令和 5 年度

無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業

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

令和 6 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

一般財団法人　日本自動車研究所

先進モビリティ　株式会社

目次

はじめに ····· 3
第 1 章　事業モデルの検討 ····· 6
1-1.　柏の葉地域での事業モデル検討 ····· 6
I.　地域のニーズ・課題の整理 ····· 6
1）　柏の葉地域の土地利用・施設配置・新規開発状況・開発計画等の把握 ····· 6
2）　ニーズ・課題、特定自動運行移動サービスへの期待の整理 ····· 15
II.　特定自動運行移動サービス実施体制の検討 ····· 18
1）　ステークホルダーの役割整理 ····· 18
2）　運行実施体制の構築調整 ····· 29
III.　特定自動運行計画の検討 ····· 46
1）　ルート、運行ダイヤ等を含む特定自動運行計画の第一次案の検討 ····· 46
2）　特定自動運行移動サービスの提供準備、車両の運用などの検討 ····· 55
3）　車内安全・乗客サービス（ドライバーの非運転タスク）の考え方の整理 ····· 60
IV.　事業収支・社会費用便益の算出 ····· 61
1）　概算事業収支の算出 ····· 61
2）　社会的便益の試算 ····· 61
1-2.　導入検討マニュアル案の作成 ····· 75
I.　ドラフト版（過年度作成）の更新 ····· 75
1）　モデル地域での検討を踏まえた導入検討マニュアル案作成 ····· 75
第 2 章　協調型自動運転移動サービス開発 ····· 81
2-1.　協調型自動運転移動サービス全体設計 ····· 81
1）　柏の葉を想定した事業モデルの要求機能に対する自動運転移動サービスの仕様作成 ····· 81
2）　協調型システムに関する法的な問題の検討 ····· 155
2-2.　協調型自動走行システムの開発 ····· 166
I.　協調型自動走行システム仕様検討・設計 ····· 167
1）　柏の葉における協調型自動走行システムの ODD 設定 ····· 167
2）　安全走行戦略の策定、車両の目標性能策定 ····· 184
II.　協調型自動走行車両の設計・試作・評価 ····· 214
1）　柏の葉ユースケースに対する自動走行車両の開発・評価 ····· 214

2) 柏の葉ユースケースに対する自動走行車両の安全評価 ····· 234
III. 協調型路側機の設計・実装・評価 ····· 267
1) 柏の葉のユースケースに対するインフラ情報を提供可能な協調型路側機の設計 267
2) 柏の葉のユースケースに対するセンシング開発・評価 ····· 291
3) 協調型路側機の公道への実配備 ····· 316
IV. 協調型システム評価環境の整備 ····· 341
1) 協調型システムの実路・テストコースでの評価手法の構築 ····· 341
2) 仮想空間における協調型システムの評価手法の開発 ····· 357
V. データ連携プラットフォームの設計・開発・評価 ····· 474
1) データ連携プラットフォームの柏の葉への対応と評価 ····· 474
2) V2N／V2I 通信方式の決定・開発・評価 ····· 487
3) セキュリティ・プライバシー確保方法の検討の開発 ····· 527
2-3. 協調型自動運転移動サービス運行・遠隔監視システムの検討 ····· 536
1) 車内監視システムの検討 ····· 536
2) 協調型自動走行機能の監視システムの検討 ····· 550
2-4. ODD 拡大・全国展開に向けた課題検討 ····· 554
1) 全国展開に向けた課題の整理 ····· 554
2) ODD 拡大・全国展開に向けた課題の解決方法検討 ····· 557
第 3 章 協調型自動運転移動サービスの国際・国内連携 ····· 594
3-1. 欧米での協調型システムの開発・導入状況の分析 ····· 594
1) 公開情報を通じた動向調査 ····· 594
2) 国際会議を通じた情報収集・情報発信 ····· 600
3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催 ····· 607

はじめに

1. 事業目的

■ 2023 年度のテーマ 4 における大きな方向性に関する検討

- モデル地域におけるスマートシティ事業等まちづくりとの連携を見据え、自動運転移動サービスの実装に向けた具体化を行う。（例えば、特定自動運行を申請する事業者の決定、ルートの決定、便数・運行形態等の決定）
- また、2025 年に実装する協調型システム全体を開発対象とし、2023 年度実証向けの車両制御、データ連携 PF、協調型路側機を開発し、走行制御および車内安全遠隔監視システムの車両への実装を行う。さらに、混在空間での走行に関する諸問題（歩行者・自転車・二輪車都の交錯、路上駐車回避など）に取り組む。
- 2025 年以降の全国配備（横展開）を見据え、優先順位の高い応用技術を特定する。また事業モデルのマニュアル化、協調型路側機の共通仕様作成など、他地域展開を見据える。

■ テーマ 4 取組み方針：2025 年に市街地の混在交通環境下におけるレベル 4 自動運転サービスの実現

自動運転等の先進モビリティサービスは、ニューノーマルの新たな生活様式や、世界的な脱炭素への関心、また、労働力不足等の社会課題に対し、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、先進的な取組みが期待されている。

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組むテーマと位置付けられている。

- 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。
- テーマ 4 の取組みを通じ、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。

- 柏の葉というフィールドを活かし、本年度の実施事項を効率的に推進すること。

2. 事業の実施方法

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 か年の取組みを想定して令和 3 年度から取り組まれている。令和 5 年度は取組み 3 年目として、過年度までの蓄積である技術的な基礎開発、事業モデルの机上検討等をもとに、年度後半より公道実証実験を行い協調型システムの評価を行った。

協調型システムを活用するべきユースケースは、過年度まで実施した OEM やインフラメーカーをメンバーとした統括委員会 WG を通じて検討を進めてきたが、OEM、インフラメーカーとの議論の中で、特にニーズが高い信号交差点通過などのユースケースについて、柏の葉地区における実証実験（レベル 2 運用）を通じてインフラ協調の効果を検証した。

まず、第 1 章では、事業モデルの検討として、柏の葉地域においてレベル 4 自動運転サービスを実現するためのニーズや課題の整理を行った。また、柏の葉においてサービスを実現させるために必要な体制の構築、サービス計画の検討、事業収支・社会費用の算出を行った。また、柏の葉における様々な検討成果を他地域展開することを考慮に入れ、導入検討マニュアル案の作成を作成した。

第 2 章では、第 1 章において検討された事業モデルを考慮に入れ、柏の葉において実現する自動運転移動サービスの仕様を作成し、その仕様に即した車両・路側機の開発および実装・評価、またデジタル道路交通データプラットフォーム（以下、データ連携プラットフォーム）を実装・評価した。更に、安全性の確保のため、安全走行戦略を策定し、協調型システムの評価を実空間（公道、テストコース）および仮想空間において行った。また、2025 年以降の自動運転移動サービスを踏まえると遠隔監視システムの検討は不可欠であることから、遠隔監視システムの検討も行った。これらの検討は、フィールドである柏の葉地域を想定して主に取り組むものであるが、日本全国への横展開を見据え、柏の葉で走行する ODD から拡大することを念頭に置き、将来的な課題について先行して検討・整理した。

最後に第 3 章では、第 1 章および第 2 章において、研究開発を進めるにあたり、我が国でのアプローチが国際的にみてガラパゴス化しないよう、海外における関連プロジェクトの情報収集およびテーマ 4 における取組み成果を海外の連携パートナー等と随時情報共有を図った。

■ 業務推進体制

本事業の推進体制として、本提案の提案者であるコンソーシアムの他、主に柏の葉関係者を中心として再委託・外注先および業界団体や OEM/インフラ機器メーカー、交通事業者とも連携関係

を持ち、社会実装を意識した検討を行う体制を構築した。

テーマ 4 の推進にあたり、第 1 章から 3 章の仕分けに沿って、大きく 3 つのチームに分けて推進した。なお、第 2 章にあたる協調型自動運転移動サービス開発については、実施要素が多岐にわたり、また、多様な専門性が必要なことから、その下部に更に 6 つのチームを設置した。

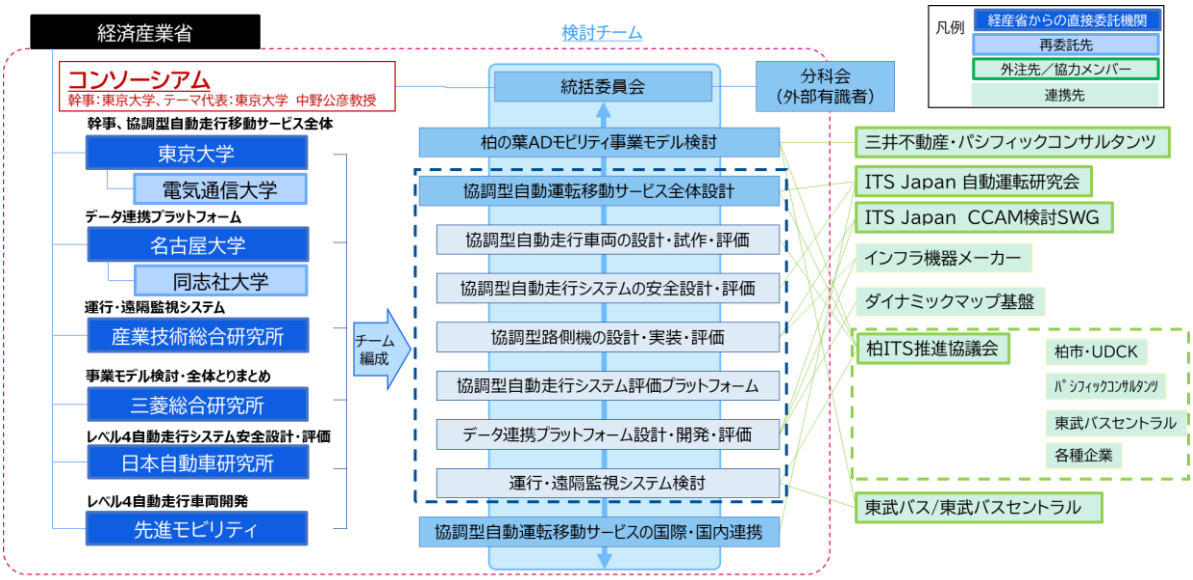


図 1　テーマ 4 推進体制

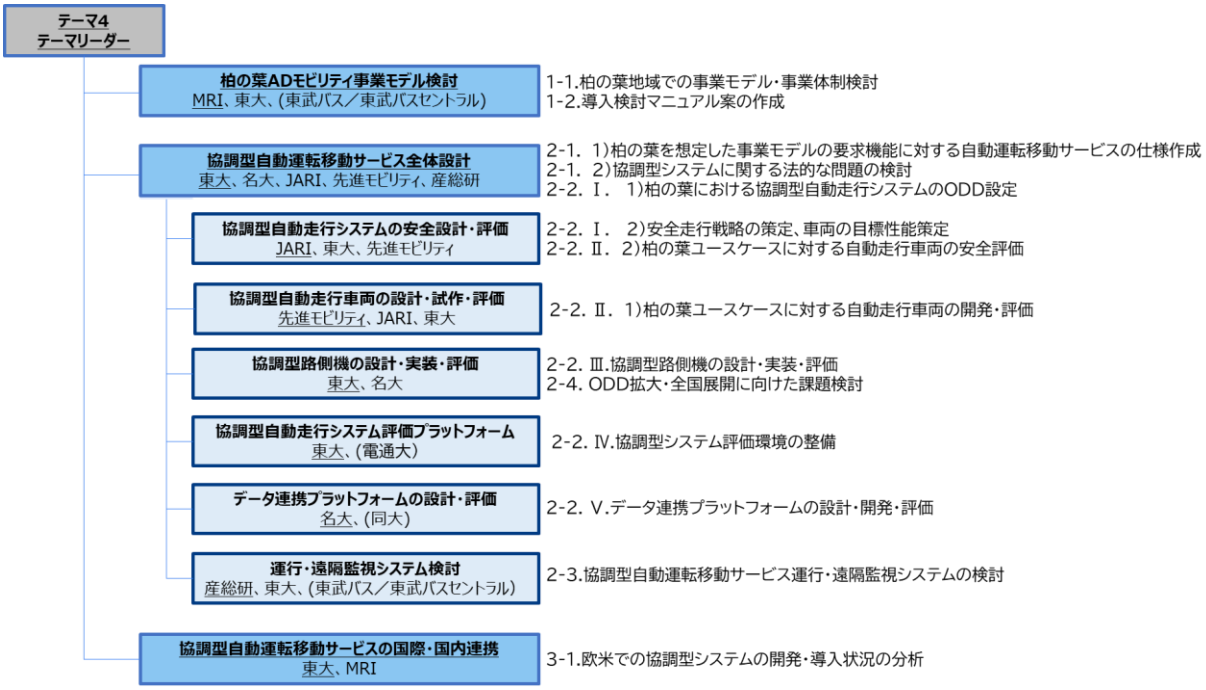


図 2　検討チームと対応箇所

第1章　事業モデルの検討

1-1.　柏の葉地域での事業モデル検討

＜この項目での実施事項＞

I.　地域のニーズ・課題の整理

II.　特定自動運行移動サービス実施体制の検討

III.　特定自動運行計画の検討

IV.　事業収支・社会費用便益の算出

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 「Ⅰ.」では、柏の葉地域における土地利用・施設配置・開発計画等に関する最新情報及び地域ステークホルダーの課題・ニーズ、特定自動運行移動サービスへの期待を整理。需要面・事業面・技術面からの特定自動運行移動サービスの方向性も整理。
- 「Ⅱ.」では、SPC による体制案等を作成。特定自動運行の実施者、特定自動運行主任者、特定自動運行保安員を担う組織について、複数案を整理。
- 「Ⅲ.」では、R5 年度までの成果から作成可能な項目について、特定自動運行計画第一次案を整理。
- 「Ⅳ.」では、特定自動運行移動サービスによって生じると考えられる社会的便益試算。また、特定自動運行移動サービスの概算事業収支及び費用負担の考え方を整理。

■ 実施事項と実施方法

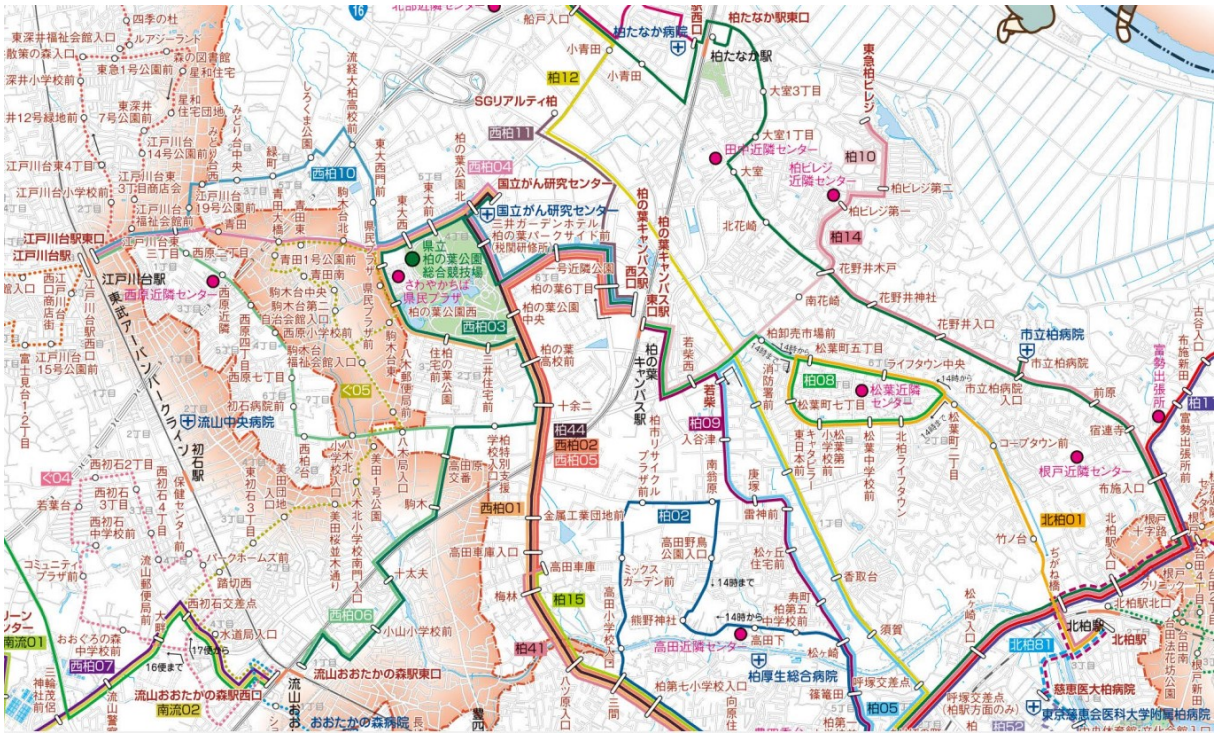
Ⅰ.　地域のニーズ・課題の整理

1)　柏の葉地域の土地利用・施設配置・新規開発状況・開発計画等の把握

柏の葉地域の土地利用・施設配置・新規開発状況・開発計画等について、最新の情報を把握し、整理した。また同地域におけるモビリティについての実証実験等の関連動向についてもあわせて整理した。

(1) バス路線の状況

柏の葉地域でのバス路線の状況は図 3 のとおり。


柏12
SGリアルティ柏
西柏11
西柏04
国立がん研究センター
柏の葉キャンパス駅西口
西柏03
柏の葉公園総合競技場
さわやかちば県民プラザ
柏の葉公園西
柏の葉公園北
柏の葉公園中央
柏の葉高校前
十余二
柏44
西柏02
西柏05
西柏01
金属工業団地前
高田車庫入口
高田車庫
梅林
柏15
西柏06
小山小学校前
柏41
流山おおたかの森駅東口
流山おおたかの森駅西口
南流02
流山おおたかの森病院
西柏07
流山中央病院
初石駅
東武アーバンパークライン
江戸川台駅
江戸川台駅東口
西原近隣センター
南流01
南柏04
南柏05
西柏10
西柏12
柏たなか病院
柏たなか駅
柏たなか駅東口
大室3丁目
大室1丁目
田中近隣センター
大室
柏ビレジ近隣センター
柏ビレジ第二
柏ビレジ第一
柏10
柏14
北花崎
花野井木戸
南花崎
花野井神社
花野井入口
柏卸売市場前
松葉町五丁目
松葉町七丁目
柏08
松葉近隣センター
ライフタウン中央
市立柏病院
市立柏病院入口
柏1
富勢出張所前
宿連寺
コーシブタウン前
根戸近隣センター
布施入口
北柏01
北柏駅入口
竹ノ台
北柏駅北口
北柏駅
北柏81
慈恵医大柏病院
東京慈恵会医科大学附属柏病院
呼塚交差点
柏05
柏厚生総合病院
高田近隣センター
高田下
須賀
松ヶ崎
松ヶ崎入口
香取台
寿町
柏第五中学校前
熊野神社
高田小学校入口
高田野鳥公園入口
松ヶ丘住宅前
ミックスガーデン前
雷神前
南翁原
唐塚
柏02
柏09
入谷津
若柴
若柴西
柏の葉キャンパス駅西口
柏の葉キャンパス駅東口
柏市リサイクルプラザ前
消防署前
松葉小学校前
松葉中学校前
北柏ライフタウン
キャタピラー東日本前
柏特別支援学校入口
柏第七小学校入口
篠籠田
向原
八ツ原入口
三間
船戸入口
小青田
大青田
流経大柏高校前
緑町
青田1号公園前
青田南
駒木台中央
駒木台第二自会会館入口
駒木台第二福祉会館入口
西原小学校前
西原四丁目
西原七丁目
初石病院前
駒木台東
駒木台北
駒木台
駒木台第一
駒木台第二
八木郵便局前
八木北小学校南門入口
八木北小学校並木通り
美田1号公園
美田入口
美田団地
美田桜並木通り
西柏台
東初石3丁目
東初石4丁目
西初石3丁目
西初石4丁目
西初石2丁目
西初石中学校前
保健センター前
若葉台
パークホームズ前
踏切西
西初石交差点
水道局入口
おおぐろの森中学校前
おおぐろの森入口
コミュニティプラザ前
流山郵便局前
大堀
17便まで
16便まで
江戸川台小学校前
江戸川台東4丁目
江戸川台東3丁目商店会
江戸川台14号公園前
江戸川台19号公園前
江戸川台福祉会館前
江戸川台三丁目
江戸川台15号公園
江戸川台1-2丁目
富士見台1-2丁目
西江戸川台街
西江戸川台南
江戸川台駅西口
江戸川台駅入口
深井小学校前
深井12号緑地前
東深井7号公園前
東深井福祉会館入口
東急1号公園前
森の図書館
星和住宅団地
星和住宅
みどり台中央
みどり台西
しろく北公園
東大西門前
東大西
東大前
県民プラザ前
県民プラザ
駒木台北
青田東
青田大橋
青田
青田西
東大北
柏の葉公園北
柏の葉公園中央
柏の葉公園西
柏の葉高校前
柏の葉小学校前
柏の葉住宅前
柏の葉郵便局前
三井住宅前
三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前
柏の葉校関研修所前
柏の葉特別支援学校入口
柏の葉特別支援学校前
柏の葉5号近隣公園
柏の葉6丁目
柏の葉6号近隣公園
柏の葉キャンパス駅
柏の葉キャンパス駅西口
柏の葉キャンパス駅東口
柏の葉キャンパス駅前
柏の葉キャンパス駅北
柏の葉キャンパス駅南
柏の葉キャンパス駅南口
柏の葉キャンパス駅東口
柏の葉キャンパス駅西

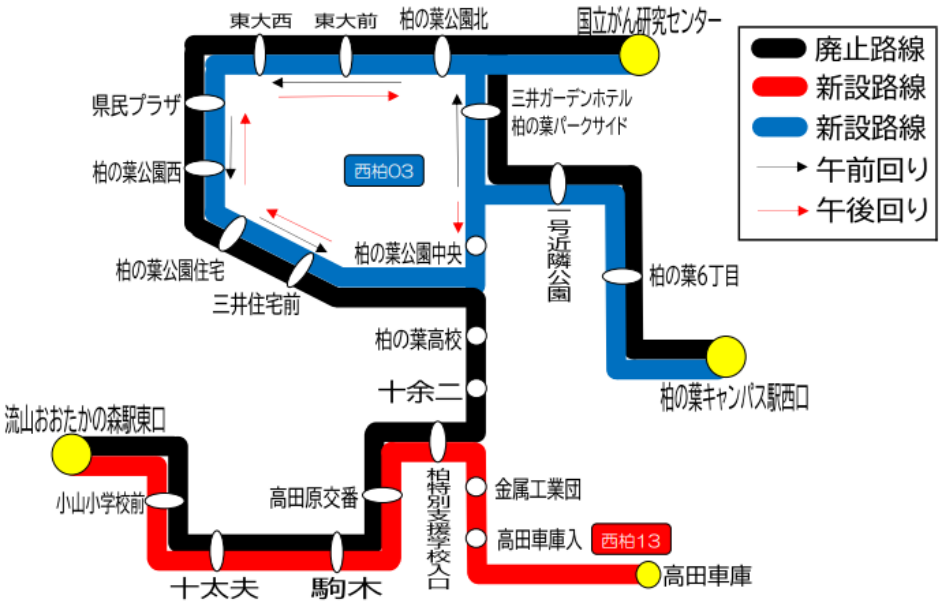


図 4　柏の葉地域での路線再編

出所：東武バスセントラル HP, https://www.tobu-bus.com/uploads/files/1127 西柏お知らせ.pdf (2024/01/22 確認)

(3) 周辺での開発予定

i)　研究開発拠点の建設予定

産業の自動化・省力化に貢献する空気圧機器で国内シェア 63%、世界シェア 39%を占める SMC のグローバルフラッグシップとなる研究開発拠点が、2025 年秋、柏の葉スマートシティに開設される予定である。

これを起点として、今後、SMC と三井不動産は柏の葉で進むアカデミアやスタートアップ、大企業とのオープンイノベーションによる街の新産業創造に貢献すべく、共創プログラムを検討することをリリースしている。

所　在　地　：　柏市若柴(3 区画)
概　　要　：　5 階建て建物 3 棟
敷 地 面 積　：　42,794 ㎡　建築面積：29,407 ㎡　延床面積：85,320 ㎡
従 業 員 数　：　1,300 名
着　　工　：　2023 年 12 月　完成予定：2025 年 8 月





図 5　開発の予定

出所：三井不動産ニュースリリース、https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2023/0613/,(2024/01/22 確認)

ii） 学校の新設

英国式 Year7～ Year13 の男女共学の通学制・寮制選択可能なインターナショナルスクール「Rugby School Japan」が 2023 年 9 月 4 日に開校した。

三井不動産株式会社、Rugby School International Limited、一般財団法人 Rugby School Japan 設立準備財団、国立大学法人千葉大学および CEAMS 合同会社により誘致を推進し、国立大学法人千葉大学柏の葉キャンパス内にて開校している。

所　在　地　：　千葉県柏市柏の葉 6 丁目 2 番 5
敷 地 面 積　：　48,527 ㎡
延 床 面 積　：　28,005 ㎡（全 10 棟、RC 造・鉄骨造・木造）
生　徒　数　：　約 780 名（初年度募集人数は約 160 名を予定）
学　　年　：　Year7～Year13（日本における小学 6 年生から高校 3 年生に相当）

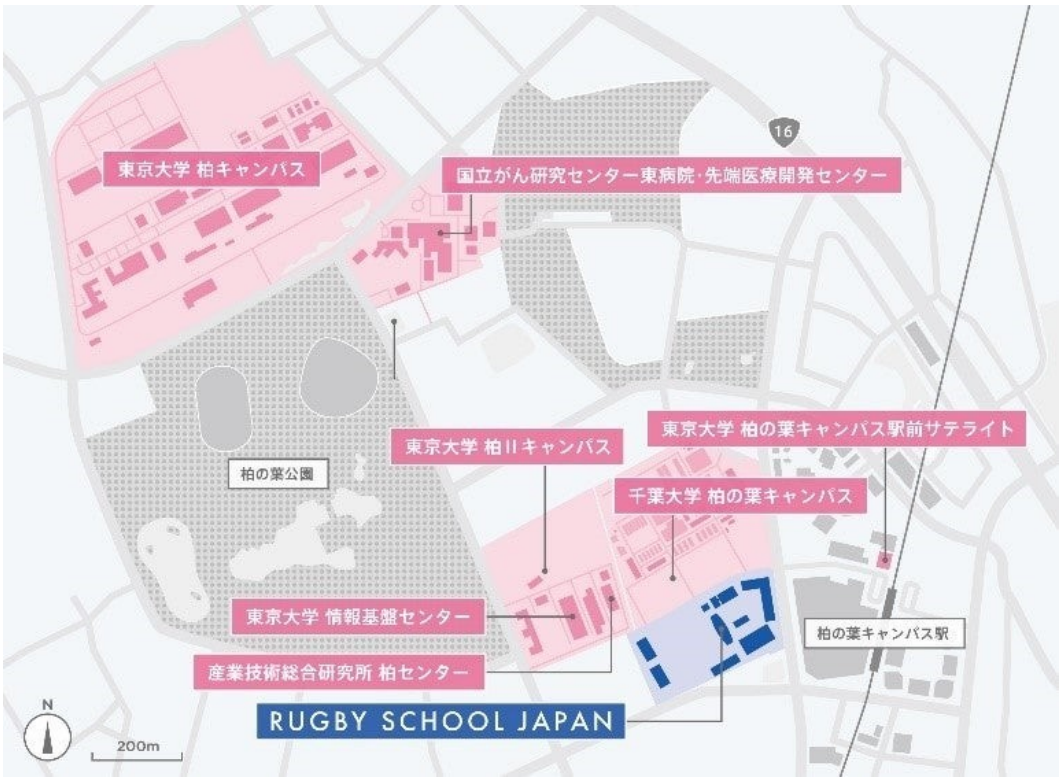


図 6　新規開設校の位置

出所：三井不動産ニュースリリース、https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2023/0915/,(2024/01/22 確認)

(4) 実証実験等の実施状況

i) 自動配送ロボットの実証実験

国立研究開発法人産業技術総合研究所デジタルアーキテクチャ研究センター（産総研）は、2023 年 2 月～3 月にかけ、柏の葉キャンパス駅周辺およびアクアテラス周辺エリアにて、産総研が開発する「hacobie（ハコビー）」、および ZMP 社の「DeliRo（デリロ）」の 2 種類の自動配送ロボットの走行実験を行った。

自動配送ロボットは人や障害物を自動的に回避する機能があり、時速 4km/h 以下の低速で走行する。将来のお店と自宅をつなぐ配送支援ロボットサービスを目指して、走行ルートを問題なく走行できるかどうかを検証した。

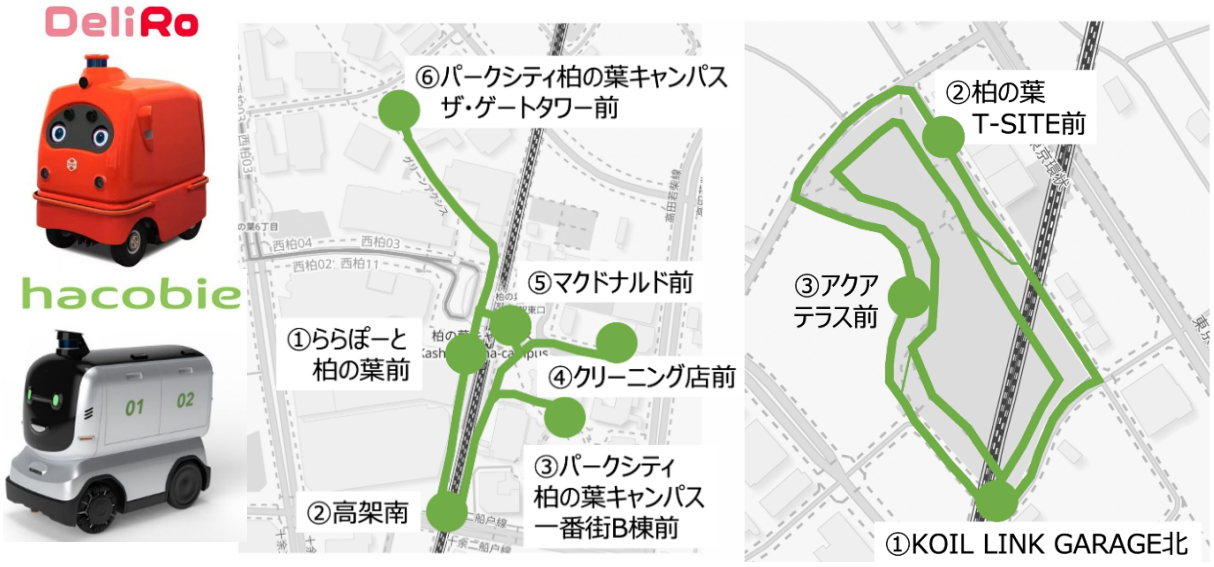


図 7　配送ロボットと走行エリア

出所：産総研 HP, https://www.digiarc.aist.go.jp/news/news_2023_02_24.html,(2024/2/8 確認)

実験期間　：　2023 年 2 月 24 日（金）～3 月 31 日（金）（来年度も継続予定）
実験概要　：　自動配送ロボットの走行実験（保安員の追従による安全確保策あり）
場　　所　：　柏の葉キャンパス駅周辺、および、アクアテラス周辺

ii)　回遊実態及び行動変容の把握実証調査

(2)で前述したバス路線の新設に合わせ、設定したスポット間での回遊実態の調査、デジタルスタンプラリー「かしわ回遊スタンプカード〈柏の葉エリア版〉」等の回遊促進施策による行動変容の把握実証調査が実施された。



図 8　かしわ回遊スタンプカード宣伝サイト

出所:「かしわ回遊スタンプカード」特設サイト, https://horai.sv/kashiwa_stamp,(2024/02/13 確認)

日　程　：　2023 年 11 月 30 日～2024 年 2 月 29 日（予算上限に到達次第終了）

対象者　：　柏の葉近隣住民、周辺利用者など

目　的　：　Horai 上でスタンプラリー施策を実施し、行動履歴や人流等のデータを収集

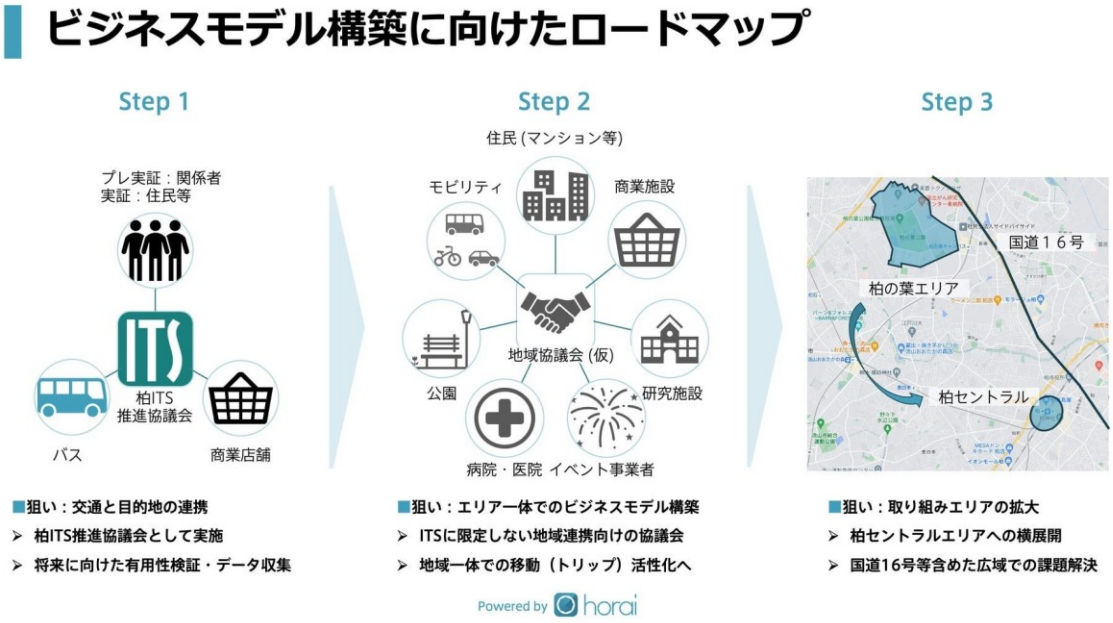


図 9　ビジネスモデル構築に向けたロードマップ

出所：柏市プレスリリース, https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000059.000121129.html,(2024/2/8 確認)

【本実証実験の実施体制】

実施主体　：　柏 ITS 推進協議会 中心市街地活性化部会・公共交通部会

協　　力　：　三井不動産株式会社、東武バスセントラル株式会社、柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK）

スタンプラリー協力施設　：　東武バス「柏の葉キャンパス～柏の葉公園循環」バス停、KOIL 16 Gate、KOIL LINK GARAGE、柏の葉かけだし横丁、柏の葉公園など

iii） 公道における走行中給電技術実証の取組み

柏の葉キャンパス駅西口至近の市道にて、日本初の公道上における電気自動車への走行中給電技術の実証および社会的受容性の確認が実施される。

本実証実験で使用する送電コイルは東大グループが設計を行い、10 秒充電することで一般的な電気自動車が 1km 走行することが可能となる仕様である。

本実証実験の結果を反映し、さらに発展させた走行中給電システムの開発を推進し、走行中給電社会実装の早期実現を目指す。

日　程　：　2023 年 10 月から 2025 年 3 月の予定

目　的　：　公道上における電気自動車への走行中給電技術の実証および社会的受容性の確認

関係者　：東京大学大学院新領域創成科学研究科藤本・清水研究室、株式会社ブリヂストン、日本精工株式会社、ローム株式会社、東洋電機製造株式会社、株式会社小野測器、株式会社デンソー、三井不動産株式会社、SWCC 株式会社、株式会社カーメイト、千葉大学宮城研究室の共同研究グループ



図 10　実証実験で使用する車両と路面構造

出所：東京大学大学院新領域創成科学研究科 記者発表，
https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10514.html (2024/2/8 確認)

2)　ニーズ・課題、特定自動運行移動サービスへの期待の整理

柏の葉地区における関連施設等との連携可能性やニーズを把握するため、デスクトップ調査のほか、東武バス株式会社、東武バスセントラル株式会社等への聞き取りを行った。

(1) 柏の葉地域での今後の公共交通について

i)　公共交通における課題

① 乗務員不足の深刻化

全国の大型二種免許保有者を年齢別にみると、バスやタクシーではドライバーの高齢化が進行している。2022 年 5 月以降は、大型免許、中型免許のいずれも 19 歳以上で普通免許等(普通免許・準中型免許)の保有歴 1 年以上で大型二種免許受験が可能になっている、女性ドライバーの積極採用を行っているなどの背景があるものの、令和 3 年から令和 4 年の 1 年でも保有数は 2 万人減少しており、特に 40 歳未満が少ないことから、将来的により一層ドライバー不足が深刻になると見込まれる。

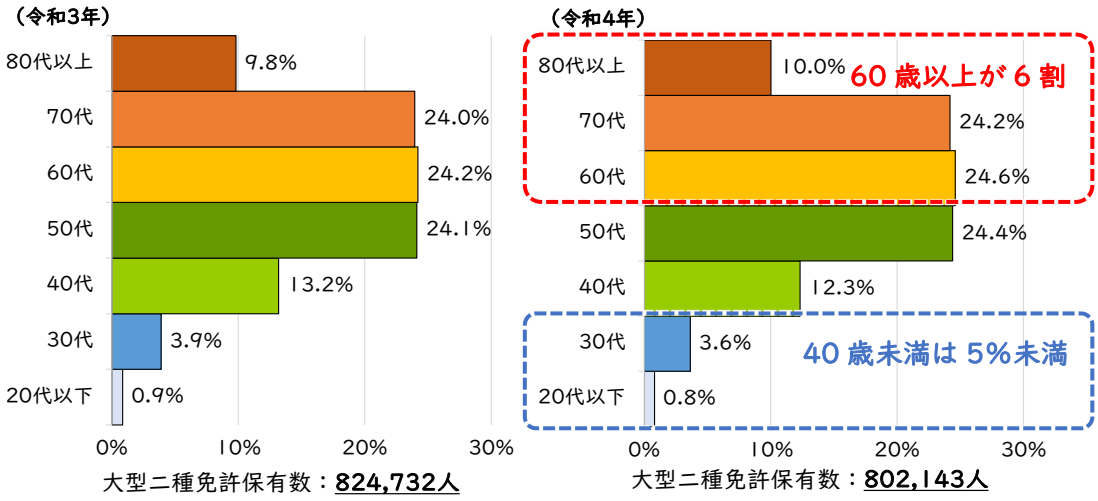


図 11　大型二種免許保有者数の年齢階層別割合(全国)

出所:警察庁「運転免許統計」(令和 3,4 年版)より作成

② 乗務員の労働時間の見直し

トラック、バス、ハイヤー・タクシー等の自動車運転者について、労働時間等の労働条件の向上を図るため、拘束時間の上限、休息期間について基準等が設けられている。

2024 年にはこの基準の改正が予定されており、運転士の労働環境改善が見込まれるが、運転士 1 人当たりの運転時間が短くなるため、現在の運行ダイヤの維持に向けて運転士不足に拍車がかかる可能性がある。

表 1　バス運転士の勤務時間の見直しのポイント（抜粋）　赤字：変更点

	1 年の拘束時間	1 ヶ月の拘束時間	1 日の休息期間
改正前	3,380 時間	原則 281 時間（月換算） 最大 309 時間（月換算）	継続 8 時間
改正後	原則 3,300 時間	原則 281 時間（4 か月連続は不可） 最大 294 時間	継続 11 時間を基本とし 9 時間下限

出所：厚生労働省「自動車運転者の長時間労働改善に向けたポータルサイト」より作成

ii）　路線バスへの自動運転バス導入の考え方

柏の葉地域にて自動運転バスを導入した場合に考えられる今後の路線バスの運行について、東武バス株式会社、東武バスセントラル株式会社及び株式会社ヴァル研究所より以下の観点から認識を共有いただいた。

① バス路線の検討にあたり必要な事項（ルート・ダイヤ、運行、労務など）
② 導入のステップ（導入車両数と導入路線）
③ 導入ルート検討にあたっての前提条件（ニーズに応じた区間ごとの役割整理）
④ 考えられるルートモデル案

iii）　自動運転に対する期待

バス事業者における自動運転バスの導入に期待する事項として以下の意見をいただいている。

- 自動運転は乗務員不足解消のみならず、社員の心理的負担軽減など様々な効果が期待される。
- 営業所単位で考えると、利用者の多い黒字路線に自動運転バスを投入することで乗務員の休憩時間などに縛られない運用を実現でき、手動で運行する路線へ労働力を割くことが可能となる。
- 自動運転の系統においては、安定的な輸送力により“運行便数が増え、利用者がさらに

増える” 好循環による収益創出につながるものと思料する。

- 乗務員コストの軽減だけでなく、基幹路線を走行する自動運転バスと、小型のモビリティを連携させることなどによって、自動運転バスによるバス事業者の収入を増やす取組みは、全国の路線バス事業者の生き残りのために不可欠。

II. 特定自動運行移動サービス実施体制の検討

2026（令和 8）年度以降の特定自動運行移動サービスの実施体制、及びそれを実現するために2025（令和 7）年度までのサービス実証で検証すべき事項について、検討を行った。

上記検討の成果として、2024（令和 6）年度以降も引き続き検討・調整を行うことを前提に、2023（令和 5）年度時点での調整状況について整理したほか、2024（令和 6）年度の継続的な検討・調整方針を取りまとめた。

具体的な検討内容は、以下の通りである。

- 既存の路線バス・コミュニティバス等の運営体制、地域関係者との連携手法について、事例収集を行い、連携・体制の構築手法及び構築にあたっての課題を整理する。
- 柏の葉地区における運営体制の検討を行い、各案のメリット・デメリット・課題事項等を整理する。また各体制案に参画するステークホルダーの役割・責任分界についての論点整理を行う。

1） ステークホルダーの役割整理

混在空間における特定自動運行移動サービスの事業モデルを構築する上では、協調型システムや自動運転車両のコスト等を運賃収入による単独採算で賄うことは困難であり、特定自動運行移動サービスにより価値を享受すると考えられる地域ステークホルダーと連携した実施体制とする必要がある。ここではこの考え方に基づき、R4 年度に作成した「地域ステークホルダー体制図（素案)」を踏まえた「特定自動運行サービスを実現できる体制」の検討を行った。

検討のプロセスは、以下の通りである。

(1) 検討体制の構築

(2) コンセプトステークホルダー運行サービスを行うために必要な役割の再確認

(3) 役割分担（案）の作成

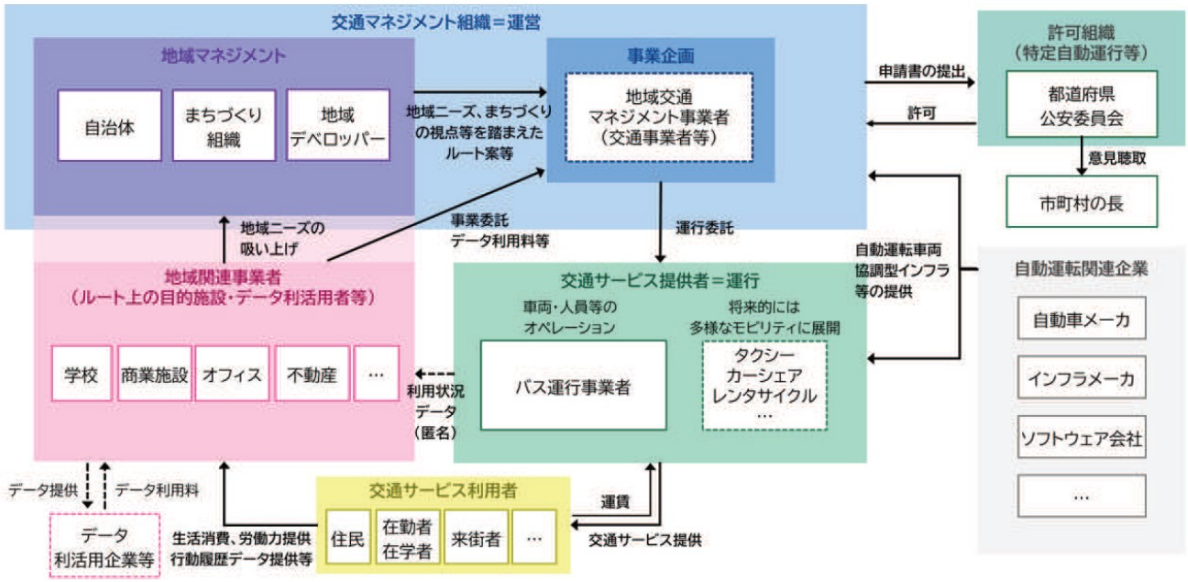


図 12　地域ステークホルダー体制図（素案）

(1) 検討体制の構築

実施体制の検討にあたっては、柏の葉地域における地域ステークホルダー候補の組織等をメンバーに含む「事業モデル検討チーム MTG」を隔週・柏の葉地区での対面開催を原則として設定し、地域関係者の活発な議論を創出する場とした。同 MTG のメンバーは表 2 の組織から参加した計 40 名である。

表 2　事業モデル検討チーム　メンバー一覧

東京大学	名古屋大学	産業技術総合研究所	ITS Japan
柏市	東武バス	東武バスセントラル	ヴァル研究所
三井不動産	UDCK	パシフィックコンサルタンツ	三菱総合研究所／エム・アール・アイリサーチアソシエイツ

(2) コンセプトの検討

実施体制の構築にあたっては、まず「何のために特定自動運行サービスを実施するのか」というコンセプトについて、関係者間で共通認識を持っておくことが重要である。コンセプトの検討にあたっては、需要面、事業面、技術面の 3 点を考慮することが必要になるが、各要素の具体的な内容は、それぞれ以下のように示すことができる。

- 需要面：ニーズがあるか、まちづくりに繋がるか
- 事業面：持続可能な移動サービスが提供できるか
- 技術面：技術的に実現可能か

なお需要面・事業面・技術面とコンセプトの関係は、図 13 のように示すことができる。



図 13　需要面・事業面・技術面とコンセプトの関係

また各観点において留意すべき点として、以下のような事項が考えられる。

- 需要面：自動運転車両の導入により捻出された乗務員等を活用し、まちづくりに資する新路線の設定、従来路線の維持などにつなげることが有効。また自動運転の話題性や「乗務員による運転操作が原則不要」という利点を生かした新たなサービスの提供も検討すべき。
- 事業面：従来自動運転車両は、過疎地域・ラストワンマイル等、現状では採算性の悪化・乗務員不足等の理由で維持が困難な路線に充当することを中心に考えられてきた。しかし協調型システム・自動運転車両等の大きなイニシャルコストを考慮した場合、むしろ利用者及び本数が多い基幹路線に自動運転車両を導入してインフラをフル活用しつつ、そこから捻出した乗務員等を現行で維持困難な路線に充当し、その維持を図るほう

が効果的である。

- 技術面：自動運転車両のほか、協調型システムとして「自己位置推定のための道路インフラ」「信号検知」「物標情報検知」「車内監視・遠隔監視システム」等の費用が発生する。

以上の点を柏の葉地区の現状に当てはめ、柏の葉地区でR8（2026）年度以降、将来的に実現したいコンセプトを以下の通り定義した。

目指す「まちづくり・地域づくり」を実現するために必要となる移動サービスの一つとして、まずは基幹ルートへレベル 4 自動運転バスを導入し、それを契機に、地域全体の移動サービスを最適化し、地域全体の移動サービスレベルを維持・向上させることにより、地域活性化や魅力向上にも寄与する好循環を創出する。

なおコンセプトにおける「好循環」は、図 14 の通り示すことができる。

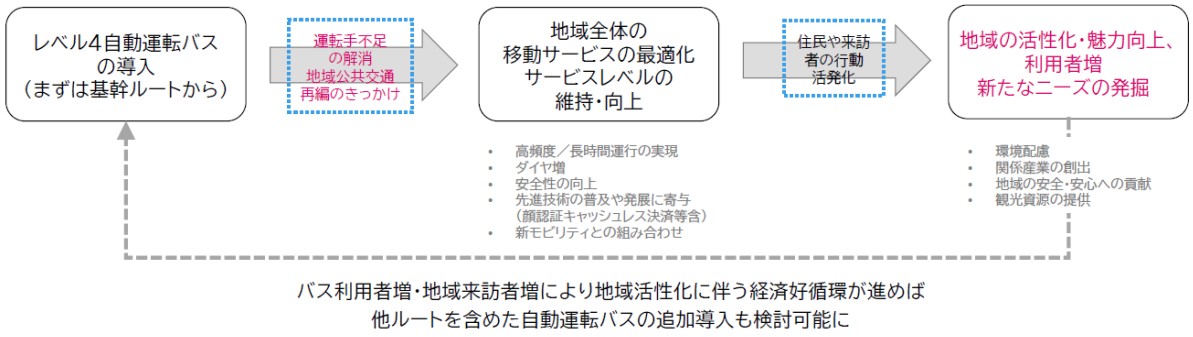


図 14　コンセプトイメージ

そしてこのコンセプトを具現化した形について、「幹」「環」「節」「その他全体」の 4 つの観点から検討し、図 15 の通り地域全体の需要に対する交通体系の構築案を設定した。



図 15　将来的なコンセプトを具現化した交通体系イメージ

(3) 特定自動運行サービスを行うために必要な役割の再確認

まず今年度の検討において新たに明らかとなった、特定自動運行サービスを行うために必要な役割とその担い手としては、以下のような項目が挙げられる。

i)　地域ステークホルダーの協議・調整を行う場

R4 年度までの検討においては、自動運転車両の走行を取り巻く多様なステークホルダーを整理したが、実際の運行に際しては、これらの関係者間で必要な協議・調整を行う場が不可欠となる。これには道路運送法で定められる「地域公共交通会議」の場を活用することが適切である。同会議は地方自治体が主宰し、地方運輸局、交通事業者、住民・利用者代表、道路管理者等が構成員となり、地域の交通のあり方や運賃を決める会議体となっている。本会議を活用することは、直接的・間接的に特定自動運行サービスに関与する多くの関係者が一堂に会し、その意見を聞くことができるだけでなく、従来の路線バスにとらわれない新たな運行形態を含めたサービスを検討する本検討において、道路運送法上の手続きが弾力化されるメリットが存在する。

また柏市においては本会議が「柏市交通政策審議会地域公共交通部会」として開催されているが、同会議は地域公共交通の活性化及び再生に関する法律（以下、「地域交通法」という。）に定められた法定協議会と合同で開催されている。法定協議会ではバス・タクシー等に限らない多様な交通モードについて議論することが可能となっていることから、この点でも総合的な交通体系の一環として特定自動運行サービスをとらえることができ、適した協議・調整の場になると言えよう。

ii） 協調型システムの所有・管理を行う主体

協調型システムには主に「設置及び維持管理に大きなコストがかかる」「他の道路設備と比較して、頻繁なアップデートが必要となる」といった特徴がある。この特徴を踏まえると、図 12 に記載されているステークホルダーのうち、特にバス運行事業者や地域マネジメント組織、インフラメーカーがその所有・管理を行うことは、以下のような点から必ずしも現実的ではないと考えられる。

- バス運行事業者：日本で一般的となっている「公共交通の運行に必要なインフラは、交通事業者自身で保有・管理する」という考え方に沿った場合、これらの組織が担う手法が考えられる。しかしその大きな設置・維持管理コストは運賃収入を主とする交通事業者のビジネスモデルになじまないだけでなく、「路側機で送受信するデータについて、自家用車など他の交通にも利活用できる可能性がある」という点でも、受益者の一部となる交通事業者がそのコストを全て負担するという問題が生じる。
- 地域マネジメント組織：地域の財産として、地域デベロッパー等の地域ステークホルダーが所有・管理を行う手法も考えられるが、高額なコスト及び頻繁なアップデートへの対応が困難と考えられる。
- インフラメーカー：協調型システムを製造するメーカー自身が保有する場合、その収益源としては機器のリースのようなやり方が考えられる。しかし交通事業者等がリース料として支払える金額には限度があり、インフラの減価償却費用を賄うことは非常に難しいと考えられる。またインフラメーカーが十分な利益を上げられない場合は、製造の縮小・撤退な度特定自動運行サービスの普及に必要な体制が縮小してしまう恐れもあることから、インフラメーカー自身が保有・管理を行うことは適切ではないと言える。

これらに代わる協調型インフラの保有・管理組織としては、大きく以下の 3 案が考えられる。

- 国：今後の特定自動運行サービスの全国展開を見据えた場合、各地で独自の仕様がガラパゴス的に林立することは、車両側仕様の複雑化などにつながり望ましくない。そこで、信号機と同様に協調型システムを「交通を制御するインフラ」と考え、国が一元的に規格・所有・整備を管理するという考え方も成り立つ。ただし全国の路側機を一元的に所有・管理するためには莫大な費用が発生する点、協調型システム特有の「頻繁なアップデート」への対応策などを検討する必要がある。
- 協調型インフラの保有・管理を専門とする組織の立ち上げ：類似した組織としてはVICSセンター（一般財団法人　道路交通情報通信システムセンター）があり、システムを一元的に保有・管理しながら、その使用料を中心とした収入により、必要な費用を賄っている。このほかに PTPS や ETC など、協調型インフラと同様に路側インフラの整備を行

っている事例については、図 33 そのスキームをまとめている。一方協調型システムで同様の組織を立ち上げる場合には「必要な費用を賄う仕組みづくり」「全国規模で展開する場合の出資者」など、今後解決すべき複数の課題が存在する。

- 特定自動運行サービスに特化した「地域モビリティサービス事業者」の設立：詳細なあり方については後述するが、交通サービス利用者からのサービス利用料だけでなく、関係するステークホルダーから幅広く出資を募る事業者を設置する手法である。この事業者が特定自動運行サービスの実施主体になるとともに、（必要に応じて補助金等も受領しながら）協調型システムの保有を行うことで、特定自動運行サービスに必要なインフラ類を一元的に管理することも可能になる。

上記 3 案、またそれ以外の選択肢の中から、協調型インフラの保有主体に関する最適解については成案を得られていない状況であり、引き続き検討を行っていく。

(4) 役割分担（案）の作成

以上を踏まえ、地域ステークホルダーの役割分担の検討を行った。体制としては「従来型事業の延長」と「新たな枠組みの構築」という 2 点を軸に検討した。

i) 従来型事業の延長① コミュニティバス体制

コミュニティバスの運行形態にも複数のパターンが存在するが、ここでは自治体が運行主体となった上で、交通事業者に運行委託を行い、交通事業者がその運行実務を担うパターンを想定する。特定自動運行サービスをこの形態で実施する場合、各ステークホルダーの役割は図 19 のように図示することができる。

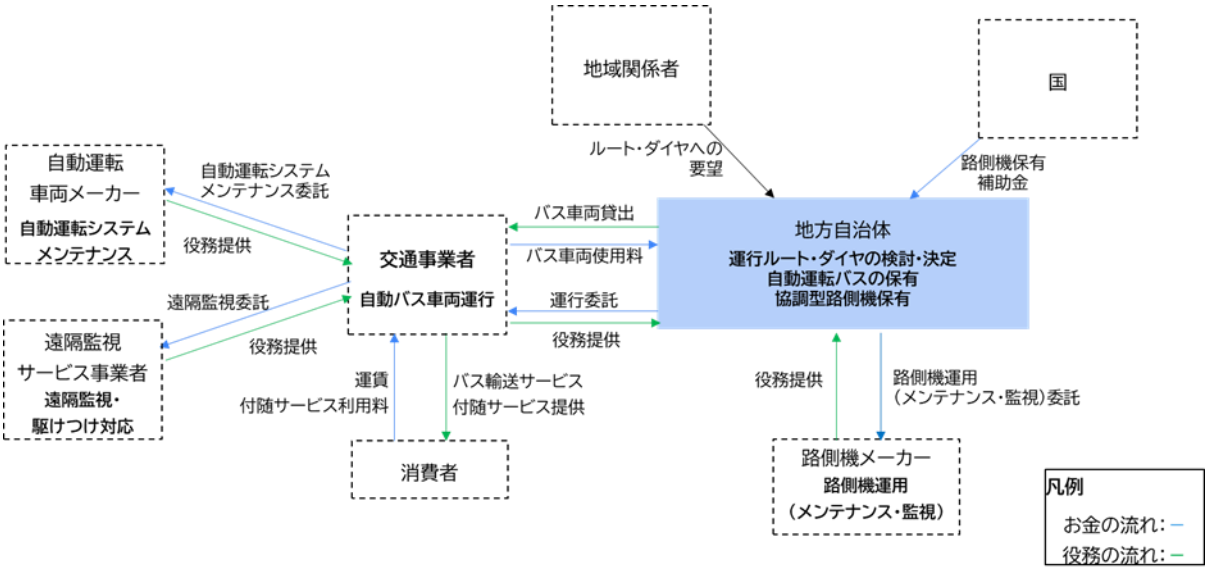


図 16　コミュニティバス体制における地域ステークホルダー体制イメージ

ii)　従来型事業の延長②　路線バス体制

既存の路線バスと同様、交通事業者が必要な財産の所有・管理から運行までを一元的に担う形態である。特定自動運行サービスをこの形態で実施する場合、各ステークホルダーの役割は図19のように図示することができる。

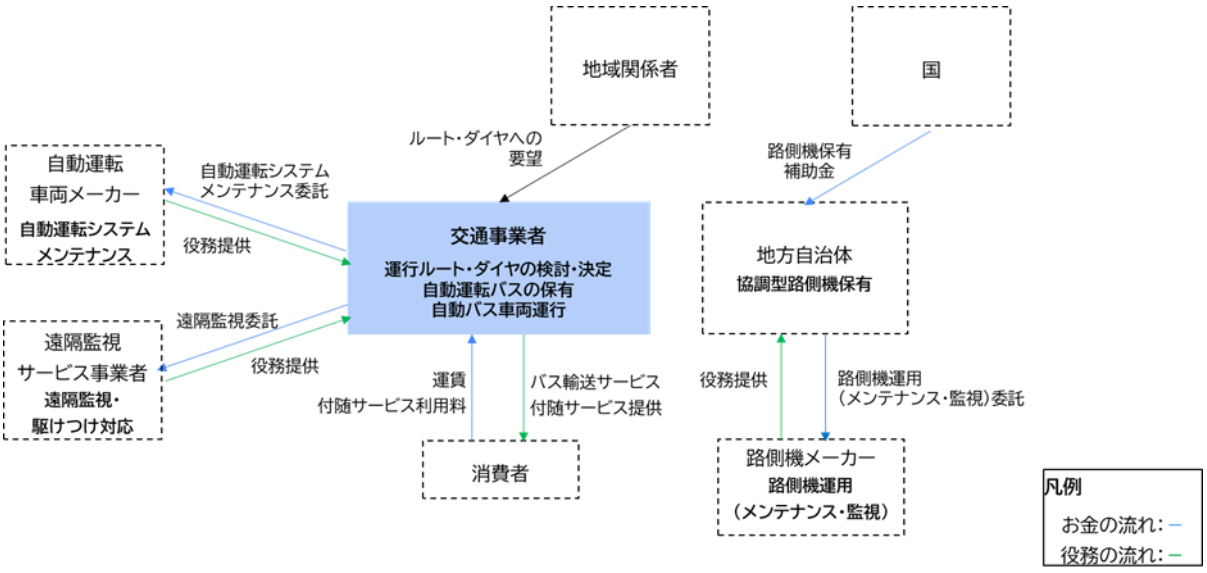


図 17　路線バス体制における地域ステークホルダー体制イメージ

iii)　新たな枠組みの構築①　特定自動運行サービス事業者による運行

新たな枠組みの 1 つとして、「特定自動運行サービス事業者」による運行が考えられる。これは自動運転車両や協調型システムを保有し、全国各地で特定自動運行サービスを担う事業者が現

れることを念頭に、地域から同事業者に運行を委託するパターンである。現在各地で行われている自立型システムの自動運行実証では BOLDLY、TIER Ⅳなどの事業者が保有する車両・運行管理システムを用いて実証が行われている場合が多い。特定自動運行サービスをこの形態で実施する場合、各ステークホルダーの役割は図 18 のように図示することができる。

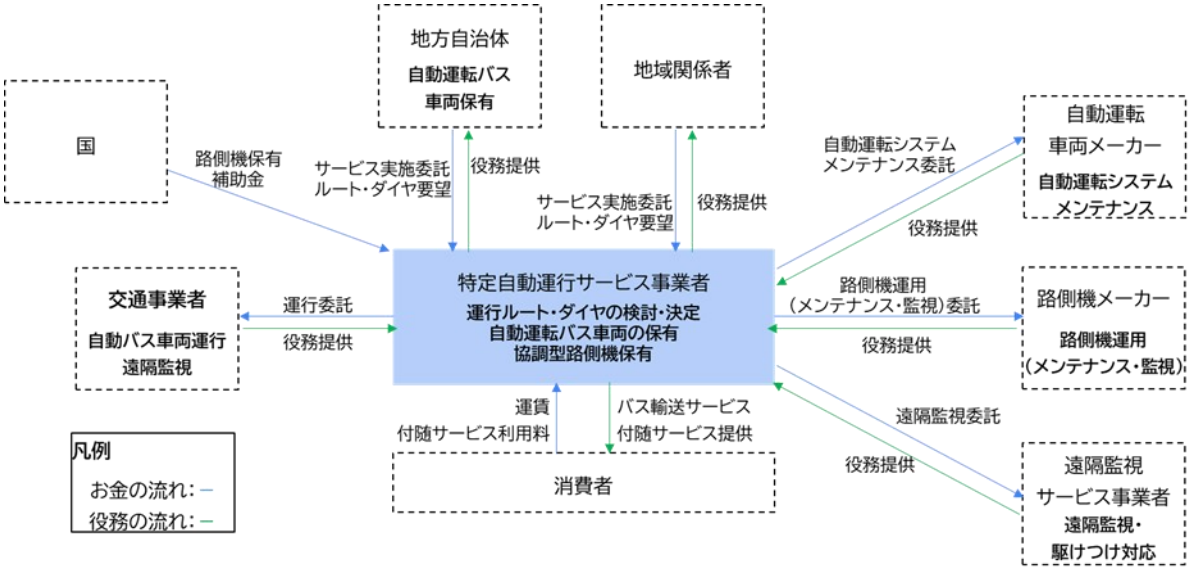


図 18　特定自動運行サービス事業者を活用した地域ステークホルダー体制イメージ

iv)　新たな枠組みの構築②　SPC による地域モビリティサービス事業者の設立

ここでいう SPC（Special Purpose Company）は、PFI（Private Finance Initiative；民間資金等活用事業）等の公共事業における官民連携分野において、対象事業のみを実施する企業体を想定している。SPC の特徴は、関係主体による相互出資により設立し、現有資産等を担保にするのではなく、当該事業が生み出すキャッシュフローをベースにした資金調達（プロジェクトファイナンス）を行うことが可能という点である。SPC を活用した一般的な事業スキームを図 19 に示す。

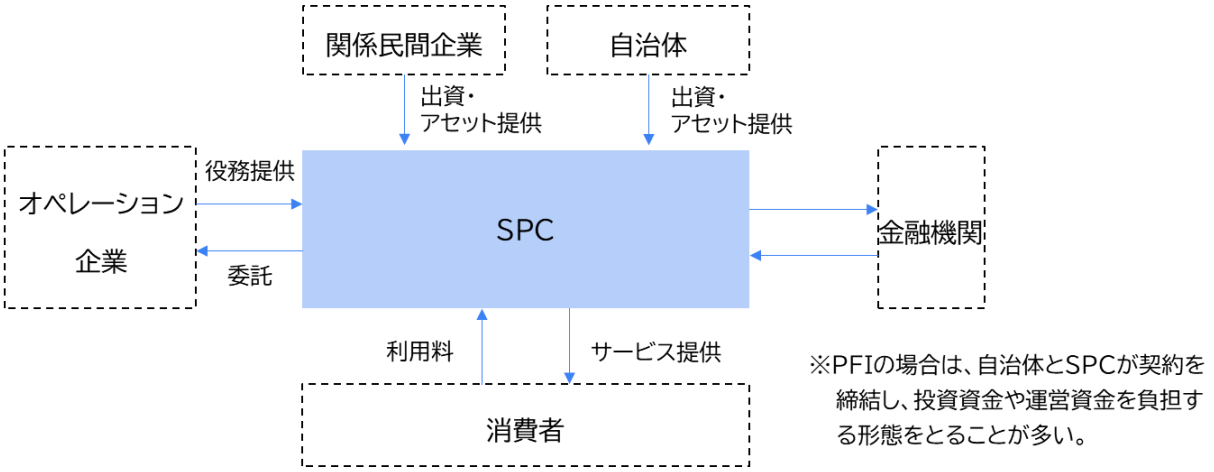


図 19　SPC を活用した一般的な事業スキーム

本検討では、交通分野における先行事例が少ないことから、地域関係者の出資により SPC 形態の「地域モビリティサービス事業者」を組織し、特定自動運行サービスに必要な役割・権限を一手に担い資金調達を実施することを検討した。SPC を活用した地域ステークホルダー体制のイメージを、図 20 に示す。

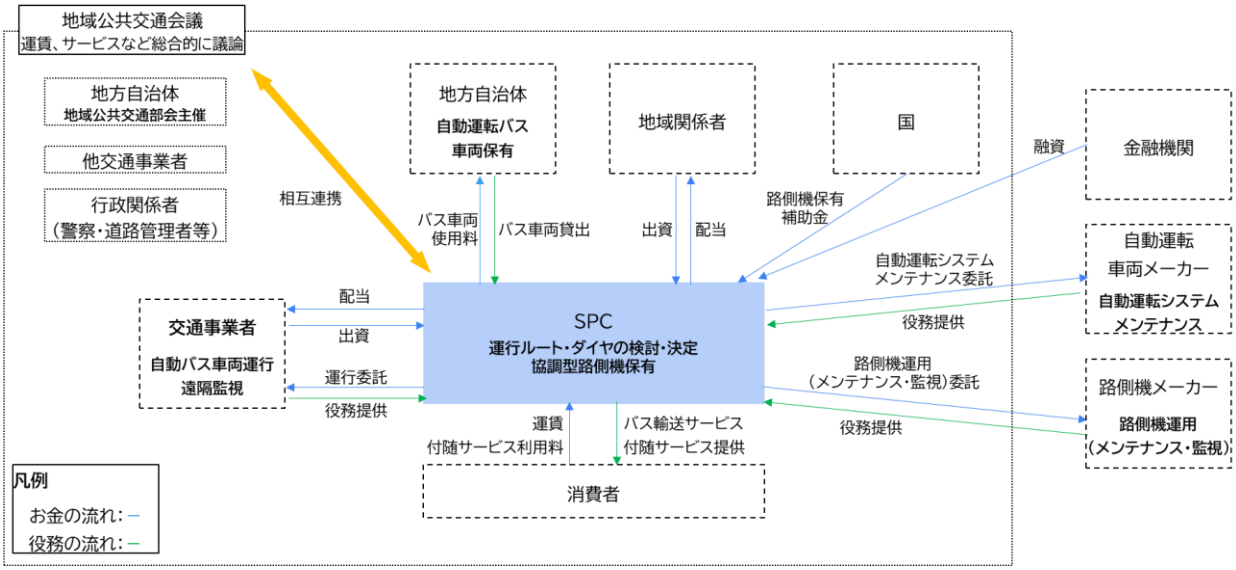


図 20　SPC を活用した地域ステークホルダー体制のイメージ

この体制において、各ステークホルダーの分類・役割は以下のように整理することができる。

- 地域モビリティサービス事業者（SPC）：地域ステークホルダーの出資により設立し、特定自動運行移動サービスの全体を企画・実施する主体として、運行ルートやダイヤの検討・決定を行う。また路側機等を含めた協調型システムの保有も行う。この他に、シェアモビリティをはじめとする新たなモビリティサービスについても、その企画及び運営

を実施する。

- 地域公共交通会議：地方自治体が主催し、地域の多様なステークホルダーが参加する会議体。地域モビリティサービス事業者による新たなモビリティサービスの企画と相互連携し、地域の交通について包括的な検討を行う。
- 交通事業者：地域モビリティサービス事業者の出資者の 1 つであるとともに、同者から委託を受けて自動運転車両の運行を行う。
- 地方自治体：地域公共交通会議を主催する役割を有する。また自治体という性質上、営利を目的とする地域モビリティサービス事業者への出資が難しいことから、同者に代わって自動運転車両を保有し、車両使用料を収受しながら同者に貸付を行う役割を担うことが考えられる。
- 地域関係者：まちづくり団体、地域デベロッパーといった地域に包括的な関与を行う事業者のみならず、病院、商店等多様な事業者を想定する。特定自動運行サービスの実施に際し、地域モビリティサービス事業者への出資という形で運営コストを一部負担し、収益に応じた配当を受ける。
- 国・金融機関：イニシャルコストが大きな特定自動運行サービスの開始にあたり、国は協調型システムの保有等に関する補助金、金融機関は融資という形で、それぞれ地域モビリティサービス事業者への金銭的支援を実施する。
- 自動運転車両メーカー・路側機メーカー：特定自動運行サービスの実施に必要なそれぞれのインフラについて、地域モビリティサービス事業者からの委託を受け、メンテナンスや監視といった運用業務を実施する。
- 交通サービス利用者：地域住民や地域への来訪者等、レベル 4 自動運転サービスを用いる主体。移動に対する運賃のほか、特定自動運行サービスによる付加価値に対する費用を支払う。

なお上記の役割分担は一例であり、実際に各体制を担う事業者の特性等に応じて、変更することも考えられる。例えば上図で SPC が保有することとしている路側機を外部団体が保有する、交通事業者が担うこととしている遠隔監視を SPC が担うといった手法が考えられる。

R5 年度は上記のように「複数の実施スキームが考えられ、それぞれのスキームにおける各ステークホルダーの役割がある」という点まで整理を行った。その上で、柏の葉地区におけるステークホルダーの体制図・役割分担については、後述する運行実施体制とあわせ、引き続き検討を行っていく。

2)　運行実施体制の構築調整

(1) 運行形態の検討

i)　想定される運行形態

道路運送法上の事業区分としては、有償・無償、利用者の限定の有無、輸送時の利用者の契約先により図　21 のような事業がある。このうち柏の葉での現在の自動運転シャトルバス（レベル 2）は一般貸切旅客自動車運送事業で運行を行っている。

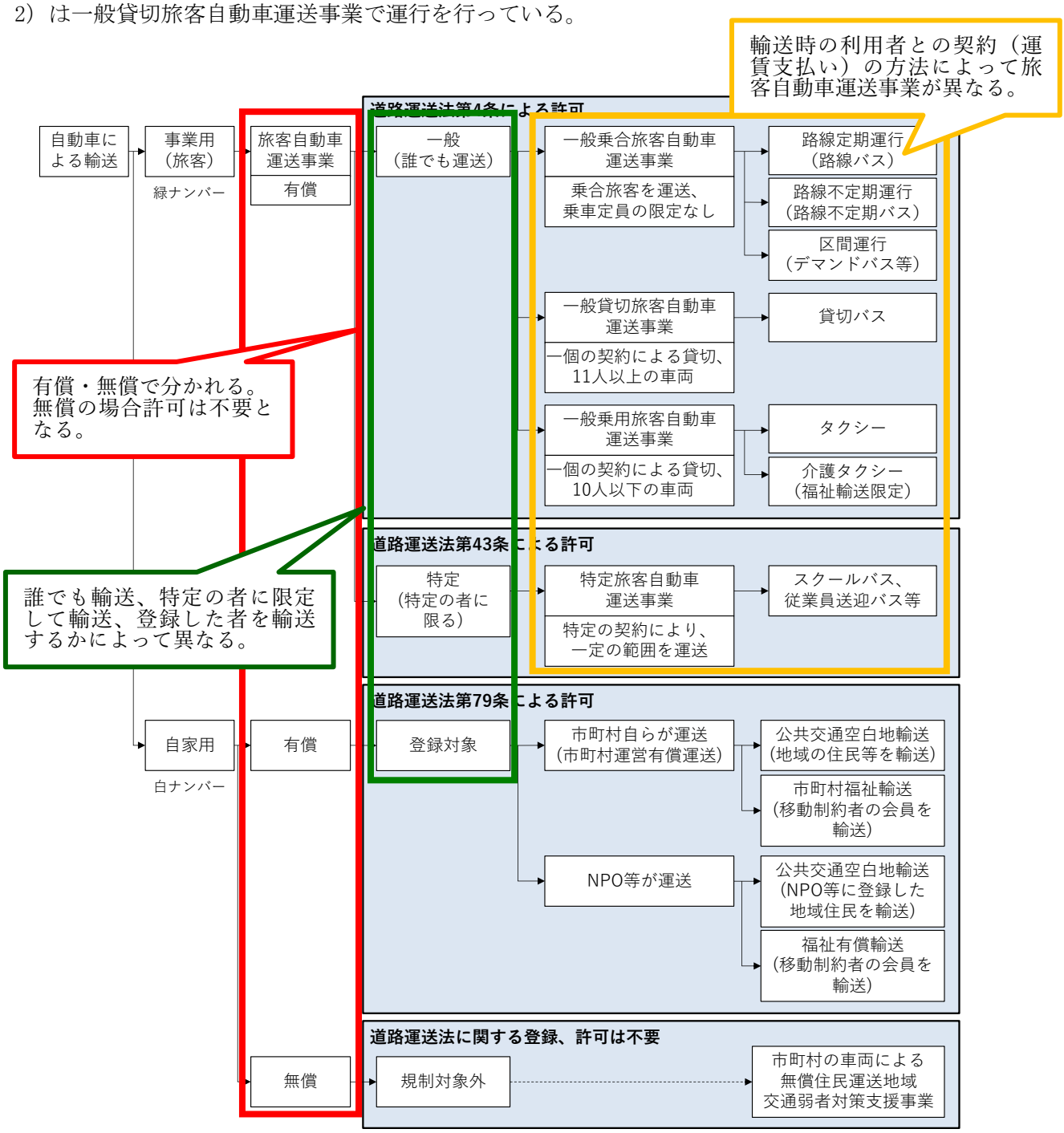


図 21　道路運送法上の事業区分

2025 年の実証運行では、バス車両にて一般の方も多く利用することができる運行形態として、4 条乗合・21 条貸切乗合・4 条貸切のいずれかを想定する。

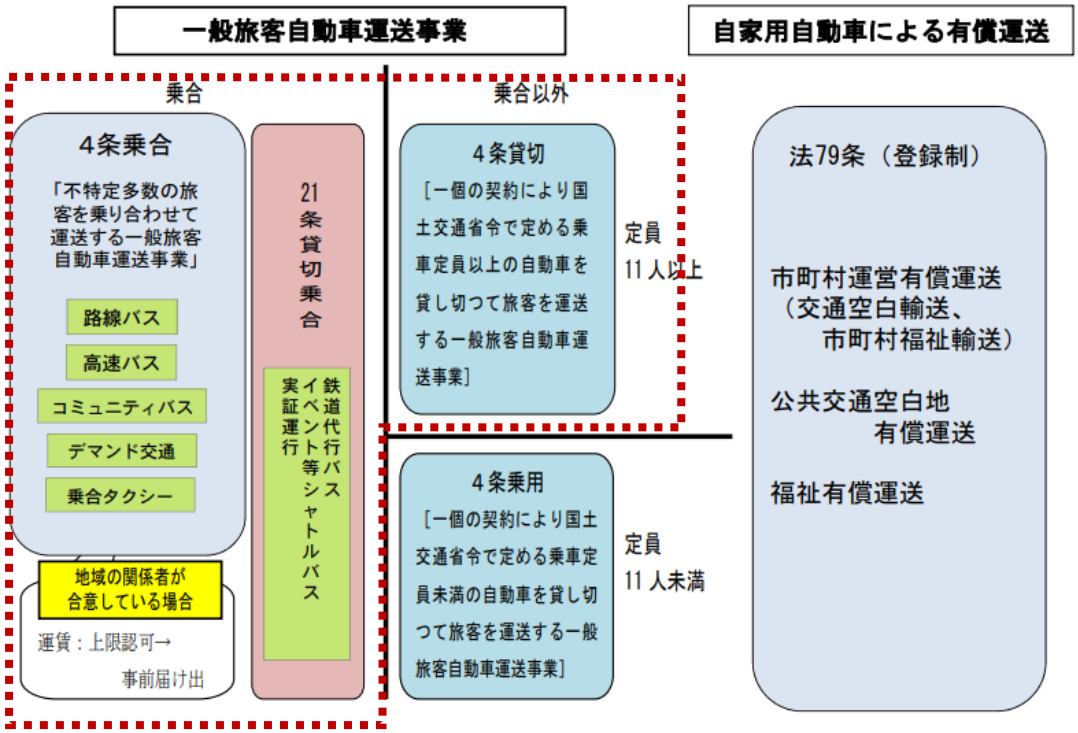


図 22　2025 年実証にて想定される運行形態

出所：国土交通省関東運輸局, https://wwwtb.mlit.go.jp/kanto/content/000164269.pdf ,(2024/2/8 確認)

それぞれの事業区分での特徴は、表 3 のとおりである。

21 条、4 条の貸切運行の場合、運賃やルートの規定がなく柔軟に設定が可能である。また、4 条一般貸切の場合は立ち乗り等利用者の制限が比較的柔軟に実施できる。

21 条での貸切乗合は、4 条乗合に対して、申請手続き等が簡素化されており、また予備車両が不要といったメリットがある。

表 3　運行形態別の事業内容

		4 条　一般乗合	21 条　貸切乗合	4 条　一般貸切
事業分類		一般乗合旅客自動車運送事業	一般貸切・一般乗用旅客自動車運送事業者が乗合旅客の運送を行うことが可能	一般貸切旅客自動車運送事業
運行期間		規定なし	原則 1 年間以下（通算 3 年程度）	5 年ごとの更新
申請	**許可**	国土交通大臣の許可	運輸局届け出	国土交通大臣の許可
	必要な期間	3 ヶ月	2 ヶ月	4 ヶ月
	内容	運賃：届出、ルート：許可	運賃：届出、ルート：許可	運賃：届出、ルート：規定なし
サービス	**乗客による支払い**	あり	あり	基本なし（ただし模擬的に設定は可能）
	停留所	路線バス用バス停	路線バス用バス停	原則、路線バス用バス停以外
	利用者	一般	一般	運行供用者との契約者
	立乗	基本立ち乗りが可能	基本立ち乗りが可能	立ち乗り不可にできる
その他		1 営業所ごとに、最低 5 両の常用車		

21 条貸切乗合の概要は、図 23 のとおりである。

なお、一般的には 4 条一般乗合事業免許をもたない事業者を想定した制度であるが、実証実験の実施での一般乗合旅客自動車運送事業や代替車の準備ができない場合などの場合には、一般乗合旅客自動車運送事業、一般貸切旅客自動車運送事業いずれの許可も受けている事業者でも 21 条貸切乗合の事業を行うことができている例がある。

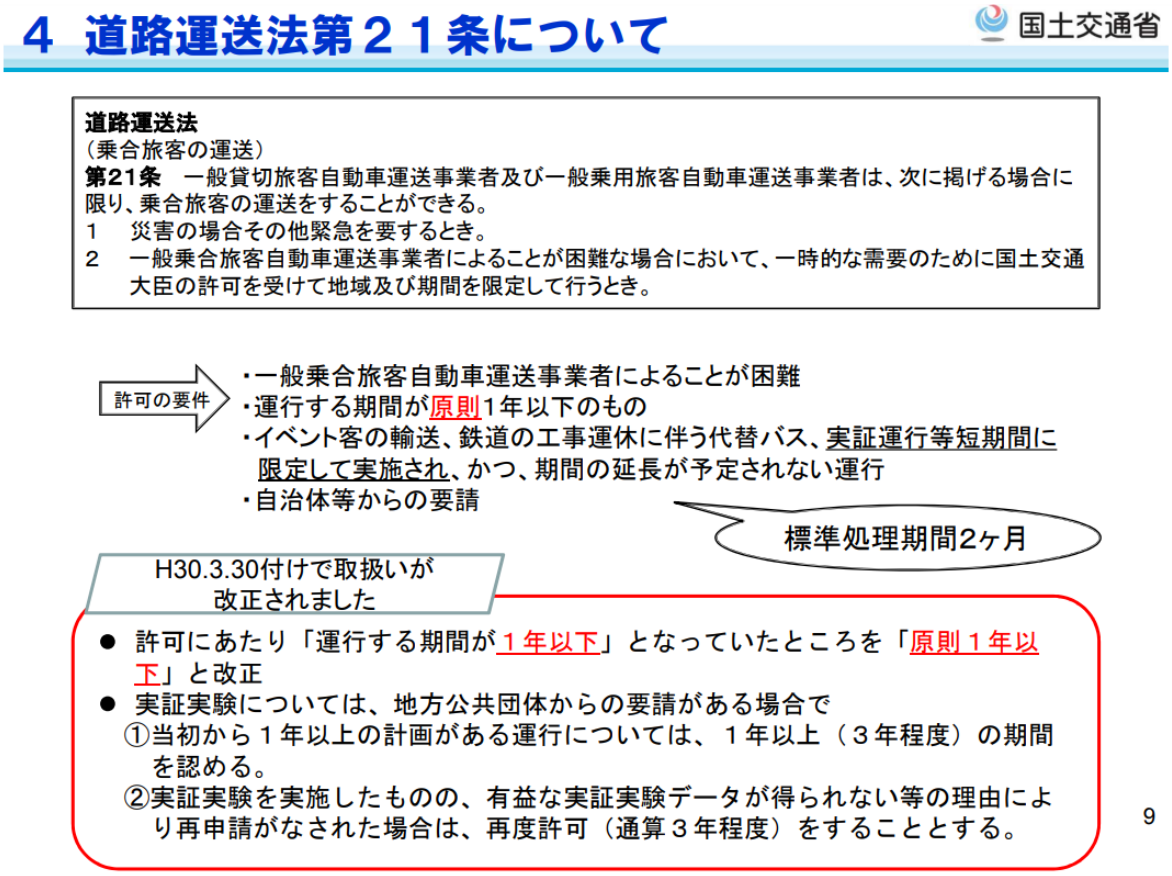


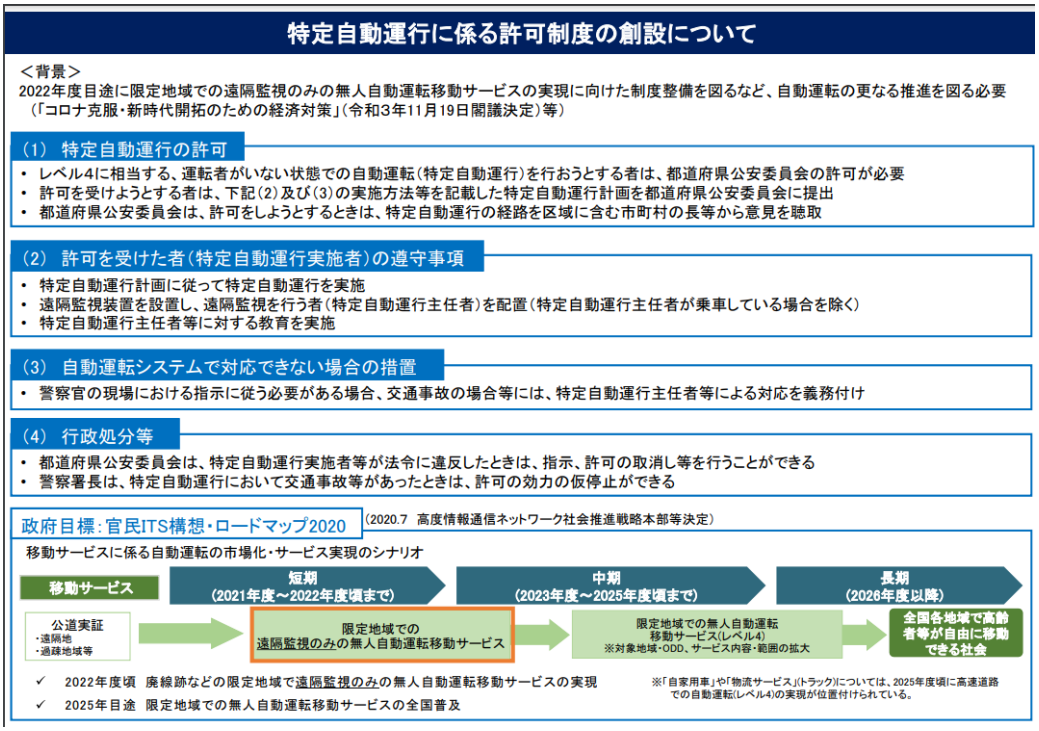
図 23　道路運送法第 21 条について

出所：国土交通省関東運輸局, https://wwwtb.mlit.go.jp/kanto/content/000164269.pdf ,(2024/2/8 確認)

(2) 特定自動運行に関する体制の検討

i) 特定自動運行の制度

特定自動運行にかかる許可制度として、警察庁より以下が示されている。



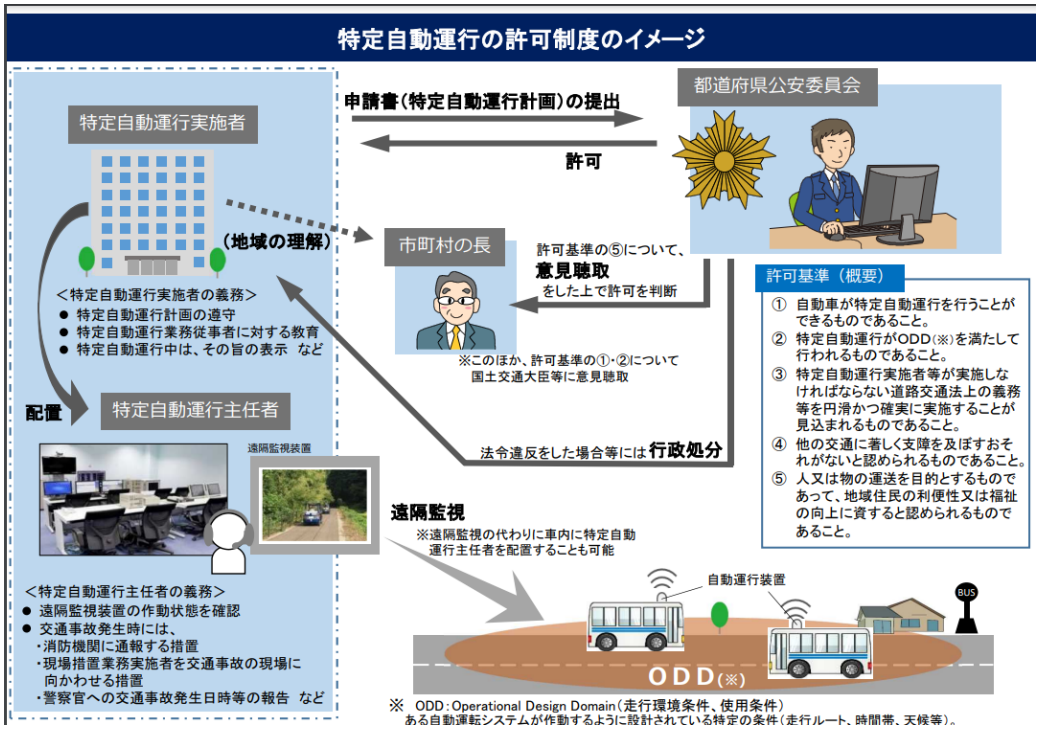


図 24 特定自動運行に関する許可制度の内容

出所：警察庁 HP, https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001485116.pdf ,(2024/2/8 確認)

ii） 特定自動運行に関連する主体に求められる役割

レベル 4 自動運転においては、特定自動運行の交通の安全と円滑を確保するために以下の役割が必要となる。

- 特定自動運行実施者
- 特定自動運行主任者
- 特定自動運行保安員
- 現場措置業務実施者

特定自動運行実施者が担うと想定される役割を関連法令等から推測したうえで、そのために対応が必要と考えられる事項について、表 4 の通り整理した。

また特定自動運行主任者・特定自動運行保安員・現場措置業務実施者についても同様に、関連法令等から推測される役割と、そのために対応が必要と考えられる事項を、表 5～表 7 に整理した。

表 4　特定自動運行実施者に求められると想定される役割と対応事項

想定される役割	対応事項	実施者への負担	2025 年の対応
特定運行の許可取得	【人員】申請書作成者、警察とのやり取り担当	△	CooL4 にて作成
許可事項の変更に関する申請・届出	【人員】申請書作成者、警察とのやり取り担当	△	CooL4 にて作成
特定自動運行計画記載事項及び付与された条件の遵守	【仕組】対応・教育訓練マニュアルが必要	△	CooL4 にて作成
特定自動運行主任者、現場措置業務実施者等の人員の指定、必要な教育の実施（教育は、教育事項について十分な知識のあるものが行う）	【仕組】教育訓練マニュアルが必要	△	CooL4 にて作成
	【人員】「教育事項について十分な知識のあるもの」の確保	●	実施者が主体的に実施
	【仕組】教育の実施が必要	●	実施者が主体的に実施
遠隔監視装置の設置または特別自動運行主任者の同乗の指示	【人員】車内に主任者を配置（現運転士配置と同様かつ上記教育を実施）	△	実施者が主体的に実施・主任者の配置が必要（運転士が兼ねる場合は変化なしの可能性）
特定自動運行中の車両の表示	【設備】表示機の製作・車両への設置工事が必要	—	CooL4 にて準備
運行記録計・作動状況記録装置による記録等	【設備】記録計、記録装置の製作と車両への設置工事が必要	—	CooL4 にて準備
	【人員】記録の回収、記録関係機器のトラブル対応	△	基本的には CooL4 システムで対応
事故等による運行中断時の、旅客の運行の継続	【人員】大型二種免許保有者が対応	△	オペレートが変更になる可能性
死傷者のあるときは、すみやかに応急手当その他の必要な措置その他の実施及び保安員による対応の確保	【人員】保安員による対応が必要	—	現在は運転士がおり人員としては路線バス等と同様

＜手動運転での運行と比較した負担の増減＞
（実質的な実施者への負担）
—大きな変化なし　△微増　●増加

表 5　特定自動運行主任者に求められると想定される役割と対応事項

想定される役割	対応事項	主任者への負担	2025 年の対応
（遠隔場合の）自動運行装置の稼働状態の監視と、正常作動していない場合の運行終了及び必要な措置の有無の確認	【仕組】対応マニュアルが必要	△	CooL4 にて作成
	【人員】教育を受けた対応が必要	●	主任者が主体的に実施
特定自動運行が終了した場合の、必要な場合の警察官の指示等への対応	【人員】教育を受けた対応が必要	●	主任者が主体的に実施
現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる措置	【人員】教育を受けた対応・現場措置業務実施者への連絡等	●	主任者が主体的に実施
事故時の消防署への通報する措置（人の死傷がないことが明らかな場合を除く）	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
事故時の警察署への通報	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
事故時の負傷者救護・道路における危険防止措置	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
事故時の警察官への報告	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
事故時の現地待機	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
警察官の通行禁止等の指示に従うこと	【人員】教育を受けた対応が必要	―	路線バス等と同様
故障時の表示・適切な措置	【人員】教育を受けた対応が必要	△	自動運転車両特有の対応がある可能性

＜手動運転での運行と比較した負担の増減＞
（実質的な実施者への負担）
―大きな変化なし　△微増　●増加

表 6　特定自動運行保安員に求められると想定される役割と対応事項

想定される役割		対応事項	保安員負担	2025 年の対応
旅客の現在する特定自動運行事業用自動車内に指定物の持ち込みの禁止		【人員】教育を受けた対応が必要	—	路線バス等と同様
酒気帯びでの業務従事の禁止				
特定自動運行事業用自動車内での喫煙の禁止				
旅客が車内において法令の規定又は公の秩序若しくは善良の風俗に反する行為をするときに、これを制止し、又は必要な事項を旅客に指示する等の措置を講ずることにより、輸送の安全を確保し、及び特定自動運行事業用自動車内の秩序を維持するように努める				
車両の乗員定員が 11 名以上の場合	運行時刻前の発車の禁止			
	旅客乗車中の走行中の職務を遂行するために必要な事項以外の事項の発話の禁止			
	発車の直前に安全の確認ができた場合を除き、警音器を吹鳴する			
次の状態のときは、事業者に申し出る ー酒気を帯びた状態にあるとき　　ー疾病、疲労、睡眠不足、天災その他の理由により安全に業務を遂行することができないおそれがあるとき ー運行中に疾病、疲労、睡眠不足、天災その他の理由により安全に業務を継続することができないおそれがあるとき				
坂路において特定自動運行事業用自動車（遠隔から業務を行う場合にあっては、遠隔監視装置）から離れるとき及び安全な運行に支障がある箇所を通過するときは、旅客を降車させる				
車両故障等により踏切内で運行不能になったときは、速やかに旅客を誘導して退避させるとともに、列車に対し適切な防護措置をとり、事業者に報告する				
乗降口の扉は、停車前に旅客の乗降のために開かない				
発車音を吹鳴する場合は、旅客の安全及び車両の左側に、その運行に支障がないことを確認し、かつ、乗車口の扉を閉じた後、当該自動車を発車させる前に行う				
乗降口の扉が閉じたことを確認した後に発車させる				
特定自動運行保安員の業務の実施に円滑を欠くおそれがある服装をしない				
車両に同乗させるときは、保安員に制服を着用、又はその他の方法により特定自動運行保安員であることを表示する				
運行中に当該特定自動運行事業用自動車の重大な故障を発見し、又は重大な事故が発生するおそれがあると認めたときは、直ちに、運行を中止し、事業者に報告する		【人員】教育を受けた対応が必要	△	自動運転車両特有対応の可能性
業務を終了したときは、交替する特定自動運行保安員に対し、業務中の車両、道路及び運行の状況について通告する。この場合において、その業務に従事する特定自動運行保安員は、当該車両の制動装置、走行装置その他の重要な部分の機能について点検をする				

＜手動運転での運行と比較した負担の増減＞
（実質的な実施者への負担）
—大きな変化なし　△微増　●増加

表 7　現場措置業務実施者に求められると想定される役割と対応事項

想定される役割	対応事項	現場措置者への負担	2025 年の対応
当該交通事故の現場において、道路における危険を防止するため必要な措置	【人員】教育を受けた対応が必要	—	路線バス等と同様
負傷者を救護し、又は道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図るため必要な警察官の指示への対応	【人員】教育を受けた対応が必要	—	路線バス等と同様

＜手動運転での運行と比較した負担の増減＞
（実質的な実施者への負担）
—大きな変化なし　△微増　●増加

iii） 他事例での状況

柏の葉における 2025 年度の実証運行の役割分担を行うにあたり、他の事例における状況を確認した。ここでは、すでに特定自動運行の申請を行いレベル 4 での運行を行っている永平寺町での状況を確認している。なお、以下の整理は既存の資料等から想定したものであり、さらなる詳細な実態の把握においてはヒアリング等を行うことが必要となる。

永平寺におけるレベル 4 自動運転では、運行形態として「自家用有償旅客」を用いている。運行主体は市であり、まちづくり株式会社 ZEN コネクトに運行委託をしている。

また図 25 および図 26 の通り、「特定自動運行実施者・主任者」は運行委託を受けているまちづくり株式会社 ZEN コネクトが実施している。

なお、この整理は既存の資料等から想定したものであり、さらなる詳細な実態の把握においてはヒアリング等を行うことが必要となる。

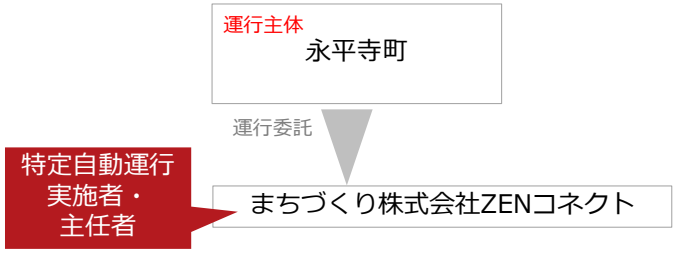


図 25　永平寺町での運行形態・特定自動運行実施者・主任者



図 26　永平寺町におけるレベル 4 自動運転の許認可の状況

このとき、永平寺町における特定自動運行に関する体制は、表 8 のとおりと想定される。

表 8　永平寺町における体制（想定）

役割	名称	永平寺町 （自家用有償）
安全な車両・システムの提供	**自動車製造業者（輸入事業者も含む）**	車両：YAMAHA システム：産総研
安全な道路の利用	**道路利用者（歩行者等）**	歩行者等
安全な移動サービスの提供	**（車両の）使用者**	まちづくり株式会社 ZEN コネクト
	運行供用者	永平寺町（運行主体）
	旅客運送事業者	―
	自家用有償事業者	**まちづくり株式会社 ZEN コネクト**
	特定自動運行実施者	**まちづくり株式会社 ZEN コネクト**
安全なサービス提供のために働く個人	**特定自動運行主任者**	まちづくり株式会社 ZEN コネクト
	現場措置業務実施者	まちづくり株式会社 ZEN コネクト
	特定自動運行保安員	まちづくり株式会社 ZEN コネクト

(3) ヒアリング調査による役割・体制のあり方の調査

レベル 4 自動運転を実施する体制として、交通事業者以外にも必要となると想定される主要なステークホルダーに対して、ヒアリング調査を実施した。ヒアリング結果を表 9 に示す。

表 9　交通事業者以外にも必要となる主要なステークホルダーへのヒアリング概要

ヒアリング先	ヒアリング内容	ヒアリング結果
技術開発者 車両メーカー	・路側機情報の活用について	・信号情報は必須であるが、その他の路側機情報は参考として使用できるようレベル 4 システムの車両を開発予定。
	・提供形態について	・販売、リースいずれも想定され、どちらにしてもメンテナンスの対応が必要になると想定している。
	・責任について	・車両自体のメンテナンスはバス事業者の責任で、自動運転にかかるハンドル・ブレーキは技術提供者の責任と想定される。
リース会社	・リース内容について	・リース料金としては、車両、センサー＋改造費、各種税金、メンテナンス、保険をパッケージ化している。 ・緊急時の代車の提供をリース代金へ含めることは難しい。
	・コストについて	・費用はセンサーやメンテナンス実施有無、路車協調、遠隔監視有無でも異なるが、通常のバスリース費用と一桁違う程度が想定される。
	・メンテナンスについて	・メンテナンスとしては 3 ヶ月に 1 回の定期点検（車両とセンサー）にて動作確認を実施している。導入初期と技術が定着した後ではメンテナンス頻度が変わる可能性もある。現状のスキームでは手間はさほど変わらないと想定される。 ・自動運転バスの耐用年数は通常より少ない場合も想定されるが、現状は通常のバスと差がない。
	・責任について	・リース会社として責任を追うことは想定していない。
保険会社	・自動運転向け保険サービスの内容について	・基本は自動車保険と同じであり、それに自動運転の特約を付ける形でレベル 2 は対応している。レベル 4 での保険商品はまだ検討段階だが、現状と大きく変わらない。 ・今後はシステムが被保険者となることが想定される。 ・インフラ協調機器の影響による自己は、施設賠償保険や求償での対応を想定する。 ・遠隔監視者に対し、緊急時の車両手配等のサービスは考えられる。
	・コストについて	・保険料は、事故の確率は上がるが、車両単価も上がるため、大幅に減少しないのではないか。

(4) その他駆け付け等に関する体制

その他、自動運転を行っている場合の駆け付け体制について整理を行う。

i) 2025 年実証運行時の体制の想定

2025 年実証実験時の駆け付け体制は、図 27 のような想定がされる。

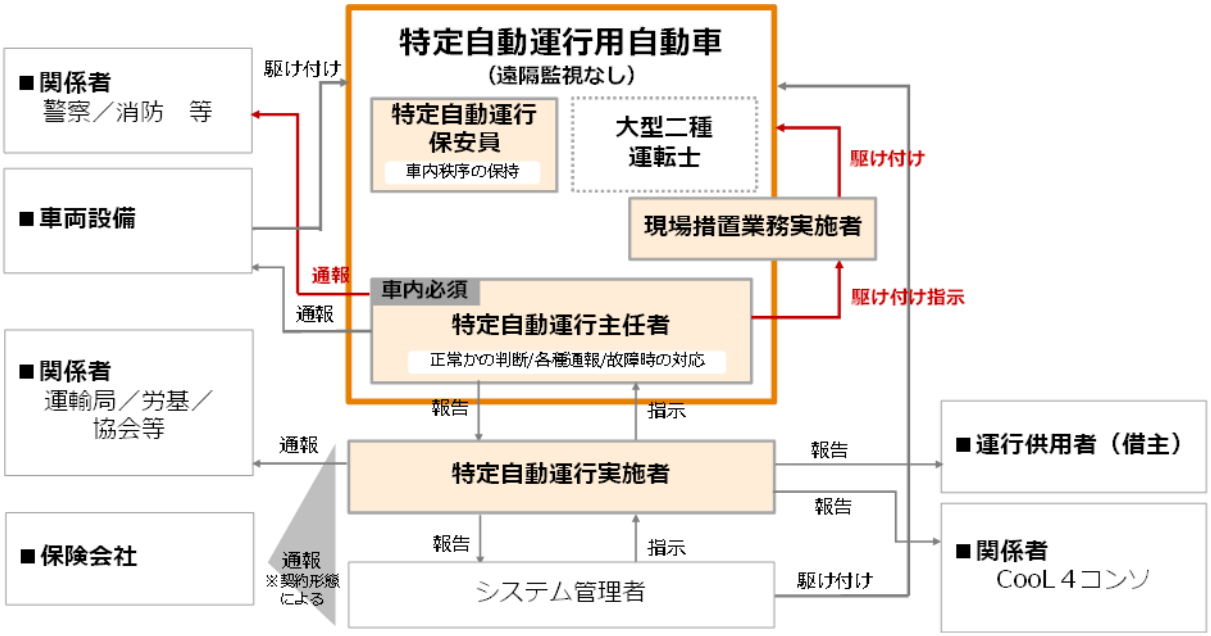


図 27　2025 年実証運行時の駆け付け体制の想定

(5) 2025 年実証運行時の柏の葉での想定

前述のとおり整理した永平寺町での実際の特定自動運行に関する体制等を踏まえ、柏の葉において仮に特定自動運行の申請を行った場合の体制を表 10 のとおり整理する。

柏の葉において現在のレベル 2 での体制を踏襲した場合、特定自動運行実施者は柏 ITS 推進協議会となり、特定自動運行主任者は東武バスセントラル株式会社などが考えられる。

※以下は検討のために提示した案であり体制に関して合意を得たものではない。

表 10　2025 年柏の葉実証運行時の体制（想定）

特定自動運行に
仮に当てはめた場合の想定

役割	名称	柏の葉 （貸切シャトル）
安全な車両・システムの提供	**自動車製造業者（輸入事業者も含む）**	車両；いすゞ自動車、システム：先進モビリティ（以下、「ASmobi」という。）
安全な道路の利用	**道路利用者（歩行者等）**	歩行者等
安全な移動サービスの提供	**（車両の）使用者**	東武バスセントラル
	運行供用者	**東京大学（借主）**
	旅客運送事業者	東武バスセントラル
	自家用有償事業者	―
	特定自動運行実施者	**＜柏 ITS 推進協議会＞**
安全なサービス提供のために働く個人	**特定自動運行主任者**	＜東武バスセントラル＞
	現場措置業務実施者	＜東武バスセントラル&ASmobi＞
	特定自動運行保安員	＜東武バスセントラル＞

前での整理に対して、4 条乗合（路線バス）、21 条貸切乗合、4 条貸切それぞれの運行形態を踏まえた場合に考えられる体制の案を示す。

※以下は検討のために提示した案であり体制に関して合意を得たものではない。

表 11　2025 年柏の葉実証運行時の体制（想定 2）

役割	名称	柏の葉案（路線バス想定/4 条乗合）	柏の葉案（コミュニティバス/21 条貸切乗合）	柏の葉案（4 条貸切を想定）
安全な車両・システムの提供	**自動車製造業者（輸入事業者も含む）**	車両；いすゞ自動車、システム：ASmobi	車両；いすゞ自動車、システム：ASmobi	車両；いすゞ自動車、システム：ASmobi
安全な道路の利用	**道路利用者（歩行者等）**	歩行者等	歩行者等	歩行者等
安全な移動サービスの提供	**（車両の）使用者**	東武バスセントラル	東武バスセントラル	東武バスセントラル
	運行供用者	**東武バスセントラル（運行主体）**	**柏市**	**（借主候補） ・東京大学 ・UDCK タウンマネジメント**
	旅客運送事業者	**東武バスセントラル**	**東武バスセントラル**	東武バスセントラル
	自家用有償事業者	―	―	―
	特定自動運行実施者	**・東武バスセントラル**	**・柏市 ・東武バスセントラル**	**・東武バスセントラル 以下の借主候補も、候補になる ・東京大学 ・UDCK タウンマネジメント ※自動運転停止を想定すると自動車運送事業者が望ましい**
安全なサービス提供のために働く個人	**特定自動運行主任者**	東武バスセントラル	東武バスセントラル	東武バスセントラル
	現場措置業務実施者	東武バスセントラル（または委託先）	東武バスセントラル（または委託先）	東武バスセントラル（または委託先）
	特定自動運行保安員	東武バスセントラル	東武バスセントラル	東武バスセントラル

表 11 で示した案に対しては、以下のように様々な意見が挙げられており、これらも踏まえて引き続き検討することが必要である。

- 2025 年での実証期間が短い場合は、4 条一般乗合の事業申請を行うことは現実的でない。
- 実証運行の際に一般の利用者にも利用してもらう場合は、21 条貸切乗合での運行が適し

ているのではないか。

- 柔軟な対応を行うことができることを考えると、現在の東京大学シャトルバスと同様の4条貸切での運行が良いのではないか。
- 柏市全域の中では必ずしも交通不便地域ではない柏の葉において、コミュニティバスと同様の運行形態をとることは難しいのではないか。
- 特定自動運行実施者の実施内容や責任をみると運輸事業者以外が担うことができるのか。

III. 特定自動運行計画の検討

1)　ルート、運行ダイヤ等を含む特定自動運行計画の第一次案の検討

道路交通法改正案における記載項目（様式）を洗い出し、要検討事項を整理したうえで、整理した要検討事項に基づき、各コンソーシアムや別テーマ担当者と連携しつつ、各項目の概要を特定自動運行計画の第一次案として整理した。

検討した特定自動運行計画の項目は以下の通り。

なお、第一次案はあくまで現状の検討結果を整理したものであり、全ての項目について特定自動運行の申請にあたって十分な内容となっているものではない。2025 年度のサービス実証に向けて、引き続き検討・整理を行っていく。

表 12　特定自動運行計画策定に向けた検討項目

特定自動運行計画様式		
項目		記載内容
特定自動運行を行う者に関する事項		特定自動運行を行う者の氏名、名称、住所、法人の代表者の氏名、その役員の氏名及び住所
特定自動運行に関する計画（特定自動運行計画）		
	特定自動運行に使用する自動車に関する事項	特定自動運行用自動車の社名、型式
		自動者登録番号又は車両番号及び車台番号
		長さ、幅、高さ
		自動運行装置に係る使用条件
	特定自動運行に関する事項	経路
		運行する日、時間帯
		運送される人又は物
		気象の状況
		道路の構造、特定自動運行及び特定自動運行が終了した場合に講じられる措置が他の交通に及ぼす影響の程度
	特定自動運行の場所に関する事項	特定自動運行を管理する場所の所在地、連絡先
	特定自動運行実施者等が実施しなければならない措置に関する事項	教育の具体的内容及びその実施方法
		特定自動運行主任者の指定、現場措置業務実施者の指定の方法
		遠隔監視又は主任者の同乗に関する措置の実施方法及び当該措置を講ずるための装置、人員、その他体制
		自動運行実施中の表示の具体的方法
		運行終了時、交通事故時等に必要な措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順

次項以降で、特定自動運行計画の各項目の検討案を検討内容とともに整理した。

(1) 特定自動運行を行う者に関する事項

i) 特定自動運行を行う者の氏名、名称、住所、法人の代表者の氏名、その役員の氏名及び住所

● 考え方

特定自動運行を行う者は、バス等の運行を行う交通事業者だけでなく、事業は自治体や地域マネジメント組織が行い、運行を交通事業者に委託する等の方法も考えられる。レベル 4 自動運転をどのような方針で地域に導入するかという観点を踏まえ、特定自動運行を行う者を検討した。

● 柏の葉地域での検討

柏の葉地域におけるバスの運行形態に応じた検討やインフラ保有主体、営業主体と切り分けての運営等に関する検討を行い、以下を候補として整理した。

- 4 条一般乗合の場合：東武バスセントラル
- 21 条貸切乗合の場合：柏市もしくは東武バスセントラル
- 4 条一般貸切の場合：東武バスセントラル、東京大学、UDCK-TM

● 第一次案

柏の葉地域での検討を踏まえた第一次案は以下の通り。実証実験の実現可能性も踏まえ、次年度にさらに絞り込みを図る予定である。

- 柏市
- 東武バスセントラル
- 東京大学
- UDCK-TM

(2) 特定自動運行に関する計画（特定自動運行計画）

i) 特定自動運行に使用する自動車に関する事項

● 考え方

2025 年度サービス実証においては、本事業で準備する車両を活用予定のため、使用する車両は中型路線バス車両である「ISUZU 社　エルガミオ（ERGAmio）」とする。車両購入やリース等の検討から行う場合は、地域や地域のバス事業者が抱える課題や地域のニーズを踏まえ、検討する。

● 柏の葉地域での検討

本事業で準備する車両を活用予定のため、2025 年度サービス実証における車両は予め決まっている。ここでは、どのような方針でレベル 4 自動運転サービスを柏の葉地域に導入するかについても検討した。柏の葉地域におけるレベル 4 自動運転サービスの導入にあたっては、新規の移動サービスとしての導入、従来の路線バスの置き換え・増強等、

様々な観点で検討を行ったうえで、現在の柏の葉地域のバス事業者が抱える課題や地域のニーズを踏まえ、従来の路線バスの置き換え・増強を主目的として自動運転車両を導入することとした。

● 第一次案

ISUZU 社エルガミオ（ERGAmio）とする。具体的な型式や仕様は以下の通り。

- 特定自動運行用自動車の社名、型式
  - ISUZU 社、2KG-LR290J5
- 自動者登録番号又は車両番号及び車台番号
  - 準備が確定次第、記載
- 長さ、幅、高さ
  - 車両全長：8,990mm
  - 車両全幅：2,300mm
  - 車両全高：3,045mm
- 自動運行装置に係る使用条件
  - 道路運送車両法における走行環境条件付与の申請内容から作成

ii） 特定自動運行に関する事項

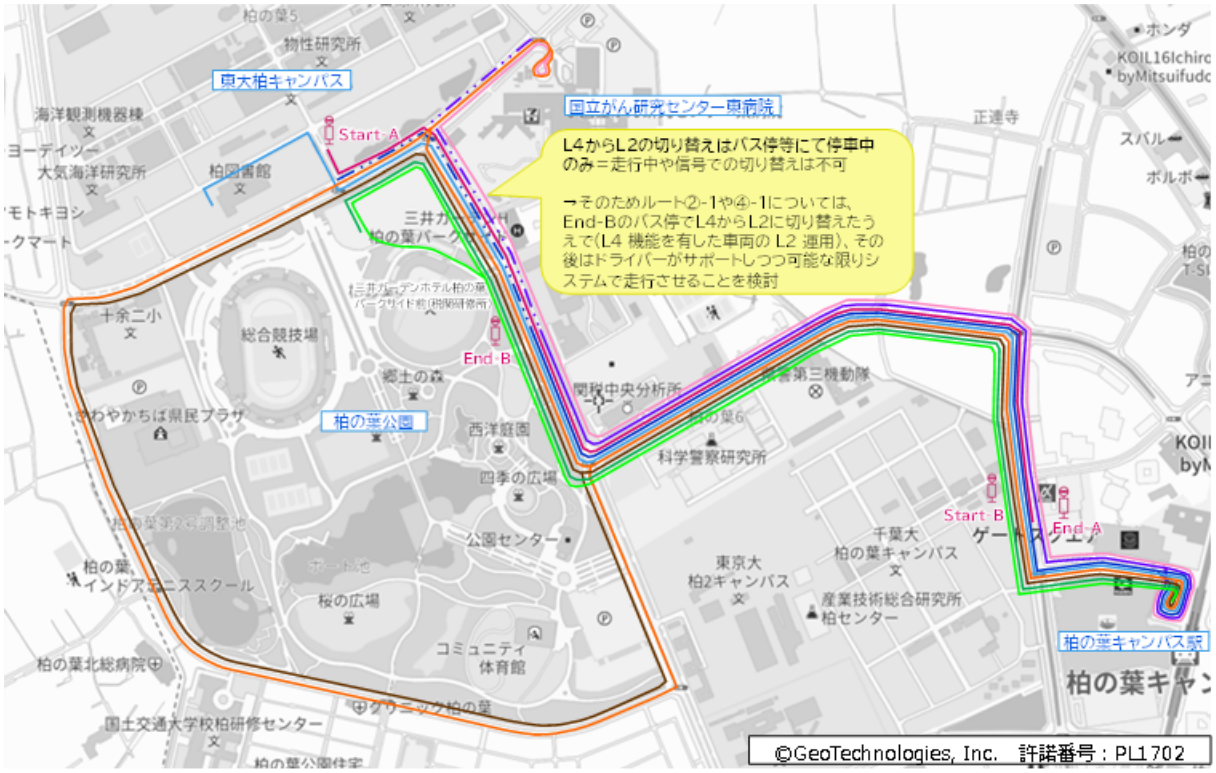
● 考え方

前述の通り、従来の路線バスの置き換え・増強を主目的としたレベル 4 自動運転サービスの導入を想定するため、経路や運行時間帯等もその点を考慮したものとする。

● 柏の葉地域での検討

各項目の検討事項は以下の通り。

- 経路
  - 将来的な運行を見据え、柏の葉地域で現在運行されている路線バスの運行経路をもとに、技術的な条件や事業的制約（事業採算性）も考慮しつつ、地域のニーズに基づいた経路を検討した。柏の葉キャンパス駅～東大柏キャンパスまでを基幹的な経路とし、その他の部分を循環もしくは折り返す形での経路を検討した。具体的な経路案は以下の通り。



	ルート	L4自動運転の起点・終点
■	①2023年度技術実証ルート	(S)柏の葉6丁目バス停～(E)三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前バス停 (S)東京大学柏キャンパス～(E)柏の葉6丁目バス停
■	②-1基幹ルート(東大手前)	柏の葉キャンパス駅～東京大学柏キャンパス(構内に入る手前まで) ※がんセンターの経由なし
■	②-2基幹ルート(東大)	柏の葉キャンパス駅～東京大学柏キャンパス(構内まで) ※がんセンターの経由なし
■	③-1基幹ルート (柏の葉公園:東大側から進入)	柏の葉キャンパス駅～柏の葉公園・駐車場 ※がんセンターの経由なし
■	③-2基幹ルート (柏の葉公園:東側から進入)	柏の葉キャンパス駅～三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前バス停～柏の葉公園～ 東京大学側～柏の葉キャンパス駅
■	④-1基幹ルート(がんセンターの手前)	柏の葉キャンパス駅～がんセンター(ロータリー手前まで)
■	④-2基幹ルート(がんセンター)	柏の葉キャンパス駅～がんセンター
■	⑤-1循環ルート(がんセンター経由なし)	柏の葉キャンパス駅～柏の葉公園(循環)～柏の葉キャンパス駅
■	⑤-2循環ルート(がんセンター経由あり)	柏の葉キャンパス駅～がんセンター(経由)～柏の葉公園(循環)～柏の葉キャンパス駅

－・－・－：L4機能を有した車両のL2運用

図 28　検討したルート案

- なお、上記に示した基幹ルート及び循環ルートは、自動運転バスを地域交通の基幹路線に充当し、運転手リソースを捻出することで、地域全体の需要に対する交通体系を構築することを目指して検討したものである。



図 29　ルートの考え方（基幹ルートと循環ルート）

- 運行する日、時間帯
  - ➢ 現行の路線バスの置き換え・増強を主目的とするため、将来的には路線バスの運行日及び時間帯に組み込むことを想定する。そのうえで、直近では想定される候補日時のうち、技術的な観点を踏まえて日時を選定する。具体的な候補案は以下の通り。
    - ✧ 運行する日：平日のみ／平日・土日祝日／土日祝日のみ
    - ✧ 運行する時間帯：日中のみ／朝ラッシュ・日中・夜間
- 運送される人又は物
  - ➢ 原則として、「人」を輸送することを想定する。また、前述の通り路線バスの置き換え・増強のため、将来的に「乗合」を目指すが、導入初期においては技術的制約や旅客運送事業の実現可能性を踏まえ以下の複数パターンを検討した。具体的な候補案は以下の通り。
    - ✧ 道路運送法第 4 条　一般乗合旅客自動車運送事業
    - ✧ 道路運送法第 21 条　国土交通大臣の許可を受けた場合等における、貸切バス事業者、タクシー事業者による乗合旅客の運送
    - ✧ 道路運送法第 4 条　一般貸切旅客自動車運送事業
- 気象の状況
  - ➢ サービス運用時を考慮し、晴天、雨天、濃霧等の実際に想定される気象を条件とする。
  - ➢ 周辺の歩行者等を検知できない強い雨や降雪による悪天候、濃霧、夜間等でないことを想定する。
- 道路の構造、特定自動運行及び特定自動運行が終了した場合に講じられる措置が他の交通に及ぼす影響の程度

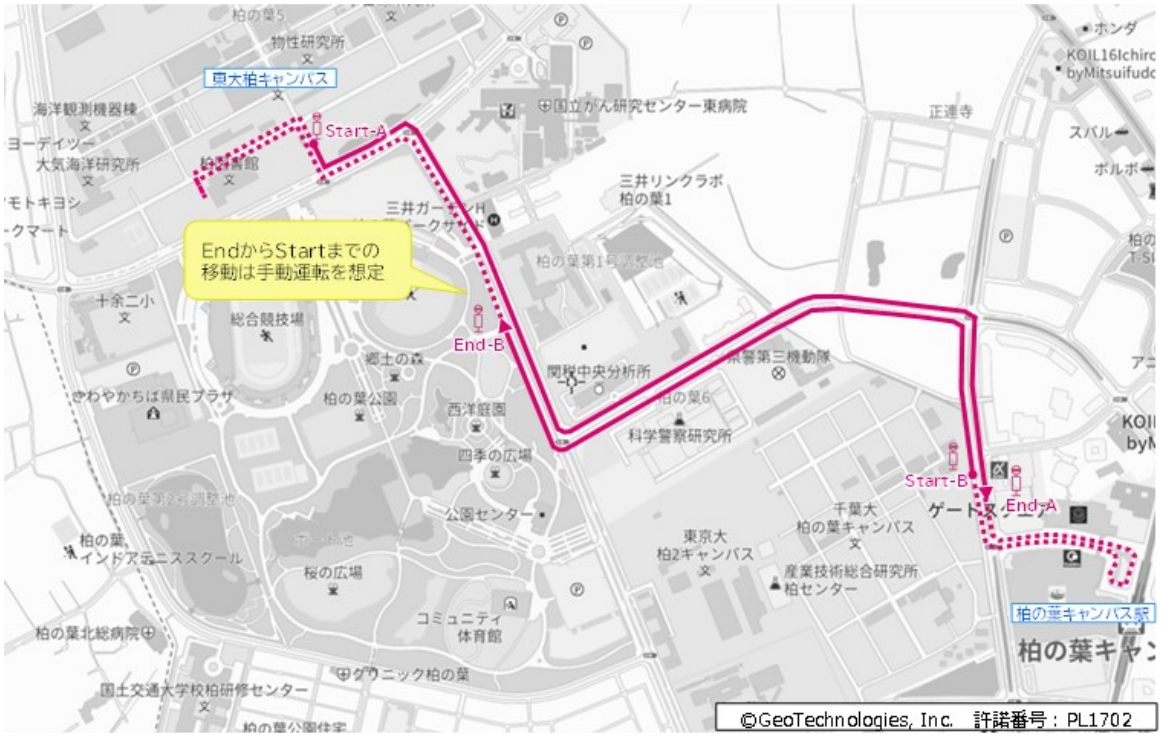
- 本項目については、記載する内容も含めて検討したうえで、駆け付け体制について記載することとした。
- 検討にあたっては、現在の柏の葉シャトルバスでの緊急時の駆け付けや連絡体制を参考に、2025 年度における駆け付け体制を検討した。
- 2025 年度は、特定自動運行主任者等が車内に同乗する想定とし、車両からの報告により、現場対応の特定自動運行主任者が駆け付け・対応の指示を行ったうえで、車両設備担当やシステム管理担当が駆け付けるといったフローを想定する。

● 第一次案

各項目の一次案は以下の通り。

• 経路

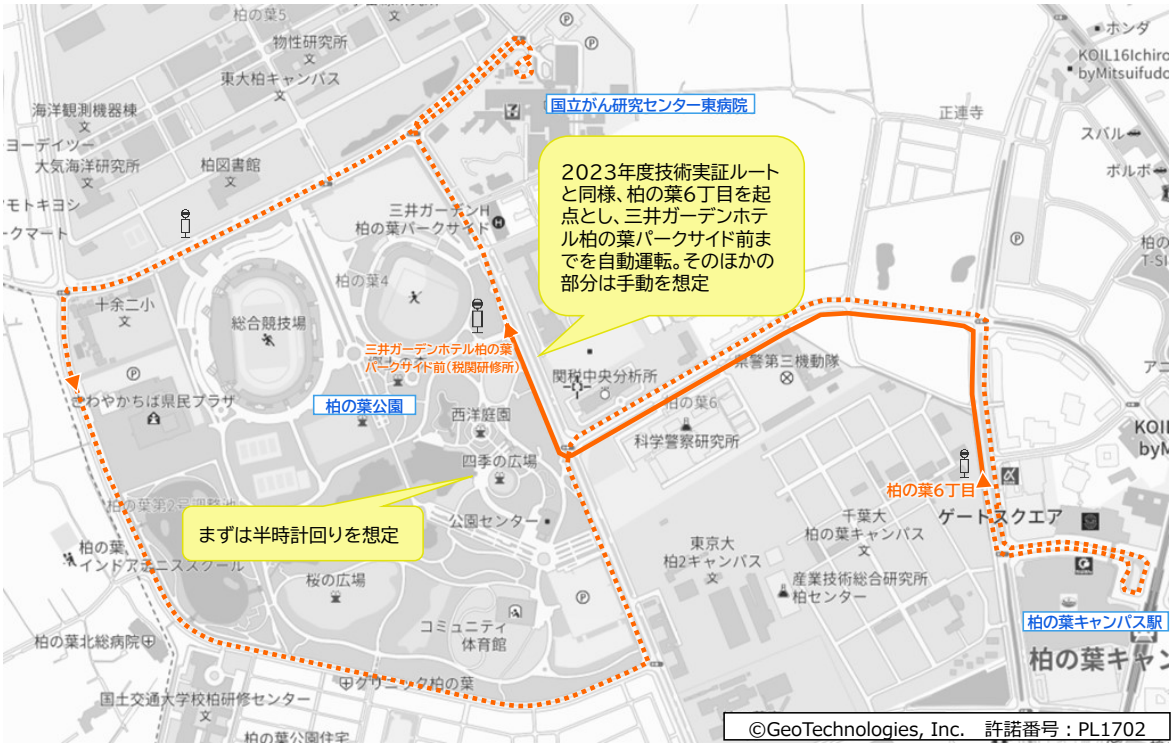
- 検討したルートのうち、事業採算性及び地域の需要を考慮したうえで、2025 年度における技術的制約を踏まえて以下の 2 案のルート（案）を選定した。なお、柏の葉公園を循環するルート（2025 年度ルート（案）②）は、すべてをレベル 4 自動運転とすることは技術的に困難な部分があるため、一部を手動運転とすることを想定する。



ルート	L4自動運転の起点・終点
①2023年度技術実証ルート	(S)柏の葉6丁目バス停～(E)三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前バス停 (S)東京大学柏キャンパス～(E)柏の葉6丁目バス停

■■■■：手動運転

図 30　2025 年度ルート（案）①



ルート	L4自動運転の起点･終点
循環ルート(がんセンター経由あり)	柏の葉キャンパス駅～がんセンター(経由)～柏の葉公園(循環)～柏の葉キャンパス駅

：手動運転

図 31　2025 年度ルート（案）②

- 運行する日、時間帯
  - 運行する日及び時間帯の候補案をもとに、技術的な制約と地域の需要やニーズを考慮して選定した。定期的な運行とした場合は以下を想定するが、臨時的な運行も含めて、実証実験の実現可能性も踏まえ、次年度以降にさらに絞り込みを図る予定である。
    - 運行する日：平日のみ／平日・土日祝日／土日祝日のみ
    - 運行する時間帯：日中のみ／朝ラッシュ・日中・夜間を組み合わせた時間帯
- 運送される人又は物
  - 運送する対象は「人」とする。将来的には、道路運送法第 4 条一般乗合旅客自動車運送事業を目指すが、2025 年度においては運行期間が短いことを考慮し、以下のいずれかでの運行を想定する。次年度以降、特定自動運行を行う者による申請のしやすさ等も踏まえて選定する。
    - 道路運送法第 21 条　国土交通大臣の許可を受けた場合等における、貸切バス事業者、タクシー事業者による乗合旅客の運送
    - 道路運送法第 4 条　一般貸切旅客自動車運送事業

- 気象の状況
  - 道路運送車両法における走行環境条件付与の申請内容から作成予定。
- 道路の構造、特定自動運行及び特定自動運行が終了した場合に講じられる措置が他の交通に及ぼす影響の程度
  - 次年度早期に検討予定。
  - 影響については、実証結果等を踏まえて作成予定。

iii) 特定自動運行の場所に関する事項

● 考え方
  - 特定自動運行を管理する場所の所在地、連絡先は、特定自動運行実施者の決定を踏まえて確定するものである。
  - 遠隔監視を行う場合は、その実施場所も含めて記載するかの検討が必要であるため、遠隔監視の実施有無も含めて整理する。

● 柏の葉地域での検討
  - 2025 年度においては、車内に乗務員を同乗する形での運行を想定するため、遠隔監視は行わない予定である。そのため、特定自動運行を管理する場所の所在地、連絡先を整理することとした。
  - 特定自動運行実施者の候補機関を想定する。

● 第一次案
  - 柏市
  - 東武バスセントラル
  - 東京大学
  - UDCK-TM

iv) 特定自動運行実施者等が実施しなければならない措置に関する事項

● 考え方
- レベル 4 自動運転サービスを実現するシステム構成等も考慮のうえ、方針を検討した。特に教育にあたっては、従来のバス運行に関する知見等も必要になるため、その観点も踏まえ検討した。なお、前述の通り、2025年度は技術的制約や事業採算性を考慮し、車内に特定自動運行主任者及び保安員（兼務の可能性あり）が同乗する形での運行を想定する。

● 柏の葉地域での検討
- 教育の具体的内容及びその実施方法
  - 教育は特定自動運行実施者から特定自動運行業務従事者に対して行われるものであ

り、特定自動運行が終了した場合や交通事故時の対応等に関するものも含まれる。また、「特定自動運行実施者、自動運行装置の製作者その他の教育事項について十分な知識経験がある者が行うものとする」ことが求められている。これらを踏まえ、教育を行うにあたっては、従来のバス運行に関する知見等も必要であると判断し、柏の葉地域で既存のバス路線事業を行っている東武バスセントラルもしくは東武バスにて行うことを想定する。その実施方法については、レベル 2 自動運転バスでの内容・方法をもとに継続して検討を行う。

- 特定自動運行主任者の指定、現場措置業務実施者の指定の方法
  - 2025 年度は、現状の技術的制約や事業採算性を踏まえ、特定自動運行主任者及び保安員が乗車する形を想定したうえで、特定自動運行主任者及び現場措置業務実施者を検討する。
- 遠隔監視又は主任者の同乗に関する措置の実施方法及び当該措置を講ずるための装置、人員、その他体制
  - 2025 年度においては、特定自動運行主任者の同乗を想定したうえで、特定自動運行主任者及び現場措置業務実施者を検討する。
- 自動運行実施中の表示の具体的方法
  - 2025 年度においては、自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドラインに準拠する。
- 運行終了時、交通事故時等に必要な措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順
  - レベル 2 自動運転バスでの方法・措置等をもとに検討するとともに、従来の路線バスにおける交通事故時等の対応も参考のうえ整理する。

● 第一次案

- 教育の具体的内容及びその実施方法
  - 特定自動運行を担う事業者を想定する。特定自動運行実施者が交通事業者でない場合は、運行業務を委託する交通事業者とする。具体的な検討は、次年度も継続検討を行うが、現時点の候補案は以下の通り。
    - ✧ 東武バスセントラル
- 特定自動運行主任者の指定、現場措置業務実施者の指定の方法
  - 特定自動運行を担う事業者により指定する。
  - 特定自動運行主任者及び現場措置業務実施者の指定にあたっては、従来のバス運行においてドライバーが行っていた車内安全・乗客サービスを担うことが可能な担当者とする点に留意する。
  - 特定自動運行主任者の保安員兼務等については、次年度以降継続検討する。

- 遠隔監視又は主任者の同乗に関する措置の実施方法及び当該措置を講ずるための装置、人員、その他体制
  - 2025 年度においては、特定自動運行主任者の同乗を想定する。具体的な装置や体制等については次年度継続検討予定。
- 自動運行実施中の表示の具体的方法
  - 2025 年度においては、自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドラインに準拠する必要があるため、「自動走行システムに関する公道実証実験中」である旨を表示する。
  - 具体的な表示仕様は次年度継続検討予定。
- 運行終了時、交通事故時等に必要な措置を講ずるための設備、人員その他の体制及び当該措置の手順
  - 交通事故対応は乗車している乗務員等による対応を想定。

2) 特定自動運行移動サービスの提供準備、車両の運用などの検討

混在空間における特定自動運行移動サービスを提供する上では、Ⅱ.1）2）で検討した内容をさらに具体化し、協調型システム（路側機）にかかわる役割・責任範囲と、自動運行にかかわる各役割・責任範囲の洗い出しが必要であると考えられる。そのため、以下の手順で検討を行った。

(1) 役割・論点の洗い出し
- レベル 4 走行に必要な事項・想定する役割の洗い出し
- 役割決定に必要な要素の洗い出しと検討方法

(2) 他の類似システム等における役割の整理

(3) ヒアリング調査の実施

(1) 役割・論点の洗い出し

i） 自動走行レベル 4 での走行に関して必要な役割・事項の洗い出し

自動走行レベル 4 での走行に係る技術や対応をもとに、将来（26 年以降）の実施体制検討に必要となる役割の要素・観点の整理を行った。整理結果を図 32 に示す。

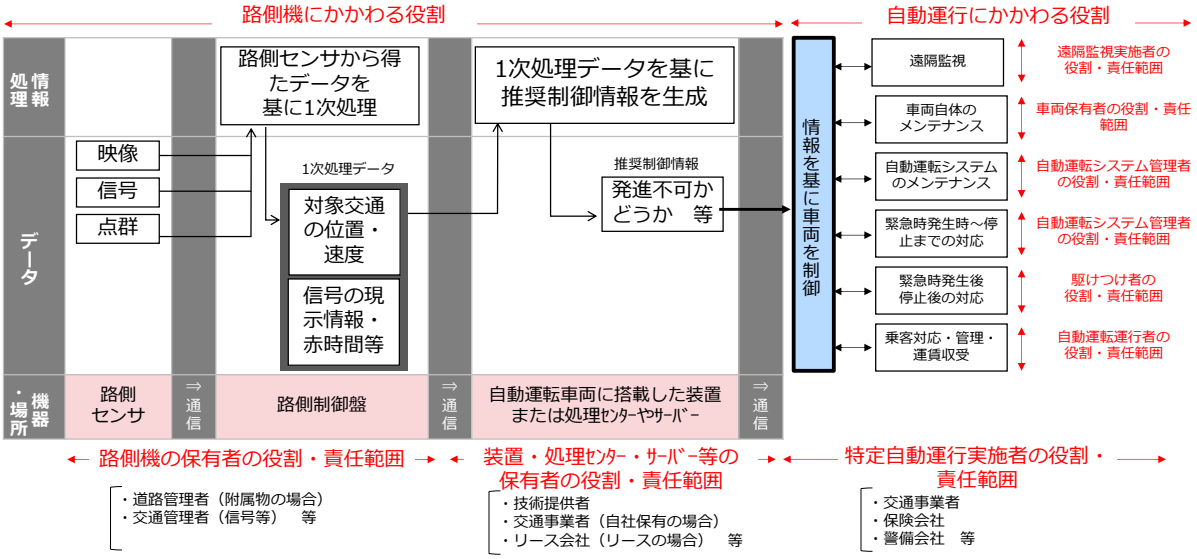


図 32　自動走行レベル 4 での走行に関して必要な役割・事項

ii）　役割決定に必要な要素の洗い出し及び検討方法

将来の実施体制検討にあたり、決定に必要な要素について、「車両の保有形態」「路側機の保有形態」「遠隔監視者は誰か」「ルート・ダイヤの決定方法」「モビリティハブ方式の成立」「SPC の事業形態（SPC の場合）」「SPC・自動運行の位置づけ」「ステークホルダーの役割」等の観点で整理した上で、事業モデルへの影響と、各要素の検証方法を整理した。整理結果を表 13・表 14 に示す。

表 13　決定に必要な要素と検証方法　その 1

	要素を整理		ヒアリングで各者の現在の意向等を確認
内容	決定に必要な要素	事業モデルへの影響	検証方法
A：車両の保有形態（保有/リース）	・システムメンテナンスや管理の頻度・やり方 ・状況確認はメーカー以外でも出来るか ・メーカーリースサービスがないか ・レベル 4 でもシステム/車両の保有の分離がありうるか（システムのみリース等） ・車両保有のイニシャル/ランニングコスト ・システム不具合の管理責任の所在 ・保険でカバーできる範囲はどこか	・市 or サービス事業者 or バス事業者 orSPC が保有するか（メーカー以外が保有してもメンテ可能な体制・オペレーションが作れるか） ・メーカーが保有・リースするか（メーカービジネスが成立見込みがあるか）	・メーカー・リース会社/東武バス/保険会社にヒアリング ・メーカーリースと買取のメリデメ比較 ・メンテナンスや状態確認方法のオペレーションをマニュアル化・一般化できるか ・自家用自動車運行管理業におけるメンテナンスの仕組みの確認
B：路側機の保有形態	・路側機の道路上の位置づけ（交通安全施設/道路附属物等） ・保有者とその情報を利用する際の責任分解 ・路側機情報は今回の自動運転バス以外のバスや、自動運転バス運行以外に使えるか（規格の統一やニーズ） ・路側機のコスト・運用費用 ・路側機による効果（整備費用を負担する説明が行えるか） ・路側機を誰の要望でどこが所管して設置するか	・道路管理者/交通管理者保有か、市やサービス事業者が保有するか（法制度上から必然的に決定される） ・道路管理者/交通管理者が保有しない場合に、誰が保有するか（市が保有する理由が説明できるか、保有できる範囲のコストか）	・メーカーヒア ・路側機による効果検証（レベル 4 運行にどの程度寄与するか） ・定性的な効果の整理（路側機によってルートが延伸できたか　それにより乗客増やコスト減等見込めるか） ・ITS コネクトや PTPS 等の仕組みの確認
C：遠隔監視者は誰か	・遠隔監視者の必要技能・オペレーション ・事故時・MRM 時に何を行うか。⇒遠隔監視者の権限、責任（レベル 4 では遠隔監視者に責任はない） ・コスト（1 人で何台見られるか⇒3 台まで？）	・バス事業者が行うか、バス保有者が行うか、第三の遠隔監視者が行うか	・事故時・MRM 時のオペレーション・関係者・役割に関する机上検討 ・永平寺町や他事例の役割整理 ・BOLDLY・セネックの考える遠隔監視の範囲・モデル・コスト

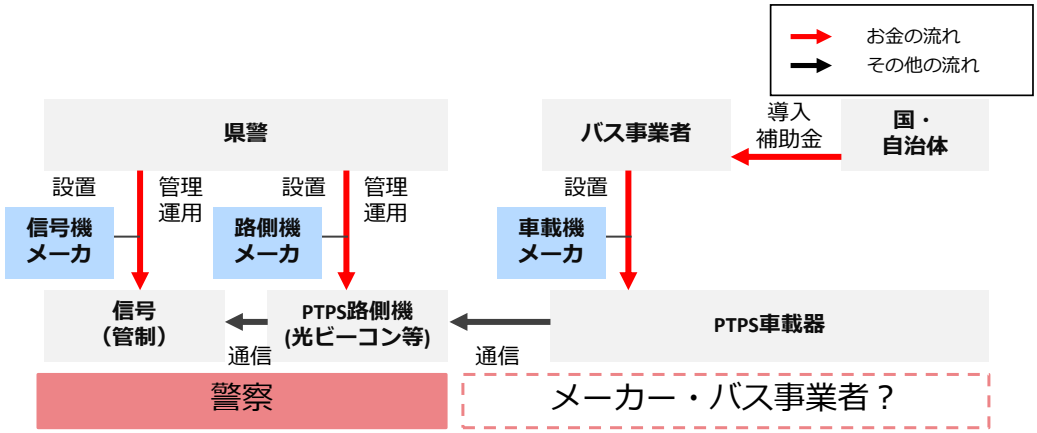
表 14　決定に必要な要素と検証方法　その 2

内容	決定に必要な要素	事業モデルへの影響	検証方法
D：ルート・ダイヤの検討・決定方法	・バス事業単独で成り立つ事業か（コストとして含む範囲と程度） ・各種ルート案のニーズがどの程度あるか ・利用者以外の周辺民間企業からの出資・ルート要望及び採算がどの程度見込めるか	・路線バス延長モデルで事業実施（バス事業単独で成り立つ場合　など） ・柏市によるコミュニティバス運行実施（柏市による運行の必要性が確認される場合　など） ・モビリティサービス事業 orSPC（利用者以外からのニーズや採算が見込める場合　など）	・コストの計算/採算性検証 ・実際のニーズ・採算性検証（サービス実証にて） ・周辺企業からのニーズや支援の可能性（ヒアリング、サービス実証にて） ・ダイヤ増のメリット確認（サービス実証にて）
E：モビリティハブ方式の成立	・モビリティハブの必要機能や広さ ・モビリティハブにより利便性が向上するか ・モビリティハブ	・モビリティハブの場所（土地所有者）の体制における位置づけ	・土地所有者のヒアリング（可能性、ニーズ） ・モビリティハブ方式による乗換抵抗の確認（サービス実証）
F：（SPC の場合）SPC の事業形態	**・SPC で実行するメリットは何か（SPC でないと出来ないこと）** ・SPC で自動運転以外を扱わないのか。 ・SPC で全体最適が図れるか（自動運転と路線バスが共存する形になるのか。そこの調整ができるような SPC の形はなにか）	・SPC の実施可否・要否 ・SPC の構成員	**・シュタットベルケ方式・BID 等の先進事例確認** **・永平寺町の事例の確認**
G：SPC・自動運行の位置づけ	・地域公共交通会議の出席者として SPC が入れるか/入ることに意味があるか ・法定計画に位置付ける必要があるか/どこまで位置づけられるか	・実施プロセスとスケジュール	・机上検討、 ・先生・柏市調整
H：各ステークホルダーの役割	・各社メリットがあるか。コストベネフィットがあるか。 ・運行に対して責任はどこに発生するのか。	・事業モデル全体	・机上検討、個別ヒアリング

(2) 他の類似システム・事例等における役割の整理他のシステムでの状況

i) PTPS の設置管理（費用）の流れ

PTPS の場合には、路側機は県警が設置し、車載器はバス事業者が設置している。（ただし、自治体からの補助等の措置がされていることが多い。）また、信号側に設置されている路側機の責任は警察となっており、車載器はバス事業者の保有と想定される。そのため、車載機のメンテナンス等が困難であることも多いと想定される。

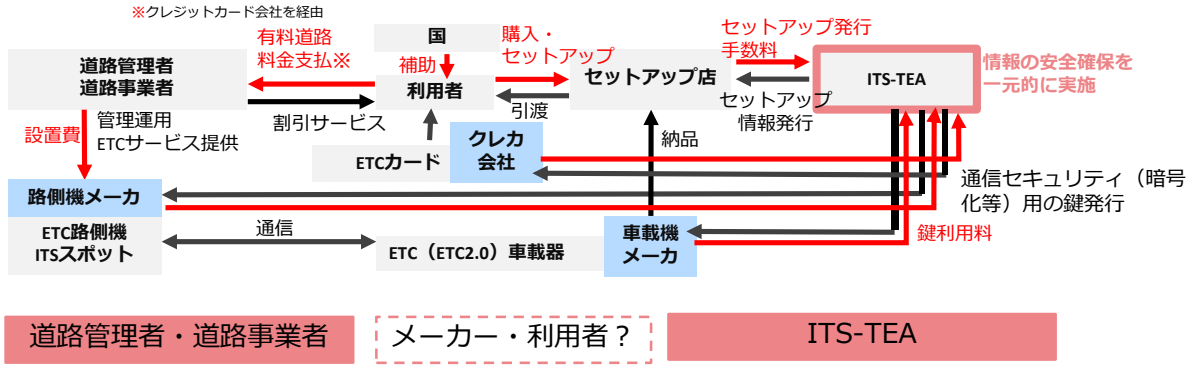


※車載器について、メンテナンスや動作確認はされていないことが多い

図 33 PTPS の設置管理の流れ

ii) ETC の設置管理（費用）の流れ

ETC サービスの場合には、路側機は道路管理者・道路事業者が設置や管理を行っている。また、車載器は利用者が設置。（ただし設置に対する補助金の措置がなされている。）また、情報の安全性管理については ITS-TEA が行っており責任を担っている。



参考：2023 年 10 月までの ETC 車載器セットアップ件数の累計 119,104,842 件（出典：ETC 総合情報ポータルサイト）

図 34 ETC の設置管理の流れ

3)　車内安全・乗客サービス（ドライバーの非運転タスク）の考え方の整理

特定自動運行を実施する際、乗客の安全を確保するために、遠隔監視者、あるいは、車内乗務員が果たすべき役割を検討した。現在の車内乗務員が実施している業務を洗い出し、「2-3. 協調型自動運転移動サービス運行・遠隔監視システムの検討」において検討した遠隔監視システムの機能等を踏まえて、各業務への対応方法を検討した。

(1) 現在の車内乗務員が実施している業務の洗い出し

バス運転中に乗務員が実施している業務は運転タスクと非運転タスク（車内安全・乗客サービス）の２つのタスクに分けることができる。通常走行時における乗務員のタスクを表15に整理した。

表 15　通常走行時における乗務員のタスク（案）

乗降	発車	定常走行～乗降判断	停車
開扉(車外)付近の安全確認	発車時刻の確認	信号確認･対応	放送:到着案内
開扉(車内)付近の安全確認	放送:車内案内	走行安全確認	放送:立ち上がらない等の案内 完全停車前の離席に注意を払う必要あり
乗降扉の開扉	発車時車内安全確認 旅客の「静止」を見届ける必要あり(着座･手すりに摑まるまで)	緊急車両の有無確認	停車位置の安全確認
放送:乗車時の注意	発車時の車外安全確認	乗客の安全確認 走行中の席の移動等に注意を払う必要あり	停車位置への停車
放送:整理券取得案内	発車操作	乗降判断：降車ボタン押下確認	
料金徴取		乗降判断：停留所の乗車待客確認	
降り忘れ確認		乗降判断：停留所への停車準備(ウインカー等)	
積み残し確認			
閉扉付近の安全確認			
乗降扉の扉閉			
放送:着座の案内			
着座確認			

運転タスク　車内安全

(2) 遠隔監視システムの機能等を踏まえた各業務への対応方法の検討

道路交通法の改正内容のとおり、特定自動運行主任者が同乗する場合と遠隔監視する場合があるが、柏の葉地域においては、技術面及び運用面の観点を踏まえ、2025 年度においては特定自動運行主任者が同乗する形を想定している。

また、特定自動運行主任者と特定自動運行保安員を同一の乗務員が兼務することも想定しており、その場合、当該乗務員が(1)で整理した非運転タスク（車内安全・乗客サービス）に対応する形となる。

IV. 事業収支・社会費用便益の算出

1) 概算事業収支の算出

レベル 4 協調型自動運転移動サービスの立ち上げに当たって事業収支を把握しておく必要がある。

R4 年度に実施した収支項目を元に、柏の葉における地元バス事業者へヒアリングを行い、収支構造案を検討した（図 35）。収入としては、運賃収入の他、運行委託費用が考えられる。運賃収入や委託料の具体的な金額は、次年度以降のレベル 4 自動運転サービスの実装ルートや運行計画等を踏まえて算出する必要がある。

また、運賃や委託料以外にも新規サービスを実施することによる収入も考えられる。その案については、「コラム：様々なサービスの在り方」に後述する。

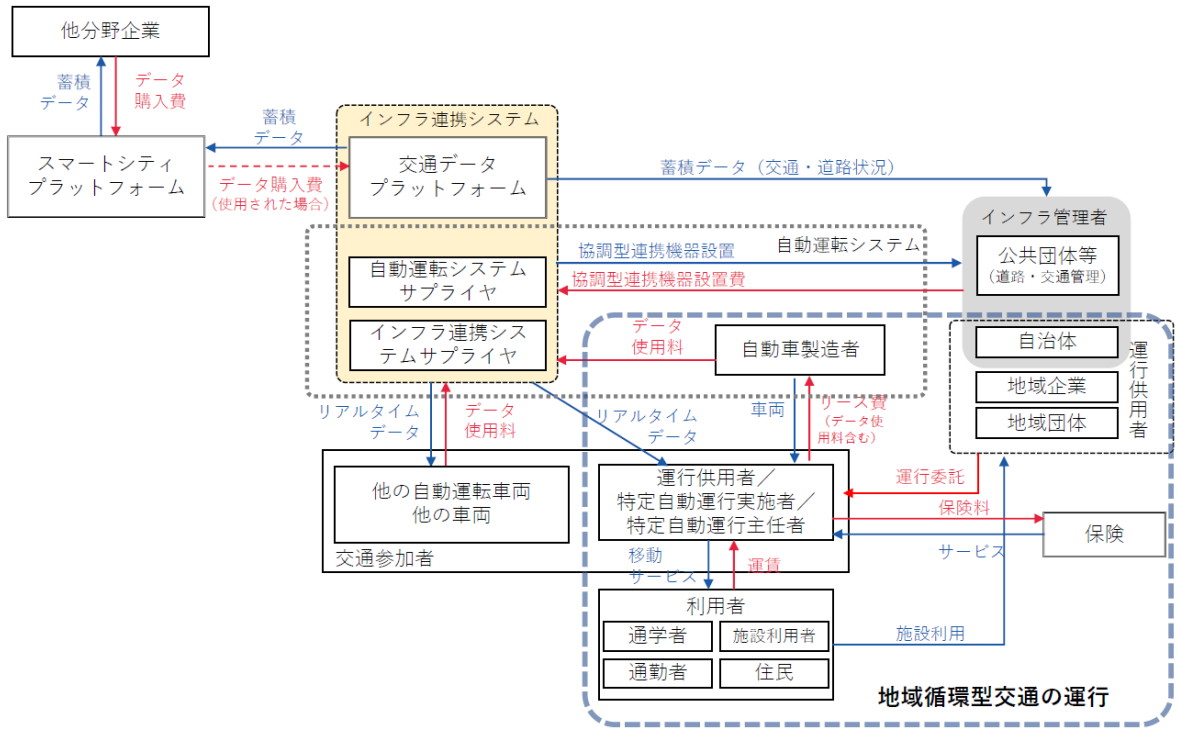


図 35 想定される収支構造案

2) 社会的便益の試算

はじめに、これまでの議論やコスト概算から、自動運転移動サービスの実装後の三つの進展ステップ（図 36）を検討した。

自動運転サービスは、導入開始から数年間は、実装にあたってのイニシャルコストに加え大幅なランニングコストが掛かることが見込まれる。このフェーズをステップ 1 とする。ここから、コストが徐々に低減した未来のうち、限定区域においてコストが低減する条件の精緻化やオペレ

ーション改善のための実証実験が展開されるフェーズをステップ 2、さらに、多くの環境において自動運転が経営的な選択肢として現実的になったフェーズをステップ 3 とする。

柏の葉において 2025 年度に自動運転サービスを実装したとしても、数年間の間は実証段階と同様「ステップ 1：コスト高・技術育成期」となる見込みである。

レベル 4 協調型自動運転移動サービスは、運賃等の直接収入以外にも、ドライバー不足解消、交通事故減少、外出頻度増加、環境負荷軽減等、様々な社会的な便益をもたらすと想定される。実装後の進展ステップを踏まえ、自動運転導入に対する補助の意義を明確化するため、社会的便益の効果について分析・整理する。

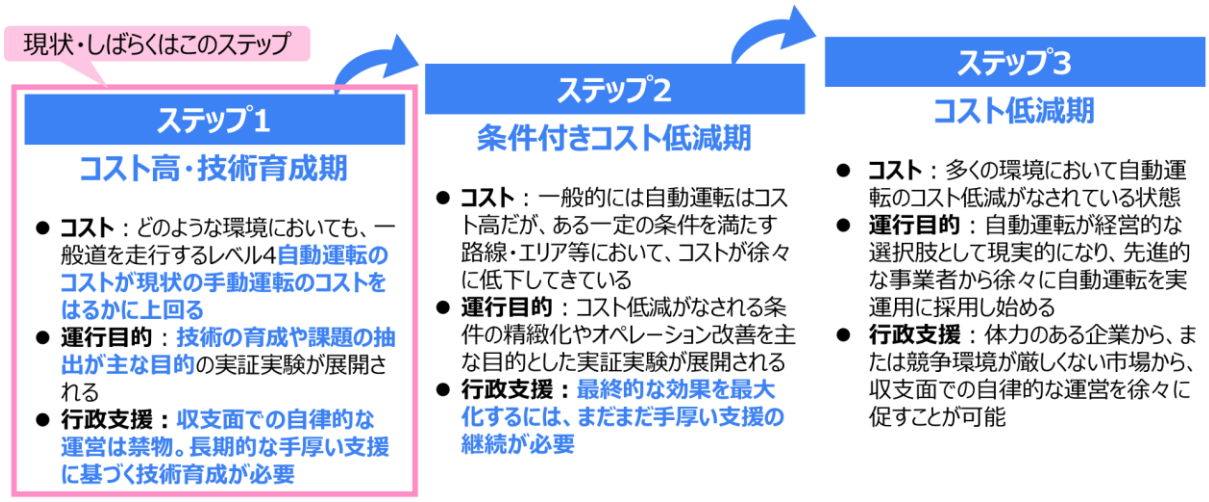


図 36　自動運転サービスの実装後の三つの進展ステップ

(1) 社会的便益の具体的項目

自動運転サービスによってもたらされる社会的便益について、具体的な項目を明確化し、その効果の算出可能性を検討した。

自動運転サービスを実装した効果として、自動化することにより人が運転しなくてよくなること、地域公共交通の再編きっかけとなること、路車協調システムの設置・搭載が容易になること、EV 車両導入のきっかけになること等が挙げられる。これらを深堀すると、自動化による効果の他に、充実したバスサービスによる効果、地域への効果、周辺交通への効果が発現することが分かる。

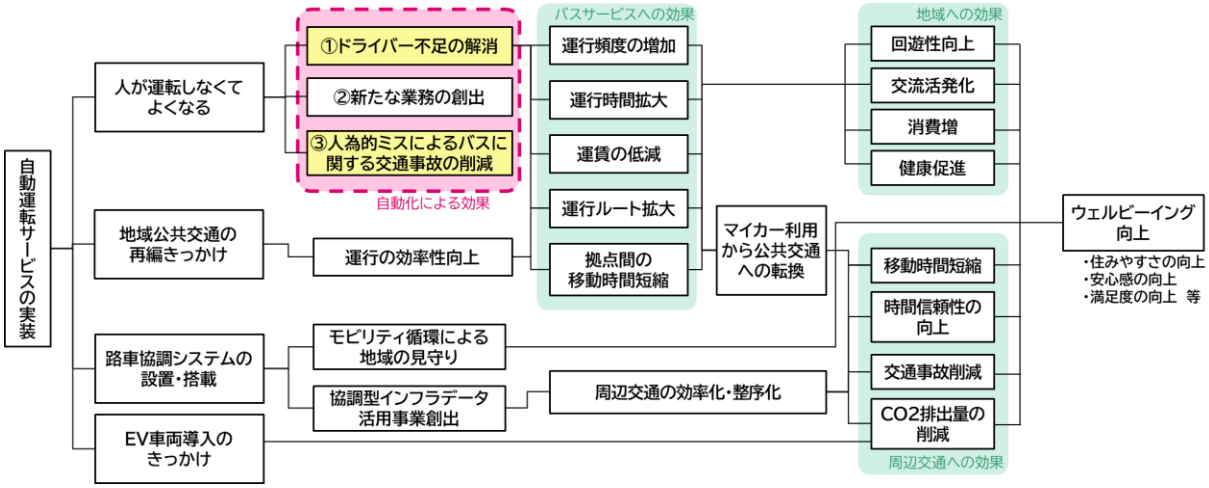


図 37　自動運転バスの実装より生じうる社会的便益の効果

社会的便益の効果発現の根拠（図　37）を元に、社会的便益として算出可能な項目を明確化し、計測の信頼度等を検討した。社会的便益の具体的な効果とその算出方法（表　16）の通り、社会的便益が大きい項目は「利便性の向上」「交通事故減少」「ドライバー不足解消」「交流機会増加」「環境に対する効果」の五項目である。

表 16　社会的便益の具体的な効果とその算出方法

分類	効果対象	効果項目			効果発現の根拠	計測方法・計測に必要な前提条件	換算 ◎:金銭化 ○:数値化 △:不明	柏の葉			全国			既存会議資料での記載
								計測の信頼度	算出方法/理由	桁感（年間）	計測の信頼度	算出方法/理由	桁感（年間）	
直接	利用者	利用便性の向上	移動利便性の向上		再編によるサービス向上	CVM	◎	○	数十円（運賃上乗せ分）×利用者数	数百万円	△	柏の葉での原単位を乗じることは可能であるが、自動運転化により必ずしも再編が実施されず、対象が特定できない	―	○
			所要時間短縮		自動運転バス利用への転換による自家用車利用の減少	時間短縮	◎	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	
					シャトル化による拠点間の移動時間短縮	時間短縮	◎	△		―	△		―	
			遅延減少		自動運転バス利用への転換による自家用車利用の減少	所要時間のばらつき改善	◎	△	自動運転化による交通量の削減効果が不明確のため	―	△	自動運転化による交通量の削減効果が不明確のため	―	
			交通事故減少		自動運転化による事故の減少	事故減少	◎	△	柏の葉地域における路線バスによる事故発生件数が特定できれば算定可能、なお件数自体は少数と想定される	―	○	運転手起因によるバスによる死亡事故件数×人命の貨幣価値原単位	数億円	○
					自動運転バス利用への転換による自家用車利用の減少	事故減少	◎	△	自動運転化による交通量の削減効果が不明確のため	―	△	**自動運転化による交通量の削減効果が不明確のため**	―	○
			利用料負担		自動運転化による運賃の変更	運賃	◎	△	運賃変更分の設定が必要（人件費削減分を還元すると、バス事業者の負担が軽減されない）	―	△	運賃変更分の設定が必要（人件費削減分を還元すると、バス事業者の負担が軽減されない）	―	
			健康増進		バスサービス向上による移動の増加	健康増進効果	◎	△	移動の増加割合および移動の増加による健康増進への効果が不明確のため	―	△	移動の増加割合および移動の増加による健康増進への効果が不明確のため	―	○
	供給者	ドライバー不足の解消	事業の維持		バスサービスの維持	（要相談）	△	△	―	―	△	―	―	
			ドライバー人件費		無人化による人件費の削減	賃金	◎	△	自動運転化のレベルにより、保安員や遠隔監視者の人件費が必要となり、省人化の割合の設定が困難であるため	―	△	自動運転化のレベルにより、保安員や遠隔監視者の人件費が必要となり、省人化の割合の設定が困難であるため	―	○
			ドライバー募集費用の減少		自動運転化による必要ドライバーの減少	募集費用	◎	○	採用単価×運転手不足人数	数十万円	○	採用単価×運転手不足人数	数十億～数百億円	○
		利便性の向上	利用料収入		自動運転化による運賃の変更・利用者の増加	運賃	◎	△	運賃変更分の設定が必要（人件費削減分を還元すると、バス事業者の負担が軽減されない）	―	△	運賃変更分の設定が必要（人件費削減分を還元すると、バス事業者の負担が軽減されない）	―	
	周辺地域・社会	沿線生活	自動車からの転換	時間損失減少	自動運転バスへの転換による自家用車の減少	時間短縮	◎	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	
				自動車交通事故の減少	自動運転バスへの転換による自家用車の減少	交通事故減少	◎	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	
			歩行時の安全性・快適性向上		自動運転バスによる事故の減少・自動運転バスへの転換による自家用車の減少	CVM・交通事故減少	◎	△	柏の葉地域における路線バスによる歩行者に対する事故発生件数が特定できれば算定可能、なお件数自体は少数と想定される	―	△	路線バスによる歩行者に対する事故発生件数が特定できれば算定可能	―	
間接			交流機会の増加		外出機会の向上	CVM	◎	○	数十円×利用者数	数百万円	△	柏の葉での原単位を乗じることは可能であるが、自動運転化によるサービス向上を設定しにくい	―	
		環境	大気汚染	自動運転バスによる減少	EV化	CO2・NOX	◎	○	CO2排出削減量×原単位※自動運転化によるものではない	数万円	○	CO2排出削減量×原単位※自動運転化によるものではない	数十億円	○
				自家用車による減少	自家用車利用の減少	CO2・NOX	◎	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	○
			騒音	自動運転バスによる減少	EV化		◎	△	EV化による騒音の削減効果が不明確であるため	―	△	EV化による騒音の削減効果が不明確であるため	―	
				自家用車による減少	自家用車利用の減少		◎	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	△	バスの自動運転化による自家用車からの転換割合の特定が困難なため	―	
		地域経済	新規立地		移動増加による施設の新規立地		○	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	
			雇用・所得増加		移動・人口増加による雇用の創出		○	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	○
			消費の増加		移動増加による消費の増加		○	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	○
			資産価値増加		土地価格の増加		○	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	△	地域経済への波及効果が不明確のため	―	

