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））」報告書

令和4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..... 11
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) 11
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..... 12
1)　協調型システムの活用が期待されるユースケースの整理 12
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 28
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 31
II. レベル 3 以下や他のモビリティとの活用検討 56
1)　協調型交通安全システムの構築 56
2)　道路空間の利便性向上シナリオの構築 77
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 97
1－2.　事業モデルの検討 110
I. 導入形態別の事業モデルの整理 111
1)　既存事例に基づく協調型システムを活用したレベル 4 自動運転サービスのコストに関する課題整理 111
2)　既存事例に基づく協調型システムを活用したレベル 4 自動運転サービスのコスト回収に関する課題整理 123
3)　導入形態別の事業モデルの整理 125
II. 維持管理のコスト負担・体制検討 127
1－3.　モデル地域での技術、サービス実証 147
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..... 147
1)　モデル地域の基礎データ収集 147
2)　モデル地域における事業モデルの検討 170
3)　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250
4)　モデル地域における実証に備えた評価項目の整理 271
5)　モデル地域における実証検討総括 289
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 295
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 295
2)　技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ 301
第 2 章　協調型システム検討..... 304

2－1.　協調型システムの国際動向の分析・戦略作成 304
I. 米欧中での協調型システムの開発・導入状況の分析 304
1)　欧米中の動向調査 304
2)　欧米専門家との意見交換 311
3)　欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催 314
4)　国際標準化戦略のための情報収集 317
5)　通信システムの標準化について（国際・国内連携チーム） 323
2－2.　協調型システムの検討、評価 326
I. 各種協調型システムの性能評価・比較 327
1)　協調型システムに求められる要件の整理 327
2)　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 343
2－3.　地図情報やデータ連携スキームの検討 351
I. 地図情報や各種データの連携や活用のスキーム検討 351
1)　データ連携アーキテクチャの検討 351
2)　データ連携 PF の API の検討・定義 356
3)　データ連携 PF の通信インターフェースの検討・定義 374
4)　インフラセンサー（スマートポール）の開発 397
5)　データ連携 PF のプロタイプ実装とアルゴリズム検討 423
6)　データ連携 PF の評価環境の構築検討 453
7)　データ連携と活用に関する法的な問題の検討 461
8)　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 470
9)　歩行者が持つ機器からの情報収集の検討 475
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 483
2－4.　協調型システムの評価環境の整備 486
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 486
1)　フィジカル空間での試験環境整備 486
2)　サイバー空間での評価 491
第 3 章　仕様項目間共通で実施した事項..... 507
3－1.　テーマ 4 内の推進体制の整理 507
3－2.　テーマ 4 統括委員会 508
3－3.　テーマ 4 分科会 510

3－4.　テーマ４統括委員会ワーキング（WG） 512
3－5.　来年度に向けた実施事項 514

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、経済産業省・国道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検討された、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、レベル 4 自動運転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する。

＜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、レベル 4 自動運転サービスを展開。
- 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。

本コンソーシアムとしては、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レベル 4 自動運転サービスの実現に向けたモデルケースを提示すること。
- レベル 4 自動運転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すること。
- 本テーマ 4 の取組を通じ、我が国におけるレベル 4 自動運転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すること。

2. 事業の実施方法

(1) テーマ別事業内容に対する実施方法

本コンソーシアムとしては、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レベル4自動運転サービスの実現に向けたモデルケースを提示すること。
- レベル4自動運転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すること。
- 本テーマ4の取組を通じ、我が国におけるレベル4自動運転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すること。

■ 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）

1. レベル2サービスの取組実績を活かし、レベル4自動運転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

- 本コンソーシアムは、東京大学が柏の葉エリア等でレベル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する。
- 協調型システムの個別技術要素の研究・事業に留まらず、今後のレベル4自動運転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ていく。
- 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していく。

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する。

- 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む。
- 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む。例えば、東京大学を中心とした国内 12 大学 13 センターとの連携体制である「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む。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む。
- 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する。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、その特長を生かす。

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む。
- 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、我が国としてレベル 4 自動運転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ていく。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する。
- 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ることが予定されているため、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く。

■ 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おいて、レベル 4 自動運転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する。本年度は取組初年度として、主に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、本格的な研究開発や実フィールドでの実証実験等のインプットを得ることを目的とする。

まず、1-1 にて協調型システムによるレベル 4 自動運転サービスのユースケースを整理し、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検討する。さらに、協調型システムの研究開発の過程で実フィールドを対象に検討・検証するため、本テーマにおけるモデル地域の検討を行う。

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 と整理する。

1-2 は、1-1 にて挙げられたユースケースを実現するための課題のうち、主に事業の観点での課題に対するアプローチを検討する。協調型システムによるレベル 4 自動運転サービス実現のために必要なコスト等を整理しながら、それらを回収していくための事業モデルを整理する。また、今後の継続的なサービス維持に向けて、地域において必要な体制を検討する。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 にて検討する。2-2 は、レベル 4 自動運転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、アーキテクチャを構成する要素技術の検討、また実証実験の際の評価の観点を整理する。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する。

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する。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、評価手法を開発する。

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する。

■　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。

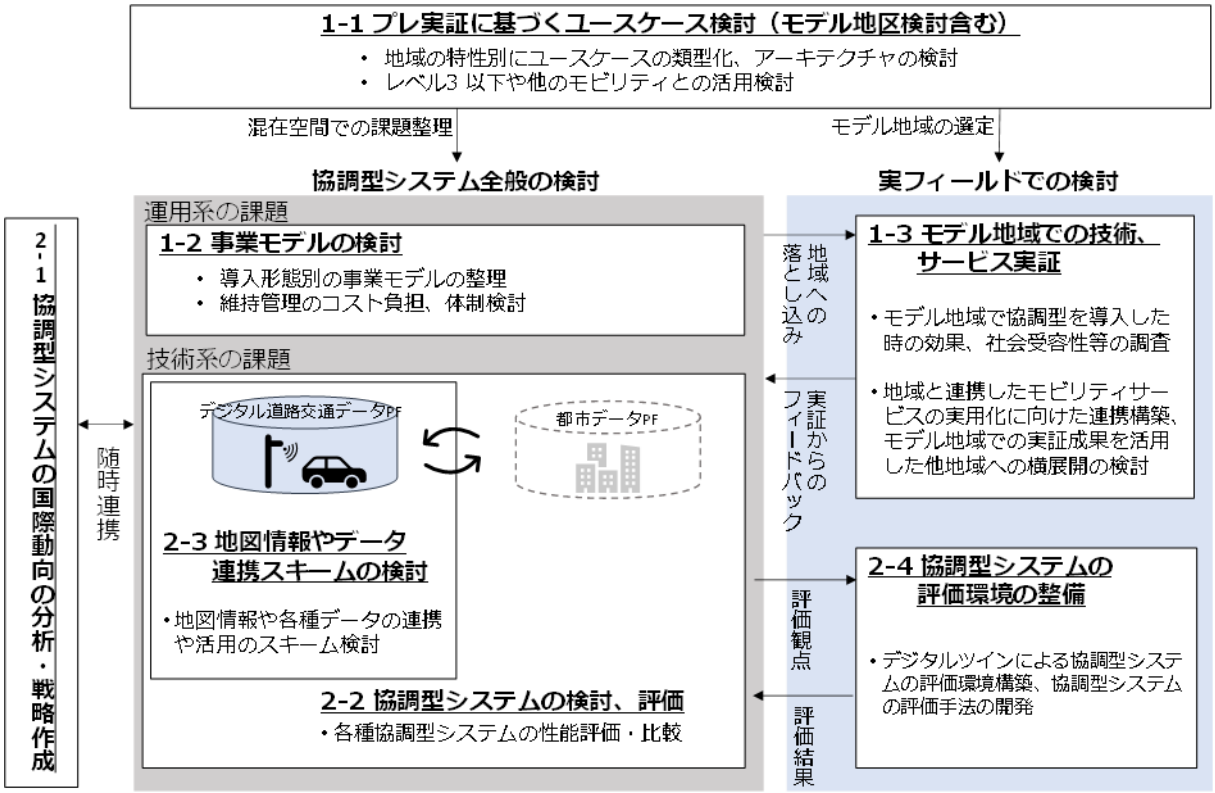
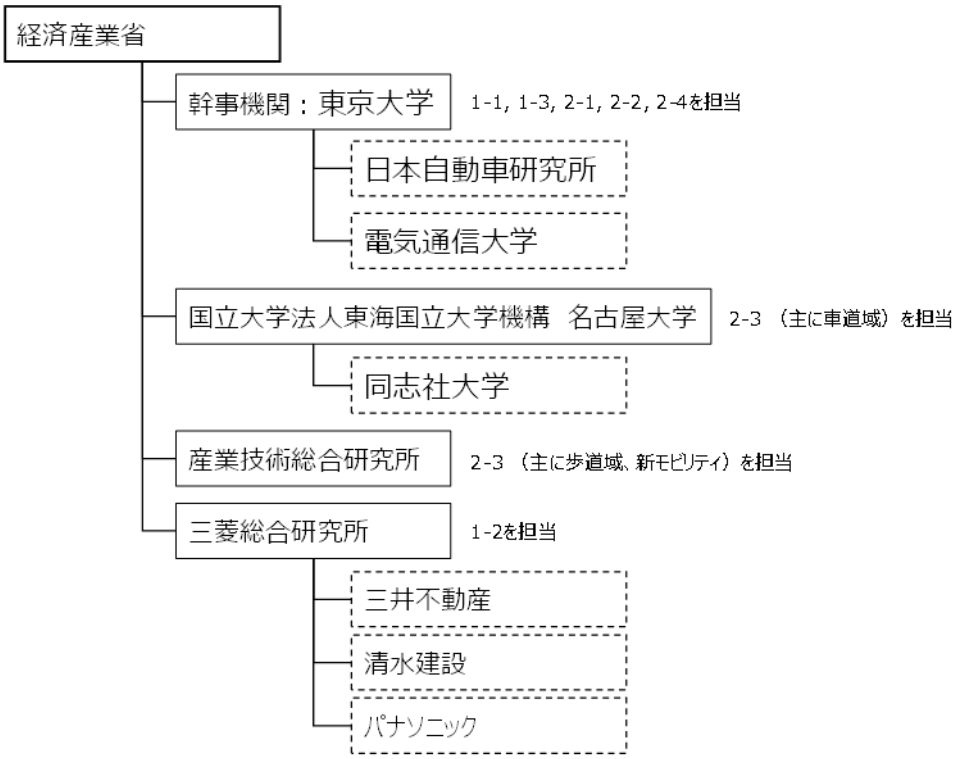


図 1　本年度実施事項フロー

■　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、三菱総合研究所とする。受託者は、日本自動車研究所、同志社大学、電気通信大学、三井不動産、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、事業を推進する。



実施体制と役割分担

上図の主体の他に、レベル 4 自動運転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、事業を推進する。

- 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

等

■ テーマ 4 愛称の決定

本テーマ 4 は、今後の国内外での連携活動を視野に入れ、より親しみやすく印象に残りやすいプロジェクトであることを目指し、テーマの愛称を以下の通り設定した。

“CooL4”（読み：クールフォー）＝Cooperative Level4 Mobility Service

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. 地域の特性別にユースケースの類型化、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

＜項目Ⅰにおける今年度の成果まとめ＞

- 協調型システムの活用が期待される国内外の事例、想定されるハザードとリスク分析によるユースケースの整理を行った。
- 自動運転時に運転タスクの継続が困難なユースケースとして、ドライバー視点として、『認知』、『予測』の運転過程の要素に関する課題を整理し、レベル 3 以下の自動運転が中断されるハザードを抽出した。
- 協調型システムの活用が期待されるユースケースとして、不可視な対象、死角が存在するシーン、交通参加者の種類・数が多く存在する信号交差点通過時を設定した。
- 柏の葉で走行するレベル 2 自動運転バスを具体事例として、現状の自動運転を実公道上で使用する際の問題の把握と課題抽出を行い、有用な解決方法になりうる技術課題の検討を行った。
- 以下では、技術課題に対する検討事項をまとめる。
- 駅前ロータリー周辺や信号あり交差点における、交通参加者に対するオクルージョン対応としてマルチカメラネットワークを用い、その対象の追跡・追従機能に対し、高速カメラを用いる仕様を策定し、機器開発と性能評価を実施した。
- 駐車場出入口、歩道等から車道への進入する歩行者、自転車の行動予測をカメラと機械学習を用いることにより、車道への進入可否を予測する方策を検討し、実証した。
- GNSS データ不適時の対応として、GNSS と LiDAR を自動運転車に搭載し、GNSS と SLAM を複合した 3 次元点群地図生成の検討を実施した。
- 車両自己位置に寄与しうる道路附属物の候補を抽出し、自己位置同定に影響する道路附属物の検討を行い、その有用性の評価を実施した。
- リアルタイムに発信するバス等の位置情報を三次元地図上に簡易的に統合するアルゴリズムの仕様の策定を行った。

＜項目Ⅱにおける今年度の成果まとめ＞

- 協調型交通安全システムとして、歩車間通信によるシステム構築を目指し、事故統計/ニアミスデータ分析に基づき、歩行者に対するレベル 3 以下の車両に対する情報を支援す

るためのユースケース検討とその整理を行った。
- 実環境(テストコース)における歩車間通信システムの性能・評価実験を実施した。
- 道路空間における利便性向上シナリオの構築を目指し、路上駐停車車両の自動運転車等への影響評価と路上駐停車の位置を誘導する施策評価の方法について検討した。
- 歩行者横断、路上駐停車に関連する法令や構造基準の調査を行い、整理した。
- 道路空間改変が地区内交通流に与える影響の評価が可能な交通シミュレーションの仕様検討を行った。

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整理

■ 該当項目の背景と目的

レベル 4 自動運転車を安全に走行させるためには、周辺の交通状況を把握する必要がある。しかし、自動運転車に搭載されたシステムだけでは、自車周辺のセンシングに限定される。安全な運転の実現のためには自車周辺にいる車だけでなく、生じうる状況を早めに検知することで、回避をする余裕を生むことが重要であり、センシング範囲の拡大が必要である。本事業が対象とする、自家用車、バス、自転車等や歩行者が自動運転車両と道路上で共存する環境、いわゆ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することで、広い範囲を対象としたセンシングを実現することができる。

自動運転車とインフラセンサーを協調させることで、これまで目されていた自動運転が可能な時間、範囲、条件を広げることが可能となる。協調型システムと呼ばれるこのような仕組みを検討するにあたり、このコンセプトが安全性の確保に対して有効に働く場面を抽出する必要がある。

この項目では、混在空間におけるレベル 4 自動運転サービス実現のため、協調型システムを活用が期待されるユースケースについて、本プロジェクトに先行する事例を調査して抽出されたユースケースについて記す。

■ 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。

モデル地域の一つである、柏の葉地域での取り組みを一つの事例として、協調型自動運転の活用が期待される場面の調査結果と、その場面に対して進められているプレ実証の推進状況から、協調型自動運転の活用が期待されるユースケース検討を行った。

■ 実施事項と実施方法

(1) 国内外の事例によるユースケースの整理

国内外において自動運転に関する研究開発や実証実験は多く取り組まれている。本テーマにおいては、下記に例示する既存事例等の調査を行い、協調型システムを活用したレベル 4 自動運転走行のユースケースを検討した。

i) 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 がまとめた『SIP 協調型自動運転ユースケース』が、協調型自動運転システムのユースケースとしては最も体系的に整理されている。

- 協調型自動運転システムの検討対象範囲
  - オーナーカー
    - 高速道路
    - 一般道
  - 物流/移動サービスカー
    - 隊列走行（高速道路）
    - シャトル/バス（一般道既定ルート/遠隔操作）
    - タクシー/物流車両（一般道不定ルート/遠隔操作）
- ユースケース選定の考え方
  - 協調型自動運転システムを考えるうえでの前提条件を考慮する
    - すべての交通参加者は基本的に法規を遵守するものとする
    - 自律型自動運転システムで実現できるユースケースは含めない
  - 協調型自動運転システム定義に合致する
    - 車載センサー検知外の情報の入手が必要
    - 自車が保有する情報の提供が必要
    - 車車間及び路車間の意思疎通が必要

以上の考え方のもと、以下のように 3 つの分類で 25 のユースケースに整理されている。

表 1　SIP 協調型自動運転ユースケース

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		
機能分類	ユースケース名	概要
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	本線上の計測地点での本線走行車両の速度や合流部到達予測時刻 等の情報を、インフラから合流車両に提供し、予備加減速の支援を行う。
	a-1-2.本線隙間狙い合流支援	本線走行車両の位置や速度等を連続的に計測した情報を、インフラから合流車両に連続的に提供し、本線走行車の隙間を狙った合流の支援を行う。
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)	交差点の信号機の現在の信号灯火色及び信号サイクル情報(次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間)等を、路側インフラから交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
	b-1-2.信号情報による走行支援(V2N)	交差点の信号機の信号サイクル情報(次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間)等を、ネットワーク経由で交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
c.先読み情報:衝突回避	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	急ブレーキ情報および位置や速度の情報を、急減速した車両から後続車両に提供し、あらかじめ停止や減速を促すことで玉突き事故を防止する。
	c-2-1.交差点の情報による走行支援(V2V)	交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、接近車両から交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
	c-2-2.交差点の情報による走行支援(V2I)	路側センサーまたは車両から入手した交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、インフラから交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	自動運転車が緊急減速や緊急車線変更を行った場合に後続車へ緊急ハザード情報を伝送することで、後続車の円滑な回避制御を支援する。
d. 先読み情報:走行計画変更	d-1.異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報(故障車、事故車、等)と位置情報(存在区間、レーン)を、インフラから周辺車両に提供または異常車両から周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。
	d-2.逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度および逆走車の存在情報を、インフラから周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。
	d-3.渋滞の情報による走行支援	渋滞中の車両から得た渋滞状況の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
	d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報(位置や速度)を、インフラから本線車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。
	d-5.ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
e.先読み情報:緊急車両回避	e-1.緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路(走行予定車線)の情報を、緊急車両から周辺車両に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。

② 自車が保有する情報の提供が必要なユースケース		
機能分類	ユースケース名	概要
f.インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)	救援情報を、事故車等の異常車両からインフラに送信し、救援を要請する。
	f-2.交通流の最適化のための情報収集	走行車両の位置や速度の情報を、インフラ経由で、交通量の分析や最適化を行うために収集する。
	f-3.地図更新・自動生成	車両で収集した情報を、インフラで収集し、地図データの更新・自動生成を行う。
	f-4.ダイナミックマップ情報配信	ダイナミックマップ情報を、インフラから車両に提供する。

③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース		
機能分類	ユースケース名	概要
a.合流・車線変更支援	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	本線走行車両の位置や速度等、面的に計測した情報を、インフラから合流車両に提供すると共に、インフラから本線車両側に車間調整等を指示し、合流の支援を行う。
	a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	混雑した本線への合流の際、位置や速度の情報や車間調整の要求等を、本線車両と合流車両が通信し、車同士のネゴシエーションによる合流支援を行う。
	a-2.混雑時の車線変更の支援	混雑した車線への車線変更の際、位置や速度の情報および車線変更意思等を車両間で通信し、車線変更の支援を行う。
	a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	信号のない交差点において、位置や速度の情報および進入意思を、交差点付近の車両間で通信し、非優先道路から優先道路上へ進入するための走行支援を行う。
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	隊列車両の操作情報等を、隊列を形成するトラック間で通信し、隊列走行(電子牽引)の支援を行う。
	g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	位置や速度や前方車両の運転操作情報等を、前後の車両間で通信し、追従走行の支援を行う。
h. 遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理	自律型自動運転システムでは回避困難な交通環境の場合、移動サービスカーからの映像情報等と運行管理者からの遠隔操作指示を、運行管理者と移動サービスカー間で通信し、遠隔地からの車両操作・管理を行う。

本ユースケースはオーナーカー、高速道路、隊列走行等に関するユースケースが多く、相対的にテーマ4が目指す混在空間におけるレベル4移動サービスに関するユースケースが少ない。また、自律型自動運転車が実現できるユースケースも技術的に明確に定まっていないため、適用に当たっては取捨選択とともに実証実験等での具体的な課題からユースケースの補完が必要と考えられる。

ii) 経済産業省・国土交通省：自動走行ビジネス検討会（令和 2 年度までの成果）

報告書「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version5.0 に於いて、ラストマイル自動走行実証(無人自動運転による移動サービス実証)としてカート及び中型自動運転バスによる実証実験の成果がまとめられている。特に中型自動運転バスの実証実験では路車協調の要否・性能等に関係する課題として以下の事例が挙げられている。

【大津】踏切連携、信号連携に対して人間の運転との感覚の違い。
【日立 BRT】BRT 専用道内の歩行者回避のヒヤリハットについて、歩行者検知及び車両安全に原則停止させる車両制御の必要性。進入防止バー開閉や対向バスとのすれ違いのタイミング調整で手動介入。
【三田】街路樹が信号を覆うことによる信号の画像認識精度の低下。
【北九州】交通量の多い交差点右折時の対向車と横断歩行者回避のために手動介入。比較的交差点が広く、対向車線・横断歩道の両方を適切に考慮しながらの通行判断は課題。
【横浜】信号の背後の景色（とくに背後が森である場合）によって、カメラによる信号灯色の認識精度が低下。道幅が狭く見通しの悪いカーブにて、インフラ連携による安全走行支援として、対向車検知情報を使用したすれ違い回避支援や、表示板を活用した対向車へのバス接近情報の提供を実施。

iii)国土交通省：中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス

H29 年度に実施された中山間地域における自動運転サービスの実証実験（走行距離　約 2,200 km）の結果に於いては、自動走行中の手動介入の要因として、単路での『路上駐車の回避(N＝183 回)』、『対向車とのすれ違い（N＝75 回）』、『自転車歩行者の回避（N＝68 回）』、『後続車による追越し（N=23 回）』、『GPS 等の自己位置特定不具合』、『交差点右折待ち時の直進対向車譲り』、駐車場内での『駐車車両の回避』、『歩行者の回避』が挙げられている。

iv) ITS Japan　自動運転プロジェクトの研究成果

国内各地で実施されているカートから大型バスまでの様々な移動サービス車両での公道実証実験 15 ヶ所に於いて、実証実験主催者の意図（レベル 2 運転）とは異なりレベル 4 運転を想定した現地調査（乗車含む）を実施。主催者の計画上で手動運転としたシーン、レベル 2自動走行中にドライバーが介入したシーン、その他自動運転停止が想定されるシーンを抽出。例えば，走行ルートのトレース性、設定ルートを走行する際の妨げになるもの（路上駐車車両、横断歩行者、自転車、狭い道での対向車等）への対応、周りの交通参加者への影響等を考慮がされている。

下表はシステムによる自動運転が途絶えるシーンを地域毎にまとめたものである。車両、ルート、交通参加者含めた周辺の交通環境が異なるため地域によって抽出された課題は異なるが、一方で同様の課題が複数の地域に共通していることが確認されている。これらの課題のうち車両で対応すべきものについては、自律型か協調型の何れで対応するか今後テーマ 2 や OEM、インフラメーカーの意見も踏まえて検討が必要である。

表 2　各地域のシステムによる自動運転が途切れるシーン

	柏	大樹町	常陸太田	永平寺町	境町	大津	多摩NT	気仙沼	高蔵寺	大津	横浜	万博公園	北九州	伊豆高原	下田
信号交差点右折															
信号無交差点右折															
交差点左折（＋狭隘路）															
信号無交差点（＋横断歩道）															
一旦停止交差点（直進）															
一旦停止交差点（右左折）															
本線合流（一旦停止なし）															
路上駐車車両回避															
対向車と駐車場出庫車両回避															
スーパー出入り口															
駐車場沿い道路															
GPS受信不良	※磁気マ									※磁気マ			※磁気マ		
ロータリー															
踏切（＋交差点）										踏切連携					
低速走行による後続車の追越し割込み															
（BRT区間外での）Uターン															
視界不良地点															
狭い左コーナー															
誘導員の指示															
公園内道路															
民家付近走行															
逆光条件															
対向車とのすれ違い															
待避所でのすれ違い															
路肩障害物（街路樹/のぼり等）															

表中、青く塗りつぶされた事例は、実証実験調査時に計画上で手動運転しているところ或いは自動運転中にオーバーライドが発生したところである。青く塗りつぶされた箇所の内、赤枠で囲んだ事例は、協調型システムの活用が期待出来るところである。実証実験で見られた場所について協調型システムの活用が期待されると思われる「認知」や「予測」が関係しているところと言える。赤枠のみで囲んだ箇所は、オーバーライド等は観察されなかったが、青塗と類似のところである。緑色で塗りつぶされた事例は、自動運転車が停車までは行うが、再発車や回避動作を実行という判断を運転者が実施している部分である。「磁気マ」と記載のある事例は、自己位置推定に於いて GPS 受信不良が発生したとき、インフラ側設備の一つである磁気マーカーにより自己位置推定を行っている事例である。

v)　その他関連省庁が実施した調査研究

国土交通省の進める先進安全自動車（ASV）では、自動運転車両による事故削減効果についての検討が進められている。ここで示された検討結果には、自動運転車両だけでは他の交通参加者との衝突が回避されない場合についても言及されている。このような場面に対して路車協調型自動運転システムが及ぼす効果は、本事業でも今後検討の対象となりうると考えられる。

vi）項目 2-1 で実施する国際動向分析の結果

米国では 2021 年 2 月 USDOT 発行の AVCP（Automated Vehicle Comprehensive Plan）にて以下の 5 つのユースケースを設定した自動運転プロジェクトを推進。

1. 無人低速車両（運転車乗客とも無：貨物専用）Level4,5
2. 乗用車の条件付き自動運転　Level3

3. 乗用車の自動運転システム Level4

4. 自動トラック輸送の運用 Level4

5. 低速旅客シャトル Level4

欧州では Horizon2020 傘下の SHOW プロジェクトにて以下の 3 分類 17 ユースケースが設定されている。

UC1.都市における自動交通（10）

UC2.都市における自動混在モビリティ（2）

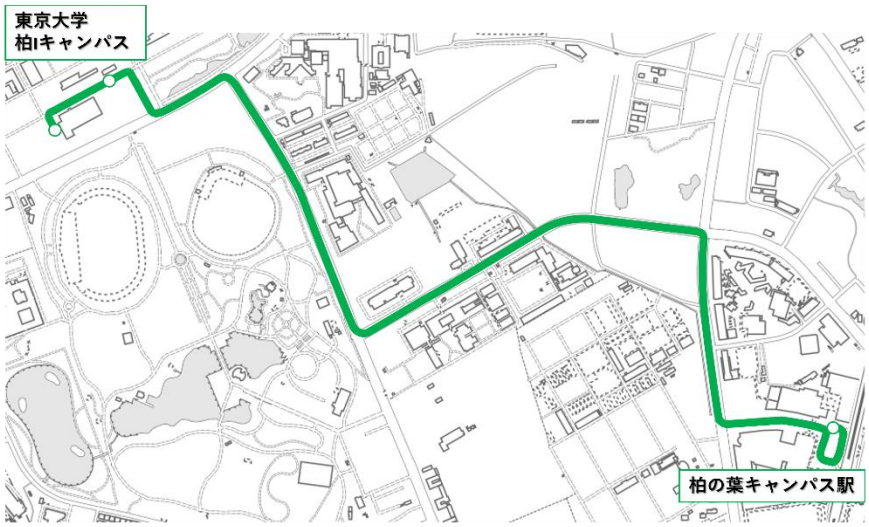
UC3.都市における CCAM のための付加価値サービス（5）

米国、欧州共に車両やサービスといったハイレベルで、国内のような走行レベルでのユースケース設定ではない。

次に、本事業でモデル地域の一つとして位置付けている、柏の葉地区で行われている長期営業運行実証実験に着目し、自動運転車両が自律的に単独で走行する場合には、走行速度の変化が少ない安定した走行が難しいと想定されるユースケースについて述べる。

千葉県柏市柏の葉地区では、柏 ITS 推進協議会の下、ハンズオフレベル 2 の機能を備えた自動運転バスによる長期営業運行実証実験が進められている[6]。レベル 2 の自動運転車両が用いられているため、運転手が同乗しており、運転手の判断で自動運転中に手動操作による運転操作への介入、オーバーライドを行うことができる。2019 年 11 月から開始されたプロジェクトは 2022 年 2 月時点でも継続して行われている。開始当初は小型バス車両であったが、2021 年 1 月からは中型バス車両を実証実験の車両として用いている。特徴の一つに、交通事業者による貸切営業運行を行っている点あげられる。実際に自動運転を活用している実証実験という観点からも、本事業の参考となると期待している。

本事業では、自動運転バスの社会実装という観点で先行する、柏 ITS 推進協議会による取り組みを、本事業におけるプレ実証としても位置づけ、先行的な取組から導かれている知見を本事業で活用する枠組みを整えている。プレ実証はハンズオフ機能を有するレベル 2 の自動運転機能を備えた車両、以降は自動運転バスと呼ぶ、これを活用した実証実験を 2019 年 11 月から行っており、現在まで継続した実験が行われている。このバスは旅客輸送を行うために必要なナンバープレート（いわゆる緑ナンバー）を備え、バス事業者によって運行されている。このことから、自動運転車両が走行しているということは周辺住民には比較的知られていると考えることができ、周辺の住民が多くを占める自動運転車両の周りにいる交通参加者の特性は、将来の社会実装時には比較的近い状況にあると思われる。[6][7]

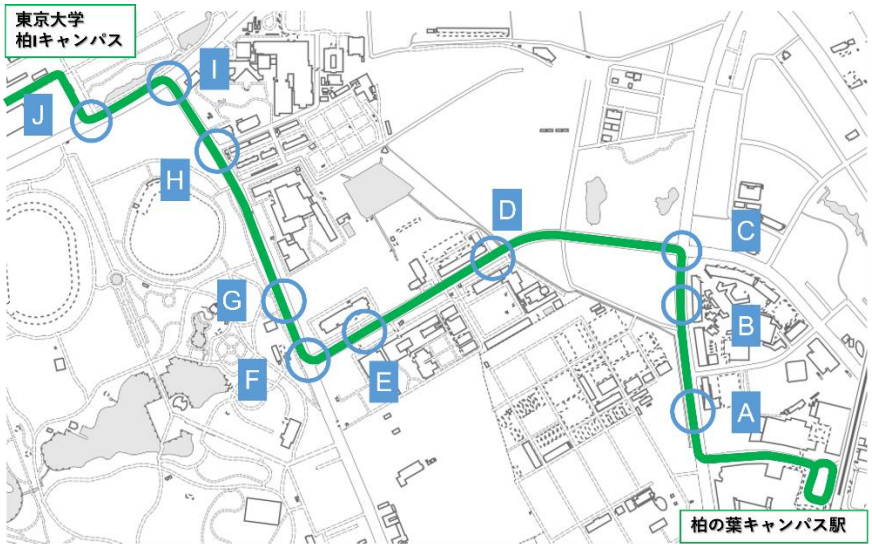


国土地理院の地理院地図に実証実験のルートの情報を加筆して掲載

図 2　柏の葉地区で行われている自動運転バスの実証実験（文献[7]より引用）

図 2 はこの実証実験で自動運転車両が走行しているルートである。本実験を紹介する既往の文献によれば[7]、ルート上には 3 か所の信号付き交差点通過箇所があり、1 カ所の信号無し横断歩道がある。信号付き交差点の 1 か所目は十字路であり、2 か所目と 3 か所目は丁字路である。駅から大学までの間において、往路と復路でそれぞれ対向車が存在する可能性のある右折を行う。

柏の葉地区での自動運転バスデータを可視化した研究では、着目すべき点として 10 か所が例示されている。この研究は、自動運転が実際の交通環境下で走行する際にどのような場所で自動運転に対して運転手が介入するかを調査したものである。図 3 は文献で示された、可視化に際して注目された箇所の一覧図である。このうち、交差点（地点 C、地点 I）や無信号の横断歩道の箇所（地点 H）は自動走行中に何等かの操作介入が見られやすい場所として示されている。また、単路の直線部分（地点 A～B、および、地点 G～H）においては、駐停車車両の影響から何らかの介入操作が見られたことが述べられている。



国土地理院の地理院地図に実証実験ルート，オーバライド箇所の情報を加筆して掲載

図 3　自動運転バスルートと介入が多く見られた場所の概要（文献[7]より引用）

ここで示したユースケースについては、柏 ITS 推進協議会でも本事業と並行して進められている路車協調の実証実験でも対象とされている。公道上の実環境で開始された路車協調システムのプレ実証の取組は本事業で目指す路車協調システムのプロトタイプになりうると考えられる。

プレ実証では、路車協調システムにより、自動運転バスに対する信号情報提供や障害物危険情報提供の取組が行われている。柏 ITS 推進協議会ではインフラ機器メーカー各社、自動運転システムの開発ベンチャー等の協業により、信号情報を自動運転車両に提供する路車協調システムの試行的な実験が開始されたところである。

柏 ITS 推進協議会では、「超高齢社会に対応した柏市のモビリティデザイン」の構築に向けた取り組みの一つとして、自動運転バスの実証実験を行っている。令和 3 年度は、車両単体では自動走行が困難とされる課題の解決に向け、インフラセンサー等の情報を活用した協調型システムの実証を行うこととしている。柏 ITS 推進協議会の実証実験は、混在空間における協調型システムの実現という CooL4 と同じ目的をもつことから、CooL4 のプレ実証と位置づけ実施することとなった。

柏 ITS 推進協議会のメンバーであるインフラメーカー3 社(株式会社 IHI、コイト電工株式会社、日本信号株式会社）と、車両側を担当する先進モビリティ株式会社で、過去の実証実験に基づく課題の洗い出し、課題解決のためのユースケースの定義を行った。また、定義したユースケースについて、柏 ITS 推進協議会の自動運転バス実証の走行ルート（柏の葉キャンパス駅～東京大学

柏キャンパス）上で協調型システムの検証を行うための検討を行い、実験計画を策定した。図 4 はこの取り組みの実施体制を示したものである。

プレ実証での取組が予定されている信号情報・障害物情報は図 3 に示したコースの上で、図 5 に示す箇所を対象として行われる。各箇所での実施内容を表 3 にまとめる。

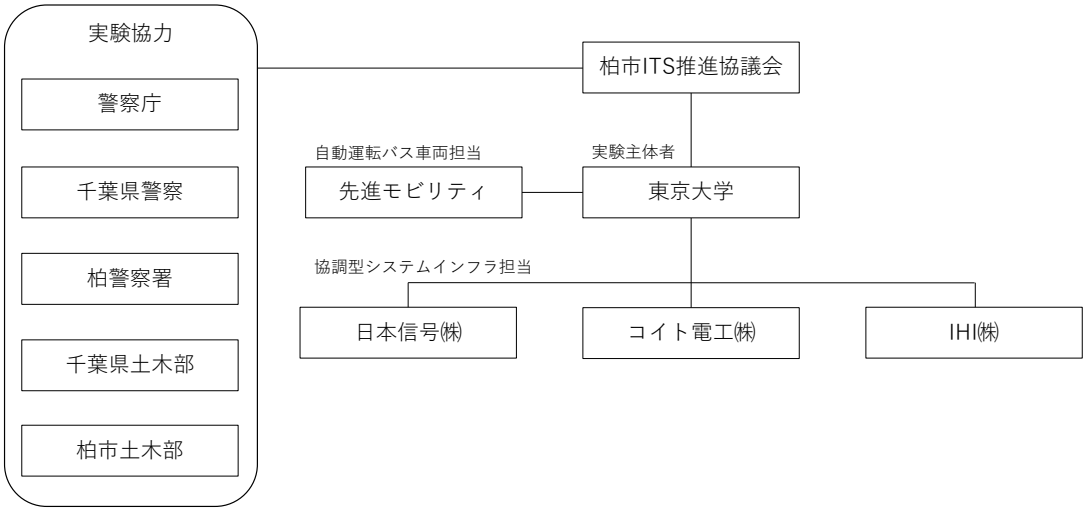


図 4　プレ実証における路車協調システムに係る実施体制図

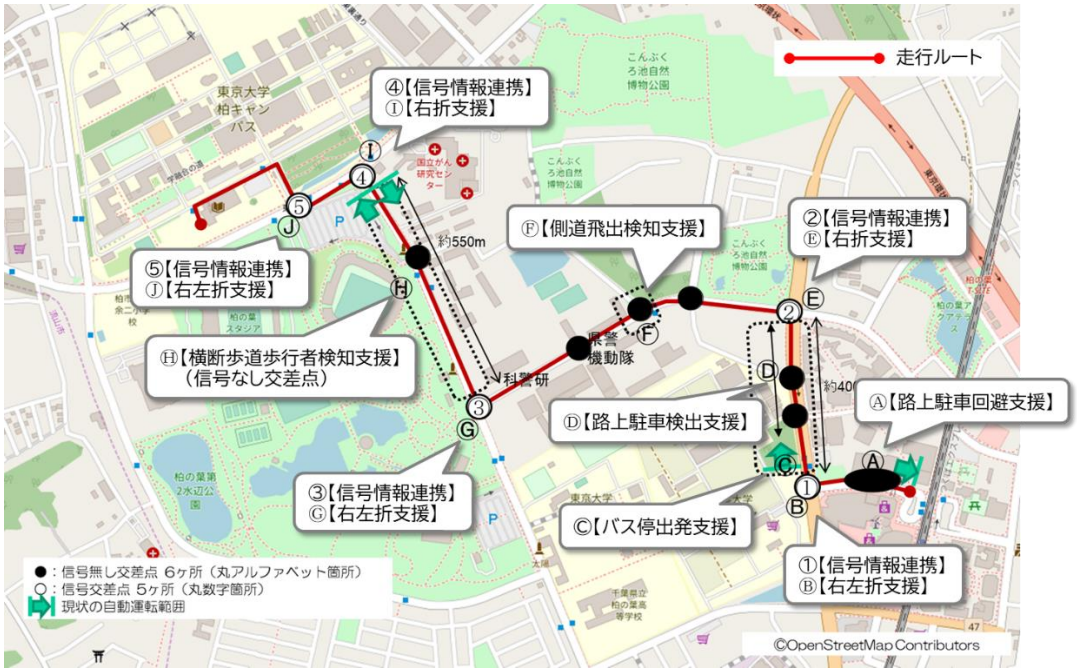


図 5　プレ実証での路車協調システム実証実験を予定している個所

表 3　プレ実証での実施者と実施項目

		場所	担当メーカ	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）	Ⓑ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）	Ⓓ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）	Ⓖ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）	①と同位置
	⑤	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	コイト電工	信号情報連携 （灯色・残り時間）	Ⓙと同位置
障害物・危険情報提供	Ⓐ	柏の葉キャンパス駅西口ロータリ	日本信号	路上駐車回避支援	
	Ⓑ	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	右左折支援	①信号と同位置
	Ⓒ	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	
	Ⓓ	①信号～②信号間	コイト電工 ＩＨＩ	路上駐車検出支援	
	Ⓔ	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信号と同位置
	Ⓕ	（第３機動隊東側）	コイト電工	側道飛出検知支援	
	Ⓖ	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信号と同位置
	Ⓗ	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	
	Ⓘ	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信号と同位置
	Ⓙ	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信号と同位置

令和 3 年度の実証実験においては実験の早期実現を優先とし、今回の実験向けに新たに機器の共同開発等は行わず、各社で保有している技術を組合せることで実験環境を構築することとした。

プレ実証での実験目的は柏 ITS 推進協議会で実施している継続運行を図った形の自動運転バスの実証実験を通し、協調型システムの在り方を検討することである。この目的達成のために以下の取組を実施している。

- 自動運転バスの継続運行を実現するための課題の抽出と、抽出した課題に対し、協調型システムによる解決策の提案、実証を行う。
- CooL4 でも掲げられている、一般車両や歩行者等との混在空間において、協調型システムによる支援の検討を行い、社会実装に向けた検証を行う。
- 車両のみでなく、インフラとの連携による ODD の検討・検証を行う。
- インフラメーカーが合同で実証実験を推進することで、標準化に向けた有効性の確認を行う。

以上、プレ実証における取り組みの内容を表 4 にまとめる。

表 4　プレ実証での路車協調システムにより提供される情報の内容

項番	項目	内容
1	信号情報連携	西日や街路樹の影響によらず、現在灯色・残時間を正しく認識するために、インフラから自動運転車両に信号情報を提供する。
2	右左折支援	右折時の対向直進車や右左折時の横断歩行者等との錯綜を防止するために、インフラで車両や歩行者等を検出し、自動運転車両に右左折支援情報や物標情報を提供する。
3	路上駐車回避支援	路上駐車回避のために、インフラで路上駐車車両や対向車両を検出し、自動運転車両に路上駐車回避支援情報や物標情報を提供する。
4	路上駐車検出支援	路上駐車回避のために、インフラで路上駐車車両を検出し、自動運転車両に物標情報を提供する。
5	バス停出発支援	バス停留所出発時に後続車両との錯綜を防止するために、インフラで後続車両を検出し、自動運転車両に出発支援情報や物標情報を提供する。
6	横断歩道歩行者検知支援	信号機のない横断歩道において、インフラで横断待ち歩行者（自転車を含む）を検出し、自動運転車両に横断歩行者検知支援情報や物標情報を提供する。
7	側道飛出検知支援	側道からの飛出し回避のために、インフラで側道からの飛出車両を検出し、自動運転車両に物標情報を提供する。

各地の実証実験で見られた場面を対象として、車両単独での走行となる自立型自動運転を想定した場合に、自動運転が中断されうる場面を抽出し、その要因について検討した。図 6 に示すフローはこの検討の進め方である。まず、自立型自動運転システムはレベル 4 を想定した。レベル 4 の自動運転を想定した時に、各地の実証実験で観察された場面において、自動運転と、それに必要なタスクの継続が困難なものを選定した。選定された場面を対象として、必要なタスクを人間のドライバーによる運転と同様に「認知」「予測」「判断」「操作」の 4 段階として、どの部分に継続を困難とする要因や課題、すなわちハザードがあるのかを分析した。図 7 は人間のドライバーと今回の検討で設定した自律型自動運転の運転を比較したものである。最後に、各シーンについてハザード、もしくは、運転継続時の状況を整理した。

【検討ステップ】

①　レベル４動的運転タスク継続が困難なシーン整理	・レベル２での各自動運転実証実験について、主催者の意図とは異なりレベル４運行を想定して現地調査実施（乗車含む）。主催者の計画上で手動運転としたシーン、レベル２自動走行中にドライバーが介入したシーン、その他自動運転停止が想定されるシーンを抽出。 （ルートのトレース性、外乱への対応、周りの交通参加者への影響等を考慮）
②　各シーンを運転要素のフェーズにて課題整理	・抽出したシーンにおいて、ドライバー視点で見た場合に『認知』、『予測』、『判断』、『操作』の何れの運転要素に関する課題かを整理。
③　各シーンでの想定されるハザードの整理	・各シーンにて、自動運転が停止または介入を要する原因となるハザード又はありたい姿を整理。 （衝突等の危険だけでなく、速やかに交通の流れに乗る等も含む）

図 6　ユースケースに対する分析の進め方

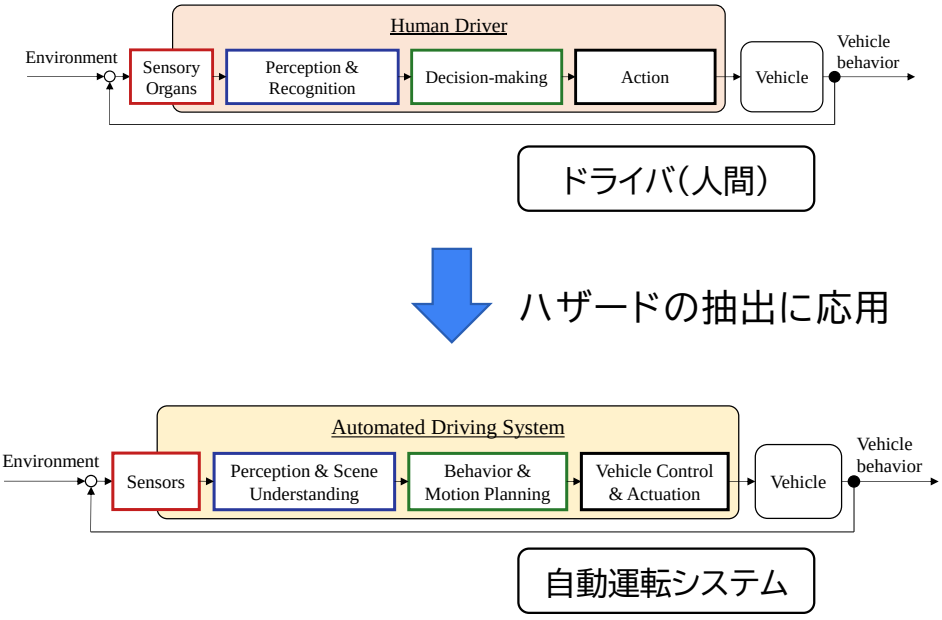


図 7　ハザード分析の進め方

運転行動の各段階での処理が何らかの理由で順調に行われない場合、安定した走行を実現することは難しくなる。自動運転の運転操作もこれに倣って考えることができる。4 つの段階において適切な処理がなされなければ、結果として現れる操作、それによる車両の挙動は安全なものとはならない。本事業ではハザードの分析として、運転操作の 4 段階に倣ったときどの段階でどのような事象が発生した際に、衝突などの安全ではない事象に陥るのかを分析した。

認知については、停止線付きの交差点など、道路形状や、周辺の環境に影響されるものが多い。例えば、以下の点があげられる。

認知に関するハザードの分析例

- 停止線上では右方に死角が出来る場合、安全確認のために二段階停止が必要
  - 一時停止後の再発進判断
  - 右方安全確認位置
  - 周囲安全確認後の右折可否判断
- 鉄道踏切への対応
  - 鳴動しているか、いないか
  - 踏切が閉鎖されているか

予測については、他の交通参加者の行動に関するものが多い。例として、歩行者や他の四輪車の行動として以下があげられる。

- 横断歩道付近にいる歩行者、横断開始するか、しないか
- 他車両による追い越し
  - 追い越し行動後に停車するか。加速するか

本年度の分析事例では、認知のハザードは道路線形や道路周辺の環境によるものが多く、予測のハザードは他車両の行動に関連するものが多いと推測された。

ここまで述べた先行的な実証実験の取り組みに対する調査や、先行する事業での検討状況、各地の実証実験を踏まえ、本事業では次のユースケース 3 事例を検討対象として抽出した。

【本事業で最初の検討対象としたユースケース事例】

① 信号付き交差点のユースケース

柏の葉の事例では、図 3 の地点 C、F、I、J に該当。プレ実証で取り組む路車協調システムで想定している項番 1、2 に該当する。大学から駅へ向かう際に、十字路の交差点である地点 I や地点 C で右折をする。この時、通過する際には対向してくる直進車両や、横断歩行者の行動に対応した動作が自動運転車両には求められる。道路線形の面から認知についても課題があり、多様な交通参加者との進路の交錯、インタラクションが求められることから、予測の面での課題も多い。また、移動サービスの場合、頻繁なブレーキ操作は車内事故防止の観点からは少なくすることが望ましく、停止や必要以上の加減速を行わずに通過できることが望ましい。

② 信号無し交差点のユースケース

柏の葉の事例では、図 3 の地点 H に該当。プレ実証では項番 6 に該当。地点 H 付近には公園や施設があり、人の往来がある。自動運転車両は道路交通法に従って走行するとするならば、横断中の歩行者のみならず横断しようとしている歩行者も検出して停止し、横断が完了するまで待たなければならない。明文化された交通規則だけでなく、他の交通参加者の行動を予測しなければならないことから予測に関する課題が多くを占める。

また、側道など細い道からの自転車や四輪車の飛び出しも信号無し交差点の場面として考えられる。プレ実証では項番 7 に該当する。この場面も、細い道からの飛び出しなどでは認知には難しいと考えられ、飛び出しの可能性を予測する必要があることから、予測の面でも難しさがある。

③ 路上駐車回避のユースケース

柏の葉の事例では、図 3 の地点 A と地点 B の間や、地点 G から地点 H の間に該当。プレ実証では項番 3、4 に該当。進路上の障害物を回避することは自動運転車両の性能上十分に可能であると期待されるが、回避の際に動的に変化する周辺の交通環境に合わせて、適切な回避経路を設定することや、駐車車両の陰から出現する歩行者への対応等が求められる。駐車車両の間、大型駐車車両の場合はその陰等、認知が難しい場面も含まれる。また、駐車車両陰からの飛び出しや、駐車車両のドアが空く場合など、予測についても難しい場面であると推察される。

交差点の場合と同様に、停止や必要以上の加減速を行わずに通過できることが望ましい。また、駐車車両のいる地点まで十分に時間的な余裕を持つことができれば、回避策などの対応を取ることが可能であると期待される。

今回抽出したユースケースはモデル地区である柏の葉でも見られるものであり、実環境下でのデータ収集や評価も期待される。ユースケースは、実現する移動サービスのデザインに立脚して定められるべきという考え方と、それに先行して普遍性を伴って定められるべきという考え方がある。移動サービスを実装する場所や時間が定められているならば、前者の場合が望ましい。一方、技術検討として知見を蓄積し、移動サービスの実現を求められる時に、実現可能な手段を確保しておくという観点からは、後者の進め方も併用しなければならない。この観点からは、例えば、柏の事例では駅前のロータリーについて、現在は自動運転の実施区間には含まれていないが、移動サービスが可能な時間や空間を広げ、事業化につなげる観点からは、いずれ技術的に対応されることが望まれる。

また、今後、自動車メーカーや業界団体だけでなく、インフラメーカーをはじめとする多様な業種との意見交換、連携を図るという点では、ユースケースを記述する概念をある程度定義することも望ましい。例えば、ドイツ PEGASUS プロジェクトで定義されたミクロな交通状況（シナリオ）を記載する 6layer-model は、最近でも検討が重ねられており、一般道を対象としても活用可能であるとの報告がなされている[9]。共通して議論するための取り組みは、協調型システムの研究開発においても参考になると考えられる。

今回抽出したユースケースは限られた実証実験の範囲から導かれたものである。路車協調システム、レベル 4 自動運転を用いたサービスの実現の観点から、解決すべきユースケースをこれら以外に設定する必要があることも考えられる。例えば、栃木 ABC プロジェクト[9]ではインフラ連携型の路車協調自動運転の実証が小山市で行われていたが、交差点での信号連携のほかに、道路形状と周辺の建物により、自動運転車両からは進路と交差する方向へ移動している車両や歩行者を検知しにくい場面も対象としている。本事業で行った今回の検討では、路車協調システムを導入されていない実証実験が多く含まれているため、今後はプレ実証の位置づけで整備された柏の葉での路車協調システムを活用した実証実験が進展することで、より路車協調システムに焦点をあてたユースケースが導かれると予想される。

本章の参考文献

[1] S. Ulbrich, T. Menzel, A. Reschka, F. Schuldt, and M. Maurer, ″Defining and Substantiating the Terms Scene, Situation, and Scenario for Automated Driving″, 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015, pp.982-988

[2] Till Menzel, Gerrit Bagschik and Markus Maurer, ″Scenarios for Development Test and Validation of Automated Vehicles″, 2018 IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV), 2018, pp,1821 - 1827

[3] 日本自動車工業会，自動運転の安全性評価フレームワーク Ver2.0，https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_2_0.pdf，(2022 年 2 月 28 日閲覧))

[4] 国土交通省自動車局，自動運転車の安全技術ガイドライン，https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf，(2022 年 2 月 28 日閲覧)

[5] 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- ，https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf，(2022 年 2 月 28 日閲覧)

[6] 霜野慧亮，岩崎克康，鹿野島秀行，須田義大， 柏の葉地区での自動運転バス長期営業運行実証実験の紹介 （特集 自動運転の新しい流れ），自動車技術，Vol.74，No.10（2020），pp.62-67

[7] 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，p. 85-89，公開日 2022/02/25，Online ISSN 1881-2058，Print ISSN 0037-105X，https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.74.85，
https://www.jstage.jst.go.jp/article/seisankenkyu/74/1/74_85/_article/-char/ja

[8] 栃木県 栃木 ABC プロジェクト，http://abc-project.tochigi.jp/index.html，(2022 年 3 月 6 日閲覧)

[9] Scholtes et al., ″6-Layer Model for a Structured Description and Categorization of Urban Traffic and Environment,″ in IEEE Access, vol. 9, pp. 59131-59147, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3072739.

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

■ 実施事項と実施方法

(1) 地域特性の整理

地域特性の類型化にあたり、他モードとの混在レベルや、ステークホルダーの状況、開発状況に関連する既存の取組みをレビューし、これらの取組みでの地域特性分類を整理した。整理結果を下図に示す。

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	―

図 8 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

レビューした結果、各取り組みでの地域特性分類パターンに大きな差異はなく、モビリティの観点、スマートシティの観点のいずれにおいても、都市規模に応じて3個から6個程度に分類していることを確認した。

したがって、経済産業省/国土交通省の「スマートモビリティチャレンジ」での整理を踏襲する形で、地域特性を以下の4パターンに類型化して検討を進めることとした。

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

図 9 地域特性の類型パターン

(2)　モデル地域の選定

今年度検討を行うモデル地域は、多様な地域特性において混在空間でのレベル 4 自動運転サービスの検討を可能にするとともに、今後、本テーマの成果を他地域へ展開することを見据えて選出した。具体的には、(1)に挙げた地域特性の各類型パターン別に該当する地域候補を選定のうえ、その地域候補から、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て、「柏の葉」「藤沢」「豊洲」の 3 地域を選定した。

表 5　本年度のモデル地域として選定した地域

地域	類型パターン
千葉県柏市（柏の葉エリア）	公共交通普及中規模都市、自家用車中心中規模都市
神奈川県藤沢市（藤沢サスティナブル・スマート・タウンエリア）	公共交通普及中規模都市、自家用車中心中規模都市
東京都江東区（豊洲 6 丁目エリア）	大規模都市

選定した 3 地域は、本テーマにおける重要なキーワードである混在空間の度合いがそれぞれ異なり、協調型システムのユースケースとして異なるパターンを想定できるため、多面的な地域特性を考慮した協調型システムの検討が可能であると考えられる。

また、それぞれの地域において、地域でまちづくり等に取り組む推進主体やステークホルダー間の協議会等の体制等にも違いがあり、他地域への展開を意識して異なる地域の特性を踏まえた検討を行った。

他モードとの混在レベルの観点では、柏の葉地域では自家用車やバス、自転車、歩行者等の多様な他モードの交通が存在する。藤沢地域では、住宅街なので、通過する自家用車の混入が少ないなど混在レベルは中程度である。豊洲地域は、特定の開発者等によってある程度コントロール可能な施設内移動を想定しているため、混在レベルは低い。

ステークホルダーの状況の観点では、柏の葉地域では自治体や不動産会社等を含む多様なステークホルダーで構成される協議会が主体となってスマートシティの取組みを推進している。藤沢地域では、タウンマネジメント会社と住民が連携し、住宅街での先進的な取組みを推進している。豊洲地域では、建設会社が中心となってオフィス機能や商業機能を有する複合施設の開業を計画している。

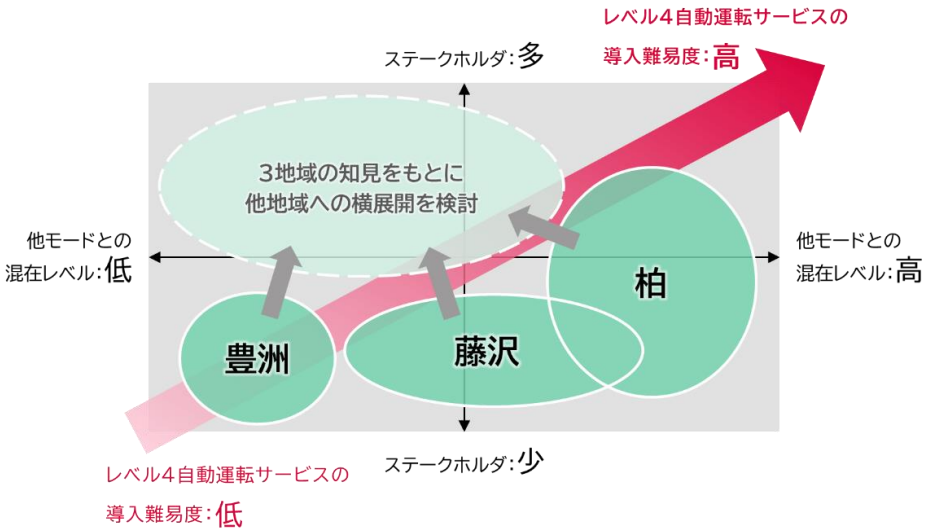


図 10　3 つのモデル地域に関する地域特性の違い

各モデル地域の特徴は以下の通り。

表 6　モデル地域（柏・藤沢・豊洲）の特徴

	地域		
	柏	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) 東武バスイースト(株) 三井不動産(株) 東京大学 他、柏ITS推進協議会メンバー	パナソニック(株)	清水建設(株)

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

■　該当項目の背景と目的

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する。現在想定するキーテクノロジーは以下の 3 点であり、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する。

レベル 4 自動運転サービスにおいて、安全性向上は大きな課題である。特に自動運転車両の死角から現れる歩行者や自転車に対する迅速な認識と緊急停止などの安全確保が必要である。

そこで、危険性が高い状況が生じる混在交通環境、特に駅前ロータリー等の横断歩道や駐車場出入口周辺における歩行者や自転車の認識や追跡、進行方向予測をインフラセンサー（協調型路側機）から行い、自動運転車両からは見えない歩行者と自転車の情報を自動運転車両に通信により配信することで、速やかな危険回避が可能なシステムを開発する。

■　実施方針

既存の実証実験等から得られている知見により、協調型システムを活用したレベル 4 自動運転のユースケース対応のためインフラ側に求められる機能要件案を検討する。具体的には、信号交差点、無信号交差点周辺、路上駐車回避、駅前ロータリー等の各交通環境下における移動体（車両、歩行者、自転車、パーソナルモビリティ等）等の特性を把握し、混在交通環境における位置情報検出、共有技術等の要件を検討する。

例えば、駅前ロータリーにおいては、路側に設置した複数のカメラセンサー群から高速かつ頑健に移動体を抽出できる機能の検討や、信号交差点においては通信による信号情報等の配信も検討する。

横断歩道や駐車場出入口周辺を想定した環境に、広角カメラをインフラセンサーとして設置し、駐車車両を含む自動車、歩行者、自転車を認識するとともに、進行方向を予測し、対象とする自動運転車両に情報伝達するシステムを構築する。このシステムを用いて推定精度などを検証し、その結果、自動運転車両が安全確保のために必要となる要件を検討する。

■　実施事項と実施方法

(1)　レベル 4 自動運転サービスに資するインフラセンサーシステム検討

駅前ロータリー周辺や GNSS ロスト時における現状の課題の洗い出しを行うとともに、解決すべき問題を把握し、それに向けたインフラセンサーシステムのアーキテクチャの提案、その実現方法および具体的なセンシングアルゴリズムを検討した。

ⅰ） 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

現状の課題の洗い出しと解決すべき問題の把握のため、協力企業と所有する技術を含めた意見交換に基づいて、状況把握と具体的なターゲットシーンの確定を図った。これらの実施により、以下の点を課題として把握した。

- 柏の葉キャンパス⇔大学間を走行する自動運転バスにおいて、駅前ロータリーでは他車とのインタラクションが他のシーンに比べて多く、現状では手動にならざるを得ない状況であることを把握した。
- 駅前ロータリーではバスや自動車の影から歩行者や自転車が飛び出してくる状況・ヒヤリハットがあり（ロータリー以外にもバス停で起こる)、それへの対応が必要となっている。
- 駐車場の出入り口においても上述したような課題が存在し、対応が求められている。
- 以上のような環境下において、歩行者の場合、特に子供の場合には、予測が困難な行動を起こすことがある。また、自転車は、急な方向転換や車の間のすり抜け等があり、危険な存在であり、その検知も必要である。
- GNSS ロストは、特に道端にある木の影になった場合、悪天候時（曇り)、さらにはトンネル内で発生し、自己位置を認識することが困難となり自動運転も困難となる。

このような状況から駅前ロータリー周辺やGNSSロスト時における解決すべき課題として、バスベイや交差点におけるオクルージョン回避、駐車場出入り口におけるモビリティの認識、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、バスベイや信号機における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、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、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、以下の通り検討した。

ⅱ） 高速カメラネットワークシステムを用いたオクルージョン対応

本項目では、図 11 に示すように、バスや自動車の影にあるバイク、自転車、歩行者を見ることができない、といったオクルージョン問題に対する検討を行った。オクルージョン問題は図 12 に示すような信号機周りでも発生することを確認しており、移動体をシームレスにトラッキングできておらず、このシーンへの解決にも貢献できる。

方針としては、従来のインフラセンサーシステムでは見えない箇所を排除することが重要であり、後段の認識・判断・操作に資するシステムを検討する。そこで、オクルージョン回避を実現するための具体的な方法論として、マルチカメラネットワークで対応するとともに、移動体の追跡・追従機能を高速カメラで対応することとした。そのために、以下のインフラセンサーシステ

ムの実装に向けた技術項目を実施した。

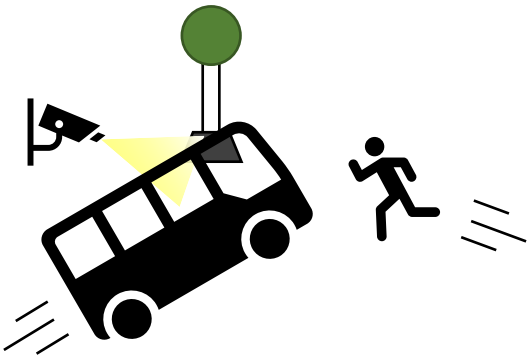


図 11　バスベイにおけるオクルージョンと飛び出し：バスなどの影に隠れた歩行者が見えない、また飛び出しなどのヒヤリハットに対応できない

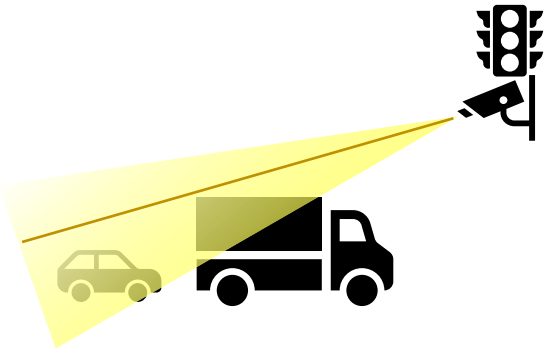


図 12　交差点（信号機）におけるオクルージョン：信号機に設置したカメラからでは大型車の後ろにいるモビリティが見えない

上述した通り、オクルージョン回避に有効であり、かつその遮蔽された環境から突然見えだしたモビリティをいち早く検知し、そのモビリティの行動予測にも資するインフラセンサーシステムとするため、実時間での画像処理を搭載した高速カメラネットワークシステムを開発した。開発システムの特徴は以下の通りであり、今回の目標到達のためのキーテクノロジーの 1 つである。

- 複数カメラの活用で広域をシームレスに観測
  - カメラ間を跨ぐ移動やオクルージョンに対してもロバスト
  - 情報計測の冗長性による社会インフラの安全性向上
- 高速カメラで速い移動体も素早く認識・追跡
  - 30、60 fps（frame per second）→1,000 fps による高い時間密度のデータ取得
- エッジコンピューティングで高速画像処理
  - リアルタイムでのデータ活用

- 画像ではなく画像処理結果のみのデータの流通
  - 通信とプライバシーの問題を軽減
- ヘテロジニアスなカメラ系の構築が可能
  - 異なる光学素子を持つカメラを組み合わせ、環境に応じた計測範囲を設定可能

上述した特徴を有する開発システムの詳細を下記項目で示す。

ii）-I. インフラセンサーシステムとしての高速カメラネットワークシステムの検討

i）で検討したインフラセンサーシステムには、早い移動体の動きを広域においてシームレスに観測でき、その位置情報をオクルージョン問題に対してもロバストに取得できることが期待される。また、自動運転車両と関連システムへの実時間情報フィードバックに必要なリアルタイム性を備えることや個人情報保護を考慮したデータ処理が可能であることも要求される。この機能の実装に向けて、高速カメラネットワークシステムで行われる一連の動作を下記のように分析した。

① 高速カメラネットワークシステムの観測範囲内にターゲットの移動体が出現
② 各カメラで高速撮像→動き検知→移動体認識→ラベル付け→位置トラッキングを開始
③ 隣接カメラでのラベルマッチングよりグローバルラベルを識別情報として生成・管理
④ ステレオ視よりグローバルラベルの 3 次元座標を求め、ベクトル情報に加工
⑤ 個人情報保護のため、加工した情報だけをフィードバック情報として送信
⑥ オクルージョン発生を検知・共有し、影響されないカメラの情報よりトラッキングを継続
⑦ 全観測範囲から離脱するターゲットのグローバルラベルを外し、トラッキングも中止

本開発システムにおいては、シームレストラッキングとオクルージョン回避問題に注目し、それを実現するためのハードウエアとソフトウエアの実装手法について検討した。

ii）-Ⅱ.高速カメラネットワークシステムの導入

ii）-I で検討した動作の実現および今後の屋外環境での実装を考慮して、下記項目を特徴とするカメラモジュールから構成される、図 13 に示すような高速カメラネットワークシステム一式(OD-HSVM-V002)をインプラセンサーシステムの実装に向けて導入した。

- 高速撮像用イメージセンサー（Python1300、1000fps 撮像支援）
- 同期撮像制御用トリガー信号生成器（撮像制御用ハードウエアトリガー生成器）
- エッジ処理のための内蔵プロセッサー（ARM Cortex-A72 CPU 搭載）
- 広角・低歪曲の光学レンズ（MY110M、水平 110° の超広角と-0.5%以下の低歪曲特性）
- 汎用プログラミング環境（Debian 基盤 LINUX OS と C++API）
- イーサネットによる電力供給（PoE+対応）
- 軽量・小型・低価（重さ 300g 以下、本体サイズ 90×90×40mm）

図 13　高速カメラモジュールと高速カメラネットワークシステム

導入した高速カメラモジュールについては、撮像時の応答性、高速性、リアルタイム生などの性能を定量的に評価した。まず、応答性については図 14 に示すように、トリガー入力から撮像開始までの時間遅延を計測し、約 5μs であることが確認できた。本研究における撮像速度は最大で 1,000 fps を想定しているので、画像フレーム間隔の 0.5%程度となり、十分な応答性能と言える。

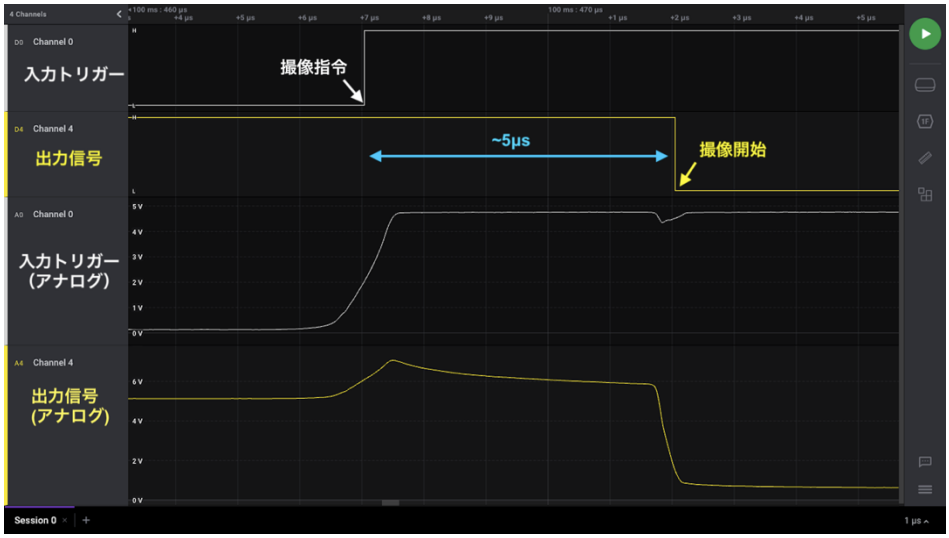


図 14　高速カメラモジュールの撮像応答性

高速性とリアルタイム性の評価については、一定の撮像速度(1,000fps)を設定の下、1,000 枚分の撮像を 100 回繰り返して行い、実際計算される撮像速度およびその際の速度低下の累積値として求めた。トリガーの生成遅延やフレーム落ちなど、撮像と画像取得に影響する可能性のある要因を考慮し、モジュールの操作方式（ローカル接続、SSH 経由)とネットワーク接続方式(有線、無

線)が異なる 4 つの条件を設定して実験を行なった。図 15 に示す実験結果より、全て条件において 1,000fps に近い高速撮像が可能であることが確認できた。特に有線の SSH 接続では、1,000fps の高速撮像が安定に持続された。その他、無線の場合でも性能低下はそれ程大きくなく、屋外環境などでも十分活用できるレベルと考えられる。

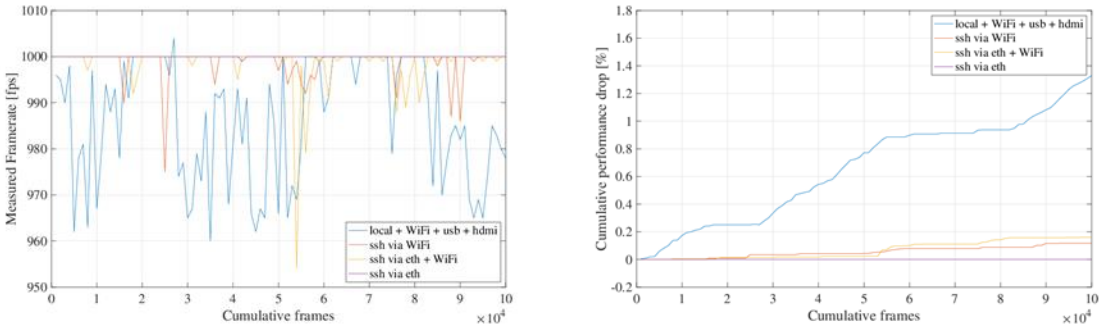


図 15　カメラモジュールの高速性とリアルタイム性評価

ii）-Ⅲ. 高速カメラネットワークによるシームレストラッキングの検討

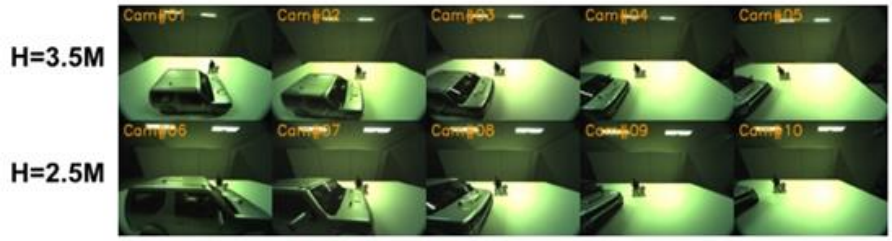
上述した ii)-Ⅱの高速カメラネットワークシステムを用いた観測において部分的なオクルージョンが発生してもシステム全体としてはシームレスなトラッキングが可能となる計測手法について検討した。ii）-I の動作内容を元に、下記のようにトラッキング手法の詳細を検討した。

① 移動体の識別プロセスにおいては YOLOv5 など既存の機械学習基盤手法を採用
② グローバルラベルの管理によって、同じグローバルラベルが示す物体は一意に決定
③ 高速撮像とセルフウィンドウ法より、テンプレートマッチングなどで物体の移動量を検出
④ 同一ラベルの 2 次元座標情報を用いた三角計測によりターゲットの 3 次元座標を計算
⑤ オクルージョンが発生してないカメラからの情報を適応的に選択・活用

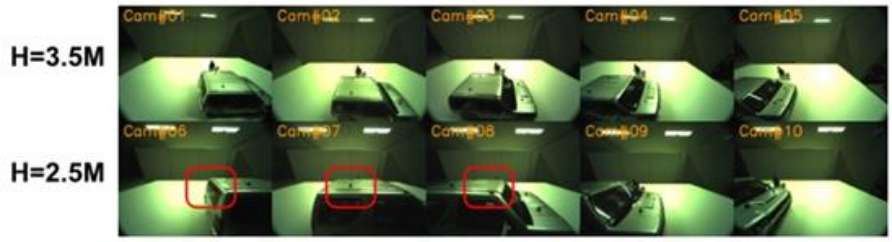
高速カメラでは画像フレーム毎のターゲットの移動量が数画素以内と小さくなり、高精度な位置情報安定なトラッキングが期待できる。オクルージョン問題に対しては、常に有効な画像データが取得できるよう、交通状況を考慮したカメラモジュールの配置が必要となる。次年度のトラッキング手法の実装と総合的評価に向けて、上記 ii)-Ⅱで導入した高速カメラネットワークシステムを用いて、図 16 に示すような簡易実験を行った。

図 16　オクルージョン検討のための簡易実験の概要

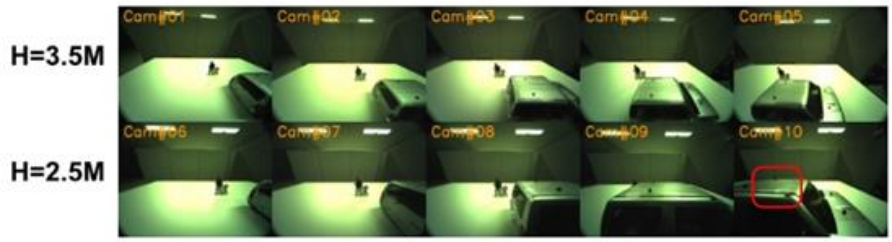
簡易実験では路肩に設置されるカメラネットワークで車両と歩行者を同時観測することを模擬し、発生可能なオクルージョンの一例を 1/10 のスケールダウン実験より再現した。歩行者は身長 160cm の女性と連れの子供の印刷物を、走行車は全高約 170cm の模型車を用いて模擬した。カメラネットワークは高さ 2.5M と 3.5M に 5 台ずつ、横間隔は 1.2M で並ぶように設置して、車両走行によるオクルージョンの発生様子を図　17 のように観測した。この際、カメラの露出時間は 1.5ms(500fps の高速撮像に対応)に設定し、撮像速度はデータ記録のため、25fps にした。



(a) Frame = 1250



(b) Frame = 1260



(c) Frame = 1270

図 17　車両走行によるオクルージョンの検討

図 17 に示すように、交差点付近で頻繁に起こり得る車両と歩行者の接近から生じるオクルージョン(赤四角の領域)が再現できた。また、カメラネットワークの導入により、一部のカメラでオクルージョンが発生しても隣接のカメラを上手に活用することで、全体システムでは観測が持続できることを立証し、ii）-Ⅱのシステムの有効性を確認した。この種類のオクルージョンに対してはカメラネットワークを高い位置に設置することが効果的であることが分かり、光軸が鉛直である俯瞰カメラの導入が有効と考えられるが、設置可能場所の制約や物体認識しやすい視野の確保など現実問題が多いため、今後幅広い検討が必要と考えられる。

本年度は、上述した簡易実験を通して、高速カメラネットワークの同期動作およびオクルージョン回避への有効性が確認でき、次年度多様なトラッキング手法の実装に活用できるインフラセンサーシステムの実証実験用プロトタイプを構築することができた。

ii）-Ⅳ. 高速カメラネットワークシステム評価系の構築

上記で開発した高速カメラネットワークシステムを評価するための実験評価系を設計・構築するとともに、評価検討を行った。具体的には、以下の項目を実施した。

(A) 光学式モーションキャプチャシステムの選定と導入

(B) 高速カメラネットワークシステムとその評価系の同期機能の実装

(C) 移動体追跡精度の定量的評価手順の整理

(D) 評価系単体での位置計測精度の検証

以下では、各項目についてそれぞれ述べる。

ii) -Ⅳ-(A).光学式モーションキャプチャシステムの選定と導入

混在交通環境における多様な交通参加者の移動状態の計測を可能とするセンシング技術を開発するにあたって、提案するカメラネットワークシステムの性能を定量的に評価する必要がある。そこで、マーカーベースで移動物体の運動を計測することが可能な光学式モーションキャプチャシステムを導入した（図 18）。このような、対象への物理的マーカーの付与を前提とするマーカーベースの手法は実環境での利用には適さないものの、評価システムとして十分な性能を有する。このシステムは通常時 180fps（最大 1,000fps）の高い計測レートを有し、かつ 4 メガピクセルの高い解像度で撮像するため、高い計測性能を有する。

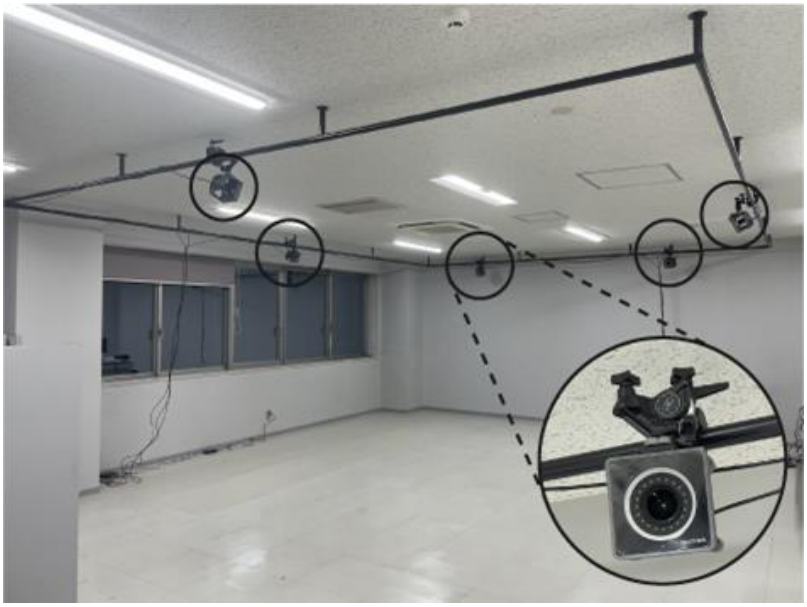


図 18 評価系の全体図

ii) -Ⅳ-(B).高速カメラネットワークシステムとその評価系の同期機能の実装

光学式モーションキャプチャとカメラネットワークシステムで計測した移動体情報を正確に比較するためには、光学式モーションキャプチャシステムの計測タイミングと高速カメラネットワークシステムの計測タイミングを合わせる必要がある。そこで、モーションキャプチャシステムを駆動する OptiTrack と高速カメラネットワークシステムとの同期を eSync2 と呼ばれる同期ユニットにより行い、本同期ユニット内で生成する同期信号を撮像シグナルとして高速カメラに入

力する方法を実装した。実際に同期撮像を行ったところ、フレーム落ちなく同期できていることが確認できた。

ii）-Ⅳ-(C).移動体計測精度の定量評価手順の整理

光学的モーションキャプチャシステムを用いて高速カメラネットワークシステムで計測した移動体情報の計測精度を定量的に評価するためには、両システムでそれぞれ独立に定義される座標系間の関係を明らかにする必要がある。両システム間の座標系の位置関係が明らかになれば、適切な座標変換により移動体情報の定量的な評価が可能となる。このため本年度では、両システム間のキャリブレーションを行う手順を整理した。

両システム間のキャリブレーションを行うためには、2 つのシステムが持つ世界座標系同士の関係を明らかにする必要がある。このため、モーションキャプチャシステムのキャリブレーション治具を固定したキャリブレーション用ボードを制作した。キャリブレーションパターンとキャリブレーション治具のオフセットを計測する事により、それぞれの世界座標系間の位置関係を明らかにすることができる。本年度は、カメラ 2 台と OptiTrack を 3 台用いたシステムに対して適用した予備実験を実施した。モーションキャプチャシステムで計測した物標の画像上の位置とパターン認識で検出した点との二乗平均平方根誤差（RMSE）を評価したところ、誤差 0.9px（＝3m 遠方で約 3mm）という結果となり、良好な結果が得られた。

また、カメラネットワークシステムによって移動体の位置や速度ベクトルなどの 3 次元的な情報を推定するためには、カメラ間の並進や回転といった外部パラメータ（3 次元的な位置関係）が高い精度で必要である。このため、システム内で統一した座標系を持ち、かつ高い精度でキャリブレーションされている必要がある。協調型システムを駆動するインフラセンサーとしてカメラネットワークを利用する場合、システム全体としてカバーする視野を広く取るために、共通視野を持たないカメラ対も存在し、一般的なステレオキャリブレーションを実施できない場合がある。この実応用上の課題に対する解決策を次年度の課題として設定した。

ii）-Ⅳ-(D).評価系単体での位置計測精度の検証

上述の光学的モーションキャプチャシステムの計測性能を評価するため、人を対象として移動情報を計測する実験を行った。マーカーを付与した計測対象（人）をモーションキャプチャシステムでトラッキングすることにより、全身の動きを計測した結果を図 19 に示す。各マーカーの 3 次元位置を計測するため、人の顔の向きや移動速度等も計測可能であることを確認した。

また、物陰から人が飛び出してくる状況を模したシーンにおいて計測を行った結果を図 20 に示す。正面からのカメラではオクルージョンが発生しているため、飛び出してしばらくしてから人の認識が可能となるが、オクルージョン発生領域をカバーするカメラネットワークでは飛び出す前から人の認識が可能となる。本評価システムを用いることで、そのようなシーンにおける人の動きの定量評価が可能であることを確認した。

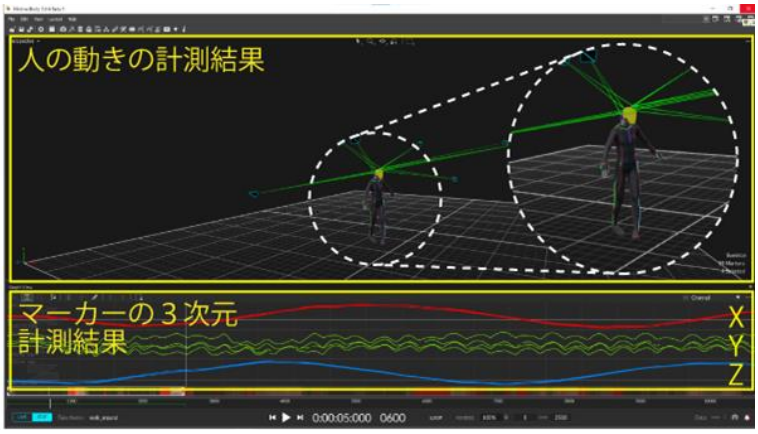


図 19　モーションキャプチャシステムによる計測画面

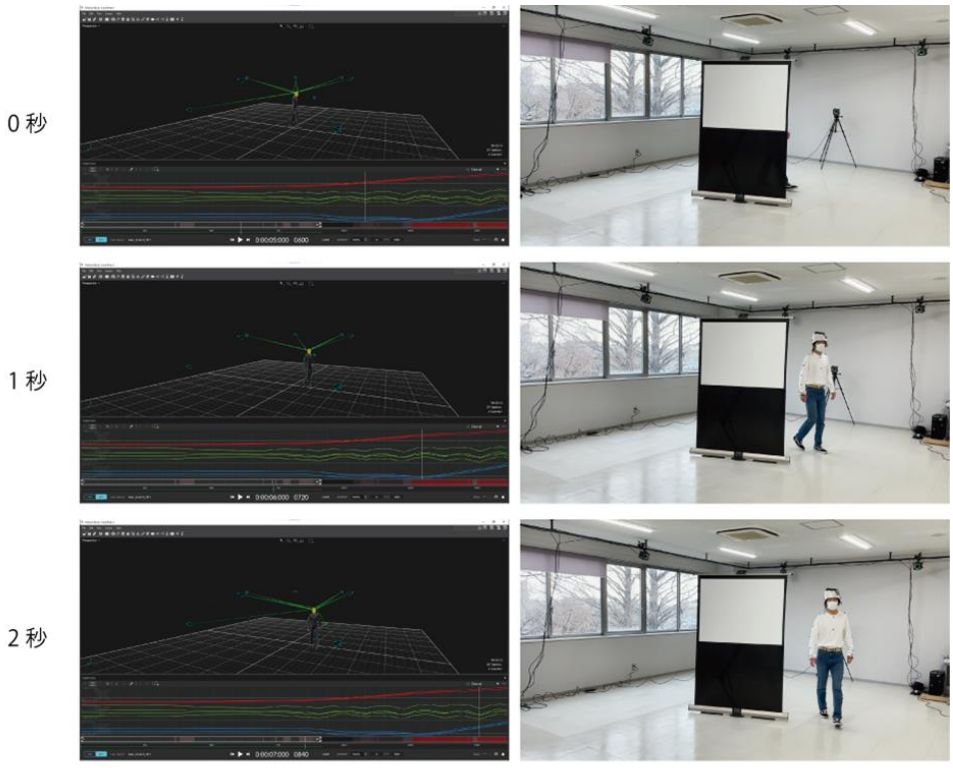


図 20　物陰からの飛び出しシーンの計測結果

iii） 俯瞰カメラを用いたインフラセンサーシステムの検討

参画メンバーである日本信号や先進モビリティとの協議や既に実施されているレベル 2 自動運転実証試験の報告等により、横断歩道や駐車場出入口周辺等において、構造物や樹木、駐車車両を含む車両等によって自動運転車両の車載カメラから死角になる歩行者や自転車の認識が困難な場合があり、レベル 4 自動運転サービスを安全に実施する上では、車外から道路に入ってくる歩行者や自転車を検知し、自動運転車両に伝達する仕組みが重要であり、これを解決する道路脇に設置したインフラセンサーシステムを協調型システムのキーテクノロジーとして検討した。具体的には、道路脇に設置した広角カメラ（以下、俯瞰カメラと呼ぶ）が撮影した画像をインフラ側で AI を用いた画像処理用の GPU を搭載した計算機を用い、ディープラーニングにより歩行者や自転車の物体検出、進路予測を行う。例えば、図 21 のように駅前ロータリーにある横断圃場周辺を想定し、車道から歩道が遮蔽物などにより死角になっており、歩道を通る歩行者や自転車を自動運転車両が直前まで見えない状況を考える。

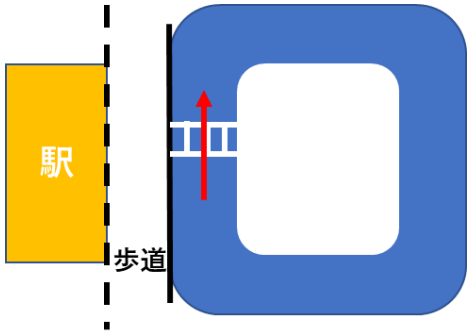


図 21　駅前ロータリーと横断歩道周辺の想定環境

この際、俯瞰カメラは横断歩道付近の歩道と車道の両方を見ることができるもので、歩行者や自転車が歩道から車道に出ることを事前に予測し、自動運転車両に通信により配信することが出来る。インフラセンサーに信頼性があれば、自動運転車両はその情報を基に緊急停止することも可能である。一方、最終的には自動運転車両が判断すべきという考え方もあり、配信情報により、自動運転車両は歩行者や自転車の飛び出し地点・時刻に着目し、検出に要する時間を短縮することで、迅速に緊急停止するということも可能である。なお、この際も自動運転車両は配信結果により減速し始めることが望ましいと考える。

以上のことから、協調型システムの要件としては、俯瞰カメラの設置高さと遮蔽物との関係、歩行者や自転車の進路予測と遮蔽による予測精度への影響を設定した。

まず、俯瞰カメラによる歩行者と自転車の検出・予測手法として以下の 2 手法を考え、比較を行った。

- 対象物（歩行者・自転車）全体を検出し、速度一定モデル等で進路予測を行う
- 対象物（歩行者・自転車）の頭部のみを検出し、頭部を追跡することで進路予測を行う

前者は、図 22 のように車載カメラで行われているディープラーニングによる物体検出を用いた一般的な手法を俯瞰カメラに応用したものである。

図 22　車載カメラによる歩行者検出

俯瞰カメラからは図 23 のように見えるが、特に物体検出では自転車が右左折するときの進路推定が難しい。このため、自転車はディープラーニングにより右折・直進・左折と分けて検出しているが、物体の一部が車両などで隠れた場合に進路予測の精度が悪くなるなどの問題がある。

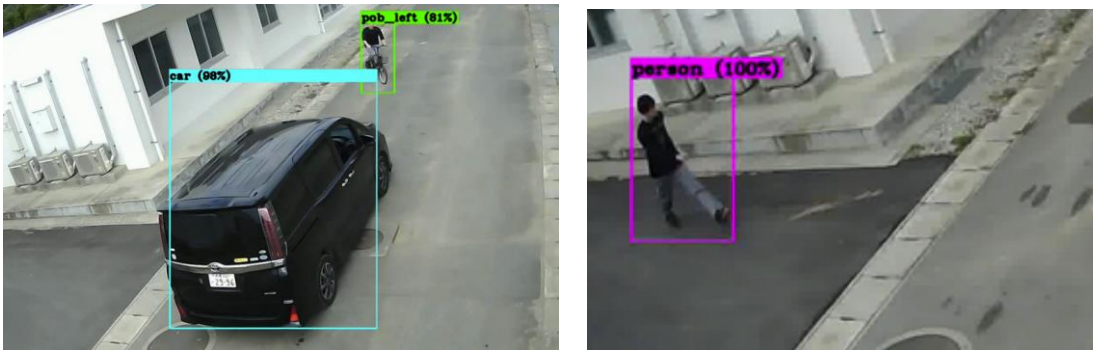


図 23　俯瞰カメラによる歩行者・自転車検出

この問題点を解決すべく、後者は歩行者と自転車ともに頭部に着目し、俯瞰カメラを利用すれば、図 24～図 25 のように頭部は隠れることはなく、また最小限の範囲で検出されるため、進路予測の精度も確保できる。なお、ディープラーニングによる検出は、リアルタイムで実行可能である。

図 24　俯瞰カメラによる歩行者や自転車の頭部検出

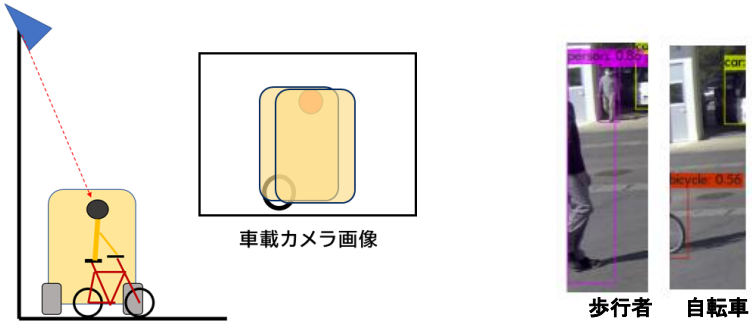


図 25　俯瞰カメラによる頭部認識と進路予測による車載カメラからの迅速な検出

進路予測のためには、図 26 に示す通り、俯瞰カメラのキャリブレーションにより、歪みのない画像とし、利用する。また表 7 に予測誤差を示すが、頭部検出の精度の方が良好である。表 7 の頭部検出による予測誤差の大きな要因は、歩行者や自転車の接地位置を利用しないことにより、頭部高さを日本人の標準身長から求めたことであり、今後、ステレオカメラや LiDAR の利用により、距離情報を求めることにより、精度が向上する。

図 26　俯瞰カメラの歪み補正画像

表 7　10m 距離時の進路予測誤差（左表：全体検出・右表：頭部検出）

	予測誤差
歩行者	45cm
自転車	99cm

	予測誤差
歩行者	42cm
自転車	244cm

以上の結果から、頭部検出を行うことで、歩行者と自転車の進路予測に影響を与える遮蔽がなくなることが明らかになった。また、リアルタイム処理が可能である。ただし、予測精度は現状で 90%程度であるが、十分ではないと考え、今後のシステム改良により、90%以上の高い予測精度が期待できる。また、俯瞰カメラの取り付け位置は、環境依存であり、歩行者や自転車の頭部を遮蔽するものがないように設置すれば良く、頭部のみの検出・進路予測手法は検出範囲を広げることにもつながっている。なお、オープンカーの乗員と道路上の人、バスにペイントされた人の絵の誤認識の可能性に関する指摘を一部メンバーから受けているが、追跡や 3 次元計測により対応可能と考えており、次年度に検証が必要である。

ⅳ） GNSS ロストに対応する位置推定技術の検討

① 統合型位置計測技術の構築

駅周辺の建築物、歩道橋、街路樹等の影響により GNSS の受信状態が悪化（ロスト）すれば、自車位置計測の精度が低下し、自動走行の安定性が損なわれる可能性がある。従来のレベル 2 自動運転では、走行の安全性を担保するために GNSS ロスト時に運転手へのテイクオーバーが実施され、自動走行が中断されていた。よって、レベル 4 自動運転を実現するためには GNSS ロストに対応する新たな自車位置計測法が必要である。

GNSS ロスト時にも自車位置計測を継続するための方法として、既存の車載センサーを活用した自立系システムによる自車位置計測技術を用いて、GNSS 情報と複合することで安定性を向上させる方式を構築した（図 27）。本方式では、車載の LiDAR およびジャイロセンサーを用いることでリアルタイムに 3 次元点群地図を生成することで自車位置を推定する SLAM 技術の一形態を活用する。LiDAR を用いた SLAM 技術はすでに多くの自動運転車両で実用化されている方法であるが、事前に地図構築をする必要があり、そのコストが課題であった。本方式では、車載の GNSS を活用することで、事前作業や新たな機器を追加することなく地図を構築できる方式であり、導入が容易であるという特徴がある。

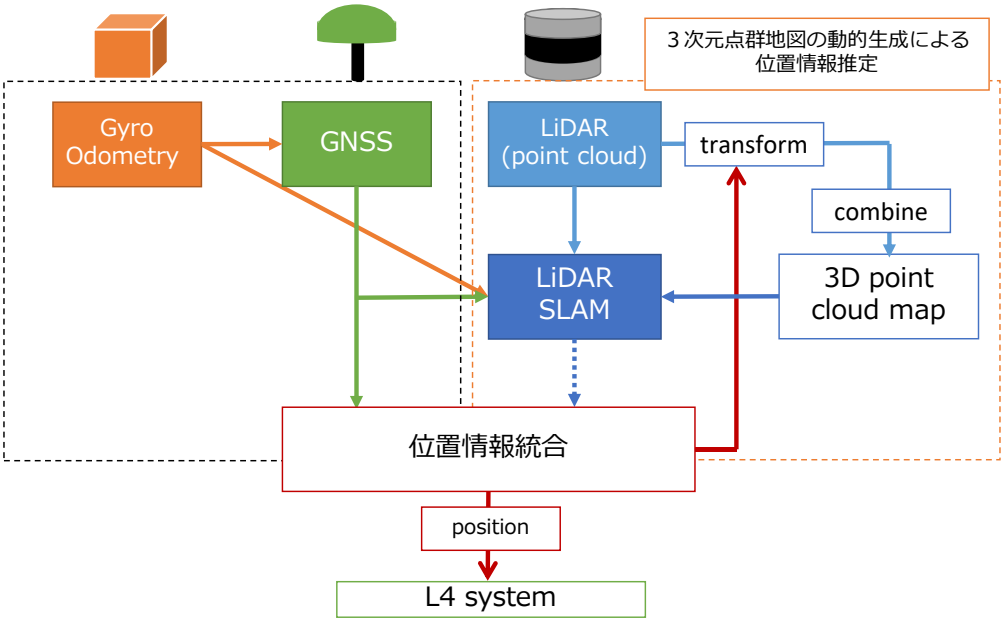


図 27　統合型位置計測システムの設計

提案する統合型位置計測システムの処理概要は以下である。

1. LiDAR から得られた 3 次元点群を GNSS から得られる位置情報を正として初期地図データを生成する
2. IMU から得られる車両運動情報から計測器の移動予測を行う
3. LiDAR から新たな 3 次元点群を取得し、2 で予測した位置における地図データと仮定する
4. 3 で仮定した地図データを構築済み地図データへ統合する。統合の際には、NDT Scan Matching 法により微小位置合わせを行う
5. 4 で得られた微小位置合わせ結果に対して、GNSS より受信した位置情報へ補正を行い、統合地図を生成する
6. 2 に戻り処理を繰り返す

以上の処理を実施する際の各種センサーの技術要件は表 8 にまとめる。

表 8　統合型位置計測システムの要件

技術要素	要件・仕様等
GNSS	緯度、経度、標高、水平精度低下率を含む NMEA センテンスを配信できる
LiDAR	水平 360°、10000 スキャン/秒以上の更新周期 垂直 30°、16 レイヤ以上の解像度
Gyro／IMU	20Hz 以上の更新周期

本 SLAM 技術による位置計測情報は、GNSS ロストを発見する指標、および、ロスト後にも自動運転車両に位置情報を暫定的に提供する際に活用する。これにより、従来は手動運転への切り替えを要する場面においても、SLAM 技術による自立走行を継続できることが期待できる。本方式の実現性を検証するために、次に評価実験の結果を報告する。

提案方式の効果を検証するために、GNSS 装置および LiDAR を搭載した車両を市街地で走行させ、3 次元地図が高精度に生成できるかを評価した。本実験では、LiDAR を用いた SLAM 技術単体による地図生成結果と提案方式である GNSS と複合した地図生成結果を、自動走行等に用いる高精度道路地図と比較することで、その精度を評価する。図 28 の緑点は LIDAR 情報のみを用いて生成した地図データであり、図 29 の緑点は GNSS と複合した方法により生成した地図データである。両データは市街地走行開始から約 1km 走行した地点の拡大図であり（図 30 赤枠）、走行による位置推定の誤差等が十分に蓄積した地点である。両図の青線は事前に作成した高精度道路地図の車線情報を表しており、実際の道路構造（車線中心）を正確に表している。図 28 の結果では、生成地図のデータが高精度道路地図の車線と異なる位置にあり、位置推定計算に用いることは困難である。一方、図 29 の提案方式による地図生成結果では、生成地図と既存の高精度道路地図がよく一致しており、位置計測に十分活用できる結果となった。

SLAM による位置計測では、レーンキープアシスト機能と同様に道路中心位置との相対位置を維持できれば、走行を継続できる可能性が高い。一方で、既存の高精度道路地図との融合を行うためには、絶対位置誤差も重要となる。そこで、提案手法の精度評価するために、高精度地図に基づき計測した位置データと、提案手法で作成した地図データに基づき計測した位置データの比較を行った。比較の結果、誤差は 0.3m(標準偏差 0.12)であった（図 31）。

この結果は、絶対位置を計測する目的においては不十分であるが、GNSS ロスト時に走行を継続させるための、車線との相対位置情報を求める方法としては活用可能である。R4 年度は引き続き、絶対位置精度の計測能力向上を図りながら、本手法を自動運転車両に実装し、GNSS ロスト時の走行試験を実施する。

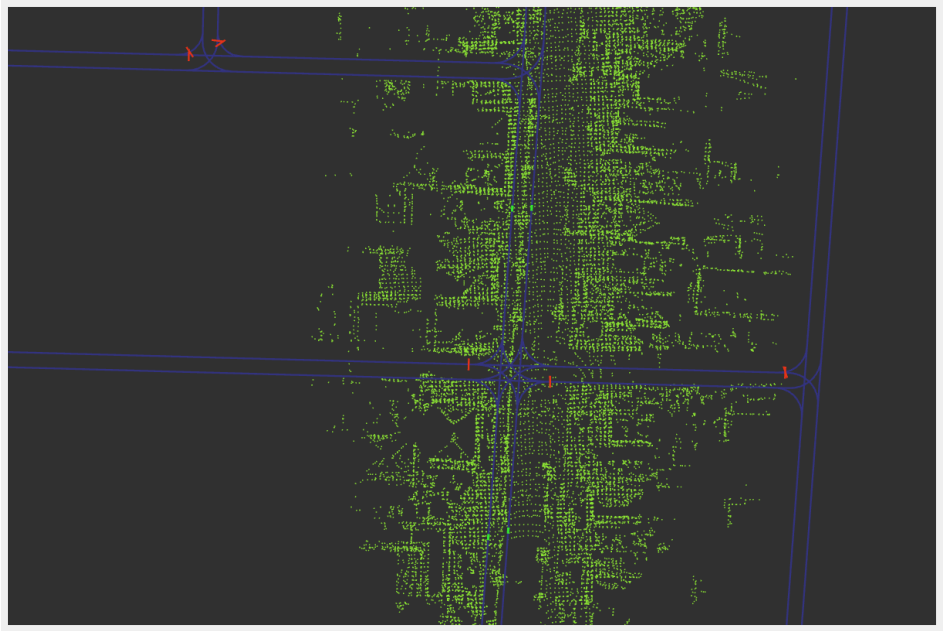


図 28　LIDAR のみによる地図生成結果

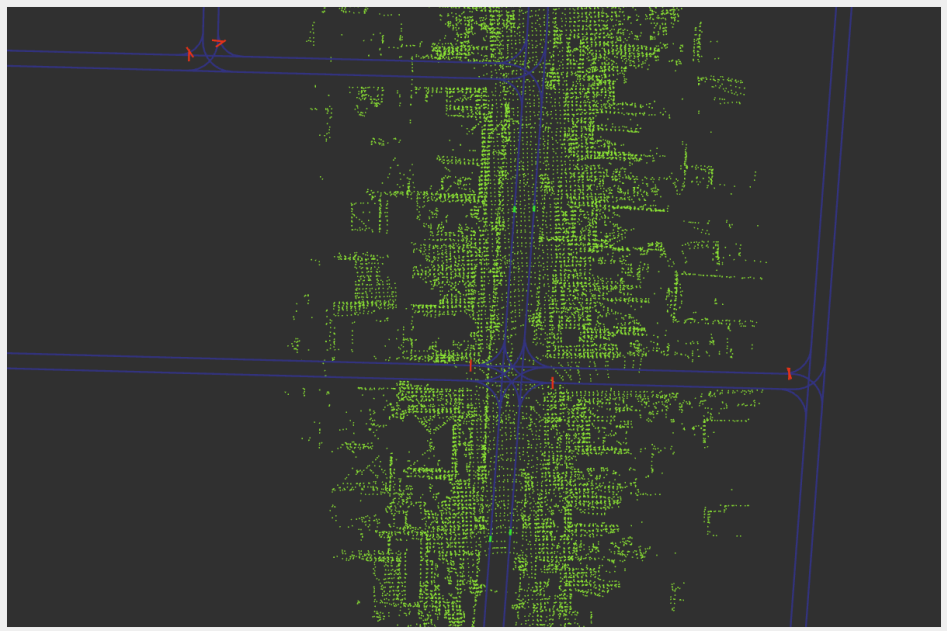


図 29　GNSS-LiDAR 複合による地図生成結果

図 30　市街地走行による地図生成結果

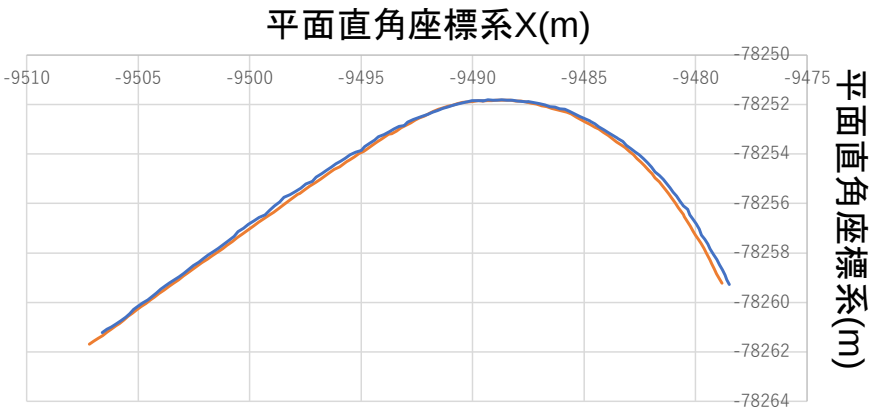


図 31　絶対位置誤差の評価

② 統合型位置計測技術の柏走行データに対する適用

レベル 4 自動運転モデルコースの 1 つである、柏地区を走行するレベル 2 自動運転車両に搭載されている LiDAR を用いた、動的な地図生成および位置計測試験を実施した。地図作成試験では、統合型位置計測技術の一部である地図生成機能を用いて、LiDAR より得られた 3 次元点群から走行経路周辺の 3 次元点群地図を生成した（図　32 の青点群）。本実験では LiDAR 情報のみで 3 次元地図を生成し、位置計測に十分な精度で生成された。本地図生成技術を自動走行に用いる際には、より高精度な地図生成を行うために、GNSS およびジャイロセンサー、車速等の他のセンサーからの位置・移動に関するデータを同時に入力する必要がある。

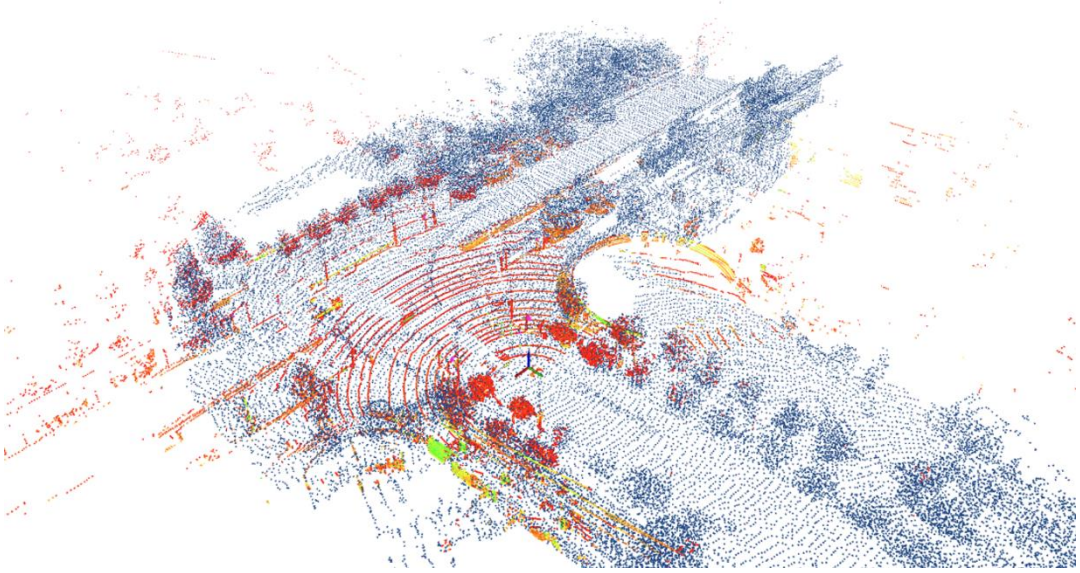


図 32　レベル 2 自動運転車両のデータを用いた地図生成と位置計測

次に、生成した 3 次元点群地図を用いて、レベル 2 自動運転車両の LiDAR 情報を用いて自車位置を計測できるかどうかを検証した。その結果、自車位置を全区間で計測することが可能であることを確認した（図 32 赤樹点群）。以上の結果から、柏地区を走行する既存のレベル 2 自動運転車両に対して、追加センサーなどを用いずに GNSS 不活時に活用できる統合型位置計測システムを実装できることが確認できた。

- GNSS 不活状況に対応する統合型位置計測技術を設計し、既存のレベル 2 自動運転車両に搭載している機器のみを用いて位置計測機能の拡張が可能であること確認した。

(2)　デジタル地図と動的情報の連携

i)　移動体位置情報のリアルタイム取得と表示

GTFS（General Transit Feed Specification）は経路検索や地図サービスへの情報提供を目的と制定された公共交通情報のデータフォーマットである。日本でも東京都（都バス）や地方の多数のバス会社などが、このフォーマットでのオープンなデータ配信を定常的に行っている。GTFS には、停留所位置・時刻表・運賃といった路線ごとの静的な情報 GTFS-static と、実際のバス位置や乗車人数などの動的情報を表現する GTFS-realtime があり、協調型システムにおいては両者の情報をともに取り込むことが想定される。現時点では自転車・歩行者・（主に歩道を走行する）小型自動配送車などに関する GTFS のような国際標準は存在していないが、こうしたバス以外の移動体についても GTFS-realtime を基礎的な参照フォーマットとみなすことができる。そこで以

下の手順に基づき、GTFS-realtime 情報を、協調型システムにおいて利用するための予備検討を行った。

(1) 東京都が配信している都バスの GTFS-realtime 情報をネットワーク経由で連続取得
(2) 位置情報を 3 次元地図のデファクト Viewer CESIUM で採用されている CZML に変換
(3) CESIUM 上でリアルタイムバス位置を表示しタイムラグを計測

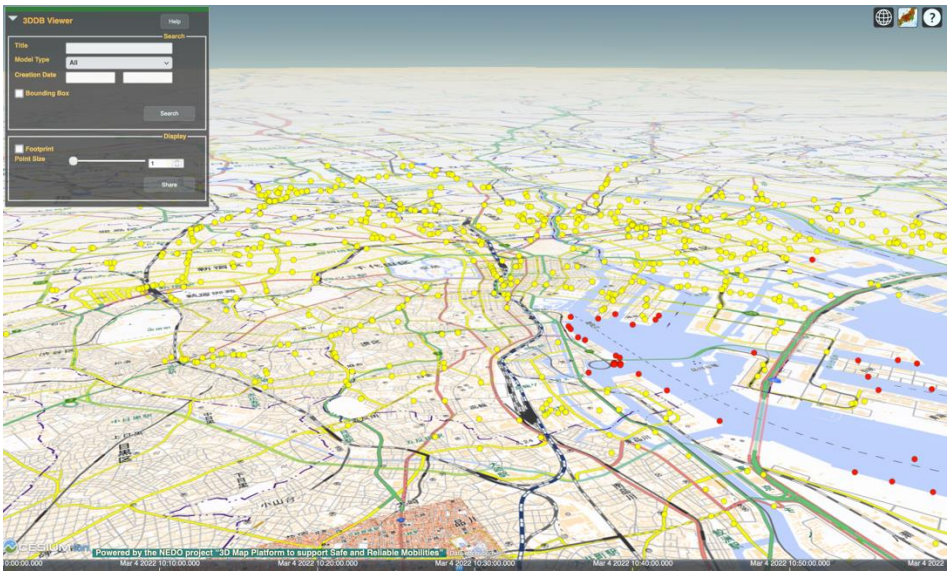


図 33 Cesium 上でリアルタイム表示された都バスの位置（黄色の丸）

その結果、配信されている 1000 台以上の都バスの現在位置をリアルタイムで表示できることが示された（図 33）。しかしながら、表示されている位置情報とバス路線上での現地観測を比較すると、数秒から数十秒にわたるタイムラグが存在している。現在の主な利用用途である到着予想時刻の概算などには十分利用できるものの、協調型システムでの危険回避などに用いることを想定するのであれば、このレベルのタイムラグは許容できないものと思われる。今回のシステムでは、データ取得から表示までのタイムラグは 1 秒以内に収めることができているため、ラグの支配的な成分はバスに装着された GPS ロガーから配信システムへのデータ転送であると考えられる。また都バスに装着されている GPS は RTK-GNSS のような高精度のものではないためか、バスがどのレーンを走っているかを読み取ることもできなかった（図 34）。しかしながらこうした問題は、GTFS というフォーマットではなく、そもそもの位置情報測定精度やデータ収集・配信系のリアルタイム性の問題である。

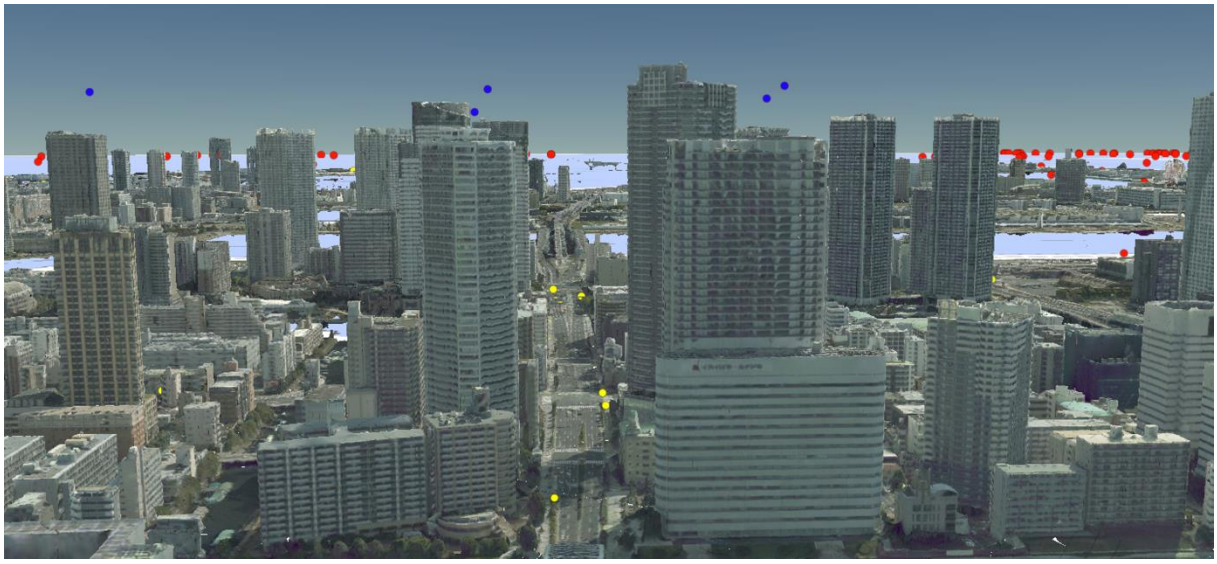


図 34　道路や周囲の建物を三次元表示した時のバス位置

協調型システムが自動車と他の移動体との衝突回避などを目的とする場合、移動体の位置だけではなく形状や向きといった情報も必要となるが、これらは GTFS では表現できない。こうした移動体に関する詳細情報までも必要とするのであれば、Open Geospatial Consortium が制定している Moving Feature は有力なフォーマットの一つであると考えられる。

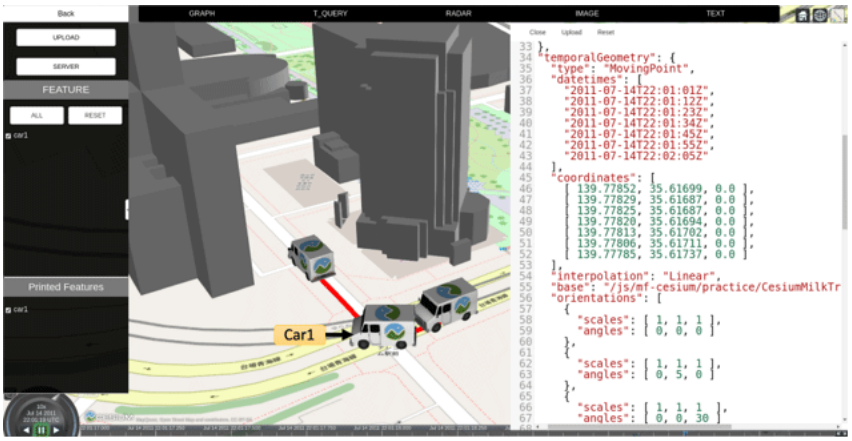


図 35　OGC 標準 Moving Feature　での自動車の位置・形状・方向の表示例

出所）産総研 HP、移動体データ形式「MF-JSON 形式」が地理空間情報の国際標準として採択
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200602_2/pr20200602_2.html

(3)　レベル 4 自動運転サービスを見据えた道路空間検討

ⅰ）　道路付属物の候補の抽出・列挙

レベル 4 自動運転車両の自己位置同定に寄与しうる道路附属物等の候補を抽出・列挙した。候補の整理にあたっては、国内で広く適用・使用されている基準・ガイドラインを参照した。その結果、候補となりうる物件を合計 47 物件抽出した。

（参考資料）

- 公益社団法人　日本道路協会、「道路構造令の解説と運用」、2021 年 4 月
- 公益社団法人　日本道路協会、「防護柵の設置基準・同解説/ボラードの設置便覧」、2021 年 4 月
- 公益社団法人　日本道路協会、「道路照明施設設置基準・同解説」、2007 年 10 月

ii） 構造物の評価・集約

抽出した候補に対する評価観点として、位置情報の有用性と恒久性に注目した。位置情報の有用性は、さらに垂直な構造物かどうかと、存在密度の観点に分割できる。

これらの評価観点によって抽出した候補を評価し、5 グループに集約した。結果を表 9 示す。

表 9　構造物の分類と特徴

構造物の分類と特徴						
項目		構造の例		特徴		
No.	名称	道路法上での「道路の付属物」	その他	垂直[1]	密度[2]	恒久性[3]
1	3次元・カメラともに有用	・車両用防護柵 ・自転車歩行者用柵 ・駒止め	・中央分離帯 ・歩道縁石 ・マウントアップ歩道 ・敷地内構造物	1	1	1
2	3次元・カメラともに場合によって有用	・並木（道路管理者が設置）	・並木（道路管理者以外が設置）	1	1	0
3	3次元に有用	・街灯（道路管理者が設置） ・道路標識、道路元標、里程標 ・道路上の道路情報提供装置 ・車両監視装置 ・気象観測装置 ・緊急連絡施設 ・道路反射鏡	・ボラード ・街灯（道路管理者以外が設置） ・Lv4自動運転路側車協調用路側機 ・交通信号機 ・電柱 ・歩行者注意喚起灯 ・路上専用物件（無電柱化に伴う地上機器）	1	0	1
4	カメラに有用	・自動運行補助施設（電磁誘導線など）	・車道中央線 ・車線境界線 ・車道外側線	0	1	1
5	その他	-	・看板等	1	0	0
		-	-	0	1	0
		・道路に接する道路の維持又は修繕に用いる機械、器具又は材料の常置場 ・道路上又は道路に接する自動車駐車場、自転車駐車場（道路管理者が設置するもの） ・特定車両停留施設 ・共同溝、電線共同溝（道路管理者が設置するもの）	・道路上又は道路に接する自動車駐車場、自転車駐車場（道路管理者以外が設置するもの） ・共同溝、電線共同溝（道路管理者以外が設置するもの） ・導流標示 ・交差点付近の路面標示	0	0	1
		-	-	0	0	0

注 1：走行面より 5cm 以上上部に張り出しているものを 1、 それ以外を 0 とした

注 2：おおよそ 10m 間隔よりも高い頻度で存在するものを 1、 それ以外を 0 とした。物理的には白線のように連続的に存在するものと並木や磁気マーカーのように離散的に存在するものの差が存在するが、iii で実施する評価の観点からここではそれらを一括にしている

注 3：1 年の中で形が必ず変わるものを 1、 それ以外を 0 とした

iii） 評価・集約結果

前手順で集約した 5 グループに対し、3 次元点群データを使用する場合とカメラを使用する場合それぞれについて、自己位置同定に寄与するかの評価を実施した。結果を表 10 に示す。ここでは、参考として、位置同定以外への活用方法も付記する。

表 10　自己位置同定に寄与するかの評価

構造物の分類		自己位置同定に寄与するかの評価				（参考）
項目		3次元点群データを使用する場合		カメラを使用する場合		位置同定以外への活用方法
No.	名称	評価[4]	備考	評価[5]	備考	
1	3次元・カメラともに有用	○	・3次元点群データにするには形がわかれば良いので、必ずしも属性情報は必要無い。構造の例に挙げたものは点群データに使用できる種々の構造物のうちのひとつとの位置付け	○	・防護柵の支柱などは専用道であれば磁気マーカーの替わりとして機能する可能性がある ・しかし磁気マーカーのほうが画像処理やライダー処理が不必要で簡単なので、現在は磁気マーカーが利用されている	・柵などによって、歩行者の飛び出しを想定しなくても良いということがあれば、その情報は制御に有用な可能性がある
2	3次元・カメラともに場合によって有用	△	・形が大きく変わるものは位置同定に使いづらい	△	・形が大きく変わるものは位置同定に使いづらい	・形が変わるという情報があれば、逆にそれを位置特定のための対象物から「外す」ことによって、位置同定の精度を高めることができる
3	3次元に有用	○	・3次元点群データにするには形がわかれば良いので、必ずしも属性情報は必要無い。構造の例に挙げたものは点群データに使用できる種々の構造物のうちのひとつとの位置付け	×	-	・信号の位置が予めわかっていれば、カメラによる信号認識の誤りを減らすことができる ・電柱が道路に飛び出して設置されていることがあり、これを障害物の情報として登録しておけば、通常時の電柱の回避が容易になったり、緊急退避時に退避空間を特定するのに役立ったりする ・最高速度標示をカメラ認識する場合は、標識の位置が予めわかっていれば認識しやすい
4	カメラに有用	×	-	○	・白線は特に市販車にとっては重要な情報になる（特に外側線） ・停止線やゼブラ、ひし形のマークなどは位置同定の補正用として補助的に使用できる	-
5	その他	△ × × ×	-	× △ × ×	-	-

注 4：点群データにするには構造物が地面に対して垂直になっている必要があるため、垂直の評価が 0 の場合は×とした。垂直の評価が 1 のうち、恒久性が 1 のものを○、0 のものを△とした

注 5：カメラを使用する場合、近距離で認識する必要があるためにある程度の物体の密度が必須になる。

これらの整理の結果、総論として以下の 3 点にまとめることができる。

① 3 次元点群データを使用する自己位置同定のためには、地面に対して垂直な 30m以上離れた位置からでも視認可能な大きさをもつ構造物が有用。町並み全体を捉えられるので、小さな変化は無視できる

② カメラを使用する自己位置同定のためには、ある程度近距離に密度高く存在するカメラで形がわかる構造物やマーキングが有用。（PLATEAU データのような大域的な形状データで

もカメラを用いた自己位置同定は可能だが、磁気マーカー代わりにするようなルートを正確に指定する用途では、白線のように近くにある情報の方が有効)

③ 自己位置同定のためには、形やテクスチャの情報がわかれば良いので、物体の属性情報は有用ではない。属性情報の記録にもコストがかかるため、自己位置同定のためだけに属性情報を記録することは考えにくい。一方、自動運転の判断や ODD の定義のためには物体の属性情報が重要になる可能性があり、属性情報の記録そのものは否定しない

iv) GNSS 不活地点の調査と自己位置同定法の検討

モデルコースの 1 つである柏地区を走行するレベル 2 自動運転車両の GNSS 受信状況を計測し、GNSS 不活状況の調査を実施した。GNSS の不活性を表す指標として、二次元位置精度低下率(Horizontal Dilution of Precision,HDOP)を用いて不活地点を調査した。GNSS が不活となる状況は、一般的には高層建築物、橋、街路樹等の上方の空間を遮蔽する構造物がある地点、建築物によるマルチパスが発生しやすい地点、雷雲等の気象条件がある。モデルコースの走行データを分析したところ、街路樹および高層建築物により上空が遮蔽されている地点において HDOP の評価値が低下する結果が得られた。この地点は一般に GNSS が不活となりやすい地点である一方で、実施事項 3) ③a でも報告したように、周辺構造物の形状や特徴量等を利用した自己位置同定法が有効に働く地点でもある。3) ①d でも述べたように、LiDAR を用いた自己位置同定手法は、周辺に特徴的な構造物がある場面で高い精度が得られるという、GNSS と相補的な関係にある特徴がある。よって、GNSS 不活地点において代替となる自己位置同定法としては、3 次元点群地図や構造物形状地図等の構造物を事前に高精度測量した基準地図データに基づき、LiDAR やカメラを利用した位置同定技術が有効である。

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

■ 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を構築することが目的である。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 36 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。歩行者が持ち歩くモバイル端末が歩行者に関する情報を計測し、協調型自動運転車を含む他の車両に共有できるようにデータ連携が可能なプラットフォームにアップロードする。さらに、インフラセンサー等で計測された車両情報をモバイル端末がプラットフォームから受け取り、歩行者の安全性を支援する。

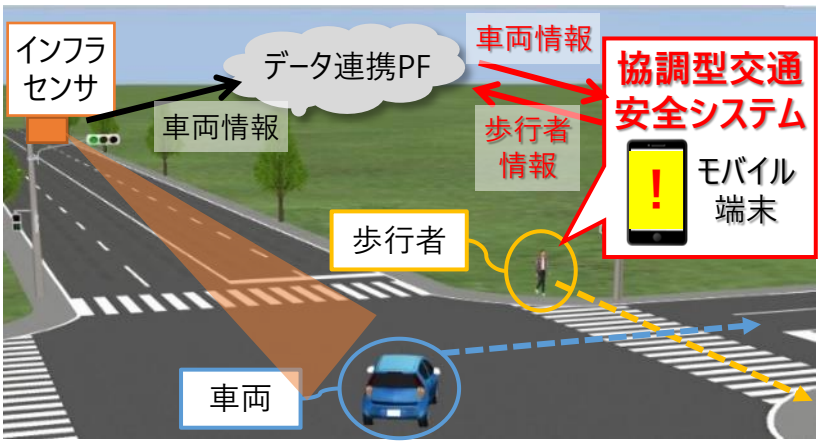


図 36　協調型交通安全システムの概略（信号交差点における歩行者支援）

■　実施方針

まず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で採取した情報を利活用する支援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、交通弱者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、検討した支援方策について、スマートフォンを用いた支援システムを実装し、実環境において支援システムの性能等について評価した。

なお、今年度の本項目では、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、まずシステムを構成する要素を限定し、自動車対歩行者(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)の場面に限定して検討を行った。

■　実施事項と実施方法

(1)　V2P 支援ユースケースの検討

V2P 支援方策を設定するため、自動車と歩行者が遭遇し、衝突する可能性がある V2P 支援ユースケースについて検討した。検討にあたっては、実際に自動車と歩行者の事故（人対車両事故）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、自動車と歩行者が衝突は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、人対車両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歩行者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と本事業の実証先の一つである柏地域において運行されている自動運転バスの運行経路を考慮して V2P 支援ユースケースを設定した。

i） 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「歩行者」、あるいは第一当事者が「歩行者」かつ第二当事者が「四輪車」である表 11 に示した 55 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 11　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	PCP-AS13-DS6	一般道	四輪車	歩行者	対･背面	交差点付近	発進･直進	左側
2	PCP-AS22-DS6	一般道	四輪車	歩行者	対･背面	カーブ	発進･直進	左側
3	PCP-AS23-DS5	一般道	四輪車	歩行者	対･背面	一般単路	発進･直進	右側
4	PCP-AS23-DS6	一般道	四輪車	歩行者	対･背面	一般単路	発進･直進	左側
5	PCP-PC11-DS3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	発進･直進	右から
6	PCP-PC11-DS4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	発進･直進	左から
7	PCP-PC11-TL3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	左折	右から
8	PCP-PC11-TL4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	左折	左から
9	PCP-PC11-TR3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	右折	右から
10	PCP-PC11-TR4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	右折	左から
11	PCP-PC12-DS3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	無信号交差点	発進･直進	右から
12	PCP-PC12-DS4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	無信号交差点	発進･直進	左から
13	PCP-PC12-TR4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	無信号交差点	右折	左から
14	PCP-PC13-DS3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	交差点付近	発進･直進	右から
15	PCP-PC23-DS3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	一般単路	発進･直進	右から
16	PCP-PC23-DS4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	一般単路	発進･直進	左から
17	PCP-ZC11-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	信号交差点	発進･直進	右から
18	PCP-ZC11-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	信号交差点	発進･直進	左から
19	PCP-ZC12-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	発進･直進	右から
20	PCP-ZC12-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	発進･直進	左から
21	PCP-ZC12-TR3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	右折	右から
22	PCP-ZC12-TR4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	右折	左から
23	PCP-ZC13-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	交差点付近	発進･直進	右から
24	PCP-ZC13-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	交差点付近	発進･直進	左から
25	PCP-ZC13-TR4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	交差点付近	右折	左から
26	PCP-ZC22-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	カーブ	発進･直進	右から
27	PCP-ZC22-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	カーブ	発進･直進	左から
28	PCP-ZC23-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	一般単路	発進･直進	右から
29	PCP-ZC23-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	一般単路	発進･直進	左から
30	PCP-RD11-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	信号交差点	発進･直進	停止
31	PCP-RD12-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	無信号交差点	発進･直進	停止
32	PCP-RD13-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	交差点付近	発進･直進	停止
33	PCP-RD13-TL7	一般道	四輪車	歩行者	路上	交差点付近	左折	停止
34	PCP-RD21-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	トンネル･橋	発進･直進	停止
35	PCP-RD22-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	カーブ	発進･直進	停止
36	PCP-RD23-DS7	一般道	四輪車	歩行者	路上	一般単路	発進･直進	停止
37	PCP-RD23-DS4	一般道	四輪車	歩行者	路上	一般単路	発進･直進	左から
38	PCP-RD23-DB7	一般道	四輪車	歩行者	路上	一般単路	後退	停止
39	PCP-ZZ13-DS7	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	交差点付近	発進･直進	停止
40	PCP-ZZ23-DS7	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般単路	発進･直進	停止
41	PCP-ZZ23-DS4	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般単路	発進･直進	左から
42	PCP-ZZ23-DS6	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般単路	発進･直進	左側
43	PCP-ZZ99-DS3	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般交通の場所	発進･直進	右から
44	PCP-ZZ99-DS4	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般交通の場所	発進･直進	左から
45	PCP-ZZ99-DB7	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般交通の場所	後退	停止
46	PCP-ZZ99-TR4	一般道	四輪車	歩行者	対人その他	一般交通の場所	右折	左から
47	PPC-PC11-DS3	一般道	歩行者	四輪	横断歩道	信号交差点	発進･直進	右から
48	PPC-PC11-DS4	一般道	歩行者	四輪	横断歩道	信号交差点	発進･直進	左から
49	PPC-ZC11-DS3	一般道	歩行者	四輪	その他横断	信号交差点	発進･直進	右から
50	PPC-ZC13-DS3	一般道	歩行者	四輪	その他横断	交差点付近	発進･直進	右から
51	PPC-ZC13-DS4	一般道	歩行者	四輪	その他横断	交差点付近	発進･直進	左から
52	PPC-ZC23-DS3	一般道	歩行者	四輪	その他横断	一般単路	発進･直進	右から
53	PPC-ZC23-DS4	一般道	歩行者	四輪	その他横断	一般単路	発進･直進	左から
54	PPC-RD13-DS7	一般道	歩行者	四輪	路上	交差点付近	発進･直進	停止
55	PPC-RD23-DS7	一般道	歩行者	四輪	路上	一般単路	発進･直進	停止

分析対象とした事故パターンにおける各道路形状の発生件数割合を図 37 に示す。図より人対車両事故は「一般単路」で最も多く発生している（37.9%）。しかし、信号交差点と無信号交差点、交差点付近を合わせると、全件数の約 6 割を占めており、交差点内およびその付近で自動車と歩行者が衝突する交通事故が多く発生していると言える。交差点およびその周辺では、協調型自動運転車両は他の交通参加者が存在する混在環境の中を自律的に移動するために、交差点周辺に存在する車両や歩行者等を検出するセンサーが信号機や路側機等のインフラに設置されることが期待できる。そのため、本項目で構築する協調型交通安全システムにおいても、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することが期待できる。そこで、支援対象の道路環境として交差点およびその周辺に着目する。

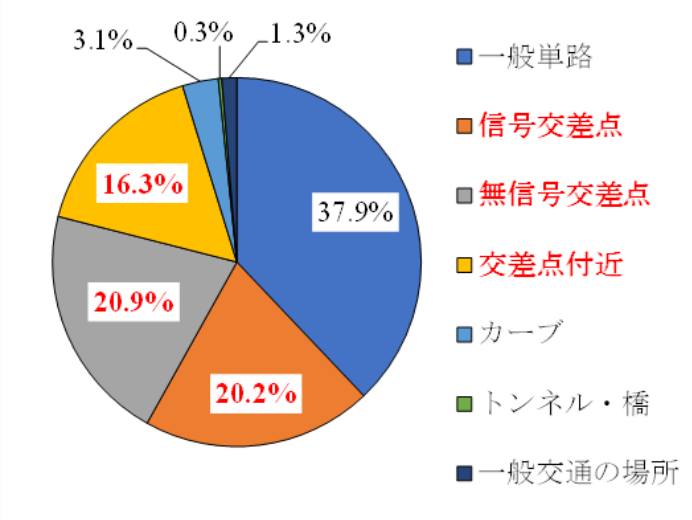


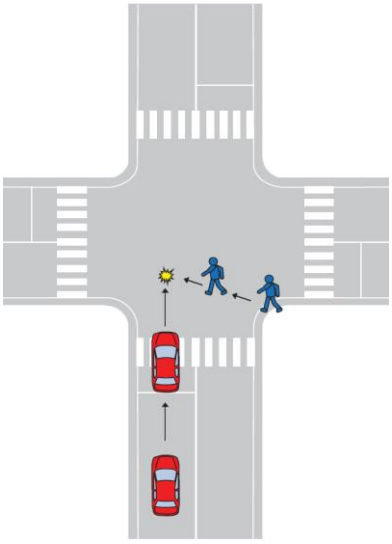
図 37　道路形状毎の発生件数割合

道路形状が「信号交差点」、「無信号交差点」、「交差点付近」のいずれかである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 12 に示し、各事故パターンにおける自動車と歩行者の位置関係がわかる鳥観図を図 38 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、横断歩道あるいはそれ以外の場所を横断する歩行者と交錯するパターンである。これら 4 パターンにおいて歩行者が横断する場所や方向は異なるものの、自動車と歩行者の位置関係は類似しており、無信号交差点や交差点付近で歩行者が横断する際に自動車と衝突するパターンとしてまとめられる。残る 1 パターンは、信号交差点において自動車が右折する際に歩行者と衝突するパターンである。以上の SIP 事故パターンの分析より、自動車と歩行者が衝突する人対車両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。

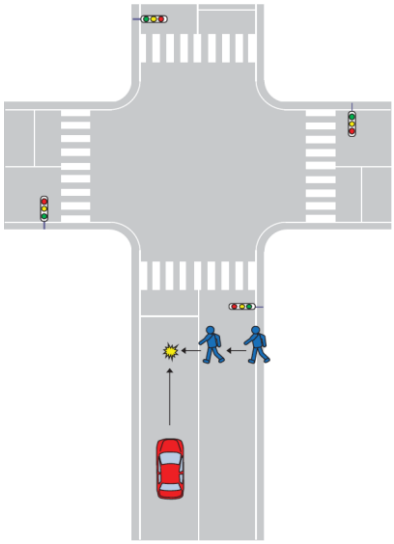
- 無信号交差点や交差点付近で、自動車が直進する際に歩行者と衝突するパターン
- 信号交差点で、自動車が右折する際に歩行者と衝突するパターン

表 12　交差点とその付近における発生件数が多い事故パターン

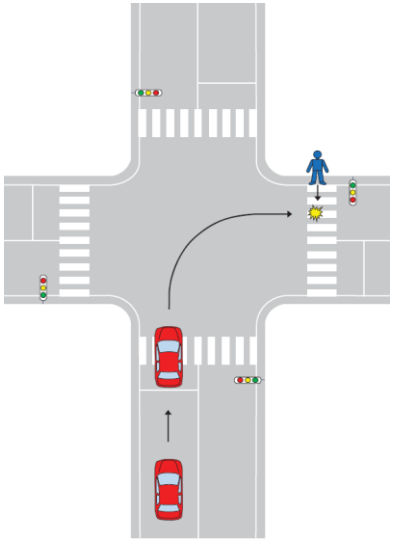
No.	パターンコード	道路	1当	2当	事故類型	道路形状	車行動類型	相手位置
19	PCP-ZC12-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	発進・直進	右から
23	PCP-ZC13-DS3	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	交差点付近	発進・直進	右から
10	PCP-PC11-TR4	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	信号交差点	右折	左から
20	PCP-ZC12-DS4	一般道	四輪車	歩行者	その他横断	無信号交差点	発進・直進	左から
11	PCP-PC12-DS3	一般道	四輪車	歩行者	横断歩道	無信号交差点	発進・直進	右から



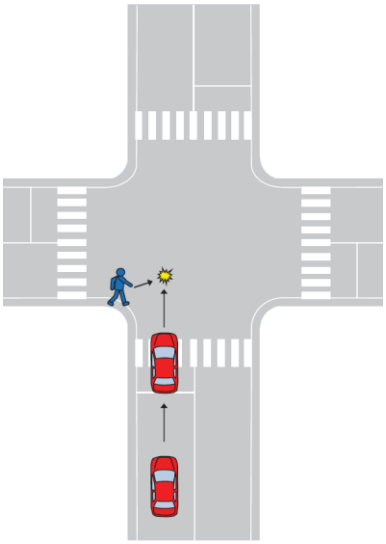
(19) PCP-ZC12-DS3



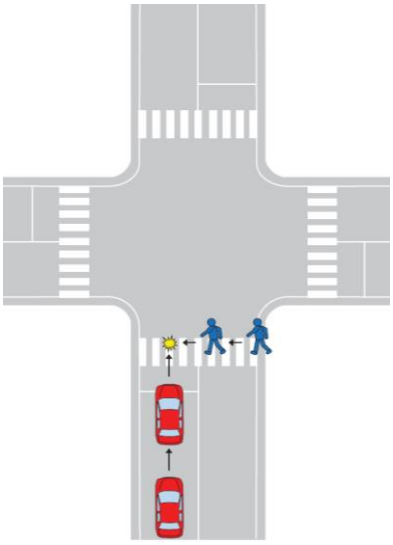
(23) PCP-ZC13-DS3



(10) PCP-PC11-TR4



(20) PCP-ZC12-DS4



(11) PCP-PC12-DS3

図 38　交差点とその付近における発生件数が多い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

ii） 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 0.45 G 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。2005 年 1 月から 2020 年 11 月までに発生して収集されたヒヤリハットデータ 180,704 件のうち、表 13 に示す検索条件を満たすヒヤリハットデータ 645 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。

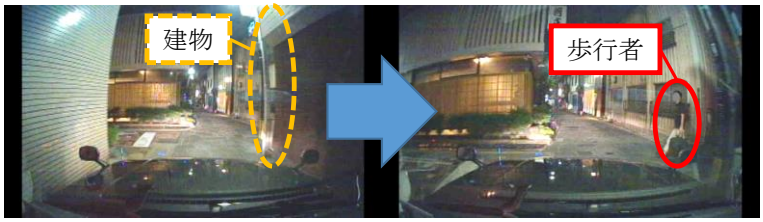
表 13　分析対象とするヒヤリハットデータの検索条件

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	歩行者

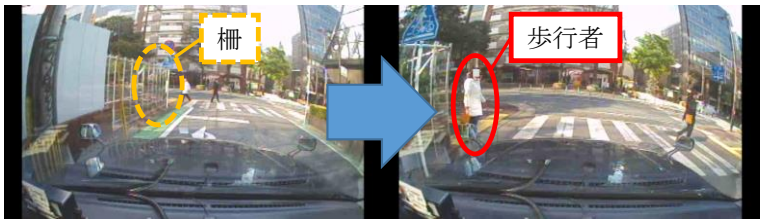
SIP 事故パターン分析において抽出した典型パターンを踏まえ、シーン A：「無信号交差点や交差点付近で、直進するドライバーが歩行者に対して急ブレーキを踏んだシーン」（136 件）とシーン B:「信号交差点で、右折中のドライバーが歩行者に対して急ブレーキを踏んだシーン」(54 件)をそれぞれ抽出し、分析した。

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歩行者が車道内に飛び出すような歩行者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歩行者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歩行者を観測することができれば、ドライバーおよび自動車に対する介入は可能であり、かつ車両情報を歩行者側に提供することができれば歩行者に対する支援も可能である。しかし、136 件中 55 件（40.4%）において、途中まで自動車から歩行者を直接観測できない視界阻害が発生していた。図 39 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歩行者が観測できない状況が見られた。このように自動車から歩行者を直接観測できない状況では、歩行者自身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

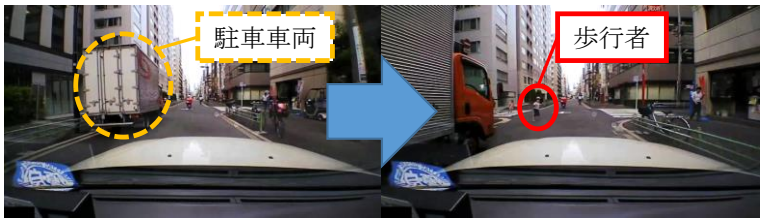
る情報を活用したりすることが有効であると考えられ、本項目で構築を目指す協調型交通安全システムが有効に作用するシーンであると考えられる。



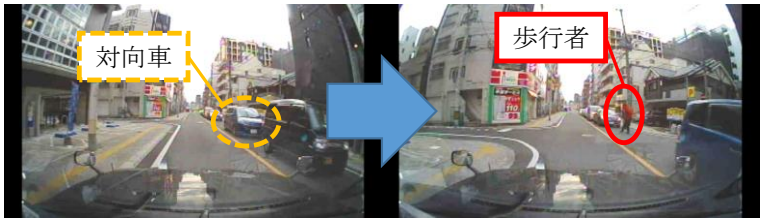
建物による視界阻害があるシーン（ID: 721144）



柵による視界阻害があるシーン（ID: 409680）



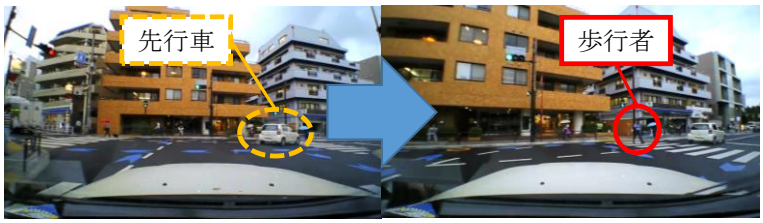
駐車車両による視界阻害があるシーン（ID: 645271）



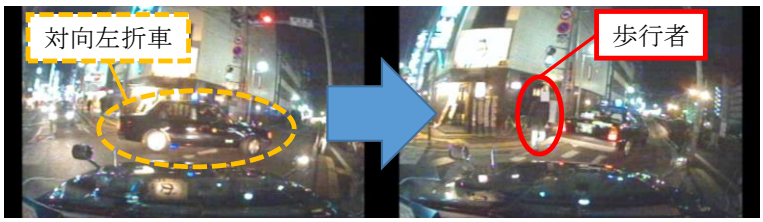
対向車による視界阻害があるシーン（ID: 772745）

図 39　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歩行者の見落としや歩行者の急な飛び出し等の事象が多く見られた。またシーン A よりは割合は小さいものの、シーン B においても視界阻害が発生する場面が見られた（54 件中 13 件、24.1%）。シーン A とは異なり、歩行者は横断歩道上を移動しているため、建物や柵による遮蔽はなく、図 40 に示すように主として先行車や対向左折車による視界阻害が発生していた。このような視界阻害がある状況においても、シーン A と同様に協調型交通安全システムは有用であると考えられる。



先行車による視界阻害があるシーン（ID: 949529）



対向左折車による視界阻害があるシーン（ID: 419208）

図 40　シーン B において視界阻害が存在した事例

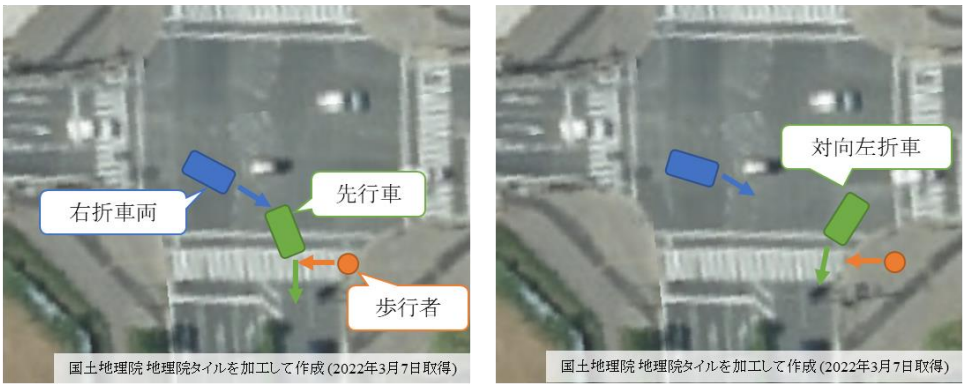
iii） 支援ユースケースの設定

SIP 事故パターンデータの分析より、無信号交差点と交差点付近で直進する自動車が歩行者と衝突するパターンと、信号交差点で右折する自動車と歩行者が衝突するパターンの二つが人対車両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が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た。以上のことから、V2P 支援ユースケースとして、自動車と歩行者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 41 に示した柏の葉地域で運行されている自動運転バスの運行経路内に存在する信号交差点と無信号交差点を一つずつ選定し、各交差点で発生しうる視界阻害を想定して図 42 に示す V2P 支援ユースケースを設定した。

図 41　柏地域の自動運転バス経路内の支援対象交差点

駐車車両による視界阻害のあるユースケース　　対向車による視界阻害のあるユースケース

無信号交差点における直進車両と歩行者の支援ユースケース



先行車による視界阻害のあるユースケース　　対向左折車による視界阻害のあるユースケース

信号交差点における右折車両と歩行者の支援ユースケース

図 42　V2P 支援ユースケース

(2)　V2P 支援方策の検討

設定した V2P 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、歩行者の安全性を向上させる支援方策について検討した。支援方策の要件を設定し、設定した支援方策の要件を満たす機材を用い、実環境と仮想環境において支援方策の妥当性評価を行った。

i)　支援方策の要件設定

自動車と歩行者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 V2P 支援ユースケースでは、互いを直接観測できない状況が含まれるため、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、V2P 支援方策の要件を以下のように設定した。

- 自動車と歩行者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。

- 自動車と歩行者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歩行者のいずれかあるいは両者に通知できること。

歩行者が持ち歩くスマートフォン等のモバイル端末で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。協調型システムでは交差点周辺に車両や歩行者を検出するセンサーがインフラに備わっており、自動車あるいは歩行者がそれぞれの情報を計測できない仕様であっても、協調型システムが存在することにより要件を設定した V2P 支援方策を補完できると考えられる。また、自動車と歩行者が直接情報のやり取りをせずに、インフラのエッジサーバー等を介して情報をやり取りすることも可能である。以上のように、本項目で考える協調型交通安全システムの一部である V2P 支援は、協調型システムの機能を活用できる。

ⅱ） 支援方策の妥当性評価

設定した V2P 支援方策が妥当であるか実験により評価した。V2P 支援方策の妥当性を評価するため、V2P 支援方策の要件を満たすシステムとして、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（以降、SIP システム）を選定し、評価に用いた。SIP システムの構成を図 43 に示す。当該システムでは、歩行者と自動車が保有する端末は同じものを準備しており、端末間が 700MHz 通信で直接通信できる仕様となっている。また、それぞれの位置や方位、速度の情報を取得するため、GNSS 端末が搭載されている。GNSS 端末で取得した自端末の情報と 700MHz 通信を介して取得した他端末の情報を用いて、スマートフォン内に実装した危険判定アプリで衝突判定を行い、図 44 に示すタイミングで注意喚起・警報を行うシステムである。以上のように、当該システムは設定した支援方策の要件を満たしている。

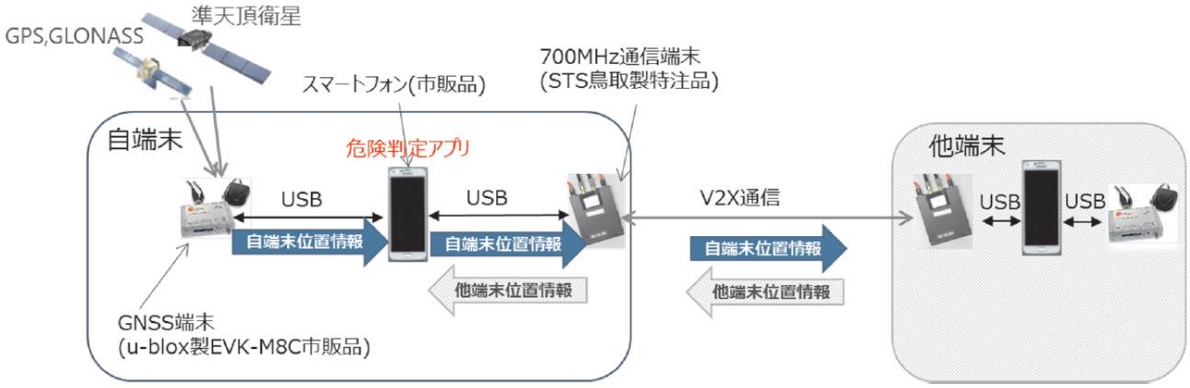


図 43　SIP システムの構成

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

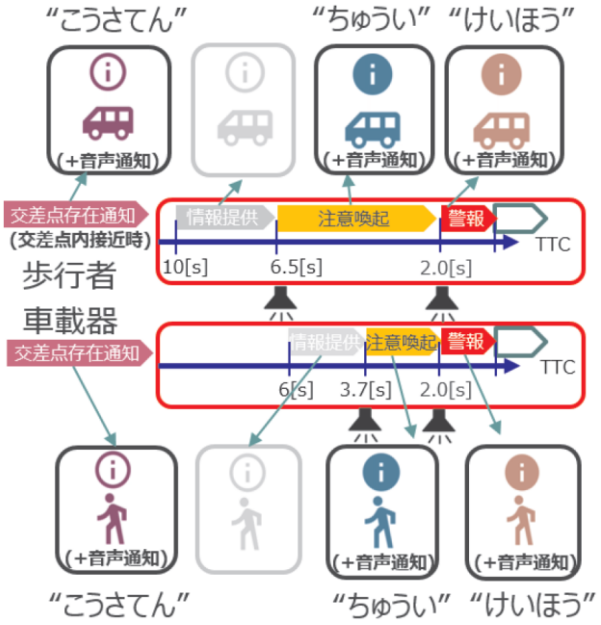


図 44　SIP システムの通知内容

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

前記 SIP システムを用い、設定した柏地域の支援対象交差点において、視界阻害のあるユースケースを再現する実験を行い、視界阻害のあるユースケースにおいて当該支援方策が妥当であるか評価した。具体的には、車両から見て歩行者が不可視である状態において、車両または歩行者に対して通知を行えるか評価した。実験を実施した結果、車両から見て歩行者が不可視である状態で注意喚起を行うことができた。駐車車両による視界阻害のあるユースケースにおいて、直進

車両に対して注意喚起が通知されたタイミングにおける車両前方の映像と交差点付近の映像を図45に示す。

図 45　直進車両に対して注意喚起が通知された際の様子
（駐車車両による視界阻害のあるユースケース）

SIPシステムを用いた実環境における実験的な評価に加え、注意喚起等の通知が歩行者の行動に影響を与えるか確認するため、東京大学大学院新領域創成科学研究科小竹研究室が管理する歩行者シミュレータを用いる評価も実施した。具体的には、仮想環境内に柏地域の支援対象交差点である信号交差点を再現し、さらに当該交差点における先行車による視界阻害のあるユースケースを図 46のように再現し、通知を受けた際の歩行者の行動を評価した。実験を実施した結果、通知を受け取った場合に、歩行者が確認する方向に違いが見られた。よって、設定した支援方策の要件を満たす支援により、通知を受けた歩行者の行動に影響を及ぼすことができた。

以上の評価より、設定したV2P支援方策が妥当であることを実験により確認した。

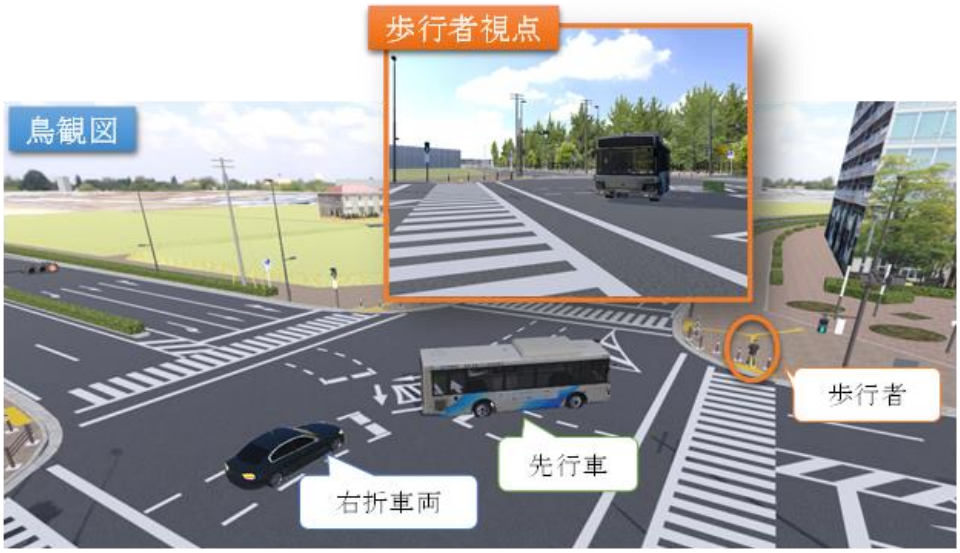


図 46　仮想環境内に再現した支援ユースケース

（先行車による視界阻害のあるユースケース）

(3)　V2P 支援システムの開発

設定した支援方策の要件を満たす V2P 支援システムを開発した。支援システムの満たすべき要件を設定し、その要件を満たすシステムを実装した。

i）　支援システムの要件設定

SIP システムは支援方策の要件を満たしていたが、図 43 に示したように、スマートフォン端末以外に GNSS 端末や 700MHz 通信端末が必要であり、自動車への搭載は可能であるものの、歩行者が常に持ち歩く構成としては現実的ではない。そこで、システムとしてはモバイル端末自体で歩行者の情報（位置、方位、速度）を計測できることが必要である。またモバイル端末が他の端末あるいは交通参加者（自動車や歩行者）の情報を受信できることも必要である。さらに、協調型システムにおける活用を見据え、モバイル端末から自端末の情報を他の端末や交通参加者、インフラに対して提供できることも必要である。そして SIP システムと同様にモバイル端末内で衝突判定と通知ができることが必要である。以上より、支援システムの要件を以下のように設定した。

- 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。

ii） 支援システムの実装

設定した支援システムの要件を満たすシステムとして、5G 通信が可能なスマートフォン端末とエッジクラウドサーバーで構成されるシステム（以降、CooL4 システム）を実装した。CooL4 システムの構成を図 47 に示す。歩行者と自動車でそれぞれ同じ 5G スマートフォン（シャープ株式会社製 AQUOS SH-54B ）を用いる（図 48）。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。図 49 にエッジクラウドサーバー内のサーバアプリケーションの構成を示す。 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 47 に示すような移動予報円を用い、衝突判定を行う。また、通知内容については図 44 に示した SIP システムの通知内容と同様とした。なお、本項目では柏地域における実証を目指すため、2021 年度時点で、柏地域で 5G 通信を提供している株式会社 NTT ドコモの 5G スマートフォンおよびエッジクラウドサーバーを用いた。

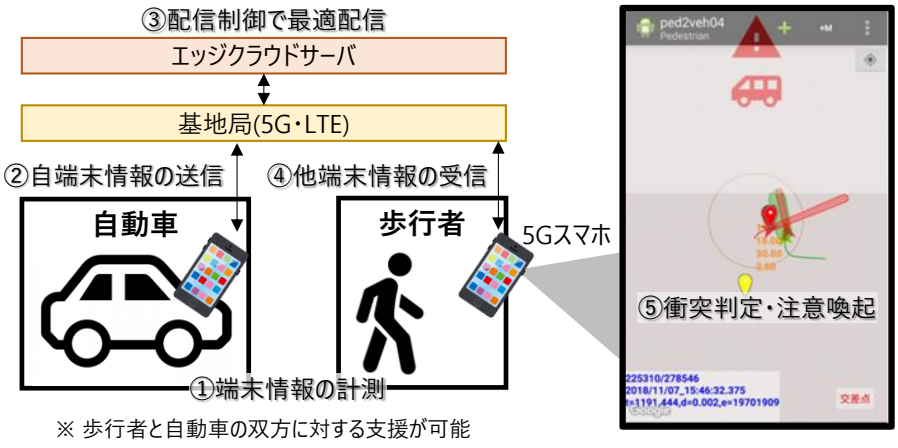


図 47 CooL4 システムの構成

図 48　CooL4 システムの 5G スマートフォン

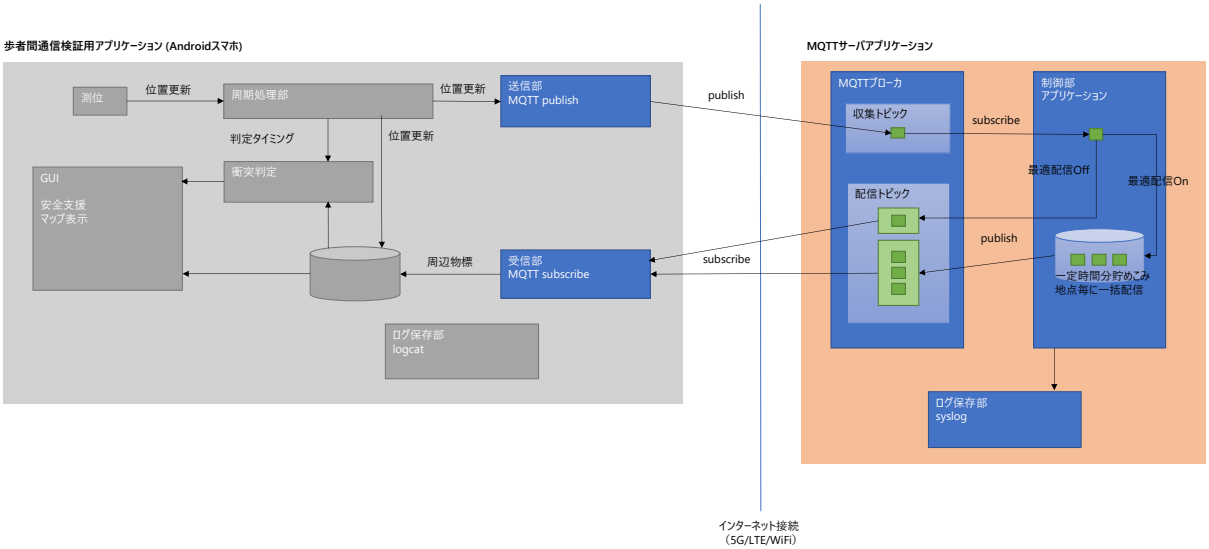


図 49　CooL4 システムのサーバアプリケーションの構成

(4)　V2P 支援システムの評価

開発した V2P 支援システムである CooL4 システムの性能を実環境において評価した。

i)　評価方法

当該システムが交通弱者およびレベル 3 以下の自動運転システムに対する交通安全支援として有用であるためには、エッジクラウドサーバーを介した処理においても、通信遅延が十分に小さいことが求められる。また、当該システムで適切な衝突判定と通知を行ったり、当該システムが協調型自動運転システムの歩行者の検出・追跡を補完できたりするためには、端末を保持する歩行者の位置および方位角精度が重要である。以上のことを踏まえ、CooL4 システムの評価仕様を以下の表　14 のように設定した。通信遅延は「送信端末位置情報送信開始から受信端末位置情報保存までの時間」と定義し、評価した。また、通信網および通信規格による差異も把握するため、

それぞれの条件において評価した。位置と方位角の精度については、スマホ端末が認識した位置・方位角が実際の位置・移動方向に対してどの程度ずれているか評価した。「実際の位置」としてRTK (Real Time Kinematic)端末で測位した結果を用いた。ただし、事前評価においてCooL4 システムで使用する 5G スマートフォンの内部 GNSS の精度が相対的に低いことが確認されたため、スマホの内部 GNSS による評価と、外部の u-blox 端末による評価を実施した。u-blox 製チップを搭載したスマートフォンは既に発売されており、モバイル端末における高精度な測位時の性能を把握するために実施した。なお、比較対象として 700MHz の直接通信を用いる SIP システムについても同様に各評価項目について評価した。

表 14　CooL4 システムの評価仕様

評価項目	評価条件
通信遅延	・通信規格:5G通信、4G通信 ・通信網:閉域網、公衆網
位置精度	・スマホ端末の保持方法:手持ち、胸ポケット内、カバン内
方位角精度	・スマホ端末の保持方法:手持ち、胸ポケット内、カバン内

