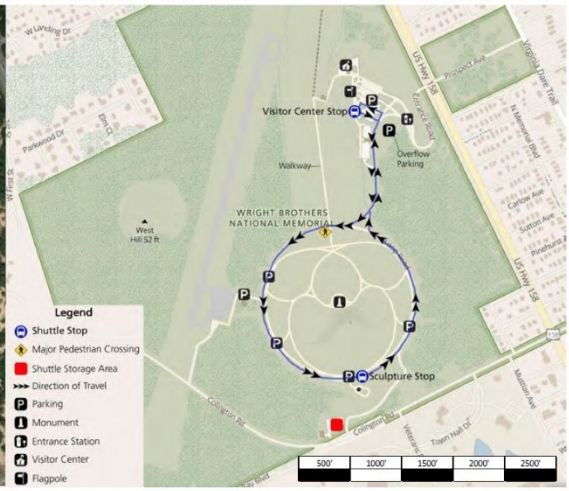
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

182

国立公園内での自動運転シャトルの実証実験

- Wright Brothers National Memorial
  - Safety Driverまたはシステムにより自動運転が解除された回数、条件、要因が報告されている





Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

TRB ARTS 2022でとらえた情報：米国

自動運転に関する州の取り組み
- カリフォルニア州
- アリゾナ州
- テキサス州

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Autonomous Vehicles in California

■ 2022年7月段階でのCalifornia州での自動運転実証実験の状況

➢ 州法の柔軟適用により、実証実験が拡大

California DMV Autonomous Vehicles

Program Overview – July 18, 2022

48 自動運転車をドライバー付でテストする権限を与えられたメーカー

7 自動運転車をドライバー無でテストする権限を与えられたメーカー

3 自動運転車を公道に展開することを承認されたメーカー

1,416 運転手付き車両

333 運転手無車両

3,439 運転者数

489 交通事故数

12.66 MILLION カリフォルニア州公道での自動総走行マイル

TRB TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

The TRB 2022 Annual Automated Road Transportation Symposium

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

185

Autonomous Vehicles in California

● 2022年7月段階でのCalifornia州での自動運転実証実験の状況

➢ 主要各社の実証実験状況

AV Program Locations

Driverless Testing

Manufacturer Name	Date of Approval	Headquarters in CA	Autonomous Miles Driven
WAYMO LLC	October 30, 2018	Mountain View	0 mi
NURO, INC.	April 7, 2020	Mountain View	9 mi
AUTOX TECHNOLOGIES, INC.	July 17, 2020	San Jose	0 mi
ZOOX, INC.	September 18, 2020	Foster City	0 mi
CRUISE LLC	October 22, 2020	San Francisco	6,365 mi
APOLLO AUTONOMOUS DRIVING USA LLC	January 27, 2021	Sunnyvale	9,564 mi
WERIDE CORP.	April 12, 2021	San Jose	0 mi
PONY.AI, INC. HAS NO ACTIVE PERMIT	May 21, 2021	Fremont	9,042 mi

Deployment

Manufacturer Name	Date of Approval	Headquarters in CA
NURO, INC.	December 23, 2020	Mountain View
CRUISE LLC	September 30, 2021	San Francisco
WAYMO LLC	September 30, 2021	San Francisco

The TRB 2022 Annual Automated Road Transportation Symposium

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

186

アリゾナ州での実証実験状況

州法の緩和により下記企業が実証実験実施中

- **Beep**
  - City Of Peoria, Peoria, AZ
- **Cruise**
  - PhoenixでWalmartと配送の実証実験
- **Embark**
  - トラックの自動運転
- **Imagry**
  - トラック自動運転ソフト開発
- **Nuro**
  - Phoenix市で実証実験
- **TuSimple**
  - アリゾナ州からテキサス州にトラックの自動運転車用運行
- **Udelv**
  - Walmartと無人配達の実証実験
- **Waymo**
  - PhoenixでRobotaxiの実証実験

Beep

Embark

Cruise

IMAGRY

Nuro

Udelv

Waymo

TuSimple

ADOT

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

187

アリゾナ州実証実験：Beep社

- **次世代のモビリティを開発**
- **NAVYA、Local Motors制車両を活用**
- **各地で実証実験実施**
  - Mayo Clinic,Jacksonville, FL
  - Lake Nona,Lake Nona, FL
  - JTA,Jacksonville, FL
  - Tradition,Port St. Lucie, FL
  - City Of Peoria,Peoria, AZ
  - HART,Tampa, FL
  - PSTA,Pinellas County, FL
  - Yellowstone,Wyoming
  - Peachtree Corners, GA,Peachtree Corners, GA

NAVYA車両

https://ridebeep.com/

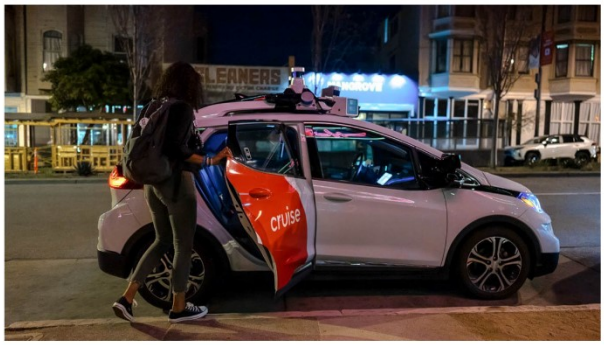
Local Motors車両

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

188

アリゾナ州実証実験：Cruise社

- 無人自動運転車両によりRobotaxiを開発
- Robotaxiは、商用化（料金徴収）に進化
- Cruise Originにより、操作系の無い車両の実装を目指す



cruise

https://www.getcruise.com/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

189

アリゾナ州実証実験：Embark社

- ソフトウェアと関連するサービスにより大型トラックの自動運転の実現を目指す

EMBARK

https://embarktrucks.com/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

190

アリゾナ州実証実験：Udelv社

- 物流の自動化に取り組む会社
- コストを大幅に削減し、顧客との関係を拡大するために、多地点停車のラストマイル、ミッドマイルの商用配送を再構築

【特長】

- UPOD
  - 独自の柔軟な貨物Podにより、ほとんどの商品のサイズと形状に対処
- 配送処理
  - 配送管理と物流処理用の配送管理マイクロサービス
- 遠隔操作
  - 操縦と車両監視のためのトリプルチャネル冗長性を備えた超低レイテンシ遠隔操作システム
- モバイルアプリケーション
  - ユーザーフレンドリーなWeb、モバイルアプリケーション

udelv

https://www.udelv.com/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

191

アリゾナ州実証実験：Nuro社

- Houston
- Slicon Valley
- Greater Phoenix

Nuroのパートナー

Domino's　Kroger　Walmart

CHIPOTLE　FedEx　7-ELEVEN

Nuroの実証実験

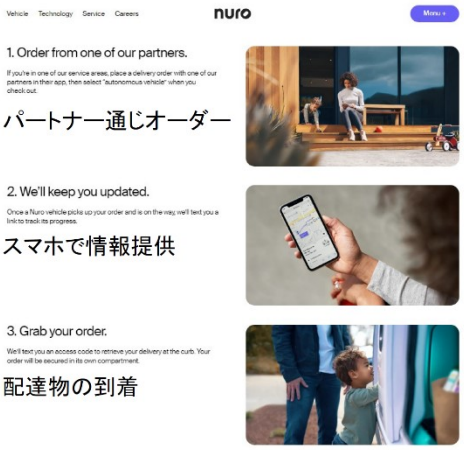
Nuro is now delivering in these communities:

Houston

Silicon Valley

Greater Phoenix

サービス

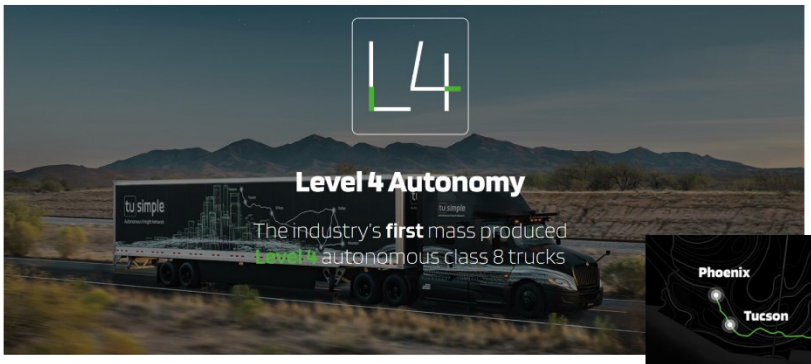


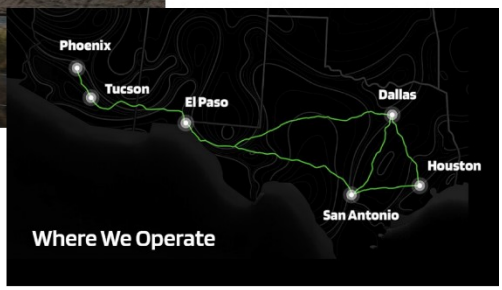
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

192

アリゾナ州実証実験：TuSimple

■ 無人走行長距離輸送用トラックを開発



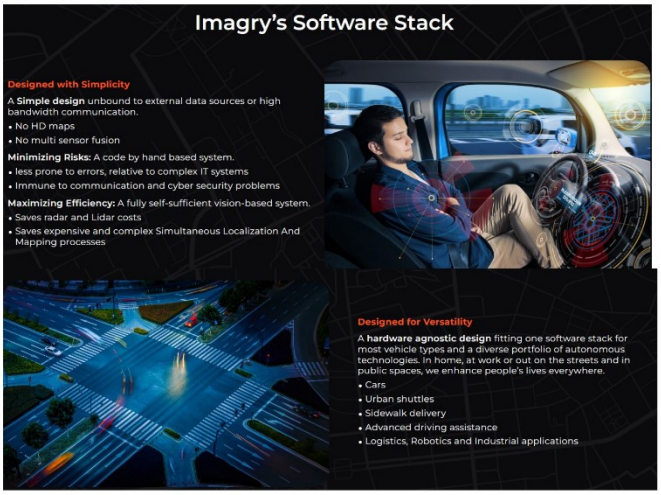


Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

アリゾナ州実証実験：Imagry社

■ 自動運転のソフトウェアプロバイダー

➢ 地図無での自動運転を実現



https://imagry.co/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

アリゾナ州実証実験：Waymo社

- Google技術を後継
- Robotaxiから自動運転大型長距離トラックへと幅広い対応

https://waymo.com/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

195

Texas州 CAV Task Force

- CAV(Connected Autonomous Vehicle)に対する包括的活動を行うTask Force設置
- 州全体のCAV技術の調整と進歩に関する情報の単一で統一されたリソースを州に提供
- メンバーには、他の州機関や公共団体の代表者、主要な業界関係者を含む

【ミッション】

- コネクテッドカーと自動運転車（CAV）の進歩のために州を準備
  - テキサスでのCAV技術の使用とテストのための主要な調整、情報ソースとして機能する
  - 現在、将来のCAVの進化とテキサスへの影響を一般市民と指導者に情報提供する
  - 現状、将来の懸念、技術が将来の生活の質、福祉をどのように変化させるか報告する
  - 準備と技術の統合を積極的進めることによりテキサスをリーダーとする
  - 州の前向きな発展と経験を促進する

https://cavtaskforce.texas.gov/task-force/

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

196

TRB ARTS 2022でとらえた情報

- Automated BusとShuttle

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Automated Shuttles and Buses for All Users

■ 移動困難者の移動に向けた自動運転Shuttle, Busの実証実験による調査

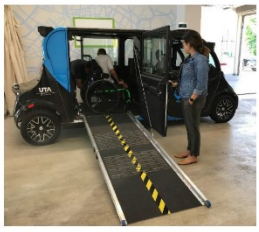
【評価対象】

- 移動の促進に向けたShuttleやBus：車椅子乗員の乗降、居住性
- 視覚障害者に対処したSmart Intersection

【調査結果と教訓】

- 障がい者への働きかけ
- 道路環境が重要
  - ✓ Sidewalks、縁石の処理
- 同乗サポートが必要
- 自動運転ShuttleとSmart Intersectionへの評価は良好

Texas A&M Transportation Institute



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

CAV Forthプロジェクトの結果概要

【プロジェクト概要】

- フルサイズのシングルデッキ車両（36人乗）を使用した5つのレベル4自動バス
- フォース湾、エジンバラ、英国を横断する14マイルの複雑なルート
- 信号機とラウンドアバウトを備えた道路と高速道路に沿った混合交通で、最大80Km/hの速度で運行
- 2022年に開始、週10,000人以上の乗客を運ぶ能力を備え、乗客は運賃を支払うサービス

【調査結果と教訓】

- 成功するには、バスの自動化のメリットを特定する明確なビジョンと正確なロードマップの開発と実装が必要
- サービス全体の機能を定義する必要がある
- 自動バスサービスはアクセシブルであること
- 期待されるメリットは主に経済的、社会的性質であるが、リスクは安全性の欠如を含む技術の能力と信頼性に関連
- メリットは、特定の使用条件下でのみ実現（バスに十分なスタッフがいない場合など）
- 自動化によりバスの利用が増える可能性のある人と、バスの利用が少なくなる可能性のある人がいる
- 年配の乗客と女性の乗客は自動運転バスを好んでいない
- 乗り心地は重要な要素
- バスの自動化は、乗務員の削減につながらない場合がある

CAVFORTH CONNECTED AUTONOMOUS VEHICLES

車両
EV200
座席数:43
全長:11.8m
エンジン:6気筒ディーゼル
最高速度:自律モードで80Km/h
自律システム：Fusion Processing社開発

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Enhancing Mobility with Automated Shuttles and Buses

■ 自動運転Shuttle, Busに関する開発状況を共有

【セッションの結論】

- 多くのアプリケーションでの自動シャトルとバスへの継続的な関心
- 技術、車両、車内要員の活用、様々な利用者グループへの働きかけは依然学習中
- パイロットとデモンストレーションは、新しいポストCOVID通常の形成を支援

【調査結果と教訓】

- 全てのユーザーグループへの働きかけは重要：時間を要するが、接点を持つことは重要
- 移動用車両と移動者への働きかけ提供は重要：人々がサービスを経験した後の前向きな反応
- 障害者が自動シャトルや自動バスにアクセス可能とするために旅行が完結できることに焦点を当てる必要がある：障がい者の乗車前、降車後通路の完全性と構築された環境が重要

【成果と研究ニーズステートメント】

- 障害者を含むすべてのユーザーグループへの働きかけに関するベストプラクティスを共有
- 自動化されたシャトルとバス、完全な道路を展開するための相乗的なアプローチを調査
- 車内要員、関連サービスに対するさまざまなユーザーグループのニーズを調査

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国で開発されているフルサイズバスの概要

米国で開発されている自動運転バスと運転支援装備

- **自動運転バス**
  - Robotic ResearchとNew Flyer社が、Level 4の12m電動バスを製造
  - Connecticut DOTは3台のNew FlyerバスをBRTで2023年に展開
  - Automated Bus Consortiumは2022年終盤に10の交通事業メンバーに展開する自動運転バスを選定
- **Automated Driving System（ADS）とAutomated Driver Assist System（ADAS）自動駐車**
  - 正着制御：Kansas City
  - 隊列走行：Connecticut DOT
  - 自動車線維持：Minneapolis
  - 自動衝突回避：Pierce County Transit
- **Ctfastrak（コネチカット州高速交通システム）の評価実験**

【車両】
- Robotic Research Technology社改装New Flyer bus

【評価機能】
- 自動操舵、制動
- 隊列走行
- V2V
- V2I
- 正着制御

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

TRB ARTS 2022でとらえた情報

- Teleoperation：UK情報含む

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperationに関するセッションのまとめ

■ 自動運転に関するRemote Assistance（遠隔支援）、Teleoperation（遠隔操作）への対応を議論

【セッションの結論】
- 自動運転の実現にはRemote Assistance、Teleoperationが極めて重要
- 標準化含めたガイドラインの策定を進めるべき
- 研究課題、研究の必要性を特定する

【研究の必要性】

■ ワイヤレス規格
- 順調に発展しており、十分な機能を提供するはず
- さまざまな技術が機能する場所を推奨

■ 遠隔操作のデータ モデルを定義する
- 車載モデリングや環境モデリングとは異なる
- 一貫性のあるエンドツーエンドのデータモデルが重要（遠隔操作データモデル）

■ 進化するV2X標準が高レベルのデータ・モデリングへの対応（そして排除しない）を明確にする

■ V2X ソフトウェア接続フレームワーク標準（存在しない）の要件を指定する
- DDs（通信用語Double Density）は V2X 通信アーキテクチャーの優れたベース
- DSRCとC-V2Xに共通の開発者インターフェースを提供できる

【セッションでの関係者発表】次ページ以降に概要紹介
- Teleoperationの重要性とTeleoperation Consortiumの設置の説明
- 英国での標準化案：英国標準化組織BSIでの取り組み
- TRATON社のリモートオペレーションにおけるHuman Factorの研究

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation Consortiumによるガイドライン作成

■ Teleoperationとは？
- Teleoperationは、自動運転車を遠隔操作または支援する機能
- Teleoperationには、高度な制御ソフトウェア、AIベースのモデル、超低レイテンシで信頼性の高い通信、運用車両管理の統合が必要
- 遠隔地の人間の知能と局所的な自律制御の組み合わせにより、安全で効率的なモビリティの開発を大幅に加速することが可能

■ Teleoperation Consortiumのビジョン
- 世界の産業、政府、研究機関がアプローチを推奨し、実現可能なエコシステムを開発するためのフォーラムを提供することにより、実践的な自動運転を促進すること

■ Teleoperation Consortiumのミッション
- 遠隔操作を広め、高度な自動運転をより早く実現する

【具体的実施事項】
- 研究ユースケースに関するコラボレーション、アプローチの分類、ガイドラインの開発
- 安全性、モビリティ、利便性の調査
- 政府、商用アプリケーションの研究エコシステムへの公共部門と民間部門の参加機会を特定
- 公的、私的な意思決定者との継続的な対話を維持
- 共通の問題と機会について業界を教育

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation Consortiumによるガイドライン

■ ガイドライン作成の目標
- 米国国立標準技術研究所（NIST）を通じて特別出版物を発行

■ ガイドライン構成
- 用語
- 使用例
- アプローチカテゴリの定義
- システムソフトウェアアーキテクチャと通信
- 主な懸念事項
- セキュリティに関する考慮事項
- 関連規格

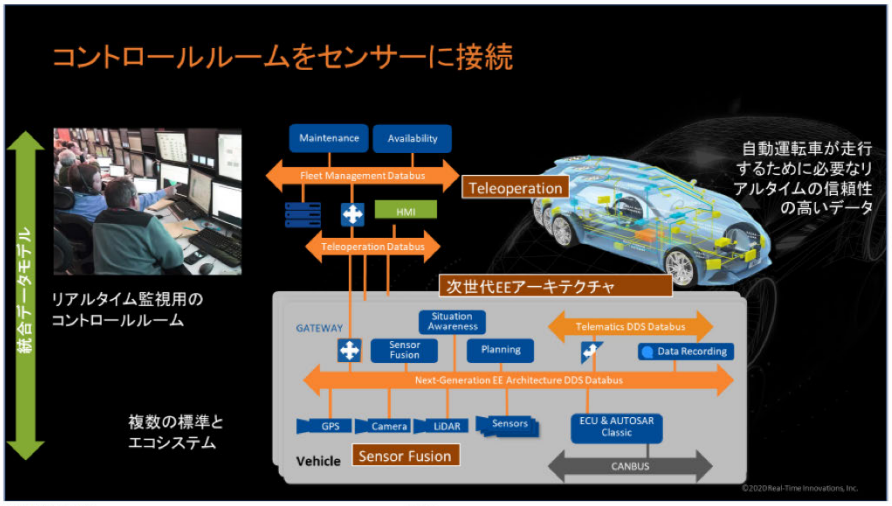
■ 課題
- 自動化は程度の問題
- 真の自動化はない
- 現実世界の自律化は難しい
  - 非常識な使われ方が豊富
  - システムは複雑
  - 物事の変化
  - 洞察は非常に重要
- 安全をoff boardに委譲できない
- 接続は確実に機能する必要がある
  - 安心
  - リアルタイム
  - 信頼性(必要な場合)

自動化システムは、遠隔支援が必要

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation Consortiumによるガイドライン

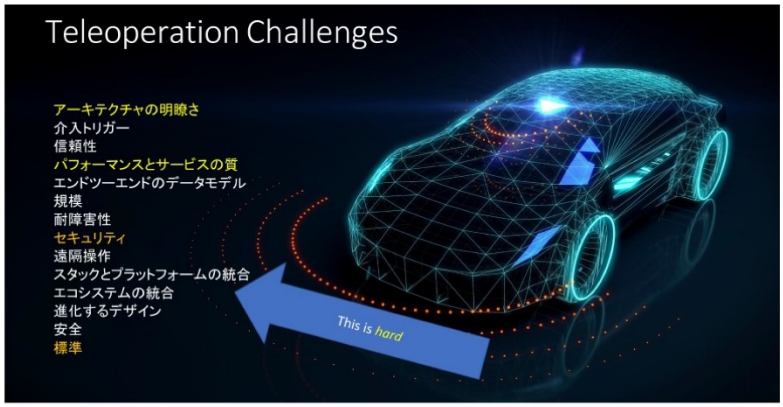
■ Teleoperationの構成装備の設計
- 自動化に対する新たな視点が必要



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation Consortiumによるガイドライン

- Teleoperationの課題：下図
- Teleoperation Consortiumの取り組み
  - 車両を遠隔支援する理由と方法を定義
  - 遠隔操作により安全で、より効率的で、より公平な輸送を加速
  - セキュリティ、標準化への取り組みも推進（略）



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation Consortiumによるガイドライン

【標準化への取り組み】

- ワイヤレス規格
  - 順調に発展しており、十分な機能を提供するはず
- 遠隔操作のデータ モデルを定義する
  - 車載モデリングや環境モデリングとは異なる
  - 一貫性のあるエンドツーエンドのデータモデルが重要（遠隔操作データモデル）
- 進化するV2X標準が高レベルのデータ・モデリングに対応する（そして排除しない）ことを確実にする
- V2X ソフトウェア接続フレームワーク標準（存在しない）の要件を指定
  - DDs（通信用語Double Density） は V2X 通信アーキテクチャーの優れたベースでDSRCとC-V2Xに共通の開発者インターフェースを提供可能

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【BSI標準の可能性】:UKの標準化組織による標準案を報告

■ 標準化の狙い

1. 車両の遠隔操作の側面を理解する

- 技術 / ヒューマンファクター / リスク / 安全性 / 商業 / 法務
- 英国のCAV試験および国際的な実務家と関わる

2. 「標準化」できるベスト・プラクティスを掌握する

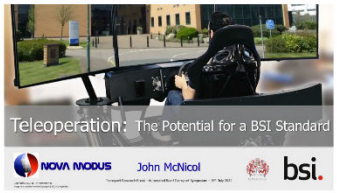
- 経験豊富なプレイヤーが使用するアプローチとプロセスを掌握
- 「標準化」の実用性とユーザーにとっての価値を評価

3. 利害関係者との結論の検証

- 英国のCAV利害関係者とのワークショップ
- PAS / Flex / Standardizationプロジェクトの潜在的な範囲を提示する

4. 推奨事項を含むレポート

- 標準化プロジェクトの範囲を含むレポートの発行



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

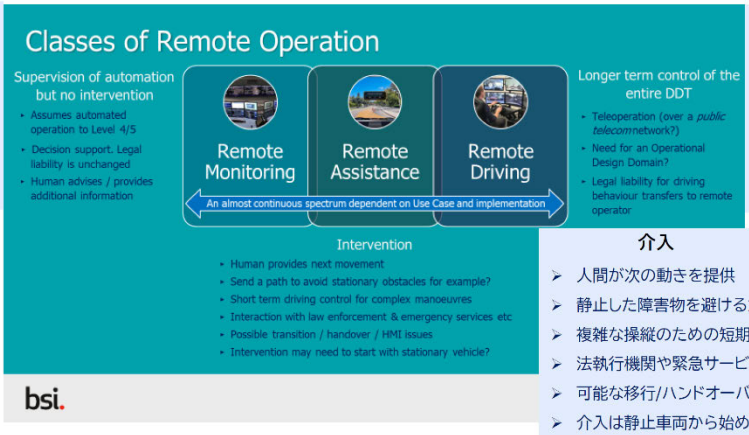
Teleoperation：BSI標準案

【Remote Operationの分類】

■ 3分類（Remote Monitoring, Remote Assistance, Remote Driving）の定義を明確化

自動化のSupervision 介入なし

- 運転の自動化Level 4/5を想定
- 意思決定支援、法的責任は変更なし
- 人間が助言/追加情報提供



DDT全体の長期的制御

- テレオペレーション（パブリックテレコムネットワーク経由？）
- 運用設計ドメインが必要か？
- 運転行動の法的責任はリモートオペレーターに移る

介入

- 人間が次の動きを提供
- 静止した障害物を避けるための経路を送信するか?
- 複雑な操縦のための短期運転制御
- 法執行機関や緊急サービスなどとの対処
- 可能な移行/ハンドオーバー/HMIの問題
- 介入は静止車両から始める必要があるか?

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【考慮すべき重要な要素】

1. センサーを介した人間の運転の安全性
   - カメラ：視野、解像度、奥行き知覚のためのステレオビジョン、更新、色
   - 追加センサー：範囲情報、拡張、強化された可視性、近接
   - ヒューマンファクター：引継ぎ、状況認識、 乗客の快適さ
2. リモートオペレーターから車両への接続
   - カバレッジ、End to End、帯域幅、レイテンシー、レジリエンス、フェイルセーフ
3. 車両の安全なリモートコントロール（インターフェース）
   - Drive by wire車両による運転の安全対策と基準
   - 運行合図（Motion cue）がない場合のフィードバックループ
4. リモートオペレーターの能力
   - 注意散漫、倦怠感と認知的負荷（複数の車両を監督するか？）
   - 運行開始合図の欠如
   - リモートオペレータへの安全な引継ぎのタイミング

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【BSI標準案-1：特定のユースケースでのシステム性能

1. リモート操作のクラス ＝ 許可される介入/制御のタイプ/レベル
   - 監視/支援/運転/非常停止/MRM
2. 動作環境（ネットワーク性能と通信密度等を含むODD）
3. 動作速度（最大はネットワーク性能などにより制限される）
4. オペレータの知覚（視野、解像度、遅延、色、範囲）
5. リモート車両制御（現在の型式承認要件に基づく？）
6. 車両がリモートオペレータに提供する情報
   - カメラフィードに加えた情報:例 CAV ADSの状況、特に性能

展開地毎のテスト（および安全認証）の実施方法

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【BSI標準案-2】：特定のユースケースでのリモートオペレータのための訓練、テスト、ライセンス

1. リモートオペレータの法的定義と責任
   - 特定のユースケース毎（例：ヤードトラック（非公道）のオペレーターは公道で許可されない）？
2. 遠隔操作のクラス＝許可される介入/制御のタイプ/レベル
   - 監視：Monitoring/支援：Assistance/運転：Driving/非常停止：Emergency Stop/MRM
3. 必要な訓練/経験＝ユースケース毎の運転免許（例：PSV/HGV）
   - システムに固有か？車両タイプに固有か？ODDに固有か？
4. HMI＝情報がどのように表示されるか？/伝達されるか？
   - カメラフィードに加えて：例えば、CAV ADSのステータス、特にパフォーマンス

展開地毎のテスト（および安全認証）の実施方法

PSV: Public Service Vehicle
HGV：Heavy Goods Vehicle
LGV：Large Goods Vehicle
PCV：Passenger Carrying Vehicle

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【どの基準が最重要/緊急】

リモートオペレータの訓練

1. 法的定義と責任
2. 遠隔操作のクラス
3. 必要な訓練
4. 必要な運転経験
5. オペレータ環境
6. HMIと車両がオペレータに供給する必要がある情報

展開地毎のテストの実施方法

システムの性能

1. 遠隔操作のクラス
2. 動作環境
3. 動作速度
4. オペレータの知覚
5. リモート車両制御
6. 車両がリモートオペレーターに提供すべき情報

展開地毎のテストの実施方法

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Teleoperation：BSI標準案

【BSI標準の可能性】

1. どのような遠隔操作標準が有効か？
   - 産業 / 事業者 / 規制当局 / 執行 / 安全性
2. 幅広いユースケース
   - 大幅に異なる技術とオペレータの要件
   - 1つの標準で複数のユースケースをサポートできるか？
3. 自動化からのアライメント/発散
   - 現在の遠隔操作業界は、道路を走行するCAVに関与していない
4. 2つの標準開発を提案
   - システムとパフォーマンスに関するガイダンス
   - オペレーターとオペレーションに関するガイダンス

BSIによる標準案

Report available at: www.bsigroup.com/en-GB/CAV/cav-resources/standardizing-remote-operation-of-vehicles

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

215

自動運転車両のRemote OperationにおけるHuman Factors

TRATON社の研究開発からの報告

■ Human Factorの課題例

1. 不十分な状況認識
   - 車両とその周辺の感覚の低下
   - 行動からの離脱(具体化の欠如)
   - 切迫感の低下
   - 周囲に対する共感と感受性の欠如
2. 情報過多
   - 状況を理解できない
   - 失明の変化(大きな変化の検出の失敗)
   - ストレスと体調不良
3. 生理学的および認知的要求
   - 退屈
   - 警戒
   - 注意と注意散漫
   - 乗り物酔い

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

216

自動運転車両のRemote OperationにおけるHuman Factors

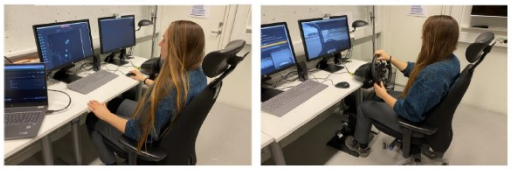
TRATON社の研究開発からの報告

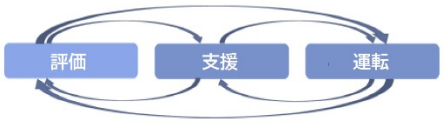
■ Heavy Automated Vehicle Operator Center: HAVOCでの研究結果

Exploratory user study

■ 主要なリモートオペレータータスク:
- ハブからハブへのシナリオで10台のトラックを監視し、イベントに対応

■ 二次リモートオペレータータスク:
- トラック間の時間距離を均等に保つ





- 「道路工事」(評価):車両が道路上で減速
- 「水たまり」(運転):車両停止
- 「バスタブ」(支援):道路上の障害物
- 「船積みドック」(運転):車両がハブに停車
- 「センサーの劣化」(支援):センサーの誤動作、安全停止

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転車両のRemote OperationにおけるHuman Factors

TRATON社の研究開発からの報告

■ Heavy Automated Vehicle Operator Centerでの研究結果

【よくある質問1】
- ひとりの人間のオペレーターは何台の車両を扱えるのか？
- 何人のオペレーターが必要なのか？
- オペレーターが遠隔操作できる車両の数を増やすには、Human Factorの観点から何が必要か？

【よくある質問1への回答】
- HAVOCセットアップでは1:10の比率が実現可能(リモートシステムが車両を管理し、オペレーターがシステムによって提案されたアクションに応答)
- 1人のオペレーターは、一度に複数の車両を評価できたが、支援と運転と並行して評価できなかった
- 1人のオペレーターが一度に1台の車両のみを支援、運転することができた

■ 複数の車両の遠隔操作に同時に対応するには、複数のオペレーターと効率的なタスク分散システムが必要になる

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転車両のRemote OperationにおけるHuman Factors

TRATON社の研究開発からの報告

■ Heavy Automated Vehicle Operator Centerでの研究結果

【よくある質問2】

- どのタスクを処理が最も重要か？
- オペレーターは異なるタスク間で交換できるか？
- オペレーターが異なる制御モード間で交換できるように、リモートオペレーションセンターをどのように設計する必要があるか？

【よくある質問2への回答】

- オペレーターは、HAVOCセットアップで異なる制御モード間を簡単かつ迅速に切り替えることが可能
  - オペレーターはシステムを信頼
  - タスクベースのHMI設計（経路を運転できることの確認など）により、作業が簡素化された

■ システムの透明性と信頼を構築、維持すると同時に、システムへの過度の依存を減らす必要がある

■ 設計目標は、オペレーターを「in-the-loop」に保つことではなく、オペレーターが必要なときに簡単に「 get in-the-loop 」できるようにすること

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転車両のRemote OperationにおけるHuman Factors

TRATON社の研究開発からの報告

■ Heavy Automated Vehicle Operator Centerでの研究結果

【よくある質問3】

- リモートオペレーターにはどのような能力が必要か？
- オペレーターはトラック運転免許証を持っている必要があるか？
- さまざまな制御モードに対し、オペレーターと自動運転システムにどのような要件が課せられるか？

【よくある質問3への回答】

- 人間の自動化の相互作用とリモート操作の一般的な要件、それらの間の複数の相互依存関係は、HAVOCセットアップに適用される
- オペレーターと自動運転システムの両方の要件は、干渉する社会技術的要因の範囲によって定義される

【まとめ】

■ 社会技術システムの視点をとることは非常に重要

■ 設計の目標は、オペレーターが簡単に「ループに入る」ことができるようにすること

■ タスクベースのHMIは、その長所と短所を理解するためにさらに調査が必要

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

TRB ARTS 2022でとらえた情報：米国

- 輸送の自動化

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

輸送の自動化開発状況

■ 従来のトラックOEMに加え、新興企業の活動が進展

北米でのDriverless自動運転車：トラック製造会社

DAIMLER TRUCK

IVECO

PACCAR

SOLO AVT

TESLA

TRATON

VOLVO TRUCKS

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

輸送の自動化開発状況

■ 従来のトラックOEMに加え、新興企業の活動が進展

北米でのDriverless自動運転車：新興企業

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

223

ITS World Congressでとらえた情報：米国

■ NTSBからのメッセージ

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

224

NTSBからのメッセージ

■ 米国での近年の交通事故死者増加への対策が必須

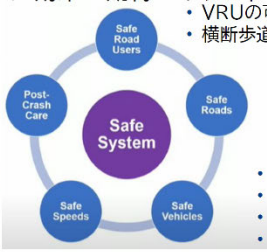
【NTSBのアクション】

■ 「Most Wanted List」として安全システムの構築を提案

- 安全な道路利用者
- 安全な道路
- 安全な車両
- 安全な速度
- 衝突後の対処

■ 「Collision-Avoidance」と「Connected Vehicle Technologies」の全車採用を要求

- 安全性向上に向けた効果を期待：1995年より提言しているが実現しないことに不満を表現



- VRUの可視性
- 横断歩道情報
- 緊急車両優先信号
- 自動衝突通知
- 緊急車両近接警報
- 交差点通過支援
- 左折支援
- 高速道路合流支援
- 減速ゾーン警告
- 工事ゾーン計画
- 動的速度協調
- カーブ速度警告
- プリクラッシュ検知
- 協調型衝突警告
- 死角警告
- 追い越し禁止警告

国家運輸安全委員会: NTSB
National Transportation Safety Board
米国での輸送関連事故を調査し、原因を究明、対策を研究、将来の事故を防止する目的で勧告等を行う国家機関

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SIP-adus Workshop 2022でとらえた情報

■ 海外情報の共有や関係者との議論を目的としてSIP-adus Workshopを活用し、Plenary Sessionでの情報収集、Breakout Workshopで議論にCooL4として参画

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SIP-adus Workshop “Service and Business Implementation”

- Plenary Session

【モデレーター】

- 外山友里絵氏：SIP-adus Service and Business Implementation副主査

【登壇者】

- 加藤宜幸氏：HIDO, Japan
  - 自動運転サービスの社会実装への取り組みを報告
- Sven Jansen：TNO Traffic & Transport, Netherlands
  - CooL4とMOUで連携するSHOWプロジェクトの概要、最新動向、CooL4との国際連携活動を報告
- Timothy Haile：Contra Costa Transportation Authority, US
  - モビリティの変革と題し、CA州Contora Costa郡、GOMENTUMSTATIONの自動運転開発への取り組みを紹介

☞概要別途紹介

- Habib Shamskhou：Advanced Mobility Group, US
  - 同社（AMG）が参画して取り組む新しいパーソナルモビリティ「Glydways」の概要を紹介

☞概要別途紹介

- Mattew W. Daus：International Association of Transportation Regulators (IATR), US
  - 米国でのRobotaxi実装に向けた法律課題と同氏が参画したIATRの活動概要を紹介

☞概要別途紹介

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Mobilityの変革 Tim Haile

Thank You

Timothy Haile
Executive Director
thaile@ccta.net
@ccta
@tthaile
Tim Haile

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

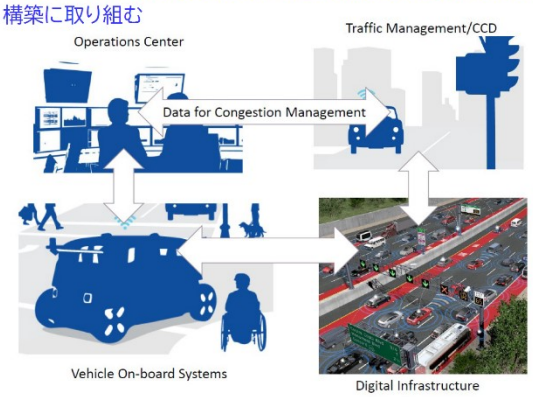
Mobilityの変革　Tim Haile

■ GoMentum Station概要

- 交通に関係する幅広い研究開発
- 軍用施設を改装した広大な実験設備を持つ
- MaaS含め、交通システムのコンセプト作成から商用化を目指す

GoMentum Station

Operation Center, Traffic Management System、Digital Infrastructureなど全体を統合した交通システム構築に取り組む



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

229

Mobilityの変革　Tim Haile

■ GoMentum Station自動運転への取り組み

- 単純で実現しやすい条件から実装を目指す

駐車場⇔オフィスを中心にした契約施設間の移動サービス

病院への障がい者移動サービス：車椅子自動固縛装備を含む

混雑していないシニアコミュニティーの単純経路移動サービス

専用道走行Micro-Transit

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

230

個人用超小型輸送実証実験

■ DYNAMIC PERSONAL MICRO TRANSIT (DPMT) FOT UPDATE：個人用超小型輸送

Glydways is a new form of mobility that prioritizes:

Excellent User Experience

- Frequency - On Demand / Always
- Consistency - Always on time, point to point
- Safety - Personal Ride, 24/7
- ADA - Exceed requirements

Rider choice makes Public Transit competitive with personal cars.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

231

個人用超小型輸送実証実験

■ DYNAMIC PERSONAL MICRO TRANSIT (DPMT) FOT UPDATE：個人用超小型輸送

- Glydways：2人乗りshuttleを専用道上で走行させる

技術開発フェーズ

Concept Development	Product Demonstration	Capacity Development	CPUC Certifiable
			2025
2016 - 2020 Phases 1-3: Research and Development - Develop core algorithms - Validate in real world with a 1/5th & 1/10th scale system - ASCE 21-13 alignment - CPUC process alignment	COMPLETED 2021 Phase 4: Reality in Motion - Glydways Development Facility, Concord CA - Full scale development and demonstrations	CURRENT PHASE 2022-2025 Phase 5: Commercialization - Development of a public-serving Glydways system - Testing and refinement towards CPUC certification - 15 vehicle orchestrated fleet - 5 Access points, 1/2 mile - Elevated infrastructure - MSF (Garage)	Deployable anywhere in California for systems requiring 4,500 pphpd or less

We are here
現在

GLYDWAYS - PRIVATE & CONFIDENTIAL

6

Glydways is designed to be simple

Simple Infrastructure	Mature EV and robust Autonomy	Funding & Project Delivery Flexibility	Industry Leading Partners
		P3 finance today at current transit fares OR Traditional project funding and development	Plenary Group WEBCOR ROUSH HNTB AMG ADVANCED MOBILITY GROUP

Working with Public Agencies and Regulators Proactively

病院への障がい者移動サービス：車椅子自動固縛装備を含む

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

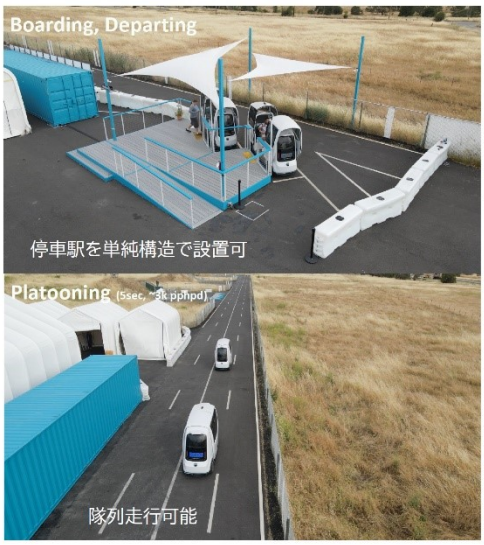
232

個人用超小型輸送実証実験

■ DYNAMIC PERSONAL MICRO TRANSIT (DPMT) FOT UPDATE：個人用超小型輸送

- Glydways：2人乗りshuttleを専用道上で走行させる

GoMentum Station内の試験施設



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

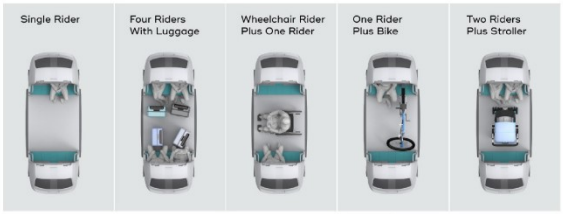
個人用超小型輸送実証実験

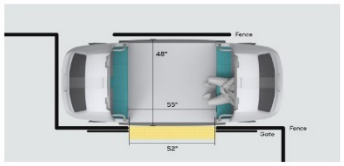
■ DYNAMIC PERSONAL MICRO TRANSIT (DPMT) FOT UPDATE：個人用超小型輸送

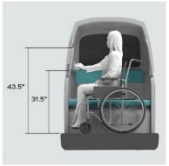
- Glydways：2人乗りshuttleを専用道上で走行させる

New Vehicle Dimensions

- 4 passengers
- 20"+ seat width exceeds 18" transit standard
- ADA compliant
- Bicycle and stroller able







ニーズに適応した利用が可能な車両サイズを設定

地下でもコンパクトに設置活用可能

Access Point: Below Ground

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SIP-adus Workshop “Service and Business Implementation”

■ 自動運転の実用化に向けた課題を議論
- 議論の焦点は、Robot Taxi,公共交通への適用を想定したモビリティサービス
- 価値の創出、追加投資に対する収益確保、安全の確保や、実装に向けた法律の準備など多くの課題を共有
- 国際的連携による課題解決の必要性を確認

モデレータ
外山(MRI/SIP-adus SBI副主査/CooL4)
参加者
米国:GomentumStation幹部
Advanced Mobility Group社長
在NY州国際交通規制当局協会会長弁護士
欧州:TNO(SHOWプロジェクトオランダ実証実験担当)
日本:HIDO
東京大学/CooL4関係者7名
名古屋大学/中京大学/CooL4法律担当

■ 主要な議論
- 受容性:情報共有と目的の共有
- 地域の巻き込み:重要な人々との対話
- 法律:自動化許可の複雑さの軽減、政府の規制と行政の近代化
- ビジネスモデル:
  - ✓ 公共交通機関は利益を出しにくいで他の収入確保が必要
  - ✓ サービスの質の保証
  - ✓ ビジネスモデルの成功にはPPP(Public Private Partnership)が重要
  - ✓ 価値の提供
  - ✓ 道路利用に優先度を持たせ、Share Mobility拡大とサービスの質の向上

■ 当日の結論
- 利用者、社会的価値の創出
- 複雑な課題の解決、ビジネスモデル開発のために国際協力を継続
- 単純なユースケースで自動運転を展開して、行政と認可の合理化に貢献
- 公共の利益と安全を確保しながら、行政の複雑さを簡素化
- 社会的受容に関するさらなる調査

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

■ 米国でのRobotaxi等自動運転モビリティーサービスへの取組み現状と課題を報告

【報告要点】

- 米国でも多くの実証実験が進んでいる
- 米国での自動運転車に係る法律は連邦、州、地域にまたがり複雑な構成
- 現在の実証実験は州法に従い柔軟な州にて実証実験が進む
- 自動運転の実証実験や実用化には、リスク軽減への対応が必要
- 自動車事故の責任に関しては従来より伝統的な法理論が存在
- 運転手がいない車両の事故時の責任は、車両製造会社、Tier 1サプライヤー、ソフトウェア、運行会社などに新たな責任が問われる可能性がある
- 自動運転車両への保険整備の進化も必要
- 米国では多くのRobotaxiが乗客を乗せた実証実験が進む
- ハイヤーによる陸上輸送は多くの形態があり、利用者のニースに応じ選択されている
- Robotaxiはアプリとの組み合わせで配備され、実装には許認可の課題が存在
- 国際運輸規制気候(IATR)はRobotaxiの実装に向けたベストプラクティスを作成した
- IATR Robotaxiプロジェクトでは重点政策課題5件、導入のための指針6件を設定
- 実装に向けたプロジェクト「Trenton MOVES 」を紹介

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

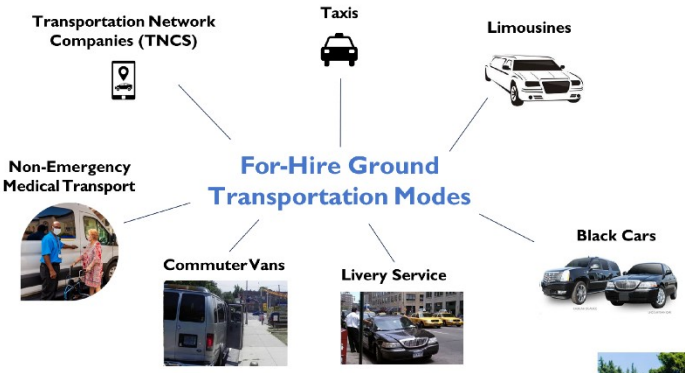
■ 米国での自動運転車に係る法律体系

Source: https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/07/NYCDOT-Autonomous-Vehicles-and-the-City.pdf

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

■ 地上での移動手段：目的、個人の好みに応じ多くの選択肢が存在



Daus氏の見解

- 収益性が高く、商品価値の高いLimousineやBlack Carsに比べ、実証実験で活用されているRobotaxiは、多様な顧客のニーズを満足できない
- 運用コストも運転手付きの車両に対し約2倍のコスト(MITの研究結果)と想定され、Robotaxiのビジネス化は難しいと予想

米国で実証実験中のRobotaxi

Waymo One
Since October 2020, Phoenix, AZ

Cruise
Since June 2022, San Francisco
Expanding to Austin and Phoenix by end of 2022

Argo AI (with Lyft)
Since December 2021, Miami
October 2022, Austin

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

239

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

■ IATRロボットタクシープロジェクト - 重点政策課題

モデル規則、指導原則、推奨ベストプラクティスは、以下のテーマを扱う

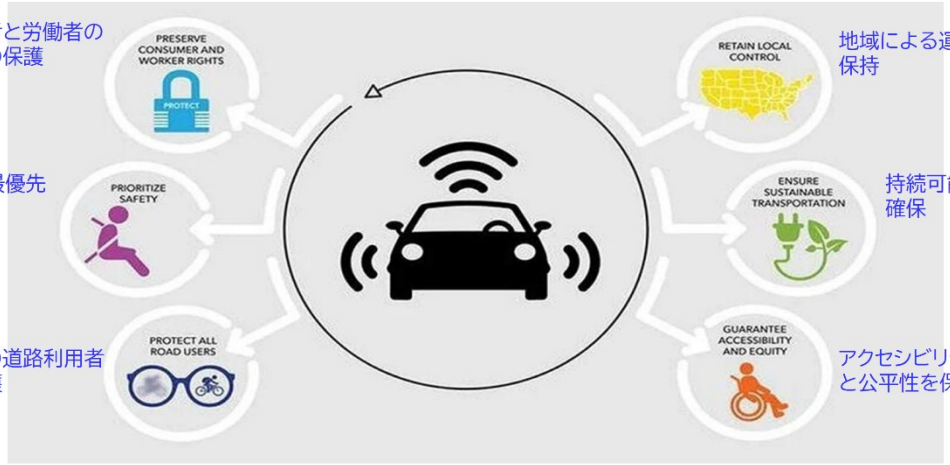
1. 安全基準及び車両基準
2. 公平性とアクセシビリティ
3. データアクセスとプライバシー
4. 労働問題及び労働力開発
5. ガバナンス、ビジネスモデル、インプリメンテーション

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

240

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

■ Robotaxi導入のためのIART指針：対処すべき原則



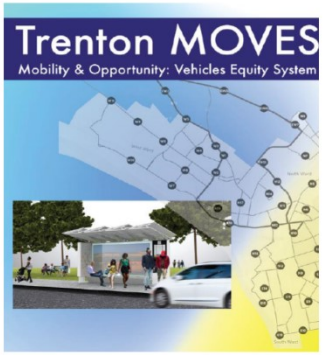
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

241

米国におけるRobotaxi - 規制のフレームワークと法整備” Matthew W. Daus

■ Trenton MOVES：公平な都市交通システム

- Trenton市は、州、地方のパートナーと協力して、Trentonの住民に公平でアクセスしやすく、手頃な価格の高品質の交通手段を導入する方法を模索
- ＄5MのNJ州DOT地域交通計画基金助成金を獲得（2021年12月発表）
- Trenton MOVESは、州都Trenton全域に100台の自動運転車を配備
- オンデマンド自動輸送システムはTrentonの9万人の住民にサービスを提供する予定
- 各車両は、4～8人乗車可能でサービスが行き届いていない地域の利用者に低価格で提供される予定
- サービス開始当初は、添乗アテンダントがサービスの安全性と運用性を実証する予定
- 詳細な計画・試験段階を経て、本格的な実装に入る



https://www.cartsmobility.com/trenton-moves

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

242

FTA
トランジットバスの自動化 - プロジェクトアップデート

- 統合モビリティイノベーション(IMI)プログラム
- 革新的モビリティ(AIM)プログラムの加速
- ADSデモンストレーション助成金
- 戦略的トランジットオートメーションリサーチ(STAR)
  - 「STAR Plan 2.0」(2023-2027)を策定中
  - 2022年6月2日にRFI(Request for Information)を発行
    - ✓ 産業界のStakeholdersに、安全、効率、公平性、環境へのやさしさを提供する公共交通と関係する労働力の維持のための次の段階の研究、共同活動、技術開発、デモに関する提案を要望
    - ✓ RFIを通じて寄せられたコメントは、FTAがSTARプラン2.0を策定するための重要な情報を提供

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転車の公道事故

2021年8月に公布

自動運転車両、Level 2運転支援機能付き車両の事故報告の義務付け

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION
1200 New Jersey Avenue SE
Washington, DC 20590

In re:	)
	)
First Amended	)
Standing General Order 2021-01	)
	)
Incident Reporting for	)
Automated Driving Systems (ADS) and	)
Level 2 Advanced Driver	)
Assistance Systems (ADAS)	)
	)

TO: Each Manufacturer and Operator on the Attached Service List

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

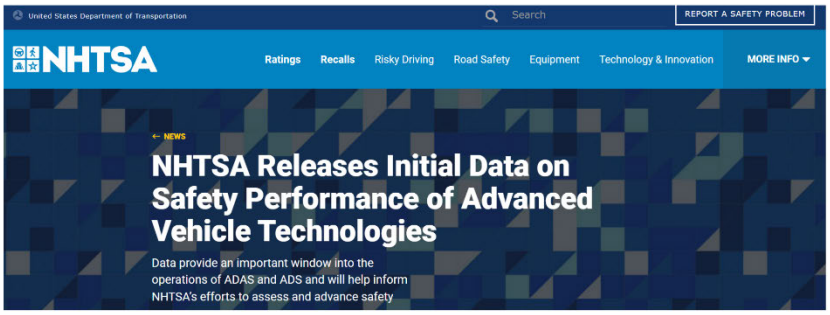
NHTSAがAutomated Driving Systemの事故結果を公表

■ 2022年5月15日までに報告された事故結果の概況

- 25の機関が130件の事故を報告

特徴

- 事故多発：新興会社
- 乗員傷害：軽微/無
- 他車両との衝突により車両後部が損傷
- （他車両による追突）



June 15, 2022 | Washington, DC

file:///C:/Users/uchi0/Desktop/2022%E5%B9%B47%E6%9C%88ARTS/presentations/ADS-SGO-Report-June-2022.pdf

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

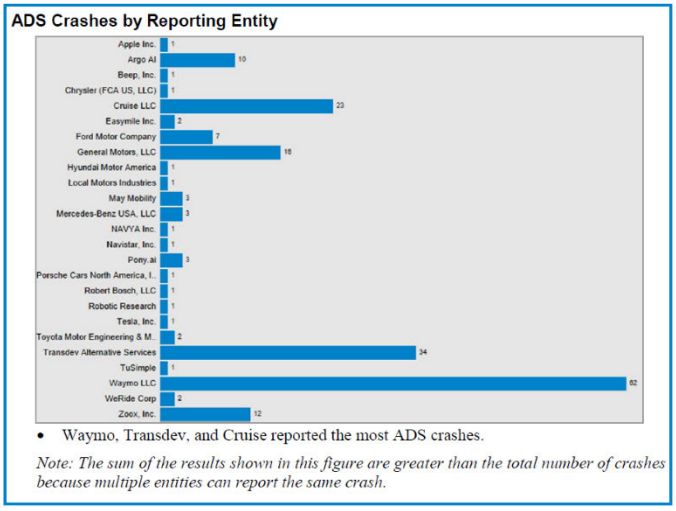
NHTSAがAutomated Driving Systemの事故結果を公表

■ 2022年5月15日までに報告された事故結果の概況

- 25の機関が130件の事故を報告

Apple Inc
Argo AI
Beep, Inc.
Chrysler (FCA US, LLC)
③Cruise LLC：23件
EasyMile, Inc.
Ford Motors, LLC
Hyundai Motor America
Local Motors Industries
May Mobility
Mercedes-Benz USA, LLC
NAVYA Inc,
Pony. ai
Porsche Cars North America, Inc
Robert Bosch, LLC
Tesla, Inc
Toyota Motor Engineering
②Transdev Altemative Service：34件
TuSimple
①Waymo LLC：62件
WeRide Corp
Zoox, Inc

注）
- 赤：トップ3
- 灰：旧来のOEM
- 青：新興会社
- 黒：サプライヤ



- Waymo, Transdev, and Cruise reported the most ADS crashes.

Note: The sum of the results shown in this figure are greater than the total number of crashes because multiple entities can report the same crash.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

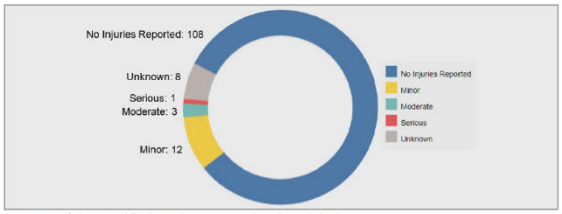
NHTSAがAutomated Driving Systemの事故結果を公表

■ 2022年5月15日までに報告された事故結果の概況

- 1件が重篤な傷害を受け、108件は傷害無
- 衝突相手は、108件が他の車両

傷害程度

ADS Highest Injury Severity

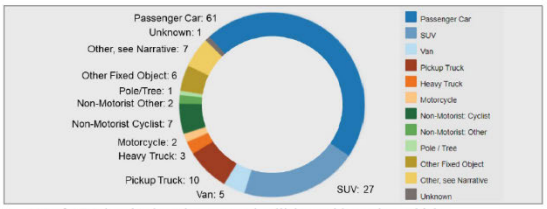


- One of the specified crashes reported serious injuries.
- 108 of the specified crashes had no reported injuries.

Note: Reports by multiple entities for the same crash containing different information can result in totals greater than the number of crashes.

衝突対象

What Did the ADS Vehicle Collide With?



- 108 of ADS-involved crashes reported collisions with another vehicle.
- 11 crashes involved a vulnerable road user[2] (7 with cyclists, 2 with motorcycles, 2 *Non-Motorist: Other* crashes were with electric scooters).

Note: The sum of the results shown in this figure may be greater than the total number of crashes because multiple entities may report different information for the same crash.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

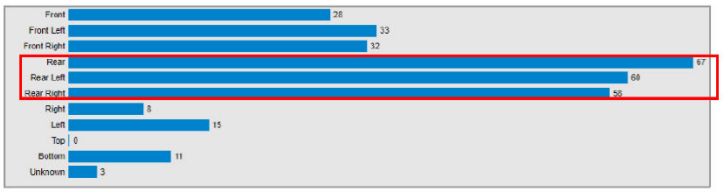
NHTSAがAutomated Driving Systemの事故結果を公表

■ 2022年5月15日までに報告された事故結果の概況

- 多くの車両損傷は車両後部
  - ✓ 他の車両が自動運転車両に追突しているケースが主体と推定される

車両の損傷部位

ADS Vehicle Damage



- When damage was reported, the ADS-equipped vehicles were most commonly damaged in the rear.

Note: Damage may occur in several areas of a vehicle during a crash (e.g., angled impact that damages left front and left side of vehicle).

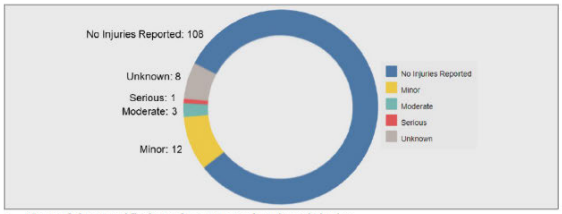
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

NHTSAがAutomated Driving Systemの事故結果を公表

■ 2022年5月15日までに報告された事故結果の概況
- 1件が重篤な傷害を受け、108件は傷害無
- 衝突相手は、108件が他の車両

傷害程度

ADS Highest Injury Severity

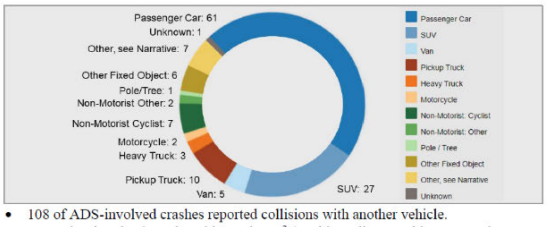


- One of the specified crashes reported serious injuries.
- 108 of the specified crashes had no reported injuries.

Note: Reports by multiple entities for the same crash containing different information can result in totals greater than the number of crashes.

衝突対象

What Did the ADS Vehicle Collide With?



- 108 of ADS-involved crashes reported collisions with another vehicle.
- 11 crashes involved a vulnerable road user[2] (7 with cyclists, 2 with motorcycles, 2 *Non-Motorist: Other* crashes were with electric scooters).

Note: The sum of the results shown in this figure may be greater than the total number of crashes because multiple entities may report different information for the same crash.

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

249

最新の自動運転動向

■ POV(Privately owned Vehicles)の自動化は、高速道路でのLevel 3止まり
- ベンツのコメント
- https://www.theverge.com/2022/11/3/23428419/mercedes-benz-cto-interview-ev-robotaxi-level-3
- FordもRobotaxiではなく、Level 2, Level 3の運転支援に焦点

■ OEMはEV開発に集中
- 航続距離、効率、利用環境に応じた電動自動車などの幅広いニーズに合わせた課題が山積

■ 政府は充電インフラの準備に注力

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

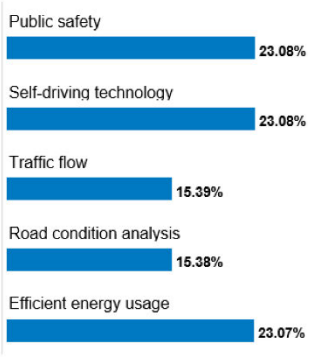
250

ITS Americaの調査による米国での交通課題への関心事

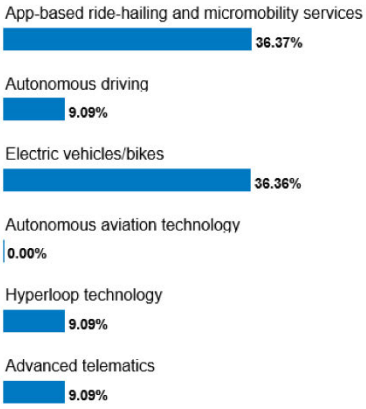
■ 下記テーマについてのITS業界人の関心事として興味深い

1. AIにより最も改善できる交通課題
2. 過去10年間で最も重要な輸送に関する開発

AIにより最も改善できる交通課題



過去10年間で最も重要な輸送に関する開発



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

FordはLevel 5自動運転開発から撤退　Forbs 11月30日 Dale Buss投稿

■ Jim Farleyの発言として以下を掲載

- 前任Mark Fieldsの2016年の発言「5年以内に完全自動運転車両を大量生産」を変更
- Argo AIへの投資も停止
- 完全自動運転はまだ先、自分たちで技術開発する必要ないと判断

<Ford先進技術開発Doug Fieldsのコメントの引用>

- 自動運転車は消費者向け車両ではなく長くは続かない
- Level 2, 3の開発と「Connected Data」の活用は人々に安全を提供することができる
- 自動運転車両はとしての目標のひとつである「高齢者、若者、障がい者の移動」には、利用者が運転者に相応な支払いを拒まない限りUber等のサービスで達成可能

- FordのArgoからの撤退は技術による解決に大きな打撃を与えた
- 自動運転技術開発は、軍事、防衛目的で開催されたDARPAに触発され、多くの技術者が参入
- 大規模自動運転はビジョンであり、人間の脳が処理している技術を持たないため長い道のりが残る
- 技術的障害に加え、未来に対する利点が少ないこと、コスト、負債の処理等の問題が大きい
- 自動運転に対する批判のひとつは、自分のクルマを制御し続けたい人であり、これらの人たちが自動車のコントロールをあきらめること難しい

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国での注目情報

- 自動運転車が緊急事態に対応する消防車をブロック 2022年5月Wiered
  - サンフランシスコの消防車が、無人の自動運転車Cruiseにより進路を妨げられた

- Waymoが無人運転車をPhoenix空港でテスト開始：2022年5月23日Skift
  - 自動運転車はターミナル自体の正面玄関を避けて空港の周囲にサービスを提供
- 商用Robotaxiがカリフォルニアで承認された：2022年6月2日Los Angeles Times
  - CruiseがWaymo(2020年アリゾナ州)に次いで米国で2番目、カリフォルニア州では1番目にCalifornia Public Utilities Commissionの許可を得た
- WalmartはRobotとドローンの組み合わせ配送を検討：2022年7月05日Freightwaves
  - ドローン配送、食品配送ロボット、完全自動運転ボックストラックの組み合わせを検討
- Cruise社社員の匿名投書により調査開始：2022年7月15日Robotixs &AI
  - 誤動作、路上での立ち往生等の懸念の提起に基づき、CPUCが調査を開始

- Waymoを狙った自動運転車への攻撃：2022年7月05日Twitter
  - 歩行者が車両に飛び乗りFR Window shield等を破壊
- Cruiseは、2022年8月までに9回の当て逃げ被害：2022年8月10日Business tech
  - 事故に遭遇して際に運転者がいないことにより加害者が現場から退去

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

米国での注目情報

- Argo AIが自動運転事業より撤退 2022年8月10日
  - FordはLevel 4自動運転の実現を期待したが自社開発のLevel 2，3に主軸を移行
  - VWも他の有望なプロジェクトに主軸を置き、Argo AIへの出資を停止

- LyftとMotional社による電動RobotaxiがLas Vegasで可動：2022年8月16日The Verge
  - Hyundai社Ioniq 5sを活用し、Lyftの契約者にRobotaxiサービスを提供開始

- Amazonは、自動宅配ロボットを断念：2022年10月6日 BNN Bloomberg
  - Scoutを用いた実証実験から、サービスが顧客のニーズを満足しないことがわかり撤退を判断

- FedExは、自動宅配ロボット「Roxo」を断念：2022年10月18日 GISMODO
  - より短期的な機会に焦点を当てるため、Botのテストを終了と発表

- ロボット配送スタートアップNuroは従業員の20%を解雇：2022年11月19日 The Verge
  - 自動運転車を大規模に商業化する成長のための規模の最適化を行ったと発表

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

Cooperative Level 4
Automated Mobility Service

(2) 国際会議を通じた情報収集・情報発信

2021 年度は COVID-19 の影響により多くの国際会議が中止や、Web 開催への切り替えとなったが、2022 年度は多くの国際会議が対面形式で再開された。それらの国際会議に参加し海外動向の情報収集を行うとともに、本プロジェクトの活動を広く海外の関係者に周知すべく、関連するセッションに登壇し情報発信を行った。国際会議での情報収集については、公開情報と併せて（1）で記載しているため、ここでは本プロジェクトメンバーが発表を行った国際会議のセッション内容について記載する。

i) AV demonstrators - sharing experiences over the continents @ITS European Congress（5-6 月@仏トゥールーズ）

このセッションは、本プロジェクトが連携している欧州 Horizon 2020 傘下の SHOW プロジェクトが中心となって企画したセッションであり、欧州委員会 研究・イノベーション総局（DG-RTD）からの CCAM（Cooperative, Connected and Automated Mobility）分野での国際連携活動に関するプレゼンの後、SHOW プロジェクトで実施している Sweden Linköping、Finland Tampere での実証実験の取り組みについて紹介があり、最後に日本から本プロジェクトの概要紹介を行った。

Sweden Linköping では EasyMile 製 2 台、Navya 製 1 台の計 3 台の自動運転シャトルを走らせており、これまでの実証実験で学んだこととして、ハードブレーキの問題（安全運行者の転倒対策）や視覚障害のある乗客への対応、雪といった外部環境の影響やメンテナンスの問題等について紹介があった。

また、Finland Tampere では Auve Tech 社製の自動運転シャトルを走らせており、乗客へのアンケート結果として、約半数の人が通常の公共交通と同等であると感じていることや、80%の人が安全と感じていること等が紹介された。また、課題として法制度の問題やシステムの信頼性、乗員の安全や遠隔運行に関する点が挙げられ、継続的なメンテナンスが不可欠との意見が出された。

紹介された SHOW プロジェクトでの実証実験の内容は、いずれもレベル 4 のモビリティサービスを目指したものであり、本プロジェクトにも参考となる情報が得られた。

本プロジェクトからは、プロジェクトの概要と、柏の葉地区をベースに行っている協調型システムを活用したレベル 4 モビリティサービスの実用化に向けた取り組みについて、検討のアプローチ等の紹介を行うとともに、国際連携として SHOW プロジェクトとの連携活動についても紹介を行った。

ii) International Cooperation for Cooperative Level 4 Automated Mobility Service Deployment @ITS 世界会議（9 月@米ロサンゼルス）

2021 年度に引き続き、ITS 世界会議にて ITS Japan と東京大学モビリティ・イノベーション連

携研究機構（UTmobI）が自動運転レベル 4 モビリティサービス実用化に向けた課題について議論するセッションを企画し、本テーマと関連性が高い研究、実証実験を行っているプロジェクト関係者、専門家を招聘し、意見交換を行った。

米国からは、Jacksonville で行われている U2C（Ultimate Urban Circulator）プログラムの取り組みとして、将来の自動運転レベル 4 に向け、試験による評価、遠隔操作、地域とのエンゲージメント等の様々な活動が行われていることが紹介された。

更に米国からはカリフォルニア大学リバーサイド校より、LiDAR やカメラを使った路側機センサーとの路車間通信を使った自動運転の取り組みが紹介された。

欧州からは、連携している SHOW プロジェクトより Finland Tampere で行われている実証実験の紹介があり、今後の課題として、他国への展開に向けた法制度やシステムの信頼性、個人情報保護法の影響によるデータ収集の制限、遠隔操作等、課題がまだ多く残っていることが示された。

本プロジェクトからは、プロジェクト概要と、最後に本プロジェクトでの持続的展開に向けたビジネスモデル構築に向けた取り組みについて紹介した。

iii) International Cooperation as a Tool for Progress on the Worldwide Deployment of Autonomous Mobility @ITS 世界会議（9 月@米ロサンゼルス）

本セッションは、連携している欧州 SHOW プロジェクトが企画した自動運転モビリティの世界展開に向けた取り組みを紹介、議論するセッションである。

最初に欧州 SHOW プロジェクトの概要紹介があり、プロジェクト全体のマネジメント体制や作業体制の紹介に加え、2022 年 9 月時点で Tampere(Finland)、 Linköping(Sweden)、Carinthia(Austria)の 3 箇所で実証実験を行っていること等が紹介された。また、SHOW プロジェクトは国際連携活動にも力を入れており、オーストラリア、中国、日本、シンガポール、韓国、台湾、米国と Twinning を実施していることが紹介された。

続いて SWARCO 社、豪 AARB 社、米 AASHTO（米国全州道路交通運輸行政官協会）より各機関の自動運転に関する取り組みと連携活動について紹介があった。自動運転の実装化に向けた連携活動として、標準化に向けた活動、インダストリー間の連携を意図したコミュニティの設立、プラクティスの共有等の取り組みが紹介された。

最後にウィスコンシン大学マディソン校より、自動運転システムの中国と米国の比較と、中国における取り組みについて紹介があった。協調型自動運転システムには車両、道路、クラウド、ネットワーク等多くのコンポーネントがあり、高度自動運転システムはコンポーネントのカップリングレベルが高く、より鉄道に近い状況であること、各コンポーネントによりライフサイクルが異なるため統合されたシステム設計が必要で、正しいライフサイクルを決める必要がある等、本プロジェクトを進めていく上で参考となる情報が紹介された。また、後半では中国での自動運転の展望について紹介があり、自動運転システムは道路インフラの影響を受けるが、中国ではイ

ンフラの整備が進んでおり、今後中国では車両のコストが下がり、中所得者層も高いレベルの自動運転を享受することになるだろう、といった興味深い内容が示唆された。

なお本プロジェクトからは、プロジェクトの概要に加え、2022 年 6 月、7 月に実施した SHOW プロジェクトとの共同ワークショップについて紹介し、国際連携の重要性を主張した。

iv) Automated Mobility over the world - The need for International Collaboration @Transport Research Arena (11 月@葡リスボン)

本セッションは、本プロジェクトと欧州 SHOW プロジェクトで連携し企画したセッションであり、世界各地の自動運転の実証実験に対する受容性の取り組みを紹介するとともに、国際連携についてのパネルディスカッションが行われた。

豪州の専門家からは、政府関係者、自動運転サービス、保険会社、法律家、消費者団体、アカデミア等を対象とした世界各地（豪、スウェーデン、デンマーク、日本、イギリス、米国）の関係者の専門家インタビューの実施結果が紹介され、自動運転のベネフィットとして高齢者、障碍者のためのモビリティの意識が高いことや、メッセージ結果として高齢者、障碍者がより移動でき、社会的に統合されることへの同意が高いこと等が紹介された。

米国からは、サンフランシスコで実施している Cruise によるロボタクシーの利用者アンケート結果が紹介され、自動運転サービスが補完、補足的な移動として提供され、潜在的な移動需要のニーズを満たしていること等が報告された。

英国からは、欧州のプロジェクトや日米欧三極会合の枠組みで行っているインパクト評価の取り組み紹介がなされ、都市での住みやすさのためにはアクティブな交通が鍵となるが、自動化されたモビリティはこれにどの様に貢献できるのか？といった問題提起がされた。

日本からは、日本における自動運転の社会実装に向けた取り組みとして、SIP-adus での社会経済インパクト評価の取り組みを紹介するとともに、本プロジェクトの取り組み概要についても紹介を行った。

後半のパネルディスカッションでは、日米欧豪のパネリストにより、各国でどのような枠組みで国際連携活動が行われているか、国際連携を行う上でどのような障害があるか、また今後連携すべきトピックはどのようなものがあるか等について議論が行われた。議論の中で、国際連携の良い例として SHOW プロジェクトと本プロジェクトとの連携が紹介され、本プロジェクトの国際連携活動についてアピールすることができた。

2)　欧米専門家との意見交換

本テーマと関連性が高いスコープ・目的の研究を行っているプロジェクト関係者や、その他専門家等と意見交換を行った。意見交換の方法は、ウェブ会議システムを活用したオンライン会議形式での実施の他、前項における国際会議の機会に合わせて、直接意見交換を行う場を設けた。本年度は、SHOW プロジェクトのテストサイトのうち、Monheim、Brno の 2 箇所について視察を実施し、幅広く意見交換を実施した。

(1) Monheim 視察

Monheim はドイツ西の都市で、SHOW プロジェクトにおけるテストサイトの一つである。

図 153　Monheim の実証実験で用いられる車両（EZ10）

i)　プロジェクト概要

Monheim では、「全ての公共交通機関のバスを「無人運転で運行」すること」がビジョンとして掲げられており、現在実施中の自動運転バスのプロジェクトもその一環として位置付けられる。自動運転に対しては、「旧市街との公共交通の連結」「運転手不足拡大への対応」「新しい公共交通の確率」「安全性向上」といった内容が期待されており、特に運転手不足という課題に対する解決策としての期待は大きいようだった。

Monheim での自動運転プロジェクトの主な特徴としては、以下が挙げられる。

- プロジェクトの実施期間は 5 年間
- Monheim 駅の公共交通と自動運転バスとの完全統合
- 月曜から日曜、7 時から 23 時までの、10 分間隔での頻繁な運行
- 他の交通機関に制限を設けずに公道を走行
- 定員 11 人に加えて Safety Driver1 人が乗車
- 自動運転レベルの目標は Level4

プロジェクトの今後の展望として、「監視システムの開発」「公共交通としてのサービスの拡大」「事業地区の拡大」「ゼロエミッション化」といった点を挙げていた。

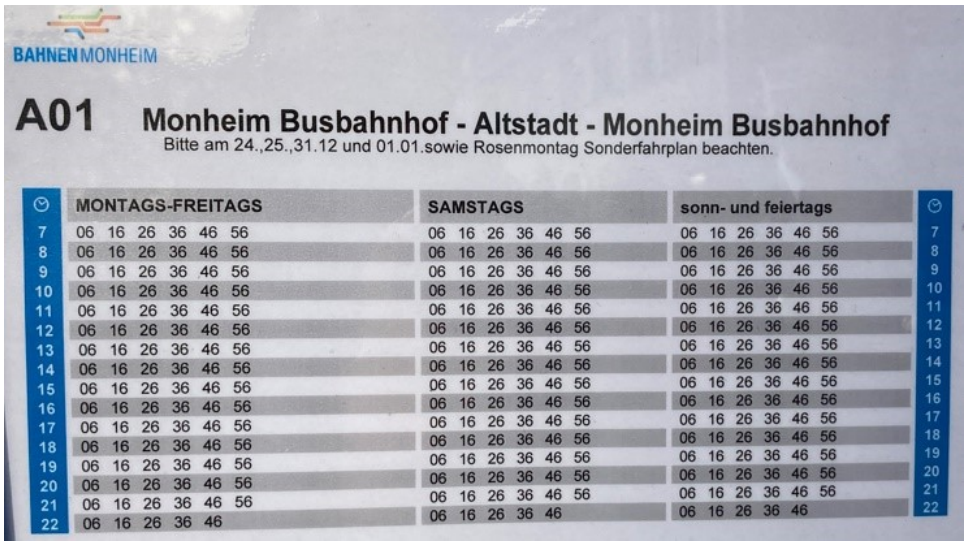


図 154　自動運転バスの時刻表

ii)　実証概要

実証実験を行っているのは BAHNEN MONHEIM 社(Monheim 市所有のバス運行会社)であり、Monheim 周辺にある郊外エリアで実証がなされている。

実証実験の場所等に関する特徴は以下の通り。

- 自動運転バスの周回ルートは 1 周約 1.7km（約 15 分）

- ルート内には信号機なし
- 車両は Easymile 社製 EZ10 Shuttle（第 2 世代）を 5 台使用
- 最高速度は 20km/h で運用

運行実績については以下の通り。

- 走行実績として、計 12,000 時間、66,000km
- 月間約 2,000 人（新型コロナウイルス影響によるロックダウン期間を除く）を輸送
- 訓練を受けた Safety Driver が 50 人以上在籍

図 155　実証実験での走行区間一部

(2) Brno 視察

Brno はチェコ第二の都市であり、SHOW プロジェクトにおけるテストサイトの一つである。

図 156　Brno の実証実験で用いられる車両（GRIFO）

Brno での実証を行っているのは roboauto 社（チェコのスタートアップ）であり、Brno 市郊外の Krizkovskeho で実施されていた。自動運転車両として比較的シェアが高い NAVYA 社や EasyMile 社の車両価格が高価であるため、Roboauto 社ではより廉価な車両の開発を目的としている。

視察時に実施されていた実証では、イベント会場での来場者輸送、化学工場内の搬送が目的とされていた。

実証実験の場所等の概要は以下の通り。

- 博物館敷地内の公道を走行し、周回ルートは 1 周約 1.5km
- 車両は Esagono Energia 社製 GRIFO を使用しており、roboauto 開発の自動運転システムが搭載
- roboauto 社側の公称では、最高速度は 50km/h（視察時には 10-20km/h で運行）
- 車両は遠隔操作が可能
- 自己位置推定の方式は LiDAR+GPS で、視察時のコースでは GPS 利用がメイン

図 157　自己位置推定用（上）・障害物検知用（下）の LiDAR

3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催

(1) 欧州とのワークショップ

UTmobI が主体となり、MOU を締結している欧州 Horizon 2020 傘下の SHOW プロジェクトと共同ワークショップを開催した。SHOW との共同ワークショップは、昨年度 3 月に 1 回目を実施し、今年度は 6 月から 7 月にかけて以下 3 つのテーマ別に Web 形式で実施した。

i) Stakeholders' perception & acceptance（受容性）

自動運転の社会実装に向けた関係者の受容性をテーマにした合同ワークショップを 2022 年 6 月 21 日に開催した。本プロジェクトから 12 名、SHOW プロジェクトから 4 名の専門家が参加し、受容性に関する今後の連携方法についてブレストーミング的に議論を行った。

本プロジェクトからは、協調型を活用したレベル 4 モビリティサービスの持続可能な実装のために、どのような受容性が必要か、またその受容性を高めるためにどのような方策があるかに加え、レベル 4 モビリティサービスの導入によるメリットは何か、誰がメリットを享受するのか、レベル 4 を達成することによりのみ得られる利益は何か、といった疑問に対する情報交換を要望した。

一方、SHOW プロジェクト側からは、彼らが計画、実施している自動運転の社会実装に関する受容性調査のための世界統一アンケートに対する日本での実施協力について要望があった。

今回の共同ワークショップを通じてお互いの関心事が明らかになり、今後お互いの要望を考慮した連携方法を継続して議論していくことで合意した。

ii) Regulatory and operational aspects（法律関係）

自動運転の実装に向けた法的課題に関する合同ワークショップを 2022 年 6 月 24 日に開催した。本プロジェクトから 14 名、SHOW プロジェクトから 18 名の専門家が参加し、双方から法的課題に関する取り組み紹介を行った。

SHOW プロジェクトからは、新しい EU での自動運転システム（ADS）の法規制、安全性評価の取り組みや、CCAM（Cooperative, connected and automated mobility）に関する試験、認証スキームの基礎としての C-ITS のサービス評価の取り組み、都市部での共用自動運転車両の普及に向けた地方政策の取り組みについて紹介があり、自動運転モビリティサービスを展開する上での欧州での法規制の状況について貴重な情報が得られた。

本プロジェクトからは、日本の自動車関連法と自動運転法制のプロセスや、2019 年、20 年に行われた自動運転に関する法改正の概要、また今後の協調型自動運転の課題について紹介した。

日欧双方とも非常に関心の高い内容であったが、十分な質疑応答を行う時間が取れなかったため、後日個別に Q&A の交換を行い、紹介内容の不明点を解消するとともに、今後も継続して連携方法について議論していくことを合意した。

iii) Automated Vehicle behavior（技術領域）

自動運転レベル 4 モビリティサービス実用化に向けた技術面での課題を論議する合同ワークショップを 2022 年 7 月 5 日に開催した。本プロジェクトから 20 名、SHOW プロジェクトから 12 名の専門家が参加し、お互いに取り組んでいる技術アプローチの紹介を行った。

SHOW プロジェクトからは、自動運転の判断向上に向けたセンサー類の活用や、第 3 世代の People mover の Easymile 社 EZ10 における認知、位置認識、ナビゲーション技術の紹介、混合交通下での自動運転の実現に向けた取り組みについて紹介があった。いずれも本プロジェクトに関連する内容であり、今後の技術開発の参考となる情報が得られた。

本プロジェクトからは、協調型交通安全システムの取り組みや高速イメージプロセッシングセンサーネットワーク、協調型システム用の信頼ある通信技術、位置情報技術、道路空間への対策といった、協調型を活用した自動運転レベル 4 サービスに向け取り組んでいる様々な技術開発の取り組みについて紹介した。

今回の合同ワークショップを通じて、互いに具体的な技術的アプローチや課題等を共有することができた。本ワークショップでも十分な Q&A の時間が取れなかったため、後日 Q&A の交換を行うとともに、今後の本分野での連携方法について議論していくこととした。

(2) 米国とのワークショップ

既に欧州においては SHOW プロジェクトとの MoU を締結し、連携活動を行ってきた。米国においても本テーマ 4 のスコープや趣旨を共有できる連携先を特定し、2023 年度以降に連携活動を開始することを目指している。本年度は、米国における連携先候補として、University of California Riverside（通称 UC Riverside）とカリフォルニア州北東部にある Contra Costa County との意見交換を実施した。

i) UC Riverside との交流

ii) Contra Costa county との交流

2022 年 10 月に京都にて開催された内閣府 SIP-adus Workshop の機会に合わせ、来日した Contra Costa County 関係者と意見交換・交流の機会を得た。

Contra Costa County は、カリフォルニア州サンフランシスコ郊外に立地する自治体で、元基地跡を自動運転やコネクテッドカーのテストサイト「GoMentum Station」の運営を軸に、モビリティに関するプロジェクトを行っている。

図 158 Contra Costa 郡 Go Mentum Station の様子

出所：SIP-adus 2023 講演資料, https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2022/file/sbi/4_SBI_Haile2022.pdf, (2023/02/06 確認)

SIP-adus workshop では CooL4 の取組紹介ということで、柏の葉におけるフィールドの紹介と、事業モデルの観点における検討状況を共有した。これに基づく海外関係者との意見交換との結果、事業モデルは自動運転サービスの実現に向けてグローバルで共通する課題であることを確認し、主に Contra Costa County では PPP スキームによる官民連携の在り方や、交通結節点の整備名と官としてサポートできるスキームの多様化を検討しているとの示唆があった。

図 159 CooL4 取組紹介のイメージ

4) 国際標準化戦略のための情報収集

本プロジェクト期間の後半（2025 年度頃）には、様々な検討や実証による成果が期待される。それらの成果を国内のみならず海外にも展開するため、国際標準化活動における我が国からの提案等も視野に入れた活動を行う。本年度は関連する国際標準化動向を整理し、標準化戦略策定に向けた事前検討を行う。

＜情報収集する国際標準化動向の観点＞

- **本プロジェクトに関係する国際標準化組織と役割分担**
- **本プロジェクトに関係する国際標準化活動の状況**

等

(1) 米国 FCC の周波数再編状況について

FCC より「無線周波数再割当」(再編) が 20 年 11 月 18 日に発表された。この後直ぐに、米国全州道路交通運輸行政官協会(AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials)と ITS America が米国運輸長官に強い懸念を表明するレターを提出した。“Significant concern with efforts underway at the Federal Communications Commission (FCC) to reallocate spectrum in the 5.9 GHz band.”

(2021 年 3 月 16 日) これを受けて、米国運輸長官 (Pete Buttigieg)は、(3 月 25 日)に懸念を表明した。

更に、AASHTO と ITS America は、法的手段としてコロンビア特別区の米国控訴裁判所に異議申し立てを実施した。(6 月 2 日)

- コロンビア特別区の米国控訴裁判所が FCC 決定を支持する判決(8 月 12 日)
- この判決を受けて、“Use of the 5.850-5.925 GHz Band”に関する Federal Register が発行された。(10 月 25 日)
  https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/25/2021-23148/use-of-the-5850-5925-ghz-band

【残る 4 つ課題】

上記の動きで、FCC 周波数再編は落着したように思えるが、USDOT、自動車 OEM からは反論する意見が根強い。

- 2nd R&O (Report and Order：報告及び命令) が発行されていない。

① C-V2X の定義未定：30MHz のみだと LTE-V2X で 1Ch のみしか使用できないため、5GNR-V2X の可能性が否定される。

② DSRC (1st R&O で 2022.7.下 45MHz) 停波指令＆停波済ですが、その後の上側 30MHz への移行時期が定まっていない (未公表)

③ FCC 事情による機器交換(DSRC OBU/RSU)時期・費用・負担者が未定従って、誰も具体的な設計・設置ができない状態。

現在 FCC が V2X に認めている唯一の通信技術は、現実的には DSRC のみと矛盾が生じて いる。また、昨年度調査した NCHRP(The National Cooperative Highway Research Program)の中で、ミシガン大学交通研究所(UMTRI)がアナーバー市での相互運用テストにおいて、高度の知識と経験豊富な作業者が限らたため、時間が必要だったとコメントしている。つまり全てが決定されても実運用開始には、年オーダーの遅れが予見される。

④ Ford の C-V2X 担当部門の解散

2019 年 1 月に 2022 年中に全ての車両に C-V2X 搭載発売すると公式発表があったが、2022 年中には 1 台も販売されず、C-V2X を担当するグループが解散され主要スタッフも 2012 年 12 月に退職している。尚、昨年秋以降のリストラ公開総数は、6,500 名(23/2 現在)となっている。C-V2X の推進メンバーがいないだけでなく、Ford の企業ホームページからは、2019 年 1 月の公式発表が削除されている。

現時点では北米での C-V2X を牽引する OEM は不在となっている。

(2) 米国 FCC の周波数再編までプロセス

FCC は、準司法機関的性格も有し、係争者による主張や反論に対して聴取したうえで裁定を下す権限が認められている。なお、審理には利害が対立する当事者からの申請や請願を裁定する審判的審理と、規則案を提示し関係者の意見を求めて裁定する規則制定審理がある。規則制定手続の主な流れは次のとおりである。

① 規則制定提案告示 (Notice of Proposed Rule Making：NPRM)

② 利害関係者からの意見書提出 (Comment/Reply Comment)

③ 報告及び命令 (Report and Order：R&O)・・・この 2nd R&O が未発行

(3) 欧州の状況

欧州は DSRC (G5) と LTE のハイブリッド利用となっている。

5.9GHz 帯の周波数割当は、下記表 73 の通り。VW は G5 搭載車両を販売した。

表 73　Frequency allocation in the European Union (ETSI EN302 663)

Frequency range	Usage	Regulation	Harmonized standard
5 905 MHz to 5 925 MHz	Future ITS applications	ECC Decision [i.7]	EN 302 571 [1]
5 875 MHz to 5 905 MHz	ITS road safety	ECC Decision [i.7], Commission Decision [i.11]	
5 855 MHz to 5 875 MHz	ITS non-safety applications	ECC Recommendation [i.5]	
5 470 MHz to 5 725 MHz	RLAN (BRAN, WLAN)	ERC Decision [i.6] Commission Decisions [i.9] and [i.10]	EN 301 893 [2]

ITS road safety と ITS road non-safety を分離。大型イベントの non-safety のトラフィック集中（輻輳）時にも、ITS road safety にも影響を与えない配慮と推測される。

(4) 中国の状況

5,905～5,925MHz の 20MHz 幅を C-V2X として使用する。利用するユースケースなどは不明。

(5) 各国の周波数割当て状況

各国の周波数割当て状況については、図 160 のようになっている。

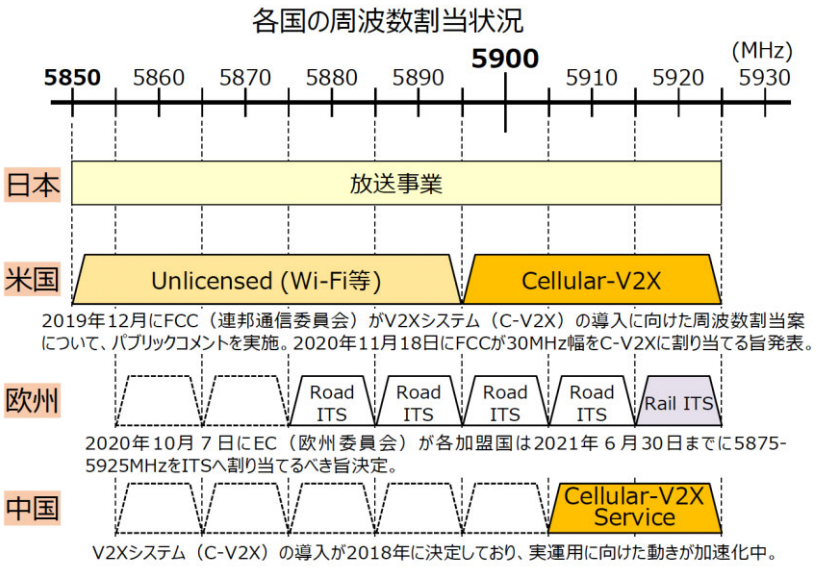
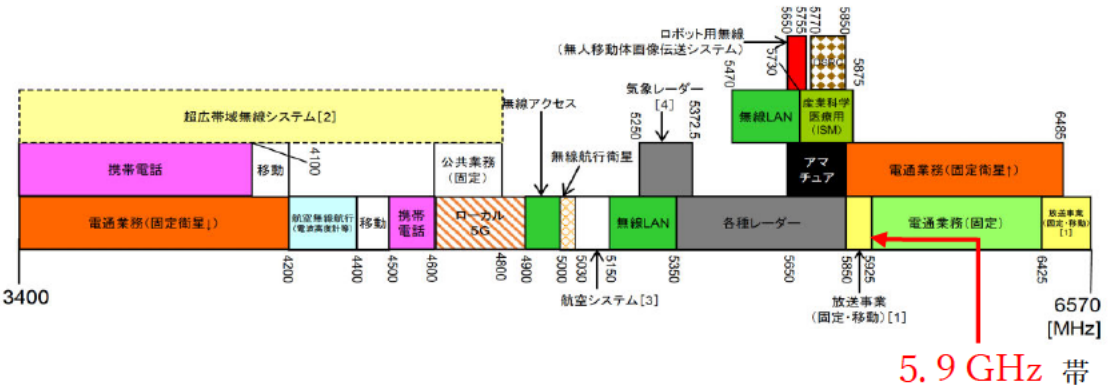


図 160　各国の周波数割合状況

出所：総務省　周波数再編アクションプラン（令和 4 年度版）

(6) 日本の周波数割当 状況

現在 5.900MHz(5.9G)帯は、放送事業者の TV 番組中継、TV 番組素材中継(FPU)で使用している。総務省は今月より、自動運転時代の“次世代の ITS 通信”研究会を立ち上げ 5.9GHz 帯の利用の検討を始めるが、今年度は通信方式の縛り込みまでは実施しない。



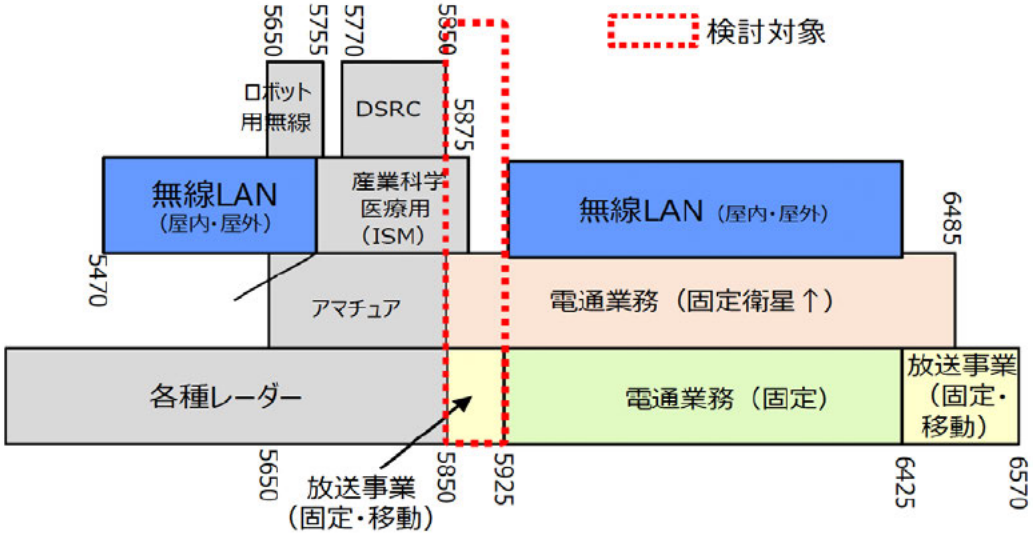


図 161　日本の周波数割当状況

出展:総務省 周波数再編アクションプラン（令和 4 年度版）

(7) ITU-R (ITU Radiocommunicatione

✧ RECOMMENDATION 208 (WRC-19)

Harmonization of frequency bands for evolving Intelligent Transport Systems applications under mobile-service allocations (Sharm el-Sheikh, 2019))

WRC19 において高度道路交通システムアプリケーションのための周波数帯域の調和を図るために国際的に調和の取れた 5G よう周波数の確保を審議され、近接周波数を使用する地球観測システム等の保護条件について調整が難航したが、以下のような審議結果となった。

i) 合意事項

(a) 情報通信技術は、交通管理を改善し、より安全な運転を支援する目的で、進化する高度道路交通システム (ITS) 通信アプリケーションを提供するために、車両システムに統合されていること。

(b) 世界的または地域的に使用されている進化する ITS アプリケーションのための周波数調和を検討する必要性があること。

(c) 無線通信を含む様々な技術を陸上交通システムに統合する必要があること。

(d) 多くの新しいコネクテッドビークルは、交通管理を改善するために、高度交通管理、高度旅行者情報、高度公共交通管理、高度車両管理システムを組み合わせたインテリジェント技術を使用していること。

(e) 将来の車両無線通信技術と ITS 放送システムが出現していること。

(f) ITS 用に整合化されたいくつかの周波数帯は、固定衛星サービス(FSS)(地球-宇宙間)にも割り当てられており、特定の状況下では、近接する ITS 局に干渉を与える可能性があること。

ii) 認識事項

(a) 調和された周波数と国際標準は、進化する ITS 無線通信の世界的な展開を促進し、進化する ITS 機器とサービスを公衆に提供する際の規模の経済を提供すること。

(b) 進化する ITS のために調和された周波数帯又はその一部の使用は、それらの周波数帯/周波数が割り当てられたサービスの他のアプリケーションによる使用を排除するものではなく、電波規則における優先権を確立するものでもないこと。

(c) 進化する ITS のための調和周波数帯またはその一部には、保護を確保する必要のある既存サービスが存在すること。

(d) 進化する ITS は、渋滞や事故といった道路交通問題の軽減にも重要であること。

(e) 進化する ITS 技術に関する ITU R 研究は、交通安全および効率に関連する事柄を扱うことを意図していること。

ここで示されている ITU R 勧告の一覧は表 74 の通り

(1) ITS に関する ITU R 勧告は勧告 ITU R M.1452、M.1453、M.1890、M.2057、M.2084 および M.2121 であることに留意する。

(2) ITS に関する ITU R レポートは、ITU R M.2228、M.2322、M.2444 and M.2445 であること。

(3) ITS の発展のために推奨される周波数帯の一部に無線通信ローカルエリアネットワークを配備している、または配備を検討している行政機関があること。

iii) 推奨事項

① 行政は、ii)(b)を認識した上で、進化する ITS アプリケーションを計画し展開する際、勧告の最新版（例えば、ITU R M.2121）に記載されているように、世界または地域整合周波数帯

またはその一部分の使用を検討することを推奨する。

② 必要であれば、i)(f)を考慮し、ITS 局と既存サービスの局（例：FSS 地球局）の間の共存問題を考慮すること。

iv) 要請

加盟国およびセクターメンバーに対して

ITU R 研究会を通じて、ITS 及び進化する ITS（コネクテッド・ビークル、自律走行車、適応型運転支援システム等）の側面に関する ITU R 研究に積極的に参加し、貢献するよう要請する。

事務局長に指示する。

v) 事務局長への指示

ITS を扱う関連国際機関及び地域機関、特に標準開発機関にこの勧告の注意を喚起すること。

表 74 RECOMMENDATION 208 で推奨された勧告一覧

ITU R 勧告		関連する国内規格 等
M.1452	Millimetre wave vehicular collision avoidance radars and rad ocommunicat on systems for intelligent transport system applications 高度道路交通システム-ミリ波車両衝突防止レーダーと無線通信システム	ARIB STD-T48 ARIB STD-T111
M.1453	Intelligent transport systems - Dedicated short range commun cations at 5.8 GHz 高度道路交通システム - 5.8GHz帯専用近距離通信	ARIB STD-T75
M.1890	Operat onal radiocommun cation objectives and requirements for advanced Intelligent Transport Systems 高度道路交通システムのための運用無線通信の目的と要件	ARIB STD-T48 ARIB STD-T111
M.2057	Systems characterist cs of automotive radars operating in the frequency band 76-81 GHz for intelligent transport systems applicat ons 高度道路交通システム用周波数帯76-81GHzの車載レーダのシステム特性	ARIB STD-T111
M.2084	Radio interface standards of vehicle-to-veh cle and veh cle-to-infrastructure two-way commun cations for Intelligent Transport System applications Intelligent Transport Systemアプリケーションのための車車間および車車間双方向通信の無線インターフェース規格	ITS FORUM RC-004 ITS FORUM RC-005
M.2121	Harmonization of frequency bands for Intelligent Transport Systems in the mobile service モバイルサービスにおける高度道路交通システムのための周波数帯域のハーモナイゼーション	ARIB STD-T75 ARIB STD-T109
ITU R レポート		
M.2228	Advanced intelligent transport systems (ITS) radiocommunicat ons 高度道路交通システム(ITS)用無線通信機	ARIB STD-T109
M.2322	Systems characterist cs and compatibil ty of automotive radars operating in the frequency band 77.5-78 GHz for sharing studies 周波数帯域77.5-78GHzで動作する車載レーダーのシステム特性と互換性によるシェアリングスタディ	ARIB STD-T48 ARIB STD-T111
M.2444	Examples of arrangements for Intelligent Transport Systems deployments under the mobile service モバイルサービスにおける高度道路交通システム導入の手配例	ITS FORUM RC-003
M.2445	Intelligent transport systems (ITS) usage 高度道路交通システム(ITS)の利用状況	ARIB STD-T75 ARIB STD-T109

(8) WP5A で作成中の ITU-R 報告 M. [CAV]

WP5A で CAV (Connected Automated Vehicles)に関する ITU-R 報告を作成中。

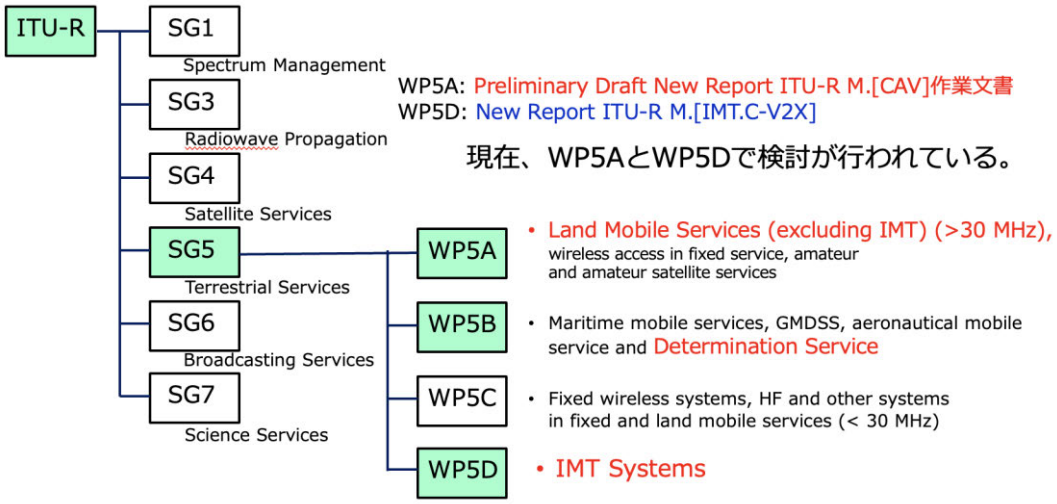


図 162　ITU-R の構成図

- コネクテッド自動運転車（CAV）の無線通信の方式、システム、要件、周波数ニーズ等について解説。また、CAV の世界的な開発状況も記載。
  本報告の対象は、V2V、V2I のためのアドホック短距離無線通信に焦点を当てている。
- 完成時期　2023 年 9 月 予定

(9) 自動車基準調和世界フォーラム WP.29 での V2X 検討開始

UNECE 配下の World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations WP.29 の分科会 GRVA(自動運転)において、今年 1 月より ITS Informal Group が設置され V2X の法規制に関する議論が始まった。車両関係の専門家集団であるが、通信関連の専門家が不足するため、国土交通省では自動車 OEM 等への協力を求めている。

国土交通省 猶野室長（自動車局 車両基準・国際課安全基準室長）は、昨年 11 月に 2023 年の副議長に選出されている。

2-2. 協調型システムの検討、評価

＜この項目での実施事項＞

I. 協調型システムにおける機能分担と性能要件の整理

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 協調型システムのニーズが高い信号交差点の右折を対象に、インフラ情報の活用のあり方や要求仕様について検討。
- 信号交差点右折時のシーン別にセンサー（自律＋協調）の必要要件の整理とセンサー検知範囲の可視化を実施。
- 協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）の構築及び整備した路側機からの情報（歩行者情報等）受信の確認。
- 柏キャンパス ITS R&R フィールドでの実験データの可視化を確認。

■ 該当項目の必要性

自動運転レベル 4 を実現するための協調型システムの要件や全体のエコシステムを考慮した全体のアーキテクチャを考慮し、協調型システムの開発を行う。そのシステムを公道実証実験で実装するために、性能の検討と評価を行う必要がある。

■ 該当項目の目標

開発を行った協調型システムの性能試験を行い、公道実証実験にて実装するために必要な性能と信頼性を有していることを確認する。

■ 実施方針

本プロジェクトの最終年度（2025 年度）には、テーマ 4 にて開発した協調型システムを多地域においても利用可能にするため、2022 年度は 2021 年度に整理された協調型システムに求められる要件と、協調型システムのデータプラットフォームのアーキテクチャを用いながら、その仕様設計を行う。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ. 各種協調型システムの性能評価・比較

1) 協調型システムに求められる要件の整理

安全な自動運転レベル 4 実現には、自家用車、バス、自転車等のレベル 3 以下の車両や歩行者が混在・混雑する環境を認識した上で走行する必要があり、自動運転機能を有する車両にとって、路上駐停車両や横断歩行者・自転車等の回避に課題が生じる。

道路空間は、自動車の走行の他に、路上駐停車、沿道施設からの出入り、歩行者の横断や自転車の走行など様々な機能を担う。自動車の走行以外の機能に対して適切な空間設計がなされていない場合、路上駐停車や歩行者の横断が広範囲にわたって発生するなど、自動運転レベル 4 車両にとって予測しにくい周辺交通状況を生み出す。

一方、安全な自動運転の実現には、空間に存在する全ての移動体の位置を把握できることが望ましい。しかしながら、自動運転車両からのセンシングのみに依存した自律システムでは、自車周辺の局所的なセンシングに限定される。

そのため、今年度は、2023 年度以降の実証実験実施を目指しながら、解決すべき課題をさらに洗い出した。また、テーマ 2 で実施しているひたち BRT への協調型システム導入に向けての議論にも参加し、その内容のフィードバックも行った。

2023 年度以降の実証実験実施に向けた協調型システムの課題解決に向けて、テーマ 4 全体に関する取組みについて全体フローをとりまとめるとともに、本項で取り組む内容を図 163 に整理した。

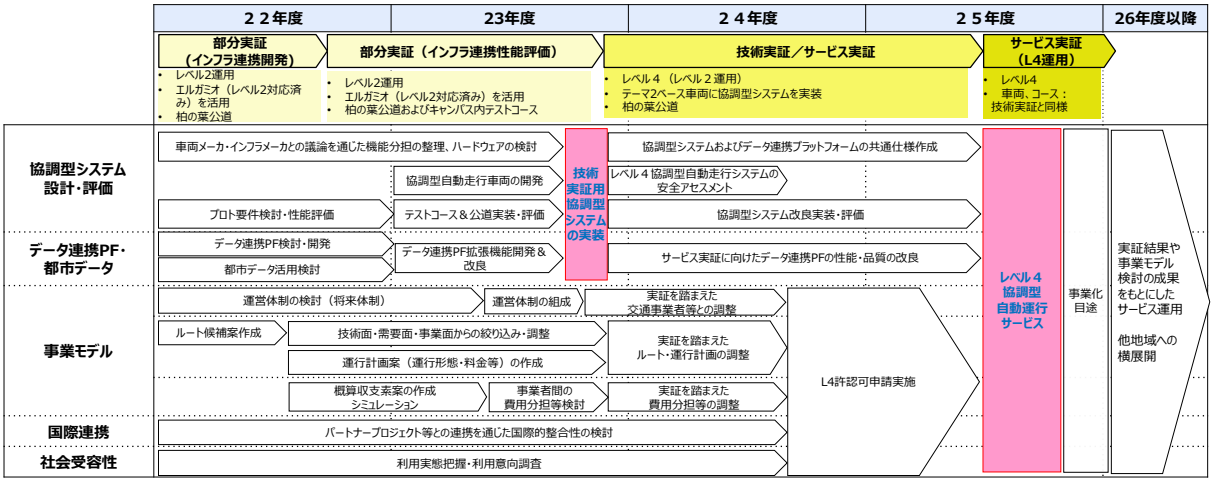


図 163　テーマ 4 に関する取組みの全体フロー

(1) 2021 年度調査の再整理と今年度の検討方針

様々な地域の混在交通下において自動運転レベル 4 サービスを展開するうえで必要な協調型システムの解決すべき課題を導出するにあたって、2021 年度の無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4)）で実施した統括委員会 WG の議論について再整理した。

i) 2021 年度に WG で得られたご意見のまとめ

- 協調型システムの活用シーン
  - 自動運転レベル 4 において、基本は自律での対応とし、自律での対応が困難なシーンにおいて協調型システムの活用可能性が考えられる。
  - 自律での対応が困難なシーンにおける協調型システムによる検知対象・範囲を定義しておく必要がある。
- 協調型システムの提供情報
  - 協調型システムは、特に信号サイクル情報（現示を含む）の提供と、死角情報の提供において有効性があると考えられる。
  - 協調型システムから提供する情報の具体化と併せて、信頼度に関する情報の検討が必要である。
- 協調型システムの性能要件等
  - 協調型システムの提供情報は、自律型システムと同等の精度をもつことが望ましい。
  - 協調型システムの提供情報を活用するうえで、信頼度や精度に応じた責任分担を整理しておくことが必要である。

ii) 2021 年度の WG でのご意見を踏まえた今後の課題

【課題 1】 協調型システムの設置位置の検討（周辺条件確認、センサー検知対象・検知範囲、設置スペース　等）

【課題 2】 協調型システムが提供する情報の具体化（情報項目（サイズ、位置、速度、進行方向)、信頼度に関する情報（検知精度、タイムスタンプ）　等）

【課題 3】 協調型システムにおける自律・協調の責任分担の整理（信頼度に関する情報の扱い　等

【課題 4】 協調型システムの設計仕様(課題 1～3 を踏まえた協調型システムに関する設計仕様の整理　等）

iii) 今年度の検討方針

昨年度の課題として挙げられた課題 1～4 を検討するためには、まずは、自動運転のストラテジ

ーが必要である。そのため、RoAD to the L4 のテーマを横断して、産総研コンソーシアム、先進モビリティ、日本自動車研究所、ITS Japan、テーマ 4（CooL4）実施者で、多くの交通参加者を想定した混在交通での課題が包含されたシーンにおいて、レベル 4 自動走行することを想定した自動走行ストラテジー案を作成する。その中で本年度は、特に①信号灯色・サイクル情報と、②死角情報について、インフラ情報としての活用の検討を進める。

テーマ 4 では、ITS Japan CCAM 検討 SWG に協力を頂きながら、無線の通信方式案の検討を行ない、提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化に活用する。

昨年度に挙げられた 4 つの課題を解決するため、以下の 4 点を方針とした議論を行い、柏の葉地区だけでなく、全国に展開可能な協調型システムの設計素案を作成することを目的とする。

表 75　今年度の検討方針

方針	検討事項
【1】自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握	・自動運転のストラテジー案の検討 （・協調型システムによるインフラ情報の整理）
【2】協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理	・機能分担の考え方整理 ・信号情報、死角情報の活用の考え方検討
【3】提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化	・インフラ情報の信頼性の具体化 ・インフラ情報の必要要件の整理
【4】協調型システムとそれを実現するハードウエアの設計仕様素案策定	・無線の通信方式案の検討（⇒地図情報やデータ連携スキームの検討） ・インフラ協調型システムの仕様素案策定（柏の葉）

また、協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理にあたっては、図 164 に示すように、「自動運転のストラテジー案の再整理」として、インフラ情報が必要な各パターンにおいて、情報が必要なシーン別に必要なインフラ情報を整理し、それを用いた走行戦略案（走行ストラテジー案）を整理する。

さらに、走行戦略案を実現するための「自律・協調の機能分担」を整理するにあたっては、まず、別途テーマ 4 のプロジェクト内で整理される運行設計領域（ODD）の設定方法をもとに分類した柏の葉実証実験コースにおける 15 区間のうち、代表的なユースケースである信号交差点右折時について、人間ドライバーの行動から自律システムによる走行戦略案および自律システムによる限界、考えられるインフラ協調案を整理することで、自律・協調の機能分担を検討する。

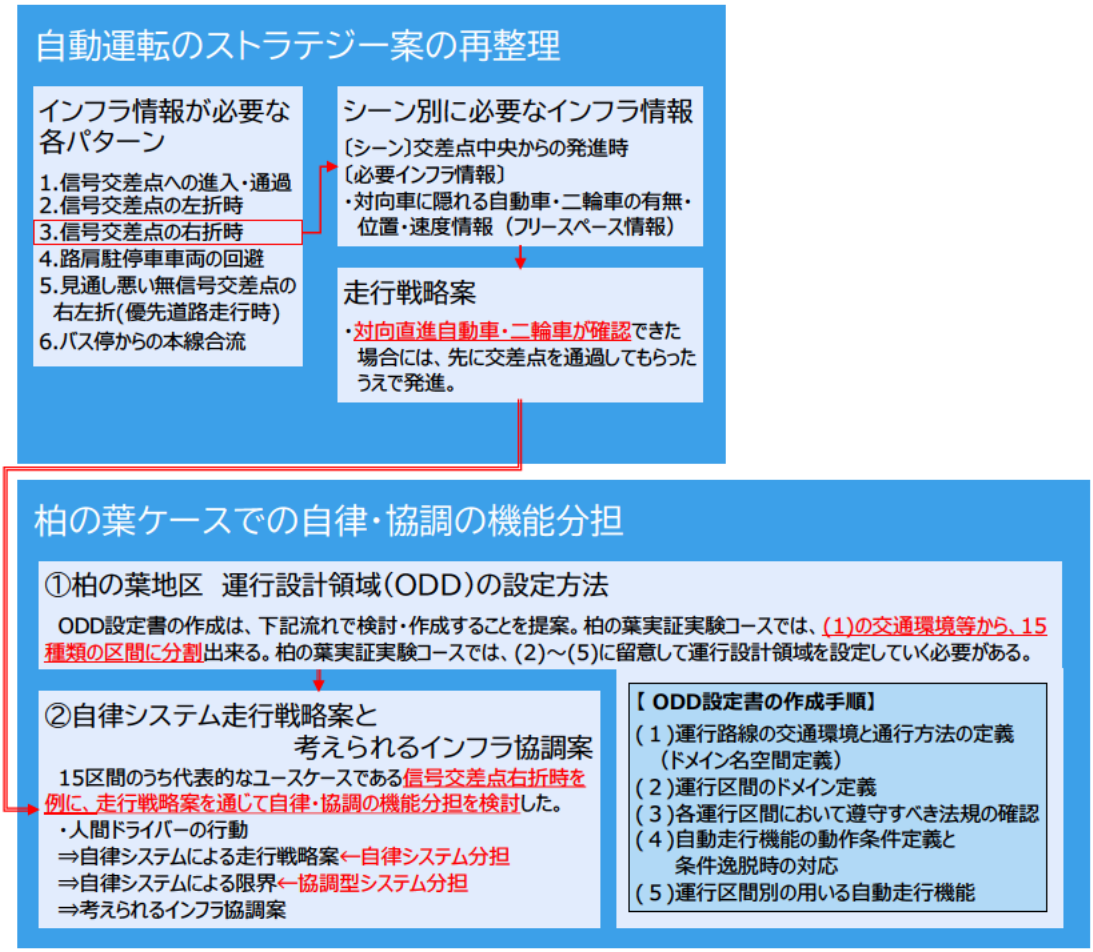

自動運転のストラテジー案の再整理
インフラ情報が必要な各パターン
1.信号交差点への進入・通過
2.信号交差点の左折時
3.信号交差点の右折時
4.路肩駐停車車両の回避
5.見通し悪い無信号交差点の右左折(優先道路走行時)
6.バス停からの本線合流
シーン別に必要なインフラ情報
〔シーン〕交差点中央からの発進時
〔必要インフラ情報〕
・対向車に隠れる自動車・二輪車の有無・位置・速度情報（フリースペース情報）
走行戦略案
・対向直進自動車・二輪車が確認できた場合には、先に交差点を通過してもらったうえで発進。
柏の葉ケースでの自律・協調の機能分担
①柏の葉地区　運行設計領域(ODD)の設定方法
ODD設定書の作成は、下記流れで検討・作成することを提案。柏の葉実証実験コースでは、(1)の交通環境等から、15種類の区間に分割出来る。柏の葉実証実験コースでは、(2)～(5)に留意して運行設計領域を設定していく必要がある。
②自律システム走行戦略案と考えられるインフラ協調案
15区間のうち代表的なユースケースである信号交差点右折時を例に、走行戦略案を通じて自律・協調の機能分担を検討した。
・人間ドライバーの行動
⇒自律システムによる走行戦略案←自律システム分担
⇒自律システムによる限界←協調型システム分担
⇒考えられるインフラ協調案
【ODD設定書の作成手順】
(1)運行路線の交通環境と通行方法の定義（ドメイン名空間定義）
(2)運行区間のドメイン定義
(3)各運行区間において遵守すべき法規の確認
(4)自動走行機能の動作条件定義と条件逸脱時の対応
(5)運行区間別の用いる自動走行機能

図 164　検討手順

(2) 協調型システムによるインフラ情報の整理

1-1. Ⅰ.1)(2)において整理したサービスカーを主体に自動運転車両を開発また運用する事業者への協調型システムに関するアンケート調査の結果を踏まえて、自動運転レベル 4 においてインフラ情報を活用するシナリオを整理した。

また、当該シナリオをもとに、柏の葉実証実験コースとの対応を整理した。

i) インフラ情報を活用するシナリオの整理

① インフラ情報を活用するシナリオの整理

- インフラ情報の提供タイミングの把握のため、自動運転車両（サービスカー）の時間軸での動きと、インフラ情報の活用シナリオのプロセスを整理
- 例えば、交差点の右左折であれば、交差点進入時、交差点内での必要情報・必要性を整理
- 路肩の駐停車車両の回避であれば、駐停車車両の有無の確認時、駐停車車両の回避時での必要情報・必要性を整理

【ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避の例】

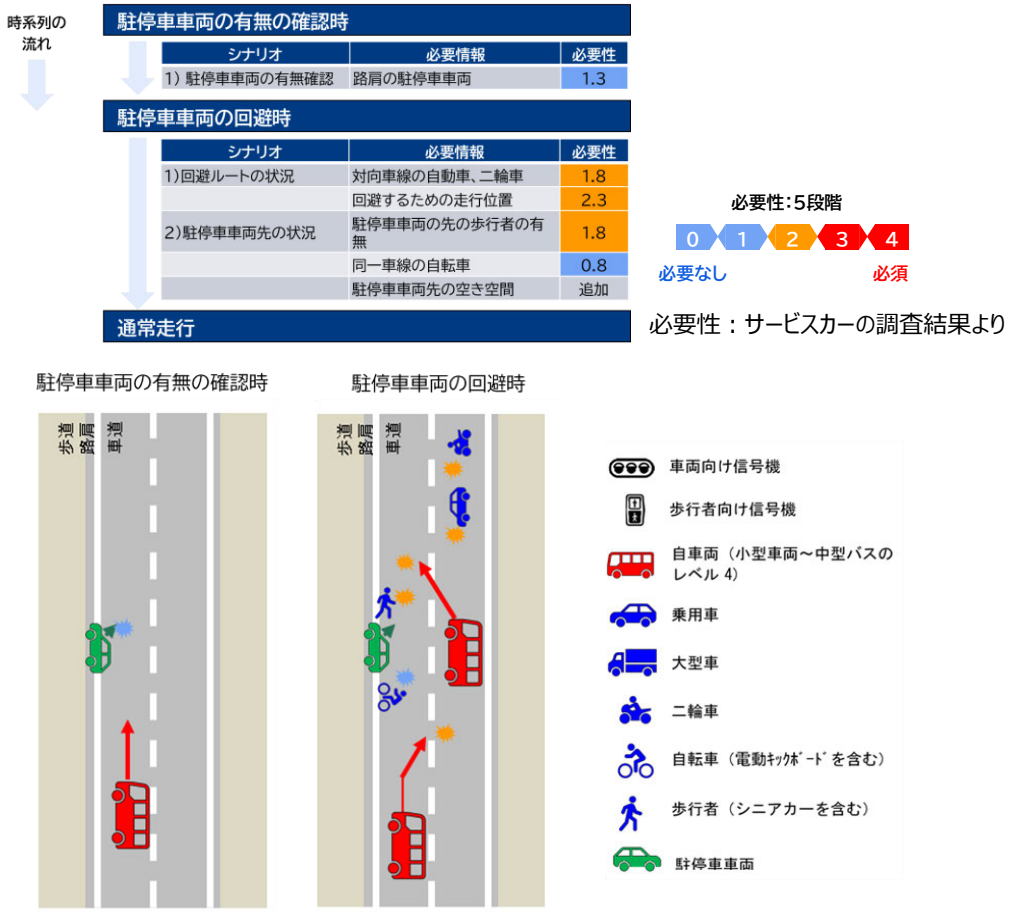


図 165　必要なインフラ情報の整理イメージ

② 個別ユースケース

ユースケース毎のインフラ情報を活用するシナリオを次頁以降に整理した。

➢ ユースケース 1：信号交差点の右左折（左折時）

時系列の流れ

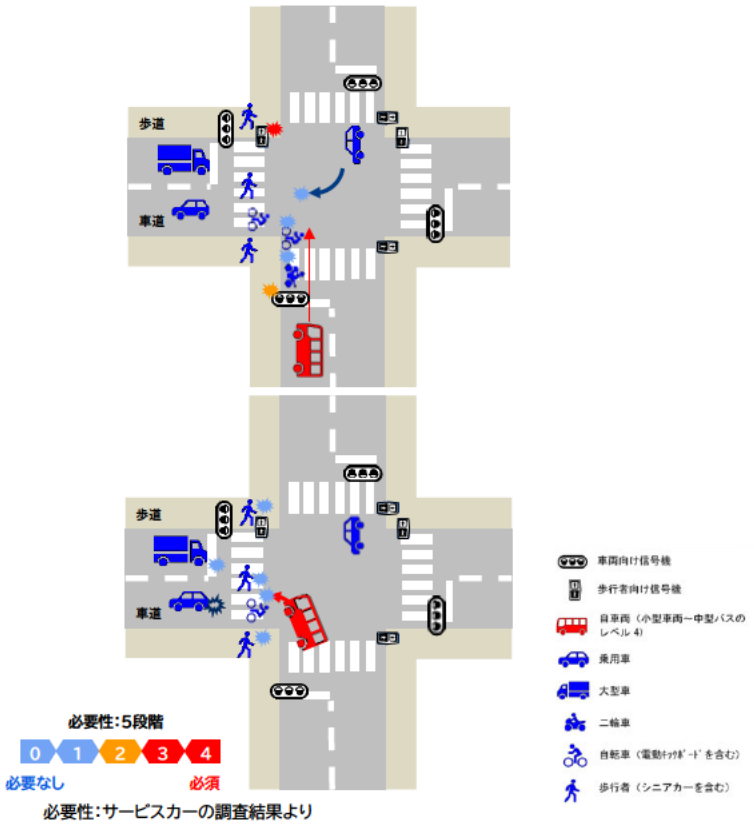
交差点進入時

シナリオ	必要情報	必要性
1) 信号現示確認	車両用信号現示情報	3.0
	歩行者用信号現示情報	2.0
2)左折巻き込み注意	同一車線を走行する二輪車	0.8
	同一車線を走行する自転車	0.8
3)車両相互事故注意	対向車線で右折しようとしている自動車･二輪車	1.0

交差点内

シナリオ	必要情報	必要性
1)左折先横断歩道周辺の自転車･歩行者との交錯	横断歩道横断中の歩行者･自転車	1.0
	横断歩道を横断しようとする歩行者･自転車	1.0
	左折先対向車線の自動車	0.5

通常走行



必要性:サービスカーの調査結果より

➢ ユースケース１：信号交差点の右左折（右折時）

時系列の流れ

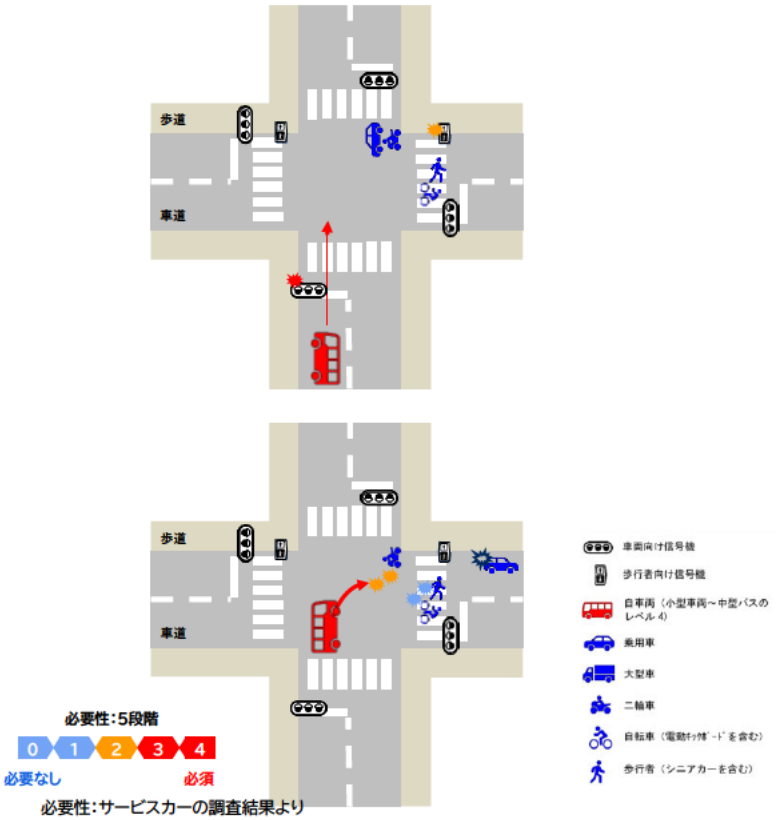
交差点進入時

シナリオ	必要情報	必要性
1）信号現示確認	車両用信号現示情報	3.3
	歩行者用信号現示情報	2.0

交差点内

シナリオ	必要情報	必要性
1)車両相互事故注意	対向車線で直進しようとしている自動車・二輪車	2.0
	対向車に隠れる自動車・二輪車、自転車	2.0
2)右折先横断歩道周辺の自転車・歩行者との交錯	横断歩道横断中の歩行者・自転車	1.3
	横断歩道を横断しようとする歩行者・自転車	1.3

通常走行



必要性：サービスカーの調査結果より

➢ ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避

時系列の流れ

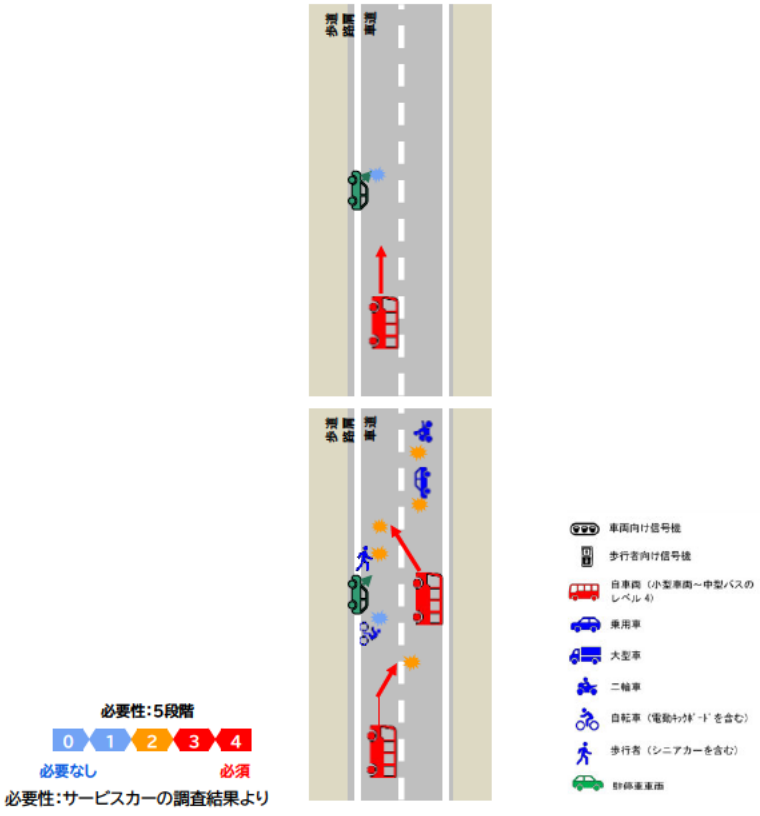
駐停車車両の有無の確認時

シナリオ	必要情報	必要性
1) 駐停車車両の有無確認	路肩の駐停車車両	1.3

駐停車車両の回避時

シナリオ	必要情報	必要性
1)回避ルートの状況	対向車線の自動車、二輪車	1.8
	回避するための走行位置	2.3
2)駐停車車両先の状況	駐停車車両の先の歩行者の有無	1.8
	同一車線の自転車	0.8
	駐停車車両先の空き空間	追加

通常走行



➢ ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過（優先道路走行時）

時系列の流れ

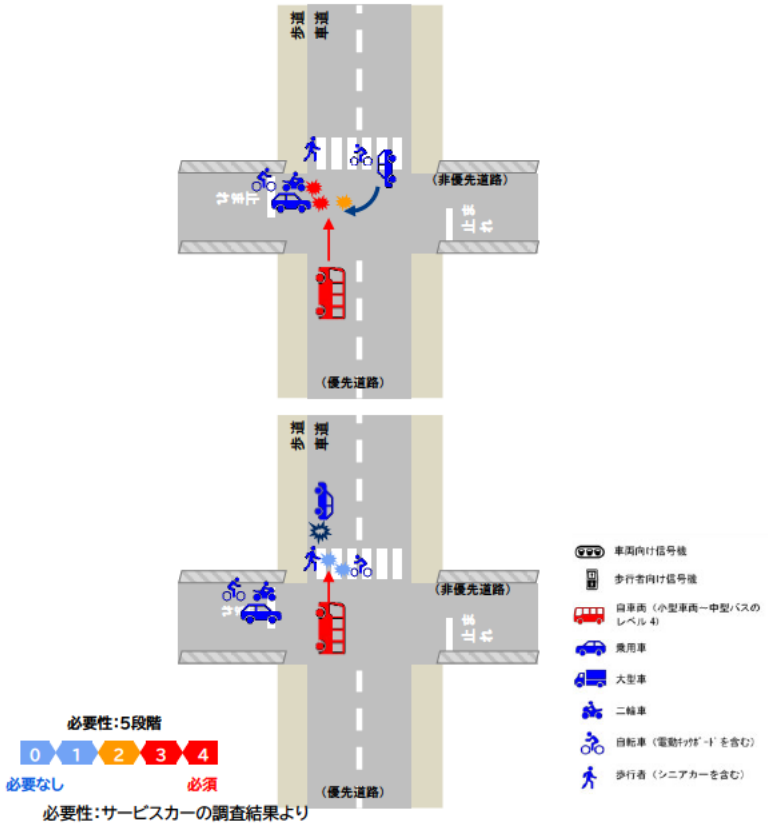
交差点進入時

シナリオ	必要情報	必要性
1)非優先道路の状況	非優先道路を通行する自動車、二輪車、自転車	3.3
2)車両相互事故注意	対向車線で右折しようとしている自動車・二輪車	1.5

交差点内

シナリオ	必要情報	必要性
1)横断歩道周辺の自転車・歩行者との交錯	優先道路横断歩道横断中の歩行者・自転車	1.3
	優先道路横断歩道を横断しようとする歩行者・自転車	1.3

通常走行



必要性:サービスカーの調査結果より

➢ ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過（非優先道路走行時）

時系列の流れ

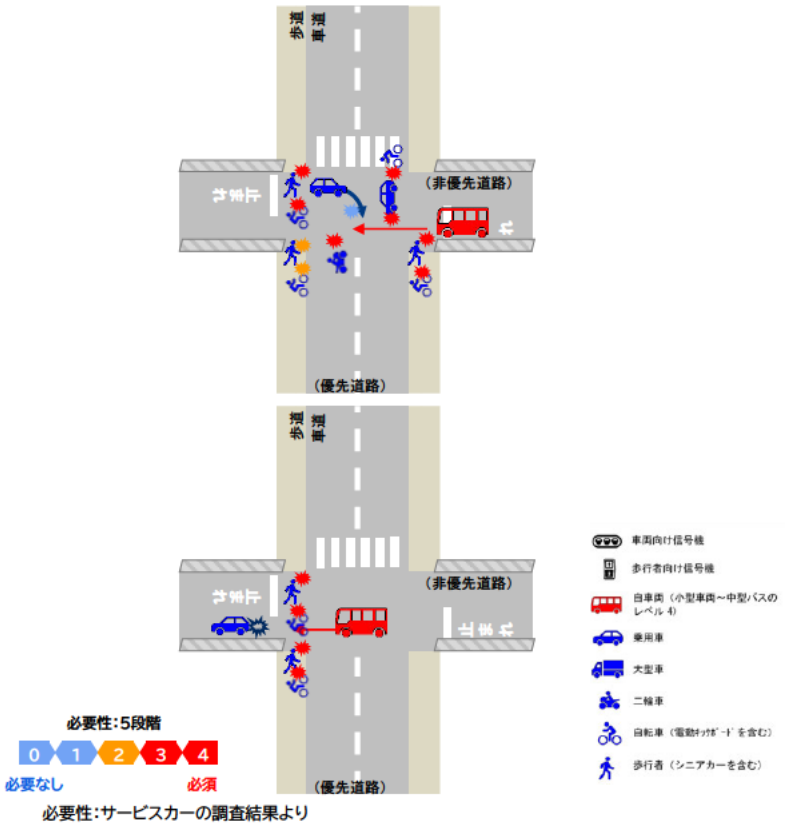
交差点進入時

シナリオ	必要情報	必要性
1)優先道路の状況	優先道路を通行する自動車、二輪車、自転車	3.3
	優先道路進入口周辺の歩行者、自転車	3.0
2)対向車線の状況	対向車線で右折しようとしている自動車・二輪車	1.3
3)優先道路先の状況	優先道路先の歩行者・自転車	1.5

交差点内

シナリオ	必要情報	必要性
1)優先道路先の状況	優先道路先の歩行者・自転車	1.5

通常走行



必要性：サービスカーの調査結果より

ii） 実証実験コース（案）との対応の整理

① 柏の葉実証実験コース（案）における協調型システムの検討

- 柏の葉実証実験コース（案）とサービスカーが協調型システムから必要な情報の対応を整理
- 現状の協調型システムの仕組みと、必要な情報への対応状況や課題（実施箇所での課題、他箇所への展開の課題）を確認
- 現状システムの課題を踏まえ、CooL4 としての今後のセンサー追加や、実証内容の追加の必要性を確認

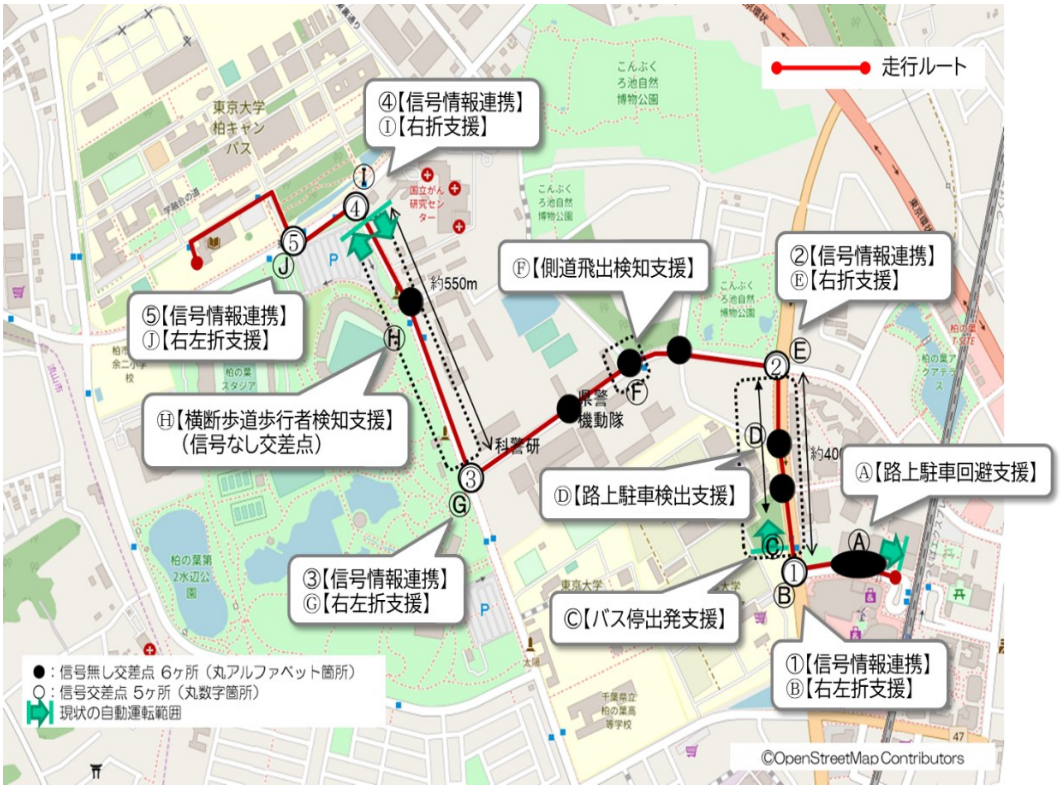


図 166 柏の葉実証コース

表 76　ユースケースと柏の葉実証コースとの対応

場所			担当メーカー	情報提供内容等	備考
信号情報連携	①	柏の葉キャンパス駅西口広場入口交差点 柏市若柴 178 番地 4 先	日本信号	信号情報連携 （灯色･残り時間）	B と同位置
	②	県第 3 機動隊東側交差点 柏市若柴 227 番地。6 先	コイト電工	信号情報連携 （灯色･残り時間）	E と同位置
	③	科学警察研究所前交差点 柏市柏の葉 6 丁目 3 番先	日本信号	信号情報連携 （灯色･残り時間）	G と同位置
	④	国立がんセンター東病院脇交差点 柏市柏の葉 6 丁目 5 番 1 号先	日本信号	信号情報連携 （灯色･残り時間）	I と同位置
	⑤	東京大学柏キャンバス前交差点 柏市柏の葉 5 丁目 1 番地 5 先	コイト電工	信号情報連携 （灯色･残り時間）	J と同位置
障害物・危険情報提供	A	柏の葉キャンバス駅西口ロータリー	日本信号	路上駐車回避支援	
	B	柏の葉キャンパス駅西口広場入口交差点 柏市若柴 178 番地 4 先	日本信号	右折支援	①信号と同位置
	C	柏の葉 6 丁目バス停(北進) 柏市若柴	日本信号	バス停出発支援	
	D	①信号～②信号間	コイト電工 IHI	路上駐車検出支援	
	E	県第 3 機動隊東側交差点 柏市若柴 227 番地 6 先	IHI	右折支援	②と同位置
	F	(第 3 機動隊東側)	コイト電工	側道飛出検知支援	
	G	科学警察研究所前交差点 柏市柏の葉 6 丁目 3 番先	日本信号	右左折支援	③と同位置
	H	税関研修所バス停北側横断歩道	日本信号	横断歩道歩行者検知支援	
	I	国立がんセンター東病院脇交差点 柏市柏の葉 6 丁目 5 番 1 号先	IHI	右折支援	④と同位置
	J	東京大学柏キャンパス前交差点 柏市柏の葉 5 丁目 1 番地 5 先	日本信号	右左折支援	⑤と同位置

② 現状の協調型システムの仕組みと必要な情報への対応状況や課題

柏の葉の実証コースにおける協調型システムの仕組みと必要な情報への対応状況や課題を次頁以降に示す。

● 路上駐車多発　：路上駐車回避支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース2:
路肩の駐停車車両の回避

必要性:5段階

0 1 2 3 4

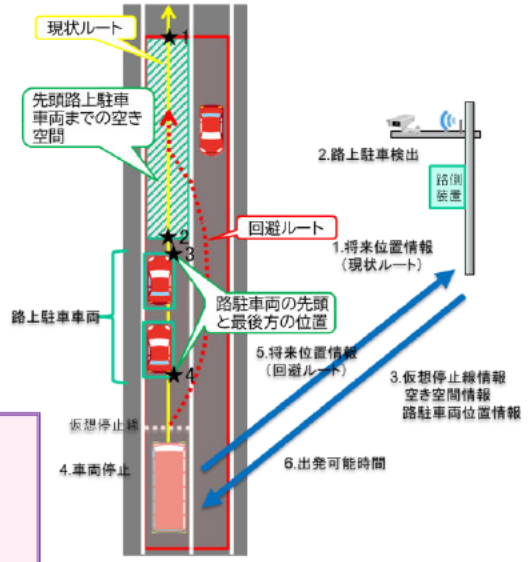
必要なし　必須

実証で検知対象としているもの

柏の葉実証実験概要:路上駐車回避支援(A地点)　【日本信号】

■システム概要

1. 自動運転車両は、将来位置情報(現状ルート)を路側装置に送信する。
2. 路側センサは、路上駐車車両を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
3. 路側装置は、自動運転車両からの将来位置情報(現状ルート)と路側センサの物標情報から、仮想停止線情報・空き空間情報(右図★1,★2)路駐車両位置情報(右図★3,★4)を生成し、自動運転車両に送信する。
4. 自動運転車両は、仮想停止線で停止する。
5. 自動運転車両は、回避ルートを生成し、路側装置に送信する。
6. 路側装置は、自動運転車両からの将来位置情報(回避ルート)と路側センサからの物標情報から、出発可能時間を生成する。
7. 自動運転車両は、出発可能時間をもとに仮想停止線から出発する。



1車線の場合

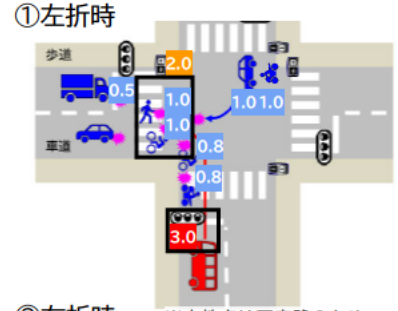
【課題】
- 建柱場所の制約により、センサ設置位置の関係で駅から流入してくる車両(対向車線側)が十分に検出できない。
- 検出できる範囲でサービスを実施すると、路駐監視エリアが極めて狭くなる。(回避ルート通過時間による)
- 現時点では、路駐監視エリア内の空き空間情報と路駐車両位置情報を自動運転車両へ送信し、TOR判断へ利用。

● 信号交差点１　：信号情報連携、右左折支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース1:信号交差点の右左折

①左折時



②右折時

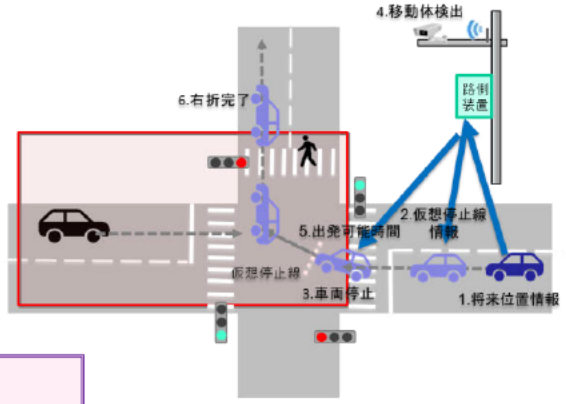
※本地点は丁字路のため、対向車両は対象外

柏の葉実証実験概要:信号情報連携(信号交差点1)、右左折支援(B地点)　【日本信号】

■システム概要

1. 自動運転車両は、将来位置情報を路側装置に送信する。
2. 路側装置は、交差点内の仮想停止線情報を自動運転車両に送信する。
3. 自動運転車両は、仮想停止線で減速・停止動作を行う。
4. 路側センサは、対向直進車両や右左折折先の横断歩道等における移動体を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
5. 路側装置は、信号情報、路側センサからの物標情報と自動運転車両からの将来位置情報に基づき、出発可能時間を生成する。
6. 自動運転車両は、出発可能時間をもとに仮想停止線から出発する。

※本地点は丁字路のため、対向車両は対象外



右折の場合

【課題】

- 現時点では、右左折先の監視エリアは、横断歩道上及び横断歩道脇としている。
- 支援対象として、交差点に向かう歩行者及び自転車についても物標情報として必要性があるケースにおいては、監視エリアを拡大(センサ検出範囲の拡大)する必要がある。

● バス停後方の死角　：バス停出発支援

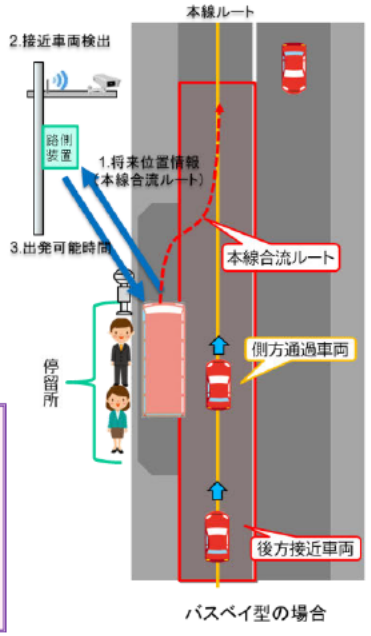
自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース6:
バス停からの本線合流

柏の葉実証実験概要:バス停出発支援(C地点)　【日本信号】

■システム概要

1. 自動運転車両は、将来位置情報(本線合流ルート)を路側装置に送信する。
2. 路側センサは、自動運転車両の後方車両及び側方通過車両を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
3. 路側装置は、自動運転車両からの将来位置情報(本線合流ルート)と路側センサからの物標情報から、出発可能時間を生成する。
4. 自動運転車両は、出発可能時間をもとに停留所から出発する。



バスベイ型の場合

【課題】
- 横断歩道や交差点近くに設置されているバス停(危険バス停)の場合は、停車中のバス前方または後方から飛び出してくる可能性のある歩行者や自転車の通知も要検討。(対自車外)
- 停留所構造がストレート型のタイプは、本実証では未実施。ストレート型の場合は、追い越し車両(対向車線走行)の検討が必要。

● 路上駐車多発　：路上駐車回避支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース2:
路肩の駐停車車両の回避

実証箇所は片側2車線道路のため、対向車線の情報は対象外

必要性:5段階

0 1 2 3 4

必要なし　必須

実証で検知対象としているもの

柏の葉実証実験概要:路上駐車回避支援　【コイト電工】

自動運転バスの制御（路上駐車検知）※先進モビリティ

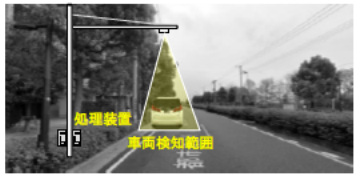
自動運転バスでは路上駐車検知情報をもとに車両走行ルートを変更する

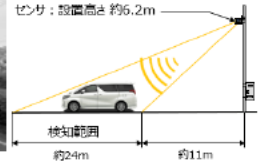
【インフラ情報がない場合】
路上駐車車両手前で停止、もしくは運転士のオーバーライドにより駐車車両を回避

【インフラ情報がある場合】
新しい走行ルートを生成し、路上駐車車両を回避

路上駐車検出情報提供概要

実験概要
・自動運転バスの死角範囲に存在する車両を検知し、通信機を介して自動運転バスの車載機へ検知結果を通知。
・自動運転バスは検知結果を基に車線変更等の回避行動がとれるように制御を行う。

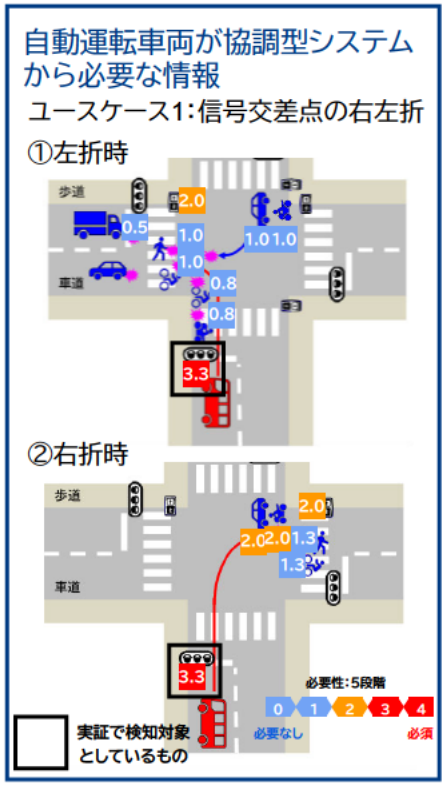




- **キャンパスから駅に向かうルートを対象。**
- **車両の速度と車幅と車長を検知。**
- **LTE通信で、直前の交差点の右折手前で通信。**
- **駐停車車両がある場合、自動運転車は直前の交差点を右折し本路線へ進入後右車線を走行、検知範囲が終了後に左車線へ移動する仕様。**

【課題】
□ 車両のみ検知して情報提供。センサ自体は歩行者検知可能なものであるが現時点では処理でデータを読み捨て

● 信号交差点２　：信号情報連携　※同交差点にて右折支援（IHI）も実施

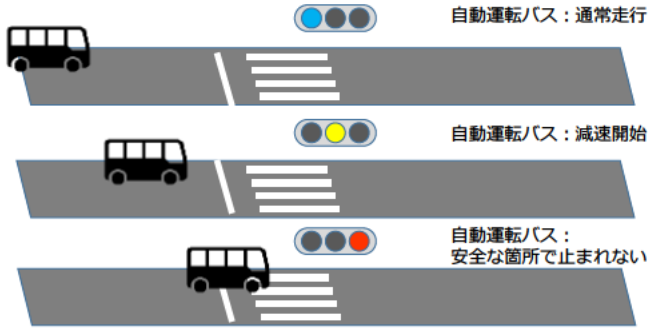


柏の葉実証実験概要:信号情報連携　【コイト電工】

自動運転バスの制御（信号連携）※先進モビリティ

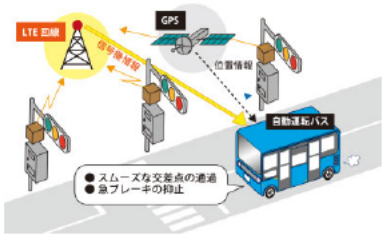
自動運転バスでは信号情報を停止、発進に使用

【信号連携がない場合】
青信号から黄信号に変わると自動制動を開始するため、タイミングによっては赤信号で通過する場合あり。



信号情報提供（② 交差点（柏-353））

実験概要
・自動運転バスに信号機情報(表示色・表示時間)を提供し、交差点におけるバスの安全走行(通過・停止)を支援



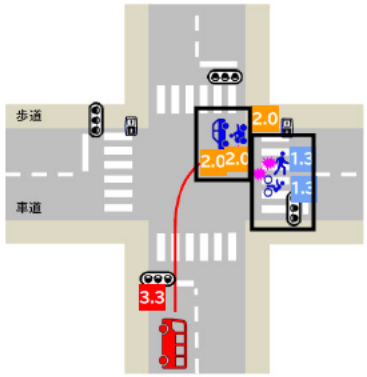
・両方向にて信号情報を提供

● 信号交差点２　：右折支援　※同交差点にて信号情報連携支援（コイト電工）も実施

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース1:信号交差点の右左折

②右折時



必要性:5段階

0 1 2 3 4

必要なし　必須

実証で検知対象としているもの

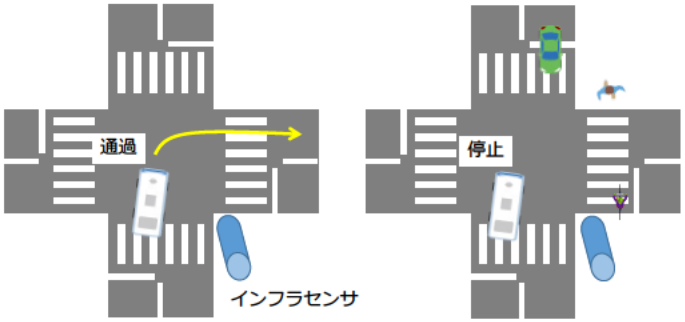
柏の葉実証実験概要:右折支援　【IHI】

自動運転バスの制御（右折支援）※先進モビリティ

自動運転バスでは右折支援情報をもとに交差点通過、停止→発進を行う

①インフラからの情報により対向車両、横断者等がない場合
→自動運転バスは交差点を通過

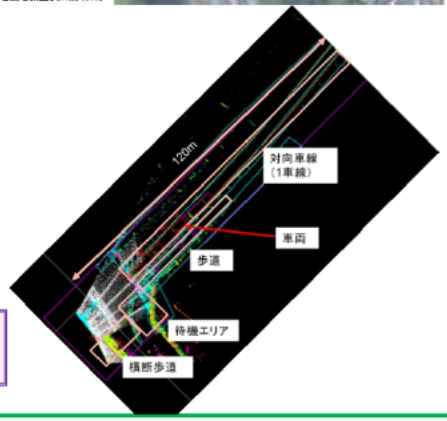
②インフラからの情報により対向車両、横断者等がある場合
→自動運転バスは対向車等の情報がなくなるまで停止



- 対向車線は普通車、大型車(トラック、バスの分類はなし)、二輪を検知
- 横断歩道周辺は歩行者、自転車を検知
- 位置と速度と物体サイズを出力

【課題】
□ 実道上での検知性能を実証走行で確認(手動介入の状況で分析)

柏の葉5丁目交差点　画角・検知エリア

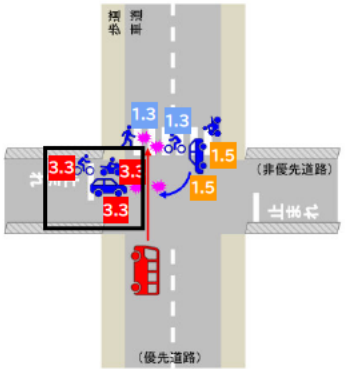


● 無信号交差点　：側道飛び出し検知支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース3：見通しの悪い無視号交差点の通過

①優先道路走行時



必要性：5段階

0 1 2 3 4

必要なし　必須

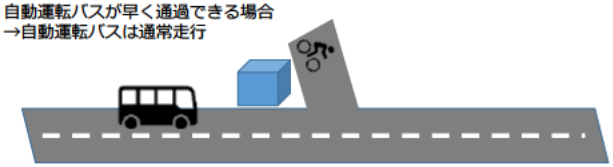
実証で検知対象としているもの

柏の葉実証実験概要：側道飛び出し検知支援【コイト電工】

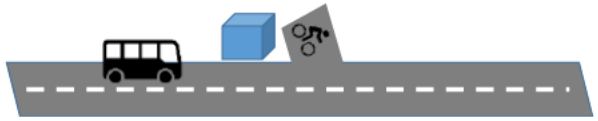
自動運転バスの制御（飛び出し検知）※先進モビリティ

自動運転バスでは飛び出し検知情報をもとに車両速度を制御する

①インフラからの情報により飛び出し車両等がない、もしくは当該地点を検知対象より自動運転バスが早く通過できる場合
→自動運転バスは通常走行



②インフラからの情報により飛び出す可能性のある車両等があり、当該地点に検知対象より自動運転バスが同時、もしくは遅く到着する場合
→自動運転バスは徐行、もしくは安全に停止できる速度まで減速



- 検知対象は非優先道路の自動車、二輪車（自転車含む）、歩行者。
- 交差点の歩道部分も検知し飛出し検知情報として通知。

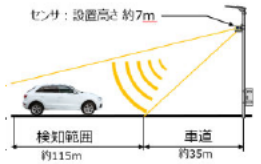
【課題】
□ 隠ぺい(オクルージョン)が発生した場合などの検知については今後改良を実施。

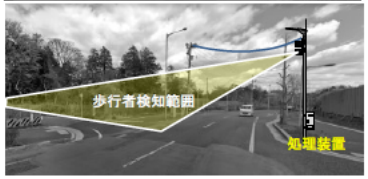
設置インフラ（ F地点：飛出し検知）

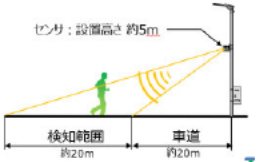
側道飛出検知情報提供概要

建柱し設置したセンサ

実験概要
・自動運転バスの死角方向から接近する車両または歩行者を検知し、通信機を介して自動運転バスへ検知結果を通知。
・自動運転バスは検知結果を基に減速、停止等の衝突回避行動がとれるように制御を行う。

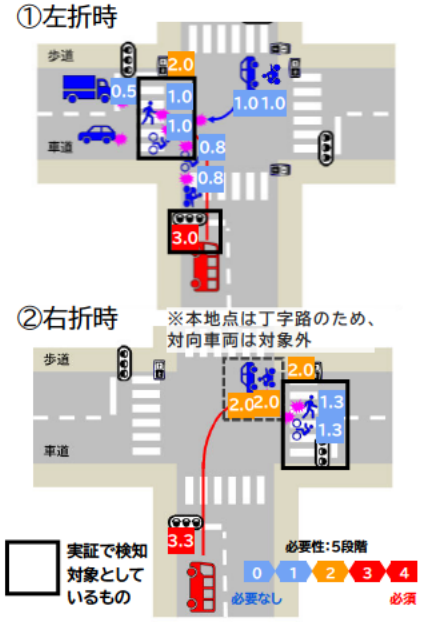






● 信号交差点３　：信号情報連携、右左折支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

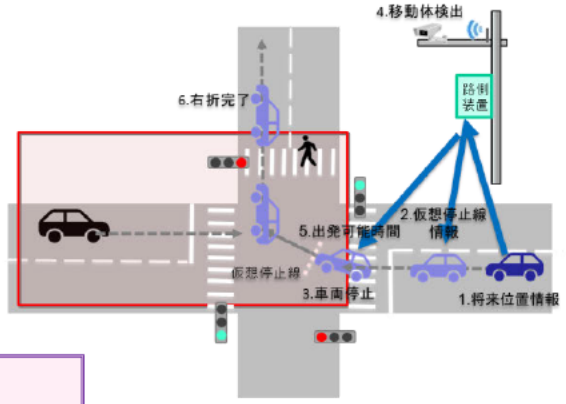


柏の葉実証実験概要:信号情報連携(信号交差点3)、右左折支援(G地点)　【日本信号】

■システム概要

1. 自動運転車両は、将来位置情報を路側装置に送信する。
2. 路側装置は、交差点内の仮想停止線情報を自動運転車両に送信する。
3. 自動運転車両は、仮想停止線で減速・停止動作を行う。
4. 路側センサは、対向直進車両や右左折折先の横断歩道等における移動体を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
5. 路側装置は、信号情報、路側センサからの物標情報と自動運転車両からの将来位置情報に基づき、出発可能時間を生成する。
6. 自動運転車両は、出発可能時間をもとに仮想停止線から出発する。

※本地点は丁字路のため、対向車両は対象外



右折の場合

【課題】
- 現時点では、右左折先の監視エリアは、横断歩道上及び横断歩道脇としている。
- 支援対象として、交差点に向かう歩行者及び自転車についても物標情報として必要性があるケースにおいては、監視エリアを拡大(センサ検出範囲の拡大)する必要がある。
- センサ設置位置としては当該場所の照明柱への設置が望ましいが、照明柱の強度不足により車両灯器アーム反対側に設置。

● 無信号横断歩道　：横断歩道歩行者検知支援

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース3:
無信号交差点の通過と同等

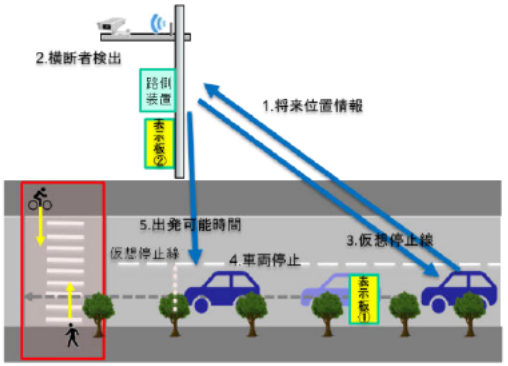
柏の葉実証実験概要:横断歩道歩行者検知支援(H地点)　【日本信号】

■システム概要

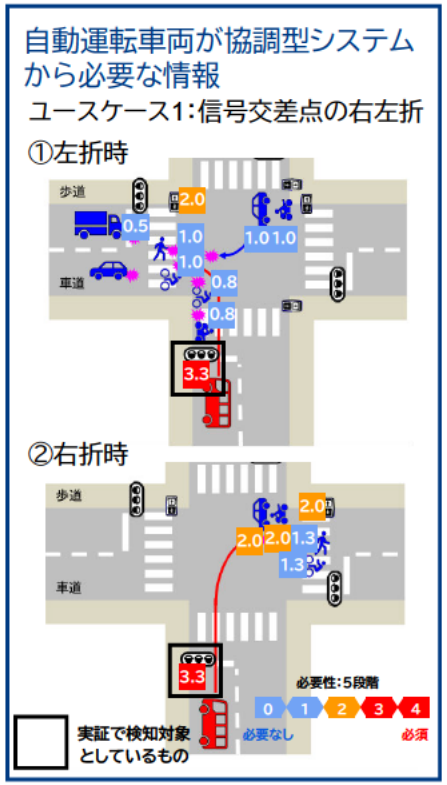
1. 自動運転車両は、将来位置情報を路側装置に送信する。
2. 路側センサは、歩行者(または自転車)を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
3. 路側装置は、横断待ち(または横断中)の歩行者等がいると判定した場合、仮想停止線情報を生成し、自動運転車両に送信する。
4. 自動運転車両は、仮想停止線で停止する。
5. 路側装置は、横断待ち(または横断中)の歩行者等がいないと判定した場合、現在の時刻を出発可能時間として、自動運転車両に送信する。
6. 自動運転車両は、出発可能時間をもとに仮想停止線から出発する。

※現時点では表示部は未設置

【課題】
- □ 横断歩行者の横断意思の検知
- □ 自動運転車両の要求タイミング(情報提供タイミング)
- □ 視覚手段による通知と内容(存在情報、横断要請通知 等)



● 信号交差点４　：信号情報連携　※同交差点にて右折支援（IHI）も実施

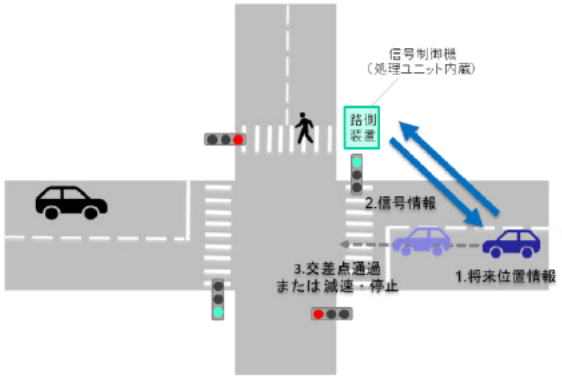


柏の葉実証実験概要:信号情報連携(信号交差点4)【日本信号】

■システム概要

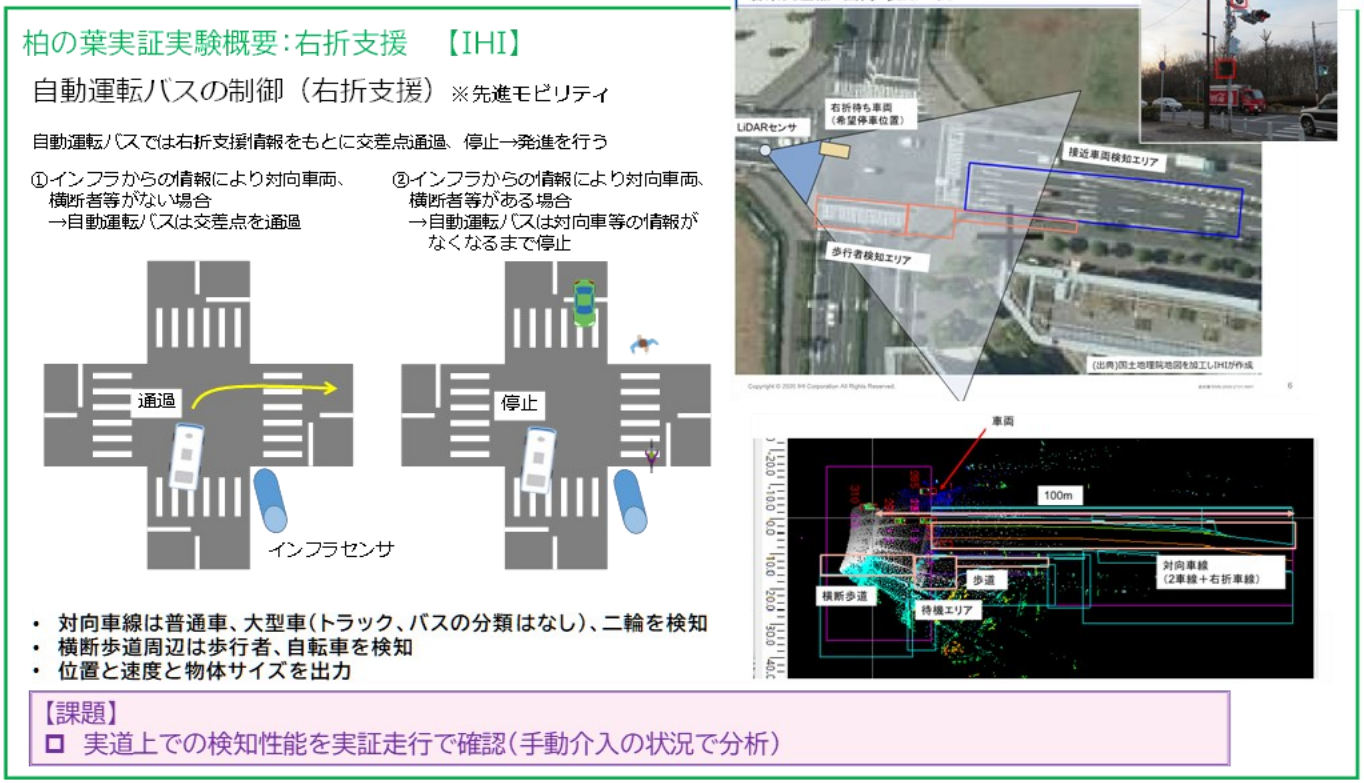
1. 自動運転車両は、将来位置情報を路側装置に送信する。
2. 路側装置は、当該交差点の信号情報(現在灯色、残秒数)を自動運転車両に送信する。
3. 自動運転車両は、信号情報をもとに交差点を通過または減速・停止動作を行う。

全方路の信号情報を自動運転車両に通知



【課題】
- 実証実験で整備した交通信号制御機の仕様化、都道府県警への寄贈
- 信号柱の共用(センサー機器の取付け)

● 信号交差点４　：右折支援　※同交差点にて信号情報連携（日本信号）も実施

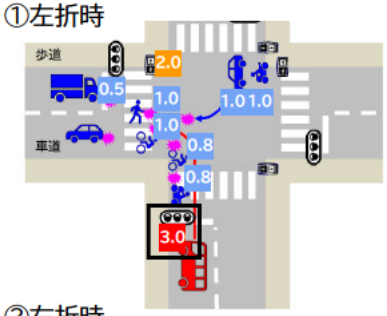


● 信号交差点５　：信号情報連携　※同交差点にて右折支援（日本信号）も実施

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース1:信号交差点の右左折

①左折時



②右折時

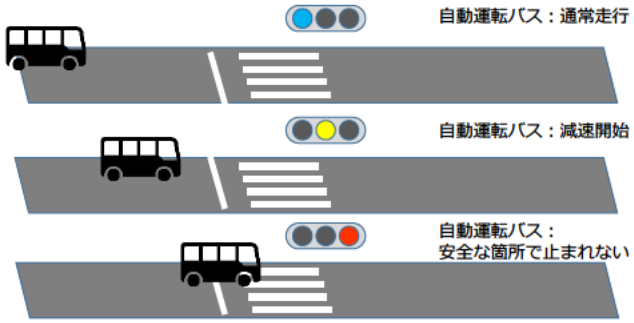
実証で検知対象としているもの

柏の葉実証実験概要:信号情報連携　【コイト電工】

自動運転バスの制御（信号連携）※先進モビリティ

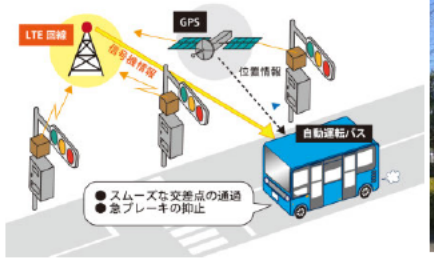
自動運転バスでは信号情報を停止、発進に使用

【信号連携がない場合】
青信号から黄信号に変わると自動制動を開始するため、タイミングによっては赤信号で通過する場合あり。



信号情報提供（⑤　交差点（柏-314））

実験概要
・自動運転バスに信号機情報(表示色・表示時間)を提供し、交差点におけるバスの安全走行(通過・停止)を支援



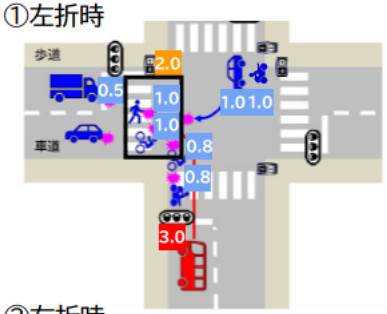
- **両方向にて信号情報を提供**

● 信号交差点５　：右左折支援　※同交差点にて信号情報連携（コイト電工）も実施

自動運転車両が協調型システムから必要な情報

ユースケース1:信号交差点の右左折

①左折時



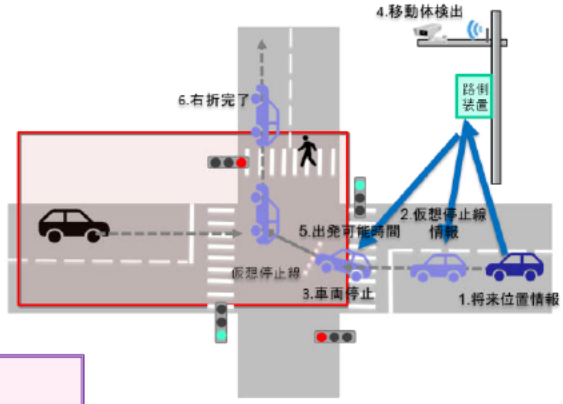
②右折時

柏の葉実証実験概要:右左折支援(J地点)　【日本信号】

■システム概要

1. 自動運転車両は、将来位置情報を路側装置に送信する。
2. 路側装置は、交差点内の仮想停止線情報を自動運転車両に送信する。
3. 自動運転車両は、仮想停止線で減速・停止動作を行う。
4. 路側センサは、対向直進車両や右左折折先の横断歩道等における移動体を検出し、路側装置に物標情報を送信する。
5. 路側装置は、路側センサからの物標情報と自動運転車両からの将来位置情報に基づき、出発可能時間を生成する。
6. 自動運転車両は、信号情報と路側装置からの出発可能時間をもとに仮想停止線から出発する。

※本地点は信号情報と右左折支援情報の提供元(メーカ)が異なるため、信号情報と併せた出発は車両側で判断



右折の場合

【課題】

- 現時点では、右左折先の監視エリアは、横断歩道上及び横断歩道脇としている。
- 支援対象として、交差点に向かう歩行者及び自転車についても物標情報として必要性があるケースにおいては、監視エリアを拡大(センサ検出範囲の拡大)する必要がある。
- 交差点規模により、自動運転車両の右折通過時間を多く要する場合は、対向車両の監視エリアを拡大する必要がある。

③ CooL4 としての今後のセンサー追加や実証内容の追加の必要性

柏の葉における部分実証実験において、サービスカーが必要な情報に対する対応状況及び現段階での課題、また他箇所への展開に向けた課題を整理した。

表 77　柏の葉におけるユースケースと必要な情報への対応状況

ユースケース	必要な情報への対応状況	実施箇所での課題	他箇所への展開の課題
1：信号交差点の右左折（①左折時／右折時）	○ 信号のサイクル情報 ○ 右左折先横断歩道周辺の歩行者 ○ 右左折先横断帯周辺の自転車 ○ 右折時：対向車線の二輪車 ○ 右折時：対向車線の自動車	右左折先の監視エリアは横断歩道上及び横断歩道脇としており、交差点に向かう歩行者及び自転車の検知の必要性があるケースにおいては、監視エリアの拡大が必要 ⇒センサー検出範囲の拡大	交差点規模により、自動運転車両の右折通過時間を多く要する場合は、対向車両の監視エリアの拡大が必要
2：路肩の駐停車車両の回避	○ 路肩の駐停車車両 △ 回避するための走行位置 × 車道の歩行者	駐停車車両の先の歩行者情報は未提供 ⇒検知センサーの追加や、既存センサーで検知できる場合は提供情報を追加	センサー設置位置の関係で対向車線側が十分に検出できず、回避ルート通過時間を踏まえると、路駐監視エリアが極めて狭くなる ⇒対向車線の状況を十分に把握できるようにセンサー設置が必要
3：見通し悪い無信号交差点の右左折（①優先道路走行時）	○ 非優先道路の自動車 ○ 非優先道路の二輪車、自転車 ○ 非優先道路の歩行者	オクルージョンが発生した場合の検知 横断歩行者の横断意思の検知 視覚手段による通知と内容（存在情報、横断要請通知 等）	同左
4：バス停からの本線合流	○ 自動運転車両の後方車両 ○ 自動運転車の側方通過車両	横断歩道近くのバス停（危険バス停）の場合は、停車中のバス前方／後方から飛び出しの可能性のある歩行者や自転車の通知も要検討	停留所構造がバスベイ型での実施であり、ストレート型場合は、追い越し車両（対向車線走行）の検討が必要

【共通課題】

- 信号柱等の共用
- 実証実験で整備した機器の仕様化
- 管理者への引き渡し
- 実道上での検知性能を実証走行で確認（手動介入の状況で分析）

(3) 自動運転のストラテジー案の整理

i) 自動運転のストラテジー案の検討（信号交差点右折時）

自動運転レベル 4 移動サービスの実現に向けて、実現する ODD 内で自律システム機能の限界を明確にし、その課題解決に向けたインフラ情報の活用のあり方や、要求仕様の検討を行った。

自動運転のストラテジー案の検討にあたっては、テーマ 2 で実施しているひたち BRT への協調型システム導入に向けての自動運転ストラテジーの検討内容を踏まえて検討した。

具体的なインフラの仕様検討に繋がるように、まずは協調型システムのニーズが高い信号交差点の右折を対象に、詳細な自動走行制御ストラテジーを整理するものとした。

- 検討手順
  1) 信号交差点右折のシーンにおける走行シナリオの洗い出しを実施
  2) 各走行シナリオの時間軸ごとに、走行制御ストラテジーを明確化（安全に走行制御される ego ビークルの時系列的な動きを具体化）
  3) 想定した走行制御ストラテジーに必要な認識情報や領域を明確化
  4) 必要な認識情報に関し、自律システムがカバー出来ない範囲を踏まえ、求められるインフラ情報と要求仕様を整理