【凡例】

※色塗りがされている項目は、計測方法や算出可能性が妥当であり、かつ、一定以上の効果が見込まれるものである。

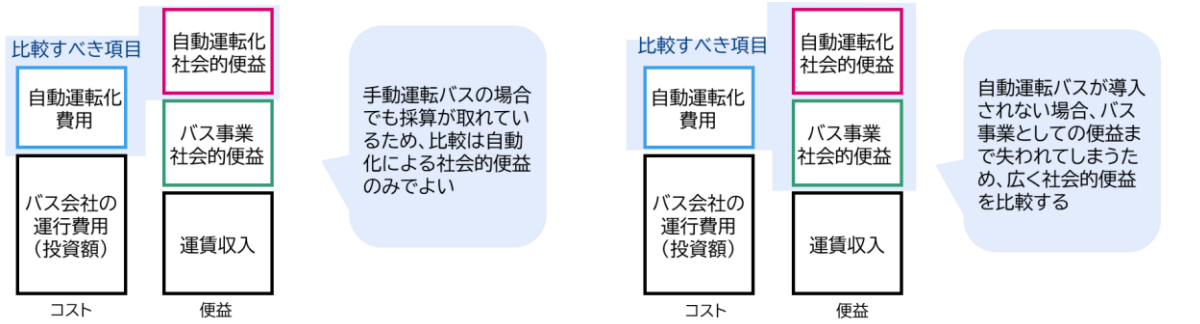
(2) 自動運転化による社会的便益

自動運転サービス実装後のステップ 1 における社会的便益を検討する。

ステップ 1 においては、運転手不足等の社会課題により、運賃収入に対してバスの運行費用が大きい。自動運転サービスを実装する場合、この状況にコストとしてさらに自動運転化の費用が上乗せされる。このようにコストが収入を大きく上回っている状況であっても、自動運転サービスによって適切な社会的便益が見込まれる場合は、運行する意義があると言える。

自動運転導入にあたって、社会的便益として「自動運転化による効果」と「バス事業による効果」の二つの恩恵を受けることとなる。

まず、自動運転化しない場合でも維持される路線の場合は、自動運転化の費用に対して自動運転化による社会的便益を比較して判断すればよい。一方で、自動運転化しない場合は廃止、または自動運転により新たに整備する路線の場合は、自動運転化に加え、バス事業としての社会的便益も併せて自動運転化の費用と比較するのが妥当である。



①自動運転化しない場合でも維持される路線（例：柏の葉）

②自動運転化しない場合は廃止、または自動運転により新たに整備する路線（例:永平寺）

図 38　導入地域別の自動化による社会便益の考え方

自動運転化の便益としては、例として交通事故削減とドライバー不足解消等が挙げられる。バス事業の社会的便益としては、例として交通利便性の向上やまち全体の交流機会の増加等が挙げられる。

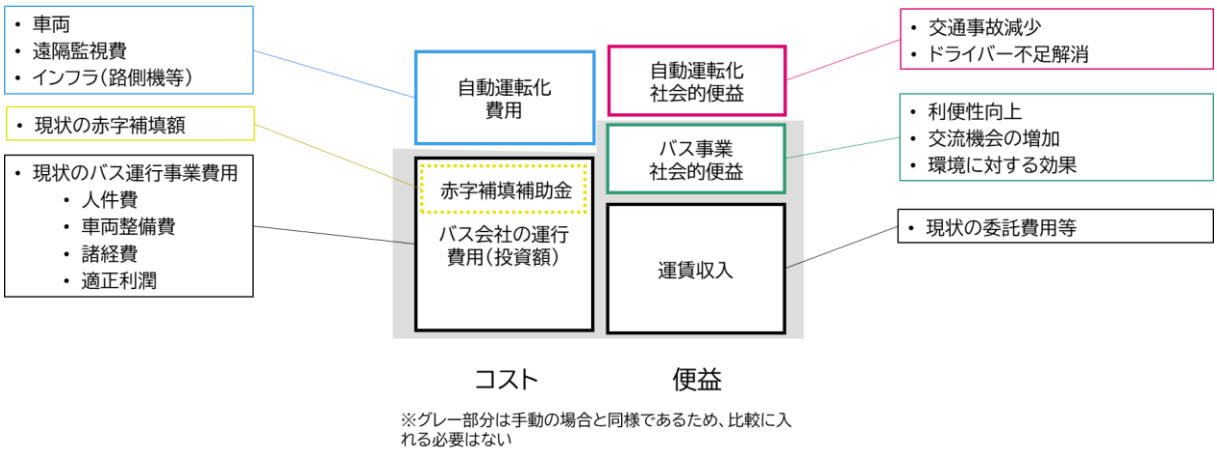


図 39　自動運転サービス導入にあたってのコストと便益の項目

(3) 社会的便益の算出

柏の葉における社会的便益の試算を実施した。

算出の前提として、2026 年度以降の姿としてバスサービスが自動運転で走行しており、一般車両には自動運転が導入されていないものとする。また、便益の計測範囲について、柏の葉は全国に先駆けた自動運転実装事例のため、実装結果が柏の葉地域に閉じない社会的便益を生む可能性が大きいことが見込まれている。そのため、適切な効果を測定するため、全国規模で試算を実施する。

また、今回検討する柏の葉は、前述（図　39）の自動運転化しない場合でも維持される路線であるため、今回は「ドライバー不足解消」「交通事故削減」の二項目に絞って社会的便益を算出する。

なお、算出に用いるためのデータの一部に交通事業者の内部情報を含むため、最終的な算出結果については本報告書には掲載しない。

i)　ドライバー不足解消による社会的便益

人口減少やライフスタイルの変化、高齢化によるドライバー不足等により、交通事業者のみでは地域の交通の維持が困難な状況である。地域関係者の連携や協働により、地域の交通を構築する必要がある。具体的には、公益社団法人日本バス協会によると、具体的には全国のバス運転手は毎年 2,500 人が減少すると想定され、現状の路線バスの運行を維持するためには 2030 年には 36,000 人の運転手が不足する試算がなされている。（図　40）

ドライバー不足解消の社会的便益について、自動運転バスの導入によって、最小限、地域が交通サービスを維持できる効果を運転手の雇用に代えて算定する。現状の路線バスの運行を維持する場合、①不足する分の運転手の雇用維持に要する費用、及び②前年度からの運転手の減少分の補填として新規採用に要する費用の削減分を便益として算定した。なお 2026 年度の自動運転バ

スの導入から、車両の更新の目安である 5 年後となる 2030 年を算定の対象年度とする。

ドライバー不足解消による社会的便益の算出式は、「(①人件費) ×36,000 人＋ (②採用費) ×2,500 人」となる。

なお、①人件費と②採用費について、交通事業者へのヒアリングを実施し費用項目を明確化した。①の費用項目としては、給与・手当、退職金、賞与、法定福利費、福利厚生費の五つが含まれる。②の費用項目としては、採用費用（広告・紹介料等）が含まれ、入社祝金や大型二種免許取得費は含まない。

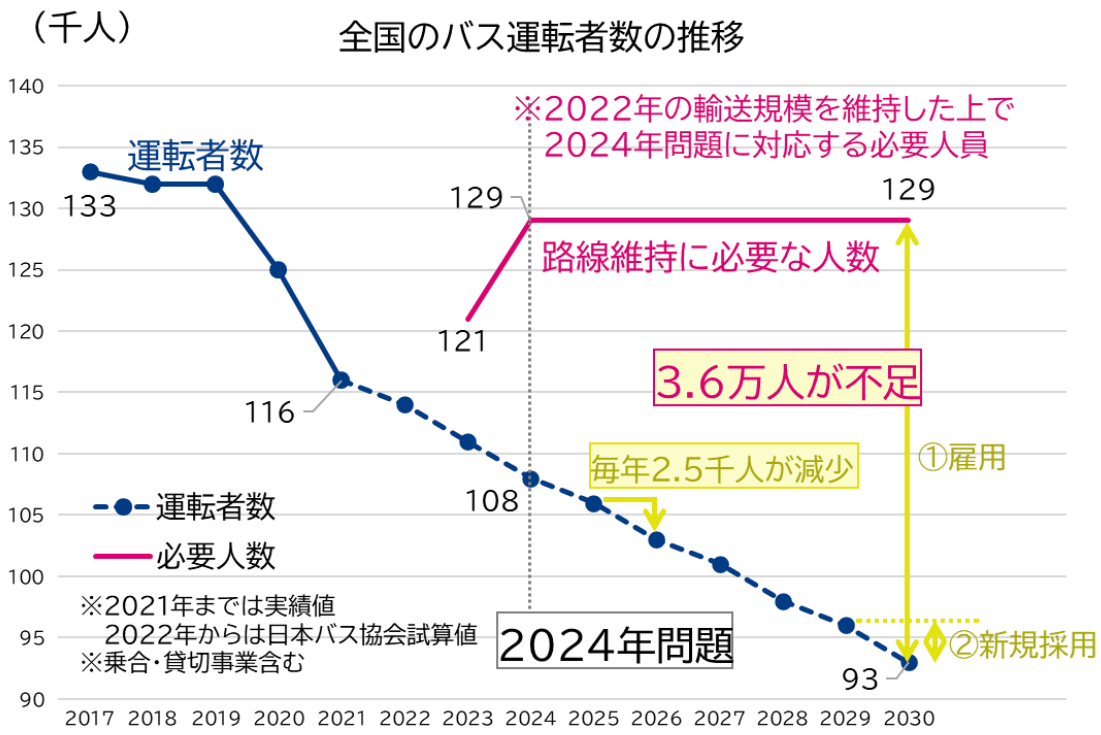


図 40　全国のバス運転者数の推移

出所：第 58 回国土幹線道路部会（令和 5 年 10 月）資料 4「(公社)日本バス協会　提出資料」をもとに三菱総合研究所で作成

ii)　交通事故削減による社会的便益

全国の乗合バスについて、乗務員に起因する重大事故は、令和 3 年で重傷者が 89 人、死者が 10 人発生している。（図 41）

交通事故削減による社会的便益について、自動運転バスの導入により、ドライバーに起因する事故の発生が防がれると想定し、算出する。なお、年ごとの事故発生状況にばらつきがあることから、過去十年間の事故データを対象として検討する。

交通事故削減による社会的便益の算出式は、「(死亡者の損失額) ×約 11.8 人＋ (重傷者の損失額) ×約 140.9 人」となる。

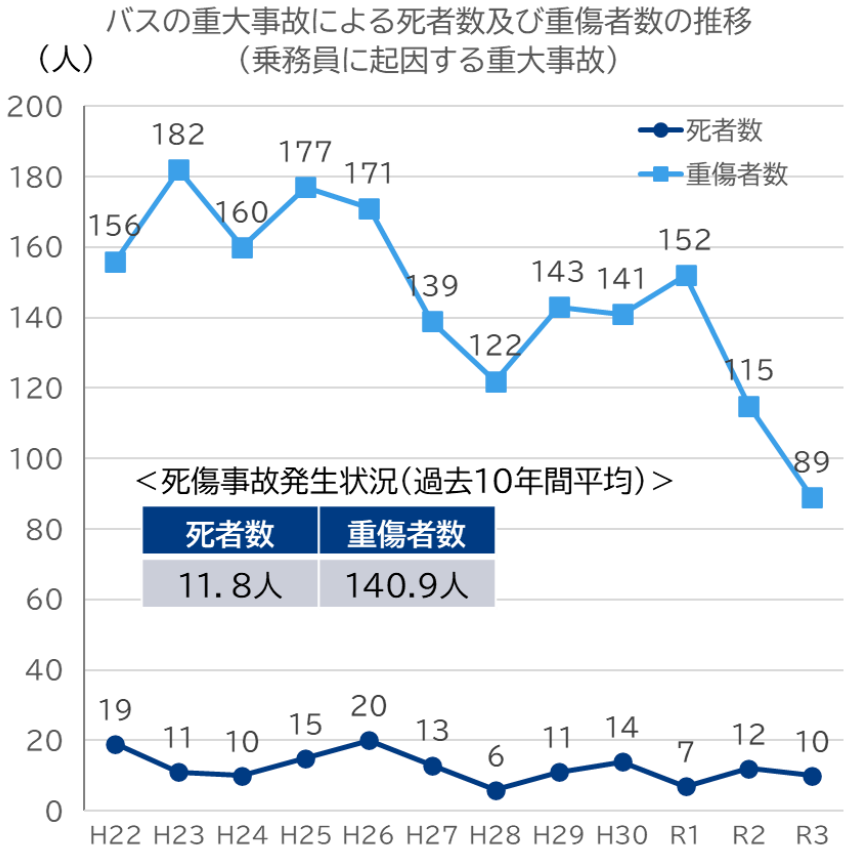


図 41　交通事故減少便益の算出について

出所：自動車運送事業用自動車事故統計年報（自動車交通のる情報）（令和 3 年）[第 2 分冊]（国土交通省自動車局）をもとに三菱総合研究所作成

具体的な損失額については、内閣府による交通事故による被害・損失に関する調査結果（表 17）を用いて交通事故の発生割合を乗じることで、交通事故減少便益を算定する。具体的には、金銭的損失額と非金銭的損失額を足し合わせた値から慰謝料分を差し引いた値を用いる。これは、慰謝料が「非金銭的損失」と重複するためである。さらに、事故データにおいて後遺障害が残る人数は判別不能であることから、「重傷者」 の損失額は「傷害」の場合を適用する。

表 17　交通事故被害者一名当たりの交通事故による損失額

（千円）

内訳項目			死亡	後遺障害	傷害	物損	合計
金銭的損失	人的損失	逸失利益・治療関係費・葬祭費	15,621	5,957	177	—	528
		慰謝料[A]	11,980	1,448	388	—	487
		小計	27,601	7,405	565	—	1,015
	物的損失		396	396	396	255	396
	事業主体の損失		943	229	78	—	89
	各種公的機関等の損失		3,078	2,026	685	4	761
	金銭的損失合計 [B]		32,018	10,056	1,723	259	2,262
	金銭的損失合計 [B]-[A]		20,038	8,608	1,336	259	1,775
非金銭的損失	死傷損失 [C]		600,601	109,498	441	—	8,295
総計(慰謝料分除外)[B]-[A]+[C]			620,639	118,106	1,777	259	10,069
総計(慰謝料分除外せず)[B]+[C]			632,619	119,553	2,165	259	10,556

注）四捨五入のため、合計は項目別算定結果の和と必ずしも一致しない。

各種公的機関等の損失対象項目：救急搬送費、警察の事故処理費用、裁判費用、訴訟追行費用、検察費用、矯正費用、保険運営費、被害者救済費用、社会福祉費用、救急医療体制整備費、渋滞の損失、事故車両の移動費

出所：令和 4 年度交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査（令和 5 年 3 月　内閣府）p110 から抜粋、三菱総合研究所で加工

■ コラム：様々なサービスの在り方

本年度の検討として実施した事業支出の概算を通して、協調型自動運転にかかる（初期の）支出が明らかになりつつある。これにより、少なくとも 26 年度等の直近では、自動運転バスサービスをコスト優位性の観点から導入することは難しいことが明らかになってきた。

また、実証実験が進むに連れて、より慎重な導入が必要となる条件も徐々に明らかになってきており、自動運転が公道上で人の移動サービスとして成り立つまでには、長い時間が必要であることが想定されている。人身事故等の結果として運行停止となっている事例が存在することを踏まえても、安全を最大限保証しながら慎重に自動運転を適用することは、事業の観点でも重要と言えよう。

本コラムは、このような本事業の検討や実験の結果明らかになる自動運転の前提条件を踏まえ、その中で自動運転の運用の持続可能性を高める方法を検討するものである。そのために、将来の多様なサービスを初期的に検討する。

本コラムは来年度以降も CooL4 の実証結果やヒアリング等を通して内容の検討を深めていく予定である。これにより、本事業の取組みから得られる多くの「学び」を活用し、将来のバスサービスや、バスサービス以外のサービスについてのより深い検討が可能となることが期待される。

表 18　自動運転を活用したサービスの類型

	既存市場あり		既存市場なし
	①人の移動のための サービス	②モノの移動等のための サービス	③自動運転ならではの 新たなサービス
定義	バス・タクシー等の人の移動のための既存サービスを自動運転に置き換えたもの。	トラック等のモノの移動、またはその他業務用車両（消防車・救急車…）等が提供する既存サービスを自動運転に置き換えたもの。	「自動化」ならではの価値を活かした新サービス
収入源の特徴	「運賃」「運行委託費」「赤字補填補助金」等。 規制の観点から、既存のサービスのサービス料（エンドユーザーが支払う金額）から大きく乖離できない可能性が高い。	「委託費」等。 競争力の観点から、既存のサービスのサービス料と同等の水準が必要になる可能性が高い。	広告掲載費やエンターテイメントへの対価など多岐にわたる。 既存の市場が形成されていないため、サービス料の自由度が比較的高い。一方、市場の形成や規模に関しては未知。
走行環境	乗車前・降車後は乗客が歩行者となるため、多くの場合歩行者との混在空間など複雑な環境で走行することが想定される。	走行環境をある程度コントロールすることが可能。一方、業界慣習の考慮や、現在ドライバーが担っている運転以外の業務の整理が必要。	走行環境をある程度コントロールすることが可能。

検討にあたり、サービスの性質と既存市場の形成の観点から、自動運転を活用したサービスを三種類に類型化した（表 18）。

既存市場のあるサービスは、①人の移動のためのサービスと②モノの移動等のためのサービスの 2 類型とした。①は本事業において検討されているようなバスやタクシー等の旅客を運送するようなサービスを自動運転に置き換えたものである。規制の観点から、既存のサービス料（エンドユーザーが支払う金額）以上に収入を得る難易度は高い。また、②は、物流やその他の業務用車両（消防車・救急車等）等が提供する既存サービスを自動運転に置き換えたものである。既存のサービスと同等のコスト水準や、これまでドライバーが担ってきた運転以外の業務への対応が必要になる可能性が高い。

既存市場がないサービスとしては、③自動運転ならではの新たなサービスが考えられる。モビリティと掛け合わせる分野としてこれまであまり検討されてこなかった、エンタメや不動産、広告といったような分野とシナジーを生み、自動運転化ならではの価値を生かした新サービスであり、収入源の想定も多岐に渡る。それゆえ、サービス料の自由度が比較的高い一方で、市場形成や規模に関しては未知な部分も大きい。

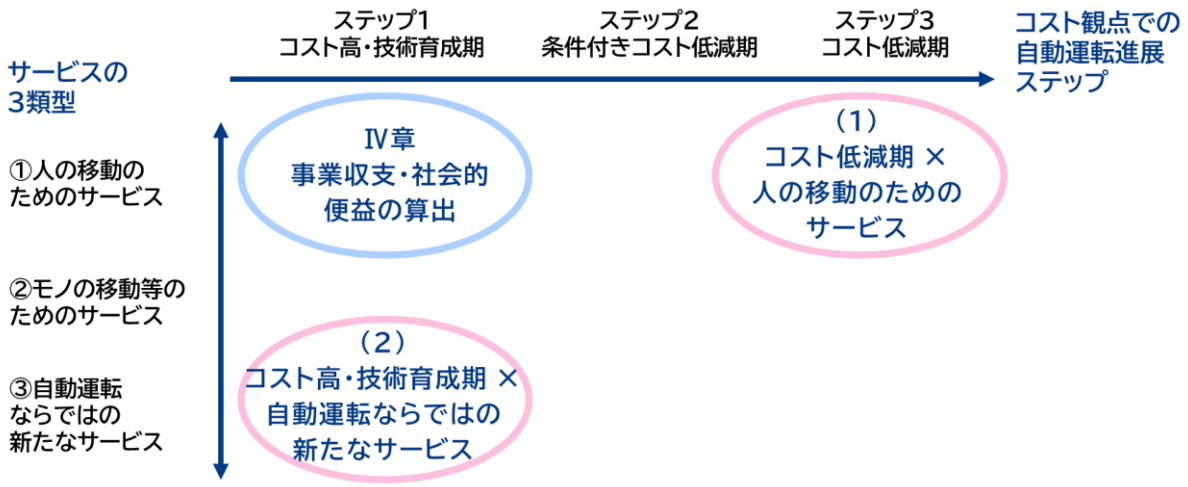


図 42　自動運転サービス実装進展ステップとサービス類型

ここで、サービスの三類型を縦軸に、「事業収支・社会費用便益の算出」で検討したコスト観点での自動運転進展ステップを横軸にプロットしたものが図 42 である。

左上（コスト高・技術育成期 × 人の移動のためのサービス）は、本事業で検討している範囲である。本コラムでは、ここからの将来的なサービスの広がりとして、(1)コスト低減期 × 人の移動のためのサービスと、(2)コスト高・技術育成期 × 自動運転ならではの新たなサービスを検討する。

(1) コスト低減期 × 人の移動のためのサービス

ステップ 3（コスト低減期）においては、技術の進展により、自動運転化費用や運行費用が大幅に低減するものとする。この状態でサービスレベルを現状と同等に維持した場合は、自動運転化費用と運航費用の和が収入を下回るようになり利益を生むことができる（図 43 ステップ 3 左）。コストを現状と同等レベルに維持した場合は、サービスレベルを向上させ、より大きな収入を得ることができると予想される（図 43 ステップ 3 右）。

このような将来においては、既存のバスサービスやタクシーサービスという形態を変えずに、自動運転に置き換えるメリットが大きい。一方で、ステップ 3 に至るまでには、公的補助を受けるか、サービス内容を変更してコストと収入のバランスを取らなければ、持続可能な運行はできない（図 43 ステップ 1）。

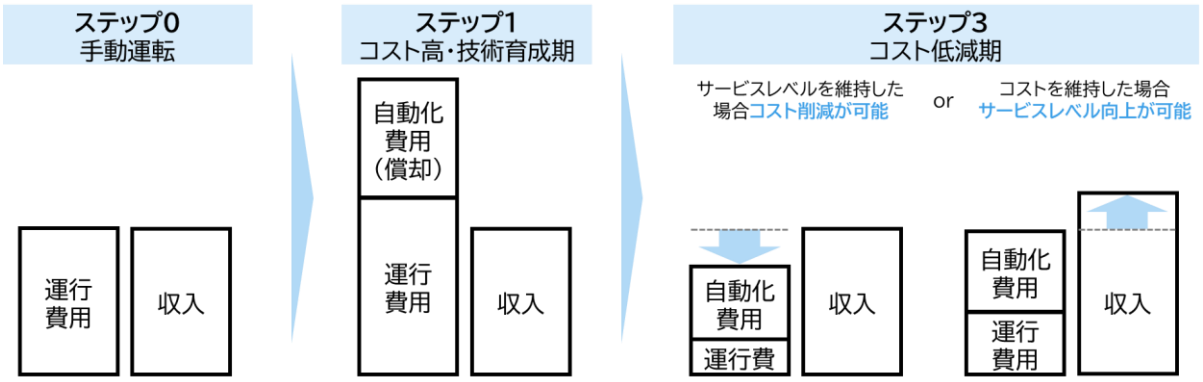


図 43　ステップ 3 におけるコスト削減とサービスレベル向上の可能性

(2) コスト高・技術育成期 ✕ 自動運転ならではの新たなサービス

ステップ 1（コスト高・技術育成期）においては、公的補助を受ける以外に、高付加価値のサービスを提供して収入を増やしながら、低速等技術レベルの低い自動運転を使用することによりコストを下げていくことによって、持続可能性が高まる可能性がある。

ここでは、自動運転ならではのサービスの例として、モビリティを活用したビジネス・イノベーション・コンテスト 2022[1]（東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構、同志社大学モビリティ研究センター、一般社団法人モビリティイノベーションアライアンス主催）での提案を取り上げる（図 44）。

このコンテストは、高専から大学院生までを対象としたモビリティ活用のビジネスアイデアコンテストであり、2022 年のテーマは「自動運転技術を活用した革新的ビジネスプランの提案」であった。審査基準は、新規性・自動運転技術を利用する必要性・分析の深さ・想定する将来におけるビジネスフィージビリティ・社会や顧客の生活や体験の変化が具体的に描かれているか、の五つの軸である。

[1] M-BIC, https://m-bic.jpn.org/idea/, 2024/2/16 閲覧

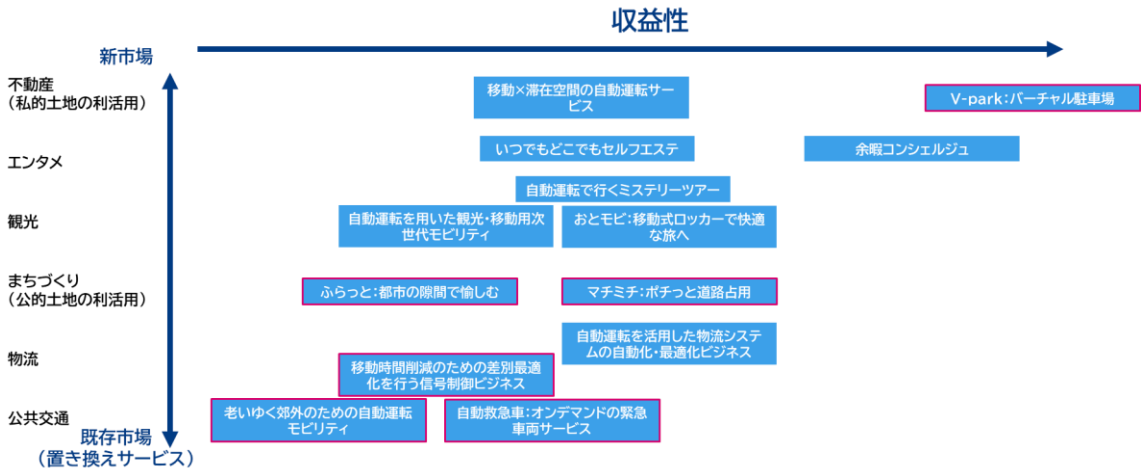


図 44　モビリティを活用したビジネス・イノベーション・コンテスト 2022 提案一覧

出所：M-BICweb サイト（https://m-bic.jpn.org/idea/ ）（2024 年 3 月 18 日閲覧）をもとに三菱総合研究所で加工

■ 今年度の成果物

- 「Ⅰ.」では、柏の葉地域における土地利用・施設配置・開発計画等に関する最新情報と、地域ステークホルダーの課題・ニーズ、特定自動運行移動サービスへの期待について整理するとともに、需要面・事業面・技術面からの特定自動運行移動サービスの方向性を整理した。
- 「Ⅱ.」では、SPC による体制案等を作成し、交通事業者を含む地域ステークホルダーとの議論を行い、特定自動運行の実施者、特定自動運行主任者、特定自動運行保安員を担う組織について、関連事例調査等を行い、複数案を整理した。
- 「Ⅲ.」では、柏の葉地域における特定自動運行移動サービスのルート・運行形態等の選択肢を整理した。あわせて、R5 年度までの成果から作成可能な項目について、特定自動運行計画第一次案として整理した。
- 「Ⅳ.」では、特定自動運行移動サービスによって生じると考えられる社会的便益を洗い出し、大きな便益が発生する可能性が高く計算可能な項目について、計算ロジックを検討し試算した。また、車両や路側機等の概算コストに関する情報収集を行い、現状の路線バス運行の事業収支を参考としながら、特定自動運行移動サービスの概算事業収支を整理した。協調型自動運転の進展ステップとして、高コスト期からコスト低減期までのステップと、各ステップにおける費用負担の考え方を整理した。

■ 次年度以降の実施事項

- 柏の葉地域においては、地域課題解決に向けた特定自動運行移動サービスの役割を整理

するとともに、特定自動運行の許可申請に向けた「地域の理解」の獲得を目指す。

- 2025年度サービス実証に向けては、実施体制の具体化・決定、特定自動運行の申請に向けた特定自動運行の実施者、特定自動運行主任者、特定自動運行保安員等の担当組織の具体化・決定に向けた検討を行う。また、特定自動運行計画案を全項目について作成するとともに、特定自動運行計画の申請以外にも必要となる申請・許可等の整理と対応準備を行う。
- 社会的便益を踏まえた事業のあり方の検討においては、特定自動運行サービスの社会的便益・概算費用やコスト負担のあり方を整理したうえで、将来に向けた収支改善のアイデアを整理する。
- 柏の葉地域における検討結果の他地域展開に向けては、「社会実装の手引き」の参考となるよう、柏の葉地域での検討において作成した資料を整理し、情報提供を行う。

1-2.　導入検討マニュアル案の作成

＜この項目での実施事項＞

Ⅰ.　ドラフト版（過年度作成）の更新

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- ドラフト版を詳細化した導入検討マニュアル案（初版）を作成

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ.　ドラフト版（過年度作成）の更新

1)　モデル地域での検討を踏まえた導入検討マニュアル案作成

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

将来的に、本マニュアル案を参照することで、レベル 4 自動運転導入時に必要な申請内容を具体的にイメージし、よりスムーズに申請ができるマニュアル案とするために、初版では、柏の葉地域における申請に向けた検討具体例としてし、各項目の検討プロセスや留意事項を整理した。導入検討マニュアル案更新の流れは以下の通り。

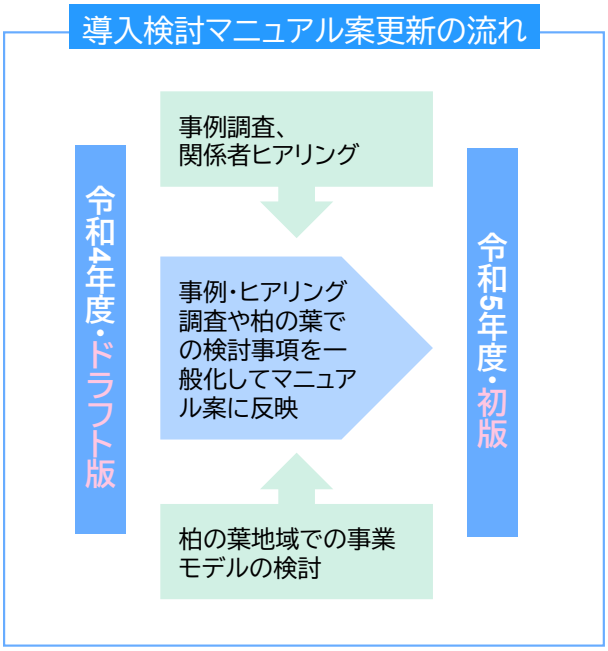


図 45　導入検討マニュアル案更新の流れ

また、主な更新箇所は以下の赤字の通り。地域公共交通会議やルートや実施体制についても更

新を行った。

なお、マニュアル全体の構成や想定する読者と読者のステータス等の変更は行っていない。

表 19　マニュアル全体の更新箇所

第Ⅰ部	**混在空間でのレベル4自動運転サービス　導入検討編**	
	1.1 地域の移動サービスの位置づけ	
	(1)地域の移動サービスの現状や目的	本マニュアルが対象としている地域の移動サービス、地域の移動サービスの現状及び目的について
	(2)旅客輸送を行うための基礎情報	旅客輸送を行うための基礎情報、旅客自動運送事業の定義、一般旅客自動車運送事業の種別、地域公共交通会議について ⇒地域公共交通会議の詳細及び地域交通法の概要を追加
	1.2 自動運転移動サービスの特徴	
	(1)社会課題解決手段としての自動運転	人口減少・高齢化の続く地域における移動手段の確保など、社会課題から見る将来のモビリティ社会像、自動走行が果たすべき役割について
	(2)運転自動化レベルと本マニュアルの対象	自動運転、運転自動化レベルの定義と本マニュアルでの対象について ⇒レベル4自動運転の運行モデルパターンが複数あることを追加 （乗務員配置形態、遠隔監視方法等）
	(3)運転自動化レベル4の定義・実現できるサービス	運転自動化レベル4でできること、技術面での要検討事項について
	(4)自動運転システムの種類：自律型と協調型	自律型自動運転/協調型自動運転の違いについて
	1.3 レベル4自動運転サービス導入検討時の留意点	
	(1)レベル4自動運転サービス導入の検討	レベル4自動運転サービス導入検討時の留意事項の全体像について
	(2)レベル4自動運転サービス導入検討時に確認すべき地域の特性	レベル4自動運転サービスを導入検討するという観点で、地域に移動サービスを導入する際に確認すべき地域の特性を整理
	(3)レベル4自動運転サービスの導入により期待できること	レベル4自動運転サービスを導入することで、期待できること ⇒L4自動運転導入により期待できることを拡充。
	(4)レベル4自動運転サービス導入検討時の留意事項	レベル4自動運転サービスを導入する際に留意すべき事項をQA方式で整理 ⇒R5年度事業モデルMTGでの議論を踏まえ、導入時に検討すべき事項を追加
第Ⅱ部	**混在空間でのレベル4自動運転サービス　導入時の手順・手続き編**	
	2.1 はじめに	
	(1)混在空間でのレベル4自動運転サービス手順・手続きの全体像	はじめに、レベル4自動運転導入時手順・手続きの全体像 ⇒ルートの検討や、実装前に行う実証実験の検討内容及び検証内容を追加
	2.2 サービス計画立案	
	(1)移動サービスの目的・内容・利用者	提供する移動サービスの目的と、それを踏まえたサービス内容と想定利用者について
	(2)実施体制	レベル4自動運転サービスを実施する体制、法制度を踏まえた実施体制、運行にかかる管理業務、点検内容等について ⇒SPC等も案の一つとしてありうることを追加。地域公共交通会議等の各関連会議との連携や体制を追加
	(3)ルート・運行計画	具体的なルート設定や運行計画（運行頻度、運行時間等）策定検討の流れ（特定自動運行区間だけでなく導入を検討している全ルートを想定）
	(4)事業採算性・社会的便益	支出と収入の考え方を提示したうえで、事業採算性や社会的便益の考え方を整理 ⇒コストや社会的便益の考え方を拡充
	(5)リスクアセスメント	想定しうるリスクの洗い出し、リスクアセスメントの検討と実行
	(6)社会受容性	社会受容性の検討
	2.3 特定自動運行計画の策定	
	(1)特定自動運行計画の策定	「1.」のサービス計画立案をもとに、特定自動運行区間における具体的な実施計画を策定するための考え方について
	2.4 審査・許認可	
	(1)審査・許認可の概要	レベル4自動運転サービスを運行する（特定自動運行の）ために必要な審査・許認可の整理
	2.5 サービス導入・評価	
	(1)サービス導入後の評価	サービス導入後の評価方法（利用実態調査や収支評価など）について

ここでは主な変更点のみを示す。

(1) 地域公共交通に関する主な法律

レベル 4 自動運転バスを地域に導入する場合に関係すると見込まれる主な法律を整理した。旅客輸送を行うため、道路交通法だけでなく、道路運送法についても把握確認しておく必要がある。

(2)旅客輸送を行うための基礎情報

● **地域公共交通に関する主な法律**

地域公共交通に関する主な法律として、以下が挙げられます。

▼地域公共交通に関する法律

関連する法律	概要
交通政策基本法	・交通全体に関する政策の基本的な考え方、その進め方を決める法律です。 ・交通政策に関する基本理念や基本事項などを定め、国及び地方公共団体の責務を明らかにすることで、交通に関する施策を総合的・計画的に推進し、国民生活の安定向上及び国民経済の健全な発展を図ることを目的としています。
地域公共交通の活性化及び再生に関する法律（地域交通法）	・地域公共交通の活性化・再生に向けた地域の主体的な取組や創意工夫を総合的・一体的・効率的に推進することを目的に施行された法律です。・全ての地方公共団体が作成に努めなければならない「地域公共交通計画」や、これに基づき実施する事業等について定めています。
道路運送法	・道路運送事業の適正な運営及び輸送の安全を確保し、道路運送に関する秩序を確立するための法律です。 ・バス・タクシーのように、自動車を用いて、乗客から運賃を受け取り、移動サービスを提供する場合は、「道路運送法」による許認可や届出が必要になります。
鉄道事業法	・鉄道事業の適切な運営、輸送安全の確保や利用者利益の保護という観点から、鉄道事業等を営む者が守るべき基本的な事項について定めた法律です。 ・事業許可、工事の施行認可、運賃・料金の上限認可、運行計画の届出など、基本となる規定のほか、鉄道事業の区分や鉄道の種類に関する規定も設けられています。
軌道法	・一般交通の用に供するため道路に施設される鉄道に適用される法律です。 ・軌道事業の運営、軌道経営者と利用者の契約関係、施設・運転・係員の基準等を規定しています。
海上運送法	・水上（海、湖、沼、河川）で旅客等を輸送する事業について定めた法律です。
道路法	・道路の整備のため、道路に関して認定・管理・保全や費用の負担などに関する事項を定め、交通の発達に寄与することを目的として定められた法律です。 ・公道上にバス停等を設置するためには、この法律に基づき、道路管理者から道路占用許可を得ることが必要になります。
道路交通法	・道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図ることを目的として、道路交通の基本的ルールを確立するとともに、違反行為に対する罰則と、反則行為に関する処理手続きを定める法律です。 ・法律の所管は警察庁であり、バス等の運行に際しては、地元の公安委員会（所轄警察署）との調整が必要不可欠です。
都市再生特別措置法	・都市再生の推進に関する基本方針などを定める法律です。 ・都市再生に向けた都市計画の特例や交付金（社会資本整備総合交付金）の交付などの特別な措置を講じています。 ・平成 26 年に行われた改正により、住宅及び都市機能増進施設の立地の適正化を図るための計画制度として「立地適正化計画」が創設されました。 ・令和 2 年に行われた改正により、「居心地が良く歩きたくなる」まちなかづくりのための取組が新たに位置付けられました。

特に「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」と「道路運送法」の2つについては、バス事業を行うにあたり、触れる機会が多いため、次ページで詳細をご紹介します。

出所）地域公共交通のリ・デザイン 地域公共交通計画等の作成と運用の手引き 理念編
（https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001633211.pdf）2023年11月07日閲覧

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

図 46　地域公共交通に関する主な法律

(2) レベル 4 自動運転の運行モデルパターン

レベル 4 自動運転の運行は、車両、運行形態、区間、便などにおいて、様々なパターンが考えられる。実際に運行モデルを検討する際は、それらを組み合わせての検討が必要となる。マニュアルには、路線バスサービスを想定した場合の運行モデルパターンの想定される選択肢（例）を提示した。

表 20　マニュアル全体の更新箇所レベル 4 自動運転の運行モデルパターンと想定される選択肢（例）

	運行モデル項目	想定される選択肢	各選択肢に対する検討の視点と特徴
運行方針・方法	自動運転／手動運転の範囲	走行環境や技術の現状を踏まえ、自動運転／手動運転の範囲を検討することが必要です。当面は「自動運転と手動運転の組合せ」によりレベル4自動運転を導入したうえで、段階的にレベル4自動運転の範囲を拡大していくことも考えられます。	
		①全て自動運転	交差点が少ないなど、技術的な課題や制約がない場合
		②自動運転と手動運転を組合せ	人通りが多い、交差点が多いなど現状の技術による実現が難しい場合
	レベル4自動運転で走行するルート ※必要な場合のみ	前項で、「②自動運転と手動運転を組み合わせ」を選択した場合は、レベル4自動運転で走行するルートを決める必要があります。選択肢は下記の2つに限らず、様々なパターンが考えられます。	
		①バス停A～バス停Bを自動運転、その前後は手動運転	交差点や人通りの少ない部分のみレベル4自動運転
		②時計回りは手動運転、半時計回りは自動運転　など	右折の少ない半時計回りのみレベル4自動運転
	車両	走行環境や需要等を踏まえて車両の種類を検討すると良いでしょう。特に走行環境に制約がある場合、当面の間は「①小型バス」としたうえで、技術の進展や、路側機の増設等の走行環境の充実化を踏まえて段階的に見直していくことが考えられます。	
		①小型バス	道幅が狭い等の走行環境に制約がある場合 小型バスで乗車見込み人数の需要を十分に満たせる場合
		②中型バス	走行環境が一定程度整っており、需要も一定程度見込まれる場合（小型バスでは需要を満たせない）
		③大型バス	安全・安心が確保できている前提で、走行環境が十分に整っており、需要が大型バスでないと見込めない場合

(3) レベル 4 自動運転サービスの導入で期待できること

本項目については、昨年度ドラフト版においても整理したが、今年度は直接的な効果「自動運転サービスに直接かかわる人々（利用者・提供者等）への影響」、間接的な効果「自動運転サービス実装による地域全体への影響」の 2 つの観点で再整理した。

表 21　レベル 4 自動運転サービスの導入で期待できること（一部）

カテゴリ		期待できること	
直接的な効果 自動運転サービスに直接かかわる人々（利用者・提供者等）への影響	モビリティ課題の解決	①ドライバー不足の解消	運行に際して二種免許の保持が必須でなくなるためドライバー不足の解消が見込まれます
		②交通利便の確保・向上	既存路線の維持や新規路線の開業により交通利便の確保・向上が期待されます
	回遊性向上	③街の回遊性向上による消費増	既存路線の維持や新規路線の開業により、地域の回遊性が向上し、外出機会の増加とそれによる地域消費の増大が見込まれます
		④来街者の増加による地域消費の拡大	既存路線の維持や新規路線の開業により、来街者の交通利便が向上するとともに、自動運転サービスを目的に来街する来街者の増加により、地域消費の拡大が見込まれます
		⑤外出率の向上によるウェルビーイング向上（健康促進・交流活発化）	既存路線の維持や新規路線の開業により、地域の回遊性が向上し、外出機会の増加とそれによる地域住民の健康促進・交流活発化・ウェルビーイング向上が見込まれます
	安全・安心な交通の実現	⑥マイカーからのシフトによる交通事故の削減	既存路線の維持や新規路線の開業により、交通利便性が確保・向上することで、マイカーから公共交通等（自動運転含む）へのシフトが見込まれる。それにより、マイカーにより発生していた交通事故が減少し、安全・安心なまちづくりにつながることが期待されます
		⑦人為的ミスによる交通事故の削減	人為的ミスによる交通事故が削減され、安全・安心なまちづくりにつながることが期待されます
		⑧協調型インフラデータの自動運転バス以外の利用を通じた事故削減	自動運転車両導入に伴い整備される協調型インフラデータで取得できる様々なデータを活用・連携することで更なる安全性向上や将来的な安全・安心なまちづくりにつながることが期待されます
		⑨モビリティ循環による地域見守り	自動運転車両に装備されているカメラ・協調型インフラに装備されているカメラ、そして、回遊性向上により街中に人の目が増える事によって、地域の見守りが強化され、安全・安心なまちづくりにつながることが期待されます

(4) 実施体制

本項目も昨年度ドラフト版にて整理した内容からの更新である。今年度はレベル 4 自動運転サービス事業を運営する事業主体として、新たに SPC（特定目的会社）や自動運転モビリティサービス事業者が事業を担う場合についても整理した。以下に事業のパターン別の実施体制の一例を示す。



図 47　実施体制（一部）

■ 今年度の成果物

- ドラフト版を詳細化した導入検討マニュアル案（初版）を作成した。

■ 次年度以降の実施事項

- 「社会実装の手引き」の参考となるよう、柏の葉地域での検討において作成した資料を整理し、情報提供する。

第2章　協調型自動運転移動サービス開発

2-1.　協調型自動運転移動サービス全体設計

＜この項目での実施事項＞

I.　柏の葉を想定した事業モデルの要求機能に対する自動運転移動サービスの仕様作成

II.　協調型システムに関する法的な問題の検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 柏の葉地域におけるレベル 4 協調型自動運転移動サービスのシステム構成一次案。(レベル 4 協調型自動走行システム＋運行･遠隔監視システム)
- 協調型システムにおいて信号情報を情報共有した場合の事故時の法的責任(民事責任及び刑事責任)等について検討するための事故の類型

■ 実施事項と実施方法

1)　柏の葉を想定した事業モデルの要求機能に対する自動運転移動サービスの仕様作成

本章は、2025 年度に柏の葉地域へ実装するレベル 4 協調型自動運転移動サービスの具体的なシステム開発について論じる。まず本 2-1 節では、次節以降で詳述するレベル 4 協調型自動運転移動サービスの各要素について概説し開発の全体像を記述した後、本事業の特徴である自動運転車両へのインフラ情報活用の可能性とその効果の検証方法について述べる。また、協調型システムに関する法的な問題の検討状況について報告する。

(1) 協調型自動運転移動サービス全体設計の流れ

レベル 4 協調型自動運転移動サービス開発の流れを図 48 **エラー！ 参照元が見つかりません。**に示す。第一に 2025 年に柏の葉地域に実装する移動サービスを定義する。前章で詳述の通り、本プロジェクトでは、現行の東京大学柏キャンパスシャトルバスルートの一部区間に、中型バスによる協調型レベル 4 自動運転移動サービスを実装することを第一次案として技術開発を進める。(1-1. III 参照)

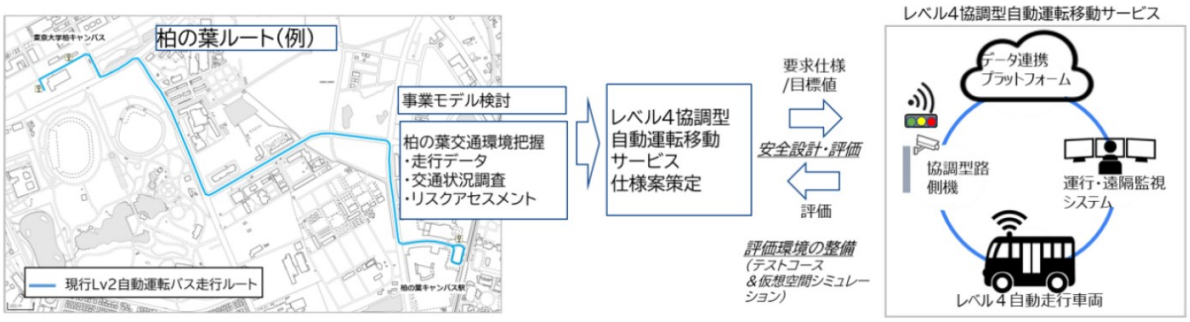


図 48　協調型自動運転移動サービス全体設計の流れ

次に、対象走行ルートの走行環境を把握し、想定する具体的な ODD（運行設計領域：Operational Design Domain）として、道路条件・地理条件・環境条件等を設定する。今年度は、過年度までに検討してきた走行環境の分類法を発展し、レベル 4 自動運転に適した体系的な走行環境の整理方法を定義した。また、走行環境に加え予見される交通参加者の振る舞いを合わせまとめた交通シナリオについて定義し、これを体系的に表現する手法を定義した。(2-2.I.1)参照) これにより自動走行システムの機能・性能を設計、あるいは、評価する際の条件を体系的に記述できることとなる。

国土交通省発行の「自動運転車の安全技術ガイドライン」に示す安全目標としては、「自動運転車が満たすべき車両安全の定義」として「自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定められている。従って、レベル 4 協調型自動運転サービスの実装においては、前述の ODD において予見可能なリスクシナリオを整理し、その対処方法を講じることが必要要件となる。この際、他の交通参加者の振る舞いをどこまで考慮すべきか等、関係法令に沿って安全に走行するための考え方や手順を記述した安全走行戦略を定め設計指針とすることで、自動走行車両の走行戦略立案に資することを目指した。(2-2.I.2) 参照)

本プロジェクトで用いる協調型自動走行車両は、いすゞ製エルガミオをベースに、柏の葉地域の混走空間でレベル 4 自動走行を実現するための機能・性能を追架装したものである。協調型自動走行車両の構成概要を図 49 に示す。今年度は、2-2.I で設定した柏の葉の ODD と安全走行戦略の考え方に基づき、柏の葉走行ルート各区間を安全に走行するための走行方法と予見すべきリスクシナリオを網羅的に抽出し、各区間において協調型自動走行車両が把握すべき情報を整理することによって認識性能目標として開発を進めた。協調型自動走行車両の設計・試作・評価については、2-2.II 節で詳述する。

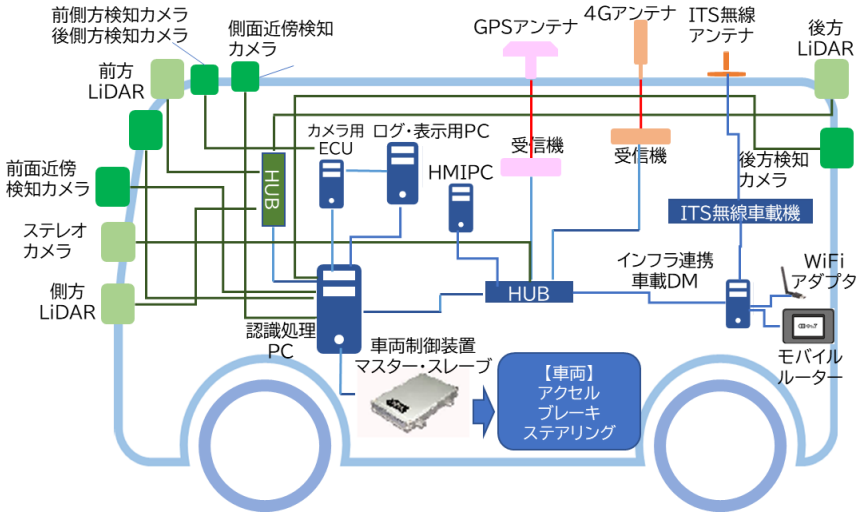
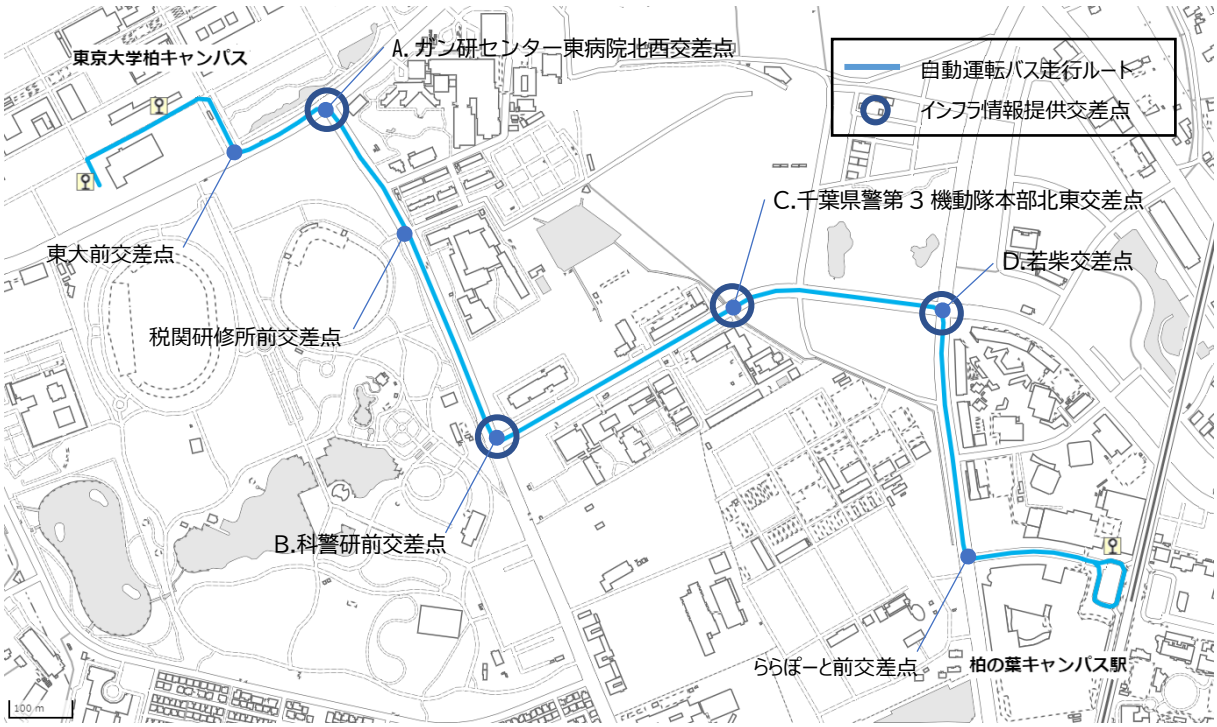


図 49　協調型自動走行車両の基本構成

前述の協調型自動走行車両が把握すべき情報の中で、自車に車載のセンサーで得ることができない情報については、走行ルートの道路に設置された協調型路側機から送信される情報から取得することが期待される。今年度は図 50 に示す 4 か所（信号交差点×3 か所、無信号交差点 1 か所）に協調型路側機を設置し、信号情報および路側センサーからの物標情報を送信する。図 51 に、協調型路側機の構成を示す。協調型路側機の設計・実装・評価については、2-2. III 節で詳述する。



国土地理院の地理院地図に自動運転実証実験のルートおよび関連情報を加筆

図 50　柏の葉における自動走行車両の仮想走行ルートおよびインフラ情報提供交差点

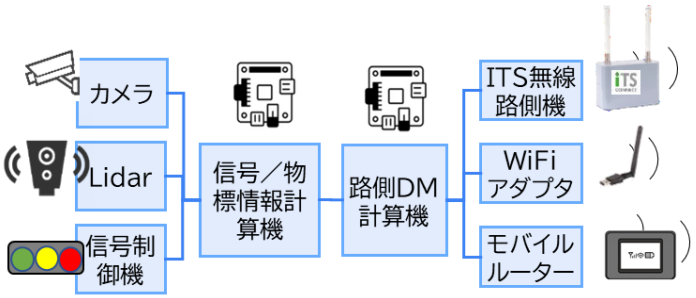


図 51　協調型路側機の基本構成

図　49 協調型自動走行車両、および、図　51 の協調型路側機の構成要素である車載データ連携モジュール（車載 DM)、路側データ連携モジュール（路側 DM）は、図外のデータ連携サーバーとともにデータ連携プラットフォームを構成するコンポーネントである。

データ連携プラットフォーム　は、インフラセンサーや信号機から得た情報を収集・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に提供するものであり、過年度までにその定義と基本的な技術検証を実施している。今年度はこれを柏の葉地域に実装するとともに、更なる性能向上を目指し開発を進めた。データ連携プラットフォームの開発・評価については、2-2.V 節で詳述する。

選定した 2025 年度走行ルート第一次案（1-1.III 図　30）では、レベル 4 自動運転で走行をする区間は走行ルートの全区間では無く手動運転区間が存在する。このため、2025 年度に柏の葉地域に実装するレベル 4 協調型自動運転サービスでは、乗務員乗車型レベル 4 自動運転が想定され、遠隔監視システムは必須ではない。しかしながら、2025 年以降もレベル 4 自動運転サービスを継続しドライバー不足の社会課題の解決に寄与するためには、遠隔監視システムについて仕様検討を行っておくことは有用である。今年度は、この視座に立ち、遠隔監視型レベル 4 自動運転サービスを実装する際の遠隔監視システムの要件を策定した。(2-3 節参照。)

また本事業では、これら協調型レベル 4 自動運転サービスの評価手法についても開発整備を進めている。今年度は、実環境で協調認識メッセージ送信ソフトウエアのフィールド実験を行い、フィールド実験性能測定ソフトウエアを開発した。また、仮想空間において柏の葉環境を模擬した 3D 物理シミュレーション・交通流・ネットワークシミュレータを統合し協調型システムの評価プラットフォームの開発を進めた。ここでは、実環境における通信ネットワーク計測結果を仮想空間上のシミュレータに取り込み、より現実に近いテスト環境を構築した。次年度以降、協調型自動走行車両の走行戦略、路側センサーの配置など設計・評価に本シミュレータを活用していく。協調型システム評価環境の整備については、2-2.IV 節にて詳述する。

以上の項目は、2025 年度の柏の葉地域での協調型レベル 4 自動運転サービスを想定して実施するものであるが、これらの実施内容は一般化することにより日本全国への横展開可能なものである。また、将来を見据え、柏の葉で走行する ODD を更に拡大することを念頭に置いた将来的な課

題についても先行して検討・整理した。2-4 節に、ODD 拡大・全国展開に向けた課題について詳述する。

(2) 柏の葉における交通環境から見た自動運転車両へのインフラ情報活用の可能性

柏の葉における自動運転車両の仮想走行ルートとして、図 50 のルートを設定しており、区間ごとに自律走行での走行ストラテジーやリスクシナリオとその対処を検討している（2-2.II:協調型自動走行車両の開発・評価参照)。

このうち、4 交差点部において交差点周辺の交通環境から、路側から提供されるインフラ情報が自動運転車両の円滑性・安全性に寄与すると判断した。次ページ以降に、4 交差点における自律での走行ストラテジーを整理し、交通環境を踏まえた懸案事項とインフラ情報活用の可能性をあげる。

i) ガン研センター東病院北西交差点

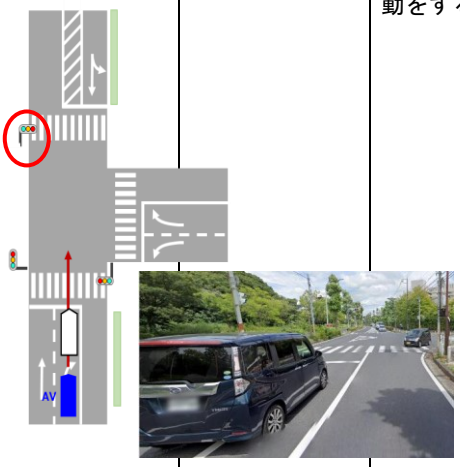
がん研センター東病院北西交差点では、次ページ以降に示す右折基本動作のステップ（走行ストラテジー）におけるステップ④とステップ⑤において、懸案事項があり、路側から提供されるインフラ情報が自動運転車両の円滑性・安全性に寄与すると判断した。

具体的には下記事項となる。

① ステップ④

- 検討ユースケース：右折 1－④－1

表 22　インフラ情報活用の可能性（右折 1－④－1）

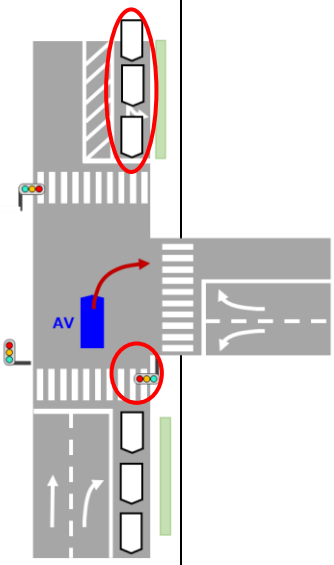
検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
2 台目待機時における進行方向信号灯火の確認による安全・円滑な発進判断 		交通参加者（自動車、二輪車、歩行者、自転車）は、交通ルールに従った行動をするとする	1. 交差点手前へ、既定の速度*で、前提 3 条件を確認しながら進行する。 （*信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速） 2. 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提 3 条件を確認する。 ・ 成立する場合は、交差点へ進入する。 ・ 非成立の場合は、停止線で停止する	カメラによる信号灯色認識 ⇒ 認識必要距離：30m ⇒ 判定可能距離：60m	◇自律の制御仕様を安全側に設定すると停止線発進時に時間を要する 〇信号灯火が確認できない 2 台目以降での停止時において、信号サイクル情報により自車前方方向の信号灯火判定が可能となり、円滑な交差点通過の判断材料になる

【前提 3 条件】
・自車以外の交通参加者は、基本的には交通ルールを順守した行動をすることを前提とする。
・但し、現状の交通環境の中で日常的に見られる違反行為についてはそれもあることを前提として検討する。
・どのような違反行為を前提とするかは各ユースケース毎に規定する。

② ステップ⑤

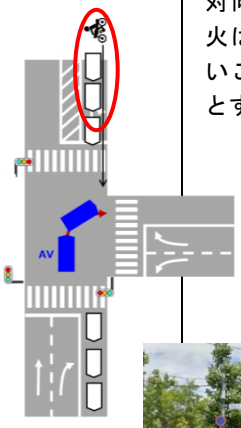
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1

表 23　インフラ情報活用の可能性（右折 1－⑤－1）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
時差式信号機における信号無視自転車を考慮した交差点中心からの安全・円滑な右折発進判断  	・対向車線が渋滞しており、自車は前方の信号のみ検知し、歩行者信号は検知しない状況で右折を行う	・対向車は、信号を順守 ・対向二輪車は、赤信号後 2 秒まではすり抜けてくることを考慮 ・歩行者、自転車は赤信号後 2 秒までは交差点に進入してくることを考慮 （・歩行者の最高速度 6km/h、自転車の最高速度 15km/h、二輪車の最高速度は 30km/h とする）	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認 3. 徐行して右折を開始 4. 横断歩道手前で念のため一時停止し、信号無視の歩行者、自転車がないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討	1. カメラによる信号灯色認識 ⇒ 認識必要距離：30m ⇒ 判定可能距離：60m 2. カメラ・LiDAR による対向車両の停止判断 ⇒ 認識必要距離： → 判定可能距離： ⇒対向車の速度ベクトルが 0	◇時差式信号機のため、対向車両が赤灯火で停止しているのか、渋滞先詰まりで前進しないのか確実に認識する事が困難 ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると右折通過に時間を要する。 ◇ 渋滞流のとき、対向車が止まってくれたら発進するかしないかの判断 〇時差式信号である事を配慮すると、信号サイクル情報により対向車両が前進しない事が判定可能となり安全・円滑な交差点通過の判断材料になる

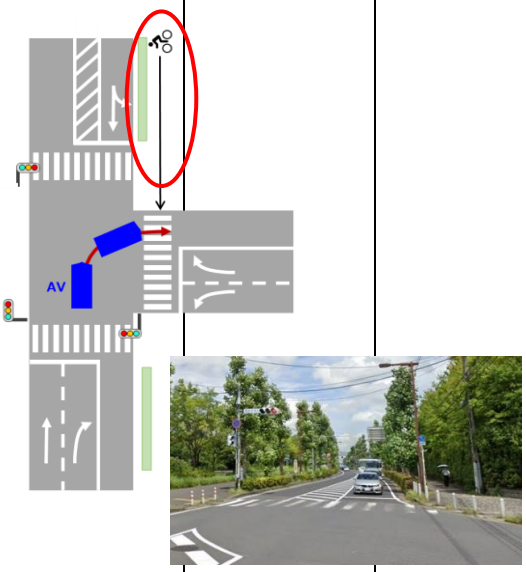
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－2

表 24　インフラ情報活用の可能性（右折 1－⑤－2）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
進行方向信号：青、および対向方向信号：青時の渋滞車両脇をすり抜ける二輪車・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	・対向車線が渋滞しており、自車は前方の信号のみ検知し、歩行者信号は検知しない状況で右折を行う ・対向車線に大型車両が停車しており、交差点中央から対向車線路側付近が検知できない ・対向車、二輪車は信号を遵守 ・自転車は信号無視をしてくる可能性を考慮 ・進行方向信号灯火が青で、対向車信号灯火は、問わないことを前提とする	・対向車は、信号を順守 ・対向二輪車は、赤信号後 2 秒まではすり抜けてくることを考慮 ・歩行者、自転車は赤信号後 2 秒までは交差点に進入してくることを考慮 （・歩行者の最高速度 6km/h、自転車の最高速度 15km/h とする）	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認 3. 徐行して発進 4. オクルージョンが解消される横断歩道手前で念のため一時停止し、すり抜ける二輪車・自転車がいないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※バスの左前のセンサーが横断歩道に対して直交しないため、オクルージョンを解消するため若干外を向く可能性がある ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討	1. カメラ・LiDAR によるすり抜ける二輪車の認識 ⇒二輪車想定速度：20km/h（仮値） ⇒自車必要通過時間：4sec（12km/h で走行の場合） ⇒検出必要距離：30m 程度 ⇒検出可能距離：50m（対向車が大型の場合） ⇒検出可能距離は減少	◇対向車両が大型車である場合など、属性によりすり抜ける二輪車の適切な認識が困難なケースあり ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると右折通過に時間を要する 〇すり抜ける二輪車の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、安全・円滑な交差点通過の判断材料になる

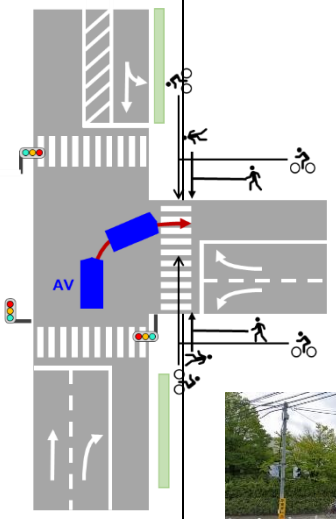
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－3

表 25　インフラ情報活用の可能性（右折 1－⑤－3）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断 	・対向車線側の街路樹、道路形状により、自律センサーで障害物検知不可能箇所が発生する	自転車は、赤信号後 2 秒までは、交差点に進入してくることを考慮 （・自転車の最高速度 15km/h とする）	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. カメラ・LiDAR による歩道を走行する自転車の認識 〔交差点中央待機時〕 ⇒自転車想定速度：20km/h ⇒自車必要通過時間：4sec 程度（12km/h で走行の場合） ⇒検出必要距離：30m 程度 ⇒検出可能距離：50m 〔横断歩道手前停止時〕 ⇒検出必要距離：30m 程度 ⇒検出可能距離：50m （1 本目の高木までは見える想定）	◇歩車境界にある植栽（高木）や、対向車線上に停止する大型車により、歩道を走行する自転車の適切な認識が困難なケースあり ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると右折通過に時間を要する 〇歩道を走行する自転車の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、安全・円滑な交差点通過の判断材料になる

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－4

表 26　インフラ情報活用の可能性（右折 1－⑤－4）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	・右折先歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する ・交差道路の左折待ち停車車両、歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する	・歩行者、自転車は赤信号後 2 秒までは交差点に進入してくることを考慮 （・歩行者の最高速度 6km/h、自転車の最高速度 15km/h とする）	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車・歩行者の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. カメラ・LiDAR による歩道を走行する自転車・歩行者の認識〔交差点中央待機時〕 ⇒自転車想定速度：20km/h ⇒歩行者想定速度：10km/h ⇒自車必要通過時間：7～10sec 程度（12km/h で走行の場合） ⇒検出必要距離：30m 程度 ⇒検出可能距離：50m（交差道路対向車が大型の場合） ⇒検出可能距離は減少（横断歩道上に限定される）	◇歩車境界にある植栽(高木)や、交差道路上に停止する大型車により、歩道を走行する自転車の適切な認識が困難なケースあり ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると右折通過に時間を要する 〇歩道を走行する自転車の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、安全・円滑な交差点通過の判断材になる

【資料　ガン研センター東病院北西交差点における自動走行車の右折基本動作のステップ】

表 27　自動走行車の右折基本動作のステップ

①走行車線～右折レーン入口	②右折レーン入口～右折レーン進入	③右折レーン進入～停止線通過	④停止線～対向直進車両通行路前	⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前
				
【基本動作】 ● 前方車両がない場合 ⇒制限速度以下で走行する。 ● 前方車両がある場合 ⇒車間をキープ(周囲検知できるよう近づきすぎないように)する。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合 ⇒制限速度以下で走行する。 ● 前方車両がある場合 ⇒車間をキープ(周囲検知できるよう近づきすぎないように)する。 ※ゼブラゾーンを走行するかどうかを決める必要あり、右折意図を早期に知らせるためにゼブラを走行したい	【基本動作】 ● 前方車両がない場合 ⇒制限速度以下で走行し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。 ● 前方車両がある場合 ⇒車間をキープ(信号灯色が検知できる距離)し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合 ⇒制限速度以下で走行し、交差点中央で一時停止。 ⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合進行。 ● 前方車両がある場合 ⇒車間をキープし、自車が先頭になった際に一時停止。 ⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合進行。 ※時差式信号の取り扱い。対向車は止まるが赤信号で止まったか分からないため、青信号での右折動作への移行が困難	【基本動作】 ● 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合 ⇒制限速度以下で走行し、横断歩道を通過。 ● 横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合 ⇒横断歩道手前で停止。 ⇒歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し横断歩道を通過。
【走行設定値】 ・最高速度:30km/hに設定、右折レーン手前で20km/hとなるよう減速設定。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:停止線から15m手前から10km/hとなるよう減速。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:停止線から15m手前は10km/h。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:15km/h ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:12km/h ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)

3-1.①ガン研センター東病院北西交差点：外乱と対処

①走行車線～右折レーン入口



【走行設定値】
- 最高速度：30km/hに設定、
- 右折レーン手前で20km/hとなるよう減速設定。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合
⇒制限速度以下で走行する。
- 前方車両がある場合
⇒車間をキープ（周囲検知できるよう近づきすぎないように）する。

外乱①：駐車車両（故障車含む）の発生
⇒追い越すスペースがある時は減速して追い越し。
⇒追い越すスペースがない時は停止。（2023年度は停止）

外乱②前方の歩行者：
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、植え込みがあるため超えてこないと想定。

外乱③：前方の自転車：
⇒車道上にいる場合は、車道上にいる場合は、追い越すスペース（自転車から1.5m以上の距離を開けて走行できるスペース）がある時は減速して追い越し（2023年度は追い越さず追従して走行）。
⇒追い越すスペースがない時は追従して走行。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物：
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：避けるスペースがある時は減速して回避走行。
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。（2023年度は停止）

外乱⑤：緊急車両：
⇒すみやかに左側に寄せる。交差点に進入前に停止。

外乱⑥：後続車両：
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進路変更しない。

外乱⑦火事や地震（震度4以上）
⇒すみやかに左側に寄せて停止。

外乱⑧：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は左側に寄せて停止。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両側方（両側）⇒並走自転車、追い抜き車両（2輪含む）



■自転車・歩行者
・車両前方（〇〇m）
・車両左側歩道（車道端から〇〇m）
・車両側方（両側）（自車両から側方〇〇m）
・車両後方（〇〇m）
■障害物
・車両前方（〇〇m）
■信号機
・なし

【車両側にて対処困難事象】
⑤緊急車両
⇒サイレン音での接近判断は困難。
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込まれ衝突
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-1.①ガン研センター東病院北西交差点：外乱と対処

②右折レーン入口～右折レーン進入



【走行設定値】
- 最高速度：停止線から15m手前から10km/hとなるよう減速。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合
⇒制限速度以下で走行する。
- 前方車両がある場合
⇒車間をキープ（周囲検知できるよう近づきすぎないように）する。

※ゼブラゾーンを走行するかどうかを決める必要あり、右折意図を早期に知らせるためにゼブラを走行したい

外乱①：駐車車両（故障車含む）
⇒追い越すスペースがある時は減速して追い越し。
⇒追い越すスペースがない時は停止。（2023年度は停止）

外乱②：前方の歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、車道から2m以内の距離にいる場合、〇〇m/sで横切ってくることを想定して減速または停止

外乱③：前方に自転車あり
⇒車道上にいる場合は、追い越すスペース（自転車から1.5m以上の距離を開けて走行できるスペース）がある時は減速して追い越し（2023年度は追い越さず追従して走行）。
⇒追い越すスペースがない時は追従して走行。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：避けるスペースがある時は減速して回避走行。
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。（2023年度は停止）

外乱⑤：緊急車両
⇒交差点に進入前に停止。

外乱⑥：後続車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進路変更しない。

外乱⑦火事や地震（震度4以上）
⇒すみやかに左側に寄せて停止。

外乱⑧：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は左側に寄せて停止。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両側方（両側）⇒並走自転車、追い抜き車両（2輪含む）
・車両右後側方⇒後側方車両（2輪含む）



■自転車・歩行者
・車両前方（〇〇m）・車両左側歩道（車道端から〇〇m）
・車両側方（両側）（自車両から側方〇〇m）・車両後方（〇〇m）
■障害物 ・車両前方（〇〇m）
■信号機 ・なし

【車両による対処困難事象】
⑤緊急車両
サイレン音での接近判断は困難。道路中央に寄ろうとしているため道路左側に寄ることは困難であり、特に右折レーンへの進入開始後は緊急車両の通行の妨げとなる可能性あり（特に対抗車線もバスが走行している場合）
⇒現時点では対応策が見つからず、自車は停止のままで他車がスペースを空けてくれることに期待
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込まれ衝突
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-1.①ガン研センター東病院北西交差点：外乱と対処

③右折レーン進入～停止線通過



【走行設定値】
- 最高速度：停止線から15m手前は10km/h。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合

⇒制限速度以下で走行し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。
- 前方車両がある場合

⇒車間をキープ（信号灯色が検知できる距離）し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒その場で停止。

外乱②：前方の歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱③：前方の自転車
⇒車道上にいる場合は、角度90度で横切ってくることを想定して減速または停止。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：停止。

外乱⑤：緊急車両
⇒その場で停止。

外乱⑥：後続車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進行しない。

外乱⑦：前方信号機
⇒信号が点灯していない場合、その場で停止。

外乱⑧火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑨：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は交差点通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物、信号機
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・交差道路左右⇒
・右折先道路⇒



■自転車・歩行者
・車両前方（〇〇m）・車両左側歩道（車道端から〇〇m）
・車両側方（両側）（自車両から側方〇〇m）・車両後方（〇〇m）
■障害物　・車両前方（〇〇m）
■信号機　・なし

【車両による対処困難事象】
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込み
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦信号機故障や停電により信号灯灯火されない場合
⇒ODD外と考える。（車両では判断できない為）
⇒発車前に分かっているのであれば、運行しない。
⑧火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-1.①ガン研センター東病院北西交差点：外乱と対処

④停止線～対向直進車両通行路前



【走行設定値】
- 最高速度：15km/h
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合

⇒制限速度以下で走行し、交差点中央で一時停止。
⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合進行。
- 前方車両がある場合

⇒車間をキープし、自車が先頭になった際に一時停止。
⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合進行。

※時差式信号の取り扱い。対向車は止まるが赤信号で止まったか分からないため、青信号での右折動作への移行が困難

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒その場で停止。

外乱②：歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以内の距離にいる場合、停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱③：自転車など
⇒車道上にいる場合は停止
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以内の距離にいる場合、停止。
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（〇m×〇m以上）を検出：その場で停止。

外乱⑤：緊急車両
⇒その場で停止。状況に応じて進行。

外乱⑥：後方車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで停止。

外乱⑦：前方信号機
⇒青信号での進入後でも信号が点灯していない場合はその場で停止。

外乱⑧：火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑨：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は横断歩道通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方（遠方）⇒対向車両（2輪含む）、道路落下物、信号機
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・交差道路右左⇒裁け残り車両（2輪含む）、自転車、歩行者
・右折先道路⇒前方車両（右折先）
・右折先横断歩道周辺⇒横断歩道上/付近の歩行者・車いす、横断歩道上自転車・電動キックボード、横断歩道に近づく自転車・電動キックボード



■自転車・歩行者
・車両前方（〇〇m）・車両左側歩道（車道端から〇〇m）
・車両側方（両側）（自車両から側方〇〇m）・車両後方（〇〇m）
■障害物　・車両前方（〇〇m）
■信号機　・なし

【車両による対処困難事象】
①・④右折先の道路スペースが無いが前進し交差点内で立ち往生する。
⇒この状況にならないように停止線通過前に判断する必要がある。
⇒右折先道路の渋滞は検知不可能ではないが、右折先対向車が中央線からはみ出して停止している場合は、車両センサからの検知は不可能。
⑤緊急車両の通行妨げもしくは衝突する。
⇒交差点内の場合はどうするのが良いか、全体で決めたい。
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込まれ衝突
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。車両では判断できないため遠隔監視などで情報が欲しい。

3-1.①ガン研センター東病院北西交差点：外乱と対処

⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前



【走行設定値】
- 最高速度：12km/h
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合

⇒制限速度以下で走行し、横断歩道を通過。
- 横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合

⇒横断歩道手前で停止。
⇒歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し横断歩道を通過。

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒その場で停止。

外乱②：歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以内の距離にいる場合、停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱③：自転車など
⇒車道上にいる場合は停止
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以内の距離にいる場合、停止。
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出した場合、その場で停止。

外乱⑤：緊急車両
⇒その場で停止。状況に応じて進行。

外乱⑥：火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑦：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は横断歩道通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒道路落下物
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・右折先道路⇒前方車両（右折先）
・右折先横断歩道周辺⇒横断歩道上/付近の歩行者・車いす、横断歩道上自転車・電動キックボード、横断歩道に近づく自転車・電動キックボード



■自転車・歩行者
・車両前方（○○m）・車両左側歩道（車道端から○○m）
・車両側方（両側）（自車両から側方○○m）・車両後方（○○m）
■障害物 ・車両前方（○○m）
■信号機 ・なし

【車両による対処困難事象】
⑥直進対向車と衝突する。
⇒右折開始後に対向車線から走行してきた車両との接触について検討したい。
⑧火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため遠隔監視などで情報が欲しい。

ii） 科警研前交差点

科警研前交差点では、次ページ以降に示す右折基本動作のステップ（走行ストラテジー）におけるステップ②とステップ③において、懸案事項があり、路側から提供されるインフラ情報が自動運転車両の円滑性・安全性に寄与すると判断した。

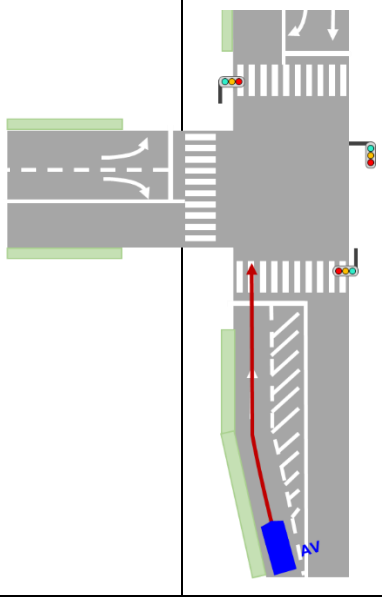
具体的には下記事項となる。

① ステップ②

- 検討ユースケース：左折 1－②－1

表 28　インフラ情報活用の可能性（左折 1－②－1）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
信号手前区間における信号灯火変化時（青→黄）の安全・円滑な停止判断	・信号灯火は歩行者信号を見ない場合、青→黄色にいつ切替るか分からないため、信号交差点手前区間では徐行が必要（路線バスの場合、乗員保護の観点で、平均減速度は 0.1G 程度。このため、いつでも止まれる徐行速度（例：10km/h）に早期に減速し、交差点へ接近する必要が有る。信号交差点のたびに、これを実施するのは、円滑な走行とは言えない。）	交通参加者（自動車、二輪車、歩行者、自転車）は、交通ルールに従った行動をする	1. 信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前30m付近で 15km/h になるよう減速 2. 信号灯火が青なら、そのまま交差点に進入。信号灯火変更（青→黄）なら停止線にて停止し、青に変化後に交差点に進入	1. カメラによる信号灯色認識 ⇒ 認識必要距離：30m ⇒ 判定可能距離：100m	◇信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速することになり円滑性を損ねている 〇信号サイクル情報を事前通知することで、停止線～30m の区間での通常走行が可能となり、AV 車および後続車の交差点通過台数の増加が見込まれる



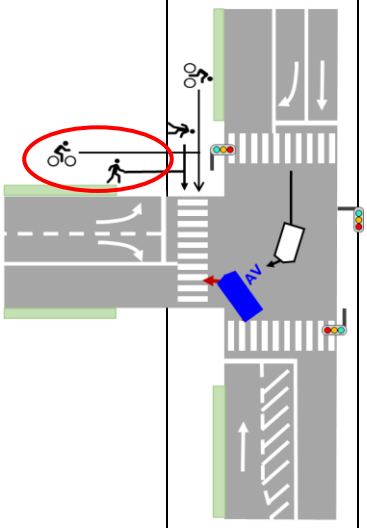




② ステップ③

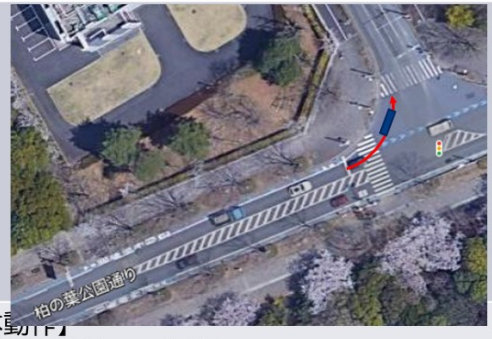
- 検討ユースケース：左折 1－③－1

表 29　インフラ情報活用の可能性（左折 1－③－1）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
交差道路歩道植栽外側を走行・歩行する自転車・歩行者を想定した安全・円滑な左折発進判断   	・交差道路の左折待ち停車両により、自車が進行しても解消されないオクルージョンが発生する	・歩行者、自転車は赤信号後 2 秒までは交差点に進入してくることを考慮 （・歩行者の最高速度 6km/h、自転車の最高速度 15km/h とする）	1. 巻き込み可能性がある二輪車、自転車がないことを確認しつつ前進 2. 対向右折車の有無、動向を確認しながら、歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認しつつ、左折先の横断歩道手前まで前進し念のため停止する 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認 4. 徐行して横断歩道を通過	1. カメラ・LiDAR による歩道を走行する自転車・歩行者の認識〔横断歩道待機時：左折先上側〕 ⇒自転車想定速度：20km/h ⇒歩行者想定速度：10km/h ⇒自車必要通過時間：4sec ⇒検出必要距離：30m （左折先停止車が大型の場合） ⇒検出可能距離は減少	◇歩車境界にある植栽（高木）や、交差道路上に停止する大型車により、歩道を走行する自転車・歩行者の適切な認識が困難なケースあり ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると左折通過に時間を要する 〇歩道を走行する自転車・歩行者の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、安全・円滑な交差点通過の判断材料になる

【資料　科警研前交差点における自動走行車の左折基本動作のステップ】

表 30　自動走行車の左折基本動作のステップ

①停止線まで50m以下	②停止線手前50m～停止線	③停止線から左折先横断歩道
		
【基本動作】 ● 前方車両がない場合 ⇒制限速度以下で走行する。 ● 前方車両がある場合 ⇒車間をキープする。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合 a.検知した信号が青の場合（停止線通過時に信号が青と予測できる場合） ⇒制限速度内で通常走行（インフラから信号橙色残時間情報がもらえる場合） ⇒信号灯色が変化しても停止線で停止できるよう減速する（インフラから信号橙色残時間情報がもらえない場合） b.検知した信号が黄または赤の場合 ⇒停止線で停止できるよう減速し、停止線手前で停車。 ● 前方車両がある場合 ⇒上記の信号検知した場合の条件も満たしながら、前車との車間を確保する。	【基本動作】 ● 停止線で停止していた場合 ⇒青信号を検出したら発進 ● 前方車両がない場合 ⇒停止線通過後は徐行。 ⇒車両左側2輪車、横断歩道付近を確認し2輪車、歩行者などがない場合は徐行継続 ⇒車両左側2輪車、横断歩道付近を確認し2輪車、歩行者などを検出した場合は停車し、対象がいなくなったら徐行再開 ● 前方車両がある場合 ⇒上記の条件も満たしながら前車との車間も確保する。
【走行設定値】 ・最高速度：40km/hに設定、 ・最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）	【走行設定値】 ・最高速度：停止線50m手前から停止線付近で15km/hとなるよう減速。 ・最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）	【走行設定値】 ・最高速度：徐行は5km/h。 ・最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

iii） 千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点

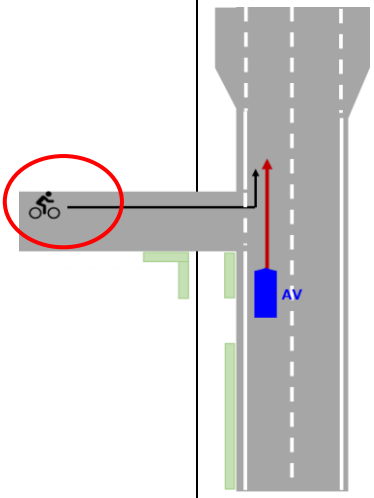
千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点では、次ページ以降に示す右折基本動作のステップ（走行ストラテジー）におけるステップ①において、懸案事項があり、路側から提供されるインフラ情報が自動運転車両の円滑性・安全性に寄与すると判断した。

具体的には下記事項となる。

ステップ①

- 検討ユースケース：直進 1－①－1

表 31　インフラ情報活用の可能性（直進 1－①－1）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
交差道路から車道に侵入してくる自転車を想定した安全な交差点通行判断	・進行方向が優先道路であるが、交差道路から車道に飛び出してくる自転車に対する安全走行の実施を想定 ・交差部の植栽・沿道建物により、自車が進行してしても、解消されないオクルージョンが発生する 	・自転車は、飛び出してくることを考慮 ・自動車、二輪車は一旦停止するので飛び出してこないとする ・歩行者は歩道を使うので飛び出してこないとする（・自転車の最高速度15km/h とする） 	1.優先道路であるため、定速にて交差部を通過 （自車前方に自転車が進入してきた場合は減速）	1.カメラ・LiDAR による交差道路を走行する自転車の認識〔交差部 50m 手前（認識開始すべき地点）〕 ⇒自車想定速度：40km/h ⇒自転車想定速度：20km/h ⇒検出必要距離：50m ⇒検出可能距離：5m（死角による） 〔交差部〕 ⇒自車想定速度：40km/h ⇒自転車想定速度：20km/h ⇒検出必要距離：50m ⇒検出可能距離：50m	◇交差道路との交差部に立地する建物や植栽（高木）等により、交差道路を走行する自転車の適切な認識が困難なケースあり ◇交差道路の認識困難な領域を走行してきた自転車が、停止せずに車道、あるいは、歩道に左折してくるケースが有る 〇交差道路を走行する自転車の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、車道に飛び出してくる自転車交通との交錯を避けることが可能となり、安全性の向上が図られる

【資料　千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点における自動走行車の直進基本動作のステップ】

表 32　自動走行車の直進基本動作のステップ

①走行車線～右折レーン入口



【基本動作】
● 前方車両がない場合
⇒制限速度以下で走行する。
● 前方車両がある場合
⇒車間をキープ(周囲検知できるよう近づきすぎないように)する。

【走行設定値】
・最高速度:40km/hに設定、
　右折交差点手前で20km/hとなるよう減速設定。
・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)

iv) 若柴交差点

若柴交差点では、次ページ以降に示す右折基本動作のステップ（走行ストラテジー）におけるステップ④とステップ⑤において、懸案事項があり、路側から提供されるインフラ情報が自動運転車両の円滑性・安全性に寄与すると判断した。

なお、右折 1-④-1、右折 1-⑤-2、右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 は、前述したガン研センター東病院北西交差点の検討ケースと同様であるため、ここでは割愛する。

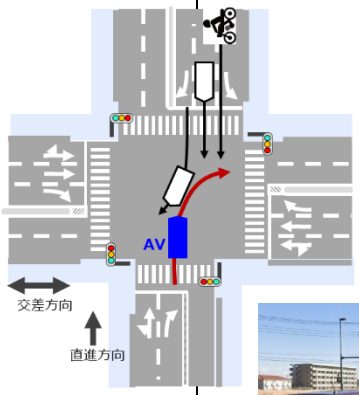
具体的には下記事項となる。

① ステップ⑤

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1

表 33　インフラ情報活用の可能性（右折 2－⑤－1）

検討ユースケース	ユースケース補足説明	交通参加者に関する前提条件	自律での走行ステラテジー	自律センサー仕様	◇認識システムにおける懸念 〇インフラ情報活用の可能性
対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断	・対向右折待ち車両（大型車等）により、自車が進行しなければ、解消されないオクルージョンが発生する ・対向左折停車車両により、自車が移動しても、ほぼ解消されないオクルージョンが発生する	交通参加者（自動車、二輪車、歩行者、自転車）は、赤信号後 2 秒までは、交差点に進入してくることを考慮 （・歩行者の最高速度 6km/h、自転車の最高速度 15km/h とする、自動車、二輪車の最高速度は 60km/h とする）	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向右折待ち車両がいなくなり、死角がなくなってから走行する対向車・二輪車がいないことを確認、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを確認しつつ、横断歩道手前まで前進し念のため一時停止する 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認 4. 徐行して横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で検討済	1. カメラ・LiDAR による対向車線を走行する自動車・二輪車の認識〔交差点中央待機時〕 ⇒自動車想定速度：〇km/h ⇒二輪車想定速度：〇km/h ⇒検出可能距離：100m	◇対向右折待ち車両（大型車等）により、対向車線を走行する自動車・二輪車の適切な認識が困難なケースあり ◇対向車線および交差道路上に停止する大型車により、歩道を走行する自転車・歩行者の適切な認識が困難なケースあり ◇自律の制御仕様を安全側に設定すると右折通過に時間を要する 〇対向車線を走行する自動車・二輪車の必要認識範囲が自律で困難な領域の情報をインフラ情報で補完する事により、安全・円滑な交差点通過の判断材料になる





【資料　若柴交差点における自動走行車の右折基本動作のステップ】

表 34　自動走行車の右折基本動作のステップ

①走行車線～右折レーン入口	②右折レーン入口～右折レーン進入	③右折レーン進入～停止線通過	④停止線～対向直進車両通行路前	⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前
				
【基本動作】 ● 前方車両がない場合: ⇒制限速度以下で走行する。 ● 前方車両がある場合: ⇒車間をキープ(周囲検知できるよう近づきすぎないように)する。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合: ⇒制限速度以下で走行する。 ● 前方車両がある場合: ⇒車間をキープ(周囲検知できるよう近づきすぎないように)する。 ※ゼブラゾーンを走行するかどうかを決める必要あり、右折意図を早期に知らせるためにゼブラを走行したい。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合: ⇒制限速度以下で走行し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。 ● 前方車両がある場合: ⇒車間をキープ(信号灯色が検知できる距離)し、前方の信号灯色に従い[停止線を通過／停止線手前で停止]する。	【基本動作】 ● 前方車両がない場合: ⇒制限速度以下で走行し、交差点中央で一時停止(※)。 ⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合は進行。 ● 前方車両がある場合: ⇒車間をキープし、自車が先頭になった際に一時停止(※)。 ⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合は進行。 (※)対向右折車、対向直進車、対向左折車により、二輪車や自転車が見えない場合があるため。	【基本動作】 ● 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合: ⇒制限速度以下で走行し、横断歩道を通過。 ● 横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合: ⇒横断歩道手前で停止。 ⇒歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し、横断歩道を通過。
【走行設定値】 ・最高速度:40km/hに設定。右折レーン手前で20km/hとなるよう減速設定。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:停止線から15m手前から10km/hとなるよう減速。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:停止線から15m手前は10km/h。 ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:15km/h ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)	【走行設定値】 ・最高速度:10km/h ・最大加減速度:±1m/s^2(但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2)

3-5.⑤若柴交差点：外乱と対処

①走行車線～右折レーン入口



【走行設定値】
- 最高速度：当該箇所の最高速度を40km/hに設定し、右折レーン手前で20km/hとなるよう減速設定。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合：
⇒制限速度以下で走行
- 前方車両がある場合：
⇒車間をキープ（周囲検知できるよう近づきすぎない）。

外乱①：駐車車両（故障車含む）
⇒追い越すスペースがある時は減速して追い越し。
⇒追い越すスペースがない時は停止。（片側1車線道路では停止）

外乱②前方の歩行者：
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、車道から2m以内の距離にいる場合、○○m/sで横切ってくることを想定して減速または停止

外乱③：前方の自転車
⇒車道上にいる場合は、角度○○度で横切ってくることを想定して減速または停止。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがある時は減速して回避走行。
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。（2023年度は片側1車線道路では停止）

外乱⑤：緊急車両
⇒すみやかに左側に寄せる。交差点に進入前に停止。

外乱⑥：後続車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進路変更しない。

外乱⑦火事や地震（震度4以上）
⇒すみやかに左側に寄せて停止。

外乱⑧：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は左側に寄せて停止。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両側方（両側）⇒並走自転車、追い抜き車両（2輪含む）



【車両による対処困難事象】
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込まれ衝突
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-5.⑤若柴交差点：外乱と対処

②右折レーン入口～右折レーン進入



【走行設定値】
- 最高速度：停止線から15m手前から10km/hとなるよう減速。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合：
⇒制限速度以下で走行
- 前方車両がある場合：
⇒車間をキープ（周囲検知できるよう近づきすぎない）。

※ゼブラゾーンを走行するかどうかを決める必要あり（右折意図を早期に知らせるためにゼブラを走行したい）

外乱①：駐車車両（故障車含む）
⇒追い越すスペースがある時は減速して追い越し。
⇒追い越すスペースがない時は停止。（片側1車線道路では停止）

外乱②前方の歩行者：
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、車道から2m以内の距離にいる場合、○○m/sで横切ってくることを想定して減速または停止

外乱③：前方の自転車
⇒車道上にいる場合は、角度○○度で横切ってくることを想定して減速または停止。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがある時は減速して回避走行。
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。（2023年度は片側1車線道路では停止）

外乱⑤：緊急車両
⇒すみやかに左側に寄せる。交差点に進入前に停止。

外乱⑥：後続車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進路変更しない。

外乱⑦火事や地震（震度4以上）
⇒すみやかに左側に寄せて停止。

外乱⑧：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は左側に寄せて停止。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両左側方⇒並走自転車、追い抜き車両（2輪含む）
・車両右後側方⇒後側方車両（2輪含む）



【車両による対処困難事象】
⑤道路中央に寄ろうとしているため道路左側に寄ることは困難であり、特に右折レーンへの進入開始後は緊急車両の通行の妨げとなる可能性あり（特に対抗車線もバスが走行している場合）
⇒現時点では対応策が見つからず、自車は停止のままで他車がスペースを空けてくれることに期待
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込み衝突。
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-5.⑤若柴交差点：外乱と対処

③右折レーン進入～停止線通過



【走行設定値】
- 最高速度：停止線から15m手前は10km/h。
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合：
⇒制限速度以下で走行し、前方の信号灯色に従い［停止線を通過／停止線手前で停止］する
- 前方車両がある場合
⇒車間をキープ（信号灯色が検知できる距離）し、前方の信号灯色に従い［停止線を通過／停止線手前で停止］する

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒停止。

外乱②前方の歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒歩道上にいる場合は、車道から2m以内の距離にいる場合、○○m/sで横切ってくることを想定して減速または停止

外乱③：前方の自転車
⇒車道上にいる場合は、角度○○度で横切ってくることを想定して減速または停止。
⇒歩道上にいる場合は、通常の走行を続ける。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがある時は減速して回避走行。
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。（2023年度は片側1車線道路では停止）

外乱⑤：緊急車両
⇒その場で停止。

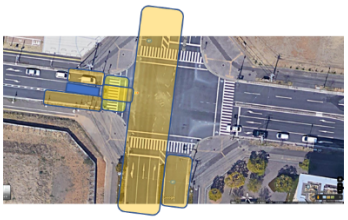
外乱⑥：後続車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで進路変更しない。

外乱⑦前方信号機
⇒信号が点灯していない場合、その場で停止。

外乱⑧火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑨：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は横断歩道通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両、対向車両（2輪含む）、道路落下物、信号機
・車両左側歩道⇒乱横断者、乱横断自転車
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・交差道路左右⇒
・右折先道路⇒



【車両による対処困難事象】
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込まれ衝突
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦信号機故障や停電により信号灯灯火されない
⇒ODD外と考える。（車両では判断できない為）
⇒発車前に分かっているのであれば、運行しない。
⑧火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため、遠隔監視などで情報が欲しい。

3-5.⑤若柴交差点：外乱と対処

④停止線～対向直進車両通行路前



【走行設定値】
- 最高速度：15km/h
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 前方車両がない場合：
⇒制限速度以下で走行し、交差点中央で一時停止（※）
⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合は進行
- 前方車両がある場合：
⇒車間をキープし、自車が先頭になった際に一時停止（※）
⇒対向車、横断歩道付近を確認し対向車、歩行者などがない場合は進行
（※）対向右折車、対向直進車、対向左折車により、二輪車や自転車が見えない場合があるため。

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒右車線に進入路を変更し基本動作を継続。

外乱②歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以内の距離にいる場合、停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱③：自転車など
⇒車道上にいる場合は停止
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以内の距離にいる場合、停止。
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱④：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがある時は右車線に進入路を変更し基本動作を継続。
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。

外乱⑤：緊急車両
⇒その場で停止。状況に応じて進行。

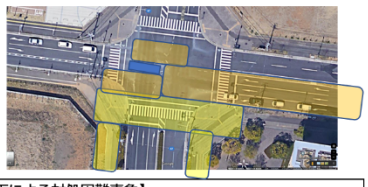
外乱⑥：後方車両
⇒通常の走行を継続。追い抜かれることを検出した場合は、追い抜き終了まで停止。

外乱⑦：前方信号機
⇒信号が点灯していない場合、その場で停止。

外乱⑧：火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑨：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は横断歩道通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方（遠方）⇒対向車両（2輪含む）、道路落下物、信号機
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・交差道路左右⇒
・右折先道路⇒前方車両（右折先）
・右折先横断歩道周辺⇒横断歩道上/付近の歩行者・車いす、横断歩道上自転車・電動キックボード、横断歩道に近づく自転車・電動キックボード



【車両による対処困難事象】
①・④右折先の道路スペースが無いにもかかわらず前進し交差点内で立ち往生する。
⇒この状況にならないように停止線通過前に判断する必要がある。
⑤緊急車両の通行妨げもしくは衝突する。
⇒交差点内の場合はどうするのが良いか、全体で決めたい
⑥右側または左側からの後続車両（特に二輪車）の割り込み
⇒右側から追い抜かしてくるものは判別できる可能性があるが、左側からは直進車両との判別が困難。
⑦火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため遠隔監視などで情報が欲しい。

3-5.⑤若柴交差点：外乱と対処

⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前



【走行設定値】
- 最高速度：10km/h
- 最大加減速度：±1m/s^2（但し、前走車の追従時の最大減速度は2.5m/s^2）

【基本動作】
- 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合：

⇒制限速度以下で走行、横断歩道を通過

- 横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合：

⇒横断歩道手前で停止
⇒歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し、横断歩道を通過

外乱①：前方車両が故障し停止
⇒横断歩道直近にある場合：横断歩道まで進行、停止。
⇒横断歩道直近でない場合：横断歩道まで進行し、右車線へ車線変更

外乱②：歩行者
⇒車道上にいる場合は停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以内の距離にいる場合、停止。
⇒横断歩道付近にいる場合、横断歩道端から●m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱③：自転車など
⇒車道上にいる場合は停止
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以内の距離にいる場合、停止。
⇒交差点付近にいる場合：交差点から■m以上の距離にいる場合、基本動作を継続。

外乱④：交通違反者
⇒歩行者信号が赤の場合（検出方法未定）に歩行者、自転車が横断歩道上にいる場合は停止。

外乱⑤：前方の障害物
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがある時は右車線に進入路を変更し基本動作を継続。
⇒進路上に障害物（○m×○m以上）を検出：避けるスペースがない時は停止。

外乱⑥：前方車両
⇒右折開始前に検出できていない車両が交差点へ進入してくる場合、どの様に対応するか検討必要。

外乱⑦：緊急車両
⇒状況に応じて進行。

外乱⑧：火事や地震（震度4以上）
⇒その場で停止。

外乱⑨：降雨、霧などによる視界悪化
⇒運行継続可否を判断、運行継続できない場合は横断歩道通過まで10km/hで進行。

【必要な認識エリア・検出対象】
・車両前方⇒前方車両（右折先）、道路落下物
・車両側方（両側）⇒追い抜き車両（2輪含む）
・右折先道路⇒前方車両（右折先）
・右折先横断歩道周辺⇒横断歩道上/付近の歩行者・車いす、横断歩道上自転車・電動キックボード、横断歩道に近づく自転車・電動キックボード



【車両による対処困難事象】
⑥直進対向車と衝突する。
⇒右折開始後に対向車線から走行してきた車両との接触について検討したい。
⑧火事や地震（震度4以上）
⇒ODD外としたい。
⇒車両では判断できないため遠隔監視などで情報が欲しい。

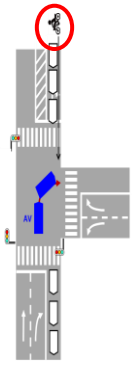
(3) 柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案の策定

柏の葉地域における交通環境の分析および混在空間における安全要求仕様から自動走行車両、協調型路側機の性能目標値を設定し、協調型自動運転移動サービスの仕様案を策定した。

i) がん研センター東病院北西交差点

- 検討ユースケース：右折 1－④－1

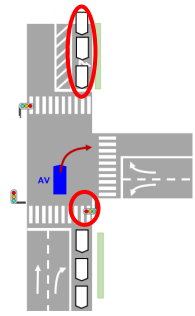
表 35 柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 1－④－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
2 台目待機時における進行方向信号灯火の確認による安全・円滑な発進判断  	1. 交差点手前へ、既定の速度*で、前提 3 条件を確認しながら進行する。 （*信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速） 2. 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提 3 条件を確認する ・成立する場合は、交差点へ進入する ・非成立の場合は、停止線で停止する	1. 交差点手前へ、インフラ情報に応じて速度を調整*し、前提 3 条件を確認しながら進行する （*自律の既定速度より減速するケース、自律の既定速度のままのケース、自律の既定速度に対して 15km/h へ減速しないケースがある？） 2. 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提 3 条件を確認する。なお、青灯火は自律センサーの認識結果で判断する ・成立する場合は、交差点へ進入する ・非成立の場合は、停止線で停止する	〔インフラ取得情報〕 （信号情報） ・交差点 ID（交差点毎の ID） ・信号灯器 ID のリスト（交差点内灯機の ID） ・情報生成時刻 ・（ミリ秒：UTC（協定世界時）での経過時間） ・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状況） ・イベントカウンタ（信号状態が変化したことを検出） ・灯色出力情報（灯色表示、最小残秒数、最大残秒数）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 自車前方信号の信号情報 →灯色出力情報の残秒数 〔インフラの仕様・性能〕 1. サイクル情報 〔停止線 0m 手前〕 ⇒信号機進行方向（青残秒数＞0） ⇒遅れ時間：最大 1 秒 〔LTE〕：300mm/sec 〔760MHz〕 ※日本信号：要測定 2. 情報の精度 ⇒信頼度 ※実験にて計測

【前提 3 条件】
・自車以外の交通参加者は、基本的には交通ルールを順守した行動をすることを前提とする。
・但し、現状の交通環境の中で日常的に見られる違反行為についてはそれもあることを前提として検討する。
・どのような違反行為を前提とするかは各ユースケース毎に規定する。

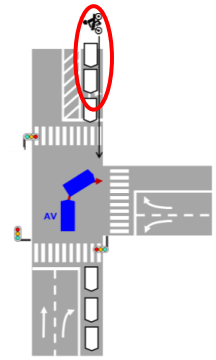
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1

表 36　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 1－⑤－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
時差式信号機における信号無視自転車を考慮した交差点中心からの安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 3. 徐行して右折を開始 4. 横断歩道手前で念のため一時停止し、信号無視の歩行者、自転車がないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討	1. 交差点中心で停止する 2. 信号情報を受信し、自車前方信号青で、対向車信号から赤の残秒数が発信されていることを確認、かつ対向車が確実に停止している事を認識 3. 徐行して右折を開始 4. 横断歩道手前で念のため一時停止し、信号無視の歩行者、自転車がないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断	〔インフラ取得情報〕 （信号情報） ・交差点 ID（交差点毎の ID） ・信号灯器 ID のリスト（交差点内灯機の ID） ・情報生成時刻（ミリ秒 :UTC（協定世界時）での経過時間） ・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状況） ・イベントカウンタ（信号状態が変化したことを検出） ・灯色出力情報（灯色表示、最小残秒数、最大残秒数）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 自車前方信号の信号情報 →灯色出力情報の残秒数 2. 対向車信号の信号情報 →灯色出力情報の残秒数 〔インフラの仕様・性能〕 1. サイクル情報 〔停止線 30m 手前〕 ⇒信号機進行方向（青残秒数＞0） 〔交差点内〕 ⇒信号機対向（赤残秒数＞0） ⇒遅れ時間：最大 1 秒〔LTE〕：300mm/sec 〔760MHz〕 ※日本信号：要測定 2. 情報の精度 ⇒信頼度 ※実験にて計測

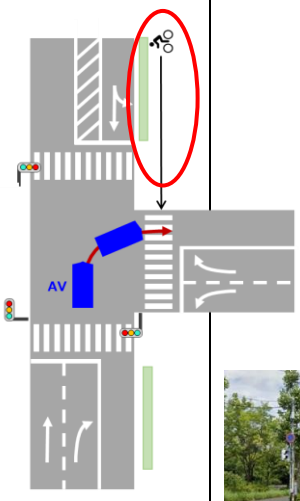
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－2

表 37　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 1－⑤－2）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
進行方向信号：青、および対向方向信号：青時の渋滞車両脇をすり抜ける二輪車・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 3. 徐行して発進 4. オクルージョンが解消される横断歩道手前で念のため一時停止し、すり抜ける二輪車・自転車がいないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※バスの左前のセンサーが横断歩道に対して直交しないため、オクルージョンを解消するため若干外を向く可能性がある ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車が確実に停止している事を認識、かつインフラからすり抜ける二輪車・自転車がきていないことを確認。 3. 徐行して発進 4. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認しつつ、徐行して横断歩道を通過	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒：UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態／属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒：UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 対向車線すり抜け二輪車の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR によるすり抜ける二輪車の認識 ⇒検出必要範囲：30～50m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 対向車線すり抜け二輪車の物標情報 ⇒検出位置（距離） ⇒速度 ⇒タイムスタンプ 4. 情報の精度 ⇒信頼度 ⇒未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

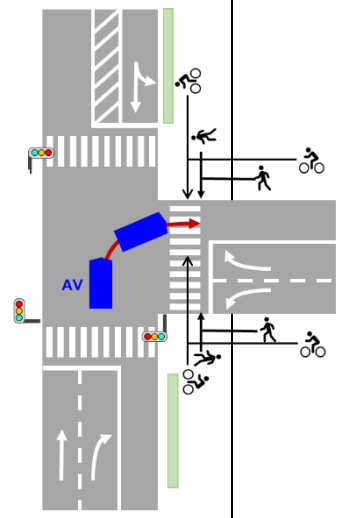
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－3

表 38　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 1－⑤－3）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識。 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車がないことの情報を確認。 3. 徐行して発進後、歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認しつつ、横断歩道を通過	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 歩道上を走行する自転車の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR による歩道を走行する自転車の認識 〔交差点中央待機時〕 ⇒検出必要距離：50m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 〔横断歩道手前停止時〕 ⇒検出必要範囲：30m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 歩道上を走行する自転車の物標情報 ⇒検出位置（距離） ⇒速度 ⇒タイムスタンプ… 4. 情報の精度 ⇒信頼度 ⇒未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－4

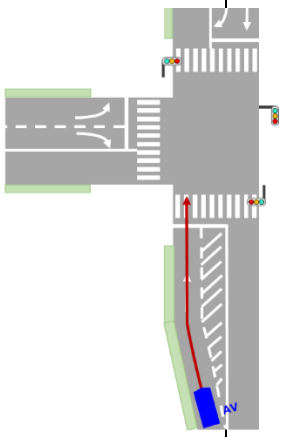
表 39　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 1－⑤－4）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識。 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車・歩行者の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車もしくは想定歩行速度（4km/h）以上で近づく歩行者の情報がきていないことを確認。 3. 右折して横断歩道を通過	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 歩道上を走行する自転車・歩行者の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR による歩道を走行する自転車の認識 〔交差点中央待機時〕 ⇒検出必要距離：50m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 〔横断歩道手前停止時〕 ⇒検出必要範囲：30m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 歩道上を走行する自転車の物標情報 ⇒検出位置（距離） ⇒速度 ⇒タイムスタンプ… 4. 情報の精度 ⇒信頼度 ⇒未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

ii） 科警研前交差点

- 検討ユースケース：左折 1－②－1

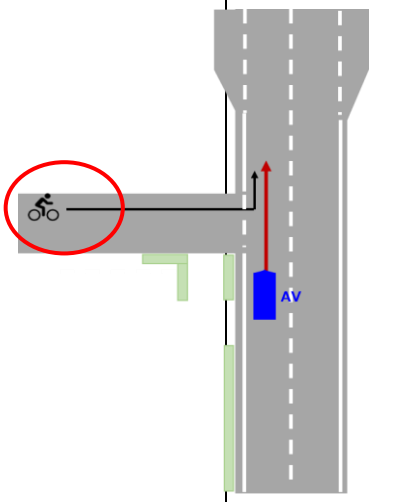
表 40　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（左折 1－②－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
信号手前区間における信号灯火変化時（青→黄）の安全・円滑な停止判断   	1. 信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速。 2. 信号灯火が青なら、そのまま交差点に進入。信号灯火変更（青→黄）なら停止線にて停止し、青に変化後に交差点に進入。	1. インフラからの信号灯火残秒数（青→黄）に応じて、同信号サイクル内での交差点進入可否を判断。 2. 青灯火の残秒数が一定以上であれば、交差点進入可と判断し通過。青灯火の残秒数が一定以下であれば、交差点進入不可と判断して減速し停止線で停止。	〔インフラ取得情報〕 （信号情報） ・交差点 ID（交差点毎の ID） ・信号灯器 ID のリスト（交差点内灯機の ID） ・情報生成時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・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状況） ・イベントカウンタ（信号状態が変化したことを検出） ・灯色出力情報（灯色表示、最小残秒数、最大残秒数）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 自車前方信号の信号情報 →灯色出力情報の残秒数 〔インフラの仕様・性能〕 1. サイクル情報 〔停止線 60m 手前〕 ⇒信号機進行方向（青→黄残秒数：〇秒） ⇒遅れ時間：最大 1 秒〔LTE〕：300msec〔760MHz〕 ※日本信号：要測定 2. 情報の精度 ⇒信頼度 ※実験にて計測

iii) 千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点

- 検討ユースケース：直進 1－①－1

表 42　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（直進 1－①－1）

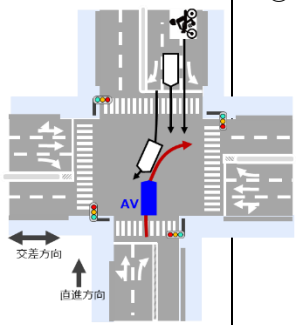
検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
交差道路から車道に侵入してくる自転車を想定した安全な交差点通行判断  	1. 優先道路であるため、定速にて交差部を通過。 2. （自車前方に自転車が進入してきた場合は減速）	1. インフラから交差道路から車道に進入してくる自転車の情報がきた場合に自車の速度を減速	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 交差道路を走行する自転車の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR による交差道路を走行する自転車の認識 〔交差部 50m 手前（認識開始すべき地点）〕 ⇒検出必要距離：50m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 情報の精度 ⇒信頼度 ⇒未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

iv) 若柴交差点

なお、右折 1-④-1、右折 1-⑤-2、右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 は、前述したガン研センター東病院北西交差点の検討ケースと同様であるため、ここでは割愛する。

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1

表 43　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（右折 2－⑤－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向右折待ち車両がいなくなり、死角がなくなってから走行する対向車・二輪車がいないことを確認、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを確認しつつ、横断歩道手前まで前進し念のため一時停止する。 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認 4. 徐行して横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で検討済	1. 交差点中心で一時停止する 2. インフラから走行する対向直進車・二輪車がいないこと、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを受信確認する。 3. 徐行して横断歩道を通過	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 対向車線を走行する四輪車・二輪車の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR による対向車線を走行する自動車・二輪車の認識 〔交差点中央待機時〕 ⇒検出必要距離：●m（対向車想定速度による） ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 情報の精度 ⇒信頼度、未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

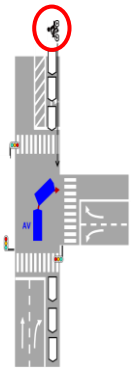
(4) 柏の葉地域におけるインフラ情報提供による効果検証方法（案）

柏の葉地域において、上記協調型路側機を設置し、インフラ情報を提供した際に得られる効果の検証方法（案）を整理した。

i) がん研センター東病院北西交差点

- 検討ユースケース：右折 1－④－1

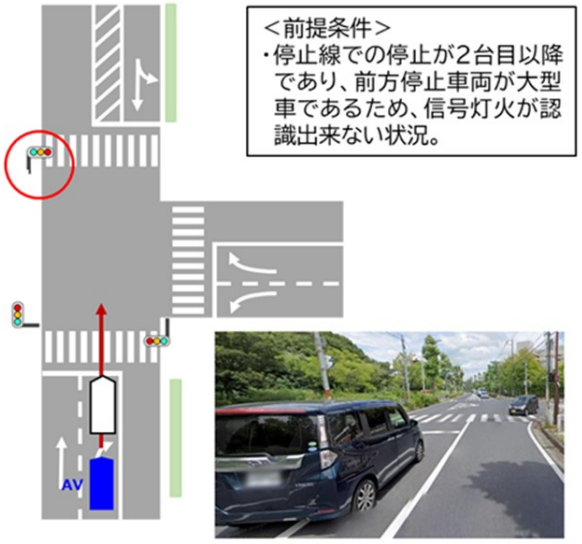
表 44 効果検証方法（案）（右折 1－④－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
2 台目待機時における進行方向信号灯火の確認による安全・円滑な発進判断  	1. 交差点手前へ、既定の速度*で、前提 3 条件を確認しながら進行する。 2. （*信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速） 3. 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提 3 条件を確認する。 ・ 成立する場合は、交差点へ進入する。 ・ 非成立の場合は、停止線で停止する。	1. 交差点手前へ、インフラ情報に応じて速度を調整*し、前提 3 条件を確認しながら進行する。 （*自律の既定速度より減速するケース、 自律の既定速度のままのケース、 自律の既定速度に対して 15km/h へ減速しないケースがある？） 2. 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提 3 条件を確認する。なお、青灯火は自律センサーの認識結果で判断する。 ・ 成立する場合は、交差点へ進入する。 ・ 非成立の場合は、停止線で停止する。	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・発進前の信号灯火の認識に伴う停止線一時停止の回避によるスムーズな交差点進入の実現。 ●交差点進入時間の比較 →計測データ：停止線手前での発進～交差点中心への移動時間データ

【前提 3 条件】
・自車以外の交通参加者は、基本的には交通ルールを順守した行動をすることを前提とする。
・但し、現状の交通環境の中で日常的に見られる違反行為についてはそれもあることを前提として検討する。
・どのような違反行為を前提とするかは各ユースケース毎に規定する。

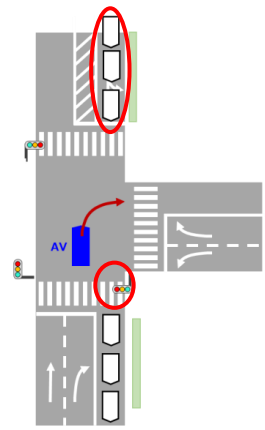
- 検討ユースケース：右折 1－④－1

表 45　実証実験での効果検証事項（右折 1－④－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td>右折1-④-1 【ガン研センター東病院T字路 右折】
2台目待機時における進行方向信号灯火の確認による安全・円滑な発進判断
 
</td><td>1. 前方停止車両に追従して、前方車両の後ろに停止する。
2. 前方車両発進とともに徐行し、停止線にて念のため停止する。
3. 進行方向信号が赤⇒青に変わっている事を認識、かつ右折先にスペースがあること確認。
4. 徐行発進し、交差点中心で停止する。</td><td>1. 前方停止車両に追従して、前方車両の後ろに停止する。
2. 信号情報を受信し、自車前方信号が赤⇒青であることを確認、かつ右折先にスペースがあること確認。
3. 前方車両発進とともに徐行発進し、交差点中心で一時停止する。</td></tr>
<tr><td colspan="3">インフラ情報活用の効果（仮説）</td></tr>
<tr><td colspan="3">【円滑性向上】 ・発進前の信号灯火の認識に伴う停止線一時停止の回避によるスムーズな交差点進入の実現。</td></tr>
<tr><td colspan="3">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td colspan="3">【インフラ情報提供による効果確認】
・ 交差点進入時間の比較
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点進入時間（停止線手前での待機～交差点中心への移動時間データ）を比較検証</td></tr>
</table>

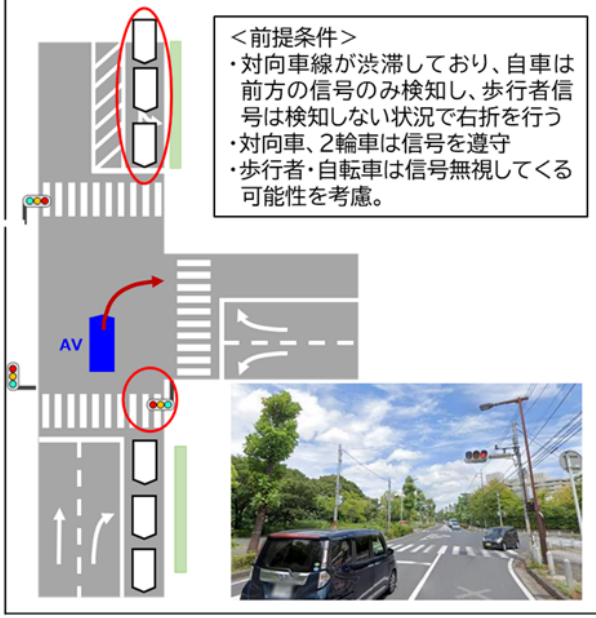
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1

表 46　効果検証方法（案）（右折 1－⑤－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
時差式信号機における信号無視自転車を考慮した交差点中心からの安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 3. 徐行して右折を開始 4. 横断歩道手前で念のため一時停止し、信号無視の歩行者、自転車がないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討	1. 交差点中心で停止する 2. 信号情報を受信し、自車前方信号青で、対向車信号から赤の残秒数が発信されていることを確認、かつ対向車が確実に停止している事を認識。 3. 徐行して右折を開始 4. 横断歩道手前で念のため一時停止し、信号無視の歩行者、自転車がないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・灯火時差時の右折行動の実施による 1 サイクルでの右折通過台数の増加。（自車と同信号サイクル内での後続車の右折台数の増加） 【安全性向上】 ・円滑性向上による後続車の無理な追越し行動の回避。 ●自動運転バス通過時における交差点右折通過台数比較 →計測データ：1サイクルあたり交差点右折通過台数データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、後続車の無理な追越し行動回数

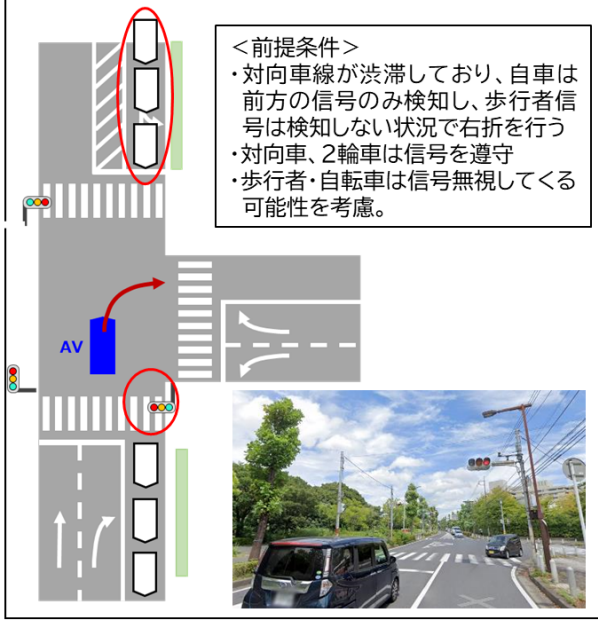
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1　〔右折発進の早期化〕　a)インフラ情報活用の効果

表 47　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td>右折1-⑤-1 【ガン研センター東病院T字路 右折】
時差式信号機における対向方向赤、進行方向青現示時の安全・円滑な右折発進判断交差点中心からの安全・円滑な右折発進判断
 
</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。
3. 徐行して右折を開始(最高：10km/h)
4. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は5km/hで横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止。歩行者、自転車等がなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 信号情報を受信し、自車前方信号青で、対向車信号から赤の残秒数が発信されていることを確認、かつ対向車が確実に停止している事を認識。
3. 徐行して右折を開始(最高：10km/h)
4. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は5km/hで横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止。歩行者、自転車等がなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td></tr>
<tr><td colspan="3">インフラ情報活用の効果(仮説)</td></tr>
<tr><td colspan="3">【円滑性向上】・灯火時差時の右折行動の実施による1サイクルでの右折通過台数の増加。(自車と同信号サイクル内での後続車の右折台数の増加)・交差点通過時間の短縮
【安全性向上】・円滑性向上による後続車の無理な追越し行動の回避。</td></tr>
<tr><td colspan="3">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td colspan="3">【インフラ情報提供による効果確認】
・ 自動運転バス通過時における交差点右折通過台数比較
・ 自動運転バス通過時における交差点通過時間の短縮
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の1サイクルあたり交差点右折通過台数データを比較検証
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間(停止線通過～横断歩道通過時間)を比較検証</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1　〔右折発進の早期化〕　b)効果検証方法（案）

表 48　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－1）

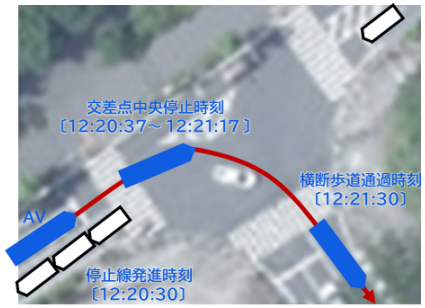
<table>
<tr><th>ユースケース</th><th colspan="3">実証実験での効果検証事項</th></tr>
<tr><td rowspan="4">右折1-⑤-1【ガン研センター東病院T字路 右折】
時差式信号機における対向方向赤、進行方向青現示時の安全・円滑な右折発進判断交差点中心からの安全・円滑な右折発進判断
 

＜前提条件＞
・対向車線が渋滞しており、自車は前方の信号のみ検知し、歩行者信号は検知しない状況で右折を行う
・対向車、2輪車は信号を遵守
・歩行者・自転車は信号無視してくる可能性を考慮。</td><td colspan="3">・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（停止線通過～横断歩道通過時間）を比較検証
【効果算定（案）】 ※交差点中央で一時停止した走行データを対象とする。
（自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）
－（インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）</td></tr>
<tr><td>自律データ</td><td>インフラデータ（車載DM）</td><td>インフラデータ（路側DM）</td></tr>
<tr><td>①停止線→交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号灯火、速度、物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等），位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等），物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等）</td><td>A.停止線→交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号情報（対向車線赤現示残秒数）</td><td>a.停止線→交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号情報（対向車線赤現示残秒数）</td></tr>
<tr><td colspan="3">効果検証方法（案）
【自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間】
1）データ①の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類し、自動運転ケースのうち、停止線で停止および交差点中央で停止（速度0km/h）したデータを抽出する。
2）上記データから、停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間を算定し、「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。
【インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間】
3）自動運転ケースのデータAとデータaの時刻と位置情報から、交差点中央でのデータ通信の遅れ時間を算定する。
4）データAから、対向車線が赤現示になる時間を特定するとともに、赤信号遅れ時間を算定する。
5）「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」から、赤信号遅れ時間を差引き、交差点中央でのデータ通信の遅れ時間を加算して「インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。</td></tr>
</table>

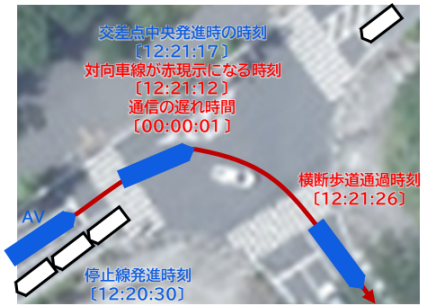
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－1　〔右折発進の早期化〕　c)効果検証例

表 49　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－1）

<table>
<tr><th colspan="2">効果検証例</th></tr>
<tr><td>■「自律運転時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定
①検証対象データの抽出
・①自律データの速度から手動運転ケースと自動運転ケースに分類する。
・自動運転ケースのうち、停止線で停止および交差点中央で停止（速度0 km/h）したデータを抽出する。
・また、③自律データの物標情報より対向直進車がいるデータを抽出する。

②自律運転時時間の算定
・位置情報から停止線を発進する時のデータを抽出し、停止線発進時の時刻を特定。
・位置情報から横断歩道通過時のデータを抽出し、横断歩道通過時の時刻を特定。
・横断歩道通過時の時刻と停止線発進時の時刻の差を取って、「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。
 

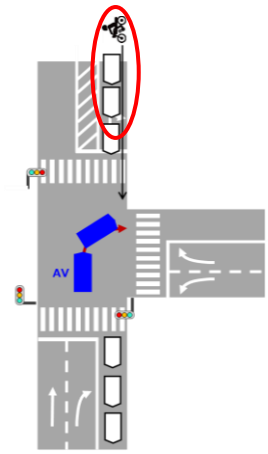
自律運転時時間=〔横断歩道通過時刻〕－〔停止線発進時刻〕
=〔12:21:30〕－〔12:20:30〕
=〔00:01:00〕</td><td>■「インフラデータ活用時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定
①検証対象データの抽出
・自律運転時の検証対象データに対応する時間帯のAインフラデータ（車載DM）群、aインフラデータ（路側DM）群を抽出する。

②インフラ活用時時間の算定
・Aインフラデータ（車載DM）の信号情報（対向車線赤現示残秒数）から、対向車線が赤現示になる時刻を特定する。
・①自律データの速度から交差点中央発進時の時刻を特定し、対向車線が赤現示になる時刻の差を取って、赤信号遅れ時間を算定する。
・Aインフラデータ（車載DM）とaインフラデータ（路側DM）から、データ通信の遅れ時間を算定する。
・「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」から、赤信号遅れ時間を差引き、交差点中央でのデータ通信の遅れ時間を加算して、「インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。
 

インフラ活用時運転時間
=〔自律運転時時間〕－（〔赤信号遅れ時間〕－〔通信の遅れ時間〕）
=〔00:01:00〕－（〔00:00:05〕－〔00:00:01〕）
=〔00:00:56〕</td></tr>
<tr><td colspan="2">■効果の算定
（自律運転時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）－（インフラデータ活用時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）
=（00:01:00）－（00:00:56） = 4s/台
〔前提条件〕 停止線で停止している対向直進車がいること。その他の要因で物標検知をしていないこと</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－2

表 50　効果検証方法（案）（右折 1－⑤－2）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
進行方向信号：青、および対向方向信号：青時の渋滞車両脇をすり抜ける二輪車・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 3. 徐行して発進 4. オクルージョンが解消される横断歩道手前で念のため一時停止し、すり抜ける二輪車・自転車がいないかを検知 5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過 ※バスの左前のセンサーが横断歩道に対して直交しないため、オクルージョンを解消するため若干外を向く可能性がある。 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で改めて検討。	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車が確実に停止している事を認識、かつインフラからすり抜ける二輪車・自転車がきていないことを確認。 3. 徐行して発進 4. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認しつつ、徐行して横断歩道を通過	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・渋滞中の車両左脇をすり抜ける二輪車・自転車の情報取得によるスムーズな右折の実施 【安全性向上】 ・渋滞中の車両左脇をすり抜ける二輪車・自転車確認の回避に伴う急停止の回避 ●右折先横断歩道通過の時間比較 →計測データ：停止線通過～右折先横断歩道通過時間データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、対向車両左脇をすり抜ける二輪車・自転車発生回数・急停止回数（>-0.2G）

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－2

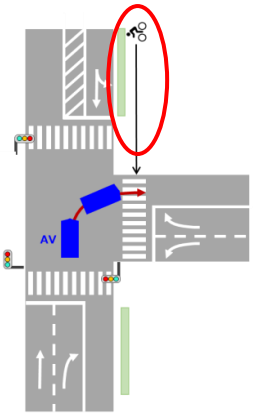
表 51　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－2）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr>
<td>右折1-⑤-2 【ガン研センター東病院T字路 右折】
進行方向信号：青、および対向方向信号：青時の渋滞車両脇をすり抜ける２輪車・自転車がいることを想定した安全・円滑な右折発進判断
 

＜前提条件＞
・・対向車線が渋滞しており、自車は前方の信号のみ検知し、歩行者信号は検知しない状況で右折を行う
・対向車線に大型車両が停車しており、交差点中央から対向車線路側付近が検知できない
・対向車、2輪車は信号を遵守
・自転車は信号無視をしてくる可能性を考慮。
・進行方向信号灯火が青で、対向車信号灯火は、問わないことを前提とする。
  </td>
<td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。
3. 徐行して発進
4. オクルージョンが解消される横断歩道手前で~~念のため一時停止し~~減速し、すり抜ける2輪車・自転車がいないかを検知
~~5. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過~~
6. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は走行し横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止、歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td>
<td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 信号情報を受信し、自車前方信号青で、対向車信号から赤の残秒数が発信されていることを確認、かつ対向車が確実に停止している事を認識、かつインフラからすり抜ける２輪車・自転車がきていないことを確認。
3. 徐行して右折を開始
~~4. 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認しつつ、徐行して横断歩道を通過~~
5. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は走行し横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止、歩行者、自転車等がいなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td>
</tr>
<tr><td colspan="3">インフラ情報活用の効果（仮説）</td></tr>
<tr><td colspan="3">【円滑性向上】・渋滞中の車両左脇をすり抜ける２輪車・自転車の情報取得によるスムーズな右折の実施
【安全性向上】・渋滞中の車両左脇をすり抜ける２輪車・自転車確認の回避に伴う急停止の回避</td></tr>
<tr><td colspan="3">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td colspan="3">【インフラ情報提供による効果確認】
・ 右折先横断歩道通過の時間比較
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（停止線通過～横断歩道通過時間）を比較検証</td></tr>
</table>

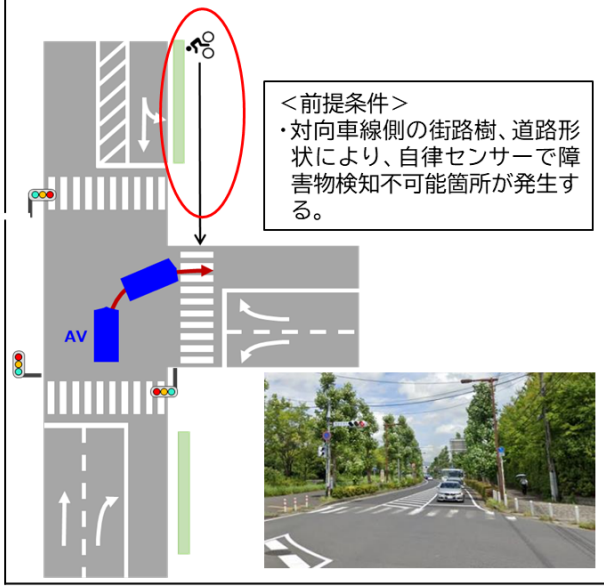
- 検討ユースケース：右折 1－⑤－3

表 52　効果検証方法（案）（右折 1－⑤－3）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識。 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車がないことの情報を確認。 3. 徐行して発進後、歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認しつつ、横断歩道を通過	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・オクルージョン解消箇所での一時停止回避に伴うスムーズな右折の実現 【安全性向上】 ・オクルージョン解消箇所での一時停止回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避 ●右折先横断歩道通過の時間比較 →計測データ：停止線通過～右折先横断歩道通過時間データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、後続車の無理な追越し行動回数

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－3

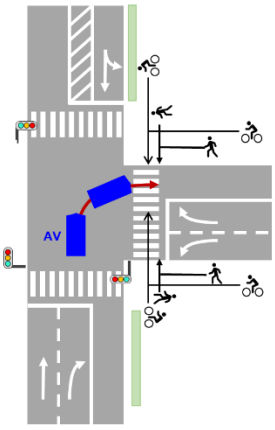
表 53　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－3）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td rowspan="2">右折1-⑤-3【ガン研センター東病院T字路 右折】
歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断
 

＜前提条件＞
・対向車線側の街路樹、道路形状により、自律センサーで障害物検知不可能箇所が発生する。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識。
3. 対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止減速する。
4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認
5. 徐行して横断歩道を通過</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車がないことの情報を確認。
3. 徐行して発進後、歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認しつつ、横断歩道を通過</td></tr>
<tr><td colspan="2">インフラ情報活用の効果（仮説）
【円滑性向上】 オクルージョン解消箇所での減速回避に伴うスムーズな右折の実現
【安全性向上】 オクルージョン解消箇所での減速回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避
実証実験での効果検証事項
【インフラ情報提供による効果確認】
・右折先横断歩道通過の時間比較
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（停止線通過～横断歩道通過時間）を比較検証</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－4

表 54　効果検証方法（案）（右折 1－⑤－4）

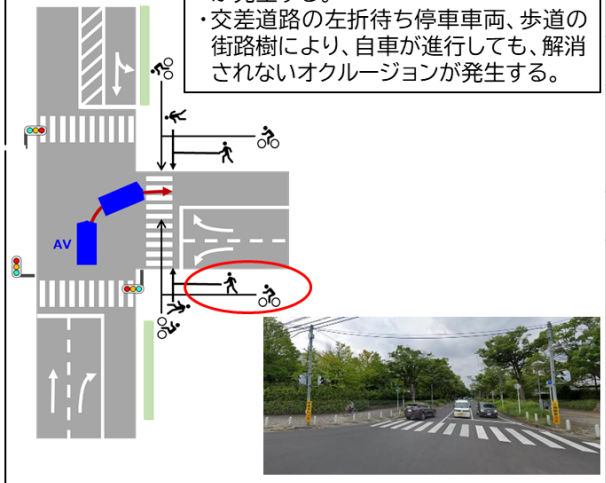
検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識。 3. 対向車線信号の灯色に関わらず、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車・歩行者の存在がない事を確認 5. 徐行して横断歩道を通過	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向車線上に車両・二輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車もしくは想定歩行速度（4km/h）以上で近づく歩行者の情報がきていないことを確認。 3. 右折して横断歩道を通過	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・横断歩道手前での一時停止回避に伴うスムーズな右折の実現 【安全性向上】 ・横断歩道手前での一時停止回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避 ●右折先横断歩道通過の時間比較 →計測データ：停止線通過～右折先横断歩道通過時間データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、後続車の無理な追越し行動回数

- 検討ユースケース：右折 1－⑤－4

表 55　実証実験での効果検証事項（右折 1－⑤－4）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td rowspan="4">右折1-⑤-4 【ガン研センター東病院T字路 右折】
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断

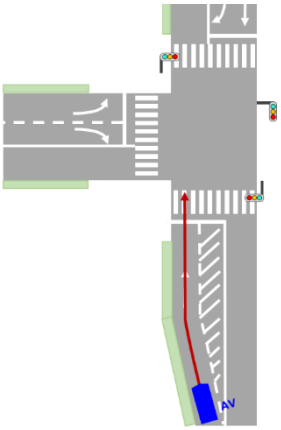
＜前提条件＞
・右折先歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。
・交差道路の左折待ち停車車両、歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。

 
</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識。
3. 対向車線信号の灯色に関わらず、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止減速する。
4. 歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車・歩行者の存在がない事を確認
5. 徐行して横断歩道を通過</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車もしくは想定歩行速度（4km/h）以上で近づく歩行者の情報がきていないことを確認。
3. 右折して横断歩道を通過</td></tr>
<tr><td colspan="2">インフラ情報活用の効果（仮説）</td></tr>
<tr><td colspan="2">【円滑性向上】・横断歩道手前での減速回避に伴うスムーズな右折の実現
【安全性向上】・横断歩道手前での減速回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避</td></tr>
<tr><td colspan="2">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">【インフラ情報提供による効果確認】
・ 右折先横断歩道通過の時間比較
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（停止線通過～横断歩道通過時間）を比較検証</td></tr>
</table>

ii） 科警研前交差点

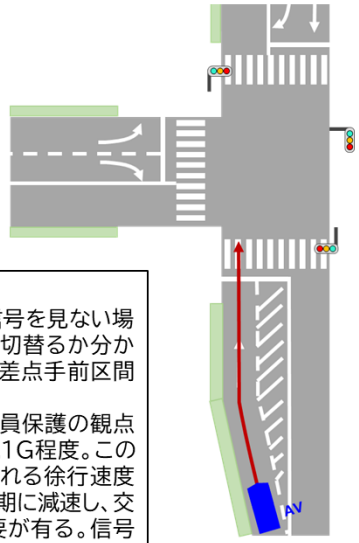
- 検討ユースケース：左折 1－②－1

表 56　効果検証方法（案）（左折 1－②－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
信号手前区間における信号灯火変化時（青→黄）の安全・円滑な停止判断   	1. 信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線手前 30m 付近で 15km/h になるよう減速。 2. 信号灯火が青なら、そのまま交差点に進入。信号灯火変更（青→黄）なら停止線にて停止し、青に変化後に交差点に進入。	1. インフラからの信号灯火残秒数（青→黄）に応じて、同信号サイクル内での交差点進入可否を判断。 2. 青灯火の残秒数が一定以上であれば、交差点進入可と判断し通過。青灯火の残秒数が一定以下であれば、交差点進入不可と判断して減速し停止線で停止。	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・停止線手前 30m 付近での 15km/h への減速回避による、1 サイクルでの交差点通過台数の増加。（自車と同信号サイクル内での後続車の交差点通過台数の増加） 【安全性向上】 ・ジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避。 ●自動運転バス通過時における交差点右折通過台数比較 →計測データ：1サイクルあたり交差点右折通過台数データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、後続車の無理な追越し行動回数

- 検討ユースケース：左折 1－②－1　〔青→黄時の交差点進入判断におけるジレンマ解消〕　a)インフラ情報活用の効果

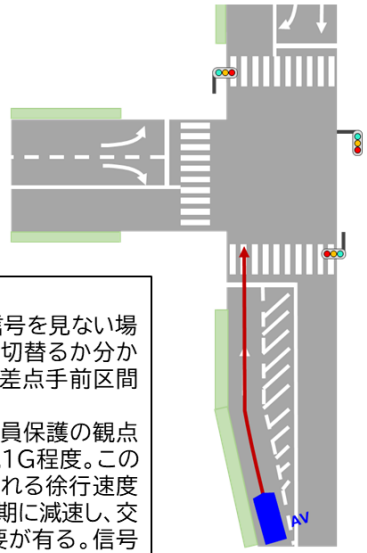
表 57　実証実験での効果検証事項（左折 1－②－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td rowspan="2">左折1-②-1
信号手前区間における信号灯火変化時（青→黄）の安全・円滑な停止判断
 

＜前提条件＞
・信号灯火は歩行者信号を見ない場合、青→黄色にいつ切替るか分からないため、信号交差点手前区間では徐行が必要。
（路線バスの場合、乗員保護の観点で、平均減速度は0.1G程度。このため、いつでも止まれる徐行速度（例：10km/h）に早期に減速し、交差点へ接近する必要が有る。信号交差点のたびに、これを実施するのは、円滑な走行とは言えない。）</td><td>1. 信号灯火変更（青→黄）に備えて、停止線50m手前から15m付近で10km/hになるよう減速。
2. 信号灯火が青なら、そのまま交差点に進入。信号灯火変更（青→黄）なら停止線にて停止し、青に変化後に交差点に進入。</td><td>1. 停止線通過時に信号が青と予測できる場合は制限速度内で通常走行。インフラからの信号灯火残秒数（青→黄）に応じて、同信号サイクル内での交差点進入可否を判断。
2. 青灯火の残秒数が一定以上であれば、交差点進入可と判断し通過。青灯火の残秒数が一定以下であれば、交差点進入不可と判断して減速し停止線で停止。</td></tr>
<tr><td colspan="2">インフラ情報活用の効果（仮説）
【円滑性向上】
・停止線手前15m付近での10km/hへの減速回避による、1サイクルでの交差点通過台数の増加。（自車と同信号サイクル内での後続車の交差点通過台数の増加）・交差点進入時間の短縮
【安全性向上】
・ジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避。
実証実験での効果検証事項
【インフラ情報提供による効果確認】
・ 自動運転バス通過時における交差点進入時間の比較
・ 自動運転バス通過時における交差点右折通過台数比較
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点進入時間を比較検証
・自律のみとインフラ情報活用時の1サイクルあたり交差点右折通過台数データを比較検証</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：左折 1－②－1　〔青→黄時の交差点進入判断におけるジレンマ解消〕　b)効果検証方法（案）

表 58　実証実験での効果検証事項（左折 1－②－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>実証実験での効果検証事項</th></tr>
<tr><td rowspan="4">左折1-②-1
信号手前区間における信号灯火変化時（青→黄）の安全・円滑な停止判断
 

＜前提条件＞
・信号灯火は歩行者信号を見ない場合、青→黄色にいつ切替るか分からないため、信号交差点手前区間では徐行が必要。
（路線バスの場合、乗員保護の観点で、平均減速度は0.1G程度。このため、いつでも止まれる徐行速度（例：10km/h）に早期に減速し、交差点へ接近する必要が有る。信号交差点のたびに、これを実施するのは、円滑な走行とは言えない。）</td><td>・自律のみとインフラ情報活用時の交差点進入時間を比較検証
【効果算定（案）】 ※停止線で停止した走行データを対象とする
（自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間）
－（インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間）</td></tr>
<tr><td><table>
<tr><th>自律データ</th><th>インフラデータ（車載DM）</th><th>インフラデータ（路側DM）</th></tr>
<tr><td>②停止線75m地点→停止線地点（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号灯火、速度</td><td>B.停止線75m地点→停止線地点（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号情報（青現示残秒数）</td><td>b.停止線75m地点→停止線地点（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、信号情報（青現示残秒数）</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>効果検証方法（案）</td></tr>
<tr><td>【自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間】
1）データ②の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類し、自動運転ケースのうち、停止線で停止（速度0km/h）したデータを抽出する。
2）机上にて、信号サイクル情報から、停止線最大停止時間を算定する。
3）上記データから、停止線75m～停止線通過までの時間を算定し、「自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間」を算定する。
【インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間】
4）自動運転ケースのデータBとデータbの時刻と位置情報から、データ通信の遅れ時間を算定する。
5）机上にて、自律運転時とインフラデータ活用時の停止線75m～停止線通過時間差を試算する。
6）「自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間」から、停止線75m～停止線通過時間差を差引き、データ通信の遅れ時間を加算して、「インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間」を算定する。</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：左折 1－②－1　〔青→黄時の交差点進入判断におけるジレンマ解消〕　c）効果検証例

表 59　実証実験での効果検証事項（左折 1－②－1）

効果検証例

※インフラデータ導入時の効果は、停止線手前75m付近での走行速度や信号交差点に進入する時の信号サイクルの状況に応じて変化するが、ここでは、最も効果が得られる状況（自律時には赤信号で停止線にて停止したが、インフラデータ活用時には青信号で交差点を通過できた場合）を想定した効果検証を提案する。

■「自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出
- ②自律データの速度から手動運転ケースと自動運転ケースに分類する。
- 自動運転ケースのうち、停止線で停止（速度0km/h）したデータを抽出する。

②自律運転時時間の算定
- 位置情報から停止線手前75mを通過する時のデータを抽出し、停止線手前75mの時刻を特定。
- 机上にて、信号サイクル情報から、停止線最大停止時間を算定する。
- 位置情報から停止線通過時の時刻を特定し、停止線最大時停止時間を加味した停止線通過時刻（最大時）を算定する。
- 停止線通過時刻（最大時）と停止線手前75m通過時刻の差を取って、「自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間」を算定する。



自律運転時時間
＝〔停止線通過時刻（最大時）〕－〔停止線手前75m通過時刻〕
＝〔12:21:34〕－〔12:20:30〕
＝〔00:01:04〕

■「インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出
- 自律運転時の検証対象データに対応する時間帯のBインフラデータ（車載DM）群、bインフラデータ（路側DM）群を抽出する。

②インフラ活用時時間の算定
- 自動運転ケースのデータBと同位置のデータbの時刻差を取って、通信による遅れ時間を特定。
- 机上にて、停止線通過時刻を試算する（速度：30km/h、停止線で10km/hになるよう-1m/s²で減速）。
- 停止線通過時の時刻と停止線手前75mの時刻の差に、通信による遅れ時間を加算して、「インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間」を算定する。



インフラ活用時運転時間
＝〔停止線通過時刻〕－〔停止線手前75m通過時刻〕＋〔通信の遅れ時間〕
＝〔12:20:41〕－〔12:20:30〕＋〔00:00:01〕
＝〔00:00:12〕

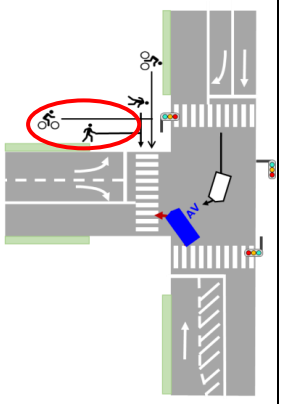
■効果の算定

（自律運転時：停止線75m～停止線通過までの時間）－（インフラデータ活用時：停止線75m～停止線通過までの時間）
＝（00：01：04）－（00：00：12）＝ 52s/台
〔前提条件〕 その他の要因で物標検知をしていないこと

① ステップ③

- 検討ユースケース：左折 1－③－1

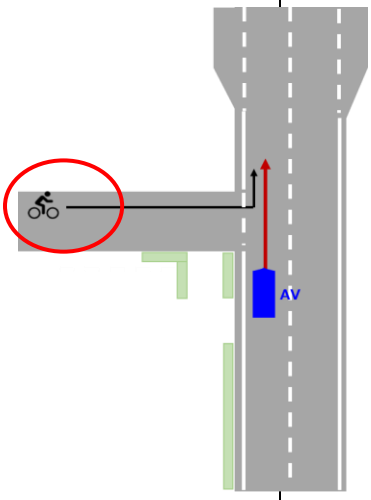
表 60　効果検証方法（案）（左折 1－③－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
交差道路歩道植栽外側を走行・歩行する自転車・歩行者を想定した安全・円滑な左折発進判断 	1. 巻き込み可能性がある二輪車、自転車がないことを確認しつつ前進 2. 対向右折車の有無、動向を確認しながら、歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認しつつ、左折先の横断歩道手前まで前進し念のため停止する。 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認。 4. 徐行して横断歩道を通過 	1. 巻き込み可能性がある二輪車、自転車がないことを確認しつつ前進 2. 対向右折車の有無、動向を確認しながら、インフラから横断歩道へ街路樹でオクルージョンをおこす箇所から接近する歩行者、自転車がいないことを確認しつつ、徐行して横断歩道を通過。 	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・横断歩道手前での一時停止回避に伴うスムーズな左折の実現 ●左折先横断歩道通過の時間比較 →計測データ：停止線通過～左折先横断歩道通過時間データ

iii） 千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点

- 検討ユースケース：直進 1－①－1

表 61　効果検証方法（案）（直進 1－①－1）

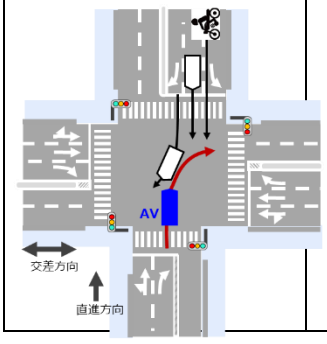
検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
交差道路から車道に侵入してくる自転車を想定した安全な交差点通行判断	1. 優先道路であるため、定速にて交差部を通過　　。 （自車前方に自転車が進入してきた場合は減速）  	1. インフラから交差道路から車道に進入してくる自転車の情報がきた場合に自車の速度を減速	〔インフラ情報提供による効果〕 【安全性向上】 ・交差道路から車道に進入してくる自転車との交錯危険性回避 ●交差道路から車道に進入してくる自転車との交錯危険性比較 →計測データ：交差道路から車道に進入してくる自転車との交錯危険回数

iv) 若柴交差点

なお、右折 1-④-1、右折 1-⑤-2、右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 は、前述したガン研センター東病院北西交差点の検討ケースと同様であるため、ここでは割愛する。

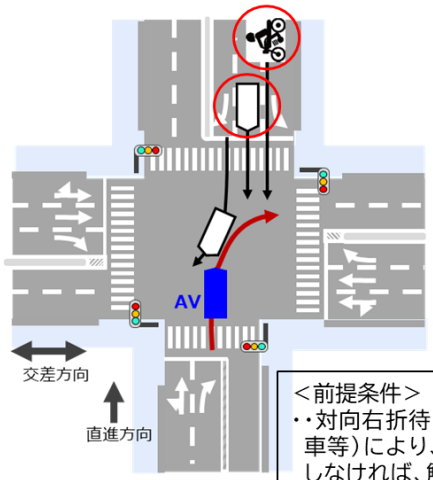
- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1

表 62　効果検証方法（案）（右折 2－⑤－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラ情報提供による効果・効果検証方法（案）
対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断 	1. 交差点中心で一時停止する 2. 対向右折待ち車両がいなくなり、死角がなくなってから走行する対向車・二輪車がいないことを確認、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを確認しつつ、横断歩道手前まで前進し念のため一時停止する。 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認 4. 徐行して横断歩道を通過 ※横断歩道手前で念のため一時停止しての歩行者、自転車の検知行動は、ユースケース右折 1-⑤-3、右折 1-⑤-4 で検討済 	1. 交差点中心で一時停止する 2. インフラから走行する対向直進車・二輪車がいないこと、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを受信確認する。 3. 徐行して横断歩道を通過	〔インフラ情報提供による効果〕 【円滑性向上】 ・対向右折待ち車両有無にかかわらないスムーズな右折の実現 ・横断歩道手前での一時停止回避に伴うスムーズな右折の実現 【安全性向上】 ・交差点中央・横断歩道手前での一時停止回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避 ●右折先横断歩道通過の時間比較 →計測データ：停止線通過～右折先横断歩道通過時間データ ●危険事象発生回数を計測・比較 →計測データ：危険による手動運転発動回数、対向右折待ち車両発生回数・時間、後続車の無理な追越し行動回数

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1　〔対向右折待ち大型車によるオクルージョン解消による発進判断の早期化〕　a)インフラ情報活用の効果

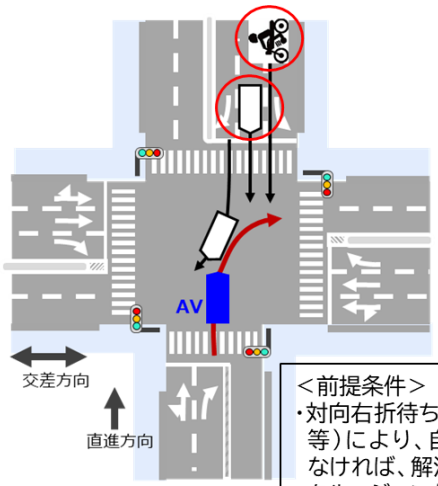
表 63　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td rowspan="4">右折2-⑤-1
対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断
 

＜前提条件＞
・・対向右折待ち車両（大型車等）により、自車が進行しなければ、解消されないオクルージョンが発生する。
・対向左折停車車両により、自車が移動しても、ほぼ解消されないオクルージョンが発生する。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する。
2. 対向右折待ち車両がいなくなり、死角がなくなってから走行する対向車・二輪車がいないことを確認、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを確認しつつ、徐行して右折を開始（最高：10km/h）
3. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は5km/hで横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止。歩行者、自転車等がなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. インフラから走行する対向直進車・二輪車がいないこと、および歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいないことを受信確認し、徐行して右折を開始（最高：10km/h）
3. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は5km/hで横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止。歩行者、自転車等がなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td></tr>
<tr><td colspan="2">インフラ情報活用の効果（仮説）</td></tr>
<tr><td colspan="2">【円滑性向上】
・対向右折待ち車両有無にかかわらないスムーズな右折の実現　・交差点右折通過台数比較
【安全性向上】
・交差点中央での停止時間短縮に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避</td></tr>
<tr><td colspan="2">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td colspan="2">【インフラ情報提供による効果確認】
・自動運転バス通過時における交差点通過時間の短縮
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（停止線通過～横断歩道通過時間）を比較検証</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1　〔対向右折待ち大型車によるオクルージョン解消による発進判断の早期化〕　b)効果検証方法（案）

表 64　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－1）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th colspan="3">実証実験での効果検証事項</th></tr>
<tr><td rowspan="4">右折2-⑤-1
対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断
 

＜前提条件＞
・対向右折待ち車両(大型車等)により、自車が進行しなければ、解消されないオクルージョンが発生する。
・対向左折停車車両により、自車が移動しても、ほぼ解消されないオクルージョンが発生する。</td><td colspan="3">・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間(停止線通過～横断歩道通過時間)を比較検証
【効果算定(案)】 ※対向右折車によるオクルージョンが発生し交差点中央で一時停止したデータを対象。
(インフラデータ活用時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間)
－(自律運転時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間)</td></tr>
<tr><td>自律データ</td><td>インフラデータ(車載DM)</td><td>インフラデータ(路側DM)</td></tr>
<tr><td>③停止線→交差点中央→横断歩道通過(時系列)
:時刻、位置情報(緯度・経度)、速度、物標種別(物標の分類(車両(二輪車・乗用車・大型車等)，位置と移動(位置、方向、速さ、加速度等),物標の状態/属性(向き、サイズ、状態等)</td><td>C.停止線→交差点中央→横断歩道通過(時系列)
:時刻、位置情報(緯度・経度)、物標種別(物標の分類(車両(二輪車・乗用車・大型車等)，位置と移動(位置、方向、速さ、加速度等),物標の状態/属性(向き、サイズ、状態等)、フリースペース情報</td><td>c.停止線→交差点中央→横断歩道通過(時系列)
:時刻、位置情報(緯度・経度)、物標種別(物標の分類(車両(二輪車・乗用車・大型車等)，位置と移動(位置、方向、速さ、加速度等),物標の状態/属性(向き、サイズ、状態等)、フリースペース情報</td></tr>
<tr><td colspan="3">効果検証方法(案)</td></tr>
<tr><td colspan="3">【自律運転時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間】
1)データ③の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類し、自動運転ケースのうち、停止線で停止および交差点中央で停止(速度0km/h)したデータ、および物標情報から対向右折待ち大型車があるデータを抽出。
2)上記データから、停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間を算定し、「自律運転時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。
【インフラデータ活用時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間】
3)自動運転ケースのデータCとデータcの時刻と位置情報から、交差点中央でのデータ通信の遅れ時間を算定する。
4)データ③の物標情報データから交差点中央停止時刻および交差点中央発進時刻を特定する。
5)停止線発進時～交差点中央停止時に交差点中央発進時～横断歩道通過時を加えて、「インフラデータ活用時:停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－1　〔対向右折待ち大型車によるオクルージョン解消による発進判断の早期化〕　c)効果検証例

表 65　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－1）

効果検証例

※インフラデータ導入時の効果は、対向右折待ち大型車の交差点中央停止時間や対向直進車の有無・交差点通過時間、横断自転車歩行者の有無・横断時間に応じて変化するが、ここでは、最も明確に効果が得られる状況（対向右折待ち大型車の交差点中央停止時間：20秒、対向直進車無し、横断自転車歩行者無しの場合）を想定した効果検証を提案する。

■「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出
・データ③の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類する。
・自動運転ケースのうち、停止線で停止および交差点中央で停止（速度０km/h）したデータを抽出する。
・物標情報から対向右折待ち大型車があり、対向直進車がいないデータを抽出。

②自律運転時時間の算定
・位置情報から停止線を発進する時のデータを抽出し、停止線発進時の時刻を特定。
・位置情報から横断歩道通過時のデータを抽出し、横断歩道通過時の時刻を特定する。
・横断歩道通過時の時刻と停止線通過・発進時の時刻の差を取って、「自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。



自律運転時時間
＝〔横断歩道通過時刻〕－〔停止線発進時刻〕
＝〔12:21:04〕－〔12:20:30〕
＝〔00:00:34〕

■「インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出
・自律運転時の検証対象データに対応する時間帯のCインフラデータ（車載DM）群、cインフラデータ（路側DM）群を抽出する。

②インフラ活用時時間の算定
・自動運転ケースのデータCと同位置のデータcの時刻差を取って、通信による遅れ時間を特定する。
・データ③の速度データから交差点中央停止時間を特定する。
・机上にて、交差点中央停止時間を除外した横断歩道通過時刻を推定する。
・停止線発進時～横断歩道通過時から交差点中央停止時間を差引き、通信による遅れ時間を加えて、「インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。