各項目の評価は、テストコースにおいて駐車車両による視界阻害のあるユースケースを再現して行った。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 50）と株式会社 NTT ドコモが提供する実証実験環境（図 51）の二か所で実施した。前者では主として位置・方位角精度の評価を、後者では主として通信遅延の評価を実施した。

図 50　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 51　株式会社 NTT ドコモが提供する実証実験環境

出所：株式会社 NTT ドコモ ウェブサイト，https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211115_01.pdf，(2022 年 3 月 9 日確認)

ii）評価結果

駐車車両の視界阻害のあるユースケースを再現し、実験を実施した結果、SIP システムと同様に CooL4 システムにおいてもエッジクラウドサーバーを介して互いの位置情報等をやり取りし、衝突判定および通知がなされることを確認した。

通信遅延について評価した結果を表 15 に示す。CooL4 システムでは、いずれの条件においても直接通信する SIP システムと比較して、CooL4 システムはインターネットやエッジクラウド回線網を使用するため、想定した通り SIP システムよりは通信遅延が大きい傾向であった。しかし、安全支援の観点で満たすべき目標値である 300 ms（ETSI[1]、自動車工業会での信号情報配信[2]）はいずれの条件でも平均値で満たした。また、通信規格と通信網の条件において、5G 通信と閉域網の条件において通信遅延を抑えられることを確認できた。

表 15　通信遅延の評価結果

システム種別	通信規格	通信網	平均値 [ms]	標準偏差 [ms]	最大値 [ms]
CooL4システム	5G通信	閉域網	177.5	52.1	426
CooL4システム	5G通信	公衆網	176.5	46.1	698
CooL4システム	4G通信	閉域網	209.4	93.5	1775
CooL4システム	4G通信	公衆網	272.9	348.7	5114
SIPシステム	―	―	129.5	46.0	388

次に位置精度および方位角精度について評価した結果を表 16 に示す。位置精度と方位角精度について、それぞれ測位方法やシステム種別によって大きな差は見られなかった。しかし、内部 GNSS を用いた場合に、位置と方位角の両者において標準偏差が大きくなる傾向が見られた。CooL4

システムでの位置精度は 5m の範囲に収まっていた。位置誤差が路側帯から出ない範囲として 25cm（50cm の路側帯の半分）が理想であるが、従来のスマートフォン端末を用いた実験結果[3]とも符合している。また、本評価では電波強度が良好な環境で実験を実施したが、電波強度が低くなることにより、位置精度が 5m 以上となることも考えられ、今後の精度の向上が求められる。方位角精度について、歩行者が車の進行方向に対して 45° で横断しても認識できる精度として±22.5°が要求されるが、CooL4 システムでは測位方法に関わらず、この数値は満たした。

表 16　位置精度・方位角精度の評価結果

システム種別	測位方法	位置精度 平均値 [m]	位置精度 標準偏差 [m]	位置精度 最大値 [m]	方位角精度 平均値 [deg]	方位角精度 標準偏差 [deg]	方位角精度 最大値 [deg]
CooL4システム	内部GNSS	4.67	1.98	8.25	-8.02	28.70	-65.49
CooL4システム	外部u-blox	4.74	0.52	5.36	-2.60	13.12	-72.96
SIPシステム	―	4.15	0.73	5.52	1.07	6.67	-71.05

以上の結果より、開発した CooL4 システムについて、通信遅延と方位角精度に関しては、それぞれ安全支援の観点で満たすべき基準を満たすことがわかった。一方で、位置精度については従来の精度結果と符合しているものの、今後向上が必要であることがわかった。

(5)　まとめ

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を構築することを目的とし、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て交通弱者を支援できる協調型交通安全支援システムについて検討した。特に今年度は、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、V2P の場面に限定して検討を行った。

ます、交通事故統計データとヒヤリハット事象データを分析することにより、歩行者に対するレベル 3 以下の車両に対する情報を支援するための支援ユースケースについて検討し、交差点において視界阻害のある支援ユースケーを設定した。この支援ユースケースに対して有効な支援方策の要件を設定し、SIP プロジェクトの既存成果を活用してその妥当性を確認した。さらに、支援方策の要件を満たす 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を新たに開発し、実環境における評価で衝突判定および通知ができることを確認した。また、その性能として通信遅延および方位角精度が安全支援の観点で十分であるが、位置精度については向上の必要性を確認した。

以上より、スマートフォン端末による歩行者および車両の位置測位の精度向上が課題である。また、本項目で検討した結果、スマートフォン等の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が確認できたことから、本システムのレベル 3 以下の車両や他の交通弱者（自転車等）への適用、および信号等のインフラセンサーとの連携も今後の課題である。

参考文献

[1] ETSI TS 101 539-1 V1.1.1, Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification, 2013 年 8 月
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101500_101599/10153901/01.01.01_60/ts_10153901v010101p.pdf

[2] 2019 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／ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発 成果報告書
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/205.pdf

[3] 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
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/141.pdf

2) 道路空間の利便性向上シナリオの構築

■ 該当項目の背景と目的

自動運転車両の走行に適した道路空間は、自動運転車両だけでなく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。また、公共性の観点から、道路空間を整備する際には、自動運転車両の利便性だけでなく全てのモビリティの利便性を考慮する必要がある。このような背景から、本項では自動運転車両と他のモビリティの双方の観点から、利便性が向上する道路空間のシナリオを検討・考察した。

■ 実施方針

本項目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整理を行う。一方で、具体的な検討とするためのモデル地域として柏の葉キャンパス周辺を選定した。

■ 実施事項と実施方法

まず、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により、道路幅員構成や空間設計がレベル 4 自動運転車両に与える影響とその要因を抽出する。また、横断歩行者等の移動体の情報を収集し、それらの挙動と道路空間設計の関連性を考察する。これを通じて、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構築する。その上で次年度以降に、構築した仮説を検証するための方法について検討する。

(1) 既往研究成果の調査

i) 全国の中山間地域における自動運転実証実験分析結果

国土技術政策総合研究所では、2017 年夏より内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の枠組みで実施された「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験」の分析を実施している。ここではその分析結果のうち、手動介入の発生要因の特定と対策の項から引用する。

分析では 2017 年に実施された本実験の 1,740km の自動運転車両走行データを対象としている。1,046 回発生していた手動介入の原因のうち、図 52 に示す通り、17%が路上駐車の回避、7%が対向車とのすれ違い、7%が自転車や歩行者である。

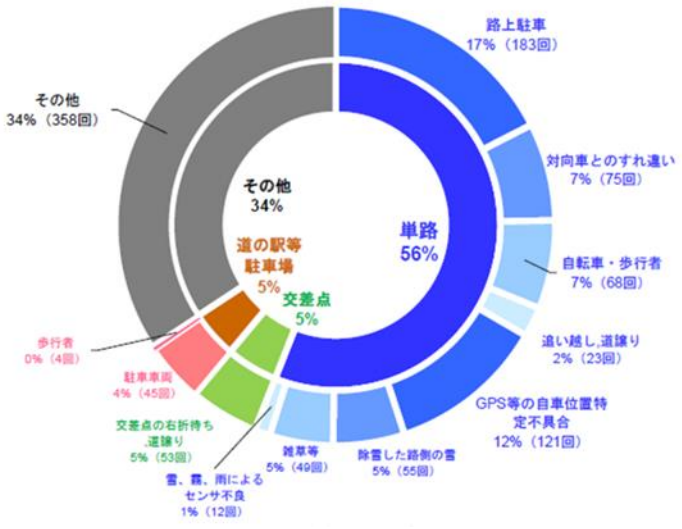


図 52　手動介入の発生要因

参考：国土技術政策総合研究所、「一般道路における自動運転サービスの社会実装に向けた研究　～手動介入発生要因の特定と対策及び社会受容性の把握～」
(http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1161pdf/ks1161.pdf)

ⅱ） 東京臨海部実証実験結果

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）東京臨海部実証実験では、羽田空港地域において計 322 回の自動走行実験を実施している。その際の手動介入原因のうち、 66.7%は「路上駐車の回避」、15.5%は「左折時に対向車両側の停止線に接近」となっている。

参考：東京臨海部実証実験コンソーシアム 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）／東京臨海部実証実験の実施」成果報告書」
(https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd04/103.pdf)

(2)　モデル地域におけるプレ実証調査

ⅰ）　柏の葉地区自動運転バス運行の概要

柏の葉地区では、柏 ITS 推進協議会のもと、2019 年 11 月より長期間実証実験として自動運転バスの運行を行っている。平日と特定の日に限り、つくばエクスプレス柏の葉キャンパス駅と東京大学柏Ⅰキャンパスの間の 2.6km のうち、発着地点前後を除く延長約 2km の区間で、混在交通下でのレベル 2 自動運転を行う運用となっている。

ⅱ） 手動介入箇所の調査・分析

既往の報告によれば、前述した柏の葉地区における長期実証実験中の自動運転バスの運行において、運転手による手動介入が発生している箇所を、ドライブレコーダーのデータ用いて分析した結果、ブレーキ操作による介入（ブレーキオーバライド、ただし自動運転システムによるブレ

ーキ操作も含む）、アクセル操作による介入（アクセルオーバライド）、操舵操作による介入（ステアオーバライド）は図　53 に示すような特定の箇所で多く発生していた。介入が多く見られたところは、ルート上の自動運転開始・終了地点近傍、信号交差点およびその前後、無信号交差点、バス停近傍、無信号横断歩道近傍、などとされている。

図 53　柏の葉自動運転実証実験における手動介入の多発箇所

参考：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 74 巻 1 号、2022 年 2 月

iii）　手動介入原因の調査・分析（現地調査）

ii)で示された、手動介入が多発している箇所について、より詳細な状況を把握するために 2021/12/14(火)に現地調査を実施した。現地調査より、駐停車車両が頻発する可能性の高い 4 箇所のエリア、歩行者の乱横断が頻発する可能性の高い 2 箇所のエリア、左折時の対向車との接近が頻発する 2 箇所のエリアを特定し、詳細な周辺状況を把握した。

(3)　道路幅員構成や空間設計がレベル 4 自動運転車両に与える影響とその要因の抽出

(1)及び(2)を踏まえ、道路空間が自動運転に与える影響として、自動運転車両への手動介入に着目して考察を行った。具体的には、 (1) (2)ii)の結果から、手動介入の原因の仮説を整理し、(2) iii)の現地調査によって柏の葉地区での初期検証を実施した。その結果を表 17 に示す。

表 17　自動運転車両への手動介入の原因とその対策の仮説・初期検証結果

	手動介入原因の仮説		柏の葉地区での初期検証結果
回避・譲り合い （駐車車両回避含む）	• 自動運転では駐車車両回避の際に**反対車線にはみ出すことができない** • 反対車線を通行している車両との**「譲り合い」ができない**	⇒	• **確かに駐車車両回避・路上工事のための手動介入が発生していた。路上工事回避の場合は判断が非常に難しい場合も多く、全てを自動化するのは難しそう**
他の交通主体との交錯 （かもしれない運転含む）	• 歩行者や自転車との間の**安全マージンが不適切**（マージンが広すぎ/狭すぎ） • **横断する/しないの判断ができない** • **危険箇所でのあらかじめの減速がない**	⇒	• **横断の需要が多いところでは柵によって横断を全て防止することは困難。比較的安全に横断できるように誘導することが基本方針か** • **歩行者側もは安全を確認してから横断行動を始めるので、現状で横断歩行者と自動運転車の交錯が起きているのかは不明**
左折時の対向車との接近	• **左折時に対向車が前面に出ている** • 左折時の自己位置同定がうまく行っていない	⇒	• **曲率の大きな左折行動で減速が生じている**

道路構造に関わる手動介入の原因は大きく「回避・譲り合い」「他の交通主体との交錯」「左折時の対向車との接近」に三つに分類される。柏の葉地区においても、「回避・譲り合い」「左折時の対向車との接近」が手動介入の原因になっていることが確認された。加えて「他の交通主体との交錯」についても、交差点付近での歩行者回避のための手動介入が確認された。

(4)　横断歩行者等の移動体の情報の収集

i)　モデル地域での歩行者データの分析

(3)で整理した 3 つの原因のうち、「他の交通主体との交錯」に関わる重要な情報の一つとして、歩行者情報が挙げられる。ここでは、株式会社 Agoop によるポイント型人口流動データを分析した。柏の葉地区において、スマートフォンアプリと連動して GPS 情報を収集した 2019 年 11 月の 1 か月間のデータを対象として、平休（土日祝を休日と定義）別・2 時間毎の時間帯別に、1m^2 あたりのポイントデータの密度を算出した。この分析のうち、休日の 12-14 時の分析結果を図 54 に示す。

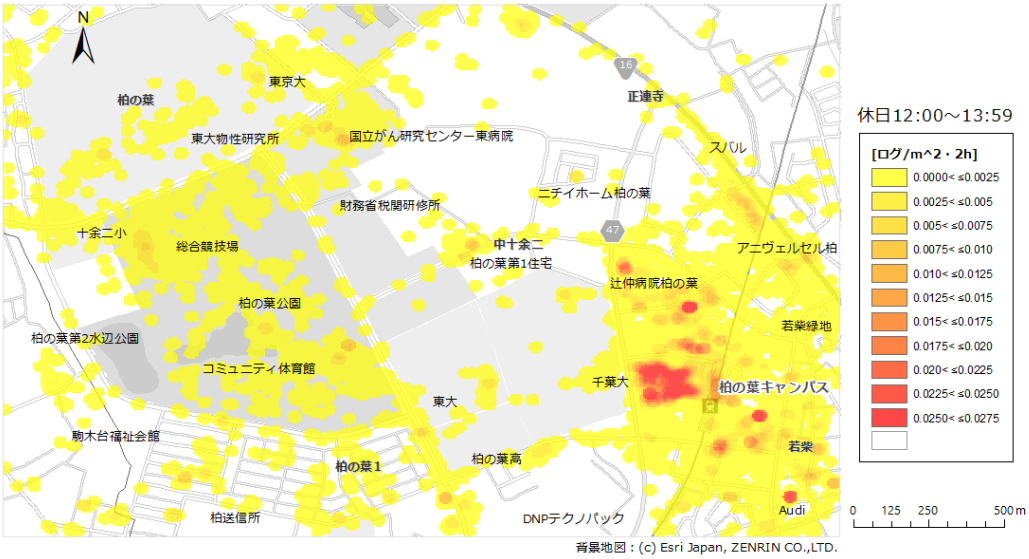


図 54　柏の葉地区における歩行者密度（休日 12-14 時の例）

分析結果から、OD としては柏の葉キャンパス駅周辺が最も発生・集中が多いと考えられ、その他に、柏の葉公園、東京大学柏キャンパス、国立がん研究センター、柏の葉第 1 住宅周辺が主要と見られることが明らかになった。加えて歩行者の比較的多い経路は、柏の葉キャンパス駅周辺に限られ、千葉大とキャンパス駅エリアの間の都市軸道路や、柏の葉第 1 住宅前の道路については時間帯によっては歩行者がやや多い可能性があることも明らかになった。

ⅱ） モデル地域での駐停車車両データ収集概要

(3)で整理した 3 つの原因のうち、「回避・譲り合い」に関わる重要な情報の一つとして、駐停車車両のデータが挙げられる。道路空間と駐停車車両の発生状況の関係性を明らかにするためには、実際にどのような道路空間で、どのような形態の駐停車が発生しているのかを把握する必要がある

そこで、柏の葉地区の自動運転バス運行ルート周辺において、どのような駐停車が発生しているのかについて、柏 ITS 推進協議会道路交通情報利活用部会におけるデータ収集、検討を参考に考察する。

柏 ITS 推進協議会での駐停車車両に関するデータ収集、検討によれば、柏の葉キャンパス駅から東京大学柏キャンパスの間の自動運転バス運行ルート周辺の道路区間で観察された駐停車車両（N=502）のうち、約 7 割は路肩から車線へ 50cm 以上はみ出す形で駐停車していた。また、そのような車両の駐停車は特定の区間で発生しており、道路空間には共通の特徴が見られた。一方で、駐停車車両台数は多いものの、車線側へのはみ出しは観察されない道路区間も存在していた。したがって、駐停車車両への対応は駐停車状況の実態を明らかにした上で、自律型の自動運転シス

テムの改善、協調型システムの導入、道路空間・交通規制の変更といった対応策のいずれが適切なのかを個々の箇所で比較、検討する必要があることがわかった。

しかし、このような調査を十分な規模で実施するためには労力を必要とすることから、どのような路線、区間において観察を行うべきかを、入手の容易な交通データ等から推定できる手法の開発、横展開が必要と考えられる。

次年度以降は、一般化・横展開可能な手法で、駐停車車両のデータを収集する方法について検討するとともに、自動運転バスの走行ルートに沿って、道路空間の特徴と、駐停車傾向の相関について調査、分析を実施する。

(5) 移動体の挙動と道路空間設計の関連性の考察

i) 駐停車車両回避と道路空間の関連性の考察

駐停車に関する既往研究について調査したところ、以下のような知見が見られた。

路上駐停車は、特に短時間駐停車にとって、路外駐車とは代替しがたい機能を有しており、短時間駐停車（e.g.,5 分以内）では、路上駐停車に関する細かいルールを設けても（料金や指定枠）守られない場合が多いことがわかっている。また、ドライバーが路上駐停車をする際には、交通流に影響がないよう考慮していることが多くの研究において示されている。道路構造（特に駐停車空間の有無や車道幅員や路肩幅員等の形以外の要因）や具体的な交通条件（交通量、速度）との関連性まで踏み込んだ研究はあまり多くないが、車線ではなく全体の幅員に余裕がある場合に駐車しやすいと感じるという研究成果がみられる。その他の駐停車しやすくなる要因としては、目的施設まで近いこと、規制・取り締まりが厳しくないこと、他の路上駐停車があること、降雨時、等があることが示されている。

これらも踏まえ、(3)で整理した 3 つの原因のうち、「回避・譲り合い」の主要な原因である駐停車車両について、「路上駐停車をレベル 4 自動運転車両が回避できない」という問題を、ロジックツリーを用いて要因分解した。結果を図 55 に示す。

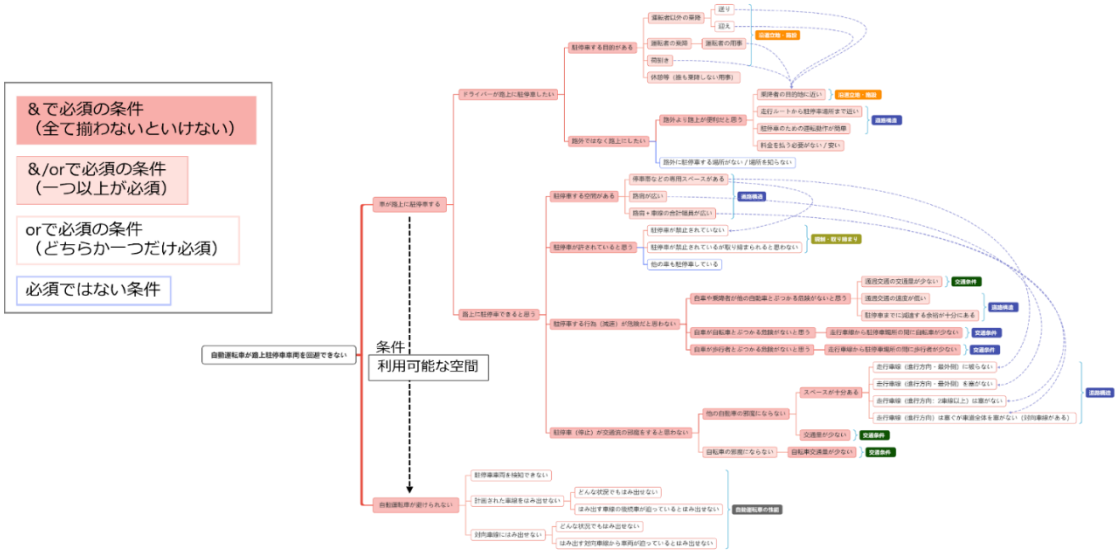


図 55　駐停車車両回避の問題の分解

ドライバーが路上駐停車をしたいと思う理由の一つに、路上駐停車が（路外駐車に比べて）便利であることがあると考えられる。これに作用する要因として、特に短時間・一次的な目的による駐停車の場合、前後の走行ルートとなる道路の走行空間から大きく外れずに駐停車を実施することができること、路外に出入するのに比べて運転操作が簡単であることなどは、路外空間と路上空間の本質的な違いであり、このことが路上駐停車を行うメリットとなっていると考えられる。

ドライバーが路上駐停車をしたいと思うと同時に、そこに「路上駐停車ができる空間」が存在する必要がある。道路空間に、停車帯や広幅員な路肩などの空間が広く存在したり、路肩、中央分離帯側帯などの余裕幅を含めた車道部の総幅員に余裕があったりする場合に、ドライバーは「路上駐停車が可能な空間がある」とみなしやすいと考えられる。

ドライバーは、そこで路上駐停車した場合に、他者から追突されるなど、自車・自身や同乗員に危険が及ばないかどうか・他の交通の邪魔にならないかをある程度判断して、路上駐停車を行うかどうかを判断していると考えられる。このような判断に影響する要因の中に、走行車線の通過交通量に加え、通過交通の速度がある程度低いこと、あるいは、自車が追突されずに減速するための空間が十分にあることなどがあると考えられる。

このとき、路上で駐停車が発生した場合に、その道路に通過交通が利用可能な空間がどの程度残されるかは元の道路空間構成によって異なる。この利用可能な空間によって、後続の自動運転車両が路上駐停車を避けて走行するために求められる性能に差が生じ、以下の 4 パターンに整理できる。

- 片側 1 車線＋駐停車空間なし：後続車は通行帯から逸脱する必要あり
- 片側 1 車線＋駐停車空間あり：後続車は通行帯から逸脱する必要なし
- 片側 2 車線以上＋駐停車空間なし：後続車は右側車線に逸脱する、または右側車線に車

線変更する必要あり

- 片側 2 車線以上＋駐停車空間あり：後続車は右側車線に逸脱する、または右側車線に車線変更する必要なし

このような発生パターンと自動運転車両の性能によって、手動介入の必要が変化する。

上記のような路上駐停車回避の問題は、自動運転車両に限らず一般の通過交通に対しても生じ、基本的には残された「利用可能な空間（幅員）」が狭くなればなるほどその影響は大きい。また、交通量が大きいほどこの影響は大きくなる。

ii） 歩行者回避と道路空間の関連性の考察

(3)で整理した 3 つの原因のうち、「他の交通主体との交錯」の重要なシーンに、歩行者の道路横断行動が挙げられる。予期せぬ横断が多発すると、自動運転車両の運転継続が難しくなるだけでなく、従来の手動運転車と歩行者との事故のリスクも大きくなるからである。

ここでは、横断施設内/外横断に関する既往研究を整理した。表 18 に示すように、歩行者の横断に関する研究は大きく「横断者特性に関する研究」「他の交通主体に関する研究」「環境に関する研究」に分類できる。道路構造と横断の両方に関するものでは、ガードレールや植栽を用いた横断行動の抑制や二段階横断施設による横断行動の誘導を提案している研究がある。

表 18　歩行者横断に関する既往研究まとめ

			横断施設外横断	横断施設内横断
1. 横断者特性	属性	高齢者	・週に3–4回その地点付近を利用する場合、道度に慣れているため安全な横断をするが、週5回以上のサンプルは危険な横断をする傾向がある (高山 et al., 2004) ・複数人で横断する場合に比べて,単独で横断する方が危険な横断をする傾向にある (高山 et al., 2004) ・危険な横断行動を選択する人ほど、道路歩行中のヒヤリハット体験率が高い (東 et al., 2016)	・高齢歩行者の心身の衰えによる不注意が、歩行者交通事故の犠牲者の上位グループとなる原因である (和泉 et al., 2010) ・高齢者は片側1車線道路の横断歩道を横断した場合に、奥側の車間距離が狭い場所を選択しやすく、また奥側の車線上で事故が発生しやすい (水戸部 et al., 2009)
		非高齢者	・横断歩道外の横断は比較的危険であると認識しているものの,危険な横断をする傾向がある (高山 et al., 2004)	・9割以上の横断歩道を渡るには1m/secの速さが必要である (高橋 et al., 1989) ・横断歩道長が長くなるほど，また青時間開始から時間が経つほど、横断歩行速度が速くなる (張 et al., 2014) ・青点滅時の方が全体的に横断歩行速度が速く，横断歩道長や横断開始タイミングに対する感度も高い傾向にある (張 et al., 2014)
		性別	・危険な横断行動を選択する人ほど、道路歩行中のヒヤリハット体験率は高く、その関連度は女性より男性の方が高い (東 et al., 2016)	N/A
		視覚障がい者	N/A	・交通量ごとによる横断可否の判断 (大倉 et al., 2010) ・横断歩道内に設置する視覚障害者用道路横断帯の評価 (大倉 et al., 2001)
	行動特性	認知	・危険でないと認識する人の方が危険な横断をする傾向がある (高山 et al., 2004)	・信号の状態を認知してから横断行動を設計している (鳩山 & 杉森, 2004) ・歩行者の行動意思は頭向きに表れる (Ridel et al., 2018)
		判断	N/A	・歩行困難度が高いほど右左折車が混入する平面横断を嫌う傾向が強い (山田, 2003) ・歩道橋、横断地下道、ペデストリアンデッキなどのエレベータ利用では待ち時間などの抵抗が大きく認識されているために、平面横断の方を強く好む傾向がある (山田, 2003) ・エレベータを利用するものほど危険性を重視しており、特に、右左折車両への危険を感じる者ほど顕著である (山田, 2003)
2. 他の交通主体	自動車		・歩行者の飛び出しに関するキーワードとなる要因は、「駐車車両・対向車両付近」 (堤 et al., 2015) ・衝突リスクには、歩行者の飛び出しを発見した時の自動車の速度が重要である (堤 et al., 2015)	・横断歩道通行時の右左折車による危険は重要視される (山田, 2003)
	交通量		・速度が遅く、交通量が少ない道路では発生しやすい (榎本 et al., 2009) ・2車線道路で交通量が多く、平均自動車速度が速い状況下においても速度の分散が大きく、平均車頭間隔にばらつきがある場合に発生する可能性がある (榎本 et al., 2009)	N/A
3. 環境	道路環境		・歩行者の飛び出しに関するキーワードとなる要因は、「歩道、対向車線、建造物の影」 (堤 et al., 2015) ・歩車道境界が曖昧なほどその横断パターンはランダムとなり、歩車道が明確に分離されているほど、横断の発生場所が固定化される(榎本 et al., 2009) ・迂回や歩道橋の上り下りが歩行者の活動範囲を制限し、その行動による身体的負荷を避けるために、横断歩道外での横断が発生する可能性がある (井料, 2020)	・横断者は目的地のある方向に向かうため、横断施設内の途中から車道を通過し、交差点付近の植樹帯を避けて歩道に向かう傾向にある (伊藤 et al., 2004)
	その他		・非高齢者の横断施設外横断行動は雪や雨という天候が悪い場合は，安全な横断をしている (高山 et al., 2004)	N/A

(6)　道路空間設計の仮説の構築

(1)から(5)を踏まえて、道路空間設計の観点から、自動運転車両を含む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の施策案を立案した。結果を表 19 に示す。

表 19　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

	手動介入原因の仮説		道路構造観点での施策案
回避・譲り合い （駐車車両回避含む）	• 自動運転では駐車車両回避の際に**反対車線にはみ出すことができない** • 反対車線を通行している車両との**「譲り合い」ができない**	⇒	• **駐車ができないようにする** 　• 例：車道と自転車レーンの間にパイロンを立てる 　• 例：自動運転車が通行することを路面表示で示す • **車道にはみ出ないように、またははみ出たとしても軽微で済むようにする** 　• 例：駐車スペースを確保する
他の交通主体との交錯 （かもしれない運転含む）	• 歩行者や自転車との間の**安全マージンが不適切**（マージンが広すぎ/狭すぎ） • **横断する/しないの判断ができない** • **危険箇所でのあらかじめの減速がない**	⇒	• **歩行者や自転車との交錯が少なくなるような道路構造にする** 　• 例：柵を設置する • **信号の分離現示をする** • **横断者がわかりやすい道路構造にする** 　• 例：横断歩道付近の歩道をバルブアウトする • 自動運転車にわかるような**「減速せよ」の表示をする**
左折時の対向車との接近	• **左折時に対向車が前面に出ている** • 左折時の自己位置同定がうまく行っていない	⇒	• **停止線の位置を下げる** • 交差点周辺では道路付属物等を利用した**自己位置同定の方法を増やす**

自動運転車両への手動介入の大きな原因の一つである路上の駐停車に関して、その駐停車行動を抑制・誘導する施策を提案する。他の交通主体との交錯や左折時の対向車との接近についても表中の施策を提案する。次年度以降、これらの施策の実行可能性や有用性について検証をしていく。

(7)　次年度以降の取り組みに向けた検討

i)　評価全体の枠組み

令和 3 年度に検討を進めた、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について、他地域における事業検討へ横展開を図れるようにするためには、仮説に基づく対策案ごとの有効性、周辺交通も含めた利便性の向上を定量的に明らかにする手法を確立していく必要がある。具体的には、ドライビングシミュレータ、テストフィールドにおける実証実験等で明らかにされる多様なシナリオ毎のレベル 4 自動運転バスの挙動データ、及び多様な交通データを入力値とする交通シミュレータにより、対象範囲でのレベル 4 自動運転バスの走行及びその挙動に影響を与える道路空間設計の、周辺交通に与える効果を定量的に明らかにする手法の構築を試みる。

ii） 評価のために構築が必要なシミュレータ

上述の手法で用いる交通シミュレータに必要な機能としては、所与の道路ネットワーク上を走行する 1 台 1 台の車両の動きをシミュレートできる機能が必要である。

また、車両の自動運転レベルに応じて路上駐停車車両の回避行動時挙動を変えたり、駐停車車両の停まり方に応じて回避行動時挙動を変えたりすることが可能な機能も必要となる。加えて、協調型システム、例えば信号連携等によるレベル 4 自動運転バスの挙動への影響についても反映できる機能が必要となる。

表 20 に考えられる具体的な評価ケースの一覧を示す。また、これらの評価ケースから各テーマに共通して扱う必要のある挙動を表 21 に示す。

表 20　想定される評価ケース一覧

施策	評価ケース名
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）

施策	評価ケース名
	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

表 21　シミュレーション内で扱う必要のある挙動

No.	扱う現象	シミュレーション内で再現が必要な挙動
1	歩行者との錯綜	• 歩行者の空間認知（移動動線上の存在） • 認知に応じた停止・発進 • 乱横断による錯綜
2	路上駐停車の回避	• 路上での駐停車（位置、駐停車時間帯） • 路上駐停車の認知 • すり抜け・車線変更の判断 • すり抜け（低速度）・車線変更挙動
3	信号交差点内挙動	• 直進・右左折（専用車線の通行等） • 右折時のギャップ判断 • 左折時の停止・発進（手動介入等）
4	工事区間の回避	• 交通規制（区間長、車線、規制時間帯） • 車線変更のギャップ判断 • 車線変更挙動
5	情報受信時の協調挙動	• 交差点情報の受信 • 信号制御情報の受信 • 情報受信に応じた車両挙動の変更（希望速度等）
6	遠隔操作等による手動介入	• 遠隔操作の場所、頻度に応じた介入操作の発動 • 介入操作時の停止・発進 • 停止時の通過車両の通行阻害

再現が必要な挙動を整理した結果、空間認知や回避行動のための車線変更や目標速度の変更等が求められることから、交通シミュレーションモデルの選定おいては、道路構造や信号制御の詳細な設定だけでなく、目標速度や加速度に応じた挙動や車線変更挙動などの詳細な車両挙動について設定・再現できるものが要件の一つであることがわかった。明らかになった交通シミュレーションモデルの選定要件に基づき、本プロジェクトにおいて適用する交通シミュレーションモデルを検討したところ、MicroAVENUE が適当であると判断した。表 22 に各項目に対する評価結果を示す。

表 22　選定したモデルの評価結果

No.	項目	対応状況※	判断基準に対する評価
1	追従走行	○	• 非線形追従モデルの一種である IDM+(Intelligent Driver Model)を採用。0.1 秒毎に現在の追従状態値から次の時刻での加速度を求める。 • 加速度 = f (前方車両との速度差、安全車間距離、希望速度、最大加減速度、など) • 個別車両ごとにパラメータを分布させ、挙動のばらつきを考慮。
2	車線変更	○	• 希望速度と走行速度の差が大きくなると、車線変更を希望。 • 隣接車線の前後車間ギャップ等で、車線変更可能かどうかを判断。
3	信号制御	○	• 各現示の設定、スプリット、オフセットが設定可能で、右折専用現示等の表現も可能。 • 時間帯別制御も設定が可能。
4	経路選択	○	• 目的地までの距離、統計的な旅行時間、渋滞を考慮した旅行時間、右左折回数、通行料金等を加味し、動的に最適経路を確率選択するモデル（ロジット型）とそれらを一般化コストとして計算したもので最短コストを選択するモデルが実装されている。 • 路線バスなど、あらかじめ固定された経路を設定して走行する経路固定型も内包。
5	適用実績	○	• 平成 28 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 • 平成 29 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 • 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

iii） 評価のために収集、設定が必要なデータ

上述の手法で用いる交通シミュレーションに必要な入力データとしては、大きく分けて、一定地域の交通全体をシミュレーションするために必要なデータ、道路空間設計がレベル 4 自動運転車両の走行挙動に及ぼす影響を表すデータ、協調型システムがレベル 4 自動運転車両の走行挙動に及ぼす影響を表すデータ、の 3 つのデータが挙げられる。

表 23 に基本車両挙動として必要な設定パラメータを、表 24 に現時点で想定される個別ケース評価時に必要となる設定パラメータを示す。ここで整理したパラメータは現状考えうる設定案で

あり、今後関係者との議論の中で取得・設定可能なパラメータや再検討が必要なパラメータを決定していくことが必要である。

表 23　必要な設定パラメータ（基本車両挙動）

分類	パラメータ	単位
追従時	希望速度	[m/s]
	最大加速度	[m/s2]
	希望減速度	[m/s2]
	安全ヘッドウェイ時間	[s]
	ジャム車間距離	[m]
自由走行時	希望加速度	[m/s2]
	自然減速度	[m/s2]
その他条件	最大減速度	[m/s2]
	車長	[m]
	車幅	[m]
	車線幅	[m]
	横方向最大速度	[m/s]
車線変更判断	前方探索範囲	[s]
	速度低下許容幅	[km/h]
	巡航時速度幅	[km/h]
	車線変更判定距離	[m]
	追越希望受諾確率	
	走行車線復帰確率	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]
	最小 TTC	[s]

表 24　必要な設定パラメータ（個別のケース評価）

No.	扱う現象	シミュレーション内で再現が必要な挙動
1	歩行者との錯綜	• 歩行者の歩行者交通量 • 乱横断時の歩行者交通量
2	路上駐停車の回避	• 路上での駐停車（位置、駐停車時間帯） • すり抜け・車線変更時の速度
3	信号交差点内挙動	• 右折時のギャップ判断 • 左折時の停止時間（手動介入等）
4	工事区間の回避	• 交通規制（区間長、車線、規制時間帯）
5	情報受信時の協調挙動	• 自動運転車両が受信する交差点情報 • 自動運転車両が受信する信号制御情報 • 情報受信に応じた車両挙動パラメータ（希望速度、最大加速度等）
6	遠隔操作等による手動介入	• 遠隔操作の場所、頻度 • 介入操作時の停止時間

表 25 に交通全体をシミュレーションするために必要なデータを示す。道路構造・道路ネットワークデータについては、駐停車状況や交差点での右折待ちの状況等を再現するために本線の車線構成および交差点内の車線構成がモデル化される必要がある。またギャップ判断からの右折等、車両挙動の精緻化のために交差点サイズも取得できることが望ましい。交通規制・交通管制データにおいては、現在の交通流を再現する上で重要な情報で、特に信号制御情報は交通流を整流する役割を担っているため、現況にあわせて入力データを作成しておく必要がある。交通需要データは OD 交通量が入力データとなるが、バス情報については運行路線と運行スケジュールを OD 交通量と経路データに加工して入力する。また車両・ドライバー特性については、交通シミュレーションモデルが実装する追従挙動モデルのパラメータが入力データとなる。歩車錯綜挙動の再現においては、歩行者交通量のデータが必要になるが、横断歩道等での歩行者交通量に応じた車両（自動運転車両、自動運転でない一般車両）の停止時間を計測してモデルに入力するなど、歩車錯綜の状況に応じて計測方法を検討することになると考えられる。交通実態データはシミュレーション上で再現された交通流が実態に整合しているかを検証するためのデータで、一般的には、断面交通量、区間旅行時間・速度、滞留長、駐停車発生状況等が調査等で収集され活用される。

表 25　必要な基礎データの一覧

必要データ項目	データ概要
道路構造・道路ネットワーク	道路ネットワーク（ノード、リンク）、 道路属性（道路種別） 道路形状（道路線形） 道路構造（車線数、右左折専用車線の構成） 交差点構造（交差点サイズ）　など
交通規制・交通管制データ	通行規制、車線規制、速度規制 信号制御　など
交通需要（自動車交通）	発生・集中ゾーン定義（ポリゴン） 車種別・時間帯別 OD 交通量 公共交通(バス)情報（路線、運行頻度）
車両・ドライバー特性	車両属性（車長など） 追従モデルパラメータ（目標速度、最大加速度・減速度、最小車間距離など）
人流データ	歩行者交通量（横断歩道、横断歩道以外での車道横断の実態データ）
交通実態	現況再現性検証用データ（通過交通量、区間旅行時間・速度、滞留長など）

上述の必要データについて、図 56 に示す評価対象地域において、現状入手しうる方法について検討した結果を表 26 に示す。

図 56　評価対象地域（柏の葉地区）

表 26　必要データの入手方法一覧

必要データ項目	入手方法
道路構造・道路ネットワーク	市販の道路地図データ購入、国土地理院基盤地図情報の購入、 オープンデータの入手（例：OpenStreetMap など）
交通規制・交通管制データ	通行規制、車線規制、速度規制は地図データに収録されている 信号制御データについては JARTIC 公開データの活用や独自調査による入手が必要
交通需要（自動車交通）	国土数値情報（パーソントリップ・交通変動量）の活用、 独自調査(交通量調査やデータ購入等)、公共交通(バス)情報(路線、運行頻度)：路線図、運行スケジュール情報の調査
車両・ドライバー特性	文献の参照、実験による取得
人流データ	統計情報の購入、独自調査による入手
交通実態	道路交通センサースデータ（通過交通量、ピーク時速度など） JARTIC 断面交通量、プローブ調査データ 独自調査（交差点方向別交通量、断面通過交通量など）

道路構造・道路ネットワークについては、市販の道路地図データの入手やオープンデータの活用が考えられるが、データの正確性を考慮すると市販の道路地図データを購入することが望ましいと考えられる。

交通需要データについては、パーソントリップデータの活用が考えられるが、検討地域においては集計ゾーンの領域が大きいため、500m メッシュ等で発着ゾーンを分解して OD 交通量を生成することが望ましい。加えて対象地域内の交差点において交通量調査を行うことで、現況の再現状況に近づくよう OD 交通量を補正することができると考えられる。

交通実態データについては、道路交通センサースデータおよび JARTIC 断面交通量データの利用可能性について検討したところ、対象地域内では一部で計測区間が存在しているものの、網羅的な調査データが存在しないことが分かった。したがって、交通量データおよび区間旅行時間・速度等の交通実態データの入手には独自調査を行う必要がある。具体的には、交差点方向別交通量（カウント調査、調査の際、信号制御情報や横断歩道における歩行者交通量も取得）、主要区間の旅行時間・速度（プローブ調査等による取得）、駐停車車両発生状況等の調査が必要と考えられる。

ⅳ） 次年度に向けたシミュレーション準備作業

次年度以降は、柏の葉地域をモデル地域とし、ⅲ）で示したデータの収集を実施するとともに、ⅱ）で示した機能の中から優先順位をつけて、段階的に交通シミュレータの機能実装を図る計画である。

今年度は、そのための準備作業として、現況再現ケースのプロトタイプ作成を行った。図 57、図 58 に作成したプロトタイプのスナップショットを示す。

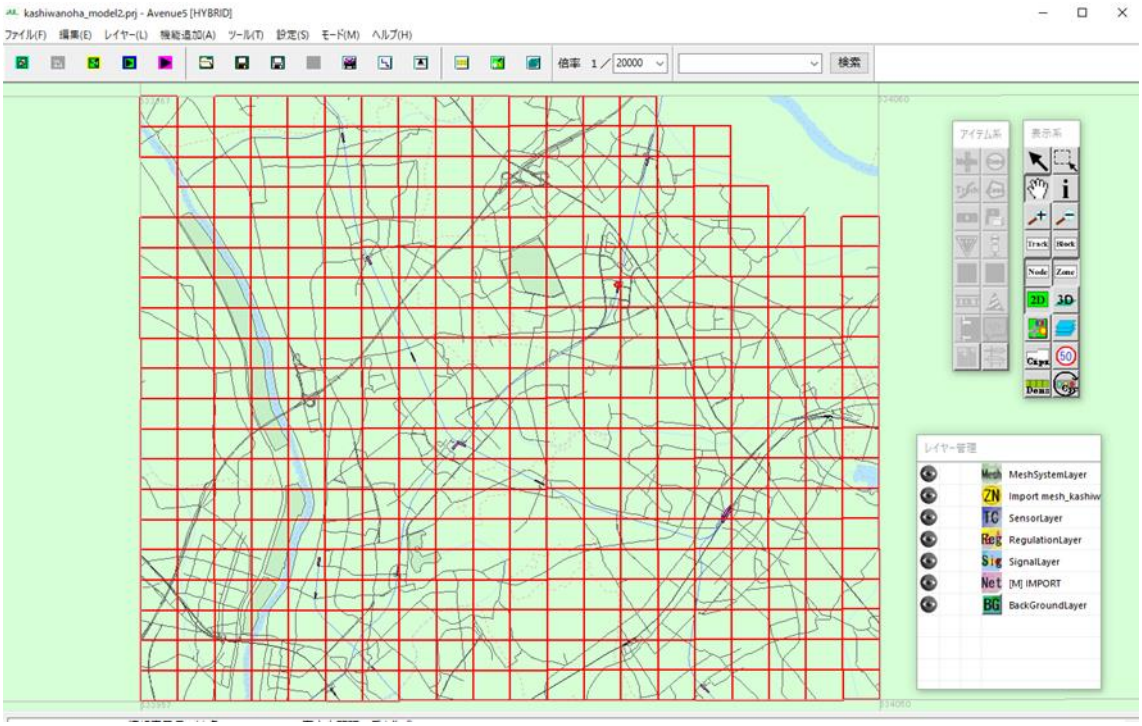


図 57　プロトタイプ作成画面（全体）

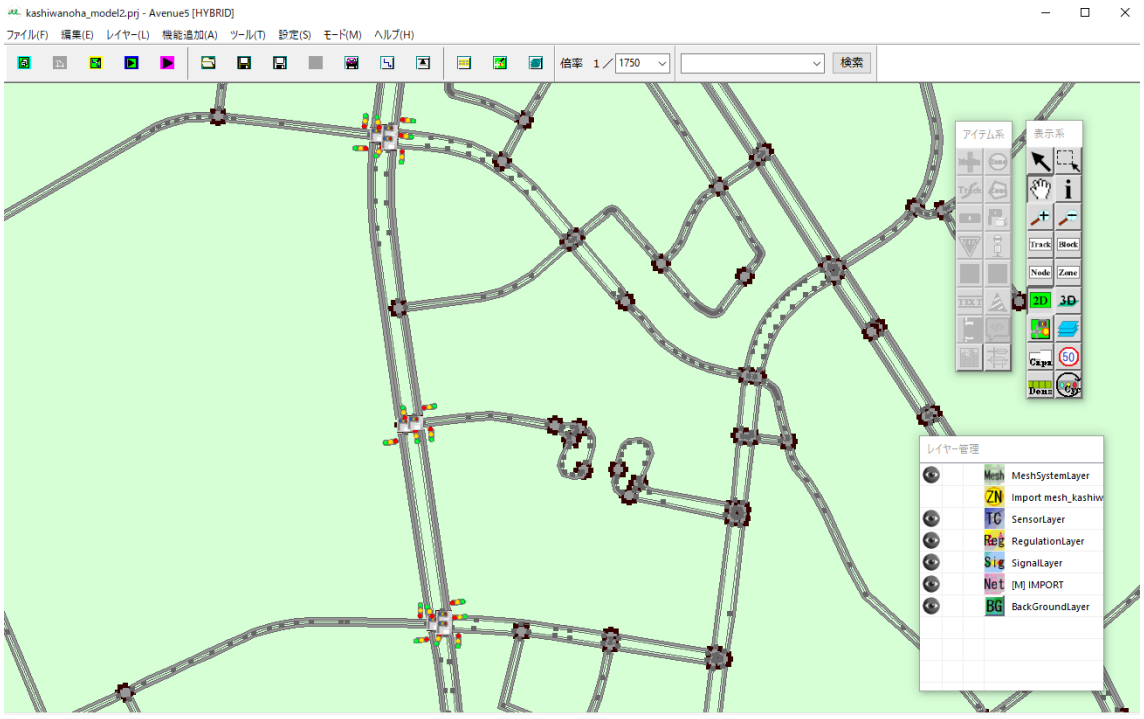


図 58　プロトタイプ作成画面（柏の葉キャンパス駅周辺）

プロトタイプ作成にあたっては、まず入手した市販の道路地図データに収録されている基本道路（道路幅員 5.4m 以上の道路）データで道路ネットワークをモデル化し、自動運転バスの実証実験の路線を参考に、全道路データを必要に応じて追加する方針とした。

交通規制データについては道路地図データの情報を適用し、信号制御データについては現時点では入手が難しいため、主要な交差点を中心に、シミュレーションモデルが自動で設定するデフォルト値で設定を行った。

交通需要のデータについては、500m メッシュの発生集中ゾーンの入力データを作成し、MicroAVENUE に入力した。OD 交通量については、現状整理が難しいため、パーソントリップデータ等のデータ入手のみの作業とした。また、バス運行データにおいても、路線図のみの入手で、運行スケジュールについては別途調査が必要なため、資料の収集のみの作業とした。

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

協調型システムによりレベル 4 自動運転サービスに必要なインフラの維持経費を、レベル 4 自動運転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、都市における他のサービス（飲食、ヘルスケア等）と連携して価値を高め、キャッシュポイントを増やすことによりインフラ維持経費を分担可能とすることが求められる。本項目では、そういったサービス創出のために、柏の葉地区を対象にした移動ニーズの調査を行い、その結果に基づき、サービスシナリオの仮説を創出する。

■ 実施方針

2021 年度は、まず、柏の葉地区における多様な生活者の移動やサービスに関するニーズをアンケートにより調査・分析する。そしてその分析結果にもとづき、レベル 4 自動運転サービスと他のモビリティや都市サービスを連携した、生活の利便性向上のためのサービスシナリオの仮説を創出する。2022 年度以降は、このシナリオ仮説にもとづき、より詳細なサービス像を、地域住民と共創的にデザインしていく。

■ 実施事項と実施方法

ⅰ） アンケート（第１回）の設計

柏の葉地区における移動やサービスに関するニーズを調査するために、柏市（特に柏駅より北側）に居住している生活者を対象とした Web アンケート調査を実施した。居住エリア、ライフステージ（子供の有無、自家用車の有無など）、興味・関心（パーソナリティ）、移動の実態・理由、柏の葉キャンパス駅との関係、各種モビリティサービス（例：キックボードなど）の利用意向、公共交通機関を利用する際の困りごと、などに関する設問を設定した。

ⅱ） アンケート（第１回目）の実施・分析結果

アンケート（第 1 回目）は以下のとおり実施し、計 573 件のデータを収集することができた。

- 件名：柏市における地域移動（モビリティ）ニーズに関するアンケート調査
- 調査方法：Web アンケート調査
- 調査日：2021/11/18 ～ 2021/11/22
- 調査範囲：柏市の JR 柏駅よりも北側にお住いの方
- 収集数：573 件

アンケートの結果のうち、主要な項目を抜粋し、以下に示す。

図 59 には、本調査の回答者の年齢分布を示す。このグラフからわかるように、本調査では、40 代後半～50 代の回答者が多かった。また、表 27 には、本調査の回答者を、エリアおよび年代別に分けて集計した結果を示す。この表からわかるように、本調査では、柏駅周辺エリアおよび南柏・豊四季エリアの回答者が多く、柏の葉キャンパス駅周辺の回答者は計 48 名だった。

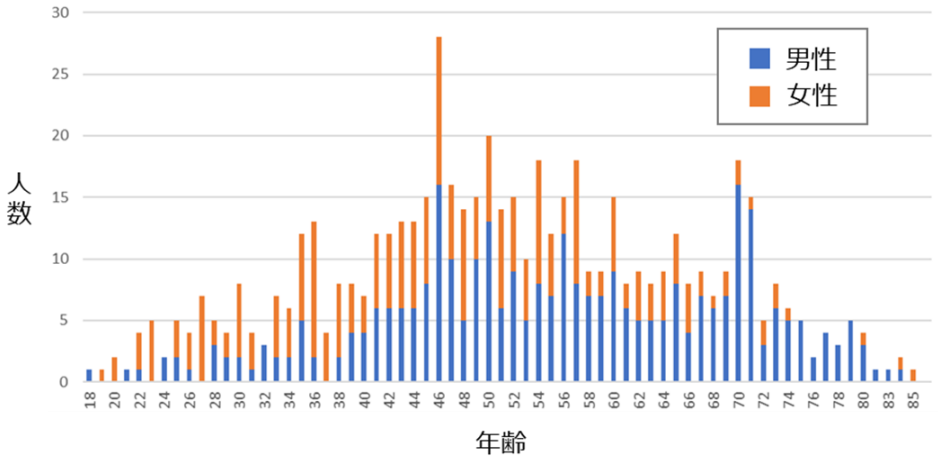


図 59 アンケート（第 1 回）の回答者の年齢分布

表 27　アンケート（第 1 回）の回答者のエリア別分布

	柏駅	柏たなか	北柏	柏の葉キャンパス駅周辺	公園西	中間地帯	南柏豊四季	柏の葉キャンパス駅東
21 - 30	8	4	3	0	6	7	14	3
31 - 40	15	13	7	8	4	11	8	5
41 - 50	40	11	15	16	7	23	29	17
51 - 60	38	1	26	7	12	18	17	15
61 - 70	18	6	14	12	4	13	16	7
71 - 80	4	5	10	5	6	4	11	10
（合計）	123	40	75	48	39	76	95	57

図 60 には、自家用車保有率に関する結果を示す。本調査では、70%以上の回答者が「自家用車がある」と回答した。（なお、ここでの自家用車とは、自身が居住している自宅に自動車があることを指し、その主な使用者が家族である場合も、「自家用車あり」と回答している）

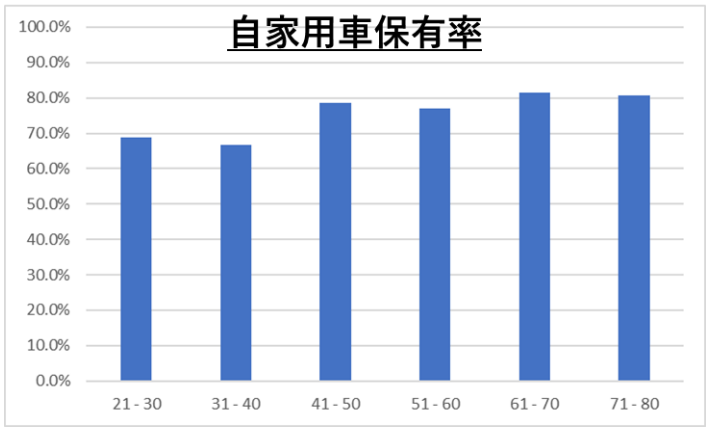


図 60 自家用車保有率

図 61 には、外出行動別の実施頻度（抜粋）の結果を示す。「健康のためのウォーキング」を週に 1 回以上実施している人は、全体の約 45%と半数以上もおり、健康に対する意識の高まりを読み取ることができる。

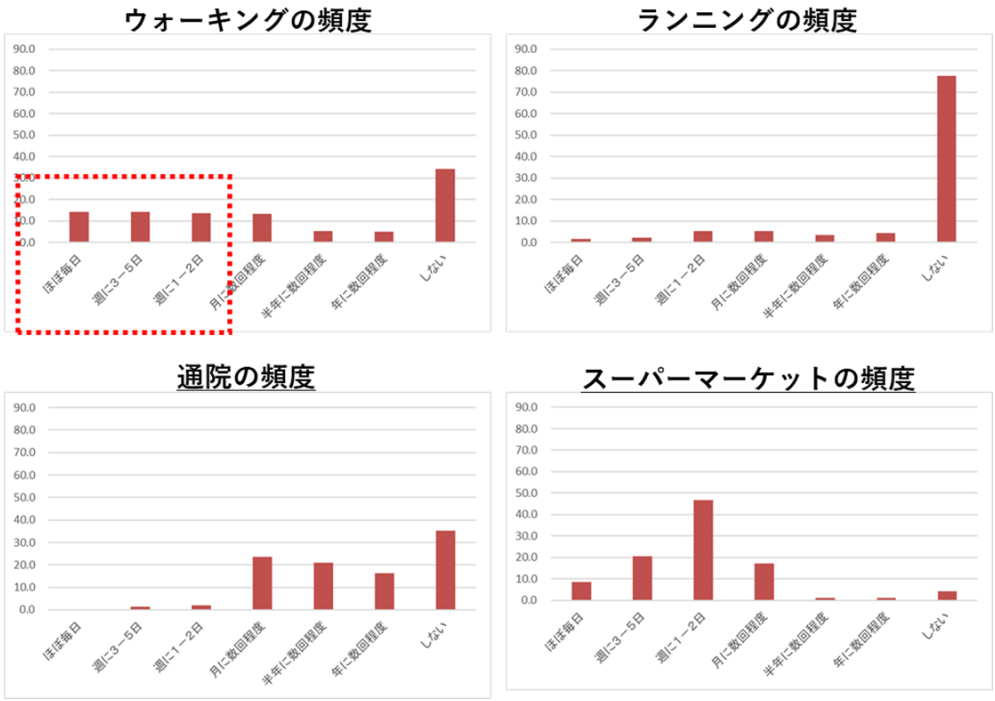


図 61 外出行動別の実施頻度（抜粋）

図 62 には、各種モビリティ（移動手段）の利用頻度（抜粋）の結果を示す。自家用車を頻繁に（週 1 回以上）運転する人は、全体の 60%以上であった。また、カーシェアは、利用したことがない人が殆ど（約 90%）だった。また、公共バスを頻繁に（週 1 回以上）利用する人は、全体の約 10%程度であった。

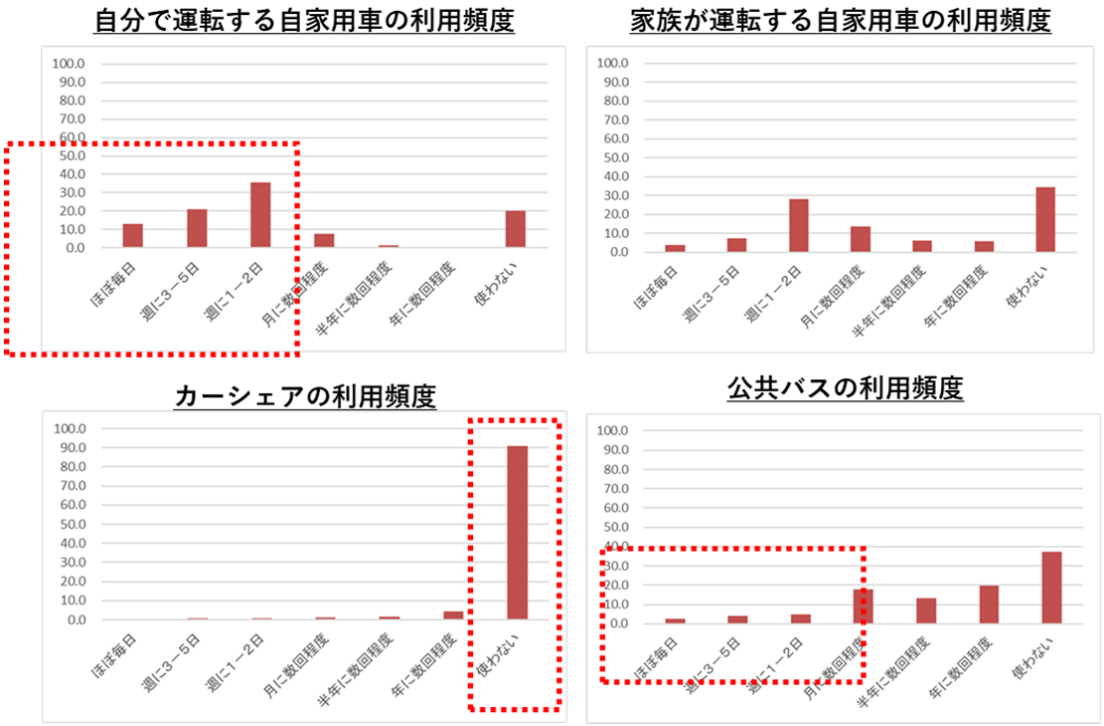


図 62 各種モビリティ（移動手段）の利用頻度（抜粋）

表 28 には、柏の葉で半年以内に行ったことのある場所（目的地）に関する年代別の回答結果を示す。ここからわかるように、柏の葉キャンパス駅周辺では、駅（鉄道利用）、ららぽーと、T-SITE、柏の葉公園の 4 拠点に多くの人が訪れている。また、各拠点に訪れている人の年代は、拠点ごとに微妙に異なることもわかる。

表 28　柏の葉で半年以内に行ったことのある場所（目的地）に関する年代別の回答結果

柏の葉でここ半年以内に行った場所（目的地）の回答者の割合

「1=Yes」と回答した人の割合（複数回答可）

年齢（ビン分割済み）	柏の葉C目的地_駅そのもの	柏の葉C目的地_らぽーと	柏の葉C目的地_T−SITE	柏の葉C目的地_柏の葉公園	柏の葉C目的地_千葉大学環境健康	柏の葉C目的地_UDCK	柏の葉C目的地_卸売市場	柏の葉C目的地_こんぶくろ池公園	柏の葉C目的地_東大	柏の葉C目的地_がんセンター	柏の葉C目的地_ちば県民プラザ	柏の葉C目的地_辻仲病院	柏の葉C目的地_その他
<= 20	50.0%	50.0%	25.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	25.0%
21 - 30	26.5%	94.1%	38.2%	35.3%	2.9%	2.9%	2.9%	5.9%	8.8%	2.9%	2.9%	2.9%	0.0%
31 - 40	42.9%	88.9%	42.9%	27.0%	1.6%	3.2%	4.8%	4.8%	1.6%	3.2%	3.2%	6.3%	1.6%
41 - 50	27.8%	89.5%	34.6%	24.1%	0.8%	0.0%	3.0%	0.8%	1.5%	2.3%	4.5%	4.5%	7.5%
51 - 60	33.0%	87.8%	16.5%	21.7%	1.7%	0.9%	1.7%	3.5%	3.5%	4.3%	7.0%	7.8%	4.3%
61 - 70	34.9%	91.6%	24.1%	31.3%	3.6%	0.0%	7.2%	4.8%	6.0%	7.2%	8.4%	14.5%	3.6%
71 - 80	25.0%	82.7%	21.2%	40.4%	3.8%	5.8%	13.5%	13.5%	5.8%	11.5%	9.6%	15.4%	11.5%
81+	66.7%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	33.3%	0.0%	33.3%	33.3%
合計	32.2%	88.7%	28.1%	27.5%	2.1%	1.4%	4.7%	4.3%	3.7%	4.9%	6.0%	8.4%	5.5%

本調査では、表 29 に示す 7 つの将来的なモビリティサービス案を示し、その利用意向を 5 段階（1:利用しないと思う～5：利用したい）でうかがった。その結果（年代別）を、図 63 に示す。

ここからは、即時配達ネットスーパーや地域循環バスは、全体的に利用意向が高いことがわかる。また、全体的な傾向として、即時配達ネットスーパー、循環バス、予約乗合バス、予約乗合タクシー、は若い層（20-40 歳）とシニア層（70 歳以上）の利用意向が高かった。逆に、50-70 歳のミドル、アクティブシニア層は、全体的に新サービス利用意向が低かった。レンタサイクル、パーソナルモビリティ、などの運動（体力）が必要になるようなサービスは、若い層の利用意向は比較的高いが、年齢が上がるほど利用意向が下がることがわかった。

表 29 アンケートで伺った将来的なモビリティサービス案

本資料での略称	内容
自動運転車椅子	大型ショッピングモールなどで、自分が行きたい店舗や場所に連れて行ってくれる自動運転型の車椅子サービス
レンタサイクル	あなたのご自宅付近におけるレンタサイクルや自転車シェアリングサービス
パーソナル	電動キックボードなどの個人用の乗り物のシェアリングサービス
即時配達ネットスーパー	スーパーマーケットの商品をオンラインで注文すると、それがすぐに（数時間以内に）自宅に届くような宅配サービス
循環バス	柏の葉キャンパス駅および周辺施設を循環するバス
予約乗合バス	目的地と利用日時を事前に予約することで利用できる乗り合いバス
予約乗合バス	目的地と利用日時を事前に予約することで利用できる乗り合いタクシー

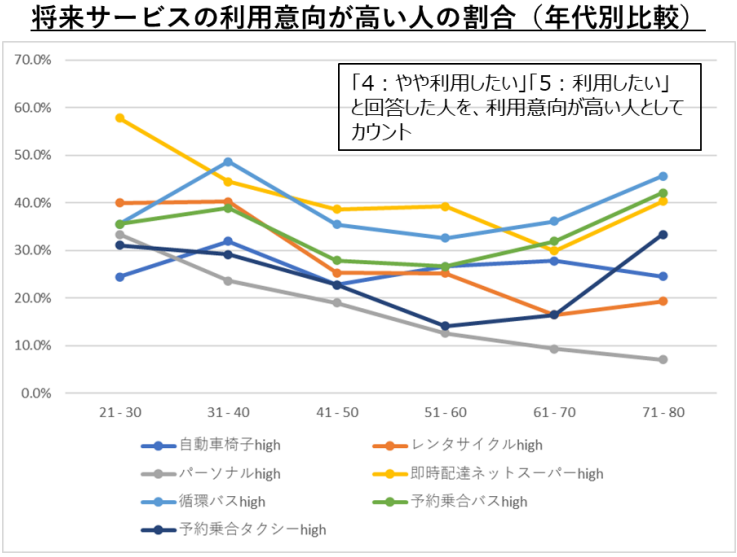


図 63 年代別の将来サービス利用意向

図 64 に、公共交通サービスへの不満の回答結果（年代別）を示す。ここからは、全体の傾向として、利用料金、渋滞、運行本数、到着時間の不正確さ、に関する不満が多いことがわかる。ただしその一方で、特にないと回答した人も多かった。また、「利用料金」は、20 代に不満が多い傾

向にあり、「渋滞」、「到着時間の不正確さ」は、40 代～70 代に不満が多い傾向にあった。「運行本数」は、30 代、60 代、70 代に不満が多い傾向にあった。

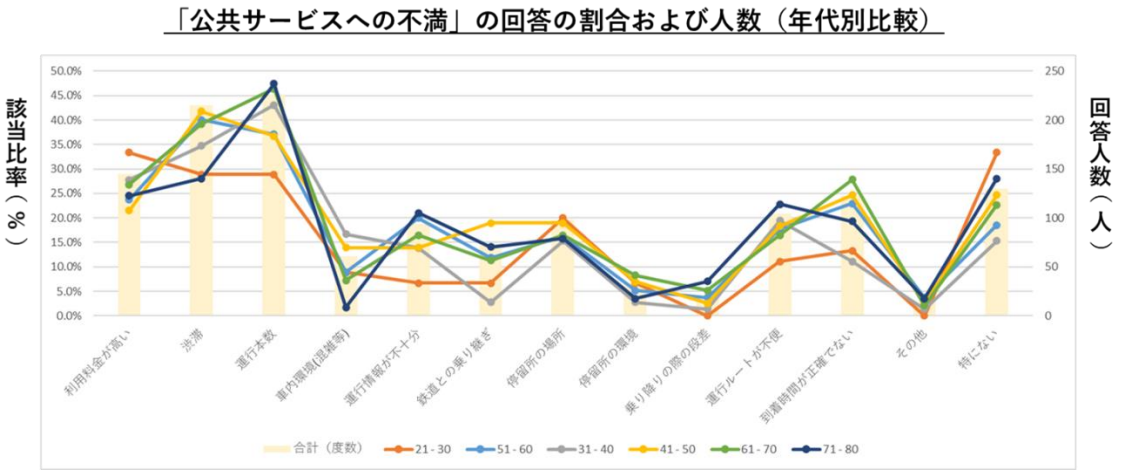


図 64 公共交通サービスへの不満の回答結果（年代別）

また、本調査では、今後のサービス検討における基礎情報となる“ユーザー像（ペルソナ）”を特定するために、パーソナリティに関する質問を行った。その回答結果をもとに因子分析を実施した結果、本調査では、以下に示す 6 つのパーソナリティ因子を特定することができた。

- 因子 1：デジタル・合理的
  - デジタル技術をよく使い、合理的な行動をする
- 因子 2：外向性・協調性
  - 外向性や協調性が高く、地域貢献にも関心がある
- 因子 3：自動車運転好き
  - 自動車の所有にこだわりがあり、運転することが好き
- 因子 4：堅実・健康
  - 食生活や運動に気をつけており、目標に向けてコツコツ堅実に努力する
- 因子 5：経験開放性
  - 新しい商品やサービスに興味があり、購買意欲が高い
- 因子 6：外出不安
  - コロナの影響で特に外出を控える傾向が高い

ⅲ） 都市サービスと連携したサービスシナリオの仮説創出

以上の分析結果から、①30 代半ば～40 代の子育て世代、②70 代のシニア層、の 2 つのユーザー層は、新たなモビリティサービスに対する利用意向等が高く、また、モデル地区である柏の葉エ

リアの主要な住民層にも合致することから、最初に検討すべきユーザー像として妥当であると考えた。

その後、これら 2 種類のユーザー像に合致しうる、交通データと都市データに双方を活用したサービスシナリオの仮説を検討した。検討した仮説は、今後、さらに具体化・洗練していく予定である。

ⅳ) 追加のアンケート調査等の設計

ⅰ)に述べた、1 回目のアンケート調査では、モデル地区である柏の葉エリアの住民からの回答が限定的だった。そこで、柏の葉エリアに関わる人々の移動ニーズや困りごとをより深く調べるために、以下に示す 2 つのアンケート調査を追加で行った。加えて、柏の葉エリアの関連する事業者（商業施設を運営する企業）、行政、まちづくり組織等へのヒアリングも行い、地域からの声を収集した。

(a) 柏の葉キャンパス駅周辺に居住している生活者
(b) 柏の葉キャンパス駅周辺に、地域外から訪れる来街者

これらのうち、(a)については、駅周辺の集合住宅や戸建て住宅へのアンケート回答票のポスティングによる調査を行うこととした。なお、アンケート回答票のポスティングの場合でも、回答票に QR コードを付与することで、Web 上の回答フォームによる回答も可能とした。また、(b)については、第 1 回目の調査と同様、Web 調査会社を通じた Web アンケートによる調査により、実施することとした。設問項目は、第 1 回目のアンケートと殆ど同じにした。

これらの追加アンケートの分析結果は、適宜、ⅲ)に述べたサービス案に反映していく。

ⅴ) 追加アンケート調査(a)の結果

アンケート（追加調査(a)）は以下のとおり実施し、計 1313 件のデータを収集した。

- 件名：柏の葉キャンパス駅周辺における地域移動（モビリティ）ニーズに関するアンケート調査
- 調査方法：アンケート回答票のポスティング。回答結果の回収は、①紙での提出、②Web アンケートでの回答、の 2 通りから、住民が自由に選択。
- 調査日：2022/1/14 ～ 2022/2/5
- 調査範囲：柏の葉キャンパス駅周辺にお住いの方
- 収集数：1313 件

アンケートの結果のうち、主要な項目を抜粋し、以下に示す。

図 65 には、追加調査(a)の回答者の年齢分布を示す。また、表 30 には、本調査の回答者を、柏の葉地域における詳細エリア（駅からの距離）、および、年代別に集計した結果を示す。

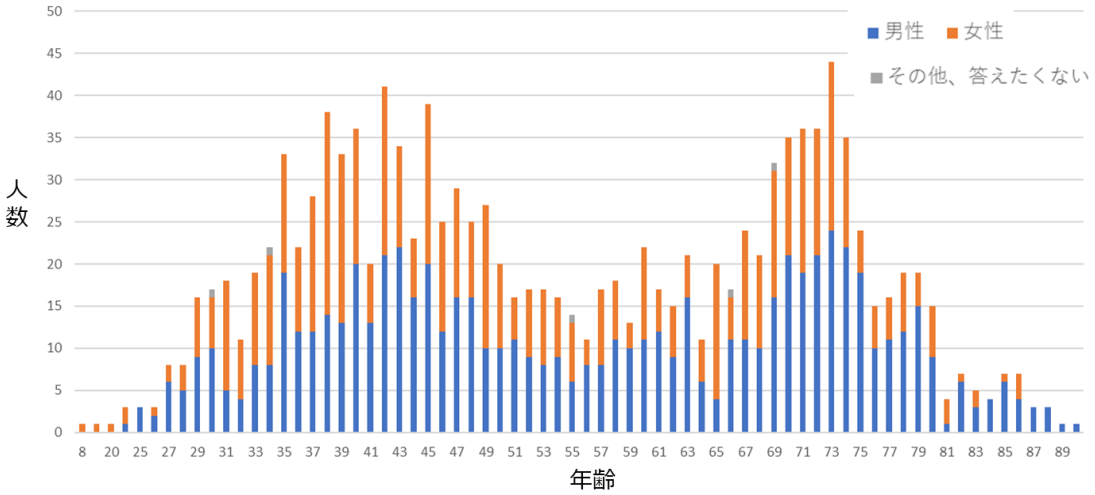


図 65　アンケート（追加調査(a)）の回答者の年齢分布

表 30　アンケート（追加調査(a)）の回答者のエリア別分布

	駅から徒歩3分以内	駅から徒歩3-5分程度	駅から徒歩5-10分程度	駅から徒歩10-15分程度	駅から徒歩15-20分程度	駅から徒歩20-30分程度	駅から徒歩30分以上
20歳未満		1	1				
20代	12	14	7	2	3	2	2
30代	61	103	40	15	11	6	5
40代	90	101	60	13	20	14	1
50代	47	48	23	17	11	11	2
60代	48	50	20	26	27	28	1
70代	24	43	18	38	77	76	3
80代	5	5	10	4	16	12	3
90代			1				

図 66 には、柏の葉キャンパス駅周辺エリアにおける、自家用車保有率（年代別）の結果を示す。

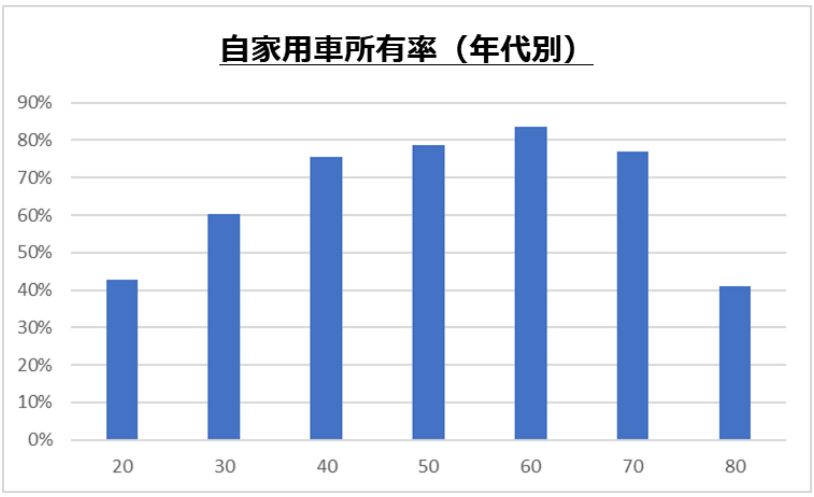


図 66　自家用車保有率（追加調査(a)）

図 67 には、柏の葉キャンパス駅周辺住民の、各種モビリティ（移動手段）の利用頻度（抜粋）を示す。また、図 68 には、柏の葉キャンパス駅周辺における主要スポットに行くための移動手段に関する回答結果を示す。

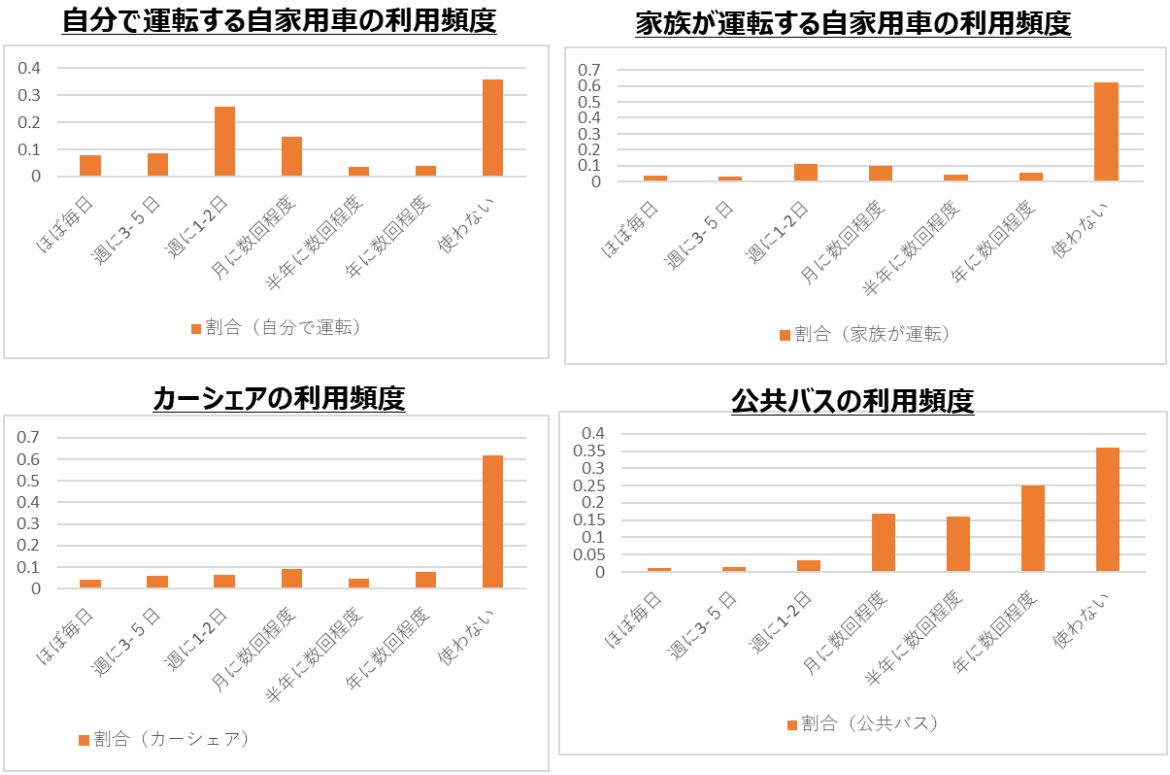


図 67　各種モビリティ（移動手段）の利用頻度抜粋（追加調査(a)）

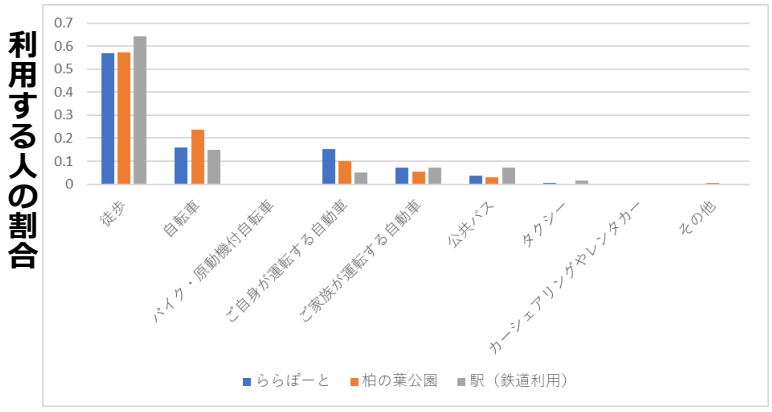


図 68　柏の葉の主要スポットに行くための移動手段（追加調査(a)）

図 69 には、表 29 で示した 7 つの将来的なモビリティサービス案への利用意向の回答結果（年代別）を示す。

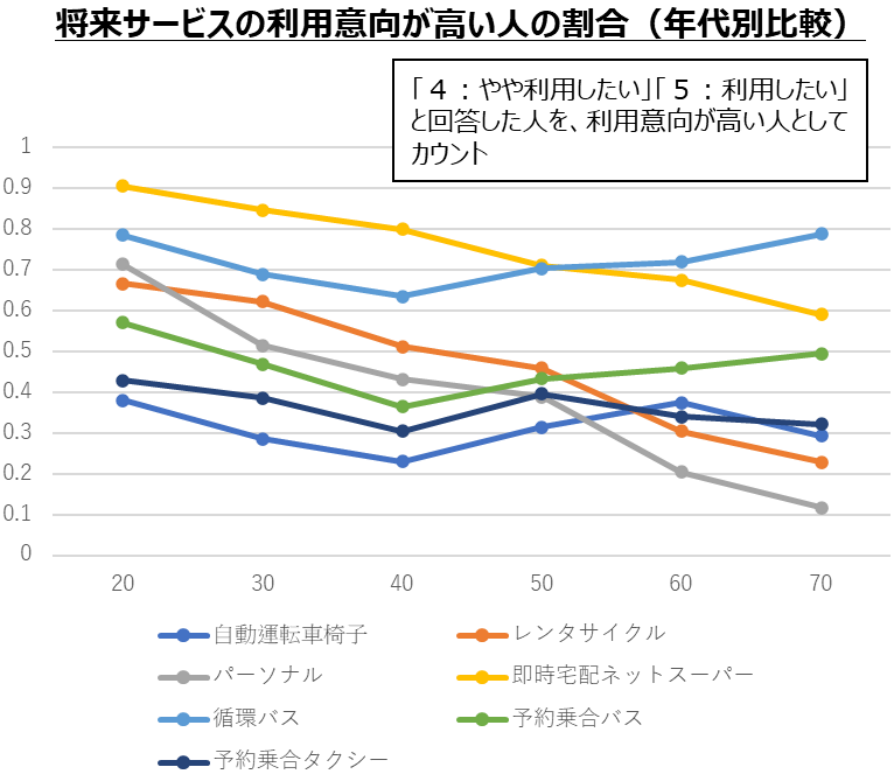


図 69　年代別の将来サービス利用意向（追加調査(a)）

図 70 に、柏の葉キャンパス駅周辺住民の、公共交通サービスへの不満の回答結果（年代別を示す。

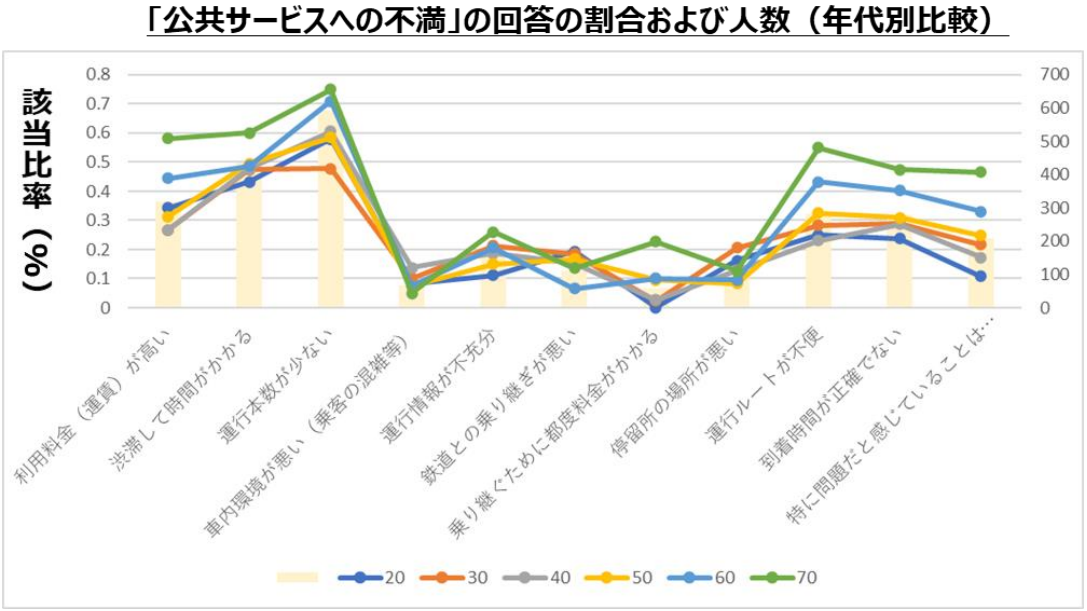


図 70　公共交通サービスへの不満の回答結果（年代別）（追加調査(a)）

vi） 追加アンケート調査(b)の結果

アンケート（追加調査(b)）は以下のとおり実施し、計 644 件のデータを収集した。

- 件名：柏の葉キャンパス駅の来街者の地域移動（モビリティ）ニーズに関するアンケート調査
- 調査方法： Web アンケート
- 調査日：2022/2/4 ～ 2022/2/7
- 調査範囲：柏の葉キャンパス駅への来街者（直近 6 か月以内に来たことがある人）
- 収集数：644 件

アンケートの結果のうち、主要な項目を抜粋し、以下に示す。

図 71 には、追加調査(b)の回答者の年齢分布を示す。また、表 31 には、本調査の回答者を、都道府県別に分けて集計した結果を示す。

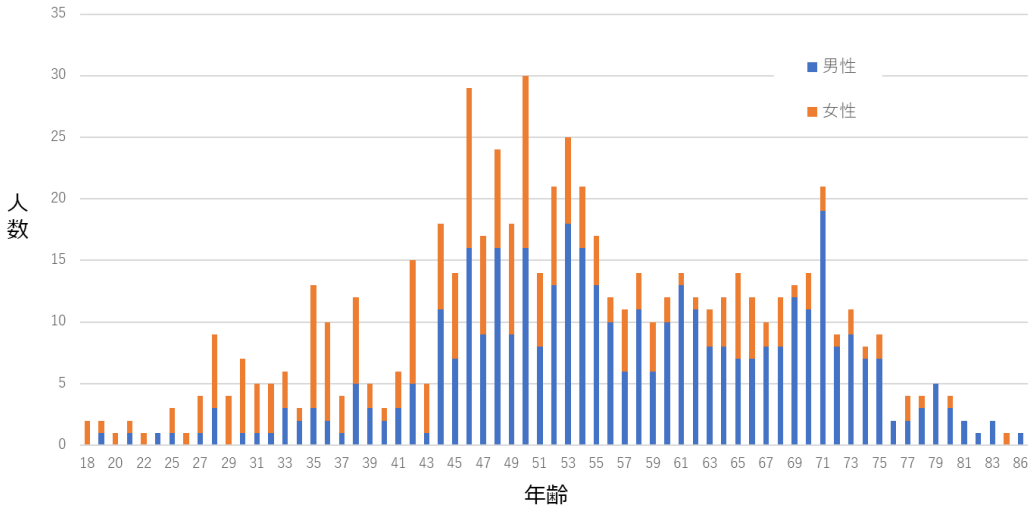


図 71　アンケート（追加調査(b)）の回答者の年齢分布

表 31　アンケート（追加調査(b)）の回答者の居住エリア（都道府県）

	茨城	埼玉	千葉	東京
回答者数	2	1	632	9

また、図 72 には、柏の葉キャンパス駅への来街者が、駅周辺における主要スポットに行くための移動手段に関する回答結果を示す。

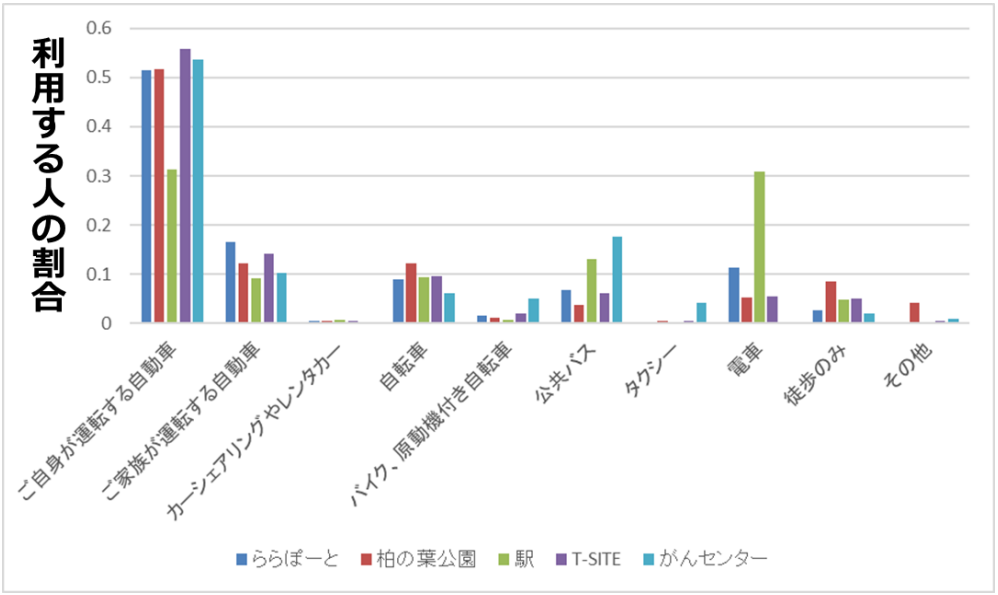


図 72　柏の葉の主要スポットに行くための移動手段（追加調査(b)）

図 73 には、表 29 で示した 7 つの将来的なモビリティサービス案への利用意向の回答結果（年代別）を示す。ただし、追加調査(b)は、柏の葉の地域外に居住する方を対象にしたアンケートだったため、柏の葉エリア内に居住しないと価値が得られないサービス案である「即時宅配ネットスーパー」は選択肢から除外した。

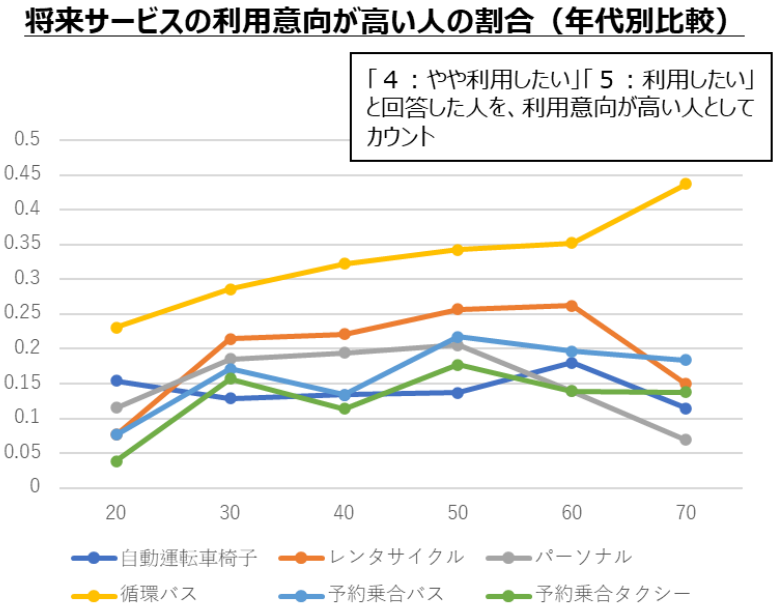


図 73　年代別の将来サービス利用意向（追加調査(b)）

1－2.　事業モデルの検討

＜この項目での実施事項＞

Ⅰ. 導入形態別の事業モデルの整理

Ⅱ. 維持管理のコスト負担・体制検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- レベル 4 自動運転サービスの事業化に向けた課題整理
- レベル 4 自動運転サービスを実現するための事業モデル(サービスへの付加価値創成の方法)の複数案整理

■　該当項目の背景と目的

混在空間においてレベル 4 自動運転サービスを事業化するためには、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、発生するコスト構造を網羅的に把握することや、これらのコストを回収するための収益確保、及び多角的な参加を促して、短期的事業性だけでなく金銭換算が容易でない社会的便益なども考慮し事業モデルを構築することが必要である。自動運転サービス導入事例は現時点でレベル 2～レベル 3 相当に留まっており、レベル 4 自動運転サービスを実地域において持続的に運営するための事業モデルについて、体系的に整理が成されることが必要である。

これらを踏まえ、混在空間におけるレベル 4 自動運転サービスの実現に向けて、インフラ連携やサービスの運行のために発生し得るコストと波及効果も含めた幅広い多角的な便益を網羅的に把握し、これらのコストを回収、またはコスト負担を分担して事業として成立させるための事業モデルのアイデアを取りまとめた。

■　実施方針

混在空間におけるレベル 4 自動運転サービスの導入形態は、地域における他の交通モード等との混在レベル、地域における特定の管理者・所有者の有無によって異なると想定される。そこで、国内外で検討・実装されているサービス導入形態を踏まえ、レベル 4 自動運転サービスの導入形態の整理を行った。

また、既存事例を元に、バス事業・タクシー事業のコスト構造把握を行い、自動運転化に伴う増減を検討し、課題整理を行った。

Ⅰ. 導入形態別の事業モデルの整理

1） 既存事例に基づく協調型システムを活用したレベル4自動運転サービスのコストに関する課題整理

■ 実施事項と実施方法

(1) レベル 4 自動運転サービスの導入形態の整理

国内外で検討・実装されているサービス導入形態を踏まえ、レベル 4 自動運転サービスの活用が期待される 8 つのサービス導入形態を整理した。

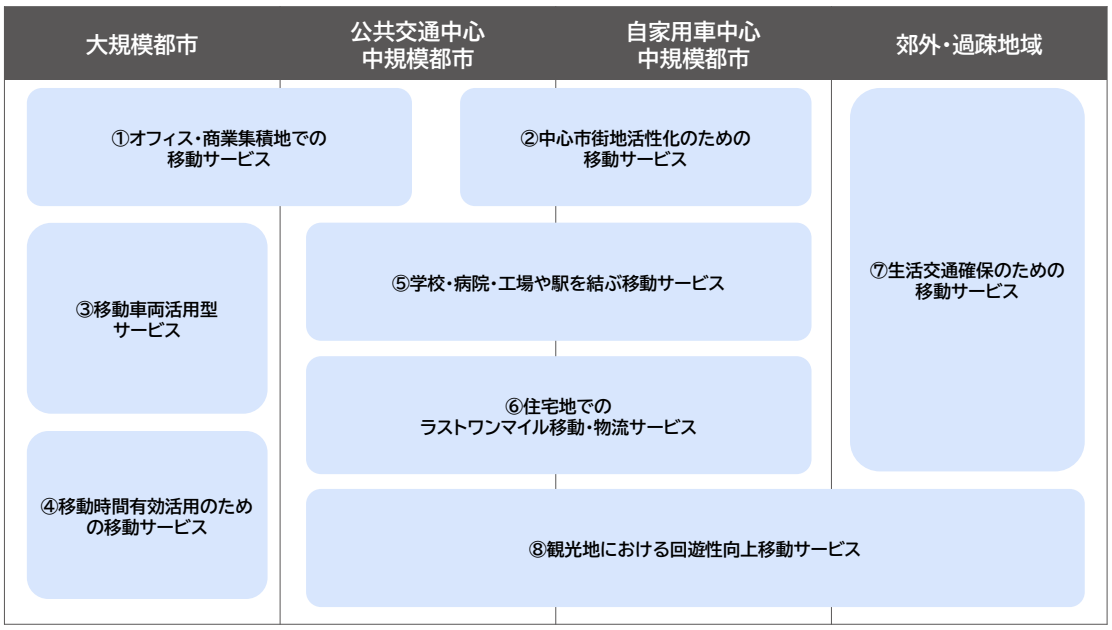


図 74 地域特性ごとに協調型レベル 4 自動運転サービスの活用が期待されるサービス形態

8 つのサービス導入形態の概要を以下に示す。

① オフィス・商業集積地での移動サービス

移動利便性の向上、慢性混雑の緩和等を目的とし、バス・シャトル等による地域内（ラストワンマイル）、街区内、施設内移動サービスの提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入により、ドライバーレス化され、これまで時空間的にカバーしきれなかった領域における移動サービスの提供が期待できる。

図 75　オフィス・商業集積地での移動サービス

② 中心市街地活性化のための移動サービス

中心市街地へのアクセス性向上、また高齢者等を含む全ての人々の移動の足の確保を目的とし、バス・シャトル等による郊外拠点と中心市街地を結ぶ移動、中心市街地における都市拠点間移動サービスの提供を想定する。①と同様、レベル 4 自動運転サービスの導入によりドライバーレス化され、これまで時空間的にカバーしきれなかった領域における移動サービスの提供が期待できる。

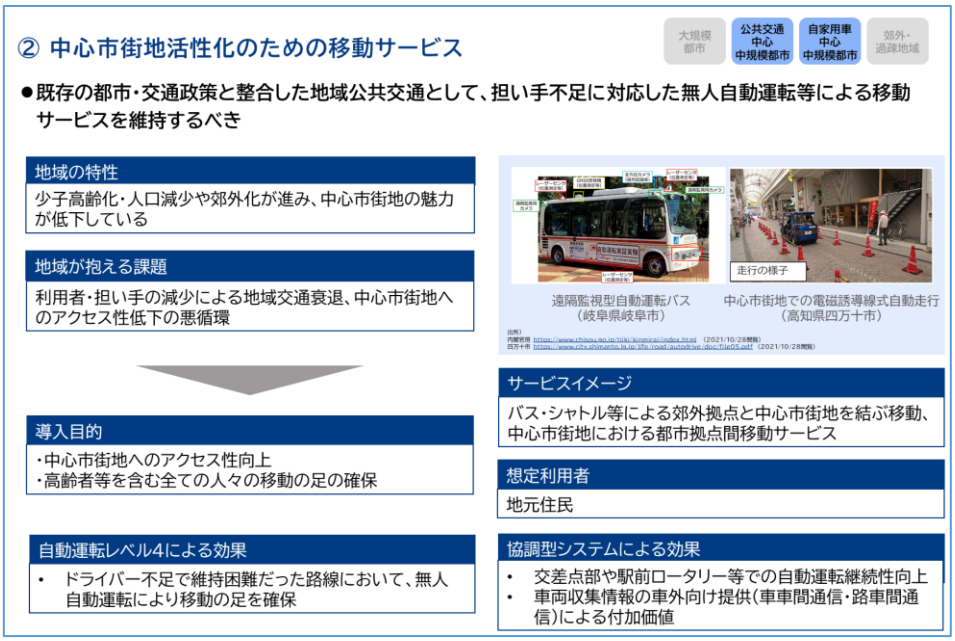


図 76　中心市街地活性化のための移動サービス

③ 移動車両活用型サービス

移動車両を活用した都市サービス/小売りサービス等の提供を目的とし、バス・シャトル等による移動サービス、オフィス・ホテル・病院・店舗等の多様なサービス提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入により運転操作専従のドライバーが不要となり、同乗オペレーターが運転以外の作業（新たなサービス提供）を実施可能となる。

図 77　移動車両活用型サービス

④ 移動時間有効活用のための移動サービス

ドア to ドア移動需要への対応を目的とし、タクシーによるドア to ドア移動サービスの提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入によりドライバーレス化され、需要に応じ必要なサービス供給量の確保が期待される。

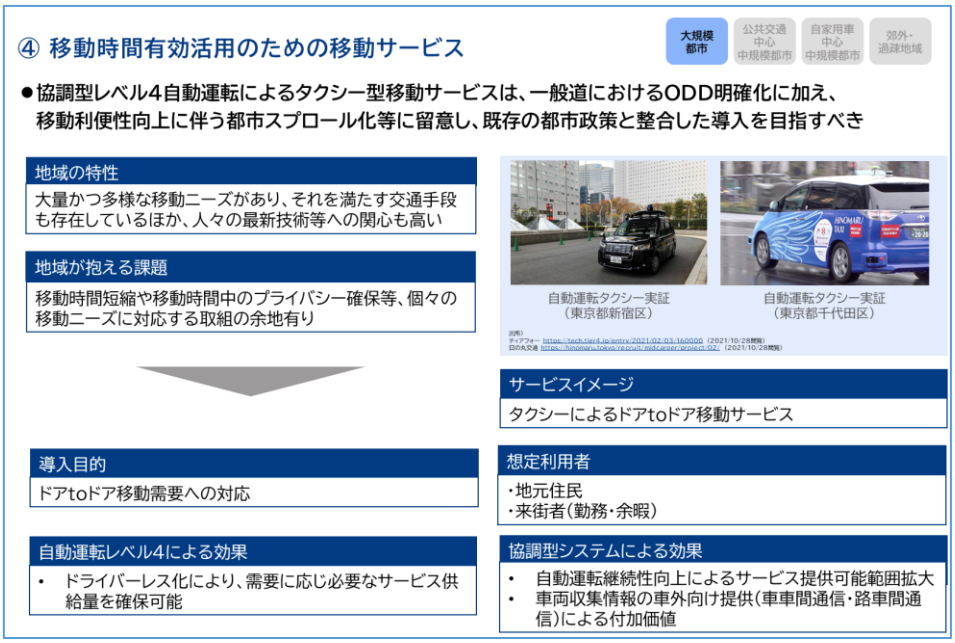


図 78　移動時間有効活用のための移動サービス

⑤ 学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービス

ピーク時移動需要への対応、ピーク時間外の輸送力活用を目的とし、バス・シャトル等による学校・病院・工場や駅を結ぶ移動等のサービス提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入により、ドライバーレス化され、需要変動に応じて弾力的にサービス提供が可能となる。

図 79　学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービス

⑥ 住宅地でのラストワンマイル移動・物流サービス

ラストワンマイル移動、ラストワンマイル物流を目的とし、バス・シャトル等による移動サービス、小型ロボットによるラストワンマイル物流サービスの提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入により、ドライバーレスでのサービス提供や、同乗オペレーターが運転以外の作業（高齢者支援等）を実施する形でのサービス提供の実現が期待される。

図 80　住宅地でのラストワンマイル移動・物流サービス

⑦ 生活交通確保のための移動サービス

地域拠点を結ぶ移動の足の確保を目的として、カート等による地域拠点間を結ぶ移動サービスの提供を目的とする。レベル 4 自動運転サービスの導入により、ドライバーレス化され、移動サービス維持困難だった地域におけるサービス提供が可能となったり、同乗オペレーターが運転以外の作業（高齢者支援等）を実施する形でのサービス提供が可能となる。

図 81　生活交通確保のための移動サービス

⑧ 観光地における回遊性向上移動サービス

観光拠点を結ぶ移動手段の確保や洗剤観光資源の活性化を目的とし、カート等による観光拠点間を結ぶ移動サービスの提供を想定する。レベル 4 自動運転サービスの導入により、同乗オペレーターが運転以外の作業（観光案内等）を実施する形でのサービス提供が期待される。

図 82　観光地における回遊性向上移動サービス

(2)　収支の考え方

協調型レベル 4 自動運転サービスの支出と収入を整理し、事業として成立させるための課題整理を行った。

はじめに、支出と収入の考え方を整理した。事業モデルとして成立させるには、収支のバランスを取る必要がある。既存の移動サービスに対して自動運転化した際の収支のバランスの変化は以下のように複数パターンが考えられる。

表 32　収支のバランスパターン

既存の移動サービスの収支バランスの状態	自動運転化した場合
均衡が取れていない	インフラ関連費や車両関連費などの増加は想定されるが、人件費減や収入増により全体としては均衡が取れる。 導入初期においては、イニシャルコスト発生等により均衡が取れなくなる可能性も考えらえる。 （バランスしないことも考えらえる）
均衡が取れている	イニシャルコスト発生等により導入初期は均衡が取れなくなる可能性があるが、人件費減や収入増等により徐々に収支の均衡が取れるようになる。 公共支援等により導入初期からバランスすることも想定される。 （バランスしないことも考えらえる）
－（存在しない）	もともと移動サービスが提供されていないところに自動運転化を導入した移動サービスを提供することで、新たな収入が得られる。その際、イニシャルコストの発生等により、導入初期はバランスしない可能性があるが、人件費減や収入増等により徐々に収支の均衡が取れるようになる。

また、既存の移動サービスの状況を踏まえると、自動運転サービスに係る支出（イニシャル・ランニング）を運賃収入で賄うことは困難であり、マネタイズによる工夫や、公共の支援も含めて、事業モデルとして成立させる必要がある。これらの観点を踏まえ整理した収支のイメージは以下の通り。

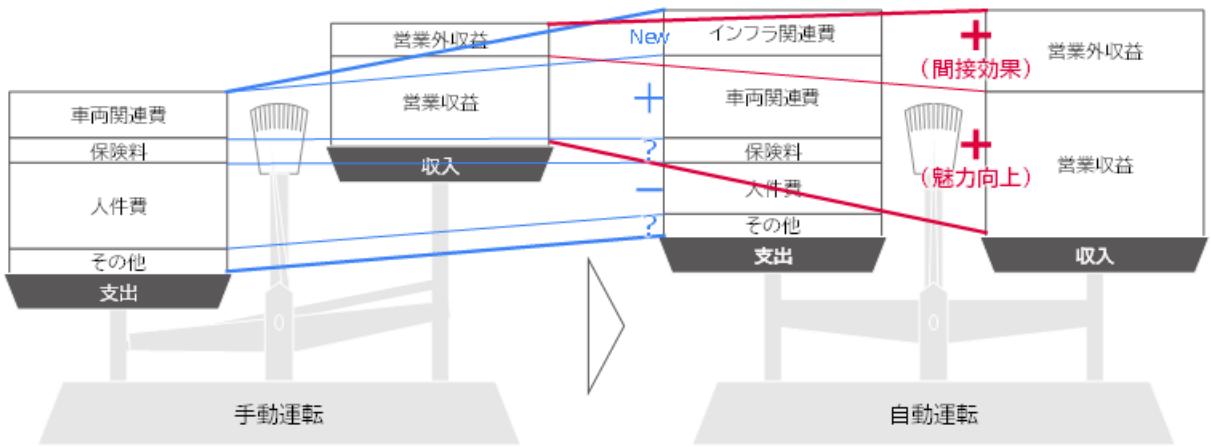


図 83　収支のイメージ

支出については、自動運転化により人件費は減少が見込まれるものの、車両関連費の増加や、インフラ関連費や保険料の発生も想定されるため、これらの支出を賄う収入確保が必要と考えられる。既存の移動サービスの多くは財政的に厳しい状況にあり、何らかの対応が必要である。自動運転化により、導入初期には高額なイニシャルコストも想定されるが、長期的には人件費抑制等により持続可能な事業モデル成立の可能性も考えられる。また、バス事業等において大きな課題となっている人手不足等の解決も期待される。

収入は、営業収益と営業外収益に分類できる。営業収益では、運賃に依存せず、沿線集客効果や協調型レベル 4 自動運転ならではの余剰リソースによるマネタイズが必要と考えられる。営業外収益として、補助金・寄付金・借入金も適宜活用する必要があると考えられる。

(3)　コストに関する課題整理

i)　コスト構造把握

① 各種文献調査

既存のバス事業・タクシー事業について、文献調査によりコスト構造の把握を行った。

乗合バス事業の収支状況を表 33 及び表 34 に示す。

表 33　乗合バス事業の収支状況（北北海道～東海）

科目 / ブロック別	民営公営の別	収入			運送原価						
		営業収入	営業外収入	合計	人件費	燃料油脂費	車両修繕費	車両償却費	利子	諸経費	計
北北海道	民営	206.15	5.19	211.34	195.23	36.79	21.44	16.63	2.14	41.47	313.70
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	206.15	5.19	211.34	195.23	36.79	21.44	16.63	2.14	41.47	313.70
南北海道	民営	373.27	1.09	374.36	220.26	40.45	31.36	32.22	0.37	90.26	414.92
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	373.27	1.09	374.36	220.26	40.45	31.36	32.22	0.37	90.26	414.92
東北	民営	246.35	4.34	250.69	198.37	38.21	35.62	25.71	1.56	52.25	351.73
	公営	477.54	7.82	485.36	319.67	51.00	52.86	45.76	0.42	255.74	725.45
	平均	297.51	5.11	302.62	225.21	41.04	39.43	30.15	1.31	97.28	434.42
羽越	民営	261.84	1.79	263.63	192.36	37.35	33.76	25.06	5.28	65.17	358.97
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	261.84	1.79	263.63	192.36	37.35	33.76	25.06	5.28	65.17	358.97
長野	民営	415.06	2.46	417.51	279.03	44.97	50.38	32.65	2.28	78.33	487.64
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	415.06	2.46	417.51	279.03	44.97	50.38	32.65	2.28	78.33	487.64
北関東	民営	282.51	1.20	283.71	202.57	32.40	23.02	20.31	0.75	50.63	329.68
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	282.51	1.20	283.71	202.57	32.40	23.02	20.31	0.75	50.63	329.68
千葉	民営	497.72	5.19	502.90	288.14	40.72	22.42	42.07	0.42	88.28	482.05
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	497.72	5.19	502.90	288.14	40.72	22.42	42.07	0.42	88.28	482.05
武蔵・相模	民営	543.57	2.79	546.36	302.43	41.19	23.04	36.28	0.55	139.99	543.48
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	543.57	2.79	546.36	302.43	41.19	23.04	36.28	0.55	139.99	543.48
京浜	民営	728.15	4.25	732.40	419.69	43.78	21.32	48.55	0.53	149.02	682.89
	公営	854.02	15.02	869.04	563.73	45.80	26.40	42.60	0.92	238.11	917.56
	平均	774.48	8.21	782.69	472.71	44.52	23.19	46.36	0.68	181.81	769.27
山梨・静岡	民営	371.23	2.39	373.62	252.24	35.90	33.41	24.68	0.64	89.22	436.08
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	371.23	2.39	373.62	252.24	35.90	33.41	24.68	0.64	89.22	436.08
東海	民営	348.39	2.38	350.77	226.05	36.06	27.35	27.15	0.31	75.71	392.64
	公営	587.48	0.66	588.14	360.46	45.24	28.06	22.02	0.24	215.36	671.38
	平均	431.91	1.78	433.69	273.00	39.27	27.60	25.36	0.29	124.50	490.01

出所：国土交通省ウェブサイト（令和元年度乗合バス事業の収支状況について），
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03_hh_000326.html, (2021/12/17 確認)

表 34　乗合バス事業の収支状況（北陸～沖縄、全国計）

科目 / ブロック別	民営公営の別	収入			運送原価						
		営業収入	営業外収入	合計	人件費	燃料油脂費	車両修繕費	車両償却費	利子	諸経費	計
北陸	民営	372.04	4.27	376.31	235.61	38.89	36.43	35.72	1.88	74.62	423.15
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	372.04	4.27	376.31	235.61	38.89	36.43	35.72	1.88	74.62	423.15
北近畿	民営	343.69	6.97	350.66	236.63	38.22	34.38	30.55	0.27	72.57	412.62
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	343.69	6.97	350.66	236.63	38.22	34.38	30.55	0.27	72.57	412.62
南近畿	民営	398.71	2.96	401.67	309.18	38.57	32.85	19.52	1.89	66.01	468.01
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	398.71	2.96	401.67	309.18	38.57	32.85	19.52	1.89	66.01	468.01
京阪神	民営	565.78	4.57	570.35	315.87	43.99	42.96	30.41	0.08	126.42	559.71
	公営	621.93	8.95	630.88	287.04	48.09	35.03	18.84	1.21	267.98	658.20
	平均	584.85	6.06	590.91	306.08	45.38	40.26	26.48	0.46	174.50	593.16
山陰	民営	153.71	2.15	155.86	159.22	31.51	22.70	14.34	0.30	39.10	267.17
	公営	263.29	76.28	339.57	325.82	40.69	31.60	52.94	0.00	58.65	509.70
	平均	164.89	9.71	174.60	176.21	32.44	23.61	18.28	0.27	41.10	291.91
山陽	民営	319.16	4.42	323.59	238.50	37.72	28.64	28.06	1.79	60.00	394.71
	公営	212.32	7.08	219.40	260.64	32.28	13.26	6.82	0.00	39.66	352.66
	平均	316.59	4.49	321.08	239.03	37.59	28.27	27.55	1.75	59.51	393.70
四国	民営	221.72	2.45	224.16	200.95	33.34	28.75	17.53	0.60	48.52	329.70
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	221.72	2.45	224.16	200.95	33.34	28.75	17.53	0.60	48.52	329.70
北九州	民営	384.32	2.36	386.69	224.09	35.54	25.08	24.16	1.44	99.66	409.97
	公営	276.18	16.22	292.40	218.28	38.36	18.38	18.05	0.14	83.67	376.88
	平均	372.82	3.84	376.66	223.47	35.84	24.37	23.51	1.30	97.96	406.45
南九州	民営	211.08	2.61	213.69	161.36	32.74	27.98	6.52	1.11	66.26	295.98
	公営	334.93	90.61	425.53	242.75	29.70	17.85	46.09	0.06	226.48	562.93
	平均	219.64	8.69	228.33	166.99	32.53	27.28	9.26	1.04	77.33	314.43
沖縄	民営	242.25	3.05	245.30	133.69	41.05	22.04	10.63	1.45	34.26	243.11
	公営	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平均	242.25	3.05	245.30	133.69	41.05	22.04	10.63	1.45	34.26	243.11
全国計	民営	419.66	3.33	422.99	260.62	38.85	28.31	29.45	0.97	94.59	452.78
	公営	648.44	12.73	661.17	397.01	45.55	30.06	30.92	0.74	227.37	731.65
	平均	450.60	4.60	455.19	279.06	39.75	28.55	29.65	0.94	112.54	490.49

出所：国土交通省ウェブサイト（令和元年度乗合バス事業の収支状況について），
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03_hh_000326.html, (2021/12/17 確認)

また、タクシー事業の支出項目を図 84 に示す。

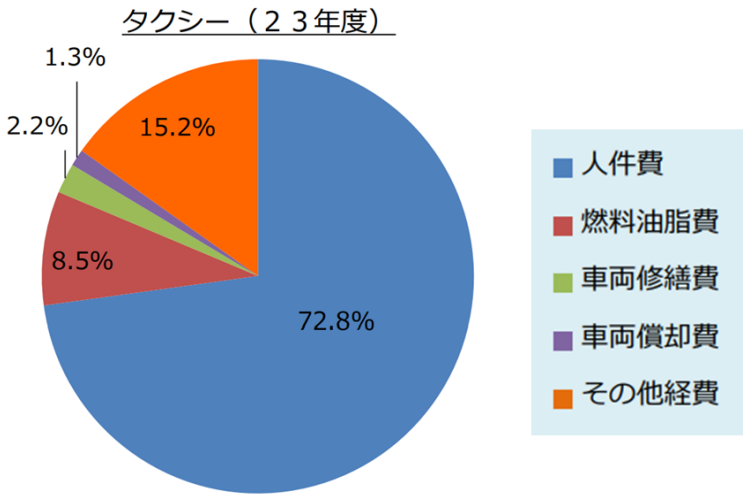


図 84　タクシー事業の支出項目（平成 23 年度）

出所：国土交通省ウェブサイト（タクシー事業の現状について），
https://www.mlit.go.jp/common/001087374.pdf, (2021/12/17 確認)

文献調査を踏まえ、バス事業及びタクシー事業について、費目の洗い出しを行い、自動運転化による増減を整理した。

表 35　モビリティサービス支出整理（バス事業）

	現在の費目	自動運転車両導入時に想定される変化
運行費	人件費	車内に免許（第二種運転免許等）を持ったドライバーが必要なくなる。代わりに、遠隔で監視・操作を行うオペレーター、緊急時に駆けつけを行う要員が必要な場合があるが、オペレーターは一人で複数台を監視することも可能であり、全体として低減する想定
	燃料油脂費	同種類のパワートレインであれば、走行時にかかる距離あたりの燃料費は同等となる
	修繕費	自動運転車両の場合、通常のバスに加えてセンサ類（GPS、LiDAR等）が取り付けられることになり、故障した場合の修繕費は高額となる想定
	減価償却費	自動運転車両は通常のバスに比べて高額となるため、償却期間に対する考え方が同様であれば、購入後の毎期の減価償却費は高額になる想定。購入の際には、イニシャルコストが大きくかかると想定される
	自動車リース料	自動運転車両は通常のバスに比べて高額となるため、減価償却費と同様に、リースの形態を取った場合にはリース料は高額となる想定
	通信費	通常のバス運行に加えて、遠隔監視・操作をするためのネットワーク通信や運行管理のためのシステムに対する費用が発生する。また、システム導入・構築の際にはイニシャルコストが大きくかかると想定される
	施設使用料	通常のバスと同様に、駐停車場、車庫等が必要となる。管制室、EVの充電ステーション等を設置する際には、イニシャルコストが大きくかかると想定される
	施設割賦税	バスのタイプ（大型自動車等）が同一であれば、かかる自動車税は同一の想定
	道路使用料	有料道路等を走行する場合の費用は通常のバスと同一の想定。高速道路等で将来的に自動運転専用レーンが設置された場合、異なってくる可能性がある
	保険料	協調型自動運転レベル4の実現により、通常人間が手動で運転するよりも事故のリスクが低い、と保険会社が判断すれば、通常よりも保険料が低額になる
	事故賠償費	事故時に必要となる賠償費用は通常のバスと同一の想定。ただし、頻度や認定される過失割合が異なってくる
	その他（被服費、水道光熱費、運搬費、旅費等）	通常のバスと同一の想定
	協調インフラ使用料	自動運転車両が導入される際に考えられる費目。バス事業者が負担する場合・負担しない場合がどちらも存在
販管費	人件費	事業を実施するのに必要な人員が削減されることにより、関連する労務管理に必要な費用が低減する想定
	その他	通常のバスと同一の想定

表 36　モビリティサービス支出整理（タクシー事業）

	現在の費目	自動運転車両導入時に想定される変化
運行費	人件費	車内に免許（第二種運転免許等）を持ったドライバーが必要なくなる。代わりに、遠隔で監視・操作を行うオペレーター、緊急時に駆けつけを行う要員が必要な場合があるが、オペレーターは一人で複数台を監視することも可能であり、全体として低減する想定
	燃料油脂費	同種類のパワートレインであれば、走行時にかかる距離あたりの燃料費は同等となる
	修繕費	自動運転車両の場合、通常のタクシーに加えてセンサ類（GPS、LiDAR等）が取り付けられることになり、故障した場合の修繕費は高額となる想定
	減価償却費	自動運転車両は通常のタクシーに比べて高額となるため、償却期間に対する考え方が同様であれば、購入後の毎期の減価償却費は高額になる想定。購入の際には、イニシャルコストが大きくかかると想定される
	自動車リース料	自動運転車両は通常のタクシーに比べて高額となるため、減価償却費と同様に、リースの形態を取った場合にはリース料は高額となる想定
	通信費	通常のタクシー運行に加えて、遠隔監視・操作をするためのネットワーク通信や運行管理のためのシステムに対する費用が発生する。また、システム導入・構築の際にはイニシャルコストが大きくかかると想定される
	施設使用料	通常のタクシーと同様に、駐停車場、車庫等が必要となる。管制室、EVの充電ステーション等を設置する際には、イニシャルコストが大きくかかると想定される
	施設割賦税	タクシーのタイプ（普通自動車等）が同一であれば、かかる自動車税は同一の想定
	道路使用料	有料道路等を走行する場合の費用は通常のタクシーと同一の想定。高速道路等で将来的に自動運転専用レーンが設置された場合、異なってくる可能性がある
	保険料	協調型自動運転レベル4の実現により、通常人間が手動で運転するよりも事故のリスクが低い、と保険会社が判断すれば、通常よりも保険料が低額になる
	事故賠償費	事故時に必要となる賠償費用は通常のタクシーと同一の想定。ただし、頻度や認定される過失割合が異なってくる
	その他（被服費、水道光熱費、運搬費、旅費等）	通常のタクシーと同一の想定
	協調インフラ使用料	自動運転車両が導入される際に考えられる費目。タクシー事業者が負担する場合・負担しない場合がどちらも存在
販管費	人件費	事業を実施するのに必要な人員が削減されることにより、関連する労務管理に必要な費用が低減する想定
	その他	通常のタクシーと同一の想定

自動運転化により、人件費は減少するが、その他の費目は「増加」または「変化無し」となり、収入を確保する仕組みが必要である。人件費は、車両 1 台に対するオペレーター・ドライバーの要員によって異なるが、車両 1 台あたりプロドライバー1 名を必要とする現行と比較するといずれの場合も減少すると考えられる。また、車両関連費は、購入・リース等の調達方法があるが、いずれの場合も（特に当面の間は）高額と考えられる。さらに、保険料は、将来的に手動運転よりも高い安全性が確保できるようになれば価格低減が想定されるが、当面の間は高額と考えられる。

2） 既存事例に基づく協調型システムを活用したレベル4自動運転サービスのコスト回収に関する課題整理

■ 実施事項と実施方法

(1) コスト回収に関する考え方の整理

コスト回収にあたっては、営業収益と営業外収益による収入確保が必要である。

営業収益は、企業の主な営業活動によって得た収益のことであり、収益の主な要素である。

営業外収益は、企業が本業以外の活動で得た収益のことであり、銀行預金の受取利息や投資から得られる配当金等も営業外収益に該当する。

これらの収益に関する考え方を意識したうえで、コスト回収方法を次項以降で整理する。

(2) コスト回収方法の分類

(1)で整理した通り、サービスの収入源は、大きく「営業収益」と「営業外収益」の 2 つに分類される。

このうち「営業収益」は、さらに「運賃」と「運賃以外」の 2 つに分類されるが、バス事業等の既存の移動サービスの現状を踏まえると、運賃に依存する収入確保は困難であり、運賃以外で収入を確保する方策が必要と考えられる。

さらにレベル 4 自動運転サービスが提供する価値を踏まえると、収入を確保するための方法として「沿線に集客効果を提供」「第三者に余剰リソースを提供」「社会全体に間接的な価値を提供」「寄付者・出資者に満足度（＋返礼）を提供」の 4 つの観点が挙げられる。

「運賃以外」の収入確保は、移動サービスを提供することで沿線に来訪者や居住者等を増加させ集客増を目指して収入を確保する「沿線に集客効果を提供」、車両スペースや広告枠等の余剰リソースを第三者に提供することで収入を確保する「第三者に余剰リソースを提供」の 2 つに分類できる。

他方、「営業外収益」については、公的資金を活用するような「社会全体に間接的な価値を提供」、寄付等により「寄付者・出資者に満足度（＋返礼）を提供」の 2 つに分類できる。

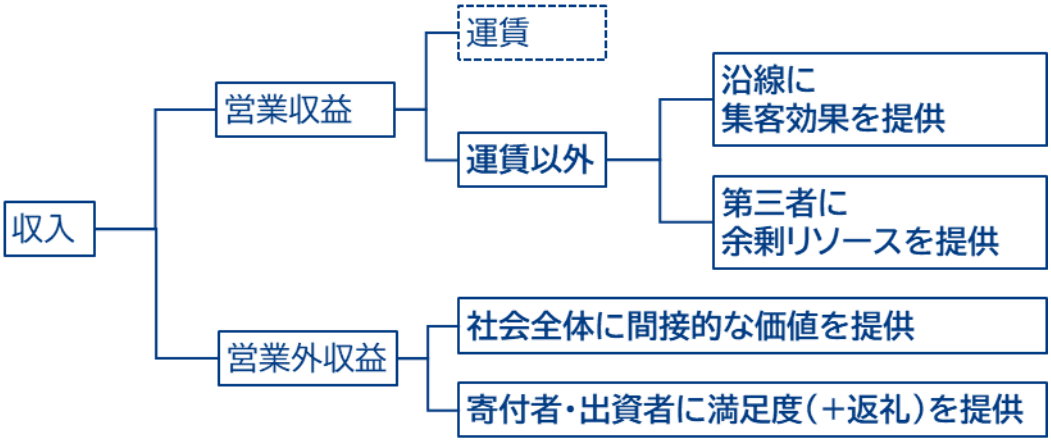


図 85　収入の分類

各分類の特徴はそれぞれ以下の通りであり、各地域の状況を踏まえ、複数の収入源を組み合わせつつ、収入確保の検討を行うことが重要である。

表 37　レベル 4 自動運転サービスが提供する価値とその特徴

No	収入を得るために レベル4自動運転サービスが提供する価値	特徴
1	沿線に集客効果を提供	モデルを構築することで、継続的な収入確保に繋がる
2	第三者に余剰リソースを提供	サービス主体によるマネタイズであり、個別事例毎の工夫が求められる
3	社会全体に間接的な価値を提供	他分野を含む補助金などの公共予算を活用する仕組みが求められる
4	寄付者・出資者に満足度（＋返礼）を提供	初期コストの確保が主であり、継続的な依存は望ましくない

各地域が自立して継続的に収入を確保していくためには、一時的な資金調達の方法は望ましくなく、継続的かつ価値提供により更なる発展を目指せる「沿線に集客効果を提供」や「第三者に余剰リソースを提供」といったサービス提供が望ましい。

3)　導入形態別の事業モデルの整理

■　実施事項と実施方法

図 85　収入の分類で整理した「営業収益／営業外収益」、「運賃／運賃以外」「社会全体に間接的な価値を提供／寄付者・出資者に満足度（＋返礼）を提供」の区分で整理した収入源の分類に基づき、コスト回収方法を整理した。

表 38　コスト回収方法の洗い出し

分類	コスト回収方法の例	コスト回収の概要
沿線に集客効果を提供	商業施設・観光施設	商業施設・観光施設利用客の運賃の全部あるいは一部を施設が負担。移動サービスがあることで沿線の来訪者増が期待される。
	勤務先	従業者の運賃の全部あるいは一部を勤務先が負担。移動サービスがあることで沿線の通勤者増が期待される。
	学校	学生の運賃の全部あるいは一部を学校が負担。移動サービスがあることで沿線の通学者増が期待される。
	自治会・管理組合	地元住民の運賃の全部あるいは一部を自治会・管理組合が負担。移動サービスがあることで沿線の居住者等増が期待される。
第三者に余剰リソースを提供	データ販売(★)	車両データ/周辺データの販売により収入を得るもの。車載カメラ/センサーで取得するデータの活用にも期待。
	広告	広告枠(車両・車内、バス停)を活用し収入を得るもの。顔認証システムとの連携も想定される。
	警備・パトロール(★)	移動体/車載カメラを活用し収入を得るもの。AIカメラや運転手により警備・パトロールを行う。
	貨客混載	車両内スペースを活用し、バスの乗客(客)と荷物(貨)を混載して運び、収入を得る。
	娯楽・エンタメ	車両内スペースを活用し、エンターテインメントを提供し収入を得る。自動運転そのものをエンターテインメント化することをも想定される。
	特典(福利厚生・クレカ等)	移動自体をコンテンツとして活用し収入を得る。企業の福利厚生やクレジットカードの特典により企業から運賃収入を得ることが想定される。
	実験環境提供(★)	フィールド(実証環境)を提供することで収入を得る。リソース(車両)の提供や実証場所(運行路線)の提供が想定される。
社会全体に間接的な価値を提供	道路交通環境改善	事故削減・路上駐車減少などに関する補助金を活用。
	環境負荷低減	マイカー利用減少などに関する補助金を活用。
	地域活性化・地域魅力向上	市街地活性化・観光促進などに関する補助金を活用。
	健康増進	外出頻度・歩行量増加などに関する補助金を活用。
寄付者・出資者に満足度(+返礼)を提供	ふるさと納税	ふるさと納税により収入を得る。魅力的なサービス提供等の工夫が必要。
	寄付(クラウドファンディング等)	クラウドファンディング等の寄付により収入を得る。応援したくなる魅力が必要。
	出資	出資による収入を得る。返済(利子を含む)が必要。

★：特に自動運転ならではと考えられる収入源

「沿線に集客効果を提供」については、商業施設・観光施設、勤務先、学校、自治会・管理組合といった、地元住民や企業との連携によるサービス提供とそれに伴うコスト回収が考えられる。

いずれも移動サービスの提供により集客効果が得られれば、継続的かつ発展的に収入を得ることが期待できる。

次に「第三者に余剰リソースを提供」については、車両データ等の運行に伴い取得するデータの販売や、車両の空きスペースや車両そのものを活用したサービス提供によるコスト回収が考えられる。車両のメンテナンスコストや魅力的なサービス提供等が必要であるが、企業等との連携体制の構築により、継続的かつ発展的に収入を得ることが期待できる。

一方で「社会全体に間接的な価値を提供」は補助金等の公的資金の投入を想定しているもの、「寄付者・出資者に満足度（＋返礼）を提供」は寄付や出資等により資金調達を行うことを想定しているものであり、一時的な資金調達である。

上記を踏まえ、収入を確保するアイデアのうち、「営業収益」に分類される収入源の方が、持続性が高い。特に、個人に依存せず、便益を享受する企業や施設との連携により、収入安定化が見込まれる。また、協調型システムとの連携アイデアとしては、協調型システムと連携した「データ販売」、車載カメラと連携した「警備・パトロール」、無人というメリットを活用した「24 時間運行、顔認証システムを活用した「企業・施設連携」が考えられる。

II. 維持管理のコスト負担・体制検討

■ 該当項目の背景と目的

混在空間においてレベル 4 自動運転サービスを事業化するためには、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、発生するコスト構造を網羅的に把握することや、これらのコストを回収するための収益確保、及び多角的な参加を促して、短期的事業性だけでなく金銭換算が容易でない社会的便益なども考慮し事業モデルを構築することが必要である。自動運転サービス導入事例は現時点でレベル 2～レベル 3 相当に留まっており、レベル 4 自動運転サービスを実地域において持続的に運営するための事業モデルについて、体系的に整理が成されることが必要である。

これらを踏まえ、混在空間におけるレベル 4 自動運転サービスの実現に向けて、インフラ連携やサービスの運行のために発生し得るコストと波及効果も含めた幅広い多角的な便益を網羅的に把握し、これらのコストを回収、またはコスト負担を分担して事業として成立させるための事業モデルのアイデアを取りまとめた。

■ 実施方針

図 74 で整理した導入形態別の事業モデルを実現するために必要な、事業実施体制・役割分担のパターンを整理し、事業モデル案を検討した。

地域内で連携するべきステークホルダー、ステークホルダー間の役割連携、想定する協調型システム、地域内で循環するデータと事業モデルの流れを包括的に整理した。

＜事業モデル実現に向けた実施体制・役割分担の観点＞

- 留意する観点
  - 事業継続のための地元で支える実施体制の構築
  - 事業モデル実現のための課題の整理
- 体制を構成するステークホルダー案
  - 自治体
  - デベロッパー
  - サービス事業者（広義の社会インフラ事業全般、多様な民間事業）
  - データ利用者
  - 新たなステークホルダーの可能性検討

■　実施事項と実施方法

(1)　既存モビリティサービスの事業モデルの調査

事業モデルの検討に資する情報を整理するため、以下の観点で選定した表 39 に示す 11 事例を調査した。

表 39　調査対象事例一覧

サービス導入形態	自動/手動	サービス形態	国内/海外	サービス概要
①オフィス・商業集積地での移動サービス	自動	バス	海外	中国深セン市・蘇州市における自動運転バス移動サービス(Q Craft)
	自動	バス	海外	中国深セン市における自動運転バス移動サービス(パンダバス)
②中心市街地活性化のための移動サービス	自動	バス	国内	茨城県境町の定常路線型/デマンド型の自動運転バス
③移動車両活用型サービス	手動	バス	国内	北海道帯広市のマルシェ機能付車両による路線バスの収益多角化
④移動時間有効活用のための移動サービス	自動	タクシー	海外	米国アリゾナ州フェニックスの自動運転タクシー
	手動	タクシー	国内	東京都内での0円タクシー
⑤学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービス	手動	バス	国内	佐賀県基山町の通勤・通学送迎サービス等の一体的運営
⑥住宅地でのラストワンマイル移動・物流サービス	手動	バス	国内	東京都目黒区自由が丘のコミュニティバス
⑦生活交通確保のための移動サービス	自動	カート	国内	道の駅「赤来高原」を拠点とした自動運転サービス
⑧観光地における回遊性向上移動サービス	自動	カート	国内	沖縄県北谷町の海岸沿い町有地通路での自動運転カート
	手動	バス	海外	米国ハワイ州のワイキキトロリーピンクライン(バス)

各事例について、ステークホルダー間の「モノ・情報・価値の流れ」と「カネの流れ」を公開情報に基づき整理し、協調型レベル 4 自動運転サービスの事業モデルへの示唆を導出した。

① オフィス・商業集積地での移動サービス

- 中国深セン市・蘇州市における自動運転バス移動サービス（Q Craft）

深セン市が初の有人自動運転バスの無料定期券を発行し、スタートアップの「QCraft」が運営しているサービスである。蘇州市では、9 人乗りのミニロボバスを 5 台投入して、正式運行を開始しており、中国内初の自動運転バスの常態化運営を実現している。自動運転バスの導入により、深セン市・蘇州市における対象地域住民の移動増加や将来的な地域経済活性化が期待される。

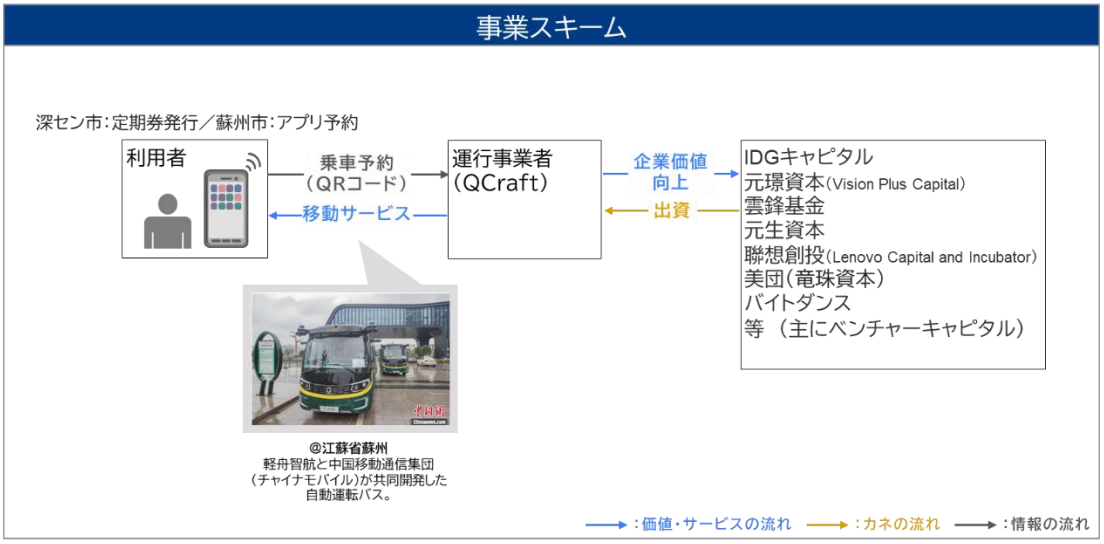


図 86　中国深セン市・蘇州市における自動運転バス移動サービス（Q Craft）

- 中国深セン市における自動運転バス移動サービス（パンダバス）　【実証実験】

深セン市坪山区の 12km 区間を運行しており、乗客は WeChat のプログラムを起動することで乗車予約が可能である。坪山区はファーウェイと 5G による無人運転技術の実証実験を行う契約も行っている。自動運転バスの導入により、深セン市（坪山駅周辺）における対象地域住民の移動増加や将来的な地域経済活性化が期待される。

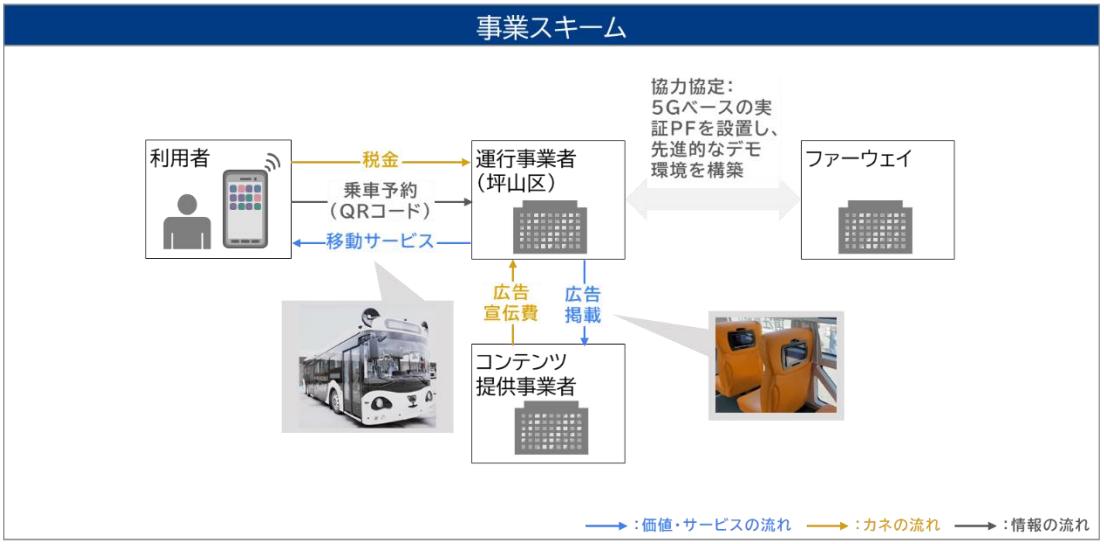


図 87　中国深セン市における自動運転バス移動サービス（パンダバス）　【実証実験】

協調型レベル 4 自動運転サービスにおいては、車両が通信機能を有するため、乗客が持つスマートフォン等のデバイスと連携した運行管理・予約サービス等の導入が想定される。また、車内

安全管理のためにカメラを設置することも想定され、画像認識技術を活用することで乗客の属性を詳細に把握できる可能性が高い。

このような特徴を踏まえると、費用対効果の高いターゲティング広告等の親和性が高く、広告収入を活用した事業モデルも有効と考えられる。

② 中心市街地活性化のための移動サービス

- 茨城県境町の定常路線型/デマンド型の自動運転バス

日本で初めて公道を運行した無料の自動運転バス（有人）である。BOLDLY の支援のもと、運賃収入や補助金に頼らない持続可能な事業モデルの構築を目指している。運賃無料のオンデマンド自動運転バスにより、利用者の移動促進が期待される。

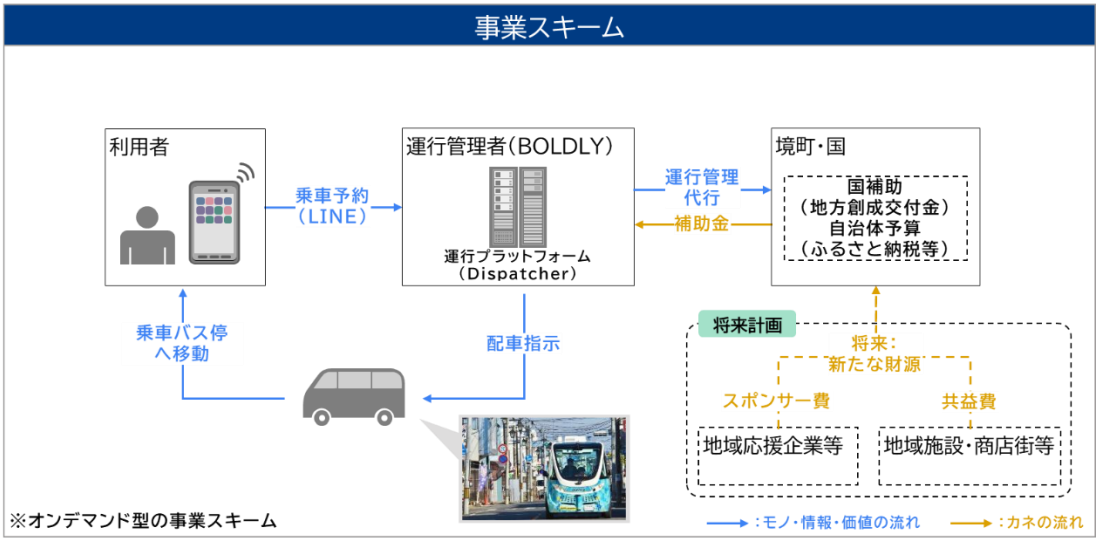


図 88　茨城県境町の定常路線型/デマンド型の自動運転バス

導入初期段階においては、必要に応じ国や自治体の補助金を活用しつつも、地域応援企業からのスポンサー費や地域施設・商店街等からの共益費として持続的に収入源を確保することができれば、地域交通の維持により中心市街地の活性化に繋がり、結果的に地域施設・商店街の維持にも繋がる、好循環の事業モデルが期待される。

③ 移動車両活用型サービス

- 北海道帯広市のマルシェ機能付車両による路線バスの収益多角化　【実証事業】

通常のバスを改造し、マルシェ機能（商品などの販売機能）を付与した路線バスを運行する実証事業である。交通事業者の収益多角化・事業性改善効果、住民の受容性について検証を行っている。マルシェ機能付車両の路線バスにより、買い物困難者の負担軽減、地元店舗の活性化が期待される。

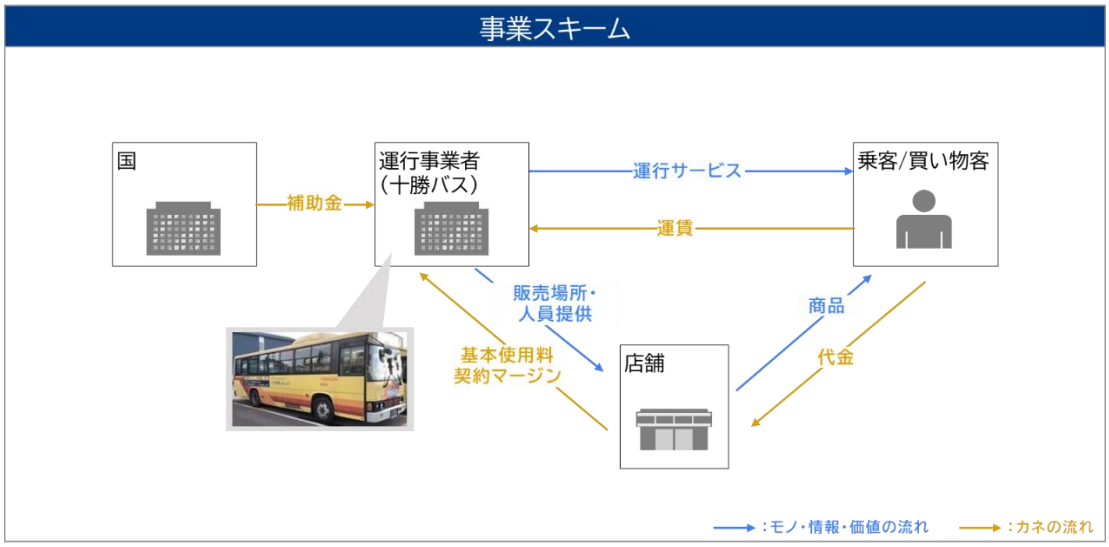


図 89　北海道帯広市のマルシェ機能付車両による路線バスの収益多角化　【実証事業】

移動サービス車両の余剰スペースを活用し、乗客向けの多様なサービスを付与させることで、運賃以外の収益多角化に繋がるほか、地域住民や地元店舗にとってもメリットのある事業モデルを成立できる可能性がある。

④ 移動時間有効活用のための移動サービス

- 米国アリゾナ州フェニックスの自動運転タクシー

商用化済みの自動運転タクシーサービスであり、一部地域ではセーフティスタッフ不在で運行している。資金調達とあわせ、サービスエリアの拡大など事業拡大を推進している。自動運転タクシーサービスにより、対象地域住民の移動増加や将来的な地域経済活性化が期待される。

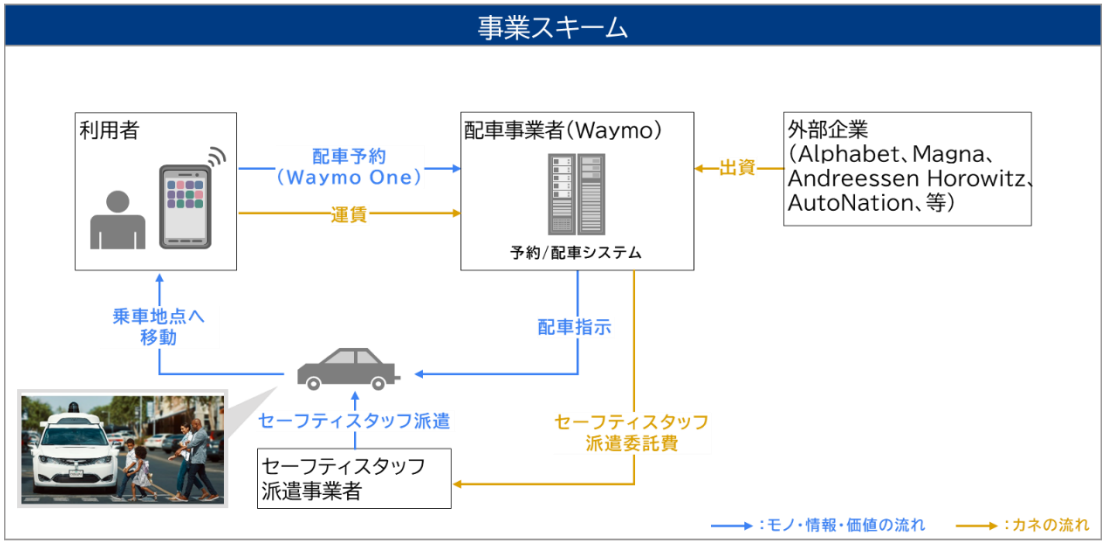


図 90　米国アリゾナ州フェニックスの自動運転タクシー

レベル 4 自動運転によりプロドライバー不要となると、人手不足の解消、サービスエリアの拡大に繋がる可能性がある。一方、遠隔監視や駆け付けに対応できるスタッフが必要になることも想定されるため、安全な移動サービス実現と効率的な事業モデル成立の両立が必要と考えられる。

- 東京都内の 0 円タクシー

東京都内を期間限定で運行する、広告ラッピングを施した 0 円タクシーである。スポンサー企業が支払う広告宣伝費で乗車料金を賄う事業モデルである。東京都内における 0 円タクシーにより、都心の経済活性化、スポンサー企業の商品の購買増加等が期待される。

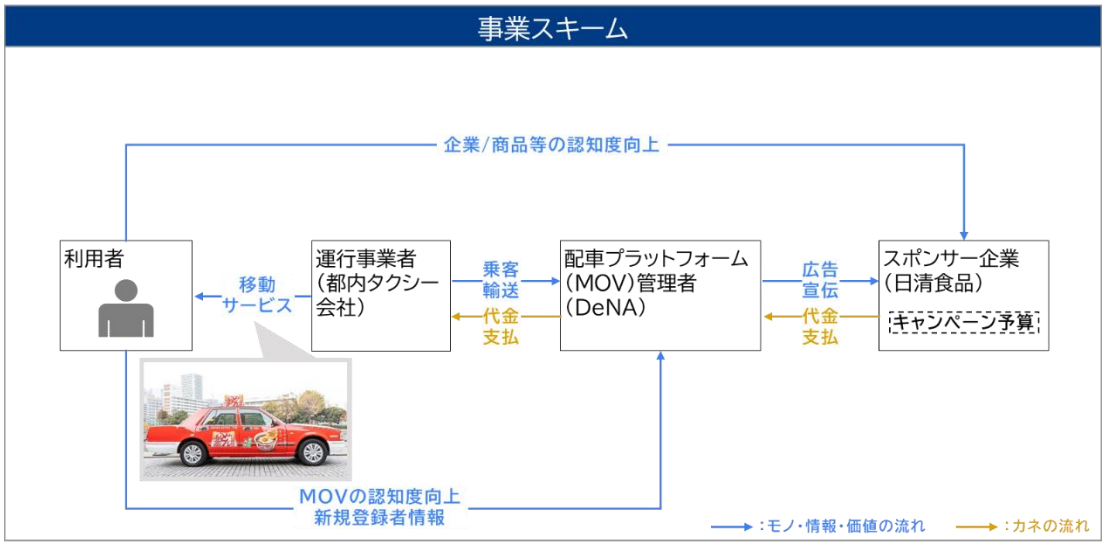


図 91　東京都内の 0 円タクシー

本事例は話題性の高い期間限定の取組みであり、横展開可能性や持続性については検証が必要だが、広告収入を中心とした事業モデル成立の可能性を示唆するものであると考えられる。

⑤ 学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービス

- 佐賀県基山町の通勤・通学送迎サービス等の一体的運営　【実証事業】

コミュニティバスに代わり、「高頻度シャトルバス」と「オンデマンド交通」を組み合わせたモビリティサービスを導入した実証事業である。他モビリティ活用により収益向上等の効果が期待できる事業・施設と連携（貨客混載等）した際の相乗効果も検討されている。「高頻度シャトルバス」「オンデマンド交通」を組み合わせた貨客混載等の移動サービスにより、地域利用者の移動促進や、地元農業の活性化が期待される。

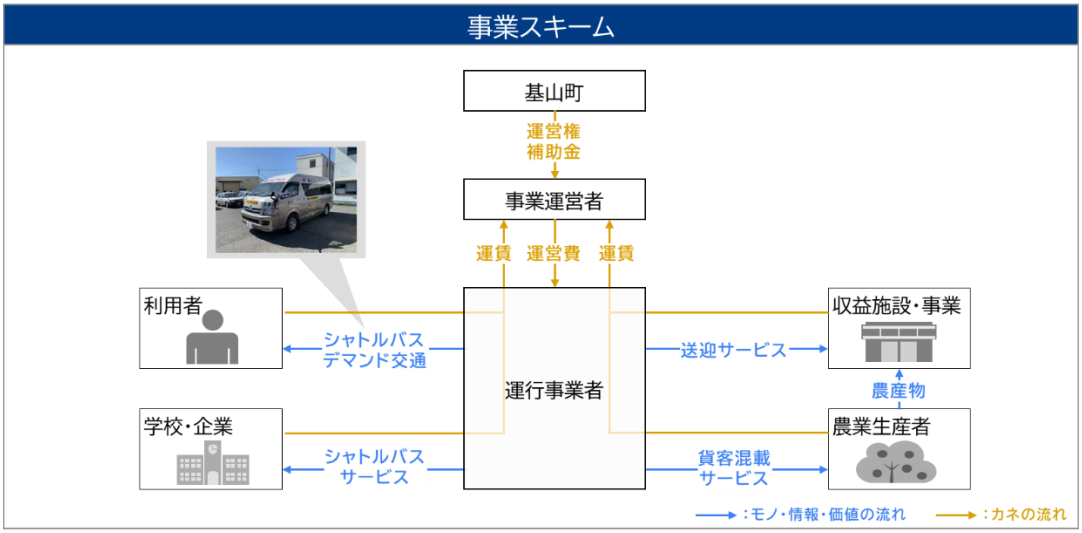


図 92　佐賀県基山町の通勤・通学送迎サービス等の一体的運営　【実証事業】

通勤需要や通学需要は時間帯によるピークの差が大きく、朝夕以外の時間帯は需要が低くなる場合が多い。一方、無人自動運転が実現した場合、ドライバーレスで常時のサービス提供が可能となる。時間帯によって、通勤・通学の送迎、各種施設の送迎、貨物搬送など、用途を切り替えることで、車両の有効活用による収益向上が期待できる。

⑥ 住宅地でのラストワンマイル移動・物流サービス

- 東京都目黒区自由が丘のコミュニティバス

自由が丘を巡回する、無料の路線バスである。補助金に頼らず、沿線の企業、組合、大学などによるサポーター会費で運行を継続している。地域の無料の路線バスにより、サポーター企業の利用増加や地域経済の活性化が期待される。

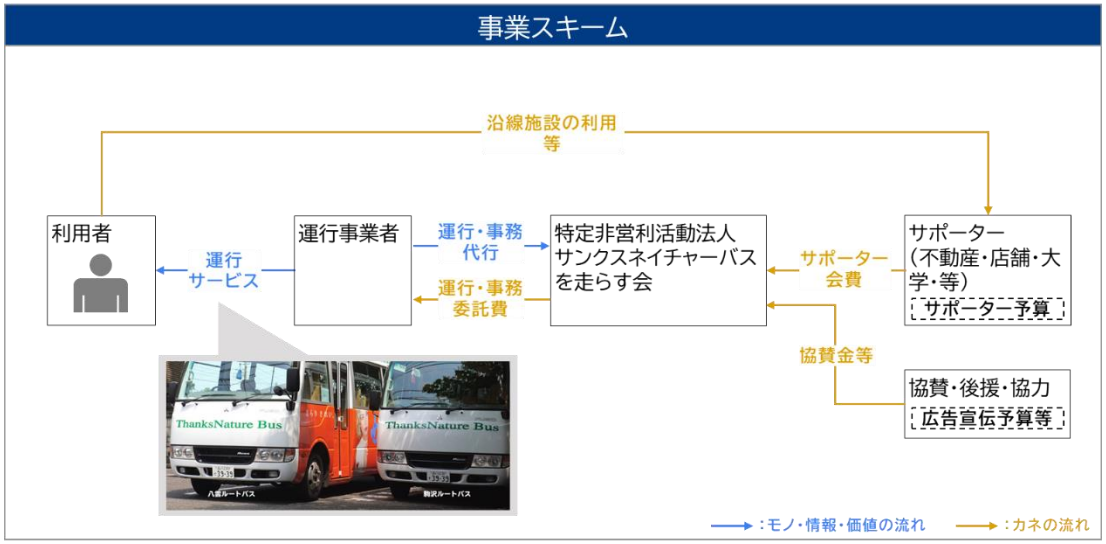


図 93　東京都目黒区自由が丘のコミュニティバス

地域の特性に応じ、沿線施設等がサポーターや協賛・後援・協力者となって運行費を拠出し、ユーザーの施設利用を促進する形の事業モデルも有効と考えられる。

⑦ 生活交通確保のための移動サービス

- 道の駅「赤来高原」を拠点とした自動運転サービス

「道の駅」等を拠点とした自動運転サービス社会実装の実現を目指す取組みの一環として実証実験を実施してきた取組みであり、2021 年 10 月より本格運用が開始している。

高齢者の生活移動を支援し、外出頻度の向上や利用促進等での運賃収入を見込んでいるほか、地域事業者（商店等）と連携した運送サービス等による事業収入を見込んでいる。

また、地域住民等のボランティアを活用することで、地域で育む自動運転サービスに取り組み、コスト縮減も図っている。

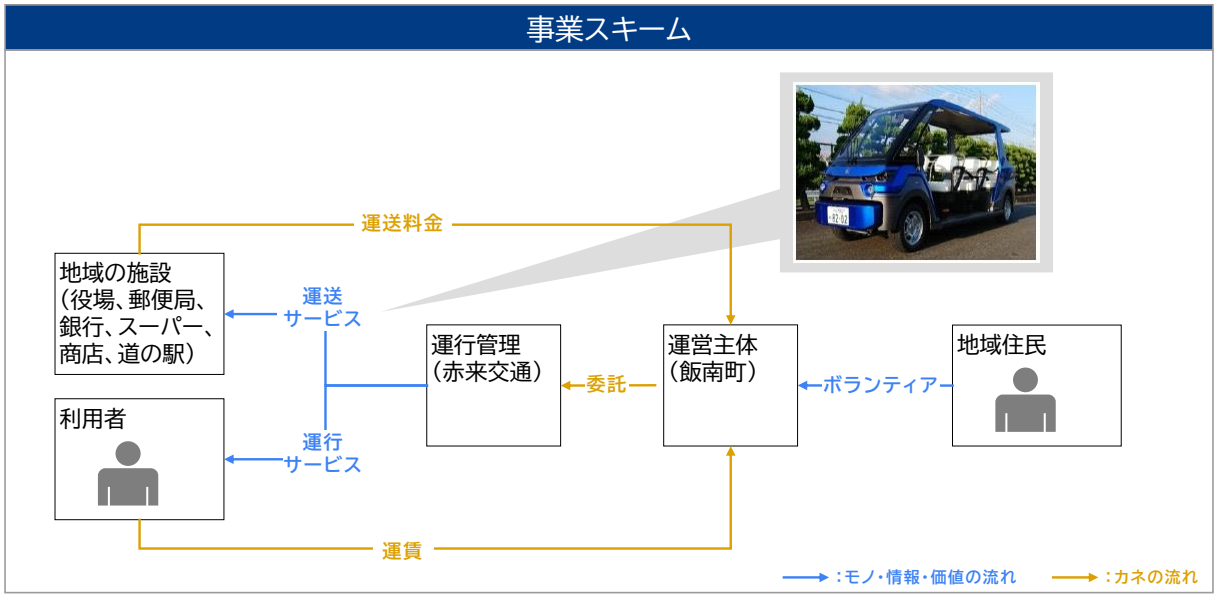


図 94　道の駅「赤来高原」を拠点とした自動運転サービス

郊外・過疎地域では、生活交通の確保が喫緊の課題であり、地元施設への運送サービス提供や、ボランティア活用等により、地元住民の生活移動を支援する事業モデルが必要と考えられる。

⑧ 観光地における回遊性向上移動サービス

- 沖縄県北谷町の海岸沿い町有地通路での自動運転カート

観光客を主な対象とした、海岸線沿いの歩車混在空間を巡回する自動運転カート（有人）である。運賃は無料であり、広告宣伝費で賄う事業モデルである。観光地を走る自動運転カートにより、観光客の利便性向上や、将来的な観光地としての魅力向上が期待される。

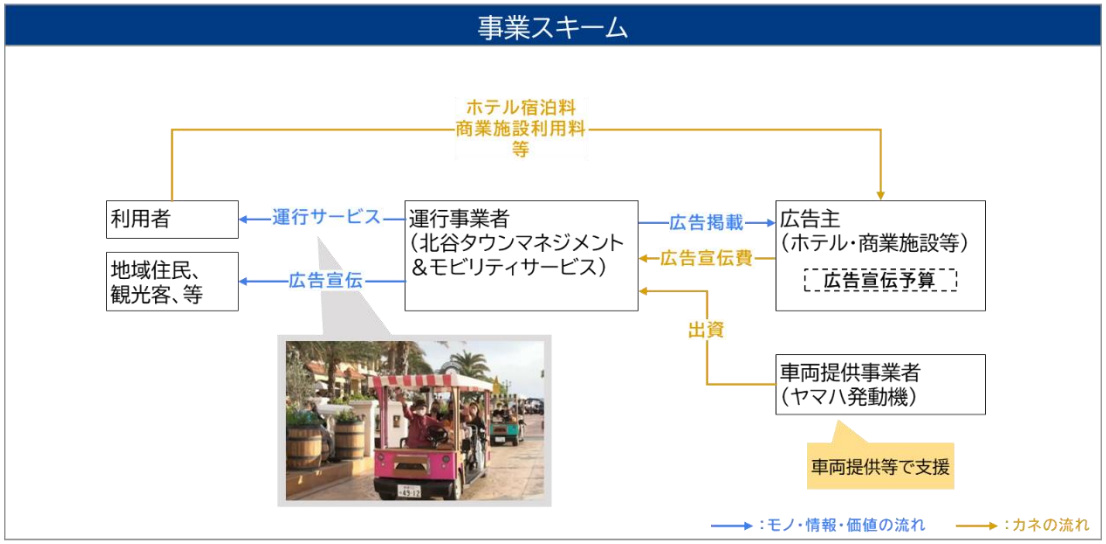


図 95　沖縄県北谷町の海岸沿い町有地通路での自動運転カート

観光客は消費・消費意欲が比較的高いと考えられるため、広告宣伝効果も高いことが想定される。また、移動サービス導入によるアクセス性の向上で、沿線観光施設は来訪客増加も見込める。観光地においては、沿線施設等からの広告収入を主とした事業モデルが成立しやすい可能性が考えられる。

- 米国ハワイ州のワイキキトロリーピンクライン（バス）

ハワイ州ワイキキエリア周辺を運行する、通常は有料の路線バスである。キャンペーン期間（2009 年 4 月 1 日～2022 年 3 月 31 日）において、乗車時にクレジットカードの JCB カードを提示すると、無料で利用することが可能である。無料（JCB カード所持者向け）の路線バスにより、地域経済の活性化、カードの保有・利用促進が期待される。

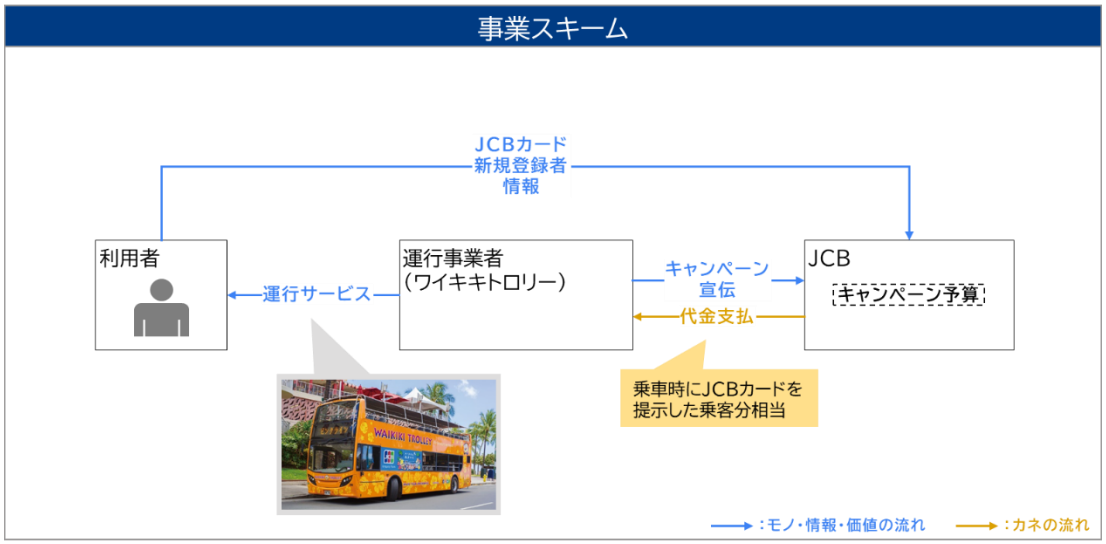


図 96　米国ハワイ州のワイキキトロリーピンクライン（バス）

クレジットカードや企業向け福利厚生サービス等の特典として移動サービスを位置づけることで、利用者からの運賃収入に依存せず、第三者から安定的に収入を確保できる可能性が考えられる。

(2)　事業モデル案の検討

1－2. II. 図 74 に示した整理方針に基づき、事業モデル案の一般化を行った。モデル地域である豊洲・柏の葉・藤沢の知見（下図の①⑤⑥）及び机上検討成果（下図の②⑦⑧）の 6 パターンについて事業モデル案を検討した。なお、③④（下図）は固定ルートではなく、実現時期が遅いと考えられるため除外した。