表 78 走行ユースケース

No.	走行ユースケース	走行制御ストラテジー
1	A	【基本】交差点進入停止→対向車なし、横断歩道付近に横断者等なし、進入スペースありを判断→発車、交差点内を徐行
2	B	右折車両がなくなる／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ない／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ないことを確認し、基本走行
3	C	信号変化まで交差点中心で停止
4	D	交差点進入前に停止
5	A’	左折車がなくなった後に基本走行を行う
6	D’	交差点進入前に停止
7	A	【基本】交差点進入停止→対向車なし、横断歩道付近に横断者等なし、進入スペースありを判断→発車、交差点内を徐行
8	B	右折車両がなくなる／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向 2 輪車が来ない／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向 2 輪車が来ないことを確認し、基本走行
9	C	信号変化まで交差点中心で停止
10	D	交差点進入前に停止
11	E	前方車両が右折後、交差点進入後基本走行

No.	走行ユースケース	走行制御ストラテジー
12	F	横断者がいなくなれば基本走行
13	G	交差点進入前に停止
14	F	横断者がいなくなれば基本走行
15	G	交差点進入前に停止
16	F'	自転車がいなくなれば基本走行
17	G'	交差点進入前に停止
18	C’	信号変化まで交差点中心で停止
19	F'	自転車がいなくなれば基本走行
20	G'	交差点進入前に停止
21	H	交差点中心で停止
22	H	交差点中心で停止
23	H	交差点中心で停止
24	H	交差点中心で停止

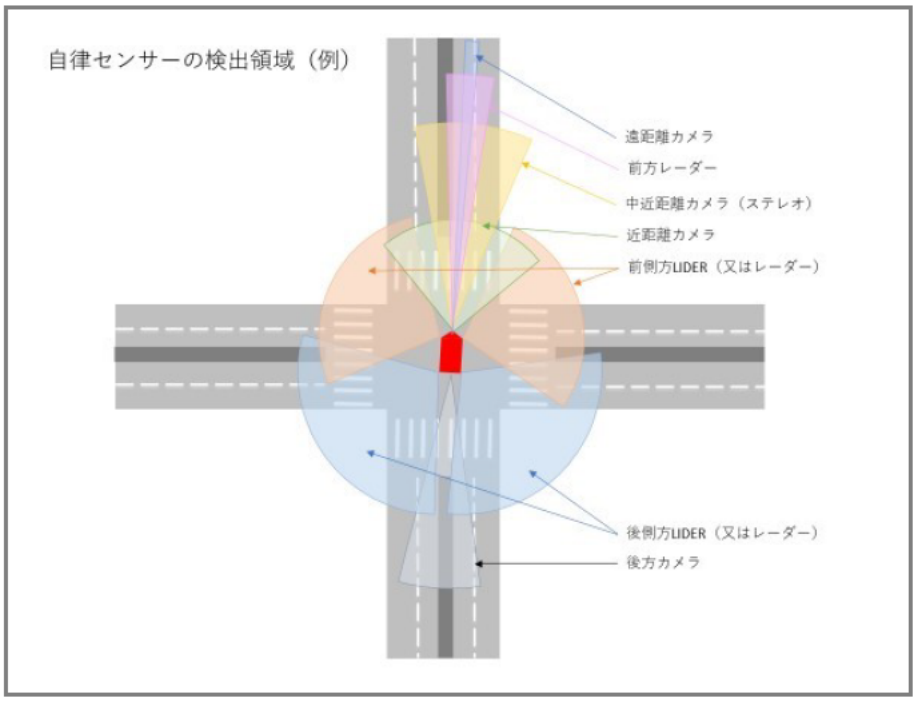


図 167　自律センサーの検出領域（例）

表 78 に示した走行ユースケースをもとに、信号交差点の右折時について、さらに詳細な自動走行制御ストラテジーを検討した。

表 79 信号交差点・右折時の自動走行制御ストラテジー（案）

No.,	関係する交通参加者	交通参加者の振る舞い	周辺状況	走行ユースケース	自律認識による走行制御ストラテジー	自律での認識仕様	インフラ情報による認識仕様	インフラ情報を用いた走行制御ストラテジー
1	対向直進車両	直進（制限速度＋〇〇km/h）	遮蔽なし	A	【基本】交差点進入停止→対向車なし、横断歩道付近に横断者等なし、進入スペースありを判断→発車、交差点内を徐行	前方 140m、前側方・後側方 80m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	自車センサーで対応	―
2			対向車線の視界不良 ・対向右折車遮蔽あり ・反対車線カーブあり ・反対車線下り坂あり 等	B	右折車両がなくなる／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ない／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ないことを確認し、基本走行	他車両に隠れた車両、2 輪車等は検知不可能	死角がフリースペースか否かの情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→基本走行
3			反対車線渋滞中	C	信号変化まで交差点中心で停止	反対車線の車両等が停止していることは検知可能であるが、渋滞であるかの判断は困難	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に車両がいない情報を受信→発車→基本走行
4			右折先車線渋滞中	D	交差点進入前に停止	右折先渋滞については交差点進入前に片側 1 車線道路では可能であるが、2 車線道路で手前車線の車両に隠れる場合は検知不可能	死角がフリースペースか否かの情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→基本走行
5	対向左折車	左折	遮蔽なし	A’	左折車がなくなった後に基本走行を行う	対向車線の車両は検知可能であるが、左折するかの判断は不可能	自車センサーで対応	―

No.,	関係する交通参加者	交通参加者の振る舞い	周辺状況	走行ユースケース	自律認識による走行制御ストラテジー	自律での認識仕様	インフラ情報による認識仕様	インフラ情報を用いた走行制御ストラテジー
6			右折先車線渋滞中	D'	交差点進入前に停止	右折車両によって隠されている場合は検知不可能	死角がフリースペースか否かの情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→対向車なしを受信、フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→基本走行
7	対向直進2輪車	直進（制限速度＋〇〇km/h）	遮蔽なし	A	【基本】交差点進入停止→対向車なし、横断歩道付近に横断者等なし、進入スペースありを判断→発車、交差点内を徐行	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2輪車、人を検知可能	自車センサーで対応	ー
8			対向車線の視界不良 ・対向右折車遮蔽あり ・反対車線カーブあり ・反対車線下り坂あり 等	B	右折車両がなくなる／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向2輪車が来ない／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向2輪車が来ないことを確認し、基本走行	他車両に隠れた車両、2輪車等は検知不可能	死角がフリースペースか否かの情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→基本走行
9			反対車線渋滞中	C	信号変化まで交差点中心で停止	反対車線の車両等が停止していることは検知可能であるが、渋滞であるかの判断は困難 渋滞脇を走行する2輪車は検知困難	渋滞車両に隠れた2輪車の存在有無の情報　情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に2輪車がいない情報を受信→発車→基本走行
10			右折先車線渋滞中	D	交差点進入前に停止	右折先渋滞については交差点進入前に片側1車線道路では可能であるが、2車線道路で手前車線の車両に隠れる場合は検知不可能	死角がフリースペースか否かの情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→対向2輪車なし、フリースペース情報を受信→発車→基本走行
11			自車前方に遮蔽する車両あり	E	前方車両が右折後、交差点進入後基本走行	他車両に隠れた車両、2輪車等は検知不可能	渋滞車両に隠れた2輪車の存在有無の情報　情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	前方車発進後発車→交差点中心で停止→対向2輪車なし情報を受信→発車→基本走行

No.,	関係する交通参加者	交通参加者の振る舞い	周辺状況	走行ユースケース	自律認識による走行制御ストラテジー	自律での認識仕様	インフラ情報による認識仕様	インフラ情報を用いた走行制御ストラテジー
12	右折先横断歩道の横断歩行者	対向方向に歩行（速度〇〇km/h）	遮蔽なし	F	横断者がいなくなれば基本走行	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	自車センサーで対応	―
13			右折先渋滞中	G	交差点進入前に停止	渋滞車両が横断歩道を隠していなければ検知可能	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→横断歩道に歩行者なし、フリースペース情報を受信→発車→基本走行
14		並走歩行に歩行（速度〇〇km/h）	遮蔽なし	F	横断者がいなくなれば基本走行	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	自車センサーで対応	―
15			右折先渋滞中	G	交差点進入前に停止	渋滞車両が横断歩道を隠していなければ検知可能	渋滞車両、構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→横断歩道に歩行者なし、フリースペース情報を受信→発車→基本走行
16	右折先横断歩道の横断自転車	対向方向に走行（速度〇〇km/h）	遮蔽なし	F'	自転車がいなくなれば基本走行	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	自車センサーで対応	―
17			右折先渋滞中	G'	交差点進入前に停止	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	渋滞車両、構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→横断歩道に自転車なし、フリースペース情報を受信→発車→基本走行
18			反対車線渋滞中	C'	信号変化まで交差点中心で停止	他車両に隠れた車両、2 輪車等は検知不可能	渋滞車両、構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→遮蔽部に 2 輪車がいない情報を受信→発車→交差点中心で停止→横断歩道に自転車なし情報を受信→発車→基本走行

No.,	関係する交通参加者	交通参加者の振る舞い	周辺状況	走行ユースケース	自律認識による走行制御ストラテジー	自律での認識仕様	インフラ情報による認識仕様	インフラ情報を用いた走行制御ストラテジー
19	右折先横断歩道近傍の歩行者	並走歩行に走行（速度〇〇km/h）	遮蔽なし	F'	自転車がいなくなれば基本走行	前方〇〇m、前側方・後側方〇〇m程度で車両、2 輪車、人を検知可能	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	ー
20			右折先渋滞中	G'	交差点進入前に停止	他車両に隠れた車両、2 輪車等は検知不可能	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→交差点中心で停止→横断歩道に自転車なし、フリースペース情報を受信→発車→基本走行
21		右折先歩道近傍に滞留	横断意図不明	H	交差点中心で停止	構造物等に隠れた歩行者は検知不可能	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に歩行者がいない情報を受信、横断歩道に歩行者がいないことを確認→発車→基本走行
22		右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	H	交差点中心で停止	構造物等に隠れた歩行者は検知不可能	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に歩行者がいない情報を受信、横断歩道に歩行者がいないことを確認→発車→基本走行
23	右折先横断歩道近傍の自転車	右折先歩道近傍に滞留	横断意図不明	H	交差点中心で停止	構造物等に隠れた自転車は検知不可能	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に自転車がいない情報を受信、横断歩道に歩行者、自転車がいないことを確認→発車→基本走行
24		右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	H	交差点中心で停止	構造物等に隠れた自転車は検知不可能	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報 情報の精度は車載センサー同等の信頼性を担保する事	交差点中心で停止→遮蔽部に自転車がいない情報を受信、横断歩道に歩行者、自転車がいないことを確認→発車→基本走行

ii） 自動運転のストラテジー案の再整理

インフラ情報が必要な各パターンにおいて、情報が必要なシーン別に必要なインフラ情報を整理し、それを用いた走行戦略案（走行ストラテジー案）を整理した。これをベースに自律センサーがカバーできない領域を踏まえた自律・協調の機能分担を整理する。

- 信号交差点右折時の交差点進入時および交差点内待機時において、対向車の死角により、自律センサーがカバー出来ない領域を協調型システムが分担。
- 協調型システムで車両に提供するインフラ情報は、無線を使用して車両に通達し、その情報に基づき、自動走行車両の制御を行う。
- これら一連の検討結果を仕様素案としてとりまとめる。

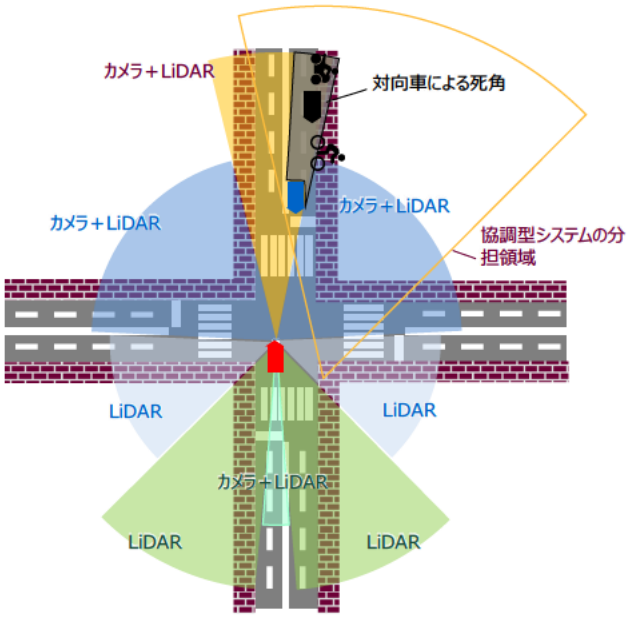


図 168　自律センサーがカバーできない領域例①

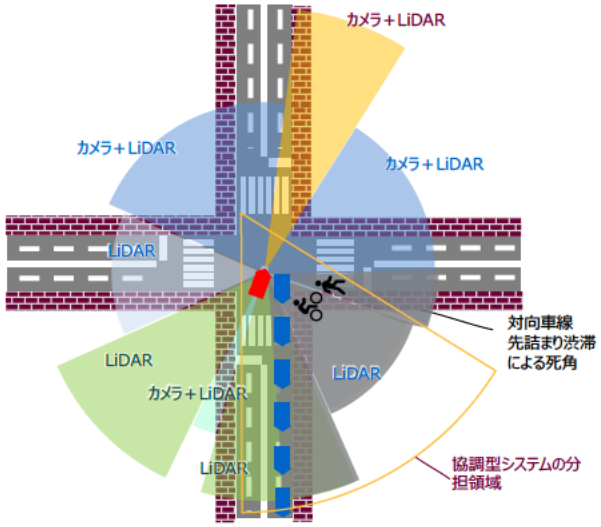


図 169　自律センサーがカバーできない領域例②

自動走行戦略とは、車両の自動走行時の振る舞いを示しており、走行ユースケース毎に異なるものである。自律認識のみによる自動走行戦略を踏まえ、インフラ情報との協調によって、より安全かつ円滑な自動走行戦略の可能性を検討する。

	関係する交通参加者	交通参加者の振る舞い	周辺状況	走行UC	自律認識による自動走行戦略	インフラ情報を用いた自動走行戦略
1	対向直進車両	直進（制限速度＋〇〇km/h）	遮蔽なし	①	【基本】交差点進入停止→対向車なし、横断歩道付近に横断者等なし、進入スペースありを判断→発車、交差点内を徐行	ー
2			対向車線の視界不良 ・対向右折車遮蔽あり ・反対車線カーブあり ・反対車線下り坂あり 等	②	右折車両がなくなる／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ない／インフラで死角車両がないことを確認し、基本走行 対向車が来ないことを確認し、基本走行	交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→基本走行
3			反対車線渋滞中	③	信号変化まで交差点中心で停止	交差点中心で停止→遮蔽部に車両がいない情報を受信→発車→基本走行
4			右折先車線渋滞中	④	交差点進入前に停止	交差点手前で停止→フリースペース情報を受信→発車→ 交差点中心で停止→フリースペース情報を受信→発車→ 基本走行

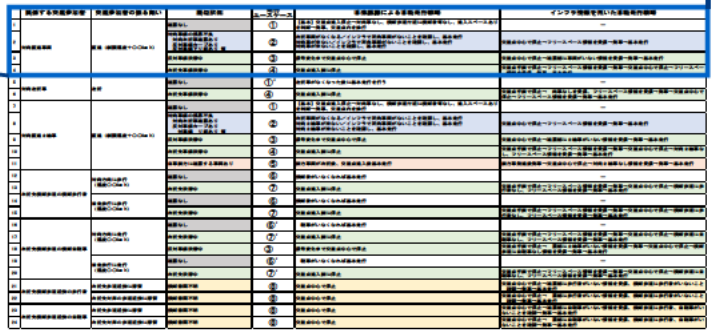


図 170　ユースケースにおける自動走行戦略案（信号交差点右折時）

自動走行戦略を考える上で、以下の 6 パターンに分けて整理している。

なお、表 80 に示す No.1～4 を優先パターン（次ページ以降説明）とし、No.3 の信号交差点右折を最重要課題として検討する。

表 80　自動走行戦略におけるパターン分類

No.	パターン	情報が必要なシーン	インフラ情報 （自律認識の限界を踏まえ必要となる情報）
1	信号交差点への進入・通過	・信号判断時 （停止線：約〇m 手前）	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報
		・停止線からの発進時	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報
2	信号交差点の右左折 (① 左折時)	・交差点進入時	・車両用信号現示情報 ・左後方の二輪車・自転車の有無・位置情報 ・対向右折車に隠れる二輪車の有無・位置情報
		・交差点内 （横断歩道手前）	・左折先横断中の自転車・歩行者の有無・位置情報 ・左折先を横断しようとする自転車・歩行者の有無・位置情報
3	信号交差点の右左折 (② 右折時)	・交差点進入時	・車両用信号現示情報
		・交差点中央からの発進時	・対向直進自動車・二輪車の有無・位置・速度情報 ・対向車に隠れる自動車・二輪車の有無・位置・速度情報（フリースペース情報） ・右折先横断中の自転車・歩行者の有無・位置情報 ・右折先を横断しようとする自転車・歩行者の有無・位置情報
4	路肩駐停車車両の回避	・駐停車車両の有無の確認時	・駐停車車両の有無 ・駐停車車両台数（空き空間情報） ・対向直進自動車・二輪車・自転車の有無・位置情報（片側 1 車線道路） ・対向車線・駐車車両の有無・駐車車両台数（片側 1 車線道路：空き空間情報）
		・駐停車車両の回避時	・駐車車両の陰から飛び出す乱横断歩行者の有無・位置情報
5	見通しの悪い無信号交差点の通過（優先道路走行時）	・交差点進入時	・非優先道路を走行する自動車・二輪車・自転車の有無・位置・速度情報 ・横断歩道周辺の自転車・歩行者の有無・位置情報 ・対向車線で右折待機する自動車・二輪車の有無・位置情報
6	バス停からの本線合流	・バスベイ発進時	・バスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車の有無・位置・速度情報

① 信号交差点への進入・通過

- 信号交差点への進入・通過時には、自律センサーのみでは「西日や視認性阻害（街路樹など）により信号灯火が確認しにくい」等の仮説を設定した上で、青現示時間内での交差点の通過が不可能であれば減速し、停止線の手前で停止するなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

信号判断時（停止線：約OOm手前）

自律認識に加え インフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1) 西日や視認性阻害（街路樹など）により、信号灯火が確認しにくい状況での信号現示を確認。	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報	・青現示時間内での交差点の通過が不可能であれば減速し、停止線もしくは前方車両後部の手前で停止。

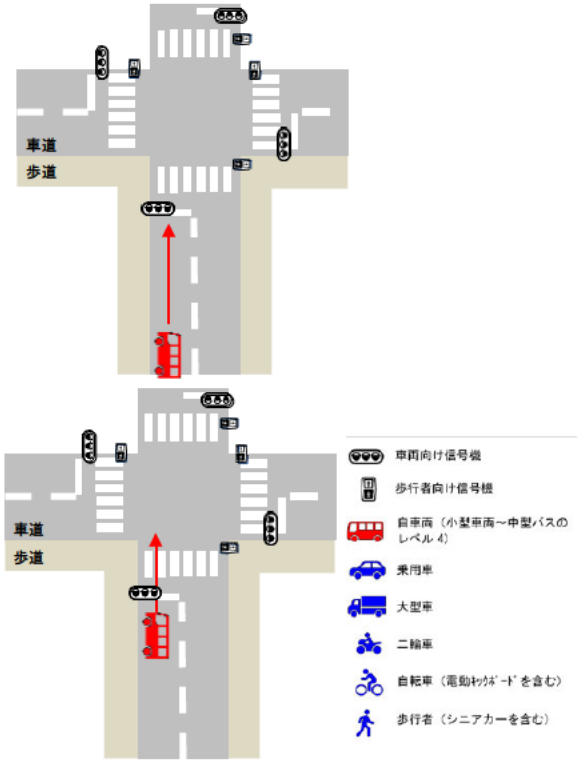
※この他に確認事項として、右左折時の車両有無・車線変更の判断などがあるが、これは自律型システムにて判断する。

停止線からの発進時

自律認識に加え インフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1)西日や視認性阻害（街路樹など）により、信号灯火が確認しにくい状況での信号現示を確認。	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報	・青現示とともに発進し、交差点を通過。

※この他に確認事項として、手前の横断歩行者・自転車有無確認などがあるが、これは自律型システムにて判断する。

信号交差点通過



② 信号交差点の右左折（①左折時）

- 信号交差点の左折時には、自律センサーのみでは「後方車両が死角になり左路側帯すり抜け二輪車・自転車を確認しにくい」等の仮説を設定した上で、同一車線を走行する左後方の二輪車・自転車が確認できた場合には先に交差点に進入してもらったうえで発進を判断するなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

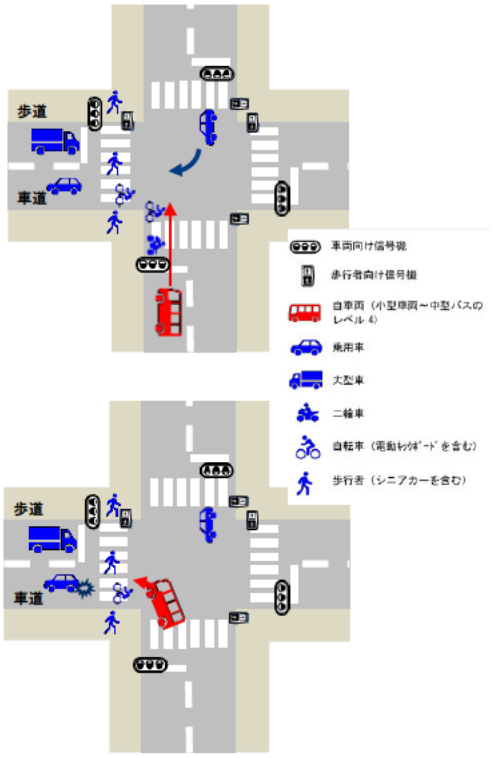
交差点進入時

自律認識に加えインフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1)西日や視認性阻害（街路樹など）により、信号灯火が確認しにくい状況での信号現示を確認。	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報	・青現示切替り時に、捌け残り自転車・歩行者有無を確認した上で発進を判断。 ・青現示切替り時に、交差点左方向の先詰り車両の有無を確認した上で発進を判断。
2）後方車両が死角になる 左路側帯すり抜け二輪車・自転車を確認。	・左後方の二輪車・自転車の有無・位置情報	・同一車線を走行する左後方の二輪車・自転車が確認できた場合には、先に交差点に進入してもらったうえで発進を判断。
3）対向右折車両が死角になる 対向右折二輪車を確認。	・対向右折車に隠れる二輪車の有無・位置情報	・対向右折車に隠れる二輪車が確認できた場合には、先に交差点に進入してもらったうえで発進を判断。

交差点内（横断歩道手前）

自律認識に加えインフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1） 街路樹等が死角になる 左折先を横断しようとする自転車・歩行者を確認。	・左折先を横断しようとする自転車・歩行者の有無・位置情報	・左折先を横断しようとする自転車・歩行者を確認したら横断歩道手前で停止。横断完了、もしくは歩道たまり部での停止を確認した上で発進を判断。

交差点通過



③ 信号交差点の右左折（②右折時）

- 信号交差点の右折時には、自律センサーのみでは「対向右折車や対向直進車が死角になる」等の仮説を設定した上で、対向車に隠れる自動車・二輪車・自転車・歩行者が確認できた場合には、先に交差点を通過してもらったうえで発進を判断するなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

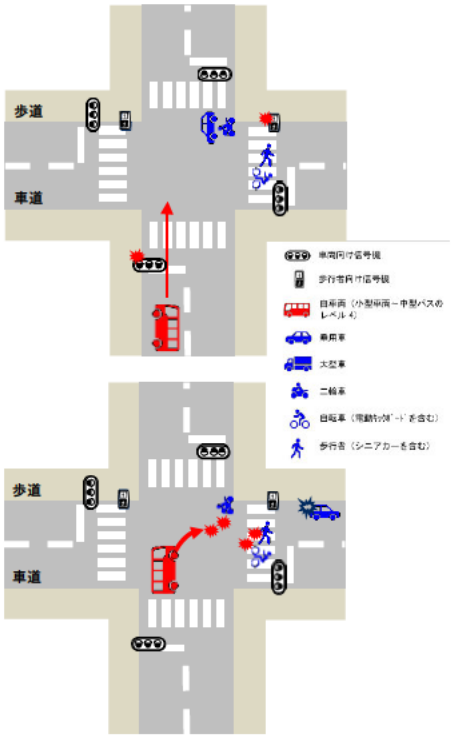
交差点進入時

自律認識に加え インフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1)西日や視認性阻害（街路樹など）により、信号灯火が確認しにくい状況での信号現示を確認。	・信号サイクル時間 ・車両用信号現示情報	・青現示切替り時に、捌け残り自転車・歩行者有無を確認した上で発進。 ・青現示切替り時に、交差点右方向の先詰り車両の有無を確認した上で発進。

交差点中央からの発進時

自律認識に加え インフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1）対向右折車が死角になる 対向直進自動車・二輪車の確認。	・対向直進自動車・二輪車の有無・位置・速度情報	・対向直進自動車・二輪車が確認できた場合には、先に交差点を通過してもらったうえで発進。
2）対向直進車が死角になる 対向直進自動車・二輪車・自転車の確認。	・対向車に隠れる自動車・二輪車の有無・位置・速度情報	・対向車に隠れる自動車・二輪車・自転車が確認できた場合には、先に交差点を通過してもらったうえで発進。
3）街路樹等が死角になる 右折先を横断予定の自転車・歩行者を確認。	・右折先横断予定の自転車・歩行者の有無・位置情報	・右折先を横断しようとする自転車・歩行者を確認したら交差点内で待機。横断完了、もしくは歩道たまり部の停止を確認した上で発進。

交差点通過



④ 路肩の駐停車車両の回避

- 路肩駐停車車両の回避時には、自律センサーのみでは「手前の駐停車車両で死角になり、先の駐停車車両の有無・台数、空き空間が確認できない」等の仮説を設定した上で、駐停車車両がある場合には一旦停止し、対向車がいないこと等を確認した上で発進するなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

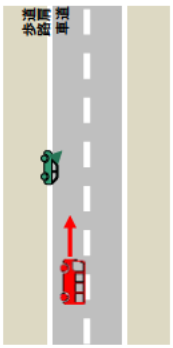
駐停車車両の有無の確認時

自律認識に加えインフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1)手前の駐停車車両で死角になる 先の駐停車車両の有無・台数、空き空間を確認。	・駐停車車両の有無 ・駐停車車両台数（空き空間情報） ・後方直進車両情報	・駐停車車両がある場合には、一旦停止し、前方に空き空間があることを確認し、対向車および後方からの直進車両がいないことを確認した上で車線変更し発進。
2）対向車によって死角になる 対向自動車・二輪車・自転車を確認。	・対向直進自動車・二輪車・自転車の有無・位置情報	・対向直進自動車・二輪車・自転車がいる場合には、通り過ぎるまで停止し、通行可能な時間を確保できることを確認した上で発進。
3）手前の駐停車車両で死角になる先の対向車線駐停車車両の有無・台数を確認。	・対向車線・駐車車両の有無・駐車車両台数	・対向車線に駐車車両がいる場合には、車両の通行幅員が確保できていることを確認した上で、発進。

駐停車車両の回避時

自律認識に加えインフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1)駐停車車両が死角になる 影から飛び出す乱横断歩行者を確認。	・駐車車両の陰から飛び出す乱横断歩行者の有無・位置情報	・乱横断歩行者がいる場合には一旦停止。歩行者の横断完了、もしくは歩道に戻ったことを確認した上で発進。

駐停車車両の通過



⑤ 見通しの悪い無視号交差点の通過（優先道路走行時）

- 見通しの悪い無視号交差点の通過時には、自律センサーのみでは「沿道建物により死角が発生するため非優先道路から優先道路に侵入してくる自動車・二輪車・自転車を確認困難」等の仮説を設定した上で、非優先道路から走行してくる自動車・二輪車・歩行者がいた場合には減速し徐行し、優先道路手前での停止を確認した上で通常走行に切替るなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

交差点進入時

自律認識に加え インフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1）沿道建物などが死角になる 非優先道路から優先道路に侵入してくる自動車・二輪車・自転車を確認。	・非優先道路を走行する自動車・二輪車・自転車の有無・位置・速度情報	・非優先道路から走行してくる自動車・二輪車・歩行者がいた場合には減速し徐行する。優先道路手前での停止を確認した上で、通常走行に切替。
2）前方車両が死角になる 無信号横断歩道を横断しようとする自転車・歩行者を確認	・横断歩道周辺の自転車・歩行者の有無・位置情報	・横断歩道周辺に自転車・歩行者がいる場合には、停止線で一旦停止。横断完了を確認した上で発進。 ・自転車・歩行者が横断歩道手前の歩道を通過もしくは停止している場合には、徐行したまま交差点を通過。
3）前方車両が死角になる 対向車線右折待機自動車・二輪車の確認	・対向車線で右折待機する自動車・二輪車の有無・位置情報	・右折待機車両の飛出し備えて、減速・徐行。 ・自動車・二輪車が停止している場合には、徐行したまま交差点を通過。

交差点通過

⑥ バス停からの本線合流

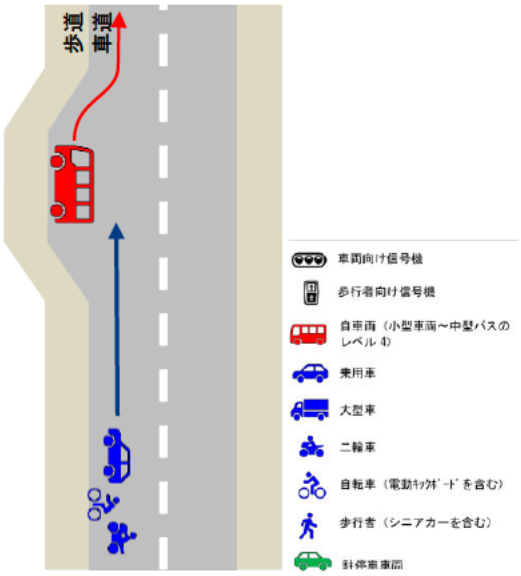
- バス停からの本線合流時には、自律センサーのみでは「街路樹・カーブなどにより後方に死角が発生しバスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車を確認困難」等の仮説を設定した上で、バスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車がいる場合には、車道を走行するまでに交錯することがないことを確認した上で発進するなど、ユースケースに応じた自動走行車両の振る舞いに関する検討を実施。

時系列の流れ

バスベイ発進時

自律認識に加えインフラ情報が必要な状況	必要情報	走行戦略（案）
1）街路樹・カーブなどが後方死角になる　バスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車を確認。	・バスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車の有無・位置・速度情報	・バスベイ付近に接近する自動車・二輪車・自転車がいる場合には、車道を走行するまでに交錯することがないことを確認した上で発進。

車道合流



(4) 機能分担と信号情報、死角情報の活用の考え方

考えられるインフラ協調の活用案としては、下記 3 パターンが想定できる。

- インフラ協調の活用案

PT1. 基本的に自律システムで安全を担保するが、低下する円滑性などをインフラシステムで補い、実用的なシステムとする。

PT2. 自律システムの認識機能が機能限界に達したときに、機能限界が高いインフラシステムからの情報でＯＤＤを維持・広げる。

PT3. 用途に応じて、PT1、PT2 の組合せを適材適所で適用する。

今後の全国への横展開を考慮し、上記 PT1、PT2 のケースそれぞれのインフラ協調の活用場面について検討した。

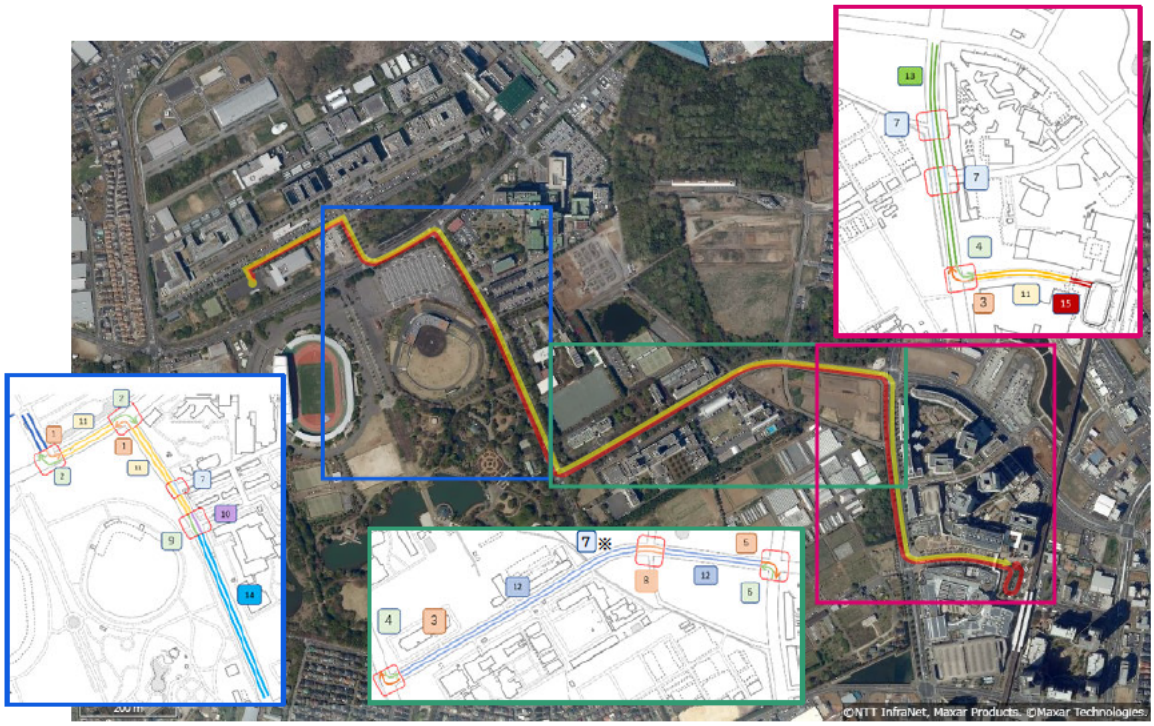
- 整理方針

次頁示す柏の葉コースの 15 区間のうち代表的なユースケースである信号交差点右折時を例に、走行戦略案を通じてインフラ協調の活用パターンを考慮して自律・協調の機能分担を検討した。

① 人間ドライバーの行動
② 律システムによる走行戦略案←自律システム分担
③ 自律システムによる限界場面（見直し）
④ 考えられるインフラ協調案
⑤ インフラ協調による走行戦略案←協調型システム分担
⑥ インフラ協調による効果

- 2-4. I. 2) (3)において整理した柏の葉実証実験コースにおける運行設計領域（ODD）の設定方法をもとに、走行環境を区間ごとに分類すると 15 種類の区間に分類される。
- このうち、代表的なユースケースである信号交差点の右折時（区間 5）について、人間ドライバーの行動から自律システムによる走行戦略案を整理した。
- また、自律システムによる限界と考えられるインフラ協調案を整理した。

※ ただし、現地状況を勘案した際に不要なインフラ協調を含むため、今後、インフラ協調の要不要の検討や信号現示改良など他のインフラ整備での代用などの検討が必要である。



区間番号	名称
1	丁字路左折A
2	丁字路右折A
3	丁字路右折B
4	丁字路左折B
5	十字路右折
6	十字路左折
7	丁字路直進
8	十字路直進
9	単路横断歩道
10	丁字路横断歩道
11	単路歩道分離
12	単路歩道混在
13	単路複数車線
14	単路自転車通行
15	単路高架下

→ 信号交差点の右折時

図 171　柏の葉実証実験コースの走行環境

i)　十字路右折①

【自律システム走行戦略案と考えられるインフラ協調案】

- 黄・赤信号時に停止線に停止するための信号判断時には、西日や視認性阻害（街路樹など）により信号灯火が確認しにくい状況が考えられるため、信号情報・サイクル時間の提供や信号機右直分離化などのインフラ協調により、自動走行車両の円滑性・安全性の向上をはかることが考えられる。

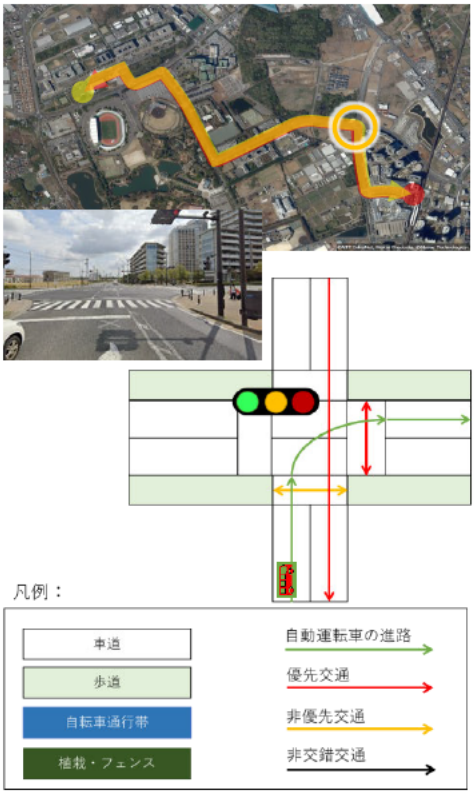


図 172　十字路右折　信号判断時

表 81　十字路右折　信号判断時におけるインフラ協調案

信号判断時（停止線：約〇〇m手前）				
時系列の流れ	自律システム走行戦略案		自律システムによる機能限界	考えられるインフラ協調案
	①右ウインカー点灯 （制動停止距離〇〇m＋処理時間）		－	－
	②自律センサーで右車線の走行車両確認	a.車両がいない場合 ⇒右折行動開始	－	－
		b.車両がいる場合 ⇒減速徐行し、車両が通り過ぎるのを待って右折行動（車線変更）を開始	－	－
	③自律センサーで信号灯火を確認	a.青灯火を確認した場合 ⇒減速し、交差点中央に進入した上で停止	1）西日や視認性阻害（街路樹など）により、信号灯火が確認しにくい場合、未検知発生の可能性あり。	・信号情報提供による信号灯火の通知
			2）停止線までの間に信号灯火が黄現示に替わった場合、停止するための急減速が発生。	・信号サイクル情報提供によるスムーズな右折挙動の実現
		b.赤・黄灯火を確認した場合場合 ⇒減速し、停止線・前方車両後部に停止	3）西日や視認性阻害（街路樹など）により信号灯火が確認しにくい場合、未検知発生の可能性あり。	・信号情報提供による信号灯火の通知
			4）停止線までの間に信号灯火が青現示に変わった場合、減速から加速に切替える必要がある。	・信号サイクル情報提供によるスムーズな右折挙動の実現

- 信号灯火を確認する際のインフラ協調案

PT1. 基本的に自律システムで安全を担保するが、低下する円滑性などをインフラシステムで補い、実用的なシステムとする。

PT2. 自律システムの認識機能が機能限界に達したときに、機能限界が高いインフラシステムからの情報で ODD を維持・広げる。

図 173　信号灯火を確認する際の自動走行車の停止距離イメージ

表 82　信号灯火を確認する際のインフラ協調による走行戦略案、効果

自律システム走行戦略案		自律システムにおける限界場面	限界場面での自律システム走行戦略案	考えられるインフラ協調案	インフラ協調による走行戦略案	インフラ協調による効果
③自律センサーで信号灯火を確認	a.青灯火を確認した場合⇒減速し、交差点中央に進入した上で停止	1)西日や視認性阻害(街路樹など)により、信号灯火が確認しにくい場合、未検知発生の可能性あり。	【未検知時】(実際は青現示)減速し、停止線に停止	・信号情報提供による信号灯火の通知	【PT2】 ・自律センサーの信頼度が低い場合には、インフラ情報の青現示に基づき、減速し、交差点中央に進入した上で停止する	【PT2】 ・青現示で減速・停止してしまう回数を減少(円滑性の向上)
		2)停止線までの間に信号灯火が黄現示に替わった場合、停止するための急減速が発生。	【変化によるジレンマ】 急減速による停止	・信号サイクル情報提供	【PT1】【PT2】 ・灯火変更の事前把握により、滑らかに減速徐行し停止線もしくは前方車両後部に停止	【PT1】【PT2】 ・急減速のないスムーズな減速・停止の実現
	b.赤・黄灯火を確認した場合場合⇒減速し、停止線・前方車両後部に停止	3)西日や視認性阻害(街路樹など)により信号灯火が確認しにくい場合、未検知発生の可能性あり。	【未検知時】(実際は赤・黄現示)減速し、停止線に停止	・信号情報提供による信号灯火の通知		
		4)停止線までの間に信号灯火が青現示に変わった場合、減速から加速に切替える必要がある。	【変化によるジレンマ】 停止線に停止すべく減速し、青灯火を確認次第、加速し交差点中央に進入	・信号サイクル情報提供	【PT1】【PT2】 ・灯火変更の事前把握により、通常走行のまま進行し、交差点中央に向けて、減速・停止	【PT1】【PT2】 ・減速・加速の少ないスムーズな右折挙動の実現

ii)　十字路右折②

【自律システム走行戦略案と考えられるインフラ協調案】

- 交差点中央発進時には、対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認しにくい状況が考えられるため、対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度の情報提供や信号機右直分離化などのインフラ協調により、自動走行車両や対向自動車・二輪車・自転車の円滑性・安全性の向上をはかることが考えられる。

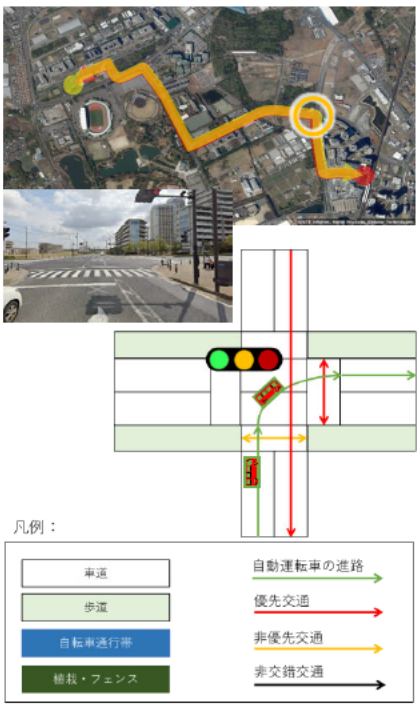


図 174　十字路右折　停止線発信時・交差点中央発信時

表 83　十字路右折　停止線発信時・交差点中央発信時におけるインフラ協調案

停止線発進時

時系列の流れ

自律システム走行戦略案		自律システムによる機能限界	考えられるインフラ協調案
④自律センサーで信号灯火を確認	a.青現示に切替わった時 ⇒横断中の自転車/歩行者がいないことを確認して発進し交差点中央で停止	1)西日や視認性阻害(街路樹など)により、信号灯火が確認しにくい場合、未検知・誤検知発生の可能性あり。	・信号情報提供による信号灯火の通知
⑤自律センサーで横断中の自転車/歩行者を確認	a.横断中の自転車/歩行者がいない場合 ⇒発進し交差点中央で停止	–	–
	b.横断中の自転車/歩行者がいる場合 ⇒自転車/歩行者が通り過ぎるのを待って発進し交差点中央で停止	–	–

交差点中央発進時

自律システム走行戦略案		自律システムによる機能限界	考えられるインフラ協調案
⑥自律センサーで対向自動車/二輪車/ 自転車の有無・位置・速度を確認	a.対向自動車/二輪車/ 自転車がいない場合 ⇒横断歩道手前まで徐行・停止 (対向車の信号無視に備えて徐行とする)	1)対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認しにくい場合、死角の発生により未検知発生の可能性あり。	・対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度情報提供 ・信号機右直分離化
	b.対向自動車/二輪車/ 自転車がいる場合 ⇒先に交差点を通過したのを確認し、横断歩道手前まで徐行・停止	2)対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認しにくい場合、死角の発生により、誤検知発生の可能性あり。	・対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度情報提供 ・信号機右直分離化

- 対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度を確認する際のインフラ協調案

PT1. 基本的に自律システムで安全を担保するが、低下する円滑性などをインフラシステムで補い、実用的なシステムとする。

PT2. 自律システムの認識機能が機能限界に達したときに、機能限界が高いインフラシステムからの情報で ODD を維持・広げる。

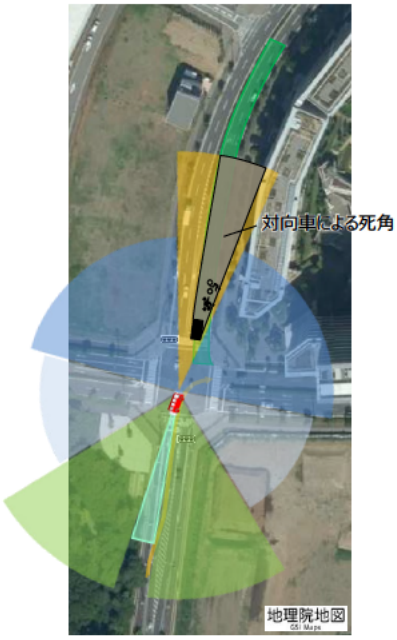


図 175　対向車による死角発生イメージ

表 84　対向自動車/二輪車/自転車を確認する際のインフラ協調による走行戦略案、効果

自律システム走行戦略案		自律システムにおける限界場面	限界場面での自律システム走行戦略案	考えられるインフラ協調案	インフラ協調による走行戦略案	インフラ協調による効果
⑥自律センサーで対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度を確認	a.対向自動車/二輪車/自転車がいない場合 ⇒横断歩道手前まで徐行・停止 (対向車の信号無視に備えて徐行とする)	1)対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認しにくい場合、死角の発生により未検知発生の可能性あり。	【死角を検知した時】 死角がなくなる、もしくは全赤になるまで交差点中央で待機し、自律センサーで交差点に進入してくる車両がいないことを確認した上で、横断歩道手前まで徐行・停止。	・対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度情報提供	【PT1】 死角がなくなるまで徐行 停止し、センサー(自律+インフラ)で交差点に進入してくる車両がいないことを確認した上で、横断歩道手前まで進行 停止	【PT1】 更なる安全性の向上
					【PT2】 死角に対向車がいないと判断したインフラ情報に従い、横断歩道手前まで進行 停止	【PT2】 スムーズな右折行動の実現
				・信号機右直分離化	【PT1】 対向方向赤現示のため青矢と同時に徐行し、右折先横断歩道も通過(対向車信号無視に備えて徐行)	【PT1】 右折車両と対向車、右折先横断歩行者の分離による安全な右折挙動実現
			【未検知時】 対向車両がいるが、徐行進行し、対向車を確認した時点で急停止。 その後、自律センサーで車両がいないことを確認した上で、横断歩道手前まで徐行・停止。	・対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度情報提供	【PT1】 インフラセンサーは対向車を検知しており、自律 協調で情報が異なるため、自律+インフラ情報に従って横断歩道を通過した上で道路脇に停止。(MRM行動停止)	【PT1】 更なる安全性の向上
					【PT2】 対向車がいると判断したインフラ情報に従い、停止。対向車がいなくなったことを自律センサーおよびインフラセンサーで確認し、横断歩道手前まで徐行 停止	【PT2】 更なる安全性の向上とスムーズな右折行動の実現
				・信号機右直分離化	【PT1】 対向方向赤現示のため青矢と同時に徐行し、右折先横断歩道も通過(対向車信号無視に備えて徐行)	【PT1】 右折車両と対向車、右折先横断歩行者の分離による安全な右折挙動実現
⑥自律センサーで対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度を確認	b.対向自動車/二輪車/自転車がいる場合 ⇒先に交差点を通過したのを確認し、横断歩道手前まで徐行・停止	2)対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認しにくい場合、死角の発生により、誤検知発生の可能性あり。	【誤検知時】 対向車がいない状況で、交差点中央で待機し、自律センサーで車両がいないことを確認した上で、横断歩道手前まで徐行・停止。一定時間以上停止している場合はMRM	・対向自動車/二輪車/自転車の有無・位置・速度情報提供		
				・信号機右直分離化	【PT1】 対向方向赤現示のため青矢と同時に徐行し、右折先横断歩道も通過(対向車信号無視に備えて徐行)	【PT1】 右折車両と対向車、右折先横断歩行者の分離による安全な右折挙動実現

(5) インフラ情報の信頼性の具体化と必要要件の整理

交差点右折を対象に、インフラセンサーの必要要件について整理した。

i) 交通参加者への対応

自動運転バスは、センサー情報等をもとに自動走行を行うが、混在交通環境における交差点通過は複雑な条件があると考えられる。

そのため、自車両で対応できる事象と自車両以外（インフラ）にソリューションを求めなければならない事象とを切り分ける必要がある。

- インフラが支援するもの
  - 信号灯色秒数
  - 自車センサーで見えない車両/二輪車
  - 交差点に向かう歩行者/自転車
  - 信号灯色
  - 横断歩道上の歩行者/自転車
  - 横断歩道脇の歩行者

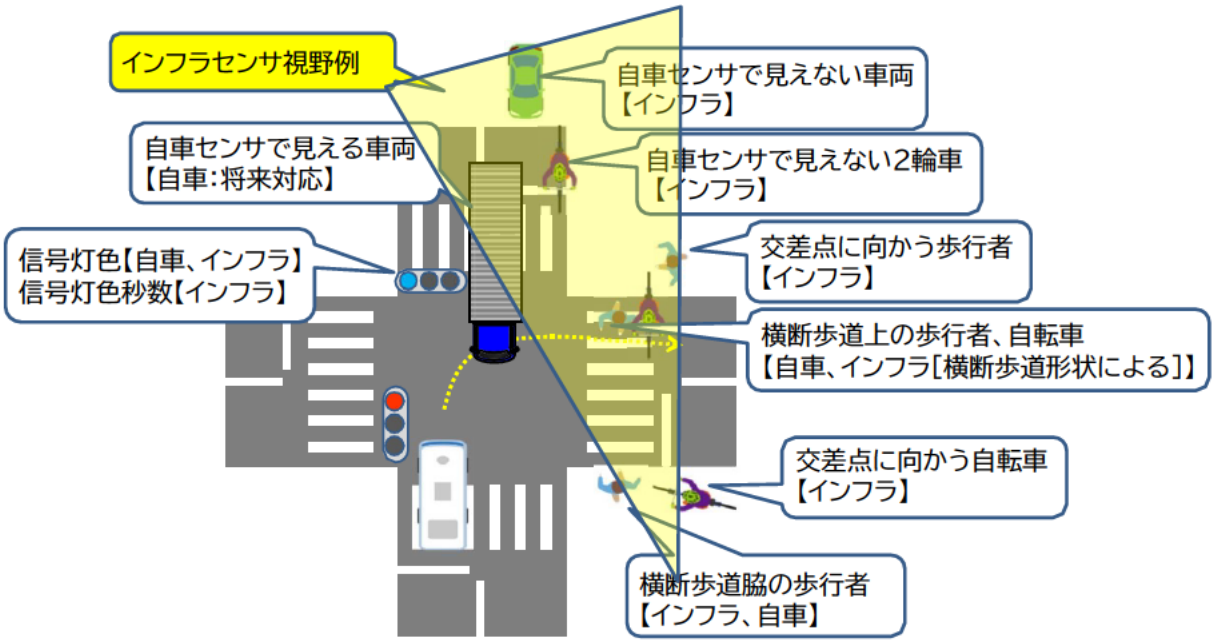


図 176　協調型システムによるインフラ情報のイメージ

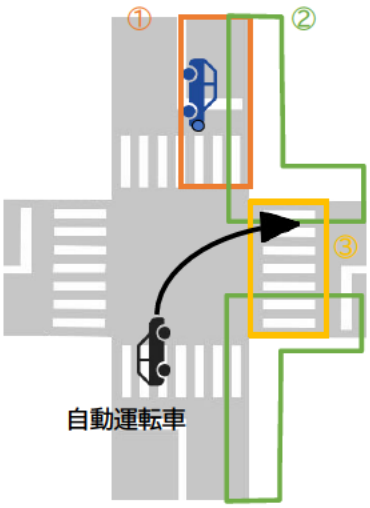
ii） 車載センサー検出要件の仮定

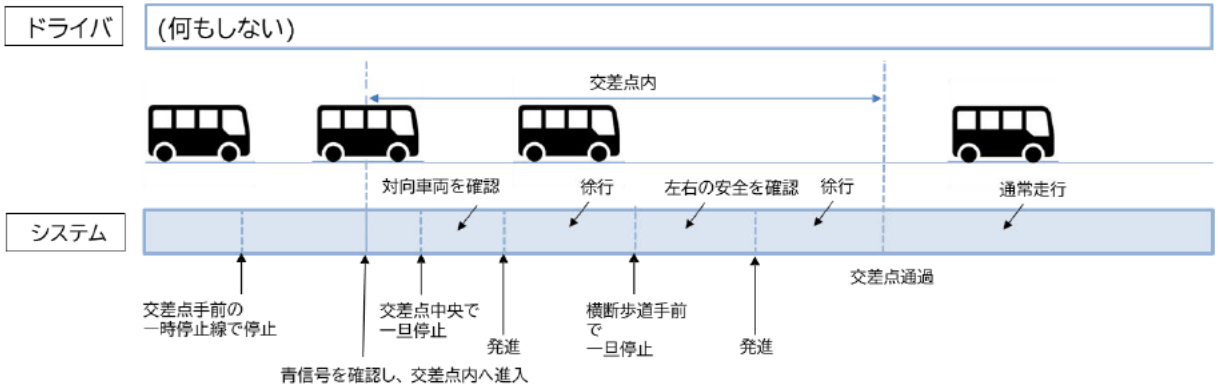
表 85 インフラ支援情報別のセンサー検出要件及び支援情報が必要なタイミング

	インフラが支援する情報	センサー検出要件		支援情報が必要なタイミング			
		場所	範囲	1. 通過		2. 交差点立ち往生	3. 進入開始
車載センサー検出不能	①車両/2輪車	①対向車線	70km/h 車両が 0.2G で停止可能な距離	交差点中央	発進判断	状況改善時←の対応	不要
				横断歩道手前	不要		
	②横断歩道に向かう歩行者/自転車	②横断歩道周辺の車道/歩道	歩行車/自転車が、自動運転車が通過するまでに横断歩道に進入できない距離まで検出	交差点中央	横断歩道前の停止予約判断	状況改善時←の対応	不要
				横断歩道手前	横断歩道前の発進判断		
車載センサー検出可能？	③横断歩道上の歩行者/自転車	③横断歩道	横断歩道	交差点中央	横断歩道前の停止予約判断	状況改善時←の対応	不要
				横断歩道手前	横断歩道前の発進判断		
	④横断歩道脇の歩行者	②横断歩道周辺の車道/歩道	横断歩道脇（2 行目の範囲に含まれる）	交差点中央	横断歩道前の停止予約判断	状況改善時←の対応	不要
				横断歩道手前	横断歩道前の発進判断		

iii） 設定の前提条件

- 交差車両は、交通信号を遵守するものとする。
- 対向車両は、約 70km/h（制限速度+20% ）で進入してくるとする。
- 対向車両は、自動運転バスが右折動作を開始している場合は、減速度(平均)0.2G で停止するものとする。
- 後続車両（2 輪車含）は自動運転バスの右側から追い抜きをしないものとする。
- 交差点付近の交通参加者（車両、歩行者、自転車等）は進行方向にある交通信号を遵守（黄色信号、歩行者信号が点滅の場合は交差点に進入しない ）するものとする。
- 自動運転バスから対向車両に隠れた車両、自転車は検出できない。
- 自動運転バスから電柱、植栽等で隠された歩行者、自転車等は検出できない。
- 自動運転バスは横断歩道手前の歩行者、自転車等の行動予測ができない。

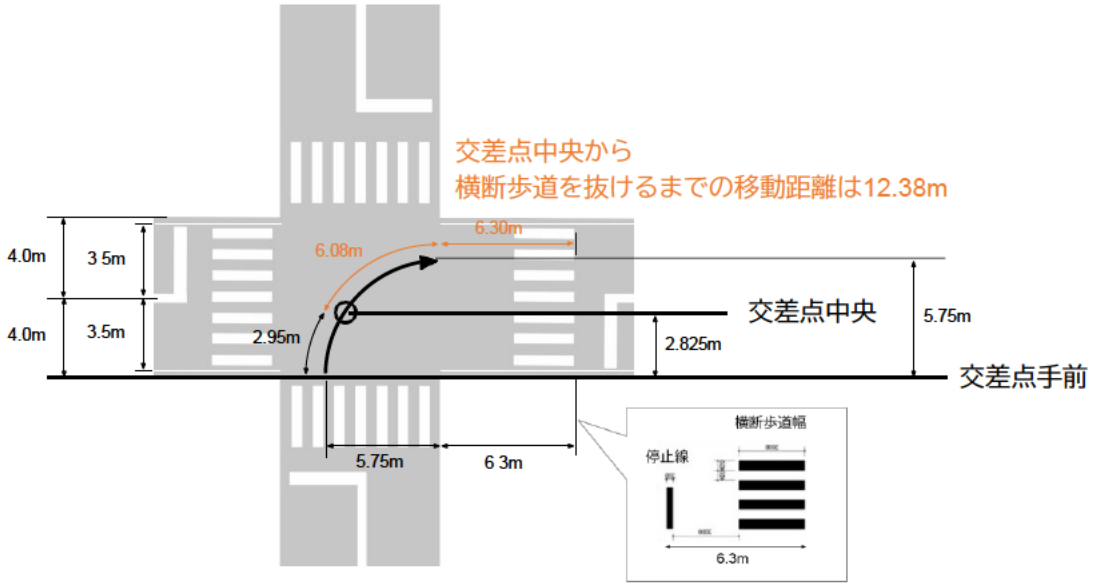




iv)　計算の前提となる交差点寸法の仮定

- 道路幅 3.5m
- 路側帯含めた道路幅 4.0m の片側 1 車線道路
- 自動運転車は横断歩道の 3.3m 前で停止
- 横断歩道幅は 3.0m と仮定

※ 参考：横断歩道前の停止線位置

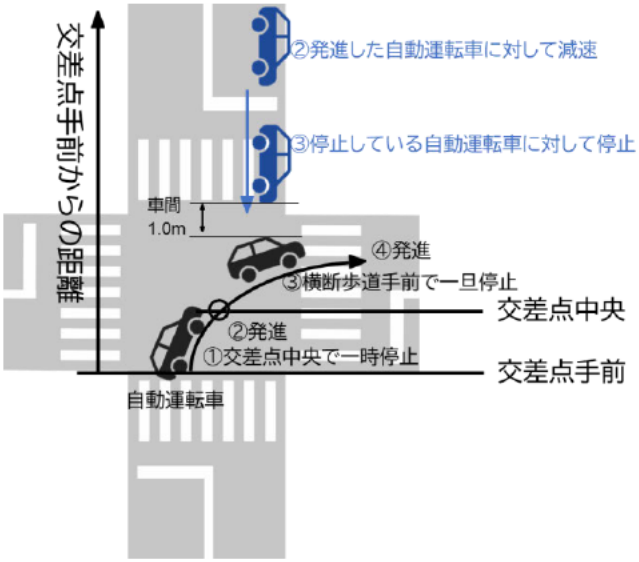


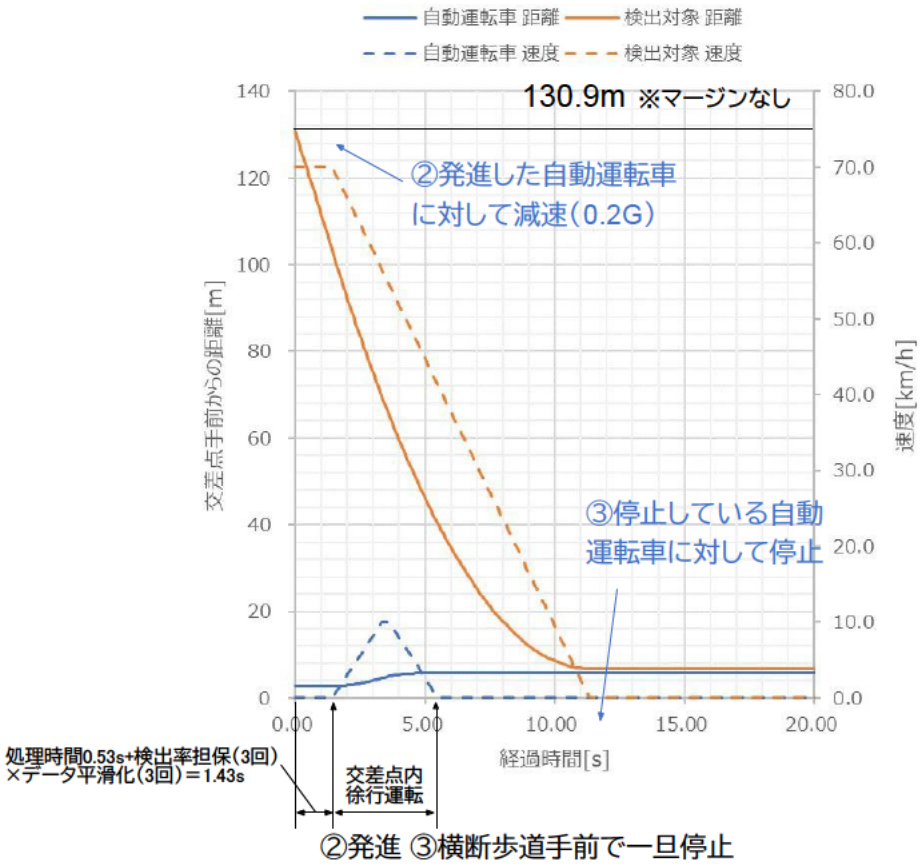
v)　センサー検出距離試算（自律＋インフラ）

① 対向車が 0.2G で減速し横断歩道前で停止する場合

この場合、計算上 130.9m 必要となる。

これに、10%程度のマージンを考慮して、交差点手前から 145m 以上となる。





② 横断歩道に向かう歩行者/自転車、自動運転車・交差点中央

《想定速度》

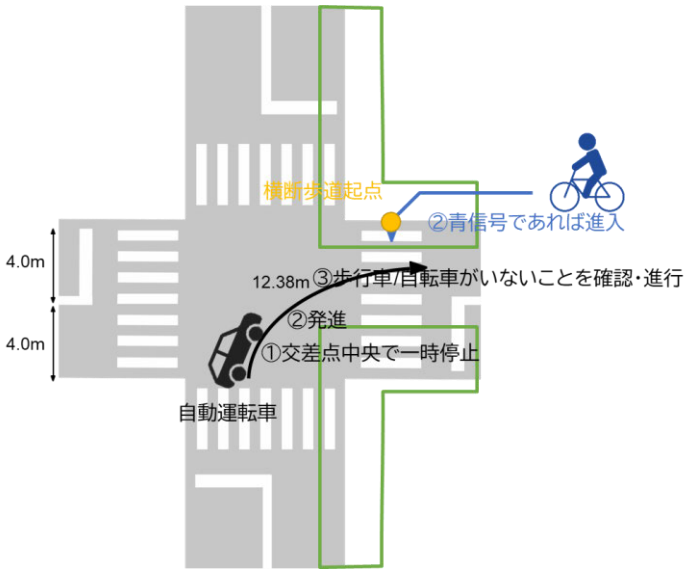
歩行者：10km/h（ジョギング者を想定）

自転車：20km/h

《検出距離の考え方》

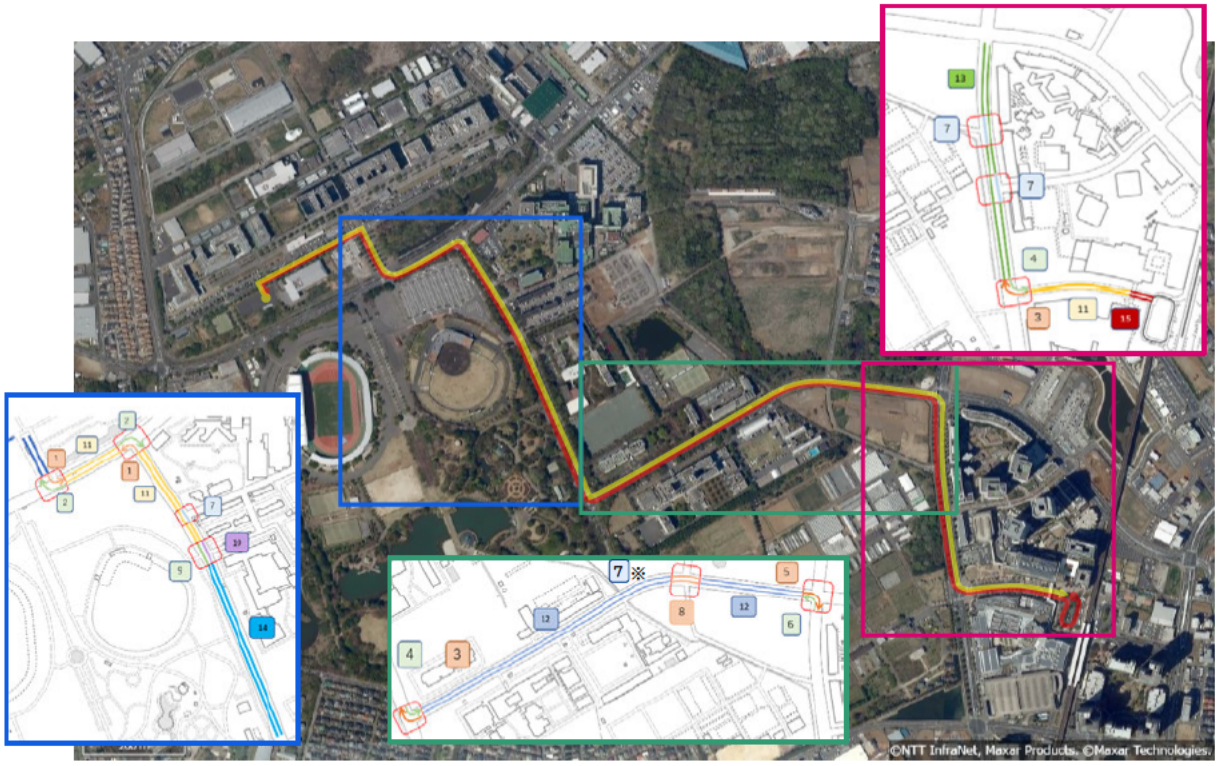
- 歩行者/自転車は青信号であれば減速せず進入する。
- 自動運転車が交差点中央から発進し横断歩道を通過（12.38m）するまでに歩行者/自転車が横断歩道起点に到達する距離を検出する。
- 自動運転車が、加速度 0.15G で、12.38m 進むのに必要な時間 は約 4.10s
- これに総処理時間 1.43s を加えて約 5.53s
- 20km/h の自転車が 5.53s で進む距離は 30.7m

上記に 10%程度のマージンを考慮して、横断歩道起点から 35m 以上となる。



(6) 要件可視化

柏の葉実証実験コースで分類した 15 区間のうち、代表的なインフラ協調のユースケースである「区間 5. 信号交差点の右折時」において、センサー（自律＋インフラ）の要件可視化を試みた。



区間番号	名称
1	丁字路左折A
2	丁字路右折A
3	丁字路右折B
4	丁字路左折B
5	十字路右折
6	十字路左折
7	丁字路直進
8	十字路直進
9	単路横断歩道
10	丁字路横断歩道
11	単路歩道分離
12	単路歩道混在
13	単路複数車線
14	単路自転車通行
15	単路高架下

→ 信号交差点の右折時

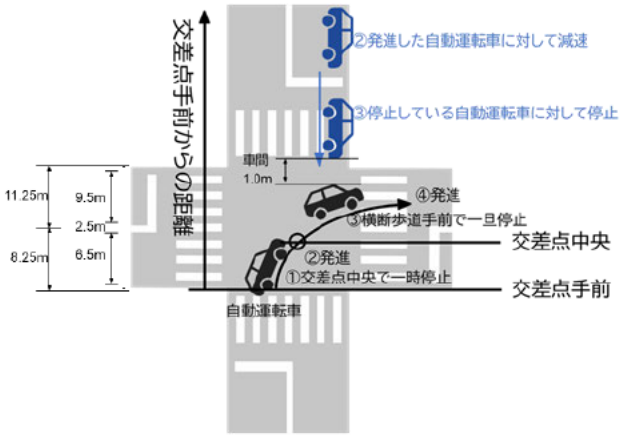
図 177　柏の葉実証実験コースの走行環境（再掲）

i） 十字路右折③-1（1.3.信号交差点右折時）

- 交差点中央発進時

■ センサー検出距離試算

b：対向車が0.2Gで減速し横断歩道前で停止する場合



計算上130.9m必要
10%程度のマージン考慮して交差点手前から145m以上

出典：ITS japan 資料

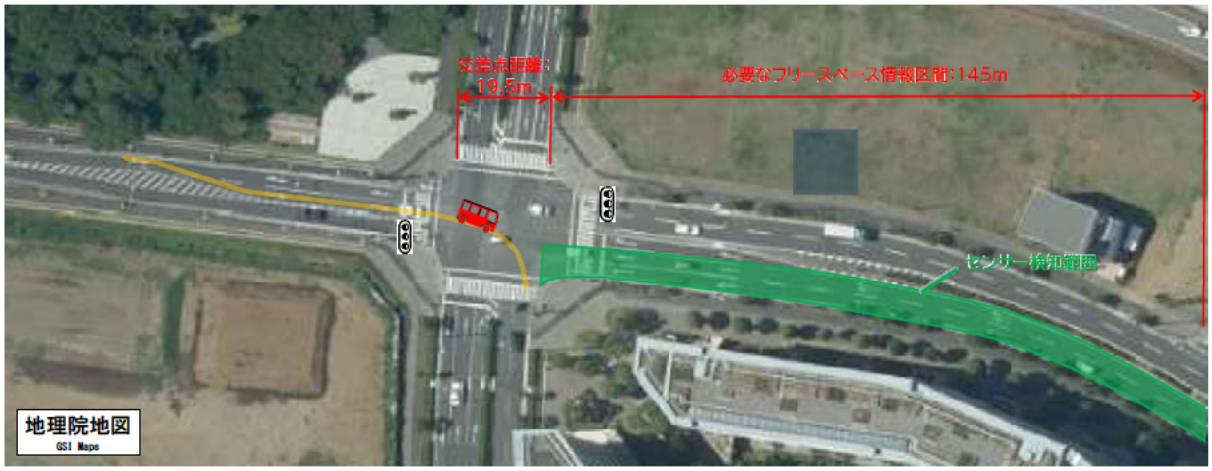
- 信号交差点を右折する際には、優先交通となる対向車の走行を妨げないよう右折判断を行う必要がある。
- 対向車の滞留などにより死角が発生し対向自動車/二輪車/自転車が確認できない状況がある。

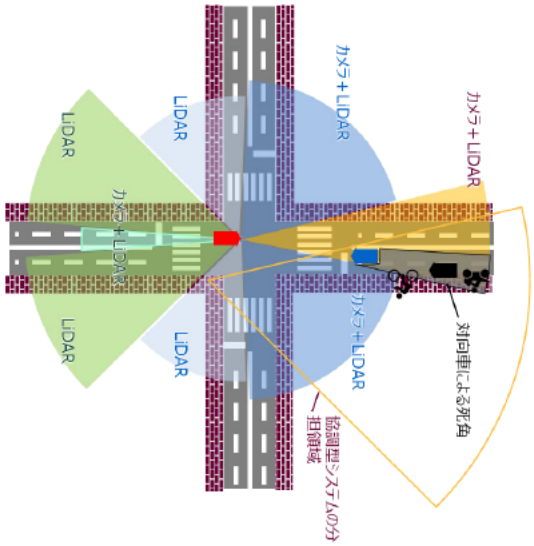
➢ 自律センサーが、対向車の走行状況を検知できない状況がある場合には、インフラ協調による機能分担が考えられる。

- 自動走行車が安全に右折挙動を完了するためには、対向車が交差点内にいる自動走行車との交錯危険性がないことが前提になる。
- 対向車が 0.2G で減速し、対向側の横断歩道手前で停止する場合に必要な距離は、交差点

手前から約 145m である（ITSjapan 資料）。

- 対向車との交錯危険性排除するためには、センサー(自律＋インフラ協調)で、145m程度の対向車に関する情報（フリースペース情報）が必要になる。

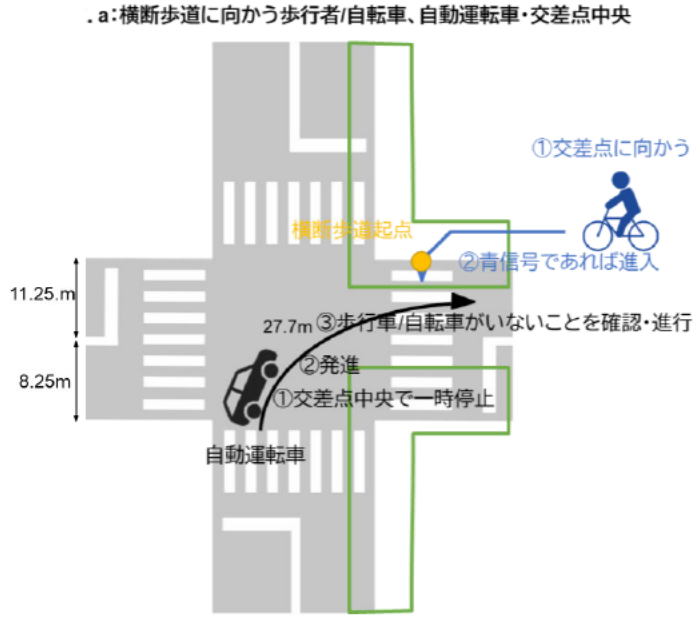




ii） 十字路右折③-2（1.3.信号交差点右折時）

- 右折先横断歩道手前発進時

■ センサー検出距離試算



出典:ITS japan 資料

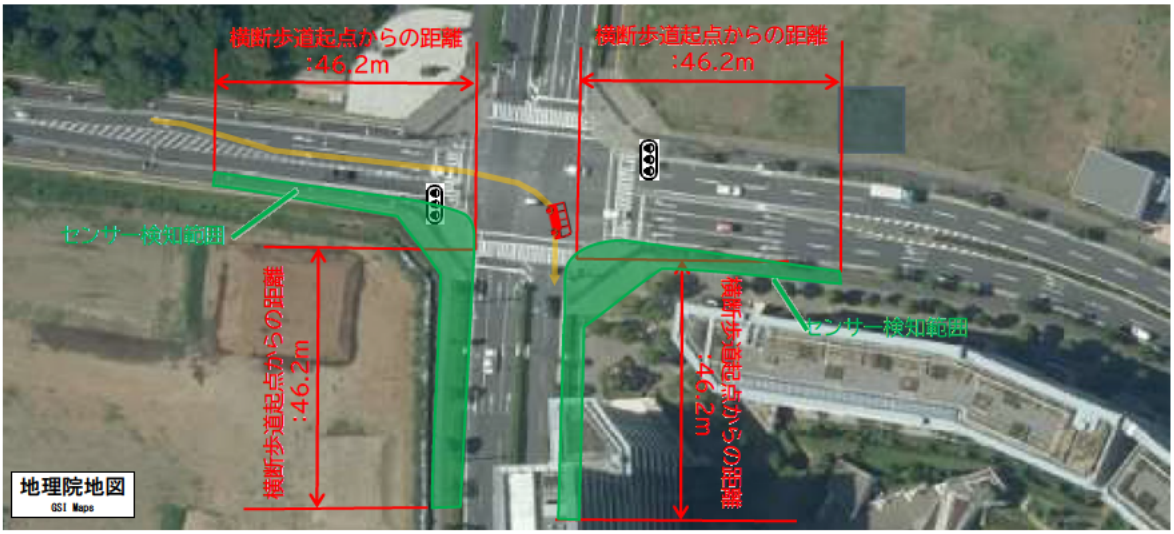
- 信号交差点を右折する際には、優先交通となる右折先の自転車/歩行者の通行を妨げないよう右折判断を行う必要がある。
- 街路樹などにより死角が発生し、右折先横断予定の自転車/歩行者が確認できない状況がある。

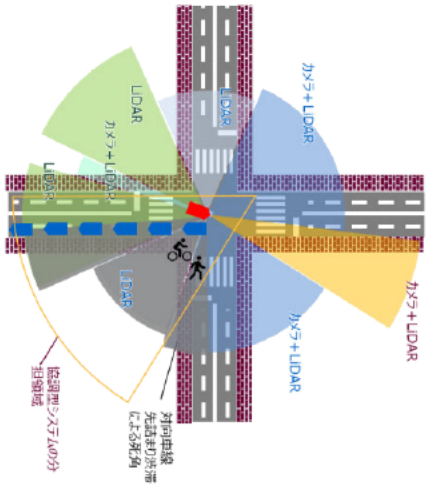
➢ 自律センサーが、右折先横断予定の自転車/歩行者を検知できない状況がある場合には、インフラ協調による機能分担が考えられる。

- 自動走行車が安全に右折挙動を完了するためには、横断する右折先の自転車/歩行者との交錯危険性がないことが前提になる。

- 自動走行車が右折先横断歩道を横断するまでに横断する自転車との範囲は、横断歩道起点から約 46m である（ITS japan 資料参考に試算）。

➢ 右折先横断自転車との交錯危険性排除するためには、センサー（自律＋インフラ協調）で、46m程度の自転車/歩行者に関する情報が必要になる。





＜想定速度＞

歩行車：10km/h、自転車：20km/h

＜検出距離の考え方＞

・歩行車/自転車は青信号であれば減速せず進入する。

・自動運転車が交差点中央から発進し横断歩道を通過（27.7m）するまでに歩行車/自転車が横断歩道起点に到達する距離を検出する。

・自動運転車が、加速度0.15Gで、27.7m進むのに必要な時間 は約6.14s

・これに総処理時間1.43sを加えて約7.57s

・20km/hの自転車が7.57sで進む距離は42.1m

10%程度のマージン考慮して横断歩道起点から46m以上

(7) 今後の方針　インフラ協調型システムの仕様素案まとめ（柏の葉）

2023 年 6 月を目標に、自律・協調の機能分担整理を進めるとともに、交通実態調査を実施して、インフラセンサーの要求性能を算定するための前提条件設定材料を収集する。また、仮値を用いた要求性能でインフラ協調型システムの設計・手配を進める。また、上記をとりまとめて、協調型インフラシステムの仕様素案をとりまとめる。

7 月以降は、インフラセンサーの必要要件を算定・整理し、並行して進める L4 自動運転車両と協調型路側機の施策＆配備に反映する。その後、公道およびテストコースでの評価を経て、改めてインフラ協調型システムの仕様案をとりまとめる方針とする。

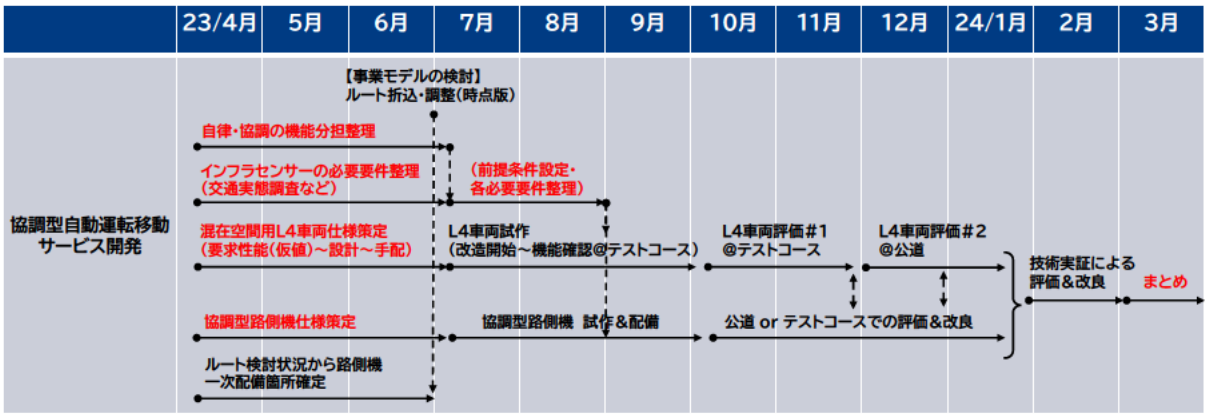


図 178　インフラ協調型システムの仕様素案まとめ（柏の葉）のスケジュール

(8) 解決すべき課題の洗い出し

i) 今年度の検討内容・成果と課題の洗い出し

今年度は、2021 年度のテーマ 4 統括委員会 WG での意見を踏まえた今後の課題を踏襲して、協調型システムとそれを実現するハードウエアの設計仕様素案策定を目指した検討を実施した。

具体的には、課題 1:協調型システムの設置位置の検討や、課題 4:協調型システムの設計仕様は、[3] 提供されるインフラ情報の必要要件が決まらなければ解消されない。また [3] 提供されるインフラ情報の必要要件を決めるためには、[1] 自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報を整理し、[2] 自律・協調の機能分担を整理しなければ決まらないことから、[1] 自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握、[2] 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理、[3] 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化の手順で検討を進めた。

表 86　今年度の検討課題と 2021 年度に抽出された今後の課題

今年度の検討課題	2021 年度に抽出された今後の課題
[1] 自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握	課題 2:協調型システムが提供する情報の具体化 課題 3:協調型システムにおける自律・協調の責任分担の整理
[2] 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理	
[3] 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化	
[4] 協調型システムとそれを実現するハードウエアの設計仕様素案策定	課題 1:協調型システムの設置位置の検討 課題 4:協調型システムの設計仕様

その結果、下記事項について整理した。

［1］ 自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握

(2) 協調型システムによるインフラ情報の整理

- サービスカーを主主体に自動運転車両を開発また運用する事業者への協調型システムに関するアンケート調査の結果を踏まえて、自動運転レベル 4 においてインフラ情報を活用するシナリオを整理した。

(3) 自動運転のストラテジー案の整理

- テーマ 2 で実施しているひたち BRT への協調型システム導入に向けての自動運転ストラテジーの検討内容を踏まえて、協調型システムのニーズが高い信号交差点の右折を対象に、実現する ODD 内で自律システム機能の限界を明確にし、その課題解決に向けたインフラ情報の活用のあり方や、要求仕様の検討を行った。
- インフラ情報が必要な各パターンにおいて、情報が必要なシーン別に必要なインフラ情報を整理し、それを用いた走行戦略案（走行ストラテジー案）を整理した。

［2］ 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理

(4) 機能分担と信号情報、死角情報の活用の考え方

- 代表的なユースケースである信号交差点の右折時について、人間ドライバーの行動と並列的に自律システムによる走行戦略案を整理（自律型システム分担）するとともに、自律システムによる機能限界（協調型システム分担）および考えられるインフラ協調案を整理した。

［3］ 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化

(5) インフラ情報の信頼性の具体化と必要要件の整理

- 代表的なユースケースである信号交差点の右折時における(1)対向自動車/二輪車検知支援および(2)横断歩道に向かう歩行者/自転車検知支援におけるセンサー（自律＋協調）の必要要件について整理した。

(6) 要件可視化

- 柏の葉実証実験コースにおける十字信号交差点を対象に、(1)対向自動車/二輪車検知支援および(2)横断歩道に向かう歩行者/自転車検知支援におけるセンサー（自律＋協調）の必要要件を試算し、センサー検知範囲を可視化した。この検知範囲のうち、自律センサーでは死角になり検知できない範囲が、インフラセンサーで必要な検知範囲となる。

また、これらの検討にあたっては、統括委員会WGや集中検討会検討を通じて検討・協議をすすめ、各委員から色々な意見をいただいた。

これらの意見を踏まえて、今後解決すべき課題を整理すると、下記事項があげられる。

表 87　協調型システム実現に向けた今後の課題の洗い出し

検討課題	今年度抽出された課題
［0］全体	(1) 全体 • 通信の信頼性・レイテンシーの検討 • 無線通信方式に関する 2025 年と 2030 年の仕様方式検討 • 緊急車両の検知について • インフラシステムの認証について • 遠隔監視の導入について
［1］自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握	(2) 協調型システムによるインフラ情報の整理 (3) 自動運転のストラテジー案の整理 • 自律システムの機能限界の確認 • 構造物による死角と交通など変化物標による死角の場合分け
［2］協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理	(4) 機能分担と信号情報、死角情報の活用の考え方 • 柏の葉実証実験コースにおける運行設定領域（ＯＤＤ）検討 • インフラがない場合とある場合の走行戦略の比較 • 対象箇所の問題点整理とインフラ整備による効果検討 • センサーに替わるインフラ整備の検討 • インフラ整備によるコスト比較
［3］提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化	(5) インフラ情報の信頼性の具体化と必要要件の整理 (6) 要件可視化 • 信号情報に関する必要要件の整理 • 前提条件の見直し・設定（実勢調査結果に基づく） • インフラ情報の必要要件（時間・範囲）の検討・整理 • 提供するインフラ情報の内容検討（フリースペースなど） • インフラ情報の信頼性に関する検討（誤検知率・未検知率, • 環境条件悪化による機能劣化等）

ⅱ） 次年度以降の実施事項

協調型システム実現に向けた今後の課題の洗い出し結果に基づき、次年度以降の実施事項を整理した。

① 自律システムの認識機能の限界と有効なインフラ情報の把握

- 自律システムの機能限界の確認（自律システムの走行戦略確認）
- 構造物による死角と交通など変化物標による死角の場合分け(インフラ協調必要性の判定)

② 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理

- 柏の葉実証実験コースにおける運行設定領域(ODD)検討
- インフラがない場合とある場合の走行戦略の比較
- 対象箇所の問題点整理とインフラ整備による効果検討
- センサーに替わるインフラ整備の検討
- インフラ整備によるコスト比較

③ 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化

- 信号情報に関する必要要件の整理（自律システム機能限界・情報提供タイミングなど）
- 前提条件の見直し・設定（実勢調査結果に基づく）
- パターン別・ユースケース別・インフラ情報の必要要件（時間・範囲）の検討・整理
- 提供するインフラ情報の内容検討（フリースペースなど）
- インフラ情報の信頼性に関する検討（誤検知率・未検知率,環境条件悪化による機能劣化等）

④ 協調型システムとそれを実現するハードウエアの設計仕様素案策定

- 適用範囲の整理（自動運転レベル 4 における協調型システムの適用範囲）
- 設計条件の整理（適用する法令や路側システムの設置条件等）
- システム構成等の整理（協調型システムの機器構成）
- インターフェースの整理（通信に用いるインターフェースの規格等）
- 機能及び性能の整理（協調型システムにおけるユースケース毎の必要な機能と性能）

2) レベル 3 以下の車両への協調型システムの適用

開発した協調型システムのレベル 3 以下の車両への適用可能性を検討した。

運転支援においては、協調型システムは自動車の制御まで行う必要はないため、自動運転に対して求められる信頼性は高くはないが、自動運転サービス車両の ODD を超えて走行する車両に対して、効果的な運転支援の方法を検討する必要がある。

自動車 OEM、信号機・インフラ機器メーカー、ITS Japan CCAM 検討サブワーキンググループを含む統括委員会 WG で提示した自律システム走行戦略案も踏まえ、2023 年度以降の実証実験での検討につなげられるよう検討を行った。

なお、2021 年度の無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4））で実施した調査において、OEM が想定する条件では、レベル 3 も自動運行装置の責任下にある状態ではレベル 4 と同様の考え方との意見があったため、本項では「レベル 3 以下」ではなく、「レベル 2 以下」として整理することとした。

表 88　OEM におけるレベル 3 以下の自動運転における条件

自動運転レベル	OEM 各社からの回答を踏まえた条件
レベル 4（レベル 3 を含む）	• 車側の全周囲のセンシングにより、激しい降雨/雪などのシビアな環境条件を除き、車両、自転車、歩行者、その他路上物体、車線境界、道路境界、信号を検知し、交通ルールに従って自車が自律的に対処できること
レベル 3 以下 ⇒レベル 2 以下	• レベル 3 は自動運行装置の責任下にある状態では、レベル 4 と同様の考え方 • レベル 2 以下では、レベル 3 よりも搭載される自律センサーの種類や数は少なくなるため、対応可能な衝突回避シーンは限定的となり、ドライバーに注意喚起することでドライバーによる対処を求める機能を装備する

※2021 年度　無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4））での調査結果

(1) 検討方針

2021 年度の OEM ヒアリングを再整理したうえで、レベル 2 以下における協調型システムの使われ方を整理する。また自動運転レベル 4 サービスを想定した協調型システムが提供する情報の具体化として、自動走行制御ストラテジーをもとに抽出したインフラ情報をもとにレベル 2 以下での適用可能性について検討した。

(2) 2021 年度 OEM に対するアンケート結果

2021 年度［令和 3 年度無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト（テーマ 4)］に実施した OEM 等へのアンケート結果をもとに、レベル 2 以下の自動運転におけるインフラ情報ニーズを整理した。

表 89　レベル 2 以下の自動運転におけるインフラ情報ニーズ

必要情報項目	ユースケース 1：信号交差点の右左折		ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避	ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過	
	左折時	右折時		優先道路走行時	非優先道路走行時
進行方向先の横断歩道周辺の歩行者	○	○	－	○	○
進行方向先の横断帯周辺の自転車	○	○	－	○	○
優先道路を渡った先の歩行者	－	－	－	－	○
優先道路を渡った先先の自転車	－	－	－	－	○
交差道路の自動車	－	－	－	○	○
交差道路の二輪車	－	－	－	○	○
交差道路の自転車	－	－	－	○	○
車道の歩行者	－	－	○	－	－
同一車線の二輪車	○	－	○	－	－
同一車線の自転車	○	－	○	－	－
進行方向先の対向車	○	－	－	－	－
対向車線の自動車	○	○	○	○	○
対向車線の二輪車	○	○	○	○	○
路肩の駐停車車両	－	－	○	－	－
回避するための走行位置	－	－	○	－	－
路肩車両に隠れた歩行者	－	－	○	－	－
駐車車両のドアの動き	－	－	○	－	－
車両用信号サイクル情報（現示含）	○	○	－	－	－
歩行者用信号サイクル情報(現示含)	○	○	－	－	－

(3) 自動走行におけるインフラ情報の抽出

RoAD to the L4 テーマ 2 において検討された信号交差点・右折時における自動走行制御ストラテジーをもとに、信号交差点におけるインフラ情報と精度を抽出した。

当該抽出結果を表 90 に示す。

表 90　信号交差点・右折時における自動走行に必要なインフラ情報と精度

交通参加者の行動	周辺状況	協調型システムのインフラ情報・精度	
対向直進車両・直進（制限速度＋〇〇km/h）	対向車線の視界不良	死角がフリースペースか否かの情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
	反対車線渋滞中	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報（2 車線道路で手前車線の車両に隠れる場合）	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
対向左折車・左折	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報（左折車両によって隠されている場合）	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
対向直進 2 輪車･直進(制限速度＋〇〇km/h)	対向車線の視界不良	死角がフリースペースか否かの情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
	反対車線渋滞中	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
	自車前方に遮蔽する車両あり	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
右折先横断歩道の横断歩行者・対向方向に歩行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
右折先横断歩道の横断歩行者・並走歩行に歩行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	渋滞車両、構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
右折先横断歩道の横断自転車・対向方向に走行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中・反対車線渋滞中	渋滞車両、構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事

交通参加者の行動	周辺状況	協調型システムのインフラ情報・精度	
右折先横断歩道の横断自転車・並走歩行に走行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
右折先横断歩道近傍の歩行者・右折先歩道近傍に滞留または右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事
右折先横断歩道近傍の自転車・右折先歩道近傍に滞留または右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報	
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事

(4) レベル 2 以下におけるインフラ情報の適用可能性

前項（2）で抽出したインフラ情報をレベル 2 以下（ドライバーの運転支援）の自動運転車両に適用する可能性について整理した。

当該整理結果を表 91 に示す。

この結果から、自動運転レベル 4 を対象としたインフラ情報は、レベル 2 以下の自動運転でも十分に適用可能と考えられる。

表 91　協調型システムにおけるレベル 2 以下の車両への適用可能性について

交通参加者の行動	周辺状況	協調型システムのインフラ情報・精度		運転支援情報として適用可能性	ニーズ※1
対向直進車両・直進（制限速度＋〇〇km/h）	対向車線の視界不良	死角がフリースペースか否かの情報		ドライバーの運転において、右折時は事故の危険性が高く、ヒューマンエラーの観点から視界不良でない場合でも「フリースペースか否かの情報」は有効である可能性が高い。 ただし、ドライバーに対して頻度の多い情報提供は煩わしさにつながるため、注意が必要な状況「フリースペースでない場合」のみ情報提供するなど、自動運転車両とは提供方法が異なる可能性がある。－①	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	ドライバーが運転する場合、運転支援情報の位置づけであり、車載センサーほどの信頼性の担保は不要と想定される。 ただし、検知漏れは事故につながる（フリースペースだと思ったら直進車両と衝突）可能性があるため、情報の信頼性を考慮した情報提供が必要となる。－②	
	反対車線渋滞中	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報		ドライバーの運転において、渋滞車両に隠れた 2 輪車との衝突は重大事故につながる可能性があるため、「渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報」は有効である可能性が高い。 ただし、ドライバーに対して頻度の多い情報提供は煩わしさにつながるため、注意が必要な状況「渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在する場合」のみ情報提供するなど、自動運転車両とは提供方法が異なる可能性がある。－③	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	②と同様	
	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報（2 車線道路で手前車線の車両に隠れる場合）		右折先の 2 車線道路において、手前車線だけが渋滞して奥の車線にスペースがあったとして、フリースペース情報が提供されても、ドライバーにとっての視覚情報（手前の車線が渋滞）が優先されて右折行動に移行できない（情報が十分に活用できない）可能性がある。－④	－
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	当該情報を活用するのであれば、自動運転レベル 4 車両と同様に高い信頼性が必要となる。－⑤	
対向左折車・左折	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報（左折車両によって隠されている場合）		④と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	⑤と同様	
対向直進 2 輪車・直進（制限速度＋〇〇km/h）	対向車線の視界不良	死角がフリースペースか否かの情報		①と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	②と同様	
	反対車線渋滞中	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報		③と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	②と同様	
	右折先車線渋滞中	死角がフリースペースか否かの情報		④と同様	－
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	⑤と同様	
	自車前方に遮蔽する車両あり	渋滞車両に隠れた 2 輪車の存在有無の情報		③と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	②と同様	
右折先横断歩道の横断歩行者・対向方向に歩行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報		ドライバーの運転において、横断歩行者との接触・衝突は重大事故につながる可能性があるため、死角でない歩行者を含めた存在有無の情報は有効である可能性が高い。 ただし、ドライバーに対して頻度の多い情報提供は煩わしさにつながるため、注意が必要な状況「歩行者が存在する場合」のみ情報提供するなど、自動運転車両とは提供方法が異なる可能性がある。－⑥	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	ドライバーが運転する場合、運転支援情報の位置づけであり、車載センサーほどの信頼性の担保は不要と想定される。 ただし、検知漏れは事故につながる（歩行者がいないと思ったら歩行者と衝突）可能性があるため、情報の信頼性を考慮した情報提供が必要となる。－⑦	
右折先横断歩道の横断歩行者・並走歩行に歩行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	渋滞車両、構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報		⑥と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	⑦と同様	
右折先横断歩道の横断自転車・対向方向に走行（速度〇〇km/h）	右折先渋滞中・反対車線渋滞中	渋滞車両、構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報		ドライバーの運転において、横断自転車との接触・衝突は重大事故につながる可能性があるため、死角でない自転車を含めた存在有無の情報は有効である可能性が高い。 ただし、ドライバーに対して頻度の多い情報提供は煩わしさにつながるため、注意が必要な状況「自転車が存在する場合」のみ情報提供するなど、自動運転車両とは提供方法が異なる可能性がある。－⑧	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	ドライバーが運転する場合、運転支援情報の位置づけであり、車載センサーほどの信頼性の担保は不要と想定される。 ただし、検知漏れは事故につながる（自転車がいないと思ったら自転車と衝突）可能性があるため、情報の信頼性を考慮した情報提供が必要となる。－⑨	

交通参加者の行動	周辺状況	協調型システムのインフラ情報・精度		運転支援情報として適用可能性	ニーズ※1
右折先横断歩道の横断自転車 ・ 並走歩行に走行 （速度〇〇km/h）	右折先渋滞中	構造物等に隠れた自転車の存在有無の情報		⑧と同様	〇
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	⑨と同様	
右折先横断歩道近傍の歩行者 ・ 右折先歩道近傍に滞留または右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報		ドライバーの運転において、横断歩行者との接触・衝突は重大事故につながる可能性があるが、滞留している歩行者の情報を提供した場合、ドライバーにとって情報過多となる（ドライバーにとって次の行動が判断しづらい）可能性があるため、適用可能性が低いものと考えられる。なお、自動運転車両であれば、当該情報を含めた処理が可能と想定される。ー⑩	ー
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	ー（情報自体の適用可能性が低い）	
右折先横断歩道近傍の自転車 ・ 右折先歩道近傍に滞留または右折先対岸の歩道近傍に滞留	横断意図不明	構造物等に隠れた歩行者の存在有無の情報		⑩と同様	ー
		精度	車載センサー同等の信頼性を担保する事	ー（情報自体の適用可能性が低い）	

※1　2021 年度に実施した OEM3 社及びスタートアップへのアンケート結果

(5) まとめ

2021 年度のアンケート調査では、全般的に、レベル 2 以下の自動運転においてドライバーに注意喚起することでドライバーによる対処を求める機能を装備することを想定されているため、提供してほしい情報は自動運転レベル 4 に比べ、レベル 2 以下のほうが多い傾向にあった。

また、各種情報に対し、必要とする情報は多いが、必要性の大きさでは、自律センサーでは死角で見えない場合などの適用が期待されている。ただし、路肩の駐停車車両に対して、区間でのインフラ整備は事業化において現実的ではないため、既存の交通状況の中で危険度が高い区間に限るなどの設置条件も合わせて検討が必要である。

そのため、レベル 2 以下において有効な協調型システムの情報について、(4)の表 91 で検討したように、自動運転レベル 4 で必要となるインフラ情報に対してレベル 2 以下での適用可能性を検討することが有効と考えられる。一方で、各ユースケースにおける適用箇所・適用条件が異なることやレベル 2 自動運転では運転支援情報となることから、今後、実証実験等を通じてドライバー向けの HMI を含めた検証・評価していくことが必要である。

そのほか、レベル 2 以下での自動運転におけるインフラ情報の適用可能性として、既存の類似事例について次ページ以降に示す。

(6) 類似サービスを踏まえた適用可能性検討

インフラ協調型システムによるドライバー運転支援の類似事例として「ITS Connect」、「高度化光ビーコン（信号情報活用運転支援システム(TSPS)）」がある。これらサービスは、全国一律でサービス展開しているものではなく、一部エリアから段階的に導入しているものである。

各サービスにおける提供情報等について次頁以降の i)及び ii)に示したうえで、iii)において既存サービスを踏まえたレベル 2 以下への協調型システムの適用性に関する考察を行った。

i)　ITS Connect（路車間通信を用いた運転支援サービス）

出典：ITS Connect 推進協議会 HP
（https://www.itsconnect-pc.org/about_its_connect/service.html）

- 道路とクルマの通信により、対向車・歩行者情報、信号情報などを取得し、ドライバーに注意を促すなどの運転支援を実施

対向車および歩行者を感知する交差点

右折時注意喚起

交差点右折時、道路側の路側装置で死角の対向車や右折先の横断歩行者を検知。
接近している対向車や歩行者がいるにもかかわらずドライバーが発進しようとした場合に、表示とブザー音による注意喚起を行い、安全に右折できるよう支援します。

対向車のみを感知する交差点

■交差点に設置されている路側装置（感知器）の種類によって注意喚起の表示は２パターンあります。

赤信号注意喚起

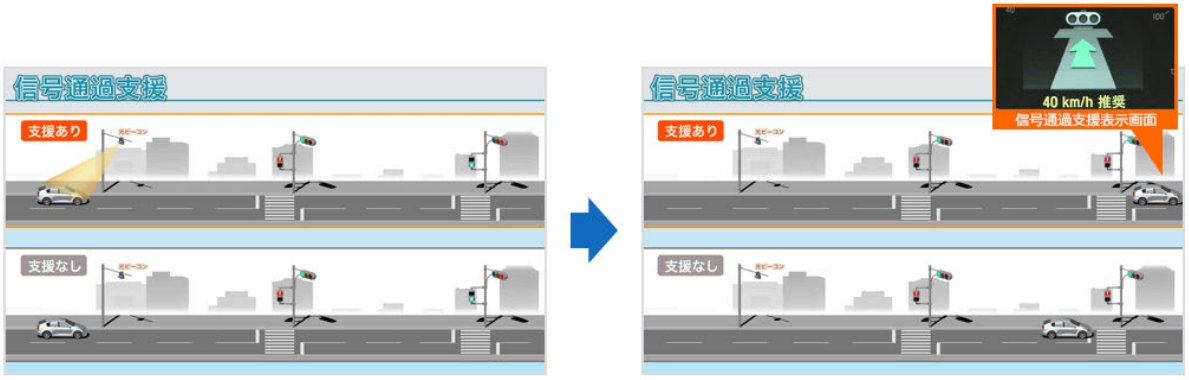
道路側の路側装置より信号（色）情報を取得。
赤信号交差点に近づいてもアクセルペダルを踏み続け、ドライバーが赤信号を見落としている可能性がある場合に、表示とブザー音による注意喚起を行い、安全に停止できるよう支援します。

出典：トヨタ自動車 HP（https://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/）

ii） 高度化光ビーコン（信号情報活用運転支援システム(TSPS)）

出典：VICS センターHP(https://www.vics.or.jp/know/service/tsps.html)

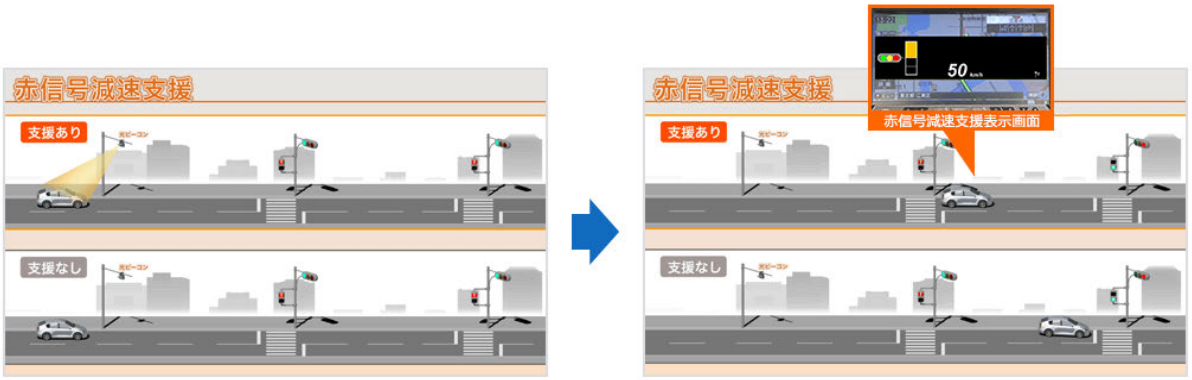
- 信号通過支援：信号通過支援では、光ビーコンから車載機に信号情報を提供し、車載機は推奨速度情報を運転者に示します。これによりスムーズに交差点を通過することができます。



※実際の表示画面とは異なる場合がございます

出典：VICS センターHP(https://www.vics.or.jp/know/service/tsps1.html)

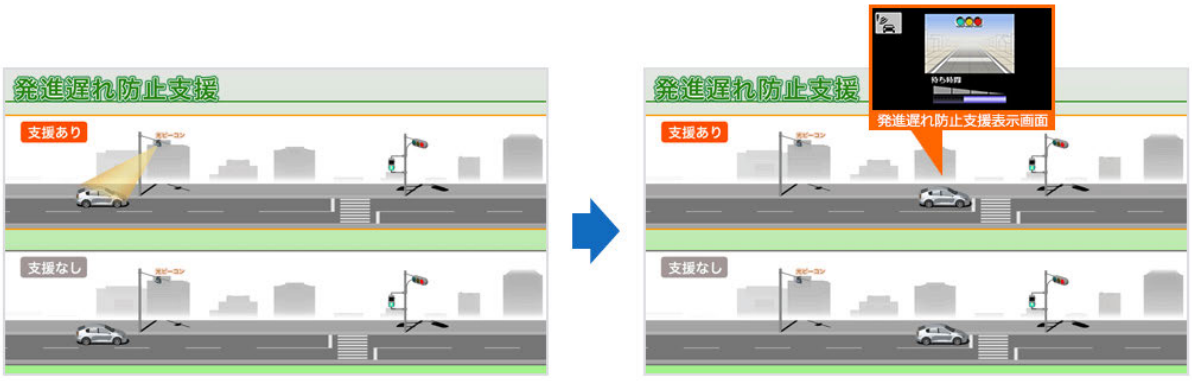
- 赤信号減速支援：赤信号減速支援では、光ビーコンから車載機に信号情報を提供し、車載機はその状況により、早めのアクセルオフによる緩やかな減速を促します。



※実際の表示画面とは異なる場合がございます

出典：VICS センターHP(https://www.vics.or.jp/know/service/tsps2.html)

- 発進遅れ防止支援：発進遅れ防止支援では、光ビーコンから車載機に、信号が赤から青に変わる残り時間の情報を伝えることで、交差点でのスムーズな発進を促します。



※実際の表示画面とは異なる場合がございます

出典：VICS センターHP(https://www.vics.or.jp/know/service/tsps3.html)

iii) 類似サービスを踏まえたレベル 2 以下への協調型システムの適用性に関する考察

前項の i)及び ii)に示した事例において、運転支援情報として信号情報（通過支援や赤信号原則支援を含む）や交差点右折時の横断歩行者情報が提供されており、全国に普及しているサービスではないものの、一定のエリアで導入済みのサービスである。

これら運転支援情報として提供されるインフラ情報は、2-2.I.1)(3)検討したように、自動運転レベル 4 における協調型システムにおいても必要な情報として挙げられている。つまり、これら類似サービスの事例を踏まえると、路側から提供されるインフラ情報は、自動運転レベル 4 車両向けだけではなく、レベル 2 以下における運転支援情報として十分に活用できる可能性があるものと示唆される。

また、類似サービスでは表 92 に示す利用条件下でサービスを提供していることから、現在検討している自動運転レベル 4 向けの協調型システムを、レベル 2 以下のサービスに適用する場合は、当該条件も参考に、適用箇所や、適用条件（信頼度の設定によるドライバーへの情報提供の種類や制御への使用有無）を検討する必要がある。

表 92　類似サービスにおける利用条件

【ITS Connect】

システム全般について：本システムは「路側装置が設置された交差点」との間でのみ作動します。また、路側機が設置された交差点であっても、交差点に進入する方向によっては、作動するシステムが異なる場合があります。あくまでも補助機能です。システムを過信せず、常に道路状況に注意し、安全運転に心がけてください。

右折時注意喚起機能（路車間通信システム）について：路側装置が設置された交差点であっても、路側装置（感知器）の種類や、交差点に進入する方向によっては、対向車のみを検知し、歩行者がいることを注意喚起しない場合があります。

・対向車や歩行者が路側装置（感知器）の検出範囲外に存在している場合
・路側装置（感知器）が、車両の特徴や環境条件、経年変化等によって、車両のみ検知や誤検知を起こす場合

【信号情報活用運転支援システム(TSPS)】

本サービスは、通信を行うタイミング等によりサービスが受けられない場合があります。
また、対象路線において全ての信号の情報が提供されるわけではありません。

3)　車両、人の移動、地図情報等の連携を考慮した協調型システムの構築と性能比較

■ 該当項目の背景と目的

国際標準化機構（ISO）と欧州電気通信標準化機構（ETSI）において策定の進む ITS Station 参照基盤では、周囲の車の位置などの最もリアルタイム情報も車々間通信で交換され、事故・渋滞・工事などの準動的情報と共に、デジタル地図に重畳され車両の持つ LDM（Local Dynamic Map)に格納される。LDM に格納されたデータは ITS アプリケーションでの活用を狙っている。一方、車両情報メッセージだけでは送信機を持たない非対応車や歩行者などの情報は取得できない問題がある。このため、これらの道路ユーザーを協調型自動運転車両のセンサーにより検知し協調認識メッセージ(CPM, Cooperative Perception Message)として通知する ETSI 標準仕様が議論中である。また、今後登場する携帯網 V2X（LTE-V2X 及び 5G-V2X）でもこれらのメッセージは利用される。欧州標準のネットワークスタックとの技術的な相違や、通信性能を客観的に比較、検証可能にするため、ETSI 標準仕様をオープンソースで提供する。

また、協調型自動運転では、車両が移動するという特性上、通信の混雑、電波干渉や通信先との距離、障害物などによって通信が安定するとは限らない。また、通信が安定しない場所では、交差点の先などの自車両のセンサーだけでは死角となり、認識できない場所の情報が適切なタイミングで手に入らないという問題がある。そこで協調型認識を使う場面では通信性能を事前に検証できるフィールド実験性能測定ソフトウエアが必要になってくる。また、通信性能を比較するツールを使って様々な実験、検証を繰り返すことによって実際検証に必要となる通信性能パラメータの整理ができ、共通データセットを作る際の有効な情報にもなる。

■ 実施方針

1. 協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）の構築

   欧州電気通信標準化機構（ETSI）の C-ITS プロトコルスイートに準拠したオープンソース実装「Vanetza」[4] に基づき、イーサネットインターフェースを通じて Autoware に統合する。Autoware と AutowareV2X の両方は疎結合な構造を取り、2 つのコンポーネントを切り離し別々のハードウエアに配置することで、より多くのユースケースに対応することを目指す。

2. 各種プロトコルの通信性能を比較可能なフィールド実験性能測定ソフトウエア

   今年度は、上記の問題を解決するため、フィールド実験性能測定ソフトウエアの 2 つのプロトタイプを開発する。バージョン 1 では、路側機・車載機の 1 対 1 の限定されたシナリオを対象とし、バージョン 2 では前のバージョンを改良することで、様々なネットワークパラメータやシナリオに対応可能とする。

■ 実施事項と実施方針

(1) 協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）の構築と評価

i) 協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）の構築

自動運転ソフトウエアと完全に統合可能な V2X ルータの実装の課題と要件について検討した。これらの要件を満たし、自動運転スタック内の全てのモジュールに外部ネットワーク接続を提供できる V2X ルータ「AutowareV2X」を提案・実装した。

図 179 には、AutowareV2X を用いた大規模 V2X 通信の概要を示している。本実装により、既存の自動運転ソフトウエアモジュール上に V2X アプリケーションを構築することができ、柔軟で拡張性の高い開発・実験プラットフォームが実現される。また、自律走行アルゴリズムと V2X ネットワーク機能の End-to-End (E2E) での検証が可能であり、将来のコネクテッドモビリティアプリケーションをより包括的に評価することができるようになる。

また、欧州電気通信標準化機構（ETSI）で標準化が進む「協調認知サービス Collective Perception Service (CPS)」[1] が実装され、協調認識メッセージの送受信を可能とした。柏キャンパス ITS R&R フィールドでの通信性能検証によりその有効性が証明された。

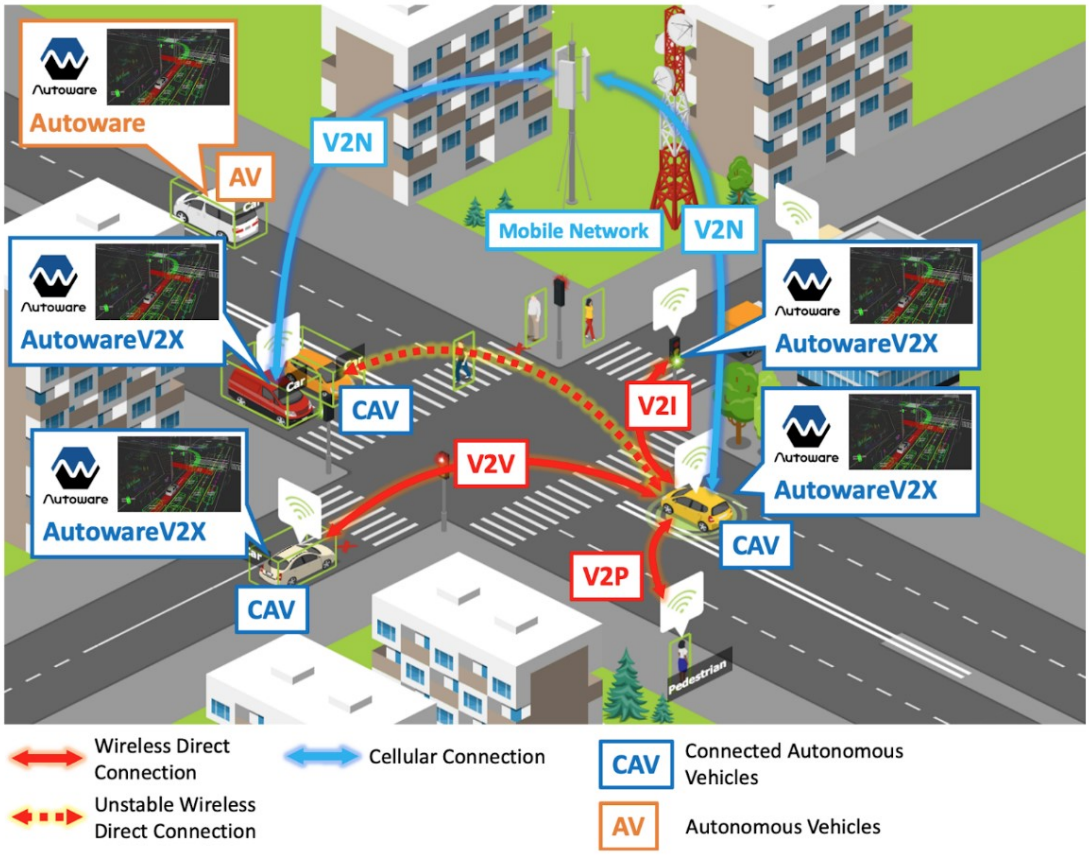


図 179 協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）のユースケース

AutowareV2X は、広く普及しているオープンソースの自動運転ソフトウエアスタック「Autoware」[2] に統合して、コネクテッド自動運転車を実現できる V2X 通信モジュールである。本実装のシステムアーキテクチャを図 180 に示す。Autoware は、センシングと HD マップ情報を用いて、知覚、定位、判断、計画から制御までの自動運転スタック全体を実行するためのものである。また、ROS2 ミドルウエア [3] をベースとしているため、内部メッセージは全て Publish-Subscribe アーキテクチャで共有されている。

AutowareV2X は欧州電気通信標準化機構（ETSI）の C-ITS プロトコルスイートに準拠したオープンソース実装「Vanetza」[4] に基づいており、イーサネットインターフェースを通じて Autoware に統合することが可能である。Autoware からのすべての関連メッセージは、V2X メッセージに変換され指定したインターフェースよりパケットが送信される。Autoware と AutowareV2X の両方は疎結合な構造を取っているため、2 つのコンポーネントを切り離し別々のハードウエアに配置することで、より多くのユースケースに対応することができる。

V2XNode は、V2X 通信スタックと ROS2 ベースの Autoware のインターフェースとして機能する。V2X 通信ルータに必要な共通タスク、クロスレイヤーのネットワーク構成、CAM や CPM などの各種ファシリティの管理は V2XApp が担っている。また、AutowareV2X のユースケースを実証するアプリケーションとして協調認識サービス Collective Perception Service（CPS）を実装し、協調認識メッセージ Collective Perception Messages（CPM）の送信・受信を可能としている。CPM を介して共有された物体情報は、直ちに Autoware の Perception モジュールや Planning モジュールに入力することができ、コネクテッド自動運転車の E2E 実験・評価を可能とする。

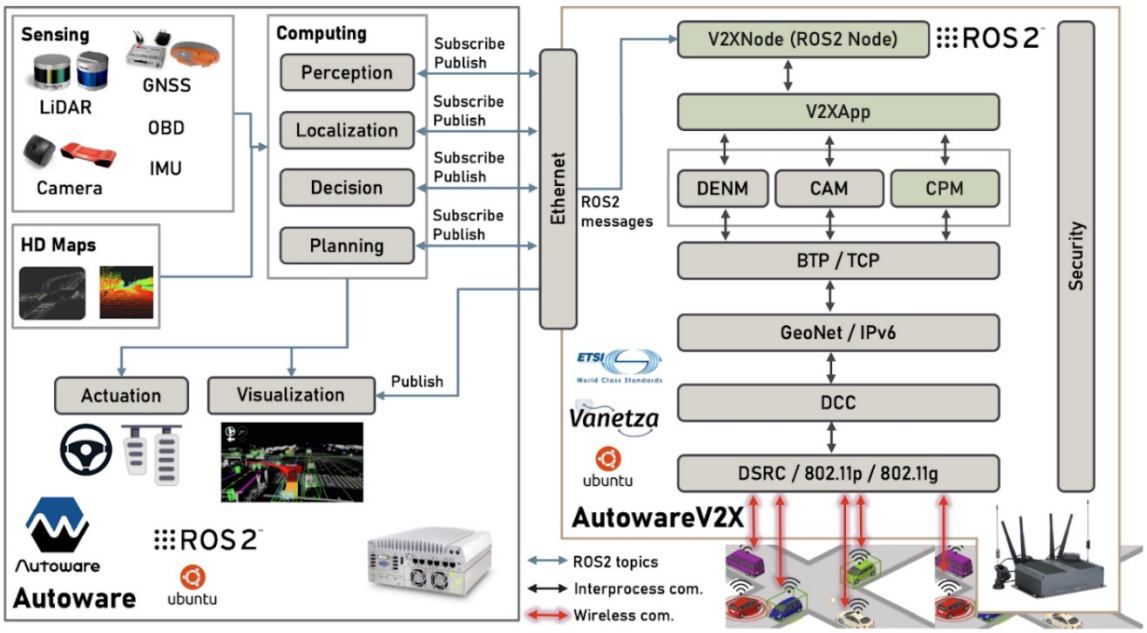


図 180　協調認識メッセージ送信ソフトウエア（AutowareV2X）システム設計・構築

CPM アプリケーションは、協調認識サービス（CPS）の実装であり、以下のような機能を揃えている。

- CPM の生成と送受信。自動運転ソフトウエアから受け取った認識情報をもとに、CPM パケットの生成、送信、受信を行う。CPM パケットが生成されると、ITS-G5 プロトコルスイートの下位レイヤに渡され、最終的に指定されたネットワークインターフェースからブロードキャストされる。
- CPM の送受信のスケジューリング。一定の間隔でタイマーをセットし、指定された時間間隔で CPM を送信する機能を備えている。
- シングルチャンネル、マルチチャンネル構成での CPM 送受信。複数のネットワークインターフェースを用いた CPM パケットの送受信を可能とする。受信された CPM は適切に処理され、必要に応じて協調認識された物標情報が自動運転ソフトウエアに入力される。
- CPM に含める物標情報の選別。認識された物標情報を全て CPM に含めると CPM のパケットサイズが大きくなりネットワークの輻輳に寄与する。そのため、AutowareV2X では ETSI の CPS 規格に沿って物体の動的性質、セマンティック情報により、物標情報の取捨選択を行っている。
- CPM 生成に必要な関連値の更新。CPM を送信する前に、CPM アプリケーション内で関連する重要項目の値を定期的に更新する必要がある。自車両の MGRS 座標、CPM の基準点、自車両の方位角、基準点決定時のタイムスタンプなど、CPM 生成に必要な値が適切に更新される。
- 送受信した CPM をローカルデータベースに記録する。CPM の信頼性確保及び実験後の調査のため、送受信された CPM の重要項目は全てローカルに保存される。

ii） AutowareV2X 評価

ETSI 準拠の協調認識メッセージの送受信及び AutowareV2X の様々な機能を、① シミュレーション環境での機能検証、② 実際のハードウエアを用いたインドアでの実験、③ 屋外試験施設でのフィールド実験により評価した。

検証では、様々なシナリオでテストを行い、結果として整備された路側機からの認識情報（歩行者情報等）を車両側の AutowareV2X で受信できることを確認した。また、RSS、パケットロス、遅延などのあらゆる通信性能をフィールド実験をはじめ各種実験で検証した。

① AutowareV2X 評価：Autoware シナリオシミュレータでの評価

AutowareV2X の機能検証は、まず Docker ベースのコンテナと Autoware のプランニングシミュレータ [5] を用いたシミュレーション環境下で行われた。図 181 に 2 つの ITS ステーションを配置した場合の Docker 環境を示す。

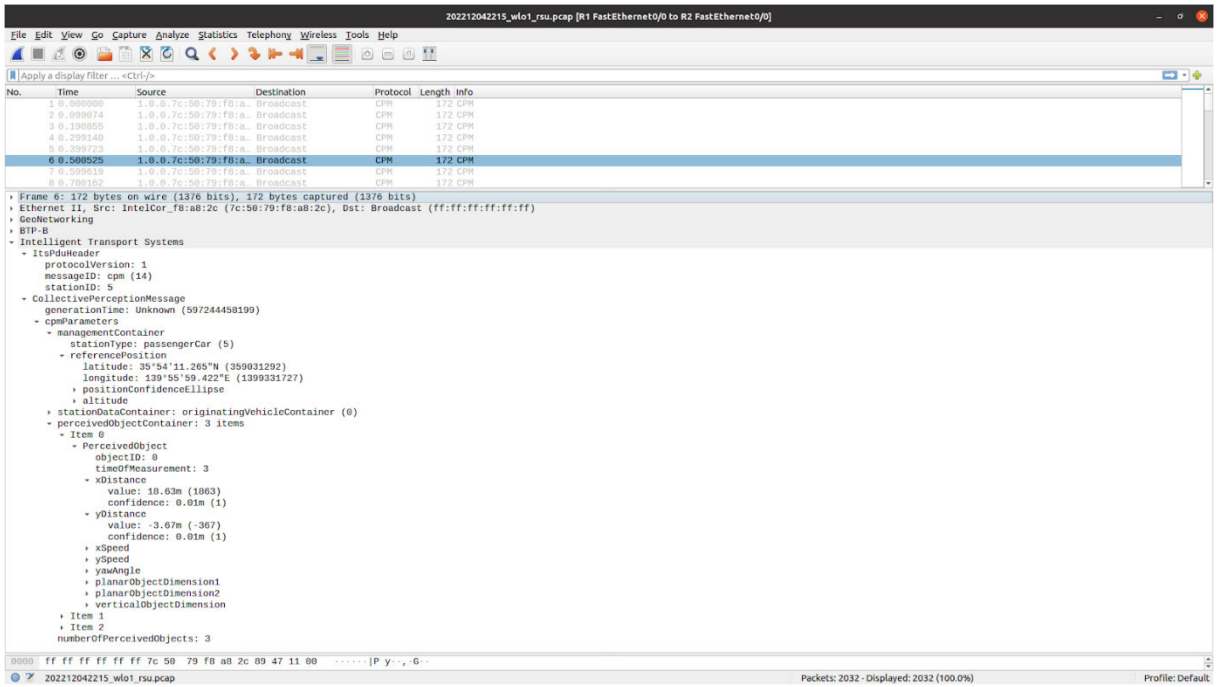


図 181　AutowareV2X により生成された CPM パケットの構造

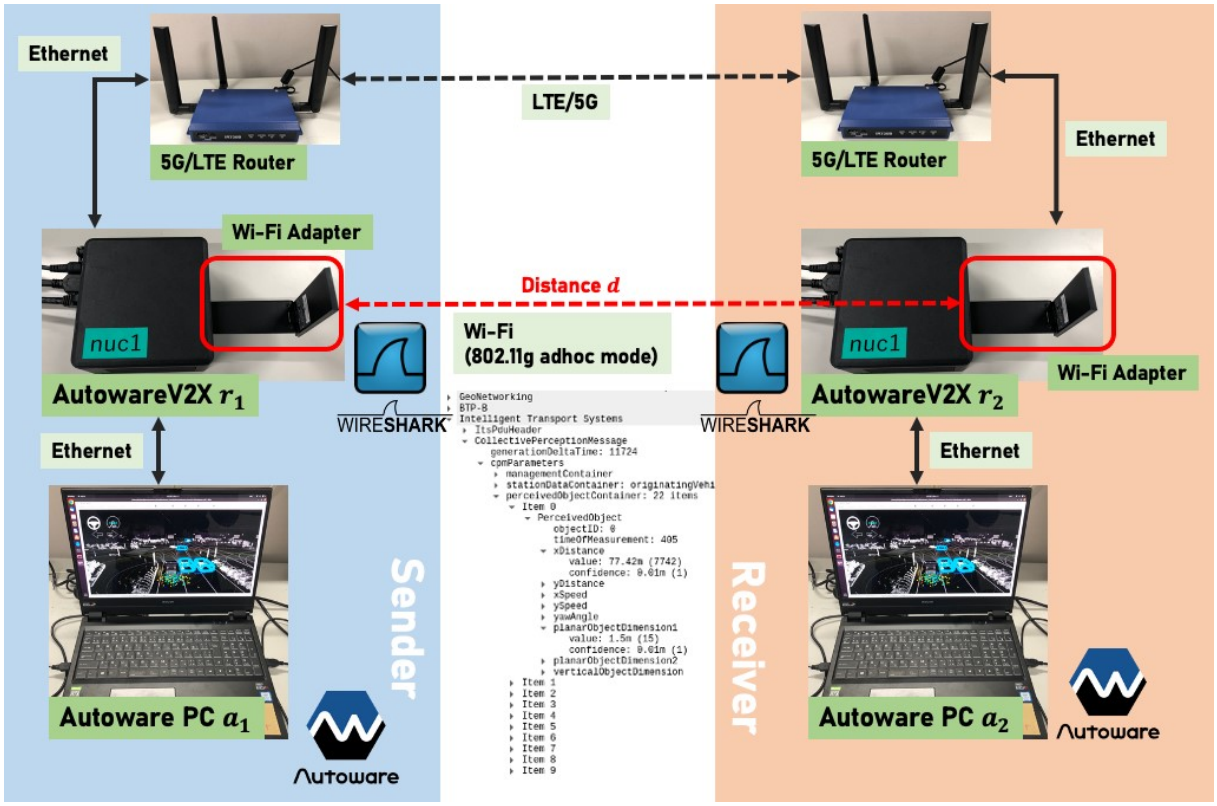


図 182　AutowareV2X のインドア実験の実験環境

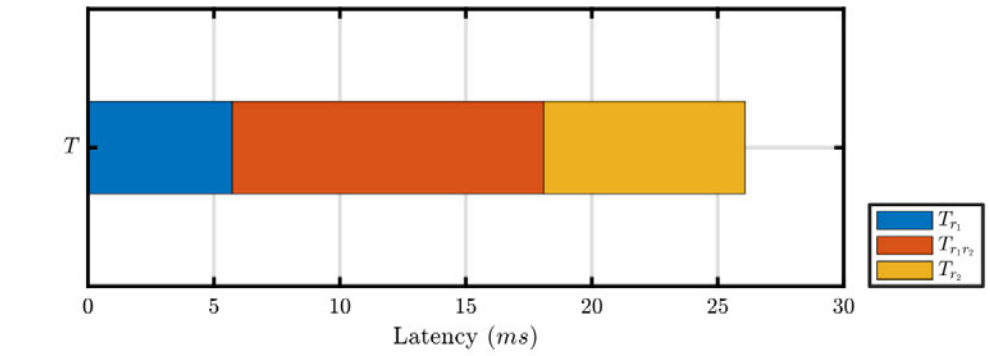
② AutowareV2X 評価：インドア実験と評価

AutowareV2X の基本的な機能の動作検証がシミュレータ環境で行えた後に、実際のハードウエ

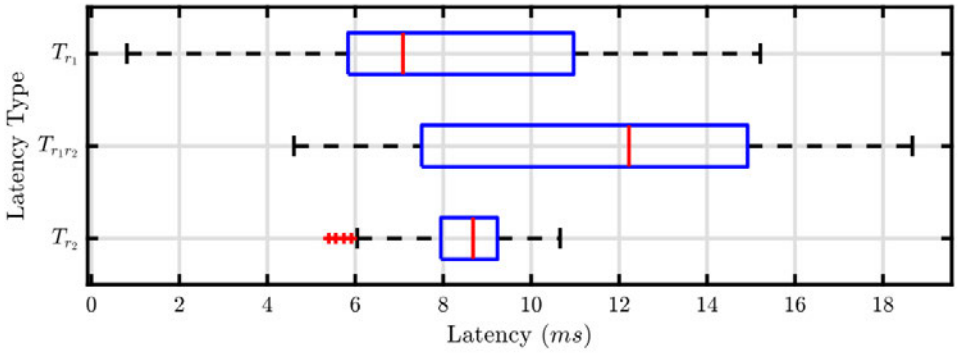
アを活用した屋内のインドア実験にて、よりリアルな性能評価が行われた。インドア実験のセットアップを図 182 に示す。Autoware はホスト a1 および a2 上で実行され、AutowareV2X はルータ r1 および r2 上で実行される。ホスト a1 とルータ r1 はイーサネットインターフェースで接続されており、この 2 つのホストが協調的に動作することで AutowareV2X は成り立っている。受信側となるホスト a2 とルータ r2 も同じ構成で設定されている。

ホスト a1 上で動作している Autoware には、ROS2 の Rosbag という形の実際の屋外実験の際の LiDAR センサー情報が記録されている。その Rosbag を再生することにより認識機構は机上で模擬的にリアルなデータを生成させる。Autoware の Perception モジュールは、そのデータをもとに近くの物体を検出し、Ethernet 接続で AutowareV2X ルータ r1 に Perception 情報を送信する。AutowareV2X は、Autoware から受け取った情報を CPM に変換し、Wi-Fi インターフェースから CPM を送出する。AutowareV2X ルータ r2 は CPM を受信し、CPM データを Autoware と互換性のある形式に変換した後、ホスト a2 上で動作する Autoware に認識情報を転送する。AutowareV2X ルータ r1 と r2 は、802.11g アドホックモードを使用して互いに通信している。

E2E の合計遅延とその内訳を図 183 に示す。送信側の自動運転スタックから受信側の自動運転スタックへの認識情報の配信は 25 ms 程度で可能である。遅延の内訳を見ると、2 つのルータ間の通信遅延 Tr1r2 は約 12 ms、両ルータでの処理遅延はそれぞれ 10 ms 以下であることがわかる。



(a) Average total latency T



(b) Breakdown of latency $T_{r_1}, T_{r_1r_2}, T_{r_2}$

図 183　AutowareV2X のインドア実験の合計遅延

③ AutowareV2X 評価：柏キャンパスでの実験と評価

東京大学柏キャンパスの ITS R&R テストフィールドにて、AutowareV2X の性能評価及びユースケース検証を行う実証実験が行われた。その実験のセットアップの概要を図 184 に示す。

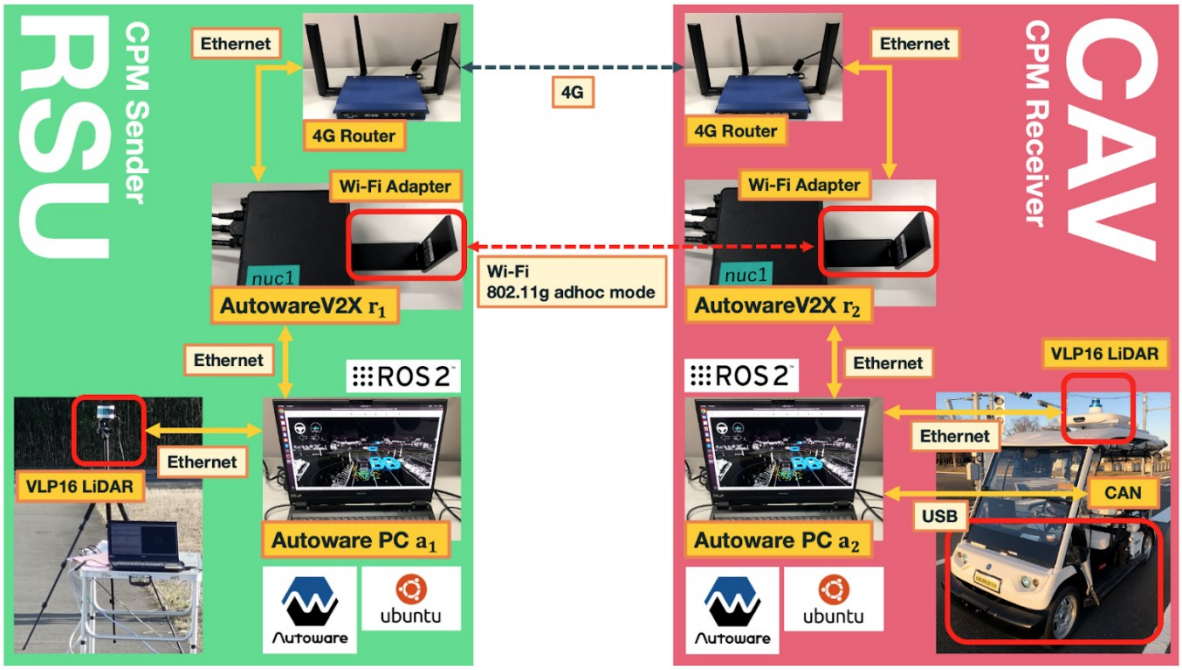


図 184　柏キャンパス ITSR&R フィールドでの実験のセットアップ

協調認知メッセージの送信側は、仮設した LiDAR センサーを三脚に搭載した路側機（RSU）である。一方、受信側は LiDAR センサーやカメラを搭載し CAN で車両制御ができるコネクテッド自動運転車両（CAV）である。RSU と CAV は、それぞれ自動運転ソフトウエアを動作させる Autoware PC と、協調認識メッセージの送受信を行う AutowareV2X PC から構成される。AutowareV2X PC には、協調認識メッセージの送受信を行うための Wi-Fi インターフェースが搭載されている。RSU と CAV において使用する機器情報を表 93 と表 94 にそれぞれ示す。

表 93　路側機（RSU）の機器情報

Device	Specifications
Intel NUC Model: 11Pro	OS: Ubuntu 20.04, ROS: Galactic, Software: AutowareV2X
Netgear Model: A6210	Dual-band: 802.11b/g/n (2.4GHz), 802.11a/n/ac (5GHz)
IDY IoM 5G Gateway Model: iR730B	Bands: 3G, 4G, 5G, nano PSIM, 4x high-performance active antennas
Gigabyte PC Model: AERO-15	OS: Ubuntu 20.04, ROS: Galactic, Software: Autoware.universe
Vehicle Model: Yamaha G30Es-Li	Speed: $\leq$ 20 km/h, Sensor: VLP16 3D LiDAR (Rooftop)

表 94　コネクテッド自動運転車両（CAV）の機器情報

Device	Specifications
VLP16 3D LiDAR	Range: 100 m, Accuracy: +/- 3 cm, Rotation rate: 5-20 Hz, 16 channels
Intel NUC Model: 11Pro	OS: Ubuntu 20.04, ROS: Galactic, Software: AutowareV2X
Netgear Model: A6210	Dual-band: 802.11b/g/n (2.4GHz), 802.11a/n/ac (5GHz)
IDY IoM 5G Gateway Model: iR730B	4G, 5G, nano pSIM, 4x high-performance active antennas
Gtune PC Model: H5	OS: Ubuntu 20.04, ROS: Galactic, Software: Autoware.universe

最初のシナリオでは、RSU をテストフィールドの一角に設置し、CAV が外周を周回するという単純なシナリオを想定した（図 185）。RSU は搭載している LiDAR で近くの物体を常に検出し、認識した物体情報をもとに CPM を生成する。また、CAV は RSU から送られてくる CPM を常時受信する。路側機（RSU）を構成するハードウエアを図 186 に示す。LiDAR センサーを三脚の上に設置し、RSU のセンサーコンポーネントとして機能させる。

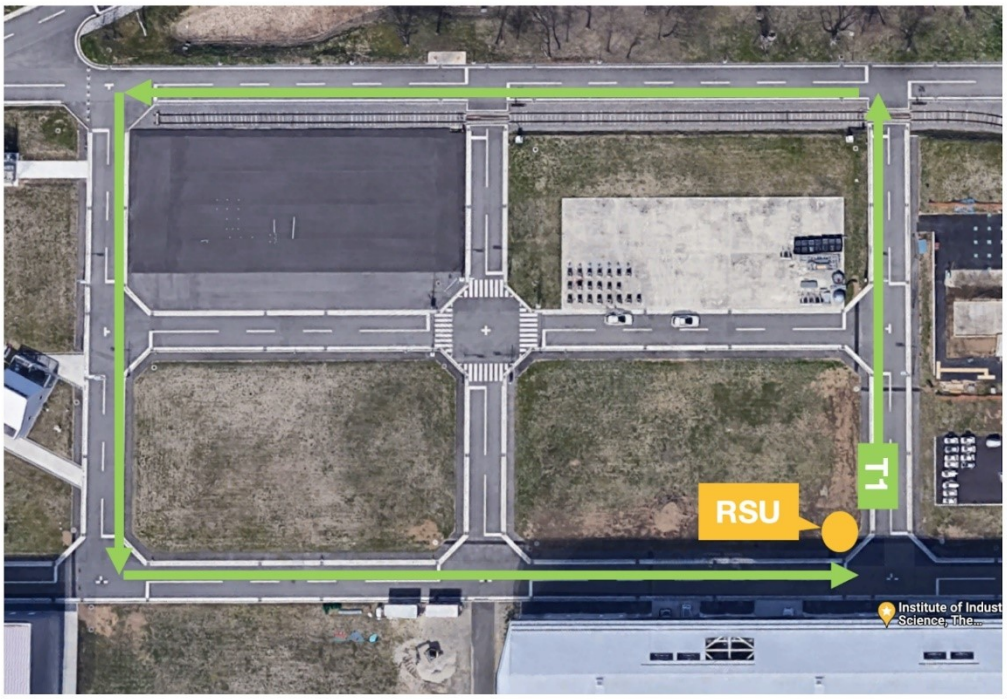


図 185　RSU 及び CAV を用いたシナリオ

図 186　路側機（RSU）のハードウエア構成

Autoware PC は LiDAR に接続されており、センサーデータを処理して物標情報を出力する。ネットワークインターフェースを持つ AutowareV2X PC は Autoware PC を Ethernet ケーブルで接続されており、無線条件を良くするため柱の上の高い位置に設置した。図 187 で示しているように車載機側の Autoware で路側機から送られている情報が確認されている。図 187 中央に赤いバウンディングボックスで示されているのが、路側機から送られた物標情報になる。ピンクのバウン

ディングボックスはCAVが独自のセンサーで検知した物標になる。

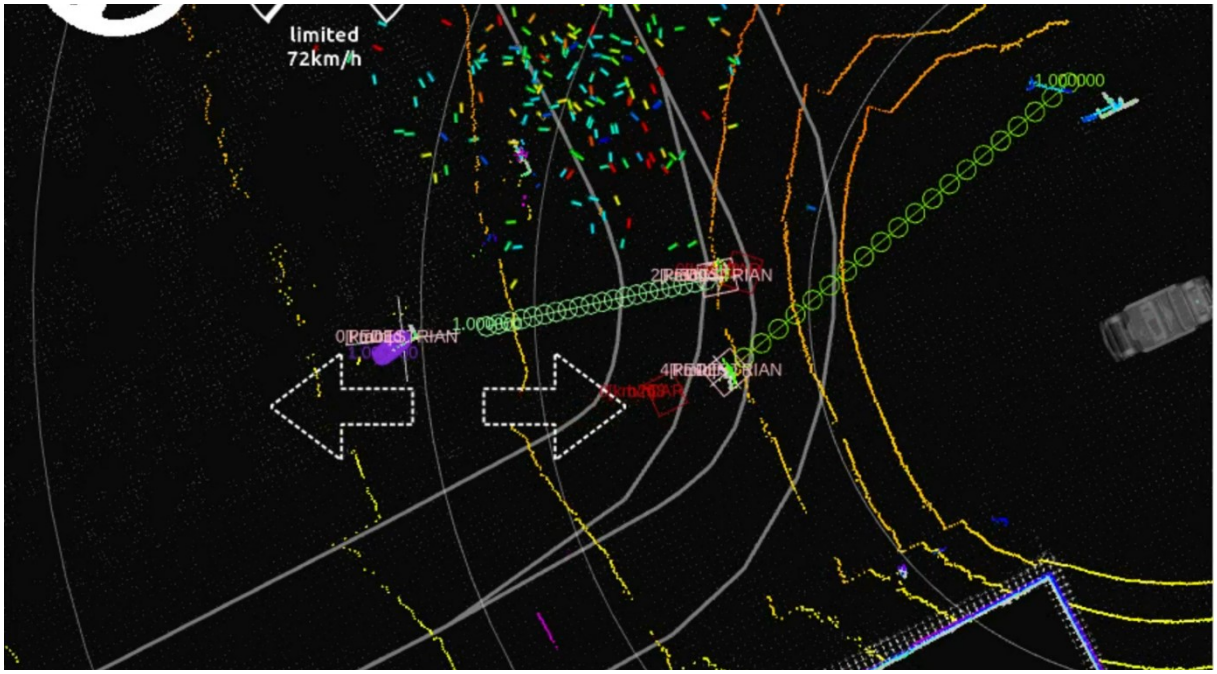


図 187　車載機側の Autoware の物標情報

RSU から CAV に送信された CPM の受信信号強度（RSSI）値をヒートマップ上にマッピングしたのが図 188 である。CAV が RSU に近いほど RSSI 値は著しく高く、-50～-60dBm の範囲にあることがわかる。CAV が RSU から遠くなると、RSSI 値は-80 dBm 以下にまで低下する。

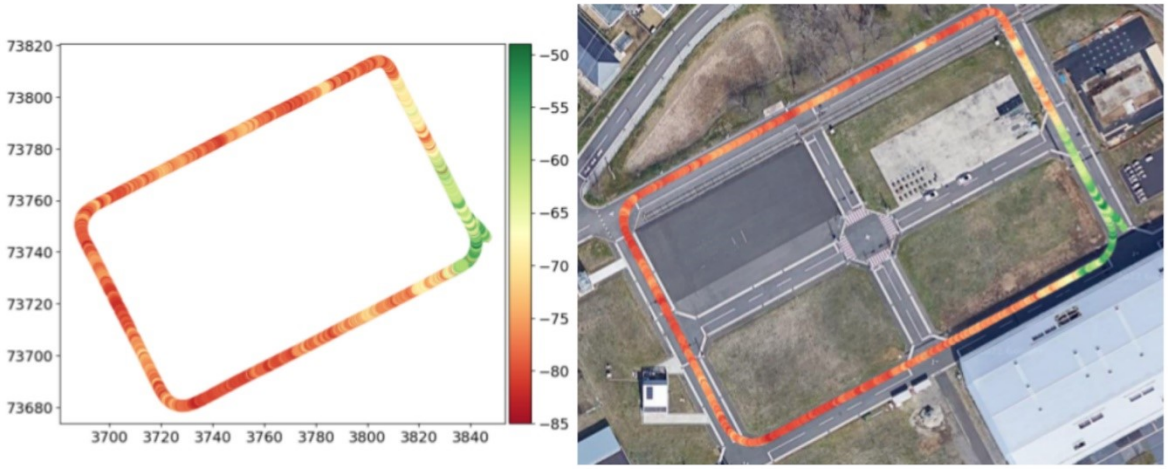


図 188　通信性能パラメータ RSSI を柏のマップに可視化

同じシナリオでの CAV の PDR 値を図　189 に示す。一部のエリアでは RSSI が低いにもかかわら

ず、CPM の PDR はほとんどのエリアで高い値になっていることがわかる。しかし、左上隅と下端付近の一部の場所では PDR が 60%程度まで低下している。これは、Wi-Fi チャネルの干渉により、ネットワークの状態が大きく劣化したためと思われる。特に外周の南端では、CAV が RSU の近くに戻ってくるまで、PDR は 70%前後に留まっている。

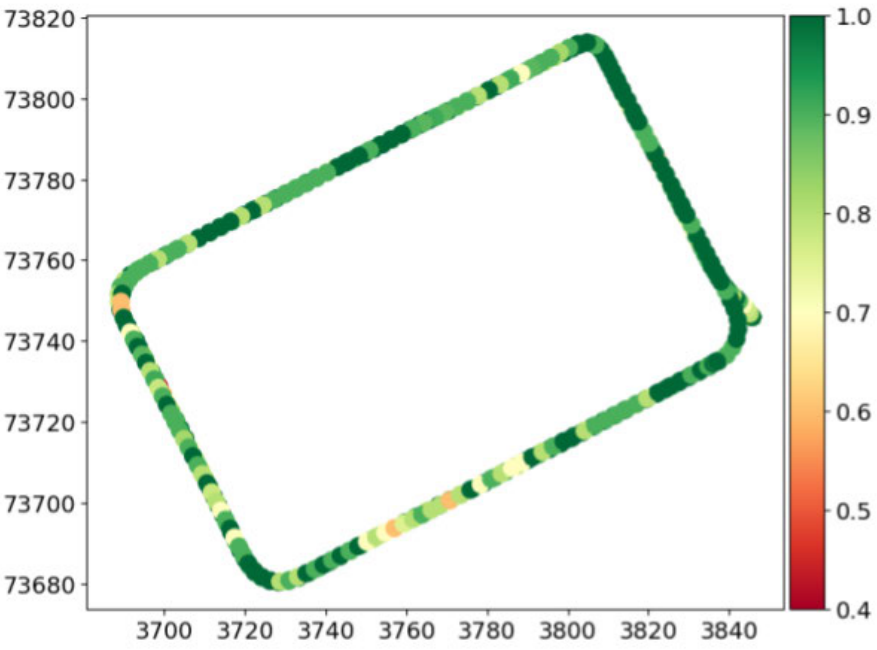
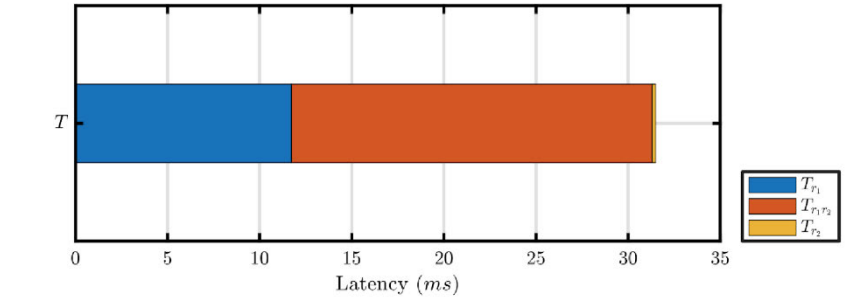
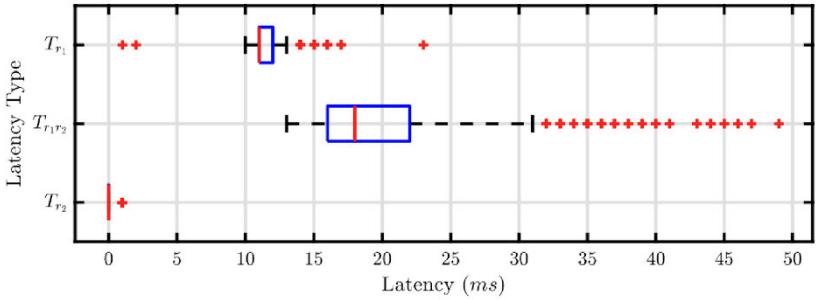


図 189　通信性能パラメータ PDR (Packet Delivery Ratio)を柏のマップに可視化

CPM の E2E の遅延の各遅延コンポーネントを図　190 に示す。RSU の自動運転スタックでの処理時間 Tr1 は約 15 ms、RSU と CAV 間の無線通信の遅延 Tr1r2 は約 9 ms とわずかである。CPM の受信側は CPM から情報を抽出し、ROS2 トピックとして自動運転スタックに公開するだけなので、CAV での処理時間 Tr2 は 1 ms 未満である。合計すると、RSU の自動運転スタックが認識したオブジェクトは、RSU から CAV の自動運転スタックに 30 ms 以下で配信されたことになる。



(a) Average total latency T



(b) Breakdown of latency $T_{r_1}, T_{r_1 r_2}, T_{r_2}$

図 190　通信性能パラメータ E2E 遅延とその内訳

iii) ブラインドスポット（死角）シナリオにおいて AutowareV2X の評価

ユースケース検証の 1 つとして、ブラインドスポット（死角）シナリオにおいて、AutowareV2X 及びその協調認知アプリケーションの評価を行った。交差点に設置された RSU が近傍の物体を認識し、その情報を CPM のパケットで接近する CAV にブロードキャストするシナリオである。シナリオの基本的な構成を図 191 に示す。ブラインドスポットからは車と歩行者 2 人が図下方から交差点に近づく。接近してくる歩行者 2 名と車両は建物の壁で死角となり自動運転車 CAV T1 のセンサーでは検出できない形になっている。その時、RSU は死角にある物体を検出し、その情報を CAV に送信することができる。

このように、CAV は車載センサーと CPM で共有される物体情報の両方によって、より広い範囲（死角などの今まで認識し得なかったエリア）を認識することができるようになった。実験の様子を図 192 に示す

死角シナリオでの CAV の速度と位置の推移を協調型路側機 RSU からの情報がある場合とない場合で示したのが図 193 になる。赤線は RSU から CPM が送信されない場合の CAV の速度である。CAV は死角にある物体に気づかず、減速することなく交差点を通過している。青線は RSU から CPM が送信され、CAV が死角の物体を認識できたときの CAV の速度である。CAV は、AutowareV2X から CPM という形で共有された情報により、死角の後ろの歩行者と車両が交差点に近づいていることを認識することができる。そのため、交差点に入る前に減速し、完全に停止した後、安全が十分に確認できた時点でゆっくりと再出発することができている。

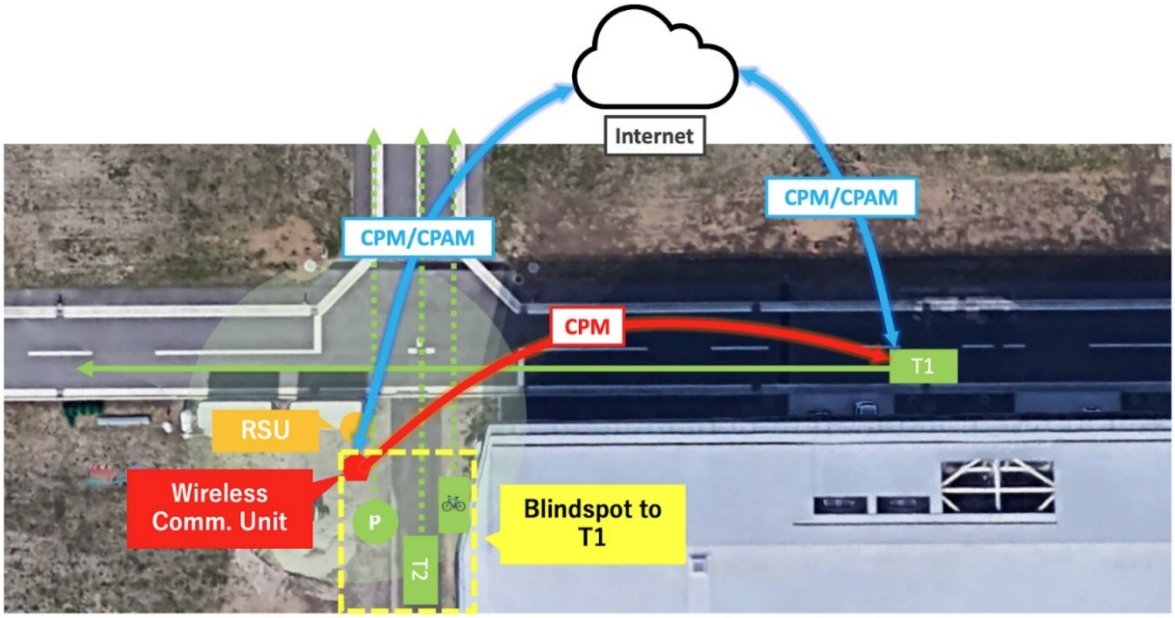


図 191　死角のシナリオ

[1] ETSI. Intelligent Transport Systems (ITS);Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2; TR 103 562 - V2.1.1 , 2019

[2] Shinpei Kato, Shota Tokunaga, Yuya Maruyama, Seiya Maeda, Manato Hirabayashi, Yuki Kitsukawa, Abraham Monrroy, Tomohito Ando, Yusuke Fujii, and Takuya Azumi. Autoware on board: Enabling autonomous vehicles with embedded systems. In 2018 ACM/IEEE 9th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS), pages 287–296, April 2018.

[3] Steven Macenski, Tully Foote, Brian Gerkey, Chris Lalancette, and William Woodall. Robot operating system 2: Design, architecture, and uses in the wild. Sci Robot, 7(66):eabm6074, May 2022.

[4] Raphael Riebl, Christina Obermaier, Stefan Neumeier, and Christian Facchi. Vanetza: Boosting research on inter-vehicle communication. Proceedings of the 5th GI/ITG KuVS Fachgespräch Inter-Vehicle Communication (FG-IVC 2017), pages 37–40, 2017.

[5] Autowar documentation - planning simulation. https://autowarefoundation.github.io/autoware-documentation/main/tutorials/ad-hoc-simulation/planning-simulation/. Accessed: 2023-01-10.