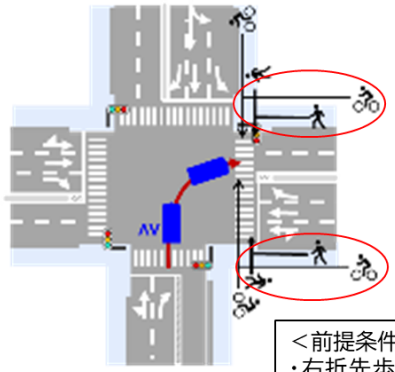


インフラ活用時運転時間
＝〔横断歩道通過時刻〕－〔停止線発進時刻〕＋〔通信の遅れ時間〕
＝〔12:20:44〕－〔12:20:30〕＋〔00:00:01〕
＝〔00:00:15〕

■効果の算定
（インフラデータ活用時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）－（自律運転時：停止線～交差点中央～横断歩道通過までの時間）
＝（00：00：34）－（00：00：15）＝ 19s/台
〔前提条件〕 AVが赤信号で停止線で停止していること。対向直進車が居ないこと。横断歩行者・自転車が居ないこと。その他の要因で物標検知をしていないこと。

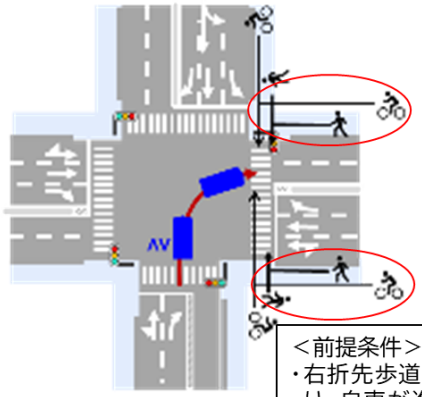
- 検討ユースケース：右折 2－⑤－4　〔植栽・自動車からのオクルージョン解消による右折速度向上〕　a)インフラ情報活用の効果

表 66　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－4）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th>自律での走行ストラテジー</th><th>インフラ情報活用した走行ストラテジー</th></tr>
<tr><td rowspan="4">右折2-⑤-4
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断
 
＜前提条件＞
・右折先歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。
・交差道路の左折待ち停車車両、歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識し、徐行して右折を開始（最高：10km/h）。
3. 横断歩道付近に歩行者、自転車等がない場合は5km/hで横断歩道を通過。横断歩道付近に歩行者、自転車等がある場合は横断歩道手前で停止。歩行者、自転車等がなくなったことを確認し横断歩道を通過。</td><td>1. 交差点中心で一時停止する
2. 対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上の走行自転車もしくは想定歩行速度（4km/h）以上で近づく歩行者情報がないことを確認し、徐行して右折を開始（最高：10km/h）。
~~3. 念のため、5km/hで~~低速（10km/h）で横断歩道を通過。</td></tr>
<tr><td colspan="2">インフラ情報活用の効果（仮説）</td></tr>
<tr><td colspan="2">【円滑性向上】
・横断歩道手前での減速回避に伴うスムーズな右折の実現
【安全性向上】
・横断歩道手前での減速による対向直進車との交錯危険性回避
・横断歩道手前での減速回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避</td></tr>
<tr><td colspan="2">実証実験での効果検証事項</td></tr>
<tr><td colspan="2">【インフラ情報提供による効果確認】
・ 自動運転バス通過時における他の交通との交錯危険エリア通過時間の短縮
【計測データ】
・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（交差点中央発進～横断歩道通過時間）を比較検証</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－4　〔植栽・自動車からのオクルージョン解消による右折速度向上〕　b)効果検証方法（案）

表 67　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－4）

<table>
<tr><th>ユースケース</th><th colspan="3">実証実験での効果検証事項</th></tr>
<tr><td rowspan="3">右折2-⑤-4
右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断
 
＜前提条件＞
・右折先歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。
・交差道路の左折待ち停車車両、歩道の街路樹により、自車が進行しても、解消されないオクルージョンが発生する。</td><td colspan="3">・自律のみとインフラ情報活用時の交差点通過時間（交差点中央発進～横断歩道通過時間）を比較検証
【効果算定（案）】 ※オクルージョンが発生し横断歩道手前で一時停止したデータを対象。
（インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間）
－（自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間）</td></tr>
<tr><td>自律データ</td><td>インフラデータ（車載DM）</td><td>インフラデータ（路側DM）</td></tr>
<tr><td>④交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、速度、物標種別（物標の分類（歩行者・自転車，その他），位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等）</td><td>D.交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、物標種別（物標の分類（歩行者・自転車，その他），位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等）</td><td>d.交差点中央→横断歩道通過（時系列）
：時刻、位置情報（緯度・経度）、物標種別（物標の分類（歩行者・自転車，その他），位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等）</td></tr>
<tr><td colspan="3">効果検証方法（案）</td></tr>
<tr><td colspan="3">【自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間】
1）データ④の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類し、自動運転ケースのうち、停止線で停止および交差点中央で停止（速度0km/h）したデータを抽出する。また、横断自転車・歩行者があるデータを抽出する。
2）上記データから、交差点中央～横断歩道通過までの時間を算定し、「自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。
【インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間】
3）自動運転ケースのデータDとデータdの時刻と位置情報から、交差点中央でのデータ通信確認を行う。
4）自動運転ケースのうち横断歩道手前で停止しなかったデータを抽出する。
5）横断歩道手前で一時停止しなかったケースを、インフラデータ活用時の通過時間と仮定し、横断歩道通過時刻から交差点中央発進時刻を差し引いて、「インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。</td></tr>
</table>

- 検討ユースケース：右折 2－⑤－4　〔植栽・自動車からのオクルージョン解消による右折速度向上〕　c)効果検証例

表 68　実証実験での効果検証事項（右折 2－⑤－4）

効果検証例

※インフラデータ導入時の効果は、対向左直車の有無・交差点通過時間、横断自転車歩行者の有無・横断時間に応じて変化するが、ここでは、最も明確に効果が得られる状況（対向左直車無し、横断歩行者あり（歩行者横断時間：10秒と仮定）の場合）を想定した効果検証を提案する。

■「自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出

・データ④の速度データから、手動運転ケースと自動運転ケースに走行ケースを分類する。
・自動運転ケースのうち、交差点中央で停止（速度0km/h）したデータを抽出する。
・物標情報から対向左直車がないデータを抽出する。
・物標情報から横断自転車・歩行者があるデータを抽出する。

②自律運転時時間の算定

・位置情報から交差点中央発進時のデータを抽出し、交差点中央発進時の時刻を特定する。
・位置情報から横断歩道通過時のデータを抽出し、横断歩道通過時の時刻を特定する。
・位置情報から横断歩道手前一時停止時間を特定するとともに、物標データから横断歩行者通過時間の時刻を特定。
・横断歩道通過時刻から交差点中央発進時刻を差引き、「自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。



自律運転時時間
＝〔横断歩道通過時刻〕－〔交差点中央発進時刻〕
＝〔12:21:09〕－〔12:20:40〕
＝〔00:00:29〕

■「インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」の算定

①検証対象データの抽出

・自律運転時の検証対象データに対応する時間帯のDインフラデータ（車載DM）群、dインフラデータ（路側DM）群を抽出する。

②インフラ活用時時間の算定

・自動運転ケースのデータDと同位置のデータdの時刻差を取って、通信による遅れ時間を特定する。
・交差点中央発進時刻を、横断歩行者通過時刻として、インフラデータ活用時の交差点中央発進時刻を推定する。
・机上にて、横断歩道通過時刻を試算する。
（1m/s^2、最大速度：10km/h、交差点中央～横断歩道通過：30m）
・横断歩道通過時刻から交差点中央発進時刻を差引き、通信による遅れ時間を加えて、「インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間」を算定する。



インフラ活用時運転時間
＝〔横断歩道通過時刻〕－〔交差点中央発進時刻〕＋〔通信の遅れ時間〕
＝〔12:21:15〕－〔12:21:01〕＋〔00:00:01〕
＝〔00:00:15〕

■効果の算定

（自律運転時：交差点中央～横断歩道通過までの時間）－（インフラデータ活用時：交差点中央～横断歩道通過までの時間）
＝（00：00：29）－（00：00：15）　＝ 14s/台

〔前提条件〕 対向直進車がいないこと。対向左折車がいないこと。その他の要因で物標検知をしていないこと。

(5) 2023 年度実証実験計画

confidential

テーマ4 2023年度 実証実験実施計画



幹事機関 国立大学法人東京大学
国立大学法人東海国立大学機構(名古屋大学)
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
一般財団法人日本自動車研究所
先進モビリティ株式会社

confidential

目次

1. 実施体制
2. 実証実験の概要(目的、実験期間、実験区間、実験車両)
3. 運行方法(運行区間、運行体制、運行ダイヤ、等)
4. 実験車両
5. 協調型路側機の配置
6. 事前準備(車両保管、燃料補給、通行許可証の申請、車両の車内外表示等)
7. 検証・評価(検証項目、検証方法)
8. 緊急時の対応(事故発生時の対応)

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

1. 実施体制

◆RoAD to the L4プロジェクト実施主体： 経済産業省・国土交通省　　◆テーマ4実証実験実施体制： 下表の通り

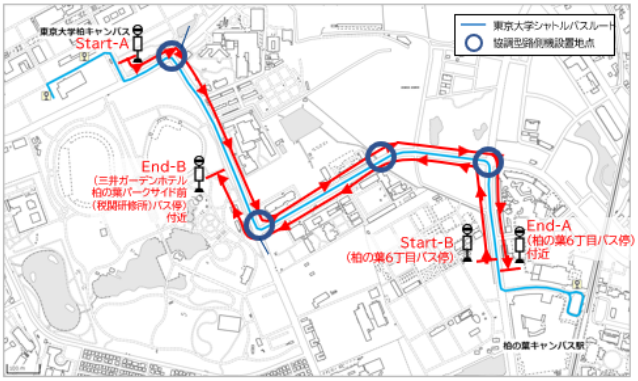
関係主体		実証実験の 実施・総括	運行方法の検討	路側機の開発	車両の開発	車検証の書き換え申請・発行	通行許可証の申請・発行	車両の運転	安全運行体制の検討・実施	検証項目の 設定、実施	地域住民へ の注意喚起	実証実験の助言
テーマ4コンソ	東京大学	○	○	○	(○)		○		○	○	○	
	名古屋大学			○					○			
	三菱総合研究所	(○)	(○)						(○)		(○)	
	産業技術総合研究所				(○)				○	○		
	日本自動車研究所				(○)				○	○		
	先進モビリティ		○		○	○	○	○	○	○		
協力機関	長大	(○)	(○)		(○)		(○)		(○)	(○)	○	
	東武バスセントラル							(○)				○
	路側機サプライヤ			(○)					(○)	(○)		
	柏市		(○)								○	○
	柏ITS推進協議会		(○)								○	○
地域関係者	千葉運輸支局					○ (発行)						○
	千葉県											○
	千葉県警察本部											○
	柏警察署						○ (発行)					○
	関東経済産業局											○

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

2 技術実証実験の概要

目的	• 柏の葉市街路におけるレベル4協調型自動運転移動サービスの技術検証
実施期間	〔試験期間〕 2024年1月15日(月)～2月22日(木)
実験走行経路	• 東京大学柏キャンパスシャトルバスルート上の一部区間 A:東大柏キャンパス内～柏の葉6丁目バス停付近 B:柏の葉6丁目バス停付近～三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前(税関研修所)バス停付近
走行車両	• 中型バス(いすゞエルガミオ)の改造車両(レベル4認可取得を想定した車両制御／認識性能を有する) • 運転席乗務員有りのレベル2運行 • 白ナンバー(一般営業の運行ではない)
路側機の運用	• 期間中の車両走行時間帯には、協調型路側機の無線通信を行う。(携帯網、760MHz帯無線、WiFi)
運行方法など	• 走行環境条件違いによる技術検証を実施するため、走行時間帯と頻度を計画 • 客席乗車は関係者のみとし、一般客の運送は実施しない
評価項目	• 自動運転車両認識性能の検証 • 協調型路側機の認識性能／通信性能の検証 • 信号交差点右左折、無信号交差点直進通過時の自動走行戦略の安全性／円滑性の評価 • インフラ情報活用の効果検証　　など



国土地理院の地理院地図に自動運転実証実験のルートおよび関連情報を加筆

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

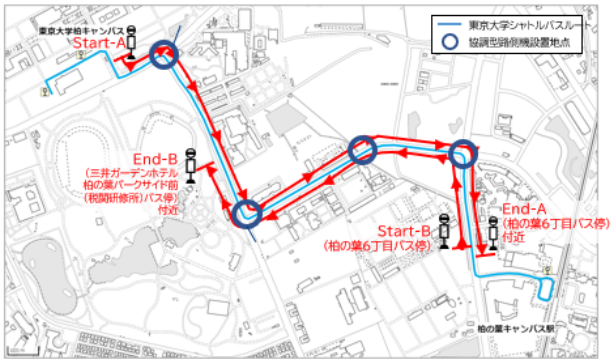
confidential

3. 運行方法(運行区間、運行体制、運行ダイヤ、等)

3.1. 運行区間

【区間A】東京大学柏キャンパス→柏の葉キャンパス駅
- ➢ 手動運転区間: 東京大学柏キャンパス〔環境棟前〕 ～ 東京大学柏キャンパス出口
- ◆ L4自動運転(L2運行)区間: 東京大学柏キャンパス正門前 ～ 柏の葉6丁目バス停付近
- ➢ 手動運転区間: 柏の葉6丁目バス停付近 ～ 柏の葉キャンパス駅〔企業バス停付近〕

【区間B】柏の葉キャンパス駅→東京大学柏キャンパス
- ➢ 手動運転区間:
  柏の葉キャンパス駅〔企業バス停付近〕
  ～柏の葉6丁目交差点バス停付近
- ◆ L4自動運転(L2運行)区間:
  柏の葉6丁目交差点バス停付近
  ～三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前(税関研修所)バス停付近
- ➢ 手動運転区間:
  三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前(税関研修所)バス停付近
  ～東京大学柏キャンパス〔環境棟前〕



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

3. 運行方法(運行区間、運行体制、運行ダイヤ、等)

3.2. 運行体制
- ◆ 2023年度中は調整期間、及び、総合試験期間を通じ先進モビリティのドライバーとする。

3.3. 運行ダイヤ
- ◆ 運行ダイヤは、車両の走行環境条件(交通流、日射方向など)を考慮し計画する。(夜間走行は実施しない)
- ◆ 路線バス、東大シャトルバス等のダイヤを参照し、他の交通に配慮したダイヤを計画する。
- ◆ 一般客の運送はなし。

3.4. 運行速度
- ◆ 運行速度は、柏の葉公道の制限速度内の最高約40km/hとする。
- ◆ 交差点通過速度は、安全走行戦略の考え方に則り設計し、調整期間に調整する。

3.5. 協調型路側機の運用
- ◆ 調整期間～実証実験期間中(1月～2月)、車両走行時間帯には、協調型路側機の無線機(760MHz無線、携帯網、WiFi)によるデータ送信を実施する。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

4. 実験車両

- 使用車両:中型バス(いすゞエルガミオ)の改造車両
- 全長:8.99m×全幅:2.48m×全高:3.04m、定員:56名(着座28名:今年度は着座のみで運行予定)
- 認識用ハードウェアはテーマ2(ひたちBRT)車両の構成を踏襲するが、混走空間におけるレベル4自動運転制御の実装を目指すため、交差点通過時の左右車両、歩行者等を検知するため認識ソフトウェア開発を強化。
- 車両所有者:産業総合技術研究所。
- 車両使用者:先進モビリティ。(つくばナンバー)

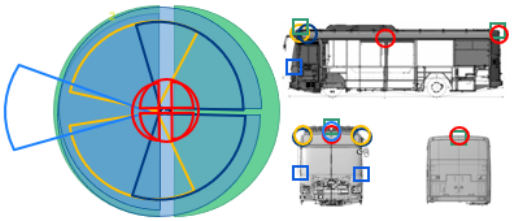


柏の葉実証用車両



前・後側方カメラ(増設)

認識システム構成(カメラ/LiDAR)



カメラ:前方遠距離×1○、周囲中距離×4○、周囲近距離×4○
LiDAR:前後遠距離用×2□、左右近傍×2□

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

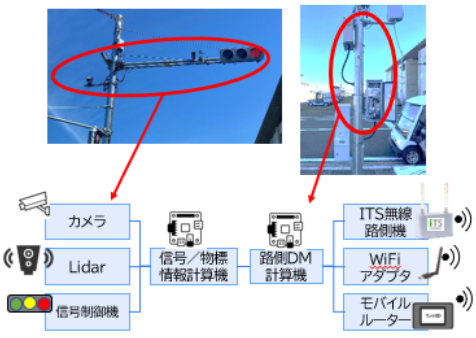
5. 協調型路側機の配置

- 協調型路側機は、信号交差点通過時の信号サイクル情報、右左折時や側道の死角の物標情報の活用による効果の検証を実施するため下記4か所(A~D:○印)へ配備する。
- 先行技術実証実験と同様の路側センサーと信号制御機に、CooL4データ連携プラットフォーム共通仕様の協調型路側機を接続し、CooL4仕様の有効性を検証する。

協調型路側機設置箇所



協調型路側機基本構成



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

6. 事前準備

6.1. 車両保管、燃料補給【1/9～2/27頃】
・実験期間中、先進モビリティ㈱つくば本社Labより、東京大学柏キャンパスへ車両を運搬し、柏の葉公道での走行実験を行う。
・東京大学柏キャンパス生産技術研究所実験フィールド内ガレージ前駐車スペースを用いる。
・点検整備のため、車両はつくばLabへ計画的に持ち帰る。

6.2. 車両使用者変更【1月上旬】
・使用者を産業技術総合研究所から先進モビリティに変更登録する。
・白ナンバー車両がバス停に停車するために許可証が必要な場合、通行許可証の申請を行う。

6.3. 車両の車内外表示【1/15～2/27頃】
・車両公道調律期間から行先表示や車両マグネットで車両後方に「自動運転実証実験中」と記載し、実証実験実施中であることが認識できるようにする。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

6. 事前準備

6.4. 緊急時の情報伝達訓練【2023年1月上旬頃】
◆ 交通事故やその他緊急連絡が必要な場面が実証実験期間中に発生した場合に、緊急連絡網が確かに機能するかを確認することを目的として、緊急連絡網確認のための訓練（以下、本訓練）を実施する。

6.5. 地域との調整活動
◆ 柏市、UDCKと連携し地域との連携方法を検討

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

7. 検証・評価（検証項目、検証方法）

	#	確認事項	対象／条件など	①ガン研T字路右折	②科警研前左折	③第三機動隊前直進	④若柴十字路右折
車両性能評価	1	自動運転車両の想定される外乱における認識性能確認	①駐車車両認識と回避可否判断	○	○	○	○
			②前方歩行者認識（進路上・歩道）	○	○	○	○
			③前方自転車	○	○	○	○
			④前方障害物（進路上）	○	○	○	○
			⑥後続車両	○	○	○	○
			⑦信号不点灯	○	○	－	○
	2	自動運転車両の前方信号灯色の認識性能確認	①太陽光方向による影響 ②照度による影響　etc.	○	○	－	○
インフラ性能評価	3	インフラ情報の取得確認	・信号情報（灯色情報、サイクル情報） ・精度（非検知率）、遅れ時間	○	○	－	○
			・物標情報、フリースペース情報 ・精度（非検知率、未検知率）、遅れ時間	○	○	○	○
走行戦略評価	4	安全走行戦略の複数パターンの効果確認	例えば、右折時の交差点内の走行戦略の比較など ①　最も慎重な戦略：死角が存在する限り発進しない場合 ②　死角を補うインフラ情報を活用し発進判断する場合	○	○	○	○
	5	インフラ情報の活用効果確認	・信号サイクル情報活用した場合の効果確認（通過時間短縮）	○	○	－	○
			・フリースペース情報活用による効果（停止回数削減、通過時間短縮等）	○	○	○	○
	…	…	…				

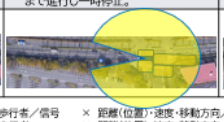
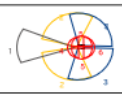
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

7. 検証・評価（検証項目、検証方法）

7.1.車両の性能評価

■ 走行戦略を実現するための設計仕様の実現性を検証 （例）ガン研センター東病院北西交差点の右折シーン

走行ステップ	①走行車線～右折レーン入口	②右折レーン入口～右折レーン進入	③右折レーン進入～停止線通過	④停止線～対向直進車両通行路前	⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前
走行ストラテジー	● 交差点手前へ、既定の速度*で、前提3条件を確認しながら進行する。(*信号灯火変更(青→黄)に備えて、停止線手前30m付近で15km/hになるよう減速)	● 交差点手前へ、既定の速度*で、前提3条件を確認しながら進行する。(*信号灯火変更(青→黄)に備えて、停止線手前30m付近で15km/hになるよう減速)	● 横断歩道手前の停止線位置にて（規定の速度で走行しながら）、前提3条件を確認する。 ・成立する場合：交差点へ進入 ・非成立の場合：停止線で停止	● 交差点中心で一時停止。 ● 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 ● 対向車線信号の灯色に関わらず徐行して右折を開始し、横断歩道手前もしくはオクルージョンが解消される地点まで進行し一時停止。	● 信号無視の歩行者、自転車がいないかを検知、かつ歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認 ● 歩行者、自転車が横断歩道にいないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過
(A) 認識要求仕様					
(B) 認識設計仕様		1 前方(遠距離) = 車両・自転車・歩行者／信号 × 距離(位置)・速度・移動方向／灯色 2 前側方(中近距離) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 3 後側方(中近距離) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 4 車両前方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 5 車両側方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 6 車両後方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向			
(C) 認識実験結果	・ 実験結果(C)は、設計仕様(B)どおりの認識性能となっているか？ ・ 実験結果(C)（または、設計仕様(B)）は、要求仕様(A)を満たしているか？				

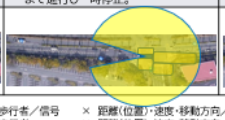
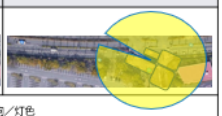
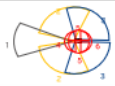
Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

7. 検証・評価（検証項目、検証方法）

7.1.車両の性能評価

■ 走行戦略を実現するための設計仕様の実現性を検証（例)ガン研センター東病院北西交差点の右折シーン

	①走行車線～右折レーン入口	②右折レーン入口～右折レーン進入	③右折レーン進入～停止線通過	④停止線～対向直進車両通行路前	⑤対向直進車両通行路前～右折先横断歩道前
走行ステップ					
走行ストラテジー	● 交差点手前へ、既定の速度*で、前提3条件を確認しながら進行する。(*信号灯火変更(青→黄)に備えて、停止線手前30m付近で15km/hになるよう減速)	● 交差点手前へ、既定の速度*で、前提3条件を確認しながら進行する。(*信号灯火変更(青→黄)に備えて、停止線手前30m付近で15km/hになるよう減速)	● 横断歩道手前の停止線位置にて(規定の速度で走行しながら)、前提3条件を確認する。 ・成立する場合:交差点へ進入 ・非成立の場合:停止線で停止	● 交差点中心で一時停止。 ● 進行方向信号が黄⇒赤に変わった事を認識、かつ対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつ対向車が確実に停止している事を確認。 ● 対向車線信号の灯色に関わらず徐行して右折を開始し、横断歩道手前もしくはオクルージョンが解消される地点まで進行し一時停止。	● 信号無視の歩行者、自転車がないかを検知、かつ歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認 ● 歩行者、自転車が横断歩道にないことを確認後、発進し徐行で横断歩道を通過
(A) 認識要求仕様					
(B) 認識設計仕様		1 前方(遠距離) = 車両・自転車・歩行者／信号 × 距離(位置)・速度・移動方向／灯色 2 前側方(中近距離) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 3 後側方(中近距離) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 4 車両前方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 5 車両側方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向 6 車両後方(近傍) = 車両・自転車・歩行者 × 距離(位置)・速度・移動方向			
(C) 認識実験結果	・ 実験結果(C)は、設計仕様(B)どおりの認識性能となっているか？ ・ 実験結果(C)(または、設計仕様(B))は、要求仕様(A)を満たしているか？				

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

7. 検証・評価（検証項目、検証方法）

7.3. L4自動走行戦略の評価

■ 自動運転車両の要求仕様に基づき必要となるインフラ情報を洗出し、自律のみでの走行ストラテジーとインフラ情報活用した走行ストラテジーの差異を実証実験にて確認

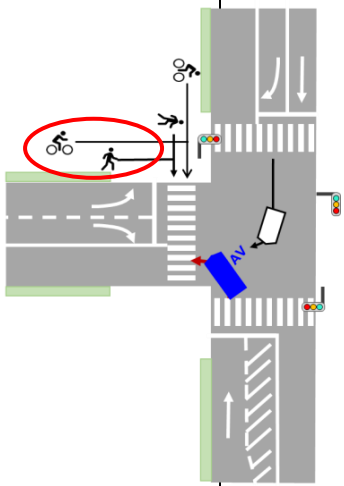
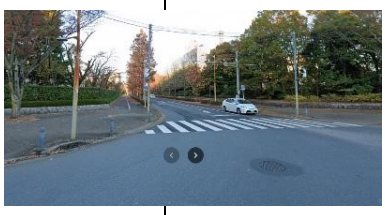
ユースケース	自律での走行ストラテジー	インフラ情報活用した走行ストラテジー
右折1-⑤-3 【ガン研センター東病院T字路 右折】 歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  <前提条件> ・対向車線側の街路樹、道路形状により、自律センサーで障害物検知不可能箇所が発生する。	1.交差点中心で一時停止する 2.対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識。 3.対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4.歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認。 5.徐行して横断歩道を通過	1.交差点中心で一時停止する 2.対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車がないことの情報を確認。 3.徐行して発進後、歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認しつつ、横断歩道を通過
	自律のみ、およびインフラ情報活用時の走行ストラテジーの比較項目(案)	
	・対向車線上の車両・2輪車・自転車の物標情報・検知位置情報(自律、およびインフラ情報:物標が検知エリア外になるまでの時系列データ) ・対向車線歩道上、および横断歩道上の自転車・歩行者の物標情報・検知位置情報(自律、およびインフラ情報:物標が検知エリア外になるまでの時系列データ)	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

① ステップ③

- 検討ユースケース：左折 1－③－1

表 41　柏の葉地域における協調型自動運転移動サービス仕様案（左折 1－③－1）

検討ユースケース	自律での走行ステラテジー	インフラ情報を活用した走行ストラテジー	インフラから送信する情報の詳細仕様	
交差道路歩道植栽外側を走行・歩行する自転車・歩行者を想定した安全・円滑な左折発進判断   	1. 巻き込み可能性がある二輪車、自転車がないことを確認しつつ前進 2. 対向右折車の有無、動向を確認しながら、歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認しつつ、左折先の横断歩道手前まで前進し念のため停止する。 3. 歩道から横断歩道に進入する自転車・歩行者がいない事を確認。 4. 徐行して横断歩道を通過	1. 巻き込み可能性がある二輪車、自転車がないことを確認しつつ前進 2. 対向右折車の有無、動向を確認しながら、インフラから横断歩道へ街路樹でオクルージョンをおこす箇所から接近する歩行者、自転車がいないことを確認しつつ、徐行して横断歩道を通過。	〔インフラ取得情報〕 （物標情報） ・物標 ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・物標種別（物標の分類（車両（二輪車・乗用車・大型車等）、人（歩行者・自転車等）、動物、その他の物標） ・位置と移動（位置、方向、速さ、加速度等） ・物標の状態/属性（向き、サイズ、状態等） （フリースペース情報） ・フリースペース ID ・情報取得時刻（ミリ秒単位:UTC（協定世界時）での経過時間） ・存在信頼度（フリースペースが存在する確率） ・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） ・始点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・終点位置（測地系、緯度、経度、高さ） ・長さ（フリースペースの長さとその精度）	〔車両が制御に用いる情報〕 1. 歩道上を走行する自転車・歩行者の物標情報 〔インフラの仕様・性能〕 1. 送信頻度：10Hz 2. カメラ・LiDAR による自転車・歩行者の認識 〔横断歩道停止時：左折先上側〕 ⇒検出必要範囲：30m ⇒情報送信頻度：100msec 毎 3. 歩道上を走行する自転車・歩行者の物標情報 ⇒検出位置（距離） ⇒速度 ⇒タイムスタンプ… 4. 情報の精度 ⇒信頼度 ⇒未検知率：〇% ⇒誤検知率：〇% ※実験にて計測

confidential

7. 検証・評価（検証項目、検証方法）

7.4.インフラ協調による効果検証

■ インフラ情報を提供することによる円滑性等に関する効果をインフラ機器から検証する。

ユースケース	自律での走行ストラテジー	インフラ情報活用した走行ストラテジー
右折1-⑤-3【ガン研センター東病院T字路 右折】 歩道植栽外側の歩道を走行する自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断  ＜前提条件＞ ・対向車線側の街路樹、道路形状により、自律センサーで障害物検知不可能箇所が発生する。	1.交差点中心で一時停止する 2.対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識。 3.対向車線信号の灯色に関わらず、横断歩道手前もしくは、オクルージョンが解消される地点まで進行し念のため一時停止する。 4.歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認。 5.徐行して横断歩道を通過	1.交差点中心で一時停止する 2.対向車線上に車両・2輪車がいないことを認識、かつインフラから歩道上を走行している自転車がないことの情報を確認。 3.徐行して発進後、歩道上から横断歩道に向かって走行してくる自転車の存在がない事を確認しつつ、横断歩道を通過
	インフラ情報活用の効果（仮説）	
	【円滑性向上】 オクルージョン解消箇所での一時停止回避に伴うスムーズな右折の実現 【安全性向上】 オクルージョン解消箇所での一時停止回避に伴うジレンマ解消による後続車の無理な追越し行動の回避	
	実証実験での効果検証事項	
	【インフラ情報提供による効果確認】 ・右折先横断歩道通過時間の際による円滑性向上効果 【計測データ】 ・自律のみとインフラ情報活用時の歩道通過時間（停止線通過～右折先横断歩道通過時系列データ）を机上検討するために必要となるデータを検討	

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

8. 緊急時の対応（事故発生時の対応）

8.1.テーマ4　事故時　対外対応スケジュール

実施期限	内 容	意思決定・指示
事故発生から 30分以内目途	・実験実施機関から実験幹事機関に電話連絡（第一報）。 ・直ちに実験幹事機関からコンソーシアム参加団体、経産省自動車課、実験支援委託先に電話連絡。 ・幹事機関から地元関係者（千葉県警、柏警察署、千葉県、柏市）へ電話連絡。（※事故時緊急連絡網（第一報）を参照） ・実証実験は原則、一時中断。	
第一報から 1時間以内目途	・幹事機関からコンソーシアム参加団体、経産省自動車課に電子メールで連絡。 （※実証実験報告書を記入しメール添付）	
2時間以内目途	・対外対応、実証実験の中断継続等を一次判断【経産省自動車課】 ・一次判断に基づき、幹事機関がコンソーシアム参加団体に対応を、電話および電子メールにて連絡。	【一次判断】 経産省自動車課
4時間以内目途	・事故対策会議（WEB会議等）を開催し、対外対応方針を協議。この際、地元関係者（千葉県警、柏警察署、千葉県、柏市）への情報共有方針も定める。【コンソーシアム参加団体、経産省自動車課、国交省自動車局】 ・現地調査を実施【実験実施機関】	【対外対応方針】 経産省自動車課
6時間以内目途	・コンソーシアム参加団体は、事故対策会議により決定した対外対応を実施。 ・現地調査を実施【現地で対応でき次第、参加可能なコンソーシアム参加団体】	
12時間以内目途 事故発生が正午前 当日午後10時目途 事故発生が正午後 翌日午前10時目途	・対外対応方針に従い、実験実施機関もしくは経産省自動車課において、プレスリリース等を実施（記者会見は、事故の程度と現場状況、実験実施機関が急行出来るか等による）【実験実施機関、経産省自動車課】	【記者会見の要否】 経産省自動車課
24時間以内目途	・追加の事実等について、必要に応じ、事故対策会議（WEB会議等）の開催【コンソーシアム参加団体、経産省自動車課（任意：国交省自動車局）】 ・現地調査を実施【実験実施機関、現地で対応でき次第】	
72時間以内目途	・事故対策会議（WEB会議等）を開催し、事故の状況、原因等を踏まえ、実証実験を中断していた場合にはその再開の可否を判断するとともに、必要に応じ対外対応方針等を検討。 ・対外対応方針等に基づき、プレスリリース等を実施【実施機関、経産省自動車課】	【実証実験再開の可否】 経産省自動車課
事故原因等が判明次第	・実験実施機関がコンソーシアム参加団体とともに、事故原因をふまえ再発防止策を検討。 ・事故対策会議（WEB会議等）を開催し、対外対応方針および実験再開可否方針を決定。 ・対外対応方針等に基づき、プレスリリース等を実施。 （なお、適宜、第三者（有識者等）、関係省庁に確認をしてもらったうえで決定。）	【第三者委員会開催の要否】 経産省自動車課

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

confidential

8. 緊急時の対応（事故発生時の対応）

8.2.テーマ4　実証実験事故報告書

- 実験実施機関は実証実験事故報告書を作成し実験幹事機関に連絡。
- 実験幹事機関は関係者に電子メール共有する。
- 実験実施機関は、事故対策会議において本報告書を用いて事故報告を行う。


様式

実証実験事故報告書（第　報）

令和　年　月　日（　）現在

発信者		所属	運転者名
車両番号			
事故の種類			
発生日時		連絡・行先	
発生場所			
事故関係者（事故関係者が3名以上の場合は別紙に記載すること）	A		B
人的被害			
物的被害			
通報状況（通報時刻等は「事故の対応」に記入すること）			
事故の概要（SWIMにより時系列で記入すること）			
事故の対応（応急措置及び連絡の状況を時系列で記入すること）	月　日	時分	対応内容
今後の対応			
別　紙		連絡番号	


＜様式記入例＞

実証実験事故報告書（第X報）

令和X年X月X日OO　現在

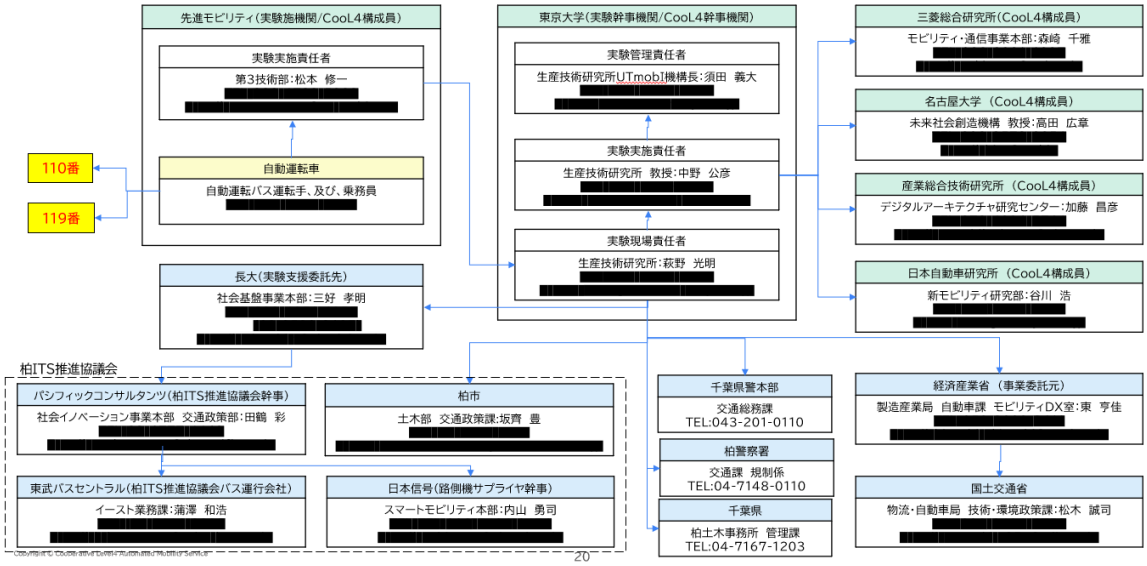
発信者	A社	所属	XX部XX課
車両番号	XX-XX		
事故の種類	人身事故		
発生日時	令和XX年X月XX日OO　XX時XX分頃	連絡・行先	第X報 おさかなセンター／実験参賀付
発生場所	XX降留所前の一般道との交差部		
事故関係者（事故関係者が3名以上の場合は別紙に記載すること）	A		B
	A社ドライバー1名、B社1名、C社1名の計3名乗車		個人所有の自動車のドライバー1名
人的被害	なし		ドライバー1名（約XX代女性）
物的被害	左前方部破損（自走可能）		前方部（ハンドル）破損（自走可能）
通報状況（通報時刻等は「事故の対応」に記入すること）	救急119にXX時XX分頃通報 警察110にXX時XX分頃通報		
事故の概要（SWIMにより時系列で記入すること）	・交差部に進行直後、一般道を走行する自動車と接触 ・すぐに実験車両はエンジン停止、ハザードランプを点灯させて停車		
事故の対応（応急措置及び連絡の状況を時系列で記入すること）	X月X日	X時X分	対応内容 ・負傷者を救護し、歩道に移動後、救急車搭乗
今後の対応			
別　紙		連絡番号	

Copyright © Cooperative Level4 Automated

confidential

8. 緊急時の対応（事故発生時の対応）

8.3.テーマ4　2023年度実証実験　事故時緊急連絡網（第一報）



confidential

8. 緊急時の対応（事故発生時の対応）

8.4.テーマ4　緊急連絡（第一報）受領後の行動指針

■ 各ステークホルダーは、時系列ごとに下記フロー図に従い行動すること。（別紙：拡大図）



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

21

(6) 2023 年度実証実験スケジュール

◆ 2023 年度実証実験スケジュール

		1/9-1/12	1/15－1/19	1/22－1/26	1/29-2/2	2/5-2/9	2/12-2/16	2/19-2/22	2/26-3/1
全体スケジュール		車両準備	準備・調整（コース適合作業）	車両認識性能再確認	準備・調整（コース適合作業）	走行確認・再調整		総合実験	車両メンテナンス / まとめ（予備）
自動運転車両（エルガミオ）	柏の葉公道	・車両整備 ・登録変更 etc	・走行経路生成（1/15, 16）	・（走行可能な日程で）各地点の認識性能確認（手動運転）	・走行経路適合作業 ・各地点の認識性能確認（手動運転）	・走行経路適合作業 ・各地点の認識性能確認 ・リスクシナリオへの対処確認	・認識に基づく走行制御調整（L2運行） ・インフラ情報の受信確認	・自律認識に基づく自動走行制御（L2運行） ・インフラ情報の活用効果を分析可能な走行データの取得	
	JARI テストコース			1/23,24,25,26 @V2X市街地 ・調整済み制動制御の確認 ・制動制御調整済みの状態での認識性能、走行制御結果確認		2/5 @特異環境試験場 ・照度違いによる後側方の認識性能評価			
インフラ路側機	柏の葉公道		・1/18-20：インフラ路側機設置	・1/25：インフラ路側機追加工事 ・路側機単体疎通確認	・車載機によるインフラ情報疎通確認	・2/5-9：一般車両（スズキソリオ）による公道に配備した路側機の評価実験			
	東大 ITS 実験フィールド	・路側センサー性能評価実験（PSNRD製全方位カメラ）			・路側センサー性能評価（PSNRD製全方位カメラ）				

図 52　2023 年度実証実験スケジュール

◆ 自動運転バスの公道走行日程（実績）

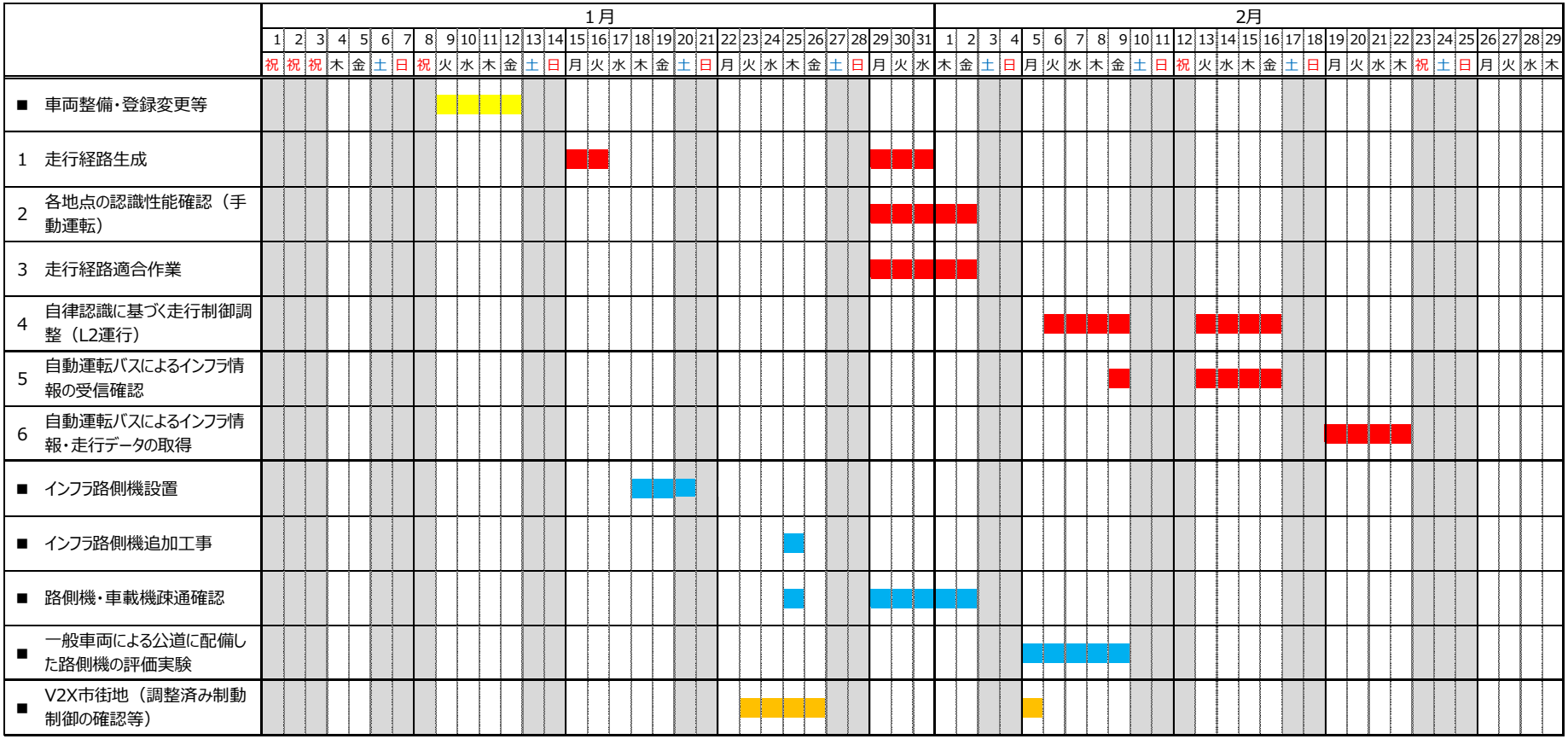


図 53　自動運転バスの公道走行日程（実績）

2)　協調型システムに関する法的な問題の検討

自動運転車両は、車載カメラにより信号灯色を認識するが、車載カメラ単体では信号灯色を認識できない場合や、逆光による認識精度が低下する場合等の課題が認識されている。これに対して、インフラから信号情報提供を行うことが求められており、既に V2I 方式が開発されている。協調型自動運転の信号情報提供に伴う法的責任（民事責任及び刑事責任）を検討するための前提として、令和 5 年度は、協調型システムにおいて信号情報を V2I 方式及び V2N 方式で車両に対して情報共有した場合の事故時の類型化を行う。次年度である令和 6 年度には、本節記載の類型に基づき、具体的な法的責任（民事責任及び刑事責任）の検討を行う予定である。

i)　前提条件：信号情報を提供する方法

信号情報を提供する方法は、大きく、路側インフラの無線路側機から直接車両に情報を送信する V2I 方式と、LTE 等のネットワークを利用してサーバー経由で車両に送信する V2N 方式がある。V2I 方式は、警察庁が信号制御機に独自仕様の無線路側機（灯色信号の ON / OFF をセンサーで検知し信号情報を生成する）を取り付けて無線で車両に送信するものと、それを民間が行うものに分かれる。V2N 方式には、民間が無線路側機を設置して、そこから事業者サーバーに信号情報を送信し、クラウド経由で車両に送信するものと、警察によって交通管制センター（管制方式）や交通信号制御機（集中方式、制御機方式）で生成される信号情報を LTE 等の回線を介して警察庁信号情報集約システムに一旦集約した後、配信センターに送り出すものがある。

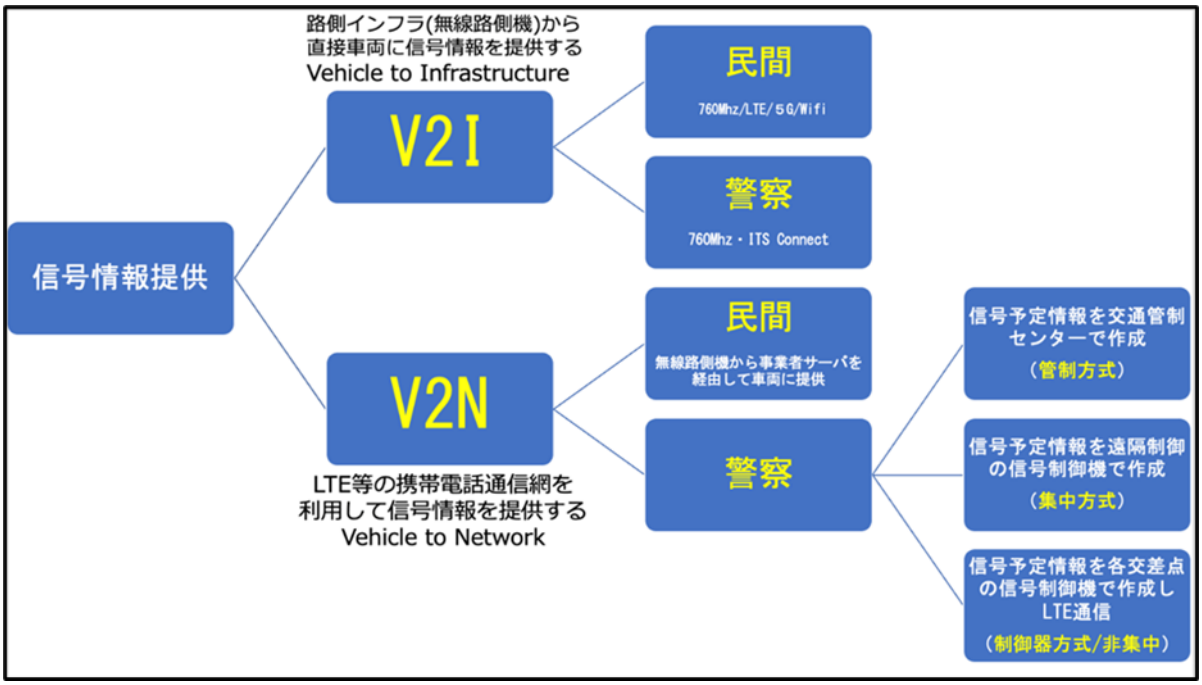


図 54　信号情報の提供する方法

本節では、民間（民間事業者が路側機を設置する方式）のみを検討対象とし[2] 、警察による整備（都道府県警察の交通管制システム）は射程外とする。民間のうちの V2I（無線路側機から車両への直接通信、図 55）及び V2N（無線路側機からネットワーク経由で車両へ通信、図 56）を検討対象とし、この場合の V2N とは、交通管制センター・警察庁信号情報集約システムを経由する方式ではなく、路側機から事業者等サーバー（クラウドを利用するネットワーク方式）を経由して車両にデータを送信する方式を想定する。

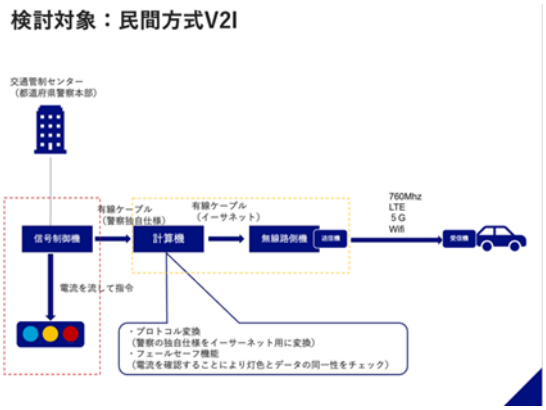


図 55　民間方式 V2I

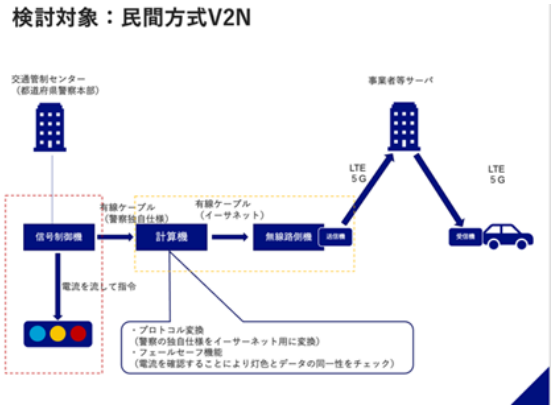


図 56　民間方式 V2N

ii）　前提：情報データ

本報告書では、カメラ認識で得る信号情報ではなく、データで送られてくる信号情報を検討の対象とする。信号情報には、「現在の灯火情報」だけでなく、「信号のサイクル情報」も含む。本報告書における信号情報とは、交差点の信号機の現在の信号灯火色および信号サイクル情報（次の信号灯火色および切り替わりまでの時間）等を指し、車灯器情報（車灯器 ID、灯色出力変化数、車両灯器情報：丸信号車灯色表示、青矢印信号表示方向、カウントダウン停止フラグ、最小残秒数、最大残秒数）を送信するものをいう[3]。

よって、車両等の位置情報や衝突予測情報および無線路側機のカメラによる画像は射程外とする[4]。

---

[2] 総務省「自動運転時代の“次世代の ITS　通信”研究会　中間取りまとめ」（令和 5 年 8 月）P.35 では、短期の課題として「民間事業者による 760MHz 帯 ITS　無線の利用拡大に関する制度化に向けた検討」が項目に挙げられている。

[3] 自動運転通信活用ユースケース向け 700Mhz 帯高度道路交通システムの実験用ガイドライン～SIP　ユースケース対応～ TS FORM　RC-018　1.1 版（2023 年 1 月）

[4] もっとも、警察庁の「協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討報告書（令和 5 年 3 月）」（以下、警察庁 R5 報告書と呼ぶ）の V2I にいう信号情報（無線路側期から送信されるもの）では、「交差点等において、信号灯火の変化、横断歩行者の有無等の周辺の交通状況に関する情報を ITS 用電波(760MHz 帯)で提供する」場合が想定されている。警察庁、協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討報告書（令和 5 年 3 月）、P.5

iii) 前提：V2I 方式と V2N 方式による差異

V2N は、汎用の受信装置を使用できるため V2I と比較して普及しやすいが、伝送遅延（V2N は、管制センター等を経由すればするほど、伝送遅延が生じリアルタイム性が損なわれる)、フェールセーフ機能（送信する信号情報が実際の信号灯火の出力と一致しているかをチェックし、一致しない場合には異常状態を通知する機能）の実現など、技術的に V2I（民間事業者による ITS 用電波(760MHz 帯)の利用拡大が検討されている）に及ばない部分がある。

これに対して、V2I 方式において、フェールセーフ機能が搭載されている場合には、誤った信号情報は同機能により車両に提供されないこととなる[5]。もっとも、信号灯火と「信号制御機から無線路側機にアウトプットされる情報」が齟齬する場合として、㋐信号制御機から信号機に電流がきちんと流れていない場合及び㋑電球が切れている場合等が考えられる。㋐信号制御機から信号機に電流がきちんと流れていない場合には、計算機にフェールセーフ機能があり、インフラから提供されるデータに問題がある旨の情報が含まれるため、その情報は使用されず、車載センサーで認識した灯火情報を使用して走行するので事実上問題はないと考えられる。㋑電球が切れている場合には、この点を感知してその旨を車両側にデータを送るようにはなっていないため、この対策は必要である。

また、V2I の伝送遅延に関して、交通状況等によって即時に信号が切り替わる感応制御の信号機については、情報提供の遅延等、信号情報の迅速な提供が困難な事象が生じることが把握されているものの、それ以外のものについては、おおよそ±100 ミリ秒以内の誤差で信号情報を提供することができるとされている[6]。なお、SIP 第 2 期の「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」において、日本自動車工業会等からの意見を踏まえ、信号情報をジレンマゾーン回避に活用するための機能要件として、実際の灯火と当該信号情報の誤差が±300 ミリ秒以内であること等が定義されており[7]、これにも合致している。さらには、信号制御機と無線路側機は有線でつながっており、そこでの遅延等の可能性も低い。よって、無線路側機から車両への通信遅延が原因となる事故の発生可能性は低いと考えられる。

iv) 信号情報による事故類型

前提として、道路交通法第 7 条(信号機の信号等に従う義務)は、「道路を通行する歩行者又は車両等は、信号機の表示する信号又は警察官等の手信号等(前条第一項後段の場合においては、

---

[5] 車両への異常通知遅延については、信号灯器が 3 色状態のときは 500m 秒、夜間等の閃光状態（黄点滅、赤点滅）のときは 1 秒の遅れであるとされる。SIP 成果報告書「インフラ協調型自動運転のための信号情報提供技術（V2I）の開発」(2021 年)、P.19。また、電圧の監視方法等によっては、フェールセーフ機能の作動が不十分となる可能性もある。

[6] 警察庁 R5 報告書、P5。

[7] SIP 成果報告書「インフラ協調型自動運転のための信号情報提供技術（V2I）の開発」(2021 年)、P.16 以下。

当該手信号等)に従わなければならない。」と規定しており、「信号機の表示する信号」にシステムも従う必要がある。現在から 2025 年ないし 2030 年頃までの短・中期的時間軸においては、自動運転車両が多様な交通主体が存在する混在交通下で走行することが見込まれるため、交通の安全と円滑の観点から、自動運転車両を含めた全ての交通主体は、実際の信号機の灯火を認識した上で、それに従うことが原則であり、当該原則は当面維持すべきものされている[8]。

したがって、路側機からの信号情報と車載センサーからの信号情報に齟齬があった場合の車両の動作について、以下では検討する。

① 警察庁の 4 類型

警察庁 R5 報告書によれば、交差点通行前に予定情報として活用するケースとして、交差点に進入する前の段階でのジレンマゾーン回避等、走行の円滑化の目的で信号情報を用いるケースが考えられている[9]。この場合、信号機の信号等に従う義務とは直接的な関連性が低いため、活用方法に特段の問題はないと考えられる。

交差点通行時に車載カメラにより信号機の灯火を認識した上でダブルチェックの目的で活用するケース、交差点を通行する際、車載カメラによる認識と信号情報の意味内容が異なるケースが考えられ、次の 4 パターンが想定される[10]。ただし、これらのケースは非常に確率が低く、それぞれのパターンの発生確率も異なることに留意が必要であるとされている。いずれのパターンにおいても、自動運転車両は、安全の観点からカメラ認識と信号情報のどちらかが「赤」である場合には停止するものと考えられている[11]。つまり、警察庁は、カメラ認識が「青」であっても、信号情報が「赤」であれば、安全側に振り、「停止」が選択されるべきであるという見解を前提としている。本報告書も、協調型自動運転を支える警察庁の見解に基づき、カメラ認識と信号情報のどちらかが「赤」である場合には停止するという挙動を前提とし、検討を行う。

1. 車載カメラによる認識が誤っている場合

(a) 実際の信号灯火が「青」で、信号情報は正しく「青」と提供されているが、車載カメラが「赤」と誤認識しているパターンにおいては、実際の信号が青にもかかわらず車両は停止することとなり、追突されるおそれや交通の円滑を阻害するおそれがある。

---

[8] 警察庁 R5 報告書 、P12。

[9] 警察庁 R5 報告書 、P13。

[10] 厳密には実際の灯火、カメラ認識、信号情報がそれぞれ赤青の組み合わせがあるため、8 類型であるが、警察用 R5 報告書 では、事故の可能性から 4 類型に絞っていると考えられる。青青青や赤赤赤は正常であり、青赤赤（追突・車内転倒事故）や赤青青 （交差点事故）もあり得るが、発生確率著しく低いと考えられる。

[11] 警察庁 R5 報告書 P.13。

(b) 実際の信号灯火が「赤」で、信号情報は正しく「赤」と提供されているが、車載カメラが「青」と誤認識しているパターンにおいては、結果的に実際の信号に従い停止するため、車載カメラの　みであれば信号が赤にもかかわらず車両が通行していたという重大な事象が発生することを排除することができる。

2.　信号情報が誤っている場合

(a) 実際の信号灯火が「青」で、車載カメラは正しく「青」と認識しているが、信号情報が「赤」と誤提供されたパターンにおいては、実際の信号が青にもかかわらず車両は停止することとなり、追突されるおそれや交通の円滑を阻害するおそれがある。

(b) 実際の信号灯火が「赤」で、車載カメラは正しく「赤」と認識しているが、信号情報が「青」と誤提供されたパターンにおいては、結果的に実際の信号に従い停止することとなる。

表 69　警察庁の 4 類型

	実際の信号灯火	信号情報	カメラ認識	挙動
A	青	青	赤	車両停止→追突/交通阻害
B	赤	赤	青	車両停止
C	青	赤（誤）	青	車両停止→追突/交通阻害
D	赤	青（誤）	赤	車両停止

A と C のパターンのみ、追突や円滑な交通の阻害が起きうる。しかし、A は車載カメラの誤認識が原因なので、信号情報に関係しない事故/リスクである。C についてのみ、誤った信号情報の提供が原因で事故/リスクが発生していることになる。

② 網羅的 18 類型

①の警察庁 4 類型を元に、車載カメラが認識した内容が「不明」であった場合と、送られてきた信号情報が「不明」だった場合を加え（おそらく、警察庁報告書では「不明」も「赤」に含めていると考えられるが)、すべての起こりうるパターンを網羅的に 18 類型想定し、事故態様について検討する[12]。本検討では、自動運転車両の挙動において、フルブレーキの急制動か緩やかな制動であるか等の事情は捨象し、大まかな状況のみを想定している。また、自動運転に携わらない後続車の責任は割愛する。

[12] 大元である信号灯火が停電等により「無灯火（不明)」となるケースも想定されるが、その場合には、道路交通法 7 条の前提を欠くため、本報告書では割愛する。

表 70　網羅的 18 類型

番号	信号灯火	信号情報	カメラ認識	挙動	事故態様	法的責任対象（可能性） ※自動運転関係者側のみ
1	青	青	青	進行	生じない	
2	青	不明	青	進行	生じない	
3	青	赤	青	停止	車内転倒、後続車追突等	インフラ、自動運転システム
4	青	青	不明	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、自動運転システム
5	青	不明	不明	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、インフラ、通信、自動運転システム
6	青	赤	不明	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、インフラ、通信、自動運転システム
7	青	青	赤	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、自動運転システム
8	青	不明	赤	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、インフラ、通信、自動運転システム
9	青	赤	赤	停止	車内転倒、後続車追突等	車載センサー、インフラ、通信、自動運転システム
10	赤	青	青	進行	交差点で衝突	車載センサー、インフラ、通信
11	赤	不明	青	進行	交差点で衝突	車載センサー、インフラ、通信
12	赤	赤	青	停止	生じない	
13	赤	青	不明	停止	生じない	
14	赤	不明	不明	停止	生じない	
15	赤	赤	不明	停止	生じない	
16	赤	青	赤	停止	生じない	
17	赤	不明	赤	停止	生じない	
18	赤	赤	赤	停止	生じない	

12 番以降において事故が生じないのは、カメラ認識と信号情報のどちらかが「赤」である場合には停止するという警察用の見解を前提とする場合である。

総じて、V2I の場合には、フェールセーフ機能により、信号情報が「誤り」である可能性は著

しく低いと考えられる。類型「4」が起こりうる事故態様のなかでは一番可能性が高い。インフラや通信側が責任を負う可能性があるのは、信号情報が不明、誤情報のときであるため、「3」、「5」、「6」、「8」、「⑨」、「10」、「11」である。もっとも、類型「7」・「8」は、車載カメラなどが主な原因（車載カメラが赤を認識していれば、停止になり、事実上、信号情報が正か不正か不明かを問わず、停止になるため、カメラ認識が主たる原因となる）の場合に起こる可能性があるが、車載カメラの信号認識率は非常に高いとされているものの、わずかでも誤認識、不検知なども生じうるため、協調型に関する事故としては想定されうる。もっとも、この場合は、カメラ認識のみが問題となるため、信号情報の提供に伴う事故類型にあたらず、検討から除外する。

以下では、類型「5」、のような、カメラ認識でも信号情報でも「不明」である場合には安全側に振り切り、「停止」をすることはやむを得ない。また、この際にカメラ認識が「不明」である以上、停止扱いになるため、信号情報が「不明」であることは意味を持たない。

結局のところ、実際は赤であるのにカメラ認識が「青」認識の場合に、「不明」ないし「青」の信号情報を送ってしまう場合の「衝突事故」（類型「10」・「11」）を除くと、信号情報のカメラ認識との組み合わせによるが、基本的には「後続車追突/車内転倒事故」がほとんどとなる。

③ 検討

「衝突事故」の場合も、「後続車追突/車内転倒事故」の場合も、法的責任の主体には、車両メーカー、車載カメラ（センサー）メーカー、（運行管理/整備に関して）運行事業者、車両整備事業者、信号情報に関して、都道府県警察、信号機メーカー、運行事業者、無線路側機製作者（管理者）、無線路側機の保守管理委託者などが想定される。V2N の場合は、サーバー管理者、情報通信会社等も主体になりうる。

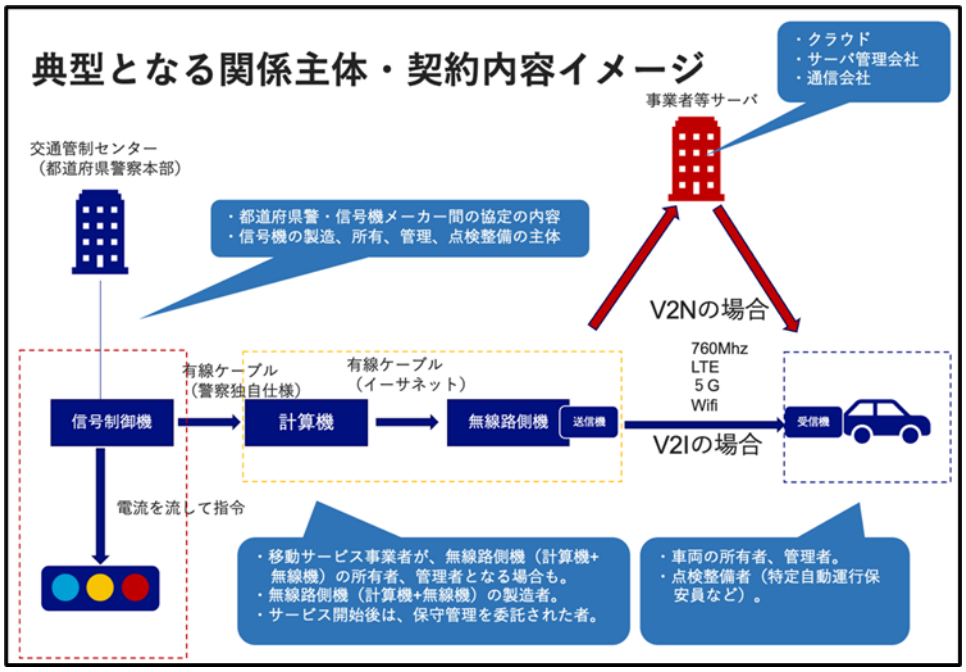


図 57　典型となる関係主体・契約内容イメージ

これらの主体に関して、以下の 3 種類の法的責任が考えられる。

まずは、民事責任①（被害者への損害賠償）である。各ステークホルダー間の契約によって損害賠償が否定されるものではなく、事故関係者間の契約は、故意過失の認定の一要素となる。

次に、民事責任②（ステークホルダー間での求償）である。発生してしまった損害/費用について、契約当事者間の求償内容は、それぞれの契約による。

最後に、刑事責任（業務上過失致死傷罪など）である。これも、各ステークホルダー間の契約によって刑事責任が否定されるものではなく、事故関係者間の契約は、故意過失の認定の一要素となる。

したがって、まずは信号情報提供のフローにおける契約関係を検討する。

v)　実験に関する申請要領

信号制御機等に接続する無線装置の開発については、警察庁が責任分界点に関する文書を出している。

① 責任分界点

「信号制御機等に接続する無線装置の開発のための実験に関する申請要領」（警察庁・令和 5 年 3 月）によると、実験の実施内の「留意事項」において、「(2) 協定書の締結　実験の実施に当たっては、接続する無線装置の取扱い、責任分界等を定めた協定書（実験の内容等に応じ、関係都道府県警察が定めることとなりますが、その一例は別添のとおりです。）を、関係都道府県警

察と申請者の間で締結していただきます。」とされている。その協定書の例には、「7. 責務　無線装置からの提供情報に起因する事故及び損害に関しては、乙がその責を負うものとする。」とされ、乙（＝信号制御機等への無線装置の接続、運用を行う者）に責任があると明示されている。

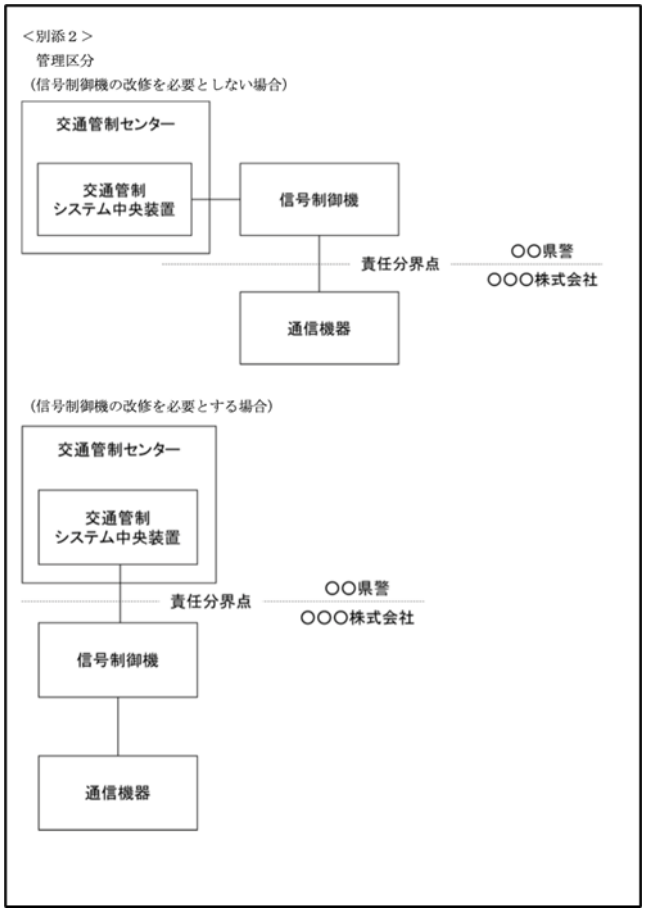


図 58　信号制御機等に接続する無線装置の開発のための実験に関する申請要領

（警察庁「信号制御機等に接続する無線装置の開発のための実験に関する申請要領」「別添・協定書例」より引用）

https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/kyoteisyo2.pdf

これによると、信号制御機を改修しない場合には、図 59 のようになる。

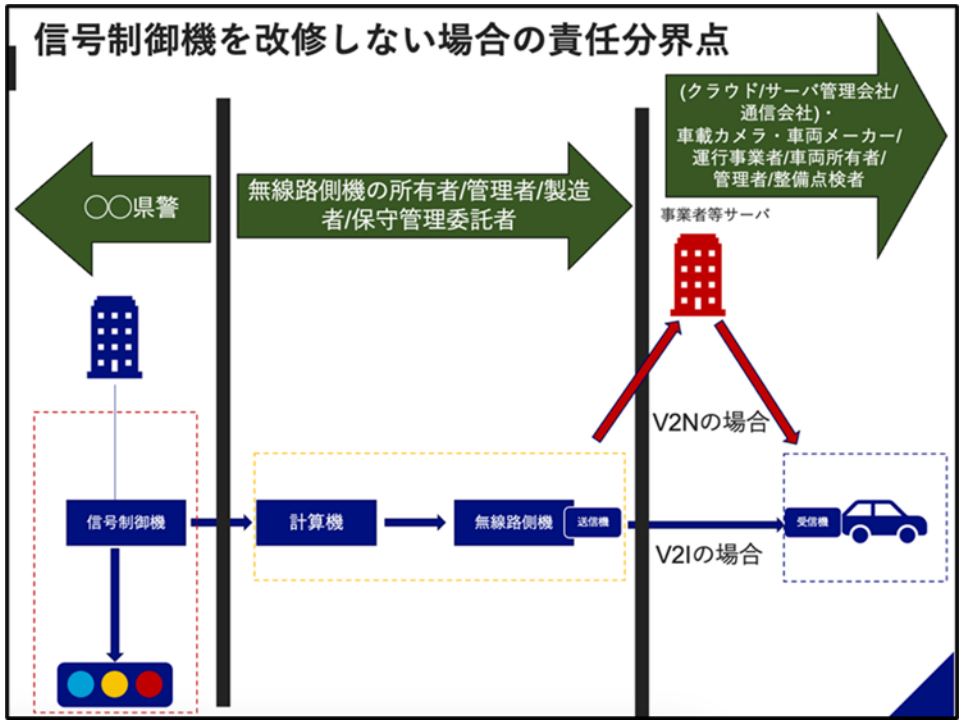


図 59　信号制御機を改修しない場合の責任分界点

信号制御機を改修した場合には、図 60 のようになる。

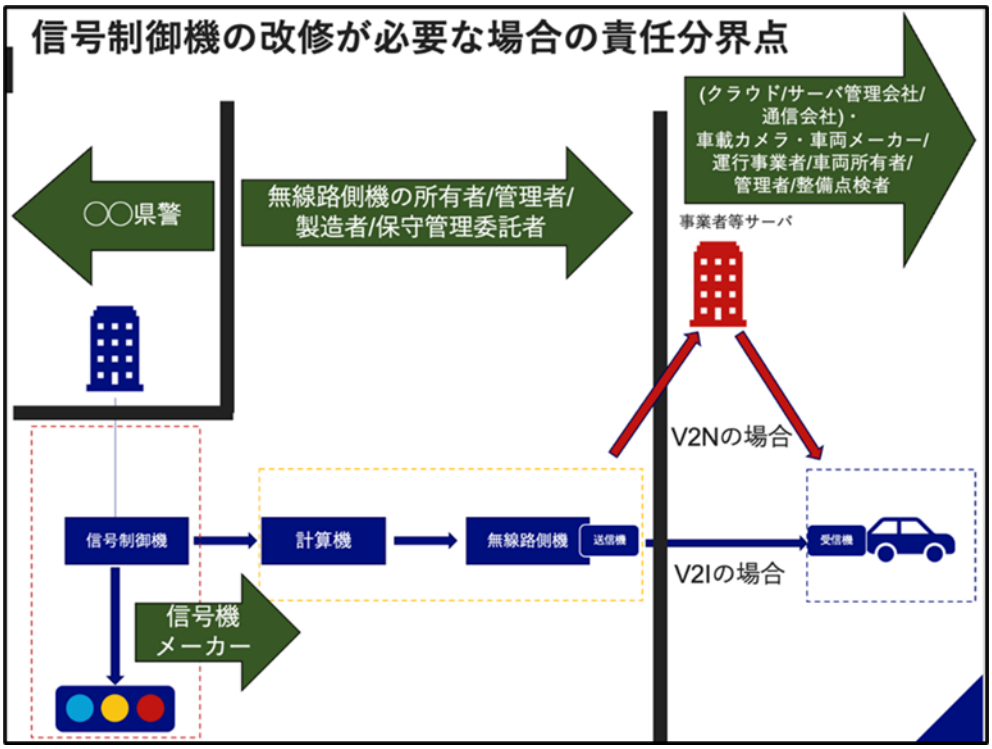


図 60　信号制御機の改修が必要な場合の責任分界点

ここの責任分界点の取り決めに関して、警察庁は、本申請要領は、自動運転技術開発を支援するため、公道上の信号制御機等に、信号情報を提供するための無線装置を接続する機会を民間事業者に提供することを目的として策定したものであるとする。そして、申請要領により許可された無線装置の接続時の責任分界点は、許可時の要領に基づくものとなり、接続した際の責任分界点については、民間事業者が準備・設置した装置は、民間事業者が責任を持って管理する趣旨のもと定めている。他方、改修の有無に限らず、信号機による交通規制の機能維持は警察にあり、将来、信号情報提供に関する検討がさらに進み、統一的なデータ規格や提供する方法、無線種別などが定まった段階で、当該責任分界点についても状況に応じた検討が必要になることから、現行の当該責任分界点の取扱いが将来的にも維持されるとは限らないと思われる。

したがって、現行の取り扱いが続く限りは、責任分界点に関する協定書の効果により、上記図59・図 60のように、事故時の責任主体が明確に分かれることになる。

以上を踏まえて、次年度には、本節記載の類型に基づき、具体的な法的責任（民事責任及び刑事責任）の検討を行う予定である。

■ 今年度の成果物

- 現時点で考えられる協調型自動運転移動サービス仕様案を策定した。
- 法的な問題について、信号情報を V2I で情報共有する際の関係主体、データの内容・管理状況及び想定される事故要因等を調査した。
- 中間報告書

■ 次年度以降の実施事項

- 中間報告書

2-2. 協調型自動走行システムの開発

＜この項目での実施事項＞

I. 協調型自動走行システム仕様検討・設計

II. 協調型自動走行車両の設計・試作・評価

III. 協調型路側機の設計・実装・評価

IV. 協調型システム評価環境の整備

V. データ連携プラットフォームの設計・開発・評価

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- ODD 設定のための交通シナリオの体系的な記述手法を提案し、柏の葉ルートの交通シナリオを記述した。
- 安全走行戦略の基本的な考え方を明文化し、混走空間で遭遇頻度の高い交差点通過について具体的な安全走行戦略ならびに安全な走行方法について検討した。
- 安全走行戦略の妥当性評価や交通参加者の行動傾向の仮説立案を目的とした現地交通実態調査により、柏の葉ルート上の交差点 2 か所の実勢速度、交通量を得た。
- 安全走行戦略の妥当性に係る関係者間での合意形成を支援する仮想環境を構築した。
- 柏の葉地区を ODD とした場合のレベル 4 自動運転車両の走行制御と認識に関する設計検討を行い、これを実現するための車両を試作した。
- 自動走行車両に対して、テストコースと柏の葉地区の実路での実車テストを実施し、安全走行戦略に基づく安全な走行方法に対して、今年度試作した走行制御と認識の課題を抽出した。
- 柏の葉公道においてインフラ協調が必要となる箇所と当該箇所で車両へ提供すべき情報をそれぞれ設定し、協調型路側機の仕様を設計し公道に実配備し、基本機能を確認した。
- 協調型路側機が協調型自動運転車両に及ぼす影響について数値計算で検討し、協調型路側機の効果，および問題点を把握した。
- 東京大学柏キャンパスの ITS 実験フィールドにおいて協調認識メッセージ送信ソフトウエアのフィールド実験を行いフィールド実験性能測定ソフトウエアを開発した。
- 3D 物理シミュレーション・交通流・ネットワークシミュレータを統合し、仮想空間における協調型システムの評価プラットフォームの開発を進めた。
- 柏の葉の実証実験環境に適応し，性能・品質・機能向上したデータ連携プラットフォームを構築した。
- 複数通信方式の併用と効率的な物理フォーマットについて検討し実装評価を行った。
- 公開鍵基盤（PKI）に基づき、仮名 ID 方式を用いたセキュリティ管理システムを開発した。

■ 実施事項と実施方法

Ⅰ.　協調型自動走行システム仕様検討・設計

1)　柏の葉における協調型自動走行システムの ODD 設定

i)　はじめに

SAE 運転自動化レベル 4 の機能を備えた車両による自動運転(以下、レベル 4 自動運転)は、特定の条件下において運転タスク(Dynamic Driving Task、以下 DDT)を実行する。特定の条件は時間、空間、その他の要因から定義され、車両が走行する環境を限定し、遭遇しうる、あるいは、想定すべき現象を有限なものにする。それにより、自動走行に際し求められる機能と性能の水準を現状の技術に可能なものまで DDT を制約する。すなわち、レベル 4 自動運転は、実現可能な機能と性能を有する車両およびそれを補助する機能を持ったものによって、限られた環境下での自律的な走行を行うことだと言える。この、限られた環境下でレベル 4 自動運転がどのように DDT を実行し、どのような結果が想定されるのかを示すものが、ODD と呼ばれる運行設計領域（Operational Design Domain、以下 ODD）である。ODD は SAE の運転自動化レベル 1～5 のいずれにおいても必要となる概念であり、最上位に位置する設計構想ともいえる。ただし、レベルに応じて ODD で定義すべき内容の範囲は大きく異なる。本プロジェクトで想定している運転自動化レベル 4 では、限られた機能で自動走行を実現するため、走行環境を可能な限り限定することが考えられる。ODD の検討は自動運転によって実現したいサービスの定義から始まり、具体的なサービス実現のフローを定め、それを実現することが可能な具体的な機能を選定してゆく。この作業は、開発 V 字モデルを参考にすれば、おおよそ次の図で示すことができる。

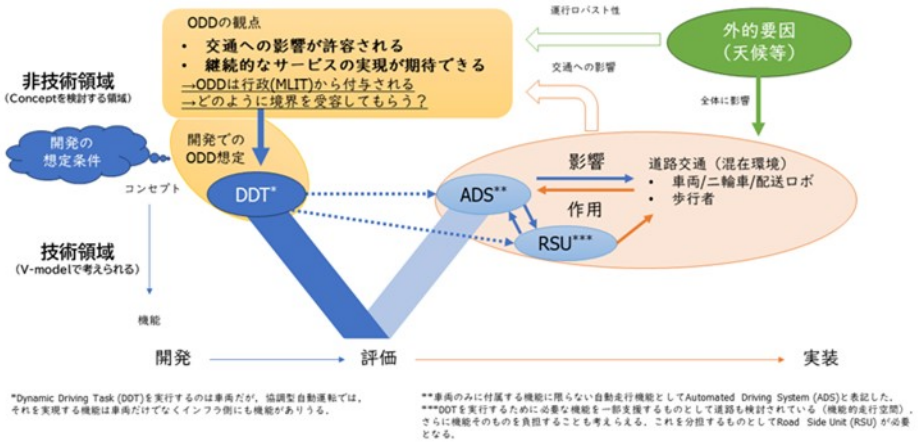


図 61　ODD を定義する際の検討フロー

レベル 4 自動運転を想定する本プロジェクトでサービス実現のフローとして想定されるのは安全走行戦略と称されるものである。安全走行戦略は他の交通参加者も混在する環境でレベル 4 自動運転の車両がどのように走行すれば既存の法規制に違反することがないかを文章としてまとめ

たものである。この戦略に従って移動サービスを実現するためには、選定された機能が実現される交通環境を検討して整理することが必要である。そのための交通環境の表現については、既に先行研究の事例が存在する。国際的には、ある交通環境を時系列に沿って一連の流れとして表現する Scenario の考え方[13]を導入した Scenario based approach が有名であり、その表現の抽象度合いによってカテゴリも分けられている。漠然とした交通環境を表現するものを Functional、その中に具体的な登場人物の種類や物理的な表現に必要なパラメータを定義して値の範囲を定めた Logical、さらに固定された値を代入した Concrete の区分が知られており、最近では、Functional と Logical の間に Abstract と称するシナリオ概要を表現する考え方も提案されている。また、その具体的な表現方法としてはドイツの PEGASUS および PEGASUS-family と称される後継プロジェクト群で採用された 6-Layer model に基づく交通環境の表現が有名であり、これを実践したものとして ASAM による OpenScenarioXML[14] などが具体例に挙げられる。シナリオによる交通環境の表現では、計算機内でシナリオを設定するための専用言語が考案されている。これらの検討事項は本事業に先行してなされているものであり、それぞれの知見に基づいて、ODD 定義や安全性評価といった今後レベル 4 自動運転の実装に向けて必要な手順に関する研究は本事業に先行して独自に進んでいるものも多い。2025 年時点での全国 50 カ所における自動走行システムの実装に向けては、先行研究での検討結果も取り入れながら、インフラとの協調によるレベル 4 協調型システムの全体構成や評価方法を検討することが望ましい。以上の背景をふまえ、本年度の事業では、2025 年のレベル 4 自動運転の実施が想定される柏の葉地区でのコースを対象として、交通環境のシナリオの整理とその特徴を抽出した。

ii) ODD 検討に向けた交通シナリオの定義

本事業では ODD の検討を、事業モデル検討チームの検討内容も参考にして、実現したい移動サービスのコンセプトからトップダウンで行うが、一方でコンセプトの設定に際しては、どのようなルートであれば、想定する自動走行車両の機能、インフラ側に期待される機能のもとで走行できるのかもコンセプト定義には重要である。想定されるルートがどのような交通環境にあって、何を想定するべきなのかを体系的に整理することで、自動走行車両による走行が可能な条件を照らし合わせて、移動サービスから除外すべき交通環境なのか、インフラによる支援があれば走行が可能な交通環境なのかを定めることができる。具体的には、交通環境の場面であるシーンと、それらが一連したシナリオが体系的に整理されたのち、想定する自動走行車両が走行可能な具体

---

[13] (S.Ulbrich,et.al,2015) 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, Gran Canaria, Spain, 2015, pp. 982-988, doi: 10.1109/ITSC.2015.164.

[14] https://www.asam.net/standards/detail/openscenario-xml/

的なものを集約し抽象化することで、その輪郭として ODD が定義される[15]。図 62 にそのイメージを示す。

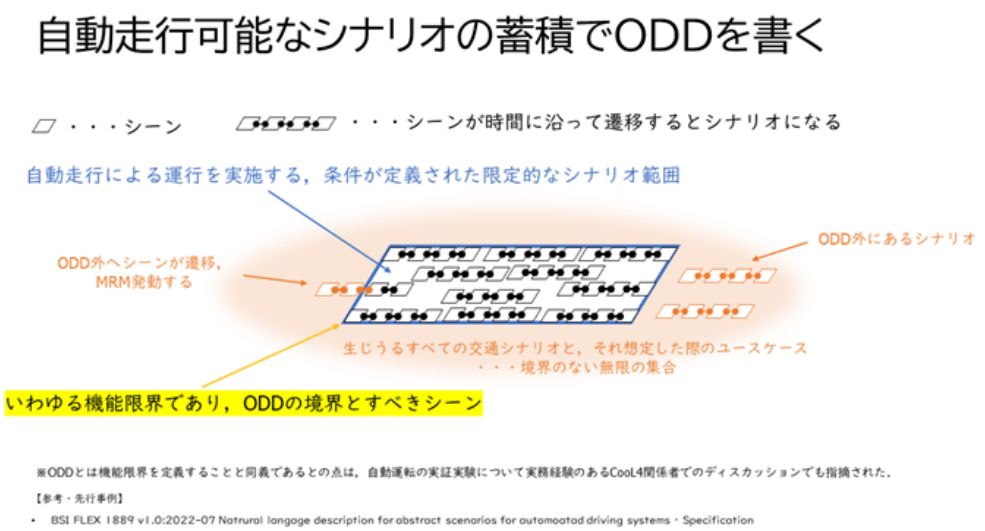


図 62　ODD と交通シナリオの関連

交通環境の表現では、シーンやシナリオの表現において、どのような構成要素があるのか、どのように記述できるのかといった 2 点が重要である。前者についてはドイツでの自動運転研究プロジェクトを中心に一定の成果を収めた先行研究事例があるので、それに沿って検討を進めた。まず、交通環境そのものは、道路や街路樹といった静的なもの、工事現場など一時的な閉鎖といった準静的なもの、車両や歩行者といった動的なものに大別される要素から成る。これに加えて、V2X に関する通信網も近年では交通環境に関連するものとして扱われる。ドイツの先行研究事例ではこれらを 6 階層に分けて考えた 6-Layer Model[16]として定義している。本プロジェクトでも先行するドイツの 6-Layer Model に倣った階層構造を設定した。

[15] bsi, BSI Flex1889 v1.0:2022-07 Natural language description for abstract scenarios for automated driving systems- Specification, (2022)

[16] (M. Scholtes, et.al, 2021) Maike Scholtes, Lukas Westhofen, Lara Ruth Turner, Katrin Lott, Michael Schuldes, Hendrik Weber, Nicolas Wagener, Christian Neurohr, Martin Herbert Bollmann, Franziska Körtke, Johannes Hiller, Michael Hoss, Julian Bock Lutz Eckstein, 6-Layer Model for Structured Description and Categorization of Urban Traffic and Environment, IEEE Access, Vol.9 (2021), pp.59131-59147

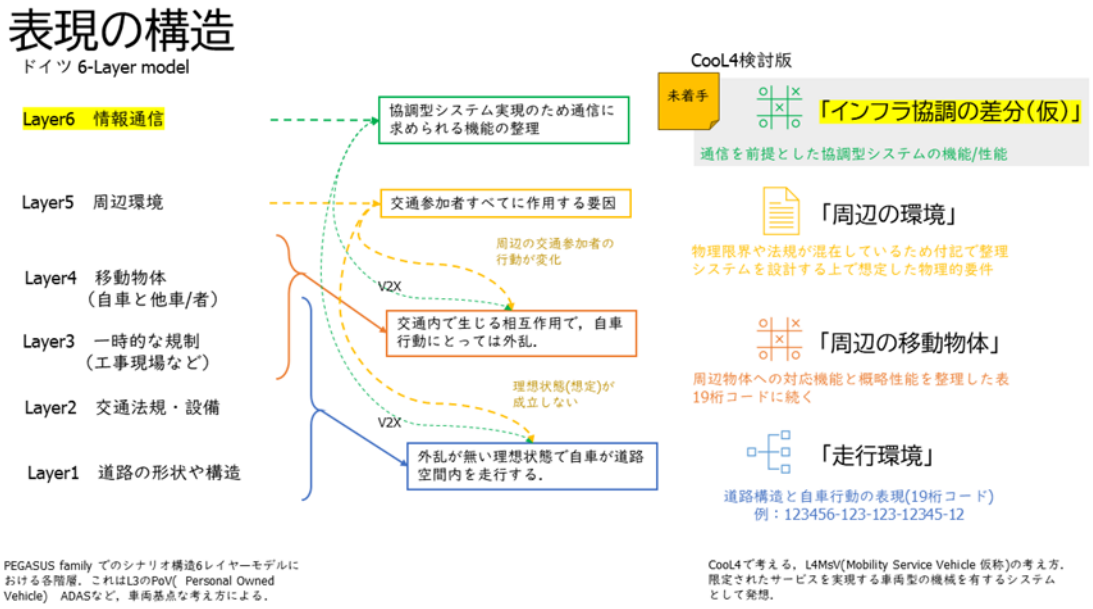


図 63　6-LayerModel と交通シナリオ表現要素の階層構造比較

図中の左側には 6-Layer Model を、右側には本事業で検討すべき項目に対応する内容を示す。本事業で設定したモデルは、「走行環境」、「周辺の移動物体」、「周辺環境」と「インフラとの協調によって変化する差分」の 4 項目を有する。これらは今回の検討のもととなった 6-Layer Model とそれぞれ破線で結んだように対応している。走行環境は単路や交差点といった道路の形状、ガードレールや車線といった道路に付随する設備を定義する。これらは静的なものと見なせる。周辺の移動物体は、自車の進路と交錯するように進んでくることが予見される物体である。具体的には、自車と同一の走行車線や対向車線等を走行している車両や二輪車、走行車線に沿った歩道や横断歩道上を移動する自転車や歩行者である。これらは動的なものである。周辺環境は、天候や日照条件といった、自車や周辺の移動物体の振る舞いに影響するものである。インフラとの協調によって変化する差分は、本事業における目的の一つである、インフラ協調による自動運転を実現する際に、車両単独では困難な交通シナリオでインフラが支援する際に伝達する通信手段などを定義している。本年度事業では詳細な検討に至っていないが、次年度以降の検討では情報利用が可能か否かを定義することを想定している。

iii） 交通シナリオの表現方法

本事業では交通シナリオを前述した静的要素と動的要素の組み合わせによって表現した。図

64 にその概要を示す。シナリオを表現する構成要素については、先行研究や先行事例[17,18]、を踏襲している。

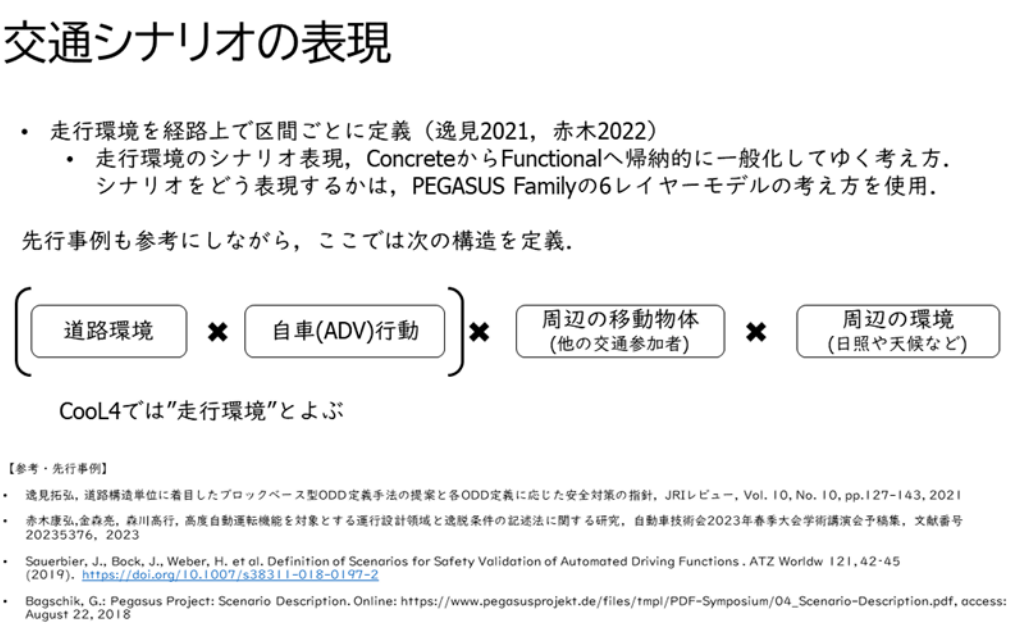


図 64　交通環境シナリオの定義と走行環境の定義

2022 年度に試作した柏の葉地域における協調型システムの ODD 設定法を発展させ、自動走行システムの安全性評価にも活用できる ODD 設定法を構築した。2022 年度の方式では、ODD 設定にあたり以下の 5 種の段階により ODD 設定を明確化するものとしていた。

(1) 運行路線の交通環境と通行方法の定義（ドメイン名空間定義）
(2) 運行区間のドメイン定義
(3) 各運行区間において遵守すべき法規の確認
(4) 自動走行機能の動作条件定義と条件逸脱時の対応
(5) 運行区間別に用いる自動走行機能の分類

この段階のうち、(4)および(5)は協調型システムと密接に結びついており、交通シナリオやセンシング性能、走行判断機能等を詳細に説明する必要があることから、本年度の報告書において

[17] bsi, PAS1883:2020, Operational Design Domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) -Specification, (2020)
[18] 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 Ver 3.0 , 一般社団法人 日本自動車工業会 自動運転部会 AD 安全性評価分科会,(2022)

は次節（安全走行戦略）として報告するものとし、本節では(1)～(3)の事項を新たに整理する。

まず、2022 年度の成果から ODD 設定の基本的な情報として、自動運転車両が通行する道路環境（道路の物理的形状、道路構造物、進路、交通規制等）の分類を定める。本年度は、自動車工業会での取組をはじめとする類似する先行的な交通環境の分類法を発展させ、レベル 4 自動運行に適した分類法を定義した。まず、大分類、中分類、小分類の階層構造を図 65 に示す。大分類としては、道路形状と進路の 2 分類がある。道路形状は物理的な形状に加え、交通法規上の定義にある信号等の規制情報も含まれる。この分類は道路環境に付帯するものであり環境固有の静的な項目であり、通行する車両とは原則的に独立した情報である。他方の大分類である進路は、車両が通行しようとした際に定まる動的な情報であり、特定自動運行においては ODD で定めようとする通行方法をあらかじめ明示する目的で用いる。

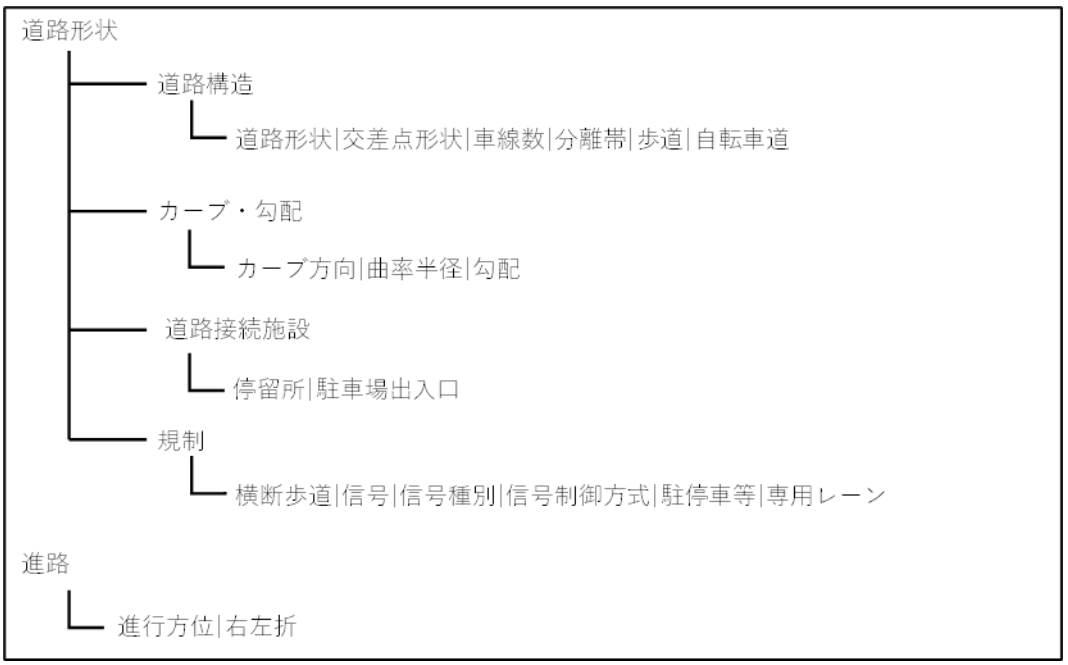


図 65　交通環境分類の階層構造

大分類のうち道路形状には 4 種の中分類があり、それぞれに複数の小分類がある（表 71）。ここでは、中分類毎に小分類に該当する細目の詳細について個別に説明する。まず、中分類「道路構造」には 6 種の小分類がある。道路構造は語彙のとおり、通行のために区画された道路上の区分や通行帯を表す分類である。この分類により、自動運転車両が通行しようとする道路環境が交差点であるかどうかや歩行者や自転車等への考慮が必要な環境なのかどうか等、他の交通参加者との関連性を示すことができる。また、細目が空欄にも関わらず細目番号が設定されている事項は、先行研究における細目番号との対応をとるための措置である。中分類「カーブ・勾配」は交通環境の物理的形状を表し、センシング範囲や速度制御等に特別な考慮が必要となる可能性があ

る地点を規定するために設けた。中分類「道路接続施設」は交差点以外で自動走行の際に安全上の懸念となりやすい他の交通参加者との交錯地点を定義した。特に移動サービスにおいては停留所周辺での安全性検証は重要な事項となることから、道路構造とは別に分類を設けた。最後の中分類「規制」は交通法規等により通行方法に特段の規制を与える地点を区別するために分類を設けた。規制の中でも特に信号機の形態は多様であり重要であることから複数の小分類により詳細にその動作を定義できるようにした。各細目は各分類に該当する概念を網羅していることから、本分類法は任意の経路を形状や規制に応じて客観的に分類することができる。これにより、自動運転車両が通行可能な環境を詳細に理解できるとともに、安全性評価を実施すべき交通環境を明確に規定できる。

表 71　道路形状の中小分類と細目

道路構造											
道路形状		交差点形状		車線数		分離帯		歩道		自転車道	
0		0	非交差点	0	交互交通	0	なし	0	区画線なし	0	区画線なし
1	出入口	1	十字	1	片側１車線	1	分離帯	1	区画線あり	1	区画線あり
2	単路	2	丁字	2	片側２車線	2	車線分離標	2	歩道あり	2	自転車通行帯
3		3	多差路	3	片側３車線以上			3	柵付き歩道	3	歩道通行
4	交差点	4	ラウンドアバウ	4	一方通行			4		4	
5	分岐	5	踏切	5							
6	合流	6		6							
7	併用軌道										

カーブ・勾配					
カーブ方向		曲率半径		勾配	
0	直線	0	無限大	0	平坦
1	左カーブ	1	大	1	上り
2	右カーブ	2	小	2	下り

道路接続施設			
停留所		駐車場出入口	
0	なし	0	なし
1	パスベイ	1	あり
2	バス停		
3	路面電車停留所		

規制											
横断歩道		信号		信号種別		信号制御方式		駐停車等		専用レーン	
0	なし	0	なし	0	なし	0	なし	0	なし	0	なし
1	横断歩道	1	あり	1	矢灯なし	1	通常	1	駐車禁止	1	右折レーン
2	自転車通行	2		2	右折矢灯あり	2	押しボタン	2	駐停車禁止	2	左折レーン
3		3		3	左折矢灯あり	3	時差式	3	停止禁止	3	
				4	3方位矢灯あり	4	歩車分離	4	導流帯		
				5	赤点滅	5	感応式	5	安全地帯		
				6	黄点滅			6			
								7			

次に大分類「進路」の詳細について説明する（表 72)。進路は車両のとりうる進路を記述するためのものであり、大分類「道路形状」で定義した交通環境の中から、どのような進路をとる場合を ODD として設定するのかを明示することができる。小分類「進行方位」は、方位により日照条件が変化することを考慮して設けた。以上の分類法を用いることで、ODD 設定の基本となる

自動運転車両の通行する道路環境に関する事項を分類することができる。

表 72　大分類「進路」の細目

進路			
進行方位		右左折	
0	不問	0	直進
1	東	1	左折
2	西	2	右折
3	南	3	左車線
4	北	4	右車線

次に、自動運転車両の安全走行戦略を立てる上で重要な概念である他の交通参加者の行動の分類法について説明する。道路形状に関する分類は物理的な構造物や自動運転車両に対する規制や進路を記述するものであり、他の交通参加者のふるまいについては分類していない。自動走行時の安全走行戦略を考えその安全性を論証するためには、考慮すべき他の交通参加者の行動を協調型システムが確実にとらえ、交通法規に則り安全に対応することが求められる。そこで、他の交通参加者の行動を体系的に分類することで、ODD 設定時に対応可能な他者行動の範囲を定義できるようにした。表　73 に他者行動の分類を示す。本分類は、車両が道路を通行する際の視点から、他の交通参加と進路が交錯する場合を抽出し分類したものである。他の車両の行動として、対向および左右の交差車線、並進路線を通行する際の相手進路を記述する。その他の進路が交錯する対象者としては、横断歩道を通行する歩行者および飛び出し等により自車の交通区分に侵入してくる対象者を細目に示した。

表 73　他者行動の分類

分類	対向車線	交差車線(左方)	交差車線（右方）	交差歩道	並進交通	交通区分外進入
細目	直進	直進	直進	流入	先行車	歩行者
	右折	右折	右折	流出	後続車	自転車
	左折	左折	左折		左車線	二輪車
	路側等				右車線	四輪車
					路側等	

以上の体系的整理の下に走行環境を表現すると、図　66 のように一つの番号で表現することができる。本事業では次年度以降の実証実験および 2025 年時点目途のサービス実装を予定している柏の葉地区を具体例としてこの手法によって走行環境を整理する。ただし、本事業で整理した結果は柏の葉地区に特化した検討内容ではなく、一般性を持たせた内容となっている。ゆえに、同様の手法により日本国内で想定される走行環境の多くを表現することが可能だと期待される。

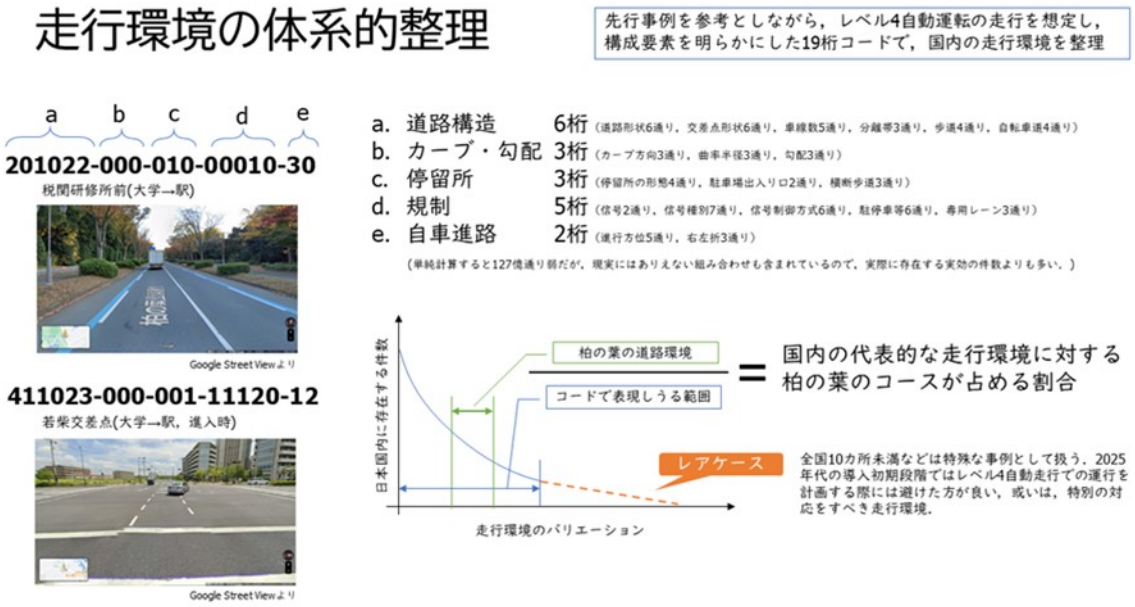


図 66　走行環境の体系的整理イメージ

また、定義された走行環境に対して、予見される交通参加者の振る舞いをあわせることで、どのような走行環境を自車が通過するときに、何に注意すべきであると予見されるのかも整理できる。表 72 で定義された交通参加者の動きを図示すると図 67 のとおりとなる。

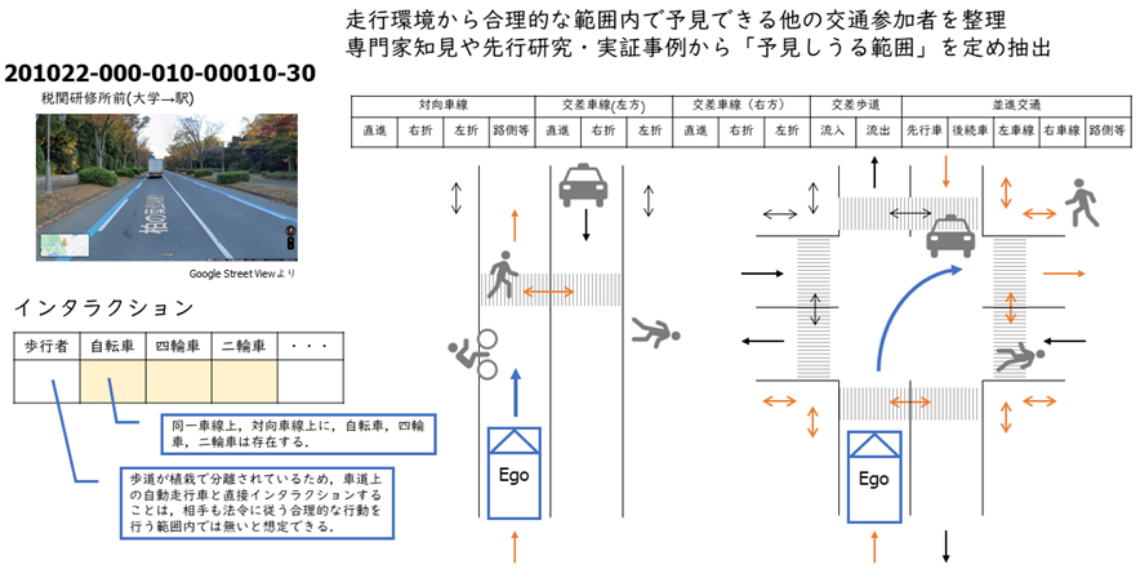


図 67　他車行動分類に従った交通環境において予見すべき対象の整理

走行環境に加え予見される交通参加者をまとめたものを本プロジェクトでは交通シナリオとして扱う。交通シナリオは自動走行車が走行する実環境を表現したものである。このなかで、他の

交通参加者の行動を予見する部分は、どのような知見に基づいてなされたのかを可視化することが望ましい。レベル 4 自動運転を前提とする特定自動運行では、地域住民の理解も認可に際しポイントの一つとして挙げられている。どのような検討を踏まえて自動走行のシステムを設計していったのかを説明することはこの点に応えるための要件と考えられる。本事業で取り組んでいる ODD の検討では、これを満たすように検討方法を組み立てており、図 68 のとおり既に存在する検討結果を取り入れられる構造としている。

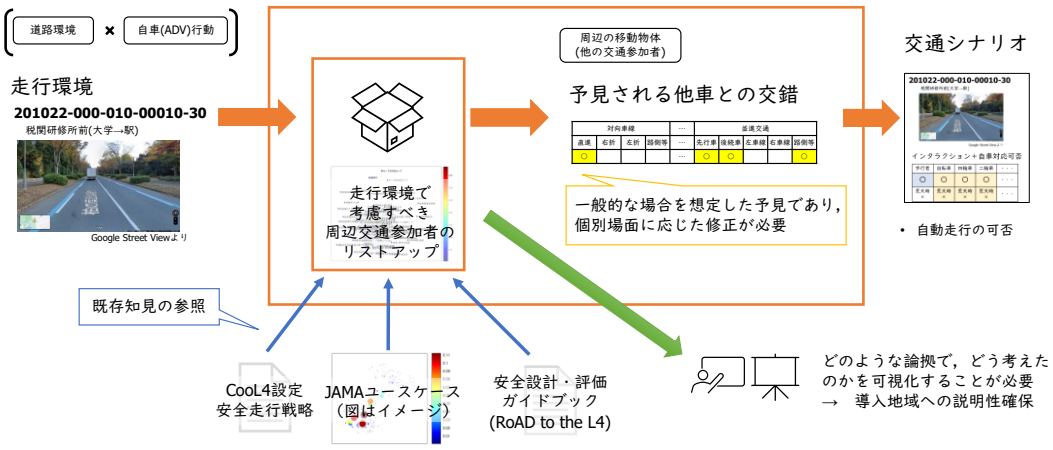


図 68　本事業で定義する交通シナリオ表現構造

iv)　柏の葉に置ける走行環境の定義

本事業では、自動運転による移動サービスを行う地域として柏市柏の葉地区を設定している。この地域での具体的なルート設定は事業モデル検討による選定がなされているところであるが、複数あるルート案のいずれも、柏の葉キャンパス駅西口から、千葉県警第三機動隊の庁舎、科学警察研究所の前を経て、柏の葉公園通りを北進する、現在もレベル 2 自動運転バスが走行しているルートが必ず含まれる。本年度はこのルートを対象として走行環境の整理を行った。走行経路は方向別に 1. キャンパス駅から大学方向、2. 大学からキャンパス駅方向と分けられる。走行環境の表現方法に従ってコースを分解すると大学方向へのルートは 19 個の走行環境で表現でき、駅方向へのルートは 28 個の走行環境で表現できる。表 74 に走行コースの一覧を示す。図 69 には大学方向のルートで分解された走行環境を、図 70 には駅方向のルートで分解された走行環境を、それぞれ地図上に示す。

表 74　柏の葉に置ける走行環境定義案

地点	シーン固有番号	19 桁コード
ららぽーと->若柴交差点(自動走行始点)	U-1	202123-000-100-00010-40
ららぽーと->若柴交差点	U-2	202123-000-000-00010-40
ららぽーと->若柴交差点	U-3	422100-000-000-00020-40
ららぽーと->若柴交差点	U-4	202123-000-000-00010-40
若柴交差点	U-5	202123-000-000-00010-40
若柴交差点	U-6	203123-000-000-00022-40
若柴交差点	U-7	413023-000-001-11120-41
若柴交差点	U-8	411023-000-001-00020-21
科警研前	U-9	201023-000-010-00010-20
科警研前	U-10	411023-000-000-00010-20
科警研前	U-11	201023-110-000-00000-20
科警研前	U-12	421023-000-000-00020-20
科警研前	U-13	201023-000-000-00010-20
関税中央研修所交差点	U-14	202023-000-000-00041-20
関税中央研修所交差点	U-15	202023-000-000-00011-20
関税中央研修所交差点	U-16	422023-000-001-11121-22
関税中央研修所交差点	U-17	421022-000-001-00000-42
税関研修所前	U-18	201022-000-010-00010-40
税関研修所前（自動走行終点）	U-19	201022-000-200-00000-40
東大構内ゲート退出後(自動走行始点)	S-1	201123-000-000-00010-30
東大前交差点	S-2	421123-000-002-11520-31
東大前交差点	S-3	421023-000-002-00020-11
ガン研交差点	S-4	201023-000-100-00010-10
ガン研交差点	S-5	201023-000-000-00010-10
ガン研交差点	S-6	202023-000-000-00011-10
ガン研交差点	S-7	422023-000-001-11321-12
ガン研交差点	S-8	421023-000-001-11320-32
税関研修所前	S-9	201022-000-010-00000-30
税関研修所前	S-10	421022-000-001-00021-30
税関研修所前	S-11	201022-000-210-00000-30
税関研修所前	S-12	201022-000-010-00000-30
関税中央分析所交差点	S-13	201022-000-000-00010-30
関税中央分析所交差点	S-14	201022-000-000-00010-30
関税中央分析所交差点	S-15	421022-000-001-00020-11
科警研前	S-16	201023-000-010-00000-10
科警研前	S-17	421023-000-000-00020-10
科警研前	S-18	201023-210-100-00010-10
科警研前	S-19	411023-000-000-00010-10
若柴交差点	S-20	201023-000-000-00010-10
若柴交差点	S-21	201023-000-000-00011-10
若柴交差点	S-22	201023-000-000-00011-10
若柴交差点	S-23	411023-000-001-11120-12
若柴交差点	S-24	412123-000-001-11120-12
若柴交差点->ららぽーと	S-25	202123-000-010-00010-30
若柴交差点->ららぽーと	S-26	422123-000-000-00020-30
若柴交差点->ららぽーと(自動走行終点)	S-27	202123-000-200-00020-30

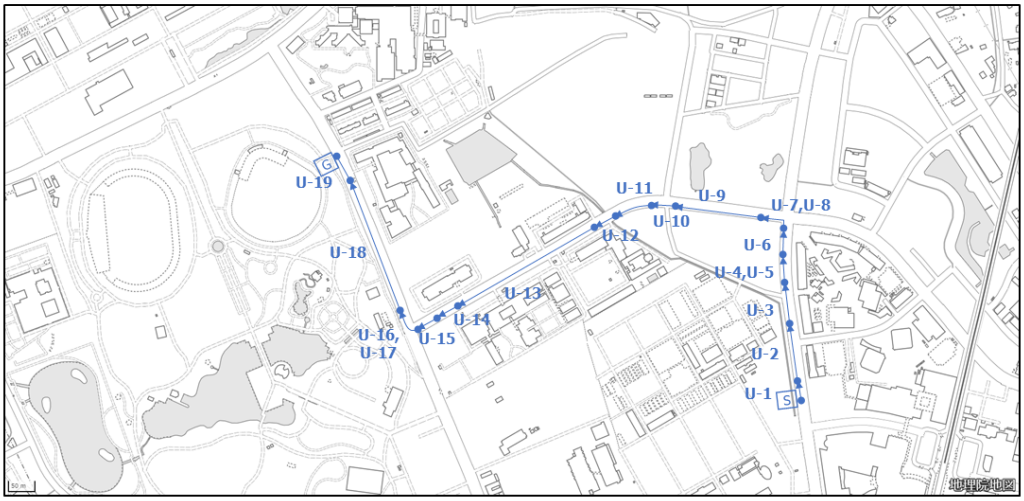


図 69　駅から大学へ向かう経路の走行環境定義案

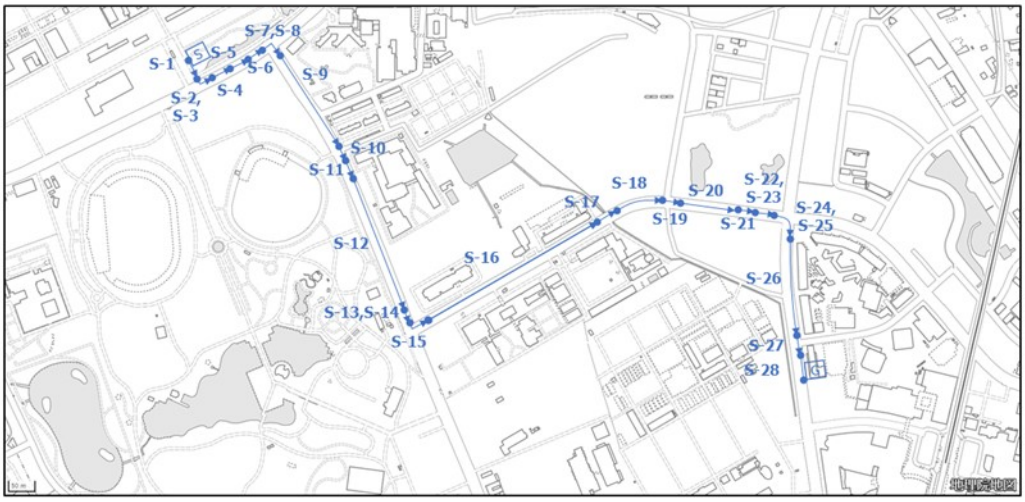


図 70　大学から駅へ向かう経路の走行環境定義案

この走行環境下で留意すべき交通参加者を選択したものを表 75 に示す。表 75 において黄色に着色したセルは表側の走行環境において考慮すべき、表頭に示す周辺の交通参加者である。

表 75　柏の葉の走行環境で考慮すべき周辺にいる交通参加者の抽出案

地点	シーン固有番号	対向車線				交差車線（左方）			交差車線（右方）			横断歩道		並進交通				
		直進	右折	左折	路側等	直進	右折	左折	直進	右折	左折	流入	流出	先行車	後続車	左車線	右車線	路側等
ららぽーと->若柴交差点（始）	U-1													x	x		x	
ららぽーと->若柴交差点	U-2													x	x			
ららぽーと->若柴交差点	U-3					x	x	x						x	x			
ららぽーと->若柴交差点	U-4													x	x			
若柴交差点	U-5													x	x			
若柴交差点	U-6													x	x		x	x
若柴交差点	U-7											x		x	x			x
若柴交差点	U-8	x											x	x	x			x
科警研前	U-9	x												x	x			
科警研前	U-10	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x			
科警研前	U-11	x												x	x			
科警研前	U-12	x								x				x	x			
科警研前	U-13	x												x	x			
関税中央研修所交差点	U-14	x												x	x		x	
関税中央研修所交差点	U-15	x												x	x	x		
関税中央研修所交差点	U-16	x									x	x		x	x			
関税中央研修所交差点	U-17	x											x	x	x			
税関研修所前	U-18	x												x	x			x
税関研修所前（終）	U-19	x												x	x			x
東大構内ゲート退出後（始）	S-1													x	x			
東大前交差点	S-2											x		x	x			
東大前交差点	S-3	x											x	x	x			
ガン研交差点	S-4	x												x	x	x		x
ガン研交差点	S-5	x												x	x			x
ガン研交差点	S-6	x												x	x			x
ガン研交差点	S-7	x		x	x							x		x	x	x		
ガン研交差点	S-8	x		x	x					x	x		x	x	x			x
税関研修所前	S-9	x												x	x			x
税関研修所前	S-10	x	x			x		x					x	x	x			x
税関研修所前	S-11	x								x	x			x	x	x		x
税関研修所前	S-12	x								x	x			x	x			x
関税中央分析所交差点	S-13	x												x	x			x
関税中央分析所交差点	S-14	x												x	x			x
関税中央分析所交差点	S-15	x	x				x					x	x	x	x			x
科警研前	S-16	x												x	x			x
科警研前	S-17	x				x	x	x						x	4x			x
科警研前	S-18	x												x	x			x
科警研前	S-19	x				x	x	x	x	x	x			x	x			x
若柴交差点	S-20	x												x	x			x
若柴交差点	S-21	x												x	x			
若柴交差点	S-22	x												x	x			
若柴交差点	S-23	x	x	x	x							x		x	x			
若柴交差点	S-24	x	x	x	x								x	x	x			
若柴交差点->ららぽーと	S-25													x	x			x
若柴交差点->ららぽーと	S-26							x						x	x			x
若柴交差点->ららぽーと（終）	S-27													x	x			

v)　安全性評価に向けた取り組み

自動走行における交通シナリオの体系的記述は、自動走行システムを検討する、あるいは、評価する際の条件を体系的に記述できるという点で様々な活用が期待される。先に述べた通り、この分野では ASAM OpenScenario による定義の共通化など、各ツールをつなぐ部分についての検討が先行して進んでいる。その起源と見なせる考え方は、ドイツの PEGASUS プロジェクトに見ることができる。この考え方を具体化するものは一連のツールチェーンや、ツール間をつなぐインターフェースである。

ツールチェーンの構築や提供は企業間の競争領域に属するが、これを使った安全性評価手法そのものをサービスとして提供している企業は、日本国内ではまだ少ない。本事業では、そのうちの一つのサービスについて、協調型自動運転を対象としたときの活用可能性の調査や、意見交換を実施し、協調型自動運転における安全性評価の可能性について検討した。

【観点　V)-1　交通シナリオを利用するシミュレーションの可能性】

自動車の走行に求められる機能を大別すると、「知覚」、「認知」、「判断」、「操作」の 4 段階に分けられる。これらの各段階における評価や機能開発についてシミュレーションを活用することが期待される。安全性評価の観点からシミュレーションについて考えるときは「判断」に関する部分に該当する。特定の走行条件に於いて、設計された自動走行システムがどのようにふるまうのかを、シミュレーションを活用することで、一定時間内に複数の件数を対象として効率的な検証を可能とする。交通シナリオはシミュレーションにおける条件設定に当たる。規則的にまとめられた交通シナリオを集約して分析することで、後述する代表性のあるものや、エッジケースと呼ばれる現実には発生確率が低いが重視されるべき交通シナリオを効率的に、反復して、検証することが可能となる。

【観点 V)-2　協調型自動運転における交通シナリオの検討】

これまでの自動走行を対象とした安全性評価は、道路に代表される走行環境は自動走行に係る機能を持たないことから車両のみの観点で行われてきた。これについては現在、シナリオベースでの安全性評価のプロセス[19]として広く知られている。本事業では走行環境も自動走行の達成に寄与しうる機能を持っているインフラ協調型自動運転を対象としている点で、現在のシナリオベースによる安全性評価が対象としている自動運転とは異なっている。しかし、インフラ協調型を対象としても、評価すべき機能と、その達成目標が定義できれば、シナリオベースの安全性評価手法を利用することは可能である。安全性評価で重要なのは、どのような機能によってどのよう

[19] 例えば、経済産業省、日本発の自動運転システムの「シナリオに基づく安全性評価フレームワーク」に関する国際標準が発行されました～安全で自由に移動できる社会の実現を目指して（ISO 34502）～https://www.meti.go.jp/press/2022/11/20221116006/20221111005.html（2024 年 3 月 8 日閲覧）

な判断がなされ、その結果何が生じたのかを明らかにすることである。インフラ協調型の自動運転でも大きく変化することは無いと思われるが、判断を行うものに対して個別に評価を行い、それらを統合して全体のシステムとしての振る舞いを評価しなければならないともいえる。

【観点 V)-3　交通シナリオによる評価に求められる説明性】

全国展開を考える際に、代表的なシナリオや特異な事例のシナリオに対する網羅性・代表性は安全性評価に際しても着目されるところである。一方で、交通の現象として生じることは千差万別であり、その集合が有限個の交通シナリオで表せるのか、そうでないとかといった議論が網羅性の観点には付随する。交通シナリオを用いた機能の評価や安全性の評価では、扱ったシナリオがどのような考え方で導かれたのかを提示しなければならない。交通シナリオの記述を統一することによって、考え方や内容について俯瞰的に見ることが可能となる。

また、地域の道路上における交通状況へ少なからず影響を及ぼさざるを得ない現状の自動走行機能については、特定自動走行に対する許認可プロセス[20]にも自治体首長からの意見聴取も言及されているとおり、地域への説明は重要な観点である。このとき、自動運転による移動サービスが局所的な交通に及ぼす影響を示す際に、シナリオをベースとした考え方は一つの有効な手段であると考えられる。

図　71 は、柏の葉地区での走行環境を参考としてネットワークグラフとして可視化した例であり、赤い色に着色されている要素は代表性を有すると考えられるものである。一方で、このような数理的な解析結果に対して、自動走行システムが走る際に何が起きているのかといった意味付けは、引き続き専門的な知見を有する者による選別が不可欠である。特に、実際に自動走行システムを走行させた経験から導かれる選別の観点は、現状のところ、図示したような数理的な分析よりも効率は良い。本事業でも、効率的な開発と評価を進めるためには専門家知見も併用することが望ましい。

[20] 警察庁、特定自動運行に係る許可制度の創設について
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/L4-summary.pdf（2024 年 3 月 8 日閲覧）

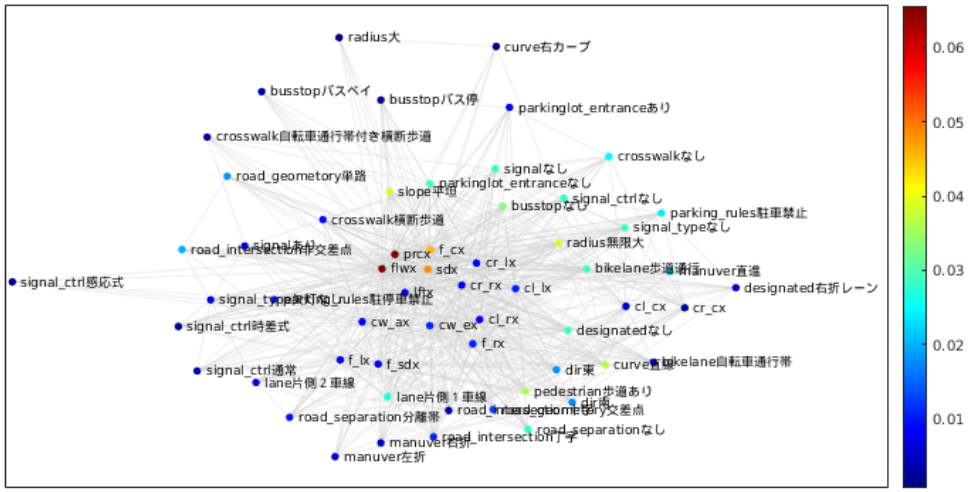


図 71　交通シナリオの構造から代表シナリオを導く試み（参考例）

一方で、安全性評価の合否を判定するためのクライテリアを設定する課題については、インフラ協調型自動運転になると複雑化する懸念はある。自動走行車両のみを対象としている場合は、人間のドライバーのみを対象とすることができたが、インフラとの協調があることによって、人間のドライバーには入手できない情報を活用して走行することが可能となる。このため、これまでのような直接の比較が適当とは言いがたい[21]。

【観点 V)-4　安全性評価の実施に向けた課題】

デジタルツール活用への期待がある一方で、これを活用するための計算機やストレージといった物理的な装置の設置や、維持管理と運用に関するノウハウの不足に対する懸念は残っており、全国展開に向けては活用する側のニーズに沿った対策も、本事業終了後にその成果を活用するという観点からは不可欠であるが、この点についての検討や継承に向けた取り組みは未だなされていない。

vi)　協調型自動運転の ODD を議論する際に考慮すべき点

現状までにまとめられている ODD に関する議論は、自動走行機能を有する車両を中心としたものであり、知覚、認知、判断、操作に関する機能は自動走行車にしか存在しなかったものである。協調型自動運転はシステムの構成によっては、認知と判断が自動走行車以外にも存在する場合が考えられる。この場合の安全性評価では、二つ以上存在する認知や判断の整合性をどのように取るのかといった観点も含めなければならない。具体的には、過年度の事業で実施された、インフ

[21] 補足として、安全性評価のクライテリアの一つに「十分に有能で慎重な運転を行う人間のドライバー」を代表例とする考え方が有名である。定性的には比較対象を定義できる一方で、定量的にこれを定義することは難しく、何らかのエビデンス求められる懸念は残る。

ラ側に設置されたセンサーによる交通参加者の検出と、自動走行車両に搭載されたセンサーによる交通参加者の検出を同時に行った実験結果を見ると、同じ対象を検出していると思われる場合でも、各々のセンサーの出力をもとに計算された物体の位置情報は、各々で異なっている。これまでも開発されている車両により多くの主体性を求める自動走行システムでは、車両が最終的な判断の責任を負うことになるが、この場合はインフラ側に求める性能は相対的に高くなる。本プロジェクトでも、フリースペースという概念を導入することで、車線上の物体の有無を表現しているが、同種の問題は引き続き検討されるべきであると考えられる。協調型自動運転の安全性評価では、インフラ側のセンサーの出力に誤認識があった場合に車両がどうふるまうか、あるいは、車両のセンサーに出力に誤認識があった場合にどうふるまうかといった、判断を下すまでの段階を車両単独で判断を行うシステムよりも詳細に追って安全性が評価されるべきであろう。

vii） まとめ

ODD を定義するために交通シナリオをもとに議論する考え方の一つは、走行環境と周辺交通参加者の行動を合わせたものを交通シナリオとして集約することで議論される固有性や類似性のうち、ODD の検討で重要なものは固有の交通シナリオだとする立場である。ある自動走行サービスで走行を検討する環境において、固有の走行環境に対して自動走行車は必要な機能と対応できるだけの性能を有していなければならない。等価であると言える走行環境ならば、固有の走行環境の組み合わせによって対応することが可能だと期待される 。それによって走行の安全性や継続性を一般に許容される水準まで確保することができる条件を定義したものが ODD である。本稿で扱った柏の葉の事例では 46 個の走行環境に対して一つしかないものは 40 個存在したが、これは 19 桁のコードから導いた場合の走行環境に限ったものである。

それぞれの走行環境で予見される交通参加者の動きまで含めた、交通シナリオとして考えた場合は、一つしかない交通シナリオが走行環境のときの 40 個とは異なる可能性がある。また、交通参加者の動きから固有の交通シナリオを導くならば、その導出結果は走行環境から導かれた 40 個とは異なると予想される。

本プロジェクトは柏の葉地区を想定して議論を進めているが、ここで扱った、交通シナリオから ODD を導く方法は、地域固有の方法ではなく日本国内に限定してはいるが一般性を有するものである。レベル 4 自動運転による移動サービスの特徴は、旧来の自動車よりも公共性を持っている点である 。公共性を有するがゆえに、導入される地域の住民をはじめとしたステークホルダーとの議論を経なければ、その実装は困難であり、その議論がフラットなところから始まることが望ましい。ODD は、自動走行可能な領域を制約するとともにこれを明示する性質がある。それがどのように決まったのか、自動走行の限界は何か、限界を迎えると何が起きるのかを明確に説明できる考え方の体系（フレームワーク）が求められる。

2) 安全走行戦略の策定、車両の目標性能策定

国際規格「安全側面―規格への導入指針」（ISO/IEC Guide 51:2014）においては、安全の定義を「許容不可能なリスクがないこと」、許容可能なリスクを「現在の社会の価値観に基づいて、与えられた状況下で受け入れられるリスク」と定めている。これを受けて、国土交通省が平成 30 年に発行した「自動運転車の安全技術ガイドライン」に示す安全目標としては、「自動運転車が満たすべき車両安全の定義」として「自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。自動運転車両が自動運転移動サービスを提供する走行コースにおいて安全に走行する（安全目標を達成する）ためには、リスクシナリオの整理、必要に応じたリスク低減策の実装などによって、許容可能なレベルにリスクを低減することが必要となる

テーマ 4 で目指すところの一般車両との混相空間における自動運転レベル 4 の社会実装においては、歩行者の飛び出しや無理な追い越しなど、様々なリスクシナリオが考えられる。自動運転車両は関係法令を遵守するが、他の交通参加者は必ずしも関係法令や交通マナーなどを遵守していない実態があり、自動運転車両がそれらをどこまで想定する必要があるかは一義的に決められない。また、例えば交差点右左折などにおける自動運転車両の具体的な速度プロファイルなどは、加減速性能など車両（バスや乗用車など）によっても変わる。安全走行戦略とは、交差点右左折など具体的な場面を、関係法令に沿って安全に走行するための考え方や手順などを、目的に応じた抽象度で記述し、同様の場面で同様の車両が走行する際の設計指針として共有することや、広く社会に認知され受容されることを目指すものである。

(1) 安全走行戦略の基本的な考え方

抽象度の高いレベルでは、安全走行戦略の基本的な考え方として概ね以下のことが重要と考えられる。

- 自動運転車両は道路交通法を遵守する
- 合理的に予見可能なリスクシナリオに対して、安全に走行（停止含む）できるよう計画する

また、合理的に予見できない想定外のケースに対しては、衝突安全装備など被害軽減のための方策を検討することも必要となる。但し、これは安全走行戦略ではなく安全確保のために必要な配慮と考えたい。

テーマ 4 では、将来的に様々な地域で自動運転レベル 4 の社会実装を目指す関係者にとって価値の高い情報を提供することを目的としている。最終的には、走行コース全体を網羅する具体的な安全走行戦略・安全走行方法（手順等）を検討する必要があるが、今年度は、網羅性よりも安全走行戦略の考え方や記述内容、活用方法や有効性などを明確化することとした。そのため、一般道路での安全走行において避けて通れないと言えるほど遭遇頻度が高い、交差点通過について、

具体的な安全走行戦略ならびに安全な走行方法について検討した。因みに、「路線バスによる自動運転移動サービス」においては、安全に走行するための「安全設計の基本的な考え方（倫理＞理念＞規範＞指針>戦略＞戦術…)」について、関係者で明文化し共有することが重要。安全走行戦略の基本（原点）は、必要な安全性が確保されることを前提とした上で、そのことによって生じる、許容できない利便性や経済性などの問題を解決するための方策を検討することにあるとも言える。

（参考）

実用化可能な技術には限界があり、限定空間を走行する強みを利用して、技術の弱点を三位一体（車両、インフラ、交通参加者）で補う必要がある。例えば歩道と車道をガードレール等で構造的に分離するとか、自動運転であることを周囲に認知してもらい、周辺交通参加者の理解・協力を得て自動運転を含めた安全で実用的な走行環境＝交通社会を構築するための方策を検討することが重要。

(2) 信号交差点を通過する際の基本的な安全走行戦略

【考え方】　次の条件(1)-(3)が成立することを確認しながら走行する

(1) 信号が「青」である（現在時刻）

- ✓ 「青」であることの確定が難しい場合は、「赤」として対応する
- ✓ 「赤」を「青」と誤認識してしまう許容確率は？（たとえばASIL-D相当なら10^{-8}/h以下）

(2) 走行経路上に障害物がない（現在時刻）

- ✓ 交差点を右折通過した先に自車が停止可能なスペースがある（障害物がない）ことなどを含む
- ✓ 「走行経路上」の定義が必要（たとえば、走行車線から？cmまで、車体から？cmまでなど）
- ✓ 「障害物」の定義が必要（たとえば、衝突や乗り上げによる危害が許容できる大きさや形など）

(3) 他の優先的な交通参加者の通行を妨げない（現在時刻～数秒先）

右折事例における　「優先的な交通参加者」の定義：

- ✓ 交通弱者に対して、横断歩道ならびにその周辺に、横断中もしくは横断意図があると推察される歩行者が存在する場合、その横断行動を妨げてはならない
- ✓ 対向車線を走行し交差点を直進しようとする車両等の通行を妨げてはならない（直進車両が交差点に到着する以前に、余裕をもって交差点を通過できると判断できることが必要）
- ✓ 対向車線を走行し交差点を左折しようとする車両等の通行を妨げてはならない

（左折することが想定される車両が居ない、もしくは左折が終了し自車両のスペースがあることを確認し、余裕をもって交差点を通過できると判断できることが必要）

- ✓ 直進対向車両の速度予測については、実態調査等も踏まえて現在速度、制限速度、実勢速度の相互関係から定義が必要
- ✓ 「通行を妨げない」とは、衝突しない（Time To Collision）ことではなく「危険を感じて減速させることが無い状態」まで考慮する必要がある

(4) 交差点の定義、ならびに道路交通法に沿った手順

- ✓ 交差点の定義：道路（車道）が交わる部分
- ✓ 徐行の義務：必要に応じて、横断歩道手前の停止線で停止できる速度
- ✓ 進行方向の信号が「赤」の場合は、停止線の手前で停止し待機停止線箇所に一時停止の標識がある場合は一時停止が義務
- ✓ 「右折・左折」は、車体の向きが直進状態から右・左に変わり始め～交差道路の方向に完全に向きが変わるまでの範囲をいう

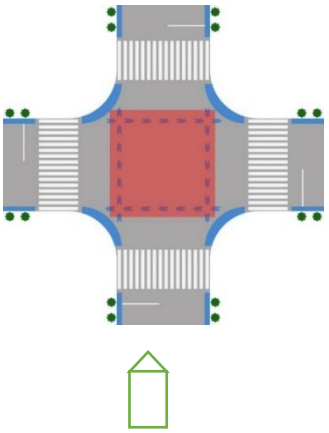


図 72　交差点の定義

【要確認ポイント（論点）】

交差点に進入することの是非を判断するべきポイントはどこか？　交差点を通過し切れずに滞留してしまうことを避けるならば、横断歩道前の　「停止線を超える＝安全に通過できる見込み」が必要ではないか？

(3) 信号交差点を右折する場合の安全走行戦略について

基本的な安全走行戦略は前述のとおり（信号が青、障害物無し、他の優先する交通を妨げない）先行車両がある場合、先行車両が作る死角によって、交差点への侵入や進行の可否を判断するための障害物認識を難しくするが、安全確認ができない状況では「停止・待機」を基本とする。

また、交差点を右折する際は、道路交通法に従って最短のコース（交差点中央より内側）を走行する必要がある。

具体的な安全走行手順としては、以下①～④の位置に到達するごとに安全を確認しながら次に進行することとする。

① 交差点手前、横断歩道前の停止線位置　←交差点通過可能の判断条件について議論の余地あり

② 交差点中央付近、対向直進車両の通行を妨げる位置

③ 右折方向の横断歩道手前の位置

④ 右折方向の横断歩道を過ぎた位置

主なリスクシナリオについて検討した、以下の内容も考慮して通行することとする。

① 対向直進車両が加速し、バスが交差点を通過する前に交差点に到着し、バスが進路を妨害

② 右折先の横断歩行者が横断途中に停止・引き返し、バスが対向車線走行車両の進路を妨害

③ 交差点に進入した後に対向車両や横断歩行者等の状況が変わり、信号が赤になってしまう

④ 先行車両や対向車両の死角から、二輪車などが追い越して飛び出してくる（交差点手前を低速走行や停止している車両を追い越す場合、一旦停止または徐行の義務がある…急な飛び出しは違法行為）

【要確認ポイント（論点）】

停止線を超える時点で信号は青→交差点侵入後に黄→赤に変化した際、右折が終わっていないことは問題ないか？　言い換えると、青→赤に変わった後でも残りの右折行動を続けることは問題ないか？

※現状、渋滞する交差点では日常的に行われている行動であっても、自動運転車両として取るべき行動か否か？

(4) 信号交差点を左折する場合の安全走行戦略について

基本的な安全走行戦略は前述のとおり（信号が青、障害物無し、他の優先する交通を妨げない）先行車両（左折車両）がある場合、先行車両が作る死角によって、交差点への侵入や進行の可否を判断するための障害物認識を難しくするが、安全確認ができない状況では「停止・待機」を基本とする。

また、交差点を左折する際は、道路交通法に従って最短のコース（交差点中央より内側）を走行する必要がある。

具体的な安全走行手順としては、以下①～④の位置に到達するごとに安全を確認しながら次に進行することとする。

① 交差点手前、横断歩道前の停止線位置

② 左折開始、対向右折車両の通行を妨げる位置

③ 左折方向の横断歩道手前の位置

④ 左折方向の横断歩道を過ぎた位置

主なリスクシナリオについて検討した、以下の内容も考慮して通行することとする。

① 対向右折車両が加速し、左折するバスの進路を妨害（左折するバスの方が優先関係）
② バスの左脇を並走してきた二輪車などを巻き込む
③ 交差点に進入した後に対向車両や横断歩行者等の状況が変わり、信号が赤になってしまう

【要確認ポイント（論点）】
停止線を超える時点で信号は青→交差点侵入後に黄→赤に変化した際、左折が終わっていないことは問題ないか？　言い換えると、青→赤に変わった後でも残りの左折行動を続けることは問題ないか？
※おそらく問題なし

(5) 信号交差点を直進する場合の安全走行戦略について

基本的な安全走行戦略は前述のとおり（信号が青、障害物無し、他の優先する交通を妨げない）先行車両（直進車両）がある場合、先行車両が作る死角によって、交差点への侵入や進行の可否を判断するための障害物認識を難しくするが、交差点を通過可能な条件が揃うまでは停止線を超えないことを基本とする。
具体的な安全走行手順としては、以下①～④の位置に到達するごとに安全を確認しながら次に進行することとする。
① 交差点手前、横断歩道前の停止線位置
② 直進開始、交差車両の通行を妨げる位置
③ 直進方向の横断歩道手前の位置
④ 直進方向の横断歩道を過ぎた位置
主なリスクシナリオについて検討した、以下の内容も考慮して通行することとする。
① 対向右折車両が直進するバスの進路を妨害（直進するバスの方が優先関係）
② 交差点に進入した後に対向車両や横断歩行者等の状況が変わり、信号が赤になってしまう

【要確認ポイント（論点)】
停止線を超える時点で信号は青→交差点侵入後→赤に変化した際、交差点通過完了していないことは問題か？　おそらく、交差交通の通行を妨げるので問題あり、交差点侵入時に通過完了できることの確証が必要。

※懸案
基本的な考え方として、「信号が切り替わる前に交差点を通過する」ことを必須条件として交

差点への侵入可否を判断しようとすると、先行車両や対向車両等で死角が存在し侵入可否判断に必要な情報が得られない場合は、交差点手前の停止線で待機することになる。通行車両や横断歩行者が多い状況では、交差点に進入できず渋滞を増長することが懸念される。現状の実態としては、交差点中央付近まで進んで待機し信号が切り替わってから進行し右折を完了するような運転も行われているが、自動運転車両として許されるか否かについては議論が必要。また、通信を介して信号サイクル情報の提供を受けることに関して、このケースでは、ジレンマ解消等のメリットは非常に少ないと思われるので、詳細の検討が必要と思われる。

(6) 路上駐車車両を回避して走行する際の安全走行戦略について

基本的な安全走行戦略は前述のとおり（障害物無し、他の優先する交通を妨げない）となる。

路上駐停車車両がある場合、その車両が作る死角によって、進行の可否を判断するための障害物認識を難しくするが、安全確認ができない状況では「停止・待機」を基本とする。なお、交通実態から考えると、徐行（車両等が直ちに停止することができるような速度で進行すること）しながら回避走行することも検討することになると思われるが、ドライバーの運転に比べて自動運転車両が認知できる情報量（例えば音や影など）は限られることを十分に考慮し慎重な走行方法を選択する必要がある。

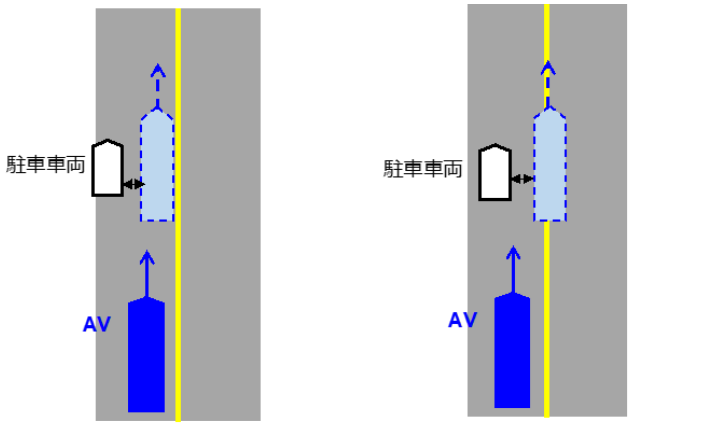
具体的な安全走行手順とリスクシナリオについて

1. 片側 1 車線道路の場合（小規模道路）

(1) 路上駐停車があるが、対向車線へはみ出しなく通過できる場合

リスクシナリオ

- ✓ 駐停車車両のドアが開けられ、ドアがバスに接触（ヒンジドアから、etc.）
- ✓ 歩行者や自転車などの飛出しにより、バスに接触
- ✓ 駐停車車両の乗員が車内から飛出し（スライドドアから、ヒンジドアから、etc.）
- ✓ 駐停車車両の後方を移動中の歩行者等が、駐停車車両を回避しようとしてバスの走路に飛出し
- ✓ 駐停車車両の死角から歩行者等が飛出し



(1) 路上駐停車があるが、対向車線へはみ出しなく通過できる場合　(2) 路上駐停車があり、対向車線へはみ出さないと通過できない場合

図 73　路上駐車車両を回避して走行する場面の例

✓ 駐停車車両の急発進により、バスと車両が接触

(2) 路上駐停車があり、対向車線へはみ出さないと通過できない場合、基本的には追い越しではないのでウインカーを出して右側部分にはみ出して通行することができるはず（要確認）。リスクシナリオは　基本的に(1)と同様と考えられるが、加えて、対向車線へのはみ出しによりバスが対向車線走行車両の走行を妨害するケースを想定する必要がある。

参考：JAF クルマ何でも質問箱　センターラインの白色の破線と実線、黄色の実線でどう違うのですか？https://jaf.or.jp/common/kuruma-qa/category-accident/subcategory-rule/faq175

2.　渋滞など交通流の影響について

自車線が渋滞の場合ならびに対向車線が渋滞の場合の双方について、自動運転車両を無理に追い越そうと側方通過する二輪車等の巻き込みには十分配慮して安全を確認した走行が求められる。（自車（バス）が発進前にノロノロすると、後続車による（更なる）追い越しを助長か）

(7) 柏の葉ルートの現地交通実態調査

i)　背景

「自動運転車の安全技術ガイドライン」に示された安全目標「自動運転システムが引き起こす人身事故であって、合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」を達成するためには、レベル 4 自動運転移動サービスを実施するコース上での他の交通参加者の動き（速度、ふるまい等）を考慮した走行戦略の検討や検知性能の達成が必要となる。

他の交通参加者の動きの例としては、道路構造や制限速度、信号の有無など机上で分かる情報だけでなく、実際の走行コースで交通参加者（車両、自転車、歩行者など）がどの程度の速度で走行しているか、あるいは、自動運転移動サービス車両を認識した際にどのような減速が行われるかなどが挙げられる。

これらの交通参加者の動きを把握するには、少なくとも代表的な交通環境の地点で交通実態の調査を実施し、その後はその調査結果を参考に社会実証データを積み上げていき、以前の調査結果が適用できず、新たな交通形態での交通参加者の動きの把握が必要となった場合には追加で調査を実施すればよいと考えられる。このようにして求めた交通参加者の動きを把握した上で自動運転システムの制御仕様開発を行っていく必要がある。

なお、ある程度の確からしさで「傾向」として扱うためには、一定以上（ひとつの目安として 100 件以上）のデータ数を確保する必要がある。

ii） 目的

自動運転レベル 4 で走行するコースの交通実態を調査し、交通参加者の行動傾向に関する仮説や安全走行戦略の妥当性を評価する材料を獲得する。

iii） 調査方法

2024 年度テーマ 2 にて検討した以下に記載した新規の計測手法を用いて実施した。

① 計測手法概要

LiDAR センサー+Autoware（Autoware は Linux と ROS をベースとした自動運転システム用オープンソースソフトウエア）を用いることで、多くの対象数に対して連続的に効率的にデータ計測でき、解析の多くを自動化できる。

② 機器構成

機器構成を表 76 に示す。

表 76　機器構成

機器	機器名称	台数	利用方法
LiDAR	OT-128	1	物標トラッキング用
カメラ	C1	2	LiDARデータ　確認用
PC	Linux	2	データロギング用PC
バッテリー		3	各種センサー及びPC用バッテリー　入れ替え含む

③ 検出対象

LiDAR にて取得した点群データから物体の形状を検知、分類分け、トラッキングを行い、検出情報を出力する。検出情報を表 77 に示す。

表 77　検出情報

検出情報	内容
検知時間	分解能:100ms
分類	乗用車、大型車、二輪車、歩行者
位置	重心位置の座標
速度	1～1000km/h

④ 測定手順

LiDAR＋自動運転 OS（Autoware）を使ってリアルタイムで測定する。

1. LiDAR と Autoware を搭載した PC をセッティング
2. データロギング開始
3. 物標の速度情報、種別分け（車、人、自転車）をリアルタイムで実施
4. リスト化

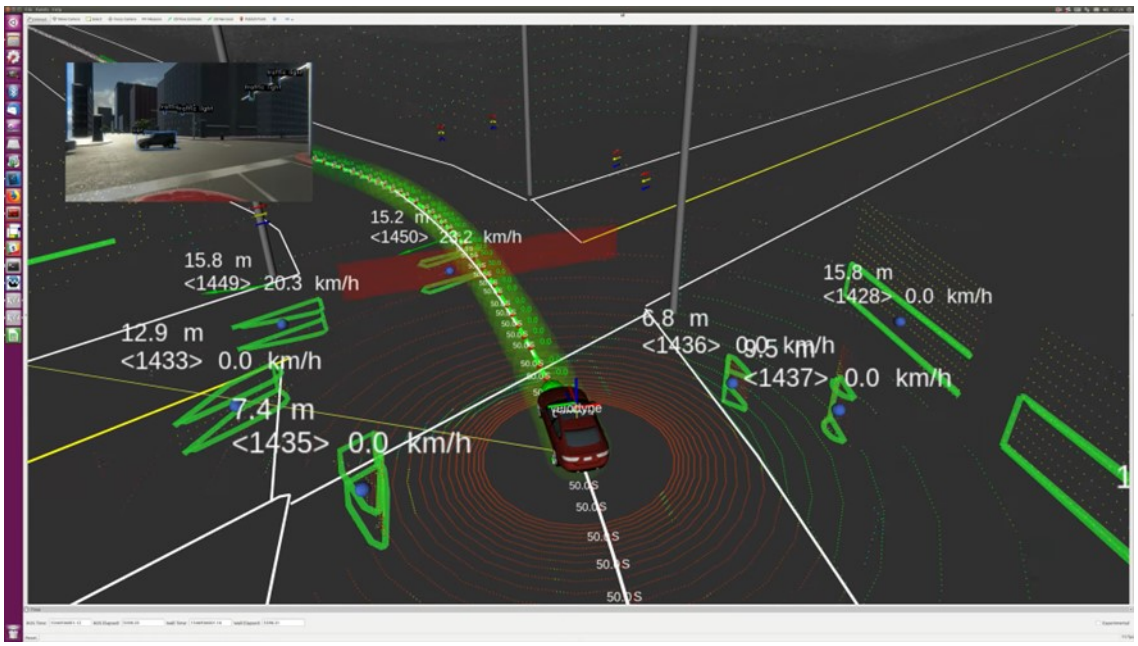


図 74　検出イメージ

⑤ 精度（測量精度）[22]検証

JARI のテストコース（V2X 市街地）内での物標位置情報の精度検証を行った。MMS（Mobile Mappinng　System）計測およびトータルステーションでの測量で測定対象物（車両、自転車、歩行者）の絶対位置を計測し、同時に本手法により位置情報を取得し、両者を比較することで精度を求めた。この結果の一例を表 78 に示す。

[22] 測量精度とは絶対位置との誤差のことで単位は m または cm で表す。一般的な測量では精度 0.05～0.20m 程度である。今回の計測では移動経路のズレであり、例えば横断歩道中心を歩いているのに最大精度分ずれて歩いていると計測される。

表 78　精度検証結果例

	精度(m)		
交差点からの位置	車両	自転車	歩行者
0m	0.251	0.216	-
10m	0.228	0.092	0.353
20m	0.518	0.123	0.143
30m	0.258	0.234	0.059
40m	0.925	-	0.148
50m	0.551	-	-
60m	0.722	-	-
右折	0.414	0.103	0.038
左折	0.196	0.340	0.480

今回の精度検証結果から、車両に関しては精度 1m 以内で 60m 先まで検知可能、自転車、歩行者に関しては、精度 60cm 以内のので 40m 先まで検知可能であった。今回の調査では移動経路や最高速度位置等に影響するがこの精度で十分と判断した。なお、速度の誤差は LiDAR の仕様で決まり、約±1km/h（計測距離 3～200m）でありこれも十分と判断した。

iv)　調査場所

走行ルートの中で交差点での右折が最も危険度が高いと考えられる。そこで本年度は交差点での右折がある以下の 2 か所について交通環境調査を実施した。

① 若柴交差点（図 75）

信号のある交差点で、交通量が多く交差車両の速度が最も高い場所（制限速度：40km/h）と推測される。また駅に近く歩行者も多い。右折時の対向車両の実勢速度および右折時の横断歩道における歩行者／自転車の挙動を明らかにし、安全走行戦略のバックデータとするために選定した。

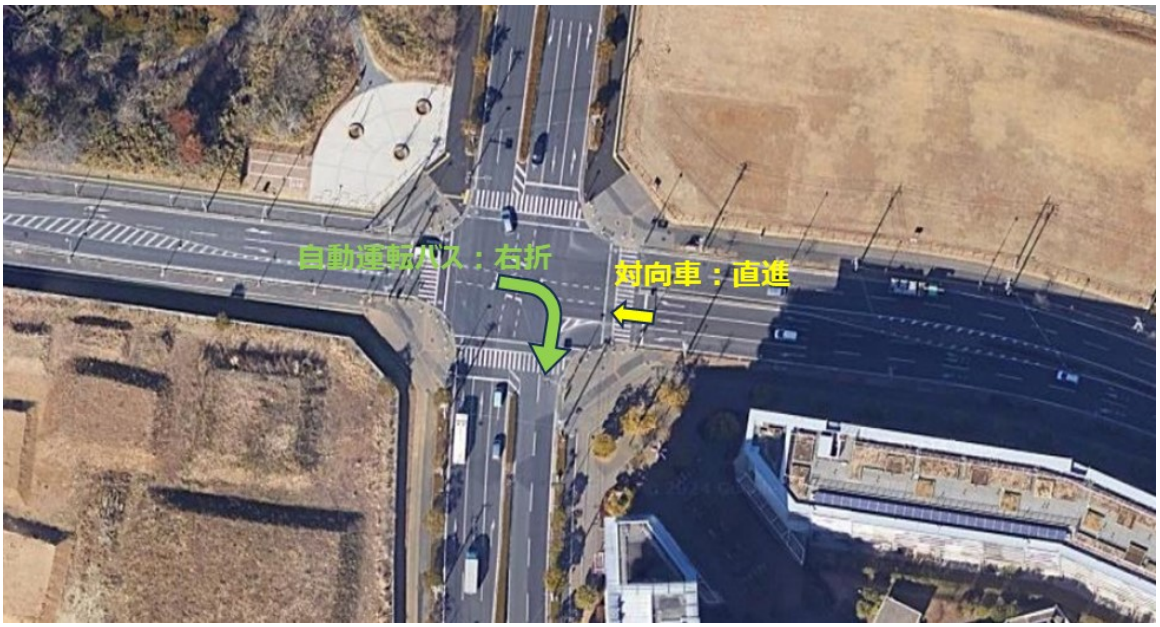


図 75　若柴交差点

② がん研センター交差点（図 76）

信号のある T 字交差点で、交通量が多く右折方向が時差式となっている。右折時の対向車両の実勢速度および右折時の横断歩道における歩行者／自転車の挙動を明らかにし、安全走行戦略のバックデータとするために選定した。



図 76　がん研センター交差点

v)　調査結果

① 若柴交差点

1.　調査日時

2024 年 2 月 6 日～9 日　8 時～16 時　計 32 時間

2.　調査項目と仮説

(1) 右折対向道路の実勢速度と交差点進入速度

仮説：この道路の実勢速度[23]は警察庁交通局が実勢速度とみなす[24] 51.9km/h(40km/h 制限道路；以降 推測実勢速度（40km/h 制限道路）と記載)と同等

(2) 横断歩道通過時の振る舞い（歩行者／自転車）

仮説：駅に近いため交通量ががん研センター交差点と比べ多い

3.　結果

(1)　交差点で停止することなく通過した車両の交差点からの距離と速度の例を図 77 に示した。車両 1 台ごとの最高速度、交差点進入速度をまとめ（総台数 282 台／2 日)、車両の最高速度分布と交差点進入速度分布を図　78 に、各車両の最高速度の中での最大、平均、85%タイル値を表 79 に示した。実勢速度（最高速度の 85%タイル値）は 46.6km/h となり推測実勢速度(40km/h 制限道路)である 51.9km/h より低い値となった。これは仮説と異なっており、交差点手前がカーブであるため減速しているためと推察する。

[23] ある道路における速度分布の 85%タイル（速度分布の累積百分率で 85%に当たる速度）をその道路の実勢速度とみなす（警察庁交通局「速度規制の目的と現状」　出典: 警察庁交通局「速度規制の目的と現状」の P9「2 規制速度決定の基本的考え方」より https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/regulation_wg/1/siryou4.pdf）

[24] 警察庁交通局「速度規制の目的と現状」では実勢速度（40km/h 制限道路)を 51.9km/h としている

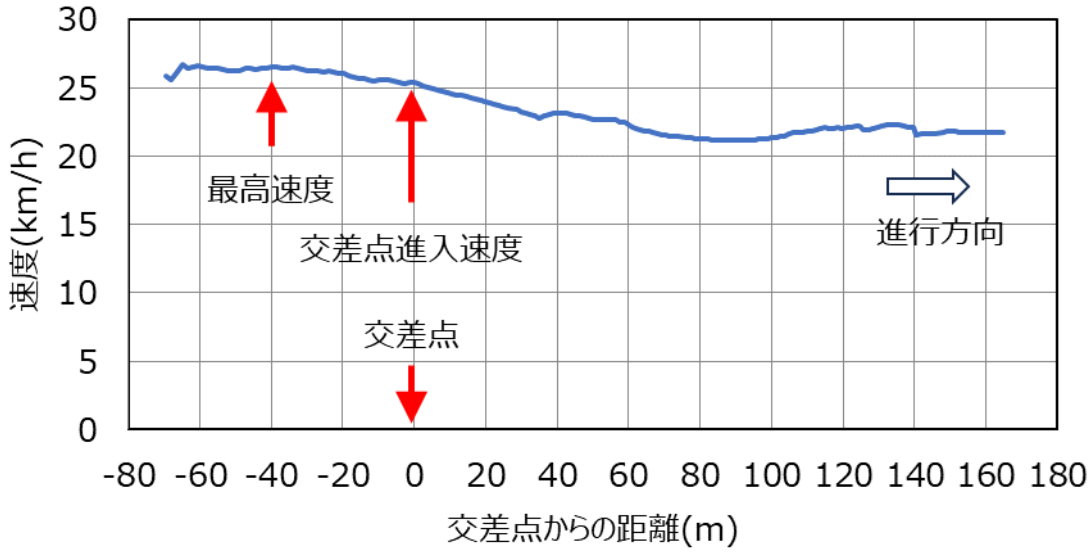


図 77　交差点からの距離と速度例@若柴交差点

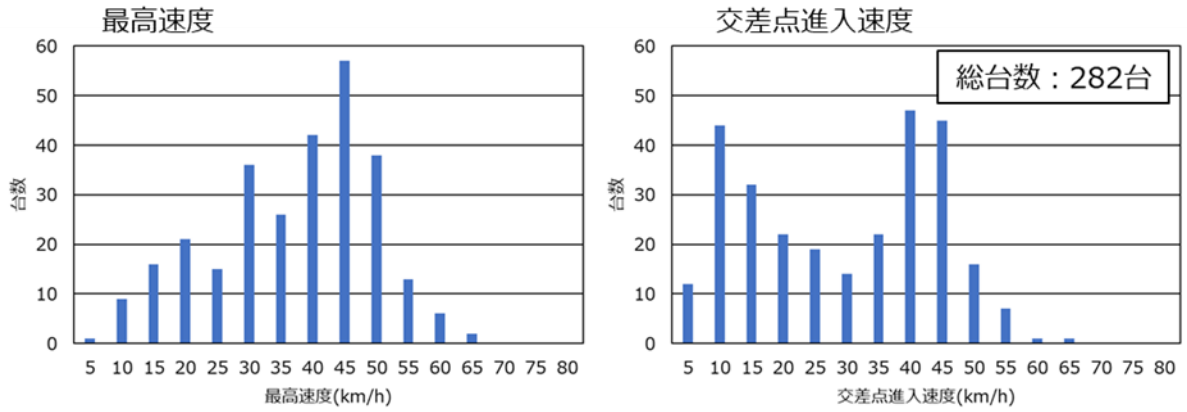


図 78　最高速度分布と交差点進入速度@若柴交差点

表 79　最高速度と交差点進入速度の最大、平均、85%タイル値

	最高速度(km/h)	交差点進入速度(km/h)
最大	64.4	60.2
平均	34.6	27.1
85%タイル	46.6	42.8

(2)　横断歩道を通過する歩行者と自転車の移動距離と速度変化の一例を図 79 に示す。また、横断歩道を通過する歩行者と自転車の最高速度分布を図　80 に示す。歩行者、自転車共に交通量は、歩行者は若柴交差点 757 人、がん研センター交差点 310 人、自転車は若柴交差点