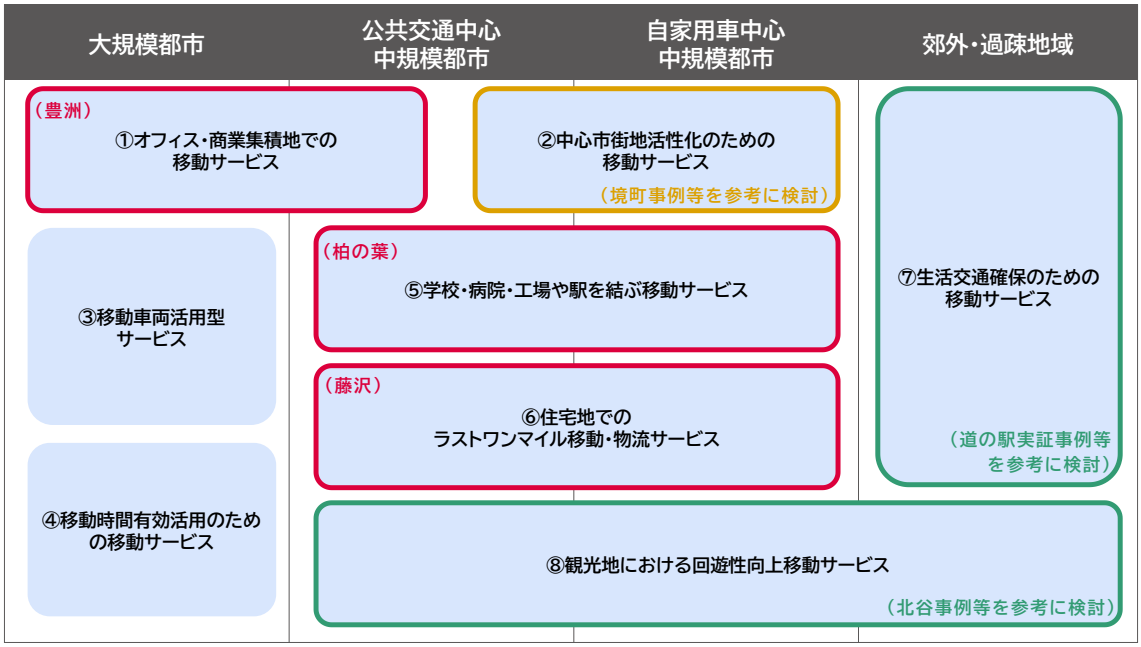


図 97　地域類型に基づいた事業モデル案の検討

事業モデル案の検討にあたっては、ステークホルダー間での「サービスの流れ」と「お金の流れ」を示し、スキーム図としての整理を行った。

また、6 パターンの事業モデル案に共通して、下記の前提を置いた。

【事業モデル案の検討における共通前提】

- 協調型レベル 4 自動運転は、「協調システムサプライヤ」「自動運転システムサプライヤ」「自動運転車両メーカー」の技術的な連携により実現する
- 単一プレイヤーがスキーム図上の複数ボックスを兼ねて担う場合あり

検討した事業モデル案を次頁以降に示す。

① オフィス・商業集積地での移動サービス

- 送迎サービス

建設会社や施設オーナーが主導して、テナント賃料を主な収入源として協調システムを整備し、公道だけでなく敷地内の私道も含めてレベル 4 自動運転を実現する。

実現に向けた課題としては、レベル 4 自動運転サービスによる施設付加価値向上を、テナント賃料に反映させられるかという点が挙げられる。

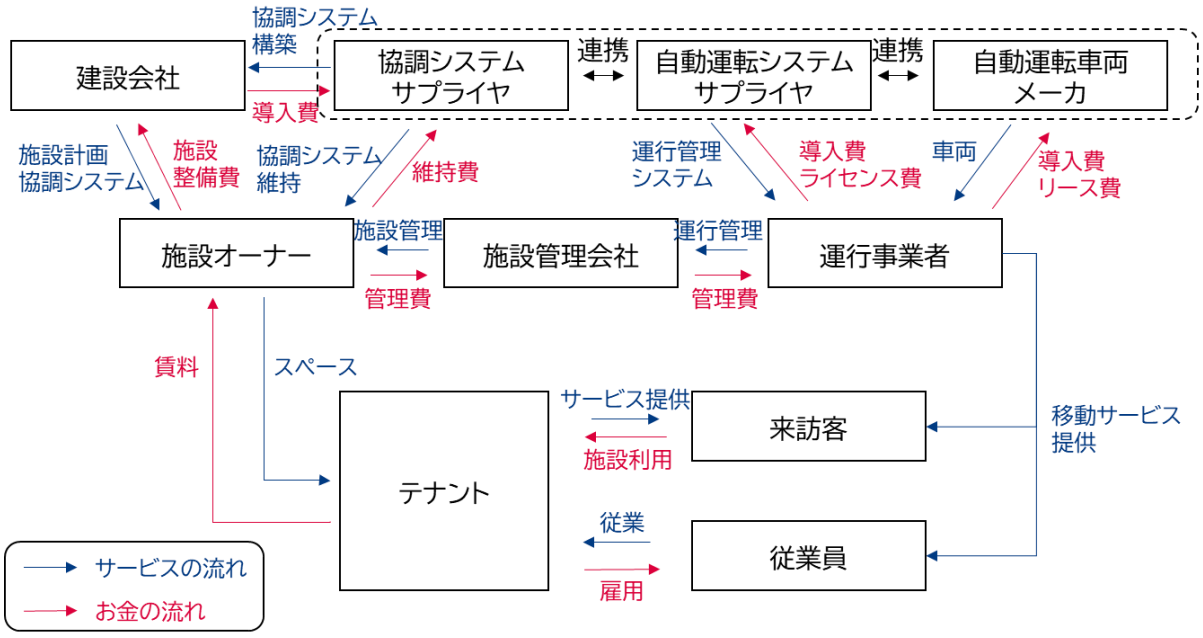


図 98　「オフィス・商業集積地での移動サービス」の事業モデル案スキーム図

- 域内配送サービス

大規模施設等において、域内配送でのレベル 4 自動運転を実現する。配送依頼者が支払う配送料、テナントが支払う賃料による運営を想定する。

実現に向けた課題としては、自動駐車サービスに魅力を感じるユーザーを獲得できるかという点が挙げられる。

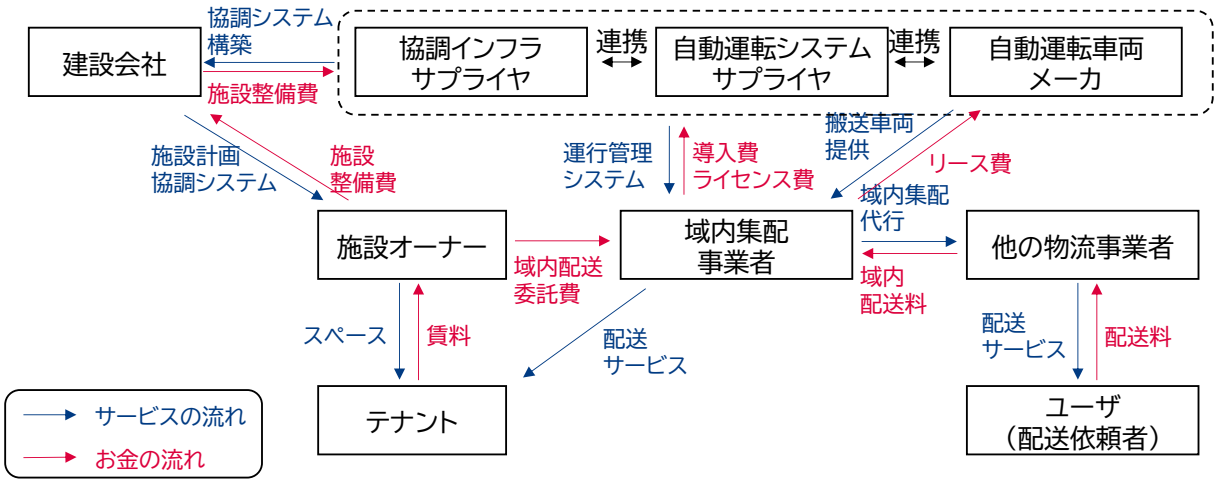


図 99　オフィス・商業集積地での移動サービス（域内配送サービス）の事業モデル案スキーム図

② 中心市街活性化のための移動サービス

自治体が主導して、多様な方策を組み合わせて確保する収入源で協調システムを整備し、レベル 4 自動運転を実現する。

実現に向けた課題としては、自治体の収入確保方策（自動運転サービスが地域にもたらす各種波及効果の財源化）が挙げられる。

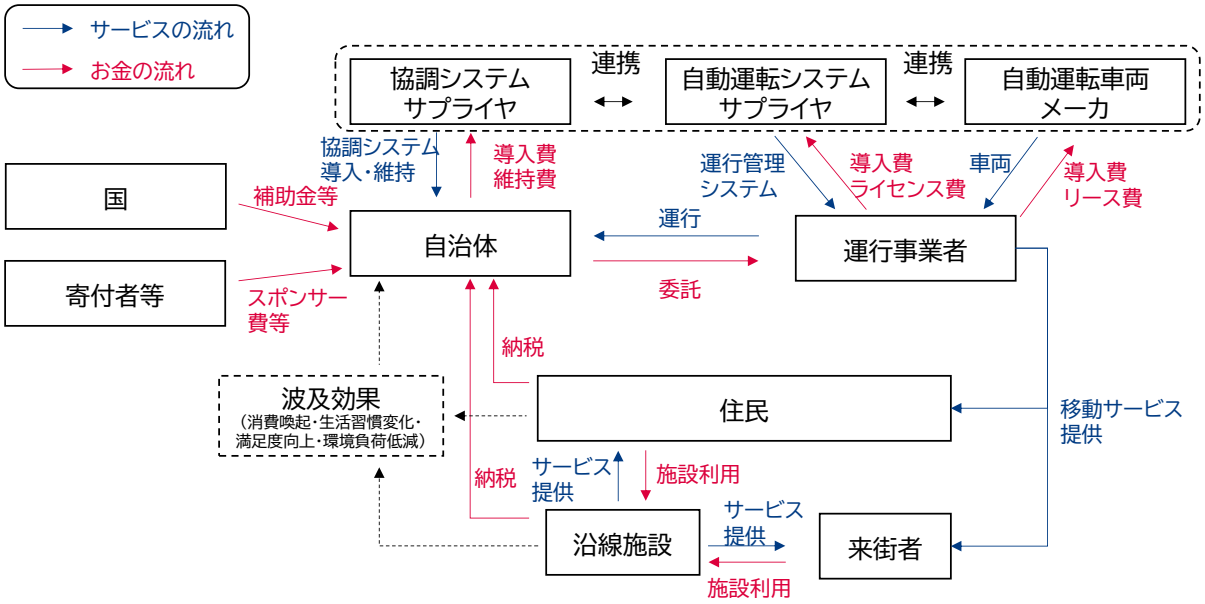


図 100　中心市街地活性化のための移動サービスの事業モデル案スキーム図

③ 学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービス

沿線大規模施設が主導して、施設利用増加やインフラ連携データ販売等を収入源に協調システムを整備し、レベル 4 自動運転を実現する。

実現に向けた課題としては、データ販売ビジネスの収益性確保が挙げられる。

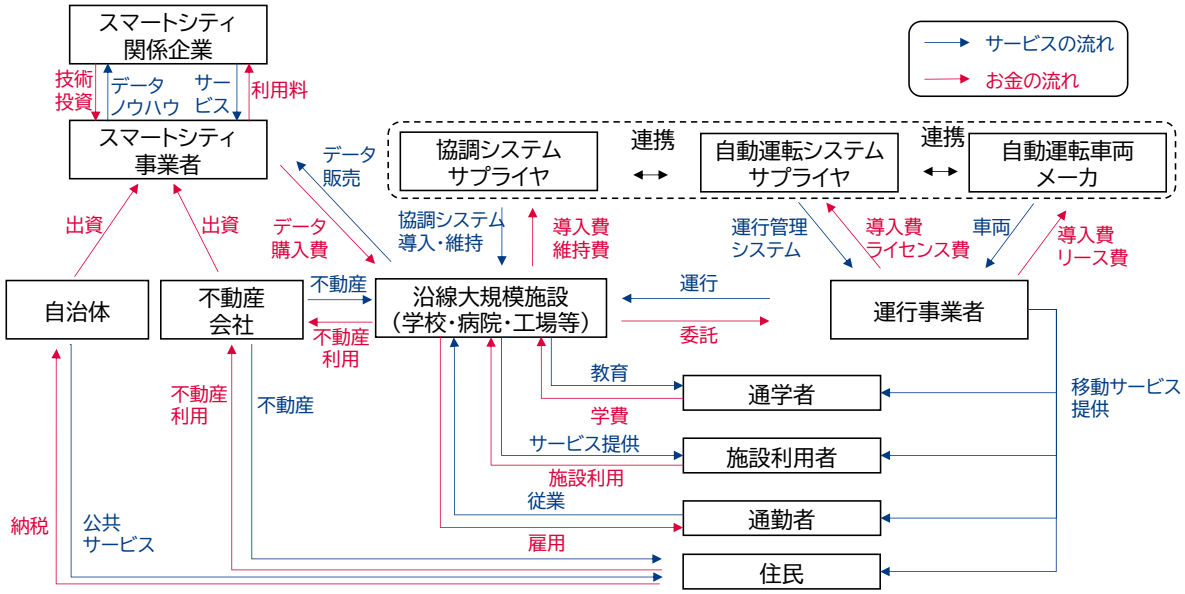


図 101　学校・病院・工場や駅を結ぶ移動サービスの事業モデル案スキーム図

④ 住宅地でのラストワンマイル移動・物流サービス

不動産会社やタウンマネジメント事業者が主導して、住民からの管理費等を収入源に協調システムを整備し、レベル 4 自動運転による移動サービスや物流サービスを実現する。

実現に向けた課題としては、協調システムによりサービス提供エリアを拡大した場合における住民によるサービス利用を促進、タウンマネジメント事業者以外が主導する形での事業モデルの構築可能性が挙げられる。

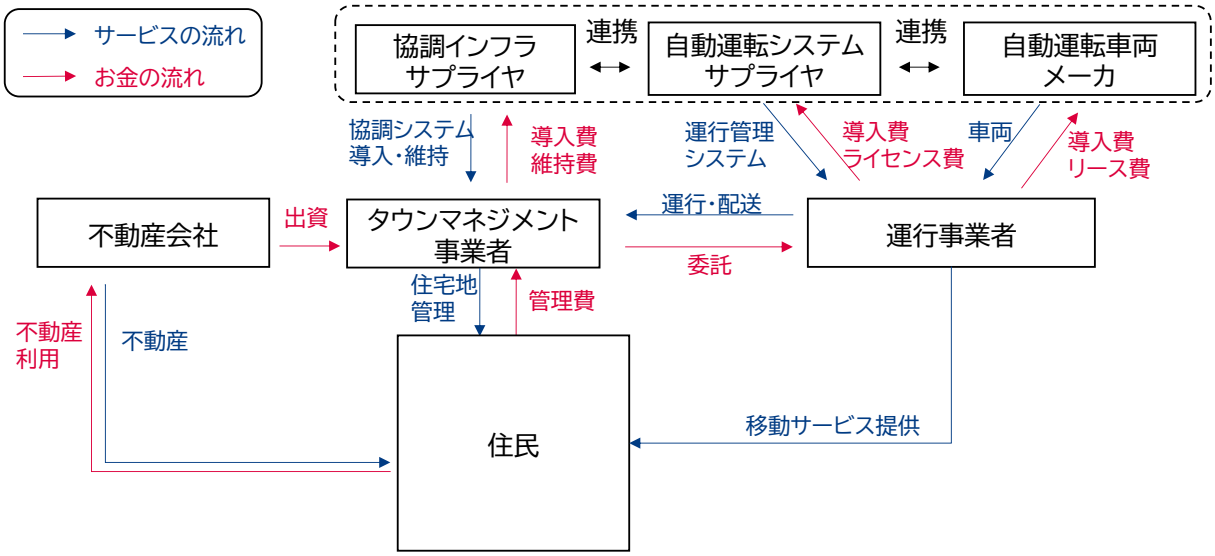


図 102　住宅地でのラストワンマイル移動サービスの事業モデル案スキーム図

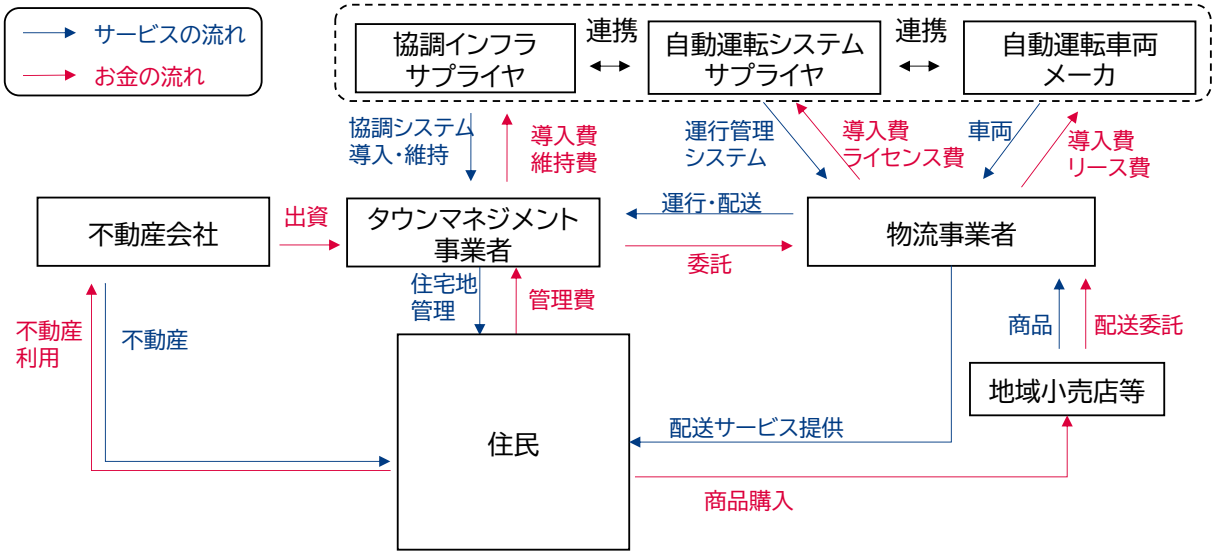


図 103　住宅地でのラストワンマイル物流サービスの事業モデル案スキーム図

⑤ 生活交通確保のための移動サービス

自治体が主導して、多様な方策を組み合わせて確保する収入源で協調システムを整備し、レベル 4 自動運転を実現する。

実現に向けた課題としては、自治体の収入確保方策（自動運転サービスが地域にもたらす各種波及効果の財源化）、住民ボランティア（有償／無償）の活用可能性が挙げられる。

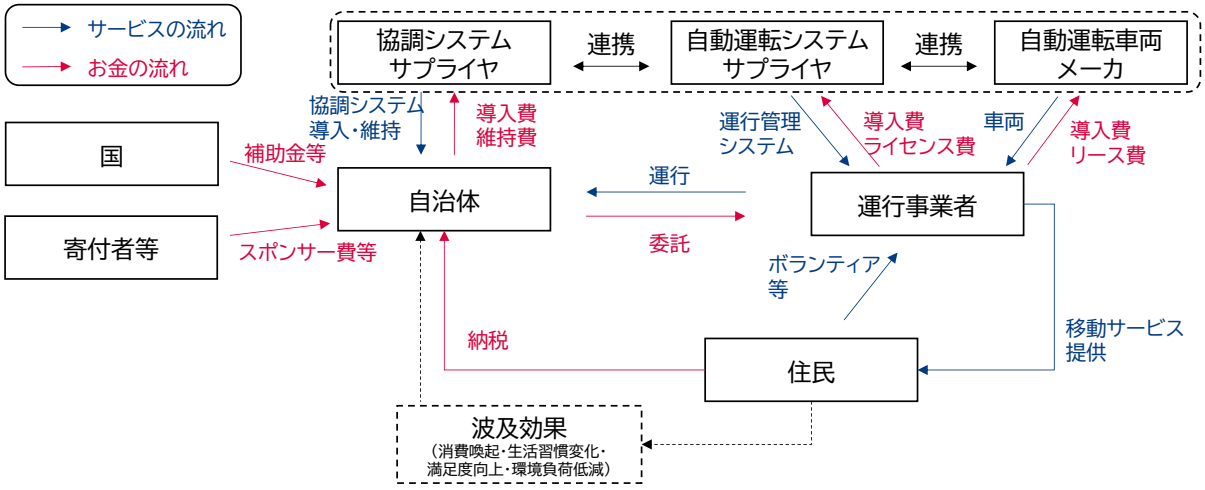


図 104　生活交通確保のための移動サービスの事業モデル案スキーム図

⑥ 観光地における回遊性向上移動サービス

タウンマネジメント事業者が主導して、ホテル・観光施設の広告料・スポンサー料を収入源に協調システムを整備し、レベル 4 自動運転を実現する。

実現可能性に向けた課題としては、多様な収入確保方策の検討、タウンマネジメント事業者以外が主導する形での事業モデルの検討が挙げられる。

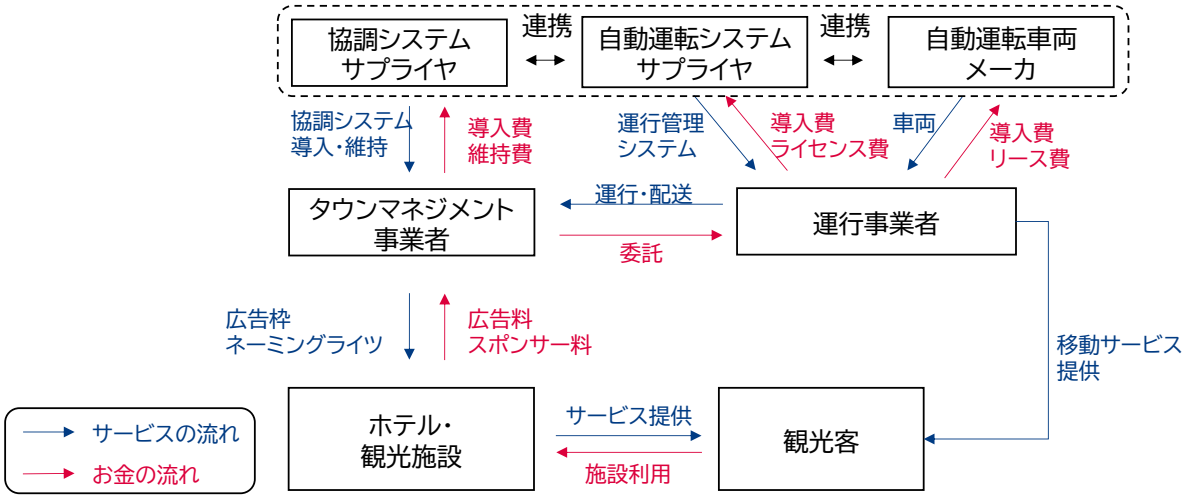


図 105　観光地における回遊性向上移動サービスの事業モデル案スキーム図

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＞

- モデル地域における自動運転に関する取組の整理
- 自動運転レベル 4 の一般的な事業モデルを、各モデル地域に当てはめた際の具体的なユースケースの検討

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)　モデル地域の基礎データ収集

■　該当項目の背景と目的

1-3 では、1-1・1-2 で検討した一般的な事業モデルを、各モデル地域の特性を前提とした具体的なユースケースに当てはめて検討を実施する。その前提として、各地域各々が持つ地域としての特色や、スマートシティのコンセプト・全体像等を整理する。

■　実施方針

各地域での交通量調査や、パーソントリップ調査を元に、各地域の基本的な人工等のデータを整理する。また、スマートシティのコンセプト・全体像を取りまとめるにあたっては、自動運転に限らない広い範囲での情報を取りまとめる。

■　実施事項と実施方法

(1)　柏地域

柏の葉地域は、秋葉原と筑波研究学園都市間に 2005 年に開通したつくばエクスプレス(以下 TX)柏の葉キャンパス駅から柏たなか駅一帯にかけての開発地区とその周辺エリア（約 13 平方キロ）である。千葉県柏市の北西部にあたり、都心 30 キロ圏に位置する首都圏の郊外地域である。TX の開通により秋葉原と約 30 分で結ばれ、沿線では、鉄道整備と一体となった土地区画整理事業を軸に、大規模なまちづくりが進められている。

道路網は常磐自動車道柏 IC に隣接し、国道 16 号線が主要な道路網として位置しており、柏市の中央、何部地域や東京へアクセス可能となっている。

エリア内には、県立柏の葉公園、東京大学、千葉大学、国の研究所など、様々な施設が立地しており、柏の葉地域を特徴づける大きな要素となっている。

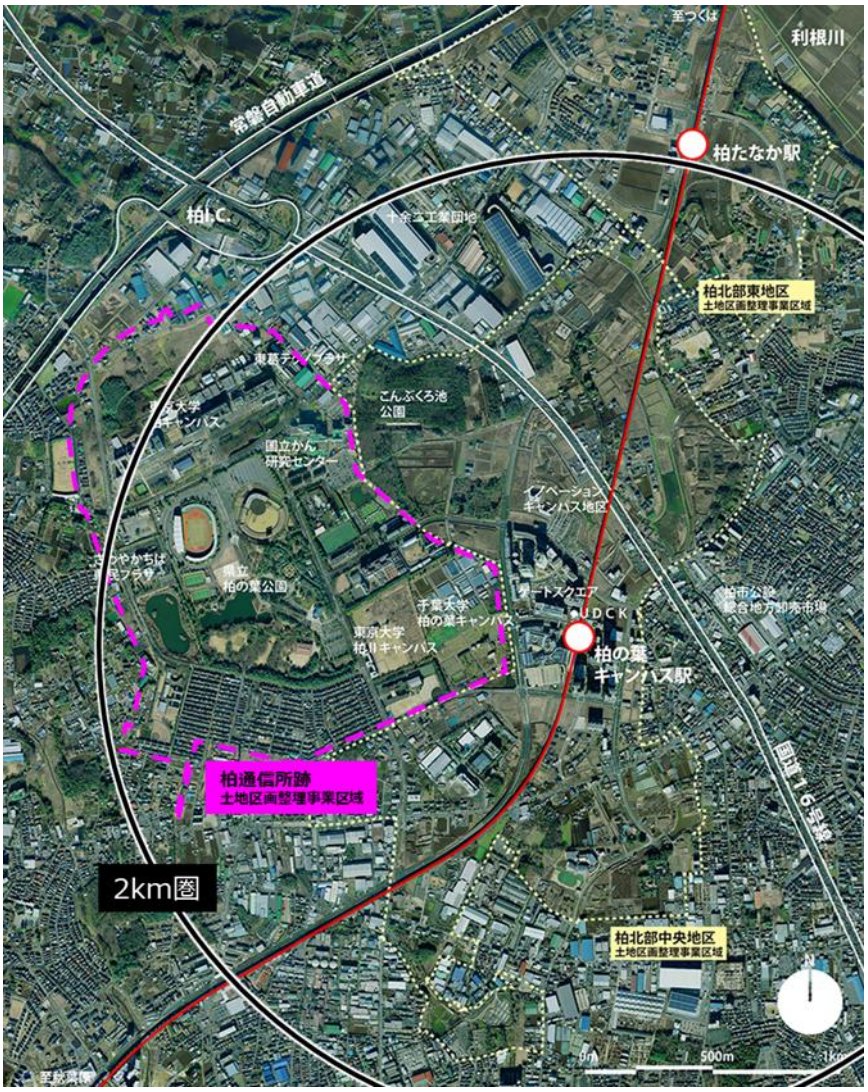


図 106　柏の葉地域の航空写真

1. 柏の葉地域の状況

(a) 人口の推移

柏の葉地域（正連寺、若柴、柏の葉、十余二）の人口は、TX が開業した平成 17 年以降、約 2.3 倍に増加している。特に、ららぽーとが進出した若柴地区では、人口が約 6.3 倍と大幅に増加している。また、柏の葉地域の高齢化率は年々上昇傾向にあり、令和 3 年の高齢化率は約 18%となっている。地区別に高齢化率の推移をみてみると、正連寺、柏の葉、十余二地区で高齢化率が増加している一方で、若柴地区ではほぼ横ばいで推移している。

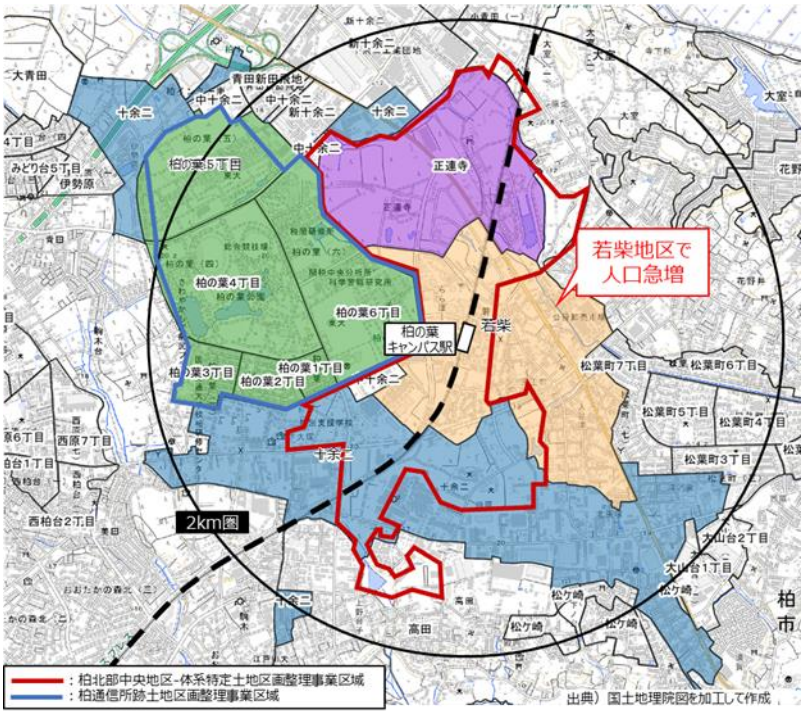


図 107　柏の葉地域の区域指定

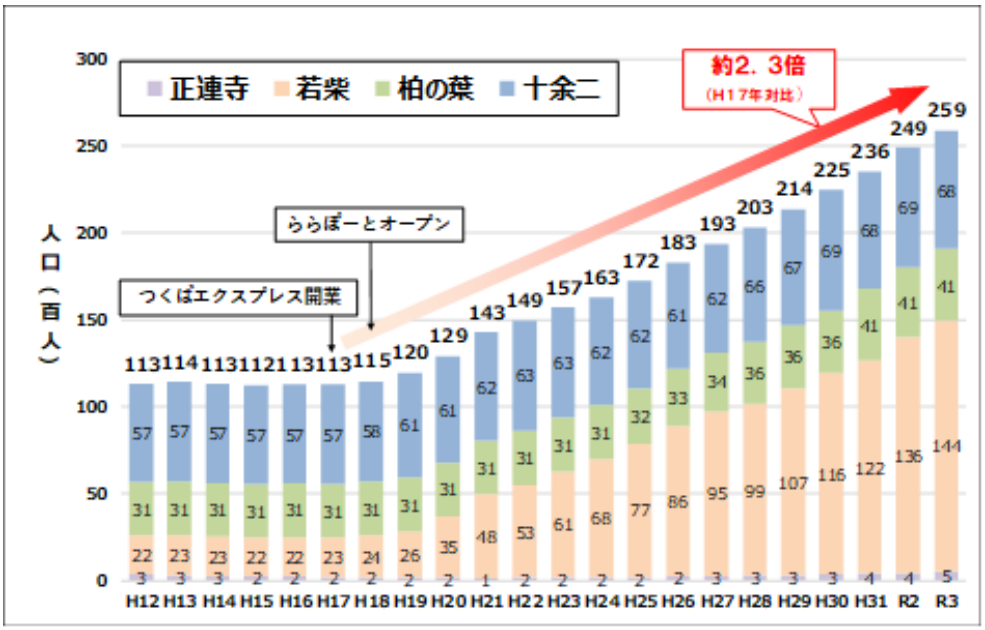


図 108　柏の葉地域の地区別人口推移

出所：柏市住民基本台帳人口（各年 4 月）より作成

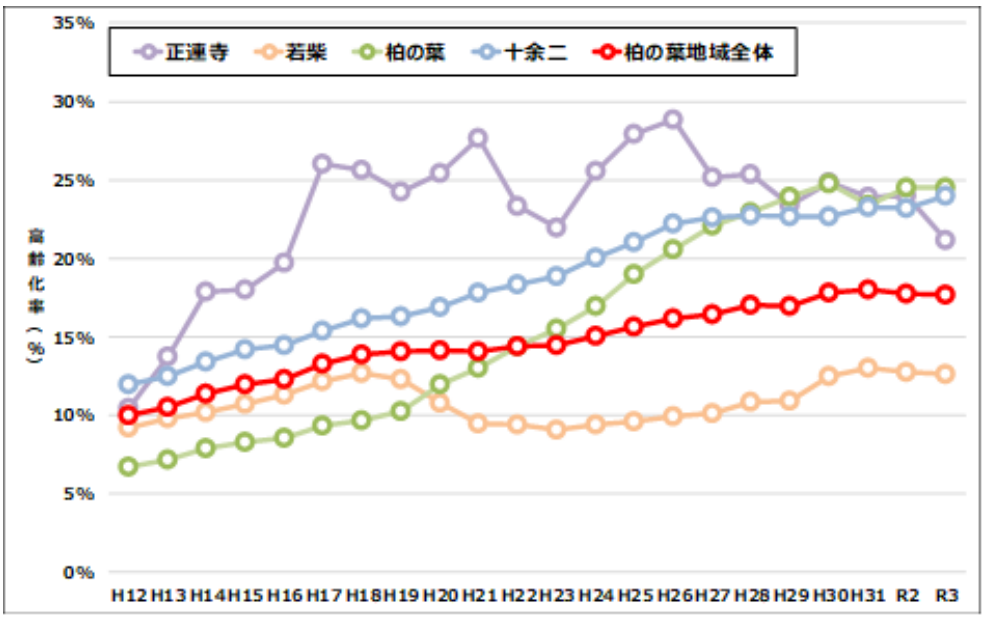


図 109　柏の葉地域の地区別高齢化率推移

出所：柏市住民基本台帳人口（各年 4 月）より作成

柏の葉地域（柏北部中央地区）の世帯構成を見てみると、世帯数は増加傾向にある、令和 3 年では約 5，000 世帯であり、そのうち約 2 割が 65 歳以上の居住者を含んだ世帯である。また、世帯構成を見ると「夫婦と子のみ」の世帯が多く、「三世代世帯」が次いで多い状況となっている。

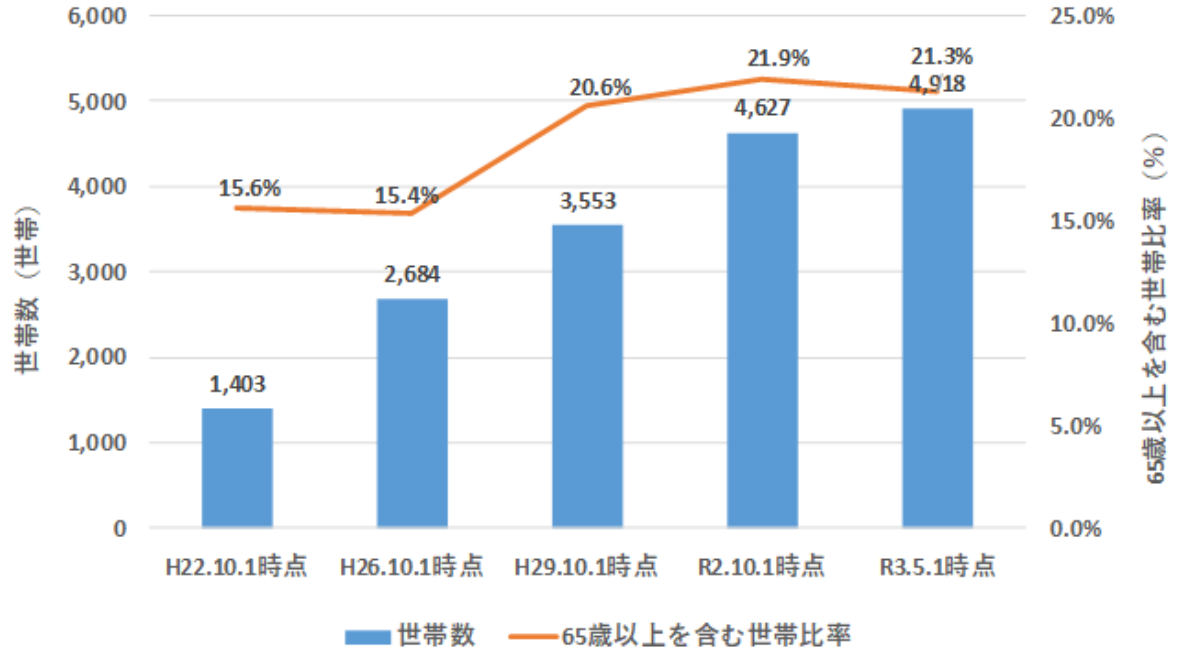


図 110　柏北部中央地区における世帯数及び 65 歳以上居住世帯数の推移

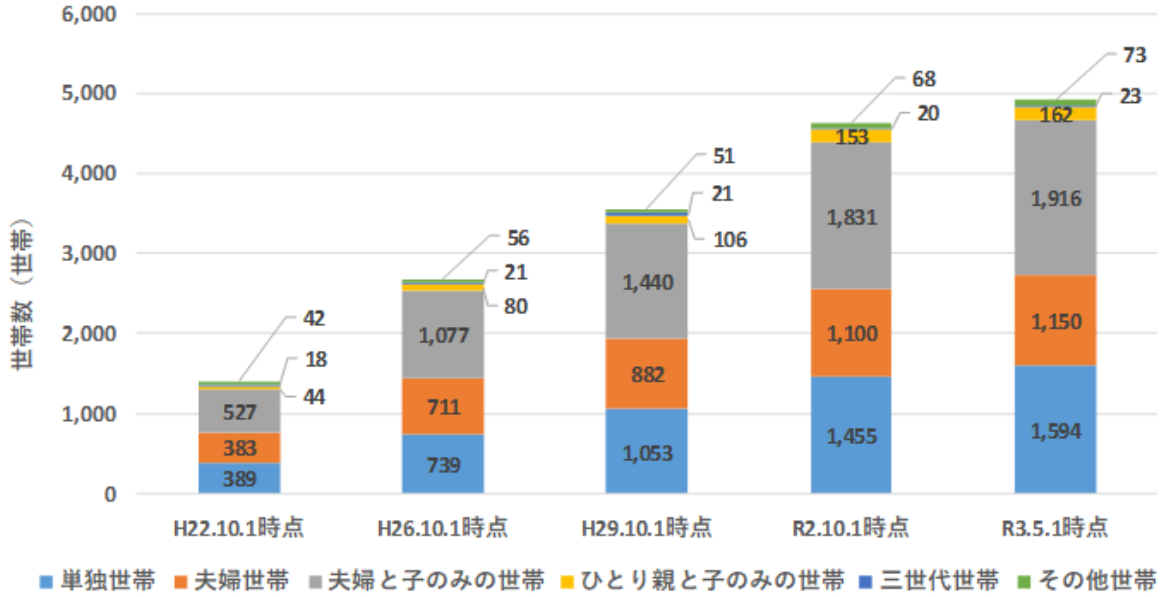


図 111　柏北部中央地区における世帯構成の推移

柏の葉地域（柏北部中央地区）の人口予測及び世帯数予測を見ると、人口では令和 20 年にかけて増加傾向にあり、令和 20 年には約 2.5～2.6 万人規模の人口になると予測している。

また、世帯数は人口の増加と合わせて増加傾向にあり、令和 20 年には約 1 万世帯になると予想されている。

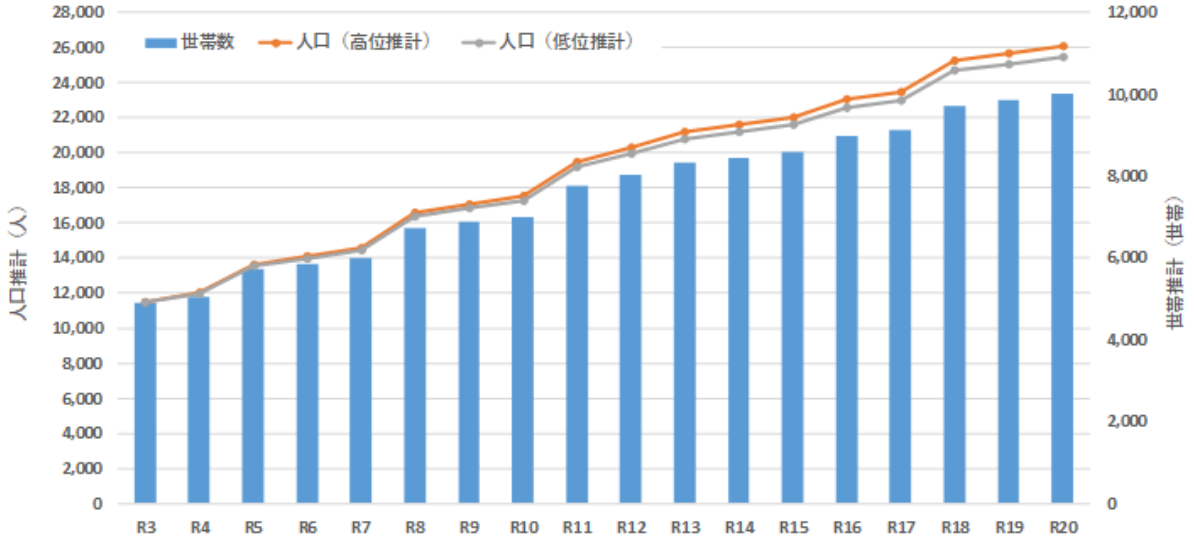


図 112　柏北部中央地区における人口及び世帯数の推計

(b) 土地利用状況

柏の葉地域の土地利用状況は、柏の葉キャンパス駅の西側は東京大学、柏の葉公園が多くの土地を占めている。一方、東側は住宅用地や商業用地が占める割合が高くなっている。

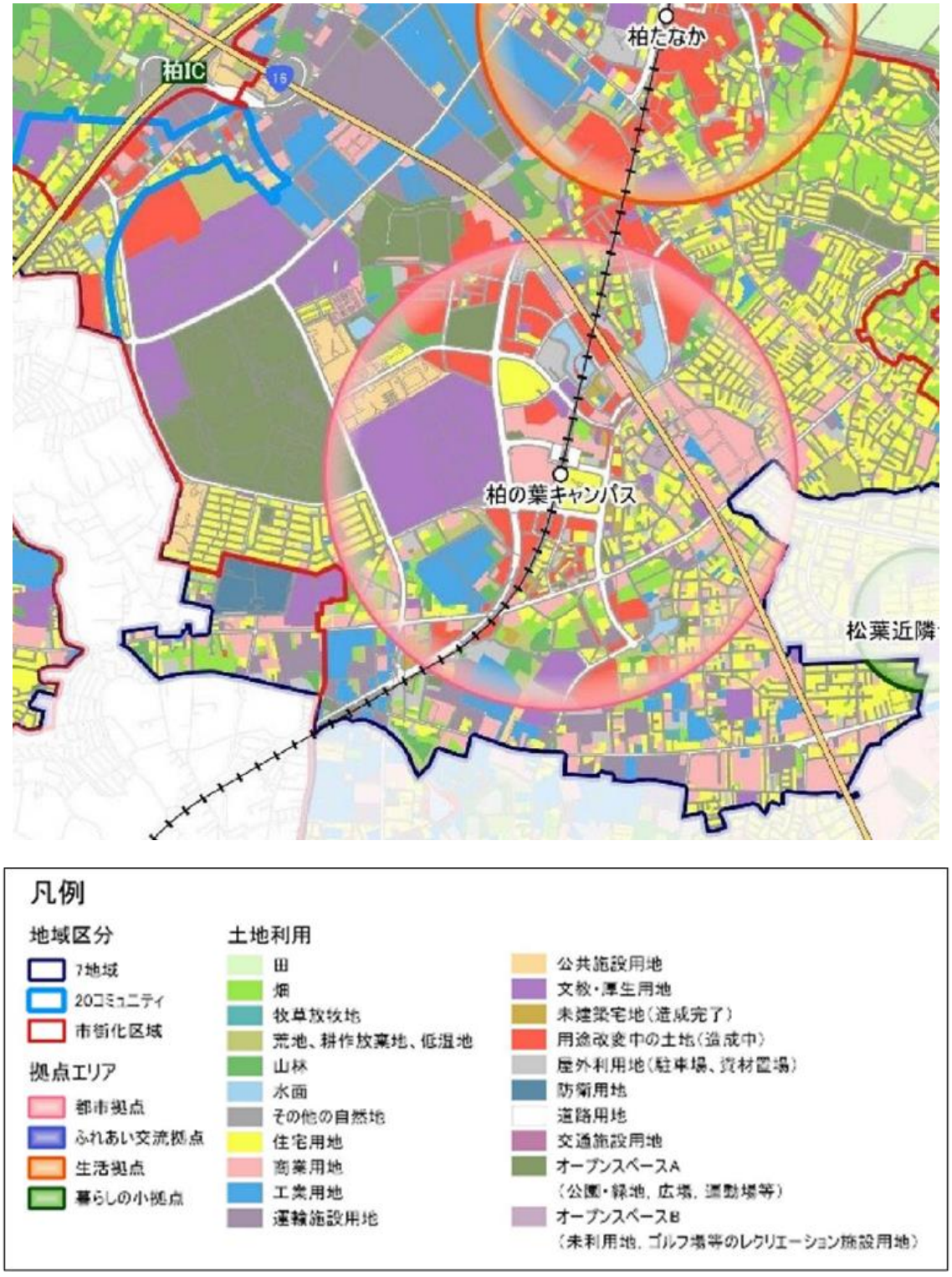


図 113　柏の葉地域の土地利用状況

出所：柏市都市計画マスタープラン

（c） 主要施設立地箇所

行政施設、大規模店舗等の主要な施設は、TX やバス路線でアクセスしやすい柏の葉キャンパス駅周辺に集積している。H18 年には柏の葉キャンパス駅の直近に「ららぽーと柏の葉」が進出した。

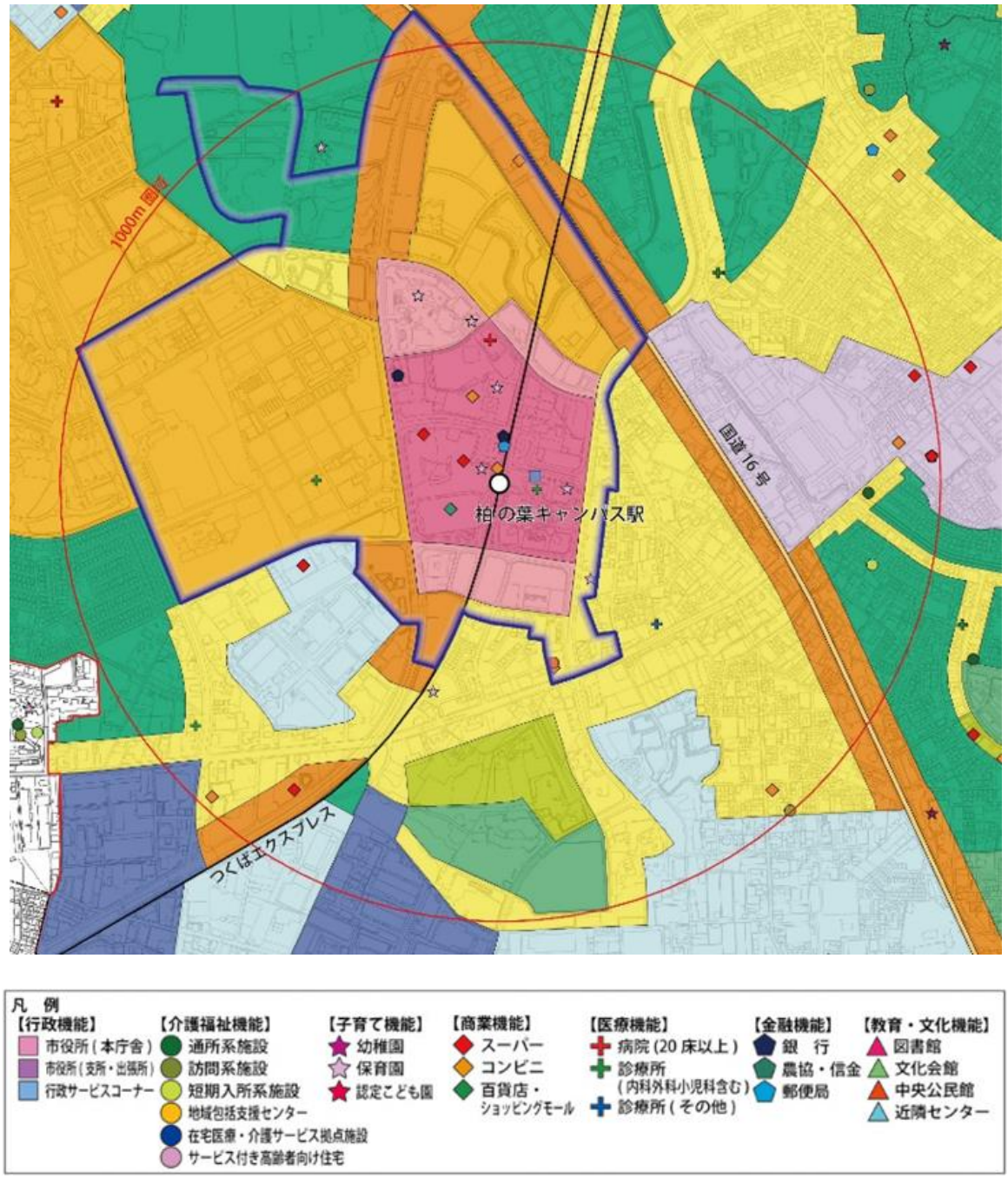


図 114　柏の葉地域の主要施設立地箇所

出所：柏市立地適正化計画

2. 柏の葉スマートシティの取組

(a) 柏の葉スマートシティの概要

2020 年 3 月に策定した「スマートシティ実行計画」では、「TRY the Future－進化し続けるまちー」というコンセプトのもと、4 つのテーマ（モビリティ、エネルギー、パブリックスペース、ウェルネス）を掲げ、3 つの戦略に基づき、まちづくりを推進している。

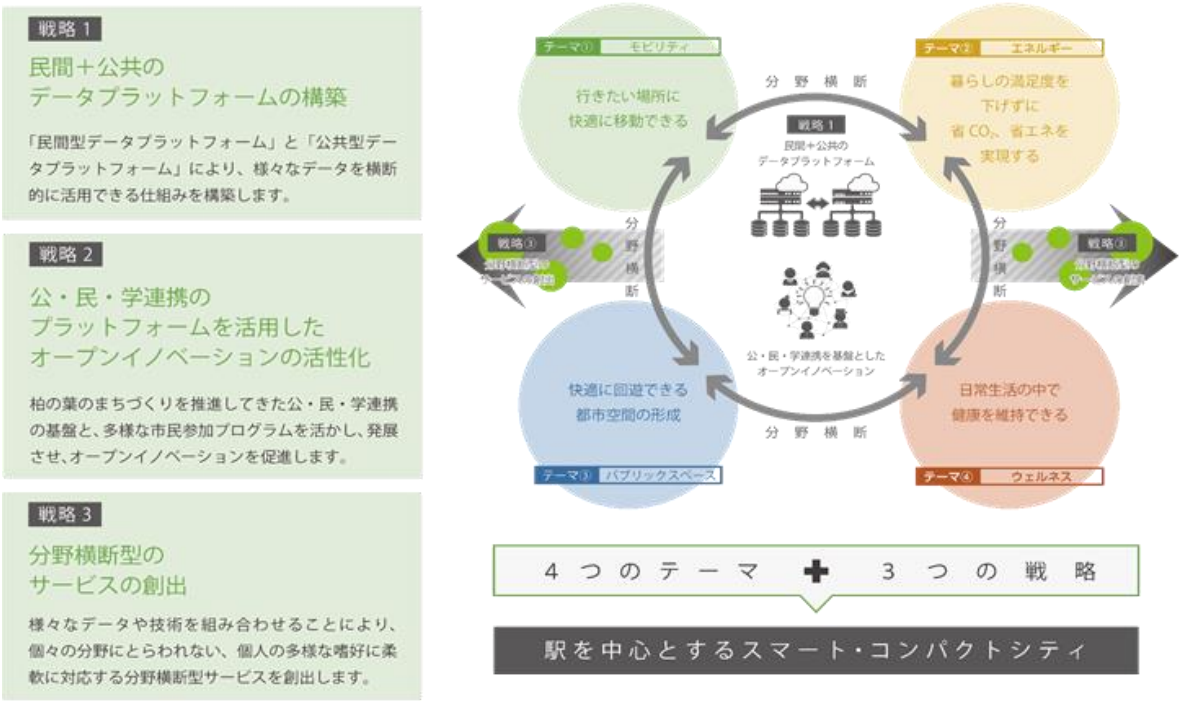


図 115　柏の葉スマートシティのコンセプト概要

出所：柏の葉スマートシティ実行計画

(b) 柏の葉スマートシティにおける実証実験

柏の葉スマートシティでは、公民学連携にて検討を実施している。

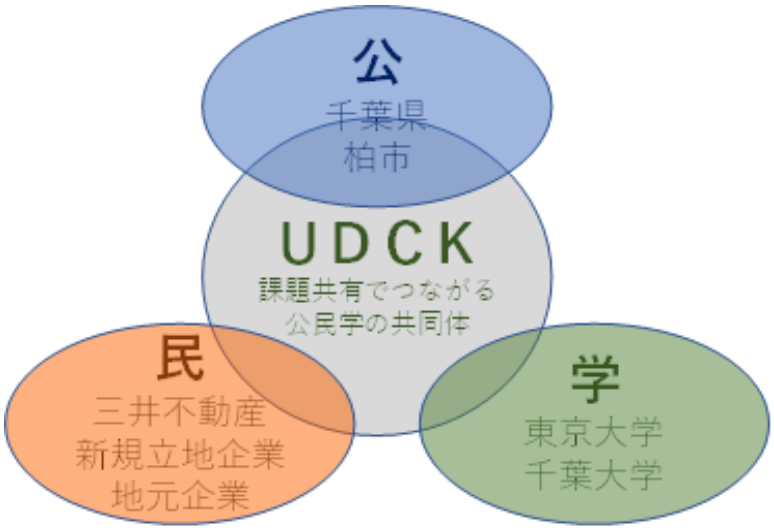


図 116　柏の葉スマートシティの公民学連携概要

出所：柏の葉スマートシティ実行計画

柏の葉国際キャンパスタウン構想を、2008 年千葉県・柏市・東大・千葉大で策定、三井不動産・ＵＲを加えた 6 者で策定、推進しており、それに基づきスマートシティ検討を開始した。

- 目標 1　環境と共生する田園都市づくり
- 目標 2　創造的な産業空間の醸成
- 目標 3　国際的な学術･教育･文化空間の形成
- 目標 4　サステナブルな移動交通システム
- 目標 5　健康を育む柏の葉スタイルの創出
- 目標 6　公民学連携によるエリアマネジメント
- 目標 7　質の高い都市空間のデザイン
- 目標 8　イノベーション･フィールド都市

また、柏の葉スマートシティでは、街全体のデータ利活用プラットフォームを構築している。（2020/11 稼働）

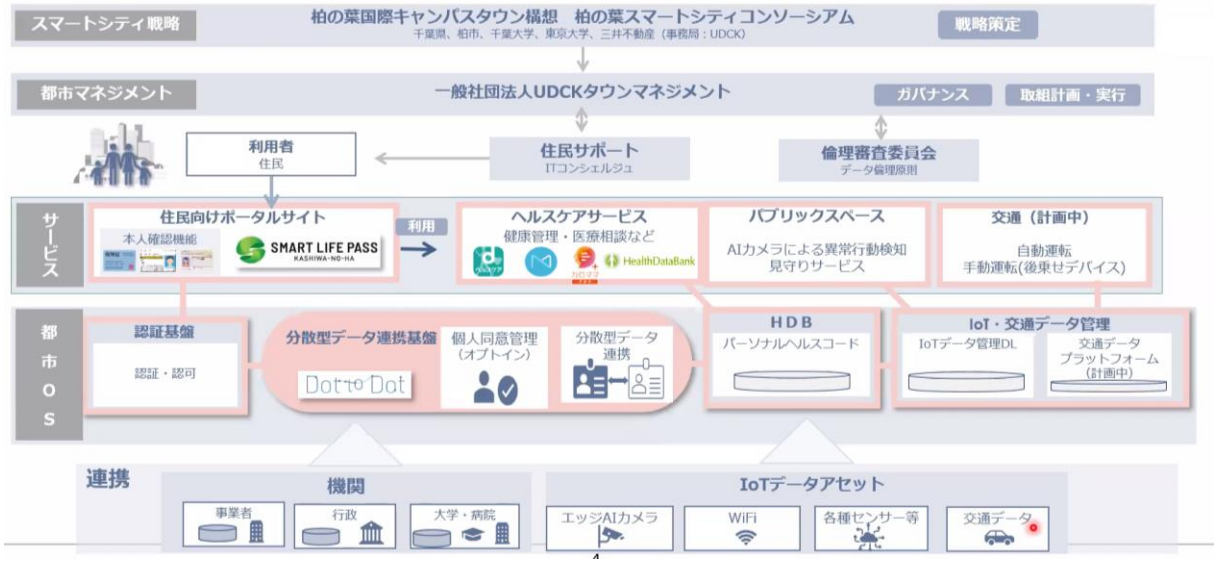


図 117　柏の葉スマートシティにおけるデータ利活用プラットフォームの概要

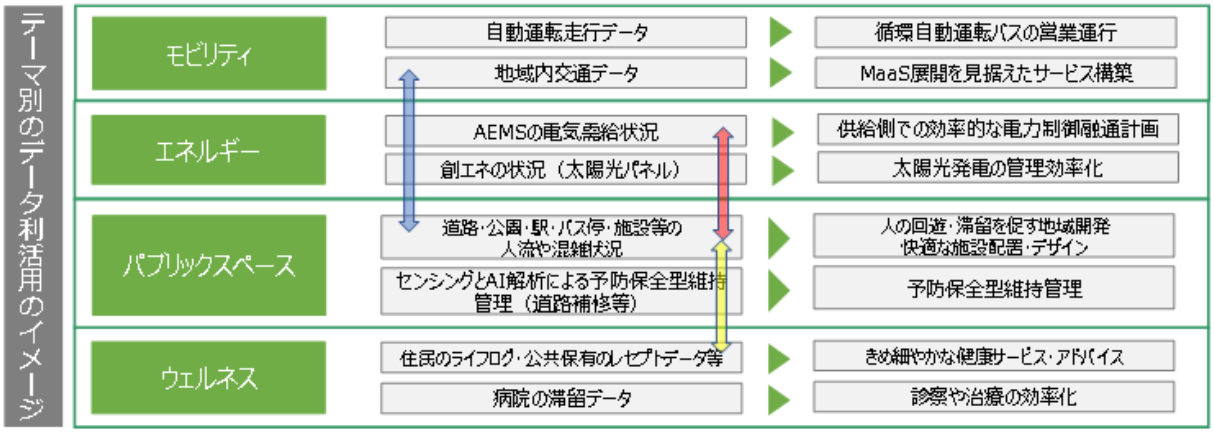


図 118　各テーマにおけるデータ利活用のイメージ

出所：柏の葉スマートシティ実行計画

(2)　藤沢地域

1. 藤沢地域の基礎データ

(a) 地域概要

藤沢地域は、将来的に約 1,000 世帯が居住する地域である。地域内のほとんどは低層住宅のみの区画となっており、住宅地の中に店舗や自動販売機、信号機といった設備は存在しない。Fujisawa SST の西側に生活支援区画として、商用施設が集中した T-SITE が位置しているほか、まちの福祉・健康・教育のエリアとして、医療や育児、介護に関する施設が存在する（図 119）。

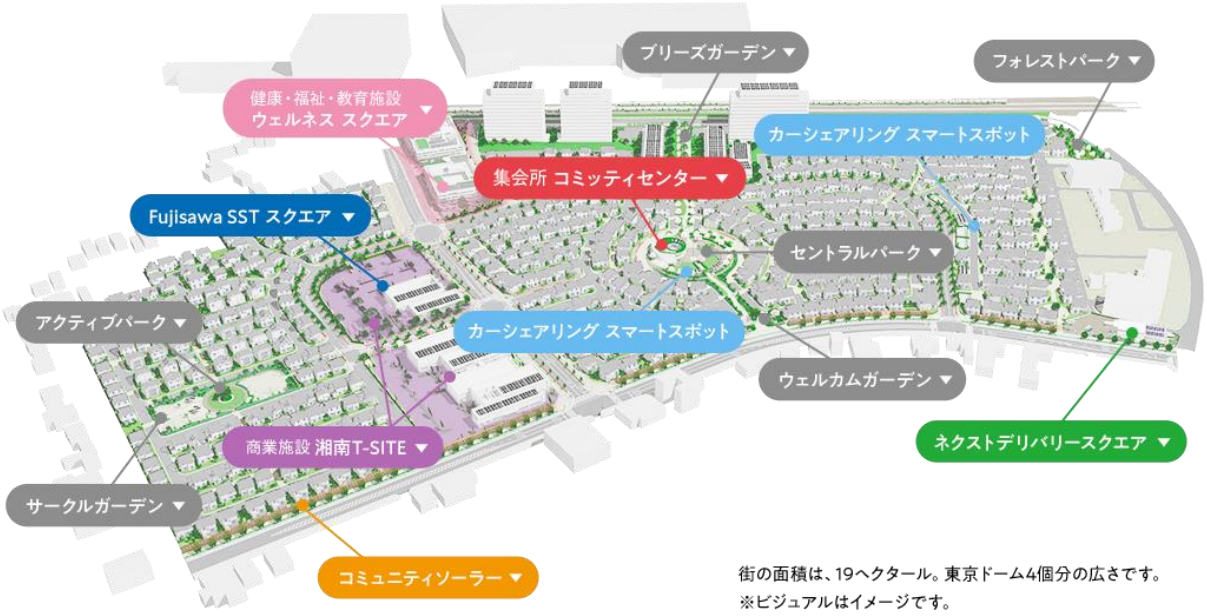


図 119　Fujisawa SST の主な施設[1]

(b) 道路状況

道路状況としては、低層住宅の区画では歩者分離がない生活道路があり、住民の車が往来する他は、地域住民の歩行・自転車による往来、また、同地域在住の子供が道路上で遊んでいる、キックボードで往来するなどの光景が見られる。一方で、商用施設周辺や Fujisawa SST の中央付近を囲うように敷設された幹線道路から侵入するメインの道路では、歩者分離がなされ対向車線が分離されている。ただしこちらも主には住民の車両が往来する程度で、交通量は少なく、信号機もない。

ただし、南側の幹線道路から Fujisawa SST に入ってくる商用施設周辺の接合部では信号機が存在する。

2. Fujisawa サスティナブル・スマートタウン（Fujisawa SST）概要

『Fujisawa サスティナブル・スマートタウン（Fujisawa SST）』は、先進的な取組みを進めるパートナー企業と藤沢市の官民一体の共同プロジェクトであり、単に最先端のスマートタウンをつくるのではなく、究極の理想を追い求めた街づくりを目指している。

JR 東海道線藤沢駅からバスで 15 分程度の場所にあり、もともとあった 3 つの工場跡地を活用し、約 19 ヘクタール 東京ドーム 4 つ分の敷地を郊外型住宅中心の複合開発を行っており、既に 1900 名以上の方が暮らす、実稼動している街である（図 120）。

[1] Fujisawa SST ウェブサイト　https://fujisawasst.com/JP/town/

約 560 戸の戸建て住宅、街のデザインセンター、カルチュア・コンビニエンス・クラブ株式会社の商業施設 T-SITE、株式会社学研ホールディングスが運営するサ高住、保育園などからなるウェルネススクウェア、ヤマト運輸株式会社の次世代物流センターなどの施設から構成されており、今後は集合住宅などを計画しており、2024 年度以降に完成を考えている。

大きな特徴は、1,000 世帯もの家族の営みが続くリアルなスマートタウンとして、技術先行のインフラ起点でなく、住人ひとりひとりのくらし起点の街づくりを実現することである。まず 100 年ビジョンを掲げ、それを達成するためにタウンデザインとコミュニティデザインのガイドラインを設けている。その目標を共有した住人たちがくらし、交流し、より良いくらしをつくるアイデアを出しながら暮らしをアップデートし続けている（図 121）。

図 120　Fujisawa SST 概要

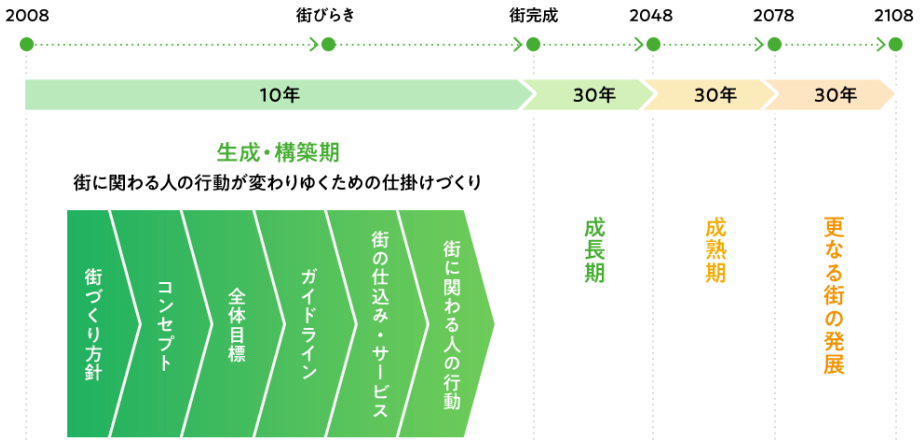


図 121　Fujisawa SST 100 年ビジョン

『Fujisawa SST』では、これまでの技術起点ではなく、くらし起点の発想により、5 つの分野横断サービスと産官学・住民参加による進化し続けるまちづくりを進めている（図 122）。

最初に、様々な角度から住人の快適性、地域特性や未来のくらしを考えてスマート・コミュニティライフを提案。次にそれらに最適な家や施設など街全体をスマート空間として設計し、最後に新しいくらしを支えるスマートインフラを最適構築する。「人」を中心に置いた「くらし起点」の発想とプロセスで、サステナブルに進化していくことを目指す。

そして、エネルギー、セキュリティ、モビリティ、ウェルネス、コミュニティの 5 つの分野横断型サービスと多種多様なパートナー企業、官、学、住民の方々が協力による進化し続けるまちづくりを進めている。

図 122　Fujisawa SST のまちづくり

街のタウンマネジメントとしては、コミッティ（自治会）を主体として、Fujisawa SST マネジメント会社と両輪で活動を行っている。エネルギー、セキュリティ、モビリティ、ウェルネス、コミュニティの 5 つのサービスをワンストップで提供することを通じ、コミュニティを醸成・活発化している（図 123）。具体的には、18 の多業種企業と行政・住民が連携し、まちづくりを推進している（図 124）。

図 123　街のタウンマネジメント

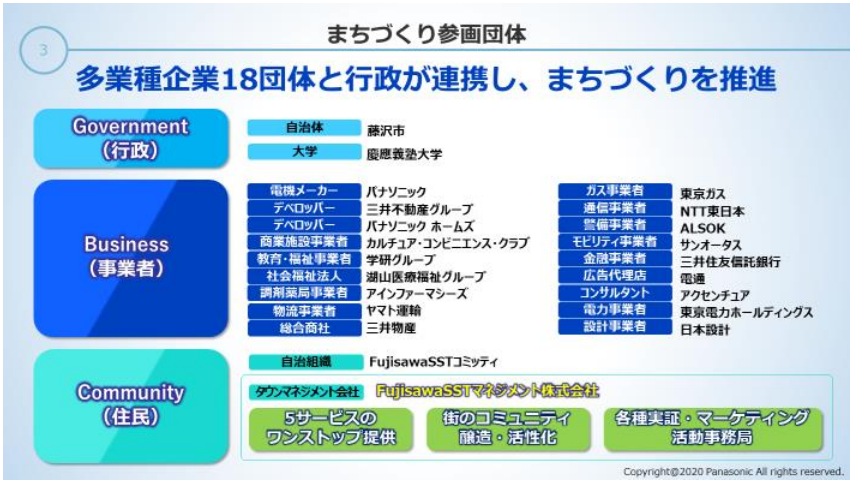


図 124　まちづくり参画団体

(3)　豊洲地域

1. エリアの特徴

対象地区は江東区の西側に広がるエリアである（図 125）。

1980 年代までは石川島播磨重工業や新東京火力発電所などの企業のほかに、各種物流倉庫が立地し、企業従業員向けの商店や社宅などがある状況が続いたが、1988 年の有楽町線豊洲駅開業による都心部へのアクセス性の向上、1992 年の豊洲センタービル完成を起点とした区画整理の進行により、商業地や住宅地への移行が進んだ。

2006 年にはゆりかもめが開通し、臨海副都心方面へのアクセス性も向上したほか、大型の公園の設置が設置され、再開発によりタワーマンションの整備が進み人気の住宅地となっている。

2018 年に築地市場が豊洲市場へ移転し、インバウンドの需要も見込まれる。

図 125　対象地区周辺の土地利用

2. 人口等基本データ

豊洲地区[2]の 2010 年からの人口の推移を図 126、図 127 に示す。また、2015 年国勢調査にもとづく豊洲周辺の 250m メッシュ人口を図 128、昼夜人口を図 129 に示す。

豊洲地区の人口は、工場跡地の再開発による集合住宅の整備などにより 2000 年頃から増加してきたが、2020 年は 20 年ぶりに減少に転じ、以降はほぼ一定で推移している。

[2] 豊洲地区には、豊洲 1～6 丁目が含まれる。

豊洲 6 丁目は、かつて発電所、ガス製造所、鉄鋼埠頭などが立地していたエリアで、居住人口はゼロであったが、新豊洲駅周辺での集合住宅整備に伴い 2015 年頃から人口が増加している。

2015 年国勢調査にもとづく豊洲地区の昼間人口は約 6.3 万人であり、居住人口約 3.3 万人の約 1.9 倍となる。中間・居住人口比はオフィスビル・大学が立地する豊洲 3 丁目で最も高く、通勤・通学による流入人口が多いことが推察される。

豊洲 6 丁目の昼間人口は約 1,900 人で、居住人口の約 7 割となっているが、2015 年以降、豊洲市場の移転やこれにともなう集客施設の整備、オフィス施設の開業などにより、現時点での昼間人口はさらに増加していることが予想される。

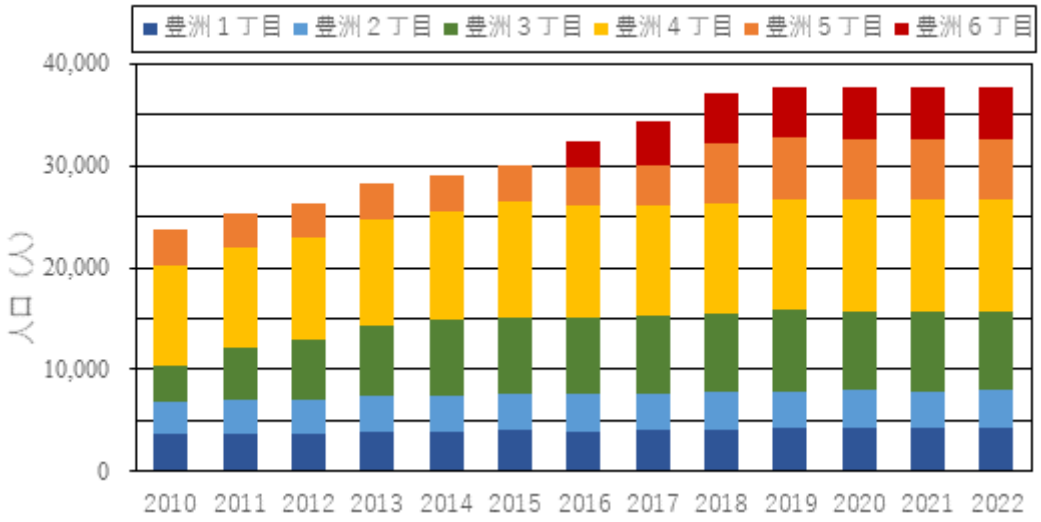


図 126　豊洲地区の人口推移

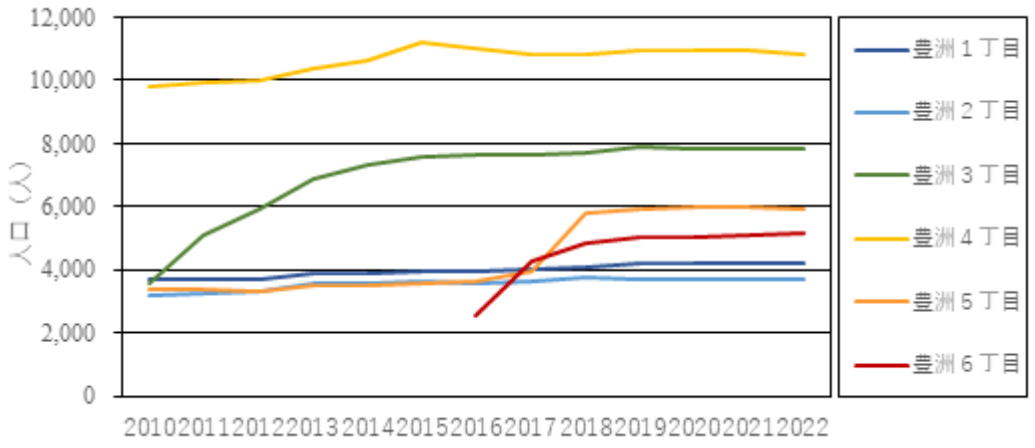


図 127　豊洲地区の人口推移（町丁目別）

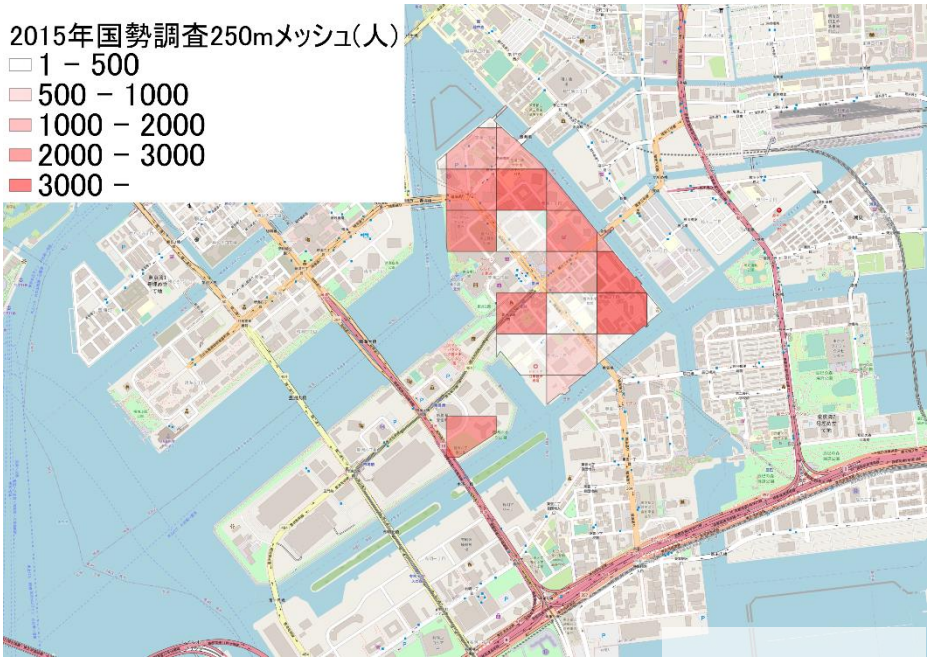


図 128　豊洲地区の 250m メッシュ人口（2015 年）

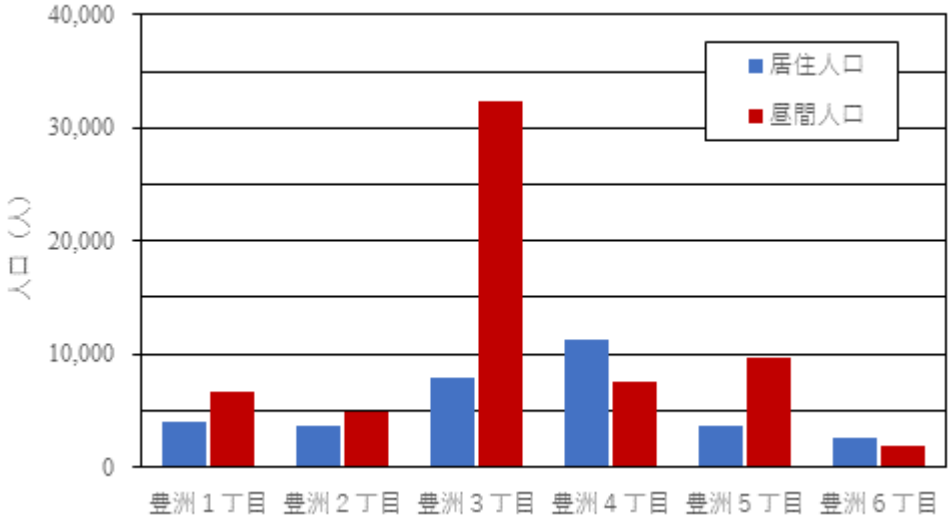


図 129　豊洲地区の昼夜人口（2015 年）

3.　交通参加者

今後、レベル 4 自動運転サービスの実証を行うことを想定し、レベル 4 自動運転サービスを導入した際の効果計測の基礎データとすることを目的に豊洲地区周辺の交通量等の整理を行った。

(a) 交通量

2015 年当時の豊洲地区周辺の交通量を図 130 に示す。なお、環状 2 号線及び豊洲大橋は未供用であることに留意が必要である。

交通量は、1 日あたり 3 万台、昼間 12 時間では約 2 万～2 万 5 千台であった。特に有明方面で交通量が多く、辰巳 JCT～東雲 JCT 間では専用部で 15 万台/日、一般部で 3 万台/日が利用している。施設周辺（豊洲有明道）の交通量は、25.545 台/12 時間、大型車混入率は 13.6%であり、並行する晴海通り（21,950 台/12 時間）や国道 357 号（19,526 台/12 時間）と比較しても交通が集中する区間ではない。

図 130　豊洲地区周辺の交通量

(b) 混雑度

2015 年当時の豊洲地区周辺の混雑度を図 131 に示す。

ほとんどの区間で混雑度は 1.0 以下となっているが、一部区間では 1.0 を超えている。施設周辺（豊洲有明道）の混雑度は 0.93 であった。

図 131　豊洲地区周辺の混雑度

（c） 駅利用者数

2019 年のゆりかめも「市場前」駅利用者数を表 40 に示す。

新型コロナウイルス感染症の流行前では、1 日当たり約 1.1 万人の利用があった。

表 40　ゆりかめも「市場前」駅利用者数

1 日当たりの平均乗車人員（2019 年）	5,850 人
1 日当たりの平均降車人員（2019 年）	5,543 人

4. 道路環境の状況

施設周辺の道路環境の把握のため、交通量調査実施[3]した。

平日休日ともに終日渋滞は発生しておらず、周辺の他路線と比較しても交通量が少ないことが把握できた（図 132）。

[3] 平日調査 1 回：2022 年 1 月 13 日（木）、休日調査 1 回：2022 年 1 月 16 日に実施。

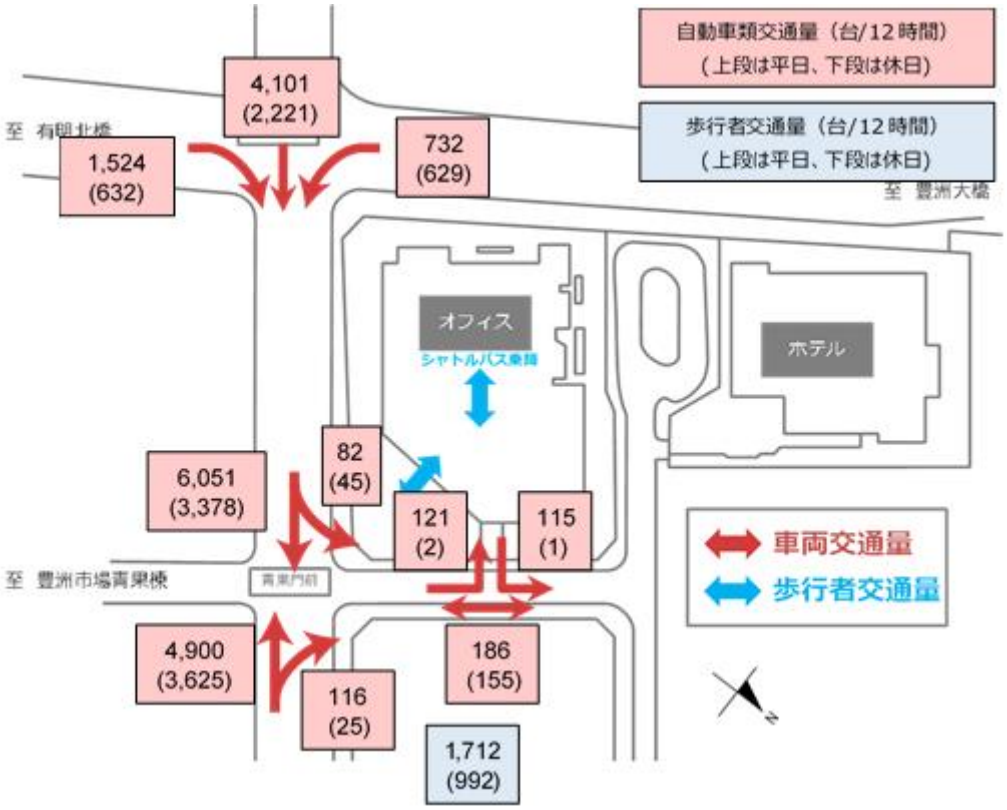


図 132　自動車・歩行者交通量

5. 豊洲スマートシティのコンセプト・全体像

豊洲スマートシティは、2019 年に国土交通省のスマートシティ先行モデルプロジェクト（現在 27 地区）に選定されたスマートシティプロジェクトである。

豊洲スマートシティでは、「住民やワーカー、来街者など多様なステークホルダーが存在し、成長途上にある豊洲エリアにおいて、先進的技術と都市 OS の活用により様々な分野でサービス・ソリューションを提供し、個々人のニーズ充足と満足度向上、まちの課題を解決するとともに、多様な施設・個人が共存・共栄する「ミクストユース型未来都市」を実現する」ことをコンセプトとしている。

図 133　豊洲スマートシティの対象エリア

豊洲スマートシティの中核プロジェクトであり、スマートまちづくりの拠点に位置付けられている「豊洲 6 丁目プロジェクト」は、オフィス棟である「メブクス豊洲」と、ホテル棟である「ラビスタ東京ベイ」からなっている（図 134）。「メブクス（MEBKS）」には「国際ビジネス拠点としてのオフィスが、草木が“芽吹く”ように、新たな人々の活動拠点や賑わいを生み出すと共に、今後の街の発展と成長のきっかけを創りたい」というコンセプトが込められている。メブクス豊洲の建物は 12 階建ての複合テナントビルで、建物用途は 1 階が駐車場・交通広場、2 階が店舗・オフィスエントランスホール・広場状デッキ、3～11 階がオフィススペース、12 階が屋上庭園となっている。また、両棟をつなぐ形で街区中央には「豊洲 MiCHi の駅」を構成し、日本初の都市型「道の駅」として整備することで、賑わいと安心・安全を同時に提供することが主眼となっている。これらメブクス豊洲、ラビスタ東京ベイ、豊洲 MiCHi の駅、全体を併せて「ミチノテラス豊洲」と呼んでいる。

図 134　豊洲 6 丁目プロジェクトの概要

6. 豊洲スマートシティで取り組まれている内容・提供されるサービス、関連プレイヤー

豊洲スマートシティでは、スマート観光（満空サービス、インクルーシブナビ、AR を活用した案内）、スマートモビリティ（パーソナルモビリティ）、スマートイート（キャッシュレス）、AI 防災（情報共有）の取り組みを推進することとしており、これらの取り組みの基盤として都市 OS データプラットフォームを構築することとしている。

豊洲スマートシティ推進協議会を組成し、観光 WG、モビリティ WG、データプラットフォーム WG にてそれぞれの分野でスマートシティ実現に向けた取り組みを推進している。

図 135　豊洲スマートシティ実行計画

2)　モデル地域における事業モデルの検討

■　該当項目の背景と目的

各モデル地域において、地域の実情に則した形で自動運転（レベル 2）技術を用いたモビリティサービスが検討・提供されており、現状のサービスの概要・詳細、提供体制を把握し、各側面（技術、運用、事業）での課題を整理することで、今後協調型レベル 4 自動運転技術を活用したサービスを検討する上でのポイントを明確にする。

また、1-2　3)で検討した、協調型レベル 4 自動運転技術を活用した、一般的なモビリティサービスの事業モデルの実現可能性を探るため、各モデル地域を対象とし、具体的な協調型レベル 4 自動運転技術を用いたサービスを検討する。

■　実施方針

現状の自動運転に関する各地域での取組・検討をまとめる際には、各地域でのサービスの段階（実証、実運用等）を明確にした上で、現状見えてきている課題を整理する。整理の際には、協調型レベル 4 自動運転技術で解決可能なものかどうかに留意する。

また、協調型レベル 4 自動運転技術を活用したモビリティサービスを検討するにあたっては、1-2 3)での検討結果を参考にする。

■　実施事項と実施方法

(1)　柏地域

1. 柏地域における自動運転（レベル 2）サービス

(a) 運行概要

自動運転に関する技術開発が進むなか、短期間の実証実験は多く行われているが、長期間の実施による実用運行を想定した運行方法やオペレート、点検保守に関する検証を行っているものは少ない。

本実証実験は、自動運転でのバス事業の営業運行を目指し、運行時の課題把握、対応方法の検証を目的として実施する。車両は、先進モビリティ株式会社が開発した自動運転システム搭載の事業用車両バス（緑ナンバー）を使用し、営業運行は東武バスイースト株式会社が行う。自動運転はレベル 2 であり、システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行する。

- 企業や研究機関が集積する駅西側エリアにおいて、駅と各施設をつなぐ循環型バスを構築。
- 自動運転技術やオンデマンドバスシステムなど多様な技術を活用した次世代型交通システムを導入。

(b) 運行ルート

運行時間帯　　：11 時から 15 時までのうち、4 便を予定（うち 1 便は特別便）

運行ルート　　：つくばエクスプレス柏の葉キャンパス駅～東京大学柏キャンパス

距離　　：約 2.6ｋｍ（公道：2.3ｋｍ、キャンパス内：0.3ｋｍ）の一部区間

使用車両　　：いすゞ自動車エルガミオをベースにした自動運転車両（一般貸切運行）

乗客定員　　：乗客（着座）28 名

自動運転レベル：レベル 2

乗車対象者　　：東京大学柏キャンパスの学生、教職員及び柏キャンパス来訪者

※その他、柏の葉アーバンデザインセンター（ＵＤＣＫ）にて実施する柏の葉スマートシティツアー〔ゲートスクエアコース〕の参加者に限り、特別便に乗車可能。

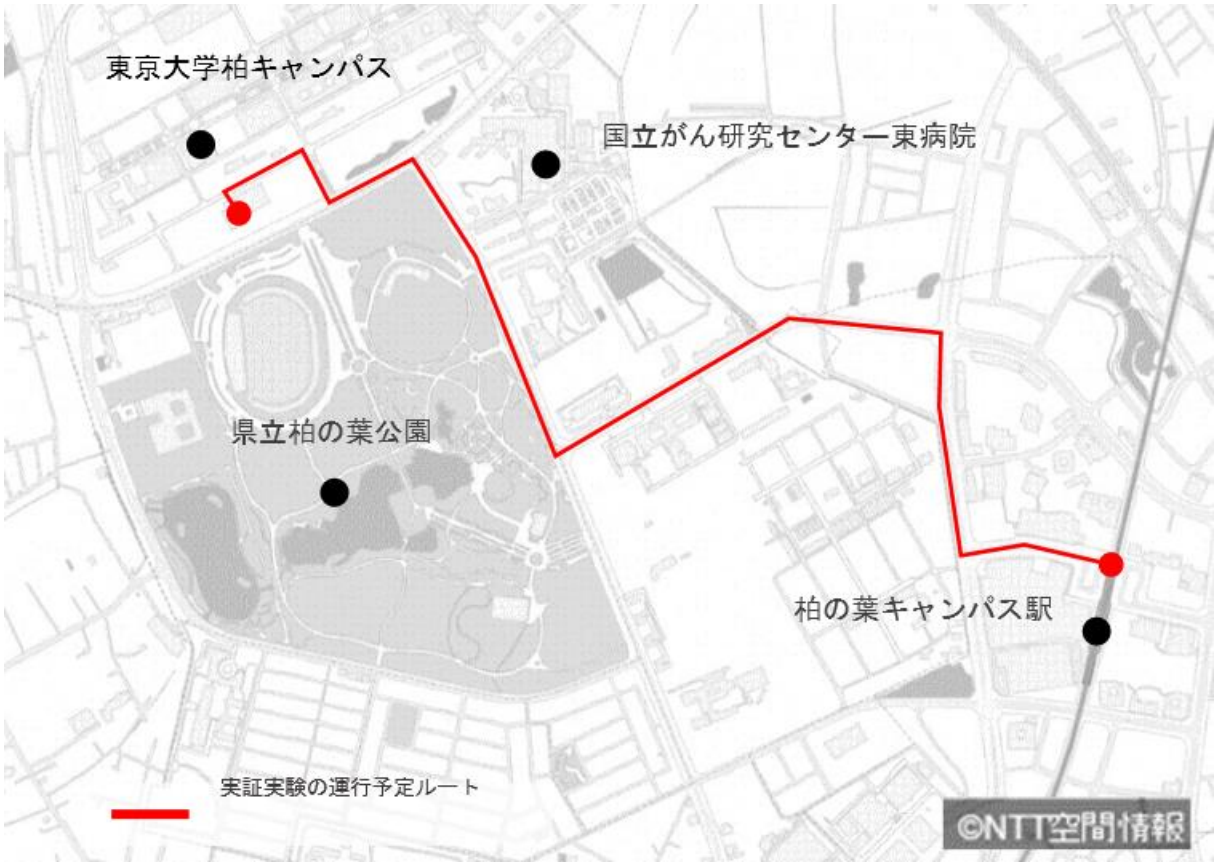


図 136　柏の葉における自動運転実証実験の運行ルート

(c) 運行区間と運行ダイヤ

現在の東京大学シャトルバスのルートのうち一部区間を自動走行し、既存ダイヤに加えて、1 日あたり 4 便（黄色の箇所）、自動運転車両を運行する。なお、4 便のうち 3 便は東京大学シャトルバス便、1 便は特別便（〇）とする。

表 41　実証実験中の自動運転バスの時刻表

時	柏の葉キャンパス駅発	時	東京大学柏キャンパス発
8	00　10　20　30　40　50	8	10　20　30　40　50
9	00　10　20　30　40　50	9	00　10　20　30　40
10	10　20　30　40　50	10	00　10　20　30　50
11	40　55	11	50
12	35　40	12	15　50
13	25　40	13	05　50　55
14	15　40	14	35　50
15	40	15	50
16	40	16	50
17	00　10　20　30　40　50	17	00　10　20　30　40　50
18	00　10　20　30　50	18	00　10　20　40　50
19	00　10　20　30　40　50	19	00　10　20　30　40　50

(d) 使用車両

いすゞ・エルガミオをベースにした自動運転車両（一般貸切運行）を使用している。

図 137　自動運転バスの車両外観

出所：柏の葉自動運転検討協議会

(e) 利用条件

4 便の運行のうち 3 便は東京大学のシャトルバスとして運行を行っており、東京大学の関係者が乗車している。

また 1 便は柏の葉スマートシティツアー参加者や関係団体からの視察者が利用可能な視察便として運行を行っている。

＜乗車可能な方＞

- 東京大学関係者
- スマートシティ視察者
- 関係企業紹介者

(f) 実施体制

16 の関係団体により実施されており、各団体の役割は図 138 の通り。

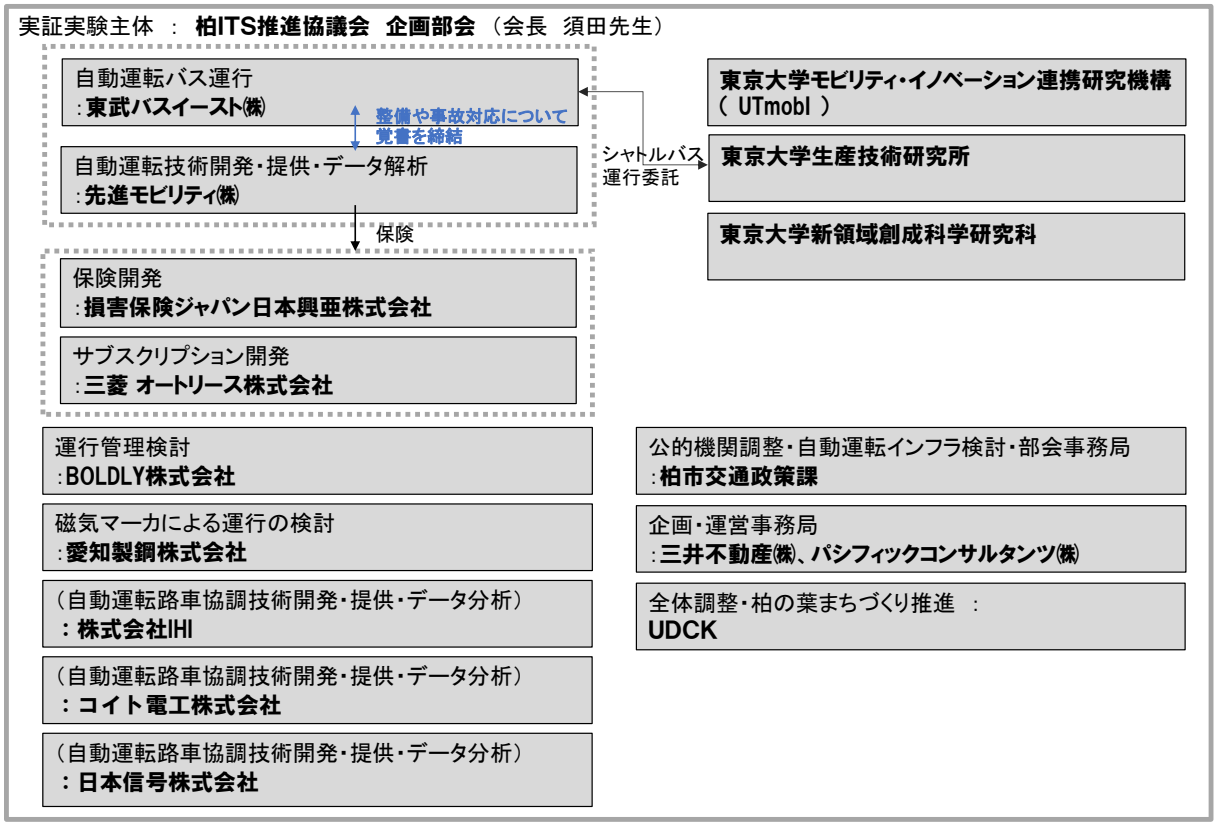


図 138 実証実験に関わる関連団体と役割

(g) 検証事項

これまでに行った検証事項は表 42 の通り。

表 42　実施内容・実施主体等

実施内容	実施主体	設置・準備時期	検証時期
自動運転の走行検証	先進モビリティ	―	2019.11～
車内監視システムによる車内安全確認	BOLDLY	―	2021.1～
磁気マーカーの設置	愛知製鋼	2020.2～	2020.6～
インフラ連携の実施	日本信号・IHI・コイト電工	2021.4～	2022.1～
信号連携			
歩行者検知			
駐車車両検知			

(h) サービス提供の仕組み

a) システムの構造

自動運転車両に関しては、いすゞ・エルガミオをもとに、先進モビリティが開発した自動運転技術を搭載して運行を行っている。

自動運転システムの認識部では、GNSS や磁気センサー、ジャイロセンサー等を利用して車体の位置を捉え、また障害物センサーにより周囲を捉えている。判断部では、認識情報を元に、車両をどう動かしたらよいのかを計算している。

そしてその結果として、操作部ではハンドル（ステアリング）やアクセル・ブレーキ、ウインカーを、電気的あるいは電子的に操ることで、自動運転を可能としている。

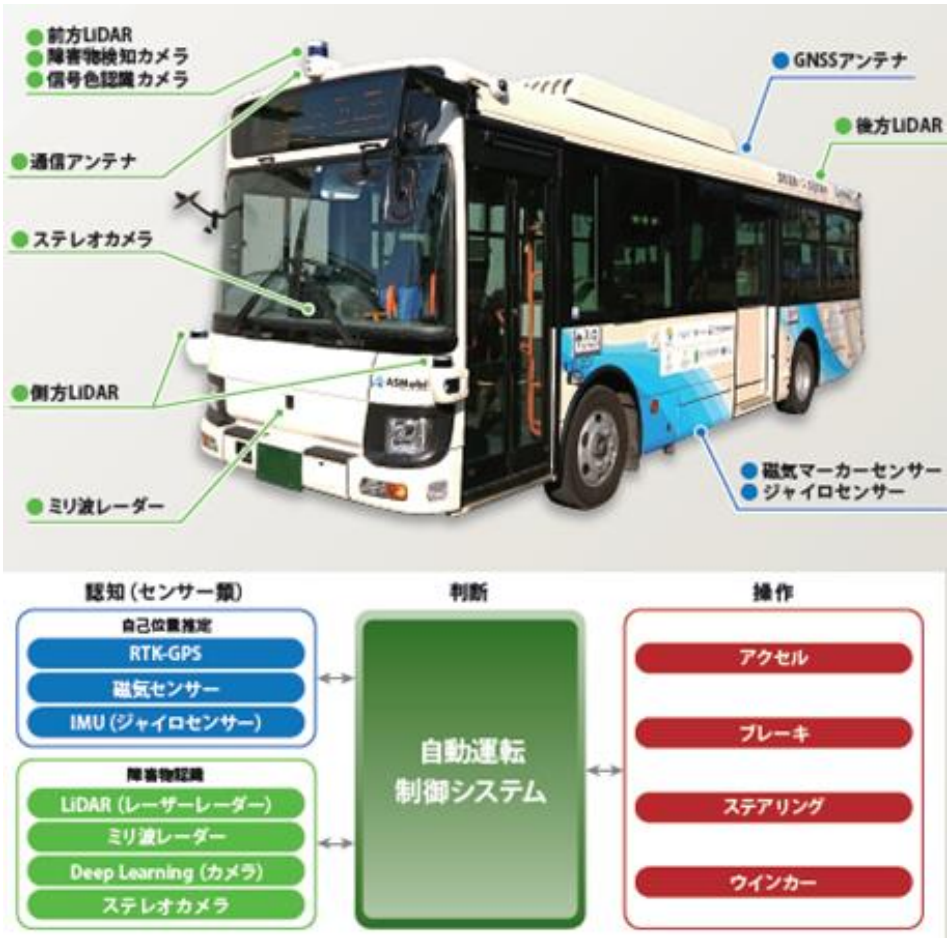


図 139　自動運転車両の認知・判断・操作の概要

出所：柏の葉自動運転パンフレット「柏の葉キャンパス駅・東京大学 柏キャンパス間の公道での自動運転バスの営業運行実証実験を実施します。」

高精度 GNSS と磁気センサー、高精度 IMU による走行位置座標検出を行っている。

基本的には GNSS による走行を行っているが、GNSS が安定的に受信できない環境の場合、道路に設置した磁気マーカーを利用して位置を検出している。

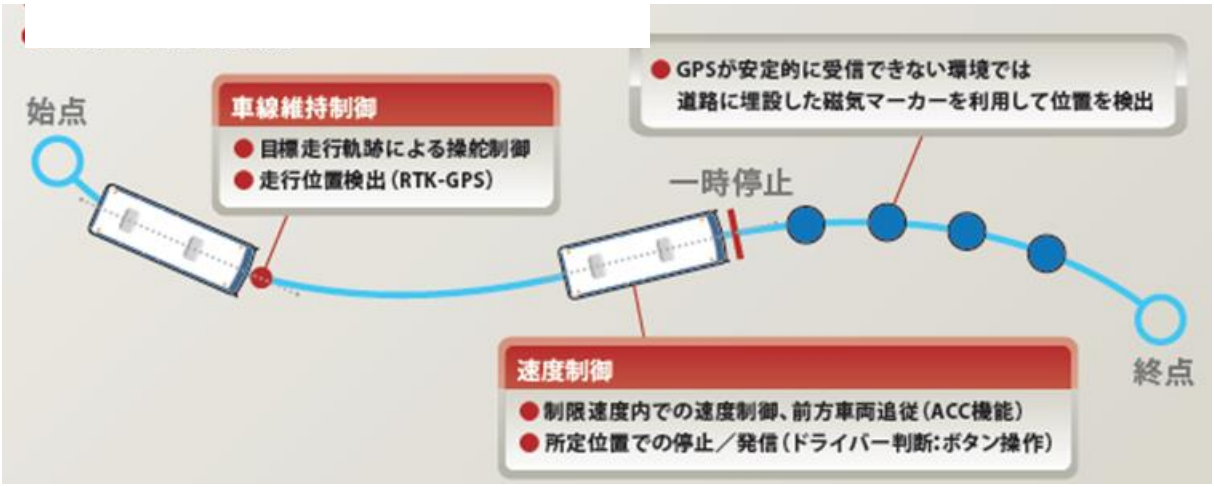


図 140　高精度 GPS・磁気センサー・高精度 IMU による走行イメージ

出所：柏の葉自動運転パンフレット「柏の葉キャンパス駅・東京大学 柏キャンパス間の公道での自動運転バスの営業運行実証実験を実施します。」

障害物検知では、カメラ画像による Deep Learning（AI 技術）、LiDAR（レーザーレーダー）、ミリ波レーダーのセンシング技術の複合により、検出安定性を高めた前方車両の障害物認識を行っている。また、デジタル地図の概念を用いた車線内外の障害物判定も用いている。

図 141　車線情報による車線内外判定

出典：柏の葉自動運転パンフレット「柏の葉キャンパス駅・東京大学 柏キャンパス間の公道での自動運転バスの営業運行実証実験を実施します。」

また、走行記録を行うとともに、車内の安全管理を行うため、BOLDLY の Dispatcher を設置している。以下の機能を備えており、将来的な遠隔での運転監視・操作の可能性も検証している。

- 走行記録機能
- エラー記録機能
- 遠隔地からの状態監視機能
- 走行指示機能
- 緊急時対応機能
- 走行可否判断機能

図 142　運行管理システム（Dispatcher）イメージ

出所：柏の葉自動運転パンフレット「柏の葉キャンパス駅・東京大学 柏キャンパス間の公道での自動運転バスの営業運行実証実験を実施します。」

自己位置の推定には通常 GPS を用いているが、十分に受信できない場合は磁気マーカーを用いている。磁気マーカーを用いている地域・範囲としては、柏の葉駅周辺：往復 100 メートル、柏の葉公園横：往復 1,040 メートルである。

b） 運行体制・事業モデル

運行に関する役割分担については、図 143 のような体制で実施している。

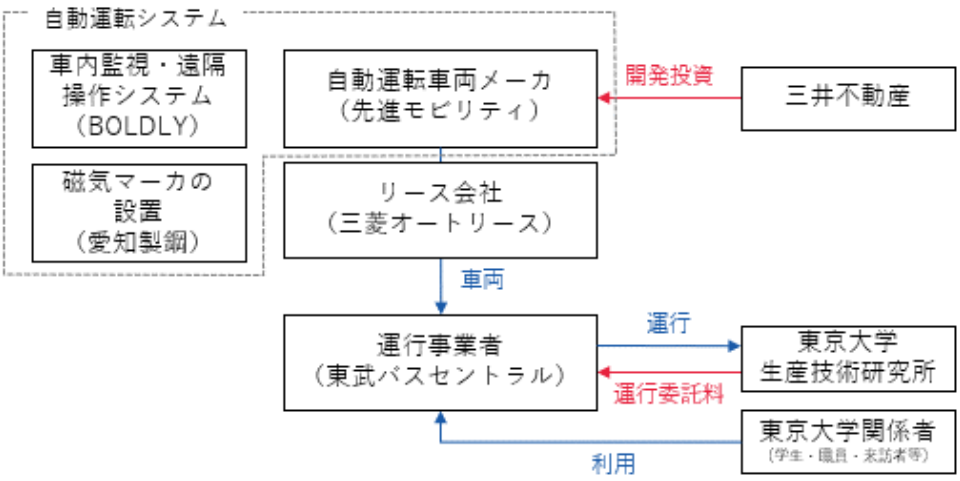


図 143　柏の葉地域における実証実験の運行体制図

柏の葉自動運転パンフレット「柏の葉キャンパス駅・東京大学 柏キャンパス間の公道での自動運転バスの営業運行実証実験を実施します。」

c） 利用データ

先進モビリティが提供している自動運転車両及び BOLDLY が設置している Dispatcher より取得しているデータは以下のとおりである。

なお、愛知製鋼株式会社が設置している磁気マーカーではデータの取得は行っておらず、自動運転車両に座標位置の情報を提供しているのみである。これにより自動運転車両は自車位置の推定を補足している。

表 43　取得データ一覧

No.	事業社名	取得機器・実験区分	データの測定対象	データの単位／更新頻度		データの取得方法／設置対象		データの所有元／管理元	
				単位	更新頻度	取得方法	設置対象	所有元	管理元
1	先進モビリティ	自車位置	自動運転バス	m or 度	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
2	先進モビリティ	自車速度	自動運転バス	m/s	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
3	先進モビリティ	GPS測位精度	自動運転バス	m	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
4	先進モビリティ	GPS時計	自動運転バス	s	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
5	先進モビリティ	オーバーライド	自動運転バス	-	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
6	先進モビリティ	乗車人数	人	人	1便あたり	運転士カウント	便	東武バス	東武バス
7	先進モビリティ	路面状態検出結果	路面	-	1s	自動運転システム	自動運転バス	先進モビリティ	先進モビリティ
8	先進モビリティ	信号認識結果	信号	-	1s	通信／自動運転システム	信号機	（信号器）	（信号器）
9	先進モビリティ	障害物認識結果	障害物	m, m/s	1s	通信／自動運転システム	路側センサ	（路側センサ）	（路側センサ）
10	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（車両から取得したデータを画積・ビジュアル化）	自車	km	適宜	自動運転バスとのデータ連携	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
11	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（車両から取得したデータを画積・ビジュアル化）	自車	時間	適宜	自動運転バスとのデータ連携	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
12	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（車両から取得したデータを画積・ビジュアル化）	自車	km/h	適宜	自動運転バスとのデータ連携	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
13	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（車両から取得したデータを画積・ビジュアル化）	自車	%	適宜	自動運転バスとのデータ連携	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
14	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（BOLDLY独自取得）	自車	回数、地点、時刻	適宜	車載カメラ	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
15	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（BOLDLY独自取得）	自車	回数、地点、時刻	適宜	自動運転バスから取得したデータから解析	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY
16	BOLDLY	自動運転バスの運行管理（BOLDLY独自取得）	自車	-	適宜	運行管理者の入力	自動運転バス	BOLDLY	BOLDLY

(i) 運行実施による効果

a） 運行面での効果

2019 年の利用開始以降の毎月の利用者数の状況は以下のとおり。

運行を開始したのは 2019 年 11 月であるが、その後、2020 年 2 月より新型コロナウイルスの感染拡大が起こり学校への入校制限等が生じた。そのため利用者数が大きく増加することはなかったが、2016 年の利用者数と比較すると増加している。

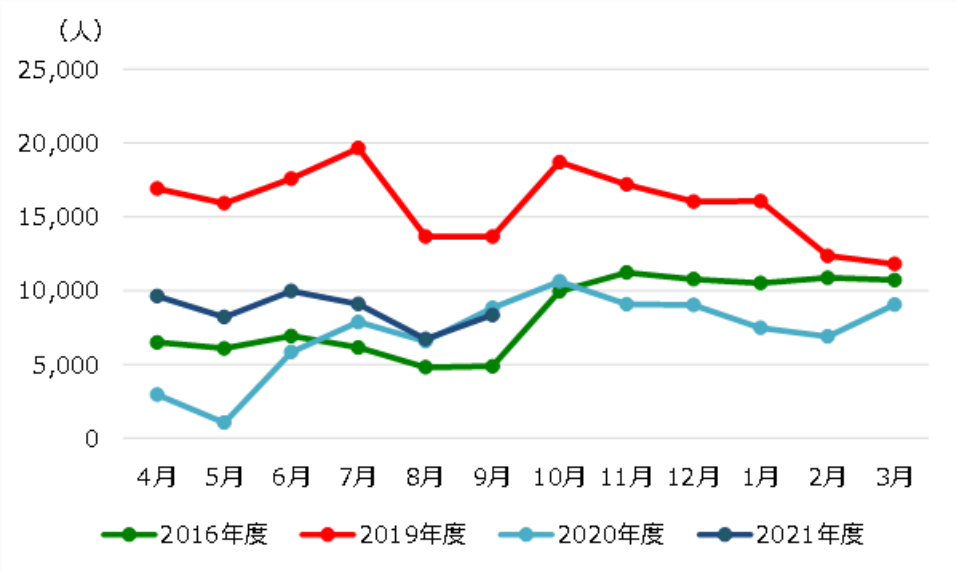


図 144　利用者数の推移

また、運行開始からこれまで、1 日のうち 1 便を視察便として運行している。

新型コロナウイルスの感染拡大を受けて一時視察の中止を行った時期もあるが、その他の時期では一定程度の視察が行われており、常に関心を集めている。

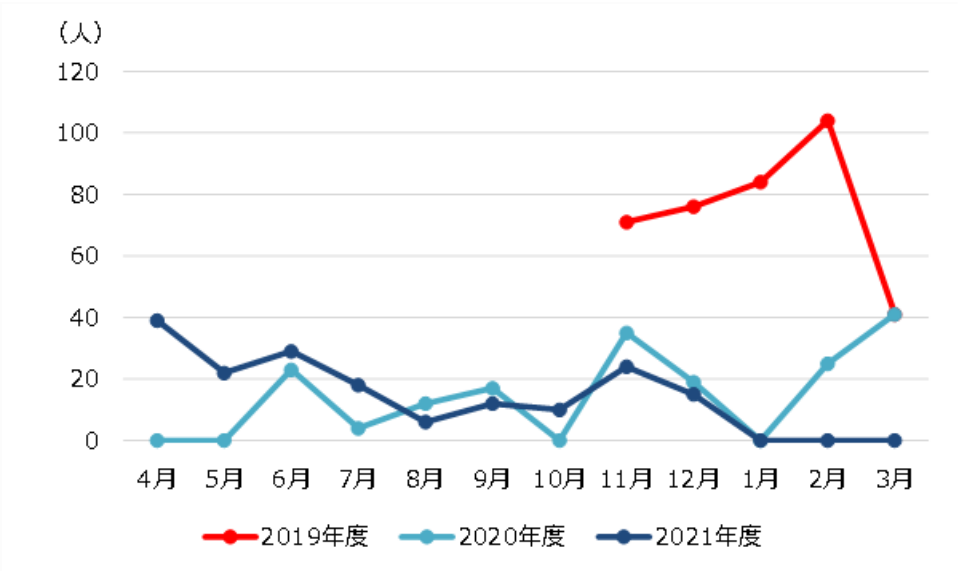


図 145　視察者数の推移

運行開始後、利用者向けのアンケート調査を実施して意見を伺っている。新型コロナウイルスの感染拡大により東京大学の入校規制等の措置が取られたことから回答数は少ないが、発進の遅さや振動が大きいこと等についての回答を受領している。

回答者の内訳としては、半数が東京大学の学生であり、残り半数は外部からの来訪者等である。

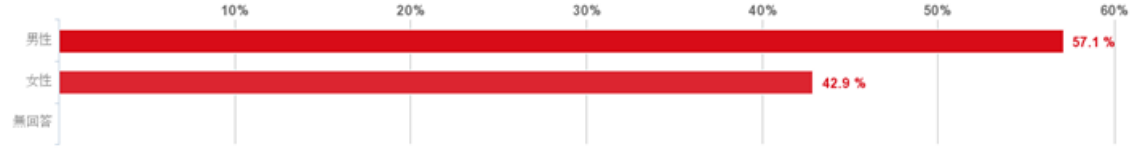


図 146　利用者の性別内訳

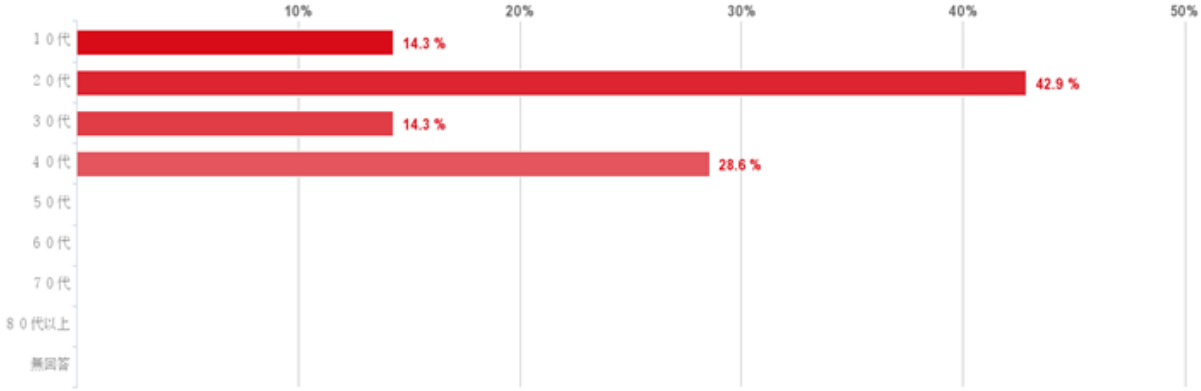


図 147　利用者の年代内訳

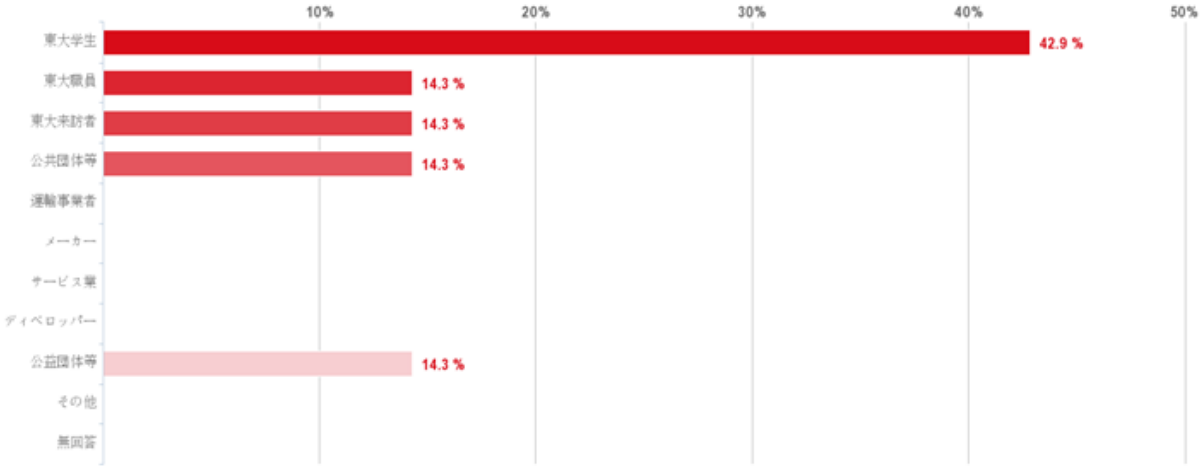


図 148　利用者の属性内訳

快適性に関して、問題がなかったとの回答の方が多いが、40%程度の回答者が、問題があったとしている。

その内容としては、発進が遅いこと、振動が大きいことが挙げられている。

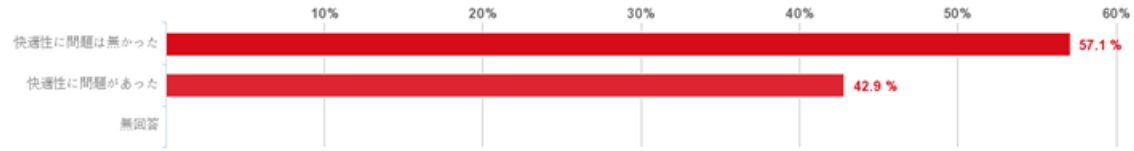


図 149　利用者からの快適性に関する評価

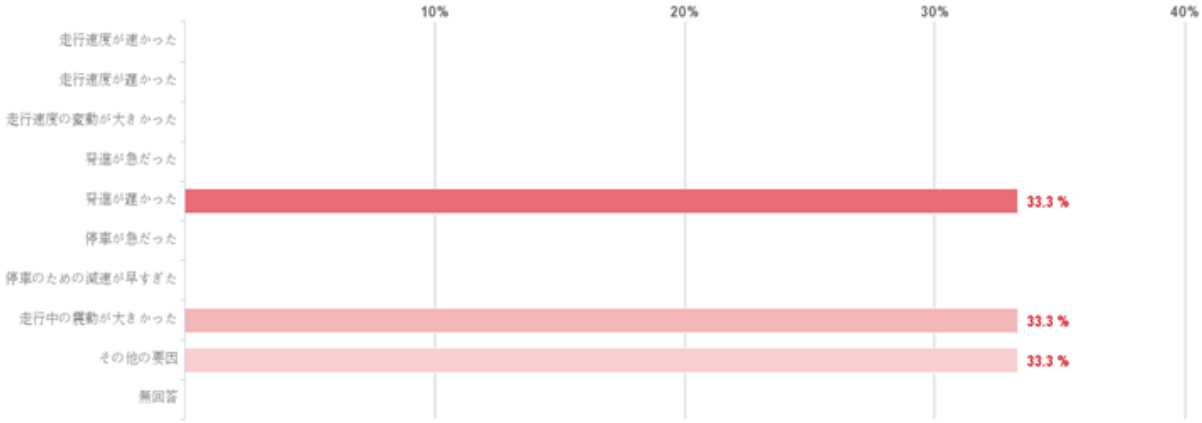


図 150　快適性に関する問題の詳細

安全性への不安は 70%が無かったとしている。一方で、30%は不安があったと回答しており、その理由として、歩行者や自転車の飛び出し・寄り付きが挙がっている。

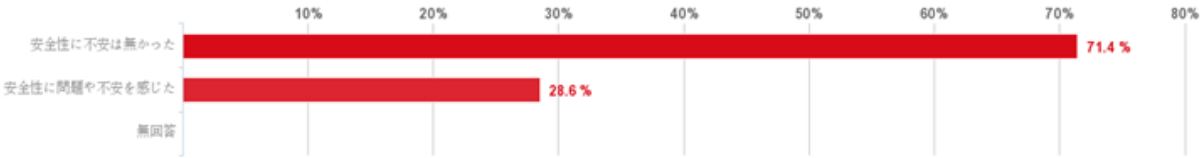


図 151　利用者からの安全性に関する評価

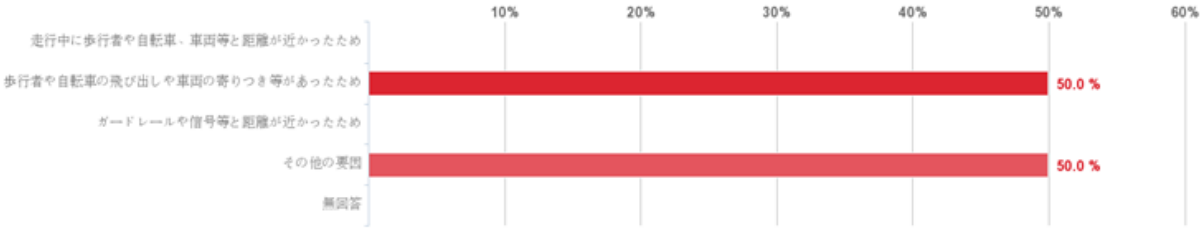


図 152　安全性に関する問題の詳細

今後、運行してほしい場所では KASHIWANOHA T-SITE と東京大学柏Ⅱキャンパスが挙がっている。その他、周辺の施設や大学構内での運行要望もみられる。

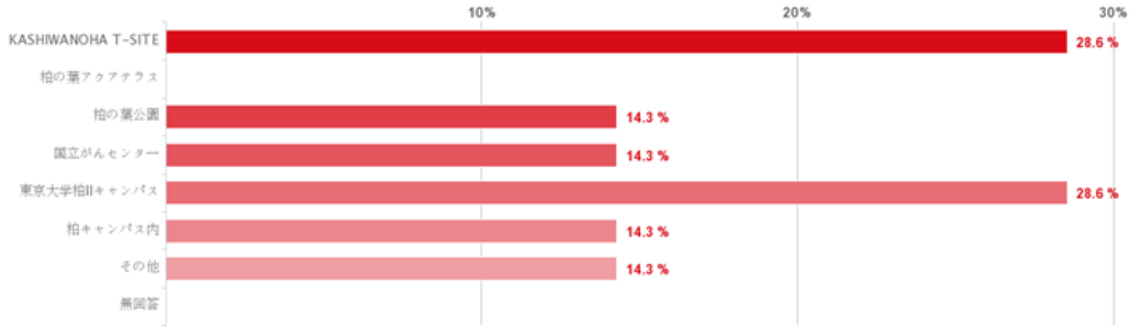


図 153　利用者からの今後運行して欲しい場所への希望

b）技術面での効果

運行開始以降、自動運転車両単体での走行における課題を補完するため、他の団体の共同体への参加、それに伴う技術検証の付加を行っている。

実験開始時は 10 団体での協議体であったが、現時点では 5 団体増えて 15 団体となっており、検証事項も増加している。

これまでの課題及び具体的な技術検証事項については後述する。

表 44　参加団体と加入時期・役割

参加団体	加入時期	役割
東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構	2019 年 10 月	運行委託
東京大学大学院新領域創成科学研究科	2020 年 5 月	
東京大学生産技術研究所	2020 年 5 月	
東武バスイースト株式会社	2019 年 10 月	運行・運行管理
先進モビリティ株式会社	2019 年 10 月	自動運転技術開発・提供・データ解析
株式会社 IHI	2021 年 3 月	自動運転路車協調技術開発・提供・データ分析
コイト電工株式会社	2021 年 3 月	
愛知製鋼株式会社	2020 年 5 月	磁気マーカー設置
BOLDLY 株式会社 （（締結当初）ＳＢドライブ株式会社）	2019 年 10 月	運行管理検討
損害保険ジャパン株式会社	2019 年 10 月	保険開発
三菱オートリース株式会社	2019 年 10 月	サブスクリプション開発
三井不動産株式会社	2019 年 10 月	企画調整
柏の葉アーバンデザインセンター	2019 年 10 月	
パシフィックコンサルタンツ株式会社	2019 年 10 月	
柏市	2019 年 10 月	

2. 柏地域における取組の課題整理

上記の取組みにおける課題を、技術面（車両、交通、情報システム、通信、データ、等）、運用面、および事業面から整理するとともに、各課題の原因についても整理する。

(a) 技術に関する課題

a) 自動走行の状況

① 単路部の走行

- 対向車や歩行者の影響を受けた手動介入はほとんど発生していない。
- 一方で、路上駐車の影響を受けた多く発生しており、1 日あたり数回の頻度である。
- そのほか、植栽等の検知による停車や前方車両の減速・停車によるブレーキ操作などがこれまでに数回発生している。
- 交差部の走行単路部に比べて課題が多い。
- 特に交差点での右折時に歩行者や他の交通の影響、前方赤信号による急な停車などが多く、駐停車の回避と同様に 1 日あたり数回の頻度で発生している。
- そのほか、横断歩道を直進する際に歩行者や自転車を検知して手動介入を行うこともある。

② その他の要因

- これ以外に、GPS の受信感度の低下による手動介入が数日に 1 回程度、天気によるセンサー機能の低下が実証実験の開始からこれまでに 2 回程度発生している。

b) 走行技術における課題

現在の走行技術に関連する課題は以下のとおりである。青枠で示しているものが交差点に関連する事項である。緑は単路部での走行、オレンジは停留所での課題事項である。

GPS の受信感度不足による課題は、前で示したとおり既に路車協調技術である磁気マーカーを用いて解決済みである。

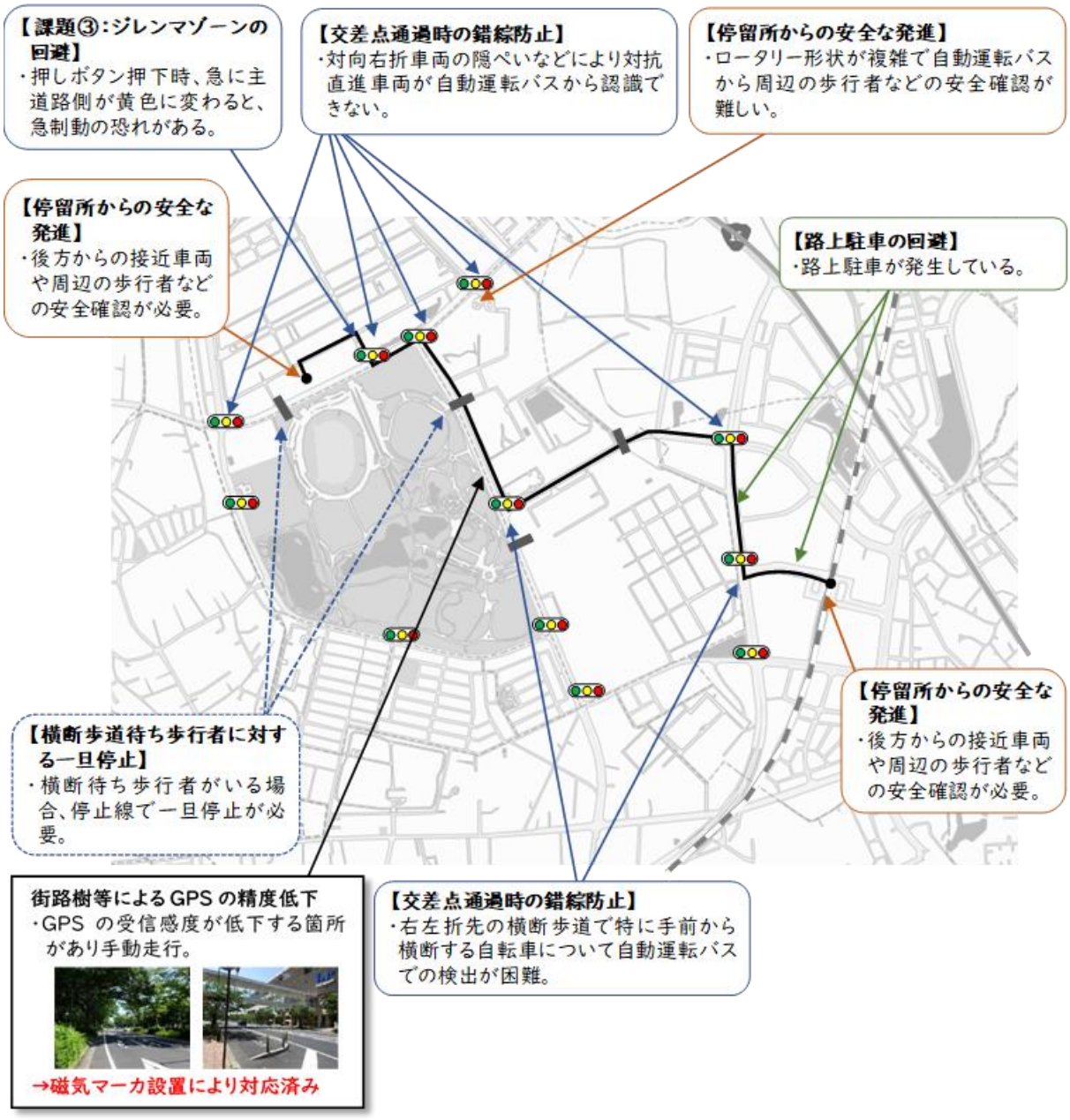


図 154　走行技術に関する課題発生箇所と課題内容

出所：NTT インフラネット提供の地図を元に作成

課題の表による整理は表 45 の通り。

表 45　走行技術における課題一覧

課題事項		解決に向けた対応
単路部の通行	・柏の葉公園横の街路所にて GPS 感度不足が発生	→位置情報の補足（磁気マーカーの設置・デジタル地図による補足）
	・駐停車車両による手動介入の発生	→駐停車車両の排除 →駐停車車両の事前の感知
	・歩道からの飛び出し	→外部のカメラセンサーによる周辺車両の確認
交差点部の通行	・交差点部分での速度低下による後続車の追い越し	→走行ルールの向上 →右左折レーンの設置
	・赤信号での急停車の発生	→信号連携の必要性
	・右左折時の対向車の確認	→外部のカメラセンサーによる周辺車両の確認
	・信号のない交差点での他交通の確認	
駅前広場・広場周辺の通行	・駅前のデッキ部分にて GPS 感度不足が発生	→位置情報の補足（磁気マーカーの設置・デジタル地図による補足）
	・駅周辺での歩行者の乱横断による自動走行の解除	→乱横断等を防ぐ構造 →外部のカメラセンサーによる周辺車両の確認
その他	・急停車等を行う場合の音声アナウンス	→社内環境の改善

c） 走行ルール等における課題

走行時の他の交通も含めたルールでの課題を表 46 の通り整理する。

表 46　走行ルール等における課題一覧

課題事項		解決に向けた対応
交通ルール	・ゼブラゾーンへは退避等の場合を除いて侵入できないため走行しない設定となっているが、滑らかな走行を考えると場所によっては侵入するほうが良い	→道路の形状や周辺の交通環境に応じて柔軟な走行経路の設定が必要 柔軟な走行が可能となるような道路形状等の整理が必要
	・右左折時、他交通の妨げにならないよう近い車線に入るが、道路形状や路上駐車等を考慮した自動走行設定ができるとよい	→周辺の交通に合わせた柔軟な走行
他交通	・交差点部分での速度低下による後続車の追い越し	→一般車のマナー向上

(b) 運行管理等に関する課題

運行管理にあたっての課題を表 47 のとおり整理する。

表 47　運行管理等に関する課題一覧

課題事項		解決に向けた対応
保守体制	・不具合に対してメール等で確認をしているが、すぐに電話などができる状況が良い	→定期的・突発的な保守管理にあたり速やかな対応ができるような体制及び仕組みが必要(契約の方法等も含む)
	・将来の路線バス等への導入を考えると、一定の範囲にシステム保守を行える人が必要である	
	・定期的な報告会や対応事項に伝達の場があるとよい(一般路線バスでは実施している)	
車両管理	・洗車の際にライダーが邪魔になる、カバー等がつけられるとよい	→管理方法の検討が必要

(c) 事業性に関する課題

2019 年の運行開始からこれまでの間、実証実験として運行を行っており、機器の準備から運行委託まで関連する事業者が自費にて行っている。そのため、現時点では目指す運行像にて運行できておらず、将来的に持続可能な交通手段として維持ができるよう、今後、以下の事項を整理していく必要があると考える。

a) 運行に関して

- 地域の循環交通として運行ができるように一般乗合旅客運送事業としての運行を目指して交通事業者との調整が必要である。
- 地域の移動ニーズに即したルートとすることが求められる。
- 一般乗合旅客運送事業として運行するにあたり、現在運行を行っている東京大学のシャトルバスとの棲み分けと利用者の区分が必要である。
- 周辺企業や団体と協力した運賃以外の収入確保方法などの可能性を検討する。
- 現在は無償リースにて車両を提供してもらっているが、リース費用やその負担者について整理が必要である。

b) 技術向上に関して

- 新たなルートに対応した必要技術の整理が必要であり、その技術の設置者・維持管理者の整理が必要である。

3. 柏地域における協調型レベル 4 サービスの導入

(a) 協調型レベル 4 ユースケースの検討

上記で整理した課題のうちインフラ／車車／歩車協調型の支援によって解決する課題について、その協調型支援の内容を検討してユースケースとして整理する。また、ユースケースの実現方策について検討する。

表 48　課題事項と対応する必要な協調型システム

課題事項		必要となる協調型システム
単路部の通行	・柏の葉公園横の街路所にてGPS感度不足が発生	【路・車①】磁気マーカー
	・駐停車車両による手動介入の発生	【路・車②】路上で障害物の検知センサー・カメラ
	・歩道からの飛び出し	【路・車②】路上で障害物の検知センサー・カメラ 【歩・車①】歩車協調のシステム
交差点部の通行	・交差点部分での速度低下による後続車の追い越し	【路①】走行レーンの設定 【車・車】周辺車両との通信による連携
	・赤信号での急停車の発生	【路・車④】信号連携システム 【路・車⑤】PTPS による公共交通の優先
	・右左折時の対向車の確認	【路・車③】交差点での障害物の検知センサー・カメラ
	・信号のない交差点での他交通の確認	【路・車③】交差点での障害物の検知センサー・カメラ 【車・車】周辺車両との通信による連携
駅前広場・広場周辺の通行	・駅前のデッキ部分にて GPS 感度不足が発生	【路・車①】磁気マーカー
	・駅周辺での歩行者の乱横断による自動走行の解除	【路・車②】路上で障害物の検知センサー・カメラ 【路②】(駅前広場計上の変更)
その他	・急停車等を行う場合の音声アナウンス	【車】車内管理システム

前で整理した課題のうち特に走行環境について、街路樹等による GPS の受信感度不良や、交差点での信号情報の把握、対向車や横断歩道を横断する歩行者・自転車の状況把握、路上駐車への対応が特に課題となっている。

これまでに挙げた課題のうち、走行技術に関する課題と対応の方向性（必要となる協調型システム）を以下のとおり整理する。

a) これまでの実施事項

前で整理した課題のうち、GPS の位置推定の感度不足等を受けて、これまでに磁気マーカーの設置を行い、路車協調を行っている。【路・車①】

柏の葉シャトルバスの運行ルートにて、駅前の施設デッキ下の通行、柏の葉公園横の植栽の多い道路の通行において GPS の位置推定の感度不足が生じた。その区間の補完として磁気マーカーを設置している。

① 磁気マーカーについて

磁気マーカーは、車両側の磁気センサーと組み合わせて自動運転車両の走行位置を規定の場所に保つため道路上に設置するものであり、微弱な磁力を用いているため他への影響がない。

- 設置間隔：約 20m間隔（交差点部は約 5m間隔）
- 設置場所：車線中心線上
- 設置費用：250 万円/ｋｍ程度を想定

柏実証実験で時期マーカーを敷設する目的は以下の通り。

- RTK-GPS が受信しづらい区間において、IMU と組み合わせて自己位置推定（横変位、ヨー角、縦方向位置）を行うことで、自動運転を継続する
- コスト低減・メンテナンス性向上のため、磁気マーカーの敷設間隔を長くすることについて検討する
- 施工コスト・時間削減のため、磁気マーカーがランダムに配置されたときの、自己位置推定方法および制御性を検証する
- システム簡素化のため、磁気センサーを 1 本にしても、IMU と組み合わせて十分な自己位置推定精度が得られるか検証する

② RTK-GPS 受信状況（事前計測）・磁気マーカー施工範囲検討

柏の葉公園付近、柏の葉キャンパス駅付近の 2 箇所において、位置推定の感度が低下していた。

位置推定精度を補完すべく、感度低下箇所を含む 2 つの区間において、磁気マーカーの設置を行った。磁気マーカーの設置距離、感度低下の理由は表 49 のとおり。

なお、磁気マーカーの設置間隔や設置方法の検証を目的として、2m 等間隔での設置のほか、10m 間隔・ランダム配置などの設置も行っている。

表 49　磁気マーカー設置箇所・設置状況

箇所		理由	概ねの設置距離
①	柏の葉公園横	並木による遮断	約 300m(往復)
②	柏の葉駅	渡り廊下による遮断	約 200m(往復)

b) 今年度の実施及び今後の予定事項

前に示した課題と対応の方針のうち、今年度は協調型レベル 4 での運行に向けた路車協調システムの検証を開始する。項目としては大きく次の 3 つとなる。

【路・車②】路上で障害物の検知センサー・カメラ
【路・車③】交差点での障害物の検知センサー・カメラ
【路・車④】信号連携システム

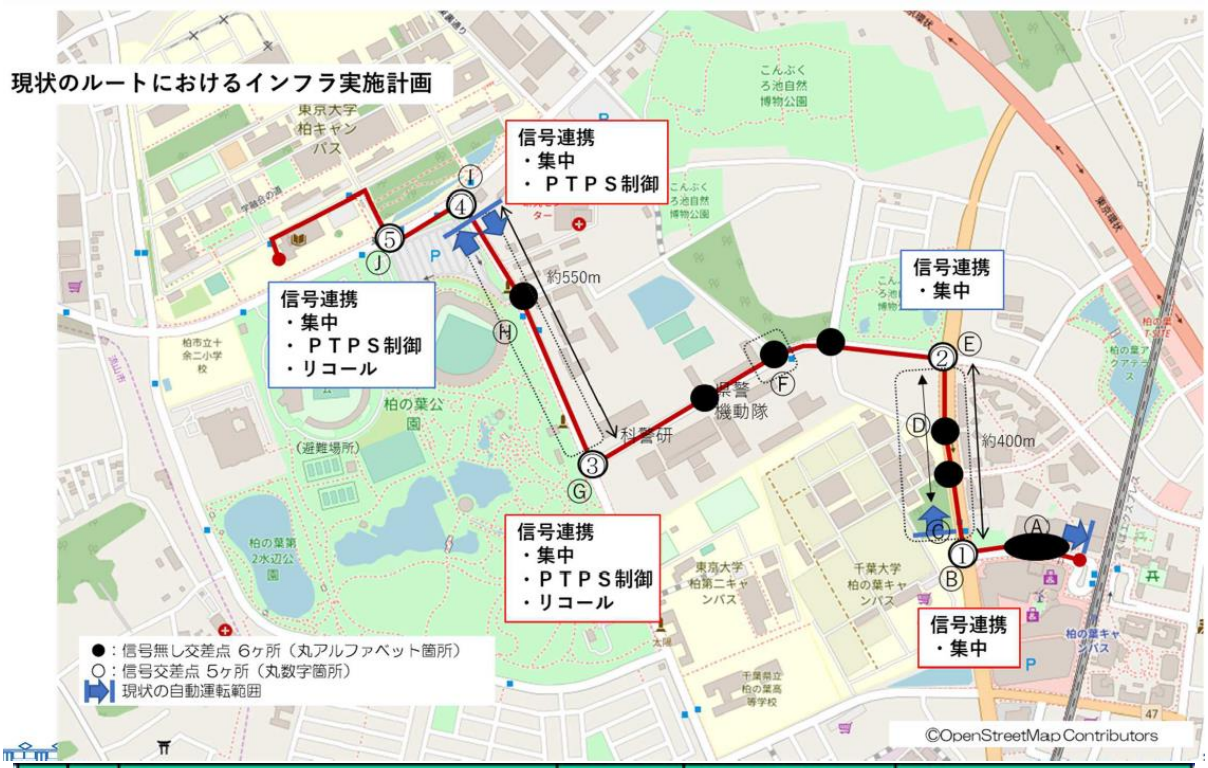
① 令和 3 年度の検討内容

自動運転レベル 4 の早期実現に向けて、令和 3 年度から協調型システムの導入の実証実験の実施準備及び一部実施を行っている。令和 3 年度に行った協調型レベル 4 に向けたインフラ連携の実証実験の内容は以下のとおりである。

まず、実証実験の目的としては、自動運転バスの継続運行を実現するための課題の抽出と、抽出した課題に対し、インフラ協調による解決策の提案、実証を行い、ODD の拡大を図ることであり、また一般車両や歩行者等との混在空間において、インフラ協調による支援の検討を行い、社会実装に向けた検証を行うことである。

インフラメーカーが合同（コイト電工・ＩＨＩ及び日本信号）で実証実験を推進することで、標準化に向けた有効性の確認を行うとともに、標準化を行っている関係団体等に対し提案を行う。

実証では、図 155 の位置に機器設置を行っている。



		場所	担当メーカ	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）	Ⓑ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）	Ⓓ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）	Ⓖ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）	Ⓘと同位置
	⑤	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	コイト電工	信号情報連携 （灯色・残り時間）	Ⓙと同位置
障害物・危険情報提供	Ⓐ	柏の葉キャンパス駅西口ロータリ	日本信号	路上駐車検出支援	
	Ⓑ	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	右左折支援	①信号と同位置 （信号柱共架依頼）
	Ⓒ	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	
	Ⓓ	①信号～②信号間	コイト電工 ＩＨＩ	路上駐車検出支援	
	Ⓔ	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信号と同位置 （信号柱共架依頼）
	Ⓕ	（第３機動隊東側）	コイト電工	側道飛出検知支援	
	Ⓖ	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信号と同位置 （信号柱共架依頼）
	Ⓗ	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	
	Ⓘ	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信号と同位置 （信号柱共架依頼）
	Ⓙ	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信号と同位置 （信号柱共架依頼）

図 155　現状のルートにおけるインフラ設置計画

出所：柏市ＩＴＳ推進協議会企画部会構成員の協調型システム検討団体から部会内への提供資料

② 令和 3 年度の検討結果

今年度については、各関係者との協議を行った結果、問題なく各機器の設置を行うことができた。なお、令和 4 年 1 月末に機器を設置した状況であり、現在、データ収集を行っている。今後、一定のデータの蓄積を待って詳細な課題等の分析を行う。

③ 令和 4 年度以降の検討予定

令和 4 年度について、設置した機器をもとにデータの収集を行うとともに、協調型レベル 4 での自動運転実施に向けて、技術検証を進める予定である。

c) ユースケースの実施方策

① 地域内での協調型レベル 4 が必要な箇所の把握

柏の葉地域では、現在レベル 2 にて運行を行っている自動運転シャトルバスの自動運転レベルを上げるとともに、地域循環交通として運行範囲を拡大していくことを検討している。

現在の運行ルートにおいて、対向車の状況確認ができない箇所がある、信号のない交差点での歩行者等の検知が必要である、駐停車車両の回避が必要である等の課題が存在している。

現在の運行ルートでの課題をもとに、運行可能性がある範囲内で同様の課題がある箇所を以下のとおり整理する。

信号交差点　　：　14 箇所
信号のない横断歩道：　4 か所

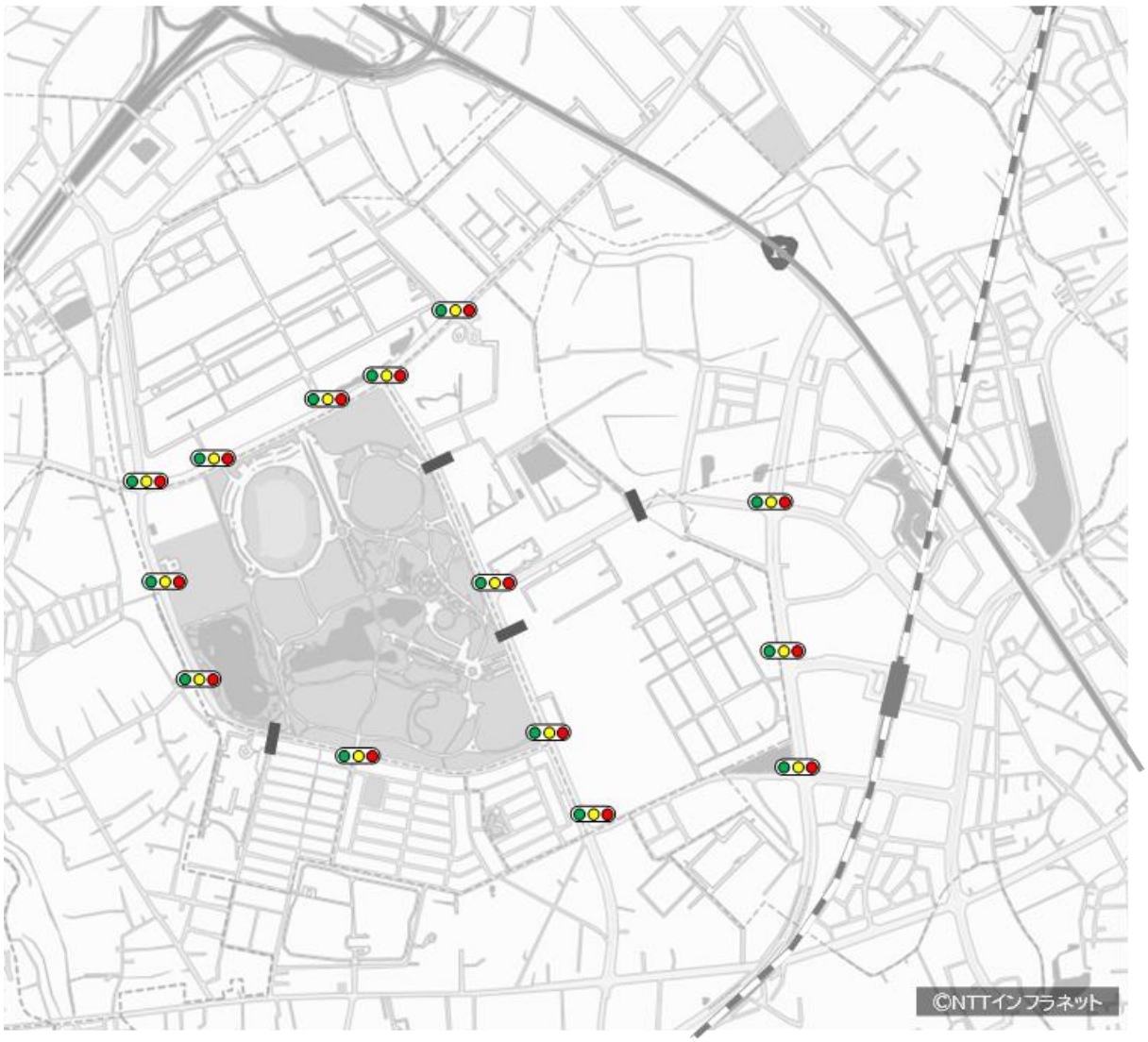


図 156　地域内における協調型レベル 4 必要箇所一覧

② 課題解決に向けたユースケース

前に示した箇所のうち、令和 3 年度の検討にて協調型インフラ連携システムの設置を行った箇所及び行った内容は以下のとおりである。

その他の箇所において、運行ルートの設定によっては対応を行っていくことが望まれる。なお、後述するとおり、地域内を網羅的に運行する循環型交通を導入することを目標とはしておらず、主要な施設間を運行することを考えていることから、すべての箇所で必要な状況ではない。

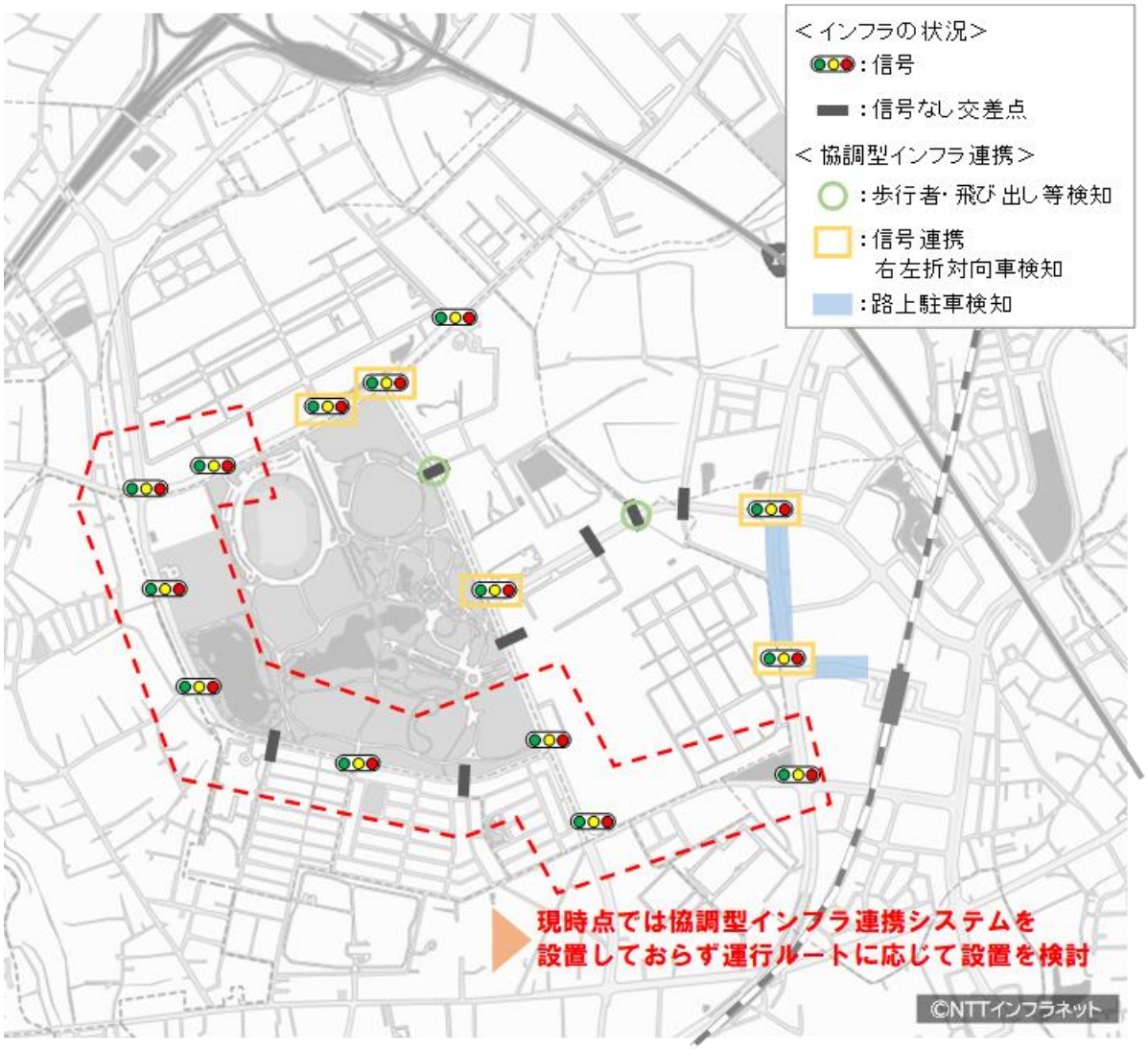


図 157　令和 3 年度検討での協調型インフラ連携システム設置箇所

(b) ユースケースの事業モデル検討

a) ユースケースを実現するビジネスモデルの検討方針

① ビジネスモデルの全体像の整理

現時点において柏の葉地域での自動運転ビジネスモデルの全体像は以下のとおり考えている。

協調型インフラ連携システムにより収集したデータを交通プラットフォームに集約し、集約したデータを、リアルタイムにて交通参加者に提供し自動走行を可能とするリアルタイム交通ビジネスと、蓄積された交通データを他の交通関連企業へ提供する、スマートシティプラットフォームで蓄積されたデータとともに活用するなどの蓄積データビジネスの大きく 2 つが必要と考える。

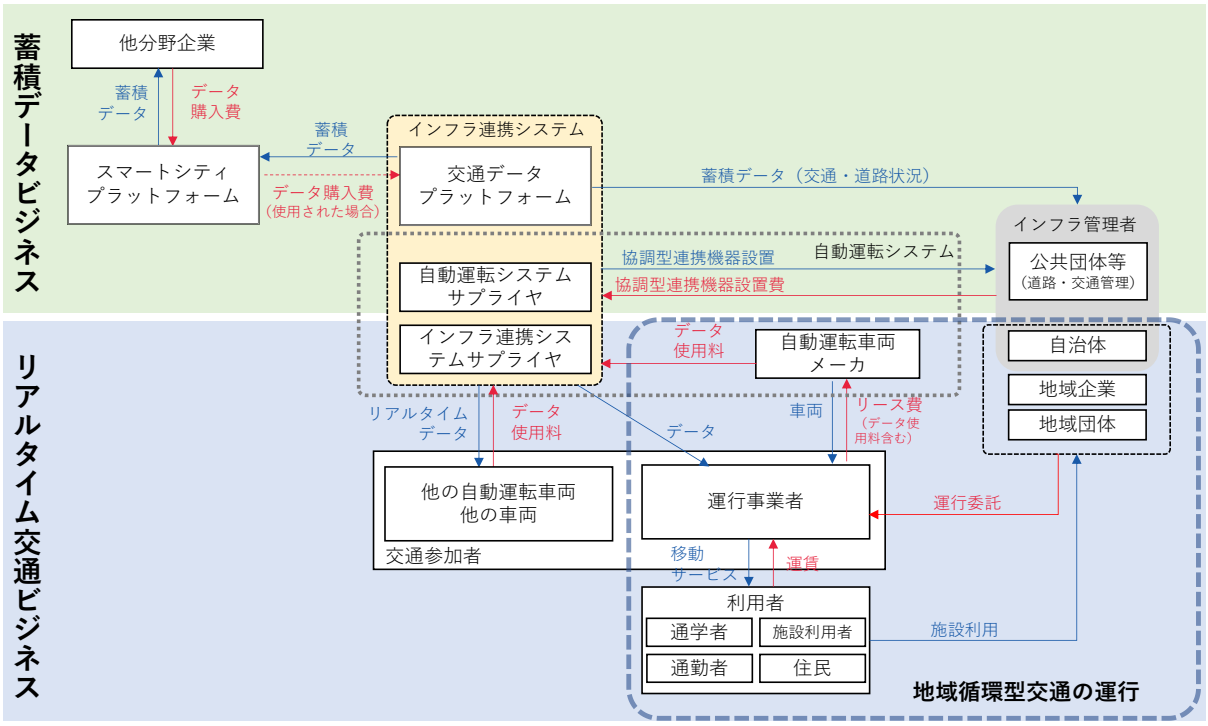


図 158　ユースケースを実現するビジネスモデルの全体像

交通プラットフォームは、個別の地域で閉じたものではなく、共通の仕様・可能な範囲で広域連携が図られたものを想定する。これにより、交通プラットフォームに蓄積されるデータのカバー範囲が広がり、データビジネスを行う上での活用可能性が高まると考える。

また、このように広域的な設置の観点から、協調型インフラ連携システムは公共事業やそれに近いものとして設置され、維持管理が行われることを想定する。

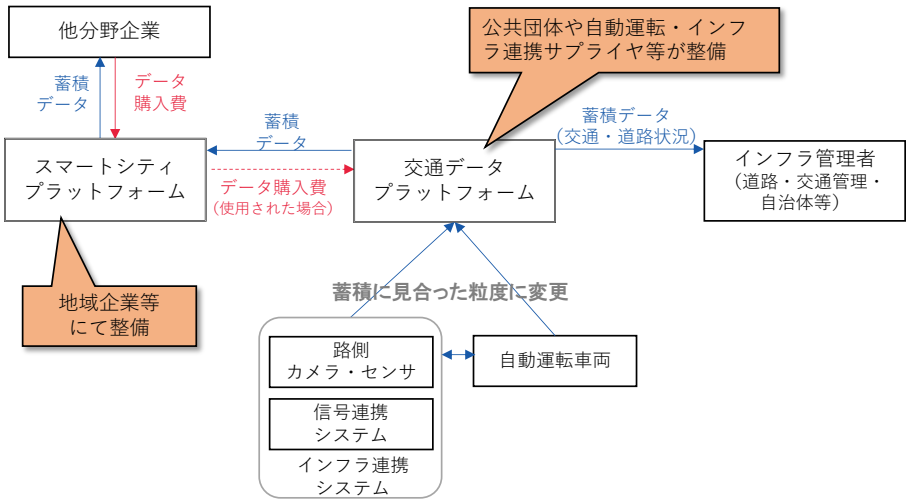


図 159　交通プラットフォーム・協調型インフラ連携システムの役割

現在運行を想定している、自動運転による地域循環型交通以外の交通参加者（手動運転車両・自動運転車両）に対しても協調型インフラ連携システムにより取得したデータをリアルタイムにて提供することを想定する。信号連携システムによる信号灯色情報やセンサー等による飛び出し情報などは自動運転車両のみならず手動運転車両の高度運転アシスト機能としても有効と考えられる。また、自動運転車両等の通行の状況から現在の交通状況を把握し、混雑状況等として活用することも考えられる。

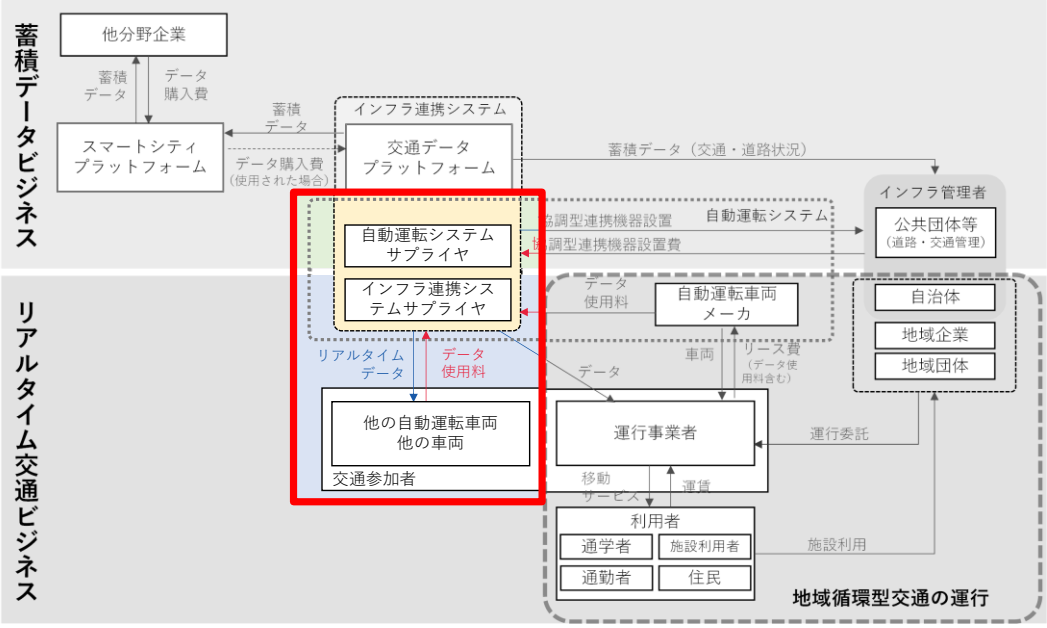


図 160　インフラ連携システムと交通参加者の関係

また、柏の葉地域ではスマートシティデータプラットフォームを整備しており、協調型インフラ連携にて取得したデータのうち一部をスマートシティデータプラットフォームに提供することが考えられる。提供データは取得データのうち一部の蓄積データを想定している。

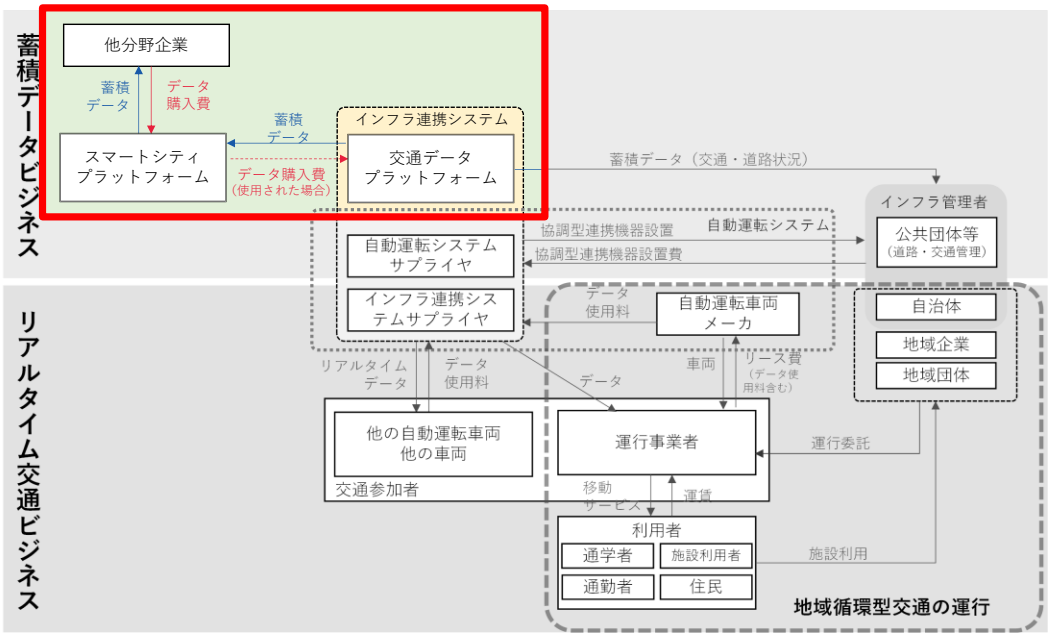


図 161　インフラ連携システムとスマートシティデータプラットフォームとの連携

柏の葉地域で導入することを想定している地域循環型交通では、交通ビジネスの一部となることを想定している。将来において、他の自動運転車両も協調型インフラ連携システムによるデータを用いて運行を行うこととなるが、その際、協調型インフラ連携システムデータを購入することを想定する。