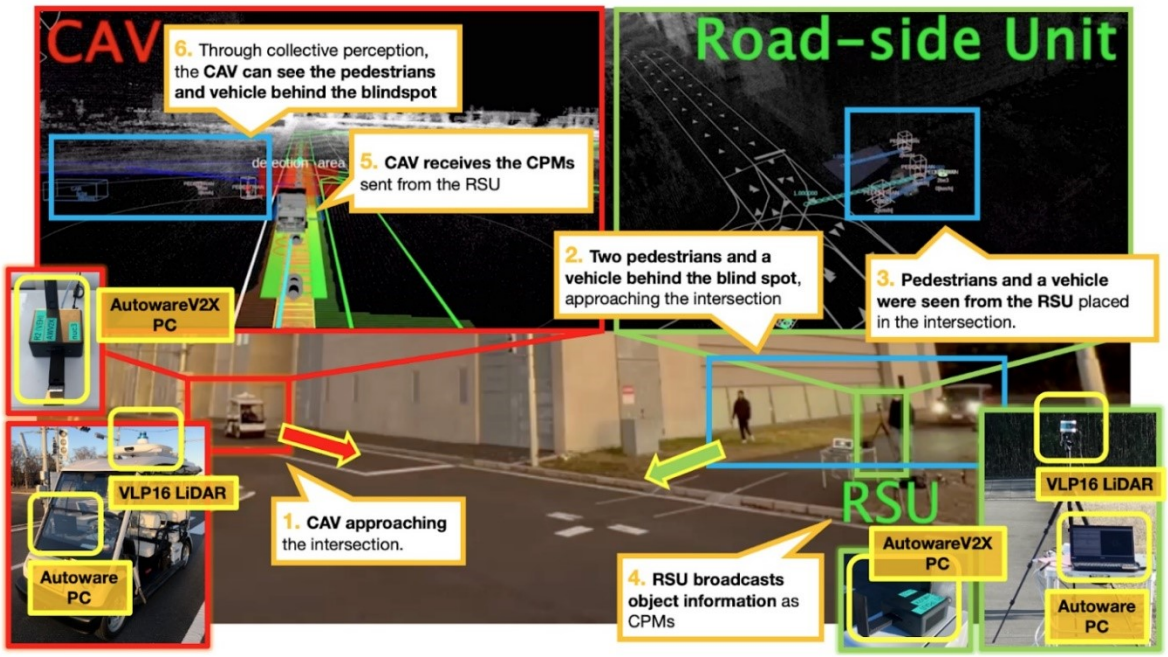


図 192　協調型路側機の CPM メッセージにより自立型センサーよりも幅広い範囲の認識が可能

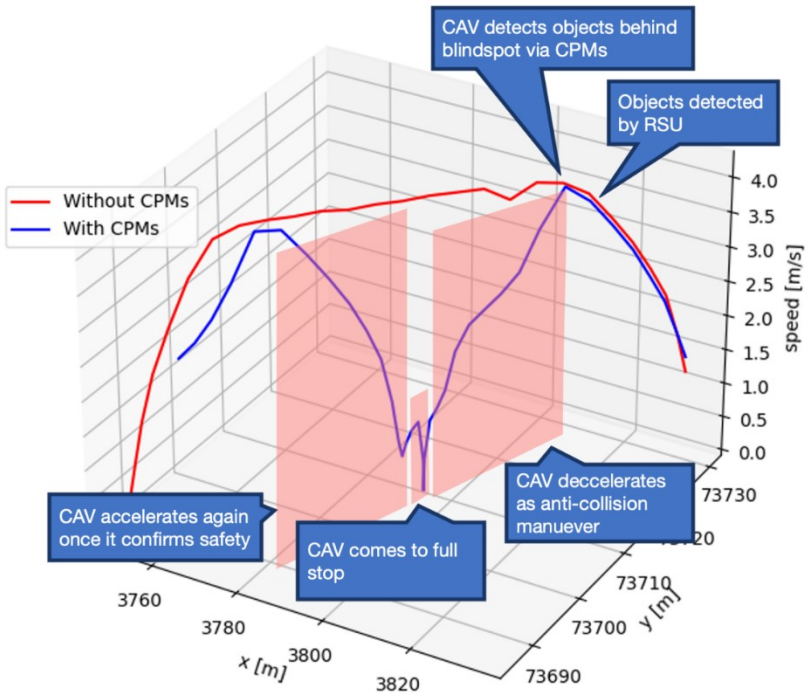


図 193　CAV の速度と位置の推移

(2) 各種プロトコルの通信性能を比較可能なフィールド実験性能測定ソフトウエアの開発

協調型自動運転では、車両が移動するという特性上、通信の混雑、電波干渉や通信先との距離、

障害物などによって通信が安定するとは限らない。また、通信が安定しない場所では、交差点の先などの自車両のセンサーだけでは死角となり、認識できない場所の情報が適切なタイミングで手に入らないという問題がある。自律型の自動運転では、死角から歩行者や自動車が飛び出してくる可能性のある状況では一時停止するのが一般的となっている。一方で協調型の自動運転では、通信によって死角をなくすことができるが、パケットロスによって検知された物体の情報が届かなかったり、遅延が発生して、物体の位置が大きくずれていた場合に衝突の危険がある。そこで協調型認識を使う場面では通信性能を事前に検証できるツールが必要になってくる。また、通信性能を比較するツールを使って様々な実験、検証を繰り返すことによって実際検証に必要となる通信性能パラメータの整理ができ、共通データセットを作る際の有効な情報にもなる。

また、通信性能が悪いことによって、死角の先の情報が手に入っていないのか、そもそも死角の先に物体が存在しないのかを把握する必要がある。自動運転車の経路上の通信性能を事前に把握することができれば、通信性能に応じて、協調型と自律型の自動運転を切り替えたり、そもそも通信性能が悪い場所を通らない経路計画などが可能になるため、協調型自動運転の安全性が向上する。

今年度は、これらの課題を解決するために通信性能評価・可視化ソフトウエアの 2 つのプロトタイプを開発した。バージョン 1 では路側機・車載機 1 対 1 のシナリオに限ってリアルタイムに路側機から送られる情報をもとに通信性能を分析・可視化する。ネットワークパラメーターをリアルタイムに分析し保存するため再現性は考慮されていない。バージョン 2 ではまず、実験で得られたデータをオフラインで分析、可視化できる機能が付け加えられた。これによって、実験後同じシナリオを何度も再現し、違った観点からの分析が可能になる。これに加えて、複数の路側機、複数の車載機から得られた情報をもとに通信性能を車載機単位、そして路側機単位で分析、可視化できる機能が付け加えられた。また、バージョン 1 では通信性能を分析・可視化するためには、路側機から本来の協調型システムで送られるパケットと異なったフォーマットのパケットを iperf で送る必要があるのに対し、バージョン 2 のソフトウエアでは、本来のプロトコルに沿って送られたパケットを通信性能の分析に使える。これによって実際の実証実験で得られた情報をそのまま通信性能の分析・可視化に使えるメリットがある。

i） 関連研究と課題

V2X 通信のフィールド実験を行った研究では通信性能の分析に ping や iperf などのツールを採用している場合もある[6, 7]。しかし、ping や iperf などのツールにはフィールド地理的特性を反映していない、V2X 通信で使われるプロトコルの特性を反映していないなどの問題がある。そこで、地理的特性を考慮した V2X 通信分析ツールとして AnaVANET (Analyzer for Vehicular Ad-hoc Networks) [8]がある。このシステムは V2X の通信プロトコルである GeoNetworking の解析を可能としており、GPS ログと TCP DUMP ログを入力として gnuplot によるグラフ化や Google マ

ップによる可視化をしている。
GeoNetworking とは、送信元車両から宛先の車両に情報を送信する際に、直接は通信できない場所にいるときでも、他の車両を中継してマルチホップすることで、宛先まで情報を届ける通信方式である。

上で説明したツールでは、以下のような課題があるため、これらを考慮した協調型自動運転のための通信性能分析、可視化ソフトウエアを開発した。

- **課題 1: 地理的特性サポート**

  通信性能の分析に一般的に使用されるツールである ping や iperf が挙げられる。しかし、ping や iperf では、フィールドの地理的特性を反映していないという問題点がある。自動運転車は、移動物体であるという特性上、遮蔽物や斜面などの地理的現状の特性を反映した通信性能分析を行う必要がある。
- **課題 2: GeoNetworking 解析**

  課題 1 と同様に ping や iperf は、V2X の通信プロトコルである GeoNetworking に対応していない。協調型自動運転の通信性能分析、可視化のためには GeoNetworking の対応が不可欠である。
- **課題 3: リアルタイム性**

  Anavanet では、フィールドの地理的特性の考慮と、GeoNetworking への対応が可能になった。一方で、データをすべて集めた後に、通信性能の分析を行うという性質上、iperf や ping に存在していたリアルタイム性という利点を失っている。自動運転車を走らせながら、通信性能が確認できるように、通信性能の分析を行う手法を提案する必要がある。
- **課題 4: 様々なシナリオサポート**

  限られた場所やシナリオだけでなく、どんな場所、どんなシナリオでも動作するシステムが求められる。V2X 協調型運転システムにおける通信性能のリアルタイム可視化ツールでは、RSU と車両の間の接続が切れた場所で、パケットロスの分析ができないという問題があった。
- **課題 5: 通信性能の共有**

  関連研究[8,9]では、通信性能の分析と可視化までしか行っていない。分析した通信性能を他車両に共有できるようすることで、次に同じ場所を通る車両が自律型と協調型の切り替えや、走行経路の変更を行うことができる。しかし、協調型自動運転車両の通信性能を分析した後、他車両に共有する研究は存在しない。

ii) 通信性能評価・可視化ソフトウエア　プロトタイプ 1

① 協調型自動運転のための NP 分析と可視化

ping や iperf では、対応できない、協調型自動運転に特化した NP 分析、可視化システムを作成する。具体的には、遮蔽物や斜面などの地理的特性を反映する。NP を計測する際に、常に車両の位置情報と紐づけて保存する。これによって、どの地点でどの程度通信ができるのかのデータが取得できるため、地理的特性を考慮した NP 分析、可視化が可能となる。

また、協調型自動運転の NP 分析、可視化のためには V2X の通信プロトコルである、GeoNetworking によるマルチホップ対応が不可欠である。マルチホップに対応させるため、通信経路とその経路ごとの NP 分析、可視化を行うことができるように設計をする。具体的には、流れてくるパケットをパケットキャプチャでキャプチャすることによって、それぞれの経路間の NP を計測する。例えば、送信元の車両 A が中継車両 B、C を経由して、宛先車両 D へと GeoNetworking でマルチホップして通信した場合、AB、BC、CD 間の NP を計測することができる。

一般的に、Autoware を用いた自動運転の実験では、実験時に rosbag ファイルを保存しておき、実験後に rosbag ファイルを再生することによって、いつでも実験時の状況を再現することが可能となる。NP 分析した結果も ROS メッセージとして、パブリッシュすることによって、rosbag ファイルに保存することができるようになり、NP に関するデータも実験後に再現できる。また、ROS メッセージとしてパブリッシュすることによって、Autoware の標準可視化ツールである RViz 上に通信性能を可視化することができる。

NP 分析、可視化のシステムを作成するにあたって、汎用的に利用できるように設計する。限られた場所やシナリオだけでなく、どんな場所、どんなシナリオでも動作するシステムを作成する。V2X 協調型運転システムにおける通信性能のリアルタイム可視化ツールでは、RSU と車両間の両者の接続が切れた場合、通信性能の可視化ができなかった。本システムでは、接続が切れた場合や、パケットロスが 100%の場合でも、持続的に分析、可視化可能なものとする。通信性能を分析する際に、接続が切れても、送信側でパケットを流し続けるようにする。

また、受信側で、接続が切れていても、パケットが 1 つも届かなかったとみなすようにする。NP 分析、可視化システムの使用用途として、実験後の NP 分析だけでなく、実験中にも、NP が確認できるように、リアルタイムで動作するシステムとする。リアルタイムで、パケットロスを計算するためには、送信パケット数と受信パケット数を把握することが必要である。

しかし、送信パケットが動的に変化する場合、受信側で送信パケット数を把握することが難しい。そこで、パケットロスをリアルタイムで計測するため、送信側で送信する単位時間あたりのパケット数を固定する。

また、NP の分析、可視化は双方向に行うものとする。RSU から車両への NP だけでなく、同時に車両から RSU の NP も分析、共有する。RSU、車両の両方で、NP 分析用の ROS ノードを作成する。

② 汎用性

NP 分析、可視化のシステムを作成するにあたって、汎用的に利用できるように設計する。

限られた場所やシナリオだけでなく、どんな場所、どんなシナリオでも動作するシステムを作成する。V2X 協調型運転システムにおける通信性能のリアルタイム可視化ツールでは、RSU と車両間の両者の接続が切れた場合、通信性能の可視化ができなかった。本システムでは、接続が切れた場合や、パケットロスが 100%の場合でも、持続的に分析、可視化可能なものとする。通信性能を分析する際に、接続が切れても、送信側でパケットを流し続けるようにする。

また、受信側で、接続が切れていても、パケットが 1 つも届かなかったとみなすようにする。NP 分析、可視化システムの使用用途として、実験後の NP 分析だけでなく、実験中にも、NP が確認できるように、リアルタイムで動作するシステムとする。リアルタイムで、パケットロスを計算するためには、送信パケット数と受信パケット数を把握することが必要である。

しかし、送信パケットが動的に変化する場合、受信側で送信パケット数を把握することが難しい。そこで、パケットロスをリアルタイムで計測するため、送信側で送信する単位時間あたりのパケット数を固定する。

また、NP の分析、可視化は双方向に行うものとする。RSU から車両への NP だけでなく、同時に車両から RSU の NP も分析、共有する。RSU、車両の両方で、NP 分析用の ROS ノードを作成する。

③ ネットワーク分析

ネットワーク分析するプログラム (NP Analyzer) は 3.1 節で述べた要求事項を満たすため ROS ノードで作成する。まず、wireshark [10]を使用して、iperf パケットのキャプチャを行う。iperf では、パケットサイズ 1.6Kbit のパケットを、1 秒間に 625 個送信しており、合計 1Mbit の帯域幅となる。wireshark で 1 秒間に受信したパケット数と送信パケット数を比較して、1 秒間のパケットロスを算出する。また、受信したパケットのサイズとパケットの数から 1 秒間の帯域幅を算出する。Jitter は RFC3550 [11]で定義された以下の式から算出する。

$$D(i,j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i)$$
$$J(i) = J(i-1) + (|D(i-1,1)| - J(i-1))/16$$

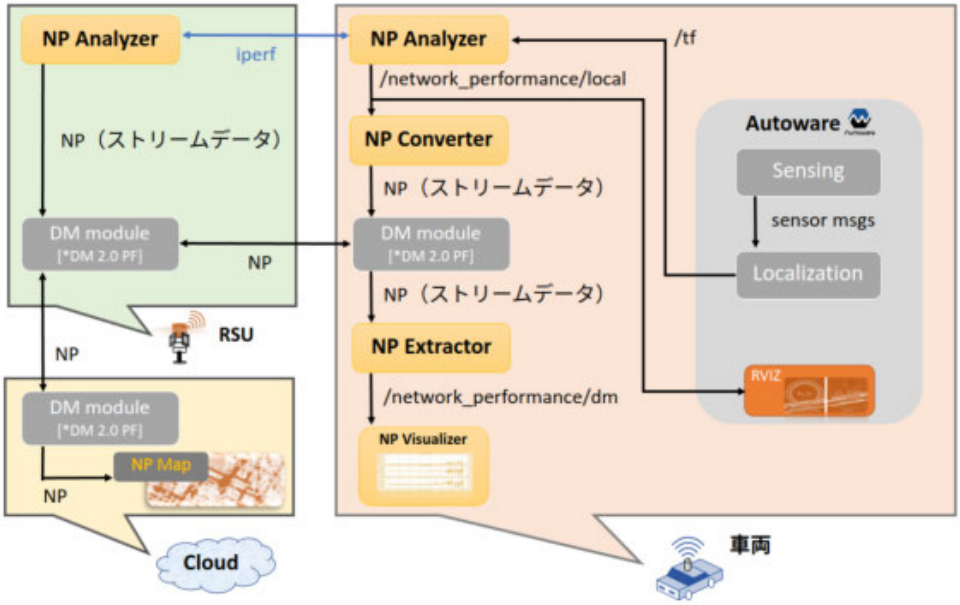


図 194　提案システムの ROS ノードとメッセージの流れ

S はパケットのタイムスタンプ、R はパケットの到着時刻、D は送信側と受信側のパケット間隔の差、J は Jitter を表している。2 つのパケット i と j が届いたときに、パケット i と j の送信側と受信側のパケット間隔の差は D(i, j)で表され、D を用いて Jitter を求めることができる。

表 95　NetworkPerformanceMsg の定義

データ型	変数名	用途
string	id	MAC アドレス
string	src	パケットの送信 IP
string	dst	パケットの受信 IP
float32	x	位置座標 x
float32	y	位置座標 y
float32	z	位置座標 z
float32	packetloss	パケットロス
float32	bandwidth	帯域幅
float32	jitter	ジッター

④ ネットワーク可視化

1. JSK ROS Package

RViz 上に NP を可視化する方法として、東大 JSK が開発した JSK ROS Package を使用する。JSK ROS Package は ROS 用の可視化ライブラリで、RViz のプラグインや rqt のプラグインが公開されている。RViz のプラグインの中でも PieChart と Plotter2D を使用して可視化する。

PieChart は円グラフとなっており、Plotter2D は曲線グラフとなっている。また、グラフだけでなく、数値に応じて色を変化させることも可能である。今回はパケットロスを PieChart で表示し、Jitter を Plotter2D で表示した。また、NP が良いときは青色で表示し、悪いときは赤色で表示した。色が変わるしきい値は、用途に応じて変更しやすいように、RViz から変更可能である。元々、JSK ROS Package は ROS1 で動作するものであったため、Autoware のバージョンに合わせて、ROS2 で動作するように変更した。NP Analyzer によってパブリッシュされた ROS トピック /network performance/local をサブスクライブして NP 可視化を行う。

2. Matplotlib

RSU から自車両、自車両から RSU、他車両と RSU 間の NP を matplotlib [12]を使用してグラフで可視化する。matplotlib を使用した可視化も ROS ノード（NP Visualyzer）として実装し、NP Extractor によってパブリッシュされた ROS トピック（/network performance/dm）をサブスクライブして、可視化する。

3. 地図上に NP 可視化

V2X 協調型運転システムにおける通信性能を色分けしながら、点でプロットし可視化する。パケットロスが良い状態だと青で表示し、悪くなるに連れて、緑、黄色、オレンジ、赤と変化させる。RViz 上に可視化するため、ROS ノードとして実装し、プロットには RViz 上にオブジェクトを描画するライブラリである marker を使用する。

4. データ補間

単位時間あたりの通信性能を分析してその地点を通信性能に応じてプロットする。このとき、後から、通信性能を参照しようとすると、プロットとプロットの間の通信性能がわからないという問題がある。そこで、取得した NP のデータを補間することによって、プロット間の NP を参照できるようにする。補間の手法として、線形補間を実装する。線形補間とは、2 つのデータの間の値を一次関数で近似して求める手法で計算量が少ない点やオーバーシュート、アンダーシュートが生じない。一方で、接続がなめらかではないため、サンプル点以外の精度が落ちることが問題である。これを解消するには、サンプル点をより細かくする必要がある。今回は計算量が少ない点から、コンピュータリソースを圧迫しないため、線形補間を使用する。

⑤ 実験・評価

ここでネットワーク性能測定ソフトウエアの機能の評価を行うため、RSU と車両間の通信実験

を行う。通信方式は、IEEE802.11g[13]の AP モードで、RSU を AP とした。また、2.4GHz のチャンネル 1（2401MHz-2423MHz）を使用した。実際に、使用した機材のスペック、ソフトウエアのバージョンを表 96 に示す。車載器として、自動運転用の GPUPC と、NP 分析のための NUC の 2 台を使用し、RSU では、NP 分析のための NUC を 1 台のみ使用する。

まず、インドアで、NP 分析、可視化が正常に動作するかの確認を行う。具体的には、tc コマンドを使用して擬似的にパケットロスを発生させたときの、NP 分析、可視化の数値が、擬似的に発生させたパケットロスと一致するかを確認する。次にアウトドアで、実際に RSU を設置して、車載器を載せた車両を動かすことによって、位置情報を考慮した可視化を行う。東京大学柏の葉キャンパステストコースで、取得した位置情報とその場所の NP を補間し、可視化する。取得した NP のデータから、補間精度、動的物体による NP 変動の 2 点を評価する。

表 96 使用した機材のスペックとソフトウエアのバージョン

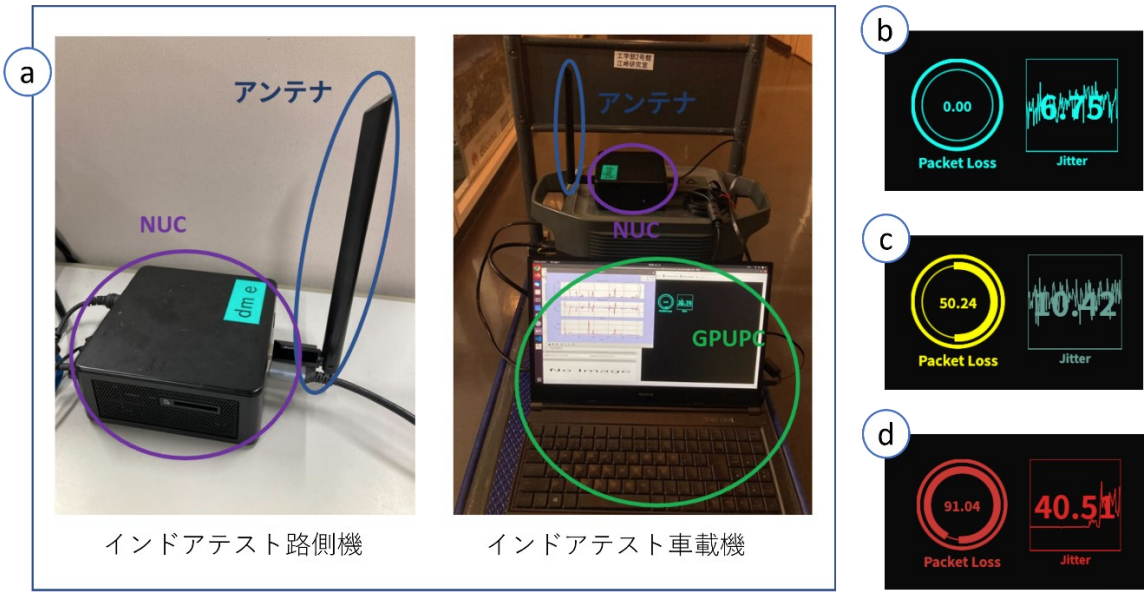
項目	車載器		RSU
PC	G-Tune H5	Intel NUC11PAHi5	Intel NUC11PAHi5
CPU	Core i7-10875H 2.30GHz 16core	Core i5-1135G7 4.20 GHz 4core	Core i5-1135G74.20 GHz 4core
GPU	NVIDIA GeForceRTX 2070 SUPER	--	--
RAM	64GB	64GB	64GB
アンテナ	--	TP-Link Archer T3U Plus	TP-Link ArcherT3U Plus
OS	Ubuntu20.04	Ubuntu18.04	Ubuntu18.04
NVIDIA Driver	510.108.03	--	--
CUDA	11.6	--	--
Autoware	Autoware.universe 最新バージョン	--	--
ROS	galactic	dashing	dashing
wireshark	--	2.6.10	2.6.10
iperf	--	2.0.20	2.0.10

1. インドアテスト

室内で、作成した NP 分析と可視化のプログラムの動作確認を行った。RSU を図 195（a 左）のように仮想的に設置し、車載器を図 195（a 右）のように台車に載せて動かしながら、動作を確認

する。

まず、NP 分析の動作を確認する。NP が非常に良い状況下（RSU と車載器を距離 1m 程度で、障害物等もない状態）で NP を出力すると、パケットロスは 0%から 0.16%の間で推移しており、Jitter は、約 6.3ms で安定していた。動作確認のため、tc コマンドを使用してパケットロスを 50%発生させると、システムが分析したパケットロスは 48.4%から 52.1%の間で推移しており、Jitter は 9ms から 13ms の間で変動した。また、パケットロスを 90%にすると、システムが分析したパケットロスは、88.4%から 91.4%の間で推移しており、Jitter は 27ms から 43ms まで増加した。以上のことから、実装したソフトウエアでは、±2%程度の精度で、パケットロスを分析することができた。次に、リアルタイムの可視化の動作を確認する。NP が非常に良い状況下で可視化した様子を図 195（b）に示す。同様に動作確認のため、tc コマンドを使用して疑似的にパケットロスを発生させる。パケットロスを 50% にしたときに NP を可視化した様子を図 195（c）に、パケットロスを 90%にしたときに NP を可視化した様子を図 195（d）に示す。tc コマンドで発生させたパケットロスとほとんど同様の数値を示しており、数値に応じて色わけができていることを確認した。



インドアテスト路側機　　インドアテスト車載機

図 195（a）インドアテストでの路側機と車載機システム（b，c，d）車載機でのリアルタイム可視化 (a)NP が良いとき (b)パケットロス 50% (c)パケットロス 90%

次に、matplotlib を使用した可視化の動作を確認する。NP が非常に良い状態下で、NP を可視化した様子を図 196（左）に示す。同様に tc コマンドを使用して、パケットロスを擬似的に発生させる。RSU 側で tc コマンドを使用してパケットロスを 50%にしたときに NP を可視化した様子を図 196（右）に示す。tc コマンドで発生させたパケットロスと同様の数値でグラフが推移しており、

車両側、RSU 側の両方で動作を確認した。

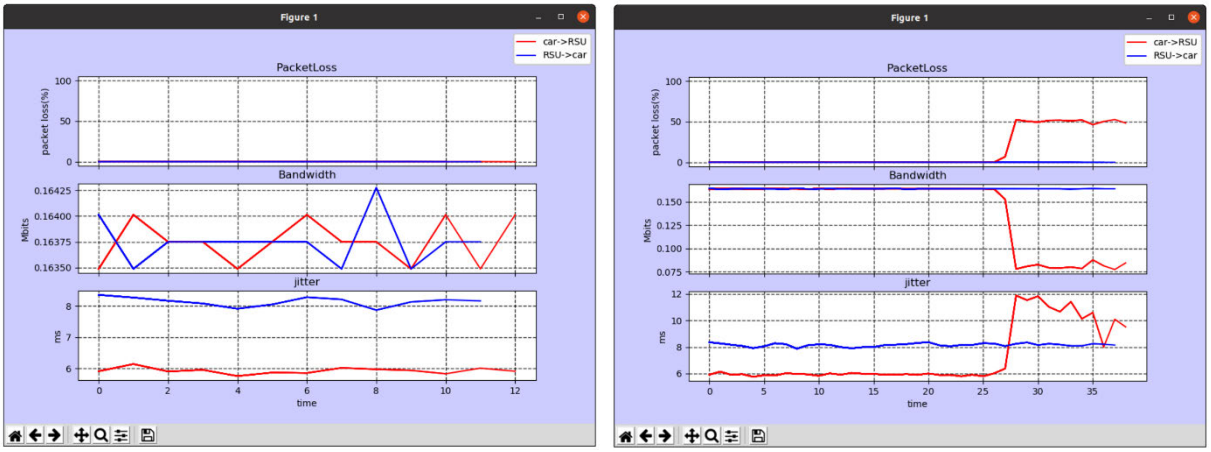


図 196 matplotlib での通信性能パラメータの可視化（左）通信性能が良い例（右）パケットロスが 50%の例

2. 東京大学柏の葉キャンパス ITSR&R テストコースでの実験

インドアテストで、 NP 分析と可視化の動作確認を行った後、東京大学柏の葉キャンパス ITSR&R テストコースで実際に車両を使用して実験を行った。柏の葉キャンパステストコースは、大学内にある実証フィールドであり、他の車両が通らないため、動的物体の影響を受けない理想的な環境下での実験となる。

テストコースの俯瞰図を図 197 に示す。路側機は図 197 の A の位置に図 198（左）のように、NUC とアンテナを設置する。このときアンテナの地面からの高さは約 155cm である。また、図 図 198（右）のように車に LiDAR（VLP-16)、アンテナ、NUC、GPUPC（G-Tune H5）を取り付けて、車両を動かしながら、RSU と車両間の通信性能を PCAP に保存する。また通信性能のパケットロスを可視化を行ったときの結果を図 200、図 199 に示す。図 199 はパケットロスの値に応じて、パケットロスが低い場合、青で、高くなるにつれて緑、黄色、オレンジ、赤と色分けしながら一秒に一度、現在位置にプロットしたものである。

図 197　柏の葉キャンパステストコース俯瞰図

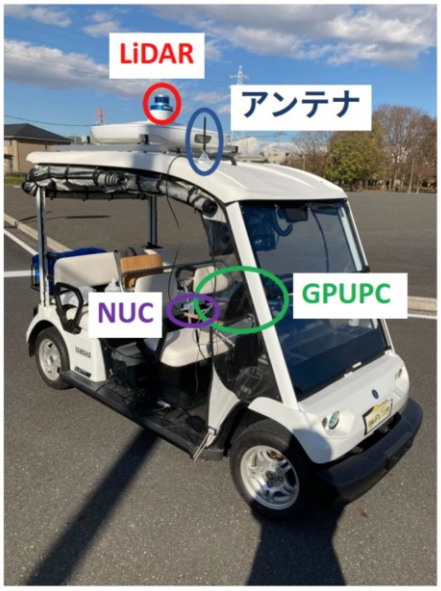


図 198　（左）柏の葉キャンパス RSU（A）（右）柏の葉キャンパス車両

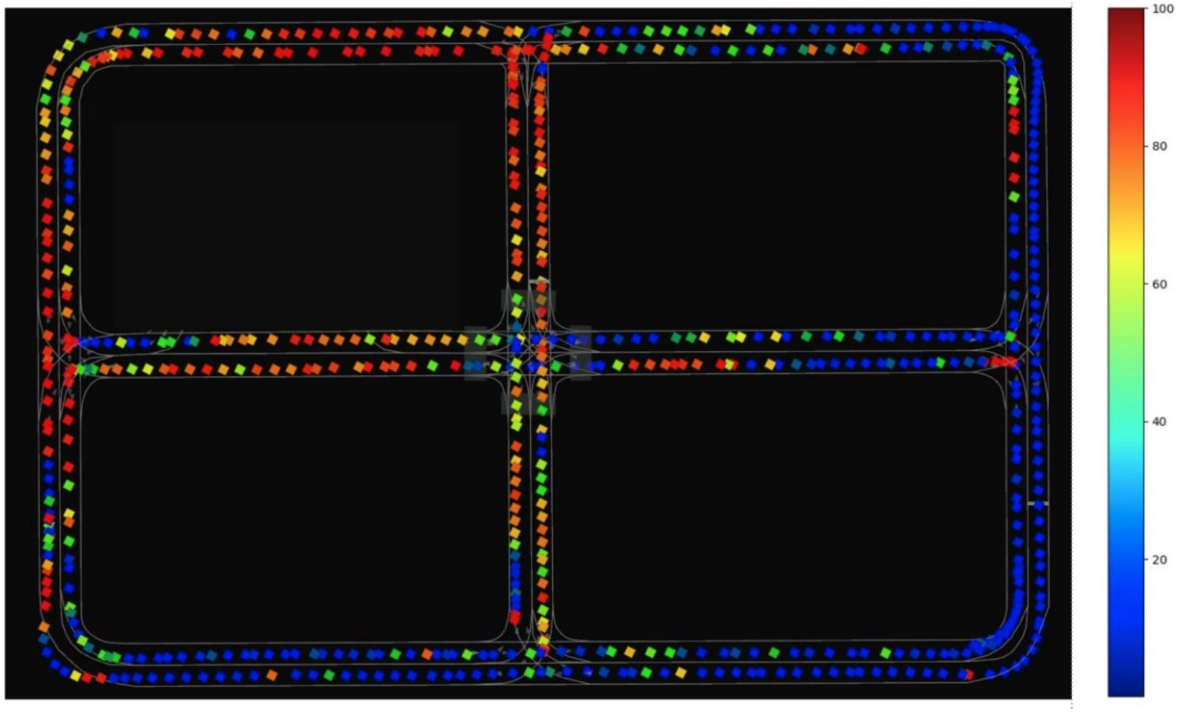


図 199 柏の葉キャンパステストコース可視化結果 A

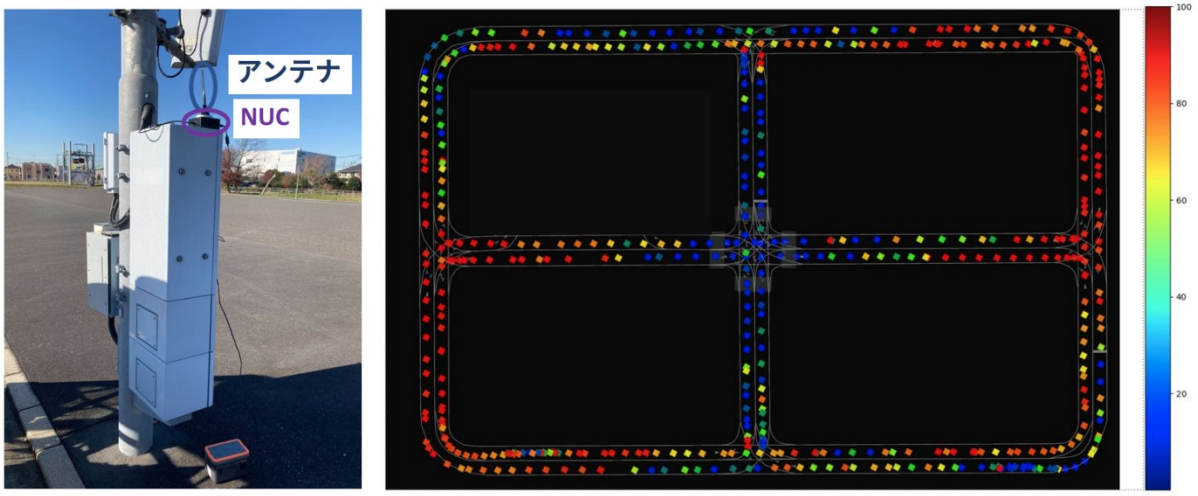


図 200（左）柏の葉キャンパス RSU（B）（右）柏の葉キャンパステストコース可視化結果 B

次に RSU の位置を図 197 の B の位置に図 200 のように NUC とアンテナを設置する。このときのアンテナの高さは、約 2m である。車両を動かして、パケットロスを可視化したときの結果を図 200 に示す。図 200 から、RSU と車両の距離が近いほど、パケットロスが小さい傾向があることがわかる。一方で、距離が遠い位置でも、距離の近い位置よりもパケットロスが小さくなっている地点もある。原因としては、電波干渉が考えられるため、周波数帯域を 2.4GHz から 5GHz に変更し、実験を実施した結果図 201 になった。このときの RSU の位置は図 197 の A の位置とし

た。2.4GHz から 5GHz に変更するとパケットロスがほとんどなくなっており、2.4GHz では電波干渉が起きていたと考えられる。

実際に VIAVI のスペクトラムアナライザ[14]を使用して、テストコースを 1 周して他の電波の計測を行った。周波数ごとの電波強度は図 202 となっており、使用していた帯域（2400MHz から 2423MHz の間）で全体的に-70dBm 程度の電波が存在していたことがわかる。また、テストコースを 1 周したときの電波の分布は図 203 となっており、テストコースでは、周波数帯や場所に応じて、飛んでいる電波の電波強度が異なっていたが、多くの場合-69dBm から-83dBm 程度の強さであった。また、最大で-64dBm、最小で-86dBm の電波強度が計測されており、これらが実験時の電波を阻害していたことがわかる。飛んでいた電波は、東京大学柏の葉キャンパス内にあるテストコースであるため、学内ネットワークである可能性や、付近が住宅地であるため、住宅地から来ていた電波である可能性が考えられる。

次に、柏の葉キャンパステストコースで取得したデータを使用して、補間精度、NP マップの動的物体による影響を評価する。

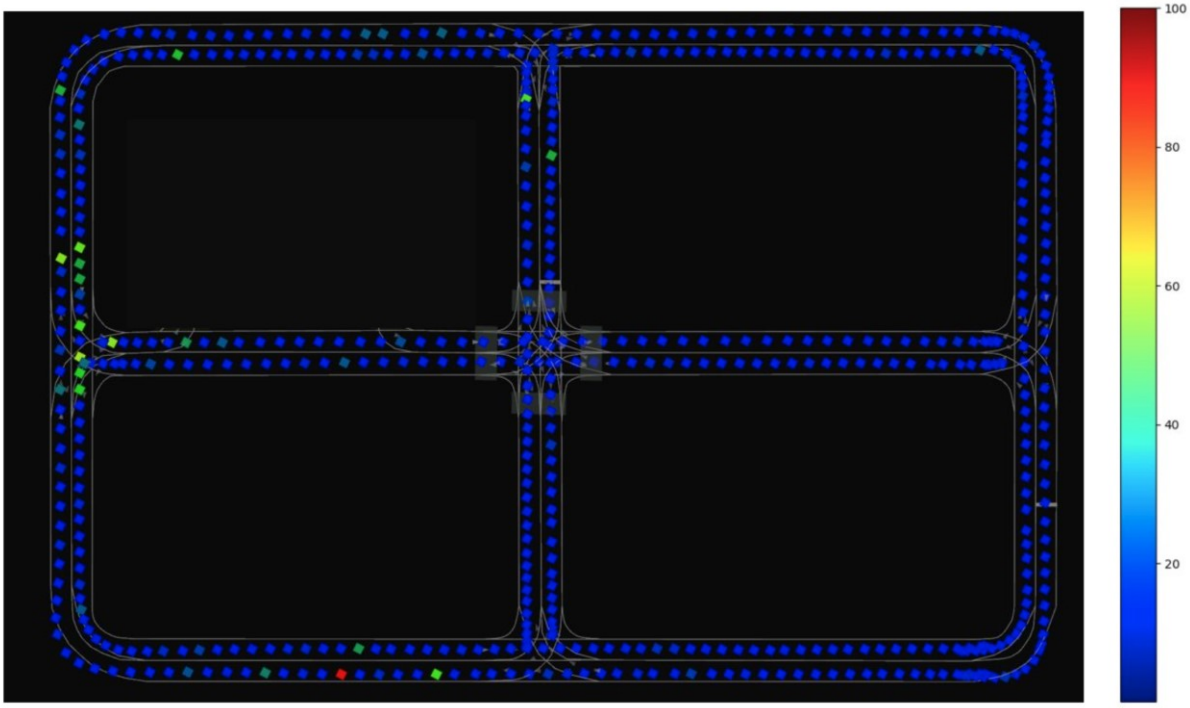


図 201　柏の葉キャンパステストコース可視化結果（5GHz）

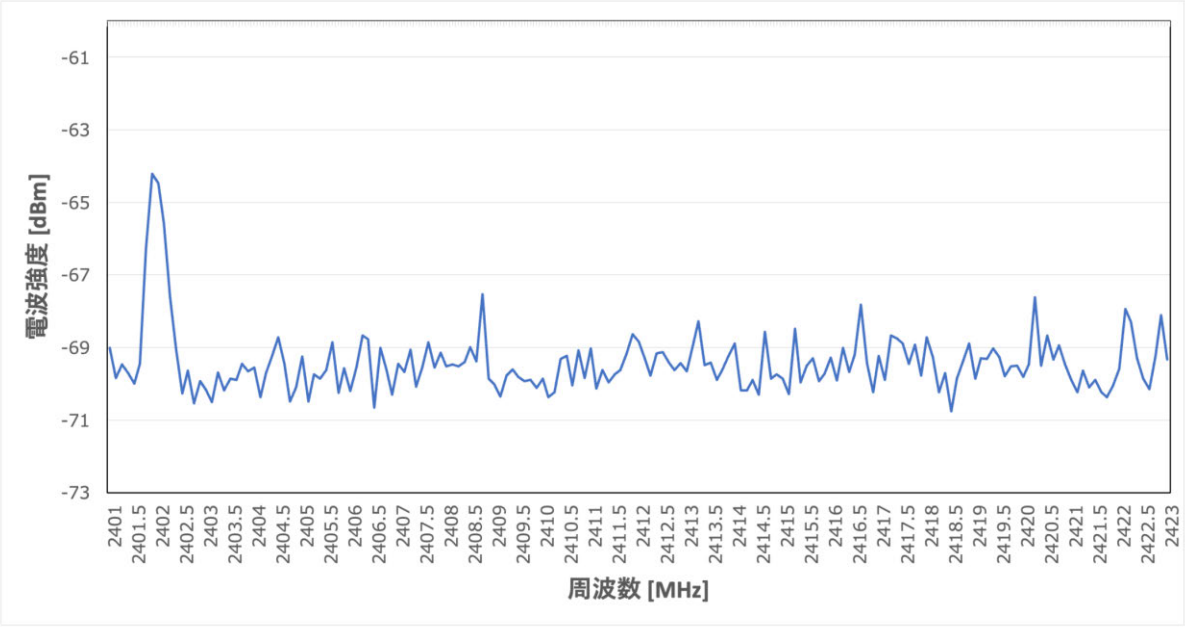


図 202　周波数ごとの電波強度

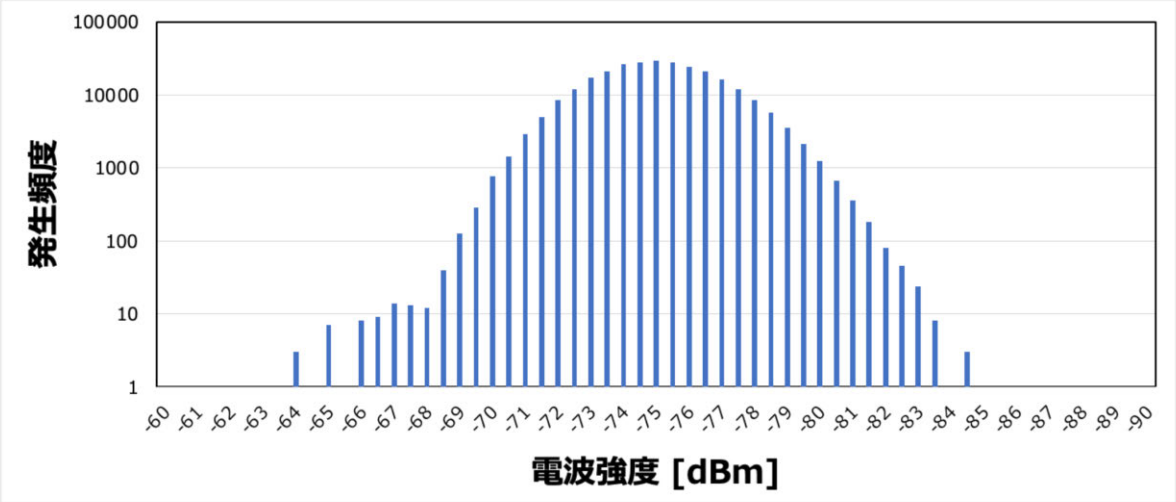


図 203　電波強度分布

3.　補間精度評価

補間精度評価では、車両が通過した場所を補間した場合の補間精度評価と、付近を走行したデータから通過していない場所の補間精度評価の 2 通りを評価する。まず、車両が通過した場所を補間した場合の補間精度評価をする。図 199 のデータを使用し、テストコース全体のパケットロスを線形補間すると図 204 のようになった。本図の中で、パケットロスの変動の大きい、一番上の横向きの車線（黒い楕円で囲われている地点）を使用して、補間精度の評価を行う。黒い楕円

で囲われている範囲を左から右へ走行したときのデータを図 205 に示す。

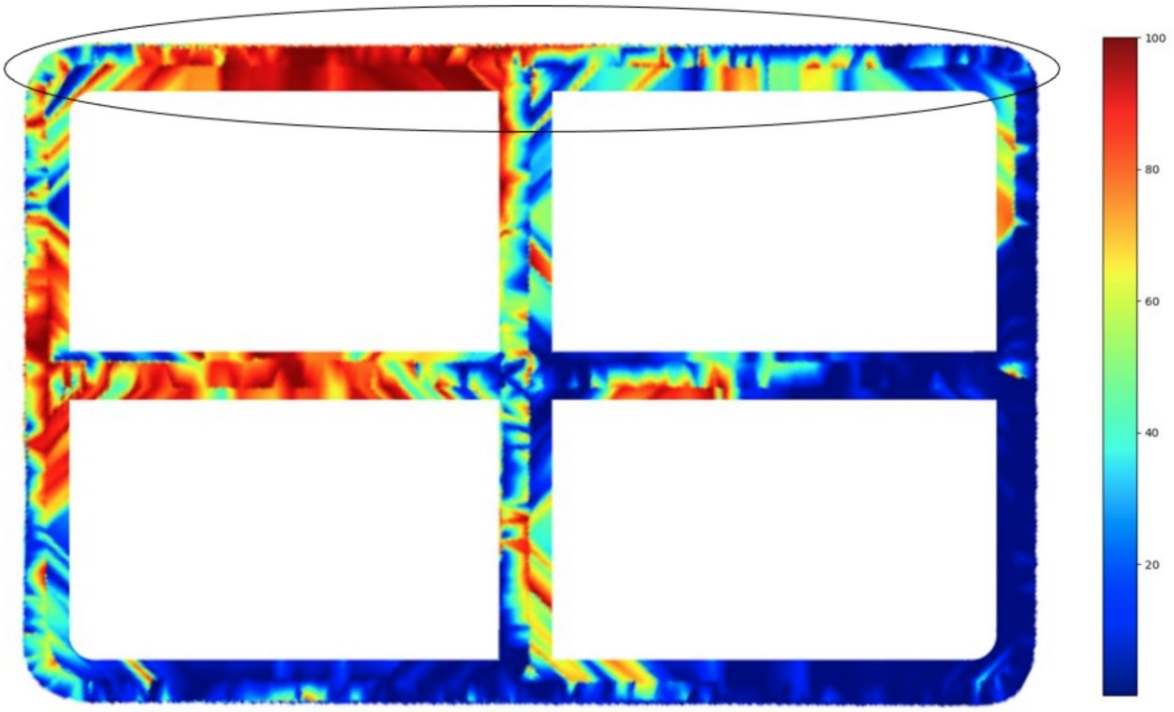


図 204　柏の葉キャンパステストコース補間結果

このデータを補間用データと、精度評価用データに分けて、補間用データのみを使用して補間を行った後、精度評価用データを使用して補間精度の評価を行う。また、補間用のデータの間隔を切り替えて補間を行うことで、NP 補間のために必要なデータ間隔を明らかにする。データ間隔を 4m、8m、16m として、線形補間を行った結果を図 206 に示す。 本図は、精度評価用データ（実データ）を黒色でプロットし、それぞれデータ間隔 4m、8m、12m のデータに線形補間を適用し、実データと線形補間で得られたデータを比較したものである。また、実データと線形補間で得られたデータの差をグラフにしたものを図 207 に示す。4m 間隔のデータでは、実データと線形補間で得たデータの差が最も小さく、平均 15%程度であった。多くの場合 30%以下で収まっているが、最悪のケースでは 52%となる瞬間もあった。8m 間隔のデータでは、平均 20.5%で平均では、4m 間隔のデータと大きな差はないが、最悪のケースが 87.1%であり、大きく補間精度が落ちる瞬間があることが確認できた。また、12m 間隔も同様に平均では、19.9%で、4m、8m の場合とほとんど変わらないが、最悪のケースが 96.7%となり、補間精度が悪くなる瞬間があった。また、補間精度が悪くなる瞬間を確認すると、図 207 から、65m 付近で補間精度が落ちていることがわかる。この瞬間の実データを図 206 から確認すると、パケットロスが大きく変動している瞬間であることがわかる。以上のことにより、線形補間では、平均すると悪くない補間精度であったが、パケットロスが大きく変動する瞬間に補間精度が落ちる。また、これを防ぐためには、データの間隔を小さくする必要があることがわかる。

次に、付近を走行したデータから通過していない場所の補間精度評価をする。図 208 のデータを使用して、2 つの走行経路の間の中央線の NP を補間する。補間精度評価のために図 209 のデータを使用する。

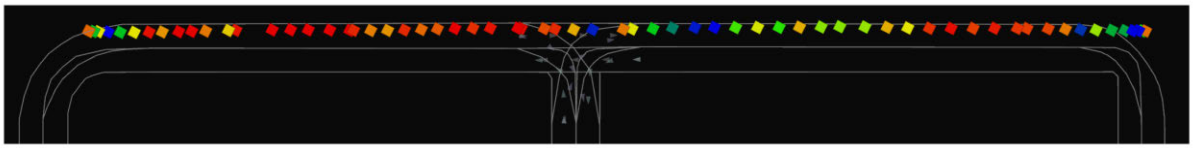


図 205　補間精度計測用データ

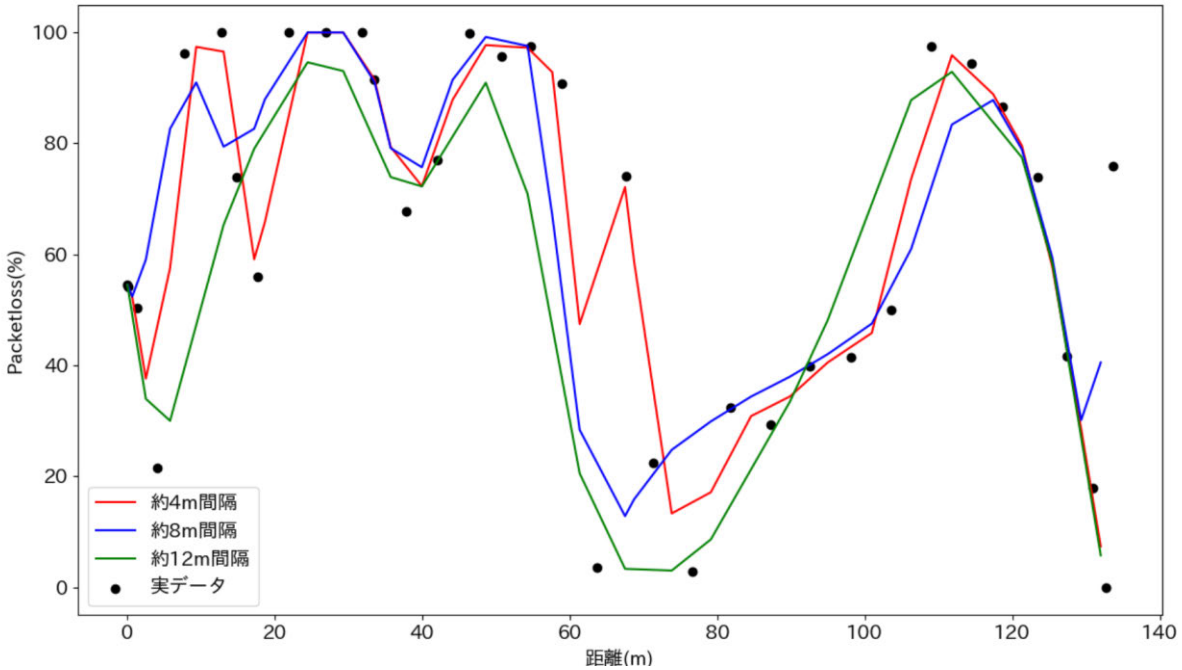


図 206　補間間隔ごとの線形補間結果

図 208 を使用して線形補間した結果を図 210 に示す。また、図 209 のデータと比較した結果を図 211 に示す。図 5.25 を見ると、線形補間した結果と実データでは、似たような推移をしている点もあるが、補間結果が実データと大きく異なっている点もあることがわかる。例えば、x 座標が 3700 のときのように急激なパケットロスの変動が起きると、補間結果と大きく異なっている。また、x 座標が 3720 から 3740 の間では補間結果はパケットロスが 50%から 90%を超えていることもあり、通信性能が非常に悪い地点であるように見える。一方で実データでは、それほど悪くなく、0% から 60%程度で推移している。補間前の元データを確認すると、図 212 の x 座標が 3720 から 3740（黒い楕円）の間で、左車線と右車線を走行したときのパケットロスと中央線を走行したときのパケットロスが大きく異なっている。

座標が 3720 から 3740 の間で補間精度が落ちてしまったと考えられる。結果として、線形補間では、急激なパケットロスの変動や、ある地点のパケットロスが周囲のパケットロスと異なる場合に、補間精度が低下した。

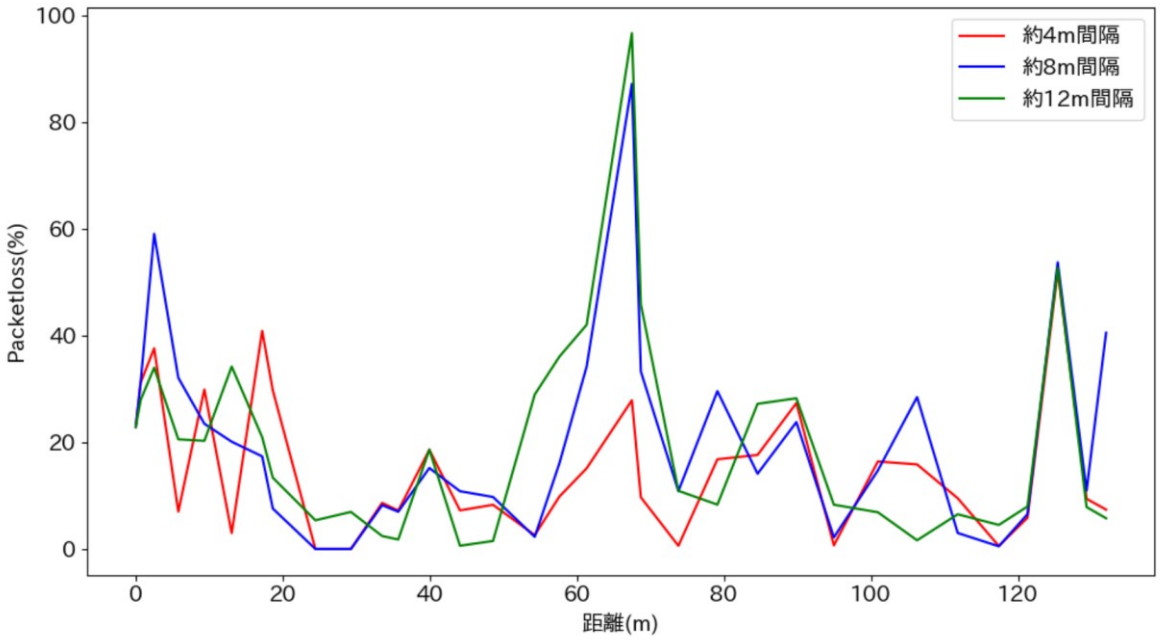


図 207　補間間隔ごとの線形補間精度

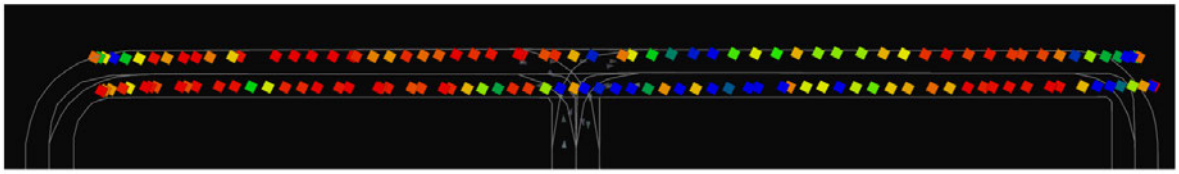


図 208　補間前データ

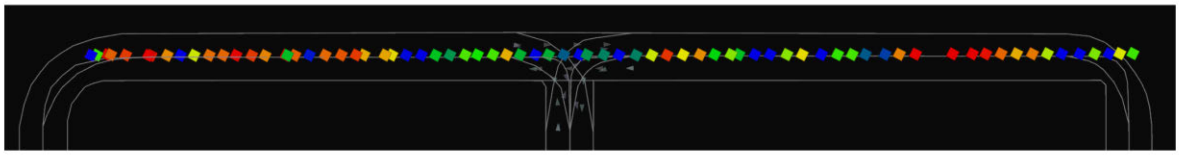


図 209　補間精度比較用データ

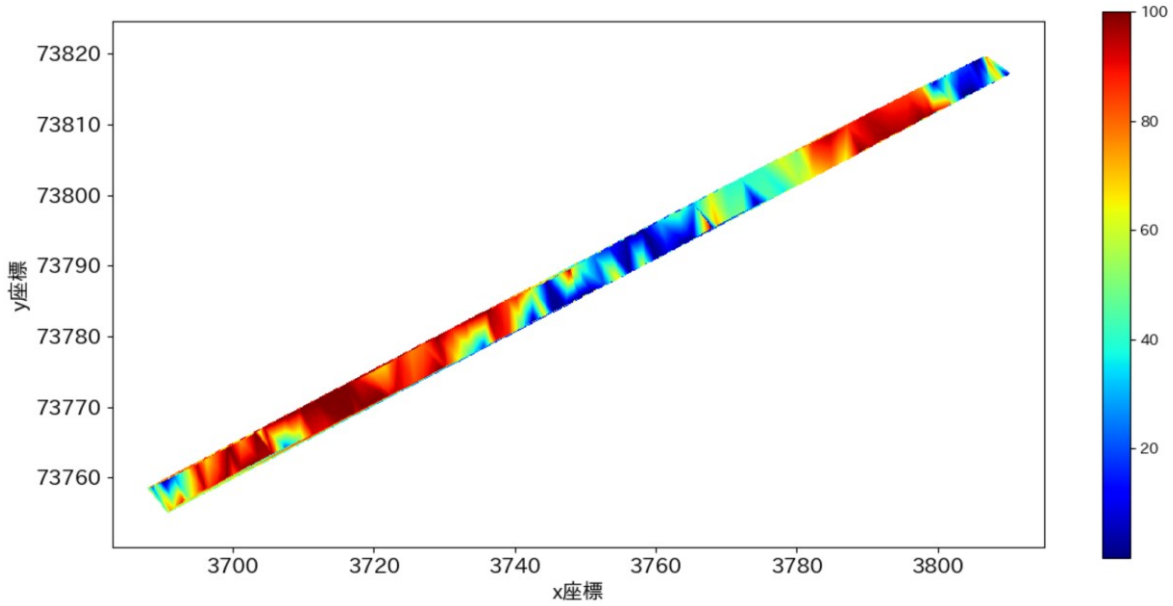


図 210　線形補間結果

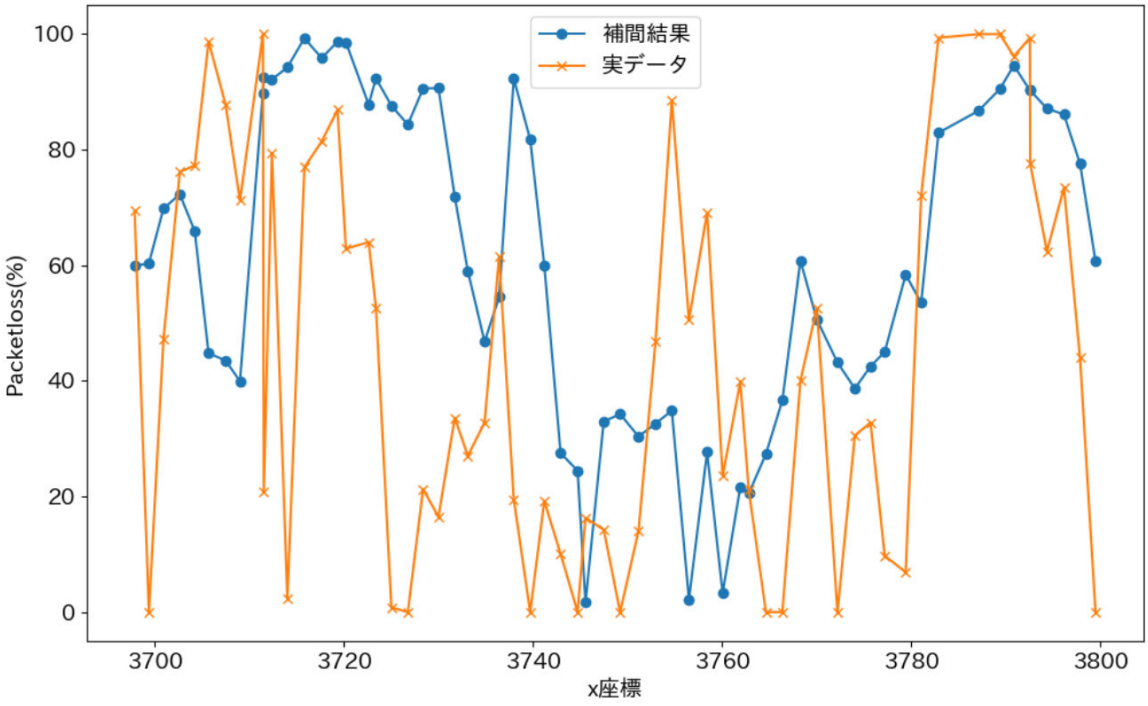


図 211　線形補間評価

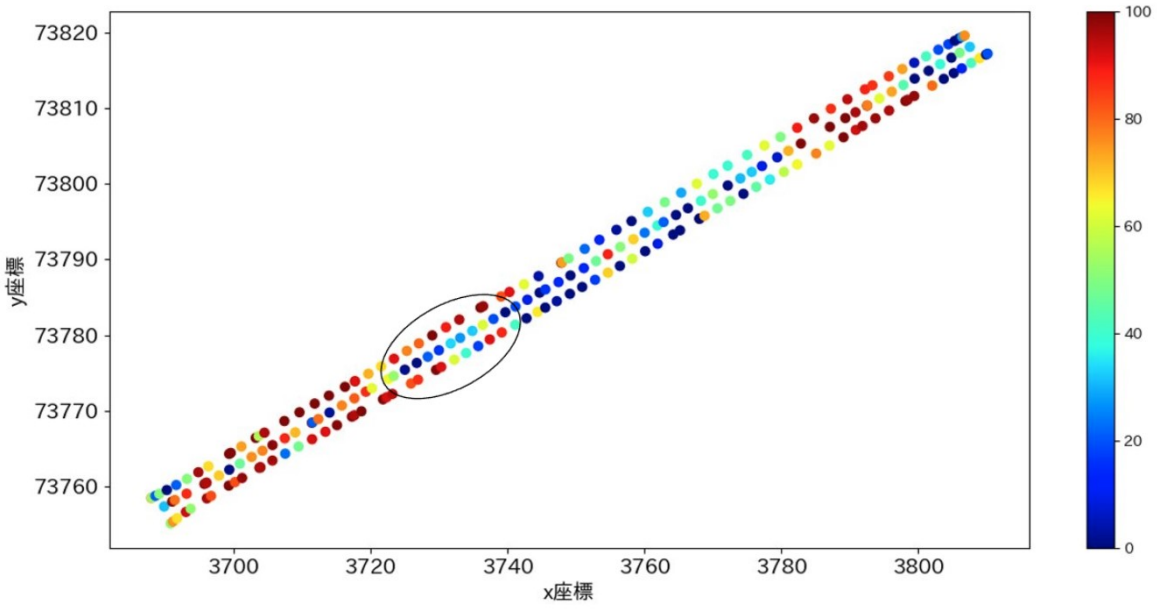


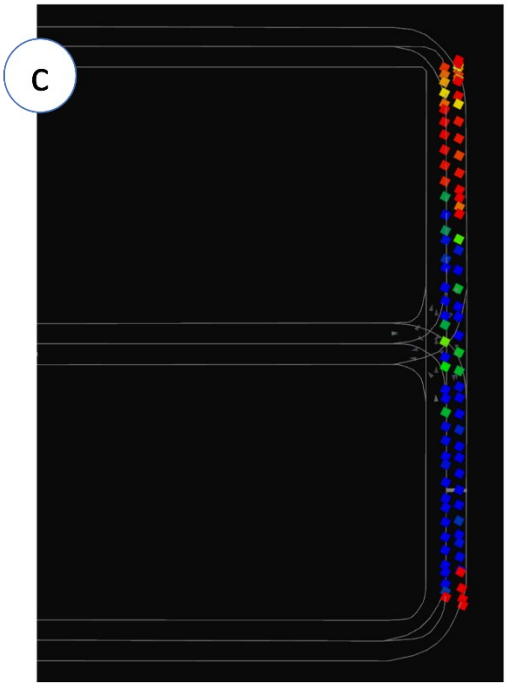
図 212　補間元データ

4.　動的物体による影響評価

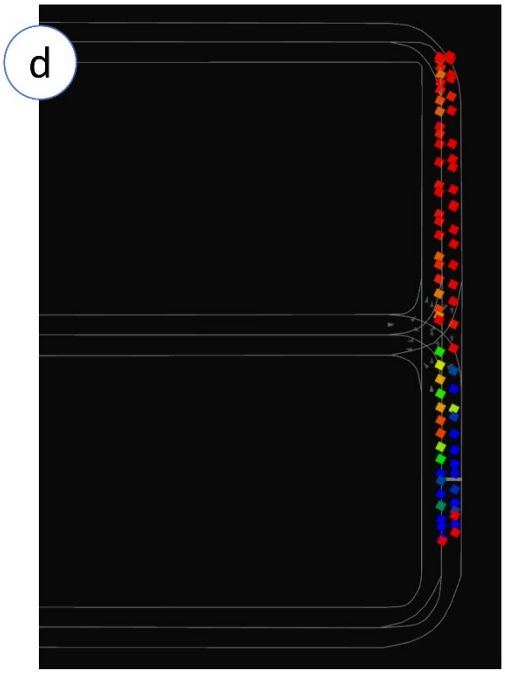
動的物体による NP の影響を評価するために、図 213（a）のように、RSU を設置し、地点 A から地点 B に向けて、オレンジの経路を車両が走行する。このとき、赤で示した位置に図 213（b）のようにトラックを設置した状態としていない状態でパケットロスを比較する。トラックを設置していないときのパケットロスを図 213（c）に、設置しているときのパケットロスを図 213（d）に示す。また、2 つのシナリオのパケットロスを比較したグラフを図 214 に示す。図 214 は横軸を地点 A からの距離、縦軸をパケットロスとして、トラックありの場合とトラックなしの場合をそれぞれ折れ線グラフで表示したものである。トラックの死角となっている範囲は地点 A からの距離が 19.8m から 49.9m の間である。この図を見ると、トラックありの場合、地点 A からの距離、15m から 50m くらいの間で、トラックありのほうが、パケットロスが大きくなっており、トラックの影響を受けていることがわかる。

動的物体による影響実験

トラック画像



トラックなしの場合のパケットロス



トラックありの場合のパケットロス

図 213　動的物体による影響実験

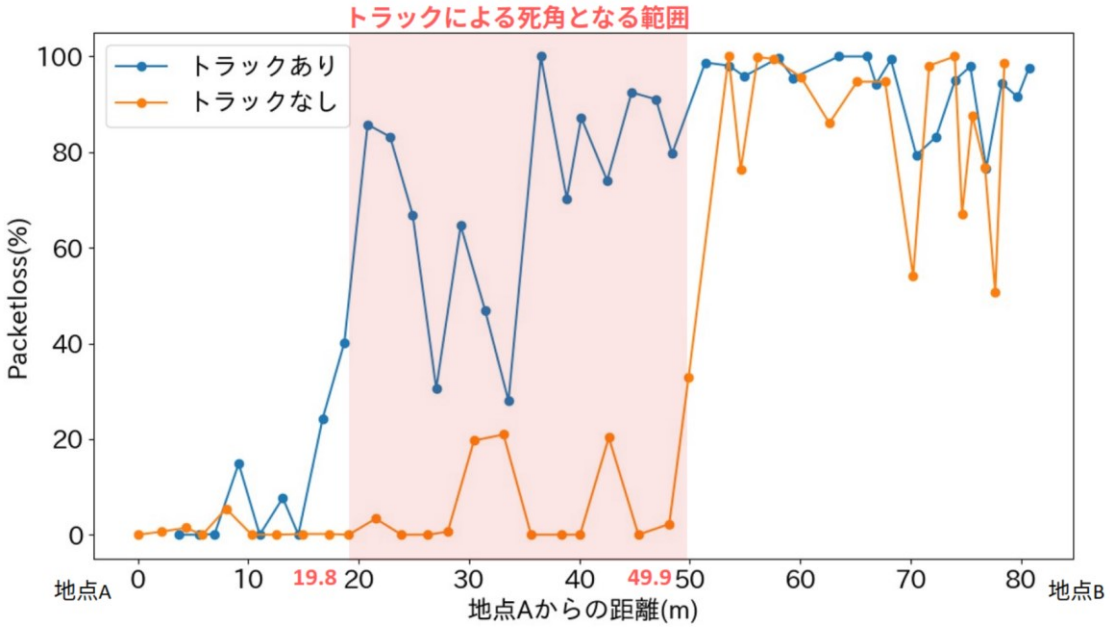


図 214　パケットロス比較（トラックありとトラックなし）

[1] A Napolitano, F Civerchia, K Kondepu, L Valcarenghi, and P Castoldi. Implementation of a mec-based vulnerable road user warning system. AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE) , pp. 1–6, 2019.

[2] M. Kutila, P. Pyykonen, Q. Huang, W. Deng, W. Lei, and E. Pollakis. C-v2x supported automated driving. IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops) , pp. 1–5, 2019.

[3] Manabu Tsukada, Jos'e Santa, Satoshi Matsuura, Thierry Ernst, and Kazutoshi Fujikawa. On the experimental evaluation of vehicular networks: Issues, requirements
and methodology applied to a real use case. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 1–14, 2014.

[4] 伊藤彰秀、V2X 協調型運転システムにおける通信性能のリアルタイム可視化ツール、2020.

[5] Wireshark. https://www.wireshark.org/.

[6] Matplotlib: Visualization with python. https://matplotlib.org/.

[7] Ieee sa. https://standards.ieee.org/.

[8] 光スペクトラムアナライザ (osa)、https://www.viavisolutions.com/ja-jp/products/optical-spectrum-analyzers-osa.

iii） 通信性能評価・可視化ソフトウエア　プロトタイプ 2

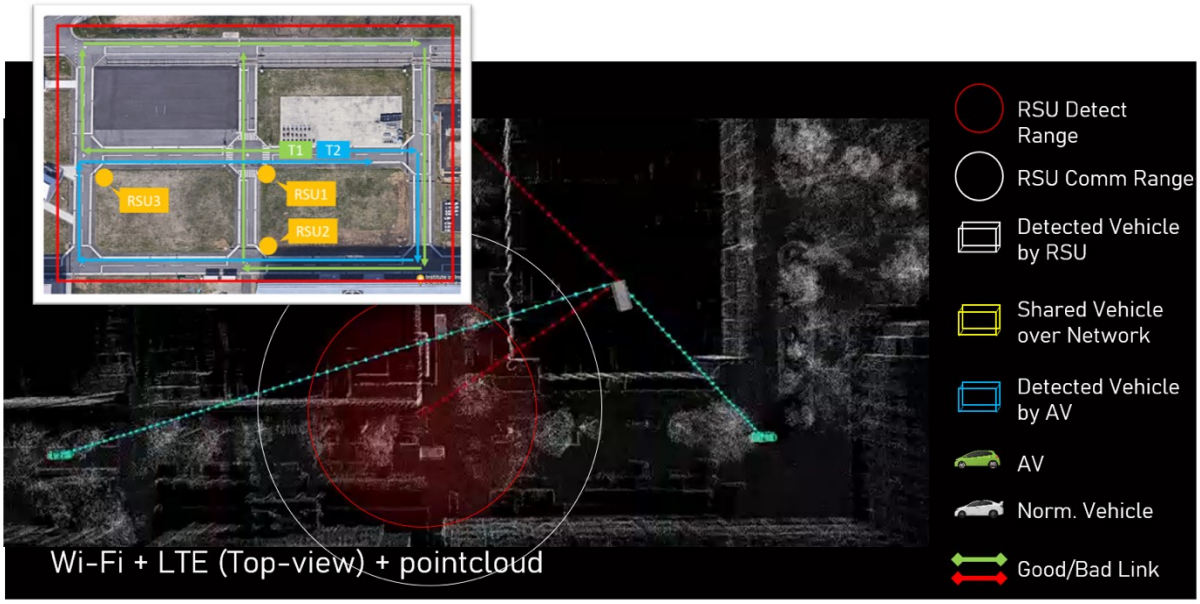


図 215　フィールド実験性能測定ソフトウエア

このソフトウエアによって V2X ネットワーク通信のパラメータを、自動的、素敵、かつユーザーフレンドリーな方法で可視化・分析することができる。このソフトは 3 つの主要部分から構成されています。

5) アナライザー。実験中に記録された複数のソース（TCP ダンプ）から RSSI、RTT、パケットロスなどの通信性能パラメータを生成する
6) ビジュアライザー。実験中のネットワーク通信状況や内容を適切な可視化プラットフォーム（ROS-RViz）上で可視化する。
7) レポーター: 実験中のネットワーク通信の総合性能をヒートマップ/プロットを用いて研究発表用に様々なフォーマット（CSV, JPG, PDF, etc.）で報告します。

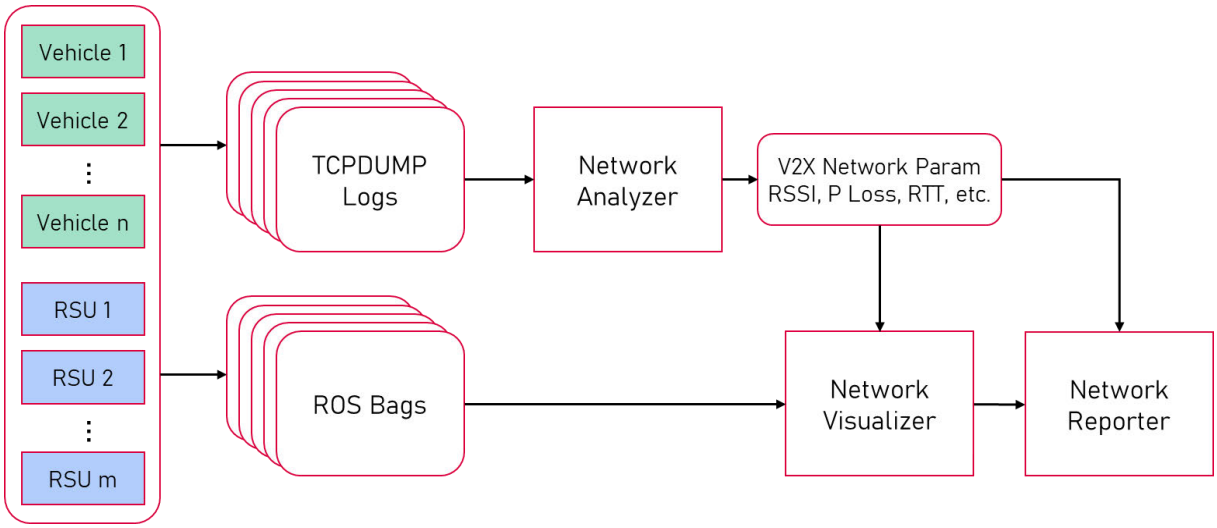


図 216　フィールド実験性能測定ソフトウエアの全体像。3 つのモジュールから構成されている。アナライザー、ビジュアライザー、レポーター。

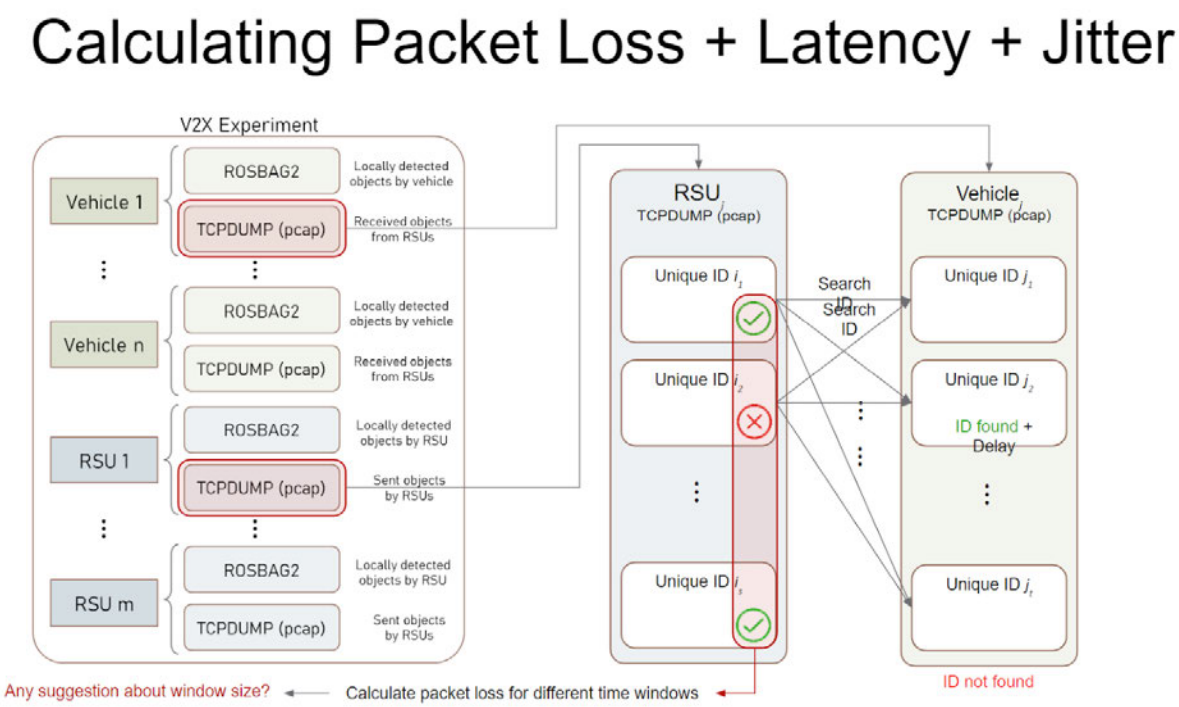


図 217　通信パラメータの計算方法

アナライザーで抽出した通信性能はビジュアライザーで可視化可能になる。そしてこの情報はレポーターでも CSV、JPG、PDF などのフォーマットで保存可能になっている。

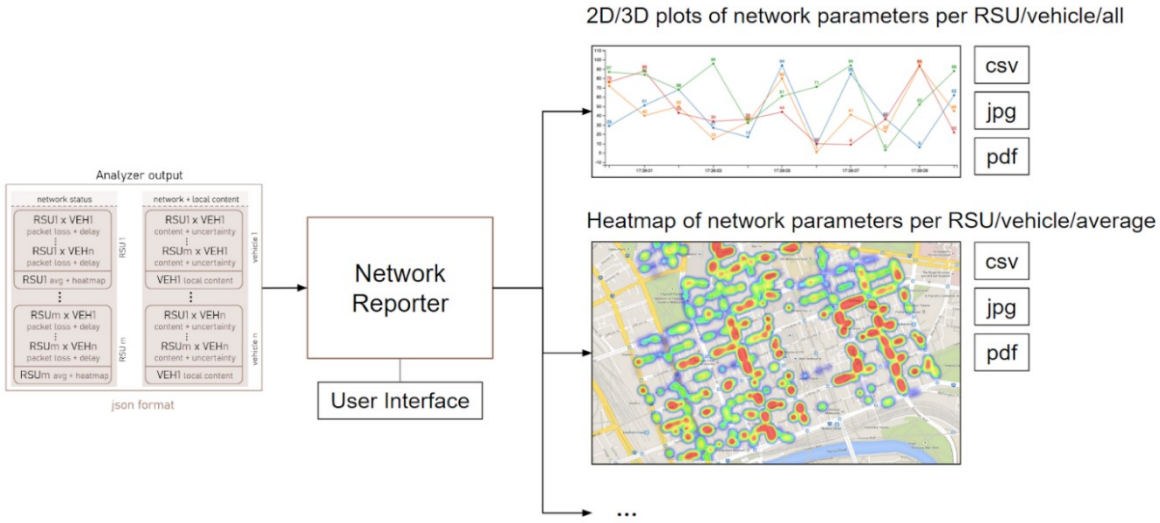


図 218　通信性能はレポーターによって CSV、JPG、PDF などのフォーマットで保存可能

2-3. 地図情報やデータ連携スキームの検討

＜この項目での実施事項＞

I. 地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- インフラ等から得られた車両周辺情報等を自動運転車両に提供する機能を持つデータ連携プラットフォームと協調型路側機のプロトタイプを実装した。
- 実証実験により、協調型路側機とデータ連携プラットフォームの基本的な評価を行った。
- データ連携と活用に関する個人情報関連の法的問題の検討を行った。
- 柏の葉地区やそれ以外での車道周辺領域の 3D 地図データを作成した。

I. 地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討

1) データ連携アーキテクチャのブラッシュアップ

■ 該当項目の背景と目的

混在空間で自動運転レベル 4 を実現するためには、自車両の車載センサーから得られる情報に加えて、路側に設置したセンサー（インフラセンサー）や信号機、他の車両の車載センサーなど、車外からの情報を無線通信により収集・活用する協調型システムの構成を取ることが必要とされている。

車外に設置されるセンサーには様々な種類（LiDAR、カメラ、レーダーなど）のものがある上、通信も様々な方式（携帯網（LTE, 5G)、狭域通信（DSRC, C-V2X)、WiFi など）で行われる。これらに個別に対応することは、自動運転システムを複雑化する。複数種類の自動運転システムが開発されることや、レベル 3 以下の自動運転や他のモビリティでも活用することを考えると、システムの開発工数が掛け算で増大することが予想される（図 219 の左)。この課題を解決するには、車外センサー等からの情報を収集・統合し、必要な情報のみを標準データ形式で自動運転システム等に提供するデータ連携プラットフォーム（以下、データ連携 PF。デジタル道路交通データプラットフォームの一部）を用意することが有効である（図 219 の右)。データ連携 PF は、車外センサーから得られた情報を、自動運転向けのデジタル地図に紐付けて管理する。

この実施項目では、本事業で実現を目指すデータ連携 PF のアーキテクチャ（構成要素、各構成要素の役割、構成要素間の関係を定義したもの）について、2021 年度に策定した案をブラッシュアップすることを目的とする。

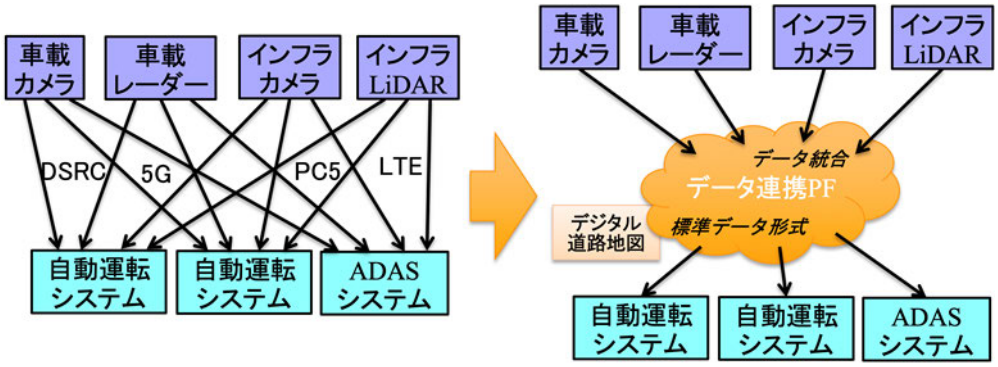


図 219　データ連携プラットフォームの必要性

■ 実施方針

2021 年度に策定したデータ連携アーキテクチャ案で明示していなかったデータ連携サーバの構成を、可能な範囲で明示することとした。また、サイバーセキュリティ確保に関する基本方針を記述することとした。検討にあたっては、信頼性、サイバーセキュリティ、リアルタイム性、消費電力などの観点を考慮することとした。

データ連携アーキテクチャ案を本事業内外の関係者に説明する中で、アーキテクチャに示されているすべての構成要素が必要という誤解を与えることがあったことから、物理的な構成の例、特に、限定領域の交通サービスの場合に向けた簡略化したシステム構成を明示することとした。

■ 実施事項と実施方法

2021 年度に作成した「CooL4 データ連携アーキテクチャ(案) version 0.6.0」に対して、以下の(1)～(3)の加筆・修正を行い、「CooL4 データ連携アーキテクチャ(案) version 0.7.0」(別添)を作成した。

(1) データ連携サーバの構成

データ連携サーバは、データ連携 PF 全体を管理するセントラルデータ連携モジュール（セントラル DM）と、定められた地域内の情報を管理する中域データ連携モジュール（中域 DM）で構成されるものと定めた。中域 DM を設けているのは、広域の交通サービスでは、車載/路側 DM との間の通信遅延が問題になる処理を、1 つのサーバで実行するのが難しいためである。

セントラル DM と中域 DM をデータ連携アーキテクチャの全体図に書き込むと図が煩雑になるため、データ連携サーバの構成図を独立させることにした（図 221)。またこれに合わせて、データ蓄積サーバについても、データ連携アーキテクチャの全体図からは削除し（図 220)、データ連携サーバの構成図に記載することとした（図 221)。

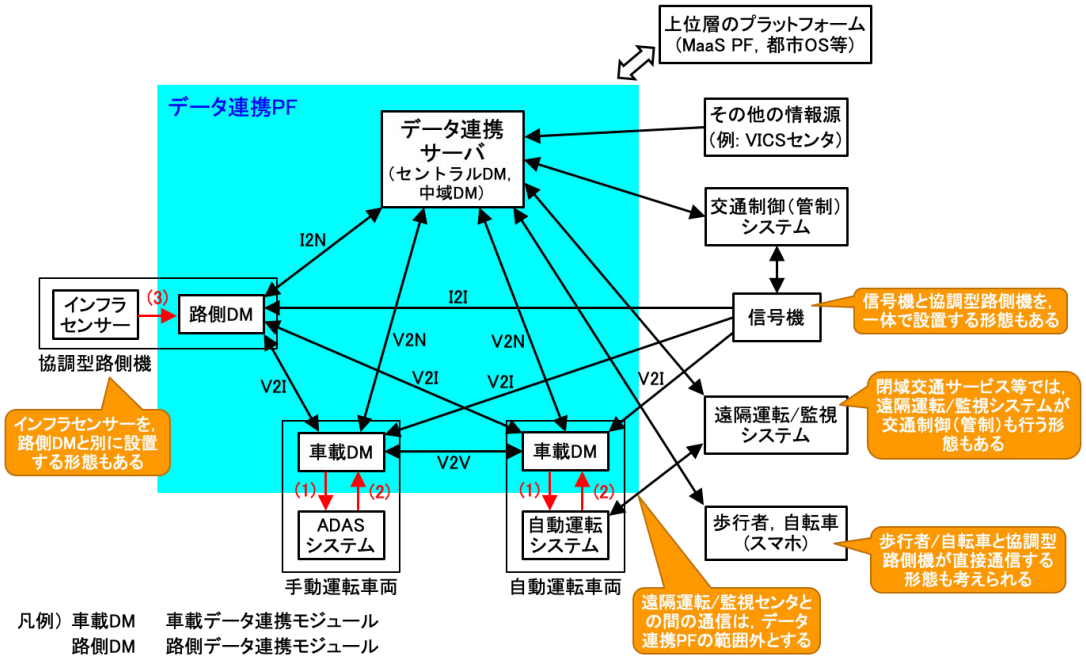


図 220　改定後の CooL4 データ連携アーキテクチャ

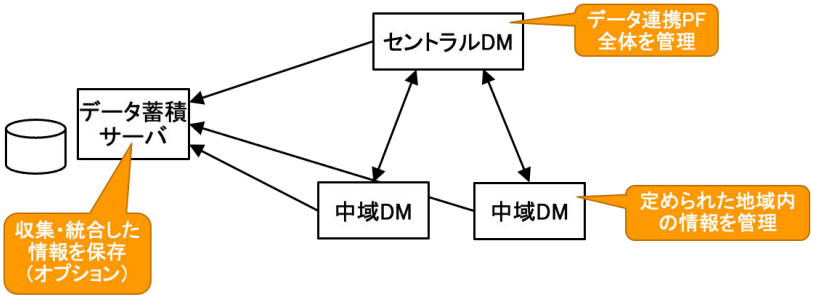


図 221　データ連携サーバの構成

2021 年度に策定したデータ連携アーキテクチャ案では、データ連携サーバは、クラウドサーバまたはモバイルエッジ（MEC：Mobile Edge Computing あるいは Multi-purpose Edge Computing）サーバで動作するとし、セントラル DM とキャリア DM という用語を用いていた。キャリア DM という用語は、モバイルエッジサーバで動作させることを想定した用語であったが、セントラル DM と中域 DM は同一のサーバで動作させることも可能である。そのため、物理的な構成を限定する用語は避けるべきと考え、キャリア DM という用語は使用せず、中域 DM と呼ぶこととした。

(2) セキュリティアーキテクチャ

データ連携 PF を構成する通信ノード（セントラル DM、中域 DM、路側 DM を含む協調型路側機、車載 DM を含む車両。以下、データ連携ノードと呼ぶ）間の通信のセキュリティを確保するための原則について、以下のように規定した。

データ連携ノードの登録・許可・証明書の扱いについては、データ連携 PF 内に、独自の公開鍵基盤（PKI；Public Key Infrastructure）を持つこととした。データ連携ノード（セントラル DM、中域 DM、協調型路側機、車両）は、独自の PKI に登録され、そこから発行された証明書を用いて認証された通信を行う。

独自の PKI は、1 つのルート認証局、1 つまたは複数の登録局、1 つまたは複数の認可局で構成される（図 222）。データ連携ノードは、登録 ID を用いて登録局に登録され、登録証明書の発行を受ける。車両は、登録証明書を用いて、認可局に対して仮名 ID の発行を依頼する。認可局は、登録局からの承認を得て、仮名 ID と仮名証明書を発行する。登録局と認可局の証明書は、ルート認証局が発行する。

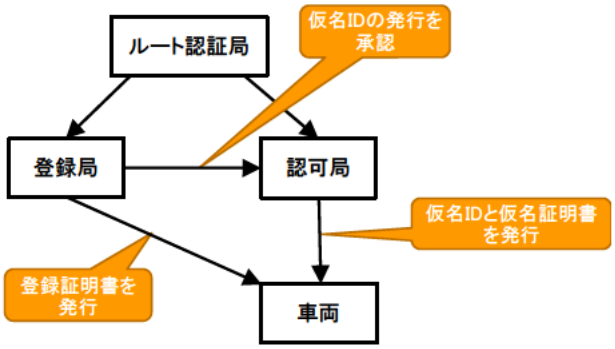


図 222　PKI の構成

ルート認証局はセントラル DM と同じサーバ上に、登録局はセントラル DM または中域 DM と同じサーバ上に、認可局は中域 DM または路側 DM と同じサーバ上に置くことを想定している。登録局が持つ情報と認可局が持つ情報を統合すると、仮名 ID から車両を特定することが可能となるため、プライバシー情報のセキュリティ強度を高めるためには、登録局と認可局は別のサーバに置くべきである。さらに、プライバシー情報をサーバ管理者からも守るためには、登録局と認可局は別の組織が運用すべきである。また、認可局は地域ごとに置き、少なくとも地域ごとには、用いる仮名 ID を変更する方が良い。

2 つのデータ連携ノードが 1:1 通信を行う場合には、独自の PKI を用いて相互に認証を行い、通信データの機密性と完全性を確保する。あるデータ連携ノードが情報をブロードキャストする場合には、独自の PKI を用いた署名を付加することで、通信データの完全性を確保する。その際に、車両は、プライバシー保護のために、仮名 ID とその仮名証明書を用いて認証を行う。具体的な通信プロトコルとして、TCP による 1:1 通信の場合は TLS、UDP による 1:1 通信の場合は DTLS を用いる。

以上のように、セキュリティ確保の原則を規定したが、データ連携ノード間の通信に、既存の通信インタフェースを用いる場合は、この原則が適用できるとは限らない。また、データ連携ア

ーキテクチャに掲載されている他の通信ノードとの間の通信についても、この原則の適用範囲外となる。

(3) 物理的な構成の例

データ連携 PF を適用するためには、データ連携アーキテクチャに示されているすべての構成要素が必要という誤解を避けるために、物理的な構成の例を示すこととした。具体的には、広域の交通サービスの場合、限定領域（公共空間）の交通サービスの場合、限定領域（私有地）の交通サービスの場合のそれぞれに対して、物理的な構成例を以下の通りに示すこととした。

まず、広域（市町村全体、都道府県全体、国全体など）の交通サービスの場合、セントラル DM をクラウドサーバ、地域ごとの中域 DM を MEC サーバで動作させることを想定しているが、この構成に限定されるわけではない。例えば、市町村や都道府県単位のサービスの場合は、セントラル DM も MEC サーバに置くことが考えられる。また、セントラル DM や中域 DM を、交通制御（管制）システムと同一のサーバで動作させることも考えられる。信号機は交通管理者（警察）が管理し、信号の現示やその変化予定に関する情報は、信号機から直接 V2I 通信により車両に、または SIP-adus で検討されている信号情報センターからデータ連携サーバを経由して V2N 通信により車両に届けられる。遠隔運転/監視システムは、自動運転サービスを提供する事業者毎に設置することになる。

次に、限定された公道上での交通サービスの場合、自動運転サービスを提供する事業者が交通サービスを監視・制御する施設を置き、遠隔運転/監視システム、セントラル DM、中域 DM、ルート認証局、登録局、認可局を、その施設に設置したサーバで動作させる方法が考えられる。または、一部の機能を、クラウドサーバまたは MEC サーバで動作させる方法もある。信号機と信号情報については、広域の交通システムの場合と同様であるが、交通管理者が信号情報を提供するサービスを用意していない場合には、サービス事業者が、交通管理者の許可を得て、信号機に路側 DM を設置する方法も考えられる。限定領域（公共空間）の交通サービスの場合の物理構成の一例を図 223 に示す。この構成で、サーバ 1 とサーバ 2 の管理者が同一である場合には、サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが、限定領域（公共空間）の交通サービスでは、自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため、そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

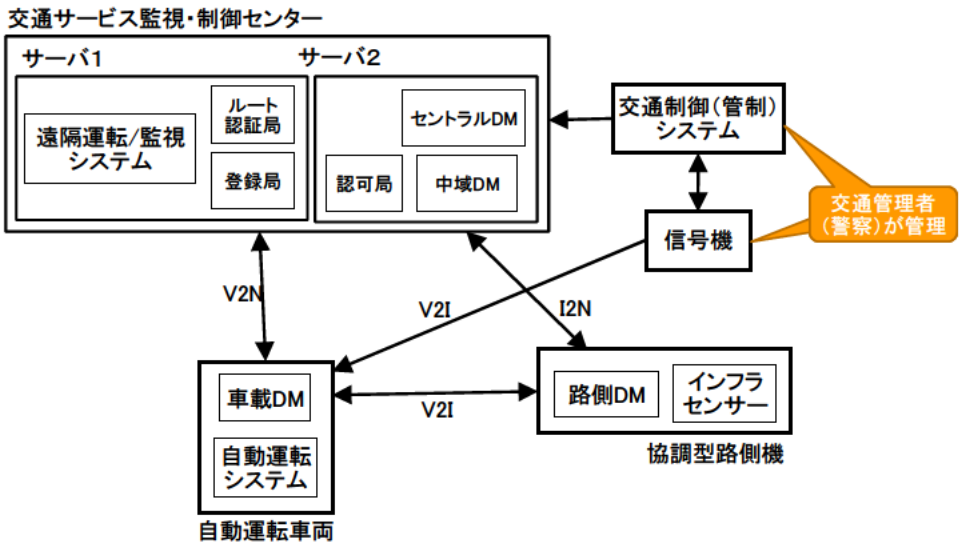


図 223　限定領域（公共空間）の交通サービスの場合の物理構成例

最後に、私有地（テーマパーク、大規模リゾートなど）内での交通サービスの場合、私有地内の交通サービスを監視・制御する施設を置き、遠隔運転/監視システム、交通制御（管制）システム、セントラル DM、中域 DM、ルート認証局、登録局、認可局のすべてを、その施設に設置したサーバコンピュータで動作させる方法が有力である。限定領域（私有地）の交通サービスの場合の物理構成の一例を図　224 に示す。この構成では、サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが、限定領域（私有地）の交通サービスでは、自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため、そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

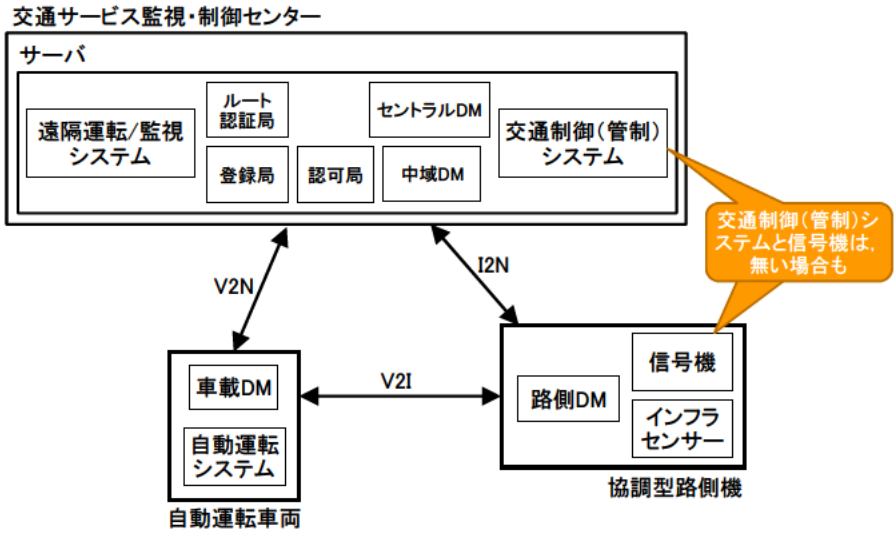


図 224　限定領域（私有地）の交通サービスの場合の物理構成例

2) データ連携 PF の API の検討・定義

■ 該当項目の背景と目的

データ連携 PF を有用なものとするためには、自動運転システム等からデータ連携 PF を利用するためのインタフェース（API）の定義・共通化が必要となる。とりわけ、車両外のセンサー等から収集・統合した情報を、自動運転システム等に提供するための標準データ形式の定義が重要である。

■ 実施方針

データ連携 PF の API の検討・定義として、自動運転車両が必要とするデータの指定方法（検索方法）と、データ連携 PF 内に格納した静的地図を単体または動的情報と関連付けて取り出す指定方法について検討する。また、2021 年度に策定した物標情報、フリースペース情報、信号情報のデータフォーマットを、評価を通じてブラッシュアップする。策定した仕様案は、自動運転システム開発者に提示し、意見を収集・反映する。また、静的なデジタル地図に関しては、デジタル地図ベンダーと連携する。

■ 実施事項と実施方法

API 仕様を検討・定義・ブラッシュアップするにあたり、以下の文献を調査した。

［1］ ITS 情報通信システム推進会議：自動車・歩行者事故防止支援システム向け実験用通信メッセージガイドライン、ITS FORUM RC-016 1.0 版、2022 年 3 月 29 日策定

［2］ ITS 情報通信システム推進会議：自動運転通信活用ユースケース向け 700MHz 帯高度道路交通システムの実験用ガイドライン ～SIP ユースケース対応～、ITS FORUM RC-018 1.0 版、2022 年 7 月 15 日策定

［3］ CAR 2 CAR Communication Consortium：Technical Report on CPM Object Quality、2021 年 3 月 12 日発行

［4］ F. Poggenhans, J.-H. Pauls, J. Janosovits, et.al.：Lanelet2: A high-definition map framework for the future of automated driving, 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)、2018 年 11 月

［5］ Lanelet2、https://github.com/fzi-forschungszentrum-informatik/Lanelet2

これらの調査結果を踏まえて、2021 年度に作成した「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案) version 0.6.0」に対して、以下の加筆・修正を行った。また、本事業内外の関係者からの指摘を反映し、「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案) version 0.7.0」（別添）を作成した。

(1) 位置参照の考え方の変更と方式の追加

2021 年度作成の API 仕様案では、物標等の位置は、経度緯度高さ、CRP＋オフセット、レーン番号カウント、レーン ID＋オフセット 4 つの方法で表現するものとし、4 つの位置表現方法の使い分け方法について記載していた。2022 年度、協調型路側機や自動運転システムの開発者とインタフェースを調整する中で、平面直角座標と高さによる位置表現方法を追加することとした。どの平面直角座標系を用いているかは，EPSG コードを用いて表現することとした。

また、データ連携 PF に位置情報を送る場合には、5 つの方法のいずれか 1 つを用いれば良いものとし、逆に、データ連携 PF から位置情報を受け取る場合には、5 つの方法の中から 1 つまたは複数のものを選んで受け取れるものとした。これにより、データ連携 PF は、位置情報の変換機能を持つことになる。

(2) 物標参照位置の表現方法の変更

後述する協調型路側機の評価において、協調型路側機が認識した物標の位置を少ない誤差で伝達するためには、物標位置が物標のどの場所を表しているかを示す「物標参照位置」を活用すべきであることが明らかになった。この議論の中で、物標位置の誤差を小さくするためには、物標参照位置の表現を以下のようにした方が良いという提案があり、それを採用した。

DE_物標参照位置（独自定義、DE_ReferencePoint）

物標位置が、物標のどの場所を表しているか。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明
1: 中央（バウンディングボックスの中央）の地面位置
2: 前面の中心の地面位置
3: 右前角の地面位置
4: 右側面の中心の地面位置
5: 右後角の地面位置
6: 背面の中心の地面位置
7: 左後角の地面位置
8: 左側面の中心の地面位置
9: 左前角の地面位置

認識した物標の位置をできる限り正確に伝えるために、位置を最も正確に特定できる場所を参照位置とする。具体的には、センサーから見えている場所を参照位置とすることを想定している。自己物標情報の場合と、認識した物標の全体が見えている場合には、歩行者では中央の地面位置 (1)、車両では前面の中心の地面位置 (2) を使うものとする。どの面が見えているかわからない場合には、DE_物標参照位置の値は不明 (0) とし、見えている面を前面であるものと扱う。

(3) 自動運転車両が必要とするデータの指定方法（検索方法）

i) 自動運転車両が必要とするデータの指定の必要性

自動運転車両は、データ連携 PF が取得するすべてのデータを必要とするわけではない。例えば、現在の走行位置から遠い場所の動的情報（物標情報やフリースペース情報、信号の現示情報など）は、通常、自動運転車両の制御には必要ない。そこで、通信量やデータ処理量を削減するために、自動運転車両が必要とするデータのみを自動運転車両に送信することとする。ただし、ブロードキャスト通信を行う場合（協調型路側機から周辺車両への V2I 通信は、多くの場合、ブロードキャスト通信になる）には、特定の車両向けにデータを絞り込むことができないため、すべてのデータを送信し、受信した側で不要なデータを捨てることになる。

ここで、自動運転車両がどのようなデータを必要とするかは、自動運転車両の制御方法によって異なる。例えば、どの範囲の信号機の現示情報が必要かを考えてみる。信号機の現示情報を、車両を停止させるか否かのみに使用する自動運転車両の場合には、数十メートル先の信号機の現示情報のみを必要とする。一方、到着した時に信号が青になっているように走行速度を調整する（いわゆるグリーンウェーブ走行する）自動運転車両の場合には、より遠くの信号機の現示情報が得られた方が、高度な制御が可能になる。

このことから、自動運転車両がどのようなデータを必要とするかを、データ連携サーバや協調型路側機に伝えることが必要になる。具体的には、図 220 に示したデータ連携アーキテクチャにおいて、車載 DM から自動運転システム（または ADAS システム。以下同じ）に提供するデータを、自動運転システムがデータ連携 PF に伝えることになる。

ここでは、自動運転システムが車載 DM から提供を受けたいデータを指定する方法、言い換えると、データの検索方法について検討する。

ii) 2 つのアプローチ

自動運転システムが必要とするデータを指定する方法には、大きく 2 つのアプローチがある。

1 つ目のアプローチは、自動運転システムを必要とするデータをいくつかにパターン化し、どのパターンのデータを必要とするかを、パラメータと合わせてデータ連携 PF に伝える方法である。例えば、「車両前方の x メートル以内にある物標情報とフリースペース情報を伝える」というパターンを用意しておき、そのパターンを使うことと、パラメータ x を伝える。この方法には、データを絞り込むソフトウェア（検索ソフトウェア）をパターン毎に最適化して用意しておくことで、処理オーバヘッドを小さくできるという利点がある。一方、パターンとして用意された検索方法しか使用できず、柔軟性が低いことが欠点となる。

もう 1 つのアプローチとしては、必要なデータをクエリ言語（問い合わせ言語）で記述する方法がある。このアプローチは、自動運転システムを必要とするデータを柔軟に記述できるという利点がある一方で、クエリ言語の処理オーバヘッドが大きくなるという懸念がある。

後者のアプローチをベースに考えると、前者のアプローチは、あらかじめ用意したクエリ（問い合わせ）のみを使用できるという見方もできる。そこで以下では、前者のアプローチを「プリセットクエリによる方法」、後者のアプローチを「クエリ言語による方法」と呼ぶことにする。

iii） 自動運転システム開発者からのヒアリング調査

上述のいずれのアプローチが望ましいか、プリセットクエリによる方法を取る場合には、どのようなクエリをあらかじめ用意しておくかを検討するために、異なる自動運転システムを開発している 2 名の自動運転システム開発者からヒアリングを行った。

ヒアリングでは、いずれの自動運転システム開発者も、おおよそ、自動運転車両の走行予定経路の前方 x メートル、後方 y メートル（後方の情報も必要とする場合がある）にある協調型路側機が得たデータを必要とするという回答であった。ただし、必要とするデータは、車両の状態（例えば、走行している場合と停車している場合）によっても異なることが指摘され、x と y は一定値でなく、車速に依存することがわかった。また、必要とするデータを、細かく指定したいという要望があることもわかった。

この結果、データ連携 PF では 2 つのアプローチの両方に対応することとし、どのようなプリセットクエリを用意するかは、要望のあったものを試作し、今後の実証実験を通じて改善していく方針とした。

iv） 使用するクエリ言語

クエリ言語は、名古屋大学と同志社大学における過去の研究開発により開発したものを用いることとした。用いるクエリ言語は、クエリ言語の業界標準である SQL(Structured Query Language)に対して、連続クエリ（Continuous Query）を扱うための拡張を加えたもので、その仕様は「DM2.0 クエリ言語仕様書 Version 4.00（2022 年 3 月 28 日）」で定義されている。

(4) 静的地図の格納・検索方法

i） デジタル道路地図の必要性

データ連携 PF は、センサーから得られた動的情報を、自動運転向けのデジタル道路地図に紐付けて管理する。

動的情報をデジタル道路地図に紐付けて管理するのは、センサーから得られた情報は、道路地図と重ねることで意味を持つためである。例えば、図 225 の左上の図と右上の図は、物標情報のみを図示したものであるが、2 つの図には小さい違いしか見られない。しかし、図 225 の左下の図と右下の図のように、物標情報を道路地図と重ねることで、片方は極めて危険な状況であるのに対して、もう片方は問題のない状況であることがわかる。

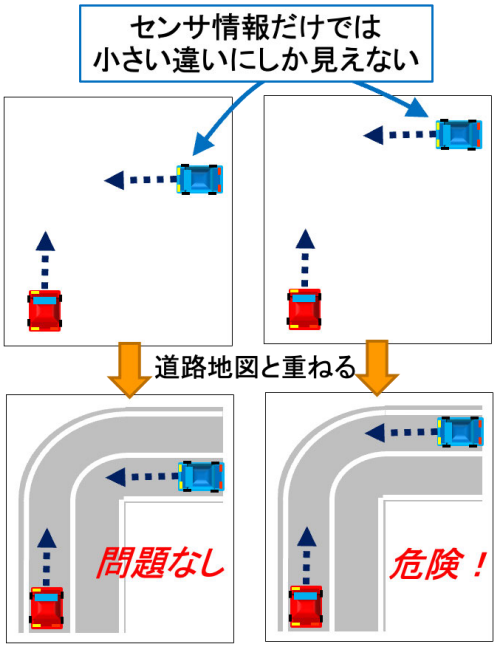


図 225　物標情報とデジタル道路地図の紐付け

具体的には、必要とするデータの指定方法について前項で述べたが、データ連携 PF 内にデジタル道路地図を持つことで、例えば、自車両が走行するのと同一のレーンを走行している車両の情報のみを取り出すといったことが可能になる。

また、データ連携 PF には、自動運転システムにデジタル道路地図を提供する機能を持たせる。自動運転システムは、走行経路の決定等にデジタル道路地図を用いることが多いが、自動運転システムとデータ連携 PF が個別にデジタル道路地図を持つのは無駄が大きいと考えられる。データ連携 PF がデジタル道路地図を提供する機能を持ち、自動運転システムはデータ連携 PF からデジタル道路地図を取り出して使用することで、この無駄を無くすことができる。

ii)　デジタル道路地図のデータフォーマット

上述の通り、データ連携 PF では、必要なデータを指定するためにデジタル道路地図を使用する。そのため、データ連携 PF の API 仕様を公開するためには、デジタル道路地図のデータフォーマットも公開する必要がある。そこで、データ連携 PF 内に持つデジタル道路地図のデータフォーマットは、公開可能なものとする必要がある。

名古屋大学と同志社大学における過去の研究開発では、ISO 標準となっている GDF（Geographic Data Files）を独自に拡張した「名古屋大学 COI フォーマット」を用いていたが、このデータフォーマットには、検索の記述が冗長になる、検索のオーバヘッドが大きい、実際の自動運転システムで活用された例がない、という課題がある。

そこで本事業では、自動運転向けの高精度地図を扱うための ROS 向けのライブラリである

Lanelet2 の静的地図フォーマットと API をベースに、独自のデータフォーマットを策定することとした。Lanelet2 は、自動運転システム向けのソフトウェアプラットフォームとして広く使われている Autoware で活用されており、Lanelet2 をベースにすることで、多くの自動運転システムに活用することが容易になると期待できる。

Lanelet2 の静的道路地図フォーマットは、XML ベースとした OpenStreetMap のデータフォーマットを拡張したものとなっている。一方、本事業のデータ連携 PF では、静的道路地図をリレーショナルデータベースに格納するため、Lanelet2 の静的道路地図フォーマットを、リレーショナルデータベースに格納する形式を規定することとした。具体的な格納形式については後述する。

ここで、Lanelet2 に対して改良を加えた点として、レーン間の関係の扱いがある。Lanelet2 では、レーンに関する情報から、レーン間の関係を動的に計算している（具体的には、道路地図をメモリ上に読み込む時に計算する)。しかし、レーン間の関係はほぼ静的な情報であるため、事前に計算して、データベースに格納しておいた方が効率が良い。そこで、レーン間の関係を格納する方法についても規定することとした。

もう 1 つの重要な拡張として、論理的な信号灯器を扱えるようにしたことが挙げられる。無線通信によって受信する信号の現示情報は、物理的な信号灯器ではなく、論理的な信号灯器に対して提供されるため、それを解釈するには、デジタル道路地図に論理的な信号灯器の情報を含める必要がある。

なお、自動運転システムがデータ連携 PF からデジタル道路地図を取り出す方法としては、クエリによって取り出す方法と、Lanelet2 互換の API によって取り出す方法の両方を用意することを想定している。

iii） デジタル道路地図の格納形式

Lanelet2 では，デジタル道路地図を、物理層、関係層、トポロジー層の 3 つのレイヤで構成している。物理層は、Point、LineString、Polygon の 3 つの要素を持ち、それぞれ物理的な点、線、多角形を表す。関係層は、Lanelet（レーン)、Area（エリア)、Regulatory Element（交通規則）の 3 つの要素を持ち、道路としての意味を表現する。トポロジー層は、レーンやエリア間の関係を表現するもので、前述した通り、Lanelet2 では動的に計算している。

これをリレーショナルデータベースに格納する際のデータ形式を記述した ER 図（Entity Relationship Diagram）を、図 226 に示す。以下では、この各部分を拡大した図を用いて、その内容を説明する。

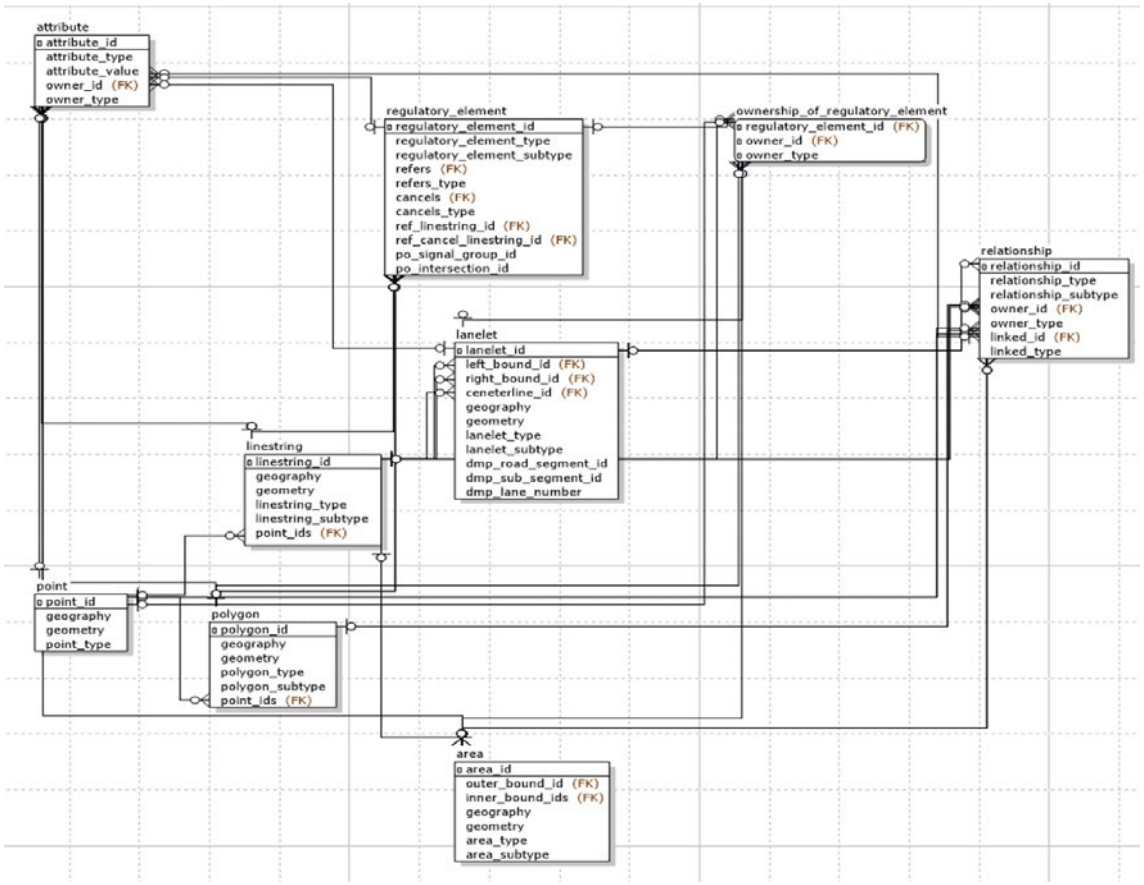


図 226　デジタル道路地図の格納形式の ER 図

図 227 は、Point、LineString、Polygon、Lanelet、Area を格納するリレーションと、それらの間の関係を示す。

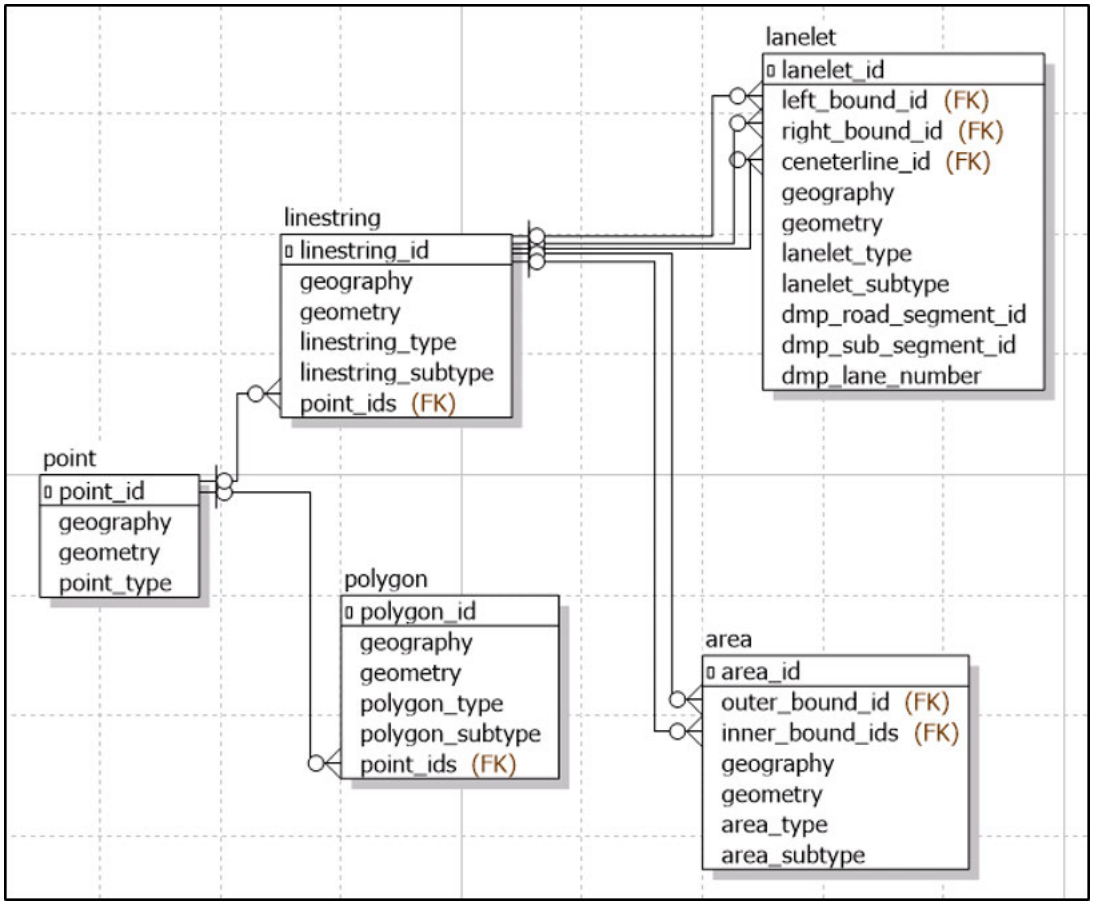


図 227　地物テーブル同士の関連

Point は、地図を構成する点を表すもので、経度緯度高さによる位置表現（geography）と平面直角座標系での位置表現（geometry）の両方で点の位置を表現する。geography と geometry の両方を持たせているのは、データの検索時に、使いやすい方の表現を使えるようにするためである。また、Point のタイプを表すフィールドを持つ。

LineString は、地図を構成する線分を表すもので、線分を構成する Point のリストに加えて、geography と geometry の両方で線分の位置を表現する。線分を構成する Point のリストを持つため、geography と geometry は冗長な情報であるが、データの検索を効率化するために持たせている。また、LineString のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

Polygon は、地図を構成する多角形を表すもので、LineString と同様に、多角形を構成する Point のリストに加えて、geography と geometry の両方で多角形の位置を表現する。また、Polygon のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

Lanelet は、道路を構成するレーン（車線）を表すもので、レーンの左右の境界を表す線分と中央線をそれぞれ LineString として持つことに加えて、レーンの範囲を表す geography と geometry を持つ。ここでも、geography と geometry は冗長な情報であるが、データの検索を効率化するために持たせている。さらに、Lanelet のタイプとサブタイプを表すフィールド等を持つ。

Area は、道路周辺のエリア（領域）を表すもので、Lanelet と異なり、走行する向きの情報を持たない。駐車場や路側帯などは、Area で表現する。Area は、その外周を表す LineString と、エリアに穴が開いている場合に穴を表す線分の集合のリストを持つことに加えて、エリアの範囲を表す geography と geometry を持つ。さらに、Area のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

LineString や Polygon 等の要素が、それぞれのリレーションに含まれない属性を持つ場合には、attibute リレーションを用いて表現する（図 228）。Attribute には、属性を持つのがどの要素（Point、LineString、Polygon、Lanelet、Area、Regulatory Element、Relationship のいずれか）であるかとその要素の ID、属性のタイプと値を持つ。

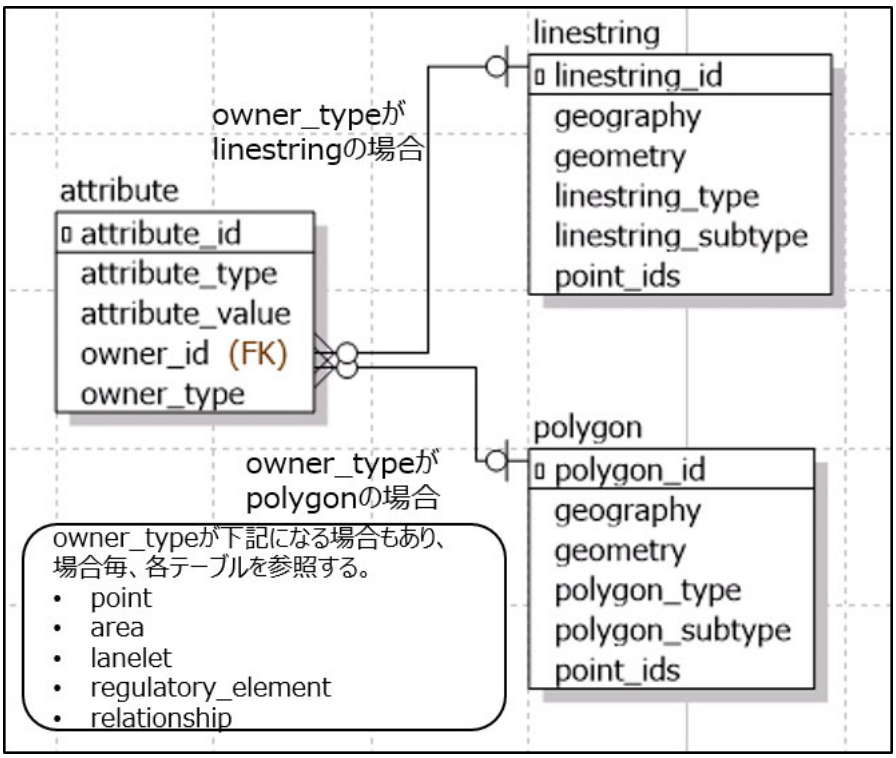


図 228　属性テーブルの関連

図 229 は、Lanelet2 の Regulatory Element の内、信号機（物理的な信号灯器）、標識、速度規制を表すためのリレーションを示すものである。また、無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も、このリレーションで表す。これらの交通規制が、どのレーンまたはエリアに適用されるかは、図 230 に示す ownership_of_regulatory_element リレーションで表現する。

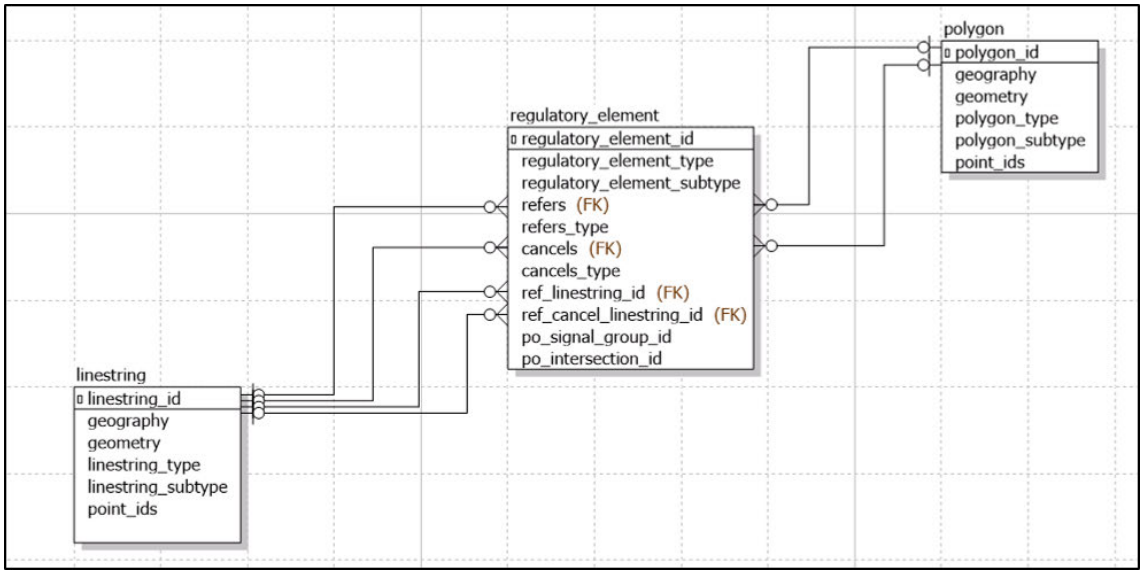


図 229　交通規則テーブルと標識あるいは開始・停止線を示す地物テーブルとの関連

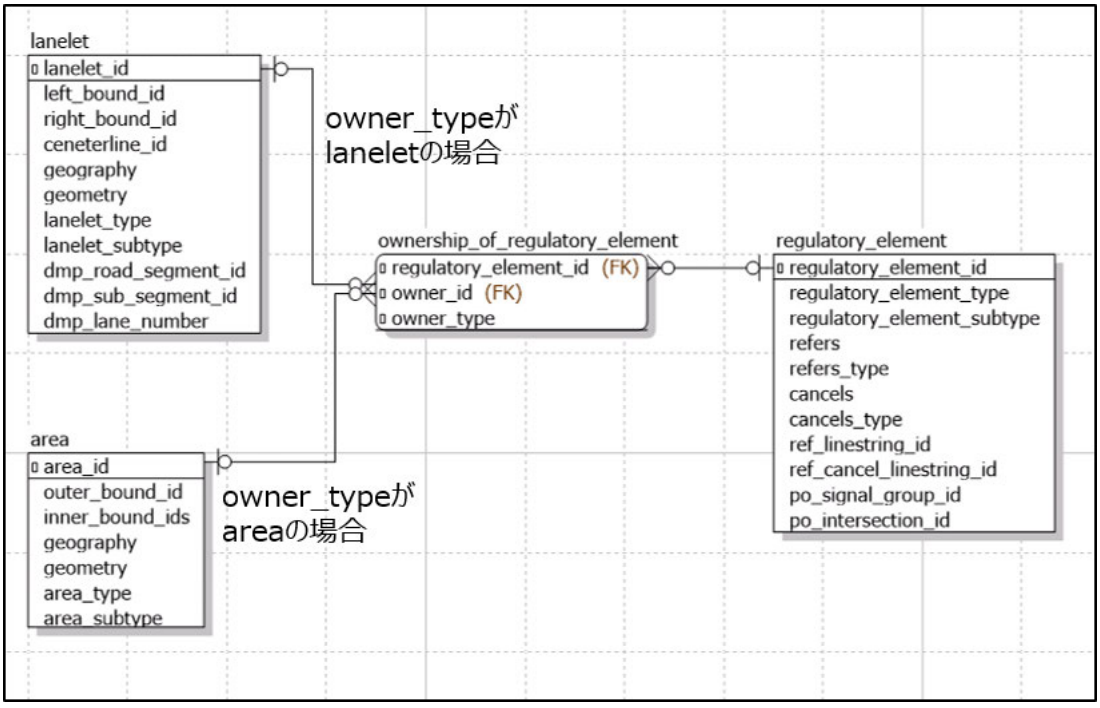


図 230　地物テーブルと交通規則テーブルを紐づける関連

Regulatory Element のリレーションには、Regulatory Element のタイプとサブタイプを表すフィールドに加えて、以下で説明するフィールドを持つ。

Regulatory Element のタイプが物理的な信号灯器（traffic_light）の場合には、refers_type と refers により、信号灯器の底辺を表す LineString または周囲を表す Polygon を参照する（refers_type が Linestring の場合は refers には LinestringID が、refers_type が Polygon の

場合は refers には PolygonID が格納される。図 231)。また、ref_linestring_id により、信号灯器に対応する停止線を参照する。

RegulatoryElement

RegulatoryElementId	RegulatoryElementType	Refers	RefersType
55	Traffic_light	33	Linestring
56	Traffic_light	34	Polygon

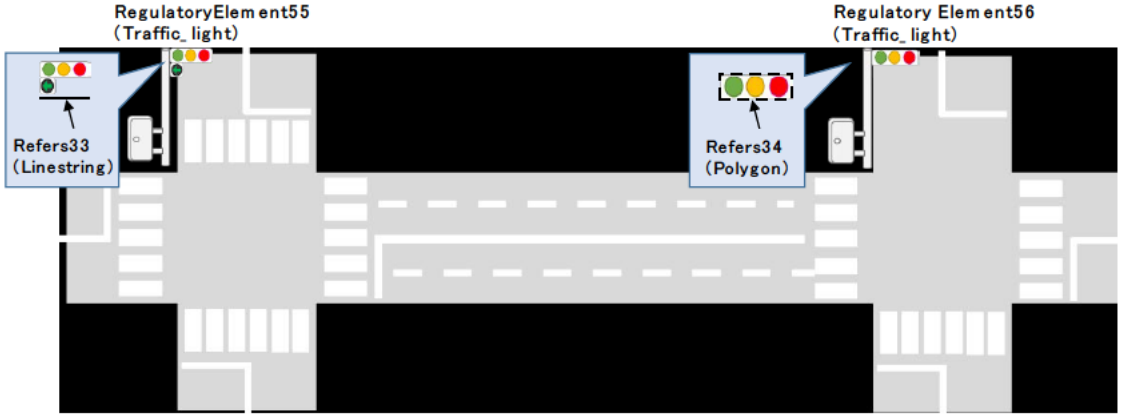
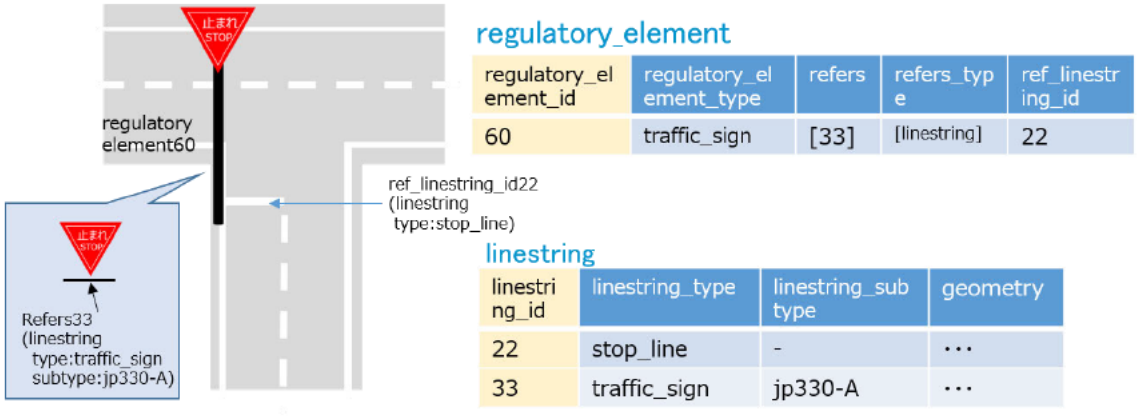


図 231　物理的な信号灯器の表現例

Regulatory Element のタイプが標識の場合には、refers_type と refers により、物理的な標識の底辺を表す LineString を参照する。標識の種類は、その LineString のサブタイプにより表現する（図 232)。また、標識の種類によっては、ref_linestring_id により、標識に対応する停止線を参照する。



regulatory_element

regulatory_element_id	regulatory_element_type	refers	refers_type	ref_linestring_id
60	traffic_sign	[33]	[linestring]	22

linestring

linestring_id	linestring_type	linestring_subtype	geometry
22	stop_line	-	···
33	traffic_sign	jp330-A	···

図 232　標識および停止線の表現例

Regulatory Element のタイプが速度制限の場合には、refers_type と refers により、物理的な速度制限標識の底辺を表す LineString を参照し、cancels_type と cancels により、速度制限標識に付随する制限区間を表現する標識の底辺を表す LineString を参照する。また、

ref_linestring_id と ref_cancel_linestring_id により、速度制限の適用が開始／解除される線分を参照する。ただし、ref_linestring_id が NULL の場合には、レーン全体に速度制限が適用されることを表す。

以上で説明した Lanelet2 で定義されている Regulatory Element に加えて、無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も、regulatory_element リレーションで表すこととした。データ連携 PF から提供される信号情報では、論理的な信号灯器は、交差点 ID と信号灯器 ID で識別される。そこで、タイプが論理的な信号灯器（traffic_signal）である Regulatory Element で、交差点 ID と信号灯器 ID で識別される論理的な信号灯器が、どのレーンや停止線に紐づくものであるかを表現する。具体的には、po_intersection_id に交差点 ID を、po_signal_group_id に信号灯器 ID を格納し、ref_linestring_id により信号灯器に対応する停止線を参照する（図 233）。

regulatory_element

regulatory_element_id	regulatory_element_subtype	ref_linestring_id	po_signal_group_id	po_intersection_id
56	traffic_signal	22	0x34 (南→西)	77
57	traffic_signal	22	0x31 (南→北)	77

linestring

linestring_id	linestring_type	linestring_subtype	geometry
22	stop_line	-	･･･

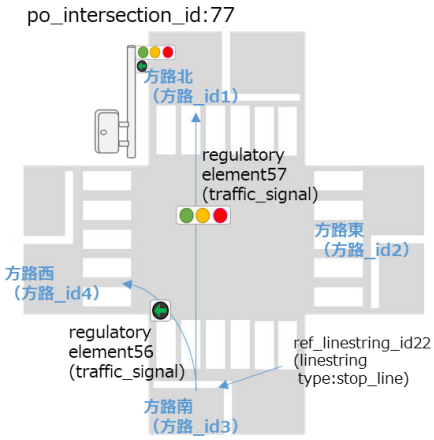


図 233　論理的な信号灯器の表現例

なお、Lanelet2 の Regulatory Element の内、"Right of Way"と"All Way Stop"は、他の交通規則情報と持つべき情報が大きく異なることに加えて、日本国内では使用しないと考えられることから、現時点では扱いを保留することとした。

最後に、図 234 に、Lanelet または Area の間の関係を表すためのリレーションを示す。Relationship のタイプには、Connectivity（経路接続）、Adjacency（隣接）、Crossing（交差）がある。

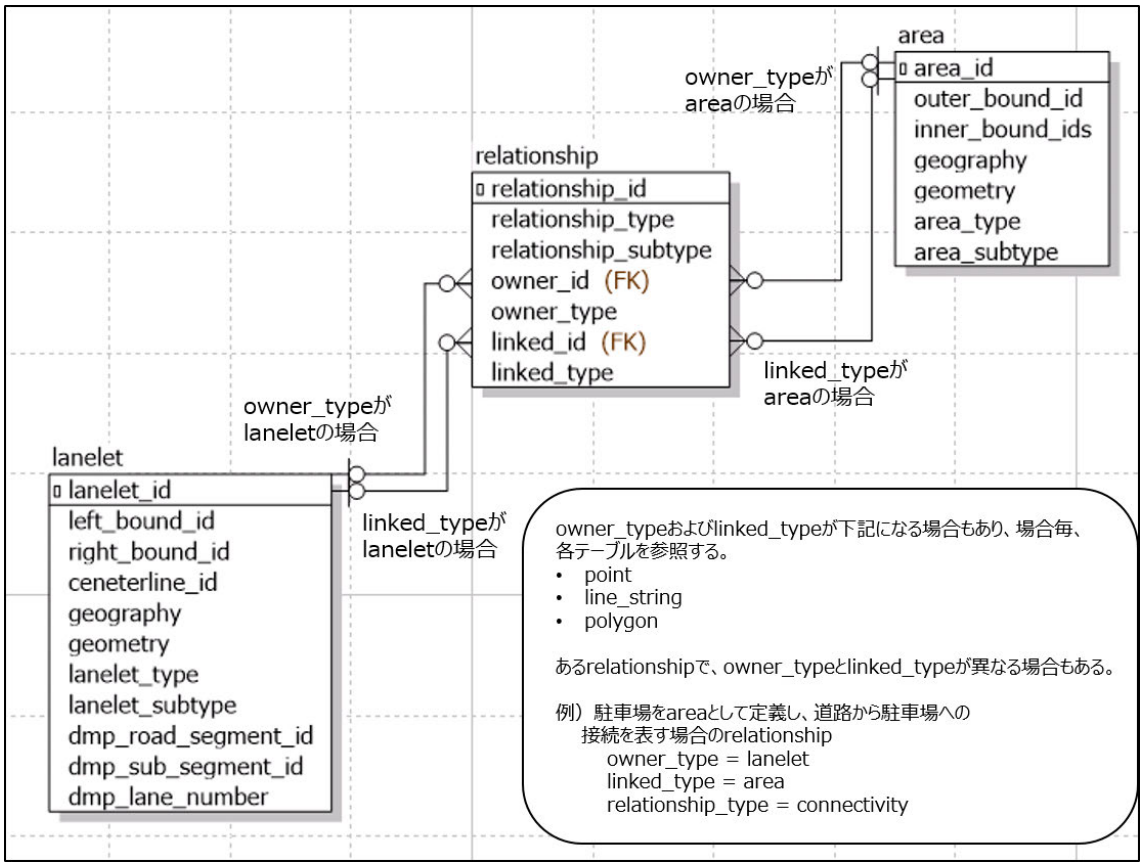


図 234　2 つの地物テーブルの関係を示すテーブルの関連

レーン A の終端がレーン B の始端となっている場合、レーン A とレーン B は経路接続の関係にあると言い、relationship リレーションの owner_type と owner_id でレーン A を、linked_type と linked_id でレーン B を参照する。隣接の関係は、文字通り、2 つのレーン（またはエリア）が隣接していることを、交差の関係は、2 つのレーン（またはエリア）に重なりがあることを表す。

3) データ連携 PF の通信インタフェースの試作評価による改良・定義

■ 該当項目の背景と目的

データ連携 PF においてデータのやり取りを行うための通信インタフェースは、必要な通信相手に対して、セキュリティを保って安定・高信頼な通信を実現する必要がある。そこで、本事業項目では昨年度データ連携 PF 向けに検討した通信インタフェースの試作・評価を行い、その結果を基にして通信環境・周辺環境に適応した改良を目指す。加えて、通信オペレータの障害やセルラーシステムのエリア外での通信停止を避けるための冗長構成に関する検討を行い、通信障害に強い方式の基礎設計を行う。さらに、セキュリティ機能についての検討を行い、混在空間での自動運転に資する通信インタフェースの確立を目的とする。

■ 実施方針

データ連携 PF を構成する車載 DM、路側 DM、キャリア DM、セントラル DM の間の通信インタフェース（通信方式や通信プロトコルなど）の試作を行い、実環境での評価を基に、仕様の改良および定義を行う。また、複数の通信手段と複数のチャネルの活用を考慮し、通信環境・周辺環境に適応した通信インタフェースの改良および定義を目指す。さらに、2021 年度に実装したネットワークセキュリティ機構の拡張として、セキュリティ機能の分散配置について検討することとした。

■ 実施事項と実施方法

(1) データ連携 PF 向け通信インタフェースの試作・改良

i) データ連携 PF のネットワークアーキテクチャ

① ネットワークアーキテクチャ概要

協調型システムは、車載センサーを利用して周辺を監視して走行する自律型自動運転車両に対して、特にセンサーからは見えない領域の情報を、無線通信を利用して提供することで、より高い安全性の向上に寄与することができる。無線通信を利用して車両に対して情報を提要するため、特に通信における信頼性や遅延、通信効率など、QoS（Quality of Service）が重要となる。

一般に、通信を利用した自動車の運転支援技術では、自動運転に限らず、現在、国内の ITS あるいはコネクテッドカー（つながるクルマ）において複数の通信方式が利用されている。具体的には、ITS Connect で利用されている 760MHz 帯を利用した ITS 無線(ARIB STD-T109:車々間通信、路車間通信)、ETC2.0 で利用されている 5.8GHz 帯を利用した狭域通信（DSRC：Dedicated Short Range Communication）がある。また、世界的には、5.9GHz 帯を利用した DSRC（IEEE 802.11p）および携帯電話の直接通信インタフェース（PC5）の利用が検討されている。これらは、車両と車両（V2V）、あるいは、車両と路側機（V2I）といった機器間を直接的に接続する 1 対多のブロード

キャスト方式の形態（トポロジー）である。一方で、一般的な携帯電話網である LTE/4G、5G のモバイルネットワークの利用も検討されており、これらは携帯電話基地局を経由して機器同士を接続する V2N（Vehicle-to-Network）通信は 1 対 1 のユニキャスト方式のトポロジーとなる。

通信方式、通信プロトコルを検討する上で、共通的な知識となるのが OSI 参照モデルである。OSI 参照モデルは、下位層から上位層に向かって、物理層、データリンク層、ネットワーク層、トランスポート層、セッション層、プレゼンテーション層、アプリケーション層の階層で構成される。ここでは、国際標準化機構（ISO）で規定されている参照モデル ISO 21217 の ITS ステーションアーキテクチャ（つながるクルマの通信アーキテクチャ）を基本に検討を進める。図 235 に、つながるクルマの通信アーキテクチャと OSI 参照モデルの対比を示す。

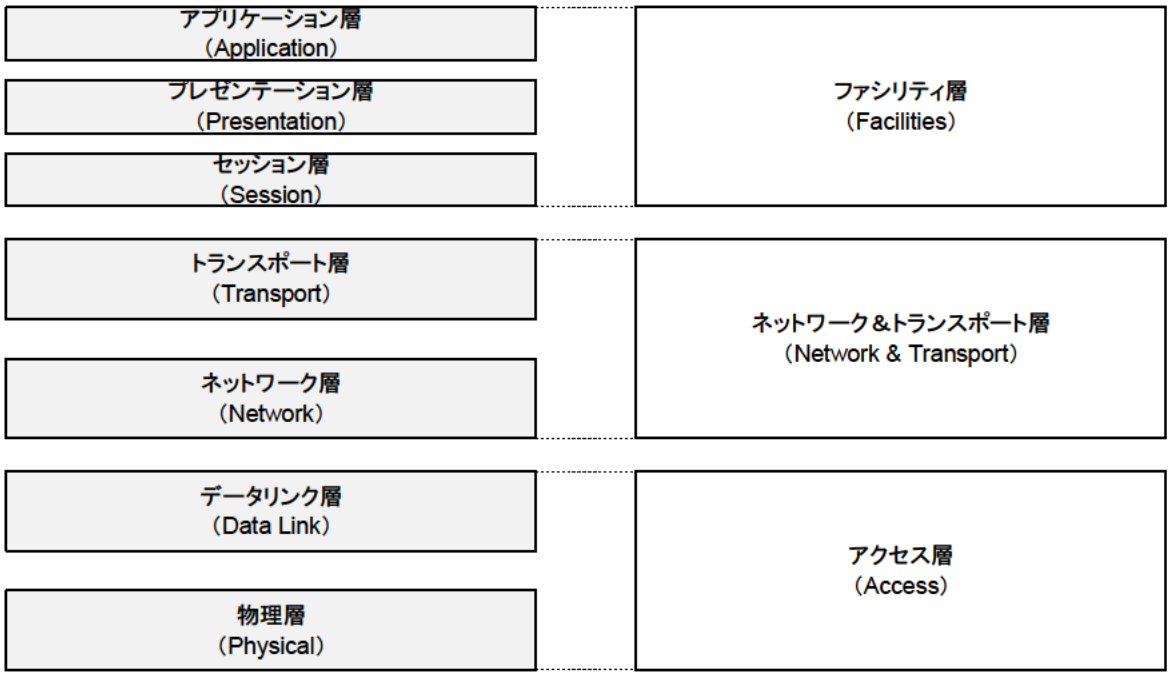


図 235　クルマの通信アーキテクチャ（右）と OSI 参照モデル（左）

つながるクルマの通信アーキテクチャでは、下位層から上位層に向かって、アクセス層（OSI における物理層とデータリンク層）、ネットワーク＆トランスポート層（OSI におけるネットワーク層およびトランスポート層）、ファシリティ層（OSI におけるセッション層、プレゼンテーション層、アプリケーション層）の階層で構成され、それぞれの階層を連携して管理するマネジメント層、セキュリティの機能を提供するセキュリティ層で構成される。本構成を図 236 に示す。本検討においては、アクセス層は既存仕様をもとに高信頼化、高効率化の方法、ネットワーク＆トランスポート層については既存仕様に不足している機能、ファシリティ層については、既存仕様を参考にしつつ、本デジタル道路交通データプラットフォームに適した方式を追加する方向で検討を行う。また、セキュリティ・プライバシ保護機能については、なるべく既存仕様に準拠し、本

デジタル道路交通データプラットフォームを実現する際に課題となる部分を見直すものとする。

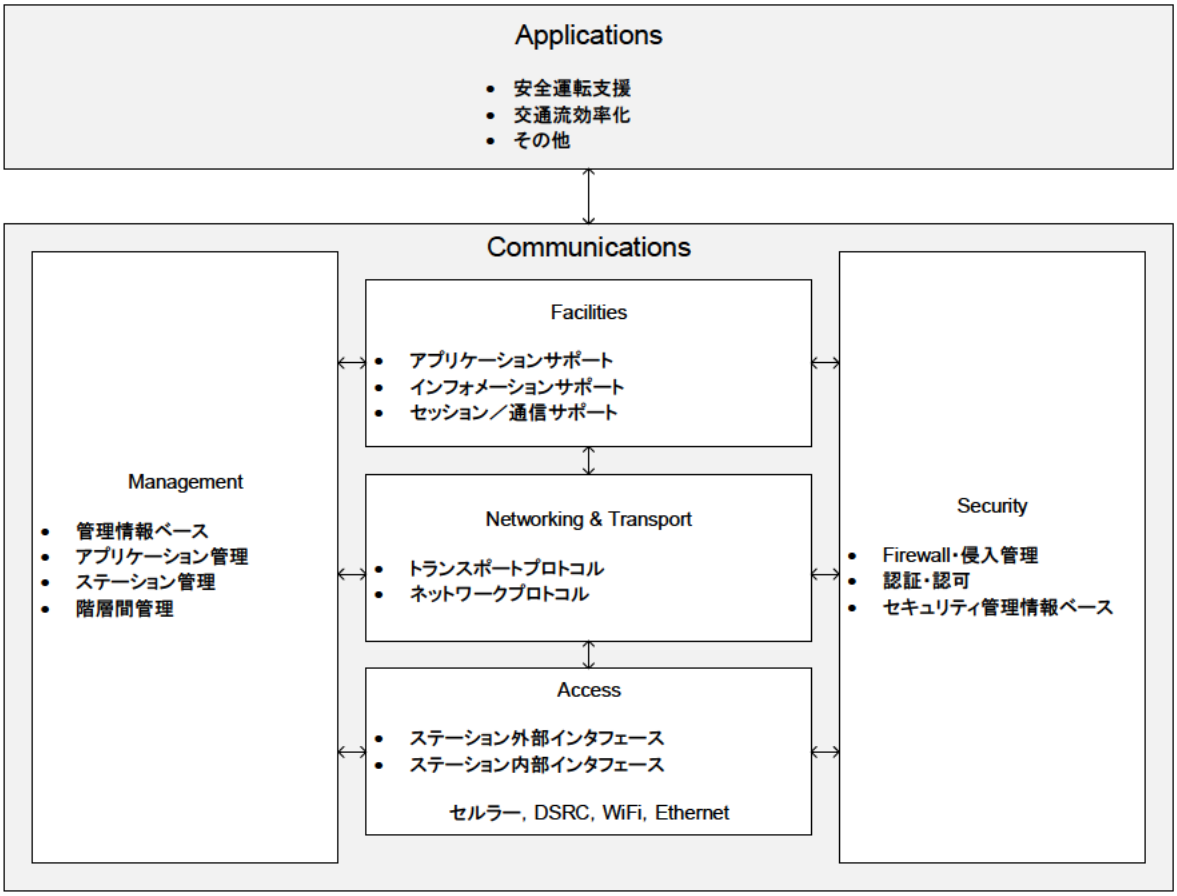


図 236　つながるクルマの通信アーキテクチャ（ITS ステーションアーキテクチャ）

車両等のセンサーデータは短い周期（例：1/10 秒）で送信されるため、渋滞時や都市レベルでの交通流制御を想定した場合、多くの車両の情報を単一のサーバ（クラウド）に集約して管理する必要があり、ネットワークや計算資源への負荷が大きくなるといったスケーラビリティの問題が想定される。大規模データをリアルタイムに処理するために、クラウド/エッジ/車両にまたがる三層構造のネットワークシステム構成の採用を検討する。一般的にエッジサーバーの配置については議論があるが、ここでは協調型路側機に配置されるのをロードサイドエッジと呼び、携帯電話網のコアネットワークに配置されるのをモバイルエッジ（MEC）と呼ぶこととするが、通信システムの接続の観点から、モバイルエッジはクラウドと密接に連携するためクラウドと一体として検討を進める。ネットワークシステム全体構成の概要を図 237 に示す。

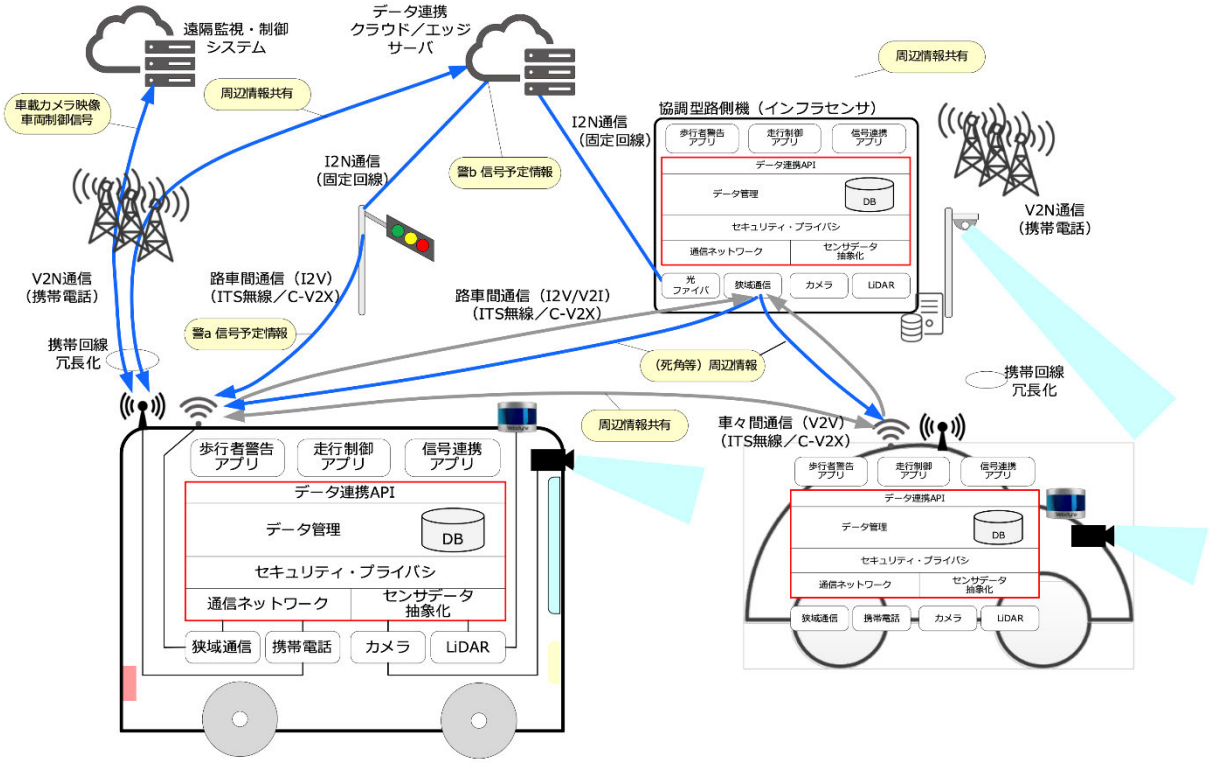


図 237　ネットワークシステム全体構成概要

データ連携のための各ノードを接続するためのネットワーク（L2）構成を図 238 に示す。クラウド、モバイルエッジ、協調型路側機、車両などの各ノード間はそれぞれのネットワークで接続される。

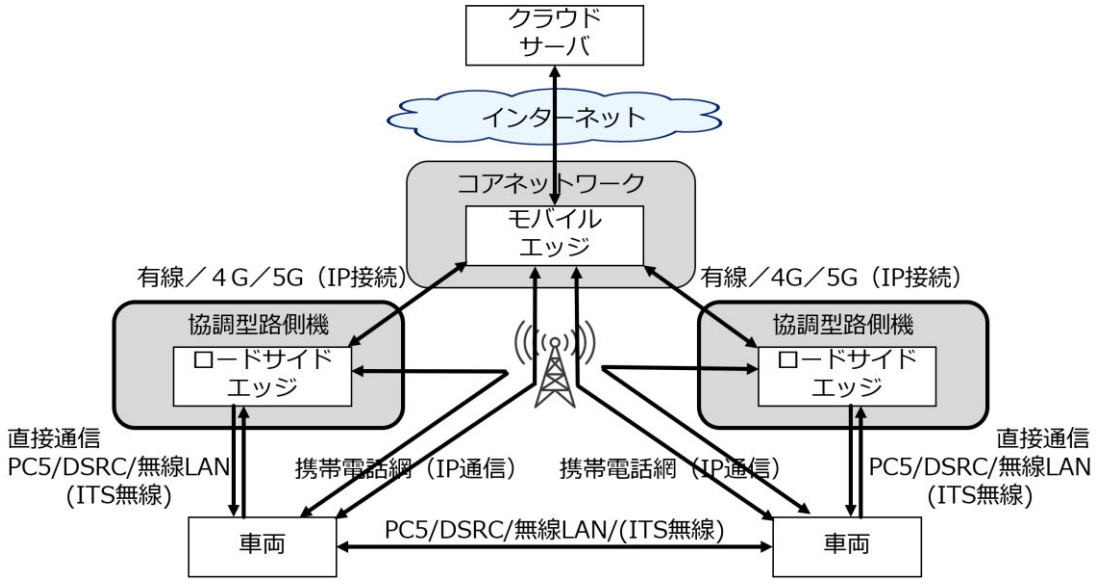


図 238　データ連携ネットワーク（L2）接続構成

協調型路側機と車両は次の 2 種類の通信形態で接続される。

1. 直接通信によるブロードキャスト： 携帯電話網の直接通信（PC5)、狭域通信（IEEE 802.11p などの DSRC)、ITS 無線（760MHz 帯を利用した ARIB-STD-T109 方式)、および、無線 LAN によるアドホック通信である。PC5 や DSRC の場合、ネットワーク層による通信相手を識別するのではなく、すべてのノードに送信（ブロードキャスト）され、アプリケーションにおいてメッセージの宛先を識別する。無線 LAN の場合はネットワーク層において IP によるブロードキャストが行われ、アプリケーションにおいてメッセージの宛先を識別する。通信はおよそ数百メートルの電波が届く範囲のみ可能となる。主にブロードキャスト方式を利用した直接通信のため、遅延は非常に小さい。
2. 携帯電話網によるユニキャスト：携帯電話の基地局を経由で IP（Internet Protocol）による 1 対 1 の接続である。携帯電話の基地局の電波が届く範囲において通信可能であり、通信の際には相手先の IP アドレスを指定する必要がある。協調型路側機は地理的な一定範囲の車両を管理するため、車両の移動に伴い担当する協調型路側機が変更される。ここでは、位置情報に基づいた IP アドレスを指定する接続形態とする。

協調型路側機の地理的管理エリア内の車両は直接通信を利用して協調型路側機と通信を行うが、車両の周辺に協調型路側機が存在しない場合は携帯電話網（IP 通信）を利用して、モバイルエッジと接続する。

車両同士は、協調型路側機と車両の接続と同様に、直接通信を利用する。モバイルエッジにおいて、各車両の IP アドレスを管理しているため、特定の車両において相手車両の IP アドレスを知ることができ、携帯電話網を利用した IP 通信が可能であるが、本構成では接続の複雑さ低減のため、携帯電話網を利用した車両間の直接通信は利用しない。協調型路側機とモバイルエッジは有線あるいは携帯電話網（4G あるいは 5G）を利用した IP 通信を利用する。協調型路側機は移動しない想定であるため、固定的な接続となる。通常、モバイルエッジとクラウドサーバはインターネット経由で接続される。

通信の信頼性向上あるいは遅延低減のために、複数の通信手段を併用することも想定される。

現状では、2025 年の実装を想定すると、世界標準である 5.9GHz 帯の無線を国内において利用することは困難であると判断し、通信方式からアプリケーションメッセージを分離して検討を進め、携帯電話網と連携し、現行の ARIB STD T109（760MHz 帯 ITS 無線）から将来の V2X（5.9GHz 帯 PC5／DSRC など）への円滑な移行を考慮したシステム設計とする。

② 760MHz 帯 ITS 無線

現在、ITS Connect で利用されている 760MHz 帯 ITS 無線（ARIB STD T109）の仕様を表 97 に示す。また、送信タイミング（送信無線スロット）を図 239 に示す。

表 97　ITS Connect で利用されている 760MHz 帯 ITS 無線（ARIB STD T109）の仕様

項目	路車間通信（I→V）	車々間・車路間通信（V→V、V→I）
周波数帯	755.5 MHz を超えて 764.5 MHz 以下	←
占有周波数帯幅	9 MHz 以下	←
空中線電力	10 mW/MHz 以下	←
変調方式	16QAM/OFDM	QPSK/OFDM
符号化率	3/4	1/2
通信方式	ブロードキャスト	←
送信周期	100 ms	←
データ伝送速度	18 Mbit/s	6 Mbit/s
アクセス方式	TDMA	CSMA/CA
セキュリティ方式	電子署名方式	MAC 方式
送信時間	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、10.5 ms 以下	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66ms 以下であり、送信バースト長は 0.33 ms 以下
送信データサイズ	100 ms 中に 10,500 バイト（セキュリティ OFF）	100 ms 中に 100 バイト（セキュリティ OFF）

図 239　ITS Connect で利用されている 760MHz 帯 ITS 無線（ARIB STD T109）送信タイミング

現在の ITS Connect の車々間・車路間通信では、車両から送信できるデータサイズは 100 バイト程度であり、世界標準となっている IEEE1609.2 で定義される電子署名のデータ（204 バイト＋アプリケーションデータ）を送信することが不可能となる。

そこで、本システムで送信すべきメッセージ（CDSM：Cooperative Driving Support Message）として、ARIB STD T109 準拠で車両から路側へ送信する方法（車路間通信）を検討した。その際の仕様を表 98 に示す。本検討は、ARIB STD T109 仕様に準拠しているが、現在、流通している ITS Connect 向けの通信機では対応しておらず、通信機の改良が必要となる。

表 98　車路間通信方式（新規検討）

項目	車々間	車路間（新規検討）
周波数帯	755.5 MHz を超えて 764.5 MHz 以下	←
占有周波数帯幅	9 MHz 以下	←
空中線電力	10 mW/MHz 以下	←
変調方式	QPSK/OFDM	16QAM/OFDM
符号化率	3/4	←
通信方式	ブロードキャスト	←
送信周期	100 ms	←
データ伝送速度	6 Mbit/s	18 Mbit/s
アクセス方式	CSMA/CA	CSMA/CA
セキュリティ方式	MAC 方式	電子署名方式
送信時間	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66ms 以下であり、送信バースト長は 0.33 ms 以下	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66ms 以下であり、送信バースト長は 0.33 ms 以下で、車々間通信に影響を与えない送信とする
送信データサイズ	100 ms 中に 100 バイト（セキュリティ OFF）	100 ms 中に 300 バイト（セキュリティ OFF）

協調走行支援メッセージ（CDSM：Cooperative Driving Support Message）

本検討で想定した協調走行支援メッセージ（CDSM：Cooperative Driving Support Message）の構成を示す。

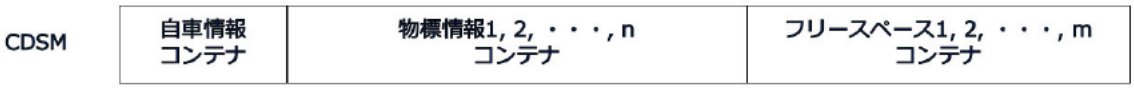


図 240　協調走行支援メッセージ構成

- 自車情報（自己物標情報、パスプラン）
  - 自己物標情報：自車の位置、速度など
  - パスプラン：〇m 先までの走行予定経路（Waypoint）
  - 路→車間通信の場合、（複数車両の）パスプランのみ

- 周辺物標情報：センサーにより検出した周辺の車両、歩行者、自転車等の情報
- フリースペース情報：周辺物標が存在しない道路上のエリア
  - 車→路通信の場合、車載センサーで検知した前方の物標までのエリア

メッセージ構成は通信メディア（ARIB STD T109、PC5／DSRC、携帯電話網等）に依存しない構成としている。

CDSM は検知した物標の数によりメッセージサイズが可変である。ARIB STD T109（CSMA）フレームで送信するため、コンテナの情報ごとにフレームに分割して送信する必要がある。その際には、フレームごとの優先度を設定し、その優先度順に送信する。

例：優先度は情報の信頼度（複数車両間で統一の重要度を設定可能な場合は重要度）

通信の帯域が不足する場合は、低い優先度のフレームは送信しないことで対応する。その場合の分割方法を図 241 示す。

図 241　協調走行支援メッセージの分割送信

一方、ARIB STD T109（TDMA）、PC5／DSRC、携帯電話網では分割せずに送信する。

ARIB STD T109（CSMA）のフレーム送信は、特定協調型路側機エリア内におけるフレーム送信サイクル（TDMA フレームの合間）に入れる必要がある。その際の送信タイミングを示す。

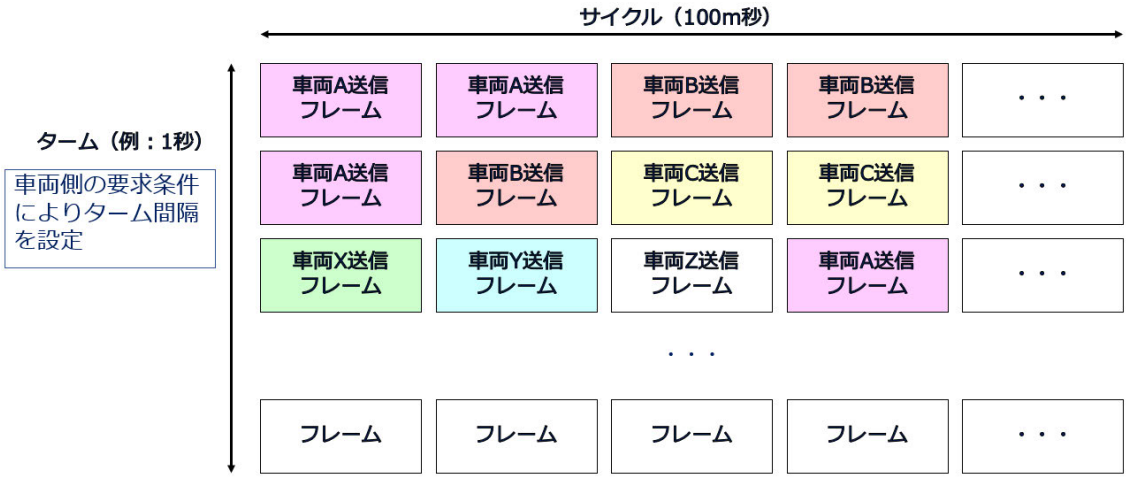


図 242　協調走行支援メッセージの送信タイミング

協調走行支援メッセージの送信に関して、ARIB STD T109（TDMA）の場合は、ARIB STD T109 の仕様上はセキュリティ機能なしで、IEEE1609.2 準拠のセキュリティ機能を独自で導入を検討する。また、ARIB STD T109（CSMA）も仕様上はセキュリティ機能なしで、IEEE1609.2 準拠のセキュリティ機能を独自で導入することを検討する。現状では、MAC 方式は利用できても、 IEEE1609.2 準拠の証明書が入らないため、変調方式は、QPSK ではなく、16QAM 3/4 を採用し、送信フレームサイズを拡張し、送信可能距離は TDMA と同等とする。一方で、携帯電話網の仕様は、セキュリティとして TLS あるいは DTLS を採用する。

ⅱ）　分散環境における通信ネットワーク機能

ダイナミックマップ（以下、DM と表記する）は、高精度の道路地図上に、センサーなどから得た交通データ（動的情報、準動的情報、準静的情報）を重ねて、位置参照方式を用いてお互いに紐づけられるようにしたデータ集合である。その情報基盤である DM2.0 PF ではクラウド・エッジ・車両の三層で構成される分散型のプラットフォームである。

DM2.0 PF

DM2.0 PF は、ストリーム型の分散データベースであり、時々刻々と変化する動的なストリームデータと静的な地図データを組み合わせ、入力/出力を操作するための統合インターフェースを備えている。ストリームデータを制御する IS（Information Support）（以下 IS 部と呼ぶ）は、単体でもデータベースとして動作することができるが、通信制御機能部（Communication Support）（以下、CS 部）を介することにより、異なるリソース上に展開される DM2.0PF が相互間でストリームデータを共有する通信機能を備えている。CS 部は、通信の OSI 参照モデルをベースとした ITS ステーションアーキテクチャに基づく構成となっている。協調型路側機の構成に配慮し、アクセス

層およびネットワークプロトコルを通信メディアとしてとらえ、トランスポート層とコミュニケーションサポート層を含む、通信ネットワークを構成している。また、DM2.0 PF を利用するアプリケーション（以下、APL と呼ぶ）に対し、仮想化 ID である Station ID（以下、SID と表記する）を送信元情報／送信宛先情報とし、これにより IPv4／IPv6 の差異、車両の動的な IP の変化を意識させないインタフェースとしている。また、SID を含む DM 2.0 用の通信ヘッダを採用している。

通信メディア

CS 部として扱う通信メディアは、携帯電話網（4G、5G）、PC5、DSRC、ITS 無線、（あるいは無線 LAN アドホック）といった通信手段を想定している。

プロトコル

CS 部として扱うネットワークプロトコルは IPv4／IPv6 としている。また、トランスポートプロトコルは TCP、UDP である。

通信形態

CS 部として扱うプロトコルと通信形態を以下に示す。

- UDP/Anycast
- UDP/Multicast
- UDP/Unicast
- TCP/Unicast

CS 部機能ブロック

図 243 に CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置を示す。CS 部は、エッジ、クラウド、車両の DM2.0 PF の通信制御機能として各ノードに実装されている。IPv4／IPv6 の環境下で実行される機能ブロックが異なる。各ブロックはプロセスとなっており、プロセス間通信はソケット通信で実現している。また、CS 部はエッジ、クラウド、車両の各ノードに配置される。

現在の CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置を示す。

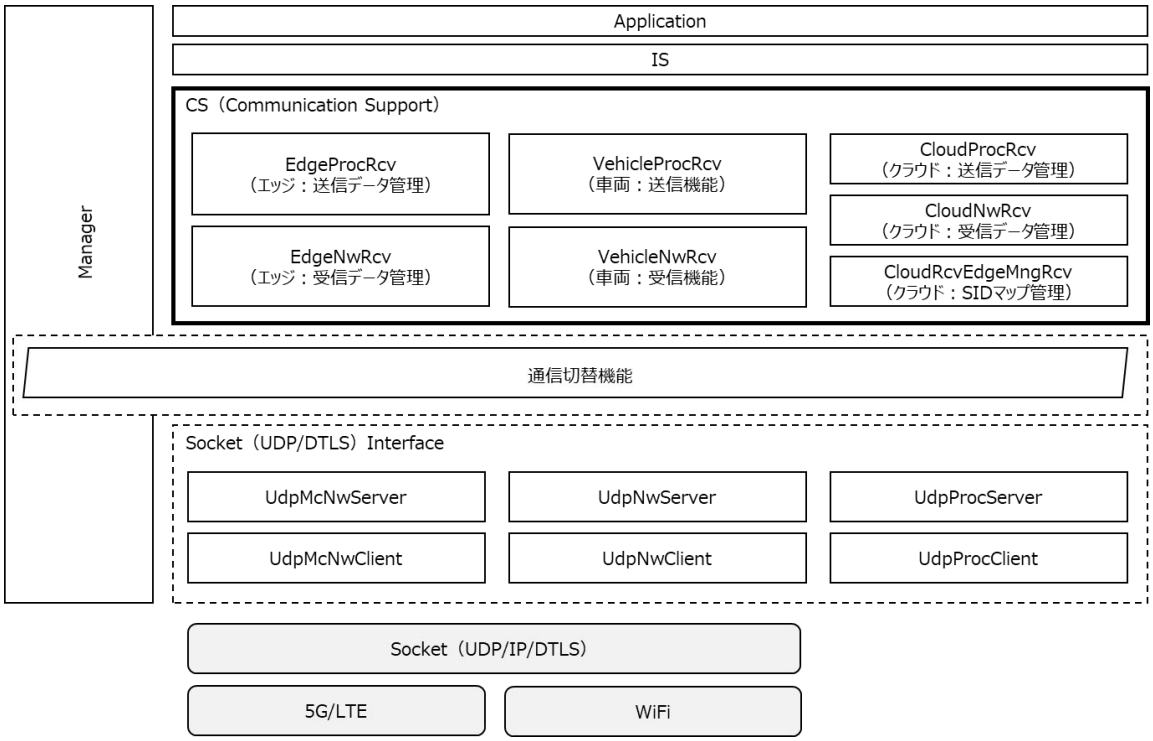


図 243　CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置

クラウド配置の CS 機能

クラウドに配置された場合の CS 機能を以下に示す。

- CloudNwRcv

  エッジからデータ受信時、データ内の DM2.0 ヘッダ内の情報を元にクラウドに実装されている APL や IS に対してデータを転送する。

- CloudRcvEdgeMngRcv

  エッジから送られてきた、車両からのデータを受信したエッジ(受信エッジ)の SID 情報を当該車両の SID を保持(車両受信エッジ管理)する。また、当該情報を受信時に CloudProcRcv に転送する。

- CloudProcRcv

  クラウドに実装されている APL や IS からのデータを受信した時、CloudProcRcv が保持するエッジ IP アドレスとエッジ SID を関連付けたテーブル(エッジ SID⇔エッジ IP 管理)と車両受信エッジ管理のエッジに送信する。

エッジ配置の CS 機能

エッジに配置された場合の CS 機能を以下に示す。

- EdgeNwRcv

  クラウド、エッジ、車両からのデータ受信時、データ内の DM2.0 ヘッダ内の情報を元に自

エッジ内の APL や IS、又はクラウドや他のエッジに対してデータを転送する。ただし、車両からの受信は IPv4 環境の場合であり、IPv6 の場合は EdgeIpv6AnycastRcv が受信する。

- EdgeProcRcv

  エッジに実装されている APL や IS からのプロセス間データ受信時、又は、自エッジ内の EdgeNwRcv 又は EdgeIpv6AnycastRcv からのプロセス間転送データ受信時にデータの DM2.0 ヘッダ内の情報を見てクラウド、エッジや車両にデータを送信する。

車両配置の CS 機能

車両に配置された場合の CS 機能を以下に示す。

- VehicleNwRcv

  エッジからのマルチキャストデータを受信し、データ内の DM2.0 ヘッダ内の情報を元に自車両内の APL や IS にデータを転送する。

- VehicleProcRcv

  車両に実装されている APL や IS からのプロセス間データ受信時にデータの DM2.0 ヘッダ内の情報を見てエッジの Anycast IP アドレス宛にデータを転送する。

ユースケース

DM2.0 PF を搭載したクラウド、エッジ、車両間の APL/IS 通信のユースケースは 14 ケースを想定している。クラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースの概念図を図 244 に示す。

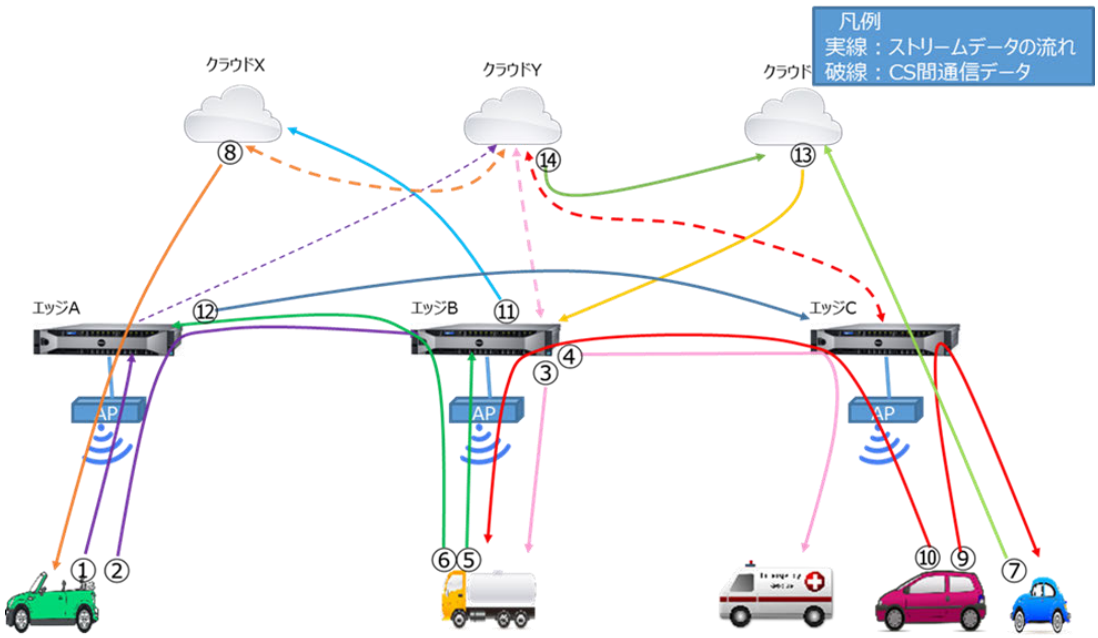


図 244　クラウド、エッジ、車両間の通信ユースケース概念図

クラウド、エッジ、車両間の各通信ユースケースを表 99 に列挙する。

表 99　クラウド、エッジ、車両間の通信ユースケース一覧

ユースケース	
	APL/IS 通信(車両から最寄りのエッジ(受信エッジ＝管轄エッジ))
	APL/IS 通信(車両から最寄りのエッジ(受信エッジ≠管轄エッジ))
	APL/IS 通信(エッジから単数の指定車両が同一エッジ内)
	APL/IS 通信(エッジから単数の指定車両が異なるエッジ内)
	APL/IS 通信(車両から単数の指定エッジ(=受信エッジ))
	APL/IS 通信(車両から単数の指定エッジ(≠受信エッジ))
	APL/IS 通信(車両から単数の指定クラウド)
	APL/IS 通信(クラウドから単数の指定車両(エッジ経由あり))
	APL/IS 通信(車路車間通信(エッジ経由))、対向車両(単数)が同一受信エッジ内
	APL/IS 通信(車路車間通信(エッジ経由))、対向車両(単数)が異なる受信エッジ内
	APL/IS 通信(エッジから単数の指定クラウド)
	APL/IS 通信(エッジから単数の指定エッジ)
	APL/IS 通信(クラウドから単数の指定エッジ)
	APL/IS 通信(クラウドから単数の指定クラウド)

補足 1：ユースケースの No（例：①）は、前述のユースケース概念図の No（例：①）を指す。

補足 2：各ユースケースにおける単語を補足する。

受信エッジ：同一のネットワーク内に属する車両から直接データ受信したエッジサーバー

管轄エッジ：特定の地理的範囲における車両からのデータを処理する役割を持ったエッジサーバー

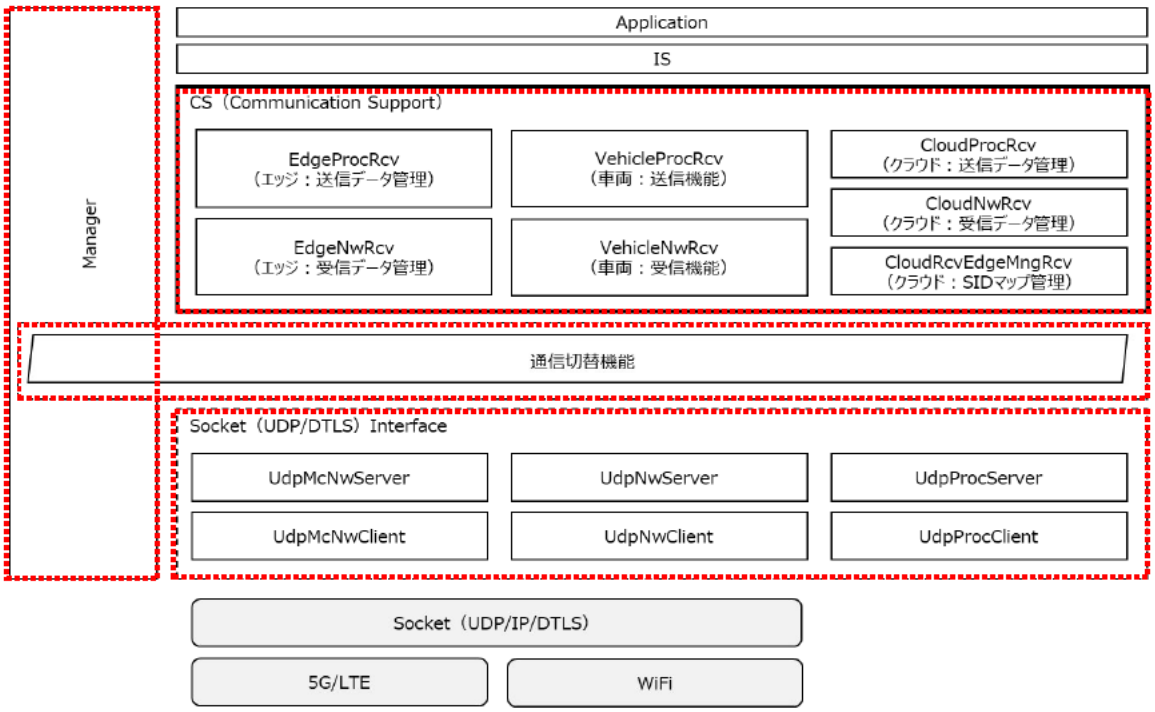
最寄りのエッジ：車両からの地理的距離が最も近いエッジサーバー

スコープ

本書で記述する CS 部の機能拡張は、接続数の増加、接続方法（形態）への適応を目的としたデュアル通信、複数種の通信方法の切り替え、およびセキュリティ面の対応を行う。また、エッジ、クラウド、車両の各ノードに配置される CS 部、ならびに関係個所のソフトウエアの対応を範囲とする。

表 100　開発項目

No	開発内容	対象
1	Wi-Fi　＋　5G/LTE のデュアル通信	CS（Communication Support）
2	DTLS 対応	Socket（UDP/DTLS）Interface
3	通信切替機能（Manager 機能拡充）	通信切替機能、 Manager
4	ログ機能拡充	Manager、 CS、 Socket Interface



赤点線：対象範囲を示す

図 245　対応範囲

開発内容

Wi-Fi　＋　5G/LTE のデュアル通信

DM2.0 PF は、通信形態の対応範囲の拡充に伴い、Wi-Fi＋5G/LTE のデュアル通信がユースケースに含まれる。デュアル通信とは、複数の通信ネットワークに対し、同内容のデータを送信することにより相手へのデータ到達率を高めるための機能である。現状の CS 部は、上り方向（車両→エッジ）に対するデュアル通信は対応しているが、下り方向（エッジ→車両が含まれるユースケース）の通信には対応できていない。本開発では、下り方向に対する通信の冗長性を向上させるため、下り方向のデュアル通信機能を CS 部に搭載する。

CS 部の対応概要

CS 部の対応概要を以下に示す。

(1) ユースケースに対応する CS 部の通信形態を以下に示す

- UDP/Anycast, Multicast, Unicast
- TCP/Unicast
- プロセス間通信（転送）

(2) CS 部は、各ノード間の通信形態に応じたデータ送受信を行う

(3) エッジに収納される CS 部は、クラウドとのデータ送受信を行い、APL/IS 部からの情報、ならびにクラウドからの情報に基づき車両への送信、車両からの受信を行う

対象ユースケース

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケース一覧を表 101 に示す。

表 101　対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケース一覧

ユースケース		補足
ケース③	APL/IS 通信（エッジから単数の指定車両が同一エッジ内）	
ケース④	APL/IS 通信（エッジから単数の指定車両が異なるエッジ内）	
ケース⑧	APL/IS 通信（クラウドから単数の指定車両（エッジ経由あり））	
ケース⑨	APL/IS 通信（車路車間通信（エッジ経由））、対向車両（単数）が同一受信エッジ内	
ケース⑩	APL/IS 通信（車路車間通信（エッジ経由））、対向車両（単数）が異なる受信エッジ内	

対象となるユースケースの送信元／送信先マトリクス

対象となるユースケースの送信元／送信先マトリクス表を表 102 に示す。

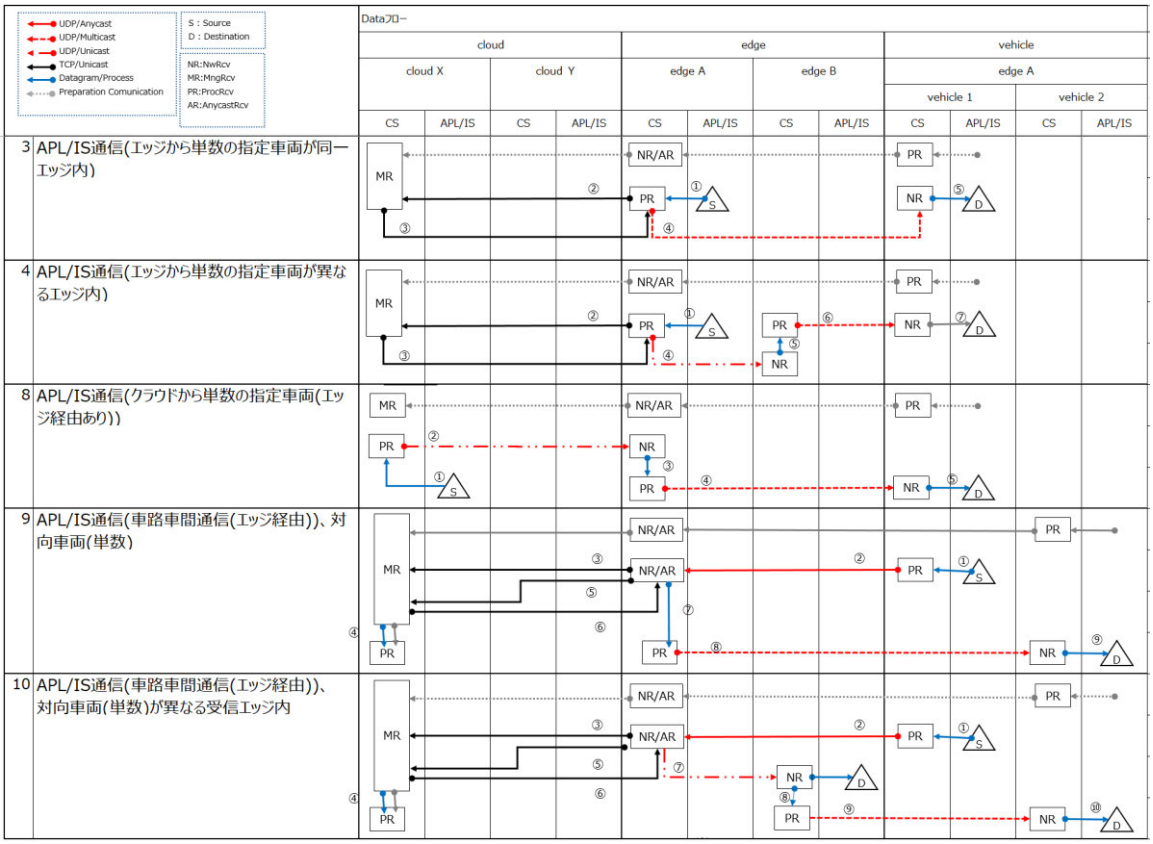
表 102　対象ユースケースの送信元／送信先マトリクス

			destination							
			cloud-2	edge-1/self edge　ex)vehicle-1の自エッジ			edge-2/other edge　ex)edge-1収納のvehicleの他エッジ			(non-edge)	
				edge-1	vehicle-1	vehicle-2	edge-2	vehicle-1	vehicle-2	vehicle-1	vehicle-2
source	cloud-1		⑭	⑬	⑧		(⑬) 複数エッジへの通信	(⑧) 複数エッジへの通信および複数車輌への通信	(⑧) 複数エッジへの通信および複数車輌への通信	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由
	edge-1	edge-1	⑪		③	(③) 複数の車輌への通信	⑫	④	(④) エッジへの通信およびそのエッジ配下の車輌への通信	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由
		vehicle-1	⑦	① 最寄りエッジケース ⑤ 指定エッジケース		⑨ ※2 留意点 車車間の直接通信は別途検討中	② 最寄りエッジケース ⑥ 指定エッジケース		⑩ ※2 留意点 車車間の直接通信は別途検討中		※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由 ※2 留意点 車車間の直接通信は別途検討中（スコープ外）
	Non edge	vehicle-1	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由	※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由			※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由		※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由 ※2 留意点 車車間の直接通信は別途検討中（スコープ外）		※1 今後対応 ・5G/LTE経由 ・VPN経由 ※2 留意点 車車間の直接通信は別途検討中（スコープ外）

データーフロー

対象となるユースケースのデーターフローを表 103 に示す。

表 103　対象となるユースケースのデーターフロー



- CS 部内の機能ブロックは略称で表記している（例、NR:xxNwRcv を示し、xx はノード識別を示す）
- ネットワークプロトコルは IPv4/IPv6 であり、NR/AR と表記し、IPv6 時は AR(xxAnycastRcv)で受信、IPv4 時は NR（xxNwRcv）で受信することを示している
- 当該データーフロー動作前の事前通信も表記している（表内の凡例を参照のこと）
- 赤点線囲みが対象となるデーターフローを示す
- 表内の数字は、主要なフローの想定される実行順番を示す（例　①は一番初めのフロー）

(a) APL/IS 通信(エッジから単数の指定車両が同一エッジ内)（ケース③）

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース③の CS 部の対応を行う。

(1) 自エッジ内の APL や IS 部からのデータを受信する

(2) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づきクラウドにデータを送信する

(3) クラウドからのデータを受信する
(4) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき車両へデータを送信する
※車両=同エッジ内
(5) エッジからのデータを受信し、自車両内の APL や IS 部にデータを送信する APL/IS 通信(エッジから単数の指定車両が異なるエッジ内)（ケース 4)
(6) 対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース 4 の CS 部の対応を行う。

(b) APL/IS 通信(エッジから単数の指定車両が異なるエッジ内)（ケース④)

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース④の CS 部の対応を行う。

(1) 自エッジ内の APL や IS 部からのデータを受信する
(2) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づきクラウドにデータを送信する
(3) クラウドからのデータを受信する
(4) (受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき車両へデータを送信する
(5) エッジからのデータを受信し、EdgeProcRcv にデータを送信する
(6) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき車両へデータを送信する
(7) エッジからのデータを受信し、自車両内の APL や IS 部にデータを送信する

(c) APL/IS 通信(クラウドから単数の指定車両(エッジ経由あり))（ケース⑧)

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース⑧の CS 部の対応を行う。

(1) クラウド内の APL や IS 部からのデータを受信する
(2) CloudProcRcv が保持するエッジ IP アドレスとエッジ SID を関連付けたテーブル(エッジ SID⇔エッジ)
(3) クラウドからのデータを受信し、EdgeProcRcv への送信を行う
(4) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき車両へデータを送信する
※車両=同エッジ内
(5) エッジからのデータを受信し、自車両内の APL や IS 部にデータを送信する

(d) APL/IS 通信(車路車間通信(エッジ経由))、対向車両(単数)が同一受信エッジ内（ケース⑨)

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース⑨の CS 部の対応を行う。

(1) 車両内の APL や IS 部からのデータを受信する
(2) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づきエッジにデータを送信する
(3) エッジは、車両からのデータを受信する。
(4) クラウドにてエッジからの送信元車両データを受信しクラウド内 APL/IS 部にデータを送信する
(5) クラウドにてエッジからの送信先車両データを受信する
(6) エッジにてクラウドからのデータを受信する
(7) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき EdgeProcRcv へデータを送信する
(8) エッジから送信先車両へデータを送信する
(9) 車両にてエッジから受信データを車両内の APL/IS 部にデータを送信する

(e) APL/IS 通信(車路車間通信(エッジ経由))、対向車両(単数)が異なる受信エッジ内(ケース⑩)

対象となるクラウド、エッジ、車両間の通信ユースケースにおけるケース⑩の CS 部の対応を行う。

(1) 車両内の APL や IS 部からのデータを受信する
(2) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づきエッジにデータを送信する
(3) エッジは、車両からのデータを受信する。
(4) クラウドにてエッジからの送信元車両データを受信しクラウド内 APL/IS 部にデータを送信する
(5) クラウドにてエッジからの送信先車両データを受信する
(6) エッジにてクラウドからのデータを受信する
(7) 受信データの DM2.0 ヘッダ内の情報に基づき車両が収納されているエッジへデータを送信する
(8) エッジ内の EdgeProcRcv へデータを送信する
(9) エッジから車両にデータを送信する
(10) 車両にてエッジから受信データを車両内の APL/IS 部にデータを送信する

iii) 通信環境・周辺環境に適応した無線インタフェース

① 模擬車載機・模擬路側機能試作

協調型システムを活用した自動運転レベル 4 サービスに必要な信頼性と効率を備えた通信を実現すべく、マルチオペレータ・マルチチャネルを活用可能な車載機・路側機とデータ連携サーバの役割を担う通信管理サーバ・無線環境データベース(DB)の開発を進めている。本項では、現在開発中の模擬車載機・模擬路側機の機能仕様および動作結果を記す。

はじめに、現在開発中の車載機・路側機のハードウエア構成と試作機を図 246、図 247 に示す。どちらも LTE/5G に接続されるルータを複数搭載する。それぞれ異なるオペレータの SIM を挿入することで、マルチオペレータ・マルチチャネルによる通信管理サーバおよびインターネットへの接続を可能とする。また、路側機には無線 LAN アクセスポイント、車載機には無線 LAN ドングルを複数搭載し、無線 LAN を介した路車間通信を可能とする。路側機はモニターモード対応の無線 LAN ドングルも搭載し、周辺のチャネル混雑度を監視する。監視結果に基づいて、搭載している無線 LAN アクセスポイントのチャネルを決定する。