299 台、がん研センター交差点 137 台であり、若柴交差点はがん研センター交差点より多くなった。（仮説通り）

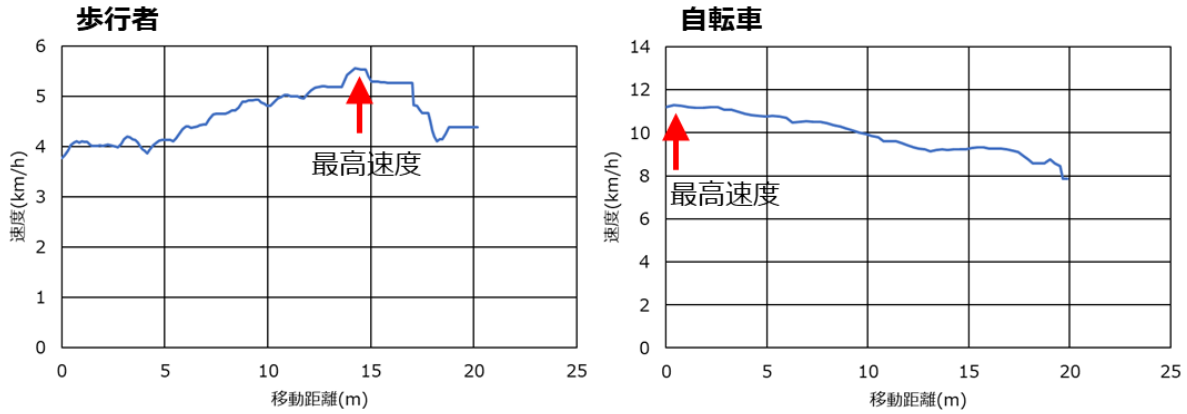


図 79　歩行者／自転車の移動距離と速度例@若柴交差点

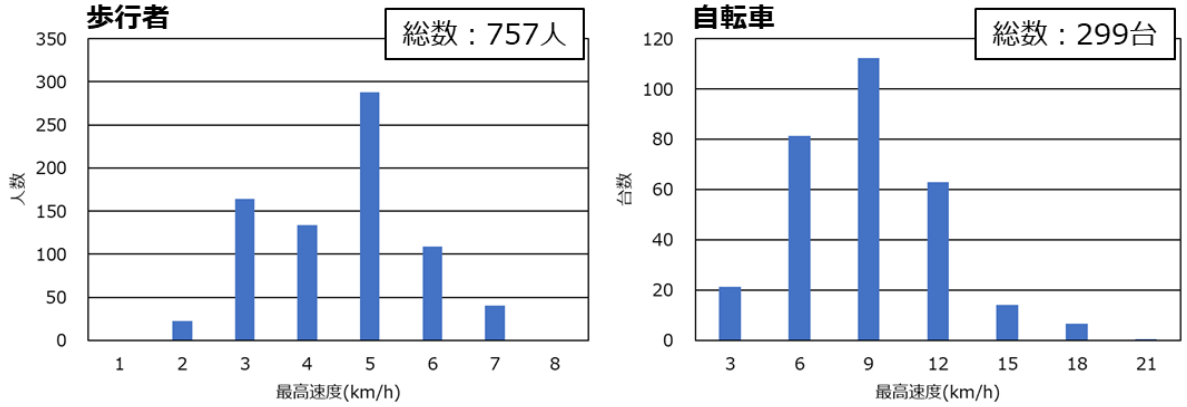


図 80　歩行者／自転車の最高速度分布@若柴交差点

② がん研センター交差点

1.　調査日時

2024 年 2 月 13 日～16 日　8 時～16 時　計 32 時間

2.　調査項目と仮説

(1) 右折対向道路の実勢速度と交差点進入速度

仮説：この道路の実勢速度は推測実勢速度(40km/h 制限道路)である 51.9km/h と同等

(2) 横断歩道通過時の振る舞い（歩行者／自転車）

仮説：住宅街ではなく、交通量もそれ程多くないため、速度は高くなりやすい

3.　結果

(1)　交差点で停止することなく通過した車両の交差点からの距離と速度の例を図 81 に示した。車両 1 台ごとの最高速度、交差点進入速度をまとめ（総台数 2034 台／3 日）、車両の最高速度分布と交差点進入速度分布を図　82 に、各車両の最高速度の中での最大、平均、85%タイル値を表 80 に示した。実勢速度（最高速度の 85%タイル値）は 46.7km/h となり推測実勢速度(40km/h 制限道路)である 51.9km/h より低い値となり、若柴交差点と同等な値であった。若柴交差点と異なり交差点手前にカーブが無いが交通量が多いためと推察する。

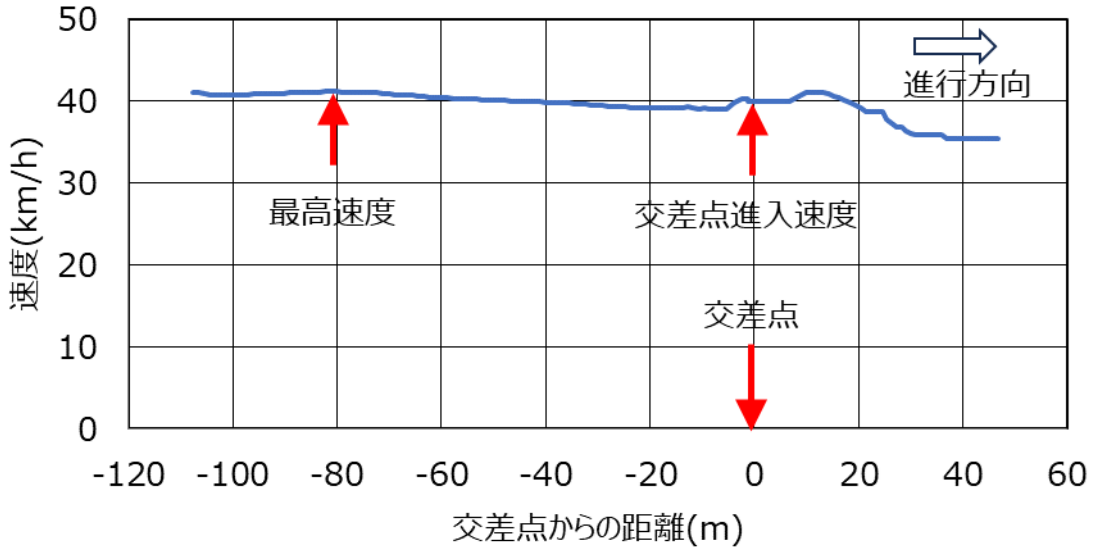


図 81　交差点からの距離と速度例@がん研センター交差点

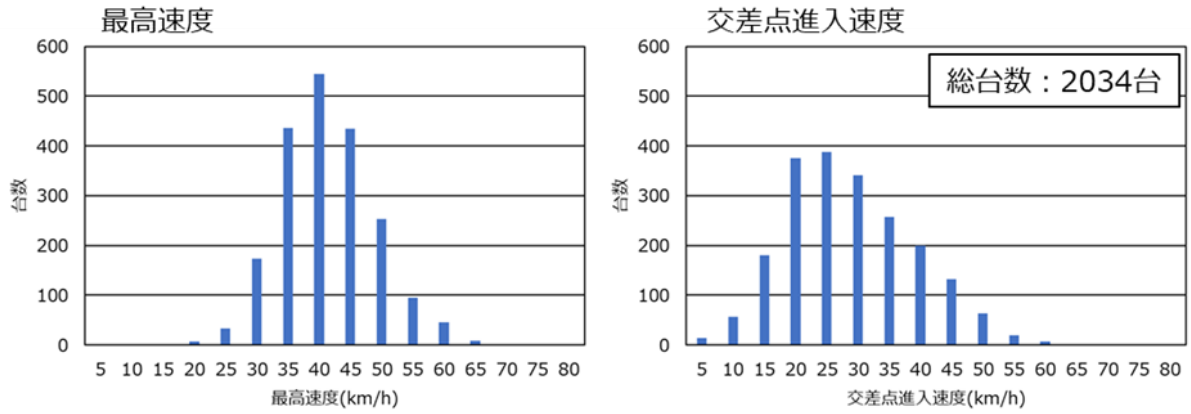


図 82　最高速度分布と交差点進入速度@がん研センター交差点

表 80　最高速度と交差点進入速度の最大、平均、85%タイル値

	最高速度(km/h)	交差点進入速度(km/h)
最大	71.3	63.3
平均	38.9	26.2
85%タイル	46.7	37.9

(2)　横断歩道を通過する歩行者と自転車の移動距離と速度変化の一例を図 83 に示す。また、横断歩道を通過する歩行者と自転車の最高速度分布を図 84 に示す。

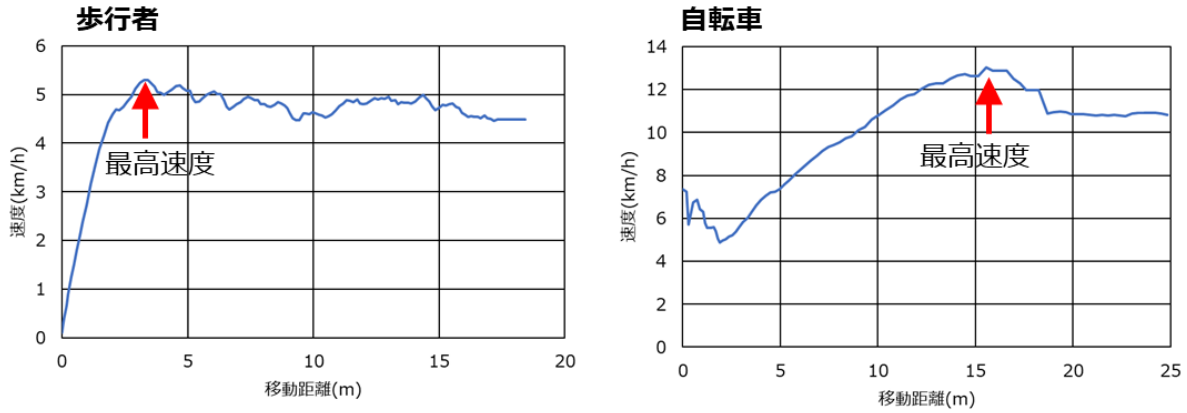


図 83　歩行者／自転車の移動距離と速度例@がん研交差点

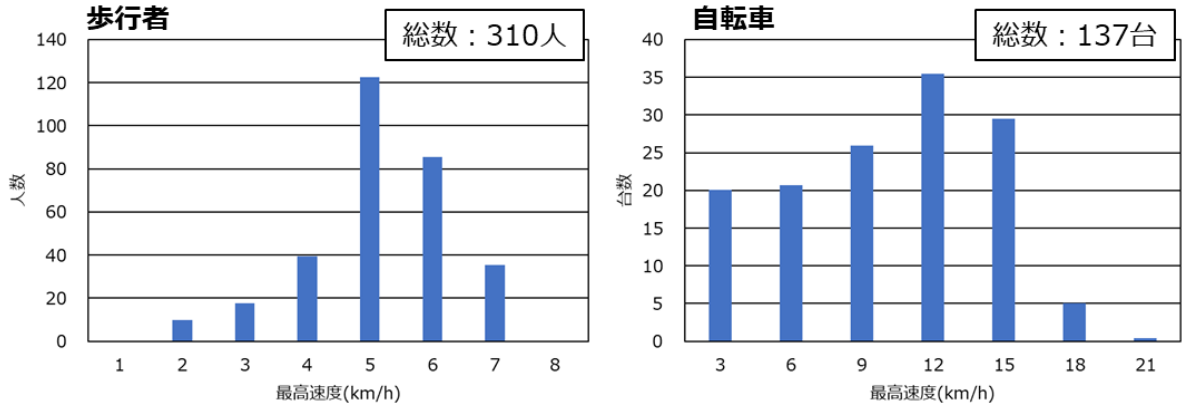


図 84　歩行者／自転車の最高速度分布@がん研センター交差点

vi)　まとめ

- 交通環境調査として 2 か所実施し、実勢速度、交通量等を得られた。若柴交差点、がん研センター交差点ともに直進対向車両の実勢速度（最高速度の 85%タイル値）は推測実

勢速度(40km/h 制限道路)である 51.9km/h より低い値となった。これは仮説と異なっており、安全走行戦略との整合性の検証が必要である。若柴交差点で低速となった理由は交差点手前がカーブであり減速しているためと推察する。

- 横断歩道での歩行者・自転車の交通量は交差点による差が現れた。今後は速度差や走行経路の違いについて解析を実施する。
- 本計測方法の課題として、オクルージョン（LiDAR の前を車両等が横切る等）が発生するとデータが欠損することがあげられる。この対策として、LiDAR の 2 台設置や高い位置への LiDAR 設置などが挙げられる。

(8) 安全走行戦略の妥当性に係る関係者間での合意形成を支援する仮想環境の開発

i) 背景

自動運転移動サービスの開発プロセスは以下の通りと考えられる（図 85)。



図 85　自動運転移動サービスの開発プロセス

はじめに、地域の移動の需要や課題を把握し、ソリューションとしてどのようなサービスを提供するかを定義する。次に、それらに則って車両を選定し、現地の走行環境を調査し危険な箇所をピックアップした上で、走行方法を決定し走行制御システムを設計・実装する。更に、評価として、センサーや制御方法の機能の検証のプロセスがある。並行して、地域住民に向けた社会受容性醸成のプロセスがあり、両者が相まって、社会実装へと至ることになる。

このプロセスの中で、仮想環境の活用が有効なのは、「設計・評価」と、「社会受容性醸成」、この 2 つのプロセスである。

設計評価では、実車での公道走行評価の代替となる検証を目的に、オブジェクトの特性、位置、

サイズなどを精緻に模擬する、つまり、搭載されたカメラ・LiDAR・レーダーなどの様々なセンサーにとって高いリアリティを感じられる仮想環境の構築が行われており、SIP-adus 事業でのDIVPプロジェクトや自動車メーカー各社で開発されている仮想環境が挙げられる。例えば、DIVPプロジェクトでは、環境モデルは高精細なデジタル地図や、物体（構造物や車両、歩行者等）表面の電磁波反射特性を、実験計測に基づき再現している。また、センサーモデルではセンサー検出原理に基づき物理現象をモデル化し、精密に再現している。さらにセンサーの不調要因に関する情報をプロジェクトメンバーで一元化し、これを再現できるようなモデル化を実施している。このため、リアル環境における実験評価と代替え可能な実現象との一致性の高い仮想化モデルが開発出来ており、様々な交通環境下で再現性の高い安全性評価を実施可能である。しかし、モデル開発や仮想環境を作成するツールである仮想環境シミュレータ（以下、「シミュレータ」という）に非常に多くの費用、工数がかかり、また高度なシミュレータの知識が必要となるデメリットもある。その他の既存シミュレータについても、同様に多くの費用や高い知識を必要とする。

一方で、社会受容性醸成に用いる仮想環境は、関係者間で走行イメージを共有し安全走行方策の妥当性を確認・理解することを目的に、利用者視点からの視覚情報を再現する、つまり、人間の眼にとってリアリティを感じられる画像的な仮想環境が求められる。そこでは、人間が注視するシーンのリアル性が重要であり、人間の注視への関与が低いパーツは優先度が低いため、例えば、自車両と周りのクルマ・人の動き・相対位置の再現は高度に保ちつつ、それ以外は既存の地図などを利用することが可能であると考えられる。特に、無人自動運転移動サービスの開発は限定空間を走行するため、仮想環境は、簡易で短い開発期間で対応可能なものが求められる。そこで無人自動運転移動サービスに用いる仮想環境では、必要な機能に限定し、かつモデルも簡素化することで費用を低減し、高度な知識も不要な仮想環境（以降「簡易な仮想環境」と呼ぶ）を構築することが重要であると考えている。

ii） 目的

2022 年度にテーマ 2 にて開発した「簡易な仮想環境」を基に改良し、無人自動運転サービスの安全性走行戦略を検証するため、走行戦略やリスクシナリオを再現するツールを作成する。従来の検証場面では、書面での説明や現場の写真、イラストなどを用いている。これに対し、「簡易な仮想環境」で作成したリスクシナリオなどを動画で説明することで、容易に正しく理解できることが期待できる。

iii） 「簡易な仮想環境」の構築

柏の葉エリアにおける自動運転バスの走行ルートのうち、一般道および自動運転バスの右左折を伴う交差点など、4 つシーンについて簡易な仮想環境を構築した。

今回、新しく実装した機能とその目的、および 3D マップの構築手順について記載した上で、

「簡易な仮想環境」を使用して作成した走行シナリオ動画について記載する。

① 仮想環境シミュレータ「WARXSS®」が有する機能一覧

表 80 に「WARXSS®」が有する機能を示す。

表 81　WARXSS®が有する機能

No.	大項目	ベース機能	本案件での実装内容
1	基本	3Dマップ	柏の葉エリアの４マップ実装
2	シナリオ	車両のシナリオ制御	車両モデルの追加
			制御可能な車両数の上限撤廃
3		歩行者のシナリオ制御	児童モデルの追加
4		オブジェクトのシナリオ制御	ー
5		シナリオの一時停止	ー
6		シナリオ記載設定方法の改善	ー
7	オブジェクト	信号	ー
8		遮断機	ー
9	視点（カメラ）	単眼カメラ	ー
10		特殊カメラ	ー
11		歩行者視点カメラ	ー
12	画面表示	カメラ検出範囲表示	ー
13		センサ検出範囲表示	ー
14		バス車速表示	ー
15		天候の影響表示	ー
16		センサ出力範囲/死角の表示	ー
17		座標表示	ー
18	リスク表示	車両とバスのリスク表示	ー
19		歩行者とバスのリスク表示	ー
20	ログ	ログ出力	ー
21	自動運転	自動運転制御の再現	ー

② 使用したツールおよび新たに実装した機能とその目的

(1) 使用したツール一覧

各機能の実装に用いたツールは以下の通りである。

表 82　各機能を追加する際に使用したツール

提供元	名称	用途	価格
Blender Foundation	Blender	仮想環境モデル作成	無償
Epic Games	Unreal Engine	仮想環境モデル作成/シミュレーション設定	無償（条件あり）

Blender

Blender は GNU General Public License v3 ライセンスで無償利用可能な 3DCG(3 次元コンピューターグラフィクス)作成ソフトである。特徴として、ユーザー数が多くリファレンスやプラグインが充実していることが挙げられる。(https://www.blender.org/)

Unreal Engine

Unreal Engine はプロプライエタリライセンスで提供されている、無償利用可能なゲーム開発環境である。Unreal Engine が有する 3 次元地図、車両や人などの 3 次元モデル、これらを動作させるためのアニメーション機能を利用することで、仮想環境を効率的に構築することが可能である。(https://www.unrealengine.com/ja/)

(2) 3D マップ：柏の葉エリアの 4 つのマップ実装

概要 ：自動運転バスが走行する柏の葉エリアのうち 4 つのシーンについて、3D マップを構築した。既存の構築手法を見直し、より完成度の高い 3D マップを従来と同等かそれ以下の工数で構築できる手法を用いて実装した。

目的 ：仮想環境でテーマ 4 における自動運転に関係する危険シーンを再現するため。

手順 ：「(6) 3D マップ構築の詳細」の項で記述する。

(3) 車両のシナリオ制御：車両モデルの追加

概要 ：ベース環境で制御可能な車両モデルは［乗用車（赤・青・緑)、トラック（白)］であったが、新たに二輪車（赤・青・緑）とバス（青）の車両モデルを追加した。

目的 ：実際の走行シーンで想定される様々なサイズ、種類の周辺車両のモデルを追加することで、よりバリエーションに富んだ安全走行シナリオを実現するため。

手順 ：二輪車モデルの追加の手順は以下の通りである。なお、バスの追加手順についても、手順 4 を除いて同様である。

表 83　二輪車モデルの追加手順

手順	内容	使用するツール
1	入手した二輪車の3Dモデルをインポート	Blender
2	タイヤが回転する構造の作成	Blender
3	Blenderで作成した二輪車を既存のUnrealEngineプロジェクトへ追加	UnrealEngine
4	二輪車の傾きの機能を追加	UnrealEngine



図 86　バス（青）



図 87　二輪車（赤・青・緑）

(4)　車両のシナリオ制御：制御可能な車両数の上限撤廃

概要 ：ベース環境で制御可能な周辺車両数は 4 台［乗用車 3 台（赤・緑・青）、トラック 1 台（白）］であったが、本案件では上限を撤廃した。車種は用意された車両モデルから自由に選択可能とした。

目的 ：車両数の上限を撤廃することで、様々な交通量のシナリオを実現するため。

手順 ：制御可能な車両数の上限を撤廃する手順は以下の通りである。

表 84　制御可能な車両数の上限撤廃手順

手順	内容	使用するツール
1	常時4台をスポーン（出現）するロジックを削除	UnrealEngine
2	シナリオに書かれた車両数をスポーンするロジックを追加	UnrealEngine

(5) 歩行者のシナリオ制御：児童モデルの追加

概要 ：ベース環境で制御可能な歩行者は［成人女性 2 種、成人男性 2 種、自転車］であったが、本案件では児童のモデルを追加した。なお、制御可能な歩行者数の上限は撤廃した。

目的 ：背の低い児童のモデルを追加することで、車両の死角に入る交通参加者を想定したシナリオを実現するため。

手順 ：児童モデルの追加手順は以下の通りである。

表 85　児童モデルの追加手順

手順	内容	使用するツール
1	入手した児童の3Dモデルを既存のUnrealEngineプロジェクトへ追加	UnrealEngine
2	歩行アニメーションを追加	UnrealEngine



図 88　児童モデル

(6) 3D マップ構築の詳細

1. 使用する素材

柏の葉エリアの 3D マップを構築する際に使用した素材は以下の通りである。

表 86　3D マップの構築時に使用した素材

提供元	名称	URL	価格
ゼンリン	広域3次元モデルデータ	https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/contents/3d/index.html#anc-02	有償

※上記以外にも3Dマップ上に配置が必要な植栽や構造物についてはマーケットプレイスで適切な3Dモデルを入手する必要がある。

2. 構築手順

本案件で確立した 3D マップの構築手順は表 87 の通りである。

表 87　3D マップ構築手順

手順	概要	使用するツール	内容
1	準備	ー	使用するテクスチャ（物体の質感を表現するために使用する画像）を用意してBlenderプロジェクトと同一階層へ配置する
2		ー	地図データ（広域3次元モデル）に含まれない3Dオブジェクトをを用意してBlenderプロジェクトと同一階層へ配置する
3		Blender	地図データをBlenderプロジェクトにインポートする
4	地図データの取込・加工	Blender	地図データからモデリングしないエリアのオブジェクトを削除する
5		Blender	地図データの車道・歩道・地面のオブジェクトを編集することで不足する道路を追加し高低差を調整する
6		Blender	地図データの建物オブジェクトが他のオブジェクトと結合している場合は分離する
7	テクスチャ割り当て	Blender	地図データの車道・歩道・地面・建物などの各オブジェクトに手順1で用意したテクスチャを割り当てる
8	オブジェクトの追加	Blender	手順2で用意したオブジェクトをインポートする
9		Blender	追加したオブジェクトの拡大縮小/回転/複製を行い、地図データ上に配置していく
10	地図データの出力	Blender	Blender上で作成したデータをFBX形式でエクスポートする
11	シミュレーション環境の構築	UnrealEngine	UnrealEngine上で配置が必要なオブジェクト（信号機など動的な仕組みが必要なもの）を用意する
12		UnrealEngine	手順10でエクスポートした地図データをUnrealEngine上にインポートする
13		UnrealEngine	手順11で用意したオブジェクトをUnrealEngine上に配置する

3. 再現条件

構築した柏の葉エリアにおける 3D マップの再現条件は以下の通りである。

表 88　柏の葉エリア 3D マップの再現条件

車道/歩道	**形状**	自動取り込み後、現地写真より目視レベルで修正。
	高低差	自動取り込み後、現地写真より目視レベルで修正。
	幅	自動取り込み後、現地写真より目視レベルで修正。
	道路標示	交通ルールに関わる標示を目視レベルで再現。
建物	**周辺建物**	車両の死角に関わる建物や遮蔽物を目視レベルで再現。 意匠の正確性については未対応。
オブジェクト	**信号機**	信号の種別（方向指示の有無を含む車用信号機、歩行者信号機）を再現。意匠の正確性については未対応。
	道路標識	交通ルールに関わる標識を目視レベルで再現。
	ガードレール	現地写真より設置位置を再現。意匠の正確性については未対応。
	フェンス	現地写真より設置位置を再現。意匠の正確性については未対応。
	電柱	現地写真より設置位置を再現。意匠の正確性については未対応。
	ポール	現地写真より設置位置を再現。意匠の正確性については未対応。
	街灯	現地写真より設置位置を再現。意匠の正確性については未対応。
	生垣	**車両の死角に関わるもの：**間隔・大きさを現地写真と実測により再現。
		上記以外のもの：景観を考慮してランダムに配置。
	街路樹	**車両の死角に関わるもの：**間隔・大きさを現地写真より再現。
		上記以外のもの：景観を考慮してランダムに配置。

4. 各シーンの詳細

以下の 4 シーンについて、航空写真の赤点線で囲われた指定範囲の 3D マップを構築した。また、構築した 3D マップを用いた仮想環境シミュレーションで想定される主な検証シナリオについて記載した。

● シーン①：ガン研究センター東病院

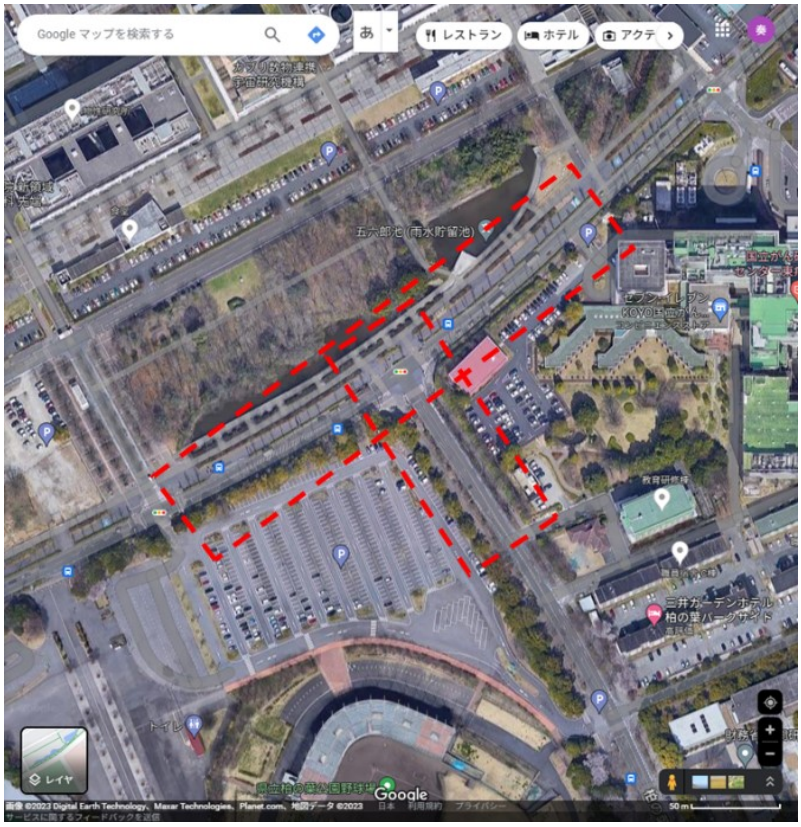


図 89　シーン①の構築範囲

想定される主な検証シナリオ

- 自動運転バスの右折時、死角に入る対向車両を想定した確認
- 植栽の死角に入る歩道上の自転車や歩行者を想定した確認
- 横断歩道での歩行者や自転車の無理な横断を想定した確認

● シーン②：科警研前交差点

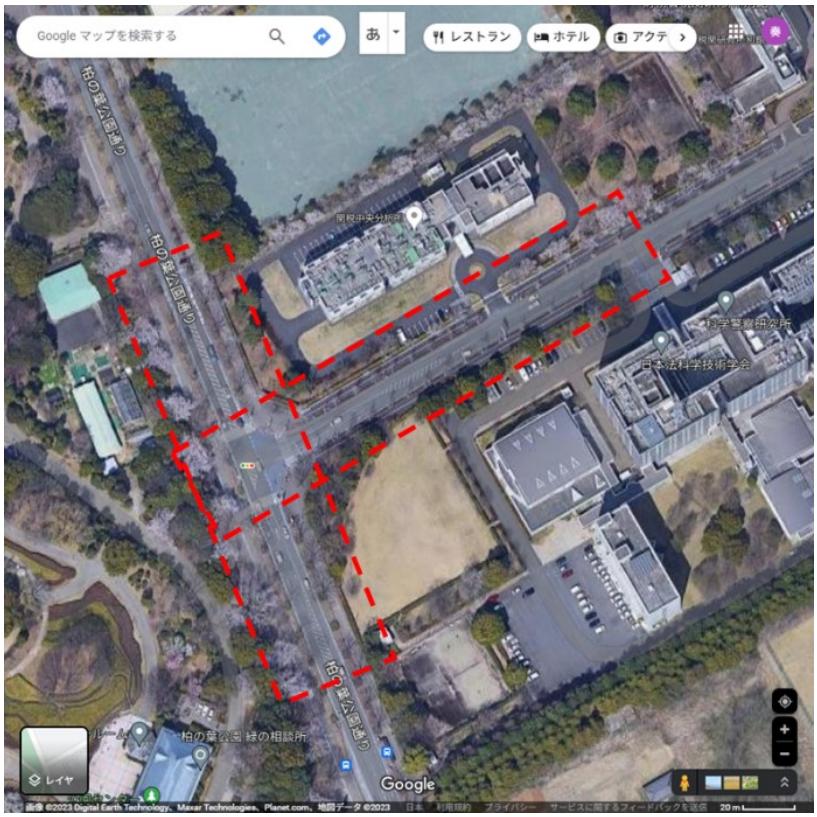


図 90　シーン②の構築範囲

想定される主な検証シナリオ

- 自動運転バスの右左折時、死角に入る二輪車や自転車を想定した確認
- 植栽の死角に入る歩道上の自転車や歩行者を想定した確認
- 横断歩道での歩行者や自転車の無理な横断を想定した確認

● シーン③：第 3 機動隊本部前

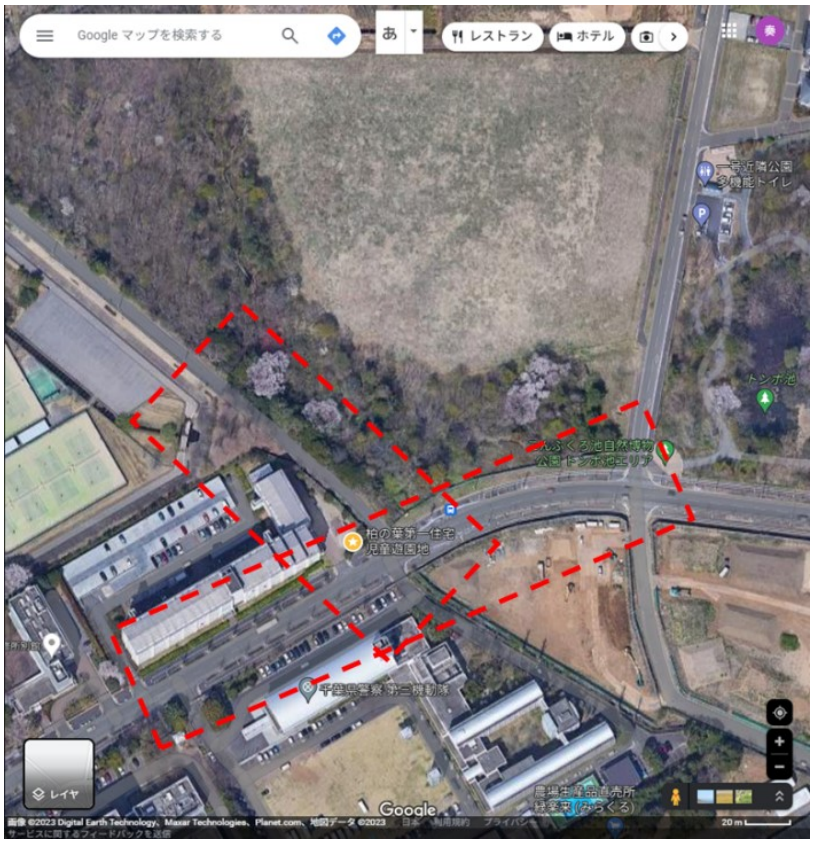


図 91　シーン③の構築範囲

想定される主な検証シナリオ

- カーブ前後の路上駐車車両による死角を想定した確認
- 信号のない交差点での交通参加者の横断を想定した確認
- 植栽の死角に入る歩道上の自転車や歩行者を想定した確認

● シーン④：若柴交差点



図 92　シーン④の構築範囲

想定される主な検証シナリオ

- 自動運転バスの右折時、死角に入る対向車両を想定した確認
- 自動運転バスの右左折時、死角に入る二輪車や自転車を想定した確認
- 植栽の死角に入る歩道上の自転車や歩行者を想定した確認
- 横断歩道での歩行者や自転車の無理な横断を想定した確認

③ 走行シナリオ動画の作成

ガン研センター東病院前交差点、及び若柴交差点においては上述の危険シーンを想定した安全走行検証シナリオ動画を作成した。具体的に作成したリスクシナリオ検証シーンの中から 4 つの例を以下に示す。

1. 自動運転バスの右折時、死角に入る対向車両を想定したシーン（動画シーン A）
   ⇒ 対向する右折バスが死角になり、対向直進車が見えないケースで停止し、信号が青から黄色に変わり、自バスが右折を開始するシーン
2. 自動運転バスの右折時、死角に入る対向車両を想定したシーン（動画シーン B）

⇒ 前方を走行する大型トラックが死角になり、対向直進車が見えないケースで停止し、信号が青から黄色に変わり、自バスが右折を開始するシーン

3. 植栽の死角に入る歩道上の自転車や歩行者を想定したシーン（動画シーン C）

   ⇒ 植栽のある歩道から自転車が車道の自転車専用レーンに飛び出してきたケースで、自バスが自転車を安全に避けながら並走・追越しするシーン

4. 自転車の巻込みや無理な横断を想定したシーン（動画シーン D）

   ⇒ 自バスの左側の車道を走行する自転車がそのまま横断歩道を直進して渡るケースで、自バスが交差点手前で停止し、自転車が横断歩道の先まで進んでから安全に左折を開始するシーン

＜動画シーン A＞



＜動画シーン B＞



＜動画シーン C＞



＜動画シーン D＞



図 93　動画シーン A～D

iv)　まとめ

2022 年度にテーマ 2 にて開発した「簡易な仮想環境」を基に改良し、無人自動運転サービスの安全性走行戦略を検証するため、WARXSS®をベースとした「簡易な仮想環境」シミュレータの機能強化を行い、本シミュレータを用いて走行戦略やリスクシナリオを再現するツールを作成した。

関係者間で走行イメージを共有し、安全走行戦略の妥当性を確認・理解するため、それぞれの利用者視点からの視覚情報を再現し、リアリティを感じられる動画を用いて説明でき、容易にか

つ正しく理解してもらえることが期待できる。

走行ルートの交差点 4 地点に関して、仮想環境シーンとシナリオを作成した。

本シミュレータの特長を記載する。

- 実際の走行シーンの簡易な 3D マップを短期間で構築可能な手法を用いた実装
- 様々な走行シナリオが作成可能な機能の実装
- 一般的な PC スペックで実行可能なシミュレーション環境の構築

II. 協調型自動走行車両の設計・試作・評価

1) 柏の葉ユースケースに対する自動走行車両の開発・評価

2-2.I で決定した協調型自動走行車両の開発事項、目標を満たす自動走行車両を設計・試作する。遠隔監視システム、インフラとの連携要素については議論が継続しているため、他事業における実施内容等を考慮して実施することとした。

i) 車両設計

本事業では、車両開発の効率化を図るため、過年度事業である“高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた研究開発・実証事業”にて用いたレベル 2 自動運転バス（ベース車両：いすゞ自動車製　エルガミオ）を用いた。

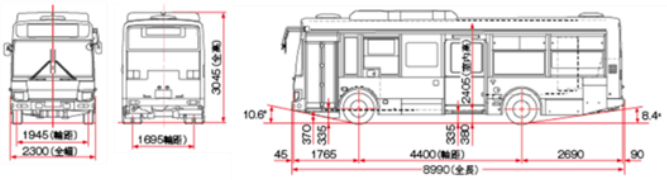


図 94　車両外観

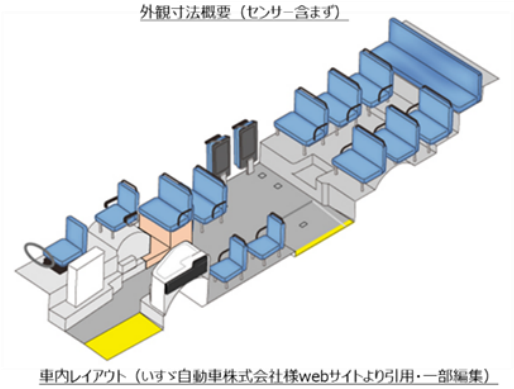


図 95　車両内装（運転席付近）

項目		内容	備考
ベース車両	名称	エルガミオ	
	タイプ	中型バス 路線 2ドア（前折・中引）	ノンステップ
	座席	着座28名（定員56）	
	型式	2KG-LR290J4	
	車両重量	8300 kg	
	車両総重量	11380 kg	
エンジン	型式	4HK1	
	総排気量	5.19 L	
	燃料	軽油	
	燃料タンク容量	130 L	
	燃費値	6.0 km/L	（カタログ値）
	トランスミッション	5速AT	
寸法	全長	8990 mm	
	全幅	2480 mm	センサー込み
	全高	3040 mm	
	最低地上高	125 mm	（車高調節あり）
	ホイールベース	4400 mm	
	最小回転半径	7.6 m	（カタログ値）
	タイヤサイズ	245/70R19.5	



外観寸法概要（センサー含まず）



車内レイアウト（いすゞ自動車株式会社様webサイトより引用・一部編集）

図 96　車両諸元および車内レイアウト

① 自動運転車両の設計

走行領域として設定されている柏の葉地区を ODD とした場合の自動運転車両の高度化に関する設計検討を行い、これを実現するための車両の開発を行った。

他事業に使用した自動運転バスを柏の葉での走行を可能とするため、目標とする仕様を下表に整理した。

表 89　自動運転バスの高度化に伴う改造前車両との比較

	本事業の目標	ベース車両（レベル 2）
自己位置推定手法	2 つ以上の手法	1 つの手法
経路追従走行	デジタルマップに基づく走行	デジタルマップに基づく走行
走行環境認識	システムが実施	運転手が実施

自動運転レベル 2 以下（手動運転バス含む）では必要とされていなかった項目についても車両システムで実施する必要があり、これらの項目についての設計を行った。

② 走行制御設計

自動運転バスの走行制御はあらかじめ設定された経路に対して、自車の位置を進める制御を行っている。このため、自動運転レベル 2 では経路から外れた場合は運転士が状況に応じて手動介入を行うこととしていた。

これに対し、本事業では自動運転システムが主体となるため、走行制御においても経路を逸脱することのない様な設計を行う必要がある。走行制御に置いて最も重要となる要素は自己位置推定精度であり、自己位置の推定手法について、本事業でベースとなる自動運転バスには RTK-GNSS と磁気マーカーシステムを搭載していたが、GNSS の受信感度が悪い箇所では磁気マーカーシステムのみでの自己位置推定となることと、柏の葉地区では磁気マーカーが限定して埋設されており、走路全体を安全に走行することが困難となる。このため、これまでのシステムに 3 次元地図とのマッチング機能を搭載し、GNSS 受信可能な領域では GNSS とマップマッチングで自己位置推定を行い、磁気マーカーによる走行領域では磁気マーカーで走行経路の逸脱検知機能を搭載する。

経路設定に用いるデジタルマップについては過年度に採取したものの搭載を予定しているが、図に搭載した 3 次元マップイメージを示す。

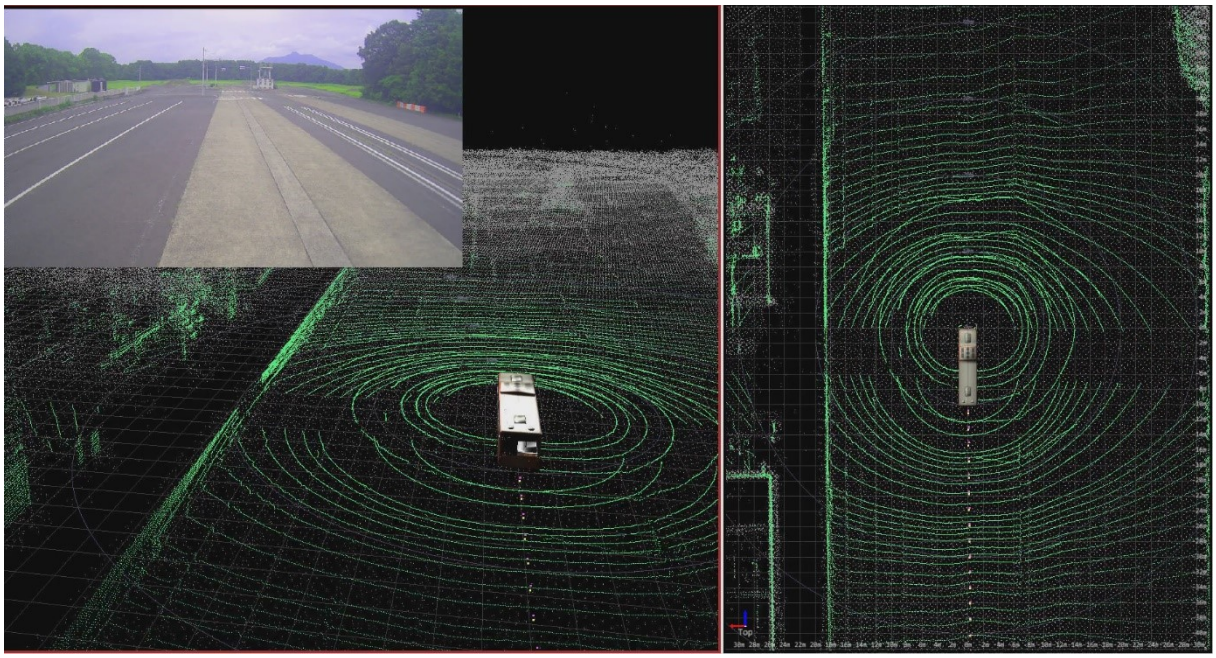


図 97　3 次元マップイメージ

③ 認識に関する設計検討

自動運転車両には歩行者などの認識技術が挙げられる。ベースとした自動運転バスはレベル 2 であったため、発車時等の安全確認を運転手が行っており、車両に搭載していたセンサー群において図 98、図 99 に示すように車両前方、側方に死角が存在していた。このため、車両搭載センサーの死角をなくすようにセンサーの追加検討を行った。

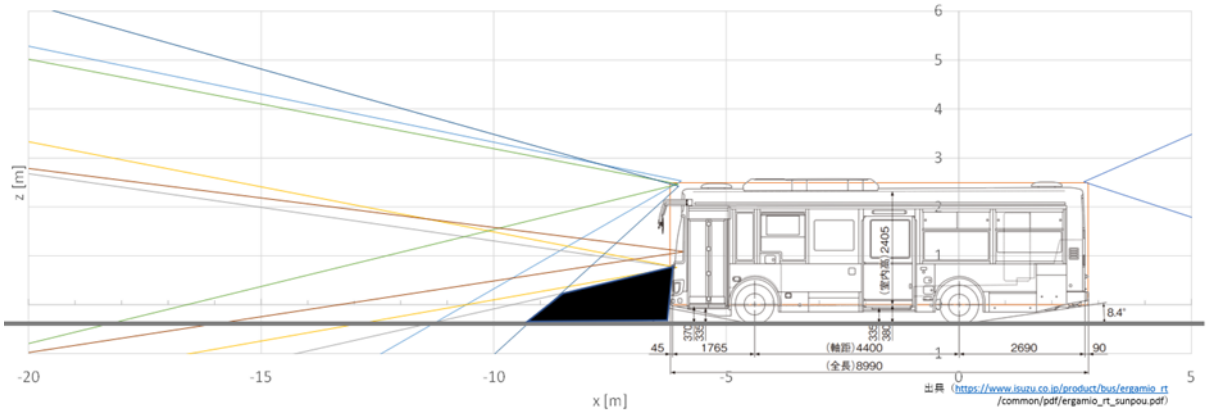


図 98　車両前方センサー死角（黒色部）

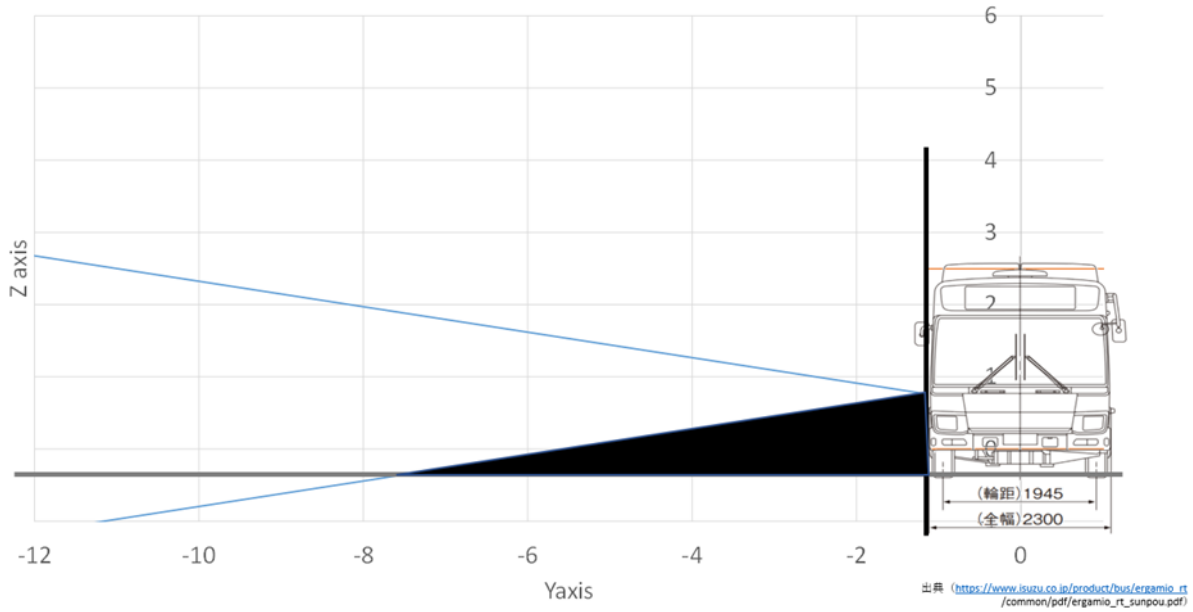


図 99　車両側方センサー死角（黒色部）

ⅱ）　機能安全

① ベース車両システム

本事業で開発したシステム構成を図 100、システムの機能ブロックを図 101 に示す。これらはベース車両のものであり、自動運転レベルはレベル 2 である。

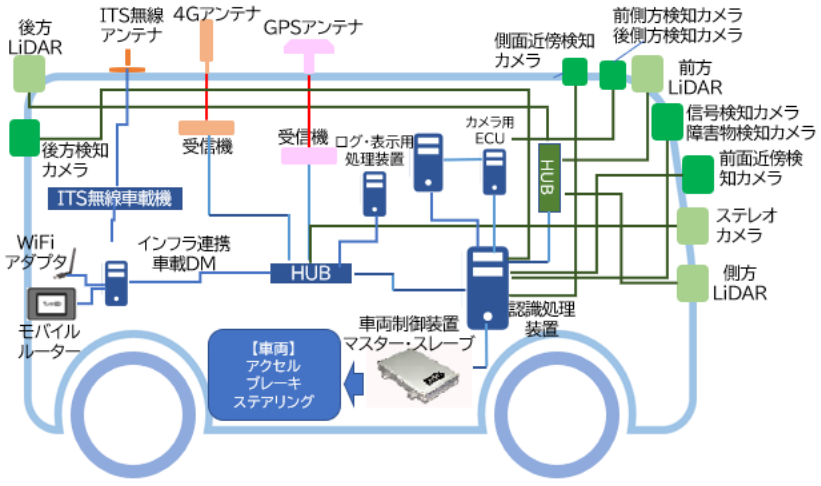


図 100　ベース車両搭載システム

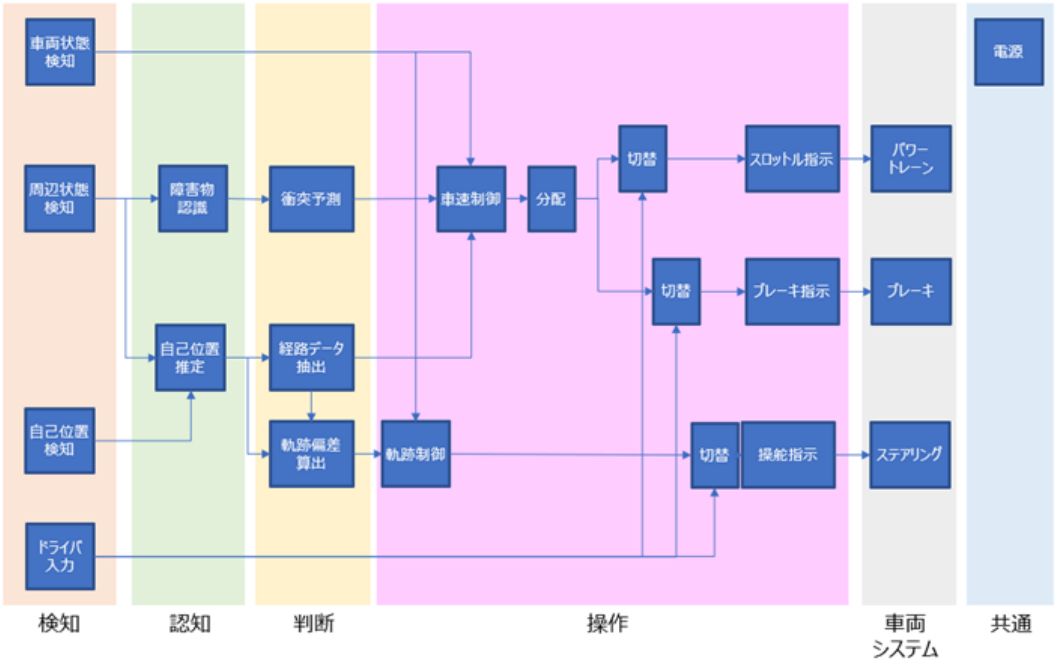


図 101　ベース車両システム機能ブロック

前述のとおりベースとなる自動運転バスはレベル 2 車両であり、本構成に対して自動運転レベル 4 にむけたアセスメントを行うにあたり、各ブロックについて以下に概要を示す。

表 90　機能ブロック概要

ブロック名	説明
車両状態検知	センサーにより車両の状態（車速、ヨー、加速度等）を検知
周辺状態検知	センサーにより車両の周囲状況を検知
自己位置検知	GNSS 等により車両の座標を検出
ドライバー入力	運転手の入力（ハンドル、ペダル操作）を検知
障害物認識	検知した情報から障害物を抽出する
自己位置推定	GNSS 情報と周囲情報から車両位置を推定
衝突予測	認識した障害物が車両の走行に影響を及ぼすか判定
経路データ抽出	一定時間後までの経路データの呼び出し
軌跡偏差算出	走行予定経路と自車の走行経路との差分を抽出
車速制御	車両速度の制御量を導出
軌跡制御	車両の横方向の制御量を導出
スロットル指示	車両への加速指示
ブレーキ指示	車両への減速指示
操舵指示	車両への操舵指示

ベースとなる車両は自動運転レベル 2 であり、各ブロックは 1 重系となっているが、安全性に大きく影響するステアリングシステムは 2 重系を構成している。

② システムの高度化

上記をベースとしで、自動運転レベルの高度化を目指し、システム要素の冗長性を増した構成とし、図 102 に示すシステム構成に沿うよう開発を行った。

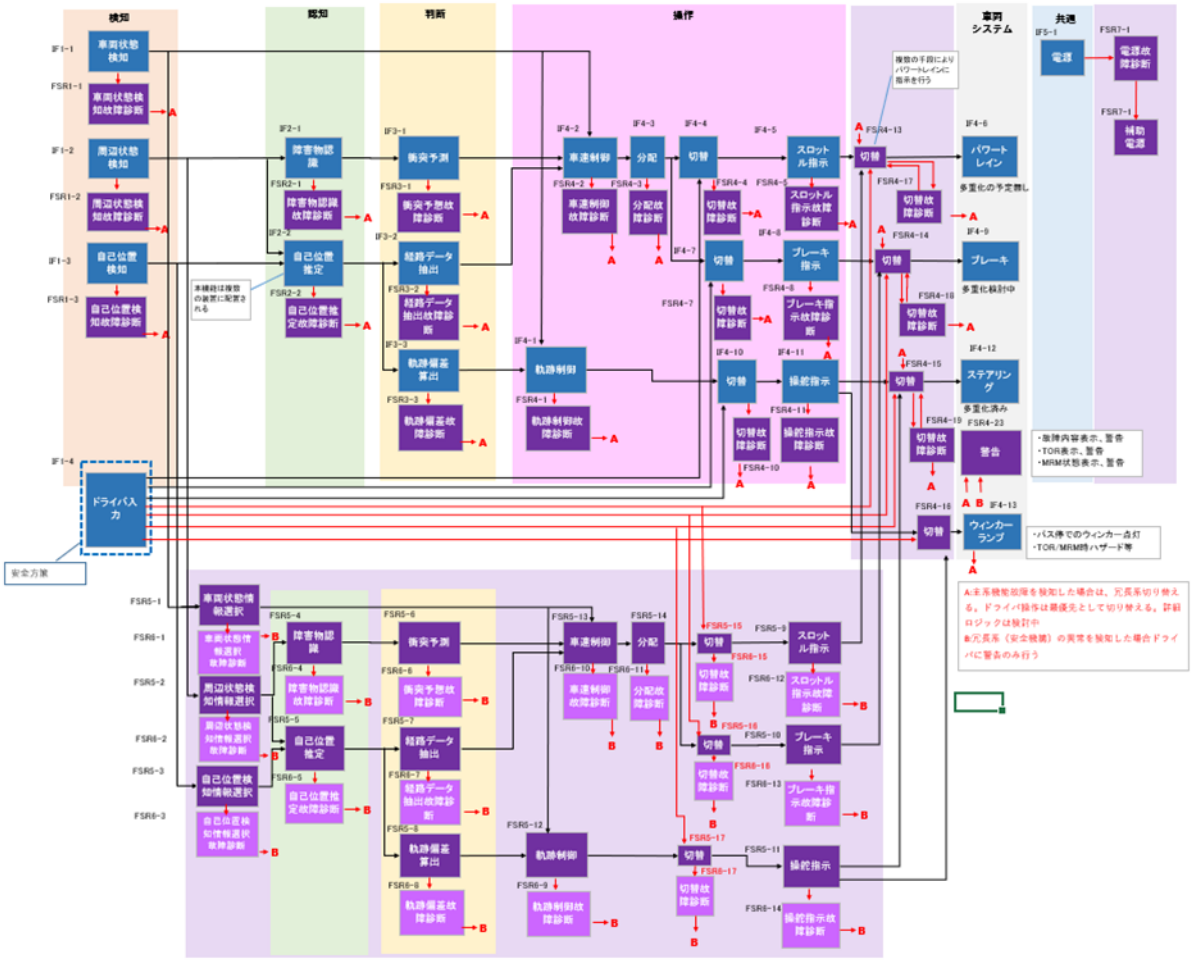


図 102　開発した自動運転システムブロック構成

これに伴い、自動運転システムの状態遷移についてもレベル 2 では図 103 であったものが、図 104 に示すようになり、縮退運転時にも自動運転制御の継続が可能となるよう状態遷移を設計した。

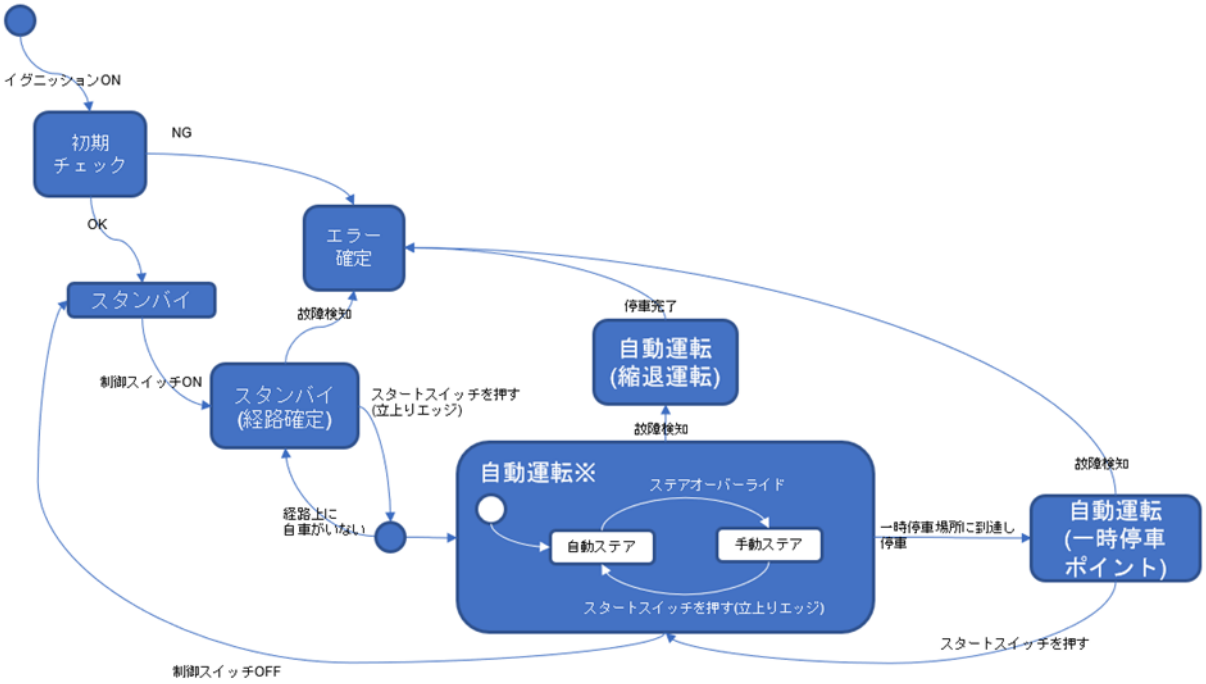


図 103　ベース車両の自動運転システム状態遷移

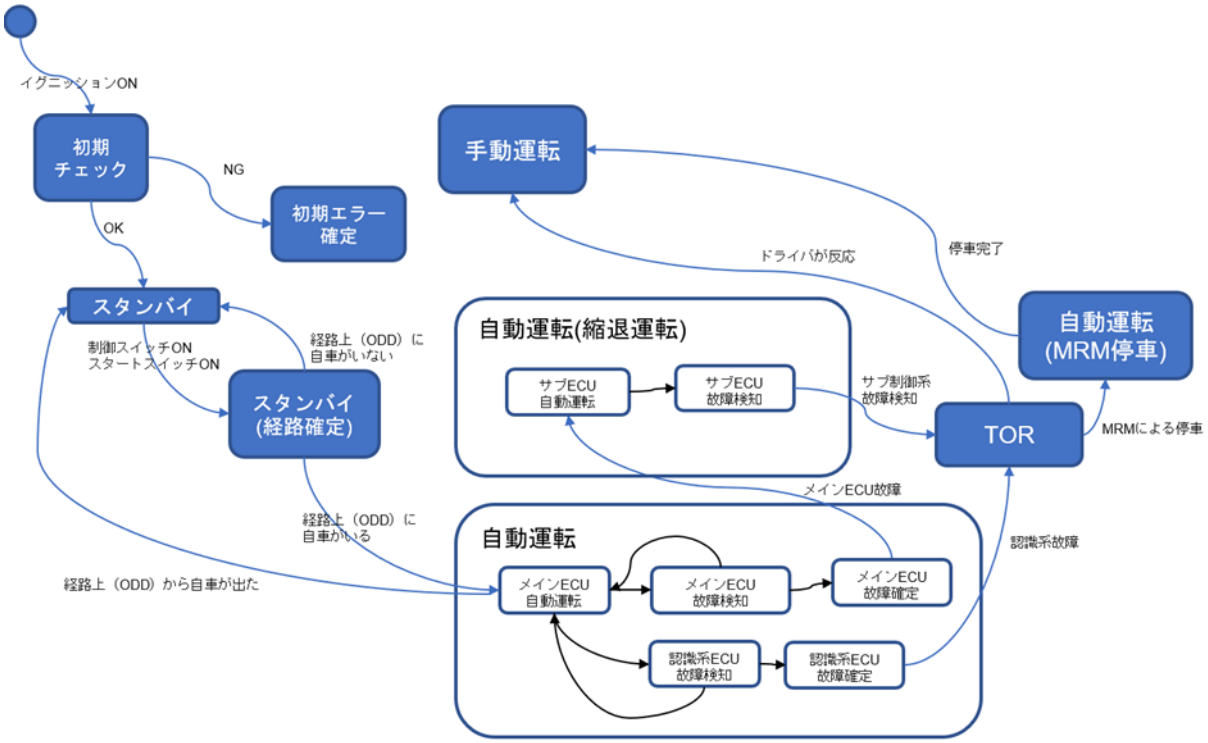


図 104　開発した自動運転システムの状態遷移

ｉｉｉ） 車両開発（ハードウエア）

前節で述べた設計に基づき、高度化に向けたセンサー類の搭載を行った。

● システム認識範囲の拡張

ベースとなる車両のセンサーの死角をなくし、認識性能の向上等を目的としてセンサーの増設および更新を行った。下図にセンサー配置に関する座標系定義を示す。

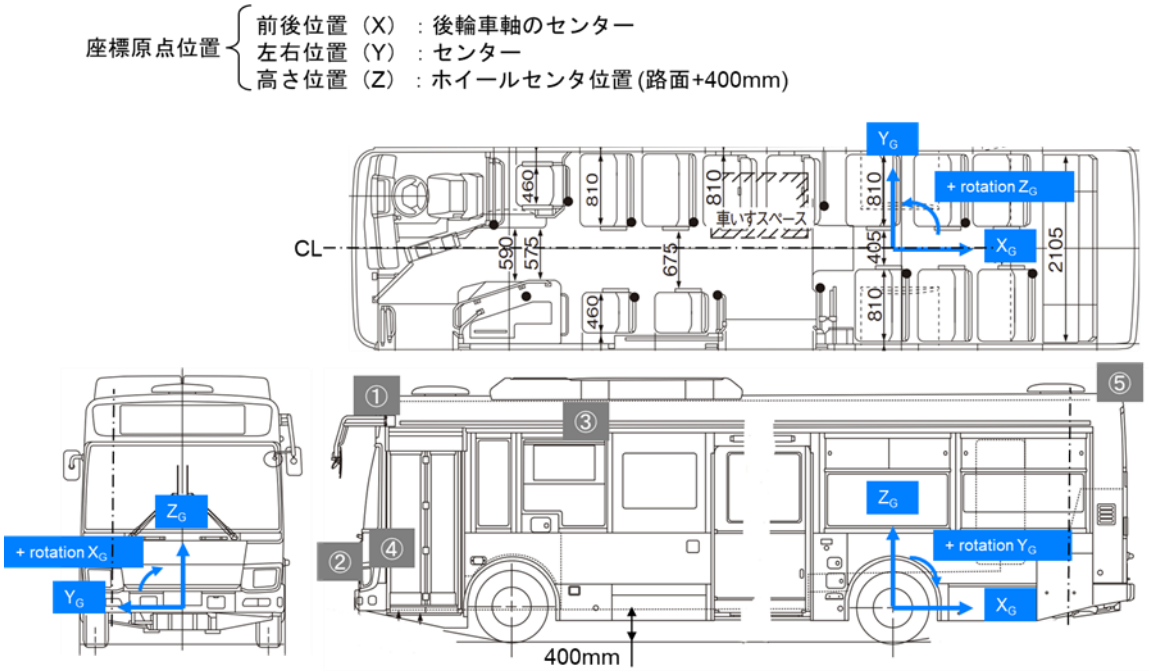


図 105　座標系の定義とセンサー配置

● 各部品配置詳細及び視野

① －1 遠方 LiDAR

センサー仕様から視認距離は市街地で用いるバス（40km/h 以下での走行を仮定）では十分と考えられるため、他事業で使用したセンサーからの変更は行っていない。

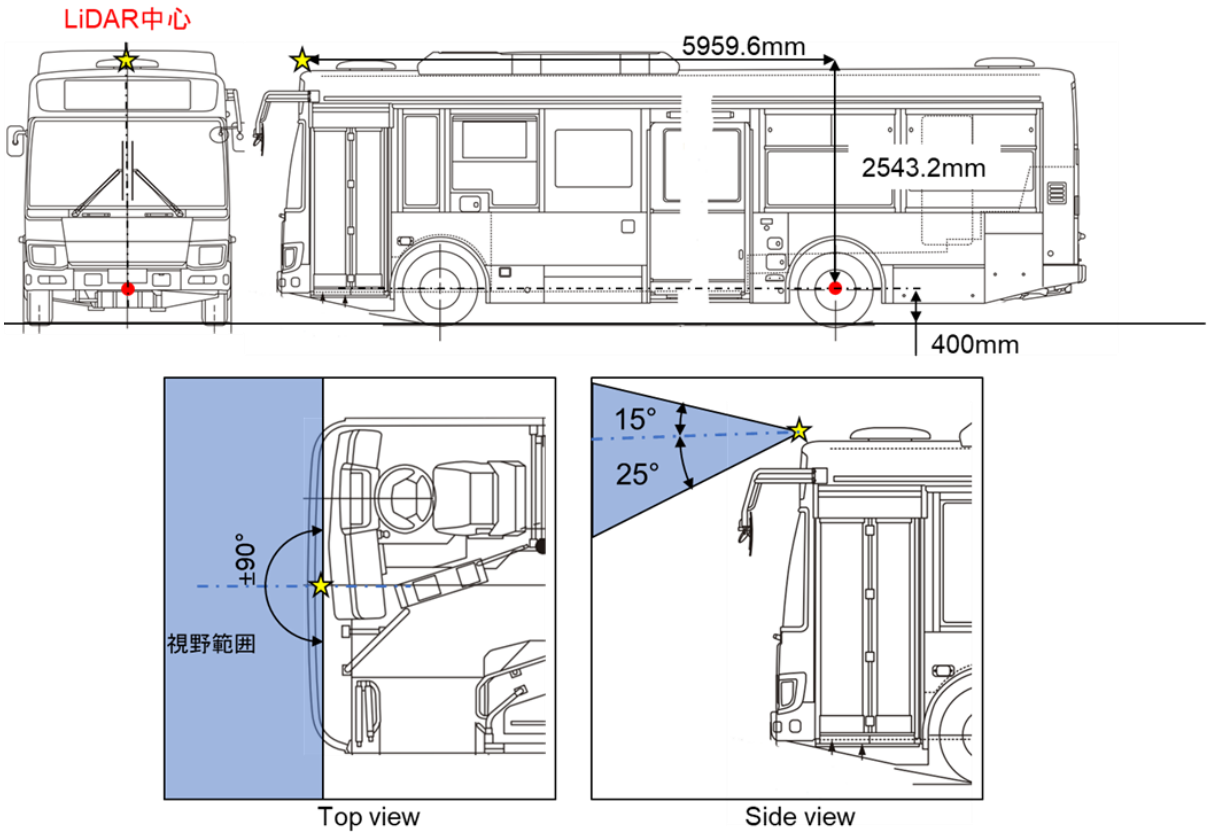


図 106　遠方 LiDAR 配置と視野範囲

① －2 前方遠方カメラ（信号カメラ兼用）

既存搭載品に対し搭載位置の変更はないが、信号認識における課題（周囲照度の低い環境等）対策のため、カメラの変更（主に低照度対策）を実施した。

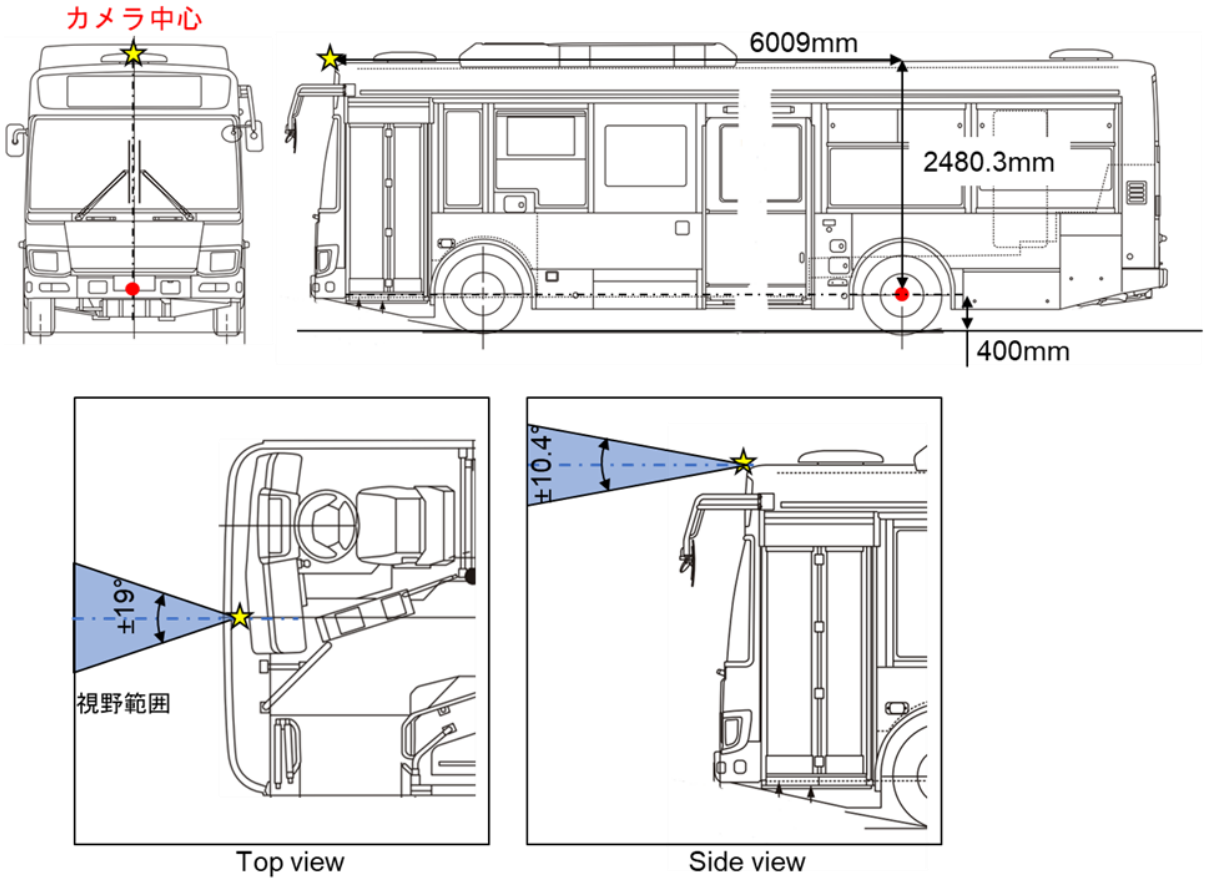


図 107　信号カメラ配置と視野範囲

① －3 前方近傍カメラ

車両前方及び、車両フロント部直近が視野に入るカメラを搭載し、車両前方の死角をなくすようにした。

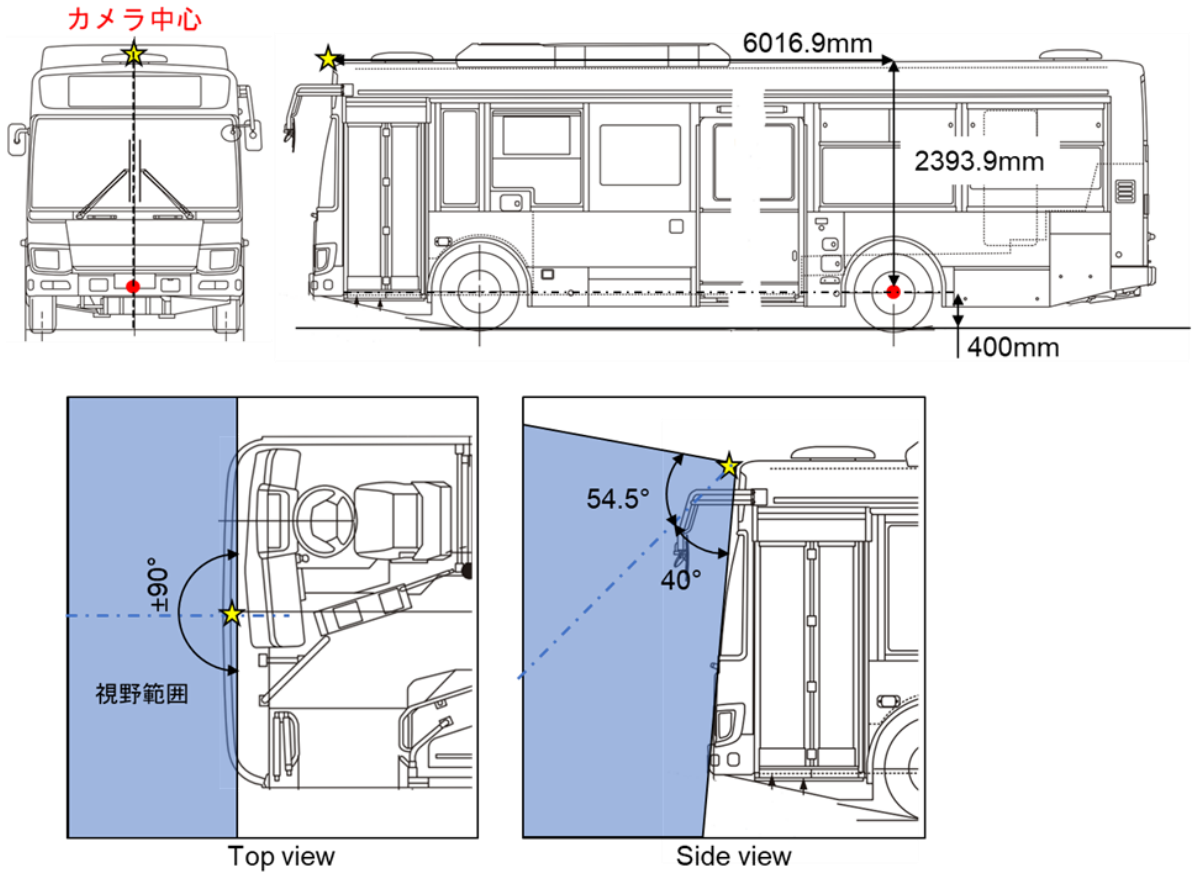


図 108　前方カメラ配置と視野範囲

③ 側方近傍カメラ

車両の右側、左側の直近の物体等を検出するためカメラを新設した。カメラは前方近傍カメラと同じものを搭載した。

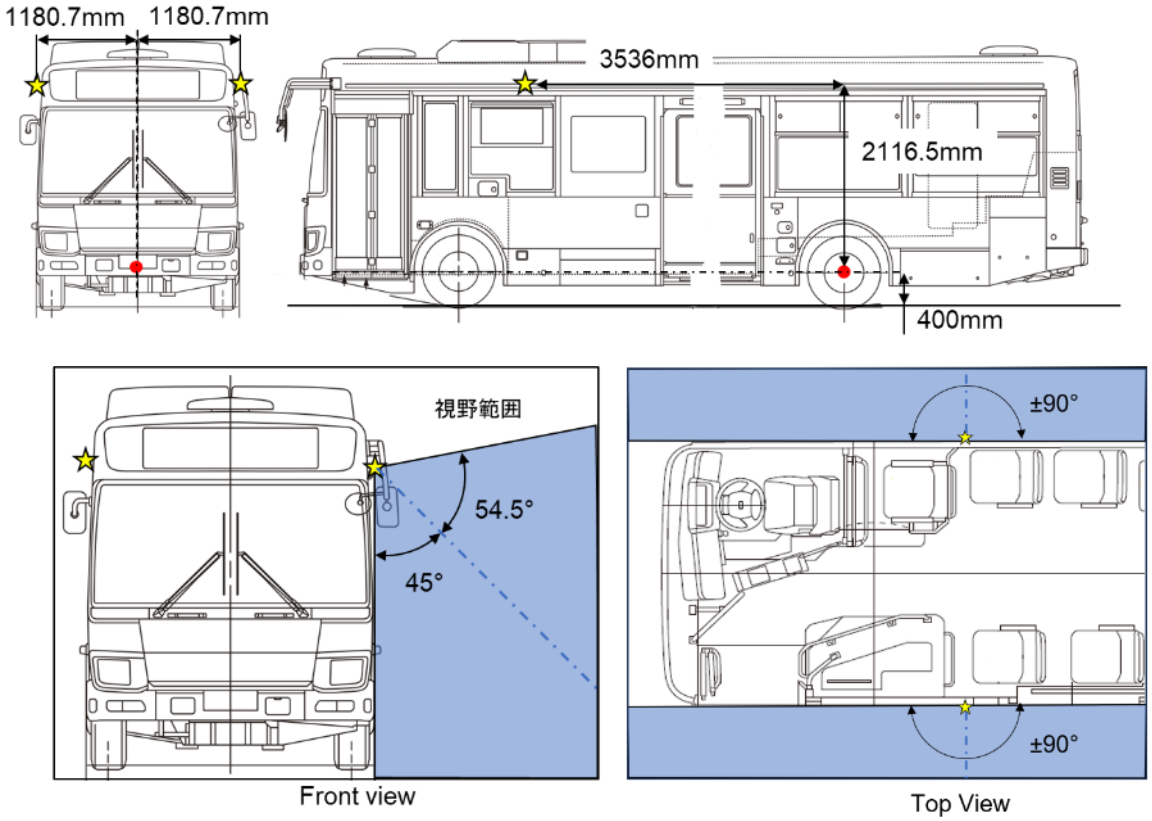


図 109　側方カメラ配置と視野範囲

⑤ 前側方カメラ

既存搭載品からの変更はなく、前方の物体を検知可能な位置に搭載している。

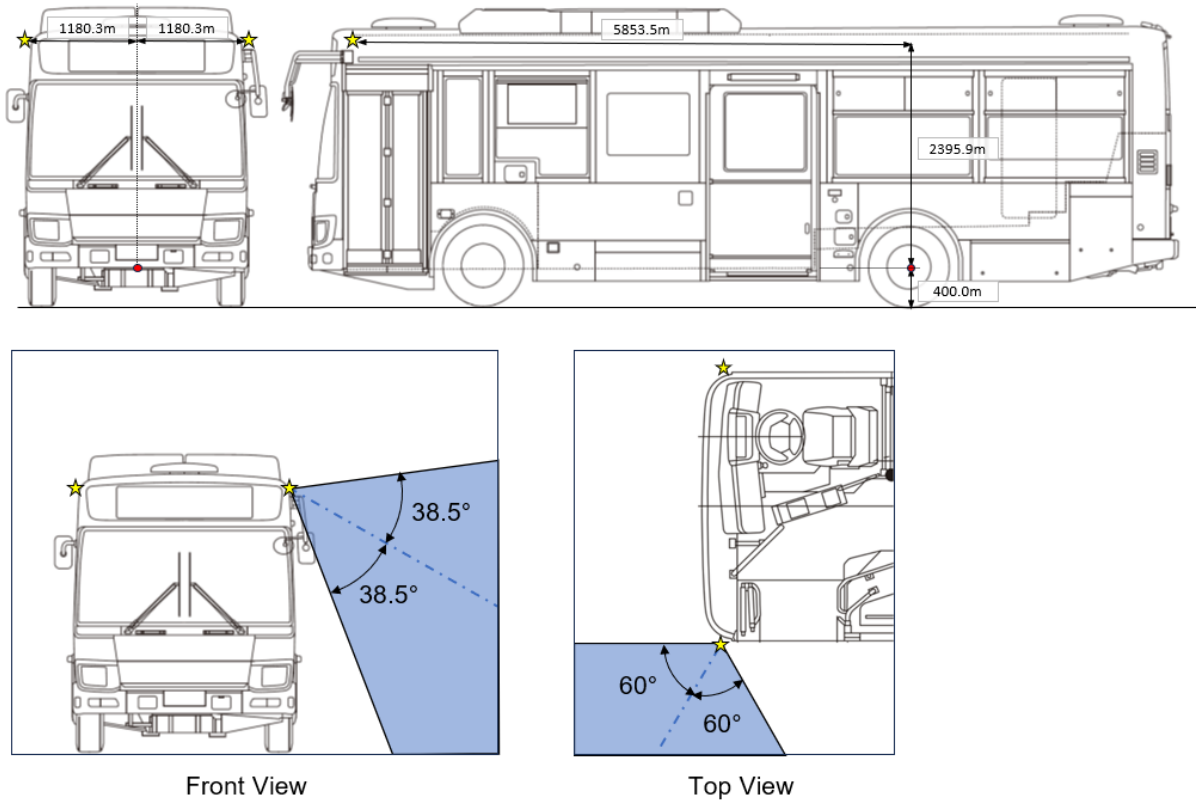


図 110　前側方カメラ配置と視野範囲

⑤ 後側方カメラ

左折時の巻き込みや車線変更を想定して後側方からの接近物体を検出するため後側方カメラを新設した。

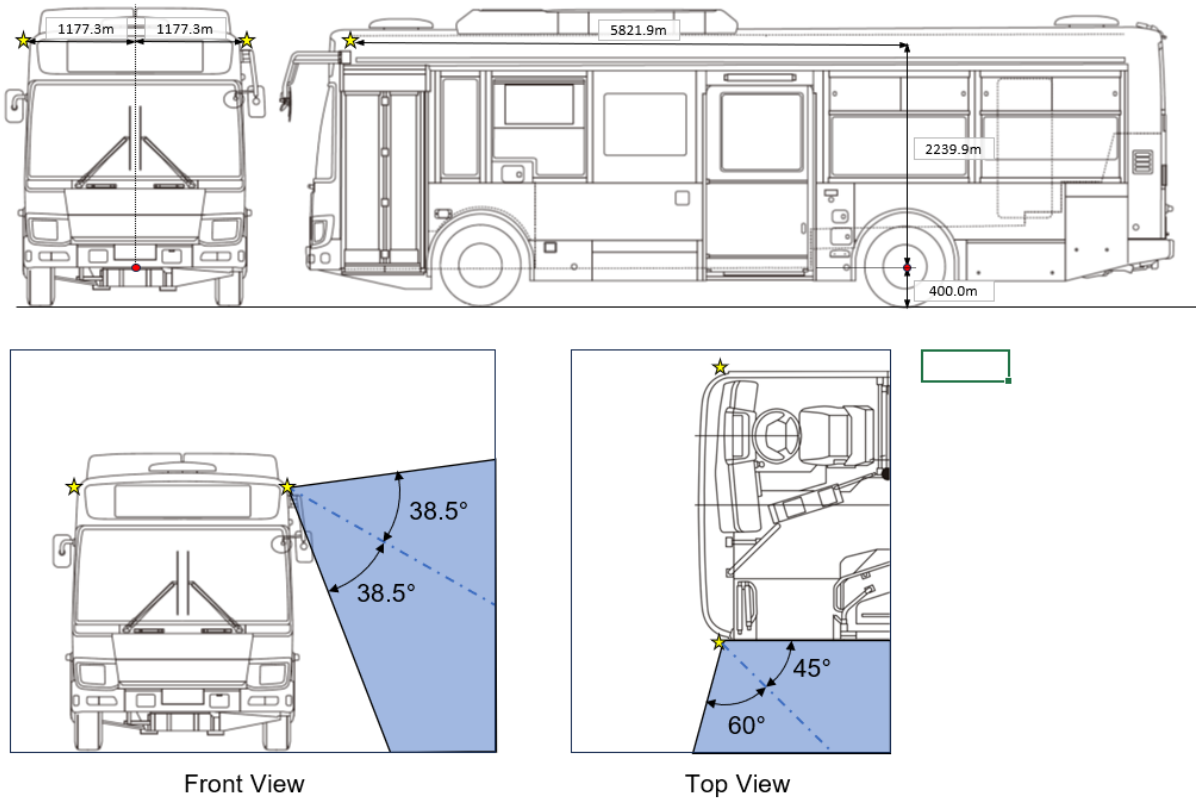


図 111　後側方カメラ配置と視野範囲

④ 側方 LiDAR

ベース車両からの変更点なし。

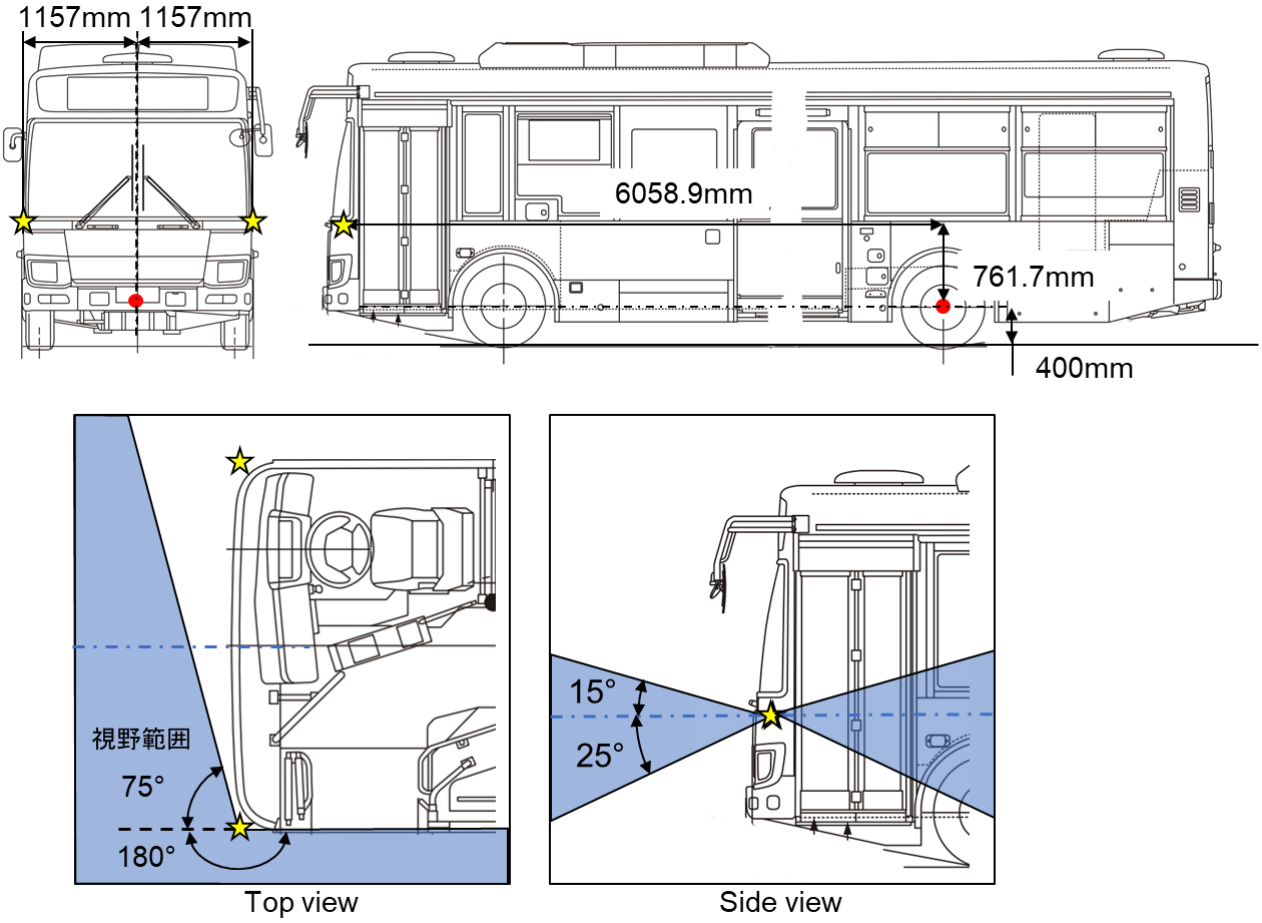


図 112　側面 LiDAR 配置と視野範囲

⑧ 後方カメラ

車体後方の死角を無くすため新設した。カメラは前方近傍カメラと同じものを搭載した。

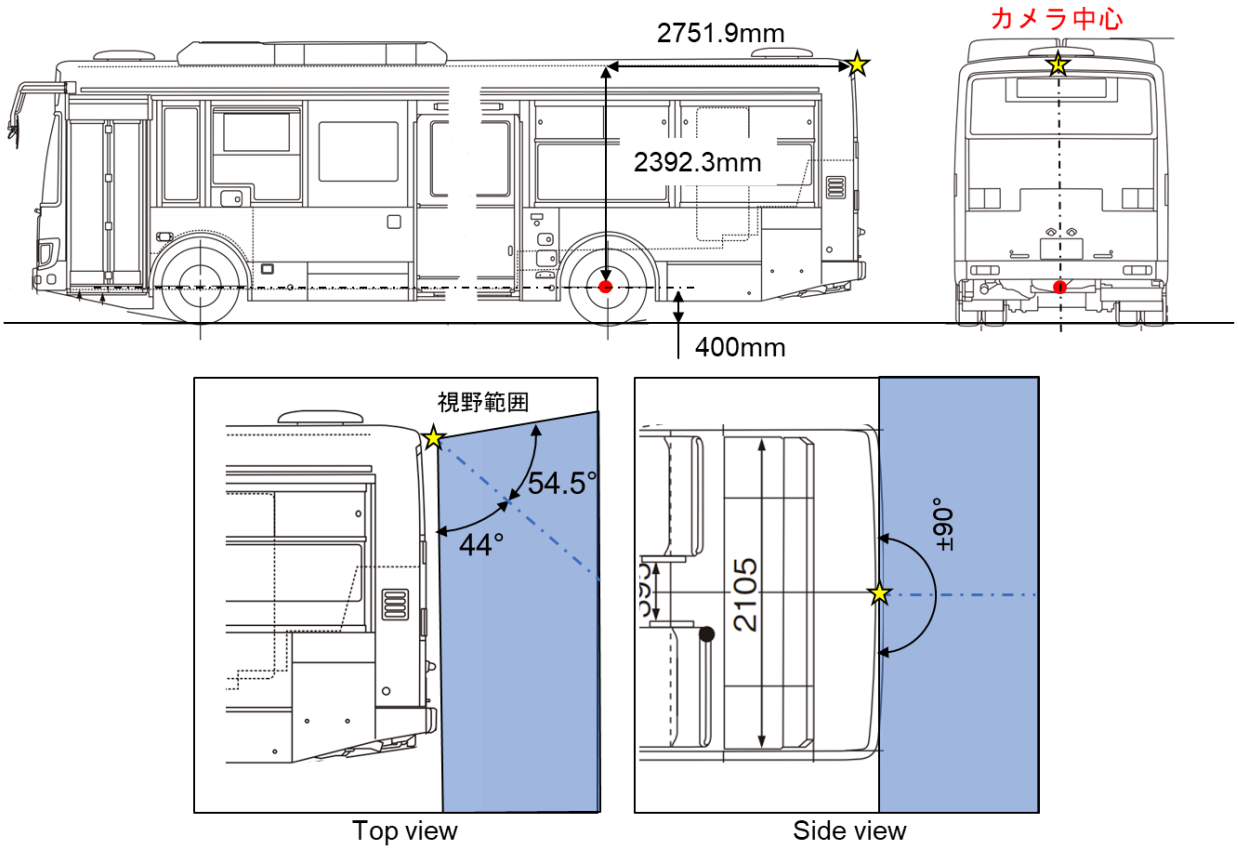


図 113　後方カメラ配置と視野範囲

⑨ 後方 LiDAR

ベース車両からの変更点なし。

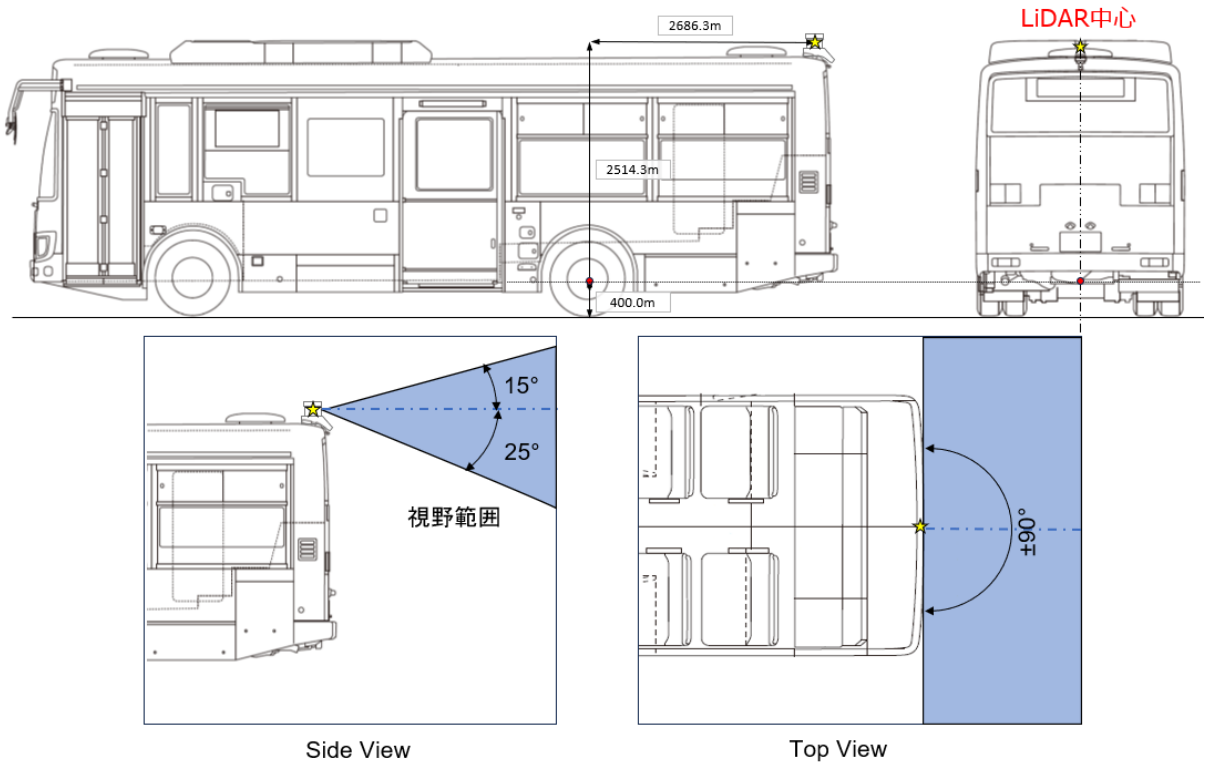


図 114　後方 LiDAR 配置と視野範囲

② －1 側面 LiDAR

ベース車両からの変更点なし。

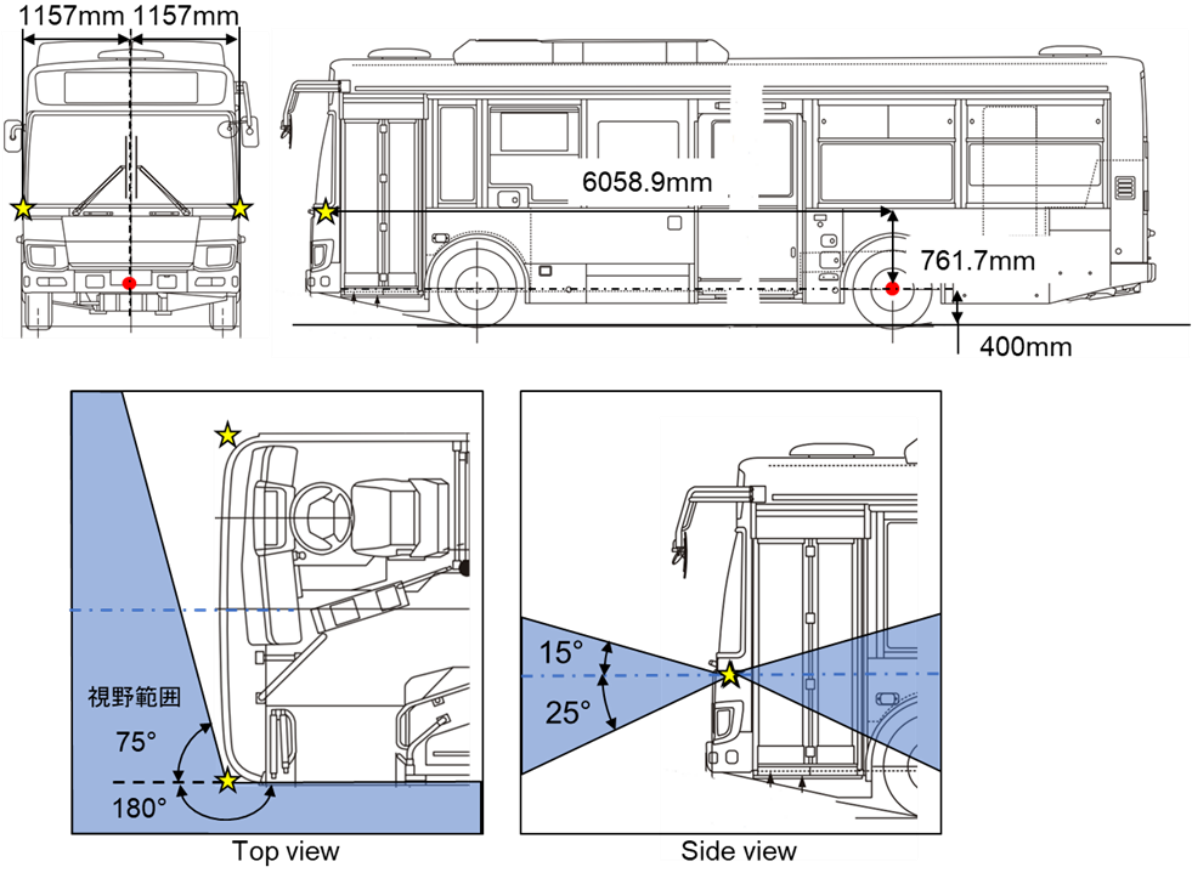


図 115　側面 LiDAR 配置と視野範囲

③ 後方カメラ

車体後方の死角を無くすため新設した。カメラは前方近傍用と同じものを搭載した。

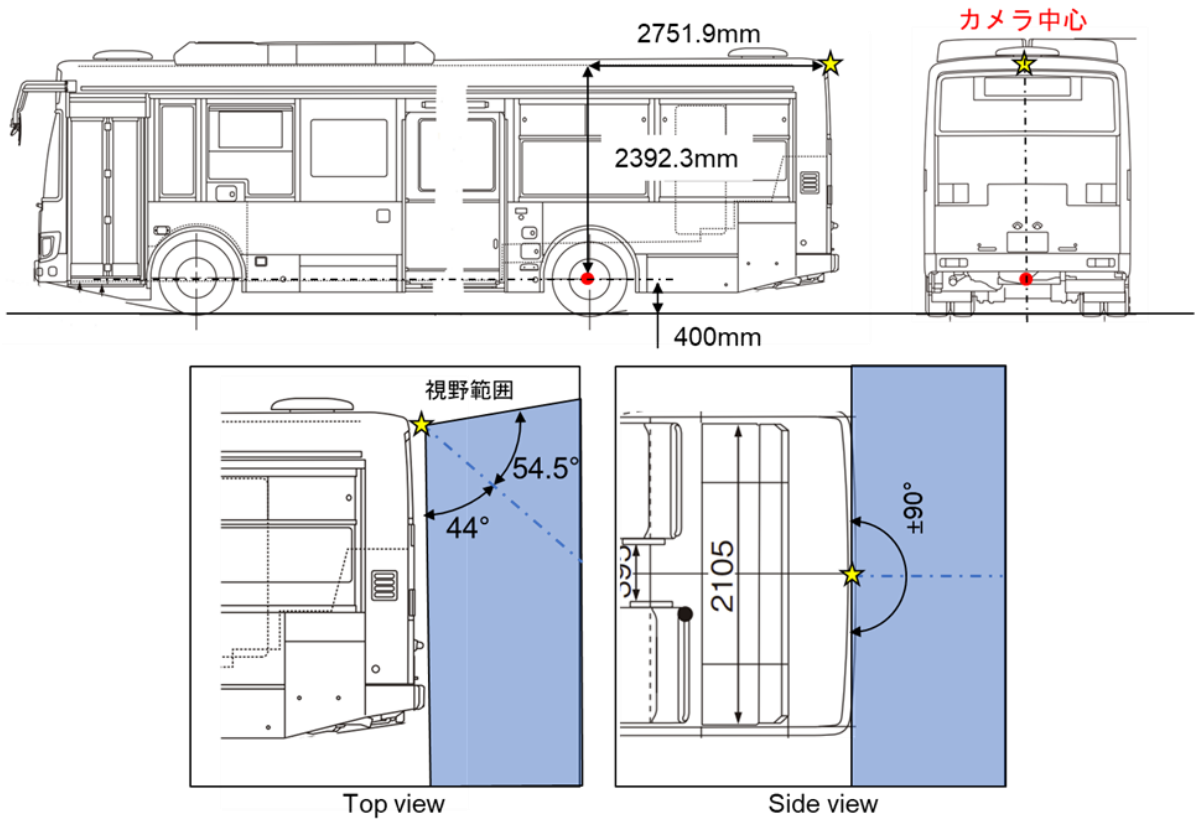


図 116　後方カメラ配置と視野範囲

2) 柏の葉ユースケースに対する自動走行車両の安全評価

(1) 自動走行車両の安全性評価に関する取組みの概要

前節で設計・試作した車両に対して、策定した「安全目標」や「安全走行戦略」が設計どおりに実装されていること、また、設計仕様が妥当であることに関して、車両の安全性を評価する。これらの評価は、テストコースや実路での実車テストとシミュレーションによる仮想テストに大別される。実車テストと仮想テストは、検証対象や目的に応じて、適切に組み合わせて実施する必要がある。

令和5年度テーマ4の車両の安全性評価では、JARIのテストコースと柏の葉地区の実路での実車テストを実施した。仮想テストでの評価は今後の課題である。

なお、車両の認識系と制御系の基本機能・性能に関しては、RTL4テーマ2にて確認されているとの前提で、テーマ4の安全性評価内容を立案・実施した。

1. JARIのテストコースでの実車テストによる安全性評価

認識系に関して、前方の検知性能については特異環境試験（照度、逆光、降雨、霧）をテーマ2で実施済である。テーマ4では差分として、後側方の検知性能に対する照度と逆光の影響についてのみ特異環境試験を実施することとした。

制御系に関しては、認識系と結合した組合せ試験にて安全性を評価することにした。JARIのテストコース Jtown の V2X 市街地エリアにおいて、信号交差点通過（直進、右左折、路上駐車車両の回避）シーンに関して、車両、自転車・二輪車、歩行者のダミーを動作させて動的試験を実施する旨である。

具体的な取組みとしては、JARIが、必要な機能を網羅的に確認するために、安全走行戦略に基づく走行シーンと外乱要因（他の交通参加者の振舞い等）のマトリクスにて試験項目策定の枠組みを定義し、車両開発の先進モビリティ株式会社が詳細試験項目に落とし込み、JARIのテストコース Jtown で試験を実施した。その後、試験結果を関係者にて集中レビューし、公道での実路走行に向けた課題抽出と対策を行っている。

2. 実路走行での実車テストによる安全性評価

柏の葉ルートの実路走行での実車テストにより、現地走行環境における性能や走行方法を確認し、設計どおりの実装が成されているか、および現地走行環境を鑑みて設計仕様やそのベースとした安全走行戦略が安全性の観点で妥当であったか等を評価した。

具体的には、エキスパートによる第三者視点での評価を実施した後に、その結果等を用いた関係者の集中レビューにて、自動走行中の走行状態（自車両と他の交通参加者の振舞い、周囲の道路環境、ドライバーの介入動作など）を記録した映像と車両の走行ログを時系列に突合せて、ドライバー介入シーン、認識系の誤認識と未検知のシーン、あるいは急減速など想定外の車両挙動

シーンを抽出・解析し、実装と設計仕様に関する課題抽出を行っている。

(2) JARI のテストコースでの実車テスト

1. JARI のテストコースでの実車テストにおける試験項目と試験条件の策定

公道走行前に、JARI のテストコースにて自動走行車両の機能・性能の検証を実施した。本節では、まず、テストコース試験にあたり、試験条件の設定の考え方とそれらの具体化について検討した内容を記す。続いて、試験結果を例示する。

i) 試験条件の設定の考え方

試験条件に関して、次の 3 ステップにて検証すべき事項と条件を整理した。

1. 試験の狙いの設定

テストコース試験では、自動走行中において、自動走行装置が以下の安全走行戦略の基本 3 原則に基づいて適切に判断・対応することを検証する。

- 信号が「青」である（現在時刻）
- 走行経路上に障害物がない（現在時刻）
- 他の優先的な交通参加者の通行を妨げない（現在時刻～数秒先）

2. 検証すべき項目の層別化

自動走行装置の判断と対応について列挙の上で層別する。交差点通過（直進、右左折）においては、以下のパターンに整理した。

(a) 交差点進入前：進入可否判断が適切であること

a-1: Go パターン

a-1: Stay パターン

(b) 交差点進入後：状況変化への対応が適切であること

b-1: Go パターン

b-2: Stay パターン

b-3: Go-Stop-Go パターン

3. 具体的な試験条件と試験作業の設定

安全走行戦略のシーン毎に試験条件（シナリオ、試験機器の設定、想定結果など）と試験作業を設定する。外乱無しの状態に登場人物が車両のみである基本シナリオに対して、信号変化や他の交通参加者（車両、自転車・二輪車、歩行者）が引き起こす外乱が付加されるシナリオを列挙して、網羅性を追求することが重要である。交差点通過（直進、右左折）においては、以下の組

合せで試験条件を設定した。

- 基本シナリオ
- 基本 x 外乱 1（信号による外乱）
- 基本 x 外乱 2（対向車による外乱）
- 基本 x 外乱 3（歩行者・自転車による外乱 ）
- 基本 x 外乱 4（死角による外乱）
- 基本 x 外乱 5（路上駐車車両による外乱）
- 基本 x 外乱 1 x 外乱 2 x 外乱 3 x 外乱 4 x 外乱 5（組合せ）

なお、試験時の確認ポイントとして、次の事項を特記する。

- 外乱が動いている場合と停止している場合の判定が正しくできているか？
- 外乱の状態（属性、距離、速度、ベクトルなど）が必要な精度で認識できているか？
- 外乱の状態に合わせて、設計意図通りの走行ができているか？
- 外乱の状態は、①徐行～低速走行　②制限速度　③制限速度超過（実勢速度≒＋30%程度か）の 3 水準くらいか？
- 歩行者飛び出しは、ギリギリ歩行者が通過し切れる（衝突しない）タイミングと速度の評価で良いのではないか？
- 複数の外乱が混在するケースは今回見送りで良いのではないか？（もしクルマの出来が上々ならば余った時間で一部実施を検討）

ii） 試験条件の具体化

前節のステップで設定した JARI のテストコース試験での試験条件について、具体的な試験シナリオ、試験機器設定、想定結果などを説明する。検証対象の走行シーンを縦軸に、基本と 5 つの外乱を横軸にしたマトリクスにて試験条件を整理している。全体をまとめた表を　表 91 に示す。

1.　検証対象の走行シーン（縦軸）

節 2-2.I.2)で安全走行戦略を策定した次の 4 つの走行シーンを検証対象にしている。

- 信号交差点直進（無信号交差点直進は青信号での直進で代替）
- 信号交差点右折
- 信号交差点左折
- 路上駐車車両の回避

2.　基本と 5 つの外乱（縦軸）

網羅性を担保するために、外乱無しの状態に登場人物が車両のみである基本シナリオに対して、信号変化や他の交通参加者（車両、自転車・二輪車、歩行者）が引き起こす外乱が付加されるシナリオを列挙している。

- 基本シナリオ

  バス単独で、外乱なしで走行させる。

- 外乱 1：信号による外乱のシナリオ

  バス走行中に、交差点の進入前あるいは後のタイミングで信号灯火を変化させる。試験条件は、灯火変化のタイミングと車両位置とする。試験条件例を以下に記す。

  - 進入前に青→黄→赤へ変化させる
  - 進入後に前に青→黄→赤へ変化させる

- 外乱 2：対向車両による外乱のシナリオ

  バスが交差点へ進入するタイミングで、対向車両を様々に絡ませて影響を与える。外乱条件は、対向車両の速度と速度変化（加減速）、位置（バスから遠い/近い、バス経路の障害になる/ならない）などとする。試験条件例を以下に記す。

  - バス交差点直進で、対向右折車を右折待機箇所にて停止させる
  - バス交差点直進で、対向右折車を右折待機箇所からはみ出して停止させる
  - バス交差点右折で、対向直進車を速度 40km/h、距離 100m 先で走行させる
  - バス交差点右折で、対向直進車を速度 40jm/h 減速なし、距離 60m 先で走行させる
  - バス交差点右折で、対向直進車を停止線で停止（継続）させる
  - バス交差点左折で、対向右折車を右折待機箇所にて停止させる
  - バス交差点左折で、対向右折車を右折待機箇所からはみ出して停止させる
  - バス交差点左折で、バイクを並走させて直進と左折をさせる

- 外乱 3：歩行者・自転車による外乱のシナリオ

  バスが交差点へ進入するタイミングで、歩行者・自転車を様々に絡ませて影響を与える。外乱条件は、歩行者・自転車の速度、位置、振る舞い（横断歩道の斜め横断、引き返し、飛び出しや信号無視など法規違反の有無）などとする。試験条件例を以下に記す。

  - 交差点直進で、直進先の横断歩道に信号待ち歩行者あり、横断歩行者あり
  - 交差点直進で、（横断歩道以外に）飛び出し歩行者あり
  - 交差点右折で、右折先の横断歩道に横断歩行者あり（真直ぐ横断や斜め横断など複数の振る舞いを設定）、横断待ちや横断済の歩行者あり
  - 交差点左折で、左折先の横断歩道に歩行者あり（真直ぐ横断や斜め横断など複数の

振る舞いを設定)、横断待ちや横断済の歩行者あり

- 外乱 4：死角による外乱

バスが交差点へ進入するタイミングで、進行先を見通す上で死角になる障害物を絡ませて影響を与える。外乱条件は、死角源の位置と振る舞い、および死角から飛び出してくる交通参加者の振る舞いなどとする。試験条件例を以下に記す

- 交差点直進で、対向右折車を右折待機箇所で停止させ、バイクを対向右折待ち車両を追越して右折させる（バイクが飛び出してくる状況）
- 交差点右折で、対向右折車を右折待機箇所で停止させ、バイクを対向右折待ち車両の脇からすり抜けて直進させる（バイクが飛び出してくる状況）
- 交差点右折で、対向右折車を右折待機箇所で一旦停止させ、次に発進させて死角消滅の直後にバイクを直進させる
- 交差点右折で、先行右折車を交差点内で一旦停止させ、次に発進させて死角消滅の直後に、対向車線のバイクを直進通過させる
- 交差点左折で、対向右折車を右折待機箇所で停止させ、バイクを対向右折待ち車両を追越して右折させる（バイクが飛び出してくる状況）

- 外乱 5：路上駐車車両による外乱

バスが交差点へ進入するタイミングで、進行先の走行路に車両を駐車させて影響を与える。外乱条件は、路上駐車車両の位置、他の交通参加者の関与などとする。試験条件例を以下に記す

- 交差点直進で、直進先の自車線に駐車車両を置く
- 交差点右折で、右折先の自車線に駐車車両を置く
- 交差点左折で、左折先の自車線に駐車車両を置く

なお、令和 5 年度の自動走行車両は路上駐車車両に対して停止する実装となっている。次年度に路上駐車車両を回避して走行する制御を実装した際には、回避するに当たっての車線はみだしの有無や、そのタイミングでの対向車両の有無などの試験条件を設定する必要がある。

表 91 に、試験条件の設定の考え方と具体化した試験条件の一覧表を示す。

表 91　試験条件設定の考え方と具体化した試験条件の一覧表

1. 試験条件の考え方

安全走行戦略の基本（３原則）：走行中の確認ポイント
(1) 信号が青
(2) 走路上に障害物が無い

JARIテストコース試験：交差点シーンの検証事項
左記の走行中の確認ポイントの観点にて、判断・対応を検証
(a) 交差点進入前：**進入可否判断が適切**であること
　a-1: Goパターン
　a-1: Stayパターン
(b) 交差点進入後：**状況変化への対応が適切**であること
　b-1: Goパターン
　b-2: Stayパターン
　b-3: Go-Stop-Goパターン

JARIテストコース試験：具体的な試験作業
・まず、テストコースに対する車両制御の適合作業を実施
・次に、シーン毎に判断の妥当性を検証する試験シナリオを実施
　基本
　基本 x 外乱１（信号による外乱）
　基本 x 外乱２（対向車による外乱）
　基本 x 外乱３（歩行者・自転車による外乱）
　基本 x 外乱４（死角による外乱）
　基本 x 外乱１ x 外乱２ x 外乱３（組合せ）

実験における確認ポイント（考え方）について
１外乱が動いている場合と停止している場合の判定が正しくできているか？
２外乱の状態（属性、距離、速度、ベクトルなど）が必要な精度で認識できているか？
３外乱の状態に合わせて、設計意図通りの走行ができているか？
４外乱の状態は、①徐行～低速走行　②制限速度　③制限速度超過（実勢速度＝＋30%程度か）の３水準くらいか？
５歩行者飛び出しは、ギリギリ歩行者が通過し切れる（衝突しない）タイミングと速度　の評価で良いのではないか？
６複数の外乱が混在するケースは今回見送りで良いのではないか？（もしクルマの出来が上々な

2. 試験条件の具体化

試験シナリオ ／ シーン	基本	外乱１	外乱２		外乱３		外乱４	
	パス単独で走行	信号（走行中の確認ポイント (1) に関連）	対向車（走行中の確認ポイント (2) (3) に関連）		歩行者・自転車（走行中の確認ポイント (2) (3) に関連）		死角（走行中の確認ポイント (2) (3) に関連）	
		【記載の説明】 外乱の設定条件：位置、灯火 →パスの判断・対応パターン		【記載の説明】 外乱の設定条件：位置（遠近、安全・障害）、速度変化（加減速） →パスの判断・対応パターン		【記載の説明】 外乱の設定条件：位置（遠近、安全・障害）、速度変化（加減速） →パスの判断・対応パターン		【記載の説明】 外乱の設定条件：位置（遠近、安全・障害）、速度変化（加減速） →パスの判断・対応パターン
交差点直進	信号青で直進	進入前に青→黄→赤へ変化させる： →b-2 パスが進入しないパターン	対向右折車あり	右折車を右折待機箇所で停止させる： (2)軌跡が被らないので障害物無し →b-1パスが直進するパターン	直進先横断歩道に歩行者あり	(3) 優先交通参加者を妨げる →b-3 パスが停止するパターン	対向右折待ち車による死角あり	右折車を右折待機箇所で停止させる、バイクがその右折待ち車両を追越して右折： (2)軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが直進しないパターン
		進入後に青→黄→赤へ変化させる： →b-3 パスが速やかに直進するパターン		右折車を右折待機箇所は み出しで停止させる： (2) 軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが直進しないパターン	（横断歩道以外に）飛び出し歩行者あり	(2) 走路上に障害物があり →b-3 パスが停止するパターン		
交差点右折	信号青で右折	進入前に青→黄→赤へ変化させる： →b-2 パスが進入しないパターン	対向直進車あり	直進車を距離と速度が例100m先40km/h? で走行させる： (3) 直進車の通過を妨げない →b-1 パスが対向車の通過前に右折するパターン	右折先横断歩道に歩行者あり	(3) 優先交通参加者を妨げる →b-3 パスが停止するパターン	対向右折待ち車による死角あり	右折車を右折待機箇所で停止させる、バイクがその右折待ち車両をすり抜けて追い越して直進： (2)軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが右折しないパターン
		進入後に青→黄→赤へ変化させる： →b-1 パスが速やかに右折するパターン		直進車を距離と速度が例60m先40km/h? 減速なしで走行させる： (3) 直進車の通過を妨げる →b-3 パスが対向車の通過後に右折するパターン	（横断歩道以外に）飛び出し歩行者あり	(2) 走路上に障害物がある →b-3パスが停止するパターン		右折車を右折待機箇所で停止させる、バイクがその死角消滅の直後に直進： (2)軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが右折しないパターン
				対向直進車が停止線で停止している →b-3				先行右折車を右折させる、バイクがその死角消滅直後に直進： (2)軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが右折しないパターン
交差点左折	信号青で左折	進入前に青→黄→赤へ変化させる： →パスが進入しないパターン	対向右折車あり	右折車を右折待機箇所で停止させる： (2)軌跡が被らないので障害物無し →b-1 パスが左折するパターン	左折先横断歩道に歩行者あり	(3) 優先交通参加者を妨げる →b-3 パスが停止するパターン	対向右折待ち車による死角あり	右折車を右折待機箇所で停止させる、バイクがその右折待ち車両を追越して右折： (2)軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが左折しないパターン
		進入後に青→黄→赤へ変化させる： →パスが速やかに左折するパターン		右折車を右折待機箇所は み出しで停止させる： (2) 軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが左折しないパターン	（横断歩道以外に）飛び出し歩行者あり	(2) 走路上に障害物がある →b-3パスが停止するパターン		
			並走するバイクあり	バイクを並走して直線・左折させる： (2) 軌跡が被るので障害物あり →b-3 パスが左折しないパターン				
路駐車回避	直進路自車線に路駐車あり							
	右折先進路自車線に路駐車あり							
	左折折先進路自車線に路駐車あり							
信号なし交差点	直進	—	側道からの割り込み	側道からの割り込み	直進先横断歩道に歩行者あり	(3) 優先交通参加者を妨げる →b-3 パスが停止するパターン		
		—		頭出ししてきた車両に対して、	（横断歩道以外に）飛び出し歩行者あり	(2) 走路上に障害物があり →b-3 パスが停止するパターン		

(3) JARI のテストコースでの実車テストの試験結果

以降では、JARI のテストコースでの実車テストに係る試験結果を例示する。

JARI の V2X 試験場を使用して、自動走行車両の基本性能の把握と柏の葉で想定される状況を模擬した自動走行確認試験を実施した。代表的な試験条件での試験結果を以下に示す。

(1) 交差点を青信号で直進するケース

表 92　シーンと外乱

シーン	外乱 1	外乱 2	外乱 3	外乱 4
交差点直進	**信号（青信号）**	-	-	-

【試験概要】

直線路先の交差点手前 140m の地点から発進し、青信号になるタイミングで交差点を通過する。その間の信号灯色の認識結果を調査。

【試験結果】

3 回の試験結果を図　117 に示す。移動時に交差点手前 110m～120m 付近で検出途切れや検出エラーが起こる場合があるが、100m 内では誤りなく信号灯色を認識できており、車両が交差点へ接近中に信号灯色が赤から青に切り替わったことを認識し交差点を通過できた。

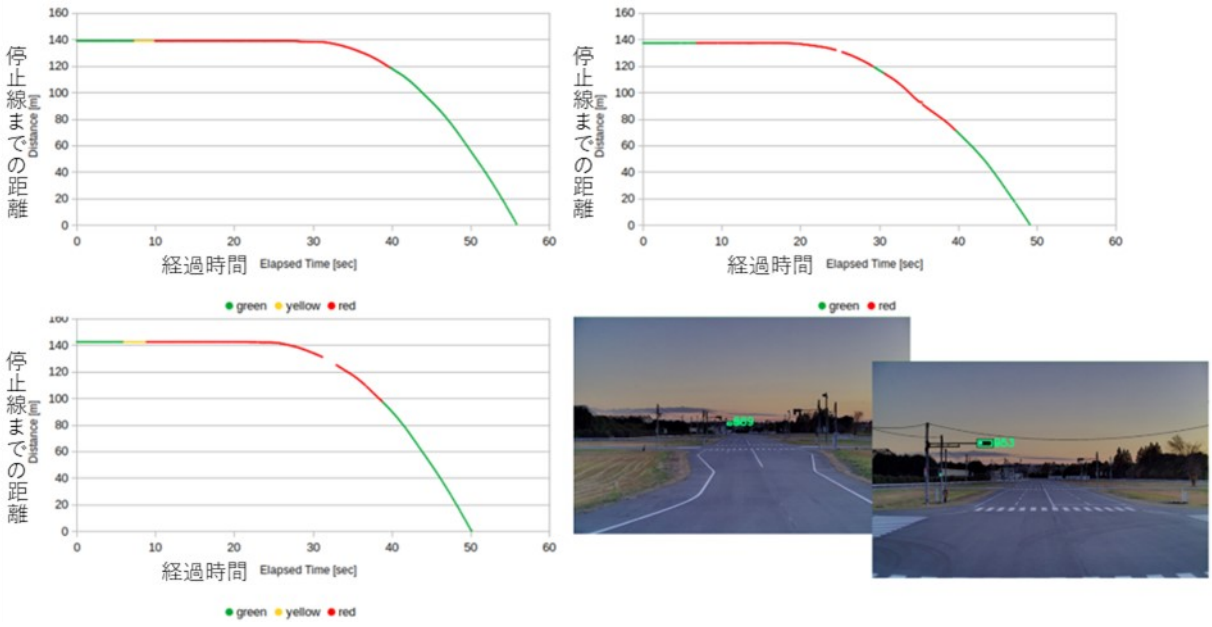


図 117　信号灯色認識結果

(2) 交差点侵入前に信号灯色が変化（青→黄→赤）するケース

表 93　シーンと外乱

シーン	外乱 1	外乱 2	外乱 3	外乱 4
交差点直進	信号（赤信号）	-	-	-

【試験概要】

直線路先の交差点手前 140m の地点から発進し、赤信号になるタイミングで交差点手前の停止線で停止する。その間の信号灯色の認識結果を調査。

【試験結果】

3 回の試験結果を図　118 に示す。交差点手前 130m 内で誤りなく信号灯色を認識できており、車両が交差点へ接近中に信号灯色の変化（青→黄→赤）を認識できており、交差点手前の停止線で停止できた。

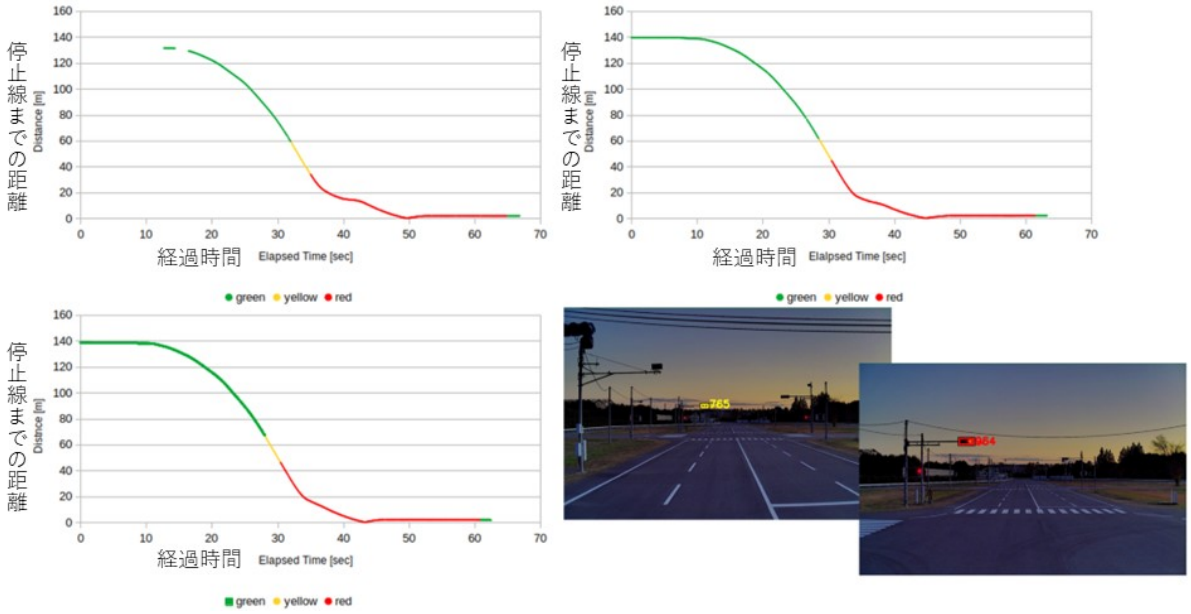


図 118　信号灯色認識結果

(3) 対向直進車両の通過を待って交差点を右折するケース

表 94　シーンと外乱

シーン	外乱 1	外乱 2	外乱 3	外乱 4
交差点右折	信号（青信号）	対向直進車	-	-

【試験概要】

図 119 のように自動走行車両が交差点を右折する場面において、対向車両を交差点から 100m 離れた位置から時速 30km/h で交差点を直進通過させ、自動走行車両が対向車両の通過を待って右折できることを確認する。

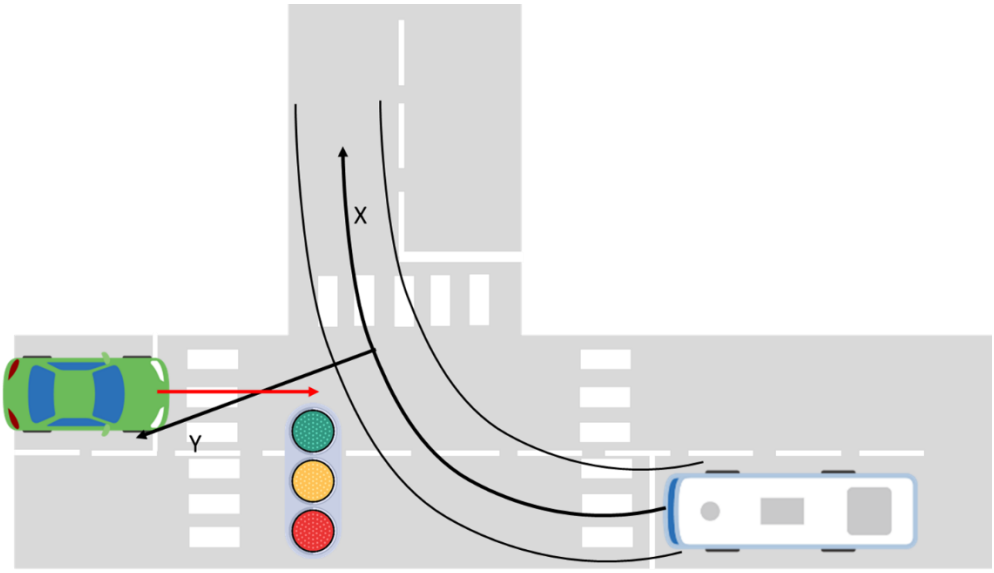


図 119　試験概要

【制御仕様】

外乱対象が車両の場合の自動走行車両の制御は、

1. 信号が青の場合は停止線を通過、信号が黄、赤の場合は停止線で停止。
2. 交差点手前 50m から、検出した他の車両の TTL(図 120　Time To Lane:そのまま走行したとして自動走行車両の今後のルートに達するまでの時間)を演算。バスが交差点を通り抜けるのに約 10 秒かかることを考慮して、TTL が 10 秒以内なら交差点内の右折待機箇所で停止。
3. 右折待機場所で停止中、他の車両の TTL が 10 秒以内でなくなったら発進。

としている。

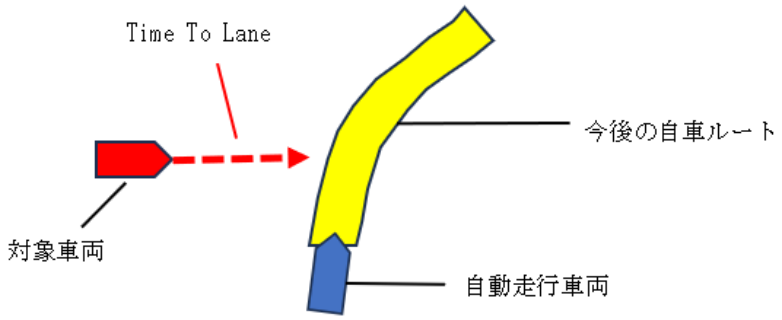


図 120　Time To Lane

【試験結果】

試験開始からの時間を横軸にして、自動走行車両が認識している対向車両の相対位置及び相対速度を図 121 に、対向直進車両の TTL を図 122 に示す。

図 121 に示すように、対向車両の相対位置、相対速度は、約 85m 先から交差点通過まで連続的に認識できていた。

図 122 に、自動走行車両で検出した対向車両の TTL を示す。A：自車右折待機箇所到着時点(4.6sec)から、C：対向車両交差点通過(13.2sec)までの間では、対向車両の TTL が 10 秒より小さいため、自動運転車両が右折待機箇所で停車しており、対向車両通過(13.1sec)をまって 15.7sec 時点で自動運転車両が右折か開始したことがわかり制御が設計通り働いており、自動走行車両が対向車両の通過を待って右折できるこが確認できた。課題としては、検出した TTL 値にばらつきがあり、TTL 演算に用いる相対速度の精度向上が必要である。

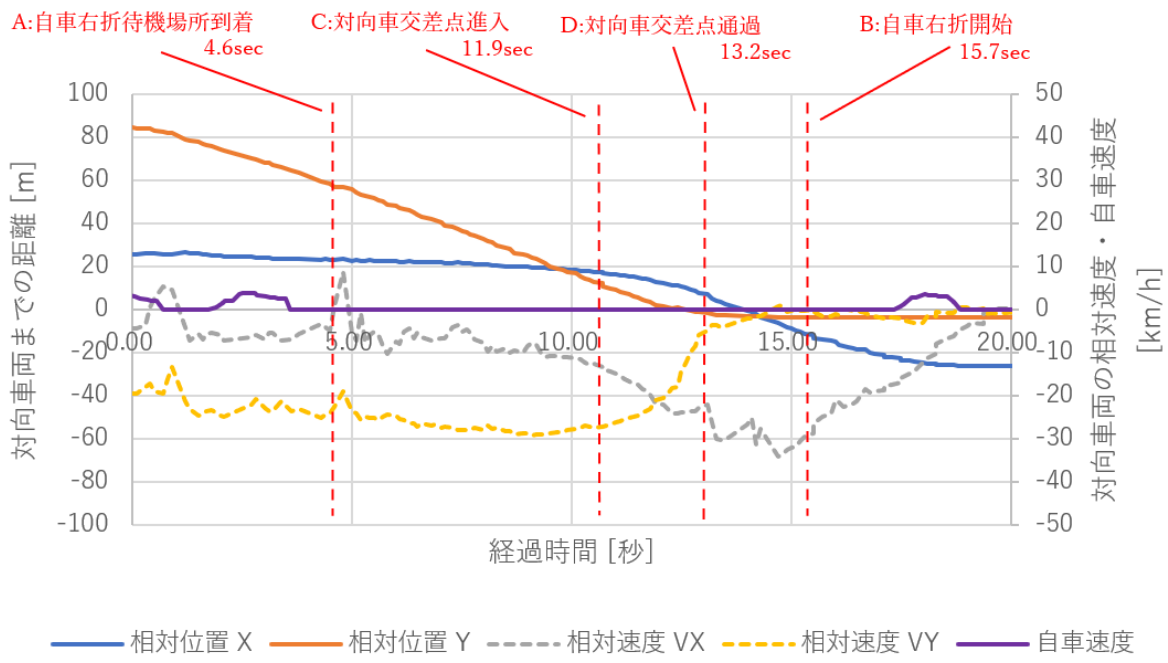


図 121　対向車両の検出位置と相対速度

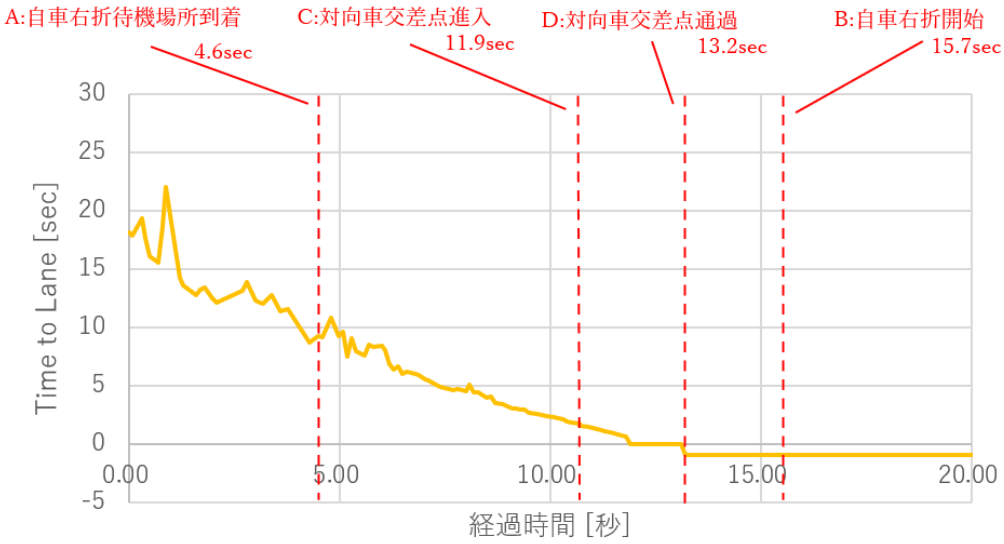


図 122　対向車両の TTL（Time To Lane）（※通過後は無限大となるがグラフでは-1 と表示）

(4) 右折先の横断歩道を横断している歩行者がいるケース

表 95　シーンと外乱

シーン	外乱 1	外乱 2	外乱 3	外乱 4
交差点右折	信号（青信号）	-	歩行者（横断歩道上）	-

【試験概要】

図 123 のように、自動走行車両が交差点を右折する場面において、歩行者（ダミー）が時速 3km/h で交差点へ接近し、右折先の横断歩道を横断する。自動走行車両が歩行者を検出し右折待機箇所で停止、歩行者が横断歩道横断後に発進し右折できるかを確認する。

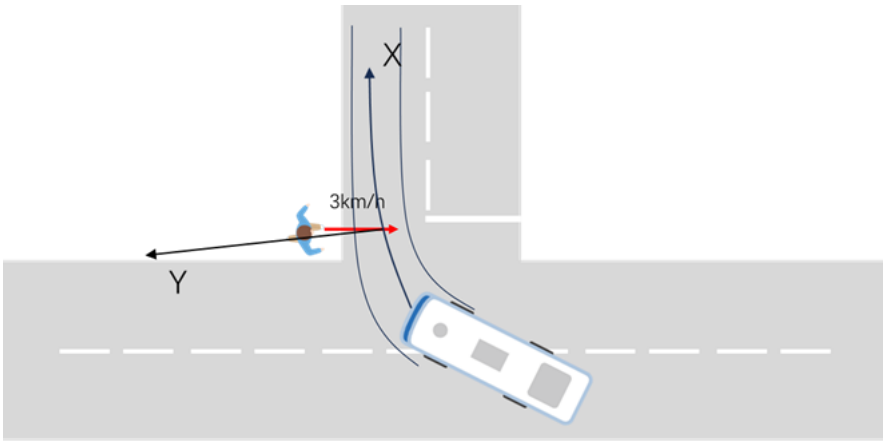


図 123　試験概要

【制御仕様】

右折時の自動走行車両の制御概要を以下に示す。

このケースでは下記 3 つの制御が働く

制御 1：信号が青の場合は停止線を通過、信号が黄、赤の場合は停止線で停止。

制御 2：交差点手前 50m から交差点通過まで、検出した車両、歩行者、自転車の TTL が 10 秒以内の場合、右折待機箇所で停止する

制御 3：交差点手前 50m から交差点通過まで、交差点毎に決めるエリア（図 124 の③のエリア）に歩行者・自転車があるときには TTL にかかわらず右折待機箇所で停止する。

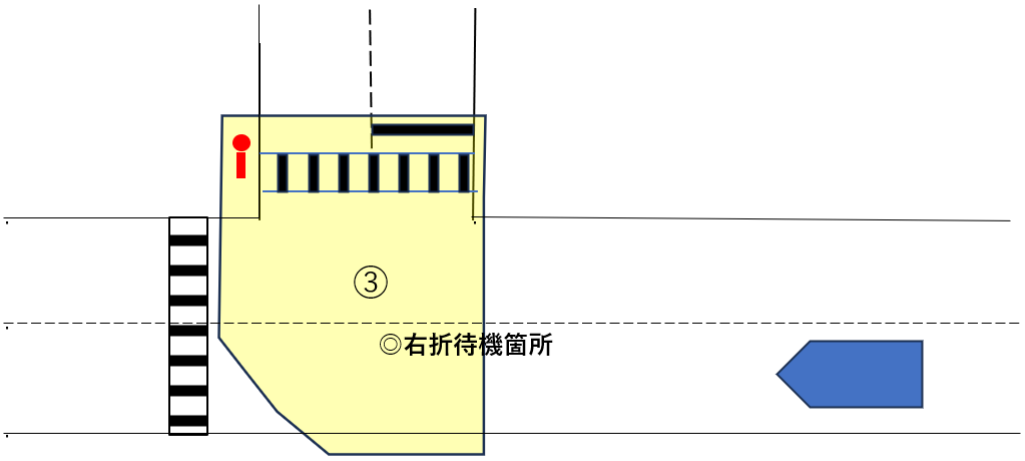


図 124　右折時検知エリア

【試験結果】

試験時の速度指示値の推移を図 125 に、実験時の車両位置を図 126 に示す。

図 125、図 126 をベースに試験結果を時系列で分析する。

1. 0 秒から 20 秒：自動走行車両、歩行者は S の位置からスタート。右折時検知エリア（黄色エリア）に歩行者がいるため、自動走行車は右折待機箇所での停止に向けて減速し、右折待機箇所で停車。
2. 20 秒から 34 秒：タイミング A（20 秒）の時点では、歩行者が右折時検知エリア内の A の位置にいるので、自動走行車両は停止を継続。
3. 34 秒以降：タイミング B（34 秒）で、歩行者が右折時検知エリアを抜ける。自動走行車両は、目標速度 8km/h で発進し右折。

上記①から③の制御が設計通り動作し、歩行者の横断を待って右折を開始できるかことが確認できた。参考に、図 127 に検出した歩行者の相対位置と相対速度を示す。試験時間全体にわたって連続的に歩行者を検出できていたことがわかる。

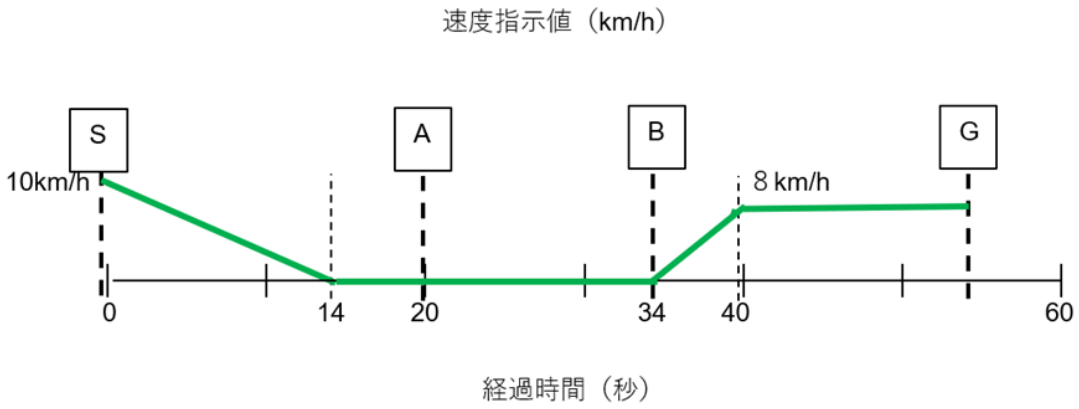


図 125　右折試験の速度指令値推移

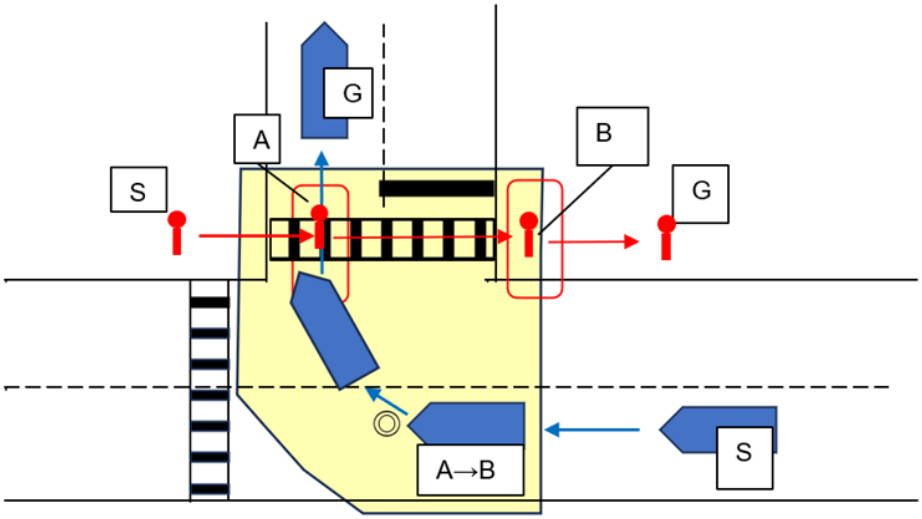


図 126　右折試験の車両位置説明

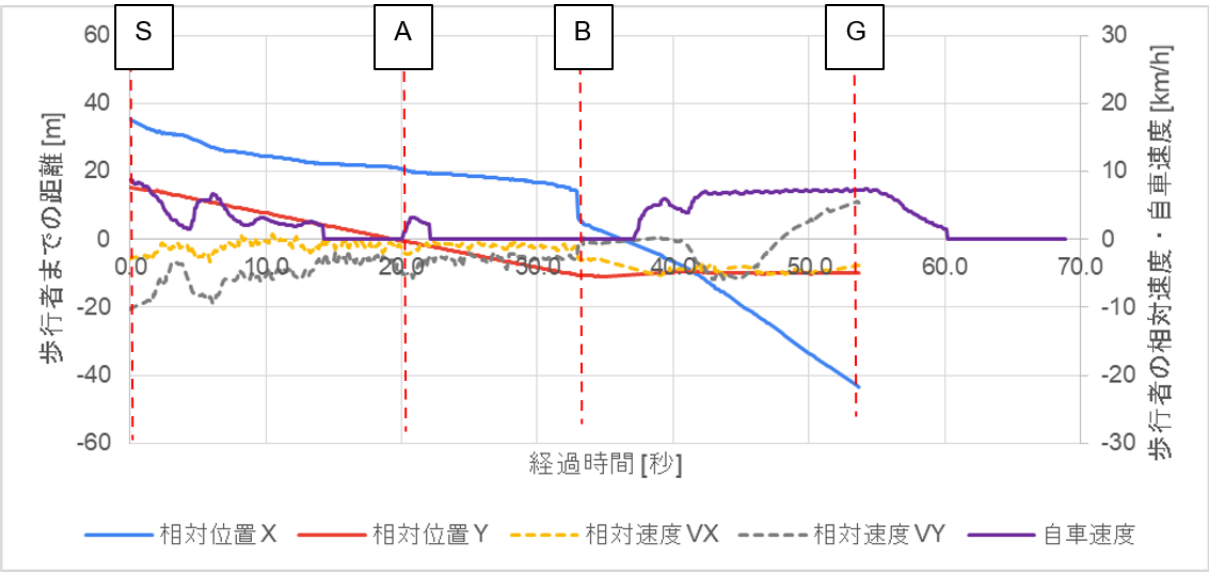


図 127　歩行者の検出位置と相対速度

(5) 左折時に二輪車の巻き込みが生じるケース

表 96　シーンと外乱

シーン	外乱 1	外乱 2	外乱 3	外乱 4
交差点左折	信号（青信号）	並走する二輪車	-	-

【試験概要】

図 128 のように、自動走行車両が交差点を左折するシーンで二輪車を左側に並走させ、自動走行車両が、二輪車の交差点直進通過を待って左折を開始できるかを確認。

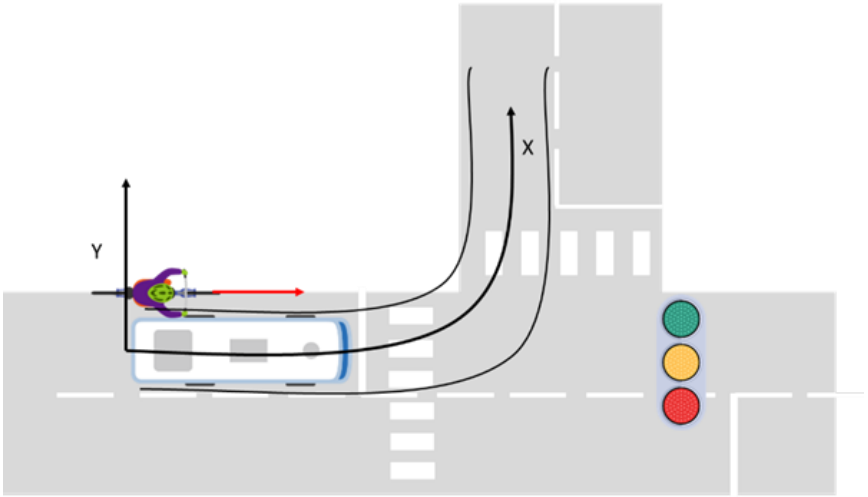


図 128　試験概要

【制御仕様】

左折時の自動走行車両の制御概要を以下に示す。

このケースでは下記 4 つの制御が働く

制御 1：信号が青の場合は停止線を通過、信号が黄、赤の場合は停止線で停止。

制御 2：交差点手前 50m から交差点通過まで、検出した車両、歩行者、自転車の TTL が 10 秒以内の場合、左折待機箇所で停止する

制御 3：交差点手前 50m から交差点通過まで、交差点毎に決めるエリア（図 129 の③のエリア）に歩行者・自転車があるときには TTL にかかわらず左折待機箇所で停止する。

制御 4：交差点手前 50m から、交差点通過まで、自車後側方 50m、自車より左側 4m のエリア（図 129 の④のエリア）に歩行者・自転車があるとき、また後方エリアの歩行者・自転車の TTL が 10 秒以内のときは徐行する。（今回最高速度 10km/h）

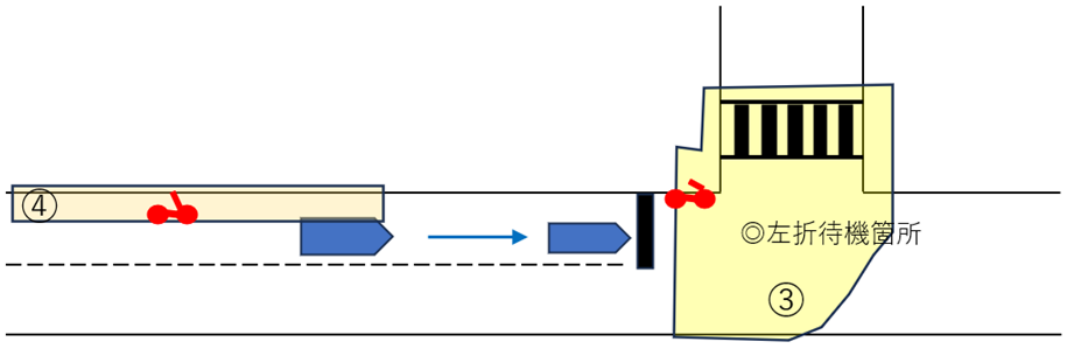


図 129　左折時検知エリア

【試験結果】

試験時の速度指示値の推移を図 130 に、車両位置を図 131 に示す。

図 130、図 131 をベースに試験結果を時系列で分析する。

1. 0 秒から 32 秒：自動走行車両が目標速度 20km/h で走行開始。二輪車は自動走行車両より前方にいる。
2. 32 秒から 42 秒：タイミング A（32 秒）時点で先行している二輪車に自動走行車両が追い付き、自転車が左側方の徐行対象エリアに入る。
   自動走行車両は目標速度を 10km/h まで落とす制御を開始（制御 4）
3. 42 秒から 63 秒：タイミング B（42 秒）時点で二輪車が交差点に近づき、「歩行者、自転車があると停止するエリア」に入る。

自動走行車両は左折待機箇所で停止する制御を開始（制御 3）

4. 63 秒以降：タイミング C（55 秒）時点で、二輪車が「歩行者、自転車があると停止するエリア」から外れる。

   目標速度 8km/h で自動走行車両が発進（制御 3）し、左折。

上記①から④の制御が設計通り動作し、並走二輪車の交差点直進通過を待って左折を開始できるかことが確認できた。参考に、図 132 に検出した二輪車の相対位置と相対速度を示す。試験時間全体にわたって連続的に二輪車を検出できていたことがわかる。

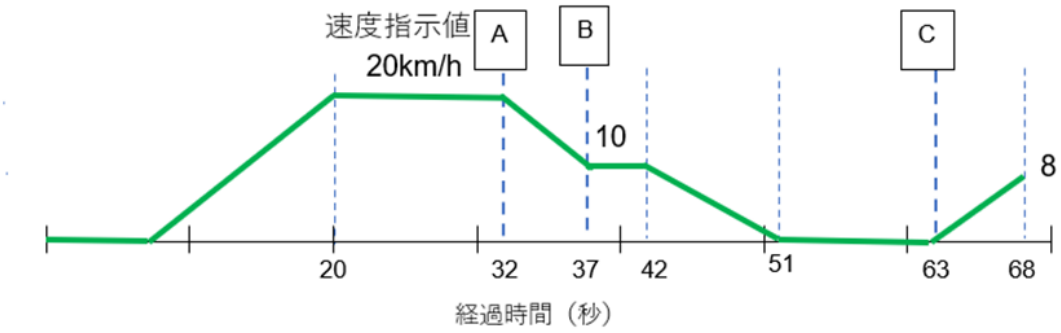


図 130　左折試験の速度指令値の推移

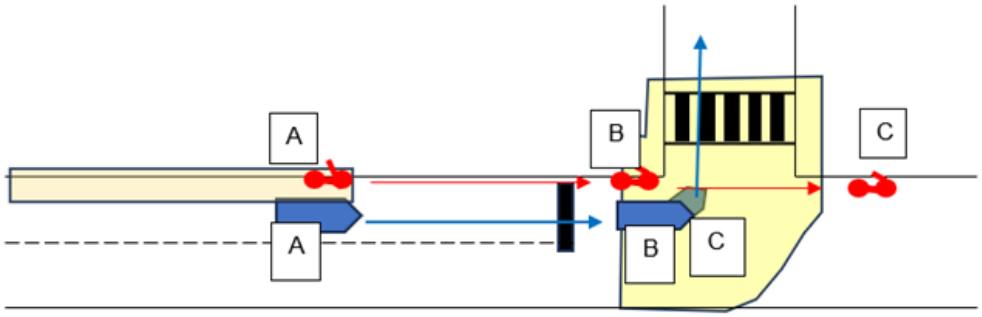


図 131　左折試験の車両位置説明

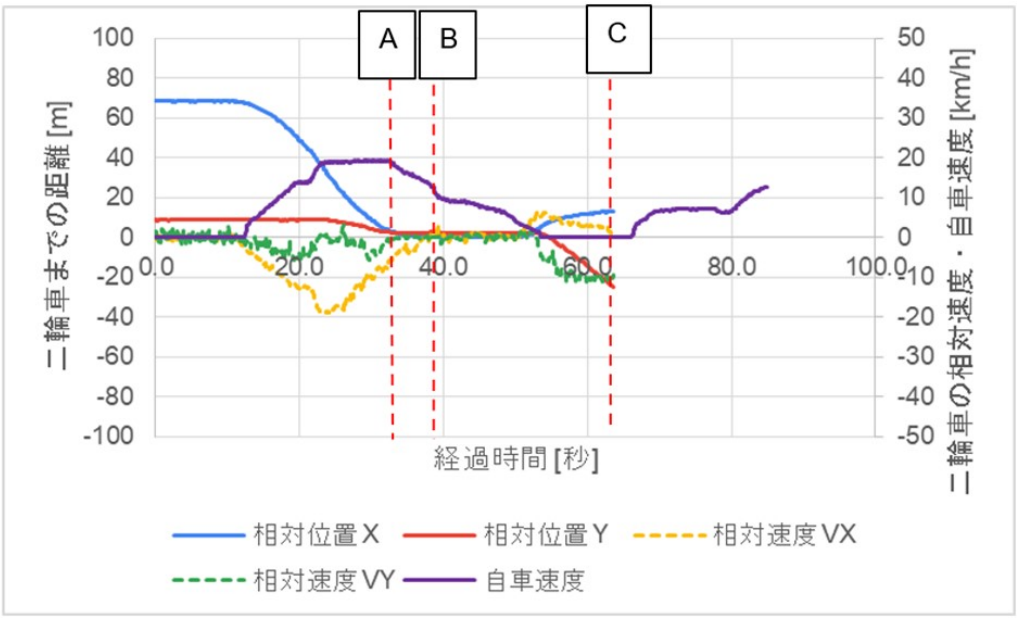


図 132　検出した二輪車の相対位置と相対速度

(4) JARI のテストコースでの実車テスト（認識系の基本性能）

認識系単体の性能評価に関しては、テーマ 2 で実施していない後方・側方の検知性能に対する照度の影響についてのみ特異環境試験を実施することとした。

実験場所：JARI の特異環境試験場

i)　後方乗用車

試験対象乗用車の配置を図 133、実験風景を図 134 に示す。

照度、距離を変えて試験した後方乗用車の認識率を表 97 に示す。

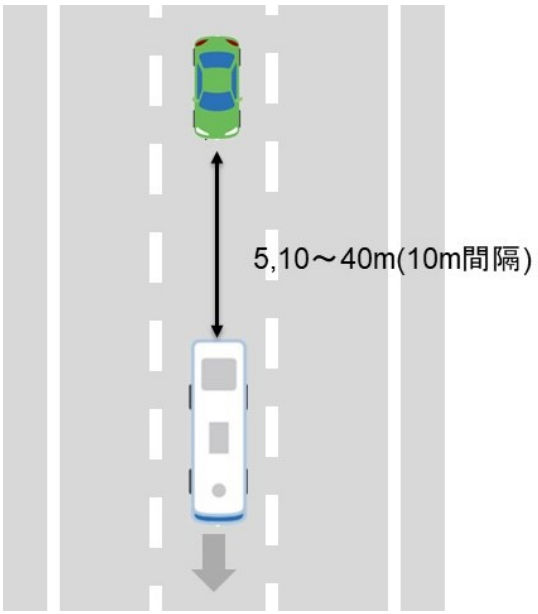


図 133　後方乗用車の配置

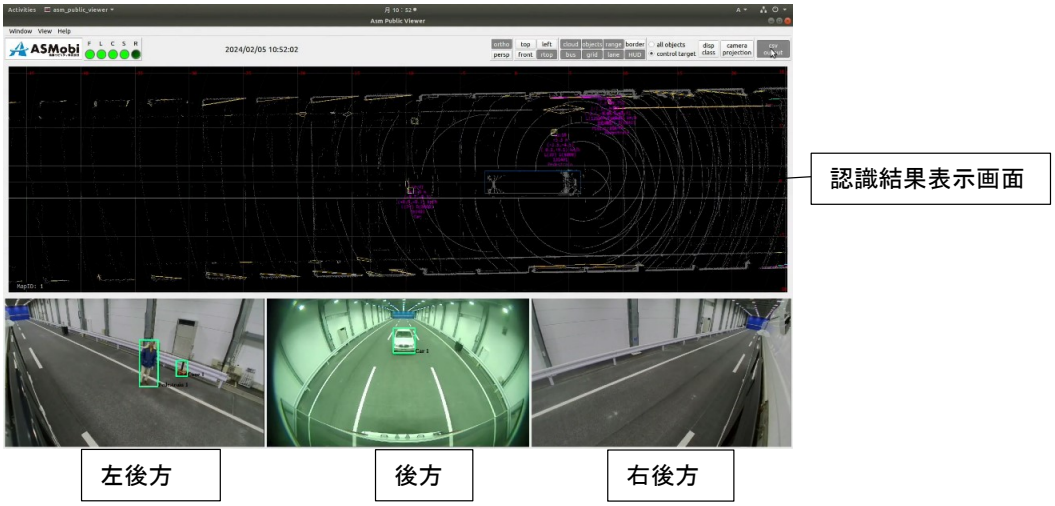


図 134　実験風景

表 97　後方乗用車の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)				
	5	10	20	30	40
1600	100	100	100	98.29	100
500	100	100	100	93.67	100
200	100	100	100	93.39	100
0	100	100	0	0	98.7

ii） 後側方の乗用車及び自転車

試験対象乗用車と自転車の配置を図 135、実験風景を図 136 に示す。

照度、距離を変えて試験した後側方乗用車の認識率を表 98 に、後側方自転車の認識率を表 99 に示す。

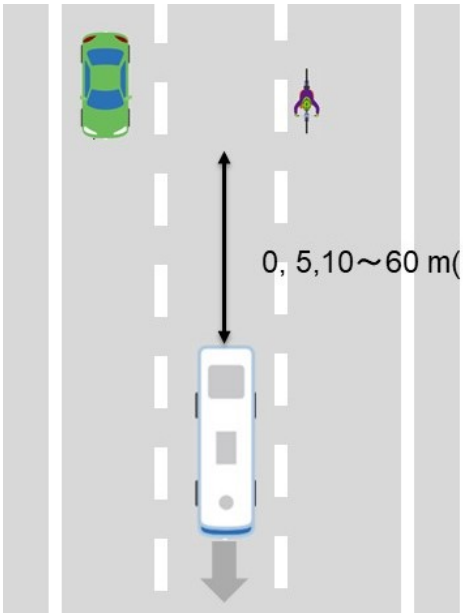


図 135　後側方乗用車と自転車の配置

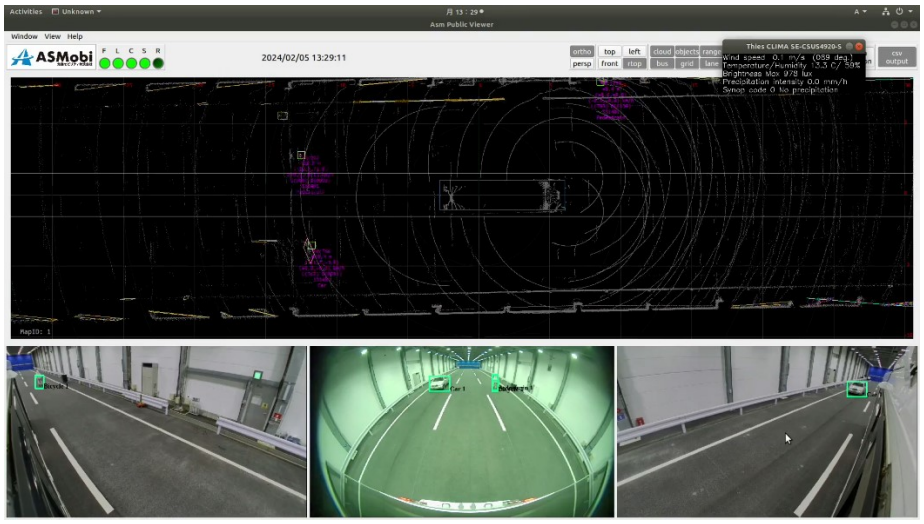


図 136　実験風景

表 98　後側方乗用車の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1600	99.14	100	100	100	100	100	70.45	0
500	99.69	100	100	100	100	100	68.08	0
200	99.64	100	100	100	100	100	63.43	0
0	55.75	0	0	0	0	0	0	0