公共交通など運行事業者の場合、自動運転車両をリースにより取得することが考えられ、そのリース料と合わせてデータ使用料を支払うことを想定する。

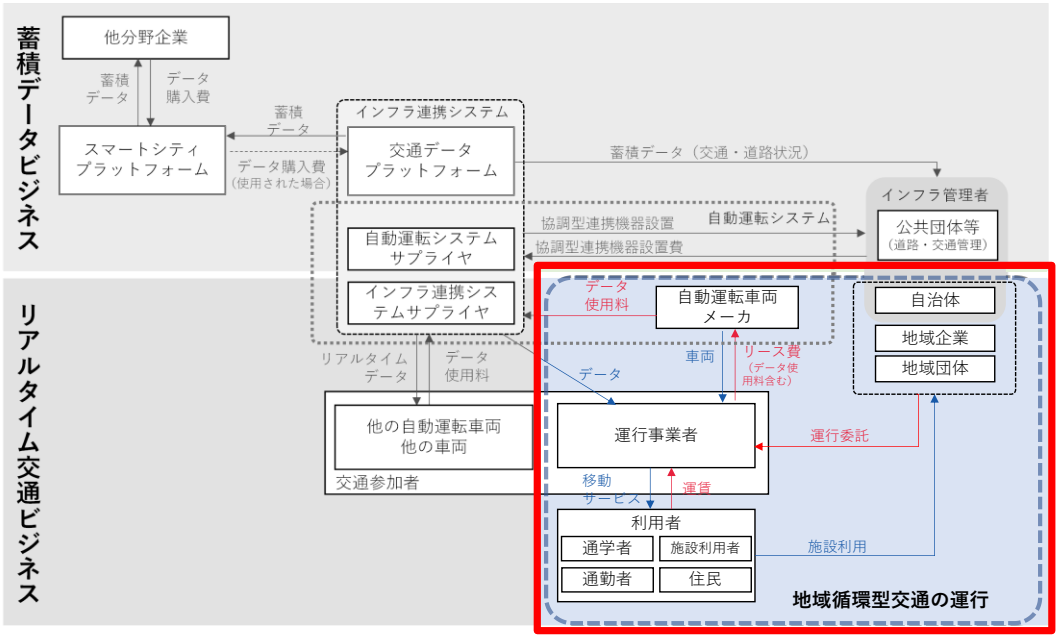


図 162　地域循環型交通について

② ビジネスモデルの検討を行うユースケースの設定

レベル 4 自動運転の早期導入に向けた協調型システムの設置や維持管理には一定の費用が必要になり、その設置・維持管理者、費用の負担者を整理するとともに、各負担者の負担を軽減する仕組みの構築が求められる。

また、柏の葉地域では自動運転を循環交通として導入することを想定している状況であり、その実現に向けた運行管理面での仕組み構築も必要となる。

そこで、以下の 4 点について、協調型レベル 4 に向けた事業モデルの検討を行うこととする。

1．全国共通化を見据えた事業モデルの検討

①協調型インフラ連携システムの設置の効率化

・インフラ連携協調型システムの機器設置やその維持管理における費用負担を軽減する方法について検討

②データ活用ビジネス

・協調型インフラ連携システムにより収集したデータを用いたビジネスができないか検討

・さらに、スマートシティデータプラットフォームとの連携可能性について検討

③リアルタイムデータを活用した交通ビジネス

・自動運転に関連するリアルタイムでのデータの活用、リアルタイムデータを蓄積したデータの活用等を検討

2．柏の葉地域での地域循環型交通の導入を実現するための事業モデルの検討

④地域循環型交通の導入に向けた事業モデル

・自動運転レベル 4 による地域循環交通の導入に向けて運行主体等の役割分担やその他の料金収受の方法を検討

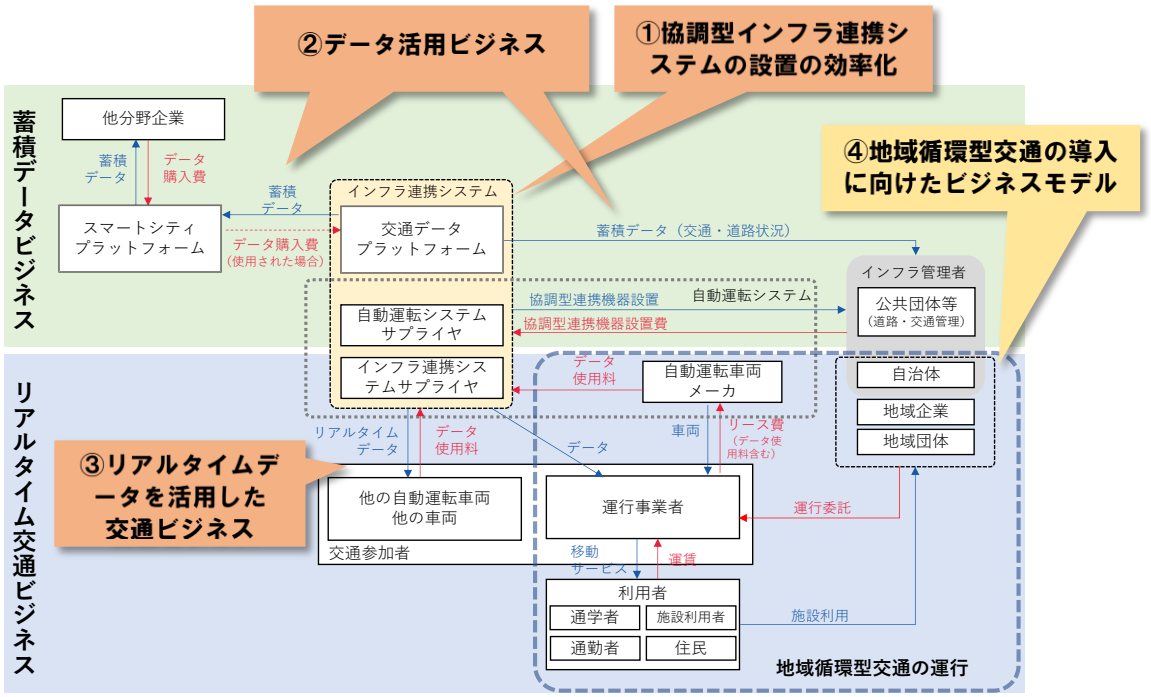


図 163　ビジネスモデル全体像と検討事項の関係

b） 協調型インフラ連携システムの設置の効率化

レベル 4 自動運転のインフラ取得にあたり、データ収集のために必要な機器設置及び維持管理費用について、公共団体（道路・交通管理者）や自治体がインフラとして整備することを想定している。この設置費用や維持管理費用の軽減方法がないか検討を行った。

① 5G 基地局を活用した効率化

警察庁主導のプロジェクト：プリズム（2017 年～）や、総務省にて、交通信号機を活用した第 5 世代移動通信システムネットワークの整備に向けた調査検討を行っている。

検討のユースケースにおいて、交通情報の提供や車両情報の収集、カメラセンサーを活用した見守りや警備への活用検討を行っている。

<ユースケース検討結果>

ユースケース分類	ユースケース概要	本施策との親和性	
		信号情報活用	交差点付近
① 交通管制の高度化	交通量や緊急車両通過、周辺交差点の信号点灯状況と連動した高度な信号制御等を実施。	○	○
② 交通情報の提供や車両情報の収集	車両情報を収集し、人や自動車に対して交通情報を提供することで事故防止などに役立てる。	○	○
③ 見守り・警備	交差点で取得したカメラ・センサデータを活用し、子どもや高齢者の見守り、警備に役立てる。	－	○
④ センサ等IoTプラットフォーム	温度・湿度、風力、雨量、大気汚染等を計測するセンサを設置して環境対策・都市計画等に役立てる。	○	○
⑤ 災害時の避難誘導・被害状況確認	災害時に火災発生、浸水、道路の地割れ等の状況を把握し、被災者に避難誘導の情報提供を行う。	○	○

【凡例】
◎：全ユースケースと親和性あり　○：ユースケースと親和性あり　－：親和性はない

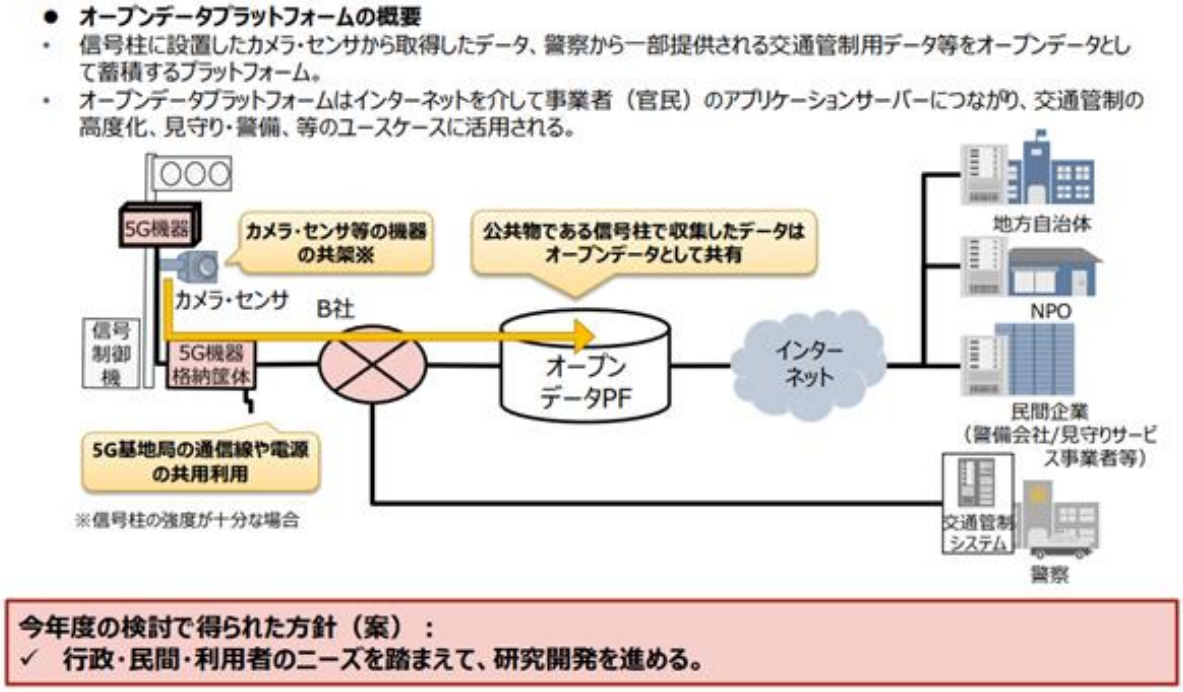


図 164　5G 基地局を活用した効率化のイメージ

出所：総務省「交通信号機を活用した第 5 世代移動通信システムネットワークの整備に向けた調査検討報告書（令和元年度）概要版」

前で示した 5G アンテナを設置とあわせて、協調型インフラ連携システムを設置することで、機器設置の効率化を図るとともに、キャリア会社等から支払われる 5G アンテナの設置料を活用することで、信号情報システムやカメラやセンサー等の設置・維持管理費用を補完することができないかと考える。

また、設置したカメラセンサー・信号連携機器そのものもしくはそれにより取得可能なデータを、インフラ管理者が現在行っている他のシステムの代替として使用することが考えられる。

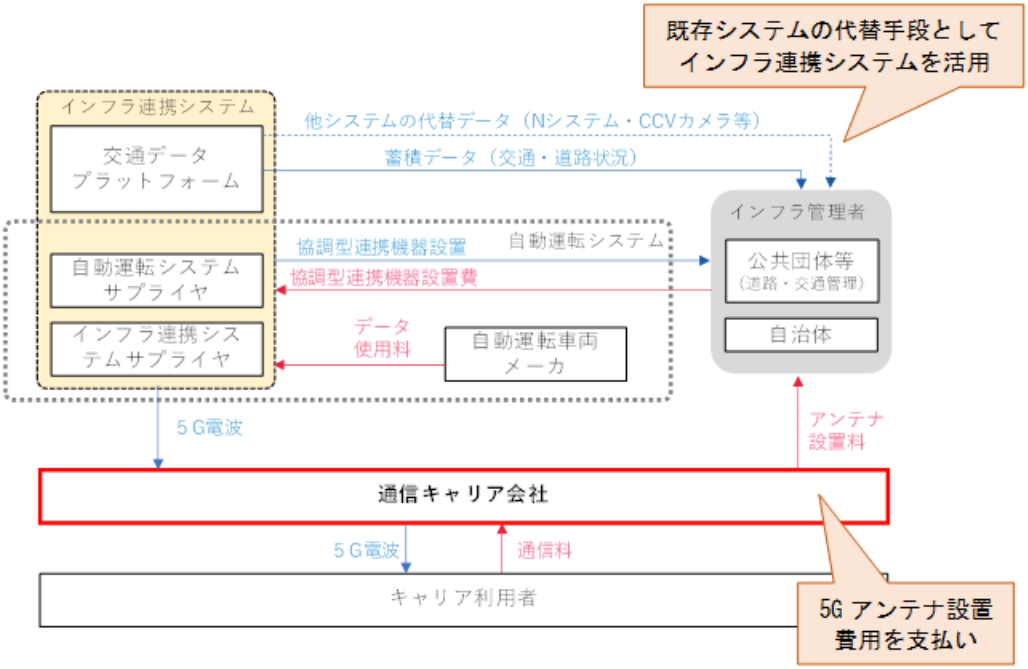


図 165　5G 基地局活用時の想定ステークホルダー・データ等の流れ

警察庁主導のプロジェクトであるプリズムの検討関係者とともに意見交換を行った結果、以下の状況であった。

現在の信号通信の回線から変更することにメリットはあるが、以下のような課題があり、プリズム及び総務省での検討が進んでいない状況である。

インフラ連携に設置を活用することが難しいこと、信号への 5G 回線設置の検討が進まない状況である。

■ 検討方法の違い

- インフラ協調、信号連携の検討は SIP とは別に、警察が安全運転支援を目的として ITS 無線を使って行うことから検討が進んでいる。
- 一方で、信号への 5G 基地局データの設置及びそれを用いた信号同士の連携は現在の信号連携回線からの変更等を目的として検討を行っている。
- 検討を開始した時点での視点等が違い、交わる部分があるかが不確かな状況である。

■ 費用確認の認識

- 5G 基地局設置により得られる設置費用は既に警察庁にて既存の信号機の維持管理活用に活用する予定である。そのためインフラ連携に使っていくことはできない可能性がある。

■ 信号の設置体制の課題

➢ 信号設置は都道府県の警察の管轄であり、各都道府県によって業者選定や管理、5G 基地局を設置するとした場合の貸し出しの方法などの統一が難しい状況である。

② スマートシティにて収集している他の取得データの活用

自動運転インフラ連携のために機器を設置してデータを収集するのでは非効率であり、スマートシティ等で別途収集を予定しているデータを活用することで、一部効率的にデータの収集を行うことができないか検討した。

柏の葉地域ではスマートシティの対応の 1 つとして人流データ等の収集も行っており、このデータをインフラ連携データの代替とできないか検討した。

<u>AI カメラの設置概要</u>

エッジ AI カメラを 29 台導入。駅前の混雑といった課題や、防犯や見守りに対する住民のニーズの高まりに対応するため、AI によるリアルタイム画像分析により通行人の異常行動や立ち入りの検知ならびに人流分析を行う。

図 166　AI カメラの設置場所・活用イメージ

出所：三井不動産「国内最大規模、柏の葉キャンパス駅周辺街区に AI カメラ 29 台を設置。AI カメラを柏の葉スマートシティに導入リアルタイム画像分析で、住民の安心・安全なタウンマネジメントを開始」

柏の葉スマートシティでは、防犯や街の安全性向上のため人流カメラの設置を行っている。

このようなカメラの画角の調整などにより、現在、インフラ連携で設置を検討している飛び出し検知等のカメラセンサーの代替とする。

実現可能性・課題については、インフラ連携で把握しているデータの内容が不確かであり、現時点では具体的な調整を行えていない。データの内容などを整理して内容を確認し、可能性について引き続き検討を行う。

c) 地域循環型交通の導入に向けたユースケース

ここまでの整理では、インフラ連携技術により取得するデータを活用したビジネスモデルのユースケース検討を行った。一方で、柏の葉地域で導入を目指している地域循環型交通の導入に向けて、運行における役割分担の整理や費用面の分担確認を行う必要がある。

ここでは、地域循環型交通を自動運転にて導入する際のユースケースを検討する。

① 運行形態の確認

現在の自動運転バスは東京大学が東武バスセントラルに対して運行委託を行う貸切旅客運送事業である。そのため、東京大学の関係者のみが乗車可能であり地域の交通手段として利用することはできない。

地域の交通手段として利用可能とするため、①地域の新たな運営主体が委託を行って運行を行う場合と、②路線バスとして運行を行う場合の 2 つのパターンがあると考える。

また、②路線バスの場合は一般的な設定により運賃収受を行うが、①新たな組織による施設循環バスの位置づけで運行を行う場合、運賃収受の有無や運行形態によって 3 パターン程度の方法が考えられる。

表 50　自動運転バスの運行形態等の整理

	①新たな組織による施設循環バス			②路線バス
	①-1	①-2	①-3	
運行主体	新しい運営組織 （単一・共同組織）	新しい運営組織 （単一・共同組織）	新しい運営組織 （単一・共同組織）	バス事業
事業分類	一般貸切・特定	一般貸切・特定	一般乗合 （コミバスのような委託形態）	一般乗合
運賃収受	なし	あり	あり	あり
利用者	運行主体との契約者	運行主体との契約者	一般利用者 （利用者がバス乗車時に支払い）	一般利用者 （利用者がバス乗車時に支払い）

上記の 4 つの運行形態をもとに、運行に関連する関係者にて確認を行った。

最終的な判断ができる状況ではないものの、地域の交通事業者において路線バスでの運行に向けて検討する余地があるとこの都から、②路線バスでの運行を目指し今後の対応を検討することとする。

■ 地域循環交通の導入を要望する主体（三井不動産・UDCK・柏市等）の意見

- 地域の持続可能な交通として地域循環交通を導入する観点から、可能な限り他の公共交通と同様の運行形態での運行が望ましい。
- 公共交通事業者が乗合旅客運送事業として自動運転の運行及び運行管理を把握できることが望ましいと考える。

■ 地域の交通事業者

- 車両を別途確保してもらい無償などで提供してもらうこと、運行により赤字が生じた場合は補填を行うことなどの条件設定及びその具体的な方法を検討することが可能であれば、路線バスでの地域循環交通の運行を検討できる可能性がある。
- 地域循環交通を自動運転車両にて運行することも検討することは可能である。（地域循環交通の運行頻度に応じて自動運転の運行は一部のみ）

② 事業モデルの検討

柏の葉地域での地域循環型交通の運行は、以下のようなビジネスモデルの導入を検討する。

現在の公共交通と同様の利用者からの運賃収受モデルを基本としつつ、自動運転車両メーカーから車両のリースを受ける。協調型インフラ連携システムデータのリアルタイムデータは直接システムから受け取るが、データの使用料は受信機器を設置している自動運転車両メーカーに対してリース料金として支払うことを想定する。

なお、利用者数の状況などにより運行に赤字が生じた場合は、地域の公共交通として支える意図として、自治体や地域の企業・大学等が運行経費の補填や通勤・通学に対する補助により利用者数の増加を促すことで運行事業者を支えることが考えられる。

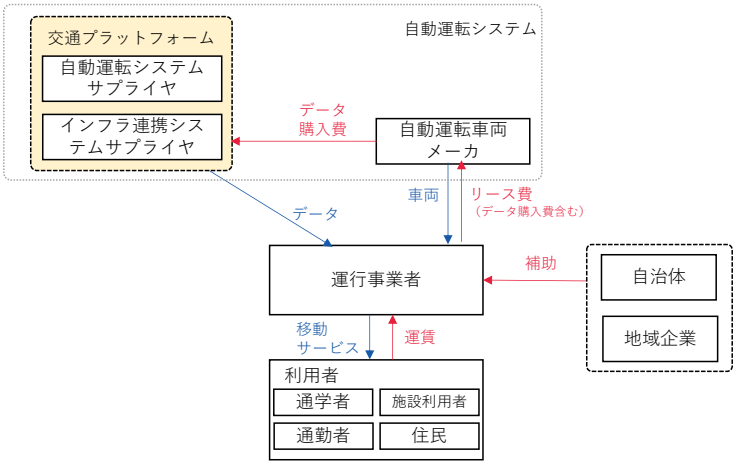


図 167　柏の葉地域での地域循環型交通のビジネスモデル

なお、現在の自動運転車両は一般の車両に対して大変高価な状況である。また、協調型レベル 4 の導入当初は運転手不在での運行を行うことができないことが考えられ、運行経費の削減が図れない可能性がある。

この状態で運行事業者が自ら車両をリースして運行を行うことは困難と考えられ、協調型レベル 4 の導入初期の段階では、事業実験という位置づけにおいて運行事業者に車両を提供することなどが考えられる。

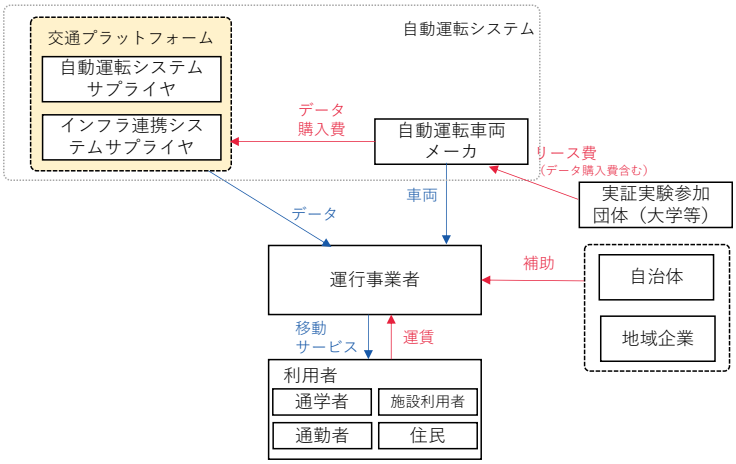


図 168　柏の葉地域での地域循環型交通のビジネスモデル（導入初期段階）

(2)　藤沢地域

1.　これまでの取組み

(a) 取組み背景（Last 10-mile ビジョン）

パナソニックは、これまで 100 年間、家の中を中心に、家電というハードウエアを生み出し提供していくことで、便利なくらしの実現に向けたお役立ちを目指してきた。

しかし、人々のくらしは、家の中だけにとどまらず、買い物、通勤・通学、通院など、家の外にも移動を伴った多くの目的が存在している。

パナソニックでは、このような生活圏全体=Last 10-mile でくらしを活性化させることを目指し、都市を構成する様々な要素を繋ぐ「モビリティ」の在り方を見直すことで、新たなライフスタイルを生み出すことが可能となると考えた。（図 169）

私たちが考える理想の人中心の街は、歩行者と小型 e モビリティが共存できる緑道を中心とする、活性化したコミュニティを形成している街である。緑道は低速かつ地域内移動専用で、高速・長距離移動のモビリティと分離されており、それらはモビリティハブで結ばれる。さらに、地域内で使われる小型 e モビリティは、共用にして台数も少なくし、管理も一元化することで、より多くの共用スペースを生み、多くの広場などが形成され、コミュニケーションの活性化に寄与すると考える。キーコンセプトは以下の 3 つである。

① 人を元気に：移動にまつわる体力的、経済的、心理的な負担をなくし、人の移動のファーストワンマイルをサポートする。

② コミュニティを元気に：車道中心から人が使う緑道中心に、そして、人が憩い、活動するためのスペースへ。人と人がつながり、多様な生活や新しい役割・仕事が生まれ、地域を活性化させる。

③ 地球を元気に：移動に必要な環境負荷を低減できる手段や運用を創り出し、人と自然と街が調和するモビリティを生み出す。

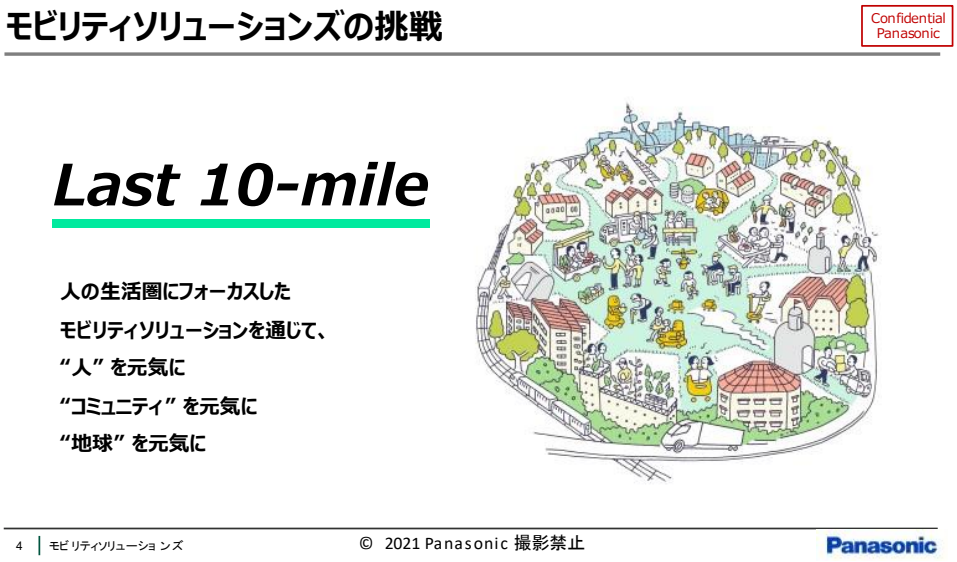


図 169　Last 10-mile のコンセプト

(b) 自動運転に関する取組み

a) 自動運転ライドシェア

パナソニックでは、2019 年から、企業構内を活性化させるシェアモビリティのサービス化に取り組んできている。パナソニックの本社構内は約 2.0km 四方の敷地があり、技術部門を中心に 6 事業場に約 1.4 万人の従業員が働いている。ここでは、施設間移動用に小型バス、シェア自転車などが、複数の総務部門によって管理運営されている。

小型バスは、約 30 分に 1 本、先着順に利用可能である。このバスの運用コストを上げることなく、従業員の利便性を向上させることを狙い、電動カートによる自動運転ライドシェアバスの導入実証を行っている（図 170）。

自動運転ライドシェアバスは、2022 年 2 月現在は運行を休止しているが、15 分～20 分に 1 本運行し、従業員のスマホから予約が可能であった。また、定時運行とオンデマンド運行を混在させる運用を行うことでより利便性を向上させた。

導入には、安全性と利便性に関して、厳しい評価が求められた。関連総務部門と共に約 1 年間検討と実験を重ね、運用データを蓄積、安全を監視・安全性と評価するシステムと対応策を構築しながら、2019 年 10 月より本サービスを開始し、10,050km 以上無事故で運用した実績を持つ。当時は保安員が同乗していたが、将来はレベル 4 の実現を目指す。

他にも、シェア自転車も IoT 化し、使える自転車をスマホから確認・開錠も可能となり、予約・鍵管理不要で利用できるようにした。このように、従業員の移動の利便性向上を一元的にサポートし、業務効率化とイノベーションの活性化を目指して取り組んでいる。

図 170　自動運転ライドシェア車両

b) 小型・低速の自律走行ロボットによる安全技術と効率運用の進化

パナソニックでは、前述した自動運転技術とロボティクス技術を融合、自動運転のより早期の社会貢献と実用化を目指して、小型・低速の自律走行ロボット・自動運転ソリューションを開発し、安全技術と効率運用の進化に取り組んでいる。これまで、自動走行型、または自動追従型の 2 種類のロボットを商品化してきている。

① 屋内向け自動配送ロボット HOSPI

自動配送ロボット HOPSI は病院等での薬剤や検体の搬送を自動で行う自動搬送ロボットである。24 時間 365 日、人手不足の課題に対応する。特に、休日や夜間などスタッフのやりくりが大変なとき、患者のベッドサイドサポートに集中したいとき、 スタッフに代わって、薬や検体を確実に搬送する。現在のタイプは 2013 年 10 月から発売を開始している（図 171）。

HOSPI は予め記憶した施設の地図情報をもとに、目的地までの経路を自ら判断して走行できるため、施設内の走行経路ガイドが不要である。また、エレベータへの乗降機能があり、多層階の施設においては、エレベータに自ら乗りこみ、目的地まで走行する。利用時には、利用者が感じる不安や乗降時に HOSPI が障害になることを避けるため、エレベータを一時的に HOSPI 専用モードに切り替える。病院施設内を自在に走行する HOSPI は、高度な障害物検知センサーシステムによ

り、細い点滴台や背の低い歩行器なども検知することで、周囲の状況に応じて、スピードや進路を変更する。例えば、車椅子の患者に遭遇したときには、減速するとともに、スペースがあれば進路を変更し、安全に走行する。

すでに、国内外の病院[4]にて導入・活用がされている。

屋内多目的ロボット
HOSPI

図 171　HOSPI

② 追従型電動車いす PiiMo

ロボティックモビリティ「PiiMo（ピーモ）」は、安全停止機能、追従走行機能を有し、安全・快適な移動のサポートを実現する。ロボティックモビリティ PiiMo は、障害物を検知すると減速または停止する「自動停止機能」、先行機体に追従動作する「自動追従機能」を有した新しいモビリティであり、先頭の一台を搭乗者もしくはスタッフが操作し、後続のモビリティが自動追従することで、安全に効率よくグループの移動をサポートする（図 172）。

2015 年から WHILL 株式会社と超高齢社会において移動困難者の移動をサポートするロボット型電動車いすを共同開発してきた。特に、パナソニックは WHILL 社のパーソナルモビリティ WHILL（ウイル）をベースに独自の安全技術、制御技術を搭載したロボティックモビリティの開発を行

[4] **国内事例紹介**　https://lp.jpn.panasonic.biz/hospi.html
海外事例紹介　https://news.panasonic.com/jp/topics/2015/44017.html

い、空港[5]、駅[6]など様々な環境で実証実験を積み重ねてきた。2020 年 11 月より発売を開始している[7]。

移動サポートの活用[8]として様々な用途の検討を進めている。

パナソニックは自動運転ライドシェア以外にも、小型・低速の自律走行ロボット・自動運転ソリューションを開発し、安全技術と効率運用の進化に取り組んできた。

図 172　PiiMo

(c) 藤沢地域での取組み概要

藤沢地域ではくらしに寄り添う次世代モビリティ―サービスが街にあふれ、住宅地域の小売店舗などの商品配送への自動運転モビリティ活用、運送事業者や EC の配送システムへの同モビリティ活用、デベロッパーなど地域での保安や生活インフラサービスの提供をモビリティを通じて行う社会へ向けた取組みを行っている（図 173）。また、図 174 に、それぞれのサービスのイメージを示す。

具体的には、地域住民が望むものやサービスを、自動運転車両や自律走行可能なロボットにより、いつでもどこでも非対面で気軽に受けることができる社会を目指し、それを支えるモビリティ事業の成立のため、Last 10-mile のコンセプトに基づき、これまでの自動運転ライドシェアに

[5] https://news.panasonic.com/jp/topics/165730.html　等
[6] https://news.panasonic.com/jp/topics/203867.html　等
[7] https://www.panasonic.com/jp/company/ppe/piimo.html
[8] https://www.pref.yamanashi.jp/chiji/dekigoto/0311/03_02.html　等

おける遠隔管制技術、および小型・低速ロボットの技術を併用した動運転ロボット（原動機付自転車扱い）によるサービスの実証実験を行っている。

図 173　サービスの全体像

図 174　具体的なサービスのイメージ

モノの移動について、EC やフードデリバリの急増による配達員不足や、安全・衛生面での非対面ニーズが高まっている。パナソニックでは、よりくらしに役立つモビリティサービスの早期実現を目指し、Fujisawa SST にて、2020 年 11 月から、自律走行ロボットによる配送サービスの実

証実験を始めた。現在走行しているロボットは 4 台で、東京汐留から遠隔で監視・操作を行っている。

また、地域の事業者とも連携しながら、2021 年 2～3 月に、薬や弁当の配送サービス実証を、2021 年 7 月からは、焼き立てパンの配送サービス実証を実施、技術面とサービス面での実用課題の抽出と改善、並びに受容性の検証を行っている（図 175）。

ロボットは自律走行が基本だが、安全・効率的な運用の為に、遠隔での常時監視と緊急時の操作を可能としている。2021 年 3 月には、日本で初めて、1 人の遠隔監視員で 2 台のロボットを同時運行させる公道走行審査に合格した。AI によるサポートで、シニアや主婦でも簡単に運行できることを目指す。将来は、住民による街の見守りなど、その地域に根差した持続可能なサービスを生み出す仕組みとなるよう、地域の方々との共創を推進している。

図 175　FujisawaSST での配送サービスの実証事例

この他、サービスとしては、移動型無人販売サービス、エリア内パトロールサービスが提供可能である。これらの例において想定するソリューション提供モデルと形態を図 176、図 177 でそれぞれ示す。

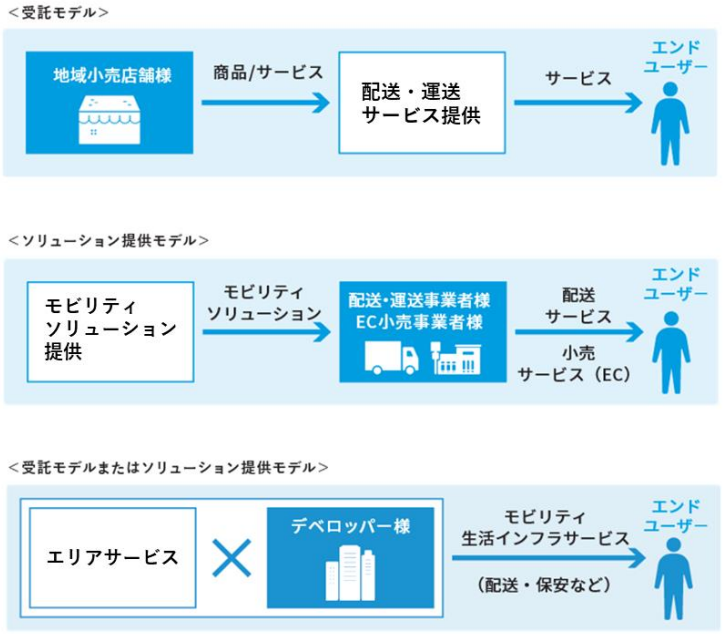


図 176　受託モデルとソリューション提供モデル

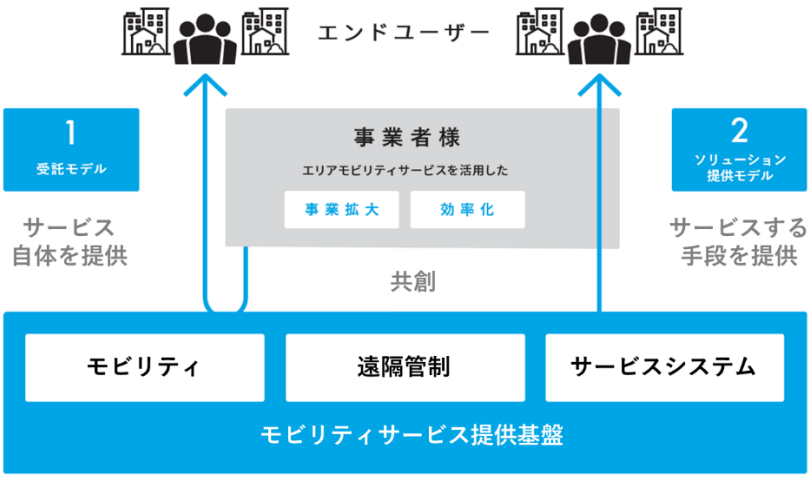


図 177　ソリューション提供の姿

事業化のスケジュールイメージを図 178 に記載する。目指す自動運転社会には、住宅地での走行において個宅玄関口や屋内までの配送完結やサービス提供に必要な歩道通行が必須となるため、無人自動走行する歩道通行者「自動歩道通行車」のような新たなルール化が必要となるほか、より柔軟なサービス提供の為には道路使用許可や車両保安基準に関する検討も必要となる。これらを踏まえて、事業化のスケジュールイメージとしては、2023 年頃に現在の実証実験をサービス事業化し、2025 年には複数エリアへ拡張することを目指す。

図 178　事業化のスケジュールのイメージ

なお、藤沢地域において配送サービスを提供する上で重要と考えている視点は、地域と協調する配送サービスを実現する事である。Fujisawa SST の環境に適し、その地域内での事業者、住民が協調したサービスを考える必要がある（図 179）。

図 179　協調の考え方

(d) 藤沢地域での取組み詳細

a) 実施エリア

協調したサービス事業化を実現するために、Fujisawa SST 内の住宅エリア全体で、公道上の配送ロボット走行が必要となる。これまで、Fujisawa SST 全エリアを 5 つに分割（Phase1～5）し、

公道走行許可の取得を進めてきており、現在は図 180 に示す Phase1～5 の道路全域での走行を行っており、累計 1,000km 以上（2022 年 2 月時点）の走行実績を積んでいる。

図 180　Fujisawa SST 実証エリア

図 181　Fujisawa SST 実証エリア（空撮）

b) 実施体制・事業モデル

サービス提供の実施体制や事業モデル（サービス、費用の流れ）について、一例としてまとめたものが図 182 である。従来の配送業者による配送サービスに対して、自動配送サービスで新たに加わる構成は「協調システムサプライヤ」「自動運転システムサプライヤ」「自動運転車両メーカー」である。

運行・配送事業者に対して、「自動運転システムサプライヤ」が運行管理システムを提供し、「自動運転車両メーカー」が車両を提供することによって、運行・配送事業者自身が自動配送サービスを実施することが可能となる。

また、タウンマネジメント事業者に対して、「協調システムサプライヤ」が協調システムを提供することによって、タウンマネジメント事業者が住民に提供するポータルサイトを通じて自動配送サービスの状況の確認や、受発注を行うことも可能となる。自動配送サービスは配送人員の不足をカバーする事が目的であり、自動配送サービスの費用は配送にかかる人件費以下に抑えることが事業成立に必要となる。現状では自動運転における運行管理システムの運用（配送ロボットの遠隔監視・制御）において、遠隔操作者が必要であり、一人で管理できる配送ロボットの台数を増大させることが重要な課題となる。複数の台数管理を実現するために、遠隔監視・制御の効率化を図る AI アシスト技術や配車管理等の技術が重要となる。

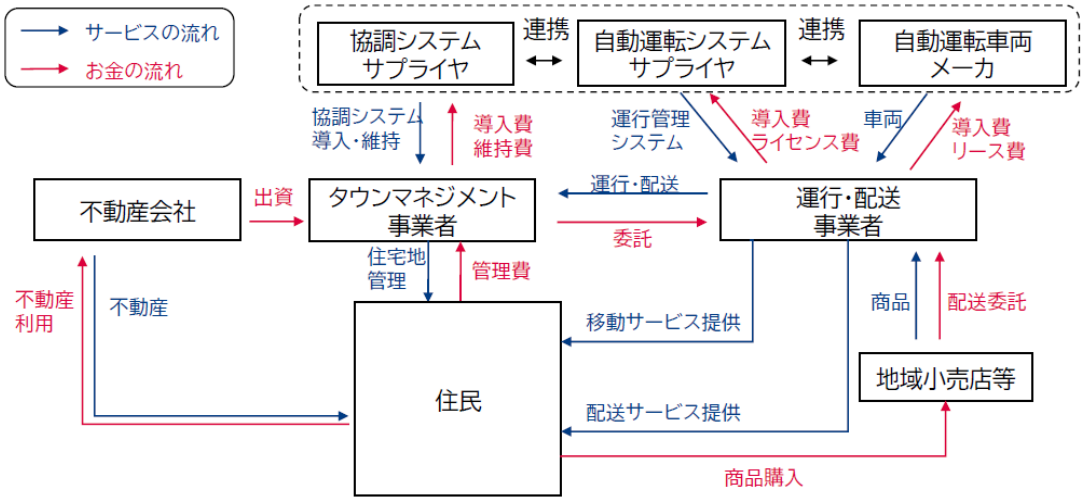


図 182　事業モデル案

c) サービス提供の仕組み

Fujisawa SST で走行検証を行っている小型・低速の自動配送ロボットは、最高速度は時速 6km 以下で電動車いすと同等の大きさである。（図 183）

自律配送ロボット(遠隔監視･操作型)　日本で初めて住宅街を走行

2020/11/25時点

図 183　Fujisawa SST での自働配送ロボットによる配送サービスを想定した走行検証

自動配送ロボットを用いた配送サービスの実現には、ユーザー向けのアプリケーション、データベース、管理システムの構築が必要となる。パナソニックでは、これらを容易に開発するサービスサポートシステムを提供している(図 184)。

自動運転機能を有する機体あるいは車両には、必然的にネットワークに接続した状態、いわゆるコネクティッドな状態で運用される。これらの運用には遠隔管制が必要となる。自動運転機能を有する機体あるいは車両は、サービス走行中に想定外の事態に遭遇した場合、最小リスクの状態つまり停止状態に移行する。このときサービスの継続させるためには、遠隔管制の仕組みとして遠隔からの操作により運行可能状態に遷移させることが求められる。すなわち、機体或いは車両の自動運転のカバー範囲が完全自動運転であるレベル 5 に達するまで前のレベル 4 自動運転でのサービス運用には、想定外の事態に遭遇した場合でもサービスを継続させるには遠隔からの操作、すなわち遠隔のドライバーの操作と自動運転による操作のハイブリッド操作によりサービスを継続する。パナソニックでは、遠隔管制システムを提供し、容易に遠隔管制システムを導入可能としている（図 185）。

Fujisawa SST での自働配送ロボットを用いた配送サービスの実現においては、東京都中央区の住友不動産 汐留浜離宮ビル内に遠隔管制室を設置し、遠隔オペレーターにより遠隔監視・操作を実施している。

図 184　サービスサポートシステム　イメージ

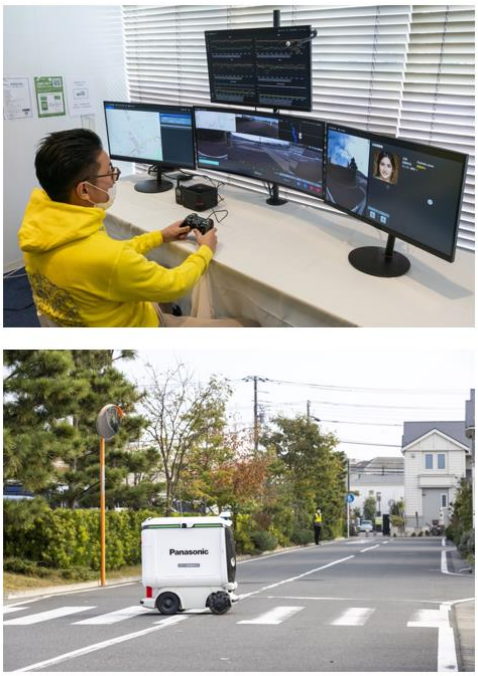


図 185　遠隔管制システムによる遠隔監視・遠隔制御

d) コスト構造

コストの構造は、提供するサービスの形態により需要や人手の確保の容易さが変わる。一方、共通のコスト構造がある。

① 近隣店舗からの配送サービスのコスト構造

人手による配送と比較すると 1 名の遠隔オペレーターで 1 台の自動配送ロボットを遠隔監視制御すると自動配送ロボットやサービスシステムの償却費用の分だけ、余分なコストがかかる構造となる。

② 移動型無人販売サービスのコスト構造

徒歩で来店しない顧客の需要を取り込むことができ、営業時間外の顧客を取り込める可能性がある。人手による販売と比較すると上記と同等の構造がある

③ エリア内パトロールサービスのコスト構造

人手不足が懸念される警備の分野でも、ロボットの活用が期待されている。夜間に人手を雇うコストは大きくなることが想定される。一方、人手による警備と比較すると上記と同じ構造がある。

④ 共通コスト

共通のコストとしては、Fujisawa SST においては、実施にあたり地域土地保有者や地域店舗等へのコストとして特筆すべき点はなく、車両導入コスト、車両維持費、遠隔管制等のシステム維持費、オペレーションの人件費などが挙げられる。これらのコストを低減していくことがサービス実施に向けては重要となる。

(e) 藤沢地域での取組における課題

藤沢地域での実証実験を通じて、運用上・事業上・地域安全上の課題を抽出した。

運用上の課題としては、現在車両運行では 1 人が 1 台を監視・操作できる状況が求められるが、自動運転の利点である無人化によるコスト効果を考慮すれば、歩道走行車に限らず、遠隔で複数台を同時監視できることが事業成立には必要である。しかしながら、現行法では一人が複数台を「運転」するケースは想定されておらず、法整備面が課題となる。ただし、藤沢地域ではこの複数台同時監視の課題抽出・事業性検討を先行して行う為、ロボットを題材にして実証を行っている。

このほか事業性、特にコスト面で課題としては、まず安全に走行するための走行／運行上の課題へ対応し自律で解決できるケースを増やし、より高度な自律運転を搭載した自動運転モビリティが必要となってくるため、初期コストとしてはモビリティの開発費が高価となる。

また、高度な自動運転でも残る自律で解決できないケースへの対応として、例えば、ロボットが走行できなくなるようなケースや、リスクが高まっているケース、その他トラブルなどの介入が必要なケースなど、自動運転車両が自律で解決できない場合を遠隔管制のオペレーターが補って

いる。したがって、事業を成立させるにあたり、運用時のコストとしては、この時のオペレーターコストが大きくなっており、省人化が求められる。また、遠隔管制の運用においては、オペレーションの教育、習熟などによる効率運用など、教育コストも課題となる。

地域安全すなわち安全運行のための課題については、走行検証を通じて抽出している。自律走行での課題については遠隔管制によってオペレーターが補っているが、それでも補いきれないようなケースや、リスクが上昇するケース、また安全運行において効率が悪くなり事業成立を阻害するケースなどを、走行検証で抽出している。

例えば、特に複数台の遠隔管制オペレーターが自律走行でのトラブルに気づかないケースがあり、藤沢地域では住民が自宅前などの路上に放置している落下物や、子供の飛出しなどがあり、また遠隔映像は伝送映像を使うため性能コストバランス及び通信インフラなどの技術上、画質や伝送遅延に限界があり、遠隔での映像確認のみでは気づきにくい。また、走行前に日々変化する交通状況・工事状況などのリアルタイムな情報も、営業走行では必要な情報となる。

さらに、地域受容性の課題もあげられる。一つには地域に配送するためのニーズをどれだけ満たせるかという課題がある。地域に配送するための配送元としてはT-Site（図 186）など集約された店舗があるものの、Fujisawa SST 内だけで生活が完結しているわけではなく、住宅地内だけの荷上げ・荷下ろしによる配送サービスでは収益性が不足しており、収益性のために配送の量を増やす必要がある。

図 186　SHONAN T-SITE 概観

2. 今後の取組（協調型レベル 4）

(a) 藤沢地域での協調型レベル 4 ユースケースの検討

前述の通り、遠隔オペレーターが対応しているケースや、地域ニーズを満たすサービスの導入へは、遠隔管制オペレーションによる補完では運用コスト面で課題となる。

遠隔で対応しているケースについて、協調型の安価なインフラ設備との連携で、遠隔対応を削減することができれば運用コストの削減につながるため、事業成立への進展に有効であると考えられる。また、完全無人での走行においても遠隔介入なく安全性を高めることができる機能は、協調型により補うことが求められる。

例えば、路上監視カメラや道路標識との協調による、死角補完に加え、自動運転車両からは見えない部分からの子供などの飛出し注意情報の通知、落下物情報の連携による、安全走行の実現が挙げられる。インフラ協調により交通状況・工事状況などのリアルタイムな情報を取得し走行経路へ反映することも、効率的にサービスを継続するためには必要な協調となる。

このように、現在遠隔オペレーターやサービス実施者が対応している内容を、インフラ協調によって解消していくことが、短期にレベル 4 自動運転によるサービスを社会実装し、安全性を損なわずにビジネスを成立させるために重要であると考える。

こうした協調ではシステムによる安全性の向上により遠隔オペレーターの負荷を軽減し、自動運転サービスの運用コストを削減することが期待できる。ただし藤沢地区ではタウンマネジメント会社が使える映像としての撮影は街のカメラでできるものの、映像については住民に権利があり、住民への説明と住民の理解が必須であるという課題が挙げられる。

また、逆に自律走行車両を活用したインフラ側への情報提供も考えられる。例えば、安全走行のためのインフラ協調に伴い、落下物情報をエリア・道路管理者へ通知し落下物の除去を行うなどが考えられる。また、道路標識との連携では、自動運転車両側から認識や制御履歴を用いて子供の飛出し注意を動的に道路標識に提示するなど、標識の改善や動的な標識の導入が考えられる。こういったケースでは、地域の利便性を長期的に向上させる施策への活用として、自治体やエリア管理者へのシステムまたは情報提供による事業が想定される。この場合も、道路上の異常など地域課題の情報は、モビリティで取得することになるが、得られたデータについての所有については、サプライヤー・運行事業者・タウンマネジメント・住民・自治体など、どのステークホルダーにデータが帰属するのかについては予め議論が必要であると考える。

また、走行検証では遠隔操作中の映像遅延が発生することがあり、この状況では監視・操作ひいては運航継続が困難となる。したがって、インフラ協調としては、遠隔操作など介入が必要な頻度が高い地点情報を収集し、通信環境を改善する、効果的な基地局の候補地を挙げるなどの活用も考えられる。

また、前項で挙げた地域受容性の課題に対しては、配送サービスを提供する提供元の拡大が必要である。Fujisawa SST 内は信号機がなく、信号機付きの横断歩道を渡ることなく住宅地内を移

動できるが、日用品や商用施設の利用には幹線道路を横断する必要が生じる。特に、幹線道路の向かい側にあるスーパーでの買い物需要が多い。また、Fujisawa SST に隣接した線路（踏切）を横断した先にはホームセンターなどが集約されている施設（湘南モールフィル）があるなど、Fujisawa SST 住民の生活においては、踏切や幹線道路の横断した先の店舗からの配送ニーズが高く、無人配送などのサービス事業成立には、こういった生活ニーズの高い店舗からの配送などもカバーすることが必須となる。

この配送エリアの拡張には、幹線道路の横断が必要となる。幹線道路の横断には信号を認識して横断する必要があり、自律制御でも横断できるケースはあるが、問題は将来的にもゼロにはならないトラブル発生時である。通常、遠隔型自動運転では、トラブル発生時にはリスクを最小限にするためその場で停止するが、幹線道路の横断歩道においては、横断途中での停止はリスクが高く、また他の交通の妨げになるため、速やかに解消する必要がある。一方で、常に駆け付けられるよう人員を配置する等、すべてのサービス車両が横断するたびに注視していては、多くの人手が必要となり事業が成立しない。

自動配送ロボットを用いた配送サービスの社会実装に向けては、人混在空間での運用が必要となる。このため住民にとっての安全性が担保され、利便性、経済性のバランスの取れたサービスの導入が必要となる。技術面においては、レベル 4 自動配送ロボットの黎明期では、自動配送ロボットは、不測の事態が発生した場合、安全に停止することにより生活圏での運行の安全を担保する。一方、サービスの継続性や他の交通参加者の邪魔となるべきでないという観点では、遠隔管制からの操作により適切に運行を継続することで、他の交通参加者の利便性とサービスの持続性を確保する必要がある。この時、遠隔管制により人のサポートを得るが他の自動配送ロボットがリスクの高い場所を走行しないように互いに調停することなども重要になると考えている。

そこで藤沢地域でのインフラ協調としては、トラブルの発生を抑え自律性能が低くても安全に横断歩道を渡るための補助機能としての利用や、モビリティからの通信が断たれる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の手段として、またトラブル発生時の他交通をコントロールし従来の交通への影響を最小限にするために、信号機との協調が事業成立に向け最重要と考える。

なお、信号機連携でのスケジュールイメージは、連携方式の決定に伴い具体的な事業イメージが定まっていくため、Cool4 での実証の中で並行して検討を進めていくことが求められる。

(b) 藤沢地域での協調型レベル 4 ユースケース事業モデルの検討

レベル 4 のロボット自動配送サービスが安全にそして安心して人が暮らす街の中で利用されるには、先に述べた技術面の取り組みのみならず、住民が利便性を実感しつつ新たなサービスを受

容していくことが重要となる。Fujisawa SST では、住民が安心して暮らせるように、街の情報や独自のサービスへワンストップでつながるポータルサイトが提供されている[9]。

レベル 4 のロボット自動配送サービスは、日々ロボットが走ることで、人とのすれ違いで注意すべきところや車との混在で危険が潜むところなど、安全・効率に関わる情報が収集される。これらの情報や、今、自動配送ロボットがどこを走っているのか、などを地図データと共に、先のポータルなどを通じて住民と共有することも可能になる。例えば、レベル 4 の自動配送ロボットと狭い歩道でのすれ違いが発生する場所や交差点では、可能な限り注意を払い、避けながら通る、といった人と自動運転車両の共存環境を自然に導出するなど、住民と自動配送ロボットとの自然な共存を引き出すことが可能となると考えられる。

このように、スマートタウンの様々なインフラとの情報利活用により、住民と連携しサステナブルなサービスを実装していくことが重要となると考えている（図 187）。

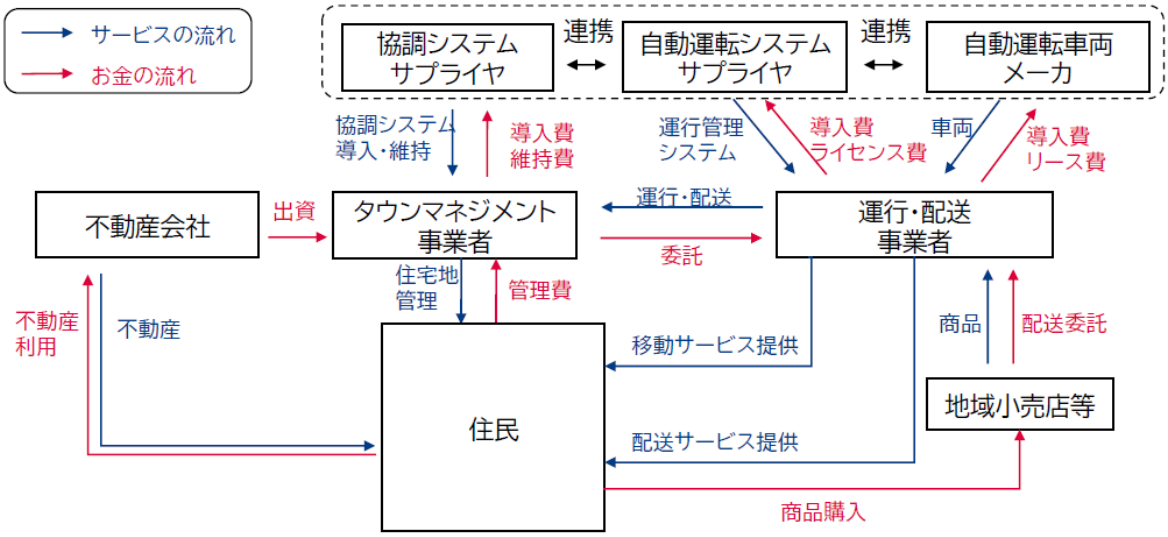


図 187　運行・配送事業者に関係するステークホルダーとお金の流れ

(c) 藤沢地域でのエコシステムの検討

自動運転やロボットを活用したサービスを、事前に完成させて街の中に導入してくことは難しいのではないだろうか。敢えて不完全で不確実性を伴うものであることを理解しながら、街に暮らす人々と時間をかけて、より良いサービスに仕上げていくことが重要であると感じている。

[9] https://fujisawasst.com/JP/platform/

パナソニック本社エリア内の自動運転ライドシェアサービスの実証では、総務部門というエリア管理者と従業員という利用者から様々な要望を聞きながら改善、また、サービスに合わせたルール作りや利用者がサービスに合わせてもらう方法を取っている。

Fujisawa SST では、タウンマネジメント会社（TMO）をハブに住民や企業、自治体の方々とサービス提供側とが相互に理解を深めながら、サービス実施時の受容性課題を 1 つずつ解決しながら進めている。自らの街を自らの手で持続的に進化させていきたいという意識や風土が、課題を前向きに捉え、新しいくらし方を創りだしていると感じる。

今後、新しいモビリティサービスを導入する上では、人と混在する際の走行規制などのルール作りもあるが、システムが街に合わせるだけでなく、新しいサービスを受け入れやすいハード・ソフト両面での街作りも重要となるだろう。特に、街ができた後も、時間をかけてサービスを受入れ、使い手自ら創り上げていく街づくりの工夫が、便利で楽しい未来のくらしの実現の鍵であると感じている。

薬の配送といった民間ではなく行政として実施すべき役務をロボットが代行する。登下校の案内をロボットが代行する、視覚障害者の道路横断の補助をロボットが実施する、ロボットがゴミ箱のゴミを回収する等、安心安全な国民の暮らしを実現するサービスも想定できる。このように様々なサービスをロボットが実施することで単一の配送事業により民間のみで採算性を確保するというより、社会システムのインフラとしてロボットの役務が実装されていくことも想定できる。このような公共性のある複合的な事業を行政の後押しでエコシステムとして実現していくことも考えられる。

(3)　豊洲地域

1. これまでの取り組み

地域における自動運転サービスカーを用いた取り組みとして、以下の 2 件の実証試験、デモについて、取り組みの内容及び課題について整理した。

- 清水建設技術研究所（江東区越中島）における自動運転車・ロボットの常設実証試験
- 新豊洲 SPORT×ART FESTIVAL 2019 における自動運転車両による移動サービス体験会

(a) 取り組みの背景

現在、国内外の各所で計画・整備されているスマートシティプロジェクトでは、自動運転技術を含む次世代モビリティが重要な要素のひとつとなっている。将来、多くの自律型モビリティ（自動運転車両、サービスロボットなど）が街区や建物内を走行することを想定すると、これらのモビリティが、歩行者や他車両が混在する空間を安全かつ円滑に走行するためには、施設・インフラ側の設備と情報面や制御面で連携する、いわゆる「協調型」の自動走行技術が必要になると考えられる。

このような未来を見据え、施設インフラと多種多様なモビリティが共通 API を介して協調するための施設－モビリティ連携基盤（Mobility-Core）の構築や、連携に必要な施設側のさまざまな要素技術の開発にいち早く取り組むことにより、街区・建物内における自動運転車両・サービスロボットの走行をインフラ側から支援し、これらの次世代モビリティにより実現されるサービスの建物・街区への実装を通じて、施設オーナーなどの顧客価値の向上、施設利用者のユーザーエクスペリエンス（UX）の向上を目指している。

(b) 清水建設技術研究所（江東区越中島）における自動運転車・ロボットの常設実証試験

a) 概要

本実証試験では、施設と自律型モビリティの連携基盤（Mobility-Core）を構築し、これを介して施設側の自動運転管制・監視システム、エレベータ等の建物設備と、自動運転車両・サービスロボットの運行管理システム（FMS）を連携させることにより、オフィス環境において、複数のモビリティが連携して提供する各種サービスの技術検証を進めている。

自律型モビリティとして自動運転 EV を 1 台、自律走行型案内ロボット及び自律走行型配送ロボットを複数台導入しており、エレベータ・自動ドア、サイネージ、監視カメラセンサーなどの建物設備を連携させた運用を行っている。

また、施設内での自律型モビリティの安全な走行を支援するため、敷地・建物内に設置されたカメラの画像分析によりモビリティ周辺の歩行者や自動車の位置を検知し、必要に応じてサービス利用者や歩行者にアラート情報を通知する技術を整備している。

b) スケジュール

実証試験を含む全体の開発スケジュールを図 188 に示す。

2018 年頃より自動運転車両・自動走行ロボットと建物施設の協調に関する開発に取り組んでおり、走行試験も同年から開始している。また、常設実証試験は、2021 年 8 月から開始している。

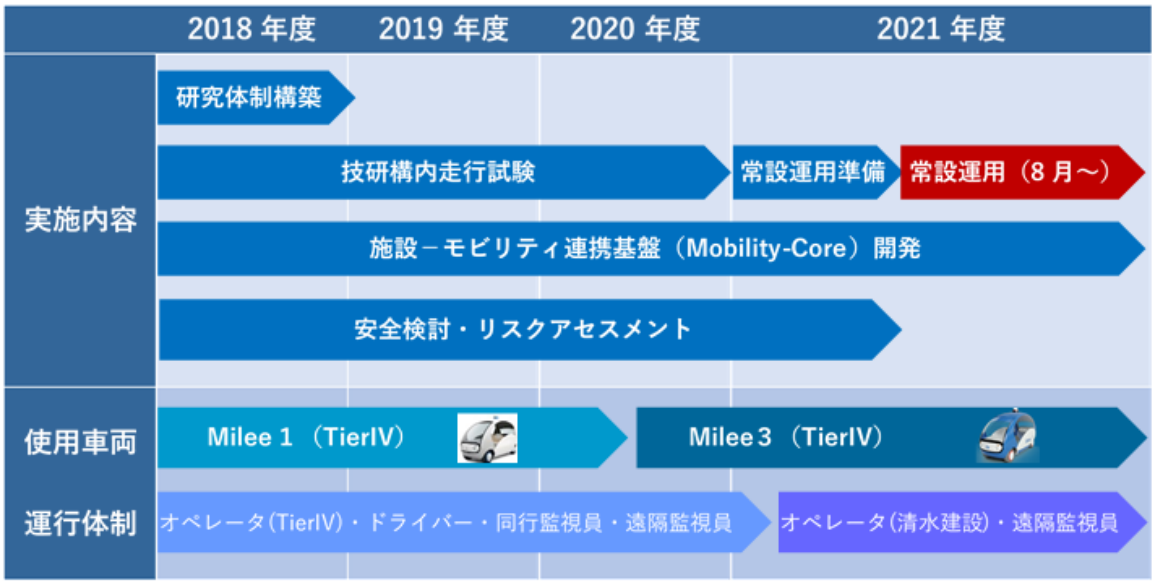


図 188　実証試験のスケジュール

c） 実施エリア

清水建設技術研究所内に施設と自律型モビリティの連携基盤を構築することで、各種サービスの技術検証を実施している。

図 189　実証試験場所（清水建設技術研究所）

d） 走行ルート

走行ルートを図 190 に示す。

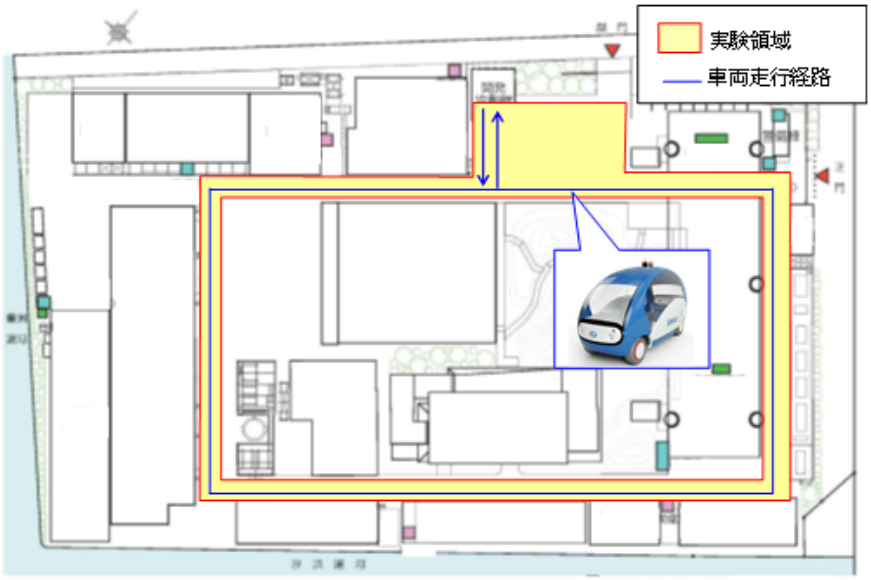


図 190　走行ルート

e) コスト構造

実証試験のコスト構造として、試験実施に関わる費用項目を表 51 に示す。

表 51　コスト構造・費用項目

区分	費用項目
初期コスト	3 次元地図作成費 ODD 設計・自動運転システム構築費 インフラ連携システム（Mobility-Core）構築費（研究員が対応） 監視カメラシステム設置費 リスクアセスメント費 オペレーター費
ランニングコスト	車両レンタル費（保険料・消耗品費を含む） 電力費（車両充電用） FMS 利用料 運転・保安要員人件費（オペレーター、遠隔監視、システム保守） （研究員が対応） 電力費 通信費

注：研究開発業務の一環として本実証試験を実施したため、研究員の人件費等の一部の費用に関しては、実際には支払いを伴っていないものも含む。

f) 各プレイヤーの役割

実施体制及び各参加者の役割分担を図 191 に示す。

建物設備と自動運転車両の連携については、施設―モビリティ連携基盤（Mobility-Core）と自動運転システム会社の運行管理システム(FMS)がクラウド上で連携することにより実現しており、共同研究契約に基づきそれぞれが役務の一部を無償提供する形で進めている。自動運転車両の運行を直接担当するオペレーターと遠隔監視員は、清水建設技術研究所の研究員が担当している。

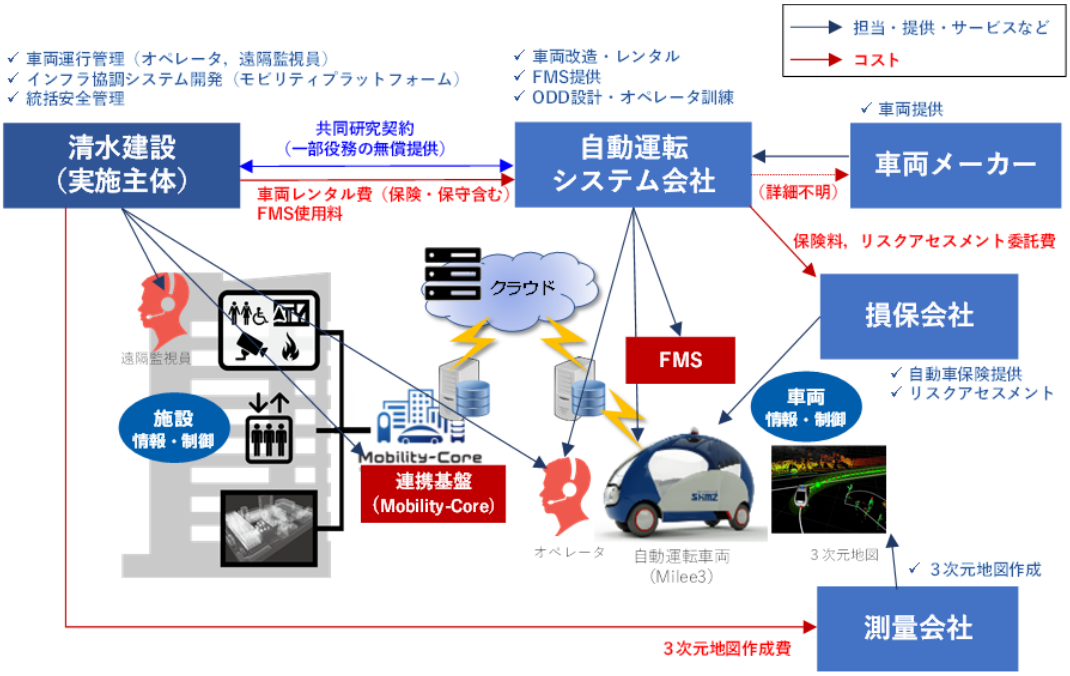


図 191　実施体制と役割分担

g）サービス提供の仕組み・技術

以下の技術を適用して実証試験を実施している。

［1］ BIM（Building Information Modeling）データを用いた高精度地図生成

実証試験における自動運転車両の走行では、車両搭載 LiDAR の計測結果と予め計測した 3 次元点群地図を照合して自己位置を推定するスキャンマッチングの手法を用いている。

地図の作成手法としては、専用車両搭載型の計測装置 MMS（Mobile Mapping System）を用いる手法や、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）手法があるが、計測作業や後処理での手間がかかる他、環境変化への対応の難しいという問題点がある。

一方、近年の情報化施工の進展により、設計施工段階から 3D モデルを含む建物施設の高精度 BIM データが整備されつつあり、施設や環境の変化をデータベースとして管理・活用する取り組みも始まっている。BIM データから 3 次元点群地図を自動生成することができれば、従来手法と比較して計測・データ処理の手間を大幅に軽減することができ、また、仮設構造物の設置・撤去などの環境変化にも容易に対応することが可能となる。

このような背景から、実証試験では技術研究所施設の BIM データから 3 次元点群地図を作成し、この地図を用いた自動運転車両の走行試験を実施した。その結果、事前計測による地図と同様に走行できることが示され、BIM による地図の有効性が確認されている。

［2］ IoT 活用による施設情報化・一元管理

市街地での自動運転車両の走行では、歩行者や一般車両などが混在する複雑な環境への対応が求められる。車両の搭載センサーから得られる情報は限定的であるため、安全・円滑な走行が難しいケースも予想される。

このような環境下での自動運転車両の走行を支援するため、各種モビリティや建物施設の状態などの情報を IoT（Internet of Things）技術を活用して一元管理し、3 次元地図上にリアルタイムで可視化するシステムを構築し、技術研究所における実証試験に実装した。図 192 は開発システムのダッシュボード画面の一例を示しており、自動運転車両・ロボットの位置やエレベータなどの施設情報、監視カメラ画像などを一目で把握できる。

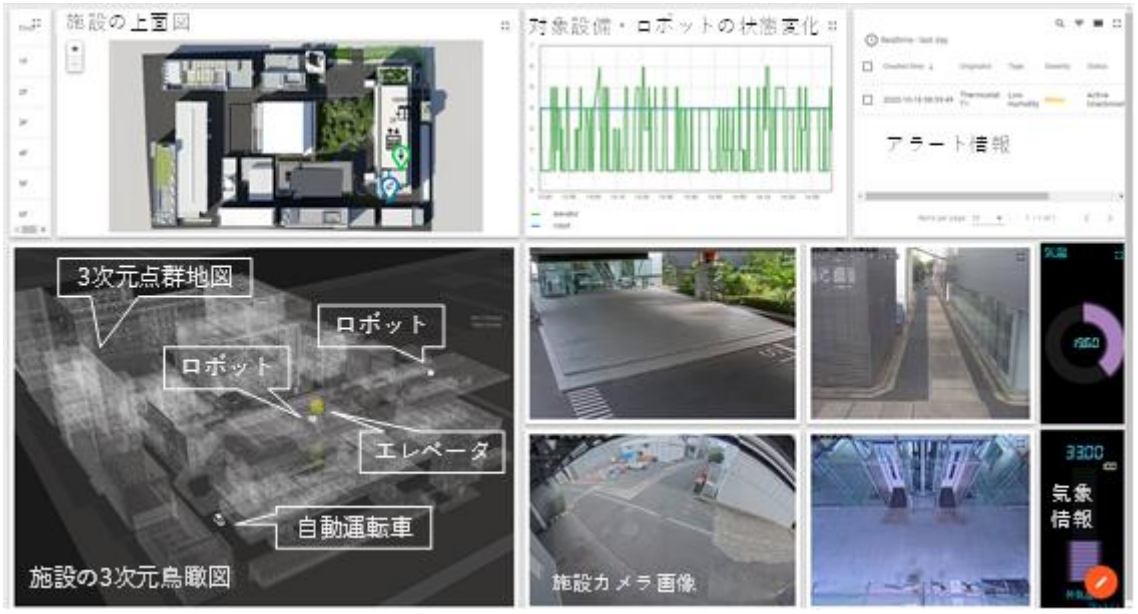


図 192　情報一元管理ダッシュボード

［3］ 複数モビリティ・建物設備の統合制御によるサービス

施設―モビリティ連携基盤（Mobility-Core）を介して複数のモビリティを統合的に制御し、これらの機能を組み合わせたサービスを実現した。

① 利用者が端末で目的地を入力すると車両が乗車位置まで走行を開始
② 車両が乗車位置に近づくと利用者の端末に到着を通知
③ 利用者が乗車後に端末の操作により降車位置までの走行を開始
④ 車両の到着にタイミングを合わせて降車位置で案内・搬送ロボットが待機
⑤ 案内ロボットが音声により利用者を誘導し、エレベータに同乗して目的地まで案内

(c) 新豊洲における自動運転車両による移動サービス体験会

a) 概要

本体験会は、豊洲地区で開催された地域イベント「新豊洲 SPORT×ART FESTIVAL 2019」における企画のひとつとして、2019 年 10 月 18, 19 日の 2 日間で実施された。清水建設が開発を進めてきた建物と自律型モビリティの連携基盤（Mobility-Core）を利用し、歩行者ナビゲーションシステムと自動運転車両の運行管理システム（FMS）を組み合わせた「施設内移動サービスシステム」による MaaS 型サービスの公開実証実験の形式をとっており、募集により集まった 43 名の一般参加者が同サービスを体験した。

b) スケジュール

イベントのスケジュールを図 193 に示す。

イベントの準備は実施日の約 3 か月前から開始し、イベント本番を模したシステム・走行ルートを清水建設技術研究所の構内に仮想的に設定した上で、システム連携や車両走行に関するリハーサルを数回実施した。また、イベント実施日の 3 日前には会場内にイベント当日と同じ走行環境を構築し、3 日間をかけてリハーサルを行った。

これらの準備と並行して、地域イベント全体の主催者である会場の地権者や、住宅展示場の運営会社への説明と調整、および、地域を管轄する警察署への安全対策の事前説明などを実施した。また、イベントの 2 か月前には事前申し込みサイトを開設し、様々なメディアを通じてイベントの告知と参加者の募集を行った。

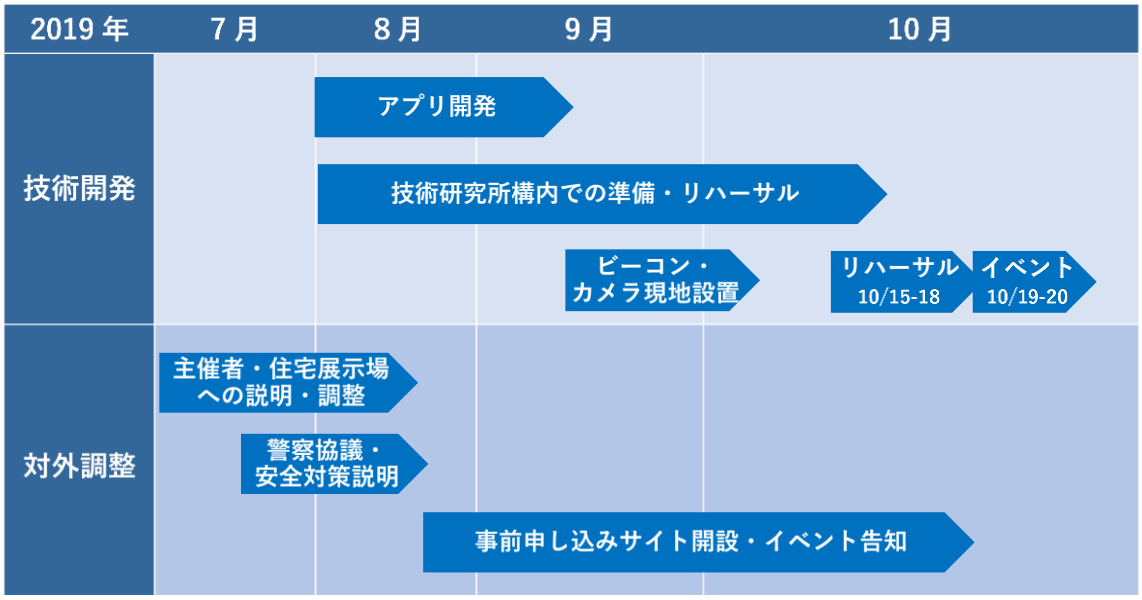


図 193　イベントのスケジュール

c） 実施エリア

スマートハウジング豊洲まちなみ公園（住宅展示場）を対象にイベントを開催した。

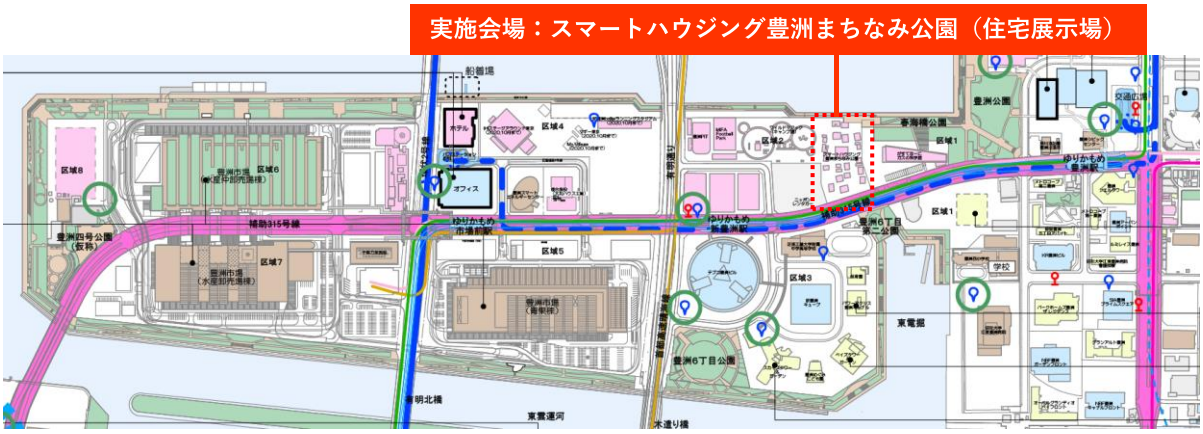


図 194 イベント会場

d） 走行ルート

走行ルートを図 195 に示す。

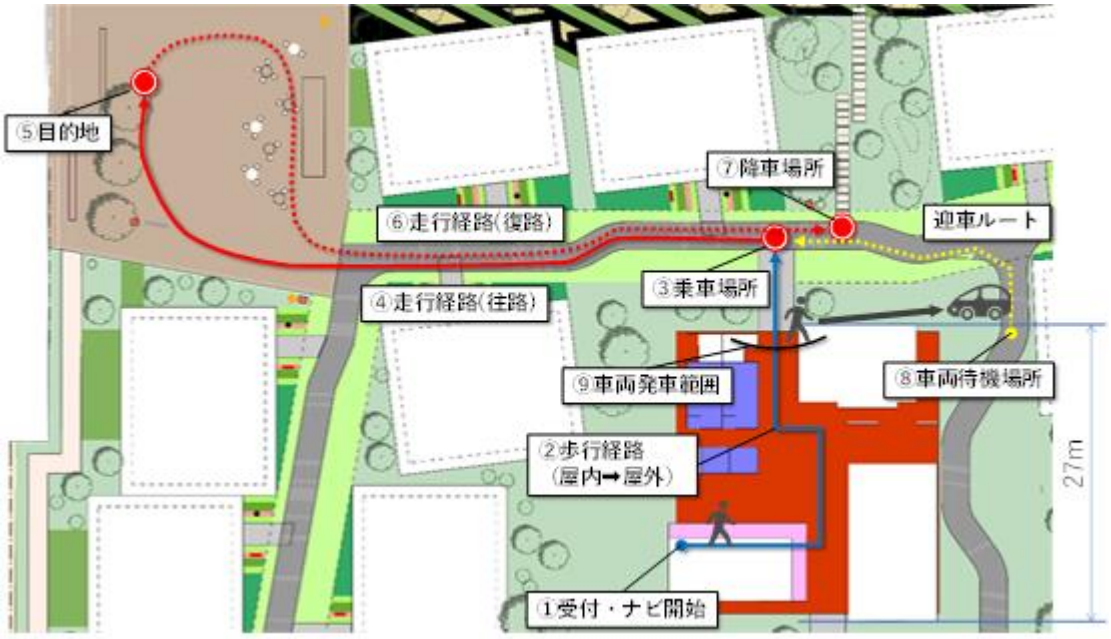


図 195　走行ルート

e） コスト構造

イベント実施関わる費用項目を表 52 に示す。

表 52　コスト構造・費用項目（歩行者ナビゲーションシステム関連費用は含まない）

区分	費用項目
初期コスト	3 次元地図作成費 ODD 設計・自動運転システム構築費 ナビ連携システム（Mobility-Core）構築費（研究員が対応） 監視カメラシステム設置費 リスクアセスメント費 車両運搬費
ランニングコスト	車両レンタル費（保険料・消耗品費を含む） 電力費（車両充電用） FMS 利用料 運転・保安要員人件費（オペレーター、遠隔監視、システム保守、警備員） 電力費 通信費
その他の費用	イベント主催者・地権者・テナント（住宅展示場）との事前調整 警察との事前協議・安全対策説明 イベント告知・募集、事前予約サイト開設・受付 イベント当日の体験者受付・案内 統括安全管理

注：研究開発業務の一環として本イベントを実施したため、研究員の人件費等の一部の費用に関しては、実際には支払いを伴っていないものも含む。

f） 各プレイヤーの役割

イベント実施体制及び各参加者の役割分担を図 196 に示す。

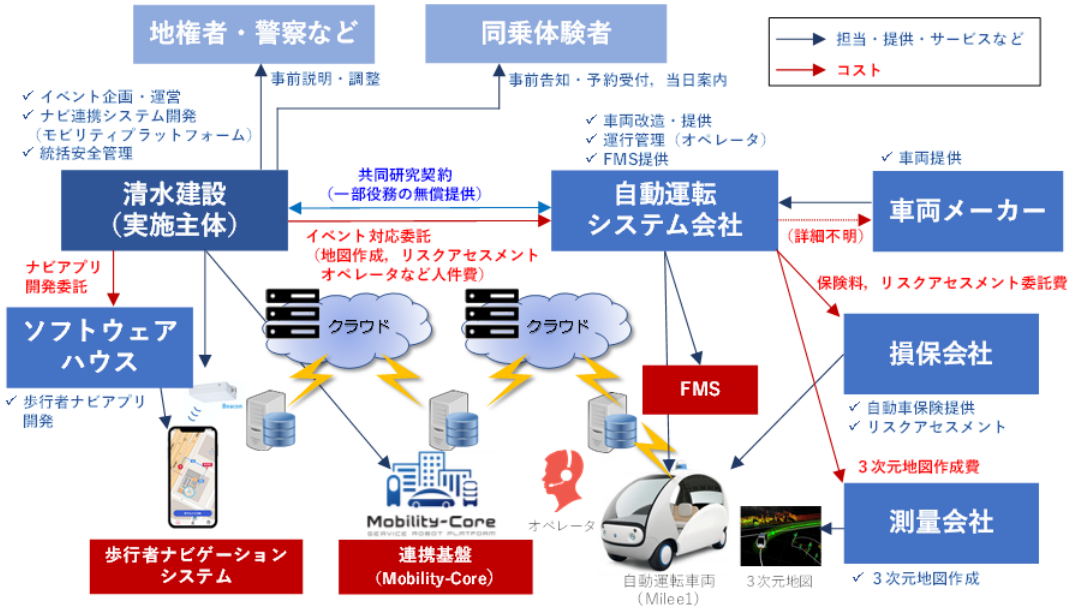


図 196　実施体制と役割分担

g） サービス提供の仕組み・技術

［1］ システム構成

システムの概略構成を図 197 に示す。歩行者ナビシステムと自動運転車両運行管理システム（FMS）は施設―モビリティ連携基盤（Mobility-Core）のサブシステムに位置づけられ、歩行者ナビシステムは利用者の位置やアプリ操作の情報、FMS は自動運転車両の位置や運行状態などの情報を取得する。施設―モビリティ連携基盤（Mobility-Core）は各サブシステムからの情報を相互に変換して通信する情報ハブの役割を担う。

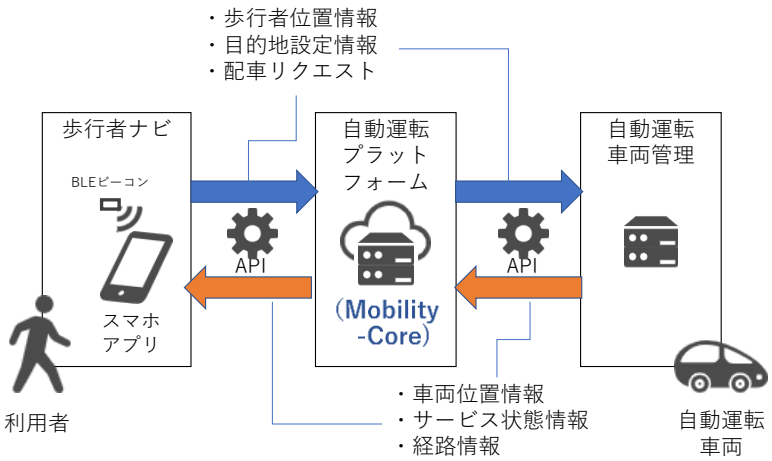


図 197　システム構成

(d) 地域における取組内容の課題整理

地域における取り組みのうち、清水建設技術研究所（江東区越中島）における自動運転車・ロボットの常設実証試験を対象に、実展開する場合に想定される技術的課題、運用的課題について以下に示す。なお、サービスの有償化は想定していないため、事業面の課題は検討対象外とした。

a) 技術的課題

技術的課題について、車両、交通、情報システム、通信、データ、その他の観点で整理した（表53）。

表 53　技術的課題

項目	内容
車両	● 自動運転によるバック走行に対応していない。車両の後退時や切り返しによる反転時には、運転員による手動操作が必要になる。 ● 障害物の自動回避走行に対応していない。車両前方に障害物（歩行者、他車両など）を検知した場合は自動停止するが、回避走行ができないため、現状では障害物が取り除かれるのを待つか、手動操作による回避が必要となる。なお、障害物が取り除かれた場合は、自動で再発進する。 ● 車載 LiDAR による計測範囲について、車両近傍に一部死角がある。現状では発車前にオペレーターが死角位置を含む車両周辺の目視確認を行っているが、レベル 4 の完全無人運転に移行する場合は、発車時の安全性について監視カメラによる確認などの対策が必要となる。 ● LiDAR による計測ではガラスなどの透過体の検出が難しく、ガラスを多用した建物周辺で自己位置推定の精度が低下する傾向が見られる。ガラス面に反射率の高い素材を設置するなど、建物施設側の対策などを検討する必要がある。 ● 非接触充電に対応していないため、充電時には作業員による充電ケーブルの接続が必要になる。非接触充電に対応する場合、現在の国内メーカーの充電方式では車両に大型の制御ユニットを搭載する必要があり、車載スペースなどの観点で適用が難しい。 ● 車両側方部が開放されていること、および、車載 LiDAR による計測精度が低下することなどから、雨天時の走行には適さない。
交通	● 現状では路上駐車車両の回避走行ができない。自動運転の走行試験時には、長時間の路上駐車を控えるよう来所者に注意喚起しているが必ずしも

項目	内容
	徹底されておらず、オペレーターによる手動回避走行が必要となっている。 ● 周辺の歩行者や一般車両の運転手とアイコンタクトによる意思疎通ができないため、いわゆる「お見合い状態」がまれに発生する。現状ではオペレーターが声かけなどにより対応しているが、今後は車載のサイネージディスプレイによる車両走行状態の通知などの対策をとることが望ましい。 ● 現状で走行試験に適用している運行設計領域（ODD）では、横断歩道付近に検知エリアを設定し、エリア内に歩行者などが検知された場合は停車するように設定されているが、歩行者が横断歩道を渡ろうとしているのか、立っているだけなのか見分けることができないため、検知エリア内に歩行者が存在する限り再発進できない。車載のディスプレイ、スピーカーによる歩行者との意思疎通手法（HMI：Human Machine Interface）などが今後の検討課題となる。
情報システム	● 施設－モビリティ連携基盤（Mobility-Core）と車両運行管理システム（FMS）の連携によるインフラ協調型自動走行に関して、FMS の制約などにより、現状では停車・再発進などの単純な制御しか実現されていない。今後、サービスを展開する上では、インフラ側からの指示による走行中の目的地・ルート変更など、高次の連携制御を実装することが望まれる。 ● 現在の自動運転車両の走行では、原則として事前に設定したルートしか走行することができず、新たなルートを走行する場合は FMS にルートを登録した上で、実走による安全確認などの手順が必要となる。このため、現状ではルート追加による走行エリア拡大などのサービスの拡張性に乏しい。今後、安全性とのトレードオフを考慮した上で、走行ルートの追加などへのシステムの対応の柔軟性を検討していく必要がある。 ● 現状の施設－モビリティ連携基盤（Mobility-Core）による移動サービスでは、車両の発進時には、Mobility-Core 開発者が車内に設置したタブレットのユーザインターフェース（UI）で利用者が発車指示を出し、平行してオペレーターが周辺の安全確認を行うなど、システム開発者が考えるユーザエクスペリエンス（UX）と車両メーカーが想定する UX に乖離が見られる。今後、施設・車両・システムを統合した UI や HMI の開発が望まれる。
通信	● 現在の走行試験では、自動運転車両に乗車するオペレーターと遠隔監視員の間の通信にトランシーバーを用いているが、建物の死角位置などで通信

項目	内容
	が届きにくい箇所があり、その他の通信手段への代替や併用を検討する必要がある。 ● 現状の Mobility-Core と FMS の連携では、クラウド上のサーバーを介して通信を行っており、情報の伝達に一定のレイテンシが生じる。今後のインフラ協調において、交差点での出会いがしら衝突や死角位置からの歩行者飛び出しに対応するための緊急停止などの即時性が要求される連携制御を行う場合、ローカル 5G など高速・低遅延の通信網の活用を検討する必要がある。
データ	● 技術研究所という実験場所の特性として、走行エリアの周辺における実験施設の仮設・撤去、実験用の資機材の仮置きなど、周辺環境の変更がしばしば発生する。このような環境変化のたびごとに 3 次元地図を作成するのは現実的ではないため、SLAM 方式による地図の更新などを検討する必要がある。対応策のひとつとして、BIM データによる地図生成技術の適用も有望と考えられる。 ● 現在は走行エリアを技術研究所の敷地内に限定して、専用車両による移動サービスを想定した走行試験を行っているが、将来的には公道走行が可能な自動運転車両を用いて、例えば最寄り駅から技術研究所内の施設までの移動サービスに拡張することも考えられる。この場合、敷地外から敷地内までのシームレスな走行を可能にするため、敷地外の公道と敷地内の道路を統合した 3 次元地図が必要になり、異なる地図データを共通のデータ形式で統合する技術が必要になる。また、車両が公道から敷地内に入場する際に、敷地内の地図データや目的地の位置情報などを車両システム側に渡すための配信方法も課題となる。
その他	● 移動サービスと歩行者ナビを組み合わせた MaaS 型サービスを提供する場合は、GPS が届かない屋内などについては新たな測位・案内技術が必要になる。新豊洲の体験会では Bluetooth ビーコンによる測位手法を用いているが、建物施設内にデバイスの事前設置が必要となる。 ● スマートフォン画面を用いる歩行者ナビは歩きスマホなど安全性の懸念があるため、音声などを用いた案内手法を検討する必要がある。清水建設では、音声案内を用いた屋内案内ソリューションを視覚障がい者を含むユーザー向けに提供しており、自動運転車両による移動サービスと連携した MaaS 型サービスへの拡張も考えられる。

b) 運用的課題

運用的課題について、人員、安全性、地域受容性の観点で整理した（表 54）。

表 54　運用的課題

項目	内容
人員	● 現在の自動運転車両の走行試験では、自動運転システム会社による操作訓練を受けた研究員 2 名がオペレーターと遠隔監視員を担当しており、手動運転よりも多くの人員を要している。今後、安全性の確保を前提として、①オペレーターの省略による人員削減、②操作手順のマニュアル化などによる操作員の増員やアウトソーシング、③1 人の遠隔監視員が複数のモビリティ（自動運転車両・ロボット）を監視・制御することによる省力化、などが検討課題と考えられる。
安全性	● 現在の自動運転車両の走行試験では、障害物検知時の停車などについて安全側の条件を設定した上で、時速 6km/h 以下の低速走行を行っている。今後、移動サービスとしての利便性と安全性のトレードオフを考慮した上で、自動運転技術の進展にともなう安全管理基準の更新を検討していく必要がある。 ● 自動運転車両走行時の事故発生については、現在はオペレーターの同乗を前提とした自動運転専用自動車保険で対応している。今後、オペレーターが同乗しないレベル 4 自動運転を実施する場合は、保険の適用範囲・条件などについて確認する必要がある。
地域受容性	● 2021 年 2 月より平日の混在環境での自動運転車両の走行試験を実施してきたため、技術研究所の関係者の自動運転に対するリテラシーは上がっており、試験開始当初に見られた自動運転車両を過度に警戒する反応は少なくなっている。ただし、今後、一般の来訪者などにサービスを展開する場合は、利用者が自動運転車両の走行に十分な知識を有していないとの前提にたって、安全性に配慮する必要がある。（写真撮影のために走行車両の前方に飛び出すケースなど） ● カメラ画像の解析により歩行者の位置を検出して自動運転車両の走行に利用する技術については、個人情報保護に十分に配慮し、利用者に通知した上で実施する必要がある。

2. 今後の取り込み

(a) ユースケース概要

豊洲地区では、今後導入される可能性があるレベル 4 自動運転サービスとして以下の 3 つについて検討を行う。

表 55　豊洲地区において想定するレベル 4 自動運転サービス

レベル 4 自動運転サービス	内容
送迎サービス	レベル 4 自動運転バスによる豊洲駅―核施設間の送迎サービス
自動バレーパーキングサービス	施設内駐車場における乗降位置―駐車位置間の自動誘導サービス（来場者の所有自動車の VP、シェアカーの自動配車を想定）
域内搬送サービス	搬送ロボットによる域内搬送拠点から配送先への自動搬送サービス

(b) サービス詳細（実施エリア、走行ルート、事業モデル、コスト構造）

a) 送迎サービス

［1］ 実施エリア

現在、メブクス豊洲の通勤者向けに運行している無料シャトルバスは、一定程度の需要が確認されている。また、ホテルが開業した場合は通勤者と逆の流動となり、シャトルバスの効率的な活用が期待される。

以上より、メブクス豊洲を想定対象施設とし、豊洲駅―メブクス豊洲間の往復運行を想定する。

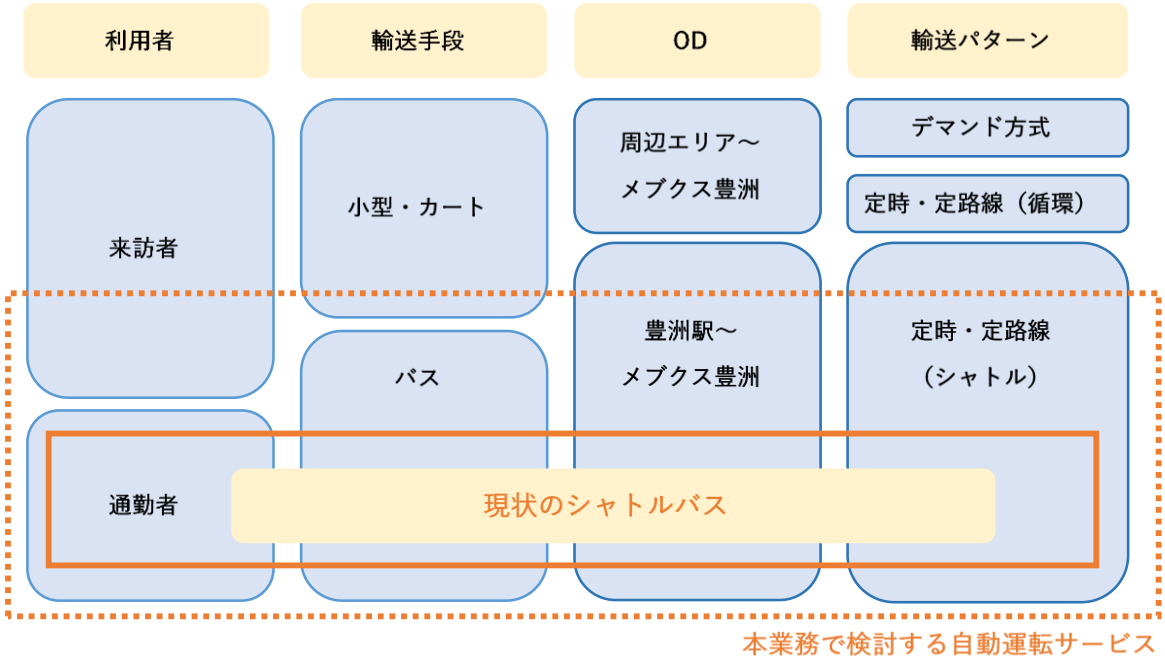


図 198　豊洲地区における自動運転サービスイメージ

［2］　自動運転導入ステップ

自動運転は遠隔監視による運行を基本とし、現状、移行期間、完全無人運転化（レベル 4 自動運転）での乗務員の配置について図 199 のように設定する。

なお、移行期間は、現状の警察庁ガイドラインによる許認可条件を参考とした。

図 199　自動運転導入ステップ

［3］　事業スキーム及び実施体制

実施体制及びサービスと対価のフローを図 200 に示す。

なお、図中の矢印は、各プレイヤー間のサービス（青）と対価（赤）のフローを模式的に示し、レベル 4 自動運転の導入により新たに発生すると考えるフローについては、濃い色で表示している。また、対価のフローで（CAP）と表記したものは導入時に初期コストとして必要な項目、（OP）はランニングコストとして必要な項目を示す。

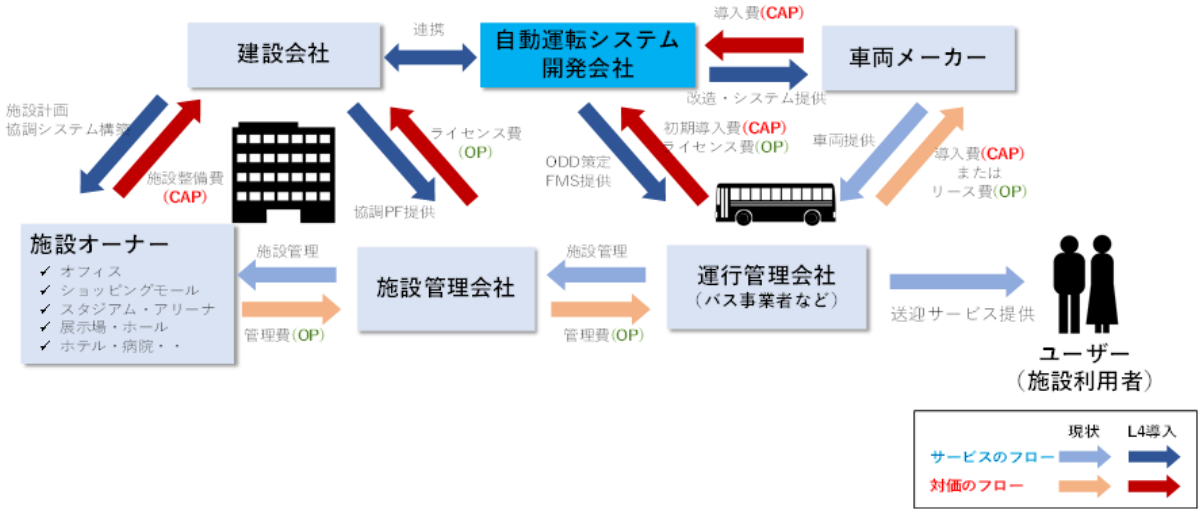


図 200　事業スキーム及び実施体制（送迎サービス）

［4］　コスト構造

費用項目については、国土交通省「自動車ビジネスモデル検討会」による試算を参考として、既存資料を根拠に設定した。

自動運転車両については、大津市の試算を参考とし、通常車体価格の 1.5 倍と設定した。

表 56　費用項目

費用項目	概算費用	根拠
人件費（大型二種）	約 450 万円／年	京成バス中途採用 HP より、正社員 2 年目の年収を参考に設定
人件費（免許なし）	1,152 円／時	タウンワークによる東京都のアルバイト・バイト・パートの平均時給（ドライバー・運転手）

費用項目	概算費用	根拠
燃料油脂費	43.78 円／km	国土交通省「乗合バス事業の収支状況について」（令和 2 年度、京浜・民営）
車両修繕費	車両償却費の約 43%	国土交通省「乗合バス事業の収支状況について」（令和 2 年度、京浜・民営）
車両償却費（通常）	耐用年数 10 年での定率法による償却の 1 年目（車両価格 24,363,900 円／台）	いすゞ中型路線バスエルガミオ東京地区希望小売価格
車両償却費（自動運転化）	通常車体価格の 1.5 倍	大津市試算を参考に設定
利子	元利均等方式 金利 2%	―
諸経費	149.02 円／km	国土交通省「乗合バス事業の収支状況について」（令和 2 年度、京浜・民営）
遠隔監視機材レンタル費	10,000 円／月	道路局試算を参考に設定
サーバー利用費	50,000 円／月	道路局試算を参考に設定

上記の他、目的や現地の状況により発生しうる費用項目を表 57 に示す。

表 57　追加で発生しうる費用項目

目的		費用項目
安全性向上	信号検知技術の高度化	信号情報提供装置、車載器
	走行空間認知による自己位置特定精緻化	3D マップ計測、作成
	高架下や屋根の下、トンネル、ビル反射等による自己位置特定不良の解消	磁気マーカー、電磁誘導線、車載リーダー
	障害物検知技術の高度化（対向車検知、横断歩道検知等）	路線センサー、カメラ、AI 判定システム
サービス性向上	運行補助（乗客の移動検知、ガイダンス等）	車内の見守りシステム
	施設利用者の判別（顔認証、カードの読み取り等）	乗客顔認証

［5］ サービス提供の仕組み・技術

本検討では、基本的な GNSS（GPS）と LiDAR を用いた運行を想定した。

- GNSS アンテナ、通信アンテナによる自車位置確認、制御
- LiDAR、車体カメラによる障害物検知、信号判別

b) 自動バレーパーキングサービス

［1］ ユースケース概要

自動バレーパーキングと小型 EV によるカーシェアリングを組み合わせるサービスについて、メブクス豊洲及び隣接するホテルラビスタをモデルとしたユースケースの概要を表 58 に示す。

表 58　豊洲地区で想定するユースケース

ユースケース	メブクス豊洲：来街者やメブクス豊洲内のオフィスワーカーが、比較的短距離の移動を行う際に使用することを想定
	ホテルラビスタ：宿泊客が、比較的短距離の移動を行う際に使用することを想定
使用車両	小型 EV 車
ターゲットユーザー	• メブクス豊洲のテナント企業社員 • ホテルユーザー
利点	• カーシェアがいつでも使用可能 • カーシェアピックアップ及び、駐車の必要がなくなり、時間削減が可能
その他	• カーシェア 10 台から始める • 自動バレーパーキング走行ルートは 100m 程度と想定 • 1 日のカーシェアリング利用率は 70%、1 日の回転数は 2 回とする

［2］ 実施エリア

メブクス豊洲駐車場内のエリア①を自動バレーパーキングの導入範囲とする。

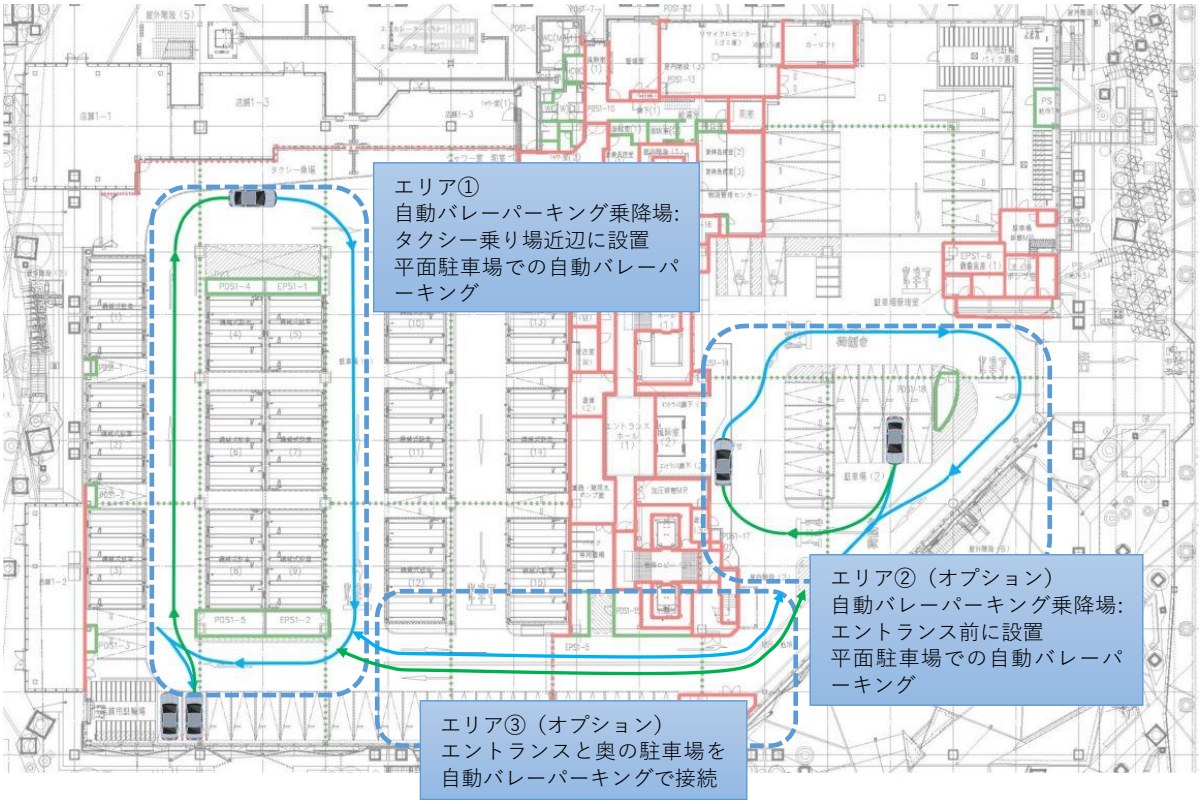


図 201　自動バレーパーキングの導入想定エリア

［3］　自動バレーパーキングの方式と特徴

自動バレーパーキングの実現のために、自動運転車両側のシステムだけでなく、駐車場側のインフラシステムとの連携が必要となる。両者の連携部分、すなわちインターフェースが駐車場によって異なる場合、自動運転車両のインターフェースによって、自動バレーパーキングが使える駐車場、使えない駐車場が生じてしまう。駐車場インフラシステム側から見ても、インターフェースが同じであるかどうかによって、自動バレーパーキングを実施できる車両、実施できない車両がでてきてしまう。

この問題を避けるため、国際標準化機構（International Organization for Standardization、以下 ISO）が、ISO23374 と呼ぶ自動バレーパーキングのインターフェースについての国際標準を、2022 年中に制定することを目標に活動している。この ISO23374 では、自動バレーパーキングシステムのフレームワークや、自動運転車両システムと駐車場インフラシステムの通信インターフェースを定めている。

ISO23374 では、この駐車場インフラシステムと自動運転車両システムが協調して自動運転するに当たり、それぞれが担う機能の分担によって、3 つのタイプに分類している。

自動バレーパーキングの方式別の機能分担を表　59 に整理する。海外の自動車メーカーやサプライヤーは主にタイプ 2 の実用化を目指しており、一方で、国内ではサプライヤーを中心にタイプ 3 の自動バレーパーキング技術の開発・実証が進められている。

表 59　自動バレーパーキングの方式別機能分担

機能分担	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3
駐車スペースの決定	インフラ	インフラ	インフラ
経路の決定	車両	インフラ	インフラ
障害物検知	車両	インフラ	車両・インフラ
車両位置検知	車両	インフラ	車両
車両の進行方向決定	車両	インフラ	車両
車両の制御	車両	車両	車両

［4］　事業スキーム及び実施体制

実施体制及びサービスと対価のフローを図 202 に示す。

なお、図中の矢印は、各プレイヤー間のサービス（青）と対価（赤）のフローを模式的に示し、レベル 4 自動運転の導入により新たに発生すると考えるフローについては、濃い色で表示している。また、対価のフローで（CAP）と表記したものは導入時に初期コストとして必要な項目、（OP）はランニングコストとして必要な項目を示す。

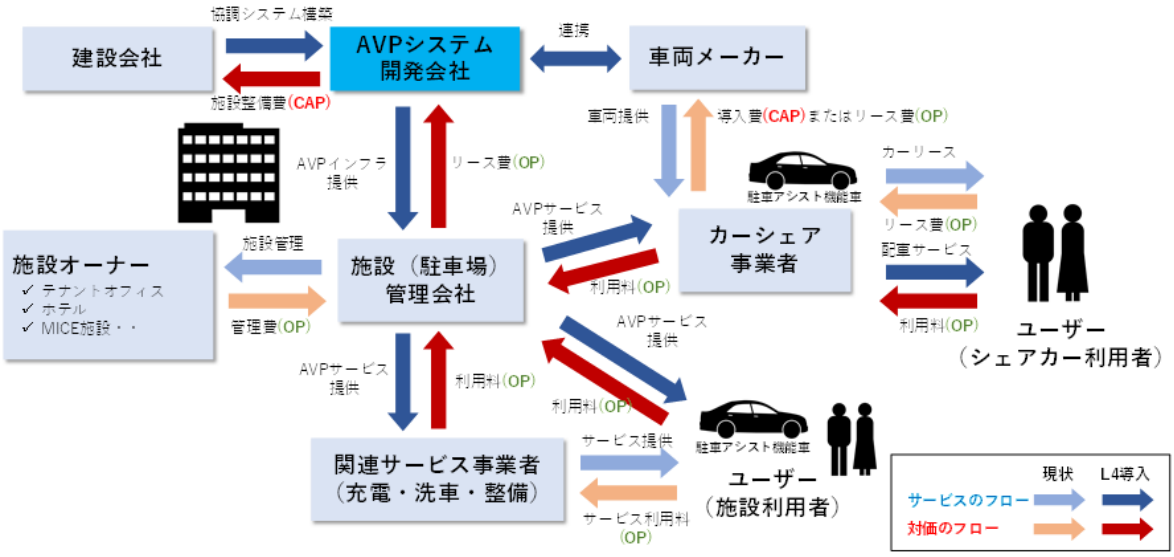


図 202　事業スキーム及び実施体制（自動バレーパーキングサービス）

［5］　コスト構造

自動バレーパーキングシステムの導入コストについて、日本自動車研究所（JARI）の検討例を参考に、自動バレーパーキングの方式の違いを考慮して単価を設定した。

表 60　費用項目

区分	費用項目	年間コスト（千円／年） カッコ内は初期費用	算出根拠など
AVP システム	駐車場内マップ作成	100（500）	5 年償却
	駐車場内動体検知用カメラ設置	1,920（9,600）	コストは 3DLiDAR の 1/5、設置数は 2 倍 5 年償却
	ローカル管制センター構築費	5,000（25,000）	タイプ 3 のコストの 1/4 5 年償却
	車両・完成センター、通信アクセスポイント	1,000（5,000）	AVP システムのメンテナンス費用（異常時対応など） 駐車場年間管理費 500 万円の 20%と想定
	オペレーションコスト	1,000	
車両	小型 EV 車両	2,500（10,000）	100 万円／台×10 台 法定耐用年数 4 年
年間費用合計		11,520	

［6］　サービス提供の仕組み・技術

無地充電を含むシステム構成の例を図 203 に示す。また、システムを構成するプレイヤーやサブシステムなどの構成要素を表 61 に整理する。

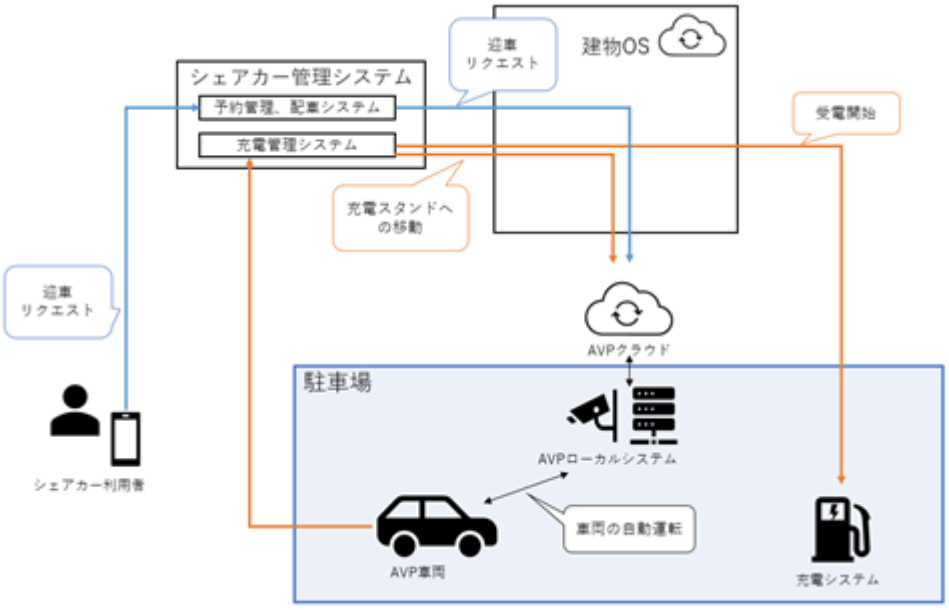


図 203　システム構成案

表 61　システム構成要素

分類	説明	責務
シェアカー利用者	自動バレーパーキング車両をシャカーとして利用する利用者	• シェアカー利用時に迎車のリクエストを出す • シェアカー利用完了時に納車のリクエストを出す
自動バレーパーキング車両	シェアカーとして利用される自動バレーパーキング機能を搭載した車両	• 自動バレーパーキングローカルシステムの指示に従い、自動バレーパーキング車両を動かし、指定された地点まで自動運転を行う • シェアカー管理システムに充電残量を通知する
自動バレーパーキングローカルシステム	駐車場に設置された自動バレーパーキング車両を制御するためのシステム駐車場に設置されたセンサー類を含む	• 自動バレーパーキングクラウドの指示に従い、自動バレーパーキング車両を所定の位置に動かすための指示を出す • システムの安全性を担保する
充電システム	自動で充電開始、終了の管理をするシステム	• シェアカー管理システムの指示に従って、充電の開始、終了を行う • ロボット充電器の場合は、車両と充電器を接続する

分類	説明	責務
シェアカー管理システム	シェアカーの管理を行う	• 利用者の予約を管理する • 自動バレーパーキングクラウドへ配車の指示を行う • 充電システムへの充電の指示を行う
建物 OS	建物の情報を統括し、しれを利用するアプリケーションに情報や機能を提供する	• 充電機能を提供する(アプリケーション側(シェアカー管理システム)のリクエストを受けて充電システムへそれを伝える) • 自動バレーパーキング機能お提供する(アプリケーションン側(シェアカー管理システム)のリクエストを受け、受動バレーパーキングクラウドへそれを伝える)

c) 域内搬送サービス

［1］ ユースケース概要

オフィス、飲食・物販店舗が入居する複合テナントビルを対象に、オフィス・店舗あての貨物について館内共同配送を実施することを想定し、荷捌きスペースから各届け先までの搬送に自動配送ロボット用いるケースについて検討する。ユースケースの概要を図 204 に示す。

(1) 手動による域内共同配送

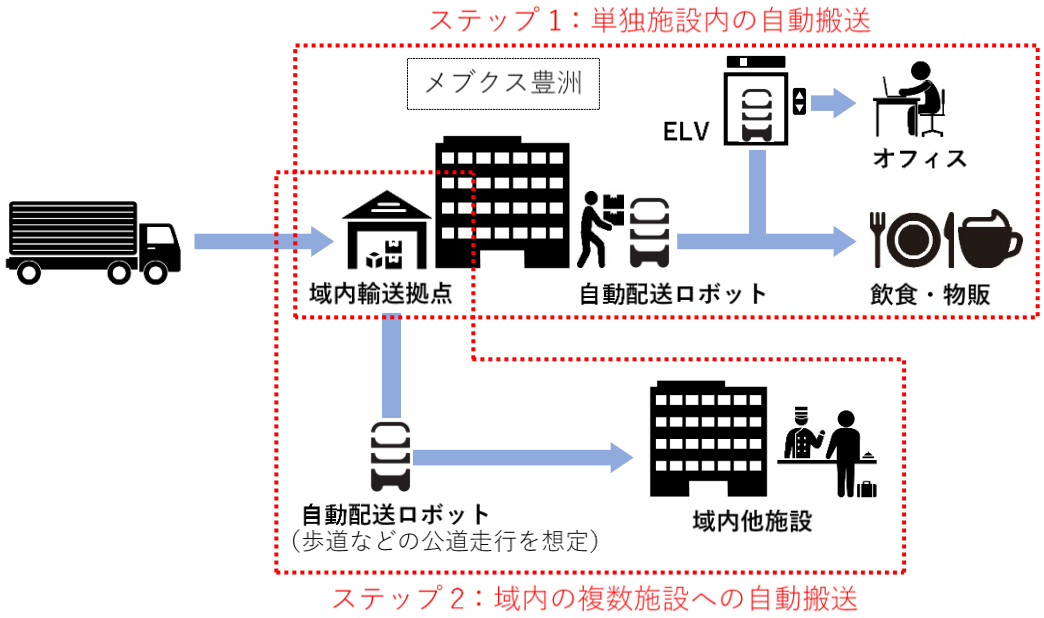


図 204　域内搬送のユースケース概要

［2］　実施エリア

メブクス豊洲を対象施設と想定し、域内搬送に自動走行ロボットを利用するケースについて検討する。

［3］　事業スキーム及び実施体制

実施体制及びサービスと対価のフローを図 205 に示す。

なお、図中の矢印は、各プレイヤー間のサービス（青）と対価（赤）のフローを模式的に示し、レベル 4 自動運転の導入により新たに発生すると考えるフローについては、濃い色で表示している。また、対価のフローで（CAP）と表記したものは導入時に初期コストとして必要な項目、（OP）はランニングコストとして必要な項目を示す。

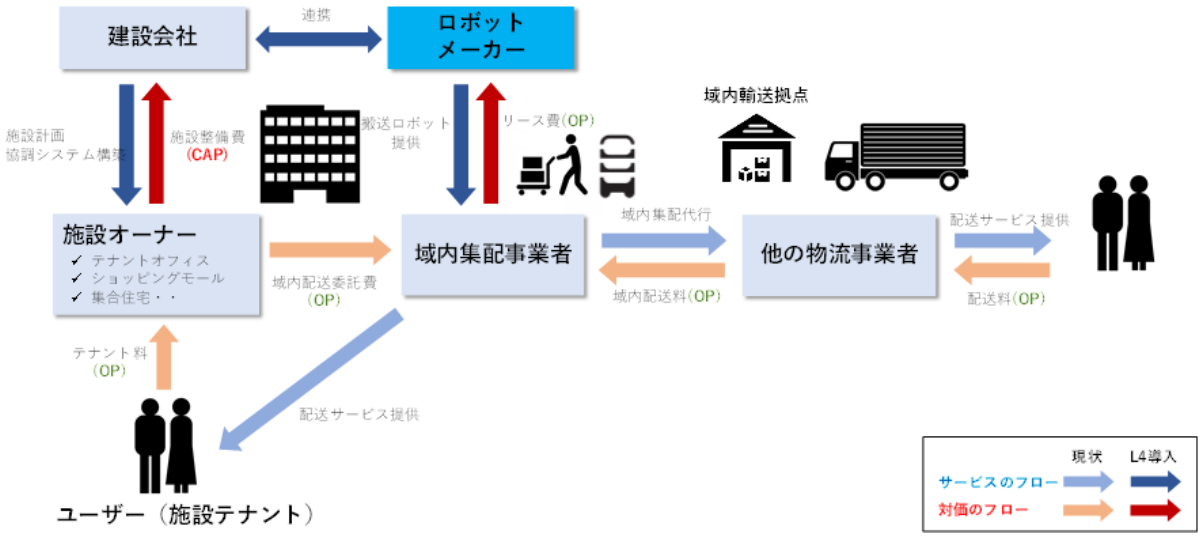


図 205　事業スキーム及び実施体制（域内搬送サービス）

［4］　コスト構造

域内搬送サービスの導入に向けた自動搬送ロボットの導入コストについて表 62 に示す。

表 62　費用項目

分類	費用項目	参考金額
初期費用	走行エリア地図作成	数百万円
	エレベータ改造	数百万円／基×2 基
	自動ドア改造	数百万円／基×1 箇所
	インフラ連携システム構築（カメラ設置費含む）	数千万円／1 式
	充電スペース設置	数百万円／基×1 箇所
ランニングコスト	自動配送ロボットレンタル費（屋内型、保守・通信費含む）	10～30 万円／月×12 台
	インフラ連携システム保守費	数千円／月
	ロボット積込み作業員費	数十万円／月×1 名
	電力費	数千円／月
その他	テナントへの協力依頼（配送先での積下ろし等）	―
	安全管理体制の整備	
	ロボット走行の支障への対応（段差・開口部等）	

3)　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

■　該当項目の背景と目的

協調型レベル 4 自動運転技術を活用したモビリティサービスを実現する際には、車両側との協調のため、インフラ側にも新たな通信設備を設置することが必要となる。それに付随する形で、従来取得できなかったインフラ関連データが取得・蓄積出来るようになる。協調型レベル 4 自動運転技術を活用したモビリティサービスの事業モデルを単体で検討するのではなく、上記データの利活用と合わせて検討を実施する。また、車両・インフラ等のモビリティに関するデータ内で完結するのではなく、スマートシティ等のコンセプトを元にした都市サービスで蓄積されたデータとの組み合わせの観点も取り入れて検討を実施する。

■　実施方針

各地域で検討中の協調型レベル 4 自動運転モビリティサービスで取得が想定されるデータを元に、活用方式を検討する。また、スマートシティ等の取組でその他データが取得可能な場合は、そちらとの組み合わせで考えられる活用方式についても検討する。

■　実施事項と実施方法

(1)　柏地域

1. 収集データの特性整理

ユースケースにおいてデータの利活用方策を検討するにあたり、協調型インフラ連携システムにて収集できるデータの整理を行う。また、協調型インフラ連携システムにより収集するデータの他のデータと比較した際の特性・特異性を確認する。

(a) 協調型インフラ連携による収集データ

協調型インフラ連携システムより収集可能なデータは以下のとおりである。

今回、導入を検討している協調型インフラ連携システムは、①カメラセンサーによる車両や歩行等の検知と、②信号との連携システムであり、それぞれで取得可能なデータを整理する。

表 63 カメラセンサーによる車両や歩行等の検知での取得データ

データ項目	説明
• 物標ID［必須］	自己物標情報
• 情報取得時刻［必須］	物標情報を得た時刻
• 物標種別	物標の種別とその分類信頼度 車両， 人， 動物， その他の物標
• 存在信頼度	物標が存在する確率
• 位置と移動	
▹物標位置［必須］	物標の位置
▹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
▹移動方向	物標の移動方向とその精度
▹速さ	物標の移動の速さとその精度 0.01m/s単位
▹回転速度	物標の回転速度とその精度
▹前後加速度	物標の前後加速度とその精度
• 物標の状態／属性	
▹物標の向き	物標の向きとその精度
▹物標のサイズ	物標のサイズとその精度
▹物標の色	物標の色 12色とその他
▹車両の状態等	
・シフトポジション	車両のシフトポジション
・前輪舵角，後輪舵角	車両の前輪と後輪の舵角
・ブレーキ状態	車両のブレーキの状態
・補助ブレーキ状態	車両の補助ブレーキの状態
・アクセルペダル開度	車両のアクセルペダルの操作量
・灯火の状態	車両の灯火の状態
・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
・車両用途種別	車両の用途種別
・車両用途種別毎の状態	車両の用途種別毎の状態
・牽引車両	車両を牽引している車両の物標ID
• 情報源のリスト［必須］	物標情報の情報源のリスト

表 64 信号との連携システムによる取得データ

データ項目	説明
・信号灯器ID［必須］	信号灯器を識別するためのID、交通管理者が付与することを想定
・信号灯器の種類［必須］	信号灯器の種別
・情報生成時刻［必須］	信号灯色情報を生成した時刻
・信号状態情報	信号機の動作状態
・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
・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
・灯色出力情報（以下のデータ項目で構成）のリスト［必須］	現在の灯色表示とその変化予定を表すリスト
▹灯色表示	
・主灯色表示	主たる灯器の表示灯色
・青矢信号表示	青矢灯器の表示方向
▹最小残秒数	当該灯色が継続する最小秒数（0.1秒単位）
▹最大残秒数	当該灯色が継続する最大秒数（0.1秒単位）

(b) 他のシステムにより収集可能なデータ

a) 確認を行った他のシステム

前頁では、①カメラセンサーによる車両や歩行等の検知と、②信号との連携システムそれぞれで収集可能なデータを整理した。

ここでは、これらのデータの活用可能性を検討するにあたり、既存の他のデータとの類似性や差異、協調型インフラ連携システムデータの特徴を整理する。

確認の対象としたシステムは以下の 6 点となる。

表 65 確認対象のシステムと取得データ

システム名	取得データ	データ管理者
ITSスポット(路側機)	ETC2.0データ(速度・経路等)	道路管理者(高速・直轄国道)
ITSコネクト(路側機)	路車間通信情報	民間企業団体(トヨタ自動車等)
交通量計測機器	交通量データ	道路管理者(高速・直轄国道) 交通管理者(警察)
信号機	信号データ(交通制御情報)	交通管理者(警察)
CCTVカメラ	画像情報	道路管理者(高速・直轄国道) 交通管理者(警察)
道路標識・路面表示など	交通規制情報	交通管理者(警察)

システム①：ITS スポット※

- 取得データ：ETC2.0 データ
- データ管理者：道路管理者（高速道路・直轄国道）
- データ概要：車内に搭載する ETC2.0 車載機と路側機との通信により情報収集されたデータで、路側機は全国の高速道路に約 1,700 箇所、直轄国道に約 1,900 箇所設置されている。

データは DRM（全国デジタルロード地図）データベースに準拠しており、幹線道路（県道以上）及び幹線道路を補完する市町村道（細街路は除く）はほぼ網羅されているが、路側機の設置箇所が高速道路及び直轄国道に限定されるため、路側機から遠い地域や国道等を使わない道路交通区域ではデータ収集が困難な課題がある。

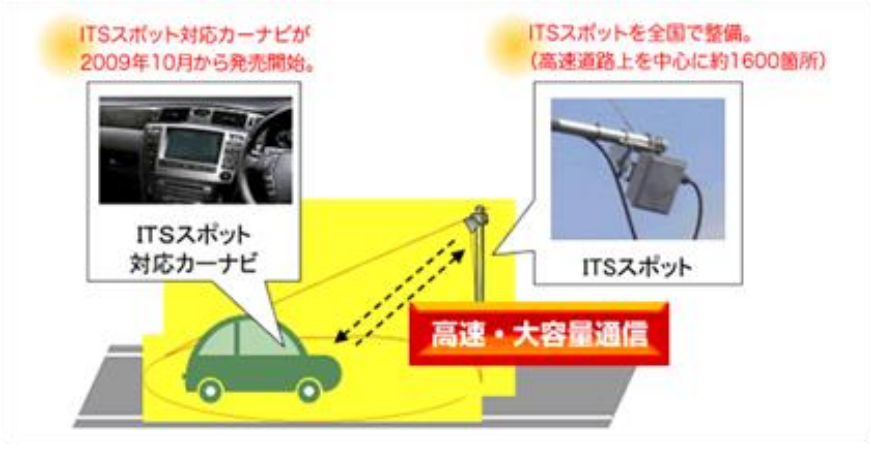


図 206 路側機と ETC2.0 車載機の通信イメージ・ITS スポットの概要

出所：国土交通省「道路：ITS スポットサービス」

※ ITS スポットは、従来の VICS（電波ビーコン）の発展版で、高速・大容量通信を用いることでより広範囲に渋滞情報の提供（VICS では道路延長で最大 200km、ITS スポットで

は最大 1,000km）が可能となる。更に、安全運転支援情報（前方の危険な状況や画像情報など）も提供されることから、近年は従来の VICS（電波ビーコン）に代わって ITS スポット（路側機）が設置されるようになり、将来的には ITS スポットに一本化される見通しとなる。

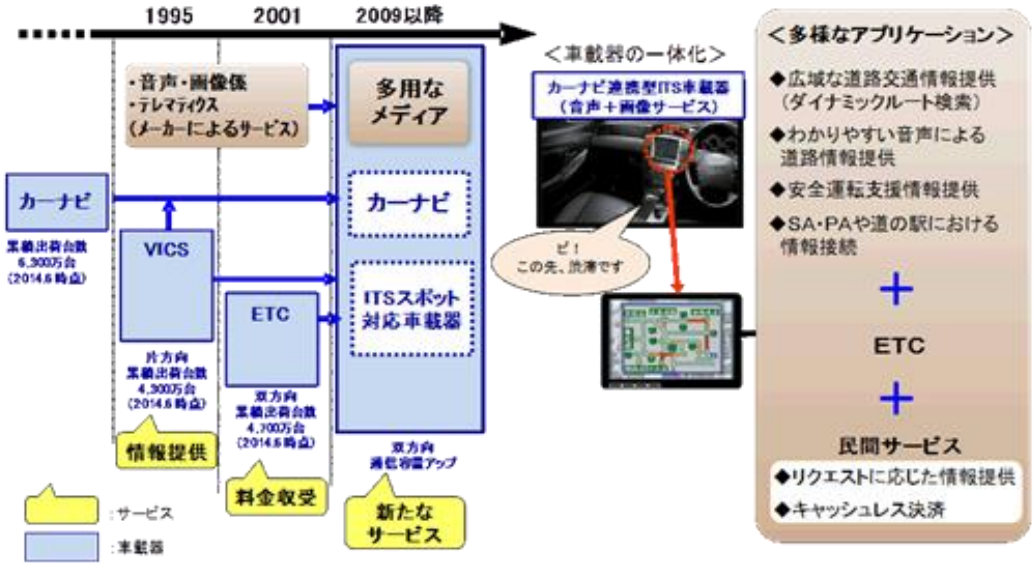


図 207 ITS スポットサービスの発展

出所：国土交通省「道路：ITS スポットサービス」

<u>システム②：ITS コネクト</u>

- 取得データ：　路車間通信情報
- データ管理者：民間企業団体（トヨタ自動車など）
- データ概要：　見通しが悪い交差点などにおいて、車両同士や道路に設置された路側インフラ設備との無線通信によって得られる情報をドライバーへ知らせることで運転の支援に繋げるシステム。路側機の設置は一部の主要交差点（渋滞箇所・事故多発箇所等）に限られる。

<u>システム③：交通量計測装置</u>

- 取得データ：交通量データ（トラフィックカウンターデータ）
- データ管理者：道路管理者（高速道路・直轄国道）、交通管理者（警察庁）
- データ概要：車両の存在を検出する機器で、交通量と地点通過速度を常時計測する。高速道路会社・国土交通省・警察庁が管理し、直轄国道（国土交通省データ）は平均 25km 毎に設置、警察庁データは主要な都市部を中心に設置されている。

システム④：信号機

- 取得データ：信号データ（交差点制御情報）
- データ管理者：交通管理者（警察庁）
- データ概要：警察庁が保有する交差点制御情報をデータベース化したもので、主要交差点の信号サイクル長、現示毎のスプリット割合が把握できる。ただし、オープンデータ化されているものは主要な都市部のみであり、渋滞ポイントが連続する高度な信号制御が求められる交通センター管轄エリア内に限り、データ収集が可能な状況と考えられる。

システム⑤：CCTV カメラ

- 取得データ：画像情報
- データ管理者：道路管理者（高速道路・直轄国道）、交通管理者（警察庁）
- データ概要：道路管理者が道路の状況を監視することを目的に設置された定点観測カメラで、渋滞・事故・災害等が発生しやすい箇所を中心に設置される。

システム⑥：道路標識・路面表示など

- 取得データ：交通規制情報
- データ管理者：交通管理者（警察庁）
- データ概要：道路上の道路標識や路面表示にある交通規制情報をデータベース化したもので、交通規制種別（通行止め・高さ重量制限・通行規制・通行区分・通行帯・規制速度・駐車禁止・一時停止等）や交通規制形態（点・線・面）が把握できる。現状、交通規制情報のシステム化は一部の情報に限られているが、将来的に自動運転が普及する頃には、交通規制情報のシステム化が進むと考えられる。

b）他のシステムで収集可能なデータとその特徴

他のシステムにより収集可能なデータとその内容、現状のデータの使われ方は以下のとおり。

システム①：ITS スポット

- 取得データ：ETC2.0 データ
- 収集可能なデータ：

表 66 収集可能なデータ項目（ITS スポット）

現状（手動運転）						
データ項目	データ詳細					現状の技術とデータの使われ方
	情報項目		単位	データ型	備考	
運行情報	運行ID		-	文字列型		
	運行日・受信時刻		-	日付型		
車種情報	車種（普通・大型等）		-	整数型	0：軽二輪　1：大型　2：普通　3：小型　4：軽自動車	
	用途（乗用・貨物等）		-	整数型	0：未使用　1：乗用　2：貨物　3：特殊　4：乗合	
速度情報	リンク情報（DRM情報）	DRMバージョン	-	整数型		全道路（細街路は除く）の旅行速度を、区間別日別方向別時間帯別に分析が可能で、いつ・どこで・どの程度の渋滞（速度低下）が発生しているか把握できる。渋滞対策や対策効果分析、道路整備計画など、道路管理者を中心にデータが活用されている。
		2次メッシュコード	-	整数型		
		流入・流出ノード	-	文字列型		
		リンク長	m	整数型		
	道路情報（センサス情報）	交通調査基本区間番号	-	文字列型	都道府県CD(2)+道路種別CD(1)+路線番号(4)+順番号(4)	
		道路種別コード	-	整数型	DRM（全国デジタルロード地図）データベース準拠	
		路線番号	-	整数型	DRM（全国デジタルロード地図）データベース準拠	
		道路管理者コード	-	整数型	1：都市間高速　2：都市内高速　3：公社　4：国　5：都道府県・・・	
		交通調査基本区間長	m	整数型		
	速度情報	算定年月日	-	日付型		
		算定時間帯（15分帯・1時間帯）	-	整数型		
		平休区分	-	整数型	1：平日　2：休日	
		上り・下りコード	-	整数型	1：上り　2：下り	
		旅行時間（15分帯・1時間帯）	秒	小数型		
		平均速度（15分帯・1時間帯）	km/h	小数型		
		情報件数	-	整数型		
走行履歴情報	トリップ情報	GPS時刻	-	日付型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	OD・経路・トリップ長など道路の使われ方を把握でき、渋滞要因や事故要因分析、対策効果分析、道路整備計画など、道路管理者を中心にデータが活用されている。
		位置情報（緯度経度）	deg	小数型	差分データから通常の経度に戻した情報	
		経路の道路種別コード	-	整数型	0：高速　1：市内高速　2：一般道　3：その他	
		経由地点毎の通過速度	km/h	小数型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	
	リンク・道路情報	DRMバージョン	-	整数型		
		2次メッシュコード	-	整数型		
		流入・流出ノード	-	文字列型		
		流入ノードからの距離	m	整数型		
		交通調査基本区間番号	-	文字列型	都道府県CD(2)+道路種別CD(1)+路線番号(4)+順番号(4)	
		上り・下りコード	-	整数型	1：上り　2：下り	
		道路管理者コード	-	整数型	1：都市間高速　2：都市内高速　3：公社　4：国　5：都道府県・・・	
トリップ情報	トリップ番号		-	整数型		
	トリップの起点時刻・終点時刻		-	日付型		
	トリップの完全性		-	整数型	0：完全ﾄﾘｯﾌﾟ　1：上流側不完全　2：下流側不完全　3：両側不完全	
	トリップの起終点フラグ		-	整数型	0：起点　1：終点　2：通過点　3：その他	
	トリップ長		m	整数型	トリップの起点～終点までの距離	
挙動履歴情報	挙動発生時	GPS時刻	-	日付型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	全道路（細街路は除く）の急挙動発生状況を把握でき、事故対策など、道路管理者を中心にデータが活用されている。
		位置情報（緯度経度）	deg	小数型	差分データから通常の経度に戻した情報	
		進行方位	deg	整数型	北方を基準とした16方位	
		道路種別コード	-	整数型	0：高速　1：市内高速　2：一般道　3：その他	
		地点速度	km/h	小数型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	
		ヨー角速度	deg/s	小数型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	
		加速度（前後・左右）	G	小数型	電波ビーコン5，8GHz帯データ形式仕様書	

<u>システム②：ITS コネクト</u>

- 取得データ：路車間通信情報
- 収集可能なデータ：

表 67 収集可能なデータ項目（ITS コネクト）

現状（手動運転）				
データ項目	データ詳細			現状の技術とデータの使われ方
	情報項目	単位	データ型	備考	
車両情報	車両ID	-	文字列型		ITSコネクト（路側機）は、一部の主要交差点（事故危険箇所等）に設置され、路車間通信を経て、ドライバーへ情報を発進している。 ITSコネクトデータはオープン化されていないため、公共事業として活用される場面は少ない。ただし、実験段階ではあるが、路側機から提供される信号情報が自動運転の安全・円滑な走行を支援することが検証されている。
	車両サイズ種別	-	整数型	0：大型　1：中型　2：普通　3：自動二輪　4：自転車・・・	
	車両用途種別	-	整数型	0：自家用車　1：緊急車　2：道路維持作業車　3：旅客運送車　4：貨物運送車・・・	
	車幅・車長	m	整数型	自車両の全幅・全長情報	
時刻情報	送信メッセージ確定時刻	-	時刻型	送信するメッセージ内容を確定した時刻	
位置情報	緯度・経度・高度	deg	小数型	位置の緯度・経度、基準面からの高度情報	
	道路施設情報	-	整数型	0：不定　1：本線　2：SA/PA　3：IC　4：JCT・・・	
	道路区分情報	-	整数型	0：不定　1：高速　2：都市内高速　3：国道/都道府県道　4：その他細街路・・・	
車両状態情報	車速	m/s	小数型	自車両の速度情報	
	車両方位角	-	小数型	自車両の進行方位角情報	
	前後加速度	m/s^2	小数型	自車両の前後方向の加速度情報	
交差点情報	交差点距離	m	整数型	前方直近交差点までの距離情報	
	交差点位置（緯度・経度）	deg	小数型	前方直近交差点の位置（緯度・経度）情報	

システム③：交通量計測装置

- 取得データ：トラフィックカウンターデータ
- 収集可能なデータ：

表 68 収集可能なデータ項目（交通量計測装置）

現状（手動運転）						
データ項目	データ詳細					現状の技術とデータの使われ方
	情報項目		単位	データ型	備考	
交通量情報	車種情報	車種（小型・大型）	-	整数型	JARTICデータは車種別は把握できない	道路管理者・交通管理者（警察）が、日々の交通状況（24時間365日）をリアルタイムで把握でき、年間を通じたピーク時期・平休別・時間帯別傾向を分析・把握でき、道路交通センサス等の調査や渋滞対策や道路整備・維持管理計画等の基礎データとして活用されている。
	交通量情報	観測年月日	-	日付型		
		観測時間帯（1時間帯）	-	整数型	1時間帯が基本だが、路線によっては5分単位まで詳細に把握可	
		上り・下りコード	-	整数型		
		観測交通量（日別方向別時間帯別）	-	整数型		
		通過速度	km/h	小数型		

システム④：信号機

- 取得データ：信号データ（交差点制御情報）
- 収集可能なデータ：

表 69 収集可能なデータ項目（信号機）

現状（手動運転）					
データ項目	データ詳細				現状の技術とデータの使われ方
	情報項目	単位	データ型	備考	
交差点定義情報	交差点番号	-	整数型	交差点定義情報で定義された番号	交通管理者である警察が、現場の状況を見て信号調整を行っているのが一般的。交通管制センター管轄内では、交差点流入交通量と信号待ち行列長から信号青時間を決定する信号制御方式（MODERATO）が使用され、渋滞の延伸抑制・早期解消に寄与している。ただし、管制センターへの負荷が大きく、一部の路線・エリアに運用が限定される場合が多い。
	流入・流出リンク数	-	整数型		
	リンク毎の2次メッシュコード・リンク区分・リンク番号	-	整数型	【リンク区分】0：高速、1：都市内高速、2：一般道、3：その他	
交差点制御情報	信号サイクル長	秒	小数型		
	信号現示構成	-	整数型		
	現示毎のスプリット	%	小数型	サイクル長に対する青時間（通行権が与えられる時間）の割合	

システム⑤：CCTV カメラ

- 取得データ：画像情報
- 収集可能なデータ：

表 70 収集可能なデータ項目（CCTV カメラ）

現状（手動運転）					
データ項目	データ詳細				現状の技術とデータの使われ方
	情報項目	単位	データ型	備考	
ライブ画像情報	路面状況把握（積雪・圧雪・凍結等）	-	-		現場の状況をリアルタイムで把握できるが、データの収集は、用途に応じ、その都度行われるため、手間がかかる
	渋滞状況把握【主に都市内高速】	-	-		
	事故発生時の状況把握	-	-		
	冠水等の状況把握	-	-		
	交通量・交通流動把握【主に都市内高速】	-	-		

システム⑥：道路標識・路面表示など

- 取得データ：交通規制情報
- 収集可能なデータ：

表 71 収集可能なデータ項目（道路標識・路面表示など）

現状（手動運転）						
データ項目	データ詳細					現状の技術とデータの使われ方
	情報項目		単位	データ型	備考	
交通規制情報	交通規制種別情報		-	整数型	自転車及び歩行者用道路、通行止め、重量制限、高さ制限、一方通行、車両進入禁止、中央線、追越し禁止、車両通行帯、路線バス等専用通行帯・優先通行帯、最高速度、最高速度区域、最低速度、転回禁止、一時停止、駐車禁止区間・区域、信号機、ゾーン30・・・	道路上では、標識により、道路利用者へ情報を提供している。交通管理者（警察）が、交通規制状況・取締りを行う際の基礎データとして活用されている。データそのものは近年オープン化されたばかりのため、現状としては、道路管理者で使われることはほとんどない。
	規制種別情報	交通規制種別コード	-	整数型	上記交通規制種別のコード	
		規制形態（面・線・点）コード	-	整数型	点・線・面コード	
	規制情報（場所・路線名）	緯度経度	deg	小数型	世界測地系	
		始点と終点	-	整数型	hhmmの4桁	
		路線名	-	文字列型		
	規制情報（対象・除外・時間）	対象期間（開始・終了）	-	整数型	MMDDの4桁	
		規制時間（開始・終了）	-	整数型	hhmmの4桁	
		規制曜日	-	整数型	対象曜日のコード	
		対象車両	-	整数型	対象車両のコード	
	規制情報（規制種別項目）	規制場所（起点・終点）	-	文字列型		
		規制延長	m	整数型		
		片側・両側コード	-	整数型		

c）インフラ連携データの特性・特異点

前述した、協調型インフラ連携システムでの収集データと、既存の他のシステムで収集可能なデータ内容を比較し、協調型インフラ連携システムにて収集するデータの特性や優位性について整理した。

① 協調型インフラ連携データと他システム収集可能データの相違点

協調型インフラデータと既存インフラシステムの類似点、インフラ連携データとの違いについて整理すると以下の通りとなる。

車両・歩行等の検知は、現状の CCTV カメラによる検知や ITS スポット（路側機）が該当し、相違点は、CCTV カメラは定点観測でしか対応できないところにある。

信号との連携システムは、現状の ITS コネクト（路側機）が該当し、将来的には信号機と車両間の通信技術の開発が進み、ITS コネクト（路側機）技術が信号機に統合化されることも十分に考えられる。

一方、車両の状態や物標情報は、既存インフラシステムに類似するものはなく、車両状態のデータの見える化は検討段階にある。また、物標情報は、標識や路面表示など、道路インフラの一部によるものがほとんどで、こちらも運行を支援する通信データとしての活用は検討段階にある。

表 72 協調型インフラ連携データと既存インフラシステムの類似点

協調型インフラ連携データ		既存インフラシステムとの類似点	
		類似するシステムサービス	インフラ連携データとの違い
車両・歩行等の検知取得データ	物標ID	CCTVカメラによる検知	CCTVカメラは定点観測しかできないため、自動運転時は車両側への搭載とカメラのAI化は必要不可欠
	情報取得時刻		
	物標種別（車両・人など）		
	存在信頼度（存在確率）		
	物標位置		
	移動方向	ITSスポット（路側機）と車両の通信で収集されるETC2.0データによる走行状況の把握	ITSスポットだと歩行者の通行状況は把握できない
	速さ		
	回転速度		
	前後加速度		
	物標の向き	CCTVカメラによる検知	CCTVカメラは定点観測しかできないため、自動運転時は車両側への搭載とカメラのAI化は必要不可欠
	物標のサイズ		
	物標の色		
	車両の状態	-	-
	物標情報の情報源リスト		
信号との連携システム	信号灯器ID	ITSコネクト（路側機）と車両の通信で発信される運転支援システム	現状のITSコネクトには信号機の情報はないが、自動運転支援を目的とした信号機と車両間の通信技術の開発が進められており、将来的には普及することが予想される
	信号灯器の種類		
	情報生成時刻		
	信号状態情報		
	特定制御動作中フラグ		
	カウントダウン停止フラグ		
	灯色出力情報		

② 協調型インフラ連携データが目指す方向

既存の道路インフラには、ITS 技術の発展により、路側機や CCTV カメラが多数設置されている。また、今後は自動運転車の普及を見据えて、信号機と車両間で通信を交わす技術の普及が急速に進むことが予想される。自動運転車の普及で走行支援に関わる道路の維持管理費はインフラ通信費等が上積みされることで負担が増えることは確実視されている。少しでも負担を軽減できるよう、インフラに係る車両の開発・普及状況に柔軟に対応できるよう、既存システムを活用した汎用性の高いシステムを目指す必要がある。

2. データ利活用に向けたプラットフォームの検討

(a) 協調型インフラ連携システムのデータアーキテクチャ

協調型インフラ連携システムにより収集するデータのデータアーキテクチャは第 2 章、2-3 で詳細に検討されている。

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。

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。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。

(b) データプラットフォームの連携

自動運転車両の走行のあたっては、リアルタイムでのデータのやり取りが中心であり、基本的にはデータ連携サーバーを通じたデータのやり取りのみである。

一方で、その後のデータ利活用を想定すると、以下のように、それぞれで収集したデータを必要な情報のみに選択及び束ねるなどして、交通データとしてデータプールに収集・蓄積することを想定している。

データをプールするにあたり、インフラ情報の提供者が多岐に渡った場合にも同規格で収集を行うことができること、その後のデータ展開にあたり横展開や独立性の担保に留意する必要がある。

また、この交通データのプラットフォームからスマートシティや都市 OS 等とのデータを連携することにより、他分野データもあわせて活用することが考えられる。

3. データ活用ビジネス

収集したデータを活用して、また、柏の葉スマートシティで検討を行っているデータプラットフォームと連携を図りながら、ユースケースとして事業展開する方法として以下の区分での方法が考えられる。

	方法	検討状況･課題等
①交通データの他交通・企業等での活用	・カメラ、センサーにて収集した情報を保険会社に提供 ・保険会社が事故情報として活用	⇒ヒアリングの結果、現状ではニーズ無し
②交通データの街/施設への共有	・スマートシティプラットフォームにデータを提供、カメラセンサー等による交通量データから、商業施設でのサービスを強化	*※インフラ連携データ内容を確認次第、ニーズを確認する必要あり*
③他のデータプラットフォームとの連携	・スマートシティで収集しているデータと掛け合わせにより、新たなビジネスを創出	*※インフラ連携データ内容を確認次第、ニーズを確認する必要あり*

(a) 交通データの他交通・企業等での活用

インフラ連携にて取得したデータについて、他交通や企業等共有・活用することにより収入を得ることができないか検討を行った。

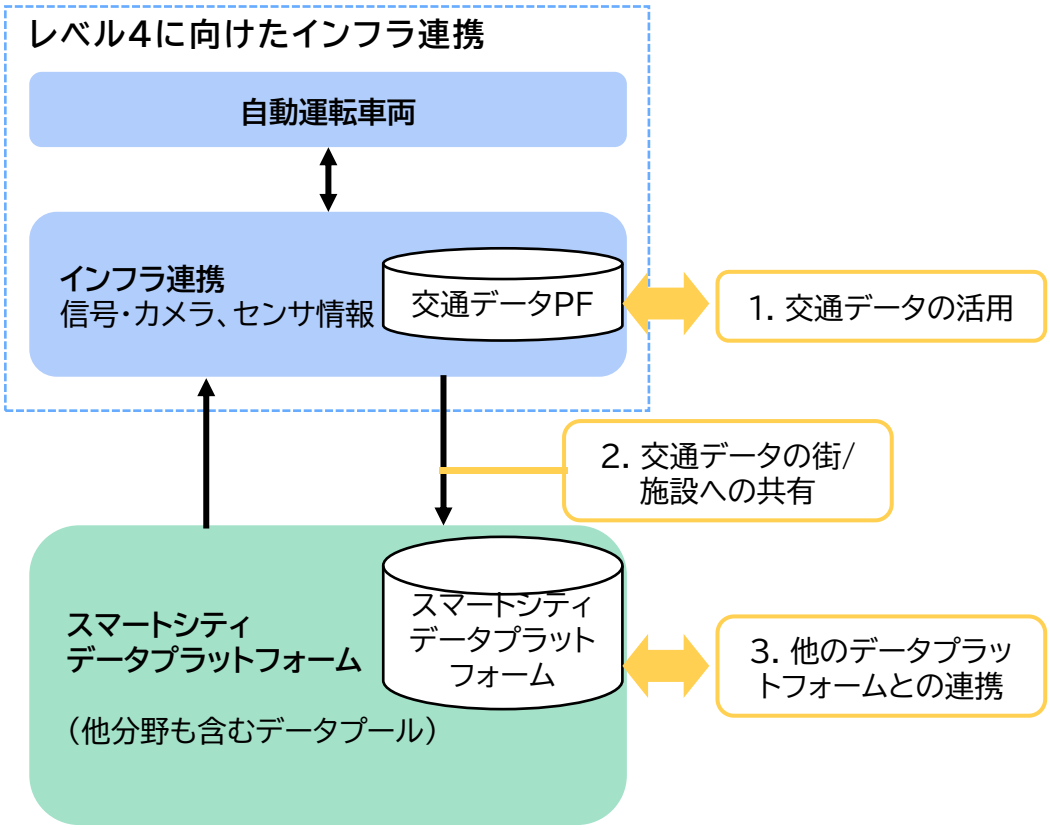


図 208 データ活用ビジネスの全体像

交差点に設置したカメラやセンサーにより交差点での自動車の走行状況や挙動を把握することができる。

自動車保険等を提供している企業では、事故の状況や発生割合のデータをもとに保険商品の検討を行っており、これら商品開発に向けたデータの蓄積のため、カメラセンサーによる取集データの提供を行うことを検討した。

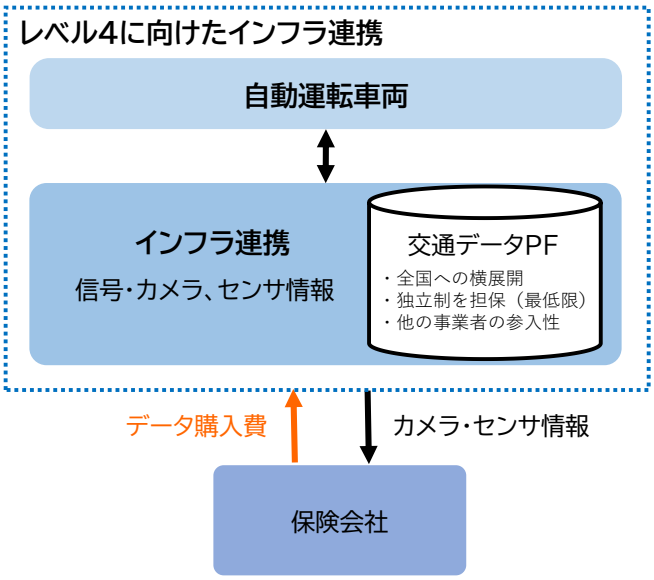


図 209 保険会社における交通データ活用イメージ

ステークホルダーとしては、収集、蓄積したデータを保険会社等に販売、商品開発に向けた知見として活用していただくことを想定。

事故が起こった結果データだけでなく、事故の原因やその際の挙動、交差点の形状等による差異なども確認可能と考える。

(b) 交通データの街/施設への共有

インフラ連携にて取得したデータについて、他交通や企業等共有・活用することにより収入を得ることができないか検討を行った。

柏の葉地域ではスマートシティデータプラットフォームを設置しており、スマートシティでのデータプラットフォームにデータを提供し、他分野でのデータの活用を検討することが考えられる。

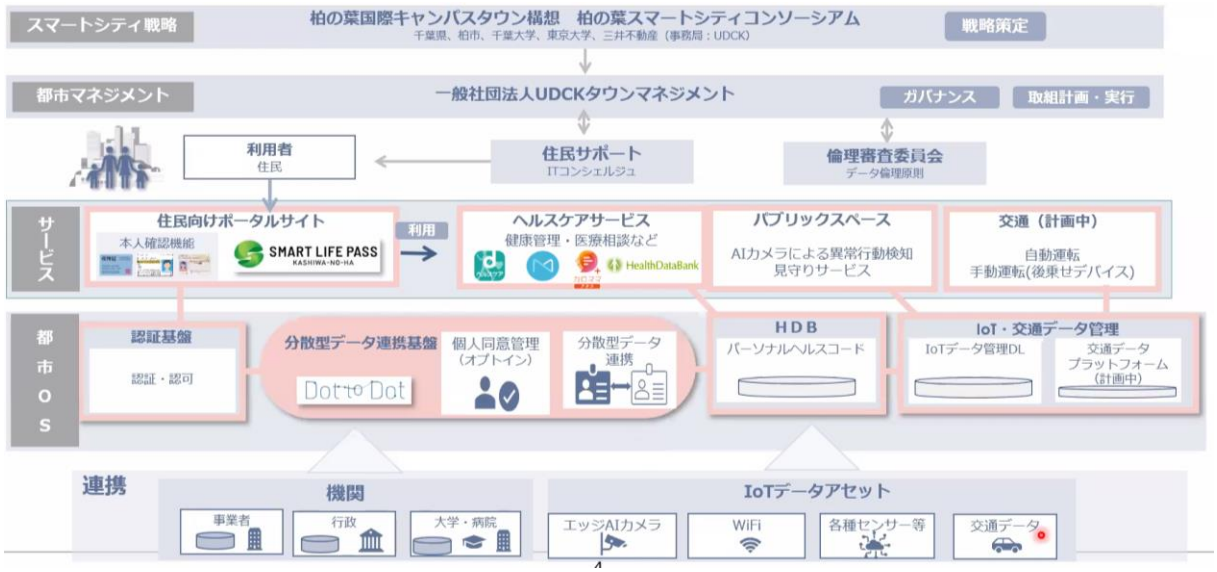


図 210 柏の葉スマートシティデータプラットフォームの全体像

ステークホルダーとしては、商業施設等を想定しており、スマートシティにおけるデータ連携によるサービス創出の検討において、交通データ×商業データで需要に応じたセールの実施などを提示している。