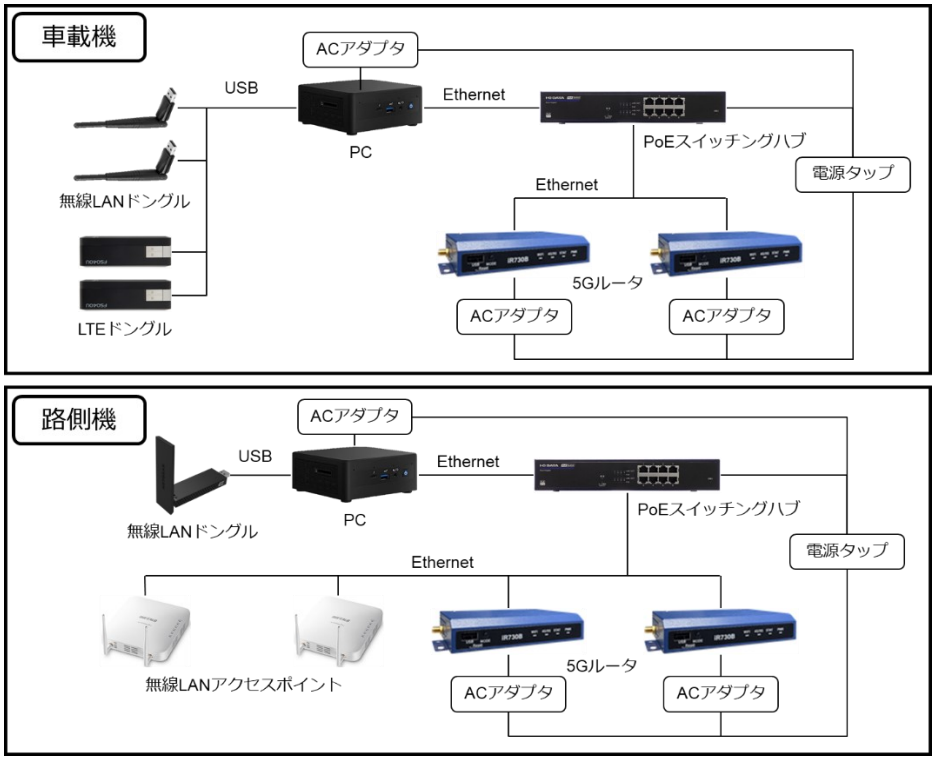


図 246　車載機・路側機のハードウエア構成

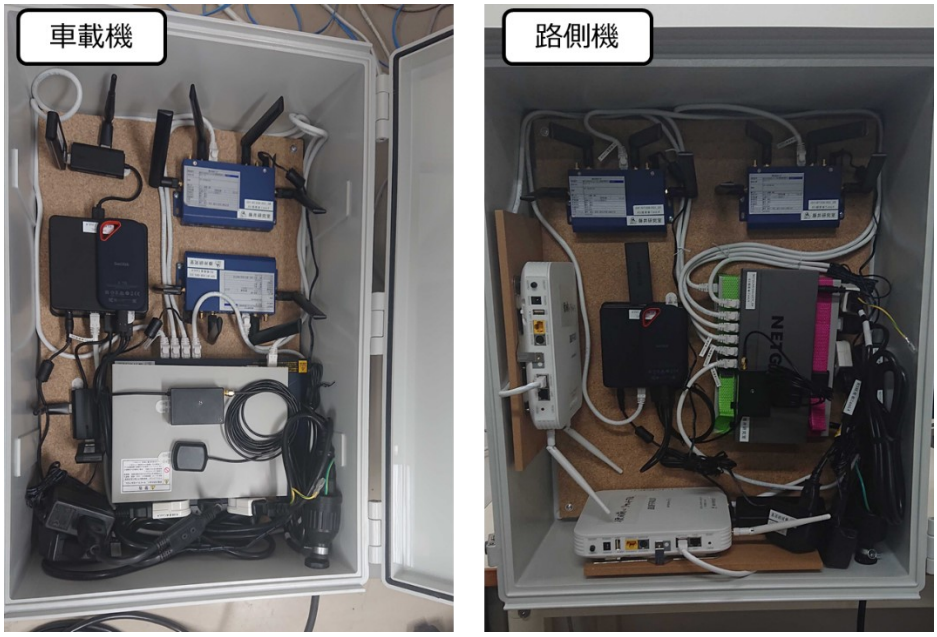


図 247　実際の模擬車載機・模擬路側機

次に、模擬車載機・模擬路側機、通信管理サーバおよび無線環境 DB において動作する機能を通信区間別に記す。

模擬車載機・模擬路側機－通信管理サーバ間

- 模擬車載機・模擬路側機内情報の定期通知
  以下の対象データを通信管理サーバへ定期的に通知する。
  - 5G ルータ/LTE ドングル情報
    - 接続状態、IP アドレスなど
  - 無線 LAN アクセスポイント情報（模擬路側機のみ）
    - SSID、チャネル番号など
  - 通信レイテンシ情報
    - 各通信機器における ping の往復レイテンシ(RTT)
  - 端末管理情報
    - ID、位置情報など
  - 無線 LAN 混雑度計測結果（模擬路側機のみ）
    - 各チャネルの混雑度

- 模擬車載機・模擬路側機内情報の即時通知
  以下の対象データを通信管理サーバへ速やかに通知する。ここでは MQTT を用いる。
  - 無線 LAN 接続情報（模擬路側機搭載無線 LAN アクセスポイントの状態変化時のみ）

- ✧ 路側機の位置情報や SSID、チャネル番号など
- ➢ 通信障害情報（通信レイテンシが閾値以上の場合のみ）
  - ✧ 発生場所、発生ネットワーク、RTT など

- 他模擬路側機情報提供
  - ➢ 無線 LAN 接続情報通知
    該当模擬路側機に近い車載機に対して提供し、無線 LAN 接続を促す。

- コネクション監視
  各通信機器（無線 LAN ドングルは除く）で構築される物理リンクにおいて IP 通信が可能な場合、通信管理サーバに対して ping を定期的に実行し、通信の可否と RTT を監視する。RTT が閾値以上の場合は通信障害情報を生成する。

<u>模擬車載機・模擬路側機－無線環境 DB 間</u>

- 無線環境観測・無線環境情報提供
  各模擬車載機・模擬路側機に搭載される通信機器（5G ルータ/LTE ドングル/無線 LAN ドングル）がそれぞれ無線環境情報（観測位置、観測時刻、受信電力値、往復レイテンシなど）を観測する。観測された情報は、各模擬車載機・模擬路側機内に一定期間蓄積され、定期的に無線環境 DB へアップロードされる。

<u>模擬車載機－模擬路側機間</u>

- 無線 LAN 接続
  模擬車載機は、通信管理サーバから提供される無線 LAN 接続情報に基づいて無線 LAN 接続と切断を制御する。模擬車載機は当該模擬路側機の無線 LAN 接続情報を受信済みであり、当該模擬路側機との距離が閾値以内である場合に接続できる。一方で、当該模擬路側機との距離が閾値以上、またはパケットロスが一定数連続して発生した場合は切断する。

- コネクション監視
  各無線 LAN ドングルで構築される物理リンクにおいて IP 通信が可能な場合、模擬路側機に対して ping を定期的に実行し、通信の可否と RTT を監視する。RTT が閾値以上の場合は通信障害情報を生成する。

- アプリケーション通信
  HTTP によるファイル取得を行う。模擬路側機は HTTP サーバ、模擬車載機は HTTP クライ

アントをそれぞれ実行する。

任意ユーザー無線環境 DB 間

- 無線環境情報統計化

  無線環境 DB は観測情報に基づいて、電波マップを生成する。電波マップとは、対象エリアを二次元メッシュ化し、各メッシュに観測情報に基づく統計値を格納したマップのことである。任意ユーザの PC 上でメッシュサイズ、対象データなどのパラメータを含む設定ファイルを作成し、無線環境 DB に設定ファイルを提供することで電波マップが生成される。無線環境 DB が生成する電波マップの一例を図 248 に示す。

図 248　電波マップの例（電気通信大学周辺）

② 柏の葉周辺における動作検証

開発中の模擬車載機・模擬路側機の動作を検証するために、複数回にわたり柏の葉周辺地域において観測実験を実施した。本項では結果を一部抜粋して掲載する。

図 247 で示した模擬車載機を車両に積載し、対象環境を走行することで観測を行った。ここで、模擬車載機内の各通信機器には、NTT DOCOMO と KDDI が提供する SIM をそれぞれ挿入している。

はじめに、ある日の実験において各通信機器で観測した平均 RSRP(Reference Signal Received Power、参照信号毎の受信電力を表す)をメッシュサイズ 10m のマップにして図 249 に示す。ここでは、NTT DOCOMO の 5G n79、LTE Band1 および KDDI の LTE Band1 の結果を掲載する。KDDI の 5G は柏の葉周辺地域で提供されていないため、電波マップ自体生成されていない。図 249 が示す通

り、電波マップは車道に沿って生成されており、任意の走行地点における電波環境を把握することが可能である。車載機は挿入された SIM が有効な限り観測を行い、観測結果を無線環境 DB へアップロードする。

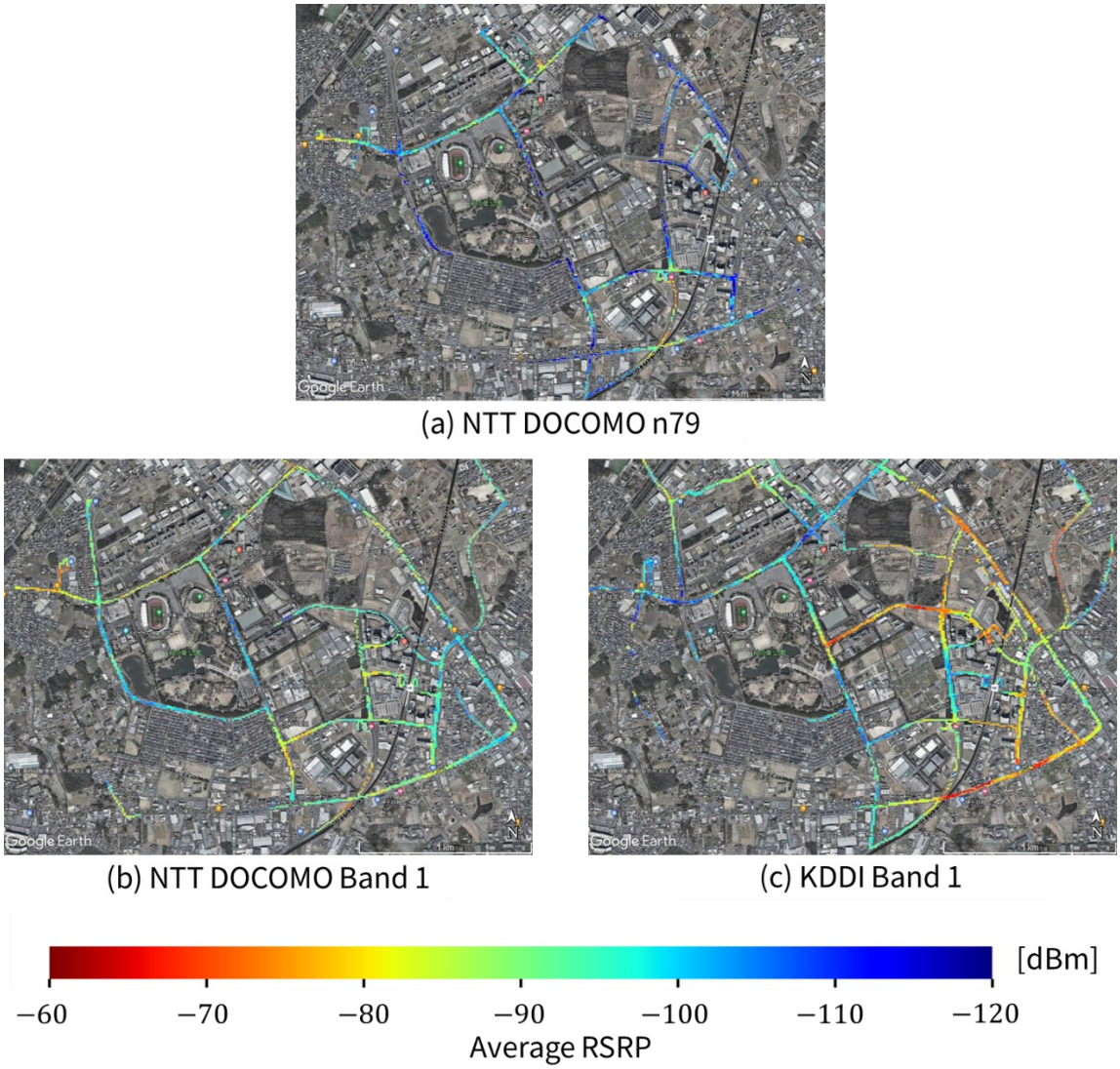


図 249　各オペレータ・各バンドの平均 RSRP

次に、各オペレータの各通信方式（5G/LTE）における平均 RTT をメッシュサイズ 10m のマップにして図 250 に示す。図 250 より、5G では約 50ms、LTE では約 75ms 程度のレイテンシになることが確認できた。この値は、通信性能に大きな影響を与える値ではないため、正常な通信が見込める。一方で、任意基地局のカバレッジ端では RTT が上昇傾向であることが確認できた。カバレッジ端では、受信電力の減衰に起因するハンドオフの発生確率が高く、通信の切り替えに伴って通信性能が不安定になることが懸念されるため、通信環境に適応した通信の切り替えが必要である。この検討については、③（イ）で後述する。

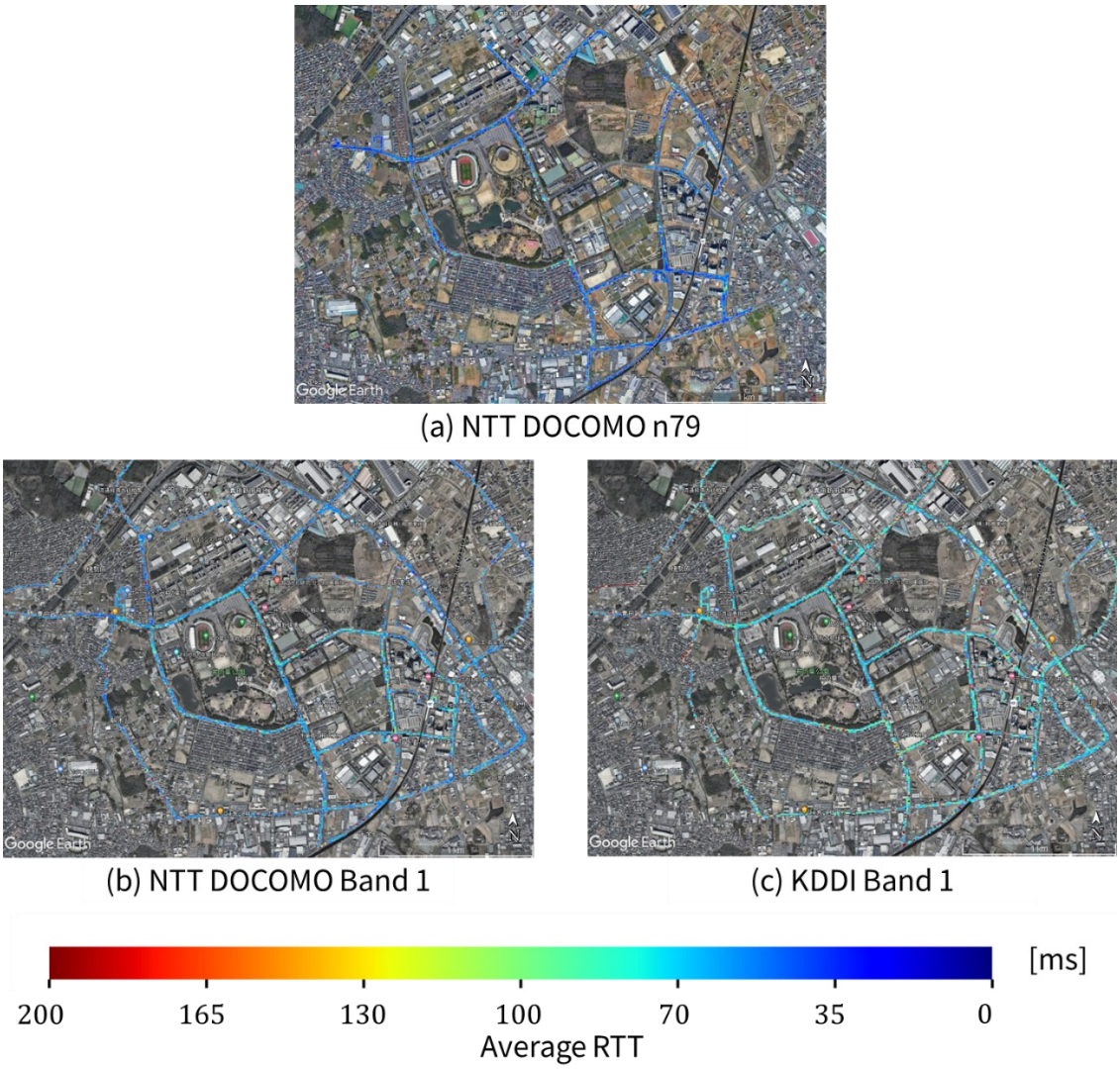


図 250　各オペレータの平均 RTT

③ 通信環境・周辺環境に適応した通信インタフェースの改良

(ア)模擬車載機・模擬路側機・通信管理サーバの改良

2021 年度に開発した模擬車載機、模擬路側機およびデータ連携サーバ（通信管理サーバ）について、無線通信機能の高信頼化および安定化のための改良を行う。改良後の模擬車載機および模擬路側機のハードウエア構成を図 251 に示す。2021 年度の開発では、各図中の PC に Ethernet 接続されていた 5G ルータに対するルーティング動作が不安定であったため、USB 接続に変更することでルーティング動作の安定化を図る。

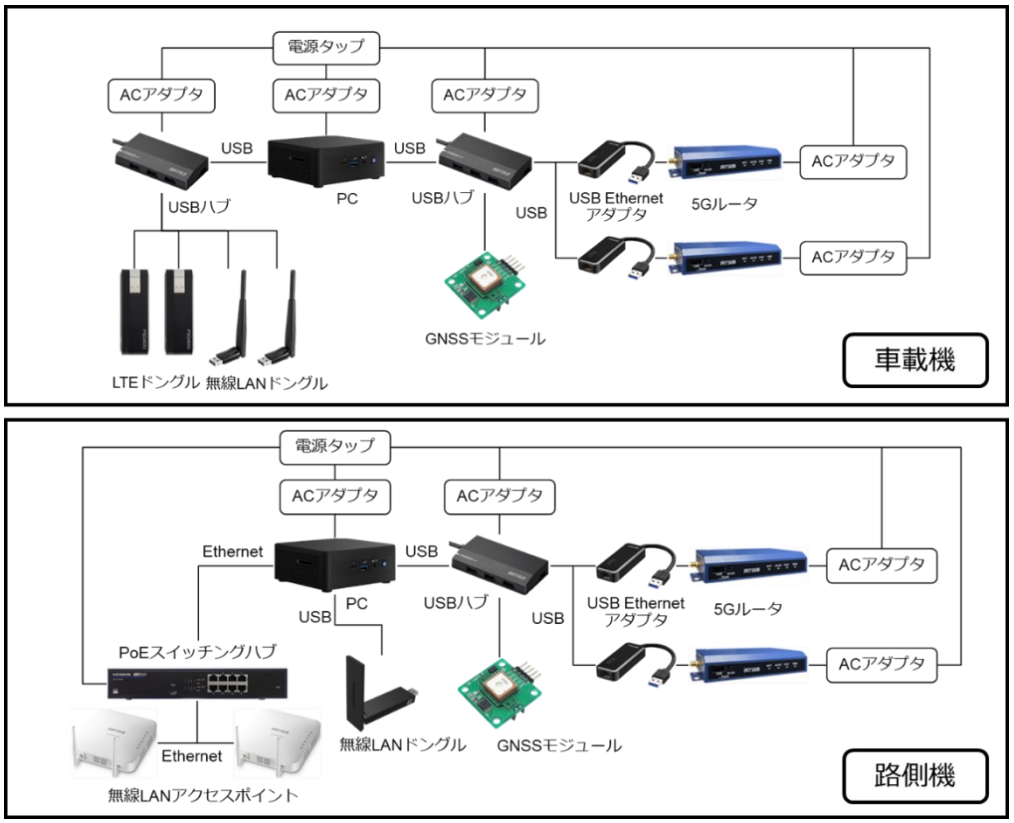


図 251　車載機・路側機のハードウエア構成改良

模擬車載機、模擬路側機およびデータ連携サーバにおいて、複数の通信機能の切り替え、多重利用、アプリケーション連携および通信ログ取得機能の強化のための開発を行う。開発する機能と詳細は以下の通りである。

(A) シングルリンク通信

模擬車載機に搭載される複数のセルラー通信端末が構築する物理リンクのうち、優先度が高く、通信品質が良い物理リンクを 1 つ選択してデータ連携サーバと通信する機能である。開発イメージを図 252 に示す。使用している物理リンクの通信品質が劣化、または切断した場合は次に優先度が高く、通信品質が良い物理リンクに切り替えて通信を行う。本機能における通信品質はネットワーク層の状態で判定することとし、この判定のために ping の往復レイテンシ(RTT)を用いる。通信品質に基づく物理リンクの分類、優先度および選択規範について、以下のように定義する。

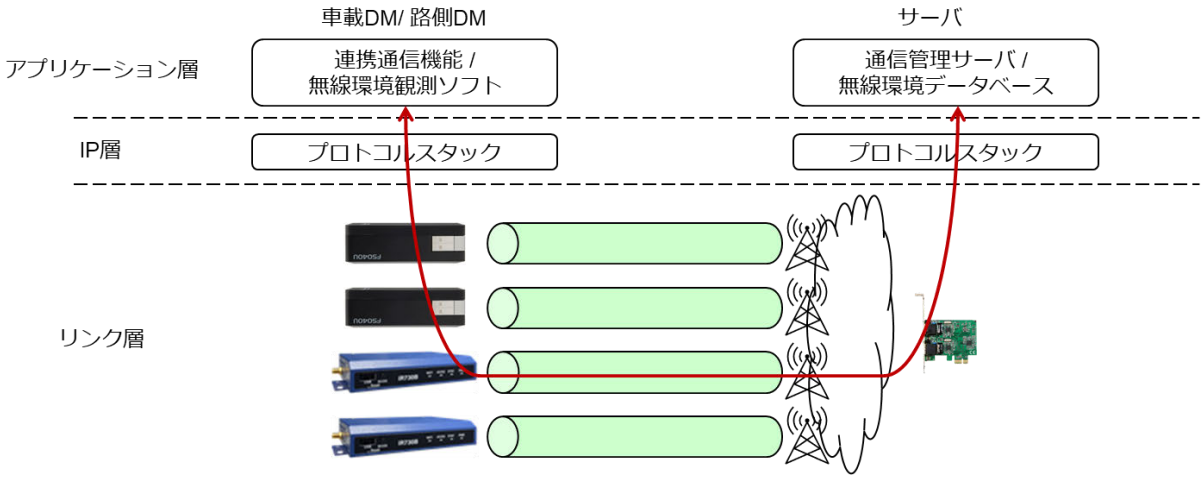


図 252　シングルリンク通信

物理リンクの分類

ping の RTT 閾値は設定ファイルで指定する。

- ✧ クラス 1: 当該物理リンクにおける ping の RTT が閾値以下。
- ✧ クラス 2: 当該物理リンクにおける ping の RTT が閾値以上だが IP 通信が可能。
- ✧ クラス 3: 当該物理リンクにおいて IP 通信が不可能。

物理リンクの優先度

- ✧ 静的優先度: セルラー通信端末（5G ルータ・LTE ドングル）が接続されたネットワークインタフェースごとに優先度を設定ファイルで指定。
- ✧ 動的優先度: 各物理リンクが属するクラスの昇順および静的優先度順に優先度を設定。

物理リンクの選択規範

動的優先度が最も高い物理リンクを選択する。他の物理リンクの動的優先度が使用中の物理リンクよりも高くなった場合、物理リンクの切り替えを実行するタイミングは、以下から選択できる。

- ✧ 使用していない物理リンクの動的優先度が最高になった時点。
- ✧ 使用していない物理リンクの動的優先度が最高である状態が指定時間以上継続した時点。
- ✧ 使用していない物理リンクのクラスが使用している物理リンクのクラスより高くなった時点。
- ✧ 使用していない物理リンクのクラスが使用している物理リンクのクラスより高い状態が指定時間以上継続した時点。

(B) アプリケーション連携

模擬車載機に接続されるアプリケーションクライアントに対して、模擬車載機の通信機能を提供する機能である。アプリケーションクライアントは、アプリケーションサーバの IP アドレス、トランスポート層プロトコル(TCP または UDP)、ポート番号、通信方式（シングルリンク通信、または後述するマルチリンク通信）を指定することで通信することができる。

(C) 通信ログ取得

模擬車載機および模擬路側機による通信の評価に必要な通信ログを記録・蓄積する機能である。本機能は、パケットキャプチャおよび iperf3 によるパフォーマンス計測の 2 つで構成される。

パケットキャプチャ

模擬車載機および模擬路側機に搭載されたソフトウエアがシングルリンク通信上で実行する以下のアプリケーションをパケットキャプチャの対象とする。模擬車載機に接続されるアプリケーションクライアントが行う通信は対象としない。

- ✧ MQTT
- ✧ HTTP
- ✧ iperf3

コネクションごとにパケットキャプチャを実行する。そのため、TCP の場合はコネクションごと、iperf3 の UDP の場合は 1 回の計測ごとにパケットキャプチャファイル(拡張子:pcap)およびアプリケーションログファイル(拡張子:log)を 1 個生成する。パケットキャプチャファイルは、一定時間ごとにローテートされる。このローテーションの間隔は、設定ファイルで指定する。一方で、アプリケーションログファイルには以下の内容を出力する。

- ✧ 時刻
- ✧ ローカルの IP アドレス
- ✧ ローカルのポート番号（MQTT の場合のみ）
- ✧ リモートの IP アドレス
- ✧ リモートのポート番号
- ✧ トランスポート層の通信方式: TCP、UDP
- ✧ イベントの種類: 接続開始、接続失敗、接続終了

パフォーマンス計測

模擬車載機-通信管理サーバ間、模擬路側機-通信管理サーバ間において、iperf3 によるパフォーマンス計測を行う。このとき、iperf3 クライアントは模擬車載機・模擬路側機、iperf3 サーバは通信管理サーバとする。また、模擬車載機-模擬路側機間においても iperf3 によるパフォーマンス計測を行う。このとき、iperf3 クライアントは模擬車載機、iperf3 サーバは模擬路側機とす

る。 模擬車載機に接続されるアプリケーションクライアント-アプリケーションサーバ間は対象としない。

計測の実行は、模擬車載機または模擬路側機が通信管理サーバとの間にリバース SSH トンネリングを確立している状態で行う。ユーザがスクリプトを通信管理サーバ上で実行することで一連の処理を実行する。

（イ）無線環境情報とスループットの相関調査

iii)②で記した柏の葉周辺地域における動作検証と並行して、スループットの測定実験を実施した。5G および LTE の通信機を車両に積載し、iperf3 を用いてアップリンク(UL)およびダウンリンク(DL)の実効スループットを測定した。測定時の通信プロトコルは UDP とした。図 253 と図 254 は 5G および LTE でそれぞれ実効スループットを測定した際の結果であり、無線環境情報と対応付けることで相関関係を可視化している。ここで、相関関係を調査する無線環境情報は RSRP および基準信号受信品質(RSRQ: Reference Signal Received Quality、参照信号毎の受信品質を表す)とし、5dB 毎に箱ひげ図を作成した。

スループットは、理論的に受信電力値に依存することが知られており、実測値においても相関があることが示された。しかし、図 253 の DL スループットのように相関がない場合も確認できた。5G のみで確認された傾向であり、図 249 (a)から確認できるように柏の葉周辺地域ではカバレッジが狭い（基地局が少ない）ため、今後も継続して調査を行い、特性を把握する必要がある。

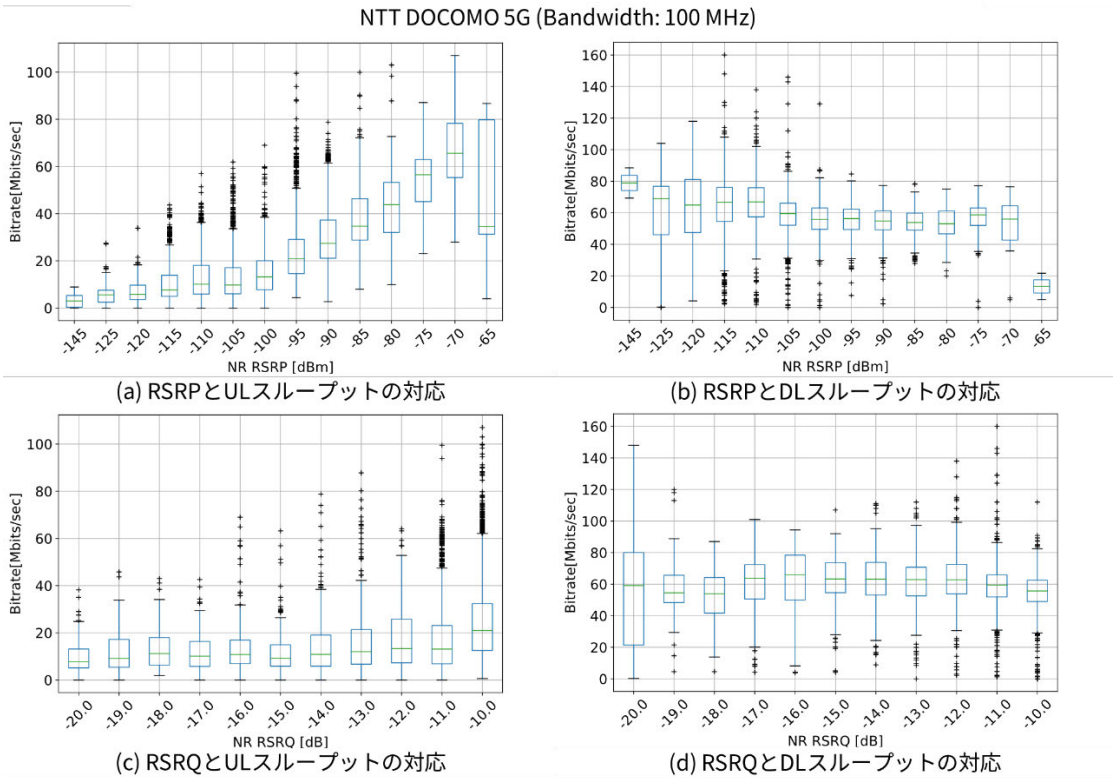


図 253　5G システムにおけるスループット測定結果の一例

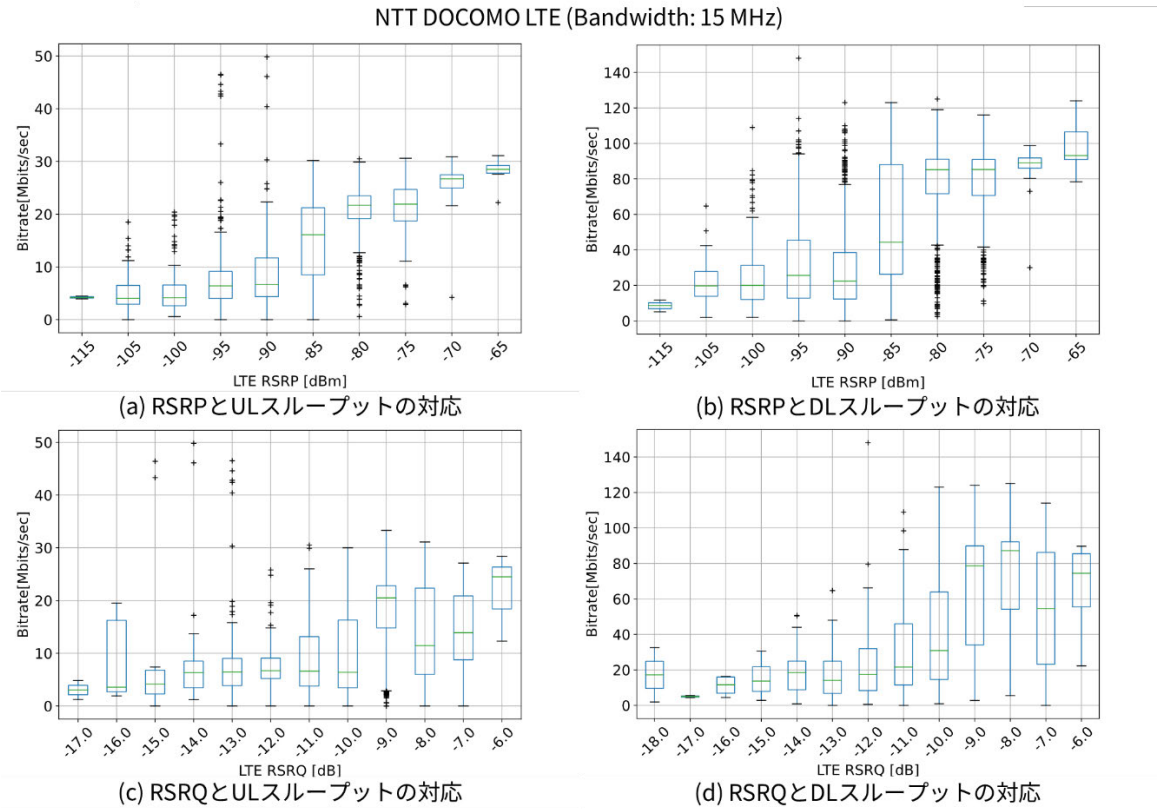


図 254　LTE システムにおけるスループット測定結果の一例

（ウ）無線環境 DB と観測情報に基づくシングルリンク切り替え手法の検討

移動性に伴う電波伝搬特性の不確定性のため、シングルリンク通信では使用中の物理リンクにおいて不慮の通信断が発生する可能性がある。不慮の通信断への対処として効果的なのが通信の多重化であり、先述の通り複数の通信機器を搭載した車載機を開発し、各通信機器で物理リンクを構築することを検討している。シングルリンク通信の場合、端末内で静的に優先度を設定することで、通信断が生じた場合でも別の物理リンクへ切り替えることができる。しかし、この選択は走行環境下の電波環境を考慮しておらず、再び通信断となる可能性がある。結果として物理リンクを切り替える回数が増加し、通信要件を満たさない恐れがある。そこで、車載機における無線通信機能の高信頼化および安定化を図るために、無線環境 DB に蓄積される周辺の無線環境情報の統計値と走行中に観測したチャネル混雑度やネットワークの死活監視に基づいて物理リンクを動的に選択する手法を検討する。無線環境 DB を用いて車両の移動先における無線環境を推定することで、頻繁な物理リンクの切り替えを防ぎ、通信の安定化を図る。また、走行中に観測したチャネル混雑度やネットワークの死活監視から周辺の無線環境を把握し、適応的に通信品質の良い物理リンクの優先度を高くすることで、通信の高信頼化を図る。

本検討では、以下の前提を置く。

- 車載機は常に位置情報を把握している。
- 車載機は走行開始前から無線環境観測を実行している。
- 車載機は走行環境下で使用可能なオペレータ・チャネル毎の電波マップ（平均 RSRP）を事前に無線環境 DB からダウンロードしている。
- 車載機は事前に走行ルートを把握している。
- 走行中にルートが変更されることはない。

次に、本検討の核となる機能について以下に記す。

<u>無線環境 DB を用いた移動先の通信品質推定</u>

保有している電波マップのうち、各通信機器が接続しているチャネルの電波マップを選択し、現在位置から移動先までの L[m]間に存在するメッシュ（平均 RSRP）を抽出する。抽出したメッシュを用いて、以下の値を算出することで移動先 L[m]間の通信品質を評価する。

- 信頼閾値以下のメッシュ数
- 信頼閾値以下のメッシュの最大連続数

ここで、信頼閾値は一定水準の通信品質を担保する平均 RSRP の閾値を指す。信頼閾値以下のメッシュ数および最大連続数に応じて当該物理リンクの優先度を動的に設定する。ただし、全抽出メッシュのうち半数以上が信頼閾値以下の場合、これをワーストケースと定義し、当該物理リンクを選択肢から除外する。実施イメージを図 255 に示す。

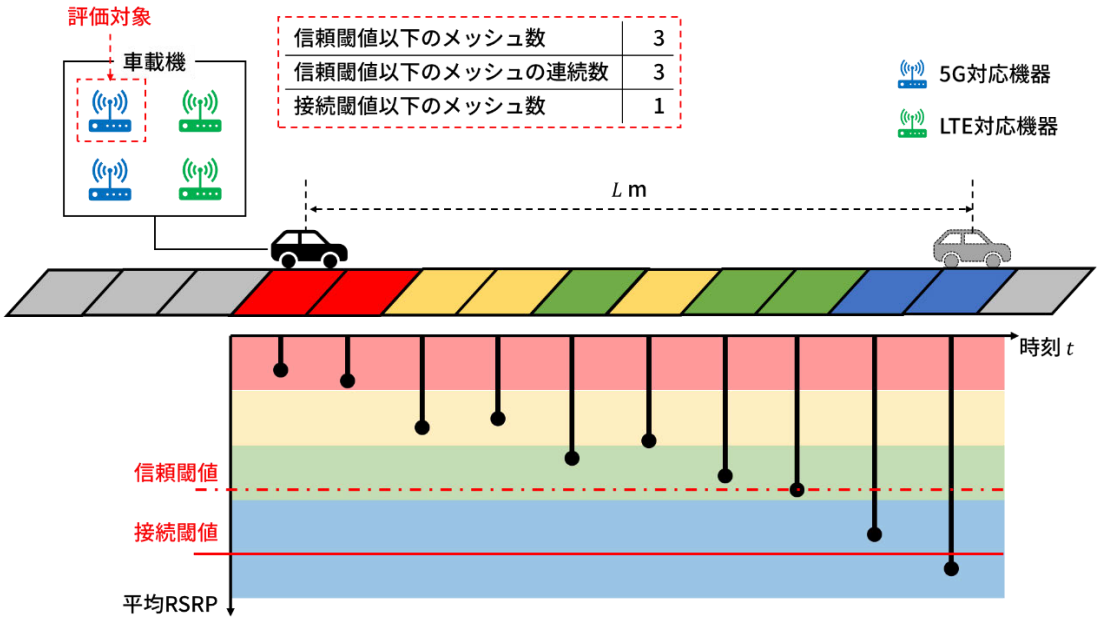


図 255　無線環境 DB に基づく移動先の通信品質評価

瞬時観測値を用いたチャネル混雑判定

電波マップにおいて通信品質が良いと判定される、すなわち平均受信電力値が高いメッシュにおいて、スループットが低下する場合がある。これは、周辺環境における当該チャネルの混雑が主な原因である。チャネル混雑には、周辺に干渉端末が多い場合や当該基地局が高負荷状態である場合など様々なシチュエーションが存在する。電波マップは任意のメッシュ内に存在する観測値群を平均化することで得られる統計値の集合であり、電波環境の時間変動性は考慮されていないため、不規則に起こり得るチャネル混雑を予測することができない。そこで、本検討では観測によって得られる RSRQ によってチャネル混雑を判定する。

RSRQ は周辺環境や基地局状態などに依存する数値であり、短区間では変動が激しく見える一方で、長区間では変動傾向を捉えることができる。そこで、本検討では瞬時観測される RSRQ から指数移動平均(EMA: Exponential Moving Average)を算出することで変動傾向を捉え、走行環境におけるチャネル混雑を判定する。実施イメージを図 256 に示す。

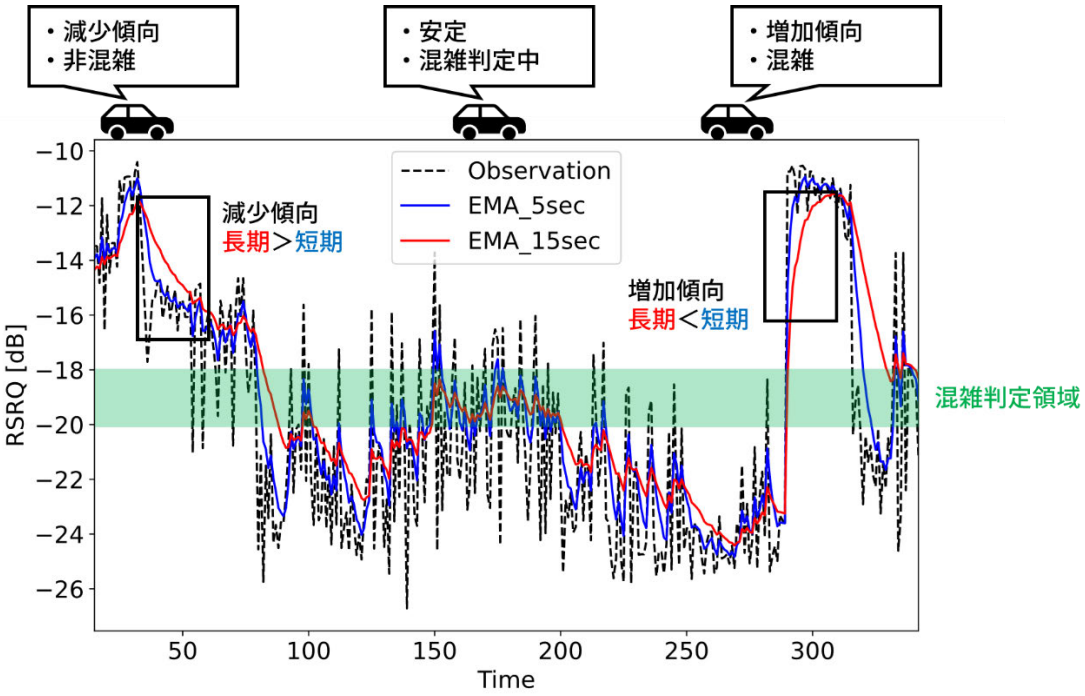


図 256　RSRQ を用いたチャネル混雑判定

ここでは、短期間（5 秒程度）の観測値に基づく EMA と長期間（15 秒程度）の観測値に基づく EMA を算出する。短期間 EMA は瞬時値の影響を反映する一方で、長期間 EMA はこれまでの観測傾向を反映する。そのため、これらの EMA の大小を比較することで、RSRQ の変動傾向を捉えることができる。短期間 EMA が長期間 EMA よりも大きい場合、観測値は増加傾向にある。一方で、短期間 EMA が長期間 EMA よりも小さい場合、観測値は減少傾向にある。短期間 EMA と長期間 EMA の大小が頻繁に変わる区間は観測値が安定している区間と言える。このように算出できる観測値の変動傾向に対してスコアを付けることで、使用する物理リンクの優先度を動的に決定する。

加えて、短期間 EMA に対して混雑判定領域を設定する。短期間 EMA が混雑判定領域の上に位置するか否かを判定することで、明らかなチャネル混雑の状況下にある物理リンクの使用を回避する。短期間 EMA が混雑判定領域の下に位置するのであれば、当該チャネルは混雑していると判定し、優先度を下げる。

最後に、本検討におけるアルゴリズムを記す。フローチャートを図 257 に示す。車載機は起動処理後、初回使用する物理リンクを決定する。初回の物理リンクは、移動先の通信品質に従って決定される。走行が開始されたら、各物理リンクに対して通信品質評価、チャネル混雑判定および③(ア)(A)に記した ping による優先度決定を逐次実行し、優先度を動的に決定する。使用している物理リンクの優先度が他の物理リンクよりも低くなった場合、その時点で最も優先度が高い物理リンクに切り替える。

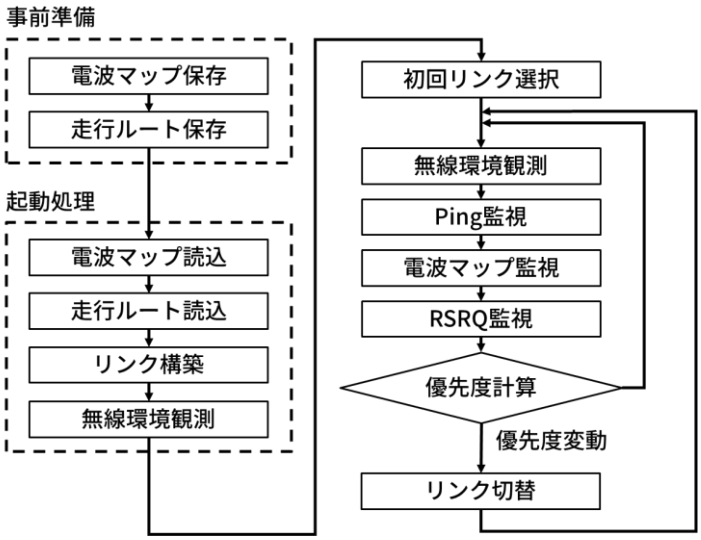


図 257　シングルリンク切り替えのアルゴリズム

本検討を計算機シミュレーションによって評価する。この評価は、iii)②で取得した無線環境情報と同測定エリア内で観測した UDP ダウンリンクスループットに基づいて実施する。シミュレーション環境において、千葉県柏市柏の葉エリアでの車両走行を模擬する。1 回の模擬走行において、物理リンクの切り替え回数、1 回の接続における物理リンクの継続使用時間、走行中の無線環境観測で観測できるダウンリンクスループットを評価する。

比較として、観測した RSRP に基づく物理リンク選択（RSRP-based）と静的優先度に基づく物理リンク選択（Static Priority-based）をそれぞれ実施する。RSRP-based では、使用中の物理リンクにおいてハンドオーバーが発生した際に、使用可能な物理リンクのうち最も RSRP が高い物理リンクを選択して使用する。Static Priority-based では、使用中の物理リンクが切断された際に、使用可能な物理リンクのうち事前に設定した優先度が最も高い物理リンクを選択して使用する。本評価では、5G を最優先システム、NTT DOCOMO を最優先オペレータとする。これらの比較によって、検討手法を評価する。この際に、電波マップと観測 RSRQ によって優先度を決定する手法（w/ Radio Map & RSRQ）と電波マップのみによって優先度を決定する手法(w/ Radio Map)をそれぞれ実施する。

図 258 (a)に物理リンクの切り替え回数の累積経験分布(CDF: Cumulative Distribution Function)、図 258 (b)に 1 接続あたりの物理リンク継続使用時間の CDF をそれぞれ示す。物理リンクの切り替え回数は、RSRP-based が最も少なく見えるが、環境によって頻繁に切り替わる可能性を示唆している。従って、システム全体で安定して切り替え回数を抑制できるのは検討手法であることが示された。これを裏付けるのが物理リンクの継続使用時間であり、検討手法における 1 接続あたりの継続使用時間が長いことが示された。

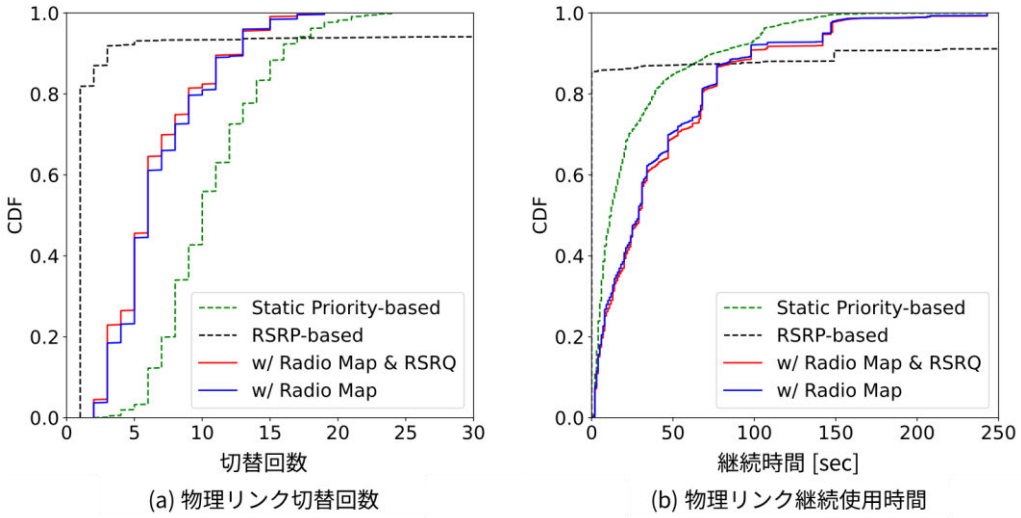


図 258　物理リンクの切り替え回数と継続使用時間

図 259 に 1 測定当たりのダウンリンクスループットを示す。図 259 (a)はシャノン定理に基づく理論値である。Static Priority-based が優先的に 5G に接続されるため、理論上は高スループットが期待できる。一方で、検討手法において RSRQ を考慮した場合で高スループットが期待できることが示唆された。図 259 (b)は実測値に基づく結果である。この結果は、約 60 Mbps までは理論値と同傾向であるが、60 Mbps 以上では RSRP-based が 5G 優先の Static Priority-based よりもスループットが高くなる確率が高いことが示された。これは LTE におけるキャリアアグリゲーションなどの影響である。検討手法は LTE と 5G を適応的に切り替えるため、LTE に接続される場合はこれらの恩恵を受けることができる。

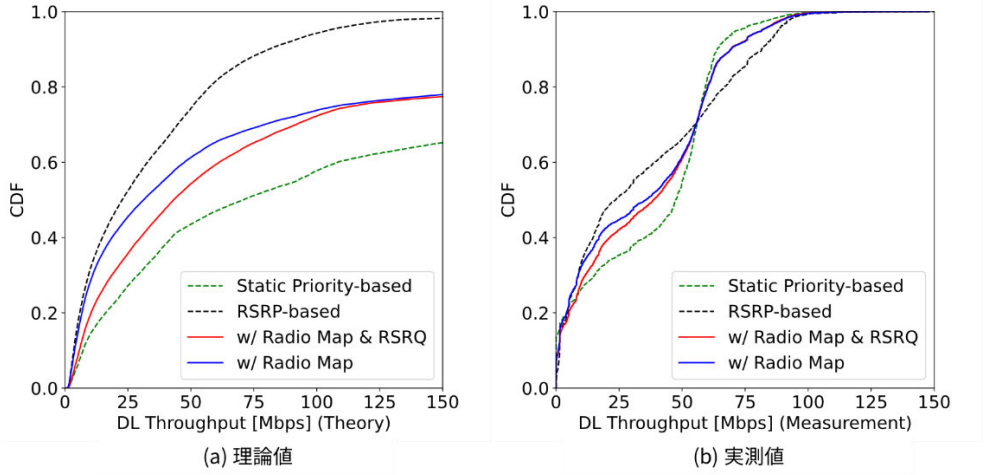


図 259　1 測定あたりのダウンリンクスループット

(2) セキュリティ機能の分散配置

車車間、路車間、および車両とクラウド間の通信における UDP 通信経路に対し、DTLS(Datagram Transport Layer Security)を適用する。CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置を図 260 に示す。

対応内容

- UDP 通信経路に対して DTLS1.3 に対応する。
- UDP 通信は、互いの DM2.0PF の CS 部機能間でストリームデータを送受信する際に使用している。

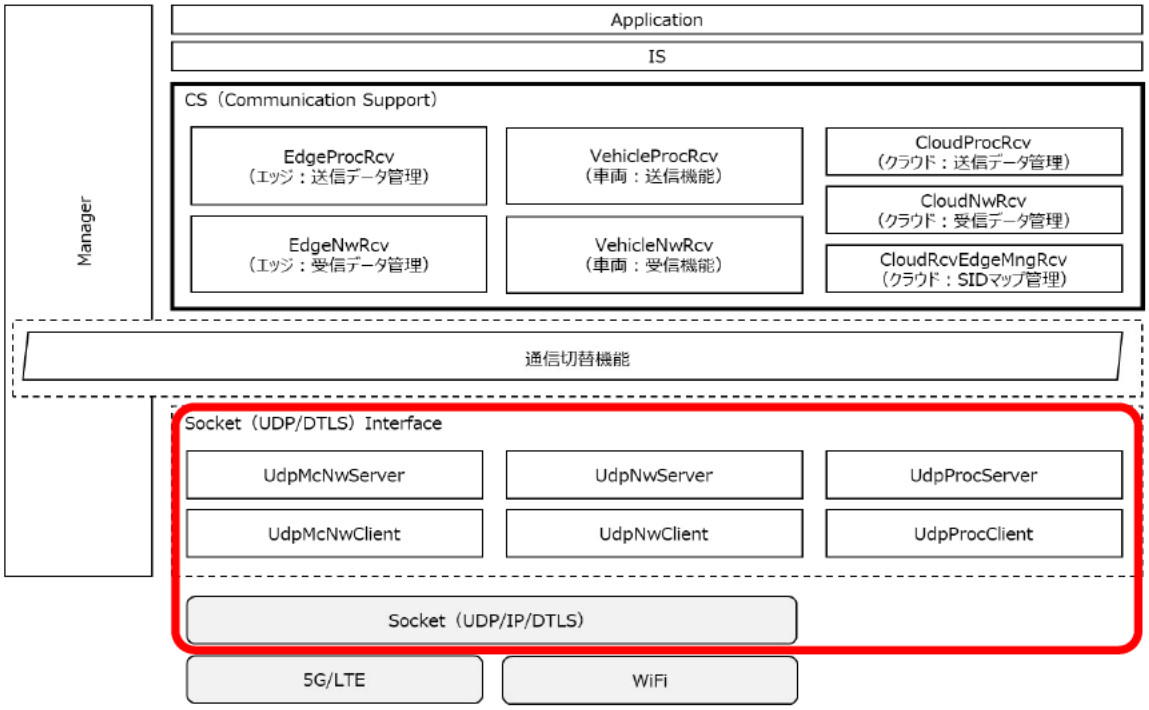


図 260　CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置

赤枠内のモジュールで使用されている udp socket に対し、DTLS を適用する。
DTLS は openssl、もしくは boost::asio などのライブラリを使用することを想定している。

- DTLS に対して使用する証明書は、自己認証局にて手動コマンドで作成した自己証明書とする。
- DTLS 1.3 RFC
  RFC 9147 - The Datagram Transport Layer Security (DTLS) Protocol Version 1.3 (RFC 9147)

- UDP と DTLS の主な相違点を以下に示す
  - DTLS はセキュリティのために一連のメッセージ送受信の前に「接続」処理が必要である
  - 接続時にサーバ認証、クライアント認証を行うがサーバ認証は必須、クライアント認証はオプションである

通信切替機能（Manager 機能拡充）

DM2.0 PF は、通信の信頼性向上あるいは遅延低減のために複数の通信手段を併用することが想定される。そのため、通信手段の切替機能が必要である。

対応内容

CS 部に対し、あらかじめ定められたれた通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコルを選択的に指定することを可能とする。

以下に対応すべき通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコル示す。

- 通信手段
  端末に接続する NIC デバイスにて認識できる通信手段を対象とする
  WiFi、LTE、有線 LAN
  (PC5、DSRC、ITS 無線についてはオプションとする)
- 通信プロトコル
  以下の通信携帯への対応を対象とする
  UDP(ユニキャスト/マルチキャスト/ブロードキャスト)
- インターネットプロトコル
  ユニキャストにて通信対象を指定する場合、以下を対象とする
  IPv4、IPv6、非 IP

クラウド、エッジ、協調型路側機、車両などの各ノード間はそれぞれのネットワークで接続される。

協調型路側機と車両は、直接通信によるブロードキャスト、携帯電話網によるユニキャストの 2 種類の通信形態で接続される。

ログ機能拡充

DM2.0 PF のセキュリティ機能対応に関わり、追跡を目的としたログを追加する。

対応内容

(1) 軽量なログ出力機能の適用

CS 部において、既に標準出力をベースとしてログ出力が各所に実装されており、処理状況やエラー内容が出力されるようになっている。ただし、性能に影響を与える可能性もあるため、spdlog などの軽量かつ高速なログ出力のライブラリ(OSS)の適用を行う。

(2) ログの有効／無効の指定機能

実証実験への提供時には性能的測定観点のログを無効化できる機構を導入する。

ログの用途

(1) アクセスログ

CS ログは、装置ログの位置づけとするが通信経路で検知される不正アクセスログの補助的な役割を担う。

(3) 性能測定

CS 部のアーキー構成の変更に伴い CS 部の単体性能の指標（実力）の測定が可能な測定点を決定し、測定結果をログに出力する。

(3) 複数通信インタフェース並列化手法の開発

i) アプリケーションに依存しない複数キャリア並列化手法の検討

模擬車載機に搭載される複数のセルラー通信端末が構築する物理リンクを並列利用し、通信を多重化する、マルチリンク通信機能の開発を行う。開発イメージを図 261 に示す。本機能では、模擬車載機が任意のアプリケーションサーバと模擬車載機に接続されるアプリケーションクライアント間の通信を中継することを想定する。TCP および UDP の任意の通信を対象とし、サーバとの接続には L2-VPN を用いる。模擬車載機およびアプリケーションサーバにはパケット複製・集約機能を付加する。VPN やパケット複製・集約など、一連のデーターフローを図 262 に示す。また、詳細機能について以下に記す。

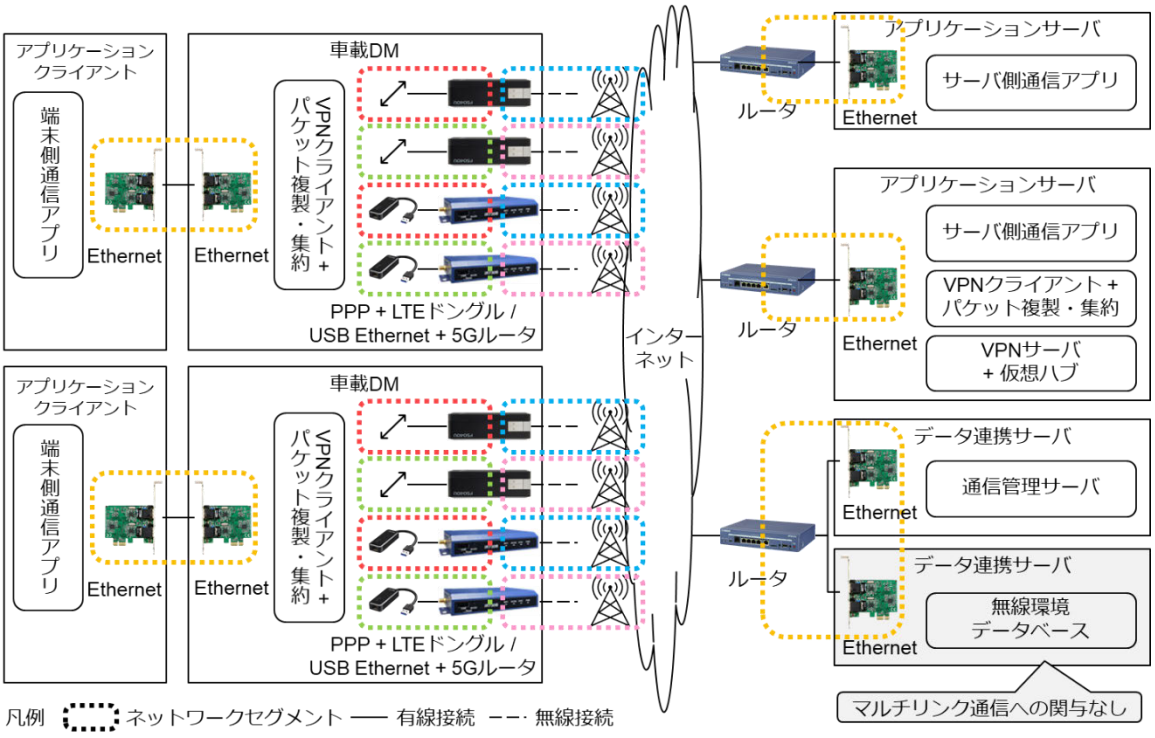


図 261　マルチリンク通信

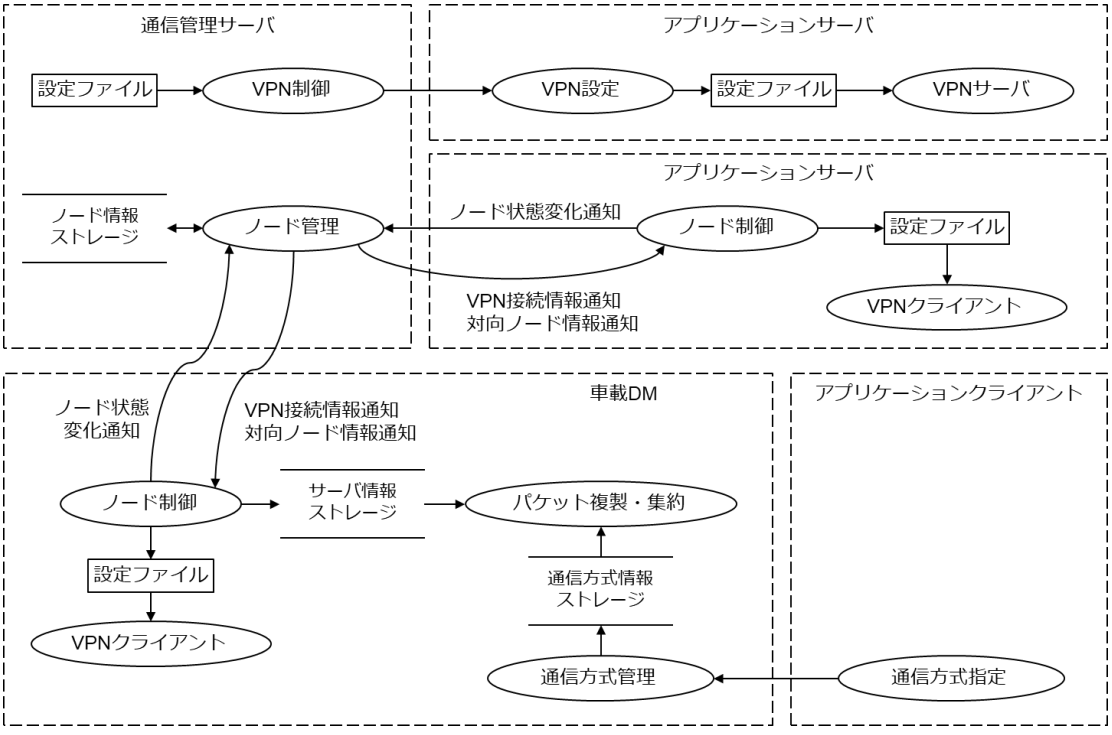


図 262　マルチリンク通信におけるデーターフロー

ノード管理

模擬車載機およびアプリケーションサーバに搭載する VPN クライアント、パケット複製・集約

機能の組をノードと定義する。各ノードは、個々のノートを一意に識別するための識別子を持つ。また、通信管理サーバから提供される VPN 接続情報と対向ノード情報を持つ。

各ノードは、ノードの状態を表す以下の値が変化すると通信管理サーバにノード状態変化通知を送信する。ただし、各ノードが終了する際はノード状態変更通知を送信しない。また、既に受信済みの対向ノードから対向ノード情報を再度受信した場合はその情報で上書きする。

- ✧ 物理リンク数: VPN サーバと IP 通信できる状態の物理リンク数
- ✧ VPN 接続情報: VPN 接続情報を通信管理サーバから受信したか否かの真偽値
- ✧ VPN 接続数: VPN サーバと接続しているセッション数
- ✧ 対向ノード情報数: 通信管理サーバから受信した対向ノード情報の数

VPN

VPN の構成イメージを図 263 に示す。以下の構成要素はすべて同じネットワークセグメントに接続することとする。

- ✧ VPN サーバの仮想ハブ
- ✧ アプリケーションサーバ内 VPN クライアントの仮想ネットワークインタフェース(NIC)
- ✧ 模擬車載機内 VPN クライアントの各仮想 NIC

VPN サーバは 4 個のポートで待ち受け、ルータに 4 個のポートフォワーディングを設定する。模擬車載機では、ポリシーベースルーティングを設定し、各仮想 NIC がそれぞれ異なるセルラー通信回線を介してルータのポートに接続するようにする。このとき、各仮想 NIC の MAC アドレスは通信管理サーバが設定ファイルから読み込み、VPN 接続情報として各ノードに通知される。また、各仮想 NIC の IP アドレスは静的に指定する。各仮想 NIC の IP アドレスは、通信管理サーバが設定ファイルから読み込み、VPN 接続情報として各ノードに通知される。本機能では、現状では IPv4 通信のみを対象とし、将来的に IPv6 への拡張を図る。

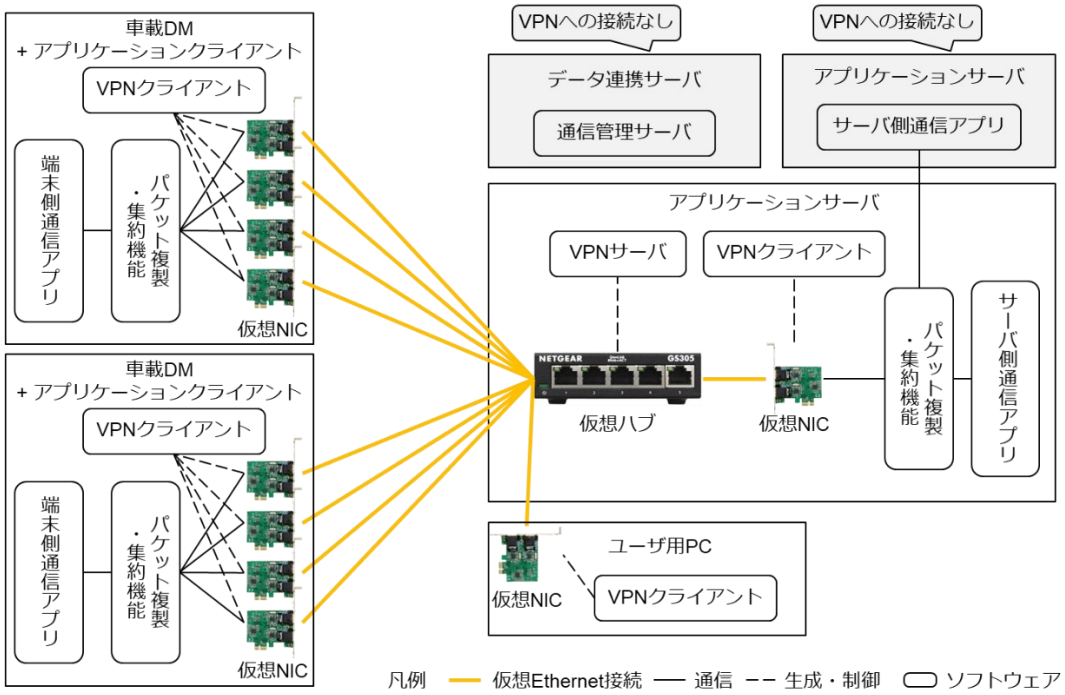


図 263　VPN 構成

パケット複製

IP パケットを複製し、複数の物理リンクを経由して送信する。複製は、アップリンク、ダウンリンクの両方で実施する。複製の手順は以下の通りである。

① iptables の NFQUEUE を用いて、送信される IP パケットをキャプチャする。

② 送信先および送信元の IP アドレスおよびポート番号から当該のパケットがマルチリンク通信の対象であるかどうか判断する。マルチリンク通信の対象外であればルーティングテーブルに従って物理リンクから送信し、以降の処理をスキップする。

③ キャプチャしたパケットの IP ヘッダの識別子(Identification)フィールドに 16 ビットの連番を格納する。

④ 使用する物理リンクの数だけパケットを複製し、送信元の IP アドレスとポート番号を書き換える。

⑤ 複製した各パケットを各物理リンクに関連付けられた仮想 NIC から送信する。

識別子フィールドに格納する連番は以下の規範に従って決定する。

- ✧ 送信先のノードごとに異なる連番の系列とする。
- ✧ 連番は 16 ビットで表現し、最初は 0x0000 とする。0xFFFF の次は桁あふれして 0x0000 になる。
- ✧ 連番はネットワークバイトオーダで格納する。

パケット集約

複数の物理リンクで受信した IP パケットのうち、最初に届いたものを受理する。集約は、アップリンク、ダウンリンクの両方で実施する。集約の手順は以下の通りである。

① iptables の NFQUEUE を用いて、仮想 NIC から受信した IP パケットをキャプチャする。

② キャプチャしたパケットの IP ヘッダの識別子(Identification)フィールドの値を参照する。

③ 送信元ごとに記録した最新の値と比較し、当該のパケットの値が記録した値を上回っていたらそのパケットを受理してその値を記録する。当該のパケットの値が記録した値以下であればそのパケットを破棄する。

パケットの再送制御および並び替えの処理は行わない。記録した最新の識別子フィールドの値が A(例: 0xFFF0)以上で、受信したパケットの値が B(例: 0x0010)以下であればそれが最新のパケットである。この A と B の値は設定ファイルで指定する。

ii) 複数キャリア・複数システム並列化手法の検討

LTE と 5G を含む携帯電話網、ITS 無線 (ARIB Std-T109)、PC5、DSRC、Wi-Fi アドホックに関して、複数の通信手段の特徴を表 104 に示す。LTE・5G を利用する場合、料金が必要である。一方、ITS 無線、Wi-Fi アドホックの利用は無料である。ITS 無線 と LTE は長い距離の通信は可能である。Wi-Fi アドホックの通信範囲は短い。

表 104 データ連携システムにおける複数の通信手段

通信手段／比較項目	LTE、5G を含む携帯電話網	ITS 無線 (ARIB Std-T109)	PC5/DSRC	Wi-Fi アドホック／インフラストラクチャモード
利用料金	利用料金必要	利用料金不要	PC5：利用料金未定 DSRC：利用料金不要	利用料金不要
通信距離	長い	中 (例 500-1000m)	中 (例 300m)	短い (例 100m)
主な通信方式	ユニキャスト	ブロードキャスト（相手 ID 未知の場合）	ブロードキャスト（相手 ID 未知の場合）	ブロードキャスト（相手 ID 未知の場合）
通信エリア	LTE はどこでも通信可能	Local	Local	Local

協調認識の応用例に対する通信量の試算について、評価パラメータを表 105 に、評価結果を図 264 に示す。車両間の協調認識情報(CPM メッセージ)交換は二つの方法を想定する。一つ目は車両

間の直接通信（V2V）を利用して、協調認識情報を交換する。しかし、V2V の通信距離が協調認識交換半径より短い場合、LTE 通信を利用して、情報交換対象車両に送信する。二つ目は LTE を利用して、協調認識情報を交換する。LTE を利用する場合、各車両は LTE で協調認識情報をエッジサーバーに送信する。エッジサーバーは車両から収集した協調認識情報を統合して、必要な情報を各車両に送信する。エッジサーバーでの複数協調認識情報の統合率は 0.2 ～1 間と設定する。例えば、統合率 0.2 の場合、送信する協調認識情報 CPM のサイズは統合しない CPM 情報のサイズの 0.2 倍になる。

試算の結果として、V2V を利用した通信量は通信範囲の拡大により大きくなる。通信距離を 200 メートルと想定すると、車両一台あたりの一ヶ月の通信量は 50GB 以上になる。V2V を利用した協調認識の情報交換通信費は無料だが、情報交換範囲の制御が困難である。一方、LTE で車両の協調認識情報を統合して車両に再分配すると、車両一台あたりの一ヶ月の通信量は 20～30GB になる。

表 105　通信量試算の評価パラメータ

主なパラメータ	設定
通信手段	V2V+LTE
協調認識 CPM 交換半径	100 m
CPM　データサイズ	1k Bytes
CPM 送信頻度	Default: 10Hz
CPM 生成確率	1
協調認識対象車両の数	10/100m
情報統合率	0.2 ~ 1
車両の運転時間	平均 100 分/日

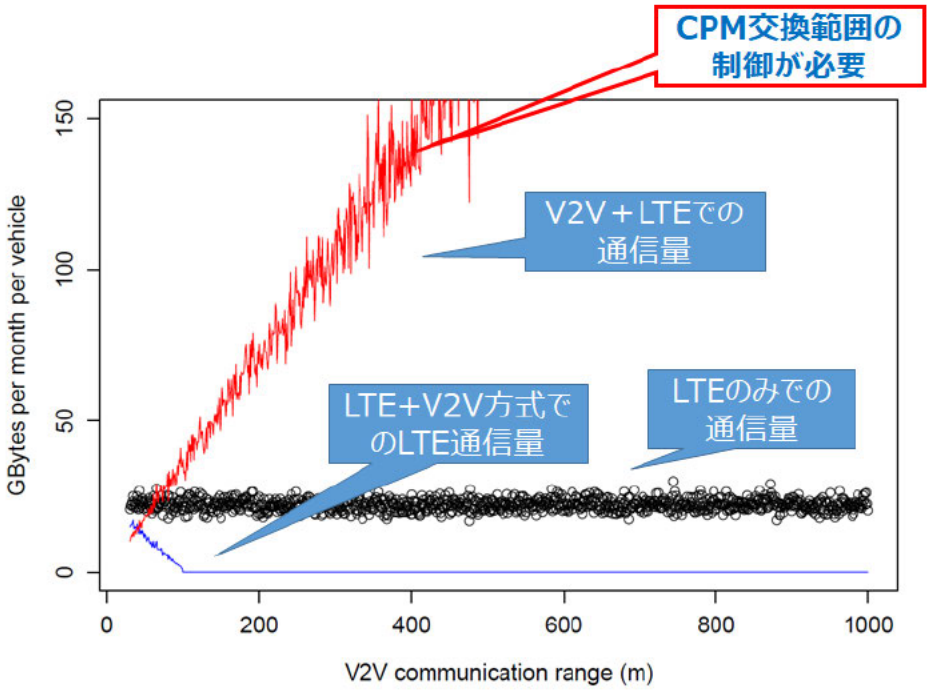


図 264　協調認識の通信量の試算結果

V2I-I2V と V2V の協調方法を利用する協調認識の通信量について、評価パラメータを表 106 に、評価結果を図 265 に示す。ここでは、V2V 50%、V2I-I2V 50%の利用とする。協調認識の情報交換方法について、一部の車両が V2V を使用し、他の一部の車両が LTE を使用することが可能である。LTE のみで情報交換する方法より、50%の車両が V2V、50%の車両が LTE と設定した方法の方が、それぞれの通信量が小さくなる。

表 106　V2I-I2V と V2V の協調方法を利用する協調認識の通信量評価パラメータ

主なパラメータ	設定
通信手段	V2I-I2V と V2V の協調方法（比率 0.5—0.5）
V2V 通信範囲	120 m
協調認識 CPM 交換半径	100 m
CPM　データサイズ	1k Bytes
CPM 送信頻度	Default: 10Hz
CPM 生成確率	1
協調認識対象車両の数	20～300 両(600m の範囲)
情報統合率　Er	0.2 ~ 1

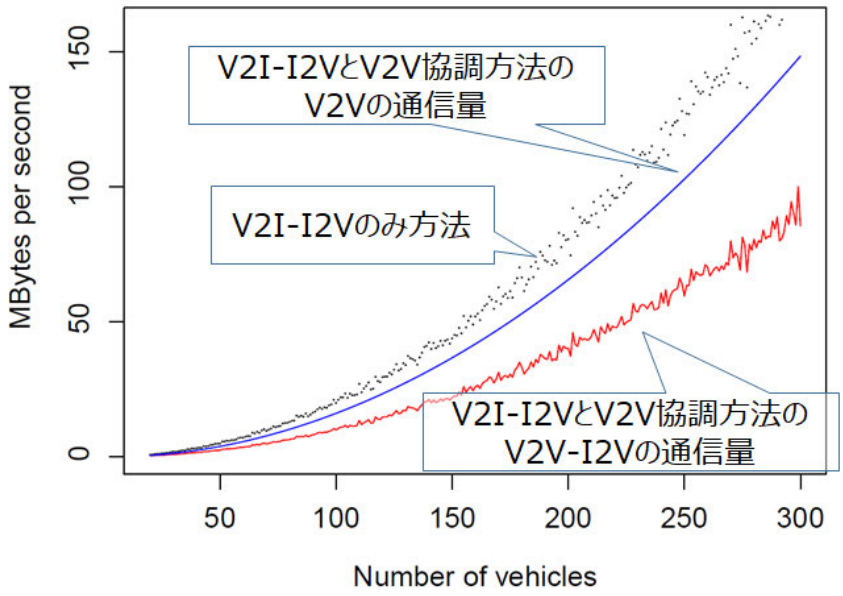


図 265　協調認識の通信量の試算結果

V2V でCPM ブロードキャストの問題点を図 266 に示す。 V2V のブロードキャストは通信範囲により CPM 交換範囲を決定する。通信範囲が大きい場合は、一つの CPM を多くの車両に送信する。

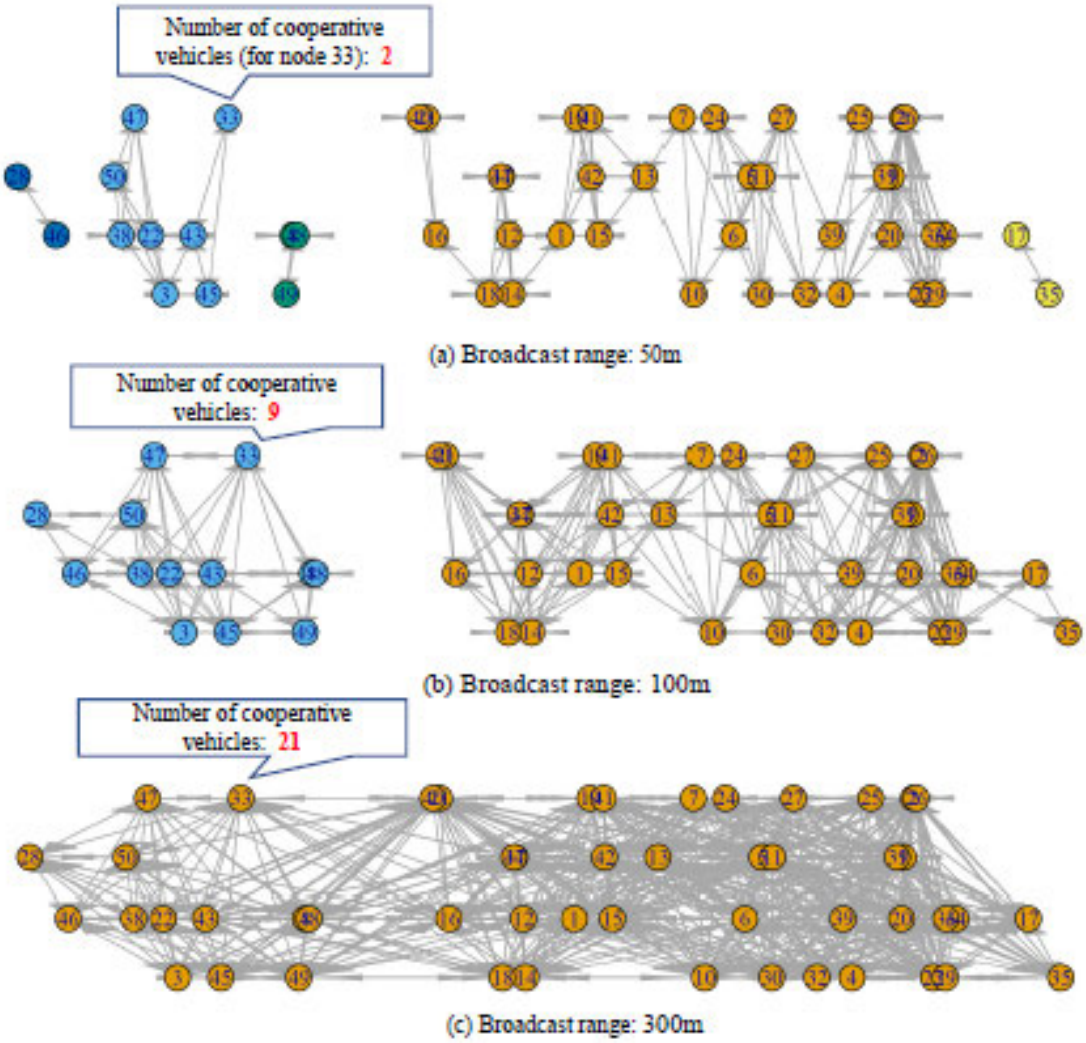


図 266　V2V で CPM ブロードキャストの問題点

協調型路側機を利用する協調認識の CPM メッセージ交換方式の例を図 267 に示す。路側機は収集したセンシング情報を必要な交換範囲にある車と共有し、無駄な CPM の交換を低減する。まず、各車両は CPM を路側機に送信し、路側機は協調認識情報(CPM)を収集する。そして路側機は各車両の交換対象車両を計算し、交換が必要な情報を集約する。そして路側機は、各対象車両に交換が必要な情報を送信する。

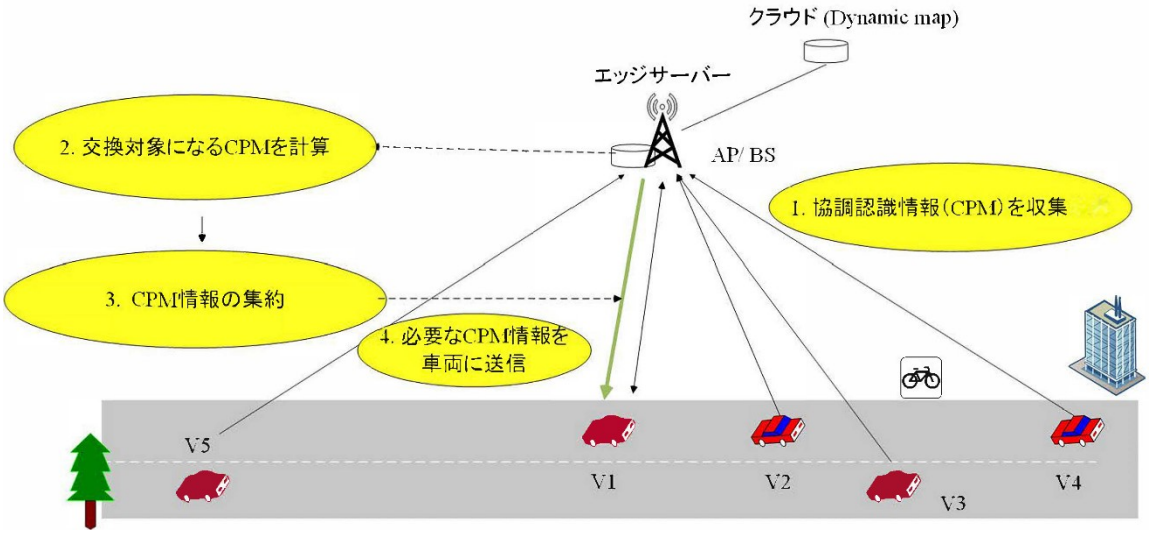


図 267　路側機を利用する協調認識の CPM 交換方式の例

路側機のブロードキャストの信頼性を向上するため、複数の通信手段を利用する協調方式を図 268 に示す。ブロードキャストは受信 ACK メカニズムがないので、パケットロスの認識は難しい。そのため、路側機からのブロードキャストの信頼性の問題がある。提案手法は、エッジサーバーを利用して、路側機のブロードキャスト情報及び車両側の受信情報を収集し、ブロードキャストのパケットロスを認識と再送する。

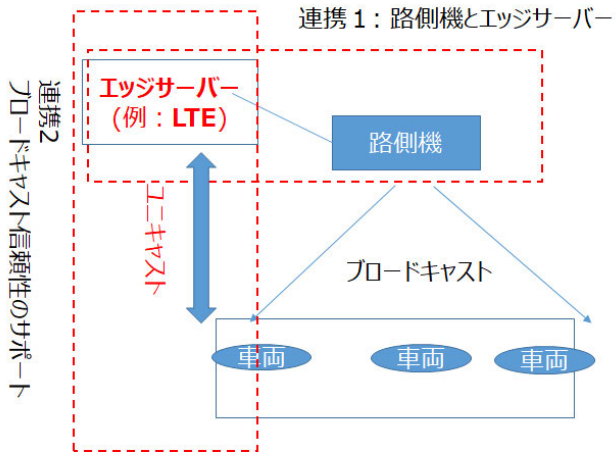


図 268　路側機のブロードキャストの管理方式

複数 Wi-Fi インタフェースを利用する通信遅延測定の実験（WLAN インフラストラクチャーモード）の実験結果を示す。実験測定シナリオを図 269 に示す。二つのインタフェースによる無線通信：a. インタフェース 1：2.4GHz WLAN 中継機(イーサネットコンバータ 機能)、b. インタフェース 2: 5GHz Wi-Fi。Round Trip Time (RTT)の計測結果を図 270 に示す。PC1 (Windows 10 OS)がインタフェース 1 がよいルートメトリックを持つと判断し、デフォルトインタフェースとして

使っている。測定の結果について、インタフェース 1 を利用する RTT はインタフェース 2 を利用する RTT より小さいと見られる。

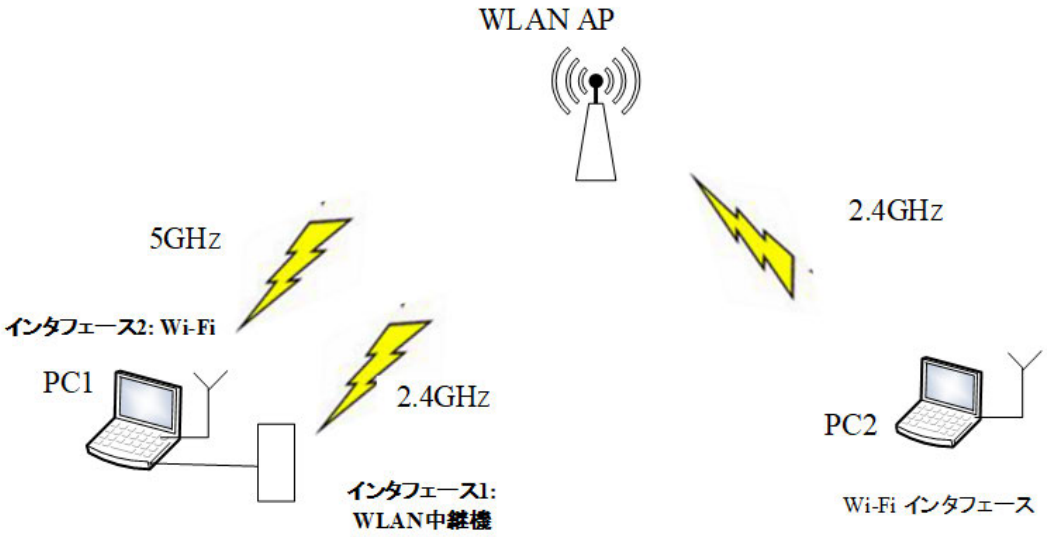


図 269　実験測定シナリオ

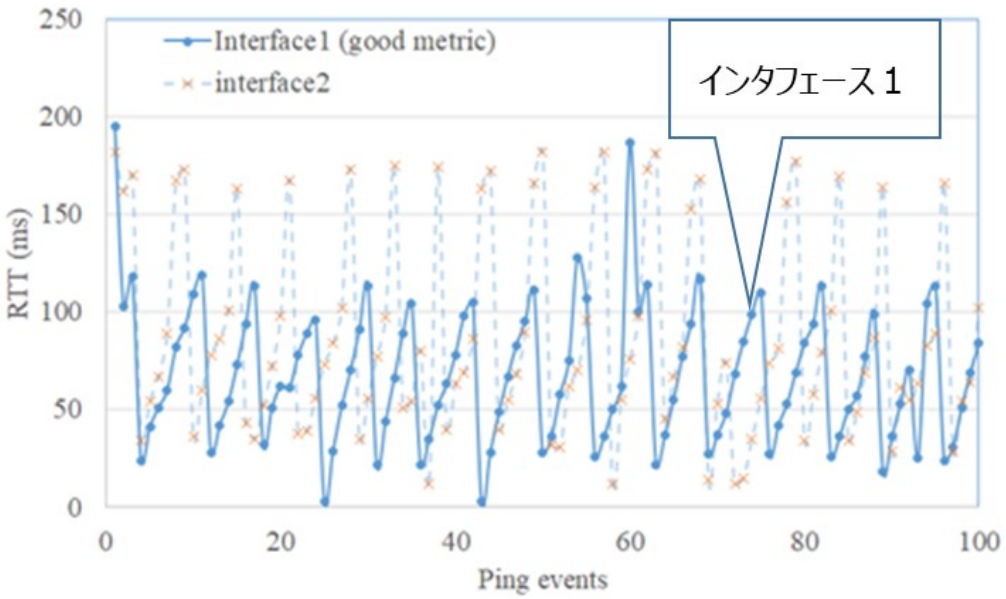


図 270　RTT の結果

4)　協調型路側機の機能拡張

■ 該当項目の背景と目的

混在空間における自動運転レベル 4 の安全性向上に向けて、たとえば、見通しの悪い交差点の出会い頭の車両や自転車との衝突、大型停止車両の追越し時の対向車との衝突、他車両の陰からの歩行者の飛び出しなど、特に車載センサーでは検知できない状況において、協調型路側機から通信ネットワーク経由での情報提供により危険事象を事前に検知し、対応することが求められている。協調型路側機の機能概要について図 271 に示す。

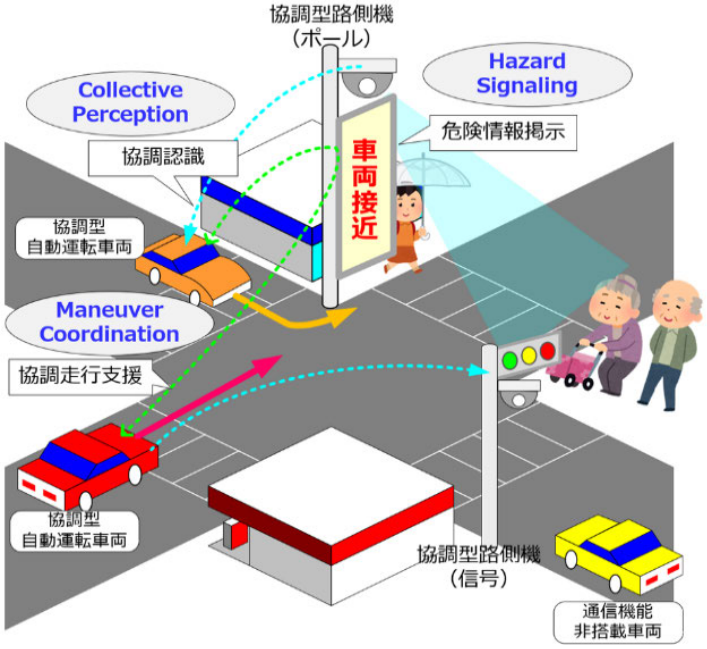


図 271　協調型路側機の機能概要

また、検討にあたり、協調型路側機が有用な代表的ユースケースを図 272 に示す。

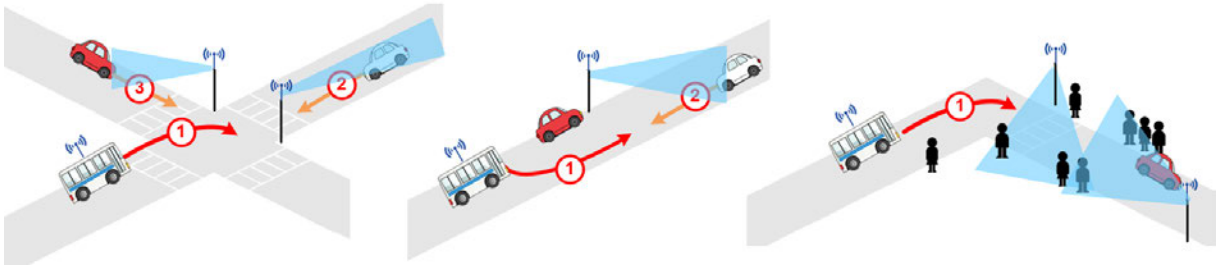


図 272　協調型路側機が有用な代表的ユースケース
（交差点通過、路上駐車車両追越し、周辺歩行者）

- 交差点通過：路側機のセンサーにより交差点進入車線の状況を検知し自動運転車両に通知
- 路上駐車車両追越し：路側機のセンサーにより対向車線の状況を検知し自動運転車両に通知
- 周辺歩行者：駅前ロータリー等において複数路側機による周辺歩行者状況を検知し自動運転車両に通知、および、自動運転車両の接近を路側機から歩行者に警告

■ 実施方針

2021 年度に開発した協調型路側機（インフラセンサー）に対して、複数の協調型路側機の連携と、センサーフュージョン方式の拡張について検討する。協調型路側機の仕様検討にあたっては、ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG のメンバー企業と連携する。

検討するにあたり、協調型路側機での通信手段に関して、通信方式からアプリケーションメッセージを分離して検討を進め、また、世界標準のセキュリティ方式を採用し、プライバシーも考慮に含めることとしている。

■ 実施事項と実施方法

(1) ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG メンバー企業との連携による仕様検討

CooL4 メンバー（同志社大学、名古屋大学、東京大学、電気通信大学、産業技術総合研究所、先進モビリティ）と ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG のメンバー企業 ITS Japan、京セラ、日本信号、住友電工、PSNRD（パナソニックシステムネットワークス開発研究所）、JRC モビリティ、コイト電工、オムロン SS、IHI、豊田通商、マップフォー、トヨタ自動車）との間において、協調型路側機の仕様検討を目的に協調型路側機ユニットミーティングを実施した。

第 3 回[1] ミーティング

- 議題：通信ネットワーク関連仕様検討
- 日時：2022 年 8 月 5 日（金）13:00～15:00
- 場所：teams（オンライン）
- 参加者：37 名（名古屋大学、同志社大学、東京大学、ITS Japan、京セラ、日本信号、住友電工、PSNRD、JRC、コイト電工、豊田通商、先モビ、長大、トヨタ自動車）
- 議論内容：
  - 2025 年に向けた目標の確認：CooL4 としては社会実装の目途付け、ITS Japan 側は ITS Connect（ITS 無線利用）のビジネス化の早急な拡大。妥協点の模索が必要
  - 通信方式／変調方式：路車間通信は実現可能性大、車路間通信（車両から路側機への情

[1] 第 2 回以前は 2021 年度に実施

報送信）は実現困難

- セキュリティ方針： CooL4 仕様と ITS Connect の現仕様との調整が今後の課題

第 4 回ミーティング

- 議題：無線通信方式および通信メッセージの仕様検討
- 日時：2022 年 9 月 16 日（金）15:00～17:00
- 場所：teams（オンライン）
- 参加者：39 名（名古屋大学、同志社大学、東京大学、電通大、産総研、ITS Japan、京セラ、日本信号、住友電工、PSNRD、JRC、コイト電工、豊田通商、先モビ、長大、IHI、トヨタ自動車）
- 議論内容：
  - 柏の葉への協調型路側機調達についての説明
  - Road to the L4 プロジェクトで用いる無線通信方式についての説明
  - ITS Japan CCAM 共通インフラ検討方向性の説明
  - ユースケース、要件を明確にして、共通仕様の議論していく方向性確認

第 5 回ミーティング

- 議題：フリースペースの仕様検討
- 日時：2022 年 11 月 29 日（火）9:00～11:00
- 場所：teams（オンライン）
- 参加者：50 名（名古屋大学、同志社大学、東京大学、電通大、産総研、ITS Japan、京セラ、日本信号、住友電工、PSNRD、JRC、コイト電工、オムロン SS、豊田通商、先モビ、長大、IHI、マップフォー、トヨタ自動車）
- 議論内容：
  - フリースペース情報の有用性についての検討

また、全体としての協調型路側機ユニットミーティング以外に、ITS Japan、日本自動車工業会、自動車メーカ（OEM）や路側機メーカーなど複数の企業との個別のミーティングを実施し、協調型路側機の仕様に関する意見を伺っている。

(2) 協調認識サービス等に関する技術調査

i) 参考文献

仕様を検討するにあたり、既存の国際/国内標準や SIP-adus における研究開発成果として、以下の文献を調査した。

[1] ETSI TR 103 562 V2.1.1, Intelligent Transport Systems (ITS); Analysis of the Collective Perception Service (CPS)、2019/12
[2] 加納 忠彦、堀場 歩、八代 勝也、田村 祥、石井 健太、レベル3自動運転システム―トラフィックジャムパイロット、自動車技術、Vol.75, No.11, pp.22-28、2021/11
[3] 藤原 直広、寺二 存也、大門 真、センサーフュージョンによるフリースペース認識技術の開発、自動車技術会論文集、Vol.51, No.2, pp.328-332、2020/3
[4] ETSI TR 103 300-1 VRU Awareness: Part 1: Use Cases Definition, Release 2、2019/09
[5] ETSI TR 103 300-2 VRU Awareness: Part 2: Functional Architecture and Requirements Definition, Release 2、2020/05
[6] ETSI TR 103 300-3 VRU Awareness: Part 3: Specification of VRU Awareness Basic Service, Release 2、2020/11
[7] SAE J2945/9 Vulnerable Road User Safety Message Minimum Performance Requirements, 2017/03
[8] 5GAA, White Paper C-V2X Use Cases Methodology, Examples and Service Level Requirements、2019/06
[9] SIP 協調型自動運転ユースケース－2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告－、2020/9/3

参考文献の調査結果に基づき特筆すべき要点を以下にまとめる。

- 欧州や米国において協調認識（CPS：欧州では Collective Perception Service、米国では Cooperative Perception Service の略）についての検討が行われ、標準仕様としてまとめられつつある。
- ユースケースとして、特に VRU（Vulnerable Road sers の略で、日本語では交通弱者と訳される場合があるが、歩行者や自転車などのこと）の保護が注目されている。
- 日本の SIP ユースケースには，欧米で検討されている VRU が含まれておらず、日本においても検討が求められる。
- 物標が存在しない空間であるフリースペースに関する情報が、欧州仕様や、日本で利用されている技術に含まれている。

協調認識サービスやユースケース、フリースペースの関する調査結果の詳細については次に記載する。

ii） 協調認識サービスの各地域の状況

通信を利用した協調認識サービスについて以下が検討されている。

- 欧州（ETSI）

- ETSI が CPS (Collective Perception Service) の標準となるテクニカルレポート (ETSI TR 103 562 V2.1.1) を発行済み。
- 歩行者保護ユースケース VRU Awareness Part1: Use Cases Definition (ETSI TR 103 300-1 V2.1.1) の仕様を発行済み。
  - P2V：VRU から車両への直接送信
  - V2V／I2V：車載／路側センサーによる周辺物標情報の車両への送信
  - I2V／N2V：路側機／センターで VRU 情報を集約した後に車両へ送信（情報提供）
  - VW の Golf8 など、5.9GHz DSRC を利用したサービスが商用化

• 米国 (SAE)
- SAE の車両アプリケーション技術委員会で CPS (Cooperative Perception Service) について仕様 (SAE J2945/8) 検討中。年内投票予定で、その後公開予定
- 歩行者保護ユースケースに関する仕様 (SAE J2945/9) 発行済)。これまでの VRU 保護ユースケースについて、主に P2V 通信 (DSRC) により実現
- 5.9GHz DSRC 利用のサービスの実証実験実施。FCC 決定により DSRC 停波 (一部係争中)

• 中国
- 2018 年に Internet of Vehicles (IoV)特別委員会が設立され、LTE-V2X 採用を標準化技術とし、5,905MHz-5,925MHz (上位 20MHz) を割当
- 5.9GHz C-V2X を搭載した複数のカーメーカから製品を販売
- PC5 (LTE-V2X) を利用したアプリケーションを搭載
  - 緊急ブレーキ警告
  - 交差点衝突警告
  - スピード違反警告
  - 信号無視警告

• 日本
- 760MHz ITS 無線 (路車間、車々間通信) により、ITS Connect (DSSS、CVSS) が商用化。
- 5.8GHz 帯の ETC2.0 が商用化
- 総務省アクションプランに基づき 5.9GHz の利用を検討中
- SIP において協調型自動運転ユースケースを作成 (詳細は後述)

iii) ユースケース

SIP 第 2 期において、協調型自動運転ユースケースが検討され、第 1 版の活動報告としての文書が発行されている。それによると、協調型自動運転で検討すべきユースケースは次のように記載されている。

① 車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース（14 ケース）

(a) 合流・車線変更支援（2¬ケース）：本線車両と合流車線車両の間の走行支援

(b) 信号情報（2¬ケース）：取得した信号情報による走行支援

(c) 先読み情報：衝突回避（4¬ケース）：前方停止車両、交差点右折の衝突回避支援

(d) 先読み情報：走行計画変更（5¬ケース）：前方停止車両、逆走車を回避する走行支援

(e) 先読み情報：緊急車両回避（1¬ケース）：接近する緊急車両を回避

② 自車が保有する情報の提供が必要なユースケース（4 ケース）

(f) インフラによる情報収集・配信（4）：事故車両、交通量、新設道路、車両位置情報の収集

③ 車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース（7 ケース）

(g) 合流・車線変更支援（4¬ケース） ：本線車両と合流車線車両の間の走行支援、車線変更

(h) 隊列・追従走行（2¬ケース）：電子牽引

(i) 遠隔操作（1¬ケース）：運行管理者からの遠隔操作指示

ドロップしたユースケース（抜粋）

- 交差点での衝突回避（建物の死角からの他車両の接近）
- 歩行者の情報による走行支援（歩行者が持つ端末等から車両が情報を取得）

しかし、に示すような混在環境での自動運転で特に重要と考えられる路側センサー、車載センサーで検知した周辺物標情報を通信で共有し、危険を回避する状況が SIP ユースケースに含まれていない。

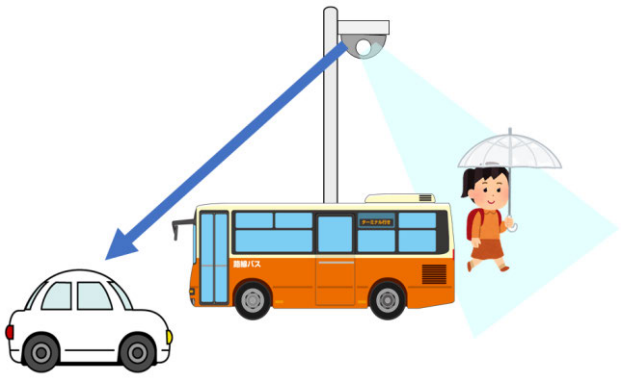


図 273　歩行者保護ユースケース

(3) 協調型路側機の個別技術検討

i)　通信方式

協調型路側機で想定する通信方式について、以下に列挙する。

- 携帯電話網（LTE/5G）：基本的にどこでも利用可能、容量大。利用料金必要、遅延大（インターネット経由でばらつき）、通信相手特定の必要あり
- ITS 無線（ARIB STD T109 TDMA）：760MHz 帯の無線通信。ITS Connect DSSS で採用、容量中（100m 秒で約 10k バイト）。通信距離 500m 程度。固定局でのみ利用可能、（現在）実験局免許必要
- ITS 無線（ARIB STD T109 CSMA/CA）： 760MHz 帯の無線通信。ITS Connect CVSS で採用、移動局（および固定局）で利用可能。基本的に免許不要（要技適）。通信距離 500m 程度。容量小（1 フレーム 100 バイト）。セキュリティ対策に制約あり
- DSRC（ETC）：5.8GHz 帯の無線通信。自動料金収受システム ETC および ETC2.0 で採用
- LTE-V2X（PC5）：世界標準の周波数（5.9GHz）を利用した携帯電話の直接通信方式。容量大。通信距離 500m 程度。中国で複数カーメーカ採用済み。ライセンス費用についての議論あり。日本では（現在）周波数割当てなし、現状で利用困難（実験は可能）
- DSRC（IEEE 802.11p）：世界標準の周波数（5.9GHz）を利用した無線 LAN の通信方式。容量大。個別のライセンス費用不要。欧州 VW Golf 8 ですでに採用。（米国では利用不可）。日本では（現在）周波数割当てなし、現状では利用困難（実験は可能）

2025 年での実装を想定し、携帯電話網と連携し、現行の ITS 無線（760MHz 帯）から将来の V2X 通信（例：5.9GHz 帯 PC5／DSRC）への円滑な移行を考慮したシステム設計とする。

ii） フリースペース

協調型自動運転システムにおいて、路側機から車両に対して物標情報（車両や歩行者などの位置や移動関連の情報）は送信するのが一般的であるが、より高い安全性を目的として、フリースペース情報の配信の検討を行う。

フリースペースとは、車両が走行可能で物標が存在しない領域（動的情報）とする。車両走行可能空間（静的情報）をフリースペースと呼ぶ場合もあるが、ここでは、この情報をドライバブルスーペース（Drivable Space）として区別する。

フリースペースを検知するためには、直接検知、間接検知の 2 つの手法が存在する。直接検知とは、センサーにより物標が存在しないことを直接的に検知する手法である。たとえば、図 274 に示すように、路側機のセンサーで路面を直接的に検出したり、あるいは、特定車両から前方車両が検知できればその間は物標が存在しない空間を検出したり、車両が通過してから他の車両が通過していない時空間を検知する方法である。

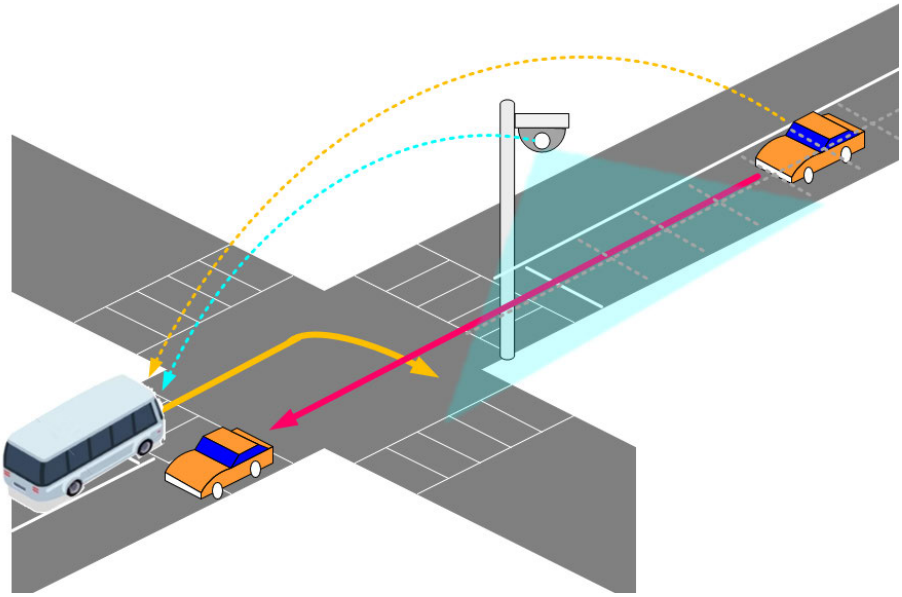


図 274　フリースペースの直接検知

一方で、間接検知とは、センサー検知範囲から物標の存在を除いたエリアを割り出す手法である。図 275 に示すように、欧州 ETSI の協調認識サービス（メッセージ）定義されているフリースペースは、物標情報とセンサー検知範囲から、フリースペース情報を受信側で導出する。

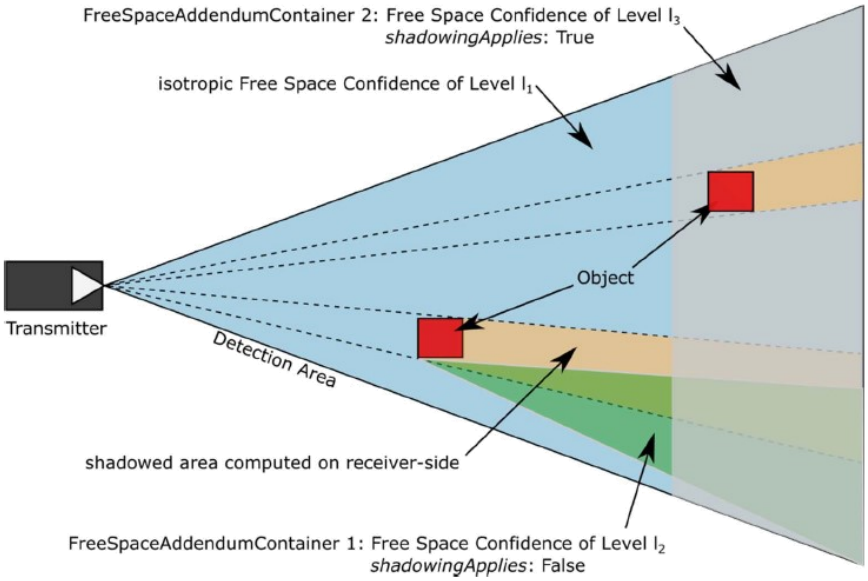


図 275　欧州 ETSI におけるフリースペースの定義

想定するフリースペース利用シナリオの 1 つである駐車車両追越し分析を行い、有用性を検討した。

- 初期検知範囲定義：

  設置時の計測により協調型路側機に検知範囲を定義する（図 276）。

  この範囲内において許容再現率（e.g. ≈1.0 ）達成を仮定

  センサー処理系において突発的異常の除外を前提（フィルタリング処理）とする

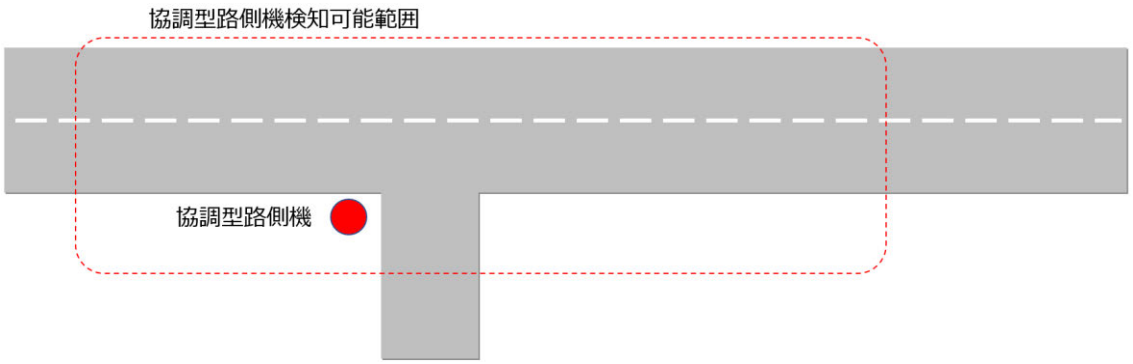


図 276　協調型路側機の初期検知範囲定義

- 検知範囲の更新 1（疑似的再現率の動的設定）：

  気象条件等により協調型路側機の検知性能が低下する可能性があるため（例：路側機から遠方の範囲）、検知範囲を更新する（図 277）

  移動物標の検知結果の蓄積により検知範囲（許容再現率の達成可能領域）を動的に更新

  検知範囲外は未検知範囲と推定（検知範囲が存在しない可能性を示唆）

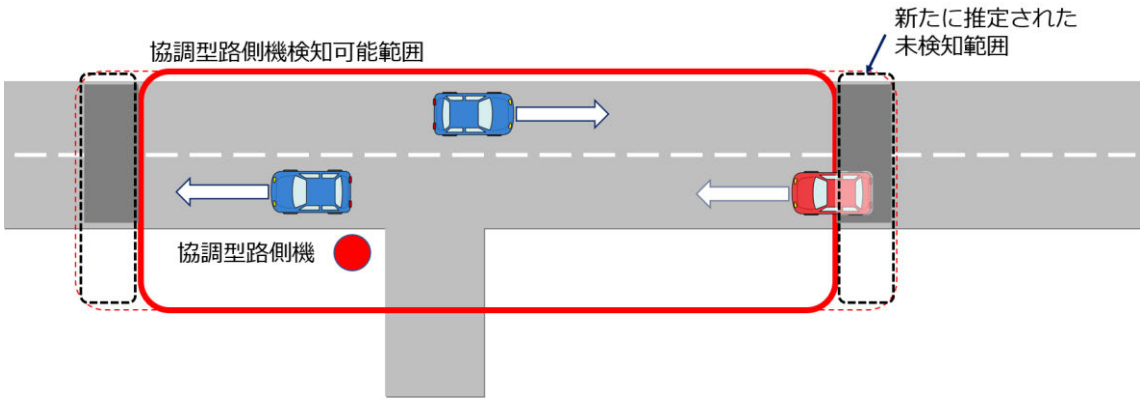


図 277　協調型路側機の検知範囲の更新 1（疑似的再現率の動的設定）

- 検知範囲の更新 2（移動してきた物標によるオクルージョン）：

  大型トラックなど駐車車両が出現（協調型路側機が検知できるのは物標情報のみの前提）を想定し、新たに未検知範囲（オクルージョン）が発生した場合を想定（図 278）

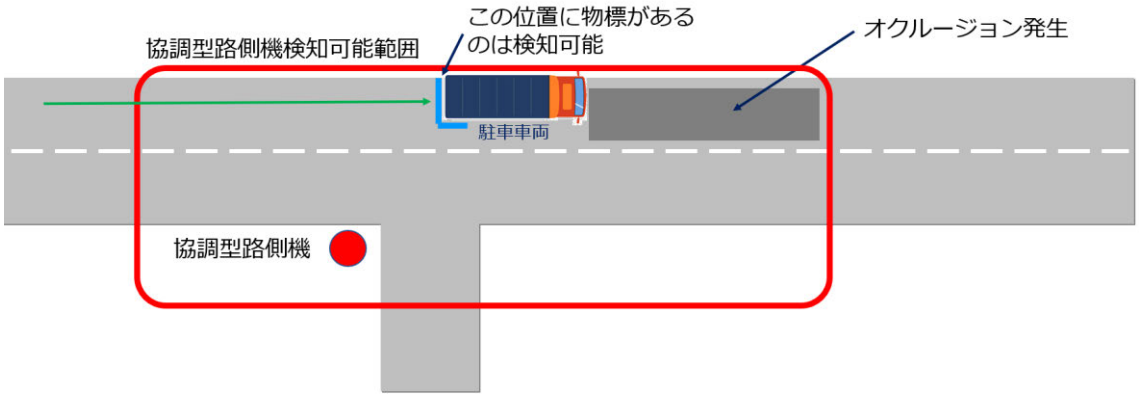


図 278　移動してきた物標によるオクルージョン発生

新に発生した未検知範囲を更新する必要があるため、その後に道路上を走行する一般車両の軌跡からオクルージョンのエリアを推定する必要がある。そのため、まず協調型路側機の検知可能範囲において、駐車車両の存在エリアから検知可能範囲の末端までを未検知範囲と想定する（図 279）

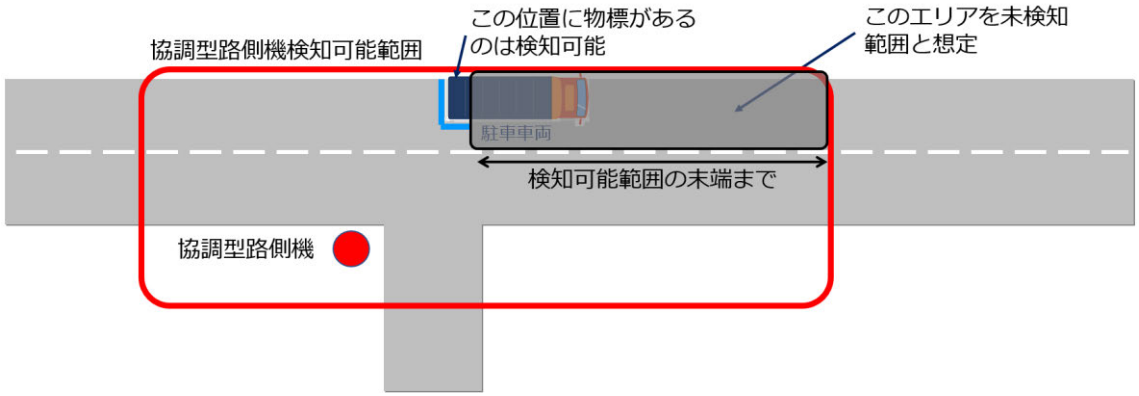


図 279　協調型路側機検知可能範囲において新たな未検知範囲を想定

その後、一般車両の通過を検出（トラッキング）することで、未検知範囲を更新する（図 280）

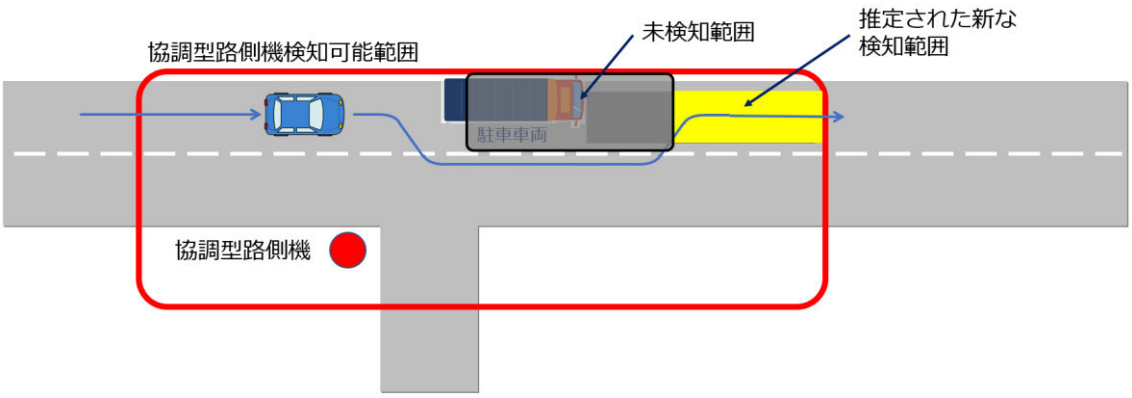


図 280　協調型路側機検知可能範囲の更新

- 新たな検知範囲に基づく自動運転車両の走行：

更新した新たな協調型路側機の検知範囲に基づいて、自動運転車両が走行可能となる（図 281）

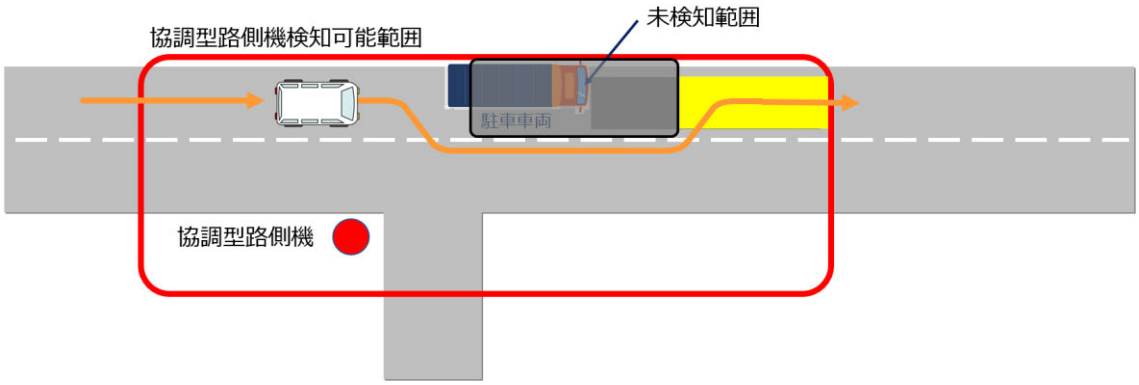


図 281　更新された未検知範囲に基づく自動運転車両の走行

- 複数の協調型路側機による検出：

複数の協調型路側機により、移動物標を検出できると、より効率的に協調型路側機の検知可能範囲を明確化することが可能となる（図 282）

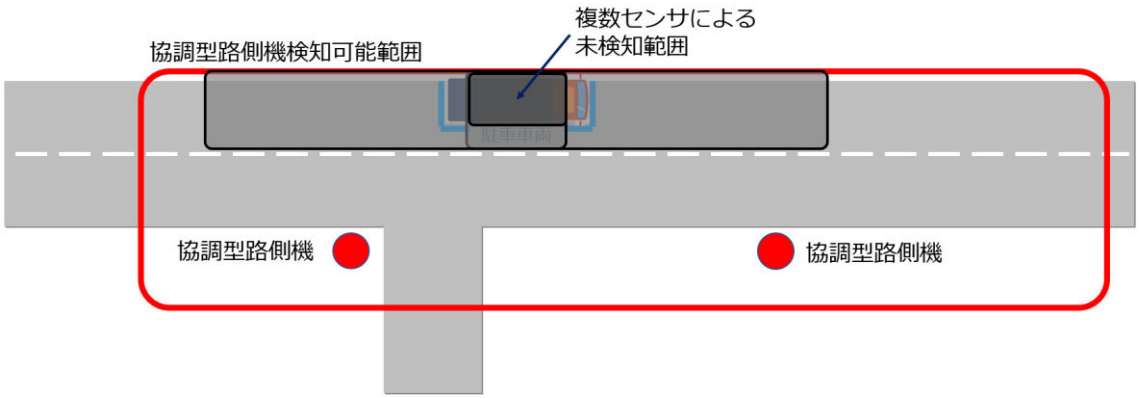


図 282　複数の協調型路側機による検出

位置が変動しない協調型路側機の場合、一定時間内において検知範囲は固定であるため、事前に検知範囲が判明していれば、フリースペースの検出は、検知範囲から物標位置を引き算することで求めることが可能となる。

- フリースペース検出精度向上：

道路上に協調型路側機から検出可能なペイントやマーカーを設置した場合（図 283）、道路上に物標が存在しないフリースペースを直接検知することが可能となり、センサーの検知範囲から物標位置を引き算することで求める場合より、精度が向上すると想定する。

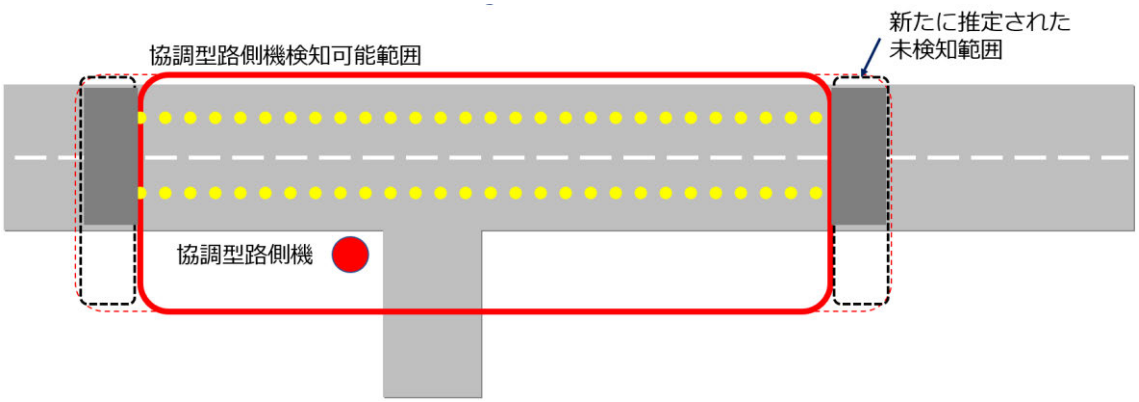


図 283　道路上のペイント／マーカー等によるフリースペース検出精度向上

- 移動する車載センサーによるフリースペース検出：

移動する自動運転車両の車載センサーは、気象条件等によって条件が異なるため、検出範囲を明確に設定することができない（図 284）

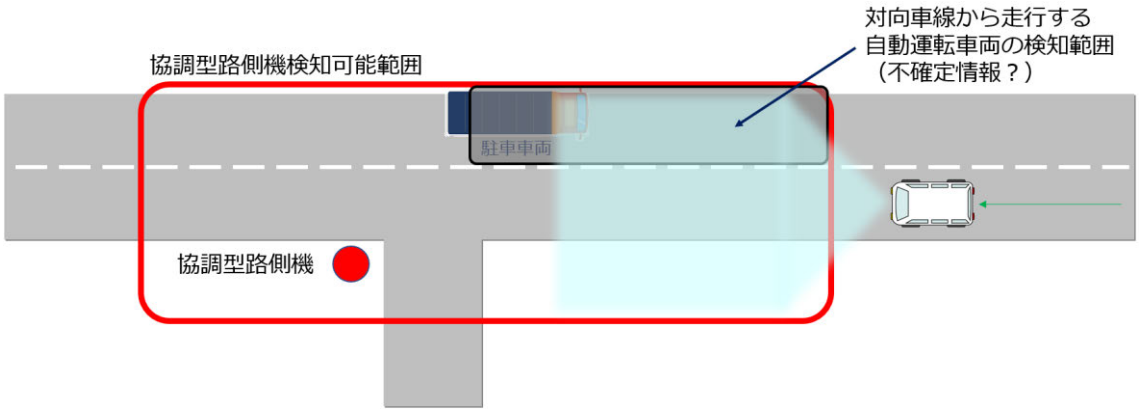


図 284　移動車両の車載センサーの検出可能範囲の定義

その際にも、たとえば、車載センサーが物標を検知した場合、車両からその物標までの区間をフリースペースとして直接検出可能である（図 285）

センサーの検知可能範囲を定義できない状況においては、フリースペースの利用は有効となる。

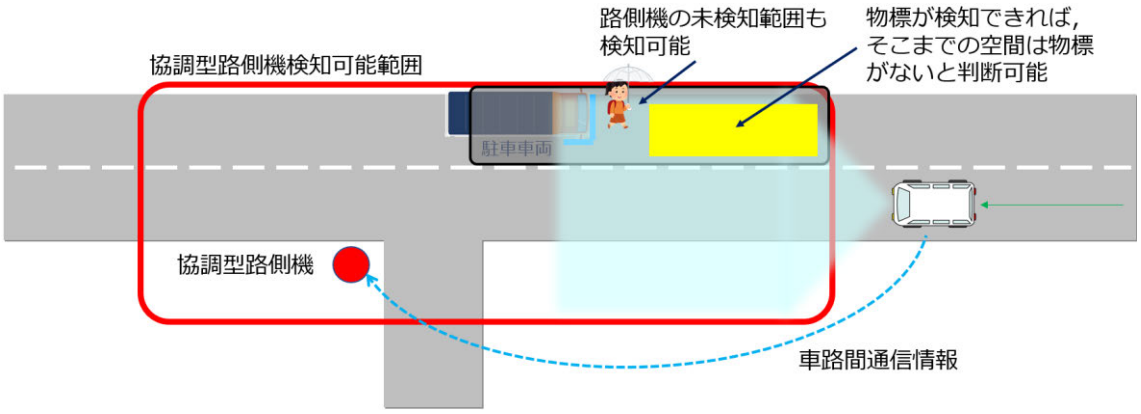


図 285　移動車両の車載センサーによるフリースペース直接検出の有効性

(4) 複数の協調型路側機連携およびセンサーフュージョン方式の拡張検討

- 背景・目的：

歩行者が密集しない疎な環境では、1 台のセンサーによる歩行者の追跡性能は高いものの、歩行者が密集する環境では歩行者同士のオクルージョンが生じることから追跡性能が低下する。ここでは、路上の複数の異なる箇所に配置した協調型路側機（LiDAR）により歩行者同士が近接する環境において、分散型 IMM(Interacting Multi-Model)法を用いて歩行者の多様な動き（停止、一定速度で歩く・走る、急なダッシュ）を精度よく追跡する協調型歩行者追跡法を提案し評価を行う。

- 検討システム構成：

図 286 に示すように、3 台の LiDAR (Velodyne 社 HDL-32E) からなるシステムを想定する。LiDAR の水平視野角は 360[deg](分解能 0.16[deg])、垂直視野角は 41.3[deg](分解能 1.33[deg])で、LiDAR から 50[m]までの対象物体の距離が計測できる。観測周期は 0.1[s]である。

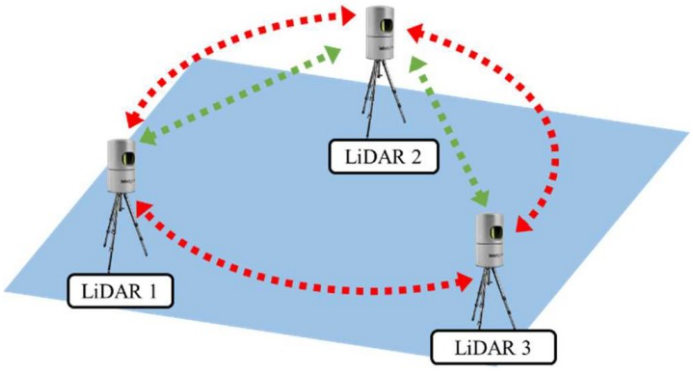


図 286　複数 LiDAR の配置モデル

- 歩行者の運動モデル：

交差点環境での利用を想定して IMM 法により歩行者追跡を行うため、歩行者の運動状態（モード）を三つに分類してモデル化を行う。

(a) 停止モデル(モデル 1)：赤信号時に停止する（モード 1 にある）歩行者に対するモデル

(b) 一定速度モデル(モデル 2)：青信号時にほぼ一定の並進速度や旋回速度で歩行、走行する（モード 2 にある）歩行者に対するモデル

(c) 直進加速度モデル(モデル 3)：黄信号時に急に走り出したり急停止など、大きな加減速(突発挙動)を伴う（モード 3 にある）歩行者に対するモデル。

なお、モデル 3 では黄信号で急発進や急停止する歩行者は、同時に急な方向転換はしないと仮定している。図 287 に示すように、地上固定座標系における歩行者の 2 次元位置を(x, y)、進行方位を、並進速度を v、旋回速度を $\dot{\theta}$ とする。

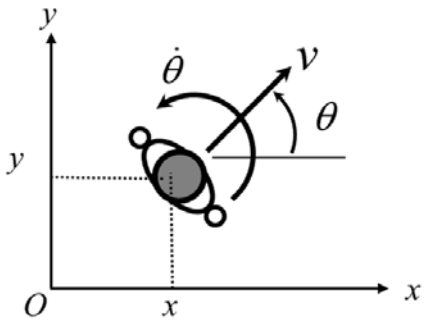


図 287　歩行者の運動モデル

- 歩行者の検出：

相互接続した 3 台の LiDAR による歩行者追跡の流れを図 288 に示す。各 LiDAR は背景差分法により歩行者を検出し、隣接する LiDAR と検出情報を交換して分散型 IMM 法により歩行者を追跡する。さらに、歩行者追跡情報を隣接する LiDAR 間で交換して歩行者追跡情報を統合する。

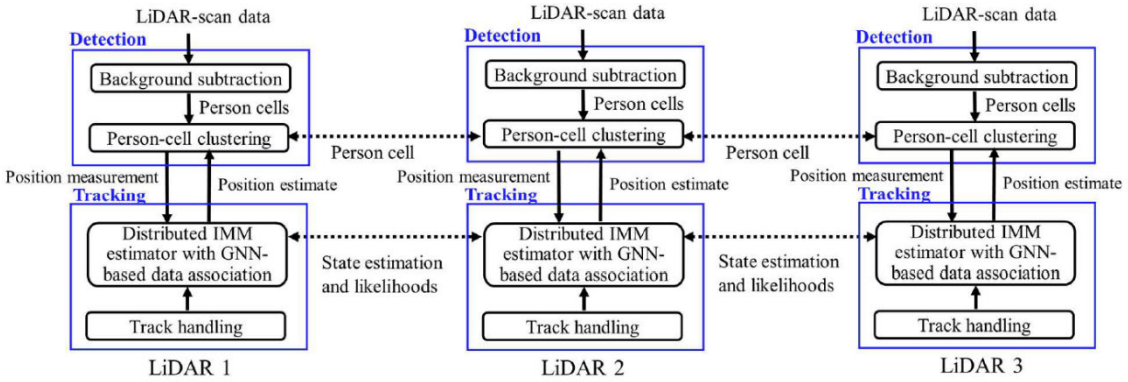


図 288　複数 LiDAR による歩行者トラッキングシーケンス

歩行者検出において、各 LiDAR で得た LiDAR 観測点群を地上固定座標系で記述したエレベーションマップ（格子地図）にマッピングし、背景差分法により歩行者に関する LiDAR 観測点が占有するセル（以後、歩行者セルと称す）を検出する。なお、格子地図のセルサイズは 0.3[m]×0.3[m]としている。抽出された歩行者セルについて 8 近傍の占有セルは同一歩行者に関するセルとみなしてクラスタリングする。

すれ違う二人の歩行者を LiDAR で観測した場合、格子地図における前時刻と現時刻の歩行者セル群の様子を図 289 に示す。前時刻では二人（歩行者 1、2）の歩行者セル群（A、B）が検出されたが、現時刻では歩行者が近接して歩行者セル群が合併され C となった。このとき、前時刻で検出された歩行者セル群（A、B）と現時刻に検出した歩行者セル群 C を比較し、（A、B）と C とが重複するセルがあるかを調べ、重複するセル群がある場合は二人の歩行者セル群が合併したと判断する。

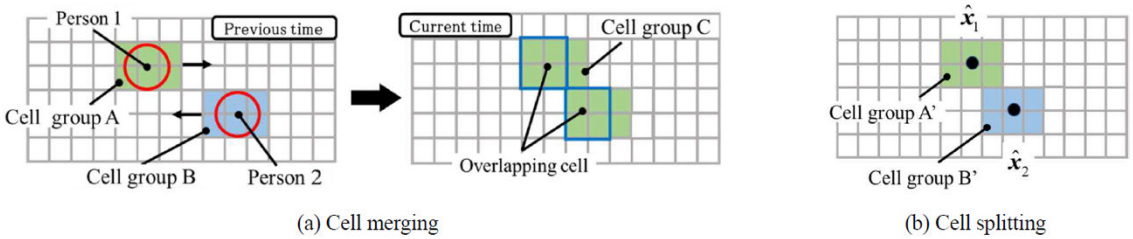
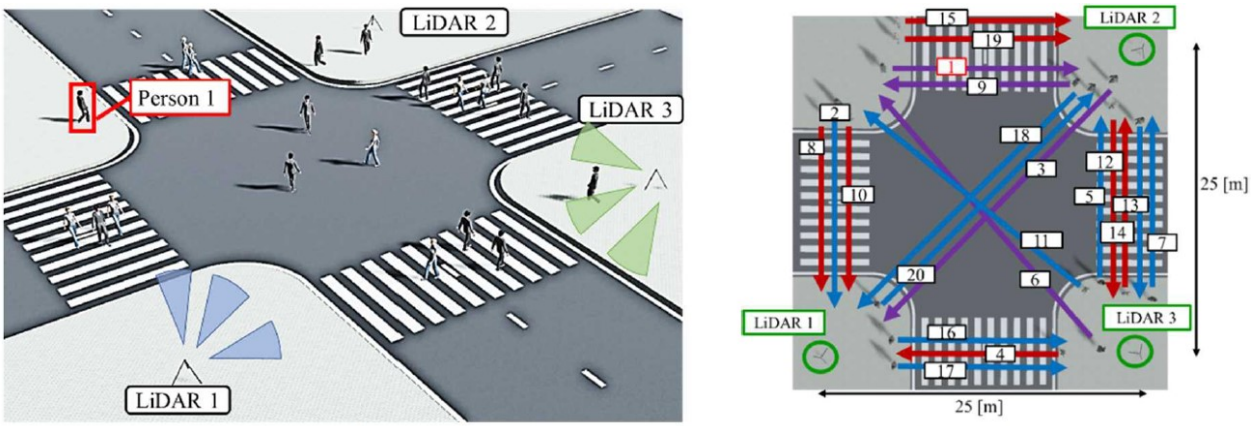


図 289　複数の歩行者の検知セルの統合と分離

- 評価実験：

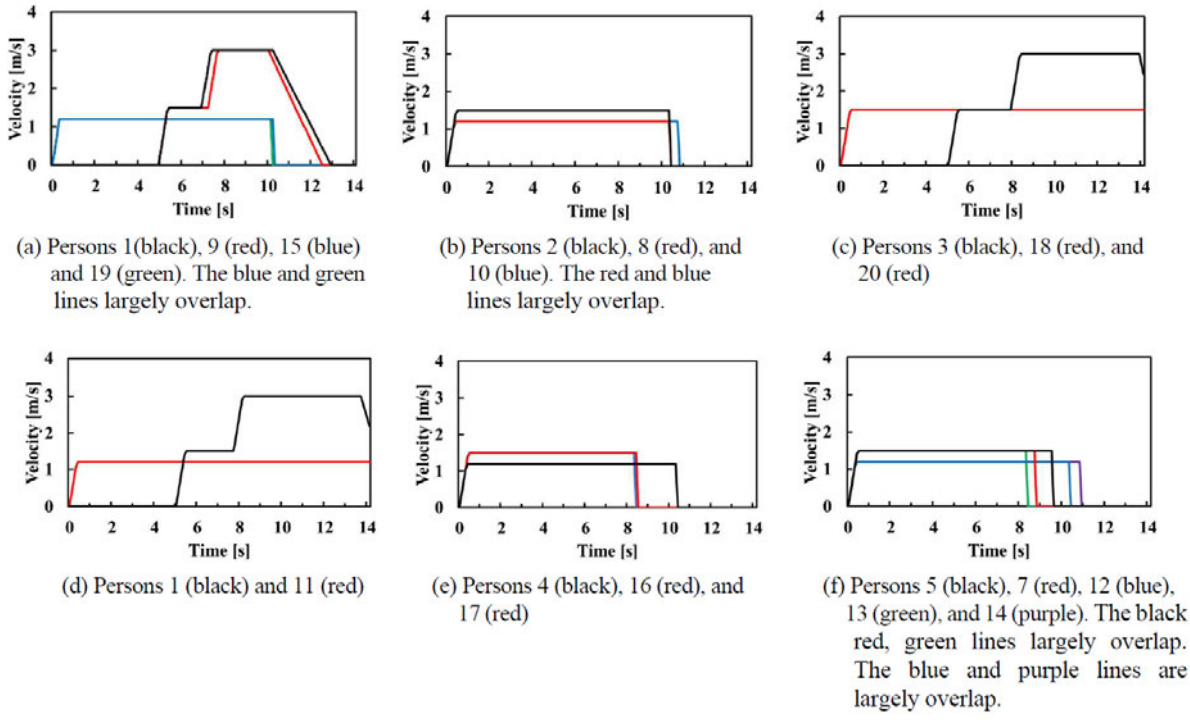
図 290(a)に示す 3 か所に LiDAR を配置し、交差点内を横断する 20 人の歩行者を追跡する。歩行者の動作、LiDAR スキャンデータはシミュレータにより生成した。図 290(b)に 20 人の歩行者の移動軌跡を示す。ここで、移動軌跡が青色の歩行者は、1.5 [m/s]で歩行した後に立ち止まっており、赤色の移動軌跡の歩行者は 1.2 [m/s]で歩行した後に立ち止まっている。また、紫色の移動軌跡の歩行者は、停止時から 1.5 [m/s]で歩行し、さらに 3.0 [m/s]で走った後、立ち止まる。



(a) Bird's-eye view　　(b) Top view

図 290　歩行者のシミュレーションモデル

20 人の歩行者の移動速度、3 台の LiDAR それぞれの検出人数（黒：LiDAR1、赤：LiDAR2、青：LiDAR3）をそれぞれ図 291、図 292 に示す。



(a) Persons 1(black), 9 (red), 15 (blue) and 19 (green). The blue and green lines largely overlap.

(b) Persons 2 (black), 8 (red), and 10 (blue). The red and blue lines largely overlap.

(c) Persons 3 (black), 18 (red), and 20 (red)

(d) Persons 1 (black) and 11 (red)

(e) Persons 4 (black), 16 (red), and 17 (red)

(f) Persons 5 (black), 7 (red), 12 (blue), 13 (green), and 14 (purple). The black red, green lines largely overlap. The blue and purple lines are largely overlap.

図 291　各歩行者の移動速度

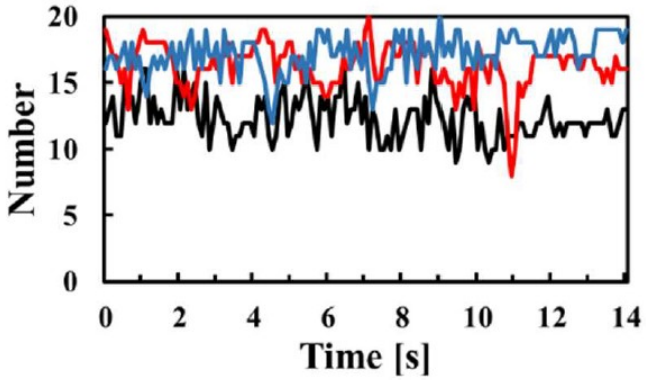
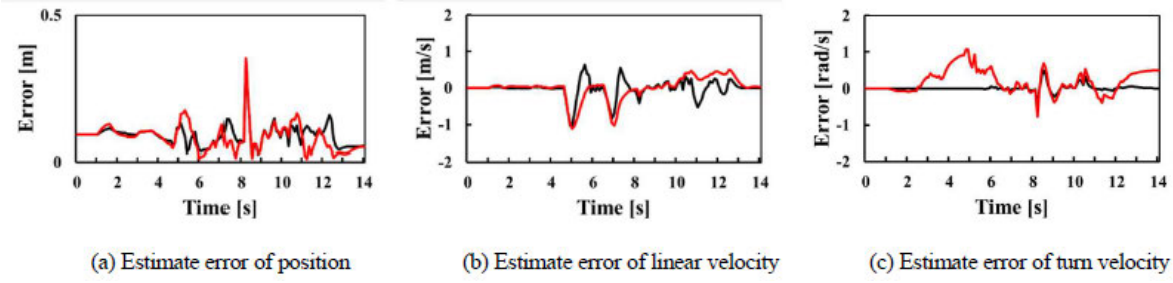


図 292　各 LiDAR における歩行者検出人数

- 評価結果：

歩行者 1 に対する追跡結果を図　293 に示す。　(a)は位置推定誤差を、(b)は並進速度推定誤差を、(c)は旋回速度推定誤差を示している。



(a) Estimate error of position　(b) Estimate error of linear velocity　(c) Estimate error of turn velocity

図 293　分散型 IMM 法（黒線）と分散型 KF 法（赤線）による歩行者の追跡結果
（位置、並進速度、旋回速度の推定誤差）

分散型 IMM 法と分散型 KF 法を比較した場合、分散型 KF 法は分散型 IMM 法に比べて約 61[%]追跡性能が劣化する。これは、分散型 KF 法では歩行者の運動モデルとして一定速度モデルを用いていることから、急な加速度運動を行ったときに追跡誤差が大きくなる。

- 結果：

LiDAR の観測値を背景差分とグルーピング、分割することで歩行者を検出する手法を示した。LiDAR により検出された歩行者位置情報、LiDAR により算出した追跡法情報と尤度値を隣接する LiDAR 相互で情報交換した上で、GNN(Global Nearest Neighbor)法に基づくデータアソシエーションと分散型 IMM 法により分散的に複数の歩行者を追跡する手法を示した。交差点環境に設置した 3 台の LiDAR により交差点を横断する複数の歩行者に対するシミュレーション実験を行い、集中型 IMM 法と分散型カルマンフィルタとの性能比較を通じて提案手法の基本的な追跡性能を示した。

5) データ連携 PF のプロタイプ実装とアルゴリズム検討

■ 該当項目の背景と目的

2021 年度に協調型路側機から得られるデータの仕様が決まったことで、データ連携 PF のプロトタイプをそれらに対応させるようにソフトウエアへ機能追加する必要が生じてきた。また、本プロジェクト全体では、上位層のプラットフォームにおいて信号予定情報を活用する案が出ており、データ連携 PF からの信号予定情報の提供方法を仕様化して実装する必要が生じている。データフュージョン機能は 2021 年度に基本機能が実装されているが、様々なセンサ（カメラ、LiDAR、レーダー等）が異なる手段で物体を検知する実環境で、高い精度を保った運用ができるように拡張されなければならない。また、将来に向けて巡回バス以外のサービス形態で自動運転車を運用することも考えなければならず、車両の位置情報に関するプライバシー保護の機能を向上させる必要があり、仮名 ID 変更方式の導入に向けた検討が求められている。これらを踏まえて、本項目の 2022 年度の目的を「2021 年度成果の統合のための開発」、「信号予定情報の API 設計と実装」、「物標情報フュージョンの拡張」、「仮名 ID 変更戦略の検討と実装・評価」の 5 つとする。

■ 実施方針

2021 年度に実施したデータ連携 PF のプロトタイプ開発は、名古屋大学における過去の研究開発成果を活用する形で、機能やアルゴリズムが明確になっている部分から実施し、基本部分が動作するようになっている。2022 年度は、2021 年度に仕様を策定した部分の実装を行い、年度末までに、自動運転システム開発者に提供できるものとした。また、2023 年度における自動運転システムへの適用をスムーズにするために、自動運転システム開発者との協議を実施する。

開発したデータ連携 PF と協調型路側機の評価については、まず、協調型路側機単独で、認識性能等を評価する。また、既存の自動運転車両をデータ連携 PF に対応させる開発を行い、公道において自動運転車両を走行させる実証実験により、データ連携 PF と協調型路側機で手動介入の必要性がどの程度減らせるかについて評価する。

これらと並行して、2021 年度に策定したデータ連携アーキテクチャ案（図 220)、データ連携 PF API 仕様案、通信インラフェース仕様案、協調型路側機仕様案の拡張とブラッシュアップを行う。また、複数のセンサーからのデータを統合するアルゴリズム検討・評価を進める。

2021 年度に実施した、歩道等のデジタル地図構築に関しては、実証実験の予定地域の歩道や駐車場等を計測してデジタル地図の作成に関して、他地域での検証を実施し、手法の有効性を検討する。

■ 実施事項と実施方法

(1) 成果概要

2021 年度に開発した車載 DM、路側 DM、セントラル DM の基本部分のプロトタイプソフトウェアを、2021 年度に仕様策定した部分（データフォーマット等）に統合するための開発を行った。また、各種のセンサーから収集された情報を統合するためのデータフュージョン機能については、認識する物標の種類を増やし、異種センサー同士のフュージョンなどのより複雑なケースを扱う発展的なアルゴリズムの実装を行った。さらに、車両情報に関するプライバシーを確保するための仮名 ID の実現方式については、プライバシー向上のための仮名 ID 変更戦略を検討し、実装した。

(2) 2021 年度成果の統合のための開発

- ROS2DMI の開発

協調型路側機の搭載センサーの状態をデータ連携 PF へ連携する機能を「ROS2DMI」として実装完了した（図 294）。協調型路側機の提供元は 3 社（仮名として X 社、Y 社、Z 社と呼称する）あり、ROS2DMI はそれぞれに対応した固有の受信処理を行う。X 社と Z 社のデータは、2021 年度に決めた仕様に基づく ROS2 のメッセージの形式で提供されている。ROS2 の通信は DDS (Data Distribution Service)を介して行われるが、2 社は FastDDS と CycloneDDS という異なる DDS を使用しており、共通化が難しいため、ROS2DMI も DDS ごとに別プロセスで動作する。Y 社については独自仕様の UDP パケットでデータを提供してくるため、これについては新たに UDP 変換器で一度受信して、ROS2 メッセージに変換してから ROS2DMI で取り込んでいる。

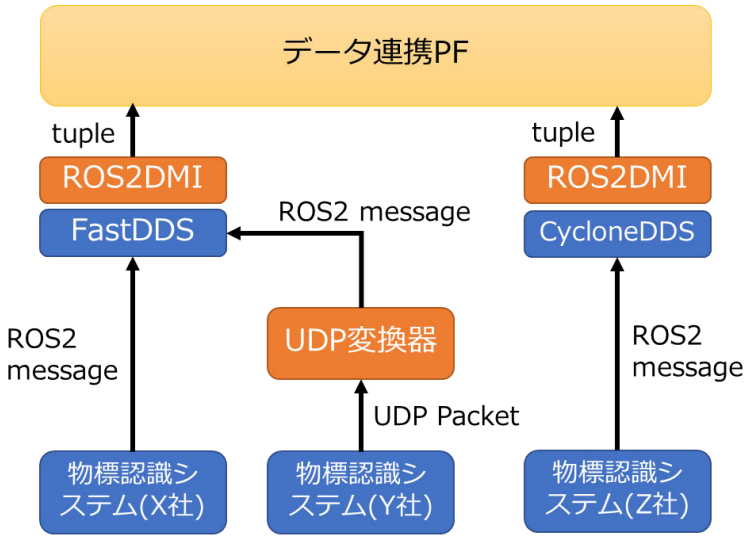


図 294　ROS2DMI

ROS2 メッセージのデータを受信確認のために、データを視覚化した様子を図 295 に示す。Z 社の物標認識システムからの物標情報・フリースペース情報をオープンソースの視覚化ツール RViz2

により可視化し、信号情報は独自に開発した信号ビューアにより現在の主灯情報と残秒数の可視化している。

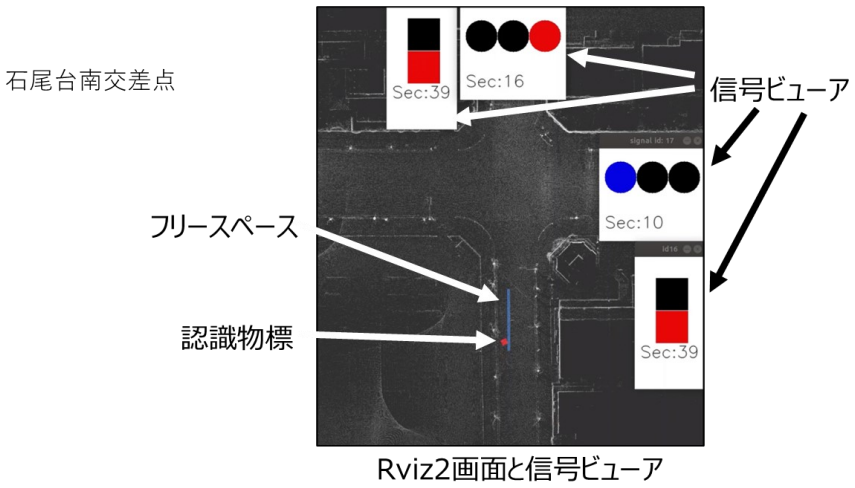


図 295　Rviz2 と信号ビューア（8 月版）による情報の可視化

さらに 1 月には、rviz2 だけで物標情報・フリースペース情報・信号予定情報を同時に視覚化できるようにした rviz2 用のプラグインを開発した。視覚化の様子を図 296 に示す。

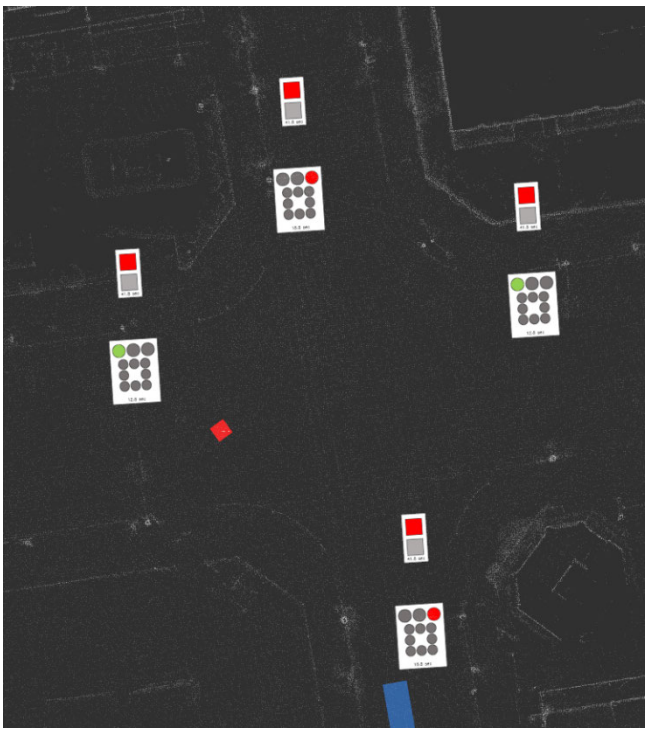


図 296　Rviz2 プラグイン（1 月版）による情報の可視化

- UDP-DMI の開発

次年度に予定されている柏の葉の実験に向けた、自動運転バスとデータ連携 PF の連携機能として「UDP-DMI」の開発を行った（図 297）。UDP-DMI は車両側にあり、協調型路側機側のデータ連携 PF から無線通信を介して受け取った情報を自動運転バス側の LAN に流す役目を果たす。自動運転バス側との情報の受け渡しは UDP パケットで行うことに決定しており、UDP パケットフォーマットの仕様を決定した（一部を図 298 に示す）。

ROS2DMI との使い分けとしては、ROS メッセージでの通信に対応した自動運転車（例:名古屋大学のゆっくり自動運転、Autoware 搭載車両など）の場合は ROS2DMI を使い、それ以外の自動運転車（例:柏の葉の自動運転バスなど）の場合は UDP-DMI を使って連携することになる。

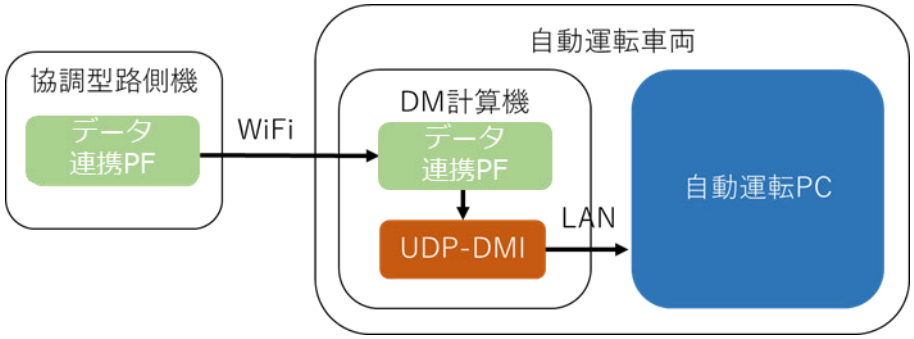


図 297　UDP-DMI（データ連携 PF と自動運転車の連携機能）

領域	名前	単位	型	bytes	説明
ヘッダ	メジャーバージョン	–	uint8	1	CooL4データ連携PF API仕様バージョン番号（メジャー）
	マイナーバージョン	–	uint8	1	CooL4データ連携PF API仕様バージョン番号（マイナー）
	パッチバージョン	–	uint8	1	CooL4データ連携PF API仕様バージョン番号（パッチ）
	フレームID	–	uint8	1	100msごとの送信のたびにインクリメント毎にインクリメントされる値 フレーム：DMが受信したデータのあつまりの単位 Sheet送信周期を参照
	分割ID	–	uint8	1	Sheet送信周期を参照
	分割数	–	uint8	1	Sheet送信周期を参照
	このメッセージに含まれるデータ数 N （1≦N≦7）	–	uint8	1	メッセージに含まれる物標情報の数
物標情報1	物標ID	–	uint64	8	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	情報取得時刻	msec	uint64	8	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスID 1	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスの信頼度 1	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスID 1	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスの信頼度 1	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスID 2	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスの信頼度 2	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスID 2	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスの信頼度 2	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスID 3	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスの信頼度 3	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスID 3	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスの信頼度 3	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスID 4	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	クラスの信頼度 4	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスID 4	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	サブクラスの信頼度 4	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	存在信頼度	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	測地系	–	uint32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	緯度	0.1 micro deg	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	経度	0.1 micro deg	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	標高	0.01 m	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	CRP ID	–	uint32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	CRP基準X座標	0.01 m	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	CRP基準Y座標	0.01 m	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	CRP基準Z座標	0.01 m	int32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	レーン数	–	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	レーン番号	–	int8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	レーン内横方向位置	%	uint8	1	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	始点CRP ID	–	uint32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	終点CRP ID	–	uint32	4	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	道のり距離の比率	0.01%	uint16	2	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf
	レーンID	–	uint64	8	CooL4 データ連携PF API仕様（案）v0.6.0参照 https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000305.pdf

図 298　物標情報の UDP メッセージフォーマット（一部）

- 協調型路側機を使った実験環境

2022 年度 6～8 月の実験では、データ連携 PF と ROS2DMI が活用された。図 299 のように、春日井市高蔵寺の石尾台小学校前の交差点に設置した 2 台の協調型路側機内の計算機に、ソフトウエアとしてデータ連携 PF を載せた(路側 DM1 と路側 DM2)。路側 DM から情報を AWS 上で動作するデータ連携 PF(中域 DM)へ送信する。中域 DM に集めたデータは、さらに自動運転車両上で動作するデータ連携 PF(車載 DM)へ提供され、最終的には自動運転システムに活用される。通信にはデータ保護の観点から VPN (Virtual Private Network)を経由している。

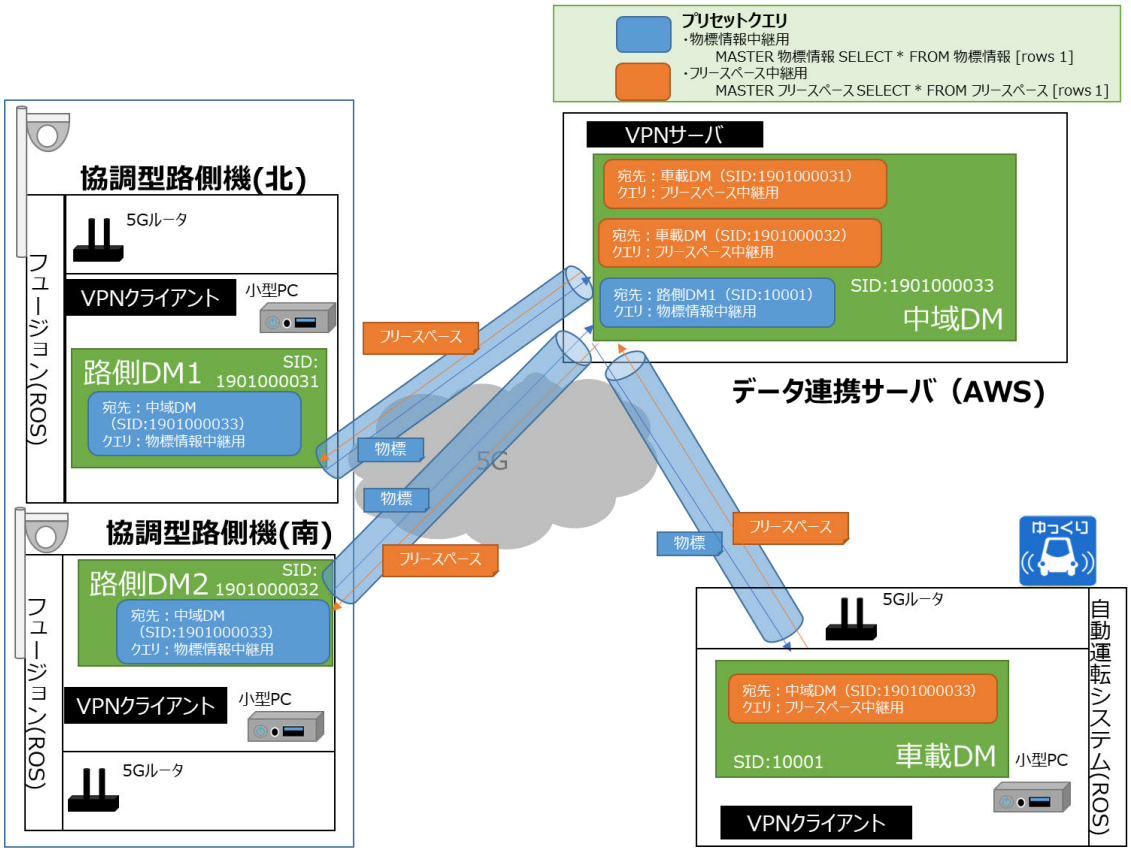


図 299　6 月～8 月実験環境

さらに 2022 年度 1～2 月の実験では、協調型路側機が 3 台に増えた状態で自動運転車との連携が行われており、そこでもデータ連携 PF と ROS2DMI が活用された（ここでは実装部分のみの成果を記載するものとして、実験結果については別途記載する)。

(3) 信号予定情報の API 設計と実装

データ連携 PF が ROS2DMI を介して取り込んだ信号予定情報をさらに外部システムへ提供するための機能を開発した。今回の開発では、データ連携 PF に接続するための Web インタフェースで

ある DMWebLib を拡張し、RESTful API によるアクセス手段を新たに追加した。各 Web クライアントが、RESTful API を通じて，信号予定情報を取得できる。

既存部分および今回開発した部分も含めた DMWebLib の全体像を図 300 に示す。図 300 中の「DM サーバ」はデータ連携 PF が動作するサーバ、「DMWebLib サーバ」は DMWebLib の本体にあたる機能が配置されたサーバ、「Web クライアント」は HTTP リクエストを送信する組織外の Web ブラウザやプログラムとする。全体像に示した通り、今年度は DMWebLib サーバに含まれる機能のうち、RESTful API 側の機能を開発した。主な開発コンポーネントは、起動時のクエリ情報読み込みなどを行う「クエリマネージャ」、既存の DMLib を呼び出すための「DMLib ラッパー」、クエリ結果を一時保存するための「データキャッシュ」、Web クライアントからの HTTP リクエストを受けてデータを返す「REST インターフェースモジュール」である。

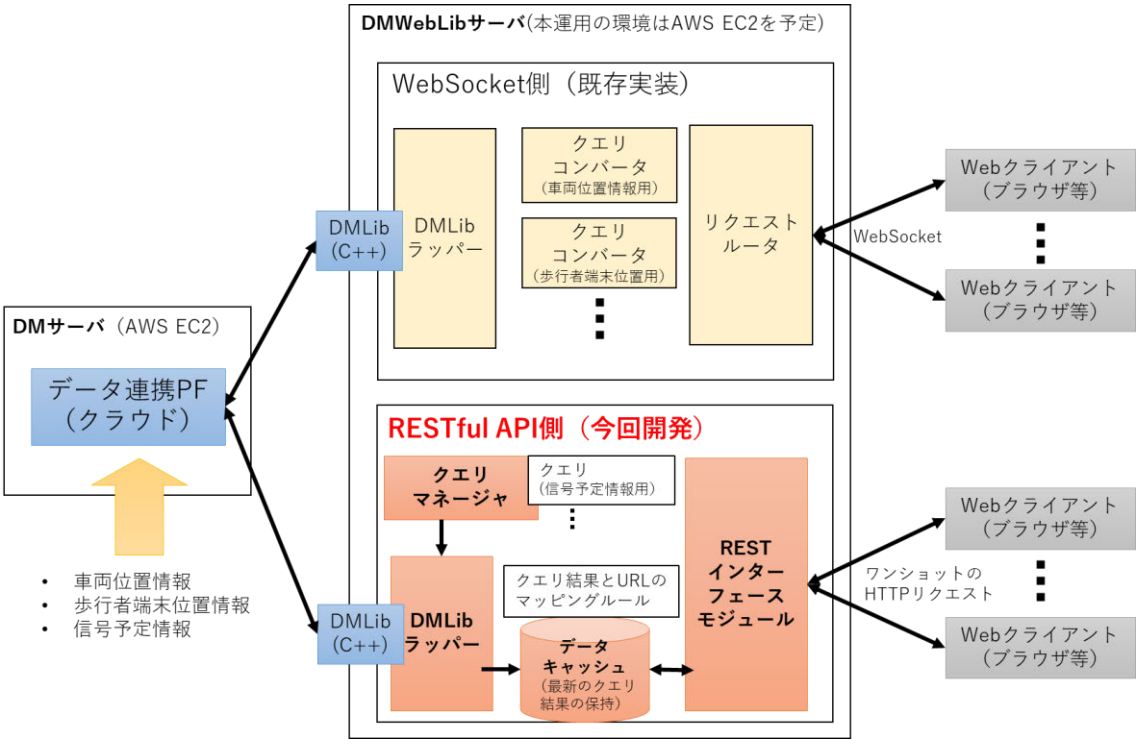


図 300　信号予定情報の提供 API（DMWebLib）

本番運用時の DMWebLib サーバにアクセスするための URL のドメイン名(FQDN)の候補は以下の通りになっている（開発中のため、特定の端末からのアクセスに限定した運用になる予定)。

https://api.dynamicmap.org/

ドメイン名の後にくる、信号予定情報にアクセスするためのパスの仕様は以下のとおりに定めた。crpid は交差点 ID を指定するためのパラメータ名で、xx の部分は交差点ごとに割り振られた値となるものとする。Web クライアントがこのパスへアクセスした場合、結果として交差点 ID=xx

に対応する交差点に設置されたすべての信号機からの信号予定情報が JSON 形式で戻ってくる。

v1/traffic_signals/?crpid=xx

Web クライアントが DMWebLib サーバの RESTful API 側へ送信する HTTP リクエストのヘッダには表 107 の情報をつけるものとした。Authorization の[KEY]の部分は、アクセス制限のためのキー情報で、正式な Web クライアントに対して事前に発行されるものとする （Web クライアントごとに別のキーを用いることを前提とする）。

表 107 HTTP リクエストヘッダ

Request Header	
Accept	*/*
Content-Type	application/json
Authorization	[KEY]

Web クライアントへ返す HTTP レスポンスのヘッダには、Response Code を付与し、リクエストの成否がわかるようにした（表 108)。成功した場合のレスポンスの本文は、クエリ結果の情報を JSON 形式の文字列に落としたものを返す。

表 108 HTTP レスポンスコード

Response Code	
200	信号予定情報の取得に成功
403	認証に失敗(KEY誤り)
404	存在しない交差点IDに対するリクエスト

(4) 物標情報フュージョンの拡張

データフュージョンアプリケーションの拡張に着手する前に、昨年度時点のソフトウエアの問題点の洗い出しを行った。テストにおいては、春日井市高蔵寺の協調型路側機から取得できる物標情報の実データが活用された。協調型路側機の物標認識システムは 3 社がそれぞれ独立で開発したもので、LiDAR、カメラ、レーダーなど異なる種類のセンサーが使われている。テストの結果として、以下の 2 つの問題点が明らかになった。

- ［問題 1］物標情報に不明値が含まれる場合に正しく対応できていなかった
- ［問題 2］現状の閾値のパラメータが適切でなく，チューニングが必要

問題 1 については、物標情報のデータフォーマットの仕様に不明値を意味する値が明確に取り込まれる前にデータフュージョンアプリケーションの実装が開始されたことが原因で、不明値の

解釈が正しくされていなかったことに起因する。問題 1 への対処として、データフュージョンアプリケーションの各コンポーネントに対して、改めて単体テストを実施している（1 月時点では単体テストを実施中。年度内に完了予定)。

問題 2 については、複数の物標認識システムから物標情報が得られたときに、フュージョン対象となる物標情報を、位置、速さ、移動方向などの類似性に基づいて判断しているが、これらの値が完全に同一になる場合は少ないため、ある程度のマージンを持たせている。このマージンの設定値が昨年度時点では十分に検討されておらず、適切でない値が与えられていたことがわかった。問題 2 への対応として、パラメータのチューニングを実施していくことになったが、実データを活用することは当然として、実データだけでは目的の状況を引き起こすことが難しい場合もある。そこで、データフュージョン用のシミュレーション環境を構築することにした。

図 301 はデータフュージョンのためのシミュレーションの想定状況（左）と、シミュレーション環境の構成（右）である。想定状況としては協調型路側機が連続で設置されていて（図では 4 基だが変更可能)、それぞれの道路上の検知範囲が一部重複している。シミュレーション車両 A は協調型路側機の検知範囲を直線やカーブなどの設定経路に沿って移動する。協調型路側機は検知範囲内に車両 A がいるときにその位置情報を取得するが、正確な値ではなくノイズが混入した値で取得する。複数の協調型路側機が車両を検知できる区間では、データフュージョンを試みてノイズの影響を減らし、精度向上をはかることができる。

シミュレーション環境は Docker コンテナ技術を用いて実現されている。データ連携 PF とデータフュージョンアプリケーションが載った状態の協調型路側機に相当するノードを、一つのコンテナ(RSE コンテナ)にまとめてある。コンテナ技術によって管理されているため、設定ファイルによってインスタンス数を柔軟に変化させることが可能である。様々な条件でデータフュージョンアプリの評価や、パラメータチューニングを行っていく予定である（2 月末予定)。

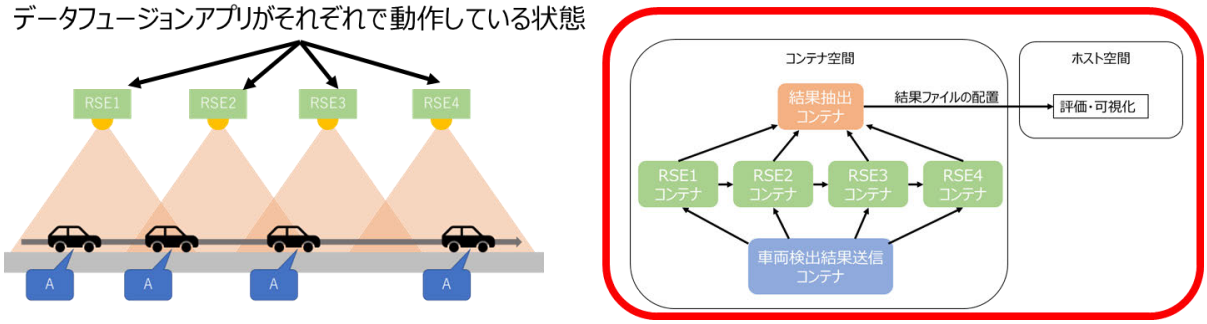


図 301　データフュージョンのためのシミュレーション環境

認識する物標情報が増えることを想定して、データフュージョンアルゴリズムの高速化も実施した。昨年度版のアルゴリズムでは、CPU を用いた処理にしか対応していなかったが、今年度は

GPU を用いた並列処理を導入した。C++で記述されたプログラムをベースに、CUDA を使って GPU に命令を渡すコードを作成した。性能向上を確認するため、実験を行った。実験環境を表 109 に示す通りで、デスクトップ環境と、組込み環境(Jetson AGX Orin)の 2 種類で行った。実験結果は表 110 である。データフュージョンアプリケーションが内部で実行している処理のうち、データアソシエーション処理については GPU の効果が出ておらず、従来通りの CPU の方が早かった。それ対して、データフュージョン処理については GPU の方が高速になった。この傾向はデスクトップ環境、組込み環境で共通だった。この結果から、データアソシエーション処理については従来通り CPU で実行し、データフュージョン処理については GPU で並列実行するという役割分担が適切であることが分かった。

表 109　データフュージョン(CPU vs GPU)実験環境

実験環境

	デスクトップPC	Jetson AGX Orin
CPU	Intel i9-9900X	Arm Cortex-A78AE v8.2
GPU	NVIDIA Geforce RTX 2080 8GB	NVIDIA CUDAコア(2048 基) Tensor コア(64基)
メモリ	64GB	32 GB

表 110　データフュージョン(CPU vs GPU)実験結果

実験結果	デスクトップPC		JETSON AGX ORIN	
単位：ミリ秒	CPUの処理時間	GPUの処理時間	CPUの処理時間	GPUの処理時間
データアソシエーション	0.071	0.636	0.062	1.148
データフュージョン	2.496	0.666	2.963	1.433

(5) 仮名 ID 変更戦略の検討と実装・評価

「仮名 ID」（または単に「仮名」と表記）は、車両が位置情報を送信する際にデータにつける固有識別子を使い捨てにし、走行しながら定期的に別の識別子に付け替えることで、論理的には異なる識別子がついた複数の移動軌跡に分割し、追跡を難しくする技術である(図 302)。本年度は、仮想車両を用いた仮名 ID 変更戦略の検討と評価、仮名 ID 変更方式の特性を調査するための商用

交通シミュレータをベースとした評価環境の開発を行った

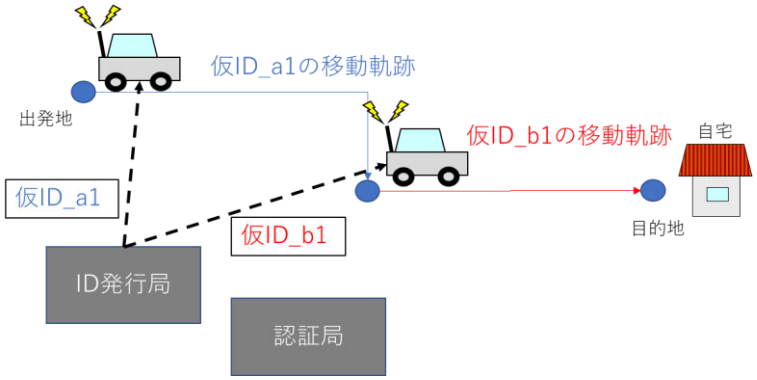


図 302　仮名 ID

- 仮想車両を用いた仮名 ID 変更戦略の検討と評価

攻撃者に位置情報を含む V2X 通信メッセージを追跡されると、攻撃者は車両の位置追跡を行うことができ、所有者の行動やそこから得られるメタデータ等の把握が可能となる。この課題を解決する有効なプライバシー保護手法として、仮名を用いた手法が知られている。仮名とは、特定の車両の位置情報などを追跡できないようにするため、V2X 通信機器に割り当てられる仮の固有識別子である。仮名は、距離経過や時間経過により変更して、使用されることが想定されており、攻撃者が仮名を含んだ特定車両のデータパケットを追跡し続けても、途中で識別子が変更されるため、追跡を困難にさせ、位置プライバシーを保護することが可能となる。しかし、単純に距離経過や時間経過等で、仮名を変更してしまうと、攻撃者は容易に仮名変更時刻を見抜くことができ、特定車両への追跡が可能となる。このことから、仮名を変更する際には、仮名変更頻度やパラメータを考慮したより複雑なアルゴリズムが必要とされており、研究が行われている。

これらの研究の多くは Mix Zone という第三者に指定された領域を利用しており、その領域内で仮名を協調的に変更することで、高いレベルの位置プライバシー保護を実現している。この Mix Zone の課題として、車両密度が低い場合、すなわち周辺車両台数が低い場合に、仮名変更を実施しても、プライバシーの担保が難しくなることが指摘されている。

ここでは、V2X 通信のプライバシー保護のために、周辺車両台数に応じて、擬似的に生成された仮想車両を使用して、Mix Zone 内で協調的に仮名を変更することで、車両密度が低い場合でも、高いレベルのプライバシー保護を実現する手法を提案する。提案する仮名方式では、信頼できる第三者機関からシミュレーションマップ上に一様に定義された円領域内で仮名変更を行う。車両が設置された任意の円領域に参加が可能であり、その後、周辺車両台数により、仮想車両台数を決定する。その後、仮想車両を含んだ車両同士で同時に仮名を変更することで、高いレベルのプライバシー保護を実現する。評価としては、プライバシー保護の要件である匿名性と、仮想車両が導入されることで、懸念される交通流に関して、シミュレーション評価を行った。