表 99　側方自転車の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)							
	0	5	10	20	30	40	50	60
1600	100	100	100	100	0	0	0	0
500	99.69	100	100	100	0	0	0	0
200	99.28	100	100	82.39	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

iii)　後側方の大人と子供及び後方の自転車

試験対象の大人、子供、自転車の配置を図 137、実験風景を図 138 に示す。

照度、距離を変えて試験した後側方の大人の認識率を表 100 に、後側方の子供の認識率を表 101 に、後方の自転車の認識率を表 102 に示す。

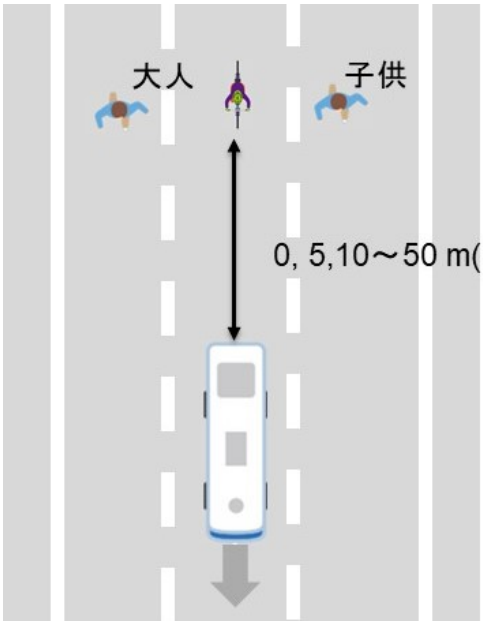


図 137　後側方の大人と子供、後方自転車の配置

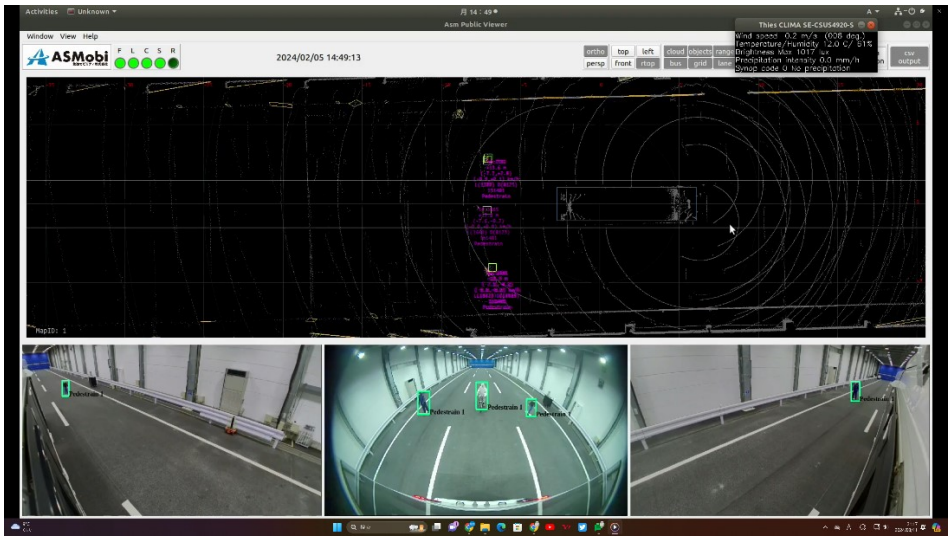


図 138　実験風景

表 100　後側方の大人の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)					
	5	10	20	30	40	50
1600	100	100	100	16.1	0	0
500	100	100	100	0.79	0	–
200	100	100	100	5.93	2.39	–
0	0	0	0	0	0	–

表 101　後側方の子供の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)					
	5	10	20	30	40	50
1600	100	100	0	0	0	0
500	100	100	0	0	0	–
200	100	100	0	0	0	–
0	0	0	0	0	0	–

表 102　後方の自転車の認識率(%)

照度 (lux)	距離 (m)					
	5	10	20	30	40	50
1600	100	100	100	96.61	46.67	70.55
500	100	100	100	95.28	51.54	–
200	100	100	100	94.07	74.63	–
0	100	100	100	99.17	77.25	–

(5) 実路走行での実車テスト

1.　背景と目的、実施内容のサマリー

柏の葉ルートの実路走行での実車テストにより、現地走行環境における性能や走行方法を確認し、設計どおりの実装が成されているか、および現地走行環境を鑑みて設計仕様やそのベースとした安全走行戦略が安全性の観点で妥当であったか等を評価した。

具体的には、エキスパートによる第三者視点での安全性評価を実施の後に、関係者の集中レビューにて、自動走行中の走行状態（自車両と他の交通参加者の振舞い、周囲の道路環境、ドライバーの介入動作など）を記録した映像と車両の走行ログを時系列に突合せて、ドライバー介入シーン、認識系の誤認識と未検知のシーン、あるいは急減速など想定外の車両挙動シーンを抽出・解析し、実装と設計仕様に関する課題抽出を行っている。

2.　エキスパートによる第三者視点での安全性評価の実施内容

実路走行期間に開発者視点でのチューニングが完了し、最終日前日に、センサーやカメラ等の認識系の要素技術や自動運転制御に関する知見や開発経験を有するエキスパートによる第三者視点での安全性確認を行う目的で実路走行テストを実施した。車両に設置する複数カメラを用いて、車外の走路と交通参加者、車内の認識制御状態ディスプレイ、ドライバー動作などを撮影し、それらの走行動画の解析によって、ドライバー介入シーンの抽出と解析、および、一般道での認識系の性能と自動運転制御の妥当性を評価した。

i)　評価設備と設置方法

動画撮影には 2 つの記録装置を用いて行う。

(1) 走行動画記録装置

車外の走路の状態および交通参加者の振る舞いを撮影するとともに、車内のドライバーの仕草や様子を同時に撮影するためには、図 139 に示す通り、小型の 360° カメラ[25]を用いて撮影を行った。設置位置は、車両前方左側のウィンドシールドに近い場所に配置し、ドライバーの運転視界を妨げないよう配慮した。

(2) 認識制御状態記録装置

走行中に必要な交通参加者（車両、自転車、歩行者など）が自動運転システム側で正しく認識されているか、自動運転システムが指示する目標車速が適切か、あるいは、手動介入が行われていないなどの自動運転制御の状態を知るには、認識制御状態ディスプレイを録画する必要がある。

録画する方法として図 140 に示した小型カメラ[26]で録画する方法や、ディスプレイに

[25] 小型 360° カメラ Insta360 X3　https://www.insta360.com/jp/product/insta360-x3

[26] 小型アクションカメラ DJI Action 2　https://www.dji.com/jp/dji-action-2

出力している HDMI 信号を直接キャプチャーボード[27]で録画する方法があり、今回はキャプチャーボードによる録画データを使用した。



図 139　走行動画録装置



図 140　認識制御状態記録装置

[27] アイ・オー・データ機器　ハードウエアエンコード HDMI キャプチャー　GV-US2C/HD
https://www.iodata.jp/product/av/capture/gv-us2chd/index.htm

ii） 課題抽出方法

取得した走行データと制御モニタ動画を同期させて一つの動画（図 141 参照）を作成する。

その動画を用いて、以下の観点で課題を抽出する。

- 手動介入シーン抽出

「手動介入」が表示されたシーン（図 142 参照）がないか確認する。

- 認識系の誤認識と未検知のシーン抽出

走路上や走路周辺に誤認識あるいは認識できていない対象がないか確認する。また、信号認識に遅れや灯色認識誤りなどがないか確認する。

- 想定しない車両挙動のシーン抽出

交差点通過や右左折のシーンで、ヒヤリハットや急な停止、交差点通過までに時間がかかるなどがないか確認する。

横断歩道や走路に歩行者が近づく、あるいは、横切るシーンを確認しヒヤリハットや急な停止などがないか確認する。

走行映像全般を通して、走路の左右に偏って走行しているシーンがないか確認する。

iii） 課題管理表の作成

これら抽出したシーンをフレームレベルで詳細に確認を行い、発生した事象について発生状況について課題管理表（図 143 参照）へ記入する。

課題管理表には、事象を発見した時点で発見者が「No.」「動画ファイルタイムカウント」「優先（S：介入、A：制御・認識に直接影響、B：制御・認識に間接影響)」「現象」を記入し、開発者と共有を行う。開発者はその事象を確認し「解析結果」「原因」「対策」「高価確認」「現場確認」を逐次状況を記入し、関係者と共有する形で運営した。

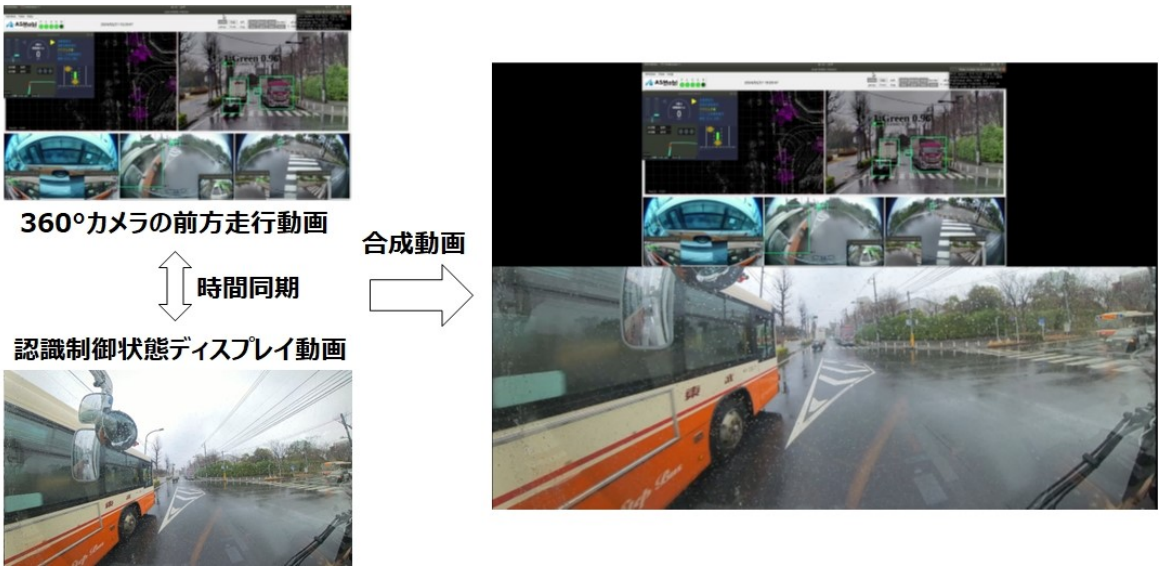


図 141　動画の合成



図 142　手動介入シーンの例



No.	20240221_1030柏の葉1.mp4	IOHD0046.MP4差分2930	優先	現象	解析結果	原因	対策	効果確認	現場確認	備考	S：介入 A：制御・検知に直接影響 B：制御・検知に間接影響
1	002512 002832	005442 005762	B	木や葉っぱで隠れた駐車車両や木の陰を短時間「Pedestrian1」と認識しているケースが散見される。							
	011037	013973	A	前方広角カメラのレンズへの水滴付着部分で車両をロスト(10frame)後、復活した。							
4	012525	015461	B	枯れ木の一部を「Pedestrian1」と認識							
5	020492 020515	023428 023452	A	がん研センタ交差点で右折車線に入り右折待ちに入る手前の横断歩道通過時、先行車「車間距離5m」が検出され「目標車速0km/h（車速3km/h）」となり、ギクシャクするブレーキがかかり一瞬だけ一時停止し、間髪を入れず「車間距離37m、目標車速1km/h」に変化し動き出す。							
6	**024189**	**031125**	**S**	**がん研究センタで右折待ちの際に対向車線の（時差）信号が赤になり対向車が停止しているにもかかわらず自動運転バスは発進できず、後続車もいたためアクセル手動介入を実施。**							
7	030738	033671	B	遠くの交通標識を「Pedestrian1」と認識。							
8	025624	032553	B	がん研センタ右折後、街路樹の一部を信号と認識しGreenの判定が長く継続する							

図 143　課題管理表

ⅳ)　評価コメント

今回 2 便のみに乗車した結果ではあるが、S ランク 5 件（いずれもアクセル介入）、A ランク 16 件、B ランク 8 件の計 29 件の課題を抽出した。特に、S ランクのアクセル介入については全て交差点の右左折で発生しており、ヒヤリハット・衝突につながるシーンではなかったものの、交差点 12 か所中 5 か所で右左折できなかったという結果であった。

今回のエキスパートによる第三者視点での安全性確認では、認識性能に課題が多く、右左折でのアクセル介入が多く発生した結果となり、さらなる性能向上が必要である。

(6) 実路走行テストでの抽出課題の具体例

実路走行での実車テストで抽出された課題のうち、4 件の特徴的な課題を以下に示す。

ⅰ)　時差信号交差点での右折

① 場所

東大→駅方向：がん研究所前交差点の右折

② 現象

自動走行車両が交差点中央で右折待機中、時差信号で対向車線側が赤信号になり、対向車の先頭車両（図　144 の赤いトラック）が停車している状況でも自動走行車両が発進せず、ドライバーがアクセルオーバーライドして発進し右折（自動走行車両に後続車もいたため）。

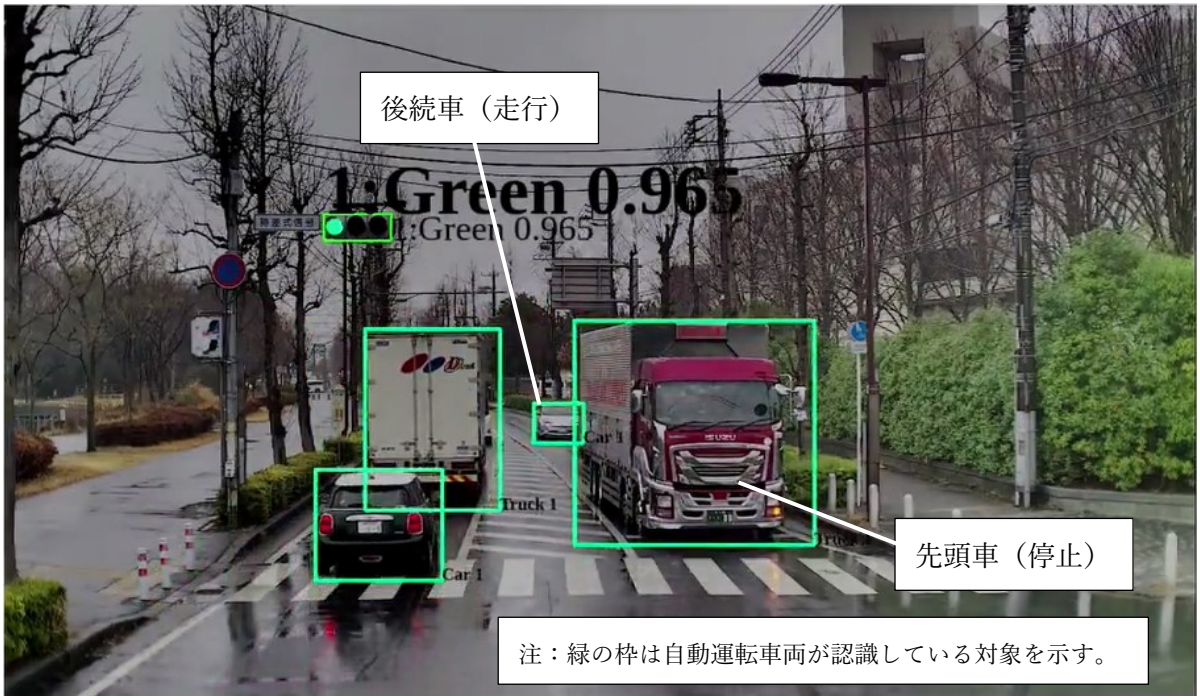


図 144　前方画像（がん研究所交差点右折）

③ 解析結果

ログデータを解析した結果、下記のことがわかった。

- 対向車の先頭の赤いトラックが停車していることは認識
- 後続の白い乗用車が走行して接近しており、その TTL が 10 秒以内であったため右折待機を継続

④ 考察

現状の制御は TTL が 10 秒以内の車両があれば右折待機をする仕様のため、今回の白い車のような後続車でも TTL が 10 秒以内の状況の場合は発進できない。同一車線の車を認識して前車の状態のみで判断することも考えられるが、後続車が前車を追い越してくるケースもありどう判断すべきか今後継続して検討を要する。

ii)　信号交差点右折時の周辺車両認識

① 場所

東大→駅方向：若柴交差点の右折

② 現象

自動走行車両が交差点中央で右折待機中、対向直進車をやり過ごして対向直進車がない状態（図　145）になっても自動走行車両が発進せず、ドライバーがアクセルオーバーライドして発進し右折。



図 145　前方画像（若柴交差点右折）

③ 解析結果

ログデータを解析した結果、下記のことがわかった。

- 対向車両がいないことは認識
- 図　146 のような、交差点左側から交差点に接近する車両（赤）の TTL が 10 秒以内であったため右折待機を継続

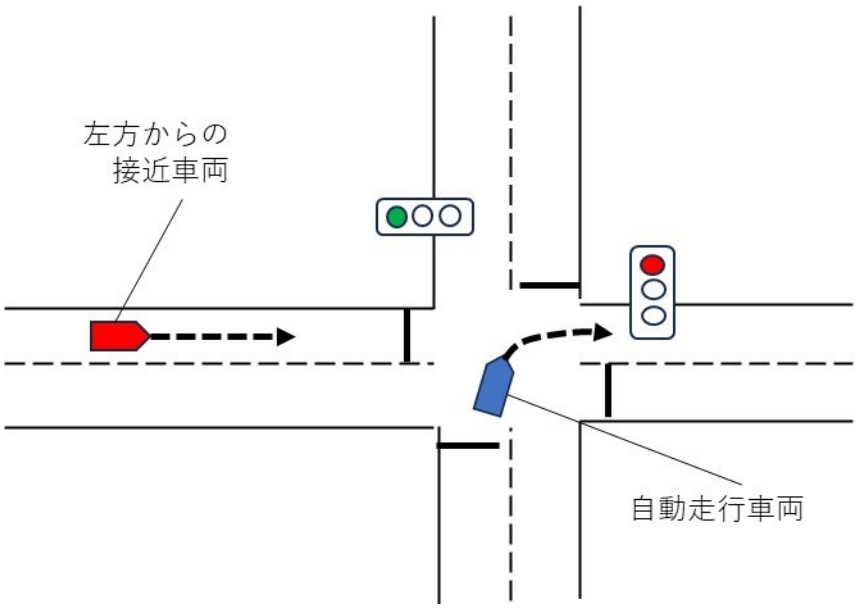


図 146　若柴交差点右折時の左方接近車両

④ 考察

現状の制御では、相手側が赤信号でも接近する車両の TTL が 10 秒以内なら右折待機を継続してしまう。接近車両の信号情報などを考慮して、接近車両の TTL を無視するなどの方法も考えられるが、ジレンマゾーンなどで信号無視になった車などをどこまで考慮するかなど今後継続して検討を要する。

iii) 信号交差点左折時の歩行者認識

① 場所

駅→東大方向：若柴交差点の左折

② 現象

自動走行車両が左折時に停止してしまい、ドライバーがアクセルオーバーライドして発進し左折。

③ 解析結果

ログデータや記録画像を解析した結果、下記のことがわかった。

- 左側歩道で信号待ちをしていた歩行者、自転車を認識（図 148、図 149）
- 図 150 の黄色のエリアに歩行者、自転車が存在すると停止する制御が働いて自動走行車両が停止。

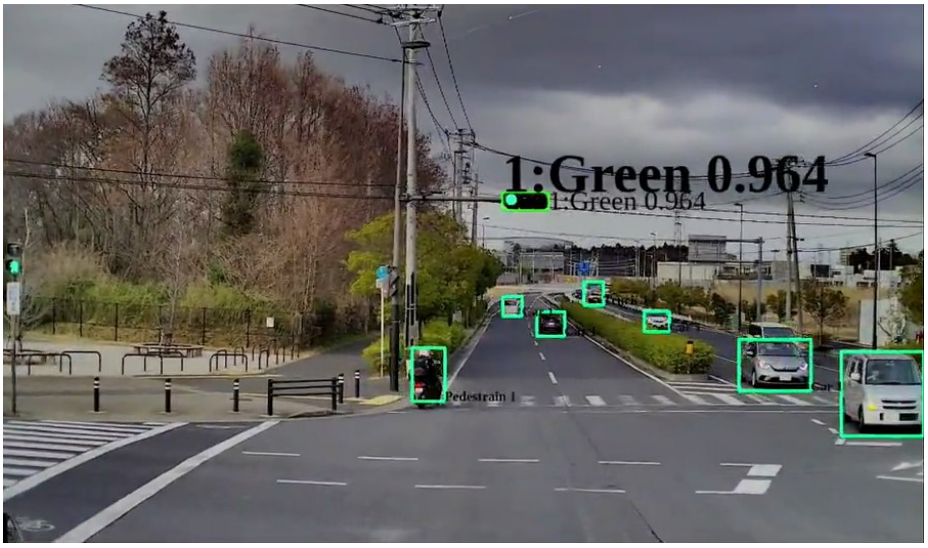


図 147　前方画像（若柴交差点左折）



図 148　左前方画像（若柴交差点左折）

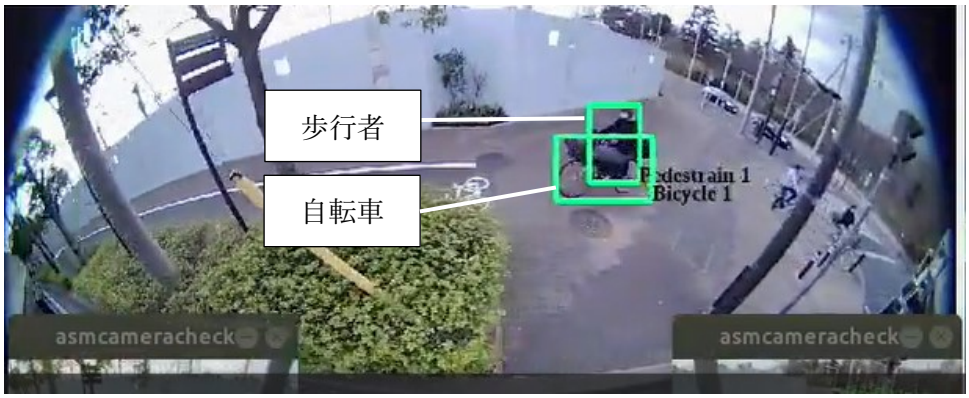


図 149　左横方画像（若柴交差点左折）

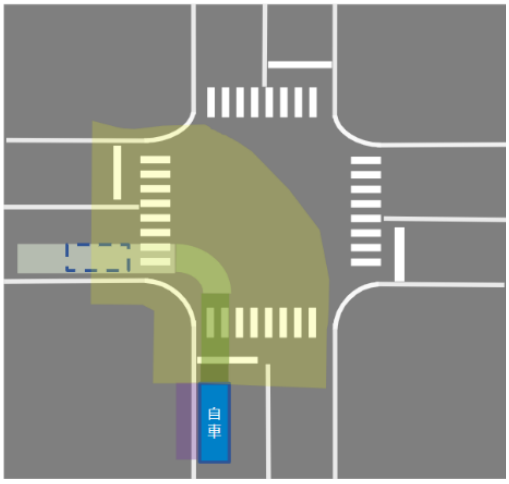


図 150　左折時の歩行者・自転車存在検出エリア

④ 考察

現状の制御では、歩行者や自転車が信号待ちで停止しているか、交差点に進入しようとしているかの判断が困難なため図 150 の黄色エリアに歩行者、自転車が存在すると停止するよう設計されており動作としては正常。信号待ちの歩行者、自転車に対してどのように対処するかは、飛び出しに対してどう考えるかなど引き続き検討を要する。

iv)　周辺車両のドライバーとの意思疎通

① 場所

東大→駅方向：がん研究所前交差点の右折

② 現象

- 自動走行車両が前走車に続いて交差点中央で右折待ち
- その後、前走車が右折した後、前方から来た対向直進車のバスがパッシングライで、自動走行車両に先に右折するよう合図し減速。
- 自動走行車両が右折を開始できないので、ドライバーが手振りで対向直進車のバスドライバーに先に直進してもらうよう合図。
- 対向直進車のバスが通過し、対向直進車がいなくなった状況で自動走行車両が右折。

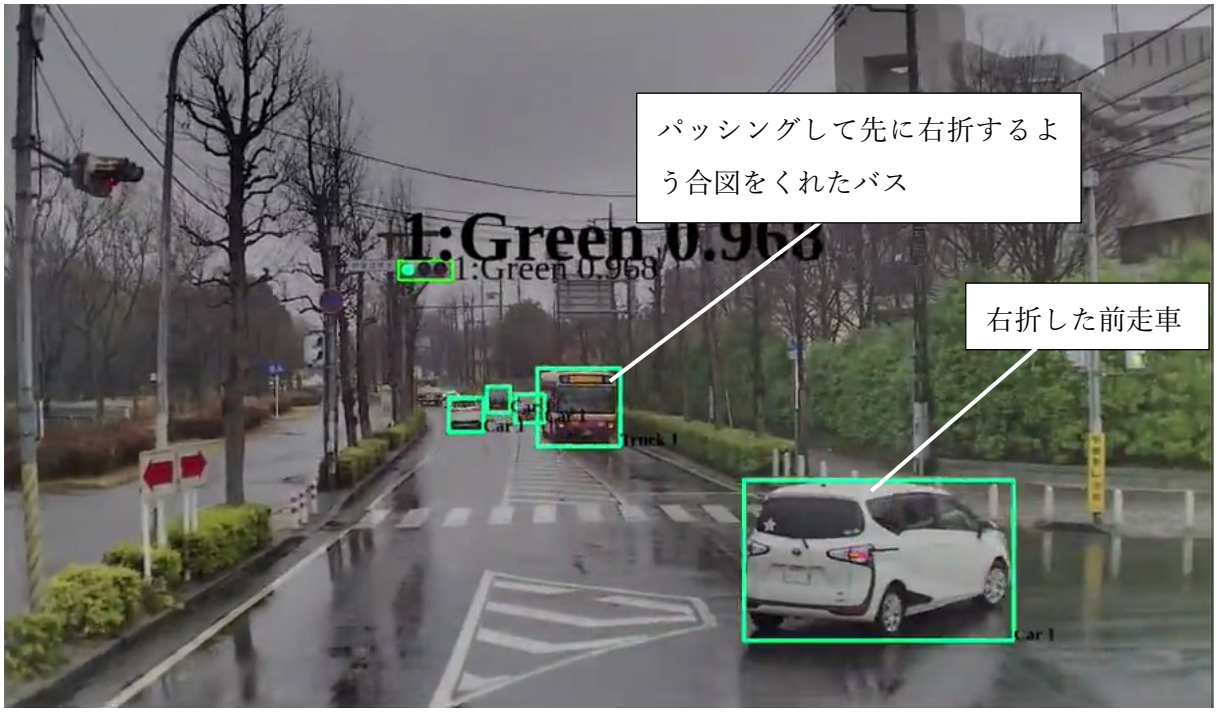


図 151　前方画像（がん研究所前交差点右折）

③ 解析結果

対向車両のバスの位置、速度について妥当と考えられる範囲で認識できていた。TTL が 10 秒以内となっており、バスが自動発進しなかった動作は設計通りであった。

④ 考察

自動運転車両が周辺ドライバーの身振り手振りを認識するのは現時点困難。自動運転車両の行動を周辺ドライバーに伝える表示などは円滑な交通に寄与できる可能性あり。

III. 協調型路側機の設計・実装・評価

1) 柏の葉のユースケースに対するインフラ情報を提供可能な協調型路側機の設計

道路交通と旅客運送の観点から協調型自動運転移動サービスに求められる社会的要求を整理し、柏の葉ルートに配備する協調型路側機の仕様を設計した。

(1) 道路交通と社会要求

協調型路側機の要求性能を検討・定義する上で、そのシステム全体（協調型路側機および協調型自動走行車両）が達成しようとする社会的目標と、社会的に満たすべき条件がある。特定自動運行の許可基準に挙げられる主旨も鑑み、交通安全の観点から整理した。

i) 道路交通法・旅客運送事業運輸規則（道路運送法）と交差点

道路交通法には、それぞれの交通参加者が道路をどう利用するべきかが定義されている。また、旅客運送事業運輸規則は旅客の安全・利便のために旅客サービス事業者に求める規則を定めており、オーナーカーへの要求とは観点が異なる。

“バスが交差点を通行すること”に強く関係する条文として、以下が挙げられる。

- *この法律は、道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図り、及び道路の交通に起因する障害の防止に資することを目的とする。*
  （道路交通法　第一条　より）
- *車両等は、交差点に入ろうとし、及び交差点内を通行するときは、当該交差点の状況に応じ、交差道路を通行する車両等、反対方向から進行してきて右折する車両等及び当該交差点又はその直近で道路を横断する歩行者に特に注意し、かつ、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない。*
  （道路交通法　第六節　交差点における通行方法等　第三十六条（交差点における他の車両等との関係等）　より）
- *車両等は、交差点で右折する場合において、当該交差点において直進し、又は左折しようとする車両等があるときは、当該車両等の進行妨害をしてはならない。*
  （道路交通法　第六節　交差点における通行方法等　第三十七条）
- *交通整理の行なわれている交差点に入ろうとする車両等は、その進行しようとする進路の前方の車両等の状況により、交差点（交差点内に道路標識等による停止線が設けられているときは、その停止線をこえた部分。以下この項において同じ。）に入つた場合においては当該交差点内で停止することとなり、よつて交差道路における車両等の通行の妨害となるおそれがあるときは、当該交差点に入つてはならない。*
  車両等は、その進行しようとする進路の前方の車両等の状況により、横断歩道、自転車

横断帯、踏切又は道路標示によつて区画された部分に入つた場合においてはその部分で停止することとなるおそれがあるときは、これらの部分に入つてはならない。

（道路交通法　第九節　停車及び駐車　第五十条（交差点等への進入禁止））

- *旅客自動車運送事業の適正な運営を確保することにより、輸送の安全及び旅客の利便を図る。*

  （旅客自動車運送事業運輸規則　第一条）

これら法規・規則の主旨は次のように捉えられ、社会的要求とも解釈できる。自動運転バス車両や構成システムはどう振舞うべきか・どう走行すべきかについても、これら社会的要求に適合・配慮したもので、交通社会の形成に資することが望ましいと考えられる。

- その他交通との関わりにおける交通安全

  【安全】事故（接触・傷害）に至らない・事故（接触・傷害）を惹起しない

  【円滑】他交通の流れを滞らせない・乱さない

- 旅客運送の観点における安全・利便

  【旅客の安全確保】車内安全（転倒事故：運転・交通要因、バスジャックのようなリスク：人的要因）

  【旅客の利便確保】速達性、定時性、快適性、案内や補助といったお客様対応など

ii）　交差点の通行と周囲交通への影響

旅客バスが“交差点を通過する”という誰もが日常で自然に関係・行動する道路利用についても、関連法規と交通マナーから次のような要求が存在することになる（図 152)。

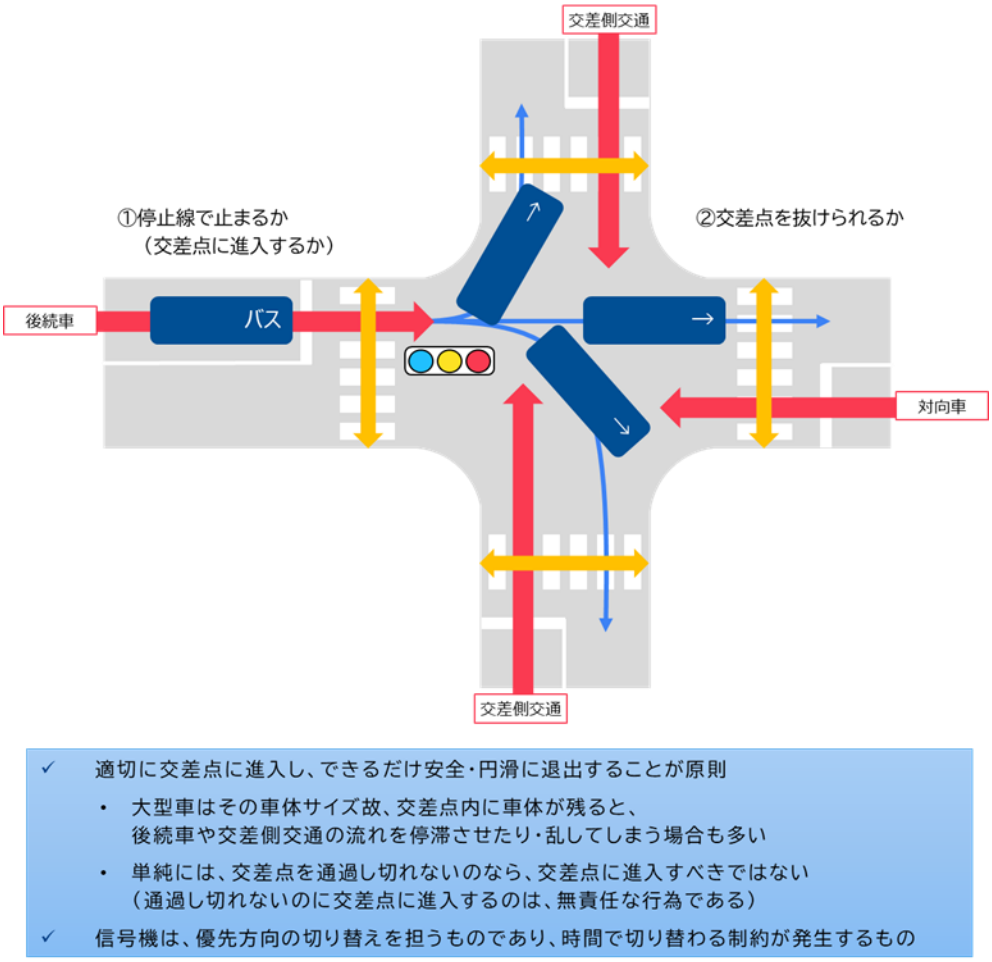


図 152　交差点の通行

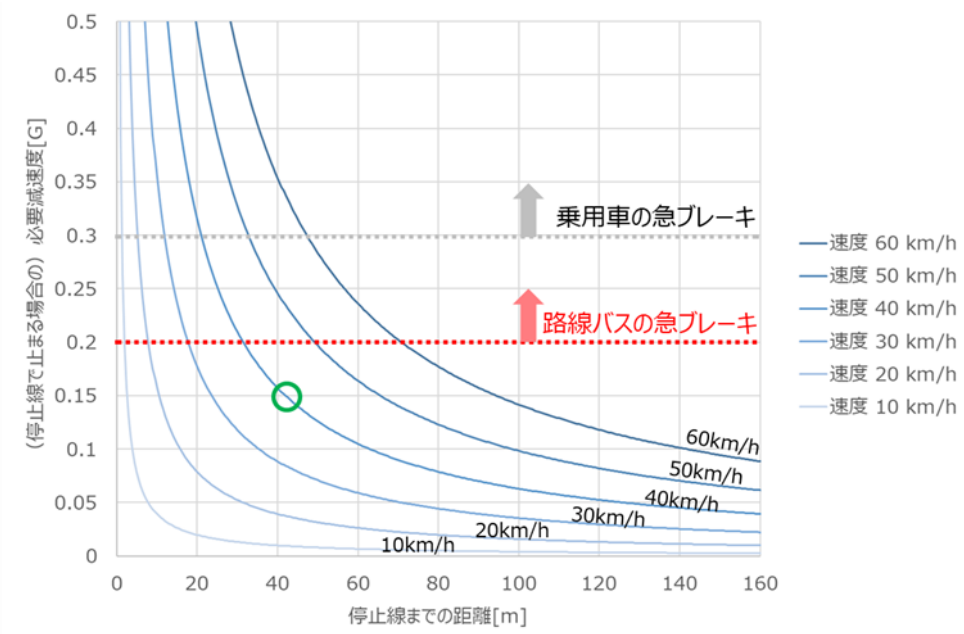
さらに、“停止線で止まるか、交差点に進入するか”というシーンにおいては、旅客の安全性と大型車の質量エネルギーの観点から、“急ブレーキ（および停止距離）”の事情が普通乗用車（オーナーカー）とは全く異なる（図　153）。詳細は後述するが、一般的な黄色灯色の継続秒時は大型車にとっては短く、信号灯色のみに頼るような自動走行モビリティでは信号無視になってしまう可能性を本質的に抱えることとなる。プロのバスドライバーは、そのルートや交差点・信号切り替わり特性に熟練し、経験にも基づく高度な予測しながら急ブレーキと信号無視を抑制して走行している。

なお、信号交差点接近中に黄色信号に差し掛かったシーンにおけるドライバーの停止・加速判断の葛藤はジレンマゾーンと呼ばれ有名だが、ジレンマゾーンとは以下を挿す。

「黄信号表示に直面した車両が、通常の減速度では安全に停止線で停止することが出来ずに、また、そのまま通過することにしても黄信号表示時間中に停止線を超えることが出来ない条件を走行位置・速度平面の領域として表した状態領域」であり、ジレンマ・ゾーンに入った車は、結局、急減速して停止するか、急加速して停止線を超えるか、もしくは赤信号になって停止線

を超えることになり、いずれも追突事故などの原因になると言われている。（交通工学用語集（http://glossary.jste.or.jp/）より）

大型車の常用的なブレーキ減速度で考えた場合のジレンマゾーンは、普通自動車（オーナーカー）の場合よりも拡大することは明らかである（図　154）。特に自動運転バス車両の場合、旅客安全のためにも急減速・停止という振る舞いは選択すべきではないし、急加速して交差点に進入するという振る舞いも選択すべきではないように思われる。

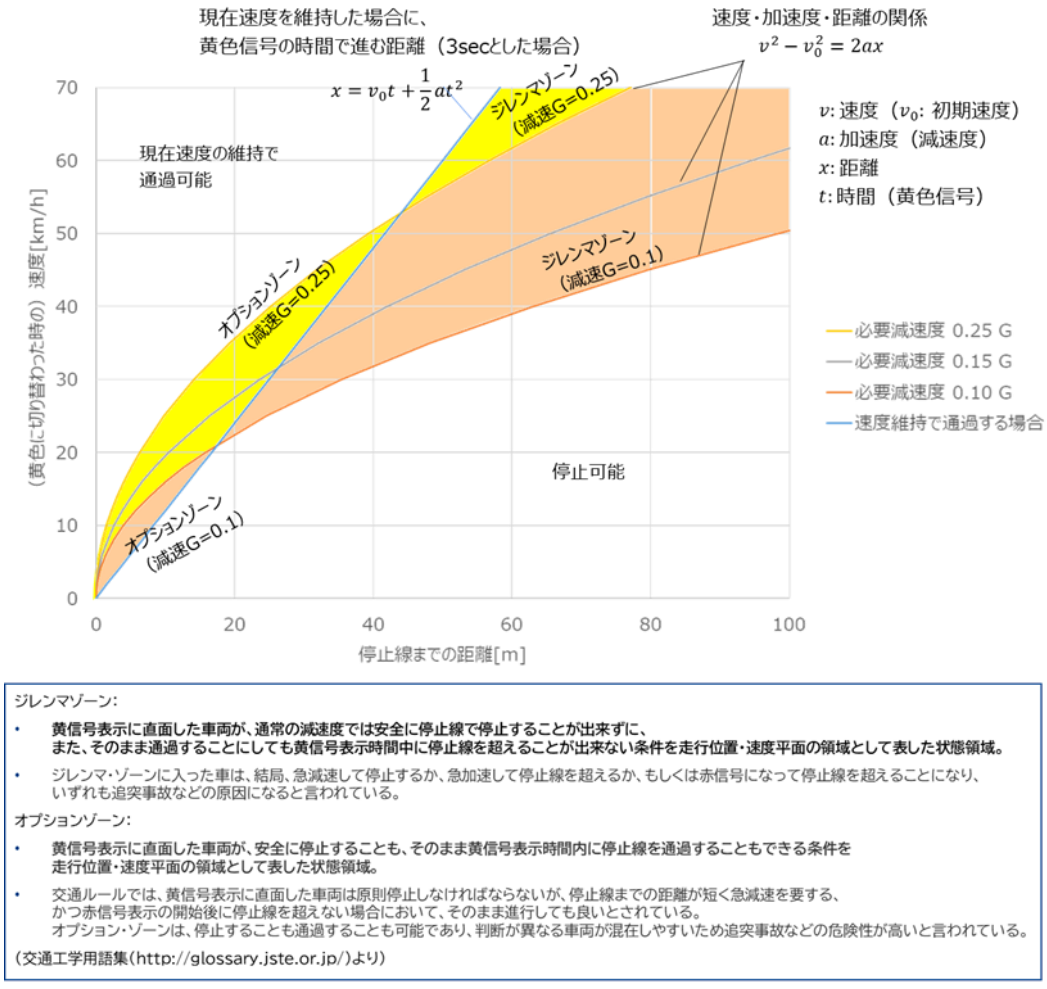


減速G	車内への影響の程度　※
0.3	（乗用車の場合）助手席に置いたカバンが前方に落ちる
0.2	（路線バスの場合）立席の乗客が倒れる可能性がある
0.1	滑らか

※加減速度の目安（“急ブレーキ”の明確な定義は無い）：
https://www.nisshinfire.co.jp/corp/pdf/si107_03.pdf
https://conference.vrsj.org/ac2021/program/doc/1C1-1.pdf

- ✓ 路線バスにとっての急ブレーキは、乗用車の急ブレーキとは減速度のレベルが違う
- ✓ 40km/hで巡航していた場合、0.15Gで止まろうとすると約40mの距離が必要

図 153　車両種別ごとの急ブレーキ、停止距離の差異



ジレンマゾーン:

- **黄信号表示に直面した車両が、通常の減速度では安全に停止線で停止することが出来ずに、**
  また、そのまま通過することにしても黄信号表示時間中に停止線を超えることが出来ない条件を走行位置・速度平面の領域として表した状態領域。
- ジレンマ・ゾーンに入った車は、結局、急減速して停止するか、急加速して停止線を超えるか、もしくは赤信号になって停止線を超えることになり、
  いずれも追突事故などの原因になると言われている。

オプションゾーン:

- **黄信号表示に直面した車両が、安全に停止することも、そのまま黄信号表示時間内に停止線を通過することもできる条件を**
  走行位置・速度平面の領域として表した状態領域。
- 交通ルールでは、黄信号表示に直面した車両は原則停止しなければならないが、停止線までの距離が短く急減速を要する、
  かつ赤信号表示の開始後に停止線を超えない場合において、そのまま進行しても良いとされている。
  オプション・ゾーンは、停止することも通過することも可能であり、判断が異なる車両が混在しやすいため追突事故などの危険性が高いと言われている。

（交通工学用語集（http://glossary.jste.or.jp/）より）

✓ 強いブレーキでの制動も前提する乗用車等と比較して、
乗客にとっても安全な減速度のブレーキを想定するとジレンマゾーンは拡大し、オプションゾーンは狭まる

図 154　ブレーキ力ごとのジレンマゾーンの違い

以上のように、「交差点への進入」「交差点の進行」「交差点からの退出」が安全かつ適切・円滑に実施されない場合は、例え車両が保安基準を満たしていても、道路上での振る舞いが道路交通法規に反することに繋がり、周囲交通をも乱して社会的要求を満足できない可能性がある。

この影響を確認するため、複数の車両と大型車両が往来する信号交差点を模して、いくつかのシーンについて交通流がどのようになるか、シミュレーションを実施した（図 155）。

【シミュレーション条件】

- シンプルな十字型の信号交差点とする。
- それぞれの方向から一定の交通流入量があり、ランダムな方向へ流出していく。またそれぞれの車両は、定義した最高速度・加減速度の範囲で、お互いに接触しないようにスムーズに進行する。
- バスが交差点に進入し、左折・退出する。なおバスの交差点左折速度は、以下 2 通りを比

較した。

1. バスの左折進行速度が速い場合（約 14km/h）
2. バスの左折進行速度が遅い場合（約 3km/h）

- バスが交差点に進入する際の信号に対するタイミングとして、次の 2 通りを検討した。
  1. バスの交差点進入が信号の切り替わりまで時間的余裕がある場合
  2. バスの交差点進入直後に赤信号へ遷移する場合
- バスが交差点に進入してから退出するまでの間に、周囲を通行していた車両がどのような影響を受けるか、あるいは周囲車両の通過所要時間に変化が見られるかを確認した。

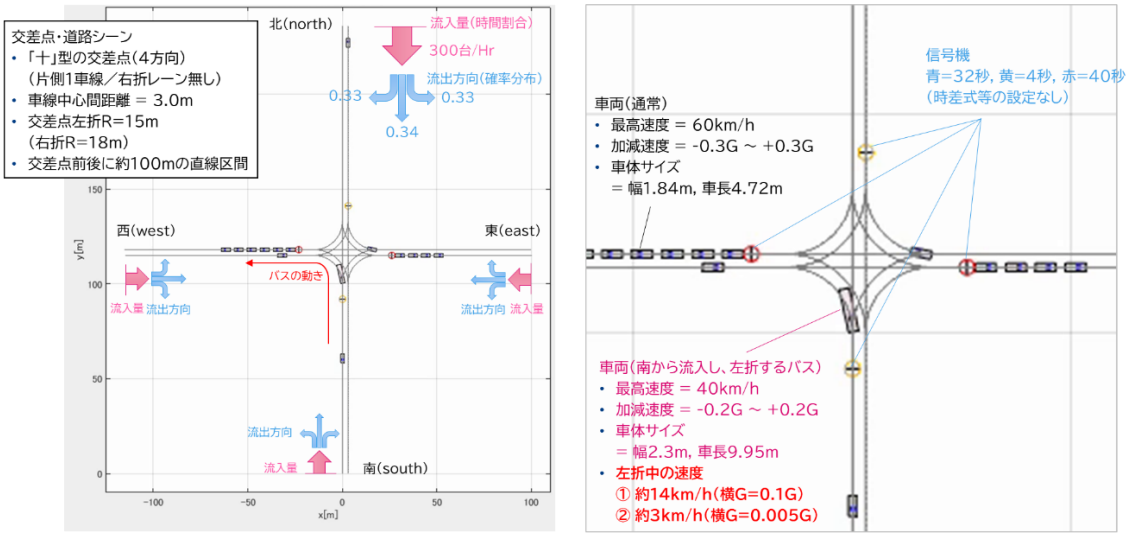


図 155　交差点近傍の交通流のシミュレーション

【シミュレーション結果】

バスの交差点進入が信号の切り替わりまで時間的余裕がある場合にバスの左折が遅いと、同じ進行方向（流入方向）の後続車両へ影響が大きく、通過時間が 62%程増加する可能性がある結果が得られた。内訳としては、同じ青信号で交差点を通過できる車両が 3 台減り、その 3 台は次の青を待つ必要があるため、それだけ通過所要時間が増加したものであった（図 156、図 157）。

また、バスの交差点進入直後に赤信号へ遷移する場合にバスの左折が遅いと、交差側が青になり交差点への流入が始まっても未だバスが交差点内にあり、混乱・滞留が生じ得る結果となった（バスといった大型車は車体サイズが大きいため、交差点に残ってしまった場合の他交通参加者への影響も大きい）。この状況は実際に生じる可能性が十分考えられるが、交通常識から考えて望ましくないことは明白である（図 158、図 159）。

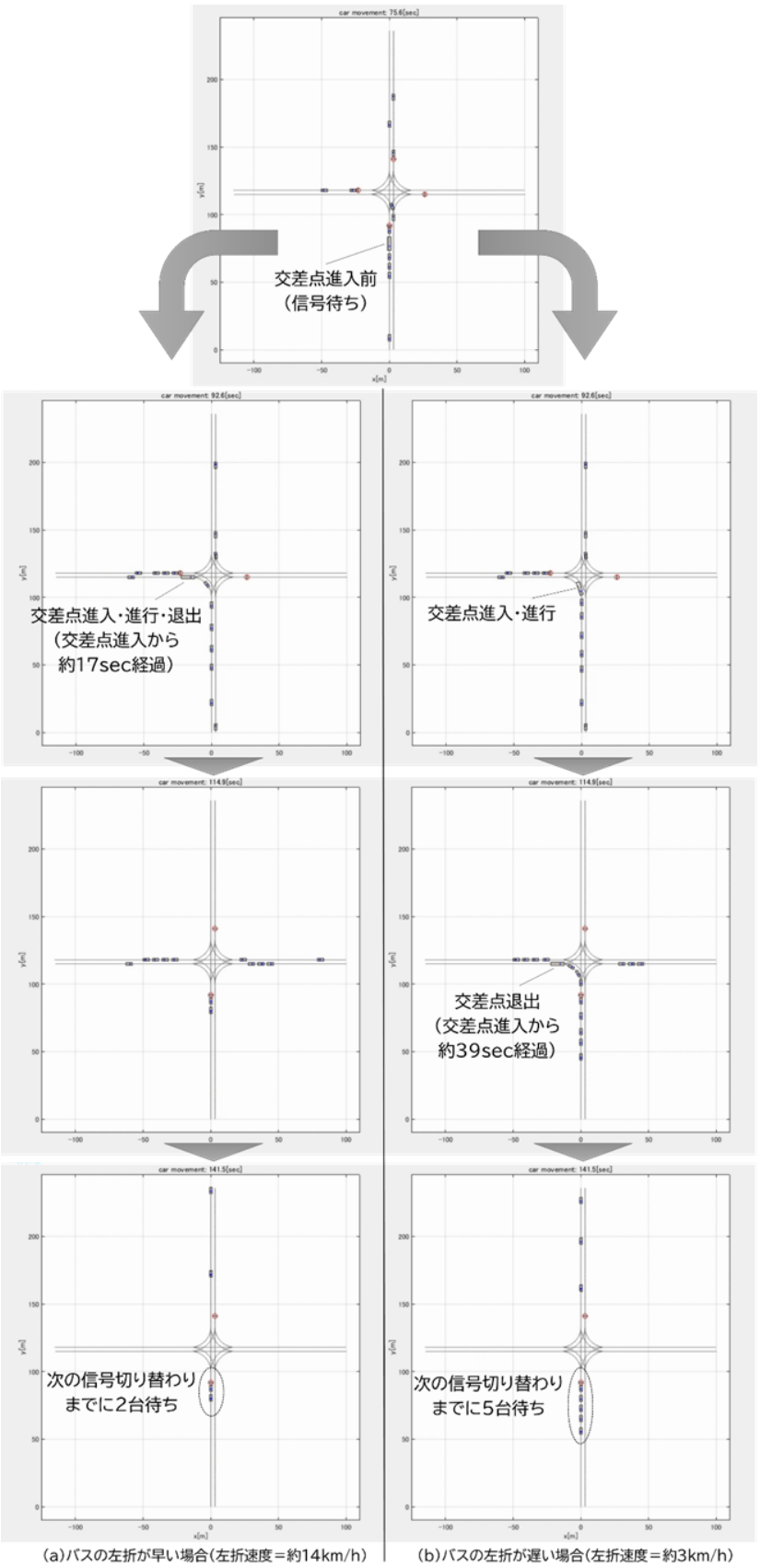


図 156　バスの交差点進入が信号の切り替わりまで時間的余裕がある場合

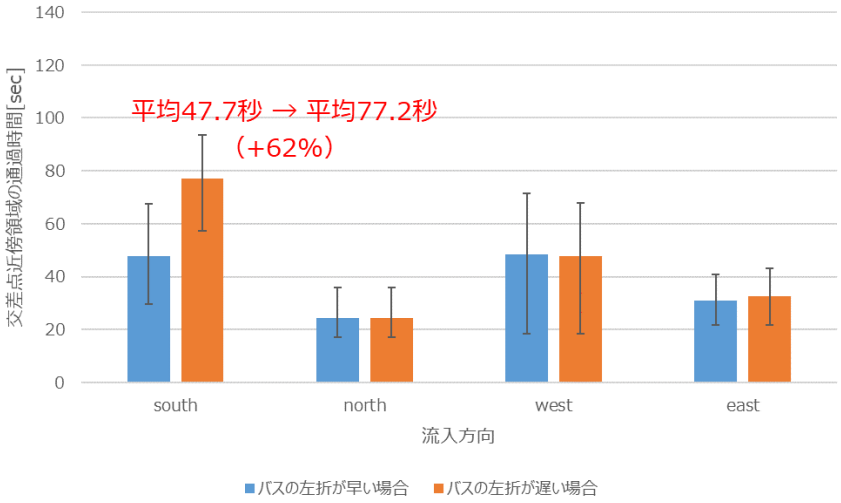


図 157　周囲交通への影響（交差点近傍領域の通過時間比較）

（バスの交差点進入が信号の切り替わりまで時間的余裕がある場合における、交差点近傍領域の通過時間比較）

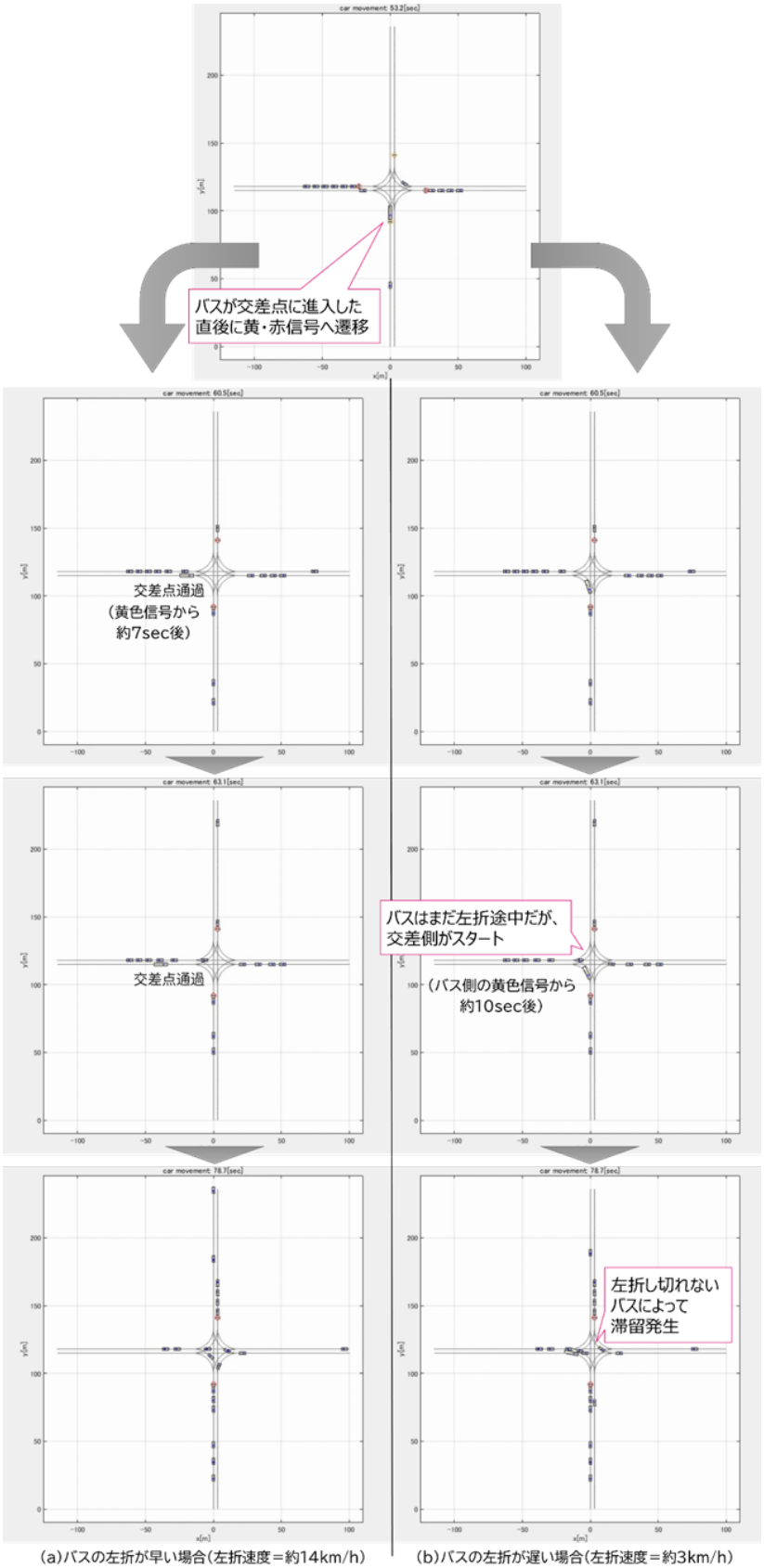


図 158　バスの交差点進入直後に赤信号へ遷移する場合

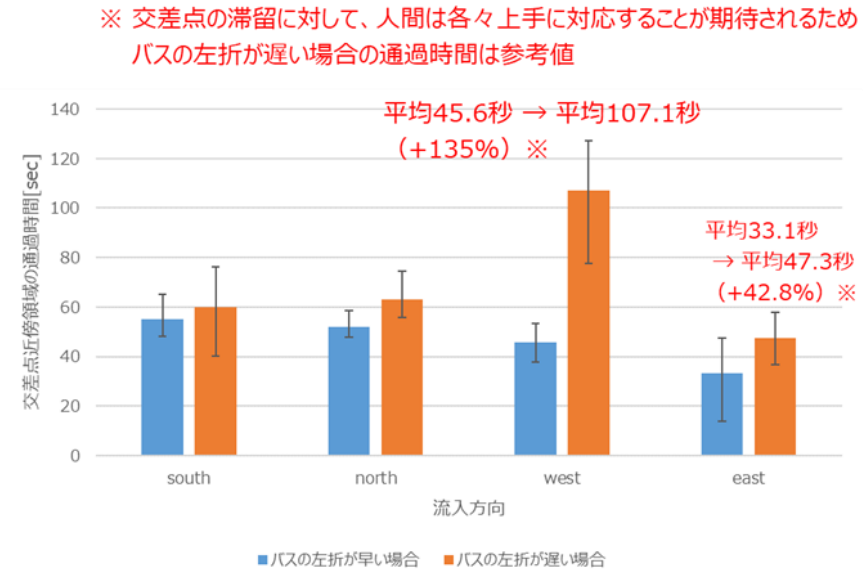


図 159　周囲交通への影響（交差点近傍領域の通過時間比較）
（バスの交差点進入直後に赤信号へ遷移する場合における、
交差点近傍領域の通過時間比較）

以上のことから、**「交差点に差し掛かった際の信号のタイミング」**と**「交差点の通過時間（平均通過速度）」**が周囲交通との関わりにおいて重要な要素であることが改めて確認できた。人間は、複数の感覚を持って経験・学習に基づく高度な予測（推定）によって上記も踏まえた安全性と円滑性を妥当に両立しているが、自動運転システムでこれを達成しようとした場合は、車両以外のデジタル的手段に頼ることも有効な選択肢になってくると考えられ、次節以降に信号予定情報とインフラ情報の必要性・有効性に改めて触れる。

なお、今回実施したシミュレーションは代表的なシーンを想定したものであり、またそれぞれの車両行動（車間距離や加減速の具合）も比較的簡単な演算モデルで代表したものである。また、実際の交通もそれぞれ行動する交通参加者により時々刻々と変化するものであるため、定性的・統計的な観点で傾向として捉えることが妥当と考えられる。

iii） 信号予定情報の必要性

前述の通り、**一般的な黄色灯色の継続秒時は特に大型車にとっては短く、信号灯色のみに頼るような自動走行モビリティでは信号無視になってしまう可能性を本質的に抱える**こととなる。

改めて次のような一般的な信号交差点通過を考えるが、信号機は車両と関係無く時間的に動くものであるため、車両が交差点に差し掛かった際、どの信号階梯（ステップ、経過時間）にあるかは原則的に不確定となる。また道路交通法に基づくと、交差点を通過し終えるまでをできるだけ円滑に行うべきであり、進入時点で他を阻害することなく通過できる見通しが得られている必

要がある。

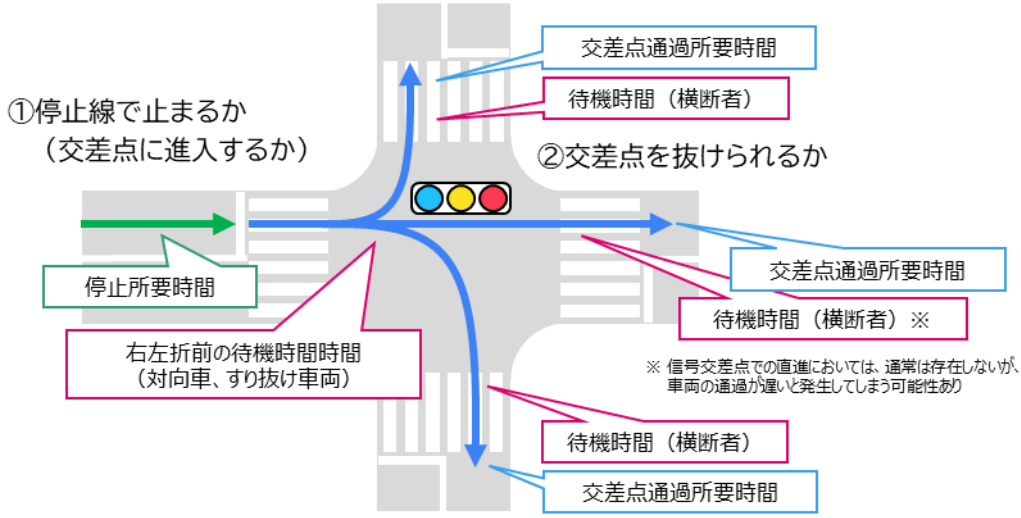


図 160　交差点通過と時間要素

これら事情から、遭遇する代表的なパターンを列挙すると次のようになる。信号の現在灯色のみで走行判断する場合は、交差点進入直前に黄色・赤色になるようなパターン（D）で大型車故にジレンマゾーンも狭くあるいは車内安全の観点から急ブレーキが難しく、交差点に進入してしまうようになる。あるいは、自車が交差点に進入した直後に赤信号に遷移する場合（C）、特に大きな交差点や自車の通過速度が遅い場合は交差点に滞留して交差側交通すら阻害する可能性があり、周囲へ悪影響を及ぼすだけでなく交通違反行為となってしまう。また、所望のブレーキ力が小さいほど、交差点通過所要時間が長いほど、交通違反に該当する可能性が高まる。

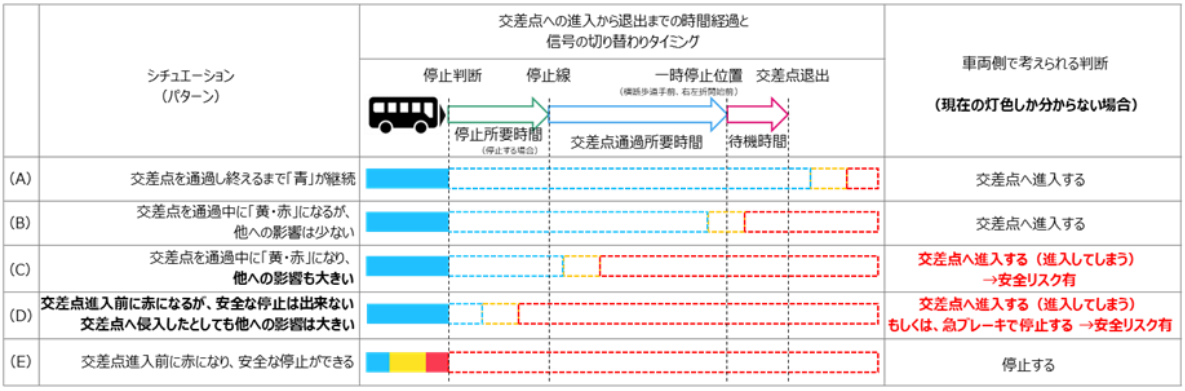


図 161　信号交差点の進入通過パターン（現在の灯色しか分からない場合）

一方、信号各灯色の継続時間（信号予定情報）が何らかの手段で分かる場合、自車が交差点の通過を終えるまでの予定必要時間と、青信号の継続予定時間を比較して交差点に接近しながら進

入可否を判断することができるため、リスク・ルールを侵すこと無く適切に交差点を通行することが可能となる。なお、いずれの場合であっても、横断者が出現して待機時間が発生し、交差点の退出が遅くなることは、致し方ない。

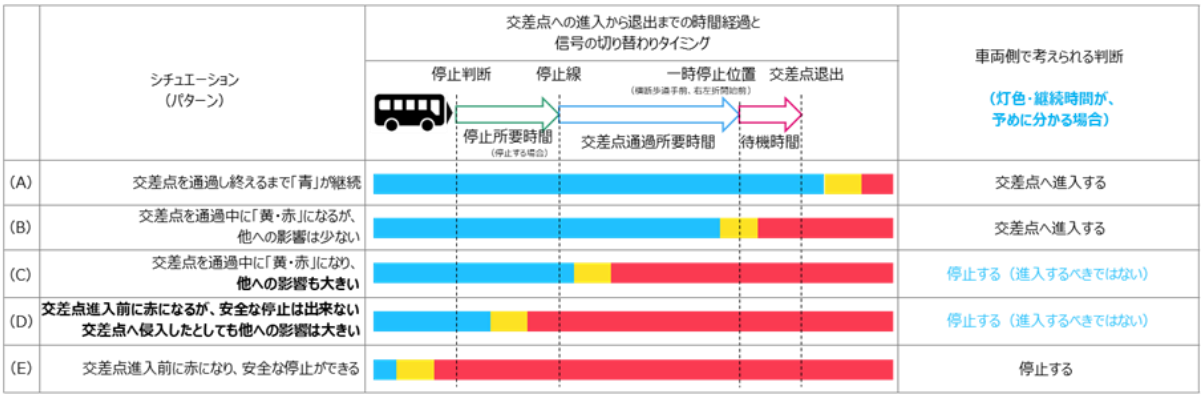


図 162　信号交差点の進入通過パターン（信号予定情報が分かる場合）

なお、信号交差点通過に関して、通過時間と信号時間の兼ね合いにおいてどの程度道路交通上のリスクを抱えるかは、自動運転車両のタイプ・役割・走行方法、通過しようとする交差点の幾何関係と黄色持続時間を比較することで比較的簡単に、具体的な数値を伴う形で事前検討することができる（図 163）。

また信号予定情報を活用したくても手段・コストが限られことも多々あり、場合によっては信号側の時間設定を見直すことでリスク低減を図ることが可能である。これら施策の是非は、地域社会的な判断が必要になってくるように思われる。

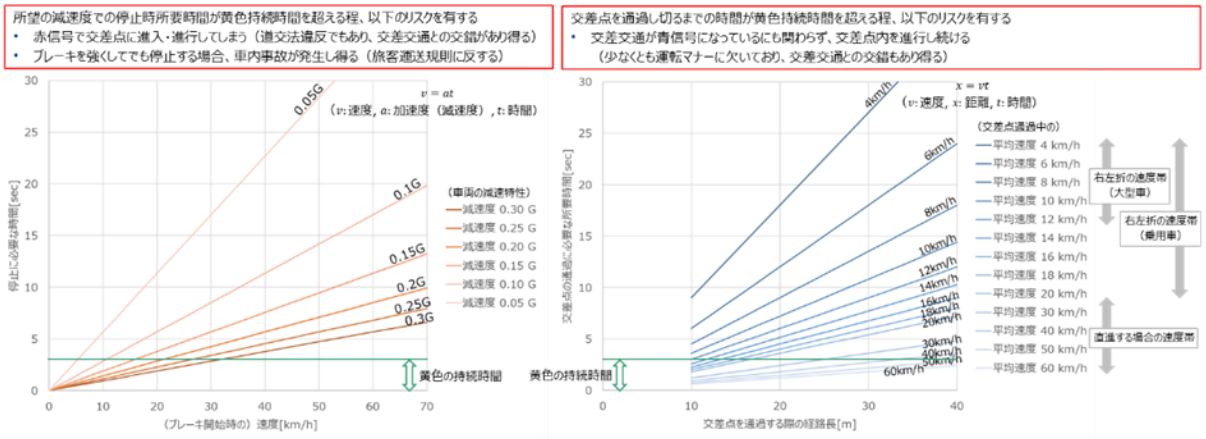


図 163　車両特性と交差点特性から考えられる交通違反リスク

iv)　路側センサー情報の必要性

“交差点の通過時間（平均通過速度）”は、まさに円滑性を表現し得るものであるが、交差点では地理・道路環境・交通量により様々なシーンが存在し、交差点の通行における安全性と円滑性は密接に関係している（図 164、図 165）。

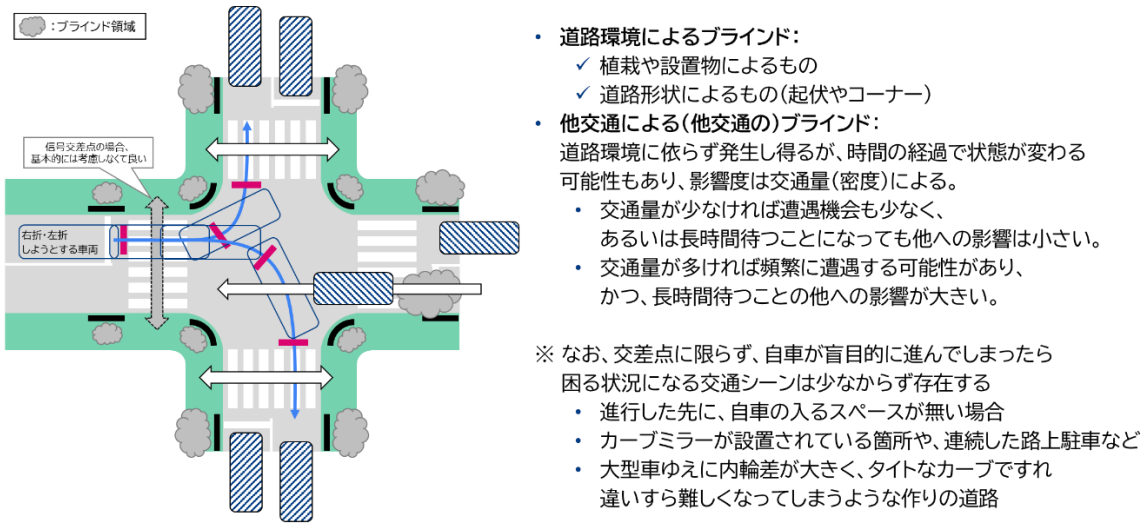


図 164　交差点におけるブラインド発生要因

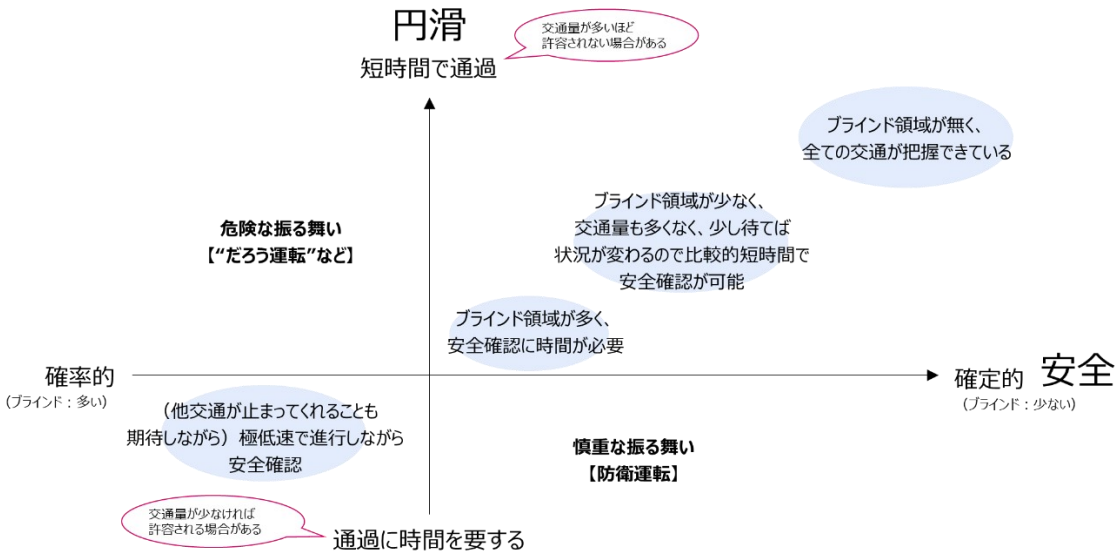


図 165　交差点通過における円滑性と安全性

改めて交差点を通行しようとした際のルール・判断を振り返るが、当然、安全であることが優先されるため、安全の確認・確保ができるまで速度を抑制して“安全確認”を実施する必要がある。見通しが悪い状況では安易に発進する訳にはいかず、時間的な円滑さは損なわれる（人間のドライバーは、他交通が“来ないであろうこと”にしばしば頼っているように思える）。また、

車体も大きく（長く）、旅客安全の考慮も求められる旅客バスは、加減速度をオーナーカーよりも抑える必要があるため、なかなか発進タイミングが得られない傾向にある。

つまり、車内旅客まで含めた安全性と、周囲まで含めた交通円滑性を両立するためには、車両から見えない領域をインフラセンサーでカバーすることが有効と考えられる（図 166）。

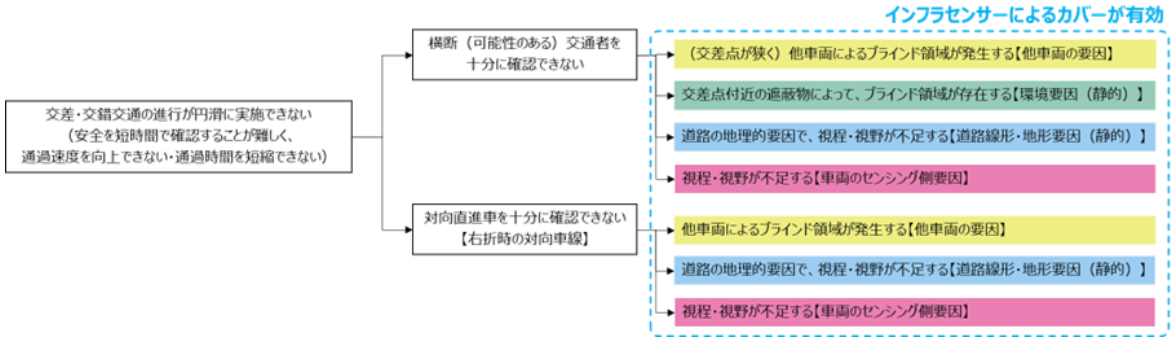


図 166　円滑性を損なう要因（パターン）

v）　特定自動運行許可制度とステークホルダー

無人自動運転移動サービスの実現に向けた制度整備として、特定自動運行に係る許可制度が創設されている。これは、道路運送車両法に定められた自動運行装置の保安基準を満たした自動運転が可能な車両で旅客移動サービスを実施する場合に、都道府県公安委員会が道路交通法と照らし合わせた審査・許可をするものであり、概ねの許可基準は次の通となっている。

【特定自動運行の許可基準（概要）より】

① 自動車が特定自動運行を行うことができるものであること。

② 特定自動運行が ODD を満たして行われるものであること。

③ 特定自動運行実施者等が実施しなければならない道路交通法上の義務等を円滑かつ確実に実施することが見込まれるものであること。

④ 他の交通に著しく支障を及ぼすおそれがないと認められるものであること。

⑤ 人又は物の運送を目的とするものであって、地域住民の利便性又は福祉の向上に資すると認められるものであること。

この許可基準概要の①～②は自動運転車両（自動運行装置）の性能や機能を問うものであり、③は当該自動運転車両を使用して旅客サービスを実施する交通事業者の対応責務を問うものである。対して、④および⑤は当該自動運転車両が周囲社会（交通社会や福祉利便性）に及ぼす影響を問うものであるため、交通事業者（車両使用者・運行実施者）は自動運転車両の仕様と運行上のリスク（前節までで示唆されるような、周囲交通への影響）を十分把握する必要があり、自動

運転車両および自動運行装置の提供側（車両製造者）は、安全性・円滑性についての検証・説明が求められる。

そして円滑さが損なわれることに対する社会的要求レベルと判断水準は、地域社会・地域の交通量ごとで異なると考えられる。例えば、都市地域では交通参加者・交通量が多いため、渋滞や僅かな遅延といった移動時間の増大に対して人々のストレスが生じ易い。こういったストレスは、トラブルやクレームの発生に繋がる可能性が高いため、交通が円滑であることが比較的強い社会的要求になることが予想される。

今日は自動運転の社会実装推進過程にあり、周囲交通も含めた自動運転車両や運行サービスの評価方法が決まっていないこともあり、関係者（国交省・警察庁・自治体／地域・交通事業者（バス会社）・自動運転車両およびシステムのメーカー）間での情報共有・協議・同意形成が積極的に図られることが特に重要となると考えられる。

(2) 協調型路側機への要求仕様の策定

i) 車両へ提供すべき情報

柏の葉のユースケースにおいて、協調型路側機より車両へ提供すべき情報を設定するため、柏の葉の各対象交差点において図 167 に示す手順で車両へ提供すべき情報について検討した。なお、柏の葉のユースケースにおける図 168 に示す 4 つの交差点を対象に検討した。

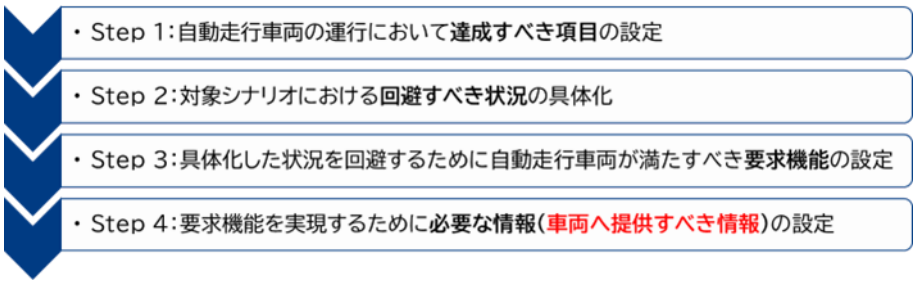
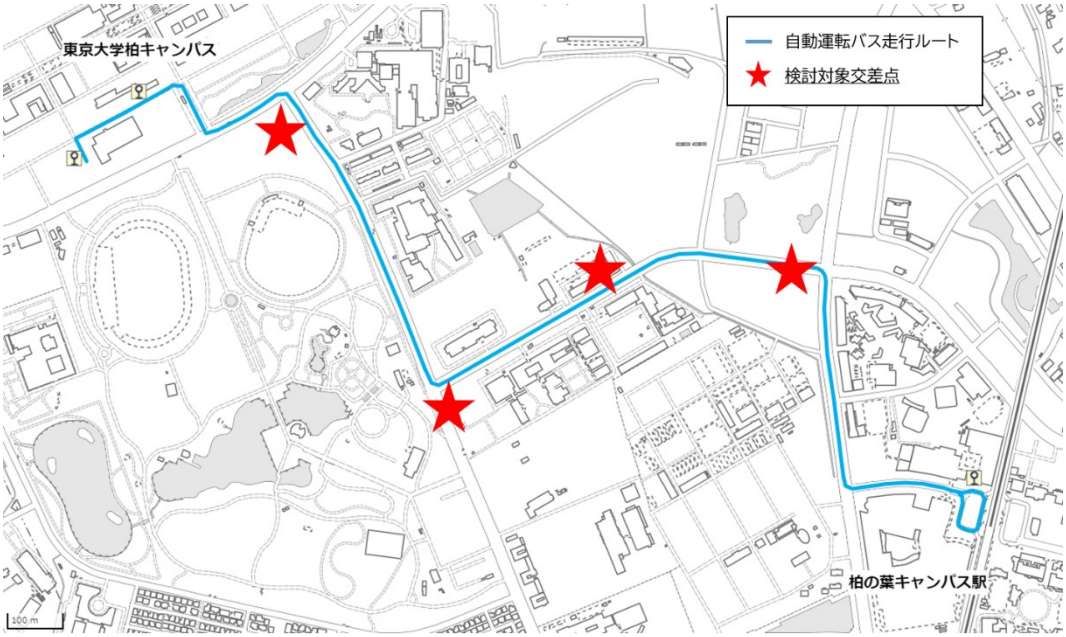


図 167　車両へ提供すべき情報の検討ステップ



国土地理院の地理院地図に自動運転実証実験のルートおよび関連情報を加筆

図 168　柏の葉のユースケースにおける検討対象交差点

達成すべき項目として、前項での議論も踏まえ、以下の 2 つを設定した。

- 安全性：他の交通参加者と衝突すること
- 円滑性：自車が急減速しないこと（自車搭乗者にとっての円滑性）、他の交通参加者の進行を妨げないこと（自車以外の交通参加者にとっての円滑性）

図 169 に示す検討例のように、まず対象とするシナリオを設定し、達成すべき項目の観点で回避すべき事象を設定する。次に、回避すべき状況を具体化し、具体化した状況を回避するために自動運転車両が満たすべき要求機能を設定する。最後に、前記要求機能の実現に必要な情報、すなわち車両へ提供すべき情報を設定する。

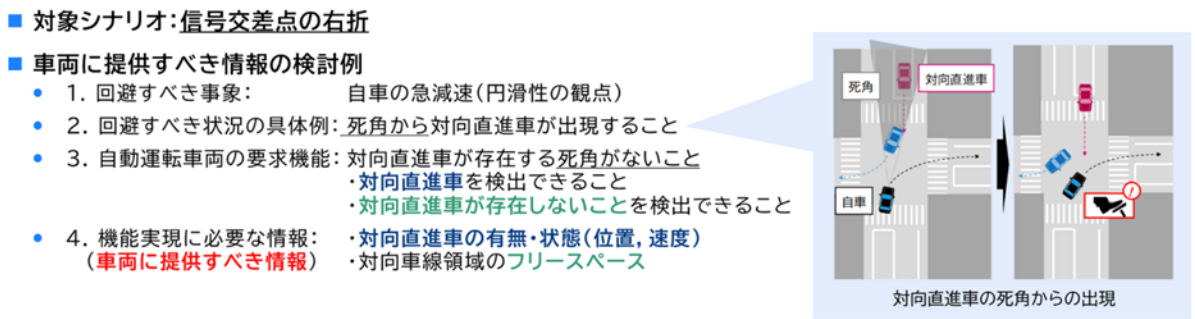


図 169　車両へ提供すべき情報の検討例

柏の葉の各対象交差点において前記手順で検討し、集約した検討結果を表 103 に示す。検討結果より、柏の葉のユースケースにおいて車両へ提供すべき情報として図 170 に示す情報を設定した。

表 103　柏の葉の対象交差点における車両へ提供すべき情報の検討結果

達成すべき項目	具体的な回避すべき状況（要因）	具体化した状況を回避するために自動運転車両が満たすべき要求機能	要求機能の実現に必要な情報（自動走行車両に提供すべき情報）
安全性	対向直進車との衝突	対向直進車との衝突を回避できること	対向車線内・交差点内の対向車の有無・状態（位置，速度等）
安全性	対向左折車との衝突	対向左折車との衝突を回避できること	対向車線内・交差点内の対向車の有無・状態（位置，速度等）
安全性	横断歩行者との衝突	横断歩行者との衝突を回避できること	横断歩道内・横断歩道周辺の歩行者の有無・状態（位置，速度等）
安全性	横断自転車との衝突	横断自転車との衝突を回避できること	横断歩道内・横断歩道周辺の自転車の有無・状態（位置，速度等）
円滑性	交差点に進入しないための急減速（交差点進入時の信号灯色の変化）	信号灯色の将来変化を考慮して交差点進入を判断できること	信号サイクル情報
円滑性	対向直進車との衝突を避けるための急減速（死角からの対向直進車の出現）	対向直進車が存在する可能性のある死角がないこと └進路が交錯する対向直進車を全て検出できること └進路が交錯する対向直進車が存在しないことを検出できること	対向車線内・交差点内の対向車の有無・状態（位置，速度等） 対向車線内・交差点内のフリースペース情報
円滑性	対向左折車との衝突を避けるための急減速（死角からの対向左折車の出現）	対向左折車が存在する可能性のある死角がないこと └進路が交錯する対向左折車を全て検出できること └進路が交錯する対向左折車が存在しないことを検出できること	対向車線内・交差点内の対向車の有無・状態（位置，速度等） 対向車線内・交差点内のフリースペース情報
円滑性	横断歩行者との衝突を避けるための急減速（死角からの横断歩行者の出現）	横断歩行者が存在する可能性のある死角がないこと └進路が交錯する横断歩行者を全て検出できること └進路が交錯する横断歩行者が存在しないことを検出できること	横断歩道内・横断歩道周辺の歩行者の有無・状態（位置，速度等） 横断歩道内・横断歩道周辺のフリースペース情報
円滑性	横断自転車との衝突を避けるための急減速（死角からの横断自転車の出現）	横断自転車が存在する可能性のある死角がないこと └進路が交錯する横断自転車を全て検出できること └進路が交錯する横断自転車が存在しないことを検出できること	横断歩道内・横断歩道周辺の自転車の有無・状態（位置，速度等） 横断歩道内・横断歩道周辺のフリースペース情報
円滑性	交差点内で停止し，交差車の進行妨害（交差点走行中に信号変化）	信号灯色が変化して交差点内に取り残されないこと └信号灯色の将来変化を考慮して交差点進入を判断できること	信号サイクル情報
円滑性	対向車線内で停止し，対向直進車の進行妨害（横断歩道付近を進行する横断歩行者／横断自転車の衝突回避）	対向車線内で停止しないこと └横断歩道の将来的な状況を考慮して右折開始を判断できること	横断歩道内・横断歩道周辺の歩行者の有無・状態（位置，速度等） 横断歩道内・横断歩道周辺の自転車の有無・状態（位置，速度等） 横断歩道内・横断歩道周辺のフリースペース情報
円滑性	横断歩道内で停止し，横断歩行者／横断自転車の進行妨害（右折先車線内の駐車車両／滞留車両の衝突回避）	横断歩道内で停止しないこと └右折先道路の状況を考慮して右折開始を判断できること	右折先車線の車両の有無 右折先車線のフリースペース情報

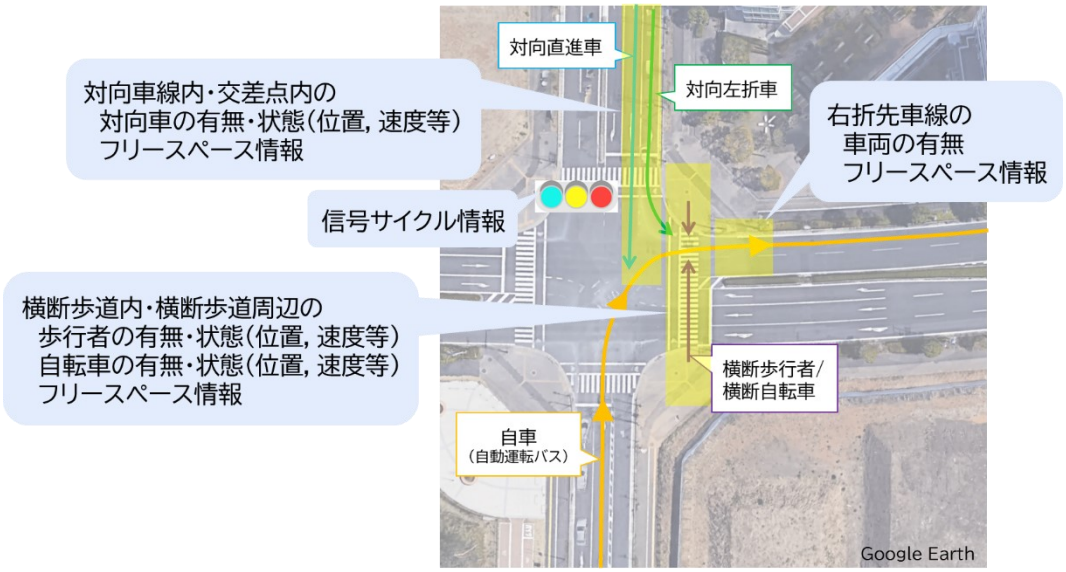


図 170　柏の葉ユースケースにおいて車両へ提供すべき情報

ii）　路側センサーの要求性能

路側センサーに要求する性能として、自動車や自転車、歩行者等の物標を検出できる範囲について検討した。具体的には、要求する検出範囲を「協調型路側機を介して路側センサーが検出した物標情報を取得する自車と、検出対象である物標が同時刻に交錯領域内に存在しないために必要な検出範囲」と定義した。交錯領域とは、図 171 に示す自車が進行する経路と検出対象の物標

が進行する経路が交錯する領域のことである。また、自車と当該物標が同時刻に交錯領域に存在しないためには、自車が以下のいずれかの状態を達成できることが必要である。

- 交錯領域の手前で停止する
- 物標が交錯領域に進入する前に通過する

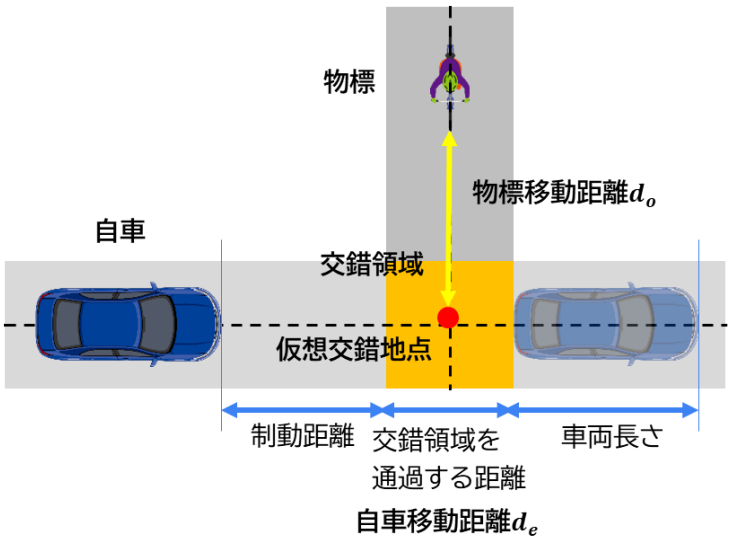


図 171　路側センサーに要求する検出範囲の考え方

よって、要求する検出範囲を以下の手順で算出した。

1. 協調型路側機から得られる路側センサーが検出した物標情報に基づき、自車が交錯領域を通過するために必要な時間（自車所要時間t_t）を算出する。なお、自車所要時間t_tは、自車が交錯領域の手前で停止できる地点から交錯領域を通過するまでの距離（自車移動距離d_e）を走行する時間t_eと、システム遅延時間t_d（路側システム処理、通信、車載システム）の和とする。
2. 自車所要時間t_tの間に物標が移動できる距離（物標移動距離d_o）を算出する。
3. 自車と物標の仮想交錯地点から物標移動距離d_oの範囲（検出範囲）を算出する。

柏の葉のユースケースにおける表 104 に示す 4 つの対象交差点に設置されている路側センサーについて、支援種別に分けて要求する検出範囲を算出した。なお、自車の挙動については、自動運転バスの柏の葉における走行戦略を参考に設定した。

表 104　柏の葉のユースケースにおける対象交差点と支援種別

対象交差点	支援種別
交差点①	交差点右折支援
交差点②	交差点左折支援
交差点③	交差点直進支援
交差点④	交差点右折支援

● 交差点①　（交差点右折支援）

交差点右折支援における前提条件は、以下の通りである。また、物標移動距離d_oの算出式を図 172 に、算出条件を表 105 に、算出結果を表 106 と図 173 にそれぞれ示す。

- 自車は、交差点中央で一時停止し、他者（物標）がいないことを確認して発進・進行する
- 前方の信号灯色は、青である
- 前方車両は、存在しない
- 対向直進車は、減速せずに交差点に接近する
- 歩行者と自転車は、減速せずに横断歩道に接近する

$$d_o = v_o t_t + \frac{1}{2} a_o t_t^2$$

$$t_t = t_e + t_d$$

$$t_e = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{2d_e}{a_e}} & \left(\dfrac{v_m^2}{2a_e} \geq d_e\right) \\ \dfrac{v_m}{a_e} + \dfrac{d_e}{v_m} & \left(\dfrac{v_m^2}{2a_e} < d_e\right) \end{cases}$$

$$d_e = l_e + d_i$$

図 172　要求する検出範囲の算出式（交差点右折支援）

表 105　要求する検出範囲の算出条件（交差点①）

Type	Symbol	Content	Value	Unit
自車	v_m	最高速度	10	km/h
自車	a_e	発進加速度	1.0	m/s^2
自車	t_d	システム遅延時間	0.83	s
自車	l_e	車両長さ	8.99	m
物標	v_o	走行速度(対向直進車)	72	km/h
物標	v_o	走行速度(横断歩行者)	10	km/h
物標	v_o	走行速度(横断自転車)	20	km/h
物標	a_o	減速度	0	m/s^2
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離(対向直進車)	5.22	m
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離(横断歩行者・横断自転車)	16.0	m

表 106　要求する検出範囲の算出結果（交差点①）

物標	自車移動時間 t_e [s]	物標移動距離 d_o [m]
対向直進車	7.9	96.5
横断歩行者	11.8	32.5
横断自転車	11.8	65.1



図 173　要求する検出範囲の可視化（交差点①）

● 交差点②（交差点左折支援）

交差点左折支援における前提条件は、以下の通りである。また、物標移動距離d_oの算出式を図

174 に、算出条件を表 107 に、算出結果を表 108 と図 175 にそれぞれ示す。

- 自車は、停止線通過後は徐行し、物標（他者）がない場合は徐行を継続する
- 前方の信号灯色は、青である
- 前方車両は、存在しない
- 歩行者と自転車は、減速せずに横断歩道に接近する

$$d_o = v_o t_t + \frac{1}{2} a_o t_t^2$$

$$t_t = t_e + t_d$$

$$t_e = \frac{d_e}{v_e}$$

$$d_e = l_e + d_i + d_s$$

図 174　要求する検出範囲の算出式（交差点左折支援）

表 107　要求する検出範囲の算出条件（交差点②）

Type	Symbol	Content	Value	Unit
自車	v_e	走行速度	5	km/h
自車	a_e	減速度	-1.0	m/s²
自車	t_d	システム遅延時間	0.83	s
自車	l_e	車両長さ	8.99	m
自車	d_s	制動距離	0.96	m
物標	v_o	走行速度(横断歩行者)	10	km/h
物標	v_o	走行速度(横断自転車)	20	km/h
物標	a_o	減速度	0	m/s²
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離	4.44	m

表 108　要求する検出範囲の算出結果（交差点②）

物標	自車移動時間 t_e [s]	物標移動距離 d_o [m]
横断歩行者	10.4	31.1
横断自転車	10.4	62.3

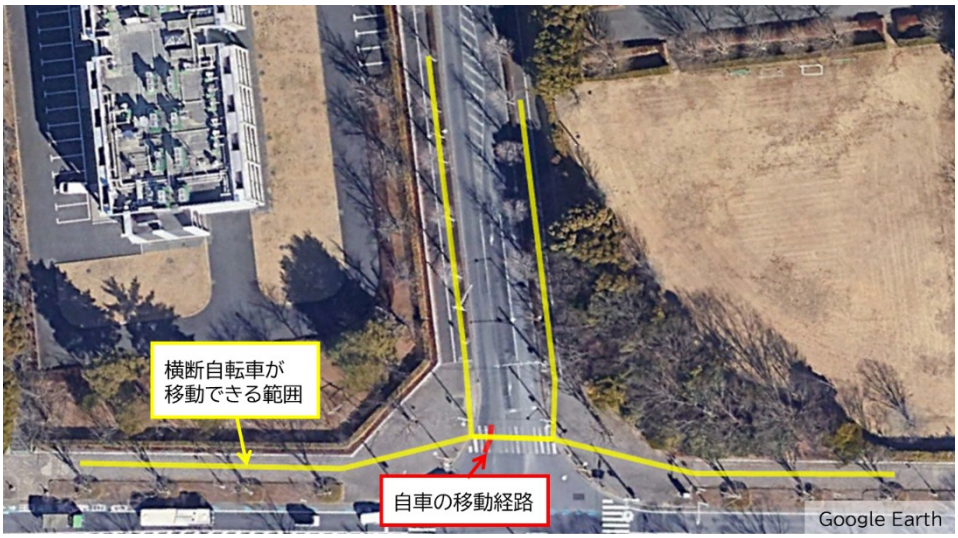


図 175　要求する検出範囲の可視化（交差点②）

● 交差点③（交差点直進支援）

交差点左折支援における前提条件は、以下の通りである。また、物標移動距離d_oの算出式は交差点左折支援と同様である。算出条件を表 109 に、算出結果を表 110 と図 176 にそれぞれ示す。

- 自車は、制限速度以下で走行する
- 前方車両は、存在しない
- 自動車と自転車、歩行者は、減速せずに交錯領域に接近する

表 109　要求する検出範囲の算出条件（交差点③）

Type	Symbol	Content	Value	Unit
自車	v_e	走行速度	40	km/h
自車	a_e	減速度	-1.0	m/s^2
自車	t_d	システム遅延時間	0.83	s
自車	l_e	車両長さ	8.99	m
自車	d_s	制動距離	61.7	m
物標	v_o	走行速度(自動車)	30	km/h
物標	v_o	走行速度(歩行者)	10	km/h
物標	v_o	走行速度(自転車)	20	km/h
物標	a_o	減速度	0	m/s^2
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離	5.42	m

表 110　要求する検出範囲の算出結果（交差点③）

他者	自車移動時間 t_e [s]	物標移動距離 d_o [m]
自動車	6.9	64.0
歩行者	6.9	21.3
自転車	6.9	42.7

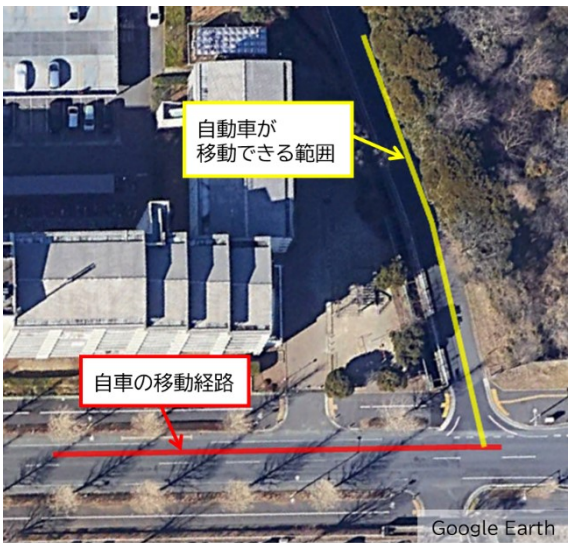


図 176　要求する検出範囲の可視化（交差点③）

● 交差点④（交差点右折支援）

交差点右折支援における前提条件および算出式は、交差点①と同様である。算出条件を表 111 に、算出結果を表 112 と図 177 にそれぞれに示す。

表 111　要求する検出範囲の算出条件（交差点④）

Type	Symbol	Content	Value	Unit
自車	v_m	最高速度	10	km/h
自車	a_e	発進加速度	1.0	m/s^2
自車	t_d	システム遅延時間	0.83	s
自車	l_e	車両長さ	8.99	m
物標	v_o	走行速度(対向直進車)	72	km/h
物標	v_o	走行速度(横断歩行者)	10	km/h
物標	v_o	走行速度(横断自転車)	20	km/h
物標	a_o	減速度	0	m/s^2
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離（対向直進車）	9.33	m
交差点	d_i	交錯領域を通過する距離（横断歩行者・横断自転車）	19.6	m

表 112　要求する検出範囲の算出結果（交差点④）

物標	自車移動時間 t_e [s]	物標移動距離 d_o [m]
対向直進車	9.4	101.2
横断歩行者	13.1	36.1
横断自転車	13.1	72.3



図 177　要求する検出範囲の可視化（交差点④）

2) 柏の葉のユースケースに対するセンシング開発・評価

柏の葉のユースケースにおける協調型路側機および路側センサーの評価指標を設定し、路側センサーの検出性能および協調型路側機が協調型自動走行に及ぼす影響について評価した。また、路側センサーの目標性能である信頼性の評価方法について検討を行った。

(1) 協調型路側機・路側センサーの評価指標の検討

協調型路側機は、自動走行車両に信号情報および物標情報を提供することにより、協調型自動走行を実現し、自律型の自動走行で直面する問題を解決することが期待できる。前項で述べたように、協調型路側機を用いることにより、自動走行車両の安全性および円滑性の向上に寄与できると考えられる。そこで、協調型路側機が協調型自動走行に及ぼす影響の評価指標として、以下の指標を設定した。

- 安全性：他の交通参加者との衝突回数
- 円滑性：走行に要する時間

協調型路側機が自動走行に及ぼす影響は、協調型路側機が提供する物標情報の精度に大きく影響される。この物標情報の精度は、協調型路側機に設置された路側センサーの物標検出機能の性能に左右される。路側センサーが検出できる物標が、路側センサーに近い対象に限られる場合、自動走行車両は協調型路側機から提供された物標情報を取得したとしても、その物標情報を有効に活用できない可能性がある。また、路側センサーの未検出率が高い等、検出精度が低い場合には、得られる物標情報の信頼度が低く、自動走行車両で同じく有効に活用できない可能性がある。そこで、協調型路側に搭載される路側センサーの検出性能の評価指標として、以下の指標を設定した。

- 検出距離（検出範囲）
- 検出率（検出率、誤検出率）

(2) 路側センサーの検出性能の評価

柏の葉のユースケースにおいて活用される路側センサーについて、その検出性能を評価した。まず評価対象とする路側センサーを選定し、各センサーの検出性能について評価した。

i) 評価対象路側センサーの選定

柏の葉のユースケースにおいて、協調型路側機が提供すべき物標情報として、対向車および自転車・歩行者を設定した。そこで、それぞれの対象について有効に検出できると考えられる路側センサーを評価対象とした。対向車を検出する路側センサーとして、交差点①および交差点④に

既に設置されている A 社の LiDAR センサーを選定した。自転車・歩行者を検出するセンサーとして、柏の葉公道には設置されていないものの、東京大学柏キャンパス内の生産技術研究所千葉実験所 ITS R&R フィールド内に設置されている B 社のカメラセンサーを選定した。当該センサーは、柏の葉公道に未設置であるものの、他の実証実験において自転車および歩行者を検出する実績があるため、評価対象として選定した。

ii) LiDAR センサーの検出性能評価

当該 LiDAR センサーについては、柏の葉公道に既に設置されているため、柏の葉公道で設置された路側センサーで得られたデータを用い、検出性能を評価した。なお、交差点①と交差点④に設置された LiDAR センサーを評価対象とし、接近車両検出（自動車（普通車、大型車)、自動二輪車）を評価対象とした。

① 評価方法

LiDAR センサーの検出性能について、以下に示す項目について評価した。なお、未検出率および誤検出率について、センサーからの距離毎（10m 間隔）に算出し、評価した。

1. 検出範囲（最遠点）：センサーから遠い箇所のどこから物標を検出できるか
2. 検出率：物標が存在する状況において、どれだけ見落とさずに検出できるか
3. 誤検出率：物標が存在しない状況において、どれだけ誤検出するか

上記項目について、以下の手順で評価を行った。

1. 対象データのうち、比較的オクルージョンが発生していない（他の車両等に遮蔽されていない）物標を抽出する。
2. 当該物標の時刻（フレーム）毎の検出有無および検出種別を抽出する。
3. 対象データに含まれるカメラ映像を確認し、当該物標の存在有無を確認する。
4. 上記 1.～3. を対象データ内の物標に対して繰り返し、前記評価項目を算出する。

交差点①および交差点④に設置されたセンサーの画角および検出対象エリアを、それぞれ図 178 と図 179 に示す。

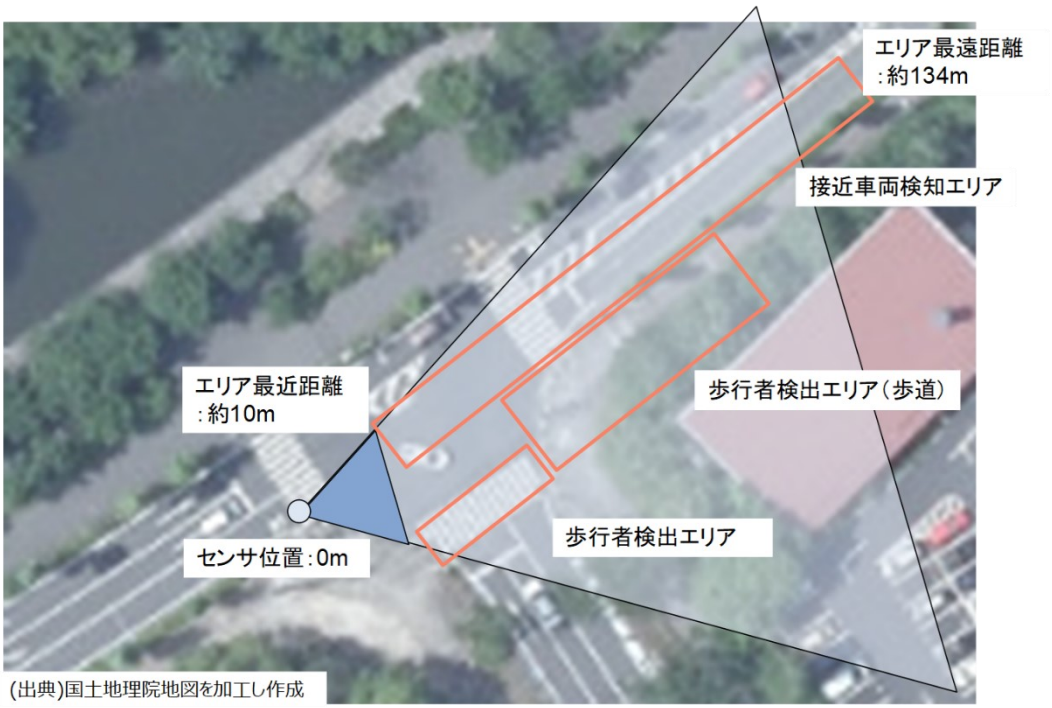


図 178　評価対象 LiDAR センサーの画角・検出対象エリア（交差点①）

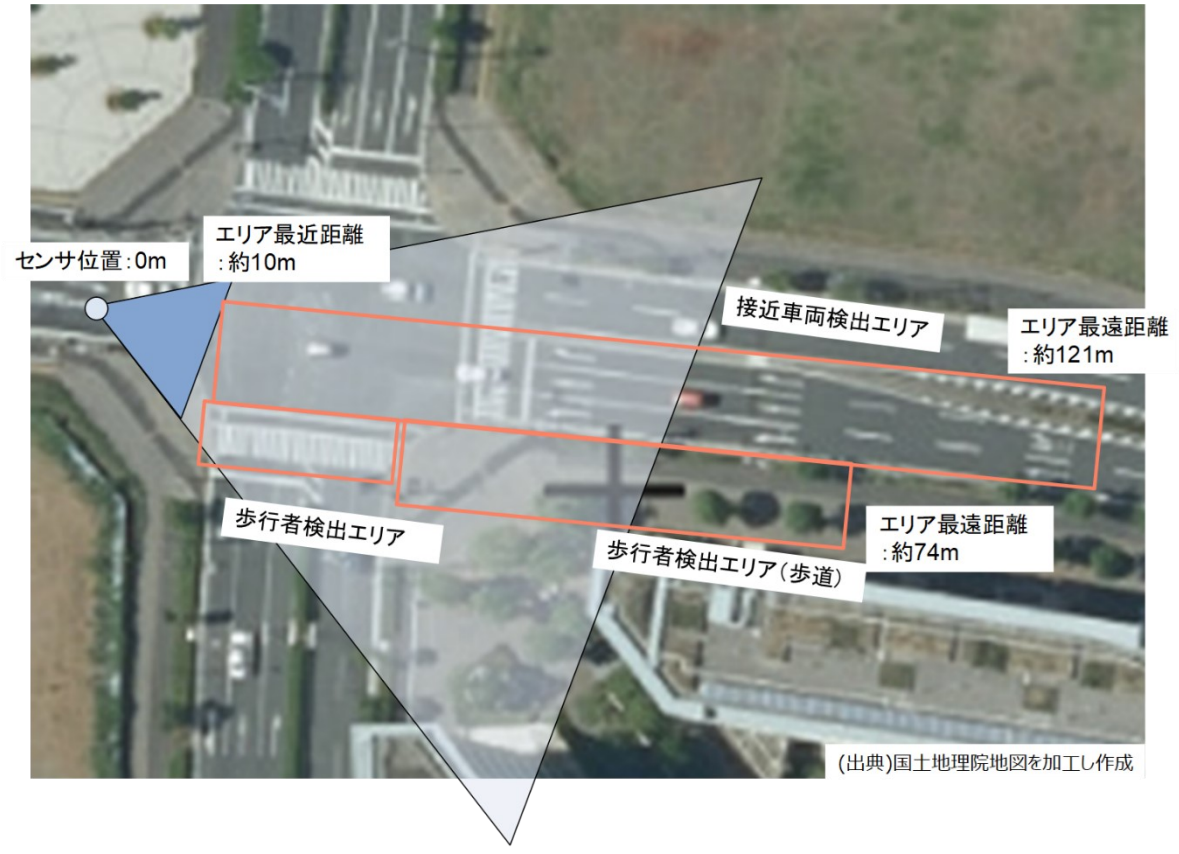


図 179　評価対象 LiDAR センサーの画角・検出対象エリア（交差点④）

② 評価結果

2022 年 10 月 18 日の午前 7 時から午後 6 時までの 11 時間を対象データとし、交差点④を中心に、各交差点において表 113 に示す物標サンプル数を抽出した。

表 113　LiDAR センサー評価の物標サンプル数

交差点	自動車		自動二輪車	合計
	普通車	大型車		
①	20	0	0	20
④	92	10	5	107

各交差点における検出範囲に相当する各物標を検出できた最遠点の頻度分布を図 180 と図 181 にそれぞれ示す。交差点①では 120 m 以上、交差点④では 110 m 以上センサーから離れた接近車両が検出できていた。また、表 114 に示すとおり、最遠点のばらつきは数 m であった。

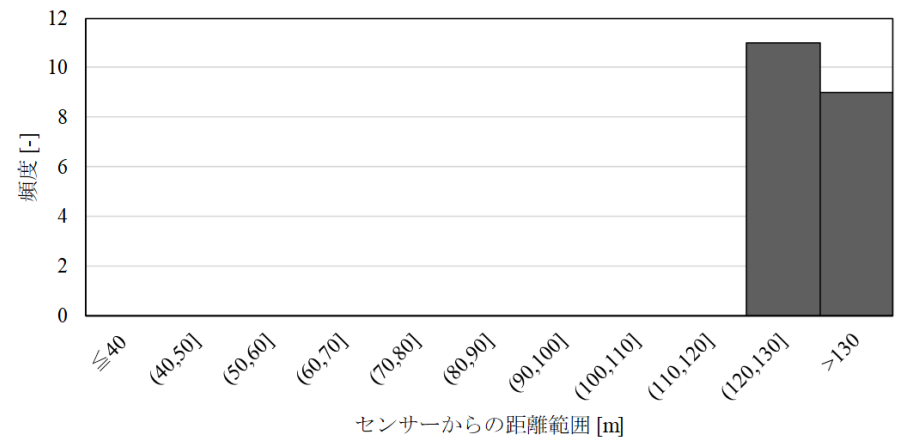


図 180　検出範囲（最遠点）の頻度分布（交差点①）

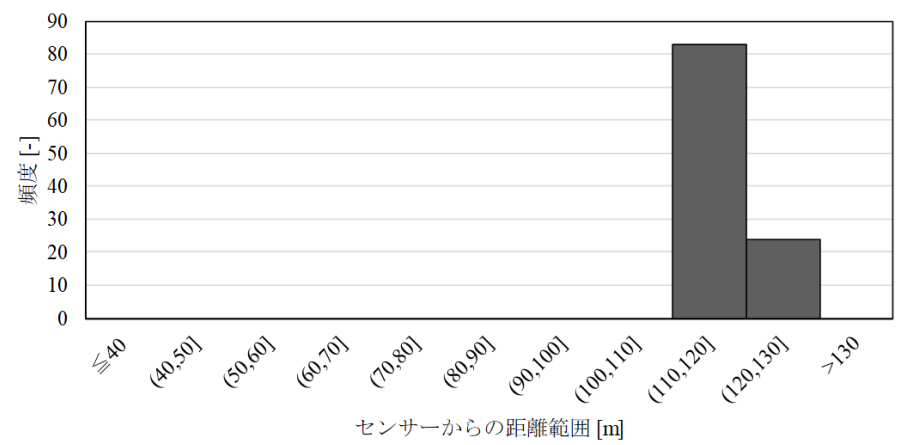


図 181　検出範囲（最遠点）の頻度分布（交差点④）

表 114　検出範囲（最遠点）の平均と標準偏差

交差点	平均 [m]	標準偏差 [m]
①	129.5	3.1
④	117.1	2.7

各交差点におけるセンサーからの距離に対する検出率と誤検出率を図 182 と図 183 に示す。交差点①では 120 m まで 100%であり、交差点④でも 120 m まで 85%以上の検出率が維持され、センサーからの距離による大きな検出率の減衰は見られなかった。また誤検出は見られたものの、最大でも 5%程度にとどまっていた。

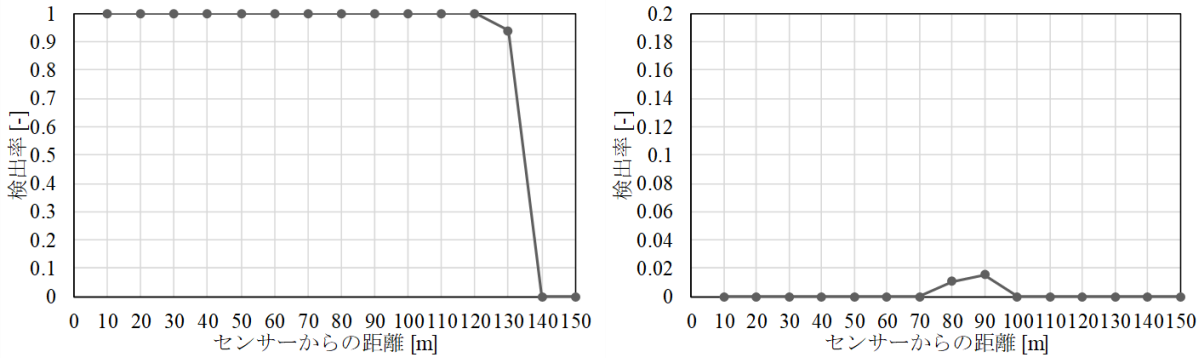
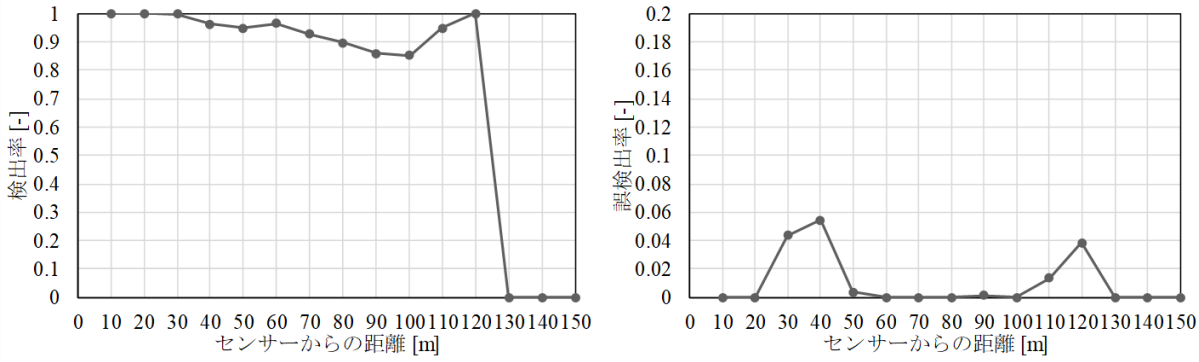


図 182　センサーからの距離に対する検出率と誤検出率（交差点①）



(a) 検出率　　(b) 誤検出率

図 183　センサーからの距離に対する検出率と誤検出率（交差点④）

交差点④において一部未検出が発生していたのは、車両の色が黒色や濃い銀色であり、検出対象である車両の色が影響していたと考えられる。これは既存の知見とも一致する LiDAR センサーの特徴である。また、A 社の LiDAR センサーの照射パターンが一様ではなく、点群に疎密があり、センサーからの距離 120 m 付近で点群が密になっており、80 m 付近が相対的に疎になっていたことも検出率の結果に表れたと考えられる。より点群密度が高く、遠距離まで計測可能な LiDAR センサーを採用することにより、前記問題は解決できる可能性がある。さらに、検出率の低下については、外挿補間等を実施することによっても解決できることが見込まれる。

誤検出については、未検出と同様に車両の色の影響が考えられ、特に黒色の車両は 1 台の車両が分離してしまい、誤って 2 台と検出されてしまうケースが見られた。また交差点④の 40 m 付近では、横断歩道上の歩行者も検出できるように検出エリアを設定しているため、相対的に小型の物体を物標として検出しやすくなっており、1 台の車両が分離してしまい、誤検出が発生していた。これらの誤検出の抑制には、未検出と同様に LiDAR センサーの更新とともに、歩行者の検出エリアの見直し等が有効であると考えられる。

iii） カメラセンサーの検出性能評価

当該カメラセンサーについては、東京大学柏キャンパス生産技術研究所千葉実験所 ITS R&R フィールド内で計測実験を行い、その検出性能を評価した。図 184 に示す交差点の付近に設置された 2 台のカメラセンサーについて評価を行った。また、図 185 にそれぞれのセンサーの画角を示す。

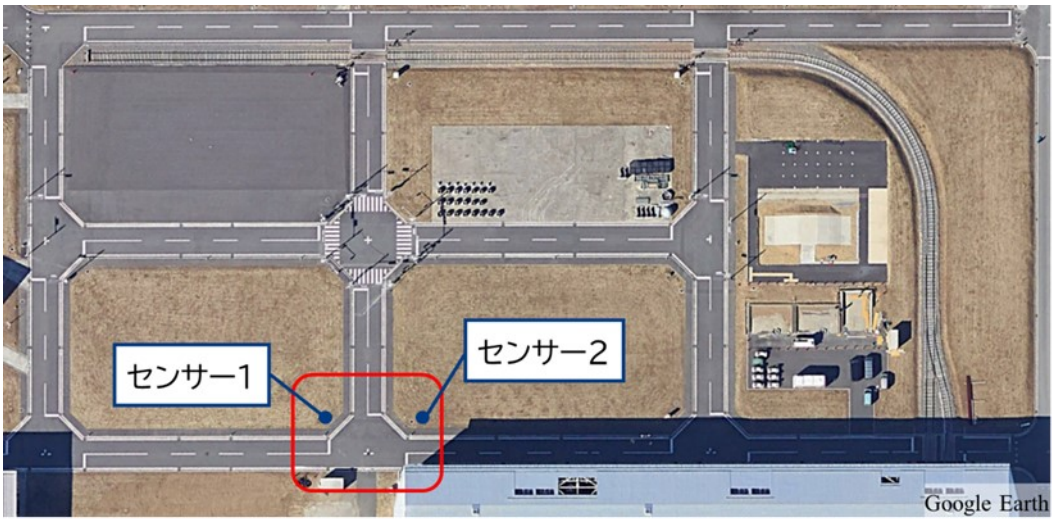
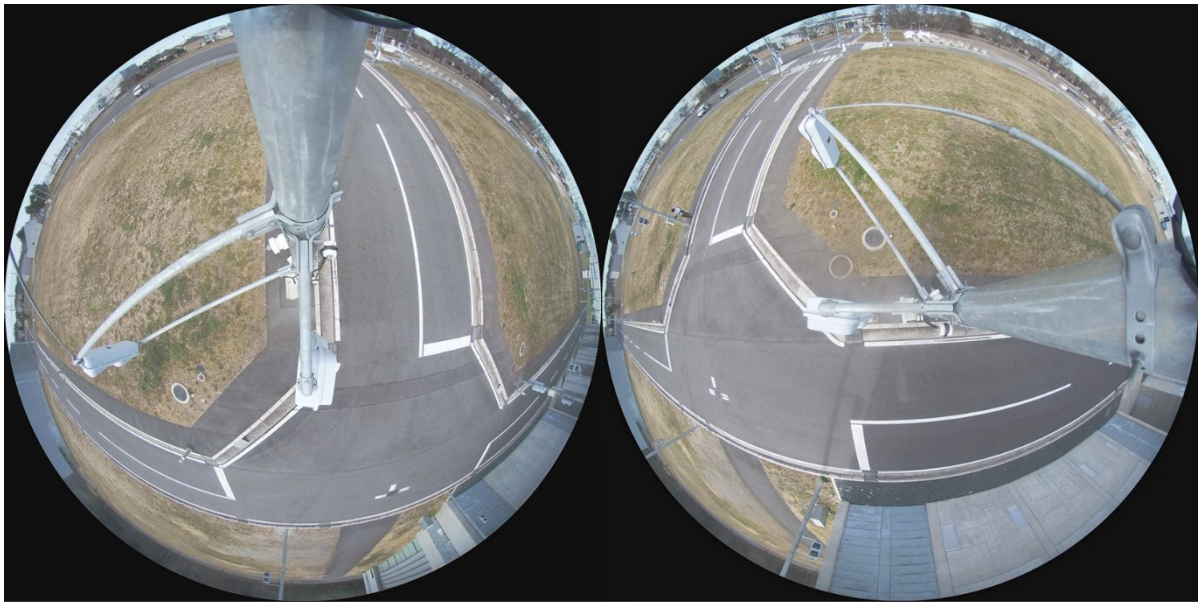


図 184　評価対象カメラセンサーが設置された交差点



(a) センサー1　　(b) センサー2

図 185　評価対象カメラセンサーの画角

① 方法

LiDAR センサーと同様の項目について評価を行った。また、検出率および誤検出率についても、同様にセンサーからの距離毎に算出した。なお、LiDAR センサーとカメラセンサーの検出範囲を考慮し、カメラセンサーは 2m 間隔とした。以下の手順で評価を行った。

1. 図　186 に示すルートに沿って歩行者および自転車を移動させ、その際のカメラセンサーの検出データを収集する。
2. 1.で収集した検出データを用い、前記評価項目を評価する。

また、カメラセンサーにおいては、検出率が 10%以上である範囲を検出範囲とした。

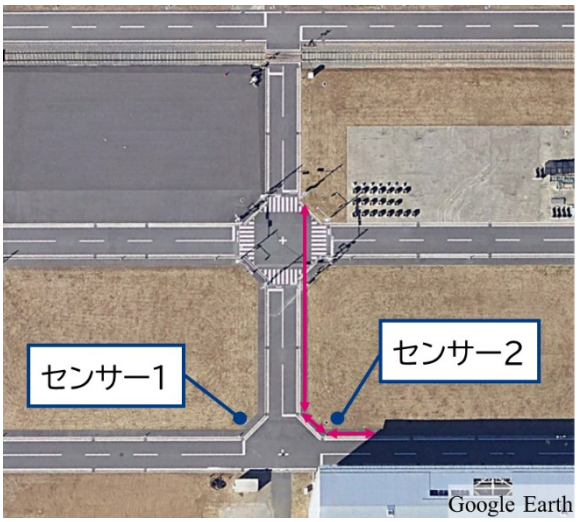


図 186　歩行者および自転車が移動するルート

② 結果

自転車および歩行者について、午前（10 時～11 時）と午後（15 時～16 時）の時間帯に分けて、表 115 に示す回数のデータ収集を行った。

表 115　カメラセンサー評価のデータ収集回数

時間帯	自転車	歩行者
午前(10時～11時)	30	15
午後(15時～16時)	30	15
合計	60	30

センサーからの距離に対する検出率と誤検出率を対数グラフで図 187 に示す。検出率が 10%以上である検出範囲は、歩行者が 28 m、自転車が 24 m であった。検出率については、歩行者と自転車ともにセンサーからの距離が長くなると低下する傾向にあった。また歩行者については、センサー近傍でも検出率が低い傾向が見られた。センサーから離れた位置での未検出は、画像内における検出対象のサイズが小さく、画像内の特徴から物標として検出することが難しかったためであると考えられる。一方でセンサー近傍での歩行者の未検出については、歩行者の頭部のみが見え、検出が難しいためであると考えられる。また誤検出率については、センサー近傍で一部誤検出が見られたが、これはセンサー近傍では、遠方にある場合と比較して見え方が異なるために、誤検出が発生しやすくなったと考えられる。物標の未検出については、より高解像度のカメラの使用や、物標検出アルゴリズムの改善が対策として挙げられる。物標の誤検出については、未検

出と同様にアルゴリズムの改善とともに、物標検出が必要な領域を限定することにより、誤検出を低減できる可能性がある。

本評価では、午前と午後の時間帯でそれぞれデータ収集を行ったが、検出率について時間帯による差異が見られた。図 188 に異なる時間帯における歩行者の検出率の結果を示す。午前と比べて午後のほうが、検出範囲（検出率が 10%以上である範囲）が小さくなっていた。このような差異は環境に存在する影や、検出対象への日の当たり方が影響していたと考えられる。このことから、天候（晴れ、曇り、雨）によっても検出率が異なると考えられる。よって、時間帯や天候による路側センサーの検出性能への影響も把握し、考慮することが重要であると考えられる。前記影響を考慮する方法としては、路側センサーとしては時間帯や天候の異なるデータを用いた検出アルゴリズムの改善や、協調型システムとしては時間帯や天候により異なる検出性能を事前に把握し、その性能情報を自動運転バス等に共有化して走行制御等に反映することが挙げられる。

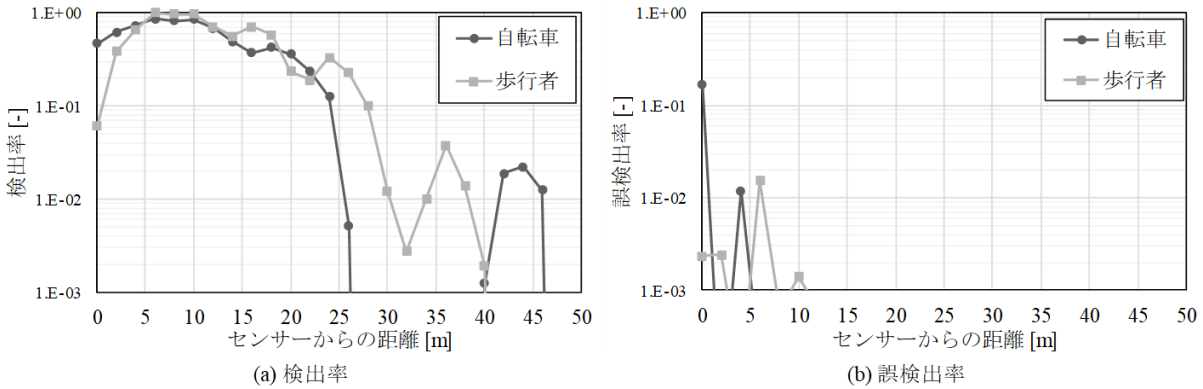


図 187　センサーからの距離に対する検出率と誤検出率

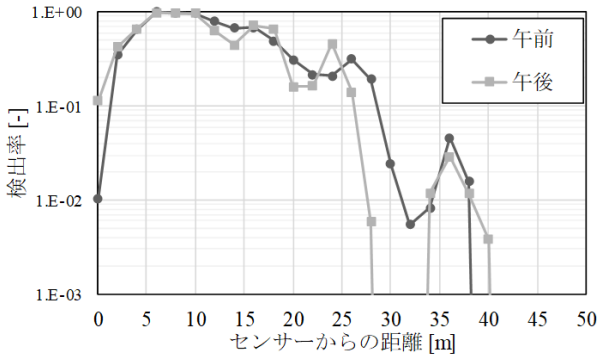


図 188　時間帯によるセンサーからの距離に対する検出率の差異（歩行者）

(3) 協調型路側機が協調型自動走行に及ぼす影響の評価

柏の葉のユースケースにおける協調型路側機が協調型自動走行に及ぼす影響について、数値シミュレーションを用い、机上検討を行った。本検討では、以下の観点について検討した。なお、

柏の葉のユースケースにおける道路環境および自動運転バスが協調型路側機からの情報を活用する走行戦略等を再現し、評価を行った。

- 協調型路側機の有無が協調型自動走行に及ぼす影響
- 協調型路側機の性能が協調型自動走行に及ぼす影響
- 協調型路側機の配置が協調型自動走行に及ぼす影響

i） 協調型路側機の有無が協調型自動走行に及ぼす影響

① 評価方法

以下の条件を満たす数値シミュレーション環境を実装し、協調型路側機から得られる物標情報がない場合と、ある場合の自動運転バスの安全性および円滑性について評価を行った。

- 柏の葉のユースケースにおける道路環境を再現できること
- 自動運転バスの自律型自動走行として、本事業において先進モビリティ株式会社が設定した自動走行のストラテジーに従った走行を再現できること
- 自動運転バスにおける物標検出として、本事業において先進モビリティ株式会社が設定したセンサーの検出範囲に合わせて物標検出を再現できること
- 自動運転バスの協調型自動走行として、本事業において設定された協調型自動走行のストラテジーに従った走行を再現できること
- 協調型路側機の路側センサーにおける物標検出として、設定した任意の検出範囲および検出率に合わせた物標検出を再現できること
- 自動運転バス以外の交通参加者の移動として、予め設定した経路に沿った一定速度での移動を再現できること

走行シナリオとしては、図 189 に示す自動運転バスが交差点右折時に、進路が交錯する交通参加者と遭遇する 3 つのシナリオ（S1-S3）についてシミュレーションを行った。走行シナリオ S1 と S2 では、柏の葉公道の交差点①において、歩道を移動する歩行者または自転車が生垣や街路樹によって遮蔽され、自動運転バスの車載センサーで歩行者および自転車が検出できない可能性のあるシナリオである。走行シナリオ S3 では、交差点④において、対向直進車が対向右折車に遮蔽され、自動運転バスの車載センサーで対向直進車を検出できない可能性のあるシナリオである。



(a) 交差点①におけるシナリオS1(歩行者)とシナリオS2(自転車)



(b) 交差点④におけるシナリオS3(対向直進車)

図 189　数値シミュレーションにおける走行シナリオ

シミュレーションで再現する各交差点の協調型路側機について、現在設置されている路側センサーの仕様を踏まえ、水平画角が 60° である扇形の検出範囲をもつ路側センサーが設置されているものとした。また、その路側センサーの検出範囲および検出率は、2-2. III. 2) (2) ii) で評価した性能を設定した。

シミュレーションで再現する自動運転バスには、現在搭載されている車載センサーの仕様を踏まえ、表 116 に示す扇形の検出範囲をもつセンサーが、車両前端中央に搭載されているものとした。また、その車載センサーの検出率は、検出範囲内で一様とした。自動運転バスは、交差点中心（開始地点）で一時停止から発進して右折を開始し、横断歩道を越えたところにある終了地点まで走行する。自動運転バスの車載センサーと協調型路側機の路側センサーから得られる物標情報に基づき、自動運転バスは発進判断および加減速判断を行い、速度を制御するものとした。

表 116　数値シミュレーションにおける自動運転バスの車載センサー性能

センサー名称	最大検出距離	水平画角
センサー1	100 m	45°
センサー2	30 m	330°

自動運転バスに搭載された車載センサーおよび協調型路側機に搭載された路側センサーがそれぞれ物標を検出するまでに要する時間（処理遅延）を 0.6 秒、協調型路側機から自動運転バスへの物標情報の通信遅延を 0.3 秒としてシミュレーションを行った。自動運転バスや交通参加者の挙動シミュレーションは 0.1 秒のタイムステップで行い、最大シミュレーション時間を 60 秒として実行した。

街路樹等の静的障害物や対向右折車等の動的障害物により他の交通参加者が遮蔽される可能性があるため、自律での走行ストラテジーでは、走行シナリオ S1 および S2 では横断歩道手前で一時停止を行い、走行シナリオ S3 では対向右折車による死角がなくなるまで一時停止する。これに対して協調型路側機の物標情報を活用することにより、障害物で遮蔽されて自動運転バスの車載センサーでは検出できない物標を、協調型路側機の路側センサーにより検出でき、その検出した物標を考慮した走行が可能になる。そのため、協調型路側機を活用することにより、インフラ情報を活用した走行ストラテジーとして、走行シナリオ S1 および S2 では自車に接近する歩行者・自転車が存在しなければ横断歩道手前での一時停止を行わないこと、走行シナリオ S3 では対向右折待ち車両による死角がある状況でも対向直進車が存在しないことを確認して右折を開始することを実現できると考えられる。協調型路側機を用い、インフラ情報を活用した走行ストラテジーに従って走行することにより、自律での走行ストラテジーと比較して遮蔽された領域から出現する交通参加者との衝突を防ぎ（安全性を維持し）ながら、走行時間を短縮できる（円滑性を向上できる）効果が見込まれる。そこで、表 117 のような二つの走行ストラテジーを考え、表 118 に示す 3 つの走行条件（C1-C3）を設定し、以下の 2 点を評価した。

- C1 と C3 の比較により、協調型路側機の活用による自動運転システムの円滑性の向上
- C2 と C3 の比較により、協調型路側機の活用による自動運転システムの安全性の維持

表 117　数値シミュレーションにおける走行ストラテジー

走行ストラテジー	シナリオS1&S2	シナリオS3
A	横断歩道で一時停止する	対向右折車による死角がなくなるまで一時停止する
B	自車に接近する歩行者･自転車が存在しなければ､横断歩道手前での一時停止を行わない	対向右折車による死角がある状況でも対向直進車が存在しなければ発進する

表 118　数値シミュレーションにおける走行条件

走行条件	走行ストラテジーの種別	協調型路側機の活用有無
C1	ストラテジーA	無
C2	ストラテジーB	無
C3	ストラテジーB	有

前記協調型路側機を用いることによる効果は、車載センサーの性能にも影響されると考えられる。そこで、車載センサーの検出率の条件を 2 条件（P1：100%，P2：50%）設定し、それぞれについて評価した。

さらに、各シナリオで遭遇する交通参加者との相対位置関係によっても自動運転バスと交通参加者の衝突有無や、自動運転バスの走行時間は影響される可能性がある。そのため、自動運転バスと当該交通参加者の進路が交錯する地点（仮想衝突地点）までの距離を交通参加者の初期位置条件として変化させてシミュレーションを行った。また、交通参加者は予め設定された経路を等速度で移動するものとした。表 119 に各シナリオにおける交通参加者の移動速度条件および初期位置条件を示す。

表 119　数値シミュレーションにおける交通参加者の移動速度条件と初期位置条件

走行シナリオ	交通参加者の種別	移動速度	初期位置条件
S1	歩行者	10 km/h	仮想衝突地点から0～100mの5m間隔
S2	自転車	20 km/h	仮想衝突地点から0～150mの5m間隔
S3	自動車	72 km/h	仮想衝突地点から0～200mの5m間隔

走行条件（C1-C3）と車載センサーの検出率条件（P1-P2）、交通参加者の初期位置条件の各組合せにおいて、20 試行ずつ自動運転バスの挙動と交通参加者の挙動をシミュレーションし、以下の項目について評価した。

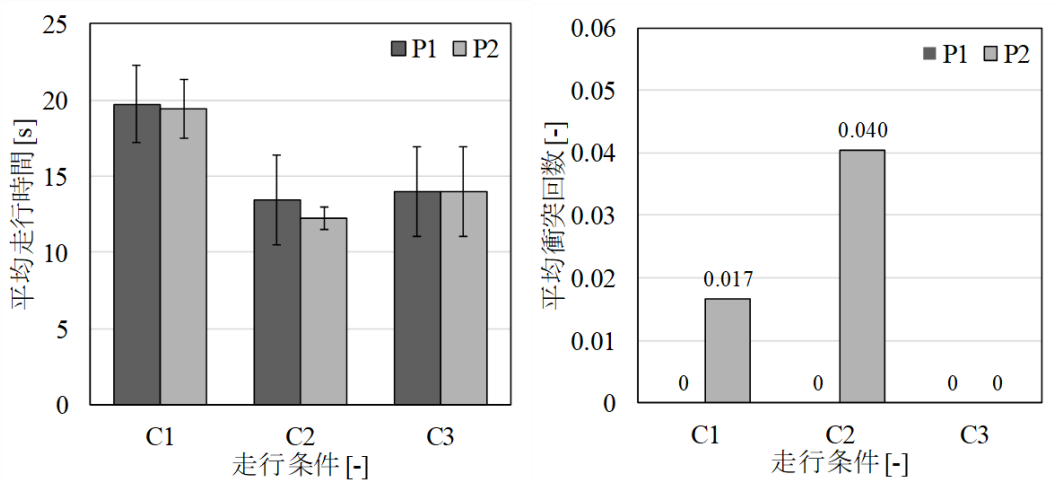
1. 【円滑性】自動運転バスが開始地点から終了地点までの走行に要する時間（走行時間）
2. 【安全性】自動運転バスの正面と交通参加者が衝突する回数（衝突回数）

② 評価結果

1. シナリオ S1：交差点右折時に横断歩行者と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、走行条件と車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 190 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。走行ストラテジーB を適用した C2 と C3 において、C1 と比較して平均走行時間が短縮され、自動走行の円滑性が向上した。しかし、協調型路側機を活用しない C2 では、車載センサーの検

出率が 100%ではない条件において、平均衝突回数が C1 よりも増大した。これに対して、協調型路側機を活用した C3 では、同じ検出率条件下でも歩行者との衝突が発生しなかった。

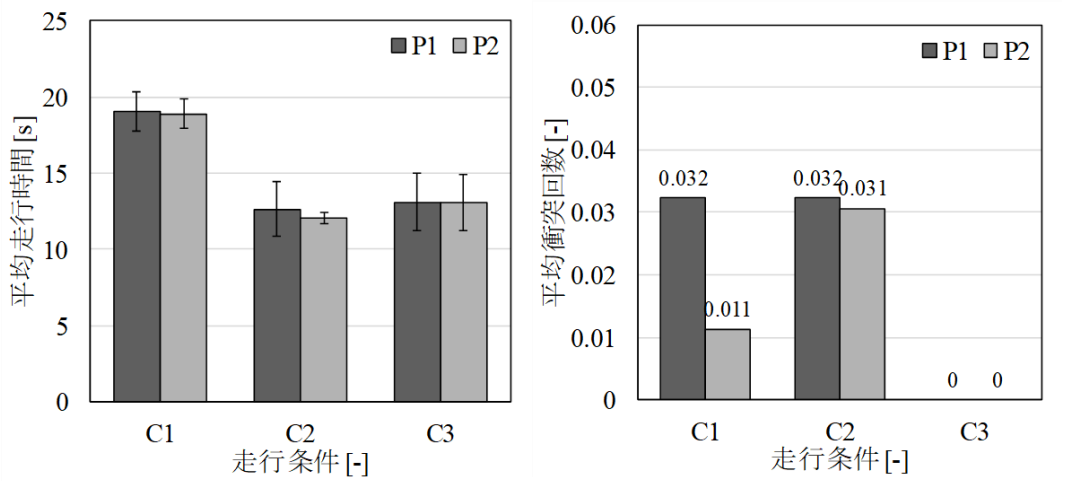


(a) 【円滑性】 走行時間　　(b) 【安全性】 衝突回数

図 190　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S1）

2.　シナリオ S2：交差点右折時に横断自転車と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、走行条件と車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 191 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。シナリオ S1 と同様な結果が得られ、走行条件 C3 では、安全性を維持しつつ、円滑性を向上した。

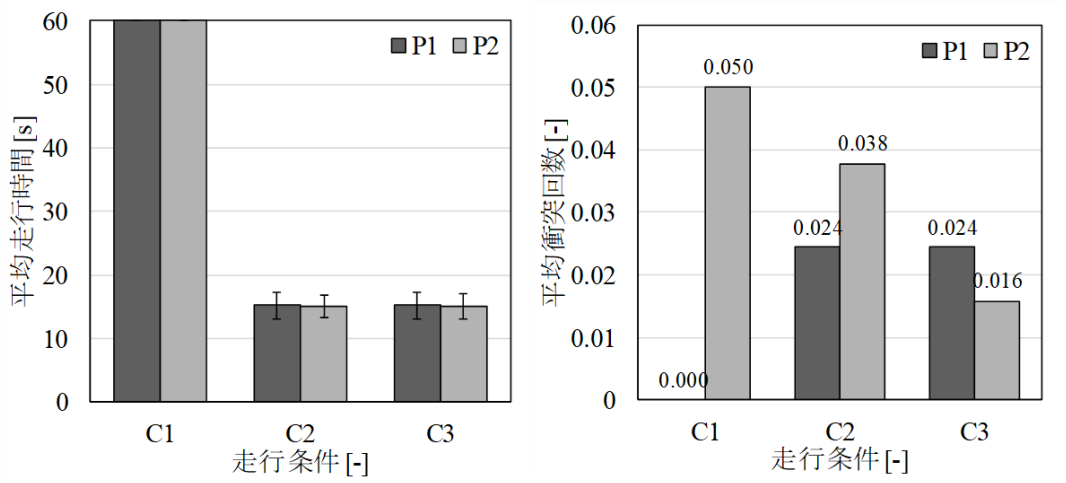


(a) 【円滑性】 走行時間　　(b) 【安全性】 衝突回数

図 191　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S2）

3.　シナリオ S3：交差点右折時に対向直進車と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、走行条件と車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 192 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。平均走行時間について、他のシナリオと同様な傾向であり、走行ストラテジーB を適用した C2 および C3 で円滑性が向上した。なお、走行ストラテジーA では、対向右折待ち車両が存在する状況では右折を開始しないため、走行時間は上限の 60 秒となった。平均衝突回数についても、他のシナリオと同様な傾向であり、協調型路側機を活用する C3 では相対的に低かった。しかし、他のシナリオと異なり、平均衝突回数がゼロではなかった。このような結果になった理由は、現在交差点に設置されている路側センサーの検出範囲が 1)(2)ii)で検討した要求仕様を満たしていないためであると考えられる。単体の路側センサーの検出範囲や、複数の路側センサーを用い、協調型路側機としてカバーできる範囲を拡張することにより、自動運転バスと対向直進車の衝突事象を低減できると考えられる。



(a) 【円滑性】 走行時間　　(b) 【安全性】 衝突回数

図 192　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S3）

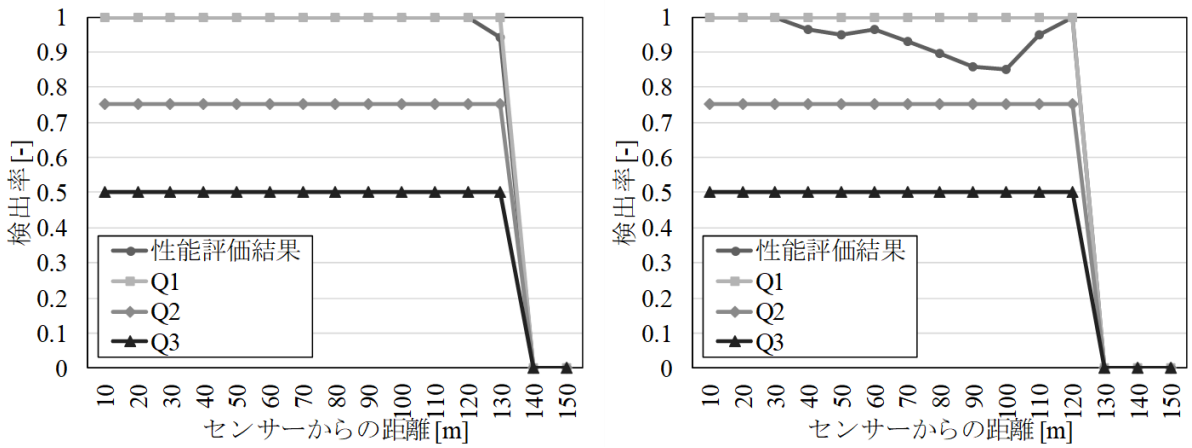
以上の結果より、協調型路側機で得られる物標情報を活用した走行ストラテジーにより、自動走行時の安全性を維持しながら、円滑性を向上できることを確認した。

ⅱ）　協調型路側機の配置が協調型自動走行に及ぼす影響

① 評価方法

前項と同じシミュレーション環境を用い、協調型路側機の路側センサーの検出率が異なる条件における、前項と同じ項目である円滑性と安全性について評価した。走行シナリオも前項と同様の S1-S3 であり、走行条件は C3 のみ、車載センサーの検出率条件は P1-P2 の 2 条件について評価した。

路側センサーの検出率については、図 193 に示す Q1-Q3 の条件を設定した。各条件の検出率は、検出距離に対して一様であるとし、現在の路側センサーよりも高い性能として Q1（100%）を、現在の路側センサーよりも劣る性能として Q2（75%）と Q3（50%）を設定した。



(a) 交差点①　　(b) 交差点④

図 193　数値シミュレーションにおける協調型路側機の路側センサーの検出率条件

② 評価結果

1.　シナリオ S1：交差点右折時に横断歩行者と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、路側センサーと車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 194 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。平均走行時間については、路側センサーの検出率が異なることにより、大きな差異は見られなかった。一方で平均衝突回数は、路側センサーの検出率が 100%である Q1 条件のときはゼロであったのに対し、検出率が低下することによりゼロではなくなり、歩行者との衝突が発生した。平均衝突回数と初期位置条件の関係性（図 195）を調べた結果、歩行者の初期位置が 30-45m である条件の範囲で歩行者との衝突が発生していた。この初期位置の範囲は、1)(2)ii)で求めた交差点①における要求検出範囲に相当する横断歩行者が仮想衝突地点から移動できる距離に近い。このことから、前記位置付近から移動を開始した横断歩行者を検出できなかった結果、横断歩行者に対する減速が遅れ、衝突に至ったと考えられる

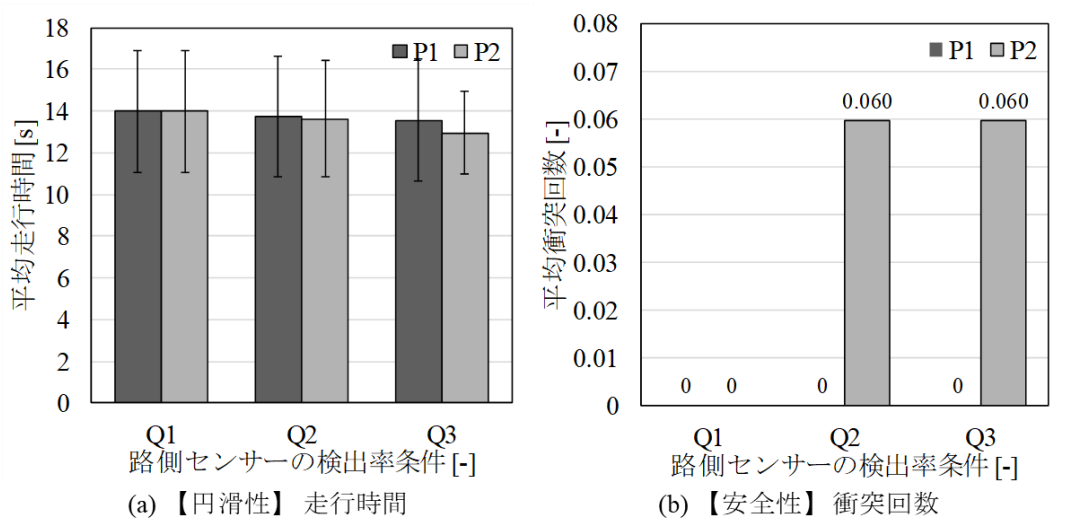


図 194　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S1）

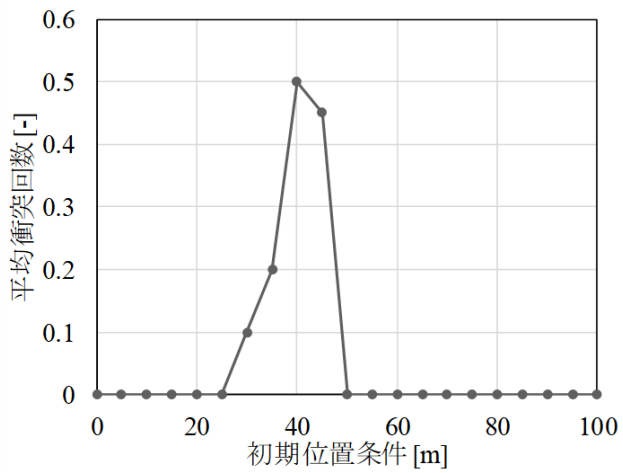


図 195　初期位置条件と平均衝突回数の関係（P2、Q2、シナリオ S1）

2.　シナリオ S2：交差点右折時に横断自転車と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、路側センサーと車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 196 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。平均走行時間については、シナリオ S1 と同様に路側センサーの検出率が異なることにより、大きな差異は見られなかった。また平均衝突回数についても、シナリオ S1 と同様に路側センサーの検出率が低下することにより、自転車との衝突が発生した。シナリオ S1 と同様に、平均衝突回数と初期位置条件の関係性（図 197）を調べた結果、自転車の初期位置が 55-70m である条件の範囲で衝突が発生し、1)(2)ii)で求めた交差点①における要求検出範囲に相当する横断自転車が仮想衝突地点から移動できる距離に近かった。このことから、シナリオ S1 と同様に、要求検出範囲付近から移動を開始する横断自転車を検出できなかった結果、横断自転車に対する

減速が遅れ、衝突に至ったと考えられる。

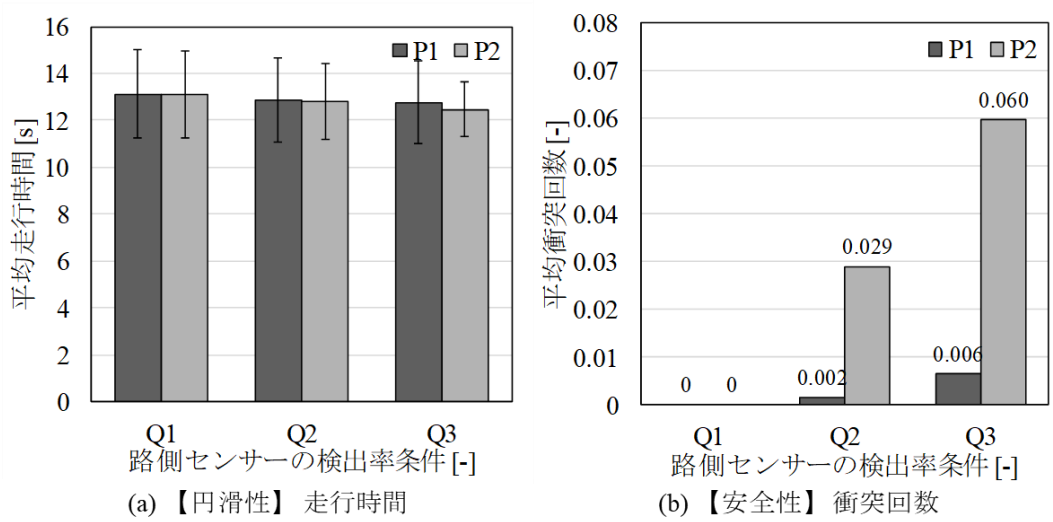


図 196　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S2）

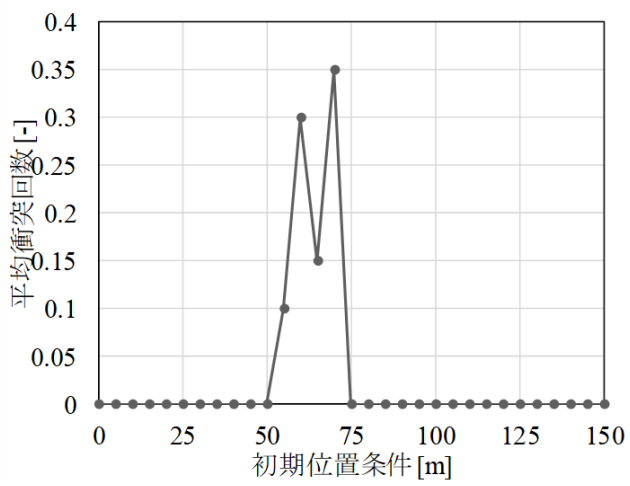
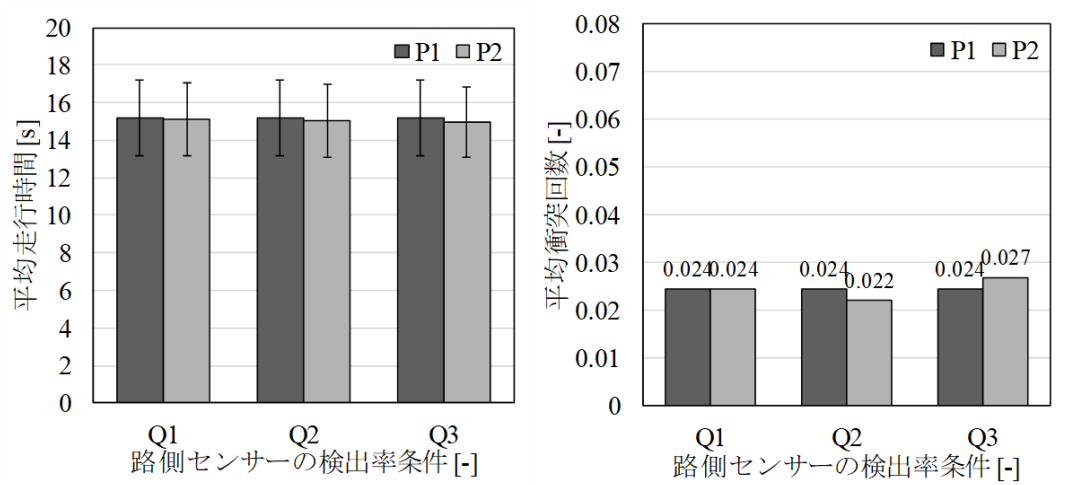