カメラセンサー活用による交通量データを提供して、需要の多いタイミングでのタイムセール等の実施等の検討材料とすることが考えられる。

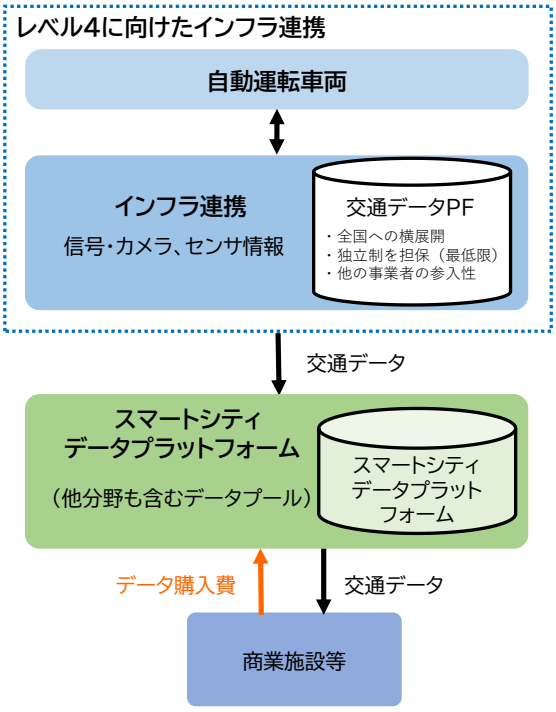


図 211 商業施設等におけるデータ活用イメージ

（c） 他のデータプラットフォームとの連携

柏の葉地域ではスマートシティデータプラットフォームを設置しており、スマートシティにおけるデータ連携による新たなビジネスが考えられる。

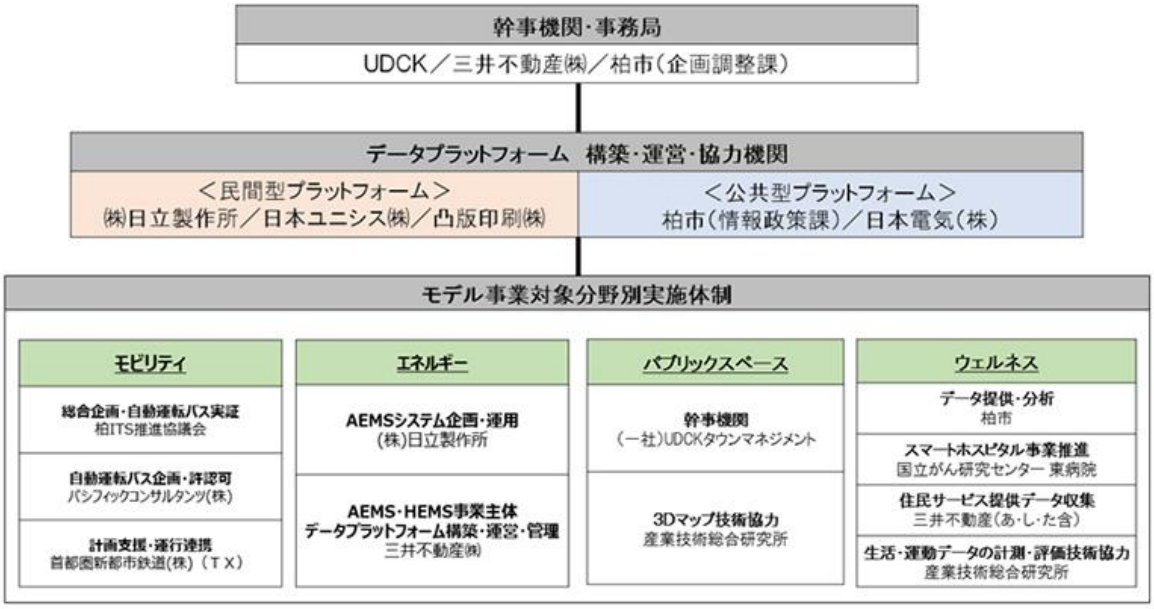


図 212 柏の葉におけるデータプラットフォームの推進体制

出所：柏の葉スマートシティ HP 「スマートシティ実行計画」

4. リアルタイムデータを活用した交通ビジネス

ETC カードおよび車載器では車載器購入時の費用の一部がシステム維持の一部に利用されている。

同様の方法にて自動車利用者等が信号連携システムの受信機購入等の費用の一部を用いて維持管理ができないか検討を行った。

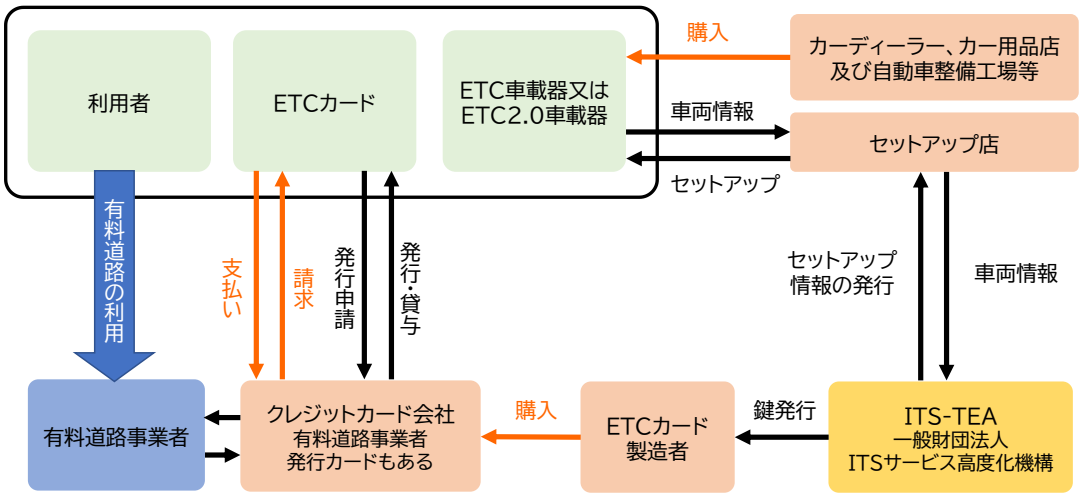


図 213 ETC システムに係るデータの流れ

信号連携システムや交差点でのカメラやセンサーによる検知結果は、自動運転車両のみならず一般の交通車両等の安全な走行においても有益な情報である。

交通事故の削減は社会的な課題であり、特に危険度の高い交差点での安全性確保は有効性が高い。

自動運転車両と直接データをやり取りするのとあわせて、自動車メーカーやカーナビメーカーへのデータ提供を行うことを想定する。

情報を受信するために必要となる鍵（キー）等の発行費用にて賄うことが考えられる。

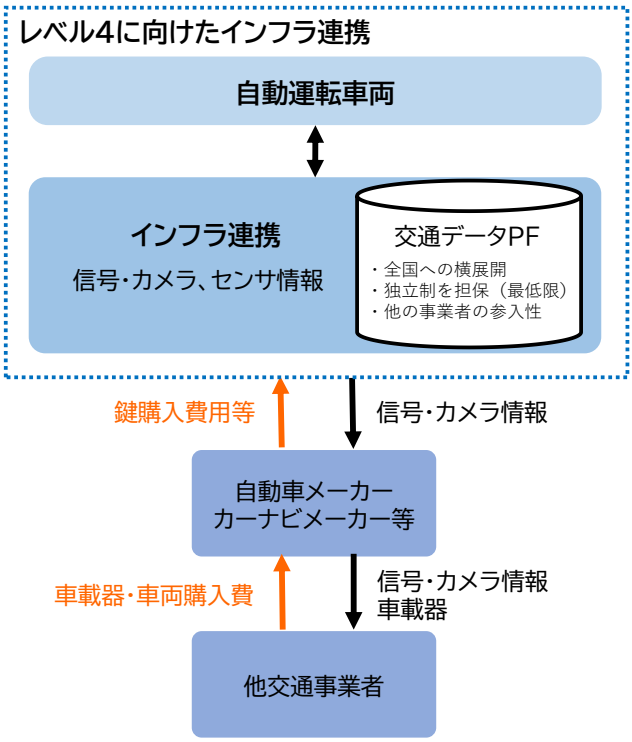


図 214 リアルタイムデータの活用イメージ

(2) 藤沢地域

1. 販売・利活用の可能性のあるデータの整理

藤沢地域で、協調型レベル 4 サービスの導入を行った場合のデータとしては以下が考えられる。

表 73 販売・利活用の可能性のあるデータ

データの取得主体	対象データ
信号機管理事業者	信号機データ
モビリティ管理事業者	モビリティ取得データ

ロボット管理事業者	ロボット取得データ （路上落下物情報、子供の飛出しなどのリスク情報、植栽の伸長状況、各地点の通信状況、地域映像、その他トラブルなどの情報）

2. 活用方策案（他モビリティとの連携、都市との連携　等）

販売・利活用の可能性のあるデータを対象に、利活用方法案と想定される展開先について整理した。

表 74　データ利活用方法案

対象データ	利活用方法案	想定される展開先
信号機データ	ロボットの自律走行（商圏拡大、売上向上） 青信号延長	歩行器、車椅子ユーザー、自動車、歩行者等、モビリティ・交通参加者全般
信号機データ・モビリティ取得データの結合	道路横断時の安全性向上 （モビリティとインフラの二重の認識としては、もちろん信号機に設置したセンサーでもよいし、信号機以外にも街の監視カメラとの連携により、リスクの高い地点での活用により、高価なセンサーを必要な個所で有効活用し、モビリティ側でのセンサーコストを抑え、結果的にはリスクの低い地点での走行に必要なコストを下げることにも寄与する可能性あり）	―
ロボット取得データ	インフラ連携	信号機以外のインフラ
	自動運転車両連携（ロボットと他の自動運転車両と認識結果を共有する、ロボットでの交通分析結果から「飛出し注意」といった表示や標識設置につなげる等）	―

(3)　豊洲地域

1. 販売・利活用の可能性のあるデータの整理

豊洲地域における各事業スキーム案で想定される販売・利活用の可能性のあるデータを整理した。

表 75　販売・利活用の可能性のあるデータ（送迎サービス）

データの取得主体	対象データ
運行管理会社（バス事業者など）	車両走行状況（位置、速度　等）
	交通状況（渋滞、事故　等）
	乗降者数
	乗客属性（社内カメラ画像）
	自動運転ログ
施設オーナー、施設管理会社	来場者数・混雑度
	イベント情報（スケジュール・来場予測）
施設テナント（店舗）	店舗情報（セール、特売品）
施設テナント（企業）	社員の出退勤予測

表 76　販売・利活用の可能性のあるデータ（自動バレーパーキングサービス）

データの取得主体	対象データ
駐車場管理会社	駐車場の満空情報
	空スペース情報
	利用者・車両情報
カーシェア事業者	車両予約・利用情報
	車両返却時刻
施設オーナー	イベント情報（スケジュール・来場予測）
施設テナント（ホテル）	宿泊客のチェックアウト情報
	コンシェルジュサービスなどによる予約情報
施設テナント（店舗）	利用・決裁情報
施設テナント（企業）	社員の出張・外出情報

表 77　販売・利活用の可能性のあるデータ（域内搬送サービス）

データ取得の主体	対象データ
域内集配事業者	搬入待ち時間
	域内配送スケジュール・混雑状況
他の物流事業者	搬入スケジュール
施設管理会社	在韓者数・混雑状況

	エレベータ稼働情報
	電力使用データ（スマートメーター）
施設テナント（企業）	社員の位置情報
	荷物などの配送情報
施設テナント（飲食）	オンライン注文データ
ロボットメーカー	搭載カメラ画像、センサー情報

2. 活用方策案（他モビリティとの連携、都市との連携　等）

販売・利活用の可能性のあるデータを対象に、利活用方法案と想定される展開先について整理した。

表 78　データ利活用方法案（送迎サービス）

対象データ	利活用方法案	想定される展開先
車両走行状況（位置、速度等）	運行状況・到着予測時刻の通知	施設来訪者 施設管理会社 施設テナント（企業） 施設テナント（店舗）
交通状況（渋滞、事故　等）	来訪者への通知による抑制	施設オーナー 施設管理会社
	混雑ルート回避	他の交通事業者
	地域との情報共有	行政 地域住民　等
乗降者数	来場者数予測	施設オーナー 施設管理会社
	来客予測	施設テナント（店舗）
乗客属性（社内カメラ画像）	ターゲット公告・来客誘導	施設オーナー 施設テナント（店舗）
自動運転ログ	自動運転システム開発へのフィードバック	自動運転システム会社
来場者数・混雑度	運航スケジュール管理・オンデマンド運行	運行管理会社
イベント情報（スケジュール・来場予測）		
店舗情報（セール、特売品）	車内広告	運行管理会社

対象データ	利活用方法案	想定される展開先
社員の出退勤予測	運航スケジュール管理	運行管理会社

表 79　データ利活用方法案（自動バレーパーキングサービス）

対象データ	利活用方法案	想定される展開先
駐車場の満空情報	満空情報・待ち時間の表示・通知	施設来訪者 ナビ・MaaS 事業者
空スペース情報	空スペースへの誘導	ナビ・MaaS 事業者
利用者・車両情報	充電・洗車サービスなどへの誘導 自動決済	各サービス事業者
車両予約・利用情報	業務システムなどとの連動による自動精算	施設テナント（企業）
車両返却時刻	ジャストタイムのポーターサービス（出迎え、荷物運搬など）	施設テナント（ホテル）
イベント情報（スケジュール・来場予測）	駐車料金の動的プライシング	駐車場管理会社
宿泊客のチェックアウト情報	駐車車両のジャストタイム出庫	駐車場管理会社
コンシェルジュサービスなどによる予約情報	オンデマンド配車	カーシェア事業者
利用・決済情報	駐車料金の自動割引	駐車場管理会社
社員の出張・外出情報	駐車車両のジャストタイム出庫	駐車場管理会社
	オンデマンド配車	カーシェア事業者

表 80　データ利活用方法案（域内搬送サービス）

対象データ	利活用方法案	想定される展開先
搬入待ち時間	搬送スケジュールの最適化による搬入待ち時間の抑制	他の物流事業者
域内配送スケジュール・混雑状況	配送予定時刻の通知	施設テナント（企業）

	オンデマンド配送・動的プライシング	
搬入スケジュール	域内集配スケジュールの最適化	域内集配事業者
在韓者数・混雑状況	混雑時を避けた域内集配スケジュールの最適化	域内集配事業者
エレベータ稼働情報	エレベータ連携による集配効率化（待ち時間の削減など）	域内集配事業者
電力使用データ（スマートメーター)	不在配送の抑制	域内集配事業者
社員の位置情報	ジャストポイント配送（不在配送の抑制）	域内集配事業者
荷物などの配送情報	業務システム連動による自動精算 オンデマンド集配・動的プライシング	域内集配事業者
オンライン注文データ	域内デリバリーサービス 注文依頼者の位置情報との連動によるパーソナルデリバリー	域内集配事業者
搭載カメラ画像、センサー情報	防犯・見守りサービスへの展開	施設管理会社

4)　モデル地域における実証に備えた評価項目の整理

■　該当項目の背景と目的

各モデル地域では、今年度検討した協調型レベル 4 自動運転技術を用いたモビリティサービスを、事業化の観点から次年度以降に実証予定である。実証の際に、サービス・事業モデルが事業化段階でも実現可能かを判定するために測定すべきと考えられる項目について、整理を実施する。

■　実施方針

1-3　2)で検討した協調型レベル 4 自動運転サービスを元に、現段階で考えうる事業面での実証項目を整理する。

■　実施事項と実施方法

(1)　柏地域

これまでに整理したとおり、4 つの方針をもとにユースケースの検討を行い、それぞれの課題事項を整理してきた。課題の整理結果を受けた今後の検討の方向性は以下のとおりである。

網掛けをしている項目について引き続き検討を行うとともに、特に④地域循環型交通の導入に向けたビジネスモデルについて、具体的な検討が必要と考える。

表 81 検討項目と今後の方向性

項目	具体的な項目	課題と今後の方向性
①協調型インフラ連携システムの設置の効率化	○5G 基地局を活用した効率化	・5G 基地局の活用について、現状での課題が多く継続検討は困難
	○スマートシティにて収集している他の取得データの活用	・ニーズ等を把握しつつ引き続き検討
②データ活用ビジネス	○交通データの活用	・明確なニーズがない
	○交通データの街への共有	・ニーズ等を把握しつつ引き続き検討
	○スマートシティ等の他のデータプラットフォームとの連携	・ニーズ等を把握しつつ引き続き検討
③リアルタイムデータを活用した交通ビジネス	○インフラ連携データの他交通への活用に向けた検討	・課題・ニーズ等を把握しつつ引き続き検討
④地域循環型交通の導入に向けたビジネスモデル	○地域循環型交通での運行に向けた役割分担等の整理	・実現に向けた具体的な検討を推進

今後の実証・検討のスケジュールは図 215 の通り。

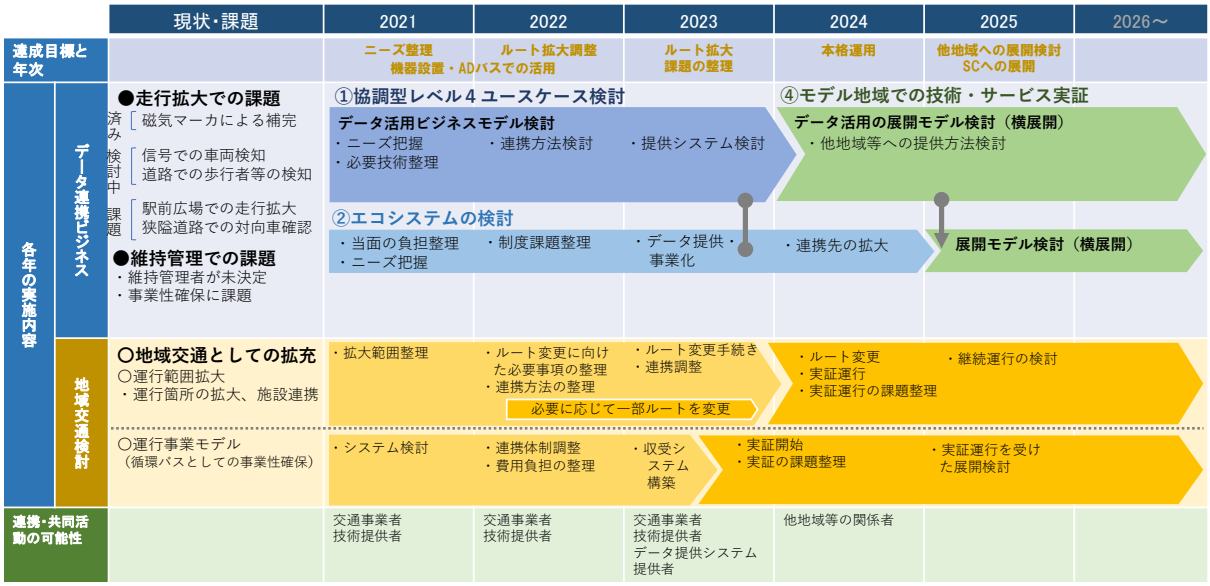


図 215 次年度以降の実証・検討スケジュール

1. 地域循環交通としての次年度以降の検討・評価項目の整理

地域循環型交通としての運行開始に向けて、2022 年度は以下の事項を検討・検証していく必要があると考えている。

(a) 将来の運行に向けた検討（2024 年）

2024 年以降の本格的な実証運行の開始に向けて以下の事項の検討が必要と考える。

a) 運行ルートの検討

- 東京大学、その他周辺の施設での運行の必要性の確認
- 自動運転レベル 4 としての運行容易性、課題事項の確認
- 機器設置の追加設置等の必要性の確認

b) 運行事業者との調整

- 運行形態の確認（一般乗合旅客運送事業としての運行可能性）
- 料金収受の可否及び方法の検討（利用者からの運賃・その他運行費用の収集等）
- 運行、車両管理方法や体制の検討、体制の確立に向けた検討事項の整理

c) 事業モデルの検討

- 連携団体の検討
- 連携団体との連携方法及び連携の仕組みの検討

- 運行経費の整理（協調型インフラ連携システムに係る経費は需要することを想定）
- 運行経費に関する費用負担者の分担検討及び調整に向けた対応事項の整理

(b) 短期実証に向けた検討

2021 年のプレ実証運行で得た技術的な課題を踏まえるとともに、前に示した将来的な運行に向けて短期的に運行ルート等の変更を行うことが考えられる。その際に対応が必要な事項として以下が考えられる。

a) 協調型インフラ連携システムの現状の課題整理

- 2021 年度のプレ実証により技術的な課題の整理
  （インフラ連携事業者からの受領データをもとにした整理を想定）
- 課題に対する対応方針の取りまとめ

b) ルート変更等の必要性の整理

- 技術的な課題及び将来の運行ルート検討に向けた検証としてルートや停車場所等の変更必要性を検討
- あわせて、現在、東京大学関係者のみである利用者について拡大の可能性を検討

c) 変更に向けた手続きの実施

- 上記について変更を行う場合、以下の事項を確認新たなルートの検討
  - 新たなルートでの課題（協調型インフラ連携システムの設置必要性）の確認
  - バス停等の追加検討
  - 利用者からの運賃収受の有無及び収受方法の検討とそれに応じた手続き
  - 上記について必要が生じた場合の各変更協議

(c) 継続的な実証運行の実施

b）での検討内容等も踏まえて、現在のルートもしくは一部変更を行ったルートでの継続的な実証運行を行う。

運行経費の負担は、現在の東京大学・生産技術研究所による委託もしくは、本事業の補助対象としての実施を想定する。

(d) 課題事項の整理

2022 年度の検討結果及び課題の整理を受けて、今後、全国の他地区に展開を行うにあたり検討が必要な事項を整理する。

2. データ活用に向けた次年度以降の検討・評価項目の整理

今年度の検討においてデータを活用したビジネスができないかの整理を行った。

一方で、協調型インフラ連携システムにより取得するデータの内容も未確定な部分がまだあること、また、連携先の他のデータの状況等の確認ができなかったことなどから、十分な検討を行えていないものも存在する。また、データ活用の可能性を確認したものの現時点では判断できないとの回答を得た部分もあった。

これら、データを活用したビジネスについて、引き続き検討を行う。

(a) 協調型インフラ連携データの確認

協調型インフラ連携システムにより収集可能なデータとその特性、蓄積方法について再度確認及び整理を行う。

(b) スマートシティデータ等との連携可能性検討

柏の葉スマートシティに参加している団体等とともに、他分野とのデータ連携ビジネスの可能性を検討する。

(c) リアルタイムでのデータ活用方策の検討

将来、他の車両も協調型レベル 4 で運行することを想定し、他の車両へのデータ提供方法や提供に対するビジネスモデルの構築可能性について検討を行う。

(2) 藤沢地域

1. 実証時に想定される評価項目

(a) 離散事象シミュレーションの導入

Fujisawa SST において、運行・配送事業者が信号機連携を行いロボット自動配送サービスの商圏を広げたと想定した場合の事業採算性について評価を行う。本評価には、パナソニック社で開発している安全性・経済性・利便性を計算することができる離散事象シミュレーションを活用した。

本離散事象シミュレーションには、「配送需要の生成機能」「ロボット配送機能」「遠隔管制機能」という 3 つの機能がある。以下では、これら 3 つの機能について説明する。なお、本シミュレーションの動作確認画面の一例を図 216 に示す。

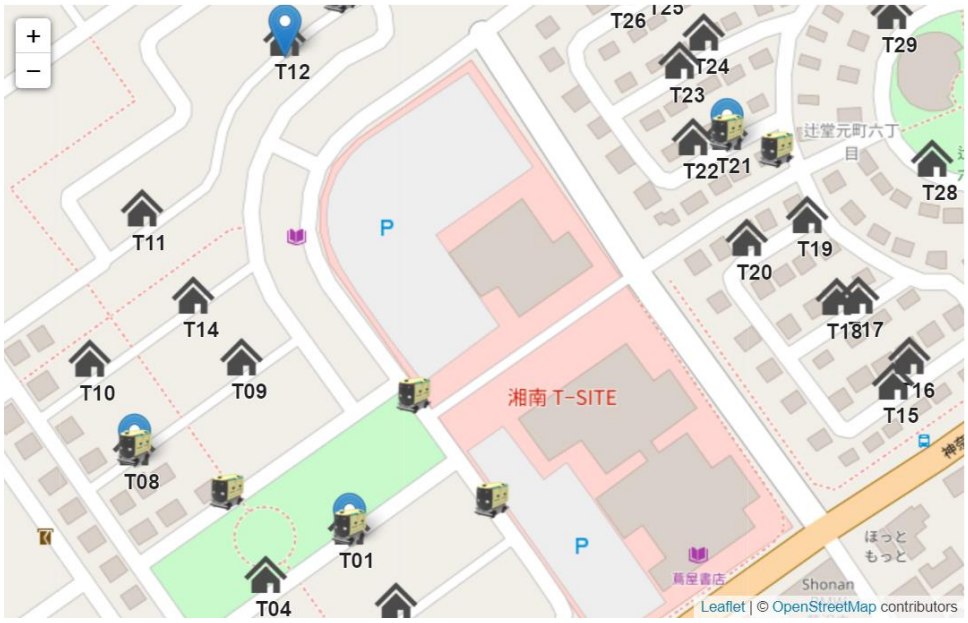


図 216　離散事象シミュレーションの動作確認画面の一例

a) 配送需要の生成機能

本機能は、Fujisawa SST における個々の住宅位置に応じて配送需要を生成するものである。配送需要数を予め設定しておき、その設定値に基づいて配送需要を生成する住宅位置を振り分ける。図 216 においては、ピンマークで配送需要が発生した地点を示している。

b) ロボット配送機能

本機能は、生成された配送需要に基づいて配送ロボットが店舗で商品を積み込み、住宅まで走行し積み下ろし、また拠点へ走行し戻るという一連の挙動を再現するものである。また、店舗で積み込みにかかる時間や住宅で積み下ろしにかかる時間についても設定することができる。なお、走行時の安全性を評価するために周囲の歩行者や自動車の交通量を設定することで、配送ロボットと歩行者や自動車との接近具合についても逐次計算することができる。

c) 遠隔管制機能

本機能は、配送ロボットの安全かつ円滑な運行のため遠隔オペレーターが配送ロボットを監視と操作する挙動を再現するものである。今回は、路上駐車車両の回避といった「不測の事態に対する対応」と「信号機のある横断歩道での走行での対応」という 2 つの遠隔介入パターンについて遠隔オペレーターの挙動を組み込んだ。なお、遠隔オペレーターの監視や操作のステータスとロボットの一時停止や走行といったステータスは連動し管理している。

(b) 安全性の評価

安全性の評価シーンとして、幹線道路の横断歩道をロボットが走行するシーンを想定した。幹線道路沿いの店舗へ往来することで商圏が拡大することを期待し、Fujisawa SST から神奈川県道 30 号戸塚茅ヶ崎線を配送ロボットが横断するシーンについて検討する。この横断歩道での走行において車両との衝突確率と期間衝突期間について評価する。また、この幹線道路では 12 時間で約 12,000 台の自動車交通量があるとし、時速は 40km とした。[10]

図 217　評価想定箇所

[10] 藤沢市ウェブサイト http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bunsho/shise/toke/nenpo/documents/09_unyu_tsushin_denki_gas_suidou.pdf

図 218　連携を想定した信号機および横断歩道

図 219　連携を想定した信号機および横断歩道の位置

安全性の計算には TTC(Time To Collision)という指標を活用した。TTC とは衝突までの時間という概念でこの値が小さいほど衝突危険性が高いと判断する。本計算では、配送ロボットと車両の間における TTC を逐次計算し、この値が予め設定した衝突予測閾値時間を下回れば衝突と判定した。なお、ここでは本安全性の計算方式を TTC 方式と呼ぶ。

TTC 方式による安全性の試算結果について説明する。まず、「信号機がない場合の横断」「信号機がありロボットのカメラのみで判別する場合の横断」「信号機があり連携機能がある場合の横断」の 3 つの横断ケースを考えた。衝突確率に関して、「信号機がない場合の横断」ではハイン

リッヒの法則を参照しヒヤリハット 300 回に 1 回衝突が起こると設定した。「信号機がありロボットのカメラのみで判別する場合の横断」ではロボットに搭載されているカメラが 1,000 回に 1 回故障すると想定し 1,000 回に 1 回「信号機がない場合の横断」と同等になると考え、ヒヤリハット 300,000 回に 1 回衝突すると設定した。最後に、「信号機があり連携機能がある場合の横断」では信号機連携機能が十分に信頼に足るとし故障率を 1,000,000 回に 1 回と想定しヒヤリハット 300,000,000 回に 1 回衝突すると設定した。

次に、期待衝突期間について「信号機がない場合の横断」にて TTC 方式で試算した結果を図 220 に示す。この図では、1 日 8 時間稼働とし衝突予測閾値時間を変更した際のヒヤリハット件数の平均と標準偏差による誤差棒を示している。衝突予測閾値時間を 2.0 秒とした場合、ヒヤリハット件数は約 60 件となり期待衝突期間は約 5 日と試算される。この結果を用い、他のケースでも設定した衝突確率から期待衝突期間を計算すると、「信号機がありロボットのカメラのみで判別する場合の横断」と「信号機があり連携機能がある場合の横断」のそれぞれで約 5,000 日と約 5,000,000 日となる。以上の結果は表 82　各ケースに対する衝突確率と期待衝突期間にまとめている。

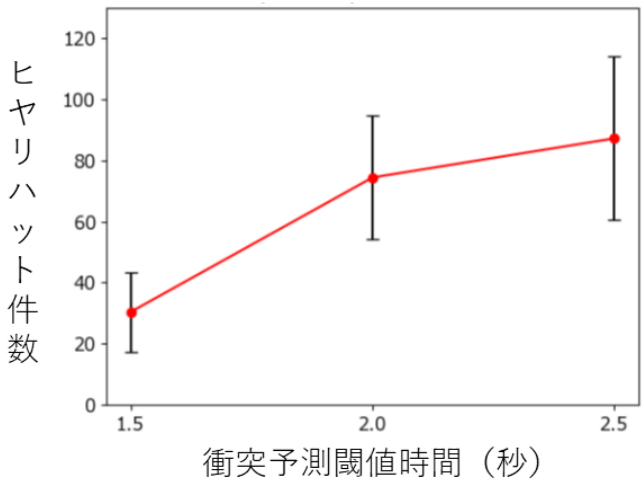


図 220　衝突予測閾値時間に対するヒヤリハット件数

安全性の評価の最後に、配送ロボットが車両と衝突した場合の損失について試算する。配送ロボットが車両と接触することにより、数か月単位での営業停止に陥ると仮定する。配送ロボットが普及しオペレーターの複数台監視が進んだ時点において数か月分の運用費用の損失が発生すると考えると、損失額はおおよそ 3,840 万円になると試算される。

表 82　各ケースに対する衝突確率と期待衝突期間

ケース	衝突確率	期待衝突期間
信号機がない場合の横断	300 回に 1 回	約 5 日
信号機がありロボットのカメラのみで判別する場合の横断	300, 000 回に 1 回	約 5, 000 日
信号機があり連携機能がある場合の横断	300, 000, 000 回に 1 回	約 5, 000, 000 日

(c) 経済性の評価

経済性の評価として、信号機、配送ロボットと遠隔オペレーターの連携度合いによって、遠隔オペレーターの作業負荷がどのように変わるか計算を行った。今回は遠隔オペレーターが介入するシーンとして、「不測の事態に対する対応」と「信号機のある横断歩道での走行」の 2 つのシーンを想定した。

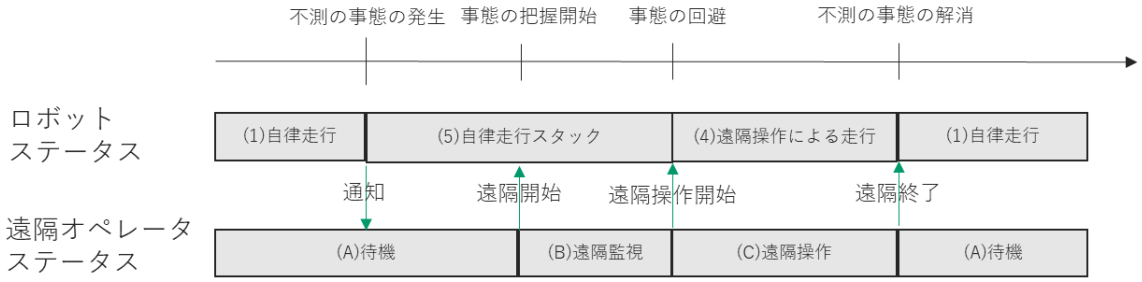


図 221　不測の事態におけるロボットと遠隔オペレーターのステータス遷移

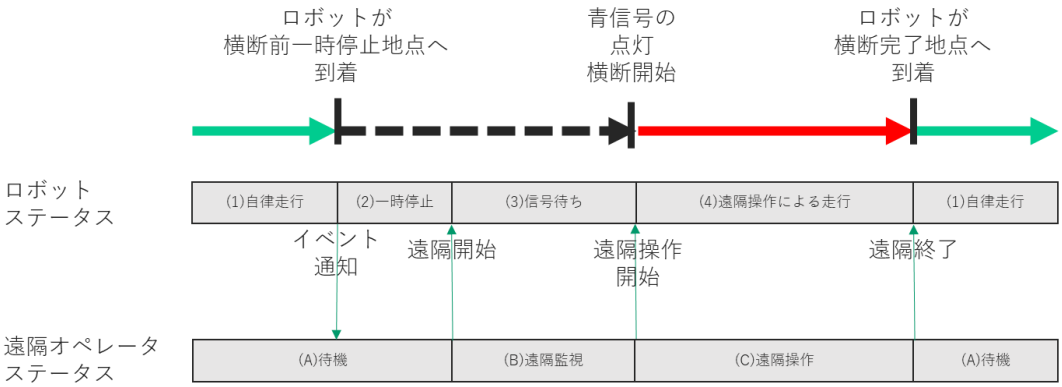


図 222　信号機連携のない場合におけるロボットと遠隔オペレーターのステータス遷移

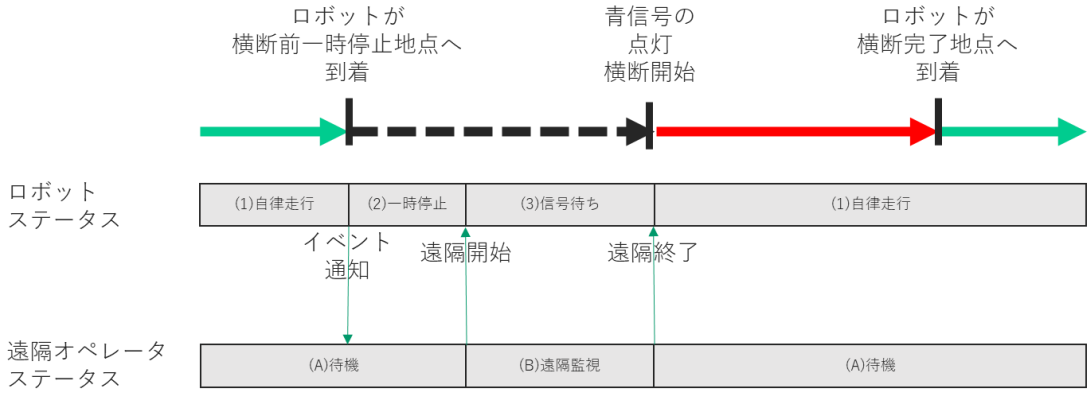


図 223　信号機連携があり一部遠隔オペレーターが介入する場合における
ロボットと遠隔オペレーターのステータス遷移

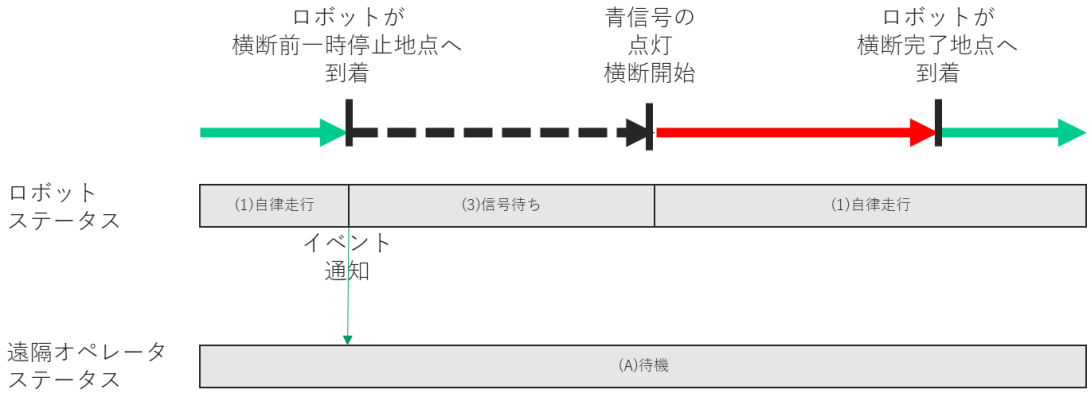


図 224　信号機連携があり遠隔オペレーターが介入しない場合における
ロボットと遠隔オペレーターのステータス遷移

遠隔オペレーター数を 2 人とし、営業時間を 8 時間としそのなかの作業時間の内訳について評価を行った。また、「不測の事態に対する対応」において不測の事態は平均して約 450 秒に 1 回発生、不測の事態を解消するための遠隔監視と操作に平均して約 1 分かかるとした。

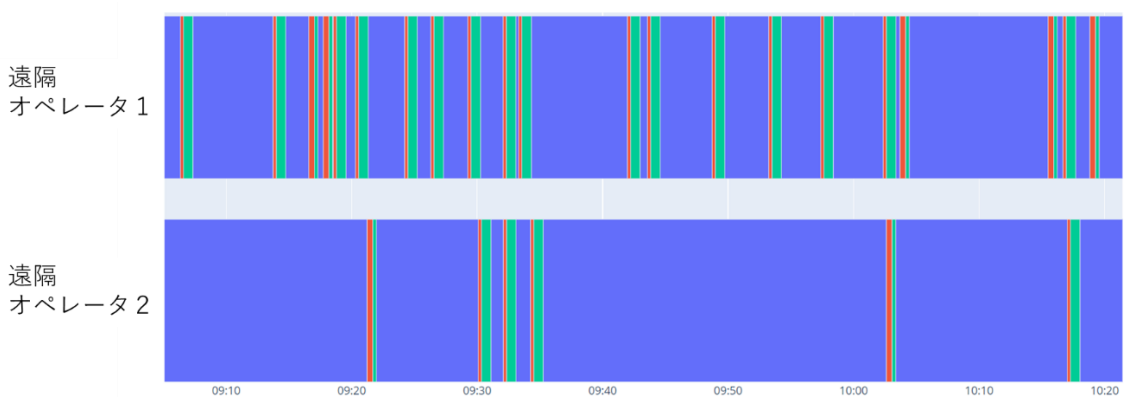


図 225　遠隔オペレーターのスケジュールの一例

信号機連携がない場合の遠隔オペレーターによる監視操作時間は約 78 分で、信号機連携があり一部遠隔オペレーターが介入する場合の遠隔オペレーターによる監視操作時間は約 72 分で、信号機連携があり遠隔オペレーターの介入がない場合の遠隔オペレーターによる監視操作時間は約 64 分となる。信号機連携があるだけ 1 日当たり最大約 500 円分の費用削減の期待が見込めると本試算により分かった。したがって、年間単位では数十万円の費用削減効果となる。

なお、信号機連携の方式によって、ハードウエア・通信機器・クラウドソフトなどのコストが予想され、一方でオペレーション人件費の削減が前述の通り期待できるが、どのようなコストが支配的になってくるかについては、今後方式の決定と普及に伴い変動する。

(d) 利便性の評価

利便性の評価として、商圏の拡大有無での配送件数について計算を行った。まず、需要面について利用率に対する配送需要数について簡易的な試算を行う。500m 圏内世帯数を 1,000 世帯とし営業時間を 8 時間としたときの 1 店舗における配送需要を試算する。1,000 世帯のなかで毎日利用率と週 1 日利用率を変更した際の 1 時間毎の配送需要数と 1 日の配送需要数を表　83　にまとめた。毎日の利用率が 10%、週 1 日の利用率が 5%まで達すると、1 日の配送需要数が 100 件を超える。

表 83　配送需要の試算

毎日利用率	週 1 日利用率	1 時間毎の配送需要数	1 日の配送需要数
5%	5%	7	57
5%	10%	8	64
5%	15%	9	71
5%	20%	10	79
10%	5%	13	107
10%	10%	14	114
10%	15%	15	121
10%	20%	16	129
15%	5%	20	157
15%	10%	21	164
15%	15%	21	171
15%	20%	22	179
20%	5%	26	207
20%	10%	27	214
20%	15%	28	221
20%	20%	29	229

本評価では、店舗として湘南 T-SITE、ヨークマート、セブンイレブン、JA さがみの 4 地点を図 226 の通り設定した。なお、Fujisawa SST からヨークマート、セブンイレブン、JA さがみへ行くには信号機のある横断歩道を渡る必要がある。

図 226　設定した店舗位置と配送ロボットの経路

配送ロボットの数を 4 台、営業時間を 8 時間とし、配送件数の評価を行った。湘南 T-SITE からのみ配送需要が発生する場合は全ての配送需要に応えることができ 32 件配送できるという結果となった。次に、信号機連携があるとし、湘南 T-SITE に加え、ヨークマート、セブンイレブン、JA さがみからのロボット配送が実現したとすると約 50 件の配送が完了できるという結果となった。なお、1 店舗当たりで 1 時間毎に発生する配送需要は 4 件と設定した。以上により、信号機連携がない場合の配送件数は 32 件で、信号機連携がある場合の配送件数は 50 件となり、信号機連携があるだけ約 1 万円分の収益向上の期待が見込めると本試算により分かった。この結果から年間単位で考えると数百万円の収益向上につながり、またその効果は対応店舗数を増やし商圏を拡大することが鍵になる。なお、ここでは 1 件当たりのロボット配送による収入は 500 円とした。

2. 評価に対する考察

最後に、信号機連携における事業性評価の内容について、ここまでのまとめと考察を行う。安全性の面では、数千万円規模の損失が発生する車両との接触確率が信号機連携により大幅に低下すると考えられる。経済性の面では、信号機連携により横断歩道でのスムーズな自律走行が実現することで、遠隔オペレーターの業務効率化となり年間数十万円の費用削減効果につながると試算された。利便性の面では、信号機連携により商圏が拡大し対応店舗が増えることで配送件数が増加し年間数百万円の収益向上が期待される。したがって、信号機連携に係るコストについて詳細な検討が必要であるが、商圏拡大による事業性向上への寄与が期待できる。ただ、エリアの特性に応じて、商圏が拡大することによる期待される収益向上と信号機の数により負担となるコストのバランスについて、交通量による安全性の評価も含め分析していく必要がある。

信号機連携機能の信頼性が十分に高ければ、期待衝突期間が天文学的な数値となり衝突のリスクは長期間にわたって分散されるため、新たな交通インフラとして社会受容性は十分にあると言える。また、このような期待衝突期間を試算する考えからインフラ協調機能の導入判断の基準作りに活かせる可能性がある。

これまで、子供を遊ばせたり、近隣の知人とのコミュニケーションを図ったりすべきである、人が日常生活を行う街においても、高速で移動可能な自動車の侵入できる状況が常識とされてきた。しかしながら、我々は、藤沢地区のような日常生活を行う街では、人にやさしいモビリティのみを走行可能とし、排ガスを出し、高速移動する自動車とは分離もしくは自動車の運行を制限することが望ましいと考える。

人が生活を行う街においては、歩行者や自転車、低速で移動する電動モビリティ、レベル 4 自動運転技術が搭載された自動配送ロボットが安全に往来し、住民に利便性を提供する姿を実現すべきであると考えている。

かつて工場の動力が蒸気機関から電気モーターに置き換えられた当初、単に工場に動力を供給する部分を電動化しただけでは生産性があがらなかった、生産性が劇的にあがったのは、工作機械の一つ一つを工場内で供給される回転エネルギーの動力で駆動させるのではなく、旋盤や加工機器や手持ちの電動ドリルに置き換え、電子制御による自動化が進んだことで、生産能力に柔軟性が付加された結果として生産性が飛躍的に向上した。現在、自動車の電動化が進んでいる。サハラ砂漠を走れるような車体を持った自動車をそのまま電動化させて、それを使いながら近所のコンビニに行っているような状況で人々が幸せで持続可能な社会が実現できるだろうか。我々は現在存在する自動車の一部の機能が形を変えて、人と協調する低速小型モビリティや自動配送ロボットや自動回送のパーソナルモビリティといった姿になり、街に実装されていくことで、SDGsが達成されていくと考えている。

(3)　豊洲地域

1. 実証時に想定される評価項目（効果の波及先　等）

(a) 事業性の評価

レベル 4 自動運転サービスの事業性の評価基準の案を図 227 に示す。

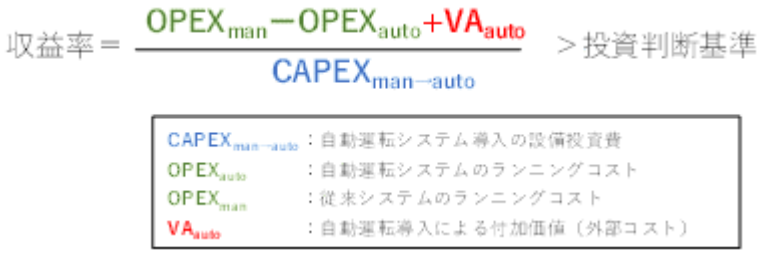


図 227　レベル 4 自動運転サービスの事業性評価の案

レベル 4 自動運転技術の各種サービスへの導入を設備投資の点から見ると、事業性の評価は導入に必要な初期投資額に対する運用時の利益の比率が基準となる。仮に自動運転技術により運転員などによるマニュアルでの運用と同等のサービス水準が実現でき、収益面（料金収入など）での差がないと仮定すると、自動運転導入によるランニングコストの削減分が運用時の利益に相当する。

具体的には、自動運転システム導入に要する初期設備投資費を CAPEXman→auto、マニュアル・自動運転それぞれのサービス運用時の年間ランニングコストを OPEXman、OPEXauto とすると、CAPEXman→auto に対するランニングコスト削減分（OPEXman－OPEXauto）の比が設備投資に対する年間の収益率となり、これが一定の判断基準を超える場合に投資の意思決定をすることになる。

(b) プレイヤーの便益

自動運転技術は運転手不足への対応や交通事故の防止など社会的ニーズに応えるものであり、公益性の面で推進されるべきと考えられる。技術の進展や普及により自動運転システムのコストが低下すれば、将来的には事業の採算性が改善することも期待できる。

このため、自動運転技術の導入初期においては、技術の適用によってもたらされる付加価値を外部コストとして考慮した上で、総合的に事業性を判断する必要がある。すなわち、図 227 に示す式において、自動運転システム導入による経済的価値をコスト換算し、これを年間利益に加えることにより算出される収益率に基づき投資判断をすることが望ましい。

このような観点から、各プレイヤーにもたらされる付加価値を含む便益について整理した。それぞれのユースケースの結果を表 84～表 86 に示す。各便益項目は、図 227 に示した数式と対応して、初期コストに関するもの（青）、ランニングコストに関するもの（緑）、付加価値に関するもの（赤）に分類されており、さらに、自動運転技術に特有の便益と考えられる項目について、黄色のハッチで強調表示している。

これらの検討結果をもとに、今後は自動運転の導入によりもたらされる付加価値の経済的効果を定量的に分析し、将来的なマネタイズの可能性などを検討することにより、レベル 4 自動運転サービスの事業性を向上させる取り組みが望まれる。

表 84　各プレイヤーの便益（送迎サービス）

プレイヤー	便益
施設オーナー	● マイカー利用減少による駐車場削減 ● 施設の利便性・魅力向上による賃料の増加 ● 運転員などの人員削減による施設管理者に支払う管理費軽減 ● 先端技術導入による施設イメージ向上 ● 施設の魅力向上による来訪者増加 ● 深夜・早朝向け施設のテナント誘致
施設管理事業者	● 運転員などの人員削減によるサービス事業者へ支払う管理費軽減 ● マイカー利用減少による敷地内安全管理体制の省人化（誘導員削減など） ● 施設内での交通事故の減少

プレイヤー	便益
サービス事業者（バス運行事業者）	● 運転員などの人員削減による運用コスト削減 ● 運転員不足問題への対応 ● 24 時間化・高頻度運行などによるサービス品質向上・新規顧客創出 ● 運転席がないことによるアトラクションとしての利用 ● 非接触・非対面による従業員の安全・安心
ユーザー（テナント企業・一般来訪者）	● 24 時間化・高頻度／オンデマンド運行などによる利便性の向上 ● 先端技術導入・利用によるイメージ向上 ● 施設の魅力向上による集客効果・客層拡大 ● 駐車料金の削減 ● 送迎車内での公告宣伝 ● 無人化によるプライバシー性の確保（企業・個人） ● 車内全てをディスプレイにして非日常空間を創出し体験アトラクション化
地域・社会（公益性）	● 24 時間化・高頻度／オンデマンド運行などによる利便性の向上 ● 先端技術導入による地域イメージ向上（地域ブランディング） ● 地域の魅力向上による集客効果 ● マイカー利用減少による環境負荷低減 ● マイカー利用減少による交通環境改善（渋滞・路上駐車）

表 85　各プレイヤーの便益（自動バレーパーキングサービス）

プレイヤー	便益
施設オーナー	● 乗降ポイントでの駐停車時間の減少による車寄せなどの設計の合理化 ● 駐車場所の余剰スペース削減による土地利用の合理化 ● 駐車場配置の最適化・遠隔化による土地利用の合理化 ● 施設の利便性・魅力向上による賃料の増加 ● 先端技術導入による施設イメージ向上 ● 施設の魅力向上による来訪者増加

プレイヤー	便益
施設管理事業者	● カーシェア事業者・関連サービス事業者からの利用料 ● 駐車場所の余剰スペース削減による収容台数・料金収入増加 ● 駐車料金の柔軟な設定による料金収入増加 ● 駐車場渋滞緩和による施設利用率向上 ● 施設内での交通事故リスクの減少 ● 変電施設の有効活用
サービス事業者（カーシェア事業者）	● 運転員などの人員削減による運用コスト削減 ● 駐車時の接触事故リスクの減少による運用コスト削減（修理費・保険料などの削減、車両稼働率の増加） ● 予約システムなどとの連動による効率化・レベル 4 自動運転による運用コスト削減 ● 利便性向上によるサービス利用者の増加 ● 24 時間化によるサービス提供時間帯の延長 ● オンデマンド配車によるサービス品質向上
サービス事業者（その他のサービス事業者）	● 予約システムなどどの連動による効率化・レベル 4 自動運転による運用コスト削減 ● 利便性向上・余剰時間活用によるサービス利用者の増加
ユーザー（カーシェア利用者）	● 予約システムと連動したカーシェア利用による利便性の向上 ● オンデマンド配車・乗降ポイント自由化による利便性の向上 ● 非接触・非対面による安全・安心（感染リスク減少）
ユーザー（来訪者・駐車場利用者）	● 駐車作業が不要になることによる利便性の向上（駐車位置を探す時間が不要） ● 建物アクセス向上による利便性・安全性向上（特に悪天候時など） ● 乗降ポイントでの駐停車時間の減少による待ち時間の減少 ● 駐車時の接触事故リスクの減少
ユーザー（テナント企業）	● 先端技術導入・利用によるイメージ向上 ● 店舗へのアクセス向上による集客効果 ● 施設の魅力向上による集客効果

プレイヤー	便益
地域・社会（公益性）	● 24 時間化による利便性の向上 ● 先端技術導入による地域イメージ向上（地域ブランディング） ● 地域の魅力向上による集客効果 ● マイカー利用減少による環境負荷低減 ● マイカー利用減少による交通環境改善 ● 駐車場渋滞・うろつき交通削減による環境負荷低減 ● 駐車場渋滞・うろつき交通削減による交通環境改善

表 86　各プレイヤーの便益（域内搬送サービス）

プレイヤー	便益
施設オーナー	● 搬入用駐車場の最適化による初期投資削減 ● 荷捌きスペース、搬送用エレベータなどの削減による初期投資削減 ● 施設の利便性・魅力向上による賃料の増加 ● 先端技術導入による施設イメージ向上 ● 施設の魅力向上による来訪者増加 ● 施設内の美観維持
施設管理事業者	● 夜間搬送へのシフトによる昼間時エレベータ利用の混雑緩和 ● 防犯・見守りサービス併用によるセキュリティ向上
サービス事業者（域内配送事業者）	● 集配作業員などの人件費削減による運用コスト削減 ● 24 時間化・高頻度配送などによるサービス品質向上 ● オンデマンド集配などの新たなサービス提供機械の増加
サービス事業者（他の物流事業者）	● 入場待ち待機時間削減による運用コスト削減（人件費、駐車料など） ● 配送先施設の状況把握による配送スケジュールの合理化

プレイヤー	便益
ユーザー（テナント企業・一般来訪者）	● 24 時間化・高頻度配送などによる利便性向上 ● 集配業務の自動化による利便性向上 ● オンデマンド集配などの新たなサービスによる利便性向上 ● 在庫管理の向上 ● 先端技術導入・利用によるイメージ向上 ● 施設の魅力向上による集客効果 ● テナント配置に依存しない商機増加 ● 無人化による配送品質向上 ● 非接触・非対面による安全・安心（防犯・感染リスク減少）
地域・社会（公益性）	● 地域配送サービスによる利便性の向上 ● 先端技術導入による地域イメージ向上（地域ブランディング） ● 地域の魅力向上による集客効果 ● 入場待ち車両減少による交通環境改善（路上駐停車） ● 入場待ち車両減少による環境負荷軽減

5） モデル地域における実証検討総括

(1) 柏地域

今年度の検討では、柏地域における自動運転バス（レベル 2）の実証実験に関する取りまとめを行い、実証の中で得られた、効果（運行面、技術面）や課題（運行面、技術面、事業面）に関する知見を整理した。また、実証実験の中で明らかになった、GPS の受信状況による自己位置推定の精度低下等の課題を起点に、協調型レベル 4 自動運転のユースケースや、必要となる協調型システムを整理し、一部の磁気マーカーの部分的設置、路・車協調（路上での障害物の検知センサー・カメラ、交差点での障害物の検知センサー・カメラ、信号連携システム）については、今年度までに実施した内容をまとめている。今年度設置した各機器で現在データ収集を行っている段階であり、次年度の課題として、一定以上データが蓄積した段階で分析・詳細な課題の洗い出しをすることが挙げられる。

(2) 藤沢地域

これまでの検討で信号機連携によるロボティクス搬送範囲の拡大の分析を示した。信号機連携によりロボティクス配送の範囲が拡大すれば、物品を販売する店舗に取っては商圏の拡大となり、ロボティクス搬送を行う事業者にとっては、配送需要の拡大、稼働率の向上につながる。つまり、

商圏が拡大することで、店舗や配送事業者の売上が拡大し、これに伴う税収も増加することが期待できる。今回抽出された信号機連携の課題は以下の通りである。

(a) 投資判断の主体

現在信号機の設置・運営は警察庁が行っているが、信号機連携によりロボティクス搬送範囲が拡大することで利益を享受するのは警察庁ではなくロボティクス搬送サービスにより物品が昼夜問わず届くことになる市民であり、配達範囲が拡大する店舗であり、人手不足を解消できる物流事業者である。あるいはこれらの経済活動により税収が増える国である。現在の信号機の設置や機能増強の判断は警察庁により、主に交通事故の防止に関するＰＫＩで判断されていると推測できる。しかし自動運転の車両や機体に向けた信号機連携機能の設置には、異なる価値判断が必要となる。つまり投資判断の主体としては警察庁の価値判断だけは不十分となることが想定できる。

(b) 標準化

信号機と機体もしくは車両との間でデータ交換を行う方法は、データ形式や通信は様々な方式（LTE/5G, DSRC, PC5, ITS 無線など）が存在する。信号機メーカーや機体もしくは車両のメーカーが相対の契約に基づきデータ形式や通信方式を策定してシステム開発すると開発投資が指数関数的に爆発してしまうため、レベル 4 自動運転の社会実装の時期が大幅に遅れることが想定できる。

(c) 青の現示時間

自動配送ロボットの最高速度は時速 6km である。幅の広い幹線道路の横断には時間がかかる。歩行者であれば、青の信号の点滅により駆け足で横断を終えることができるが自動配送ロボットはスピード違反となるため制限速度を超えて加速できない。幅の広い幹線道路を自動配送ロボットが横断する際には、身体障害者が横断する際に青信号の現示時間の延長が可能となる信号があるが、これと同様の措置が必要となることが想定できる。

以上、検討したユースケースを起点とした、地域内におけるエコシステム構築の可能性について見てきた。地域内経済の血液ともいえる物流をロボティクス搬送により効率化、省力化することは喫緊の課題と言える。Fujisawa SST ではロボティクス搬送の範囲を拡大するには信号機連携の課題があることを抽出し、その効果をシミュレーションにより定量的に示した。

(3) 豊洲地域

豊洲地域において想定する各レベル4自動運転サービスについて、今後の検討課題を整理する。

1. 送迎サービス

送迎サービスを導入するにあたっての技術的課題、事業的課題、運用的課題について表 87 に示す。

表 87　サービス導入に向けた検討課題

分類	検討項目	把握が必要な事項	留意点
技術的課題	車両	利用者が求める機能	• 利用者が車両に求める機能から必要な車両タイプの設定 • 現状及び移行期間では車両 1 台に対して 1 人分以上の人件費が必要と想定されるため、車両の定員と運行頻度を踏まえた設定が必要
事業的課題	利用のターゲット（利用対象者の絞り込み）	施設利用者／非利用者の利用比率	• アンケート・ヒアリング。観測調査等によって把握 • 運賃収入を想定しないことから、付帯サービスとしての利便性・快適性を重視する場合、施設利用者に限定することが有効 • 利用者の判別作業が必要となることに留意が必要 • 施設側の想定サービスレベル等にも依存
		シャトルバス利用者の特性把握	• アンケート・ヒアリング・観測調査等によって把握 • 来訪方面別・手段別に利用ニーズｇ度の点で高いか把握する必要
	運行エリア・ルート	利用者ニーズ 移動特性	• 既存のオフィス利用者では豊洲駅とのピストン輸送の有効性が一定程度確認されている一方で、鉄道との野盟絵状況やホテル利用者の移動特性の把握が必要
	運行時間帯・ダイヤ	時間帯別の利用ニーズ	• ゆりかもめとの機能分担を考慮した運行ダイヤの設定が必要 • 特にオフィス利用者が少なくなる日中時間帯のダイヤ設定により運行経費の削減につながるのか検討が必要

分類	検討項目	把握が必要な事項	留意点
運用的課題	オペレーション	運転士・保安員	• 安全面・効率面では車両の確保と合わせてバス会社へ委託することが有効であるが、運行経費の削減に向けては自主運行の可能性の検討も有効
		無人運転化での現場対応要員	• 緊急時、要介助・サポート時の対応要員の配置の検討
	車内監視	乗車時の利用者判別方法	• 利用状況に応じて予約方法の検討も有効

2. 自動バレーパーキングサービス

自動バレーパーキングを導入するにあたっては、実際のプレイヤー、対象施設、事業モデルによるサービス実証を通じて検証を行っていくことが重要である。事業化に向けたステップ案を表 88 に整理する。

表 88　実証のステップ案

実証フェーズ	ねらい	実証実験概要
フェーズ 1	• シェアリングカーユースケースを想定し、メブクス豊洲駐車場へ自動バレーパーキング機能を導入 • レベル 4 自動運転バレーパーキングのデモンストレーション	• モデル施設駐車場エリア①への自動バレーパーキング実装 • デモンストレーションの実施
フェーズ 2	• 機械式駐車場との連携による付加価値向上 • ロボット自動充電器との連携による付加価値向上	• 機械式駐車場と自動バレーパーキングを統合制御することにより、乗降前後に機械式駐車場への自動格納を実施 • 自動バレーパーキングによる EV 車両の駐車中の自動充電により利便性を向上
フェーズ 3	• ビジネス実証 I	• 実際に使用してもらうことによる、事業モデル実証及び課題の洗い出しと解決策の確認
フェーズ 4	• 技術的課題の改善 • エントランス部分への自動バレーパーキング実装による機能範囲拡	• 解決策の実装 • モデル施設駐車場エリア②への自動バレーパーキング実装

実証フェーズ	ねらい	実証実験概要
	大による利便性向上	
フェーズ 5	• エントランス側と奥側駐車場との接続による自動バレーパーキング機能範囲拡大による利便性向上	• モデル施設駐車場エリア③に自動バレーパーキング機能を導入、エリア①とエリア②を接続し、エントランス側と奥側駐車場で自動バレーパーキングを利用可能とする
フェーズ 6	• ビジネス実証Ⅱ • 当局による認可	• 最終的なビジネス実証 • 当局から認可を受けるための作業

3. 域内搬送サービス

自動配送ロボットを用いた域内搬送サービスを導入するにあたっては、実証を通じた検証が必要であることから、実施事項と実施上のポイントを表 89 に整理する。

表 89　サービス導入に向けた検討課題

実施項目		実施上のポイント
オペレーション検討	自動配送ロボットの決定	• エレベータの積載効率を高めるという観点では、縦長形状の方が効率的 • エレベータへの積載効率を高めるという観点では、ロボット同士が 10cm 程度の距離まで近づける異様とする必要がある
	荷捌き場の運用	• 荷捌き場において自動配送ロボットに効率的に積み込みを行うための、棚の配置や、オペレーション像を設計する必要がある
	エレベータの運用	• 物流以外の用途でも利用する貨物用エレベータを、どの時間帯にどの程度の占有度で利用するか明らかとし、それが他の利用とバッティングしないか確認する必要がある
	オフィス担当者の呼び出し方法	• オフィスフロアについてから担当者を呼び出すまでのオペレーションを決定する必要がある（内線で呼び出すなど）
	受取時のセキュリティ確保	• 他フロアや他テナント向けの荷物をm利あれないような、自動配送ロボットの設計やオペレーション上の工夫

		が必要
検討項目設計	商業フロアでの運用	• 商業フロアに自動配送ロボットが入った際の運用や安全確保策の検討とその検証方法の設計
	効果検証	• 館内物流の自動化　によりどの程度の効果があるか、効果を測定する方法を設計する必要がある • 館内物流としての売上を正確に把握するために、管理費としてテナントから受領している料金のうち、どの程度が物流分かを明確にする必要がある

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

■ 該当項目の背景と目的

今後協調型レベル 4 自動運転技術を活用したモビリティサービスを全国に普及させるにあたって、一般的な事業モデルの検討だけではなく、実際に取組を行っているモデル地域との意見交換が不可欠である。今後の各地域での事業モデルの検討内容を更に深めるため、各モデル地域の関係者や大学関係者を集め、各地域での取組を共有した上で、事業モデルを検討する上で課題となる点に対してディスカッションを行うワークショップを開催した。

■ 実施方針

地域間の情報連携を意識し、各モデル地域が一同に介し互いの地域での取組について議論できるような形でのワークショップを設定した。

■ 実施事項と実施方法

1. 第 1 回地域ワークショップ

(a) 開催概要

第 2 回地域ワークショップはオンライン上で実施した（※当初会議室にて開催予定だったが、新型コロナの影響を踏まえて、開催方式を変更）。RoAD to the L4 テーマ 4 における 3 つのモデル地域での検討内容を共有した後、各地域を題材として課題を設定し、グループに分かれてディスカッションを実施した。

表 90 第 1 回地域ワークショップの概要

日時	2021/11/10（水）9:00-17:00
目的	• 実運用段階の自動運転モビリティサービス視察による具体的なイメージ醸成 • 各地域・団体での取組の紹介による課題等への認識共有、ディスカッションを通じた理解の醸成・アイデアの創発
場所	茨城県境町 町役場会議室 （※ 午前の部は自動運転バスの試乗・現地視察）
参加者	RoAD to the L4 テーマ 4 関係者

午前の部では、図 228 の赤線部分のルートを走行する自動運転バスに乗車し、実サービス段階にある自動運転バスを視察した。また、運行後は自動運転バスの管制室の視察についても、合わせて実施した。

図 228 自動運転バス試乗時の運行ルート

図 229 自動運転バスサービス視察の様子

(b) ディスカッション概要

午後の部では、セッション 1・セッション 2 に分け、各地域での取組紹介を元に、自動運転の技術・ビジネス面に関するディスカッションを実施した。

図 230 午後の部の取組発表・ディスカッションの様子

各セッションでの参加者からの代表的な意見としては、表 91、表 92 の通り。

表 91 セッション1概要

取組紹介	• 高蔵寺ニュータウンにおける取組の紹介 ［名古屋大学 森川先生・金森先生］ • 境町における取組の紹介［境町 橋本町長、BOLDLY(株) 佐治社長］ • 永平寺町における取組の紹介［産業技術合研究所 加藤様］
ディスカッションでの主要な意見	• 自動運転サービス維持のための方策として、自治会費用活用や商業施設連携といった方法もあり得る。 • 福祉政策と連携した実験では、移動手段を含むモビリティマネジメントを考えた際に、オプションの一つとして自動運転を位置付けた。移動起点ではなく、移動目的にあたるニーズの観点からアプローチすることが重要。 • 域外交通を既存交通事業者、域内交通を自動運転バスが担う等の役割分担により、既存交通事業者と相互にメリットがある状態が望ましい。 • 自動運転バスの手動介入要因として「路駐回避」「敷地から公道に出る場面」「信号通過」があり、「信号通過」を解消するための信号協調システムの社会実装が、レベル 4 実現に向けた最も大きな課題。 • 自動運転バスの視点では青延長等は不要であり、まずは信号予定情報を早期に提供してほしい。 • 信号通過のために遠隔で発進操作を行う場合、これを「運転操作」と位置付けるか否かや、免許を必要とするか否かも重要なポイントである。 • 社内安全管理や決済といった走行以外の部分を含め、サービス全体として自動化することが必要。 • 遠隔監視の一環として、緊急時の駆け付け対応が可能な二輪車を配備することも有効。

表 92 セッション2概要

取組紹介	• 柏の葉地区における取組の紹介［三井不動産 佐々木様］ • 藤沢地区における取組の紹介［パナソニック 東島様］ • 豊洲地区における取組の紹介［清水建設 米山様］
ディスカッションでの主要な意見	• 必ずしも乗客に運賃負担を求めず、便益享受する不動産テナントに運行コストを負担してもらう考え方もあるが、便益を定量的に示すことが難しく、価値計測手法の体系化や共通認識化が重要である。 • 自動運転の導入により、例えば駐車場を少し離れた場所に設置するといった施設計画合理化を実現できると、初期投資を含めた黒字化も考えられる。 • 事故時の責任主体についても整理が必要。製造者責任と捉えるのか、システム全体で分散させるのか。 • 無人化や省人化がゴールではない。運転操作ではない他の形で人をコミットさせる発想が必要ではないか。 • データ販売については、単体でビジネスになるのか、他のシステムに組み込むことによる総合サービスで実現するものなのか、検討する必要がある。 • 低速の自動運転バスが街に受け入れられると、速度抑制や路上駐車減少といった周辺交通環境の改善が見られる場合もある。シビックプライドの上昇や、住みたいと思う人の増加など、地域への波及効果が見られる。 • 遠隔監視をボランティア・アルバイトの方が担えるか、ロボットを見たときに一般ユーザーが安心していられるか、の観点も事業化に向けたキーポイントである。 • コスト負担に関しては、パブリック Wi-Fi のようなモデルも参考になるかもしれない。

2. 第2回地域ワークショップ

(a) 開催概要

第 2 回地域ワークショップはオンライン上で実施した（※当初会議室にて開催予定だったが、新型コロナの影響を踏まえて、開催方式を変更）。RoAD to the L4 テーマ 4 における 3 つのモデル地域での検討内容を共有した後、各地域を題材として課題を設定し、グループに分かれてディスカッションを実施した。

表 93 第 2 回地域ワークショップの概要

日時	2022/2/1（水）13:30-18:00
目的	• 各地域･各社で現在検討中の事業モデルについてのコンソーシアム内での共有・理解 • 特に各地域･各社が事業モデルを検討する上で抱えている課題についての､幅広い関係者を交えた上でのグループワークによるアイデア創発・共有
場所	Teams （※新型コロナ感染対策のため、フルリモートで実施）
参加者	RoAD to the L4 テーマ 4 関係者

時刻		担当	内容	所要時間	着席方法
13:30 ～	13:50	**第1セッション**		0:20	
13:30	13:35	須田先生	開会のご挨拶	0:05	講義形式
13:35	13:40	福永室長	経産省様よりご挨拶	0:05	講義形式
13:40	13:50	MRI	ワークショップ全体概要説明	0:10	講義形式
13:50 ～	15:00	**第2セッション**	**柏の葉地域**	1:10	
13:50 ～	14:00	三井不動産	検討しているサービス、事業モデルの共有、議論してもらいたい内容発表	0:10	講義形式
14:00 ～	14:10	個人	柏の葉地域で検討されているサービスについて事業モデルを検討	0:10	個人ごと
14:10 ～	14:40	グループ	各自検討した内容をグループ内で発表･グループ内で議論	0:30	グループごと
14:40 ～	15:00	全体	各グループで検討した内容を発表	0:20	グループごとor講義形式
15:00 ～	15:10		**休憩**	0:10	
15:10 ～	16:20	**第3セッション**	**藤沢地域**	1:10	
15:10 ～	15:20	パナソニック	検討しているサービス、事業モデルの共有、議論してもらいたい内容発表	0:10	講義形式
15:20 ～	15:30	個人	藤沢地域で検討されているサービスについて事業モデルを検討	0:10	個人ごと
15:30 ～	16:00	グループ	各自検討した内容をグループ内で発表･グループ内で議論	0:30	グループごと
16:00 ～	16:20	全体	各グループで検討した内容を発表	0:20	グループごとor講義形式
16:20 ～	16:30		**休憩**	0:10	
16:30 ～	17:40	**第4セッション**	**豊洲地域**	1:10	
16:30 ～	16:40	清水建設	検討しているサービス、事業モデルの共有、議論してもらいたい内容発表	0:10	講義形式
16:40 ～	16:50	個人	豊洲地域で検討されているサービスについて事業モデルを検討	0:10	個人ごと
16:50 ～	17:20	グループ	各自検討した内容をグループ内で発表･グループ内で議論	0:30	グループごと
17:20 ～	17:40	全体	各グループで検討した内容を発表	0:20	グループごとor講義形式
17:40 ～	17:50	**第5セッション**	**クロージング**	0:10	
17:40 ～	17:45	福永室長	経産省様よりコメント	0:05	講義形式
17:45 ～	17:50	大口先生	閉会のご挨拶	0:05	講義形式

図 231 第 2 回地域ワークショップのタイムスケジュール

(b) ディスカッション概要

各地域からの発表の後、グループワークにて各地域を題材にした検討を実施した。グループワークでの論点や、代表的な意見・アイデアは表 94 のとおり。

表 94 ディスカッションでの主なアイデア・意見

モデル地域	グループワークにおける論点	グループワークでのアイデア・意見（一部）
柏の葉	• インフラ協調により得た交通データの活用方法 • 交通データとその他のデータとの掛け合わせによる活用方法	• 交差点カメラのデータを用いた交通量の予測データが活用できるのではないか → 飲食店等のサービス事業者に有料で販売し、価格最適化等で活用 → モビリティ事業者に有料で提供し，タクシー・バス・レンタサイクルの配車を最適化 • 車両からの路面データを活用して、路面状況把握、防災等に活用できるのではないか
藤沢	• インフラ連携によるL4配送範囲の拡大の、配送需要の拡大（稼働率向上）への寄与	• 住宅地は住民が特定されている。共益費・自治会費などもあるのでお金の流れは作りやすいのではないか • 単に「店→客」への配送だけを自動化するだけでは採算性が厳しいため、配送用車両に地域の見守り役（防犯目的）等の付加価値を加えることで，採算が確保できるのではないか • 全てを配送用車両が行うのではなく、人に頼って良い部分もあるのではないか （収益性が見込めるなら、交差点を渡って積み込みまでは店舗側で行うなど） • 配送用車両を導入するスマートシティのマスコットキャラクターとして活用できるのではないか
豊洲	• L4 サービス導入によるユースケース（送迎、自動駐車、…）× プレイヤー（施設オーナー、施設管理事業者、…）での便益の整理	• 自動運転の特徴として運転席がないこと・プライベート空間が作り出せること等があり、送迎に関しても移動の手段だけでなく移動の価値（例：アトラクションとしての活用）を追求できるのではないか • 深夜・早朝など公共交通機関が動いていない時間帯の安定した運行サービスの提供できるのではないか

2） 技術評価結果と事業評価結果の統合と取りまとめ

■ 該当項目の背景と目的

本事業は技術要素、非技術要素（事業モデル・法制度等）様々な検討項目にわたり取り組んでいる。レベル 4 サービスの社会実装に向けては、技術的な検討と事業的な検討の状況を融合させながら事業を推進する必要があるため、統括委員会の機会を中心にテーマ内連携を図る。

■ 実施方針

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、レベル 4 自動運転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、混在環境でレベル 4 自動運転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、集中的な討議の機会を設け、レベル 4 において実現するべき姿のイメージを合わせ、課題の検討を行った。

■ 実施事項と実施方法

(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て設定したものである。統括委員会の役割として、主に以下の項目を行うこととした。（別途 3 章に詳細）

(2) 技術・事業それぞれの検討結果の統合と取りまとめ（課題の整理）

25 年度の事業終了時に向け、CooL4 内でのゴールを共有し、バックキャスト的に様々な課題の全体像を整理しながら、車両要件等の詳細な仕様検討を行うことが効果的であると考えられる。そこで、統括委員会メンバーを中心に、本事業の目指すイメージを統一し、サブチーム間でアウトプットの整合がとれなくなってしまう危険性を回避することに努めた。

i） 課題の見える化

まず、25 年度のイメージをビジュアル化し、今後取り組んでいくべき課題を整理したものが以下の通り。本プロジェクト完了時である 5 年後（2025 年）に実現するレベル 4 自動運転の姿のイメージを揃えるため、現時点の成果として、今後検討が必要な観点（青吹出し）を抽出した。それぞれの観点について、本事業における詳細検討を継続する。

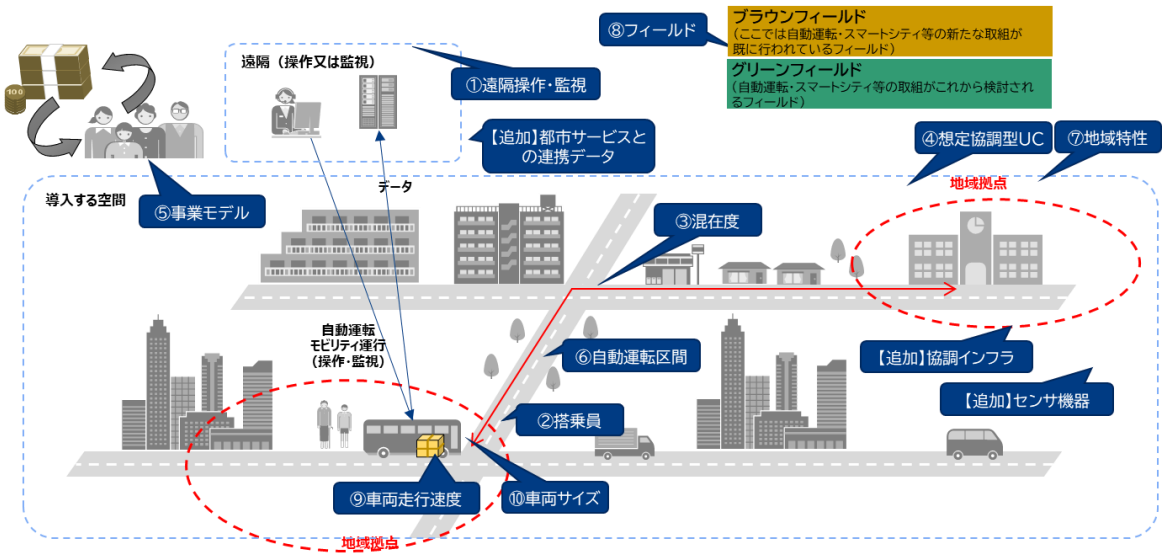


図 232　25 年に向けた課題の整理

これらの課題の観点を今後検討するうえで、以下の事項を今後継続的にテーマ内で議論を行い、詳細化を進めるべき観点として整理された。なお、現時点での整理であり、今後の検討の進化によって観点は変更される可能性が高い。

① 実証地域の位置づけの整理と、横展開の方向性

今年度はモデル地域として 3 つの地域を選定したが、特にプレ実証を行い先行している柏地域について、今後横展開を見据えた柏の成果の活用方法の検討と、他地域に横展開できる成果の洗い出しを行うことが必要であることがテーマ内で共有できた。

② 人の介入の程度に応じた検証の必要性

レベル 4 と一口に言っても、同乗者の有無（同乗か遠隔か）、免許の要否から、レベル 4 自動走行における人の介入のパターンは、さまざまである。現時点ではテーマ 4 としては、以下の 4 つにパターン分けできることをアイデアとして挙げた。ユースケースなどとともに、人の介入のパターンに沿って技術・事業の両面から検討を行う。

1. 遠隔ドライバー（要免許）　兼　遠隔監視員
2. 遠隔監視員（免許不要）
3. 駆けつけ要員（要免許）
4. 添乗員（免許不要）

③ ビジネスモデルを議論する必要性

社会実装に向けては技術だけ成立するのみでは実現可能性が低い。誰がお金を出し、技術的にもコスト的にも持続可能なエコシステムを作る視点が必要であることをテーマ内で共有した。社会実装時のサービス設計においては、収益性が担保できるサービスの水準を模索することが必要であり、それにより運行頻度、車両のスペック、L4 で走行可能な区間の設定などを検討する必要がある。

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＞

- 欧米を中心としたレベル 4 自動運転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

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

■　該当項目の背景と目的

レベル 4 自動運転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。

■　実施方針

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。

■　実施事項と実施方法

公開情報を通じた動向調査は、ウェブサイト等で公開されている情報を活用し、産･官･学によるレベル 4 自動運転サービスに関する欧米等の取組内容の動向調査を行い、情報を整理した。公開情報の調査では、関係する情報源に掲載されている文献の調査も含めて実施した。膨大な情報源から、当プロジェクトとして関心のあるテーマを整理し、詳細の必要な情報は関係者と共有することを目的に資料の翻訳を専門家に依頼し、開発業務の参考として活用した。

なお中国は、Road to the L4 コンソにて動向調査を行っていることから、本テーマ 4 においてはメインの調査対象外とした。

また、国際会議を通じた情報収集については、今年度 COVID-19 の影響により当初予定していた国際会議への出張が困難となり、情報収集は限られる状況となった。10 月に行われた ITS 世界会議では 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ての課題を議論するセッションを企画・運営し、欧米の専門家と実用化に向けた課題について意見交換し、情報収集を行った。

(1) 欧米における自動運転レベル 4 の動向

主に、インターネットに公表された公開資料より、欧米における自動運転レベル 4 に向けた検討状況・開発状況について、主に欧州委員会、各国政府等主導で行われている大規模プロジェクトを中心に、動向調査を行った。

まず、欧米それぞれにおいて、自動運転の実証実験は行われているが、商用化などの持続的サービスとしての事業モデルの確立・サービス展開には至っていないことが分かった。したがって、現時点では日欧米の地域間において、検討の到達水準に顕著な差はなく、拡張性のある協調型システムを活用した技術構築が国際市場における優位性確保のカギとなる。

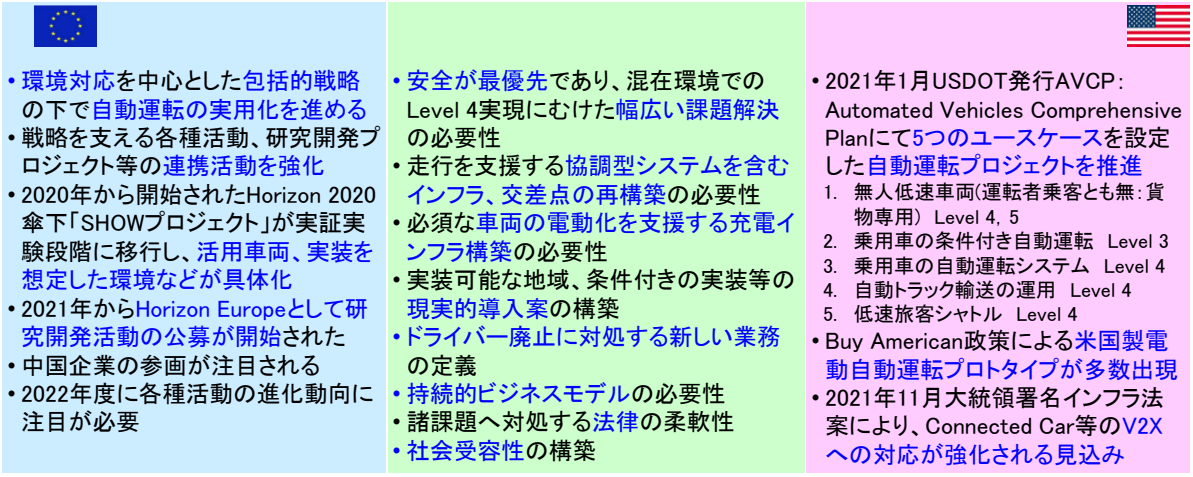


図 233 欧米における自動運転開発の概況

欧米の自動運転レベル 4 の検討において、今後の課題とされているものは次の 8 項目に集約できた。

i） 市民への受容性

自動運転の実装に向けては、市民への受容性をいかに高めるかがポイントとなる。安全性の技術的な担保はもちろんのこと、それを義務付ける法律の整備、また受容性を高めるための理解活動なども重要課題である。

混在環境での Level 4 モビリティサービスの実現の難しさ

欧米では市街地等の混在空間において既にレベル 4 の公道実証実験を行っている。ただし、混在環境下において、歩行者や自転車等と共存することは技術的にもまだまだ課題があり、インフラ等と連動しながら混在環境における安全性を高める必要がある。

ii） 自動運転車両を支援するインフラ、交差点の再構築の必要性

前述の通り、混在環境をはじめ、自律でカバーできない情報は協調型インフラ等により情報を支援する必要がある。特に信号情報は重要であり、交差点の情報をインフラ経由で伝える仕組みは欧米ともに取り組んでいるところである。

協調型システム採用の必要性と可用性に関する課題

前述に関連し、協調型システムの活用はレベル 4 の実現に向けては必要不可欠である。そこで、協調型インフラと車両の役割分担等を検討し、協調型システムとしての可用性を確保することは今後の課題である。

iii） 必須な電動化を支援する充電インフラの必要性

中長期的な自動運転サービスの実現に向けては、車両の電動化は前提となりうる。特に欧州ではカーボンニュートラルへの関心の高さより電動自動車の普及を後押しする充電インフラの検討が進んでおり、自動運転サービスの検討においても充電場所等の確保が課題になる。

iv） 実装可能な地域、条件付きの実装の提言

様々な地域で自動運転の実装が進んでいるが、制約条件なく自動運転サービスが実現できる段階ではない。そのため、実現できる地域の特性をとらえ、ODD など運行条件を明確にしながら実装することが必要である。

v） ドライバー廃止に対処する新しい業務の定義

レベル 4 の運用では、必ずしもドライバーが車内にいるとは限らないため、運行事業者側の免許制度や業務範囲など新しい定義が必要である。

vi） 持続的ビジネスモデルの必要性

持続的なサービスの実現に向けては、ビジネスモデル的に持続可能であるためのアイデアを見つける必要があり、全世界で明確な解はなく、今後の世界共通の検討課題である。

vii） 大型バス、中型バスに電動型自動運転車両の選択肢が拡大

これまで小型車両（ポッド型）においては電動型自動運転車両が普及していたが、今後は大型バスや中型バスにも電動型自動運転車両が拡大する可能性がある。これによりより幅広い地域類型、サービス特性にも自動運転サービスが活用できるようになる。

viii）欧州での中国企業の積極的参画

特に欧州においては、中国企業が自動運転関係のプロジェクト等に積極的に参加しており、プレゼンスを増している。我が国としては引き続き情報収集を行いながら、我が国の産業の成長に向けた海外戦略等は別途検討が必要である。

以降は、上記 8 項目の補足となる各政策・プロジェクトの個別概況である。

① 国際会議を通じた情報収集

レベル 4 自動運転サービスに関連する発表･議論が行われる国際会議は年複数開催されている。今年度は ITS 世界会議（10 月＠独ハンブルグ）と TRB（Transportation Research Board）Annual Meeting（1 月＠米ワシントン DC）が対面会議の形式で開催された。

今年度は COVID-19 の影響により当初予定していた国際会議への出張が困難となり、国際会議を通じた情報収集は限られる状況となった。10 月に行われた ITS 世界会議では 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ての課題を議論するセッションを企画・運営し、欧米の専門家とのレベル 4 モビリティサービス実用化に向けた課題について意見交換し、情報収集を行った。詳細は次項 2）にて説明する。

2022 年度も COVID-19 の影響により、依然として国際会議は開催形態含め不透明な状況ではあるが、米国で行われる ITS 世界会議（9 月＠ロサンゼルス）や TRB Annual Meeting（1 月＠ワシントン DC）、欧州で行われる TRA（Transport Research Arena、11 月＠リスボン）、そして日本で行われる SIP-adus Workshop（10 月＠京都）等の国際会議を通じて、レベル 4 自動運転サービスに係る取り組みの国際動向について情報収集を行う。

② 参考文献の調査

別章で報告しているように、協調型自動運転の導入に向けた関心事は、各国の動向に加え、解決が必要な課題への具体的取り組み計画や検討結果である。

協調型システムの技術に関する情報、協調型システムを導入する環境の観点から街つくりを含めた取り組み、利用する車両に対する評価検討、利用者や周囲の交通利用者含めた社会受容性や自動運転導入に向けた取り組み、新しい交通手段を導入する際の法律的課題への取り組み等の観点で参考文献の調査を行った。

調査対象として、連携を行う(ⅰ)SHOW プロジェクトの開発計画に加え、(ⅱ)米国で議論が継続する協調型システムを活用する車両に関する通信技術の評価報告である「コネクテッドビークル通信技術の評価と統合（2021 年）」、(ⅲ)米国連邦交通局が発行した自動運転バスを導入する際の課題検討を行った「路線バス自動化市場評価」、(ⅳ)米国運輸省 ITS Joint Program Office 主催で、76 都市の立候補から選定されたオハイオ州コロンバス市で実施された Smart City Challenge プロジェクトにおいて検討された、スマートシティへの自動運転の導入と協調型システムの活用を評価検討した「スマート・コロンバスプログラム概要」報告書を選定した。

それぞれの調査結果は以下の通り。なお、(ⅱ)の「コネクテッドビークル通信技術の評価と統合（2021 年）」については、通信の標準化調査として「国際標準化戦略のための情報収集」で概要を報告している。

（ⅰ）SHOW プロジェクトの開発計画概要

SHOW プロジェクトに関しては、以下の項目に対する開発計画について調査した。概要は別添を参照。

D1.1: Ecosystem actors needs, wants & priorities & user experience exploration tools
D1.2: SHOW ユースケース
D2.2: ビジネスモデル/運用モデルとユースケースおよびパイロットサイトへのマッピングの提案
D3.4: SHOW 改訂版倫理マニュアル・データ保護方針、およびデータプライバシー影響評価
D9.1: 評価枠組み
D9.2: プレ実証評価のためのパイロット実験計画、KPI の定義および影響評価フレームワーク
D10.1: シミュレーションのシナリオおよびツール
D16.1: 市場分析

(ii) 「路線バス自動化市場評価」報告書

米国連邦交通局（FTA）は、路線バス業務の自動運転車両技術に関連した概念的な発想、プロトタイプ、市販の製品について調査を行い、米国連邦交通局（FTA）、交通機関、その他のこの市場の理解に関心のある交通産業の利害関係者への情報提供を目的として、路線バス自動化市場評価の報告書をまとめている。

新興の自動運転路線バス市場は、メディアで熱心に取り上げられてきたが、利害関係者は、概念的な発想、プロトタイプシステム、利用可能な製品の違いを明確に理解していない可能性がある。現実に合わせて予測し、交通機関の計画を支援するために、本市場評価は、自動化路線バス技術をその利用可能性、能力、制限の面から伝えている。

本場評価は、あらゆるレベルの自動化と、路線バスの幅広い定義を考察しており、定義には広範囲の乗客定員と、従来型と新型の車両デザインが含まれる。また、関連情報を収集するため、様々な文献の調査とともに、バス製造業者、サプライヤー、新規参入者（自動運転シャトルプロバイダーなど）を含む、業界の代表者との会合を実施している。

本報告書の主な調査結果は以下の通り。

- 路線バスの新しい自動化製品または性能に関連したメディア報道は、実際の技術開発に先行することが多々ある。現在、開発されている路線バス自動化システムは、パイロット試験段階または開発の早期段階である。
- この時点での技術コストは未定である。既存の路線バス自動化システムは、商用化された製品というよりはプロトタイプであるためである。
- 他の車両タイプの現在の自動化技術は、高速道路走行などのユースケースに対応しており、輸送業務への適用性は限定的であった可能性がある。
- 現在の米国バス市場では扱い量が比較的少なく、車両の高レベルのカスタマイズが必要とされるのに加え、交通機関の顧客からの関心も低いと認識されているため、バスに自動化技術を導入するのは難しい。
- 自動化技術は、現在は利用できない場合があるが、バス製造業者は、新機能の開発のタイムラインを理解するため、そして新機能の導入に向けた高レベルのロードマップ策定のために、サプライヤーと作業を進めている。
- 歩行者と住人の行動と安全性、保険と賠償責任、運営業者の受入れ、新しいサービスモデルなど、地域には相当なレベルでの不確定要素があり、商用化への障害が高まる可能性がある。また、コミュニケーションと教育の分野におけるニーズも増えている。
- 業界の代表は、路線バスの自動化システムの技術的な発展と、その実現可能性についての疑問に答えるには、実証およびパイロット計画のための連邦予算が欠かせないと述べている。
- 車両の自動化は、めまぐるしく進化する分野であり、商用化への経路は複数想定される。

(iii)「スマート・コロンバスプログラム概要」報告書

スマート・コロンバスプログラムは、米国運輸省（USDOT）ITS Joint Program Office 主催の Smart City Challenge（SCC）プロジェクトにおいて、76 都市の応募の中からオハイオ州コロンバス市が受賞都市として選定されたのを受け、スマートシティへの自動運転の導入と協調型システムの活用を評価検討したプログラムである。

スマート・コロンバスプログラムのキーは、プログラムをスタッフ、パートナー、優先順位、技術能力の変更に対して対応できる、迅速で適応性のある方法で管理することであり、本プログラムでは、以下8つのプロジェクトについて実証を行っている。

1. スマート・コロンバスの運営システム
2. コネクテッドビークルの環境
3. マルチモーダル・トリップ・プランニング・アプリケーション
4. 認知障害者のための移動支援
5. 出産前の移動支援
6. スマート・モビリティ・ハブ
7. イベントの駐車場管理
8. コネクティッド電気自律走行車

本報告書では、下記の通り結論が述べられている。

8つのプロジェクトの大半が、何らかの形または方法で前進する予定である。当初のポートフォリオから外されたプロジェクトでも、多くが他の手段で実施されたことに、市は誇りを持っている。継続しないプロジェクトであっても、得られた教訓と知識は、コロンバスのすべての住民にとって、新しいテクノロジーとその恩恵についての認識を高めるのに役立っている。

関係者の期待に応え、コミュニケーションの重要性を理解することは、リスクを軽減し、認知度とテクノロジーの導入の両方を向上させるコロンバスの能力において重要な活動であった。最終的に市は、スマート・コロンバスプログラムをイノベーションのきっかけとして活用した。さらに重要なことは、いくつかの定量化可能な結果によって実証されている通り、このプログラムが住民に最高の生活をおくる力を与えたことである。素晴らしい多くの事例のいくつかとして、MAPCDプロジェクトでは、個人が初めて自立的に移動することを支援し、近隣地区のスマートモビリティ・ハブ（SMH）の建設によりリンデン地域の交通手段へのアクセスをより簡単にし、Park-Columbusアプリによって住民が駐車場の事前予約と支払い（および、路上駐車の空きの可能性の確認）を可能にし、CVEプロジェクトでは、地元の自動車販売店にコネクテッドビークル技術の導入、使用、操作についてトレーニングを行ったことなどがある。これらの例は、多くの事例の中でも、大小問わず、プログラムのコミュニティへの影響を示している。

このポートフォリオからのプロジェクトは、コロンバス住民のモビリティ・ニーズに応え続けるために継続され、プログラムを通じて磨かれたパートナーシップとプロジェクト管理手法は、この先何年にも渡りコミュニティに利益をもたらすであろう。

SCCの実施を通して、プロジェクトはコロンバスのコミュニティに短期的および長期的な影響を与え、他の都市が全国で同様の効果を得るために構築できる再現可能なプレイブックを作成した。また、スマート・コロンバスプログラムは、マルチモーダルおよびMAPCDタイプのプロジェクト

の開発を進め、出産前移動支援のメリットに関する研究を促進し、AV および CV 技術の進歩を支援し、スマートシティプロジェクトのための知識ベースに追加している。

2) 欧米専門家との意見交換

■ 該当項目の背景と目的

レベル 4 自動運転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留意する必要があり、実際に本テーマと同様の研究、実証実験を行っている海外のプロジェクト関係者やその他本テーマに関連する専門家と意見交換を行って、本テーマの課題解決方法、解決に向けたアプローチについて国際的な調和が取れているかを確認することは重要である。

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、海外の専門家との意見交換を通じて海外の動向を確認しながら、将来の標準化戦略等にも反映していく。

■ 実施方針

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海外のプロジェクト関係者や、その他専門家等と意見交換を行う。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る。

■ 実施事項と実施方法

今年度は以下 2 つの場を通じて、欧米のプロジェクト関係者、専門家との意見交換を行った。

① ITS 世界会議（10 月＠独ハンブルク）での自動運転レベル 4 モビリティサービス実用化に向けたセッション

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）にて自動運転レベル 4 モビリティサービス実用化に向けての課題を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、専門家と意見交換を行った。

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内容の紹介があり、将来の自動運転レベル 4 モビリティサービス実用化にむけたチャレン

ジとして、国・州レベルでの法制度の取り組み、人的工数（労働力）の問題、技術コストや成熟度といった項目が挙げられた。

欧州からは、SHOW プロジェクトより自動運転レベル 4 モビリティサービスのユースケースとして都市部における自動化モビリティ、貨客混載による自動化混在モビリティ、ビックデータの活用や自動パーキングといった付加価値サービスの紹介があり、2022 年より実環境でのデモンストレーションを実施することや、市民のニーズの多様性を考慮し、移動者の経験の向上に取り組んでいくこと等が示された。

また、Austria Tech からは、法的要件の整理として、欧州内では自動運転試験のために満たすべき条件が多くて複雑であることや、特に実環境への移行を考えた際に道路ユーザーに対し信頼性を保証すること、安全な環境下の限定された ODD を提供すること等の話があり、試験に向けた共通フレームワークとして、オーストリアで行われている Digibus Austria プロジェクトの取り組みが紹介された。

最後に、アーヘン工科大より、21 年 7 月施行されたドイツ国内での自動運転関連の法改正の紹介と、特にレベル 4 の自動運転を推進する産学連携プロジェクトである UNICARagil プロジェクトの取り組みについて紹介があり、4 つのタイプの自動運転車両の製作状況の報告とともに、レベル 4 自動運転に向けた設計アーキテクチャの紹介がされた。また、アーヘン工科大のキャンパス周辺 46 箇所にカメラ、LiDAR の路側機を設置し、インフラサポートを行う ACCorD プロジェクトについても概要紹介があった。

各専門家からの取り組み発表後に行われたディスカッションでは、聴衆から今回の自動運転レベル 4 のモビリティサービスが自家用車ではなく公共交通の話をしているのであれば、自動運転技術よりもまずは公共交通としての課題・必要性を重視すべきではないか、といった意見が出された。また、自動運転レベル 4 モビリティサービスの実現に向けた課題として、登壇者からはビジネスモデルもあるが、ユーザーアクセプタンスが重要、法的整備の課題、技術的な課題がまだたくさんある、持続可能性を考えたときにビジネスになるか、インフラとコストのバランスが重要、といった意見が出され、現在我々が直面している課題と同じ課題を欧米の専門家も持っていることが確認された。

② IT-TRANS Webinar（12 月 Web 会議）での欧米関係者との意見交換

UITP（国際公共交通連盟）が企画している IT-TRANS Webinar：Autonomous mobility - A gamechanger for urban mobility（12 月開催）に本プロジェクトメンバーである ITS Japan 内村常務理事が登壇し、欧州委員会研究・イノベーション総局の Patrick Mercier-Handisyde 氏、米国 USDOT Volpe センターの Elizabeth Machek 氏と都市部における自動運転モビリティについて議論を行った。

USDOT Volpe センターからは、米国各地で行われている自動運転バス実証実験の取り組みについて、コネチカット州で計画している CT fastrak プロジェクトや、ヒューストンで行われている Huston Metro 等の紹介があった。

また、欧州委員会からは、自動運転分野における国際連携活動の取り組みとして、SHOW プロジェクトを中心とした日本、米国との連携活動について紹介するとともに、2021 年から新たに始まった研究枠組みプログラム、Horizon Europe での国際連携活動に対する期待が述べられた。

その後行われたディスカッションでは、各トピックスに対し以下のような意見が出された。

＜実証実験の実施について＞

- 技術開発だけではなくエコシステム構築にもつながっている。
- 地域が本当に望んでいる場所に適用していくべき。

＜5G の可能性、通信・インフラの重要性について＞

- 機械の判断は人間とは異なり、自動運転に適したインフラをどう導入していくかが重要。ステップバイステップでやっていく必要がある。

＜国際連携の観点からの自動運転に関する国際標準化の状況について＞

- 日米欧三極会議では、社会経済インパクトの評価活動に取り組んでおり、これは国際連携の良い例である。
- 現在は自家用車ベースの考え方になっているが、モビリティサービスを考えた場合、運行エリアが絞られるので新たな考え方が必要になってくる。

＜自動運転専用レーンの必要性について＞

- 専用レーンを持つようなビジョンは持っておらず、殆どの場合において専用レーンの設置にはならないと思う。

＜魅力的で効果的な公共交通について、各地から学ぶこと＞

- 米国でも様々な実証実験の取り組みが行われており、そこから学ぶことができる。
- 自動運転がもたらす価値を見つける必要があり、これに関する各地からの情報に期待している。
- Equity に注目している。

自動運転レベル 4 モビリティサービスについては、欧米各地で依然として実用化に向け研究開発が継続している状況であり、今後も継続して海外専門家と意見交換を行っていく。

3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催

■ 実施方針

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海外のプロジェクトについて、以前より積極的に活動が行われている欧州と米国を中心に、該当プロジェクトを選定し、共同ワークショップを開催する。今年度はCOVID-19の感染状況も鑑み、Webベースでのワークショップを実施する。

■ 実施事項と実施方法

今年度行った欧州および米国プロジェクトとのワークショップの状況について、以下に示す。

① 欧州とのワークショップ

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）では、従来より本テーマと関連性が高いプロジェクトとして、都市部での大規模な自動運転レベル4相当のモビリティサービスの実証デモを行い、社会実装を目指すHorizon 2020傘下のSHOWプロジェクトに注目し、連携の可能性を模索してきた。

今回、本テーマを東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構（UTmobI）が中心となるコンソが受託したことを受け、SHOWプロジェクト側とMOU（Memorandum of Understanding）を2021年10月に締結し、10月19日にMOU署名のセレモニーイベントを実施した。その後、欧州側の都合により一時活動が延期されたが、2022年3月10日に1回目の合同ワークショップを開催した。

SHOWとの合同ワークショップ概要

1回目の合同ワークショップは、Kick-off introduction Webinarとして開催され、日欧双方からプロジェクト関係者約40名が参加しWeb会議にて行われた。

本ワークショップでは、欧州 SHOW プロジェクトと CooL4 プロジェクトの概要紹介を行った。SHOW側からは、今後詳細の議論を行っていく予定である3つのトピックについて、SHOW側より以下のような説明があった。

- Topic 1: Automated vehicle behaviour

現在、SHOWプロジェクトでは幾つかの領域に焦点を置いて開発を行っている。一つは認識と環境の強化である。主なトピックとしては、センサーの冗長性の解決と、カメラやLiDAR、レーダーなど相互補完的な検知方法の選択である。二つ目が、運転と意思決定の強化である。まず、環境に応じた速度プロファイルと速度マネジメントの適用に取り組んでいる。また、障害物の回避やテレオペレーションを使ったサポートについても、複数のサイトで実証を行っている。

もう一つが、V2X 通信コミュニケーションの利用である。まずは信号管理で、例えば自動化シャトルの実証を行う。それからいわゆる交通弱者検知の強化で、自動運転車に対して交通弱者がいることをどうやって警告するかに取り組んでいる。

CooL4 との連携に関しては、5 月にウェビナーを行いたいと考えている。全体的に何をやってきたのか、どういう課題があるのかということを共有する場として、先ほど挙げたようなトピックについて議論したい。

ヨーロッパでは、自動運転車両を進めるためにさまざまな取り組みをしており、従来競合関係にあった企業も協力している。5 月のウェビナーでは、課題に関する情報交換や、市場のアクセプタンスをどう実現していくかといったことについて、ぜひ皆さんと意見交換、情報交換ができればと思っている。

- Topic 2: Regulatory and operational aspects

自動運転車両は新しいタイプのモビリティで、従来の法規制は、国際レベルでも EU レベルでも各国レベルでも、あくまで従来型の交通・車両を対象にしており、公道での Shared CCAM サービスの実施にはさまざまな課題がある。

一つは試験を行うための許認可の申請、もう一つは商業運用のための法的な枠組みである。許認可申請に関しては、既に AustriaTech が関連する規制や申請プロセスに関する情報を収集し、詳細な分析を行っている。実環境での実証までに、必要な許認可やライセンスが揃っていることを担保し、将来的に EU 内で申請プロセスの統一を図りたい。商業運用のための法的枠組みは、既存の法規制のギャップや課題を特定し、既存の法規制の枠組み・手法の調整や、新しい法規制のデザインに関する提言を行いたい。

- Topic 3: Stakeholders’ perception & acceptance

SHOW プロジェクトでは、需要応答型交通システム、ライドプール、LaaS、MaaS など、様々な新しい形態の公共交通が試験されている。それらを一般の人がどのように受け止めているか、その感触を掴むために、ステークホルダーの認識と受容について調査を行っている。

自動運転モビリティサービスの成功は、全ての人々の理解を得ることにかかっている。まずは、新しいサービスにどのようなメリットがあるのかを理解してもらい、有益性を感じてもらわなければいけない。そして、自動運転車が安全だということを説得しなければいけない。また、モビリティサービスの全般的な受容を得ることも重要である。

乗客の受容性、利用者からの信頼性、安全性への認識、快適性、有用性なども評価する必要がある。さらに、支払い意欲や、ライドシェアをどこまで受け止めるかといった意向についても評価する。もちろん、ステークホルダーは利用者だけでなく自治体やシステム関係の専門家など、様々な人々を対象に調査を行っている。

CooL4 との連携については、2 段階で行いたいと考えている。第 1 段階は 2022 年で、乗客の認識に焦点を当てて議論したい。そして 2023 年には全てのステークホルダー、当局やオペレーターが新しいサービスをどう捉えているのか評価したい。

その後、SHOW プロジェクトにおけるプレ実証と Real Pilot の違いや、日欧双方のプロジェクトにおいて、開発モジュールやデータ連携等を導入する、あるいは横展開する際のアプローチについて議論が行われた。

今回のワークショップを皮切りに、4 月から 6 月にかけてトピック毎にワークショップを行い、専門家間による具体的な意見交換、情報共有を行う予定である。

② 米国とのワークショップ

米国プロジェクトとの連携については、本テーマ活動開始時点で具体的なプロジェクト連携先が特定できていないため、今年度は本プロジェクトの連携先となるプロジェクトや機関候補を調査・検討した。

10 月に行われた ITS 世界会議では、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)が企画したセッションに米国から Jacksonville Transportation Authority(JTA)に登壇いただき、Jacksonville で行われている U2C (Ultimate Urban Circulator) プログラムの取り組み内容を紹介いただいた。Jacksonville では Bay Street Innovation Corridor として市の東部エリアとダウンタウンの間を自動運転のシャトルバスで結ぶことを計画しており、Navya ARMA を始めとした様々な自動運転車両を使っての研究実験が行われている。米国での連携先候補の一つとして検討を進める。

また、12 月に行われた SIP-adus Workshop の Service Business Implementation 分野の Breakout Session では、米国最大級の自動運転試験場である Gomentum Station や、米国 ITS4US プロジェクトに参画しているニューヨーク州立大学バッファロー校と議論を行ったが、これらのプロジェクトも非常に興味深い研究活動を行っており、今後の連携先候補として検討を進める。

次年度は、上記候補先を中心に具体的な連携先の検討を進め、米国での連携先を決定し、合同ワークショップを実施して我々の活動内容、および今後の実用化に向けた課題について情報共有・意見交換を行っていく。

4)　国際標準化戦略のための情報収集

■　該当項目の背景と目的

本プロジェクトで実用化を目指すレベル 4 モビリティサービスは、国際的製品である車両に加え、活用する協調型システムは各地域での利活用を促進するため、インターオペラビリティ含めた国際的に調和のとれたシステムの採用が必須である。またシステムの汎用性は廉価化にも重要であり、標準化を進めることが重要である。協調型を含めた運転の自動化レベル 4 に対する標準化はこれから進展していく領域であり、世界の動向に合わせた対応が必要である。

■　実施方針

標準化に対しては専門組織が存在しているため、本プロジェクトとしてはプロジェクトから提起される標準化の必要な事例の検知に加え、官界組織との連携によりタイムリーな活動を進めていくこととする。

欧米中の動向調査の中では、日本を含む世界の協調型システムへの影響が大きい米国 FCC 関連の情報を NCHPR（The National Cooperative Highway Research Program）の報告書「コネクティブビークル通信技術の評価と統合」から入手した。

※ NHCRP：全国共同利用道路研究プログラム

全米化学・工学・医学の 3 つのアカデミーは、全米科学・工学・医学アカデミーとして、独立した客観的な分析と助言を国家に提供し、複雑な問題を解決し、公共政策の決定に情報を提供するためのその他の活動を行うほか、科学、工学、医学に関する教育や研究を奨励し、知識への卓越した貢献を評価し、国民の理解を深める活動も行っている。

The National Academies of Sciences・Engineering・Medicine

※ 交通委員会は、全米科学・工学・医学アカデミーの 7 つの主要プログラムのうちの 1 つである。交通研究委員会の使命は、信頼でき、適時かつ公平で、証拠に基づく情報交換、調査、あらゆる交通手段に関するアドバイスを通じて、交通の改善と革新においてリーダーシップを発揮している。

NCHRP 報告書の他には、22 年 1 月 30 日に開催された US DOT の「ITS 4 US」Webinar、SIP-adus Workshop などから調査した。（全て on-line 調査とした）

■　実施事項と実施方法

図 234 に示す通り、FCC は 1999 年に交通向け DSRC として 5.850～5.925 の 75MHz 帯域幅を割り当てたが、この 5.9GHz 帯域の一部を無線 LAN に再割り当てるプロセスを開始した。

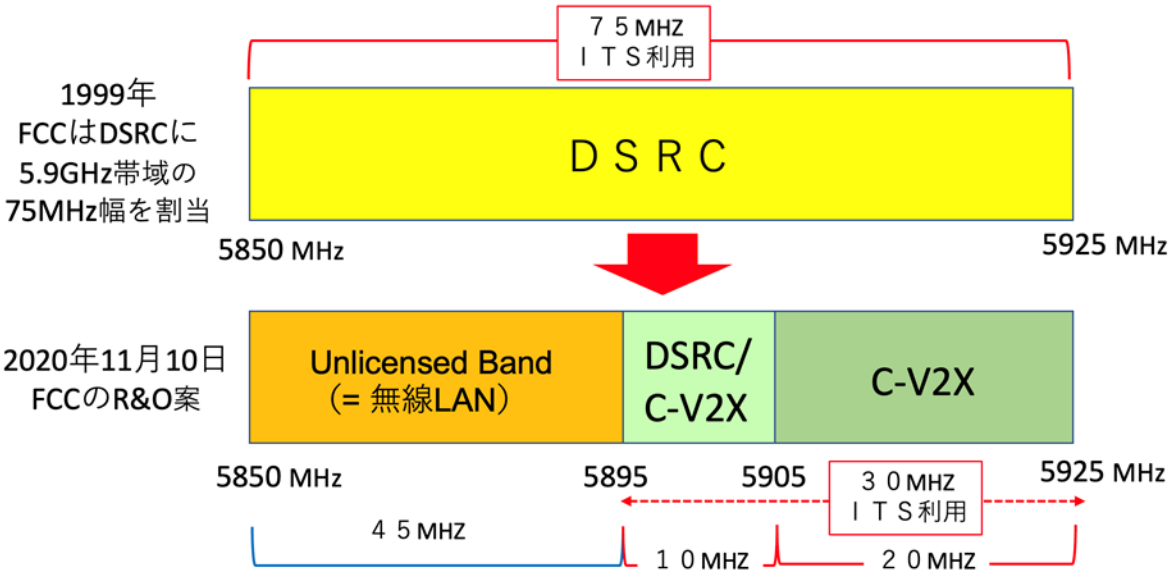


図 234　米国 FCC 5.9GHz の再割当案

既に全米では Ann Arbor 市などの幾つかの都市では、5.9GHz DSRC による大規模な実証実験が始まっており、この帯域削減が現状の安全運転支援だけでなく、自動運転に大きな影響を与えることが道路交通関係者だけでなく懸念されている。

2019 年 12 月、FCC はコネクテッドビークル（CV）技術向けに設定されている安全スペクトルを 75MHz から 30MHz のみに削減し、その割り当て内で特定の技術要件を定め、残りのスペクトルを免許不要の Wi-Fi デバイスに開放するという NPRM（FCC ET Docket No.19-138）に対して、

【NPRM の初期段階コメント】は以下の通り。

- 30 日間のコメント期間終了-2020 年 3 月 9 日
  NPRM を支持 23、NPRM に反対 237、どちらも反対 6　合計 266
- 30 日間の回答コメント期間終了-2020 年 4 月 27 日
  NPRM を支持 11、NPRM に反対 68、どちらも反対 1　合計 80

また、興味深い点は NPRM に反対を表明した運輸業界のコメント提出者が、技術選択に関するコメントに特化している点である。本白書によると、最初のコメント募集期間中、80%が技術に中立的であるか、コメントの中で専用短距離通信（DSRC）またはセルラー車車間・路車間通信（C-V2X）に言及していないか、または両技術の帯域提供を推奨していることである。

運輸業界の専門家によるコメントで示された支持する対象技術（DSRC or C-V2X）の相違は、

- 30 日間のコメント期間終了-2020 年 3 月 9 日
  双方支持、わからない、記載ない 80%、DSRC を支持 12%、C-V2X を支持 8%

- 30 日間の回答コメント期間終了-2020 年 4 月 27 日
  双方支持、わからない、記載ない 82%、DSRC を支持 9%、C-V2X を支持 9%

となり、技術に中立であるか、欧州のように両方を採用する hybrid 通信への期待と思われる。

【NPRM に引き続き反対する主なコメントの提出者は以下のとおり】

- 5G Automotive Association、Alliance for Automotive Innovation、Car2Car Communication Consortium、Center for Auto Safety、SAE International、DSRC Auto Safety Coalition などの自動車関連業界団体
- Ford、General Motors、現代自動車、ホンダ、トヨタの自動車メーカー
- アメリカ州道路交通官協会（AASHTO）、交通エンジニア協会（ITE）、アメリカ高速道路利用者連盟、アメリカ公共交通協会（APTA）などの主要インフラ産業団体
- ノースダコタ、アイダホ、モンタナ、サウスダコタ、ワイオミング各州からの共同書簡、ジョージア、テキサス、オハイオ各州からの個別書簡を含む、各州運輸省（DOTs）の書簡と、郡レベルの機関を代表して Contra Costa 交通局
- ITS America、American Trucking Association、Commercial Vehicle Safety Alliance など、分野横断的な運輸業界団体
- 国際消防長協会や全米盲人連盟などの主要ユーザー団体
- Argo AI、AT&T、Juniper Networks、Nokia、NXP Semiconductors、Savari、T-Mobile 等の技術系企業

この規則案の採択と実施が輸送の**安全**に重大な悪影響を及ぼすこと、FCC が想定していたよりもはるかに深刻な**経済的影響**を及ぼすこと、そして**干渉**問題が現在の提案に乗り越えられない技術的障害として残っていることが明確に証明されていると主張した。

これらの主要なテーマは、提出された書類の大半を占めている。

16,000 人以上の交通専門家からなる国際的なコミュニティである運輸技術者協会は、このスペクトルの再割り当てが、コネクテッドビークルや自動運転車両によって防げたはずの不必要な死亡をもたらすという主張を続けている。

【NPRM を支持するコメント】

- Broadcom、Facebook、Comcast の技術系企業
- 業界団体 Wireless Internet Service Providers Association、NCTA Internet & Television Association、Rural Broadband Association
- Citizens Against Government Waste、International Center for Law & Economics などの公益団体、Public Knowledge など複数の団体
- 「交通安全の専門家や関係者の幅広い層が、現在の 75MHz 以下の帯域幅には明確に異論

を唱えている。再割り当て案への唯一の支持は、Wi-Fi サービスを提供するためにスペクトルへの無料アクセスで利益を得ようとする側からであった。」

【主な懸念される項目】

項目 1：隣接される無線 LAN からの電波干渉

項目 2：5895～5905MHz 間での DSRC と C-V2X 間の相互干渉

項目 3：FCC の R&O では、1 年以内に 5905～5925MHz を利用している
DSRC の移行が求められているが、

① 2,175 台の DSRC 搭載車両と 75 台の DSRC ベースの RSU が運用されている
Ann Arbor 市の移行費用は 1400 万ドルを超えると試算されているが、
FCC は費用については言及しておらず全米では更に膨らむことになる。

② DSRC の実証実験では UMTRI（ミシガン大学交通研究所）が技術支援を
行なってきたが、移行のための技術者、作業者が確保できない。
大規模実証実験をする際に作業者に対しての教育・作業熟練を
図ってきており、C-V2X のための作業に関しては未知数である。

③ 新規機器実装に必要な設計に数ヶ月、調達発注の 6～9 ヶ月必要

項目 4：新規調達機器の相互運用テストが非常に重要であるが考慮されてない。

項目 5：今回の周波数再割り当ては単に周波数問題に収まらず、
USDOT 他に大きな影響を与えることから越権行為（通信法に違反）との意見も
出ている。

UMTRI では、これまでの経験から、現在の DSRC を C-V2X に改修するには最低でも 2 年、それ以上の時間がかかると推測している。項目 3、5 は直接日本へは影響しないが、技術者・作業者の確保、相互運用テストの重要性は十分参考にする必要がある。

また、2017 年に General Motors がキャデラック CTS に DSRC 搭載車を販売し、2018 年 4 月にはトヨタも 2021 年モデルまでに DSRC 技術の搭載を開始すると発表した。この直後に FCC 委員 2 名が 5.9GHz 帯域を通信免許不要で開放することに FCC が関心を示していることを示す前代未聞の書簡をトヨタに送っている。FCC は 2018 年時点で 5.9GHz 帯の再割り当てを検討していたことが推測できる。Ford Motor Company は、今後の年式で C-V2X を広く搭載する計画を発表したが、販売はされていない。周波数政策の不確実性（一貫性の欠落）が、自動車 OEM に導入を躊躇させている。

また、周波数帯域は 75MHz 幅 必要であるとも主張している。

https://ecfsapi.fcc.gov/file/10602075528041/Ford%20FCC%20FNPRM%20Comments%20Final%20June%202%202021.pdf （2022/1/15 確認）

Finally, Ford contends that preserving all 75 MHz of the 5.9 GHz band for C-V2X applications would allow for one contiguous band that would support Non-Line-of-Sight (NLOS) communication. However, if that is not achievable, there remains a need for additional spectrum for advanced C-V2X applications to fully utilize the potential of this technology going forward. Additional spectrum is needed to accommodate larger payloads and multi-way data exchanges for use in applications such as sensor sharing, intent/trajectory sharing, cooperative maneuvering, vulnerable road user safety, and further enhance advanced driver assist and 7 automated driving technologies. The transition to 5G powered C-V2X (also known as 5G NR V2X) will also bring about the need for more spectrum to help with data throughput.

The Commission has an opportunity to advance transportation safety and efficiency by facilitating the quick deployment of C-V2X technology to American travelers. Not only will the

technology help to improve vehicle safety and vulnerable road user safety, the potential for the improved movement within cities and rural areas will lead to better traffic flow and thus a reduction in carbon emissions as well.

自動車 OEM の希望する技術（DSRC、C-V2X、またはその両方）は一様ではないが、いくつかの提出文書では、利害関係者が相互運用性という大きな目標にまとまり、75MHz を完全に維持しながら、技術的差異の解決に焦点を当てる必要があると述べている。

① General Motors は、5.9GHz ITS 専用の 75MHz 帯域で業界全体の V2X 展開計画を定めるための期間を FCC が交通社会（自動車メーカーやインフラの所有者／運営事業者）に認めるよう提案した。

② トヨタは、自動車メーカーとインフラ事業者が今後利用する単一の通信プロトコルを、一定期間内（おそらく 12～18 ヶ月）に欧州委員会に提示する作業を米国運輸省に委託することを提案した。その時点で、欧州委員会は、特定されたプロトコルを規則に取り入れることになる。米国運輸省が DSRC または 5G NR V2X のいずれかを特定した場合、委員会は、特定したプロトコルと同じチャンネルで相互運用性および後方互換性がある将来の技術も帯域内に許可するよう規則を作成する必要がある。

③ ホンダは、FCC と USDOT が独立した裁定委員会または監視委員会を任命し、75 MHz の使用を管理・監督することが、現時点での最善かつ最も効率的な道であると提案した。V2X の基本安全メッセージ（BSM）が意図したとおりの効果を広く発揮するためには、すべての車両が単一の通信プロトコルを持つことが不可欠であることに変わりはない。

④ Volkswagen は、5.9GHz 帯域の V2X 技術について技術中立的なアプローチを支持すると

明言した上で、**FCC が自動車メーカーに最適な技術を決定させるべきであると提言**している。5.9GHz 帯域で運用される安全通信には高い信頼性が要求される。ITS スペクトルの V2X システムに対して十分な保護が保証されない限り、今回の提案では隣接チャンネル干渉が大きくなることが大いに懸念される。

【法的な議論として】訴訟中の意見

◎ ITS America、ユタ州 DOT、Alliance for Automotive Innovation・・意見提出者

- NPRM は DSRC を完全に排除する可能性があり、これは通信法 312 条の違反となる。
- 現在の通信免許保持者は通信免許条件を満たしており、FCC の人格・適性に関する方針に違反していないため、通信免許を取り消す根拠はない。

【訴訟の見通しと考察】

懸念される相互の電波干渉に関しては、無線電波の特性上「重大な懸念」となるが、
DSRC 陣営と C-V2X 陣営の測定条件が一致してなく、かつ無線機器の性能
（アンテナ、フィルター等）設置条件なども同一になっていないため、軽々には判断できない。
NPRM へのコメントの中には、FCC が責任を持って安全性を確認すべきとある。
Oral Argument （口頭弁論）が 1 月 25 日から開始され、
ITS America から即日 News release が発信された。
“ITSA, AASHTO Reiterate Full 5.9GHz Band Needed to Reduce Crashes”が出された。
https://itsa.org/news/itsa-aashto-reiterate-full-5-9ghz-band-needed-to-reduce-crashes/ （2022/1/26 確認）
米国の自動車 OEM ロビー担当の非公式コメントでは、今年 6 月頃に判決となる見通しだが双方が上告すると思われるので、更に長引くことが予想されるとのこと。
日本の関係者の中には、米国と同調し DSRC 陣営と C-V2X 陣営が互いの主張のみを発信している者が多いが、FCC の 5.9GHz 帯の周波数再割り当ての核心は、ITS 向けに十分に周波数が割り当てされない事で、協調型システムが成立しない事である。
また、NHTSA の Press Release によれば、上半期の交通事故死者数、急増、2006 年来最悪の数との事で、国際消防長協会や全米盲人連盟などの主要ユーザー団体からは、技術方式に拘らず、安全確保のための方策を早急に導入すべきとの声が大きい。したがって、欧州のように G5（DSRC）と C-V2X（現時点では 4G/3G）との Hybrid Communications を目指すかも
しれない。
https://www.nhtsa.gov/press-releases/usdot-releases-new-data-showing-road-fatalities-spiked-first-half-2021（2022/1/15 確認）
USDOT Releases New Data Showing That Road Fatalities Spiked in First Half of 2021

Secretary Buttigieg calls rising traffic deaths a crisis and calls for cooperation among all levels of government, industry, and advocacy to change course

October 28, 2021| Washington, DC

5) 通信システムの標準化について（国際・国内連携チーム）

■ 該当項目の背景と目的

2025 年度の実用化を考慮すると国際標準化された新たな協調型 ITS 向けの高度な無線システムの開発・整備は、現段階ではまだ定義できていないため、現状の商用セルラーシステム（4G/5G）、760MHz 帯を利用した ITS 無線（ITS Connect：車車間通信、路車間通信）、5.8GHz 帯を利用した ETC/ETC2.0/DSRC、無線 LAN など、現時点で国内利用できる通信メディアとする。

図 235 に示す通り調査しまとめた。現時点で国際電気通信連合 無線通信部門 ITU-R で ITS 用に国際勧告されている ITU-R M.2084 は表 95、標準化策定のフローは図 236 に示す通り

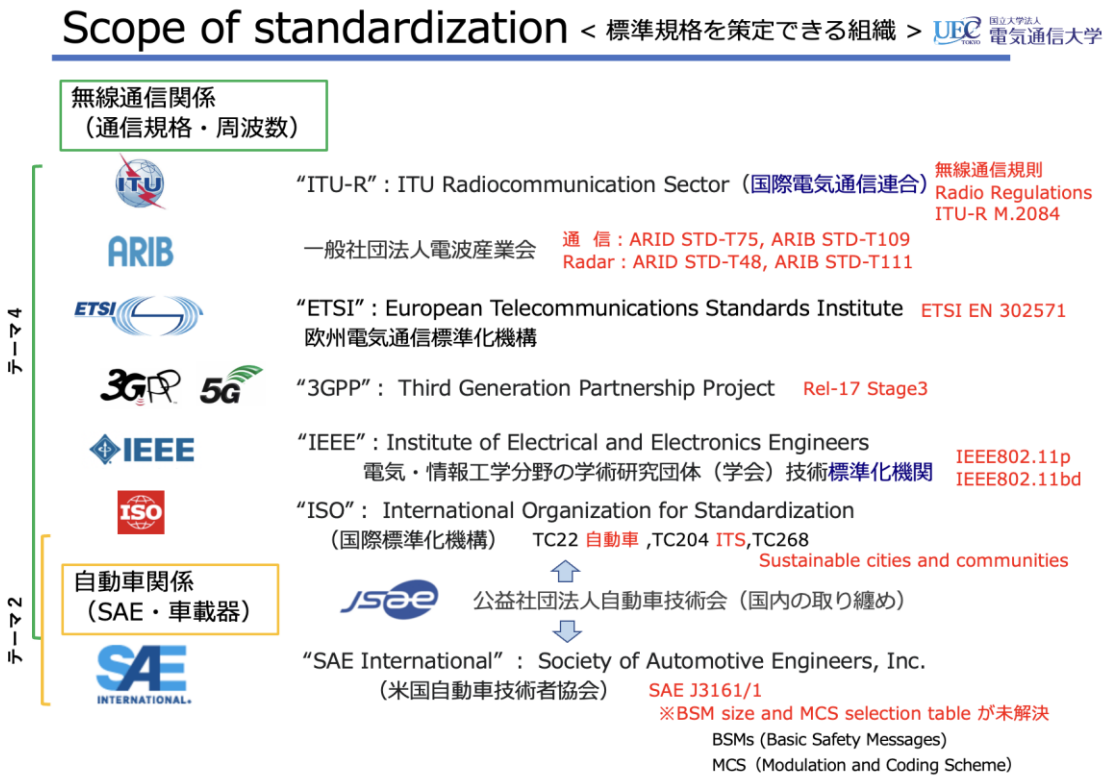


図 235 標準規格を策定できる組織

【ITS 用に勧告されている無線通信 ITU-R M.2084】　　(2022/1/15 確認)

表 95　ITU-R 勧告 M.2084

Parameter	ETSI (Annex 1)	IEEE (Annex 2)	ARIB (Annex 3)	TTA (Annex 4)
Operating frequency range	5 855-5 925 MHz	5 850-5 925 MHz	755.5-764.5 MHz (Single channel)	5 855-5 925 MHz (Pilot system)
RF channel bandwidth	10 MHz	10 MHz or 20 MHz	Less than 9 MHz	Less than 10 MHz
RF Transmit Power/EIRP	Max 33 dBm EIRP		–	23 dBm
RF transmit power density			10 dBm/MHz	

※ ETSI EN 302571、 IEEE Std 802.11p、 ARIB STD-T109、TTAK.KO-06.0175/R1

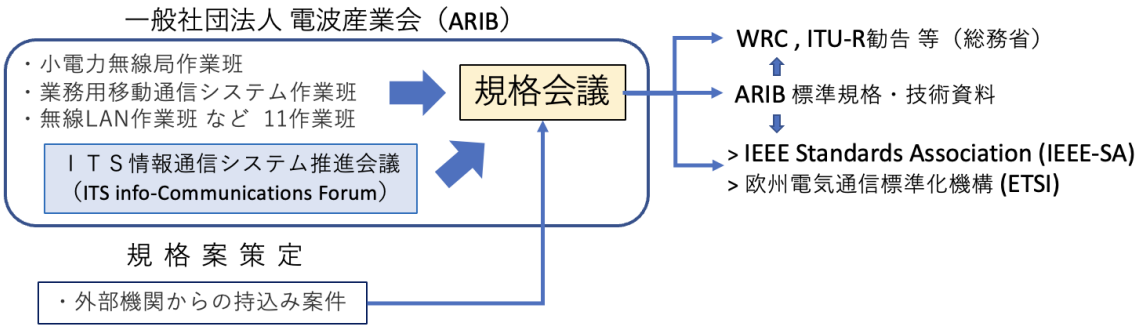


図 236　標準化策定のフロー

国内：標準規格案策定・・・6 ヶ月～1 年以上必要

国際：WRC, ITU-R 勧告には、日本の標準規格・技術資料が必要であり 3～5 年以上必要

※ 760MHz 帯高度道路交通システム　ARIB STD-T109（ITS Connect）の場合

2007 年度プレ実証実験（国交省と共同）～ 2008 年度大規模実証実験（国交省と共同）

2012 年 2 月 国内 ARIB 規格策定 ～ 2015 年 9 月 ITU-R M.2084 勧告まで約 8 年必要。

公益社団法人自動車技術会 ITS の標準化 2021 資料より ITS に関する標準化機関等の関連図は図 237 に示す通り。

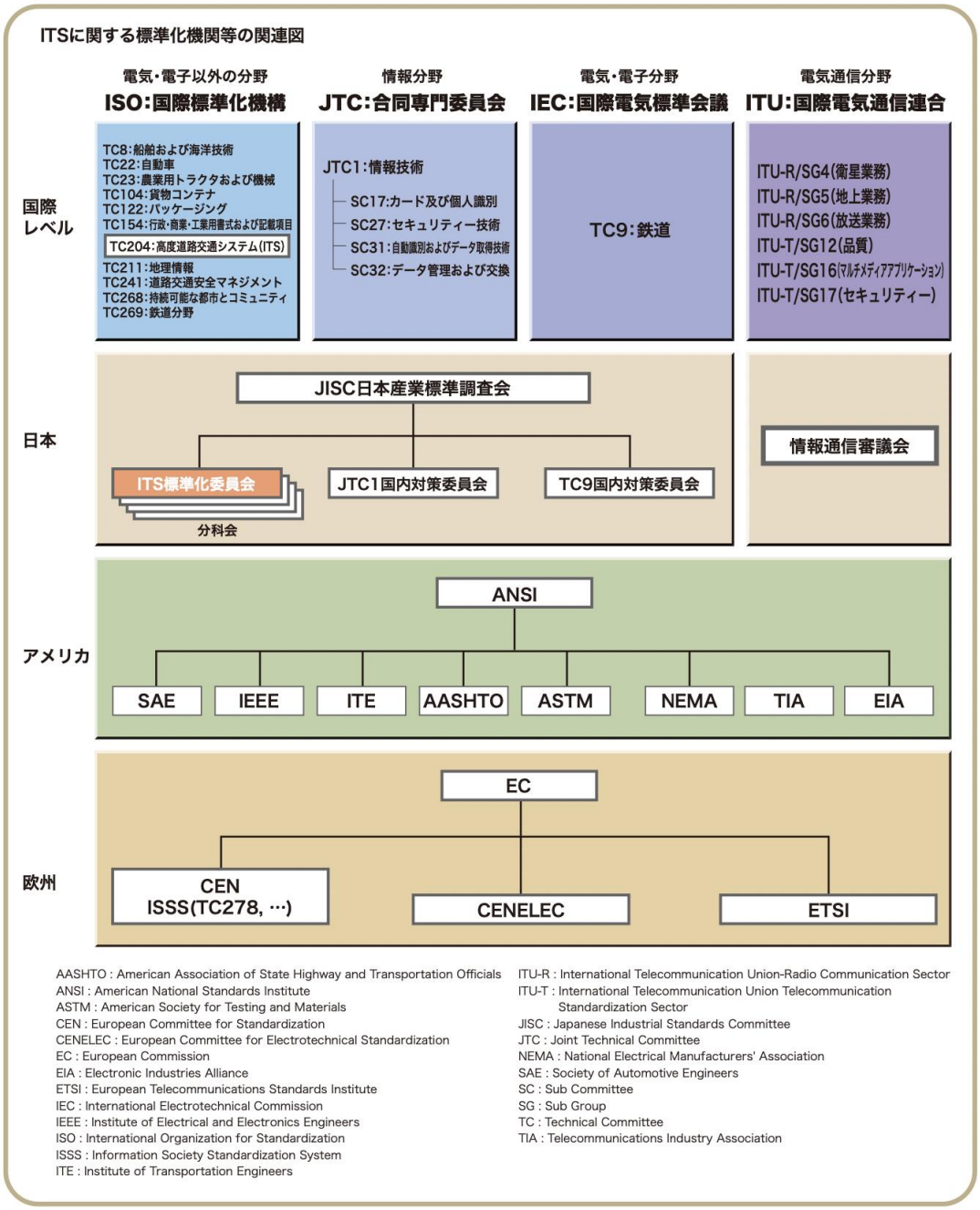


図 237　ITS に関する標準化機関等の関連図

出所 公益社団法人自動車技術会 ITS の標準化 2021 (2022/1/15 確認)
https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2021_jp.pdf

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．各種協調型システムの性能評価・比較

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 協調型システムに求められる要件として、柏の葉自動運転バスのプレ実証を対象に、路車協調の取組と従来の国プロ等の事例から協調型システムに求められる要件の整理を行った。また、テーマ 4 統括委員会ワーキングに参加する車両メーカー、インフラメーカーを対象に、協調型システムに求める要件に関するアンケート調査を実施し、その整理を実施した。
- 協調型システムを活用した、レベル 2 以下の車両等との共存を含めた適用として、レベル 3 以下、ADAS 機能付き車両への効果とその実現性の調査として、テーマ 4 統括委員会ワーキングに参加する車両メーカー、インフラメーカーを対象に協調型システムの適用シーンとその要件に関するアンケート調査、ヒアリングを実施した。
- ハンズオフレベル 2 で走行する柏の葉自動運転バスの既往研究を参照に、安全運転支援への協調型システムの効用と評価に関する検討を実施した。・協調型システムを構成するデータプラットフォームの概念設計として、車両メーカー側のニーズとインフラメーカーのシーズを比較し、協調型システムの仕様検討を行った。車両メーカー側が求める協調型システムの要件は、レベル 4 とレベル 2 以下で大別され、レベル 4 で求める要件として、自動運転の制御に活用する際、提供される情報の精度・タイミング・信頼性が担保されること、自動運転車両のセンサーに求められる性能と同等である必要があることがあげられた。また、レベル 2 以下で求める要件として、ドライバーへの情報提供の種類（単なる情報、注意関係、警報）や制御への使用有無に応じ、適切な信頼度を設定することが必要であることがあげられた。一方、協調型システムの性能としては、特定の条件下では、非常に高い性能であるが、周辺環境により低下する場合があり、性能の評価する項目としては、時空間の検知精度、データ欠損率、過検知・誤検知率、システム稼働率に加え、検出時間遅れ(Latency)も考える必要があることが示された。

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

■ 該当項目の背景と目的

レベル 4 自動運転を実現するための協調型システムを公道実証実験で実装するうえで、その普及を見据えると、レベル 3 以下の車両への適用性も考慮して開発を行うことも重要となる。また、2022 年度に協調型システムの仕様設計に落とし込めるよう調査を実施する必要があることから、レベル 4 の自動運転車両も見据えつつ、本項ではレベル 3 以下の自動運転車両が協調型システムを活用する際に必要な性能要件等について検討及び評価を行うものである。

■ 実施方針

レベル 3 以下の車両への適用性も考慮した協調型システムの性能要件等を調査するにあたり、自動運転車両を開発する OEM や路側インフラを開発するメーカー等にアンケート及びヒアリングを行い、当該システムに必要な性能要件等の検討と評価を行った。なお、レベル 4 の車両とレベル 3 以下の車両での協調型システムへの性能要件等を比較するために、レベル 4 の車両を含めて車両側のニーズを把握した。

■ 実施事項と実施方法

i） 協調型システムの活用場面検討

本年度は協調型システムの特徴を整理して、路車協調システムが自動運転の安全な走行もしくは停車に有効に作用する場合を検討した。検討のため、協調型システムの特徴を、システム動作が正常であるか異常であるかの観点と、ODD として想定された場面であるか、そうではないかの観点から、表 96 の通り整理した。自動運転の運行に当たっては、定められた ODD の範囲内で走行することが前提となる。ODD 範囲内で生じる道路交通上の事象は十分に想定されるべきである。表側で設定した、ODD 内は通常の走行状態であると定義できる。道路上で生じうると言えるが ODD の範囲外とするものは、ODD 外にあって通常ではないが、想定可能なものであると言える。これは、国土交通省道路局より示されている自動運転車の安全設計ガイドラインに示されている。以下の考え方を、今回の整理についても原則として、限定された空間内をある運行時間内に走行する自動運転車両を想定して検討を行った。

具体的な事例としては、自動運転車両に備えられた装置の故障や、自動運転車両に対して他車両が衝突した場合、例えば、追突される場合等、が考えられる。また、災害のうち、緊急地震速報で数秒前から検知ができる地震の発生や予報されている豪雨豪雪など、あらかじめ予想ができる事象が該当する。ODD 外のもので、想定が困難なものが緊急となる。例えば緊急地震速報が間に合わない直下型地震の発生や、突発的な暴風雪等が当たる。また、冗長化された自動運転車両の走

行システムが同時に故障する場合や、道路陥没等が考えられる。一般的に緊急の事象は発生確率が十分に小さいこと、一例としては、故障の発生確率が 1 運行当たり 10^{-6} オーダーであるなど、が特徴である。

表頭については、自動運転車両に搭載されたシステムやセンサーの機能が正常に動作しているか、異常な状態にあるかで区別している。正常な状態とは、設計通りの機能および性能を発揮している場合と定義し、そうでない場合を異常と定義した。表中、MRM は車両を安全に停車させるための動作である、Minimal Risk Maneuver の略称である。

表 96　協調型システムの活用が期待される組み合わせ検討(2021 年度検討)

		事例	L4自動運転車両の走行装置・車両センサなどの機能	
			正常	異常
ODD内	通常	定められたルート走行 限られた時間の運行 道路交通法を遵守して走行 緊急車両（退避の実行）	（ODD内なので想定された走行を実行）	※内的要因（自立系の異常）で走行継続が困難になる. ・運行に支障のないセンサが機能不全 ・安全に停止するためのセンサが機能不全 →退避行動を実行.
ODD外	緊急	緊急車両（停車後の再開） 事故車両（発生直後） 自車が衝突された 緊急地震速報 津波警報 ゲリラ豪雨・竜巻 等	※外的要因で走行継続が困難になる. ・車両は異常加速度に応じて対応 ・車両が警報等の発進情報を受信 →退避行動を実行. 安全確認後の再開. ※自立の自動運転車では検知に限界がある. 協調型システムであれば, 外的要因を検知できると期待.	※外的要因は検知できているが, 対応するための手段が異常のため存在しない. ・非常停止ボタンの故障 ・冗長化されたシステムの片方を活用可能 ・人間による対処が必要な領域 ※すべての車載ブレーキが故障した時など安全に停止できない場合もある
	非常事態 発生確率 10^{-6}/運行オーダ以下	冗長化されたシステムが同時に機能不全・喪失 ※車両の致命的な故障 直下型地震 ※緊急地震速報が間に合わない ※一般的に, 発生頻度が極めて低い多く該当	→退避行動を実施する →乗客や遠隔監視者による運行停止 (非常通報・非常停止ボタン)	自動化されたシステムで対処できることは極めて限られる. （冗長化されたシステムが同時に故障し, かつ, 直下型地震に遭遇する等） 人間が直接目視するなどの対処が必要

表 96 のうち、ODD 内通常にあって車両や路車協調システムが正常に機能している状態は、移動サービスとしてデザインされた自動運転が行われている状態であると言える。ODD 内通常にあって車両の機能が異常状態にある場合として、運行に支障しないセンサーの機能不全や、安全な停止のためのセンサーの機能不全が考えられる。

ODD 外で緊急の場合、車両の機能が正常であるならば、路側からの情報提供が対応に際して有効に作用すると考えられる。例えば、緊急車両に対して道を譲ったあと、緊急車両の停車を検出して自動運転車両が停車した後に再発車をする場合、進路上の障害物を通知する場合や、天候急変、地震発生などは車両が遭遇するまでに猶予時間を作ることができる。この組み合わせに対して路車協調システムを実装することで、運行を継続することが可能となる場面は増えると考えられる。

ODD 外・緊急で車両機能に異常が発生した場合への対応は、車両のシステムを冗長化する場合や、路側で車両側の機能と同等の機能を路側で確保することが望ましい。車両側のシステムの片方が機能しない場合はインフラ側で代替することも考えられる。この組み合わせでも、路車協調システムが自動運転の継続や安全な停車の実現に与える影響は大きいと考えられる。

ODD 外・非常事態の場合では、車両機能が正常・異常を問わずに自動運転よる運行の継続や停車の対応は難しい。特に、ODD 外・緊急の場合に車両機能が異常の際には安全な停車や、停車後の安全確保が難しいと考えられる。

路車協調システムが存在する場合、ODD 外・想定可の場合にも自動運転による運行を安全に継続する、あるいは、安全に停車させることが可能と考えられる。そのための要件は、表 96 の組み合わせにより異なる。今後は、具体的な機能要件や性能要件の整理が必要である。

ii） アンケート調査の実施

過年度の実験において協調型システムが必要と想定される 3 つのユースケースを主な対象として、協調型システムから提供して欲しい（提供できる）情報や、協調型システムに求められるサービス要件（性能）、実現する上での課題等について、テーマ 4 統括委員会 WG の参加メンバーにアンケートを実施し、アンケートへの回答内容をもとに、ヒアリングを実施した。

iii） とりまとめ方針

各自動車 OEM、インフラメーカーから集約したアンケート結果をもとに、2025 年頃のサービス展開に向けた協調型システムの仕様案を検討する。また、当該検討と併せて、各メーカーからの意見を踏まえて、来年度以降に取り組むべき課題を整理する。

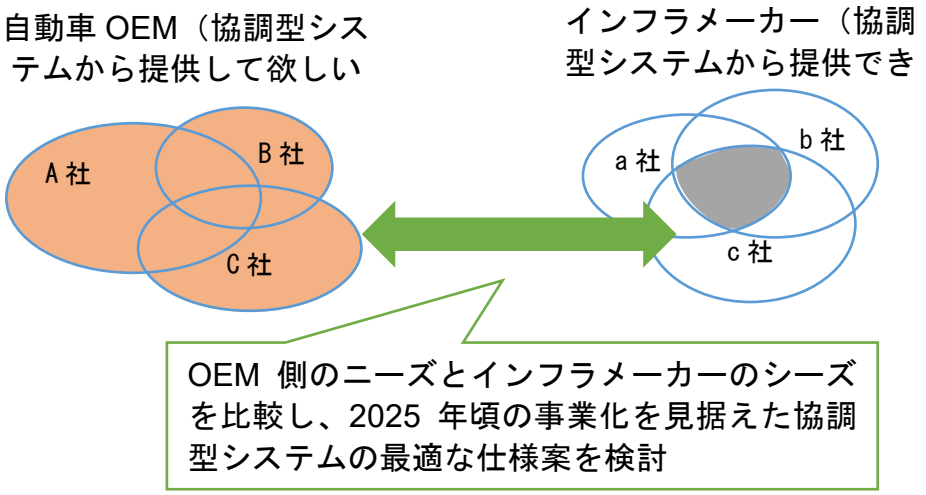


図 238　アンケート結果のとりまとめイメージ

iv) 調査結果

本調査を実施するにあたり、OEMやインフラメーカー等へのアンケート調査票を作成した。また、アンケート及びヒアリング結果のとりまとめを行い、レベル3以下及びレベル4自動運転サービスを運行するために協調型システムから提供して欲しい情報、また協調型システムに求められるサービス要件・通信要件（性能要件、信頼性、責任分担等）について検討、評価を行った。

① アンケート調査票の作成

協調型システムの要件等を把握するための「OEM向けアンケート」及び協調型システムで実現可能な性能等を把握するための「インフラメーカー向けアンケート」を検討した。

(a) 設問の設定

a) 自動運転のレベルに関する設問

自動運転技術が確立されていない現状において、回答者が想定する自動運転「レベル4」及び「レベル3以下」の性能等に違いが生じる可能性があることから、共通認識となるような事例を明記するとともに、必要に応じて回答者が条件設定できるよう設問を設定した。

《設問》OEM・インフラメーカー向け

- 自動運転レベル4：本アンケートを回答いただくうえで、当該車両の性能を設定いただける場合は、下記にご回答ください。
  なお、当該車両の性能設定が難しい場合は、下記の想定でご回答ください。
  ○経済産業省の実証実験で用いてきた中型自動運転バス
  https://www.meti.go.jp/press/2019/01/20200122005/20200122005-1.pdf

- 自動運転レベル3以下：本アンケートでは、オーナーカーに対して行う情報提供型の運転支援を想定してください。なお、当該車両の性能を設定いただける場合は、下記にご回答ください。

b) ユースケースに関する設問

本調査では、協調型システムの要件を具体的に把握するため、協調型システムが必要となるユースケースを設定してアンケートを実施するが、当該ユースケース以外にも検討が必要なユースケースを洗い出すための設問を設定した。

なお、当該設問は、OEM・インフラメーカー向けの両アンケートに設定した。

c) 協調型システムの性能及び事業化の課題等に関する設問

今後、協調型システムの事業化を図るうえで、具体的な提供情報の要件や課題等を把握するために、OEM 及びインフラメーカー向けに、それぞれ以下の設問を設定した。

《設問》OEM 向け

○協調型システムの要件について

・協調型システムから提供される情報を自動運転車両側で使用する場合の要件（時空間の検知精度、データ欠損率、未検知・誤検知率、システム稼働率等）について、自動運転の「レベル 4」及び「レベル 3 以下」毎の視点でご記入ください。

○協調型システムの事業化に関する課題

・今後、協調型システムを事業化するうえでの課題（例：インフラから提供した情報によって事故等が発生した場合の法的責任の所在など）について、自動運転の「レベル 4」及び「レベル 3 以下」毎の視点でご記入ください。

《設問》インフラメーカー向け

○協調型システムの性能について

・協調型システムから提供する場合の性能（時空間の検知精度、データ欠損率、過検知・誤検知率、システム稼働率等）についてお答えください。

○協調型システムの事業化に関する課題

・協調型システムを事業化するうえでの課題（例：インフラから提供した情報によって事故等が発生した場合の法的責任の所在など）について、お答えください。

(b) アンケート調査票の作成

(a) で設定した設問をもとに、下記 3 つのユースケースをもとに、アンケート票を作成した。

《本アンケートで対象としたユースケース》

○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：見通し悪い無視号交差点の通過

② アンケート結果のとりまとめ

③ レベル 3 以下に関するアンケート結果のとりまとめ

(a) 自動運転レベル 4,3 で走行する際に OEM が想定する条件

OEM が想定する条件では、自動運転レベル 4 では自車が自律的に対処できることとしているのに対し、レベル 3 以下では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こととしている。

それらの意見を踏まえると、レベル 3 はレベル 4 と基本的には同じであるため、「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。

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

(b) OEM が提供してほしい情報のレベル 4 とレベル 3 以下(レベル 2 含む)の違い

ユースケース別の協調型システムから OEM が提供してほしい情報のレベル 4 とレベル 3 以下(レベル 2 含む)の違いを整理した。

全般的に、レベル 3 以下が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レベル 3 以下のほうが多い傾向にある。

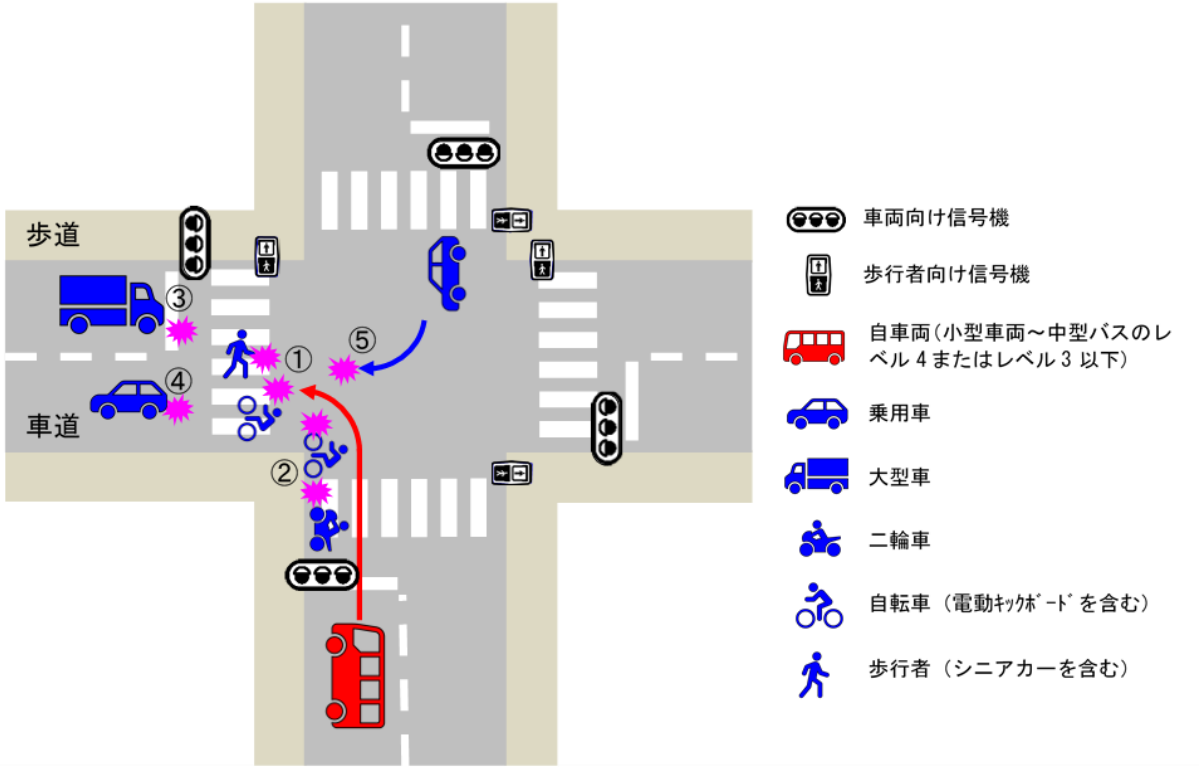


図 239　ユースケース 1：信号交差点の右左折　（左折時）

表 97　協調型システムから OEM が提供してほしい情報、インフラメーカーが提供可能な情報

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー 3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
a. 左折先横断歩道周辺の歩行者	2 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可
b. 左折先横断帯周辺の自転車	2 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	1 社が提供可　2 社は△※
c. 同一車線の二輪車	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
d. 同一車線の自転車	1 社が必要【小】	－	1 社が提供可　2 社は△※
e. 左折先の対向車	1 社が必要【小】	1 社が必要【小】	3 社が提供可
f. 対向車線の自動車	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	3 社が提供可
g. 対向車線の二輪車	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
h. 車両用信号のサイク	4 社ともに必要【小～	3 社が必要【小～大】	3 社が提供可

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー 3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
ル情報（現示含む）	大】		
i.歩行者用信号のサイクル情報（現示含む）	4 社ともに必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可

【　】：必要性の大きさ　　※△：どちらともいえない

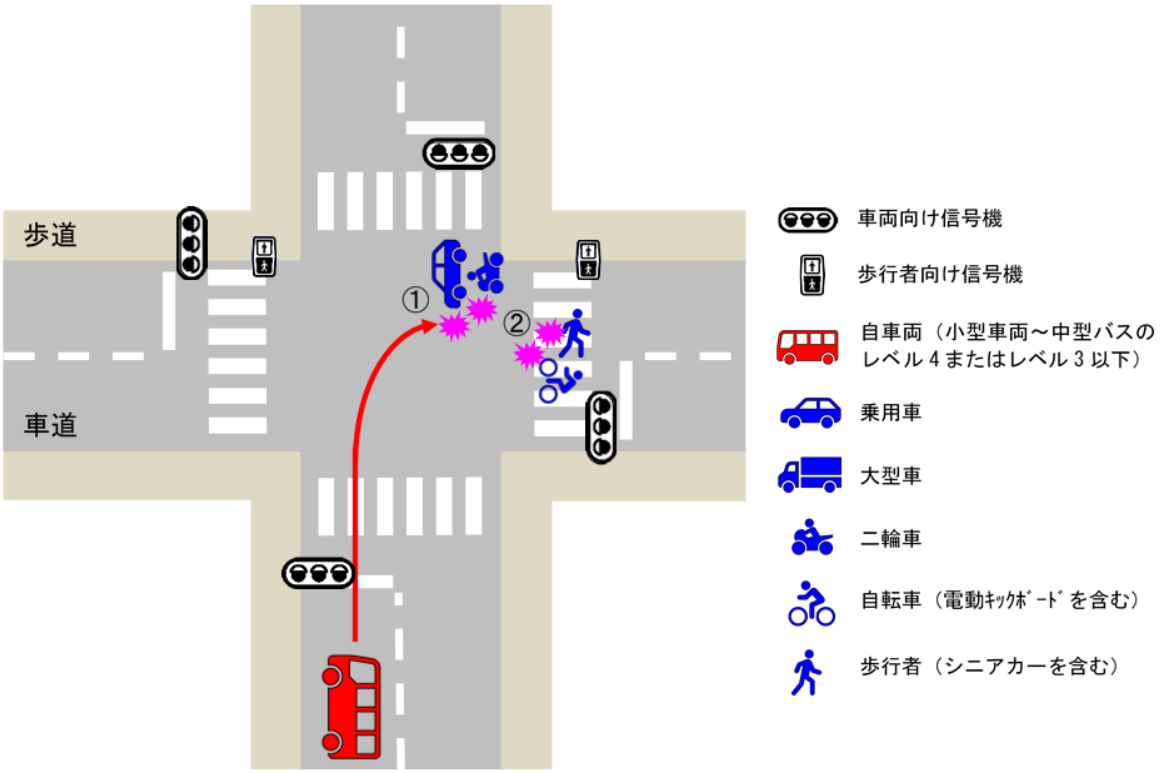


図 240　ユースケース 1：信号交差点の右左折　（右折時）

表 98　協調型システムから OEM が提供してほしい情報、インフラメーカーが提供可能な情報

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー 3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
a. 右折先横断歩道周辺の歩行者	2 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可
b. 右折先横断帯周辺の自転車	3 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	1 社が提供可　2 社は△※
c. 対向車線の二輪車	3 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	2 社が提供可　1 社は△※
d. 対向車線の自動車	3 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	3 社が提供可
e. 車両用信号のサイクル情報	3 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	3 社が提供可
f. 歩行者用信号のサイクル情報	3 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可

【　】：必要性の大きさ　　※△：どちらともいえない

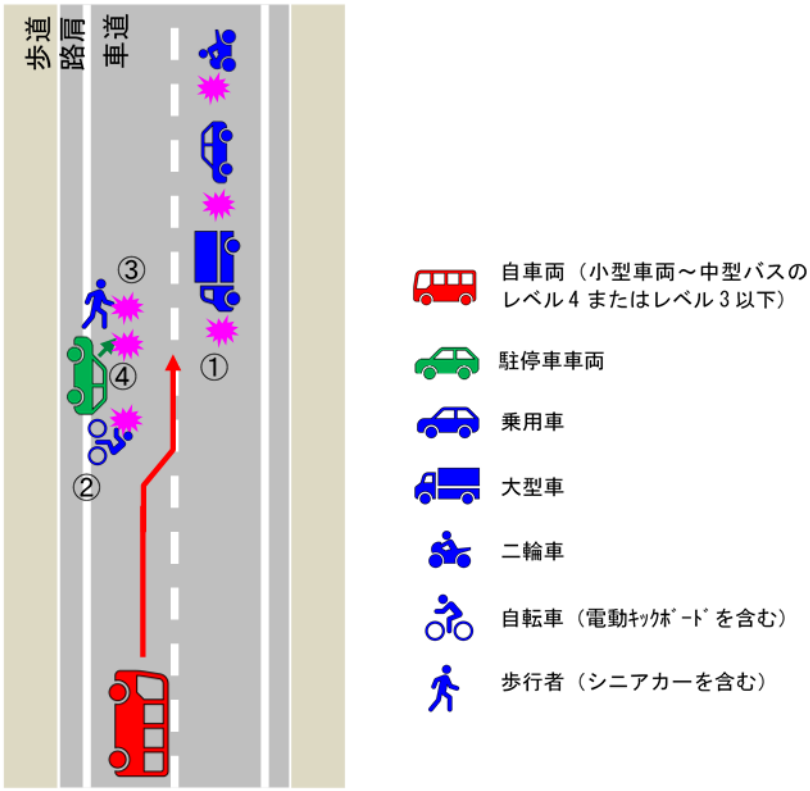


図 241　ユースケース 2：路肩の駐停車車両の回避

表 99　協調型システムから OEM が提供してほしい情報、インフラメーカーが提供可能な情報

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
a. 対向車線の自動車	3 社が必要【小～中】	2 社が必要【小～中】	3 社が提供可
b. 対向車線の二輪車	3 社が必要【小～中】	2 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
c. 同一車線の自転車	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	1 社が提供可　2 社は△※
d. 車道の歩行者	3 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	1 社が提供可　1 社は△※
e. 路肩の駐停車車両	3 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可
f. 回避するための走行位置	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	1 社のみ△（車線数など条件による）
追加：路肩車両に隠れた歩行者	1 社【大】	1 社【大】	
追加：駐車車両のドアの動き	1 社【大】	1 社【大】	

【　】：必要性の大きさ　　※△：どちらともいえない

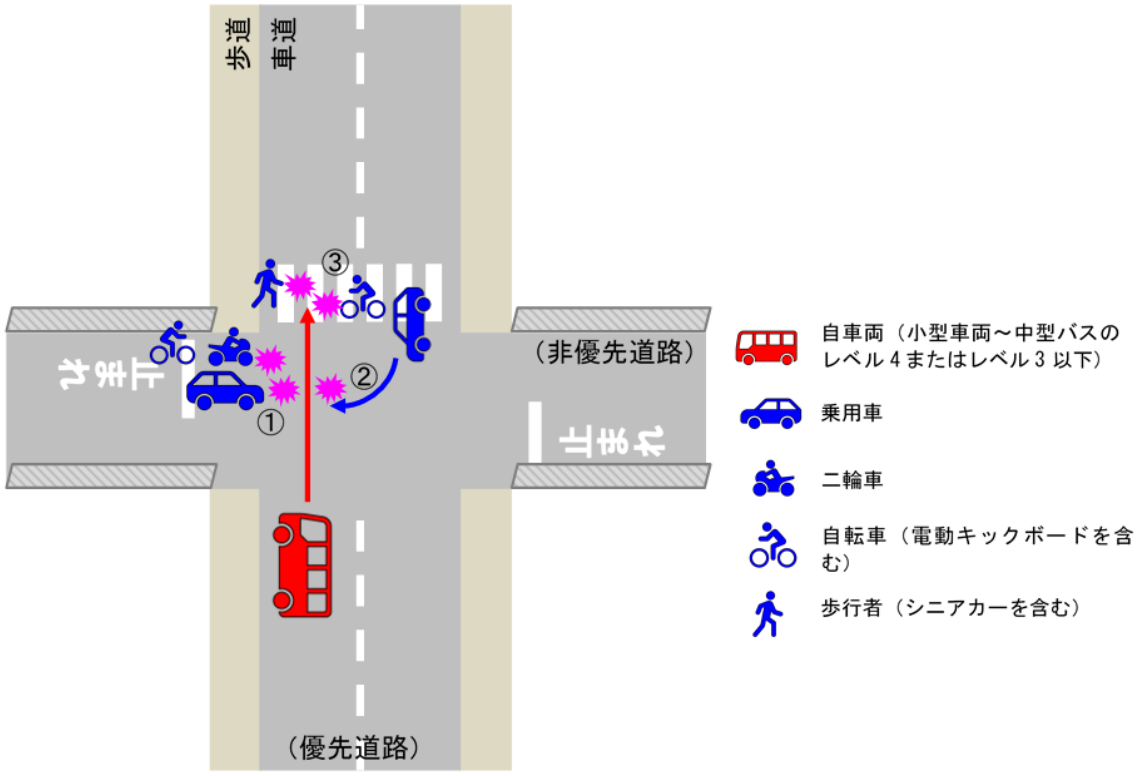


図 242　ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過（優先道路走行時）

表 100　協調型システムから OEM が提供してほしい情報、インフラメーカーが提供可能な情報

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
a. 非優先道路の自動車	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	3 社が提供可
b. 非優先道路の二輪車	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	2 社が提供可　1 社は△※
c. 非優先道路の自転車	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	1 社が提供可　2 社は△※
d. 優先道路横断歩道周辺の歩行者	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
e. 優先道路横断歩道周辺の自転車	1 社が必要【小】	2 社が必要【小～中】	1 社が提供可　2 社は△※
f. 対向車線の自動車	2 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	3 社が提供可
g. 対向車線の二輪車	2 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※

【　】：必要性の大きさ　　※△：どちらともいえない

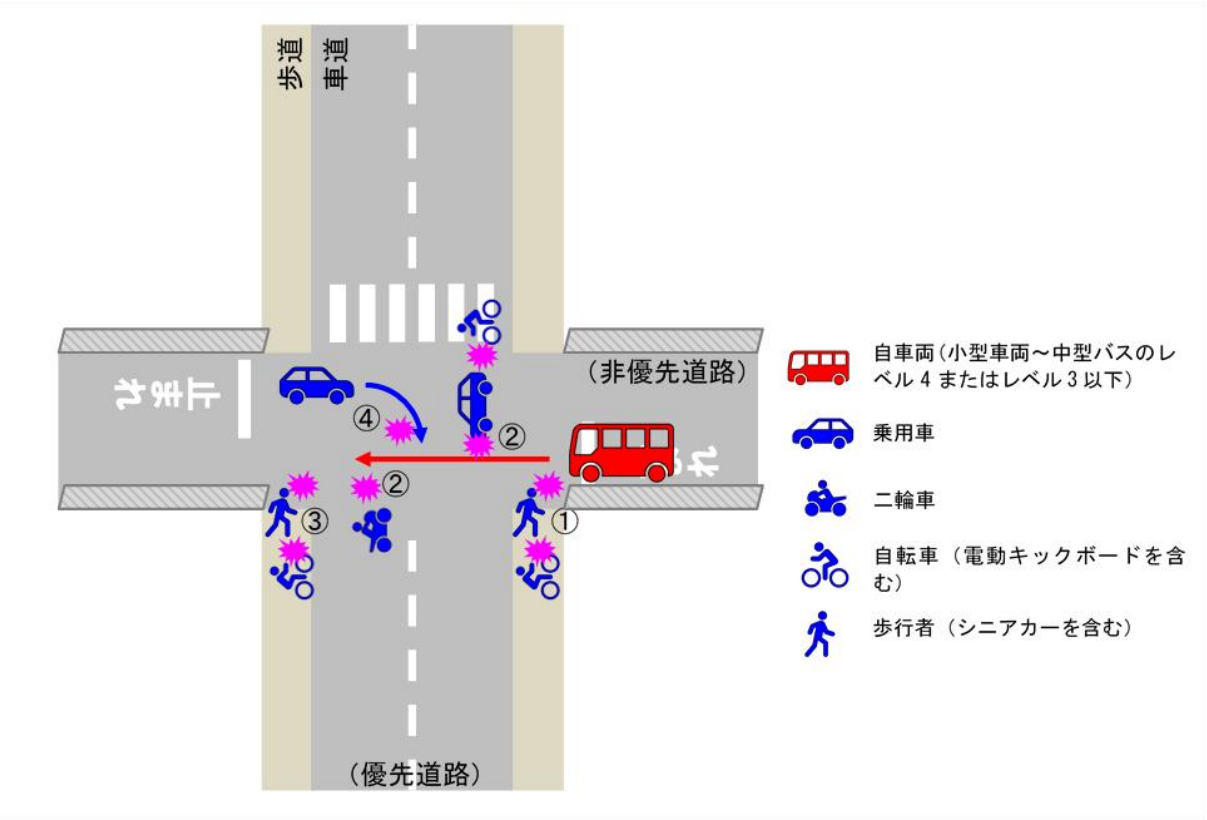


図 243　ユースケース 3：見通しの悪い無視号交差点の通過（非優先道路走行時）

表 101　協調型システムから OEM が提供してほしい情報、インフラメーカーが提供可能な情報

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー3 社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
a. 優先道路の自動車	4 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	3 社が提供可
b. 優先道路の二輪車	4 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	2 社が提供可　1 社は△※
c. 優先道路の自転車	4 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	1 社が提供可　2 社は△※
d. 優先道路進入口周辺の歩行者	4 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
e. 優先道路進入口周辺の自転車	4 社が必要【小～中】	3 社が必要【小～中】	1 社が提供可　2 社は△※
f. 優先道路先の歩行者	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	2 社が提供可　1 社は△※
g. 優先道路先の自転車	2 社が必要【小～大】	3 社が必要【小～大】	1 社が提供可　2 社は△※

情報	OEM 他　4 社		インフラメーカー3社
	Lv4(Lv3 を含む)	Lv2 以下	
h.対向車線の自動車	2 社が必要【小】	3 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※
i.対向車線の二輪車	2 社が必要【小】	3 社が必要【小～中】	2 社が提供可　1 社は△※