本研究での、システムモデルを図 303 に示す。システムモデルは以下のエンティティで構成されている。

第三者機関は、車両に対してその車両と仮想車両生成時のための 2 種類の仮名とその仮名に関連した秘密鍵を配布する。また、各仮名変更時刻における、Mix Zone 領域の候補地点を定義する。そして、候補地点に最も近い車両にリーダ車両になるように指示を送り、その車両に仮名変更時刻を通知する。本研究では、全ての車両は、事前に第三者機関に登録されているとし、その際に、複数の仮名及び秘密鍵を車両に配布しているとする。配布される仮名及び秘密鍵の数は十分であるとし、シミュレーション実行中に、車両は第三者機関に対して、仮名要求のリクエストを送らないことを前提とする。

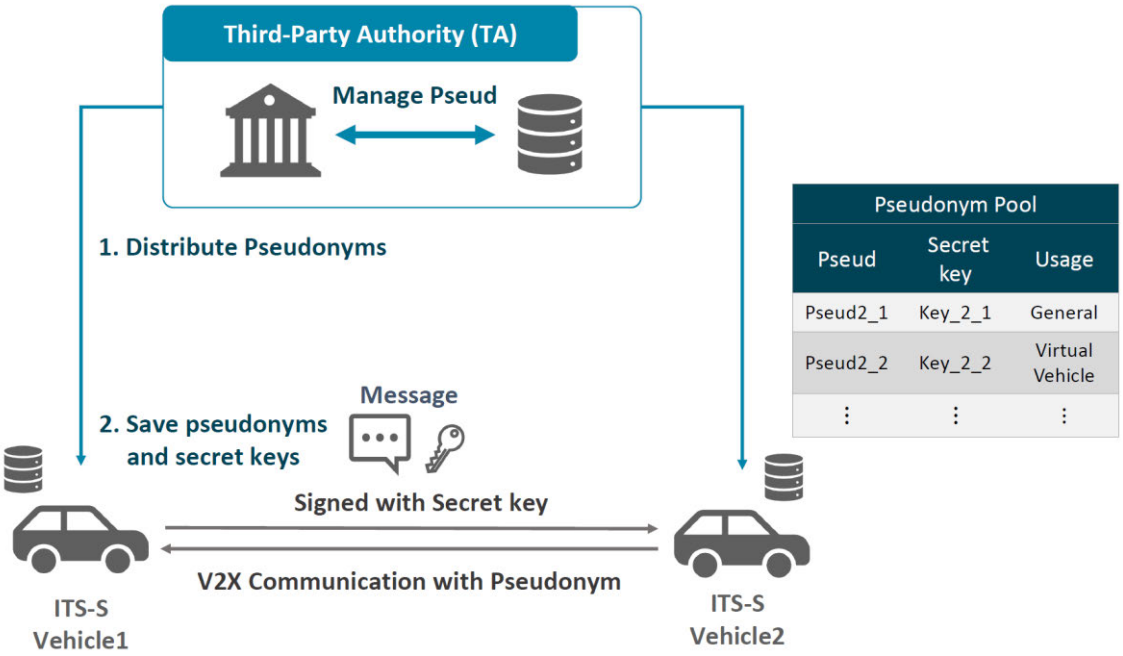


図 303　仮名変更のためのシステムモデル概要

車両は、第三者機関から複数の仮名を取得し、仮名プールに保存する。仮名プールとは、車両が複数の仮名と秘密鍵をセットにして、一時的に保存しておくプールのことを指す。車両は、受け取った仮名を用いて、車両を含む他の機器とブロードキャストにて通信を行う。公開鍵基盤(Public Key Infrastructure: PKI)と同じ仕組みで、第三者機関から受け取った仮名の証明情報を付加したメッセージを所有している秘密鍵で電子署名を行い、車両同士が通信することで、悪意ある車両のなりすましは困難となり、セキュアな通信を実現する。また、車両は第三者機関から通知された仮名変更時刻と候補地点を中心とした円領域（Mix Zone 領域）内で特定の条件を満たした場合でのみ、仮名を変更することができる。

車両には、リーダ車両とメンバ車両が存在し、第三者機関から通知された候補地点に、最も近

い車両がリーダ車両となり、それ以外の円領域内に存在する車両がメンバ車両となる。仮想車両は、リーダ車両から特定のメンバ車両に対して、生成指示があった場合のみ、メンバ車両が仮想車両用の仮名とメンバ車両とは別の位置情報、速度情報を持ったメッセージをブロードキャストすることで、周りの機器がそこにいるかのように認識できる車両のことを指す。仮想車両の生成手順の詳細については後述する。メンバ車両は指示されてから、そのメンバ車両の次の仮名変更時刻の直前まで、仮想車両用のメッセージをブロードキャストする。このため、仮想車両はメンバ車両と具体的な位置情報や速度情報は異なるが、同じルートを辿るように走行するように設定される。

第三者機関は事前に円領域の候補地点を定義しておく。候補地点は図 304 のように、シミュレーション上に一様に配置され、候補地点を中心に半径 R の円領域内の車両が特定の条件を満たした場合に仮名を変更する。また、第三者機関は、円領域の候補地点に最も近い車両に、リーダ車両を選出し、その車両にリーダ車両であることを通知する。候補地点を中心とした半径 R の円領域内に存在する車両は、メンバ車両となる。メンバ車両は、自身がメンバ車両であることを指示 されてから、仮名変更時刻まで、一定周期でリーダ車両に対して、メッセージを送信し、円領域内にいることを示す。メンバ車両が円領域から出てしまった場合は、リーダ車両へのメッセージの送信を止めて、仮名変更にも参加しない。円領域内の車両が仮名変更をする条件は、仮名変更時刻にて、最小台数が一定の閾値を下回らないことである。

リーダ車両は、円領域内の仮想車両台数とメンバ車両が、閾値を最低限上回るように、調整しながら、ランダムなメンバ車両に対して、仮想車両生成指示を出す。その後、以下の手順に沿って、仮名を変更する。

1. リーダ車両が任意のメンバ車両に対して、円領域内にいる車両が車両台数の閾値を下回っている場合に、仮想車両を生成するように指示する。ただし、メンバ車両台数が 0 である場合は、リーダ車両が仮想車両を生成する。
2. 仮想車両を生成する車両は、次の仮名変更時刻の直前まで、仮想車両用の仮名と自身とは別の位置情報や速度情報を持ったメッセージをブロードキャストする。
3. 円領域内の仮想車両を含んだ全ての車両が、仮名変更時刻にて領域内の車両台数を上回っていれば、同時に仮名を変更する。

仮名変更後、各車両は第三者機関に失効のリクエストを送信し、その後、以前使用していた仮名と秘密鍵は、失効される。

交通ミクロシュミレータの SUMO(Simulation of Urban MObility)を用いて、シミュレーション評価を行った。また、交通シナリオは Lust(Luxembourg SUMO Traffic) シナリオ 7) を採用した。Lust シナリオは、ルクセンブルクの 24 時間のトラフィックを再現したシナリオである。シミュレーションマップを図 304 に示す。

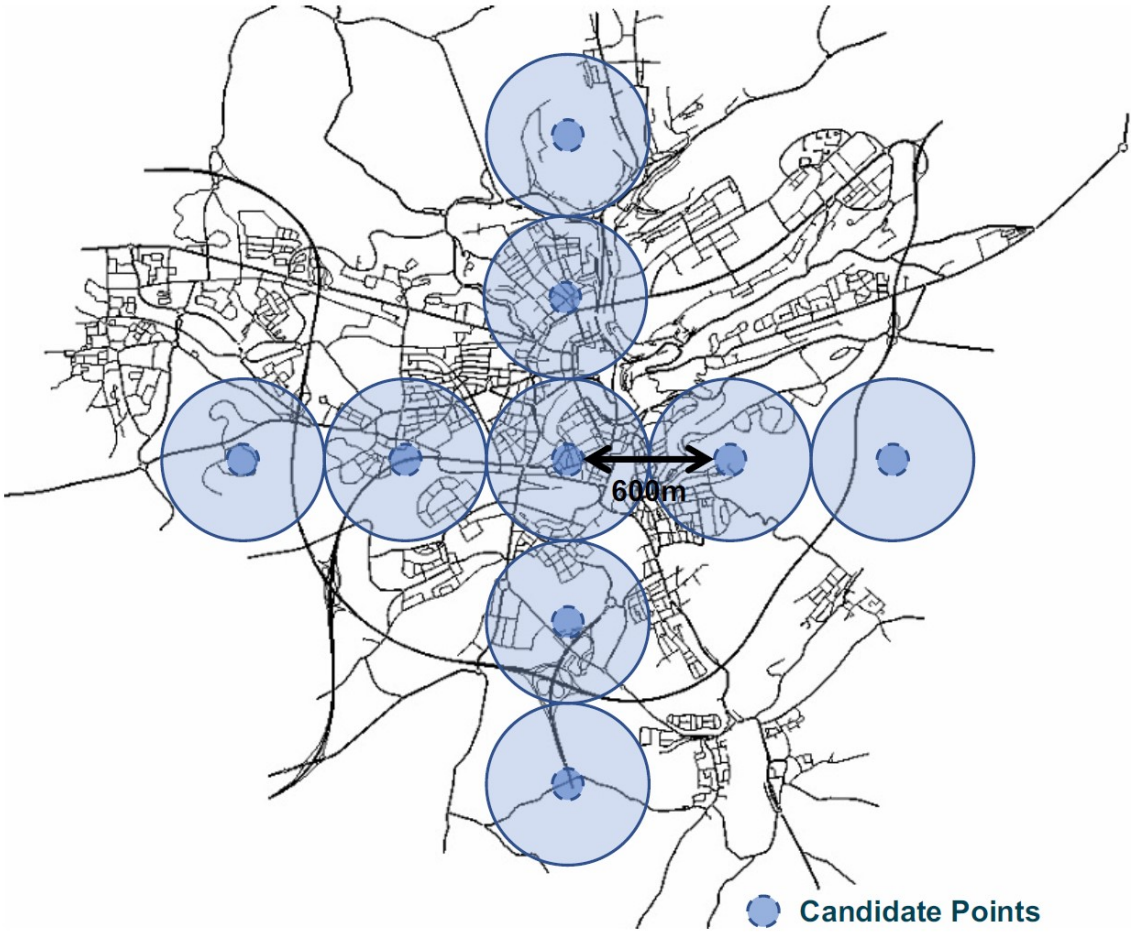


図 304　シミュレーションマップと仮名変更候補地点

ここでは、プライバシーの保護レベルを示す匿名性と、仮想車両を生成されることで懸念される交通流に関しての評価を行う。匿名性に関しては、多くの評価指標が定義されているが、本研究では車両 1 台あたりの平均匿名セットサイズと仮名変更時の平均エントロピーに着目して、評価を行う。off-peak(3am) の平均匿名セットサイズの結果を図 305 に示す。仮名変更を重ねるごとに、平均匿名セットサイズが増加している。

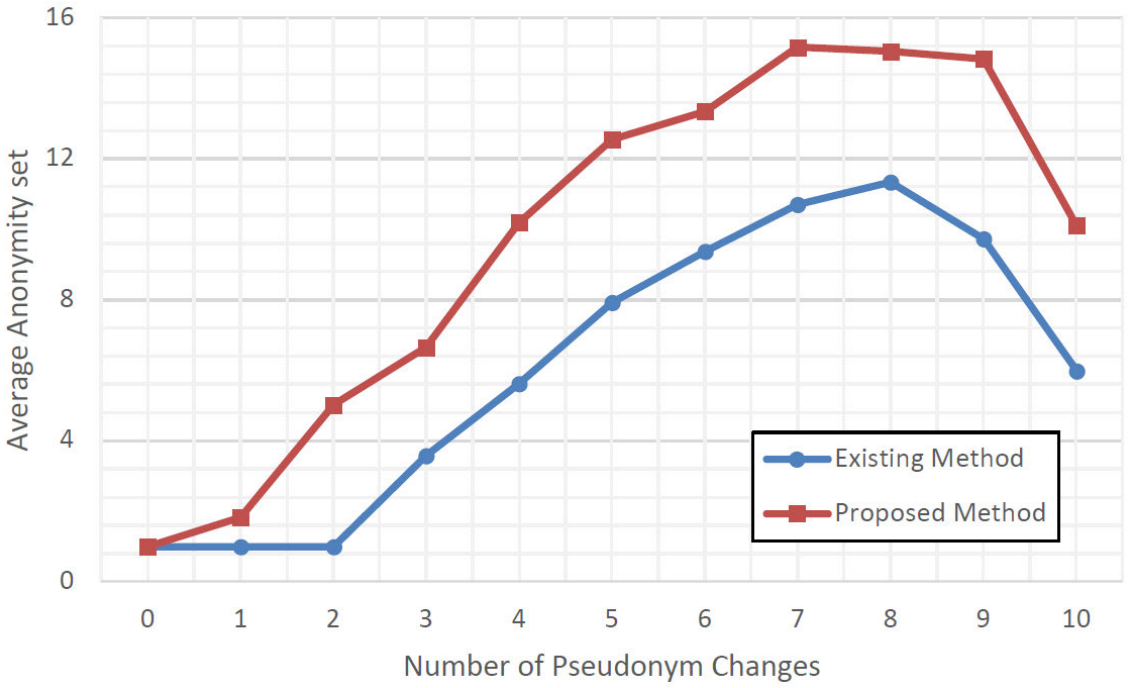


図 305　平均匿名セットサイズ

図 306 に仮名変更成功率の結果を示す。仮名変更成功率とは、第三者機関から通知される仮名変更の候補地点の中で、円領域が形成され、仮名変更ができた領域の百分率を意味している。この図から、仮名変更回数が増加するに連れて、仮名変更回数も増加している。また、既存方式と提案方式を比較すると、ここでの方式が、仮名変更成功率が高くなっていることがわかる。

匿名性に関しては、平均匿名セットサイズ、平均エントロピーの評価を行い、総括して、車両密度が低い場合で、提案方式が既存方式よりも有用であることを示した。また、交通流に関しては、大きな影響が出ないことを検証した。

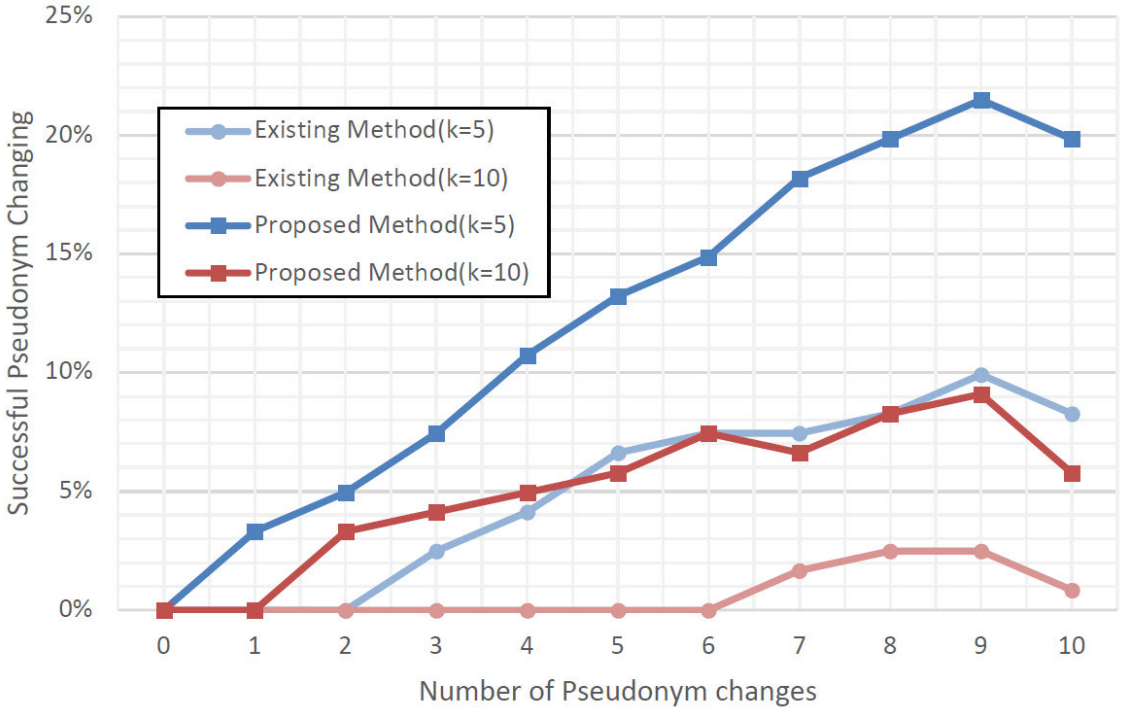


図 306　仮名変更成功率

- 商用交通シミュレータをベースとした仮名 ID 変更戦略評価環境の開発

実車を用いた実証実験で仮名変更戦略を評価しようとした場合、運用されている車両台数が限定的すぎるため（1 台または 2 台程度）、多数の車両を前提とした仮名変更戦略の効果を正しく調査することが難しい。そのため、前述のとおり交通シミュレータを前提とした評価が中心となっている。今後、様々な規模や条件・状況下での仮名変更戦略の評価を行うことが求められるため、より高機能で条件設定の柔軟性が高い交通シミュレータを用いられるようになることが望ましい。そこで今年度は商用の交通シミュレータをベースにした、仮名変更戦略の特性を調査するための評価環境を開発した。

仮名変更戦略をシミュレーション上で実験する評価環境の構成図を図 307 に示す。元になる複数の車両の移動軌跡は、商用の交通シミュレータ(PTV Vissim を使用)により生成する。道路ネットワーク、交通ルール、走行経路、発生車両台数、シミュレーション時間、シミュレーションフレーム数などが調整値として与えられる。Vissim が生成する車両の移動軌跡は（シミュレーション時刻， 車両 ID， x 座標， y 座標， 速度， 進行方向）を基本単位とするデータの系列である。車両 ID のついた状態の移動軌跡を受け取って、本研究で実装した「仮名付与・変更プログラム」が、仮名が付与された移動軌跡へ変換する。実装されている仮名変更戦略の機能は、周囲に自車を含めて k 台の車両がいるときに一斉に仮名を変更する「協調変更」と、仮名変更した後の一定期間 τ は位置情報を出さずに移動し、 τ 後から位置情報を再発信する「Silent Period」である。他にも調整可能なパラメータとして、各車両の通信可能距離 r などがある。最後に、仮名の変更前

後の関連付けが推測可能かを判定する「評価プログラム」があり、攻撃モデルに基づく推測を実施する。攻撃モデルは現段階の実装では仮名の変更前後の位置の近さと、進行方向の近さから候補を絞り込むものが用意されている（図 308)。評価プログラムが出力できる評価指標としては、仮名変更率、平均仮名変更回数、平均匿名セットサイズ（仮名変更 1 回あたりの匿名セットサイズの平均値)、平均エントロピーである。

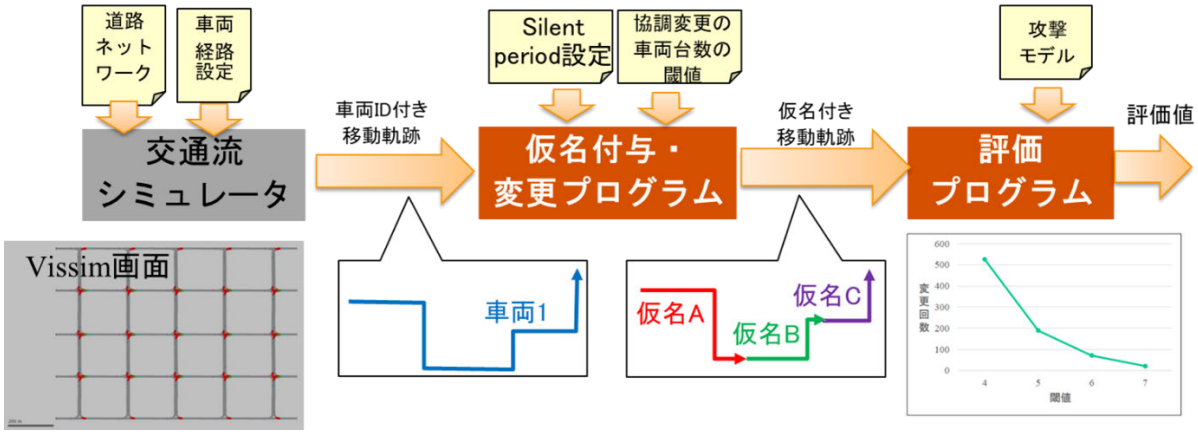


図 307　仮名 ID 変更戦略のシミュレーション評価環境

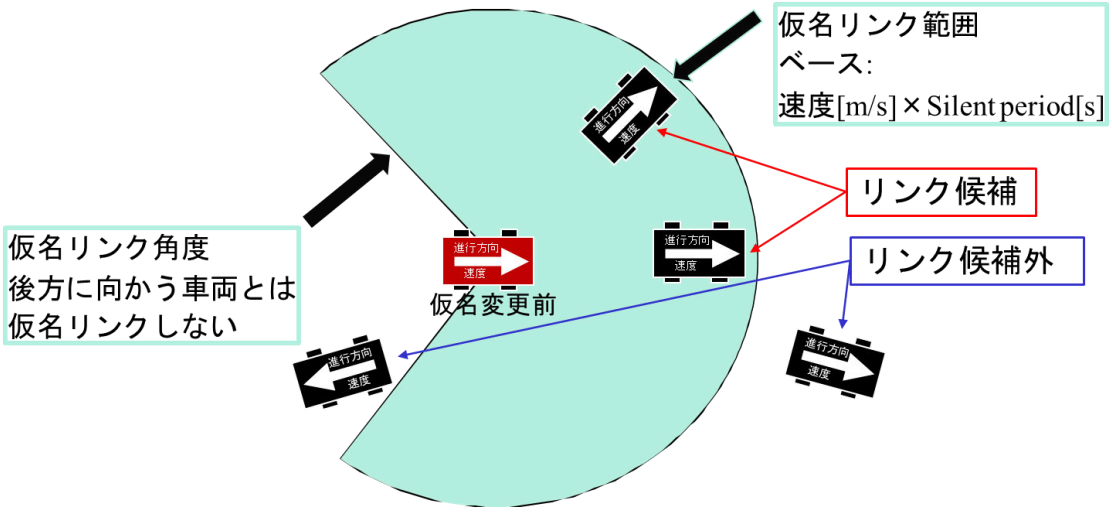


図 308　攻撃モデル例

この評価環境を用いて、実際に仮名変更戦略の評価が行えるかの検証を行った。今回対象とする仮名変更戦略は、「自身を含めて半径 r[m]内に車両が閾値 k[台]以上存在するときに協調的に仮名変更を行う」ものとして、通信半径 r と閾値 k を変更したときの挙動を調査した。道路ネットワークは Vissim の GUI を使って作成した、縦 10 本×横 5 本の道路からなる格子状の仮想地図で、交差点間隔 200m、シミュレーション時間は 3600 秒、シミュレーションフレーム数は毎秒 10

フレーム、車両発生は 10 か所から 9 秒おきに 1 台とした。今回固定のままにしたパラメータとして、仮名変更後の silent period は 10 秒、次の変更までの最小間隔は 20 秒とした（これらも変更しての実験は可能である）。

図 309 は、k=4 に固定して、通信半径 r を 100～200m の範囲で変えた時の仮名変更率、平均仮名変更回数、平均匿名セットサイズ、平均エントロピーを示す。通信半径を大きくするほど、仮名変更率、平均仮名変更回数、平均エントロピーがともに増加している。平均匿名集合サイズはほとんど変化していない。この道路ネットワークと交通量、仮名変更戦略の組合せでは通信半径が広い方が、プライバシー保護性能が高まることがわかる。

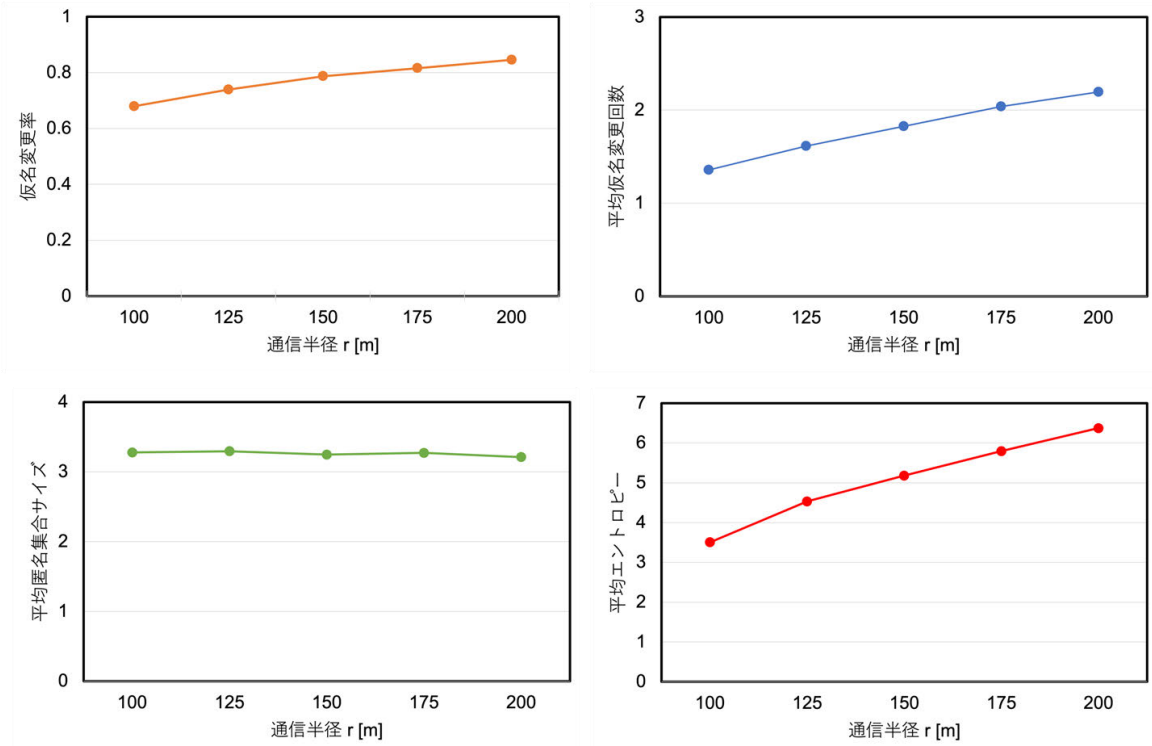


図 309　通信半径 r を変えた仮名変更戦略の評価結果

図 310 は、通信半径 r=150m に固定して、協調変更の閾値 k を 2～6 台の範囲で変更したときの、仮名変更率、平均仮名変更回数、平均匿名セットサイズ、平均エントロピーを示す。同時変更する車両台数の閾値を大きくするほど、仮名変更率、平均仮名変更回数ともに減少している。平均匿名集合サイズは増加し続けているが、平均エントロピーでみると閾値 k=3 で最大となり、以降は減少していくことがわかる。この道路ネットワークと交通量、仮名変更戦略の組合せでは閾値 k=3 の場合が最もプライバシー保護性能が高まることがわかる。

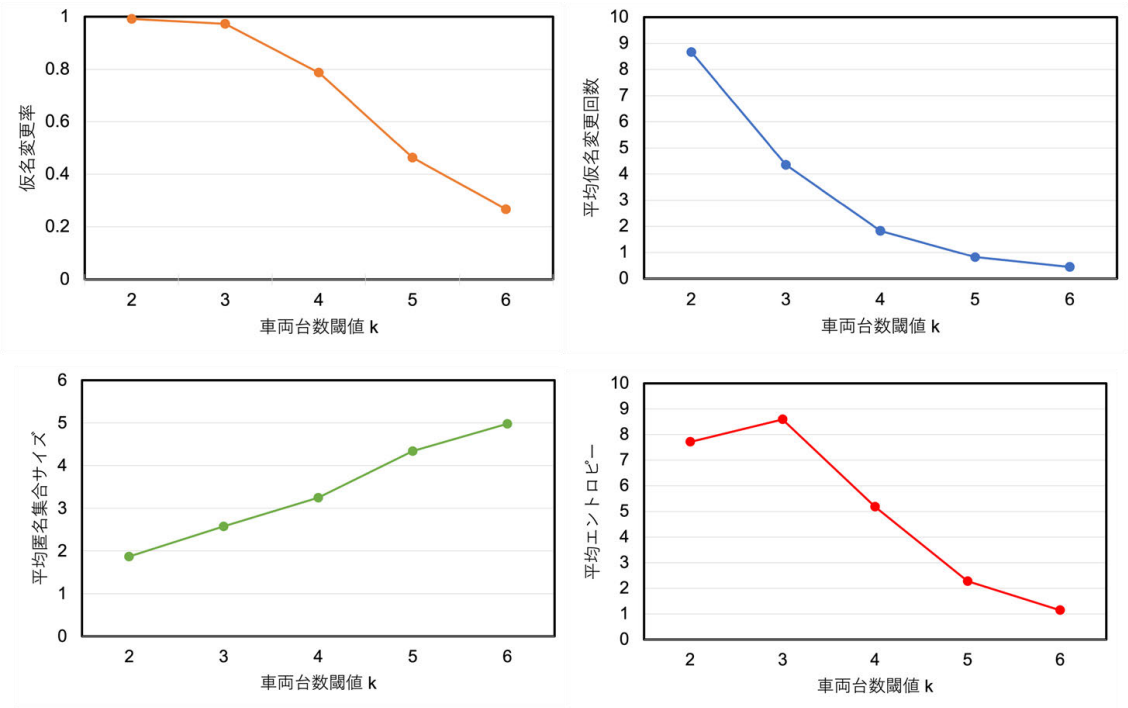


図 310　閾値 k を変えた仮名変更戦略の評価結果

上記の評価結果から、今年度開発した評価環境を用いることで実際に仮名変更戦略の特性が調査できることが検証できた。今後はさらに別の攻撃モデルを実装して、仮名変更前後の対応付けを高度にしていくなどの改良を行っていく。そして、仮想車両を用いた仮名変更戦略の評価の実施や、さらなる仮名変更戦略の検討を行っていく。

6) データ連携 PF の評価環境の構築

■ 該当項目の背景と目的

自動運転レベル 4 を実現するためには、他の交通参加者の位置や運動等を正確に計測し、交差点などにおいて適切な通行判断を実施する必要がある。そこで、者協調型路側機は既存の自動運転車両と協調型路側機を連携させることで協調型路側機から配信される交通参加者の情報や信号予定情報を取得することによる支援効果を検証する。また、自動運転車の自車情報や自律系センサーによる物標上検出情報、フリースペース情報をデータ連携 PF を通じて配信することで、他の車両でも活用できるようにする。

■ 実施方針

既存の自動運転システムに対してデータ連携 PF と情報を授受するシステムを開発する。これにより、協調型路側機から得られた他の交通参加者情報を活用した交差点右左折時の自動通過判断機能、および信号予定情報を活用した信号交差点通過判断機能を開発し、支援効果の検証実験を実施する。

■ 実施事項と実施方法

(1) 協調型システムを活用した交差点右左折および信号交差点走行の自動化

データ連携 PF を通じて協調型路側機から得られた物標情報および信号機情報を取得し、交差点右左折および信号灯色と連動した停車/通過を判断できるよう、自動運転システムの改修を実施した。まず、交差点右左折時の物標情報活用について報告する。

自動運転車が交差点を右左折する際には、優先すべき交通参加者を検出し、必要に応じて停止線などで待機する必要がある。その時、自動運転車に搭載されるセンサーの死角や性能不足等により対象を検出することが困難であれば、自動運転レベル 4 を実現することは難しい。そこで、協調型路側機を用いて交差点周辺を計測し、交通参加者の位置や移動量を検出することができれば、交差点通過の自動化を実現できる可能性が高い。そこで、協調型路側機から得られる物標情報、特に車両位置と速度を使用し、交差点通過判断を行うシステムを実装した。処理の概要を図 311 および以下で説明する。

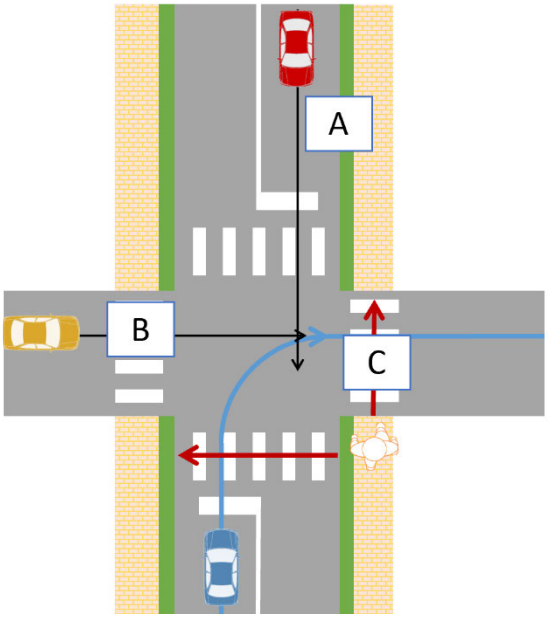


図 311　右左折時に使用する物標情報

A) 対向車線上の物標

右折時に対向車線を通過する場合、対向車線上の物標情報を取得し、交錯地点までの到達時間を求め判定条件とする。本プロジェクトで実施する実験等では到達時間 7 秒以内に車両等の物標が取得された場合、停車位置で待機するものとした。

B) 合流車線上の物標

右左折時に合流先の車線に侵入しようとする優先車両があるかどうかを判定するために、合流地点後方の物標情報を取得し、合流地点までの到達時間を求め判定条件とする。本プロジェクトで実施する実験等では、対向車線と同様に、合流地点に 7 秒以内に進入する車両等の物標が取得された場合、停車位置で待機するものとした。

C) 横断歩行者

交差点を横断しようとする歩行者に関しては、本年度の研究では取り扱わないものとした。その理由は、歩行者の横断判定には高度な移動予測（横断意図の予測）等が必要であり、本年度はその計測精度のみを評価対象とし、自動運転車の行動への反映を行わないものとした。

以上で説明した A および B の優先交通参加者の情報取得による交差点自動通過判断の効果検証に関しては(3)で報告する。

次に、信号交差点通過時の灯色および灯色の変化予定情報の取り扱いについて説明する。協調型路側機からは、信号予定情報が 1 秒間隔で 1 サイクル分配信される仕様となっている。よって、

信号機のある交差点を通過する際には、自動運転車は現在の灯色のみでなく、次の灯色に変化するまでの残時間を得ることができる。この点は協調型路側機からの情報取得が、カメラなどによる灯色のみの取得に対して優位な点である。残時間を得られる利点としては、交差点内を比較的低速で走行する自動運転車が、交差点内を走行している最中に交差車線側の信号が青に変わるような状況を避けられる場合や、青信号が通過直前に黄色に変わることで急制動が生じるという事象も避けることができる。このような利点から、自動運転車が現在灯色と残時間を使用し、より安全に信号交差点の通過可否を判断できるシステムを構築した。具体的には、自動運転車が交差点に進入する時点で、黄色になるまでの残時間が 3 秒を下回っている場合、信号停止線で停車するように減速を行うこととした。この時間は、緩やかな減速度で停止線に停車し、情報取得の遅延等が生じた際にも対応可能な時間を確保する必要があることから、情報更新間隔と自動運転処理等の遅れを考慮し設定した。本設定による信号交差点通過の効果検証については(3)で報告する。

(2) 自動運転車の物標・フリースペース情報の共有化

データ連携 PF に対して自動運転車自身の位置や速度情報、および、自動運転車の障害物検出機能を利用した他の物標情報およびフリースペース情報を配信するシステムを実装した。自動運転車の自車位置情報等は一般的に高精度であり信頼性が高いので、他の自動運転車やレベル 3 以下の車両でも活用がしやすく有用性が高い。また、自動運転車に搭載されたセンサーによる自律的な物標検出も、限定的なエリアにおいては高精度であり、その物標情報やフリースペース情報は有用である。そこで、自動運転システムの所有する自車位置等の自己物標情報および障害物検出結果等をデータ連携ＰＦに配信するシステムを実装した（図 312)。本実装に際して、次に挙げる工夫を行った。

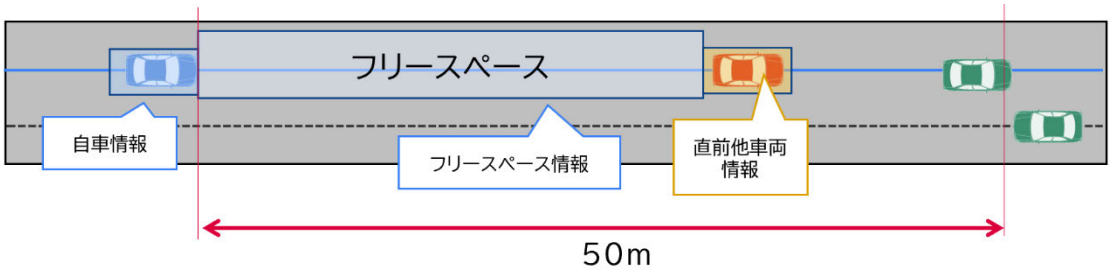


図 312　自動運転が配信する物標・フリースペース情報

まず、自動運転車の物標検出能力を考慮し、50m 前方までの障害物のうち、最も近くにある 1 種のみを出力することとした。これは、50m 以遠の物標は誤認識率が高まり、データ連携 PF 上でのセンサーフュージョン等に外乱を与える情報となってしまう可能性が高いからである。同様に、前方に車両が走行している場合等の遮蔽が生じる状況下では、直前の車両以遠の物標検出精度が

低下することから、出力する物標は直前の 1 種のみとした。次に、フリースペース情報は車両前方に先行車が検出された場合のみ、その車両との間の空間をフリースペースとして提供する。これは、センサーの見落としなどにより物体が存在する地点にフリースペース情報を与えないようにするためである。前方に先行車がいる場合では、その車両が前方を走行できていることから、路面上に走行の支障となる物体が存在する可能性が低いので、フリースペースであることが高い確率で説明できるからである。以上の情報をデータ連携ＰＦの仕様に従い配信するシステムを実装し、実走行において送信実験を行い、情報提供が可能であることを確認した。

(3) 協調型システムの交差点走行支援効果検証

(1)で説明した交差点右左折時の自動走行判断に協調型路側機から取得した物標情報を使用する自動運転システムを実装し、春日井市高蔵寺地区に設置した協調型側機（図 313）を使用し、その支援効果を検証するための走行実験を実施した。実験の詳細および評価結果については、「2-3.I.7)(4)協調型路側機とデータ連携 PF の評価」で報告する。

7) データ連携 PF と協調型路側機の評価

■ 該当項目の背景と目的

自動運転車両には周囲環境の情報取得のために様々なセンサーが搭載されている。しかし、センサーの検知範囲の上限や検知すべき物標が物体に隠れてしまうオクルージョンにより、自車両に搭載されているセンサーだけでは取得できる情報に限界が発生する。この問題の対策として、路側に設置したセンサーより周囲の環境情報を取得し、データ連携 PF を介して自動運転車両に共有することが挙げられる。この有効性を検証するため、昨年度に 3 台の協調型路側機を公道に設置した。本実施項目では、データ連携 PF と協調型路側機の評価として、次の 4 つの評価を行う。

(1) 通信機器の通信性能評価

(2) 協調型路側機に搭載された物標認識システムの認識精度評価

(3) データフュージョンアプリケーションの評価

(4) 協調型路側機とデータ連携 PF の自動運転車両に対する支援効果の評価

■ 実施方針

(1) 通信機器の性能評価では、通信機器を搭載した車両で協調型路側機周辺を走行したときに得られた通信状況のデータを用いて評価を実施する。(2) 物標認識システムの認識精度評価と(3) データフュージョンアプリケーションの評価では、正解のデータとの比較による評価を実施する。(4) 協調型路側機とデータ連携 PF の自動運転車両に対する支援効果の評価では、協調型路側機から取得した物標情報をもとに交差点右左折時の自動走行判断を行う自動運転車両を用いて支援効果の評価を実施する。

■ 実施事項と実施方法

(1) 評価を実施した協調型路側機

評価を実施した協調型路側機は図 313 の星印の場所に設置した 3 台の協調型路側機である。以降、3 台の協調型路側機をそれぞれ RSU1、RSU2、RSU3 とする。それぞれの協調型路側機のハードウエア構成について説明する。

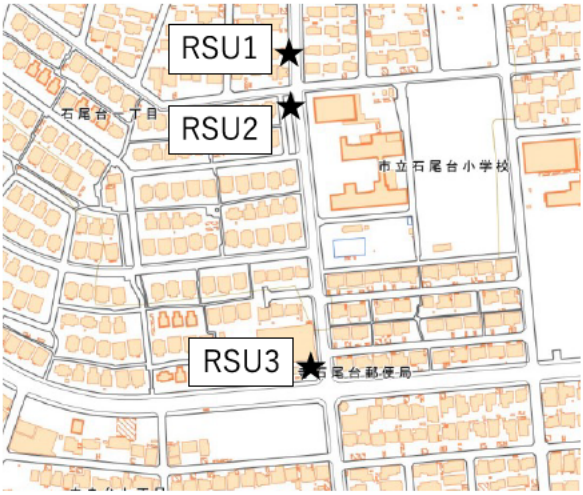


図 313　評価対象の協調型路側機の設置場所

まず RSU1 について説明する。図 314 の装置が RSU1 である。RSU1 には 3 社（A 社、B 社、C 社）の物標認識システムが搭載されている。図 315 に RSU1 のハードウエア構成を示す。RSU1 に搭載された各センサーの検知範囲は図 316 の通りである。LiDAR1 は交差点内の物標を検知する目的で設置されており、LiDAR2 と Radar は交差点に接近する物標を検知する目的で設置されている。LiDAR1 は A 社と B 社が共用している。LiDAR2 は C 社が使用しており、Radar は B 社が使用している。なお ITS 無線機については E 社から貸与いただいたものである。図 317 に RSU1 に搭載されている物標認識システムと出力情報を示す。物標認識システムは各社の計算機内で動作しており、A 社の物標認識システムからは物標情報が DM 計算機に出力され、B 社と C 社の物標認識システムからは物標情報とフリースペース情報が DM 計算機に出力される。

図 314　公道に設置した RSU1 の様子

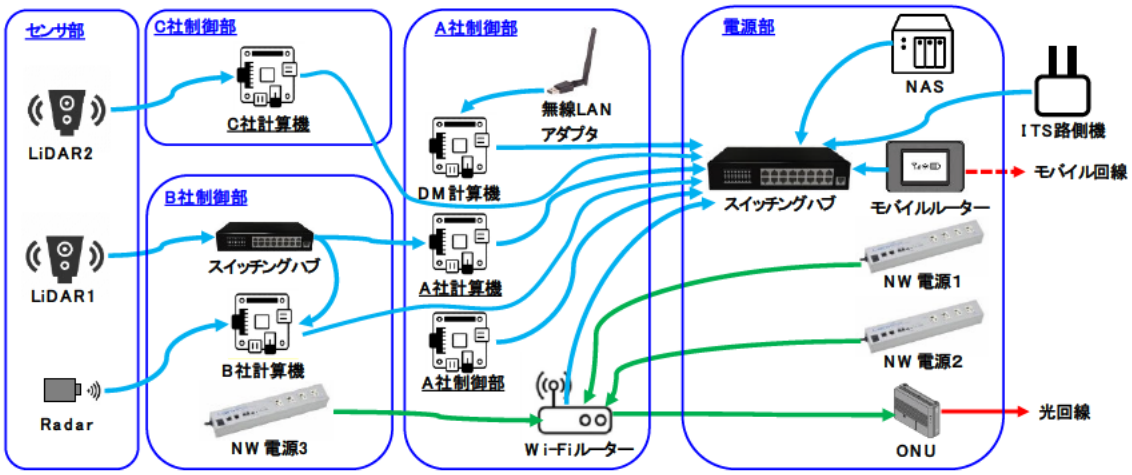


図 315　RSU1 のハードウエア構成

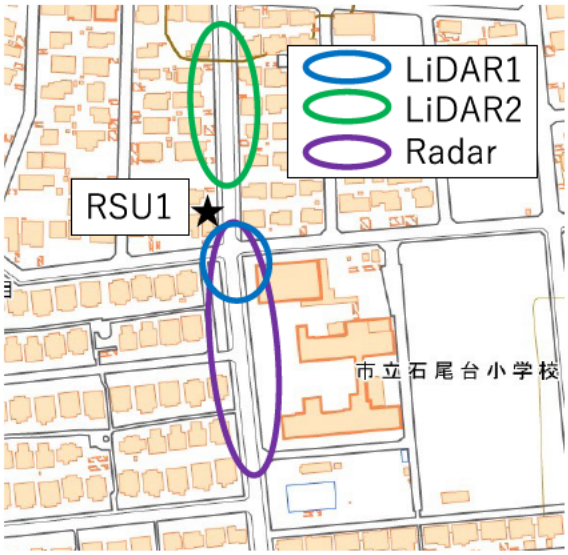


図 316　RSU1 に搭載されたセンサーの検知範囲

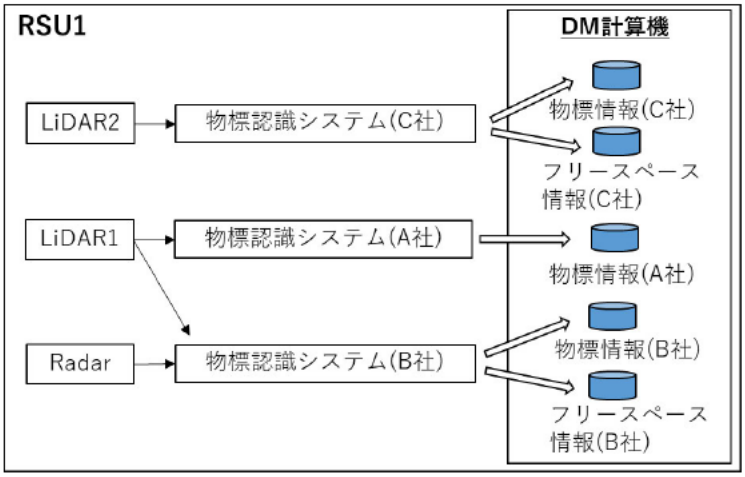


図 317　RSU1 の物標認識システムと出力情報

使用したハードウエアモジュールは表 111 の通りであり、それぞれの役割は次に示す通りである。

- LiDAR：物標情報を取得するためのセンサーである。周囲にレーザー光を照射し、物体に当たって反射するまでにかかった時間や反射したレーザー光の位相差により、物体までの距離を測定することができる。LiDAR からはレーザー光が反射した地点の集合体である点群データが出力される。
- Radar：遠距離の物標情報とフリースペース情報を取得するためのセンサーである。測定原理や出力される情報は LiDAR と同様である。ただし、LiDAR は 3 次元空間を計測できるが、Radar は 2 次元空間しか計測できない。そこで、この物標認識システムでは、Radar の 2 次元計測領域が地面に対して垂直になるように Radar を設置して、道路上の物標とフリースペースの情報を取得する。
- ITS 路側機：ITS 専用周波数である 760MHz 帯の無線通信を利用して、ITS 車載機や ITS 路側機とデータの送受信を行う。
- A,B,C 社計算機：LiDAR が出力した点群データより物標の認識を行い、物標情報を作成する。
- A 社制御部：LiDAR、A 社計算機、ITS 無線機の死活監視を行う。異常があった場合は DM 計算機に異常を通知する。また ITS 無線機を用いて情報を送受信する際のメッセージのフォーマットの変換を行なっている。
- DM 計算機：A、B、C 社計算機が出力した物標情報を取得して、データ連携プラットフォームに共有する。またデータ連携プラットフォームに共有された物標情報、フリースペース情報、信号情報を取得してデータフュージョンを行い、各情報の精度や信頼性した情報をデータ共有プラットフォームに共有する。
- 無線 LAN アダプタ：無線 LAN 通信を使用して他の無線 LAN アダプタと物標情報、フリースペース情報、信号情報の送受信を行う。通信方式は端末同士が直接通信できるアドホックモードを使用している。
- スイッチングハブ：各機器を ethernet ケーブルで接続するための装置である。
- ONU：光回線を通っている光信号をデジタル信号に変換する装置である。
- Wi-Fi ルーター：インターネットに接続するための機器である。ポートフォワーディング機能を使用しており、インターネット側の IP アドレス宛の通信を LAN 側機器の特定のポートへ転送する。
- モバイルルーター：モバイル回線を使用してインターネットに接続するための機器である。ポートフォワーディング機能を使用しており、インターネット側の IP アドレス宛の通信を LAN 側機器の特定のポートへ転送する。

- NAS：ネットワークに接続することができるハードディスクである。各機器のログファイルや実験データを蓄積する。
- NW 電源：インターネットを使用して遠隔から電源の切り替えを行うことができる電源タップである。

表 111　RSU1 に使用されているハードウエアモジュール

#	機器名称	型番	メーカー
1	LiDAR1	vlp-32c	Velodyne Lidar
2	Radar	ARS408-21	Continental Engineering Services
3	ITS路側機	-	E社
4	A社計算機	AX720-X32-FN02	Aetina Corporation
5	A社制御部	AN810-XNX-BN02	Aetina Corporation
6	B社計算機	ECX-2400F-PEG	HPCシステムズ株式会社
7	DM計算機	AN810-XNX-BN02	Aetina Corporation
8	無線LANアダプタ	WN-G300UA	株式会社アイ・オー・データ機器
9	スイッチングハブ	BS-GS2016(16ポート)	株式会社バッファロー
10	ONU	GE-PON-ONU タイプD タンタイ	NTT西日本
11	Wi-Fiルーター	RT-AX56U	ASUSTeK Computer Inc.
12	モバイルルーター	K5G-C-100A	京セラ株式会社
13	NAS	HDL-TA2	株式会社アイ・オー・データ機器
14	NW電源1,2,3	RPC-M4LS	明京電機株式会社

次に RSU2 について説明する。図 318 の装置が RSU2 である。RSU2 には A 社の物標認識システムが搭載されている。図 319 に RSU2 のハードウエア構成を示す。センサーの検知範囲は図 320 の通りであり、LiDAR は交差点内の物標を検知する目的で設置されている。図 321 に RSU2 に搭載されている物標認識システムと出力情報を示す。物標認識システムは A 社計算機内で動作しており、物標情報が DM 計算機に出力される。

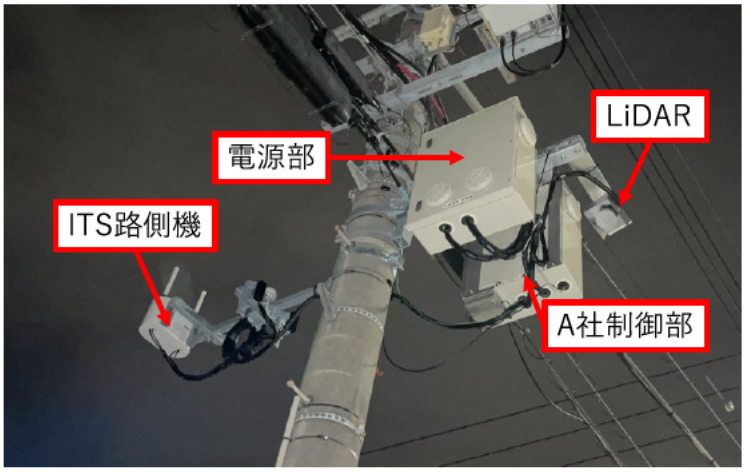


図 318　公道に設置した RSU2 の様子

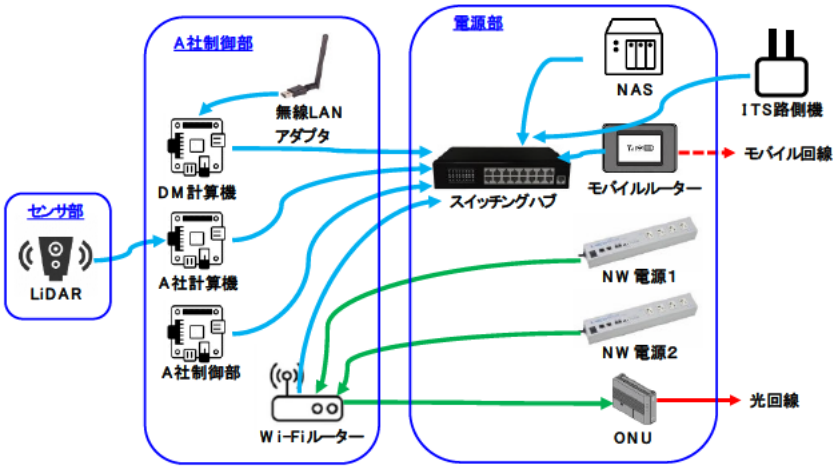


図 319　RSU2 のハードウエア構成

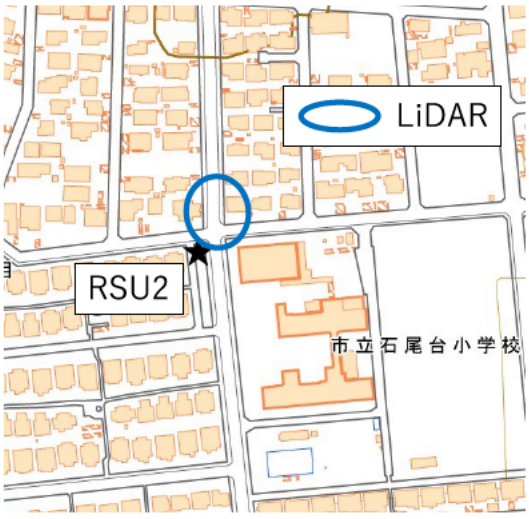


図 320　RSU2 に搭載されたセンサーの検知範囲

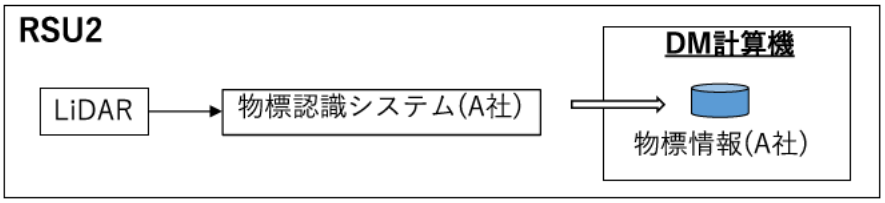


図 321　RSU2 の物標認識システムと出力情報

使用したハードウエアモジュールは表 112 の通りであり、それぞれの役割は次に示す通りである。

- LiDAR：物標情報を取得するためのセンサーである。周囲にレーザー光を照射し、物体に当たって反射するまでにかかった時間や反射したレーザー光の位相差により、物体までの距離を測定することができる。LiDAR からはレーザー光が反射した地点の集合体である点群データが出力される。
- ITS 路側機:ITS 専用周波数である 760MHz 帯の無線通信を利用して、ITS 車載機や他の ITS 路側機とデータの送受信を行う。
- A 社計算機：LiDAR が出力した点群データより物標の認識を行い、物標情報を作成する。
- A 社制御部：LiDAR、A 社計算機、ITS 無線機の死活監視を行う。異常があった場合は DM 計算機に異常を通知する。また ITS 無線機を用いて情報を送受信する際のメッセージのフォーマットの変換を行なっている。
- DM 計算機：A 社計算機が出力した物標情報を取得して、データ連携プラットフォームに共有する。またデータ連携プラットフォームに共有された物標情報、フリースペース情報、信号情報を取得してデータフュージョンを行い、各情報の精度や信頼性した情報をデータ共有プラットフォームに共有する。
- 無線 LAN アダプタ：無線 LAN 通信を使用して他の無線 LAN アダプタと物標情報、フリースペース情報、信号情報の送受信を行う。通信方式は端末同士が直接通信できるアドホックモードを使用している。
- スイッチングハブ：各機器を ethernet ケーブルで接続するための装置である。
- ONU：光回線を通っている光信号をデジタル信号に変換する装置である。
- Wi-Fi ルーター：インターネットに接続するための機器である。ポートフォワーディング機能を使用しており、インターネット側の IP アドレス宛の通信を LAN 側機器の特定のポートへ転送する。
- モバイルルーター:モバイル回線を使用してインターネットに接続するための機器である。ポートフォワーディング機能を使用しており、インターネット側の IP アドレス宛の通信を LAN 側機器の特定のポートへ転送する。
- NAS：ネットワークに接続することができるハードディスクである。各機器のログファイ

ルや実験データを蓄積する。

- NW 電源：インターネットを使用して遠隔から電源の切り替えを行うことができる電源タップである。

表 112　RSU2 に使用されているハードウエアモジュール

#	機器名称	型番	メーカー
1	LiDAR1	vlp-32c	Velodyne Lidar
2	ITS路側機	-	E社
3	A社計算機	AX720-X32-FN02	Aetina Corporation
4	A社制御部	AN810-XNX-BN02	Aetina Corporation
5	DM計算機	AN810-XNX-BN02	Aetina Corporation
6	無線LANアダプタ	WN-G300UA	株式会社アイ・オー・データ機器
7	スイッチングハブ	BS-GS2016(16ポート)	株式会社バッファロー
8	ONU	GE-PON-ONU タイプD タンタイ	NTT西日本
9	Wi-Fiルーター	RT-AX56U	ASUSTeK Computer Inc.
10	モバイルルーター	K5G-C-100A	京セラ株式会社
11	NAS	HDL-TA2	株式会社アイ・オー・データ機器
12	NW電源1,2	RPC-M4LS	明京電機株式会社

最後に RSU3 について説明する。図 322 の装置が RSU3 である。RSU3 には F 社の物標認識システムが搭載されている。図 323 に RSU3 のハードウエア構成を示す。各センサーの検知範囲は図 324 の通りである。LiDAR 交差点に接近する物標を検知する目的で設置されており、カメラは交差点内の物標を検知する目的で設置されている。図 325 に RSU3 に搭載されている物標認識システムと信号情報処理部から出力される情報を示す。物標認識システムは物標認識計算機内で動作しており、信号情報処理部は信号情報出力 PC で動作している。物標認識システムからは物標情報とフリースペース情報が DM 計算機に出力され、信号情報処理部からは信号情報が DM 計算機に出力される。

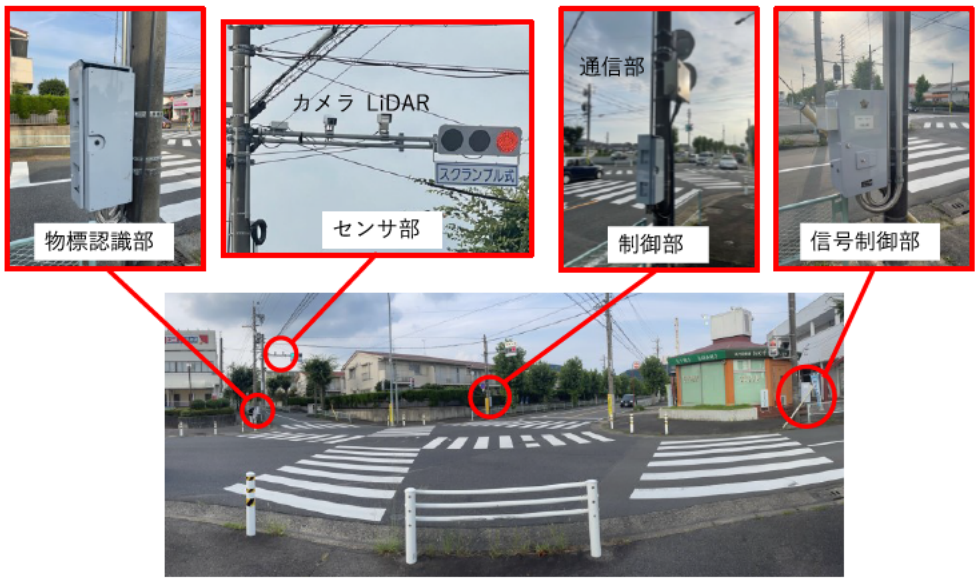


図 322　公道に設置した RSU3 の様子

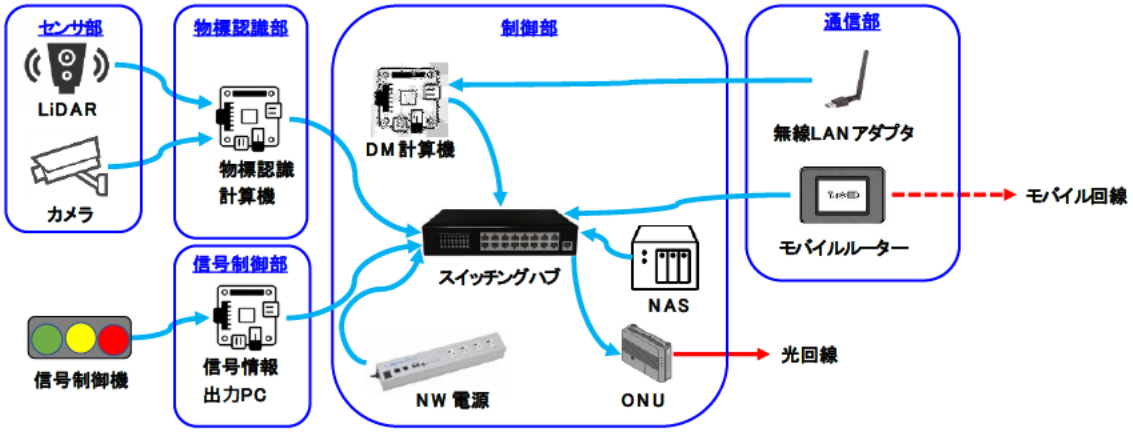


図 323　RSU3 のハードウエア構成

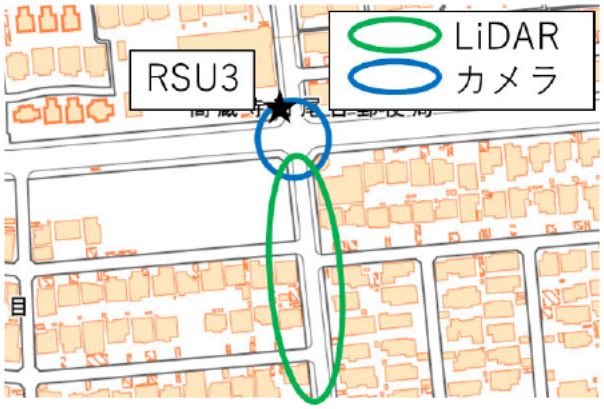


図 324　RSU3 に搭載されたセンサーの検知範囲

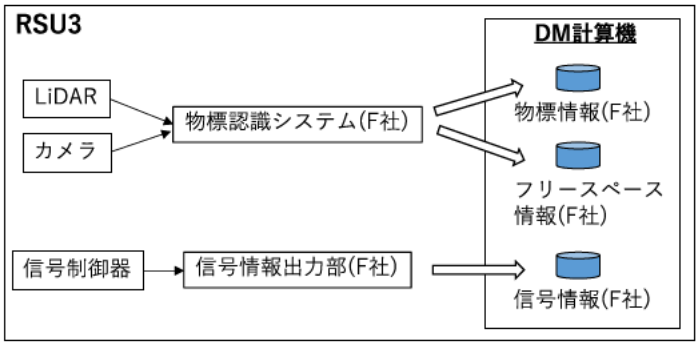


図 325　RSU3 の物標認識システムと信号情報出力部、出力情報

使用したハードウエアモジュールは表 113 の通りであり、それぞれの役割は次に示す通りである。

- LiDAR：遠距離の物標情報とフリースペース情報を取得するためのセンサーである。周囲にレーザー光を照射し、物体に当たって反射するまでにかかった時間や反射したレーザー光の位相差により、物体までの距離を測定することができる。LiDAR からはレーザー光が反射した地点の集合体である点群データが出力される。
- カメラ：近距離の物標情報とフリースペース情報を取得するためのセンサーである。カメラからは画像データが出力される。
- 物標認識計算機：LiDAR が出力した点群データとカメラが出力した画像データより物標やフリースペースの認識を行い、物標情報とフリースペース情報を作成する。
- 信号制御機：信号機の制御を行う装置である。
- 信号情報出力 PC：信号制御器から信号予定情報を取得し、UDP 通信にて特定のポートを出力する装置である。
- DM 計算機：物標認識計算機が出力した物標情報とフリースペース情報や信号情報出力 PC が出力した信号情報を取得して、データ連携プラットフォームに共有する。またデータ連携プラットフォームに共有された物標情報、フリースペース情報、信号情報を取得してデータフュージョンを行い、各情報の精度や信頼性した情報をデータ共有プラットフォームに共有する。
- 無線 LAN アダプタ：無線 LAN 通信を使用して他の無線 LAN アダプタと物標情報、フリースペース情報、信号情報の送受信を行う。通信方式は端末同士が直接通信できるアドホックモードを使用している。
- スイッチングハブ：各機器を ethernet ケーブルで接続するための装置である。
- ONU：光回線を通っている光信号をデジタル信号に変換する装置である。
- モバイルルーター：モバイル回線を使用してインターネットに接続するための機器である。

ポートフォワーディング機能を使用しており、インターネット側の IP アドレス宛の通信を LAN 側機器の特定のポートへ転送する。

- NAS：ネットワークに接続することができるハードディスクである。各機器のログファイルや実験データを蓄積する。
- NW 電源：インターネットを使用して遠隔から電源の切り替えを行うことができる電源タップである。

表 113　RSU3 に使用されているハードウエアモジュール

#	機器名称	型番	メーカー
1	DM計算機	NVIDIA Jetson AGX Xavier 開発者キット	Nvidia Corporation
2	無線LANアダプタ	WN-G300UA	株式会社アイ・オー・データ機器
3	スイッチングハブ	BSH-GP08MB	株式会社アイ・オー・データ機器
4	ONU	GE-PON-ONU タイプD タンタイ	NTT西日本
5	モバイルルーター	K5G-C-100A	京セラ株式会社
6	NAS	HDL-TA2	株式会社アイ・オー・データ機器
7	NW電源	RPC-M4LS	明京電機株式会社

(2) 協調型路側機の評価

協調型路側機の評価として、協調型路側機の通信性能評価と物標認識システムの認識性能評価を行った。

i)　通信性能評価

RSU1 と RSU2 には、通信機器として ITS 路側機、無線 LAN アダプタ、モバイルルーターが搭載されている。ITS 路側機と無線 LAN アダプタはグローバルネットワークを通らずに車両と直接通信を行うことができるため、通信遅延時間の短縮が期待できるものの、電波が届かないと通信できないという懸念点もある。そこで通信性能評価として、ITS 路側機と無線 LAN アダプタの通信可能領域について評価を行った。また直接通信による通信遅延時間の短縮の効果を検証するため、ITS 路側機とモバイルルーターでの通信遅延時間の評価を行った。

評価実験で使用したハードウエアモジュールは表 114 の通りであり、各通信機器は図 326 のように PC と USB で接続される。評価実験では、図 327 のように通信機器のアンテナ部を車両の左前面天井部に搭載して、RSU1、RSU2、RSU3 が設置された場所の付近を走行した。

表 114　通信性能評価で使用した機器

#	機器名称	型番	メーカー
1	PC	CF-RZ8DF1VU	パナソニック株式会社
2	ITS車載器	-	G社
3	無線LANアダプタ	WN-G300UA	株式会社アイ・オー・データ機器

図 326　通信機器と PC の接続図

図 327　車両の天井部に通信機器を取り付けた様子

- 評価結果

ITS 路側機の通信可能領域について評価した結果を図 328 に示す。ITS 路側機から 1 秒間に 10 回、ITS 車載機に向けてデータを送信し、1 秒間あたりに受信できたデータ数をもとに、受信状況を地図に表示した。ITS 無線機の制御周期は 100 ミリ秒であるため、良好な受信範囲であれば 1 秒間に 10 回全て届く。図 328 の赤く表示されている箇所が 10 回受信できた箇所であり、黄色、緑、青という順に 1 秒間あたりに受信できたデータ数が減っていく。RSU2 付近の位置（図 328 の RP）から、最大で 423.9 メートルの距離まで受信できることを確認した。

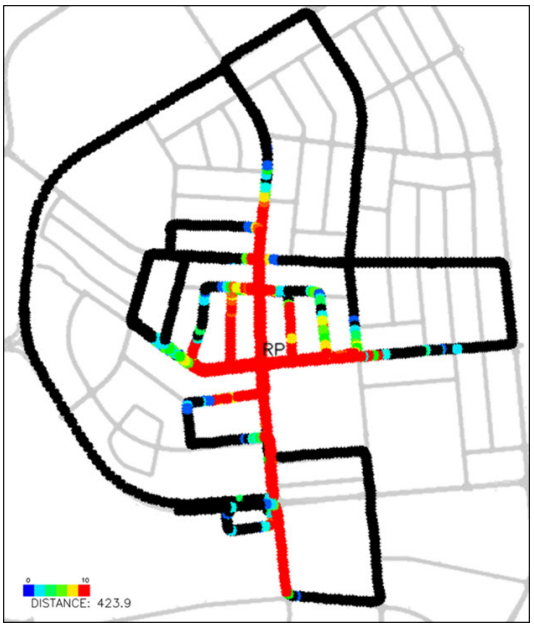


図 328　ITS 路側機の通信可能領域

続いて、無線 LAN の通信性能可能領域について評価した結果を図 329 に示す。無線 LAN アダプタが搭載されている RSU2 の周囲を、図 327 のように車両天井部に無線 LAN アダプタを取り付けた状態で走行した。車両からは RSU2 へ ping コマンドを送り、その応答状況を地図に表示している。図 329 の色は、ping の応答時間（ミリ秒単位）によって分けている。RSU2 付近の位置（図 329 の RP）から、最大で 175.4 メートルの距離まで受信できることを確認した。

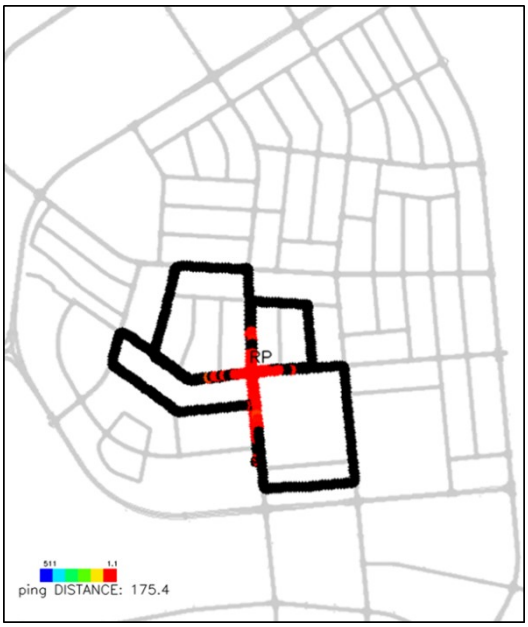


図 329　無線 LAN の通信可能領域※アドホックモードを使用

直接通信による通信遅延時間の短縮の効果を検証するため、ITS 路側機およびモバイルルーターそれぞれの通信遅延時間を計測した。ITS 路側機の通信遅延時間計測用の環境構成を図 330 に示す。送信時刻と受信時刻を計測する場所が ITS 無線機とは別の機器である関係上、ITS の通信遅延時間とは別の遅延時間が含まれる想定である。

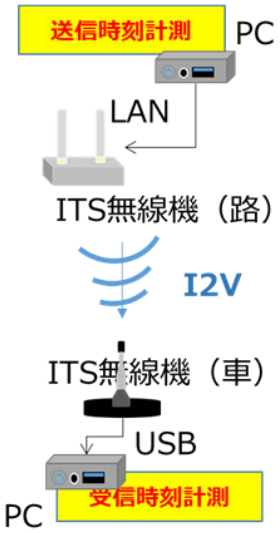


図 330　ITS 路側機の通信遅延時間を計測した環境の構成図

ITS 路側機の通信遅延時間の計測結果を図 331 と図 332 に示す。図 331 が 100 ミリ周期で送信を繰り返した結果で平均 115 ミリ秒、図 332 が 101 ミリ秒周期で送信を繰り返した結果で平均 84 ミリ秒となった。図 332 の最大と最小の差が 100 ミリ秒程生じるのは、ITS 路側機から ITS 車載機へ伝送する方式が TDMA（時分割多重方式）である事からタイムスロットにタイミングより割り当てられると早く送信され、そうでない場合は遅く送信されるためである。最もタイミングよく割り当てられる場合、理論上 0 ミリ秒に近くなるが、図 332 だと最小 30 ミリ秒程の時間が生じているのは、図 330 の構成の通り、ITS 路側機・車載機と送信端末・受信端末の間の時間も含まれているためである。

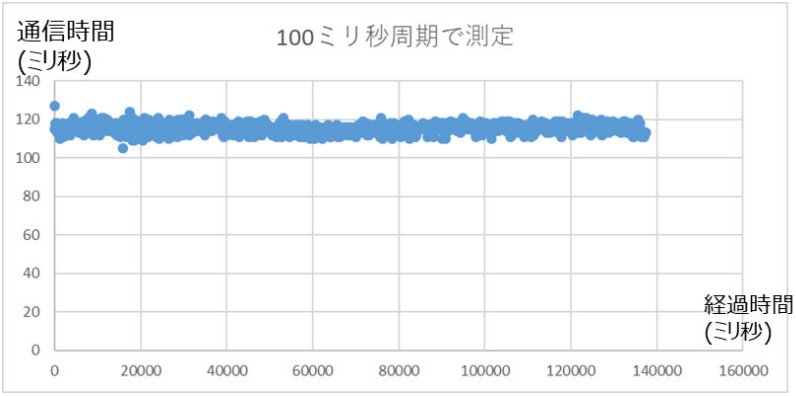


図 331　ITS 路側機の通信遅延時間(100 ミリ秒周期で検証)

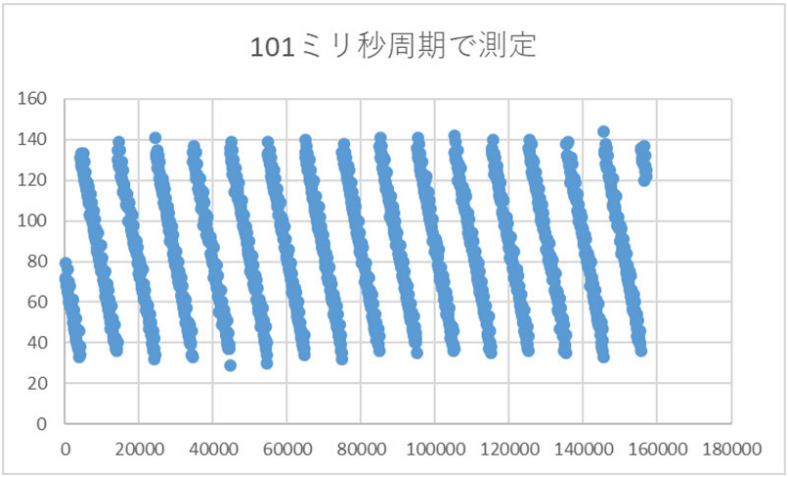


図 332　ITS 路側機の通信遅延時間(101 ミリ秒周期で検証)

モバイルルーターの通信遅延時間計測用の環境構成を図 333 に示す。中継するデータ連携サーバに時刻同期用の NTP サーバを起動し、計測前に送信側の協調型路側機と受信側の自動運転車両との時刻を同期させた。

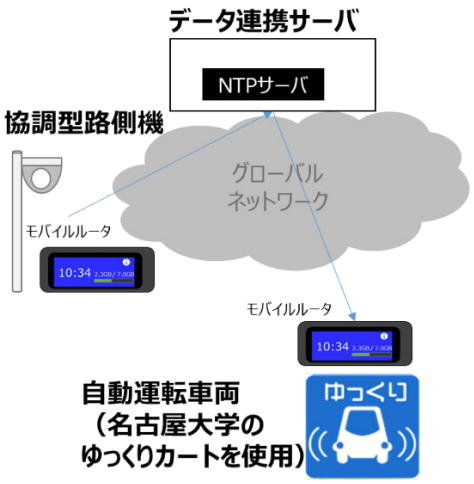


図 333　モバイルルーターの通信遅延時間を計測した環境の構成図

モバイルルーターの通信遅延時間の計測結果を図 334 に示す。平均 708 ミリ秒ではあるが、大きく揺らぎが生じている結果となった。

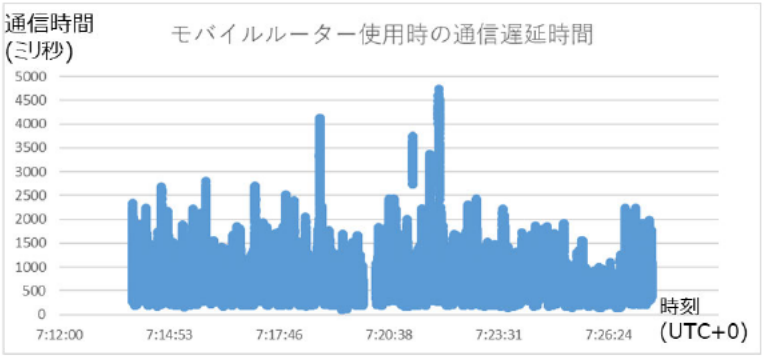


図 334　モバイルルーターの通信遅延時間

ii)　物標認識システムの認識性能評価

RSU1、RSU2、RSU3 に搭載された各社の物標認識システムの認識精度評価として、各社の物標認識システムの物標やフリースペースの検知特性、物標の検知率、物標の位置・速さ・向き・サイズの推定誤差を調査した。認識精度を評価するために作成した正解データは、走行データ、道路状況データ、アノテーションデータである。それぞれについて説明する。

- 走行データ

物標認識システムの物標やフリースペースの未検知の発生場所、物標の位置・速さ・向き・サイズの推定誤差を調査するため、位置、速さ、向きを取得できる車両で物標認識システムが検知している領域を走行し、走行データの収集を行った。図 335 に走行データ収集時に使用した車両を示す。車両のルーフにシステムキャリアを搭載し、中心部に LiDAR と GPS のアンテナを設置している。車内には車両の中心床面に IMU センサーを設置している。表 115 に走行データ収集時に使用した車両とセンサーを示す。ソフトウエアは自動運転ソフトウエアである Autoware を用いた。走行データを取得した期間は 2023 年 1 月 23、24 日の 10:00-17:00 であり、天候は晴天であった。

(a) 車両 A

(b) 車両 B

(c) 車両 C

図 335　走行データ収集に使用した車両

表 115　走行データ収集に使用した車両とセンサー

	車両A	車両B	車両C
車種・サイズ(システムキャリア、LiDARを含む)	トヨタ プリウス ・全長：4,480mm ・全幅：1,745mm ・全高：2,200mm	トヨタ プリウス ・全長：4,575mm ・全幅：1,760mm ・全高：1,500mm	日産 セレナ ・全長：4,690mm ・全幅：1,695mm ・全高：1,925mm
LiDAR	HDL-64E (Velodyne Lidar)	VLP-32C (Velodyne Lidar)	VLP-32C (Velodyne Lidar)
GPS	UBX-M8030-KT (u-blox)	UBX-M8030-KT (u-blox)	UBX-M8030-KT (u-blox)
IMU	MTI-300-2A8G4 (Xsens)	MTI-300-2A8G4 (Xsens)	MTI-300-2A8G4 (Xsens)

- 道路状況データ

物標の未検知率を評価するため、図 336 の青丸地点に計測員を配置して、普通車、大型車、自動二輪車が対象の交差点に進入・進出した時刻を車種ごとに分けて記録した。記録に使用した数取機はライン精機の DK-5010B と DK-5030B である。道路状況データを収集した期間は 2023 年 1 月 24 日の 10:00-13:00、14:00-16:00 であり、天候は晴天であった。

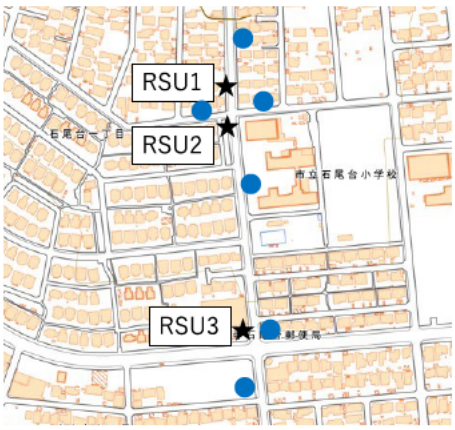


図 336　計測員の配置場所

- アノテーションデータ

物標の未検知や誤検知の発生した箇所を調査するため、協調型路側機や走行データ収集車両に搭載された LiDAR の点群データより、アノテーションツールを用いて真値の物標情報を作成した。アノテーションツールは Automan を使用している。RSU1 に搭載されている A 社、B 社の評価では、RSU1 の LiDAR1 の点群データより作成したアノテーションデータを用いる。RSU2 に搭載されている A 社の評価では、RSU の LiDAR の点群データより作成したアノテーションデータを用いる。RSU3 に搭載されている F 社の評価では、図 335 の車両 A の LiDAR の点群データより作成したアノテー

ションデータを用いる。各アノテーションデータに含まれる車両と歩行者のデータは表 116 の通りである。アノテーションデータに用いる各点群データは 2023 年 1 月 6、25 日に記録したものである。天候は晴天であった。

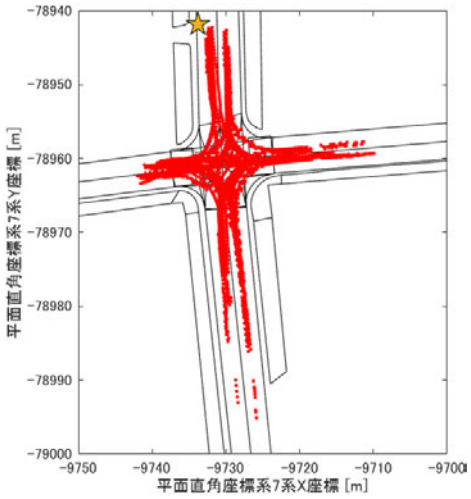
表 116　アノテーションデータに含まれる車両と歩行者の数

種類	RSU1	RSU2	RSU3
車両	33	31	29
歩行者	8	1	20

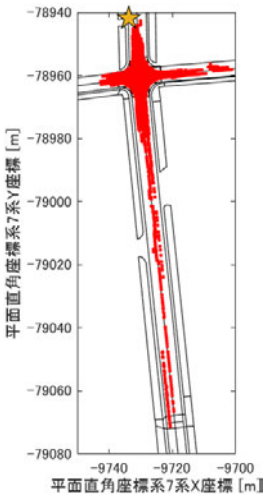
- 走行データを用いた物標認識システムの認識精度の評価結果

走行データを用いて、各社の物標認識システムの物標の検出領域と検出領域内での検出精度、物標情報の位置・速さ・向き・サイズの推定誤差を調査した。

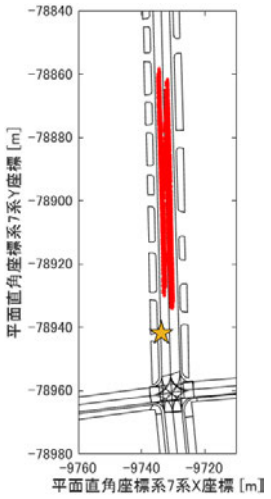
図 337 に RSU1、RSU2、RSU3 に搭載された A 社、B 社、C 社、F 社の物標の検出領域を示す。図 337 において、赤点は物標認識システムが走行データ収集車両を検出して物標情報として出力した場所であり、黄色の星は物標認識システムのセンサーが搭載されている場所、背景の白線に囲まれた領域は高精度地図の車道と歩道である。図 337 より、A 社(RSU1・RSU2)の物標認識システムは、交差点内を走行する車両を検出することができている。また B 社(RSU1)と F 社(RSU3)の物標認識システムは、交差点内と交差点に進入・進出する車線を走行する車両を検出することができている。C 社(RSU3)の物標認識システムは交差点に進入・進出する車線を走行する車両を検出することができている。表 117 は各社の物標認識システムの最小検出可能距離と最大検出可能距離である。表 117 より、C 社（RSU1）と F 社（RSU3）の物標認識システムは、100m 以上離れた車両を認識することができる。また B 社（RSU1）の物標認識システムは約 80m 離れた車両を認識することができる。



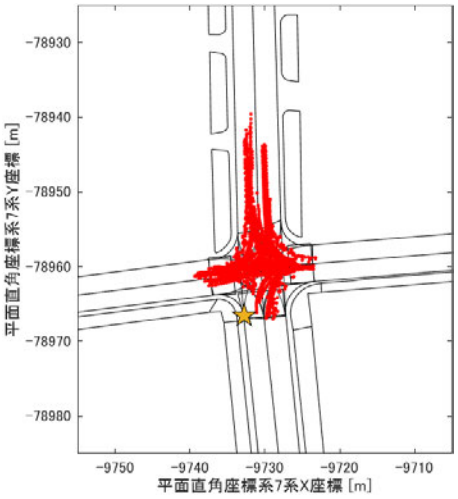
(a)A 社 (RSU1)



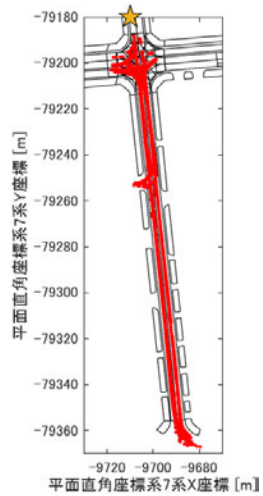
(b)B 社 (RSU1)



(c)C 社 (RSU1)



(d)A 社 (RSU2)



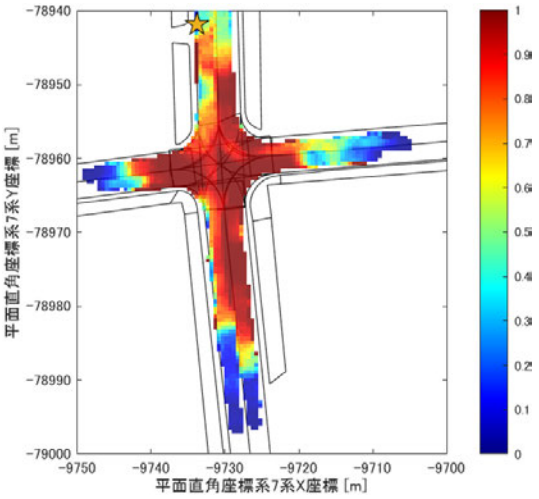
(e)F 社 (RSU3)

図 337　車両の検出可能領域

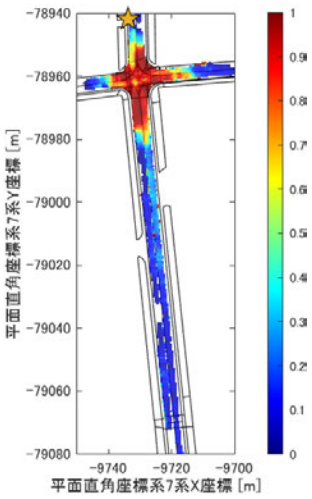
表 117　車両の検出可能距離

	A社（RSU1）	B社（RSU1）	C社（RSU1）	A社（RSU2）	F社（RSU3）
最小検出可能距離	1.547m	3.465m	8.610m	1.721m	8.264m
最大検出可能距離	53.895m	130.202m	83.554m	26.997m	189.401m

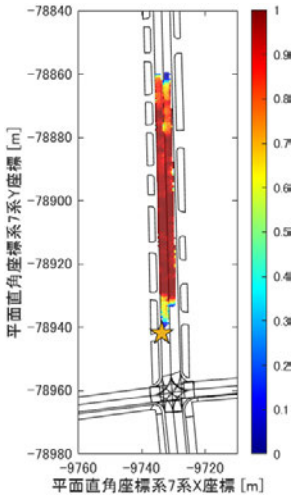
物標の検出精度についてまとめる。検出精度を評価するために再現率のヒートマップを作成した。再現率とは、正解データのうち観測データと一致した割合を示すものである。再現率のヒートマップを作成することにより、物標の未検知が発生した割合を場所に紐づけて把握することができる。ここでは、正解データを走行データ、観測データを物標認識システムが出力した物標情報とし、正解データの車両位置よりユークリッド距離で 3m 以内に物標認識システムが物標情報を出力できている場合を一致、出力できていない場合を不一致として再現率を算出した。ヒートマップのグリッドサイズは 0.5m としている。各社の再現率のヒートマップを図　338 に示す。背景の白線に囲まれた領域は車道と歩道であり、黄色の星の位置は物標認識システムのセンサーが搭載されている場所である。赤色の領域は再現率が高い場所であり、物標の未検知が発生する割合が低かった場所である。一方で、青色の領域は再現率が低い場所であり、物標の未検知が発生する割合が高かった場所である。A 社（RSU1）の物標認識システムは、交差点内では再現率が高い場所が多く、未検知が発生する割合が低かった。ただし、南側から北側に向かう車線は、北側から南側から向かう車線よりも再現率が低い。B 社（RSU1）の物標認識システムも、交差点内は再現率が高い場所が多く、未検知が発生する割合が低かった。一方で、交差点に進入・進出する車線では再現率が低く、未検知が発生する割合が高かった。再現率が低い領域は Radar で検知しており、Radar は LiDAR よりも物標の検出精度が悪い可能性がある。C 社（RSU1）の物標認識システムは、再現率が高い場所が多く，未検知が発生する割合は低かった。A 社（RSU2）の物標認識システムは、交差点内は再現率が高い場所が多く、未検知が発生する割合は低かった。一方で、北側から南側に向かう車線は、南側から北側から向かう車線よりも再現率が低い。このことと A 社（RSU1）の結果より、A 社の物標認識システムは、センサーから離れる物標よりも向かってくる物標の検出が不得意である可能性がある。F 社（RSU3）の物標認識システムは、交差点内では再現率が高い場所が多く、未検知が発生する割合が低かった。一方で、交差点南側の車線は再現率が低い場所が多い。F 社（RSU3）の物標認識システムが設置されている場所は交通量が多い場所であり、信号待ちの停車車両によりオクルージョンが発生しやすい環境である。そのため、オクルージョンによる未検知が発生した可能性がある。



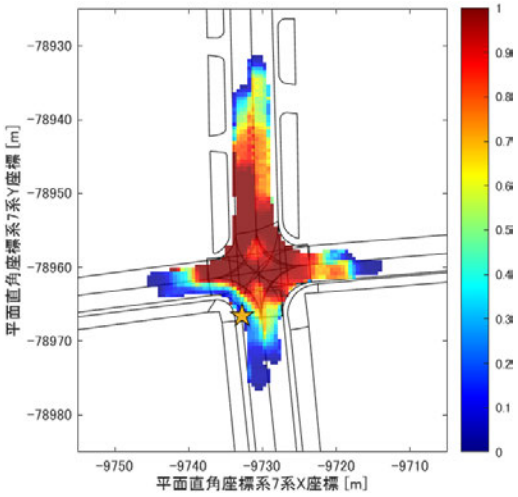
(a)A 社 (RSU1)



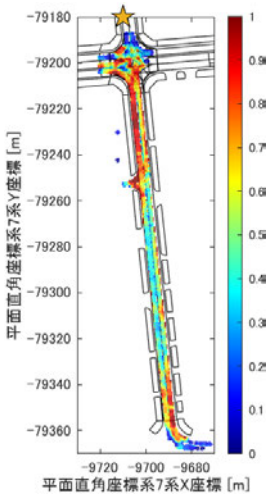
(b)B 社 (RSU1)



(c)C 社 (RSU1)



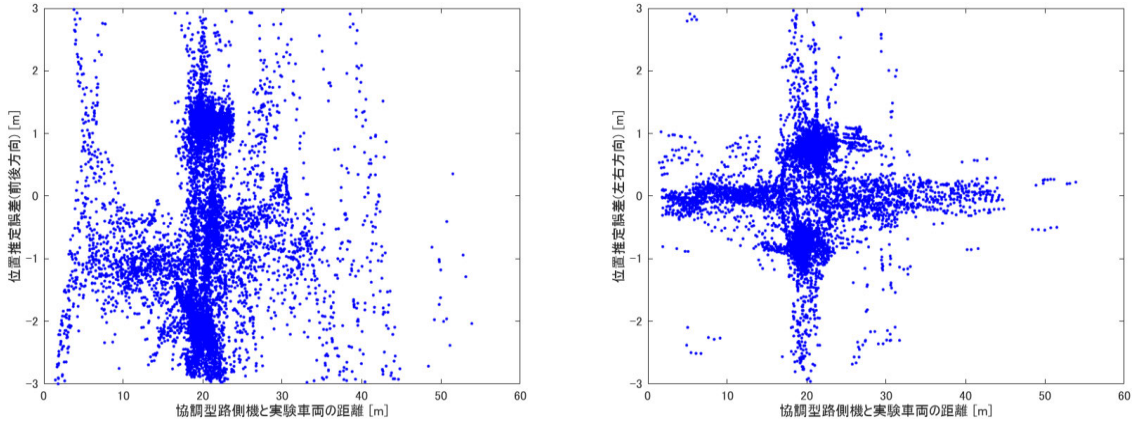
(d)A 社 (RSU2)



(e)F 社 (RSU3)

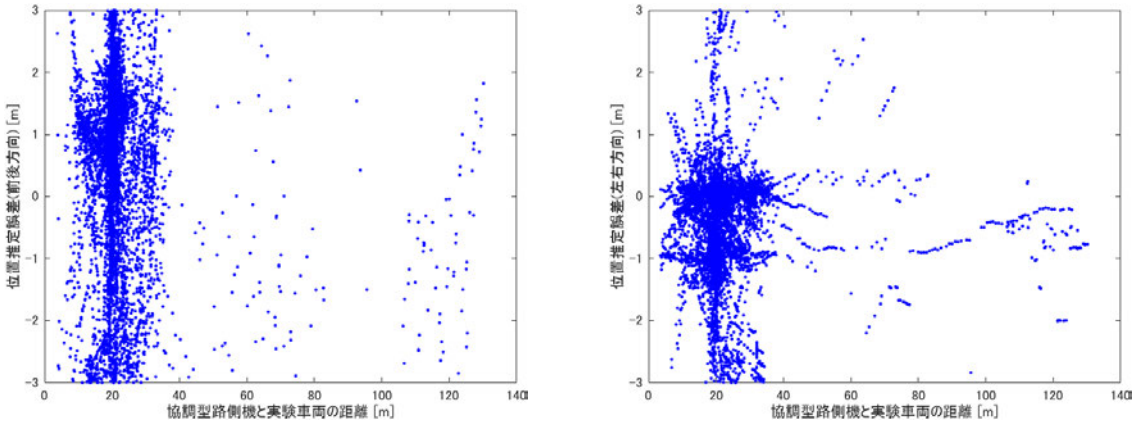
図 338　再現率のヒートマップ

各社の物標情報に含まれる車両位置の評価結果をまとめる。各社の位置推定精度の評価結果を図 339～図 343 示す。横軸は物標認識システムが搭載された協調型路側機と車両の距離であり、縦軸は位置推定誤差を表している。前後方向の位置推定誤差では、縦軸が正の値のとき、物標認識システムが出力した物標情報の位置は走行データ収集車両の位置よりも前方にあり、負の値のときは後方にある。左右方向の位置推定誤差では、縦軸が正の値のとき、物標認識システムが出力した物標情報の位置が走行データ収集車両の位置よりも右方にあり、負の値のときは左方にある。各社とも前後方向よりも左右方向の方が精度良く位置推定することができている。前後方向の位置推定精度が左右方向の位置推定精度よりも悪かった原因の一つとして、時刻誤差が考えられる。各社の物標認識システムは独自の方法で時刻同期を行っているため、時刻誤差が前後方向の位置推定誤差に反映されたのではないかと考えられる。F 社（RSU3）の物標認識システムは、左右方向の位置推定誤差が協調型路側機から離れるにつれて大きくなっている。これは、センサーのキャリブレーション時の誤差によるものであると考えられる。



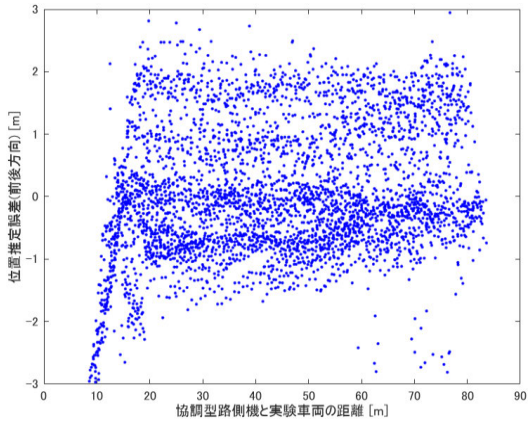
（a）前後方向の車両位置推定誤差　　（b）左右方向の車両位置推定誤差

図 339　A 社（RSU1）の車両位置の推定結果

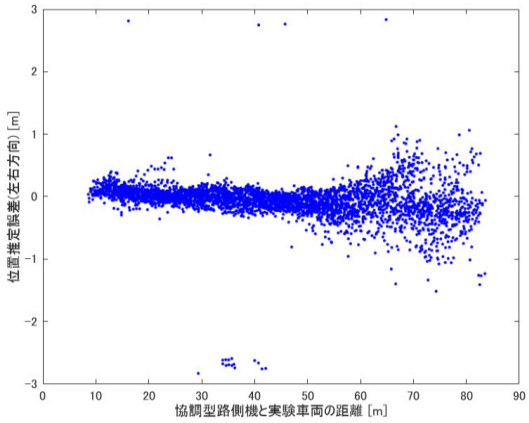


（a）前後方向の車両位置推定誤差　　（b）左右方向の車両位置推定誤差

図 340　B 社（RSU1）の車両位置の推定結果

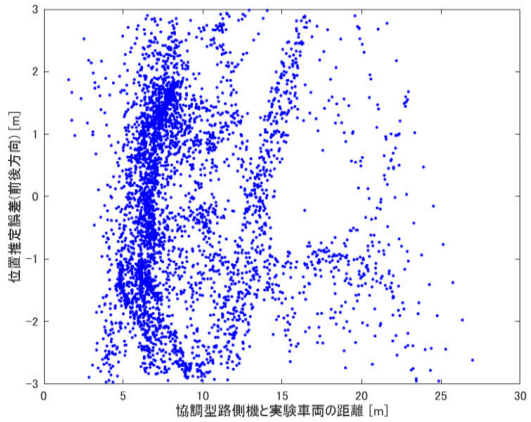


(a) 前後方向の車両位置推定誤差

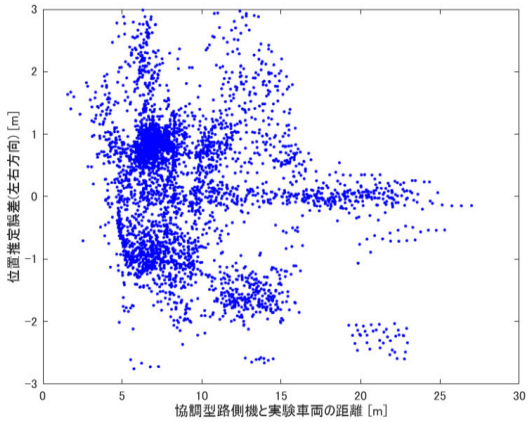


(b) 左右方向の車両位置推定誤差

図 341　C 社（RSU1）の車両位置の推定結果

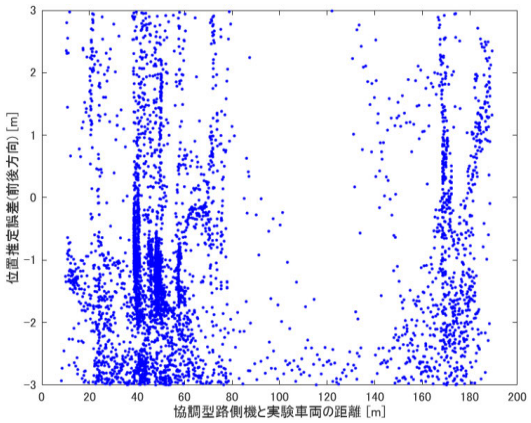


(a) 前後方向の車両位置推定誤差

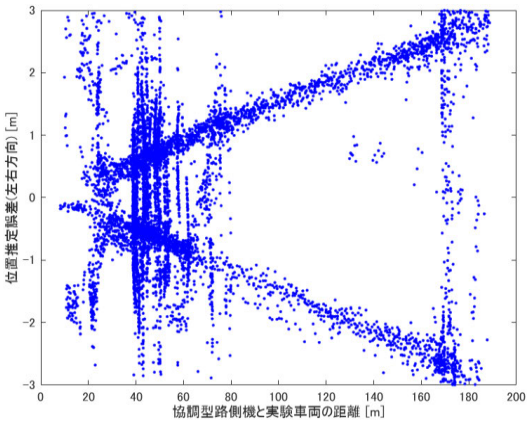


(b) 左右方向の車両位置推定誤差

図 342　A 社（RSU2）の車両位置の推定結果



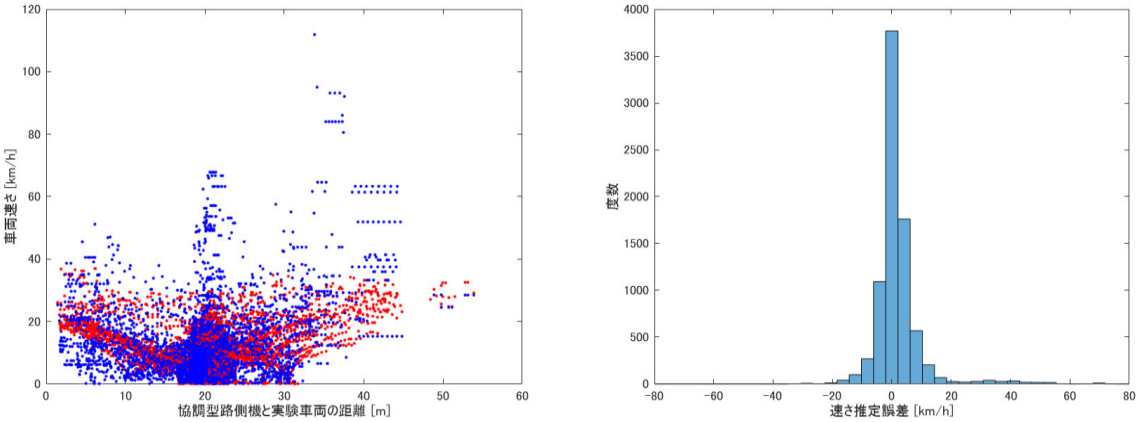
(a) 前後方向の車両位置推定誤差



(b) 左右方向の車両位置推定誤差

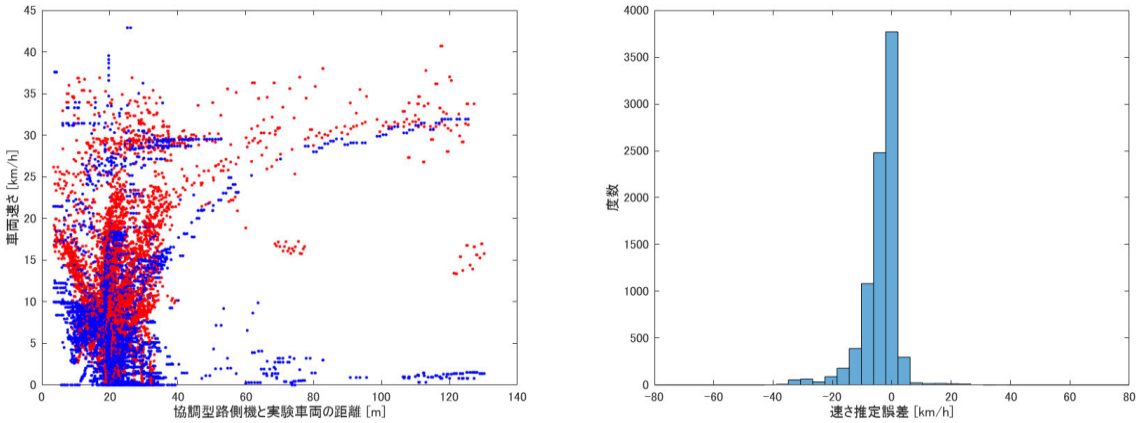
図 343　F 社（RSU3）の車両位置の推定結果

各社の物標情報に含まれる車両速さの評価結果をまとめる。各社の速さ推定精度の評価結果を図 344～図 348 **エラー！ 参照元が見つかりません。**に示す。(a)の横軸は物標認識システムが搭載された協調型路側機と車両の距離であり、縦軸は車両速さを表している。赤点は走行データの車両速さであり、青点は物標認識システムが出力した物標情報の車両速さである。(b)は、(物標認識システムが出力した物標情報の車両速さ)―(走行データの車両速さ)より算出した車両速さ誤差のヒストグラムである。横軸が正の時、物標認識システムは車両速さよりも速く推定しており、負の時は遅く推定している。ヒストグラムのビン幅は 3km/h と設定して出力している。車両速さ誤差のヒストグラムをみると、各社とも 0km/h のときの度数が高く、車両速さ誤差も多くは±20km/h に収まっている。ただし、走行データの車両速さよりも 80km/h ほど速い値を出力しているものもある。これは車両が物標認識システムの検出領域に進入してすぐで、点群形状が安定していないときに出力されたものであると考えられる。



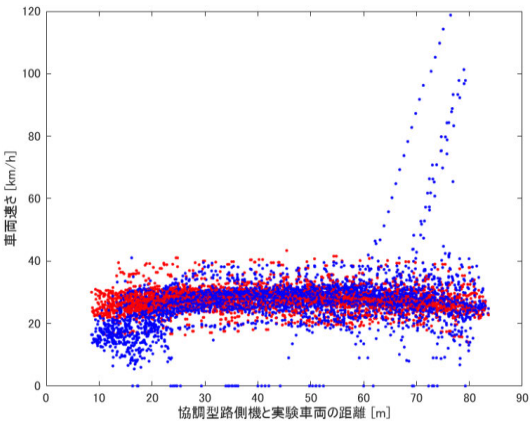
(a) 走行データと物標情報の車両速さ　　(b) 車両速さ誤差のヒストグラム

図 344　A 社（RSU1）の車両速さの推定結果

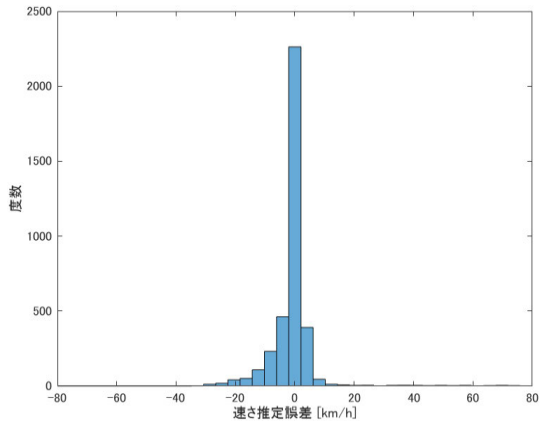


(a) 走行データと物標情報の車両速さ　　(b) 車両速さ誤差のヒストグラム

図 345　B 社（RSU1）の車両速さの推定結果

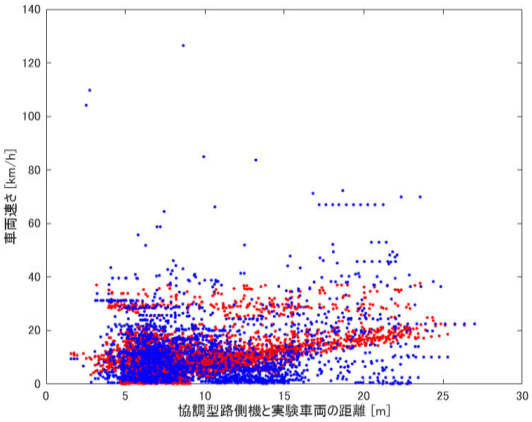


(a) 走行データと物標情報の車両速さ

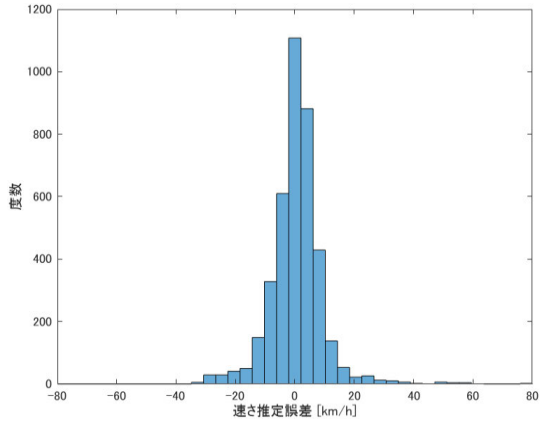


(b) 車両速さ誤差のヒストグラム

図 346　C 社（RSU1）の車両速さの推定結果

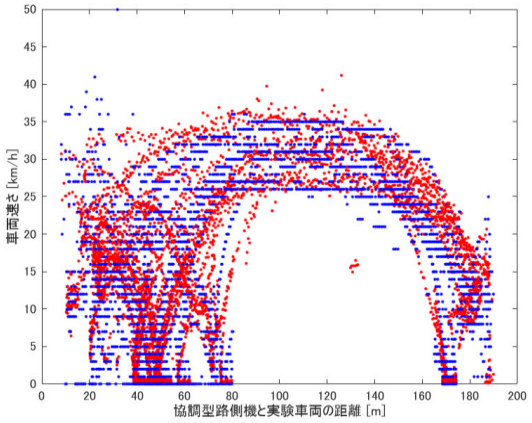


(a) 走行データと物標情報の車両速さ

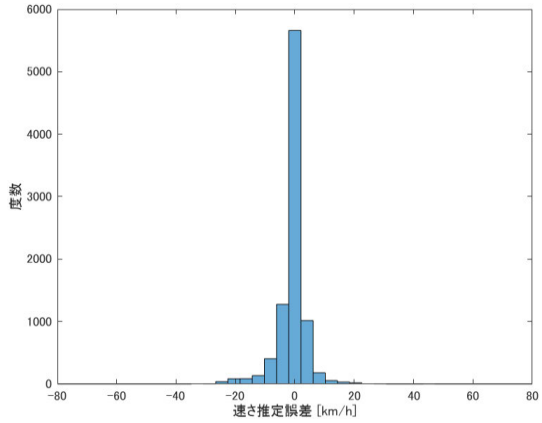


(b) 車両速さ誤差のヒストグラム

図 347　A 社（RSU2）の車両速さの推定結果



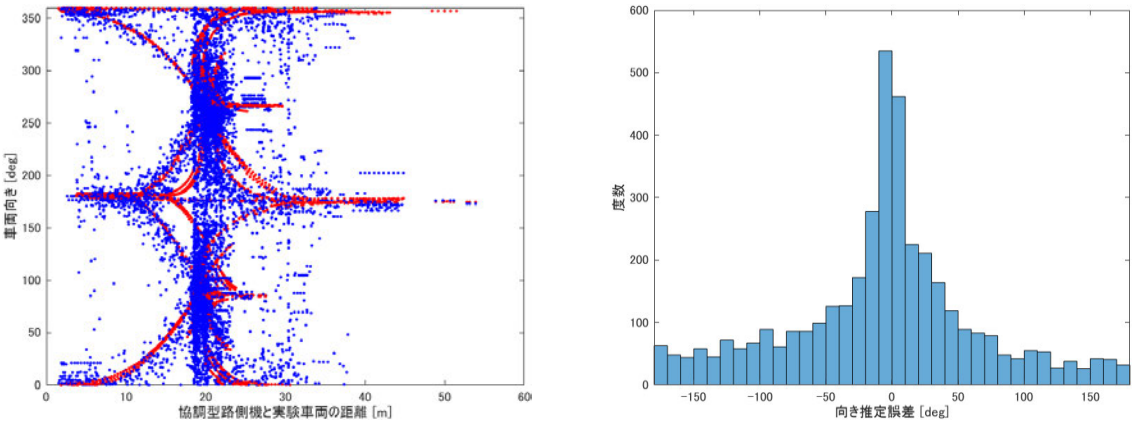
(a) 走行データと物標情報の車両速さ



(b) 車両速さ誤差のヒストグラム

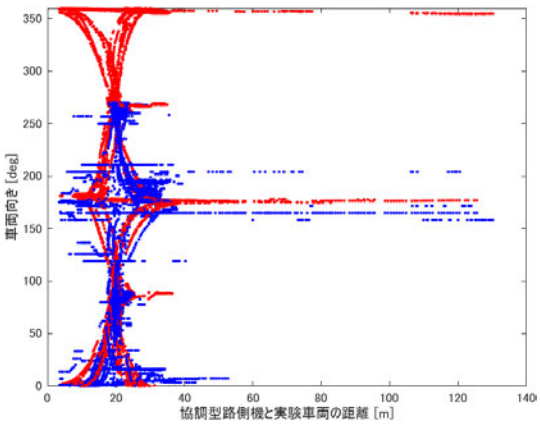
図 348　F 社（RSU3）の車両速さの推定結果

各社の物標情報に含まれる車両向きの評価結果をまとめる。各社の向き推定精度の評価結果を図 349～図 353 に示す。(a)の横軸は物標認識システムが搭載された協調型路側機と車両の距離であり、縦軸は車両向きを表している。縦軸が 0、360 度の時、車両は北を向いており、90 度の時は東、180 度の時は南、270 度の時は西を向いている。赤点は走行データの車両向きであり、青点は物標認識システムが出力した物標情報の車両向きである。(b)は、(物標認識システムが出力した物標情報の車両向き)―(走行データの車両向き)より算出した車両向き誤差のヒストグラムである。横軸が正の時、物標認識システムは時計回りの方向に向き誤差があり、負の時は反時計回りに誤差がある。ヒストグラムのビン幅は 10 度と設定して出力している。C 社(RSU1)と F 社(RSU3)の物標認識システムは車両向きを正確に検出することができている。一方で、A 社(RSU1・RSU2)と B 社(RSU1)の物標認識システムは車両方向に大きな誤差が生じている。A 社(RSU1・RSU2)と B 社(RSU1)の物標認識システムの検知領域は交差点内であり、車両の向きが高頻度で変わる場所であることも影響していると考えられる。B 社 (RSU1)の物標認識システムは、正反対の車両向きを出力する場合が多い。図 350(a)より 280 度以上の角度出力されていないことから、物標認識システムの向き推定のアルゴリズムに問題がある可能性がある。

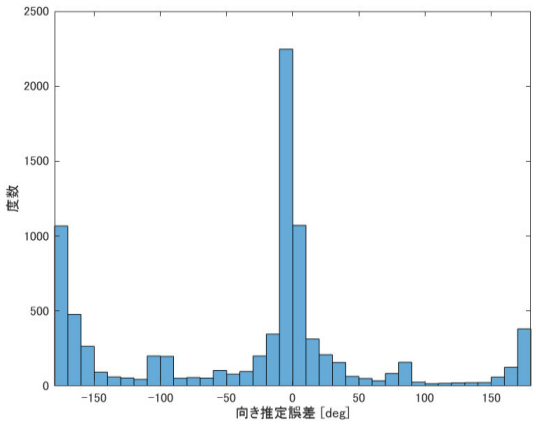


(a) 走行データと物標情報の車両向き　　(b) 車両向き誤差のヒストグラム

図 349　A 社 (RSU1) の車両向きの推定結果

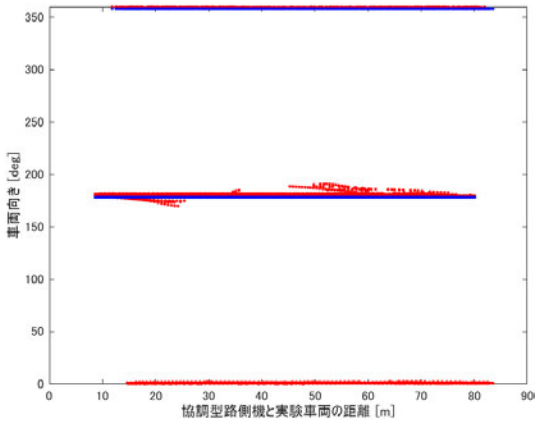


(a) 走行データと物標情報の車両向き

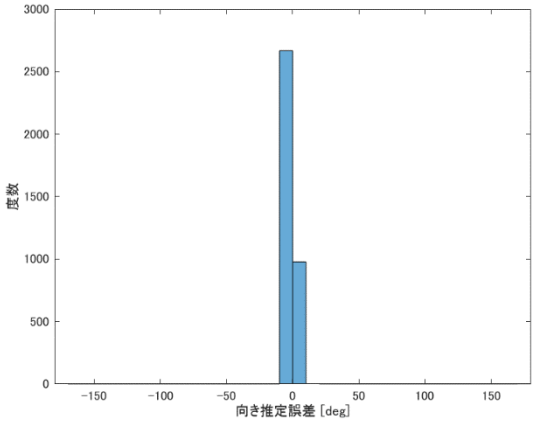


(b) 車両向き誤差のヒストグラム

図 350　B 社（RSU1）の車両向きの推定結果

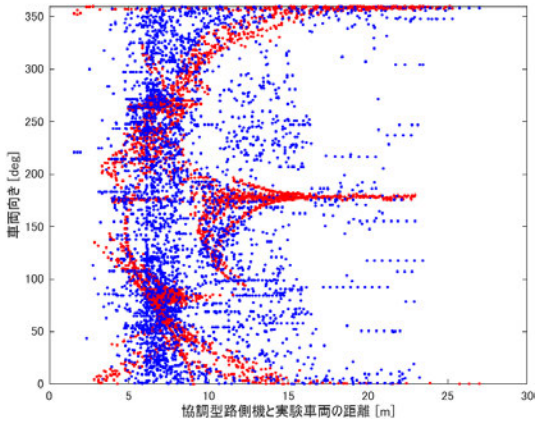


(a) 走行データと物標情報の車両向き

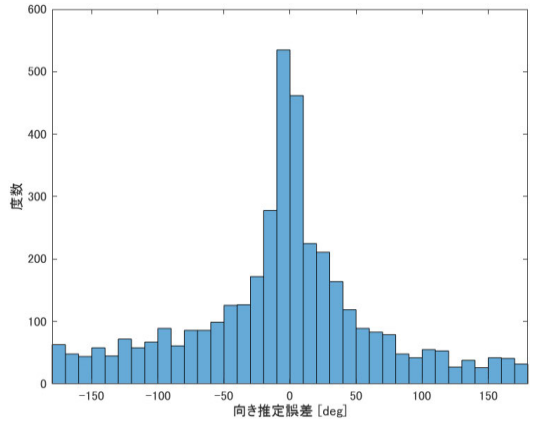


(b) 車両向き誤差のヒストグラム

図 351　C 社（RSU1）の車両向きの推定結果

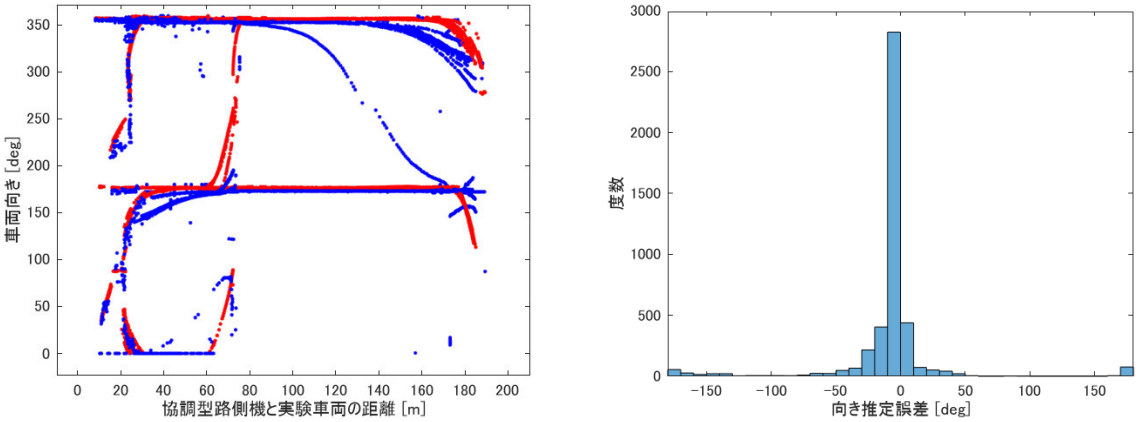


(a) 走行データと物標情報の車両向き



(b) 車両向き誤差のヒストグラム

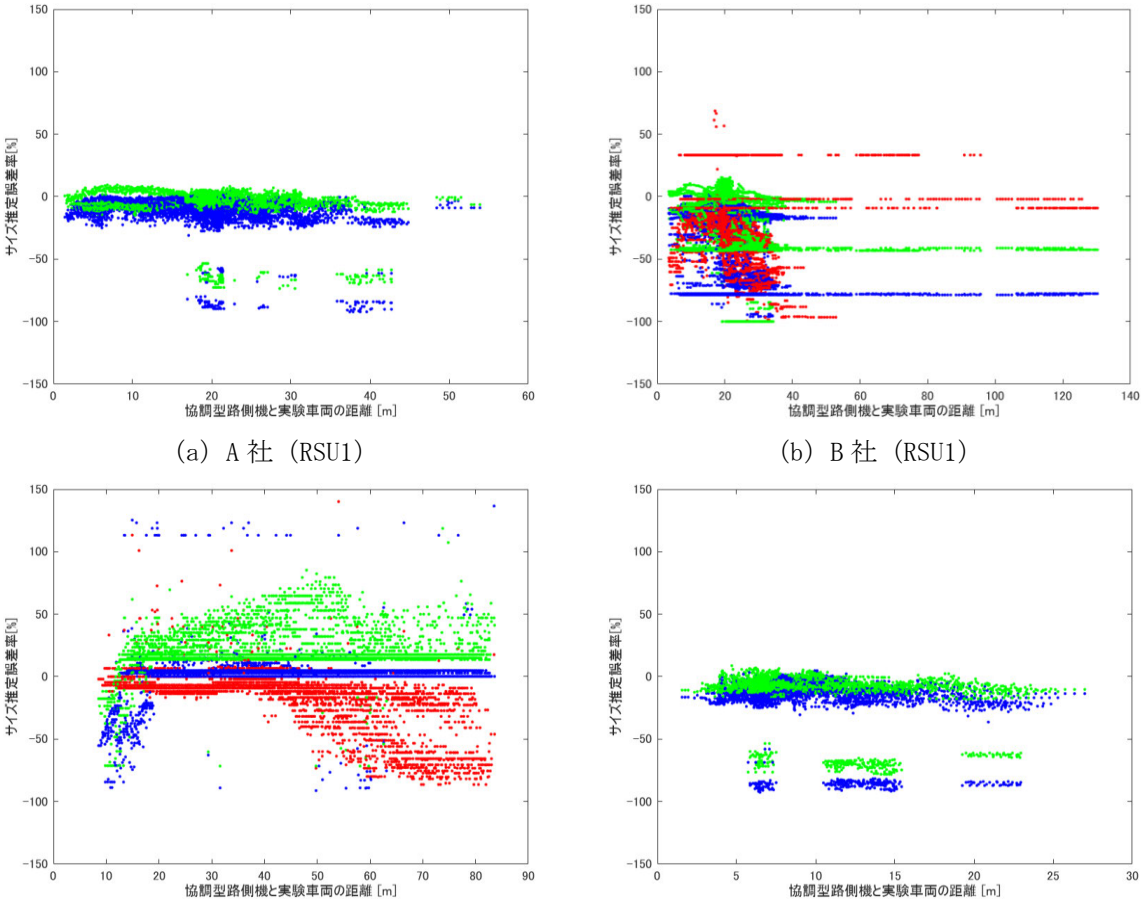
図 352　A 社（RSU2）の車両向きの推定結果



(a) 走行データと物標情報の車両向き　　(b) 車両向き誤差のヒストグラム

図 353　F 社（RSU3）の車両向きの推定結果

各社の物標情報に含まれる車両サイズの評価結果をまとめる。各社のサイズ推定精度の評価結果を図 354 に示す。なお F 社（RSU3）は、物標情報のサイズの値に不明値が入っていたため図 354 から除外している。横軸は物標認識システムが搭載された協調型路側機と車両の距離であり、縦軸は車両サイズ推定誤差率を表している。誤差率が 0%のとき、走行データと物標情報の車両サイズが一致しており、正の値の時は、物標情報の車両サイズは走行データよりも大きく推定しており、負の値の時は、物標情報の車両サイズは走行データよりも小さく推定している。青点は車両長さ、緑点は車両幅、赤点は車両高さの推定結果を表している。B 社（RSU1）と C 社（RSU1）の物標認識システムは長さ、幅、高さを推定しており、A 社（RSU1・RSU2）の物標認識システムは長さ、幅を推定していた。A 社（RSU1・RSU2）と B 社（RSU1）の長さ・幅の推定結果について、走行データよりも小さい値が出力されている場合が多かった。これは、A 社（RSU1・RSU2）、B 社（RSU1）の物標認識システムがセンサーとして使用している LiDAR の角度分解能が大きく、点群データに車両のフロント部、リア部、サイド部の端が含まれていなかった可能性がある。B 社（RSU1）の高さの推定結果は、物標認識システムから離れた場所では正確に検出することができている。C 社（RSU1）の物標認識システムは、長さをサイズ推定誤差率が 100%、すなわち走行データの車両長さよりも 2 倍以上の長さを出力する場合がある。これは、前後を走行していた車両を 1 台の車両と誤認識してしまった可能性がある。幅についても同様で、車両と近くの物標を 1 台の車両と誤認識してしまった可能性がある。また、各社で共通することとして、サイズ推定誤差率が-50%以下、すなわち走行データの車両サイズよりも半分以下の値を出力する場合がある。これはオクルージョンが発生したか点群形状が安定していなかった可能性がある。

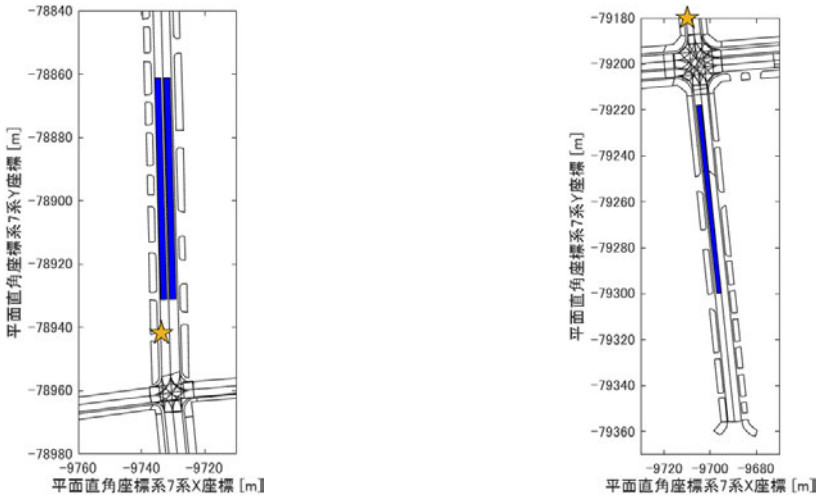


(a) A 社 (RSU1)　(b) B 社 (RSU1)

(c) C 社 (RSU1)　(d) A 社 (RSU2)

図 354　車両サイズの推定結果

各社のフリースペースの検知精度の評価結果をまとめる。走行データ収集時にフリースペース情報を出力していた C 社 (RSU1) と F 社 (RSU3) の結果をまとめる。各社のフリースペースの検出領域を図 355 に示す。青色領域はフリースペースの検出領域、黄色の星の位置は物標認識システムのセンサーが搭載されている場所、背景の白線に囲まれた領域は車道と歩道である。表 118 に各社のフリースペース領域の最小検出可能距離と最大検出可能距離を示す。C 社 (RSU1) の物標認識システムは 2 車線を検出している。以降、協調型路側機から車両が離れる車線 (図 355 で左側のフリースペースの検出領域がある車線) を車線 1、車両が近づく車線 (図 355 で右側のフリースペースの検出領域がある車線) を車線 2 とする。図 337 より物標とフリースペースの検出領域はほぼ同じであることがわかる。F 社 (RSU3) の物標認識システムは交差点に進入する車線を検出している。図 337 より物標の検出領域よりも狭いことがわかる。



(a) C 社 (RSU1)　　(b) F 社 (RSU3)

図 355　フリースペースの検出領域

表 118　フリースペースの検出可能距離

	C社 (RSU1)	F社 (RSU3)
最小検出可能距離	10.618m	38.185m
最大検出可能距離	80.565m	120.532m

C 社 (RSU1) と F 社 (RSU3) の物標認識システムのフリースペース推定精度の評価結果をまとめる。図 356 のように走行データ収集車両の車長・車幅より車両領域を作成し、フリースペース領域に車両が存在しないかを調査した。なお車両領域を構成する車長は、時刻同期による前後方向の位置ずれを考慮して半分の長さにしている。C 社 (RSU1) の物標認識システムのフリースペースの認識結果について、車線 1 での評価結果を図 357 に、車線 2 での評価結果を図 358 に示す。また F 社 (RSU3) の物標認識システムのフリースペースの評価結果を図 359 に示す。(a)はフリースペース検出結果のヒストグラムであり、フリースペース領域に車両が存在しなかった度数（青色）と存在した度数（オレンジ色）を距離ごとに分類して重ねて表示している。ヒストグラムのビン幅は 5m である。(b)は距離ごとにフリースペース領域に車両が存在しなかった割合をグラフ化している。C 社 (RSU1) の物標認識システムは、車線 2 よりも車線 1 の方がフリースペース領域に車両が存在しない割合が高い。原因として考えられるのは、車線 2 で走行データを収集しているとき、駐車車両を追い越すために車線 1 と車線 2 の境界を走行する場面があった。このことがフリースペースの認識に影響を及ぼした可能性がある。また車線 1 と車線 2 の評価結果に共通することとして、協調型路側機と車両の時刻のずれによりフリースペース領域車両がある領域をフリースペース領域として出力した可能性がある。F 社 (RSU3) の物標認識システムは、車両がフリ

ースペース領域に存在する割合が高い。原因は 2 つ考えられる。1 つはセンサーのキャリブレーションがずれており、フリースペース情報に含まれるフリースペースの開始位置と終了位置がずれた可能性がある。もう 1 つは、協調型路側機と車両の時刻のずれによりフリースペース領域車両がある領域をフリースペース領域として出力した可能性がある。

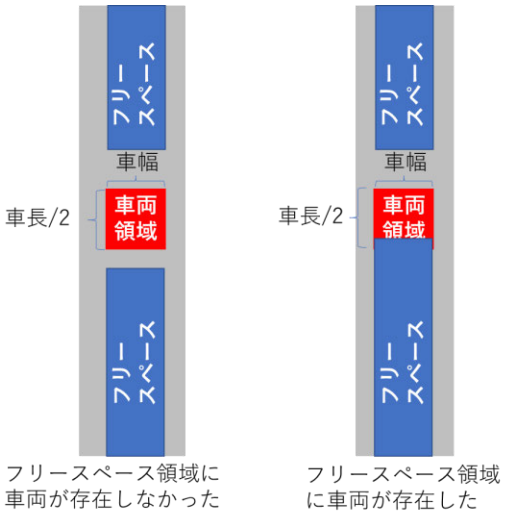
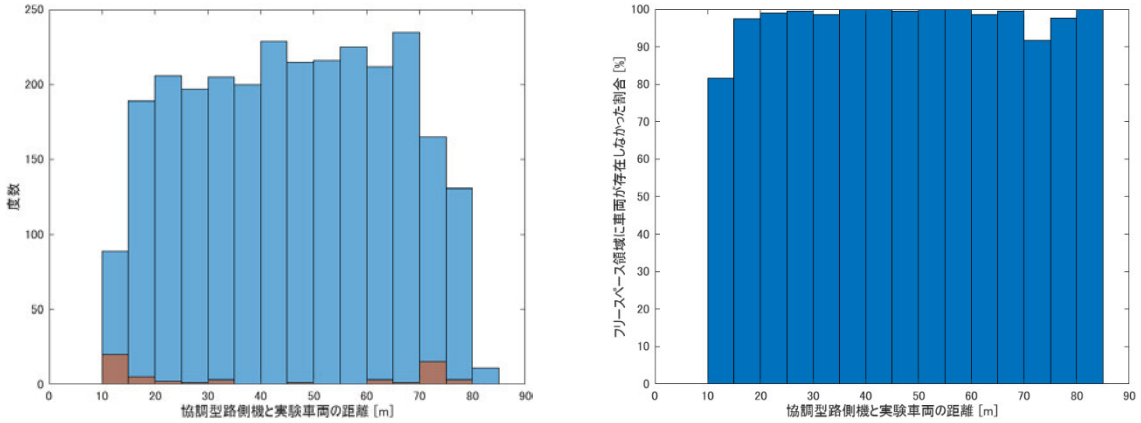
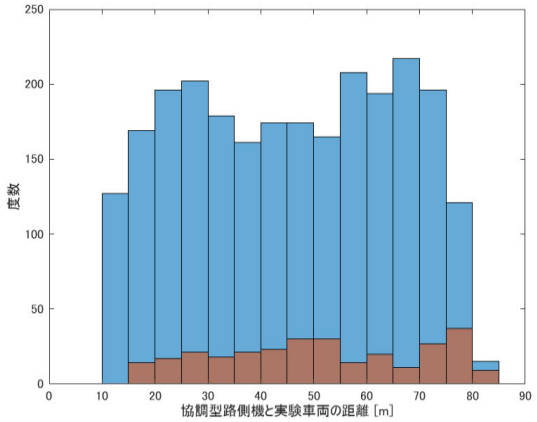


図 356　フリースペース検出結果の判定方法

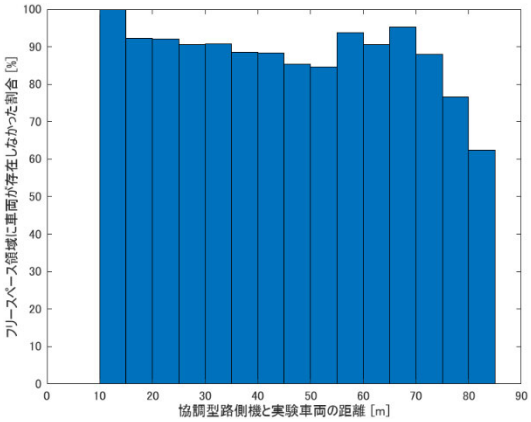


(a) フリースペース検出結果のヒストグラム　　(b) 正しく検出できていた割合

図 357　C 社（RSU1）の車線 1 のフリースペースの評価結果

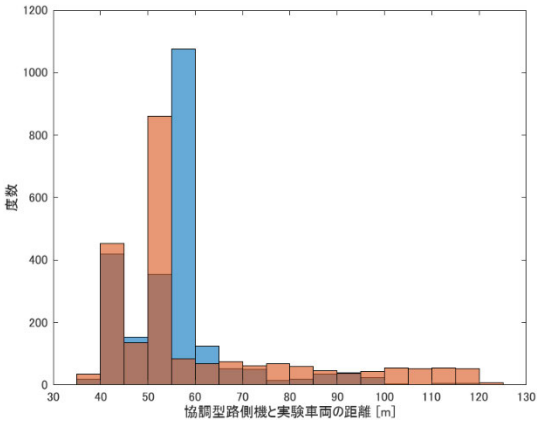


(a) フリースペース検出結果のヒストグラム

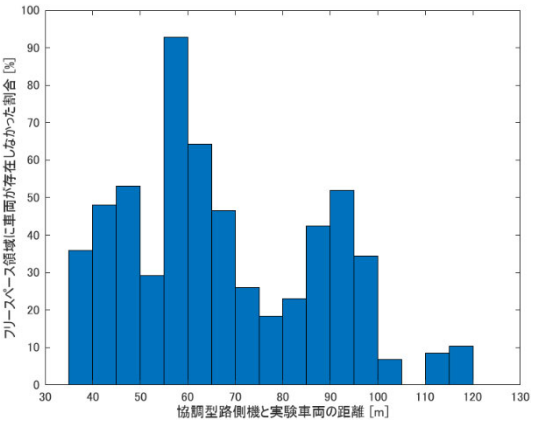


(b) 正しく検出できていた割合

図 358　C 社（RSU1）の車線 2 のフリースペースの評価結果



(a) フリースペース検出結果のヒストグラム



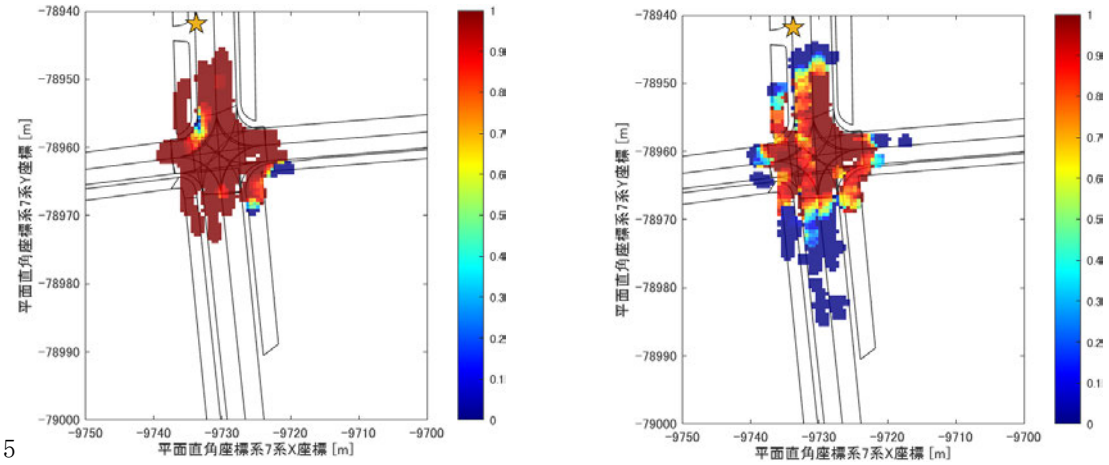
(b) 正しく検出できていた割合

図 359　F 社（RSU3）のフリースペースの評価結果

- アノテーションデータを用いた物標の検出精度の評価結果

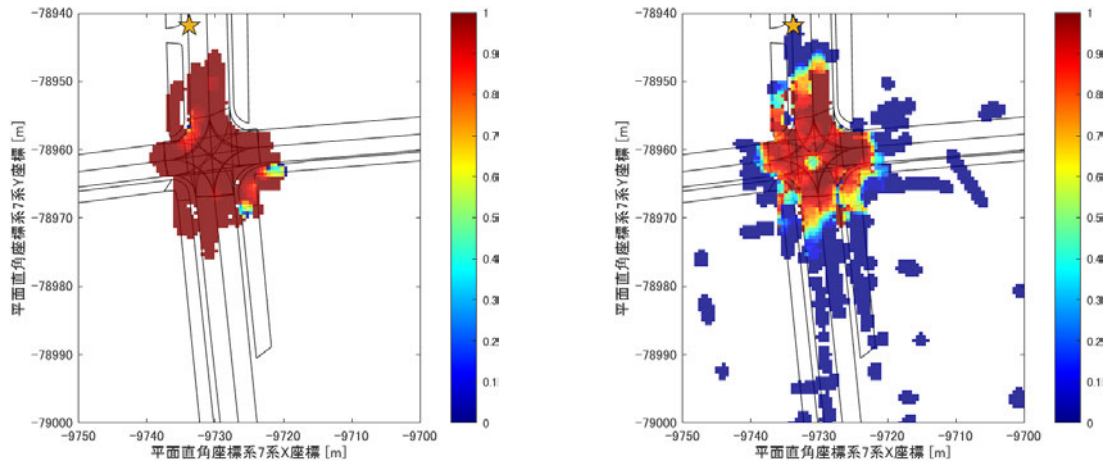
アノテーションデータを用いて、各社の物標認識システムの検出精度を調査した。検出精度を評価するため、再現率と適合率を表すヒートマップを作成した。再現率は上述した通りである。適合率とは、観測データのうち正解データと一致した割合を示すものである。適合率のヒートマップを作成することにより、物標の誤検知した割合を場所に紐づけて把握することができる。ここでは、正解データをアノテーションデータ、観測データを物標認識システムが出力した物標情報とし、正解データの物標位置よりユークリッド距離で 3m 以内に物標認識システムが物標情報を出力できている場合を一致、出力できていない場合を不一致として再現率と適合率を算出した。なお、アノテーションデータは交差点内を中心に作成したため、評価対象の物標認識システムは A 社（RSU1・RSU2）、B 社（RSU1）、F 社（RSU3）である。ヒートマップのグリッドサイズは 0.5m としている。評価結果を図 360～図 363 **エラー！参照元が見つかりません。**に示す。再現率のヒートマップでは、赤色の場所は未検知が発生した割合が少ない場所であり、青色の領域は未検知が

発生した割合が高い場所である。適合率では、赤色の領域は誤検知が発生した割合が少ない場所であり、青色の領域は誤検知が発生した割合が多い場所である。各社の再現率のヒートマップより、交差点内では未検知が発生する割合が少なかったことが分かった。一方で各社の適合率のグラフより、交差点内及びその付近において適合率が低い場所が存在しており、誤検知が発生する割合が高いことが分かった。



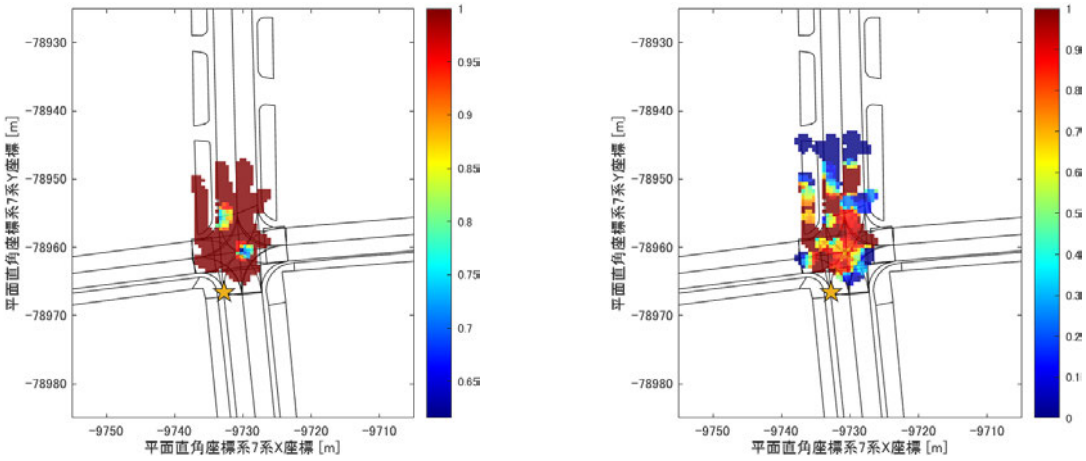
(a) 再現率　　(b) 適合率

図 360　A 社（RSU1）の再現率と適合率のヒートマップ



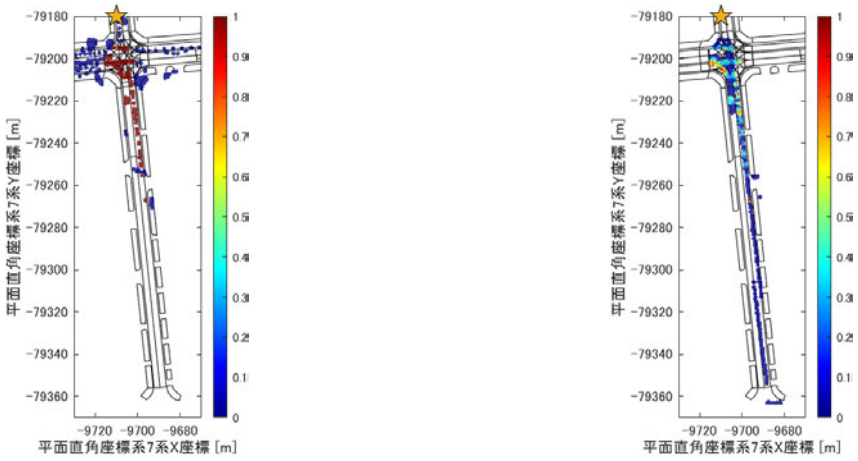
(a) 再現率　　(b) 適合率

図 361　B 社（RSU1）の再現率と適合率のヒートマップ



(a)再現率　　(b)適合率

図 362　A 社（RSU2）の再現率と適合率のヒートマップ



(a)再現率　　(b)適合率

図 363　F 社（RSU3）の再現率と適合率のヒートマップ

- 検知率の評価結果

道路状況データを用いて、各社の物標認識システムの物標の未検知率を調査した。正解データとして使用した道路状況データには、普通車、大型車、自動二輪車が交差点に進入・進出した時刻が記録されている。そのデータを使用して、交差点に進入、進出する車線上に物標認識システムが物標情報を出力していたかを調査した。

RSU1、RSU2 に設置された物標認識システムの評価結果は表 119 の通りである。各方路は図 364 の通りである。RSU1、RSU2 に搭載された各物標認識システムのうち、A 社(RSU1)が方路 3 から交差点に進入したバスを検知することができなかった。未検知が発生したのはこの 1 件のみである。A 社(RSU1)の物標認識システムは、機械学習を用いて物標の認識を行っており、学習モデルに当てはまらなかったため、認識できなかったのではないかと考えられる。

表 119　RSU1、RSU2 に搭載された物標認識システムの物標の検知率

	方路	カウントした車両数	A社（RSU1）	B社（RSU1）	C社（RSU1）	A社（RSU2）
小型車中型車	方路1	370	100%	100%	100%	100%
	方路2	128	100%	100%	-	100%
	方路3	513	100%	100%	-	100%
	方路4	84	100%	100%	-	100%
大型車(バス、トラック)	方路1	17	100%	100%	100%	100%
	方路2	10	100%	100%	-	100%
	方路3	47	98%	100%	-	100%
	方路4	6	100%	100%	-	100%
自動二輪車	方路1	17	100%	100%	100%	100%
	方路2	7	100%	100%	-	100%
	方路3	18	100%	100%	-	100%
	方路4	7	100%	100%	-	100%

図 364　方路

次に F 社(RSU3)の物標認識システムの検知率についてまとめる。F 社(RSU3)の物標認識システムの物標検知対象の車線は、図 365 の赤丸の方路から交差点に進入する車線である。この車線の検知率は表 120 の通りであり、未検知は発生しなかった。

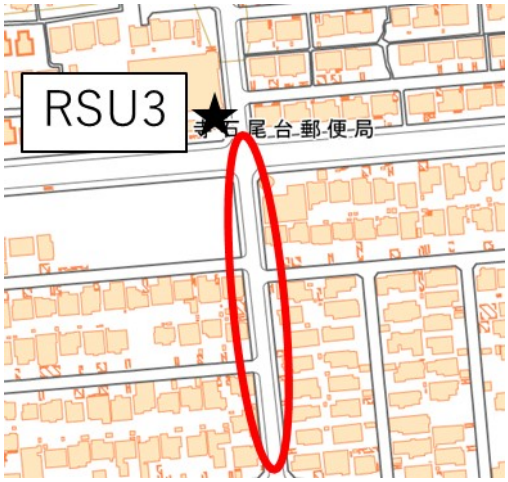


図 365　F 社の物標認識システムが検知している方路

表 120　RSU3 に搭載された物標認識システムの物標の検知率

	カウントした車両数	F社（RSU3）
小型車、中型車	253	100%
大型車(バス、トラック)	11	100%
自動二輪車	5	100%

(3) データフュージョンアプリケーションの評価

昨年度作成したデータフュージョンアプリケーションの評価結果を記載する。本評価では、検知範囲がオーバーラップしている A 社(RSU1・RSU2)と B 社(RSU1)の物標認識システムが出力した物標情報を CSV ファイルに出力し、その CSV ファイルを使ってデータフュージョンアプリケーションの評価を行った。

図 366 に A 社(RSU1)と B 社(RSU1)の物標認識システムが出力した物標情報とデータフュージョンアプリケーションの出力結果を示す。このとき、車両は図 364 の方路 2 から方路 3 へ走行していた。データフュージョンアプリケーションの出力結果は、A 社(RSU1)と B 社(RSU1)の物標認識システムが出力した物標情報の中心付近にある。次に走行データを収集した車両を物標認識システムが検知したときに A 社(RSU1・RSU2)と B 社(RSU1)の物標認識システムが出力した物標情報を使用して、データフュージョンアプリケーションの出力結果を評価した。図 367 に評価結果を示す。車両は、図 364 の方路 1 から方路 3 へ走行していた。データフュージョンアプリケーションの出力結果は、各社の物標認識システムが出力した物標情報の中心付近にあり、走行データの車両位置に近い位置に出力されていることがわかる。このことから、データフュージョンにより各社の物標認識システムが出力した物標情報の位置誤差の低減が実現できたと考えられる。

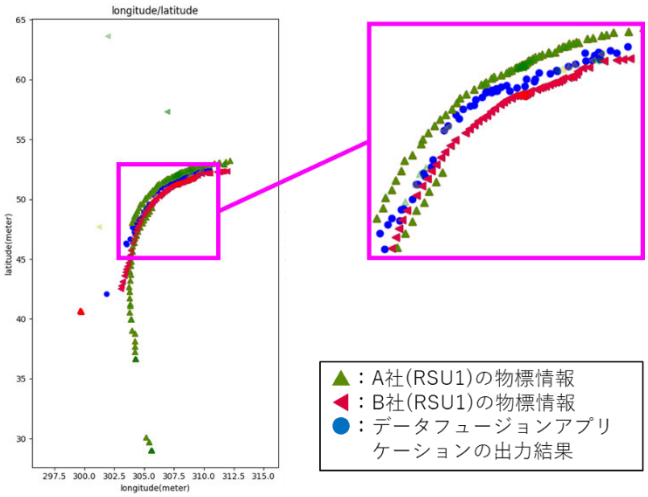


図 366　左折時のデータフュージョンアプリケーションの出力結果

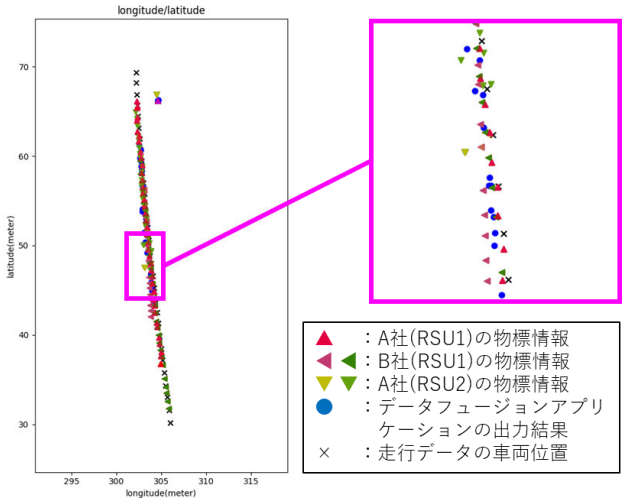


図 367　直進時のデータフュージョンアプリケーションの出力結果

データフュージョンアプリケーションを評価するうえで、アソシエイトされる物標情報の数が少なくデータフュージョンが行われなかったことがあった。アソシエイトされる物標数が少ない課題は、各社の物標認識システムの認識精度が原因であると考えられる。図 368 は同時刻での各社の物標認識システムが認識した物標情報と車両の走行データをプロットしたものである。車両の走行データは図 364 の方路 1 から方路 3 へ走行したものである。A 社（RSU1）の物標情報は車両の走行データに近い位置にあるが、A 社（RSU2）の物標情報は約 3.5m 離れた位置にある。また、B 社（RSU1）の物標は車両の走行データから約 2m 離れた位置にあり進行方向は反対方向を出力していた。データフュージョンアプリケーションの役割は、認識精度の悪い物標情報を複数の物標情報により補正することである。上記の課題については、対応方法を検討する必要がある。

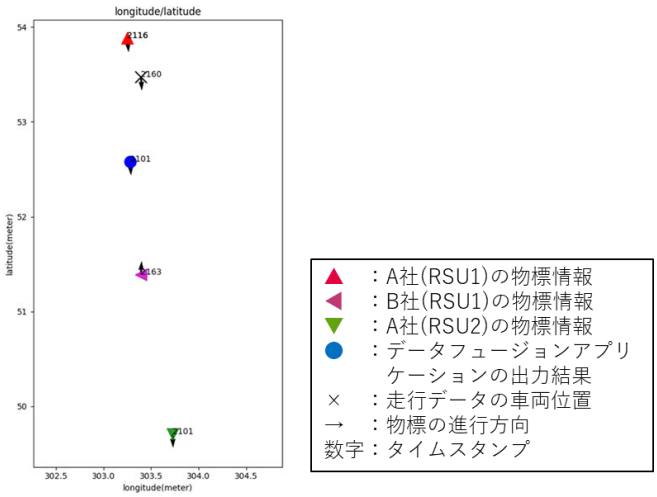


図 368　同時刻での各社の物標認識システムの認識結果

(4) 協調型路側機とデータ連携 PF の評価

協調型路側機とデータ連携 PF の効果を評価するために、交差点右左折時の自動走行判断に協調型路側機から取得した物標情報を使用する自動運転システムを実装し、春日井市高蔵寺地区に設置した協調型側機（図 313）を使用し、その支援効果を検証した。検証方法を図 369 を用いて説明する。

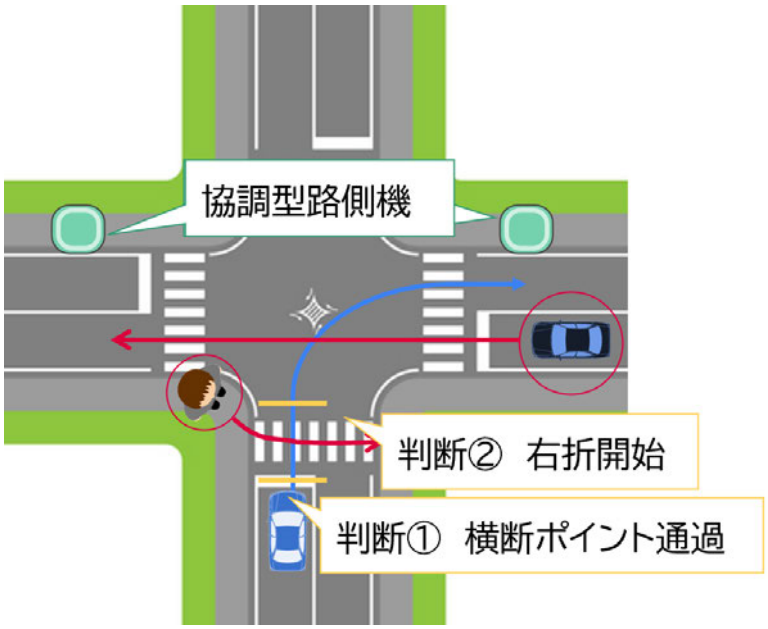


図 369　交差点通過可否判断ポイント

本評価実験では、自動運転車は交差点に進入する前に一時停止を行う必要のある側（無信号交差点では非優先側、信号有交差点では任意の方向）で交差点に進入し、右折または左折の進路を

とる。その際、一時停止線のある地点で通過判断①を実施する。この判断は、無信号交差点においては横断歩行者が存在しないことを確認するために一時停車し、判断は運転手が行う。信号交差点においては、協調型路側機から取得した信号予定情報に基づき行う。この判断に誤りがある場合、運転手が自動走行を中断する操作を実施する。一時停止線を通過できる状態であった場合、自動運転車を交差点内に設置した通過判断②の地点で一時停止する。この地点は右左折しようとしている自動運転車が他の車両の進路と交錯する直前に設定し、右左折を行うための最終判断を実施する。この地点において、協調型路側機から得られた物標情報を活用し、優先側の交通参加者と交錯するまでの余裕時間を判断する。(1)でも説明したように、本実験では 7 秒の余裕時間を設定し、この時間を下回るような位置および速度で進行する他の物標情報が協調型路側機から得られた場合、②の地点で待機する。この時、協調型路側機から配信される物標情報が正確であれば安全に交差点を右左折できる。一方で、協調型路側機から配信される情報に誤りや遅延等がある場合、誤った行動をとってしまうので、本実験では自動運転車には運転者を乗車させ、自動運転車が誤った行動をとった際には操作介入を行い、その行動を正常化させる。この操作介入回数を調査することで、協調型路側機から得られる物標情報が無人走行に資するかどうかを評価する。本実験における誤りのパターンは以下である。

(a) 他車両がいるにもかかわらず未検出であったり、情報の遅延により伝達が遅れたりする場合、誤発進を行ってしまい運転者による自動走行中断対応が実施される。

(b) 他車両がいないにもかかわらず誤検出があった場合、交差点内で待機し続けるため、運転者による走行指示が自動運転車に対して行われる。

(c) 運転者が優先側車両を見落とし、協調型路側機からの物標情報により発進が阻止された場合。

以上の(a)～(c)の誤りのうち、(a)および(b)は協調型路側機による物標検出に誤りがある場合であり、(c)は運転者の側に誤りがある場合である。前者の場合の回数が多ければ協調型路側機の支援効果は低く、認識機能の改善などが必要となる。一方で、(c)のような状況が得られれば、自動運転レベル 4 車への支援のみならず、運転支援機能等への応用も有効であるといえる。この条件のもとに協調型路側機の支援効果検証を行うために、下記の期間で走行実験を実施した。

- 走行実験 1

  実施期間：8 月 15 日～22 日

  備考：本実験では信号予定情報の取得は実施しない

  本実験では待機判断を内部的に行うのみでパターン(c)は生じない

- 走行実験 2

  実施期間：1 月 23 日～27 日

  備考：本実験では協調型路側機からの物標情報により自動運転車が交差点手前で

  待機判断を行う機能を有効にして実施する

本実験における結果を以下で報告する。まず、走行実験 1 においては、協調型路側機の支援効果検証に関する各種分析ツール等の開発を実施するための基礎データを収集することを目的に、協調型路側機からの情報は自動運転システムの内部判断のみに活用し、走行制御は実施しない方法で実験を行った。本実験では、26 件の交差点走行結果を取得した。取得した交差点は無信号交差点のみである。その分析結果を表 121 に示す。

表 121　協調型路側機の効果検証結果①

条件	件数
(a) システムが誤発進を判断し、運転者が停車を行った場合	2
(b) システムが停車を判断し、運転者が発進を指示した場合	3
(c) 運転手が発進を指示したが優先車両が存在した場合	4
運転手が発進を指示しシステムも許可している場合	17

まず、17 件の走行事例では運転手の判断と協調型路側機の物標情報による走行判断結果が一致しており、交差点通過判断に協調型路側機を用いたとしても正常に交差点を通過時できた事例である。一方で、(a)優先車両の未検出および(b)優先車両の誤検出は誤判断が生じている事例であり、協調型路側機の物標認識性能を向上させる必要のある事例である。最後に、(c)の事例は死角等の影響により優先車両を運転者が見落としたまま発進を指示した状況であり、人間による運転でも一時的に判断を誤ることは日常的に生じていることを表している。

以上の分析結果を受け、走行実験 2 においては協調型路側機が優先すべき交通参加者を検出した際に、自動運転車が交差点への侵入を待機する機能を有効にすることで、運転者または自動運転車に搭載されるセンサーでは視認できない位置にいる交通参加者情報が有効に活用できているかを評価する。評価のために、自動走行により無信号交差点を右左折する場面を 44 走行分収集し、協調型路側機の効果を 5 種に分類した（表 122)。まず、表 122 の場面 A)は運転者が死角等により優先交通参加者を見逃した場合において、協調型路側機が検出することで自動停車を行った場面であり、7 件が該当した。この場面は、協調型路側機が死角等のある交差点において有効に活用できた状態である。場面 B)は優先すべき交通参加者を発見できず、運転者が停車を指示した場面である。この場面が生じる条件としては、交通参加者が未検出であった場合に加え、検出された交通参加者の移動速度が不明、または、低速に評価されることにより、交差点到達までの時間が実際よりも長く計算された場合が該当する。(2)でも報告したように、協調型路側機による物標計測には誤差や未検出も存在するので、さらなる精度向上や有効なアルゴリズムの選定などが必要

だと考える。次に、場面 C)は自動運転システムの自律系センサーが過剰に反応し、障害物等を誤検出した場合であり、協調型路側機の評価対象外の場面である。場面 D)は協調型路側機に誤検出が生じることで、実際には存在しない交通参加者を優先するためにシステムが停車を判断した場合である。この場合が生じた原因としては、実験を実施した歩道フェンスの一部に車両と誤認しやすい構造物が存在したためである。本実験で用いた協調型路側機には複数の物標認識アルゴリズムが搭載されているが、本誤検出は特定のアルゴリズムのみで生じており、他のアルゴリズムでは生じないことから、有効な物標検出アルゴリズムの選定を行うことで本問題を解決することができる。場面 E)は協調型路側機からの物標情報が存在せず、実際に優先すべき交通参加者が孫座しなかった場合である。この場合は、協調型路側機の物標検出が正常に動作し、人間と同様に安全確認が実施できた場合である。以上の評価結果から、協調型路側機の物標検出情報に生じる誤認識または未認識により自動運転車が正常に交差点を通過できない場合が観測された。誤認識等より自動運転が不要な停車を継続する場面においては、停車を継続するので危険性は無いものの、交通の妨げとなるので、誤認識しやすい周辺構造物をマスキングする等の対応が有効である。一方で、場面 B) は優先すべき交通参加者の存在や行動を認識できなかった場合であり、危険性の高い行動である。この場面を減少させるためには、認識アルゴリズムの調整により未認識率を低減させることに加え、移動速度や方向の計測精度を高める必要がある。本事業では物標認識に関する研究開発を別途行っているので、本年度の成果を来年度に協調型路側機に組み込むことで、未認識率の低減を図ることが期待できる。

表 122　協調型路側機の効果検証結果②

場面	件数
A) 運転者の死角にある物標を協調型路側機が発見した	7
B) 協調型路側機の情報では優先交通参加者を判断できなかった	5
C) 自動運転システム誤検出が生じ、運転者が走行を指示した	5
D) 協調型路側機の誤検出が生じた、運転者が走行を指示した	10
E) 運転者と協調型路側機が同様に安全を確認した	17

8) データ連携と活用に関する法的な問題の検討

■ 該当項目の背景と目的

データ連携 PF を活用するにあたっては、円滑なデータの提供や共有が必要とされるところ、データ連携 PF に関わる当事者は多数に上り、また、データの種類も様々であることから、各当事者間の権利義務やデータに関する権利など、法的関係が複雑になる可能性が高い。

そこで、データ連携 PF を構築・運用するにあたって問題となりうる法的課題を抽出し、あり得べき法制度や法解釈を研究・報告する。

■ 実施方針

データ連携 PF を活用するにあたって生じる法的な問題には、①位置情報等を取り扱う際の個人情報・プライバシー関連、②各種データの提供・利用の際のルールや権利関係、③プラットフォーム構築・運用主体の法的義務・責任などが存するところ、2022 年度については、上記①の法的問題を中心に検討を行うこととした。

■ 実施事項と実施方法

(1) 検討の基本方針

i) データの種類

データ連携 PF では様々な種類のデータが取得・利用されることが想定されているが、現時点で考えられているスキームにおいて個人情報やプライバシーに関連するデータの中では、①車両の物標情報、②協調型路側機のカメラ画像・動画が重要と思われるため、本項では上記 2 点に絞って検討を進める。

なお、現時点で考えられているデータ連携 PF のスキームでは、車両の車台番号、自動車登録番号、車両の所有者・使用者・運転者、歩行者のスマートフォンに関する情報は利用されないが、今後スキームが変更された場合には法的問題の検討対象に加える。

ii) データを取り扱う法的主体

法的問題を具体的に検討するうえでは、データに関して責任を負うべき法的主体を特定したうえで考察をする必要がある。

データ連携 PF では、様々な法的主体が関与することになるが、本項では、①車両の物標情報についてはデータ連携 PF を運用する者、②協調型路側機のカメラ画像・動画については協調型路側機を運用する者を想定して法的問題を検討する。

なお、ここで「運用をする者」は、物理的なサーバや協調型路側機の所有者や占有者ではなく、データを取得・利用する権限を有する法的主体を指す。

また、上記①及び②の主体が公的部門になるか民間部門となるかも現時点では確定していないが、ここでは民間部門を想定して検討する。

iii） 法制度

本項では、個人情報やプライバシーに関連し、データ連携 PF が社会実装された場合に生じうる現行法上の問題点を取り上げる。具体的には、我が国における憲法、民法、個人情報保護法、及び電気通信事業法を取り上げる。

(2) 問題の所在

i） 車両の物標情報

データ連携 PF では、車両の位置や状態に関する動的な情報（以下「物標情報」という。）を取得・利用することが想定されており、車両の物標情報のデータには、物標 ID、情報取得時刻、物標位置等が含まれている（「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案) version 0.7.0」（別添））。

したがって、データ連携 PF が社会実装された場合、データ連携 PF を運用する者（以下「データ連携 PF 運用者」という。）は、特定の車両が、いつ、どこにいたか（以下「位置情報」という。）や、どのような経路で移動したか（以下「経路情報」という。また位置情報と経路情報を合わせて「位置情報等」という。）に関する大量のデータを取得・利用することになる。

これらの位置情報等は、例えば車両所有者の住所・氏名と結びつけば個人情報となり、データ連携 PF 運用者には個人情報保護法の様々な規制が課せられることになるため、位置情報等の取得・利用に一定の制約が課せられることになる。

また、データ連携 PF 運用者は通信を利用してデータを取り扱うことから、電気通信事業法による電気通信事業者として同法の規制を受ける可能性がある。その場合には、個人情報保護法とは別に、電気通信事業法により位置情報等の取得・利用について一定の制約が課せられることになる。

さらに、特定車両の位置情報等を追跡（トラッキング）することで、特定個人の行動を把握するが可能となる場合には、個人のプライバシーとの問題も生じる可能性がある。

ii） 協調型路側機のカメラ画像・動画

データ連携 PF で検討されている協調型路側機は、周辺に存在する物標を検知する様々なセンサー、センサーデータを処理するためのデータ処理機能、車両あるいはクラウド（エッジ）サーバとの間でデータを送受信するための通信機能で構成される（2021 年度報告書別添 1「CooL4 協調型路側機仕様（案）ver0.6.0」）。センサーの中にはカメラセンサーが含まれており、協調型路側機を運用する者（以下「協調型路側機運用者」という。）は、カメラセンサーを通じて周囲の状況の画像・動画を取得・利用することになるが、これらの画像・動画には、協調型路側機周辺の車

両の自動車登録番号や、運転者、同乗者、歩行者の顔などが映り込む可能性があり、個人情報保護法、電気通信事業法、プライバシー及び肖像権の問題が生じる可能性がある。

なお、データ連携 PF において協調型路側機による画像・動画は必ずしも必要ではなく、最終的には画像・動画は取得・利用されない可能性もあるとのことであるが、本項では、取得・利用される場合を想定して法的問題を検討する。

iii) まとめ

以上のとおり、車両の物標情報と協調型路側機のカメラ画像・動画に関してはいくつかの法的問題が存する。

そこで、以下では、まずは個人情報保護法、電気通信事業法、プライバシー権及び肖像権に関する一般的な法的論点を整理したうえ、データ連携 PF 運用者が車両の物標情報を取り扱う上での法的留意点、及び協調型路側機運用者がカメラ画像・動画を取り扱う上での法的留意点についてそれぞれ検討する。

(3) 個人情報保護法、電気通信事業法、プライバシー及び肖像権の整理

i) 個人情報保護法

ア 個人情報保護法の概要

個人情報保護法は、情報化の急速な進展により個人の権利利益の侵害の危険性が高まったことや、国際的な法制定の動向等を受けて、2003 年 5 月に公布され、2005 年 4 月に全面施行された。その後、情報通信技術の発展や事業活動のグローバル化等の急速な環境変化をふまえて数度の改正がなされており、直近では 2020 年及び 2021 年に大きな改正がされており、2023 年 4 月 1 日をもって改正法が全面施行される。

個人情報保護法は、基本的には個人情報取扱事業者等に対する業規制であり、個人情報取扱事業者は、個人情報の利用目的を特定する義務（個人情報保護法 17 条 1 項)、利用目的の範囲内で個人情報を利用する義務（同法 18 条 1 項)、個人情報の不適正利用の禁止（同法 19 条)、個人データの安全管理措置（同法 23 条)、個人データ漏洩時の報告義務（法 26 条)、個人データの第三者提供の制限（同法 27 条等)、保有個人データに関する事項の公表、開示・訂正等・利用停止等（同法 32 条ないし 39 条）などの義務を負っている。

個人情報の適正な取扱の確保を図るために個人情報保護委員会が設置され、同委員会は個人情報取扱事業者等に対し、報告及び立入検査（同法 143 条)、指導及び助言（同法 144 条)、勧告及び命令（同法 145 条）の権限を有している。

これら個人情報保護法に基づく規制の詳細については、個人情報保護委員会から各種ガイドライン（通則編、外国にある第三者への提供編、第三者提供時の確認・記録義務編、仮名加工情報・匿名加工情報編、認定個人情報保護団体編）や、Q&A 等が公表されている

(https://www.ppc.go.jp/personalinfo/legal/)。

なお、以前の個人情報保護法は民間の個人情報取扱事業者を対象としており、国の行政機関、独立行政法人等、地方公共団体、地方行政独立法人の有する個人情報についてはそれぞれ個別の法律で規律されていたところ、2020 年及び 2021 年の改正により、これらの公的部門も個人情報保護法の対象に含まれることになり、個人情報保護委員会が民間部門及び公的部門に対し一元的に個人情報保護法による規律を解釈運用することとなった。

イ　個人情報、個人データ、仮名加工情報、匿名加工情報、個人関連情報

個人情報保護法においてどのような情報やデータが保護の対象となるのかについて説明する。

(ア)個人情報

「個人情報」とは、「生存する個人に関する情報」であって、「当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの（他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができるものを含む。)」(同法第 2 条第 1 項第 1 号)、又は「個人識別符号が含まれるもの」(同項第 2 号）をいう。

ここで、「個人に関する情報」とは、氏名、住所、性別、生年月日、顔画像等個人を識別する情報に限られず、ある個人の身体、財産、職種、肩書等の属性に関して、事実、判断、評価を表す全ての情報であり、評価情報、公刊物等によって公にされている情報や、映像、音声による情報も含まれ、暗号化等によって秘匿化されているかどうかを問わないとされている。(個人情報保護法ガイドライン（通則編）2-1)。

また「他の情報と容易に照合することができ」るとは、通常の業務における一般的な方法で、他の情報と容易に照合することができる状態をいい、例えば、他の事業者への照会を要する場合等であって照合が困難な状態は、一般に、容易に照合することができない状態であると解される（同)。

「個人識別符号」とは、政令で指定されている文字、番号、記号その他の符号である。例えば、DNA 塩基配列、顔認証データ、運転免許証、パスポート番号などが該当する。一方、自動車登録番号、携帯電話番号、Cookie は政令で指定されておらず、現時点ではそれ単独では個人情報に該当しない。

(イ)個人データ

個人情報保護法では、「個人情報」と「個人データ」の定義を区別しているので注意が必要である。

「個人データ」とは、個人情報取扱事業者が管理する「個人情報データベース等」を構成する個人情報をいうと定義づけられている（個人情報保護法 16 条 3 項)。

それでは、「個人情報データベース等」とは何かということになるが、これは、特定の個人情報をコンピュータを用いて検索することができるように体系的に構成した、個人情報を含む情報の集合物のことである（同法 16 条 1 項）。

例えば、個人の氏名が記載された名刺は、それ一枚だけでは「個人情報」が記載されているが、「個人データ」ではない。しかし、名刺の情報を PC 等で電子データとしてデータベースに入力した場合には、当該データベースは「個人情報データベース等」となり、名刺に記載された個人情報は「個人データ」ということになる。

(ウ)仮名加工情報

「仮名加工情報」とは、個人情報を、氏名、生年月日など特定の個人を識別できる情報や個人識別符号を削除等して、他の情報と照合しない限り特定の個人を識別することができないように加工して得られる個人に関する情報をいう（個人情報保護法 2 条 5 項）。

仮名加工情報は匿名加工情報と似ているが、法律上の定義が異なるので注意が必要である。

仮名加工情報は、個人情報から氏名等を削除しているものの、他の情報と照合すれば特定の個人を識別できるため、あくまで「個人情報」である。そのため、個人情報として引き続き一定の規制に服することになる。

一方、後述する匿名加工情報は、技術的または法的に特定の個人を識別できない情報になっているため、もはや「個人情報」ではない。

(エ)匿名加工情報

「匿名加工情報」とは、個人情報を個人情報の区分に応じて定められた措置を講じて特定の個人を識別することができないように加工して得られる個人に関する情報であって、当該個人情報を復元して特定の個人を再識別することができないようにしたものをいう（個人情報保護法 2 条 6 項）。