図 197　初期位置条件と平均衝突回数の関係（P2、Q2、シナリオ S2）

3.　シナリオ S3：交差点右折時に対向直進車と遭遇するシナリオ

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、路側センサーと車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 198 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。平均走行時間については、他のシナリオと同様に路側センサーの検出率が異なることによる大きな差異は見られなかった。一方で、他のシナリオと異なり、平均衝突回数についても大きな差異は見られなかった。このような結果になった理由として、2-2. III. 2) (3) i) ②3. で考察したように、現行の路側センサーの検出範囲が 1) (2) ii) で検討した要求性能を満たしていないた

め、検出率が異なったとしても同じ対向直進車に対して衝突すると考えられ、その結果路側センサーの検出率に関わらず、平均衝突回数が同様の傾向になったと考えられる。



(a) 【円滑性】 走行時間　　(b) 【安全性】 衝突回数

図 198　協調型路側機の有無が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S3）

以上の結果より、協調型路側機の性能である、路側センサーの検出率は、円滑性には大きく影響しないものの、安全性に影響することがわかった。また、検出率が 100%ではない条件においては、確率的に衝突が発生する可能性が生じるため、安全性を担保した協調型自動走行を実現する上では、検出率が限りなく 100%に近い、十分な検出範囲をもつ路側センサーの選定が必要であると考えられる。本シミュレーションでは、衝突対象となる対向直進車が回避行動を全くとらない、ワーストケースに近いシナリオであるものの、自動運転バスの走行アルゴリズムや車両挙動計算を簡易的に行っている中でも衝突の可能性が確認されたことから、インフラ情報を活用した自動走行を実現する上では、活用する路側センサーの性能（検出範囲、検出率）は重要な要素になると考えられる。

iii） 協調型路側機の配置が協調型自動走行に及ぼす影響

① 評価方法

i)および ii)で確認されたように、交差点②におけるシナリオ S3 では、現行路側センサーのみでは、安全性を維持しつつ、円滑性を向上させることが難しい可能性が示唆された。そこで、同じ仕様の路側センサーを協調型路側機に追加し、協調型路側機として路側センサーでカバーできる範囲を拡張することにより、安全性の維持（衝突回数の低減）と円滑性の向上（走行時間の短縮）を実現できるか検討した。

図　199 に示す位置に路側センサーを追加する走行条件 C4 を新たに設定し、前項と同じシミュ

レーション環境を用い、路側センサーを追加していない走行条件 C3 と追加した走行条件 C4 の条件における、前項と同じ項目である円滑性と安全性について評価した。走行シナリオも前項と同様の S3 であり、車載センサーの検出率条件は P1-P2 の 2 条件について評価した。

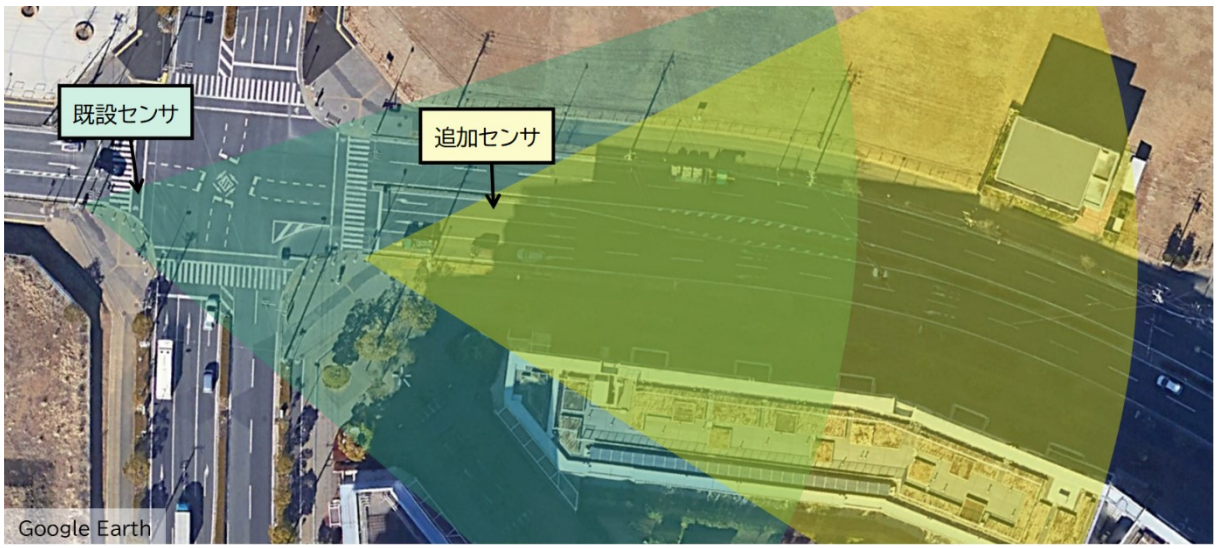
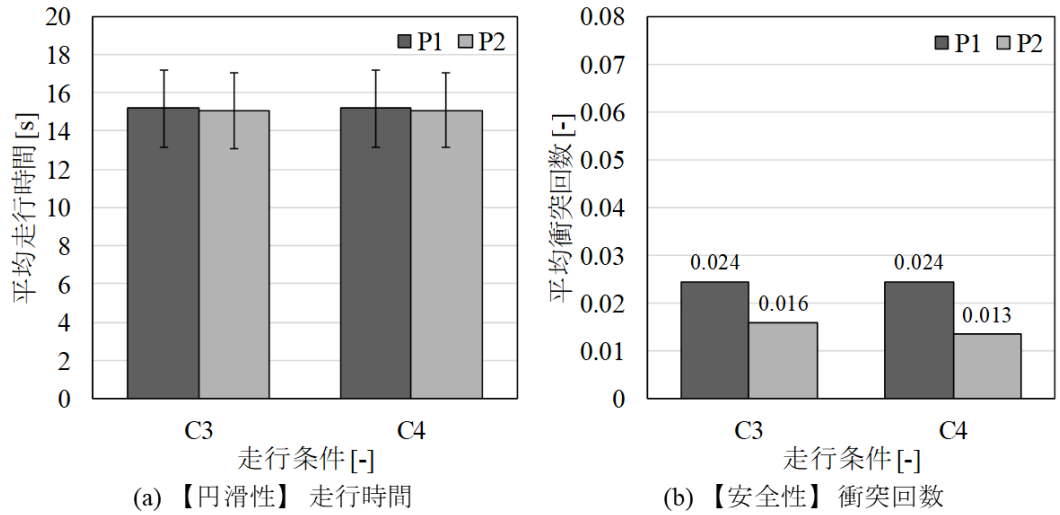


図 199　数値シミュレーションにおける協調型路側機の追加路側センサー

② 評価結果

円滑性の評価項目である平均走行時間と安全性の評価項目である平均衝突回数を、路側センサーと車載センサーの検出率条件間で比較した結果を図 199 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。円滑性である平均走行時間は、条件間に大きな差異は見られなかった。同様に、安全性を示す平均衝突回数についても、大きな差異は見られなかった。すなわち、路側センサーを追加し、物標を検出できる範囲を拡張したものの、衝突回数が低減し、安全性が向上しなかった。



(a) 【円滑性】 走行時間　　(b) 【安全性】 衝突回数

図 200　協調型路側機の配置が円滑性と安全性に及ぼす影響（シナリオ S3）

このように検出範囲の拡張が安全性の向上に寄与しなかった理由について考察した。図 201 に示すように、同じ交通参加者の初期位置条件において、路側センサーを追加した走行条件 C4 では、追加していない走行条件 C3 と比較して、より遠方で対向直進車を検出できていることが確認できた。しかし、接近する対向直進車を検出したにも関わらず、走行条件 C4 における自動運転バスは減速せず、走行条件 C3 における自動運転バスと同様に対向直進車と衝突した。自動運転バスが物標である対向直進車を検出できているにも関わらず、減速しなかった要因について調査した結果、本シミュレーションにおける減速判断アルゴリズムと、交差点②に流入する対向車線の道路環境が影響していることがわかった。本シミュレーションでは、自動運転バスの進行方向ベクトルと、物標の進行方向ベクトルが交錯し、その仮想衝突地点が自動運転バスの前方にあり、かつ当該地点に物標が接近している場合に自動運転バスは減速するものとした。しかし、図 201 に示すように、走行条件 C4 で検出した対向直進車の進行方向ベクトルを見ると、左カーブに差し掛かっており、互いの進行方向ベクトルが交錯する地点は自動運転バスの後方にあった。このため、自動運転バスは物標を検出した時点では減速を開始せず、衝突を回避できなかったと考えられる。



(a) C3条件における初期検出位置(シミュレーション開始から4.5秒)



(b) C4条件における初期検出位置(シミュレーション開始から2.1秒)

図 201　走行条件による対向直進車の初期検出位置の比較

仮に物標を検出した時点で自動運転バスが減速を開始し、停止していれば、対向直進車との衝突は回避できた。このことから、協調型路側機の路側センサーの数量および配置を変更することは、安全性の向上という課題を達成する上では有効であることが確認できた。

(4) 路側センサーの信頼性の評価方法に関する検討

センサーの目標指標である信頼性（未検知率/誤検知率）の評価方法について、昨年度は協調型路側機が設置されている交差点周辺に計測員を配置して普通車、大型車、自動二輪車が交差点に進入・進出した時刻を車種ごとに分けて記録し、その記録データと物標認識システムを比較して信頼性評価を行った。しかし、計測員が記録したデータには個々の癖や主観が反映されており、計測漏れや誤計測といった誤情報が含まれている場合もあるため、信頼性の評価を行う前にデータのクレンジングが必要であった。さらに、検知率を適切に評価するためには多種多様の膨大なデータが必要となるが、人手によるデータ収集ではコストが高くなる。

そこで人手を介さずに自動で信頼性を評価するための方法として、複数の物標認識システムで特定の領域を検知し、その結果検知を比較して、多数決による信頼性を評価する方法を検討している。多数決による信頼性の評価方法のイメージを図 202 に示す。例えば、物標認識システム 1、2、3 が出力したある物標情報について同定できた場合、物標認識システム 1、2、3 が出力したある物標情報は正しく検知できている物標情報であると判定することができる。一方で、物標認識システム 1 が出力したある物標情報について物標認識システム 2、3 が出力した物標情報で同定

できなかった場合、物標認識システム 1 が出力したその物標は誤検知であると判定できる。また、物標認識システム 2、3 が出力して同定できた物標情報について、物標認識システム 1 が出力した物標情報で同定できなかった場合、物標認識システム 1 に未検知が発生したと判定できる。これにより、物標認識システム 1、2、3 が稼働している間は継続的に信頼性の評価を行うことができると考えている。

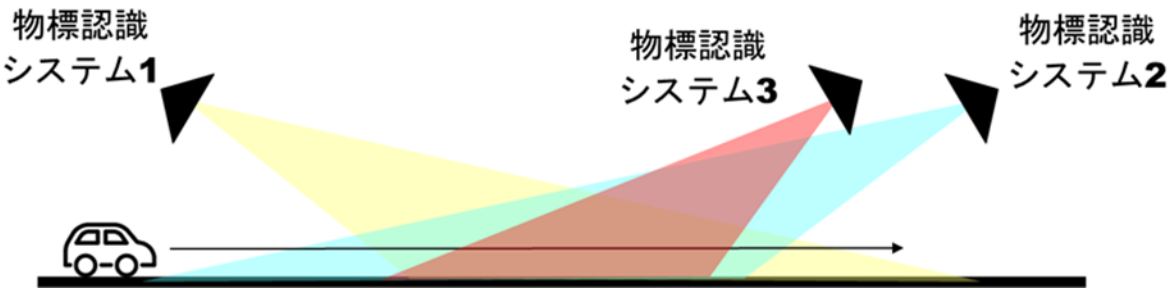


図 202　多数決による信頼性の評価方法

この方法の評価を行うための環境を構築するため、公道に設置した協調型路側機の 1 つについてセンサーの検知領域の変更を行った。構成変更を行った協調型路側機は図 203 の RSU1 と RSU2 であり、それぞれ交差点を挟むように電信柱に設置されている。図 204 に構成変更後の RSU1 と RSU2、図 205 と図 206 にそれぞれのハードウエア構成を示す。

図 203　構成変更を行った協調型路側機

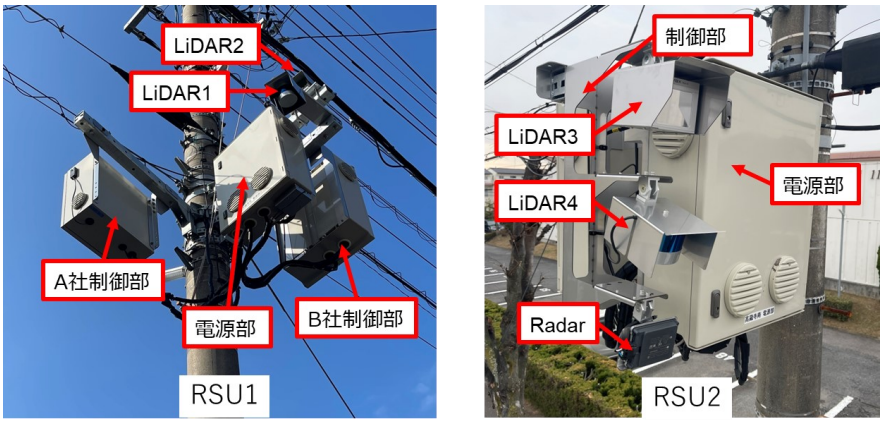


図 204　構成変更後の RSU1 と RSU2

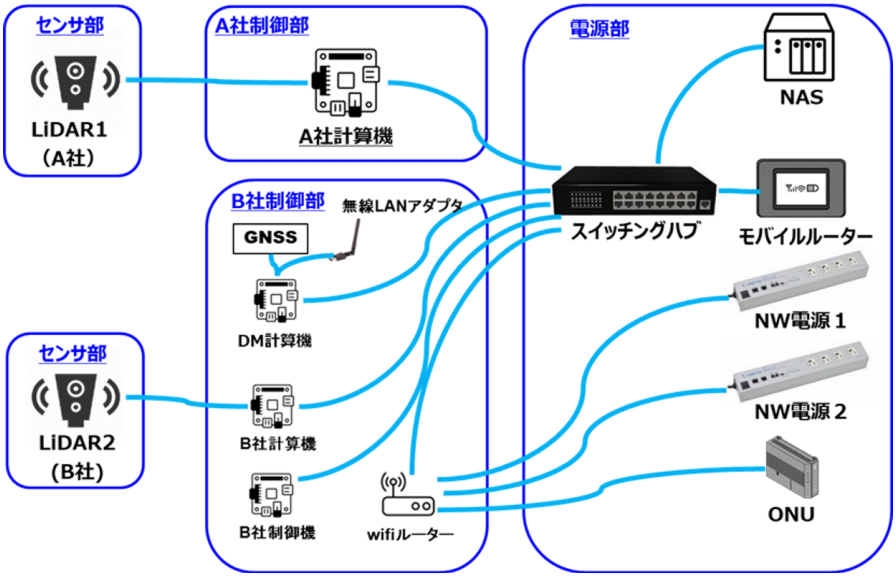


図 205　RSU1 のハードウエア構成

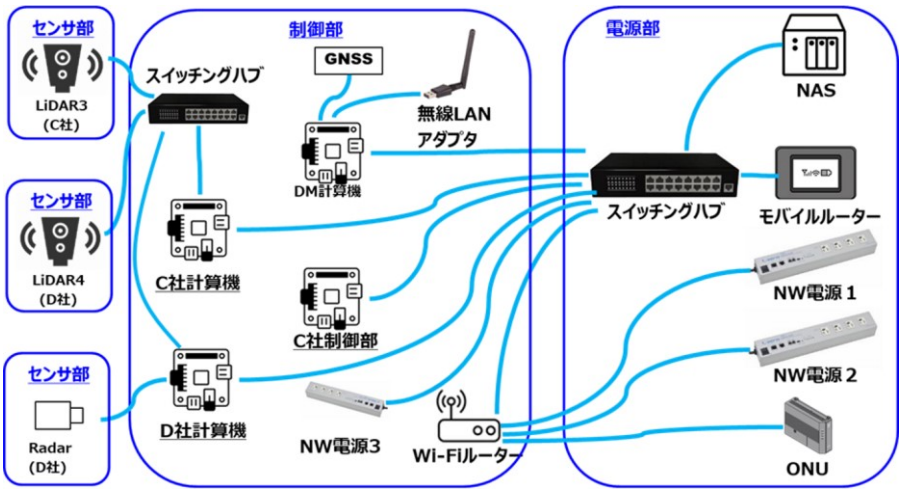


図 206　RSU2 のハードウエア構成

図 207 に、2024 年 1 月 15 日に DM 計算機が受信した各社の物標情報を物標 ID ごとに色分けしたものを示す。A 社は交差点に接近する物標を検知する目的で設置されており、交差点内と交差点中心から約 160 メートル先にある物標を検知することができる。B 社は交差点内の物標を検知する目的で設置されており、交差点内とその約 30 メートル周辺にある物標情報を検知することができる。C 社は交差点内の物標を検知する目的で設置されており、交差点内とその約 15 メートル周辺にある物標情報を検知することができている。D 社は交差点に接近する物標を検知する目的で設置されており、交差点内と交差点中心から約 150 メートル先にある物標を検知することができている。これらの検知結果から、交差点内であれば 4 社の物標情報を得ることができる。この評価環境を使用して多数決による検知率・誤検知率の評価方法を検討する予定である。

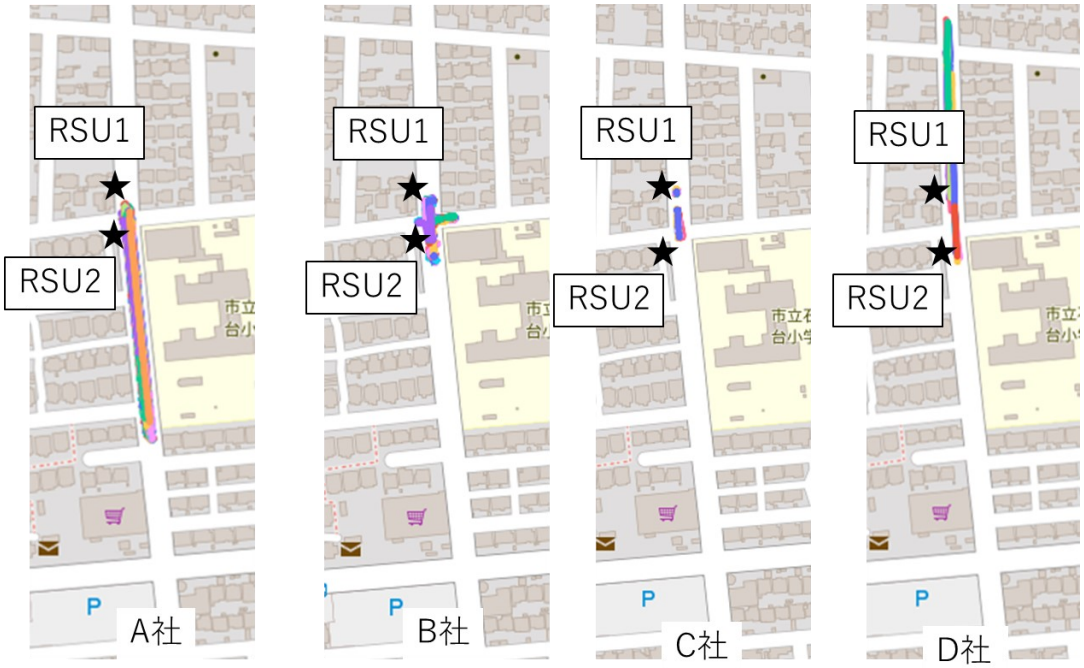


図 207　DM 計算機で受信した各社の物標情報

3)　協調型路側機の公道への実配備

柏の葉ユースケースにおいて、協調型システムの有効性が高いと考えられる箇所を選定し、協調型路側機を公道に実配備した。また、実配備した協調型路側機に関して、公道における機能確認および評価を実施した。

(1) 協調型路側機の配備箇所と構成

協調型路側機の配備箇所として、図 208 に示す 4 か所を選定した。

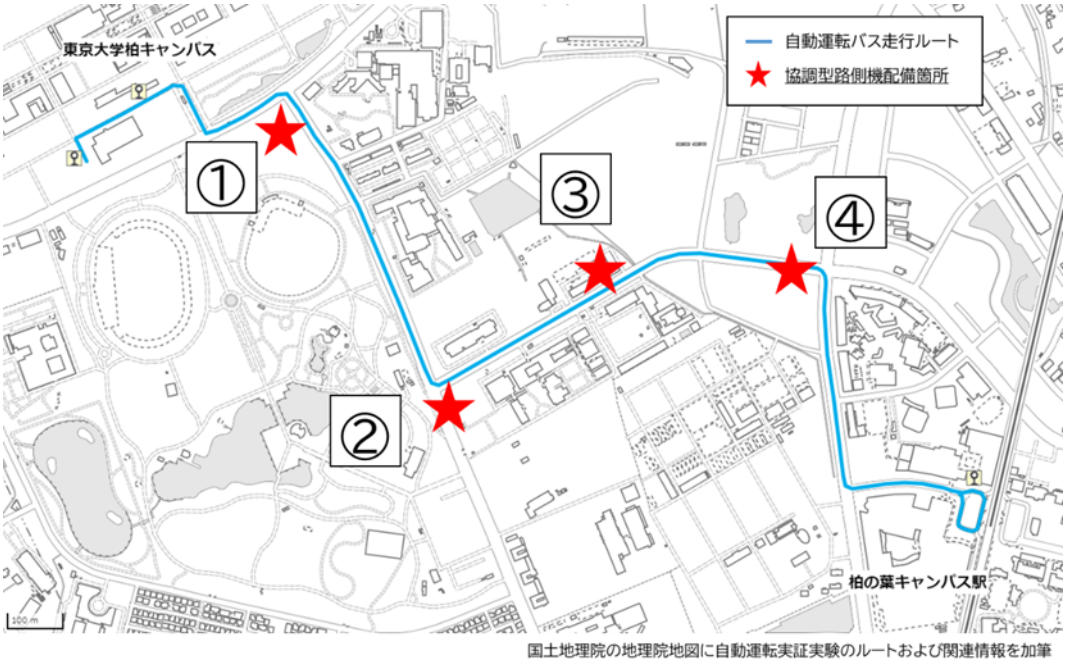


図 208　協調型路側機の配備箇所

各交差点は、以下の理由で協調型路側機の配備箇所として選定した。

● 交差点①

当該交差点では、自動運転バスが柏の葉キャンパスに向けて交差点を右折する際に、二輪車や自転車が渋滞した対向車列に遮蔽されたり、歩道を移動する自転車や歩行者が街路樹に遮蔽されたりする可能性がある（図　209）。そこで、自動運転バスから検出できない二輪車や自転車、歩行者の物標情報を提供できる協調型システムの有効性は高いと考えた。

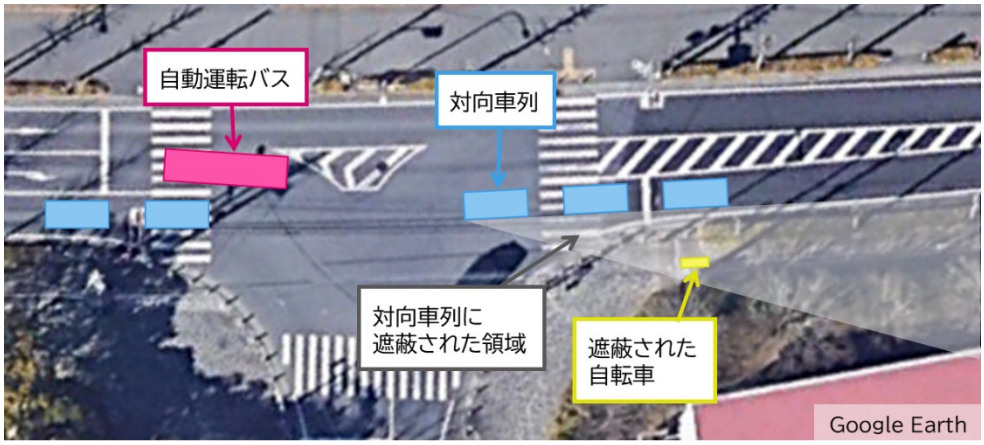


図 209　協調型システムが有効に働くシナリオ（交差点①）

● 交差点②

当該交差点では、自動運転バスが柏の葉キャンパスに向けて交差点を左折する際に、歩道を移動する自転車や歩行者が街路樹に遮蔽される可能性がある（図 210）。そこで、自動運転バスから検出できない自転車や歩行者の物標情報を提供できる協調型システムの有効性は高いと考えた。

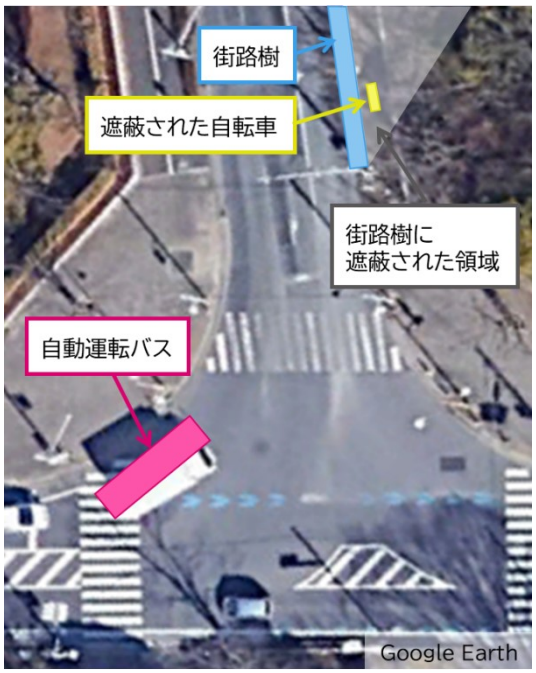


図 210　協調型システムが有効に働くシナリオ（交差点②）

● 交差点③

当該交差点では、自動運転バスが柏の葉キャンパスに向けて交差点を直進する際に、側道を移動する自動車や自転車、歩行者が遮蔽される可能性がある（図 211）。そこで、自動運転バスから検出できない自動車や自転車、歩行者の物標情報を提供できる協調型システムの有効性は高いと考えた。

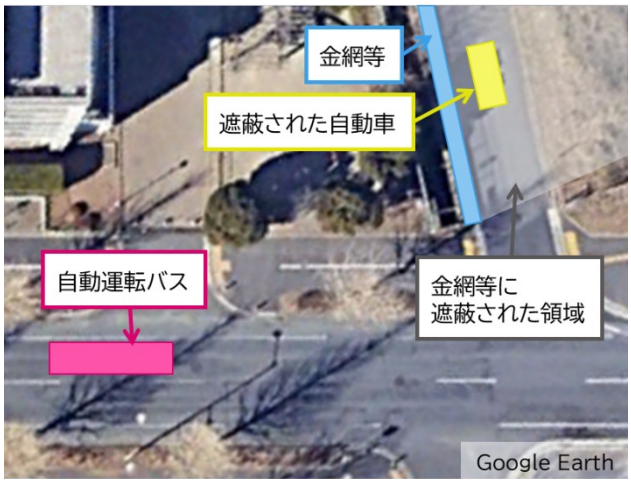


図 211　協調型システムが有効に働くシナリオ（交差点③）

● 交差点④

当該交差点では、自動運転バスが柏の葉キャンパスに向けて交差点を右折する際に、対向直進車が対向右折待ち車両に遮蔽される可能性がある（図 212）。そこで、自動運転バスから検出できない対向直進車の物標情報を提供できる協調型システムの有効性は高いと考えた。



図 212　協調型システムが有効に働くシナリオ（交差点④）

実配備した協調型路側機の標準仕様は、春日井市高蔵寺地域に配備されている協調型路側機の仕様を基に設定した。また、いずれの交差点も柏 ITS 推進協議会の実証実験の一環で交差点に路側センサーが設置されており、交差点③を除く信号交差点には信号制御機が設置されている。そこで、実配備した協調型路側機では、設置済みの路側センサーおよび信号制御機を含む構成とした（表 120）。なお、交差点④については、横断歩道および歩道上の歩行者および自転車を検出するため、新たに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（PSNRD）社製全方位カメラセンサーを設置した。

表 120　実配備した各交差点の協調型路側機の構成

交差点	信号制御機		路側センサー			路側DM
	提供情報	メーカー	提供情報	種類	メーカー	
①	現在灯色, 残秒数	日本信号	[右折支援] 対向車線:普通車, 大型車, 二輪車 横断歩道周辺:歩行者, 自転車	LiDAR	IHI	日本信号
②	現在灯色, 残秒数	日本信号	[右左折支援] 右左折先の横断歩道の移動体	カメラ	日本信号	日本信号
③	–	–	[飛び出し支援] 非優先道路の自動車, 二輪車, 自転車, 歩行者	LiDAR	コイト電工	PSNRD
④	表示色, 表示時間	コイト電工	[右折支援] 対向車線:普通車, 大型車, 二輪車 横断歩道周辺:歩行者, 自転車	LiDAR カメラ	IHI PSNRD	PSNRD

各交差点における協調型路側機は、以下の日程で設置工事を行い、柏の葉公道に配備完了した。

- 交差点①　：　2024 年 1 月 18 日（図 213）
- 交差点②　：　2024 年 1 月 19 日（図 214）
- 交差点③　：　2023 年 12 月 27 日（図 215）
- 交差点④　：　2024 年 1 月 20 日（図 216）



図 213　実配備した協調型路側機の外観（交差点① がん研西）



図 214　実配備した協調型路側機の外観（交差点② 科警研前）



図 215　実配備した協調型路側機の外観（交差点③ 第三機動隊前）



図 216　実配備した協調型路側機の外観（交差点④ 若柴）

(2) 協調型路側機の動作確認・機能確認

柏の葉の公道に実配備した協調型路側機の動作確認と評価を実施するにあたり、評価内容、評価対象箇所および走行計画等を以下に示す。

i)　評価方法

① 動作確認

1.　路側 DM における物標情報の確認

- 評価内容
  - ➢ 設定した任意の物標が路側 DM に物標情報として認識されていること
    （当該物標に関する情報が物標情報として路側 DM に記録されていること）
- データ収集
  - ➢ 交通参加者が検出領域を通過するシナリオを再現する
  - ➢ シナリオを再現した際の時刻や平面直角座標系位置の範囲を記録する
- 評価方法
  - ➢ シナリオ再現時に記録した時刻付近の路側 DM データを抽出する
  - ➢ 抽出した路側 DM データの物標情報のうち、シナリオで再現した物標が存在することを確認する

2.　車載 DM における路側 DM から受信した情報の確認

- 評価内容

- 路側 DM から送信された情報が、車載 DM で受信されていること

- データ収集
  - 路側 DM から ITS 無線を介して周期的にメッセージを配信する
  - 車載 DM を搭載した実験車両を用いて当該交差点を通過する
  - 実験車両走行時に、ITS 無線を介して受信したメッセージを車載 DM で記録する
- 評価方法
  - 車載 DM で路側 DM から ITS 無線を介してメッセージが記録されているか確認する

② 機能確認

想定したシナリオにおいて協調型路側機が必要な物標情報を取得できることの確認を目的に、下記のシナリオについて評価を実施した。なお、データ収集は下記のとおりとした。

- 車載 DM とドライブレコーダ(DR)を搭載した実験車両を用い、各シナリオを再現する
- 各シナリオの再現時に、車載 DM および DR のデータを記録する

1. シナリオ 1：対向右折待ち車両に遮蔽される対向直進車

図 217 に示す走行シナリオを再現し、下記に示す確認事項・評価方法を実施する。

- 確認事項・評価方法
  - A から B に隠れて C が見えないこと(DR データで確認)
  - A が協調型路側機から C の物標情報を取得できること(車載 DM データで確認)



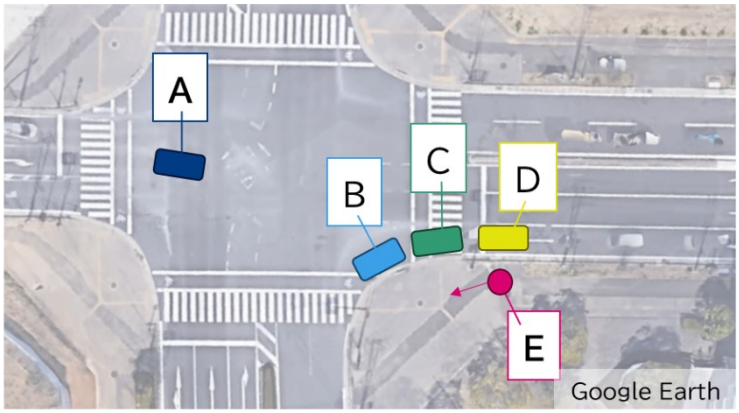
ID	種別	走行場所	挙動
A	実験車両	－	右折待ち
B	トラック	車道(対向方向)	右折待ち
C	乗用車	車道(対向方向)	直進

図 217　対向右折待ち車両に遮蔽される対向直進車の走行シナリオ

2. シナリオ 2：対向車両に遮蔽される歩行者・自転車

図 218 に示す走行シナリオを再現し、下記に示す確認事項・評価方法を実施する。

- 確認事項・評価方法
  - A から B-D に隠れて E が見えないこと(DR データで確認)
  - A が協調型路側機から E の物標情報を取得できること(車載 DM データで確認)



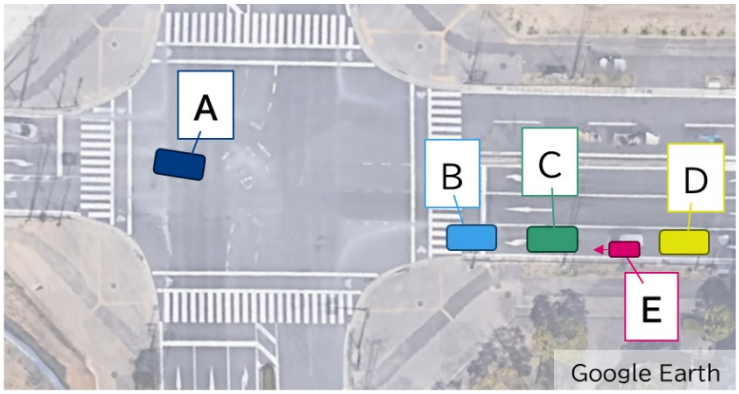
ID	種別	走行場所	挙動
A	実験車両	−	右折待ち
B	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち
C	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち(Bの後ろ)
D	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち(Cの後ろ)
E	歩行者&自転車	歩道(対向方向)	横断

図 218　対向車両に遮蔽される歩行者・自転車の走行シナリオ

3.　シナリオ 3：対向車両に遮蔽される自転車・二輪車

図 219 に示す走行シナリオを再現し、下記に示す確認事項・評価方法を実施する。

- 確認事項・評価方法
  - A から B-D に隠れて E が見えないこと(DR データで確認)
  - A が協調型路側機から E の物標情報を取得できること(車載 DM データで確認)

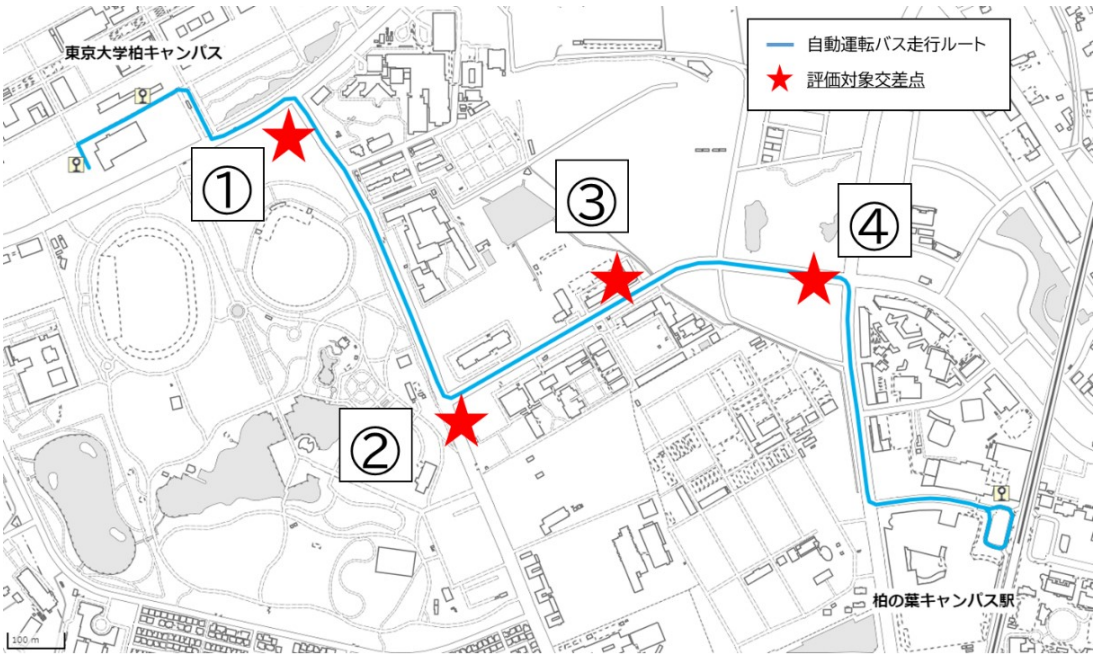


ID	種別	走行場所	挙動
A	実験車両	−	右折待ち
B	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち
C	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち(Bの後ろ)
D	乗用車	車道(対向方向)	左折待ち(Cの後ろ)
E	二輪車&自転車	車道(対向方向)	交差点直進

図 219　対向車両に遮蔽される自転車・二輪車の走行シナリオ

③ 評価対象交差点

協調型路側機の機能確認と評価を行う交差点は、協調型路側機が設置される 4 箇所（図 220）を対象とし、各交差点での評価内容を表 121 に示す。



国土地理院の地理院地図に自動運転実証実験のルートおよび関連情報を加筆

図 220　評価対象箇所

表 121　評価対象箇所と評価内容

交差点	評価内容
①	・動作確認：自動車(車道)，自転車・歩行者(歩道) ・機能確認：シナリオ2，3
②	・動作確認：自転車・歩行者(歩道)
③	・動作確認：自動車・自転車・歩行者(車道)
④	・動作確認：自動車(車道)，自転車・歩行者(歩道) ・機能確認：シナリオ1～3

ii)　評価計画

表　121 に示す評価対象箇所・評価内容を実施するために、自動車（乗用車・トラック）・自転車・歩行者・二輪車（原付）を予め準備して、評価シナリオが再現できるよう走行計画を立案した。

① 全体スケジュール

表 121 に示した各交差点での評価内容を実施するための走行計画全体スケジュールを表 122 に示す。

表 122　走行計画全体スケジュール

日付	時間帯	実施箇所	実施内容	交通手段・作業員
2/5(月)	10:00 ～12:00	①～④	【動作確認】	・実験車両(ドライバー1名・記録員1名) ・歩行者(兼記録員1名) ・自転車(兼記録員1名)
	13:00 ～17:00	①，④	【機能確認】 事前確認	・実験車両(ドライバー1名・記録員1名) ・乗用車(ドライバー1名・記録員1名)
2/7(水)	前日22:00 ～2:30	①	【機能確認】 シナリオ2，3	・実験車両A(ドライバー1名・記録員1名) ・乗用車B(ドライバー1名・記録員1名) ・乗用車C(ドライバー1名)
	3:00 ～7:30	④	【機能確認】 シナリオ2，3	・乗用車D(ドライバー1名) ・自転車E(兼記録員1名) ・歩行者E(兼原付ドライバー、記録員1名)
2/8(木)	1:00～ 7:00	④	【機能確認】 シナリオ1	・実験車両A(ドライバー1名・記録員1名) ・トラックB(ドライバー1名・記録員1名) ・乗用車C(ドライバー1名・記録員1名)
2/9(金)	予備日			

② 動作確認　走行スケジュール

動作確認の走行スケジュールを表 123 に示す。また表内に示した動作確認のための走行ルート

を図 221～図 225 にそれぞれ示す。

表 123　ベース評価走行スケジュール

種別	日付	時間帯	走行ルート
自動車	2/5(月)	10:00~11:00	A
		11:00~12:00	B
歩行者・自転車	2/5(月)	10:00~10:30	C
		10:30~11:00	D
		11:00~11:30	E
		11:30~12:00	F

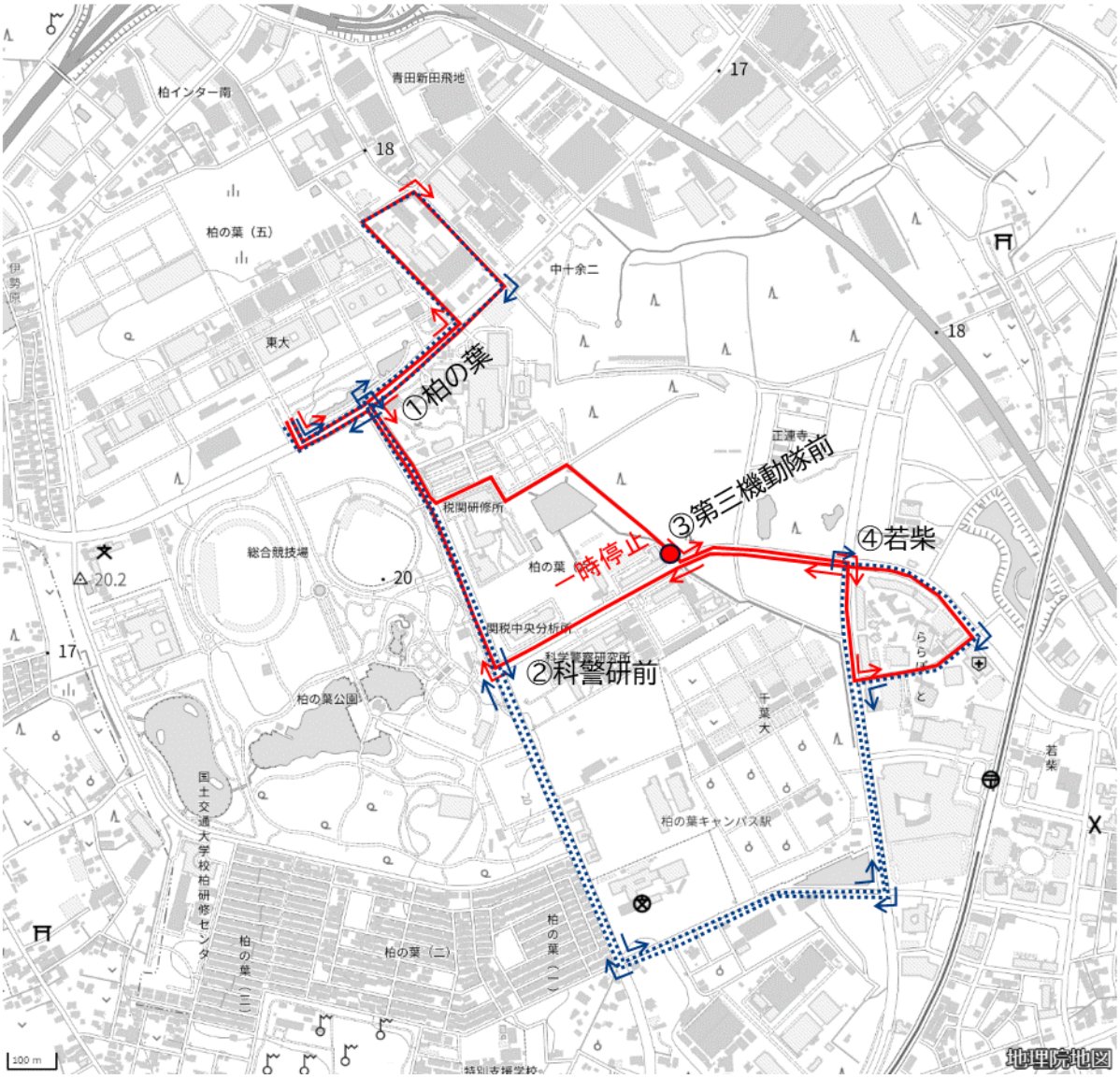


図 221　ベース評価走行ルート（自動車）



図 222　動作確認の歩行者・自転車の走行ルートC（交差点①）



図 223　動作確認の歩行者・自転車の走行ルートD（交差点②）



図 224　動作確認の歩行者・自転車の走行ルートＥ（交差点③）

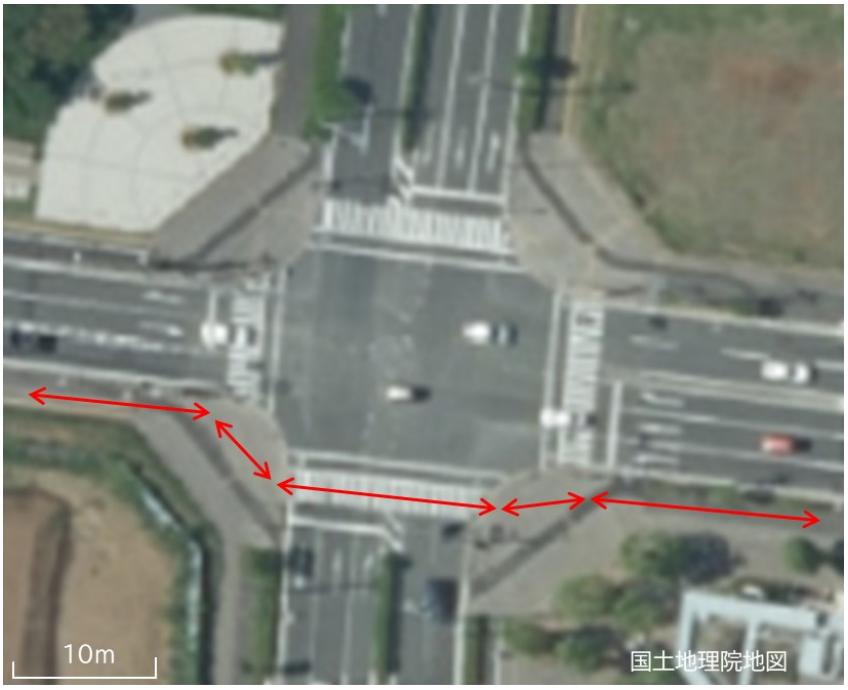


図 225　動作確認の歩行者・自転車の走行ルートＦ（交差点④）

③ 機能確認　走行スケジュール

機能確認の走行スケジュールを表 124 に示す。また表内に示した動作確認のための走行ルートを図 226～図 228 にそれぞれ示す。

表 124　機能確認の走行スケジュール

日付	時間帯	実施箇所	実施内容	走行ルート
2/5(月)	13:00～14:50	①	ルート事前確認	I
	15:10～17:00	④	ルート事前確認	G, H
2/7(水)	前日22:00～23:30	①	シナリオ2, 3(死角自転車等なし)	I
	0:00～2:30		シナリオ2, 3(死角自転車等あり)	
	3:00～4:30	④	シナリオ2, 3(死角自転車等なし)	H
	5:00～7:30		シナリオ2, 3(死角自転車等なし)	
2/8(木)	1:00～3:20	④	シナリオ1(死角対向車なし)	G
	3:40～7:00		シナリオ1(死角対向車あり)	

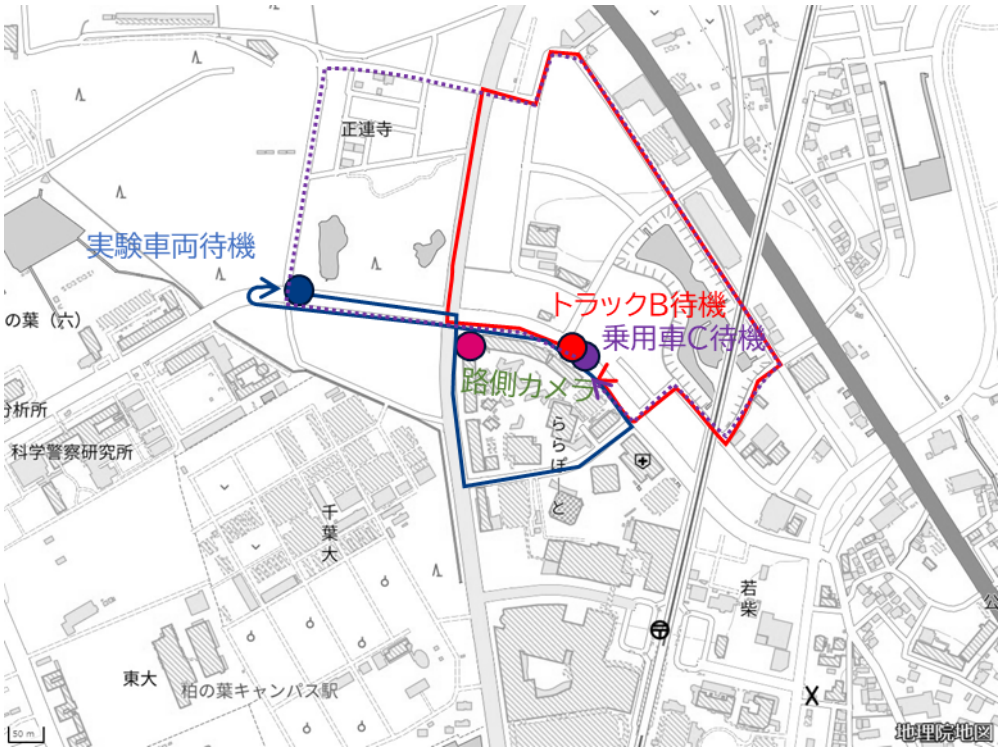


図 226　機能確認（シナリオ 1）の走行ルート G（交差点④）

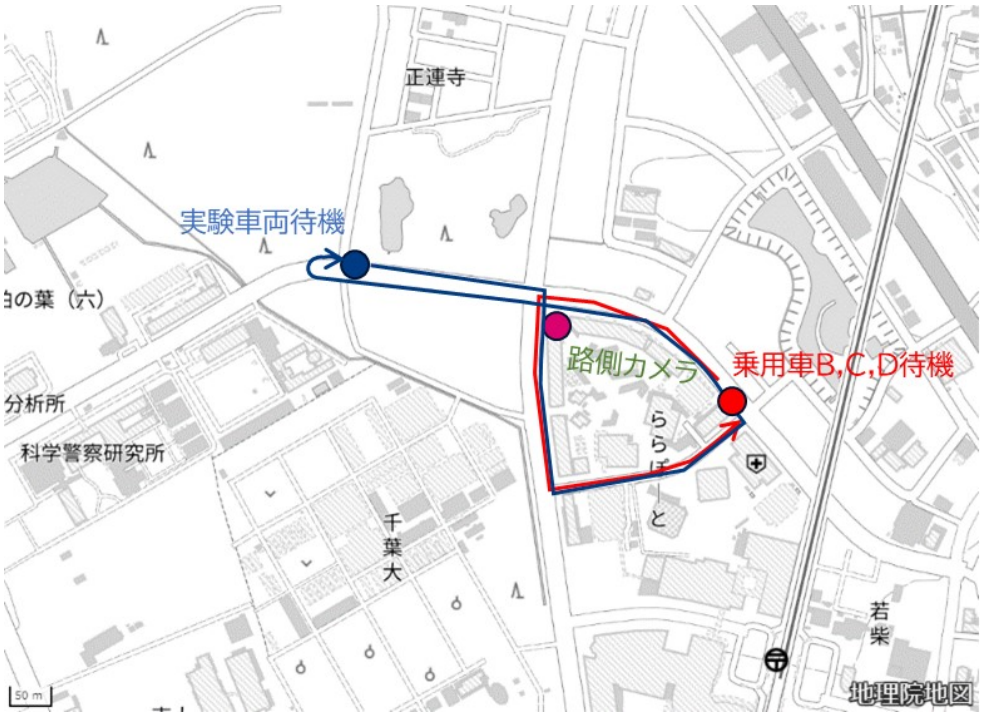


図 227　機能確認（シナリオ 2、3）の走行ルート H（交差点④）

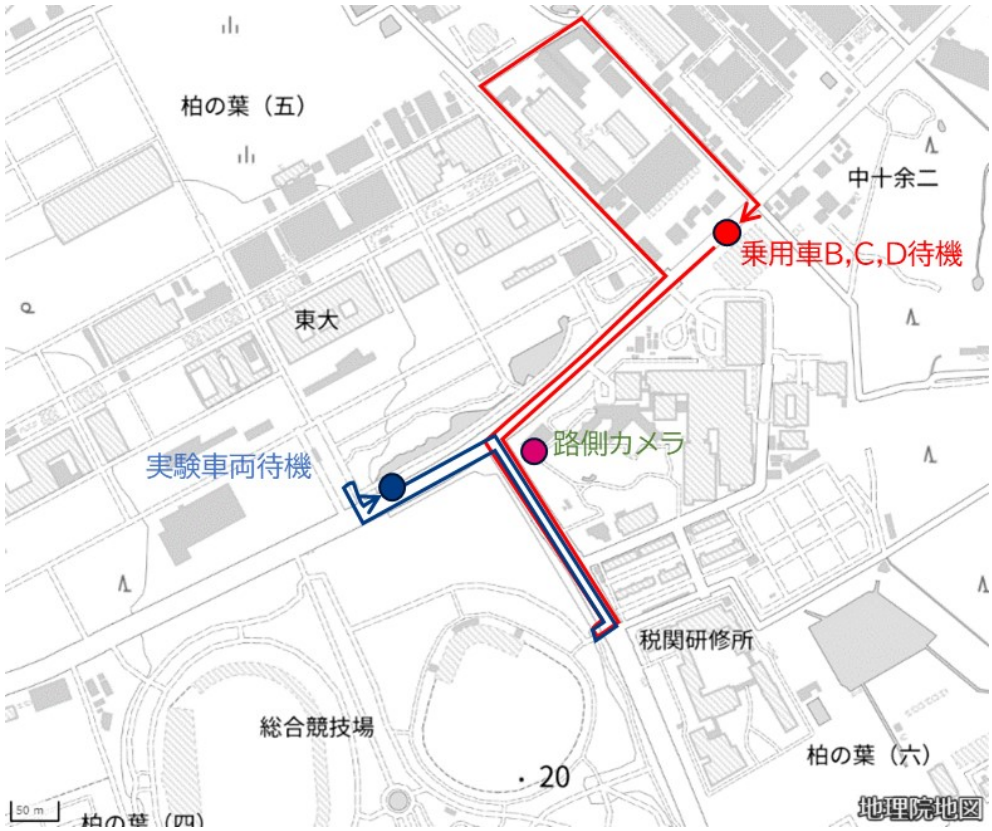


図 228　機能確認（シナリオ 2、3）の走行ルート I（交差点①）

iii） 評価結果

① 動作確認

1.　路側 DM における物標情報の確認

2 月 5 日時点で交差点②の協調型路側機から物標情報が配信されておらず、交差点③では協調型路側機の路側 DM でデータが記録できない不備があったため、交差点②と交差点③については、再度 3 月 1 日に計測を実施した。

● 交差点① がん研西

路側 DM における物標情報として、自動運転バスが交差点を右折する際に対向車線となる車線を移動させた自動車（図 229）とおよび横断歩道付近を移動させた自転車（図 230）が存在することを確認できた。横断歩道付近を移動させた歩行者については、シナリオを再現した全 4 試行の時刻付近の路側 DM のデータに欠損があったため、路側 DM における物標情報として歩行者が存在することを確認できなかった。しかし、交差点①で機能確認を実施した際の路側 DM のデータを確認したところ、移動させた歩行者が、路側 DM における物標情報として存在することを確認できた。

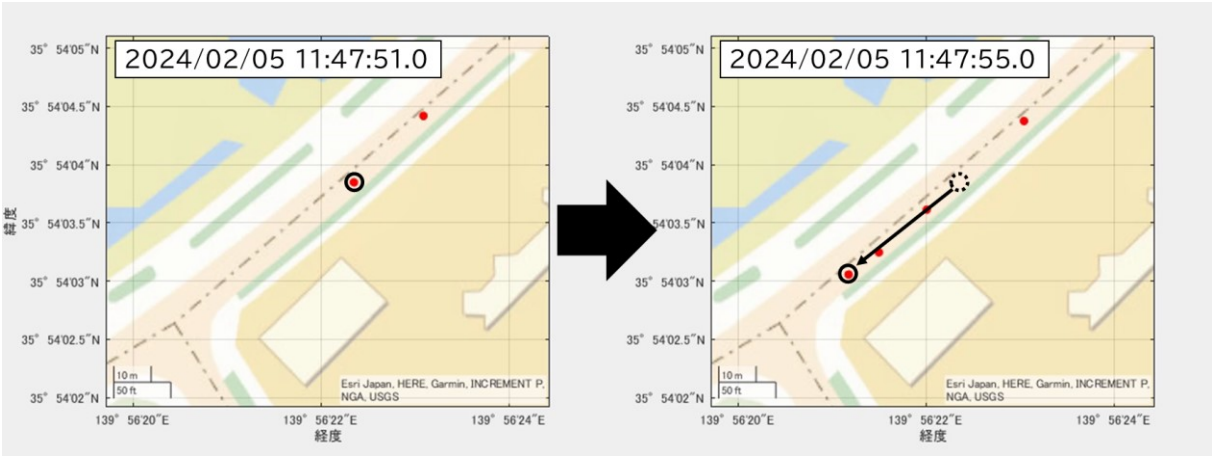


図 229　路側 DM における物標情報として確認できた自動車の移動（交差点①）

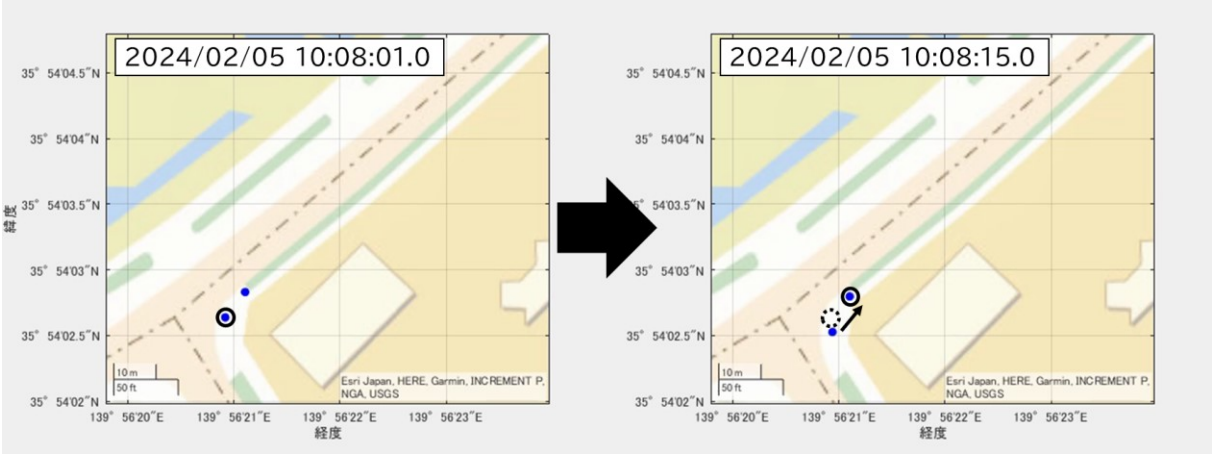


図 230　路側 DM における物標情報として確認できた自転車の移動（交差点①）

● 交差点② 科警研前

路側 DM における物標情報として、自動運転バスが交差点を左折する際に通過する横断歩道付近を移動させた自転車（図 231）および歩行者（図 232）のそれぞれが存在することを確認できた。

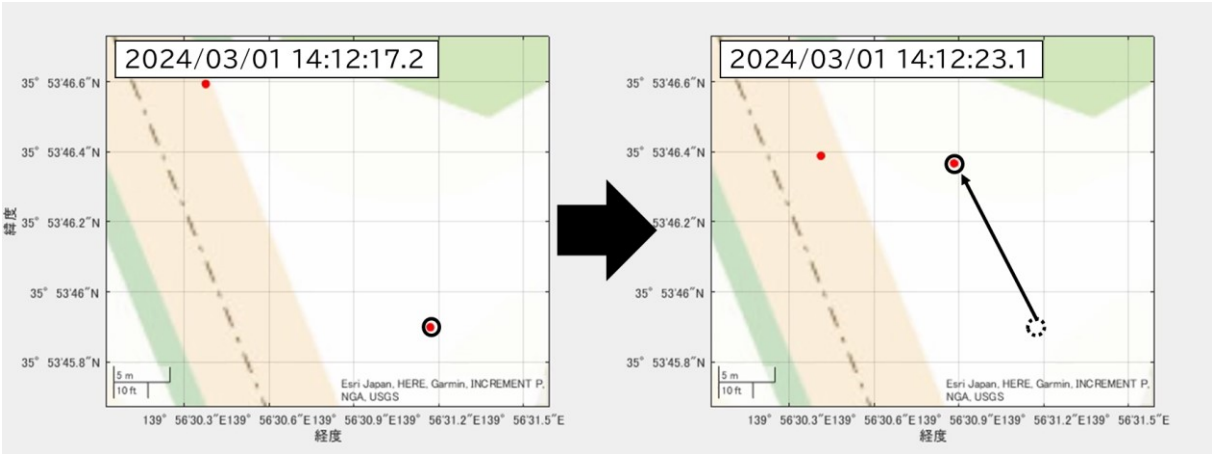


図 231　路側 DM における物標情報として確認できた自転車の移動（交差点②）

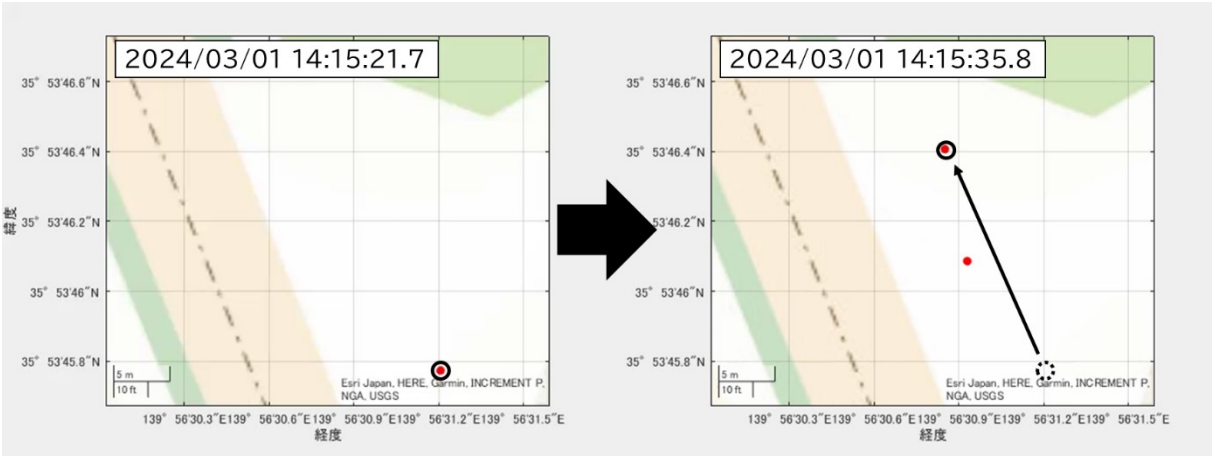


図 232　路側 DM における物標情報として確認できた歩行者の移動（交差点②）

● 交差点③ 第三機動隊前

路側 DM における物標情報として、自動運転バスが直進で通過する無信号交差点に繋がる側道を移動させた自動車（図 233）および自転車（図 234)、歩行者（図 235）のそれぞれが存在することを確認できた。

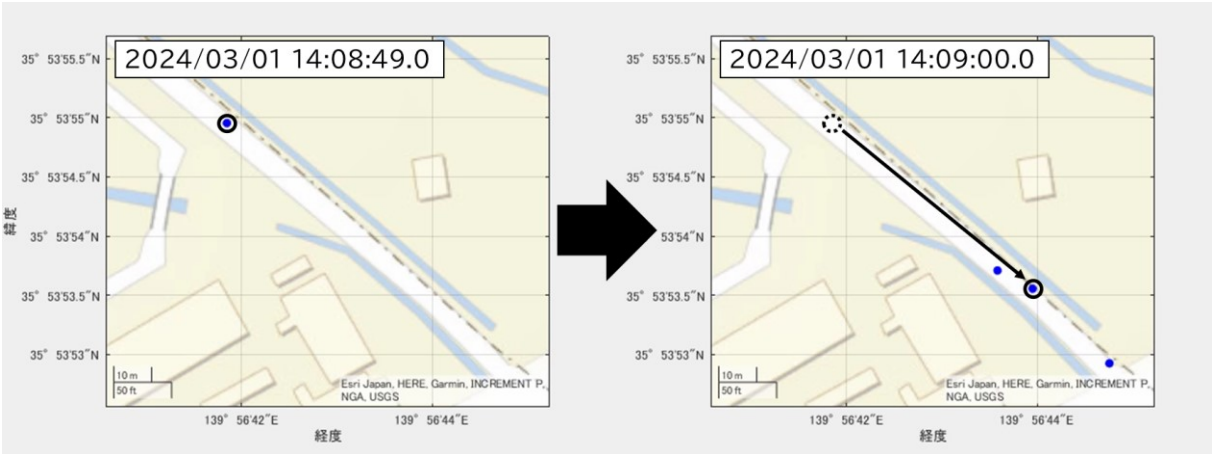


図 233　路側 DM における物標情報として確認できた自動車の移動（交差点③）

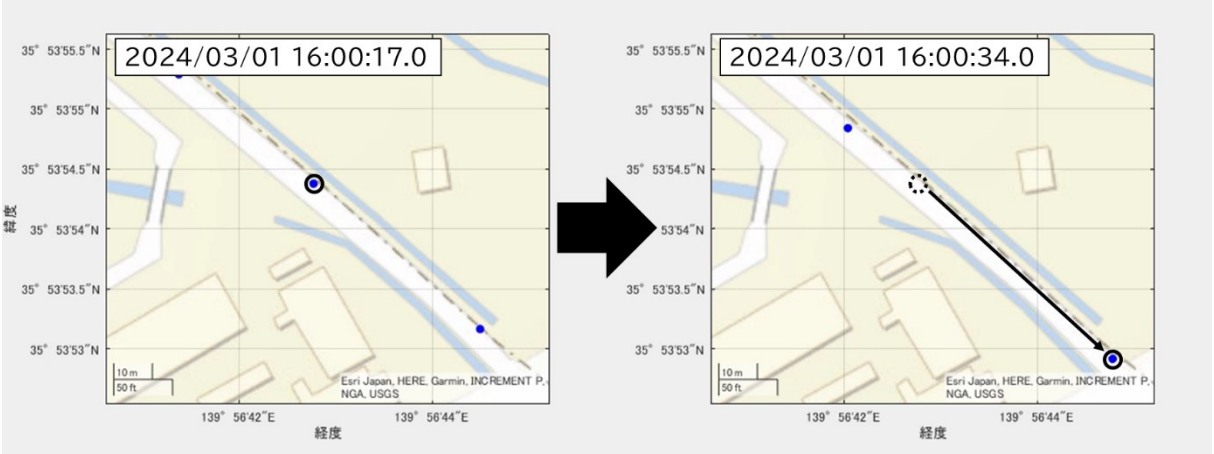


図 234　路側 DM における物標情報として確認できた自転車の移動（交差点③）

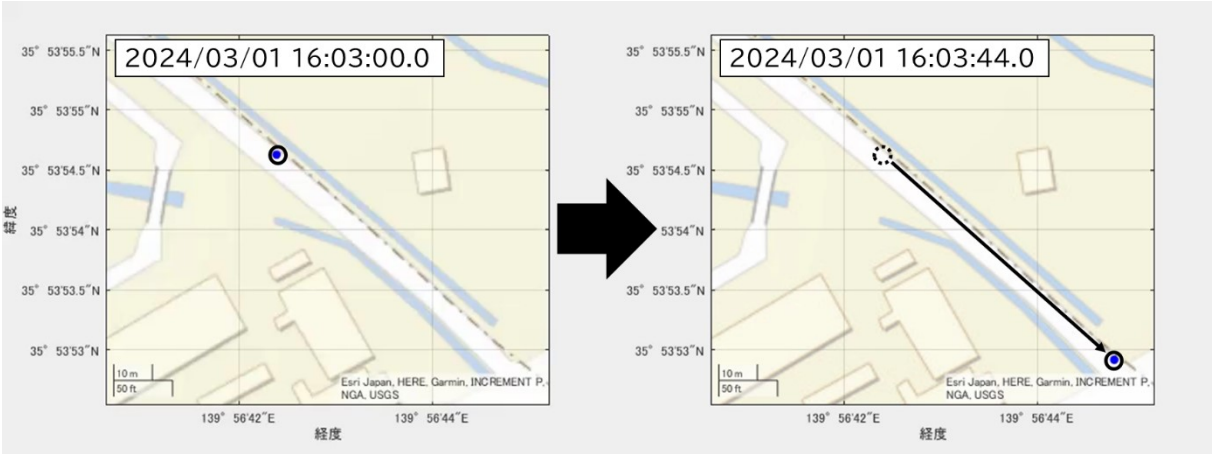


図 235　路側 DM における物標情報として確認できた歩行者の移動（交差点③）

交差点④ 若柴

路側 DM における物標情報として、自動運転バスが交差点を右折する際に対向車線となる車線を移動させた自動車（図 236）および横断歩道付近を移動させた自転車（図 237)、横断歩道付近を移動させた歩行者（図 238）のそれぞれが存在することを確認できた。

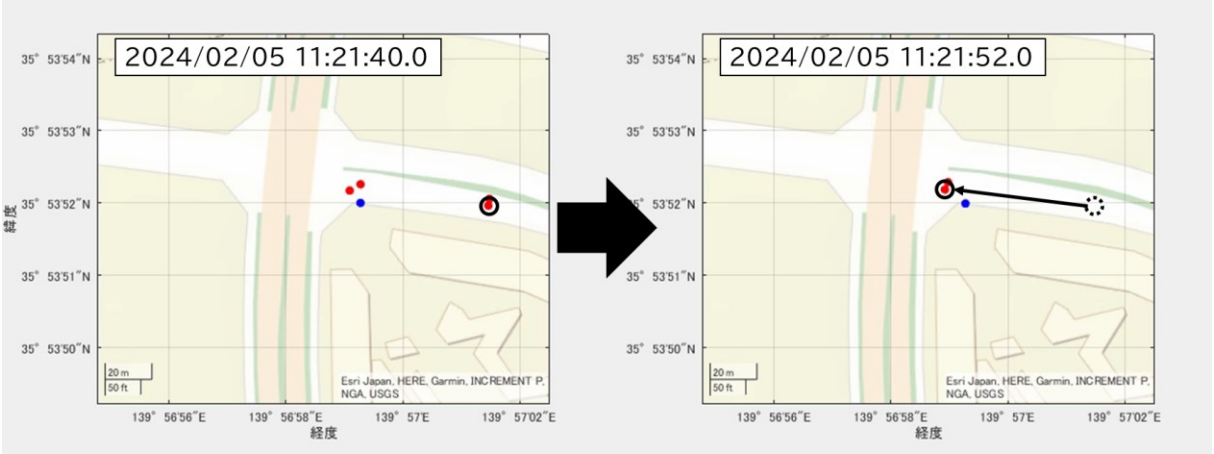


図 236　路側 DM における物標情報として確認できた自動車の移動（交差点④）

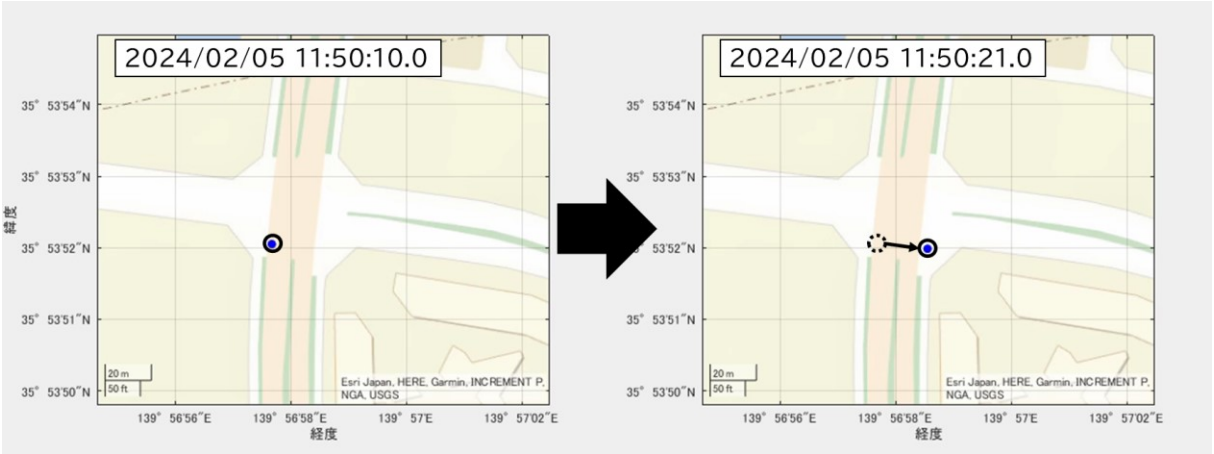


図 237　路側 DM における物標情報として確認できた自転車の移動（交差点④）

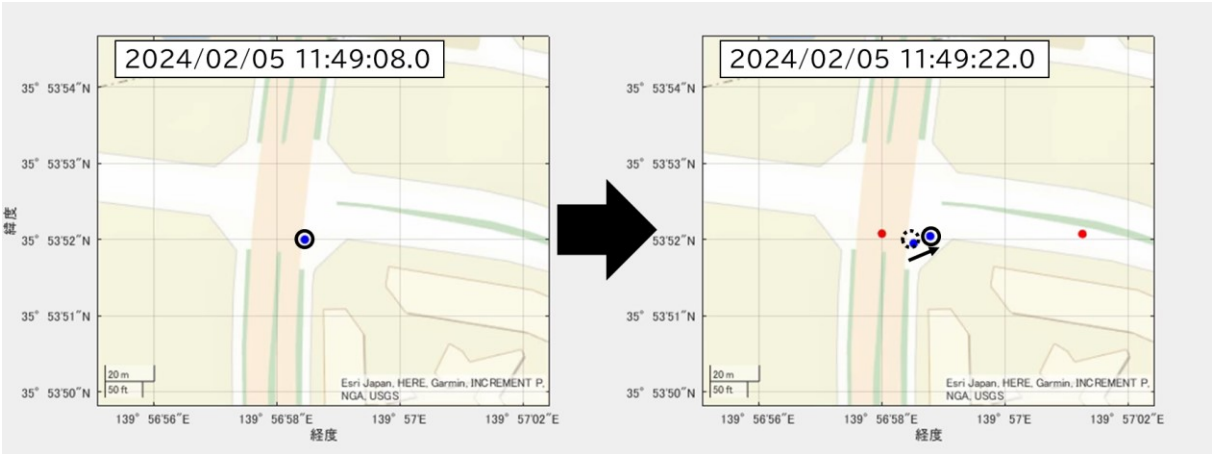
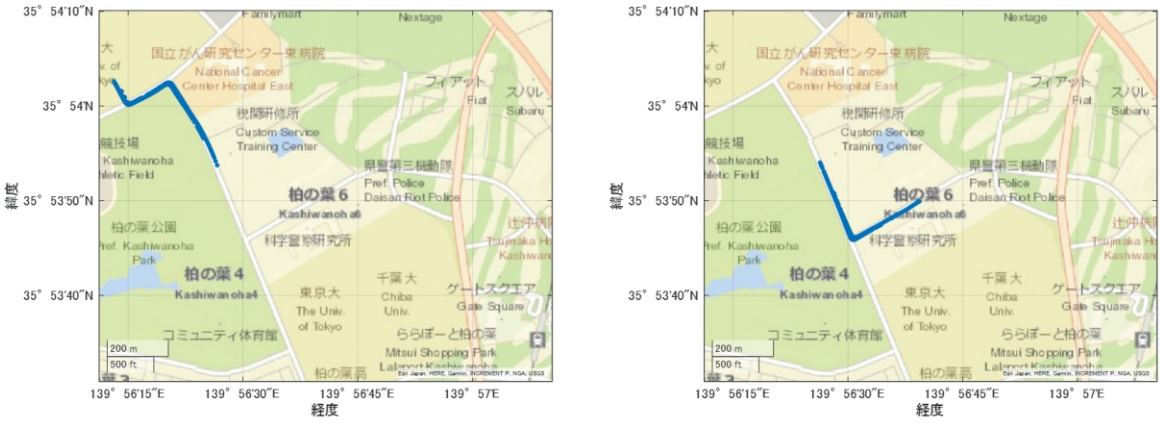


図 238　路側 DM における物標情報として確認できた歩行者の移動（交差点④）

2.　車載 DM における路側 DM から受信した情報の確認

2 月 5 日時点で交差点④の協調型路側機の ITS 無線機が正常に稼働していなかったため、再度 3 月 1 日に計測を実施し、当該データを用い、確認を実施した。実験車両走行時に ITS 無線を介して情報を受信した時点における実験車両の位置をプロットしたグラフを路側 DM 毎に図 239 に示す。図に示したように、各路側 DM から情報が配信され、実験車両に搭載した車載 DM で受信できることが確認できた。



(a) 交差点①の路側DMから情報を受信した位置

(b) 交差点②の路側DMから情報を受信した位置

(c) 交差点③の路側DMから情報を受信した位置

(d) 交差点④の路側DMから情報を受信した位置

図 239　路側 DM から車載 DM が情報を受信した位置

② 機能確認

2 月 6 日に降雪・積雪があったため、2 月 7 日に予定していた走行内容を 2 月 9 日に実施した。走行実験を実施した 2 月 8 日および 2 月 9 日において、交差点④の協調型路側機に異常があり、路側センサーで検出した物標情報が正常に記録されていなかった。そのため、交差点④における機能確認を実施できなかった。

1.　シナリオ 1：対向右折待ち車両に遮蔽される対向直進車

図 240 に示すように、公道においてシナリオを再現することはできたが、交差点④では物標情報が正常に得られなかったため、トラックに遮蔽された乗用車について物標情報が得られるか確認できなかった。

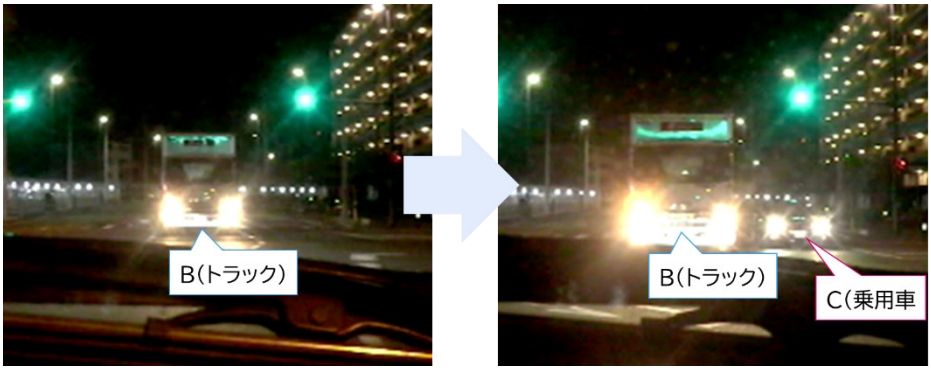


図 240　公道で再現したシナリオの様子（シナリオ 1、交差点④）

2.　シナリオ 2：対向車両に遮蔽される歩行者・自転車

図　241 に公道で再現したシナリオの様子と、そのときに路側 DM から得られた物標情報を示す。実験車両に搭載したドライブレコーダのカメラ映像からは、乗用車は確認できるものの、歩道を移動する歩行者と自転車は確認できない。これに対して、物標情報を可視化した結果を見ると、対向車列に遮蔽されていた歩行者と自転車が存在することがわかる。



(a) ドライブレコーダのカメラ映像　　(b) 物標情報

図 241　公道で再現したシナリオの様子（シナリオ 2、交差点①）

3.　シナリオ 3：対向車両に遮蔽される自転車・二輪車

図　242 に公道で再現したシナリオの様子と、そのときに路側 DM から得られた物標情報を示す。実験車両に搭載したドライブレコーダのカメラ映像からは、乗用車は確認できるものの、その後方を追従する二輪車および自転車を確認できない。一方で、物標情報を可視化した結果では、対向車の後方を走行している二輪車と自転車を確認できる。



(a) ドライブレコーダのカメラ映像　　(b) 物標情報

図 242　公道で再現したシナリオの様子（シナリオ 3、交差点①）

以上より、物標情報が正常に得られた交差点①の協調型路側機において、想定したシナリオで他の車両に遮蔽され、自動運転バスから直接検出できない物標について、協調型路側機から物標情報が得られることが確認できた。

IV. 協調型システム評価環境の整備

1) 協調型システムの実路・テストコースでの評価手法の構築

(1) 概要

交通の進化における協調型高度道路交通システム（C-ITS）の出現は、道路の安全性、効率性、環境持続可能性を向上させるという大きな飛躍である。これらのシステムは、自動運転車両と非自動運転車両を含む車両、インフラ、その他の道路利用者間の通信を Vehicle-to-Everything（V2X）技術を通じて可能にする。この通信フレームワークは、交通環境の共有理解を促進し、車両の調整と事故防止に不可欠である。

協調型システムが進化する中で、通信データの複雑さは評価や最適化の障害となりやすい。このため、通信データを詳細に分析し、可視化し、実験の成果を報告するシステムが必要である。このシステムは、通常は見えないデータの流れを明らかにし、協調型システムの効率と信頼性を改善するための意思決定をサポートする。

C-ITS の技術進歩に対応するため、協調型自動運転システム通信評価・可視化ツール AVVV は V2X 通信の分析と可視化を目的として開発された。このツールは、協調型自動運転シナリオにおける通信関連コンテンツと通信特性の両方を記録、分析し、可視化することができる。通信コンテンツには、通信を介して送信される検出された自動車や歩行者等の情報（物標情報）、交通信号状態（信号情報）、フリースペースなどの情報が含まれる。一方、通信特性パラメータには、遅延、パケットロス率、ジッター、RSSI など、通信接続の状態に関する情報が含まれる。AVVV はこれらの情報を明確に可視化し、C-ITS の動作理解と性能最適化に貢献する。

(2) 通信評価・可視化ツール AVVV

概要で述べた通り、AVVV スイートは協調型システムの分析、可視化、および報告を目的として開発された包括的なツールセットである。このシステムは、Analyzer、Visualizer、および Reporter の三つの核となるモジュールに分割され、各モジュールは特定の機能を担い、C-ITS におけるデータの複雑性を明確に理解し、解析するために設計されている。分析モジュールは、収集されたデータの前処理と統合を担い、複数の情報源から得られるデータの相関関係、通信状態及び品質を明らかにする。可視化モジュールは、これらの分析結果を直感的な視覚表現に変換し、ユーザーがネットワークの状態や動きを容易に理解できるようにする。報告モジュールは、可視化されたデータと分析結果を基に、具体的な数値や統計を提供する包括的なレポートを生成する。AVVV は、Robot Operating System（ROS）とその可視化ツールである RViz を開発の基礎として採用しており、これにより高度なデータ処理と直感的なデータ表示が可能になる。AVVV は、ITS 無線機およびセルラー（LTE）の二つの通信方法をサポートし、複数の車載機（OBU）および路側機（RSU）のデータを統合し、分析する能力を持つ。

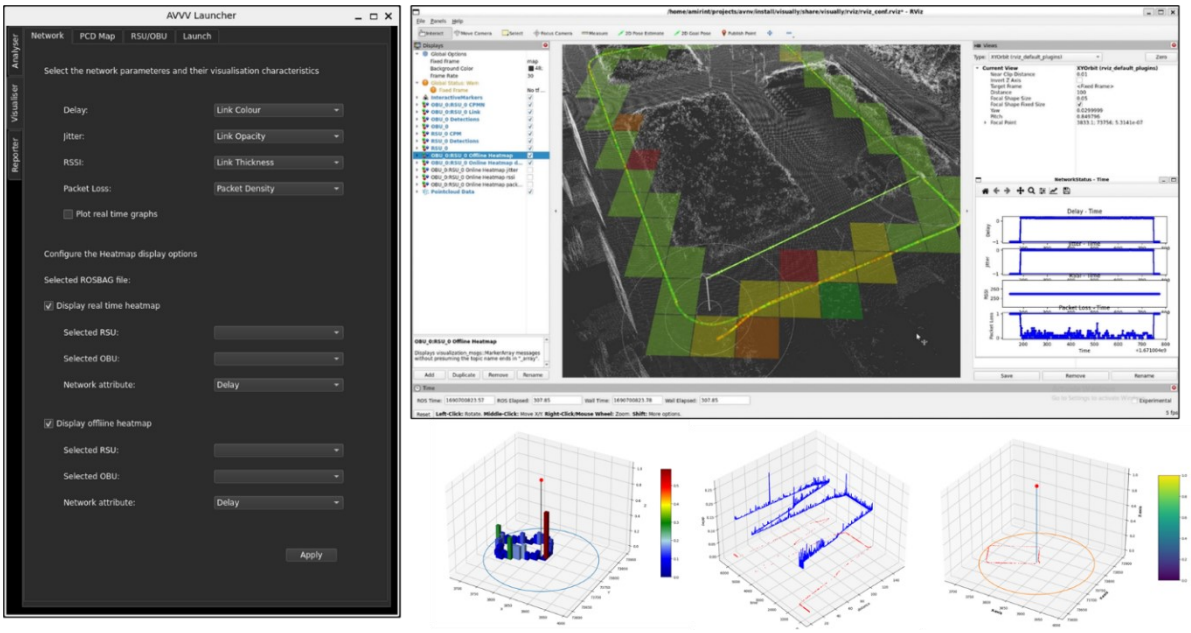


図 243　AVVV スイートの各部分の概観

AVVV の構成は、図 244 に示されており、システム全体の概要と各モジュールの関連性を視覚的に表現している。本システムは、ヨーロッパの ETSI 標準と本プロジェクトデータプラットフォーム（DM プラットフォーム）の両方に対応しており、国内に限らず国際的な協調型プロジェクトでの使用が期待される。ユーザーフレンドリーな GUI を介して、ユーザーは分析および可視化のパラメータを容易に設定し、カスタマイズすることができる。これにより、ユーザーは複数車載機と路側機から収集されたデータに基づいて、ネットワークの状態と性能をより詳細に理解し、評価することが可能となる。

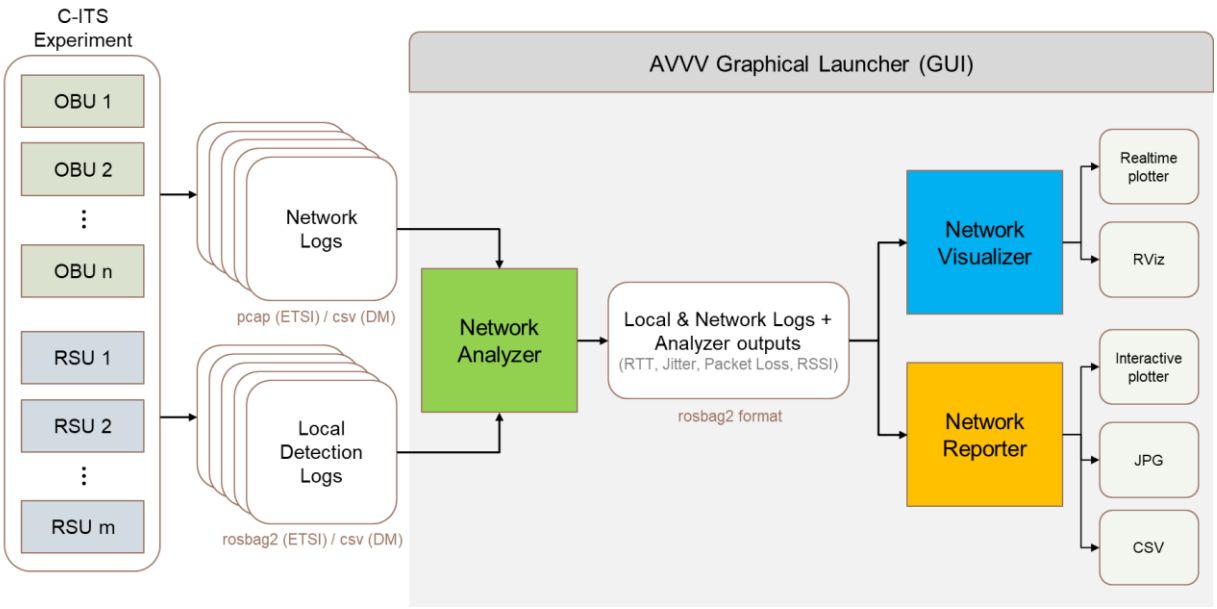


図 244　AVVV の構成

次に、AVVV の三つの主要モジュール（分析モジュール、可視化モジュール、報告モジュール）、そして最終的に GUI ランチャーについて、4 つのサブセクションを通じてそれぞれ詳しく解説する。

i)　AVVV 分析モジュール（Analyzer）

AVVV フレームワーク内の分析モジュールは、多数の車載機（OBU）および路側機（RSU）からのデータを集約し分析することにおいて中心的な役割を果たす。このモジュールは、OBU および RSU によってセンサーで捉えられたローカルな環境認識と、ITS 無線機またはセルラー通信（LTE）を介して行われる V2X 通信の詳細な通信ログ（車両対インフラ（V2I）および車両対車両（V2V）の相互作用を含む）の両方の統合を巧みに処理する。ETSI 標準の場合、分析モジュールはセンサー由来のローカルデータのためには rosbag2 形式のファイルを利用し、通信トラフィックログを集約するために libpcap インターフェース上で動作するネットワークキャプチャーおよびプロトコル分析ツールである TCPDUMP を採用している。これらのキャプチャーされたパケットは、pcap ファイル形式で丁寧に保存され、分析の準備が整うとともに、rosbag ファイルと一緒に分析モジュールへの入力として機能する。

分析モジュールは収集された rosbag および pcap ファイルを処理し、各 OBU-RSU リンクに対するリアルタイムおよび平均ネットワーク状態を抽出し、合成する。この分析は、RSU と OBU 間のすべてのユニット間通信（RSU により送信されたメッセージと OBU によって受信された RSU のメッセージの両方）を包含する包括的な rosbag ファイルとして出力で表される。図 245 は、ETSI

版分析モジュールの機能に不可欠な入力と出力データ機構のプロセスフローを示している。

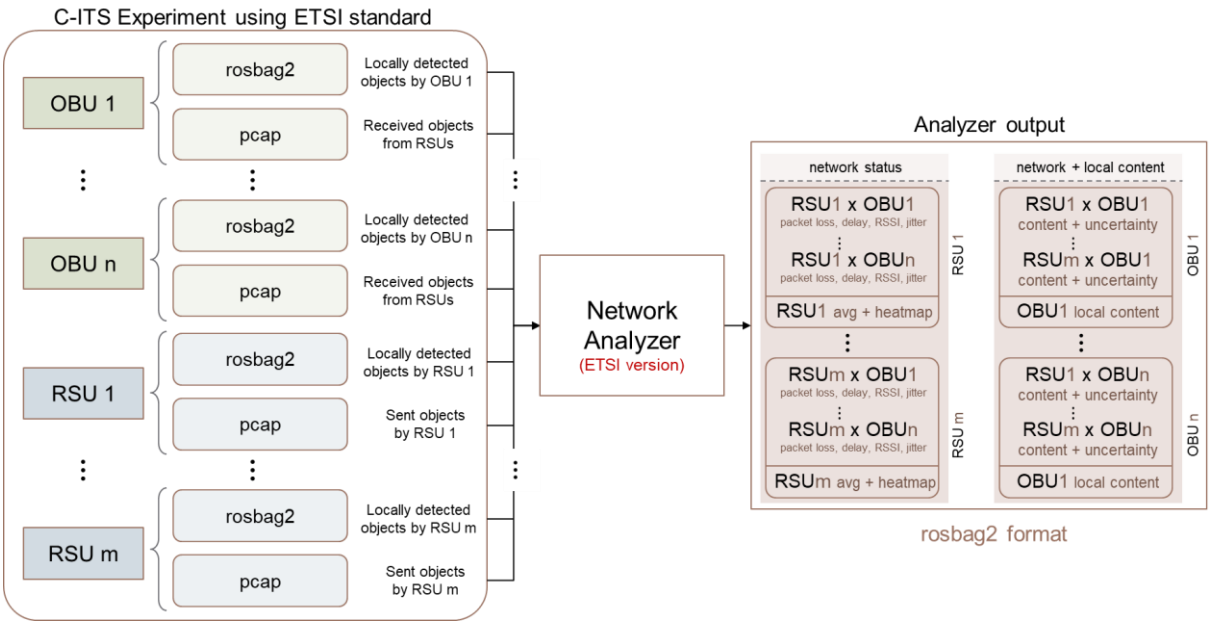


図 245　ETSI 標準版 AVVV 分析モジュールの入力と出力データ機構

最終的に出力データである rosbag2 には、表 125 にリストされた情報が含まれている。ここで ETSI 標準を対応するために、CPM および CPMN という二つのカスタム ROS メッセージタイプを作成した。CPM は ETSI の CPM メッセージと同じ情報を含んでおり、ITS ステーションの ID と位置、ITS ステーションのタイプ、タイムスタンプ、および検出物体などのデータフィールドがある。CPM メッセージタイプは各路側機が送信するデータに対応する。CPMN は同じ CPM データに加えて、受信する車載機側での瞬時通信パラメータを示す通信状態の追加フィールドを含む。CPMN メッセージタイプは車載機が路側機からデータを受信することを意図している各車載機-路側機ペアに対応する。

表 125　ETSI 版分析モジュール出力 rosbag2 に含まれている情報

ros トピック名	ros メッセージタイプ	詳細
/RSU_#/tf	tf2_msgs/TFMessage	ID #の路側機のリアルタイム位置
/OBU_#/tf	tf2_msgs/TFMessage	ID #の OBU のリアルタイム位置
/RSU_#/detected_object	autoware_auto_perception_msgs/PredictedObjects	RSU によるリアルタイム検出
/OBU_#/detected_object	autoware_auto_perception_msgs/PredictedObjects	OBU によるリアルタイム検出
/RSU_#/cpm	cpm_ros_msgs/CPMMessage	RSU がブロードキャストするデータ
/OBU_#/RSU_#/cpmn	cpm_ros_msgs/CPMN	RSU から OBU へ送信されるデータとその二者間の瞬時通信状態
/OBU_#/RSU_#/network_status	cpm_ros_msgs/NetworkStatus	OBU と RSU 間の平均通信状態

協調型システムにおける ETSI 標準と DM プラットフォームの主な違いは、メッセージの形式にある。具体的には、DM プラットフォームは ETSI には含まれない追加情報タイプ、交通信号とフリースペース情報をサポートする。図 246 は、DM 版分析モジュールの機能に不可欠な入力と出力データのプロセスフローを示している。DM 標準を対応するために必要な DM の ros メッセージタイプはすでに DM プラットフォームで開発されていたため、新たにメッセージタイプを作成する必要はなく、直接 DM プラットフォームのメッセージタイプに再利用している。

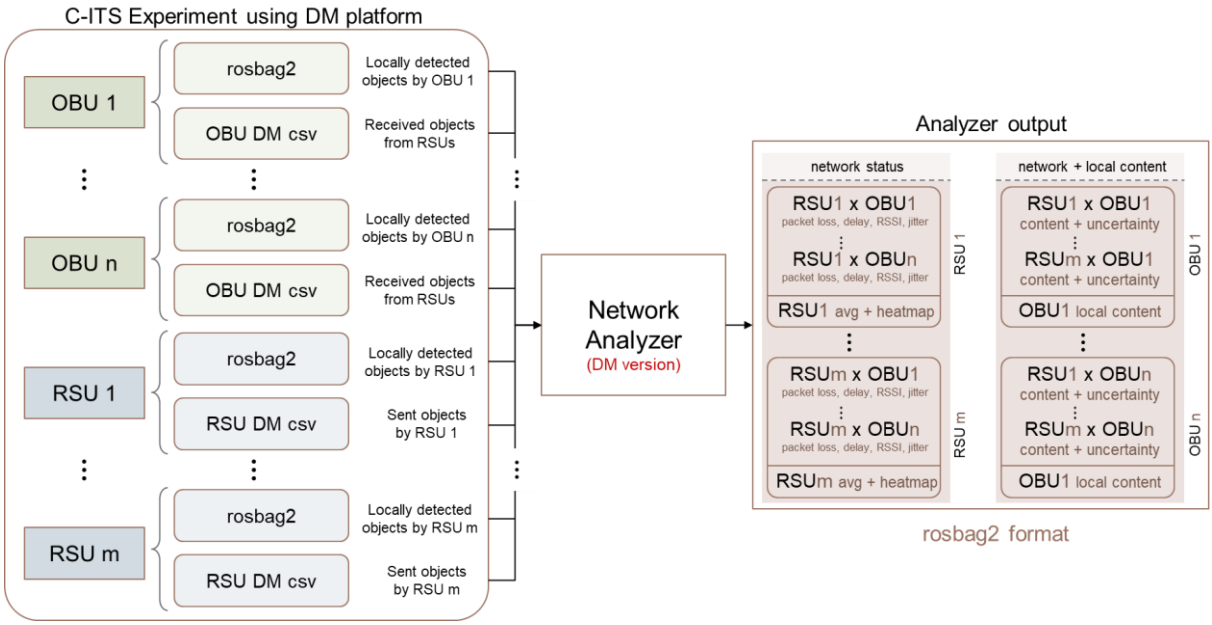


図 246　DM プラットフォーム版 AVVV 分析モジュールの入力と出力データ機構

図 247 は、分析モジュールでのパケットロスの計算と分析の仕組みを例として示している。

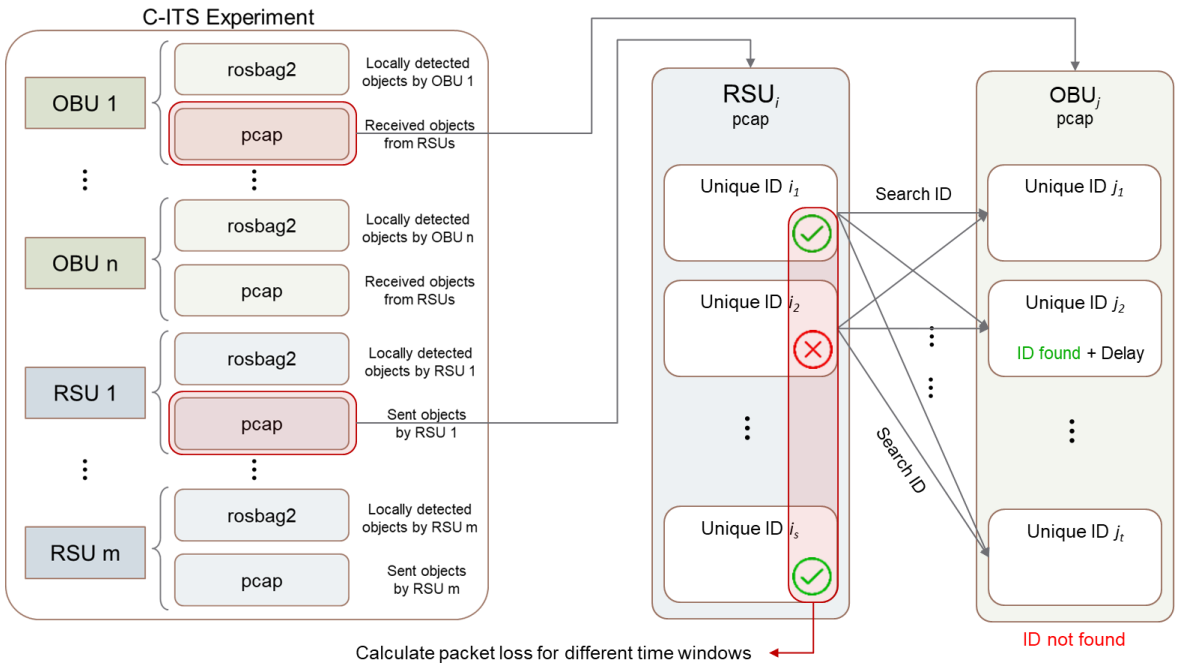


図 247　ETSI 版分析モジュールでのパケットロスの計算の仕組み

説明した通り、分析モジュールは環境認識及び通信データの分析を実行し、後続の可視化及び報告フェーズへの分析データのシームレスな移行を保証する。これによって、分析モジュールは高度な協調型システムに対応する統合されたワークフローを促進し、可視化モジュールと報告モジュールへのデータフローを確実にする。

ii)　AVVV 可視化モジュール（Visualizer）

AVVV フレームワーク内の可視化モジュールは、分析モジュールによって行われた詳細な分析を直感的な視覚表現にレンダリングする任務を担っている。ROS の RViz およびその多様なコンポーネントの機能を活用して、環境内のダイナミクスと相互作用を細かく描写する。具体的に、可視化モジュールは以下のエンティティを描写することができる：

- 地図データ

  環境の三次元構造を粒度高く提供する点群地図と、道路と車線の構造を示す Lanelet 地図
- OBU および RSU

  車載機（OBU）と路側機（RSU）の位置と向き
- 環境認識の検出結果

  路側機によって特定され、送信される物体の情報を、特定した路側機の ID によって一意に

分類して可視化する。同様に、個々の車載機によって検出された物体も、車載機の ID によって区別して表示する。

- 受信された CPM/DM メッセージ

  路側機から車載機に送られた Collective Perception Messages（CPM）及び DM メッセージを、車載機と路側機の ID の両方によって分類して描写する。

- リアルタイム通信状態

  各 OBU-RSU ペアのリアルタイム通信指標（遅延、パケットロス、ジッター、RSSI 等）を、ID による明確な区別とともに、RViz の可視化コンポーネントを用いて提示する。

- 通信状態のグラフ

  特定の OBU-RSU ペアの現在の通信状態のグラフを提供し、重要な指標を含む。

- 平均通信性能

  OBU-RSU ペア間の長期にわたる通信性能を追跡し、ID による分析を可能にする。

- ヒートマップ

  車載機の位置ごとのネットワーク性能の地理的分析を提供し、車載機と路側機の ID によって区分された空間通信効率の洞察を提供する。

図 248 は可視化モジュールの構造と仕組みを示している。

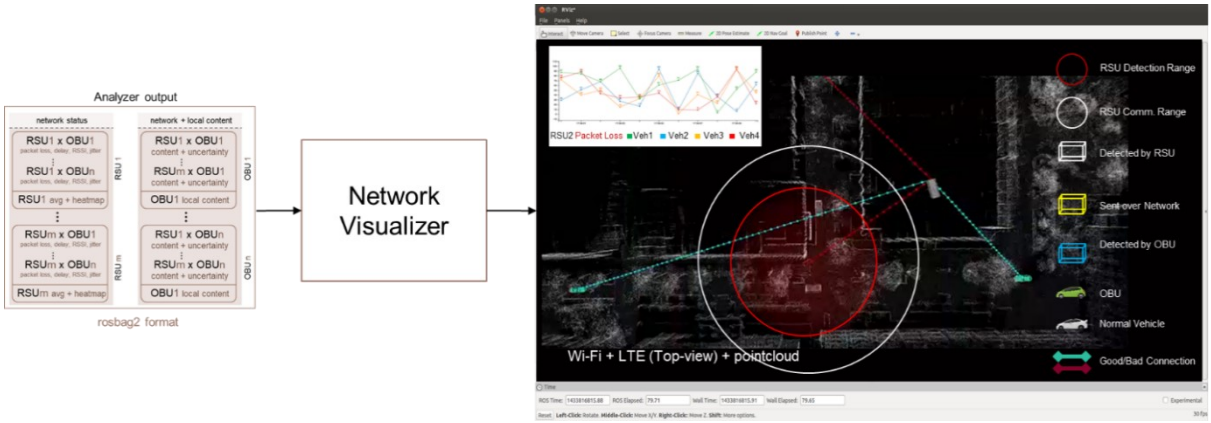


図 248　AVVV 可視化モジュールの構造

AVVV 可視化モジュールでは、車載機は白の 3D 車両モデルを使用して示される。車載機を囲むエコーラインの色は、その車載機とすべての接続された路側機間の平均通信状態によって決定される通信パラメータのパケットロスの健康状態を示す。

リンクは、車載機-路側機ペア間の時間経過に伴う平均通信状態を示す。リンクの不透明度、色、およびパケット間の間隔は、さまざまな通信パラメータを表すために調整可能である。通信

性能の低下はリンクの不透明度の減少とパケット間の間隔の増加に及ぶ。リンクの色は赤から緑まで変化し、赤は通信パラメータの状態が悪いことを、緑は良好であることを示す。

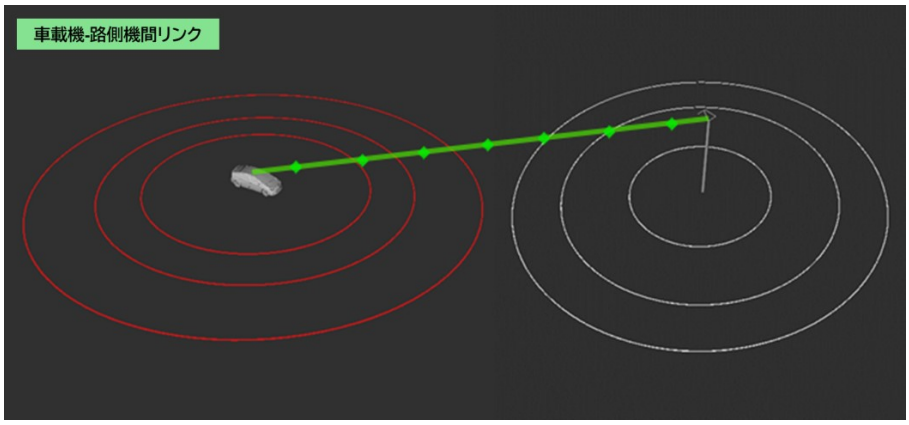


図 249　車載機-路側機ペア間の平均通信状態の示し方

タイルヒートマップは、車載機の位置に関連する路側機との平均通信状態を描写するために使用される。RViz 内で、ヒートマップの色は特定の位置での通信パラメータの健康状態を反映する。

車載機-路側機ペア間の瞬時通信状態は、選択された車載機のためのその位置での車載機の位置と通信パラメータの瞬時的な状態を示すオンラインヒートマップを生成するために使用される。

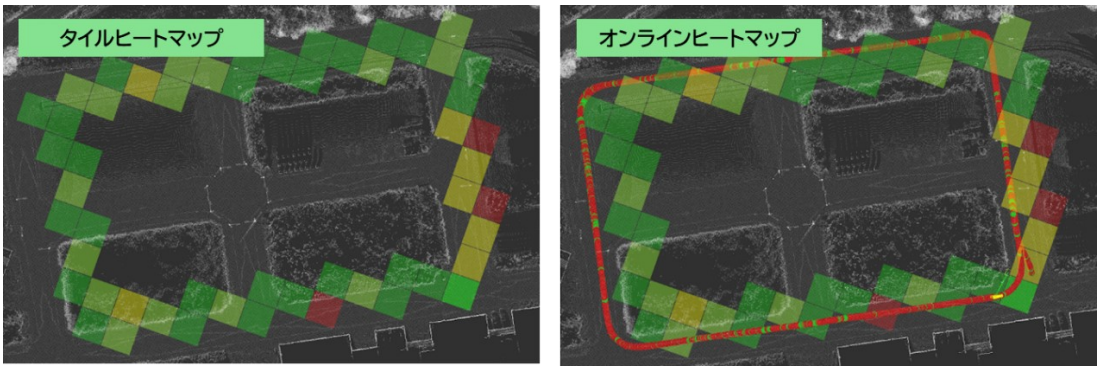


図 250　平均通信状態と瞬時通信状態示すタイルヒートマップとオンラインヒートマップ

各環境認識の物体検出は RViz 内の境界ボックス内によって示される。各境界ボックスの色は検出のソースを示す：

- 車載機の検出は白の境界ボックス
- CPM/DM メッセージを通じて送られた路側機の検出は赤の境界ボックス
- 車載機によって受信された路側機からの検出は緑の境界ボックス

このように可視化モジュールは、協調型 ITS 環境内での環境認識と通信健康の包括的な理解を促進し、状況分析と意思決定を強化する。

iii) AVVV 報告モジュール（Reporter）

報告モジュールは、分析モジュールからのデータを用いてグラフや図を提示するユーザーインターフェイスとして機能する。このモジュールは、時間軸上および特定の位置に基づいて OBU-RSU ペアの通信パラメータを示す様々な形式のレポートを生成する。静的およびアニメーションのグラフを含むことで、通信パフォーマンスの明確な理解を促進する。

特に研究者の利便性を高めるため、報告モジュールはレポートを JPG や CSV のような異なる形式で保存する機能を提供する。これにより、ユーザーはカスタムの可視化を生成しやすくなり、データの分析と解釈が容易になる。

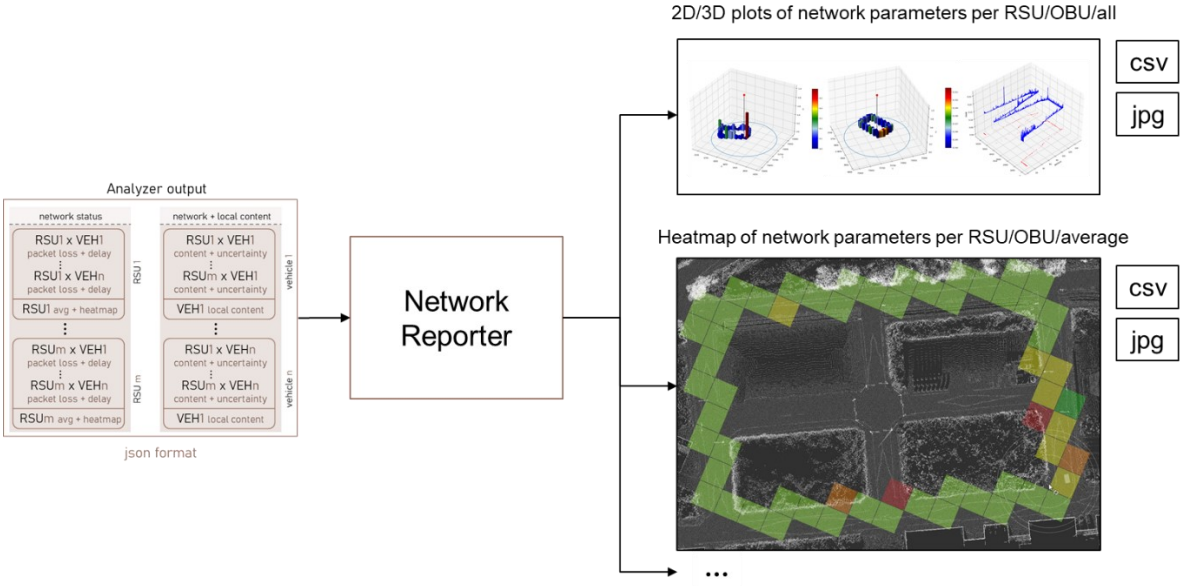


図 251　AVVV 報告モジュールの構造

iv) AVVV GUI（ランチャー）

ユーザーによる AVVV スイートの使用を容易にするため、直感的で使いやすい GUI ランチャーを開発した。この GUI ランチャーは、すべてのモジュールを統合し、分析、可視化、報告のための一連のワークフローを構築する。以下に、基本的な分析と可視化を行うための手順を示す。

- 入力データの分析

  分析タブでは、初期分析を実行するために入力 rosbag と PCAP ファイルを提供するよう求められる。このプロセスは、指定された出力ディレクトリに指定されたフォルダを生成し、結果の出力を格納する。入力・出力ディレクトリを選択した後、検出されたファイルを確認し、分析ボタンをクリックすると分析が始まり出力ディレクトリに分析結果である rosbag ファイルが保存される。

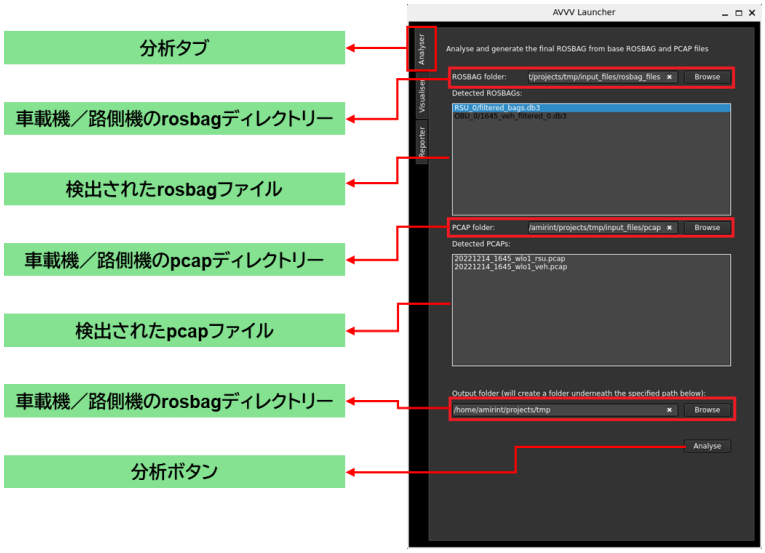


図 252　AVVV GUI ランチャーの分析タブ

- 分析の出力の可視化

  可視化タブでは、出力 rosbag ファイルが自動的に選択される。分析ボタンをクリックすると、rosbag ファイル内のトピックが自動的に抽出され、AVVV によって使用される。各ステップで適用をクリックすることが重要である。

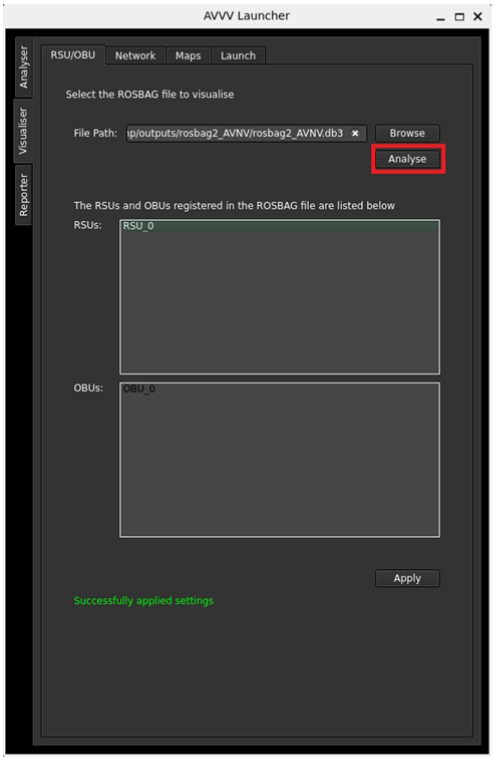
  次に、ネットワークサブタブで、ネットワークパラメータの表示方法を設定する。オフラインおよびリアルタイムのヒートマップまたはグラフを表示するかどうかを選択できる。

  地図サブタブでは、環境ポイントクラウドと lanelent マップの設定を調整できる。必要に応じて地図にオフセットを適用することもできる。

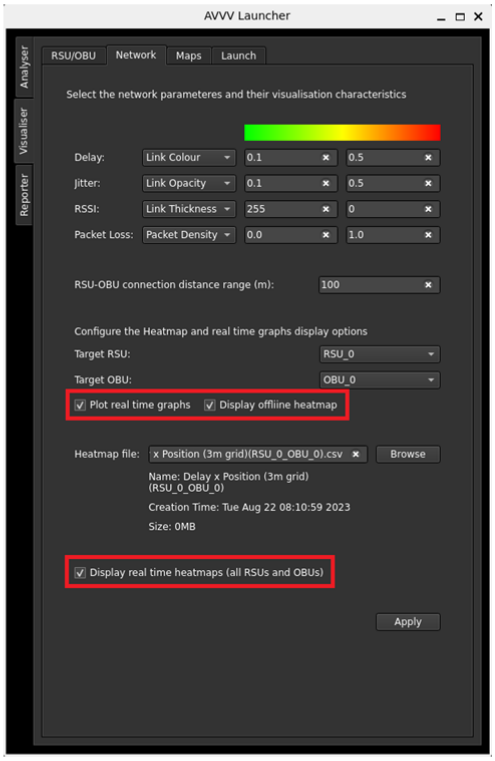
  最後のサブタブでは、アプリケーションを起動し、出力された rosbag ファイルを再生してデータを可視化できる。

可視化タブ

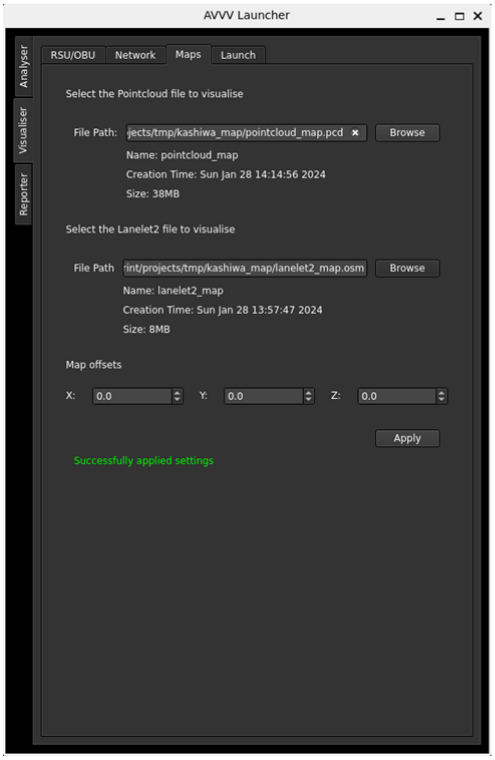
車載機／路側機サブタブ



通信サブタブ



地図サブタブ



ランチサブタブ

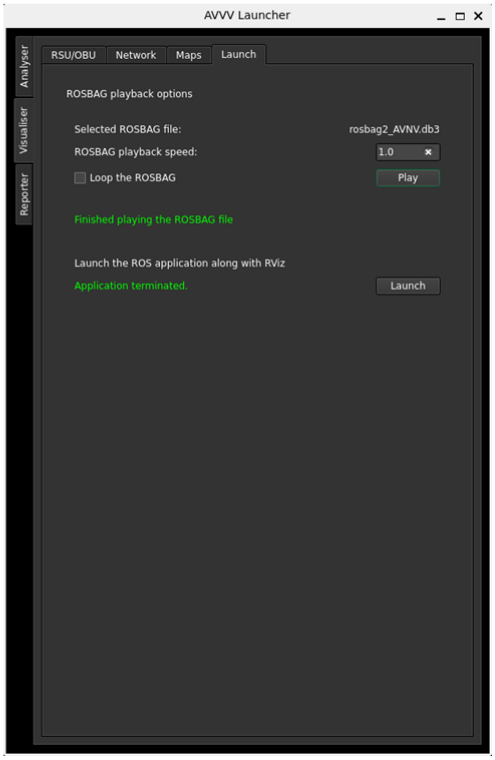


図 253　AVVV GUI ランチャーの可視化タブ

- 報告ファイルの表示

  GUI ランチャーの最後のタブでは、複数の報告ファイルを選択して表示する機能が提供されている。

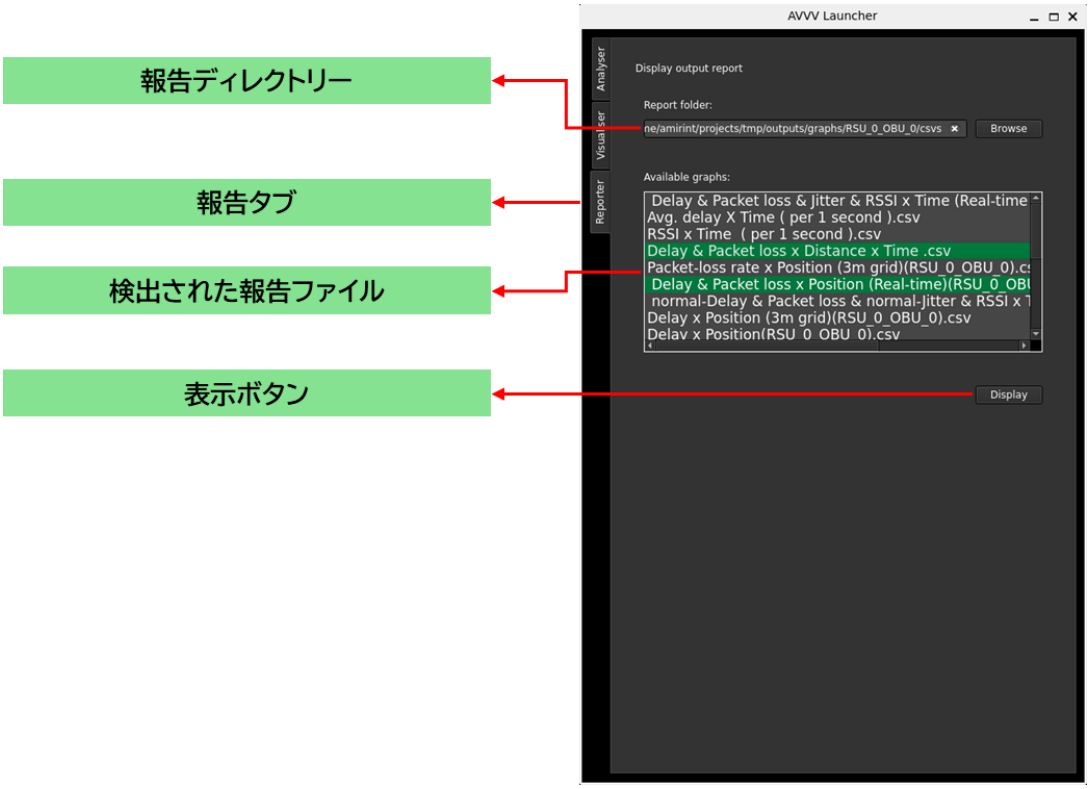


図 254　AVVV GUI ランチャーの報告タブ

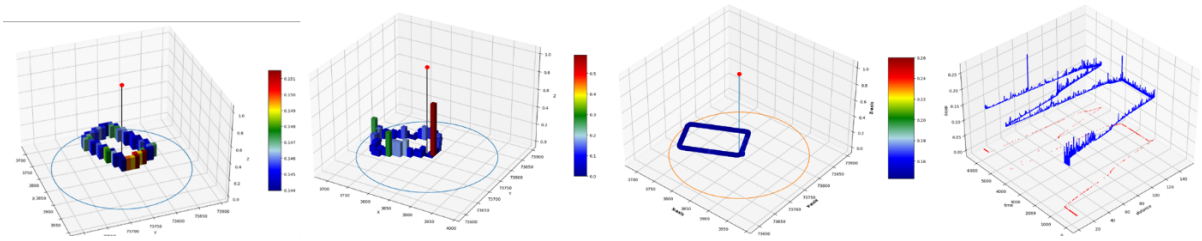


図 255　報告タブにより表示される 3D グラフの例

この GUI ランチャーは、分析および視覚プロセスを統合し、複雑なデータセットを入力として受け取り、ユーザーが簡単にファイルの分析と可視化を可能にするよう設計されている。

(3) フィールド実験の通信評価・可視化

開発された AVVV の効果と機能を検証するために、異なる通信標準を用いた 2 つの別々のフィールド実験からの記録データを使用して評価を行った。一つは ETSI 標準を使用し、もう一つは

DM プラットフォームを活用している。最初の実験は昨年度（2022 年 12 月 14 日）東京大学柏キャンパスで行われ、次の実験は 2024 年 2 月 19 日に柏の葉のメインルートで実施された。以下では、実験の一般的な構造と、AVVV スイートを使用して生成されたいくつかの可視化出力を紹介し、複雑なフィールドデータを効果的に処理し可視化する能力を示す。

i） 東京大学柏キャンパスでのフィールド実験

大学キャンパスで行われた初回の実験では、1 台の路側機と 1 台の車載器を組み合わせたセットアップを採用した。実験車両は実験コースを 2 周した。実験フィールド内には複数の車両が配置され、路側機による検出結果がネットワークを介して車載機に送信されるようになっていた。実験セットアップの概要は図 256 に、設定された通信状態の可視化パラメータは図 257 に示されている。



図 256　東京大学柏キャンパス実験の概要

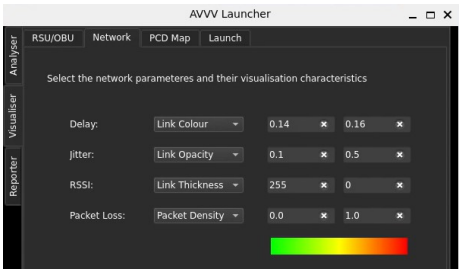


図 257　通信状態可視化パラメータ

図 258 では、AVVV によって生成された複数のサンプル出力が表示されており、複雑なデータを解釈可能な視覚フォーマットに表示できるシステムの能力が示されている。

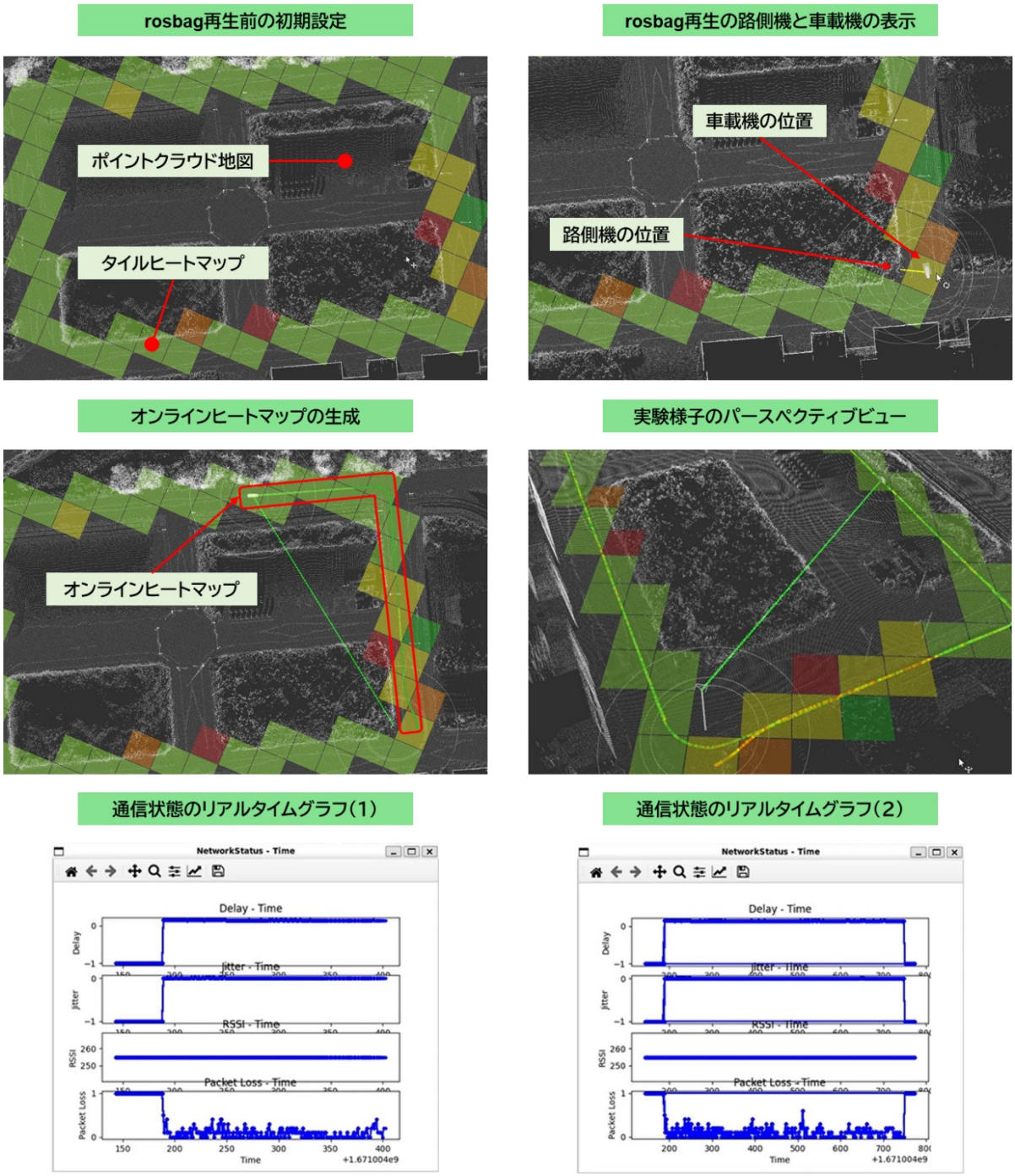


図 258　東京大学柏キャンパスフィールド実験の通信評価・可視化

ii)　柏の葉公道実験

第二の実験は、柏の葉地域の公道で 4 日間連続して行われた。しかし、本報告書では、初日の結果のみを報告する。柏の葉には、図 259（左）に示されているように、4 つの交差点に 4 台の路側機が設置されているが、第三の路側機が実験当日に機能不全を起こしたため、本レポートではその結果を報告していない。実験用バスに搭載された車載機は、図 259（上中央）に示されている。この実験は、表 126 に詳述されている 3 つの異なるラウンドで実施された。この実験では

DM プラットフォームを使用しているため、結果には交通信号と自由空間情報が含まれている。

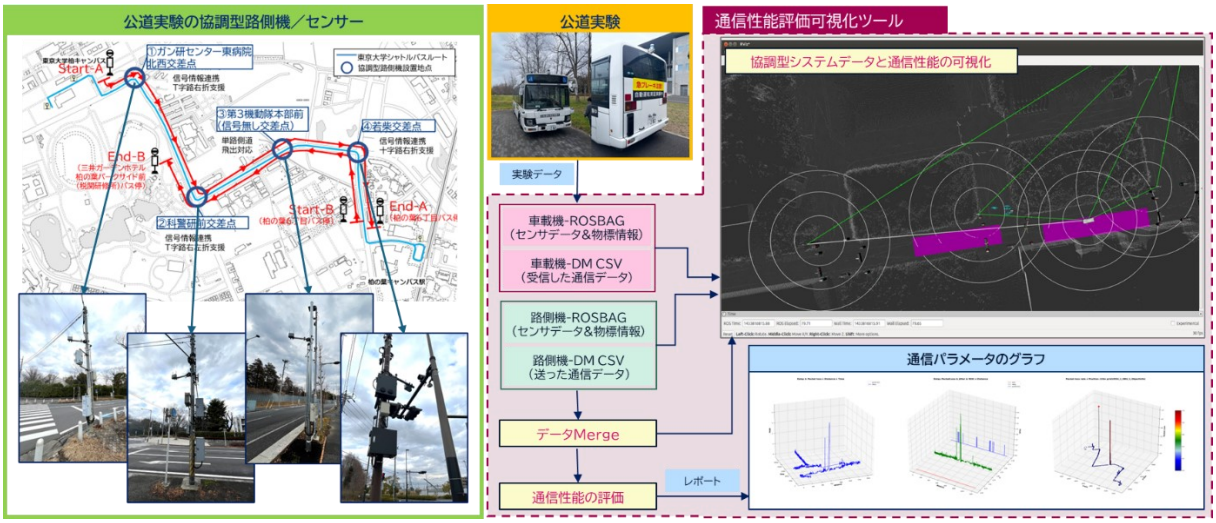


図 259　柏の葉地域での公道実験の概要

表 126　公道実験の 3 つの異なるラウンド

実験回	方向	地点、行動	注目するユースケースor課題	自動(A)/手動(M)	概要
2024/2/19 11:00 Round 1	大学→駅	東大前交差点左折	（自律信号認識率）		
		がん研東病院北西交差点右折	時差式信号右折時の早期発進	A	時差式信号自車側黄色点灯後、自動発進右折。
		科警研前交差点左折	左折時信号ジレンマ回避		
		第三機動隊前直進通過	側道からの飛出し対応		
		若柴交差点右折	対向右折車など死角対応／横断歩行者・自転車対応		
	駅→大学	始点			
		若柴交差点左折	横断歩行者・自転車対応		
		科警研前交差点右折	横断歩行者・自転車対応		
		終点			
2024/2/19 12:00 Round 2	大学→駅	東大前交差点左折	（自律信号認識率）		
		がん研東病院北西交差点右折	時差式信号右折時の早期発進	M	対向車有りなのに発進しようとしたためブレーキ介入。通過後までマニュアル操作。
		科警研前交差点左折	左折時信号ジレンマ回避		
		第三機動隊前直進通過	側道からの飛出し対応		
		若柴交差点右折	対向右折車など死角対応／横断歩行者・自転車対応		
	駅→大学	始点			
		若柴交差点左折	横断歩行者・自転車対応		
		科警研前交差点右折	横断歩行者・自転車対応		
		終点			
2024/2/19 16:00 Round 3	大学→駅	東大前交差点左折	（自律信号認識率）		
		がん研東病院北西交差点右折	時差式信号右折時の早期発進	M	対向車時差式で停車後、黄色変化しアクセル介入。
		科警研前交差点左折	左折時信号ジレンマ回避		
		第三機動隊前直進通過	側道からの飛出し対応		
		若柴交差点右折	対向右折車など死角対応／横断歩行者・自転車対応		
	駅→大学	始点			
		若柴交差点左折	横断歩行者・自転車対応		
		科警研前交差点右折	横断歩行者・自転車対応		
		終点			

図　260 は、実験のいくつかのタイムスタンプの視覚化結果を示している。図　261 は、第一ラウンドに対して報告されたネットワーク状態のグラフを示している。

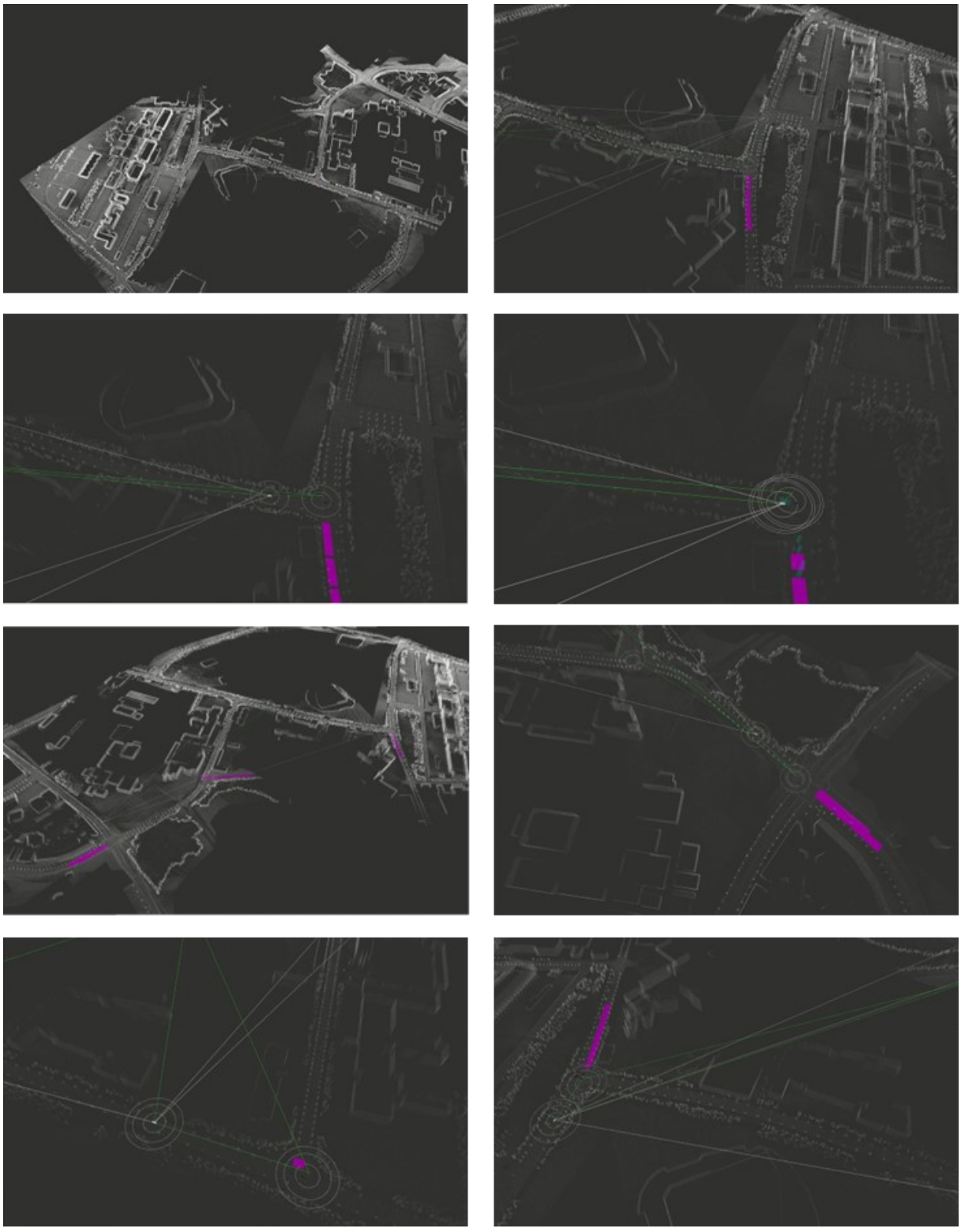


図 260　公道実験ラウンド 1 の視覚化結果

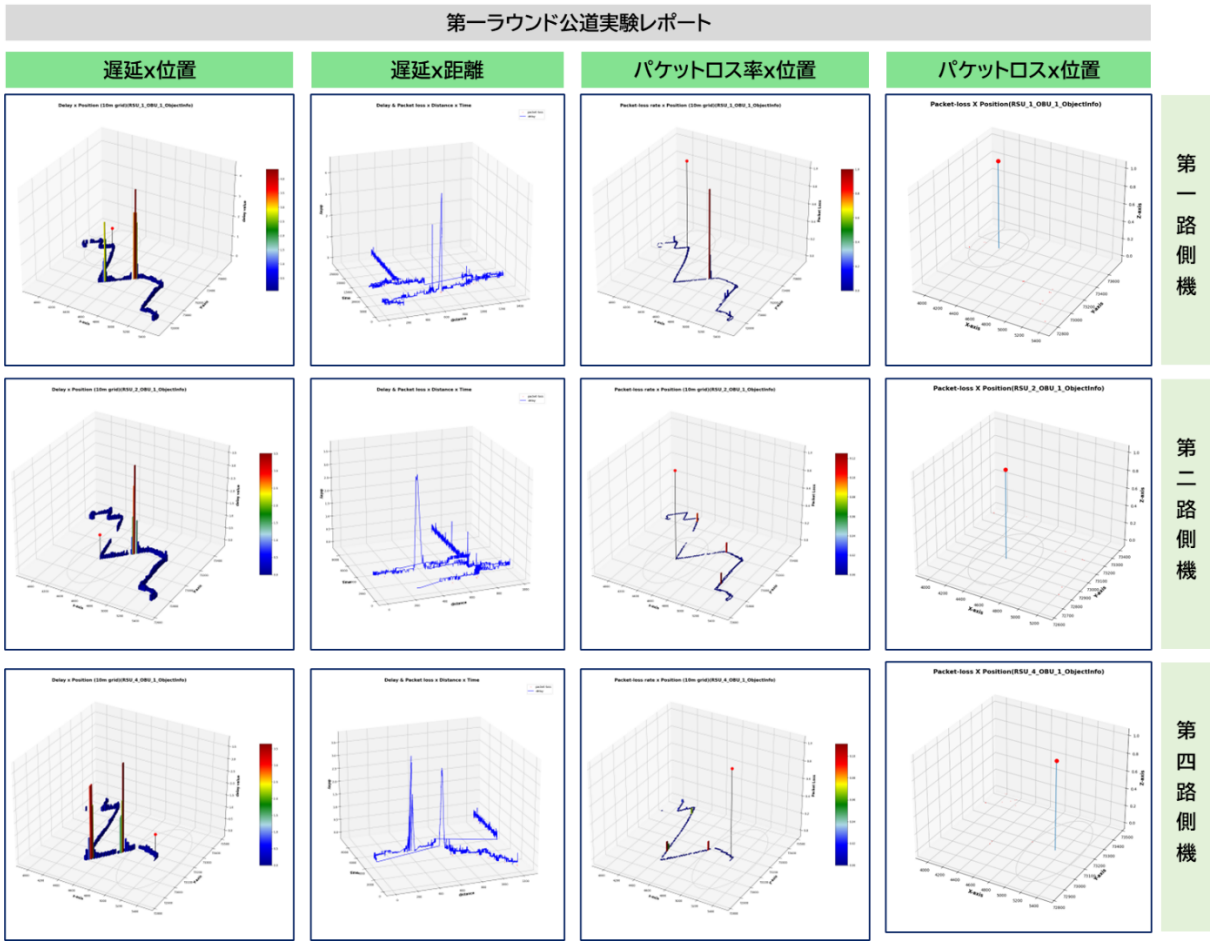


図 261　第一ラウンド公道実験の通信状態評価

2)　仮想空間における協調型システムの評価手法の開発

Cool4 プロジェクトでは柏の葉におけるインフラ情報を活用したレベル 4（L4）の協調自動運転バスの導入を目指している。この目標の達成に向けて、現実のプロトタイプや路上での実装実験だけではなく、シミュレーションによる仮想領域での検証、テスト、及び改善作業が極めて重要であると考えられる。協調型システムにおいて自動運転車両が直面する可能性のある多種多様な現実世界のシナリオを適切に処理できるよう、シミュレーション環境での事前のテストが不可欠である。

そこで Cool4 では、自動運転技術の開発ライフサイクルにおけるシミュレーションの重要性を考慮し、公道走行が行われる柏の葉地区での環境で協調型システム評価、インフラ情報活用効果、または協調型自動運転バスの機能の評価を可能にする（End-to-End）E2E-V2X シミュレーションツールを構築した。又、通信特性が協調型システムに与える影響を把握できるよう LTE 通信シミュレータを構築し検証を行った。さらに、協調型自動運転バスが周辺交通参加者（ミクロ）、または交通流（マクロ）に及ぼす影響を検証・評価するため運転シミュレータまたは交通流シミュレータを構築し評価を行った。最後に異なるシミュレータと E2E-V2X シミュレータの間でのデータ

の交換が可能になるため ROS インターフェースを設計した。今回構築された仮想空間の協調型自動運転シミュレータの全体像を示している。

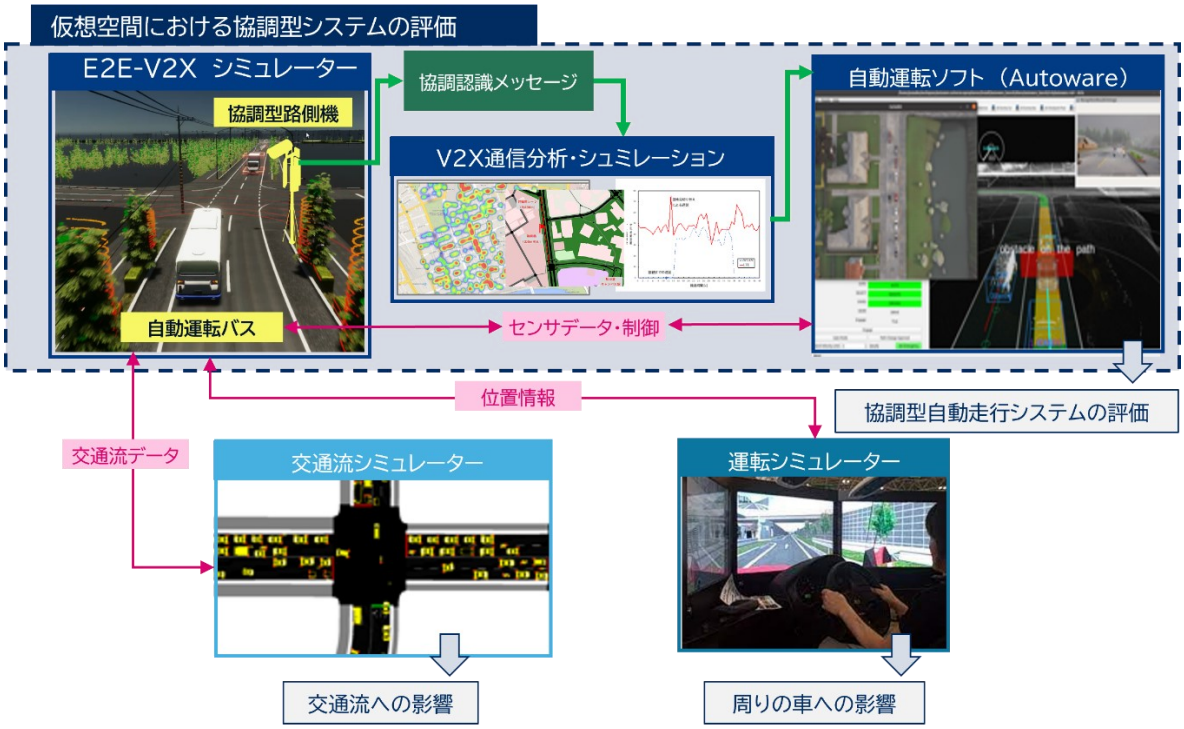


図 262　協調型自動運転シミュレータの全体像

(1) シミュレーションツールの検討

柏の葉地区での環境で協調型システム評価、インフラ情報活用効果、または協調型自動運転バスの機能の評価を可能にする（End-to-End)E2E-V2X シミュレーションツールを構築した。この E2E-V2X シミュレータは Tier IV の高度な自動運転シミュレータ、AWSIM をベースに開発された。

本年度の構築内容を下記に記述する。

1. Cool4 プロジェクトで公道走行が行われる柏の葉の仮想空間環境（デジタルツイン）を AWSIM に入念に再現した。この環境を柏の葉-DT と呼ぶ。これは、柏の葉の 3 次元のモデルを Unity（AWSIM）に追加する作業、シミュレータで Auotware を動作させるために必要な Lanelet2、点群地図の修正、作成作業、シミュレーション上での自動運転バスのモデルとセンサーの組み込み作業、信号機の組み込み作業を含む。
2. AWSIM シミュレータ内で協調型路側機（Road Side Unit）を組み立て、物標情報（Object_info）と信号情報（Signal_info）を車両に送るモジュールを開発した。これらの路側機とそのセンサーは実際の柏の葉で設置されている位置に柏の葉-DT でも設置された。
3. インフラ情報活用効果を自動運転バスで評価するにあたって Autoware の自動運転ソフ

トに協調型プロトタイプ機能を追加した。

4. 他の重要なシミュレータ（運転、交通、およびネットワークシミュレータを含む）との統合を可能にする ROS インターフェースを設計した。この統合により、異なるシミュレーションプラットフォーム間でデータの交換が可能となる。

i） 仮想空間での柏の葉環境の構築

① シミュレータ基盤の選定

仮想空間（3D-DT）を用いたシミュレータの選定に際し、CARLA と AWSIM の二つが候補とされた。選定の主な理由は、オープンソースの自動運転ソフトウエアである Autoware に適合していることと、複数の LIDAR を使用した際のパフォーマンスが優れていることにある。これらの要件を満たす点で、AWSIM が選ばれた。AWSIM は高度なシミュレーション機能を提供することが特徴であり、特に自動運転技術の開発におけるリアルタイムでのデータ処理能力が求められる場合に有効である。複数の LIDAR センサーからの大量のデータを効率的に処理し、自動運転システムが現実世界の複雑な環境下での挙動を正確にシミュレートできる能力が、AWSIM を選択する重要な理由の一つである。これらの選定理由を図 263 に示している。

	Carla	AWSIM
Engine	Unreal	Unity
Road Definition	OpenDRIVE	Lanelet2 ※柏のLanelet2マップが使用可能
NPC control	Traffic Manager	Random Traffic
Sensors	Camera, LiDAR, Radar	Camera, LiDAR (robotec lib), IMU, GNSS ※複数のLiDARを使った時のパフォーマンスが他のシミュレーターと比べて良い
ROS	Use bridge	Integrated
Autoware	Use bridge	Default (Faster!) ※Autowareを使った時のパフォーマンスが良い

図 263　シミュレータ選定理由

また、現在は導入済みの Forum8 の柏の葉公道 3D モデル（.rd ファイル形式）が AWSIM で使用可能かどうかが検討された。この 3D モデルの互換性は、実践的なシミュレーション環境を構築する上での重要な要素である。CARLA（Unreal Engine を基にする）においても同様の検討が行われたが、Autoware への適合性と複数 LIDAR 使用時のパフォーマンスの優れている点において、AWSIM の選定が決定された。AWSIM の動作確認をしている様子を図 264 示している。

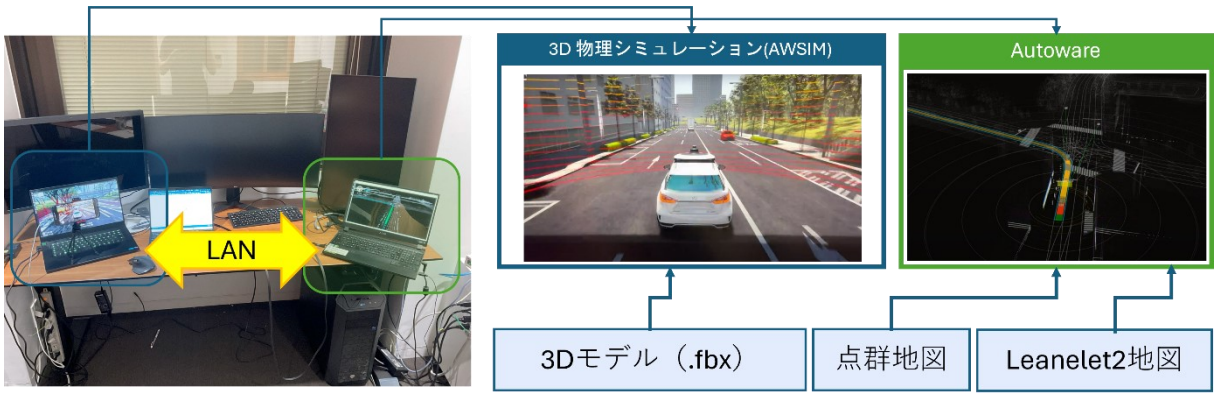


図 264　AWSIM シミュレータを 2 つの PC で動かして動作確認

② 柏の葉 3D モデルと地図データ

協調型自動運転シミュレータを開発する上で、柏の葉の環境の 3D モデルと、点群地図および lanelet2 地図という 2 種類の自動運転地図を準備する必要がある（図 265）。

3D モデルはシミュレータ内で使用され、点群地図と lanelet2 地図は Autoware の自動運転機能で利用される。E2E-V2X シミュレータは TIERIV 社の自動運転シミュレータ AWSIM に基づいており、Unity を使用しているため、モデルは Unity と互換性のある.fbx ファイル形式で準備する必要がある。このモデルの基本的な要素は、フォーラム 8 社の UCWinRoad シミュレータからエクスポートされたものである。UCWinRoad は独自の 3D モデル形式である.rd ファイルを使用しているため、.fbx ファイル形式に変換し、Unity にインポートする必要がある。この変換にはフォーラム 8 社のプラグインを使用し、モデルを.rd ファイル形式から.fbx ファイル形式に変換した。変換された 3D モデルは図 266 に示されている。

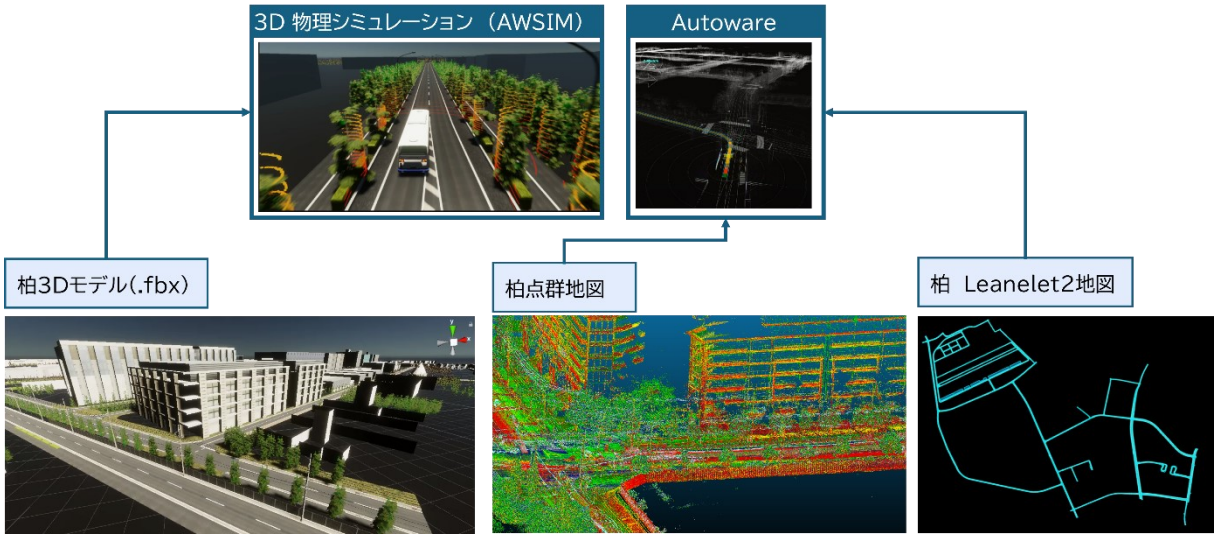


図 265　自動運転シミュレータで必要とされる地図フォーマット

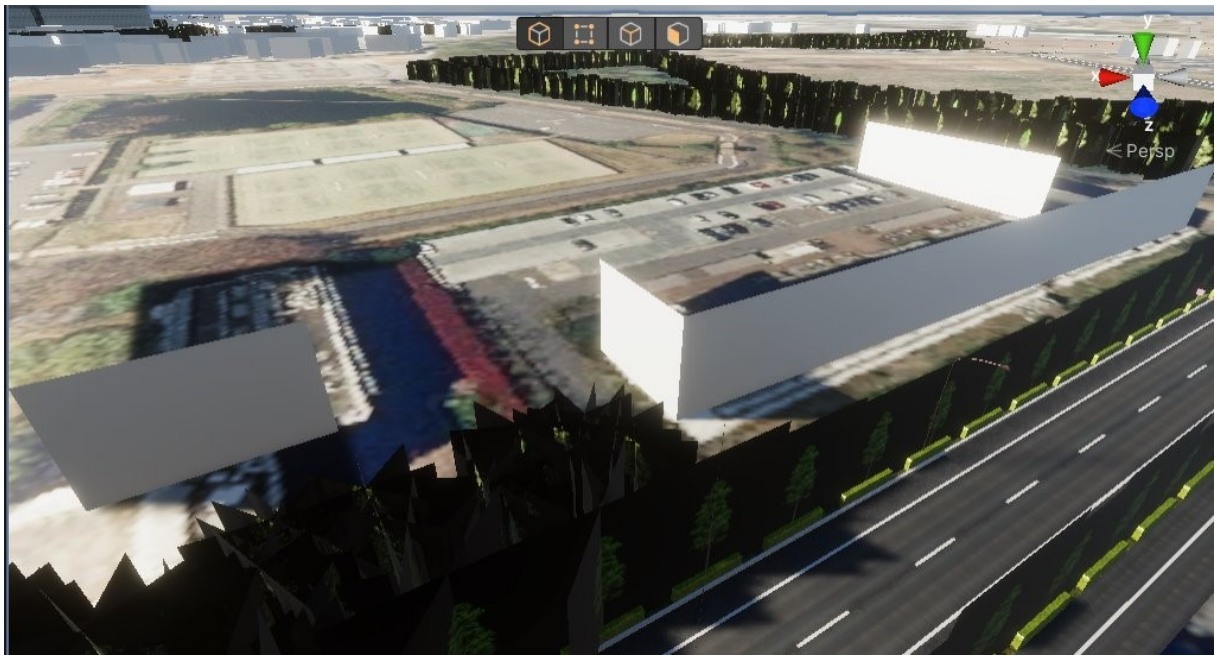


図 266　UCWinRoad からエクスポートされた柏の葉のオリジナル 3D モデル

ファイル変換後、自動運転の AWSIM でこのモデルを使えるようにするためいくつかの修正を行った。又、Autoware を起動するためには自動運転に適した地図データ、点群地図と Lanelet2 地図が必要になる。これらのデータのもとになるものは DMP 社が作成しており、Autoware で使う為にはあらゆる修正が必要である。特に Lanelet2 に関しては数多くの修正点がありこの章で説明する。