【　】：必要性の大きさ　　※△：どちらともいえない

(c) レベル 3 以下の車両への適用性に関する意見

ドライバーへの情報提供の種類（単なる情報、注意関係、警報）や制御への使用有無に応じて、適切な信頼度を設定することが必要との意見であった。

また、定量的な要件は今後、官民で検討すべきとの意見があった。

④ 協調型システムの要件整理

自動運転レベル 3 以下、およびレベル 4 において、協調型システムに期待する要件について整理した。

(a) レベル 3 以下の自動運転サービスを運行するために、協調型システムから提供して欲しい情報

OEM のアンケート調査からは、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。

また、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、協調型システムから提供してほしい情報は、各ユースケースで下記に示す項目ではあるが、適用箇所・適用条件について、今後、実証実験等を通じて検証・評価していくことが必要である。

なお、ドライバーへの情報提供の種類（単なる情報、注意関係、警報）や制御への使用有無に応じて、適切な信頼度を設定することが求められている。

以上の内容を表 102 にまとめる。

表 102　レベル 2 以下の自動運転サービスを運行するために
協調型システムから提供して欲しい情報一覧

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)	○	○	－	－	－

(b) レベル 4 の自動運転サービスを運行するために、協調型システムから提供して欲しい情報

2－2. Ⅰ 1）で報告したアンケート調査結果は交通場別に整理をしているが、協調型システムを様々な地域に展開するためには、地域によらず一般的に協調型システムが必要とされている場面を抽出し、分析する必要がある。そこで、自動運転車の走行方法（進路）および考慮すべき他の交通参加者の行動との組み合わせとして整理する。自動運転車の走行方法は「直進」「左折」「右折」「障害物（駐車車両）回避」に分類し、他の交通参加者の行動は「横断歩行者／自転車」、「対向自動車／二輪車」、「並走二輪車」、「交差道路車両」に分類した。2－2. Ⅰ 1）で報告したアンケート調査のうち、OEM が回答した協調型システムが有効なシナリオ、および、協調型システムから提供してほしい情報に関して、協調型システムに利用価値があると回答した数を、ここで提案する分類方法に基づき集計した。表 103 は協調型システムが有効であるかどうかを質問したアンケートに関する回答であり、表 104 は Level4 走行を実現する際の協調型システムから提供される情報の活用可能性に関する回答結果を集計したものである。

表 103　協調型システムの有効性

		自動運転車進路			
		交差点			単路
		直進	左折	右折	障害物回避
対象属性・位置	横断歩行者	1	3	3	3
	横断自転車	1	3	3	3
	対向自動車	1	2	3	3
	対向二輪車	1	2	3	3
	並走二輪車		2		2
	交差道路車両	2	1		

表 103 の有効性の面では、自動運転車が右左折、および障害物回避を行う場面に関する有効性が高く、特に、横断歩行者・自転車への有効性が高い結果となった。他にも、対向車に関する有効性が高いという結果となっている。回答数の多い右折および障害物回避時の対向車は、自動運転側が非優先側の立場から相手の進路上を走行する場面である。また、横断歩行者・二輪車も同様に、優先すべき対象者の進路を自動運転車が横断するという場面である。これに対して、左折時および直進時の対向車は、自動運転車が優先側である場面である。この結果から、自動運転車を実装する際には、安全性および保冷順守を確実化するために、自車両が非優先側であり相手の進路と交錯する場面において、相手を検出する協調型システムへの有用性が高いと判断されている。

次に、Level4 自動運転車を実現する際に活用したいと考える情報としては、右折、障害物回避時の他の交通参加者情報は有効性と同様に高い結果となった。右折場面においては、自動運転車の進路と交差する対向車線の情報提供に活用性が高く、さらに、その進路を横断する歩行者・自転車の情報も活用性が高いという結果となっている。よって、協調型システムが優先的に提供すべき情報としては、自動運転車の走行ルートに交差・横断する進路をもつ交通参加者の情報であるという結果を得た。この点は、交差点直進時における非優先側の右折待ち対向車の情報提供の活用性が、有効性に比べて高いポイントとなっている点にも表れている。一方で、左折時に関しては協調型システムの有効性ポイントに対して、活用性が低下している。これは、左折時には対象者が隣接する歩道の歩行者や停車中の車両であることから、自律的に計測できる可能性が高く、協調型システムからの提供に関する必要性が低くなっているものと考えられる。この場面における有効性は高いので、協調型システムからの提供が不要というまでではないものの、データ計測の優先度としては、右折や障害物回避で活用できる対向車側に準じる。

表 104　Level4 走行時の協調型システムの活用性

		自動運転車進路			
		交差点			単路
		直進	左折	右折	障害物回避
対象属性・位置	横断歩行者	1	2	3	3
	横断自転車	1	2	3	3
	対向自動車	2	1	3	3
	対向二輪車	2	1	3	3
	並走二輪車		1		1
	交差道路車両	2	1		

有効性に対して協調要数減（自律系で可能）

有効性に対して協調要数増（協調系に期待）

以上のアンケート調査の結果から、協調型システムにより交通参加者を検出する機能に対する有用性および需要をまとめると、以下の機能が求められているといえる。

- 優先すべき対向車線を走行する車両の検出
- 横断歩道等を横断する歩行者・自転車の検出

2) 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

一般に自動運転車両は、地図とセンサーデータを入力として、①認知、②予測、③計画という一連の処理を行い、車両を④制御する。一方、協調型自動運転では、V2X 通信を利用して車載センサーや搭乗者からは見通せない環境を協調型路側機が支援することで、人間の運転の模倣では不可能であったレベルの安全性と効率性の両立が期待されている。

協調型自動運転に必要なリアルタイムな情報共有には、車々間通信が不可欠であり、日本・欧州・米国ではそれぞれ ITS Forum メッセージ、CAM (Cooperative Awareness Message)、BSM (Basic Safety Message)といった車両情報メッセージが標準化された。これらのメッセージは日本では 760Mhz 帯、欧州・米国では 5.8～5.9GHz 帯の ITS 用無線で広告される。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、図 244 に示す通り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(CAV, Connected Autonomous Vehicle)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。

1-1 における検討結果を参考に、協調型システムに求められる要件を整理し、インフラセンサーシステム、デジタル地図、道路空間などの協調型システムの具体的な設計を行う。また、設計された協調型システムの性能を評価する枠組みを検討することを目的とする。

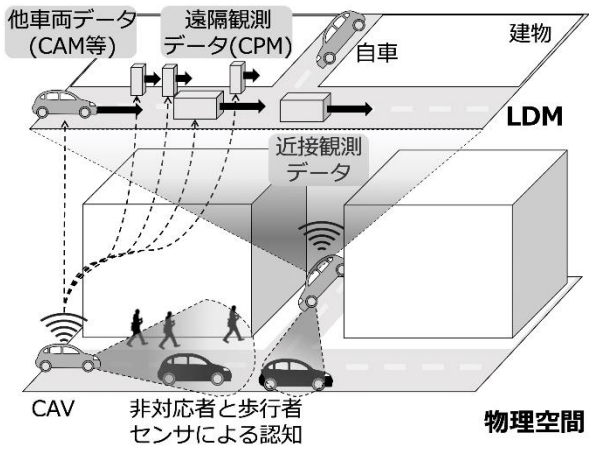


図 244 Local Dynamic Map と V2X 通信

■ 実施方針

今年度は、ETSI の協調認識メッセージ(CPM, Cooperative Perception Message)をプロトタイプ実装し、フィールドテストとシミュレータを用いて評価実験を行うことで、通信の伝送遅延と処理遅延を評価し、その有効性を検証する。車両・人物その他の認識機能と、ETSI 通信プロトコルの実装に関する調査を行ったところ、前者の機能はオープンソース自動運転ソフトウエアである Autoware を利用可能であり、後者は、ETSI 準拠通信ミドルウェアである Vanetza が利用可能であることがわかった。Vanetza では、CPM が未実装であり、また両者をつなぐソフトウエアも存在しないため、これを実装することで、上記の目的を達成する。また車道周辺の歩道や私有地内の駐車場を具体的な事例として、協調型システムにおける地図データ共有方法について検討する。

■ 実施事項と実施方法

ⅰ） 実機実験及びシミュレータによる評価実験

協調認識は、インフラと車両の両方のレベルで望ましい機能であり、車両とインフラ両者で利用可能となる設計を目指す。まず、車両とインフラでどちらも、ホストとルーターが機能分担するモデルを設計した。ホストとは通信の終端ノードであり、ルーターとは通信の通信機能を持つノードである。ここでは、ホストが認識機能を実現し、ルーターが協調的な ITS 機能を担当するシステムを設計した。つまり、Autoware の認識がホストで動作し、Vanetza の CPM 通信機能がルーターで動作する機能モデルである。これは、車両やインフラ装置には、外部との接続を必要とする専用のコンピューターが含まれていることが多いため、機能を分割した構成をとる。例えば、車両にはナビゲーション、マッピング、ドライブログなどの専用コンピューターが搭載され。同様に、インフラ装置には、交通監視システム、エッジサーバー、信号・標識などの役割を担う独立した計算機が存在する。従って、アンテナを含めてすべてのノードに外部接続性を持たせるのではなく、すべてのノードの外部接続性をルーターで管理する構成が適している。このような構成は、ITS ステーションアーキテクチャ仕様[1、2]でも推奨されている。

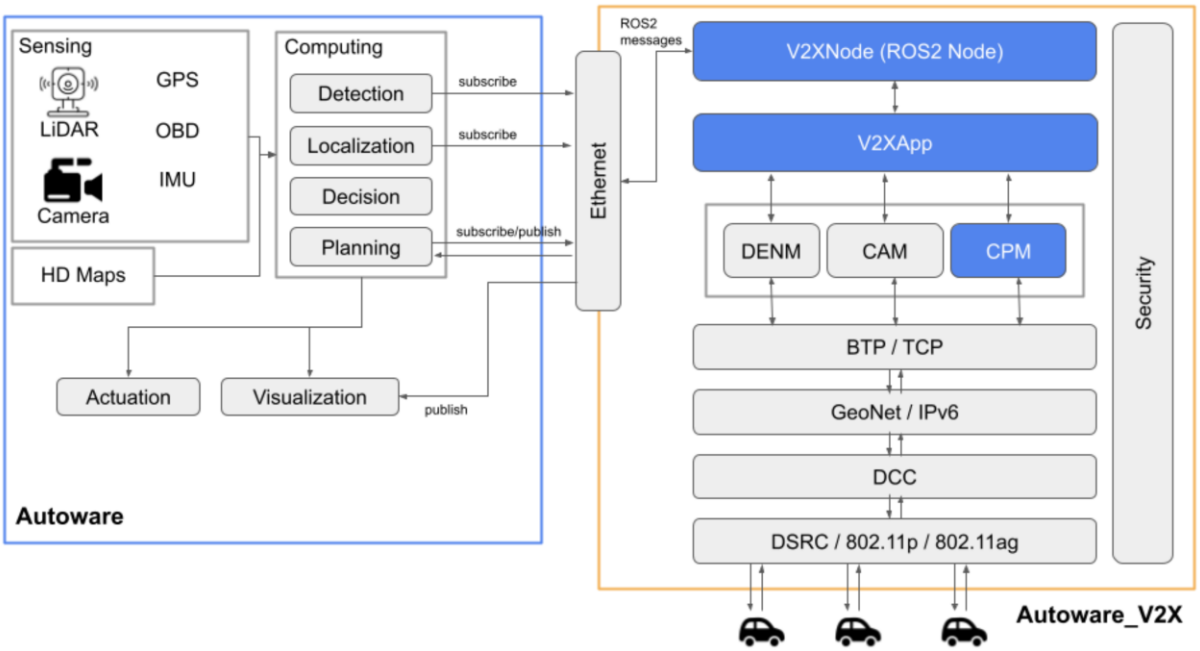


図 245　協調認識機能の設計

車両とインフラの主な違いは、有線接続と移動に関する機器である。車両に搭載されている CAN（Controller Area Network）ゲートウェイは、操舵、制動、加速などの制御を行い、インフラ装置はインターネットや路側のネットワークとの有線接続が可能である。さらに、インフラ装置の機能は自動運転車両のサブセットであり、自己位置推定、計画、CAN 制御などが含まれない。

図 246 および図 247 に、パケットキャプチャによる検証を示す。本実装により、ETSI 仕様に含まれる managementContainer, stationDataContainer, perceivedObjectContainer を持つ、CPM メッセージが生成され、ItsPduHeader、BTP ヘッダ、GeoNetworking ヘッダによってカプセル化されてパケットが送出されていることが検証できる。

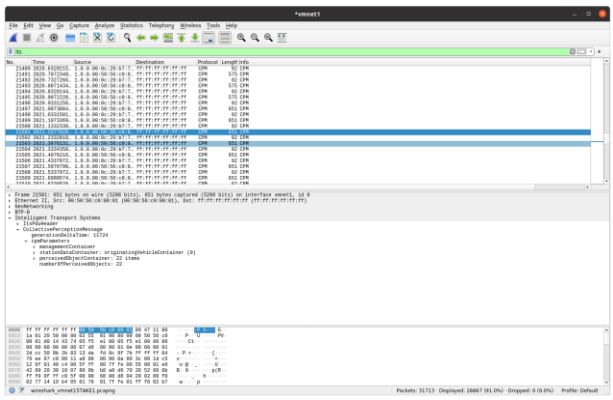


図 246　パケットキャプチャによる検証

図 247　パケットキャプチャ詳細

次に、送信機と受信機が固定された場合を考慮した室内での、基本的な性能評価を行った。実験構成を、図 248 に示す。Autoware をホスト A1 および A2 で動作させ、Vanetza ベースの本実装をルーターR1 および R2 で動作させる。この状態で、公道実験で取得された Rosbag を、ホスト A1 で再生することで、認知機能を有効化する。二つのルーターは、IEEE802.11g アドホックモードで動作させ、間の距離 Length I は、3 メートルで実験した。

図 248　予備実験の構成

表 105 に、パケット到達率（Packet delivery ratio, PDR）に関する実験結果を示す。実験は 5 回行い、すべての実験で 97%以上の到達率を記録した。

表 105　パケットロス率に関する予備実験の実験結果

Experiment #	1	2	3	4	5
Rosbag	sample rosbag (subset of necessary topics, -r 10) Includes only the /perception/object_recognition/objects and /tf topics.				
Distance between antennas	3 m				
Published to /perception/object_recognition/objects	227				
Included to internal ObjectsStack	216	206	211	210	214
CPMs sent from R1	584	572	473	473	446
CPMs received by R2	575	558	465	459	444
CPMs received by R2 and reflected to R1	568	550	460	455	441
PDR	**98.4%**	**97.6%**	**98.3%**	**97.0%**	**99.6%**
CPMs that were published to /v2x/cpm/objects	387	503	395	396	380
Empty CPMs	188	55	70	63	64

次に、パケット送受信に関する遅延を測定した。通信にかかる遅延は、以下の 3 つに大別できる。

- T_{R1}: ルーターR1 における処理遅延
- T_{R1R2}: ルーターR1 とルーターR2 の間の伝送遅延
- T_{R2} : ルーターR2 における処理遅延

図 249、図 250 および、図 251 は、それぞれ TR1、TR1R2、TR2、を示したものである。それぞれの図で 5 回実験したものを示す。TR1 は 6 ミリ秒程度、TR1R2 は、14 ミリ秒程度、TR2 は、8m 秒程度ということがわかった。処理遅延 TR1 および TR2 は、ばらつきが小さく、伝送遅延 TR1R2 は僅かにばらつきが大きい。

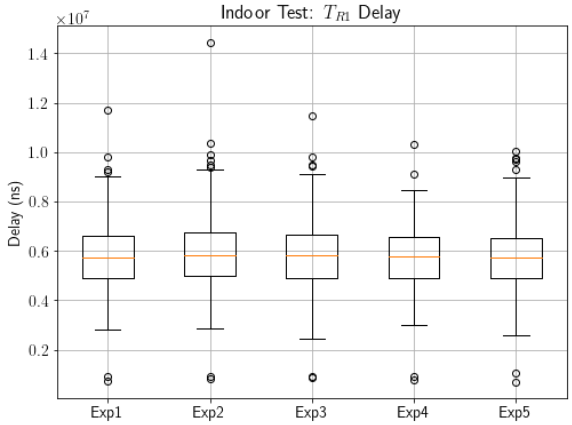


図 249　遅延 TR1 に関する予備実験

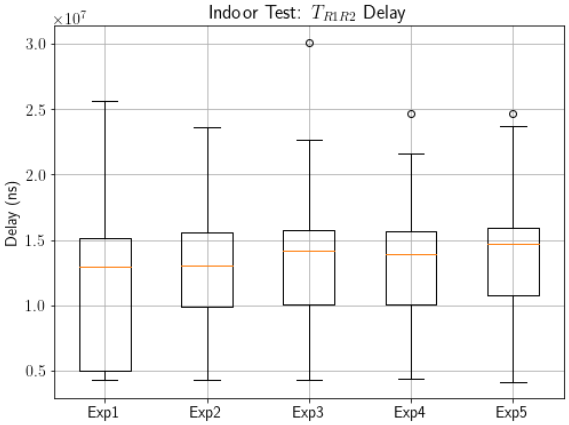


図 250　遅延 TR1R2 に関する予備実験

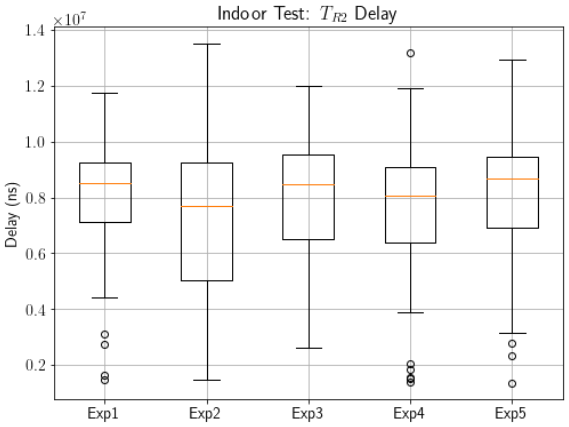


図 251　遅延 T_{R2} に関する予備実験

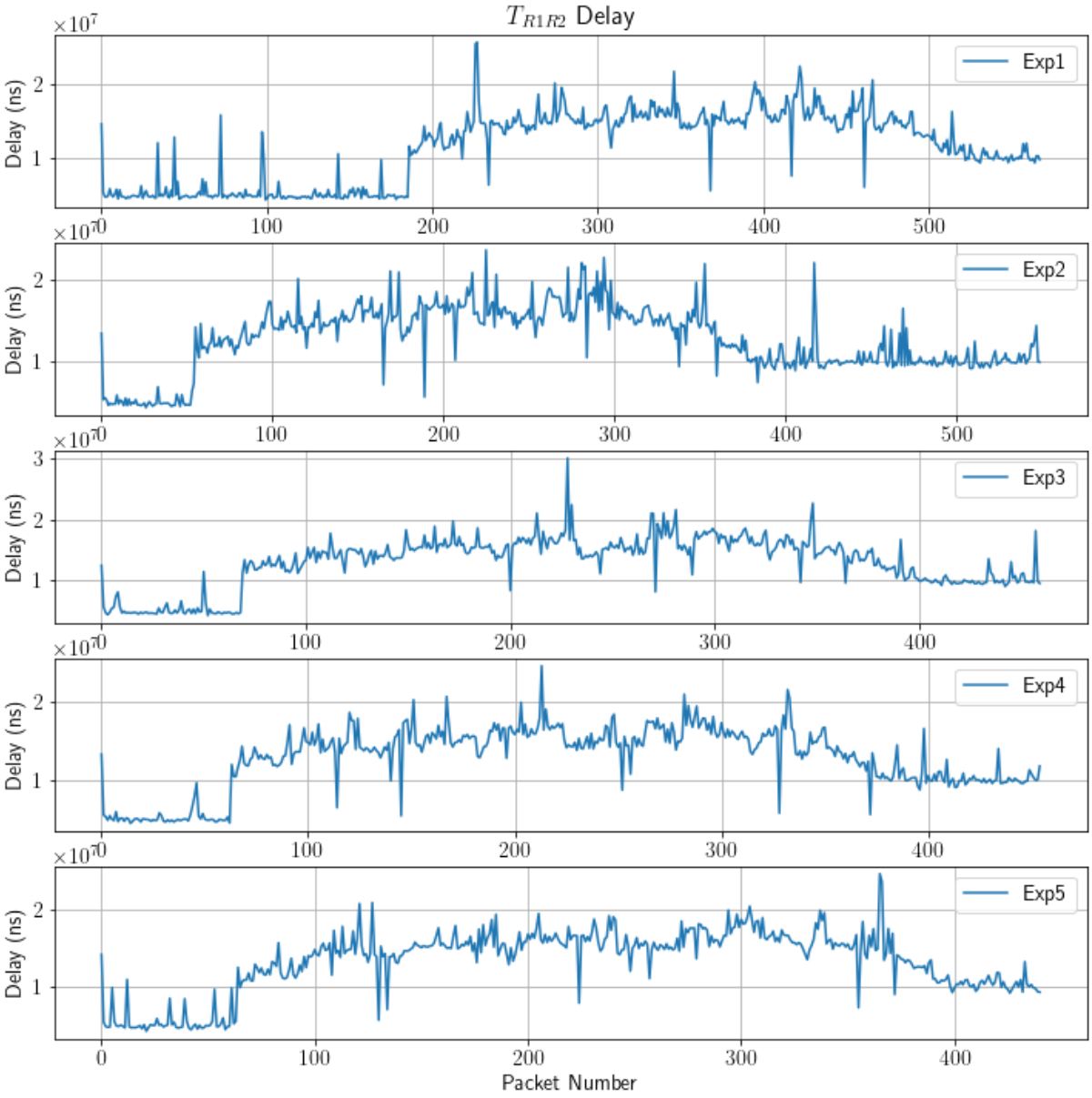


図 252　予備実験における遅延 T_{R1R2} の推移

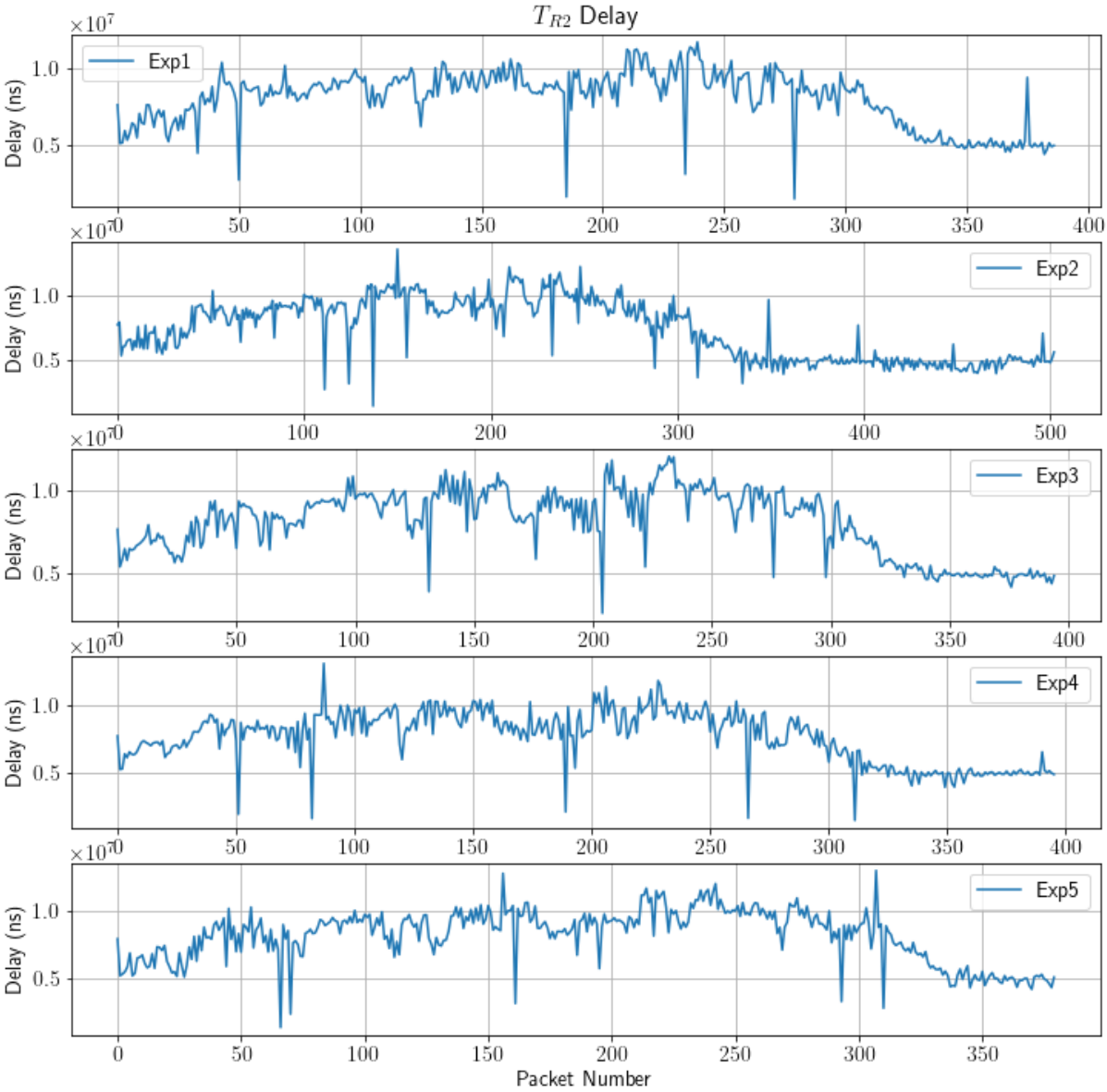


図 253　予備実験における遅延 T_{R2} の推移

Autoware と Vanetza を組み合わせ、ETSI 標準仕様の CPM メッセージを発行するルーターを試作し、実機実験を行った。97%以上のパケット到達率、通信にかかる遅延が 30 ミリ秒以下となり、通信を用いたリアルタイムな認識が可能であると考えられる。今後は、フィールド実験での有効性を示す必要がある。

[1] European Telecommunications Standards Institute. Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture; ETSI: Sophia-Antipolis, France, 2010. International Organization for Standardization.

［2］ Intelligent Transport Systems—Communications Access for Land Mobiles (CALM)—Architecture; ISO: Geneva, Switzerland, 2014

ii） 協調型システムにおける地図データ共有方法

協調型システムにおける地図データ共有方法について検討を行った。詳細は 2-3Ⅰ8）1）を参照とする。

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＞

- 地図情報や各種データの連携・活用に必要となるデジタル道路交通データプラットフォームのアーキテクチャとインターフェース仕様について検討し、アーキテクチャ案、API 仕様案、通信インターフェース仕様案を作成した。また、それらに基づいたデジタル道路交通データプラットフォームのアルゴリズム検討、プロトタイプ実装を行うとともに、その評価環境の構築方法を検討した。
- インフラに設置する協調型路側機の仕様を検討し、協調型路側機仕様案を作成した。
- データ連携と活用に関する法的な問題について、各ステークホルダーからの聴取等を実施し、それらを基に法的問題点の洗い出しを行った。
- デジタル道路交通データプラットフォームに、道路脇の歩道や私有地内の駐車場といった車道以外の地図情報を統合するためのフォーマット・方法論の検討を行った。

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検討

■ 該当項目の背景と目的

混在空間でレベル 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。

車両外（インフラや他の車両）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（DSRC/PC5、LTE/5G、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/ADAS システム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 254 の左）。この課題を解決するには、車両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ジタル道路交通データプラットフォーム（以下、データ連携 PF）を用意することが有効である（図 254 の右）。データ連携 PF は、車両外センサー等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。

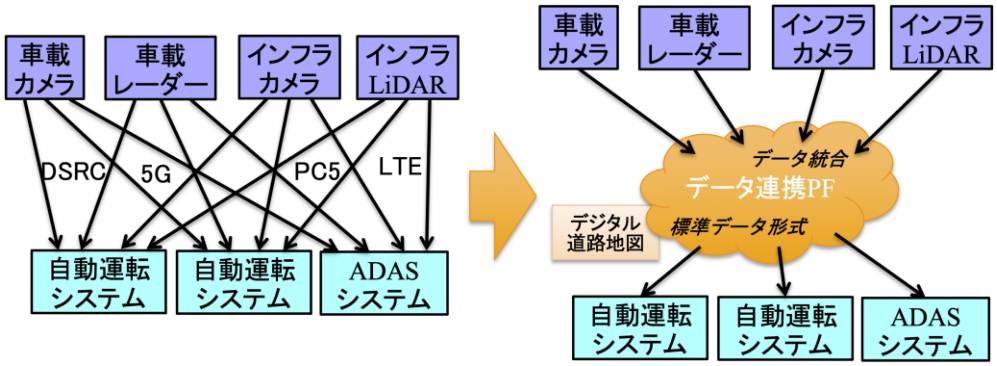


図 254　デジタル道路交通データプラットフォームの必要性

■　実施方針

この実施項目では、データ連携のシステムアーキテクチャ（協調型システムによってレベル 4 自動運転サービスを実現する要素と、要素間の役割分担）を定義する。本年度は、過去の研究開発から明らかになっている要件を元に、アーキテクチャ案を検討し、関係者に提示して意見をいただく方針とした。機能分担の検討にあたっては、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。

■　実施事項と実施方法

(1)　検討の進め方

本年度の検討で対象とするスコープを設定した上で、協調型システムを活用したレベル 4 自動運転システムを実現する要素（データ連携 PF、車載の自動運転システム、インフラセンサー、信号機など）と要素間の機能分担と、データ連携 PF を構成する車載 DM、路側 DM、データ連携サーバ（キャリア DM およびセントラル DM）の機能分担を検討し、「CooL4 データ連携アーキテクチャ案」（別添）を作成した。

作成した「CooL4 データ連携アーキテクチャ案」を関係者に提示・説明して、いただいた意見をドキュメントにフィードバックした。関係者に説明し、意見交換した実績は表 106 の通り。

表 106　関係者への説明・意見交換の実績

日付	説明先
2021 年 10 月 4 日	データ連携検討サブチームのミーティングで説明
2021 年 10 月 13 日	テーマ 4 の slack に投稿して意見を募集
2021 年 10 月 29 日	テーマ 4 の関係者向けに説明・意見交換会を実施
2021 年 11 月 9 日	協調型路側機ユニット（ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG のメンバー企業が参加）のミーティングで説明
2021 年 11 月 17 日	テーマリーダー会議で簡単な説明を実施

2021 年 11 月 19 日	テーマ 4 の統括委員長、テーマリーダーに説明
2021 年 12 月 9 日	経産省、産総研コンソ関係者に説明
2022 年 1 月 12 日	テーマ 4 分科会で説明

(2) ユースケースの設定

本年度の検討においては、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した。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した。

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した。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、信号情報の活用は本テーマの重要課題の 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した。

本テーマの今後の活動の中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計画である。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計画である。

(3) 策定したデータ連携アーキテクチャ案

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。

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、自動運転システム等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。

以上を踏まえて策定した CooL4 データ連携アーキテクチャ案を図 255 に示す。この図において、通信関係を表す矢印は、本テーマ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。

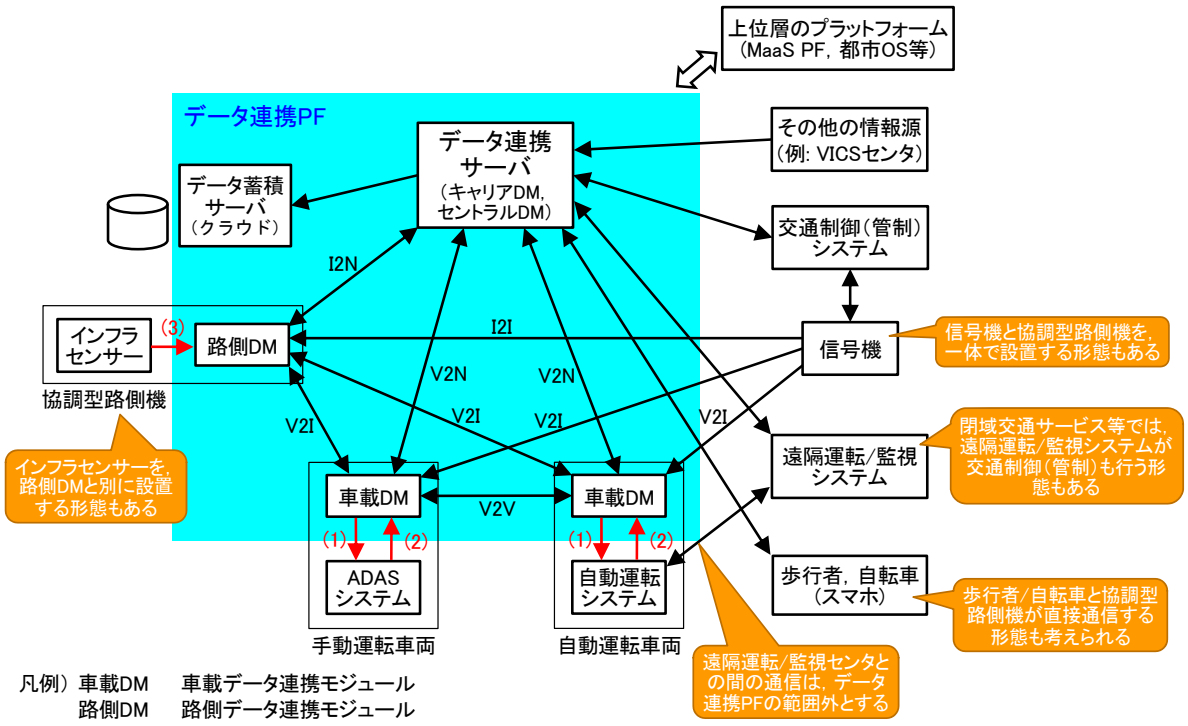


図 255　CooL4 データ連携アーキテクチャ

図 255 において、水色で示した部分がデータ連携 PF である。すなわち、データ連携 PF は、車両内のコンピューター上で動作する車載データ連携モジュール（車載 DM）、路側に設置するコンピューター上で動作する路側データ連携モジュール（路側 DM）、クラウドサーバーまたはモバイルエッジサーバで動作するデータ連携サーバー、クラウドサーバーで動作するデータ蓄積サーバー（データ連携 PF が扱った情報を保存する場合のみ）で構成される。

車両内に車載 DM を置くのは、異なる経路で届いた情報を統合するためである。例えば信号情報は、信号機から自動運転車両に直接 V2I 通信で届く場合もあれば、SIP-adus で検討が進められているように交通管制センターからインターネット経由で届く場合もある。これらの信号情報を統合する機能は、車両内で実現する必要がある。具体的には、車載 DM は、両方の経路で同一の信号機に関する情報が届いた場合には、早く届いた情報のみを自動運転システムに提供することになる。

図 255 には明示していないが、車載センサーは自動運転システムに接続されている（または、自動運転システムの一部である）ものとしている。車載センサーも車載 DM に接続し、車載 DM が車載センサーからの情報と車両外からの情報を統合する構成も考えられるが、現在開発が進められている自動運転システムが車載センサーと一体であることや、車載センサーをどのように活用するかは自動運転システムにとって重要な競争領域と考えられることから、この構成は採用しなかった。そのため、車載センサーから得られた情報は、自動運転システムから車載 DM に渡す必要

がある（図 255 の(2)のインターフェース）。車載 DM は、自動運転システム受け取った情報を、路側 DM やデータ連携サーバーと共有する。

協調型路側機は、路側に設置するセンサー（インフラセンサー）、無線機、路側 DM を動作させるコンピューター等を一体にした装置のことをいう。図 255 は、協調型路側機はそれ単独で設置する図となっているが、信号機と一体で設置する形態も考えられる。逆に、路側 DM を携帯電話基地局に設置されるコンピューターで動作させ、インフラセンサーとは別に設置する形態も考えられる。

無人運転サービスを実現する際には、自動運転車両を遠隔運転または遠隔監視するためのシステムが必要となる。CooL4 データ連携アーキテクチャ案では、自動運転車両と遠隔運転/監視システムの間の通信は、データ連携 PF が扱う範囲外とした。これは、自動運転システムと遠隔運転/監視システムの間の通信には様々な工夫の余地があり、両者は一体で設計・開発されるのが一般的であるため、共通化・標準化に適さないと考えられるためである。ただし、それに用いる通信回線は、コスト削減のために、車載 DM とデータ連携サーバーとの間の V2N 通信に用いる回線と共用しても良い。

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

この実施項目では、1）で定義したアーキテクチャに基づいて、データ連携 PF の API の検討を行う。本年度は、データ連携 PF と連携要素（車載の自動運転システム等、インフラセンサー、信号機など）との間のデータの受渡し手順やデータフォーマットなどの定義を、限られたデータ種別（物標情報、フリースペース情報、信号情報）に対して実施することとした。

仕様検討にあたっては、既存の国際/国内標準や SIP-adus における研究開発成果を参考にすることとした。作成した仕様案は、自動運転システムの開発者やインフラ機器メーカーに提示し、意見を収集する。また、これらの動的情報を紐付ける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こととした。

■ 実施事項と実施方法

(1) 検討の進め方

1）で定義したデータ連携アーキテクチャ案に基づいて、既存の国際/国内標準や SIP-adus における研究開発成果を参考に、物標（車両、歩行者、障害物）情報、フリースペース情報（物標が存在しない領域に関する情報）、信号情報のデータフォーマットを検討し、「CooL4 データ連携 PF API 仕様案」（別添）を作成した。また、これらの情報を ROS2（Robot Operating System Version 2）上で転送するためのメッセージフォーマットを規定した。

作成した「CooL4 データ連携 PF API 仕様案」を関係者に提示・説明して、いただいた意見をドキュメントにフィードバックした。関係者に説明し、意見交換した実績は表 107 の通り。

表 107 関係者への説明・意見交換の実績

日付	説明先
2021 年 10 月 4 日	データ連携検討サブチームのミーティングで説明
2021 年 10 月 13 日	テーマ 4 の slack に投稿して意見を募集
2021 年 10 月 29 日	テーマ 4 の関係者向けに説明・意見交換会を実施

2021年11月9日	協調型路側機ユニット（ITS Japan自動運転研究会CCAM検討SWGのメンバー企業が参加）のミーティングで説明
2021年11月17日	テーマリーダー会議で位置付けを説明
2021年11月19日	テーマ4の統括委員長、テーマリーダーに説明
2021年12月9日	経産省、産総研コンソ関係者に位置付けを説明
2022年1月11日	協調型路側機ユニットのミーティングで前回から更新した箇所について説明
2022年1月12日	テーマ4分科会で説明

「CooL4データ連携PF API仕様案」の中の信号情報については、SIP-adusの関連事業の受託者である日本信号（株）および住友電気工業（株）と、個別の意見交換を行った。

また、デジタル地図ベンダーとの連携としては、ダイナミックマップ基盤（株）と守秘契約を締結した上で、同社の一般道向けの地図フォーマットの仕様とサンプルデータの開示を受け、仕様策定の参考にした。

(2) 文献調査

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 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.

[2] 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.

[3] ETSI EN 302 637-3 V1.3.1 (2019-04). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification 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] SAE J2735_200911. Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary.

[6] 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

[7] ISO 17572-4:2020. Intelligent transport systems (ITS) — Location referencing for geographic databases - Part 4: Precise relative location references (precise relative profile).
[8] ISO 23150. Road vehicles — Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions — Logical interface.
[9] ISO/TS 19091:2019. Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections.
[10] SAE J2735:2020. V2X Communications Message Set Dictionary.
[11] 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).
[12] 平成 30 年度成果報告書「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調査」
[13] 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
[14] SENSORIS Innovation Platform: SENSORIS INTERFACE ARCHITECTURE Version 1.1.1.
[15] SENSORIS Innovation Platform: SENSORIS Specification 1.1.1.

上記の内、文献[11]と[12]については、UTMS 協会に依頼し、テーマ 4 向けに開示いただいたものである（文献[12]は公開されている）。

(3) データフォーマットの仕様化方針

データフォーマットの仕様化にあたって、以下のような設計原則を設定した。

- 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。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。

データの品質/信頼度については、ユースケースが類似している文献[4]の考え方を踏襲した。すなわち、車両外のセンサーで認識した情報に対しては、その情報の品質/信頼度を表すデータ項

目を付けて自動運転システム等に情報提供し、品質/信頼度に応じてどのように情報を利用するかは、自動運転システム等の側で判断するという方針をとった。

文献[4]のメッセージフォーマットにおいては、品質/信頼度を表すデータ項目として、次の 3 種類のものが規定されている。

- 存在信頼度

  存在に関する信頼度。オブジェクトが存在する確率。

- 分類信頼度

  分類に関する信頼度。オブジェクトがある分類に属する確率。または、オブジェクトがある状態にある確率。

- 精度

  数値の正確性。数値データがどの程度の誤差を含んでいるか。設定された信頼度（文献[4]では 95%）に対する数値情報の絶対精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）で表す。

対象としているユースケースは異なるが、文献[15]のメッセージフォーマットもこれと同様の 3 種類のデータ項目を用いていることから、策定したデータフォーマットにおいても、これと同様の 3 種類のデータ項目を用いることとした。また、精度の表現における信頼度も、文献[4]と同様に 95%とした。ただし、存在信頼度の表現方法については、文献[4]と[15]ではパーセントを整数値で表現することになっているが、この方法では 99%と 100%の間の信頼度（例えば 99.9%）を表現できないことから、その間の信頼度をより詳細に表現できる表現方法を採用することとした。

なお、文献[4]では、信頼度のデータ項目と精度のデータ項目のいずれも confidence という名称としているが、策定したデータフォーマットでは、文献[15]にならって、精度には accuracy という用語をあてることとした。

また、数値データの単位については、長さの単位は原則として 0.01m（＝1cm）、方位/角度の単位は原則として 0.01 度とすることとした。方位/角度を原則 0.01 度単位としたのは、文献[6]において 0.0125 度単位であったためであるが、0.1 度単位でも十分かもしれない。

(4)　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。

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。API 仕様書では、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こととした。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した。

自己物標情報のため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[2]や、日本の車車間通信のメッセージセット仕様である文献[6]がある。また、認識物標情報のため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した。

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）は含めないこととした。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、含めることにした。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ーフェースを別途用意することを検討することとした。

以上の方針で検討した結果、物標情報のデータフォーマットは次の構成とした。

- 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］

この中で「物標 ID」は、物標の同一性を示すためのもので、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）ものとした。具体的には、自己物標情報においては、プライバシー保護のために仮名 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 ID を割り付けるため、観測/統合機器の ID と、それが付与する番号で構成する。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必要がある。これらの条件から、物標 ID を 64 ビットに収めるための物標 ID の構成を検討し、API 仕様案では図 256 物標 ID の構成の構成を提示した。

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)

図 256 物標 ID の構成

「情報取得時刻」の表現方法については、文献[1]の DE_TimestampIts を採用することとした。これは、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）である。閏秒も数えるため、UTC や日本標準時との変換には閏秒がいつ挿入されたかの

情報が必要になるが、閏秒が挿入される時の例外処理が不要になるという利点がある。また、GPS時刻とは、機械的に変換できる。

「物標位置」の表現方法については次項で述べるが、「物標位置」で示した位置が物標のどの場所（物標の中央の地面位置、前面の中心の地面位置など）を表しているかを表す「物標参照位置」のデータ項目を設けている。これは、例えば「物標位置は物標の中央の地面位置を表す」というように決めてしまうと、物標の一部分（例えば背面）しかセンサーから見えない場合に、物標の中央の位置を取得することができず、伝達した位置情報が不正確になってしまうためで、文献[4]にも同様のデータ項目がある（ただし、表現できる場所が異なる）。

「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。

「車両の状態等」に含まれるデータ項目の多くは、文献(6)または文献[2]の車車間通信メッセージに含まれているものを採用した。ただし、前輪と後輪の舵角については、文献[6]および[2]ではステアリングの操作角度（ステアリングホイールをどれだけ切っているかの角度）となっているが、この情報は車両の動きを予測するためには使えない（ステアリングギア比は車両によって異なるため）ことから、車輪の舵角に置き換えた。

「物標の色」は、物標の静的な情報であり、文献[6]および[2]にはないデータ項目であるが、物標情報の統合、具体的には異なるセンサーからの物標情報のどれとどれが同一のものであるかを判断するために有益と考えられるため、含めることとした。ただし、物標の静的な情報は、車両の長時間の追跡を容易にしてしまうため、プライバシー保護の観点からは含めない方が良い。この理由から、初期の仕様案で含めるものとしていた車両の車種やメーカーの情報は、最終的には含めないこととした。

「情報源のリスト」は、物標情報の情報源のリストであり、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。

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した。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した。

定義したデータ項目は、文献[2]、[4]、[6]のメッセージセットに含まれているデータ項目の多くを含んでいるが、必要性が低いと考えて含めなかったデータ項目もある。一例を挙げると、物標の加速度については、前後加速度（縦方向の加速度）のみを含め、横方向や高さ方向の加速度は含めていない。これらの文献のデータ項目との関係については、API 仕様書の付録 A で整理した。

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た。

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ー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こととした。例えば、図 255 の(3)のインターフェースでは、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こととした。

(5) 位置の表現方法

位置の表現方法は、物標情報やフリースペース情報を静的なデジタル地図と紐付ける重要な役割を持つ。

策定したデータフォーマットでは、位置（物標情報の「物標位置」、次項で述べるフリースペースの「始点位置」と「終点位置」）は、「経度緯度高さ」、「CRP（Common Reference Point）＋オフセット」、「レーン番号カウント」、「レーン ID＋オフセット」の 4 つの方法で表現できるようにした。また位置精度の情報も持たせるようにした。

「経度緯度高さ」による表現では、どの測地系を採用するかが課題となる。GNSS から割り出せる経度緯度高さは WGS84（世界測地系 1984）に基づいたものである一方で、国内で作成されている地図は JGD2021（日本測地系 2011）に基づいていることが一般的である。この 2 つの測地系の絶対的な差は小さいものの、地殻変動により徐々に差が大きくなることから、無視すべきでないと考えた。検討の結果、採用した測地系を表すデータ項目を追加することとした。

「CRP＋オフセット」は文献[7]の Method 2、「レーン番号カウント」は文献[7]の Method 1 に基づき、独自の修正/拡張を加えた方法である。なお、文献[7]は、SIP-adus の成果の 1 つとして国際標準化されたものである。Method 1 を具体化する際に、物標があるのが何レーン目か表すレーン番号の表現方法が問題になった。文献[1]には、同じ目的のデータ表現方法である DE_LanePosition が定義されているが、このデータ表現方法では、車両の走行レーン以外には、両側の路肩と道路外しか表現できない。テーマ 4 では、歩行者の情報も扱うことから、歩道が扱えることは必須である。また、逆走を表現するために、反対向きの走行レーンも表現したい。これらの理由から、DE_LanePosition を独自に拡張した表 108 のデータ表現方法を用いることとした。

表 108　レーン番号の表現方法

表現値	意味
-16	反対側（または内側）の道路外（文献[1]の規定に追加）
-15	反対側（または内側）の歩道（文献[1]の規定に追加）
-14	反対側の外側の路側（文献[1]の規定に追加）
…	
-2	反対側の内側から 2 番目のレーン（文献[1]の規定を変更）
-1	反対側の最も内側レーン（文献[1]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[1]の規定に追加）
16	外側（日本では左側）の道路外（文献[1]の規定に追加）
17	不明（文献[1]の規定に追加）

「レーン ID＋オフセット」は、レーンの識別番号とレーンの基準位置からの相対距離で位置を表現するもので、標準的なデジタル道路地図があることを前提とした独自の方法である。標準的なデジタル道路地図（以下、標準地図と呼ぶ）を共有しているシステム間では、最も精度の高い位置情報の伝達が可能になる。本検討においては、ダイナミックマップ基盤（株）の一般道向けの地図を標準地図であると想定して、レーンの始点（横方向はレーンの中央）の位置が当該地図上で一意に特定可能であることを確認した上で、その位置をレーンの基準位置とした。また、当該地図において、64 ビットの符号なし整数値でレーンが一意に識別可能であることを確認した。

位置精度は、水平方向については、95%の確率で正しい位置を含む楕円（95%信頼楕円）で表すこととし、楕円の長半径、短半径、楕円長径の向きを示す回転角のデータ項目を含めることとした。高さ方向の位置精度は、他の数値データの精度と同様の方法で表す。

ここで、4 つの位置表現に対して共通で 1 つの位置精度を持たせたが、これで十分かは論点となる。位置表現毎に位置精度を持たる、または、「経度緯度高さ」に対する精度とその他の位置表現に対する精度の 2 つの位置精度を持たせる方法も考えられる。

4 つの位置表現方法は、以下のように使い分けることを想定している。

① レーンレベル地図を持たず、マップマッチングを行わない場合

経度緯度高さと位置精度のみを用いる。位置精度の決定方法は、位置を求めた方式に依存する。例えば、GNSS により位置を求めている場合には、測位の状況から位置精度を決める。

② レーンレベル地図とマップマッチングを行うが、CRP の情報を持たない場合

経度緯度高さ、レーン数、レーン番号、レーン内位置、位置精度のみを用いる。レーン内位置は用いなくても良い。マップマッチングによる位置精度は、用いている地図の精度と、マップマッチングの精度から決める（おおよそ、両者を加えた値になる）。

③ CRP の情報を持つレーンレベル地図とマップマッチングを行う場合

前記に加えて、CRP＋オフセットと縦方向位置を用いる。近傍に CRP がない場合には、CRP＋オフセットは不明として良い。

④ 標準地図とマップマッチングを行う場合

すべてのデータ項目を用いる。近傍に CRP がない場合には、CRP＋オフセットは不明として良い。

(6) 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。

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（図 257）。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。

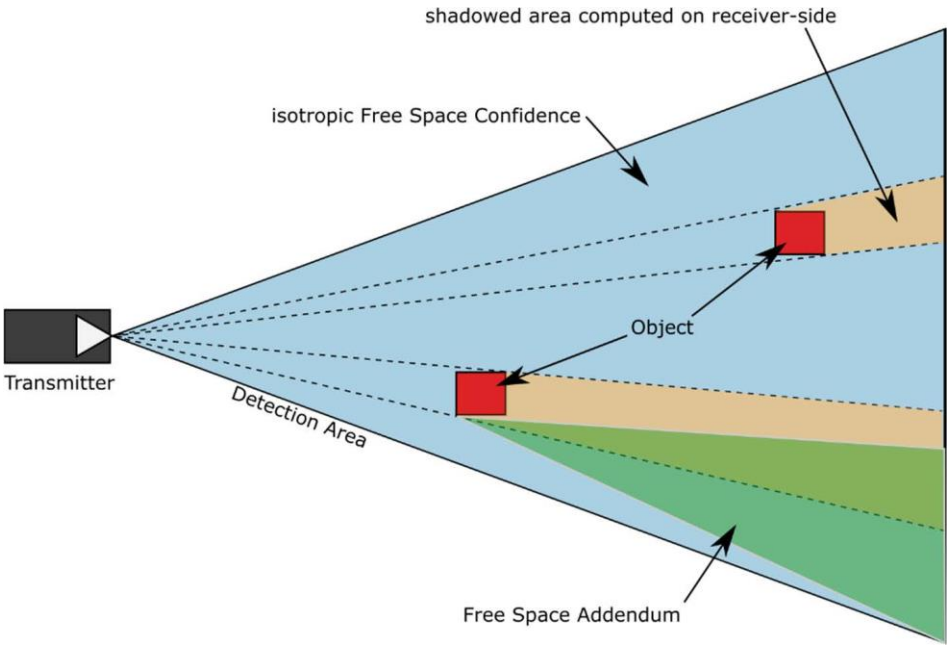


図 257　文献[4]によるフリースペースの表現方法（文献[4]より）

そこで作成した仕様では、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、作成した仕様の表現方法は、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、今後の課題とした。

具体的な表現方法として、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、その前端位置と後端位置で表現することとした（図 258）。この図において、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。

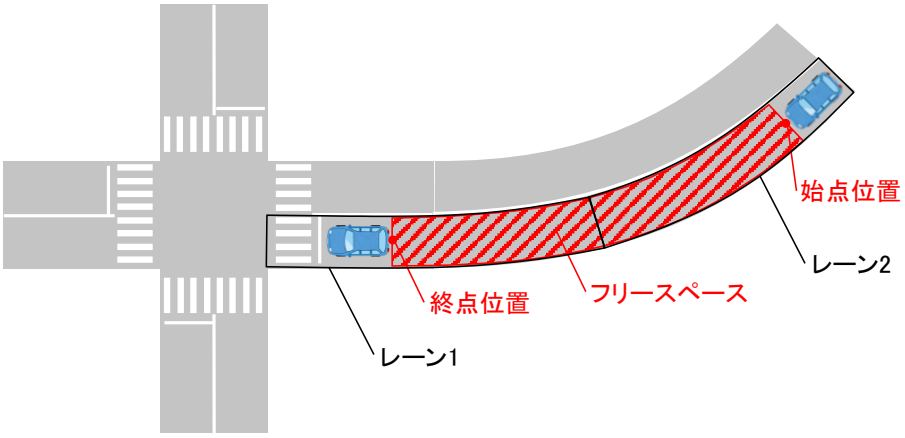


図 258　フリースペースの表現

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 259）。図 259 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、今後の検討課題である。

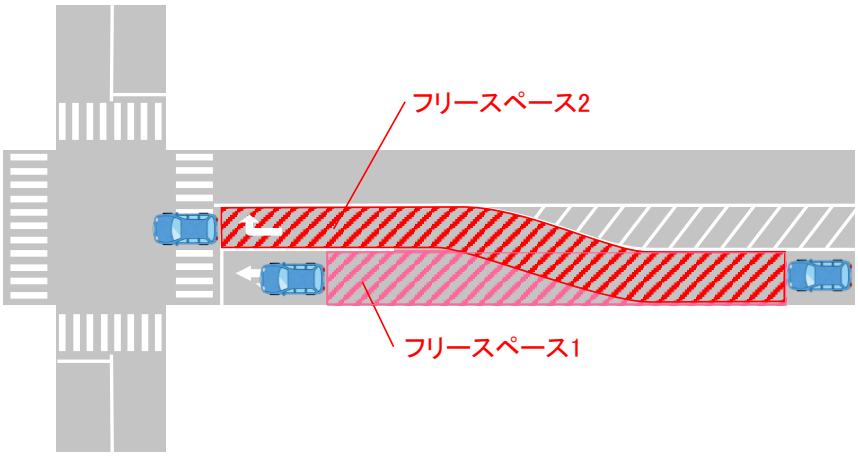


図 259　分岐するレーンのフリースペース

以上の方針で検討した結果、物標情報のデータフォーマットは次の構成とした。

- 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］

この中で「フリースペース ID」は、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 である。フリースペースは、物標と異なり、同一性の定義が明確でない。そのため、フリースペースには ID は不要とも考えられるが、「始点物標 ID」「終点物標 ID」として使用するために ID を設けることとした。表現方法は物標 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。

「検知漏れ物標サイズ」は、検知を漏らしている可能性のある物標の最大サイズとし、「存在信頼度」は、それを超えるサイズの移動物体が存在しない確率と定義した。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こととした。

「始点物標 ID」と「終点物標 ID」は、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、その物標/フリースペースの ID である。始点/終点位置がセンサーの検知範囲から決められた場合には、該当するデータ項目には不明を示す値を入れる。

「情報源のリスト」は、物標情報と同様、フリースペース情報の情報源のリストであり、フリースペース情報を統合する際に利用することを想定している。情報源は、観測機器の 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、貢献度が大きいと考えられる順に並べるものとした。

なお、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。具体的な値は今後の検討課題。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こととした。

(7)　信号情報のデータフォーマット

作成した仕様で扱った信号情報は、信号の現示やその変化予定に関する情報である。

信号情報を扱うデータフォーマットとしては、ISO の技術仕様である文献[9]や、日本の路車間通信のメッセージセット仕様である文献[11]がある。文献[9]では、文献[10]で規定された信号情報（SPaT）のメッセージセットをベースに、米国、日本、欧州の仕様がそれぞれプロファイル A、B、C として規定されており、プロファイル B は文献[11]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[11]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[11]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こととした。

文献[11]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っている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、図 255 の(1)のインター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した。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した。なお、(1)のインター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、今後の課題とする。

以上の方針で検討した結果、信号灯色情報のデータフォーマットは次の構成とした。

- 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（0.1 秒単位）
  - 最大残秒数（0.1 秒単位）

ここで「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。

別のアプローチとして、「信号灯器」の識別単位を物理的な信号機と一致させる方法が考えられる。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の情報を提供する。また、デジタル地図には、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持たせる。この方法は、信号灯器の単位やその灯色表示が物理的な信号機と一致するために、自動運転車両が車載センサーで認識した情報と照合しやすいという利点があると考えられるが、既存の方式や国際規格との違いが大きくなるため、採用しなかった。

「信号灯器 ID」は、交差点内で論理的な信号灯器を識別するための ID で、文献[10]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）。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。国内では、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、図 260 のように構成することで、機械的に割り当てることができる。方路 ID は、文献[11]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）	０ ０ ０ ０

図 260　灯器 ID の構成

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。

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。

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、（論理的な）信号灯器番号から判別できるものとする。

「情報生成時刻」は、V2I 通信を想定した文献[11]のメッセージセットには含まれていないが、伝送遅延の大きい通信路を経由して信号情報が転送される場合には必要となるもので、SIP-adus によるクラウド経由の信号情報提供においても、同等の情報が追加されている。

「信号状態情報」と「特定制御動作中フラグ」は、SIP-adus の関連事業において追加が検討されているものである。「特定制御動作中フラグ」は、信号灯色が通常と異なる変化を行う場合やその可能性があることを示す情報で、押しボタン信号などの感応型信号に対応するための情報である。「カウントダウン停止フラグ」は、文献[11]のメッセージセットでは「灯色出力情報」内に含まれているデータ項目であるが、灯色出力情報毎に持たせる必要はないため、灯色出力情報の中から信号灯色情報の直下に移動した。

灯色出力情報のリストは、現在の灯色表示とその変化予定を表す。リストの先頭の灯色出力情報が現在の灯色表示を、2 番目の灯色出力情報が信号現示が次に変化した後の灯色表示を表す。リストのサイズは、文献[11]を踏襲して、1 以上 12 以下とする。

「主灯色表示」は、車両用信号灯器と歩行者用信号灯器の主たる灯色表示を表すもので、「不明」に加えて、「滅灯」「赤点滅」「赤」「青」「黄（歩行者用信号灯器の場合は青点滅）」「黄点滅」を表現することができる。各灯色表示の表現値は、文献[10]の MovementPhaseState(表 109)と一致させた（表現値は一致させたが、意味は異なる）。

「青矢信号表示」は、青矢灯器の状態を表すもので、文献[11]の「DE_青矢信号表示方向」で表現するが、この値が 0 か否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した。これは、文献[11]の仕様に従ったメッセージを受け取った場合に、正確な青矢信号表示方向の情報を作り出すことが難しいためである。

ここでの論点として、灯色表示の表現方法を、主灯色表示や青矢信号表示といった物理的な灯色表示ではなく、文献[9]のプロファイル A および C（具体的な内容は、文献[10]に規定されている）と同様に、論理的な進行可否情報（「進んでよい」「進んではならない」「一時停止」「注意して進んでよい」など）にする方法が考えられる（表 109）。しかしこの方法は、日本の法律では 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という問題があるため、採用しなかった。

表 109　文献[10]の MovementPhaseState

表現値	意味	備考
0	unavailable	不明
1	dark	滅灯
2	stop-Then-Proceed	赤点滅
3	stop-And-Remain	赤
4	pre-Movement	欧州の一部で「赤＋黄」
5	permissive-Movement-Allowed	青（米国で permissive green）
6	protected-Movement-Allowed	米国で protected green
7	permissive-clearance	黄（米国で permissive yellow）
8	protected-clearance	米国で protected yellow
9	caution-Conflicting-Traffic	黄点滅

「最小残秒数」「最大残秒数」の表現方法は、文献[11]を踏襲することとした。

なお、文献[11]のメッセージセットに含まれる「DE_信号通行方向情報」は、自動運転システムには必要ないと考えられることから、策定した信号灯色情報のデータフォーマットには含めないこととした。

(8)　デジタル道路地図に静的に持たせる信号情報

デジタル道路地図に持たせる静的な情報は、デジタル道路地図に対する要求事項としてまとめた。具体的には、デジタル道路地図には、以下の静的情報を持つものとした。

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（間接的に得られる形でも良い）こととした。

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（間接的に得られる形でも良い）こととした。

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。

日本国内では、見るべき信号灯器の情報は、交差点の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。それに対して作成した仕様では、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、交差点の流入レーンと流出レーンの「組」毎に持つこととした。データ作成ツールを開発する際に、流入/流出方路の「組」毎に信号灯器 ID を設定すれば、対応するすべての流入/流出レーンの「組」毎にコピーする仕様とすれば、データ作成の工数は変わらないものと考えている。

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、策定した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、ここでの要求事項とはしなかった。

3) データ連携 PF の通信インターフェースの検討・定義

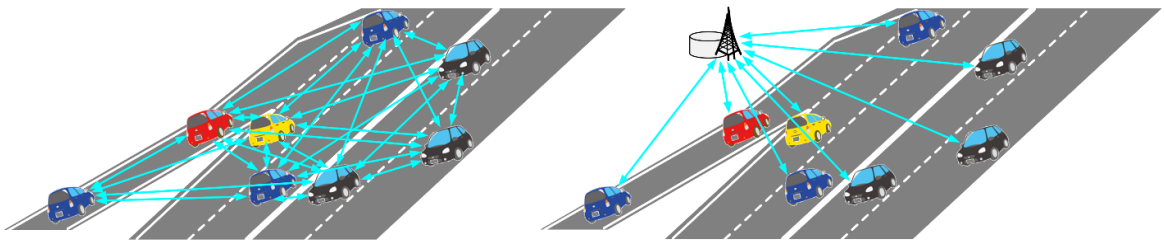
■ 該当項目の背景と目的

現在、国内の協調型 ITS（Intelligent Transport Systems）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: Vehicle-to-Vehicle）、あるいは、車両と路側機（V2I: Vehicle-to-Infrastructure）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）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となる。一般には、V2V 通信、V2I 通信、V2N 通信を総称して V2X（Vehicle-to-Everything）通信と呼ぶ。

たとえば、特定の車両（送信元）から接近している相手の車両（あて先）に対してメッセージを送信すると仮定する。ブロードキャスト方式の場合、周辺車両に対して一斉にメッセージを送信し、受信した車両でそのメッセージが必要かどうかを判断する。あて先の車両を特定する必要がなく送信元車両の状態を周辺の車両に通知するのに適しているが、特定の車両同士の調停の場合など、調停に関与する車両以外は不必要な情報を受け取ることになる。一方、ユニキャスト方式の場合はメッセージを送信する前に通信相手の車両を特定する必要がある。車両を特定する際には、事前にあて先車両の位置や移動経路を知っておく必要がある。

また、V2X 通信を利用して合流や車線変更など複数台の車両で調停を行う場合、図 261 の（1）に示すように、ブロードキャストの V2V 通信では、それぞれの車両間で相互にやりとりする必要があり、(車両台数をnとした場合オーダー $O(n^2)$の通信に基づく)複雑な情報処理が求められる。一方、（2）に示すように、調停を一か所に集約して実施できる場合は、車両の走行状況を集め、調停方法を計算し、走行経路を通信するといった処理の流れにより、（車両台数をnとした場合オーダー $O(n)$の通信に基づく）比較的簡単なやりとりで実現可能となる。多数の車両の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/車両にまたがる分散した構造のネットワークシステム構成が望ましい。

ここでは、国際的な標準仕様および検討動向に基づき、データ連携 PF を構成する車載 DM（車両）、路側 DM（路側機およびロードサイドエッジ）、キャリア DM（MEC サーバー）、セントラル DM（クラウドサーバー）を接続する通信方式および通信プロトコルの通信インターフェースの検討を行うことを目的とする。



（1）車両間通信（n 対 n）　　（2）車両間調停（1 対 n）

図 261　複数台による調停

■　実施方針

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 262 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。

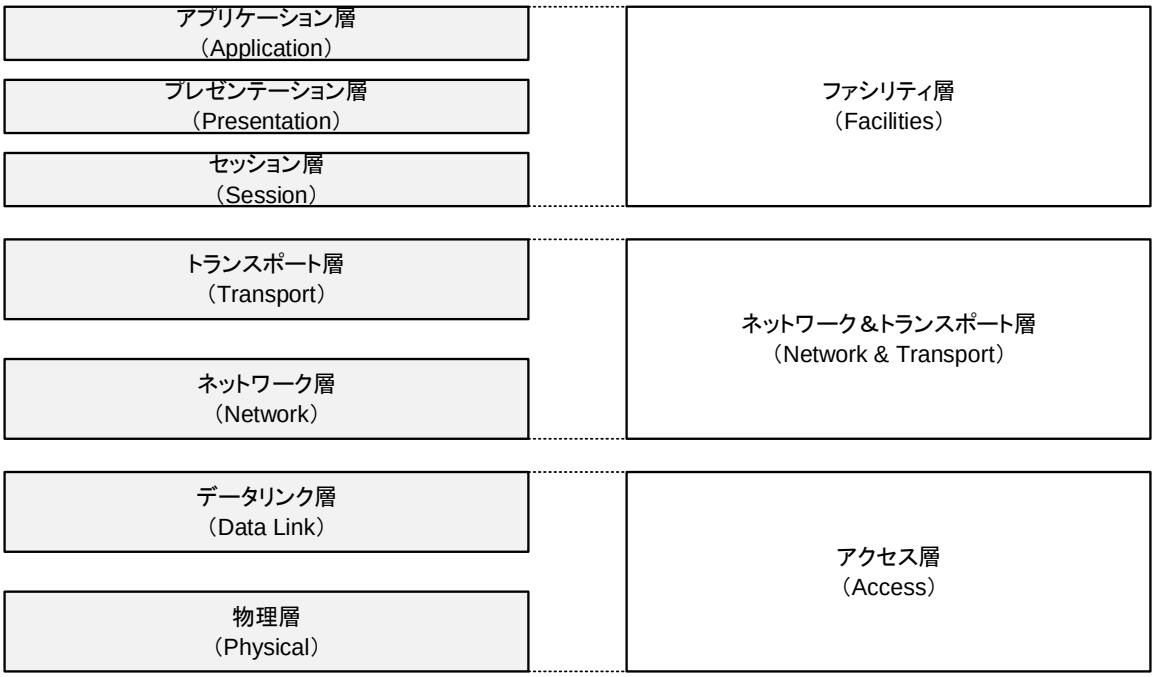


図 262　クルマの通信アーキテクチャ（右）と OSI 参照モデル（左）

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 263 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。

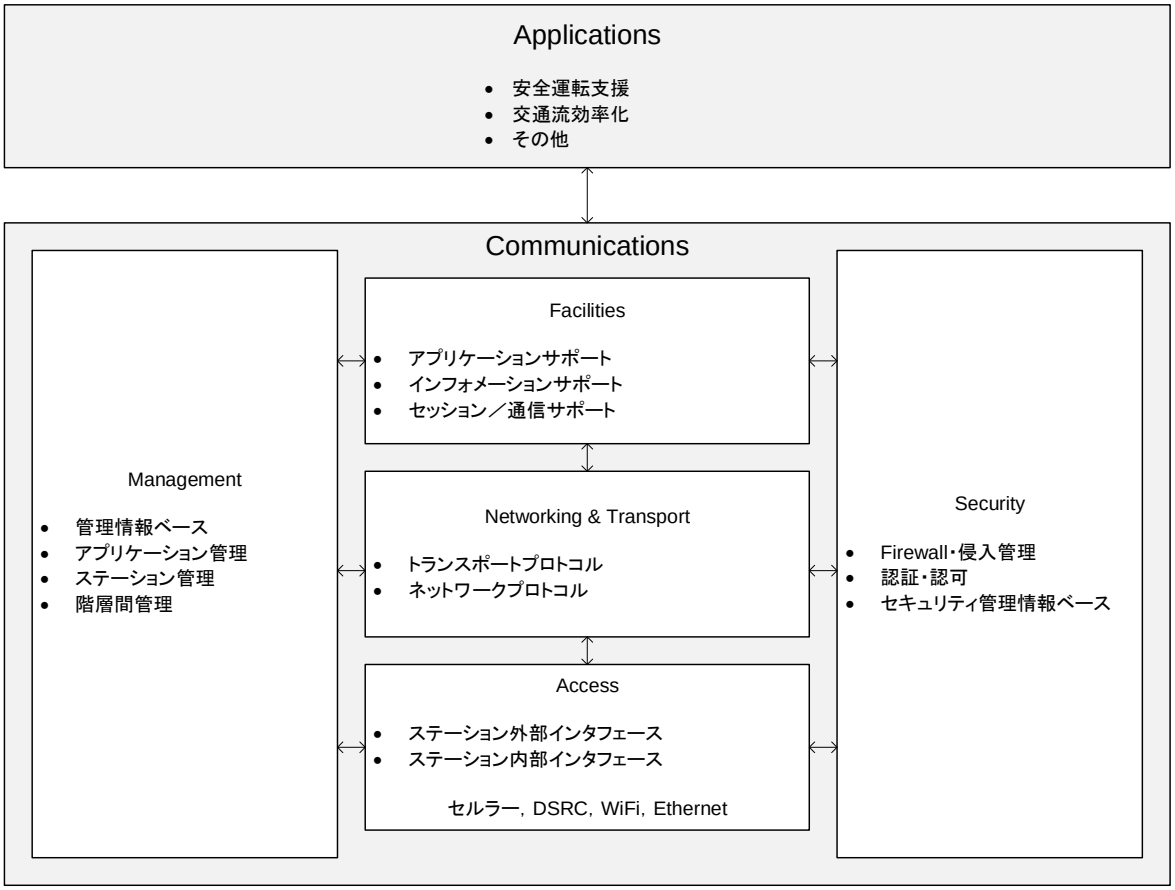


図 263　つながるクルマの通信アーキテクチャ（ITS ステーションアーキテクチャ）

- アクセス層

ブロードキャスト方式：一般に 760MHz 帯の ITS 無線あるいは 5.8GHz/5.9GHz 帯の DSRC などのブロードキャスト方式の通信を実験で利用するのは無線免許上困難であるため、無線 LAN（WiFi）により、アクセスポイント経由のインフラモードではなく、機器間を直接的に接続するアドホックモードを利用して検討を進めるが、一部の特別な実証実験環境（総務省の V2X 調査検討会が行う実験環境）においては、5.9GHz 帯の DSRC あるいは PC5 の利用の検討も含める。

ユニキャスト方式：LTE/4G、5G による携帯電話網を使ったユニキャスト方式を基本とし、路側機周辺の大容量・高速通信およびネットワーク層以下の車両および歩行者のための情報提供の実現への活用も想定し、5GHz 無線 LAN インフラモードによる通信の活用についても検討を行う。

- ネットワーク＆トランスポート層

日本の ITS Connect や ETC2.0 においては、それぞれの特定用途のみの利用を前提としているため、ブロードキャスト方式のアクセス層をアプリケーション層が直接利用する簡易な形態となっており、携帯電話ネットワークの併用など、新たな通信方式を取り入れるためには、全体を再設計する必要がある。ここでは柔軟なネットワーク構成を実現するために、インターネットにおいて利用されるインターネットプロトコル（IPv4、IPv6）、トランスポート層における TCP、UDP を基盤にネットワーク＆トランスポート層の検討を進める。しかし、インターネットプロトコルは IP アドレスを利用して送信元から宛先を特定するため、協調型自動運転の通信ネットワークにおいて、インターネットの仕組みをそのまま採用することはできない。そのために、車両、歩行者などのメッセージを送受信するノードの位置を利用して IP アドレスを特定する方式を新たに検討に取り入れる。IP アドレスと位置情報の管理は、マネジメント（管理）部で行う。さらに、現在の一般的なインターネットの仕組みでは、ネットワークにおける複数の通信経路を同時に利用したり、通信経路を事前に予測して帯域を確保したりすることができないが、ここでは、通信ネットワークにおけるデータ転送の信頼性向上のための複数の方法についても検討する。

- ファシリティ層

ファシリティ層は、アプリケーションのデータをメッセージとして構成するアプリケーション層の機能、アプリケーション層のメッセージを圧縮／伸長、符号化／復号化、暗号化、あるいは翻訳するプレゼンテーション層の機能、またアプリケーションを効率的に実行のためのデータ管理するセッション層の機能などを実現するものである。アプリケーション層の機能およびプレゼンテーション層の機能については、デジタル道路交通データプラットフォームの API（アプリケーション・プログラム・インタフェース）において検討を行い、暗号化を含むセキュリティの機能については、通信ネットワーク全体に関与する部分であり、次のセキュリティ（含プライバシ）の項目において個別に検討する。

データの管理に関して、協調型自動運転等で利用されるセンサーデータの場合、たとえば、車両の位置などは、時々刻々と変化する時系列のストリームのデータとなる。一般的なデータベースにおけるクエリ（One-shot Query）では非効率なため、ここではでは継続クエリ（Continuous Query）を利用する。予め検索クエリを発行し、時系列のストリームデータが検索条件に合致すると、その時点で応答を返すストリーム処理を行うことで、リアルタイム性を実現する。また、地図等の静的データとセンサー情報の動的データを関連づけた検索の機能も実現する。

- セキュリティ（含プライバシー）

V2X 通信を利用して車両の外部と情報をやりとりする場合、セキュリティ機能が実現されていない場合、様々なリスクに脅かされる危険性がある。V2X 通信のセキュリティ（特に情報改ざんに関わる完全性と送信者になりすましに関わる真正性）、および、プライバシー（送信する位置情報を継続的に取得すると出発地、目的地、通過経路が知られる）に関して、すでに世界的に検討され標準化が進みつつある。

日本では、総務省の 700MHz 帯セキュリティガイドラインに基づいた共通鍵による方式が採用されているが、米国、欧州、中国など世界的には、公開鍵による電子署名方式の採用が検討されている。ここでは、世界的に検討が進む方式をもとに実現方法を基盤とする。

- マネジメント（管理）

車両がデータを送信する際に、車両位置情報を車線レベル情報の地図データと照合し、それに基づいた経路情報を利用する方式を検討する。たとえば、ある車両がエッジサーバーに情報を送信する場合、その車両が走行するエリアを管理するエッジサーバーの IP アドレスを知る必要があり、当該車両が走行する車線区間 ID を照合し、IP アドレスの情報を取得する方法とする。

- ネットワークシステム構成

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ー（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構成の概要を図 264 に示す。

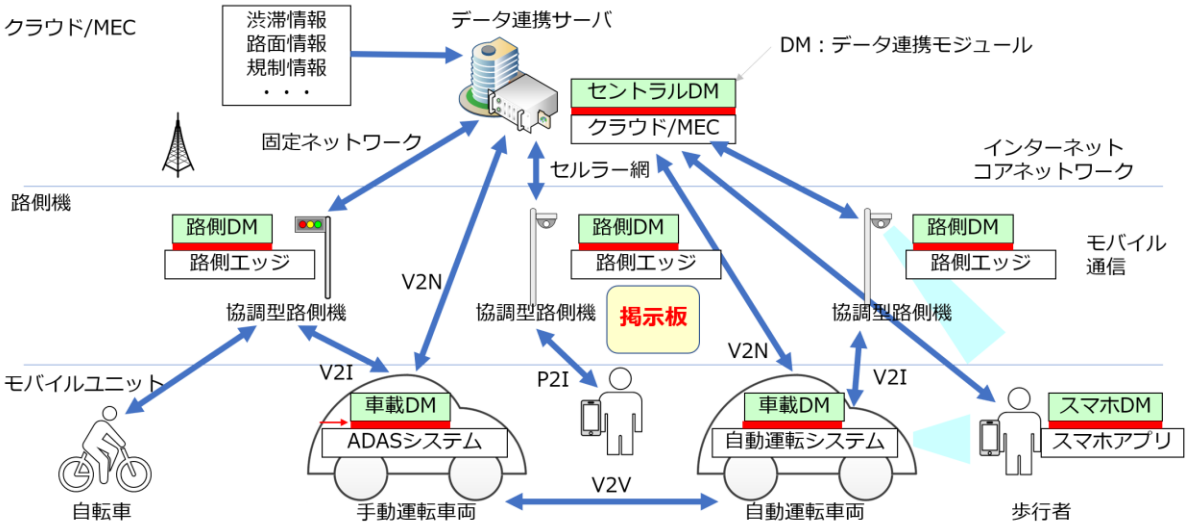


図 264　データ連携のためのネットワークシステム構成

■ 実施事項と実施方法

令和 3 年度の検討ではデータ連携 PF の通信インターフェースの検討・定義として、通信の実証に向けた基本機能の仕様の定義に関する検討を行う。

- 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 の間の通信形態を 4 種類に分類し接続構成を検討した。
- 分類した通信形態に対応する通信インターフェース（通信方式や通信プロトコルなど）の仕様案を作成するとともに、通信機能の一部を実際のハードウエアに実装し、動作確認を行った。
- 通信におけるセキュリティ・プライバシ機能を机上検討し，仕様としてまとめるとともに，一部の機能（特に証明書の発行と仮名 ID による検証）の基本部分を実装し，動作確認を行った。
- データ連携 PF において、複数の通信手段の併用による高い信頼性とデータ連携に必要な通信速度を確保できる方式に関する検討を行い、試験環境において検討した手法の一部についてシミュレーションにより定量的評価を実施し有用性を検証した。

(1) データ連携 PF での利用が想定される通信機能

ここではデータ連携 PF での利用が想定される通信機器について、その機能の概要を説明する。

車両（車載 DM）、協調型路側機（路側 DM）、MEC（キャリア DM）、クラウド（セントラル DM）で構成されるデータ連携 PF における通信機器の構成を図 265 に示す。前述のようにここでは、クラウドと MEC を分離して考えず、クラウド／MEC を合わせてセントラル DM として扱うが、実証実験においては、このセントラル DM は携帯電話のコアネットワーク内、あるいは、インターネット上のクラウド上と柔軟な配置を行う。

車載 DM、路側 DM、セントラル DM は、データ連携部（IS）と通信機能部（CS）で構成され、通信機能部には、携帯電話網（4G／5G）を利用するためのモバイルルーター、PC5／DSRC を利用するためのアドホック通信手段、現在 ITS Connect で利用されている ARIB STD-T109 あるいは WiGig の ITS 無線部が接続される。

車両（車載 DM）には自動運転機能を実現するためのアプリケーションが動作し、LiDAR やカメラなどの車載センサーの情報を取得し、実際の車両を制御することで自動運転を実現する。また、これらの車載センサーで検知した車両周辺の物標情報を他の DM に送信する。協調型路側機（路側 DM）には複数車両を調停するための走行調停支援のアプリケーションが動作する。協調型路側機には、自動運転車両と同様に LiDAR やカメラのセンサーを搭載し、これらの車載センサーで検知した車両周辺の物標情報を他の DM に送信する。クラウド／MEC（セントラル DM）は、信号情報など外部情報との取得・管理を行うとともに、複数の車両、複数の協調型路側機の接続管理を統合的に実施する。

各 DM には、送信メッセージにタイムスタンプを作成するための正確な時刻情報取得のために、GNSS が接続される。

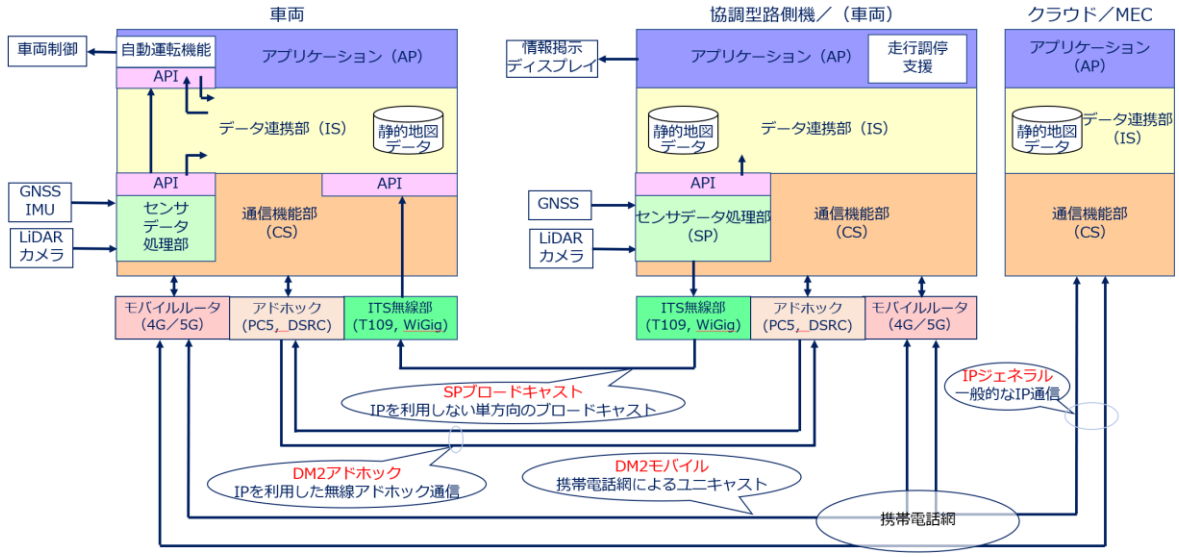


図 265　データ連携 PF における通信機器の構成

ここでの検討は、通信形態を次の 4 種類に分類して検討を進める。

- 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）
  - 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)　データ連携 PF の通信インターフェースの基本機能の仕様

ここではデータ連携 PF の通信インターフェースについて、実証に向けた基本機能仕様の定義を行う。

データ連携 PF の通信インターフェースに関して、IP ジェネラル、SP ブロードキャスト、DM2 アドホック、DM2 モバイルの 4 方式に分類して基本機能の仕様を検討した。

i)　IP ジェネラル

図　266 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ーにより検出した物標情報をクラウド／MEC サーバーであるセントラル 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。

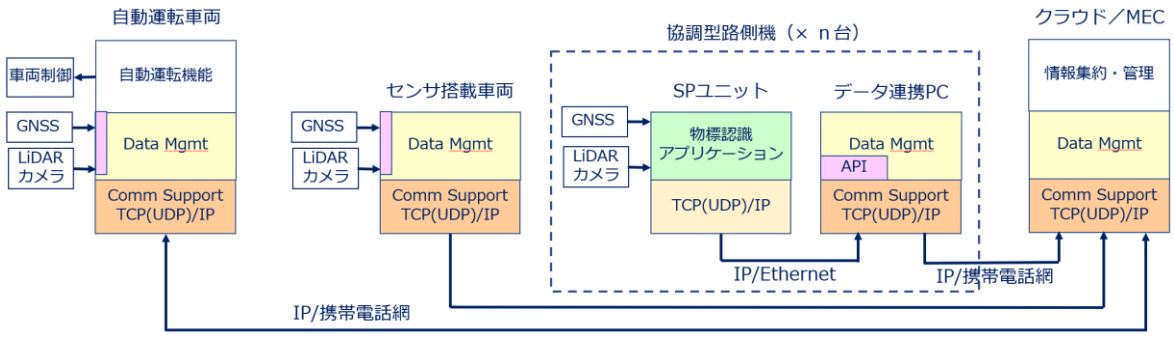


図 266　IP ジェネラル通信形態のユニット接続形態

ii) SP ブロードキャスト

図 267 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、車載センサー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。

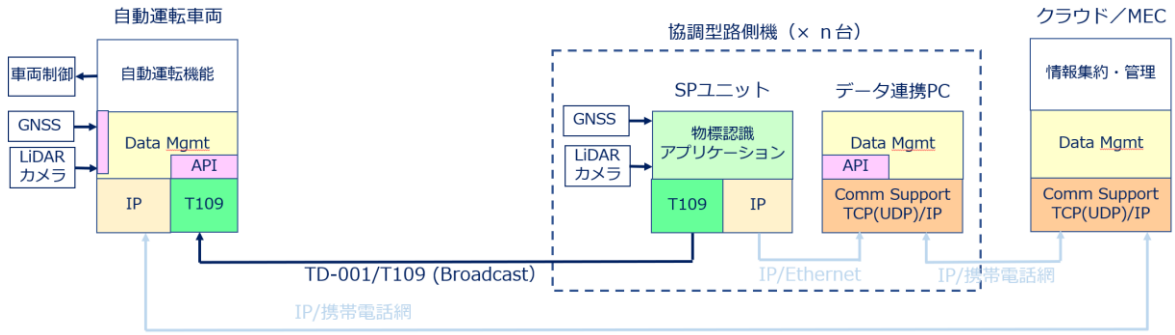


図 267　SP ブロードキャスト通信形態のユニット接続形態

iii)　DM2 モバイル

図 268 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。

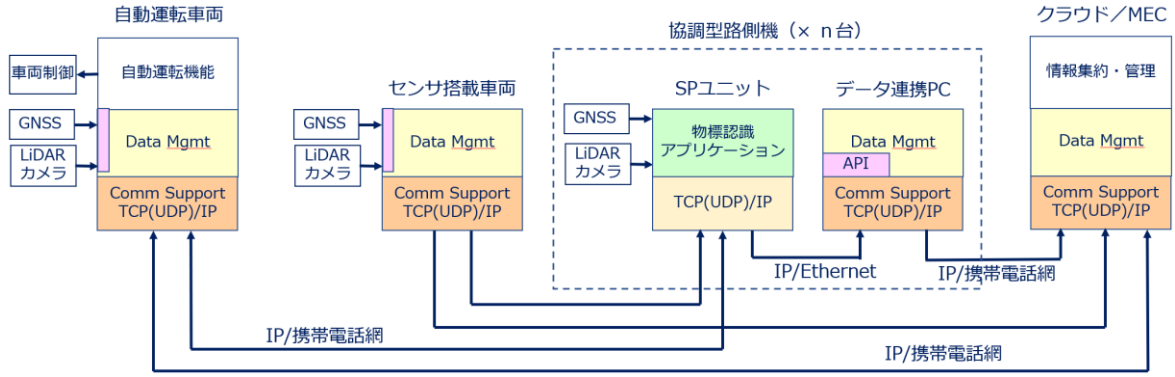


図 268　DM2 モバイル通信形態のユニット接続形態

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。

iv)　DM2 アドホック

図 269 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。

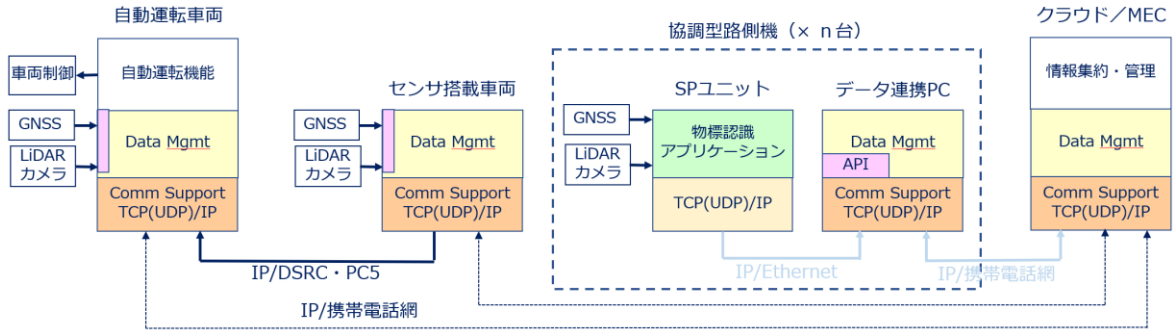


図 269　DM2 アドホック通信形態のユニット接続形態

(3)　セキュリティ・プライバシ

- 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 のもとになっている総務省セキュリティガイドラインでは、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、プライバシー保護のための仮名 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 270 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。

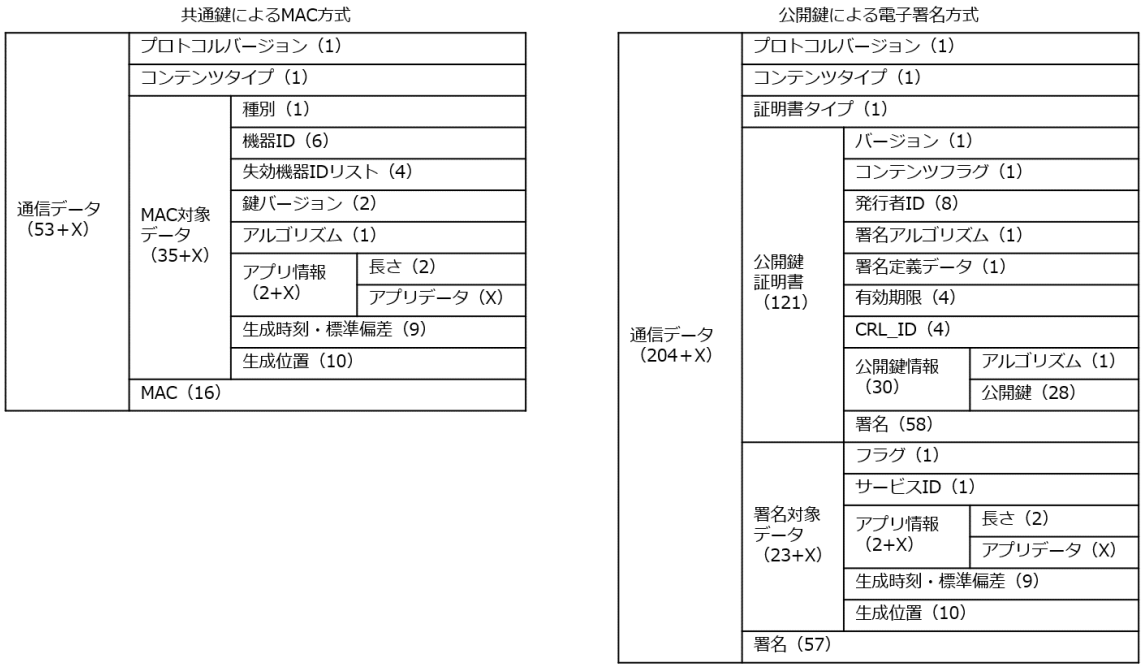


図 270　共通鍵 MAC 方式と公開鍵電子署名方式のメッセージ比較

仮名 ID（仮名証明書）発行および検証の一連の手順を図 271 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。

プライバシー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。

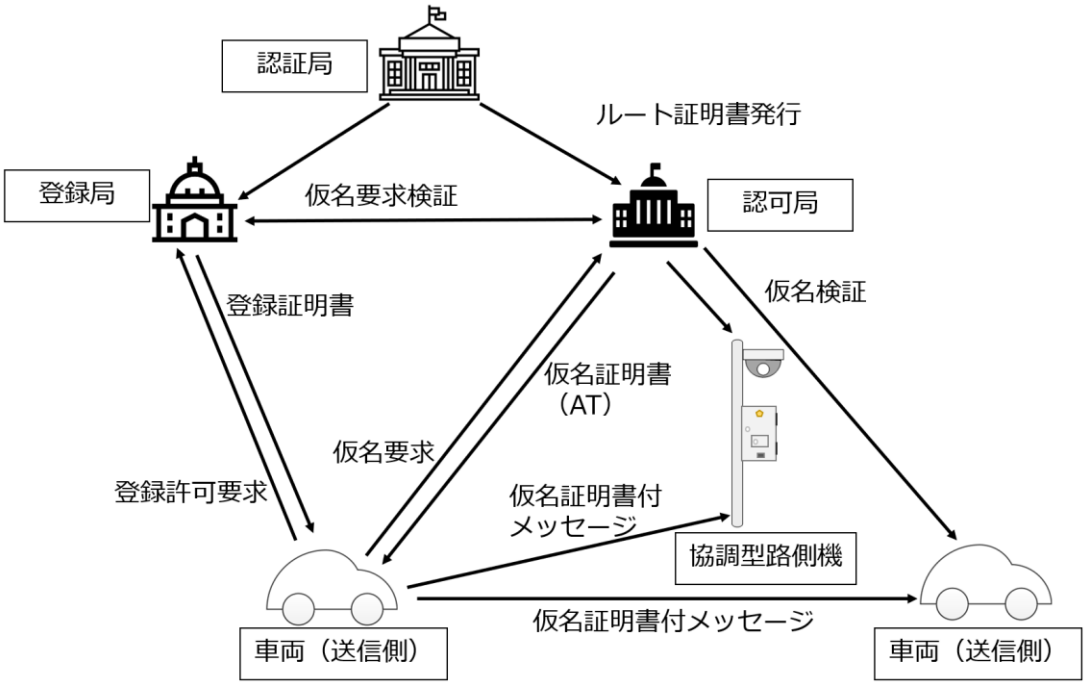


図 271　仮名 ID 発行・検証の手順

(4)　データ連携 PF における通信機能の高信頼化・安定化

ここではデータ連携 PF の通信機能の高信頼化・安定化に関しての検討項目を記述する。ここでは路側機と車載機間の IP ジェネラルとして、携帯電話網（4GLTE/5G）通信に加えて、路側機に備えた無線 LAN アクセスポイントからのインフラストラクチャモードの接続を活用することで、データ伝送容量の拡大とネットワーク障害への対策による高信頼化・安定化を目指すものである。

(a) 通信管理サーバーと無線環境データベースを活用した通信機能の高信頼化・安定化

はじめに、路側機と車載機の通信に関して、通信管理サーバーと無線環境データベースを用い、車載機および路側機が適応的に通信オペレーターやチャネルを切り替えることで、協調型自動運転のための高信頼通信実現を目指す。本システムは、通信機能の状態を把握し、チャネルやオペレーター切り替えなどの制御を統括する通信管理サーバー、路側機や車載機から報告される無線環境情報や通信ログの記録を蓄積し位置情報と共に統計化する無線環境データベース、複数の通信機能を備えた路側機と車載機のソフトウエアから構成される。全体のシステム概要を図 272 に示す。

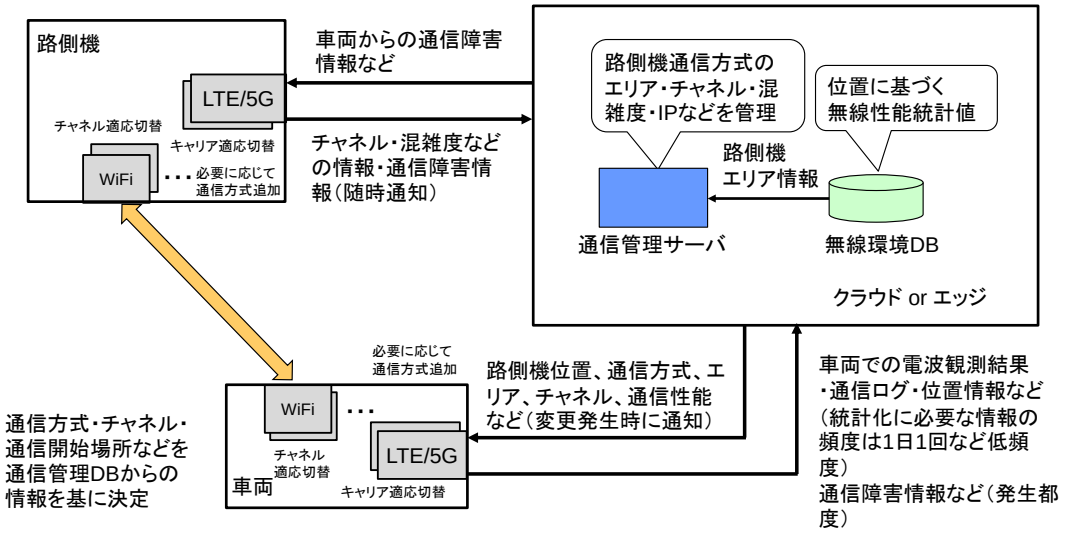


図 272　システム全体構成

ここでは、通信管理サーバー、無線環境データベースおよび連携して動作する路側機、車載機における通信の要件を整理し、実証に使用する試験用ソフトウエアの設計と実装を行った。本ソフトウエアは、協調型自動運転で利用する路側機および車載機に搭載された通信機器を用いて無線環境および通信ログの記録を行い、その記録データを通信管理サーバーに備える無線環境データベースに蓄積し、統計処理を行うことで、位置情報に基づく無線環境を把握する機能を持つ。加えて、路側機および車載機は複数の通信システムと通信機器を備え、それぞれの死活監視および品質の確認を行った上で、適応的に通信オペレーターやチャネルを切り替えることで高信頼な無線通信の維持を図る機能を有する。以降、システムの各構成要素において実装する機能を定義する。

通信管理サーバーで実装する機能と詳細は以下の通りである。

- 路側機管理
  - 路側機に搭載された通信機器の状態を把握
  - 路側機毎に以下の情報を管理
    - 路側機の設置位置・ID
    - 路側機に搭載された通信機器
    - 通信機器の通信パラメータ（チャネル、IP アドレス等）
  - 通信用途に応じて路側機で使用する通信インターフェースを選択
    - 5G/LTE: クラウド（またはモバイルエッジ）との接続
    - 無線 LAN（2.4GHz、 5GHz）: 車載機・歩行者との接続
  - 車載機との接続時に無線 LAN の通信エリアを無線環境データベースから取得
- 車載機への通信状態通知

- 車載機に対して、車載機近傍路側機が搭載する通信機器（当初は無線 LAN を利用）に関する以下の情報を提供
  - 路側機設置位置
  - 通信方式
  - サービスエリア（周辺道路の接続開始可能箇所の緯度・経度）
  - 通信機器状態（プライマリチャネル、セカンダリチャネル、SSID、IP アドレスなど）
- 車載機から送信される以下の路側機障害情報を収集し、路側機管理に活用
  - 無線 LAN の接続失敗
  - Ping 応答不良
  - 再送回数の異常

• 車両位置管理
  - 車載機の位置情報を定期的に登録し、リアルタイムで位置情報を把握

無線環境データベースで実装する機能と詳細は以下の通りである。

• エリア観測データ蓄積・統計化
  - 車載機が観測した位置情報に紐づく無線環境観測情報をデータベースに格納
  - 位置情報を用いて観測エリアを正方形領域（以降、メッシュ）に分割
  - メッシュごとにメッシュ ID を付与
  - 各メッシュ ID に対して、各通信インターフェースに関するバンド毎の統計データを格納
    - 5G/LTE: 受信信号電力の平均値・最小値・最大値・中央値、通信管理サーバーまでの平均レイテンシ
    - 無線 LAN: 平均受信信号電力値、平均レイテンシ
  - 指定されたメッシュ ID または周波数毎の統計データを要求に応じて抽出・提供
• 車載機通信ログ蓄積
  - 車載機の通信ログを通信インターフェース別に蓄積
• 無線環境統計化
  - データベース化する対象の基地局 ID（または送信方式）およびバンド毎に 1km 四方の統計データを提供
    - 統計化するメッシュサイズは 1m、2m、5m、10m から選択可能とする

路側機で実装する機能と詳細は以下の通りである。なお、路側機では 5G/LTE に接続されるルーターを複数準備して、異なるオペレーターの SIM カードを搭載することで冗長性を持った接続形態とする。

• 5G/LTE マルチオペレータ接続

- 複数の接続状態になっているネットワークから優先度・品質に応じてプライマリネットワークとセカンダリネットワークを決定
- 5G/LTE がシームレスに切り替わるルーターを利用して通信インターフェースを選択
  - 使用可能であれば 5G を優先的に選択
- リンク層の接続が確立されたら OS のルーティングテーブルを設定し、いずれの経路でもアプリケーション層の通信を実施
- 常に認証させておき、通信管理サーバーからの指示もしくは自身の通信状態監視の結果に基づいて利用するプライマリ・セカンダリのネットワークを切り替え
- 定期的なサーバーへの Ping 伝送により通信の可否およびレイテンシを監視
  - ネットワークの死活状態が変化した場合は都度サーバーに状態変化を通知
- 接続ネットワーク毎に通信品質の劣化が観測された場合は都度サーバーに品質劣化したことを通知
- 通信管理サーバーで収集対象とした情報を最低 1 秒に 1 回取得して記録
- 路側機で収集した情報を通信管理サーバーに定期的に登録

- 無線 LAN インフラストラクチャ通信
  - 最低 2 つのチャネルで車載機と通信
  - 準備したチャネルには優先度を設ける
    - 通信状態が良いチャネル: プライマリチャネル
    - 予備用のチャネル: セカンダリチャネル
  - 2 つ以上のチャネル数が準備できる場合、接続の優先度順に並べて、異なる SSID を付与
  - 車載機がプライマリチャネルを選択して接続
  - 屋外で利用できる 5GHz 帯のチャネル（日本では W56 に属するチャネル）を利用
  - チャネル観測用センサーからの情報を基に、混雑度に応じてプライマリチャネルとセカンダリチャネルを適宜入れ替え
  - 当初のプライマリチャネル接続の機器がなくなった段階で空きチャネルから状態の良いチャネルを新たなセカンダリチャネルとして選択
  - チャネルの切り替えが発生した場合はその情報を通信管理サーバーに通知
  - SSID、利用チャネル、IP アドレス、通信パラメータなどの情報を定期的に通信管理サーバーに通知
  - レーダー検出機能(DFS)が動作した場合、動作したチャネルがプライマリチャネルの場合はセカンダリチャネルと入れ替え、3 番目に混雑していないチャネルを新しいセカンダリチャネルとして選択

- パケット誤り率を確認(シリアル番号を含むペイロードを持つ UDP パケットを模擬路側機からブロードキャスト)
- 路側機で収集した情報はサーバーに定期的に登録

- 無線 LAN チャネル観測
  - チャネル観測センサーの無線 LAN ドングルを使用して定期的に各チャネルの混雑度を計測
  - 計測した混雑度の情報はサーバーに定期的に登録

車載機で実装する機能と詳細は以下の通りである。なお、車載機では路側機と同様に、5G/LTE に接続されるルーターを複数準備して、異なるオペレーターの SIM カードを搭載することで冗長性を持った接続形態とする。

- 5G/LTE マルチオペレータ接続
  - 複数の接続状態になっているネットワークから優先度・品質に応じてプライマリネットワークとセカンダリネットワークを決定
  - 5G/LTE がシームレスに切り替わるルーターを利用して通信インターフェースを選択
    - 使用可能であれば 5G を優先的に選択
  - リンク層の接続が確立されたら OS のルーティングテーブルを設定し、いずれの経路でもアプリケーション層の通信を実施
  - 常に認証させておき、通信管理サーバーからの指示もしくは自身の通信状態監視の結果に基づいて利用するプライマリ・セカンダリのネットワークを切り替え
  - 定期的なサーバーへの Ping 伝送により通信の可否およびレイテンシを監視
    - ネットワークの死活状態が変化した場合は都度サーバーに状態変化を通知
  - 接続ネットワーク毎に通信品質の劣化が観測された場合は都度サーバーに品質劣化したことを通知
  - 通信管理サーバーで収集対象とした情報を最低 1 秒に 1 回取得して記録
  - 車載機で収集した情報を通信管理サーバーに定期的に登録
- 無線 LAN インフラストラクチャ通信
  - 最低 2 つのチャネルで車載機と通信
  - 通信管理サーバーから提供される路側機の位置情報やチャネル情報を利用し通信を確立
  - プライマリ、セカンダリチャネルの接続状態を確認し、以下のログを取得
    - RSSI
    - Ping による通信管理サーバーとのレイテンシ
  - 通信管理サーバーの項で収集対象とした情報を位置情報と共に最低 1 秒に 1 回取

得してファイルに保存

- 短期間で認証を行うために通信管理サーバーから配信された路側機の SSID、チャネル情報を事前に設定
- 各インターフェースで死活管理を行い、障害発生時にはその情報を速やかに通信管理サーバーに通知
- 車載機で収集した情報はサーバーに定期的に登録

- 無線 LAN チャネル観測
  - チャネル観測センサーの Wi-Fi ドングルを使用して定期的に各チャネルの混雑度を計測
  - 計測した混雑度の情報はサーバーに定期的に登録

(b) 路側機における無線 LAN インフラストラクチャモードの高速接続・システム選択法

本項では、前項で構築された通信管理サーバーを活用した手法の一つとして路側機における無線 LAN インフラストラクチャモードに車載機が接続する際の接続・認証を高速化したうえで、複数の通信手段を持つときの適切な接続法に関する検討結果を示す。ここでは、図 273 に示すようなシステムモデルを想定する。V2I 通信は無線 LAN、V2N 通信は携帯電話網（ここでは、LTE を利用）を用い、基地局・路側機はバックボーンで無線環境データベースを備える通信管理サーバーに接続している。無線環境データベースを用いることによって、実観測の情報を利用することで距離減衰やシャドウイング変動を高精度に予測することができ、通信パラメータの設計に活用できる。無線環境データベースは、観測端末が電波センサーの役割を果たし，受信位置、時刻、中心周波数、受信信号電力、レイテンシ、接続・認証時間などを観測する。観測端末は観測した情報を外部に配置された無線環境データベースに報告する。無線環境データベースでは通信エリアを 2 次元メッシュに分割し、集約した情報を統計処理して、送信位置ごとに無線エリアをマップ化する。車両は LTE を用いて、常に通信管理サーバーに接続しており、必要な情報のアップロード/ダウンロードを行う。ただし、LTE で画像・動画データなどの大容量データをやりとりするのは容量とコストの関係から現実的ではない。そこで本手法では、LTE を用いて常に通信管理サーバーに接続していることを生かし、データ量に応じて無線 LAN と LTE の適応選択を行うことで、安定で効率的な通信を目指す。さらに、それぞれの無線 LAN AP はチャネルを事前に固定し、チャネルを通信管理サーバーで管理し、それを車載機に提供することでチャネルスキャン時間の短縮を目指す。

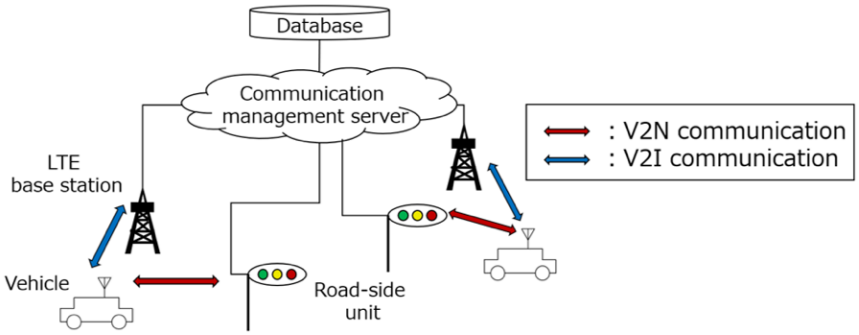


図 273　システムモデル

本手法において車載機が保持している情報は以下のものとしている。

- 自車両の位置情報
- 自車両の走行速度
- 自車両の走行ルート
- 路側機の位置情報（事前に保持）
- 無線 LAN の共通パスワード

同様に通信管理サーバーが提供する情報を以下にまとめる。

- 無線 LAN の AP ごとの受信信号電力マップ
- 無線 LAN の AP ごとの接続・認証時間マップ
- 無線 LAN の AP ごとのスループットマップ
- 無線 LAN の AP の SSID、チャネル、IP アドレス
- 信号情報、道路形状など周辺交通情報

ただし、無線 LAN のパスワードを都度変更する場合は通信管理サーバーから提供する設計にすることも可能である。以下で車載機側のアルゴリズムを述べる。

1. 路側機の位置情報を参照して、車両の近くに無線 LAN の AP 機能を有する路側機が存在することを確認する。
2. 通信管理サーバーに該当 AP の受信信号電力マップ、接続・認証時間マップ、スループットマップ、SSID、チャネルをリクエストする。
3. 手順 2 でリクエストした情報をサーバーから受け取る。
4. 車両の走行ルート、信号情報、受信信号電力マップ、接続・認証時間マップ、スループットマップを参照し、接続・認証時間＋対象データの送受信に必要な時間の間無線 LAN に接続可能かを確認する。可能なら 5 へ、不可能ならその AP には接続せず携帯電話網経由で情報伝送もしくは別の AP 接続の機会を探索する。

5. AP の SSID、パスワード、チャネルを登録する。
6. AP の接続･認証時間マップを参照し､接続･認証可能範囲に入った時に登録先へ接続する。
7. 無線 LAN を用いて必要なデータの送受信を行う。
8. データの送受信が終了後、無線 LAN を切断し登録 AP の情報を消去して終了。

手順 4 において車載機が無線 LAN 利用するか否かの判定は接続・認証時間、対象データの送受信に必要な時間、無線 LAN 通信範囲内に自車両が滞在できる時間をそれぞれ算出することによって行われる。無線 LAN 通信範囲内に自車両が滞在できる時間は走行ルートと信号機情報から算出する。手順 5 に記した AP の SSID、パスワード、チャネルの登録は接続・認証時間の短縮ために行う。V2I 通信で無線 LAN を利用する際、通常は無線 LAN の接続・認証は全チャネルをスキャンするが、本手法では既知の当該 AP のチャネルのみをスキャンすることによって、チャネルスキャンの時間の短縮を行うことを提案する。当該 AP の SSID、パスワード、チャネルの情報を車載機に登録しておくことで無線 LAN 接続・認証の高速化を図る。また、接続・認証可能範囲で接続・認証開始するため、確実に認証成功し、再認証による接続・認証時間の増加の削減が見込める。

提案手法の無線 LAN 接続・認証の高速化を評価するために電気通信大学東 10 号館前で実験を行った。実験諸元を表 110 に示す。接続先のチャネルが既知の状態で接続・認証高速化を図る場合と、チャネルが未知の状態で全チャネルをスキャンする場合の接続・認証時間を計測した。

表 110　実験諸元

無線 LAN ルーター	BUFFALO WAPM-1266R
無線 LAN 規格	802.11ac
無線 LAN ドングル	NETGEAR A6210
PC	Minisforum X35G
測定項目	受信信号電力、 接続・認証時間
無線 LAN AP 高さ	4.5 m
無線 LAN 周波数	100 ch (5500 MHz)、 120 ch (5600 MHz)

メッシュサイズを 5m×5m として統計処理を行った。図 274、図 275 に接続・認証時間のマップを示した。周波数に依らず、接続・認証時間が約 5.5 秒短縮できていることが確認できる。また、相関を確認するために図 276、図 277 に 120ch の受信信号電力と接続・認証時間の相関図を示した。受信信号電力と接続・認証時間に相関関係は見らないが一定以上の受信信号電力がないと接続・認証できないことが確認できた。

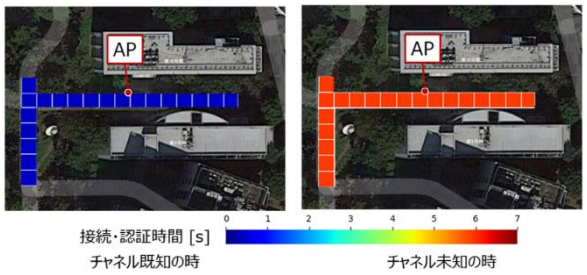


図 274　100ch の接続・認証時間マップ

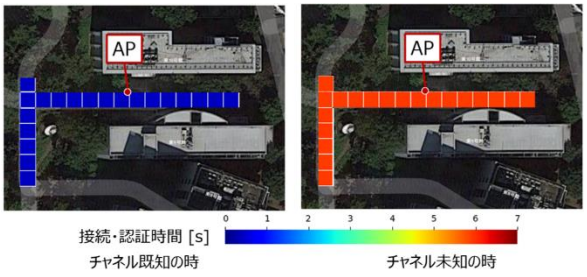


図 275　120ch の接続・認証時間マップ

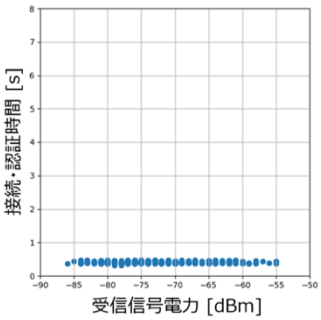


図 276　チャネル既知の場合の相関図

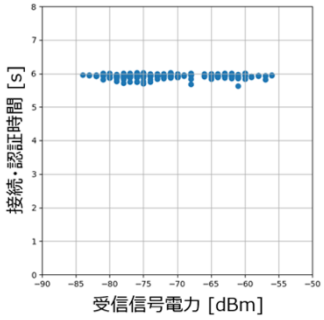


図 277　チャネル未知の場合の相関図

また、システムの適応選択について評価するためにシミュレーションを行った。想定する車両の走行ルートを図 278 に、シミュレーション諸元を表 111 に示した。走行シナリオは信号機 0 個、信号機 1 個(青信号)、 信号機 1 個(赤信号)、信号機 2 個(青信号・青信号)、信号機 2 個(赤信号･青信号) 、信号機 2 個(赤信号･赤信号)の 6 つのルートを考える。LTE のスループット$\boldsymbol{Th_{\mathrm{LTE}}}$、無線 LAN のスループット$\boldsymbol{Th_{\mathrm{wlan}}}$の計算方法は、簡易的に導出するとしてそれぞれ式(1)、(2)を用いた。ここで、$\boldsymbol{C}$はシャノン容量、$\boldsymbol{\rho}$は LTE 他ユーザーのリソースブロックの使用率、$\boldsymbol{N}$は無線 LAN パケットサイズ、$\boldsymbol{t_{\mathrm{difs}}}$は DIFS(DCF Inter Frame Space)時間である。

$$Th_{\mathrm{LTE}} = \frac{C(1-\rho)}{\rho}\ln\left(\frac{1}{1-\rho}\right) \tag{1}$$

$$Th_{\mathrm{wlan}} = \frac{N}{t_{\mathrm{difs}} + \frac{N}{C}} \tag{2}$$

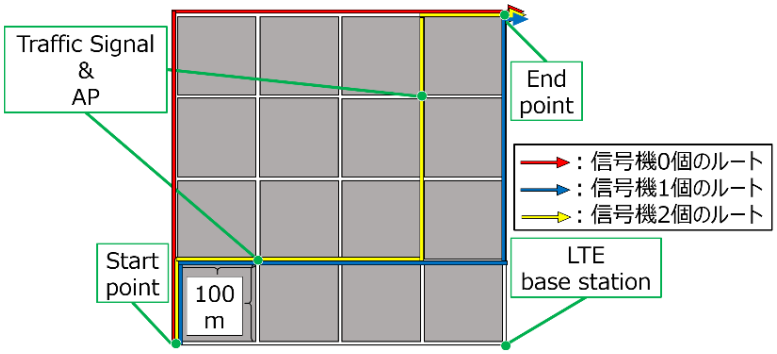


図 278　想定走行ルート

表 111　シミュレーション諸元

メッシュサイズ	5 m × 5 m
赤信号による停車時間	5 s
チャネル未知の Wi-Fi 接続・認証時間	5.95 s
チャネル既知の Wi-Fi 接続・認証時間	0.4 s
LTE 周波数	2.1 GHz
Wi-Fi 周波数	5.6 GHz
LTE 帯域幅	20 MHz
Wi-Fi 帯域幅	20 MHz
LTE 送信電力	40 dBm
Wi-Fi 送信電力	10 dBm
LTE アンテナ利得	16 dBi
雑音電力	-174 dBm/Hz
Wi-Fi 接続・認証可能受信信号電力	-80 dBm
LTE パスロスモデル	ITU-R M.2135-1 Urban macro-cell NLos
Wi-Fi パスロスモデル	自由空間伝搬
リソースブロック使用率	0.5
DIFS 時間	28 μs
Wi-Fi パケットサイズ	2304 byte

図　279 に伝送可能データ量を示した。どの走行シナリオにおいても、LTE のみ利用した場合よりも LTE と無線 LAN を適応選択して利用した場合の方が伝送可能データ量を大きくできることがわかる。また、チャネル未知の場合よりもチャネル既知の場合の方が無線 LAN に接続している時間が長くなり、伝送可能データ量が増大している。

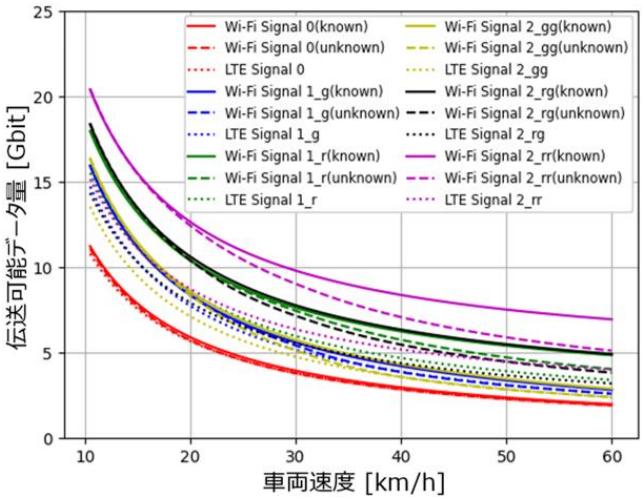


図 279　伝送可能データ量

本研究では、無線環境データベースを用いて LTE と無線 LAN を適応的に選択した上で、V2I で無線 LAN 通信を行う際の接続・認証時間の短縮による伝送可能データ量の比較を行った。実験によって、あらかじめ AP のチャネルを把握しチャネルスキャンの時間を短縮することで、接続・認証時間の高速化に成功したことを確認した。また、シミュレーションによって、LTE のみ利用した場合よりも LTE と無線 LAN を適応選択して利用した場合の方がスループットの向上がみられ、伝送可能データ量が増大したことを確認した。

今後は実測によって提案手法の優位性を確認していくとともに、車両の移動が提案手法に与える影響も調査する必要がある。また、無線 LAN 利用時のスループットは、チャネル占有率によって大きく変動するため、チャネル占有率を加味してスループットを予測する必要がある。

4) インフラセンサー（スマートポール）の開発

■ 該当項目の背景と目的

現在、カメラやレーダーなどのセンサーを車両に搭載し、車両周辺の歩行者や自転車、他の車両などを監視することで、安全性や利便性を向上させる技術の普及が始まっている。たとえば、車両の前方の対象物との距離を計測し、衝突の危険性がある場合に注意喚起し自動でブレーキをかける衝突被害軽減ブレーキあるいはプリクラッシュセーフティーシステム、前方車両に追随するアダプティブ・クルーズ・コントロール（ACC）などがすでに商用化されている。しかし、車載センサーでは、死角となる領域の対象物の情報を取得することができず、また、得られる対象物の動きの情報にも限界がある。たとえば、交差点右折の際に反対車線から交差点に接近してくる対向車との衝突、見通しの悪い交差点における出会い頭の衝突などへの対応は困難となる。

車載センサーで取得できる情報を拡張、補完するために、通信手段が搭載されている。車両と車両の間の車々間通信、車両と路側機（信号や車両感知器など）の間の路車間通信、携帯電話網を利用した通信 がある。具体的には、車々間通信により車両の位置や速度を周辺に送信することで、より追従性能の高い ACC や、出会い頭の衝突回避のための注意喚起などが実現されており、また、路車間通信を利用して、見通しの悪い道路前方の状況や信号の状態を車両に伝えるシステムが商用化されている。さらに、車両の位置、速度に加えて、車両が検知した周辺の状況を他の車両に伝える技術の開発も行われており、これにより、スマートフォンなどの位置情報を提供するための通信手段を持たない歩行者や自転車などの情報を他の車両に通知することが可能となる。

しかし、車々間通信、路車間通信のみでは、十分に安全性を確保できない例も想定される。たとえば、通信を利用して衝突危険性を通知する場合、送信元である対象車両が車両の位置や速度をあて先車両に送信し、あて先車両で危険性を判断するが、道路が曲がっていたり、あるいは、一方通行であったり、 対象車両が送信するメッセージのみでは必ずしも危険性を判断できず、道路地図と関連付けて状況を判断する必要がある。また、通信を利用して 2 つの送信元から対象物に関するメッセージが送られてきた場合、その対象物が同一か異なる 2 つかを認識する必要がある。たとえば、ある車両が歩行者を発見しメッセージを送信し、同時に他の車両も歩行者を発見しメッセージを送信したと仮定する。この 2 つのメッセージを受信した車両は、歩行者が一人なのか二人なのか、特に位置情報に誤差が含まれる場合は、認識が困難となる。通信機能を保持していない一般車両や、歩行者・自転車に対しての情報の通知も必要と考えられる。

ここでは 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。

■ 実施方針

協調型路側機は、図 280 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 つの機能を中心に検討を進める。

- 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
- 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
- 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
- また、次に示す 3 つのユースケースを念頭に進めるが、必ずしもこれらの限定しているわけではない。

交差点右折（図 281）： 路側機のセンサーにより対向車線状況を検知し、対向車両からのセンサーデータの融合し、最終的には車両間の走行を調停する。

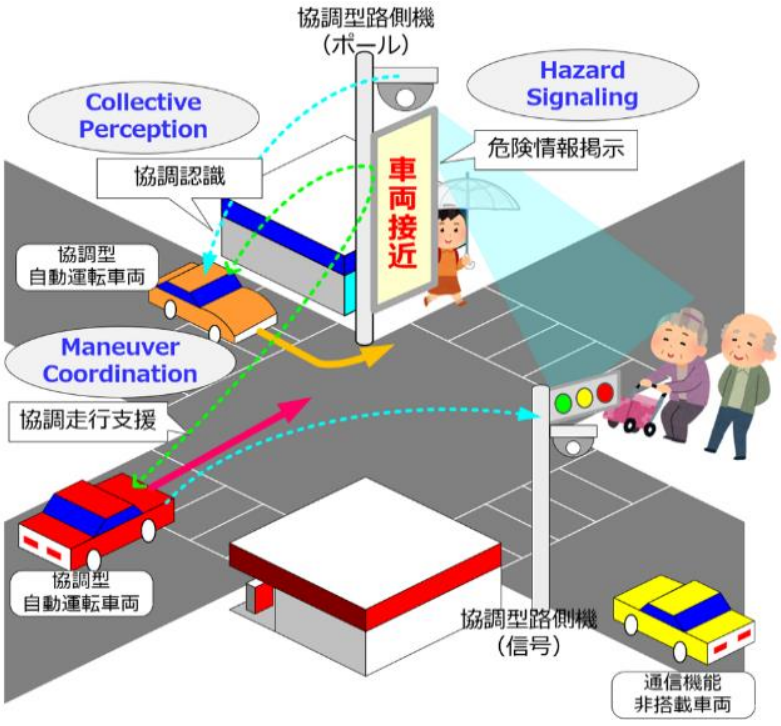


図 280　協調型路側機の機能

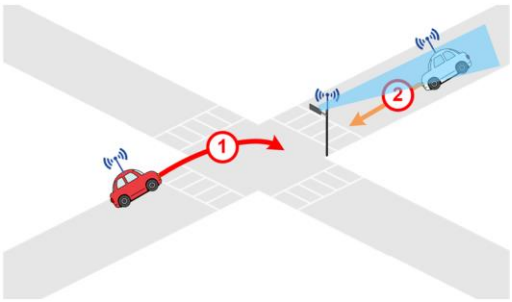


図 281　検討ユースケース：交差点右折

停止車両追越し（図 282）： 停止車両のセンサー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。

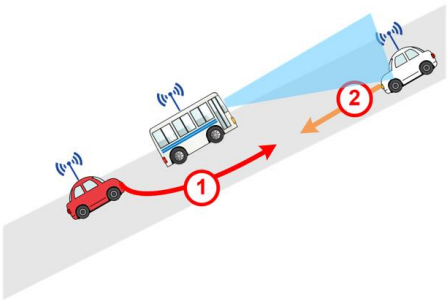


図 282　検討ユースケース：停止車両追越し

周辺歩行者状況把握（図 283）： 複数の路側機により周辺歩行者の状況を検知し、路側機間でセンサーデータを融合し、車両走行支援を行う。

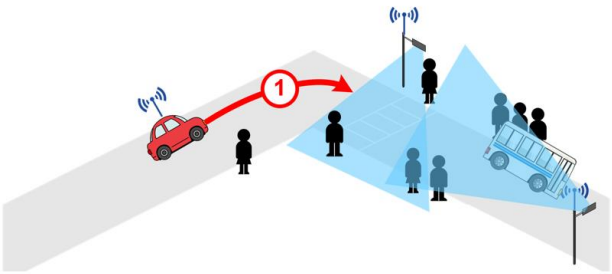


図 283　検討ユースケース：周辺歩行者状況把握

本プロジェクトを通して、協調型路側機を次の 3 つのフェーズに分けて検討を進める予定である。最終的なフェーズ 3 を見通した構成念頭に、本年度はフェーズ 1 の具体化を進める。

・フェーズ 1：物標情報統合： 2021 年度（～2022 年度：実証実験、評価・検討）

協調型路側機における物標情報（フリースペースを含む）の管理・配信を行う。

車両と協調型路側機の携帯電話網による通信、協調型路側機から車両へ ITS 無線を利用したブロードキャストを利用する。

・フェーズ 2：センサーデータフュージョン： 2022 年度（～2023 年度：実証実験、評価・検討）
複数の協調型路側機および車両のセンサーデータの融合を行う。
物標の追跡（トラッキング）を行う。
車両と協調型路側機のアドホック通信（PC5、 DSRC、 無線 LAN アドホック）の追加を行う。

・フェーズ 3：走行調停支援： ～2025 年度
車両のパスプランによる走行調停を行う。
信頼性向上のための複数通信手段の併用（QoS 予測）を行う。

■ 実施事項と実施方法

- データ連携 PF において、協調型路側機の位置づけを明確にし、ITS Japan の CCAM 検討ワーキンググループの参加企業とのディスカッションを経て、協調型路側機の仕様案(Ver.1)を作成した。
- 協調型路側機の仕様案（Ver.1）のフェーズ 1 の物標情報統合機能を実現するハードウエアとソフトウエアを開発し、初期動作の確認を実施した。

ITS Japan の CCAM（Cooperative Connected Automated Mobility）検討ワーキンググループの参加企業は、先進モビリティ株式会社、日本信号株式会社、JRC モビリティ株式会社、住友電気工業株式会社、京セラ株式会社、株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所、豊田通商株式会社、および、ITS Japan である。

(1) 協調型路側機仕様案（Ver.1）

i) 協調型路側機の機能と位置づけ

データ連携 PF における協調型路側機の機能と位置づけを図 284 に示す。カメラや LiDAR 等のセンサー機能を保持した協調型路側機は、周辺の物標情報の位置や形状、移動速度などを検知し、単体の協調型路側機内において、センサーの生データ（ローレベル仙田データ）から、物標の種別（例：歩行者、車両など）を認識する。センサーの種類によって、形状認識、距離精度、耐環境性能が異なるため、まずは、協調型路側機内において異なるセンサーデータのフュージョンを局所的に実施する（ハイレベルセンサーデータを生成する）。見通しの悪い交差点や他の物標の陰（オクルージョン）がある場合は、他の位置にある協調型路側機のデータと大域的に統合することで、検知範囲が拡大し、信頼性も向上する。走行中の車両が検知したセンサーデータとの統合

も考えられる。物標以外にフリースペースの検知、フュージョンについても検討を行う。複数の協調型路側機、あるいは、車両との連携を支援するのがクラウドあるいはモバイルエッジの役割となる。

それぞれの接続および連携の詳細については、以降に示す。また、セキュリティやプライバシー確保の管理機能の一部を協調型路側機が担うことで、データ連携システム全体としての負荷軽減についても検討する。

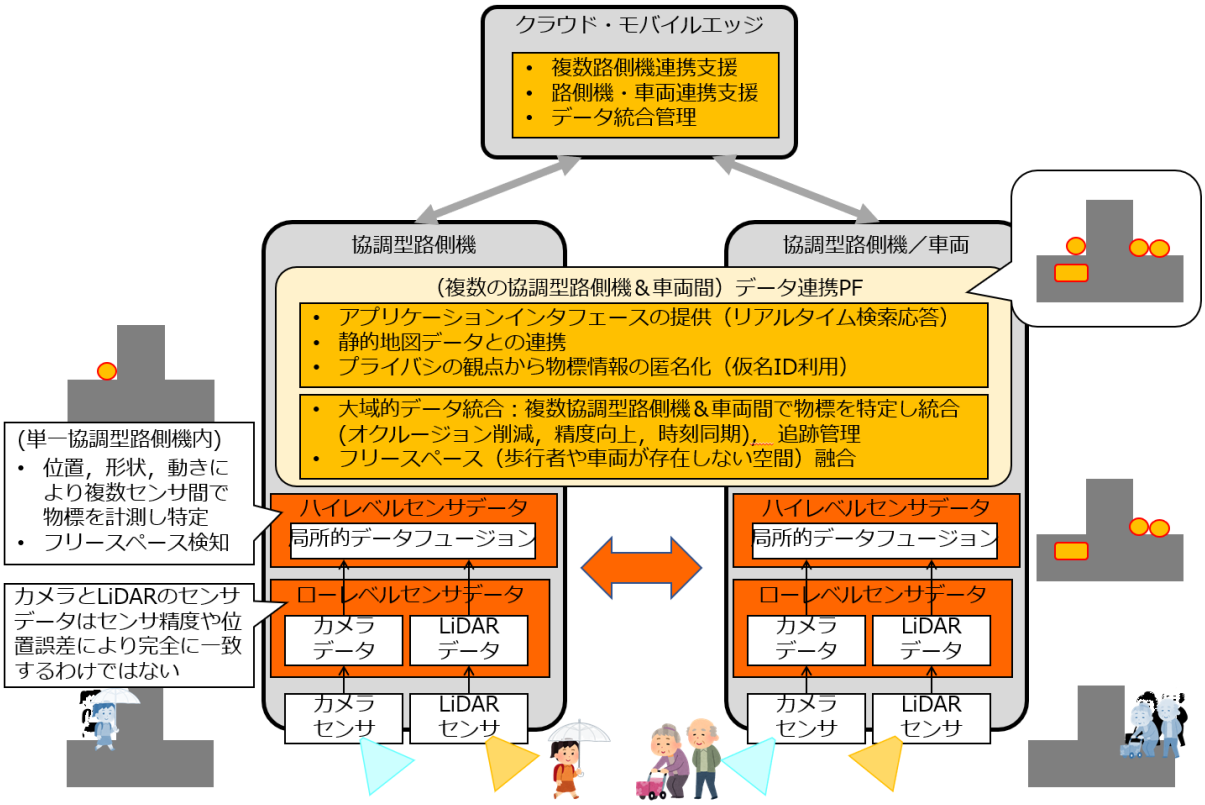


図 284　データ連携 PF における協調型路側機の機能と位置づけ

ii） データ連携システム接続構成

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 285 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。

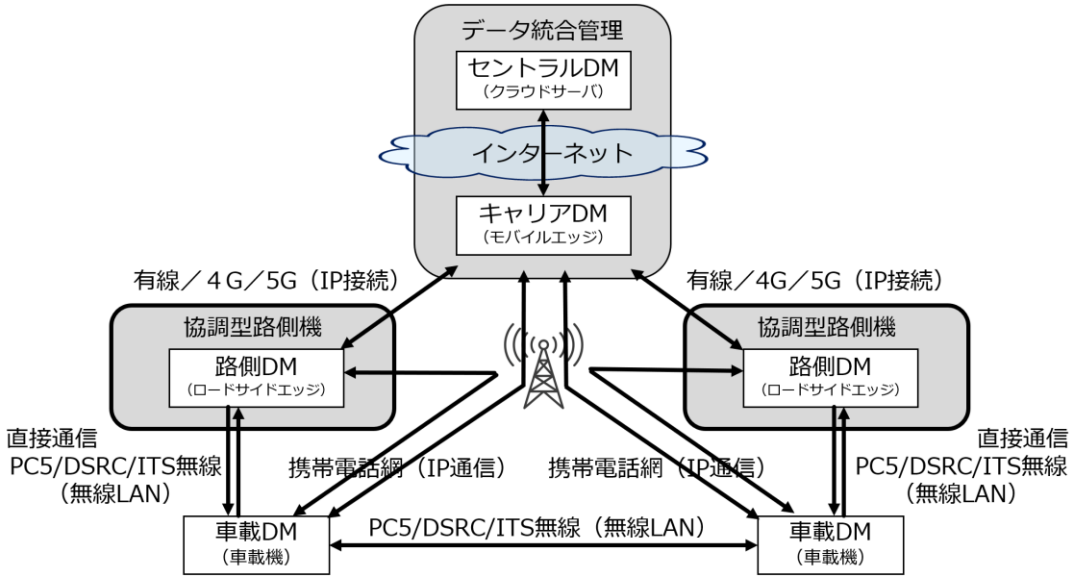


図 285　データ連携ネットワーク（L2）接続構成

iii）　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ー、センサー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）サーバー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ーはカメラセンサー、LiDAR、ミリ波レーダー、IoT 無線を想定するが、これらの限定されるものではない。センサー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 286 に示す。センサーおよび通信機能以外に、データ処理機能として、センサー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、センサー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。

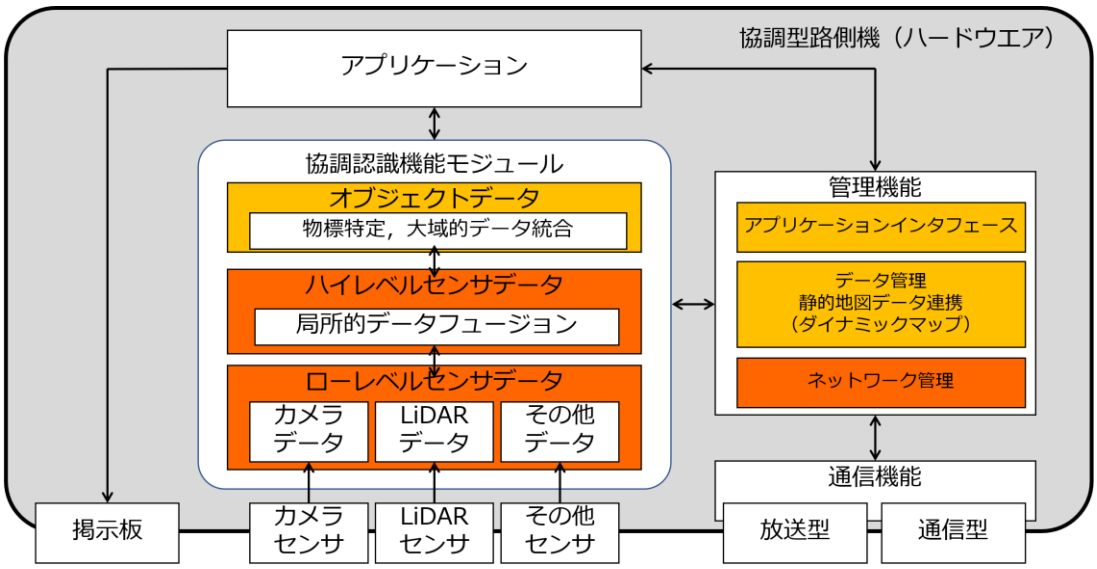


図 286　協調型路側機内部構成

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、センサーの生データに近いローレベルセンサーデータ、同一協調型路側機ユニットに搭載された異なるセンサーのデータを融合した（局所的データフュージョン）ハイレベルセンサーデータ、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。

ⅳ） 複数センサー連携過程

ローレベルセンサーデータ、ハイレベルセンサーデータ、オブジェクトデータの階層イメージを図 287 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 288 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。

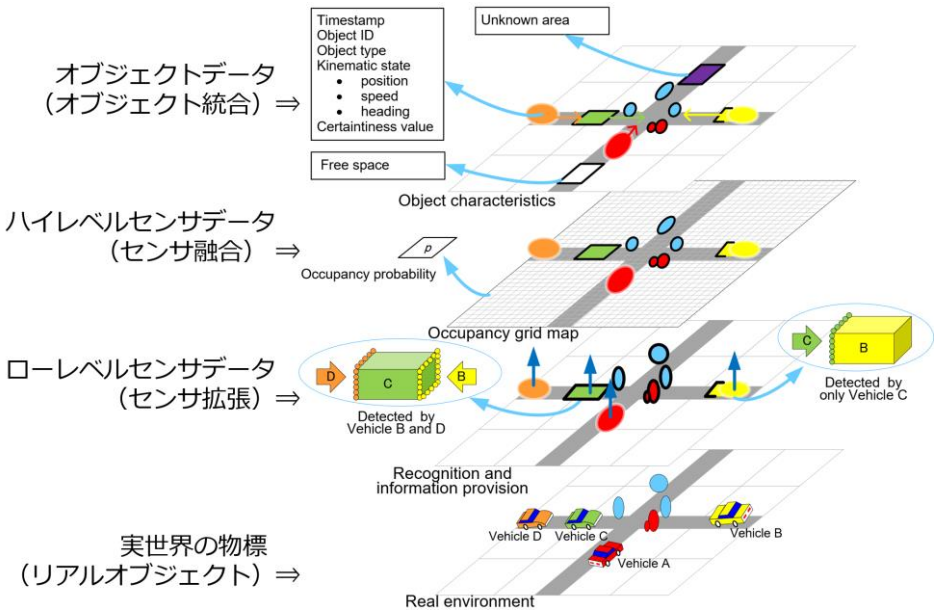


図 287　センサー融合の階層イメージ

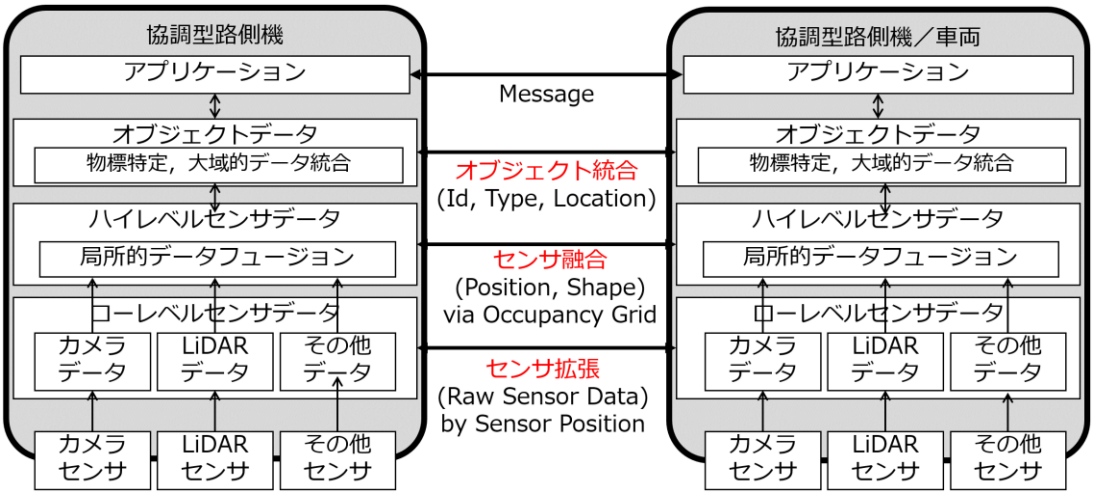


図 288　複数の協調型路側間、あるいは車両との連携イメージ

v）　協調認識階層レベル

- センサー拡張（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）にあるセンサーの生データ（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、自ノードのセンサーデータと同等に処理する方式をセンサー拡張と呼ぶ。このセンサー拡張の考え方を図 289 に示す。

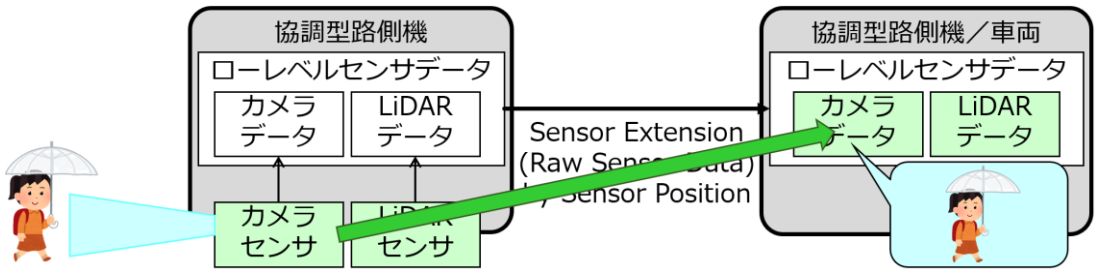


図 289　センサー拡張（Sensor Extension）

図　290 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ー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。

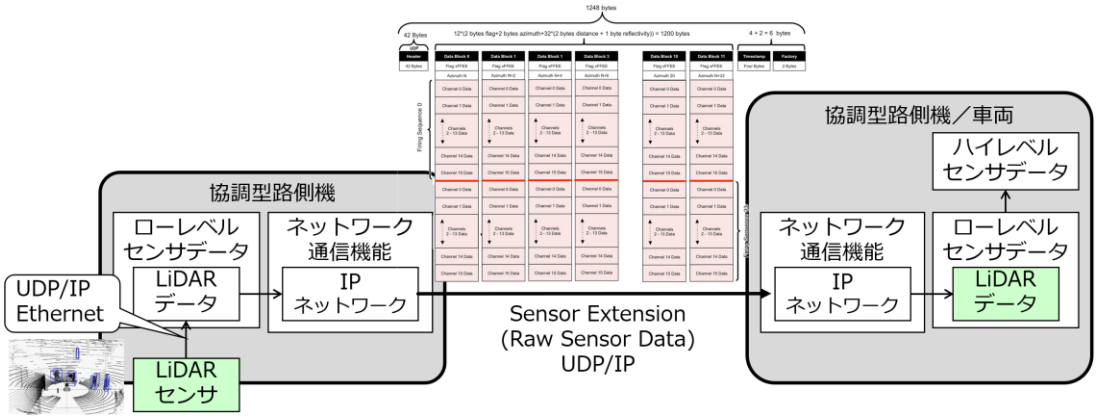


図 290　センサー拡張における LiDAR の例

協調型路側機の機能としてセンサー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。

- センサー融合（Sensor Fusion）

センサー融合は、生センサーデータから物標（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。このセンサー融合の考え方を図 291 に示す。一般にカメラ、LiDAR、ミリ波レーダーなど、センサー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 ≒ ミリ波レーダー ＞

LiDAR であり、距離精度は、LiDAR ＞ ミリ波レーダー ＞ カメラ であり、相対速度精度は、ミリ波レーダー ＞ LiDAR ＞ カメラ となる。

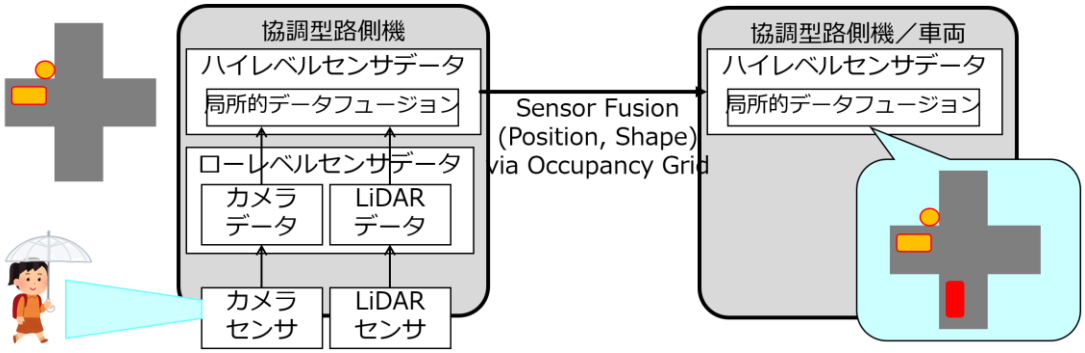


図 291　センサー融合（Sensor Fusion）

また、センサー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 292 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ーで検知した場合、その物標の長さの検知は困難となる。後方にあるセンサー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ーのトラッキング情報が有益になる場合も考えられる。

図 292　センサー融合の具体例

- 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 293 に示す。複数の協調型路側機（あるいは車両）のセンサーデータを大域的に統合する場合、センサーデータの精度、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。

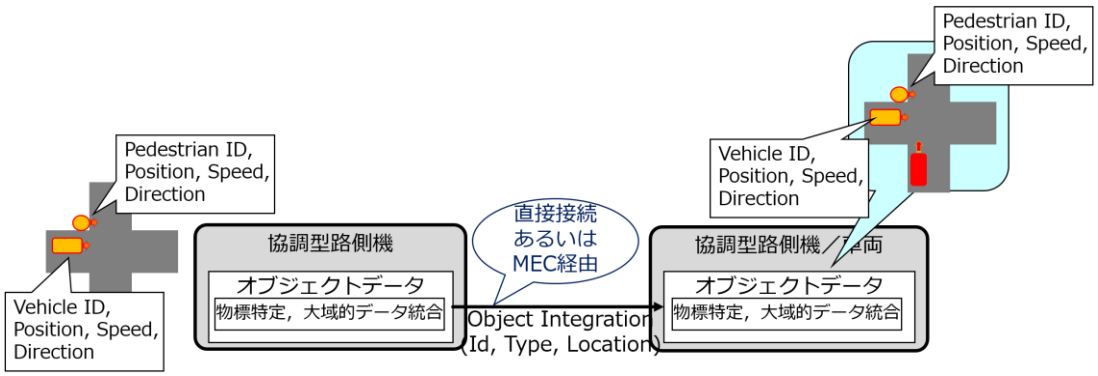


図 293　オブジェクト統合（Object Integration）

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 294 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。

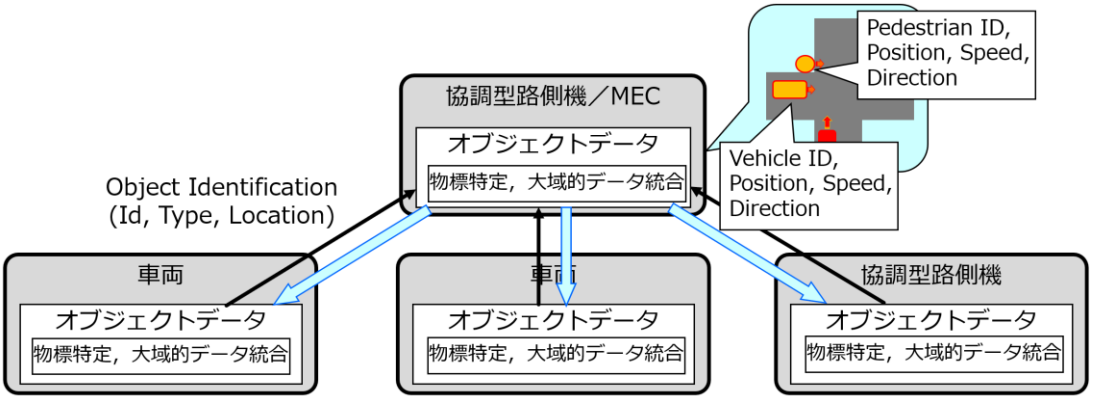


図 294　複数ノード連携による大域的データ（オブジェクト）統合

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。これらはデジタル道路交通データプラットフォーム 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、センサー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ー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。

(2)　協調型路側機の開発

本年度に開発する機能は、フェーズ 1 の物標情報統合となる。

ⅰ)　協調型路側機ハードウエア

図 295 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ーが接続され、オブジェクトの位置や種別の認識を行う。センサー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ー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。

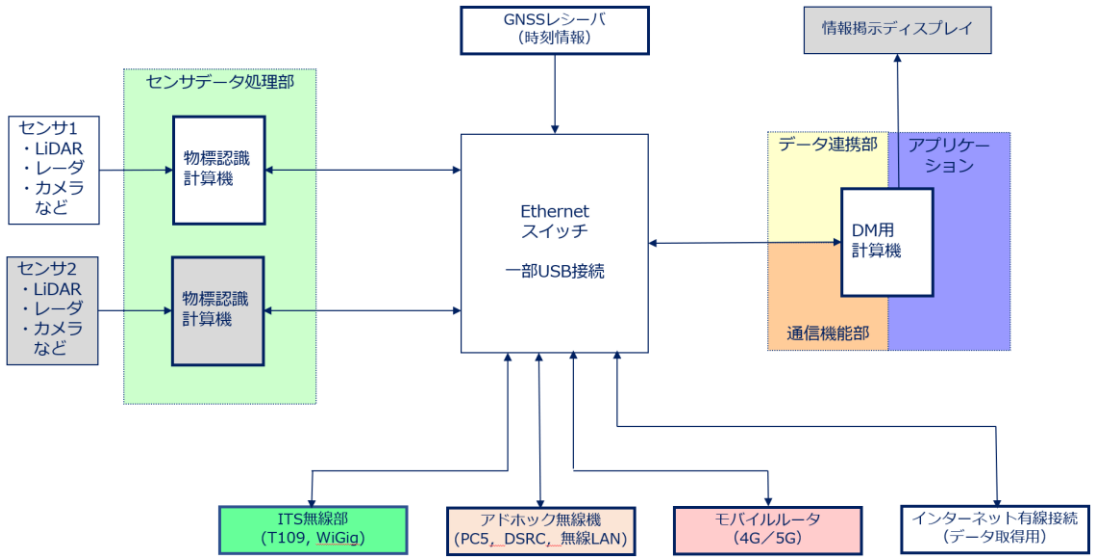


図 295　協調型路側機の物理ユニット配置の一例

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）レシーバはセンサー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。

本年度、2 種類の協調型路側機と 1 種類の物標認識システムを購入した。以降、協調型路側機を購入した 2 つの会社を A 社、B 社、物標認識システムを購入した会社を C 社とする。それぞれの会社から購入した協調型路側機のハードウエア構成とソフトウエア構成について説明する。

まずは A 社の協調型路側機について説明する。A 社の協調型路側機は、名古屋大学の自動運転実証実験フィールド（公道）の電信柱に 2 台設置した。図 296 の赤丸内の装置が設置した協調型路側機である。図 297 に協調型路側機のハードウエア構成を示す。A 社の協調型路側機はセンサー部（図 298）、ITS 無線機（図 299）、制御部（図 300）、電源部（図 301）の 4 つで構成されている。なお ITS 無線機については D 社から貸与いただいたものである。

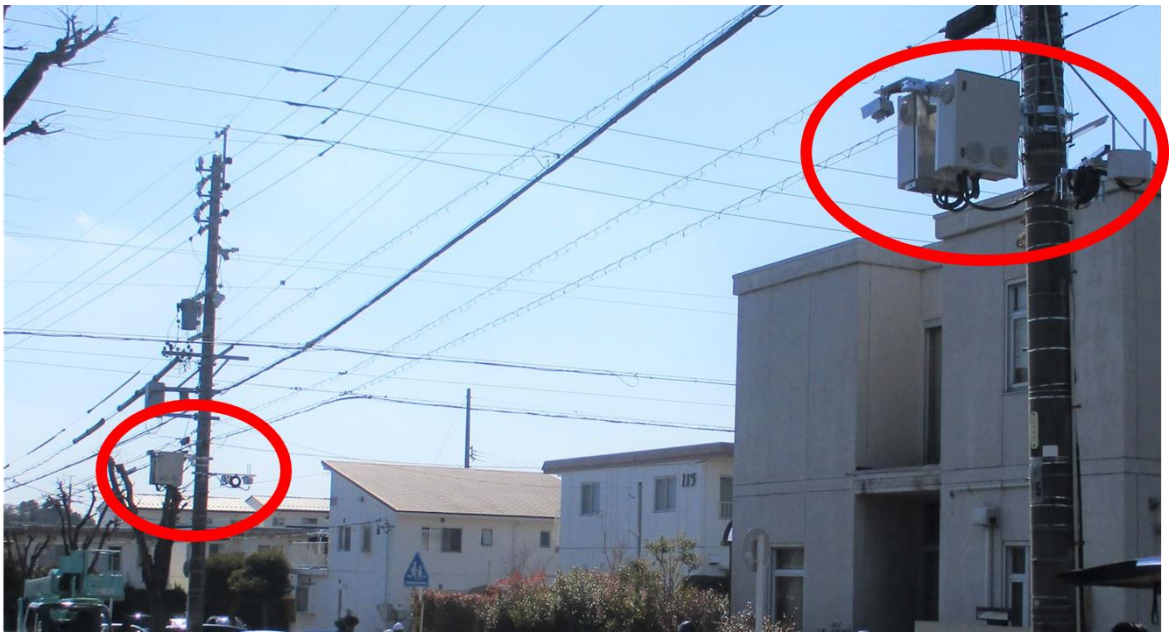


図 296　名古屋大学の自動運転実証実験フィールドに設置した A 社の協調型路側機

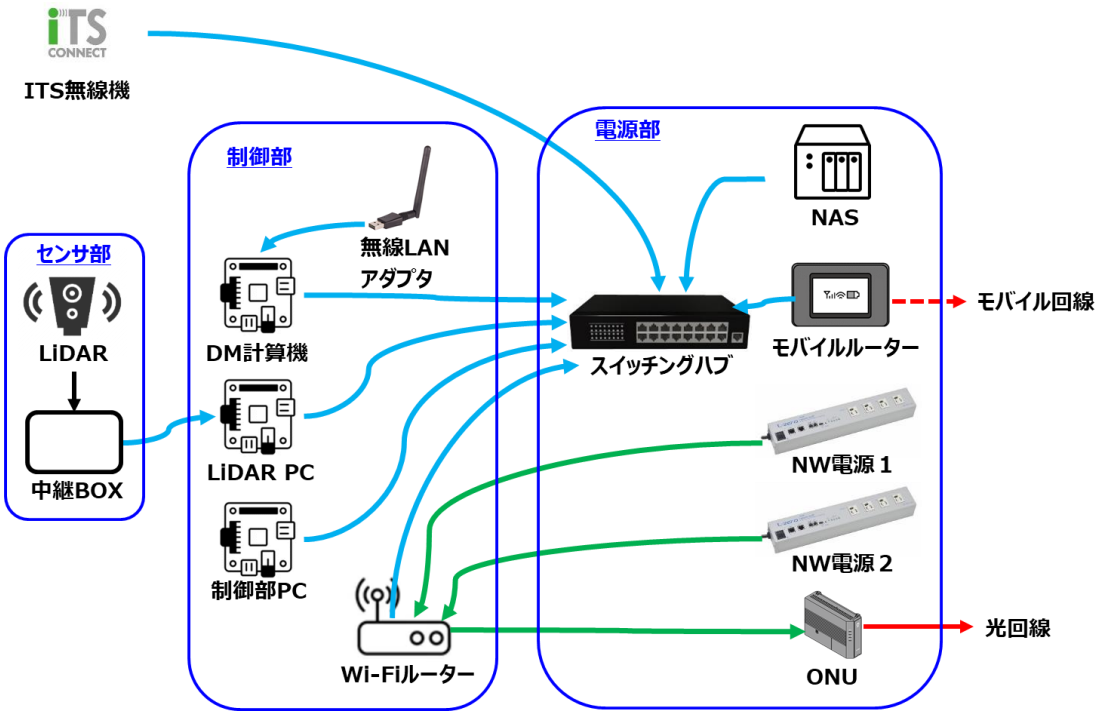


図 297　A 社の協調型路側機のハードウエア構成

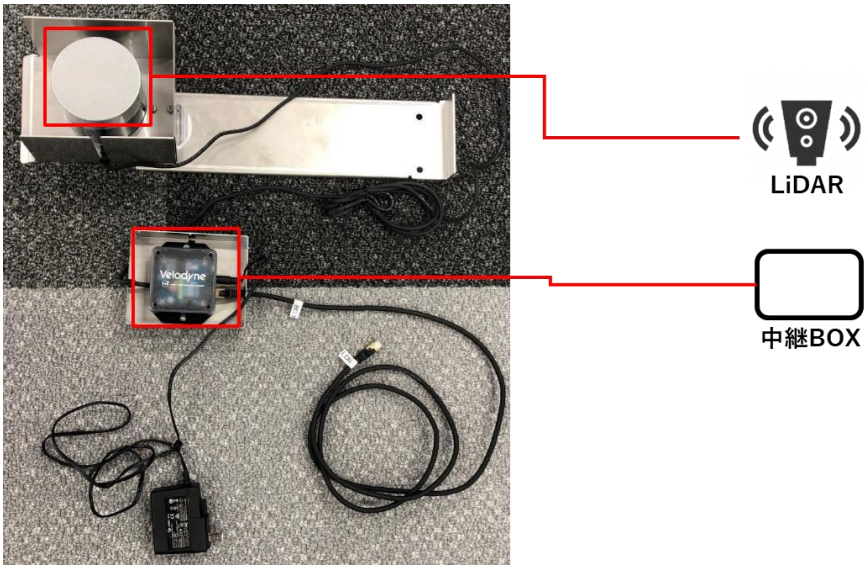


図 298　A 社の協調型路側機のセンサー部

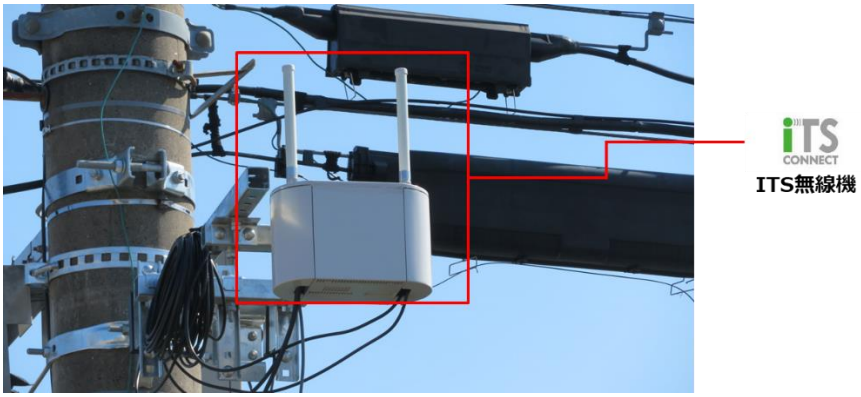


図 299　A 社の協調型路側機の ITS 無線機（D 社から貸与）

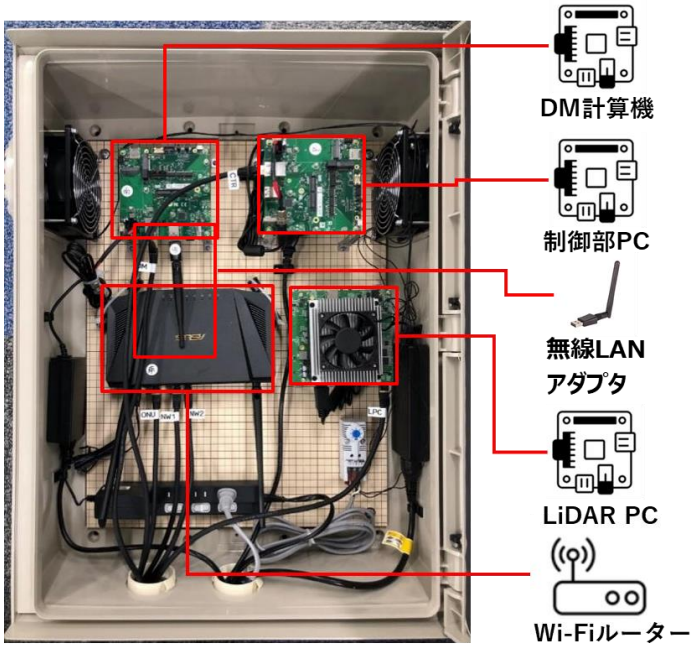


図 300　A 社の協調型路側機の制御部

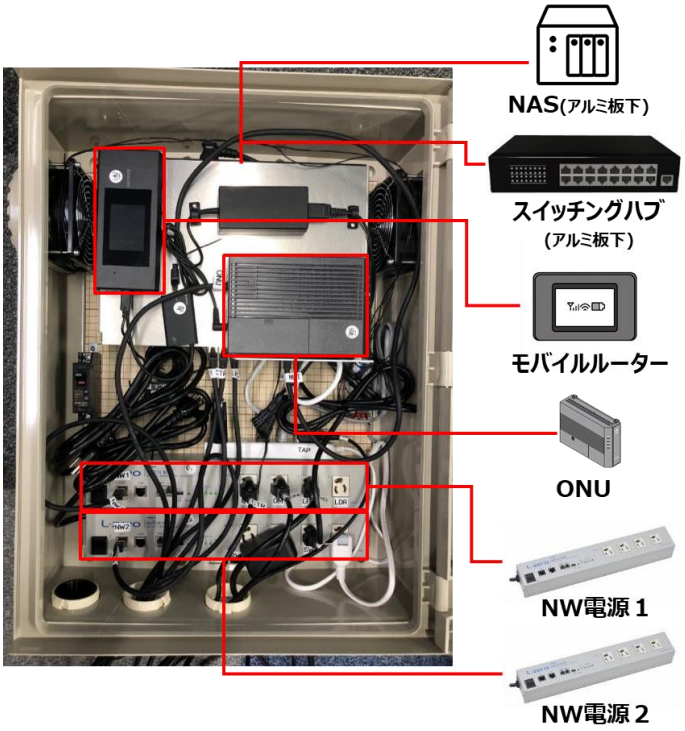


図 301　A 社の協調型路側機の電源部

使用したハードウエアモジュールは表 112 の通りである。それぞれのハードウエアモジュール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、物体までの距離を想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。
- 中継 BOX：LiDAR の制御装置である。LiDAR の計測時の設定の書き込みや電源の供給を行う。また出力した点群データを UDP 通信で出力する。
- ITS 無線機：ITS 専用周波数である 760MHz 帯の無線通信を利用して、車載機や他の ITS 無線機とデータの送受信を行う。車載機との通信では、車両からの情報として車両の状態や属性を取得する。また車両や他の ITS 無線機との通信では、物標情報を送信する。
- LiDAR PC：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。
- DM 計算機：LiDAR PC 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。