上記のとおり、仮名加工情報と似ているが、匿名加工情報は特定の個人を識別することができないため、もはや個人情報ではなく基本的に匿名加工情報の利用や提供は自由に行うことができる。ただし、匿名加工情報を作成したときの公表義務等、一定の制約は残る。

(オ)個人関連情報

個人関連情報とは、生存する個人に関する情報であって、個人情報、仮名加工情報及び匿名加工情報のいずれにも該当しないものをいう（個人情報保護法 2 条 7 項）。

ここで「個人に関する情報」とは、ある個人の身体、財産、職種、肩書等の属性に関して、事実、判断、評価を表す全ての情報である（個人情報保護法ガイドライン（通則編）2-8）。

例えば、Cookie 等の端末識別子を通じて収集された個人のウェブサイトの閲覧履歴や、ある個

人の商品購買履歴、サービス利用履歴、位置情報、興味・関心を示す情報が個人関連情報にあたる。

個人関連情報は「個人情報」ではないので、基本的に利用や提供は自由に可能だが、提供先の第三者が、個人関連情報を個人データとして取得する場合には、本人の同意なく提供ができないという規制がある（個人情報保護法 31 条 1 項）。

ii） 電気通信事業法

ア　電気通信事業法の概要

電気通信事業法は、電気通信役務の円滑な提供を確保するとともにその利用者の利益を保護し、もつて電気通信の健全な発達及び国民の利便の確保を図り、公共の福祉を増進することを目的として、1984 年に制定された。

通信ネットワークは、通信技術の発展に伴い著しい進化を続けてきており、LTE(Long Term Evolution)/4G や超高速・大容量、低遅延、同時多数接続が可能なモバイル通信を実現する 5G、FTTH(Fiber To The Home)等により、国民の日常生活や社会経済活動の中で、いつでもどこでも自由に通信できる環境を支える基盤を提供してきている。また、最近では、ブロードバンドサービスについて普及が広まり、その整備・維持が重要となっていること、情報通信技術を活用したサービスの多様化やグローバル化に伴い、情報の漏えい・不適正な取り扱い等のリスクが高まっていること等の電気通信事業を取り巻く環境変化が生じている。

そのため、電気通信事業法も、その適用対象や規制内容を拡大・強化すべく検討が重ねられ、2022 年 6 月には改正法が成立し、2023 年 6 月に施行が予定されている。

電気通信事業法の規制の基本的な枠組みとしては、電気通信役務を提供する電気通信事業者に対し、検閲の禁止、通信の秘密の保護、参入に関する規律（登録又は届出）、登録又は届出事項の変更や事業の休廃止等に関する規律、消費者保護に関する規律（提供条件の説明、業務の休廃止の周知等）、電気通信設備に関する規律（技術基準への適合維持義務等）、報告等に関する規律（通信の秘密の漏洩や重大事故が発生した場合の報告等）を定めている。また、上記 2022 年 6 月の電気通信事業法の改正によって、電気通信事業者に対し、電気通信役務の利用者に関する情報の適正な取扱いを義務付けたり、第三者に利用者情報を送信させようとする場合に利用者に確認の機会を付与するなど、新たな規制が導入されている。

イ　電気通信事業者の範囲

電気通信事業法の規制の対象となる「電気通信事業者」の範囲は、やや複雑である。

電気通信役務を提供する者のうち電気通信事業を営む者が「電気通信事業者」となるが、その中でも、事業内容に応じて登録又は届出が必要な事業者と、不要な事業者に分かれている。また、事業内容や規模に応じて、登録が必要か、届出で足りるのかが分かれたり、課される義務の内容

が異なったりする。

そのため、事業者としては自らの事業が電気通信事業法によるどのような規制の対象となるかを慎重に検討し、判断する必要がある。その判断の参考のため、総務省はホームページで電気通信事業者参入マニュアルを公表している

（https://www.soumu.go.jp/main_content/000477428.pdf）。

ウ　電気通信事業者と個人情報及び通信の秘密の保護

上記のとおり電気通信事業者にはその事業内容や規模の応じて様々な義務が課されることになるが、データ連携 PF で取り扱う物標情報や協調型路側機のカメラ画像・動画との関連でいえば個人情報及び通信の秘密の保護が関係する。

すなわち、電気通信事業法では、「電気通信事業者の取扱中に係る通信の秘密は、侵してはならない」（電気通信事業法 4 条）とされており、電気通信事業者に対しては、電気通信業務に関し通信の秘密の漏えいが生じた際に理由又は原因とともに報告することを求めている（同法 28 条）。なお、ここでいう通信の秘密とは、個別の通信に係る通信内容だけでなく、個別の通信に係る通信当事者の住所、氏名、発信場所、通信日時の構成要素も含むものと解されている。

また、個人情報を取り扱う電気通信事業者は個人情報保護法による規制も受けることとなる。

そこで、電気通信事業者に対し、通信の秘密に属する事項その他の個人情報の適正な取り扱いについてできるだけ具体的な指針を示すために、総務省及び個人情報保護委員会から「電気通信事業における個人情報保護に関するガイドライン」

（https://www.soumu.go.jp/main_content/000805807.pdf）が公表されている。

同ガイドラインでは、個人情報に関しては個人情報保護法と同様の規律が記載されているが、通信の秘密の保護の観点から電気通信事業者ならでは規律も記載されている。

例えば、電気通信事業者が取り扱う位置情報については、あらかじめ利用者の同意を得ている場合か、電気通信役務の提供に係る正当業務行為その他の違法性阻却事由がある場合に限り取得できるとされている（同ガイドライン 41 条 1 項）。また、電気通信事業者は、あらかじめ利用者の同意を得ている場合、裁判官の発付した令状に従う場合その他の違法性阻却事由がある場合に限り、位置情報について、他人への提供その他の利用をすることができる（同ガイドライン 41 条 2 項）。さらに、電気通信事業者が、位置情報を加入者若しくはその指示する者に通知するサービスを提供し、又は第三者に提供させる場合には、利用者の権利が不当に侵害されることを防止するため必要な措置を講ずることが適切であるとされている（同ガイドライン 41 条 3 項）。

iii） プライバシー及び肖像権

ア　プライバシーの概要

プライバシーが法的保護に値する個人の権利・利益であるということは判例上も確立しており、

プライバシー侵害がされた場合には、損害賠償や侵害行為の差し止めの対象となる。

ただ、「プライバシー」「プライバシー権」という言葉は一般的にも裁判でも多用されているが、日本の憲法や法律上、明確な定義が存しない。「プライバシー」「プライバシー権」の具体的内容について、判例や学説にも様々な説があり、現状、統一的で明確な定義があるわけではない。

プライバシーが法的に保護されることについては共通認識となっているが、その外縁は必ずしも明らかではないところが、プライバシー侵害の予測可能性を低めることになり、ときに萎縮的効果（プライバシー侵害となることを過剰におそれ、行動を制限する）が生じ、ときに過度な反応（違法ではないが社会的に強い非難を受ける）を招くことになる。

そのため、プライバシー上の懸念がある行為に関し、公的組織や民間団体がガイドライン等で一定の判断基準を公表することも増えている。これらの判断基準に従ったからといって、必ずしも法的に免責される（違法性が阻却される）ということではないが、プライバシー侵害のリスクを低減させることができるため、実務上は有用である。

なお、個人情報保護法とプライバシーの関係についても補足しておくと、個人情報保護法は、個人情報取扱事業者等に対し「個人情報」の適正な取扱いをさせることにより、プライバシーを含む個人の権利利益の保護を図っているが、個人情報保護法の条文上、プライバシーの保護や取扱いに関する明確な規定はない。また、個人情報取扱事業者等が個人情報保護法に違反した場合には、個人情報保護委員会による勧告・命令の対象となるが、直ちに民事的な損害賠償や差し止めといった法的効果が生じるものではない。

一方、プライバシーは「個人情報」に留まらず、私生活上の事柄や私的な秘密などより幅広い内容を保護対象に含むものであり、また、プライバシー侵害が発生した場合には、民法上の不法行為等として損害賠償や差し止めを求めることができる。

イ　肖像権の概要

肖像権も法的保護に値する個人の権利・利益であるということは判例上も確立しており、肖像権侵害がされた場合には、民事的な損害賠償や侵害行為の差し止めの対象となる。

肖像権についても、プライバシーと同様に、日本の憲法や法律上明確な定義が存しないが、以下の 3 類型があると理解されている。

① みだりに撮影をされない権利（撮影の拒絶）

② 撮影された写真、作成された肖像を利用されない権利（公表の拒絶）

③ 肖像の利用に対する本人の財産的利益を保護する権利（いわゆるパブリシティ権）

しかし、具体的にどのような場合に肖像権侵害となるかは法令及び判例上明確ではない。

そこで、プライバシーと同様に、肖像権が問題となりそうな行為についても公的組織や民間団体でガイドライン等を作成・公表し、適法性についての一定の基準を示すことが増えている。

なお、肖像権とプライバシーとの関係であるが、肖像権をプライバシーとは別個の権利と解す

る見解もあれば、肖像権をプライバシー権の一内容として捉える見解もあるが、いずれも違法性の検討においては大きな違いはないと思われることから、ここでは肖像権をプライバシーとは別個の権利と整理して検討をする。

ウ　プライバシー及び肖像権が問題となった判例・裁判例

以下では、データ連携 PF における車両の物標情報（位置情報等）や協調型路側機が取得するカメラ画像・動画とプライバシー及び肖像権の問題を検討するうえで参考となる判例・裁判例を紹介する。

(ア)位置情報等とプライバシーに関する判例・裁判例

i　GPS 捜査とプライバシー（最大判平成 29 年（2017 年）3 月 15 日判タ 1437 号 78 頁）

本件では、被告人が複数の共犯者と共に犯したと疑われていた窃盗事件に関し、組織性の有無、程度や組織内における被告人の役割を含む犯行の全容を解明するための捜査の一環として、約 6 か月半の間、被告人、共犯者のほか、被告人の知人女性も使用する蓋然性があった自動車等合計 19 台に、同人らの承諾なく、かつ、令状を取得することなく、GPS 端末を取り付けた上、その所在を検索して移動状況を把握するという方法により GPS 捜査が実施された。

この警察による GPS 捜査について、第一審は重大な違法があると判断したが、控訴審は重大な違法があったとは言えないと判断し、下級審での判断が分かれたところ、最高裁は以下のように判示して、プライバシー侵害を認めた。

「GPS 捜査は、対象車両の時々刻々の位置情報を検索し、把握すべく行われるものであるが、その性質上、公道上のもののみならず、個人のプライバシーが強く保護されるべき場所や空間に関わるものも含めて、対象車両及びその使用者の所在と移動状況を逐一把握することを可能にする。このような捜査手法は、個人の行動を継続的、網羅的に把握することを必然的に伴うから、個人のプライバシーを侵害し得るものであり、また、そのような侵害を可能とする機器を個人の所持品に秘かに装着することによって行う点において、公道上の所在を肉眼で把握したりカメラで撮影したりするような手法とは異なり、公権力による私的領域への侵入を伴うものというべきである。」

ii　GPS による従業員の所在確認とプライバシー（東京地判平成 24 年（2012 年）5 月 31 日労判 1056 号 19 頁）

本件では、会社の取締役が従業員に対し、早朝、深夜、休日、退職後に、携帯電話の GPS を利用して居場所確認を行ったことについて、プライバシー侵害による違法性が認められるかが争点となり、裁判所は、「早朝、深夜、休日、退職後のように、従業員に労

務提供義務がない時間帯、期間において本件ナビシステムを利用して原告の居場所確認をすることは、特段の必要性のない限り、許されないというべき」と判示して、会社に対し損害賠償を命じた。

(イ)カメラ画像・動画とプライバシー及び肖像権に関する判例・裁判例

i　犯罪捜査における写真撮影といわゆる肖像権（最大判昭和 44 年（1969 年）12 月 24 日判タ 242 号 119 頁）

本件は、デモ行進を撮影した警察官に対しデモ隊が暴行を加えた公務執行妨害及び傷害の刑事事件において、当該警察官の撮影が被告人の肖像権を侵害する違法な職務執行であったかが争点となったものである。

最高裁は、「個人の私生活上の自由の一つとして、何人も、その承諾なしに、みだりにその容ぼう・姿態（以下「容ぼう等」という。）を撮影されない自由を有するものというべきである。」「これを肖像権と称するかどうかは別として、少なくとも、警察官が、正当な理由もないのに、個人の容ぼう等を撮影することは、憲法 13 条の趣旨に反し、許されないものといわなければならない。」「しかしながら、個人の有する右自由も、国家権力の行使から無制限に保護されるわけでなく、公共の福祉のため必要のある場合には相当の制限を受けることは同条の規定に照らして明らかである。そして、犯罪を捜査することは、公共の福祉のため警察に与えられた国家作用の一つであり、警察にはこれを遂行すべき責務があるのであるから（警察法二条一項参照）、警察官が犯罪捜査の必要上写真を撮影する際、その対象の中に犯人のみならず第三者である個人の容ぼう等が含まれても、これが許容される場合がありうるものといわなければならない。」と判示し、結論として、本件の警察官による撮影行為は違法ではないとした。

ii　犯罪捜査における写真撮影といわゆる肖像権（最二判平成 20 年（2008 年）4 月 15 日判タ 1268 号 135 頁）

本件は、犯罪捜査の過程で、警察官が、被告人宅近くに停車した捜査車両の中から、あるいは付近に借りたマンションの部屋から、公道上を歩いている被告人をビデオカメラで撮影し、さらに、被告人が遊技していたパチンコ店の店長に依頼し、店内の防犯カメラによって、あるいは警察官が小型カメラを用いて、店内の被告人をビデオ撮影したことが、被告人の肖像権を侵害する違法な捜査活動ではないかと問題となった。

これに対し最高裁は、「これらのビデオ撮影は、捜査目的を達成するため、必要な範囲において、かつ、相当な方法によって行われたものといえ、捜査活動として適法なものというべきである。」と判示した。

iii　週刊誌による被疑者の写真撮影といわゆる肖像権（最一判平成 17 年（2005 年）11 月 10 日判タ 1203 号 74 頁）

本件は、週刊誌が、勾留理由開示の公判廷における被疑者の姿態を写真撮影して掲載したことに対し、当該被疑者が肖像権侵害を理由に損害賠償請求をしたものである。

最高裁は、「人は、みだりに自己の容ぼう等を撮影されないということについて法律上保護されるべき人格的利益を有する」「もっとも、人の容ぼう等の撮影が正当な取材行為等として許されるべき場合もあるのであって、ある者の容ぼう等をその承諾なく撮影することが不法行為法上違法となるかどうかは、被撮影者の社会的地位、撮影された被撮影者の活動内容、撮影の場所 、撮影の目的、撮影の態様、撮影の必要性等を総合考慮して、被撮影者の上記人格的利益の侵害が社会生活上受忍の限度を超えるものといえるかどうかを判断して決すべきである。また、人は、自己の容ぼう等を撮影された写真をみだりに公表されない人格的利益も有すると解するのが相当であり、人の容ぼう等の撮影が違法と評価される場合には、その容ぼう等が撮影された写真を公表する行為は、被撮影者の上記人格的利益を侵害するものとして、違法性を有するものというべきである。」と判示し、結論として、週刊誌による被疑者の撮影及び公表を違法とした。

iv　N システムとプライバシー及び肖像権（東京地判平成 19 年（2007 年）12 月 26 日 LLI/DB、東京高判平成 20 年（2009 年）1 月 29 日判タ 1295 号 193 頁）

本件は、原告ら 11 名が、道路上を自動車で走行した際、国が全国各地の道路上に設置・管理している自動車ナンバー自動読取システム（N システム）の端末又は旅行時間計測提供システム（AVI システム）の端末によって、車両の運転席及び搭乗者の容ぼうを含む前面を撮影された上、車両のナンバープレートを判読されて、これらに関する情報を保存、管理されたことにより、肖像権や情報コントロール権等を侵害されたと主張して、国家賠償を求めたものである。なお、本件で原告は「情報コントロール権」を主張しているが、これはプライバシー権を情報コントロール権と解する学説を意識しているものと思われる。

これに対し、第一審及び控訴審とも、N システムにより搭乗者の容貌等が撮影されたとしても、それが一時的にメモリに記憶されることはあるとしても、記録・保存されることはないので肖像権侵害は認められない、また、N システムの目的（自動車使用犯罪の犯人の検挙等犯罪捜査の必要及び犯罪被害の早期回復）や、取得、保有、利用の方法、情報の管理方法は正当であって、情報コントロール権等を侵害するものではない、と判示した。

v　ストリートビューとプライバシー（福岡高判平成 24 年（2012 年）7 月 13 日判時 2234 号

44 頁）

本件は、インターネット上で提供されている「ストリートビュー」と題するサービスにより、ベランダに干していた洗濯物を撮影・公表されたため強迫神経症及び知的障害が悪化した上、転居を余儀なくされたとして、控訴人（第一審の原告）が、プライバシー侵害等を理由に損害賠償を請求した事案である。

裁判所は、「容ぼう・姿態以外の私的事項についても、その撮影行為により私生活上の平穏の利益が侵され、違法と評価されるものであれば、プライバシー侵害として不法行為を構成し、法的な救済の対象とされると解される。」「ただし、写真や画像の撮影行為に対する制約にも制限があり、当該撮影行為が違法となるか否かの判断においては、被撮影者の私生活上の平穏の利益の侵害が、社会生活上受忍の限度を超えるものといえるかどうかが判断基準とされるべきであると解される」としたうえで、本件では、ベランダを撮影対象にしたものではなく、ベランダの画像の割合は小さく、また写った物も判然としないなどから、受忍限度の範囲内であり、プライバシー侵害は認められないと判断した。

vi　著名人のコンビニ万引の撮影とプライバシー（東京地判平成 22 年（2010 年）9 月 27 日判タ 1343 号 153 頁）

本件は、コンビニ店に客として訪れた著名人につき、コンビニ店内の監視カメラで撮影した映像を、コンビニ店の経営者がテレビ局に提供したというものであり、当該著名人が経営者に対し、撮影とテレビ局への提供が肖像権及びプライバシーの侵害にあたるとして損害賠償を求めたものである。

裁判所は、「ある者の私生活上の姿を撮影し、その撮影に係る画像を公表等した場合であっても、諸般の事情を総合考慮し、上記姿を撮影され撮影に係る画像を公表等されない利益と上記姿を撮影し撮影に係る画像を公表等する利益とを比較衡量して、上記人格的利益及びプライバシー権の侵害が社会生活上受忍限度内にあると判断される場合などには、不法行為法上違法であるとはいえないと解すべきである。」

「本件監視カメラは、本件店舗を訪れた客の個別的承諾を得ることなく、商品を選定したり、これを購入する姿を無差別に撮影するものであり、客の上記人格的利益及びプライバシー権が侵害されるおそれを内包するものであるということができる。したがって、本件監視カメラにおいて、本件店舗内の客を撮影し、その撮影に係る画像を報道機関に提供することによりこれを公表等することが不法行為法上違法といえるか否かは、撮影の目的、撮影の必要性、撮影の方法及び撮影された画像の管理方法並びに提供の目的、提供の必要性及び提供の方法等諸般の事情を総合考慮して、上記姿を撮影され撮影に係る画像を公表等されない利益と上記姿を撮影し撮影に係る画像を公表等する利益と

を比較衡量して、上記人格的利益及びプライバシー権の侵害が社会生活上受忍限度を超えるものかどうかを基準にして決すべきである。」

と判示したうえ、結論として、本件の撮影及びテレビ局への提供は違法ではないと判断した。

エ　ガイドライン等

上記で述べたとおり、具体的にどのような場合にプライバシー及び肖像権の侵害となるかが法令及び判例上明確ではないため、実際に事業等を行ううえで適法性についての予測可能性が低い。

そのため、最近では、公的組織や民間団体がガイドライン等で一定の判断基準を公表することが増えている。これらの判断基準に従ったからといって、必ずしも法的に免責される（違法性が阻却される）ということではないが、プライバシー及び肖像権侵害のリスクを低減させることができるため、実務上は有用である。

そこで、以下では、データ連携 PF における車両の物標情報（位置情報等）や協調型路側機が取得するカメラ画像・動画とプライバシー及び肖像権の問題を検討するうえで参考となるガイドライン等を紹介する。なお、公表されているガイドライン等は多数存することから、ここでは公的組織が公表しているもののうち代表的なもののみ取り上げる。

(ア)位置情報等に関するガイドライン等

i　位置情報プライバシーレポート（平成 26 年（2014 年）7 月　緊急時等における位置情報の取扱いに関する検討会）

本報告書は、電気通信事業者が利用者の移動体端末から取得する位置情報について、その適切な利活用により、防災・減災や街づくり、観光地・商店街の活性化等様々な社会的効果が期待されるとともに、利用者に向けた様々な有用なサービスの展開が期待されるなど、パーソナルデータとしてその利活用が高く期待されていることから、通信の秘密や個人情報、プライバシーを適切に保護しつつ、ビジネス利用も含めたその社会的利活用を促進するため、位置情報の取得、利用及び第三者提供時における適切な取扱いについて所要の整理を行うものである。

本報告書では、位置情報はその高いプライバシー性から、原則として、その提供するサービスごとに、位置情報の取得・利用・第三者提供について、利用者から同意を取得することが適当であるとされている。ただし、例外として、一定の場合には包括的な同意を許容し、また、通信を成立させるために必要不可欠な場合には同意不要としている。

さらに、利用者から同意を取得する前に、利用者に対し、位置情報を取得されることに伴うプライバシー上のリスクについて利用者が理解できるように分かりやすく、かつ利用者が容易に参照できる場所に説明・表示を行うべきであるとしている。

また、位置情報の匿名化についても検討されている。

参照　https://www.soumu.go.jp/main_content/000434727.pdf

ⅱ　スマートフォン　プライバシー　イニシアティブⅢ（平成29年（2017年）7月10日　スマートフォンアプリケーションプライバシーポリシー 普及・検証推進タスクフォース）

高度な情報処理能力が備わったスマートフォンは、様々なアプリケーションをインストールして多様な目的のために活用することが可能である一方、アプリケーションがスマートフォンの中の利用者情報へアクセスを行い、利用者が自らの情報がどのように取得・利用されているのかを十分理解することができないままに、情報が取得・利用されてしまうリスクが出てきており、利用者の不安感も高まっていた。そのような背景から、総務省が開催した「利用者視点を踏まえた ICT サービスに係る諸問題に関する研究会」により、スマートフォンの利用者情報の適正な取扱い等に関してまとめた「スマートフォン プライバシーイニシアティブ」が平成 24 年（2012年）8月に策定され、公表された。

その後も継続して検討・改善が行われ、平成29年（2017年）7月には、スマートフォン　プライバシー　イニシアティブⅢが策定・公表された。

スマートフォンにおける位置情報の取り扱いに関し、同書では「アプリケーションが提供するサービスへの利用以外の目的で、個人と結びつきうる形で GPS の位置情報などを取得する場合、プライバシー侵害を回避する観点から、個別の情報に関する同意取得を行う。」とされている。

参照　https://www.soumu.go.jp/main_content/000532174.pdf

(イ)カメラ画像・動画

ⅰ　利用者視点を踏まえたＩＣＴサービスに係る諸問題に関する研究会 第一次提言(平成21年（2009年）8月　利用者視点を踏まえたＩＣＴサービスに係る諸問題に関する研究会)

新たに登場したＩＣＴサービスや、新技術を活用した情報の流通などが、通信の秘密、個人情報保護、プライバシー、知的財産保護等との関係において不分明な状況が生じ、利用者の不安の高まりや、事業者によるサービス展開が円滑に進まないという課題が指摘されていることから、本研究会においては、こうした課題について、利用者視点を踏まえながら、適切な時期に、 関係者間で速やかに問題を整理し、具体的な対応策を検討している。

特に、公道から撮影した道路周辺の画像を編集し、インターネット上で閲覧可能となるよう公開するサービス、すなわちインターネット道路周辺映像提供サービスについて、①個人情報保護法、②プライバシーや肖像権、③より信頼されるサービスにするために

はどのような配慮が求められるか（十分な情報提供、インターネットを利用しない人々への配慮、防犯上の問題への配慮等）等の課題について、検討・報告がなされている。

参照　https://www.soumu.go.jp/main_content/000035957.pdf

ii　カメラ画像利活用ガイドブック ver3.0（令和4 年（2022 年）3 月　IoT 推進コンソーシアム・総務省・経済産業省）

本ガイドブックは、カメラ画像を利活用する事業の検討・実施、カメラに写り込み得る生活者とのコミュニケーション等において、法令遵守を前提としつつ、プライバシー保護の観点から、適法性だけでなく生活者と事業者間での相互理解や信頼関係を構築するために、事業者の自主的な取組を促すための参考とするために策定されたものであり、2017 年 1 月に ver1.0、2018 年 3 月に ver2.0、2022 年 3 月に ver3.0 が公表されている。

本ガイドブックでは、法令遵守を前提としつつ、事業者の自主的な取り組みを促すため、カメラ画像を利活用した事業の検討・実施や、カメラに写り込み得る生活者とのコミュニケーションにおいて、生活者と事業者間での相互理解を構築するために不可欠だと考えられる要素（配慮事項）を整理している。

配慮事項は、カメラ画像の利活用検討そのものに係る「基本原則」、生活者やビジネスパートナー等とのコミュニケーションに係る「コミュニケーションの配慮」、利活用の過程のうち、企画時に行う「企画時の配慮」、設計時に行う「設計時の配慮」、事前告知の際に行う「事前告知時の配慮」、データを取得する際に行う「取得時の配慮」、データを取り扱う際に行う「取扱い時の配慮」、データを管理する際に行う「管理時の配慮」、データを継続的に利活用する際に行う「継続利用時の配慮」として取りまとめられており、具体的な適用シーンごとの配慮事項も列挙されている（図 370）。

参照　https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220330001/20220330001-1.pdf

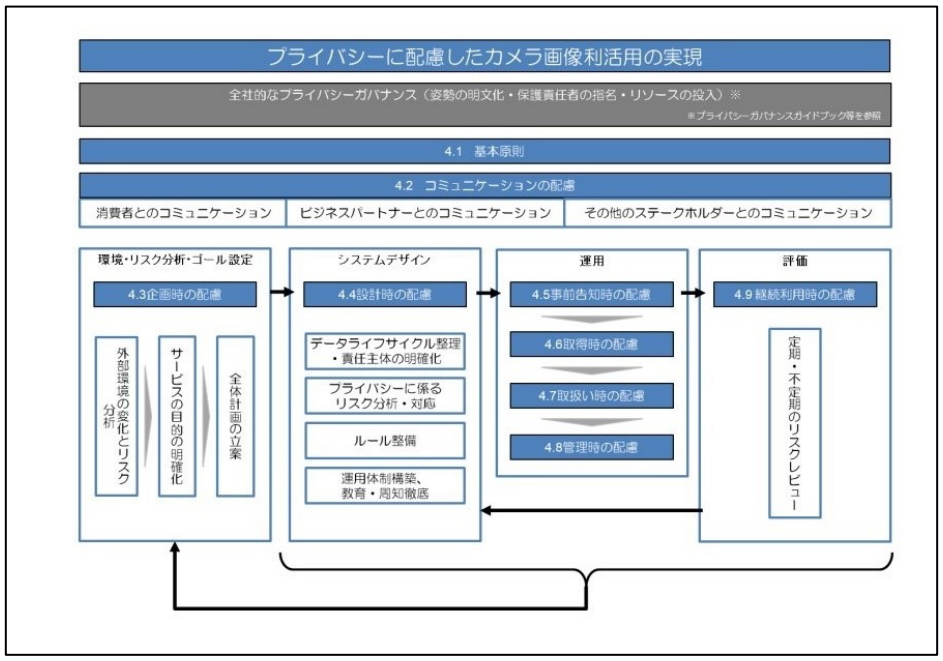


図 370　配慮事項の全体構成

iii　「ドローン」による撮影映像等のインターネット上での取扱いに係るガイドライン（平成 27 年（2015 年）9 月　総務省）

本ガイドラインは、ドローンの普及に伴い、その利活用による経済社会活動の発展とプライバシー等とのバランスを保つことが必要となることから、ドローンによる撮影映像等をインターネット上で閲覧可能とすることについて考え方を整理し、このような行為を行う者が注意すべき事項を取りまとめたものである。

本ガイドラインによれば、ドローンによる撮影行為により、プライバシーや肖像権といった権利を侵害する可能性があり、違法性や権利侵害については、個別具体的な事情を考慮した上で判断されるとしつつ、具体的に注意すべき事項として、住宅地にカメラを向けないようにするなど撮影態様に配慮すること、プライバシー侵害の可能性がある撮影映像等にぼかしを入れるなどの配慮をすること、撮影映像等をインターネット上で公開するサービスを提供する電気通信事業者においては、削除依頼への対応を適切に行うことなどを提言している。

参照　https://www.soumu.go.jp/main_content/000487746.pdf

(4) 車両の物標情報に関する法的問題

i)　現状のデータ連携 PF のスキーム

データ連携 PF では、物標情報を取得・利用することが想定されており、車両の物標情報のデータには、物標 ID、情報取得時刻、物標位置等が含まれている（「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案)

version 0.7.0」(別添))。

したがって、データ連携 PF が社会実装された場合、データ連携 PF 運用者は、特定の車両が、いつ、どこにいたかといった位置情報や、どのような経路で移動したかという経路情報に関する大量のデータを取得・利用することになる。

ただ、データ連携 PF では、個人情報やプライバシーの問題が生じることを回避するために、「仮名 ID」という技術的仕組みを利用することが考えられている。

すなわち、データ連携 PF におけるデータ連携ノードは、独自の PKI に登録され、そこから発行された証明書を用いて認証された通信を行うものとされている。独自の PKI は、1 つのルート認証局、1 つまたは複数の登録局、1 つまたは複数の認可局で構成される（図 222)。データ連携ノードは、登録 ID を用いて登録局に登録され、登録証明書の発行を受ける。車両は、登録証明書を用いて、認可局に対して仮名 ID の発行を依頼する。認可局は、登録局からの承認を得て、仮名 ID と仮名証明書を発行する。登録局と認可局の証明書は、ルート認証局が発行する（以上について本報告書 2-3.I.1)■実施事項と実施方法（2）セキュリティアーキテクチャ：465 頁参照)。

この認可局が発行する仮名 ID は、時間・場所・周囲の車両状況などによって随時変更され、仮名 ID から移動軌跡を追跡できないようにする技術が研究・開発されている（以上について、本報告書 2-3.I.3)■実施事項と実施方法（2）セキュリティ機能の分散配置【仮名変更方式に関する検討】：517 頁及び本報告書 2-3.I.5)■実施事項と実施方法（5）仮名 ID 変更戦略の検討と実装・評価：556 頁参照。）

以下では、上記「仮名 ID」という技術的仕組みが実装されたことを前提に、法的諸問題を検討する。

ⅱ） 車両の物標情報と個人情報保護法

上記ⅰ）を前提に、データ連携 PF 運用者が車両の物標情報を取り扱う場合の個人情報保護法との関係を整理する。

まず、データ連携 PF 運用者が取得・利用する車両の物標情報は、それ単独では個人情報ではなく、また、データ連携 PF 運用者は車両の所有者や運転者等に関する個人情報を保有していないため、車両の物標情報と他の情報を照合して特定の個人を識別することもできない。

したがって、データ連携 PF が取得・利用する車両の物標情報は個人情報にはならない。

この点、車両の物標 ID を一意な ID とした場合には、特定の車両の位置情報等を継続的に収集・分析することにより、特定の個人を識別できる可能性もあるが、データ連携 PF において想定されている「仮名 ID」では、同一車両であっても物標 ID が定期的に変更されることになっているため、特定の車両の位置情報等を継続的に収集・分析することが困難となっており、その結果、車両の物標情報が個人情報となる可能性は極めて低い。

なお、車両の物標情報について、原則的には個人ではなく車両の位置情報であるから個人関連情報でもないが、いわゆるオーナーカーの場合には、特定の所有者または運転者の位置情報を含むものであり、個人関連情報に該当する可能性がある。

個人関連情報については、提供先の第三者が、個人関連情報を個人データとして取得する場合には、本人の同意なく提供ができないという規制があるが（個人情報保護法 31 条 1 項)、車両の物標情報には仮名 ID の技術的仕組みが用いられることから、データ連携 PF 運用者から車両の物標情報を受け取る第三者が、車両の物標情報と特定の個人の情報を紐付けることは極めて困難であり、車両の物標情報を個人データとして取得することは想定できない。

したがって、車両の物標情報が仮に個人関連情報に該当したとしても、データ連携 PF 運用者から第三者に車両の物標情報を提供することについて、個人情報保護法上の制限はない。

iii） 車両の物標情報と電気通信事業法

次に、データ連携 PF 運用者が車両の物標情報を取り扱う場合の電気通信事業法との関係を整理する。

ア　データ連携 PF 運用者の電気通信事業者該当性

まず、データ連携 PF 運用者が、電気通信事業法による規制が適用される電気通信事業者であるかについて検討する。

「電気通信事業者」は、電気通信事業を営むことについて、登録及び届出をした者をいうとされている（電気通信事業法 2 条 5 号)。また、「電気通信事業」とは、電気通信役務を他人の需要に応ずるために提供する事業をいう（同条 4 号)。さらに、「電気通信役務」とは、電気通信設備を用いて他人の通信を媒介し、その他電気通信設備を他人の通信の用に供することをいう（同条 3 号)。ここでいう「電気通信設備」とは、電気通信を行うための機械、器具、線路その他の電気的設備をいい（同条 2 号)、自らが所有するものでなくても、利用する（又は利用させる）権限を有するものも含むと解されている。

以上を前提に、データ連携 PF 運用者が電気通信事業者であるかについて検討する。データ連携 PF の詳細については未定の部分も多いが、少なくともデータ連携 PF 運用者は、サーバ等の「電気通信設備」を所有または利用する権限を有し、車両及び協調型路側機等の通信の用に供することになるから、「電気通信役務」を提供している。また、データ連携 PF 運用者は、自己の需要に応じるためではなく、車両及び協調型路側機等の他人の需要に応じるために「電気通信役務」を提供しているから、「電気通信事業」を行うことになる。なお、データ連携 PF 運用者がデータ連携 PF の運用で経済的利益を得るのかについても現段階では未定であるが、民間部門で行うのであれば一定の収益性は求めることになるであろう。したがって、データ連携 PF 運用者は「電気通信事業」を「営む」ことになるため、原則として「電気通信事業者」としての登録又は届出が必要とな

りそうである。

ただ、電気通信事業法は、電気通信事業を営む者のうち一定の場合については規制の必要性が低いことから、電気通信事業法の適用から除外している。例えば、「電気通信設備を用いて他人の通信を媒介する電気通信役務以外の電気通信役務を電気通信回線設備を設置することなく提供する電気通信事業」（電気通信事業法 164 条 1 項 3 号。いわゆる第 3 号事業）については、電気通信事業法の適用が除外される。なお、ここでいう「他人の通信を媒介」するとは、他人の依頼を受けて、情報をその内容を変更することなく、伝送・交換し、隔地者間の通信を取次、又は仲介してそれを完成させることをいうと解されている。また「電気通信回線設備」とは、送信の場所と受信の場所との間を接続する伝送路設備及びこれと一体として設置される交換設備並びにこれらの附属設備をいう（電気通信事業法 9 条 1 号）。

そこで、データ連携 PF 運用者を検討すると、必ずしも他人の通信を媒介しているわけではなく、また、電気通信回線設備を設置もしないことから、データ連携 PF 運用者の行う電気通信事業は第 3 号事業に該当し、電気通信事業法の適用を除外される。

イ　物標情報に関する電気通信事業法上の規制

上記ア記載のとおり、第 3 号事業を営んでいる者は電気通信事業法の適用を除外されるのであるが、電気通信事業法上の通信の秘密の保護（同法 4 条）の規定は適用されることとなっている（同法 164 条 3 項）。

したがって、第 3 号事業を営むデータ連携 PF 運用者も、基本的には電気通信事業法の適用から除外されるものの、通信の秘密の保護は義務付けられることになる。

通信の秘密の保護に関する具体的な義務内容については、総務省及び個人情報保護委員会による「電気通信事業における個人情報保護に関するガイドライン」
（https://www.soumu.go.jp/main_content/000805614.pdf）で指針が定められている。

特に電気通信事業者が取り扱う位置情報については、個人情報に該当する位置情報、個々の通信に関係する位置情報、個々の通信時以外の位置情報の 3 つの種別があり、それぞれ個人情報、通信の秘密、プライバシーを根拠として保護の対象とされている。

これらの位置情報はいずれもあらかじめ利用者の同意を得ている場合か、電気通信役務の提供に係る正当業務行為その他の違法性阻却事由がある場合に限り取得できるとされている（同ガイドライン 41 条 1 項）。また、電気通信事業者は、あらかじめ利用者の同意を得ている場合、裁判官の発付した令状に従う場合その他の違法性阻却事由がある場合に限り、位置情報について、他人への提供その他の利用をすることができる（同ガイドライン 41 条 2 項）。さらに、電気通信事業者が、位置情報を加入者若しくはその指示する者に通知するサービスを提供し、又は第三者に提供させる場合には、利用者の権利が不当に侵害されることを防止するため必要な措置を講ずることが適切であるとされている（同ガイドライン 41 条 3 項）。

また、通信の秘密に該当する位置情報について、匿名化して他人への提供その他の利用を行う場合には、通信の秘密の保護の観点から、当該位置情報と個別の通信とを紐付けることができないよう十分な匿名化を行わなければならず、かつ匿名化して他人への提供その他の利用を行うことについてあらかじめ利用者の同意を得る必要があると解されている（電気通信事業における個人情報保護に関するガイドラインの解説 5-4-2)。また、通信の秘密に該当しない位置情報についても、ある人がどこに所在するかということはプライバシーの中でも特に保護の必要性が高い上に、通信とも密接に関係する事項であるから、強く保護することが適当である。そのため、他人への提供その他の利用においては、利用者の同意を得る場合又は違法性阻却事由がある場合に限定することが強く求められている（同)。

以上のように、電気通信事業における位置情報の取得・利用については、個人情報、通信の秘密及びプライバシーの観点から、かなり厳しい規制が課せられている。

データ連携 PF 運用者が取得･利用する物標情報についても上記の厳しい規制が課されるのかについては、データ連携 PF 運用者が取得・利用する位置情報が通信の秘密の対象となるのか、仮名 ID という技術的仕組みを使うことで、上記ガイドラインで要求されている利用者の同意や違法性阻却事由が不要となるのか等の法的論点を検討していく必要があるが、現段階ではデータ連携 PF の仕様の詳細が定まっていないこととともあって、電気通信事業法や上記ガイドラインがどこまで適用されるのかが明確ではない。

したがって、データ連携 PF の社会実装に向けて今後も関係者間で慎重に議論をしていく必要があろう。

ⅳ) 車両の物標情報とプライバシー

車両の物標情報は位置情報等を含むものであるところ、位置情報等は裁判例や公的組織のガイドライン等も述べているとおりプライバシー性の高い情報であり、その取得・利用については慎重に取り扱う必要がある。

しかし、データ連携 PF においては、上記のとおり車両の物標情報には仮名 ID の技術的仕組みが用いられることから、物標情報を集積し追跡しても、データ連携 PF の運用者は位置情報と特定個人を結びつけることはできないため、当該特定個人のプライバシーを侵害する可能性は極めて低い。

ⅴ) まとめ

以上、データ連携 PF における車両の物標情報と個人情報保護法、電気通信事業法、及びプライバシーの問題を整理した。

そして、仮名 ID という技術的仕組みを利用することにより、個人情報保護法及びプライバシーに関しては法的な問題が生じる可能性は低い。

一方、電気通信事業法については、現在はデータ連携 PF の仕組みや運用者の詳細が定まっていない段階ではあるが、今後、十分留意すべきである。

(5) 協調型路側機のカメラ画像・動画に関する法的問題

i) 現状のスキーム

データ連携 PF で検討されている協調型路側機は、周辺に存在する物標を検知する様々なセンサー、センサーデータを処理するためのデータ処理機能、車両あるいはクラウド（エッジ）サーバとの間でデータを送受信するための通信機能で構成される（2021 年度報告書別添 1「CooL4 協調型路側機仕様（案）ver0.6.0」参照）。

センサーの中にはカメラセンサーが含まれており、協調型路側機運用者は、カメラセンサーを通じて周囲の状況の画像・動画を取得・利用することになるが、これらの画像・動画には、協調型路側機周辺の車両の自動車登録番号や、運転者、同乗者、歩行者の顔などが映り込む可能性がある。

ただし、協調型路側機がカメラセンサーを通じて周囲の状況の画像・動画を取得・利用する目的は、主に物標情報やフリースペース情報を利用して円滑かつ安全な自動運転を実現することである。自動車登録番号や運転者、同乗者、歩行者の顔は本来的に必要な情報ではなく、付随して取得されるものに過ぎず、またそれらの利用を目的とするものでもない。例えば、協調型路側機では、顔認識データ（具体的な人物の顔の特徴を数値化し、同一の特徴値を有する者を同一人物として判定できるようにしたデータ）、属性情報（顔から推定される性別・年代等の情報）、カウントデータ（カメラ画像から形状認識技術等を基に人の形を判別し、その数量を計測したデータ）、動線データ（カメラ画像に写った人物がどのように行動したかを示すデータ）は使用されない。自動車登録番号や運転者、同乗者、歩行者の顔の画像・動画を第三者に提供することも予定されていない。

なお、協調型路側機で取得する情報はリアルタイムで使用されるものであり、必ずしも長期保存が必要ではない。ただし、後日、各種センサーやシステムが適正に稼働していたか否かを検証する目的で、カメラ画像・動画を一定期間保存することが想定されている。

ii) 協調型路側機のカメラ画像・動画と個人情報保護法

協調型路側機運用者が協調型路側機のカメラセンサーで取得する運転者、同乗者、歩行者の顔が写りこんだ画像・動画は、特定の個人を識別できるので「個人情報」には該当するが、顔で検索可能な状態でないのであれば、「個人データ」ではない（個人情報保護法ガイドラインに関する Q&A1-41）。

自動車登録番号は個人識別符号ではなく、また、警察以外は自動車登録番号と所有者等の情報を照合することが容易でないことから、個人情報ではない。

運転者、同乗者、歩行者の顔が写りこんだ画像・動画は個人情報にあたるので、協調型路側機運用者は、個人情報保護法上、個人情報の利用目的を特定する義務（個人情報保護法 17 条 1 項）、利用目的の範囲内で個人情報を利用する義務（同法 18 条 1 項）を負い、個人情報の不適正利用が禁止される（同法 19 条）。

iii） 協調型路側機のカメラ画像・動画と電気通信事業法

協調型路側機でどのようなデータが取得・利用されるかについて、現段階では詳細が定まっていないが、少なくとも協調型路側機運用者は車両、信号機及びデータ連携サーバ等と通信を行うことになるため、データ連携 PF 運用者と同様に電気通信事業を営むことになるものの、いわゆる第 3 号事業として原則として電気通信事業法の適用を除外されることになる（電気通信事業法上の定義や条文の適用関係については上記 4(3)参照）。

そして、第 3 号事業を営んでいる者にも通信の秘密の保護の規定（電気通信事業法 4 条）は適用されることから、データ連携 PF 運用者と同様に協調型路側機運用者も通信の秘密の保護が義務付けられることになる。

ただ、協調型路側機のカメラ画像・動画については、協調型路側機運用者が自ら取得・利用するデータであり、通信の秘密の対象となる情報ではない。

したがって、協調型路側機のカメラ画像・動画との関係では、協調型路側機運用者に対し通信の秘密の観点からの電気通信事業法による規制はない。

iv） 協調型路側機のカメラ画像・動画とプライバシー及び肖像権

協調型路側機がカメラセンサーで取得する画像・動画には、協調型路側機周辺の車両の自動車登録番号や、運転者、同乗者、歩行者の顔などが映り込むため、プライバシー及び肖像権の問題が生じる可能性がある。

この点、プライバシー及び肖像権の侵害になるか否かについて、過去の判例・裁判例においては、取得・利用される情報の性質と、情報の取得・利用の目的、取得・利用の態様が適切か等を総合的に判断して、生活者が社会生活を営む上での受忍限度の範囲内かどうかにより、事案ごとに個別具体的に判断しているものと思われる（上記(3) iii）ウ参照）。

協調型路側機のカメラセンサーで取得する画像・動画については、まだその取扱いの詳細が定まっていないものの、その目的が物標情報やフリースペース情報を利用して円滑かつ安全な自動運転を実現すること及び各種センサーやシステムが適正に稼働していたか否かを検証すること、私的空間ではなく公道において取得される情報であること、協調型路側機運用者から第三者に提供されるものではないことなどの事情をふまえれば、その画像・動画の保存について安全管理措置等がしっかりと図られ、適正に運用されている限りにおいて、被写体となった者にとって、社会生活を営む上での受忍限度の範囲内であり、プライバシー及び肖像権の侵害とはならないと評

価される可能性は十分にあると思われる。

ただし、実際の設計や運用次第では違法と評価される可能性もあること、また、違法とまで評価されなくても社会的に非難を受ける可能性もあることから、協調型路側機運用者としては、カメラセンサーで取得する画像・動画の取り扱いについては、慎重に検討すべきである。

その際には、上記(3)ⅲ)エ(イ)で紹介したような各種ガイドライン等を参照にするのが適切であると思われる。

例えばIoT 推進コンソーシアム・総務省・経済産業省が作成した「カメラ画像利活用ガイドブック ver3.0」では、カメラ画像の利活用検討そのものに係る「基本原則」、生活者やビジネスパートナー等とのコミュニケーションに係る「コミュニケーションの配慮」、利活用の過程のうち、企画時に行う「企画時の配慮」、設計時に行う「設計時の配慮」、事前告知の際に行う「事前告知時の配慮」、データを取得する際に行う「取得時の配慮」、データを取り扱う際に行う「取扱い時の配慮」、データを管理する際に行う「管理時の配慮」、データを継続的に利活用する際に行う「継続利用時の配慮」に分類された配慮事項が具体的に提案されている。

協調型路側機のカメラ画像・動画の利用において、これらの配慮事項を参考に実際の設計や運用を行うことで、プライバシー及び肖像権が問題とされるリスクを極小化することができると思われる。

v) まとめ

以上、協調型路側機におけるカメラ画像・動画と個人情報保護法、電気通信事業法、プライバシー及び肖像権の問題を整理した。

個人情報保護法との関係では、運転者、同乗者、歩行者の顔が写りこんだ画像・動画は個人情報にあたるので、協調型路側機運用者は個人情報保護法上の各種義務を負うことになる。

一方、電気通信事業法との関係では、協調型路側機運用者が取得・利用するカメラ画像・動画については同法による規制の対象ではない。

また、プライバシー及び肖像権との関係では、その目的や利用方法に鑑みればただちにプライバシー及び肖像権の侵害となるものではないものの、侵害リスクや社会的非難を受けるリスクを低減するためには、公的組織のガイドライン等に沿った慎重な設計・運用をすべきである。

9) 歩道等のデジタル地図と車道のデジタル地図の統合方式の検討

■ 該当項目の背景と目的

基本的に自動車のみが通行する高速道路と異なり、一般道での自動運転においては交差点やロータリー、私有地への入り口などにおいて歩行者や自転車などと空間を共有することとなる。また将来的には、電動車椅子やセニアカーなどのパーソナルモビリティ、さらには貨物自動配送車などの自律移動体との共存も不可避となるだろう。安全な自動運転のためには、こうした歩行者や他の自律移動体の動きの正確な予測が重要となる。同じ動きをしていても、それが横断歩道の手前なのか、ガードレールの向こう側かなのかで潜在的な危険度はまったく異なる。つまり協調型システムは、たんに他の自律移動体の位置情報を取り込むだけではなく、周辺状況のコンテクストすなわち車道周辺のデジタル地図を保持しなくてはならない。本項目では、こうした将来予測に基づいて、車道に隣接する歩道などのデジタル地図を、デジタル道路地図と統合するための方式についての検討を行う。

■ 実施方針

初年度の調査の結果、デジタル道路地図フォーマットとしてはダイナミックマッププラットフォーム株式会社の HD Map が多くの OEM に採用されており、また車道とシームレスにつながる歩道など周辺領域の 3 次元地図フォーマットとしては米国の地理標準策定団体 Open Geospatial Consortium (OGC) が制定した CityGML が最も広範に利用されていることがわかった。そこで今年度は、柏の葉駅～東大キャンパス間の領域で CityGML に変換された HD map をダイナミックマッププラットフォーム株式会社から調達し、歩道や自転車道といった車道以外の空間を統合するための検討を行う。車道と周辺の 3 次元データを統合するためには、両者が物理的かつ意味的に整合していることを視覚的に容易に確認できることが最重要である。そのための第一歩として、CityGML フォーマットに変換されたデジタル道路地図を、Web ブラウザ上で 3 次元データとして表示するための手順を確立することを目指す。

■ 実施事項と実施方法

(1) 3D 可視化のためのフォーマット変換

i) 商用ツールによる変換

オープンな GIS ソフトウエアとして最も広範に利用されている QGIS 3.22 を用い、HD map から生成された CityGML データを地図(OpenStreetMap)と合わせて 2 次元表示したのが下図である。つくばエクスプレス柏の葉駅前のロータリーから、最初の交差点までの車道範囲がレーンの構造や横断歩道などの情報として適切に表示されていることが読み取れる。

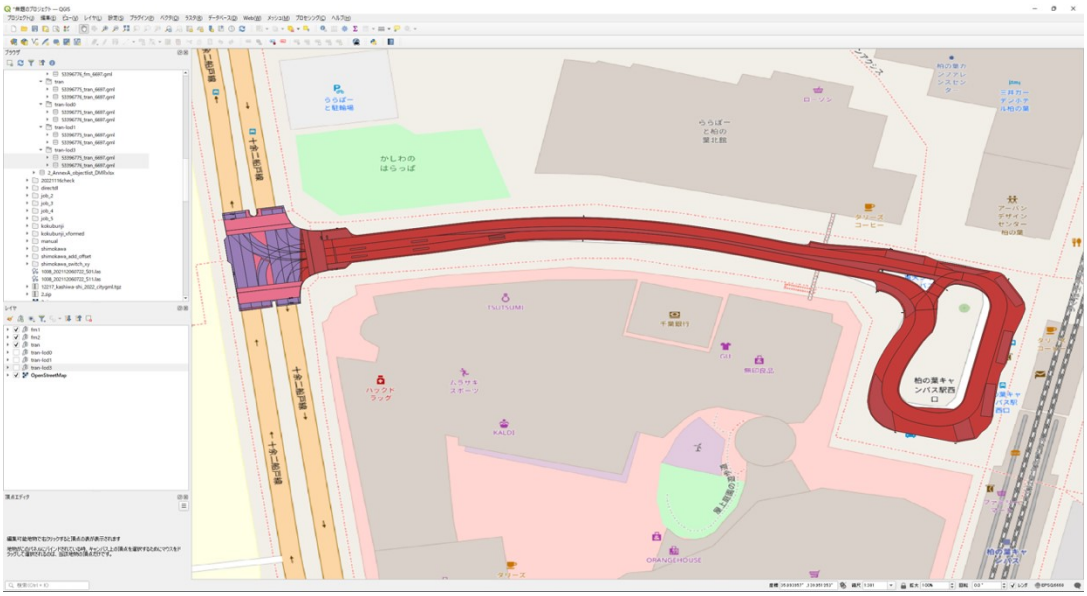


図 371　Open Street Map 上に重畳された CityGML

CityGML データには HD map 由来の高度情報も含まれているため、正確な位置情報が付与されていれば、周辺の歩道などとの 3 次元データとも容易に統合できると期待される。そこでデータの整合性の確認のため、CityGML から Web ブラウザ上で容易に表示できる 3DTiles フォーマットへの変換を試みた。しかし HD map が採用している日本の座標系では、東西ではなく南北が X 軸になっている。そこで前処理として地理空間データのデファクト ETL (Extract, Transform, Load) ツールである FME を使用し、以下のスクリプトで XY 順入れ替えを実施した。

```
#!/bin/sh
#
#

src_dir="[redacted]"
dst_dir="[redacted]"

curl -X GET -H 'Authorization:fmetoken token=[redacted]
[redacted]' "http://localhost:8080/fmejobsubmitter/aist-3ddb-2020-apis/xform-and-coor
dsys-conv.fmw?opt_servicemode=async&opt_responseformat=json&SOURCE_DATA_FORMAT=C
ITYGML&SOURCE_DIR=${src_dir}&DESTINATION_DIR=${dst_dir}&COORDSYS_MODE=auto&CITYG
ML_SOURCE_AXIS_ORDER=123&CITYGML_DESTINATION_AXIS_ORDER=213"
```

図 372　XY 軸を交換するための FME スクリプト

3Dtiles は、CityGML 同様 OGC によって制定された国際標準であるが、その実装は提案の中心となった Cesium 社によってすすめられている。そこで Ceisum 社の開発した 3d-buildings-tiler を使用し 3DTiles への変換を実施した。しかし下図に示すように、道路の範囲が背景地図から大幅にずれており、かつ出力されたデータは、CityGML のメタデータ(core:CityObject 要素下の gen:stringAttribution などに指定された情報)が反映されていないことがわかった。

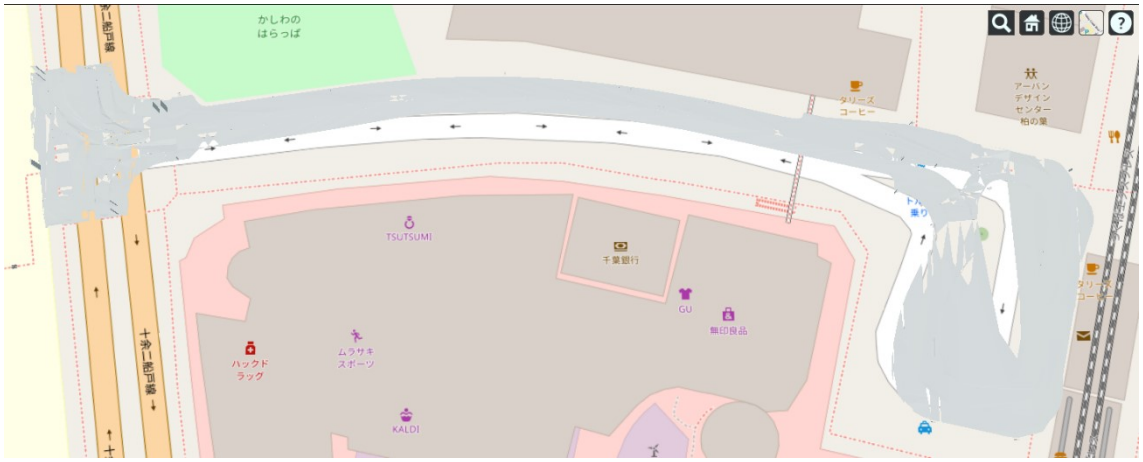


図 373　3d-buildings-tiler による CityGML 変換結果

ii)　オープンソースソフトウェア(OSS)による変換

前項で述べたとおり、商用ツールでは位置情報の正確な可視化およびメタデータの表示に問題が生じたため、OSS を利用することで問題の解決を試みた。具体的には、GDAL (version 3.6.2)に含まれる ogr2ogr コマンドによっていったん CityGML から GeoJSON への変換を行い、その後 GeoJSON を FME を用いて 3DTiles へと変換した。この方法によって道路要素(tran)の変換は問題なく実施でき、CityGML のメタデータが反映されていることも確認できた。

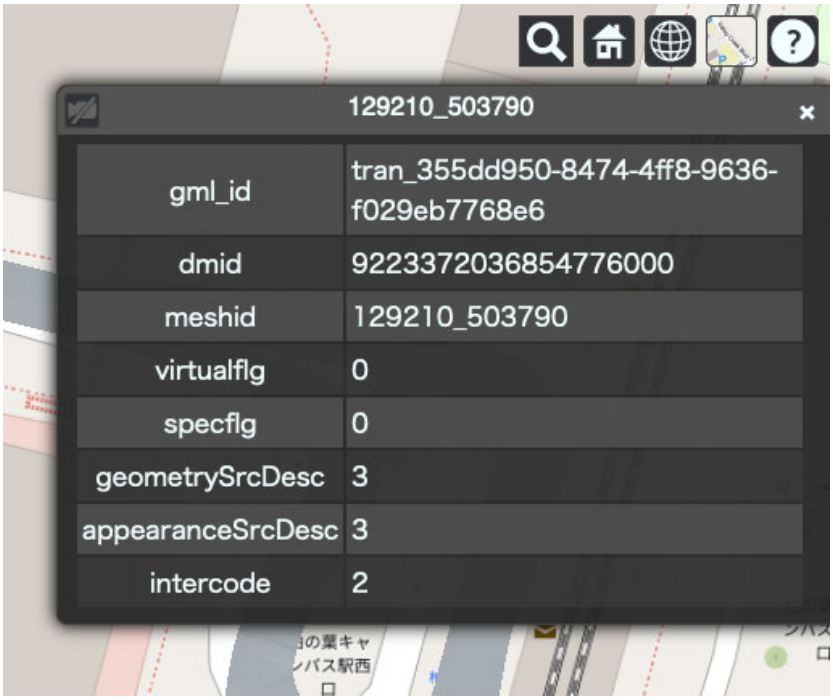


図 374　CityGML から適切に変換された GeoJSON のメタデータ

一方、信号機などの道路以外の地物(frn)や日本で独自に拡張した i-UR の要素については、ジオメトリが null となってしまい、正しく扱うことができかった。

iii) 高度の変換

3 次元表示においては、2 次元表示にはない「高度」を適切に表現する必要がある。「高度」の表現としては、地球の形状を楕円体で近似した場合の「楕円体高」と、重力等ポテンシャル面の表現であるジオイドからの距離を表す「標高」の 2 種類がある。CityGML に入っている「高度」は標高となっているのに対して、一般的な可視化ツールの「高度」は「楕円体高」であるため、以下のスクリプトによって、ジオイド高を足し込む変換を実施した。

```
#!/bin/sh
#
#

src_dir="[redacted]"
dst_dir="[redacted]"

curl -X GET -H 'Authorization:fmetoken token=[redacted]
[redacted]' "http://localhost:8080/fmejobsubmitter/aist-3ddb-2020-apis/xform-and-coor
dsys-conv.fmw?opt_servicemode=async&opt_responseformat=json&SOURCE_DATA_FORMAT=C
ITYGML&SOURCE_DIR=${src_dir}&DESTINATION_DIR=${dst_dir}&COORDSYS_MODE=auto&XFORM
_MODE=affine&CITYGML_SOURCE_AXIS_ORDER=123&CITYGML_DESTINATION_AXIS_ORDER=213&XF
ORM_PARAMS=1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,39.3300"
```

図 375　標高を楕円体高に変換するための FME スクリプト

ジオイドモデルとしては国土地理院の定義する「日本のジオイド 2011（Ver.2.1）（GSIGEO2011(Ver.2.1)）を採用し、原点は入力 CityGML を覆う Bounding Box 中央の緯度経度を用いた。

(2) 3D 対応 Web ブラウザ上での物理位置の確認

前節での検討対象となった CityGML データは、ダイナミックマッププラットフォーム株式会社が独自に測定した MMS 点群データから HD map を作成し、そこからさらに CityGML の仕様に従って変換を施したものである。つまり物理的な座標値は、元の MMS 点群と完全に一致するはずである。また MMS 点群は数十 m 以上のレンジと十分な精度（1/500 地図相当）を持つため、道路脇の歩道や建物についてもデータがとれている。つまり道路側からは死角になる範囲について、歩道側から同程度の点群密度を持つ LIDAR データを取得し、MMS データにマッチングすることで、物理的なジオメトリーの整合性を担保できると考えられる。実際に、この手法によって、車両の自動運転に必要な絶対精度を持った車道／歩道統合マップを構築しうることが、昨年度の検討によって示されている。

源泉である MMS 点群データとの整合性を確認するために、前節で可視化した CityGML のデータと MMS 点群を、Web ブラウザ上での 3D データ閲覧ツールとして標準となっている Cesium 上で、同時に表示したのが下図である。

図 376 CityGML と源泉 MMS 点群を ブラウザ上で同時表示

このくらいの距離でみると、源泉 MMS 点群は車道周辺領域もカバーし、路上の CityGML とうまく整合しているように見える。しかし境界を拡大して詳細にみると、完全には一致しておらず、とくに下図の赤丸で囲んだ領域では、明らかなずれが見受けられる。MMS データの絶対位置精度は 1/500 地図相当（RMS でおよそ 20~30cm）とされているが、下図では同じデータを違うフォーマットで表示しているだけなので、点群間隔の数倍（道路脇であれば 10cm ）を超えるずれが起きるとは考えにくい。

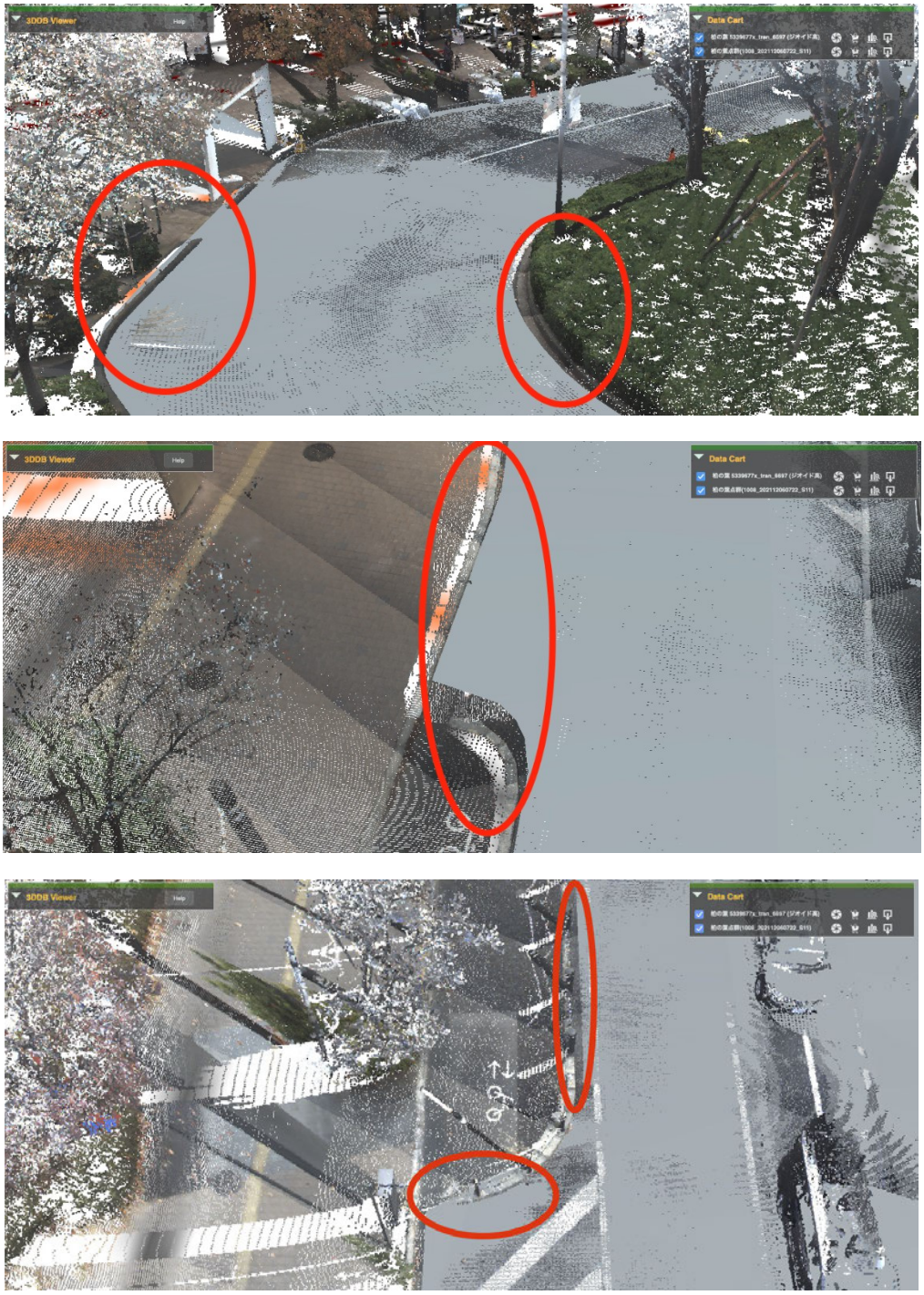


図 377　CityGML（道路上の灰色部分）と周辺点群の境界拡大図

このずれが、HD map から CityGML の変換過程で生じたものでない可能性もある。一般にデジタル道路地図は、内部に Point, Line, Area, Lane といったプリミティブを持っているが、正確な位置情報を保持しているのは Point のみであり、line などは Point 間をつなぐオブジェクトとして作成されることが多い。かりにダイナミックマッププラットフォームで行った HD map 作成過程において、境界を連続的にトレースするのではなく特徴的な Point 間を適当な直線・曲線で

近似するような形で Line などのプリミティブが生成されているのだとすれば、上図で示されている程度のずれが生じる可能性はある。

(3) 明らかになった課題と今後の対応策

前節までの解析で、意味を持ったベクトルデータとしての CityGML は源泉点群と完全に一致しないことが明らかとなった。MMS で取得された源泉点群データを、ブラウザ上での 3 次元地理空間データの標準可視化環境である Cesium 上で他の絶対位置をもち 3 次元データと重畳した時にはほぼ完全に整合している。よって問題は CityGML 側にあると考えられる。現状で想定できる原因の可能性は、以下の 3 つである。

① ダイナミックマッププラットフォーム社が作成した CityGML から、Cesium でのデファクトとなっている三次元データフォーマット 3Dtiles への変換に問題がある
② ダイナミックマッププラットフォーム社が行った HD map から CityGML への変換の際に位置ずれが生じている
③ 源泉となる MMS 点群から HD map を作成する時点で、(厳密な位置情報が与えられている Point 以外の) 正確な位置情報がトレースされていない

現状では、2 次元マップへの表記では Open Street Map のような背景地図と整合しているように見えるため ①の可能性が残されている。しかし 3 次元の時と同様に境界領域を拡大していくと同程度の不整合がみえており、これが背景地図の不正確さを反映したものなのか、CityGML 側のずれなのかは区別できていない。確実な判定のためには、今回の 源泉 MMS データとは完全に独立で、かつ cm オーダーの精度を持つ背景地図との重ね合わせを行う必要があるが、そのような公的地図は残念ながら存在しない (国土地理院が提供する電子国土の精度は、都市域でも 1/2500 ～ 1 メートル程度)。国交省の基準点ネットワークは十分な位置精度を持つが、典型的な基準点の間隔は数百メートルであり、かつそのほとんどは道路からの MMS 測定では確認できない位置／サイズであるため、こちらも位置合わせの基準や精度評価に用いることは難しい。今後も変換手続きの正当性検討を継続し、①の可能性を排除できた時点で、②と③の可能性についてダイナミックマッププラットフォーム社と協議する予定である。

周辺の三次元データとのセマンティックな整合性を持たせるには Point, Line, Area といったプリミティブに付与されている意味を格納しているメタデータを適切に扱えることが必須である。しかし、CityGML から 3Dtiles への変換を行うとみえなくなって項目が多く、特に日本で独自に拡張している i-UR 項目については全滅である。そもそも、3 次元データとしての CityGML そのものを簡単に可視化できるツールが存在しないことが問題の根本にある。i-UR については、日本でなんらかの変換ソフトウエアを整備しない限り対応は不可能であろう。昨年度の検討では、

国交省がすすめる都市のデジタルツインプロジェクト PLATEAU で採用されていることから、周辺環境を三次元でモデル化する際のフォーマットとして CityGML が適切だと判断したが、その後の PLATEAU の検討では道路の詳細データ（LOD=Level Of Detail 3 相当)を CityGML フォーマットで作成するには 1km あたり数百万の費用・工数がかかることがわかってきた。歩道や後述する自転車道などのデータを、今後誰がどのように整備していくのかを見極めつつ、対応すべき標準フォーマットを考えていく必要がある。

一方、車道のフォーマットについても、HD map ではなく 2-3.I.2 ） データ連携 PF の API の検討・定義で検討されているように Lanelet2 をベースとする可能性も検討すべきであろう。ただし、この場合は、将来的に実用に供することのできる精度とカバレッジを持つ Lanelet2 データを MMS 点群データなどから構築する手法を自前で開発する必要がある。また、周辺環境の三次元データと統合するためには、なんらかの形で 3 次元対応をする必要があることに変わりはない。仕様がオープンであるため、i)ii） ではまだ試していないライブラリ（py3dtiles など）を適用できる可能性があるが、その場合も正確な位置情報を保ちメタデータを確実に変換ができる保証はないことに注意が必要である。

最後に、本年度の検討を通じて明らかになった大きな問題として、車道に隣接する自転車道の存在を挙げておきたい。ガードレールや路肩などで車道から物理的に隔てられていることが多い歩道と異なり、自転車道は車道と一体化している場合が多い。この状況をどのようにデジタル道路地図に統合していくかは、喫緊の大きな課題であると考えられる。

図 378　道路構造令で規定される自転車専用通行帯（左）と警察庁ガイドラインによる表示（右）

10) モビリティと都市サービスのデータ融合のためのプラットフォームの概念設計

■ 該当項目の背景と目的

モビリティ関連データ（デジタル交通データを含む）と都市サービスのデータ融合を検討するためには、それらの双方のデータを活用した具体的な「サービス」を題材として取り上げ、そこで活用される多様な領域のデータをいかに統合していくか、どのようなプラットフォームとして展開していくかを検討していくことが重要である。このような具体的な議論がなければ、抽象論の領域からは抜け出せず、技術の社会実装に向けて進んでいくことはできない。

そこで 2022 年度は、2021 年度に検討したサービスシナリオを具体的な題材として、モビリティを活用した都市サービスの具体化とプロトタイプ作成を行う。そして、そういったサービス検討を通じて、モビリティと都市サービスのデータ融合を検討・実現する。

■ 実施方針

2021 年度に検討したサービスシナリオの中でも、都市サービスとの連携といった要素が強いシナリオである「生活者ニーズや混雑状態を考慮し、飲食店等の予約を連動させることで地域移動を促すモビリティサービス」を取り上げる。そして、地域のステークホルダーとの共創・議論等のプロセスを通じて、本サービスを具体化する。その後、具体化されたサービス案をもとに、モビリティ側のデータと都市サービス側のデータの連携（データ連携プラットフォーム）について検討する。

■ 実施事項と実施方法

(1) 地域住民や地域のステークホルダーとの対話を通じたサービス案の具体化

まず昨年度までに検討した「生活者ニーズや混雑状態を考慮し、飲食店等の予約を連動させることで地域移動を促すモビリティサービス」について、プロジェクトメンバー間での議論やワークショップ、および、地域のステークホルダー、市民との議論を通じて、その具体化を行った。

特に、市民との議論に関しては、産総研・人間拡張研究センターにおける市民共創の取り組みである「市民アドバイザー」との連携を行った。市民アドバイザーとは、柏の葉地域の課題解決やそのための技術活用に興味関心のある周辺地域住民が登録している会員制度である。今回は、柏の葉における未来の地域交通やそれに資するモビリティサービスを検討する対話会を行い、本テーマについて強い興味をもつ市民にご参加いただき、柏の葉地域における地域交通の課題や未来のサービスに関するニーズなどを議論した。この市民参加型の対話イベントは、COVID-19 の影響もあり、オンライン形式で行った。市民からは、「柏の葉地域の住民は自家用車を所有している人が多い。自家用車以外の「モビリティを普及させるためには、荷物を運んでくれるような手段がないと難しい」「そもそも、移動したくなるような面白い道や面白い場所（スポット）が無けれ

ば、わざわざモビリティサービスを使わないだろう」などといった、住民目線での意見・コメントを頂くことができた。地域のステークホルダーとの議論・ワークショップについては、柏の葉地域における街づくりを行っている企業や組織との定期的なディスカッションを行い、共創的にサービスコンセプトの具体化を行った。

以上に述べたような共創的なプロセスを経て、①柏の葉地域における地域交通の課題、②地域移動を活性化するための新たなモビリティサービスの全体像とそこにおけるデジタル交通データの活用方法、③最終的に目指すサービス像に至るまでの流れ（ステップ論）、といったことを明確化した。これら①～③について、以下で詳しく述べる。

(2) サービスコンセプトの設計

① 柏の葉地域における地域交通の課題

まず、昨年度の本プロジェクトで実施した地域アンケート調査からは、以下のことが明らかになった。

- 柏の葉地域には、大きく分けて 2 つの住民層（カテゴリ）がある。30-40 代の若い層が中心的な駅前マンション群と高齢化が進行しつつある戸建て住宅地である。(図 379、図 380)
- 年代ごとに、モビリティサービスに対するニーズが大きく異なる。例えば、シェアリングサービスは若い層の方が利用意向が高いなど（図 381）である。

図 379　柏の葉の主な住民層

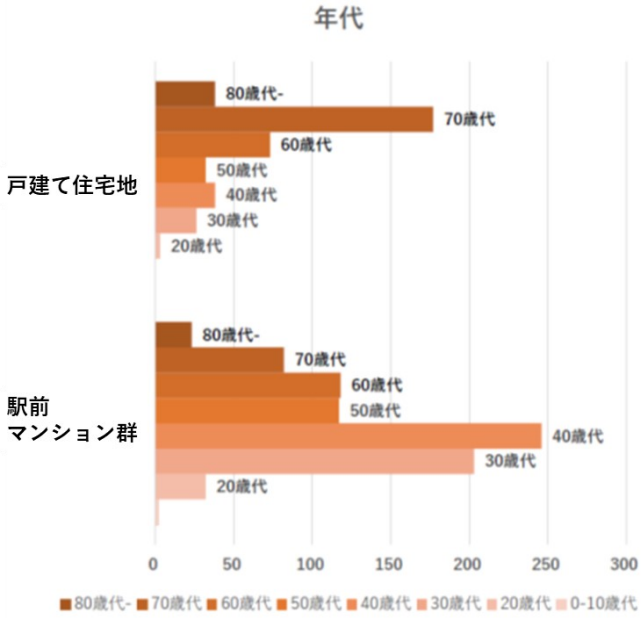


図 380　昨年度のアンケートでの回答者の年代

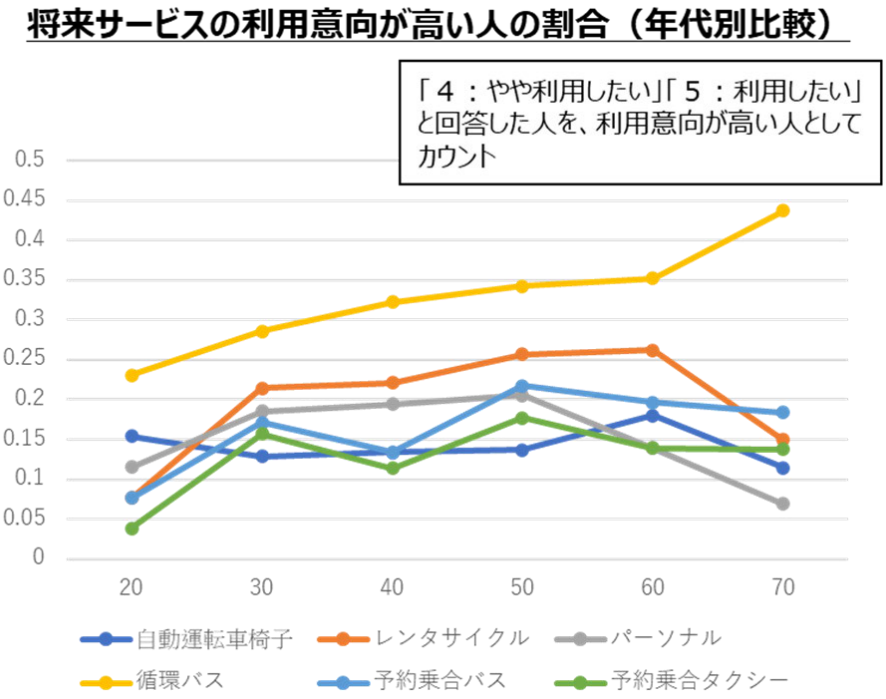


図 381　年代別のサービス利用意向（昨年度実施したアンケート調査の結果より）

また、これまでに、柏の葉では地域内移動に関する様々な実証実験（セグウェイ、キックボード、オンデマンドバスなど）を行ってきたという経緯がある。しかしながら、これらの過去の実

証実験をふりかえると、「柏の葉のような郊外エリアでは、何らかのモビリティを置くだけでは、地域内移動が活性化されづらく、移動したくなる状況をつくることが最優先である」ということが明らかになりつつある。実際、利用者の目線から見れば、バスが「手動」か「自動」かということは本質的には全く重要ではなく、「その交通手段を用いて何ができるか（どこに行けるか）？」「その交通手段は利用しやすいか？」などといったことの方が圧倒的に重要なのである。

以上のことから、L4 自動運転バスを含む将来のモビリティサービスの社会実装をするためには、そもそも、移動したくなる状況をつくることが最優先であり、そのためには、柏の葉地域にある都市サービス（特に、商業施設や飲食店など）との連携が必須であることが、極めて鮮明に明らかになった。

② 地域移動を活性化するための新たなサービスの全体像

①に述べた各種対話、議論、調査結果をもとに、柏の葉地域における地域内移動を活性化するための新たなサービスとして、以下の(a)～(c)の特徴をもつモビリティサービスを検討・考案した。ただし、今年度の検討の対象は、(a)のサービスであり、(b)(c)のサービスの具体化や施策は今後の検討項目である。

(a) “移動のきっかけ”をつくるための情報提示サービス

地域内移動の活性化のためには、そもそも、住民や来街者が「移動したくなる」状況をつくることが重要である。そこで、本プロジェクトでは、地域内におけるスポットやイベント情報、モビリティや各種交通情報の「見える化」と「発信」を行うための情報提示サービスを設計した。今回の検討では、柏の葉地域における様々な地域リソースやまちとしての戦略、ユーザ（住民や来街者）のニーズ等を総合的に考慮し、集約・発信する地域情報を決定した。本サービスのおおまかなイメージを図 382 に示す。本サービスの具体的な内容は、「iii）サイネージサービスの設計」にて後述する通りである。

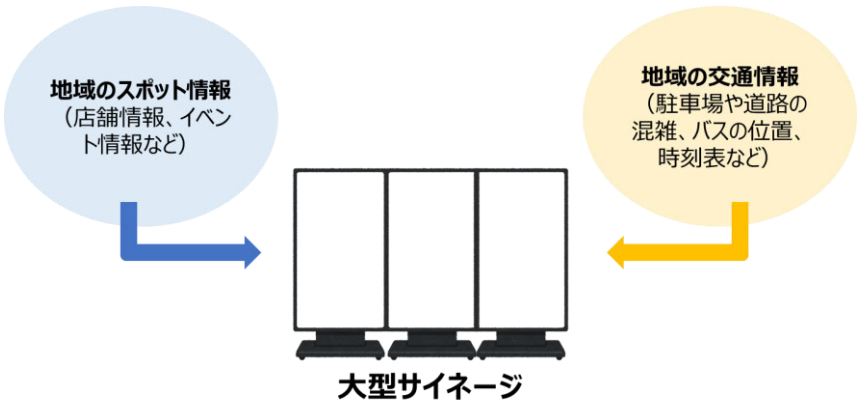


図 382　サイネージサービスのイメージ

(b) 多様なモビリティの導入による近距離移動支援

昨年度のアンケート調査などからは、年代等の属性によって、望ましい移動手段（モビリティ）は大きく異なることが明らかになった。例えば、高齢者には、シェアサイクルやキックボードなどのパーソナルモビリティは敬遠されがちであり、バスなどの事前予約等が不要な移動手段が望まれる傾向にある。一方、40 代以下の若い世代であれば、自分の好きな場所に自由に移動できる、パーソナルな移動手段の利用意向が比較的高くなる傾向にある。

こういったユーザの属性に応じた利用意向（ニーズ）のばらつきを考慮するために、本プロジェクトでは、柏の葉地域に居住する人（＝住民）、もしくは、柏の葉地域を訪れる人（＝来街者）の属性（年代や移動の目的など）を具体化し、それぞれのユーザ層に適したモビリティにはどのようなものがあるかを検討した。その検討結果をまとめたものを、図 383 に示す。

若年層向け	シェア サイクル　電動キックボード シェアリング
高齢者向け	電動車椅子 シェアリング　自動運手型 車椅子
乗合移動	L4 自動運転バス　地域内 循環バス
モノの移動	自動配送 ロボット

図 383　様々なモビリティサービス（地域内移動）

図 383 に示す各種モビリティのうち、電動車椅子や自動運転車椅子は、まだ社会的に広く普及していないモビリティであり、昨年度のアンケート調査においても、その地域利用については一定の不安や懸念（事故や交通ルールに関する懸念など）があることも明らかになっている。しかしながら、昨今、高齢者の運転免許証返納などの動きも活発化する中、今後の社会において重要になる移動手段であることから、本プロジェクトにおける検討の範囲に、積極的に含めることとした。また、図 383 に示すように、「ヒトが移動するためのモビリティ」だけではなく、「モノが移動するためのモビリティ」も、地域というレイヤでの移動を考えたときには重要な要素であることから、これも検討項目として加えている。

これらのモビリティのうち、具体的に何をどういった順序で導入していくかなど、具体的なサービス設計は、今後実施していく予定である。

(c) モビリティサービスと都市サービスのサービス間連携

これまでのモビリティに関する議論や検討においては、人が移動するというシーンを切り出して、新たな技術やサービスに関する議論をすることも少なくなかった。しかしながら、実際の社会・生活空間におけるモビリティ利用の全体性を捉えると、移動の前段階（どこに行くかを検討・計画する）や後段階（実際に目的地に行って何らかの活動を行う）には、様々な活動がセットになっている。そのため、これらの移動前後の文脈も包括的に捉えたサービス設計が重要になる。

そういった観点も踏まえた具体的なサービスとして、本プロジェクトでは、飲食店等の目的地でのサービス利用とそこに行くまでのモビリティの同時予約のサービスなどを議論した。本サービスについては、今後の検討で具体化していく予定である。

③ 最終的に目指すサービス像に至るまでの流れ（ステップ論）

以上述べた(a)～(c)を実装していくにあたっての流れ（ステップ論）を検討した（図 384）。今年度は、この最初のステップである、(a)のサービスについて具体的に検討した。

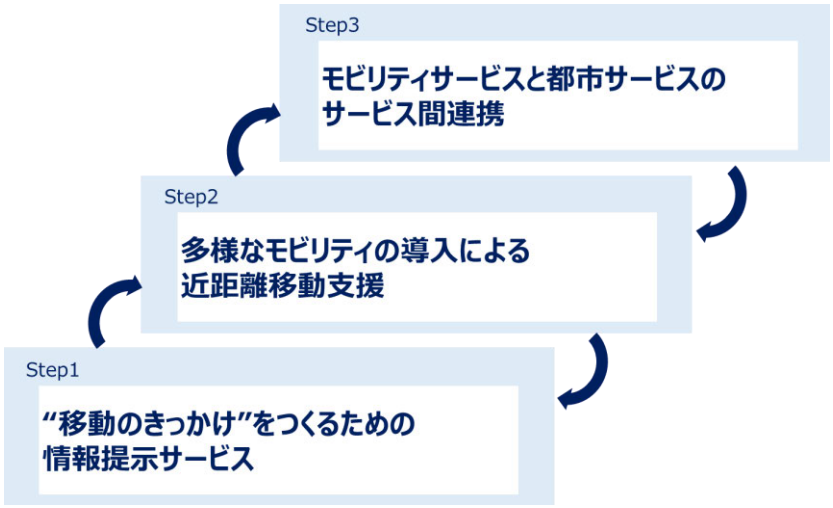


図 384　サービス設計・導入のステップ論

(3) サイネージサービスの設計

本プロジェクトでは、柏の葉地域における様々な地域リソースやまちとしての戦略、ユーザ（住民や来街者）のニーズ等を総合的に考慮した結果、表 123 に示す情報を、サイネージに集約・発信することとした。このように、地域のスポット情報と交通関係情報を同時に発信する仕組みを整えることで、地域内移動の活性化を促すことを試みることとした。そして、地域の各種関係者との議論の結果、このサイネージを柏の葉キャンパス駅付近の人が多く集まる場所（駅前の屋外サイネージや大型商業施設など）に設置することを計画した。

本サイネージサービスの具体的なＵＩ（ユーザインターフェーズ）のイメージは、図 385 の通りである。

表 123　サイネージに集約する各種データ

カテゴリ	データ
都市サービス	店舗情報（店舗名や営業時間など）
	イベント情報
	核店舗の発信情報（タイムセール等）
交通関連	駐車場の混雑情報
	バスのリアルタイム位置情報

図 385　サイネージの UI イメージ

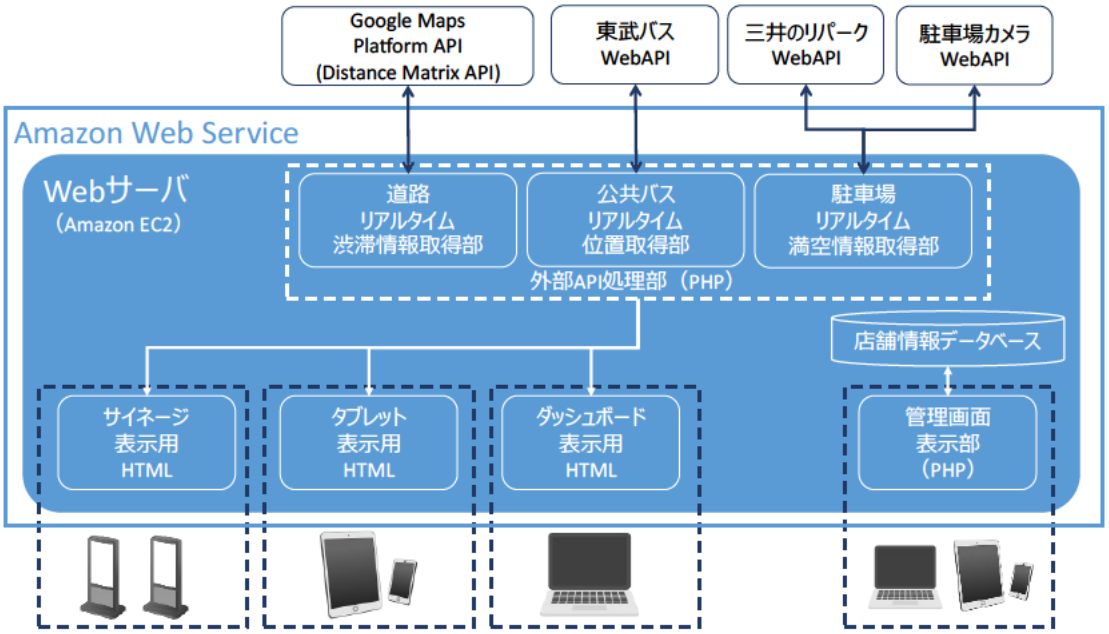


図 386　サイネージのシステム構成

図 386 に、本サイネージサービスを実現するシステム構成を示す。本システムは Amazon Web Service（AWS）上の Web サーバ（EC2）で稼働し、主に 3 つの構成要素から成る。

- 外部 API 処理部
- 表示用 HTML
- 管理画面表示部

i）　外部 API 表示部

本サイネージサービスシステムは、図 386 に示すように、①東武バス、②三井のリパーク、③VACAN、④Google Maps Platform の 4 つの外部 WebAPI と連携することで、リアルタイム情報を生成する。外部 API の処理を行うソフトウエアモジュールは PHP で記述され、5 分に 1 回、情報取得を行う。

①の WebAPI は、柏の葉エリアで公共バスを運行する東武バス社から、リアルタイムなバスの走行位置情報を取得し、サイネージ上に表示する目的で利用する。同社のバスには、GPS が備え付けられており、クラウド型のバスロケーションシステムに、当該 GPS 情報が随時送信される。このバスロケーションシステムに一定間隔でアクセスすることで、バスの現在地を取得する。

②および③の WebAPI は、柏の葉エリアで一般利用可能な駐車場のリアルタイムな満空情報をサイネージ上に表示する目的で利用する。②は「三井のリパーク」におけるコインパーキング用のフラップ板や立体駐車場ゲートの状態に基づき、「満車」「混雑」「空車」の 3 段階の満空情報がクラウド型のシステムで管理されている。また③は駐車場に設置した AI カメラを用い、駐車場ゲートを出入りした車の台数カウントを行うか、または各車室の利用状況を取得することで、駐車場

全体の満空情報を判定するシステムである。

④の WebAPI は、柏の葉キャンパス駅周辺の幹線道路の混雑状況を取得し、スマートフォン向けアプリや PC で表示可能な Web ダッシュボード上で表示する目的で利用する。

次に、①～④の外部 API のデータ取得範囲について述べる。

① 東武バス

図 387　東武バス社 WebAPI を用いた公共バスのリアルタイム位置情報の取得範囲

東武バス社が運行する公共バスのリアルタイム位置情報の取得範囲を示す。2022 年度は、柏の葉キャンパス駅西口から柏の葉公園全体を含むエリアを走行する、8 つの系統（西柏 01～05、西柏 10、西柏 11、および柏 44 系統）の位置情報を取得対象とした。

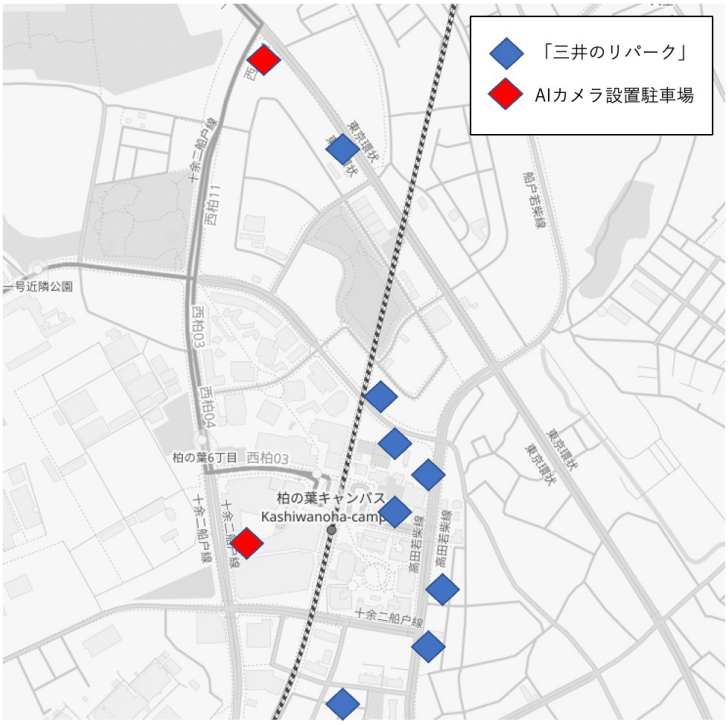


図 388　WebAPI を用いた駐車場のリアルタイム満空情報の取得範囲

② 三井のリパーク

三井不動産リアルティ株式会社が運営する「三井のリパーク」について、柏の葉キャンパス駅周辺にある駐車場の情報取得範囲を示す。2022 年度は図 388 の青マークに示す 8 箇所の駐車場を対象とした。

③ 駐車場カメラ

②の駐車場に加え、地域住民に利用される駐車場として、新たに「KOIL ゲートスクエア立体駐車場」および商用施設「16 Gate」の 2 箇所（図 388 の赤マーク）を対象に、リアルタイムな満空情報を判定する AI カメラを設置した。

④ Google Maps Platform

渋滞情報の取得範囲を図 389 に示す。柏の葉キャンパス駅周辺の主たる幹線道路として、国道 16 線および県道 47 号線があり、特に週末は 16 号線沿いの商用施設に車でアクセスする利用者や、「ららぽーと柏の葉」の利用者で混雑する。そこで 2022 年度は、この 2 つの道路について，図に示す範囲の渋滞情報を、Google Maps Platform API の Distance Matrix API を用いて取得した。具体的には、各幹線道路について始点と終点を指定し、その 2 点間の平均速度情報に応じ、3 段階（渋滞・混雑・混雑なし）の判定を行った。

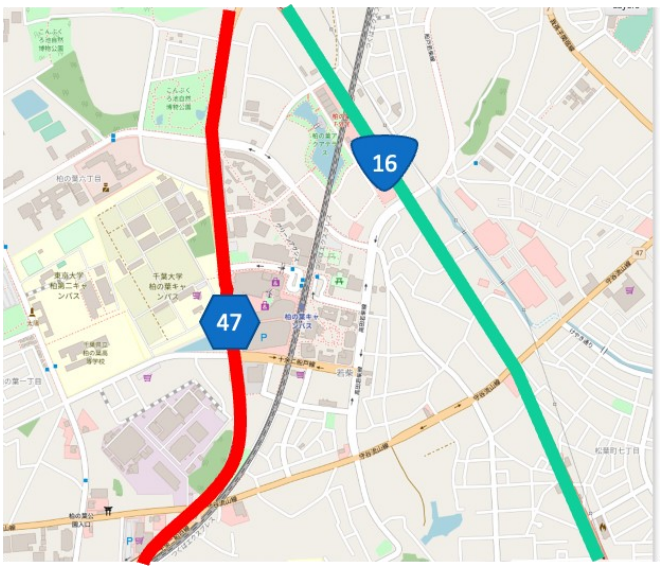


図 389　Google Maps API を用いた渋滞情報の取得範囲

ii)　表示用 HTML

本サイネージサービスシステムは、以下 3 つの表示形態を有し、各々独立した HTML ファイルとして構成される。

① サイネージ表示用 HTML：大型サイネージでの表示を想定

② タブレット表示用 HTML：タブレット端末やスマートフォン端末での表示を想定

③ ダッシュボード表示用 HTML：PC ブラウザでの表示を想定

以下、各画面の詳細について述べる。

① サイネージ表示用 HTML

図 390 にサイネージ表示用 HTML の画面構成を示す。サイネージ表示画面には、「モビリティ情報」面と「スポット情報」面があり、前者には公共バスや駐車場の満空情報、地域の商用施設のイベント情報を掲載するマップコンテンツにより構成される。後者の「スポット情報」面には，商用施設ごとに店舗のリアルタイム情報が掲載される。2022 年度は、6 つの商用施設（らら ぽーと柏の葉、T-SITE，KOIL Link Garage，KOIL 16 Gate、かけだし横丁、三井ガーデンホテル）内の飲食店（レストラン）を対象に、店舗情報を掲載することとした。

マップコンテンツの開発には，地図コンテンツ作成用オープンソース Javascript ライブラリである Leaflet を用いてコンテンツ描画を行った。また地図データには OpenStreetMap を用いた。

なお、「モビリティ情報」面には、ユーザがサイネージコンテンツをユーザ自身のスマートフォンで閲覧するための QR コードが表示されている。この QR コードより、ユーザは②に述べる「タブレット表示用 HTML」にアクセスでき、インタラクティブにサイネージコンテンツを操作・表示できる。

図 390　サイネージ表示用 HTML

② タブレット表示用 HTML

図 391　タブレット表示イメージ

（左：店内タブレット設置イメージ，右：タブレット表示用 HTML の表示画面 UI）

大型サイネージの設置が困難な商用施設向けに、小型のタブレットでも表示可能な「タブレット表示用 HTML」を作成した。図 391 にタブレット表示用 HTML の例を示す。①のサイネージコンテンツは複数のサイネージパネル（非タッチパネル方式）での常時表示を想定しているが、タブ

レットの場合は一画面であるため、タッチパネル方式のディスプレイ上でインタラクティブにコンテンツ操作・表示が行える HTML コンテンツを新たに開発した。

具体的には、デフォルト状態では,「モビリティ情報」面が表示されており、ユーザはモビリティ（公共バス等）や駐車場アイコンをタップすることで、バス系統情報や駐車場名などの詳細情報を確認することができる。さらに、商用施設のアイコンをタップすることで、図 391 の右側のように、その商用施設内の店舗情報の一覧を取得することができる。ユーザは，さらに各店舗情報の外部リンクをクリックすることで、各店舗の公式 Web ページにアクセスすることができる。

③ ダッシュボード表示用 HTML

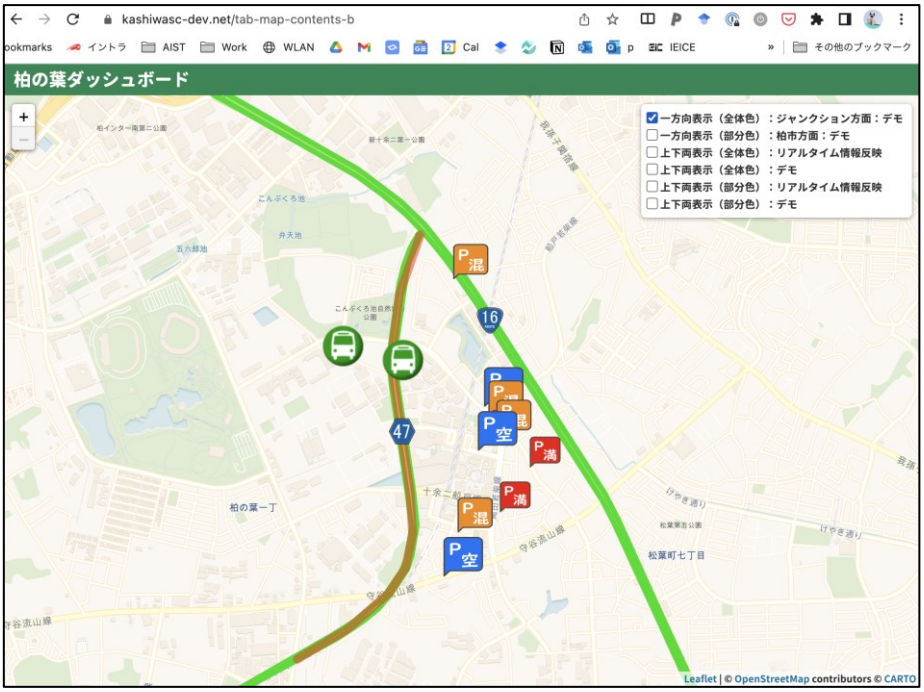


図 392　ダッシュボード表示用 HTML

本取り組みでは、主にモビリティ情報の表示に特化した「ダッシュボード表示用 HTML」を作成した。図 392 にその UI を示す。ユーザは PC のブラウザからアクセスし、公共バスのリアルタイム位置や駐車場の満空情報、幹線道路の渋滞情報を確認することができる。さらに来年度以降、次節にて述べる「CooL4 データ連携 PF」の信号予定情報等も取り込み、このダッシュボード上で可視化を予定している。

iii） 管理画面表示部

サイネージサービスの実運用に向け、本取り組みでは、3 つのサイネージ管理画面を作成した。

① サイネージ運営者向け管理画面

② 施設運営者様向け管理画面

③ 店舗オーナー様向け管理画面

以後、詳細を述べる。

① サイネージ運営者向け管理画面

サイネージサービスの運営主体向けの管理画面 UI 例を図　393 に示す。当画面では、サイネージに表示する商用施設の新規登録や削除、および施設名、施設の位置、ロゴ、公式 URL、イベント情報等の情報編集を行うことができる。

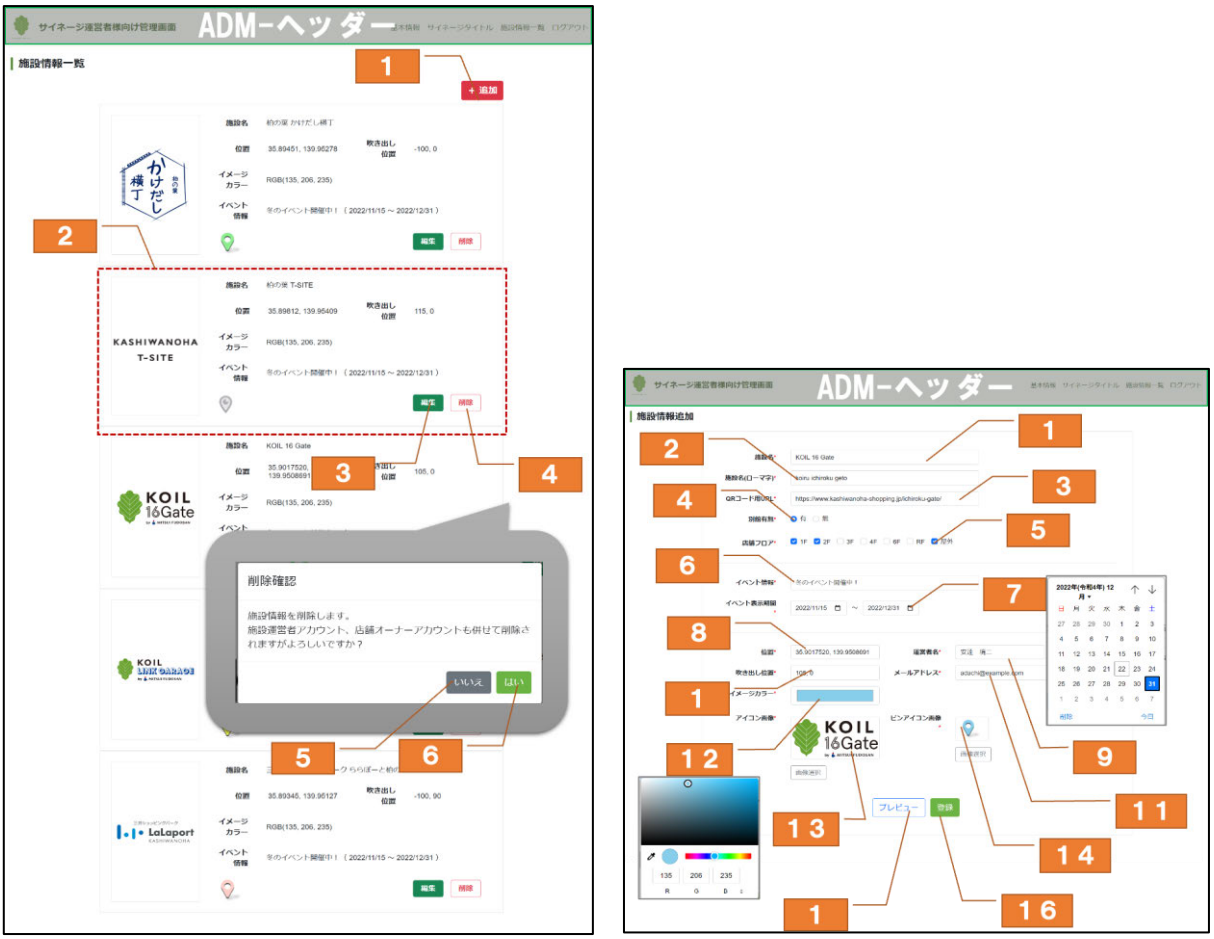


図 393　サイネージ運営者向け管理画面

② 施設運営者様向け管理画面

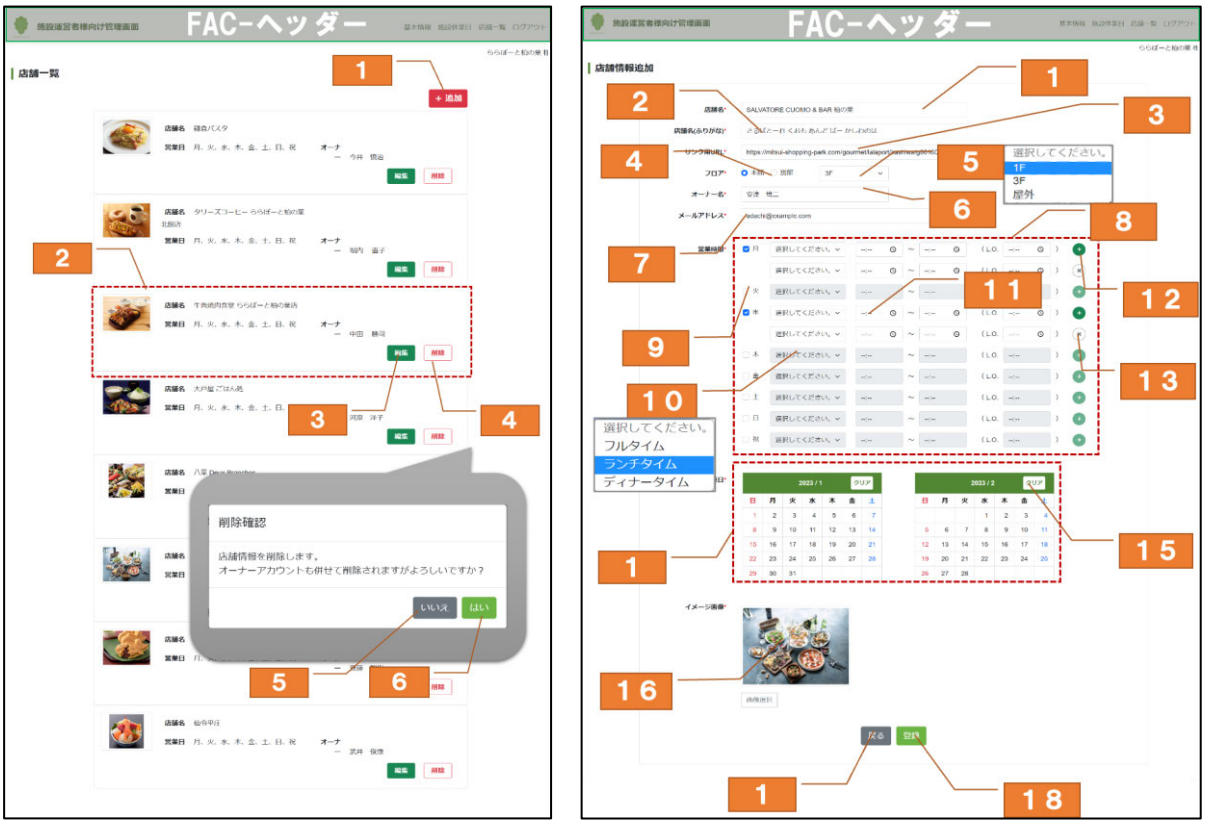


図 394　施設運営者様向け管理画面

各商用施設の運営者向けの管理画面 UI 例を図 394 に示す。各施設運営者には、独自のユーザ ID とパスワードが発行され、各施設における店舗の追加削除、および店舗の詳細情報を編集することができる。店舗の詳細情報には、店舗名、公式 URL、施設内のフロア、営業時間、ラストオーダー時間、アイキャッチ画像等の情報が含まれる。特にこの画面で設定した営業時間情報に従い、サイネージ表示用 HTML およびタブレット表示用 HTML は、「営業中/営業時間外/ラストオーダー終了」の自動表示切り替えを行い、営業中の店舗の強調表示を自動的に行う。また、この画面で設定したアイキャッチ画像が、同 HTML に表示される。

③ 店舗オーナー様向け管理画面

各商用施設のオーナー向けの管理画面 UI 例を図 395 に示す。施設運営者同様、各店舗オーナーには、独自の ID とパスワードが発行され、店舗オーナー自身のスマートフォン上で、店舗のリアルタイム情報を編集することができる。リアルタイム情報には、あらかじめ「タイムセール中」や「ハッピーアワー開催中」等の文字列がプリセットされており、各店舗オーナーは、客の呼び込みに効果的なメッセージ文とその表示期間を選択することができる。デフォルトでは、ここで設定したメッセージ文が、サイネージ表示用 HTML およびタブレット表示用 HTML に即座に反映さ

れ、当日の営業時間終了までメッセージ文が表示される。表示期間を設定した場合には、設定した表示期間の開始時刻に、自動的にメッセージ文が表示される。

図 395　商用施設のオーナー向け管理画面

iv)　柏の葉でのサイネージサービス実証実験について

2022 年度は、一部の商用施設に大型サイネージ（55 インチ）を設置し、「スポット情報」面、および一部のモビリティ情報を表示する「モビリティ情報」面を掲載したサイネージ表示用 HTML を用いた実証実験を、2023 年 3 月頃より開始する。同実証実験を通じ、サイネージサービス運営における課題を把握すると共に、サイネージ導入による効果測定（スマホコンテンツへのアクセス数カウント等）を予定している。

11） データ連携 PF と都市データプラットフォーム連携のためのインタフェース開発

■ 該当項目の背景と目的

自動運転サービスを持続可能な都市サービスにするためには、自動運転サービスから得られるデータと地域内の顧客の移動に関する都市データを組み合わせることで、円滑な移動と目的地の活動を統合し、新たな付加価値を生み出すことが重要である。この目的を達成するためには、インフラ協調型システムを幅広く活用し、CooL4 データ連携プラットフォーム（以下、「CooL4 データ連携 PF」）と都市サービスとの連携を図ることが必要である。そこで本項目では、2025 年度の自動運転レベル 4 サービスにおいて、CooL4 データ連携 PF と都市データプラットフォームとの連携が可能なインタフェースの開発を検討する。

■ 実施方針

2022 年度は、名古屋大学が開発する CooL4 データ連携 PF と、産業技術総合研究所（以下、「産総研」）が開発する都市データプラットフォーム（以下「都市データ PF」）とのデータ連携のため、CooL4 データ連携 PF が扱う「信号予定情報」を対象に、HTTP RESTful API によるデータ連携インタフェースを開発する。

■ 実施事項と実施方法

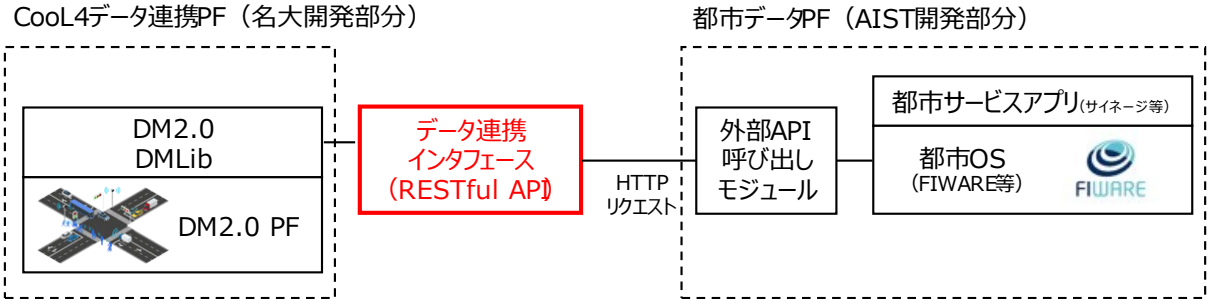


図 396　CooL4 データ連携 PF と都市データ PF のデータ連携

図 396 に、2022 年度の実施内容の全体像を示す。CooL4 データ連携 PF は、自動運転システムや高度安全運転システムを対象とし、名古屋大学（以下、「名大」）を中心として開発が行われている。特にこの中核が、街中に設置されたセンサー等から得られたリアルタイムな交通情報を道路地図上に重ね合わせて利用可能とした「ダイナミックマップ」を扱う「ダイナミックマップ 2.0 プラットフォーム（DM2.0 PF）」である。この DM2.0 PF のデータベースシステム（以下、「DBS」）には、例えば、車両位置情報や歩行者端末の位置情報、信号予定情報などが格納されている。そして、この DBS へのアクセスを提供するのが、DMLib と呼ばれるインタフェースプログラムであ

る。

従来の DMLib は C++で記述されており、上記の DBS にアクセスするには、DMLib を組み込んだプログラムを作成する必要があった。一方、Web アプリケーションの開発においては、Web クライアント等からワンショット応答（1 回のデータ取得要求に対して同期的に応答）する HTTP RESTful API がよく用いられており、産総研が開発する都市データ PF も同 RESTful API を用いて都市サービスの Web アプリケーションが開発されている。

そこで、産総研と名大では、DMLib を介して DM2.0 PF との情報のやり取りが可能な HTTP RESTful API 型の「データ連携インタフェース」を開発している。2022 年度は、DBS に格納されているデータのうち、特に「信号予定情報」を対象に、データのリクエスト方式とレスポンスのデータフォーマットを定め、データの送受信を確認した。

図 397 に、開発したデータ連携インタフェースのシステム構成図を示す。DMLib は、DM2.0 PF が稼働するクラウドサーバ（AWS EC2）にアクセスすることで、DM2.0 PF 上の DBS からデータを取得する。DMWebLib サーバは、Web アプリ等が動作する Web クライアントと DM2.0 PF との間のデータ送受を仲介する役割を持ち、そのサーバ内に位置づける形で、RESTful API ベースのデータ連携インタフェースとした。

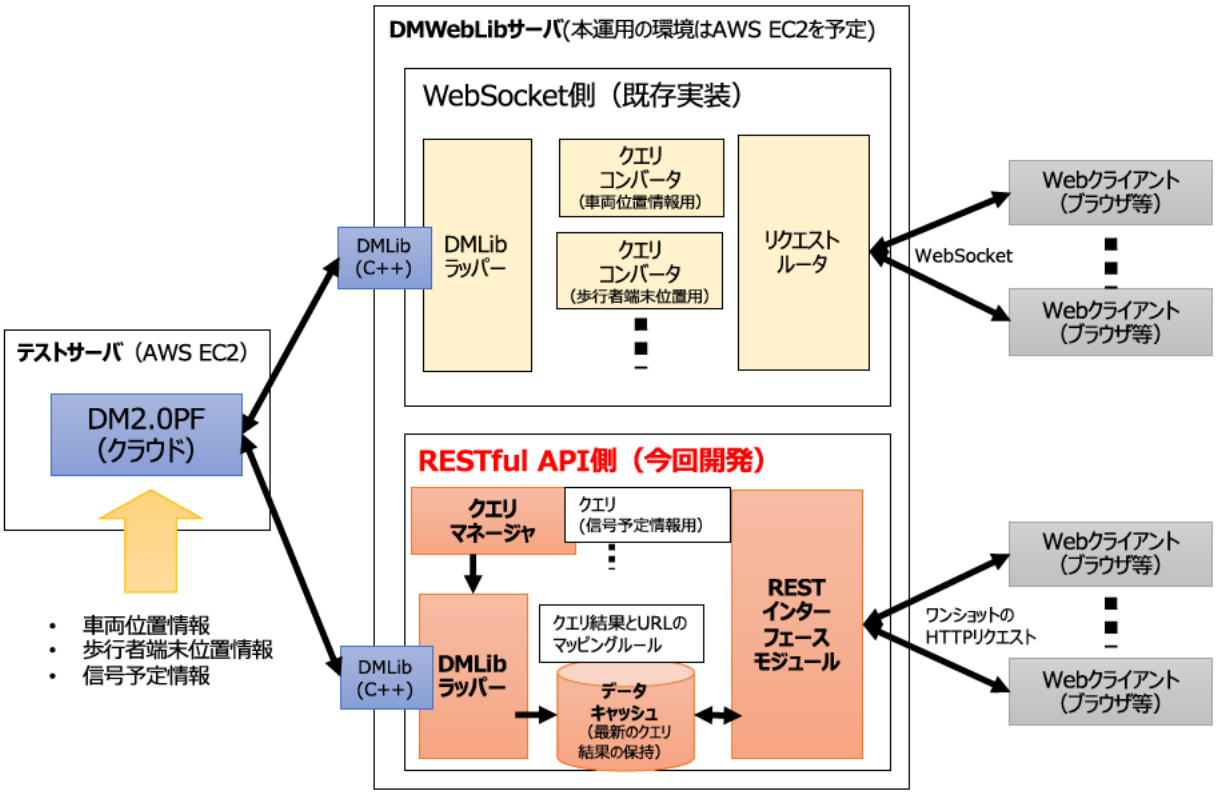


図 397　データ連携インタフェースのシステム構成

RESTful API ベースのデータ連携インタフェースを用いたデータ送受信のデーターフローについて述べる。Web クライアントから HTTP リクエストを受信した「REST インタフェースモジュール」は、リクエスト情報を「クエリマネージャ」に受け渡す。「クエリマネージャ」は DM2.0 PF の DBS にアクセスするための SQL クエリ文に変換し、「DMLib ラッパー」を介して DMLib にアクセスし、DBS への問合せを行う。DBS からの応答は、再び「DMLib ラッパー」を介して、最新のクエリ結果を保持する「データキャッシュ」に蓄積される。最後に、「REST インタフェースモジュール」は「データキャッシュ」に新しい情報が格納されたことを確認でき次第、Web クライアントに対してレスポンス情報を送信する。

API 開発における基本方針は，以下の通りとした。

- 「CooL4 データ連携 PF API 仕様案 version 0.6.0.pdf」(最終更新日：2022 年 3 月 13 日)をベースとした、DM2.0PF の Schema 定義を参照する
- HTTPS による暗号化を行う
- 2022 年度はダミーデータを返す開発環境の API サーバへの URI を提供し、開発環境と本番環境とはドメイン(FQDN)で区別を行う
- 交差点 ID を指定し、交差点内のすべての信号予定情報を返却する

リクエスト情報

本番環境ドメイン名(FQDN)	https://api.dynamicmap.org/
開発環境ドメイン名	https://sampleapi.dynamicmap.org/
パス	v1/traffic_signals/?crpid=xx
メソッド	GET
Response形式	JSON

Request Header	
Accept	*/*
Content-Type	application/json
Authorization	[KEY]

レスポンス情報

Response Code	
200	信号予定情報の取得に成功
403	認証に失敗(KEY誤り)
404	存在しない交差点IDに対するリクエスト

Response Body	本文に記載のJSON形式を参照

図 398　信号予定情報 WebAPI 仕様

上記の基本方針に沿って定めた、信号予定情報の WebAPI 仕様を図 398 に示す。リクエスト情報、ヘッダ情報、およびレスポンス情報について記載している。

本番環境のドメイン名を決定するにあたり、FQDN に “api”の文字列を含めることで、WebAPI であることを明示した。FQDN ではなく、FQDN 以降のパスに“api”を含めるケースもあるが、今回は Twitter の API 形式を参考に、FQDN に含める形を採用した。また、開発環境の FQDN は“sampleapi”とすることで、本番環境と区別した。

パスには、バージョン情報（今回は “v1”）を含めることで、以後 API 仕様を更新した時に区別できるようにした。また、“crpid=”以降に、交差点 ID を必ず指定する仕様とした。

リクエストヘッダには、「Authorization ヘッダ」を含め、その後にアクセストークンを含めることで、API サーバに自身の認証を要求することとした。交差点 ID を指定して信号予定情報を取得するコマンド例を図 399 に示す。

```
curl https://sampleapi.dynamicmap.org/v1/traffic_signals?crpid=741377
-H "Authorization:<access_token>"
```

図 399　信号予定情報の取得コマンドの例

次に、レスポンス情報について述べる。レスポンスコードは 200、403、404 を定めた。200 正常（信号予定情報の取得に成功）の場合を表し、このとき図 400 に示すようなレスポンスボディを受信することができる。403 エラーは認証に失敗した場合（主にアクセストークンの誤り）、404 エラーは存在しない交差点 ID に対するリクエストを表す。

図 400 にレスポンスボディの例を挙げる。レスポンスは JSON 形式であり、各々、以下を表す[1]。

- crp_id：問い合わせた交差点 ID
- id（リスト）：交差点内で信号灯器を識別するための ID のリスト
- time：信号等の色情報が生成された時刻。時刻フォーマットは DE_TimestampIts に従う
- state：信号機の動作状態
- specific_control_flags：信号等の色が通常と異なる変化を行う場合等を表す
- event_count：信号灯器の状態が、時間の経過から予測できる変化を超える変化を行った場合にカウントアップするカウンタ
- count_down_stop_flag：現在の灯色表示の最小残秒数がカウントダウンされるか否か
- light_info（リスト）：現在の灯色表示とその変化予定を表すリスト。以下の項目を含む：
  - light_info_main：主たる灯色の表示灯色
  - light_info_arrow：青矢印信号表示：青矢印器の状態
  - light_info_min_time_to_change：当該の灯色が継続する最小秒数
  - light_info_max_time_to_change：当該の灯色が継続する最大秒数

```
{
    "signal_info":[
        {
            "crp_id":741377,
            "id":[
                35,36,33,65,66,67
            ],
            "time":534655701990,
            "state":1,
            "specific_control_flags":0,
            "event_count":69,
            "count_down_stop_flag":0,
            "light_info":[
                {
                    "light_info_main":5,
                    "light_info_arrow":0,
                    "light_info_min_time_to_change":230,
                    "light_info_max_time_to_change":230
                },
                …
            ]
        },
        …
    ]
}
```


図 400　レスポンスボディの例

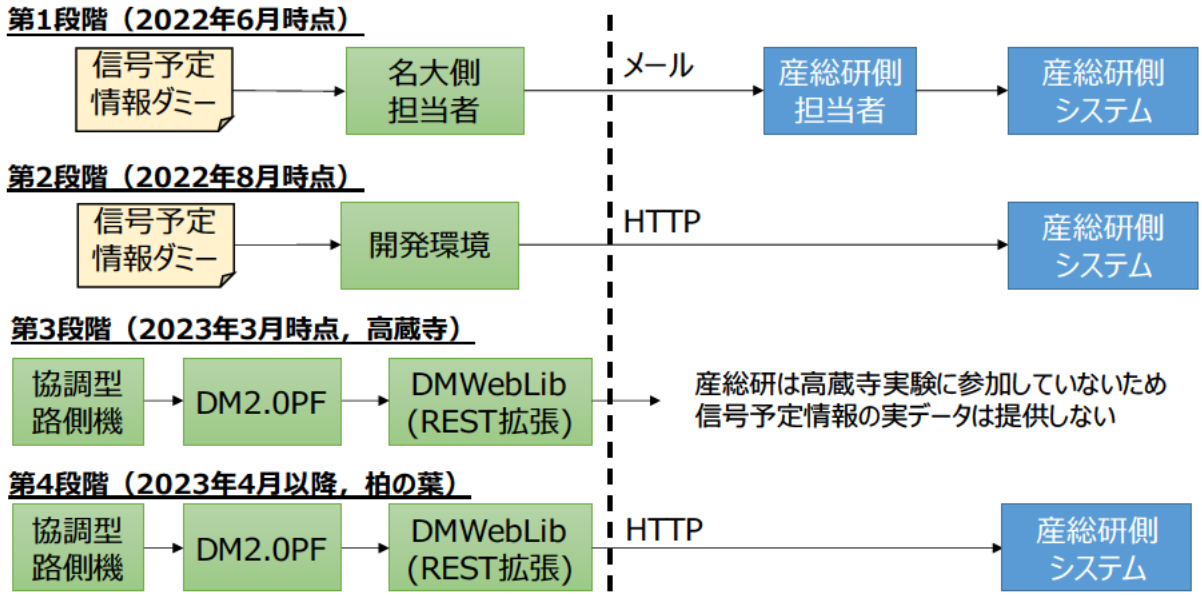


図 401　2022 年度の開発経過と来年度以降の計画

最後に、2022 年度の開発プロセスと今後の取り組み予定について述べる。図 401 にこれまでの開発状況と今後の計画を示す。第 1 段階では図 398 および図 400 に示す WebAPI 仕様（信号予定情報に関するリクエストおよびレスポンスボディの JSON フォーマット）を名大と産総研担当者間で討議し、内容について合意した。次に第 2 段階では、上記信号予定情報を HTTP 経由で提供する開発環境を名大側で構築し、産総研のシステムから情報取得できることを確認した。

今後の予定として、2022 度末までに、名大側にて DMWebLib サーバを拡張し、REST インタフェースを含むデータ連携インタフェースを本番環境に実装完了し、高蔵寺に設置された信号灯器の信号予定情報を HTTP RESTful API で取得できることを確認完了予定である。さらに、2023 年度以降は、柏の葉に設置された協調型路側器の信号予定情報も、同本番環境から HTTP 経由で取得可能となる見込みである。

2-4. 協調型システムの評価環境の拡充

＜この項目での実施事項＞

I. デジタルツインによる協調型システムの評価環境構築、協調型システムの評価手法の開発

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 協調型システムの公道実証前性能評価が可能な試験環境の整備・拡充を行った。
- 協調型システムの公道実証前性能評価が可能なシミュレーションおよび VR 評価が可能な環境整備を行った。

■ 該当項目の必要性

協調型システムの検討評価は、公道実証実験の前に行う。そのため限定空間（実験フィールド）の中で評価を行う環境の整備を行う必要がある。

■ 該当項目の目標

東京大学柏キャンパスの実験フィールドに、協調型システムの性能検討を行うことが可能な実験施設を整備し、2-2 の検討事項を試験する環境を整備する。また、通信技術、データ連携技術に関係するソフトウエアの動作確認、VR を活用した協調型システムの性能評価が可能になるサイバー空間での試験ができる環境を 2021 年度に整備した。2022 年度はこれらの機器の機能拡充を行い、公道実証に向けた評価実験として、事前のシミュレーションおよび性能検討を試行する。

■ 実施方針

サイバー・フィジカル空間を活用しながら、日本自動車研究所と連携を行い、東京大学柏キャンパスを中心にした協調型システムの試験環境を整え、開発したシステムが速やかに公道実証実験にて実装できるようにする。

■ 実施事項と実施方法

I. デジタルツインによる協調型システムの評価環境構築、協調型システムの評価手法の開発

1) フィジカル空間での試験環境整備

(1) 協調型システム検討用車両整備

協調型システムの検討および評価を行うため、昨年度に引き続き試験車両の整備を行った。昨年度導入した車両 2 台について、車両に内蔵されたセンサーより出力される CAN 信号を取得する改造作業を実施した。図は CAN 信号を取得するインタフェースとなる装置である。1 台は、計測装

置などを今後積載する可能性を考慮し、屋根に車両中心線の目印となるラインを設置し、トランクルームに機材用のラックを設置した。もう 1 台は、昨年度開発したドライブレコーダーシステムを試験車両の搭載に適合するに拡張し、当該システムを試験車両に搭載した（図 402）。ドライブレコーダーシステムを搭載した本車両は、テストフィールドだけでなく、公道上においても協調型システムの効果等を評価する際に活用することが期待される。昨年度開発したドライブレコーダーシステムは、速度や加速度等の車両挙動情報とともに、周辺 360° の映像情報・距離情報を同期して記録でき、どのような状況で協調型システムが機能したか等を評価できるとともに、実環境における自律型システムの課題を抽出し、協調型システムを検討することも可能である。車両挙動情報については、車両メーカーの協力のもと得られた車載機器により車両側で処理している出力信号を、読み取り記録できるソフトウエアを追加で開発し、ログとして出力できる仕様とした。周辺 360° の映像情報および距離情報については、試験車両の外部にカメラや LiDAR センサーを予め定めた位置および姿勢で取り付けられるように、設置治具を新たに設計し、車両に搭載した（図 402①）。ドライブレコーダーシステムの機材の一部を収納し、同時にシステム使用者が走行中にシステムの動作状況等を確認することができるようにするため、試験車両の後部座席に機材収納用のラックを設置した（図 402②）。また他の機器のデータ計測を同時に実施することを考慮し、ドライブレコーダーシステムは試験車両のトランクに格納し、トランクに他の機器を設置できるスペースを確保した。また他の機器に対して電源供給できるように、カーバッテリーと接続したインバーターを搭載した（図 402③）。本システムは、試験車両のイグニッションとは連動しておらず、スイッチを操作することにより起動および終了操作を行うことができ、操作者の任意のタイミングで計測の開始・終了を行うことができる。

図 402　ドライブレコーダーシステムを搭載した試験車両の外観と拡張項目例

持続した協調型自動運転システムの運用に向けた取り組みを実現するためには、維持および管理の観点における課題を抽出し、整備事業者とも連携した検討を進める必要がある。協調型自動運転は、従来から検討されている車両にすべての機能を集中させる形態のものだけでなく、インフラに設置された機器との連携を ODD として定義される機能の要件に定められるものも考えられる。このようなシステムにおける維持・管理の課題を抽出することは、継続した協調型自動運転の運用に向けて不可欠である。今後想定されるこの課題の検討に向けて、本年度は今後の課題抽出に向けた検討を、自動運転車両を整備した経験を有する事業者 1 社との意見交換を実施しながら進めた。

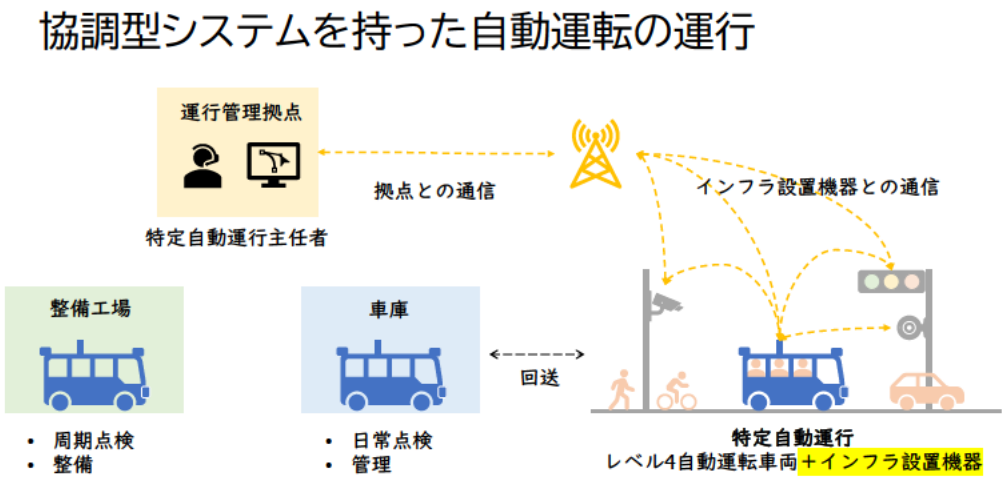


図 403　想定されるインフラ設置機器との連携を前提とした協調型自動運転

(2) 協調型システム試験環境整備と試験実施

2025 年の協調型自動運転実現に向け、必要な技術要素の機能開発および評価を行うため、東京大学の柏キャンパスにあるモビリティ評価フィールドである ITS R&R フィールド内に、協調型システムの試作機器を設置して、試験環境としての機能を拡充した。機能拡充は、本事業でもプレ実証として位置付けている、柏 ITS 推進協議化の進める自動運転バス長期営業運行実証のプロジェクトで各社が公道上に設置している路側機器と同等の性能を有する機器を設置するとともに、大学などの研究期間が主導して進めている将来可能性のある技術についても評価機器を設置した。企業と大学の連携によって、2025 年実装時の公道環境を模擬するだけでなく、将来可能性のある技術を先駆けて評価することで、実装時に想定されるシナリオへの現状の技術が対応できる内容を評価するだけでなく、そのシナリオに対して将来可能性のある技術を適用した時に期待される効果も評価することが可能である。

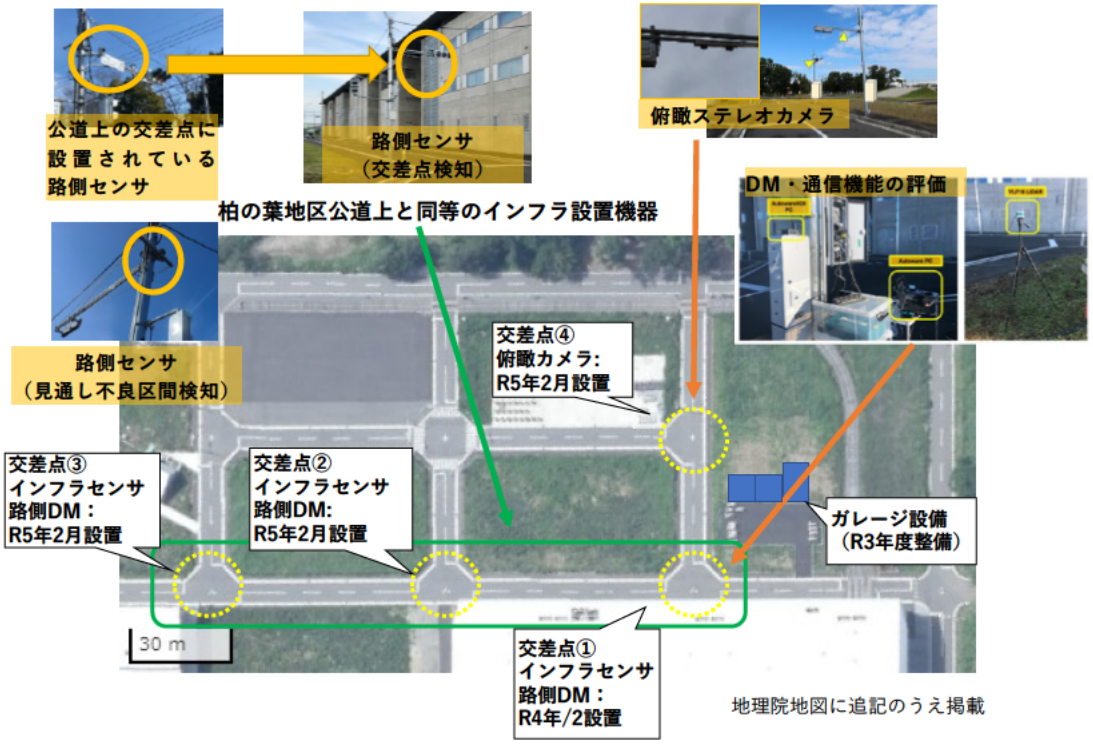


図 404　本年度のフィールド整備実施内容

i）　ITS R&R フィールドを活用した評価環境の構築

本年度はフィールド内に設置されている協調型信号設備機器に対して、路側システムに必要な機器類を設置した。図 405 示す本事業で検討している協調型自動走行システムのうち、左側にある協調型路側機の部分がこれに該当する。主要な機器構成を表 124 に示す。設置した場所は図 404 の交差点①、②、③である。本年度は設置された機器のうち WiFi アダプタを介した通信について、路側 DM 計算機と車載 DM 計算機の通信確認実験（図 406）を実施した。以下、表 125、表 126、

表 127 と、図 407、図 408、図 409、図 410、図 411 を用いて、交差点毎に設置されている機器をまとめる。

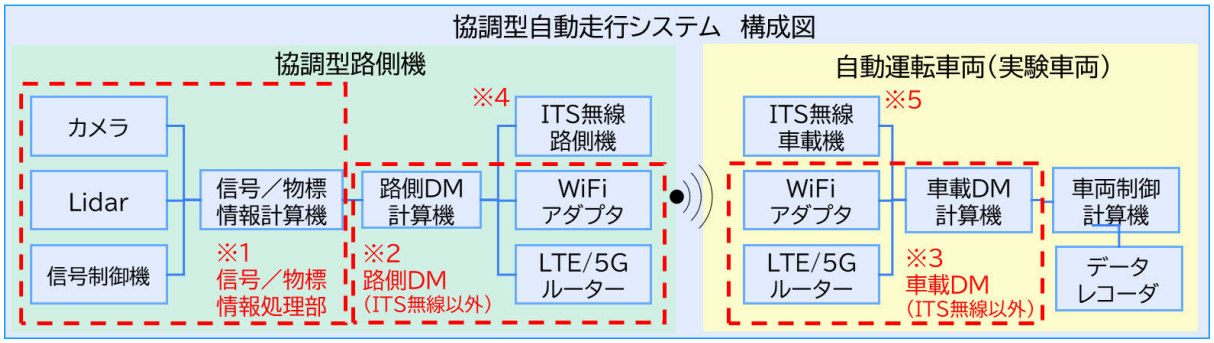


図 405　協調型自動走行システム構成図

表 124　柏キャンパス ITSR&R フィールドに設置された路車協調設備

交差点＃	路側 DM 計算機	通信機構成	物標情報 センサー＋計算機	信号情報用 計算機
①	NVIDIA　Jetson AGX Xavier	• WiFi アダプタ • LTE/5G ルータ	LiDAR＋カメラ （日本信号資産： 道路上物標 ＋横断歩道物標）	日本信号資産 （物標情報共通）
②	AETINA　AN810-XNX （NVIDIA Jetson Xavier NX 内蔵）	• WiFi アダプタ • LTE/5G ルータ • ITS 無線（京セラ資産）	• 全方位カメラ （PSNRD 製： 横断歩道物標） • LiDAR＋カメラ （日本信号資産： • 道路上物標 ※路側 DM 未接続）	日本信号資産 ※路側 DM 未接続
③	NVIDIA　Jetson Orin	• WiFi アダプタ • LTE/5G ルータ • ITS 無線（京セラ資産）	• LiDAR （コイト電工資産： 道路上物標 ※路側 DM 未接続）	日本信号資産

図 406　設置した路車協調設備と実験車両との通信確認

表 125　交差点①の設置機器

項番	構成品	機能	個数	設置時期
1	交通信号制御機	交差点に設置されている信号灯火を、既定の周期にて制御する。	1 基	2022 年 3 月
2	協調型路側機	路側データモジュールおよび通信インタフェースを備え、路側装置から送信される交通信号情報、物標情報を、車載データモジュール及びデータサーバへ LTE/5G 回線、ITS 無線、または、WiFi を介して発信する	1 基	2022 年 3 月
3	路側装置	交通信号制御機の信号情報、センサー処理部から送信される物標情報を自動運転車両向けのフォーマットに変換	1 基	2022 年 6 月
4	センサー処理部	カメラ、LiDAR に接続し、AI 処理によりオブジェクト種別などを識別し、物標情報を路側装置に送信	2 基	2022 年 6 月
5	カメラ	検知領域の映像を取得し、センサー処理部に送信	2 式	2022 年 6 月
6	LiDAR	検知領域の点群情報を取得し、センサー処理部に送信	1 式	2022 年 6 月

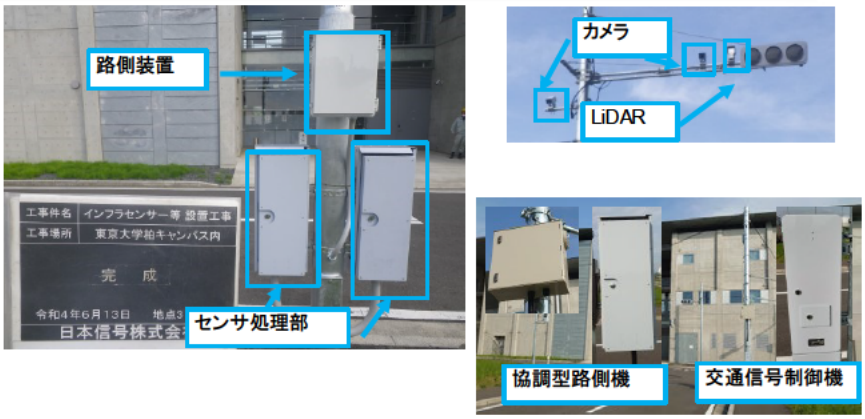


図 407　交差点①機器設置状況

表 126　交差点②設置機器

項番	構成品	機能	個数	設置時期
1	交通信号制御機	交差点に設置されている信号灯火を、既定の周期にて制御する。	1 基	2022 年 3 月
2	路側装置	交通信号制御機の信号情報、センサー処理装置から送信される物標情報を自動運転車両向けのフォーマットに変換	1 基	2022 年 6 月
3	センサー処理部	カメラに接続し、AI 処理によりオブジェクト種別などを識別し、物標情報を路側装置に送信	2 基	2022 年 6 月
4	カメラ	検知領域の映像を取得し、センサー処理部に送信	2 式	2022 年 6 月
5	協調型路側機	路側データモジュールおよび通信インタフェースを備え、路側装置から送信される交通信号情報、物標情報を、車載データモジュール及びデータサーバへ LTE/5G 回線、ITS 無線、または、WiFi を介して発信する	1 基	2023 年 2 月
6	センサー処理部 #2	全方位カメラに接続し、AI 処理によりオブジェクト種別などを識別し、物標情報を協調型路側機路側データモジュールに送信（5. 協調型路側機ボックス内に同梱）	1 基	2023 年 2 月
7	全方位カメラ	交差点内及び周辺検知領域の 360 度映像を取得し、センサー処理部に送信	2 式	2023 年 2 月
8	ITS 無線路側機	協調型路側機から送信された情報を車両に送信	1 基	2023 年 2 月

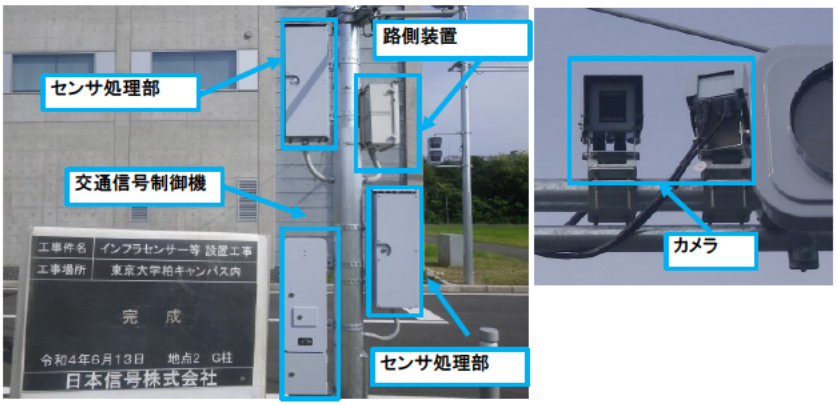


図 408　交差点②の機器設置状況（1）-交通信号制御機、センサー処理部、及び路側装置

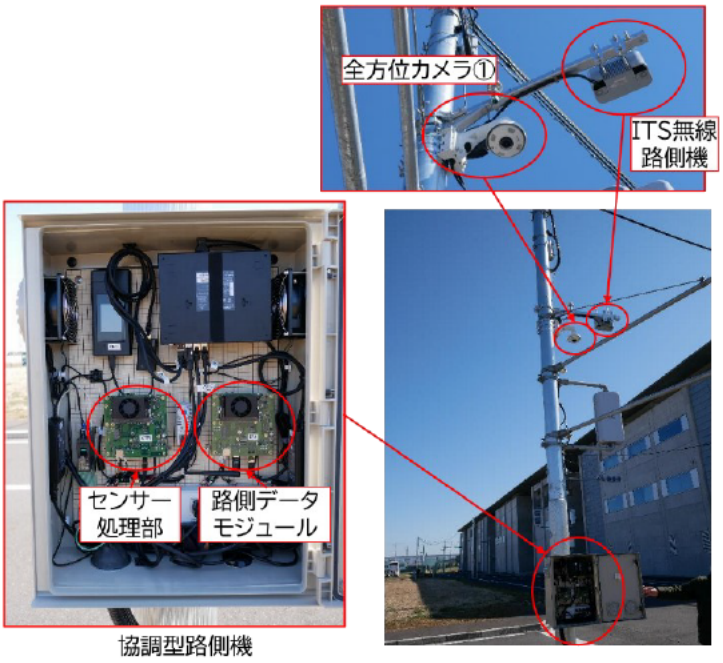


図 409　交差点②の機器設置状況（2）-協調型路側機及び ITS 無線路側機

表 127　交差点③設置機器

項番	構成品	機能	個数	設置時期
1	交通信号制御機	交差点に設置されている信号灯火を、既定の周期にて制御する。	1 基	2022 年 3 月
2	路側装置	交通信号制御機の信号情報を自動運転車両向けのフォーマットに変換	1 基	2022 年 6 月
3	LiDAR	検知領域の点群情報を取得し、LiDAR 処理装置に送信	1 式	2022 年 11 月
4	LiDAR 処理装置	LiDAR 処理装置から AI 処理によりオブジェクト種別などを識別し、 LTE を介して物標情報を車両へ送信	1 基	2022 年 11 月
5	協調型路側機	路側データモジュールおよび通信インタフェースを備え、路側装置から送信される交通信号情報、物標情報を、車載データモジュール及びデータサーバへ LTE/5G 回線、ITS 無線、または、WiFi を介して発信する	1 基	2023 年 2 月
6	ITS 無線路側機	協調型路側機から送信された情報を車両に送信	1 基	2023 年 2 月

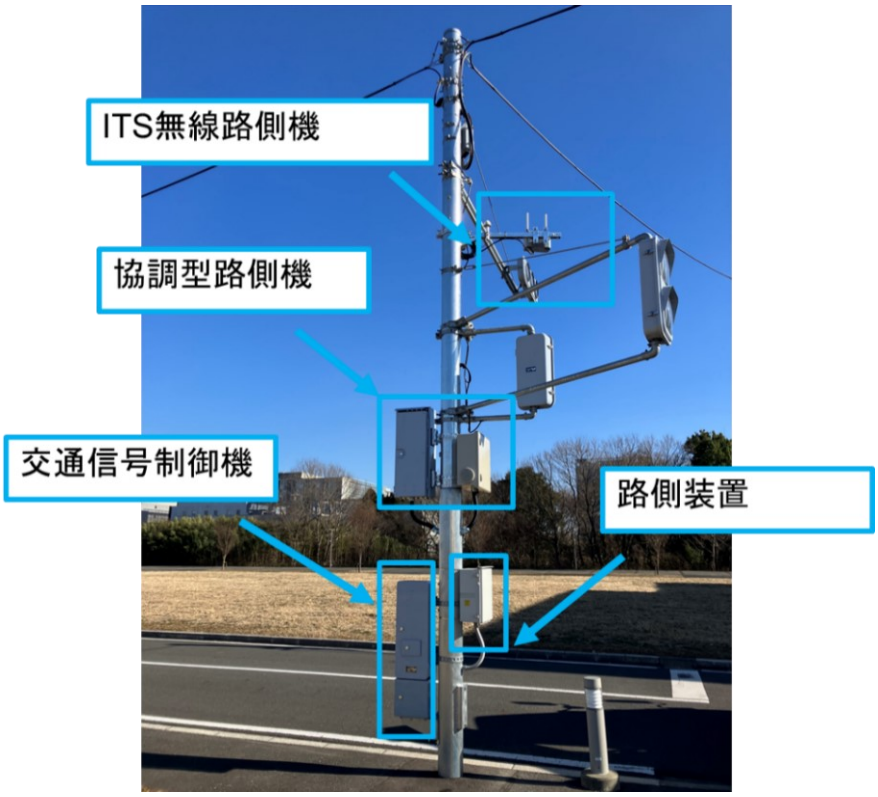


図 410　交差点③の機器設置状況(1) -交通信号制御機、
路側装置、協調型路側機、及び ITS 無線路側機

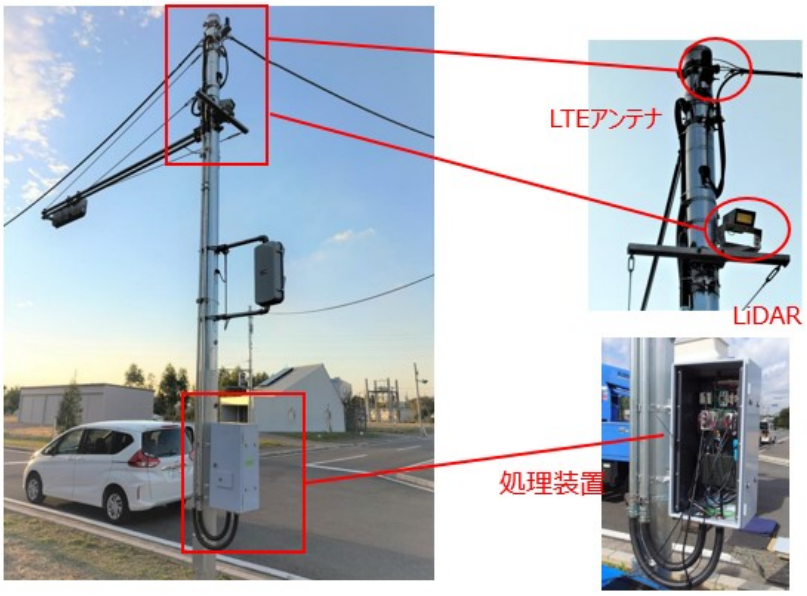


図 411　交差点③の機器設置状況(2)-LiDAR 及び処理装置

ii） 評価環境運用スキームの設定と試行

公道上での実証実験を行うより前に技術的な検討を限定的な空間で行うため、東京大学柏キャンパスにある ITSR&R フィールドを活用した。本プロジェクトでの活用を効率的に推進するため、「CooL4 柏キャンパス実験利用者調整会議」を設置して概ね毎月 1 回開催し、関係者での情報共有や利用日程の調整を行った。図 412 は本年度設定した利用調整フローである。本フローに基づき、関係者から事前に申告のあった実験準備・実施・予備の日程について、本事業関係者で情報を共有し、ITS R&R フィールドでの実験や作業を進めた。

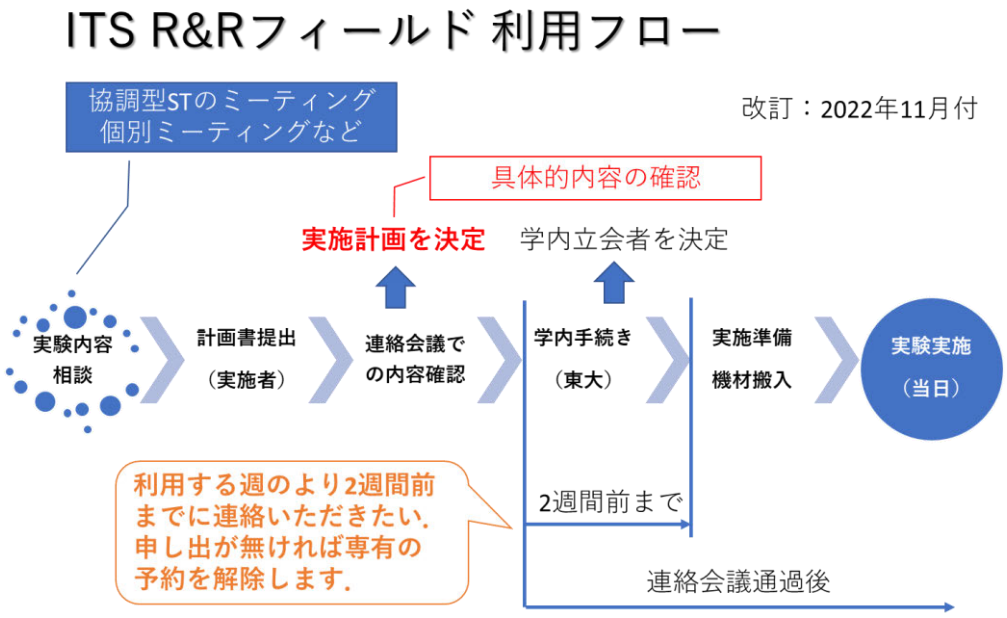


図 412　本年度策定し運用したフィールド利用フロー

表 128　2022 年度 CooL4 でフィールドを利用した主な日程

CooL4 でのフィールド専有期間	主な目的・利用者
2022 年 6 月 13 日～17 日	協調型路側システム設置作業・日本信号
2022 年 7 月 21 日	協調型路側システム実験実施・東大　深尾研究室
2022 年 8 月 29 日～9 月 2 日	実験実施・日本信号、先進モビリティ
2022 年 9 月 15 日	実験実施・東大　深尾研究室
2022 年 10 月 5 日～7 日	実験実施・東大　深尾研究室
2022 年 10 月 19 日～20 日	実験実施・東大　深尾研究室
2022 年 11 月 7 日～9 日	インフラ協調システム設置作業・コイト電工
2022 年 11 月 30 日～12 月 2 日	インフラ協調システム実験実施・コイト電工
2022 年 12 月 12 日～16 日	実験実施・東大　塚田研究室、小竹研究室
2022 年 12 月 26 日～27 日	実験実施・東大　山川研究室、深尾研究室、塚田研究室
2023 年 1 月 10 日～13 日	実験実施・東大　山川研究室
2023 年 1 月 23 日～27 日	実験実施・東大　山川研究室
2023 年 2 月 1 日～2 月 3 日	実験機器設置作業・東大　深尾研究室、小竹研究室
2023 年 2 月 26 日	協調型路側システム設置作業、日本信号・パナソニック システムネットワークス開発研究所
2023 年 2 月 23 日、27 日、28 日	実験実施・東大　中野研究室、先進モビリティ、東大 深尾研究室、東大　塚田研究室

*専有した期間には実験日程のうち天候不良に備えて確保した予備日なども含む。

フィールドの整備として、必要な点検機材や実験を安全かつ円滑に進めるための機材等を追加導入し、フィールドを活用した技術開発の促進が期待される運用の推進を目指した。

本年度は本プロジェクトに伴いフィールド内の協調型信号設備に対して、柏の葉地区公道上に設置されているものと同等の機能および性能を有する協調型機器を設置した。昨年度設置した信号設備と組み合わせることで、協調型路側機器として動作し、柏の葉公道上での実現が難しい交通シナリオ（例：歩行者と自転車の並走、車両の死角にいる方向者など）での実験を実施した。

過年度に整備した協調型システム付信号設備に対して、柏の葉地区の実証実験で使用されているものと同等の機能・性能を有するセンサーや計算機を持った路側機器を設置した。

本プロジェクトでフィールドを専有して利用した結果得られた一部をここでは説明する。

iii） 活用事例

① インフラセンサー・信号機と自動運転車両の接続実験

東大柏キャンパス実験フィールドに設置された路側インフラ（交通信号制御機、路側装置、センサー）を使用し、自動運転バスとの信号情報及び物標情報の通信インタフェースの接続確認、車両制御への取込み検討のためのサンプルデータ取得を行った。

実験内容は以下の 3 点である。

(1) 自動運転バス側で信号情報及び物標情報を路側インフラから正常に受信できることを確認した。

(2) 通信インタフェースの認識に齟齬がないことを確認した。

(3) 自動運転バス側で車両制御への取込み検討のため、路側インフラセンサーで計測した対向車両および歩行者の物標情報のサンプルデータを取得した。

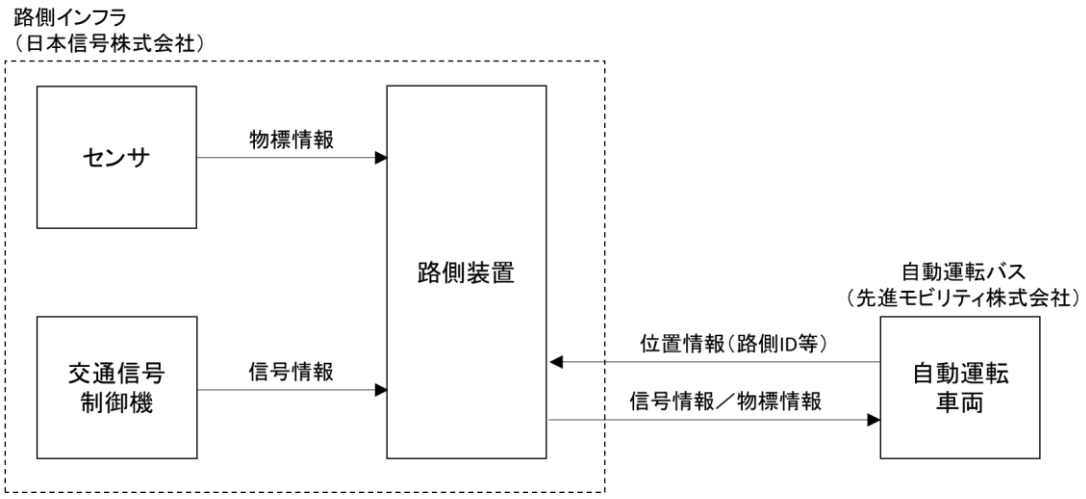


図 413 実験で利用したシステムの構成

本実験で使用する東大柏キャンパス ITS R&R フィールドに設置している路側インフラ及びセンサー検出範囲を図 414、図 415、図 416 に示す。

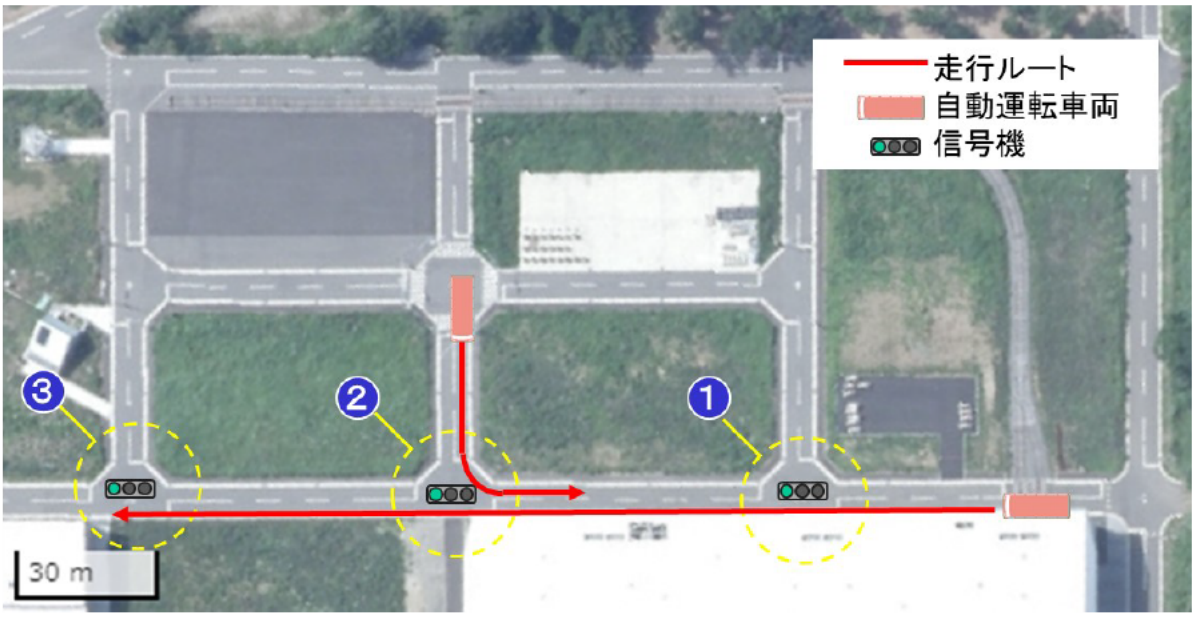


図 414　信号交差点（3 箇所：①、 ②、 ③）　※地理院地図より

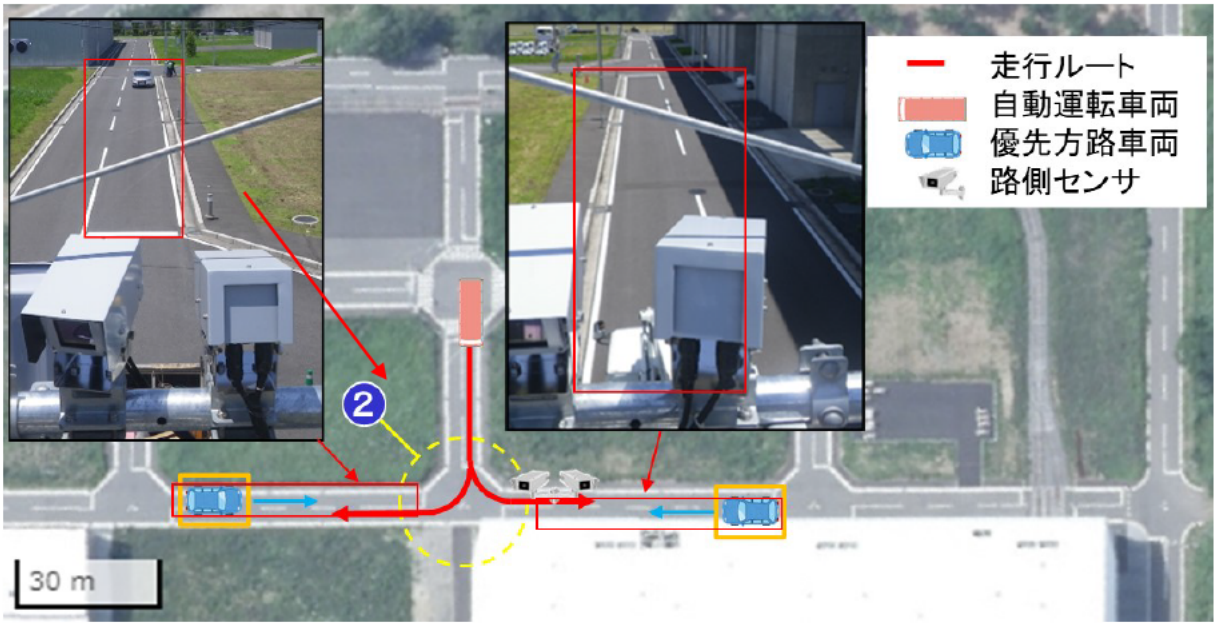


図 415　交差点②センサー検出範囲　※地理院地図より

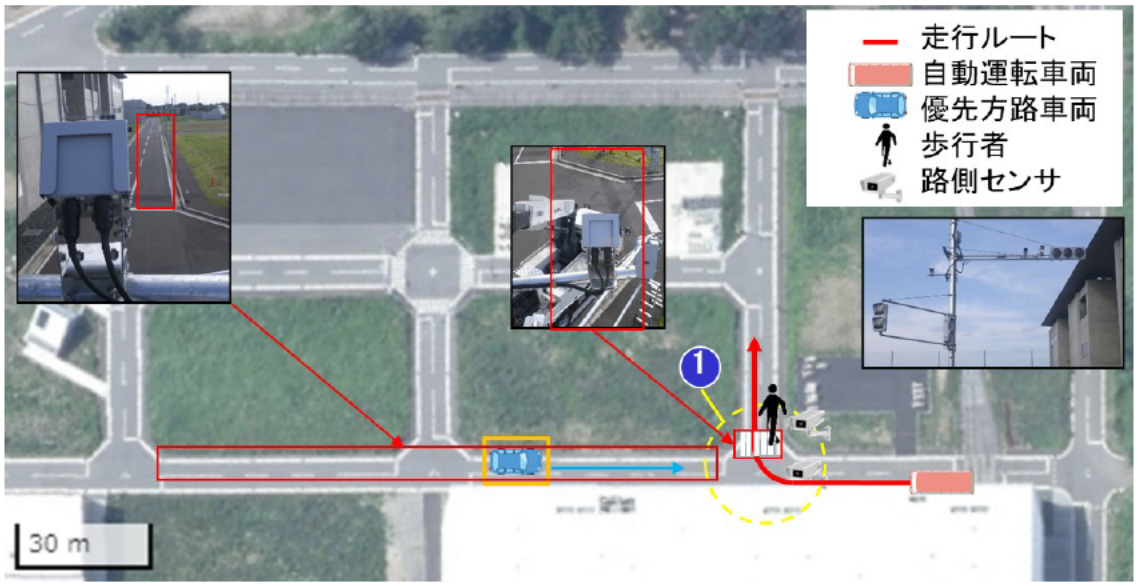


図 416　交差点①センサー検出範囲　※地理院地図より

② エッジケースにおけるデータ取得実験

公道上でのデータ取得が難しいエッジケースシナリオにおけるデータ取得を行うため、柏 ITSR&R フィールドでの実験を実施した。実験には交差点③付近に設置したインフラシステムを利用し、表に示す 6 パターンの交通シナリオを模擬してインフラ側のデータを取得した。

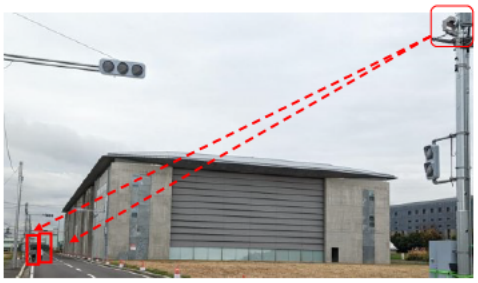
図 417 エッジケースを対象とした実験の実施範囲※GoogleMap より

表 129　エッジケース交通シナリオとして設定したパターン

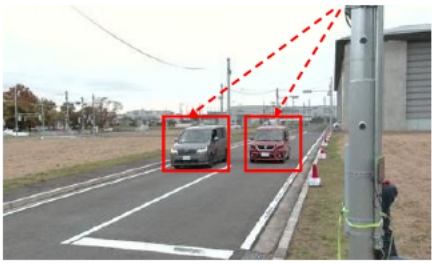
パターンNo.	移動パターン	検知対象A	検知対象B
1	並び移動	歩行者	歩行者
		車両	車両
2	縦列移動	歩行者	歩行者
		自転車	自転車
		車両	車両
3	すれ違い	歩行者	歩行者
		車両	車両
4	オクルージョン	車両	歩行者
		車両	自転車
		車両	車両
5	追い越し	歩行者	車両
		自転車	車両

並び移動（歩行者、接近）

並び移動（歩行者、遠離）

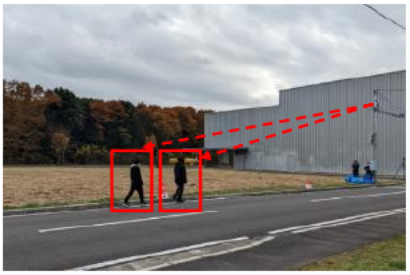


並び移動（車両、接近）



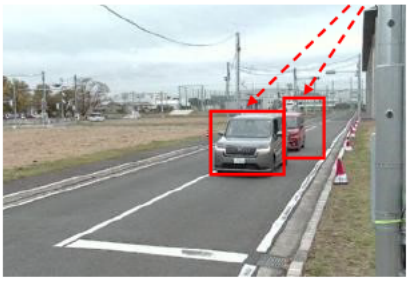
（a）実験シナリオ 1　並び移動

縦列移動（歩行者、接近）



縦列移動（自転車、遠離）

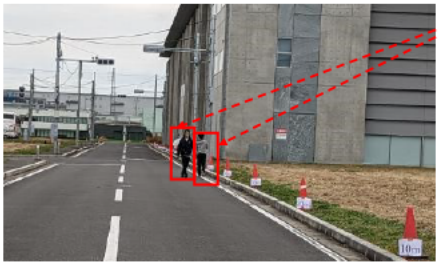
縦列移動（車両、接近）



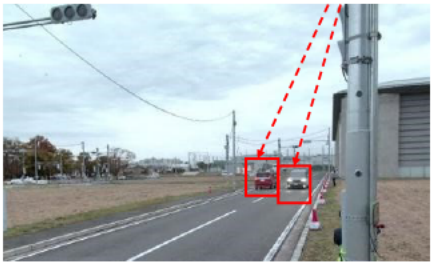
シナリオ 2　縦列移動

図 418 エッジケースシナリオの試行（1）

すれ違い（歩行者、道路右側）

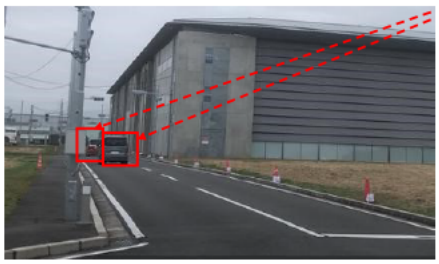


すれ違い（車両同士）



シナリオ 3　すれ違い

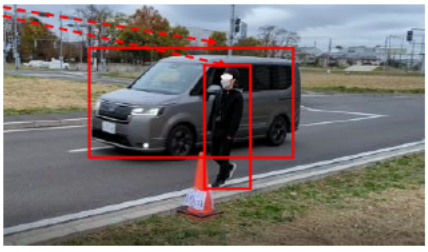
オクルージョン(道路左側、車両)



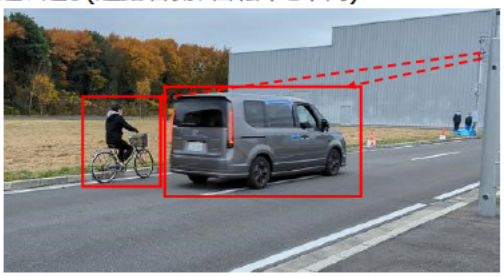
オクルージョン(道路右側、車両)

シナリオ 4　オクルージョン

追い越し(道路右側、歩行者と車両)



追い越し(道路右側、自転車と車両)



シナリオ 5　追い越し

図 419　エッジケースシナリオの試行（2）

(3) 日本自動車研究所との連携

i)　実施結果

昨年度実施した日本自動車研究所のテストコースでの協調型システムのデータ取得実験の結果を可視化するプログラムを本年度外注によって作成した。自動運転車両で得られる情報に加え、インフラ側で取得できる情報が他オブジェクトの位置情報やインフラから得られる情報を組み合わせることが、自動運転レベル 4 の実現にどのように役立てられるかを検証するため、昨年度取

得したデータを分析しやすい形式である ROSbag 形式にまとめ、これを可視化するプログラムを作成した。昨年度実施した条件は次表のとおりである。

表 130　2021 年度 JARI テストコース実験の実施シナリオ

シナリオ	内容
シナリオ 0 自動運転車両単独走行	自車が単独で走行し、一定速度走行後に減速をする。走行速度と減速度は複数の条件を設定。
シナリオ 1 車両の陰からの後続車接近	自車および対向車がそれぞれ右折待ちで交差点内に停車している想定で、対向車の陰から別の対向直進車両が接近してくる。停車している対向車をバンと中型バスの二種類で実施。
シナリオ 2 横断時の遮蔽物	自車が交差点を通過する際に、自車のセンシング範囲を狭める遮蔽物があるシナリオ。二輪車ダミーが横断する条件も実施。
シナリオ 3 曲線部の遮蔽物＋二輪車飛び出し	自車が鋭角に交差する交差点を左折して曲がる際に遮蔽物があるシナリオ。二輪車ダミーが自車と対向して接近する条件も実施。
シナリオ 4 回避余裕が少ない複合シナリオ	自車は走行中に歩行者を追い越す。このとき対向車線を他車両と、これに続き二輪車ダミーが走行している。他車両は途中で停車ないしレーンチェンジする。
シナリオ 5 曲線部の遮蔽物＋歩行者	シナリオ 3 同様に、自車が鋭角に交差する交差点を左折して曲がる際に遮蔽物がある。曲がった先にバンがあり、その陰に歩行者がいる。

本年度の事業で作成したデータ可視化プログラムは次のとおりである。

- 自車に取り付けられた LiDAR による点群データ(.pcapng)
  - 自車には 4 台の LiDAR が取り付けられているが、前方中央にある LiDAR を可視化する(各 LiDAR の位置関係がわからないため、代表として前方中央を採用した)
- GPS に基づく位置情報データ
  - 自車の位置情報データ(.csv)
  - 他オブジェクトの位置情報データ(.txt)
- インフラで検知した物標データ(.xlsx)
  - LiDAR
  - カメラ

可視化するプログラムはオープンソースのソフトウエア等を用いながら、次の構成とした。

- 可視化ツール
  - ブラウザベースの可視化ツール webviz をローカルで立てられるようにする（要求スペック：RAM16GB 以上　Windows10、 Ubuntu 18.04 以上）
- 可視化対象データ変換ソフト
  - 元のデータそのままでは可視化ツールに読み込ませられないため、変換するためのソフトをブラウザベースで用意

図 420　データ変換ツールの動作概要

今回のツールを用いることによって、以下の図のように点群データと他のオブジェクトの位置情報などが可視化できる。

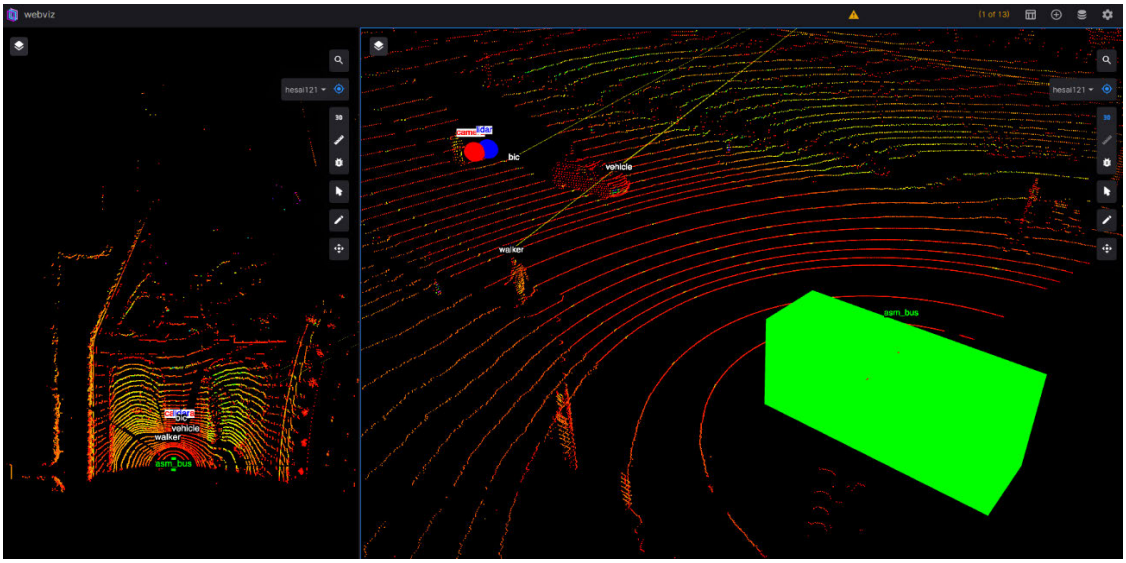


図 421 昨年度実験の可視化例

自車は緑の直方体で表現される。オブジェクトは、以下の図の例では bic(自転車)、vehicle(他車)、walker(歩行者)が存在するが、その位置にそれぞれのラベルが配置される。