1.　柏の葉 3D モデル

UCWinRoad からエクスポートされた柏の葉の 3D モデルは、自動運転シミュレータに利用するためには、いくつかの課題を克服する必要がある。このモデルは、そのままでは自動運転シミュレータで使用するには適していない。その理由として、以下のような問題が挙げられる。まず、初期の 3D モデルには建物が不足しており、ほとんどの地域で建物が 3D モデルに十分に含まれていない。次に、初期モデルにおける木のモデルがリアリズムを欠いている。さらに、3D モデルの全体的な精度が不足しており、Autoware を用いたシミュレーション実行時に、柏の葉 3D モデルは lanelet2 と点群地図と正確に一致する必要がある。モデルと Lanelet2 が一致していない場合、自動運転車両の自己位置推定が失敗し、車両が誤った車線を走行し、多くの問題を引き起こす可能性がある。この精度は、lanelet2 地図上のルートに沿って走行する NPC（ノンプレイヤーキャラクター）車両の動作にも同様に重要である。また、交通信号の位置が正確でない問題や、元の 3D モデルにいくつかのバス停や交差点が含まれていない問題が存在する。特に、協調型認識用の路側機センサーが設置されている第三機動隊本部前の道路の 3D モデルデータが欠けている。こ

れらの問題に対処するためには、3D モデルの修正が必要であり、その修正内容について詳述する。これらの修正箇所は Cool4 プロジェクトの実証実験が行われルートに限って行われた。

- 初期モデルには建物が不足しており、ほとんどの地域で十分な建物が 3D モデルに含まれていない。そのため、より詳細な環境を作成するために OpenStreetMap と Google Maps 用の Blender プラグインが使用された。また、初期モデルでの木の形がリアルでなかったので変換が行われた。(図 267)



図 267　初期 3D モデル（左）と修正後の 3D モデル（右）

- 3D モデルの全体的な精度が不足している。Autoware を使用してシミュレーションを実行する上で、柏の葉 3D モデルは、lanelet2 と点群地図と正確に一致する必要がある。モデルと lanelet2 が正確に一致していない場合、自動運転の自己一推定が失敗し、車両が誤った車線を走行し、多くの問題が発生する可能性があるため、この精度は重要である。これは、lanelet2 地図上のルートに沿って走る NPC（ノンプレイヤーキャラクター）車両の動作にも同様に重要である。従って Lanelet2 地図と点群地図をレファレンスとし、3D モデルを修正した。特に道路のモデルは Lanele2 をベースに、建物情報は点群地図をベースにできるだけ修正した。
- 交通信号の位置が正確ではない。Autoware では信号認識のために信号機の位置情報を Lanelet2 地図から読み取る。従って、デジタル地図の信号機の位置と Lanelet2 地図での信号機の位置は一致しなければならない。そのため信号機の位置情報を Lanelet から読み込み、Unity のシミュレータ環境に自動的に追加するプログラムを構築し、それを使い信号機をモデルに追加した。(図 269)

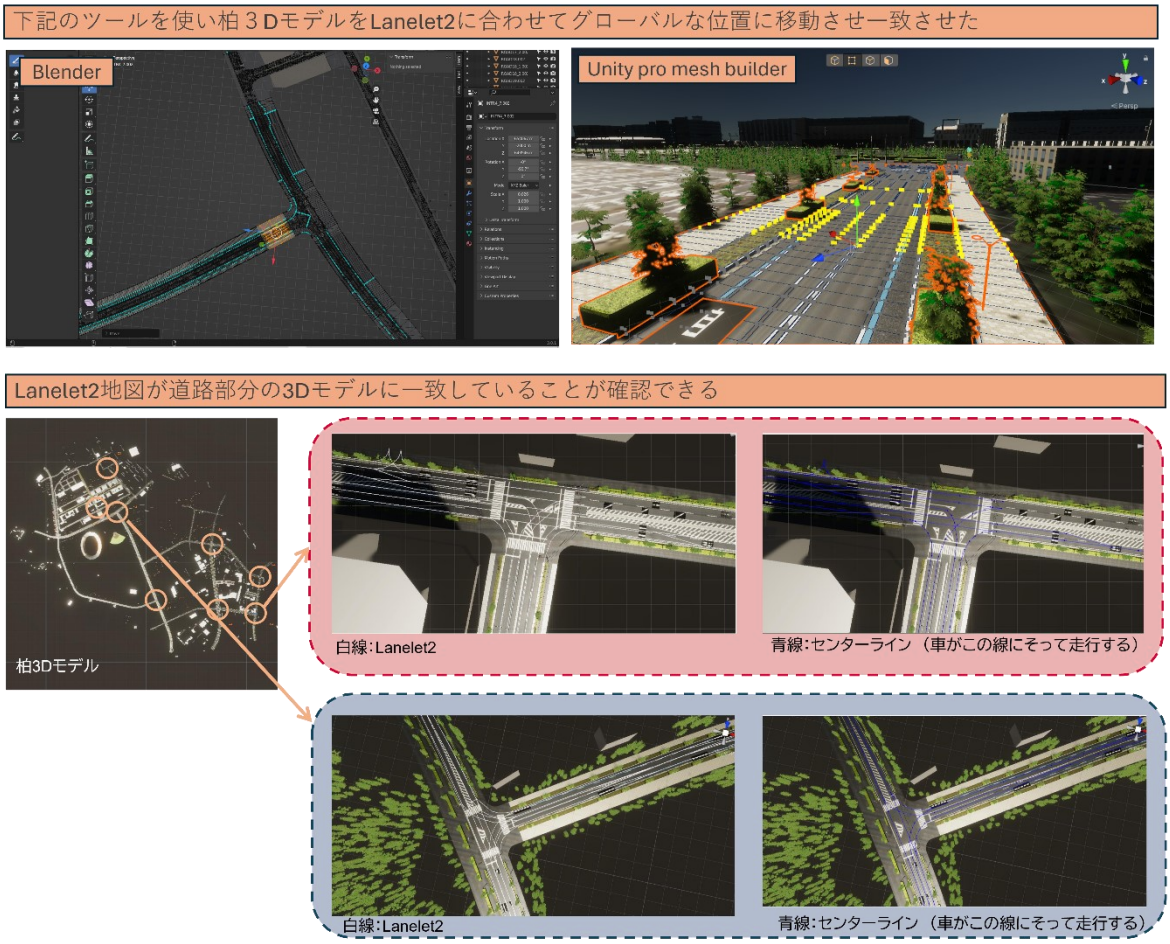


図 268　3D モデルのカリブレーション

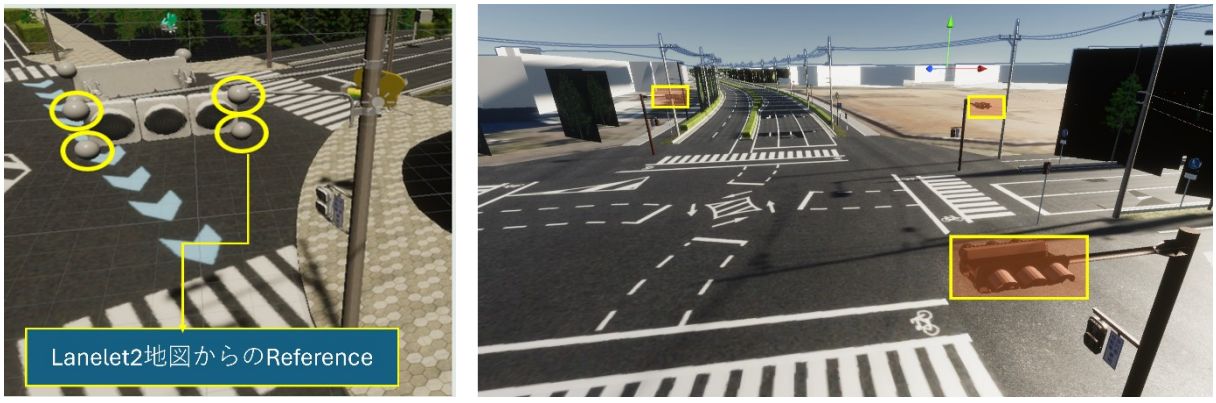


図 269　信号機を柏 3D モデルに自動的に追加

● 初期の 3D モデルには、いくつかのバス停と交差点が含まれていなかった。特に協調認識用の路側機センサーが立てられている第三機動隊本部前の道路の 3D モデルのデータが含まれていない。従ってモデルの修正と新しい道路を追加した。追加された第三機動隊本

部前の道路は Lanelet2 の地図も DMP 社のデータに含まれてなかったので新たに生成された。

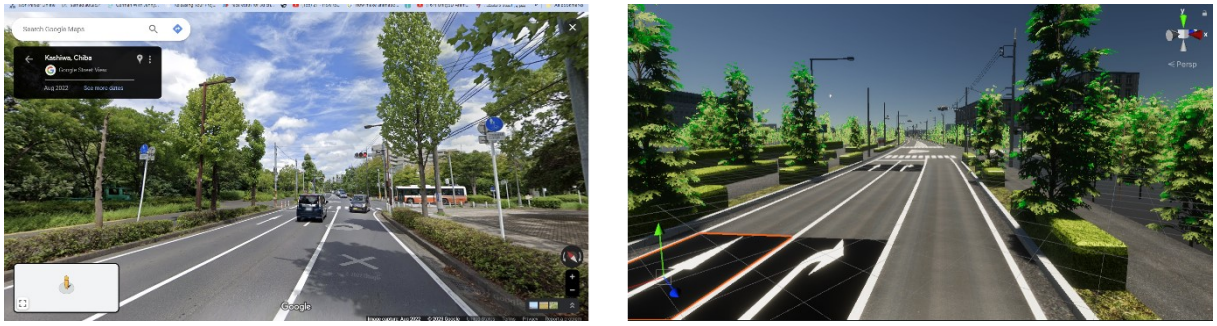


図 270　柏の葉の実際の環境（左）とシミュレータでの 3D モデル（右）

2.　柏の葉点群地図・LANELET2 地図

Lanelet2（LL2）は、自動運転やロボティクス分野のアプリケーション向けに高解像度地図を提供し、扱うことを目的としたソフトウエアライブラリ及び地図のデータフォーマットである。このフォーマットは、車線の形状、交通標識、信号灯、その他関連する情報を含む道路網を、組織的かつ標準化された方法で記述する手段を提供する。LL2 が用いるデータフォーマットは、OpenStreetMap（OSM）を基にしているが、LL2 独自の、レーンレットの境界、レーンのマーキング、交通規則など、道路ネットワークに特有の概念や構造を追加している。これらの追加機能により、自動運転アプリケーションに必要な道路情報の表現が、より精密かつ詳細に可能となる。

LL2 地図を Autoware との互換性を持たせるためには、以下に示すように、特定の規格に準拠する必要がある。これらの基準を満たさない場合、Autoware にデータをインポートできない、またはインポートに成功しても Autoware の全機能のレイヤーでデータが正しく機能しない可能性がある。

最初に LL2 の構造を説明し、次に DMP が提供するオリジナルの LL2 に必要な修正について説明する。

LL2 は、地図を 6 つの異なるプリミティブの階層構造に分割する：①Points、②Line Strings、③Polygons、④Lanelet、⑤Areae、⑥Regulatory Elements。レーンレットファイルは、これら 6 つのプリミティブを保存し表現するために、ノード(Node)、ウェイ(Way)、リレーション(Relation)という 3 つのコンポーネントを採用している。点はノード（Nodes）として保存され、ラインストリングはウェイ（Ways）として保存され、その他のプリミティブはすべてリレーション（Relation）コンポーネントを使用される。

すべての要素に共通するのは、一意な ID で識別され（これはトポロジカル・レイヤーを効率的に構築するのに便利である)、キーと値のペアの形で属性を割り当てることができる。

DMP が提供するオリジナルの LL2 地図は Autoware と互換性がなく、Autoware 環境での読み込

みに失敗した。また、TierIV のベクターマップビルダーを使用して地図を細分化しても、Autoware で読み込めないセグメントがあり、読み込めたとしてもプランニング機能がうまくいかない問題があった。様々な解決策が試みられた結果、これらの問題は解決された。問題とその解決策を以下に詳述する。

- 過剰な要素 ID

  柏の葉 LL2 ファイルの要素 ID が大きすぎる。柏の葉 LL2 マップと標準 Autoware LL2 マップの ID フォーマットを比較したところ、大きな相違があることが判明した。

- 互換性のないタグ

  オリジナルの LL2 地図には Autoware と互換性のないタグが含まれていたため、互換性を確保するためにこれらのタグを削除する必要があった。

- 信号機の機能

  柏の葉 LL2 地図の信号機が機能していなかった。LL2 の信号機の構造を Autoware と互換性のあるバージョンに修正する必要がある。

LL2 ファイルの信号フォーマットが Autoware と互換性があることを保証するために、フォーマットの変換を行う自動プログラムを開発した。このプログラムは、要素 ID を変更し、互換性のないタグを削除し、信号機の構造と機能を修正する。

上記の修正箇所に加えて千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点の情報が LL2 地図に含まれてなかったので、図 271 で示してあるように追加した。

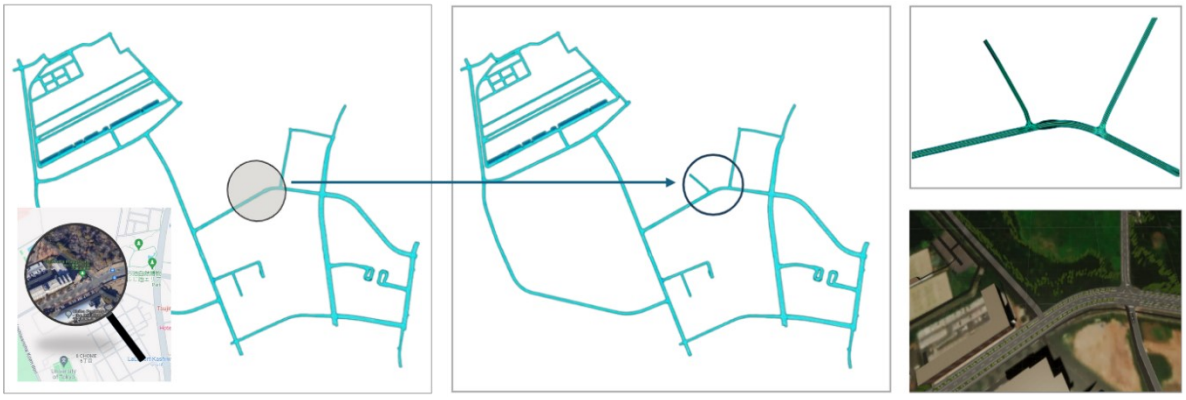


図 271　Lanelet2 に千葉県警第 3 機動隊本部北東交差点の情報を追加

DMP 社から提供された点群地図データは、LAZ ファイルフォーマットから Autoware が読み込み可能な.pcd ファイルフォーマットに変換された。しかし、実際の柏の葉環境に基づいて作成された点群地図と Unity の 3D モデルとの間には整合性がなく、これが Autoware の各機能で問題を引き起こす可能性があった。そのため、Unity の 3D モデルを基に点群地図を新たに作成し、Autoware で利用することにした。

③ シミュレータでの自動運転バス

Cool4 プロジェクトでは、ISUZU 社　エルガミオ（ERGAmio）のバスに先進モビリティ社の自動運転機能とそのセンサー設定が利用される。同じモデルをシミュレーションで使用するために、AWSIM においてバスモデルを生成し、実世界と同じセンサー設定を適用する必要がある。

このバスは、図　272 に示されるように、32 チャンネルのレーザーを搭載した 4 台の VLP-32C LiDAR を使用している。1 台はトップに、1 台はリアに、2 台は前方左右に配置されている。

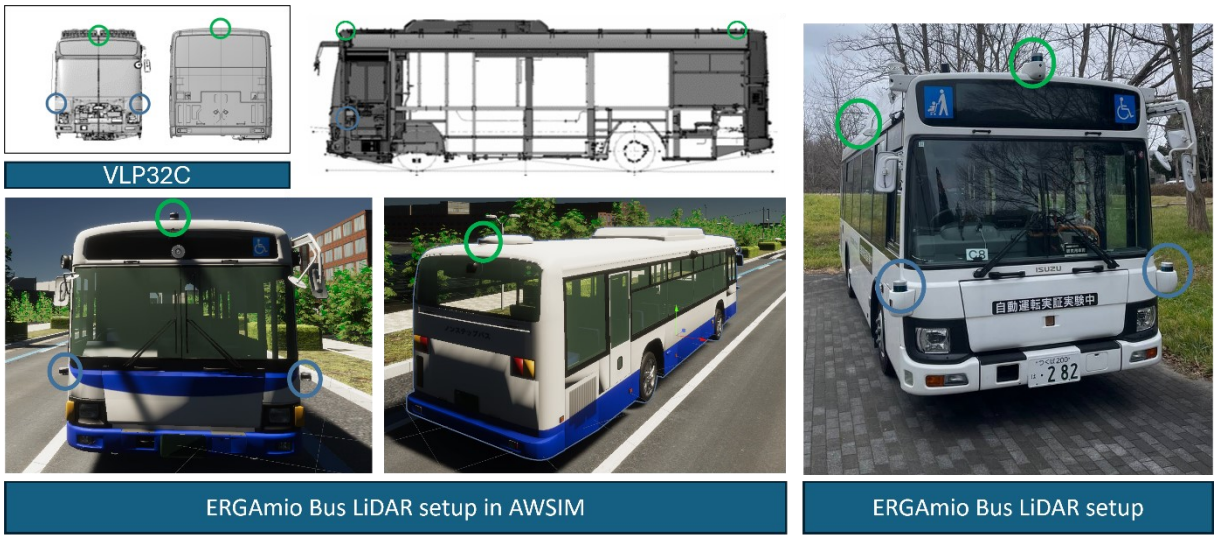


図 272　シミュレータでのエルガミオ（ERGAmio）のバスのライダーセットアップ

加えて、図 273 に示してあるように、このバスは 9 台のカメラを装備しており、3 台の Leopard 180 度カメラ、1 台の Leopard　40 度カメラ、4 台の TierIV　C1 カメラが配置された。シミュレータでのセンサーの設定と位置は、実際のものをベースに配置された。

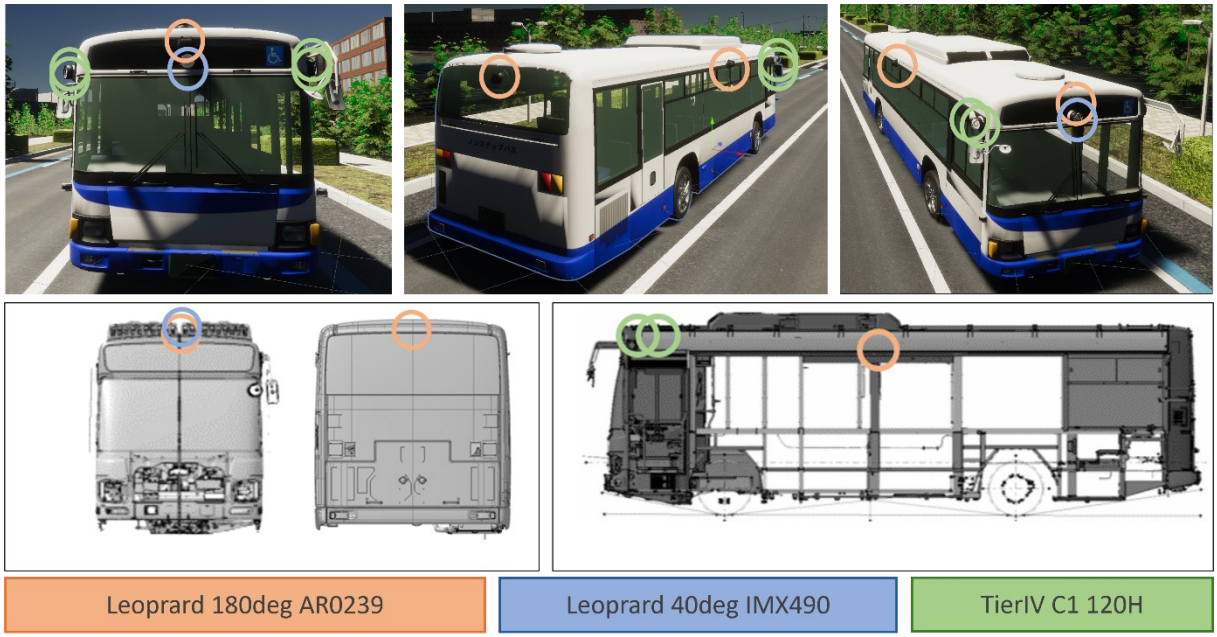


図 273　シミュレータでのエルガミオ（ERGAmio）のカメラセットアップ

Autoware 又は AWSIM から送られるセンサーデータは Robot Operating System (ROS) をベースにしている。ROS では、tf と呼ばれる、座標変換(transformation)ライブラリが提供されており、広く使われている。tf を用いると、ロボット（ここでは自動運転バス）上に任意の位置姿勢で搭載されているセンサーデータの座標を、ロボット座標系や、地図座標系などの任意の座標系に、簡単に座標変換することができる。また、ロボットの座標を、地図座標系で取得するといった処理もサポートされています。従って、自動運転バス専用の tf、base_link と sensor_kit を指定する。/tf/base_link は車の位置を示す tf で、/tf/sensor_kit はセンサーのベースになる tf を示している。

E2E-V2X シミュレータでは、2 種類のセンサー設定が実装された。1 つは実際のセンサーを使用してポイントクラウドやカメラといった生のセンサー情報を取得する方法である。図 274 では東京大学柏キャンパス実験フィールドの環境でライダーとカメラの生データを取得し Autoware にそのデータを送っている様子を示している。

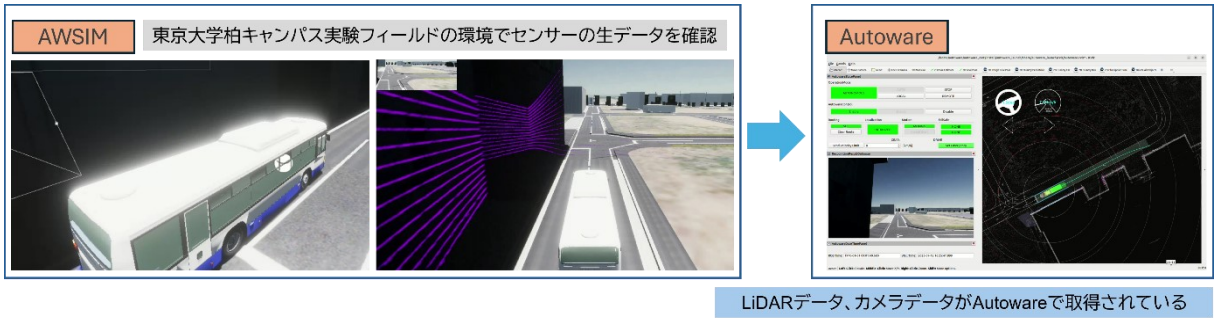


図 274　東京大学柏キャンパス実験フィールドで Autoware と AWSIM を動作させている様子

本プロジェクトでのシミュレーション環境では車載のセンサーだけでも 4 台の LiDAR と合計 9 台のカメラを使用するため、膨大な計算リソースが必要となる。シミュレーションの精度を落とさずに計算負荷を軽減するために、AWSIM に Pseudo センサーを開発した。これらの Pseudo センサーの実装については次の章で説明する。この Pseudo センサーは、検知範囲、視野角、ノイズの設定が可能で、視角にある物標は検知できなくなっている。これらの Pseudo センサーはバスのセンサーや路側機のユニットで使用することができるように開発されている。今回のシミュレータのセットアップでは Pseudo センサーを利用し、実際のバスの設定に基づいて各センサーのコンフィグを行い、それをシミュレーション環境内のバスに配置した。

④ Non Player Character

シミュレーション環境を現実世界にできるだけ近づけるために、異なるタイプの Non Player Character（NPC）が作成、プログラムされ、シミュレータ環境に追加された。NPC の追加とプログラムロジックの概要は以下の通りである。

1. 車両 NPC の生成

車両は AWSIM の機能である「Traffic Manager」というコンポーネントによって生成され、Lanelet 地図の終点に達した時に除去されるようになっている。さらに、モデルと lanelet2 地図の不一致で街から落ちたり、地面として定義されていない道に入った場合にも車両を除去することができる。そのような場合、Traffic Manager によって再生成される。

このコンポーネントは、図 275 で示されるように、最大車両数も監視および制御し、140 に設定されている。生成された車両のコンポーネントはリストからランダムに選択する。特定のタイプの車の選択率を特に高めるメカニズムは存在しないが、同じオブジェクトをこのリストに複数回追加することで、その選択率を効果的に高めることができる。車のタイプはタクシー、バン、トラック、小型車、ハッチバックの中から選択できる。

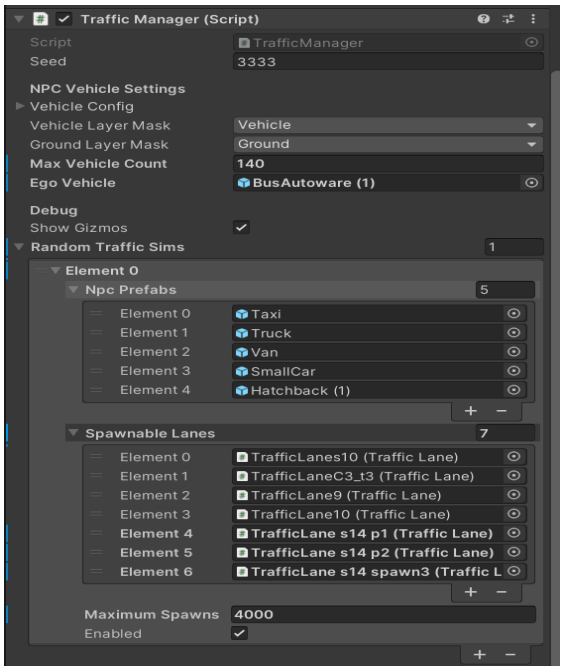


図 275　AWSIM での車両 NPC のコンポーネント

「Spawnable Lanes」は、NPC 車が生成可能な lanelets 内の位置のリストである。これらのポイントは、交通流を現実的にシミュレートするために、都市全体に戦略的に配置されなければならない。市の中心部を生成地点として選ぶと、高速道路の真ん中で車が突然現れるなどの問題が発生する可能性がある。したがって、車両の初期生成地点として市の郊外を指定する。これらの生成ポイントは図 276 で示されている。



図 276　柏の葉で車両 NPC が生成される Spawning ポイント

AWSIM によって採用されている生成パターンは、優先システムを通じて生成ポイント間の平等を保証するように設計されている。このシステムでは、ある場所で車が生成されるたびに、その場所の優先度が下がり、車が生成される機会がなかった場所の優先度が上がる。このメカニズムには衝突チェックも含まれており、予定された生成が他の車との衝突を引き起こす場合、その場所での車の生成が控えられる。

AWSIM の最新アップデートには、車の生成率を制御するための設定は含まれていない。代わりに、このシステムは可能な限り迅速に車両を生成し、衝突回避と生成地点間の公平な分布を確保することを目指している。AWSIM の元のコードを変更せずに生成率を制御したい場合は、シミュレーション中に「最大車両数」を調整することで実行できる。

AWSIM にインポートされた Lanelet2 地図を基にして、生成された車両 NPC は 3D モデルの中を走り、信号を検出して、それに基づいて動作するようになっています。交差点では、信号が青に変わるとランダムに次のルートを選択して動き仕組みになっている。図 277 には、生成された車両 NPC が示されている。

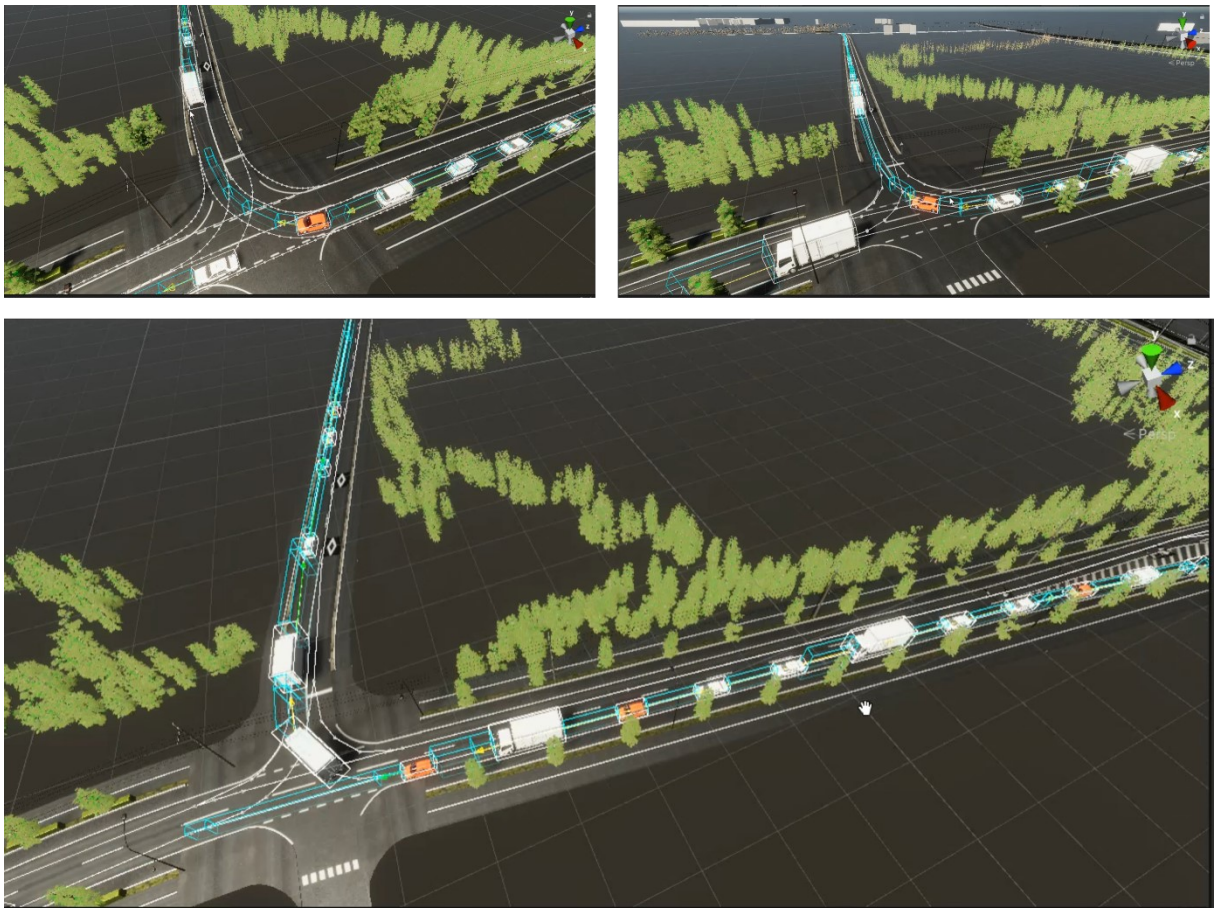


図 277　柏の葉で生成された車両 NPC

2.　歩行者・自転車 NPC

歩行者 NPC の挙動をよりリアルに再現するため、及び AWSIM 環境内での交通シミュレーションの多様性を高める目的で、自転車乗り NPC を導入した。AWSIM における自転車用 NPC のロジックはこれまで存在しなかったため、本プロジェクト専用に開発された。この新しいロジックは、実際の交通環境における自転車乗りの動きを、細かな側面まで考慮して設計されている。

同様に、AWSIM での歩行者 NPC は以前、信号の有無に関わらず一定のパターンで動く設計でしたが、信号情報を取り入れることで、現実の交通ルールに基づいた挙動を実現する新たなロジックが付け加えられた。これにより、歩行者と自転車乗りが信号付き横断歩道で信号が青になるのを待ってから横断するという、現実世界に即した行動パターンをシミュレーション内で再現できる事ができた。特に、シミュレータに歩行者信号が直接組み込まれていない現状を考慮し、自動車用の信号を代わりに利用する設定になっている。これは、自動車用の信号が赤である時に道路を横断するという、実際の交通状況を模倣したものである。図 278 に柏の葉で追加された歩行者・自転車 NPC が示されている。このような改良により、AWSIM は都市環境内での複雑な交通シナリオをより正確にシミュレートすることが可能になり、自動運転の高精度な評価に大きく貢献する。



図 278　柏の葉での歩行者・自転車 NPC

⑤ Pseudo センサーの開発

シミュレーション環境では、多数のセンサーを利用している。その結果、最終的なセットアップには最低でも 20 個以上の LiDAR とカメラセンサーが含まれている。したがって、生データをセンサーから取得し物標認識を行う方法は今回の評価環境には向いていない。従って、センサーの計算負荷を減らすために、Pseudo センサーと呼ばれるメカニズムが導入された。この Pseudo センサーは、周囲の環境全体からセンサーの生データを計算するのではなく、Unity の世界で特定のセンサーの検知範囲にある物標をセンサーの認識された物標として抽出する。実際のセンサーの認識結果と同じ結果が得られるために、センサーの視野を考慮しなければならない。また、オクルージョンを考慮した Pseudo センサーモジュールを開発する必要がある。そのため、センサーの検知範囲に存在するすべてのゲームオブジェクトに対して特定の光線を発射する。障害物

が存在する場合、光線は目標に到達しない。次にこの Pseudo センサーモジュールについて詳細を述べる。

モデル検出閾値：車や歩行者などの各検知可能な物標に対して、検知マーカーとして機能する 8 から 15 の検知点（マーカー）が定義される。センサーがこれらのマーカーのうち少なくとも「N」個（「N」は各センサーで設定可能）を検出した場合、その物標は検出されたとみなされる。検知点が「N」個未満しか検出されなかった場合は、そのセンサーによる物標の検出はないとされる。センサーによって全ての検知点をある特定の時点で観測することは実現不可能であることが重要である。なぜなら、一部の点はオブジェクトの後ろに隠れており、前後の代表点を同時に観測することは物理的に不可能だからである。この方法は、歩行者や自転車にも適用されているが、シミュレーション内のオブジェクトの体積に応じて選択されるグリードスフィアの数に違いがある。図 279 はPseudoセンサーの検知ロジックと各モデルの検知点の例を示している。図 279 で示しているように各 Pseudo センサーでは垂直視野角（VFOV）、水平視野角（HFOV）、最大検出距離、Noise などのパラメータを調整することが可能である。

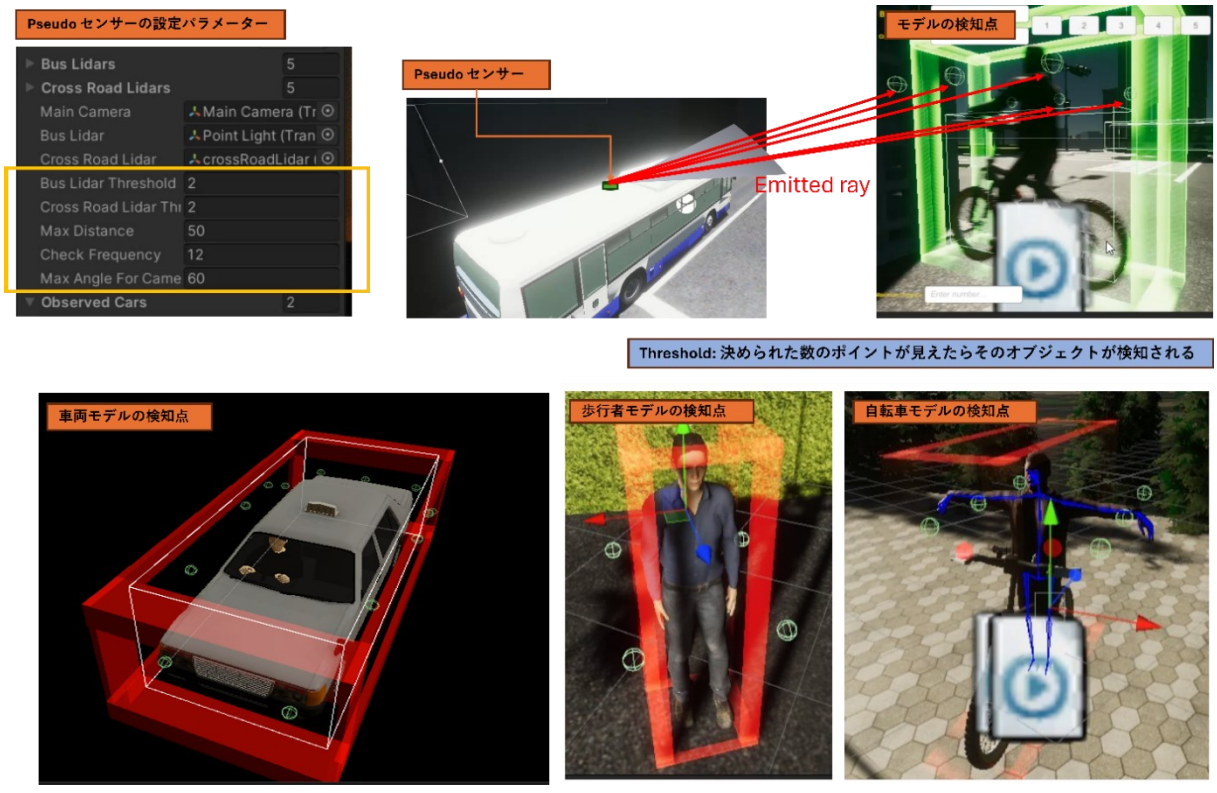


図 279　Pseudo センサーの検知ロジック

これらの Pseudo センサーのパラメータは Config ファイルから設定可能になっている。これに加えて Config ファイルでは各センサーの 6DoF の位置情報も設定可能になっている。

物標認識の制度を実世界の値に近付けるため、各センサーに Noise を追加することができる。

この Noise は検知可能なマーカーの数、検知した物標のサイズ（W,L,H）、物標の位置に与えることができこれにより実世界の認識制度に近い制度を実現可能にする。図 280 この Noise コンポーネントを占めしている。

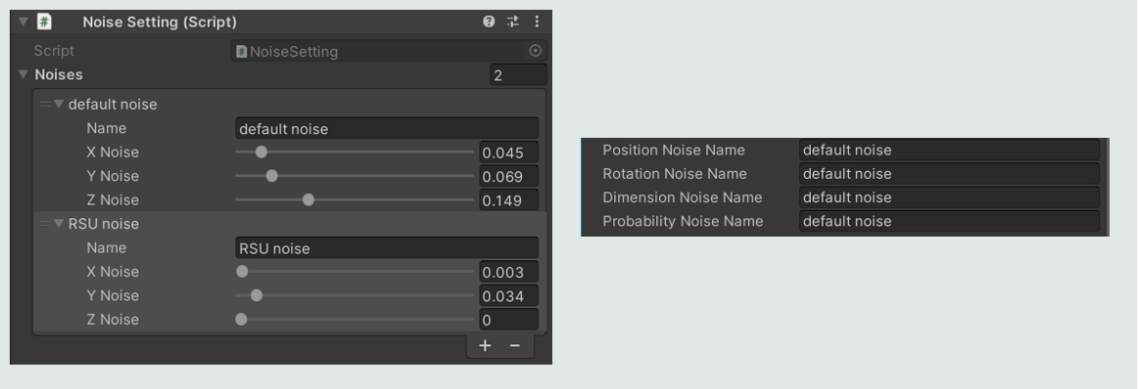


図 280　Pseudo センサーの Noise コンポーネント

これらの Pseudo センサーは自動運転の車祖ヒデ路側機の両方に使用することが可能である。車載側のセンサーとして使用される場合、各センサーで検知した物標の情報を Pseudo-sensor-kit と呼ばれる一つ上の Unity コンポーネントに送る。そしてこれらの情報は Pseudo-sensor-kit で統合され、冗長データは削除され、ROS メッセージに変換され AWSIM から送信（Publish）される。この仕組みは図 281 に示されている。

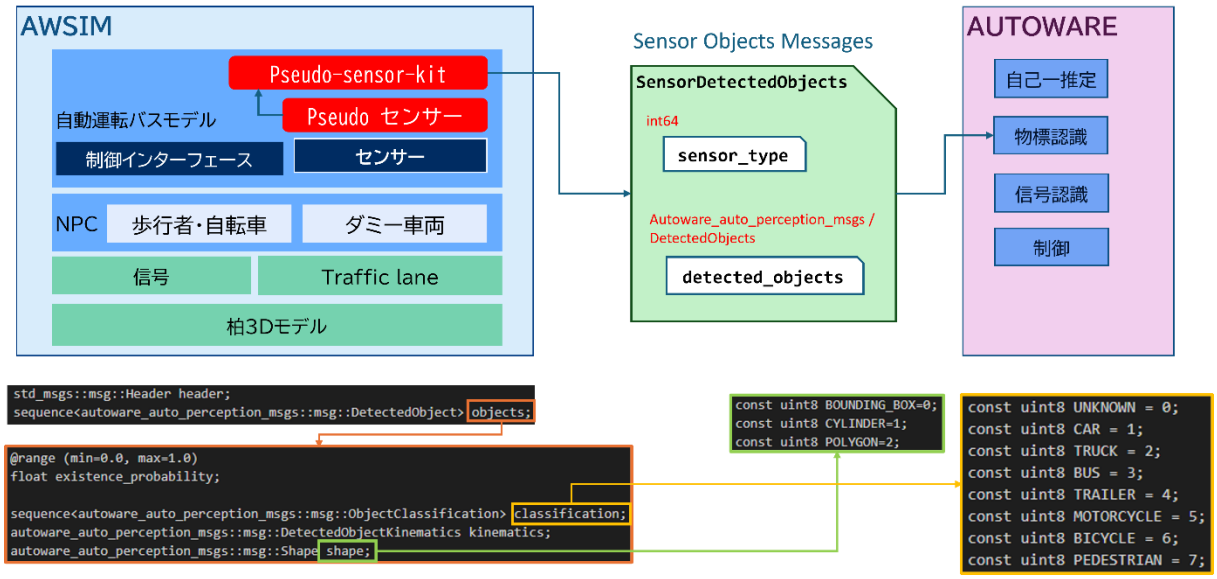


図 281　Pseuso センサーMSG フォーマット

⑥ Autoware を使った柏の葉-DT での自動走行テスト

柏の葉仮想空間環境を AWSIM で構築した後、この環境に路側機と協調型機能を導入する前に、柏の葉環境でバスの自律走行テストを行った。図 282 に示されるように、Autoware を使用した自動運転の全モジュールが作成された柏の葉環境で正常に機能していることが確認された。この図での左側に AWSIM のインターフェースを、右側には Autoware のインターフェースを表示している。初めに、lanelet2 ファイルが正常に読み込まれているのが確認できる。車の位置情報は Autoware によって、AWSIM から受け取った情報に基づいて正確に取得されたいる。検出モジュール、lanelet モジュール、認知およびセンシングモジュール、計画モジュール、および制御モジュールがすべて正常に機能していることの確認が取れた。検出された物体はこの図の Autoware のウィンドウに表示されている。この物標は Autoware が Pseudo センサーから受け取った情報を正確につけるようになっている事を意味する。左側の AWSIM のウィンドウに示されるように、車には前方カメラが搭載されている。Autoware はこの前方カメラのデータを AWSIM から取得し、画像認識アルゴリズムを基に信号の状態を認識することができている。これは図の下の方に示されている。信号の状態が赤の場合、Autoware のウィンドウ内で信号を囲むボックスは赤に変わる。信号が青の場合は境界ボックスが青に、黄色の場合は境界ボックスは緑になる。この画像では、信号が青であるため、境界ボックスも青色を示している。自律モードのテストは柏の葉のルートで行われ、車両は正確にこのルートで運転ができた。

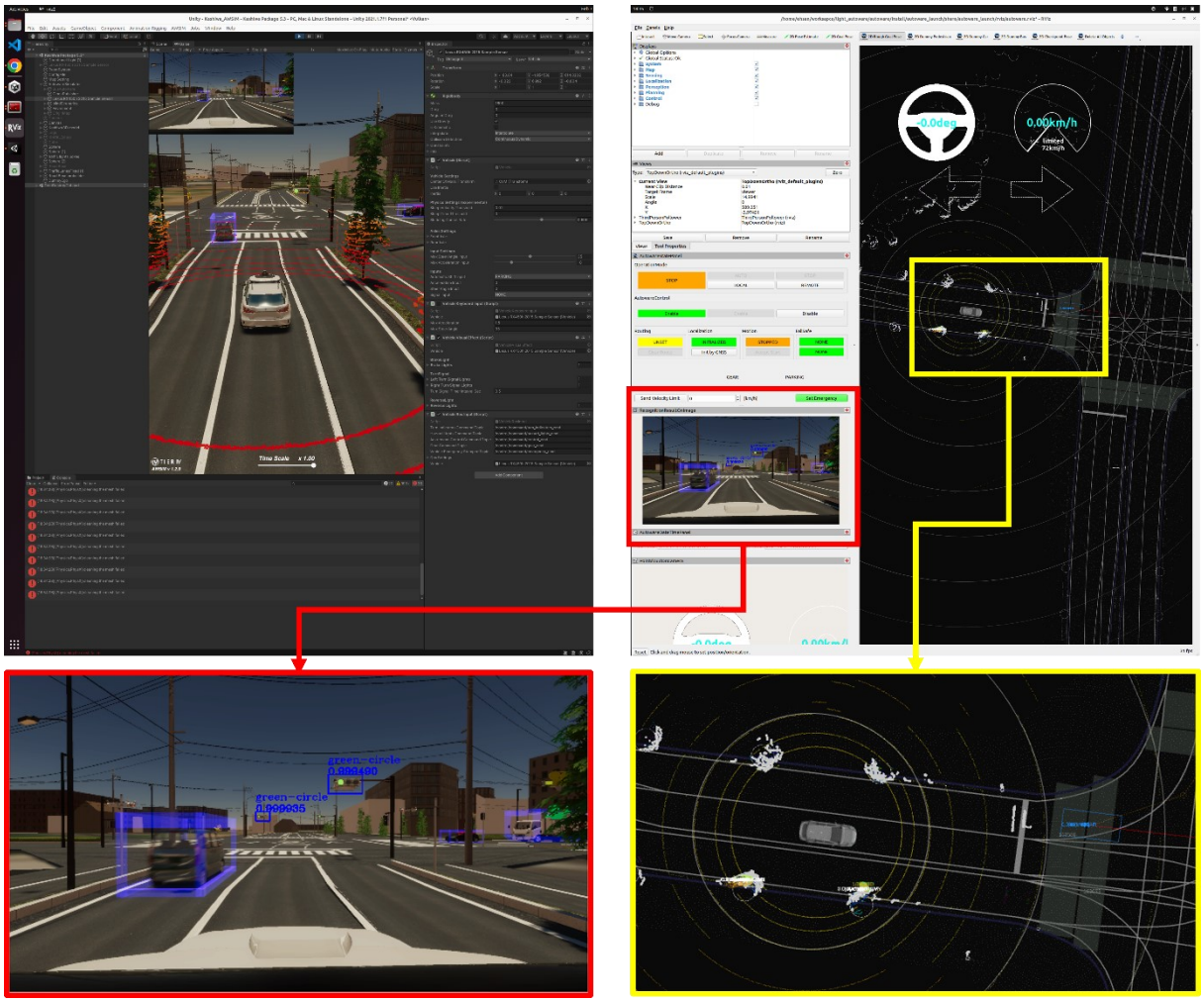


図 282　Autoware を使った仮想空間での自動運転走行テスト

ii)　仮想空間での路側機の組み立て

協調型自動運転を評価するために、AWSIM に協調型路側機（RSU）を実装した。各路側機には、歩行者や車両を検出するための複数のセンサー（カメラやライダー）が装備されている。この情報は各交差点のセンサーから受信され、路側機内で処理された後、AWSIM から ROS メッセージによって送信される。これに加えて、交差点内の各信号機からの交通信号の状態も各 RSU によって収集され、ROS メッセージを通じて送信される。現実世界の柏の葉環境において、4 つの目標交差点に RSU が設置されている。シミュレーション内でも同様に RSU を同じ場所に、設置した。次に、これらのメッセージは NetSim と呼ばれるネットワークシ Emulator を通じて、Autoware 協調機能ロジックに送信される。実際の路側機には、協調認識メッセージを送信するセルラーと ITS 無線機（DSRC 760 MHz）の 2 つの通信機器が設置されてある。同様にシミュレーション環境でも NetSim を通し、実験から収集された実際の通信パラメータに基づき、パケットロスと通信遅延がシミュレートされ、車両に送信される ROS メッセージに与えられる。このプロセスの概要は図 283 に示されており、この節の残りの部分では、各ステップについて詳しく説明する。

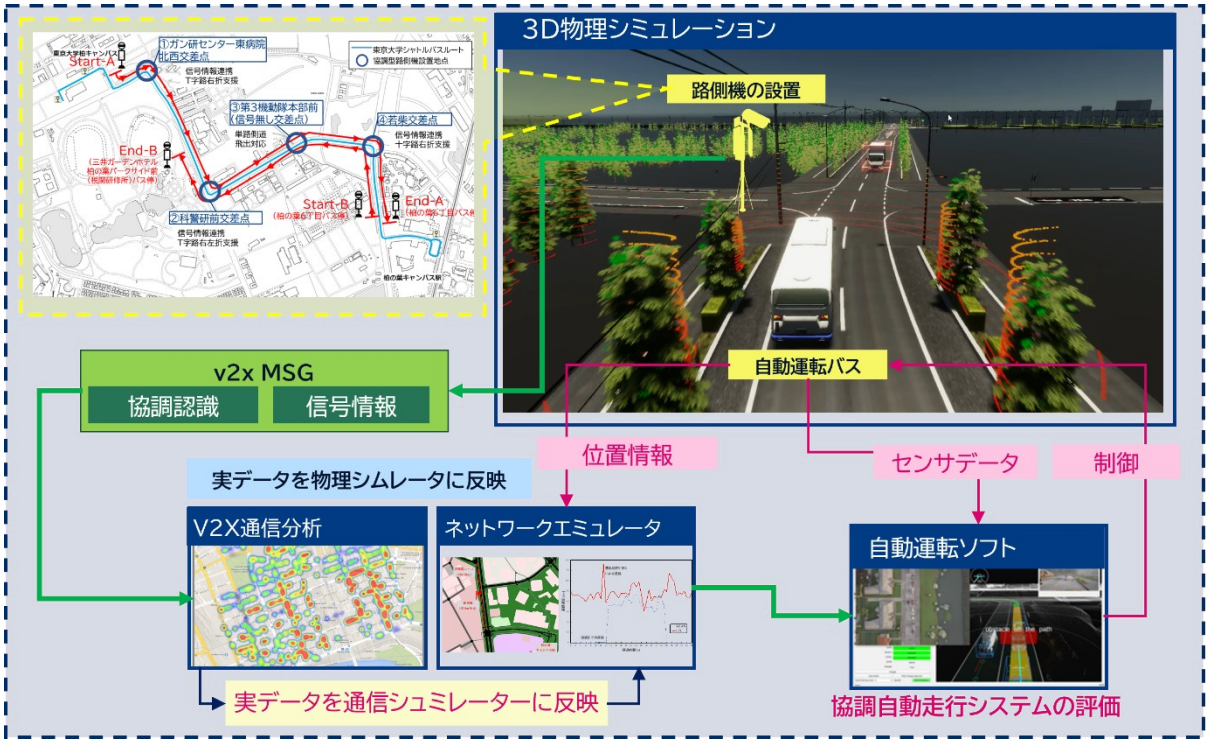


図 283　シミュレータへの路側機の組み込み

① 路側センサーの組み込み

シミュレーション環境において、合計 4 台の路側機が配置されている。全ての路側機は、交差点の種類や協調認識を要するシナリオに応じて、歩行者や車両を検出するための LiDAR やカメラといった検出センサーを装備している。センサーの種類、数、検出範囲、および配置場所は、仕様と実験データに基づいている。路側機 1 では、3 つのセンサーからのデータが使用されている。1 つの LiDAR は接近する車両を検出し、2 つのカメラは歩行者や自転車を検出するためにある。路側機 2 は、実際の環境の配置を模倣して、2 つのカメラのみを装備している。路側機 3 は、通りから接近する車両、自転車、または歩行者を監視するために、1 つの LiDAR センサーを使用している。路側機 4 には、合計 5 つのセンサーを設置している。1 つの LiDAR センサー、2 つのカメラ、2 つの 360 カメラを設置している（図 284)。

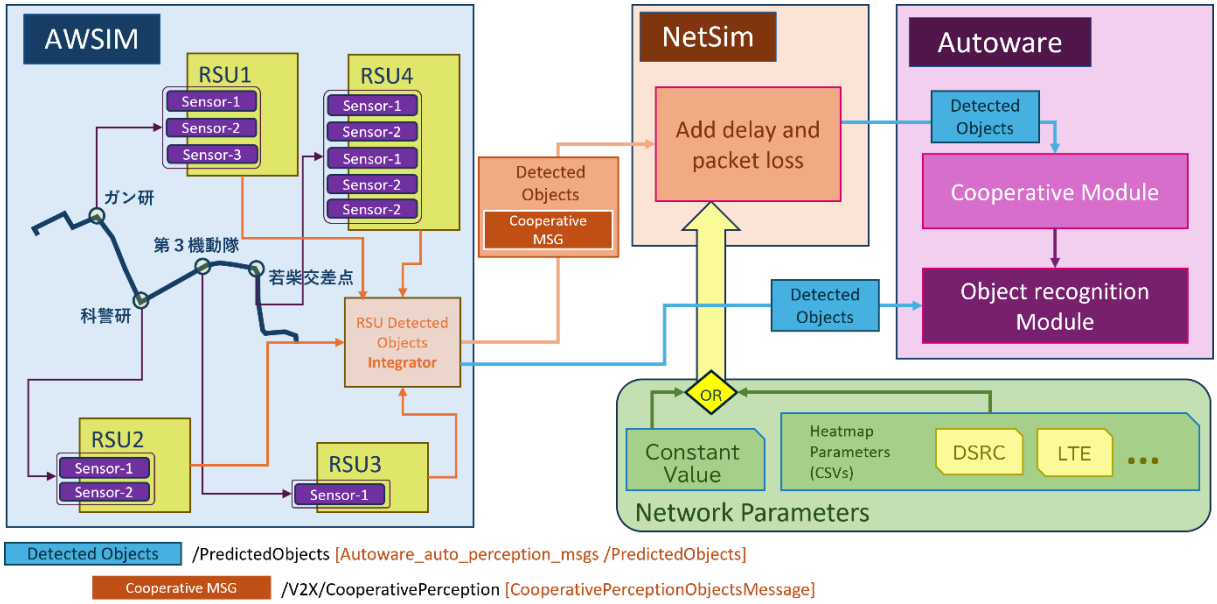


図 284　路側機センサーの組み込み全体像

センサータイプの実装における AWSIM の機能は、LiDAR やカメラといった実際のセンサーを設置し、生のセンサーデータを収集することが可能である。しかし、本シミュレーションでは実際の生のセンサーデータは使用せず、代わりに Pseudo センサーを開発して使う。その選択に至った理由は以下の通りである：

- 現行の RSU センサータイプは AWSIM に実装されておらず、AWSIM 内で実際のセンサーを用いるためには、これらのセンサーを一つずつ実装する必要があり、この作業は大幅な時間とコストを要する。
- 実際のセンサーを使用する場合、検出モジュールを実装する必要が生じるが、各サプライヤーには独自の物体検出モジュールがあり、その情報が非公開であることが少なくない。このため、実際の検出プログラムやアルゴリズムの利用が難しくなり、実際の検出アルゴリズムが利用できない場合には、生のセンサーデータを実装し、検出を行うことに意味がなくなる。
- さらに、本シミュレーションでは RSU 側に 11 個、車両側に約 13 個のセンサーが設置されている。シミュレーションでこれら全てのセンサーの生データを用いて検出アルゴリズムを実行することは、シミュレーションを非常に遅くし、現実的ではなくなる。

したがって、センサーについては、AWSIM に実装された Pseudo センサーを使用している。これらのセンサーの詳細は以前に説明されている。これらのセンサーは、自動運転車両または RSU のいずれかで使用することができる。検出範囲、垂直および水平視野、検出閾値、さまざまな種類のノイズなど、Pseudo センサーのパラメータを設定することで、各センサータイプから得られる検出された物体の結果を合成することができる。

図 285 と図 286 では、シミュレータに設置された RSU センサーが示されている。

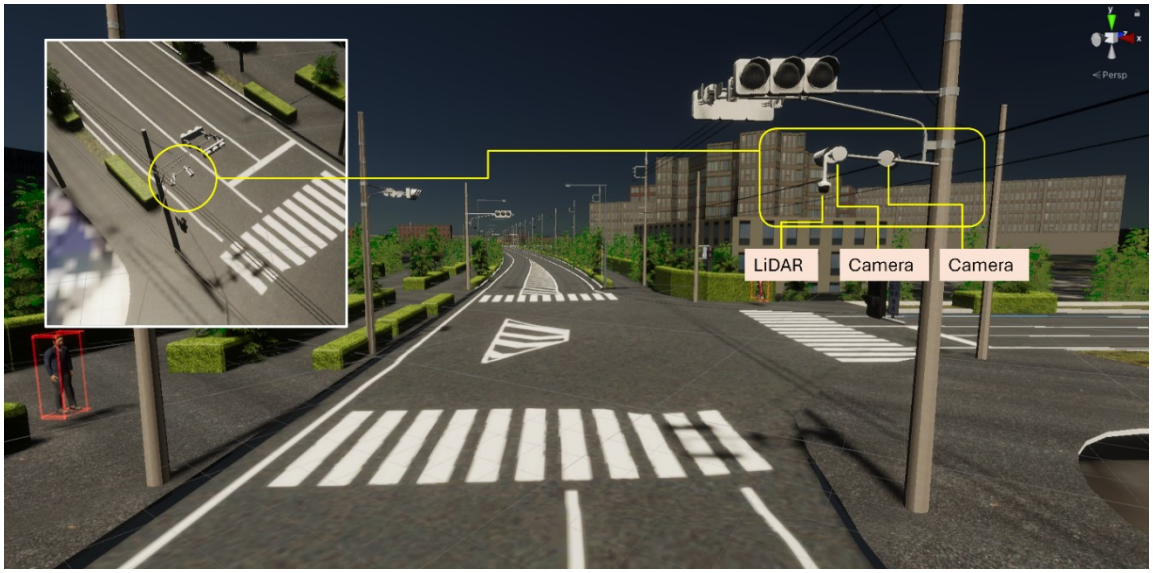


図 285　シミュレータでのガン研の路側センサー

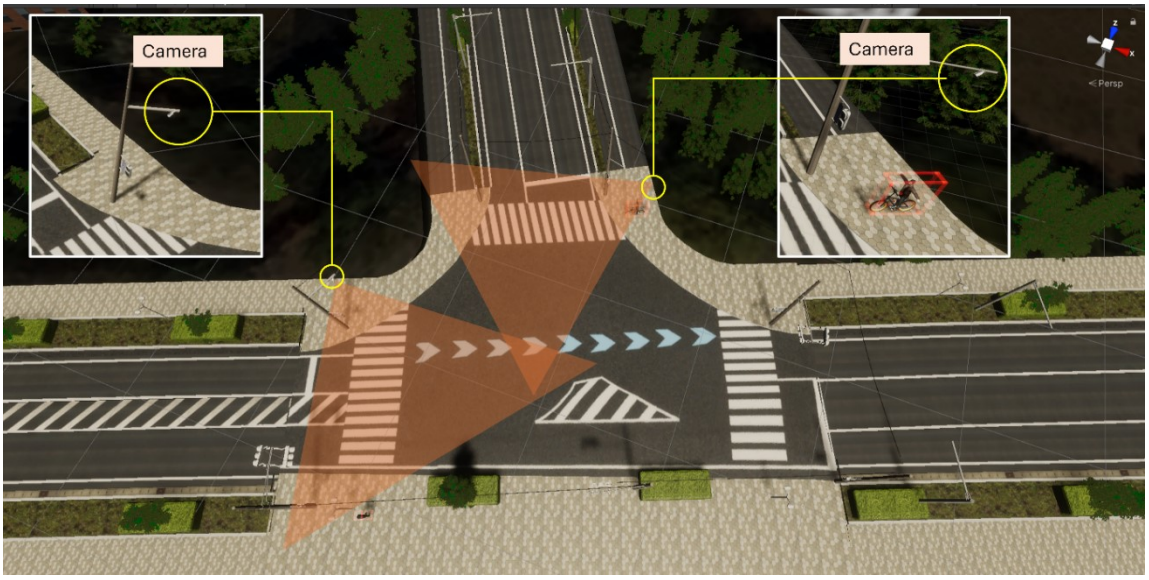


図 286　シミュレータでの科警研の路側センサー

協調自動運転の評価において重要な点の一つとして、交差点内のどの物体が車両センサーによって検出不可能か明らかにすることである。又、車載センサーの範囲外や車両の死角にあるために物体が検出できない場合、その物体が RSU によって検出できるかどうかを明らかにする必要がある。したがって、シミュレーションの可視化ウィンドウではこれらの物体を区別する必要がある。そのため、このシミュレータでは、検出の種類に基づいて 3 種類の物体を可視化することができる。これらの物体は、赤、青、緑のバウンディングボックスの色によって可視化される。この可視化は、歩行者、車両、自転車に適用される。

- 緑のバウンディングボックス：車載センサーによって検出された物体（少なくとも一つの車載センサーによる）
- 青のバウンディングボックス：車載センサーによっては検出されなかったが、RSU センサーによって検出された物体
- 赤のバウンディングボックス：車載センサーでも RSU センサーでも検出されなかった物体

図 287 は、シミュレータで各 RSU センサーによって検出された物体を色分けして可視化している様子を示している。各シナリオで自動運転バスは交差点で停止し、RSU センサーは感知範囲内の物体を検出している。バウンディングボックスの色は上述の通りであり、その検出タイプに基づいている。



図 287　RSU センサーで検知された物標の可視化

図 284 に示されているように、各路側機の各センサーで検出された物体は物体統合モジュールの detected objects integrator に送られる。この統合モジュールは、まず物体の重複を探し出し、すべての重複を除去する。次に、単純な方法を用いて物体の次の経路を予測する。将来の経路予測には、物体の直前の 2 つの位置を使用し、この 2 つの位置に基づいて物体の将来の経路が検出される。その後、検出された物体情報と予測情報が協調メッセージに組み込まれ、ROS メッセージとして送信される。現在このモジュールでは 2 種類のメッセージタイプが実装され、Publish されている。

- 一つは、Autoware に直接統合できる/Autoware_auto_perception_msgs /PredictedObjects メッセージタイプである。このメッセージタイプはテスト目的で Netsim をバイパスするために生成される。このメッセージタイプは、Autoware のオブジェクト認識ロジックによって直接受信および処理されることができる。Autoware には二種類の認識された物標を示

すメッセージタイプがある。①DetectedObjects で、もう一つは②PredictedObjects である。DetectedObjects のメッセージタイプには予測情報フィールドがないため、PredictedObjects メッセージタイプが使用される。

- 二つ目のメッセージタイプは NetSim に送信され、NetSim を通じて Autoware に伝達されるものである。これには、/CooperativePerceptionObjectsMessage と呼ばれる新しい協調メッセージタイプが実装されている。このメッセージタイプには、センサータイプ、ステーション ID（RSU ID)、センサーの位置、およびオブジェクト情報が含まれる。路側機の位置、Station ID、およびセンサータイプは、自動運転車両に必要な情報である。CooperativePerceptionObjectsMessage 内のオブジェクト情報には、/Autoware_auto_perception_msgs/PredictedObjects が使用される。これには、AWSIM から抽出されたオブジェクトのタイプ、検出されたオブジェクトのサイズ、速度、向き、信頼度など、オブジェクトに関する情報が含まれている。さらに、このメッセージには車両の予測される将来の経路も含まれている。又、/CooperativePerceptionObjectsMessage では、NetSim 内でネットワークパラメータを抽出するために路側機 ID（Station ID）が使用される。NetSim では、各メッセージに含まれている Station ID とセンサータイプを基にパケットロスやパケット遅延などの通信状態をエミュレートすることができる。したがって、NetSim は Station ID とセンサータイプ（オブジェクト情報メッセージまたは交通信号メッセージか）を確認し、使用するネットワークパラメータを決定する。

これら 2 つのメッセージタイプとその詳細は図 288 に示されている。

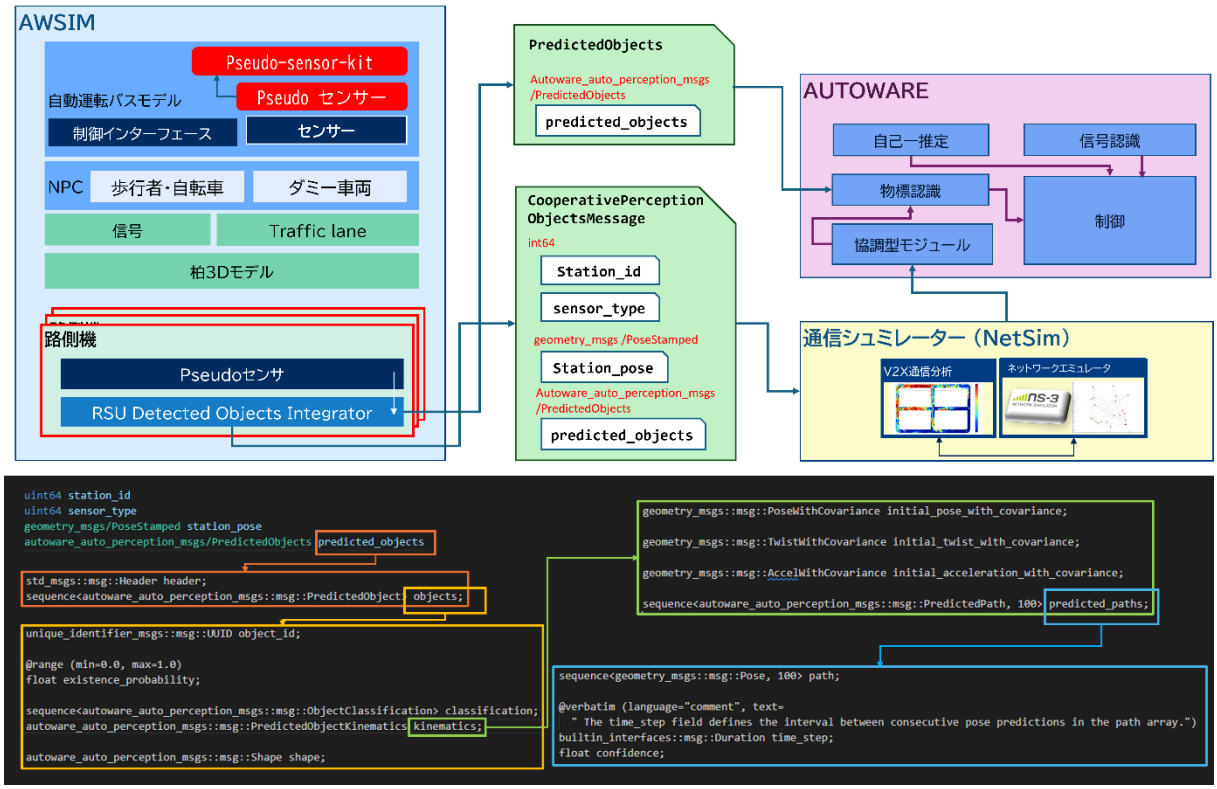


図 288　路側機センサーのメッセージフォーマット

② 信号モジュールの組み込み

路側機から送信する必要があるもう一つのメッセージは、各交差点の信号機の状態を示す信号情報メッセージである。4 つの交差点のうち 3 つが信号機を備えており、路側機を通して車両に信号状態が送信される。したがって、本シミュレータでは実世界を反映して、3 つの RSU が信号機から交通信号の状態を受け取り、それらを統合してから車両に送信するように実装されている。このプロセスは図 289 で示されている。

路側機 1、2、および 4 には交通信号が装備されている。シミュレーションの重要な側面の一つは、交通信号情報が自動運転バスによる交差点のスムーズな通過をどのように支援できるかを観察することである。交差点 1 および 2 では、時差式交差点であり、右折を意図している車両は、前方の車の信号機が赤になった後でも、その交通信号がさらに 9 秒間青のままであるため、追加の時間を使って右折することができる。シミュレーション環境内での効果を正確に調査するためには、シミュレーションにおいて交通信号周期を確実に実装する必要がある。したがって、2 月 21 日に柏の葉での行動走行実験のデータを使用し、路側機から収集された信号情報を分析した。実験データでの信号情報の周期を抽出しシミュレータ内の信号機に実装された。図 290（ガン研交差点①）図 291（科警研交差点②）図 292（若柴交差点④）には、これらの信号周期の状態と変更時間が示されている。

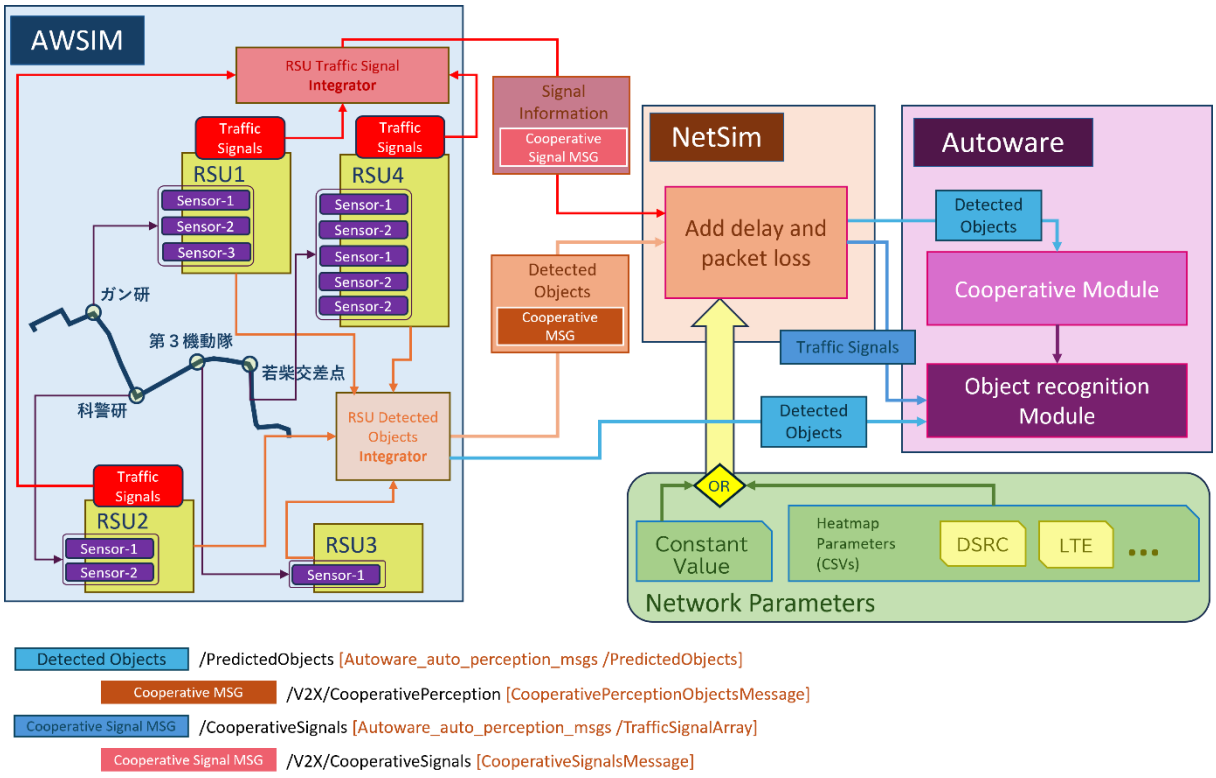


図 289　路側機の信号情報送信モジュールの全体像

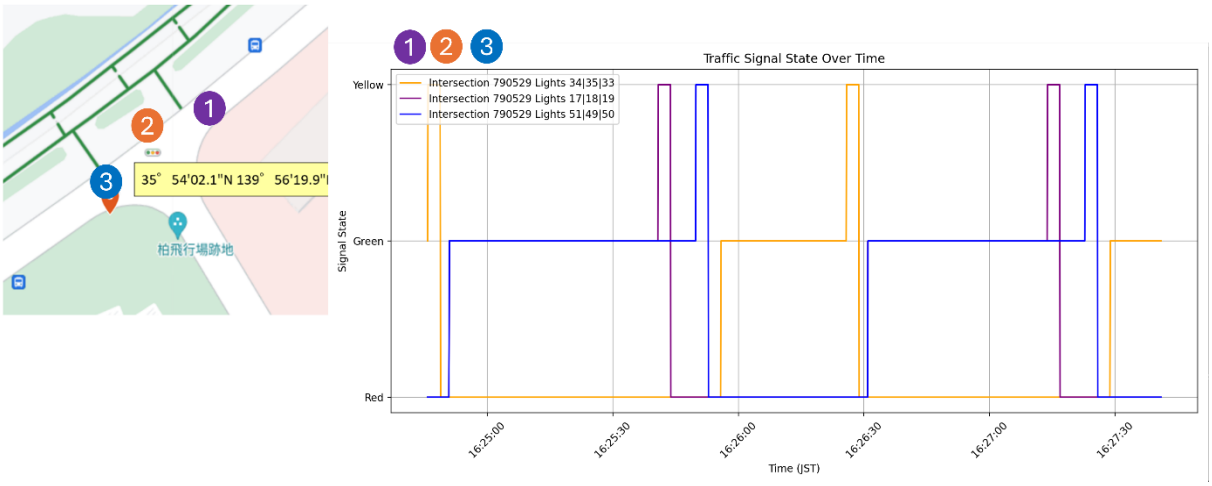


図 290　ガン研交差点①時差式信号の信号サイクル（実験データから抽出）

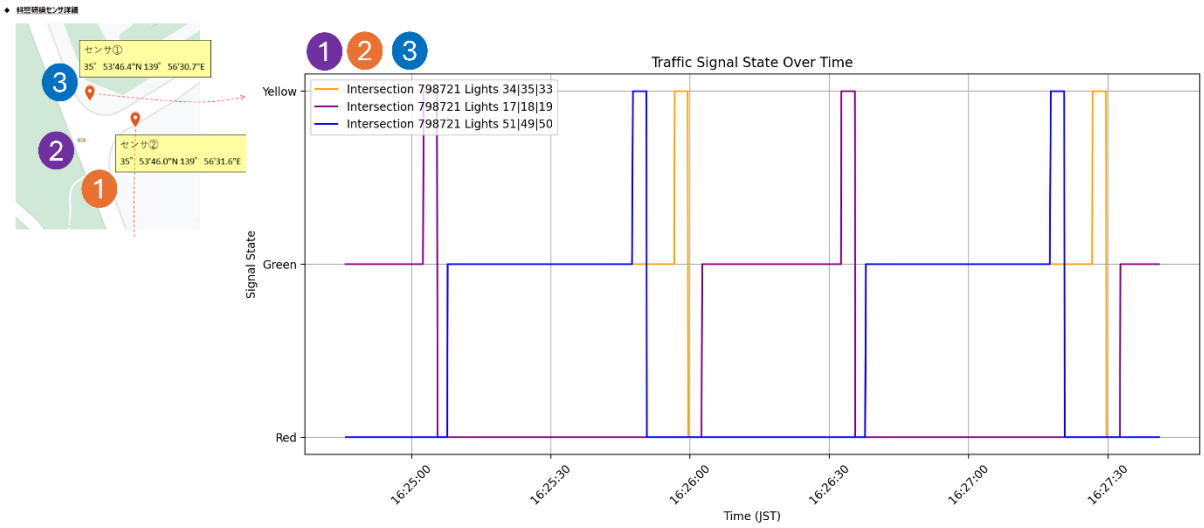


図 291　科警研交差点②時差式信号の信号サイクル（実験データから抽出）

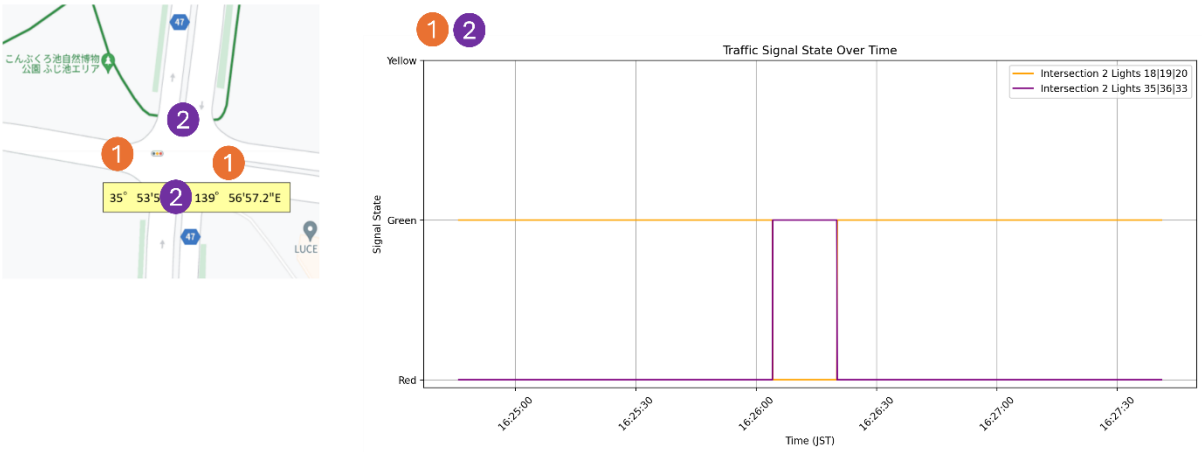


図 292　若柴交差点④時差式信号の信号サイクル（実験データから抽出）

シミュレーション内の各信号機からは、まず情報が路側機に送信される。路側機はこれらの情報をすべて統合し、信号情報統合モジュール（RSU Traffic Signal Integrator）に送信する。そして、信号情報統合モジュールは、それらの RSU（交差点）ID と共に全ての交通信号配列を NetSim に送信する。交差点 ID は二つの理由で伝達される。一つは自動運転車両がどの交通信号がどの交差点に対応しているかを知るためであり、もう一つは NetSim が各路側機特有の通信パラメータをエミュレートするためである。

本シミュレータでは固定の交差点 ID を使用する代わりに、シミュレータでは各交差点の停止線に付属されている stop_line ID が使用されている。この値は、柏の葉 DM 路側機で定義された Constant な値に基づいて、必要に応じて変更することが可能である。

この情報を伝達するために使用されるメッセージのフォーマットとその詳細を図 293 に示されている。

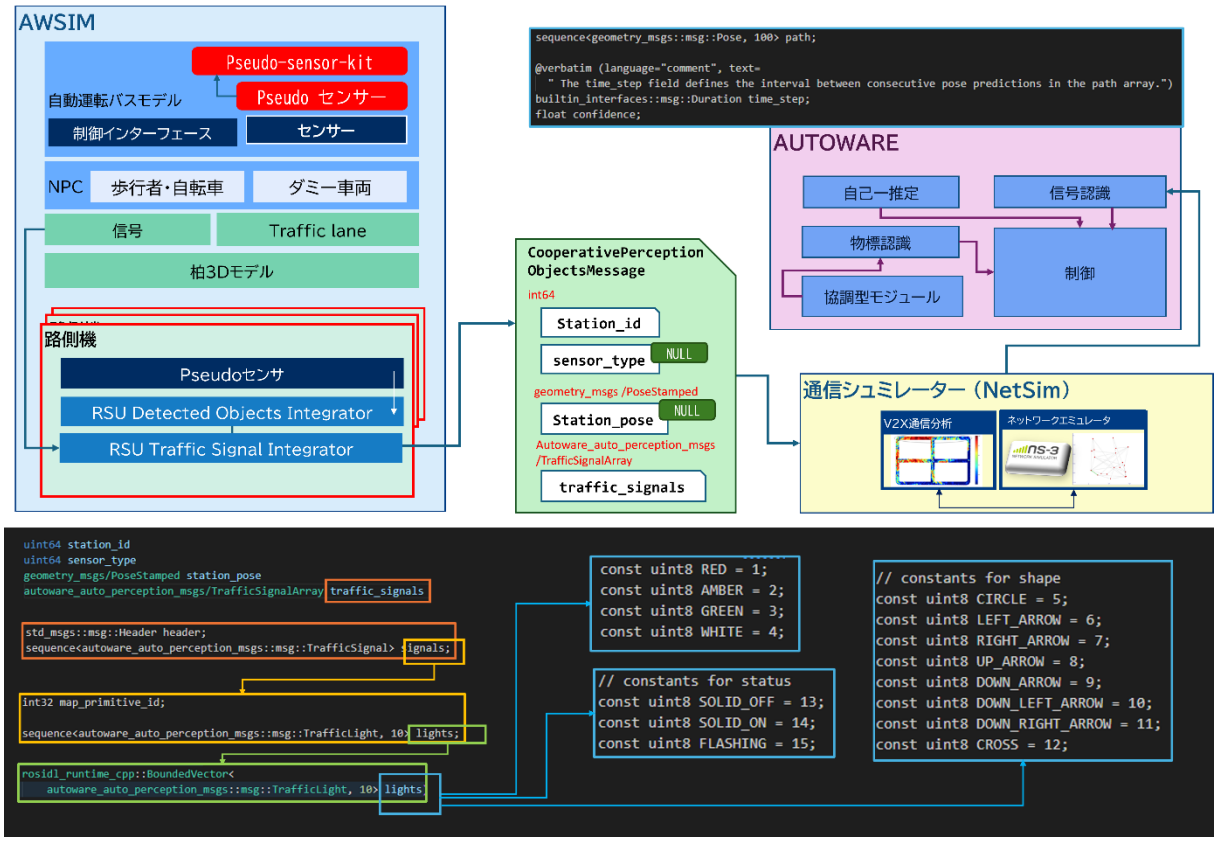


図 293　信号情報のメッセージフォーマット

車両に信号情報を送信するためには、/CooperativeSignals という独自のメッセージフォーマットが使用された。このメッセージには、ステーション ID、ステーションの位置、および Autoware_auto_perception_msgs/TrafficSignalArray が含まれている。/TrafficSignalArray には各交差点に設置されているすべての信号情報の状態配列が含まれる。

iii) NetSim：通信シミュレータ

NetSim は、E2E-V2X シミュレータでの通信を再現する機能（通信シミュレータ）である。NetSim は、指定された ROS トピックに Subscribe し、ROS メッセージを受信した後、決められた通信遅延やパケットロスを与えることにより実際の通信状態をシミュレーション環境で再現することができる。

NetSim は、AWSIM と Autoware モジュールの中間に位置する。NetSim は、AWSIM 上の路側機によって生成された協調認識メッセージを受け取り、まずそのメッセージを Autoware が理解可能なメッセージフォーマットに変換する。そしてそのメッセージを通信パラメータから抽出した指定のパケットロス率と遅延に基づき Autoware 側に Publish（送信）する。従って、NetSim の役割は、遅延やパケットロスなどの通信パラメータの再現と、Autoware が理解できる ROS メッセー

ジフォーマットへの変換である。

図 294 は、V2X シミュレータの全体のレイアウトと NetSim の位置付け、AWSIM そして Autoware との関係を示している。

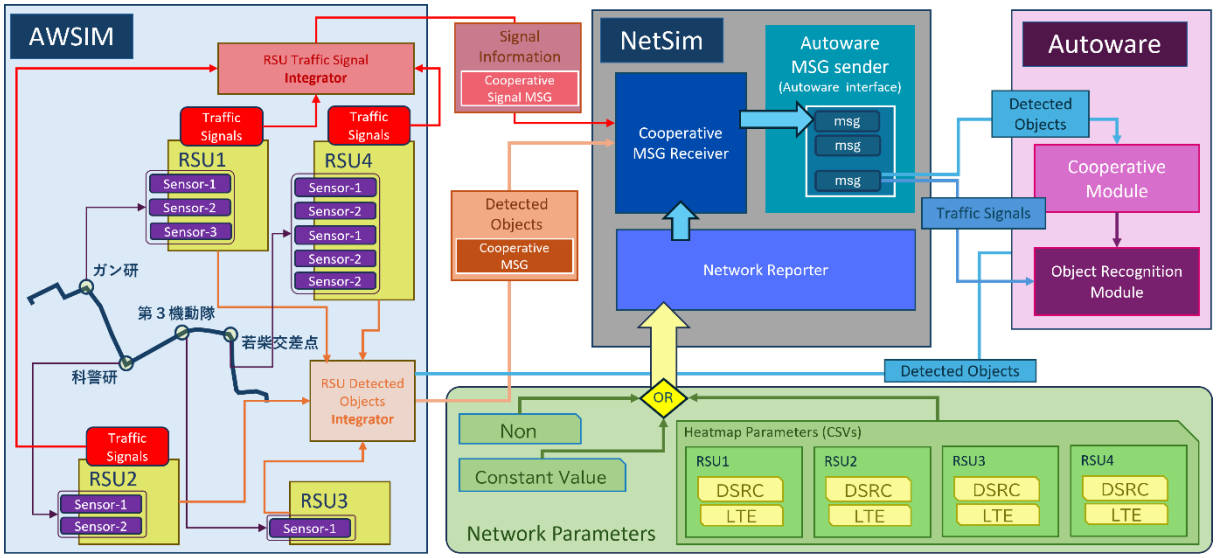


図 294　V2X シミュレータの全体のレイアウトと NetSim の位置付け

以下に NetSim のアーキテクチャと仕組み、そして動作方法について説明する。

NetSim は ROS（Robot Operating System）ベースのコンポーネントで協調認識メッセージ送受信の際にパケットへ実際の通信状態をシミュレートするために設計されている。図 295 に NetSim が AWSIM から受け取った 6 つのパケットに対して通信状態を考慮し Autoware に送っている例が示されている。パケット#2 とパケット#5 は通信状態により、ドロップされ Autoware には届かない。パケット#1, 3, 4, 6 は特定の遅延を与えて Autoware に送られる。

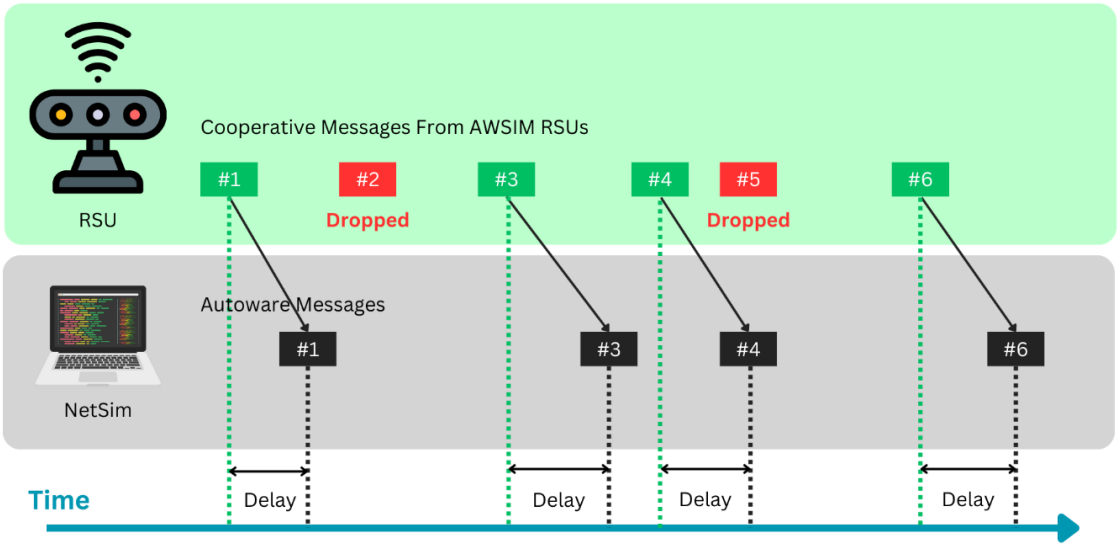


図 295　NetSim の動作例

NetSim が扱う 3 つの協調認識メッセージの Topic を下記に記述する。

- 物標情報
- 信号情報
- フリースペース情報（※今年度はこのメッセージは AWSIM から送信されないが NetSim では追加されている）

NetSim は、特定のトピックを扱う 3 つの主要なノードから成り立っている。これらのノードを図 296 に示している。

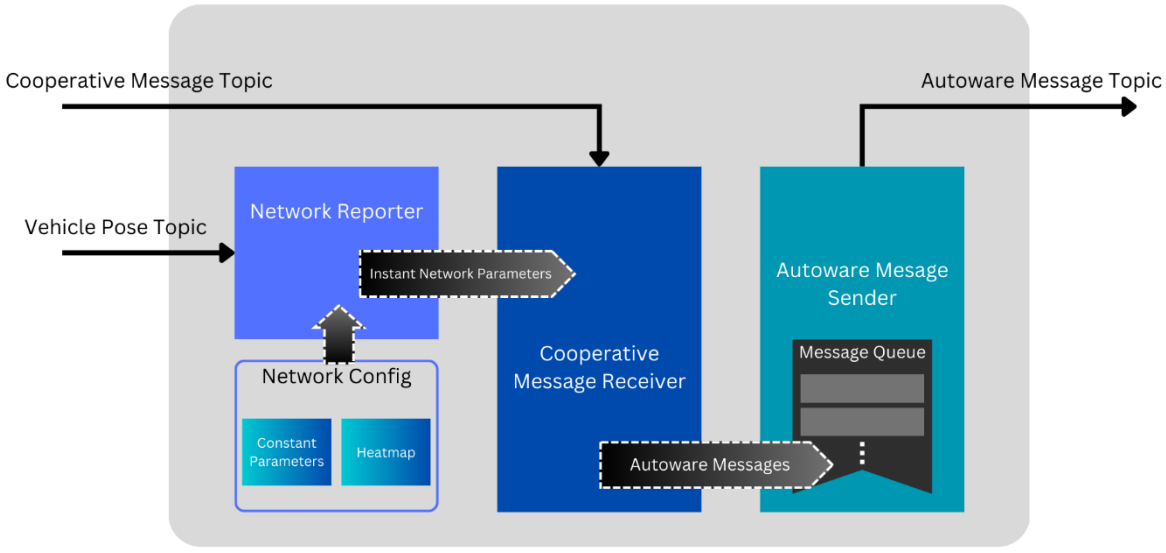


図 296　NetSim の全体像とその ROS ノード

① 通信レポーターNODE：

ネットワーク状況を指定された 3 つのモードで再現する役割がある。このノードの仕組みを図 297 に示している。この通信レポーターNODE が再現可能な 3 つの通信モードを下記に記述する。

- None：

  遅延やパケットロスのない理想的なネットワーク条件をシミュレートする

- Constant：

  全ての路側機とトピック群に対して固定値の遅延とパケットロスを適用する

- Heatmap：

  車両の位置と路側機の状態に基づいて通信条件を動的に調整するためにヒートマップファイルから通信データを読み取る。これらのヒートマップファイルは CSV 形式で実際の実験で得られた値を保存したものである。各路側機の通信手段（セルラー、ITS 無線機）に対し、車両の位置を考慮したヒートマップが用意できていることが前提である。例えば今回のシミュレーションでは、公道実験での通信パラメータを各路側機事に抽出したものを使っている。4 つの路側機、そして各路側機で 2 つの通信手段があるので合計で 8 つのデータを使っている。これらのデータから最終的に 1 つの通信ヒートマップを作製し通信の際現に使用している。

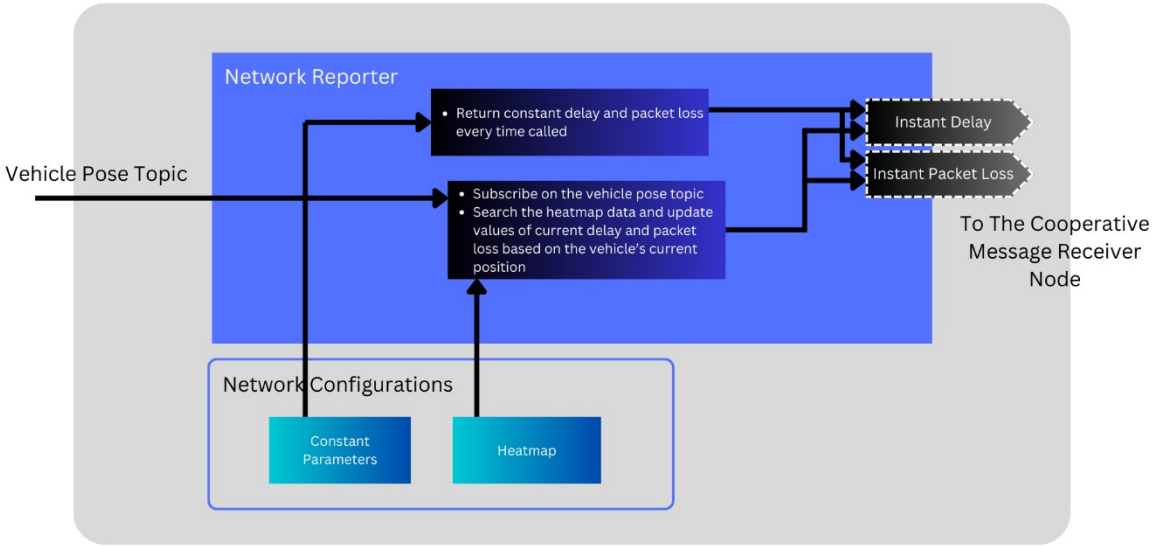


図 297　NetSim：通信レポーターNODE の仕組み

② 協調認識メッセージ受信 NODE：

路側機からの情報を含むカスタム ROS メッセージである協調認識メッセージを受信する ROS ノードである。このノードは、通信レポーターNODE によって読みとった通信条件に基づいてメッセージを処理し、特定の RSU ID とその通信に従ってメッセージをドロップさせたり送信の遅延を

与える役割を持つ。このノードは、協調認識メッセージを受け取り、そのメッセージに含まれるAutoware メッセージを抽出し、現在の通信パラメータに基づいてそのメッセージを Publish するかドロップするかを決め、そしてその Publish 予定時刻を計算し、送信ノードのメッセージキューに挿入する。全体のアーキテクチャは、このノードの仕組みを図 298 で示している。

図 298 に示しているように、このノードは、割り当てられた協調認識メッセージトピックをに Subscribe する。新しいメッセージが届くと、そのメッセージに含まれる RSU ID に関する情報を持って通信レポーターNODE を呼び出し、現在のパケットロス値を取得する。この値に基づきそのメッセージをドロップするかどうかを決定する。メッセージを保持することになった場合、Autoware のメッセージに変換し、RSU の ID を使って通信レポーターノードを呼び出し、現在の遅延値を取得する。取得した遅延に基づいて、新しいメッセージの Publish 予定時刻を計算し、最終的に Publish 予定時刻スタンプ付きで抽出したメッセージをメッセージ送信のキューに登録する。

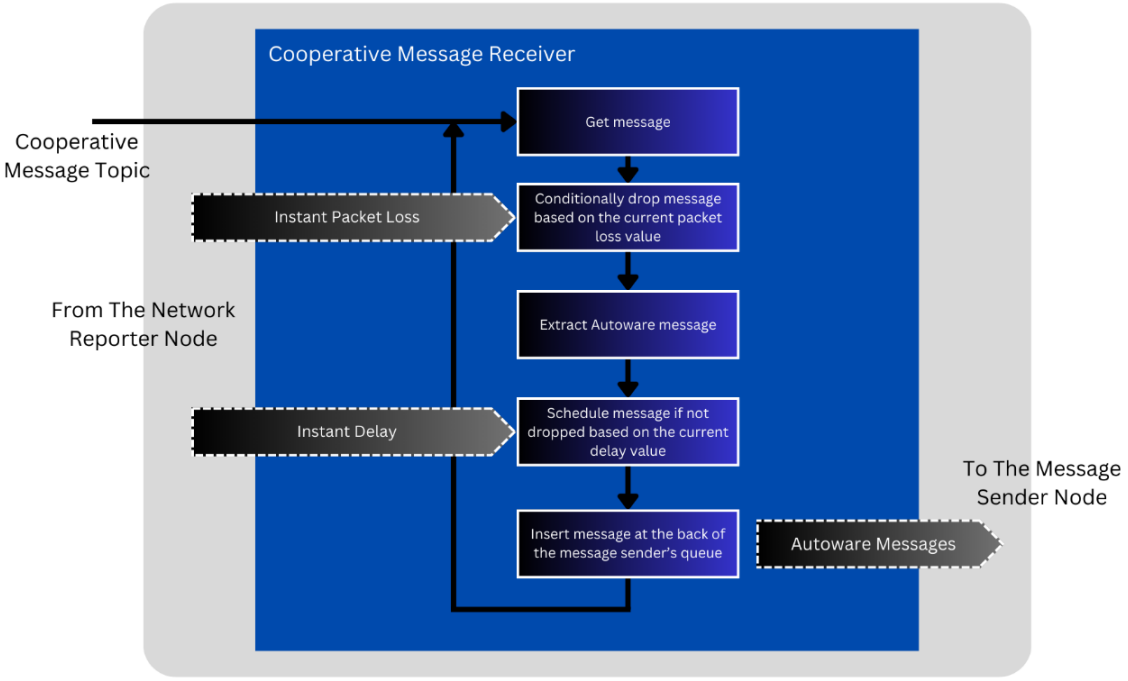


図 298　NetSim：協調認識メッセージ受信 NODE の仕組み

③ Autoware メッセージ送信 NODE：

処理された協調認識メッセージを Autoware が理解可能な ROS メッセージに変換し、それを Autoware に Punblish（送信）する。これにより、Autoware では、シミュレートされたネットワーク条件に基づいたパケットの受信を可能にする。メッセージは NetSim のこのノードで変換されるので直接Autoware でこれを使って制御できるようにしている。このノードの仕組みを図 299

に示している。

Autoware メッセージを扱うメッセージ送信 NODE の操作について、メッセージキューとのやり取りに焦点を当てて説明する。

メッセージ受信およびキューへの挿入：メッセージ受信ノードは Autoware メッセージを受け取り、それらを送信ノードのメッセージキューの後ろにタイムスタンプ付きで挿入します。このタイムスタンプは、そのメッセージが Publish される予定の時刻を決める。この設定により、メッセージは受け取られた順序でキューに入れられ、First-In—First-Out（FIFO）の原則に従います。

- 送信ノードによるメッセージキューの管理

  送信ノードはメッセージキューを継続的に監視する。新たにキューに挿入された場合に反応するように設計されている。
- メッセージの処理と Publish
  - キューに新しいメッセージがあることを検出すると、送信ノードはキューの最前部にあるメッセージを取り出す（Pop）。この操作は FIFO 順序に従いメッセージがキューに入れられた順序で処理されることを保証する。
  - 次に、送信ノードはメッセージの予定された Publish 時刻に到達するまで待機状態（Sleep）に入る。この遅延により、各メッセージはタイムスタンプに従って正確に Publish されることが保証されます。
  - 予定時刻が来たら、送信ノードは指定されたトピックにメッセージを Publish し、そのトピックに Subscribe している他のコンポーネントやノードが情報を利用できるようにします。

このメカニズムにより、メッセージが Publish される時刻を正確に制御でき、実世界の通信状態の再現に必要な遅延を生み出すことが可能になる。

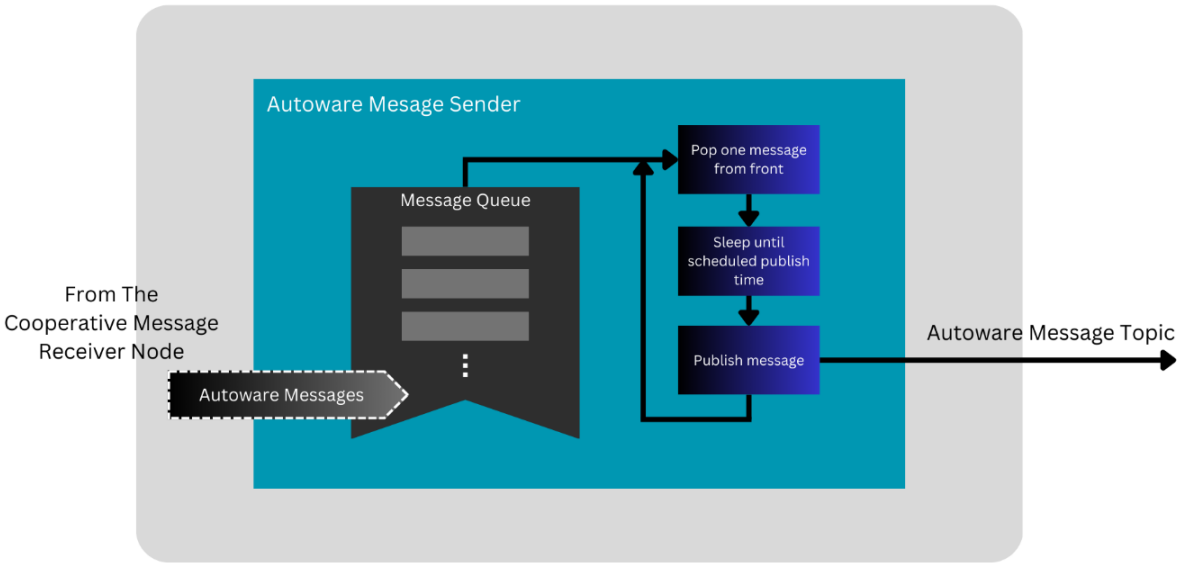


図 299　NetSim：Autoware メッセージ送信 NODE の仕組み

iv)　E2E-V2X シミュレータのログシステム

本シミュレータにおいて、路側機から自動運転バスへ送信される協調認識メッセージの効果を評価するために、ログシステムが実装されている。このログシステムを利用して、自動運転バスと路側機モジュールをシミュレータ上で稼働させ、指定された経路で車両を動かし、各実験から様々なログを収集することができる。

現在の実装には、下記の三種類のログシステムが含まれている。

- 各交差点と RSU が仮想的に配置された場所に割り当てられたログシステム
- バスが稼働している間に発生するイベントを記録する、自動運転バスに割り当てられたログシステム
- すべてのコンポーネント（AWSIM,Autoware,NetSim）のあらゆるイベントを記録するログシステム

まず、各交差点に対するログシステムについて説明する。図 300 に示されるように、路側機が設置されている各対象交差点の周辺をログ領域（LogBox）としてシミュレータに設定する。この LogBox 内の全活動は実行時間中に記録されるようになっている。各交差点のログに記録される情報は以下の通りである：

- LogBox にいるすべての物標の Ground truth の位置情報
- 自動運転バスの経路
- 車載センサーによって検出可能な物標
- 路側センサーによって検出可能な物標
- 検出が不可能であった物標

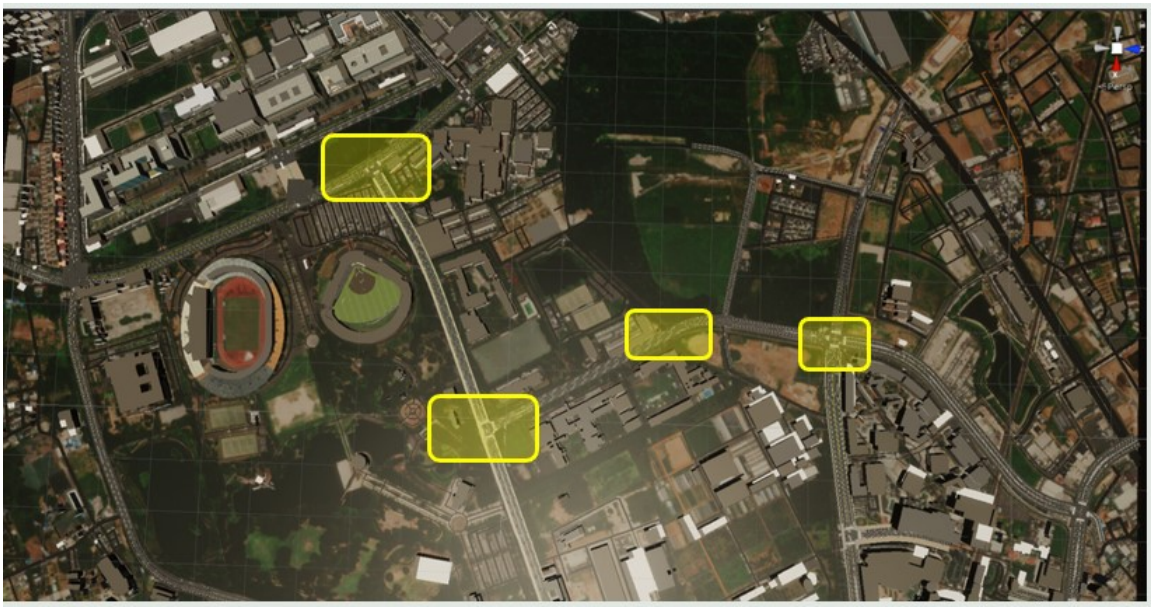


図 300　ログシステムが記録する領域（LogBox の位置）

この情報は、Python のプロットライブラリを使用して Open street map の地図上にプロットすることができる。以下にそのプロットの例をいくつか示す。まず図 301 では、バスの軌跡が表示され、位置情報の密度が色の濃淡で示されている。暗い色は車両の密度が低い領域を表し、明るい色はデータの密度が高い領域を示している。色が明るい、高密度の場所では、バスがより頻繁に停止したことを意味する。

図　302 では、検出された物体が地図上にプロットされている。これらのプロットは、図 302(a)の画像で指定された位置で自動運転バスを 5 分間停止させることによって得られたものである。自動運転バスのセンサーと路側機センサーによって検出された全ての物体はログファイルに記録され、図にプロットされている。

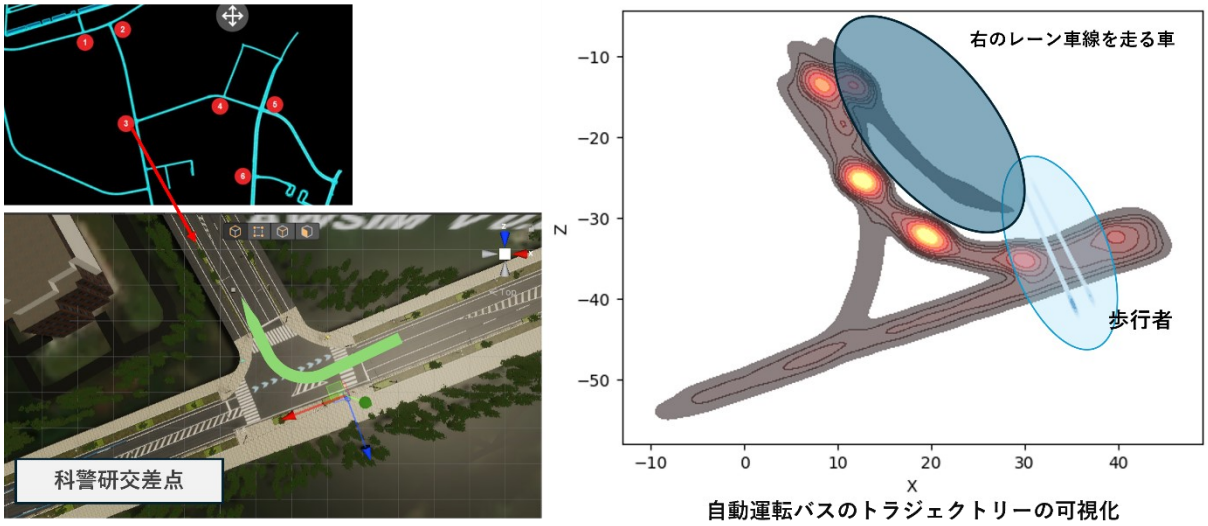


図 301　ログシステムのデータの可視化

また、図 302(a)では、シミュレータの実行時環境の可視化も示されている。図 302(c)で緑色の領域は自動運転バスによって検出された物体を表し、青は路側機によって検出されたもの、赤はどちらにも検出されなかった物体を表している。図 302(d)と図 302(e)を比較すると、路側機の検出範囲内にあり、図 302(d)で検出された一部の物体が図 302(e)では検出されていないことがわかる。これは、プロットが 5 分間の総観測を表しているためである。したがって、ある時期には可視であった一部の物体が、他の時期には動的な物体によって遮蔽される可能性があるため、可視ではない可能性がある。こういったシナリオがまさにこの例で起こっている。同様の現象が図 302(a)でも観察されているのがわかる。この図では自動運転バスの前にある 2 台の車両が赤色で示されている。これは、自動運転バスの車載センサーが、センサーの範囲内にもかかわらずそれらを検知できなかったことを意味する。これは、バスの前を横切って曲がる車があり、センサーの視界を遮蔽しているためであり、その結果、2 台の車が検出されなかった。

これら 2 つの例から説明されたように、このようなログシステムは協調自動運転システムの評価において重要な役割を果たすことが明らかである。

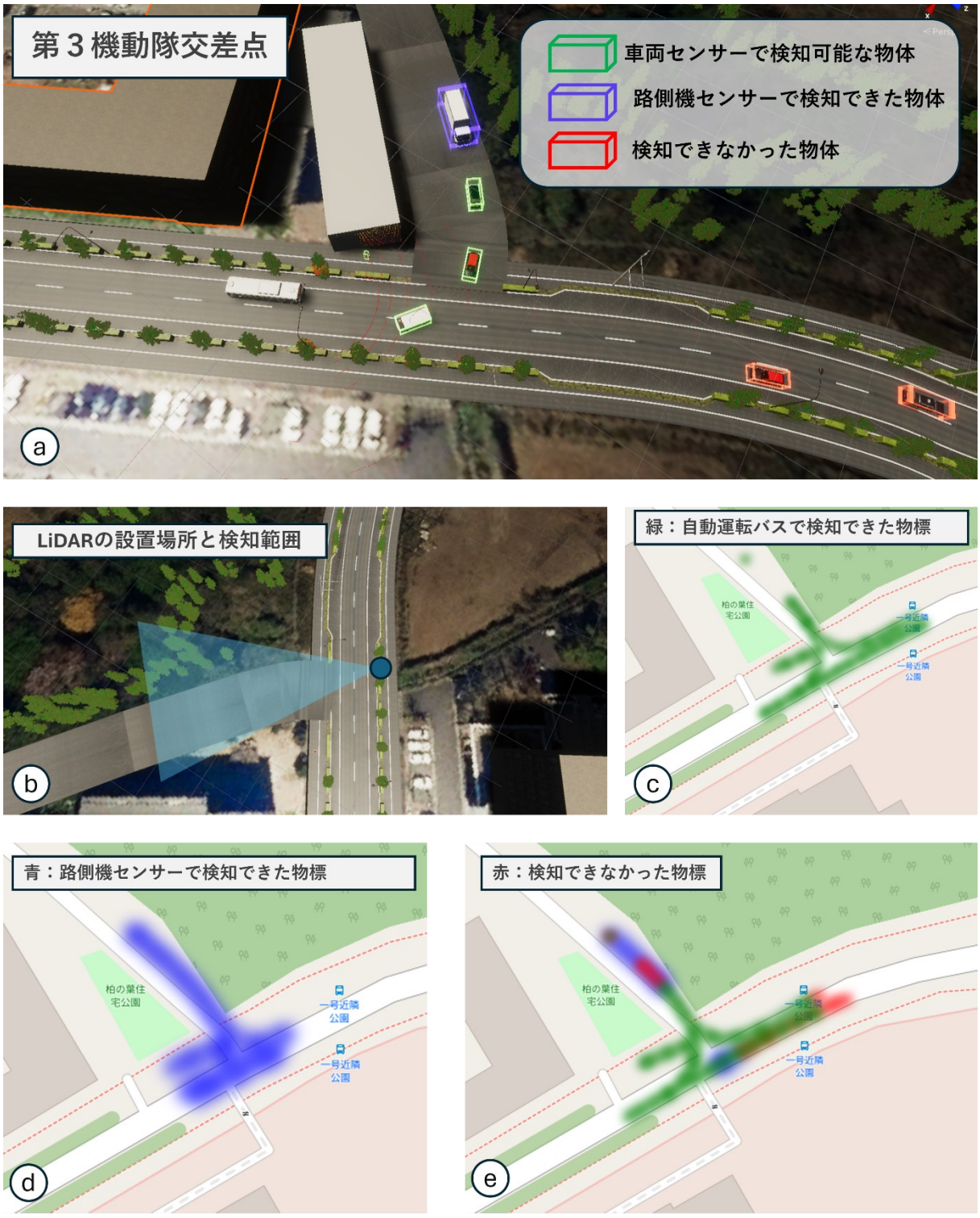


図 302　第三機動隊交差点でのシミュレータを使った評価例

このシミュレータは、自動運転バスに割り当てられたログ情報も収集することができる。このログファイルには、以下の情報が収集される。

- 自動運転バス位置情報（6DoF）、速度

- 事故、リスク（事故にあったオブジェクト）
- 急ブレーキ
- 急カーブ
- 長時間の停車状態

そして最後に、シミュレータの全てのコンポーネント、すなわち AWSIM、NetSim、および Autoware は ROS に基づいているため、シミュレータでの実験実行中に AWSIM および Autoware からの rosbag も記録することができる。これらの rosbag には、Autoware の全モジュールからの非常に低レベルの情報、例えばセンシング、パーセプション、計画モジュールなどが含まれている。さらに、AWSIM から記録された rosbag には、NetSim および Autoware へ送信された全メッセージが含まれており、後で必要に応じて処理され、データの分析を可能にする。

v) Autoware 協調型モジュールの開発

シミュレータに実装された協調認識機能を評価するためには、自動運転ソフトウエア（Autoware）で協調認識メッセージを受信し制御に使うモジュールの開発が必要である。そのため、Autoware 側に協調認識インターフェースが実装された。本プロジェクトのデータ連携プラットフォームでは 3 種類の協調認識メッセージ（物標情報、信号情報、フリースペース情報）が実装され車載 DM に送られる。シミュレータではこれ等の協調認識メッセージの内、物体情報と信号情報が実装されていた。また、自動運転車両の協調認識インターフェースでは、物体情報を受信し自動運転に利用するインターフェースのみが実装された。

これに加えて、AWSIM シミュレータに搭載された Pseudo センサーからの物標情報を自動運転ロジックに使用できるように、Autoware のモジュールを開発された。

一般に、Autoware モジュールは AWSIM からのセンサー生データを受け取り、自己一推定、認識、経路計画などのタスクを実行する。Autoware は LiDAR に大きく依存しており、シミュレータ内の車両から LiDAR によって受信された点群データを基に、ndt_matching アルゴリズムを用いた自己一推定が行われる。このマッチングアルゴリズムは、環境の点群マップを使い、LiDAR の点群とマッチングすることによって、車両の 6 自由度（DoF）位置情報を得る。協調認識の効果をはかる目標の場合、シミュレーション環境において自己位置推定の精度は評価する必要がないためこの機能をよりシンプルで計算量が少ないモジュールに書き換えた。

自動運転のもう一つの重要な機能は、物体認識である。Autoware において物標認識は、車両の LiDAR から得られる点群データで行われる。このモジュールでは、シミュレーター（AWSIM）からライダー点群を取得し、物体検出アルゴリズムを用いて周囲の物体を検出し、上層モジュールに渡す。既に述べたように、このプロジェクトでは、シミュレーション環境内に Pseudo センサーが実装されている。Pseudo センサーでは、画像やライダー点群などの生センサーデータを送信する代わりに、検出された物体が直接 Autoware 側に送信される。したがって、Autoware でもこれ

らの物体データを認識モジュールで扱えるようにプログラムの開発が行われた。新たに実装された Autoware の機能では、生のセンサーデータを受信せず、代わりに物体情報を受け取れるようにしている。また、生のセンサーデータがバイパスされることにより、自己一推定モジュールは AWSIM から直接取得した車両の位置情報を使用して位置を得る。

信号の状態とその検出は、路側機から送信される信号情報との比較・評価に重要であるため、これに関してはシミュレータから送られるフロントカメラの生画像が使用されている。Autoware モジュールに含まれる深層学習アルゴリズムを使用してこの画像データから信号の状態が抽出・分類される。

① 軽量自己位置推定モジュール

図 303 のように自己位置推定モジュール（ndt_scan_matcher）が軽量のモジュール（Pseudo_ndt_scan_matcher）に書き換えられている。

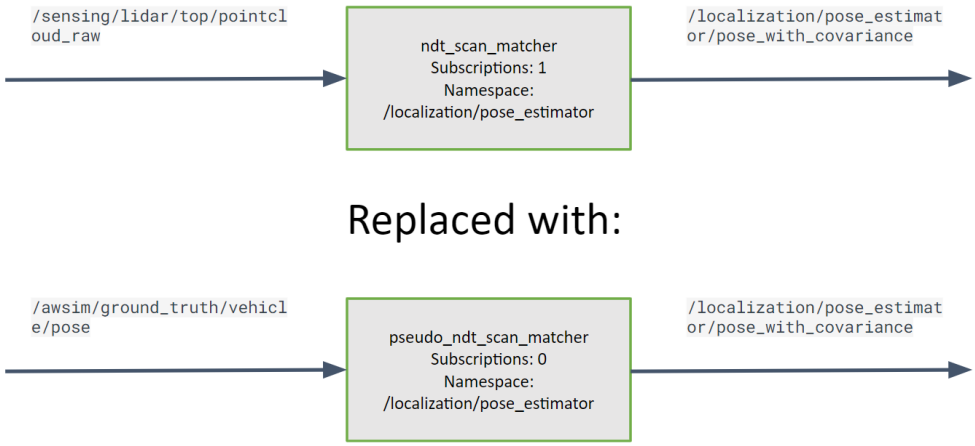


図 303　軽量自己一推定モジュール

② Pseudo センサー対応の認識モジュール

認識モジュールは、車両の LiDAR からの点群データに依存しないモジュールに書き換えられた。信号認識モジュールと物標認識モジュールが大きく LiDAR　に依存していたため、これらのモジュールを書き換えた。図 304 に新たに開発された LiDAR に依存しない信号認識モジュールを示している。

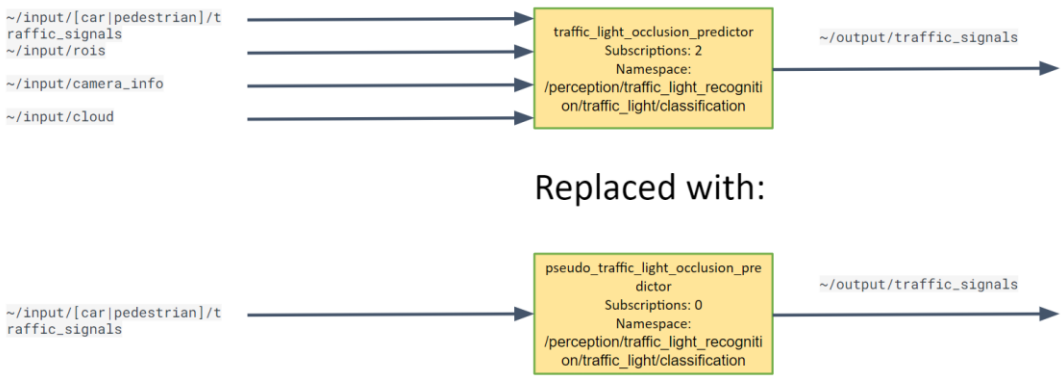


図 304　LiDAR に依存しない Autoware 信号認識モジュール

③ Autoware 協調認識インターフェース

現在 Autoware には協調認識メッセージを使用して車の制御を行う機能がない。協調型自動運転の評価をシミュレータ環境で行うためにはこの機能を開発し Autoware に追加する必要がある。Autoware には自律の認識モジュールがあり、車の周辺の物標を検知・予測する機能がある。従って、路側機から受信した協調認識メッセージを車両自身の認識結果とマージする必要がある。このマージを行うモジュール、cooperative_prediction_merger を開発した。cooperative_prediction_merger でマージされた物標情報は予測モジュールと制御モジュールで使われる。下記にこのモジュールの設計について記述する。

cooperative_prediction_merger はこれらすべての物標情報と路側機から送られてきた物標情報を単一の detected_object メッセージにマージし、それを Autoware の物標追跡と予測パイプラインで使えるように Publish する。図 305 は、ooperative_prediction_merger の入力と出力トピックとその仕組みを示している。この図で示しているように、cooperative_prediction_merger には 3 つの入力と 2 つの出力トピックがある。入力トピックは協調認識メッセージトピックと Autoware 自身の detected_object トピックと Predicted_object トピックで、出力は Merged_detection トピックである。協調認識メッセージはまずグローバス座標からローカル座標に変換され、他の物標とマージされる。このマージされた物標には Unique ID がつけられ Prediction モジュールに送られる。これらの物標情報は追跡・予測モジュールに送られ、物標の追跡、予測が lanelet 情報を基に Autoware のアルゴリズムで行われる。

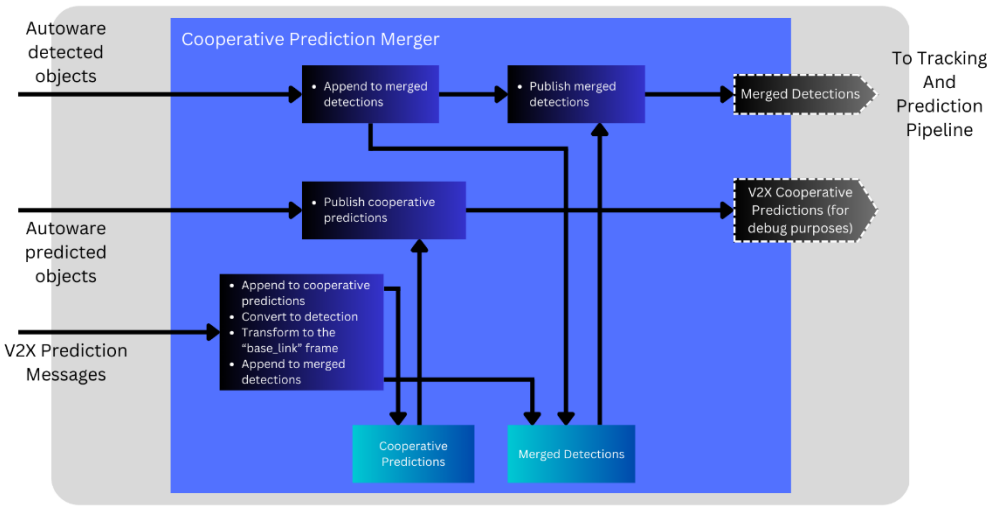


図 305　Autoware に追加された cooperative_prediction_merger モジュール

vi)　E2E-V2X シミュレータを使ったインフラ効果検証例

構築されたシミュレータの環境で柏の葉でのインフラ効果検証を行った例を説明する。本プロジェクトで定義された実証実験におけるインフラ効果検証対象ユースケースの中で、若柴交差点での下記の 2 つのシナリオを対象に定性評価（qualitative Evaluation）を行った（図 306）。

- 右折 2－⑤－1：対向右折待ち車両により死角が存在する場合の安全・円滑な発進判断
- 右折 2－⑤－4：右折先横断歩道に流入する歩行者・自転車を想定した安全・円滑な右折発進判断



図 306　インフラ効果検証対象ユースケース

令和 6 年度 2 月 22 日に行われた実証実験で、自動運転バスが若柴交差点を右折するシーンの様子を図 307 に示している。同じシナリオをシミュレータないで再現し、Autoware がどのような動作を行うか検証する。シミュレータが問題なく起動しデータを Autoware に送れるようにシミュレータの CLOCK を 0.42 に設定した。これは実世界の 1 秒がシミュレータ内では 0.42 秒であることを意味する。Autoware は協調型路側機から送られる情報と自律のセンサーで交差点の右折を行う。路側機からは物標情報のみが送られる。



図 307　先進モビリティスクリーン動画（令和 6 年 2 月 22 日の実証実験）

図 308～図 311 はこの右折シナリオでの Autoware の走行ステップを Step1（スタート地点）～Step10(目的地)に分けて説明している。これらの図では左側にシミュレータの画面を、右側には Autoware の画面を示している。

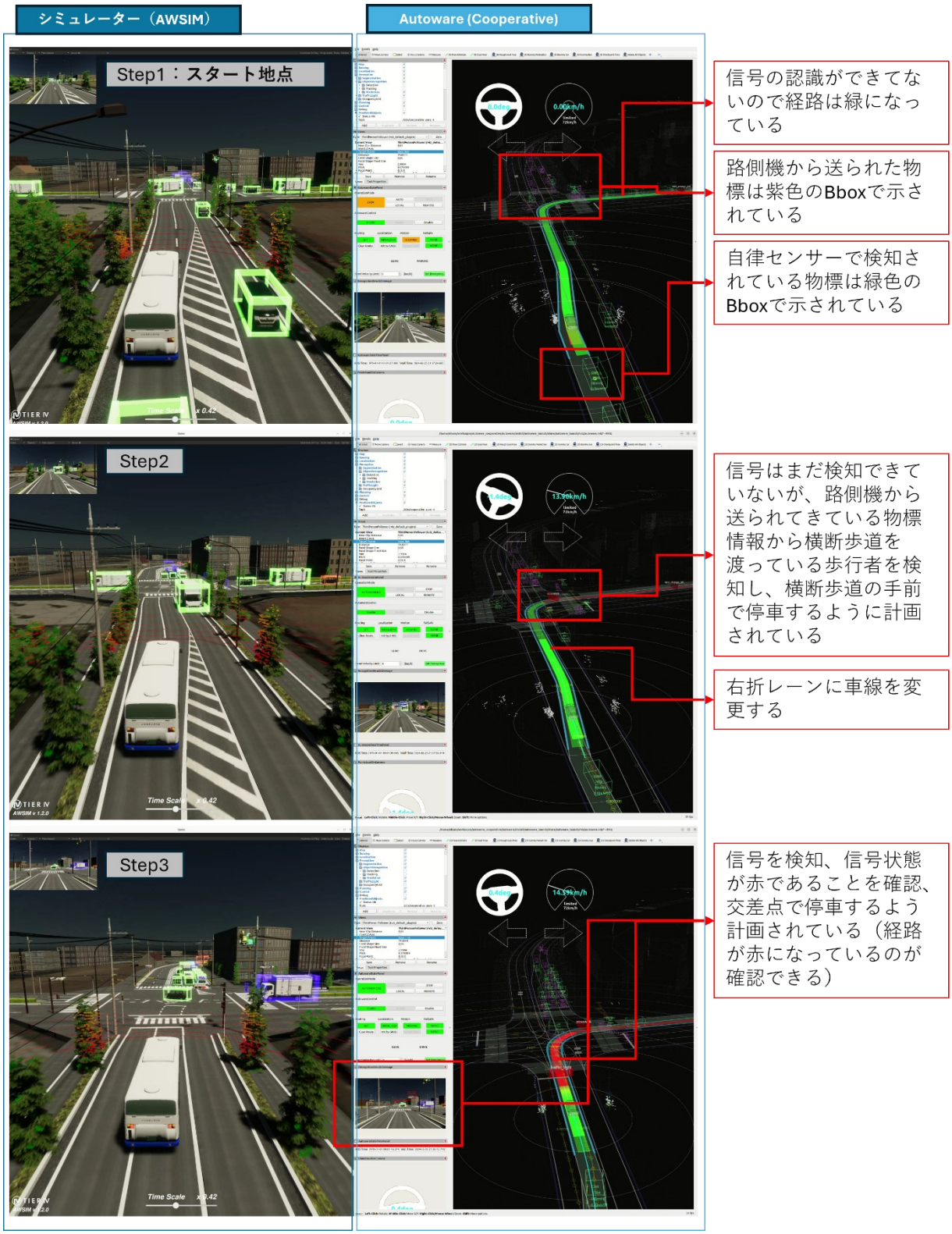


図 308　シミュレータでのインフラ効果検証（Step1～3）

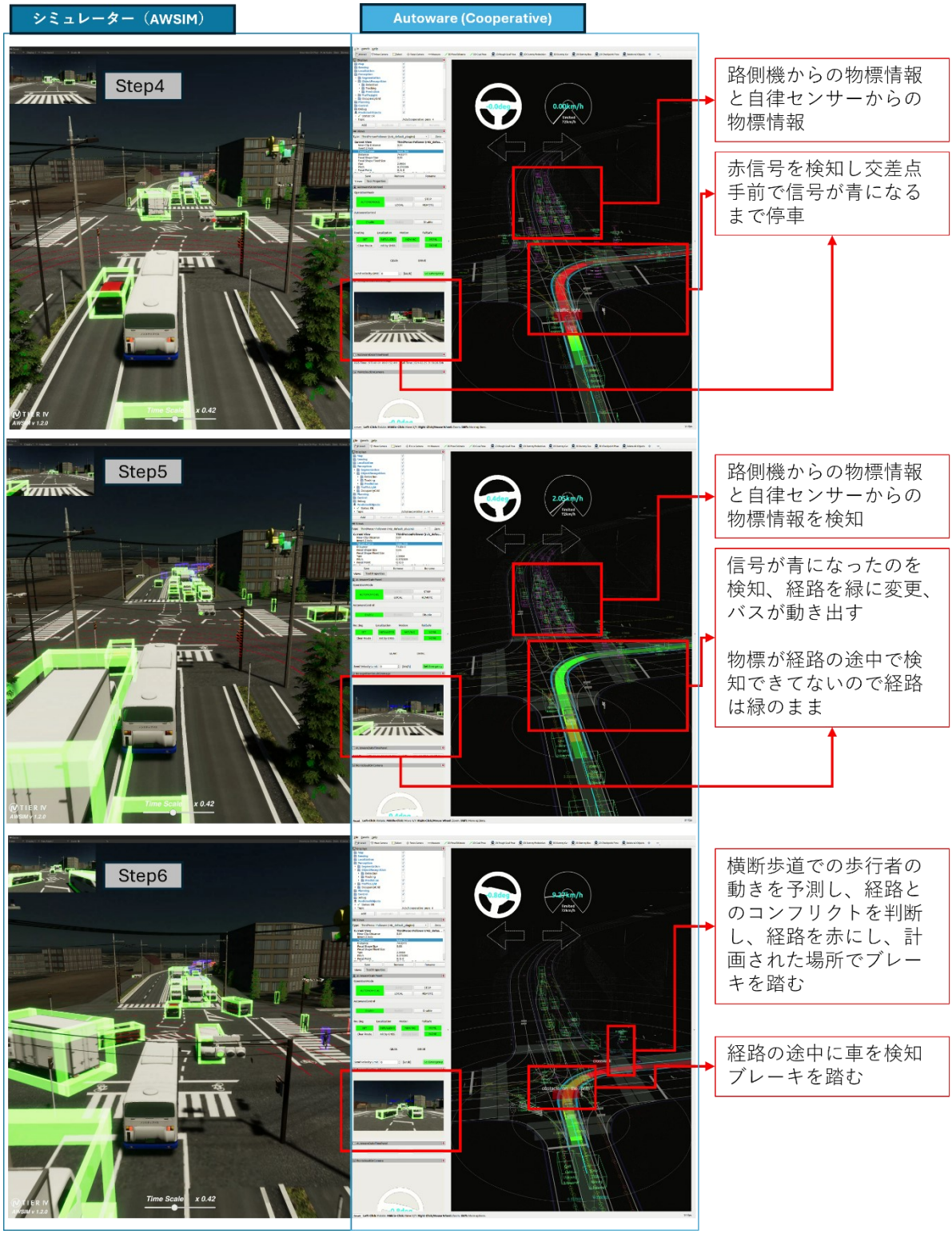


図 309　シミュレータでのインフラ効果検証（Step4～6）

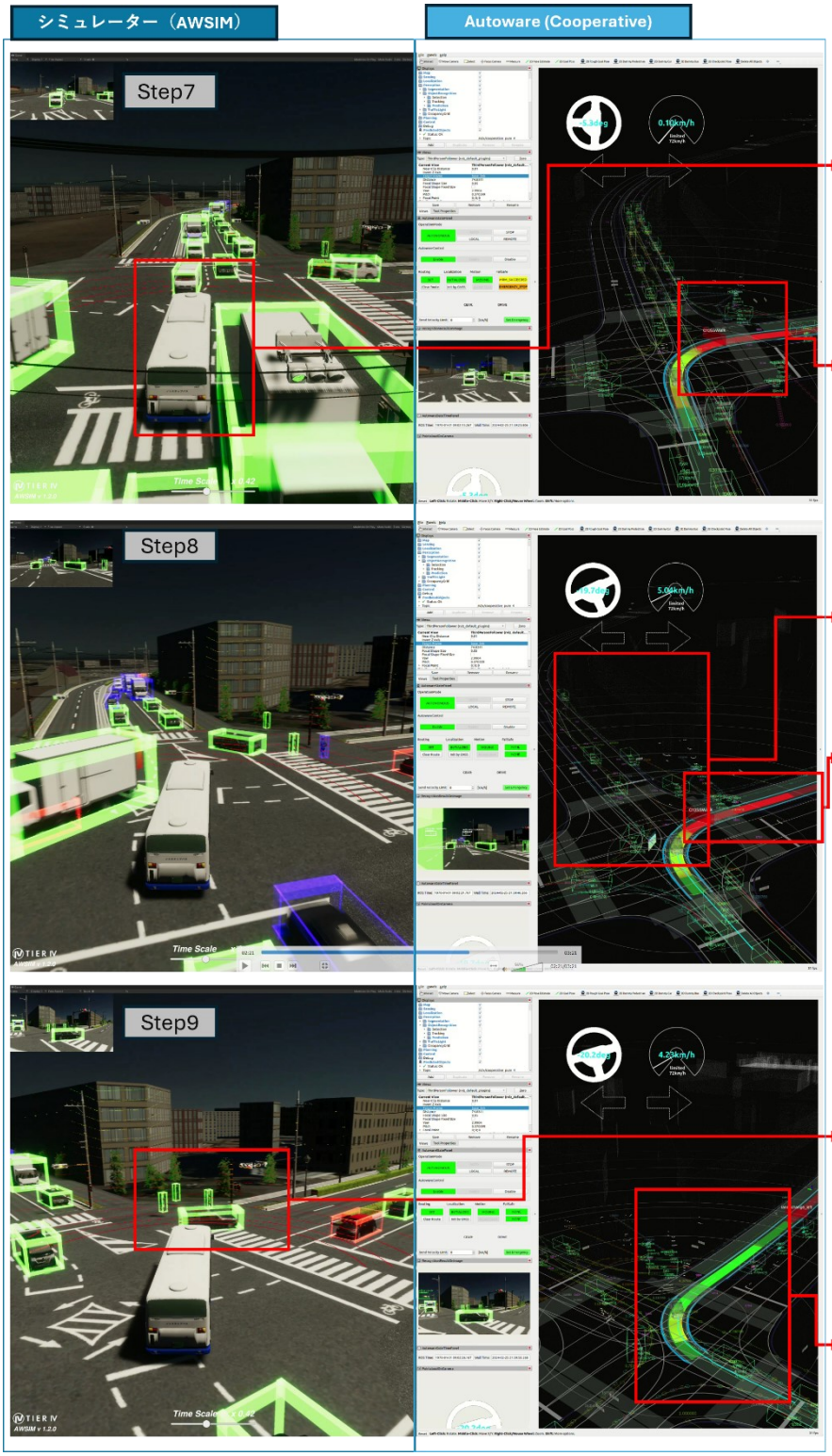


図 310　シミュレータでのインフラ効果検証（Step7～9）



図 311　シミュレータでのインフラ効果検証（Step10）

来年度構築したシミュレータを使い様々なシナリオでの数値的評価を行う予定である。

(2) 交通流シミュレーションツールの検討

交通シミュレーションモデルによる自動運転車両走行影響評価環境の整備を図るため、以下の調査・検討を実施した。:

① 交通環境データの収集、集計

① -1　路上駐停車車両の調査

過年度に収集できていない交通環境データの収集として、路上駐停車車両の実態に関する走行調査を以下表 127 に示す調査日及び調査時間に実施し、交通環境データを収集した。調査当日の柏の葉キャンパス周辺の天気は、7 時～9 時台は晴れ、10 時台～18 時台は曇りであった。気象庁による調査当日の天気情報（地点：千葉）を参考として表 128 に示す。

表 127　調査日・調査時間

調査日	2023 年 10 月 31 日（火）
調査時間	7 時～18 時（12 時間）

表 128　調査当日の天気（地点：千葉）

時刻	天気	降水量(mm)	気温(℃)	湿度(%)	風速(m/s)	風向	走行調査
1	晴	―	16.8	66	1.0	東北東	―
2	晴	―	16.1	70	1.8	北北東	―
3	晴	―	15.3	77	2.7	北北東	―
4	晴	―	15.0	77	2.0	北北西	―
5	晴	―	14.9	77	1.3	北	―
6	晴	―	14.7	77	1.7	北	―
7	曇	―	15.5	74	1.7	北北西	○
8	晴	―	17.4	67	2.3	北北西	○
9	晴	―	19.0	63	2.1	北北東	○
10	曇	―	20.0	61	1.7	東北東	○
11	曇	―	21.6	50	1.3	東北東	○
12	晴	―	21.5	53	1.2	南東	○
13	曇	―	21.3	54	1.3	南南西	○
14	曇	―	20.9	58	2.2	西	○
15	曇	―	21.1	58	1.0	西	○
16	曇	―	20.6	61	1.3	西	○
17	曇	―	20.8	56	2.6	東南東	○
18	曇	―	19.9	66	2.2	南西	○
19	曇	―	19.5	70	1.6	西南西	―
20	曇	―	19.2	70	1.4	東南東	―
21	曇	―	18.4	75	1.0	南南東	―
22	曇	―	18.7	75	0.6	東南東	―
23	曇	―	17.9	79	0.7	北東	―
24	晴	―	16.6	84	3.0	南東	―

走行調査は、毎時 10 分頃を目途に柏の葉キャンパス駅を起終点として実施した。毎時の走行調査開始・終了時刻を以下の表 129 に示す。

表 129　走行調査開始・終了時刻

時刻	走行開始時刻	走行終了時刻	所要時間
07 時台	7 時 10 分 32 秒	7 時 27 分 43 秒	17 分 11 秒
08 時台	8 時 10 分 15 秒	8 時 30 分 02 秒	19 分 47 秒
09 時台	9 時 11 分 45 秒	9 時 31 分 32 秒	19 分 47 秒
10 時台	10 時 11 分 32 秒	10 時 28 分 05 秒	16 分 33 秒
11 時台	11 時 11 分 26 秒	11 時 31 分 15 秒	19 分 49 秒
12 時台	12 時 09 分 47 秒	12 時 29 分 30 秒	19 分 43 秒
13 時台	13 時 11 分 27 秒	13 時 34 分 59 秒	23 分 32 秒
14 時台	14 時 11 分 29 秒	14 時 29 分 38 秒	18 分 19 秒
15 時台	15 時 09 分 42 秒	15 時 28 分 15 秒	18 分 33 秒
16 時台	16 時 11 分 17 秒	16 時 28 分 10 秒	16 分 53 秒
17 時台	17 時 10 分 20 秒	17 時 31 分 45 秒	21 分 25 秒
18 時台	18 時 10 分 26 秒	18 時 28 分 36 秒	18 分 10 秒

走行調査では、GoPro を調査車両のボンネットに設置して実施した。調査車両における GoPro の設置位置の概要を表 130 に示すとともに、設置イメージを図 312～図 317 に示す。また、走行調査の実施の様子を図 317 に示す。

表 130　GoPro 設置位置

Go Pro 設置位置	位置
Go Pro の設置高さ（基準：ボンネット）	約 21cm
Go Pro の設置高さ（基準：地表）	約 137cm
車両先端からの Go Pro の設置距離	約 126cm
車両中心からの Go Pro の設置距離	助手席側に約 14cm
Go Pro の撮影時仰角	約 0°

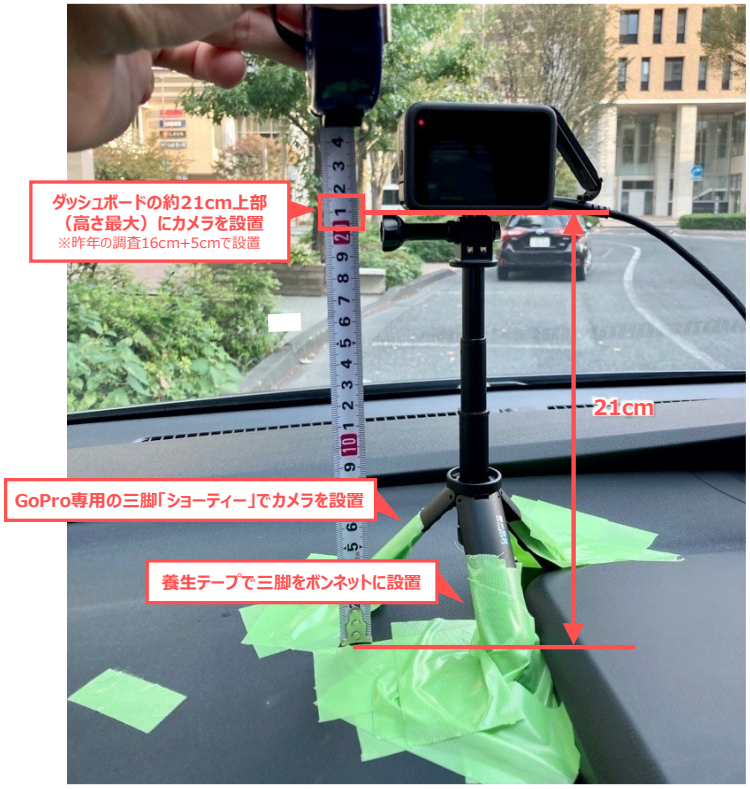


図 312　Go Pro 設置位置イメージ①

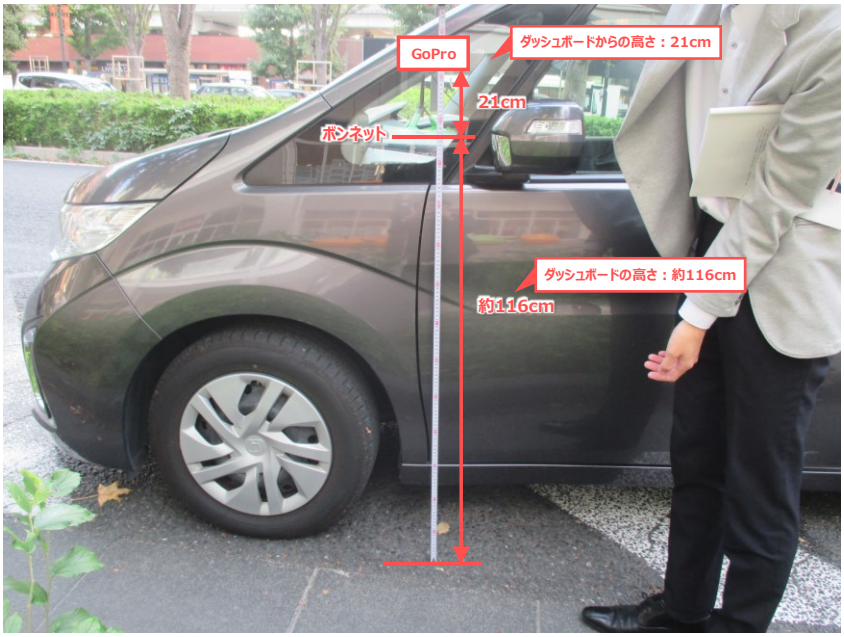


図 313　Go Pro 設置位置イメージ②



図 314　Go Pro 設置位置イメージ③

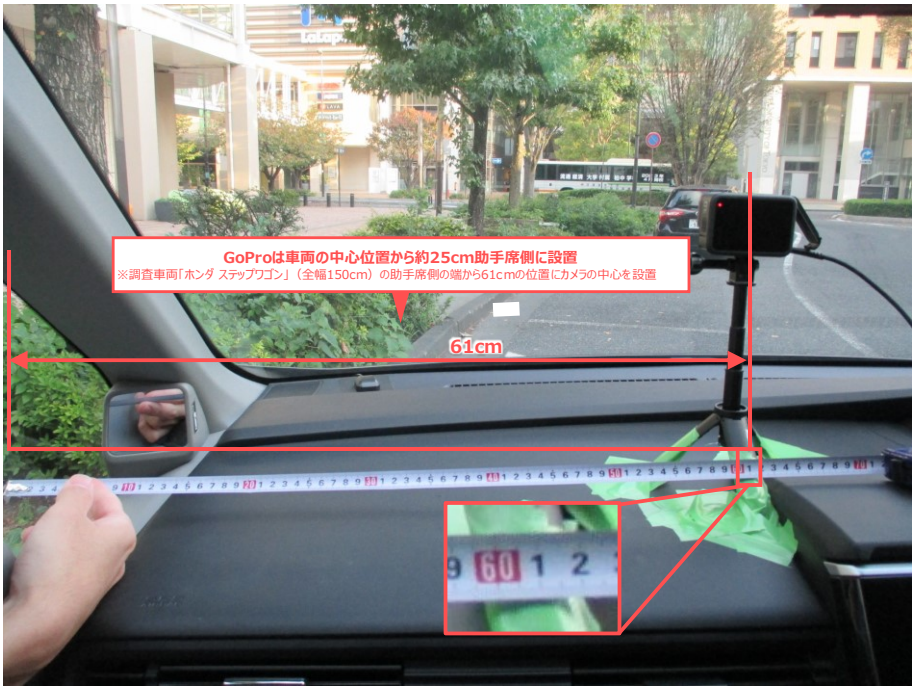


図 315　Go Pro 設置位置イメージ④



図 316　Go Pro 設置位置イメージ⑤



図 317　走行調査の様子

① -2　駐停車データ分析結果

走行調査の結果、計 51 台の駐停車車両を確認した。そのうち、表　131 に示す 9 台の車両については、複数の時間帯を跨いで観測した。

表 131　走行調査の結果

区間	区間の特徴	車種	観測時間帯
区間 C	柏の葉公園前	大型（3 軸以上）	7 時/8 時台
区間 C	柏の葉公園前	大型（3 軸以上）	8 時/9 時台
区間 C	柏の葉公園前	トラック	11 時/12 時台
区間 I	ららぽーと前	大型（3 軸以上）	7 時/8 時台
区間 I	ららぽーと前	大型（3 軸以上）	7 時/8 時/9 時/10 時台
区間 I	ららぽーと前	大型（3 軸以上）	7 時/8 時台
区間 I	ららぽーと前	乗用車	9 時/10 時台
区間 I	ららぽーと前	大型（3 軸以上）	11 時/12 時台
区間 I	ららぽーと前	大型（3 軸以上）	11 時/12 時台

駐停車車両が多い位置を特定するため、駐停車位置をプロットし、プロット点が重なるほど点の色が濃くなるよう図 318 に示すとおり整理した。

駐停車車両はららぽーと柏の葉前、税関研修所周辺で多く確認できた。その他の区間では、まばらに駐停車車両が位置していることを確認できた。

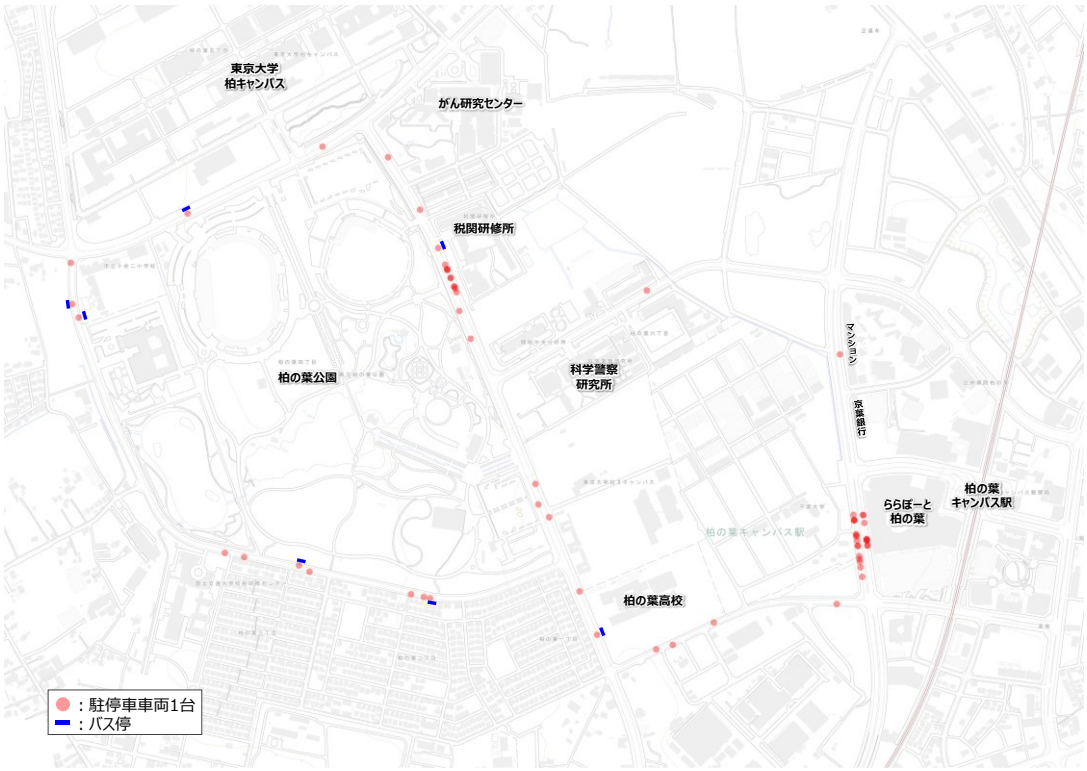


図 318　駐停車車両位置図

車種別の駐停車台数を整理・分析した結果を図 319 及び表 132 に示す。大型（3 軸以上）の駐停車が最も多く、次いでトラックが多いことが分かる。

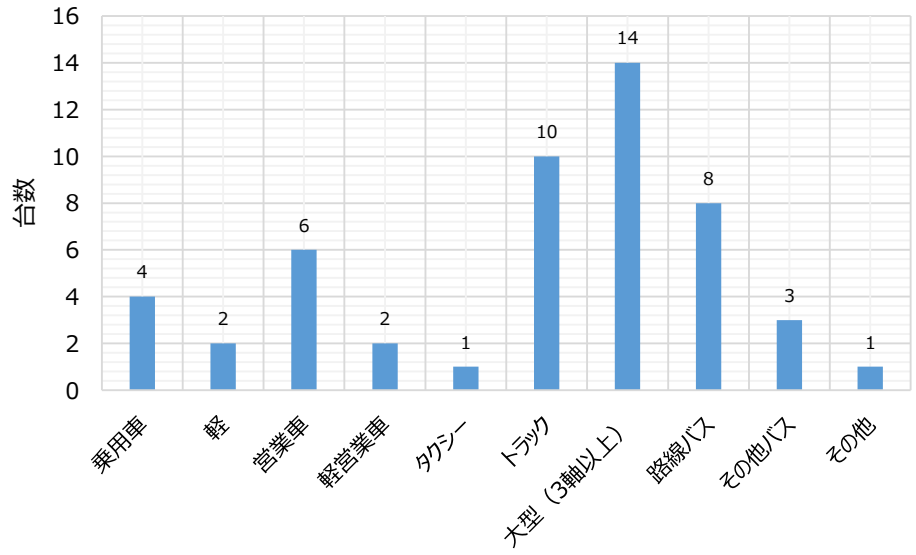


図 319　車種別・駐停車台数

表 132　車種別・駐停車台数（バックデータ）

車種	台数（台）
乗用車	4
軽	2
営業車	6
軽営業車	2
タクシー	1
トラック	10
大型（3 軸以上）	14
路線バス	8
その他バス	3
その他	1
合計	51

はみ出し幅員別の駐停車台数を整理・分析した結果を図 320 及び表 133 に示す。100cm 以上のはみ出し幅員の駐停車車両が多く、全体の半分以上となっていることが分かる。

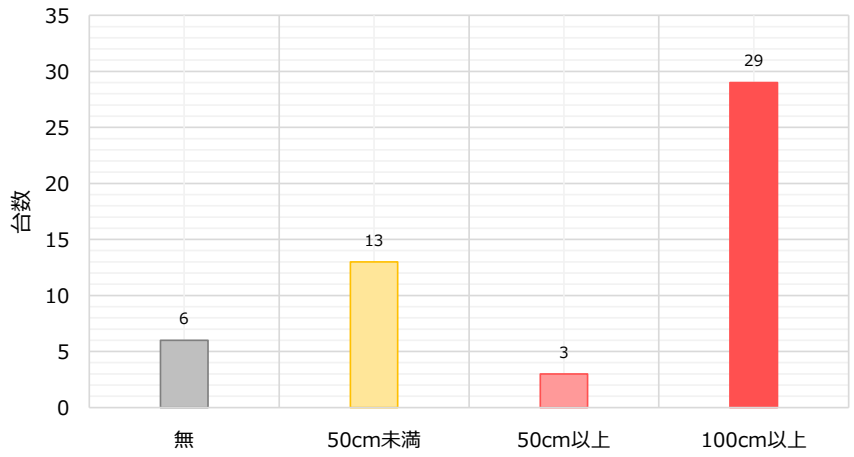


図 320　はみ出し幅員別・駐停車台数

表 133　はみ出し幅員別・駐停車台数（バックデータ）

はみ出し幅員	台数（台）
無	6
50cm 未満	13
50cm 以上	3
100cm 以上	29
合計	51

時間帯別の駐停車台数を車種別に整理・分析した結果を図　321 及び表　134 に示す。調査開始時間帯である 7 時台が最も駐停車台数が多く、時間が経過するにつれ駐停車台数が減少する傾向にあることがわかる。大型（3 軸以上）は、その多くが 7 時～9 時台の時間帯で観測された。また、17 時台および 18 時台は駐停車車両が観測されなかった。

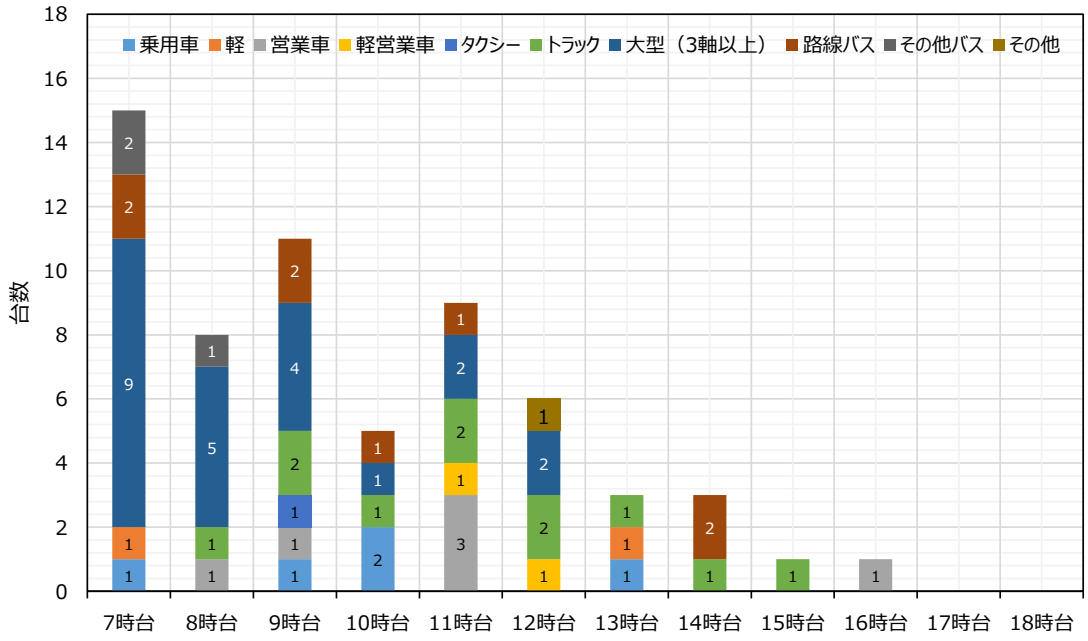


図 321　車種別・時間帯別・駐停車台数

表 134　車種別・時間帯別・駐停車台数（バックデータ）

車種	7 時台	8 時台	9 時台	10 時台	11 時台	12 時台	13 時台	14 時台	15 時台	16 時台	17 時台	18 時台	計
乗用車	1	0	1	2(1)	0	0	1	0	0	0	0	0	5(1)
軽	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
営業車	0	1	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	6
軽営業車	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
タクシー	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
トラック	0	1	2	1	2	2(1)	1	1	1	0	0	0	11(1)
大型 (3 軸以上)	9	5(4)	4(2)	1(1)	2	2(2)	0	0	0	0	0	0	23(9)
路線バス	2	0	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0	8
その他バス	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
その他	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
計	15	8(4)	11(2)	5(2)	9	6(3)	3	3	1	1	0	0	62(11)

※()の数字は時間を跨いで駐停車していた台数（重複して観測された台数）を示している。

時間帯別の駐停車台数をはみ出し幅員別に整理・分析した結果を図 322 及び表 135 に示す。乗用車、トラック、大型（3 軸以上）、路線バス、その他バスにおいて、50cm 以上のはみ出し幅員が多い傾向にあることがわかる。