- 制御部 PC：LiDAR、LiDAR PC、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。
- 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。通信方式として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　A 社の協調型路側機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	LiDAR・中継 BOX	vlp-32c	Velodyne Lidar
2	ITS 無線機	-	D 社
3	LiDAR PC	AX720-X32-FN02	Aetina Corporation
4	DM 計算機	AN810-XNX-BN02	Aetina Corporation
5	制御部 PC		
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	RPC-M4LS	明京電機株式会社

A 社の協調型路側機のソフトウエア構成(ITS 無線機を除く)を図 302 に示す。各アプリケーションの役割は次の通りである。

- 物標認識アプリケーション： LiDAR が出力した点群データより物標情報を認識し、物標認識結果を制御部 PC の物標情報共有アプリケーションへ送信する。
- ITS 無線機を使用した情報共有アプリケーション：ITS 無線機を使用して車両から取得した車両の状態・属性を物標情報共有アプリケーションへ送信する。また物標情報共有アプリケーションから取得した物標情報を、ITS 無線機を使用して、車載機や他の ITS 無線機へと送信する。
- 死活監視アプリケーション：LiDAR や ITS 無線機の状態を監視しログを出力する。
- 物標情報共有アプリケーション：物標認識結果と車両の状態・属性を統合して物標情報を作成し、ROS2 のトピックとして出力する。また ROS2 のトピックとして ROS2-DMI から共有された物標情報を取得して ITS 無線機を使用した情報共有アプリケーションへと送信する。
- ROS2-DMI：ROS2 のトピックとして共有された物標情報を路側 DM へと送信する。路側 DM から取得した物標情報・信号情報・フリースペース情報を ROS2 のトピックとして出力する。

- データフュージョンアプリケーション：路側 DM から物標情報を取得して物標情報の統合・融合を行い、物標情報の信頼度や精度を向上させる。そして物標情報のデータフュージョン結果を路側 DM へと送信する。

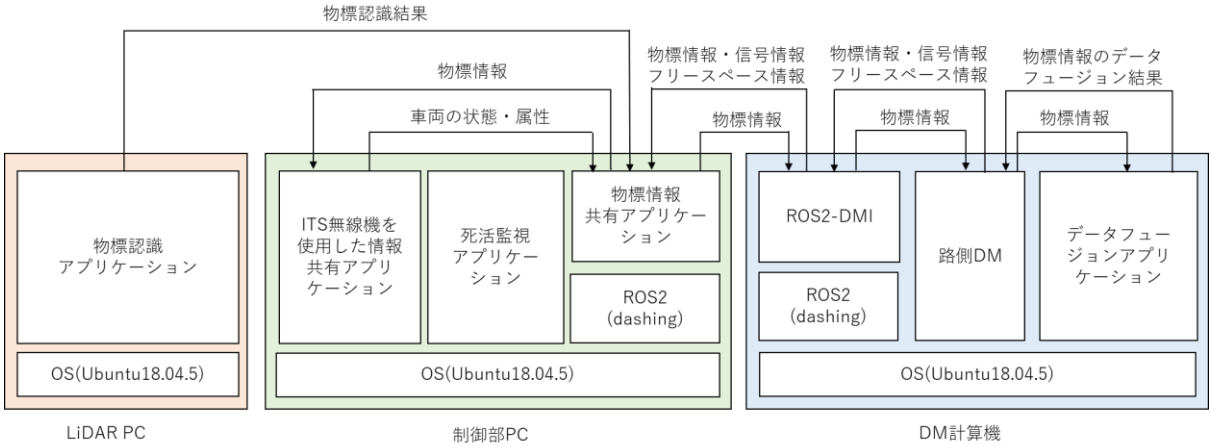


図 302　A 社の協調型路側機のソフトウエア構成

次に、B 社の協調型路側機について説明する。B 社の協調型路側機についても名古屋大学の自動運転実証実験フィールドに設置する予定である。設置時のイメージは図 303 の通りである。B 社の協調型路側機のハードウエア構成を図 304 に示す。B 社の協調型路側機は物標認識部、信号情報出力部、制御部（図 305）、通信部（図 306）の 4 つで構成されている。

図 303　名古屋大学の自動運転実証実験フィールドに設置予定の B 社の協調型路側機

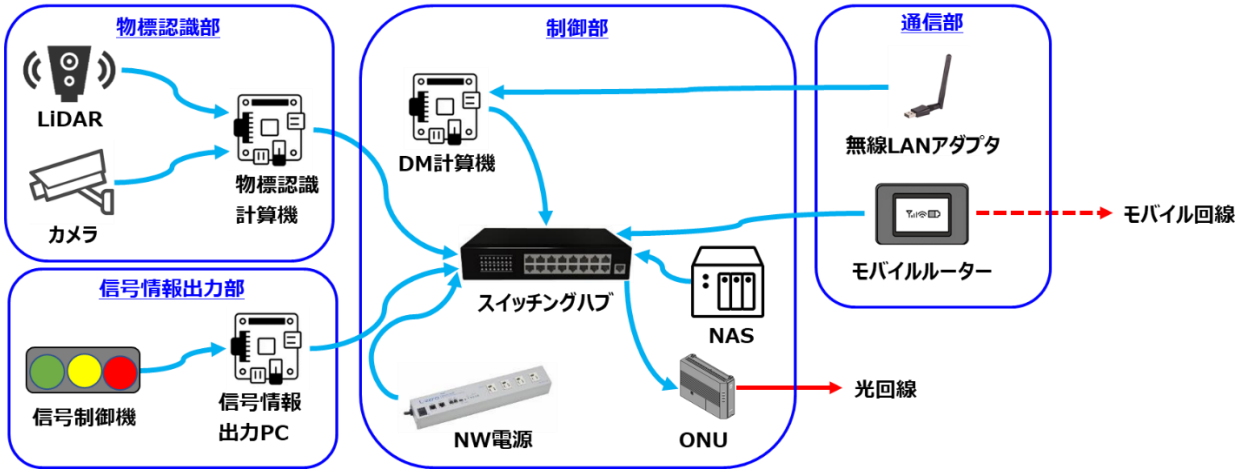


図 304　B 社の協調型路側機のハードウエア構成

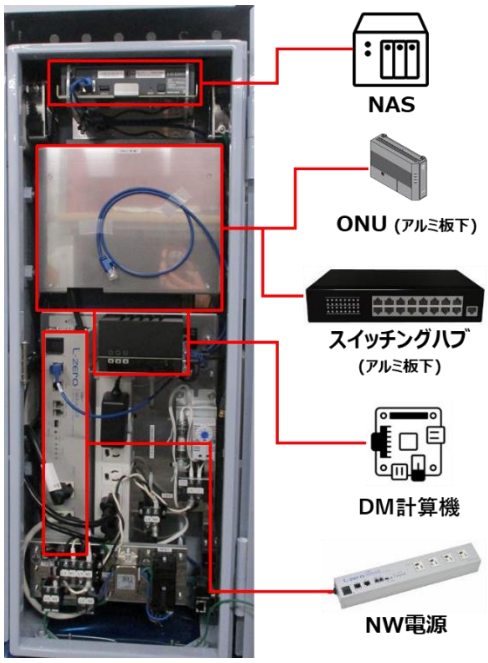


図 305　B 社の協調型路側機の制御部

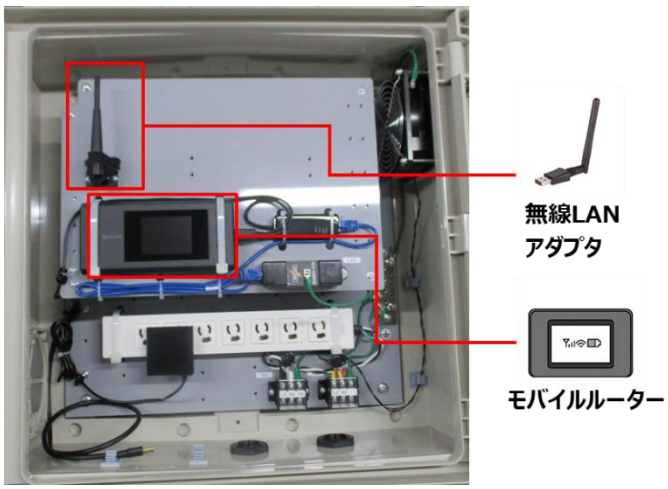


図 306　B 社の協調型路側機の通信部

使用したハードウエアモジュールは表 113 の通りである。それぞれのハードウエアモジュール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、物体までの距離を想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を、カメラが出力した画像データより物標の認識を行い、物標情報を作成する。
- 信号制御器：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。通信方式として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　B 社の協調型路側機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	BSH-GP08MB	株式会社アイ・オー・データ機器
3	スイッチングハブ	BS-GS2016(16 ポート)	株式会社バッファロー
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

協調型路側機のソフトウエア構成を図 307 に示す。各アプリケーションの役割は次の通りである。

- メッセージフォーマット変換アプリケーション：物標認識計算機や信号情報出力 PC から UDP 通信で送信された物標認識結果、フリースペース認識結果、信号情報を ROS2 の物標情報、フリースペース情報、信号情報のメッセージフォーマットに変換し、トピックとして出力するアプリケーションである。
- ROS2-DMI：ROS2 のトピックとして共有された物標情報、フリースペース情報、信号情報を路側 DM へと送信する。路側 DM から取得した物標情報・信号情報・フリースペース情報を ROS2 のトピックとして出力する。
- データフュージョンアプリケーション：路側 DM から物標情報を取得して物標情報の統合・融合を行い、物標情報の信頼度や精度を向上させる。そして物標情報のデータフュージョン結果を路側 DM へと送信する。

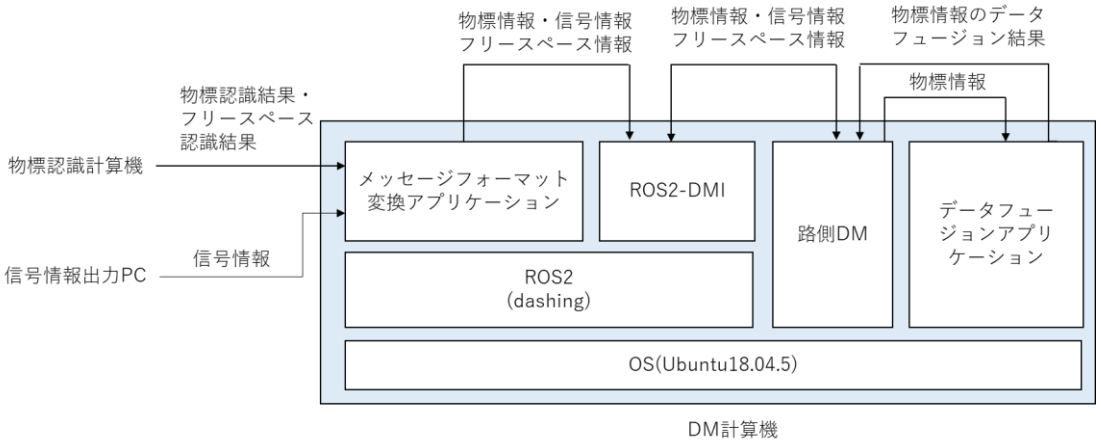


図 307　B 社の協調型路側機のソフトウエア構成

最後に、C 社の物標認識システムについて説明する。C 社の物標認識システムのハードウエア構成を図 308 に示す。C 社の物標認識システムは LiDAR（図 309）、Radar（図 310）、物標認識計算機の 3 つで構成されている。

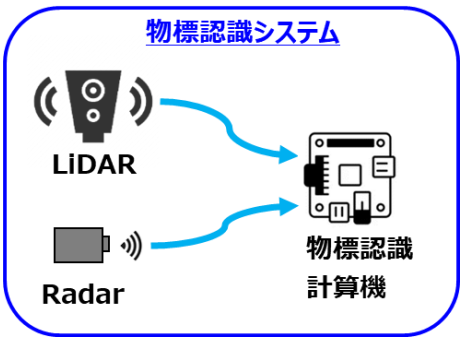


図 308　C 社の物標認識システムのハードウエア構成

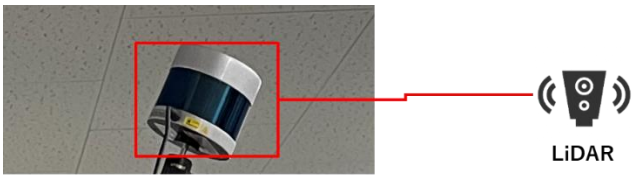


図 309　C 社の物標認識システムの LiDAR

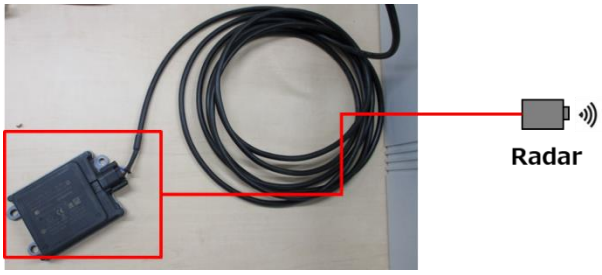


図 310　C 社の物標認識システムの Radar

使用したハードウエアモジュールは表 114 の通りである。それぞれのハードウエアモジュールの役割は次に示す通りである。

- LiDAR：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。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、物体までの距離を想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。
- 物標認識計算機：LiDARやRadarが出力した点群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。

表 114　C社の物標認識システム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	LiDAR	vlp-32c	Velodyne Lidar
2	Radar	ARS408-21	Continental Engineering Services
3	物標認識計算機	ECX-2400F-PEG	HPCシステムズ株式会社

協調型路側機のソフトウエア構成を図 311に示す。アプリケーションの役割は次の通りである。

- 物標認識アプリケーション：LiDARやRadarが出力した点群データより物標、フリースペースを認識し、認識結果をROS2のトピックで送信する。

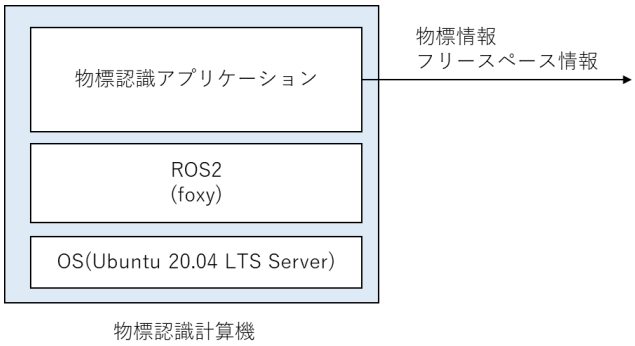


図 311　C社の物標認識システムのソフトウエア構成

(3) その他

ⅰ) 今後の検討課題

協調型路側機仕様案（Ver.1）に記載できていない今後の検討課題は主に次のような項目が挙げられる。

- オブジェクト統合の結果としてのデータの論理形式は現在の API 仕様で規定されるが、これ以外のセンサー拡張、センサー融合のデータ形式については未検討である。センサー拡張のデータ形式はセンサー側で決定されている大きく仕様に依存するが、センサー融合については占有グリッド等が考えられ、アルゴリズムも含めて検討する必要がある。まずは、オブジェクト統合のみとして開発を進める。
- 単一の協調型路側機に複数のセンサーが搭載される場合、それらのセンサー情報の融合については、当該協調型路側機メーカーに委ね、オブジェクト統合結果を受け渡すものとする。
- 車両と協調型路側機の間の通信の信頼性向上のため、複数の通信手段の併用（あるいは適切な切替）が望ましいが、具体的な手法については検討できていない。まずは単一で特定の通信手段を想定し開発を進める。
- プライバシー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、仮名証明書（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が、具合的なアルゴリズムやパラメータについてはまだ研究段階であり、別途設定する必要がある。
- 通信機能を搭載していない車両、あるいは、歩行者に対して、掲示板により状況を通知するが、通知すべき状況および通知する内容については検討できていない。

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

本事業で実現するレベル 4 自動運転サービスにデータ連携 PF を適用するためには、2022 年度内に基本的な機能を備えたデータ連携 PF を実装・評価し、2023 年度から自動運転システム開発者に提供できるようにすることが必要と考えている。本実施項目では、ユースケースを限定してデータ連携 PF のプロタイプ実装を行うとともに、その機能拡張・改善のためのアルゴリズムを検討することを目的とする。

■　実施方針

車載 DM、路側 DM、セントラル DM のプロトタイプソフトウエアの実装を、機能やアルゴリズムが明確になっている部分から開始し、2021 年度内に、その基本部分が動作するように開発を行う方針とした。

具体的には、本年度は、以下の実装ならびに検討を行うこととした。

- データ管理機能と通信機能の基本部分の実装
  データ連携 PF のプロトタイプを短期間で完成させるために、データ管理機能と通信機能の基本部分については、名古屋大学と同志社大学等でこれまでに開発してきたダイナミックマップを扱うためのストリーム型分散データベースシステムのプロトタイプ（以下、ダイナミックマップ 2.0 プラットフォーム(DM2.0PF)）をベースに、レベル 4 自動運転サービスの実現に必要となる追加・改修を行うこととした。
- データフュージョン機能の検討と開発
  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、既知のアルゴリズムを実現するソフトウエアの開発を行うとともに、次年度の開発に向けて、発展的なアルゴリズムの検討を行う。
- 仮名 ID（pseudonym ID）の実現方式の検討と基本部分の実装
  車両データの匿名性を確保するための仮名 ID の実現方式の検討を行うとともに、その基本部分を実装する。仮名 ID の検討にあたっては、欧州で検討されている方式を参考とする。

■　実施事項と実施方法

(1)　データ管理機能と通信機能の基本部分の実装

ここでは、DM2.0PF のデータ管理機能と通信機能に対して、今年度の開発において、追加・改修した機能について述べる。

DM2.OPF は、データを統合利用することに重点を置いており、動的情報、準動的情報、準静的情報、静的情報（道路地図）が全て共通データモデルであるリレーション（テーブル）で表現されている。リレーションの集合に対する共通の操作体系として、SQL ベースのクエリ言語を提供している。利用者は、入力データのリレーションの集合から自らの欲しいデータを取り出すための検索操作をクエリとして記述して与える。クエリの実行方式には、登録時に 1 度だけ実行される One-shot 型と、事前に登録しておいて逐次到着するデータ（データストリーム）に対し繰返し実行される Continuous 型の 2 種類が存在する。DM2.OPF は、ストリーム型の分散データベースであり、お互いの間でデータを共有しあうためのダイナミックマップ間のデータ通信機能を備えている。なお、DM2.OPF の開発環境は Linux、開発言語は C++である。

ⅰ） データ管理機能の今年度開発内容

① クエリ構文解析器（QueryParser）の改修

クエリの記述文法に新たに 6 つの構文を追加し、内部の論理的な実行形式であるオペレーターツリー(クエリ結果を得るためのデータ操作手順書のようなもの)へと変換する機能を追加した。下記に 6 つの構文の意味と構文規則を示す。なお、SQL で用いられているものと同様の意味を持つ節（VALUES, SET, FROM 等）についての解説は省略する。また、図中の中括弧は、クエリを記述する開発者が省略するケースがあることを示している。

- INSERT

  静的情報が格納されたテーブルに対して、タプルを挿入する命令である。定数値を指定して 1 件タプルを登録する形式に加え、SELECT による取得結果をタプルとして登録する形式も利用できるように拡張した。

```
INSERT INTO source
{ (attr_1, ...) }
VALUES (value_1, ...)
```

図 312 ①INSERT 文の構文規則（1）

```
INSERT INTO source
{ (attr_1, ...) }
SELECT attr_1, ...
FROM source_1, ...
{ WHERE conditions }
```

図 313 ①INSERT 文の構文規則（2）

➢ UPDATE

静的情報が格納されたテーブルの中のタプルに対して、内容を更新する構文を追加した。

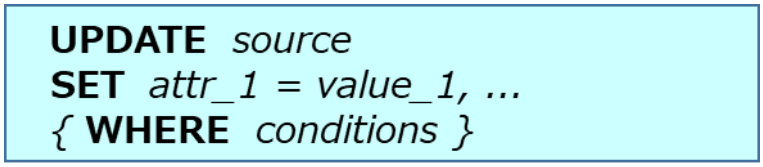


図 314　②UPDATE 文の構文規則

➢ DELETE

静的情報が格納されたテーブルの中のタプルを削除する構文を追加した。

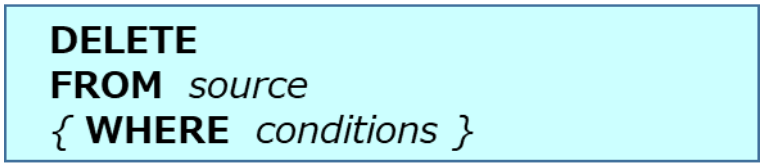


図 315　③DELETE 文の構文規則

➢ CREATE TABLE

静的情報のスキーマ定義を作成する構文を追加した。列名とデータ型の定義の機能に加えて、 DEFAULT 句（タプル挿入時に列未指定の場合に自動的に値がセットされる機能）に対応した。DEFAULT 句は、「DEFAULT」のキーワードと値（DEFAULT 値）から構成される。DEFAULT 値は、数値（long 型および double 型の範囲の値）、文字列、真偽値（TRUE or FALSE. 大文字・小文字区別なし）、NULL（大文字・小文字区別なし）を設定できるようにした。

✧ DEFALUT 句の例

1. col 列が int 型の場合

   col int DEFAULT 0

2. col 列が文字列型の場合

   col string DEFAULT ‘テスト’

3. col 列が bool 型の場合

   col bool DEFAULT TRUE

4. col 列に NULL を指定する場合

   col int DEFAULT NULL

図 316　④CREATE TABLE 文の構文規則

- DROP TABLE

  既に存在する静的情報のスキーマ定義を削除する構文を追加した。

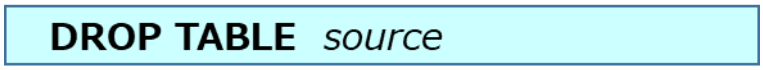


図 317　⑤DROP TABLE 文の構文規則

- CREATE STREAM

  動的情報のスキーマ定義を作成する構文で、CREATE STREAM 自体は既に実装済みの機能である。TIMER_FIX 句および TIMER_CRON 句を指定すると、アプリからストリームデータを送信しなくても指定された時間に動的情報を生成する機能を持つ（今回これらの句に関する機能は変更不要）。今年度の開発では④CREATE TABLE と同様に新たに DEFAULT 句を受け付けられるように改修した。

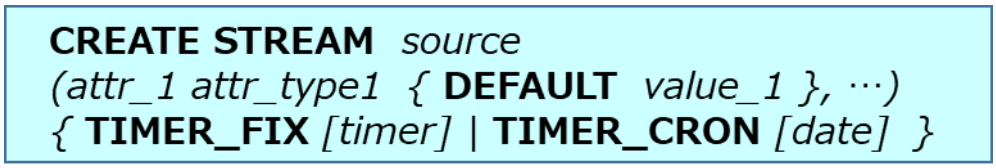


図 318　⑥CREATE STREAM 文の構文規則

構文解析が成功した場合、その構文をオペレーターツリーに変換している。オペレーターツリーは、下図の例に示すように、データ操作の主体となるノードと、ノード間の関係を示すエッジから構成される。ノードには、Selection（選択）、Projection（射影）、Join（結合）といった SQL の表操作の機能に該当するオペレーターが配置される。エッジは、矢印の向きにデータが流れることを示し、 ツリーのルート（n0 ノード）に達すると最終的にアプリへと返される。

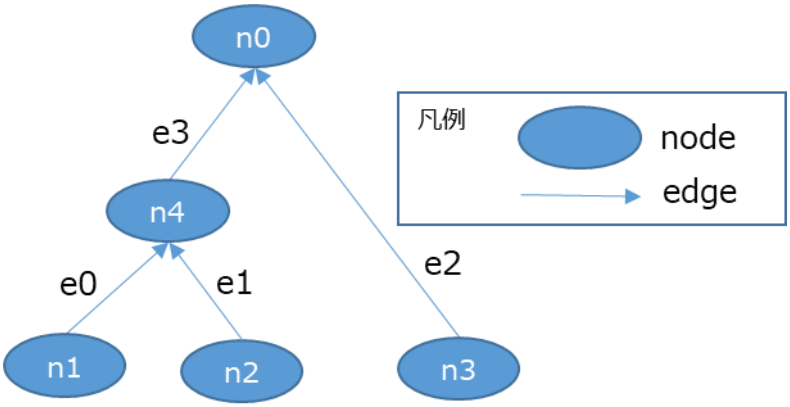


図 319　オペレーターツリー

なお、DM2.0PF の DB システム内部では静的情報の操作を PostgreSQL に任せており、そのためのオペレーターとして RDB Access Operator を実装済みである。今回の追加構文である①～⑤の場合は、その仕組みを踏襲し、下図のように e0 エッジの Source に RDB Access Operator を、Target に out（出力）をセットするようなオペレーターツリーを導出する。

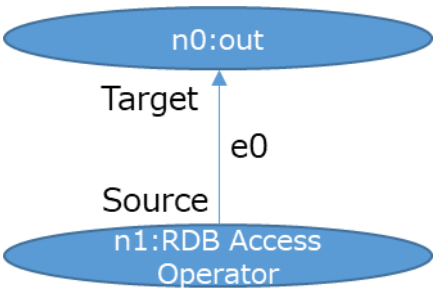


図 320　静的情報解析時のオペレーターツリー

追加構文⑥については、元の実装として既に CREATE STREAM 構文を受け取ると下図に示す通りにオペレーターツリーが生成されるように実装済みである。今年度の開発ではその CREATE STREAM 構文に DEFAULT 句への対応を導入した。具体的には、DEFAULT 句指定時にその情報を n1 ノードのパラメータとして引き継げるように改修した。

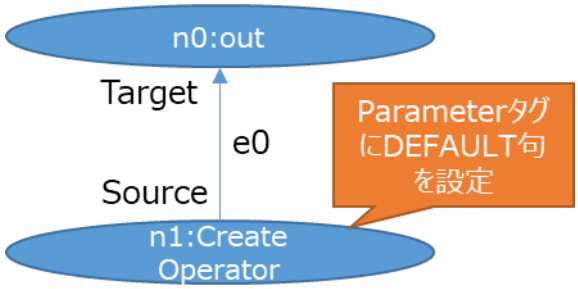


図 321　CREATE STREAM 構文解析時のオペレーターツリー

② 「RDB Access Operator」の改修

静的情報に関する 5 つの構文のオペレーターツリーを受け付けて、RDB へと連携する機能を追加した。RDB Access Operator は、SELECT 構文のオペレーターツリーを受け付けて、PostgreSQL へと連携する役割を担っている。今年度の開発では、この RDB Access Operator が追加構文①～⑤のオペレーターツリーを受け取った場合も、既存の SELECT 構文の仕組みと同様に、PostgreSQL へ連携させるように改修した。クエリ結果を返却する際のインターフェースは、既存のものを継承した。改修前の RDB Access Operator は、SELECT クエリの結果を格納できるように、行・列で構成された 2 次元配列を持つデータクラスを出力インターフェースとしていた（下図の TupleSet）。今年度の開発では、クエリの結果は、追加構文①～③の場合は行を操作した行数（整数値）が得られ、④、⑤の場合は定義作成・定義削除の操作に対する成功／失敗（bool 値）が得られるようになった。

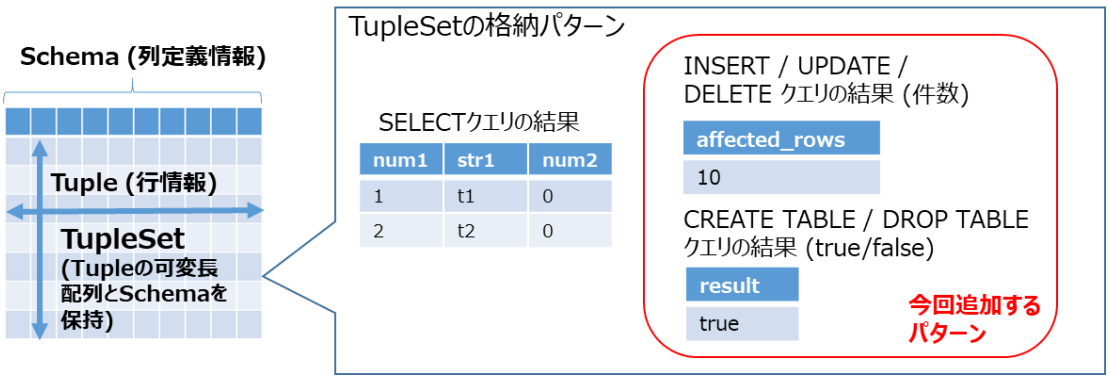


図 322　RDB Access Operator の出力インターフェース

- 「Create Operator」と「Schema」クラスの拡張

CREATE STREAM 構文にて DEFAULT キーワードを受け付ける機能を追加した。元の実装では、Create Operator は CREATE STREAM 構文のオペレーターツリーを受け付けて、スキーマ定義を作成する役割を担っていた。また、スキーマ定義（タプルの列定義に関する

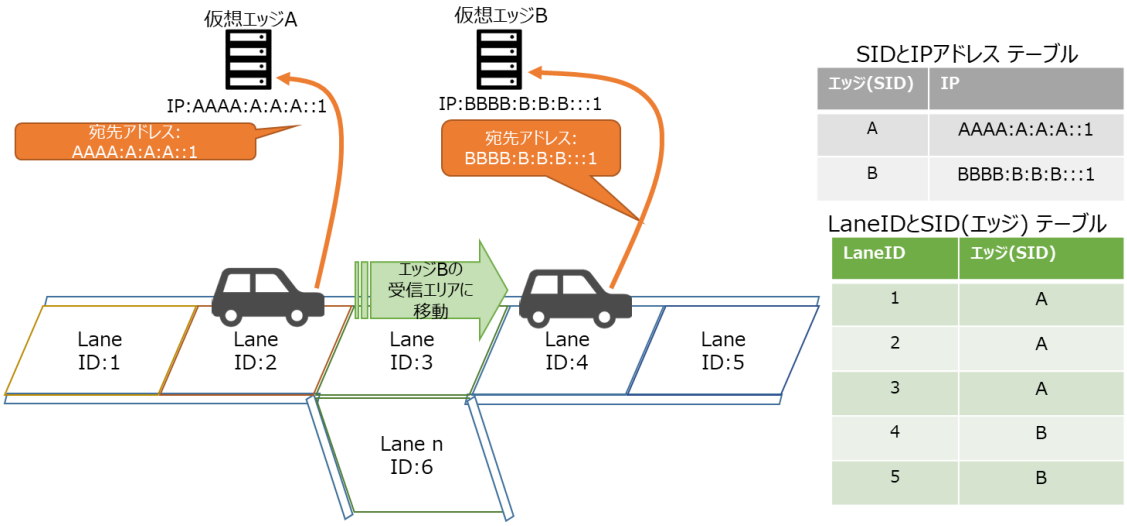
情報）を管理する役割を持つ、データクラス「Schema」がもともと存在していた。今年度の開発では、Schema クラスに DEFAULT 属性を設定・保持できるようにして、且つ、Create Operator が追加構文⑥のオペレーターツリーを受け取った場合、パラメータに DEFAULT 句が存在するかチェックし、存在する場合は Schema クラスに DEFAULT 値を持たせるようにした。

- Queue Manager の改修

  ストリームデータ挿入時に、DEFAULT 値を設定する機能を追加した。今年度の開発では CREATE STREAM 構文の拡張に連動し、この Queue Manager 内で値が指定されていない列があった場合、スキーマの DEFAULT 属性を参照し、DEFAULT 値を設定するようにした。

ii） 通信機能の今年度開発内容

今年度の開発では DM2.OPF の通信機能について拡張を行い、エッジ層と車両間でのユニキャスト通信を導入した。アクセスポイントや基地局にエッジコンピュータを置き、クラウドに転送、または別のエッジや他の車両データを転送するための通信層の制御機能を CS(Communication Support)と呼ぶ。元の実装の CS では車両に対するブロードキャスト(IPv6 マルチキャスト)によるメッセージ送信に対応していないため、今年度の開発ではこの機能を実現した。また、従来の CS では移動する車両からエッジへの送信手段として、マルチキャストアドレス及びエニーキャストアドレスを利用してデータの送受信を行っていたが、本開発では、マルチキャスト及びエニーキャストアドレスが利用できない環境(通信キャリアの提供する MEC サービス etc)を想定し、ユニキャスト通信と GeoStaticRooting を利用する。本開発の概念図については下記の通りである。



SIDとIPアドレス テーブル

エッジ(SID)	IP
A	AAAA:A:A:A::1
B	BBBB:B:B:B:::1

LaneIDとSID(エッジ) テーブル

LaneID	エッジ(SID)
1	A
2	A
3	A
4	B
5	B

図 323　位置情報に応じた接続エッジの切り替え

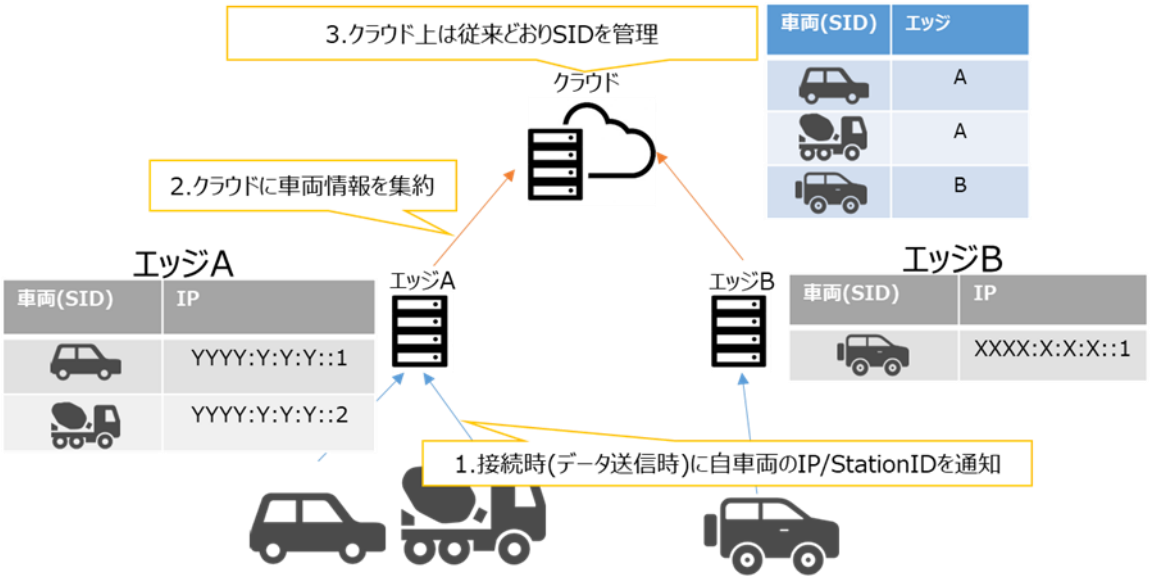


図 324　エッジ上で車両の IP を管理しデータの送信を行う

上記の機能を実現するにあたり、DM2.0PF の通信部 CS の開発部分の全体像を下記に示す。

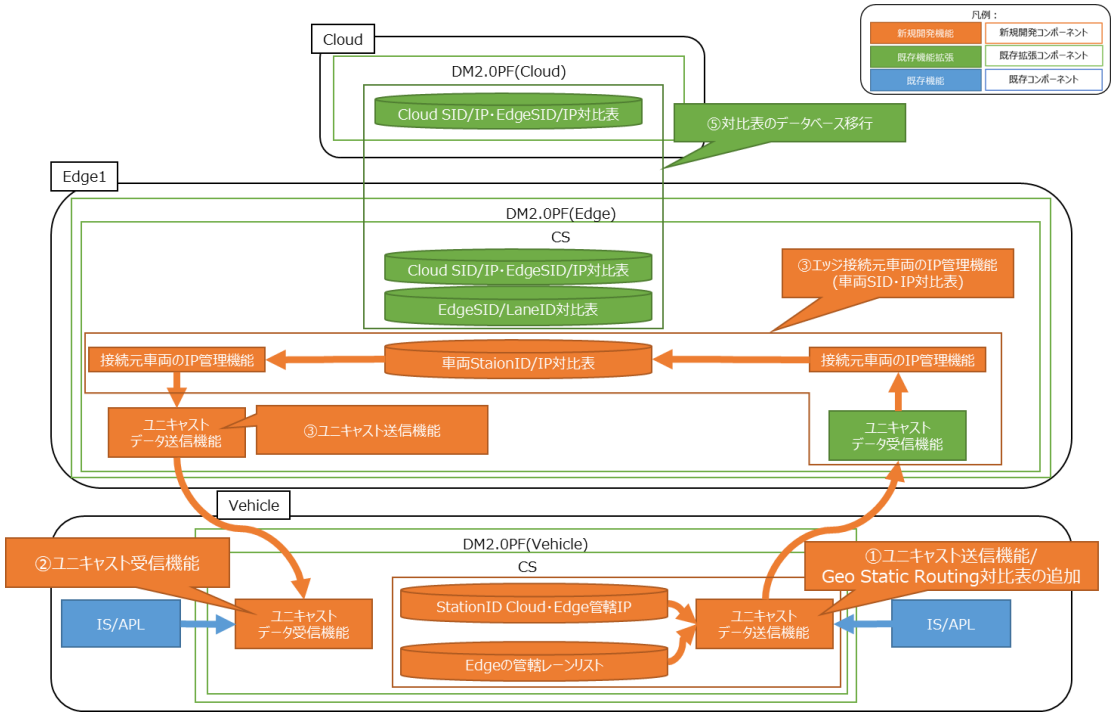


図 325　DM2.0PF 通信層(CS)の開発部分の全体像

さらに全体図を詳細化し、機能ブロック図としたものが下記の図の通りとなる。

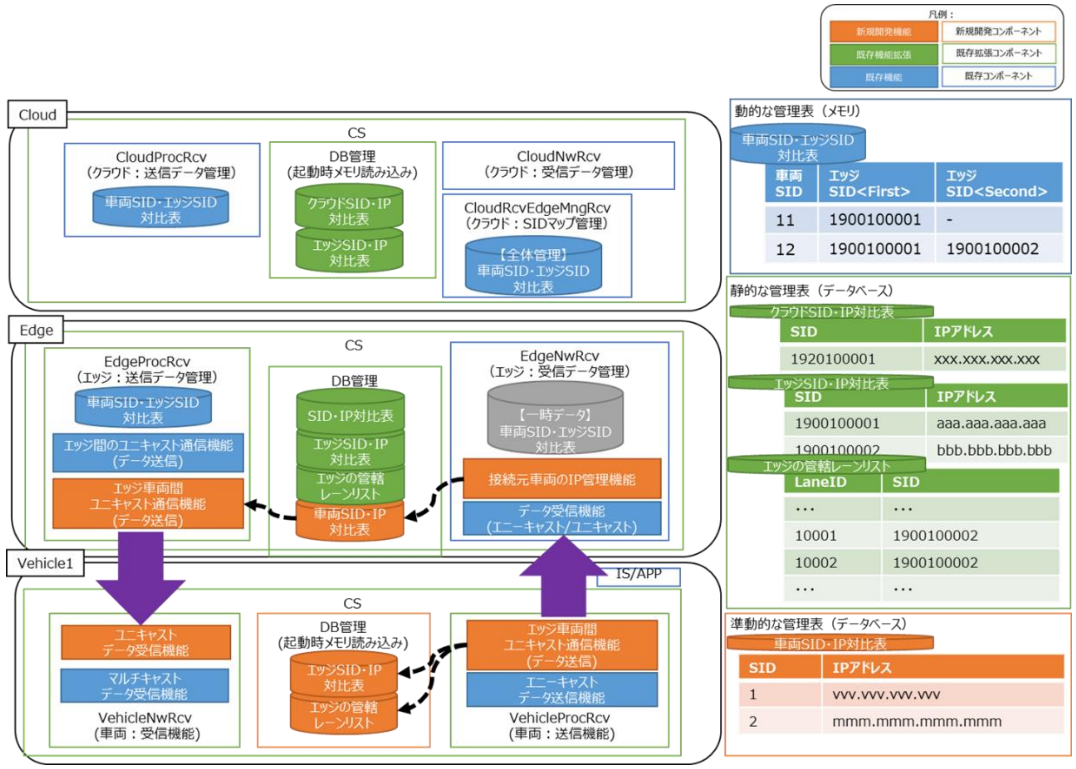


図 326　機能ブロック図（SID・IP アドレス・LaneID の管理テーブル）

今年度の開発では、クラウド向けの DM2.OPF(Cloud)、エッジ向けの DM2.OPF(Edge)、車両向けの DM2.OPF(Vehicle)の CS(通信層)についてそれぞれ改修を行った。それぞれに導入した機能の一覧を以下に記載する。

① ユニキャスト送信機能(Vehicle)/ Geo Static Routing 対比表の追加
② ユニキャスト受信機能(Vehicle)
③ エッジ接続元車両の IP 管理機能(車両 SID・IP 対比表)
④ ユニキャスト送信機能(Edge)
⑤ 対比表のデータベース移行

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。

- DM2.OPF(Cloud)の開発機能

  Cloud 層の CS については下記のデータベース移行の対応のみ実施する。

  Cloud での対比表のデータベース移行

  下記のデータは、元の実装では CSV ファイル（下記 2 種）で管理を行っており、それらを起動時にメモリ上に読み込んでいるが、今年度開発では RDBMS 上に移行し起動時にメ

モリに読み込むように変更した。

表 115　元実装におけるクラウドでの CSV ファイル管理状況

管理名称	コンテナ(Map)名	第 1 カラム	第 2 カラム	対応 CSV ファイル
クラウド SID⇔クラウド IP アドレス管理	cloud_sid_cloud_ip_map	クラウド SID	クラウド IP アドレス	cloud_sid_cloud_ipv6.csv
エッジ SID⇔エッジ IP アドレス管理	edge_sid_edge_ip_map	エッジ SID	エッジ IP アドレス	edge_sid_edge_ipv6.csv

RDBMS へ移行したテーブル構成については下記の通りである。

表 116　テーブル名：cloud_sid_cloud_ip_map

カラム名	データ型	意味
cloud_sid	text	クラウドの StationID
cloud_ip	text	クラウドの IP(IPv6)

表 117　テーブル名：edge_sid_edge _ip_map

カラム名	データ型	意味
edge_sid	text	エッジの StationID
edge_ip	text	エッジの IP(IPv6)

- DM2.0PF(Edge)の開発機能

  エッジ接続元車両の IP 管理機能(車両 SID・IP 対比表)

  エッジに対してアクセスを行ってきた車両の SID と IP アドレスの対応表について、RDBMS 上に vehicle_connect_info テーブルにレコードを作成し、管理を行うようにした。エッジから特定の SID をもつ車両にユニキャスト通信を使ってアクセスする場合についても、本テーブルを参照し、ユニキャスト通信を行う。テーブル構成については下記の通りである。

表 118　テーブル名：vehicle_connect_info

カラム名	データ型	意味
vehicle_sid	text	車両の StationID
vehicle_ip	text	車両の IP(IPv6)

- ユニキャスト送信機能(Edge)

  車両の SID と IP アドレスの対応関係のテーブルを参照し、ユニキャストで車両に対して通信を行い、データを送信する機能を導入した。

- エッジの対比表のデータベース移行

  下記のデータは、元の実装では CSV ファイル（下記 3 種）で管理を行っており、それらを起動時にメモリ上に読み込んでいるが、今年度開発では RDBMS 上に移行し起動時にメモリに読み込むように変更した。

表 119　元実装におけるエッジでの CSV ファイル管理状況

管理名称	コンテナ(Map)名	第 1 カラム	第 2 カラム	対応 CSV ファイル
クラウド SID⇔クラウド IP アドレス管理	cloud_sid_cloud_ip_map	クラウド SID	クラウド IP アドレス	cloud_sid_cloud_ipv6.csv
エッジ SID⇔エッジ IP アドレス管理	edge_sid_edge_ip_map	エッジ SID	エッジ IP アドレス	edge_sid_edge_ipv6.csv
LaneID⇔管轄エッジ管理	lid_controll_edge_sid_map	LaneID	管轄エッジ SID	lid_controll_edge_ipv6.csv

移行後のテーブル構成については下記の通りである。

表 120　テーブル名：cloud_sid_cloud_ip_map

カラム名	データ型	意味
cloud_sid	Text	クラウドの StationID
cloud_ip	Text	クラウドの IP(IPv6)

表 121　テーブル名：edge_sid_edge _ip_map

カラム名	データ型	意味
edge_sid	Text	エッジの StationID
edge_ip	Text	エッジの IP(IPv6)

表 122　テーブル名：lid_controll_edge_sid_map

カラム名	データ型	意味
lane_id	Text	レーンに対応する ID
edge_ip	Text	管轄エッジの IP(IPv6)

- DM2.0PF(Vehicle)の開発機能

  ユニキャスト送信機能(Vehicle)/ Geo Static Routing 対比表の追加

  エッジへの通信の際にユニキャスト通信によりデータの送信を行う。元々の実装の CS では、エッジ SID の IP アドレス及び、管轄エッジ SID とレーン ID の対応付を行うテーブルを、エッジ層(クラウド層)で管理していたが、車両でも保持するように変更した。車両の移動に伴って、この対応付けを更新し、アクセスするエッジを次々と変更する。元の実装では csv ファイルで管理を行っていた上記の情報を、車両内の RDBMS でも保持するように改修した。具体的なテーブルの構成は下記の通りである。

表 123　テーブル名：edge_sid_edge _ip_map

カラム名	データ型	意味
edge_sid	text	エッジの StationID
edge_ip	text	エッジの IP(IPv6)

表 124　テーブル名：lid_controll_edge_sid_map

カラム名	データ型	意味
lane_id	text	レーンに対応する ID
edge_ip	text	管轄エッジの IP(IPv6)

- ユニキャスト受信機能(Vehicle)

  上記のテーブルを用いて、車両の現在位置から、道路のレーン ID を特定し、そのレーンの管轄になっているエッジの IP アドレスを特定し、車両からエッジに向けた向けたユニキャスト通信を行う。

(2)　データフュージョン機能の検討と開発

データ連検討チームでは、地上インフラ（電信柱や信号機など）にセンサー（物標認識システム）と通信機器、計算機を搭載した協調型路側機の研究開発を行っている。この協調型路側機は、物標認識システムから得られたデータより、オブジェクトの種類（歩行者、車両）と追跡情報（位置、速度、進行方向、大きさ）を検出し、それらのオブジェクトの情報を、通信機器を介して、付近の路側に設置されているエッジ（ロードサイドエッジ）で稼働するデジタル道路交通データプラットフォームに共有するものである。ただし、物標認識システムが検出したオブジェクトの情報には、誤情報や検知漏れが存在する可能性があるため、設置場所が異なる複数の物標認識システムのオブジェクトの情報の統合・融合を行うシステムの導入を検討した。具体的には、物標認識システムからデジタル道路交通データプラットフォームに共有されたオブジェクトの情報を取

得（オブジェクト情報の取得）する。そして、オブジェクトの情報を比較して同一物体のオブジェクト情報を同定（データアソシエーション）し、同一物体のオブジェクトの情報を統合・融合（データフュージョン）する。最後に、データフュージョンより生成したオブジェクトの情報をデジタル道路交通データプラットフォームへ共有（オブジェクト情報の出力）する。

本年度は、データフュージョンアプリケーションの開発を行った。開発部分は図中の赤枠部であり、**オブジェクト情報の取得**、**データアソシエーション**、**データフュージョン**、**オブジェクト情報の出力**の 4 つの機能を有する。

データフュージョンアプリケーションの運用予定の環境を例にシステムの概要を説明する。なお、現在時刻を t とし、データフュージョンアプリケーションはτ[s]間隔ごとに実行されるとする。2 台の物標認識システムには、それぞれ 2 台のセンサーが搭載されており、センサーが検出したオブジェクトの情報はロードサイドエッジで動作するデジタル道路交通データプラットフォームにストリームの形式で送信される。そのストリームの定義は表 125 の object_information の通りである。

オブジェクト情報の取得では、2 台の協調型路側機が出力した、情報取得時刻が$t-\tau$から t の間にあるすべての object_information のストリームをデジタル道路交通データプラットフォームから取得する。次に表 126 の candidate_information クラスのインスタンスを生成し、データ変換した object_information のフィールドを格納する。そして candidate_information をリストとした candidates を作成し、**データアソシエーション**に渡す。

データアソシエーションでは、candidates に含まれる candidate_information を比較して、同一物体の candidate_information の同定とそのオブジェクトの種類を求める。オブジェクトの情報の同定ができた場合、オブジェクトの種類と同一物体の candidate_information のリストを格納した processing_objects を作成し、**データフュージョン**に渡す。オブジェクトの情報の同定ができなかった場合、物標 ID を**オブジェクト情報の出力**に渡す。

データフュージョンでは、processing_objects と前回のデータフュージョンの結果との同定を行う。データフュージョンの結果には、データフュージョンで統合した物標 ID と位置と速度を求めるために必要なパラメータが格納されている。同定できた場合は、オブジェクトのサイズ、位置、速度を算出し、表 128 の fusion_result のメッセージ型で**オブジェクト情報の出力**に渡す。同定できなかった場合は、新規のオブジェクトとして変数を定義して保存する。

最後に、**オブジェクト情報の出力**では、fusion_result を受け取った場合は、fusion_result のデータをデータ変換した後に、表 129 の combined_object_information の形式にしてデジタル道路交通データプラットフォームに送信する。物標 ID を受け取った場合は、 受け取った物標 ID の object_information を表 129 の combined_object_information の形式にしてデジタル道路交通データプラットフォームに送信する。

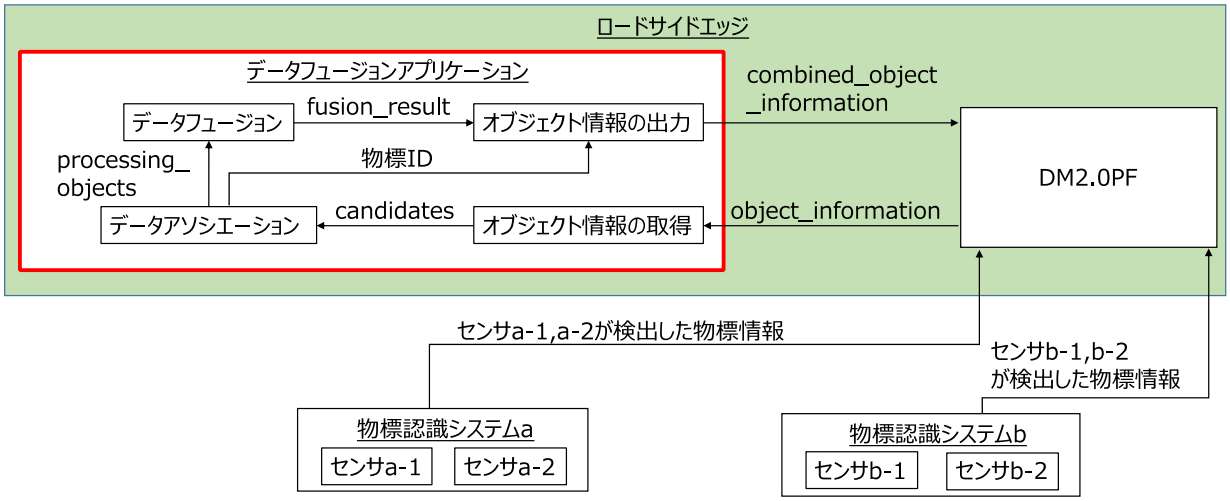


図 327　データフュージョンアプリケーション

表 125 object_information

#	データ型	データ名	説明
1	long	object_id	物標 ID
2	int	unit_id	情報源 ID
3	long	timestamp	情報取得時刻
4	int	object_class	オブジェクトの種類
5	int	object_class_confidence	オブジェクトの種類の信頼度
6	int	confidence	信頼度
7	int	latitude	オブジェクトの位置（緯度）
8	int	longitude	オブジェクトの位置（経度）
9	int	altitude	オブジェクトの位置（高さ）
10	int	semi_long_axes	水平方向位置精度楕円長半径
11	int	semi_short_axes	水平方向位置精度楕円短半径
12	int	axes_angle	水平方向位置精度楕円回転角
13	int	altitude_confidence	高さ方向位置精度
14	int	direction	移動方向（方位）
15	int	direction_confidence	移動方向の精度
16	int	speed	速さ
17	int	speed_confidence	速さの精度
18	int	yaw_rate_speed	回転速度
19	int	yaw_rate_speed_confidence	回転速度の精度
20	int	acceleration	前後加速度
21	int	acceleration_confidence	前後加速度の精度
22	int	orientation	向き（方位）
20	int	width	オブジェクトのサイズ（幅）
21	int	length	オブジェクトのサイズ（長さ）
22	int	height	オブジェクトのサイズ（高さ）
23	int	width_confidence	オブジェクトのサイズの精度（幅）
24	int	length_confidence	オブジェクトのサイズの精度（長さ）
25	int	height_confidence	オブジェクトのサイズの精度（高さ）

表 126　candidate_information クラス

#	データ型	データ名	説明
1	long	object_id	物標 ID
2	int	unit_id	情報源 ID
3	long	timestamp	情報取得時刻
4	int	utm_zone	オブジェクトの位置（ゾーン）
5	double	utm_x	オブジェクトの位置（x 座標）
6	double	utm_y	オブジェクトの位置（y 座標）
7	double	utm_h	オブジェクトの位置（高さ）
8	double	direction	移動方向
9	double	speed	速さ
10	double	width	オブジェクトのサイズ（幅）
11	double	length	オブジェクトのサイズ（長さ）
12	double	height	オブジェクトのサイズ（高さ）

表 127　processing_objects クラス

#	データ型	データ名	説明
1	int	object_class	オブジェクトの種類
2	list<candidate_information>	list_candidate_infomation	candidate_information のリスト

表 128　fusion_result クラス

#	データ型	データ名	説明
1	long	object_id	物標 ID
2	long	timestamp	現在時刻
3	int	object_class	オブジェクトの種類
4	int	utm_zone	オブジェクトの位置（ゾーン）
5	double	utm_x	オブジェクトの位置（x 座標）
6	double	utm_y	オブジェクトの位置（y 座標）
7	double	utm_h	オブジェクトの位置（高さ）
8	double	direction	移動方向
9	double	speed	速さ
10	double	width	オブジェクトのサイズ（幅）

11	double	length	オブジェクトのサイズ（長さ）
12	double	height	オブジェクトのサイズ（高さ）

表 129　combined_object_information

#	データ型	データ名	説明
1	long	object_id	物標 ID
2	long	timestamp	情報取得時刻
3	int	object_class	オブジェクトの種類
4	int	object_class_confidence	オブジェクトの種類の信頼度
5	int	confidence	信頼度
6	int	latitude	オブジェクトの位置（緯度）
7	int	longitude	オブジェクトの位置（経度）
8	int	altitude	オブジェクトの位置（高さ）
9	int	semi_long_axes	水平方向位置精度楕円長半径
10	int	semi_short_axes	水平方向位置精度楕円短半径
11	int	axes_angle	水平方向位置精度楕円回転角
12	int	altitude_confidence	高さ方向位置精度
13	int	direction	移動方向（方位）
14	int	direction_confidence	移動方向の精度
15	int	speed	速さ
16	int	speed_confidence	速さの精度
17	int	yaw_rate_speed	回転速度
18	int	yaw_rate_speed_confidence	回転速度の精度
19	int	acceleration	前後加速度
20	int	acceleration_confidence	前後加速度の精度
21	int	orientation	向き（方位）
22	Int	width	オブジェクトのサイズ（幅）
20	Int	length	オブジェクトのサイズ（長さ）
21	Int	height	オブジェクトのサイズ（高さ）
22	Int	width_confidence	オブジェクトのサイズの精度（幅）
23	Int	length_confidence	オブジェクトのサイズの精度（長さ）
24	Int	height_confidence	オブジェクトのサイズの精度（高さ）
25	vector<long>	combined_object_id	データフュージョンした物標の ID の集合

i） オブジェクト情報の取得手順の仕様

① デジタル道路交通データプラットフォームから情報取得時刻が$t-\tau$から時刻 tかつ情報源 ID がパラメータ設定ファイルで指定した値と等しい object_information のストリームを取得する。なお、τ[s]はデータフュージョンアプリケーションを実行する間隔であり、パラメータの設定ファイルで指定できるようにする。

② 緯度経度表記の位置情報を UTM 座標系での位置情報に変換する。また方位表記の移動方向、向きを UTM 座標系での角度表記に変換する。

③ 速さ、サイズの型を int 型から double 型へキャストし、単位を変換する。単位の変換は以下の通りである。

- 速さ： [0.01m/s] -> [m/s]
- サイズ： [0.01m] -> [m]

④ 表 126 の candidate_information クラスのインスタンスを生成し、データ変換した object_information のフィールドを格納する。そして candidate_information をリストとした candidates を作成し、**データアソシエーション**に渡す

ii） データアソシエーションの仕様

① 情報源 ID が同じ値の candidate_information をグループ化する。以下、n 個のグループ(sk_1, sk_2,・・・, sk_i, sk_{i+1},・・・, sk_{n-1}, sk_n)が作成されたとする。sk_1, sk_2,・・・、sk_i, sk_{i+1},・・・、sk_{n-1}, sk_nの順で以下の処理を進める。

② sk_iのグループから対応付けが完了していない candidate_information の情報を 1 つ選択し、下図のようにオブジェクトの位置(x 座標、y 座標)を中心とする半径 r[m]の円形有効領域を作成する。なお r[m]はパラメータの設定ファイルで指定する。

③ ステップ④の対応付けが完了していない sk_{i+1},・・・、sk_{n-1}, sk_n のグループの candidate_information について、オブジェクトの位置(x 座標、y 座標)が円形有効領域にあるものを抽出する。なお 1 つのグループで複数の candidate_information が円形有効領域内にあった場合は、円形有効領域の中心位置とオブジェクトの位置(x 座標、y 座標)のユークリッド距離が近いものを抽出する。円形有効領域にオブジェクトが存在しない場合、物標 ID を**オブジェクト情報の出力**に渡してステップ②に戻る。

④ sk_iのグループから選択した candidate_information と抽出した candidate_information の 1 つをそれぞれ比較し、以下のルールにより対応付けを行う。ただし、v[m/s]、θ[deg]、w[m]はパラメータの設定ファイルで指定する値である。対応付けは抽出した candidate_information のすべてで行う。タイプ a、b に当てはまる candidate_information が 1 つでもあればステップ⑤に進む。抽出した candidate_information のすべてがタイプ c であった場合、物標 ID を**オブジェクト情報の出力**に渡してステップ②に戻る。

タイプa.　同一の車両のオブジェクトの情報

- 速度、進行方向の差が±v[m/s]、± θ [deg]以内
- 対応付けを行う candidate_information のオブジェクトの長さ、または、幅が両方とも閾値 w[m]以上

タイプb.　同一の歩行者のオブジェクトの情報

- 速度、進行方向の差が±v[m/s]、± θ [deg]以内
- 対応付けを行う candidate_information のオブジェクトの長さ、かつ、幅が両方とも閾値 w[m]未満

タイプc.　異なる物体

- 上記以外

⑤ 表 127 の processing_objects クラスのインスタンスを生成する。object_class には、以下のルールで指定したデータを格納する。格納するデータについては受注契約完了後に提供する。

- 対応付けの結果に a が含まれる場合：車両を意味する数値を格納
- 対応付けの結果が b のみ含まれる場合：歩行者を意味する数値を格納

list_candidate_information には、タイプ a、b に当てはまった candidate_information のリストを格納し、**データフュージョン**に渡す。

⑥ sk_i のグループでステップ④の対応付けが完了していない candidate_information がある場合はステップ②に戻る。対応付けが完了していない candidate_information がない場合は次のグループ（sk_{i+1}）でステップ②を行う。sk_{n-1} のグループでステップ④の対応付けが完了していない candidate_infomation がなくなれば終了である。

図 328　円形有効領域と対応付け

iii)　データフュージョン

① processing_objects に含まれる各 candidate_information について、位置（x 座標、y 座標）、移動方向、オブジェクトのサイズ（幅、長さ）より図のような長方形（単独物体領域）を作成する。そして単独物体領域の面積が 1 番大きいものの進行方向を y 軸とするローカル座標系を定義する。

② ステップ①で作成した単独物体領域の頂点をすべて包含する図のような長方形（統合物体

領域）を作成する。この長方形は、上記で定義したローカル座標系において、長さは y 軸に対して平行、幅は x 軸に対して平行である。上記で求めた長さを$\hat{L}_t$[m]、幅を$\hat{W}_t$[m]とする。そして UTM 座標系での統合物体領域の重心位置$(\bar{x}_t, \bar{y}_t)$を求める。また processing_objects に含まれる candidate_information の高さの平均値を$\hat{H}_t$ [m]とする。

図 329　統合物体領域の作成

③ 時刻$t-\tau$で保存したデータフュージョン結果との対応付けを行う。ここでは、processing_objects に含まれる candidate_information の物標 ID の出現回数が最も多い時刻$t-\tau$のデータフュージョン結果を抽出する。なお数が同一のデータフュージョン結果が複数存在した場合には、ステップ②で求めた重心位置とのユークリッド距離が最も近いものを抽出する。抽出が完了したらステップ v.に移る。同一の物標 ID が存在しない場合はステップ④に移る。

④ 新規オブジェクトとして登録する。以下の変数を作成する。そして作成した変数と processing_object に含まれる candidate_information の物標 ID をメモリに保存し、データフュージョンを終了する。

- 新規オブジェクトのための 30 ビットのユニークな ID を作成する。そして、ストリームの種類を表す数字、作成した 30 ビットのユニークな ID、パラメータの設定ファイルで定義した情報源 ID より各ビットを並べた物標 ID を作成する。
- 変数$\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t})$, W_t, L_t, H_t, $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{Q}$, $\boldsymbol{R}$を作成する。それぞれ以下の通りである。ただし、$\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{Q}$, $\boldsymbol{R}$の値はパラメータの設定ファイルから設定できるものとする。

$$\boldsymbol{x}(\boldsymbol{t}) = (\bar{x}_t, 0, \bar{y}_t, 0)^T,\ W_t = \hat{W}_t,\ L_t = \hat{L}_t,\ H_t = \hat{H}_t$$

$$\boldsymbol{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{23} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix},\ \boldsymbol{Q} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix},\ \boldsymbol{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix}$$

⑤ データフュージョンにより、時刻 t のオブジェクトのサイズと位置・移動方向・速さを求める。それぞれ以下の計算式より求める。

- サイズの推定：

  以下の式より時刻 t のオブジェクトの幅W_t[m]と長さL_t[m]を求める。ただし、

$W_{t-\tau}$と$L_{t-\tau}$は前回のアプリケーション実行時刻$t-\tau$で保存したデータフュージョンの結果に含まれるオブジェクトの幅と長さである。

$$W_t = \max(\widehat{W}_t, W_{t-\tau})$$
$$L_t = \max(\hat{L}_t, L_{t-\tau})$$
$$H_t = \max(\widehat{H}_t, H_{t-\tau})$$

- 位置・移動方向・速さの推定：

  時刻 t のオブジェクトの位置$(x_t, y_t,)$・速度$(\dot{x}_t, \dot{y}_t)$を求める。$\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}) = (x_t, \dot{x}_t, y_t, \dot{y}_t)^T$, $\boldsymbol{z}(\boldsymbol{t}) = (\bar{x}_t, \bar{y}_t)^T$, $\mathrm{P}, \mathrm{Q}, \mathrm{R}$ は時刻$t-\tau$で保存した値を使用する。$\mathrm{F}, \mathrm{G}, \mathrm{H}$ は以下の通りとする。

$$\boldsymbol{F} = \begin{pmatrix} 1 & \tau & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{G} = \begin{pmatrix} \frac{\tau^2}{2} & 0 \\ \tau & 0 \\ 0 & \frac{\tau^2}{2} \\ 0 & \tau \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

  計算式は以下の通りである。

$$\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1}) = \boldsymbol{F}\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t})$$
$$\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1}) = \boldsymbol{F}\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t-1})\boldsymbol{F}^T + \boldsymbol{G}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{G}^T$$
$$\boldsymbol{S}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{H}\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1})\boldsymbol{H}^T + \boldsymbol{R}$$
$$\boldsymbol{K}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1})\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{S}^{-1}(\boldsymbol{t})$$
$$\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1}) - \boldsymbol{K}(\boldsymbol{t})\boldsymbol{H}\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1})$$
$$\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}) = \hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1}) + \boldsymbol{K}(\boldsymbol{t})\{\boldsymbol{z}(\boldsymbol{t}) - \boldsymbol{H}\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t}|\boldsymbol{t-1})\}$$

  以下の式より、移動方向 d, 速さ v を求める。

$$d = Tan^{-1}\left(\frac{\dot{y}_t}{\dot{x}_t}\right)$$

$$v = \sqrt{\dot{x}_t{}^2 + \dot{y}_t{}^2}$$

- データフュージョン結果の保存

  時刻 t のデータフュージョン結果に同一の物標 ID がないかを確認する。同一の物標 ID があった場合は、新規オブジェクトのための 30 ビットのユニークな ID を作成する。そして、ストリームの種類を表す数字、作成した 30 ビットのユニークな ID、パラメータの設定ファイルで定義した情報源 ID より各ビットを並べた物標 ID を作成する。ない場合は、前回のデータフュージョン結果の物標 ID を用いる。

  最後に、物標 ID と計算式で得られた変数$\hat{\boldsymbol{x}}(\boldsymbol{t})$, W_t, L_t, H_t, $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{Q}$, $\boldsymbol{R}$, processing_object に含まれる candidate_information の物標 ID をメモリに保

存する。なおメモリに保存した変数と物標 ID については、中間結果として時刻 t でのデータフュージョンアプリケーションの処理が完了したタイミングでファイルに書き出すものとする。

⑥ ⑤で算出した結果をもとに fusion_result を作成し、**オブジェクト情報の出力**に渡す。

iv) オブジェクト情報の出力

- fusion_result を受け取った場合：

① UTM 座標系での位置情報を変換して緯度経度表記の位置情報を作成する。また UTM 座標系での移動方向、向きを方位表記に変換する。

② fusion_result の速さ、サイズの単位を変換し、double 型から int 型へキャストする。単位の変換は以下の通りとする。

③ 速さ： [m/s] -> [0.01m/s]

④ サイズ： [m] -> [0.01m]

⑤ 上記で作成したデータを combined_object_information に格納し、デジタル道路交通データプラットフォームに共有する。ただし、各カラムに収める値のうち fusion_result に含まれない情報には、-1 の値を代入する。 カラム[データフュージョンした物標の ID の集合]にはデータフュージョンにより統合したオブジェクトの情報の物標 ID を代入する。

- 物標 ID を受け取った場合：

① 受け取った物標 ID の object_information を抽出する。

② 抽出した object_information を combined_object_information に代入する。

③ カラム[データフュージョンした物標の ID の集合]には空の vector を代入する。

(3) 仮名 ID の実現方式の検討

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)のプロトタイプを開発した。また、既存のデジタル道路交通データプラットフォームの通信層を改修し、車車間のブロードキャスト配信について対応した。これらの対応により、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実現した。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、本研究では認可局/登録局及び車両について開発を行った。

- 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。

公開鍵基盤について

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。

ⅰ) 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 の証明管理インター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。

ii） 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ー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、車両のプライバシーを保護する。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。

iii） 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。

表 130　仮名 ID の実現方式に関する用語一覧

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	

デジタル道路交通データプラットフォーム PKI 開発について

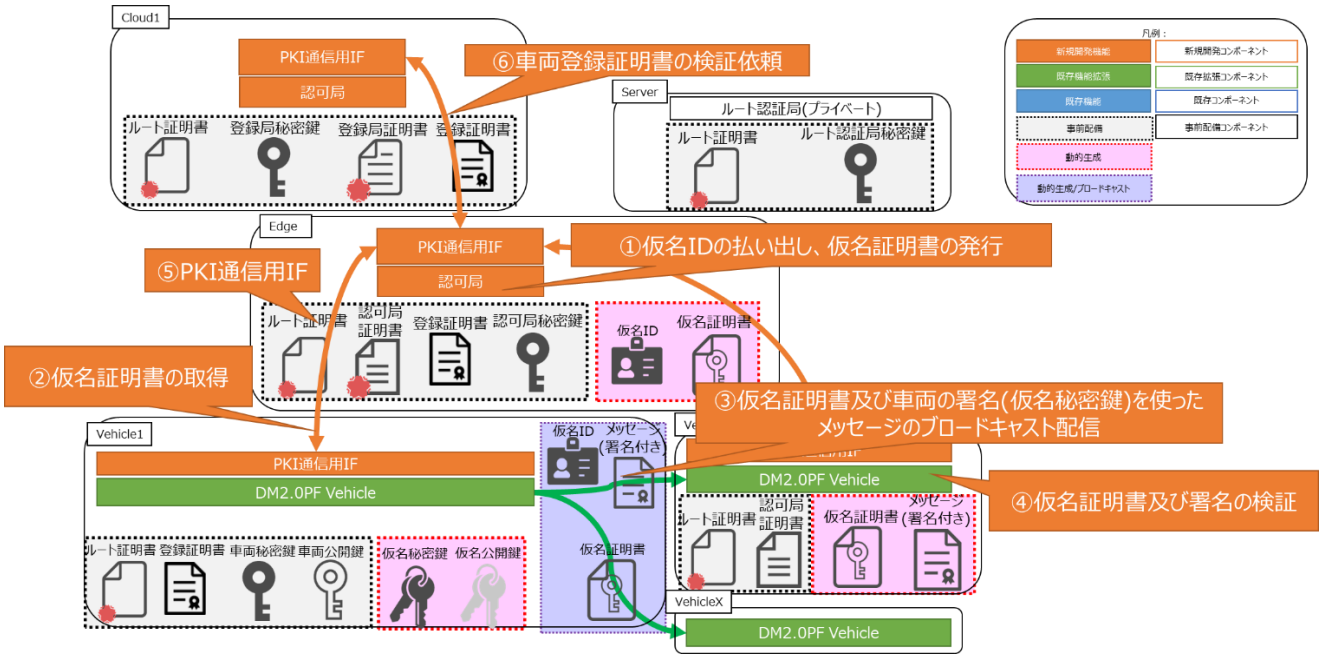


図 330　デジタル道路交通データプラットフォーム PKI の全体像

全体像の各用語については用語一覧表を参照すること。

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。

① 仮名 ID の払い出し、仮名証明書の発行
② 仮名証明書の取得
③ 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
④ 仮名証明書及び署名の検証
⑤ PKI 通信用 IF
⑥ 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とした。

- 認可局

① 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。

共通

認可局はクラウドサーバーor エッジサーバー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ーで動作するものとする。

- デジタル道路交通データプラットフォーム搭載車両

② 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。

③ 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下図に記載する。

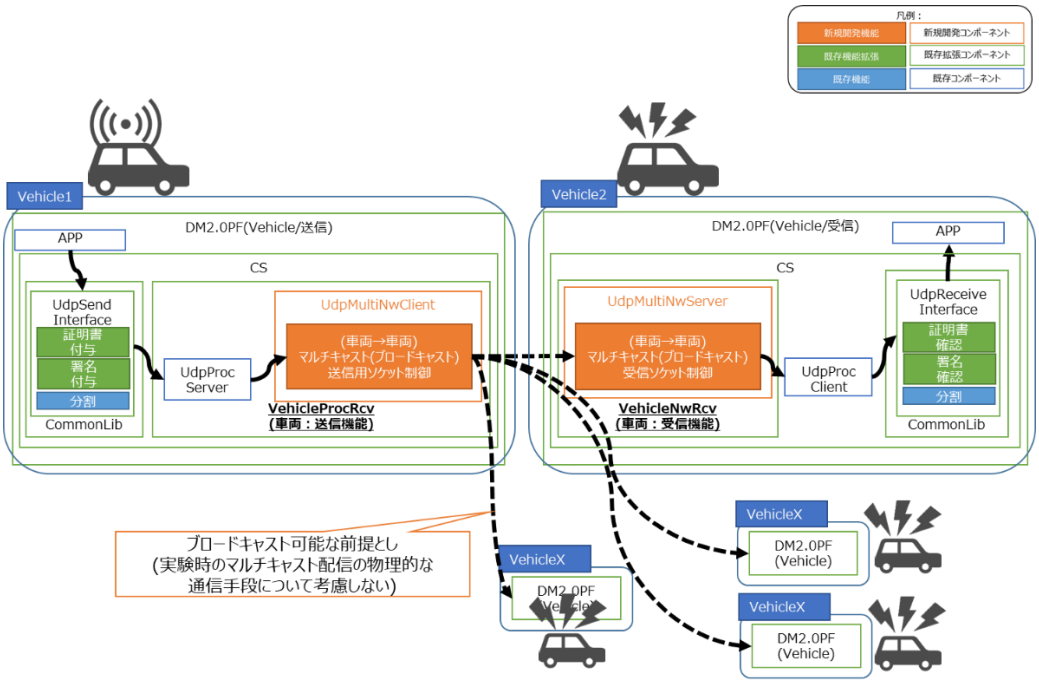


図 331　仮名証明書および車両の署名を用いたブロードキャスト配信

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下記に記載する。

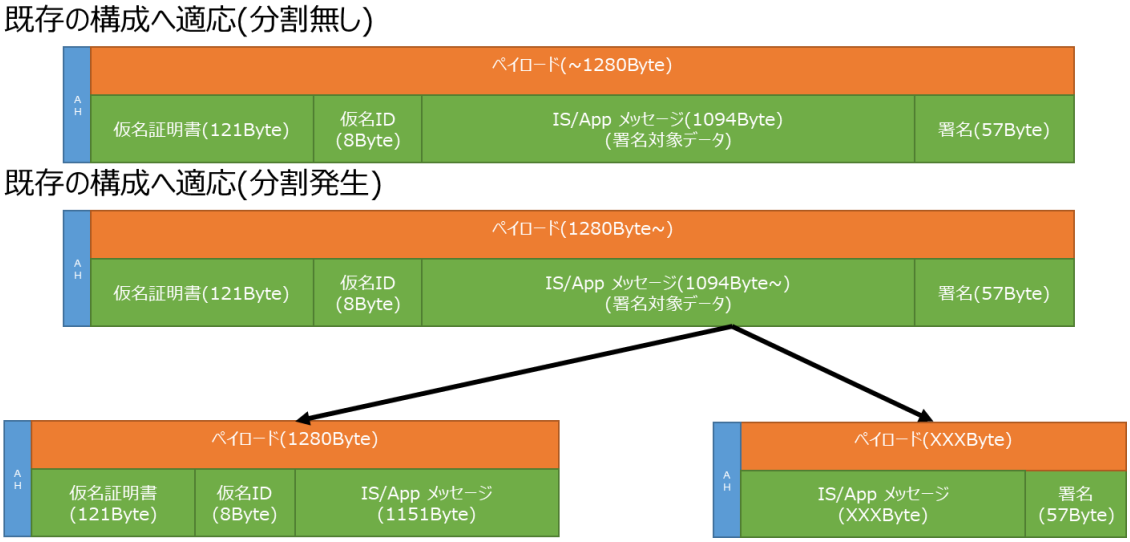


図 332　分割が発生した場合のメッセージ構成

④ 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）。

- PKI 通信用 IF

⑤ 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)

- 登録局

⑥ 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図は以下の通りである。

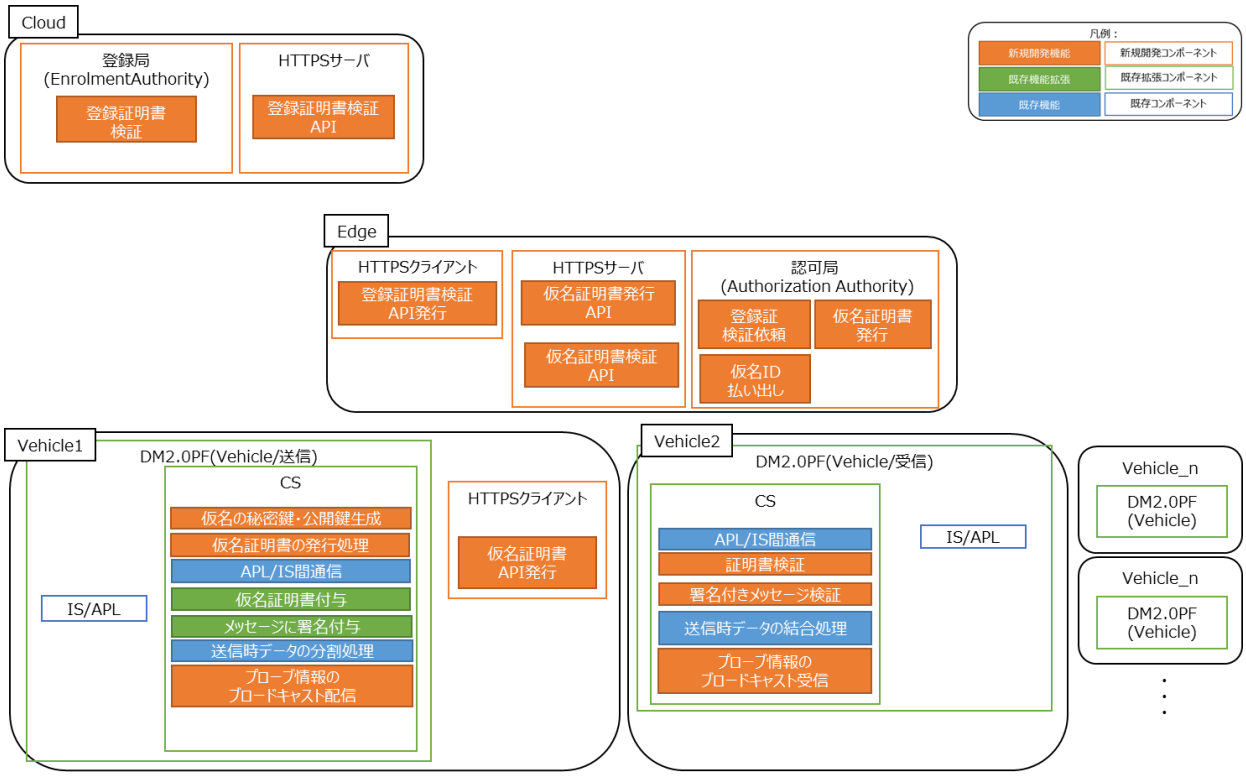


図 333　機能ブロック図

6) データ連携 PF の評価環境の構築検討

■ 該当項目の背景と目的

既存のレベル 2 自動運転車両は様々な地図データや障害物などの物標情報、速度などの車両情報を個別に定義したフォーマットにより処理している。様々な自動運転車両およびインフラの間でデータ連携を行うためには、自動運転車両の特徴を考慮しながら、自動運転システムをデータ連携 PF と融合する必要がある。そこで、既存の自動運転システムとデータ連携 PF を接続する評価環境を構築するための設計を行う。

■ 実施方針

データ連携 PF の評価環境構築では、自動運転システムで用いられる地図データの位置情報、走行予定経路、車載センサーで検出した物標情報等を、車載 DM を通じて他車両と共有する際の評価環境の設計を行う。具体的には、自動運転システムで使用される地図データ構造の調査、自動運転システム上の物標情報表現のデータ連携 PF 対応化、既存の自動運転車両で計測したデータに基づく試験データの構築を行う。

■ 実施事項と実施方法

(1) 自動運転システムで使用される地図データ構造の調査

既存のレベル 2 自動運転車両においても、走行経路を定義したり、停止線や信号機などの交通文脈上重要な地物情報を得たりする目的で、高精度道路地図と呼ばれる地図データが用いられている。地図データは大きく以下の 3 種類がある。

① 一般的なデジタル地図サービス

② 自動運転用に高精度に測量した地図

③ 自動運転を実施するものが独自に計測した地図

①の例としては、OpenStreetMap のようなオープンフォーマットの地図を使用するもの(1)、商用のデジタル地図から道路形状を抽出したものがある。②の例としては、国内では戦略的イノベーション創造プログラムにおけるダイナミックマップ基盤株式会社(2)が策定した HD マップがあり、国外では OpenDRIVE および HD Live Map(Here 社)等がある。③は自動走行の実証実験を実施する主体などが自主的に計測した地図であり、使用する事例は多い。①および②は公的な測量に用いられる座標系に基づき作成されており、相互のデータ変換や位置情報の共有が可能である。一方で、③は独自の座標系で計測されていたり、計測制度が不十分であったりするなど、他のシステムとの連携が難しい。一方で、③が作成される背景としては、①および②では表現されていない交通文脈上の構造や関係性があるなど、既存の地図情報の不足があるという理由もある。

(a) 自動運転の地図、ベクターマップについて

https://tech.tier4.jp/entry/2021/06/23/160000

(b) ダイナミックマップ基盤株式会社（DMP）の設立

https://www.sip-adus.go.jp/file/showcase2019/SIP_zone1-4_s.pdf

次に、既存の自動運転システムおよび地図データフォーマットを調査した結果、多くの自動運転システムにとって有用である地図データの構造についてまとめ、報告する。まず、ほとんどの地図データフォーマットでは、地図データの基本構造となり、具体的な位置や幾何学的な情報を表す、プリミティブデータがある。具体的には、以下の 3 種である。

① Point（点・位置）情報

特定の座標系での位置を表す情報であり、3 次元座標とその測地系情報から構成される。例えば、WGS8 測地系における 4 緯度経度高さや、平面直角座標系における 2 次元オフセット値と標高の組などがある。

Point 情報は地図データ上で唯一、物理的な位置情報を保持するデータとして定義される例が多く、他のデータ構造はこの点情報に割り当てられた ID により管理される。

② Line（線分・線分群）情報

①の点情報間の接続関係をデータ化することで、地図上の線やベクトル、曲線等を表現する。地図データで道路構造を扱う際には、道路上の区画線や規制線のような物理的に線として描かれているものや、車線の中心線や道路縁などの物理的には示されていないが、走行上重要な目安となる線が存在する。これらを連続する点として表現したものが②であり、多くの地図データ構造で用いられている。このデータでは、連続する点列が方向を表すことも多く、車線の進行方向や、灯火などの向きを表すベクトル情報としても使用される。また、曲率を付加することで曲線を表す場合もある。

③ Area（面）情報

道路や交差点などの領域を表現したり、横断歩道の白線などの面積をもった道路標示を表したりするためのデータ構造として、面情報がある。面情報は②の連続する線分の始点と終点を同一にし、閉じることで表現する方法や、2 つの線分の間を 1 つの面として扱う方法がある。地図データによっては、面情報を直接的には表現せず、その外側を囲む線分データのみを定義することで、暗黙的に面と理解させる方式もある。

次に交通文脈上の構造物を表現するためのデータ構造について報告する。

④ Lane（車線）情報

車両の走行車線を表す情報で、自動走行の際に最も重要になるデータ構造である。Lane 情報はその中心線（Line）情報と走行領域（幅）を表す情報を付加する場合と、車線の左右外側をあらわす 2 本の Line 情報により表現される場合がる。いずれの場合においても、車両が通常走行可能な領域を表す情報となる。

Lane 情報には上記の幾何学的な情報に加え、制限速度等の規制情報や、右左折用の車線であることを表すような交通文脈上の情報が付加されることが多い。自動運転システムが法令等を遵守するためには、走行中の車線がどのような意味をもつのかを常に把握する必要があり、Lane 情報に十分な情報が付加されていれば、自動運転システムが自律的に認知しなければならない情報は低減されるため、有用である。

⑤ Stop Line（停止線）情報

停止線は自動走行において重要な判断ポイントを表す情報であり、多くの地図データで取り扱われる。停止線の先には交差点や横断歩道があり、自動運転車両が停車や通過を判断する際に活用される。自動運転システム側からは、物理的な位置情報に加え、その停止線が一時停止であるのか、信号機と連動しているのか、対象となる横断歩道はどの横断歩道なのか等の、他の地物とどのような関係にあるのかが表現されていることが求められる。

⑥ Traffic Signal（信号）情報

信号情報は⑤停止線情報と連動し、自動運転車両が信号の存在を理解し、信号灯色を認識したり、信号機との情報通信に利用したりする。自働運転システムに搭載されるカメラ等を用いて信号機を認識したとしても、その信号機が走行中の車線を規制しているのかどうかを判断することは難しい。よって、高度な認識機能を備えた自動運転車両であっても、地図情報中に信号情報が含まれた方が望ましい。また、信号サイクル情報の配信を可能にした次世代型の信号機においては、その問い合わせ ID 等を知るために、地図データとして表現されている必要がある。

⑦ その他

上記①～⑦に加えて、下記の地物情報もしばしば自動運転用の地図データで表現されている。

- 横断歩道：横断歩道は領域全体を表すものと、白線（ペイント）のみを表すものがある。一時停止線と連携し、領域情報をもつ構造が望ましい。
- 歩道　　：その領域に加え車道との間にフェンスや縁石があることが表現されていれば、レベル 4 自動運転においては有用な情報である。
- 踏切　　：停車禁止領域として利用できる。
- 外側線、ゼブラゾーン：車線データを補う情報として利用できる可能性がある。
- 規制表示：車線情報の付加情報として概念的にデータ化される方が望ましい。

以上で調査・検討した自動運転用の地図データにおける地物表現を表 131 にまとめる。

表 131　自動運転用地図の地物データ

構造名		基本データ	属性
Lane		Line/Area	幅，規制速度，曲率，右左折用　等
Stop line		Line/Area	優先／非優先、車線情報とのリンク
Traffic signal	Signal	Lamp list	停止線とのリンク
	Lamp	Point	色，方向、点灯サイクル
Crosswalk		Area	停止線とのリンク
Sidewalk		Line/Area	自転車通行可／非
Traffic sign		Point	種別、方向、車線情報とのリンク
Road surface marking	Center/Side line	Line	種別
	導流帯	Area	
	Regulation marking	Area	種別
Railway crossing		Area	

(2)　自動運転システムの地物情報のデータ連携 PF 対応化検討

上記 1)および 2)で報告したデータ連携 PF の API 定義に基づき、自動運転車両上で扱われている自車情報、障害物などの地物情報、およびフリースペース情報を、データ連携 PF に配信するための方法について検討し、その結果を報告する。

まず、情報取得が容易である自車両の情報を地物データとしてデータ連携 PF に配信する方法について報告する。データ形式は 2)の(4)で報告した物標情報フォーマットに基づく。表　132 に配信可能な情報を示す。

表 132　自車両情報

事項		情報・精度
物標 ID		自車ID
情報取得時刻		送信時刻（車載PC時計）
物標種別		車両- 3: 乗用車/ 4: バス
存在信頼度		101 (100%)
位置と移動	物標位置	レーン ID＋オフセット　/　緯度経度高さ
	物標参照位置	1: 中央地面位置
	移動方向	0.1 度
	速さ	0.1m/s
	回転速度	0.01 度/s
	前後加速度	0.01m/s2
物標の状態／属性	物標の向き	0.1 度
	物標のサイズ	0.01m
	物標の色	0: 不明 / 10: 白
	車両の状態等	シフトポジション 1:パーキング 2:ドライブ 前輪舵角 1 度単位 車両用途種別　3:旅客運送事業用自動車

自車両の場合、ほとんどのデータは取得可能であり、かつ、センサーの精度等も既知であるためにデータ信頼度の値も正確に配信可能である。車両により困難な情報としては、「車両の状態等」にある、ブレーキ状態、補助ブレーキ状態、アクセルペダル開度、灯火の状態等の、車両 CAN 等から取得する必要がある情報がある。これらは、情報が提供されていなかったり、センシングしていない場合があり、不明となる。一方で、これらの情報は他車両にとって必須の情報ではないので、不明でも情報の有効性には影響を与えないと考えられる。

次にセンサーにより計測した障害物等の提供情報の一例を表 133 に示す。障害物情報はセンサーによる計測や認識技術による物標情報から構成されるので、不明、または信頼度が低い情報が中心となる。物標の種別は AI 等の認識アルゴリズムに基づき推定されるので、その認識アルゴリズムが出力する確信度等の評価値を信頼度とする。また、移動方向や速度に関しては、物標のトラッキング機能の有無により、不明、または低精度での情報提供となる。

表 133　障害物情報

事項		情報・精度
物標 ID		識別ID
情報取得時刻		送信時刻（車載PC時計）
物標種別		不明 ／ 車両・歩行者
存在信頼度		20% ~ 100% (識別アルゴリズム評価値)
位置と移動	物標位置	緯度経度高さ
	物標参照位置	1: 中央地面位置
	移動方向	不明 ／ 45°
	速さ	不明 ／ 1m/s
	回転速度	不明
	前後加速度	不明
物標の状態／属性	物標の向き	不明
	物標のサイズ	0.2m
	物標の色	不明
	車両の状態等	不明

最後に、2)の(5)で報告したフリースペース情報の提供方法の検討結果について報告する。フリースペースはその言葉通り、障害物などが存在しない領域を表す情報であり、自動運転車両においては、車載の LIDAR 等の物体をアクティブに検知するセンサーの信号が透過した領域とする。例えば LiDAR の場合、センサーから放射されたレーザー光が他の物体で反射されることで距離を検出しているが、同時に反射物体との間には光を反射する物体が存在しないことを表している。この性質を利用し、レーザー光が通過した領域をフリースペースとして報告することとした（図 334）。

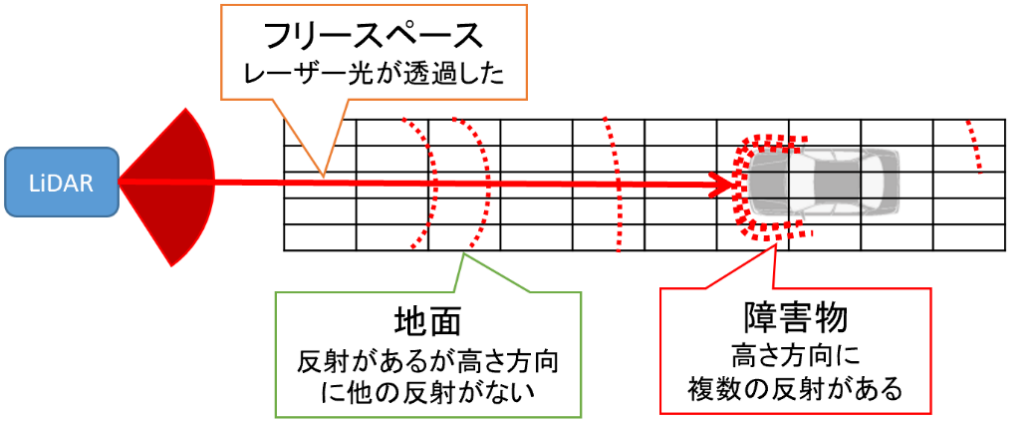


図 334　フリースペースの判別方法

次に、フリースペース情報の信頼度について説明する。上述したように、レーザー計測により検出するフリースペースには 2 種類が存在する。一方は地面からの反射が得られた地点であり、他方は、レーザー光が空間を通過した地点である。前者は地面の光学的な反射特性や計測形状の平面性等から信頼度を計算するための、評価アルゴリズムの開発が必要である。後者では、レーザー計測光が放射状に広がることで次第に計測間隔が疎になるので、見逃しが生じる空間が拡大するという特徴がある。図 335 は水平計測間隔 0.2° の LiDAR の水平方向の見逃し幅を図化したものである。このように、レーザー光が通過したフリースペースのサイズは幾何学的に決定することができる。一方で、このフリースペースの空間からは観測情報が得られないので、その信頼度は通過したレーザー光が反射する対象の信頼度と同様とみなす。

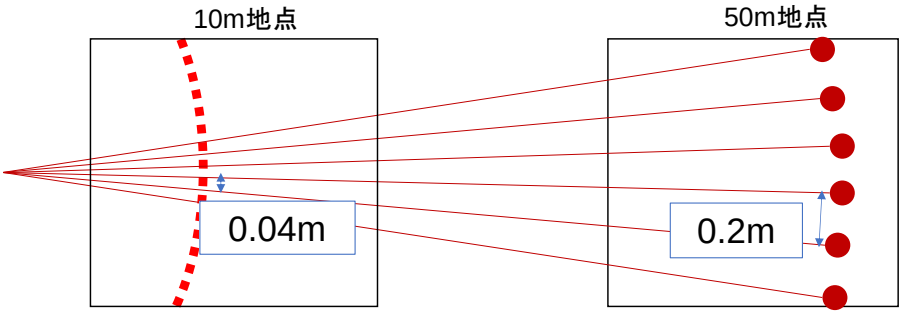


図 335　フリースペースの見逃しサイズ

以上の検討を踏まえ、フリースペース情報としては表 134 のデータをデータ連携ＰＦに配信する。

表 134　自動運転車両からのフリースペース情報

事項	情報・精度
フリースペースID	レーンに対してユニーク
情報取得時刻	LiDA取得時刻（車載PC時計）
存在信頼度	前述
検知漏れ物標サイズ	センサ分解能の最大値
始点位置	レーンセグメント単位のオフセット値
終点位置	レーンセグメント単位のオフセット値
長さ	レーンセグメントサイズ
始点物標 ID	（物標が隣接している場合）
終点物標 ID	（物標が隣接している場合）
情報源のリスト	自車ID

(3)　既存の自動運転車両の走行データを用いた評価環境の動作試験

1)～3)および 5)で報告したデータ連携 PF の実装を使用し、既存のレベル 2 自動運転車両の走行データをデータ連携 PF へ配信するための環境を構築した。5)の実装は RobotOS2（ROS2）のメッセージ形式により地物情報を共有するための方式をとっているので、既存の自動運転システムが独自に扱う位置や車両情報等を、5)の実装形式へ変換するための ROS2 ノードを実装した。動作試験では、春日井市高蔵寺地区でのレベル 2 自動運転車両による実証実験により取得した走行データを用いた。本試験により、既存の自動運転車両の走行データを本年度構築したデータ連携 PF に適合したデータ形式へとリアルタイムに変換できることを確認した（図　336）。これより、既存の自動運転車両により計測した約 2 か月分の自動走行データをデータ連携 PF の評価データとして活用できる環境を整備できた。

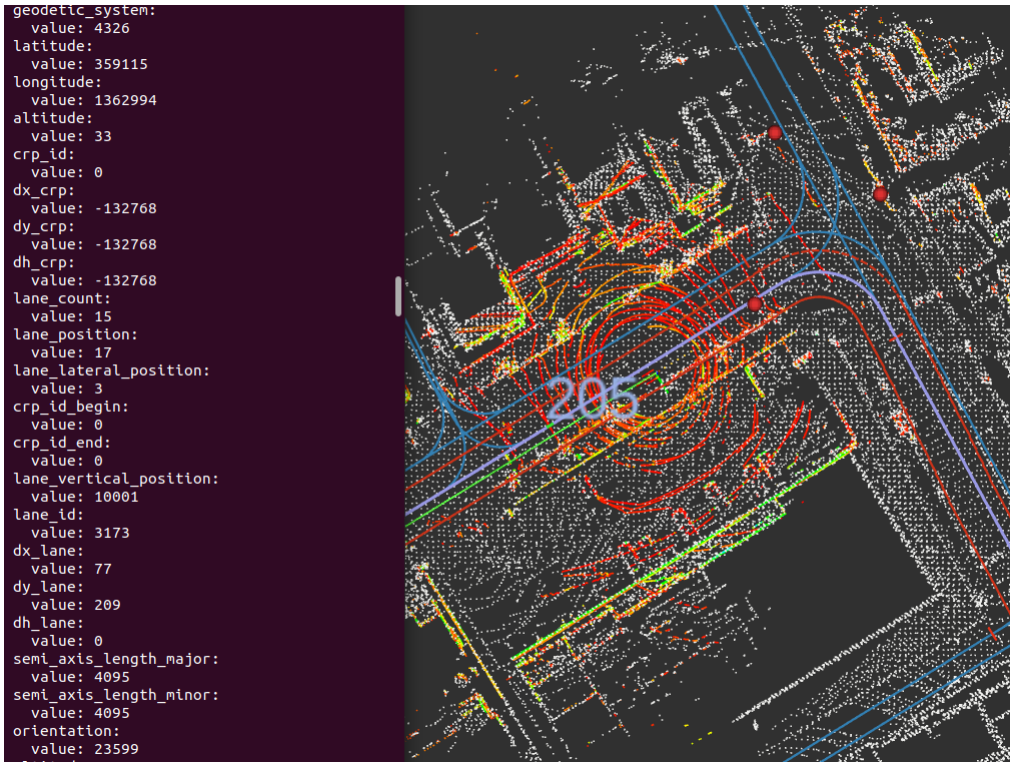


図 336　既存の自動走行データの配信試験

7)　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

混在空間におけるレベル 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。

そして、協調型システムとしては、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ジタル道路交通データプラットフォームを用意することが有効である

デジタル道路交通データプラットフォーム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、デジタル道路交通データプラットフォーム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、デジタル道路交通データプラットフォームを構築・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

データ連携と活用に関する法的な問題として、位置情報等を取り扱う際の個人情報関連（日本の個人情報保護法制の他、各国・地域における個人情報保護制度との調整）、各種データの提供・利用の際のルールや権利関係、プラットフォーム構築・運用主体の法的義務・責任などを検討する必要がある。

2021 年度は、これらの法的問題の検討の前提として、各ステークホルダーからの聴取等を実施し、聴取結果等を基に法的問題点の洗い出しを行う。

■　実施事項と実施方法

(1)　各ステークホルダーからのヒアリング

デジタル道路交通データプラットフォームを構築・運用するにあたって問題となりうる法的課題を抽出するため、OEM、信号機メーカー、地図メーカー、研究者から、ヒアリングを行った。その概要は以下のとおりである。

i)　株式会社本田技術研究所からのヒアリング

- 自動運転システムの開発のためには外界センシングが重要である。
- カメラの解像度が高いほど認識精度は高まるが、運転者、車両ナンバー、歩行者などが

映り込み、個人情報の問題が生じる。

- 個人情報保護のため顔やナンバーにぼかしをいれる技術もあるが、機械学習の正確性が落ちてしまう。
- カメラの種類や撮影方法（露出等）が異なるだけで、機械学習の精度が落ちる。
- 開発の段階で、個人情報保護規制が厳しすぎると、開発が困難になる。開発段階と販売段階で規制のレベルを変えるなどの対応があっても良いのではないか。
- できる限り多くのデータ量を、できる限り長く保存すべきという意見もあるが、実現しようとすると、車両の普及拡大の足枷になる事も想定される。
- データをクラウド上で保存しようとした場合には、通信の安定性、改ざん防止、データセンターの安全性など別の懸念が生じる取り扱いも必要ではないか。
- EDR、DSSAD などで車内にデータを保存しているが、画像や動画データも保存することになると、データ量が桁違いとなり、記録の為のメモリが大幅に増加する懸念がある。
- 車両データは誰のものかの問題もある。当社は、走行データはお客様のものという考え方である。
- 自動車はライフサイクル長い。セカンドユーザー以降（中古売買）、車両に保管されるデータをどのように取り扱うべきかという問題がある。
- 国によっては、データの取得について厳しい規制をかけ始めており、今後、開発や検証に支障が生じる可能性がある。

ii） 名古屋大学（高田広章教授・データ連携チームリーダー）からのヒアリング

- デジタル道路交通データプラットフォームにおいて、検討すべき法的課題としては、個人情報・プライバシーと事故時の責任があると考えている。
- デジタル道路交通データプラットフォームでは、車両を特定するための物標 ID を付して、車両、協調型路側機、信号などとデータのやりとりを行う。その時には、「仮名 ID」（Pseudonym ID）の技術を利用する。
- 仮名 ID は一定期間ごとに変更されるため、特定の車両のトラッキングが難しく、車両のプライバシーが保護される。認証局・登録局・認可局をどこが担うか、どのくらいの期間で仮名 ID を変更するかなどの詳細は今後検討。
- 物標の静的な情報にどこまで含めるかも、車両の安全な運行等とプライバシー保護とのトレードオフがあり難しい。
- 信号機等のインフラ側の情報が誤っていて、結果として交通事故が生じた場合の法的責任がどうなるか。
- インフラ側が一切責任を負わないのであれば、インフラ情報の信用性に疑問が生じる。
- インフラ側も車両側も、情報の信頼度が問題となる。

- 信号機や信号制御システムの刷新も重要だが、整備には相当な時間がかかりそう。

iii) 日本信号株式会社からのヒアリング

- 2020 年度に北九州・川口で自動運転バスの実証実験、2021 年度に柏の葉公道他で自動運転バスの実証実験に携わった。
- 自動運転バスの実証実験では、信号情報連携と、障害物・危険情報提供の支援を行った。
- 課題の一つとして、自動運転バスはインフラからの提供情報により、信号が青に変わることがわかっているため停止せず進行しようとするが、ドライバーは目前の信号が赤であるため、停止すべきと判断するなど、ドライバーと自動運転車両の判断の違いによりオーバーライドが発生することがある。車両側の対応で改善可能と考えている。
- デジタル道路交通データプラットフォームにおいて、インフラ側と車両側でどのような情報を連携するのか、運用段階において警察が管轄する信号情報をどのように連携するか、灯色情報だけでなく予定情報も連携する場合、その取扱いに関心がある。
- 実証実験では、信号情報提供だけでなく、信号制御（青信号の延長など）も行った。ただ信号制御はすべての交通参加者に影響を及ぼすため、現段階では原則として制御しない方が安全と考えている。今後、自動運転の場合に信号制御をした方が安全である場面を慎重に検討する必要がある。
- 自動運転において、交差点に右折の矢印信号がある方がよいが、すべての交差点に矢印信号をつけられるわけではない。矢印信号がないと、自動運転車両がいつまでも右折ができない事態が生じ、円滑な交通を阻害する。
- 信号情報は警察の管轄。実証実験中に限り、当社が特別の機械を設置し信号情報を提供するが、実験終了時に撤去している。
- デジタル道路交通データプラットフォームの運用時において、信号情報の提供をどこが行うのか、その費用はどこが負担するのかが課題と思われる。
- 実証実験では危険情報提供も行った。自動運転車両から将来位置情報をもらい、インフラ側で対向直進車両や右左折先の横断歩道等における移動体を検出し、衝突の危険度を判断して右左折の支援情報を返す。危険度を路側機で行うか、自動運転車両で行うか、今後検討必要。判断速度も重要。
- 信号情報のほかに、規制情報（交通規制のデータ）も必要と思われる。規制情報は都道府県警察が管轄しているが、必ずしもデータ化が十分されておらず、形式も統一化されていない。

iv) ダイナミックマップ基盤株式会社からのヒアリング

- 当社は高精度 3 次元地図データ（HD マップ）を作成し、研究機関や OEM にライセンス販

売している。現時点では、主に高速道路の HD マップを地図会社、Tier1 を介し OEM に提供している。

- サービスカーに対する HD マップの提供は POC 段階。
  ※サービスカーとは、量産車以外の自動走行実証等で主に使用されている車両。
- 当社の HD マップは協調領域であり、全ての OEM に使用できるもの。
- 当社の HD マップを、地図会社に販売し、各地図会社で独自の情報を付加して OEM に提供している（競争領域）。
- HD マップは車両の地図 ECU に組み込まれている。
- HD マップのコストは OEM が販売する量産車に関しては最終的には車両の購入者（最終需要者）が負担している。
- サービスカーに提供する場合に、誰がコスト負担をするかは課題。
- CooL4 では、点群データと HD マップを提供し、車道周辺環境における地理標準形式の調査を行っている。
- 地図の開発段階では画像も使用するので、顔画像等の個人情報は含まれる。
- 提供物には個人データは含まれない。（点群データ一式の中に画像データを含めないのであれば）
- 著作権は当社にあり、別に締結した知財合意書で定めた使途と範囲に限り CooL4 での使用を許諾している。
- 当社の HD マップの知的財産（著作権、ノウハウなど）は、著作権や不正競争防止法（限定提供データ）（付随技術については特許権を含む）で保護されている。
- デジタル道路交通データプラットフォームにおいて、車両の位置を特定するためには地図を共通化する必要があるだろう。全ての層ではなく、一定の階層までの共通化が現実的。ただその領域も周辺技術の進歩によって変わって行くため、それに合わせたバージョンアップが必要。
- 国内 OEM のオーナーカーであれば、当社の地図がもとになっているため、共通化は可能かもしれないが、サービスカーは様々な地図を利用している。Cool4 では協調領域の地図データを提供しており、サービスカーでの標準化へも寄与できるよう努めている。
- HD マップは、現実世界において HD マップで表現しているデータと乖離する変化点があればアップデートしている。ただし、変化点の情報をどのように把握するのかが課題。高速道路であれば NEXCO から工事情報等をもらうことができるが、一般道は検討・開発段階。
- HD マップの情報が誤っていたことが原因で事故が起こる可能性に備えて、法制度が整備されていない現状においては、取引先との契約条件の中に免責条項を設けることで対応している。

(2)　ドイツの道路交通法の情報収集

データ連携に関する法的課題を検討するにあたって諸外国の動向も参考になるため、適宜、諸外国の法制度や議論についての情報収集を行っている。

ドイツでは、2021 年にレベル 4 自動運転を実現するための道路交通法の改正が行われたが、車両等のデータの取り扱いについても道路交通法の中で詳細に規定がされている。

例えば、ドイツ道路交通法では、自動車の保有者に対し、データの保存義務だけでなく、提供義務を課し（1g1 項）、その裏返しとして当局がデータを収集・記録・使用する権利を有する（1g4 項、6 項）。また、当局が研究目的でデータを大学等に提供できることも定めている（1g5 項）。第三者が賠償請求を行うときに、第三者は自動車の保有者にデータの開示を請求する権利も有する（1g7 項）。

このように、ドイツ道路交通法は、データの重要性を前提に、そのデータの利用方法についても道路交通法の中で明記し、円滑なデータの利用を促進させようとしている。

上記ドイツ道路交通法の規定は、必ずしも車両等のデータに関するプラットフォームのようなものまで想定したものではないが、今後、日本における車両等のデータの取り扱いに関する法制度の構築・運用においても参考になると思われる。

- ドイツ改正道路交通法

新設 1g 条（データの処理）

1 項　自律走行機能を持つ自動車の保有者は、自動車を運転する際に以下のデータを記録することが義務付けられる。

1. 車両識別番号
2. 位置データ
3. 自律走行機能の有効化と無効化の回数および時間
4. 代替運転操作（テイクオーバー）の引き渡し回数と時間
5. ソフトウエア状態のデータを含むシステム監視データ
6. 環境および気象条件
7. 伝送遅延や利用可能な帯域幅等のネットワークパラメータ
8. 有効化および無効化されたパッシブおよびアクティブなセーフティシステムの名称、これらのセキュリティシステムの状態に関するデータ、およびセーフティシステムを作動させた部門
9. 縦および横方向の車両加速度
10. 速度
11. 灯火装置の状態

12. 電源電圧

13. 外部から車両に送信された指示と情報。

保有者は、連邦自動車庁、連邦法または州法に基づく管轄当局に対し、または連邦政府が管理責任を負う連邦長距離道路上では、インフラ会社設立法にいう私法による設立会社に対し、要求に基づき、以下の必要な範囲で本条第 1 文に基づくデータを提供する義務を負う。

1. 連邦自動車庁が 4 項及び 5 項に基づく職務の遂行のため
2. 連邦自動車庁、連邦法または州法に基づく管轄当局、または連邦政府が管理責任を負う連邦長距離道路上では、インフラ会社設立法にいう私法による設立会社が第 6 項に基づく職務の遂行のため

4 項　連邦自動車庁は、自律走行機能付き自動車の安全な運行を監視するために必要な範囲で、保有者から以下のデータを収集、記録、使用する権利を有する。

1. 第 1 項によるデータ、および
2. 技術監督者として任命された人物の姓名、およびその者の専門的資格の証明。

保有者が、保有者側で連邦データ保護法第 26 条 により、従業員を技術監督者として使用する場合は、連邦データ保護法第 26 条が適用される。連邦自動車庁は、第 1 文に定める目的のためにデータが必要でなくなった時点で直ちに、また、遅くとも該当する車両の運行停止から 3 年が経過した後に、遅滞なくデータを削除しなければならない。

5 項　車両が第 1k 条 にいう車両ではない限りで、連邦自動車庁は、第 1 項と併せて第 4 項 1 号に従って保有者から収集した個人に関連しないデータを、交通関連の公益目的、特にデジタル化、自動化、ネットワーク化の分野における科学的研究の目的、および交通事故研究の目的のために、以下の団体に対しアクセスを可能にする権利を有する。

1. 専門大学および大学
2. 大学以外の研究機関
3. 研究、開発、交通計画、都市計画を担当する連邦政府、州政府、地方自治体。第 1 文に記載された機関は、第 1 文に記載された目的のためにのみデータを使用することができる。4 項第 2 文も、同様に適用される。一般的な送信の規定は影響を受けないものとする。

6 項　連邦法または州法に基づいて特定の運行領域の認可を管轄する当局、または連邦幹線道路では連邦政府が管理責任を負う限りにおいて、インフラ会社設立法にいう私法による設立会社は、特定の運行領域が自律走行機能を備えた車両の運行に適しているかどうか、特に各認可の要件が満たされているかどうか、それに関連する命令が遵守されているかどうかを確認・監視するために必要な限りにおいて、保有者から以下のデータを収集・記録・使用する権利を有する。

1. 第 1 項によるデータ、および
2. 技術監督者として任命された人物の姓名、およびその者の専門的資格の証明。

連邦法または州法に基づく特定の運行領域の認可を担当する当局、または連邦政府が管理責任を負う連邦幹線道路においては、インフラ会社設立法にいう私法による設立会社は、第 1 文に定める目的のためにデータが必要でなくなった時点で直ちに、また、遅くとも該当する車両の運行停止から 3 年が経過した後に、遅滞なくデータを削除しなければならない。

7 項　第 1 項から第 6 項にかかわらず、第三者は、第 7 条 1 項 が規定する事件に関連する法的な権利請求の主張、弁済または防御のために、第 1 項および第 2 項に従って保存されたデータが必要であり、自律走行機能を有する当該車両が当該事件に関与している限りにおいて、同データに関する情報を保有者に要求することができる。第三者は、法的な権利主張のためにデータを必要としなくなった時点で直ちに、また、遅くとも、データが収集された主張、弁済、または防御のための請求が時効になった時点で、データを削除しなければならない。第三者による本データの使用は、第 1 文に記載された目的のためにのみ許容される。

(3)　まとめ

デジタル道路交通データプラットフォームを構築・運用するにあたって問題となりうる法的課題を検討するためには、データを利用する主体、データの利用目的、データを利用する国・地域、データの内容、利用方法などを具体的に特定することが必要である。

現在検討されているデジタル道路交通データプラットフォームのアーキテクチャは図 255 のとおりである。

現時点ではデジタル道路交通データプラットフォームに関与する主体やデータの内容等の詳細が定まっていないため、法的課題を網羅的かつ具体的に抽出し検討することには一定の制約がある。

例えば、図 255 のアーキテクチャ図において、車両側で取得されるデータを管理する主体については複数の場合が考えられるし（車両の所有者や使用者、OEM、サービス事業者など）、またデータ連携サーバー内のデータを管理する主体も未定である（公的機関か民間機関かなど）。

しかし、上記の各ステークホルダーからのヒアリングや法制度検討サブチーム内での議論を経て、デジタル道路交通データプラットフォームを構築・運用するにあたりいくつかの重要な法的課題が浮かび上がってきたため、法制度検討サブチームでは、次年度以降、これらを中心に検討していく方針である。

① 個人情報・プライバシー

車両等のデータの取得段階や、地図会社等によるデータの収集段階では、個人情報やプライバシー情報（顔画像、位置情報等）を取得する可能性があるため、個人情報保護法やプライバシーとの関係を整理する必要がある。

例えば以下のような論点が考えられる。

- 車両等に関するデータを取得する（管理する）のはどの主体か。
- 車両等の位置情報等は、「個人情報」か「個人データ」か。
- 位置情報等が「個人データ」にあたる場合に、本人同意を得ずに提供できる手段はないか。匿名加工情報にできるか。
- 位置情報等を受領するのはどの主体か。また、受領する側の個人情報保護法上の義務はどのようになるのか。
- 位置情報等の取得・利用・提供がプライバシー侵害となるか。
- プライバシー侵害と非難されないためにはどうすればよいか。

なお、個人情報やプライバシーへ配慮しつつ、円滑なデータのやりとりを行うため、デジタル道路交通データプラットフォーム上では「仮名 ID」の技術を利用して、車両を特定できない処理（匿名化処理）を行ったうえでデータをやりとりすることも想定されている。当該「仮名 ID」の技術により、個人情報やプライバシーの問題が生じないようにすることができるかも検討する。

② 公共的なデータの円滑な提供

デジタル道路交通データプラットフォームでは、例えば警察が管理している信号情報や規制情報の利用が想定されるが、当該情報（データ）について、どのような法的根拠で、どのような場合に、どのような形で外部提供するか、提供に際して必要となる機器をどのように

整備するか、その費用はどこが負担するかなど、公共的なデータを円滑に提供できるような法制度や枠組みが必要である。

③ ステークホルダーのデータに関する権利の保護

デジタル道路交通データプラットフォームにデータを提供するステークホルダーの中には、知的財産権（著作権等）や営業秘密となるデータを提供する者もいることから、当該ステークホルダーのデータに関する権利を適切に保護しつつ、広く利活用できる方法を検討していく必要がある。例えばHDマップであれば、デジタル道路交通データプラットフォームのサーバー、路側機、車両等に広く提供することになるため、契約、著作権法、不正競争防止法などの観点から、バランスのとれたスキームを構築する必要がある。

④ 交通事故等の責任

デジタル道路交通データプラットフォームに提供されたデータの内容に誤りがあったり、データを提供する装置の故障等によりデータが正しくやりとりされなかったことにより交通事故が生じた場合、データや装置を提供したステークホルダーの民事責任及び刑事責任が問題となる可能性がある。

8) 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。また将来的に自動運転の ODD が拡大されるにつれて、最終的な目的地である私有駐車スペースのデジタル地図も協調型システムに包含されることとなる。つまり HD Map のような公道のデジタル地図と私有地内部のデジタル地図をシームレスに接続しなければ、完全に End-to-End の自動運転は実現できない。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および私有地内駐車場などのデジタル地図を、車道のデジタルマップと統合するための方式についての検討を行う。

■ 実施方針

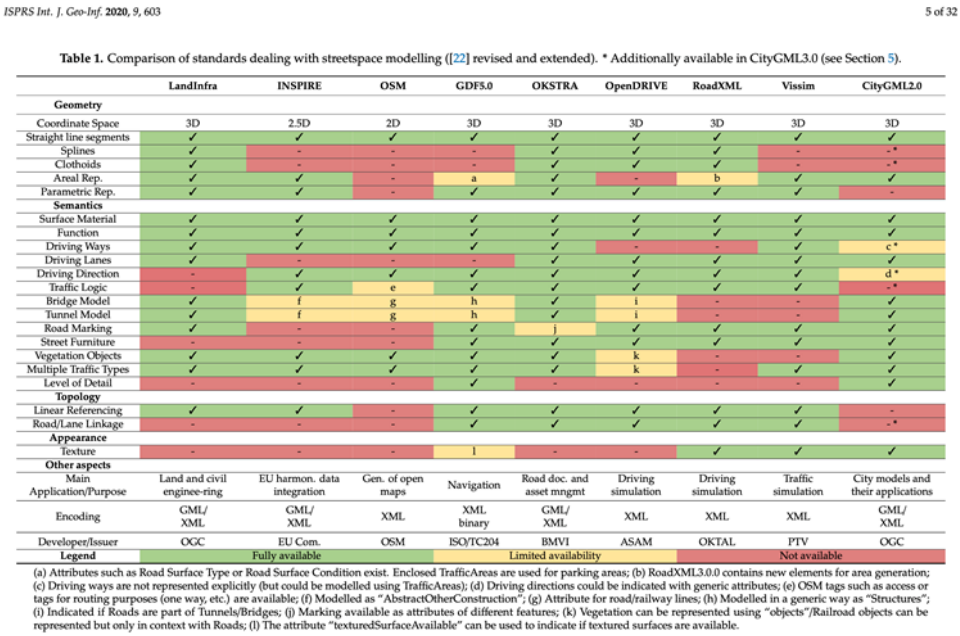
まず歩道および私有地内、さらには屋内で三次元マップをつくる標準的な手法およびそのデータフォーマット標準としてどのようなものが存在するかについての調査を行う。デジタル地図標準フォーマットは、2 次元／3 次元、国内／国際、自動運転用／一般用といった様々なカテゴリが存在する。包括的なサーベイによって主要なものを抽出し、車道側における 3 次元標準デジタル地図（国内においては ダイナミック基盤企画の作成する HD Map） との意味論的な整合性を持たせるために最適なフォーマットを選択する。ついで、私有地内で各所有者が独自に測定を行った三次元点群と、HD Map の元となる MMS(Mobile Mapping System) 点群をシームレスに接続させる手法についての検討を行う。

■ 実施事項と実施方法

歩道や屋内をカバーするデジタル地図標準

車道だけでなく隣接する歩道や、屋内のような私有地を含むデジタル地図標準として、国際的には以下のようなフォーマットが提案されている。また国内的には、国交省が整備をすすめる基盤地図情報や歩行者ネットワークとの相互運用性を確保することが重要である。こうした国内外

の標準に関する動向調査を行った。将来的な普及の可能性や作成コスト、拡張性など、様々な要素を考慮した結果、現状では　CityGML が最適であるとの結論を得た。



ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 603 5 of 32

Table 1. Comparison of standards dealing with streetspace modelling ([22] revised and extended). * Additionally available in CityGML3.0 (see Section 5).

	LandInfra	INSPIRE	OSM	GDF5.0	OKSTRA	OpenDRIVE	RoadXML	Vissim	CityGML2.0
Geometry									
Coordinate Space	3D	2.5D	2D	3D	3D	3D	3D	3D	3D
Straight line segments	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Splines	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	- *
Clothoids	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	- *
Areal Rep.	✓	✓	-	a	✓	-	b	✓	✓
Parametric Rep.	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-
Semantics									
Surface Material	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Function	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Driving Ways	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	c *
Driving Lanes	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
Driving Direction	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	d *
Traffic Logic	-	✓	e	✓	✓	✓	✓	✓	- *
Bridge Model	✓	f	g	h	✓	i	-	-	✓
Tunnel Model	✓	f	g	h	✓	i	-	-	✓
Road Marking	✓	-	-	✓	j	✓	✓	✓	✓
Street Furniture	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vegetation Objects	✓	✓	✓	✓	✓	k	-	-	✓
Multiple Traffic Types	✓	✓	✓	✓	✓	k	-	✓	✓
Level of Detail	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓
Topology									
Linear Referencing	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-
Road/Lane Linkage	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	- *
Appearance									
Texture	-	-	-	l	-	-	✓	✓	✓
Other aspects									
Main Application/Purpose	Land and civil enginee-ring	EU harmon. data integration	Gen. of open maps	Navigation	Road doc. and asset mngmt	Driving simulation	Driving simulation	Traffic simulation	City models and their applications
Encoding	GML/ XML	GML/ XML	XML	XML binary	GML/ XML	XML	XML	XML	GML/ XML
Developer/Issuer	OGC	EU Com.	OSM	ISO/TC204	BMVI	ASAM	OKTAL	PTV	OGC
Legend	Fully available			Limited availability			Not available		

(a) Attributes such as Road Surface Type or Road Surface Condition exist. Enclosed TrafficAreas are used for parking areas; (b) RoadXML3.0.0 contains new elements for area generation; (c) Driving ways are not represented explicitly (but could be modelled using TrafficAreas); (d) Driving directions could be indicated with generic attributes; (e) OSM tags such as access or tags for routing purposes (one way, etc.) are available; (f) Modelled as "AbstractOtherConstruction"; (g) Attribute for road/railway lines; (h) Modelled in a generic way as "Structures"; (i) Indicated if Roads are part of Tunnels/Bridges; (j) Marking available as attributes of different features; (k) Vegetation can be represented using "objects"/Railroad objects can be represented but only in context with Roads; (l) The attribute "texturedSurfaceAvailable" can be used to indicate if textured surfaces are available.

図 337　歩道や屋内を含む主なデジタル地図フォーマット

(*ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9*, 603; doi:10.3390/ijgi9100603)

私有地内における車道部 MMS 点群と周辺領域の独自点群との接続可能性検討

東京大学柏第一・第二キャンパス内の下図に示した領域において、公道の仕様に準じた HD Map および MMS 点群を整備した。この領域は、キャンパス内の車道および駐車場を含んでいる。ついで MMS の測定範囲を含む周辺領域において、携帯移動式の LiDAR BLK2GO（測距範囲 20～30m）おを用いた三次元測定を行い、MMS 点群とシームレス接続するための手法について検討を行った。

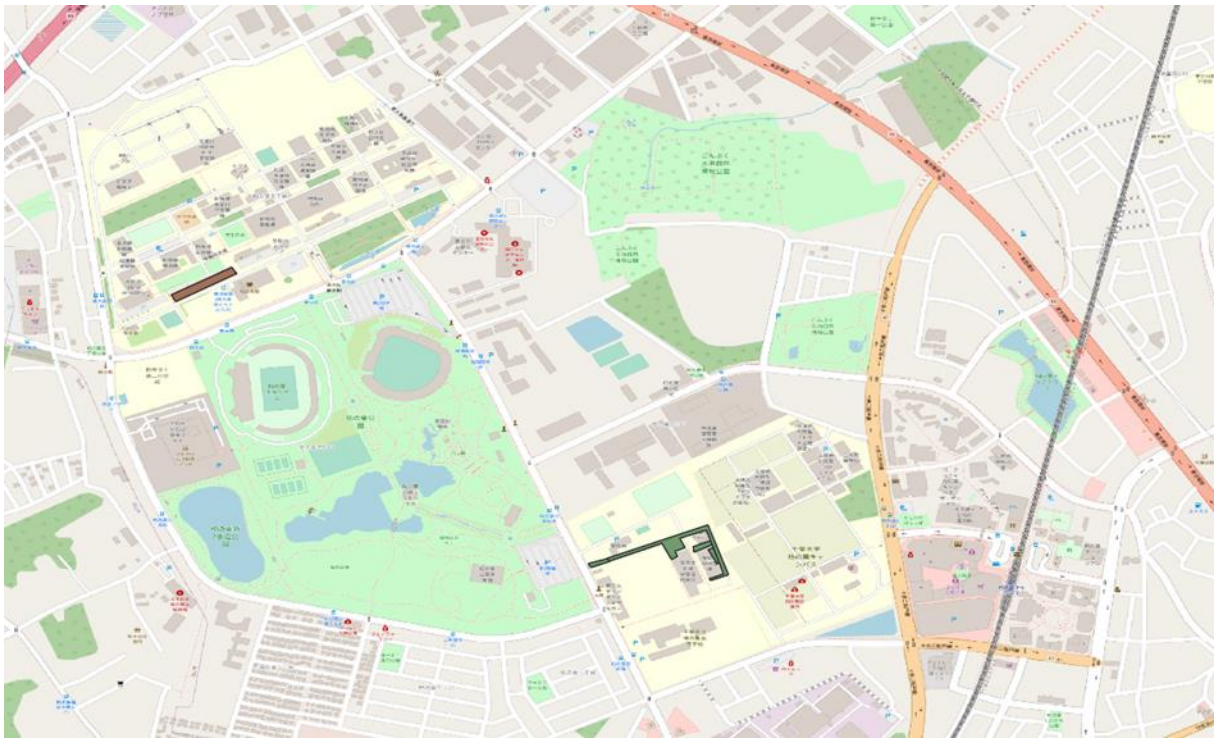


図 338　東大柏第一・第二キャンパス内部での HD Map 相当データ整備領域（黒枠線内）

下図は、MMS に比べて圧倒的に安価な携帯式の LiDAR(BLK2GO)を用いて、第一キャンパス内の駐車場付近を測定した結果である。SLAM で作成された三次元点群は背景としている地理院地図とおおまかには整合させることができる。

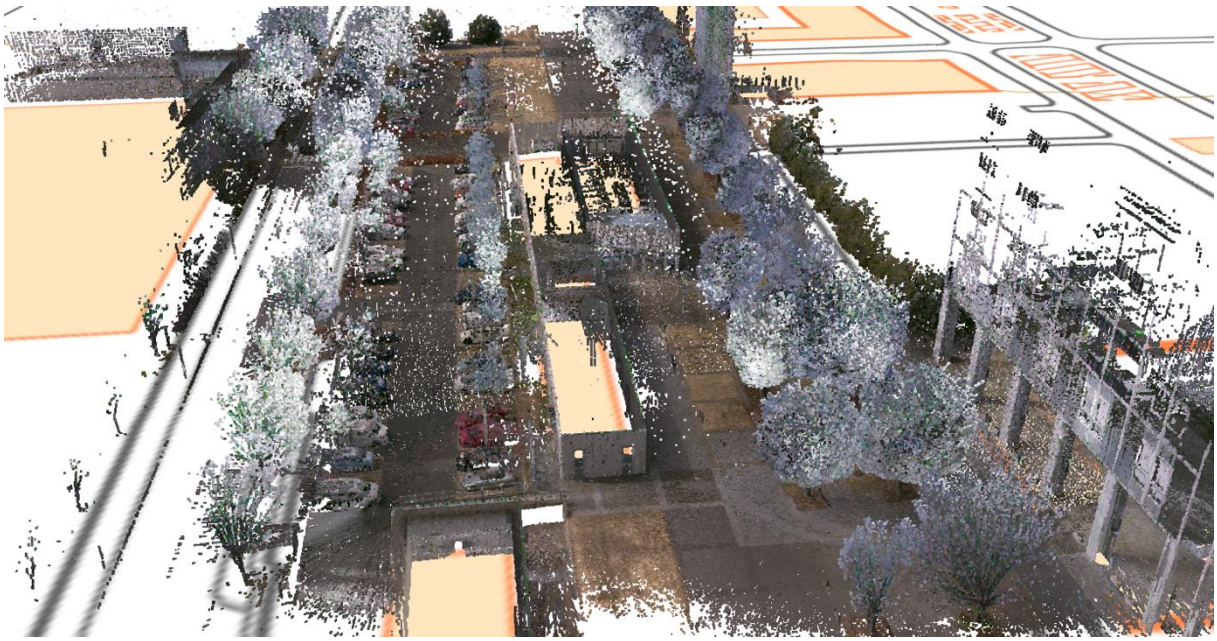


図 339　東大柏第一キャンパス内部での BLK2GO 測定結果

さらに絶対位置精度を向上させるため、Softbank 社の提供する高精度ネットワーク型 RTK 測位サービス「イチミル 」を用いて、この領域の絶対位置（緯度経度標高）を複数地点で測定し Ground Control Points（GCPs）として設定した。

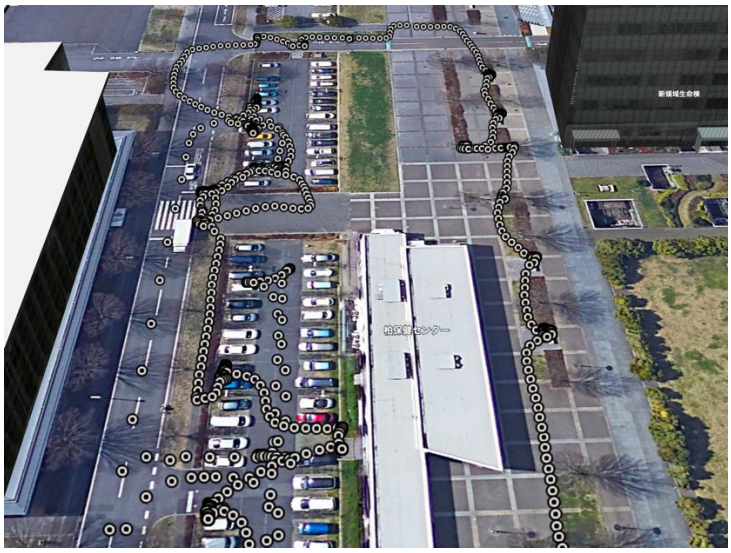


図 340　Google Earth に重畳された「イチミル 」の測定結果

BLK2GO の測定した点群に歪みがまったくなければ、この点群データ内部で最低 3 点の GCPs を抽出し、その絶対位置を与えることで点群全体の回転／並行移動行列を決定できる。つまり全点群データに正しい絶対位置を付与することができるはずである。しかし実際の BLK2GO 点群データを詳細にみると、始点／終点におけるループクローズが完全ではなく、かなりの歪みを含んでいることが判明した。これは、BLK2GO 点群データを GCPs を使ってピン止めする（一律な回転／並行移動を施す）だけでは絶対精度を確保することはできないことを意味している。

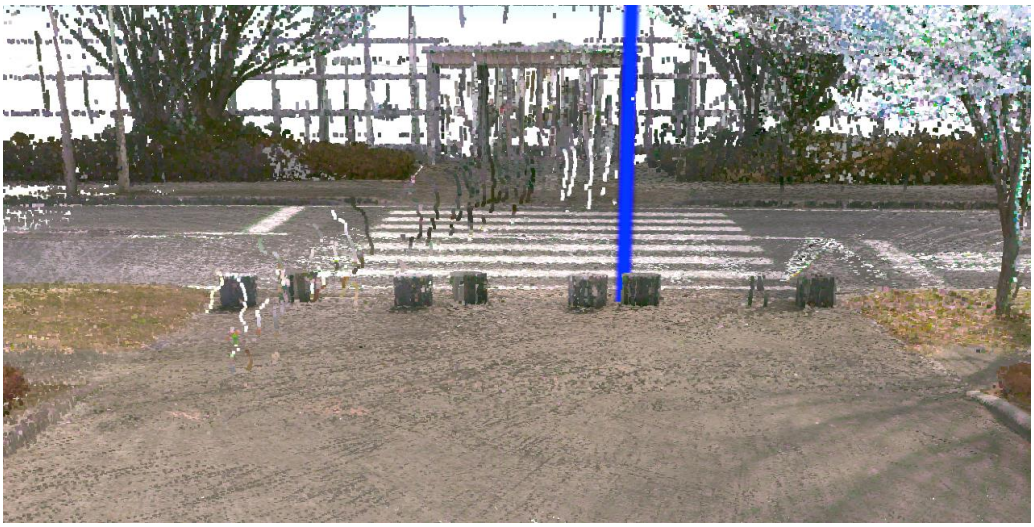


図 341　測定開始／終了地点のクローズアップ。車止めが二重になってしまっている

一方下図左に示すように、HD Map は、 RTK-GNSS のような離散的な GCPs ではなく、連続的な MMS 点群を源泉としている。今回の BLK2GO で取得されたような相対的な精度の低い点群（下図右）であっても、こうしたより高精度な MMS 点群とある程度の重複領域を持てば、NDT のような点群マッチングアルゴリズムを適用することで、歪みを補正できる。これは BLK2GO のような比較的安価な装置であっても、車道 HD map とある程度の重複を持つような形で測定すれば、効率的に絶対位置精度を高めることができるということを意味する。この方法で周辺の歩道や駐車場といった領域を測定し補正を行えば、安価かつ効率的に HD Map と同程度（～1/500 地図レベル）のデジタル地図を構築できると期待される。

図 342　HD Map の源泉である MMS 点群（左）と同じ領域の BLK2GO 点群

9） 歩行者が持つ機器からの情報収集の検討

■ 該当項目の背景と目的

レベル 4 自動運転による新モビリティ・都市サービスを実現するには、自動運転バスの運行本数や、駐車場のスペースなど、限られた資源を如何に効率的に配分するかの戦略が必要である。そこで我々は、人の最も基本的な移動手段である「歩行」に着目し、個々人の身体能力に応じたモビリティサービス（例えば、十分な距離を歩けるだけの体力を持つ方には、朝夕の混雑時にはバスを利用せず目的地まで歩くことを促すサービスや、目的地から少し離れた駐車場を案内するサービスなど）を提案できるようにするための基盤技術として、歩行者が持つ機器（スマートフォンやウェアラブルデバイスなど）で得られる情報から個々人の身体能力を評価できるようにする技術を開発することを目的とした。

■ 実施方針

本実施方針では、歩行者が持つ機器（スマートフォンやウェアラブルデバイスなど）で得られる情報から個々人の身体能力を評価して新サービスで活用できるようにするために、歩行特徴から体力測定の結果を推定するためのアルゴリズム開発の検討を行うこととした。

■ 実施事項と実施方法

計測概要

本年度は、地域在住の健常中高年女性 20 名を対象とし、実験室での体力測定と、実環境での 2 週間にわたる簡易歩行計測を行った。参加者のデモグラフィックデータは表 135 の通りである。計測を開始する前、参加者には、計測内容に関する説明を文書と口頭で行い、同意を得た。

表 135 参加者のデモグラフィックデータ（表示はいずれも平均値±標準偏差）

年齢	51.1±7.1 歳
身長	156.3±4.4cm
体重	50.4±4.2kg

実験室での体力測定

実験室での体力測定では以下の 6 項目を計測した。

① 握力測定：Jamar hand dynamometer を使用し、着座状態での握力を計測。左右の手で 3 回ずつ計測を実施した。

② Timed Up and Go test（TUG）：所定の場所まで行って戻ってくるまでの時間の計測。歩行

の総合能力を表す。通常速度、できるだけ早い速度の 2 条件を計測した。

③ Functional Reach test（ファンクショナルリーチ）：静止立位状態から前方に体を傾けて最大限届く距離の計測。バランスやその調整能力の指標。左右いずれか好みの腕で、2 回計測した。

④ 5 回椅子立ち座りテスト(SS-5 test) ：椅子から 5 回立ち座りを行うのにかかる時間を 1 回計測。下肢筋力に関する指標。

⑤ 開眼・閉眼 片脚起立時間：腰に手を当てた状態で、片脚で立っていられる時間の計測。バランス能力の指標。上限は 60 秒とした。開眼測定後、閉眼で 1 回ずつ、左右どちらか好みの脚で計測した。終了基準は次のいずれかとした：

- 挙上脚が支持脚や床に触れた場合
- 支持脚がズレた場合

⑥ 10m 歩行テスト：10m 歩くのにかかる時間を計測した。計測区間の前後に 2m 程度の加速区間・減速区間を設けた。通常速度を 2 往復、通常よりもゆっくりを 1 往復、最大速度を 1 往復計測した。

実環境での簡易歩行計測

(a) 計測方法

実環境での簡易歩行計測は、実験室での体力測定の直後から 2 週間にかけて実施した。参加者らには、大規模データを取得するために産総研が独自に開発した計測システム、【産総研歩行属性判定システム Human Objective Locomotion MEasurement System：以下 HOLMES】（図 343）を貸与した。HOLMES 用の IMU センサー（マイクロストーン社製、MVP-RF8-HC）は、ランナー用のウェストポーチに入れ、腰背部に装着するよう指示した。データ計測用のスマートフォン（Sony 社製、Xperia1）は、専用のポーチを用意することで、できるだけ常時身につけるよう指示した。データ計測用の HOLMES アプリは、屋外に出る際に起動するよう指示し、どうしてもデータを記録したくない場所では当該アプリを終了するか、当該アプリが稼働しているスマートフォンの電源を落とすよう指示した。

計測項目は、①センサー座標系の 3 軸加速度（xacc、yacc、zacc）、②計測日時、③計測した端末の ID、④計測開始時点の位置情報（スマートフォン内蔵の GPS で取得した経度緯度）、⑤計測終了時点の位置情報（同上）、⑥路面の傾斜（計測開始時点および終了時点の位置情報と国土地理院の地理院地図から取得できる標高より計算）、⑦天候（計測開始時点の位置情報と Open Weather Map から取得できる天気、気温、湿度、風速、風向）、および⑧履いていた靴（協力者に記録を依頼した実験記録より取得）の 8 項目とし、①から⑦の項目は 1 分に一回、15 秒ずつの計測を行った。

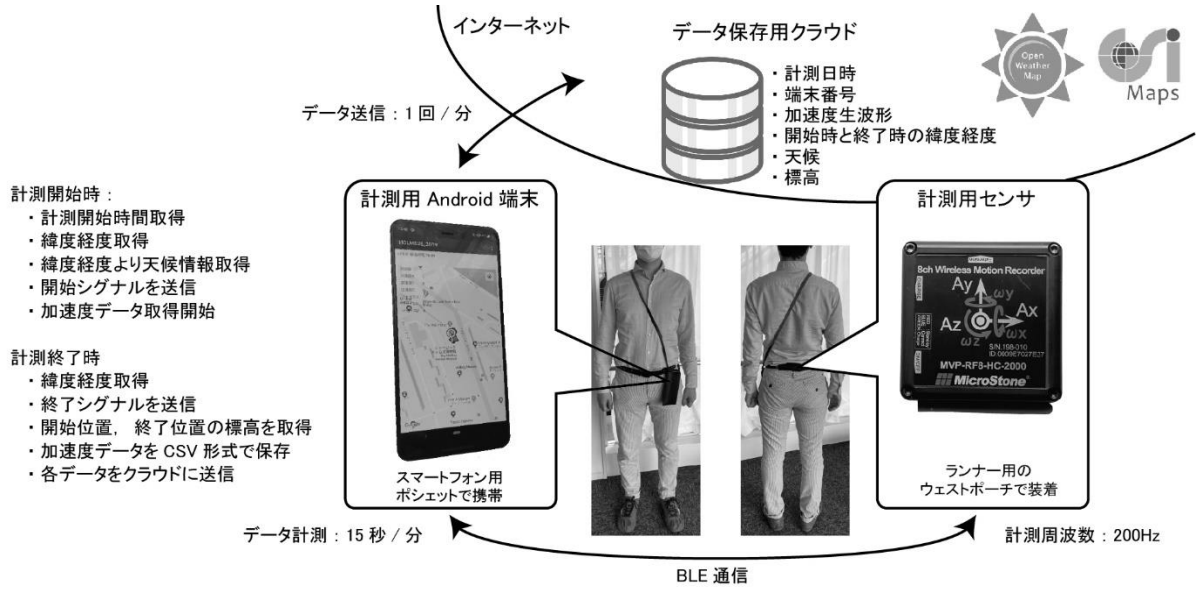


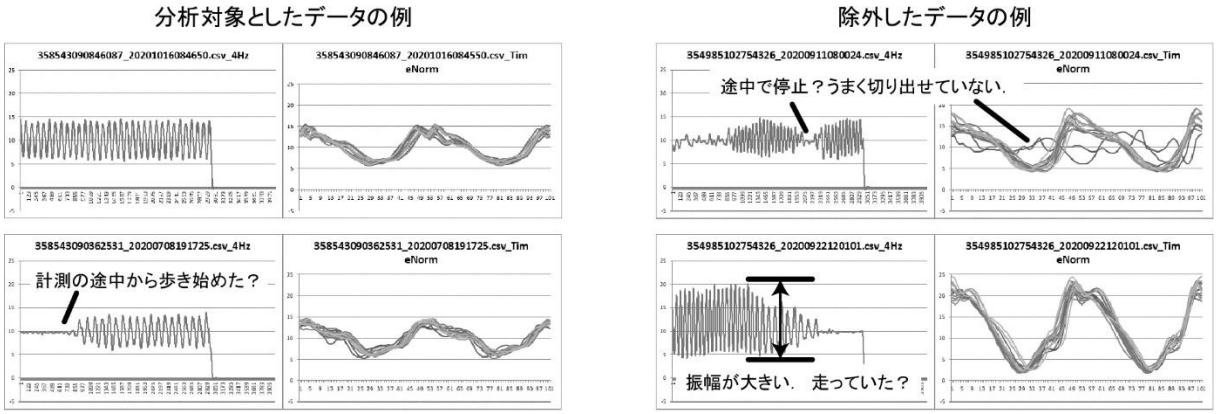
図 343　産総研歩行属性判定システム HOLMES：Human Objective Locomotion MEasurement System の構成

(b) データ処理

計測した加速度より、Zijlstra ら（Ref）の手法を応用して踵接地のタイミングを抽出した。具体的な手順は次の通りである。①計測した 3 軸の合成加速度（acc_{res}）を次式によって算出する。

$$acc_{res_t} = \sqrt{(x_{acc_t}^2 + y_{acc_t}^2 + z_{acc_t}^2)} \quad ・・・①$$

ここで t はデータの各時点を示す。②合成加速度に、カットオフ周波数 2Hz のローパスフィルタをかける。これによって合成加速度の波形はほぼ正弦波状になる。③各波のピーク値を踵接地のタイミングとして記録する。なお Zijlstra らは、加速度の前後成分のピーク値で踵接地のタイミングを取得したが、我々は合成加速度を用いた。これは、日常生活中の計測では、実験者がセンサーの装着状態を確認できないため、気が付かないうちにセンサーの向きが変わってしまう可能性が懸念されたためである。④取得した踵接地のタイミングに基づき、連続した 14 歩行周期分の信号を切り出せるデータのみを分析対象とした。これは、計測の時点で定常歩行をしていたのか、それとも直前に歩き始めたのか、それともその後に停止したのかが不明なため、前後 2 歩行周期分を加速期と減速期として除外しても 10 歩行周期分の定常歩行と考えられるデータを分析できるためである。またこの過程で、明らかにセンサーが正しく装着できていないと考えられるデータや、正しく切り出しが行えていないと考えられるデータ、走っていたと判定できるデータなどについては除外した（図 344）。



左：合成加速度．200Hz で 15 秒間計測したため，データ数は 3000 点．
右：一歩行周期分の波形を切り出し，時間正規化し，重ねて表示．

図 344 本研究で分析対象としたデータ（左）と、除外したデータ（右）の例

分析対象としたデータより、次のパラメータを算出した。

- 動作の左右非対称性の指標：Harmonic Ratio (HR)。
- HR を 100 点満点として理解しやすくした指標：improved Harmonic Ratio (iHR)。
- 動作の滑らかさの指標：Index of Harmonicity (IH)。
- 動作の複雑性の指標：Multi-Scale Entropy (MSE)。
- 歩調：Cadence (CAD)。

上記パラメータのうち、HR、iHR、IH については、センサー座標系における x、 y、 z 各軸、および合成加速度(res)に対して計算した。上述の通り、センサーはランナー用のウェストポーチに入れ、腰背部に装着した。加速度の x 軸は左右歩行（正の値が右）、y 軸は上下方向（正の値が上）、z 軸は前後方向（正の値が後ろ）を示す。また、MSE については、先行研究（ref）に従い t=1 から 6 までの条件で算出した。

分析方法

本実施方針で目的とした、歩行者が持つ機器（スマートフォンやウェアラブルデバイスなど）で得られる情報から個々人の身体能力を評価して新サービスで活用できるようにするために、上記パラメータと体力測定の結果との関連性を分析した。それぞれの項目間で相関係数を算出した。有意水準は、データ数 n=20 の両側確率 5%として、$r > 0.423$、および $r < -0.423$ とした。

体力測定の結果と日常生活歩行特徴との関連

本計測で実施した日常生活計測では、20 名の参加者より 4,045 件（40,450 歩行周期分）の分析対象のデータが取得された。日常生活計測の際に、産総研柏センター近辺で計測されたデータの一例を図 345 に示す。HOLMES では 1 分に 15 秒ずつ計測を行い、その際の位置情報（GPS 信号）

も取得するため、いつ、どこで、だれが、どのような歩き方をしていたかを記録することができる。

図 345 産総研柏センター近辺でデータが取得された地点。地図上に表示されたピンの位置でデータが計測されている。

表 136 に、日常生活計測で得られた歩行特徴と体力測定の結果との関連（相関係数）を示す。表に記述した通り、日常生活中の歩行特徴のうち左右非対称性に関する指標（Harmonic Ratio）や歩行の滑らかさに関する指標（Index of Harmonicity）が、バランスやその調整能力を表すファンクショナルリーチや、閉眼片足立位時間と相関が認められた。ファンクショナルリーチや閉眼片足立位時間は、個々人の転倒リスクとも密接に関連している指標であることから、日常生活中の歩行特徴（左右非対称性や歩行の滑らかさ）を取得することで、安全に歩けると考えられる者を選定したうえでモビリティサービスを提供できる可能性が示唆される。

表 136 日常生活中の歩行特徴と体力測定の結果との関連（相関係数 r：太字で記載の箇所は 5%水準の有意差）

	握力_利き手	握力_非利き手	TUG_通常	TUG_最大	ファンクショナルリーチ
HR_x	-0.006	-0.076	0.236	0.233	-0.211
iHR_x	-0.054	-0.061	0.144	0.161	-0.270
IH_x	0.213	0.172	-0.093	-0.13	0.104
HR_y	0.219	0.028	0.212	0.225	0.010
iHR_y	0.069	0.034	0.019	0.050	-0.313
IH_y	-0.090	-0.091	-0.023	0.038	**-0.473**
HR_z	-0.043	0.145	0.387	0.309	**0.500**
iHR_z	0.009	0.210	0.231	0.174	**0.598**
IH_z	0.283	0.192	0.096	0.177	0.405
HR_{res}	0.330	0.208	0.349	0.274	**0.439**
iHR_{res}	0.253	0.246	0.338	0.270	**0.430**
IH_{res}	-0.053	0.153	0.155	0.061	-0.221
MSE t=1	0.197	0.186	-0.214	-0.254	-0.298
MSE t=2	0.204	0.201	-0.168	-0.248	-0.347
MSE t=3	0.178	0.157	-0.157	-0.236	-0.388
MSE t=4	0.171	0.138	-0.149	-0.229	-0.384
MSE t=5	0.175	0.140	-0.138	-0.222	-0.369
MSE t=6	0.177	0.147	-0.132	-0.216	-0.356
CAD	-0.056	-0.078	-0.142	0.037	-0.100

表 64（続き）　日常生活中の歩行特徴と体力測定の結果との関連（相関係数 *r*：太字で記載の箇所は 5%水準の有意差）

	SS5-test	閉眼片脚立位	10m 歩行_通常	10m 歩行_ゆっくり	10m 歩行_最大
HR_x	0.248	0.011	0.211	-0.034	0.163
iHR_x	0.198	-0.034	0.087	-0.055	-0.012
IH_x	0.225	-0.268	-0.307	0.147	-0.354
HR_y	0.270	-0.331	0.193	0.106	0.041
iHR_y	0.158	-0.135	-0.053	-0.019	-0.191
IH_y	0.199	-0.104	-0.094	-0.128	-0.179
HR_z	0.219	**-0.430**	0.314	0.102	0.220
iHR_z	0.136	-0.298	0.167	-0.026	0.088
IH_z	0.211	-0.150	0.033	-0.036	0.197
HR_{res}	0.178	-0.414	0.359	0.094	0.414
iHR_{res}	0.164	**-0.465**	0.318	0.044	0.357
IH_{res}	0.069	-0.207	0.094	-0.302	0.188
MSE t=1	0.070	-0.090	-0.278	-0.384	-0.068
MSE t=2	0.128	-0.136	-0.292	-0.371	-0.068
MSE t=3	0.152	-0.129	-0.285	-0.371	-0.065
MSE t=4	0.153	-0.120	-0.277	-0.370	-0.057
MSE t=5	0.156	-0.122	-0.265	-0.368	-0.041
MSE t=6	0.157	-0.121	-0.255	-0.373	-0.028
CAD	-0.028	0.080	-0.037	0.262	-0.297

現状の HOLMES の限界と次年度の展望

上記の通り、我々が開発したシステム HOLMES を用いることで、安全に歩けると考えられる者を選定したうえでモビリティサービスを提供できる可能性が示唆される。しかし当該システムもまだまだ開発中であり、①専用の IMU センサーを腰背部に装着する必要がある点、②システムのバッテリーが 1 日程度しかもたない点、③データ量が膨大すぎて分析に時間を要する点などが課題として挙げられる。まずデータの計測やバッテリーの問題については、将来的には、街頭に設置されるカメラやスマートポールなどを活用することで解決されると考えられる。また、分析するデータの量については、本研究のような基礎研究を行うことで、分析するべき特徴を絞り込むことで簡略化できると考えている。次年度はこのような課題を踏まえ、より多くの者を対象とした実験を実施し、実際のサービス開始に向けて何を計測し、どのように分析すればよいかを明らかにする必要がある。

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

日常の生活移動において、円滑な移動と移動の先にある活動を融合し、付加価値を創成することで事業モデルの実現性に繋げることが極めて大事である。自動運転サービスで得られるデータに、地域内での多様な顧客の移動に関わる都市データを統合することにより新たな付加価値を創成し、それらが都市サービスとして持続でき、かつ、協調型システムのインフラ維持経費を分担可能にするシステムを実現するため、協調型システムのデータと都市データの連携の方法を検討し、プラットフォームの構築を目指す。

■ 実施方針

2021 年度は柏の葉地区における多様な生活者の移動やサービスに関するニーズを調査･分析し、モビリティを活用した都市サービスのあり方とそれを実現するためのプラットフォームの概念設計を行う。

■ 実施事項と実施方法

現在、柏の葉地区では、図 346 に示すように、三井不動産と日本ユニシス株式会社が共同で開発した「Dot to Dot」[1]と呼ばれるデジタル道路交通データプラットフォームが運営されている。このプラットフォームでは、住民がパーソナルデータを連携する際の個人同意管理機能や、複数サービス間の ID 連携機能、サービス/API 管理機能、データ取引ログ管理の機能を有している。これらの機能を活用し、一般社団法人 UDCK タウンマネジメント（以下、UDCK）は「スマートライフパス柏の葉」と呼ばれる住民向けポータルサイト[2]を運営している。さらにこのポータルサイトの会員情報は、「カロママプラス」（AI 管理栄養士が健康アドバイスを行うサービス[3]）や、株式会社 NTT データの「ヘルスデータバンク」（バイタルデータ測定・管理を行うサービス[4]）等の他サービスともデータ連携が可能となっている。

さらに、UDCK では、2021 年より、柏の葉駅周辺 AI カメラを設置し、異常検知等のエリアマネジメントを行っている。また、これらのカメラ映像に画像解析技術を適用して得た人流分析データを Dot to Dot と連携し、大学や研究機関、事業者に提供する仕組みが検討されている[5]。

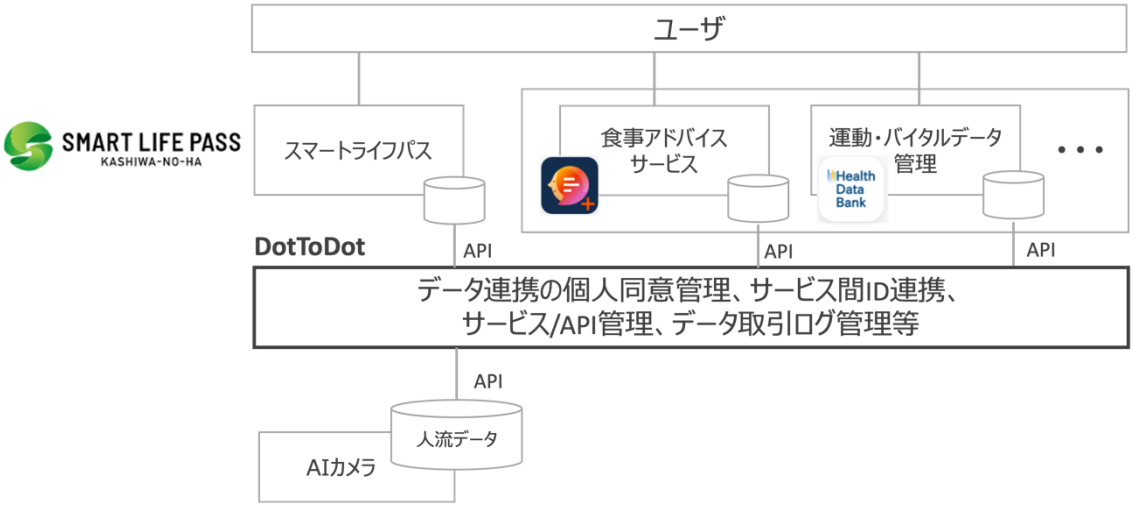


図 346 柏の葉で現在運用されている「Dot to Dot」のアーキテクチャ

これまでに述べた新サービスを実現するため、新モビリティ都市サービス活用検討チームでは、既存の Dot to Dot のアーキテクチャに基づき、図 347 に示すようなデジタル道路交通情報との連携システムへの拡張を検討する。例えば、スマートポールのデータを収集・分析して得られたデジタル道路交通情報を、AI カメラが生成する人流データと同様に、一種のデータインフラとして位置づけることで、Dot to Dot と連携させることが可能になる。これにより、交通情報を連携させたシェアリングサービスやヘルスケアサービス等の住民向けサービスを、住民に提供し、地域の魅力向上に貢献したいと考えている。

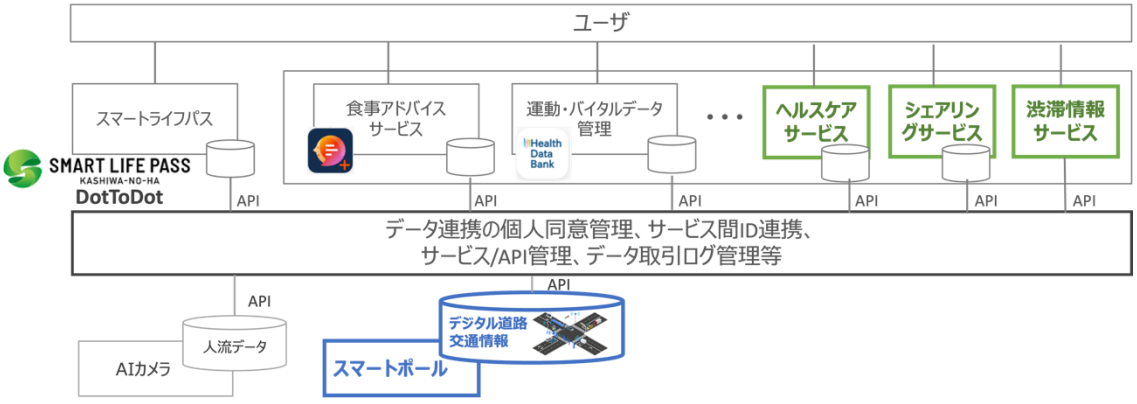


図 347 柏の葉地区でのデジタル道路交通情報との連携システム

[1] 三井不動産 － 「三井不動産、日本ユニシス。パーソナルデータが、本人の意思に基づき、安心・安全に流通するプラットフォーム「Dot to Dot」を共同開発。柏の葉スマートシティにて活用開始」

https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2020/1126_02/

[2] スマートライフパス - https://www.dataplatform-portal.jp/

[3] カロママプラス - https://plus.calomama.com/

[4] ヘルスデータバンク - https://www.healthdatabank.ne.jp/member/

[5] 三井不動産 -「国内最大規模、柏の葉キャンパス駅周辺街区に AI カメラ 29 台を設置。AI カメラを柏の葉スマートシティに導入。リアルタイム画像分析で、住民の安心・安全なタウンマネジメントを開始」
https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2021/0921/

2－4. 協調型システムの評価環境の整備

＜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＞

デジタルツインによる協調型システムは、サイバー空間とフィジカル空間からなる。そのシステムを評価するため、それぞれの試験環境の検討と整備を行った。

○フィジカル空間

- フィジカル空間での試験環境として、インフラ協調による情報取得が可能な実験車両を構築した。また、協調型路側機の仕様を決定し、東京大学柏キャンパス・ITSR&Rフィールドの施工、設置を行った。
- 協調型システムとして検討するべき機能と実験シナリオを設定した。また、東京大学柏キャンパス ITSR&R フィールド内では実施できない評価シナリオを JARI テストコース内で試行し、協調型システムの安全検証になりうる要素の検討を行った。

○サイバー空間

- 通信システム、データ連携システム等の要素からなる簡易路側機の仕様を決定した。
- サイバー空間における通信システム評価シミュレータを構築し、東京大学柏キャンパス・ITSR&R フィールドでの機能の確認を行った。
- 柏の葉の 3 次元空間地図を用い、車両側、インフラ側、道路構造変化等、協調型システムの性能評価が可能なサイバー空間評価用ドライビングシミュレータの仕様を決定した。
- ODD 条件不適合時のシステム活用に関する調査を実施し、ODD 条件不適合時に適応するべき協調型システム活用検討を整理した。

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

■ 該当項目の背景と目的

インフラ協調型自動運転の要素技術が本事業でも開発されつつある。実環境下で活用可能な技術を見極めることや、引き続き技術的、学術的な検討が求められているところを見極めることは、2025 年の社会実装に向けて欠かせないステップとなる。

■ 実施方針

評価環境は、仮想的な環境と、実際のフィールドを活用した実環境とに分けて考えられる。本年度はインフラ側設備の検討や、安全上の課題から実環境では再現が難しい場面を検討するため、仮想環境を活用した評価システムを構築する。実環境についてはテストフィールドを活用する。東京大学柏キャンパスの ITSR&R フィールドを活用し、その機能を拡充することで、協調型自動運転の技術的な評価が可能となる環境を整備する。テストフィールドでの実験知見や自動運転の安全性については、日本自動車研究所と連携して検討を行う。実環境でのモデル地区である柏の葉において、実環境の計測を行うほか、運転行動に関する検討を行う。また、現状の技術では自動運転車両の運行が継続できない場合について検討した。

■ 実施事項と実施方法

(1) 協調型システム検討用車両整備・協調型システム試験環境整備と試験実施

協調型システムの評価を行うため、東京大学柏キャンパス内、ITS R&R フィールドに、試験車両、協調型路側設備、車両保管用ガレージを設置した。併せて、自動運転車両を利用した実験の際に利用が想定される整備機材を準備した。

試験車両はメーカー協力の下で、車載機器により車両側で処理している信号を出力することができる仕様としている。これにより、ドライブレコーダーシステムなどを搭載して実際の交通状況において車両の走行状態を記録することができる。すなわち、モデル地区などの公道上で、協調型システムの効果等を評価する際にも本車両を活用することが期待される。

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るものを導入した。前記仕様により、どのような状況で協調型システムが機能したか等の評価が可能になる。また、このドライブレコーダーを用いて実環境におけるデータを収集することにより、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。導入したドライブレコーダーにおいて、車両挙動情報については GNSS アンテナで自己位置情報を、IMU センサーで車両の加速度情報を、CAN を介して車両から速度や車両状態を取得する。また周辺環境情報については、LiDAR センサーで周辺物体までの距離情報を、単眼カメラおよび 360° カメラで映像情報を取得する。取得した各情報を集約・処理し、ノート型パソコンと映像記録装置で記録する。導入したドライブレコーダーシステムを車両に搭載した際の概観を図 348 に、ドライブレコーダーシステムの運用管理用の計測画面を図 349 に示す。