インフラによる物標データは、カメラによって検知されたものは赤い球、LiDAR によって検知されたものは青い球として表現される

この案件では以下の 4 つの LiDAR のデータが存在し、それぞれ色分けして表示されている

表 131 可視化されている実験データ

可視化されたセンサー	表示形式
自車の前方中央 LiDAR	赤色の点群
自車の後方中央 LiDAR	青色の点群
自車の前方左側 LiDAR	黄色の点群
自車の前方右側 LiDAR	緑色の点群
自車位置（GNSS）と形状	緑色の直方体
インフラセンサー認識結果：LiDAR（物標認識結果）	青色の丸印
インフラセンサー認識結果：カメラ（物標認識結果）	赤色の丸印

今回の可視化ソフトウエアは実験時に得られた複数のデータを、個々のデータに記載された取得時刻によって同期しているため、同じ物体を検出した際に時刻や位置、速度などについて、データ間での誤差が生じている。その要因として以下の 3 点が挙げられる。

① GNSS そのものの誤差

GNSS そのものの誤差は発生するが、実験場所が開けた土地であること、データを見ても多くの衛星を捉えており、解も Fix していることからこの要因による誤差の影響はあまり大きくないと考えられる。

② 時刻同期による誤差

今回、自車や他オブジェクトの位置情報データ、インフラから検知したデータなどを組み合わせて可視化している。それぞれの時刻同期が正しくなされていない場合、時刻がずれているデータは n 秒前もしくは n 秒後の位置にいることになってしまう。

GNSS はその性質上正確な時刻を取得することができるが、記録のために PC の時刻を用いている場合はずれが大きくなる可能性がある。

また、LiDAR に GNSS と連携させる機能があるが、ここでは OFF になっていると考えられる。LiDAR のデータ取得時刻に PC の時刻を用いている場合は同様にずれが大きくなる可能性がある。

③ センサー間の位置関係キャリブレーションによる誤差

センサー間の位置関係の情報がないため、自車の GNSS のセンサー位置=前方 LiDAR の位置として描画を行った。しかし、実際にはセンサーの位置は異なっていると考えられるため、その位置の差の分のずれが発生する。

ii） 路車協調の効果について

可視化ツールを用いて、直進バスと対向車車とその車の背後で自転車も走行しているシナリオ 4-1 を可視化した。このシナリオは、「自車は走行中に歩行者を追い越す。このとき対向車線を他車両と、これに続き二輪車ダミーが走行している。他車両は途中でレーンチェンジする。」ものである。図 422 は可視化された実験データである。画像の緑色の立方体はバスを表しており、画像上方向に進んでいる。また赤い丸印はインフラに設置されたカメラの検知結果である。青い丸印はインフラに設置された LiDAR の検知結果である。この状況ではインフラに設置したカメラが対向車を検知していると思われる。また、インフラに設置した LiDAR は対向車の背後にいる自転車を検知していると思われる。対向車の背後にいる二輪車ダミーはバスのセンサーでは検知出来ない死角に存在しているが、インフラ側では誤差を含むものの二輪車ダミーの位置をカメラによる物標認識の結果で出力している。

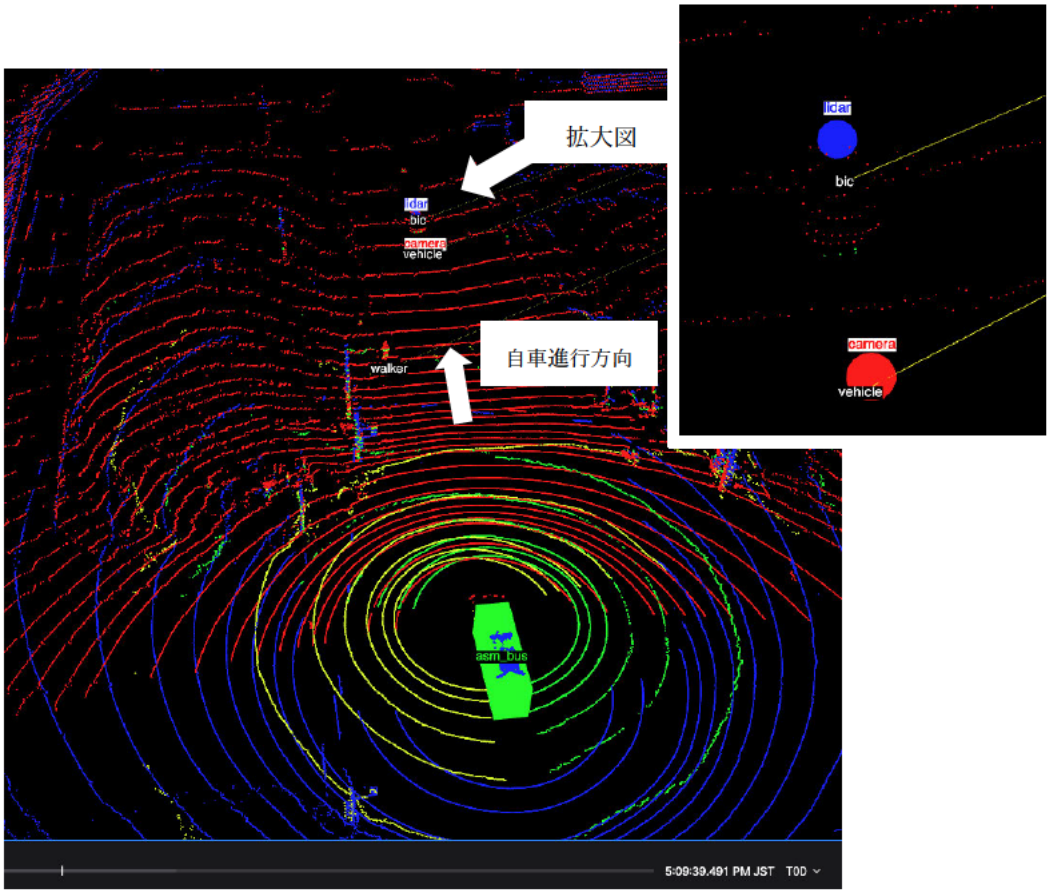
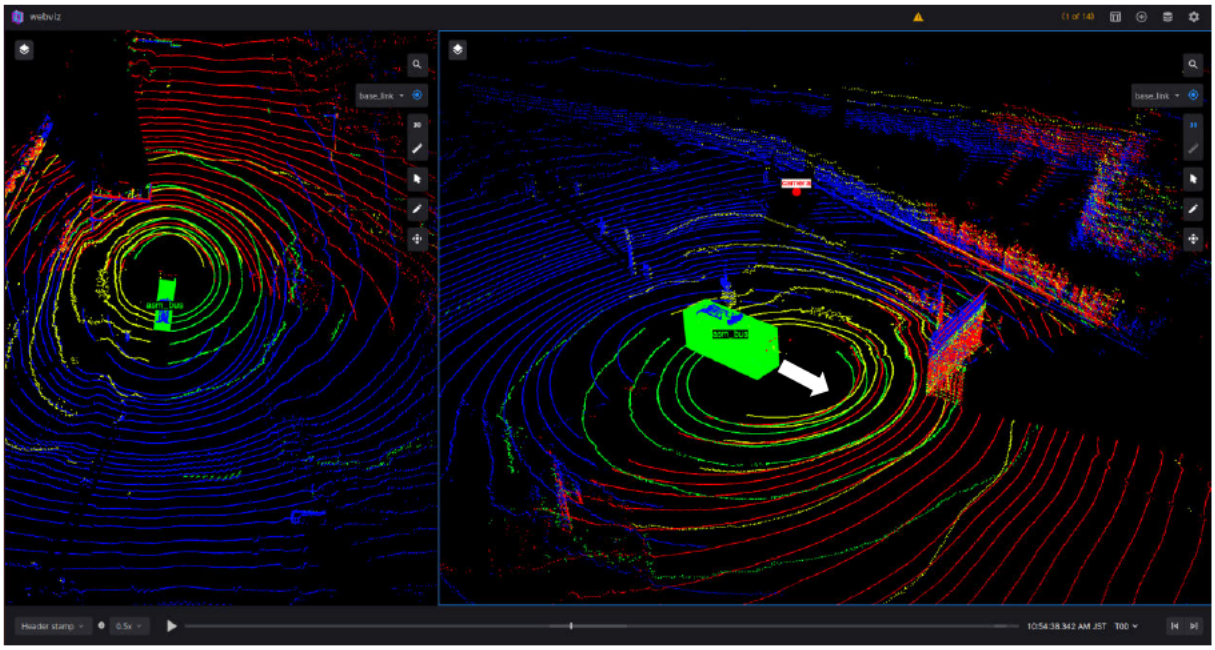


図 422　シナリオ 4-1 条件の可視化事例

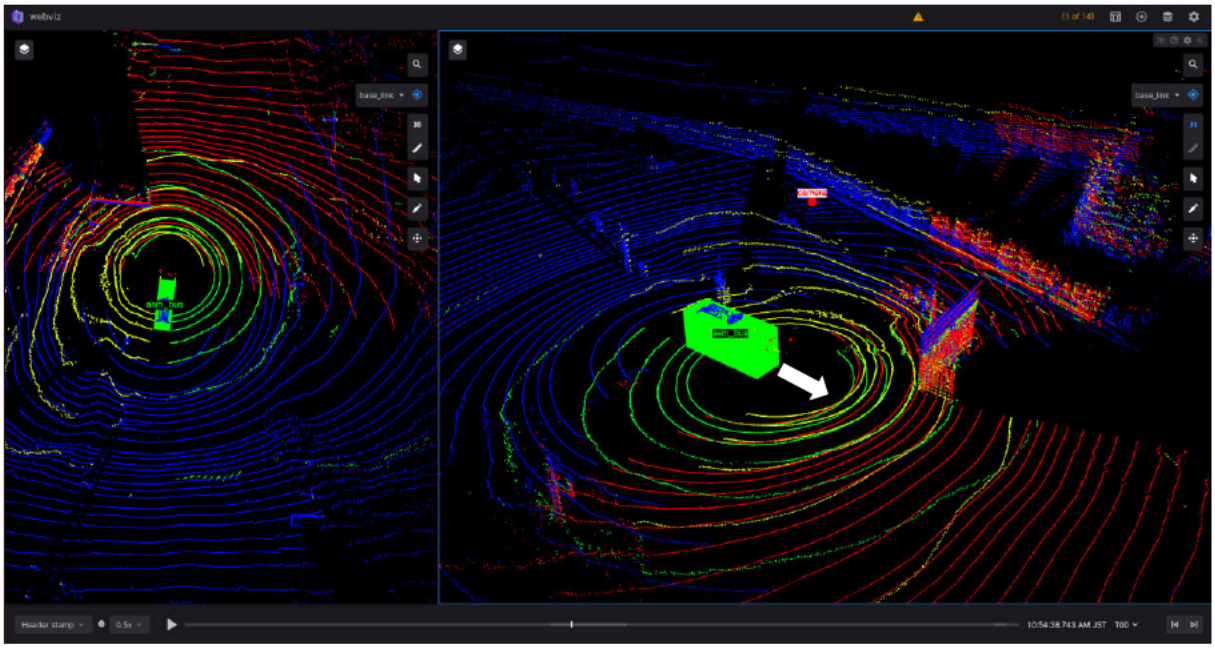
次に、シナリオ 3-2 の可視化結果例と、それをもとにした定性的な検討の事例を示す。このシナリオは「自車が鋭角に交差する交差点を左折して曲がる際に遮蔽物があるシナリオ。二輪車ダミーが自車と対向して接近する。」ものである。自車は遮蔽物を左回りに旋回するように鋭角交差点の交差部へ侵入するシナリオである。この条件は昨年度現地調査を実施した小山市の実証実験で見られたコースをモデルとした。図 423 図 424 は、実験で得られた結果を可視化したものである。前者は自車が鋭角交差点に進入する前のシーンであり、後者は自車が鋭角交差点へ侵入したあと、旋回を開始するシーンである。

鋭角交差点に進入する前の段階では、自車と並走している二輪車ダミーが自車後方に設置された LiDAR でも点群として取得できている様子が分かる。インフラ協調システムでもカメラによって物標として検出されている。その後、自車が鋭角交差点に接近するときに、自車の左側方にある電柱が影となり、自車後方の LiDAR に影が出来ている。二輪車ダミーはちょうどこの陰に隠れるシーンがある。このことは、自車と電柱の相対的な位置によって変化する影の中に二輪車ダミーが隠れる状態が存在すること、二輪車ダミー、電柱、自車の相対位置関係によっては常に陰に二輪車が隠れる可能性があることを示唆している。このような条件でも、インフラ協調センサーはカメラによる物標認識で二輪車ダミーを捉えていることが分かる。本シーンのような特殊な条件では、センサーとして移動することが無いインフラ側機器を使うことで、検知不可能な状態を回避できる可能性があることを示唆している。このことは、自車が遮蔽物に接近し旋回を開始するシーンでも同様の傾向が見て取れる。車載されたセンサーでは自車と二輪車ダミーの相対位置の変化によって、二輪車を検出できない時間が長くなる可能性もあるが、インフラ側に設置したセンサーでは設置場所によっては遮蔽物に関係なく二輪車ダミーの位置を検出できていると推定される結果が得られた。

インフラ側にセンサーを設置することで、自車の加減速や走行速度に関係なく二輪車ダミーを検知することが可能であると期待される。原則として自車の挙動を防衛的な運転として二輪車や歩行者を保護する運転が望ましく、交差点での減速や一時停止を行うことが求められるが、インフラ側センサーでは自車の挙動に関係なく周辺の交通参加者を認識できる可能性があることから、情報活用の方法によっては自車の加減速を極力少なくする運転の実現も可能であると期待される。これによって、なめらかな運転の実現が期待され、より水準の高い安全な自動走行の実現や、快適性の実現が達成されると期待される。

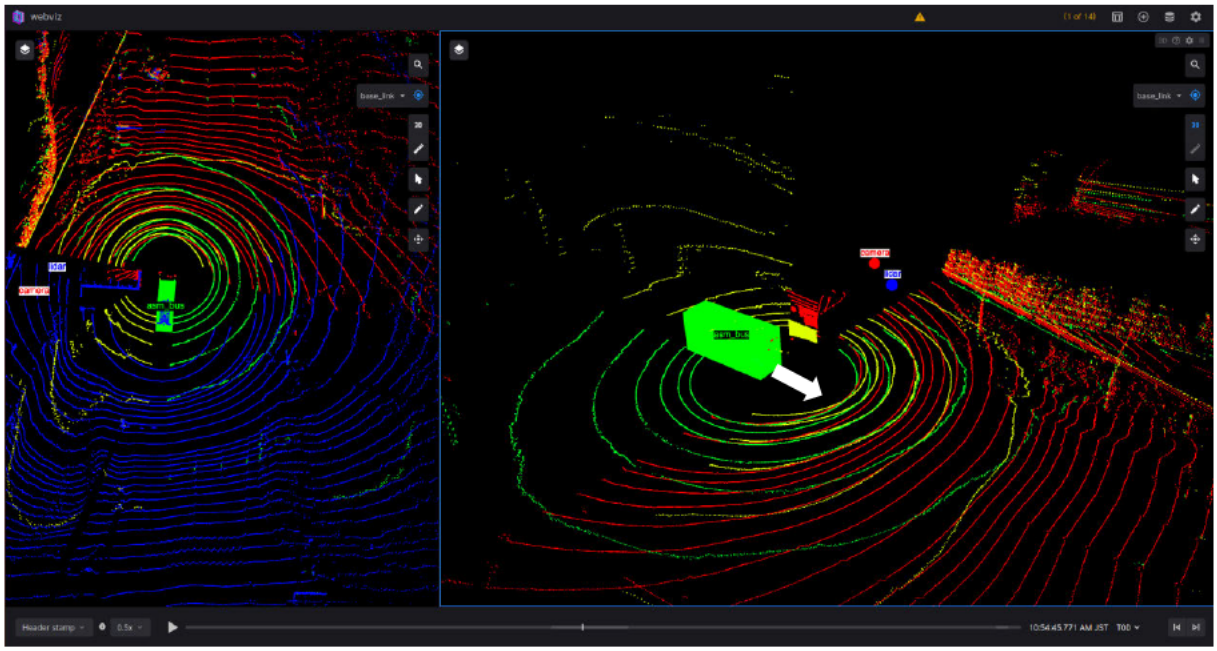


(a) 二輪車が自車の LiDAR で見えている状態

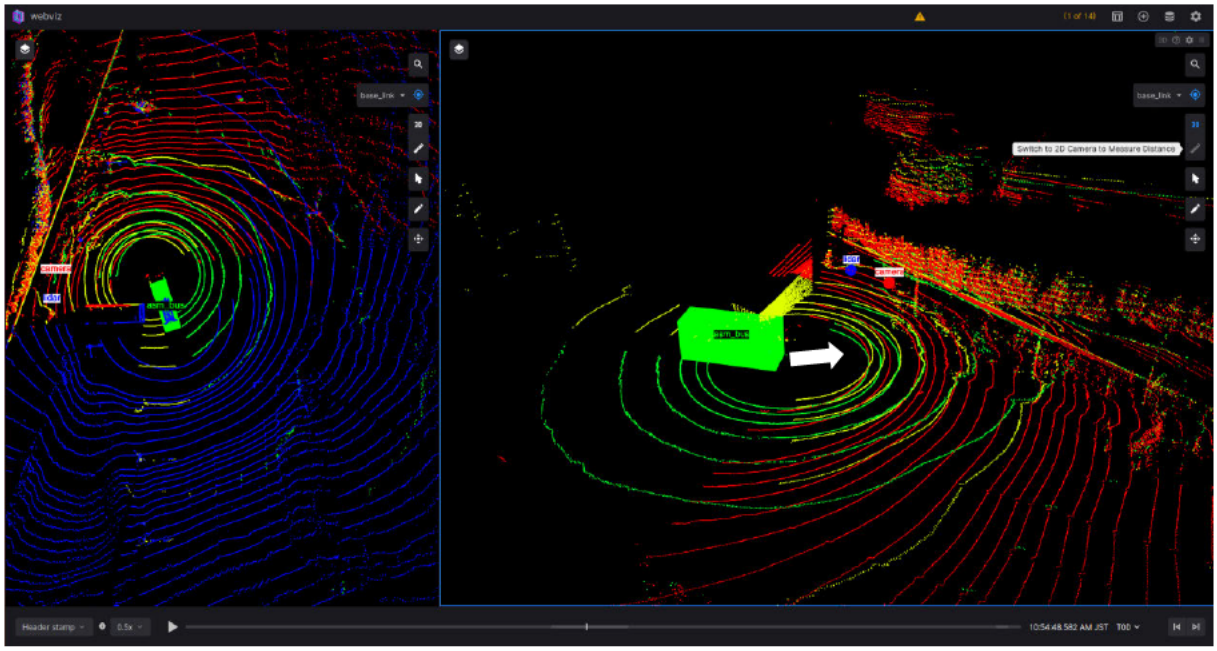


(b) 隣接する電柱により LiDAR の影が出来ており二輪車が入っている状態

図 423　シナリオ 3-2 条件で自車が遮蔽物に接近するシーン



(a) 二輪車が遮蔽物の陰に入っている状態



(b) 遮蔽物を過ぎて再び自車の LiDAR で見えている状態

図 424　シナリオ 3-2 条件で自車が左折するシーン

2)　サイバー空間での評価

(1) 通信システム、データ連携システム等の各要素の性能評価

協調型システムでは、車両自身がセンシングすることに加えて、センサーで認識できない空間の情報を路側機や車両、歩行者から取得することで、車両走行の安全性を向上する。無線通信技術はレベル 3 までの自動運転から大きく異なる技術要素であり、通信における信頼性や遅延などの通信品質をサイバー空間で評価するためのシミュレータを試作することを目的とする。

2021 年度は通信の活用が期待されるユースケースに必要となる通信要求を調査が必須であるとともに、2022 年度以降の実証実験環境を想定するため、粒度の高い車両トレースデータを活用した高精度な通信性能評価が可能なシミュレータを作成する必要があると認識できた。

2022 年度は、協調型システム・空間設計に必要となる通信特性を詳細に評価するために、サイバー空間における交通流・通信統合シミュレータを整備した。さらに、モデル地域における通信ログ観測によりモデル地域毎の特性を反映した通信特性を評価できるようシミュレータを改良した。本シミュレータにより、モデル地域においてどのような通信設計にすれば所望の遅延を満足できるか見積もることができた。

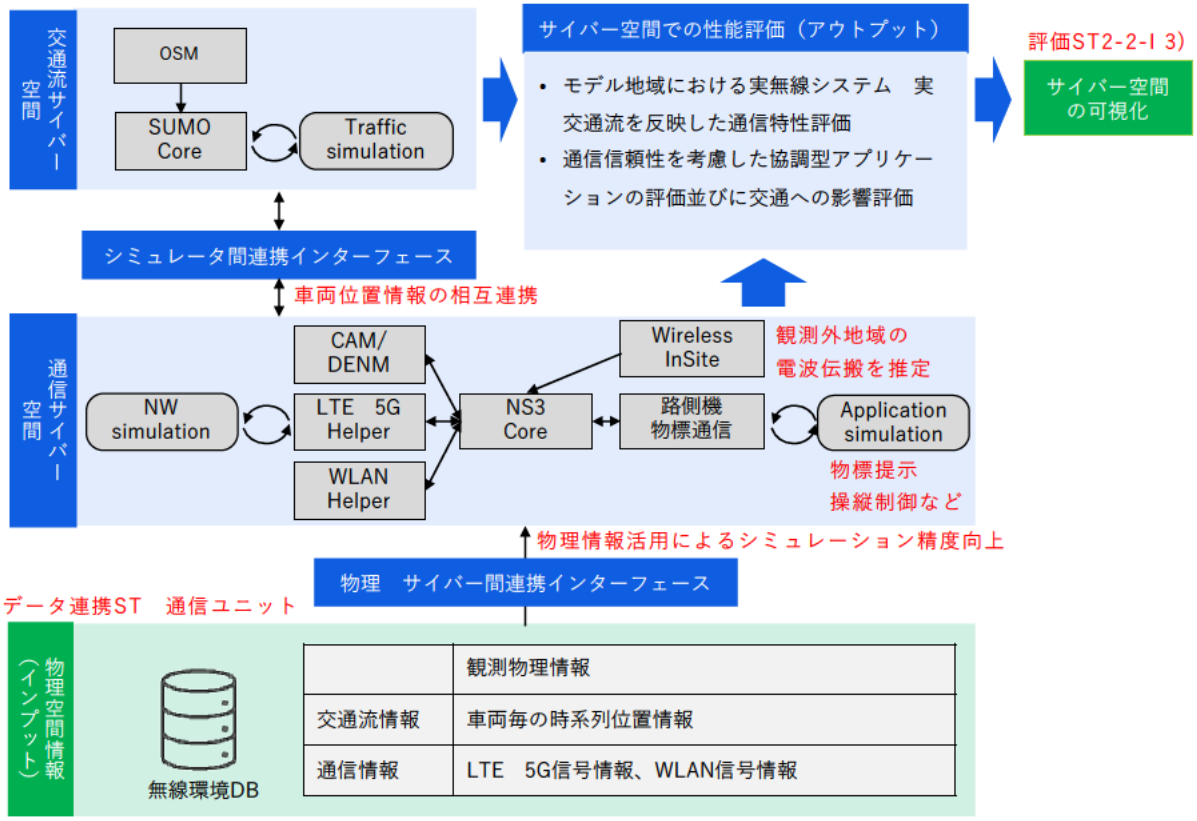


図 425　交通・通信統合シミュレータの全体像と他チームとの連携

i)　交通流・通信統合シミュレータの開発

交通流と通信並びにそれらの相互依存関係をサイバー空間上で評価するための環境を構築した。本年度開発した交通・通信統合シミュレータの全体像を図 425 に示す。通信システムをサイバー空間で再現するためのシミュレータとして NS-3 (Network Simulator 3) を利用し、本事業で採用する通信方式を実装した。交通流をサイバー空間で再現するためのシミュレータとして OSM (Open Street Map) から取得した道路ネットワークを活用した SUMO (Simulation of Urban Mobility) を採用する。本開発では、それらのシミュレータ間で車両位置情報を共用するシミュレータ間インターフェースを構築した。また、データ連携 ST・通信ユニットで開発している無線環境データベースで取得する実空間の交通・通信情報をシミュレータに反映する物理・サイバー間連携インターフェースを構築した。本シミュレータを用いることでモデル地域における実無線システム・実交通流を反映した通信特性の再現・評価が可能になり、協調型システムの信頼性を評価できる。また、協調型アプリケーションをシミュレータ上に実装することで、通信品質が交通流へあたえる影響を評価することが可能となる。本シミュレータで評価したモデル地域における時空間的な通信品質は評価 ST「車両、人の移動、地図情報等の連携を考慮した協調型システムの構築と性能比較」で開発した可視化システムにより協調型システム設計に適した形で視覚化する。

- シミュレータ間連携インターフェース

SUMO では、モデル地域の道路ネットワークと所定のドライバーモデルに基づき車両走行を制御する。一方、NS-3 では、通信を利用する協調型アプリケーションをシミュレーションするとともに、通信を介して得られた情報に基づく走行制御により各車両の走行が決定づけられる。これらのシミュレータを一つのイベントスケジューラで時間同期し、それぞれの車両位置情報を逐次共有するインターフェースを構築した。具体的には、SUMO の提供ライブラリ TtaCI (Traffic Control Interface) を NS-3 で活用し、NS-3 上において離散時間で算出する車両位置情報を SUMO に反映し、SUMO での走行制御結果を NS-3 にフィードバックする仕組みにより相互の連携を図る。本インターフェースにより、NS-3 上で再現した通信システムの通信遅延により発生する協調型アプリケーションの制御結果を SUMO に反映することが可能になり、協調型システムにおける通信品質が交通流に与える影響を評価することが可能となる。

図 426 は、本シミュレータの実行例を示している。SUMO 上で車両走行を可視化している一方、バックエンドで動いている NS-3 で通信状況を模擬し、通信遅延を反映した車両走行制御が行われている。各車両の位置情報は時系列情報としてアウトプットでき、詳細に走行状況を分析することも可能である。

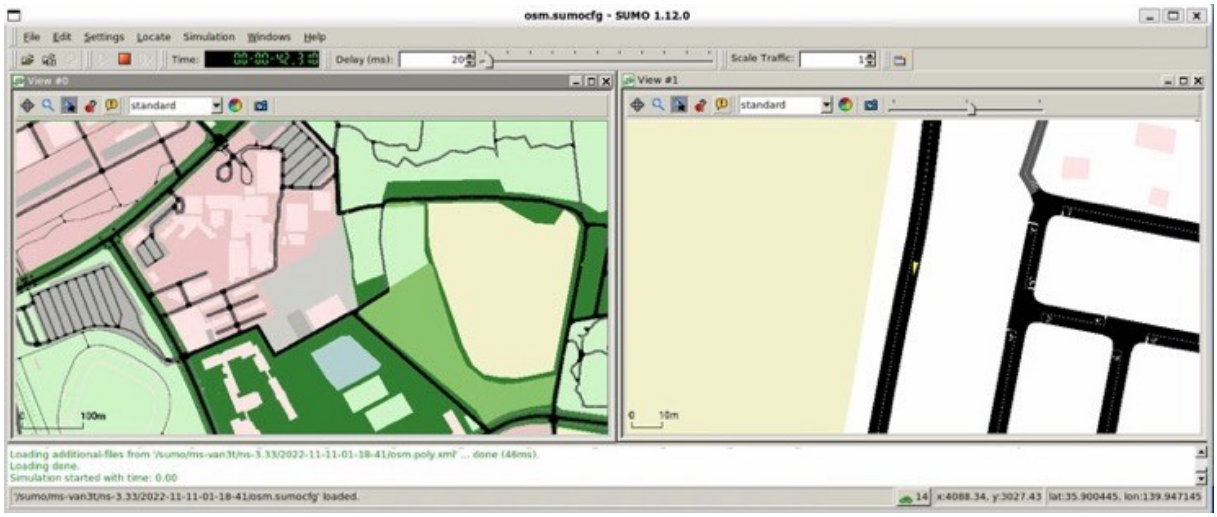


図 426　交通・通信統合シミュレータの実行例（SUMO 上での可視化）

- 物理・サイバー間連携インターフェース

シミュレーション精度をより現実に近づけるため、モデル地域で観測した物理情報をシミュレータに活用するインターフェースを開発した。交通流情報として車両毎の位置情報を扱う。数十分毎にまとめた時系列の位置情報を NS-3 の入力情報とすることで、車両の滞留によるトラヒック増加や高速移動する車両に対する頻発するハンドオーバーの影響など実際の交通状況を加味した通信状況の再現を可能にする。通信情報として各種無線システムの信号情報を扱う。都市構造や基地局の配置によって大きく変化する受信電力情報の空間統計情報を入力することで、実際の通信速度やパケットロス率を再現したシミュレーションが可能となる。

- 国内外の開発動向との比較

本国内外の開発動向と比較した本開発シミュレータの位置づけを表 132 にまとめる。国内では、2008 年度に JARI がフィージビリティスタディとして交通流、通信、電波伝搬、ドライバー行動、アプリケーションを統合したシミュレータのプロトタイプを開発した。また、2022 年度から開始した総務省事業において、株式会社 OTSL がミリ波レーダーを活用した自動運転のシミュレータを開発している。国外においては、交通流・通信統合シミュレータのオープンソース開発が盛んに行われており、CONVAS や Veins が有名である。これらに対し、本開発シミュレータの特徴は、限りなくリアリティのある通信品質予測が求められる本事業において、モデル地域の交通流・通信観測情報を活用することでサイトスペシフィックなシミュレーションを実現することである。

表 132　国内外の開発動向との比較

Simulator/PJ	Traffic Sim.	Network Sim.	Radio Sim.	Other Features
JARI MSSF PJ (2008-2009)	MATES	Scenargie	Remcom FUPM	C-V2X, IEEE 802.11p, ARIB STD-T109 Available
OTSL MIC PJ (2020-2024)	TBD	n/a	Raytracing	Milliwave radar
CONVAS	VISSIM	NS-3	3GPP Propagation	ARIB STD-T109 unavailable
Veins	SUMO	OMNET++	General Pathos model	C-V2X, IEEE 802.11p, ARIB STD-T109 Available
Ours	SUMO & On-site measurement	NS-3	On-site measurement & Wireless InSite	Emulate on-site communications system

ii)　モデル地域を想定した通信シナリオの整備

本年度は、モデル地域の一つである柏の葉を対象にシミュレーションシナリオを整備した。交通流シミュレーションに必要となる道路ネットワークは OSM から生成した。通信シミュレーションに必要となる各種方式・諸元は以下の通り整備した。

- 通信方式

2022 年 11 月・12 月に実施した柏の葉での観測実験の結果（図 249）から当該地域で安定して高い通信品質を達成できる移動局通信は LTE であることが分かる。LTE に加えて冗長性を担保するため、無線 LAN をアクセス層の通信方式としてシミュレータを構築した。 また、CAM（Cooperative Awareness Message）の周期を参照し、1Hz から 10Hz の周期でセンシングデータを送信するファシリティプロトコルを構築した。

- 基地局諸元

一般に未知な情報である基地局の位置と送信電力は、通信到達性や通信速度に大きく影響を与えるものであり、協調型システムの性能評価において重要なパラメータとなる。そこで本開発では。無線環境 DB で集約した受信電力から基地局位置と送信電力を推定する方法を検討した。基地局位置推定では、観測受信電力が最も高い地点を仮地点とし、半径 30 メートル以内の候補地点において対数距離と受信電力の回帰分析を行い、最もデータがフィッティングする地点を最終的な基地局位置とした。柏の葉エリアにおけるドコモ社の基地局で検証・評価を行い、基地局位置推定の平均誤差は 3.23m となった。また、回帰分析により得られた切片パラメータを送信電力としてシミュレーションを実施する。

基地局の位置や電波状況に依存して基地局の切り替え（ハンドオーバー）もモデル地域毎に異なる。そこで、実観測情報から地点ごとの接続基地局を図 427 の通り分析し、シミュレータに反

映する。基地局の接続とハンドオーバー時の遅延を再現することにより、現実に近い通信品質の評価が可能となる。

図 427　既存の自動運転バス運行ルート上のハンドオーバー例

- 協調型アプリケーション

協調型システムのユースケースとして検討されている路車間物標通信についてアプリケーションを構築した。路側機で検知した物標情報を無線 LAN もしくは LTE を用いて車載機に送信し、車載機で受信した場合に走行制御に活用する。なお、走行制御は、他グループでの検討を踏まえ来年度以降に実装する。

物標情報は 1 秒ごとに送信するものとし、データフォーマットは自工会検討 UC5 路車間通信を採用し、メッセージサイズは 175byte と定義する。無線 LAN では、路側機と車載機で直接通信を行うものとし、路側機に一定距離近づいたときに接続が開始するものとした。LTE では、既に LTE 基地局に接続した状態とし、エッジサーバーを経由してデータが通信されるものとする。基地局とエッジサーバー間の遅延は非混雑時を想定し、平均 30 ミリ秒、分散 10 ミリ秒の正規分布に従うこととした。

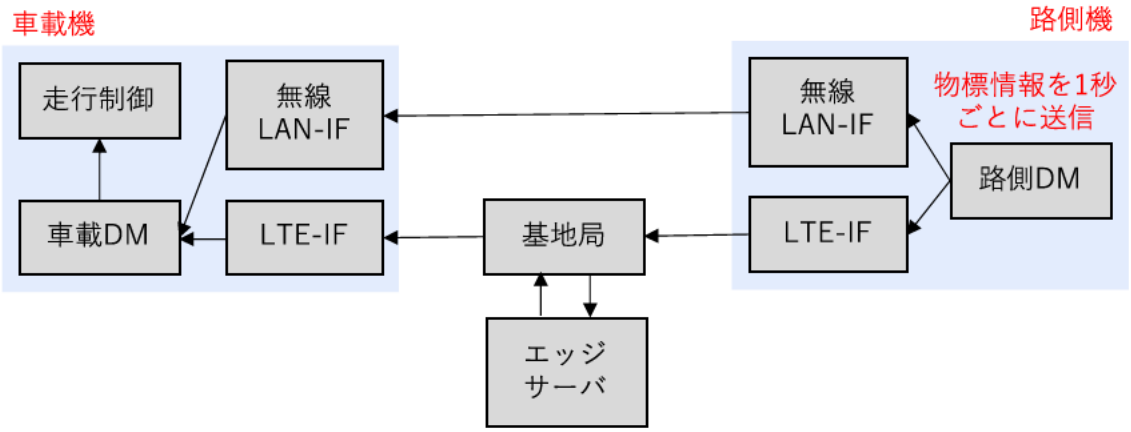


図 428　無線 LAN と LTE を介した路車間物標情報通信

iii） 路車間物標通信における通信品質のシミュレーション評価

図 429 に柏の葉地域を対象とした路車間物標通信のシミュレーションシナリオと通信品質特性を示す。現在自動運転バスが運行している柏の葉駅キャンパス駅西側の都市軸道路を対象にシミュレーションを行った。都市軸道路の交差点間の間に路側機を配備し、停車車両を移動車両に通知するシナリオを想定した。車両は本道路を毎時 30km で走行しているものとした。LTE 通信は基地局と接続済みの状態で評価を開始するのに対し、無線 LAN は通信範囲内になる 11 秒から接続処理を行う。横軸は経過時間、縦軸は路側機から車載機までの物標情報通信にかかる遅延を示す。LTE 通信を用いた場合、基地局–エッジサーバー間での通信により遅延が相対的に大きくなっている。また、ハンドオーバー時の再接続処理により 13 秒付近で遅延が増加している。無線 LAN を用いた場合、LTE に比べて相対的に低い遅延を達成できるものの、接続開始から実際にデータを受信するまで約 3 秒程度遅延が発生している。また、無線 LAN の範囲外に移動する時（38 秒付近）で無線品質の低下により遅延が発生している。

この結果を踏まえ、協調型路側機で LTE のみ利用する場合と LTE と無線 LAN を併用した場合でどの程度所望の通信遅延を満足できるか評価する。図 430 は、協調型サービスにより定義される通信遅延要求を 40 ミリ秒、50 ミリ秒、60 ミリ秒に設定した場合に、通信遅延が通信遅延要求以下になる割合を示す。遅延要求が 60 ミリ秒の場合は LTE のみ利用する場合と無線 LAN を併用した場合で同程度の満足確率となっているが、遅延要求が厳しい場合（40 ミリ秒）は無線 LAN を併用した場合に約 4.5 倍要求を満足できることを確認した。

本シミュレータを用いることで、信頼性や遅延要求をパラメータとして協調型システムに必要な通信機能を見積もることができる。例えば、遅延要求を 50 ミリ秒、信頼性を 90%以上とする協調型システムのためには、LTE に加えて無線 LAN を配備することが望まれる。さらに、地点ごとの細かな通信信頼性を評価することが可能であり、通信信頼性に基づいた運行条件、自動運転制御に寄与することができる。

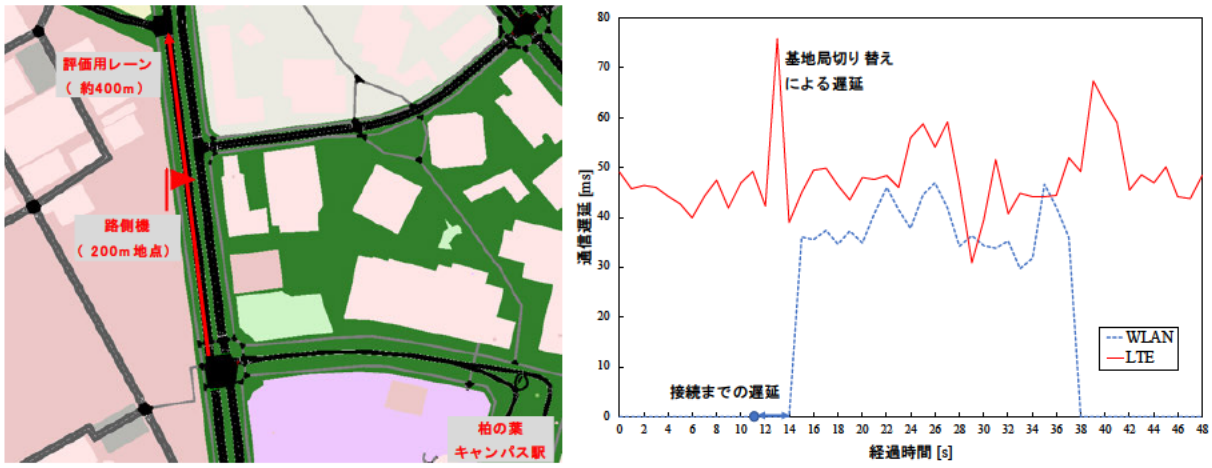


図 429　モデル地域における路車間物標通信の通信品質特性

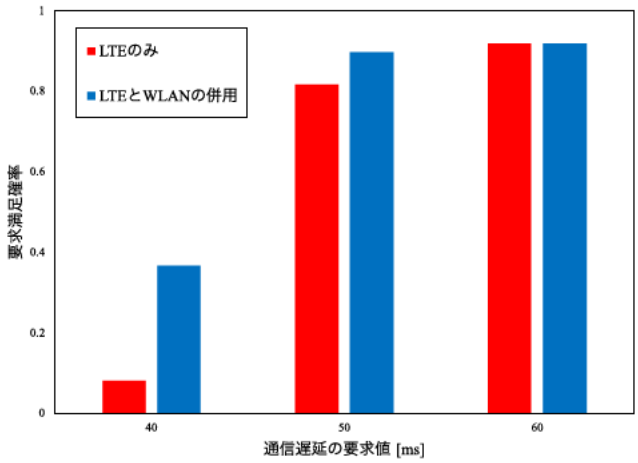


図 430　協調型路側機に無線 LAN を具備した場合の通信遅延要求満足確率

■ 今年度実施事項のまとめ

- 通信を介した協調型システムの信頼性を評価するため、モデル地域特有の通信状況、交通状況を反映したサイトスペシフィックな通信性能を評価可能なシミュレータを構築した。通信遅延などを反映した路車間の物標情報通信を模擬することが可能であり、通信性能に加えて、通信性能が協調型車両制御に与える影響を評価できる。
- モデル地域の観測実験を実施し、受信電力やハンドオーバーなど地域特有のパラメータを入力としてシミュレーションシナリオを構築した。路車間物標通信のアプリケーションを構築し、モデル地域一部の通信遅延に着目して評価を行った。協調型システムの通信遅延要求と信頼性に応じて必要となる通信機能を提示した。

(2) サイバー空間での協調型システムの評価

経済産業省事業テーマ 4 において、既に用意されている高精度デジタル地図のデータを基にして、インフラ、他車両から情報を得て SAE レベル 4 相当の自動運転を実現可能な協調型システムの動作を確認および評価できるバーチャルリアリティ道路環境を作成することが必要とされている。自動運転レベル 4 の機能を有した車両挙動の搭乗者からの評価、他車ドライバーからの評価、歩行者からの評価を行うことが求められている。それに加えて協調型システムから SAE レベル 3 以下の自動運転機能を有する車両ドライバーへの情報提供の効果評価、インフラセンサーの配置方法などをバーチャルリアリティ道路環境によって確認し、今後開発される自動運転機能および、運転支援機能に活用する可能性とその方法を検討することを目的にしている。協調型システムの動作を確認および評価できるため、国立大学法人東京大学生産技術研究所において、ドライビングシミュレータ実験環境を構築している。

昨年度、市販されているドライビングシミュレータについて調査したところ、要求仕様を満たせる製品が株式会社フォーラムエイト製 UC-win/Road シミュレータのみであることが分かったので、国立大学法人東京大学生産技術研究所より UC-win/Road シミュレータを発注した。

ドライビングシミュレータは株式会社フォーラムエイトが提供したデスクトップパソコン 2 台（ドライビングシミュレータ用）と東京大学側が用意したラップトップパソコン 1 台（外部通信による計算および制御用）によって構成される。

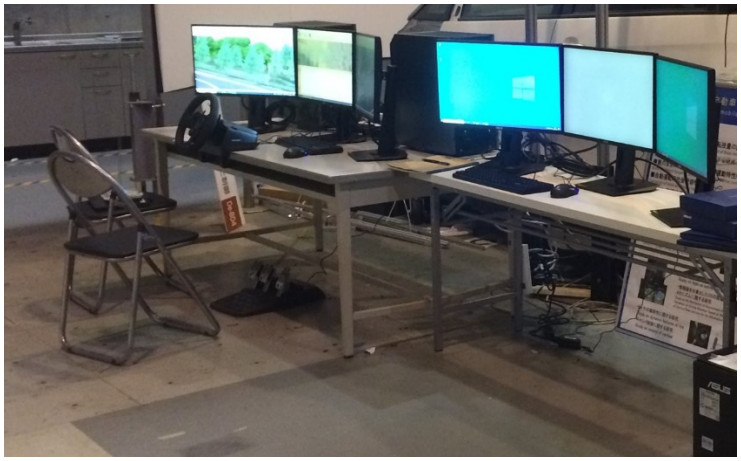


図 431　ドライビングシミュレータ（株式会社フォーラムエイト製、ゲームハンドル式）

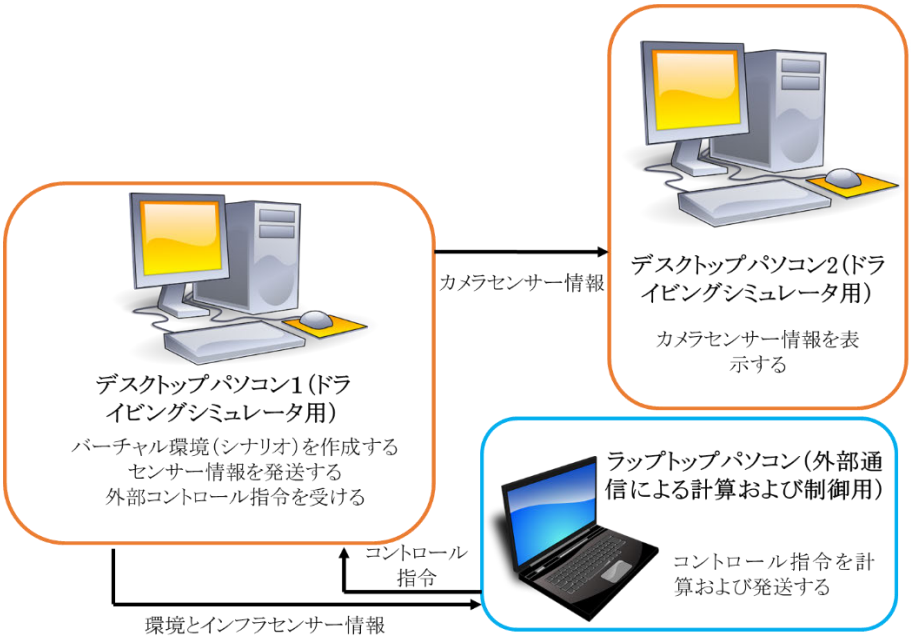


図 432　ハードウエア構成

本年度は、今後開発される自動運転機能および運転支援機能に活用する可能性とその方法を検討するため、納品したドライビングシミュレータにて柏の葉エリアの道路環境の再現および自動運転制御プログラムの作成を目的とする。

i)　ドライビングシミュレータにて柏の葉エリアの道路環境の再現

協調型システムの動作を確認および評価するため、ドライビングシミュレータで東京大学柏キャンパスを含む、柏の葉エリアの道路環境を再現した。

図 433　柏の葉エリアの道路環境

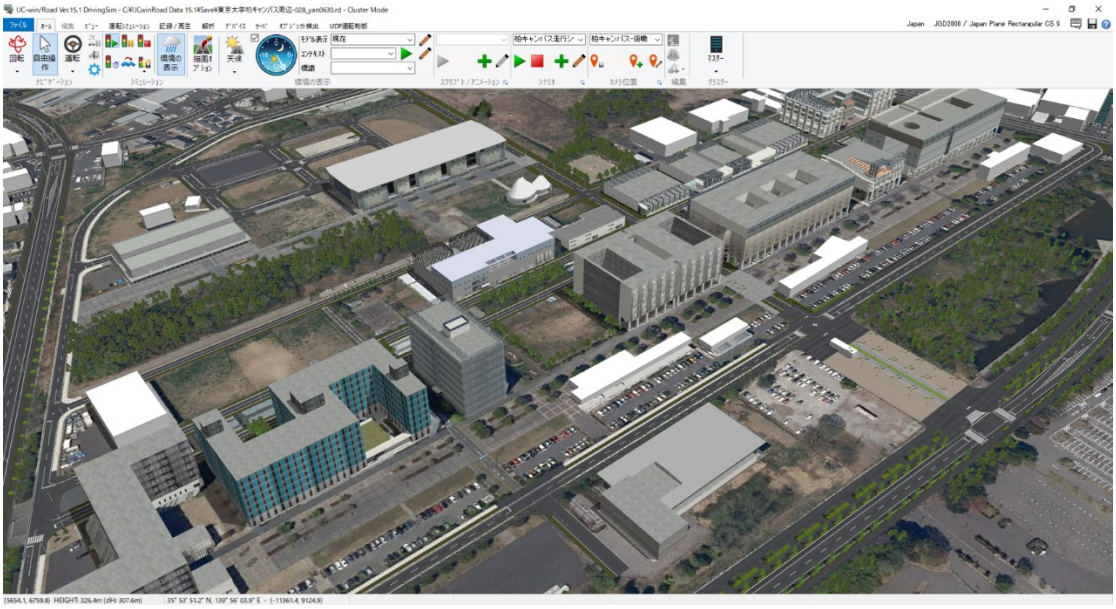


図 434　東京大学柏キャンパスの道路環境

車線、道路標識、交通信号機などの情報を含む、バーチャルリアリティ道路環境を違和感が出ないように作成した。道路周辺のモデルについては、ランドマーク的な建物等は、外観を写真テクスチャ貼付けで作成した。それ以外の建物については、違和感のないように建物等を配置した。また、作成された道路環境上にインフラセンサーを設置することが可能になり、その出力を実時間で送信できるようにした。

ii)　ドライビングシミュレータにて自動運転制御プログラムの作成

開発される自動運転機能および自動運転車両が他の道路利用者に与える影響などを評価するため、ドライビングシミュレータにて自動運転制御プログラムを作成した。

現在、柏の葉エリアで走行している自動運転車両の公開したパラメータを参照し、ドライビングシミュレータにてバーチャル自動運転車両のパラメータを調整した。

UC-win/Road で制御している自車の自動運転制御に関して、オブジェクト検出などのセンシング機能をもとに、イーサネットを介して検出したオブジェクト情報を含むセンサー情報を外部の自動運転制御プログラムに送信することが可能になった。また、UDP プロトコルなどの通信によって、外部の自動運転制御プログラムから自動運転車両の目標速度、舵角などの情報を受信し、自動運転のコントロール指令を実行できるようにした。

開発された自動運転制御プログラムについては、公開した柏の葉エリアの自動運転車両に関する論文を参照し、自動運転車両の横方向および縦方向制御システムを構築した。現在、再現された道路環境において、センシング機能をもとに、予め決めた予定ルートに沿って、自動運転制御プログラムによる自車をコントロールすることが可能になった。今後、柏の葉エリアで走行している自動運転車両のデータなどを参照しながら、MATLAB / Simulink を活用して、自動運転制御プログラムのパラメータを調整する予定である。

図 435　ドライビングシミュレータで走行車両のパラメータを調整

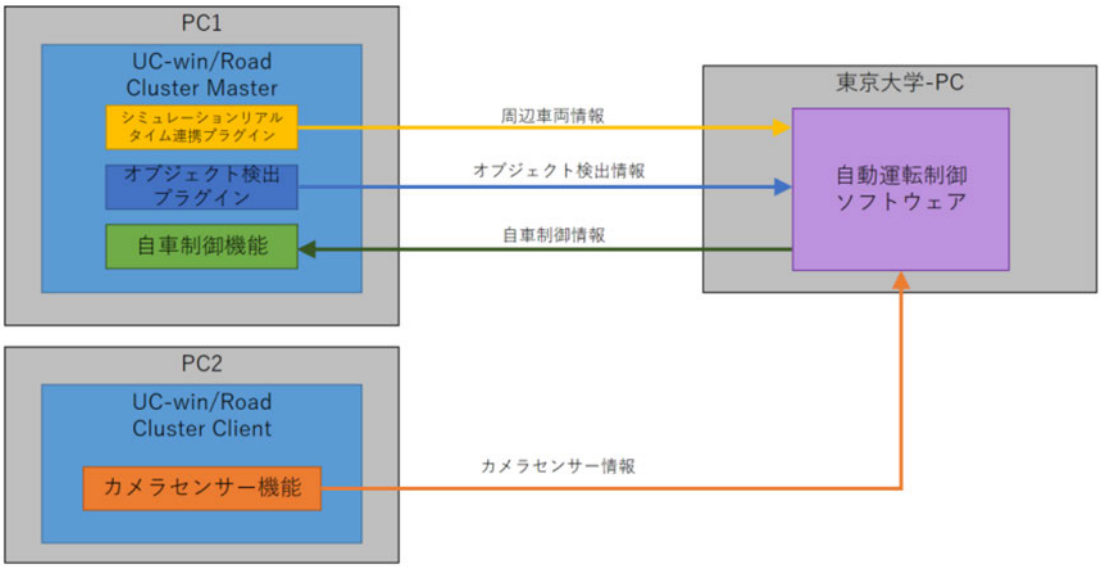


図 436　外部通信による車を制御するイメージ図

(3) ODD 条件不適合時の協調型システム活用のフィージビリティスタディ

2021 年度に実施した項目 2-2 で自動運転レベル 4 サービスを安全に運用するために、自動運転車両の健全性や乗客の状況について、遠隔監視を通じて見守り、ODD 不適合時には車両や周辺の交通参加者の安全を担保する対応について検討を行った。本年度は、モデル地区の 1 つである柏エリアを走行するレベル 2 自動運転車両の走行経路を対象に、ODD および ODD 不適合条件の分析を行った。ODD および不適合条件の分析手順は以下である。

① 運行路線の交通環境分析と通行方法の定義
② 運行区間の分類と交通条件記述
③ 各運行区間において遵守すべき法規の確認
④ 自動走行機能の動作条件定義と条件逸脱時の対応
⑤ 運行区間別の用いる自動走行機能

各手順の詳細について、柏エリアの走行ルートを用いて説明する。

① 運行路線の交通環境分析と通行方法の定義

ODD を記述するにあたり、記述に用いる道路構造や進路に関する用語を体系的に整理することで、走行条件等を明確化するとともに、様々な地区における自動走行条件を記述できる記述法を構築する。ODD 設計に関する既存の研究等を参考にし、表 133 に示す ODD 記述のための交通環境の分類と用語を定義した。

表 133　交通環境の分類と記述

	Physical infrastructure					Operational constraint				
大分類	道路構造	横断歩道	隣接車線	交差車線	歩道区画	運行速度	進路	進路の優先	交通整理	駐停車
細目	単路	なし	なし	なし	なし	10km/h未	直進	専用	なし	駐停車可
	十字路	歩行者	対向車線	対向車線	区画線	20km/h未	右折	優先	信号機	停留所
	丁字路	自転車横断	並走車線	合流車線	縁石	30km/h未	左折	非優先	専用信号	駐車禁止
	環状交差点		歩道	歩道	植栽・フェ	40km/h未	転回			駐車・停車
	踏切		自転車通行	自転車通行帯		60km/h未	左車線			
			導流帯	導流帯		60km/h以	右車線			
			軌道	軌道						

② 運行区間の分類と交通条件記述

次に、①で定義した分類に基づき自動運転車が走行を行う道路環境を区分する。走行ルート上には交差点や横断歩道等の様々な道路環境が存在し、進路や対応すべき交通参加者が異なるので、ODD も異なる。よって、走行ルートの中で同一の走行環境が継続する地点を区間に分類することで、各区間毎に ODD を記述する。柏エリアの走行ルートは図 437 および表 134　柏エリアの運行条件一覧に示す 15 区間に分類した。

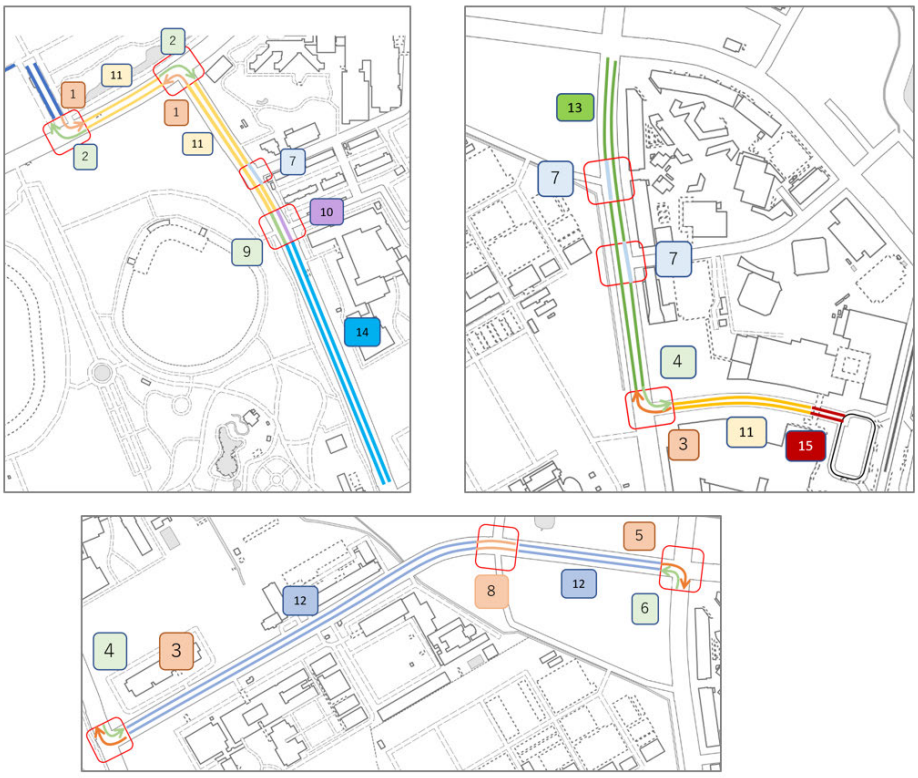


図 437　柏エリアの走行区間分類

表 134　柏エリアの運行条件一覧

	Physical infrastructure						Operational constraint					
区間番号	道路構造	隣接車線(左)	隣接車線(右)	交差車線	交差歩道	歩道区画	運行速度	進路	交通整理	通行の優先	駐停車	名称
1	丁字路	なし	対向車線	合流車線	横断歩道	なし	20km/h未満	左折	信号機	なし	駐車・停車禁止	丁字路左折A
2	丁字路	歩道	対向車線	対向車線	横断歩道	縁石	20km/h未満	右折	信号機	なし	駐車・停車禁止	丁字路右折A
3	丁字路	並走車線	対向車線	なし	横断歩道	縁石	20km/h未満	右折	信号機	なし	駐車・停車禁止	丁字路右折B
4	丁字路	歩道	対向車線	なし	横断歩道	柵・フェンス	20km/h未満	左折	信号機	なし	駐車・停車禁止	丁字路左折B
5	十字路	歩道	対向車線	対向車線	横断歩道	なし	20km/h未満	右折	信号機	なし	駐車・停車禁止	十字路右折
6	十字路	歩道	対向車線	合流車線	横断歩道	なし	20km/h未満	左折	信号機	なし	駐車・停車禁止	十字路左折
7	丁字路	歩道	並走車線	合流車線	なし	縁石	40km/h未満	直進	なし	優先	駐車・停車禁止	丁字路直進
8	十字路	歩道	対向車線	直交車線	なし	縁石	40km/h未満	直進	なし	優先	駐車・停車禁止	十字路直進
9	単路	自転車通行帯	並走車線	なし	横断歩道	なし	40km/h未満	直進	なし	なし	駐車禁止	単路横断歩道
10	丁字路	自転車通行帯	対向車線	合流車線	横断歩道	なし	40km/h未満	直進	なし	なし	駐車・停車禁止	丁字路横断歩道
11	単路	歩道	対向車線	なし	なし	柵・フェンス	40km/h未満	直進	なし	優先	駐車禁止	単路歩道分離
12	単路	歩道	対向車線	なし	なし	縁石	40km/h未満	直進	なし	優先	駐停車可	単路歩道混在
13	単路	歩道	並走車線	なし	なし	柵・フェンス	40km/h未満	直進	なし	優先	駐停車可	単路複数車線
14	単路	自転車通行帯	対向車線	なし	なし	柵・フェンス	40km/h未満	直進	なし	専用	駐車禁止	単路自転車通行
15	単路	歩道	対向車線	なし	なし	縁石	20km/h未満	直進	なし	優先	駐車禁止	単路高架下

③ 各運行区間において遵守すべき法規の確認

②で分類した各運行区間には、優先すべき他の交通参加者（交差車両、横断歩行者等）や通行方法が法令により定められている。ここでは、道路交通法の条項を整理し、各運行区間において適用される条項を明らかにする。これにより、自動運転システムが対応している通行方法や場面理解が明確にでき、自動走行時にどの交通要因に対する考慮がなされているのかが明確になる。これは、自動運転車の安全性評価を実施する上でも重要な情報となる。表 135 に各運行区間の通行条件分析例を示す。

表 135　各運行区間の通行条件と関連条項

交通方法	通行区分	進行速度	交通整理あり				緊急車両	徐行	一時停止	監視	自動運転機能群
			右折	左折	転回	横断歩道					
道交法関連条	8,17,18,20,21	22,23,24,27	34,35,37	34,35,37	34,35,37	38	40	42	43	75	
1	×	×	―	×	―	×	×	×	―	×	③
2	×	×	×	―	―	×	×	×	―	×	③
3	×	×	×	―	―	×	×	×	―	×	③
4	×	×	―	×	―	×	×	×	―	×	③
5	×	×	×	―	―	―	×	×	―	×	②
6	×	×	―	×	―	―	×	×	―	×	③
7	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	③
8	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	②
9	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①
10	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	②
11	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①
12	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①
13	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①
14	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①
15	×	×	―	―	―	―	×	―	―	×	①

④ 自動走行機能の動作条件定義と条件逸脱時の対応

③で示した通行条件は自動運転車が遵守するべき法的側面からの分析である。一方で、自動運転車の個別機能（交通参加者の検出、自車位置の計測等）は法的な条項に 1 対 1 で対応するものではなく、複数の自動運転機能の組み合わせにより、1 つの走行条件を満たすものとなる。また、1 つの自動運転機能は複数の走行条件において動作する関係にある。この関係を明らかにしなけ

れば、自動運転システム全体の安全性を確認することは難しい。そこで、④では車両に搭載されている自動運転を示すとともに、その動作限界を表す ODD 不適合条件を実験データなどから示す。本報告書では、柏エリアを走行する将来の自動運転車両の性能が定まっていないことから、架空の自動運転車の機能として記述する（表 136）。縦軸に自動運転機能の名称、横軸にその機能が動作する通行条件を示す。

表 136　自動走行機能の通行条件との対応

		気温	光環境		浮遊物				路面			データ送受				交通外乱			
記号	機能名		環境光	直接光	降雨	降雪	霧	砂塵	冠水	積雪	凍結	記憶媒体	有線通信	無線通信（受信）	無線通信（送信）	交通流速	他車両	歩行者	障害物
A	車両位置計測（GNSS	×												×	×				
A	車両位置計測（SLAM	×		×			×						×						
B	速度・車間維持	×								×	×		×						
C	経路追従	×								×	×		×						
D	信号順守（カメラ）	×	×	×		×	×										×		
D	信号順守（通信）	×												×					
E	右折時対向車優先	×	×	×			×						×				×		
F	横断歩行者情報	×												×	×				
G	緊急車両回避	×												×					

⑤ 運行区間別の用いる自動走行機能

最後に、④で定義した自動運転機能が、どのような交通場面に対して適用するのかを示す（表 137）。この表により、ある自動運転機能が動作しなくなった際に通行不可/可能となる区間がどこであるのかを明確に決定できる。この整理により、ルート全体を 1 種の ODD により定義する者とは異なり、自動運転車の機器等に異常が生じた際でも、通行を継続したり、退避場所までに限り自動を行うなど、より柔軟な対処が実施可能になる。

表 137　運行区間上の通行方法と自動運転機能の対応

交通方法	通行区分	進行速度	車間距離	追い越し	踏切通過	交通整理あり				交通整理なし				
						右折	左折	転回	横断歩道	直進	右折	左折	転回	横断歩道
関連条項	8,17,18,20,21	22,23,24,27	26	28,29,30,31	33	34,35,37	34,35,37	34,35,37	38	36	34,35,36,37	34,35,36,37	34,35,36,37	38
①	A,D	A,C	C	A,C,D,G	－	－	－	－	－	－	－	－	－	A,C,D,H
②	B,D	B,C	C	－	－	B,C,D,E,G	B,C,D,E,G	－	B,C,D,E,H	－	－	－	－	－
③	B,D	B,C	C	－	－	B,C,D,F,G	B,C,D,F,G	－	B,C,D,F,H	－	－	－	－	－

交通方法	環状交差点	緊急車両	徐行	一時停止	駐車	停車	灯火	合図	警音	監視
関連条項	35,37	40	42	43	44,45,46,47	44,46,47	52	53	54	75
①	－	A,D,I	A,C	－	－	A,B,C	A	－	－	J
②	－	B,D,I	B,C	－	－	－	B	－	－	J
③	－	B,D,I	B,C	－	－	－	B	－	－	J

以上のように、柏エリアを対象に ODD 記述のための方法を構築した。これに対して ODD 不適合条件は以下のような手順で判別および対処できる（図 438）。

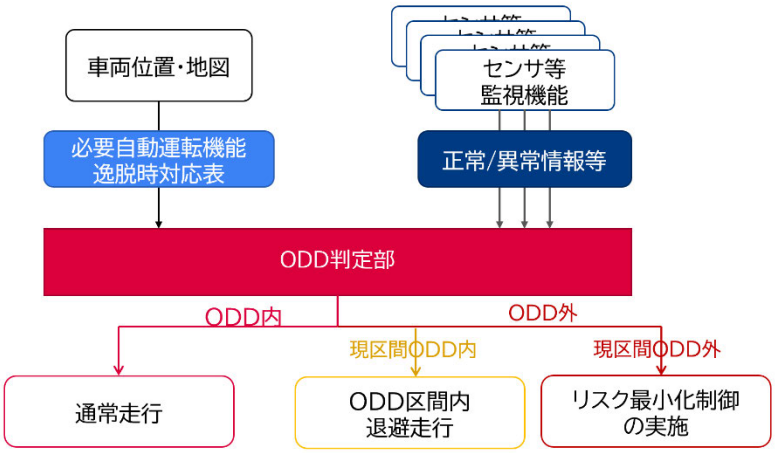


図 438　ODD 適合/不適合の判定

次に、ODD 不適合となる事象が発生した際の退避走行やリスク最小化制御の具体例、および、協調型システムが導入された際の、ODD 不適合時の対応方法の変化について設計および考察を行った内容について報告する。具体例として、自動運転機能のうち自車位置計測機能および信号灯色認識機能に関して不具合や性能低下が生じた際（ODD 不適合時）の対応方法を表 138 に示す。上段 3 種が位置計測機能であり、下段 3 種が信号灯色認識機能の具体例である。位置計測機能の例は、既存の自動運転車に広く用いられている GNSS を用いた機能および LiDAR を用いた機能に加え、本事業において開発している両者を統合し冗長化したものが統合型位置計測を例示している。前者 2 種の機能は自律系の単一センサーによる計測なので、その機能に異常が生じた際には走行位置や方位が不明となるので、安全性を確保するために短時間での停車が必要である。一方、統合型位置計測機能では、一方の機能に不具合が生じたとしても自動走行可能な精度を維持できるので、減速等の限定的な安全確保措置のみで走行を継続する等の、よりサービス品質を維持することのできる安全確保措置を講じることができる。

次に、信号灯色認識機能の具体例としてカメラを用いて灯色を認識する機能、信号予定情報を通信により取得する機能、および、両者を統合した機能の 3 機能を仮定して、ODD 不適合時の対応を説明する。このうち、信号予定情報を取得する機能に関してはデータ連携プラットフォーム等の協調型システムを活用した機能例である。信号灯色認識機能の不具合発生時の対応方法について、対応シナリオを図 439 に示す。まず、カメラを用いて灯色を認識する機能のように、自律系システムのみで信号灯色情報を取得している場合、システムの不具合により灯色の変化が不明となるので、信号交差点に進入する前では路肩などに円滑に停車する対応をとり、交差点進入直前では直ちに停車する必要性が生じる。このような対応は周辺交通に大きな影響を与えるので、望ましくないだけではなく、サービス設計として不適である可能性が高い。一方で、協調型システムにより信号予定情報が得られている場合、カメラによる灯色認識と複合化することで、信号予

定情報の妥当性が常時評価されているという特徴がある。この特徴から、カメラまたは予定情報の通信不具合が生じた場合、次のような対応が考えられる。

- 信号交差点進入前においては一時的に停車し、遠隔監視者等によりカメラのみで進行が可能かを判断する等の、進行を継続することが可能となる。
- 信号交差点進入時には、直前まで信号予定情報の信頼性が評価されているので、取得済みの予定情報により交差点を通常通り進行できる。

上記のように、冗長系の 1 方の機能に不具合が生じた際にも周辺交通に悪影響を与えることなく安全確保措置を講じることができると考えられる。

表 138　ODD 不適合時の対応事項

				異常時対応			
機能名	使用装置等	冗長化構成	種別	単路	交差点内	交差点進入	信号なし横断歩道通過
GNSS位置計測	GNSS，IMU	なし	性能低下	停車	徐行	不可	不可
			故障・監視断	緊急停止	緊急停止	不可	不可
LiDAR位置計測	LiDAR，IMU，車速	なし	性能低下	停車	徐行	不可	不可
			故障・監視断	緊急停止	緊急停止	不可	不可
統合型位置計測	GNSS，LiDAR，IMU，車速	混合（A+B）	性能低下	停車	徐行	不可	不可
			故障・監視断	緊急停止	緊急停止	不可	不可
			単一化	速度制限	速度制限	可	可
信号灯色認識	カメラ	なし	性能低下	通常	通常	不可	可
			故障・監視断	通常	通常	不可	可
信号予定情報取得	通信	なし	性能低下	通常	通常	不可	可
			故障・監視断	通常	通常	不可	可
統合型信号状態理解	カメラ，通信	混合（K+L）	性能低下	通常	通常	不可	可
			故障・監視断	通常	通常	不可	可
			単一化	通常	通常	可	可

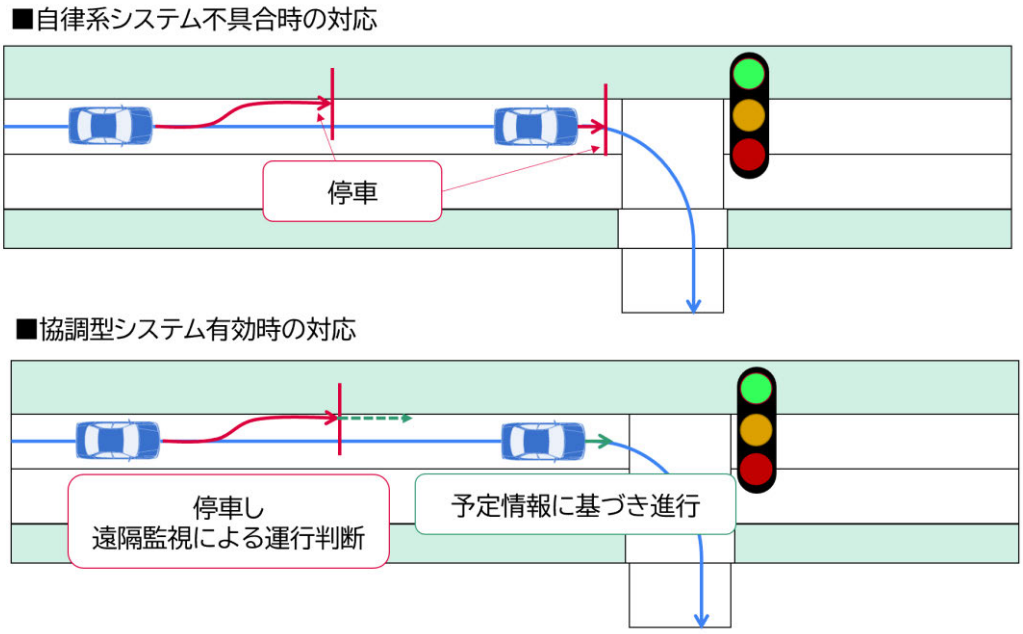


図 439 協調型路側機の導入による ODD 不適合時の対応変化

第 3 章　仕様項目間共通で実施した事項

3-1.　テーマリーダーの選定

テーマ 4 で求められる成果目標等を理解の上、テーマ 4 の全体を統括するテーマリーダーとして、以下の者を選定した。

テーマ 4 リーダー：　東京大学生産技術研究所　中野公彦教授

※詳細プロフィールは、「4.　テーマ 4 に関する実施体制」に記載。

なお、テーマ 4 の推進にあたっては、テーマ 4 リーダーの統括の下、専門分野にサブチームを設置し、サブチームリーダーはテーマ 4 リーダーと連携を図りながら詳細検討を行った。

本年度は、昨年度のサブチーム体制を踏襲した。混在空間における自動運転レベル 4 サービスの実現に向けた課題を分野横断的に整理し、その課題に対する対策を検討する際、技術的なアプローチのみならず、制度や運用面など、様々なアプローチが考えられるため、各サブチームにおける議論や知見を有機的に統合する場が必要である。そこで、サブチームの定期的な進捗報告・共有と、サブチーム間の連携促進のため、テーマ 4 内統括委員会を設けた。統括委員会は議長の進行の下、テーマ 4 としての全体目標・進捗の共通化を図りながら、各サブチームを統括し、連携しながら推進することにより、着実な成果を得た。

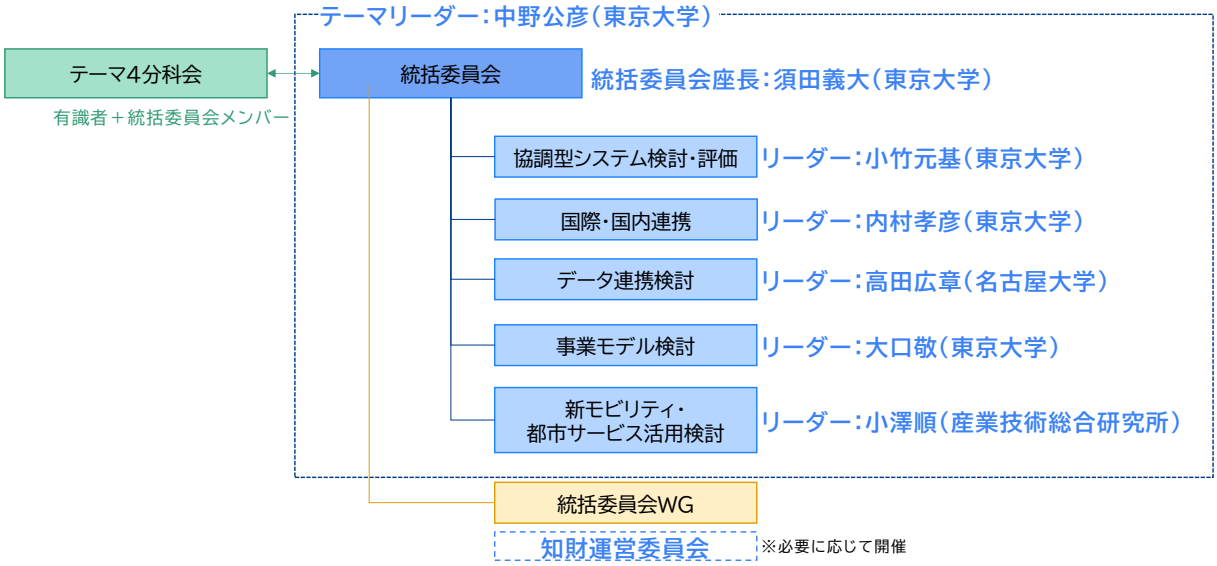


図 440　テーマ 4 のガバナンス体制

3-2. テーマ別の分科会の開催

テーマ 4 の推進にあたっては、テーマリーダーの強いリーダーシップの下で、統括委員会を通じて各サブチームを統括して推進することとするが、本テーマの効果的・効率的な推進のため、これに外部の有識者、関係者を加えた「分科会」を構成した。これにより、テーマ 4 を構成するコンソーシアムのメンバー以外の産官学関係者からの意見や示唆を適宜取り入れ、統括委員会議長を分科会の主査として議論を進行・とりまとめた。これによって、テーマ 4 での取組み内容やここから得られる成果が、より広く日本、さらには世界的にも高く評価される成果となるよう、配慮するものとした。

本年度は、テーマ 4 の推進状況について、有識者からご意見をいただく場を 2 回設けた。テーマ 4 分科会を構成するメンバーは、表 139 に示す通りである。

表 139　テーマ 4 分科会メンバー

役職	氏名	所属・役職	立場
主査	☆須田　義大	東京大学生産技術研究所　教授	テーマ 4 統括委員会議長
委員	☆中野　公彦	東京大学生産技術研究所　教授	テーマ 4 リーダー
	横山　利夫	国立研究開発法人産業技術総合研究所 招聘研究員	Road to the L4 コーディネーター
	波多野　邦道	一般社団法人日本自動車工業会 自動運転部会　部会長	
	小川　博	一般社団法人日本自動車工業会 大型車委員会　大型車技術部　部会長	
	山本　昭雄	ITS Japan 専務理事	
	川邉　俊一	一般社団法人 UTMS 協会 専務理事	
	田中　宏	公益社団法人日本バス協会 技術安全部　部長	
	菊地　春海	一般財団法人道路新産業開発機構 （HIDO）　常務理事	
	岡野　直樹	一般社団法人　電波産業会（ARIB） 常務理事	
	☆内村　孝彦	東京大学生産技術研究所　特任研究員	テーマ 4 国際・国内連携サブチームリーダー
	☆小竹　元基	東京大学新領域創成科学研究科　准教授	テーマ 4 協調型システム検討・評価サブチームリーダー
	☆大口　敬	東京大学生産技術研究所　教授	テーマ 4 事業モデル検討サブチームリーダー

役職	氏名	所属・役職	立場
	☆高田　広章	名古屋大学未来社会創造機構　教授	テーマ4データ連携サブチームリーダー
	☆岸本　光弘	国立研究開発法人産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター長	テーマ4新モビリティ・都市サービス活用検討サブチームリーダー
オブザーバー	関係省庁		

分科会の各回は、表 140 に示す内容で開催された。

表 140　分科会の開催概要

#	開催日	議事次第
第1回	2022年12月6日	1. 開会 2. 経済産業省・国土交通省より御挨拶 1) 経済産業省 製造産業局 自動車課 ITS・自動走行推進 室長 御挨拶 2) 国土交通省 自動車局 技術・環境政策課 自動運転戦略室 室長 御挨拶 3. 議事 1) CooL4（テーマ4）のプロジェクト概要と本年度の取組 2) 委員よりご発言 4. 講評 5. 経済産業省・国土交通省より御挨拶 6. 閉会
第2回	2023年3月1日	1. 開会 2. 経済産業省より御挨拶 1) 経済産業省 製造産業局 自動車課 ITS・自動走行推進 室長 御挨拶 3. 議事 1) 前回分科会でいただいたご意見及び対応方針 2) 令和4年度の各種検討状況 3) 来年度の計画 4) 委員よりご発言 4. 講評 5. 経済産業省より御挨拶 6. 閉会

3-3. 統括委員会 WG

協調型システムにより、様々な地域の混在交通下において、自動運転レベル 4 サービスを展開し、レベル 4 だけでなく、レベル 3 以下のオーナーカーや他のモビリティなどの運転・運行支援にも活用するためには、自動車 OEM および信号機・インフラメーカーも加えて、情報交換を行い、意見をまとめる活動が不可欠である。

そこで、テーマ 4 で検討を行う協調型システムについて、本 WG を通じてニーズの収集と、アドバイスを受け知見を得ることによって、より実践的なものにする。なおメンバーとして、昨年度統括委員会 WG の構成メンバーである自動車 OEM、信号機・インフラメーカーに加え、自動運転サービサーとして先進モビリティや BOLDLY 等もメンバーに加え、議論を行った。本年度は、3 回開催した。

表 141　統括委員会 WG メンバー

役職	氏名	所属・部署・役職	立場
委員長	中野　公彦	東京大学生産技術研究所・教授	テーマ 4 統括委員会 WG 主査 テーマ 4 リーダー
委員	須田　義大	東京大学生産技術研究所・教授	テーマ 4 統括委員会議長
委員	横山　利夫	国立研究開発法人産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター 招聘研究員	Road to the L4 コーディネーター
委員	加藤　昌彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター 招聘研究員	Road to the L4 サブコーディネーター
委員	山本　信	トヨタ自動車株式会社 コネクテッド統括部　ITS 推進室　室長	
委員	岩城　亮平	ホンダモビリティソリューションズ株式会社 第一ソリューション部　課長	
委員	橋本　隆志	日産自動車株式会社　総合研究所 モビリティ&AI 研究所 シニアリサーチエンジニア	
委員	田上　英明	日本信号株式会社 スマートモビリティ推進室　室長	
委員	座間　恵美	コイト電工株式会社 IoT 推進部 交通 Gr	
委員 （交代）	大西　三男 〔曽根原　光治〕	株式会社 IHI 技術開発本部　技術企画部　企画推進グループ 事業推進部　主幹	

役職	氏名	所属・部署・役職	立場
委員	見並　一明	ITS Japan 自動運転プロジェクト 理事	
委員	瀬川　雅也	先進モビリティ株式会社 技術統括部 取締役・部長	
委員	内村　孝彦	東京大学生産技術研究所　特任研究員	テーマ 4 国際・国内連携サブチームリーダー
委員	小竹　元基	東京大学新領域創成科学研究科　准教授	テーマ 4 協調型システム検討・評価サブチームリーダー
委員	大口　敬	東京大学生産技術研究所　教授	テーマ 4 事業モデル検討サブチームリーダー
委員	高田　広章	名古屋大学未来社会創造機構　教授	テーマ 4 データ連携サブチームリーダー
委員 （交代）	岸本　光弘 〔小澤　順〕	国立研究開発法人産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ推進センター 総括研究主幹	テーマ 4 新モビリティ・都市サービス活用検討サブチームリーダー
オブザーバー	谷川　浩	一般財団法人 日本自動車研究所 新モビリティ研究部 部長・シニアエグゼクティブ	
オブザーバー	土居　義晴	トヨタ自動車株式会社 コネクティッド統括部 ITS 推進室	ITS Japan CCAM 検討 SWG 主査
オブザーバー	山本　昭雄	ITS Japan 専務理事	ITS Japan CCAM 検討 SWG
オブザーバー	陰山　朋孝	ITS Japan　企画グループ 自動運転プロジェクト　部長	ITS Japan CCAM 検討 SWG
オブザーバー	白土　良太	ITS Japan　企画グループ 自動運転プロジェクト　理事・リーダー	ITS Japan CCAM 検討 SWG
オブザーバー		経済産業省　製造産業局　自動車課 ITS 自動走行推進室	

統括委員会 WG の各回は、表 142 に示す内容で開催された。

表 142　統括委員会 WG の開催概要

#	開催日	議事次第
第 1 回	2022 年 10 月 3 日	1. 開会 ・統括委員会議長挨拶 ・経済産業省挨拶 2. 議事 (1) 統括委員会 WG の目的 ・テーマ 4 (CooL4)の目標とスコープ ・テーマ 4 に関する取組みの全体フロー

#	開催日	議事次第
		・テーマ 4 統括委員会 WG の目的と当面の目標 (2) 2021 年度 統括委員会 WG の振り返り ・柏の葉実証実験ルート ・2021 年度に WG で得られたご意見のまとめ ・2021 年度の WG でのご意見を踏まえた今後の課題 (3) 今年度の検討方針 ・2022 年度における WG の方針 ・統括委員会 WG の進め方 (4) レベル 4 自動走行ストラテジーと無線の通信方式案 ・レベル 4 自動走行のストラテジー ・無線の通信方式案 (5) 討論 (6) 今後のスケジュール 3. 閉会 ・横山様（RoAD to the L4 コーディネーター）挨拶
第 2 回	2023 年 2 月 6 日	1. 開会 ・統括委員会議長挨拶 ・経済産業省挨拶 2. 議事 (1) 統括委員会 WG の目的 ・テーマ 4 (CooL4)の目標とスコープ ・テーマ 4 に関する取組みの全体フロー ・テーマ 4 統括委員会 WG の目的と当面の目標 (2) 統括委員会 WG の進め方・第 1 回統括委員会 WG の振り返り ・統括委員会 WG の進め方 ・第 1 回統括委員会 WG の振り返り (3) 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理 ・自動運転のストラテジー案の再整理 ・柏の葉ケースでの自律・協調の機能分担 (4) 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化 ・インフラセンサーの必要要件整理 ・柏の葉ケースでの要件可視化 (5) 討論 (6) 今後のスケジュール 3. 閉会 ・横山様（RoAD to the L4 コーディネーター）挨拶
第 3 回	2023 年 3 月 15 日	1. 開会 ・統括委員会議長挨拶(須田委員長) ・経済産業省挨拶 2. 議事 (1) 統括委員会 WG の進め方・第 2 回統括委員会 WG の振り返り ・統括委員会 WG の進め方

#	開催日	議事次第
		・第 2 回統括委員会 WG の振り返り (2) 協調型システムにおける自律・協調の機能分担の整理 ・整理方針 ・柏の葉ケースでの自律・協調の機能分担 (3) 提供されるインフラ情報の必要要件の整理・具体化 ・インフラセンサーの必要要件について (4) 今後の方針（インフラ協調型システムの仕様素案まとめ（柏の葉）） ・今後の方針 (5) 討論 ・論点 3. 閉会 ・横山様（RoAD to the L4 コーディネーター）挨拶

3-4. 項目ごとの役割分担

本事業の推進にあたり、仕様項目と担当分担を以下に示す。

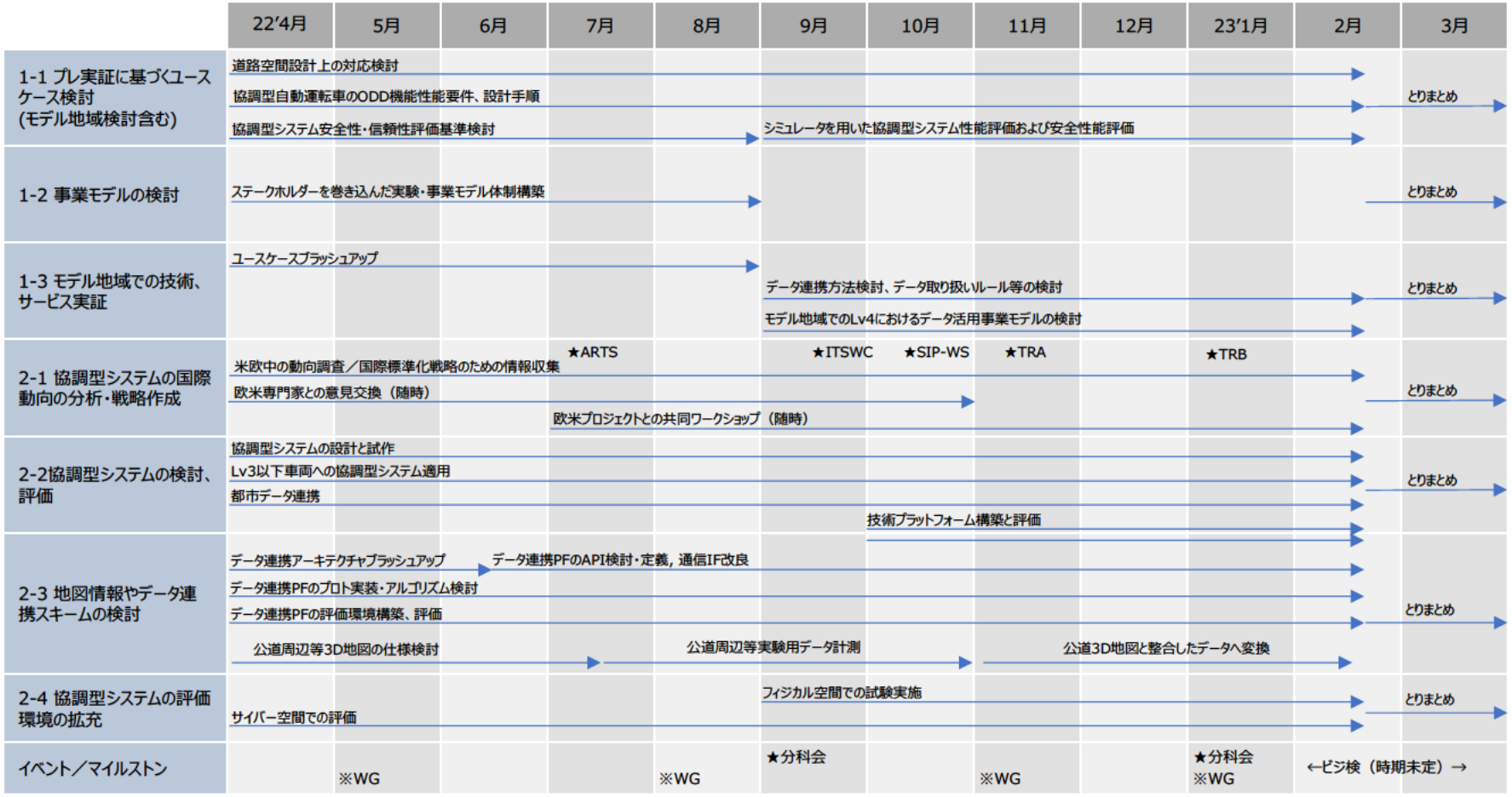
表 143 担当分担

担当法人	主に担当するサブチーム	役割(仕様項目との対応)
東京大学	統括委員会	1-3. モデル地域での技術、サービス実証 II. 地域と連携したモビリティサービスの実用化に向けた連携構築、モデル地域での実証成果を活用した他地域への横展開の検討 2) 技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ
	国際・国内連携	2-1. 協調型システムの国際動向の分析・戦略作成 I. 米欧中での協調型システムの開発・導入状況の分析 1) 欧米中の動向調査 2) 欧米専門家との意見交換 3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催 4) 国際標準化戦略のための情報収集
	協調型システム検討・評価	1-1. プレ実証に基づくユースケース検討(モデル地区検討含む) I. 地域の特性別のユースケース類型化、アーキテクチャ検討 1) 協調型システムの活用が期待されるユースケースの精査 3) 協調型システムの実現のためのキーテクノロジーの整理 II. レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討 1) 協調型交通安全システムの構築 2) 道路空間の利便性向上シナリオの構築
		2-2. 協調型システムの検討、評価 I. 各種協調型システムの性能評価・比較

担当法人	主に担当するサブチーム	役割(仕様項目との対応)
		1) 協調型システムに求められる要件の整理 2) レベル 3 以下の車両への協調型システムの適用 3) 車両、人の移動、地図情報等の連携を考慮した協調型システムの構築と性能比較
		2-4. 協調型システムの評価環境の拡充 I. デジタルツインによる協調型システムの評価環境構築、協調型システムの評価手法の開発 1) フィジカル空間での試験環境整備 2) サイバー空間での評価
名古屋大学	データ連携検討	2-3. 地図情報やデータ連携スキームの検討 I. 地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討 1) データ連携アーキテクチャのブラッシュアップ 2) データ連携 PF の API の検討・定義 3) データ連携 PF の通信インタフェースの試作評価による改良・定義 4) 協調型路側機の機能拡張 5) データ連携 PF のプロタイプ実装とアルゴリズム検討 6) データ連携 PF の評価環境の構築 7) データ連携 PF と協調型路側機の評価 8) データ連携と活用に関する法的な問題の検討
産業技術総合研究所	新モビリティ・都市サービス活用検討	1-1. プレ実証に基づくユースケース検討(モデル地区検討含む) II. レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討 3) 都市サービスと連携した新モビリティのニーズ分析とシナリオ創出
		2-3. 地図情報やデータ連携スキームの検討 I. 地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討 9) 歩道等のデジタル地図と車道のデジタル地図の統合方式の検討 10)モビリティと都市サービスのデータ融合のためのプラットフォームの概念設計 11)データ連携 PF と都市データプラットフォーム連携のためのインターフェース開発
三菱総合研究所	事業モデル検討	1-1. プレ実証に基づくユースケース検討(モデル地区検討含む) I. 地域の特性別のユースケース類型化、アーキテクチャ検討 2) 協調型システムによるレベル 4 自動運転サービスの活用が期待される地域特性の整理
		1-2. 事業モデルの検討 I. 協調型システムの事業モデルの詳細化 1) 協調型システム検討・他テーマ(テーマ 2 における ODD 類型等)の検討成果を踏まえた、レベル 4 自動運転サービス実現に必要な協調型システムの整理 2) 協調型システムを実現するためのステークホルダーの整理

担当法人	主に担当するサブチーム	役割（仕様項目との対応）
		3）協調型システムの事業モデル案の詳細化 II. 事業モデルのフィージビリティスタディ III. 導入検討マニュアル案の作成
		1-3. モデル地域での技術、サービス実証 I. モデル地域で協調型を導入した時の効果、社会受容性等の調査 1）モデル地域における事業モデルの検討 2）モデル地域における他のモビリティ、都市サービスとの間でのデータ活用検討 3）モデル地域における実証に備えた評価方法の検討 II. 地域と連携したモビリティサービスの実用化に向けた連携構築、モデル地域での実証成果を活用した他地域への横展開の検討 1）モデル地域におけるワークショップを通じた体制構築 2）技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ

表 144　テーマ 4 に関する実施スケジュール



★上記以外に「統括委員会」を毎月開催予定。

(1) 5 か年度の活動計画

本プロジェクトの 5 か年の活動計画を以下に示す。

2025 年に協調型システムを活用した自動運転レベル 4 サービスの実現に向けて、2023～2024 年頃に公道等での実証を行うことを鑑み、初年度である 2021 年度は、2022 年度にテストコース等で要素技術の開発・検討を行うためのユースケースや課題を整理、研究開発における評価項目を検討する。2 年目から要素開発検討、3・4 年目に公道評価を行い、5 年目に事業化目途付けを目指す。

表 145　5 か年度の活動計画

	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY	2025FY
	モデル地域での課題や対策方法検討	要素開発検討・テストコース評価	公道評価	公道評価（複数か所）	事業化目途づけ・とりまとめ
	＜実施内容＞ • 混在空間でのレベル4自動運転サービスの実現に向けたユースケース整理、キーテクノロジー及び事業モデルの検討 • モデル地域（柏、藤沢、豊洲）での検討 • レベル3以下等との連携のための課題整理	＜実施内容＞ • 市街地混在空間を想定した協調システムのテストコース内検証 • モデル地域でのシステムの技術検証 • モデル地域（柏、豊洲、藤沢）での各ステークホルダを巻き込んだ実験体制構築・事業モデル案作成 • 関係省庁の許認可プロセスの確認	＜実施内容＞ • 地域類型を踏まえたモデル地域での協調型システム及び事業モデルの公道実験 • モデル地域でのモビリティ以外のデータとの連携スキーム構築・検証 • 他地域展開方策の検討	＜実施内容＞ • モデル地域及び他数都市における、様々な混在環境下での検証 • 複数モデル地域での検討を踏まえた、整理とりまとめ	＜実施内容＞ • 市街地混在空間にてレベル4サービスの事業化めど（少なくとも1か所）
協調型路側機	仕様検討／プレ公道実証	テストコース評価・公道実証に向けての調整開始	公道実証 事業モデル検討	公道検証 仕様標準化	技術・事業化両方めど
車両	L2車両改造	L2車両テストコース評価	L3以上車両公道評価 （テーマ2車両の活用）	L3以上車両複数評価 テーマ2車両の複数評価	技術・事業化両方めど

(2) 事業実施期間

- 委託契約締結日から令和5年（2023年）3月31日まで

(3) 支出計画

- 別添支出計画書のとおり

(4) 成果物

① 事業報告書電子媒体（CD-R）1式

- 事業報告書、調査で得られた元データ、委託事業報告書公表用書誌情報（様式1)、二次利用未承諾リスト（様式2）を納入する。
- 事業報告書については、PDF形式に加え、機械判読可能な形式のファイルも納入する。
- 調査で得られた元データについては、機械判読可能な形式のファイルで納入することとし、特に図表・グラフに係るデータ（以下「EXCEL等データ」という。）については、EXCEL形式等により納入する。なお、様式1及び様式2はEXCEL形式とする。

② 事業報告書電子媒体（CD-R）2式（公表用）

事業報告書及び様式2（該当がある場合のみ）を一つのPDFファイル（透明テキスト付）に統合したもの、並びに公開可能かつ二次利用可能なEXCEL等データを納入する。

- セキュリティ等の観点から、経済産業省と協議の上、非公開とするべき部分については、削除するなどの適切な処置を講ずる。
- 事業報告書は、オープンデータ（二次利用可能な状態）として公開されることを前提とし、経済産業省以外の第三者の知的財産権が関与する内容を報告書に盛り込む場合は、①事前に当該権利保有者の了承を得、②報告書内に出典を明記し、③当該権利保有者に二次利用の了承を得ること。二次利用の了承を得ることが困難な場合等は、下記の様式2に当該箇所を記述し、提出する。
- 公開可能かつ二次利用可能なEXCEL等データが複数ファイルにわたる場合、1つのフォルダに格納した上で納入する。
- 各データのファイル名については、事業報告書の図表名と整合をとる。
- Excel等データは、オープンデータとして公開されることを前提とし、経済産業省以外の第三者の知的財産権が関与する内容を含まないものとする。

  ※事業報告書電子媒体の具体的な作成方法の確認及び様式1・様式2のダウンロードは、下記URLから行う。

  http://www.meti.go.jp/topic/data/e90622aj.html

(5) 成果物の納入場所

- 経済産業省製造産業局自動車課

(6) 不開示情報の取扱い

① 情報管理体制

1. 受注者は本事業で知り得た情報を適切に管理するため、次の履行体制を確保し、発注者に対し「情報セキュリティを確保するための体制を定めた書面（情報管理体制図）」及び「情報取扱者名簿」（氏名、個人住所、生年月日、所属部署、役職等が記載されたもの）別紙様式1を契約前に提出し、担当課室の同意を得ること（住所、生年月日については、必ずしも契約前に提出することを要しないが、その場合であっても担当課室から求められた場合は速やかに提出すること。）。なお、情報取扱者名簿は、委託業務の遂行のため最低限必要な範囲で情報取扱者を掲載すること。

   （確保すべき履行体制）

   契約を履行する一環として契約相手方が収集、整理、作成等した一切の情報が、経済産業省が保護を要さないと確認するまでは、情報取扱者名簿に記載のある者以外に伝達又は漏えいされないことを保証する履行体制を有していること。
2. 本事業で知り得た一切の情報について、情報取扱者以外の者に開示又は漏えいしてはならないものとする。ただし、担当課室の承認を得た場合は、この限りではない。
3. 1.の情報セキュリティを確保するための体制を定めた書面又は情報取扱者名簿に変更がある場合は、予め担当課室へ届出を行い、同意を得なければならない。

② 履行完了後の情報の取扱い

国から提供した資料又は国が指定した資料の取扱い（返却・削除等）については、担当職員の指示に従うこと。業務日誌を始めとする経理処理に関する資料については適切に保管すること。

(7) 情報セキュリティに関する事項

業務情報を取り扱う場合又は業務情報を取り扱う情報システムやウェブサイトの構築・運用等を行う場合、別記「情報セキュリティに関する事項」を遵守し、情報セキュリティ対策を実施すること。

(8) その他

- 委員会の運営については、実効性を鑑み臨機応変な運営を行う。
- 会議運営を含む業務にあたっては、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（平成12年法律第100号）第6条第1項の規定に基づく環境物品等の調達の推進に関す

る基本方針の「22－14 会議運営」別記の判断基準を満たすこととする。

○環境物品等の調達の推進に関する基本方針（令和 3 年 2 月 19 日変更閣議決定）

http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/archive/bp/r2bp.pdf

○グリーン購入の調達者の手引き（令和 3（2021）年 2 月）

https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/tebiki/r3_tyoutatusya.pdf

なお、委託業務完了後、別記様式により実績を報告する。

CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）
version 0.7.0

最終更新日：2023 年 3 月 15 日

執筆者：高田広章（名古屋大学）

目次

1. ドキュメントの位置付け 1
2. データ連携プラットフォームの必要性 1
3. 現時点でのスコープ 2
4. CooL4 データ連携アーキテクチャ 3
5. セキュリティアーキテクチャ 5
5.1 登録，認可，証明書 5
5.2 セキュリティ確保のための通信プロトコル 6
6. 物理的な構成の例 6
6.1 広域の交通サービスの場合 6
6.2 限定領域（公共空間）の交通サービスの場合 6
6.3 限定領域（私有地）の交通サービスの場合 7
7. 関連仕様の位置づけ 8
7.1 CooL4 データ連携 PF API 仕様 8
7.2 CooL4 通信インタフェース仕様 8
7.3 CooL4 協調型路側機仕様 9
付録 A. バージョン履歴 9
A.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所 9

1. ドキュメントの位置付け

CooL4 プロジェクトは，協調型システムの導入により，様々な地域の混在交通下において，レベル 4 自動運転サービスを展開することを目指している。協調型自動運転を効率的に実現するためには，道路インフラや他の交通参加者等から得られる情報を統合管理するデータ連携プラットフォームが必要となる。

このドキュメントは，CooL4 プロジェクトにおいて実現を目指すデータ連携プラットフォームのアーキテクチャ（CooL4 データ連携アーキテクチャ）を定義するものである。

CooL4 は，標準を作成する活動ではなく，標準の叩き台となる技術開発や技術評価を目的とするプロジェクトである。そのため，本ドキュメントも含めて，CooL4 で作成する仕様には，CooL4 の中で開発・評価していきたい技術（逆に言うと，現時点では有益であることが検証されていない技術）も含まれている。作成する仕様は，CooL4 における机上検討や実証実験の結果等を踏まえて，CooL4 の実施期間を通じてブラッシュアップしていく計画である。

2. データ連携プラットフォームの必要性

混在交通下においてレベル 4 自動運転を実現するためには，自車両の車載センサーから得られる情報に加えて，路側に設置したセンサー（インフラセンサー）や信号機，他の車両の車載セン

サーなど，車外からの情報を無線通信により収集・活用する協調型システムの構成を取ることが必要とされている。

車外に設置されるセンサーには様々な種類(LiDAR，カメラ，レーダーなど)のものがある上，通信も様々な方式(LTE/5G，DSRC，PC5，ITS 無線など)で行われる。これらに個別に対応することは，自動運転システムの構成を複雑化する。複数種類の自動運転システムが開発されることや，レベル 3 以下の自動運転や他のモビリティでも活用することを考えると，システムの開発工数が掛け算で増大することが予想される(図 1 の左)。

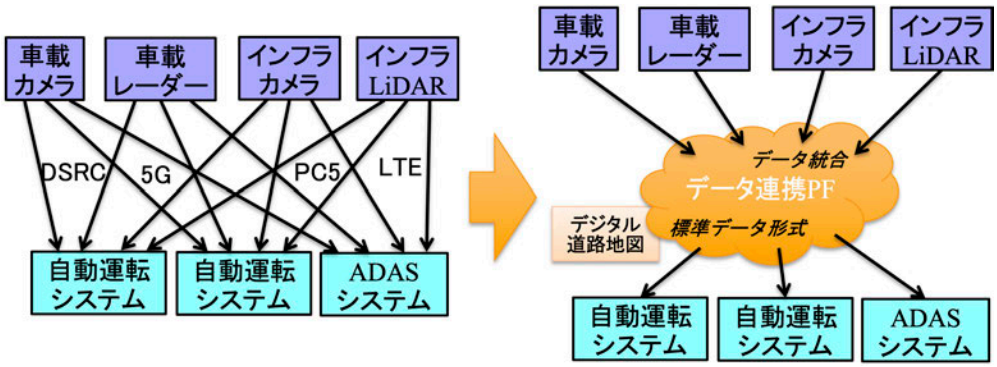


図 1. データ連携プラットフォームの必要性

この課題を解決するには，様々なセンサーの情報を収集・統合し，必要な情報のみを標準データ形式で自動運転システム等に提供するデータ連携プラットフォーム(以下，データ連携 PF)を用意することが有効である(図 1 の右)。データ連携 PF は，センサーから得られた情報を，自動運転向けのデジタル道路地図に紐付けて管理する。

ここで情報を「統合」するとは，複数の情報源または通信経路から得られた情報を組み合わせることで，(可能であれば)より高い品質の情報を得ることを言う。典型的には，複数のセンサーから得られた情報を統合し，より精度の高い情報を得ること(センサーフュージョン)が考えられる。また，異なる通信経路で同じ情報が得られた場合に，冗長な情報を削除する処理も統合に含まれる。ただし，自動運転システムや ADAS システム(以下，自動運転システム等と呼ぶ)が統合前の情報を必要とする場合は，それを提供することも可能とする。

3. 現時点でのスコープ

CooL4 プロジェクトの前半では，データ連携のユースケースを，インフラや他の車両のセンサーから得られる情報を収集・統合し，車両に対して周辺情報を提供する機能(協調認識)を用いるものに限定する。すなわち，自動運転の 3 要素である認識・判断・操作の内，認識の部分を協調型システムにより補助する。逆に言うと，判断と操作は車両側の役割となる。

また，扱うデータの種類についても，車両や歩行者の現在位置や信号の現示などの動的情報に限定する。これは，準動的情報については，SIP-adus で取り組まれているためである。なお，信号情報についても SIP-adus で取り組まれているが，信号情報の活用は CooL4 プロジェクトの重要テーマの 1 つであることから，SIP-adus の最新の成果も取り込む形で検討する。

CooL4 プロジェクトの後半では，他のユースケース(例えば，インフラ側で一部の判断を行う合流調停のようなユースケース)への拡張についても検討する。また，SIP-adus の成果を取り込んで，準

動的情報も扱えるように拡張することも検討する。

4. CooL4 データ連携アーキテクチャ

図 2 に, CooL4 データ連携アーキテクチャ(案)を示す。

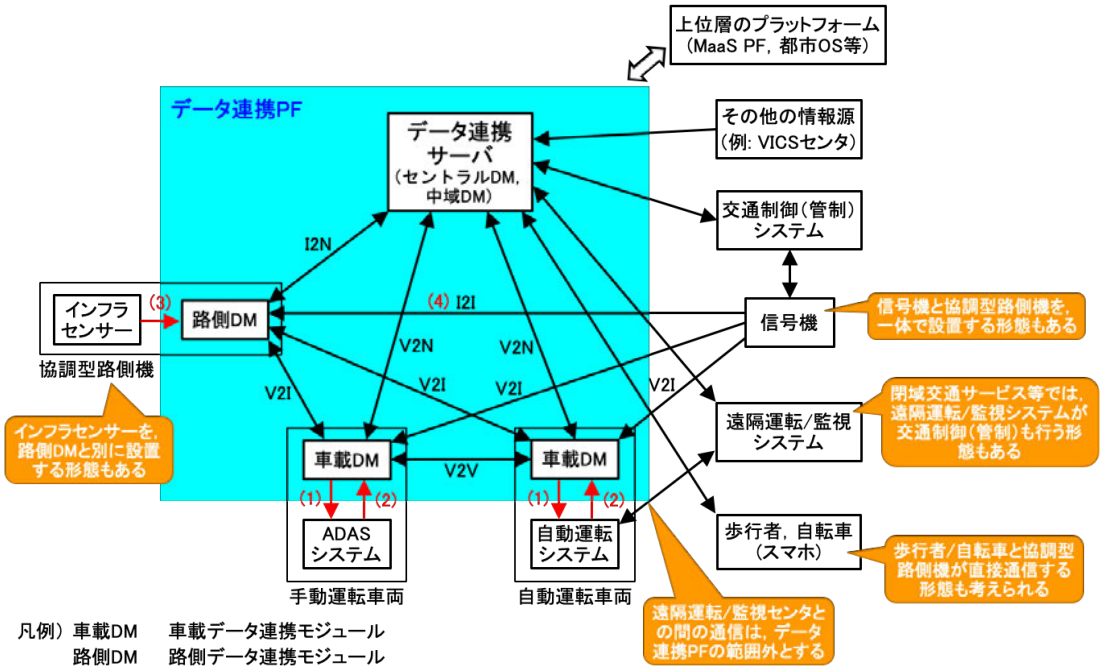


図 2. CooL4 データ連携アーキテクチャ

図中の通信関係を表す矢印は, CooL4 プロジェクトで考慮対象とするものをすべて記載しており, 実際のシステムでは, このすべてを使用するとは限らない。

以下では, 図中の各要素について説明する。

データ連携 PF

データ連携 PF は, インフラセンサーや信号機, 他の車両の車載センサー, 歩行者や自転車等に乗っている人が持つスマホなどから得られる情報を収集・統合し, 必要な情報のみを標準データ形式で自動運転システム等に提供する。また, それが必要な場合には, 収集・統合した情報を保存する機能を持つ。さらに, 交通制御(管制)システムや遠隔運転/監視システム, 上位層のプラットフォーム(MaaS PF, 都市 OS 等)と連携することも考えられる。

データ連携 PF は, データ連携サーバ, 路側データ連携モジュール(路側 DM), 車載データ連携モジュール(車載 DM)で構成される。

また, 図 2 には示していないが, データ連携 PF の監視・保守のためのデータ連携 PF 管理システムが必要になる。データ連携 PF 管理システムは, 単独で設置・運用することも考えられるが, 交通制御(管制)システムや遠隔運転/監視システムと一体で設置・運用しても良い。

車載データ連携モジュール(車載 DM)

車載 DM は, データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで, 車両内のコンピュータ上で動作する。

車載 DM は，V2N 通信によりデータ連携サーバから，V2I 通信により路側 DM から，V2V 通信により他車両の車載 DM から情報を取得し，それらを統合して，車両内の自動運転システム等に対して情報を提供する。また，車載 DM は，V2I 通信により信号機から情報を取得する場合もある。

逆に，自動運転システム等から，自車両に関する情報や車載センサーから得られた情報を受け取り，V2N 通信によりデータ連携サーバに，V2I 通信により路側 DM に，V2V 通信により他車両の車載 DM に情報を提供する。

路側データ連携モジュール（路側 DM）

路側 DM は，データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで，路側に設置するコンピュータ上で動作する。典型的な設置形態として，インフラセンサーと一体にして協調型路側機として路側に設置することを想定しているが，インフラセンサーを路側 DM とは別に設置する形態も考えられる。さらに，路側 DM をモバイル通信網の基地局に設置する形態も考えられる。

路側 DM は，接続されたインフラセンサーから取得した情報と，V2I 通信により車載 DM から取得した情報を統合して，V2I 通信により車載 DM に提供する。また，I2N 通信によりデータ連携サーバと情報を交換する。さらに，I2I 通信により信号機から情報を取得する場合もある。

データ連携サーバ

データ連携サーバは，データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで，サーバコンピュータ上で動作する。

データ連携サーバは，V2N 通信により車載 DM と，I2N 通信により路側 DM と情報を交換する。また，歩行者や自転車等に乗っている人が持つスマホと通信して情報を交換する他，インターネット上の様々な情報源から情報を取得する。データ連携 PF が，交通制御（管制）システムや遠隔運転/監視システム，上位層のプラットフォームと連携する場合には，データ連携サーバを介して通信する。

データ連携サーバは，データ連携 PF 全体を管理するセントラル DM，定められた地域内の情報を管理する中域 DM，データ蓄積サーバで構成される（図 3）。データ蓄積サーバは，データ連携 PF が収集・統合した情報を保存するためのサーバであり，情報を保存する場合にのみ必要となる。中域 DM を設けているのは，広域の交通サービスでは，車載/路側 DM との間の通信遅延が問題になる処理を，1 つのサーバで実行するのが難しいためである。

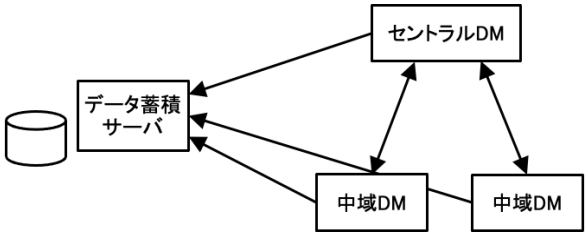


図 3. データ連携サーバの構成

図 3 は論理的な構成を示すものであり，物理的には，データ連携サーバを構成する機能の複数を 1 つのサーバで動作させることも可能である。物理的な構成の例については，6章で述べる。ただし，中域 DM は，車載/路側 DM との間の通信遅延が小さいサーバで動作させることが必要である。

協調型路側機

センサー，路側 DM，無線機等を一体にした路側に設置する装置。信号機と一体で設置する形態も考えられる。

遠隔運転/監視システム

自動運転車を遠隔運転または遠隔監視するためのシステム。無人運転を実現する際に必要となる。

自動運転車と遠隔運転/監視システムとの間の通信は，データ連携 PF が扱う範囲外とする。通信回線としては，車載 DM とデータ連携サーバとの間の V2N 通信に用いる回線と共用しても良い。

遠隔運転/監視システムが，データ連携 PF が管理する情報を取得する場合には，データ連携サーバからデータを取得することを想定している。

交通制御（管制）システム

交通網を監視し，信号機の制御等を通じて，それを制御するシステム。公道においては，交通管理者が設置する交通管制センターのシステムがこれに該当する。限定領域の交通サービスでは，遠隔運転/監視システムと一体になっていることも考えられる。

5. セキュリティアーキテクチャ

この章では，データ連携 PF を構成する通信ノード（セントラル DM，中域 DM，路側 DM を含む協調型路側機，車載 DM を含む車両。以下，データ連携ノードと呼ぶ）間の通信のセキュリティを確保するための原則について規定する。ただし，データ連携ノード間の通信に，既存の通信インタフェースを用いる場合には，この原則が適用できるとは限らない。また，データ連携アーキテクチャに掲載されている他の通信ノードとの間の通信についても，この原則の適用範囲外である。

5.1 登録，認可，証明書

データ連携 PF 内に，独自の公開鍵基盤（PKI；Public Key Infrastructure）を持つ。データ連携ノード（セントラル DM，中域 DM，協調型路側機，車両）は，独自の PKI に登録され，そこから発行された証明書を用いて認証された通信を行う。

独自の PKI は，1 つのルート認証局，1 つまたは複数の登録局，1 つまたは複数の認可局で構成される（図 4）。データ連携ノードは，登録 ID を用いて登録局に登録され，登録証明書の発行を受ける。車両は，登録証明書を用いて，認可局に対して仮名 ID の発行を依頼する。認可局は，登録局からの承認を得て，仮名 ID と仮名証明書を発行する。登録局と認可局の証明書は，ルート認証局が発行する。

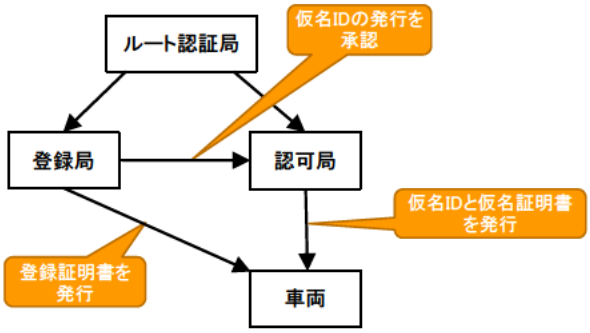


図 4. PKI の構成

ルート認証局はセントラル DM と同じサーバ上に，登録局はセントラル DM または中域 DM と同じサーバ上に，認可局は中域 DM または路側 DM と同じサーバ上に置くことを想定している。登録局が持つ情報と認可局が持つ情報を統合すると，仮名 ID から車両を特定することが可能となるため，プライバシ情報のセキュリティ強度を高めるためには，登録局と認可局は別のサーバに置くべきである。さらに，プライバシ情報をサーバ管理者からも守るためには，登録局と認可局は別の組織が運用すべきである。また，認可局は地域ごとに置き，少なくとも地域ごとには，用いる仮名 ID を変更する方が良い。

5.2 セキュリティ確保のための通信プロトコル

2 つのデータ連携ノードが 1:1 通信を行う場合には，独自の PKI を用いて相互に認証を行い，通信データの機密性と完全性を確保する。あるデータ連携ノードが情報をブロードキャストする場合には，独自の PKI を用いた署名を付加することで，通信データの完全性を確保する。その際に，車両は，プライバシー保護のために，仮名 ID とその仮名証明書を用いて認証を行う。

具体的な通信プロトコルとして，TCP による 1:1 通信の場合は TLS，UDP による 1:1 通信の場合は DTLS を用いる。

6. 物理的な構成の例

6.1 広域の交通サービスの場合

広域(市町村全体，都道府県全体，国全体など)の交通サービスの場合，セントラル DM をクラウドサーバ，地域ごとの中域 DM を MEC(Mobile Edge Computing あるいは Multi-access Edge Computing)サーバで動作させることを想定しているが，この構成に限定されるわけではない。例えば，市町村や都道府県単位のサービスの場合は，セントラル DM も MEC サーバに置くことが考えられる。また，セントラル DM や中域 DM を，交通制御(管制)システムと同一のサーバで動作させることも考えられる。

信号機は交通管理者(警察)が管理し，信号の現示やその変化予定に関する情報は，信号機から直接 V2I 通信により車両に，または SIP-adus で検討されている信号情報センターからデータ連携サーバを経由して V2N 通信により車両に届けられる。

遠隔運転/監視システムは，自動運転サービスを提供する事業者毎に設置することになる。

6.2 限定領域(公共空間)の交通サービスの場合

限定された公道上での交通サービスの場合，自動運転サービスを提供する事業者が交通サー

ビスを監視・制御する施設を置き，遠隔運転/監視システム，セントラル DM，中域 DM，ルート認証局，登録局，認可局を，その施設に設置したサーバで動作させる方法が考えられる。または，一部の機能を，クラウドサーバまたは MEC サーバで動作させる方法もある。この構成で，サーバ 1 とサーバ 2 の管理者が同一である場合には，サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが，限定領域(公共空間)の交通サービスでは，自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため，そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

信号機と信号情報については，広域の交通システムの場合と同様であるが，交通管理者が信号情報を提供するサービスを用意していない場合には，サービス事業者が，交通管理者の許可を得て，信号機に路側 DM を設置する方法も考えられる。

限定領域(公共空間)の交通サービスの場合の物理構成の一例を図 5 に示す。

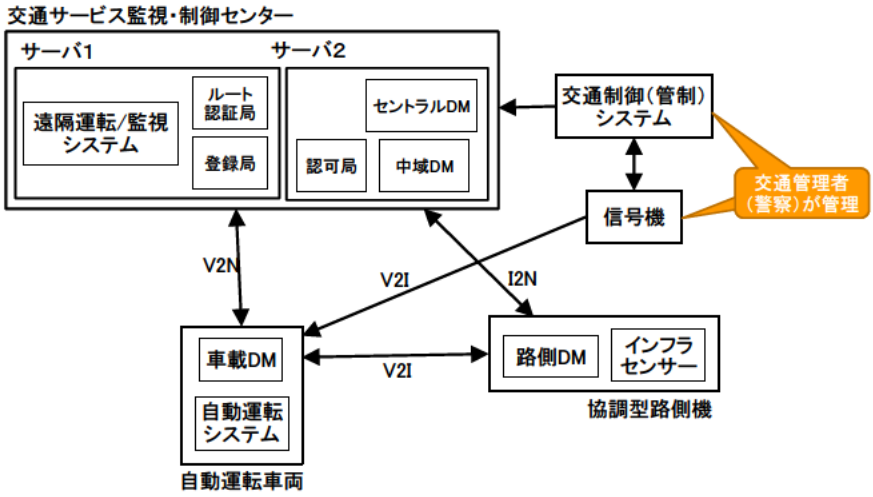


図 5. 限定領域(公共空間)の交通サービスの場合の物理構成例

6.3 限定領域(私有地)の交通サービスの場合

私有地(テーマパーク，大規模リゾートなど)内での交通サービスの場合，私有地内の交通サービスを監視・制御する施設を置き，遠隔運転/監視システム，交通制御(管制)システム，セントラル DM，中域 DM，ルート認証局，登録局，認可局のすべてを，その施設に設置したサーバコンピュータで動作させる方法が有力である。この構成では，サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが，限定領域(私有地)の交通サービスでは，自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため，そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

限定領域(私有地)の交通サービスの場合の物理構成の一例を図 6 に示す。

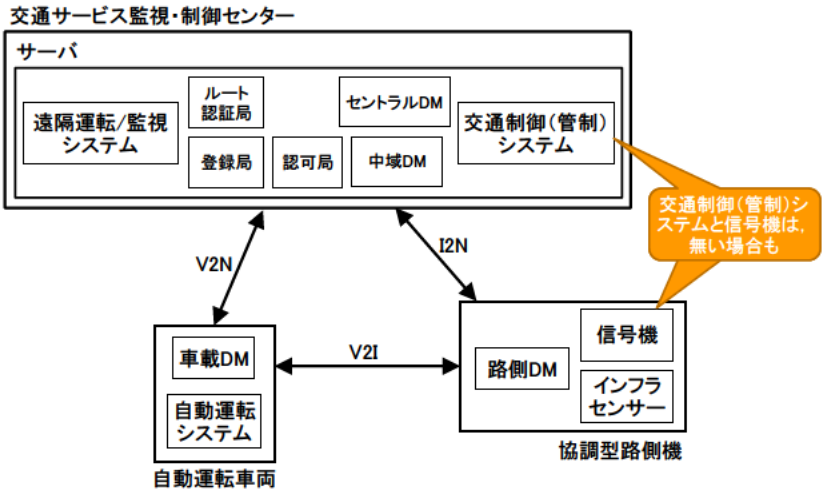


図 6. 限定領域(私有地)の交通サービスの場合の物理構成例

7. 関連仕様の位置づけ

7.1 CooL4 データ連携 PF API 仕様

データ連携 PF と外部とのインタフェースを，わかり易さのために，API と呼ぶことにする。API の仕様は，「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案)」で規定する。

データ連携 PF を実現するためには，すべての API を定義する必要があるが，CooL4 プロジェクトでは，標準化する必要性の高いインタフェースから順に検討するアプローチをとる。具体的には，以下の 3 つの API の検討から開始する(番号は図 2 中の番号に対応)。

(1) 車載 DM が，自動運転システム等に対して情報を提供するための API。提供する情報としては，物標情報，フリースペース情報，信号情報，デジタル道路地図を考える。自動運転システム等は，車載 DM に対して，提供を求める情報をクエリによって指定する。

(2) 自動運転システム等が，車載 DM に対して情報を提供するための API。提供する情報としては，自車両に関する情報(物標情報)と，車載センサーにより認識した物標情報とフリースペース情報を考える。

(3) インフラセンサーが，路側 DM に対して情報を提供するための API。提供する情報としては，インフラセンサーにより認識した物標情報とフリースペース情報を考える。

「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案)」の現バージョンでは，上記の 3 つのインタフェースで受け渡す物標情報，フリースペース情報，信号情報の論理データフォーマットと，データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するための論理データフォーマットを規定している。

7.2 CooL4 通信インタフェース仕様

データ連携 PF を構成するデータ連携サーバ，路側 DM，車載 DM の間の通信インタフェース仕様は，「CooL4 通信インタフェース仕様(案)」で規定する。

「CooL4 通信インタフェース仕様(案)」の現バージョンでは，次の 4 種類の通信方法を規定している。

(1) IP ジェネラル

有線回線または LTE/5G 回線上での一般的な IP 通信。通信相手の IP アドレスはわかっていることが前提。データ連携サーバと路側 DM の間，データ連携サーバと車載 DM の間の通信に適用する。

(2) SP ブロードキャスト

無線ネットワーク上でのブロードキャストによる通信。無線ネットワークとしては，700MHz 帯 ITS 無線等を想定している。路側 DM と車載 DM の間，車載 DM の相互間の通信に適用する。

(3) DM2 モバイル

LTE/5G 回線上での IP 通信。通信相手の IP アドレスは，車両の位置に基づいて検索する必要がある。路側 DM と車載 DM の間，車載 DM の相互間の通信に適用する。

(4) DM2 アドホック

無線ネットワーク上での IP 通信。無線ネットワークとしては，5.9GHz 帯の PC5 または DSRC を想定しているが，実証実験においては，2.4GHz 帯の WiFi を用いる。路側 DM と車載 DM の間，車載 DM の相互間の通信に適用する。

また，通信データのセキュリティとプライバシを確保するための仮名 ID 方式について解説している。

7.3 CooL4 協調型路側機仕様

センサー，路側 DM，無線機等を一体にして路側に設置する協調型路側機の仕様は，「CooL4 協調型路側機仕様（案）」で規定する。

「CooL4 協調型路側機仕様（案）」の現バージョンでは，協調型路側機の機能と基本構成を提示し，複数のセンサからの情報を融合するレベルとして次の 3 つを提示している。。

(1) センサ拡張

複数のセンサからの生データ（映像，点群など）を収集し，それに対して認識処理を行う方式。

(2) センサ融合

各センサのデータに対して一次処理を行い，中間的なデータ形式（例えば，占有グリッド）で収集し，それに対して認識処理を行う方式。

(3) オブジェクト統合

各センサのデータに対して認識処理を行い，認識結果のデータを収集し，それを統合する処理を行う方式。

付録 A. バージョン履歴

2022 年 3 月 14 日	version 0.6.0	2021 年度の最終版
2023 年 3 月 15 日	version 0.7.0	2022 年度の最終版

A.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所

- データ連携サーバの構成について記述
  - ➢ データ連携サーバが，セントラル DM，中域 DM，データ蓄積サーバで構成されることを

記述し，それらの物理配置に関する記述を追加した。

- ➢ データ蓄積サーバを，データ連携アーキテクチャの図から削除し，データ連携サーバの構成図に記載した。

- セキュリティアーキテクチャに関して記述（5章）
- 物理的な構成の例を記述（6章）
- 用語の変更
  - ➢「キャリア DM」→「中域 DM」

CooL4 データ連携 PF API 仕様（案）
version 0.7.0

最終更新日：2023 年 3 月 15 日

執筆者：高田広章（名古屋大学）

目次

1. ドキュメントの位置付け 2
2. 参照文献 3
3. 動的情報のデータフォーマット 4
3.1 仕様策定の方針 4
3.2 物標情報のデータフォーマット 4
3.2.1 基本方針 4
3.2.2 データフォーマット 5
3.2.3 物標 ID の構成 9
3.2.4 位置の表現方法 10
3.2.5 論点 13
3.3 フリースペース情報のデータフォーマット 13
3.3.1 基本方針 13
3.3.2 フリースペースの表現の考え方 14
3.3.3 データフォーマット 15
3.3.4 論点 16
3.4 信号情報のデータフォーマット 16
3.4.1 基本方針 16
3.4.2 データフォーマット 17
3.4.3 信号灯器 ID の構成 19
3.4.4 地図に対する要求 20
3.4.5 論点 20
3.5 物理フォーマットとの関係 20
4. デジタル道路地図のデータフォーマット 22
4.1 仕様策定の方針 22
4.2 デジタル道路地図の格納形式 22
5. データ型の定義 29
付録 A. 既存の物標情報のデータフォーマットとの関係 40
付録 B. バージョン履歴 44

1. ドキュメントの位置付け

このドキュメントは，CooL4 プロジェクトにおいて実現を目指すデータ連携プラットフォーム（データ連携 PF）の API 仕様を定義するものである。

CooL4 は，標準を作成する活動ではなく，標準の叩き台となる技術開発や技術評価を目的とするプロジェクトである。そのため本仕様には，CooL4 の中で開発・評価していきたい技術（逆に言うと，現時点では有益であることが検証されていない技術）も含まれている。本仕様は，CooL4 における机上検討や実証実験の結果等を踏まえて，CooL4 の実施期間を通じてブラッシュアップしていく計画である。

現時点で，このドキュメントで規定している API 仕様は，次の通りである。

- CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）（文献[1]）の図 2 に示す(1)～(3)のインタフェースを流れる次の 3 種類の情報の論理フォーマット。
  - 物標情報
  - フリースペース情報
  - 信号情報
- データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するための論理データフォーマット

また，データ連携 PF 内のデータを検索するためのクエリ言語としては，文献[12]に定義されているものを用いる。CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）では，(1)のインタフェースを通してデータを取得するかの指定に，このクエリ言語を使用する。

2. 参照文献

[1] CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）version 0.7.0（2023 年 3 月 14 日）.

[2] ETSI TS 102 894-2 V1.3.1 (2018-08). Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary.

[3] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service.

[4] ETSI TR 103 562 V2.1.1 (2019-12). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2.

[5] ITS Connect 推進協議会: ITS Connect システム 車車間通信メッセージ仕様 ITS Connect TD-001 1.0 版.

[6] ISO 17572-4:2020. Intelligent transport systems (ITS) — Location referencing for geographic databases - Part 4: Precise relative location references (precise relative profile).

[7] UTMS 協会: ITS 無線路側機 DSSS 用 路車間通信アプリケーション規格「版 1」（B3U01010）.

[8] ISO/TS 19091:2019. Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections.

[9] 2020 年度「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期／自動運転（システムとサービスの拡張）／自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る研究開発」成果報告書.

[10] F. Poggenhans, J.-H. Pauls, J. Janosovits, et.al.: Lanelet2: A high-definition map framework for the future of automated driving, 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2018 年 11 月.

[11] Lanelet2, https://github.com/fzi-forschungszentrum-informatik/Lanelet2.

[12] DM2.0 クエリ言語仕様書 Version 4.00（2022 年 3 月 28 日）.

3. 動的情報のデータフォーマット

3.1 仕様策定の方針

動的情報のデータフォーマットの仕様策定にあたって，以下の設計原則を設定する。

- 必須のデータ項目以外のすべてのデータ項目に「不明」を設定できるようにする。これは，情報源によって，得られるデータ項目が異なるためである。
- 認識によって得られるすべての数値データ項目に，精度の情報を持たせるようにする。これは，複数の情報源からの情報を統合する時に必要となるためである。精度は数値で表現し，精度が x であるとは，誤差（真値と計測値の差）の絶対値が x 以下である確率が 95%になることを言う。例えば，物標情報に含まれる速さが 10m/s，速さの精度が 1m/s の場合，真の速さが 10m/s±1m/s の区間に入る確率が 95%であることを表す。計測値が正規分布に従う場合，精度は，誤差の標準偏差の約 2 倍（いわゆる 2σ）となる。
- 各情報を通信メッセージに格納するための物理フォーマットは，このドキュメントでは規定せず，別に規定するものとする。各情報を短いデータ長で表現する方法については，別規定に委ねる。
- 長さの単位は，原則として 0.01m（＝1cm）とする。
- 方位/角度の単位は，原則として 0.01 度とする。

文献[2][4][5][7]には，様々な種類のデータの表現方法の定義があり，それらが適用可能な場合には，そのまま採用する方針とする。

3.2 物標情報のデータフォーマット

物標情報とは，道路上に存在する移動物体（車両や歩行者など）の位置や状態に関する動的な情報である。

3.2.1 基本方針

物標情報の情報源として，その物標自身と，その物標を外部から観測するセンサーの 2 つが考えられる。以下では，その物標自身からの物標情報を自己物標情報，外部からの観測によって得られた物標情報を認識物標情報と呼ぶ。物標情報として得られる情報量は，自己物標情報と認識物標情報で大きく異なるが，CooL4 データ連携 PF は，両方の情報を統合することから，どちらにも対応できるようにデータフォーマットを定義する。

自己物標情報のデータフォーマットとしては，車車間通信のメッセージセットがある。具体的には，欧州の車車間通信のメッセージセット仕様である文献[3]と，日本の車車間通信のメッセージセット仕様である文献[5]がある。また，認識物標情報のデータフォーマットとしては，協調認識サービスのメッセージセットとして欧州で提案されている文献[4]がある。これらのメッセージフォーマットをベースとして，物標情報のデータフォーマットを規定する。

本仕様における物標情報には，原則として動的な情報のみを含めることとし，静的な情報や準動的な情報（変化する情報であるが，位置や速さなどの動的情報ほどは変化しない情報）は含めない。これは，動的な情報とそれ以外の情報では，情報を送るべき頻度が異なるためである。車両に対する準動的な情報としては，運転者の属性（初心者，高齢者）や，路線バスの場合には系統番号などが考えられる。

ただし，物標に関する静的/準動的な情報であっても，車両の安全な運行に必要な情報や，物

標情報の統合に有益な情報は，含めることにする。また，必要がある場合には，仮名 ID をキーとして，車両に対する静的/準動的な情報を取得するためのインタフェースを別途用意することを検討する。

なお，認識物標情報においては，外部からの観測では得ることができないデータ項目は，不明の状態で渡すことになる。そのため，認識物標情報しか渡さないインタフェースにおいては，データ量削減のため，不明の状態で渡すことが決まっているデータ項目を削除して渡しても良い。例えば，CooL4 データ連携アーキテクチャ案（文献[1]）の図 2 の(3)のインタフェースでは，認識物標情報しか渡されない。データ項目の具体的な削減方法については，物理フォーマットの規定に委ねる。

3.2.2 データフォーマット

物標情報のデータフォーマットは次の構成とする。

- 物標 ID［必須］
- 情報取得時刻［必須］
- 物標種別
- 存在信頼度
- 位置と移動
  - 物標位置［必須］
  - 物標参照位置
  - 移動方向
  - 速さ
  - 回転速度
  - 前後加速度
- 物標の状態／属性
  - 物標の向き
  - 物標のサイズ
  - 物標の色
  - 車両の状態等
    - ✧シフトポジション
    - ✧前輪舵角，後輪舵角
    - ✧ブレーキ状態
    - ✧補助ブレーキ状態
    - ✧アクセルペダル開度
    - ✧灯火の状態
    - ✧各種のシステムの作動状態
    - ✧車両用途種別
    - ✧車両用途種別毎の状態

✧牽引車両

- 情報源のリスト[必須]

この他に，将来のユースケースのためには，移動予定経路を含める必要があるが，現時点ではスコープ外としている。

この中で，「車両の状態等」に含まれる各データ項目は，その多くが外部からの観測では得ることができない情報であり，車両からの自己物標情報において使用されることを想定している。自車両の状態等は，高い精度・信頼度で取得することができるため，それらのデータ項目に対しては，精度や分類信頼度の情報は持たせていない。

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

物標 ID

自己物標情報においては，仮名 ID（Pseudonym ID）を用いる。認識物標情報においては，物標を観測した機器または情報を統合した機器が，物標の同一性を示すため（トラッキングのため）に付与する ID（以下，認識物標 ID と呼ぶ）を用いる。物標 ID は，ある時刻においてはユニークになるように割り付ける（言い換えると，異なる物標に同じ ID 割り付けない）ものとする。

表現方法は，64 ビットの符号なし整数とする。物標 ID の構成については 4.3 節で述べる。

複数の物標情報を統合する場合には，統合前の物標情報のいずれかの物標 ID を，統合後の物標 ID とする。統合対象に自己物標情報が含まれている場合には，その物標 ID を用いる。ここで，ある物標情報が自己物標情報であるか否かは，物標情報の物標 ID が情報源のリストに含まれているかどうかで判断する。物標情報の物標 ID の構成（自己の物標 ID は上位 2 ビットが 01 であること）から判断すべきではない。

情報取得時刻

物標情報を得た時刻。

表現方法は，文献[2]の DE_TimestampIts を採用する。

物標種別

物標の種別とその分類信頼度のリスト。リストのサイズは 0 以上 4 以下とする。

物標の種別は物標の静的な情報であるが，車両の安全な運行に必要で，物標情報の統合にも有益と考えられるため，ここに含めている。

種別とその分類信頼度の表現方法は，文献[4]の DF_ObjectClass を採用する。

存在信頼度

物標が存在する確率。言い換えると，実際には物標が存在しない確率を，1 から引いた値。

表現方法は，独自に定義する「DE_存在信頼度」を用いる。

物標位置

物標の位置。

位置の表現方法については 4.4 節で説明する「DF_位置情報」を用いる。

物標参照位置

物標位置が，物標のどの場所を表しているか。

表現方法は，独自に定義する「DE_物標参照位置」を用いる。

移動方向

物標の移動方向とその精度。移動方向は，物標の向きとは一致するとは限らない。

表現方法は，独自に定義する「DF_WGS84 方位」を用いる。文献[4]の DF_WGS84Angle は，0.1 度単位であるため用いない。

速さ

物標の移動の速さとその精度。

速さの表現方法は，文献[4]の DE_SpeedExtended を採用するが，データ型の名称は DE_Speed とする。精度の表現方法は，独自に定義する「DE_速さ精度」を用いる。文献[2]の DE_SpeedConfidence は，表現できる値の範囲が狭いため用いない。

回転速度

物標の回転速度（ヨーレート）とその精度。

回転速度の表現方法は，文献[2]の DE_YawRateValue を採用する。精度の表現方法は，独自に定義する「DE_回転速度精度」を用いる。文献[2]の DE_YawRateConfidence は，他の精度の表現方法との整合性がないため用いない。

前後加速度

物標の前後加速度とその精度。

表現方法は，独自に定義する「DF_前後加速度」を用いる。文献[2]の DF_LongitudinalAcceleration は，0.1m/s^2 単位であるため用いない。

物標の向き

物標の向きとその精度。

表現方法は，独自に定義する「DF_WGS84 方位」を用いる。

物標のサイズ

物標のサイズとその精度。具体的には，物標のバウンディングボックスの長さ，長さの精度，幅，幅の精度，高さ，高さの精度。

物標のサイズは物標の静的な情報であるが，車両の安全な運行に必要で，物標情報の統合にも有益と考えられるため，ここに含めている。

表現方法は，独自に定義する「DF_物標サイズ」を用いる。「DF_物標サイズ」に含む長さとその精度，幅とその精度，高さとその精度をそれぞれ，独自に定義する「DF_物標寸法」で表現する。文献[4]の DF_ObjectDimension は，0.1m 単位であるため用いない。

物標の色

物標の色。複数の色がある場合には，主たる色を表す値とする。また，中間的な色の場合は，最も近い色を表す値とする。

物標の色は物標の静的な情報であるが，物標情報の統合に有益と考えられるため，ここに含めている。

表現方法は，独自に定義する「DE_物標色」を用いる。

シフトポジション

車両のシフトポジション。

表現方法は，文献[5]の「DE_シフトポジション」を採用する。

前輪舵角，後輪舵角

車両の前輪と後輪の舵角。

表現方法は，いずれも，独自に定義する「DE_舵角」を用いる。

ブレーキ状態

車両のブレーキの状態。

表現方法は，文献[5]の「DE_ブレーキ状態」を採用する。

補助ブレーキ状態

車両の補助ブレーキの状態。

表現方法は，文献[5]の「DE_補助ブレーキ状態」を採用する。

アクセルペダル開度

車両のアクセルペダルの操作量。

表現方法は，文献[5]の「DE_アクセルペダル開度」を採用する。

灯火の状態

車両の灯火の状態。

表現方法は，文献[5]の「DE_灯火類状態」または文献[2]の DE_ExteriorLights を採用する。

各種のシステムの作動状態

車両の各種のシステムの作動状態。

表現方法は，文献[5]の「DE_ACC 作動状態」「DE_C-ACC 作動状態」「DE_PCS 作動状態」「DE_ABS 作動状態」「DE_TRC 作動状態」「DE_ESC 作動状態」「DE_LKA 作動状態」「DE_LDW 作動状態」などを組み合わせたものを用いる。自動運転システムなど，新規のシステムの追加について検討する必要がある。

車両用途種別

車両の用途種別。

表現方法は，文献[5]の「DE_車両用途種別」または文献[2]の DE_VehicleRole を採用する。

車両用途種別毎の状態

車両の用途種別毎の状態。

表現方法は，文献[5]の「DF_拡張情報」または文献[3]の SpecialVehicleContainer を採用する。ただし，「DF_拡張情報」を用いる場合，255 を不明値として使用する。

牽引車両

車両を牽引している車両の物標 ID。

隊列走行の場合の電子牽引も同じ扱いとする。牽引されていない場合には，不明を表す値とする。

情報源のリスト

物標情報の情報源のリスト。リストのサイズは，1 以上 4 以下とする。

情報源は，自己物標情報の場合はその物標自身の物標 ID，認識物標情報の場合は観測機器を表現するための物標 ID で表す。複数の物標情報を統合して得られた物標情報においては，統合前の情報源のリストを結合したリストとする。結合にあたっては，その物標自身の物標 ID が含まれていればそれを最初に置き，残りの情報源は，貢献度が大きいと考えられる順に並べるものとする。結合した結果，リストのサイズが 4 を超える場合には，リストの先頭から順に 4 つまでの情報源を含めるものとする。

ここで，ある物標 ID がその物標自身の物標 ID であるか否かは，物標情報の物標 ID と一致しているかどうかで判断する。物標 ID の構成（自己の物標 ID は上位 2 ビットが 01 であること）から判断すべきではない。

情報源のリストは，物標情報を統合する際に利用することを想定している。情報源のリストがない場合，例えば，1 つの情報源からの認識物標情報が複数の経路で届いた場合に，それらを独立に認識した情報と考えて，信頼度が高いと誤認するおそれがある。また，情報が循環することで，誤った情報が流通するおそれも考えられる。

3.2.3 物標 ID の構成

物標 ID は，自己物標情報においては仮名 ID（Pseudonym ID），認識物標情報においては認識物標 ID を用いる。また，物標情報の対象とならない協調型路側機にも，物標 ID を割り当てる（情報源を表現するために用いる）。さらに，必須でないデータ項目に物標 ID が入る場合のために，不明を表す値を設ける。物標 ID は，これらが同じ値とならないように構成する必要がある。

仮名 ID は，仮名 ID を付与した認可局の ID と，その認可局が付与する番号で構成する。

認識物標 ID は，観測/統合機器の ID と，観測/統合機器が付与する番号で構成する。観測/統合機器の ID は，観測/統合機器が協調型路側機である場合はその恒久的な ID（以下，機器 ID と呼ぶ），車両である場合にはその仮名 ID とする。

仮名 ID には，機器 ID よりも多くのビット数が必要と考えられる。一方で，観測/統合機器が付与する番号については，1 箇所に設置されたセンサーの情報を扱う車両と，多くの箇所に設置されたセンサーからの情報を統合する可能性のある協調型路側機では，後者の方が多くのビット数が必要と考えられる。そこで，観測/統合機器が協調型路側機である場合と車両である場合で，ビット数の割当てを変える方法が有力である。

以下では，物標 ID を 64 ビットに収めることを前提に，具体的なビット数の割り当てについて検討する。

文献[2]では，DE_StationID は 32 ビットの符号なし整数で，ここに機器 ID または仮名 ID を入れることになっている。しかし，仮名 ID を頻繁に変更するユースケースを考えると，1 つの認可局が付与する番号にもある程度のビット数を確保することが必要であり，認可局の ID とあわせて 32 ビットでは，十分でないと考えられる。

観測/統合機器が付与する番号は，文献[4]の objectID が 8 ビットで構成されていることを参考にすると，1 箇所に設置されたセンサーの場合には 8 ビット以上が目安となる。

以上を踏まえて，物標 ID を 64 ビットに収めるために，仮名 ID を 50 ビットとし，物標 ID の構成を以下のようにする。なお，機器 ID は 0 以外の値とする。

不明

0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

協調型路側機を表現するための物標ID

00	予約（30ビット）	機器ID（32ビット）

自己情報に用いるID（仮名ID）

01	予約（12ビット）	仮名ID（50ビット）

協調型路側機による認識物標情報に用いるID（認識物標ID）

10	協調型路側機が付与する 番号（30ビット）	機器ID（32ビット）

車両による認識物標情報に用いるID（認識物標ID）

11	車両が付与する 番号（12ビット）	仮名ID（50ビット）

3.2.4 位置の表現方法

位置は，次の 5 つの方法で表現できるようにする。また，位置精度の情報も持たせる。

- 経度緯度高さ
- 平面直角座標と高さ
- CRP＋オフセット
- レーン番号カウント
- レーン ID＋オフセット

「CRP＋オフセット」は文献[6]の Method 2，「レーン番号カウント」は文献[6]の Method 1 に基づき，独自の修正/拡張を加えた方法である。「レーン ID＋オフセット」は，自動運転システム向けの標準的なデジタル道路地図（以下，標準地図と呼ぶ）があることを前提とした独自の方法である。

位置情報が必須データ項目である場合，5 つの方法のいずれかで位置が表現されていなければならないものとする。

具体的には，位置のデータフォーマット「DF_位置情報」は次の構成とする。

- 経度緯度高さ
  - 測地系
  - 緯度
  - 経度
  - 高さ
- 平面直角座標と高さ
  - 座標系
  - X 座標
  - Y 座標
  - 高さ
- CRP＋オフセット
  - CRP ID

- dx_CRP
- dy_CRP
- dh_CRP

- レーン番号カウント
  - レーン数
  - レーン番号
  - レーン内横方向位置
  - 縦方向位置
    - ✧始点 CRP ID
    - ✧終点 CRP ID
    - ✧道のり距離の比率
- レーン ID＋オフセット
  - レーン ID
  - dx_レーン
  - dy_レーン
  - dh_レーン
- 位置精度
  - 水平方向位置精度楕円長半径
  - 水平方向位置精度楕円短半径
  - 水平方向位置精度楕円回転角
  - 高さ方向位置精度

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

測地系

位置の表現に用いる測地系の種類。

表現方法は，独自に定義する「DE_SRID」を用いる。

緯度

指定された測地系に基づく緯度。

表現方法は，文献[2]の DE_Latitude を採用する。

経度

指定された測地系に基づく経度。

表現方法は，文献[2]の DE_Longitude を採用する。

高さ

指定された測地系または座標系に基づく高さ。

表現方法は，文献[2]の DE_Altitude を採用する。

座標系

位置の表現に用いる座標系の種類。

表現方法は，独自に定義する「DE_SRID」を用いる。

X 座標，Y 座標

指定された座標系に基づく X 座標と Y 座標。

表現方法は，それぞれ 32 ビットの符号付き整数とする。

CRP ID

位置参照の基準点として用いる CRP（Common Reference Point）の ID。

表現方法は，32 ビットの符号なし整数とする。

dx_CRP，dy_CRP，dh_CRP

CRP からの相対距離。dx_CRP は WGS84 の東西方向（東が正），dy_CRP は WGS84 の南北方向（北が正），dh_CRP は WGS84 の高さ方向（上が正）の距離を表す。

それぞれの表現方法は，文献[4]の DE_DistanceValue を修正して採用する。

レーン数

物標のある場所における車両が走行するためのレーンの数。路側はレーンとして数えない。

表現方法は，独自に定義する「DE_レーン数」を用いる。

レーン番号

物標の横方向位置を表すためのレーンの番号（物標があるのは何レーン目か？）。

表現方法は，文献[2]の DE_LanePosition を拡張したものを用いる。

レーン内横方向位置

レーン内での物標の横方向位置。レーン幅に対する比率で表現する。

表現方法は，独自に定義する「DE_レーン内横方向位置」を用いる。

縦方向位置

物標の始点および終点の CRP の ID と，物標の縦方向位置の道のり距離の比率。

道のり距離の比率の表現方法は，独自に定義する「DE_距離比率」を用いる。

レーン ID

物標の位置の標準地図におけるレーンの ID。

表現方法は，64 ビットの符号なし整数とする。

dx_レーン，dy_レーン，dh_レーン

レーンの基準位置からの相対距離。dx_レーンは WGS84 の東西方向（東が正），dy_レーンは WGS84 の南北方向（北が正），dh_レーンは WGS84 の高さ方向（上が正）の距離を表す。レーンの基準位置は，レーンの始点（横方向はレーンの中央）の位置とする。

それぞれの表現方法は，文献[4]の DE_DistanceValue を修正して採用する。

位置精度

水平方向位置精度を表すための 95%の確率で正しい位置を含む楕円（95%信頼楕円）と，高

さ方向位置の精度。

水平方向位置精度楕円長半径と水平方向位置精度楕円短半径の表現方法は，文献[2]の DE_SemiAxisLength を，楕円長径の向きを示す水平方向位置精度楕円回転角の表現方法は，独自に定義する「DF_WGS84 方位値」を用いる。高さ方向位置精度の表現方法は，独自に定義する「DE_高さ精度」で表現する。文献[2]の DE_AltitudeConfidence は用いない。

3.2.5 論点

- 含めなかったデータ項目の中で，含めた方が良いものはあるか？
- 方位/角度の単位は，文献[5]において 0.0125 度であったため，原則 0.01 度としたが，0.1 度で十分ではないか？
- 物標情報/フリースペース情報が統合された時に，どのように統合されたかがわかると有益と考えられる。物標情報/フリースペース情報中に情報源のリストを含めたことで，どのように統合されたかがある程度はわかるが，さらに直接的に，統合前の物標 ID（のリスト）を含める方法が考えられる。また，物標情報/フリースペース情報とは別に，物標 ID の統合情報を設ける方法も考えられる。
- 物標の静的な情報は，車両の安全な運行に必要であったり，情報の統合に有益である一方で，車両の長時間の追跡も容易にしてしまう。車両の安全な運行に必要な情報は含めるべきであるが，情報の統合に有益な情報は，プライバシー保護とのトレードオフの関係になり，どこまでの情報を含めるべきかの決定が難しい。本仕様では，物標の色を含めたが，車両の車種やメーカーは含めなかった。
- 位置精度は，5 つの位置表現に対して共通で 1 つ持つ方法で十分か？位置表現毎に持つ必要があるか？

3.3 フリースペース情報のデータフォーマット

フリースペース情報とは，道路上の移動物体が存在しない領域に関する情報である。

物標情報のみを伝達する場合，物標情報がない場所（領域）は，移動物体が存在しないのか，センサーの検知範囲外であるのかが区別できない。フリースペース情報は，移動物体が存在しない領域を明示することで，センサーの検知範囲外の領域と区別するために用いる。また，物標を見逃している確率は，物標情報では表すことができず，フリースペースの存在信頼度を用いる必要がある。

3.3.1 基本方針

フリースペースの表現方法として，文献[4]では，センサーの検知範囲と物標情報を伝達し，情報を受け取った側で，それらの情報からオクルージョンを計算してフリースペースを求める方法が提案されている。しかしこの方法は，複数のセンサーからの情報を統合することが考慮されていないことに加えて，フリースペースを求めるための計算量が大きいという課題がある。

そこで本仕様では，フリースペース情報を受け渡しするシステムがレーンレベルの地図を共有していることを前提として，ユースケースを踏まえたシンプルな表現方法を採用する。システムが異なるレーンレベル地図を持っている場合にも適用できるように考慮するが，レーンの定義が大きく異なる場合には適用できない。地図が異なる場合の適用性評価については，今後の課題である。

また，本仕様の表現方法は，道路上の車両が走行する部分のみを対象としている。歩道の扱いについても，今後の課題である。

3.3.2 フリースペースの表現の考え方

フリースペースは，連続するレーン（幅をもった車線）の一部分とし，その始点と終点の位置で表現する（図 1）。図 1 において，レーン 1 とレーン 2 が連続していることは，レーンレベル地図から読み取れることを前提としている。

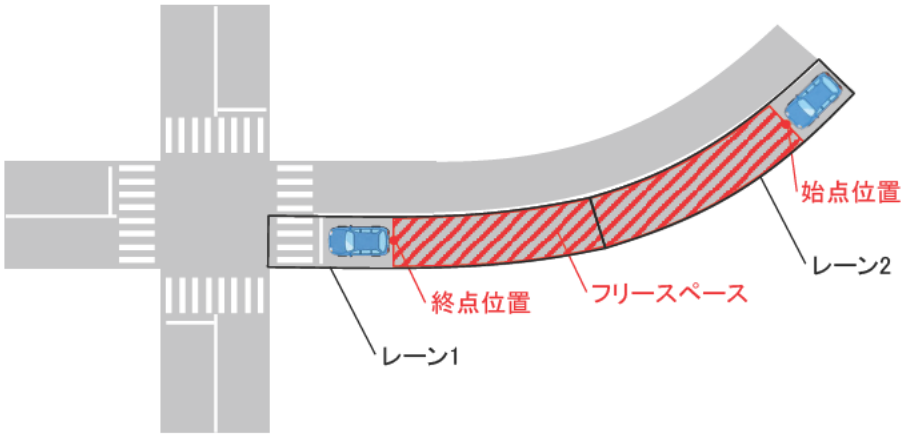


図 1. フリースペースの表現

フリースペース情報には，検知を漏らしている可能性のある物標の最大サイズ（検知漏れ物標サイズ）と，それを超えるサイズの移動物体が存在しない確率（存在信頼度）を持たせる。また，始点/終点位置を決めている物標/フリースペースがある場合には，その物標/フリースペースを識別するための情報を持たせる。検知漏れ物標サイズや存在信頼度がレーンの途中で大きく変わる場合は，フリースペースを分割する。

レーンが分岐/合流する場合，走行パス毎にフリースペース情報を生成する（図 2）。図 2 において，フリースペース 1 は直進/左折レーンに対するフリースペース，フリースペース 2 は右折レーンに対するフリースペースで，両者には重なっている領域がある。ゼブラゾーンの扱いについては，検討が必要である。

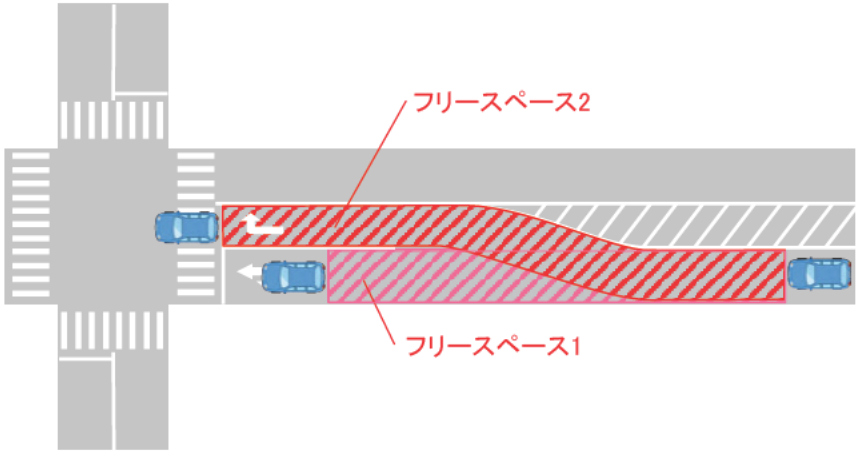


図 2. 分岐するレーンのフリースペース

長さが規定値より短い領域（車両が入ることができない領域。具体的な値は要検討。現時点での実装では 5m とする）は，フリースペースとしては扱わない。

3.3.3 データフォーマット

フリースペース情報のデータフォーマットは次の構成とする。

- フリースペース ID［必須］
- 情報取得時刻［必須］
- 存在信頼度
- 検知漏れ物標サイズ
- 始点位置［必須］
- 終点位置［必須］
- 長さ
- 始点物標 ID
- 終点物標 ID
- 情報源のリスト［必須］

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

フリースペース ID

フリースペースを観測した機器または情報を統合した機器が，フリースペースを識別するために付与する ID（認識物標 ID）。

表現方法は，物標情報の物標 ID と同一とし，物標とフリースペースに同一の ID を付与しないものとする。

情報取得時刻

フリースペース情報を得た時刻。

表現方法は，物標情報の情報取得時刻と同一（DE_TimestampIts）とする。

存在信頼度

フリースペースが存在する確率。言い換えると，検知漏れ物標サイズより大きい物標が実際には存在する確率を，1 から引いた値。

表現方法は，物標情報の存在信頼度と同一（DE_存在信頼度）とする。

検知漏れ物標サイズ

検知を漏らしている可能性のある物標の最大サイズ。

表現方法は，物標情報の物標のサイズの長さと同一（DE_物標寸法値）とする。

始点位置

フリースペースの（レーンの進行方向に対して）始点（横方向はレーンの中央）の位置。

表現方法は，物標情報の物標位置と同一（DF_位置情報）とする。

終点位置

フリースペースの（レーンの進行方向に対して）終点（横方向はレーンの中央）の位置。

表現方法は，物標情報の物標位置と同一（DF_位置情報）とする。

長さ

フリースペースの長さ（道のり距離）とその精度。

表現方法は，物標情報の物標のサイズの長さとその精度と同一（DF_物標寸法）とする。

始点物標 ID

フリースペースの始点の手前にある物標またはフリースペースの ID。始点の手前に物標もフリースペースもない場合（典型的には，始点の手前がセンサの検知範囲外である場合）には，不明を表す値とする。

終点物標 ID

フリースペースの終点の先にある物標またはフリースペースの ID。終点の先に物標もフリースペースもない場合（典型的には，終点の先がセンサの検知範囲外である場合）には，不明を表す値とする。

情報源のリスト

フリースペース情報の情報源のリスト。リストのサイズは，1 以上 4 以下とする。

情報源は，観測機器を表現するための物標 ID で表す。複数のフリースペース情報を統合して得られたフリースペース情報においては，統合前の情報源のリストを結合したリストとする。結合にあたっては，情報源を貢献度が大きいと考えられる順に並べるものとする。結合した結果，リストのサイズが 4 を超える場合には，リストの先頭から順に 4 つまでの情報源を含めるものとする。

3.3.4 論点

本仕様のフリースペースの表現方法には，レーンレベルの地図の共有を前提としていること，車両が走行する部分のみを対象としていること，という大きい制限がある。複数のセンサーからの情報の統合を考慮すると，フリースペースは複雑な形状になるため，一般には，フリースペースを多角形で表現する方法が考えられる。実際，文献[4]におけるフリースペースの表現方法は，センサーの検知範囲と物標情報から計算によりフリースペースを求める方法を基本としているが，この方法で表現できない場合に，多角形でフリースペースを表現することも可能と思われる。フリースペースのより柔軟な表現方法については，今後の課題である。

3.4 信号情報のデータフォーマット

ここで扱う信号情報は，信号の現示やその変化予定に関する情報である。

3.4.1 基本方針

信号情報を扱うデータフォーマットとしては，日本の路車間通信のメッセージセット仕様である文献[7]や，信号情報に関する ISO の技術文書である文献[8]がある。文献[8]では，米国，日本，欧州の仕様をそれぞれプロファイル A，B，C として規定しているが，プロファイル B は文献[7]に基づいている。また，SIP-adus では，自動運転システム向けに文献[7]のメッセージセットを拡張する検討を行っている。ここでは，文献[7]をベースに，SIP-adus の成果を取り込むなどの改良を加える形で，信号情報のデータフォーマットを定義する。

文献[7]のメッセージセットの信号情報は，1 つの交差点に設置されたすべての信号に関する情報を含んでいる。具体的には，交差点への流入方路と流出方路の「組」毎にどの信号灯器を見るべきかの情報と，各信号灯器の状態の情報を含んでいる。データ量削減のために，同じ状態の信号灯器をグルーピングし，1 つのデータで表現できるようにしている。メッセージ中の信号灯器 ID

は，信号灯器のグループを表すもので，1 つのメッセージ内でのみ有効な識別番号である。言い換えると，別のメッセージでは，信号灯器 ID の割り当てが異なる場合がある。SIP-adus における検討でも，この基本構造はそのまま踏襲している。

一方，自動運転システムが必要とするのは，通常，1 つのレーンから交差点に流入し，1 つのレーンに流出する時に見るべき信号の情報のみである。また，自動運転システムはデジタル道路地図を持つことが一般的であるため，静的な情報はできる限りデジタル地図に持たせる方が効率的である。具体的には，どの信号灯器を見るべきかの情報はデジタル地図に持たせたいが，信号灯器 ID が変わると静的なデジタル地図に持たせることができない。

そこで本仕様では，信号灯器 ID を静的に割り当てることでデジタル地図に持つことを可能にし，文献[1]の(1)のインタフェースには信号灯器の状態（これを，信号灯色情報と呼ぶ）のみを流すことを基本とする。また，同じ状態の信号灯器をグルーピングしてデータ量を削減することも可能にする。なお，(1)のインタフェースに静的なデジタル地図情報を流す方法については，別に定義する。

以上の他に，文献[7]のメッセージセットに対して変更を加えた点としては，伝送路の遅延に対応するために情報生成時刻を追加したこと，SIP-adus で検討されている感応式信号に対応するための情報を追加したこと，車灯器情報と歩灯器情報を統合したことなどが挙げられる。

3.4.2 データフォーマット

信号灯色情報のデータフォーマットは次の構成とする。

- 交差点 ID［必須］
- 信号灯器 ID のリスト［必須］
- 情報生成時刻［必須］
- 信号状態情報
- 特定制御動作中フラグ
- イベントカウンタ
- カウントダウン停止フラグ
- 灯色出力情報（以下のデータ項目で構成）のリスト［必須］
  - ➢ 灯色表示
    - ✧ 主灯色表示
    - ✧ 青矢信号表示
  - ➢ 最小残秒数
  - ➢ 最大残秒数

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

交差点 ID

信号が設置された交差点を識別するための ID。交通管理者が付与することを想定している。

単路部に設置された信号の場合には，信号設置箇所を識別するものとする。

表現方法は，32 ビットの符号なし整数とする。

信号灯器 ID のリスト

交差点内で論理的な信号灯器を識別するための ID のリスト。リストのサイズは，1 以上 8 以下

とする。

ここで識別する論理的な信号灯器とは，交差点のある流入レーンからある流出レーンへの進行可否を示す論理的な信号灯器で，物理的な信号機とは一般には一致しない。具体的には，青矢灯器を持った（物理的な）信号機は，流出レーンによって進行可否が異なるため，（論理的な）信号灯器としては複数のものと扱う必要がある。逆に，視認性を確保するなどの目的で，1 つの流入方路に対して，常に同一の現示を行う複数の（物理的な）信号機がある場合，それらは（論理的な）信号灯器としては区別しない。

信号灯器 ID は，8 ビットの符号なし整数で表現し，割り当ては静的に決まるものとする。具体的な構成については 6.3 節で検討する。

信号灯器 ID をリストにして複数指定できるようにしているのは，同じ状態の（論理的な）信号灯器が複数ある場合に，データ量を削減するためである。リストに含まれる信号灯器 ID の組み合わせは，動的に変化しても良い。同じ状態の信号灯器の数が 8 より多い場合には，（データ量の削減はあきらめて）複数の信号灯色情報に分割するものとする。

なお，信号灯器の種別（車両用信号灯器か歩行者用信号灯器か）は，信号灯器 ID から判別できるものとする。

情報生成時刻

信号灯色情報を生成した時刻。

表現方法は，物標情報の情報取得時刻と同一（DE_TimestampIts）とする。

信号状態情報

信号機の動作状態。進行中の SIP-adus の事業で検討されている。

特定制御動作中フラグ

信号灯色が通常と異なる変化を行う場合，または変化の可能性があることを示す情報。文献[9]で提案されており，進行中の SIP-adus の事業で拡張が検討されている。

イベントカウンタ

信号灯器の状態が，時間の経過から予測できる変化（残秒数の減少など）を超える変化を行った場合にカウントアップするカウンタ。この値が変化したことで，信号状態が変化したことを検出できる。

表現方法は，文献[7]の「DE_イベントカウンタ」を用いる。

カウントダウン停止フラグ

現在の灯色表示の最小残秒数が，カウントダウンされていくか否か。

表現方法は，文献[7]の「DE_カウントダウン停止フラグ」を用いる。

特定制御動作中フラグと役割に重複があるため，必要性については今後検討する。

灯色出力情報のリスト

現在の灯色表示とその変化予定を表すリスト。リストの先頭の灯色出力情報が，現在の灯色表示を表す。リストのサイズは，1 以上 12 以下とする。

主灯色表示

主たる灯器の表示灯色。

表現方法は，独自に定義する「DE_主灯色表示」を用いる。

青矢信号表示

青矢灯器の状態。

表現方法は，文献[7]の「DE_青矢信号表示方向」を用いる。ただし，この値が 0 か否か（すべてのビットが 0 か，いずれかのビットがセットされているか）だけが正確であり，各ビットの情報は正確であるとは限らないものとする。

最小残秒数

当該灯色が継続する最小秒数（0.1 秒単位）。

表現方法は，文献[7]の「DE_最小残秒数」を用いる。

最大残秒数

当該灯色が継続する最大秒数（0.1 秒単位）。

残秒数が確定している場合には，最小残秒数と最大残秒数に同じ値を格納する。

表現方法は，文献[7]の「DE_最大残秒数」を用いる。

3.4.3 信号灯器 ID の構成

信号灯器 ID は，文献[8]の SignalGroupID に相当するものである（ただし，SignalGroupID の割り当てが静的であることが前提になる）。SignalGroupID は，ある交差点内で常に同一の現示を行う（論理的な）信号灯器をグループ化して，1～254 の範囲のユニークな番号を割り振ったものである。0 は不明を示す値，255 は常に進行できることを示す値として予約されている。

信号灯器 ID に関する課題として，信号灯器 ID の割り当て主体（誰が信号灯器 ID を割り当てるか）の問題がある。以下では，国内において，信号灯器 ID の割り当てを容易にする方法について検討する。この方法に従うことで，例外的な状況を除いては，信号灯器 ID が機械的に割り当てられることになる。

国内では，車両用信号灯器については，一部の例外的な交差点を除いて，見るべき論理的な信号灯器は，流入方路と流出方路から決まる。歩行者用信号灯器については，論理的な信号灯器は物理的な信号機と一致し，横断する方路によって決まるのが一般的である。

そこで，信号灯器 ID は，交差点に接続されている方路をユニークに識別するための方路 ID を用いて，以下のように構成することとする。方路 ID は，文献[7]の「DE_方路 ID」に従って 1～8 の値とし，交通管理者が付与することを想定している。

車両用信号灯器

流入方路ID（1～8） （4ビット）	流出方路ID（1～8） （4ビット）

歩行者用信号灯器

横断方路ID（1～8） （4ビット）	００００

例外的な状況として，1 つの流入方路に対して複数の車両用信号機が設置されており，流入レーンによって見るべき信号灯器が異なる場合には，見るべき信号灯器が同じレーンの集合毎に，流入方路 ID の部分を異なる値にして区別する。また，横断方路と 1 対 1 に対応しない歩行者用信号機が設置されている場合にも，流入方路 ID の部分で区別する。このような例外的な状況において，信号灯器 ID をどのように付与するかについては，今後の課題である。

3.4.4 地図に対する要求

デジタル道路地図には，以下の静的情報を持つものとする。

(1) 見るべき車両用信号灯器と停止線の位置

交差点の流入レーンと流出レーンの「組」毎に，交差点 ID，見るべき車両用信号灯器の信号灯器 ID，停止線の位置を得ることができること（間接的に得られる形でも良い）。

なお，流入レーンと流出レーンの「組」に対して，進行できないこと（右折禁止や U ターン禁止など）や，信号に関係なく常に進行できることは，自動運転システム向けのデジタル道路地図に格納されているものと想定している。

(2) 横断歩道と歩行者用信号灯器の関係

横断歩道から，それが設置されている交差点 ID と，それに対する歩行者用信号灯器の信号灯器 ID を得ることができること（間接的に得られる形でも良い）。

なお，交差点の流入レーンと流出レーンの「組」から交差する横断歩道を得るための情報と，横断歩道に対する信号機の有無は，自動運転システム向けのデジタル道路地図に格納されているものと想定している。

以上に加えて，自動運転システム向けのデジタル道路地図は，車載センサーによる信号現示の認識を容易にするために，信号機の設置位置などの情報を持っているのが一般的であるが，本仕様の信号情報を活用するために必要な情報ではないため，ここでは要求事項としない。

3.4.5 論点

本仕様では，信号灯器の識別単位を，進行可否を示す論理的な信号灯器としたが，自動運転システムがカメラにより認識した信号灯色と照合する場合には，物理的な信号機と一致させた方が都合がよい。具体的には，物理的な信号機に対して主灯器の表示灯色と青矢灯器の表示方向を動的情報として提供し，交差点の流入レーンと流出レーンの「組」毎に，見るべき青矢信号表示方向をデジタル地図に持たせる方法が考えられる。このアプローチは，自動運転システムへの適用を考えると有力と考えられるが，既存の規格との整合性を重視したために採用しなかった。

灯色表示の表現方法として，文献[8]のプロファイル A および C では，論理的な進行可否情報のみで表現する方法を採用しているが，本仕様では物理的な表現（具体的には，青矢信号表示）を残している。これは，日本の法律では，プロファイル A および C の permissive-Movement-Allowed と protected-Movement-Allowed の区別がされておらず，論理的な進行可否情報のみでは情報が落ちてしまうためである。逆に，より物理的な状態に近づけて，個々の信号灯（青色灯，黄色灯，赤色灯，個々の青矢灯）の状態（消灯，点灯，点滅）で表現する方法も考えられる。

デジタル地図に持つ静的情報として，本仕様では，流入レーンと流出レーンの「組」毎に見るべき信号灯器 ID 等を持つものとしたが，日本では，流入方路と流出方路の「組」毎に持てば，ほとんどの場合に十分である。しかし，静的情報のサイズが大きくなることは問題が小さいこと，海外にも適用できる仕様とすること，国内でも例外的なケースがあることを考えて，本仕様のように決定した。

3.5 物理フォーマットとの関係

本仕様で規定したデータフォーマットに従ったデータを，どのような形で受け渡しするか（物理フォーマット，インタフェース，プロトコル。ここでは，物理フォーマットと呼ぶ）は，用いるプラットフォームやネットワーク毎に規定する必要がある。

本仕様で規定したデータフォーマットでは，以下のことを考慮しておらず，物理フォーマットの規

定でカバーすることを想定している。

- 情報の種類（物標情報/フリースペース情報/信号情報）の識別方法
- データフォーマットのバージョンの整合性の取り方
- 複数の情報を送る場合の送り方（1 つずつ送るかリストで送るかなど）

用いる物理フォーマットによっては，データ項目に値が設定されていないことを直接的に扱える場合がある（例えば，ASN.1 の OPTIONAL フィールド）。そのような場合には，値が不明の場合には値を設定しないこととし，本仕様で規定した不明を表す値は使用しないものとしても良い。これにより，通信メッセージのデータ長を短くすることができる場合がある。

4. デジタル道路地図のデータフォーマット

4.1 仕様策定の方針

データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するデータフォーマットとして，自動運転向けの高精度デジタル道路地図を扱うための ROS 向けのライブラリである Lanelet2（文献[10,11]）の静的地図フォーマットと API をベースに，独自のデータフォーマットを策定する。

Lanelet2 の静的道路地図フォーマットは，XML ベースとした OpenStreetMap のデータフォーマットを拡張したものとなっている。一方，CooL4 のデータ連携 PF では，デジタル道路地図をリレーショナルデータベースに格納するため，Lanelet2 の静的道路地図フォーマットを，リレーショナルデータベースに格納する形式を規定する。

ここで，Lanelet2 に対して改良を加えた点として，レーン間の関係の扱いがある。Lanelet2 では，レーンに関する情報から，レーン間の関係を動的に計算している（具体的には，道路地図をメモリ上に読み込む時に計算する）。しかし，レーン間の関係はほぼ静的な情報であるため，事前に計算して，データベースに格納しておいた方が効率が良い。そこで，レーン間の関係を格納する方法についても規定する。

もう 1 つの重要な拡張として，論理的な信号灯器を扱えるようにしたことが挙げられる。無線通信によって受信する信号の現示情報は，物理的な信号灯器ではなく，論理的な信号灯器に対して提供されるため，それを解釈するには，デジタル道路地図に論理的な信号灯器の情報を含める必要がある。

4.2 デジタル道路地図の格納形式

Lanelet2 では，デジタル道路地図を，物理層，関係層，トポロジー層の 3 つのレイヤで構成している。物理層は，Point，LineString，Polygon の 3 つの要素を持ち，それぞれ物理的な点，線，多角形を表す。関係層は，Lanelet（レーン），Area（エリア），Regulatory Element（交通規則）の 3 つの要素を持ち，道路としての意味を表現する。トポロジー層は，レーンやエリア間の関係を表現するもので，前述した通り，Lanelet2 では動的に計算している。

これをリレーショナルデータベースに格納する際のデータ形式を記述した ER 図（Entity Relationship Diagram）を， 図 3 に示す。以下では，この各部分を拡大した図を用いて，その内容を説明する。