図 348　ドライブレコーダーシステムの概観

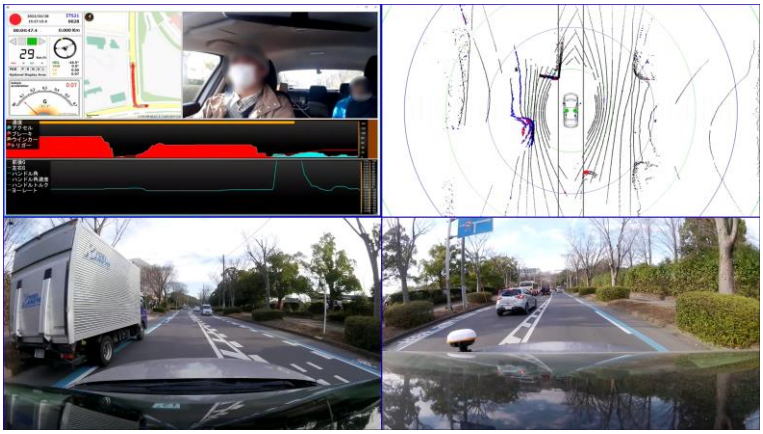


図 349　ドライブレコーダーシステムの運用管理用の計測画面

整備機器類については、自動運転車両を活用した実験に際して活用が期待される装置を導入した。車両の幾何学的特性を計測し、直進性や旋回性に関する基礎特性を把握することができるアライメントテスタ、車両に搭載されたカメラやセンサー装置の取付状態を外部から確認できるキャリブレーションボードおよび、キャリブレーションツールである。国土交通省の定める特定整備に準拠したスキャンツールも併せて導入した。自動運転車両は機械的特性が運転状態に与える影響も大きい。人間のドライバーの場合は車両の特性変化に対してある程度は適応的に対応することが可能である。自動運転車両の制御について、車両の走行特性が変化する場合、車両の制御ロジックによっては、走行特性に大きく影響を及ぼすことが考えられる。

これらの試験車両及び整備機器類を設置するため、ITS フィールド内にプレハブによる保管設備を設置した。

協調型路側設備は協調型システムのインフラ側機器に当たる。これは、柏の葉地区のプレ実証等で用いられているものと同等の機能を有するものを設置した。路側に設置されたセンサーにより歩行者など、自動運転車両の周辺にいる交通参加者を検出し、自動運転車両の進路と交錯する可能性がある場合に自動運転車両へ情報提供を行う。通信方式は LET を用いており、携帯電話回線網を利用して車両とインフラ側で通信を行う。評価環境ではインフラ側機器の設置位置を多様なものとして評価する可能性があることから、高さを変化させられる作業台を導入した。

次年度は協調型システムの機能拡充を行い、公道実証実験前の基礎的な評価の実施が可能な環境として引き続き必要な整備を行う予定である。

また、協調型評価環境設備を活用し、2023 年に予定している公道実証実験にむけて、必要な要素技術の機能と性能の確認、これらを統合したシステムとしての動作評価を進めてゆく予定である。

(2)　日本自動車研究所との連携

自動運転車両の安全性とその評価手法については各国で議論されているところである。協調型システムについても、車両とインフラの双方からなる一つのシステムとして、安全性の評価や論証を求められることが予想される。本事業では、将来的に求められると考えられる協調型システムに対する安全性評価や論証について先行的な検討を行うため、日本自動車研究所のテストコース（J-town）を利用して、協調型システムの動作確認、データ取得を実施した。

日本自動車研究所は、高速道路での自動運転車両を対象とした安全性評価の取組を進めており、自動運転車両の評価をテストコース等で実施する知見を有していると言える。また、J-town として自動運転の評価を念頭に多様な道路環境を模擬した道路を有していることから、今回検討するうえで参考となる知見を有していると期待される。

本年度はテストコース上で模擬する交通状況の観点として、本事業で検討したユースケースを参考としながら、交差点での遮蔽物や、対向車による遮蔽、複雑な交通環境の模擬を試行した。実験では、数種類の交通環境を模擬し、ドライバーにより運転される自動運転車両とコース内に仮設した路車協調システムを用いて、双方のセンサーに於いて交通環境の中でどのように移動体を検出しているかを計測し、今後検討するための基礎的なデータ取得を行った。

今後、取得したデータを分析することで、路車協調システムの評価や、要件検討、近い将来の社会実装が期待される場面、より詳細な技術的な検討が求められるため難しい場面を対象とした検討が可能になると期待される。加えて、今後は協調型システムでの対応が難しいと予想される特徴的な道路線形、例えば対向側が 2 車線以上の車線を持つ交差点での右折や、緩やかな合流場面等の模擬を行い、より協調型システムの必要性が高い環境での安全性議論に資するデータ取得が期待される。

図 350　コース内に交差点で遮蔽を模擬した例

図 351　特殊な道路形状による遮蔽を模擬した例

図 352　移動ダミーを利用して自動運転車の回避スペースが限られる場面を模擬した例

2) サイバー空間での評価

■ 該当項目の背景と目的

協調型自動運転においては、車両単体のセンシングに加えて、周囲の車両、路側機、歩行者から得られるデータを通信により収集し、それらの情報を統合して車両の動作を制御する。環境のセンシング技術、データの通信技術、車両の動作制御技術の確立が必要であるが、それら全ての技術を組み合わせて物理空間で実証実験することは困難であり、各要素をサイバー空間で性能試験が可能なシミュレータプロトタイプを試作する必要がある。

特に、データ通信技術はレベル 3 までの自動運転から大きく異なる技術要素であり、各種通信方式がどの程度の性能で協調型自動運転に寄与できるのかを把握することは極めて重要な課題である。都市レベルでのマクロな通信性能に加えて、車両単体でのミクロな通信性能をサイバー空間上で性能試験することで、自動運転機能の信頼性や品質の性能限界を見積ることが可能となり、通信システムの特性を鑑みた自動運転、運転支援の機能設計を実現する。データ連携サブチームでの検討から得られた通信インターフェースと協調型システム検討評価チームでの検討から得られたユースケースに該当する通信の性能特性を試験可能なシミュレータを試作することを目的とする。また、通信品質をリアルタイムで観測・収集しつつ、本シミュレータを用いてある場所・時間での通信品質の予測値を自動運転事業者に提供するサイバーフィジカルシステムを構築し、自動運転の事業化に向けた通信信頼性を保証可能な枠組みの確立を目標とする。

経済産業省事業（RoAD to the L4）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（VR 環境）を作成することが必要とされている。

レベル 4 自動運転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。

自動走行システムの動作は運行設計領域(ODD)として定義・制限され、それを逸脱するときには、制御の移行（ToC, Transitions of Control）を実行する必要がある。ToC が失敗すると、最小リスク操作（MRM, Minimum Risk Maneuver)が実行され、自動運転車は緊急停止などの退避行動を実行する。レベル 4 自動運転サービスを安全に運用するためには以下の対応が求められている。

- ODD が不適合となる条件を可能な限り減少させる

- ODD 不適合時に周辺の交通参加者の安全を担保する方法により走行を中断する
- MRM 時に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る

本項では、ODD 不適合時の対応方法に関して文献などを調査するとともに、協調型システムにより ODD 不適合条件の緩和を実施できるシナリオ分析について検討する。

■ 実施方針

図 353 に通信性能評価シミュレータの整備計画を示す。アクセス層については、複数無線システムを利用した高信頼通信方式の技術検証を進めるため、無線 LAN インフラストラクチャモードと LTE の性能評価環境を今年度整備する。次年度、無線 LAN アドホックモードと 5G を整備し、今後登場する 5.9GHz を利用した IEEE 802.11p や LTE-V2X 及び 5G-V2X については、国内での周波数割り当て状況を鑑みて性能評価環境を整備する。ネットワーク・トランスポート層については、低遅延伝送が可能な UDP、QUIC、Multipath QUIC の性能評価環境を整備しつつ、Multipath QUIC については信頼性向上のための機能を新たに設計、検証する。ファシリティ層は、図 245 に示される CPM での特性検証の結果を活用する。実証フィールド環境での通信品質を性能評価し、カメラセンサー情報の遅延を模擬するなど実環境に近い協調型ドライビングシミュレータの整備を目指すとともに、各種ユースケースで通信を介したサービスが実現可能かを判断する指標を提示する。

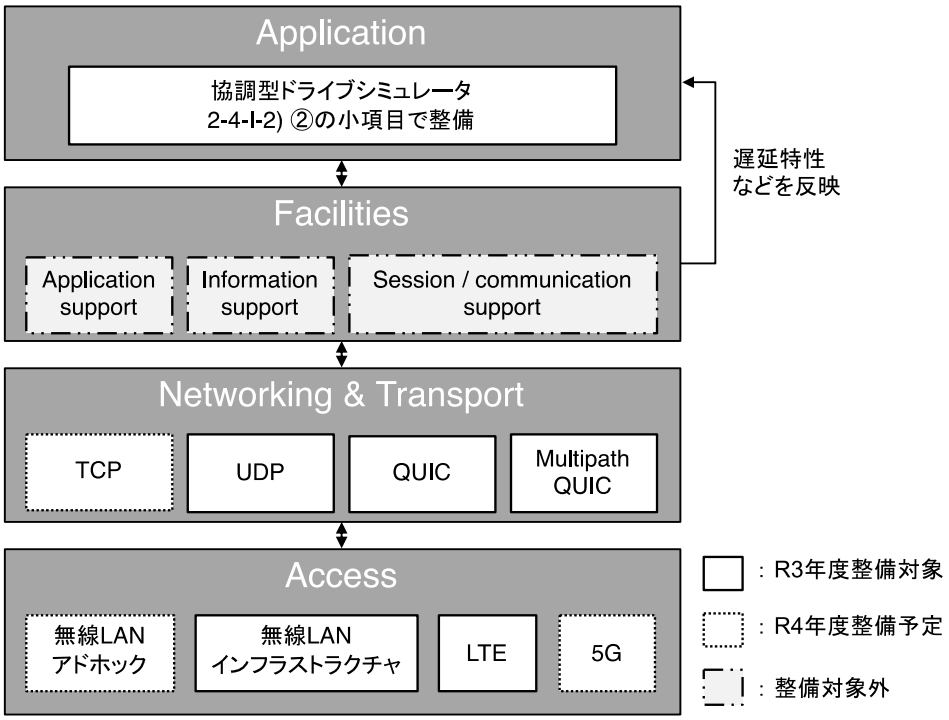


図 353 通信性能評価シミュレータでの実装対象

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。

下記要求仕様を満たせるドライビングシミュレータ実験環境を検討した。

① 用意されている高精度デジタル地図のデータを読み取ることができること：車線、道路標識、交通信号機の情報を含む高精度デジタル地図が用意されているが、そのデータを読み取り、高精度デジタル地図が用意されていない周辺道路については違和感が出ないようにシミュレータの道路環境を作成する。周辺モデルについては、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する。それ以外の建物については、形状の詳細を再現することまで求めないが、違和感のないように建物等を配置する。

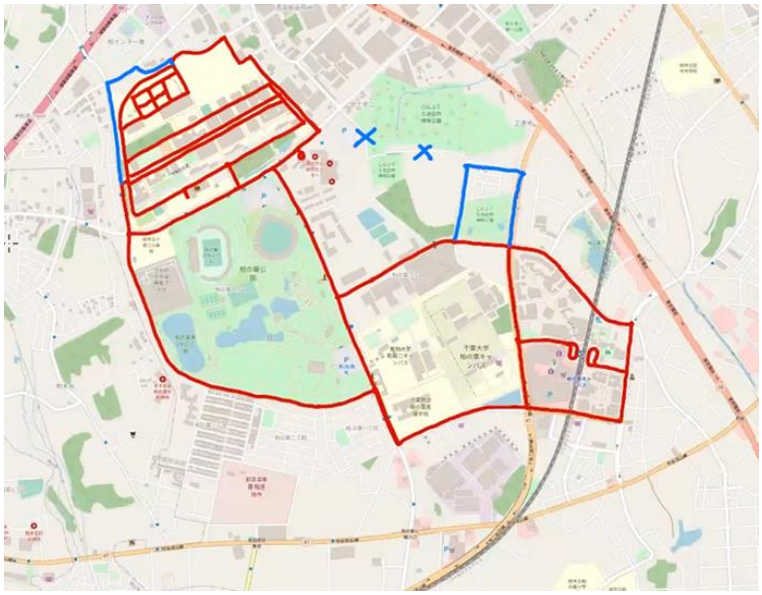


図 354　高精度デジタル地図データ

（“Openstreetmap ”を加工して作成、2021 年 10 月 30 日取得）

② ＶＲ環境に設置した仮想インフラセンサーの出力（カメラの画像や視野角内の移動物体のＩＤ、位置、座標情報など）の送信など必要なセンシング機能を備えていること：作成された道路環境上に設置したインフラセンサー（カメラ、レーザー等）の出力をシミュレーションし、実時間で走行車両に送信し、制御が可能な機能。インフラセンサーとして設置したカメラの画像データは UDP で送信、およびファイルに保存できるようにする。道路や建物上の固定物体だけでなく、移動物体にも設置できるようにする。

③ 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、自動運転アルゴリズムによる自車を制御できること：開発された自動運転制御アルゴリズムに従って走行する複数の車両を、再現された道路環境において走行させる機能。なお、インフラからの情報を得て走行することを前提とした協調型自動運転制御も可能なようにする。

④ 再現された道路を走行可能な手動運転車両：手動運転を模擬した複数台の車両を、再現された道路環境において走行させる機能。

⑤ 自動運転車両､歩行者､および手動運転車両間の相互作用シミュレーションを LAN 環境で、クラスターマルチユーザ機能で実現できること：作成された道路環境を複数のユーザーで同時に利用できるため、LAN 環境で、クラスターマルチユーザ機能で実現する。また、作成された道路環境を車両内の搭乗者や歩行者の視点で、ＶＲヘッドセット等を用いて可視化できること。

ODD 不適合時の協調型システム活用のフィージビリティに関しての文献を調査し、分析する。

① ODD 不適合時の協調型システム活用のフィージビリティに関しての文献を調査し、分析する。

② 自動運転機能に関するアンケート調査を実施し、ODD 不適合事例と協調型システムが有効となるシナリオの分析を実施する。

■ 実施事項と実施方法

(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

今年度は、2023 年度実施予定の実証実験で利用する協調型路側機を実験フィールドに整備するとともに、通信機能についてサイバー空間で性能試験が可能なシミュレータプロトタイプを試作する。

ⅰ） 協調型路側機の性能試験環境整備

図 355 に柏キャンパス配備予定の協調型路側機の構成図を示す。簡易認証による車両との直接通信に用いる 2.4GHz 無線 LAN アドホック通信、歩行者や一部車両通信に用いる 5GHz 無線 LAN インフラストラクチャ通信、車両通信に用いる LTE/5G 通信について、ユースケースに合わせた環境での通信品質を測定する。次年度以降、ユースケースで所望する通信品質（特に、遅延特性）が決定され次第、所望特性を達成できるかを検証する。

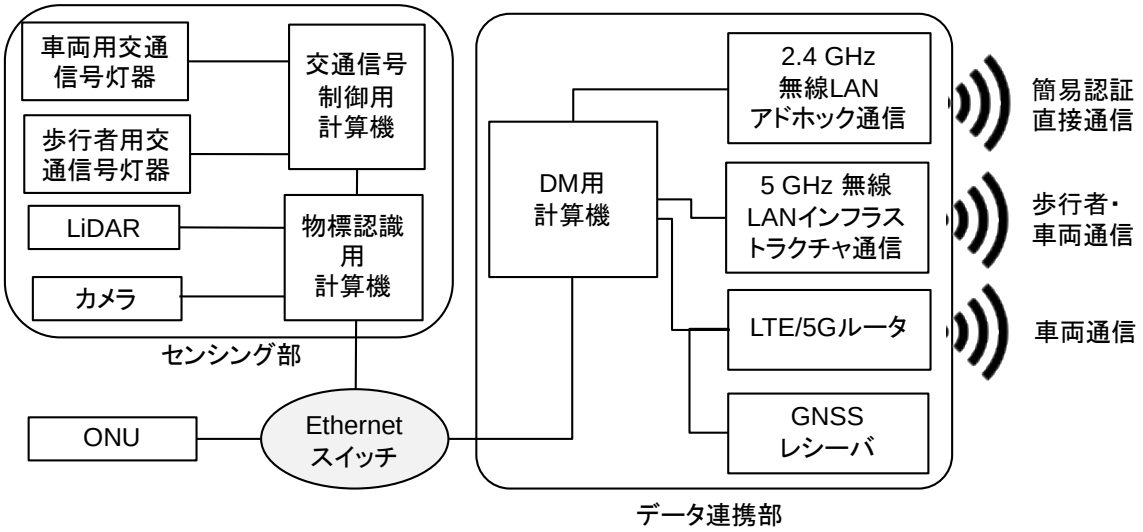


図 355 柏キャンパス配備予定の協調型路側機の構成図

ii） 協調型システムにおける通信性能試験シミュレータ検討

図 356 に本研究開発で整備する通信性能試験シミュレータの機能モジュールを示す。それぞれのモジュールについて以下で説明する。

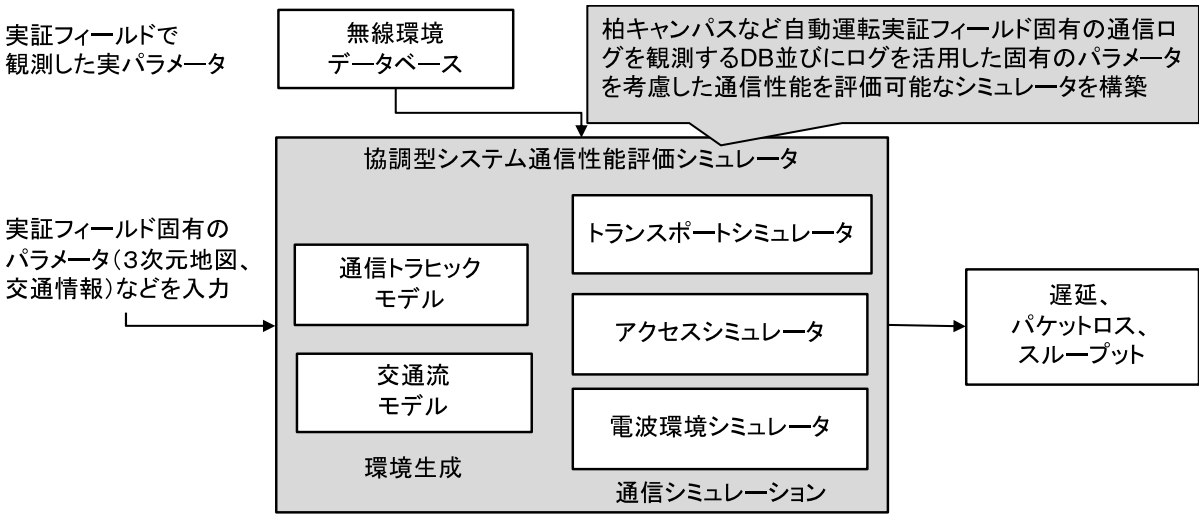


図 356 本研究開発で整備する通信性能試験シミュレータ

① 通信トラヒックモデル

協調型システムで発生する特有の通信トラヒックを模擬する手法の検討を進めた。ユースケース検討結果から、協調型システムで必要となる通信サービスは以下の通り大別できる。

- 車両・協調型路側機間情報通信
- 歩行者・協調型路側機間情報通信

- 車両間情報通信
- 車両・歩行者間情報通信
- 車両・クラウドサーバー間情報通信

電気通信大学に配備する簡易路側機と車載機を利用して LiDAR やカメラで取得するセンシング情報、位置情報などの通信トラヒックパターンの実観測値を統計処理することで、これらのトラヒック発生過程を明示的に再現する。本モデルで生成した通信トラヒック、交通流モデルで生成した車両位置情報を基に車両ごとのアクセス、トランスポート層の通信性能を評価する。

② 交通流モデル

実証実験フィールドの交通流を再現するモデルを検討し、任意の環境で通信性能を評価可能な環境を試作した。交通流シミュレータは PTV Vissim や SUMO (Simulation of Urban MObility) など数多くのソフトウエアが開発されている。また、交通流に関するビッグデータの整備やそれらのデータを用いたサイトスペシフィックなシミュレータの検討が進んでいる。そこで、本研究開発では、任意の交通流シミュレータとの互換性を高めるため、時間ごとの車両座標を入力として通信性能を評価可能なシミュレータを試作した。次年度は、本プロジェクトでの利用が検討されている MicroAvenue とのインターフェースを設計する。

③ 電波環境シミュレータ

実証実験フィールドにおいて都市構造やビル群の影響を鑑みたサイトスペシフィックな電波環境を再現するシミュレータを検討した。無線 LAN、LTE、5G など複数の電波環境を模擬可能な Remcom 社の Wireless Insite をレイトレーシングシミュレータとして採用し、NTT データ社のデジタル 3 次元地図 (AW3D) を入力として電波環境をシミュレーションする。図 357 は、柏の葉キャンパス駅に 4.5GHz 帯の 5G 基地局を配置した場合の周辺地域の電波環境の一例を示す。本シミュレーションは高精度な電波環境シミュレーションが可能である反面、計算時間の観点からオフラインでの利用が前提となる。リアルタイムな電波環境シミュレーションを行うため、深層学習などの統計的手法を用いて無線信号の実観測値から推定モデルを構築した。車両通信に対する特有の電波環境変動をリアルタイムかつ高精度に推定することが可能である。本年度は、実証実験フィールドの一つである東京大学柏キャンパスエリアの電波環境シミュレーションを実施したが、次年度以降は達成目標に応じた実証実験フィールドのデジタル 3 次元地図を調達し、性能評価試験を行う。

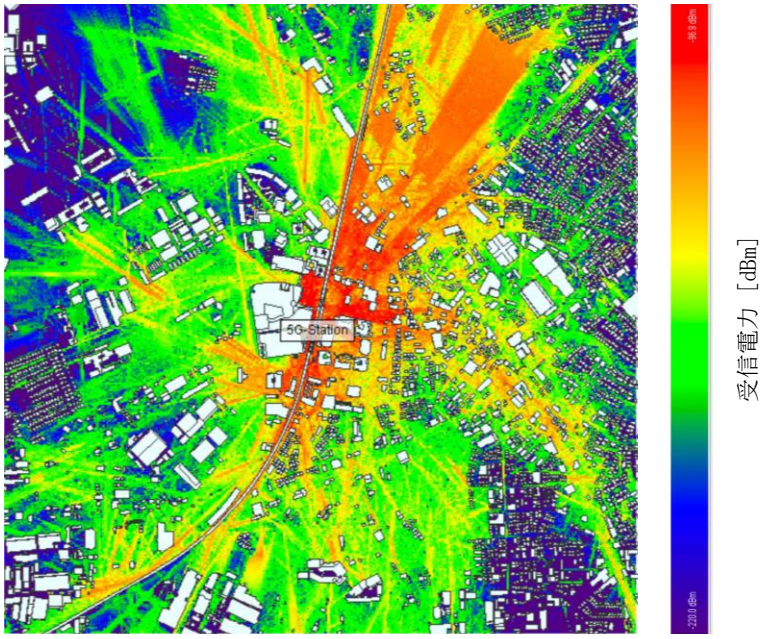


図 357 柏の葉キャンパス駅周辺の電波環境可視化例

④ アクセスシミュレータ

協調型路側機に配備される無線通信方式である無線LANインフラストラクチャモード、LTE(Long Term Evolution) について任意の交通流、通信トラヒック環境におけるパケットレベルの通信品質を性能評価するシミュレータモジュールを開発した。LiDAR などのセンシングシミュレータとの親和性を鑑みて実装しており、0.01 ミリ秒単位での高精細なシミュレーションが可能である。

LTE については、上りリンクと下りリンクで時間多重化する TD-LTE (Time Division Long Term Evolution) を想定しており、下りリンクは OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、上りリンクは SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) を利用して多重アクセスするシステムを検討している。変調方式は 3GPP によって定められた CQI (Channel Quality Indicator) 表に基づく適応変調符号化方式により決定される。国内で利用される全周波数帯帯域に対応できるように設計している。

無線 LAN については、IEEE 802.11n、IEEE 802.11ac に準拠した通信方式を性能評価する環境を整備した。具体的には 2.4GHz と 5GHz 帯に対応し、以下の技術要素を実装した。

- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式を用いた衝突回避
- Massive MIMO (Multi Input Multi Output) 通信による 4×4 ストリーミング
- チャネルボンディングによる広帯域通信
- 標準規格に基づく適応変調符号化方式

⑤ トランスポートシミュレータ

自動運転においては、遅延特性が重視されるため UDP を利用した通信が多く検討されている一方、100%に近い信頼性で情報を伝える必要がある。そこで、本研究開発では、複数の無線システムを同時利用もしくは切り替えて利用する Multipath QUIC の実装を行う。Multipath QUIC は、以下に示す通り車両通信に適した特性を持つ QUIC プロトコルをベースに設計されたものであり、マルチパス通信機能が拡張されている。

- 低遅延な接続確立
- パケットペーシングによるパケットロス削減
- コネクション ID による移動体の再接続ロス低減

本研究開発では、10 ミリ秒間隔でパスごとの RTT（Round Trip Time）を観測し、1 秒周期で平均 RTT の低いパスを選択してデータを送信する Multipath QUIC のプロトタイプを実装し、シミュレータ上で性能評価できる環境を整備した。

⑥ 無線環境データベース

無線環境データベースに格納されるメッシュ毎の無線環境情報を活用し、実無線環境をエミュレートした性能評価環境を整備する。具体的には、メッシュに対する 5G/LTE の受信電力の平均値・最小値・最大値・中央値と無線 LAN の平均受信電力値を用いて、パスロス・シャドウイングを含むサイトスペシフィックな電波伝搬を模擬する。

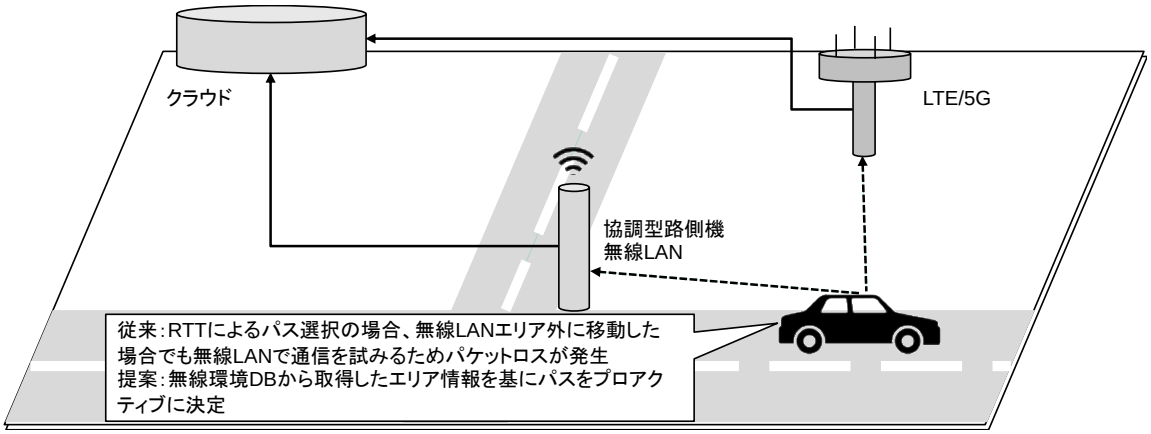


図 358　Multipath QUIC の高度化（無線環境 DB を利用したパス選択）

iii） 協調型システムにおけるトランスポート機能の高度化

性能評価シミュレータで実装した Multipath QUIC により、信頼性の高い無線システムを選択することが期待できる。一方、サービスエリア外に出る場合や非見通しの場所に移動する場合など通信品質が局所的に悪化し、適切な通信システムを選択できずパケットロスが発生する場合がある（図 358）。そこで、無線環境の変化にロバストなパス選択アルゴリズムの検討を行った。

① 無線環境 DB は無線 LAN、LTE/5G の空間的な無線環境情報を記録しており、事前に車両に通知する。

② 車両は GPS などにより取得した位置情報を基に無線 LAN、LTE/5G の無線環境情報を推定する。

③ 無線環境情報が一定の閾値以上の無線システムを候補とし、その中から RTT が低いものをパスとして選択する。

上記のトランスポート層アクションは、実環境においては多様なハードウエアの相互関係のもとに機能動作を正しく確認できるため、本年度は、次年度以降本格的な開発ができるようにシミュレータに機能を導入し、性能を検証した。

図 359 の通り、局所的に非見通しとなり無線環境が劣化する環境を準備し、本環境における遅延特性並びにパケットロス特性をシミュレータで検証した。なお、車両から無線 LAN と LTE のマルチパス通信を介してクラウドまで伝送するサービスを考えている。図 360 に示すように、従来の Multipath QUIC は無線環境の変化時でも無線 LAN を使い続けるため、パケットロスが発生すると共に遅延が増加している。これに対し、本開発で検討した Mutipath QUIC は、無線環境変化時に LTE にパスを切り替えることでパケットロスを未然に防いでいることが確かめられた。

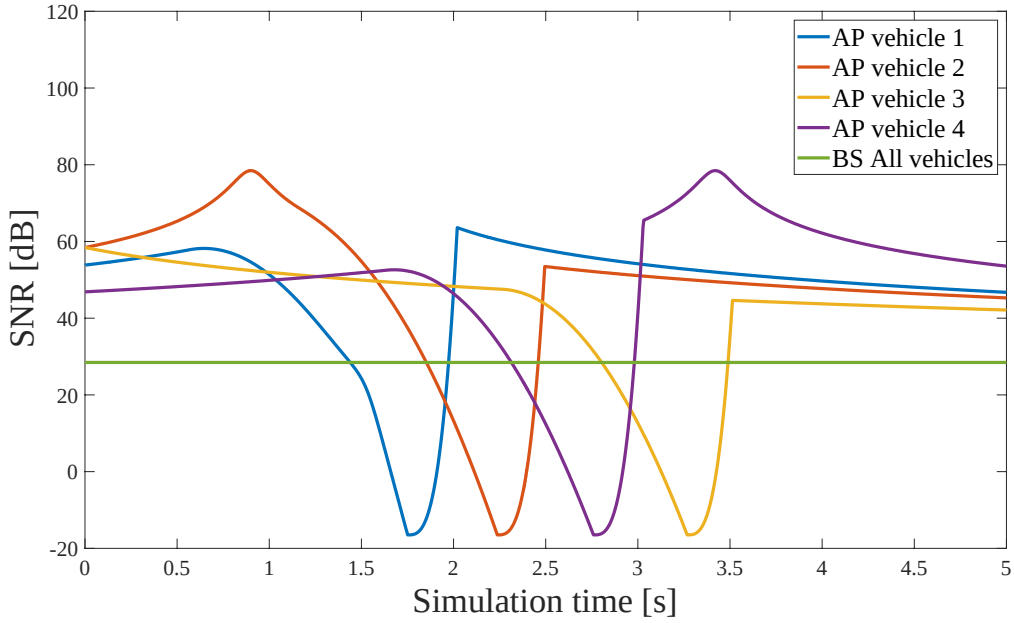


図 359　車両の無線環境例

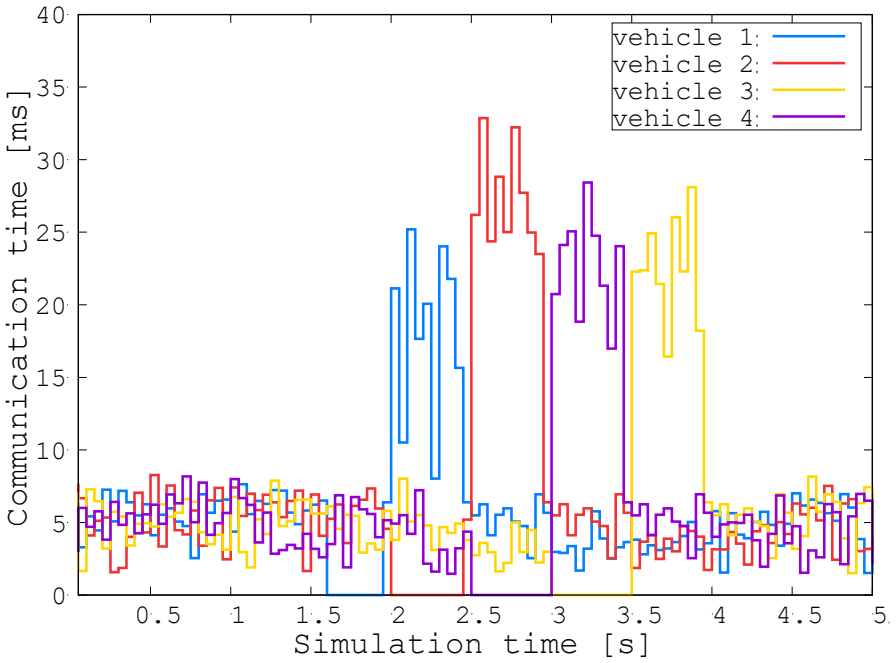


図 360　従来の Multipath QUIC による遅延特性（SNR の低下によりパケットロスが発生）

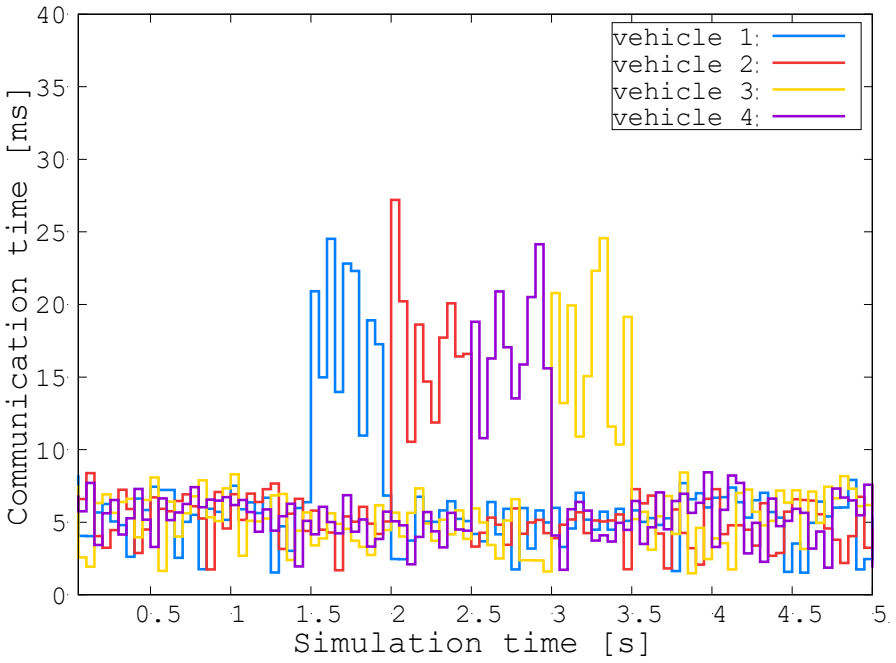


図 361　改良型 Multipath QUIC による遅延特性（パケットロスの発生なし）

(2)　サイバー空間での協調型システムの評価

現在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、上記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。また、フォーラムエイト社製 UC-win/Road をカスタマイズし、下記の機能を追加する：①外部からの自動運転制御機能；②カメラ映像の送信・保存機能；③オブジェクト検出機能の拡張。

図 362　株式会社フォーラムエイト製 UC-win/Road シミュレータイメージ

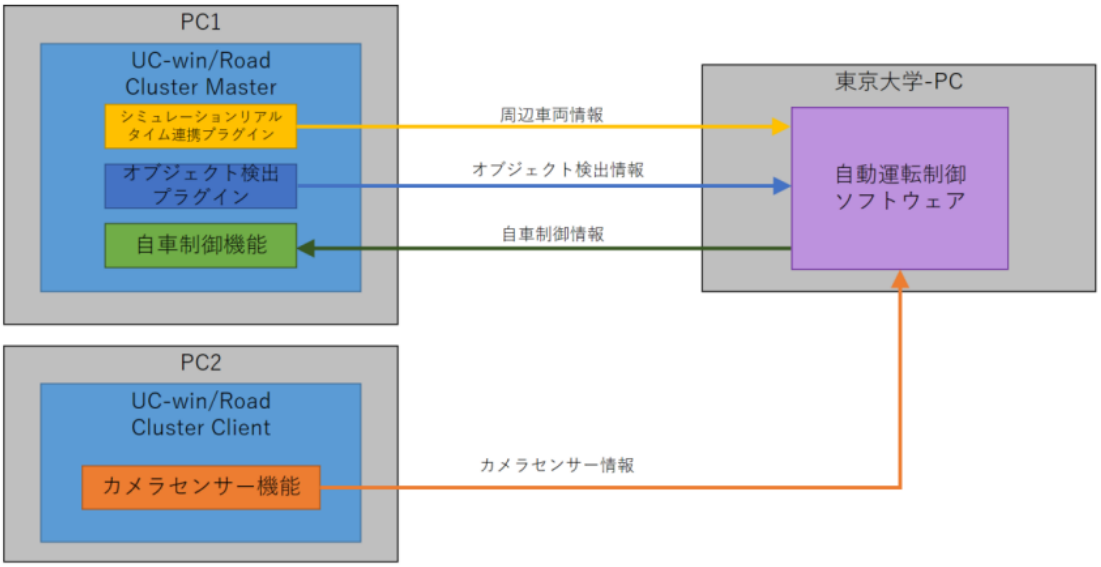


図 363　システム構成イメージ

① 外部からの自動運転制御機能：UC-win/Road で制御している自車の自動運転制御に関して、外部のソフトウエアからの通信によって目標速度、舵角情報などを受信し制御を行う機能を追加する。

② カメラ映像の送信・保存機能：UC-win/Road の車両にカメラセンサー機器を設置できるようにし、測定情報についてイーサネットを介して外部ソフトウエアに送信する機能を追加する。カメラセンサーから取得されるデータは、UDP 通信にて送信する。また、測定した画像をファイル形式で保存できるようにする。

③ オブジェクト検出機能の拡張：オブジェクト検出プラグインにて検出したオブジェクト情報をイーサネット介して外部ソフトウエアに送信する機能を追加する。送信するデータは、UDP 通信にて送信する。

(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

i)　ODD 不適合時の協調型システム活用のフィージビリティに関しての文献調査

EU-H2020 TransAID プロジェクト（期間：2017-2020、予算規模：約 4 億円）では、自動運転車両が ODD を逸脱する特定のエリアにおいて、インフラ装置が、ToC と MRM を支援する機構を、研究開発した[1][2]。このプロジェクトでは、まず図 364 に示す、TransAID サービスとユースケースを分類している。インフラ機器が、ToC と MRM を支援するサービスは以下の 5 つが定義された。

① インフラ機器が経路を送信するサービス

② スピード、向き、レーンのアドバイスをするサービス

③ 交通流の分離サービス

④ 安全な場所への誘導を管理するサービス

⑤ ToC をスケジュールして ToC/MRM を配布するサービス

TransAID プロジェクトでは、これらの提案を、フィールド実験によって有効性を検証し、さらに詳細なシミュレーションを行うことで、大規模な交通流においても有効性を示した。プロジェクト報告書[3][4]に詳細が報告されている。

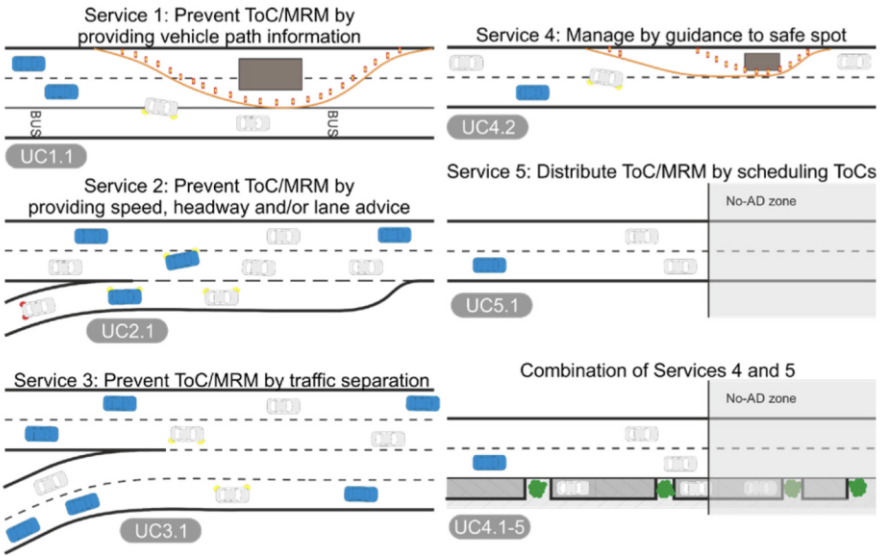


Fig. 1. Excerpt of investigated TransAID services and use cases. Blue vehicles are CAVs.

図 364　TransAID サービスとユースケース [1]

[1] J. Schindler, B. Coll-Perales, X. Zhang, M. Rondinone, and G. Thandavarayan, “Infrastructure-Supported Cooperative Automated Driving in Transition Areas,” in 2020 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Dec. 2020, pp. 1–8.

[2] J. Schindler, R. Markowski, and D. Wesemeyer, “Infrastructure Supported Automated Driving in Transition Areas – a Prototypic Implementation,” presented at the IEEE Connected and Automated Vehicles Symposium (CAVS), Oct. 2020.

[3] A. Correa et al., “TransAID Deliverable 5.2: V2X-based cooperative sensing and driving in Transition Areas (second iteration),” Mar. 2020, Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available: https://elib.dlr.de/140794/

[4] J. Schindler et al., “TransAID Deliverable 7.2: System prototype demonstration (iteration 2),” Feb. 2021, Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available:

https://elib.dlr.de/141008/

ii） ODD 不適合事例と協調型システムが有効となるシナリオの分析

2－2．Ⅰ1）で報告したアンケート調査結果に基づき、自立型自動運転システムでは ODD 不適合条件が生じやすく、レベル 4 自動運転を実現しようとする際にはインフラ等の外部情報を必要とする場面の抽出を行った。

場面①　：　駐車車両回避時の対向車線走行

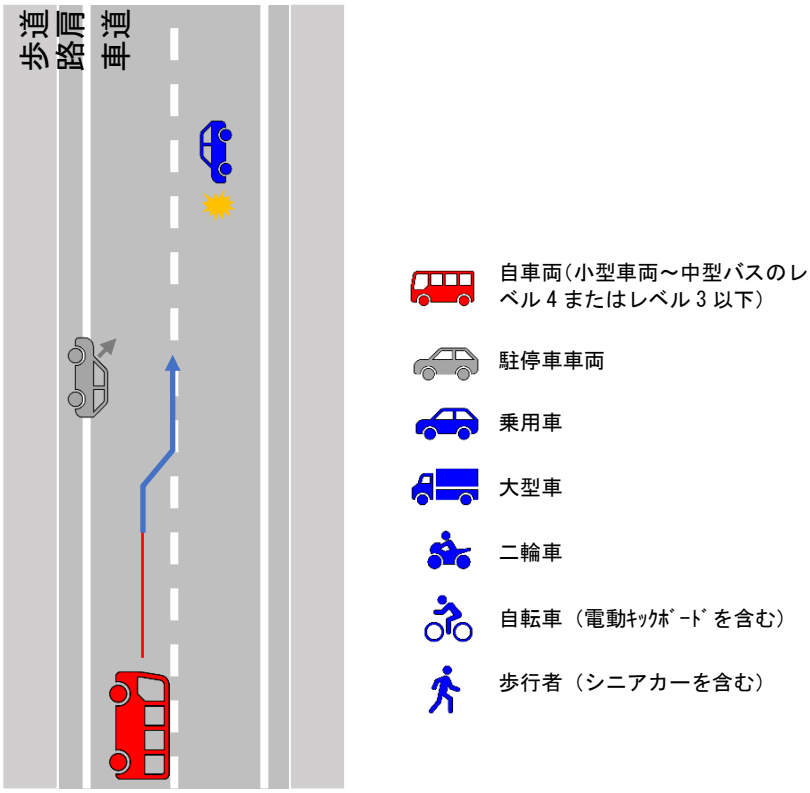


図 365　駐車車両回避時の対向車線走行

DDT：　走行路線上に駐車車両を検出した場合、対向車線上にはみ出して回避する

ODD：　(a)見通しの良い直線路であること

(b)駐車車両の回避に十分な幅員があること

(c)対向車が検出されていないこと

(d)駐車車両付近では徐行すること

駐車車両回避場面においては、対向車および車両死角からの飛び出しに注意する必要があり、その両者に対するセンシングおよび安全対策を十分に行う必要がある。そして、死角からの飛び出しに対応しようとする場合、駐車車両が大型になればなるほど死角も増大するために、自動運

転車両は徐行する必要性が高まる。この時、通過に要する時間が増大するために、対向車を検出する必要距離も増大することで、対向車の未検出率も高まり、ODD 不適合状態が生じやすい。特にレベル 4 自動運転では、追い越し中に対向車を検出できたとしても、自動運転車両が自律的に後退や退避走行を実施できる可能性は低く、MRM が十分に機能しない可能性が高い。よって、インフラ側センサーによる長距離センシングや、一時的な信号機の制御等が有効だと考えられる。

場面②　：　右折時の横断者

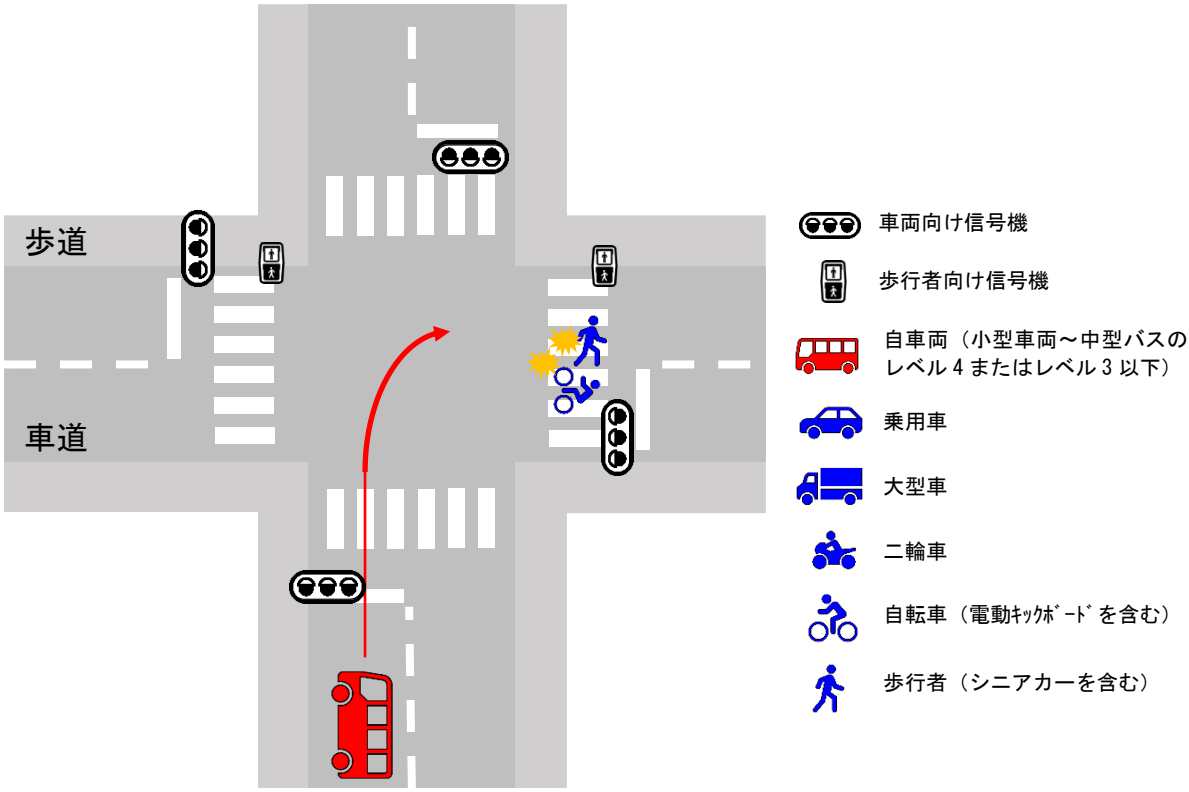


図 366　右折時の横断者

DDT：　右折先横断歩道を超えて進行する

ODD：　(a) 信号機により制御される交差点であること

(b) 歩道を遮る障害物がないこと

(c) 対向車が検出されていないこと

(d) 横断歩道付近に歩行者・自転車等が検出されていないこと

右折場面においては、右折先の横断歩道周辺に横断者がいないことを確認したうえで、交差点内に進行し、右折を実施する必要がある。センシング技術には限界がるため、横断待機中の歩行者を横断者と誤認したり、交差点周辺の建物などのペイントを横断者と誤認したりする場合がある。この場合、自動運転車両は交差点内で待機したまま進行できなくなるという問題がある。よ

って、インフラ側センサーによる高度な横断者移動予測、横断者の横断意図を判別しやすくするような交差点設計や、歩車分離信号、等の導入が必要となる。

場面③　：　非優先道路・死角からの 2 輪車飛び出し

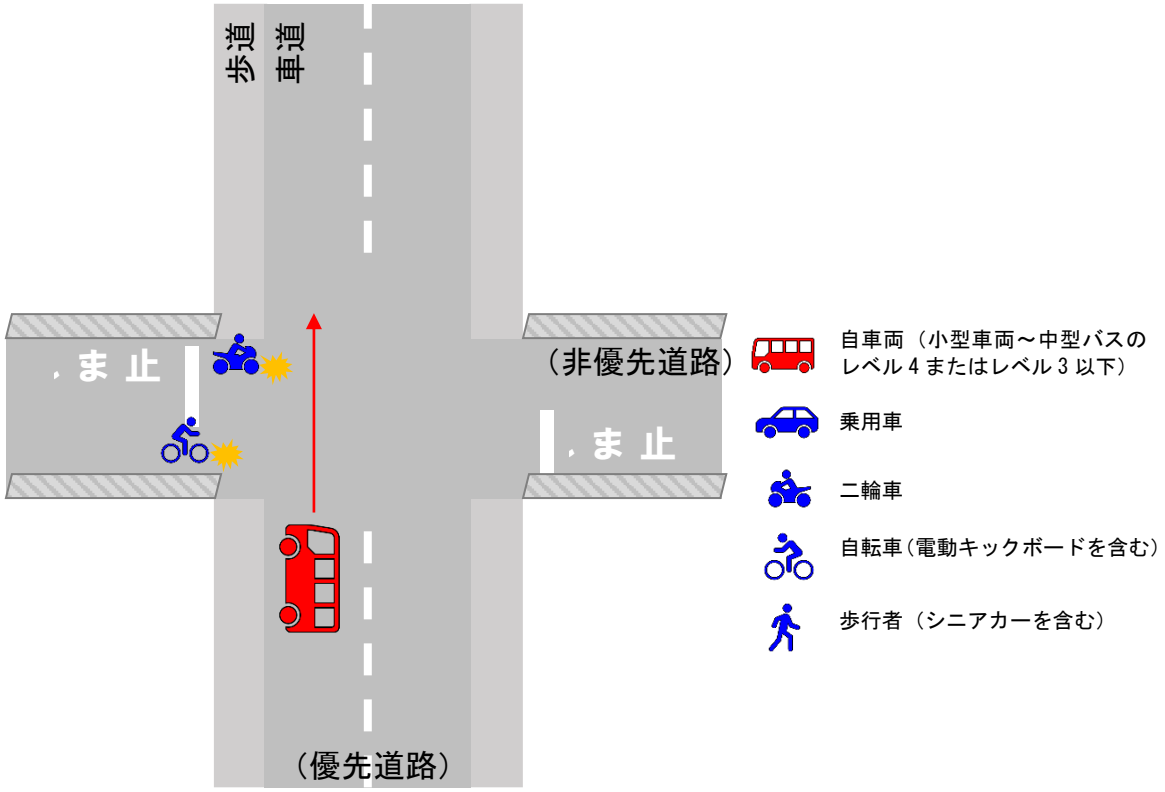


図 367　非優先道路・死角からの 2 輪車飛び出し

DDT：　単路部を巡行する

ODD：　(a) 自車線が優先側の交差点であること

(b) 横断歩道が存在しない

非優先側の道路からの飛び出しに対しては、衝突被害軽減ブレーキのような緊急停止機能を備えるほかに、危険が予測される地点では減速して走行する等の事前対策が考えられ、自動運転が実現できる可能性は高い。一方で、人間であればミラー等を活用し 2 輪車や自転車の飛び出しを事前に予測することも可能であり、これと同等の予見能力を自動運転車両も備えていることが望ましい。よって、死角部分を監視するカメラや LiDAR 等のセンサーを設置することで、より安全性を高める方法が有効である。

第 3 章　仕様項目間共通で実施した事項

3－1.　テーマ 4 内の推進体制の整理

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

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。

本年度は取組初年度として、混在空間におけるレベル 4 自動運転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ることとし、月 1 回程度開催を行った。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、着実な成果を得る工夫をおこなった。

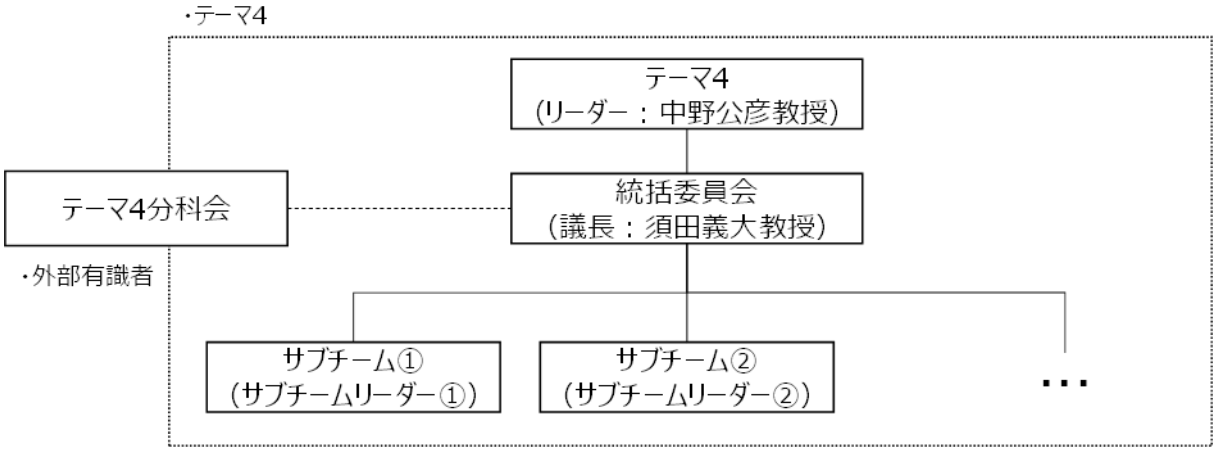


図 368　テーマ 4 のガバナンス体制

表 137　テーマ 4 における主な会議体とその概要

	目的	開催頻度	成果
テーマ4分科会	• テーマ4の効果的・効率的な推進のため • 推進状況について外部の有識者 • 関係者よりご意見を伺う	1月～3月にかけて2回実施 （＋個別ヒアリング・ディスカッションを実施）	テーマ4の目標や推進体制、取組状況ならびに取組方針への意見を集約し、対応を整理 テーマ4全体の進捗を把握し、分科会、WG、テーマリーダー会議、推進委員会、継続委員会への対応　等
統括委員会	• テーマ4全体の意思決定・承認 • テーマ4全体の進捗管理 • 各サブチーム間の連携サポート • 新規参加者の加入承認 • 対外発表等の承認　など	月に1回程度	テーマ4全体の意思決定・承認の実施（新規加入団体の承認等）、各サブチームの課題共有・協議、テーマ4全体の方針・進捗の共有　等
統括委員会WG	OEM・インフラメーカが会した、協調型システムによるレベル4自動運転の実現のための、実践的解決方法に向けた検討の実施	1月～3月にかけて2回実施	協調型システムが必要なユースケースおよび提供される情報の必要要件の整理、23年度の実証実験の協調型システムの設計へつなげる　等
日立BRT検討WG	（テーマ2主催会議にテーマ4からも出席）		
協調型システム検討・評価サブチーム会議	• サブチームとしての方針検討 • 各グループ進捗確認 • 関連する話題提供、など	月に1回程度	サブチーム内での方針・進捗の共有、サブチーム外（テーマ2等）への交渉アイテムの明確化
国際・国内連携サブチーム会議	• 情報共有（国内・海外での関連動向等） • サブチーム内ユニットの各活動状況の共有、など	月に1回程度	サブチーム内での方針・進捗の共有
データ連携サブチーム会議	• サブチームとしての方針検討 • 進捗確認 • サブチーム内ユニット間の擦り合わせなど	月に1回程度	サブチーム内での方針・進捗の共有
新モビリティ・都市サービス活用検討サブチーム会議	• サブチームとしての方針検討 • チーム内各ユニットの進捗確認及び意見交換など	月に1回程度	サブチーム内での方針・進捗の共有
事業モデル検討サブチーム会議	• 事業モデル検討サブチーム連携 • 事業モデル検討にあたっての意見交換・協議 • 進捗確認など	月に1回程度	サブチーム内での方針・進捗の共有

3－2.　テーマ 4 統括委員会

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て設定したものである。統括委員会の役割として、主に以下の項目を行うこととした。

- テーマ 4 全体の意思決定と承認
- テーマ 4 全体の進捗管理
- 各サブチーム間の連携サポート
- 各サブチームの報告を受けた内容・方向性の論議
- 新規参加者の加入承認
- 知財、対外発表等の承認、広報活動
- その他重要な案件の審議

なお、統括委員会メンバーは、各サブチームリーダー、受託コンソーシアムの代表者を中心に選定し、技術的な検討と事業モデル的な検討の融合の場であり、多角的な視点で議論ができることも考慮し、メンバーを構成した。

表 138　テーマ 4 統括委員会名簿

メンバー	立場	備考
須田 義大	議長	東京大学 テーマ 4 議長
森川 高行	副議長	名古屋大学
山本 昭雄	アドバイザー	ITS Japan 専務理事
城山 英明	委員	東京大学
出口 敦	委員	東京大学
中條 覚	委員	三菱総合研究所
中野 公彦	委員	東京大学 テーマ 4 プロジェクトリーダー
内村 孝彦	委員	東京大学　国際・国内連携チームリーダー
小竹 元基	委員	東京大学　協調型システム検討・評価チームリーダー
大口 敬	委員	東京大学　事業化モデルチームリーダー
高田 広章	委員	名古屋大学　データ連携チームリーダー
岸本 光弘	委員	産総研　新モビリティ・都市サービス活用検討チームリーダー
事務局メンバー	事務局	

本年度は、毎月 1 回以下の通り開催した。

表 139　統括委員会の開催記録

	候補日	備考
第 1 回統括委員会	2021年8月30日（月）18:00-20:00	
第 2 回統括委員会	2021年9月13日（月）18:00-20:00	開催日時は確定
第 3 回統括委員会	2021年9月27日（月）18:00-20:00	開催日時は確定
第 4 回統括委員会	2021年10月18日（月）18:00-20:00	議長の都合により変更
第 5 回統括委員会	2021年11月29日（月）18:00-20:00	
第 6 回統括委員会	2021年12月27日（月）18:00-20:00	
第 7 回統括委員会	2022年1月31日（月）18:00-20:00	
第 8 回統括委員会	2022年2月28日（月）18:00-20:00	
第 9 回統括委員会	2022年3月28日（月）18:00-20:00	

3－3. テーマ 4 分科会

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したが、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。

分科会を構成する委員名簿は以下の通り。

表 140　テーマ 4 分科会委員名簿

注：☆印はテーマ 4 構成員

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	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	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	Road to the L4 コーディネーター
	鎌田　実	自動走行ビジネス検討会座長	
	葛巻　清吾	内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）　自動運転担当　自動運転担当　プログラムディレクター（PD）	
	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）　研究開発本部長	
	☆内村　孝彦	東京大学生産技術研究所	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	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	テーマ 4 事業モデル検討サブチームリーダー
	☆高田　広章	名古屋大学未来社会創造機構	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	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	福永　茂和	経済産業省製造産業局自動車課 ITS・自動走行推進室長	
	井澤　樹	経済産業省製造産業局自動車課 ITS・自動走行推進室　課長補佐	
	荒木　雄一	内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 参事官(社会システム基盤)付 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動運転担当　上席政策調査員	
	塩野　亜由美	警察庁交通局交通企画課専門官	
	江原　真一郎	総務省総合通信基盤局電波部移動通信課　新世代移動通信システム推進室　課長補佐	
	成島　大輔	国土交通省道路局道路交通管理課　高度道路交通システム（ITS）推進室　課長補佐	
	武内　和治	国土交通省自動車局　技術・環境政策課　係長	
事務局		東京大学	－
		三菱総合研究所	－

分科会を開催することにより、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。

なお、本年度は 2 回の分科会を開催し、1 回目と 2 回目の分科会の間には委員への個別ヒアリングを行い、分科会の場で拾いきれないご指摘を直接受けながら、テーマ 4 の取り組み内容についてより理解を深めていただく機会とした。

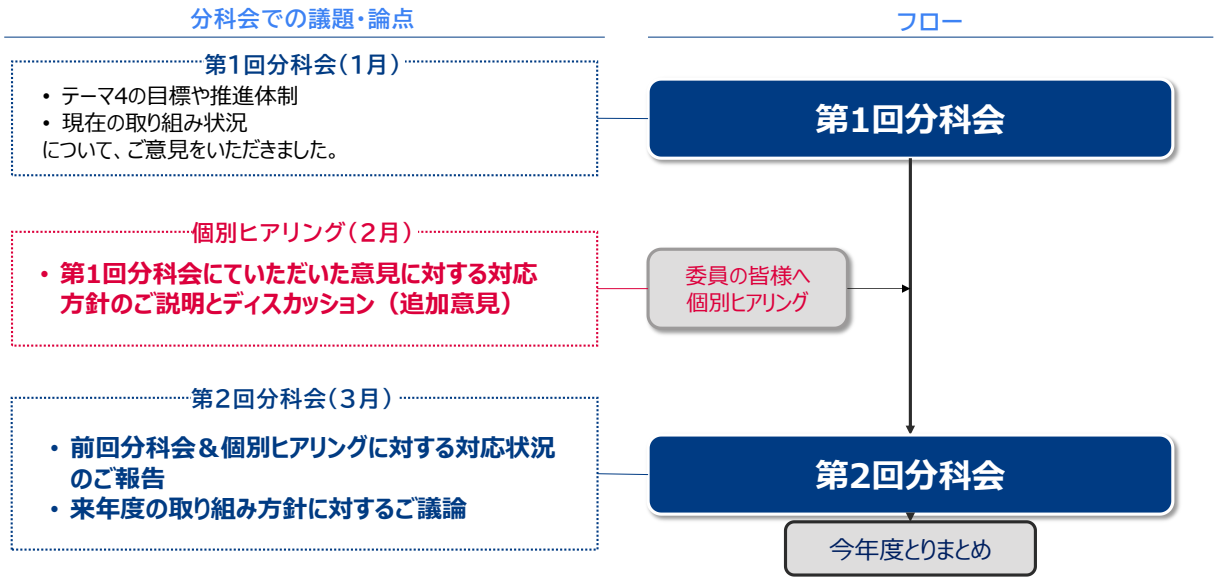


図 369　本年度分科会の進め方

3－4. テーマ４統括委員会ワーキング（WG）

テーマ４のメインの取り組み課題である協調型システムは、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ことが期待される。そのためには、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、協調型システムの検討を進めるための意見をまとめる活動が不可欠である。

そのような活動を行う場として、当 WG を設置し、自動車 OEM、信号機・インフラメーカーの研究開発者、および、テーマ４研究実施者が会して、実践的解決方法に向けた検討を行った。

統括委員会ワーキングを構成する委員名簿は以下の通り。

表 141　統括委員会ワーキング委員名簿

注：☆印はテーマ４構成員

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	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	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	Road to the L4 コーディネーター
委員	山本　信	トヨタ自動車株式会社 コネクティッド統括部　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　チーフエンジニア	
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 主任研究員	
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	大西　三男	株式会社 IHI 産業システム・汎用機械事業領域 事業推進部　主幹	
委員	見並　一明	ITS Japan　理事	
委員	瀬川　雅也	先進モビリティ株式会社　取締役	
委員	☆内村　孝彦	東京大学生産技術研究所	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	テーマ 4 協調型システム検討・評価サブチームリーダー

役職	氏名	所属・部署・役職	立場
委員	☆大口 敬	東京大学生産技術研究所	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	テーマ４データ連携サブチームリーダー
委員	☆岸本 光弘	国立研究開発法人産業技術総合研究所	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		経済産業省	－
事務局		東京大学	－
事務局		株式会社長大	－
事務局		株式会社三菱総合研究所	－

統括委員会ワーキングにおける本年度のアプトプットとして、以下の 2 つの観点に取り組み、テーマ 4 で行う以下の活動の成果に対し、本 WG を通じて自動車 OEM、信号機・インフラメーカーから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なるよう議論を行った。

一つ目の観点として、レベル 4 自動運転サービスを運行するために、協調型システムから提供して欲しい情報を整理することを行った。例えば、レベル 4 自動運転サービスにおける自律と協調型システムの役割分担や、協調型システムで解決することが望ましい課題と必要な情報を検討し、協調型システムの活用が期待されるユースケース選定に活用した。

もう一つの観点として、協調型システムに求められるサービス要件・通信要件（性能要件、信頼性、責任分担等）を整理するための考え方を検討した。本格的な要件検討は来年度以降引き続き行う予定であるが、サービスカーでの協調型レベル 4 自動運転の実現のための要件や、レベル 3 以下のオーナーカーやその他のモビリティにおいて協調型システムを運転支援として活用するための要件の検討が必要であることをワーキングメンバー間で合意し、来年度の議論の前提を揃えた。

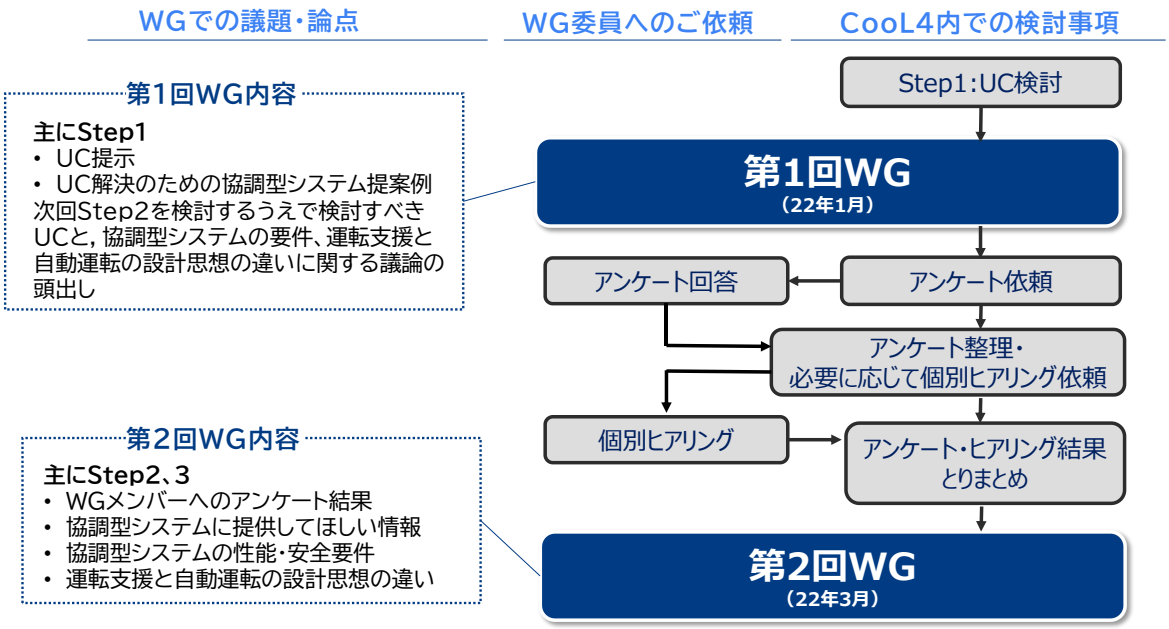


図 370　本年度ワーキングの進め方

3－5.　来年度に向けた実施事項

今年度は 2025 年に向けた最初の 1 年目として、協調型レベル 4 自動運転サービスの実現に向けた課題の整理を行うことができた。本事業最初の 2 年間は（R3-4 年度）の目標は、2023 年度中にレベル 3 以上の認証を受けた車両で実証実験を開始することである。

来年度は、2023 年度の本格実証に向け、基礎的な検証や検討を終わらせるため、協調型システムでの実現を目指すテーマ 4 において、優先して実施すべき項目を、以下の 4 点を中心に、選定しているところである。これらの項目を中心に本事業を進める。

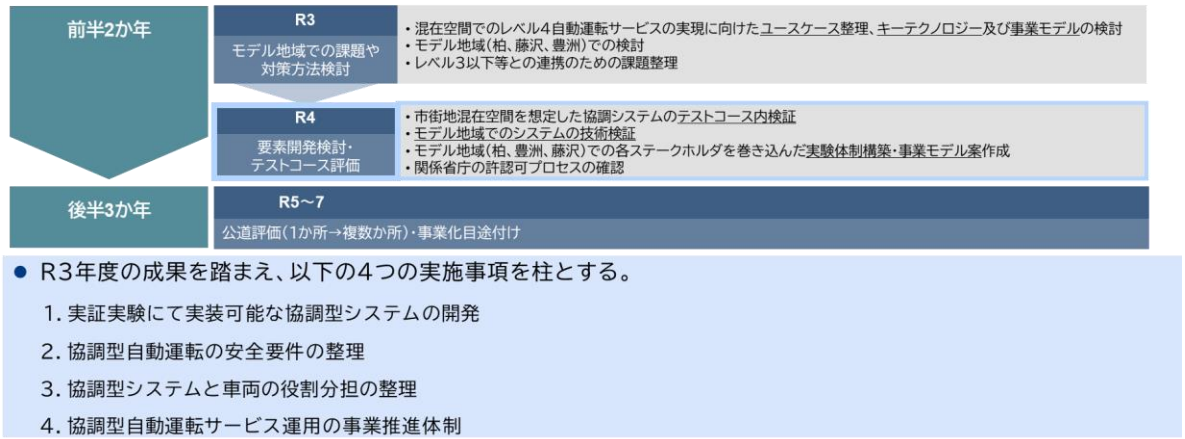


図 371　来年度の進め方イメージ

ⅰ） 実証実験にて実装可能な協調型システムの開発

実証実験に活用できる協調型システムの開発・評価には統括委員会 WG などの機会を通じて自動車 OEM と連携し、今年度の成果である協調型を活用するユースケースに対し、インフラ等の要求仕様など、技術的な詳細検討を取りまとめ、協調型路側機やデータ連携 PF の構築につなげる。

また、信号連携、インフラ協調、セキュリティなどの項目においては、SIP-adus にて検討されているものも多いため、SIP の成果は最大限活用し、効率的に技術開発を進める。

さらに、テーマ 2 との連携をとるべき研究開発事項も増えることが予想されるため、コンソ等と連携を取りテーマ 2 と連携を深める。

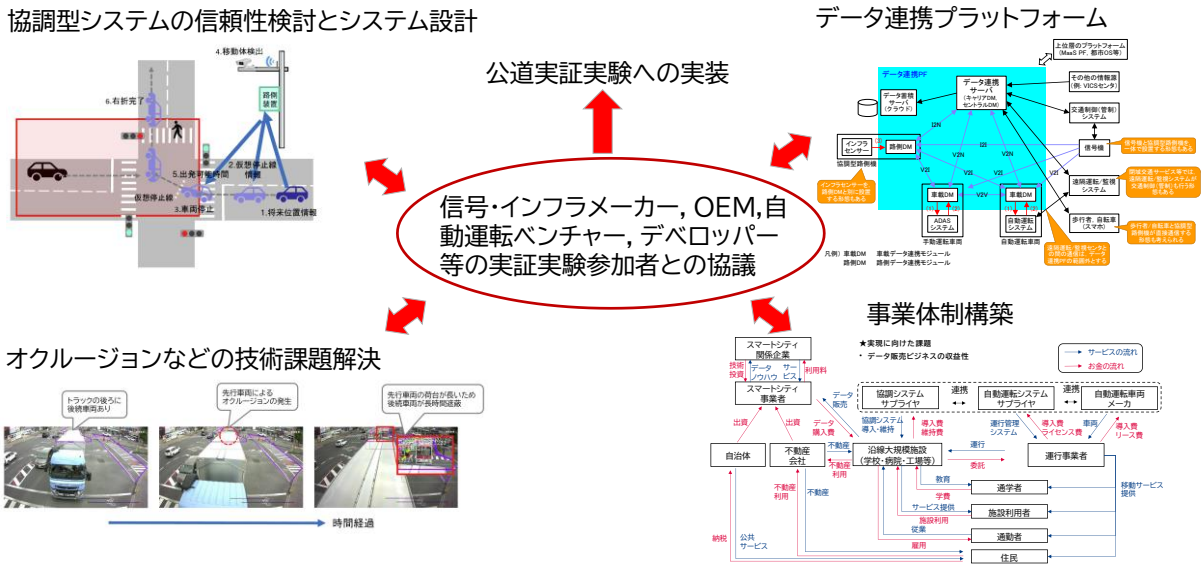


図 372　実証実験に実装可能な要素技術開発とシステム設計

ⅱ） 協調型自動運転の安全要件の整理

インフラ側の性能を維持する仕組み（定期的なメンテナンス）や性能担保のための冗長化や、安全設計のポイントや評価方法(セーフティーアセスメント)の整備をテーマ 2 と連携し推進する。

ⅲ） 協調型システムと車両の役割分担の整理

統括委員会 WG において、協調型システムと車両の間の役割分担について、OEM とインフラメーカーと合同で実践的な議論を開始する。

ⅳ） 協調型自動運転サービス運用の事業推進体制

2025 年に向けた事業モデル検討について、より実フィールドを想定した深堀をする。

まずは、柏の葉地区での協調型自動運転サービスに向けた事業体制構築のため、関係するステークホルダーのニーズを確かめながら柏の葉における事業モデルを具体化し、次年度以降の公道実証に向けた体制づくりを行う。

豊洲・藤沢地区などテーマ 4 における他のモデル地域や、日立など他テーマにおけるモデル地域においても本テーマにおいて検討した事業モデルの適用可能性を検討する。

CooL4 データ連携 PF API 仕様（案）
version 0.6.0

最終更新日：2022 年 3 月 13 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. データフォーマットの仕様化方針 4
4. 物標情報のデータフォーマット 5
4.1 基本方針 5
4.2 データフォーマット 5
4.3 物標 ID の構成 9
4.4 位置の表現方法 10
4.5 論点 13
5. フリースペース情報のデータフォーマット 14
5.1 基本方針 14
5.2 フリースペースの表現の考え方 14
5.3 データフォーマット 15
5.4 論点 16
6. 信号情報のデータフォーマット 18
6.1 基本方針 18
6.2 データフォーマット 18
6.3 信号灯器 ID の構成 20
6.4 地図に対する要求 21
6.5 論点 21
7. データ型の定義 23
8. 物理フォーマットとの関係 34
付録 A. 既存のデータフォーマットとの関係 35
付録 B. バージョン履歴 39

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。

現時点では，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のみを規定している。

- 物標情報
- フリースペース情報
- 信号情報

2. 参照文献

[1] CooL4 データ連携アーキテクチャ案.

[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.

3. データフォーマットの仕様化方針

データフォーマットの仕様化にあたって，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 2 σ）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。

4. 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。

4.1 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。

4.2 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する。

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。

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。

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。

4.3 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）

4.4 位置の表現方法

位置は，次の 4 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
- 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，4 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

- 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_測地系」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

指定された測地系に基づく高さ。

表現方法は，文献[2]の DE_Altitude を採用する。

CRP ID

物標の近傍にある 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。

4 つの位置表現方法は，以下のように使い分ける。

(1) レーンレベル地図を持たず，マップマッチングを行わない場合

経度緯度高さと位置精度のみを用いる。位置精度の決定方法は，位置を求めた方式に依存する。例えば，GNSS により位置を求めている場合には，測位の状況から位置精度を決める。

(2) レーンレベル地図とマップマッチングを行うが，CRP の情報を持たない場合

経度緯度高さ，レーン数，レーン番号，レーン内位置，位置精度のみを用いる。レーン内位置は用いなくても良い。マップマッチングによる位置精度は，用いている地図の精度と，マップマッチングの精度から決める（おおよそ，両者を加えた値になる）。

(3) CRP の情報を持つレーンレベル地図とマップマッチングを行う場合

前記に加えて，CRP＋オフセットと縦方向位置を用いる。近傍に CRP がない場合には，CRP＋オフセットは不明として良い。

(4) 標準地図とマップマッチングを行う場合

すべてのデータ項目を用いる。近傍に CRP がない場合には，CRP＋オフセットは不明として良い。

4.5 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，4 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？

5. 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。

5.1 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。

5.2 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。

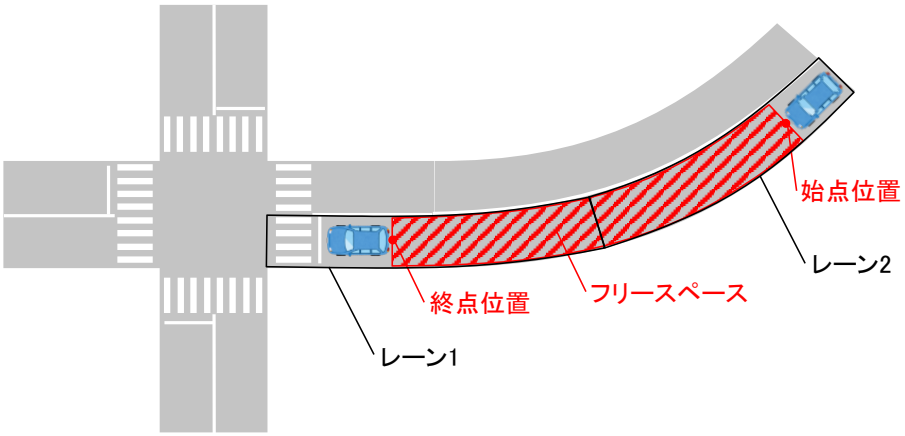


図 1. フリースペースの表現

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。

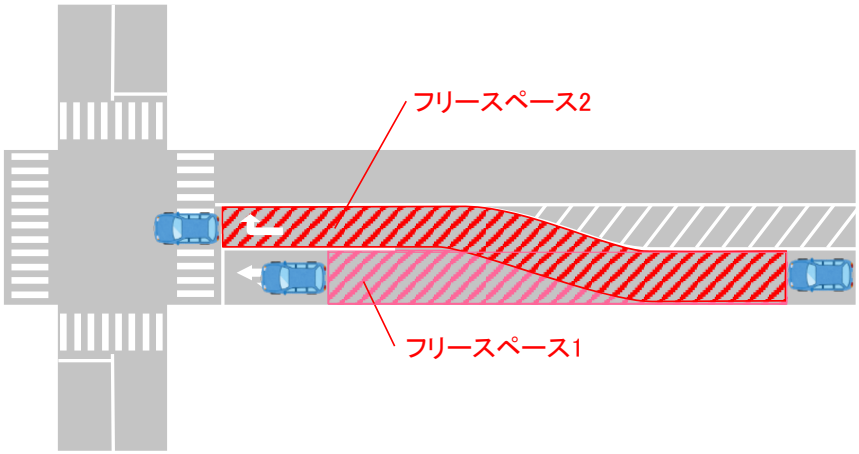


図 2. 分岐するレーンのフリースペース

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。

5.3 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。

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。

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。

5.4 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。

6. 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。

6.1 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。

6.2 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。

6.3 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）	0 0 0 0

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。

6.4 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。

6.5 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。

7. 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:　　背面の中心の地面位置
4:　　右側面の中心の地面位置
5:　　左側面の中心の地面位置

認識した物標のどの部分/面が見えているかで，どこを参照位置とするかを変えることを想定している。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_測地系（独自定義, DE_GeodeticSystem）

位置の表現に用いる測地系の種類。

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。

4326: WGS84（緯度経度）
6668: JGD2011（緯度経度）

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

８．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。

付録 A. 既存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

CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）
version 0.6.0

最終更新日：2022 年 3 月 14 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 2
5. 関連仕様の位置づけ 5
5.1 CooL4 データ連携 PF API 仕様 5
5.2 CooL4 通信インタフェース仕様 5
5.3 CooL4 協調型路側機仕様 6
付録 A. バージョン履歴 6

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)。

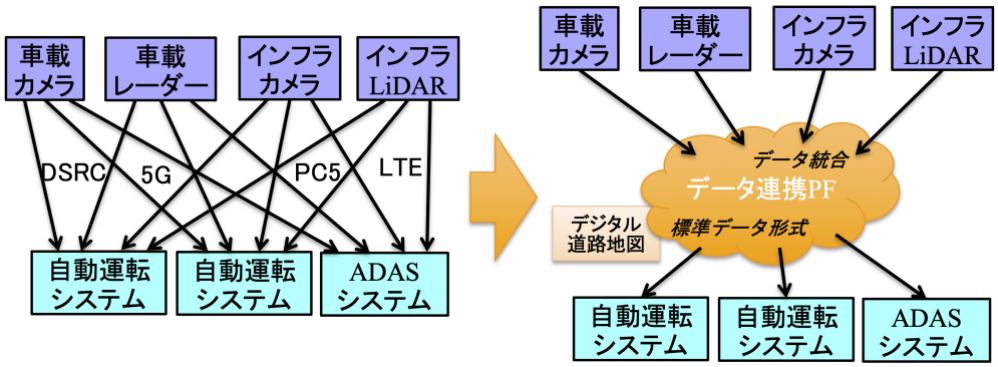


図 1. データ連携プラットフォームの必要性

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。

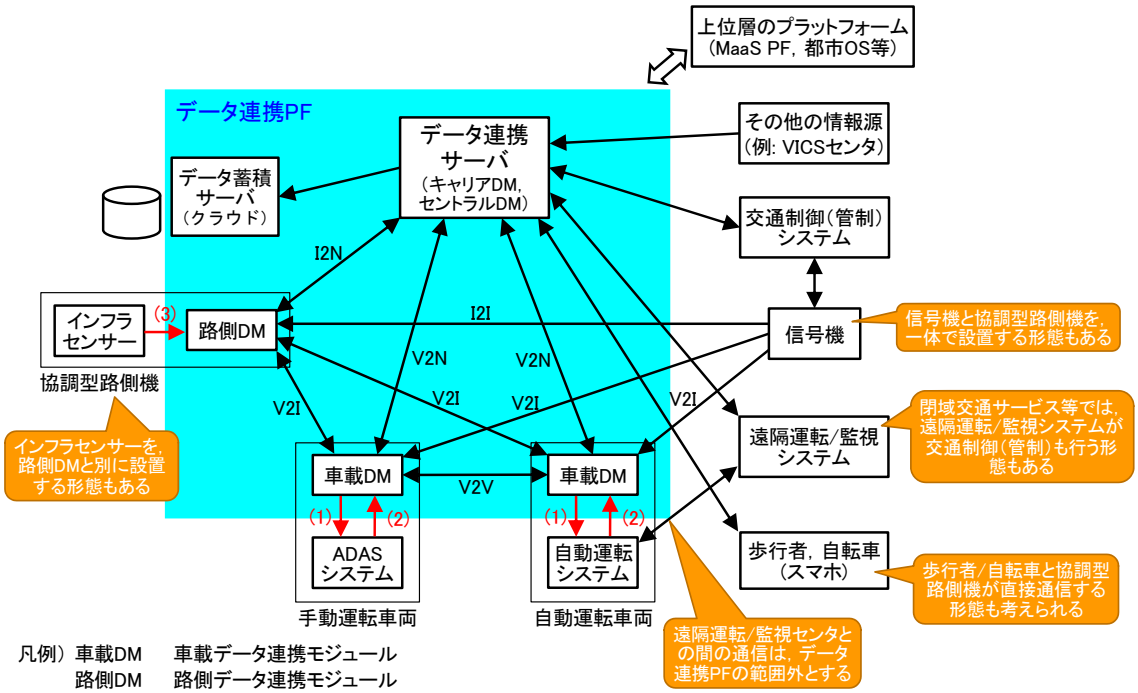


図 2. CooL4 データ連携アーキテクチャ

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。例えば，コストダウンのために，車両が V2N 通信を使用しない場合や，信号機が V2I 通信と I2I 通信を使用しない場合も考えられる。

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)，データ蓄積サーバ(データ連携 PF が扱った情報を保存する場合のみ)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，クラウドサーバまたはモバイルエッジサーバで動作する。

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。さらに，データ連携 PF が扱った情報を保存する場合には，保存すべき情報をデータ蓄積サーバに渡す。

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。

現時点では，データ連携サーバを動作させるために，クラウドサーバを用いるか，モバイルエッジ（MEC：Mobile Edge Computing あるいは Multi-purpose Edge Computing）サーバを用いるか，あるいは，データ連携サーバの機能を分割して両者を用いるかは未定である。自動運転システムがデータ連携 PF に求める要件や，車載/路側 DM との間の通信品質を考慮して，検討していく。

データ蓄積サーバ

データ蓄積サーバは，データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで，クラウドサーバで動作する。データ連携 PF が収集・統合した情報を保存する場合にのみ必要となる。

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。閉域交通サービス等では，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. 関連仕様の位置づけ

5.1 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，信号情報を考える。

(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を規定している。

5.2 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。

5.3 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

CooL4 協調型路側機仕様(案)
version 0.6.0

最終更新日: 2022 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
5.3 物理ユニット配置 11
7. 検討スケジュール 12
7.1 （Phase 1） 物標情報統合 12
7.2 （Phase 2） センサデータフュージョン 12
7.3 （Phase 3） 走行調停支援 12
8. 今後の検討課題 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．

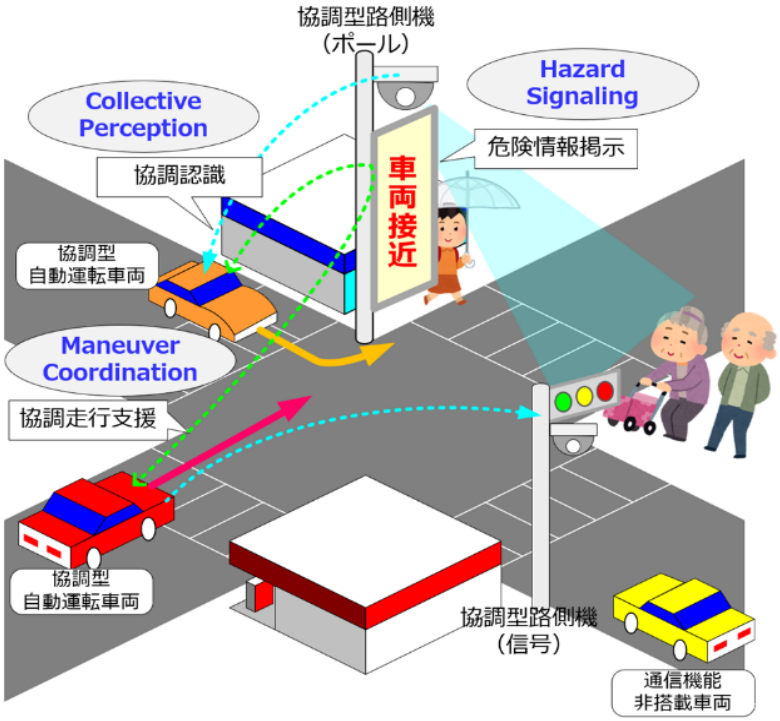


図 1：協調型路側機の機能

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．

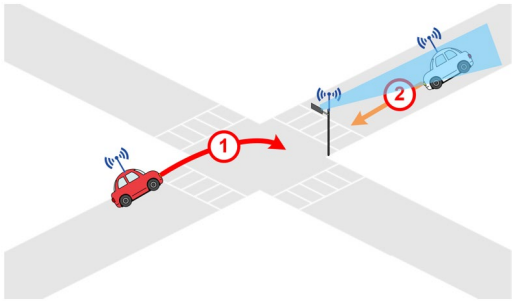


図 2.1 検討ユースケース:交差点右折

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．

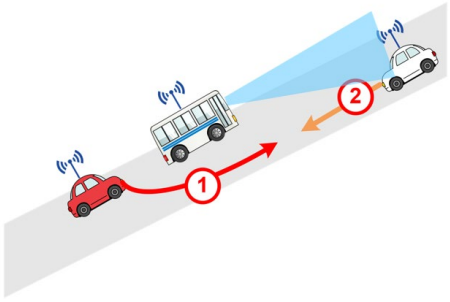


図 2.2 検討ユースケース:停止車両追越し

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．

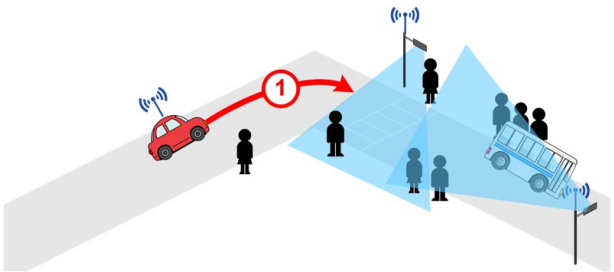


図 2.3 検討ユースケース:周辺歩行者状況把握

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．

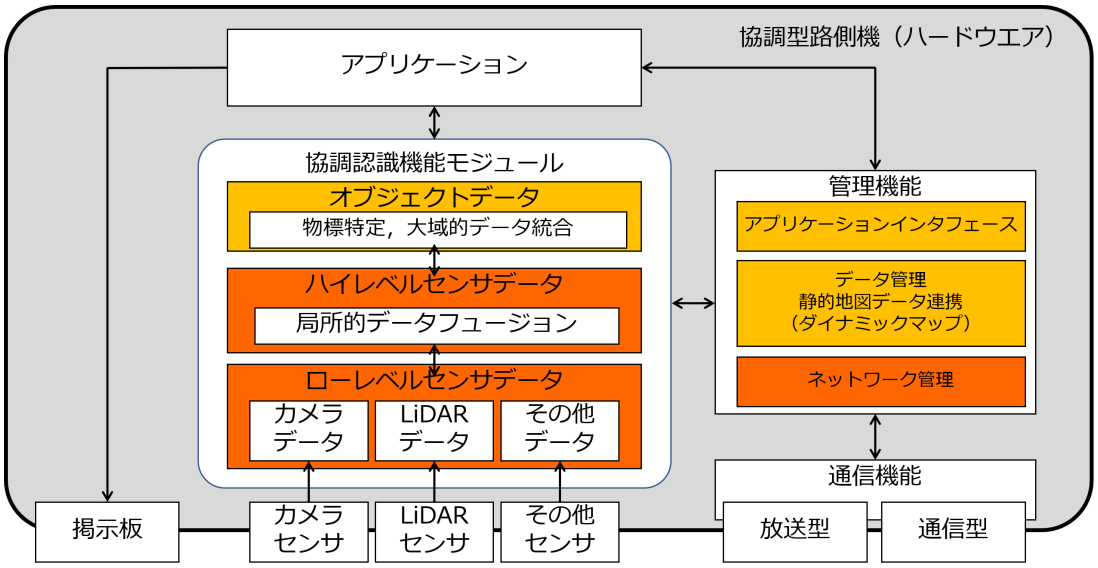


図 6 協調型路側機内部構成

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．

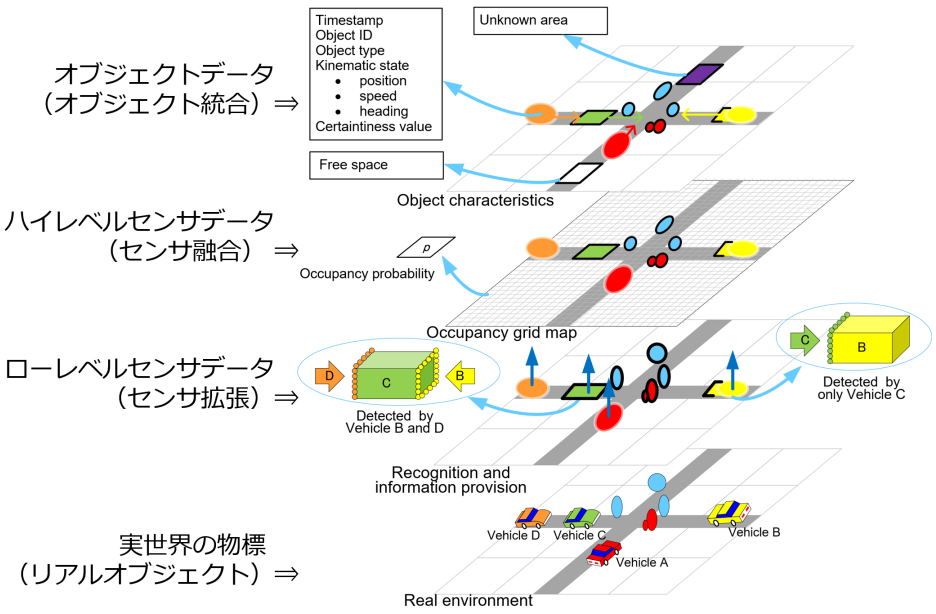


図 7 センサ融合の階層イメージ

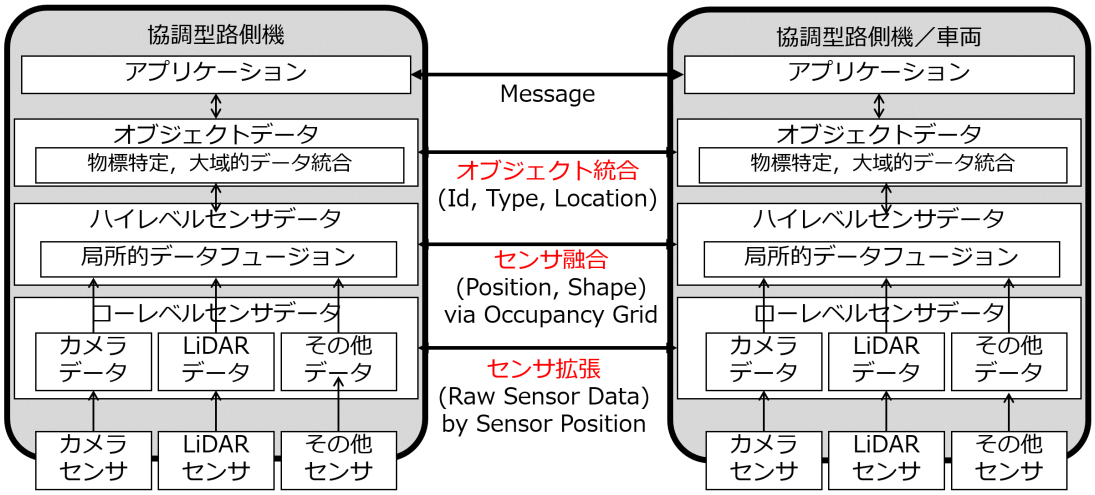


図 8 複数の協調型路側間，あるいは車両との連携イメージ

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．

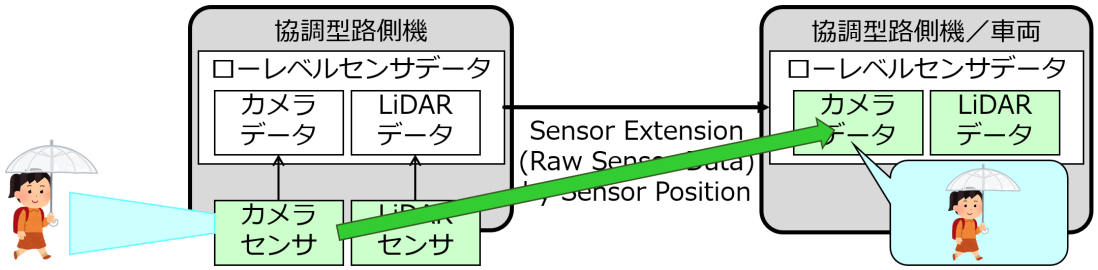


図 9 センサ拡張(Sensor Extension)

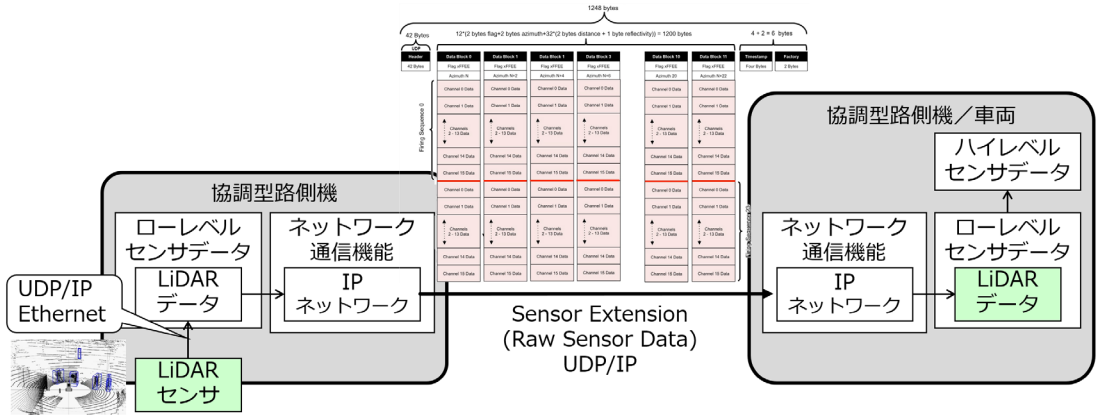


図 10 センサ拡張における LiDAR の例

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．

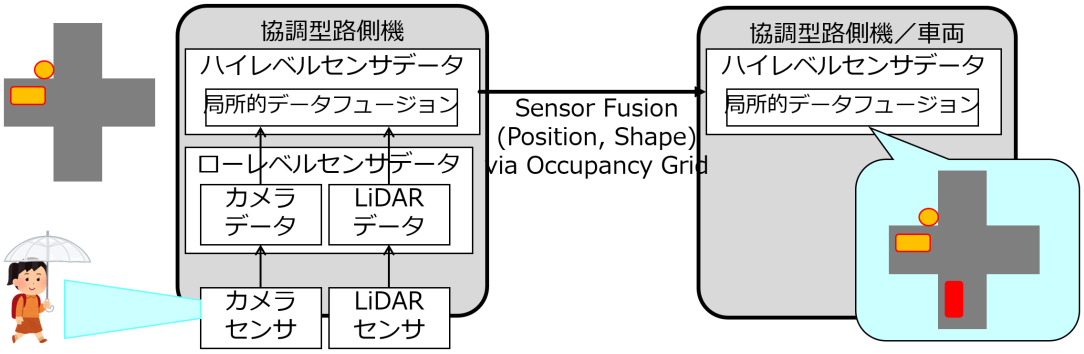


図 11 センサ融合（Sensor Fusion）

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．

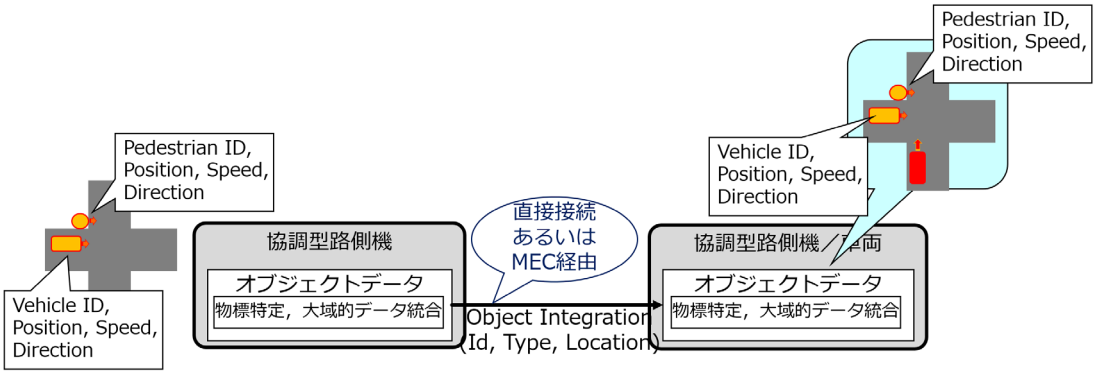


図 13 オブジェクト統合（Object Integration）

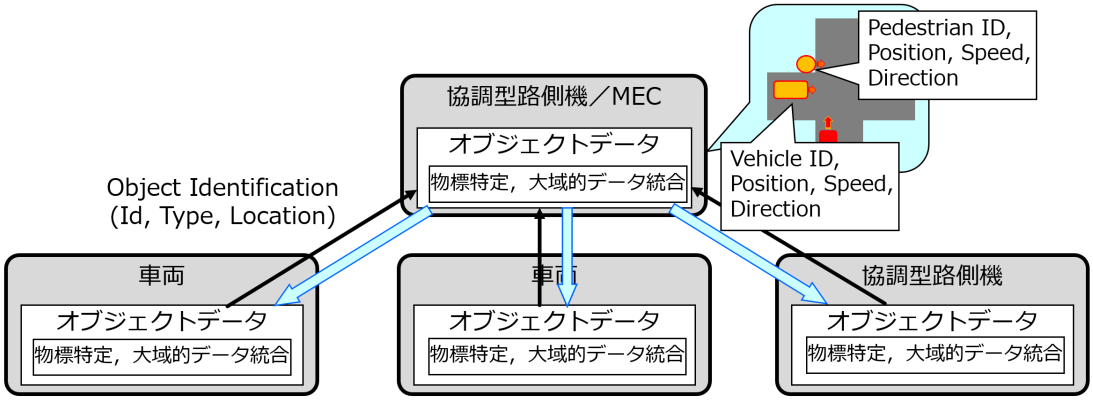


図 14 複数ノード連携による大域的データ（オブジェクト）統合

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．

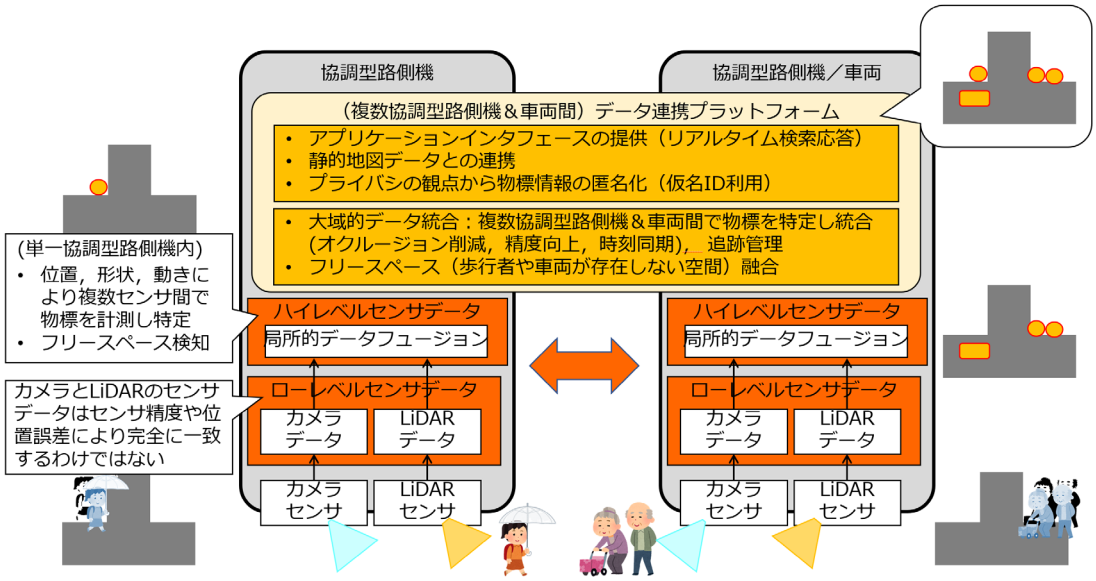


図 15 データ連携プラットフォーム位置づけ

5.3 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．

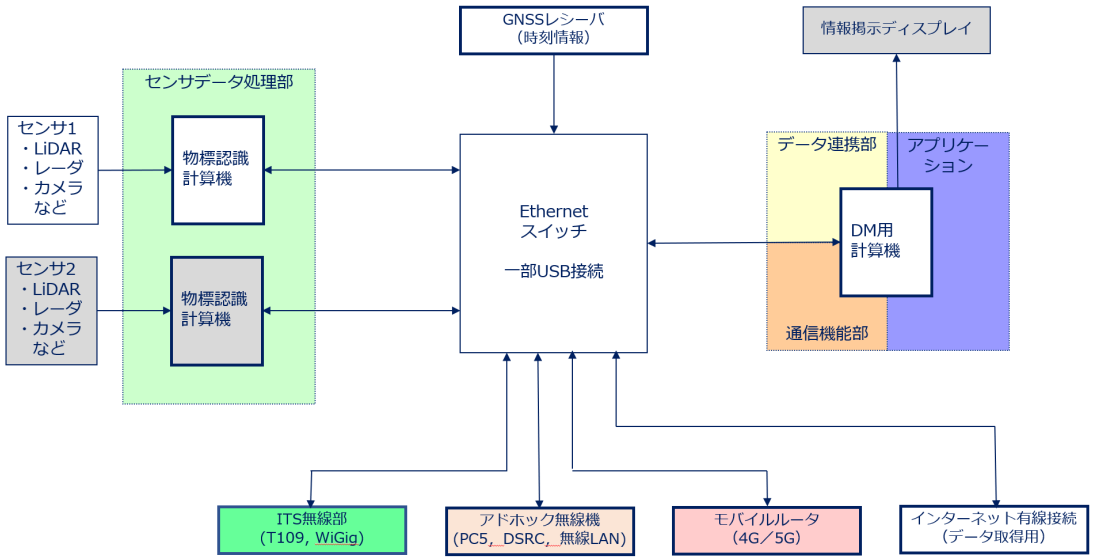


図 18 協調型路側機の物理ユニット配置の一例

7. 検討スケジュール

7.1 (Phase 1) 物標情報統合

- 期間を 2021 年度(～2022 年度:実証実験, 評価・検討)とする.
- 協調型路側機における物標情報(フリースペースを含む)の管理・配信を行う.
- 車両と協調型路側機の携帯電話網による通信 and/or 協調型路側機から車両へ ITS 無線を利用したブロードキャストを利用する.

7.2 (Phase 2) センサデータフュージョン

- 期間を 2022 年度(～2023 年度:実証実験, 評価・検討)とする.
- 複数の協調型路側機および車両のセンサデータの融合を行う.
- 物標の追跡(トラッキング)を行う.
- 車両と協調型路側機のアドホック通信(PC5, DSRC, 無線 LAN アドホック)の追加を行う.

7.3 (Phase 3) 走行調停支援

- 期間を 2025 年度までとする.
- 車両のパスプランによる走行調停を行う.
- 信頼性向上のための複数通信手段の併用(QoS 予測)を行う.

8. 今後の検討課題

本仕様書に記載できていない今後の検討課題は主に次のような項目が挙げられる.

- オブジェクト統合の結果としてのデータの論理形式は現在の API 仕様で規定されるが, これ以外のセンサ拡張, センサ融合のデータ形式については未検討である. センサ拡張のデータ形式はセンサ側で決定されている大きく仕様に依存するが, センサ融合については占有グリッド等が考えられ, アルゴリズムも含めて検討する必要がある. まずは, オブジェクト統合のみとして開発を進める.

- 単一の協調型路側機に複数のセンサが搭載される場合, それらのセンサ情報の融合については, 当該協調型路側機メーカに委ね, オブジェクト統合結果を受け渡すものとする.

- 車両と協調型路側機の間の通信の信頼性向上のため, 複数の通信手段の併用(あるいは適切な切替)が望ましいが, 具体的な手法については検討できていない. まずは単一で特定の通信手段を想定し開発を進める.

- 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が, 具合的なアルゴリズムやパラメータについてはまだ研究段階であり, 別途設定する必要がある.

- 通信機能を搭載していない車両, あるいは, 歩行者に対して, 掲示板により状況を通知するが, 通知すべき状況および通知する内容については検討できていない.

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

CooL4 通信インタフェース仕様（案）
version 0.6.0

最終更新日： 2022 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 4
1.1 全体構成 4
1.2 ITS ステーションアーキテクチャ 5
1.3 ネットワーク接続構成 6
2. ネットワーク利用形態 8
2.1 データ連携システムの通信種別 8
• IP ジェネラル 8
➢ 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） 8
➢ MEC が複数ある場合は DM2 モバイルの仕組みを利用 8
• 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） 8
➢ 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） 8
➢ 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 8
➢ 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） 8
• DM2 モバイル（車両と路側機の間） 8
➢ 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 8
➢ 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 8
➢ 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 8
• 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） 8
➢ 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） 9
2.2 IP ジェネラル 9
2.3 SP ブロードキャスト 9
2.4 DM2 モバイル 10
2.5 DM2 アドホック 11
3. ネットワーク機能 12
3.1 ネットワーク接続形式 12
3.2 ネットワーク接続手順 12
3.3 ID 管理 13
3.4 ネットワーク接続の流れ 14
4.. セキュリティ・プライバシ 15
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 15

4..2 仮名証明書(仮名 ID) 15
4..3 仮名証明書(仮名 ID)実現方式 17
ルート認証局(プライベート) 17
登録局(クラウド) 17
認可局(エッジ) 17
車両(デジタル道路交通データプラットフォーム搭載) 17
コンポーネント間の通信 17
4..4 公開鍵基盤 17
証明書について 18
仮名 ID(Pseudonym ID)と仮名証明書について 18
署名方式とハッシュ値生成アルゴリズムについて 18
4..5 仮名証明書実現機能 20
a. 仮名 ID の払い出し, 仮名証明書の発行 21
b. 仮名証明書の取得 21
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 21
d. 仮名証明書及び署名の検証 23
e. PKI 通信用 IF 23
f. 登録局による車両登録証明書の検証機能 24
付録 25
A0. IP ジェネラル 26
A0.1 システム構成 26
A0.2 ユースケース 27
A1. SP ブロードキャスト 28
A1.1 システム構成 28
A1.2 ユースケース 29
A2. DM2 モバイル 30
A2.1 システム構成 30
A2.2 ユースケース 31
A3. DM2 アドホック 32
A3.1 システム構成 32
A3.2 ユースケース 33
改訂履歴 35

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．

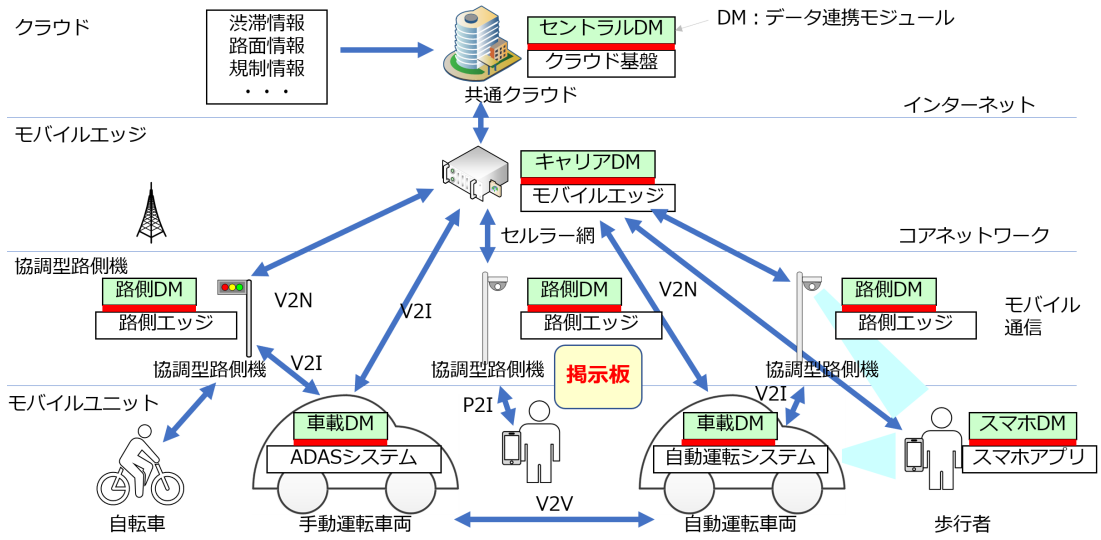


図 1 データ連携システム全体構成

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

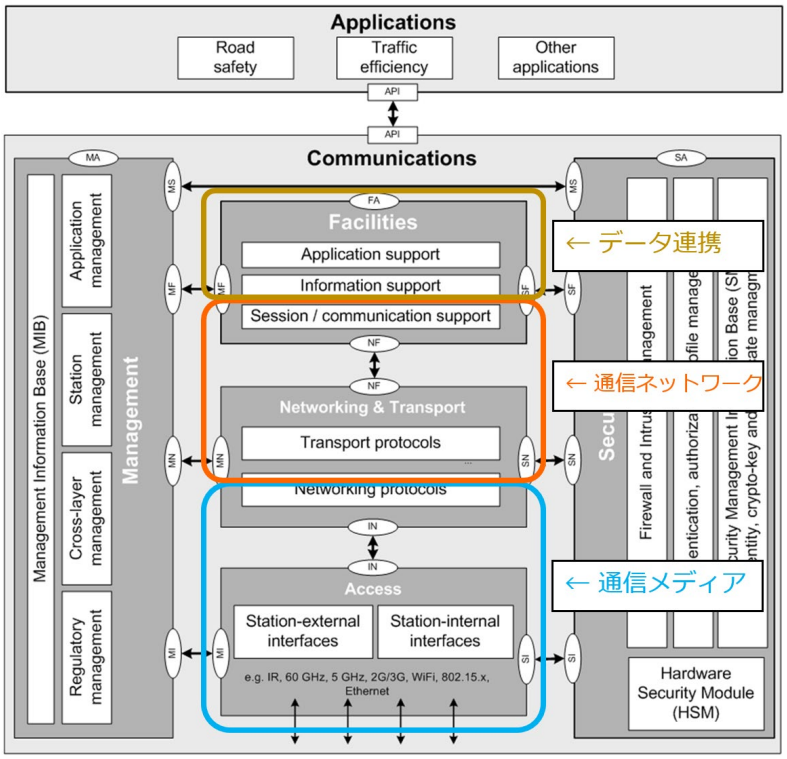


図 2 ITS ステーションアーキテクチャ

を記載しない.

1.3 ネットワーク接続構成

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 3 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

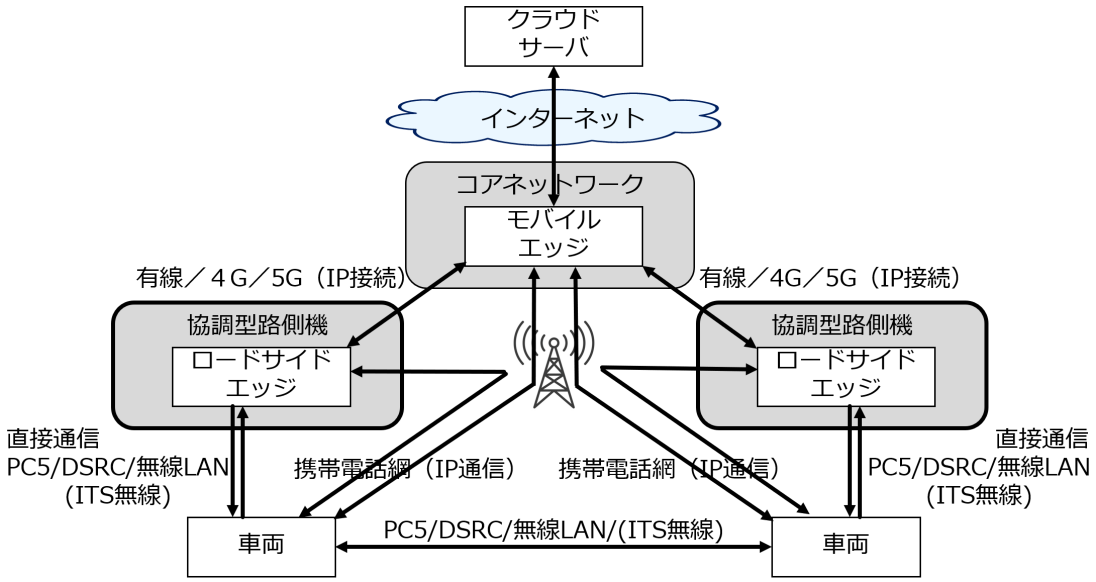


図 3 データ連携ネットワーク(L2)接続構成

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．

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 4 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）

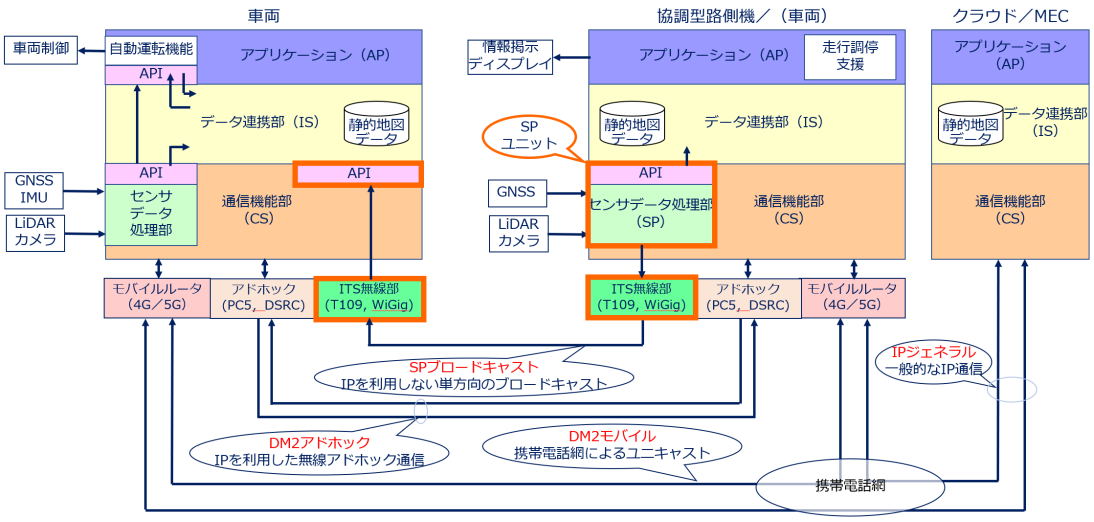


図 4 データ連携システムにおける通信種別

- 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 5 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.

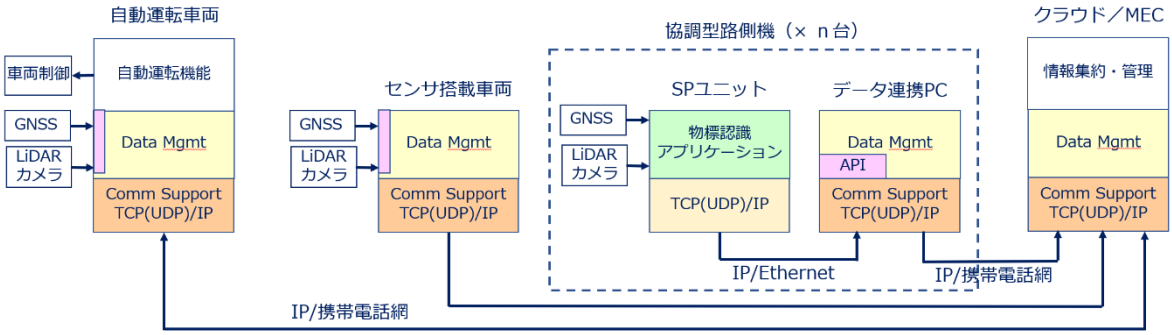


図 5 IP ジェネラル通信形態のユニット接続形態

2.3 SP ブロードキャスト

図 6 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.

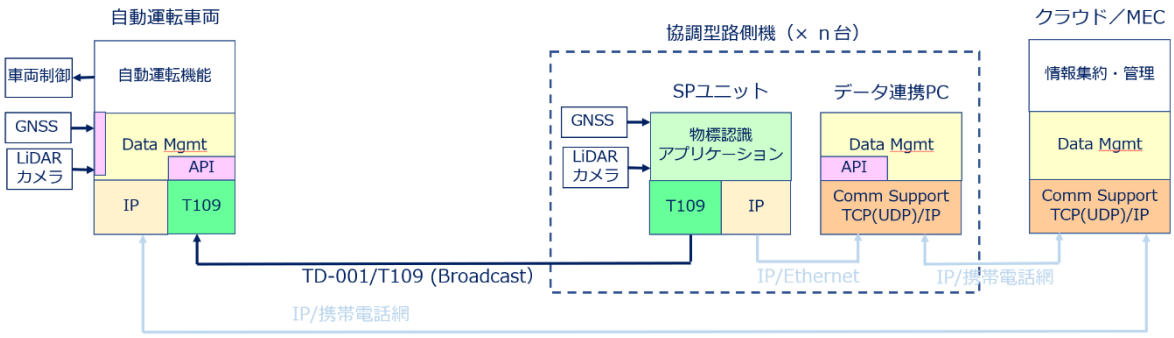


図 6 SP ブロードキャスト通信形態のユニット接続形態

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．

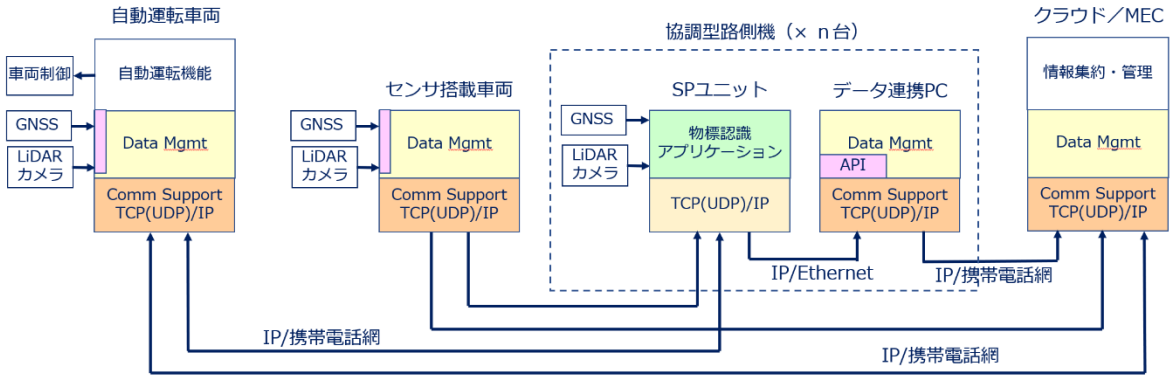


図 7 DM2 モバイル通信形態のユニット接続形態

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 7 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.

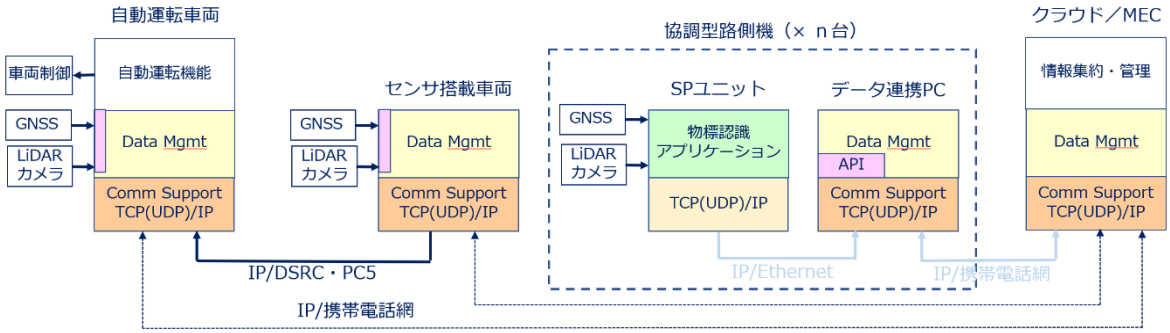


図 8 DM2 アドホック通信形態のユニット接続形態

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．

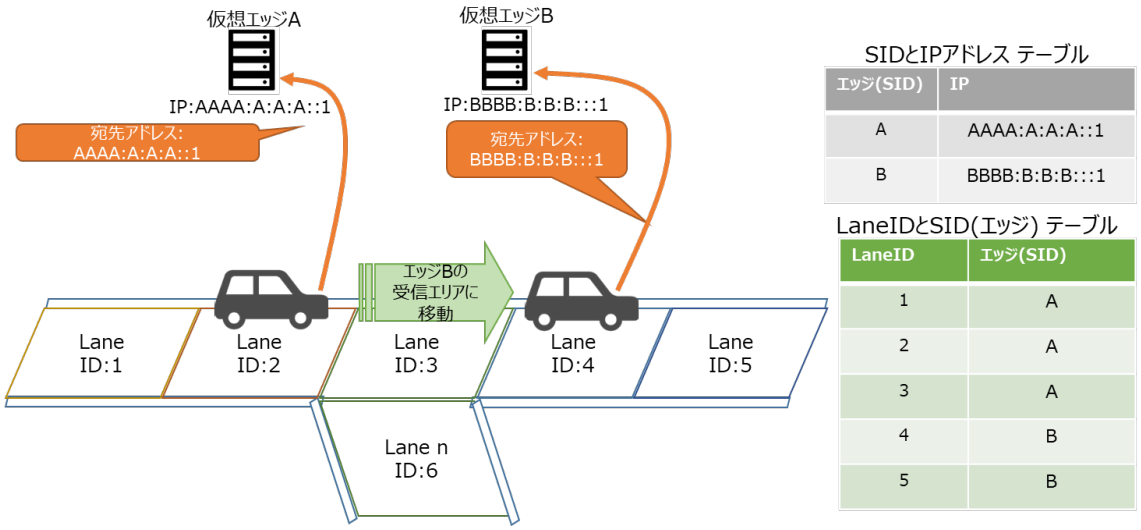


図 9　GeoStaticRooting 概要

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．

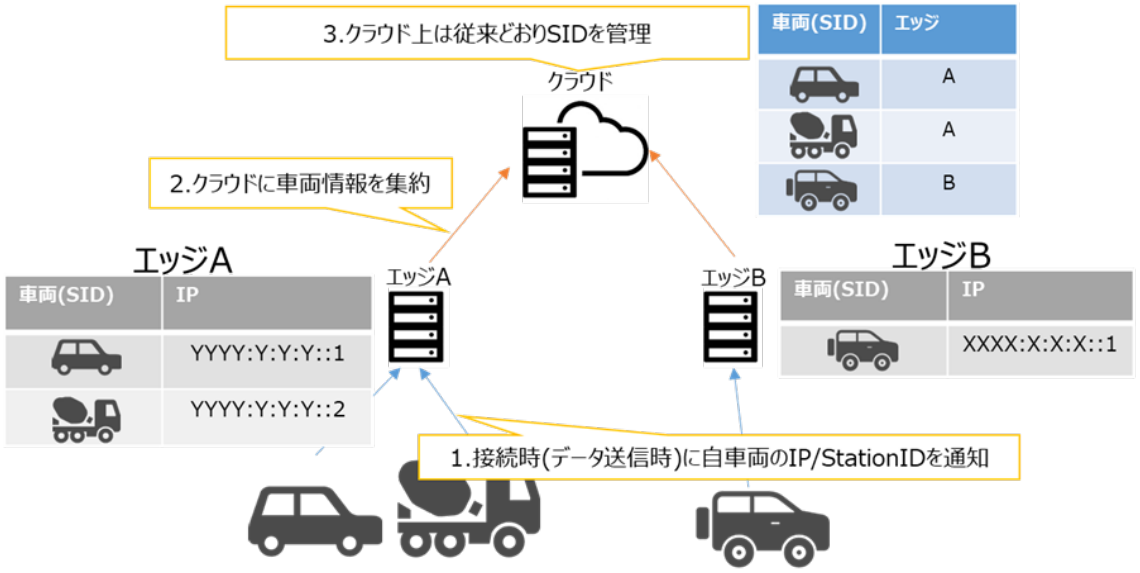


図 10 車両の SID と IP アドレス管理の管理

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．

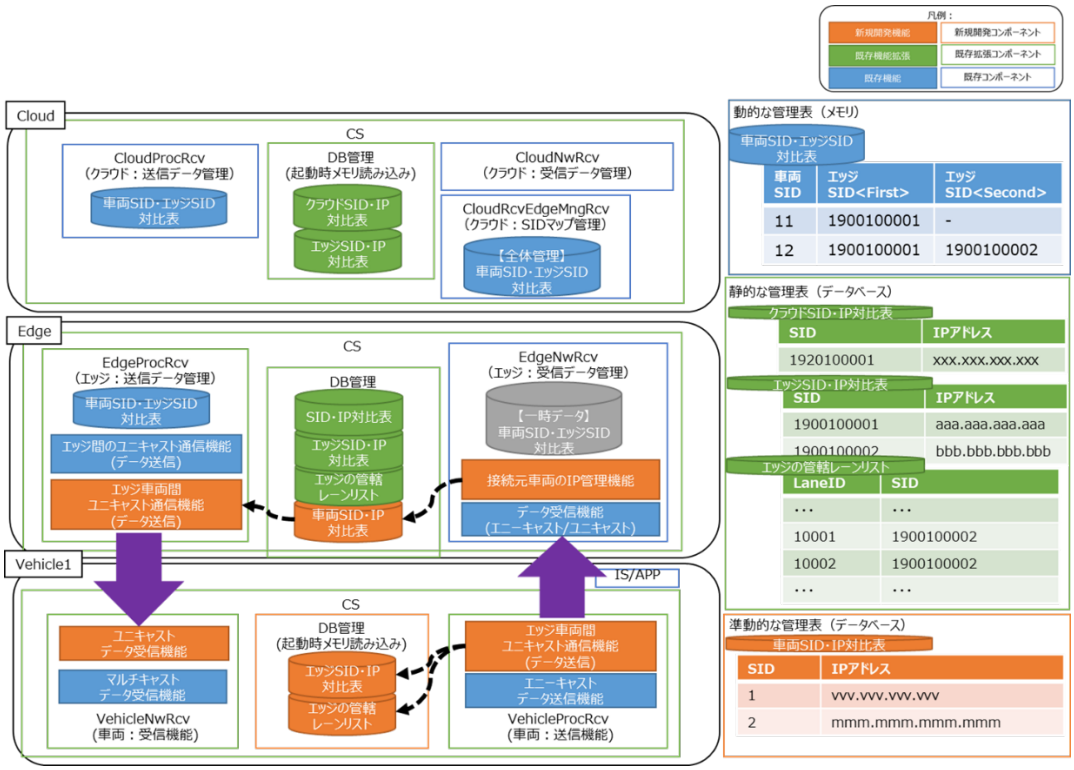


図 11 クラウド，エッジ，車両における SID と LaneID の管理

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．

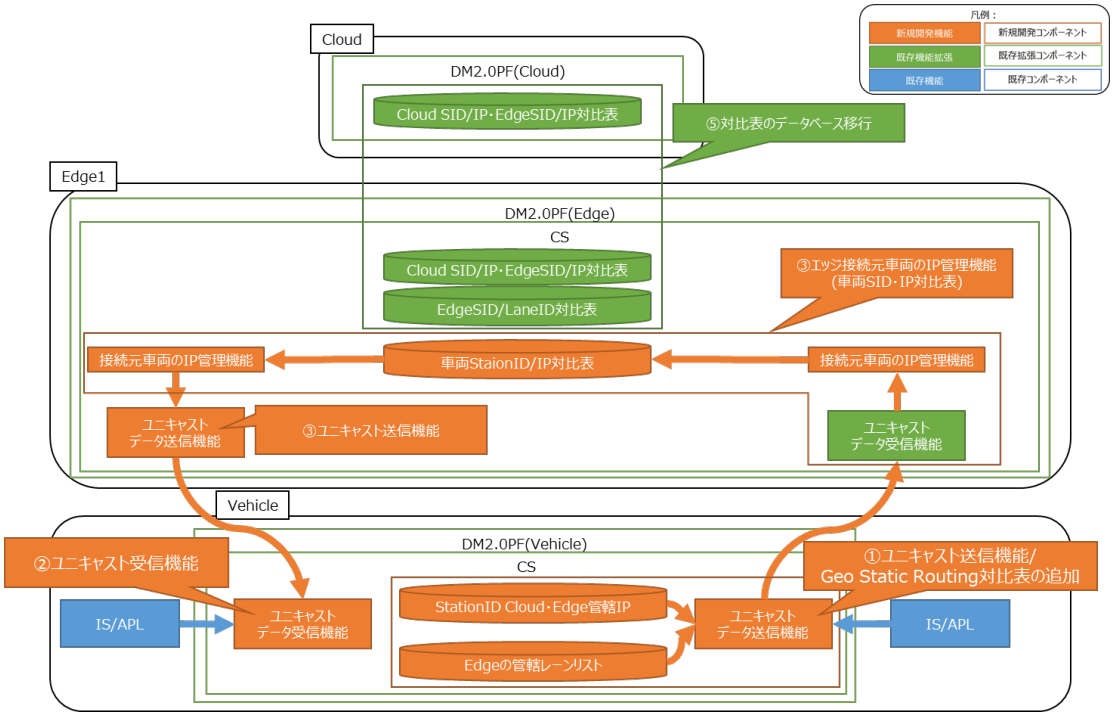


図 12 クラウド，エッジ，車両における接続管理メッセージの流れ

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．

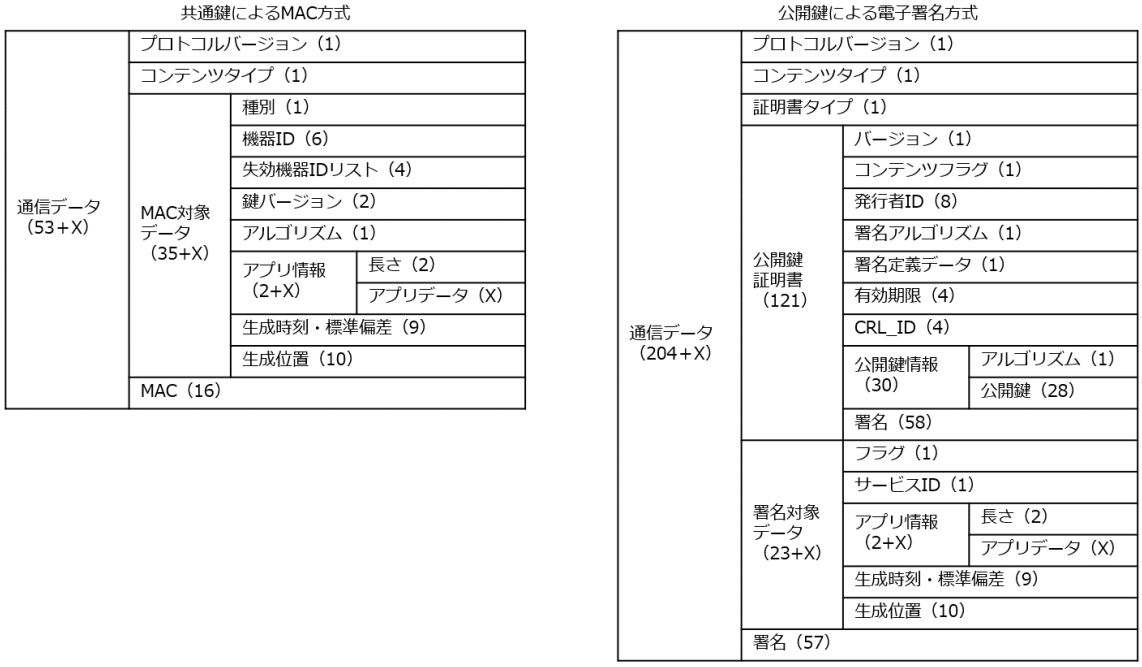


図 13 共通鍵 MAC 方式と公開鍵電子署名方式のメッセージ比較

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.

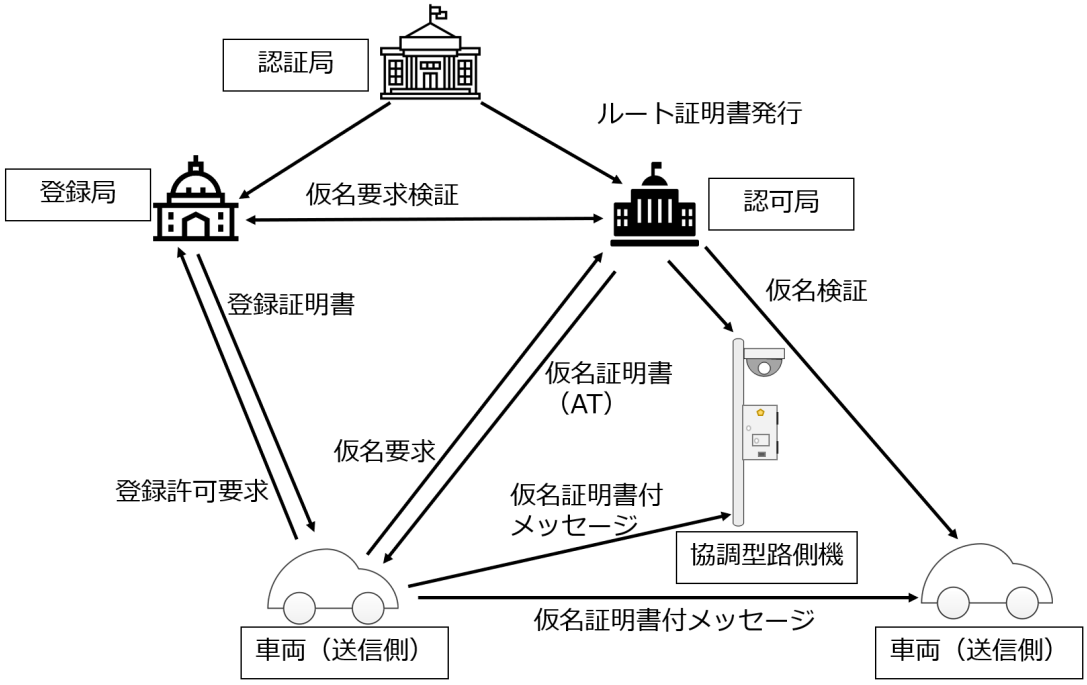


図 14 仮名証明書の発行・検証の手順

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	

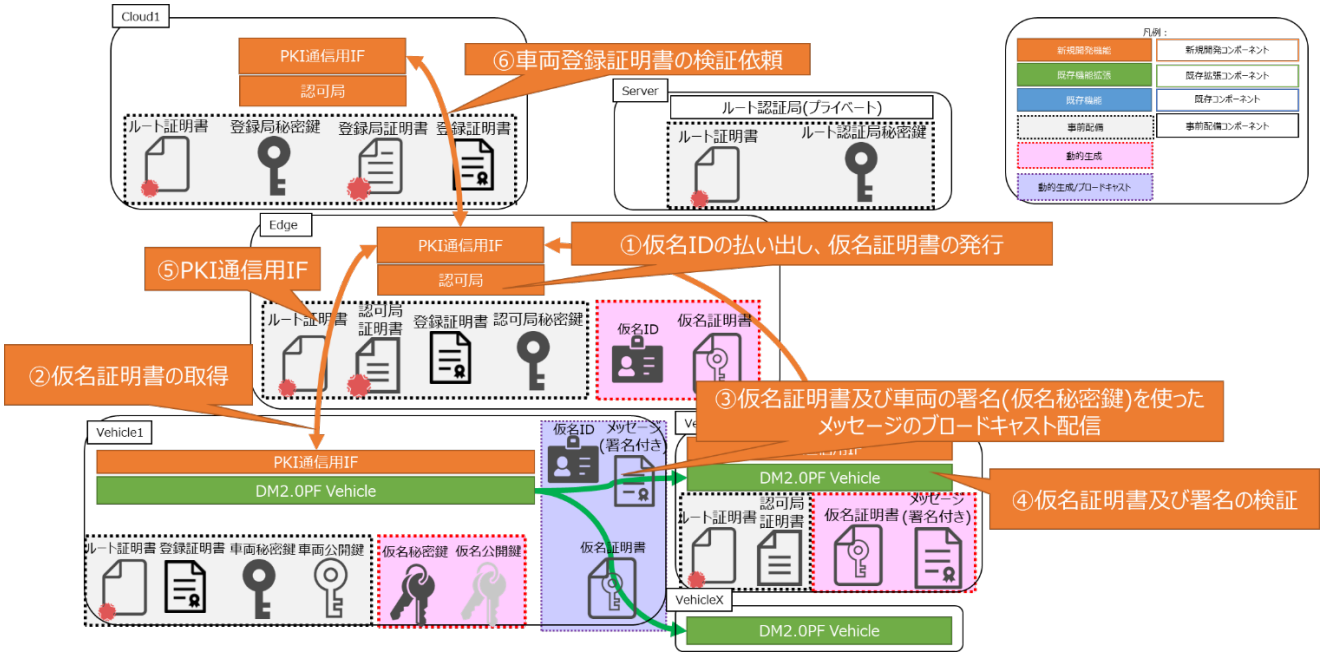


図 15 デジタル道路交通データプラットフォーム PKI の全体像

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．

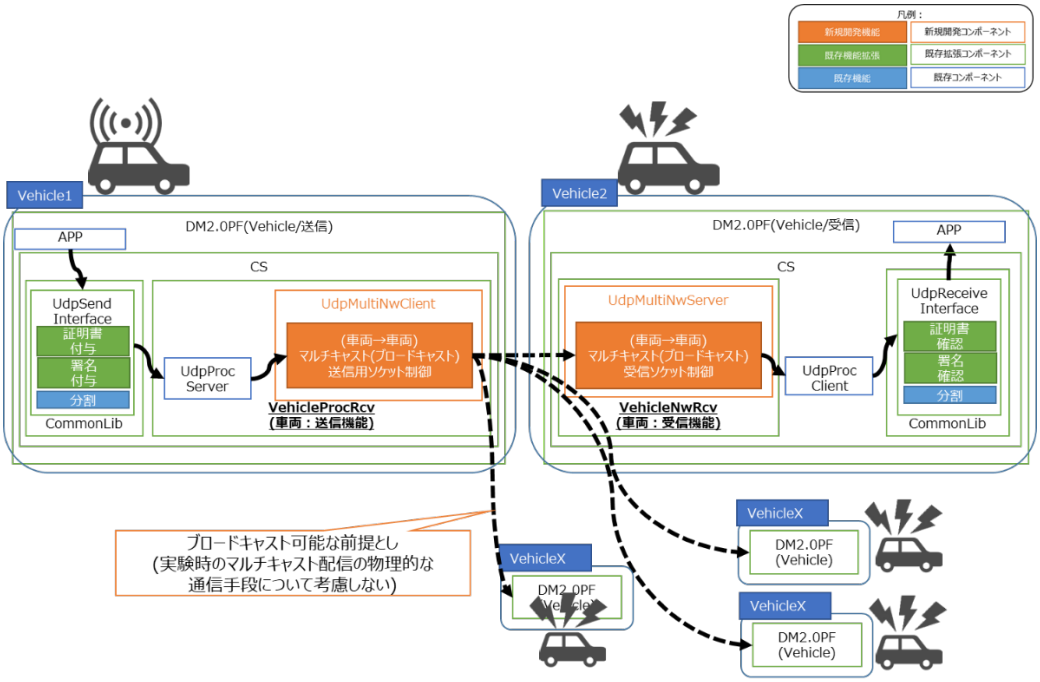


図 16 仮名証明書および関連メッセージの配信

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．

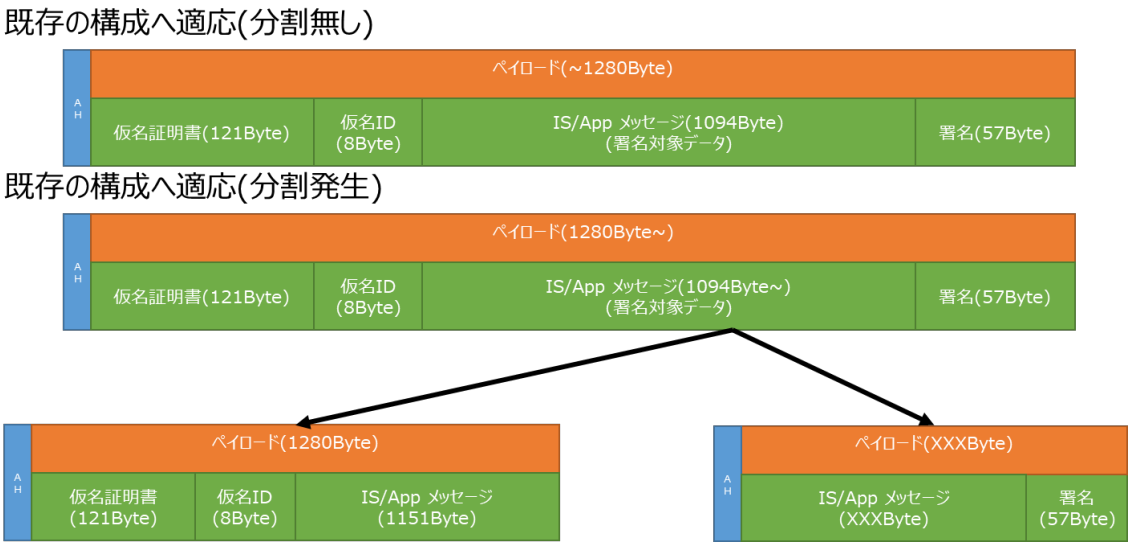


図 17 仮名証明書配信メッセージフォーマット

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．

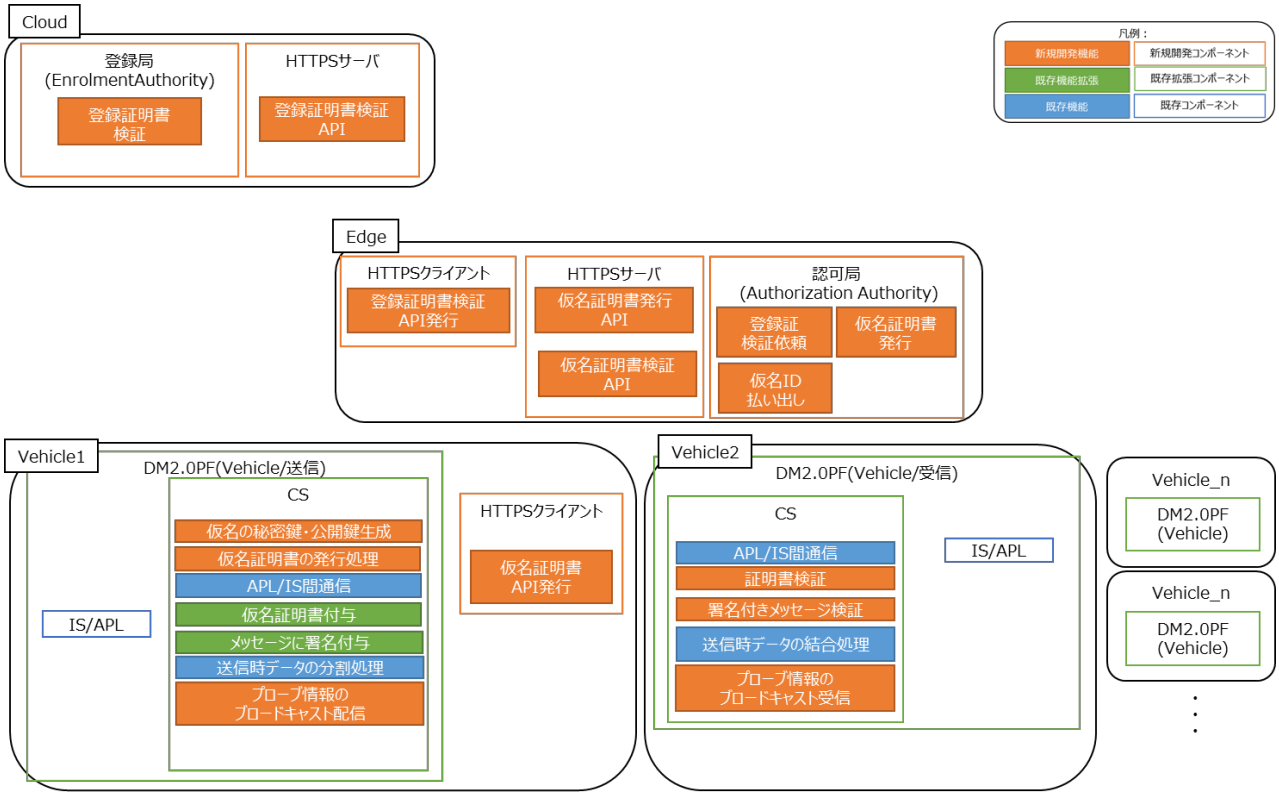


図 18 登録証明書機能ブロック図

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)

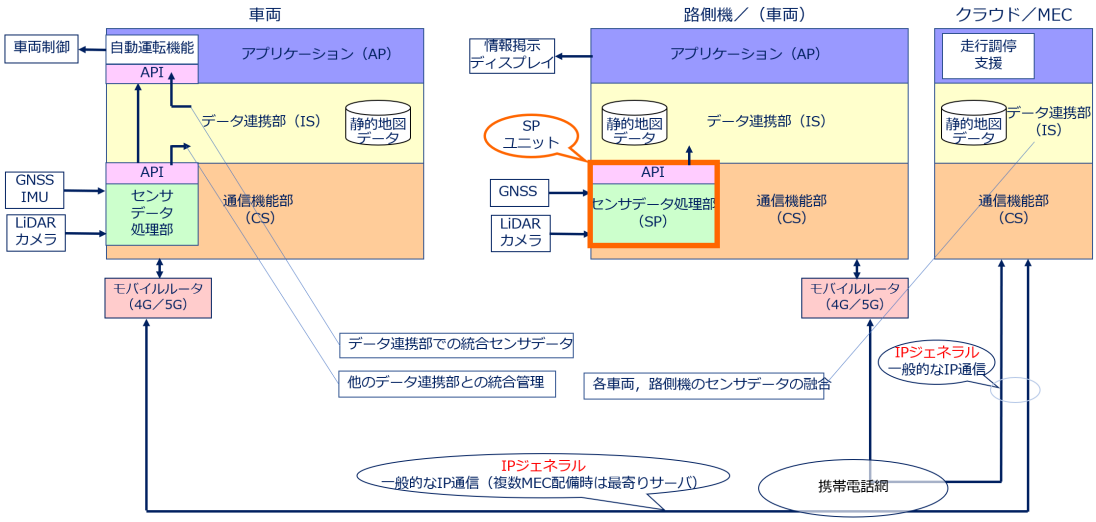


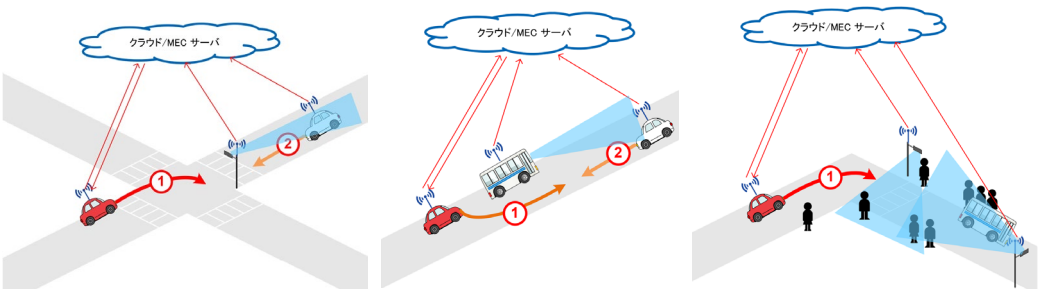
図 a1 Type 0 (IP ジェネラル)システム構成図

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

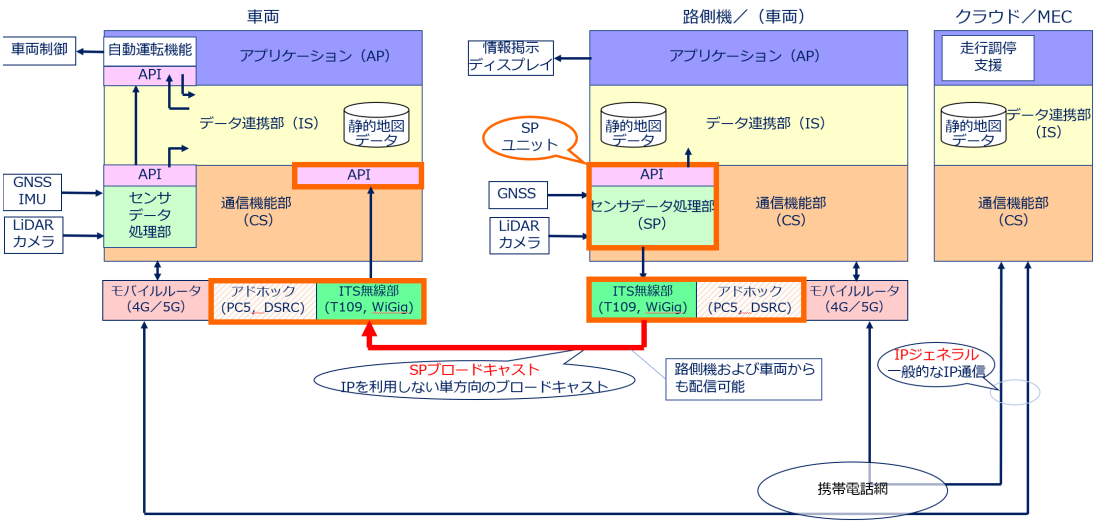


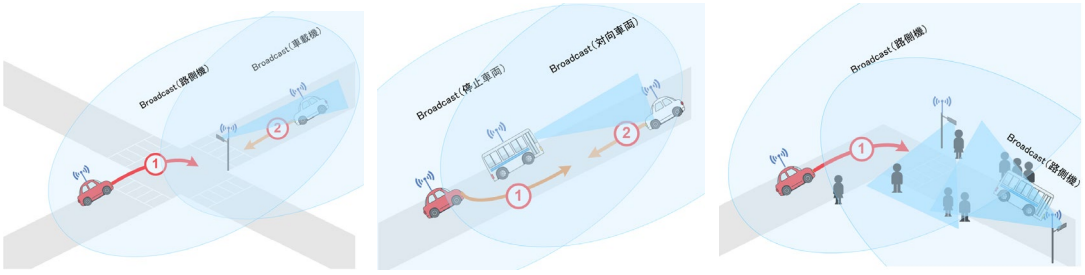
図 a3 Type 1 (SP ブロードキャスト)システム構成図

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)

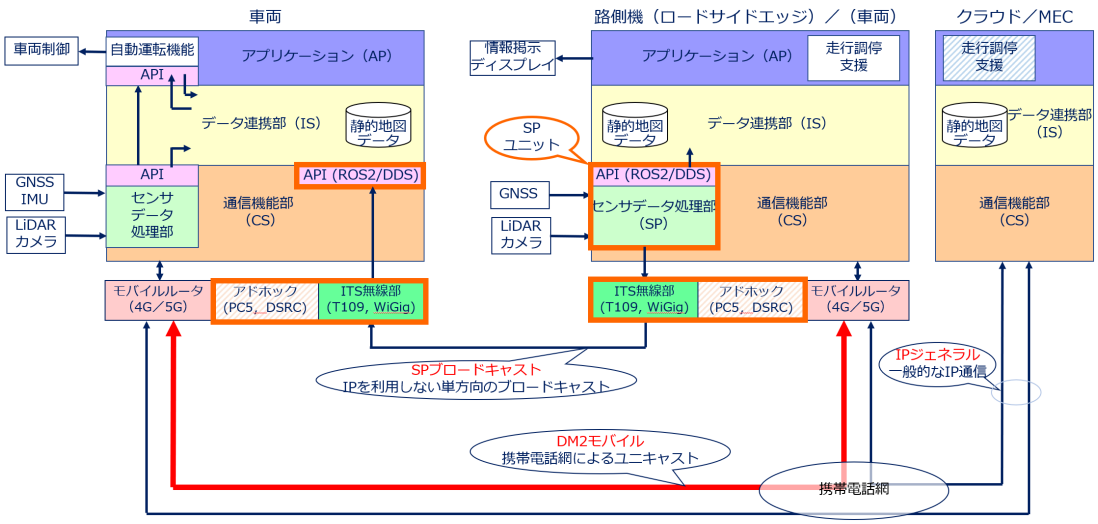


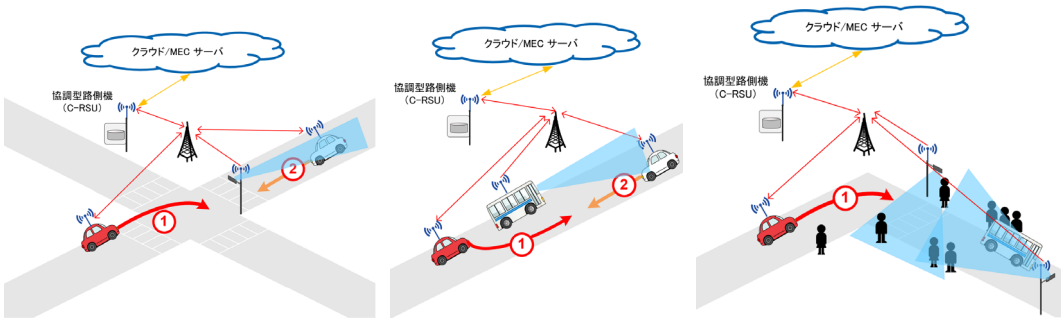
図 a5 Type 2 (DM2 モバイル)システム構成図

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

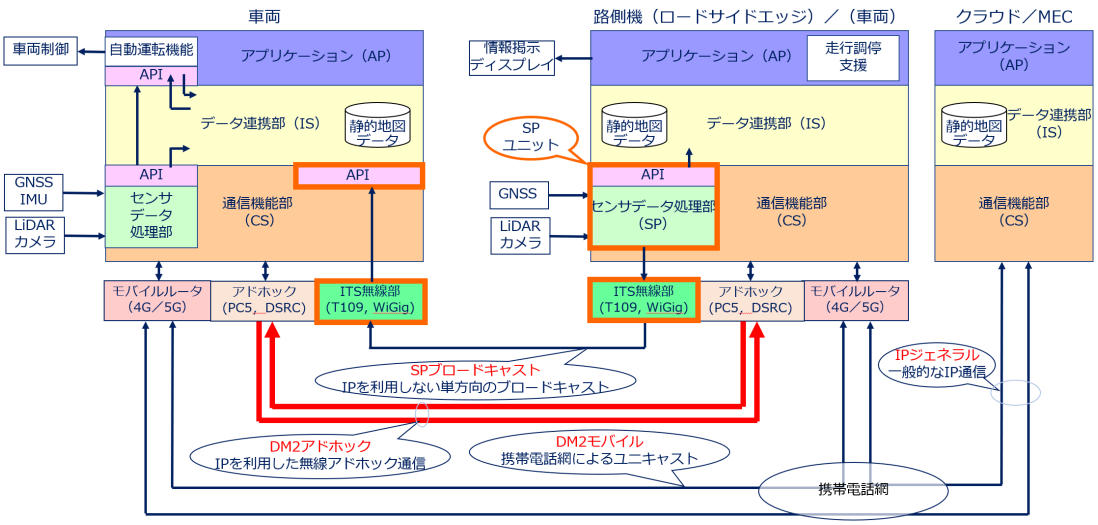


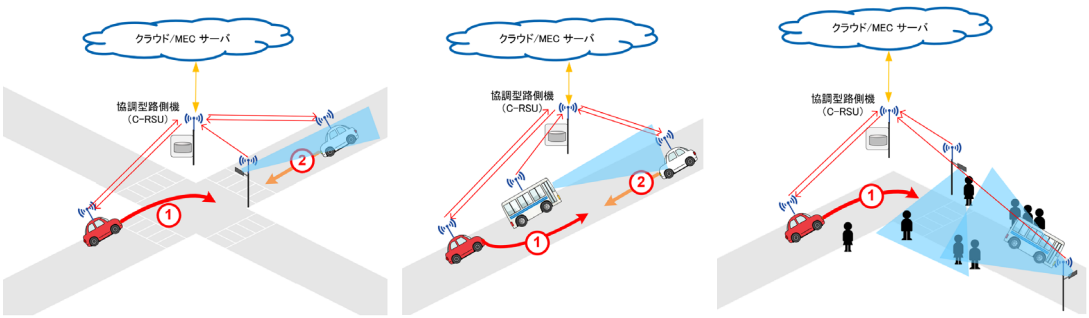
図 a7 Type 3 (DM2 アドホック)システム構成図

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