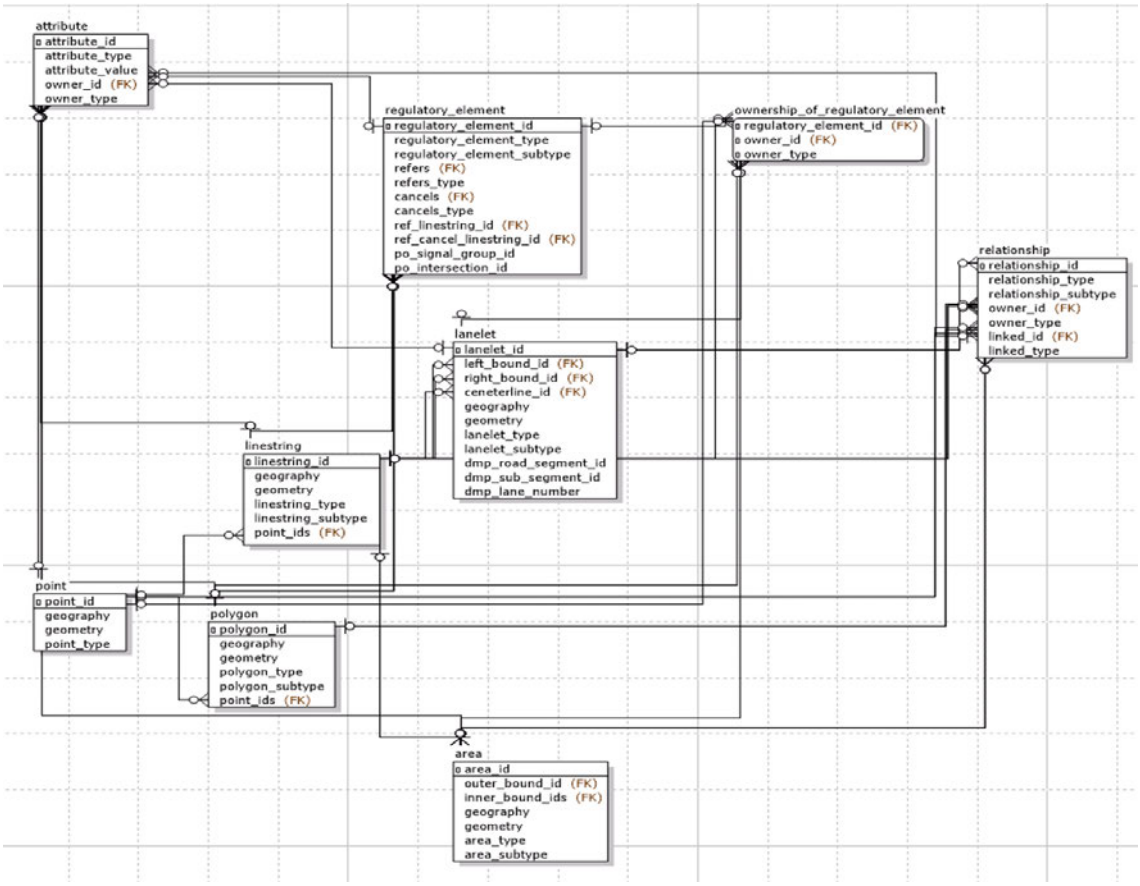


図 3. デジタル道路地図の格納形式の ER 図

図 4 は，Point，LineString，Polygon，Lanelet，Area を格納するリレーションと，それらの間の関係を示す。

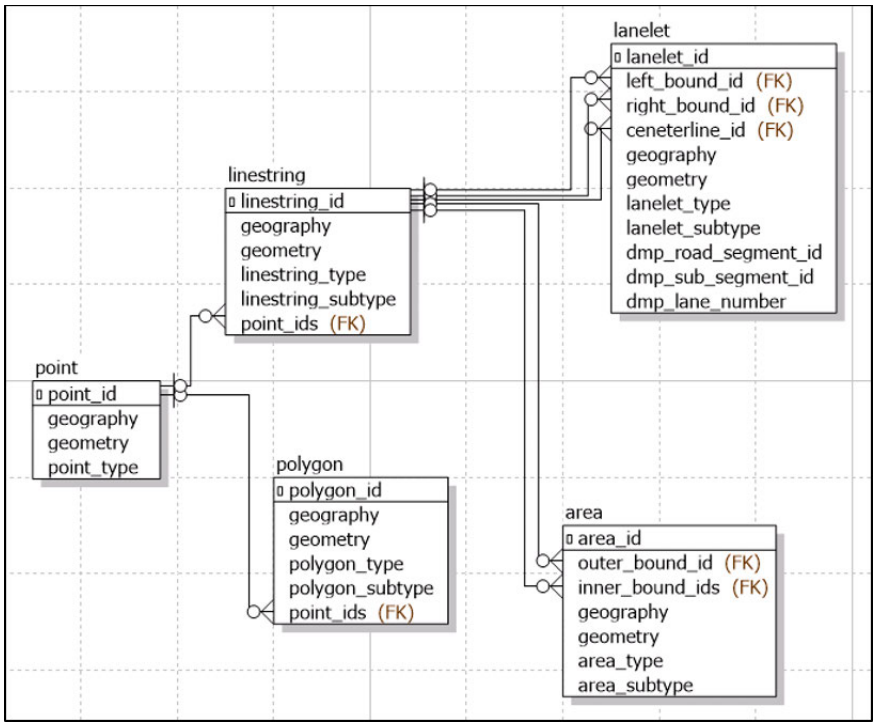


図 4. 地物テーブル同士の関連

Point は，地図を構成する点を表すもので，経度緯度高さによる位置表現（geography）と平面直角座標系での位置表現（geometry）の両方で点の位置を表現する。geography と geometry の両方を持たせているのは，データの検索時に，使いやすい方の表現を使えるようにするためである。また，Point のタイプを表すフィールドを持つ。

LineString は，地図を構成する線分を表すもので，線分を構成する Point のリストに加えて，geography と geometry の両方で線分の位置を表現する。線分を構成する Point のリストを持つため，geography と geometry は冗長な情報であるが，データの検索を効率化するために持たせている。また，LineString のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

Polygon は，地図を構成する多角形を表すもので，LineString と同様に，多角形を構成する Point のリストに加えて，geography と geometry の両方で多角形の位置を表現する。また，Polygon のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

Lanelet は，道路を構成するレーン（車線）を表すもので，レーンの左右の境界を表す線分と中央線をそれぞれ LineString として持つことに加えて，レーンの範囲を表す geography と geometry を持つ。ここでも，geography と geometry は冗長な情報であるが，データの検索を効率化するために持たせている。さらに，Lanelet のタイプとサブタイプを表すフィールド等を持つ。

Area は，道路周辺のエリア（領域）を表すもので，Lanelet と異なり，走行する向きの情報を持たない。駐車場や路側帯などは，Area で表現する。Area は，その外周を表す LineString と，エリアに穴が開いている場合に穴を表す線分の集合のリストを持つことに加えて，エリアの範囲を表す geography と geometry を持つ。さらに，Area のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

LineString や Polygon 等の要素が，それぞれのリレーションに含まれない属性を持つ場合には，attibute リレーションを用いて表現する（図 5）。Attribute には，属性を持つのがどの要素（Point，LineString，Polygon，Lanelet，Area，Regulatory Element，Relationship のいずれか）であるかとその

要素の ID，属性のタイプと値を持つ。

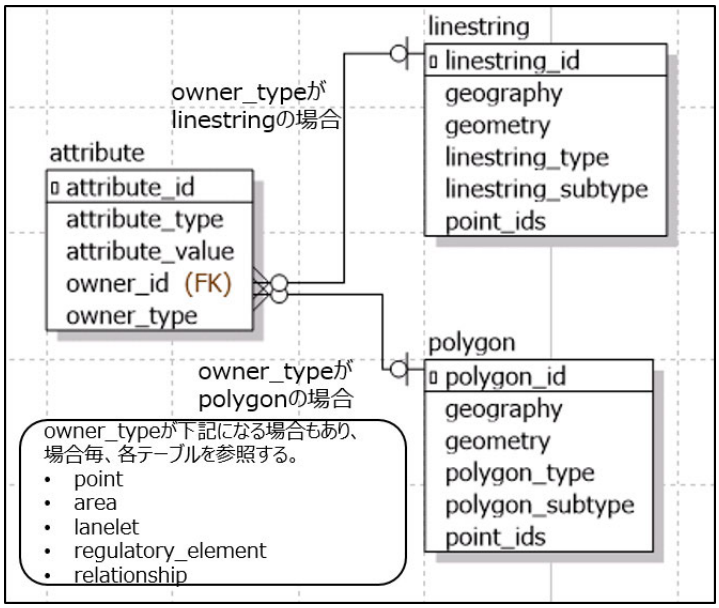


図 5. 属性テーブルの関連

図 6 は，Lanelet2 の Regulatory Element の内，信号機（物理的な信号灯器），標識，速度規制を表すためのリレーションを示すものである。また，無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も，このリレーションで表す。これらの交通規制が，どのレーンまたはエリアに適用されるかは，図 7 に示す ownership_of_regulatory_element リレーションで表現する。

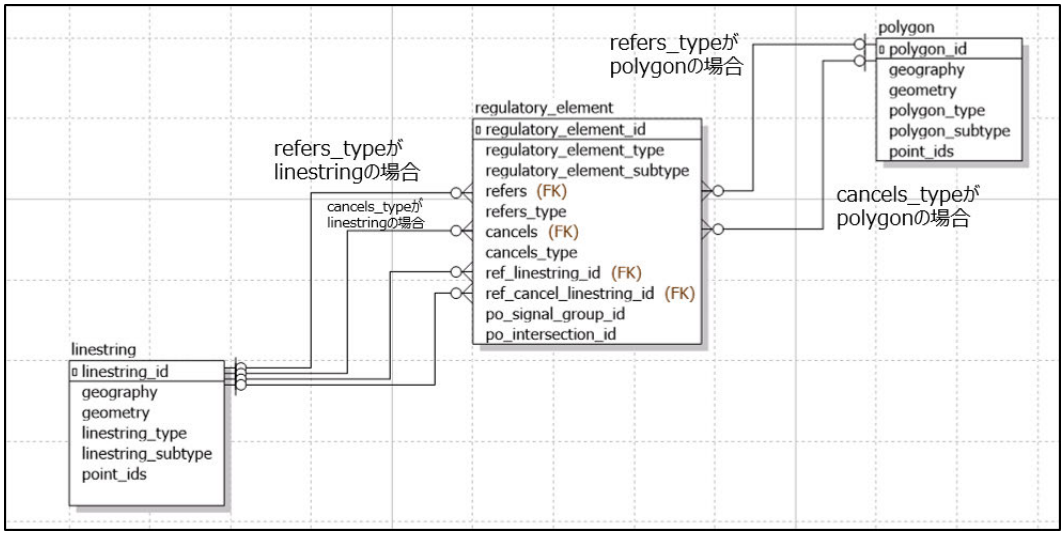


図 6. 交通規則テーブルと標識あるいは開始・停止線を示す地物テーブルとの関連

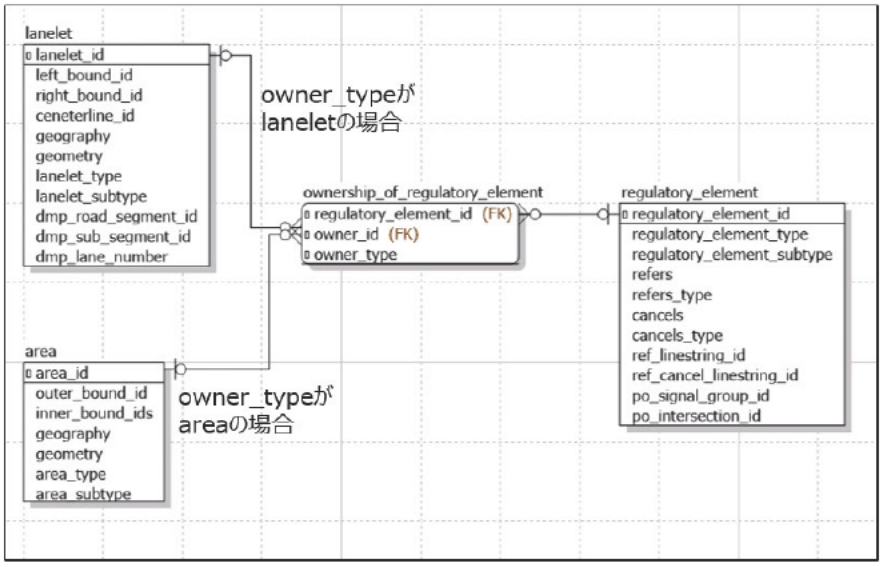


図 7. 地物テーブルと交通規則テーブルを紐づける関連

Regulatory Element のリレーションには，Regulatory Element のタイプとサブタイプを表すフィールドに加えて，以下で説明するフィールドを持つ。

Regulatory Element のタイプが物理的な信号灯器（traffic_light）の場合には，refers_type と refers により，信号灯器の底辺を表す LineString または周囲を表す Polygon を参照する（refers_type が Linestring の場合は refers には LinestringID が，refers_type が Polygon の場合は refers には PolygonID が格納される。図 8）。また，ref_linestring_id により，信号灯器に対応する停止線を参照する。

RegulatoryElement

RegulatoryElementId	RegulatoryElementType	Refers	RefersType
55	Traffic_light	33	Linestring
56	Traffic_light	34	Polygon

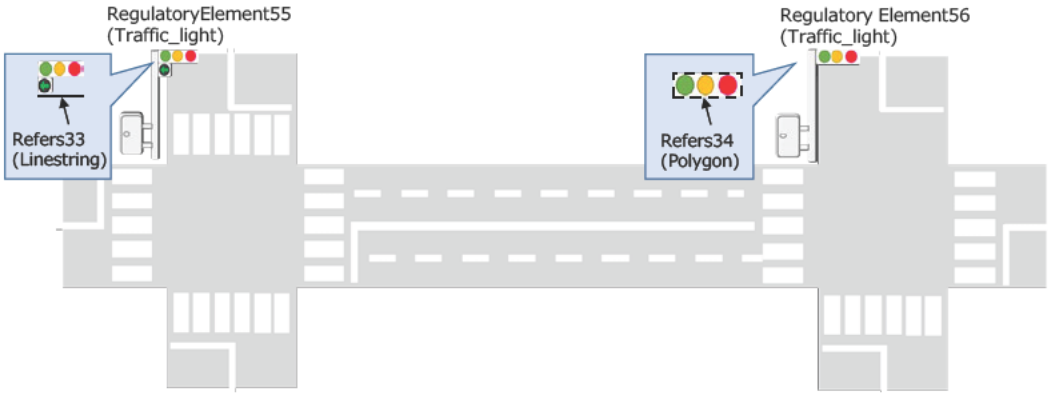
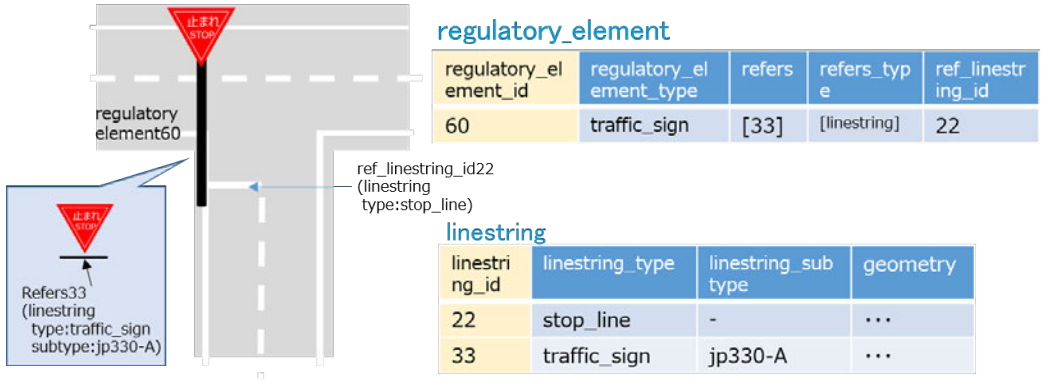


図 8. 物理的な信号灯器の表現例

Regulatory Element のタイプが標識の場合には，refers_type と refers により，物理的な標識の底辺を表す LineString を参照する。標識の種類は，その LineString のサブタイプにより表現する（図 9）。また，標識の種類によっては，ref_linestring_id により，標識に対応する停止線を参照する。



regulatory_element

regulatory_element_id	regulatory_element_type	refers	refers_type	ref_linestring_id
60	traffic_sign	[33]	[linestring]	22

linestring

linestring_id	linestring_type	linestring_subtype	geometry
22	stop_line	-	···
33	traffic_sign	jp330-A	···

図 9. 標識および停止線の表現例

Regulatory Element のタイプが速度制限の場合には，refers_type と refers により，物理的な速度制限標識の底辺を表す LineString を参照し，cancels_type と cancels により，速度制限標識に付随する制限区間を表現する標識の底辺を表す LineString を参照する。また，ref_linestring_id と ref_cancel_linestring_id により，速度制限の適用が開始／解除される線分を参照する。ただし，ref_linestring_id が NULL の場合には，レーン全体に速度制限が適用されることを表す。

以上で説明した Lanelet2 で定義されている Regulatory Element に加えて，無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も，regulatory_element リレーションで表すこととした。データ連携 PF から提供される信号情報では，論理的な信号灯器は，交差点 ID と信号灯器 ID で識別される。そこで，タイプが論理的な信号灯器（traffic_signal）である Regulatory Element で，交差点 ID と信号灯器 ID で識別される論理的な信号灯器が，どのレーンや停止線に紐づくものであるかを表現する。具体的には，po_intersection_id に交差点 ID を，po_signal_group_id に信号灯器 ID を格納し，ref_linestring_id により信号灯器に対応する停止線を参照する（図 10）。

regulatory_element

regulatory_element_id	regulatory_element_subtype	ref_linestring_id	po_signal_group_id	po_intersection_id
56	traffic_signal	22	0x34 (南→西)	77
57	traffic_signal	22	0x31 (南→北)	77

linestring

linestring_id	linestring_type	linestring_subtype	geometry
22	stop_line	-	···

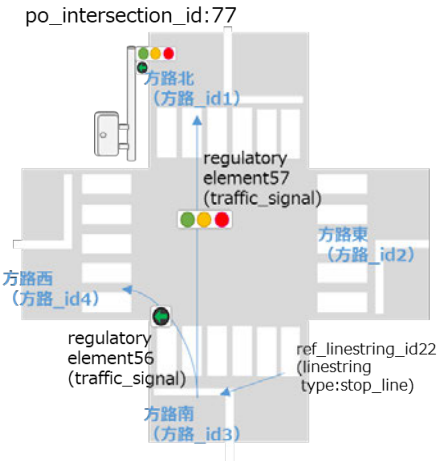


図 10. 論理的な信号灯器の表現例

なお，Lanelet2 の Regulatory Element の内，“Right of Way”と“All Way Stop”は，他の交通規則情報と持つべき情報が大きく異なることに加えて，日本国内では使用しないと考えられることから，現時点では扱いを保留することとした。

最後に，図 11 に，Lanelet または Area の間の関係を表すためのリレーションを示す。Relationship

のタイプには，Connectivity（経路接続），Adjacency（隣接），Crossing（交差）がある。

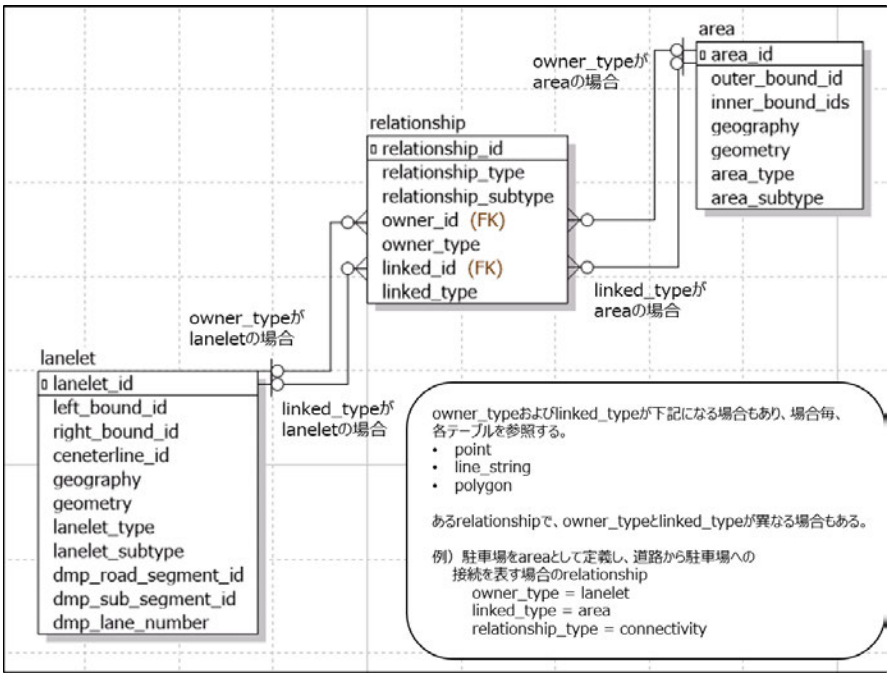


図 11. 2 つの地物テーブルの関係を示すテーブルの関連

レーン A の終端がレーン B の始端となっている場合，レーン A とレーン B は経路接続の関係にあると言い，relationship リレーションの owner_type と owner_id でレーン A を，linked_type と linked_id でレーン B を参照する。隣接の関係は，文字通り，2 つのレーン（またはエリア）が隣接していることを，交差の関係は，2 つのレーン（またはエリア）に重なりがあることを表す。

5. データ型の定義

ここでは，定義したデータフォーマット中で使用するデータ型について規定する。文献[5]または文献[7]に規定されているデータ型をそのまま用いる場合には，ここでは再掲しない。

DE_TimestampIts（文献[2]）

UTC（協定世界時）で 2004 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒からのミリ秒単位の経過時間。

閏秒も数えるため，UTC との差は，閏秒が挿入されるたびに 1 秒ずつ大きくなる。そのため，UTC や UNIX 時間（UTC で 1970 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒からのミリ秒単位の経過時間。閏秒を数えない）と変換する場合には，閏秒がいつ挿入されたかの情報が必要になる。GPS 時刻（UTC で 1980 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒からの経過時間）とは，機械的に変換できる。

42 ビットの符号なし整数。

DF_ObjectClass（文献[4]）

物標の種別。

物標の分類（車両，人，動物，その他の物標），その分類信頼度（DE_ClassConfidence），分類毎の種別情報で構成される。分類毎の種別情報は，物標の分類に応じて，車両の種別情報（DF_VehicleSubclass），人の種別情報（DF_PersonSubclass），動物の種別情報（DF_AnimalSubclass），その他の物標の種別情報（DF_OtherSubclass）のいずれか。

物標の分類の表現方法は規定しない（物理フォーマットで規定する）。

DE_ClassConfidence（文献[4]）

分類の信頼度をパーセント値で表現したもの。

0: 不明
1: 1%
……
100: 100%

文献[4]には，unavailable（101）が規定されているが，ここでは使用しない。

DF_VehicleSubclass（文献[4]）

車両の種別（DE_VehicleSubclassType）とその分類信頼度（DE_ClassConfidence）。

DE_VehicleSubclassType（文献[4]）

車両の種別。

具体的な表現値は以下の通り。詳しくは文献[4]を参照。

0: 不明
1: 原付
2: 二輪車
3: 乗用車
4: バス
5: 小型トラック
6: 大型トラック
7: 牽引車（牽引されている車両）
8: 特殊車両

9: 路面電車
10: 緊急車両
11: 農業用車両

8 ビットの符号なし整数。

DF_PersonSubclass（文献[4]）

人の種別（DE_PersonSubclassType）とその分類信頼度（DE_ClassConfidence）。

DE_PersonSubclassType（文献[4]）

人の種別。

具体的な表現値は以下の通り。詳しくは文献[4]を参照。

0: 不明
1: 歩行者
2: 車椅子
3: 自転車
4: ベビーカーを押している人
5: スケート/スケートボードに乗っている人
6: 人の群

8 ビットの符号なし整数。

DF_AnimalSubclass（文献[4]）

動物の種別（DE_AnimalSubclassType）とその分類信頼度（DE_ClassConfidence）。

DE_AnimalSubclassType（文献[4]）

動物の種別。

具体的な表現値は以下の通り。詳しくは文献[4]を参照。

0: 不明

8 ビットの符号なし整数。

DF_OtherSubclass（文献[4]）

その他の物標の種別（DE_OtherSubclassType）とその分類信頼度（DE_ClassConfidence）。

DE_OtherSubclassType（文献[4]）

その他の物標の種別。

具体的な表現値は以下の通り。詳しくは文献[4]を参照。

0: 不明
1: 路側機（物標情報では使用しない）

8 ビットの符号なし整数。

DE_存在信頼度（独自定義，DE_ExistenceConfidence）

物標/フリースペースが存在する確率から，以下の式で求めた値を切り上げた整数値。ただし，値が 101 以上となる場合には，101 とする。また，0 は不明を表す。

$-10 \cdot \log10(1-\text{存在確率})$

具体的には，DE_存在信頼度の値と存在確率の関係は以下のようになる。

0: 不明
1: ～20.6%
2: ～36.9%
3: ～49.9%
……
9: ～87.4%
10: ～90.0%
11: ～92.1%
……
99: ～99.999999987%
100: ～99.999999990%
101: それより大きい

自己物標情報においては，物標が存在することは確実であるため，DE_存在信頼度の値を101とする。

DF_位置情報（独自定義，DF_Location）

物標等の位置。表現方法については4.4節で説明した通り。

DE_物標参照位置（独自定義，DE_ReferencePoint）

物標位置が，物標のどの場所を表しているか。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明
1: 中央（バウンディングボックスの中央）の地面位置
2: 前面の中心の地面位置
3: 右前角の地面位置
4: 右側面の中心の地面位置
5: 右後角の地面位置
6: 背面の中心の地面位置
7: 左後角の地面位置
8: 左側面の中心の地面位置
9: 左前角の地面位置

認識した物標の位置をできる限り正確に伝えるために，位置を最も正確に特定できる場所を参照位置とする。具体的には，センサーから見えている場所を参照位置とすることを想定している。自己物標情報の場合と，認識した物標の全体が見えている場合には，歩行者では中央の地面位置（1），車両では前面の中心の地面位置（2）を使うものとする。どの面が見えているかわからない場合には，DE_物標参照位置の値は不明（0）とし，見えている面を前面であるものと扱う。

DF_WGS84 方位（独自定義，DF_WGS84Angle）

WGS84 測地系における方位（DE_WGS84 方位値）とその精度（DE_WGS84 方位精度）。

DE_WGS84 方位値（独自定義，DE_WGS84AngleValue）

WGS84 測地系における方位。

北を0とし，東回りで，0.01度単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 北
……
9000: 東
……
18000: 南
……
27000: 西
……
36000: 使用しない
36001: 不明

DE_WGS84 方位精度（独自定義, DE_WGS84AngleAccuracy）

WGS84 測地系における方位の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01 度単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01 度
……
100: 1.00 度
……
8999: 89.99 度
9000: 90.00 度以上
9001: 不明

DE_Speed（文献[4]の DE_SpeedExtended）

速さ。

0.01m/s 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–16383: 使用しない（文献[4]には記載がない）
–16382: –163.82m/s 以下（＝–589.752km/h 以下）
–16381: –163.81m/s
……
–1: –0.01m/s（＝1cm/s）
0: 静止
1: 0.01m/s（＝1cm/s）
……
16381: 163.81m/s
16382: 163.82m/s 以上（＝589.752km/h 以上）
16383: 不明

DE_速さ精度（独自定義, DE_SpeedAccuracy）

速さの精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01m/s 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m/s（＝1cm/s）
……
16381: 163.81m/s
16382: 163.82m/s 以上（＝589.752km/h 以上）
16383: 不明

DE_YawRateValue（文献[2]）

回転速度（ヨーレート）。

0.01 度/s 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–32766: 右へ 327.66 度/s 以上
–32765: 右へ 327.65 度/s
……
–1: 右へ 0.01 度/s
0: 直進
1: 左へ 0.01 度/s
……
32765: 左へ 327.65 度/s
32766: 左へ 327.66 度/s 以上
32767: 不明

DE_回転速度精度（独自定義, DE_YawRateAccuracy）

回転速度（ヨーレート）の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01 度/s 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01 度/s
……
32765: 327.65 度/s
32766: 327.66 度/s 以上
32767: 不明

DF_前後加速度（独自定義, DF_Acceleration）

前後加速度（DF_前後加速度値）とその精度（DF_前後加速度精度）。

DE_前後加速度値（独自定義, DE_AccelerationValue）

前後加速度。

0.01m/s^2 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–2000: 20.00m/s2 以上で減速
–1999: 19.99m/s2 で減速
……
–1: 0.01m/s2 で減速
0: 一定速度

1: 0.01m/s2 で加速
……
1999: 19.99m/s2 で加速
2000: 20.00m/s2 以上で加速
2001: 不明

DE_前後加速度精度（独自定義, DE_AccelerationAccuracy）

前後加速度の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01m/s^2 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m/s2
……
999: 9.99m/s2
1000: 10.00m/s2 以上
1001: 不明

DF_物標サイズ（独自定義, DF_ObjectSize）

物標の長さとその精度（「DF_物標寸法」）, 幅とその精度（「DF_物標寸法」）, 高さとその精度（「DF_物標寸法」）。

DF_物標寸法（独自定義, DF_ObjectDimension）

物標の一辺の長さ（DE_物標寸法値）とその精度（DE_物標寸法精度）。

DE_物標寸法値（独自定義, DE_ObjectDimensionValue）

物標の一辺の長さ。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明

DE_物標寸法精度（独自定義, DE_ObjectDimensionAccuracy）

物標の一辺の長さの精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明

DE_物標色（独自定義, DE_ObjectColor）

物標の色。

具体的な表現値は以下の通り（★要検討）。

0: 不明
1: 黒
2: 茶
3: 赤
4: 燈
5: 黄
6: 緑
7: 青
8: 紫
9: 灰
10: 白
11: 金（★センサーでの認識が難しいものと思われる）
12: 銀（★センサーでの認識が難しいものと思われる）
13: その他（★最も近い色を選ぶのであれば不要）

DE_舵角（独自定義, DE_SteeringAngle）

車両の前輪または後輪の舵角。

1 度単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–90: 右へ 90 度
……
–1: 右へ 1 度
0: 直進
1: 左へ 1 度
……
90: 左へ 90 度
91: 不明

DE_SRID（独自定義, DE_SRID）

位置の表現に用いる測地系または座標系の種類。

32 ビットの符号なし整数で表現する。具体的な表現値は, EPSG コードを用いて, 以下の通りとする。

測地系

4326: WGS84（緯度経度）
6668: JGD2011（緯度経度）

座標系

6669: 日本平面直角座標 1 系（JGD2011）
6670: 日本平面直角座標 2 系（JGD2011）
……
6687: 日本平面直角座標 19 系（JGD2011）

DE_Latitude（文献[2]）

指定された測地系に基づく緯度。

0.1 マイクロ度単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–900000000: 南緯 90 度（南極）
……
–1: 南緯 0.1 マイクロ度
0: 赤道上
1: 北緯 0.1 マイクロ度
……
900000000: 北緯 90 度（北極）
900000001: 不明

DE_Longitude（文献[2]）

指定された測地系に基づく経度。

0.1 マイクロ度単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–1800000000: 西経 180 度
……
–1: 西経 0.1 マイクロ度
0: 本初子午線上
1: 東経 0.1 マイクロ度
……
1800000000: 東経 180 度
1800000001: 不明

DE_Altitude（文献[2]）

指定された測地系に基づく高さ。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–100000: –1000m 以下
……
–1: –0.01m
0: WGS84 回転楕円体上
1: 0.01m
……
800000: 8000m 以上
800001: 不明

DE_DistanceValue（文献[4]を修正）

相対位置を示すための距離。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

–132768: 不明（文献[4]の規定を修正）

–132767: –1327.67m 以下
……
–1: –0.01m
0: 0m
1: 0.01m
……
132767: 1327.67m 以上

DE_レーン数（独自定義, DE_LaneCount）

進行方向のためのレーンの数（片側一車線の場合は 1）。両側通行のレーンのみ（センターラインがない道路）の場合は, 0 とする。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 両側通行のレーンのみ
1: 1
2: 2
……
13: 13
15: 不明

DE_LanePosition（文献[2]を拡張）

レーン番号。

具体的な表現値は以下の通り。

–16: 反対側（または内側）の道路外（文献[2]の規定に追加）
–15: 反対側（または内側）の歩道（文献[2]の規定に追加）
–14: 反対側の外側の路側（文献[2]の規定に追加）
……
–2: 反対側の内側から 2 番目のレーン（文献[2]の規定を変更）
–1: 反対側の最も内側レーン（文献[2]の規定を変更）
0: 内側（日本では右側）の路側
1: 最も内側（日本では最も右側）のレーン
2: 内側から 2 番目のレーン
……
14: 外側（日本では左側）の路側
15: 外側（日本では左側）の歩道（文献[2]の規定に追加）
16: 外側（日本では左側）の道路外（文献[2]の規定に追加）
17: 不明（文献[2]の規定に追加）

DE_レーン内横方向位置（独自定義, DE_LaneLateralPosition）

レーン内での物標の横方向位置を, レーン幅に対するパーセント値で表現した値。

具体的な表現値は以下の通り。

0: レーンの内側端（日本では右端）
1: レーンの内側端から 1%の位置
……
100: レーンの外側端（日本では左端）

101:　　不明

DE_距離比率（独自定義, DE_DistanceRatio）

始点 CRP と終点 CRP の間の縦方向位置を, CRP 間の道のり距離に対する 0.01%単位のパーセント値で表現した値。

具体的な表現値は以下の通り。

0:　　始点 CRP の位置
1:　　始点 CRP から終点 CRP に向かって 0.01%の位置
……
10000:　　終点 CRP の位置
10001:　　不明

DE_SemiAxisLength（文献[2]）

精度を表す楕円の半径。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1:　　0.01m
……
4093:　　40.93m
4094:　　40.94m 以上
4095:　　不明

DE_高さ精度（独自定義, DE_AltitudeAccuracy）

高さの精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）。

0.01m 単位で表す。

具体的な表現値は以下の通り。

1:　　0.01m
……
20000:　　200.0m 以上
20001:　　不明

DE_主灯色表示（独自定義, DE_MainLightIndication）

主たる灯器の表示灯色。

具体的な表現値は以下の通り。

0:　　不明
1:　　滅灯
2:　　赤点滅
3:　　赤
5:　　青
7:　　黄（車両用信号灯器の場合）, 青点滅（歩行者用信号灯器の場合）
9:　　黄点滅

なお, 表現値 4, 6, 8 は使用しない。これは, 表現値を文献[8]の MovementPhaseState と一致させたためである。なお, 表現値は一致させたが, 意味は異なることに注意すること。

DE_青矢信号表示方向（文献[7], DE_ArrowLightIndication）

青矢灯器の表示方向。

8 ビットの符号なし整数の各ビットで，各方向の矢印が点灯しているか否かを示す（点灯している場合に 1）。ビットと方向の対応は以下の通り。

ビット 7:　左斜め後ろ
ビット 6:　左
ビット 5:　左斜め前
ビット 4:　直進
ビット 3:　右斜め前
ビット 2:　右
ビット 1:　右斜め後ろ
ビット 0:　U ターン

付録 A. 既存の物標情報のデータフォーマットとの関係

ここでは，本仕様で提案する物標情報のデータフォーマットと，既存のデータフォーマットの関係について整理する。

文献[3]のメッセージセットに含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[3]	本仕様
protocolVersion	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
messageID	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
stationID	物標 ID
generationDeltaTime	情報取得時刻
stationType	物標種別
referencePosition	物標位置
heading	移動方向
speed	速さ
driveDirection	速さ（正か負か）
vehicleLength	物標のサイズの長さ
vehicleWidth	物標のサイズの幅
longitudinalAcceleration	前後加速度
curvature（曲率）	対応データ項目なし（必要性が低い）
curvatureCalculationMode（曲率の算出方法（ヨーレートを使ったか否か））	対応データ項目なし（必要性が低い）
yawRate	回転速度
accelerationControl（OPTIONAL）	対応データ項目なし（他のデータ項目で表現可能？）
lanePosition（OPTIONAL）	レーン番号
steeringWheelAngle（OPTIONAL）	前輪舵角，後輪舵角
lateralAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
verticalAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
performanceClass（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
cenDsrcTollingZone（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
protectedCommunicationZonesRSU（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
vehicleRole	車両用途種別
exteriorLights	灯火の状態
pathHistory（過去の移動経路）	対応データ項目なし（必要性が低い）
specialVehicleContainer（OPTIONAL）	車両用途種別毎の状態

文献[4]のメッセージセットの originatingVehicleContainer（自車両に関する情報）に含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[4]	本仕様
heading	移動方向
speed	速さ
vehicleOrientationAngle（OPTIONAL）	物標の向き

driveDirection	速さ（正か負か）
longitudinalAcceleration（OPTIONAL）	前後加速度
lateralAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
verticalAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
yawRate（OPTIONAL）	回転速度
pitchAngle（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
rollAngle（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
vehicleLength（OPTIONAL）	物標のサイズの長さ
vehicleWidth（OPTIONAL）	物標のサイズの幅
vehicleHeight（OPTIONAL）	物標のサイズの高さ
trailerDataContainer（OPTIONAL）	牽引車（★要検討）

文献[4]のメッセージセットの perceivedObjectContainer（認識物標情報）に含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[4]	本仕様
objectID	物標 ID
sensorIDList（物標を認識したセンサーの ID のリスト）	情報源のリスト（センサーのリストではない）
timeOfMeasurement	情報取得時刻
objectAge（物標が観測できている時間）	対応データ項目なし（必要性が低い）
objectConfidence	存在信頼度
xDistance	位置
yDistance	位置
zDistance	位置
xSpeed	移動方向と速さ
ySpeed	移動方向と速さ
zSpeed	対応データ項目なし（必要性が低い）
xAcceleration	前後加速度＋対応データ項目なし（必要性が低い）
yAcceleration	前後加速度＋対応データ項目なし（必要性が低い）
zAcceleration	対応データ項目なし（必要性が低い）
yawAngle	位置
planarObjectDimension1	物標のサイズ
planarObjectDimension2	物標のサイズ
verticalObjectDimension	物標のサイズの高さ
objectRefPoint	物標参照位置
dynamicStatus（動き状態（動いている/動いていた/動いたことがない））	対応データ項目なし（必要性が低い）
classification	物標種別
matchedPosition	レーン ID＋オフセット（少し意味が異なる）

文献[5]のメッセージセットに含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[5]	本仕様
DE_共通サービス規格 ID	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
DE_メッセージ ID	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
DE_バージョン情報	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
DE_車両 ID	物標 ID
DE_インクリメントカウンタ	対応データ項目なし（必要性が低い）
DE_共通アプリデータ長	対応データ項目なし（設計方針の違い）
DE_オプションフラグ	対応データ項目なし（設計方針の違い）
DF_時刻情報	情報取得時刻
DF_位置情報	物標位置
DE_車速	速さ
DE_車両方位角	移動方向
DE_前後加速度	前後加速度
DE_車速取得情報	速さの精度
DE_車両方位角取得情報	移動方向の精度
DE_前後加速度取得情報	前後加速度の精度
DE_シフトポジション	シフトポジション
DE_ステアリング角度	前輪舵角，後輪舵角
DE_車両サイズ種別	物標種別
DE_車両用途種別	車両用途種別
DE_車幅	物標のサイズの幅
DE_車長	物標のサイズの長さ
DE_位置情報遅れ時間	対応データ項目なし（必要性が低い）
DE_リビジョンカウンタ	対応データ項目なし（必要性が低い）
DE_道路施設情報	対応データ項目なし（必要性が低い）
DE_道路区分情報	対応データ項目なし（必要性が低い）
DF_GPS 状態オプション情報	位置の精度
DF_位置取得オプション情報	対応データ項目なし（必要性が低い）
DE_ヨーレート	回転速度
DE_ブレーキ状態	ブレーキ状態
DE_補助ブレーキ状態	補助ブレーキ状態
DE_アクセルペダル開度	アクセルペダル開度
DE_灯火類状態	灯火の状態
DE_ACC 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_C-ACC 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_PCS 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_ABS 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_TRC 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_ESC 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_LKA 作動状態	各種のシステムの作動状態
DE_LDW 作動状態	各種のシステムの作動状態
DF_交差点情報	対応データ項目なし（必要性が低い）

DF_拡張情報	車両用途種別毎の状態

その他，必要性が明確でないため含めなかったデータは以下の通り。

- 検出状態（自己物標情報/認識物標情報/統合情報/予測情報）

付録 B. バージョン履歴

2022 年 3 月 13 日	version 0.6.0	2021 年度の最終版
2022 年 3 月 15 日	version 0.7.0	2022 年度の最終版

B.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所

- デジタル道路地図のデータフォーマットの規定を追加
- 使用するクエリ言語について記述
- 位置参照の考え方の変更と方式の追加
  - 平面直角座標と高さによる位置表現方法を追加
  - 規定されている位置参照方式のいずれかを用いれば良いことに変更
- 物標 ID の扱いについての記述を追加
- 両端に物体がないフリースペースの扱いを明記
- 「DE_物標参照位置」の表現方法を変更

CooL4 協調型路側機仕様(案)
version 0.7.0

最終更新日: 2023 年 3 月 14 日

執筆者:佐藤 健哉 (同志社大学)

目次

1. はじめに 3
1.1 目的.....3
1.2 機能.....3
1.3 検討ユースケース.....4
3. 協調型路側機機能 5
3.1 協調型路側機構成要素 5
3.1 複数センサ連携過程 6
4. 協調認識階層レベル 7
4.1 センサ拡張（Sensor Extension） 7
4.2 センサ融合（Sensor Fusion） 8
4.3 オブジェクト統合（Object Integration） 9
4.4 データ連携プラットフォーム.....10
5. 物理ユニット配置 11
6. 協調型路側機の検知範囲 12
6.1 検知範囲定義（初期状態） 12
6.2 検出範囲の動的更新 12
6.3 検出範囲精度向上.....13
7. 複数の協調型路側機の連携（例）.....13

1. はじめに

1.1 目的

2025 年頃までに，協調型システムにより様々な地域の混在交通下に置いて，レベル4自動運転サービスの展開を目指し，「混在空間でレベル 4 を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組み」のための路側インフラ設備である協調型路側機（C-RSU: Cooperative Road Side Unit）の仕様を検討する．協調型路側機の機能は，必ずしも路側インフラ設備への配備に限定するものではなく，車両間の直接的な連携といった路側インフラ設備がない場合も想定する．

1.2 機能

協調型路側機は，図 1 に示すように，スマートポールあるいは信号機等の路側インフラ設備として配備され，混在空間での自動運転車両の安全走行支援を行うため，次の3つの機能を有する．

1. 協調認識（Collective Perception）：路側機あるいは他の走行車両から自動運転車両に対して周辺の状況の通知
2. 走行調停支援（Maneuver Coordination）：右折，追越し，合流等の自動運転車両の走行調停の支援
3. 危険情報掲示（Hazard Signaling）：歩行者や通信機能非搭載車両に対しての情報提供

機能の詳細については後述する．

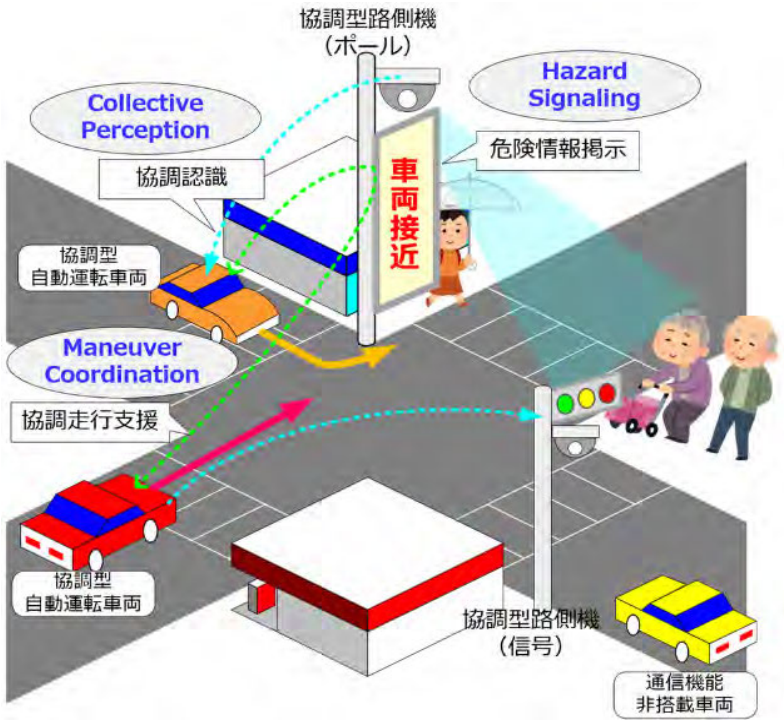


図 1 協調型路側機の機能

1.3 検討ユースケース

本協調型路側機は，ユースケースは次の3つを念頭に検討を進めるが，必ずしもこれらの限定しているわけではない．

1. 交差点右折：路側機のセンサにより対向車線状況を検知し，対向車両からのセンサデータの融合し，最終的には車両間の走行を調停する．

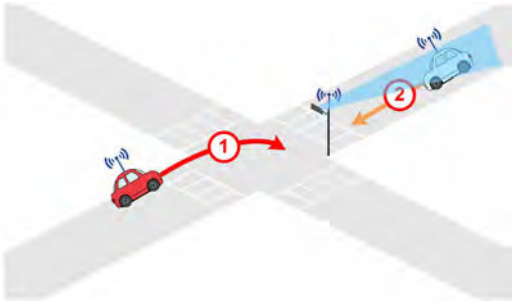


図 2.1 検討ユースケース:交差点右折

2. 停止車両追越し：停止車両のセンサにより対向車線状況を検知し，追越し車両と対向車線車両で状況を共有し，最終的には車両間の走行を調停する．

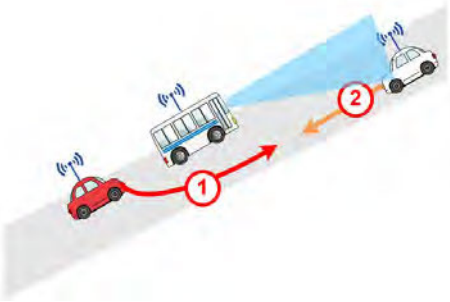


図 2.2 検討ユースケース:停止車両追越し

3. 周辺歩行者状況把握：複数の路側機により周辺歩行者の状況を検知し，路側機間でセンサデータを融合し，車両走行支援を行う．

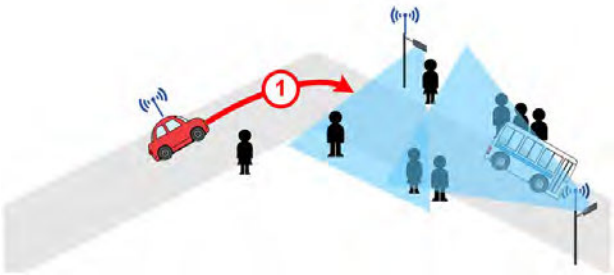


図 2.3 検討ユースケース:周辺歩行者状況把握

3. 協調型路側機機能

3.1 協調型路側機構成要素

協調型路側機は周辺に存在する物標を検知するセンサ，センサデータを処理するためのデータ処理機能，および，車両あるいはクラウド（エッジ）サーバとの間でデータを送受信するための通信機能で構成される．また，道路を走行する車両や歩行者に情報提供を行うため，外部に掲示板が接続される場合もある．協調型路側機に搭載されるセンサはカメラセンサ，LiDAR，ミリ波レーダ，IoT 無線を想定するが，これらの限定されるものではない．センサデータを送信時に付与するタイムスタンプのために一般には GPS 受信機を利用するが，ネットワーク経由で NTP（Network Time Protocol）を利用してタイムスタンプを付与する方法も想定される．通信機能は，前述のようにブロードキャスト（放送型）と携帯電話網を利用したユニキャスト（通信型）によりデータ送受信を行う．

協調型路側機の内部構成を図 6 に示す．センサおよび通信機能以外に，データ処理機能として，センサデータにより物標を認識する協調認識機能モジュール，データとネットワークを管理しアプリケーションとのやり取りを担う管理機能，および，実際のアプリケーションがある．アプリケーションは，たとえば，センサ情報から危険性を判断したり，複数車両の走行を調停したり，あるいは，掲示板を利用して外部に周辺の状況を伝えたりする．

協調認識機能モジュール内のデータは3階層に分類され，センサの生データに近いローレベルセンサデータ，同一協調型路側機ユニットに搭載された異なるセンサのデータを融合した（局所的データフュージョン）ハイレベルセンサデータ，および，物標を特定した後に異なる協調型路側機あるいは車両との連携を行う大域的データ統合を行ったオブジェクトデータとなる．

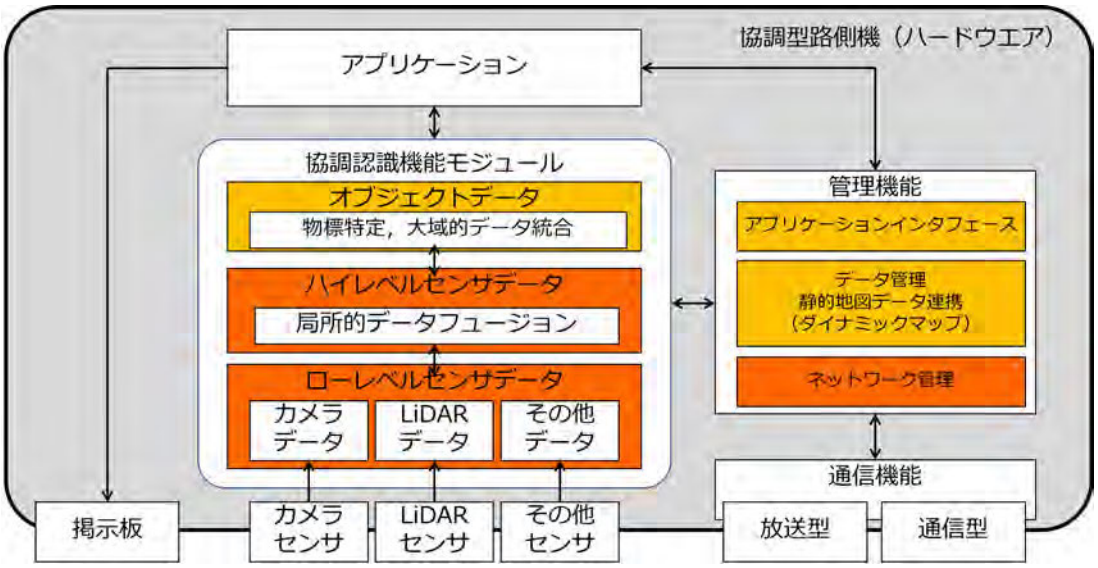


図 6 協調型路側機内部構成

3.1 複数センサ連携過程

ローレベルセンサデータ，ハイレベルセンサデータ，オブジェクトデータの階層イメージを図 7 に示すとともに，複数の協調型路側間あるいは車両との連携を図 8 に示す．協調型路側機の内部構成のイメージであり，すべての階層の機能を提供しなければならないという意味ではない．

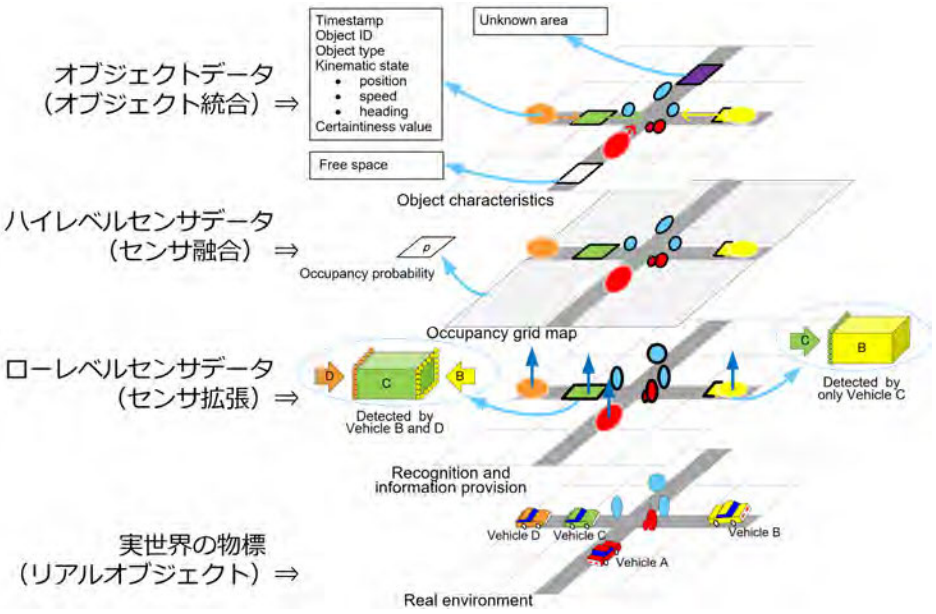


図 7 センサ融合の階層イメージ

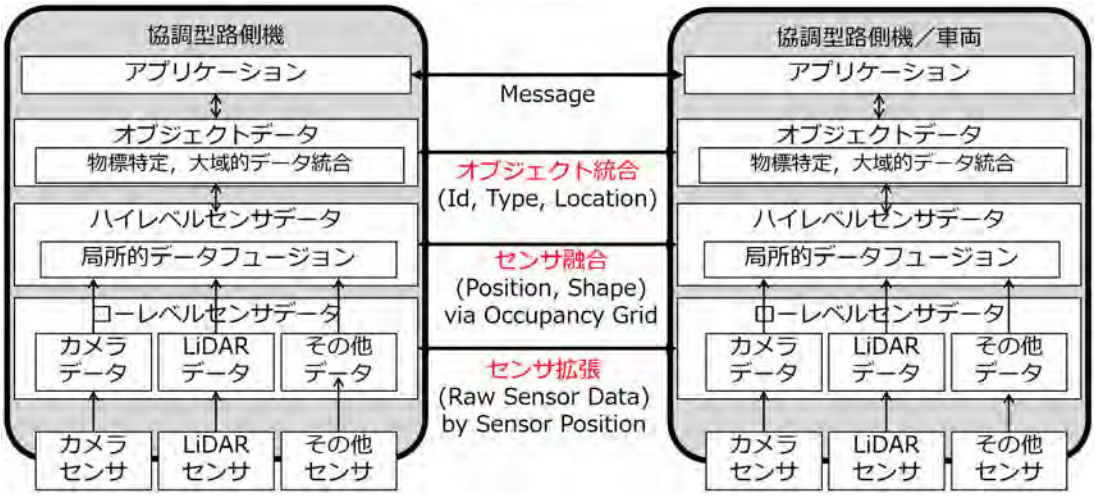


図 8 複数の協調型路側間，あるいは車両との連携イメージ

4. 協調認識階層レベル

4.1 センサ拡張(Sensor Extension)

協調認識において，異なる場所に配置された協調型路側機(他ノード)にあるセンサの生データ(映像，点群など)を直接取得し，そのままあるいは生データに近い形のデータとして受け取り，自ノードのセンサデータと同等に処理する方式をセンサ拡張と呼ぶ．このセンサ拡張の考え方を図 9 に示す．図 10 に LiDAR データの転送例を示す(VelodyneVLP-16 の場合は 1284 バイトの UDP パケットとして送信される)．抽象化される前のデータを受け取ることで高度なセンサデータの融合が可能である反面，データのサイズが大きいため，ネットワークの負荷が増大する．

協調型路側機の機能としてセンサデータを融合することが目的であるが，コスト低減などの目的で，カメラ，あるいは，LiDAR を分散して配置し，一カ所の協調型路側機にそれらのデータを集約して処理する場合も想定される．監視カメラのデータをそのまま受信する場合もこの範疇となる．

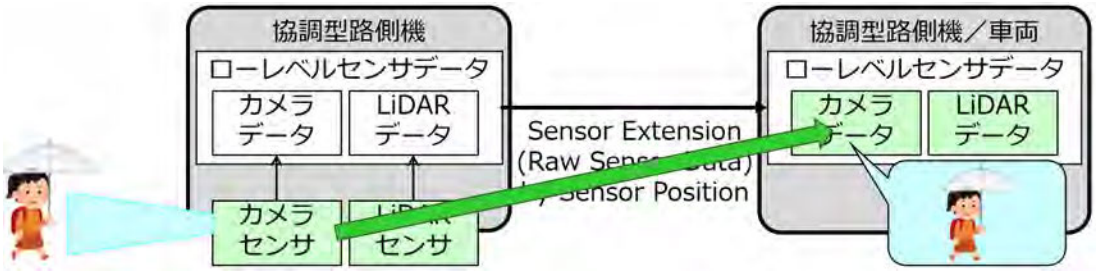


図 9 センサ拡張(Sensor Extension)

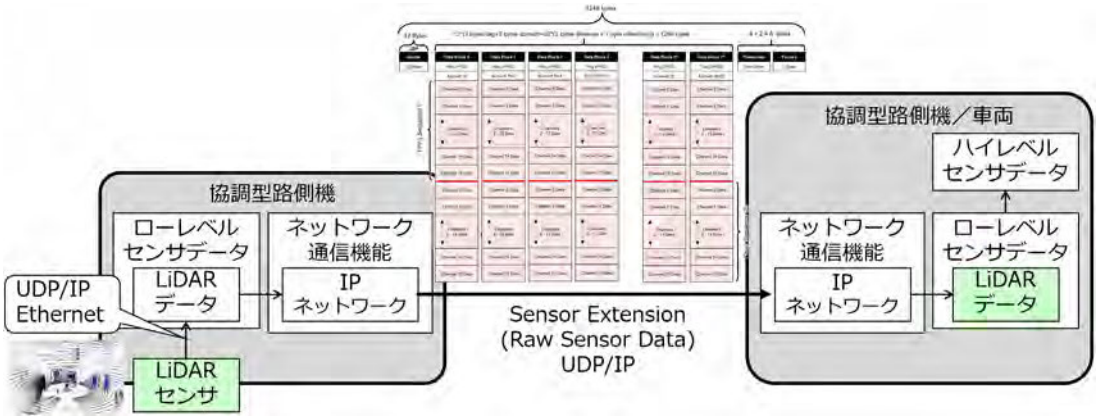


図 10 センサ拡張における LiDAR の例

4.2　センサ融合（Sensor Fusion）

センサ融合は，生センサデータから物標（オブジェクト）の位置，形状，その他の特徴を計測した結果の情報を，たとえば，占有グリッドを利用して融合する場合である．このセンサ融合の考え方を図 11 に示す．一般にカメラ，LiDAR，ミリ波レーダなど，センサの種別によって特性（検知可能距離，精度・信頼度，環境によるロバスト性などが異なり，これらを相互に補完することが可能となる．検出精度に関して，横方向の精度は，カメラ ≒ ミリ波レーダ ＞ LiDAR であり，距離精度は，LiDAR ＞ ミリ波レーダ ＞ カメラ であり，相対速度精度は，ミリ波レーダ ＞ LiDAR ＞ カメラ となる．

また，センサによる検知エリアの補間，認識情報の補間も可能となる．たとえば，図 12 に示すように，バスなどの車長が長い物標の前方にあるセンサで検知した場合，その物標の長さの検知は困難となる．後方にあるセンサの情報を融合することで，物標の長さが検知可能となる．また，車両と歩行者の物標情報を分離して検出するためには，物標追跡，画像認識の技術が必要となり，別の場所に設置されたセンサのトラッキング情報が有益になる場合も考えられる．

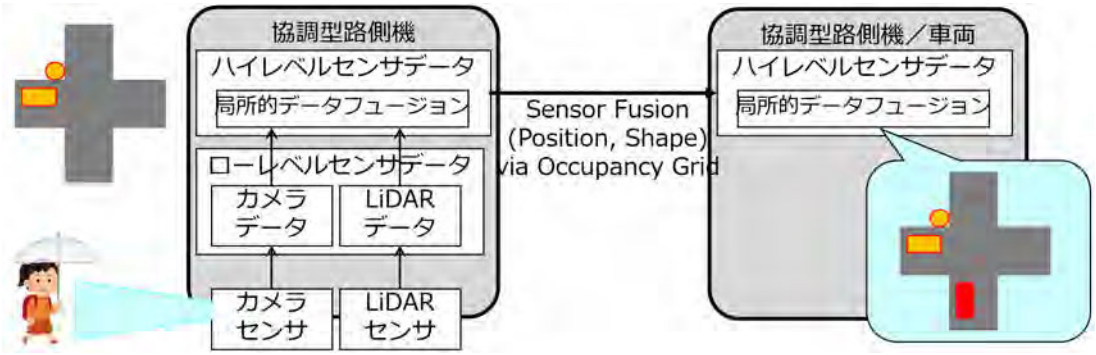


図 11　センサ融合（Sensor Fusion）

図 12　センサ融合の具体例

4.3 オブジェクト統合（Object Integration）

協調認識において，物標（オブジェクト）に ID を付与し，タイプ（大型／小型車両，歩行者，自転車など），絶対位置と共に共有することをオブジェクト統合と呼ぶ．このオブジェクト統合の考え方を図 13 に示す．複数の協調型路側機（あるいは車両）のセンサデータを大域的に統合する場合，センサデータの精度，信頼度に基づき，各車両から直接送信される情報（自車の ID，車種，サイズ，絶対位置，速度，進行方向）の統合の必要がある．

複数の車両あるいは協調型路側機のオブジェクトデータを1つの協調型路側機あるいはエッジサーバ（MEC）で統合し，そのデータを各ノードに配信する例を図 14 に示す．自ノードで検知したオブジェクトデータを他のノードで融合され再び送り返されてくることになるが，この再送信されてきたデータと再びデータを融合することは無意味であるため，このような融合したデータの循環を避ける仕組みが必要となる．

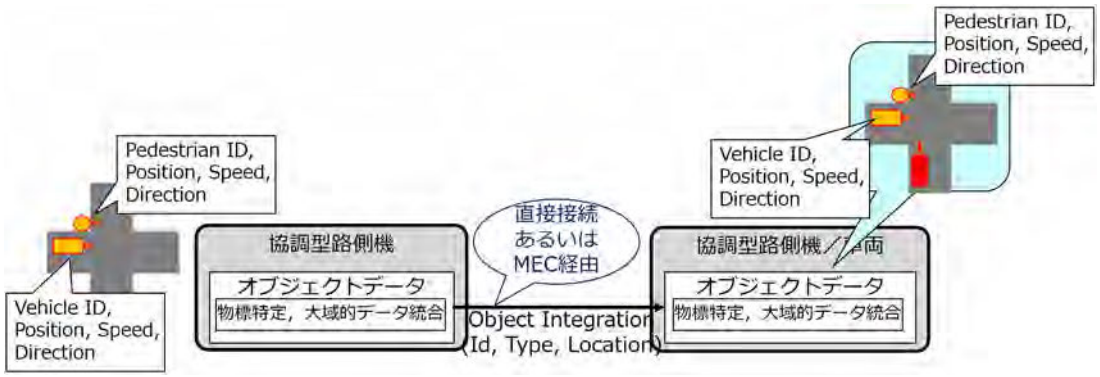


図 13 オブジェクト統合（Object Integration）

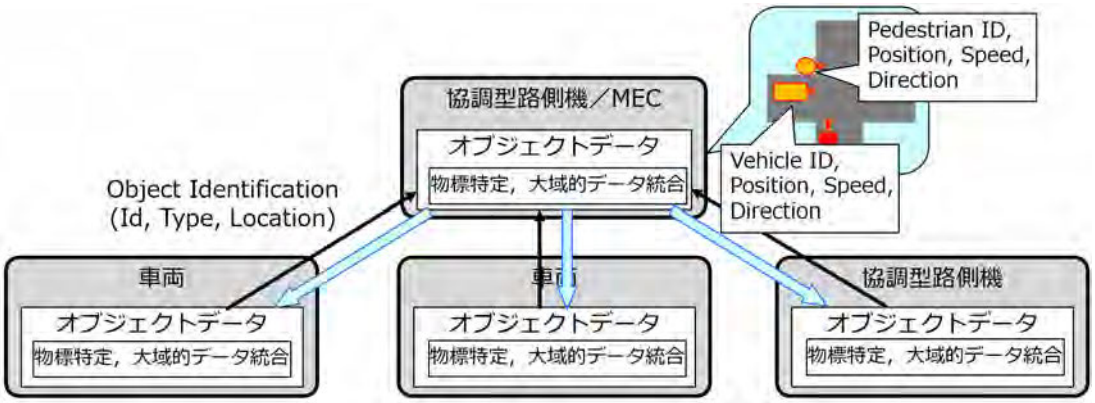


図 14 複数ノード連携による大域的データ（オブジェクト）統合

オブジェクト統合した車両や歩行者等の物標情報は，物標 ID，種別，位置（緯度・経度），速度（加速度），精度，信頼度で構成される．これらはデータ連携プラットフォームAPI仕様で規定する．また，フリースペースの情報もここで定義される．フリースペースの検知は，センサが直接的に物標が存在しない路面や建造物の壁面を検知した場合，あるいは，遠方の移動する物標を検知できたのでセンサから当該物標までの空間を定義する場合などが考えられる．

4.4 データ連携プラットフォーム

通信機能を利用したデータ連携のイメージを図 15 に示す．センサ拡張，センサ融合，オブジェクト統合とそれぞれの階層において異なる協調型路側機の連携があるが，データ連携プラットフォームとしては，大域的データ統合において，複数協調型路側機＆車両間で物標を特定し統合することで， オクルージョン削減，精度向上，物標の追跡管理が実現可能となる．また，フリースペースの管理も行うことができる．

また，データ連携プラットフォームの機能として，アプリケーションに対してのインタフェースの提供やプライバシの観点から物標の ID に仮名 ID を利用するなどの匿名化の機能も含まれる．

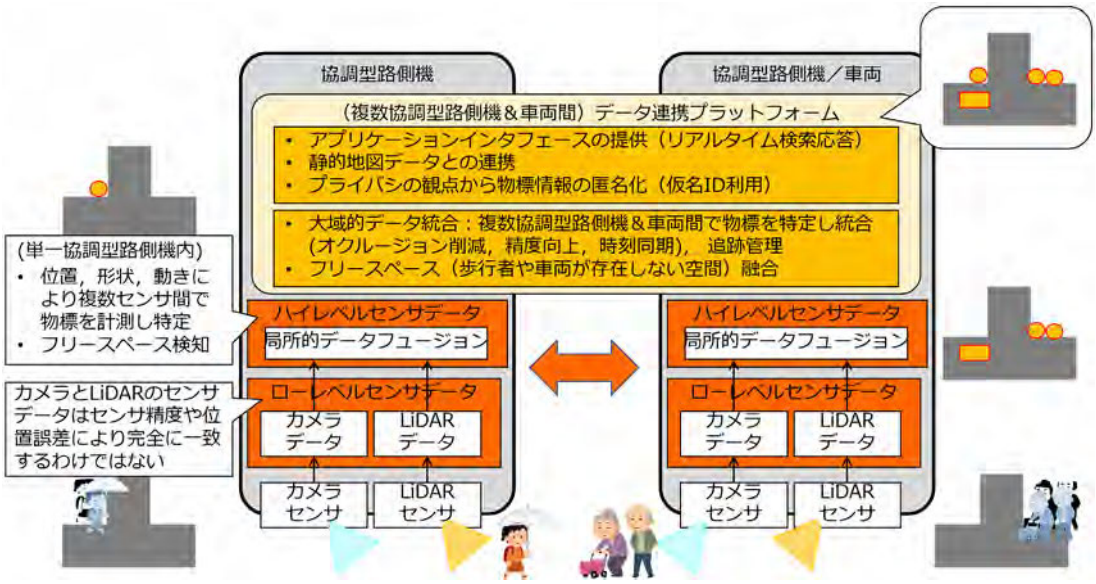


図 15 データ連携プラットフォーム位置づけ

5. 物理ユニット配置

図 18 に協調型路側機の物理ユニット配置の一例を示す. 1 台あるいは複数の物標認識計算機, DM 用計算機, 単一あるいは複数種類の通信機器モジュールを Ethernet スイッチ(あるいは USB 接続を含む)で接続する構成となる. 物標認識計算機には複数のセンサが接続され, オブジェクトの位置や種別の認識を行う. センサごとにそれぞれの物標認識計算機が接続される場合も想定でき, これらの物標認識計算機を含んでセンサデータ処理部と呼ぶ. 複数の物標認識計算機を統合するための管理用計算機が配置される可能性もある.

データ連携部, 通信機能部, アプリケーションは DM 用計算機で動作する. 物標認識計算機でのオブジェクト認識結果をデータ連携部において管理し, 通信機能部から通信機器モジュールを経由して他のノードと連携する.

GNSS(GPS)レシーバはセンサデータの生成時刻を特定するために利用されるが, NTP を利用して時刻情報を取得することも考えられる.

インターネット有線接続は, 協調型路側機で取りためたデータをセンター等に集約するために利用される.

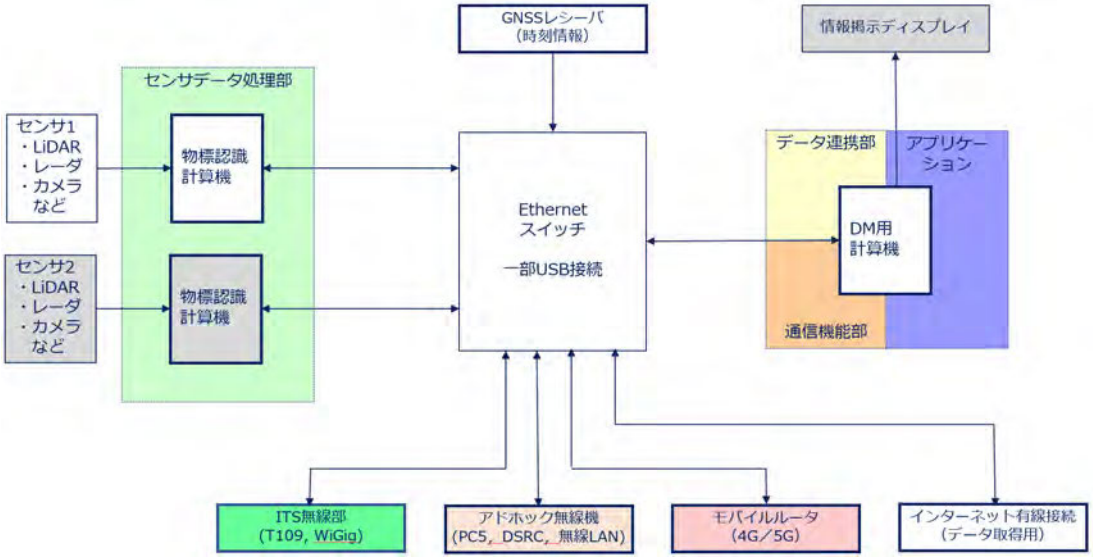


図 18 協調型路側機の物理ユニット配置の一例

6. 協調型路側機の検知範囲

6.1 検知範囲定義(初期状態)

設置時の計測により, 図 19 に示すように協調型路側機に検知範囲を定義する.この範囲内において許容再現率の達成を仮定する. センサ処理系において突発的異常の除外を前提(フィルタリング処理)とする.

図 19 協調型路側機の初期検知範囲定義

6.2 検出範囲の動的更新

気象条件等により協調型路側機の検知性能が低下する可能性があるため(例:路側機から遠方の範囲)、検知範囲を更新するする必要がある. 図 20 に状況を示す. 移動物標の検知結果の蓄積により検知範囲(許容再現率の達成可能領域)を動的に更新する. 検知範囲外は未検知範囲と際設定する.

図 20 協調型路側機の検知範囲の更新

6.3 検出範囲精度向上

道路上に協調型路側機から検出可能なペイントやマーカーを設置した場合(図 21)，道路上に物標が存在しないフリースペースを直接検知することが可能となり，センサの検知範囲から物標位置を引き算することで求める場合より，精度が向上する.

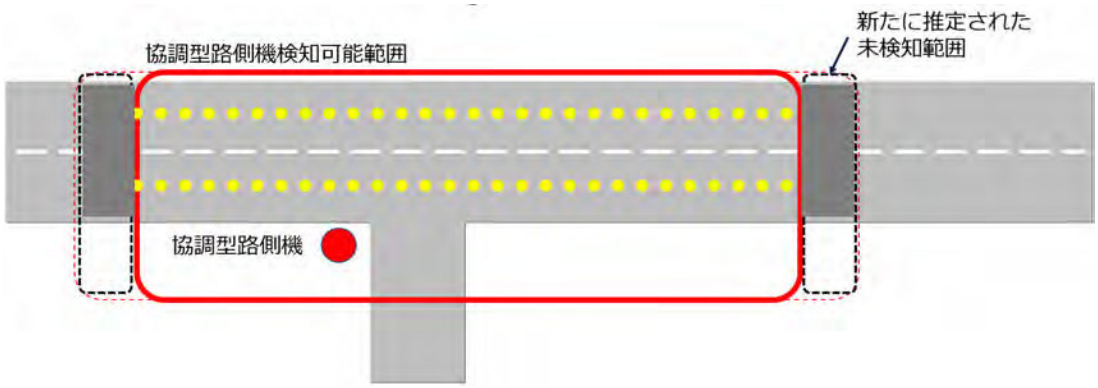


図 21 道路上のペイント／マーカー等によるフリースペース検出精度向上

7. 複数の協調型路側機の連携(例)

ネットワークにより相互接続した複数の協調型路側機を使用した物標の検出の例を図 22 に示す. 各協調型路側機は，LiDAR，カメラ等のセンサは背景差分法によりオブジェクトを検出し，連携する他の協調型路側機と検出情報を交換し，分散型 IMM(Interacting Multi-Model)法により物標を追跡し，さらに追跡情報を連携する協調型路側機との間で交換し物標追跡情報を統合する.

物標検出において，各協調型路側機のセンサで取得した観測データを地上固定座標系で記述した格子地図(エレベーションマップ)にマッピングし，背景差分法により物標に関するセンサの観測点が占有するセルを検出する抽出されたセルについて 8 近傍の占有セルは同一物標に関するセルとみなしてクラスタリングを行う.

すれ違う2つの移動物標を協調型路側機のセンサで観測した場合，格子地図における当該時刻とその後の時刻で当該セル群を比較する. たとえば，物標1(セル A)と物標2(セル B)が移動し，時刻 T1 ではそれぞれの物標が接近し，時刻 T2 で2つのセル群(セル C)が合併される. このとき，時刻 T1 で検出された物標セル群(A、B)と時刻 T2 で検出した物標セル群 C を比較し、(A、B)と C とが重複するセルがあるかを調べ，重複するセル群がある場合は2つの物標セル群が合併したと判断する.

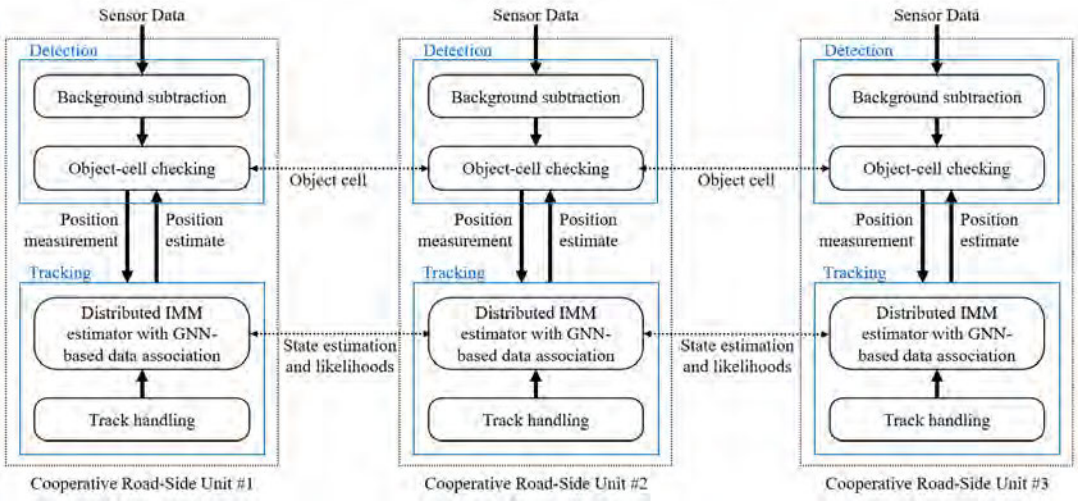


図 22 複数協調型路側機のソフトウエアモジュール連携

改定履歴

更新日	バージョン	改定内容
2022-03-14	0.6.0	2021 年度の最終版
2022-03-14	0.7.0	2022 年度の最終版

CooL4 通信インタフェース仕様（案）
version 0.7.0

最終更新日： 2023 年 3 月 14 日

執筆者：佐藤 健哉（同志社大学）

目次

1. データ連携システム 5
1.1 全体構成 5
1.2 ITS ステーションアーキテクチャ 6
1.3 ネットワーク接続構成 7
1.4 ネットワーク品質向上 9
2. ネットワーク利用形態 10
2.1 データ連携システムの通信種別 10
• IP ジェネラル 10
➢ 携帯電話網（4G/5G）を利用した一般的な IP を利用した双方向通信（路側機とクラウド／MEC 間は有線接続もあり） 10
➢ MEC が複数ある場合は DM2 モバイルの仕組みを利用 10
• SP ブロードキャスト（路側機 → 車両，あるいは，車両 → 路側機，あるいは，車両 → 車両） 10
➢ ITS Connect の ARIB STD T109（760MHz 帯）を利用した一方向ブロードキャスト（現時点における 60GHz 帯 WiGig を含む） 10
➢ 将来登場する PC5 や DSRC の 5.9GHz 帯無線による一方向ブロードキャストの利用も検討に含める 10
➢ 無線が届く範囲での一方向ブロードキャスト（無線が届かなければ通信不可） 10
• DM2 モバイル（車両と路側機の間） 10
➢ 携帯電話網あるいは無線 LAN による IP を利用した双方向ユニキャスト通信 10
➢ 車両→路側機：車両走行位置に基づき通信の宛先となる路側機の特定が必要.....10
➢ 路側機（車両）→車両：走行中車両の位置に基づき宛先となる車両の特定が必要.....10
• DM2 アドホック（車両と路側機の間，あるいは，車両と車両の間） 10
➢ PC5、DSRC、無線 LAN による無線が届く範囲での IP を利用した双方向アドホック通信（無線が届かなければ通信不可） 11
2.2 IP ジェネラル 11
2.3 SP ブロードキャスト 11
2.4 DM2 モバイル 12
2.5 DM2 アドホック 13
3. ブロードキャスト通信拡張 14
3.1 通信方式 14
3.2 通信メッセージ 15
3.3 送信タイミング 16
3.4 セキュリティ 16
3. ネットワーク機能 17

3.1 ネットワーク接続形式 17
3.2 ネットワーク接続手順 17
3.3 ID 管理....18
3.4 ネットワーク接続の流れ 19
4.. セキュリティ・プライバシ 20
4..1 協調型路側機におけるセキュリティ・プライバシの位置づけ 20
4..2 仮名証明書（仮名 ID） 20
4..3 仮名証明書（仮名 ID）実現方式....22
ルート認証局(プライベート)....22
登録局(クラウド)....22
認可局(エッジ) 22
車両(デジタル道路交通データプラットフォーム搭載)....22
コンポーネント間の通信....22
4..4 公開鍵基盤 22
証明書について....23
仮名 ID(Pseudonym ID)と仮名証明書について 23
署名方式とハッシュ値生成アルゴリズムについて....23
4..5 仮名証明書実現機能....25
a. 仮名 ID の払い出し，仮名証明書の発行....26
b. 仮名証明書の取得....26
c. 仮名証明書及び車両の署名(仮名秘密鍵)を使ったメッセージのブロードキャスト配信....26
d. 仮名証明書及び署名の検証 28
e. PKI 通信用 IF 28
f. 登録局による車両登録証明書の検証機能 29
付録....30
A0. IP ジェネラル....31
A0.1 システム構成....31
A0.2 ユースケース....32
A1. SP ブロードキャスト 33
A1.1 システム構成....33
A1.2 ユースケース....34
A2. DM2 モバイル....35
A2.1 システム構成....35
A2.2 ユースケース....36
A3. DM2 アドホック....37
A3.1 システム構成....37

A3.2 ユースケース.....38
改訂履歴.....40

1. データ連携システム

1.1 全体構成

協調型路側機を含むデータ連携システムの全体構成を図 1 に示す. データ連携システムは, 車両, 歩行者・自転車, 協調型路側機, モバイルエッジで構成され, ここではこれら構成要素をITSステーション(ノード)と呼ぶ. データ連携システム全体は, 次の4階層構成としている.

1. モバイルユニット: 地理的な空間上を移動する自動運転あるいは安全運転支援機能のある車両, スマートフォンを持つ歩行者, 自転車など
2. 協調型路側機: スマートポールや信号などの協調型路側機で, 地理的な一定範囲のモバイルユニットを管理する路側エッジ(ロードサイドエッジ)の機能がある
3. モバイルエッジ: 携帯電話網(セルラー網)にモバイルエッジ(MEC:Mobile Edge Computing あるいは Multi-purpose Edge Computing)の機能を含む計算資源であり, 一定範囲の複数の協調型路側機の連携を行う
4. クラウド:インターネット上の計算資源としてのクラウドサーバで, 複数の協調型路側機の連携を行う

インターネットにおける通信の信頼性が予測できないため, クラウドサーバはインターネット上の計算資源とし, モバイルエッジをコアネットワークに配置しているが, クラウドサーバがインターネットを経由せずコアネットワークと直結し通信の信頼性が予測でき, また, 管理するモバイルユニットの増加に伴う処理負荷の問題がない場合, 必ずしもモバイルエッジを配置する必要はない.

モバイルユニットの周辺に協調型路側機が存在しない場合は, セルラー網を利用し, モバイルエッジあるいはクラウドと直接接続する.

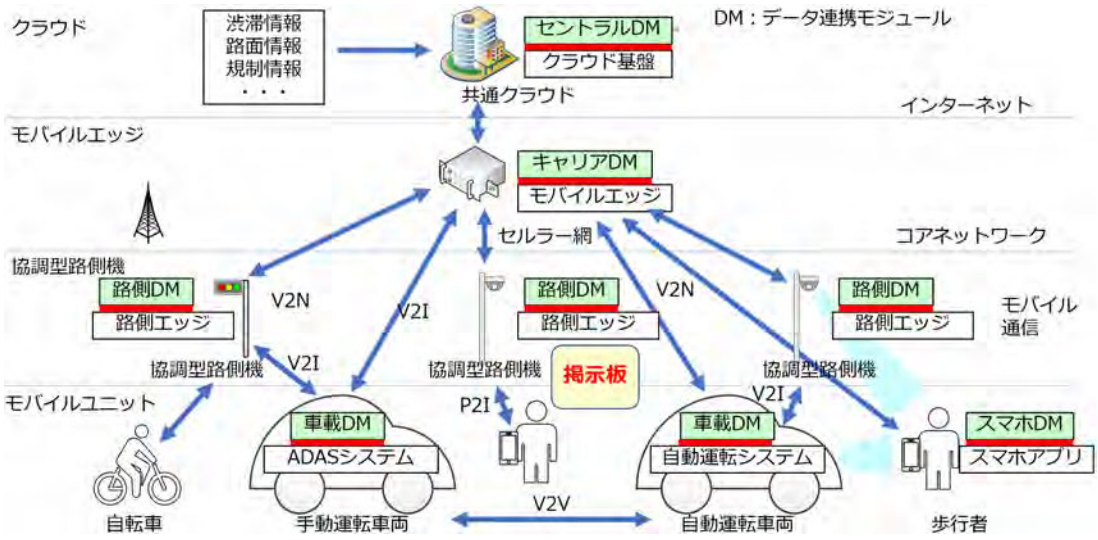


図 1 データ連携システム全体構成

データ連携システムを構成するそれぞれのノードは通信機能とデータ処理機能を持つデータ連携モジュール（DM）を含み，データ連携モジュールを通してノード間を相互に接続し処理を行う．

1.2 ITS ステーションアーキテクチャ

国際標準化機構（ISO）および欧州電気通信標準化機構（ETSI）が定める ITS ステーションアーキテクチャの構成を図 2 に示す．ITS ステーションアーキテクチャは，通信の OSI 参照モデルをベースに，アクセス層，ネットワーク＆トランスポート層，ファシリティ層の3階層を基盤に，データ管理とセキュリティのモジュールから構成される．協調型路側機の構成としては，アクセス層およびネットワークプロトコル（例：IP）を通信メディアとしてとらえ，トランスポート層とコミュニケーションサポートを通信ネットワーク，インフォメーションサポートおよびアプリケーションサポートをデータ連携として考える．

通信メディアとしては，前述のように携帯電話網（4G，5G），PC5，DSRC，ITS 無線，（あるいは無線 LAN アドホック）といった通信手段であり，ネットワークプロトコルは IPv4（あるいは IPv6）であるので，既存の規格を利用することとで，本仕様としては議論しないものとする．

トランスポートプロトコルは TCP，UDP であるが，マルチパス TCP など，複数の通信手段を併用することを想定するため，本仕様としては，コミュニケーションサポートとともに通信ネットワークとして検討対象とする．データ連携については，協調型路側機の検討対象であるが，本仕様には詳細

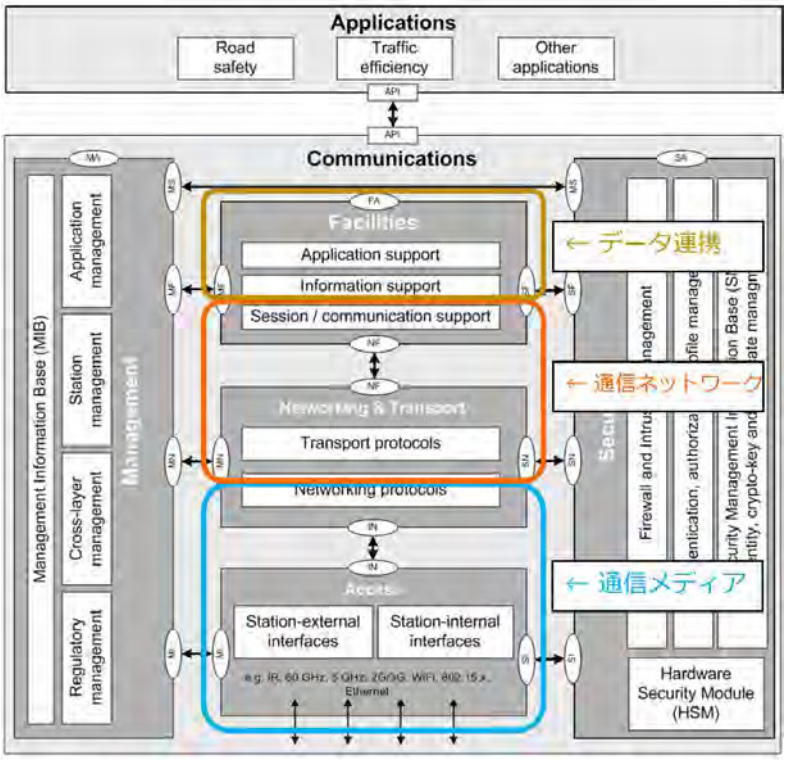


図 2 ITS ステーションアーキテクチャ

を記載しない.

1.3 ネットワーク接続構成

車両等のセンサデータは短い周期(例:1/10 秒)で送信されるため、渋滞時や都市レベルでの交通流制御を想定した場合、多くの車両の情報を単一のサーバ(クラウド)に集約して管理する必要があり、ネットワークや計算資源への負荷が大きくなるといったスケーラビリティの問題が想定される。大規模データをリアルタイムに処理するために、クラウド/エッジ/車両にまたがる三層構造のネットワークシステム構成の採用を検討する。一般的にエッジサーバの配置については議論があるが、ここでは協調型路側機に配置されるのをロードサイドエッジと呼び、携帯電話網のコアネットワークに配置されるのをモバイルエッジ(MEC)と呼ぶこととするが、通信システムの接続の観点から、モバイルエッジはクラウドと密接に連携するためクラウドと一体として検討を進める。ネットワークシステム全体構成の概要を図 3 に示す。

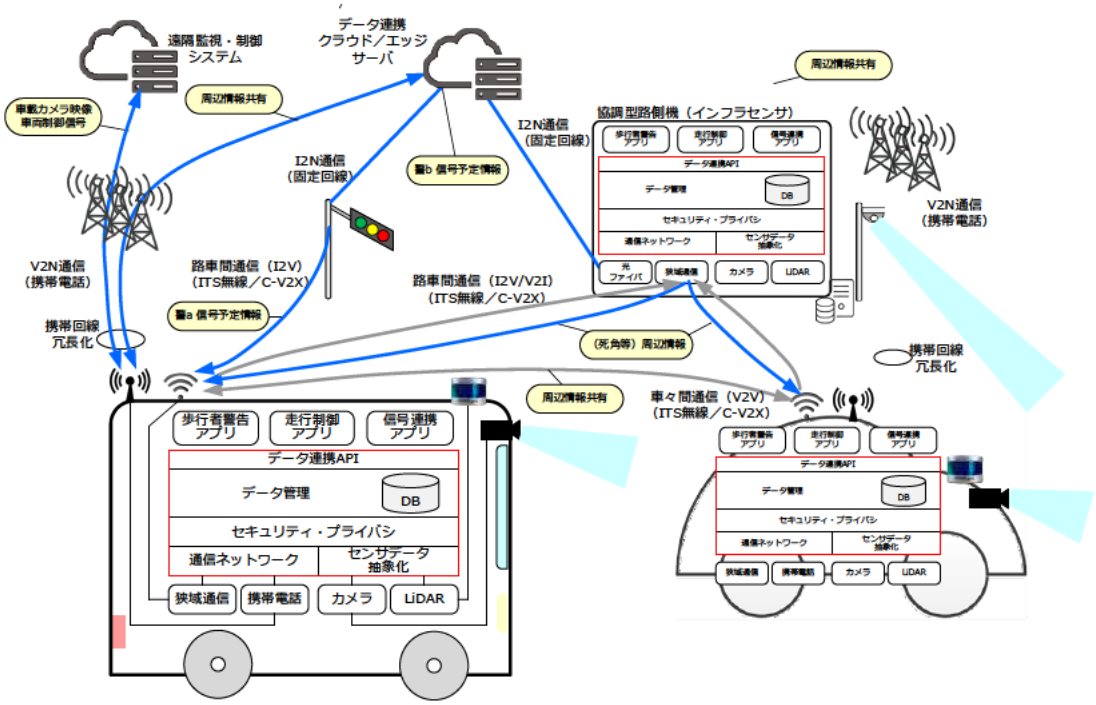


図 3 ネットワークシステム全体構成概要

データ連携のための各ノードを接続するためのネットワーク(L2)構成を図 4 に示す. クラウド, モバイルエッジ, 協調型路側機, 車両などの各ノード間はそれぞれのネットワークで接続される.

協調型路側機と車両は次の 2 種類の通信形態で接続される.

1. 直接通信によるブロードキャスト: 携帯電話網の直接通信(PC5), 狭域通信(IEEE 802.11p などの DSRC), ITS 無線(760MHz 帯を利用した ARIB-STD-T109 方式), および, 無線 LAN によるアドホック通信である. PC5 や DSRC の場合, ネットワーク層による通信相手を識別するのではなく, すべてのノードに送信(ブロードキャスト)され, アプリケーションにおいてメッセージの宛先を識別する. 無線 LAN の場合はネットワーク層において IP によるブロードキャストが行われ, アプリケーションにおいてメッセージの宛先を識別する. 通信はおよそ数百メートルの電波が届く範囲のみ可能となる. 主にブロードキャスト方式を利用した直接通信のため, 遅延は非常に小さい.
2. 携帯電話網によるユニキャスト:携帯電話の基地局を経由で IP(Internet Protocol)による 1 対 1 の接続である. 携帯電話の基地局の電波が届く範囲において通信可能であり, 通信の際には相手先の IP アドレスを指定する必要がある. 協調型路側機は地理的な一定範囲の車両を管理するため, 車両の移動に伴い担当する協調型路側機が変更される. ここでは, 位置情報に基づいた IP アドレスを指定する接続形態とする.

協調型路側機の地理的管理エリア内の車両は直接通信を利用して協調型路側機と通信を行うが, 車両の周辺に協調型路側機が存在しない場合は携帯電話網(IP 通信)を利用して, モバイルエッジと接続する.

車両同士は, 協調型路側機と車両の接続と同様に, 直接通信を利用する. モバイルエッジにおいて, 各車両の IP アドレスを管理しているため, 特定の車両において相手車両の IP アドレスを知ることができ, 携帯電話網を利用した IP 通信が可能であるが, 本構成では接続の複雑さ低減のた

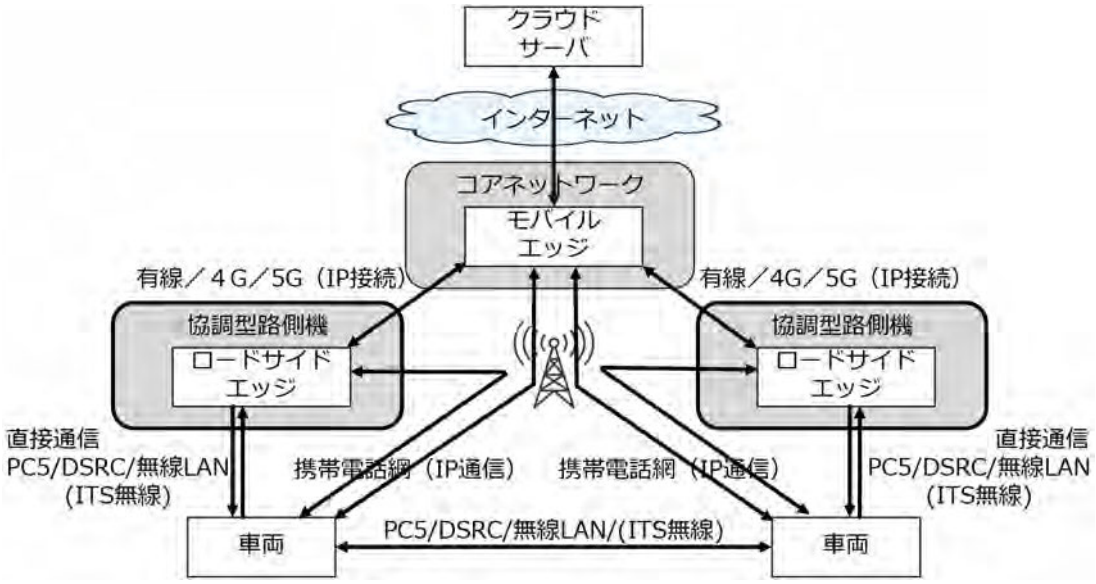


図 4 データ連携ネットワーク(L2)接続構成

め，携帯電話網を利用した車両間の直接通信は利用しない．協調型路側機とモバイルエッジは有線あるいは携帯電話網（4G あるいは 5G）を利用した IP 通信を利用する．協調型路側機は移動しない想定であるため，固定的な接続となる．通常，モバイルエッジとクラウドサーバはインターネット経由で接続される．

1.4 ネットワーク品質向上

通信の信頼性向上あるいは遅延低減のためには，複数の通信手段を併用する．たとえば，異なる携帯電話事業者（例:ドコモ，au，ソフトバンクなど）の通信路を複数利用する場合，あるいは，4G と 5G といった仕様の異なる携帯電話網の併用，狭域通信（DSRC，LTE-V2X，WiFi Ad-hoc など）を一般的な携帯電話網と併用する場合が想定される．

データ連携のためのソフトウエアモジュール構成例を図に示す．通信方式が変更された場合でも，その他の通信関連ソフトウエアモジュールに影響しないこと，移動に伴い接続先を用意に変更できることが重要である．また，セキュリティ機能（DTLS）にも対応が求められる．

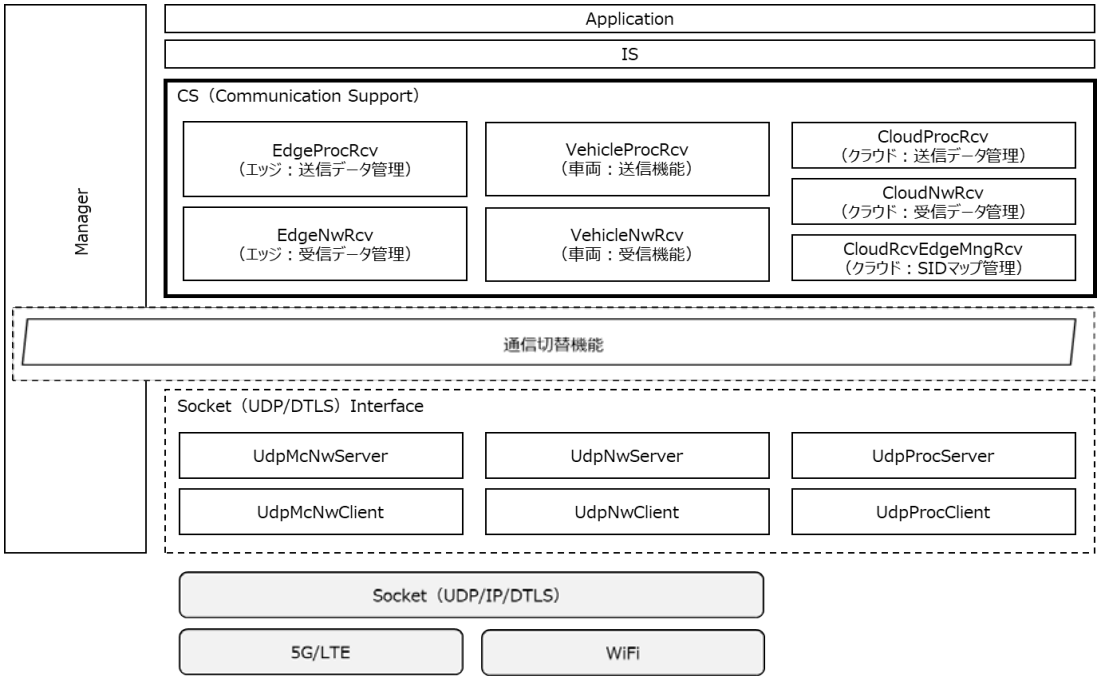


図 5 複数通信手段併用のためのソフトウエアモジュール構成例

2. ネットワーク利用形態

2.1 データ連携システムの通信種別

協調型路側機と車両の連携関するデータ連携システムの通信種別を図 5 に示す. 通信を4種類のタイプとして区別する. ユースケースごとに通信のタイプを使い分ける前提とし, ここでは, 各通信手段の併用は含んでいない. 具体例については, 付録に示す.

- IP ジェネラル
  - 携帯電話網（4G/5G）を利用した一般的な IP を利用した双方向通信（路側機とクラウド／MEC 間は有線接続もあり）
  - MEC が複数ある場合は DM2 モバイルの仕組みを利用
- SP ブロードキャスト（路側機 → 車両, あるいは, 車両 → 路側機, あるいは, 車両 → 車両）
  - ITS Connect の ARIB STD T109（760MHz 帯）を利用した一方向ブロードキャスト（現時点における 60GHz 帯 WiGig を含む）
  - 将来登場する PC5 や DSRC の 5.9GHz 帯無線による一方向ブロードキャストの利用も検討に含める
  - 無線が届く範囲での一方向ブロードキャスト(無線が届かなければ通信不可)
- DM2 モバイル（車両と路側機の間）
  - 携帯電話網あるいは無線 LAN による IP を利用した双方向ユニキャスト通信
  - 車両→路側機：車両走行位置に基づき通信の宛先となる路側機の特定が必要
  - 路側機（車両）→車両：走行中車両の位置に基づき宛先となる車両の特定が必要
- DM2 アドホック（車両と路側機の間, あるいは, 車両と車両の間）

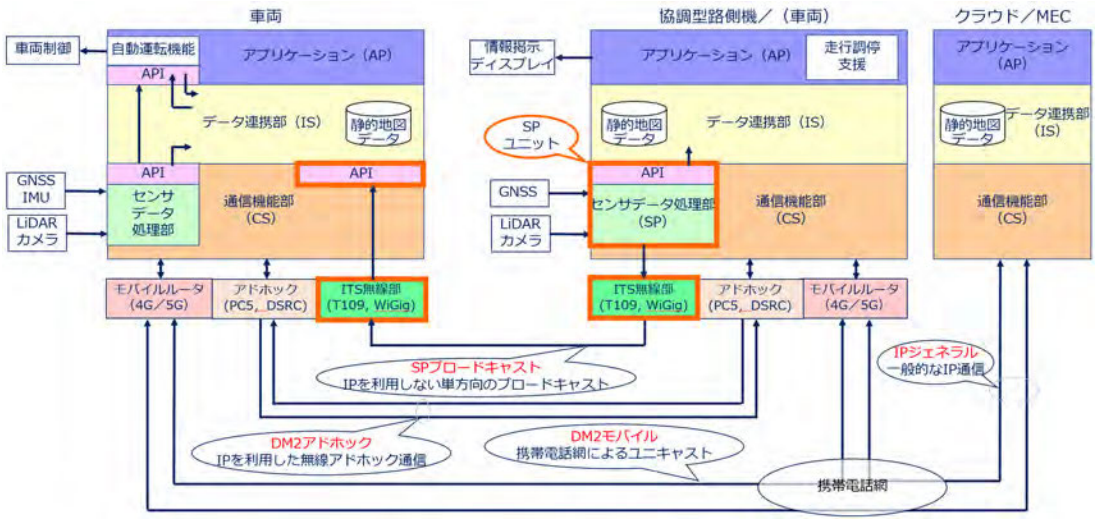


図 5 データ連携システムにおける通信種別

- PC5、DSRC、無線 LAN による無線が届く範囲での IP を利用した双方向アドホック通信（無線が届かなければ通信不可）

2.2 IP ジェネラル

図 6 に IP ジェネラルの通信形態における各ユニットの具体的な接続形態を示す. 携帯電話網の一般的な IP ネットワークの通信のみを利用して, 事前に設定されている IP アドレスを利用し, 車両, 協調型路側機をクラウド／MEC と接続し, 車両に搭載したセンサにより検出した物標情報をクラウド／MEC サーバであるセントラル DM に集約しデータ連携 PF のデータ連携部に送信し管理を行う. 各車両（車載 DM）は, この物標情報をセントラル DM から取得し, 自動運転の安全性を向上させることが可能となる.

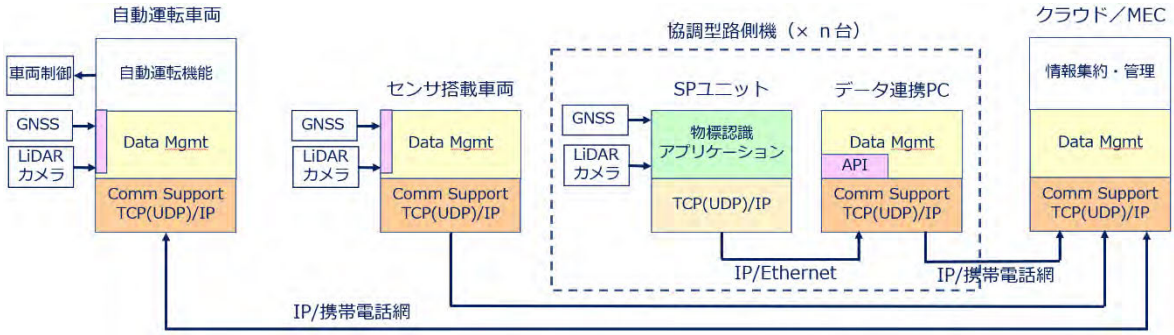


図 6　IP ジェネラル通信形態のユニット接続形態

2.3 SP ブロードキャスト

図 7 に SP ブロードキャストの通信形態における各ユニットの接続形態を示す. ITS Connect で採用されている ITS 無線の通信規格 ARIB Std-T109 を利用し, 一般的な IP プロトコルではなく ITS Connect 独自の車々間通信メッセージ TD-001 をブロードキャスト方式で送信することで, 車載センサによる車両周辺の物標情報を共有する方式である. ITS 無線はブロードキャスト方式であるため, 携帯電話のような基地局経由ではなく, 電波が届く範囲において, 車両から直接, 協調型路側機に送信する.

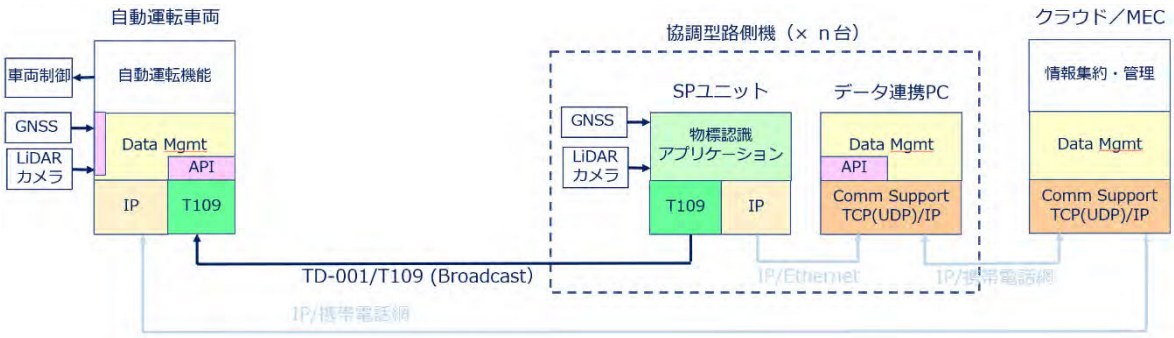


図 7　SP ブロードキャスト通信形態のユニット接続形態

2.4 DM2 モバイル

図 8 に DM2 モバイルの通信形態における各ユニットの具体的な接続形態を示す．携帯電話網の一般的な IP ネットワークの通信のみを利用して，車両，協調型路側機をクラウド／MEC と接続するのは，IP ジェネラルと同じであるが，車両から協調型路側機にも接続している点が異なる．車両の移動に伴い，接続先の協調型路側機が変更となるため，車両が現在の位置を認識し，その位置情報に基づいた協調型路側機の IP アドレスを検索し，接続する方式となる．

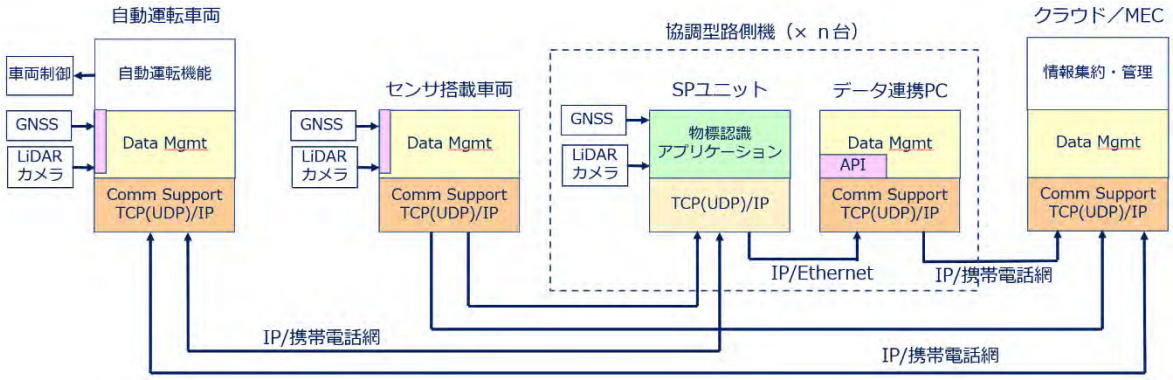


図 3　DM2 モバイル通信形態のユニット接続形態

車両の走行環境において，車両と協調型路側機の間には複数の通信の接続形態が利用可能となる場合がある．IP ジェネラル，SP ブロードキャスト，DM2 アドホック，DM2 モバイルと，複数の接続形態があるが，通信の使用状況（混雑状況），車両の移動特性に応じて，複数の接続形態の中からの選択，あるいは，複数の同時併用を検討する．

2.5 DM2 アドホック

図 9 に DM2 アドホックの通信形態における各ユニットの接続形態を示す．接続形態は SP ブロードキャストと同様にブロードキャストとなるが，通信方式は携帯電話の直接通信である PC5，あるいは，DSRC を利用し，IP プロトコルを用いて通信を行う．PC5 あるいは DSRC は無線免許が必要となる特殊な通信方式であるため，許可されていないエリア外での実証実験では，通常の無線 LAN のアドホックモードを利用する．

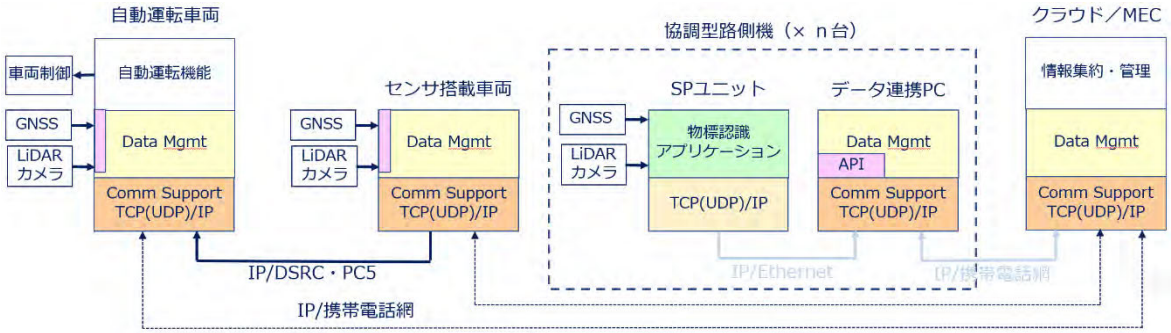


図 9　DM2 アドホック通信形態のユニット接続形態

3. ブロードキャスト通信拡張

3.1 通信方式

前述のように SP ブロードキャストの通信形態における各ユニットの接続形態を示す. ITS Connect で採用されている ITS 無線の通信規格 ARIB Std-T109 を利用する予定であるが, 現在の ITS Connect の車々間・車路間通信では, 車両から送信できるデータサイズは 100 バイト程度であり, 利用用途が限定される.

そこで、本システムで送信すべきメッセージ(CDSM:Cooperative Driving Support Message)として、ARIB STD T109 準拠で車両から路側へ送信する方法(車路間通信)の仕様を次の表に示す。本方式は, ARIB STD T109 仕様に準拠しているが, 現在, 流通している ITS Connect 向けの通信機では対応しておらず, 通信機の改良が必要となる.

項目	車々間	車路間(新規検討)
周波数帯	755.5 MHz を超えて 764.5 MHz 以下	←
占有周波数帯幅	9 MHz 以下	←
空中線電力	10 mW/MHz 以下	←
変調方式	QPSK/OFDM	16QAM/OFDM
符号化率	3/4	←
通信方式	ブロードキャスト	←
送信周期	100 ms	←
データ伝送速度	6 Mbit/s	18 Mbit/s
アクセス方式	CSMA/CA	CSMA/CA
セキュリティ方式	MAC 方式	電子署名方式
送信時間	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66ms 以下であり、送信バースト長は 0.33 ms 以下	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66ms 以下であり、送信バースト長は 0.33 ms 以下で、車々間通信に影響を与えない送信とする
送信データサイズ	100 ms 中に 100 バイト(セキュリティ OFF)	100 ms 中に 300 バイト(セキュリティ OFF)

3.2 通信メッセージ

通信を行う際の協調走行支援メッセージ(CDSM:Cooperative Driving Support Message)の構成を図 10 に示す.

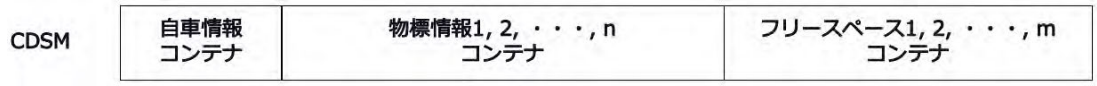


図 10 協調走行支援メッセージ構成

- 自車情報(自己物標情報、パスプラン)
  - 自己物標情報:自車の位置、速度など
  - パスプラン:○m 先までの走行予定経路(Waypoint)
  - 路→車間通信の場合、(複数車両の)パスプランのみ
- 周辺物標情報:センサにより検出した周辺の車両、歩行者、自転車等の情報
- フリースペース情報:周辺物標が存在しない道路上のエリア
  - 車→路通信の場合、車載センサで検知した前方の物標までのエリア

メッセージ構成は通信メディア(ARIB STD T109、PC5/DSRC、携帯電話網等)に依存しない構成としている.

CDSM は検知した物標の数によりメッセージサイズが可変である。ARIB STD T109(CSMA)フレームで送信するため, コンテナの情報ごとにフレームに分割して送信する必要がある. その際には, フレームごとの優先度を設定し、その優先度順に送信する.

例:優先度は情報の信頼度(複数車両間で統一の重要度を設定可能な場合は重要度)

通信の帯域が不足する場合は, 低い優先度のフレームは送信しないことで対応する. その場合の分割方法を図 11 に示す

図 11 協調走行支援メッセージの分割送信

3.3 送信タイミング

ARIB STD T109（CSMA）のフレーム送信は、特定協調型路側機エリア内におけるフレーム送信サイクル（TDMA フレームの合間）に入れる必要がある．その際の分割後の協調走行支援メッセージの送信タイミングを図 12 に示す．

図 12 協調走行支援メッセージの送信タイミング

3.4 セキュリティ（ARIB STD T109 利用時）

協調走行支援メッセージの送信に関して，ARIB STD T109（TDMA）の場合は，ARIB STD T109 の仕様上はセキュリティ機能なしで，IEEE1609.2 準拠のセキュリティ機能を独自で導入を検討する．また，ARIB STD T109（CSMA）も仕様上はセキュリティ機能なしで，IEEE1609.2 準拠のセキュリティ機能を独自で導入することを検討する．現状では，MAC 方式は利用できても， IEEE1609.2 準拠の証明書が入らないため，変調方式は，QPSK ではなく，16QAM 3/4 を採用し，送信フレームサイズを拡張し，送信可能距離は TDMA と同等とすることが考えられる．一方で，携帯電話網の使用の際は，セキュリティとして TLS あるいは DTLS を採用することが考えらえっる．詳細については後述する．

3. ネットワーク機能

3.1 ネットワーク接続形式

移動する車両から協調型路側機(ロードサイドエッジ)やモバイルエッジサーバに対してネットワーク接続するたには，接続先の ID(例:IP アドレス)を知っておく必要があるが，車両の移動に伴い，接続すべき協調型路側機やモバイルエッジサーバが変化する．ここでは，車両とエッジをユニキャストで接続するために，車両が走行する位置に基づいて接続先を静的に特定する手法を利用する．この位置情報に対応して接続先を切り替える機能を GeoStaticRooting と呼ぶものとする．GeoStaticRooting の概要を図 9 に示す．

車両，エッジなどの通信ノードはアプリケーションにおいて事前に割り当てられた固定の ID(SID: Station ID)を保持している．各車両は自車両が走行する位置情報からレーンを判別し，この LaneID から接続先のエッジの SID を検索し，この SID から接続先のエッジの IP アドレスを知ることができる．

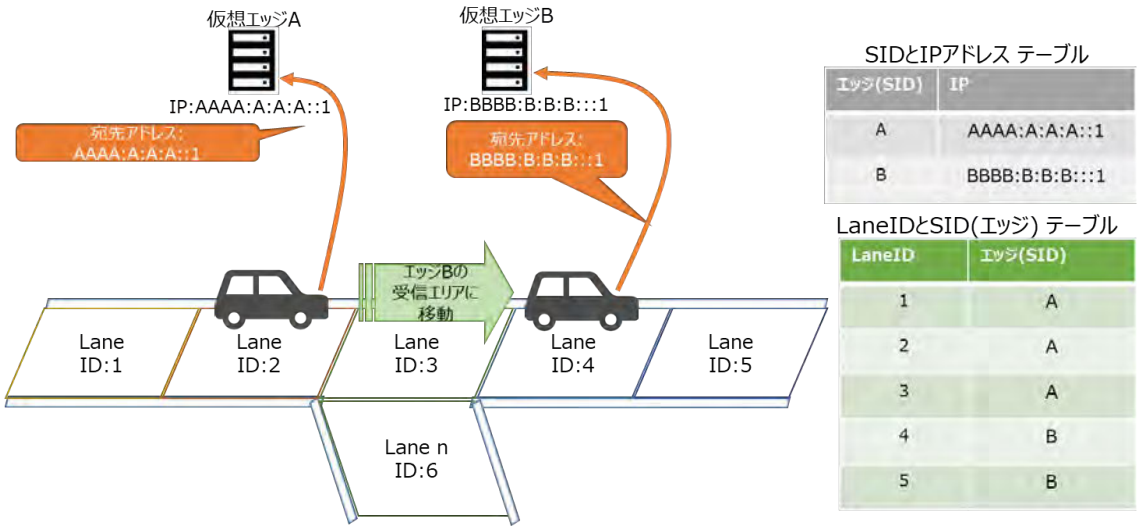


図 4　GeoStaticRooting 概要

3.2 ネットワーク接続手順

移動する車両に対して通信を行う必要があるが，エッジ，クラウドで管理し，車両の移動に伴い更新することで，車両を特定することが可能となる．この流れを図 10 に示す．車両の移動に伴い，接続先のエッジが変更になる場合は，クラウド経由で車両の移動情報を管理する仕組みとしている．

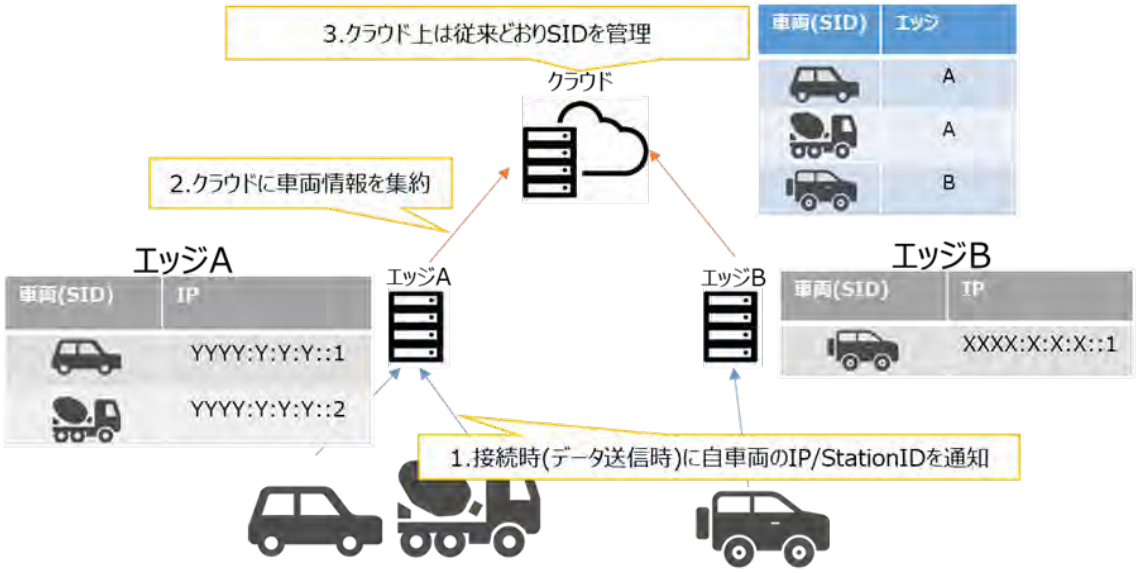


図 5 車両の SID と IP アドレス管理の管理

3.3 ID 管理

クラウド，エッジ，車両の SID と IP アドレスの管理と LaneID の関係についてまとめた構成がとなる．

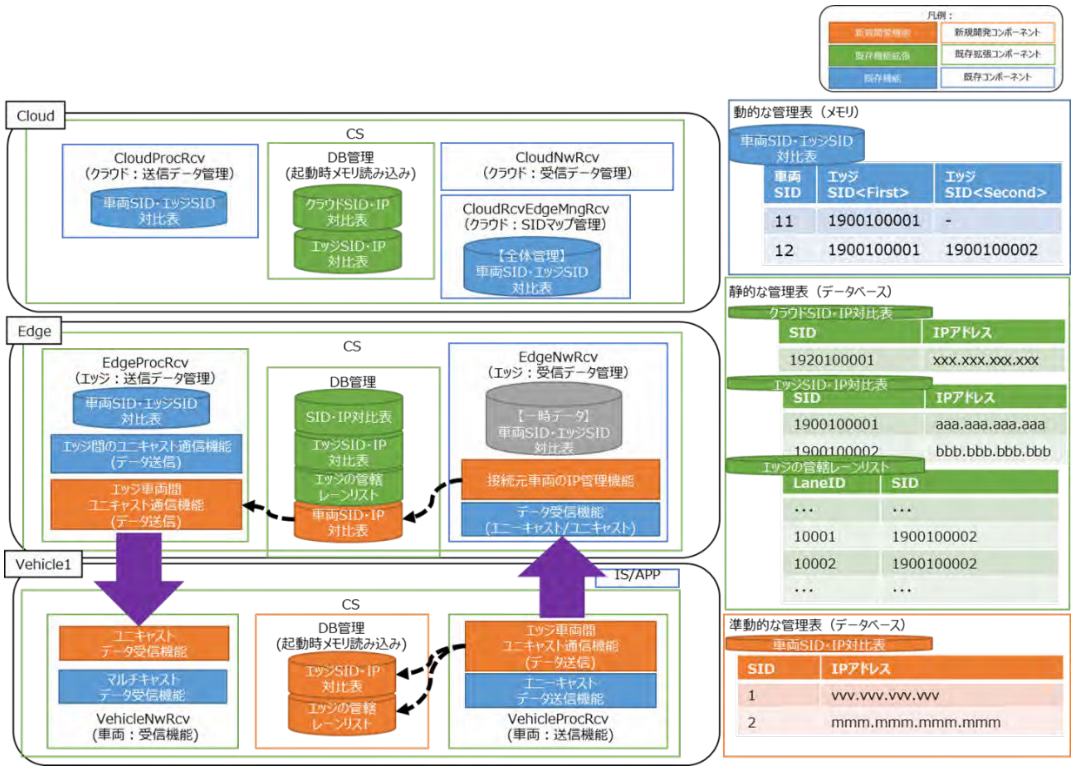


図 6 クラウド，エッジ，車両における SID と LaneID の管理

3.4 ネットワーク接続の流れ

具体的なクラウド，エッジ，車両における接続管理メッセージの流れを図 12 に示す．

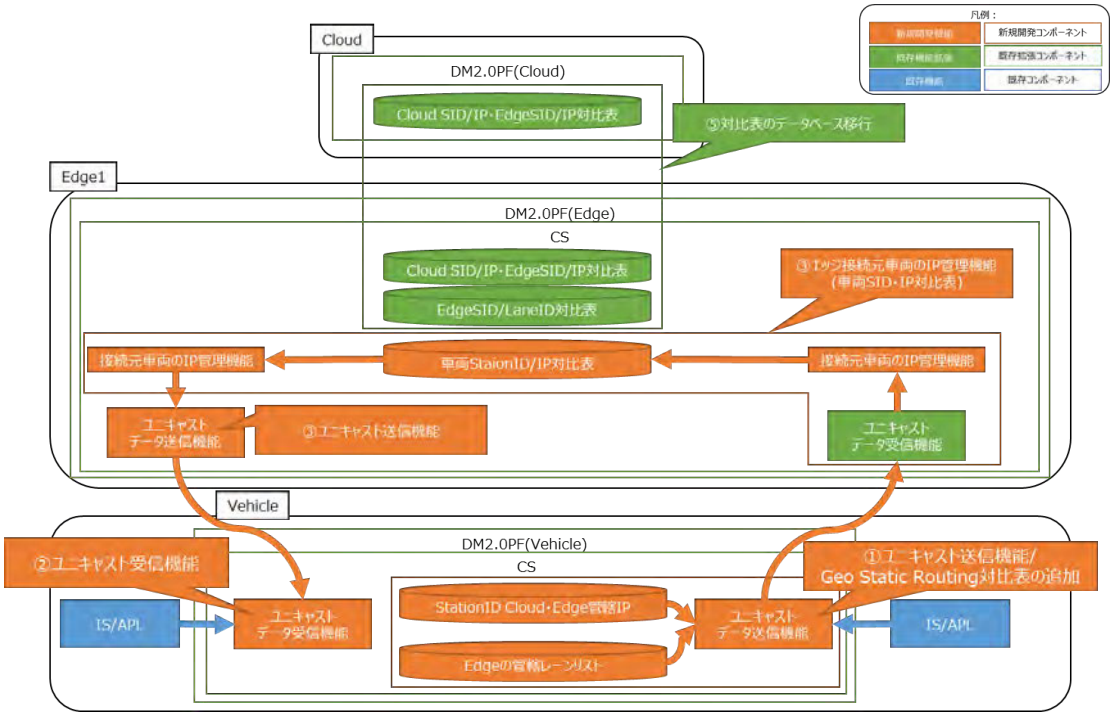


図 7 クラウド，エッジ，車両における接続管理メッセージの流れ

4.. セキュリティ・プライバシ

4..1 協調型路側機におけるセキュリティ・プライバシの位置づけ

セキュリティ(真正性・完全性の検証)・プライバシ(ロケーショントラキングの回避)の観点から，車両から協調型路側機，あるいは，車両から車両へ送信されるメッセージは，仮名 ID を利用する(既存の ITS Connect では，メッセージサイズの制約から共通鍵を利用したメッセージ認証コードによる検証方式を採用しており，仮名 ID の実現は困難である)．協調型路側機(あるいは公共交通の車両)から送信されるメッセージは，プライバシ保護のための仮名 ID を利用する必要はないが，真正性・完全性を保証するために公開鍵証明書を含む電子署名による検証が必要となる．

図 9 に共通鍵による MAC 方式と公開鍵による電子署名方式のメッセージの比較を示す．

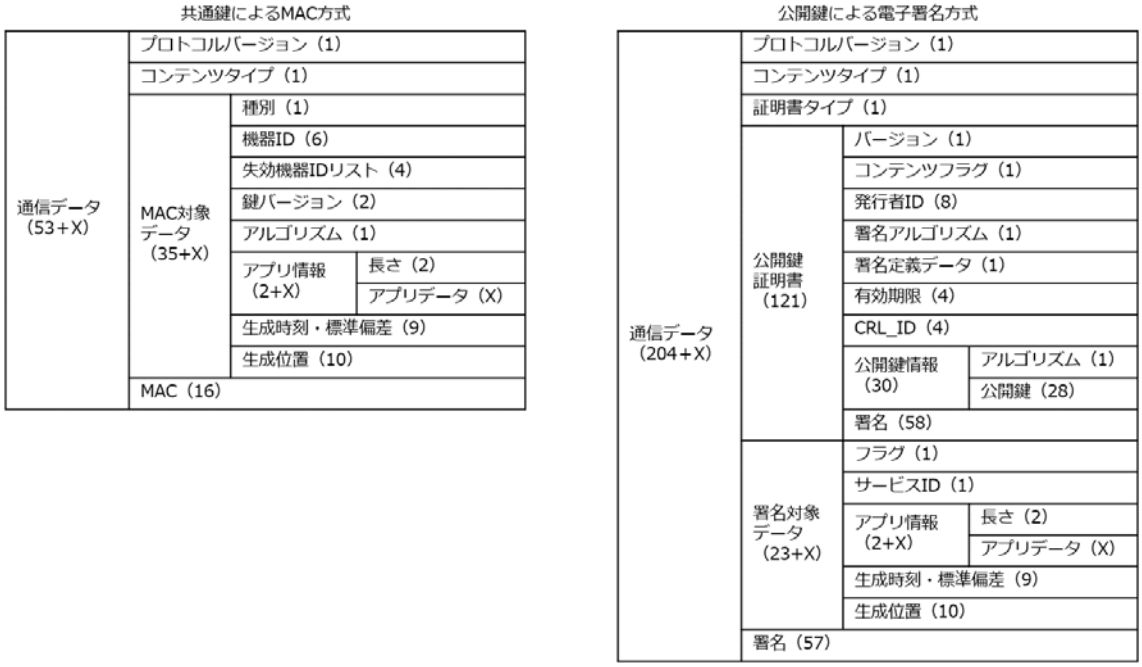


図 8 共通鍵 MAC 方式と公開鍵電子署名方式のメッセージ比較

4..2 仮名証明書(仮名 ID)

仮名証明書(仮名 ID)発行および検証の一連の手順を図 10 に示す．車両の秘密鍵および車両

の公開鍵を証明するための認証局(CA)による証明書を事前に車両に保持しておく. 仮名のメッセージを送信するために, まず, 登録局(EA)に対して車両の公開鍵証明書を利用して登録許可要求を送信し, 登録証明書(EC)を返送する. 次に, 登録証明書を利用して認可局に仮名証明書を要求し, 認可局は複数の仮名証明書(AT)を車両に対して発行する. この仮名証明書を付けてメッセージを協調型路側機に送信する. 協調型路側機は車両から送信されてきたメッセージの真正性・完全性を検証する.

車両から車両に対してメッセージを送信する場合, 送信側車両が仮名証明書付きのメッセージを送信するも協調型路側機宛ての場合と同様である.

プライバシ保護の観点からロケーショントラッキングを回避するために, 仮名 ID を一定時間経過あるいは特定距離走行の後に変更する必要がある. 車両から協調型路側機あるいは車両から車両への通信の負荷軽減のため, 仮名証明書の送信を毎回行うのではなく, 一定時間ごとに送信する手法もある. また, 車両増加に伴う認可局の負荷軽減のために, 機能を分散させることもある.

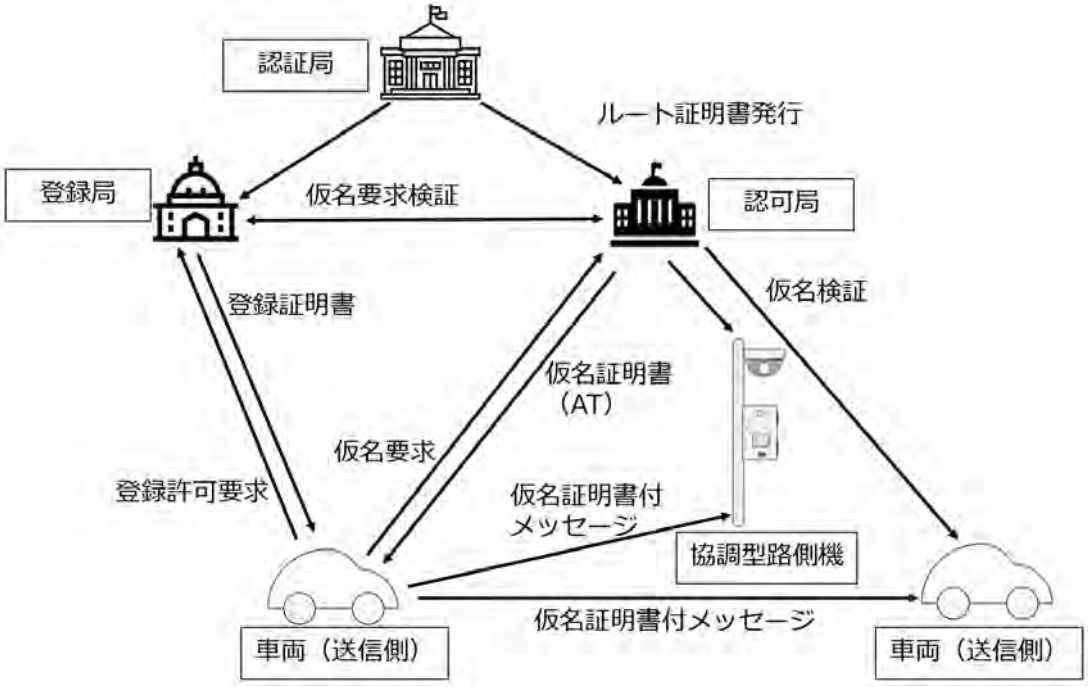


図 9 仮名証明書の発行・検証の手順

4..3 仮名証明書（仮名 ID）実現方式

車載 DM，エッジ DM，クラウド DM の三層構造に対応した公開鍵基盤(PKI)において，仮名証明書の発行手順を示す．車両から配信されるブロードキャストのメッセージに証明書及び電子署名を付与し，受信側で証明書と署名の検証を行うことで真正性と完全性を保証，なりすましと改竄を防止したメッセージ配信を行うことが可能となる．公開鍵基盤のコンポーネントのとしては，ルート認証局(プライベート)・登録局・認可局・車両(デジタル道路交通データプラットフォーム搭載)があり，ここでは認可局/登録局及び車両についての実現方式を説明する．

ルート認証局(プライベート)

ルート証明書の発行を行う．既存のライブラリを利用，環境構築時に手動で各コンポーネントに配備する．

登録局(クラウド)

PKI に接続する車両の登録及びコンポーネントの登録証明書発行を行う．既存のライブラリを利用，環境構築時に手動で各コンポーネントに配備する．認可局からの要求に応じて，車両登録証明書の検証結果を返す．

認可局(エッジ)

PKI に接続する車両の通信用の証明書発行を行い，新規に ID を新規に払い出す．本証明書については，仮名証明書と呼称し新規で払い出す ID については仮名 ID と呼称する．本証明書については，車両が移動する際に動的に変更されるため，車両からの発行依頼に応じて証明書を発行する．

車両(デジタル道路交通データプラットフォーム搭載)

PKI に接続するための鍵生成及び，各証明書の発行依頼を環境構築時に手動で行う．ただし，仮名証明書については車両が移動する際に動的に変更されるため，認可局と連携し仮名証明書と ID を発行する．また，メッセージをブロードキャストで配信するため，デジタル道路交通データプラットフォームの通信部分のメッセージに署名及び証明書を付与し，メッセージを IPv6 のマルチキャストアドレスを利用し周辺車両に配信する．

コンポーネント間の通信

認可局と車両間の公開鍵・仮名証明書のやりとりにおいて HTTPS(TLS1.3 相当)による暗号化通信機能を備える．この通信のことは PKI 通信用 IF と記載する．

4..4 公開鍵基盤

公開鍵基盤とは，公開鍵暗号方式や電子署名方式を利用した，公開鍵とその公開鍵の所有者の対応関係を担保し，真正性や完全性を担保する仕組みである．本研究ではデジタル道路交通データプラットフォーム向けの公開鍵基盤について構築を行った．通常の公開鍵基盤と異なる点について補足を行う．

証明書について

IEEE 1609.2 では ITS 向けのフォーマットとして独自の IEEE 1609.2 フォーマットを規定しているが，本フォーマットに対応したライブラリについては現在も研究・開発が行われている段階となっており，既存のライブラリ等では対応を行うことが難しい．また，IEEE 1609.2 で他のフォーマットを使うことについては許容されている．IEEE 1609.2 の補足規格である IEEE 1609.2.1 の証明管理インタフェースに関する規格についても IEEE 1609.2 フォーマット か X509 証明書をサポートしていると規定されている．このため，本研究では X509 証明書を利用して公開鍵基盤の開発を行った．

仮名 ID(Pseudonym ID)と仮名証明書について

車車間・路車間通信では，真正性と完全性を保証（逆に言うと，なりすましと改竄を防止）するために，メッセージに電子署名を付ける．メッセージ認証コード（MAC）を付ける方法もあるが，真正性が保証できない（なりすましを防止できない）．真正性を保証するために，メッセージにはデータの生成者（＝署名者）の ID が含まれる．実際には，メッセージには電子証明書が含まれ，電子証明書の中に署名者の ID が含まれる．この場合，車両が送信するメッセージから，容易に車両を特定することができ，その ID を長期的にトラックキング(グローバルトラッキング)することで車両のプライバシを侵害する恐れがあるという問題がある．そこで，仮名性を持ったメッセージの送信を行うことでこの問題を解決する．仮名性とは，メッセージの送信者の同一性はわかるが，送信者は容易に特定できない性質となる．具体的にはこれを仮名 ID(仮名証明書)の発行により実現する．仮名 ID(仮名証明書)とは実際の ID の変わりに使用する仮の ID となる．偽名とは異なり，正当な送信者であることは保証されている必要がある．この仮名 ID(仮名証明書)を一定の期間で切り替えることにより，長期的なトラッキングを防止し，車両のプライバシを保護する．本研究では，仮名証明書を含むデジタル道路交通データプラットフォーム PKI を構築すると共に，デジタル道路交通データプラットフォーム搭載車両からのブロードキャストのメッセージ送信に署名及び仮名証明書を付与する部分について開発を行った．

署名方式とハッシュ値生成アルゴリズムについて

公開鍵基盤については一般に，RSA 暗号を用いた署名方式や DSA(ECDSA)方式を使った署名方式が存在する．インターネット上に配置される Web システムや，アプリケーションでは RSA 方式が利用されることが一般的だが，V2V 通信や V2I 通信といった帯域が制限される環境では，署名の長さが短く全体としての処理時間が短い ECDSA 方式が採用される．ECDSA 方式の採用については国際規格である IEEE 1609.2 5.3.1 Signature algorithms でも規定されている．このため本研究において，署名の方式については ECDSA による署名方式を使って DM2.0PKI を作成することとした．また，ハッシュ値の生成アルゴリズムについては，IEEE1609.2 及び ETSI TS 103 097 で規定されている SHA-256 か，SHA-384 の利用

が規定されている. 署名長の短縮のため本研究では SHA-256 のハッシュ値生成アルゴリズムを用いる.

全体像の各用語を表 1 にまとめる.

表 1 セキュリティ・プライバシ用語一覧

用語	発行コンポーネント	動的生成/事前配備	説明
ルート認証局秘密鍵	ルート認証局(プライベート)	事前配備	ルート証明書に署名を行う秘密鍵.
ルート証明書	ルート認証局(プライベート)	事前配備	デジタル道路交通データプラットフォーム PKI 内部でのみ効果のあるルート証明書(プライベートルート証明書). 登録局, 認可局の公開鍵への証明書発行と, コンポーネント間の PKI 通信 IF の暗号化通信に利用する.
登録局証明証	ルート認証局(プライベート)	事前配備	ルート認証局から署名を行った登録局の公開鍵. PKI 通信 IF の暗号化通信に利用する. 登録局の発行する登録証明書とは異なる. また, 登録証明書の検証にも利用可能.
登録局秘密鍵	登録局	事前配備	登録局の秘密鍵, 車両からの登録依頼に署名を行う.
登録証明書	登録局	事前配備	車両からの登録依頼(公開鍵)に署名を行った証明書. 車両から受け取った StationID の情報は含まれない.
車両秘密鍵	車両	事前配備	車両が生成する秘密鍵, この秘密鍵から車両公開鍵の生成を行う.
車両公開鍵	車両	事前配備	車両秘密鍵から生成した, 公開鍵.
認可局証明書	ルート認証局	事前配備	ルート認証局から署名を行った認可局の公開鍵. PKI 通信 IF の暗号化通信に利用する. 本証明書を車両が既に取得済みの場合はルート証明書と組み合わせて仮名証明書の検証が可能.

認可局秘密鍵	認可局	事前配備	認可局の秘密鍵，車両からの仮名証明書発行依頼(公開鍵)に署名を行う.
仮名証明書	認可局	動的生成	車両からの仮名証明書発行依頼(公開鍵)に署名を行った証明書.
仮名秘密鍵	車両	動的生成	仮名証明書発行(公開鍵)及びブロードキャスト配信に署名を行うための秘密鍵.
仮名公開鍵	車両	動的生成	仮名秘密鍵から生成した，公開鍵．この公開鍵で認可局への仮名証明書生成依頼を行う.
仮名 ID	車両	動的生成	
メッセージ(署名付き)	車両	動的生成	

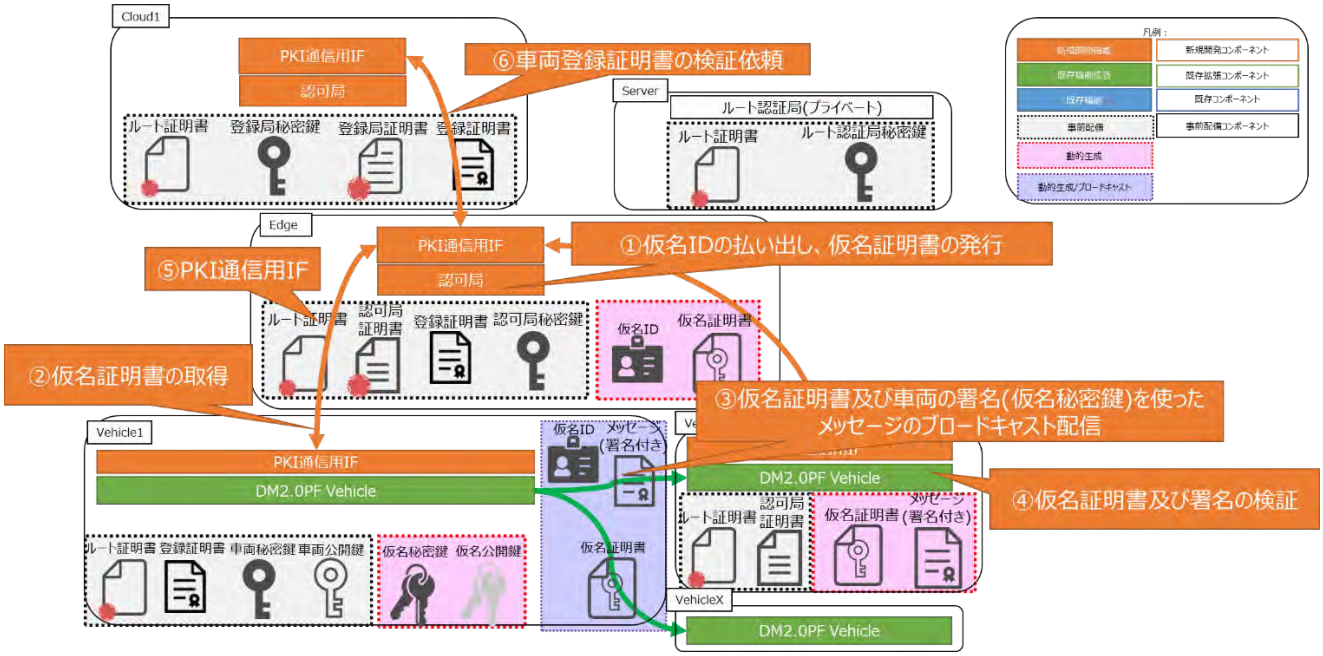


図 10 デジタル道路交通データプラットフォーム PKI の全体像

4..5 仮名証明書実現機能

今年度の開発では公開鍵基盤のプロトタイプの新規開発を行った．開発機能の一覧を以下に記載する.

a. 仮名 ID の払い出し，仮名証明書の発行

b. 仮名証明書の取得
c. 仮名証明書及び車両の署名(仮名秘密鍵)を使ったメッセージのブロードキャスト配信
d. 仮名証明書及び署名の検証
e. PKI 通信用 IF
f. 登録局による車両登録証明書の検証機能

各コンポーネントの役割・開発機能については以下に詳細を記載する.

共通事項

各コンポーネントの発行する証明書の期限については上限値を設定するものとする. 各コンポーネント間の通信手段には PKI 通信用 IF を用いてセキュアに通信を行う（ただし, 車両のブロードキャストによるメッセージ配信は除く）. 各証明書の発行・検証履歴については各登録局・認可局でログとして出力するものとした. ただし, 事前配備する各証明書については対象外する. .

a. 仮名 ID の払い出し, 仮名証明書の発行

認可局は, 車両からの仮名証明書発行要求(仮名公開鍵の署名要求+登録証明書)を受けて, 発行要求にある車両登録証明書の検証を行う. 検証については登録局証明書及びルート証明書を利用する. 検証の結果承認された場合に, 仮名 ID を発行する(検証に失敗した場合は仮名証明書及び仮名 ID の発行を行わない). 仮名 ID の構成については,「(発行を行う認可局の SID)＋(新規で発行を行う ID)」によって生成を行う. 仮名 ID についてはシステム全体で一意となるよう発行を行うが, 新規発行 ID が上限に達した場合はローテートを行う. 発行した仮名 ID の情報と, 車両の公開鍵に対して認可局の秘密鍵で署名を行い, 仮名証明書を発行する.

認可局はクラウドサーバ or エッジサーバで動作することを想定する. また, 登録局とは異なるサーバで動作するものとする.

b. 仮名証明書の取得

車両は, 仮名証明書発行のための秘密鍵を新規に発行する（仮名秘密鍵, 事前配備で作成した車両秘密鍵とは異なる). この仮名秘密鍵から仮名公開鍵を生成し, 認可局に対して仮名証明書発行(仮名 ID の発行及び, 認可局秘密鍵での署名)を依頼する.

c. 仮名証明書及び車両の署名(仮名秘密鍵)を使ったメッセージのブロードキャスト配信

車両は, 取得を行った送信するメッセージに対して仮名秘密鍵で署名を行い, 仮名証明書を付与した状態でメッセージのブロードキャスト配信を行う. デジタル道路交通データプラットフォームの通信層は IPv6 を前提としたシステム構成となっているため, IPv6 のマルチキャスト機能によるブロードキャスト配信を行う. 通信機器やクラウドサービスによっては IPv6 のマルチキャスト機能に対応

していない場合も存在するが，現段階ではそういった環境は考慮しないものとする．本開発の対応におけるプロセス及びクラス単位での処理の流れについて図 12 に記載する．

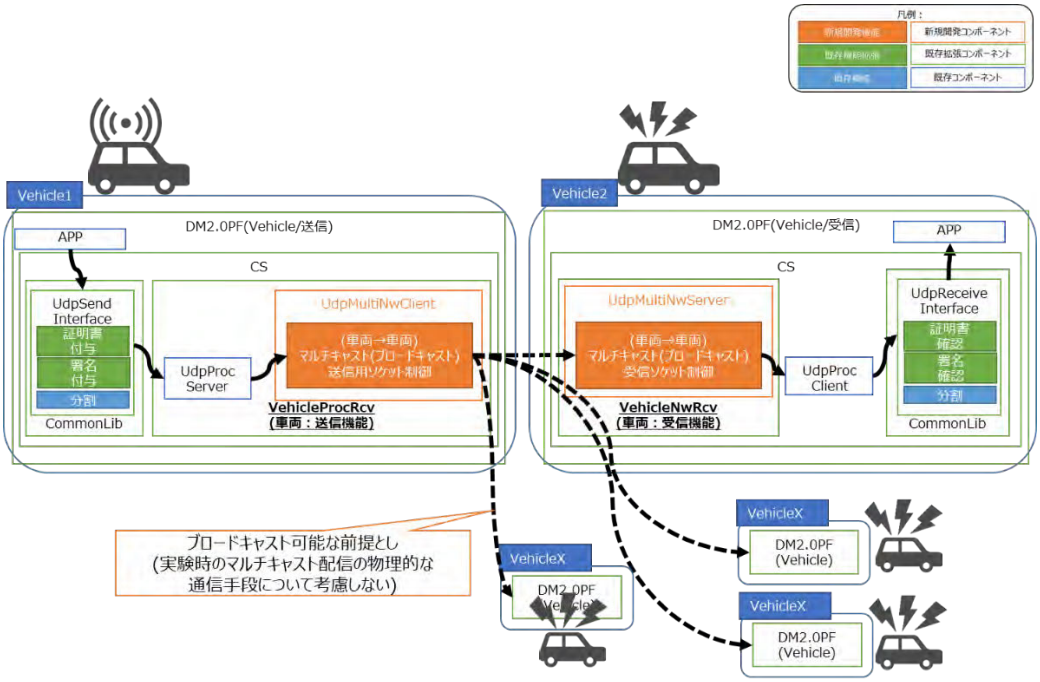


図 11 仮名証明書および関連メッセージの配信

デジタル道路交通データプラットフォームの通信層では，アプリケーションから受けとった 1 フレームの大きさを超えるデータを送信するために，メッセージの分割機能を備えている．本年度の開発では，このメッセージ分割を行う前に証明書及び署名を付与した後，メッセージをブロードキャストで配信する．また，証明書について初回は必ず配信を行うが，それ以降は定期的(回数または時間)に付与を行えるよう，設定ファイルで指定を行うものとした．上図のオレンジで記載した UdpMultiNwClient/Server は，IPv6 マルチキャスト機能をつかったブロードキャスト配信の送信部と受信部となる．メッセージのフォーマットについては，将来的には IEEE 1609.2 のフォーマットとデジタル道路交通データプラットフォームのメッセージフォーマットで統合を行うが，本年度の段階では対象外とする．本年度のメッセージ構成については図 13 に記載する．

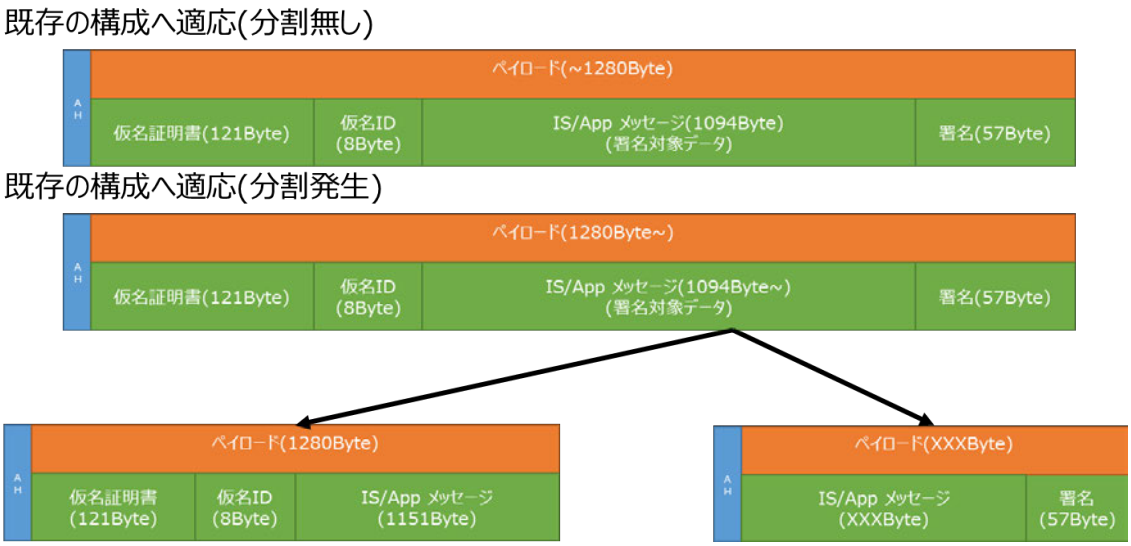


図 12 仮名証明書配信メッセージフォーマット

d. 仮名証明書及び署名の検証

車両は，受信したメッセージの仮名証明書(仮名公開鍵)を利用して署名(仮名秘密鍵での署名)の検証を行う．また，仮名証明書については認可局から事前に取得している認可局証明書及びルート証明書で検証を行う．事前に同様の認可局から仮名証明書を取得している場合には，PKI 通信の際に認可局の公開鍵証明書を車両が保持している．このとき認可局と通信は行わず，自身の保持する認可局の公開鍵証明書を利用して仮名証明書の検証を行う．なお，証明書の検証については証明書がメッセージに付与されている場合のみ行い，証明書が付与されていない場合については署名を除いた検証処理は行わないものとする（エラー等の対応は行わないものとする）．

e. PKI 通信用 IF

HTTPS(HTTP + TLS1.3)を利用して，各コンポーネントの持つ公開鍵証明書(認可局，登録局)をルート証明書で検証し，HTTPS 通信を行う．ただし，通信に用いる上位プロトコルについては実装状況に応じて変更可能なものとする．PKI 通信用 IF は車両から，認可局へ仮名証明書の発行依頼を行う API として開発した．API 使用時のリクエスト及びレスポンスには下記の情報が含まれる．

リクエスト：車両登録証明書，証明書発行要求(仮名公開鍵への署名依頼を行ったファイル)

レスポンス：仮名 ID(認可局 ID を含む，固有の ID 64bit 長)， 仮名証明書(仮名公開鍵に認可局の秘密鍵で署名を行った証明書)

f. 登録局による車両登録証明書の検証機能

車両登録証明書の検証については，認可局が登録局に連携し，車両登録証明書の検証を行うものとする．また，PKI 通信用 IF のモジュールを登録局に配備し，認可局からの要求を受け付け車両登録証明書の検証結果を返す，本 API のリクエストとレスポンスは以下の通りとする．

- リクエスト：車両登録証明書
- レスポンス：検証結果(HTTPS 通信で検証結果を返却するものとする．検証の結果問題がなければ 200，証明書が不正であれば 401，リクエスト情報が不足していた場合は 400 を返却する)
-

システムの全体像を詳細化した機能ブロック構成を図 14 に示す．

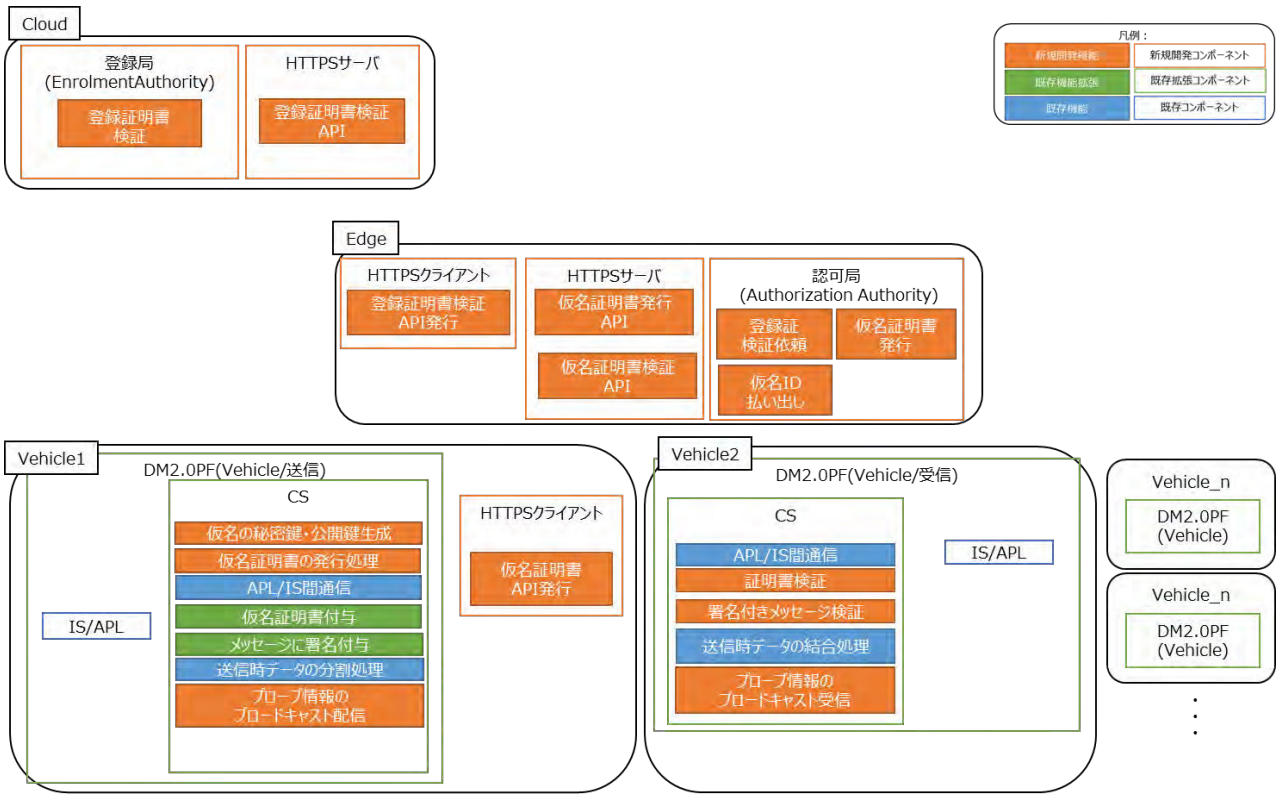


図 13 登録証明書機能ブロック図

付録

ここでは通信種別(タイプ別)データ連携システムを，交差点右折，停止車両追越し，周辺歩行者認識の3つのユースケースに当てはめた場合の構成例を示す.

- IP ジェネラル
  - 携帯電話網によりセンサデータをクラウド／MEC サーバに集約し管理
  - クラウド／MEC サーバにおいてセンサデータ共有／融合
- SP ブロードキャスト
  - 路側機のセンサデータを ITS 無線部を利用して車両に直接ブロードキャスト
- DM2 モバイル
  - 携帯電話網により路側機と車両の間の直接ユニキャスト通信
- DM2 アドホック
  - 無線アドホック通信による路側機と車両の直接接続

A0. IP ジェネラル

A0.1 システム構成

本システム構成を図 a1 に示す.

- 各車両は周期的に車両情報(位置, 速さ, 進行方向)および車載センサで取得したセンサデータ(フリースペースを含む)を携帯電話回線を利用し, クラウド／MEC サーバに送信
- 路側機のセンサデータと車両のセンサデータをクラウド／MEC サーバで融合・共有した後に, 各車両からの要求により配信
- 複数の MEC が配備されている場合は, 最寄りのサーバを利用(現時点で MEC サーバ間ハンドオーバは検討しない)

検討すべき項目は以下とする.

- クラウド／MEC サーバのスケーラビリティ向上
- 通信遅延軽減および信頼性向上
- 携帯電話網の帯域圧迫軽減(センサデータの効率的送信手法 Redundant Mitigation など)

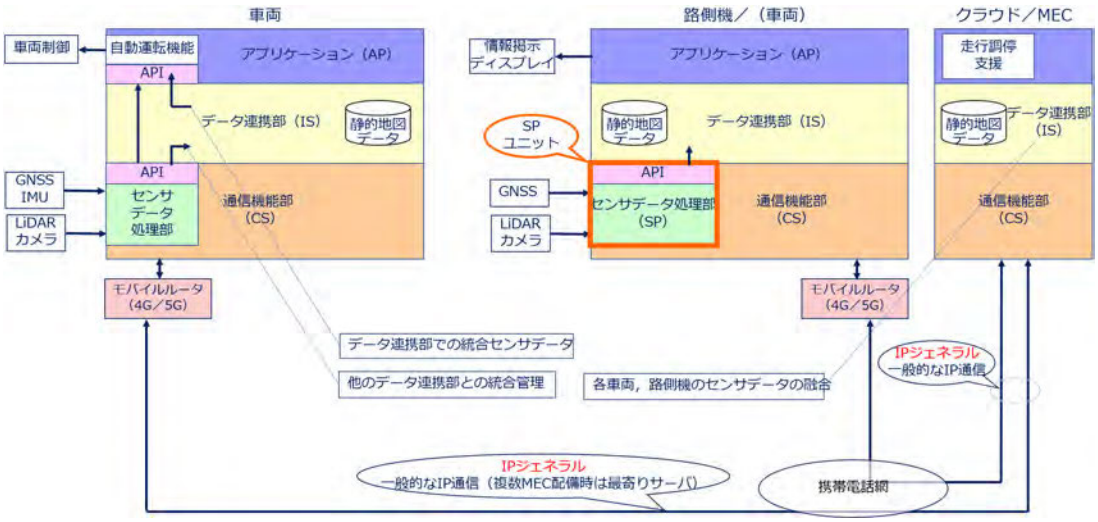


図 a1 Type 0 (IP ジェネラル)システム構成図

A0.2 ユースケース

◆ 交差点右折
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 路側機:対向車線状況(車両およびフリースペース)
  - 右折車両:交差点状況問合せて判断
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
- 注記
  - 左右車線の車両は信号により停止
  - 右折時の横断歩道の歩行者なし
  - 右折時の他車両による車線占有なし
  - 対向車両から情報が得られない場合あり

◆ 停止車両追越し
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 停止車両:対向車線の接近車両およびフリースペース
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
  - 追越車両:対向車線状況問合せて判断
- 注記
  - 停止車両から情報が得られない場合もあり
  - 路側機があればそのセンサデータを利用

◆ 周辺歩行者認識
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 路側機:周辺の歩行者，フリースペース
  - 走行車両:周辺状況問合せて判断
- 注記
  - 歩行者が存在するすべての領域を検知可能
  - 複数センサデータの融合(オクルージョン等)
  - 広範囲を管理する際のスケーラビリティの問題

交差点右折　　停止車両追越し　　周辺歩行者認識

図 a2　Type 0 (IP ジェネラル) ユースケース

A1. SP ブロードキャスト

A1.1 システム構成

本システム構成を図 a3 に示す.

- ITS 無線部(T109)を利用して路側機のセンサデータ(フリースペースや物標情報)を周辺車両に対して定期的にブロードキャスト. 低遅延で配信可能
- ITS 無線部(WiGig)を利用してセンサデータ(映像やポイントクラウドなどの生データ)を周辺車両に配信可能(例:電子カーブミラー)

検討すべき項目は以下とする.

- T109 の利用時の既存の ITS Connect との共用等による帯域不足時には, PC5/DSRC を SP ブロードキャストの通信手段として利用
- WiGig を利用したセンサデータの配信周期あるいはタイミング
- 各車両はクラウド／MEC 経由および路側機から直接と2系統からセンサデータを取得可能(信頼性向上)
- 各車両は周期的に車両情報およびセンサデータをブロードキャストすることにより無線通信帯域を圧迫(衝突により信頼性低下) 優先度に応じた送信手法が必要
- 路側機および他車両からのセンサデータの融合手法が必要

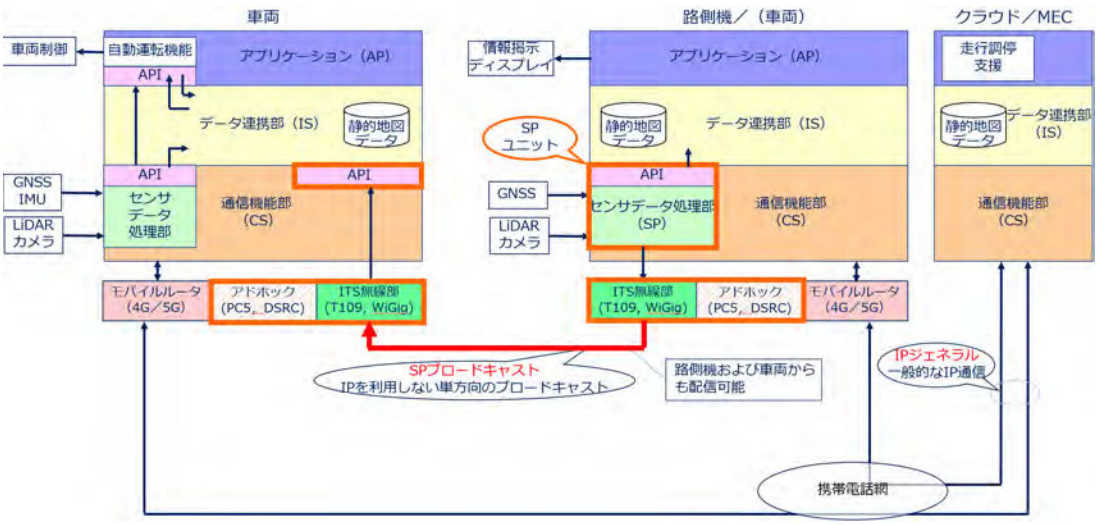


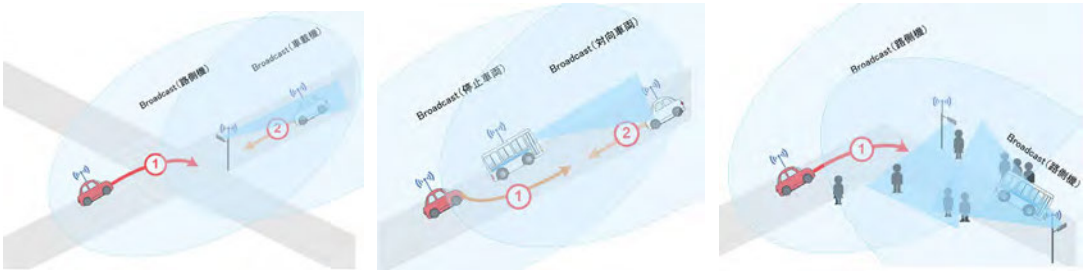
図 a3 Type 1 (SP ブロードキャスト)システム構成図

A1.2 ユースケース

◆ 交差点右折
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 路側機:対向車線状況(車両およびフリースペース)をブロードキャスト
  - 右折車両:交差点状況を判断
- 注記
  - 左右車線の車両は信号により停止
  - 右折時の横断歩道の歩行者なし
  - 右折時の他車両による車線占有なし

◆ 停止車両追越し
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 停止車両:対向車線状況(車両およびフリースペース)をブロードキャスト
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペースをブロードキャスト
  - 追越車両:車線状況を判断
- 注記
  - 停止車両から情報が得られない場合もあり
  - 路側機があればそのセンサデータを利用

◆ 周辺歩行者認識
- 協調認識(センサデータ共有／融合)
  - 路側機:周辺の歩行者，フリースペースの状況をブロードキャスト
  - 走行車両:周辺状況を判断
- 注記
- 歩行者が存在するすべての領域を検知可能
- 複数センサデータの融合(オクルージョン等)



交差点右折　　停止車両追越し　　周辺歩行者認識

図 a4　Type 1 (SP ブロードキャスト) ユースケース

A2. DM2 モバイル

A2.1 システム構成

本システム構成を図 a5 に示す.

- 携帯電話網により路側機(ロードサイドエッジ)と車両を携帯電話網経由で接続することでスケーラビリティ向上
- 各車両は周期的に車両情報(位置, 速さ, 進行方向)および車載センサで取得したセンサデータを携帯電話回線を利用しロードサイドエッジに送信
- 路側機のセンサデータと車両のセンサデータをロードサイドエッジで融合・共有した後に, 各車両で要求することにより, 車両走行の安全性向上
- 各自動運転車両のパスプランをロードサイドエッジで統合し, 複数車両の調停が可能

検討すべき項目は以下とする.

- 車両の移動に伴う担当ロードサイドエッジが変更になった場合のハンドオーバ(転送処理)
- 特定のロードサイドエッジに負荷が集中した際の分散処理(周辺ロードサイドエッジあるいはクラウド／MEC へ)

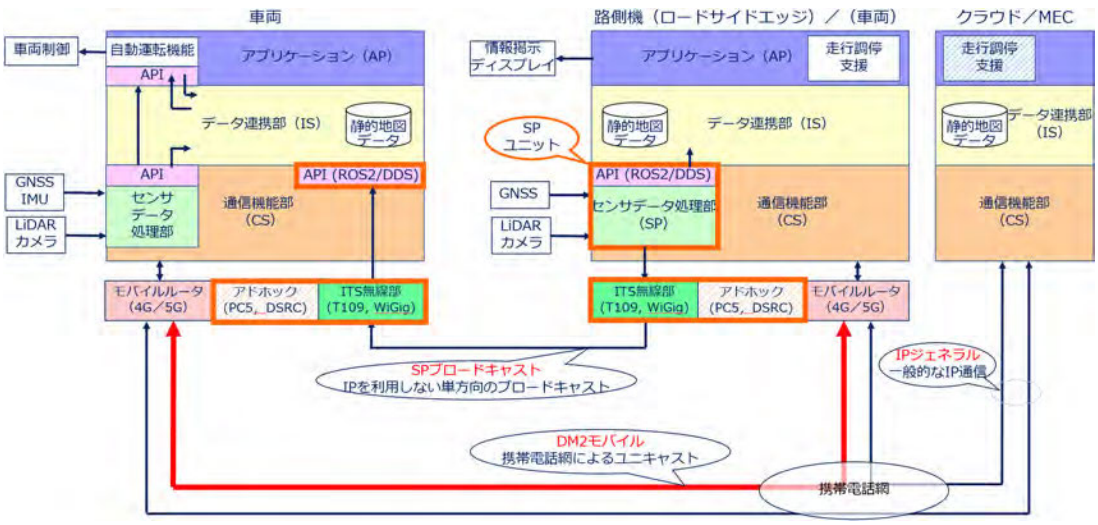


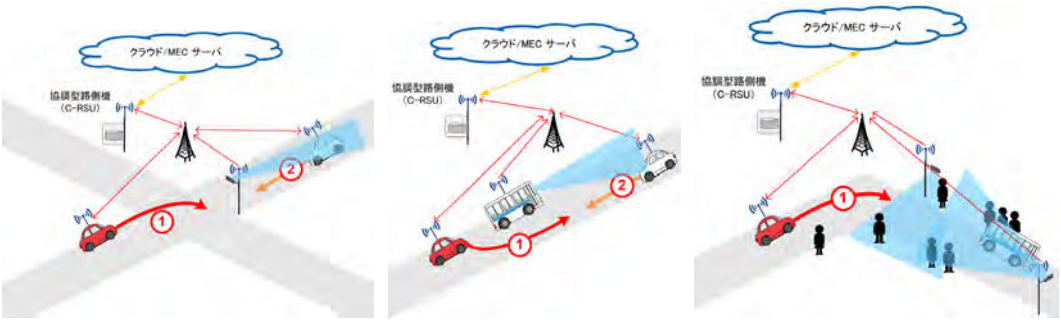
図 a5 Type 2 (DM2 モバイル)システム構成図

A2.2 ユースケース

◆ 交差点右折
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 路側機:対向車線状況(車両およびフリースペース)
  - 右折車両:交差点状況問合せて判断／右折車両:右折タイミング指示
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
- 注記
  - 左右車線の車両は信号により停止
  - 右折時の横断歩道の歩行者なし
  - 右折時の他車両による車線占有なし
  - 対向車両から情報が得られない場合あり

◆ 停止車両追越し
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 停止車両:対向車線の接近車両およびフリースペース
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
  - 追越車両:対向車線状況問合せて判断／追越しタイミング指示

◆ 周辺歩行者認識
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 路側機:周辺の歩行者，フリースペース
  - 走行車両:周辺状況問合せて判断／走行タイミング指示
- 注記
  - 歩行者が存在するすべての領域を検知可能
  - 複数センサデータの融合(オクルージョン等)



交差点右折　　停止車両追越し　　周辺歩行者認識

図 a6　Type 3 (DM2 モバイル) ユースケース

A3. DM2 アドホック

A3.1 システム構成

本システム構成を図 a7 に示す.

・ 携帯電話網の利用軽減および通信遅延低減のために車両と路側機の間を無線アドホックで通信を実施(電波が届く範囲)

検討すべき項目は以下とする.

・ 複数通信手段の切替え, 併用のポリシおよびアルゴリズム

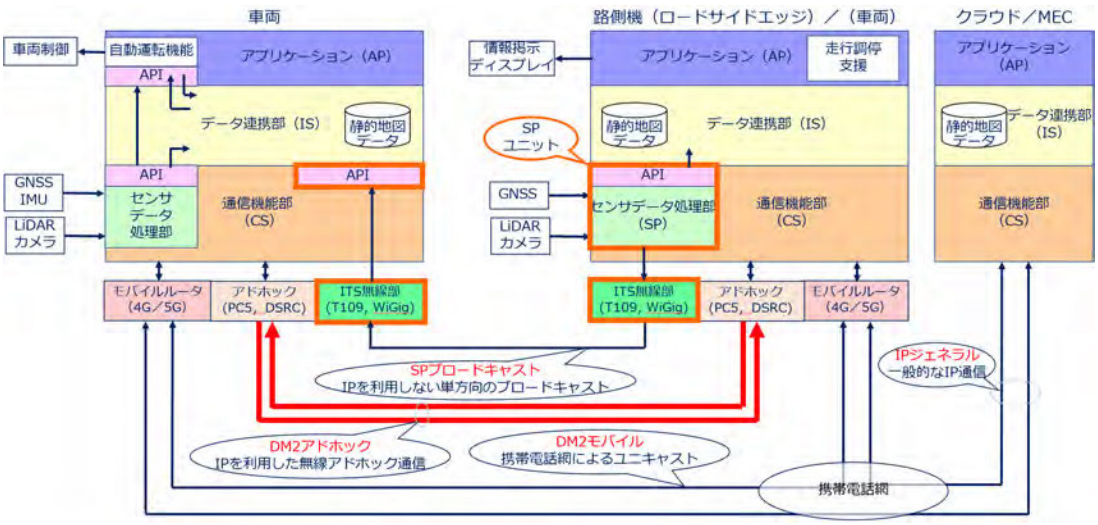


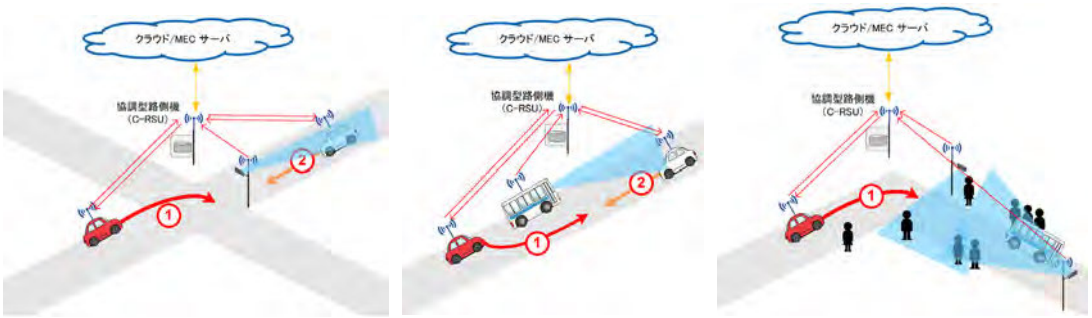
図 a7 Type 3 (DM2 アドホック)システム構成図

A3.2 ユースケース

◆ 交差点右折
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 路側機:対向車線状況(車両およびフリースペース)
  - 右折車両:交差点状況問合せて判断／右折タイミング指示
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
- 注記
  - 通信範囲内のみ利用可能
  - 左右車線の車両は信号により停止
  - 右折時の横断歩道の歩行者なし
  - 右折時の他車両による車線占有なし
  - 対向車両から情報が得られない場合あり

◆ 停止車両追越し
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 停止車両:対向車線の接近車両およびフリースペース
  - 対向車両:自車両状況，前方フリースペース
  - 追越車両:対向車線状況問合せて判断／追越しタイミング指示
- 注記
  - 通信範囲内のみ利用可能

◆ 周辺歩行者認識
- 協調認識(センサデータ共有／融合)／協調走行支援
  - 路側機:周辺の歩行者，フリースペース
  - 走行車両:周辺状況問合せて判断／走行タイミング指示
- 注記
  - 通信範囲内のみ利用可能
  - 歩行者が存在するすべての領域を検知可能



交差点右折　　停止車両追越し　　周辺歩行者認識

図 a8　Type 3 (DM3 モバイル) ユースケース

・　複数センサデータの融合（オクルージョン等）

改訂履歴

更新日	バージョン	改定内容
2022-03-14	0.6.0	2021 年度の最終版
2023-03-14	0.7.0	2022 年度の最終版