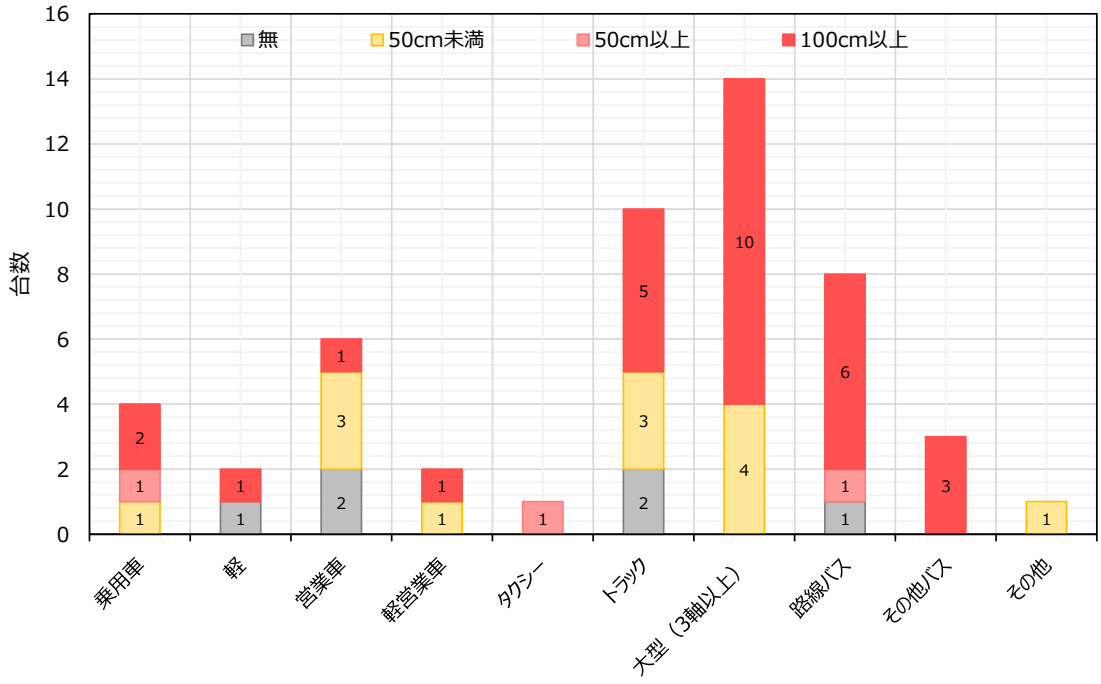


図 322　車種別・はみ出し幅員別・駐停車台数

表 135　車種別・はみ出し幅員別・駐停車台数（バックデータ）

車種	無	50cm 未満	50cm 以上	100cm 以上	計
乗用車	0	1	1	2	4
軽	1	0	0	1	2
営業車	2	3	0	1	6
軽営業車	0	1	0	1	2
タクシー	0	0	1	0	1
トラック	2	3	0	5	10
大型 （3 軸以上）	0	4	0	10	14
路線バス	1	0	1	6	8
その他バス	0	0	0	3	3
その他	0	1	0	0	1
計	6	13	3	29	51

① -3　その他の交通観測データの収集・整理

過年度に整理した表　136 及び図　323、図　324 に示すバスの運行データと経路情報を基に、バスの交通需要データを作成した。

表 136　路線バスの時刻表（一部抜粋）

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

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

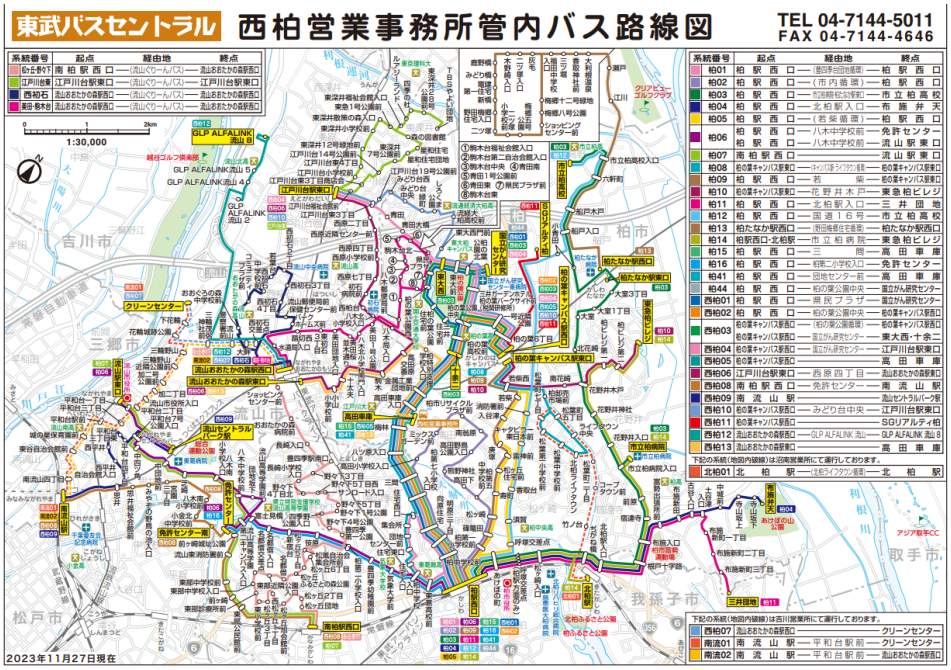


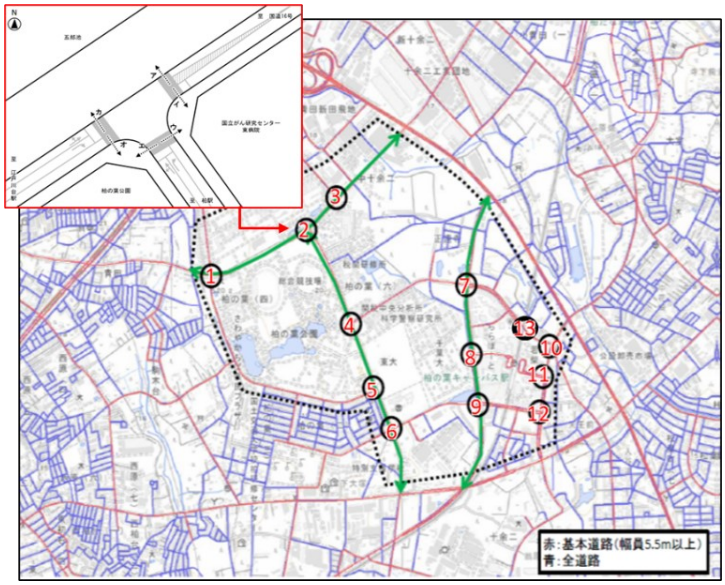
図 323　路線バスの路線図(出典:東部バス)



図 324　柏の葉キャンパス駅-東大間のシャトルバスの運行情報

(出典: 新領域創成科学研究科 HP)

過年度に調査した各信号交差点での横断歩道の歩行者と自転車の通行需要を整理して、シミュレーションに反映させることとした。図 325 は需要データの作成で定義するパラメータである。



パラメータ	[単位]	パラメータ設定方法
歩道長	[m]	
横幅	[m]	
単位時間あたり1mあたりの捌け人数	[人/sec/m]	1.0を仮置き
青時間	[sec]	千葉県警から拝借した信号現示データから平均値を算出して適用
点滅時間	[sec]	千葉県警から拝借した信号現示データから平均値を算出して適用
交通需要	[人/15分]	2022年10月18日の交通量調査結果から設定
進行方向		ア、イ、ウ、エ、オ、カ、キ、ク
移動速度最低値	[m/sec]	歩行者:1.3, 自転車:3を仮置きして設定
移動速度最高値	[m/sec]	歩行者:1.3, 自転車:3を仮置きして設定

図 325　交差点調査箇所と横断歩道パラメーター覧（背景地図：地理院タイル）

ⅱ）　現況再現精度の改善

過年度では、柏の葉キャンパス駅周辺の対象地域について各信号交差点での交通量調査を行った。また、柏 ITS 推進協議会における ETC2.0 データを活用した調査研究成果を参照し、主要な路線における路線別・時間帯別の平均旅行時間と平均速度を集計した。シミュレーションの再現性の評価では、これらのデータを現在の対象地域の交通状況を示す値として使用した。図 326 は平均速度を比較する路線の定義であり、図 327～図 339 に過年度作成した現況再現ケースの再現状況を示す。今年度は新たに収集した交通環境データも活用しつつ、柏の葉地区における交通シミュレーションモデルの現況再現精度の改善に取り組んだ。

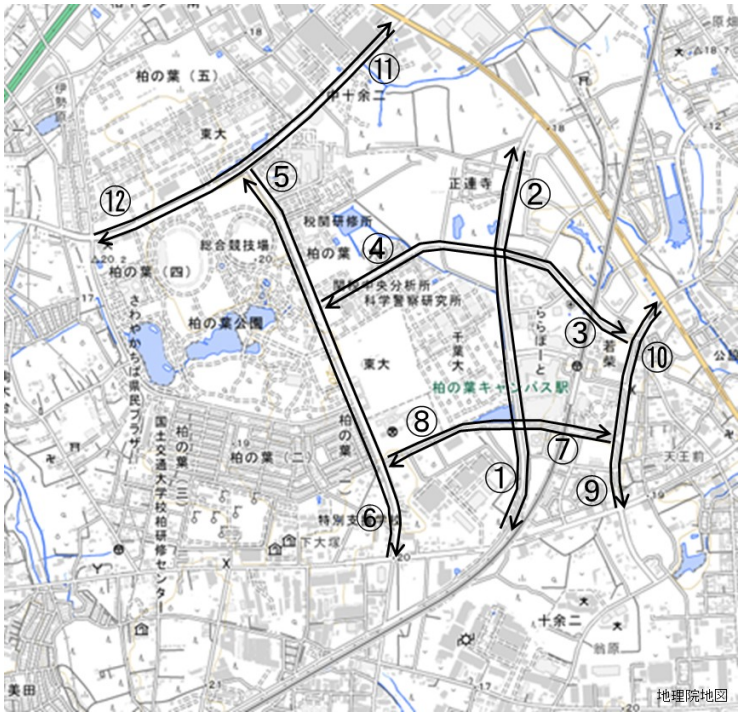


図 326　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証区間

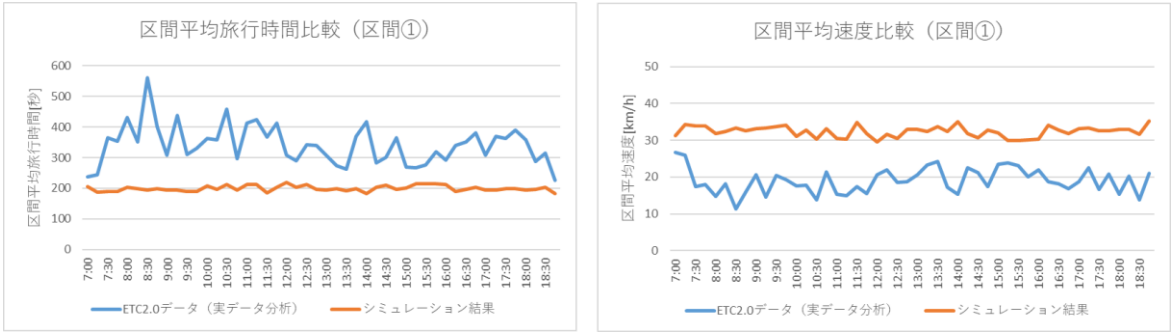


図 327　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間①）（過年度成果）

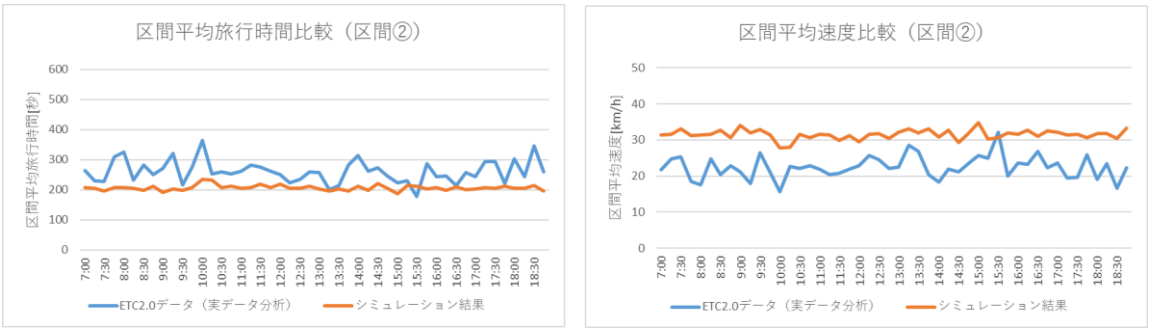


図 328　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間②）（過年度成果）

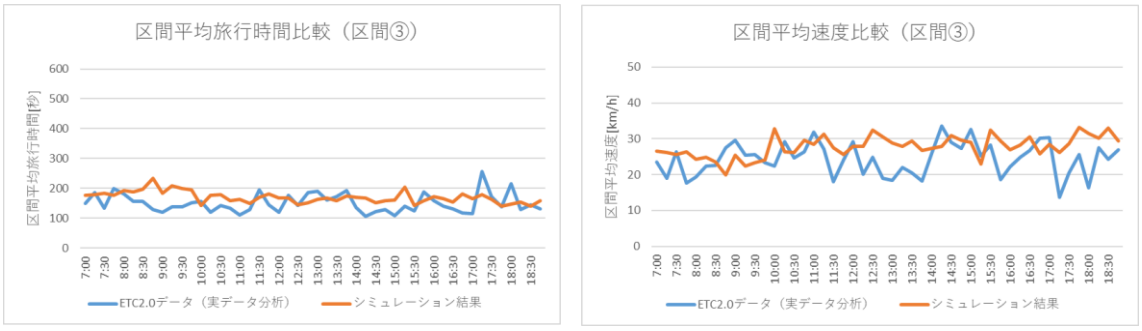


図 329　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間③）（過年度成果）

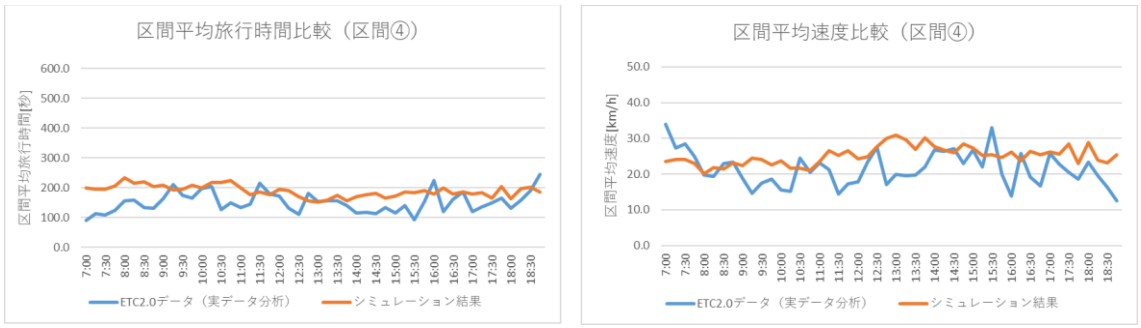


図 330　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間④）（過年度成果）

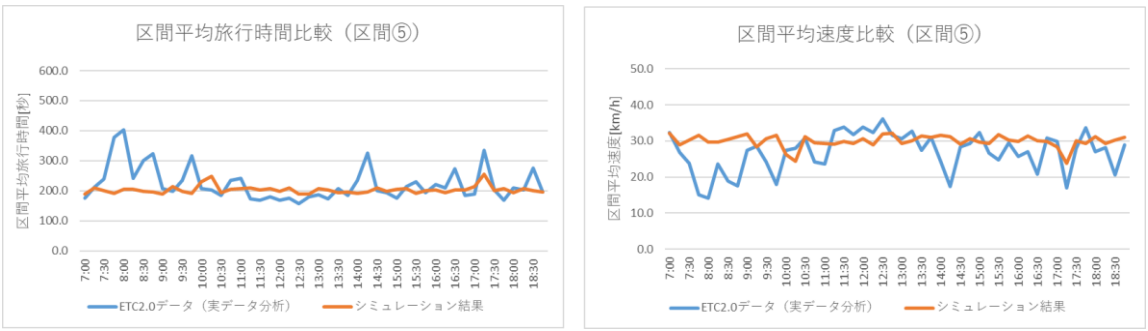


図 331　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑤）（過年度成果）

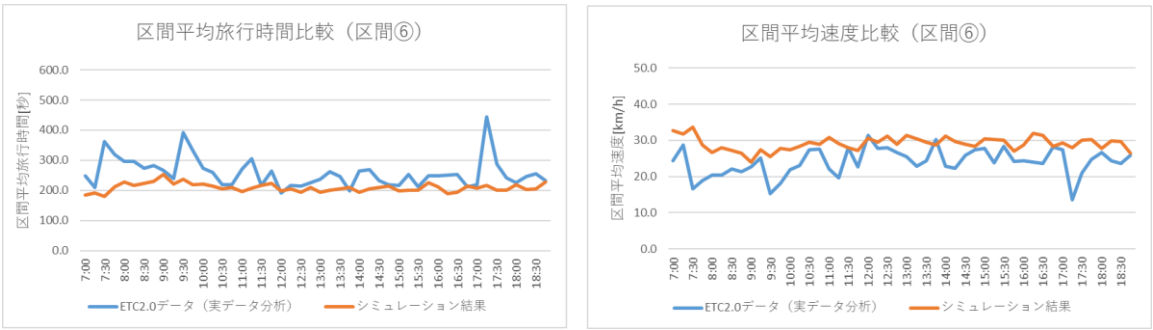
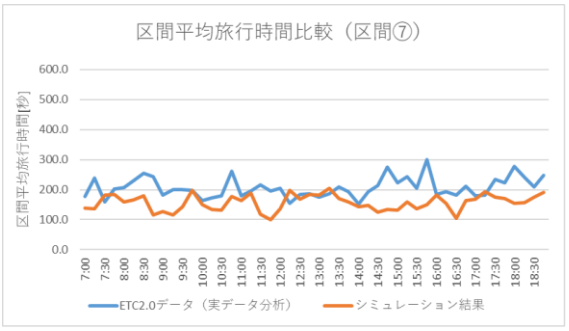


図 332　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑥）（過年度成果）



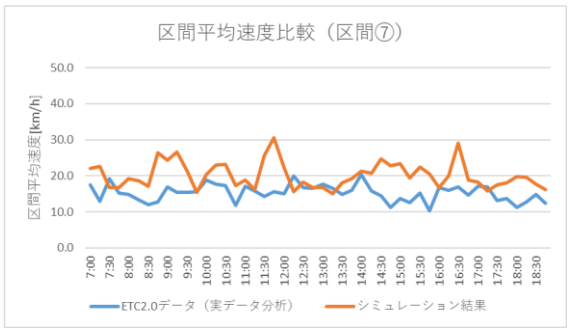
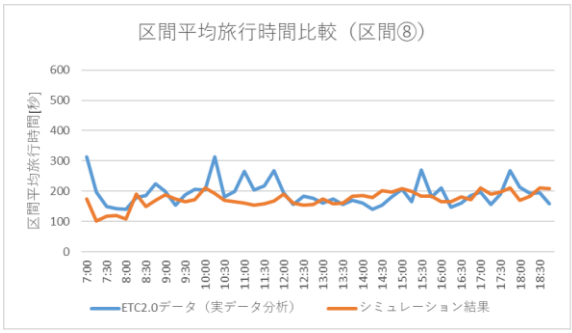


図 333　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑦）（過年度成果）



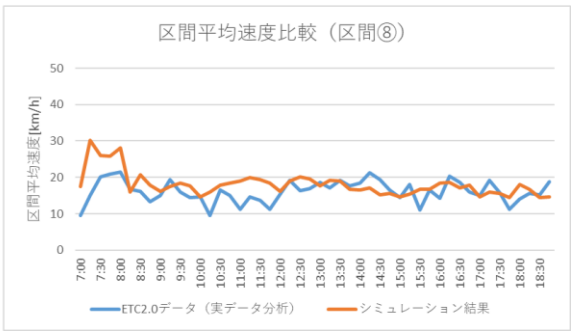
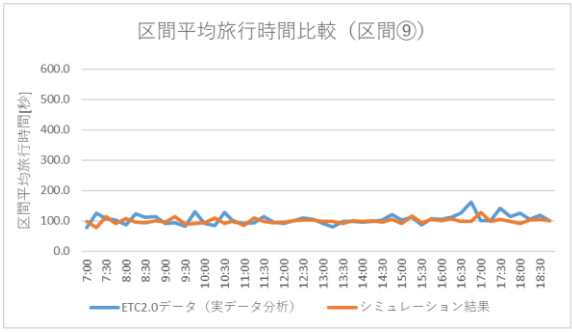


図 334　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑧）（過年度成果）



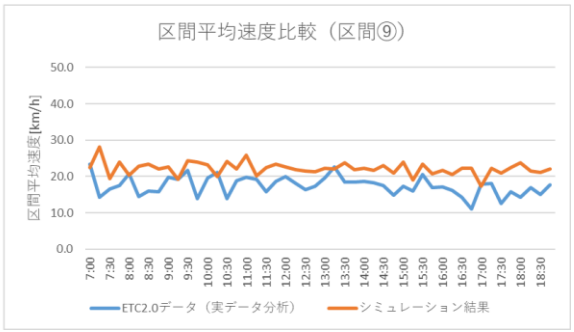
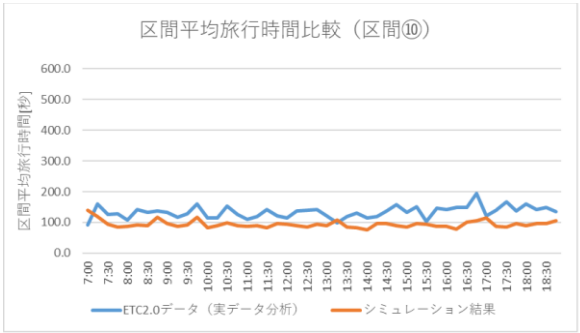


図 335　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑨）（過年度成果）



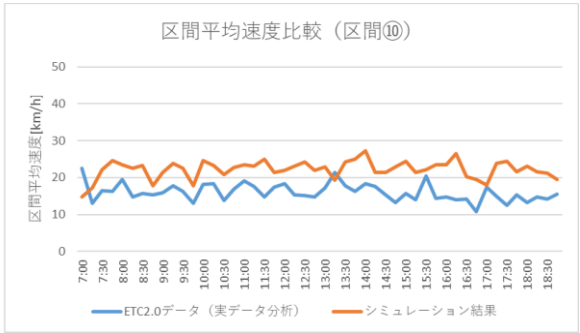


図 336　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑩）（過年度成果）

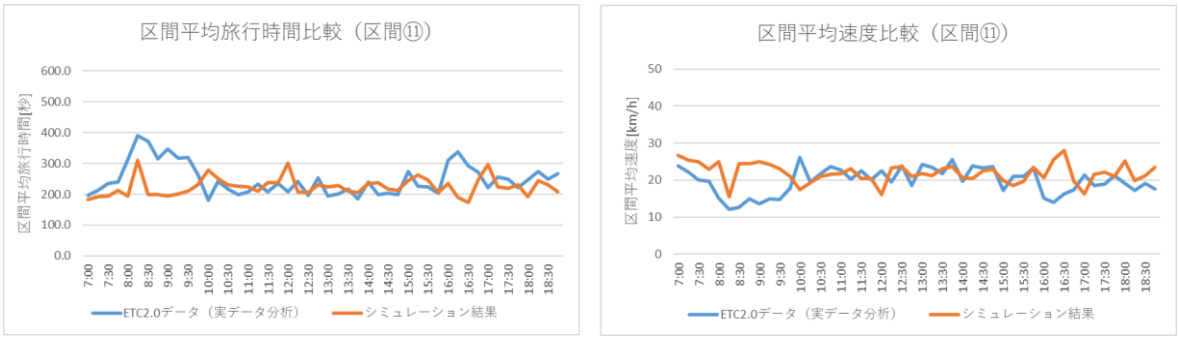


図 337　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑪）（過年度成果）

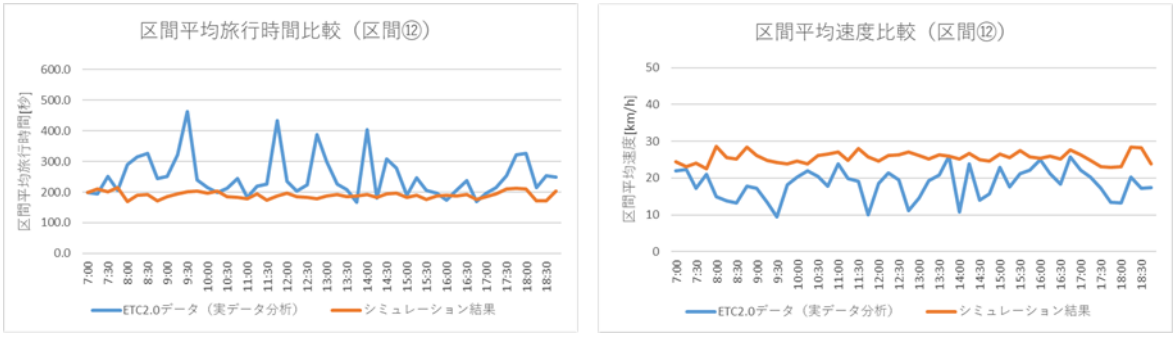


図 338　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑫）（過年度成果）

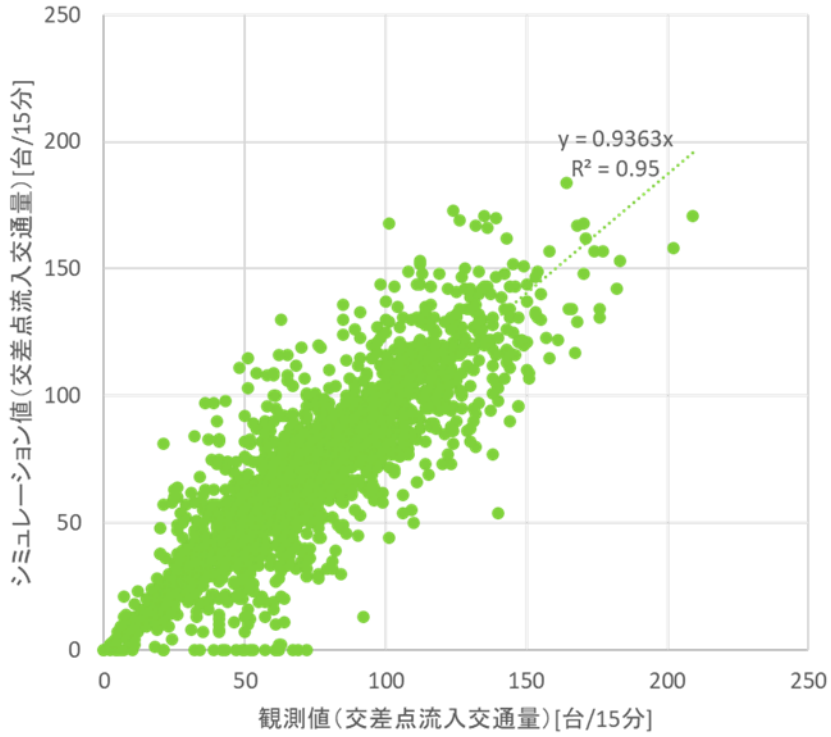


図 339　現況再現ケース通過交通量の再現性検証結果（過年度成果）

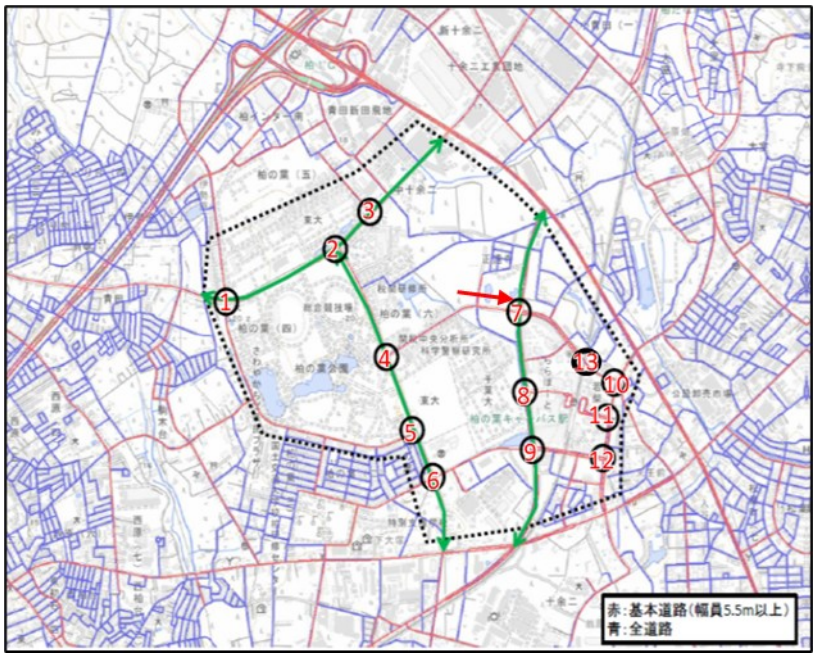


図 340　交差点番号定義

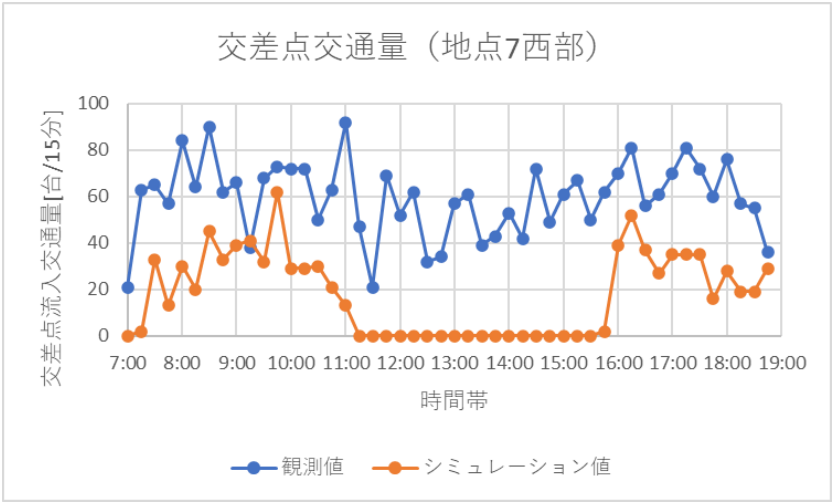


図 341　地点 7 交差点西部の流入台数時間推移（過年度成果）

概ねの区間において、車両の平均旅行時間は一致しているものの、路線①や②、⑫などでは改善の余地がみられるものとなった。また、図 341 に示す通り、地点 7 の信号交差点の西部において 11:15-16:00 の交通量がゼロとなっており、調査データとの乖離が見られた。本年度の取り組み業務では、これらの乖離の原因の調査と対応を行い、現況再現ケースの精度向上を行うこととした。具体的には区間旅行速度及び構築している道路ネットワークの精査を実施し、現況再現ケースのシミュレーションを実施した。また、自動運転バスの発着地点及び将来の走行経路を想定し、東京大学入口へのネットワークと、柏の葉公園西側のネットワークを追加した。作成したネ

ットワークを図 342 に示す。

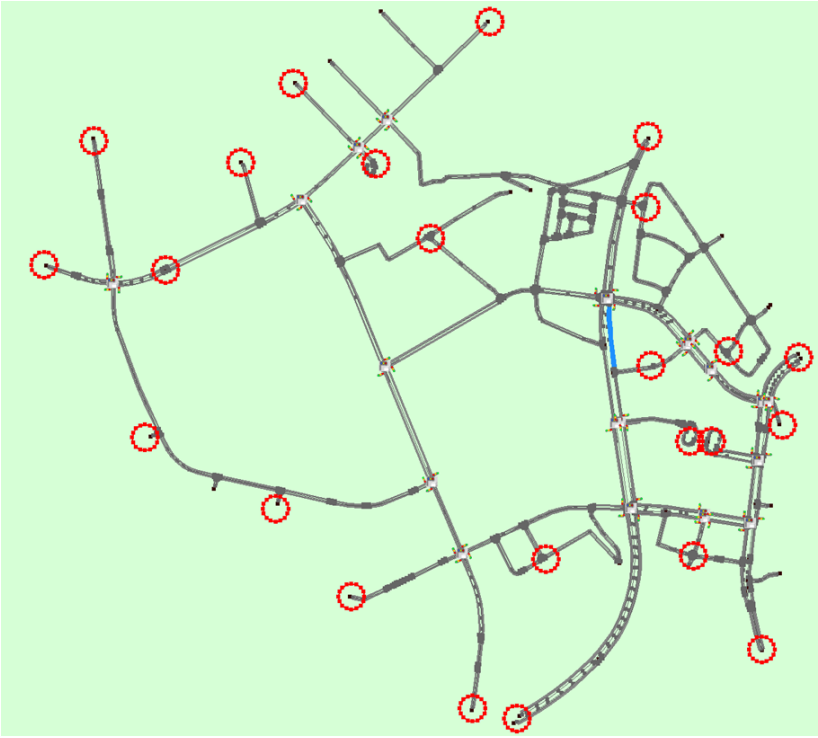


図 342　更新したネットワーク

評価結果を図 343 - 図 354 に示す。

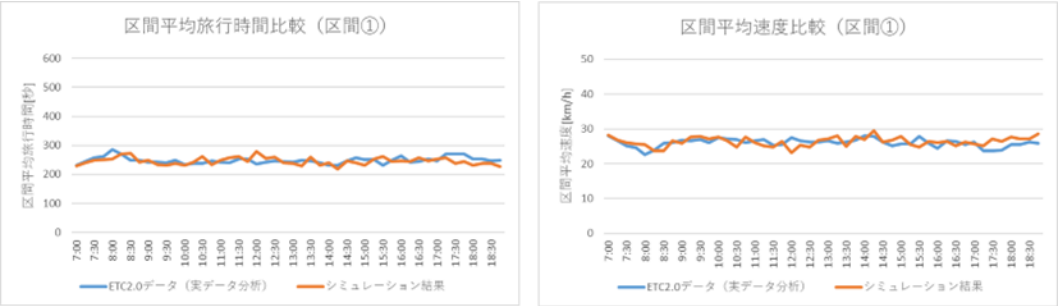


図 343　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間①）

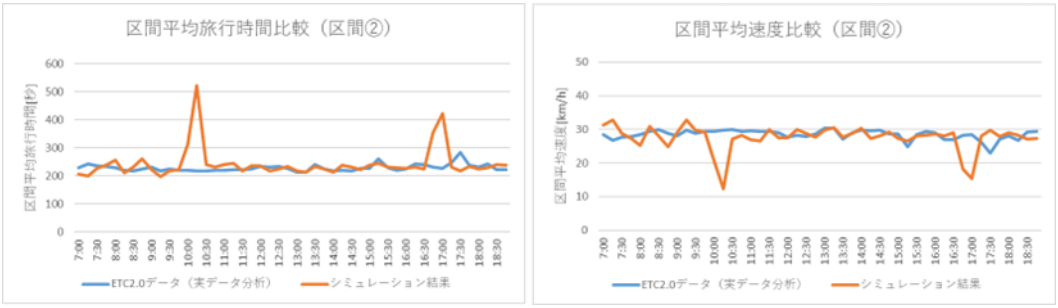


図 344　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間②）

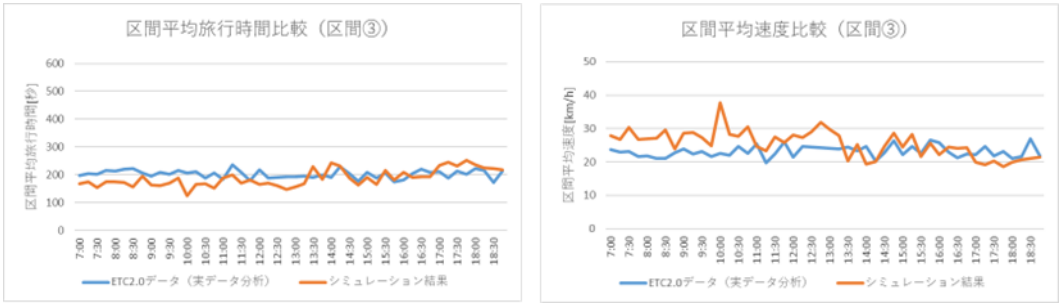


図 345　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間③）

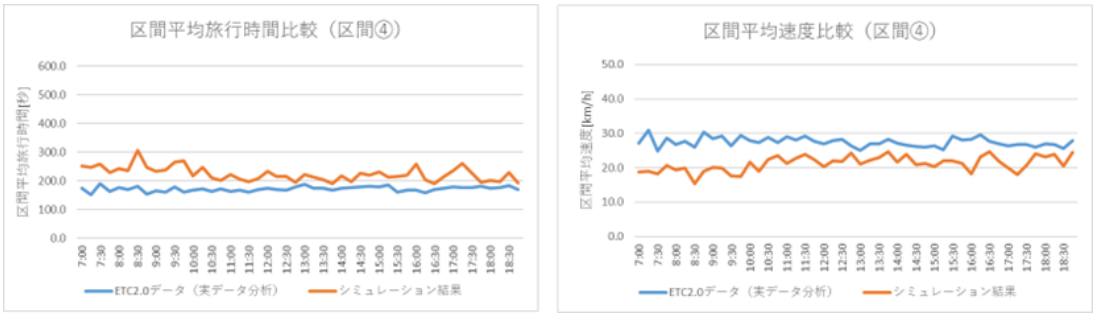


図 346　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間④）

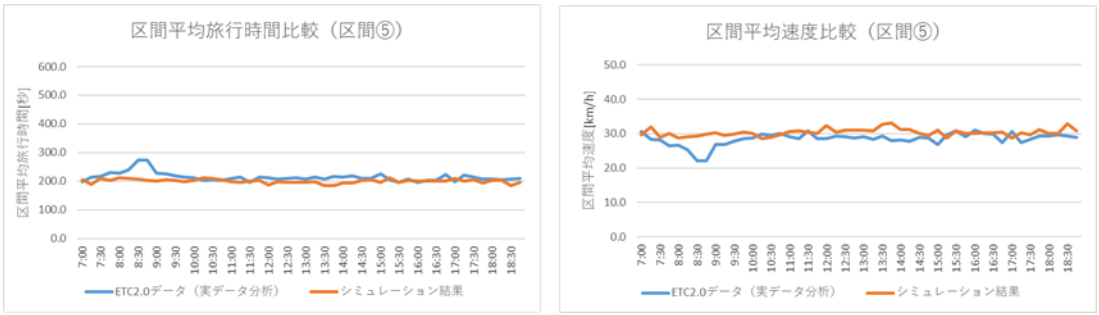
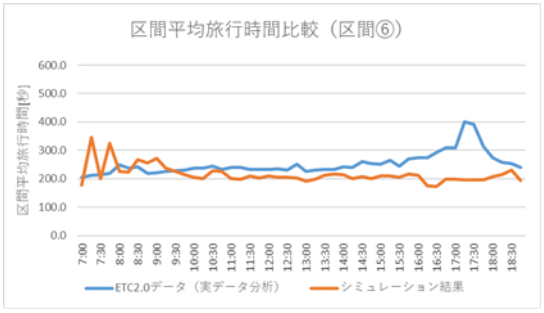


図 347　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑤）



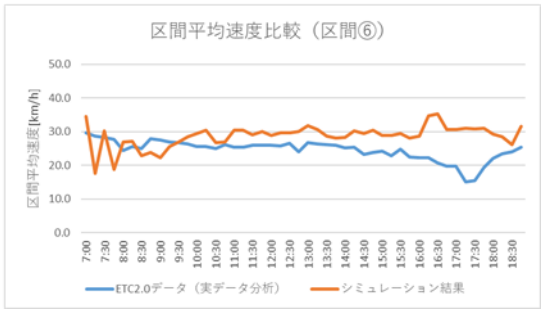
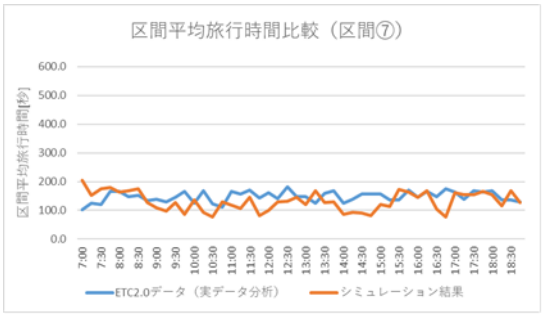


図 348　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑥）



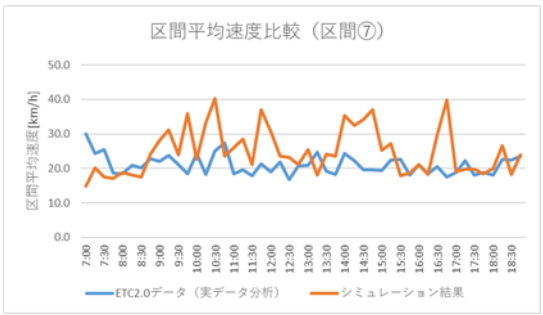
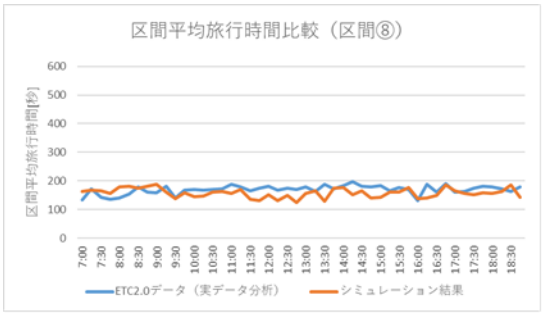


図 349　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑦）



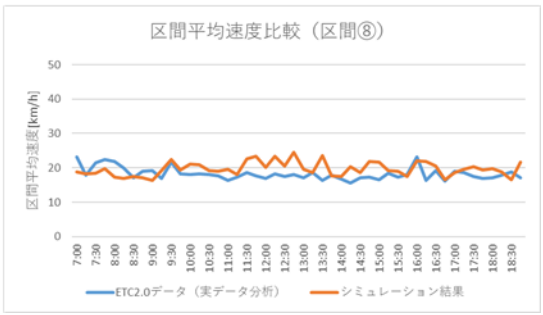
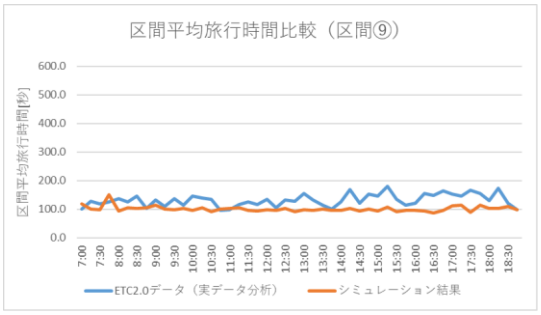


図 350　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑧）



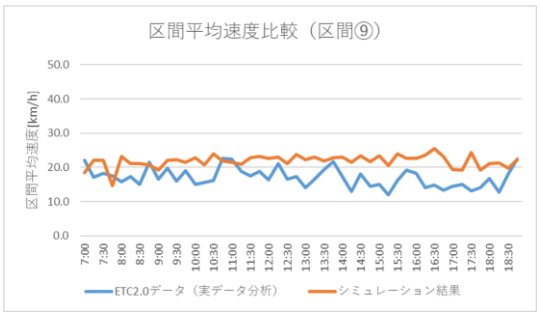
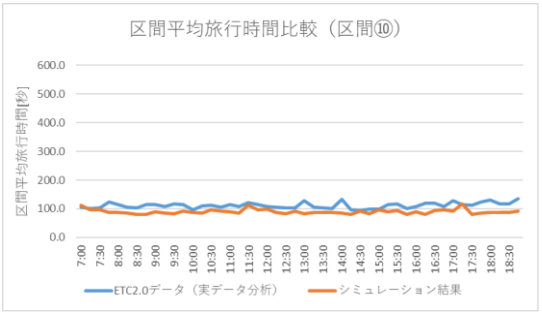


図 351　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑨）



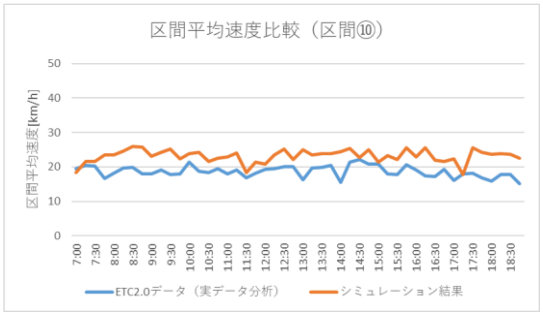
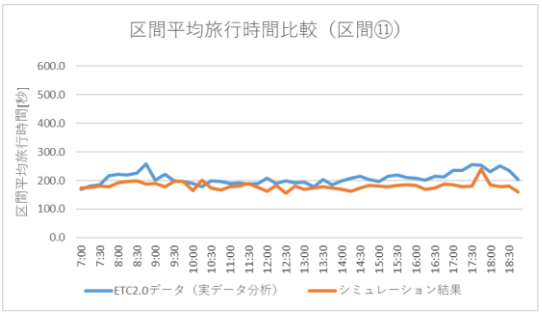


図 352　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑩）



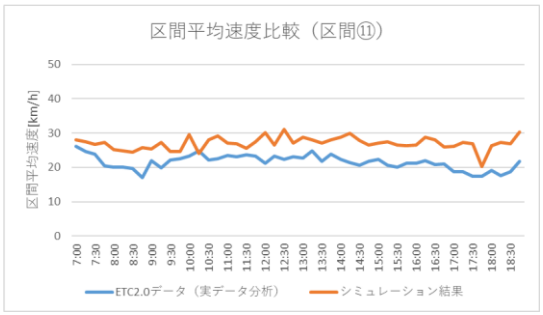
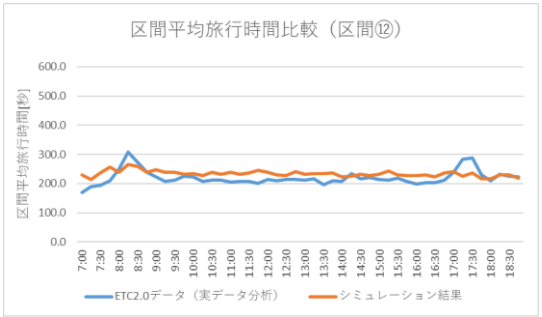


図 353　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑪）



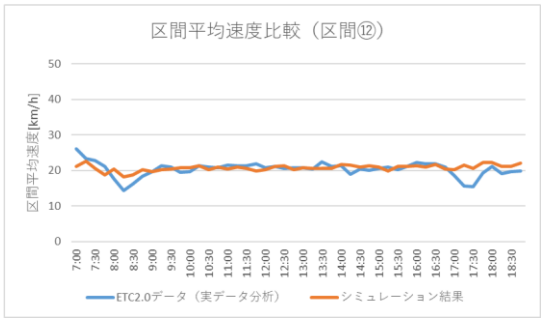


図 354　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑫）

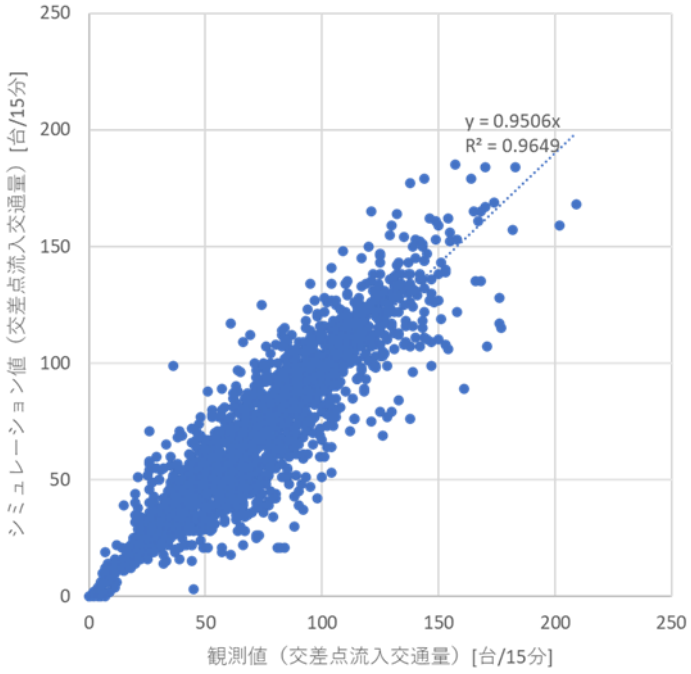


図 355　現況再現ケース通過交通量の再現性検証結果

今年度では、昨年度整理した交通環境データとして信号交差点における歩行者及び自転車交通データ、バスの運行データ、また、新たに収集した交通環境データとして走行調査による路上駐停車車両データを追加して現況再現精度の改善に取り組んだ。横断歩道における交通パラメータとして、歩行者・自転車の歩行速度・走行速度を既往研究から設定した。歩行速度は、張らが「横断歩道長と歩行者信号現示を考慮した横断歩行速度のモデル化」で整理した歩行速度 1.5m/s を設定し、走行速度は山本らが「自転車の走行空間等の違いによる旅行速度の際に関する分析」で整理した自歩道での走行速度 3.22m/s を設定した。路上駐停車車両データは昨年度実施した詳細調査と今年度実施した走行調査の調査データを組み合わせる事で算出した路線別の車両拡大係数を道路規格別の路線ごとに適用して、1 時間当たりの発生台数の推定を行った。また、駐車時間においても詳細調査で推定した平均時間及び時間標準偏差値を他の路線に適用した。路上週停車車両の駐車場所や、はみだし幅は、今年度実施した走行調査で集計したデータから設定した。推定した路上駐停車データを表 137 に示す。

表 137　路上駐停車情報パラメータ

区間名称	区間	交差点範囲(上流 - 下流)	車種	時間帯	台数[台/時](平均)	台数[台/時](標準偏差)	駐車時間[秒](平均)	駐車時間[秒](標準偏差)	駐車場所[m](平均)	駐車場所[m](標準偏差)	はみ出し幅[m](平均)	はみ出し幅[m](標準偏差)
パークシティ柏の葉	A-1	⑧ - ⑦	bus	7:00-9:00	2.0	2.0	8	139	253	29	0.19	0.11
			bus	9:00-19:00	1.5	1.3	24	10	270	0	0.00	0.00
			small	9:00-19:00	0.5	0.5	52	0	205	0	0.25	0.00
			large	7:00-9:00	1.5	0.5	1034	1372	189	47	0.58	0.24
	A-2	⑦ - ⑧	bus	7:00-9:00	3.0	2.0	20	11	176	88	1.25	0.00
			bus	9:00-19:00	0.5	0.5	17	0	91	0	1.25	0.00
			small	7:00-9:00	4.0	2.0	119	155	162	77	0.63	0.33
			small	9:00-19:00	4.5	3.9	168	1087	211	62	0.86	0.21
			large	7:00-9:00	1.5	0.5	418	181	234	22	0.92	0.24
			large	9:00-19:00	2.0	1.8	1146	226	246	26	1.13	0.22
第三機動隊前	B-2	④ - ⑦	small	9:00-19:00	0.2	0.8	158	83	370	0	0.25	0.00
柏の葉公園通り(税関前)	C-1	④ - ②	bus	7:00-9:00	11.0	1.0	18	6	265	0	0.75	0.00
			bus	9:00-19:00	3.5	3.0	12	6	265	0	0.82	0.17
			small	7:00-9:00	0.5	0.5	129	0	477	0	0.00	0.00
			large	7:00-9:00	0.5	0.5	1248	0	499	0	0.25	0.00
	C-2	② - ④	bus	7:00-9:00	3.5	0.5	15	3	299	74	0.39	0.23
			bus	9:00-19:00	2.5	2.2	19	4	269	0	0.35	0.20
			small	7:00-9:00	0.5	0.5	240	0	228	0	0.25	0.00
			small	9:00-19:00	1.5	1.5	158	83	257	135	0.25	0.00
			large	7:00-9:00	1.0	1.0	228	118	168	5	0.25	0.00
			large	9:00-19:00	1.0	1.0	916	653	438	10	0.38	0.38
東京大学柏キャンパス前	D-2	① - ②	bus	9:00-19:00	0.2	0.8	19	4	386	0	1.25	0.00
			small	9:00-19:00	0.2	0.8	158	83	502	0	1.25	0.00
さわやかちば県民プラザ前	E-1	① - ⑤	bus	7:00-9:00	2.5	2.8	18	6	904	364	1.25	0.00
	E-2	⑤ - ①	bus	9:00-19:00	0.4	1.1	19	4	606	517	1.25	0.00
			small	9:00-19:00	1.0	2.2	158	83	944	166	0.38	0.22
			large	9:00-19:00	0.2	0.8	916	653	743	0	0.25	0.00
柏の葉公園通り(柏の葉高校前)	F-1	⑤ - ⑥	bus	7:00-9:00	1.0	1.4	18	6	156	0	1.25	0.00
			bus	9:00-19:00	0.2	0.8	12	6	62	0	1.25	0.00
柏の葉公園通り(健康科学研究センター前)	G-1	⑤ - ④	large	9:00-19:00	0.2	0.8	1248	0	66	0	1.25	0.00
	G-2	④ - ⑤	small	7:00-9:00	1.0	1.4	240	0	151	0	1.25	0.00
			small	9:00-19:00	0.2	0.8	158	83	79	0	1.25	0.00
ウエルシア柏の葉キャンパス店前	H-1	⑥ - ⑨	large	9:00-19:00	0.5	1.7	1248	0	363	63	0.75	0.50
	H-2	⑨ - ⑥	large	7:00-9:00	1.0	1.4	228	118	120	0	1.25	0.00
			large	9:00-19:00	0.2	0.8	916	653	466	0	1.25	0.00
ららぽーと柏の葉前	I-1	⑨ - ⑧	bus	7:00-9:00	8.5	8.5	8	139	176	18	1.25	0.00
			bus	9:00-19:00	0.8	2.6	24	10	152	0	1.25	0.00
			small	9:00-19:00	1.6	3.4	52	0	131	0	1.25	0.00
			large	7:00-9:00	25.5	8.5	1034	1372	112	37	1.25	0.00
			large	9:00-19:00	3.3	5.6	1034	1372	90	21	1.25	0.00
	I-2	⑧ - ⑨	small	7:00-9:00	4.0	4.3	119	155	139	0	1.25	0.00
			large	7:00-9:00	12.5	4.3	418	181	122	24	1.25	0.00
			large	9:00-19:00	3.4	6.8	1146	226	97	5	1.25	0.00

交通環境データを基に作成したシミュレーションの交通パラメータを用いて、現況再現ケースの実施をした。評価結果を図 356 - 図 369 に示す。

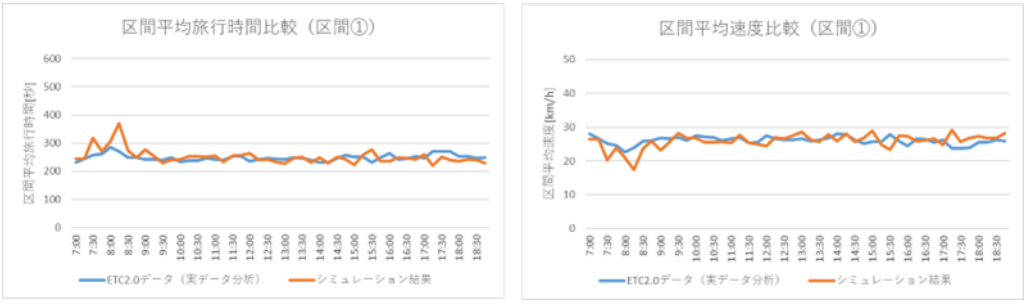


図 356　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間①）
（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

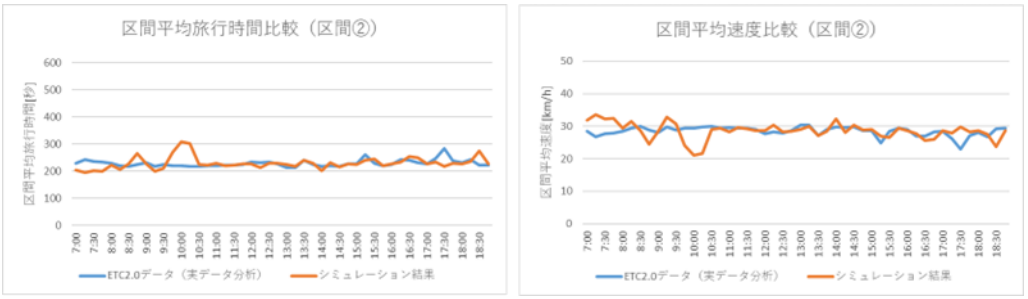


図 357　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間②）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

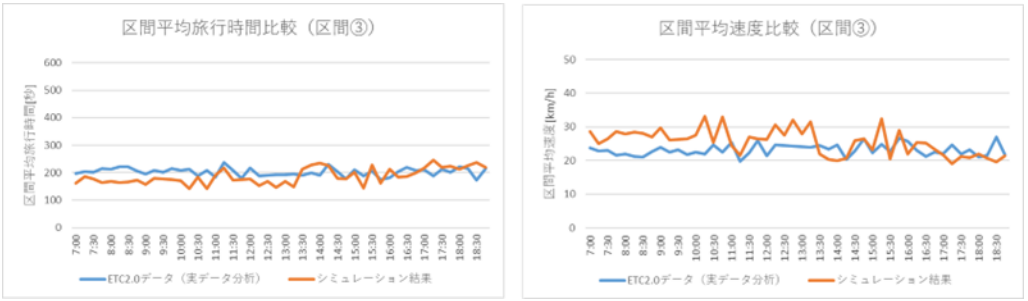


図 358　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間③）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

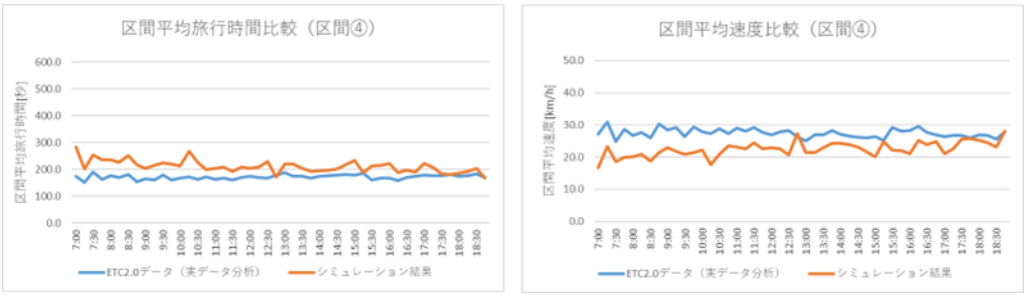


図 359　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間④）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

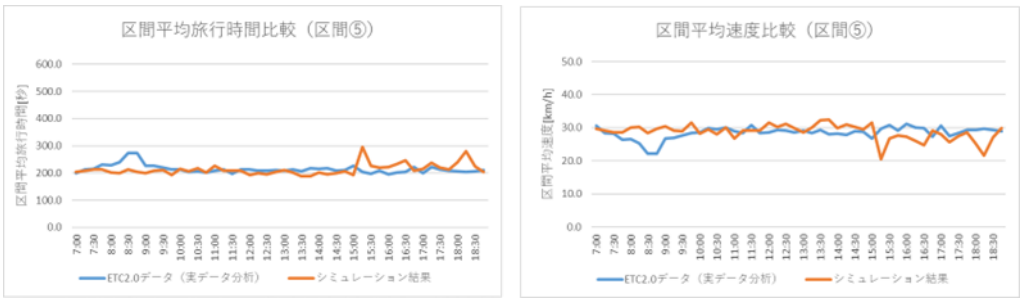


図 360　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑤）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

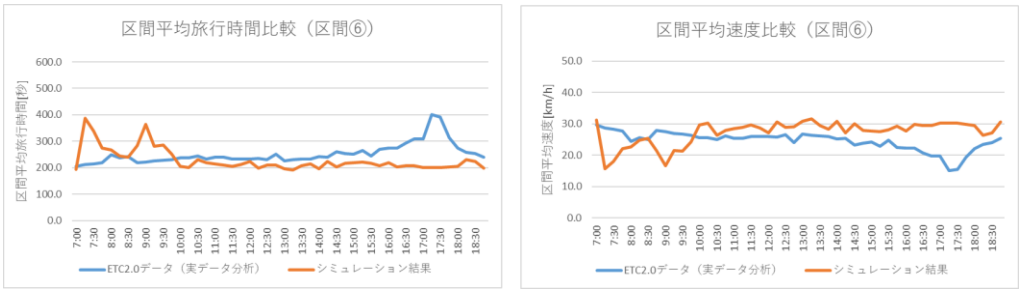


図 361　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑥）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

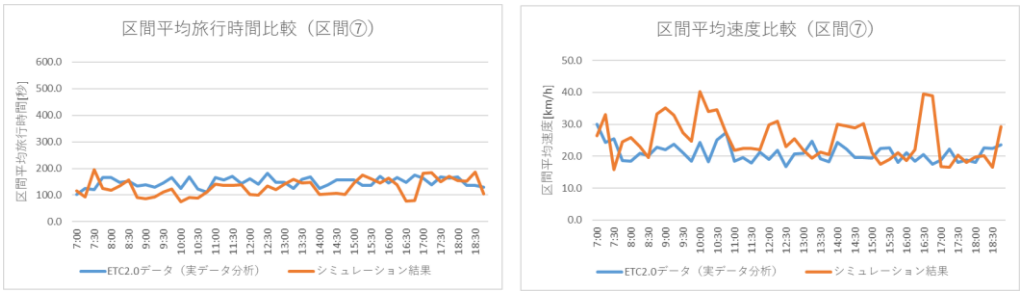


図 362　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑦）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

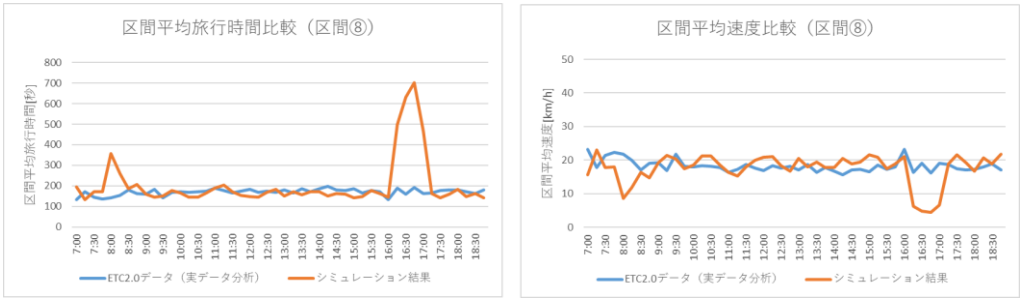


図 363　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑧）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

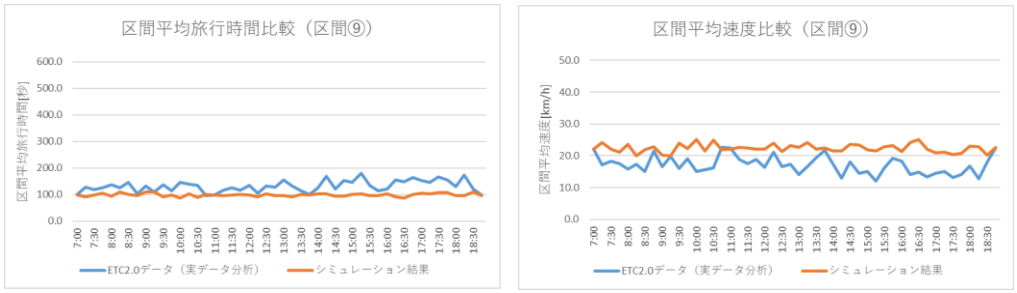
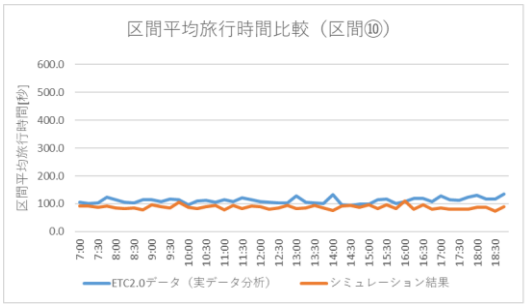


図 364　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑨）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）



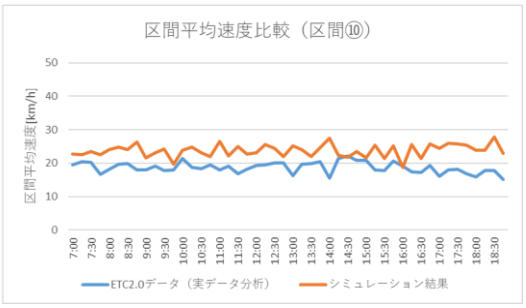
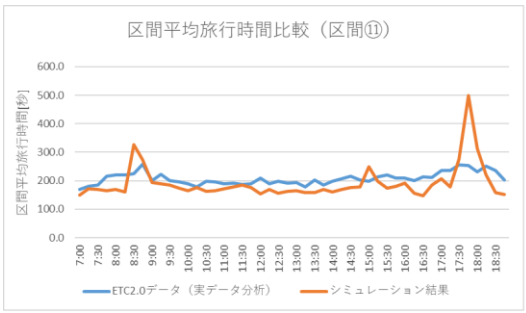


図 365　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑩）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）



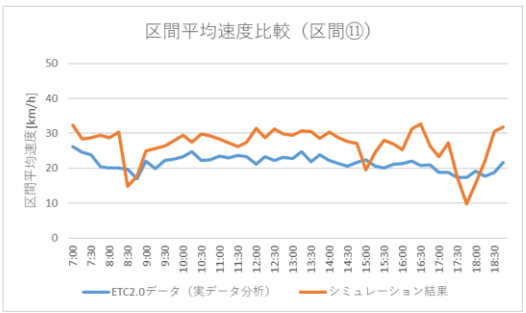
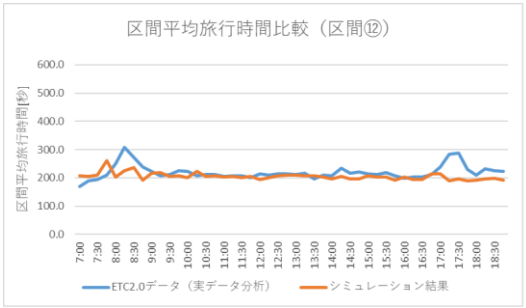


図 366　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑪）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）



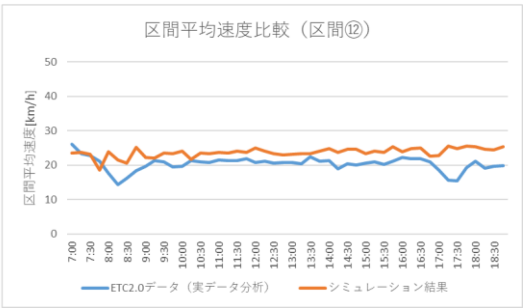


図 367　現況再現ケース区間旅行時間・速度の再現性検証結果（区間⑫）

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

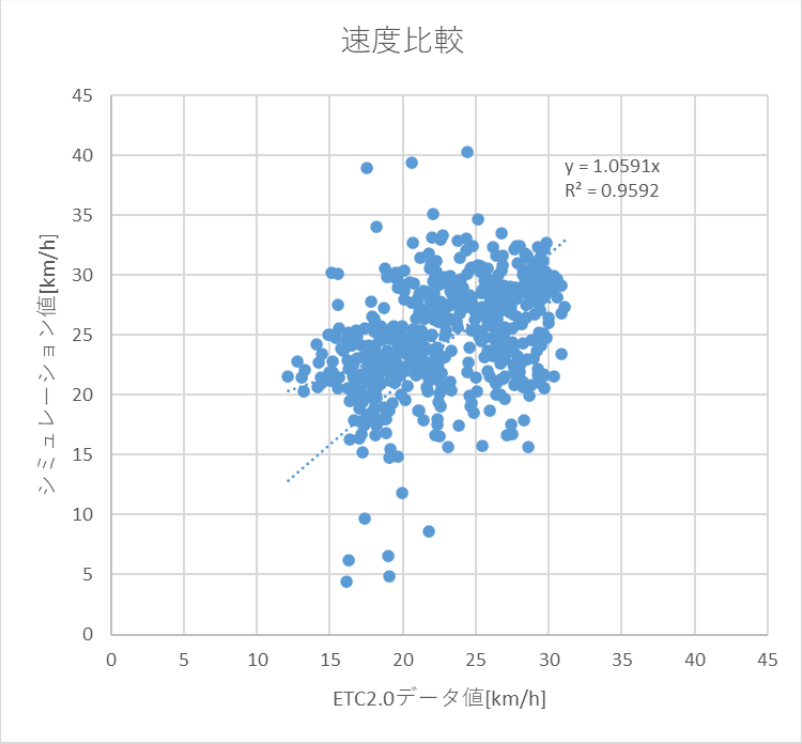


図 368　現況再現ケース区間速度の再現性検証結果

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

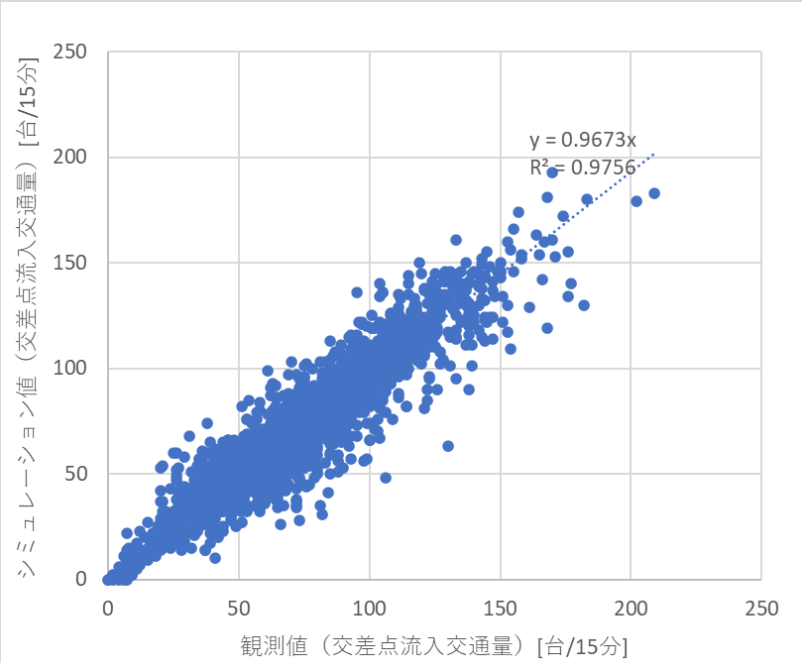


図 369　現況再現ケース通過交通量の再現性検証結果

（路上駐停車・バス・歩行者交通あり）

iii) シミュレーションモデルへの機能実装

今年度の取り組みでは 2 つの機能を追加実装した。1 つ目は走行車両が路上駐停車車両を追い越す際に、通過速度を確率的に決定する機能を実装し、2 つ目は走行車両が路上駐停車車両に対して中央線を跨いで追い越さなければならない場合に、対向車両の状態を考慮して追い越しの判断を行う機能を実装した。

過年度の取り組みでは、路上駐停車モデルにより路上駐停車をする車両に対して、走行車両が回避して走行するモデルを実装した。走行車両は駐停車車両の横を通過する際に駐停車車両の影響を受けて速度を落として走行をする。この時、通過の際の走行速度は走行車線の残余幅に依存して決定するものとした。したがって、全ての車両が同一の速度で追い越す挙動となる実装となっており、現実の追い越しの挙動を正しく表現出来ていなかった。そこで、車種別・車線別・残余幅別に速度低下率が定義されたテーブル表を読み込んでおくことで、走行車両が路上駐停車車両を追い越す際の速度を確率的に設定されるものとして機能を改修した。

実装した機能について動作検証を行った。以下に検証の際の条件設定を記す。

- 検証設定：
    1. 下流から 200m 地点に路上駐停車車両を配置
    2. 区間上流から 10 台/15 分の交通需要を設定
    3. 区間速度は 10m/s と設定
    4. 希望速度係数は 20%の確率で 0.6 に、20%の確率で 0.2 が選ばれる様に設定

図 370 は動作検証に使用するネットワークである。全区間が 400m の単路ネットワークにおいて下流 200m 地点に路上駐停車車両を配置した。区間上流から走行する車両は路上駐停車車両の影響を受けて走行する状況を設定した。この走行車両は、路上駐停車車両を追い越し時に走行車線上を走行してすり抜けを行う。走行車両は路上駐停車車両のすり抜け時に所定の確率で速度を低下させて路上駐停車車両の横をすり抜ける。すり抜け時の速度係数の発生確率と希望速度係数の対応テーブル表を表 138 に示す。

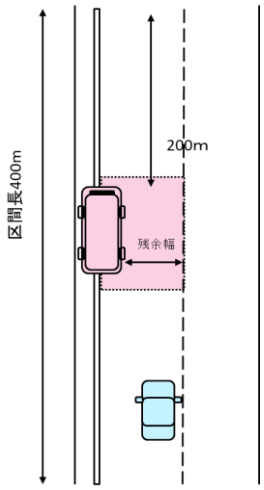


図 370　動作検証ネットワーク

表 138　発生確率と希望速度係数の対応テーブル

発生確率	希望速度係数
60%	1.0
20%	0.6
20%	0.2

動作検証において走行距離に対する車両速度の推移を図 371 に示す。路上駐停車車両の車線上を走行する車両は、路上駐停車車両の上流で路上駐停車車両を通過する際の速度を決定し、その速度となる様に徐々に速度を落として走行をした。また、走行速度を 2km/h まで落として走行する車両の中には減速の開始位置が異なる様子が見られた。これは、速度を 2.0km/h まで落として走行する車両の後続車両が前方の速度低下車両に追従して速度を低下させているためである。表 139 に路上駐停車車両の通り抜け速度（最低速度）と対象車両の発生確率を示す。路上駐停車車両の追い越し時の通過速度は 10km/h、6km/h、2km/h のいずれかとなっており、その車両の発生確率はテーブル表で設定した確率とおよそ同値となっていることから実装した機能が正しく動作していることを確認できた。

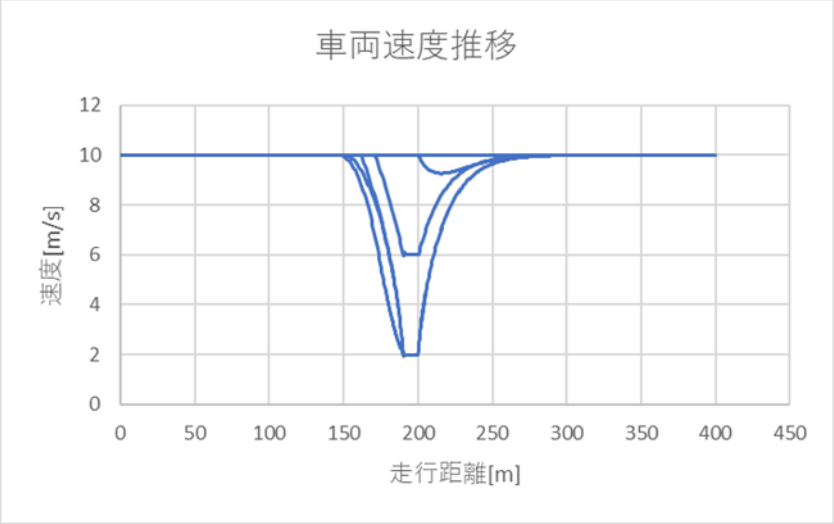


図 371　路上駐停車車両追い越し時の速度推移

表 139　通過速度の分布

最低速度[m/s]	車両台数[台]	発生確率
0	0	0%
1	0	0%
2	21	26%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	14	18%
7	0	0%
8	0	0%
9	0	0%
10	45	56%

過年度の路上駐停車車両の回避モデルでは、路上駐停車車両の回避方法には車線を維持する場合と追い越し車線に車線変更をして走行する場合の 2 種類がある。走行車両の車線変更の意志決定は、走行する車線の幅員から駐停車車両によって占有される幅を引いた残余幅と、走行車両の全幅に基づいた車線変更判断の閾値を比較し、残余幅が閾値よりも狭い場合に車線変更の意志決定を行う。走行車線が 2 車線の場合、外側の車線に停められた路上駐停車車両を回避して内側の追い越し車線に車線変更を行う。しかしながら、路上駐停車車両が片側 1 車線の道路に停めており、その残余幅が閾値よりも狭い場合には、走行車両は路上駐停車車両に追従し、スタックするものとなっていた。

今年度に実装をした機能部分を図 372 に示す。路上駐停車車両により走行車線の残余幅が車線

変更希望幅より狭く、路上駐停車車両が片側 1 車線道路に停められている場合には、中央線を跨いで追い越す機能を実装した。

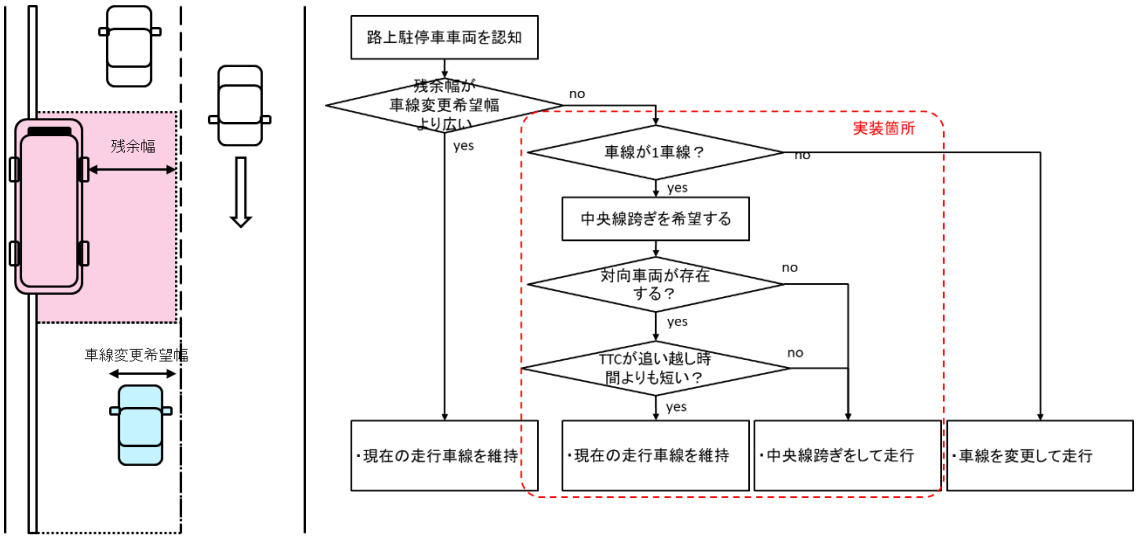


図 372　路上駐停車車両追い越し時の判断ロジック

また、路上駐車車両のいる区間が赤信号などで流出規制されている場合は、中央線を跨いで路上駐停車を追い越さない仕様とした。

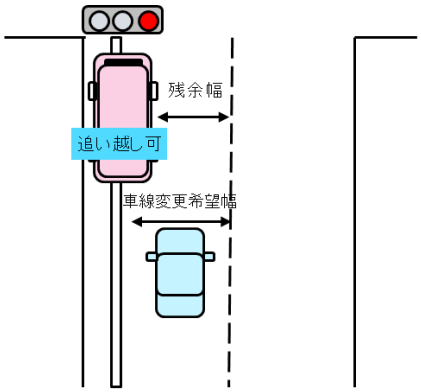


図 373　信号交差点付近の路上駐停車車両追い越し判断

図 374 の様に、路上駐停車車両が複数存在しておりかつ、下流の車両を追い越せないと判断した場合、下流の路上駐停車車両と、上流の路上駐停車車両のギャップをチェックしギャップが存在しない場合には後方の車両に追従する仕様とした。

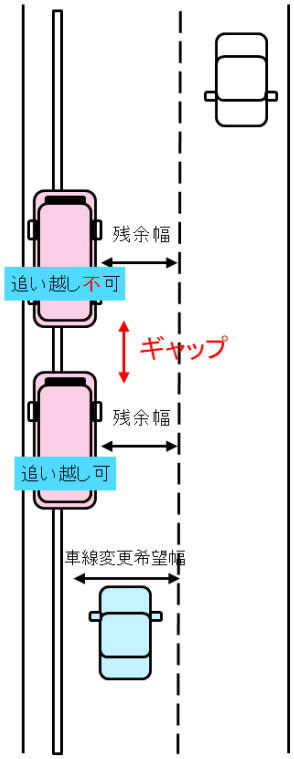


図 374　連続する路上駐停車車両追い越し判断

● 動作検証（追記）

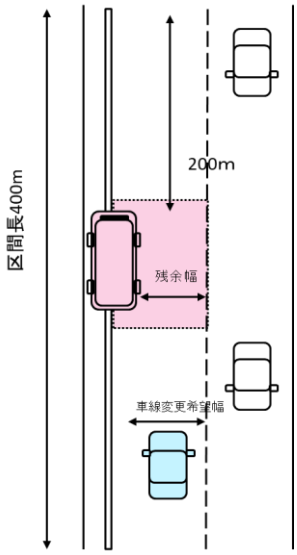


図 375　動作検証ネットワーク

実装した機能について動作検証を行った。以下に検証の際の条件設定を記す。

● 検証設定（詳細追記）

- 下流から 200m 地点に路上駐停車車両を配置
- 区間上流から 10 台/15 分の交通需要を設定
- 区間下流から 200 台/15 分の交通需要を設定
- 区間速度は 10m/s と設定
- 追い越し所要時間と対向車両との錯綜時間から中央線跨ぎの判断を行う。

区間上流から走行する車両は路上駐停車車両の影響を受けて走行をすることを想定した。この走行車両は、路上駐停車車両を追い越し時に中央線を跨いで対向車線にはみ出して走行する。そのため、区間下流から車両が接近しているとき、走行車両は対向車両との錯綜位置を判断して路上駐停車車両の通り抜けの可否の判断を行うものとした。動作検証による車両の走行軌跡図を図 376 に示す。路上駐停車車両の車線上を走行する車両は、対向車線を走行する対向車両が密な時は路上駐停車車両の後方で滞留し、対向車両が通り過ぎてから走行を開始していることを確認できた。

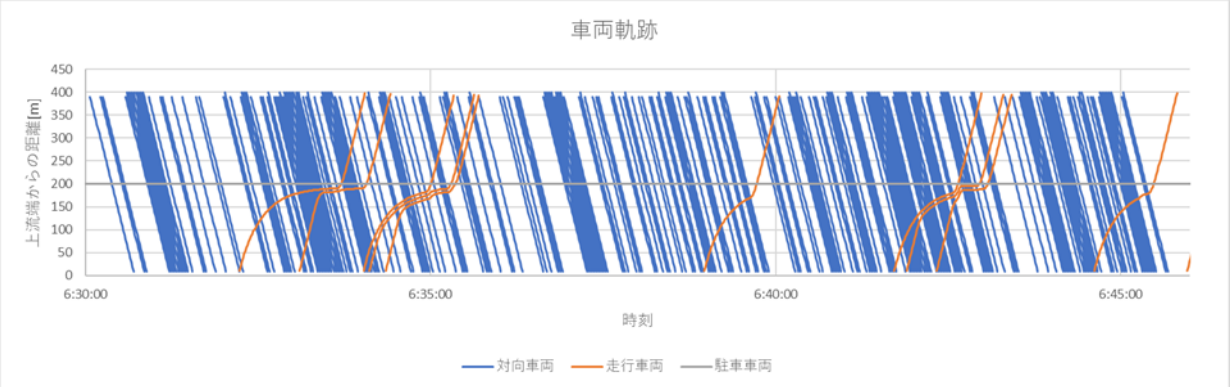


図 376　車両軌跡図

iv)　シナリオ評価

④ -1　自動運転バスや歩行者等の挙動パラメータ設定方法の検討

自動運転バスの挙動パラメータを「平成 30 年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：地域交通 CO2 排出量可視化技術の開発及び実証」に記載されている内容から、表 140 に示すとおり設定した。

表 140　各車種の挙動パラメータ

	小型車	大型車	バス	自動運転バス
最大加速度[m/s^2]	1.60	1.40	1.40	0.81
最大減速度 [m/s^2]	3.60	3.60	3.60	3.60
希望減速度[m/s^2]	1.62	1.83	2.00	2.19
自然加速度[m/s^2]	0.24	0.24	0.30	0.20
近傍探索距離[m]	200	200	200	300

④ -2　交通シミュレータを用いた個別ケース評価の実施

過年度成果において提示されたシナリオケースおよび検討結果を基にシナリオケースを作成した。その後、作成したシナリオケースに対しシミュレーション計算を実施し、個別ケースの評価試行を行った。実施する評価ケースは、表 141 に示すとおり過年度に作成した評価ケースを基に選定した。

表 141　施策評価ケース一覧

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

施策なしで検証される評価ケース

施策ありで検証される評価ケース

シミュレーションは表　142 に示すとおり「現況再現シナリオ」「評価シナリオ 1」「評価シナリオ 2」の 3 つのシナリオで実施した。現況再現シナリオは自動運転バスが走行していないシナリオとし、2022 年 10 月 18 日の交通状況を模擬したシミュレーションとした。

評価シナリオ 1 は「現況再現シナリオ」で自動運転バスの走行を想定したシミュレーションである。評価シナリオ 1 は自動運転バスの導入による影響評価するものとして実施することとした。評価シナリオでは全ての評価ケースが評価可能な 1 つのデータセットによってシミュレーションを実施することとした。

評価シナリオ 2 は「評価シナリオ 1」で施策がある状況を想定したシミュレーションである。評価シナリオ 2 は施策による影響を評価するものとして行われる。評価シナリオ 2 では、個々の評価シナリオに対して評価可能な、個別のデータセットを作成してシミュレーションを実施することとした。

表 142　シナリオ設定

シミュレーション シナリオ	作成するデータセット			
現況再現シナリオ	セット1:自動運転バスなし			
評価シナリオ1 （施策なし）	セット2:自動運転バスあり 自律型自動運転① ② ⑥ ⑦ ⑪ ⑮			
評価シナリオ2 （施策あり）	セット3:評価シナリオ1+ インフラ側施策③	セット4:評価シナリオ1+ インフラ側施策④	セット5:評価シナリオ1+ インフラ側施策⑩	セット6:評価シナリオ1+ 協調型自動運転③

次に、シミュレーションの評価指標とその評価方法を検討した。今年度の取り組みでは、自動運転バスの走行申請における審査基準を満たすことを特定自動運行計画に記載することを念頭に実施することとした。審査基準には「他の交通に著しい支障を及ぼすおそれがない」と記述されており、このことから、自動運転バス以外の車両について評価を行う必要があると判断した。ここで、自動運転バスの導入による交通流の変化の可能性について整理すると以下の項目が挙げられる。

1. 低速な車両が走行することによる遅れ時間
2. 車線変更などの交通流の乱れから生じる速度低下
3. 信号交差点における渋滞
4. 経路変更による走行距離の増加

このことから自動運転バスの導入による影響評価として以下の内容を評価することとした。

1. エリア全体の自動運転バス以外の車両の総走行距離、総旅行時間、平均速度
2. 各路線での自動運転バス以外の車両の平均速度
3. 自動運転バス走行区間において自動運転バス以外の車両の低速（20km/h 以下）で走行している車両の台数、総走行時間（交差点内や信号停止を含む。但し路上駐停車車両は含まない）

また、評価シナリオ 2 では施策による影響評価も行うこととした。上記の評価内容について同

様に評価し、自動運転バスに対しても行うこととした。また、自動運転バスの定時性の評価として、自動運転バスが円滑に走行でき、遅れが生じない（どれだけ改善された）状態であるかを評価するために自動運転バスの旅行時間、平均速度を評価することとした。

施策による影響評価として各施策においては以下の項目について評価を行うこととした。

③ 走行帯内での回避可能性向上（停車帯整備）

⑤ 走行帯内での回避可能性向上（停車帯設置）

- 自動運転バスの走行区間別の旅行時間
- 自動運転バス以外の車両の走行区間別の平均速度

⑩ 交差点：右直現示分離（右直事故防止）

- 自動運転バスの走行区間別の旅行時間
- 自動運転バス以外の車両の走行区間別の平均速度
- 1 サイクルあたりの方向別平均流出台数（青時間の短縮による影響評価（15 分単位））
- 自動運転バスの交差点通過所要時間

③ 交差点の情報による運転支援（右折支援）

- 自動運転バスの走行区間別の旅行時間
- 自動運転バスの交差点通過所要時間

使用するシミュレータは、車両の発生時刻、経路選択や、車線変更の判断などにおいて乱数を使用しており、シード値を変えることでシミュレーションの結果に数%の差異が生じる。自動運転車両導入シナリオの結果が、現況再現ケースの結果・振れ幅をから大きく乖離しないことを確認することとした。

自動運転バスは他の交通の交通量が少なく、他の交通への影響が小さい時間として柏の葉キャンパス駅発 11:25-、柏キャンパス発 11：55-にそれぞれ 1 台走行するものとした。

次に、路上駐停車車両を各車両が通り抜ける際の通過速度についてパラメータの設定をした。通過時の速度は道路構造やはみ出し幅によって、路上駐停車車両の周辺の環境の認識のしやすさで変化することが考えられる。そのため、このような情報は、現地でのカメラ撮影などによる計測や、路側機情報による路上駐停車車両の横を通過する車両の速度を分析することでパラメータを算出して設定することが考えられる。今年度の取り組みでは、上記の様なデータを取得することが出来なかったため、既往文献を調査して設定することとした。坂本らが「市街地道路における路上駐車対策効果のシミュレーション分析」で整理した路上駐停車車両を通過する際の通過速度を基にパラメータの設定をした。モデル化した車線の残余幅に対する希望速度係数を図 377 に示す。小型車両は車線の残余幅が 2.7m 以下の時に速度低下しはじめ、最低で 0.68 倍まで速度を低下させることとした。また、大型車両の車体幅は小型車両の車体幅より 60cm 大きいものと

して設定していることから、残余幅に対する速度低下は小型車より 60cm 広い 3.3m 幅から速度低下を行うものとした。また、ドライバーの特性によって追い越し時の希望速度を変化させることとした。90%の車両は通常の速度で追い越しを行うが、5%の車両は論文で引用した速度まで速度を低下することとし、残りの 5%は通常の速度と論文によって定義した速度の中間の速度まで速度を低下することとした。また、自動運転バスは車両やドライバーによる個体差が無いものとして閾値以下の残余幅では 100%の確率で速度が低下することとした。

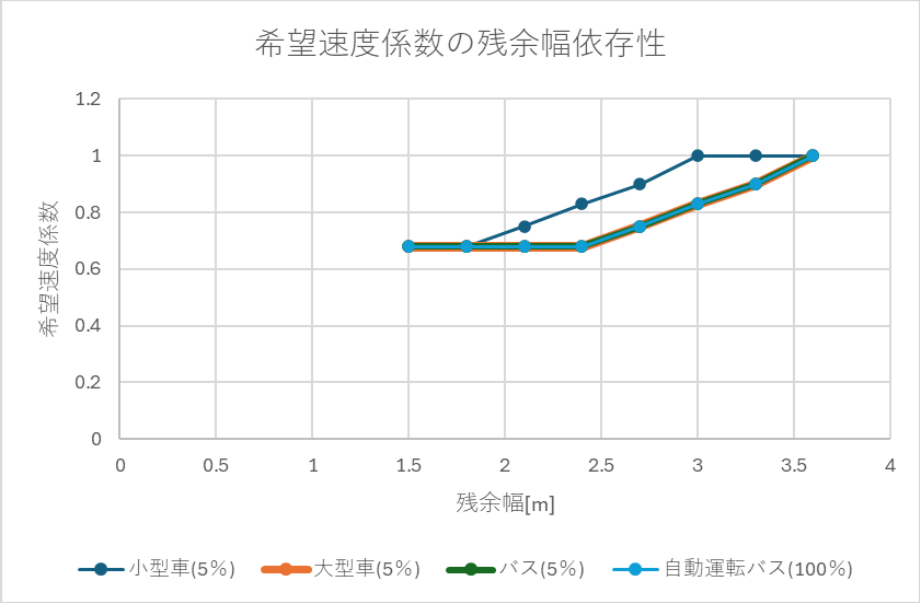


図 377　路上駐停車車両を追い越しする際の希望速度係数

次に評価シナリオ 2 におけるそれぞれの施策の想定とそれによるデータセットの変化について整理した。評価シナリオ 2 のインフラ側施策③では、図 378 に示すようにゼブラ帯を縮小して路側拡幅をすることで、駐車スペースを確保し、路上駐停車車両のはみ出しを抑制する施策とした。このケースではパークシティ柏の葉キャンパス前において中央分離帯に存在する横幅 1m 程度のゼブラを削除して、車線を中央に寄せて停車帯を整備することを想定した。過年度及び今年度に実施した路上駐停車の駐車位置を停車帯の整備した場所を中央とし、はみ出し幅を 1m 分差し引いたデータセットを作成した。

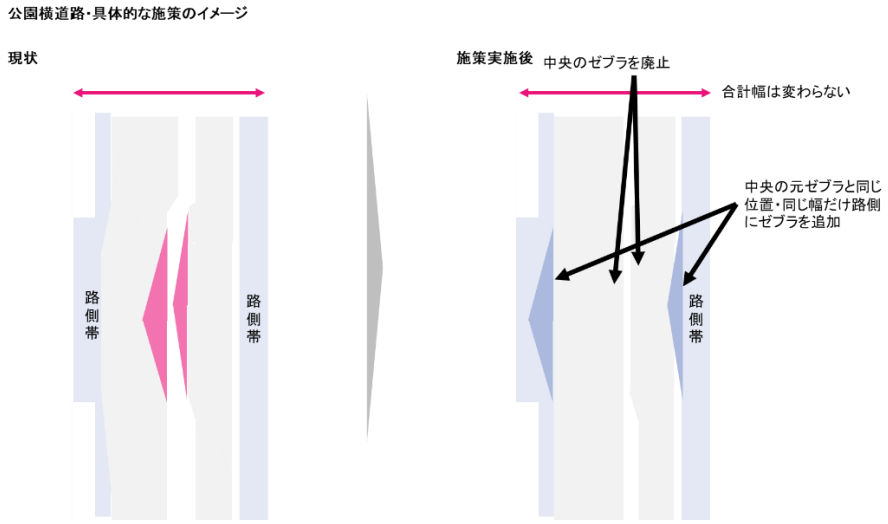


図 378　評価シナリオ 2-インフラ側施策③における想定施策

評価シナリオ 2 のインフラ側施策④（Case4）では、道路空間の再分配を行うことで道路上に停車帯を設置し、路上駐停車車両のはみ出しを抑制する施策とした。再配分前後のネットワーク構造の変化を図 379 に示す。このケースでは柏の葉公園通りの両車線の自転車専用走行帯を削除して、片側に 1 車線分の停車帯を確保することを想定した。単路の上下端に存在するゼブラと右左折専用車線ではそのままとし、その間の自転車道の幅員を再配分するものとした。再配分によって 0.5m の幅員が増加する幅として路上駐停車のはみ出し幅を 0.5m 分差し引いたデータセットを作成した。

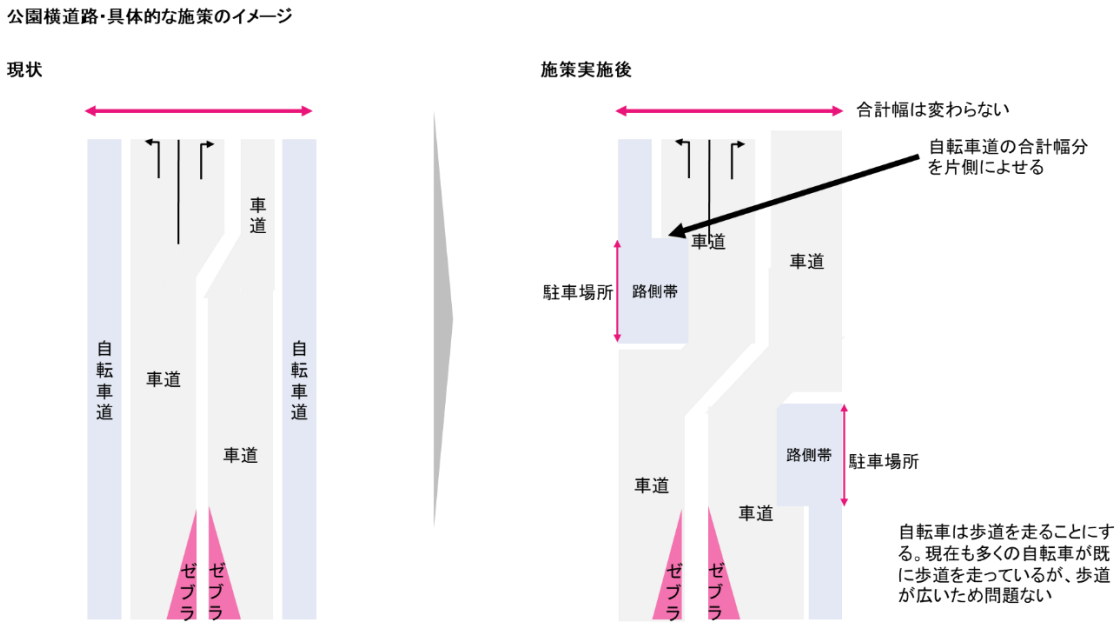


図 379　評価シナリオ 2-インフラ側施策④における想定施策

評価シナリオ 2 のインフラ側施策⑤（Case5）では、自動運転バスが走行する経路上の信号交差点において右直分離現示を導入することで、自動運転バスの右折支援を行う施策とした。このケースでは正連寺南交差点の西側流入部に右折専用現示を設置することを想定した。全体のサイクル長の変更を行わないことを前提とし、南北方向の交通流の影響を及ぼさないために、東西方向の信号現示時間のみを変更した。東西方向の青時間を 9 秒差し引き、3 秒の黄色時間と 6 秒の右折専用現示を追加したデータセットを作成した。また、追加した階梯では、南北方向において左折専用現示を追加することで柏の葉キャンパス駅から東大へ走行する自動運転バスの運行の支援を行うものとした。

評価シナリオ 2 の協調型自動運転③（Case6）では、自動運転バスが路側機の送信する路上の情報を活用して走行する際の影響評価を行った。このケースでは、自動運転バスが路上駐停車車両とその周辺の物標情報、交差点での歩行者、自転車、対向車両等の物標情報を得られる状態を想定した。物標情報の取得により自動運転バスは周囲の状況を早く認識出来る様になり、滑らかな加速が実現できるものと仮定した。このケースにおいては自動運転バスの最大加速度をバスの最大加速度（1.4m/s2）との中間の値として 1.106m/s2 としたデータセットを作成した。Case6 で設定される車両パラメータの一覧を表 143 に示す。

表 143　Case6 における車両パラメータ

	小型車	大型車	バス	自動運転バス
最大加速度[m/s^2]	1.60	1.40	1.40	1.106
最大減速度 [m/s^2]	3.60	3.60	3.60	3.60
希望減速度[m/s^2]	1.62	1.83	2.00	2.19
自然加速度[m/s^2]	0.24	0.24	0.30	0.20
近傍探索距離[m]	200	200	200	300

評価シナリオ 2 の各ケース（Case3～6）において、評価シナリオ 1（Case2）との比較を行った。対象時間帯の全エリアでの総旅行時間、総走行距離、平均速度を図 380-図 382 に示す。

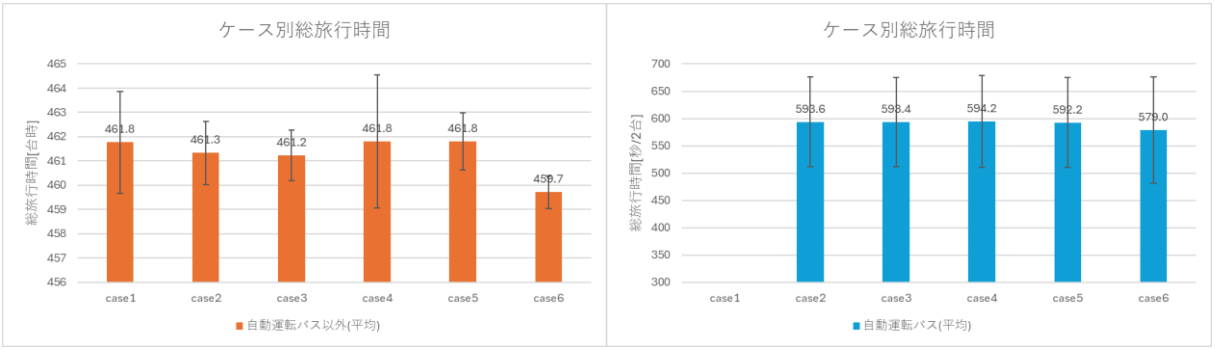


図 380　柏の葉キャンパス駅周辺ネットワーク全体の総旅行時間（11 時-13 時）

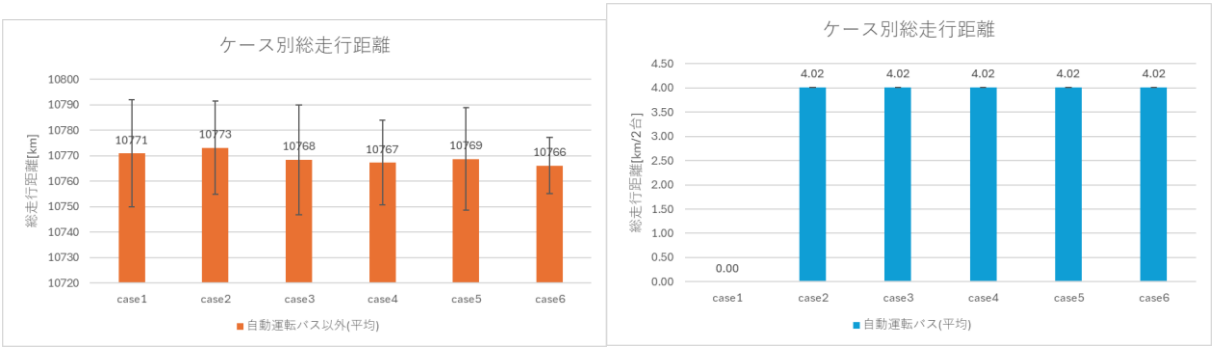


図 381　柏の葉キャンパス駅周辺ネットワーク全体の総走行距離（11 時-13 時）

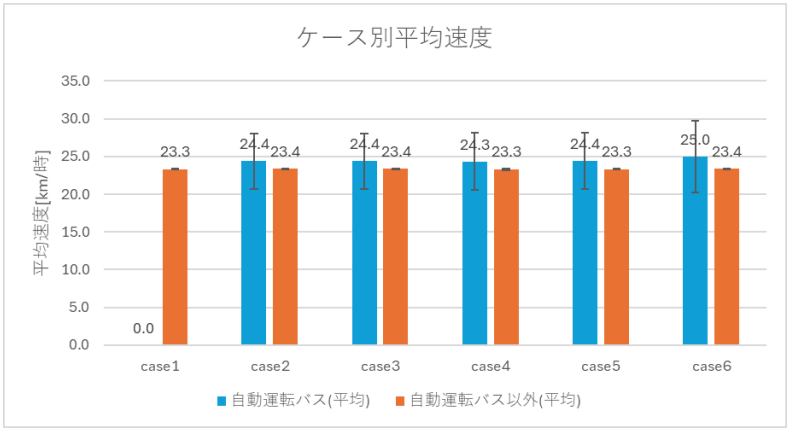


図 382　柏の葉キャンパス駅周辺ネットワーク全体の平均速度（11 時-13 時）

Case3～Case5 の各指標を Case2 と比較した。自動運転バス以外の総旅行時間が最も大きく減少しているのは Case6 で-1.6 台時間となった。また、自動運転バスの総旅行時間は Case6 で-14.6 台秒となった。自動運転バスの総走行距離は Case3-Case6 で同じ経路を走行しているため増減はなかった。平均速度の評価では、自動運転バスは自動運転バス以外の車両より早く走行する結果となった。旅行時間が大きく変化していない要因には、評価を行った時間帯において、施策を行った区間での路上駐停車車両が少なかった、若しくは、路上駐停車車両の影響が小さかった

可能性が挙げられる。また、図 377 で設定した路上駐停車車両を追い越す際の速度低下について、大きく影響を受ける車両の割合を 5%、半分の影響を受ける車両の割合を 5%として合計 10%の車両が影響を受けるものとしたが、対象車両の割合を大きくすることで施策の効果がより明確に表れると考えられる。現地で調査などを行うことで、路上駐停車車両の追い越し時の車両の挙動をより正確に分析し、パラメータに設定することで施策評価の正確性が向上すると考えられる。

次に、図 383 と図 384 に、自動運転バスの走行路線における自動運転バス以外の車両の平均速度を示す。赤枠は自動運転バスが走行すると想定される時間帯である。Case3～Case5 の自動運転バスが走行する時間帯の平均速度を Case2 と比較した。自動運転バスが走行する時間帯である柏の葉キャンパス駅-東大方向の 11:15 帯では Case5 において-1.7km/h の低下となった。対して、Case6 では 0.7km/h の増加となった。

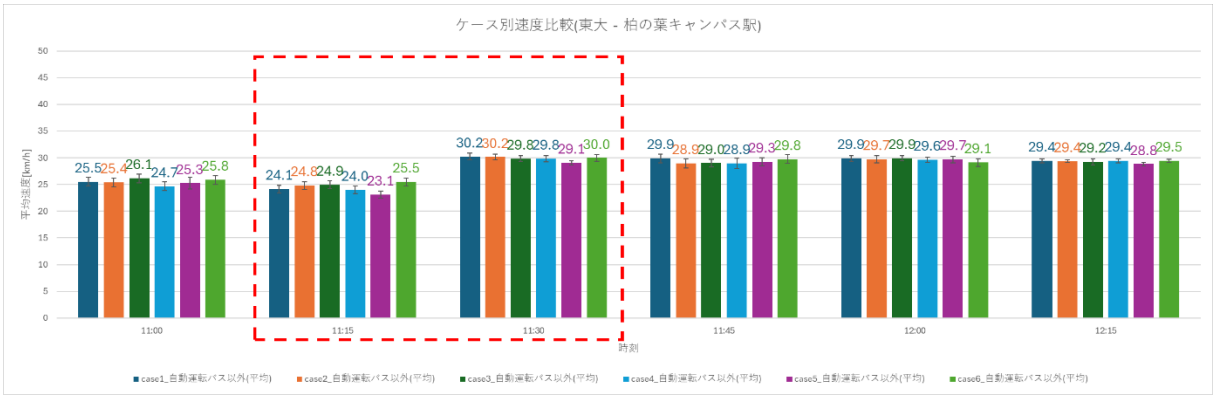


図 383　自動運転バス走行路線上の自動運転バス以外の平均速度
（柏の葉キャンパス駅-東大方向）

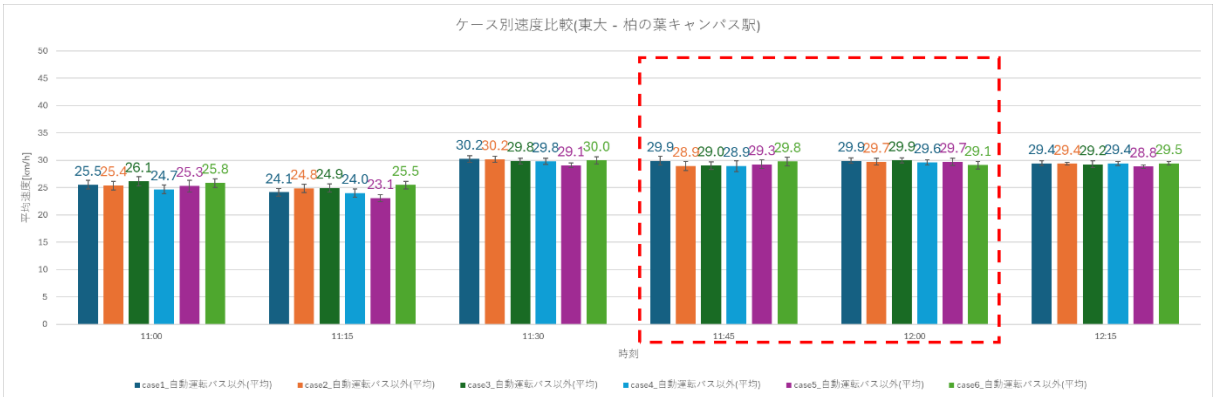


図 384　自動運転バス走行路線上の自動運転バス以外の平均速度
（東大-柏の葉キャンパス駅方向）

次に、低加速度発進などによる交通流の乱れから生じる速度低下の評価として、自動運転バス以外の低速走行車両について評価した。図 385 に自動運転バスの走行区間における、11 時から 13 時までの 2 時間の間で、速度が 20km/h 以下となった車両の台数、図 386 にその平均時間を示す。Case3～Case6 は Case2 と比較をして全ての Case で低速車両台数は減少する結果となった。1 台当たりの低速走行時間は Case4、Case5 で増加する結果となったが、その増加時間は 1 秒程度となった。

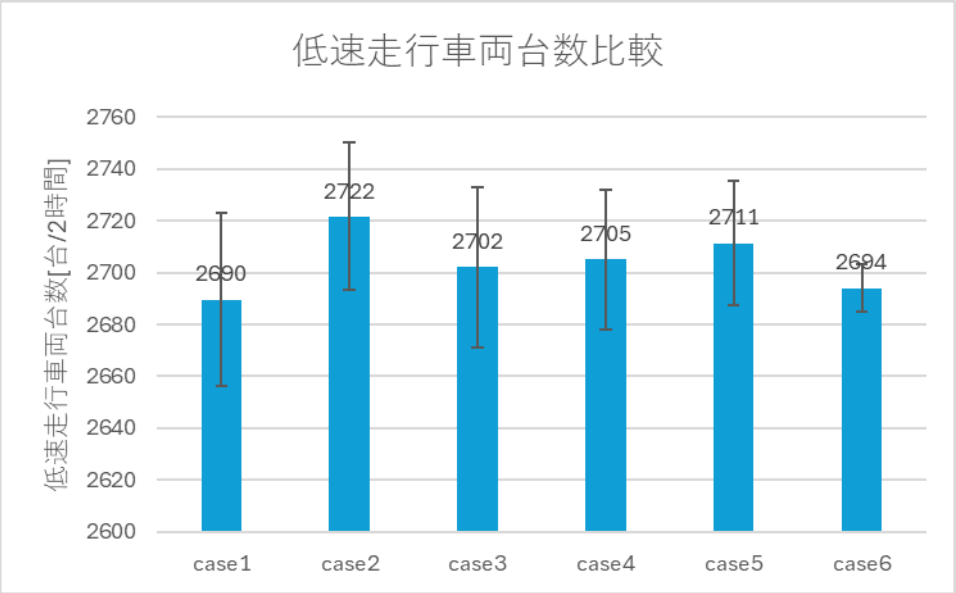


図 385　自動運転バスの走行区間における低速走行車両台数（11 時-13 時）

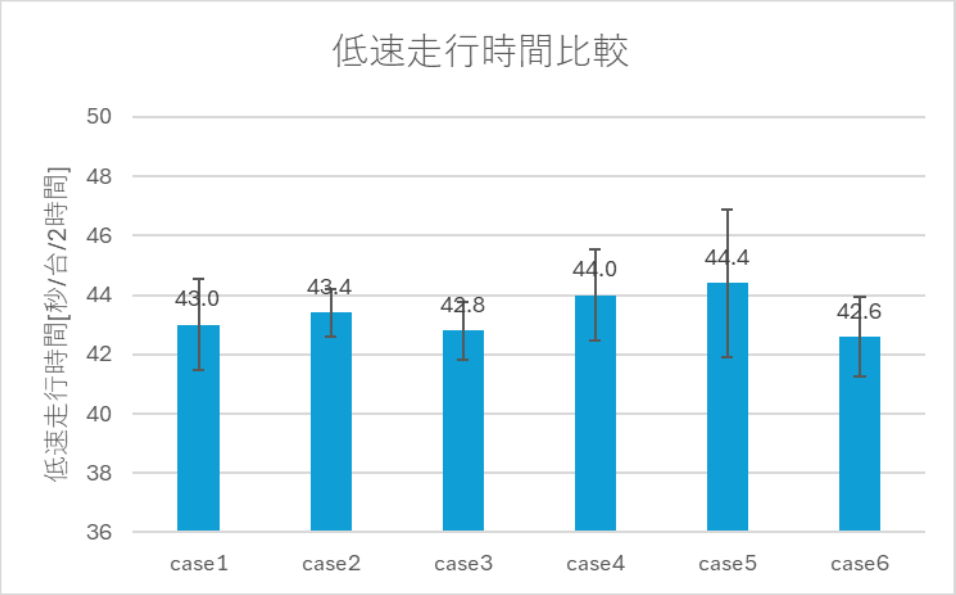


図 386　自動運転バスの走行区間における低速走行平均時間（11 時-13 時）

次に、各ケースにおける自動運転バスの区間別旅行時間について図　387 及び図　388 に示す。赤枠は施策によって自動運転バスの走行が円滑になり、通過所要時間が短くなることが期待される区間である。Case6 の東大発の自動運転バスは区間 A-2 で 11.2 秒の通過所要時間の減少が見られた。他の区間や、ケースでは走行時間の増減は小さく、最大では Case6 の C-1 区間での 2.0 秒の増加、最小では Case6 の B-2 区間での-1.4 秒の減少となった。自動運転バスは右左折が多いため、信号による停止が多く整流された結果、全体の通過所要時間には差が見られない結果となったと考えられる。

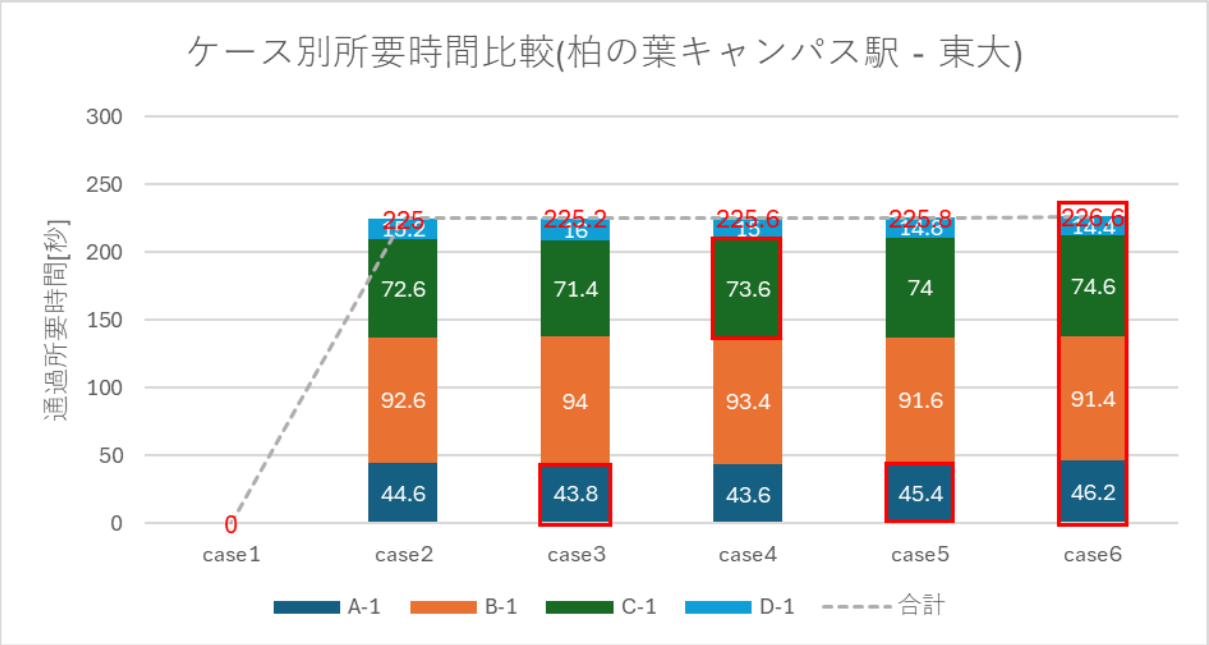


図 387　自動運転バスの区間別旅行時間の比較(柏の葉キャンパス駅−東大)

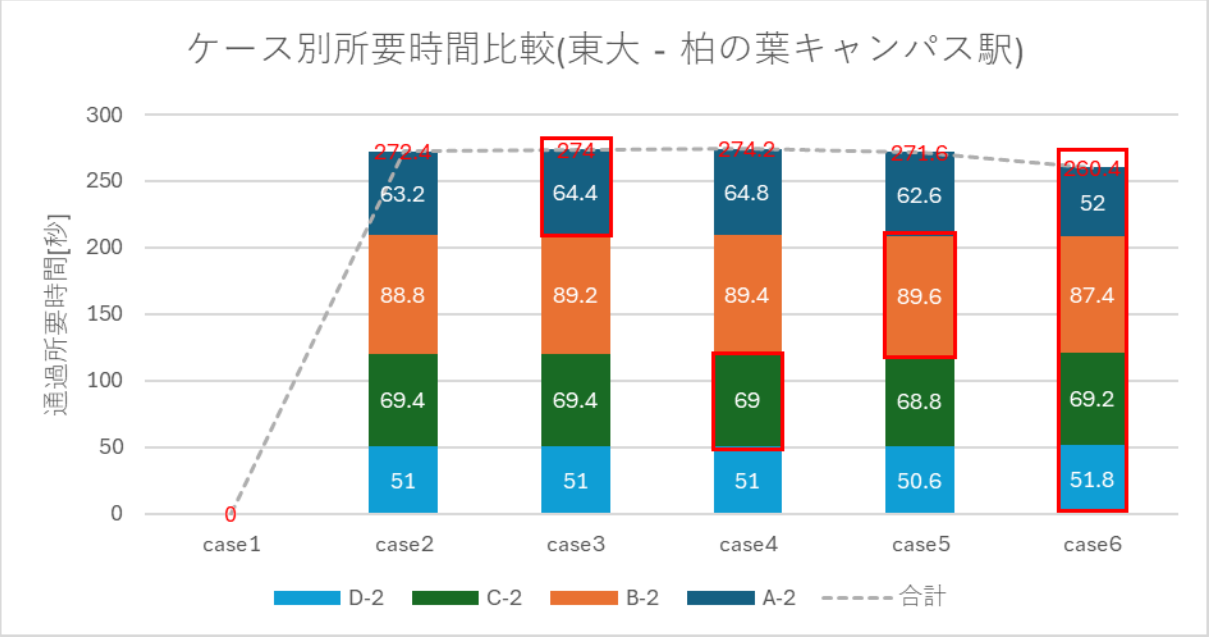


図 388　自動運転バスの区間別旅行時間の比較(東大−柏の葉キャンパス駅)

Case3 および Case4 は道路空間再配分を行うことで駐停車帯を確保し、路上駐停車車両のはみ出しの抑制を行う施策である。施策を行った区間について自動運転バス以外の車両の区間平均速度を時間帯別で評価した。図 389 及び図 390 に、Case3 で施策を行ったパークシティ柏の葉キャンパス前の区間において、Case2 と Case3 の平均速度の時間帯別推移の比較を示す。赤枠は自動運転バスが対象区間を走行することが想定される時間帯である。南→北方向は 11:30 帯で

0.8km/h の速度増加となる結果となった。また、北→南方向は 12:00 帯で 0.8km/h の速度増加となる結果となった。

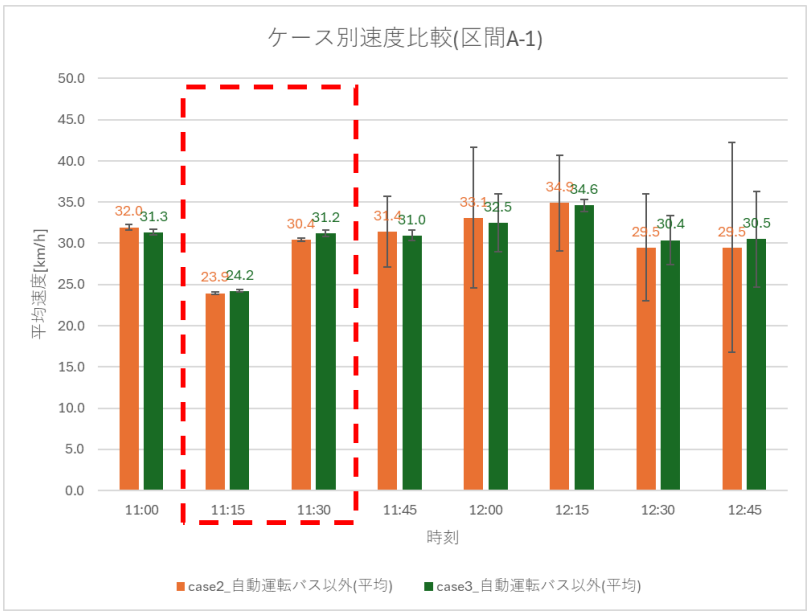


図 389　パークシティ柏の葉キャンパス前区間平均速度(南→北方向)

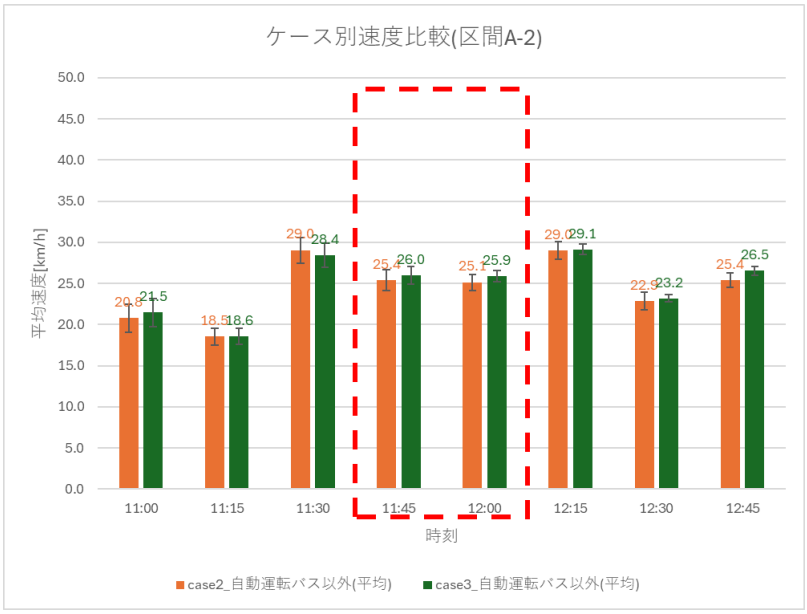


図 390　パークシティ柏の葉キャンパス前区間平均速度(北→南方向)

図 391 及び図 392 に、Case4 で施策を行った柏の葉公園通り（税関前）の区間において、Case2 と Case4 の平均速度の時間帯別推移の比較を示す。南→北方向では、11:30 帯で 0.3km/h の速度増加となる結果となった。また、北→南方向では速度の増減は見られなかった。

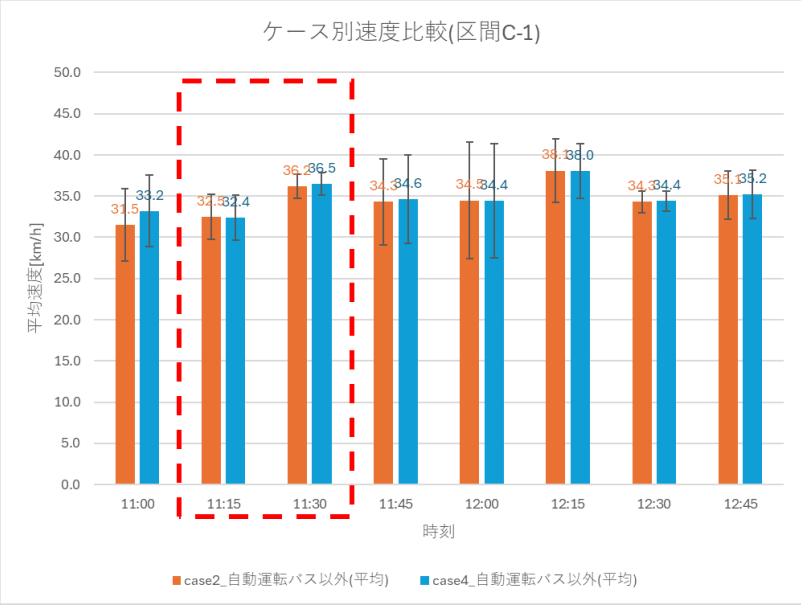


図 391　柏の葉公園通り(税関前)区間平均速度(南→北方向)

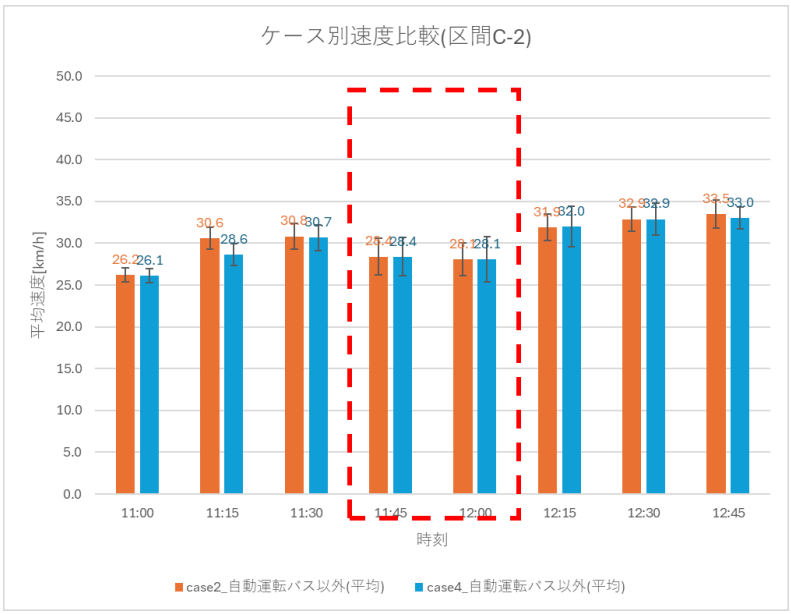


図 392　柏の葉公園通り(税関前)区間平均速度(北→南方向)

Case5 および Case6 においては自動運転バスが信号現示及び路側機による走行支援を受けることで、より円滑な走行が実現されることを想定した。また、これにより信号交差点の流率が改善され、単位時間当たりの交通量が増加することが期待される。図 393-図 396 に Case2、Case5、Case6 における自動運転バスの交差点内通過所要時間を示す。Case5 では地点⑦交差点での信号現示による支援であるため、図 395 においてのみ記載する。Case5 では柏の葉キャンパス駅発の

走行は通過所要時間の変化はなく、東大発の走行の通過所要時間は-0.2秒の減少であった。これは、自動運転バスが右左折時に歩行者の影響を受けていない状況であり、自動運転バスの交差点内の挙動がおよそ同一であったと考えられる。Case6 では地点④の東大発の走行以外は短い結果となっており、地点②においては-2.6 秒の減少、地点⑧では-1.8 秒の減少となっている。これは信号の前で停止していた自動運転バスが交差点内で加速を行う際に加速が滑らかであるため交差点を通過するために要する時間が短くなったと考えられる。

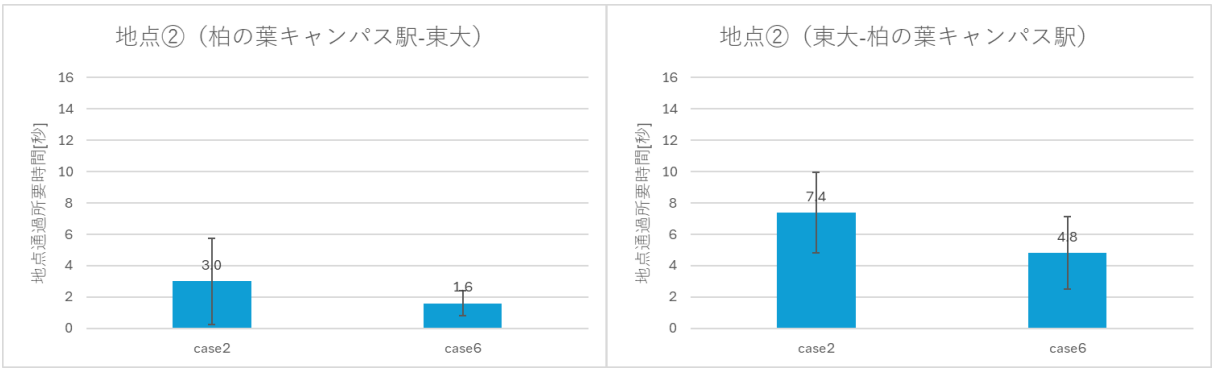


図 393　自動運転バスの地点②交差点通過所要時間
（左図：柏の葉キャンパス駅-東大、右図：東大-柏の葉キャンパス駅）

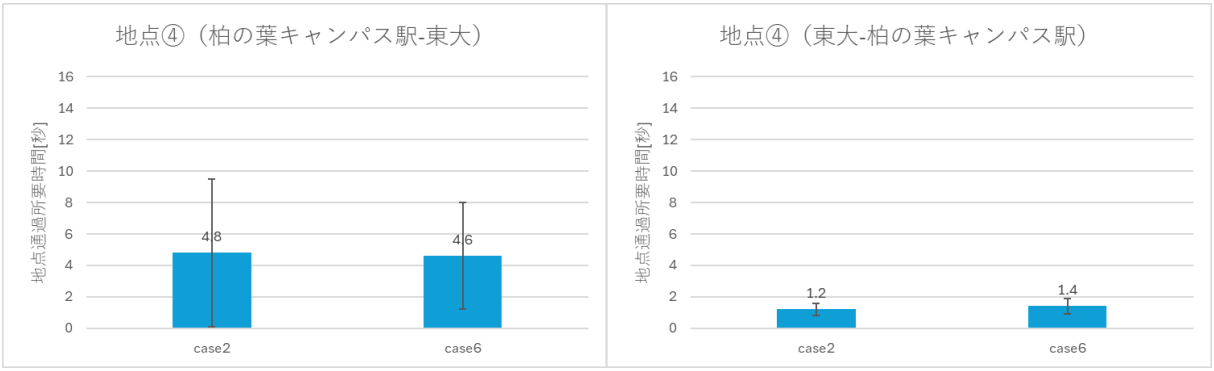


図 394　自動運転バスの地点④交差点通過所要時間
（左図：柏の葉キャンパス駅-東大、右図：東大-柏の葉キャンパス駅）

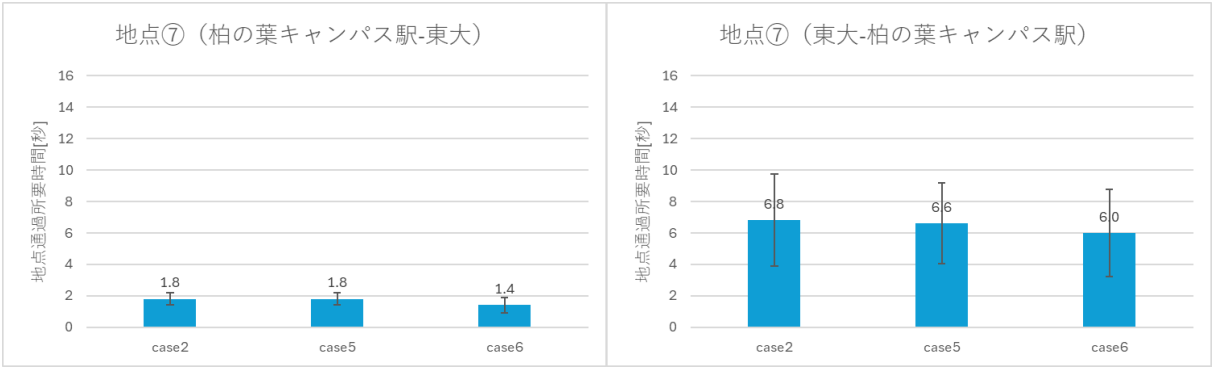


図 395　自動運転バスの地点⑦交差点通過所要時間
（左図：柏の葉キャンパス駅-東大、右図：東大-柏の葉キャンパス駅）

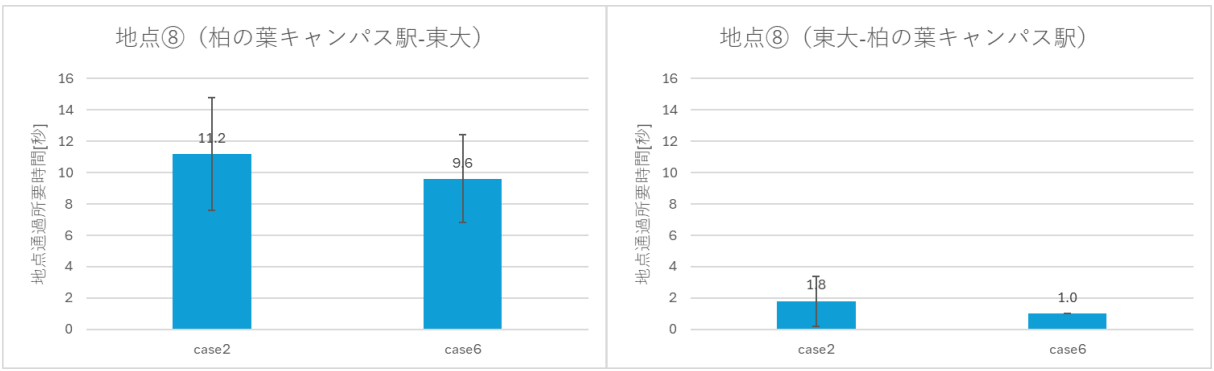


図 396　自動運転バスの地点⑧交差点通過所要時間
（左図：柏の葉キャンパス駅-東大、右図：東大-柏の葉キャンパス駅）

図 397、図 398 に単位時間当たりの方向別交通量を示す。赤枠は自動運転バスが走行することが想定される時間帯である。自動運転バスが走行する時間帯では Case6 で単位時間当たりの交通量が増加しているが、累積交通量では変化はしていない結果となった。これは、対象の交差点での交通需要が多くなく、施策を行う前の Case2 でも 1 サイクルの内に車両を捌けているためであると考えられる。

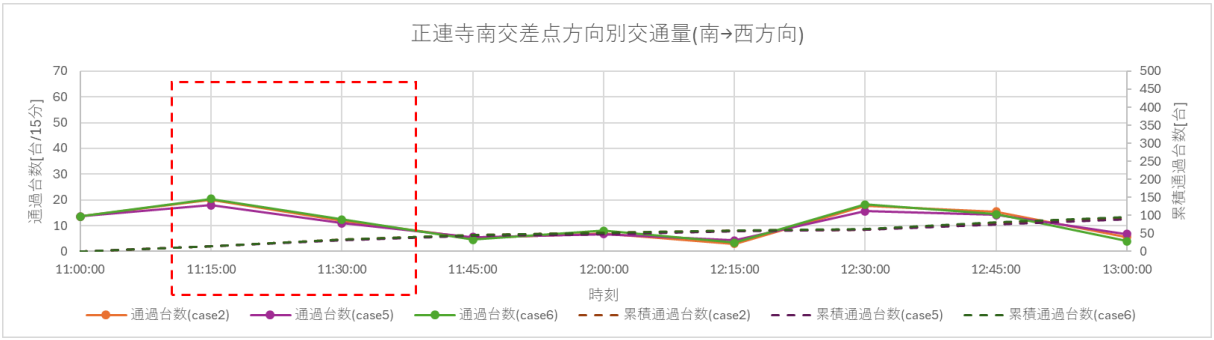


図 397　地点⑦交差点方向別交通量（南→西方向）

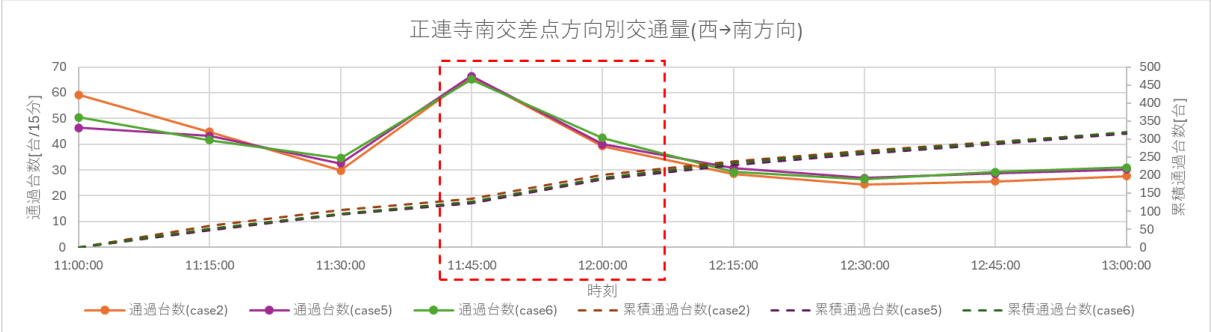


図 398　地点⑦交差点方向別交通量(西→南方向)

④ -3　全体交通シミュレーションの実施

本節では対象とする柏の葉エリア全体の交通シミュレーションを実施し、特定自動運行計画へ記載することを念頭に指標の算出試行を行った。6:30～19:00 のシミュレーションを実施し、自動運転バスの導入ケース（Case2）による交通流の変化を評価した。指標評価の対象期間は自動運転バスが走行する時間帯である 11 時帯と、その後の交通流の影響があると考えられる 12 時帯を合わせた 2 時間の時間帯において評価をすることとした。評価指標には、図 380 -図 387 を参照して、自動運転バス以外の車両の本対象エリアの総走行距離、総旅行時間、平均速度を比較、低速走行車両の比較、自動運転バス走行区間の平均速度を評価した。エリア全体の評価指標として、自動運転バス以外の車両の 2 時間での総旅行時間は-0.5 台時の減少、総走行距離は+2 台 km の増加となった。これより平均速度は+0.1km/h の速度増加となった。低速走行車両の台数は+32 台の増加となり、1 台当たりの増加時間は+0.4 秒の増加となった。自動運転バス走行区間の平均速度は 11：15 帯で+0.6km/時の速度増加、11:30 帯での変化はなく、11:45 帯では-1.0km/h の速度低下、12:00 帯での-0.2km/h の速度低下となった。各指標において、エリア全体の自動運転バス以外の車両の平均速度が微増、自動運転バスの走行区間での平均速度が 1.0km/h 未満の増減である事から、自動運転バスの導入による影響は小さいと考えられる。

自動運転バスの導入による他の交通への影響評価および、各施策による自動運転バスと他の交通への影響評価として、表 144-表 147 に各指標の増減率を示す。青字は交通状況が良化した数値であり、赤字は交通状況が悪化した数値である。Case1 と Case2 の比較では、自動運転バスの導入によって自動運転バス走行路線区間の自動運転バス以外の車両の平均速度は最大で 3.24%悪化しているが、数値で見ると-1.0km/h の速度低下であり、変化は微小であった。また、エリア全体の平均速度では+0.11%の増加傾向にあり、ネットワーク全体に対する影響は小さいと評価できる。

表 144　全ケース対象の評価指標における増減率

大分類	小分類	対象車種	Case2 (対Case1)	Case3 (対Case2)	Case4 (対Case2)	Case5 (対Case2)	Case6 (対Case2)
エリア全体評価指標	ケース別総旅行時間	自動運転バス以外	-0.09%	-0.02%	0.10%	0.10%	-0.35%
		自動運転バス		-0.03%	0.10%	-0.24%	-2.46%
	総走行距離	自動運転バス以外	0.02%	-0.04%	-0.05%	-0.04%	-0.06%
		自動運転バス		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	平均速度	自動運転バス以外	0.11%	-0.02%	-0.16%	-0.14%	0.29%
		自動運転バス		0.03%	-0.10%	0.24%	2.52%
走行路線評価指標	低速度走行車両台数	自動運転バス以外	1.19%	-0.71%	-0.60%	-0.37%	-1.01%
	低速度走行時間	自動運転バス以外	2.70%	-2.40%	0.97%	1.60%	-2.90%
区間速度評価指標	平均速度 11:15帯 (自動運転バス走行区間 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス以外	-1.97%	0.33%	2.48%	2.55%	1.14%
	平均速度 11:30帯 (自動運転バス走行区間 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス以外	-0.78%	0.09%	0.64%	2.85%	0.03%
	平均速度 11:45帯 (自動運転バス走行区間 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス以外	-3.24%	0.24%	-0.03%	1.11%	2.87%
	平均速度 12:00帯 (自動運転バス走行区間 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス以外	-0.54%	0.71%	-0.50%	-0.13%	-2.05%

表 145　施策に対する評価指標の増減率（自動運転バスの区間走行性評価指標）

大分類	小分類	対象車種	Case2 (対Case1)	Case3 (対Case2)	Case4 (対Case2)	Case5 (対Case2)	Case6 (対Case2)
自動運転バス区間走行性評価指標	区間通過所要時間 (区間A-1 キャンパス駅-東大)	自動運転バス		-1.79%		1.79%	3.59%
	区間通過所要時間 (区間B-1 キャンパス駅-東大)	自動運転バス					-1.30%
	区間通過所要時間 (区間C-1 キャンパス駅-東大)	自動運転バス			1.38%		2.75%
	区間通過所要時間 (区間D-1 キャンパス駅-東大)	自動運転バス					-5.26%
	区間通過所要時間 (区間A-D キャンパス駅-東大)	自動運転バス		0.09%	0.27%	0.36%	0.71%
	区間通過所要時間 (区間A-2 東大-キャンパス駅)	自動運転バス		1.90%			-17.72%
	区間通過所要時間 (区間B-2 東大-キャンパス駅)	自動運転バス				-0.58%	-1.58%
	区間通過所要時間 (区間C-2 東大-キャンパス駅)	自動運転バス			-0.58%		-0.29%
	区間通過所要時間 (区間D-2 東大-キャンパス駅)	自動運転バス					1.57%
	区間通過所要時間 (区間A-D 東大-キャンパス駅)	自動運転バス		0.59%	0.66%	-0.29%	-4.41%

表 146　施策に対する評価指標の増減率（区間速度評価指標）

大分類	小分類	対象車種	Case2 (対Case1)	Case3 (対Case2)	Case4 (対Case2)	Case5 (対Case2)	Case6 (対Case2)
区間速度 評価指標	平均速度 11:15帯(区間A-1)	自動運転バス以外		1.21%			
	平均速度 11:30帯(区間A-1)	自動運転バス以外		2.60%			
	平均速度 11:45帯(区間A-2)	自動運転バス以外		2.28%			
	平均速度 12:00帯(区間A-2)	自動運転バス以外		2.90%			
	平均速度 11:15帯(区間C-1)	自動運転バス以外			-0.34%		
	平均速度 11:30帯(区間C-1)	自動運転バス以外			0.66%		
	平均速度 11:45帯(区間C-2)	自動運転バス以外			-0.04%		
	平均速度 12:00帯(区間C-2)	自動運転バス以外			-0.14%		

表 147　施策に対する評価指標の増減率（交差点交通評価指標）

大分類	小分類	対象車種	Case2 (対Case1)	Case3 (対Case2)	Case4 (対Case2)	Case5 (対Case2)	Case6 (対Case2)
交差点交通 評価指標	交差点通過所要時間 (地点2 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス					-46.67%
	交差点通過所要時間 (地点4 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス					-4.17%
	交差点通過所要時間 (地点7 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス				12.50%	-22.22%
	交差点通過所要時間 (地点8 柏の葉キャンパス駅-東大)	自動運転バス					-14.29%
	交差点通過所要時間 (地点2 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス					-35.14%
	交差点通過所要時間 (地点4 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス					16.67%
	交差点通過所要時間 (地点7 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス				-2.94%	-11.76%
	交差点通過所要時間 (地点8 東大-柏の葉キャンパス駅)	自動運転バス					-44.44%
	交差点方向別交通量 11:15帯 (南→西方向)	全車両				2.80%	9.35%
	交差点方向別交通量 11:30帯 (南→西方向)	全車両				4.62%	-9.23%
	交差点方向別交通量 11:45帯 (西→南方向)	全車両				0.30%	-1.51%
	交差点方向別交通量 12:00帯 (西→南方向)	全車両				2.04%	8.16%

上記より、柏の葉キャンパス駅周辺のネットワークにおける自動運転バスの導入による他の交通流への影響評価や自動運転バスの走行性能の評価が可能となった。これにより、自動運転バスの走行経路の変化や、便数の増加といった運行計画作成における他の交通流への評価や、施策の導入による影響の評価など様々なシチュエーションを考慮した影響の評価が可能となった。また、路上駐停車車両を追い越す際の通過速度が車両によって異なるとして、その速度低下割合のパターンをテーブルとして設定できるようにした。自動運転バスをシミュレーションで走行させるために必要なパラメータを整理した。

課題には、現況再現ケースの作成の際に、横断歩道での歩行者・自転車交通を入れたことで、一部の区間および時間帯で平均速度が ETC2.0 データと乖離して大きく低下している状況となっ

た。交差点の交通容量パラメータや、横断歩道の歩行者・自転車の挙動の見直しなどを行うことで交通流率が向上して現況再現ケースの再現性が向上すると考えられる。また、自動運転バスの走行に関するパラメータや、路上駐停車車両を追い越す際の挙動のパラメータについては過年度の報告書や論文を引用した値であるため、より正確な評価を行うためには実測データが求められる。

(3) 自動運転バスが後方車両のドライバーに与える影響

i) 交差点における自動運転バスの減速度が後方車両に与える影響

① 目的

自動運転バスは人間がバスを運転するとき以上に安全性の確保が必要なため、また、乗客の乗り心地を損ねないために、プログラムによって安全性を十分に確保できるように制御される。そのため、人間が運転するバスとは加減速度といった点で異なるものとなる。それによって、自動運転バスの周囲を走る自動車を運転するドライバーは影響を受けるのではないかと考えられる。自動運転バスの周囲を走る自動車の中でも特に、常に自動運転バスの後方を走行する自動車のドライバー（以下、後方ドライバーと記述）への影響が最も大きいと考えられる。

他の車両への影響をなるべく少なくすることは，自動運転バスの実用化に向けて事故を防ぐためにも必要である。そこで，本研究では、自動運転バスの減速度をパラメータとして変化させることで、後方ドライバーへの影響がどのように変化し、どのように運転行動が変化するのかを評価する。特に、自動運転バスは人間が運転するバスとの減速度の違いのために、フラストレーションが生じやすいものと考えられるので、後方ドライバーのフラストレーションに特に注目する。

② 実験

ドライビングシミュレータを用いた実験を実施した（Fig.1)。 実験は、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた上で実施し（審査番号 20 -119)、23 人の被験者が実験に参加した。本実験は片側 1 車線ずつの双方向道路同士の交差点で右折レーン、左折レーンがなく、矢印信号がないことを条件に交差点を選定した。交差点の先も一直線の道路が続いており、実験で使用する部分にはこれ以外の交差点は存在しない。

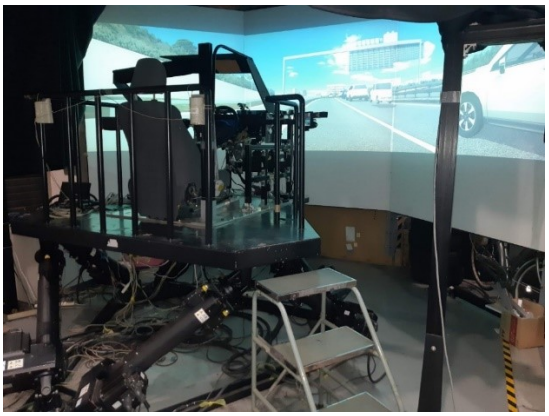


図 399　ドライビングシミュレータ

実験は被験者がドライビングシミュレータで運転している車（以下、自車両と記述）が自動運転バスの後ろを追随していくというものである（Fig.2)。Table 1 は本研究で行ったシナリオを表す。自動運転バスの減速度を 0.05G、0.1G、0.15G、0.2G と変えて実験を行った。実験参加の順番による影響をキャンセルするために、ラテン方格法に従い、実験順序は参加者ごとに入れ替えた。

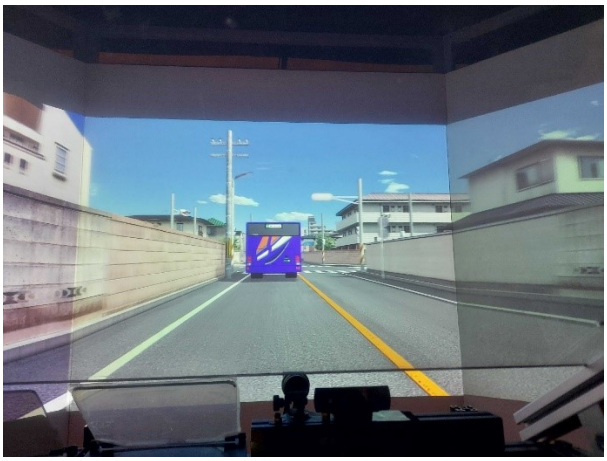


図 400　自車両が自動運転バスの後を追随していく様子

表 148　実験シナリオ

シナリオ番号	シナリオの内容	減速度
1	自動運転バスは信号が赤になってから減速	0.2G
2	自動運転バスは信号が青のうちから減速	0.05G
3	自動運転バスは信号が青のうちから減速	0.1G
4	自動運転バスは信号が青のうちから減速	0.15G
5	自動運転バスは信号が青のうちから減速	0.2G

③ 結果

本研究で用いる指標について説明する。自動運転バスの影響および、フラストレーションの影響が、ブレーキの踏み込み方に表れ、ブレーキを踏む回数が増えることが予想される。そこで、指標としては、ブレーキの変動係数を用いた。次に、車間距離にも影響が表れることが考えられ、単純に車間距離が狭くなったり、車間距離が狭くなったり広くなったりを繰り返すことが考えられる。車間距離については個人差が大きいことを考慮し、分散ではなく変動係数を用いて、ばらつきを評価する。

ブレーキの踏み込み量の変動係数に関しては、シナリオ 2（0.05G）とシナリオ 3（0.1G）、4（0.15G）、5（0.2G）の間に有意差が見られた（Fig.3）。片側検定の結果、シナリオ 2 の方がシナリオ 3、4、5 よりも大きいことが分かった。車間距離の変動係数に関しては、シナリオ 2（0.05G）と 5（0.2G）の間にのみ有意差が見られ、片側検定の結果、シナリオ 2 の方がシナリオ 5 よりも有意に小さくなった（Fig.4）。これは減速度が小さいほうが車間距離のばらつきが小さいということを表しており、減速度が小さいほど影響が大きくなるのではないかという仮説に反する。本実験では、自動運転バスは信号が青のうちから減速するため、自動運転バスの減速度が大きいと、信号が青のうちから自動運転バスが減速することを知らない後方ドライバーは自動運転バスの突然の減速に対応できず、車間距離が狭くなったり、広くなったりする。自動運転バスの減速度が小さいほうが、自動運転バスの減速に対応しやすかったと考えられる。その他の比較では統計的な有意差は認められなかった。

自動運転バスの減速度による影響はブレーキの踏み込み方に出やすいと言うことができ、シナリオ 2 の減速度 0.05G のとき、0.1G、0.15G、0.2G のときに比べ、ブレーキの踏み込み量の変動が大きくなる。車間距離の変動係数についても同様に、シナリオ 2（0.05G）とシナリオ 3（0.1G）、4（0.15G）、5（0.2G）の比較は、有意差を認められる、もしくは有意傾向であり、車間距離の変動係数にも減速度の影響が出ている可能性が高いが、それは悪影響ではなく好影響である。

以上より、減速度が 0.05G と他の減速度では、ブレーキの踏み込み方、車間距離のばらつきに

差が表れ、減速度が小さすぎるとき、後方ドライバーへの影響がでるが、それは必ずしも悪影響ではない。

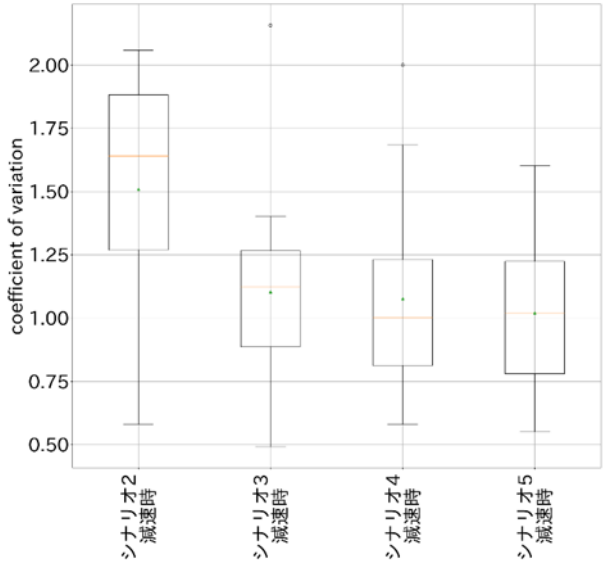


図 401　ブレーキの踏み込み量の変動係数

④ 右左折の影響

右左折時に関しては、向心加速度 0.1G から 0.3G の間では、向心加速度が小さければ小さいほど後方ドライバーへの影響が有意に大きい。

自動運転バス、自車両の両者が右折するとき、自動運転バスの右折時の向心加速度（旋回速度）の違いによる影響は車間距離といった車両挙動に表れることが分かった。右折時の向心加速度が小さいほど車間距離は小さくなり、車間距離の変動は大きくなる。車間距離の変動係数に関しては、0.1G と 0.2G、0.3G の間で有意差が見られた。

自動運転バス、自車両が両者左折する場合、自動運転バスの向心加速度（旋回速度）の影響は、アクセルの踏み込み方、車間距離といった車両挙動に表れており、向心加速度が小さくなると、アクセルの踏み込みの変動が激しくなり、車間距離の変動が激しくなる。アクセルの踏み込み量の変動係数に関しては、0.1G と 0.2G の間で有意差が見られた。また、0.1G と 0.3G の間で有意傾向が見られた。車間距離の変動係数に関しては、0.1G と 0.3G の間で有意差が見られた。また、0.2G と 0.3G の間で有意傾向が見られた。

ⅱ）　柏の実環境を模擬した実験

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する必要がある。レベル 4 自動運転の機能を有した車両挙動の他車ドライバーからの評価を行うことが求められている。株式会社フォーラムエイト製 UC-win/Road シミュレータを用いて、柏の実環境を模擬した実験を行った（Fig.5）。

シミュレータに模擬する実験場所は、柏の葉周辺の二つの交差点です(Fig.6)。自動運転バスが実験シナリオで交差点に直進し、被験者は自車両が自動運転バスの後ろを追随していくというものである。

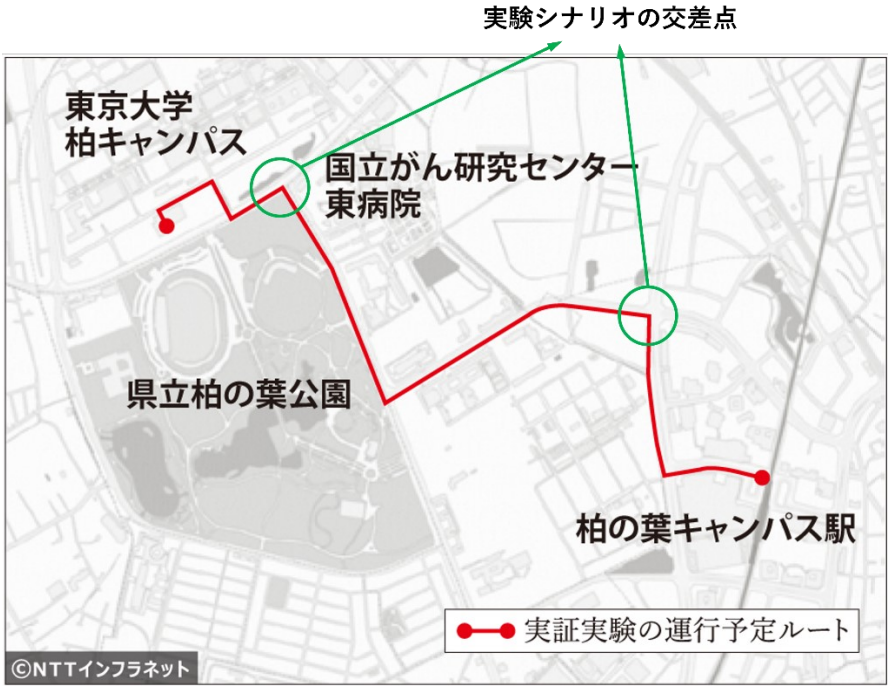


図 402　実験シナリオの交差点

実験は、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた上で実施し、6 人の被験者が実験に参加した。データを分析した結果、ブレーキの踏み込み量の変動係数に関しては、シナリオ 2（0.05G）とシナリオ 3（0.1G）、4（0.15G）、5（0.2G）の間に有意差が見られた（Fig.6）。



図 403　柏の実環境を模擬した実験の風景

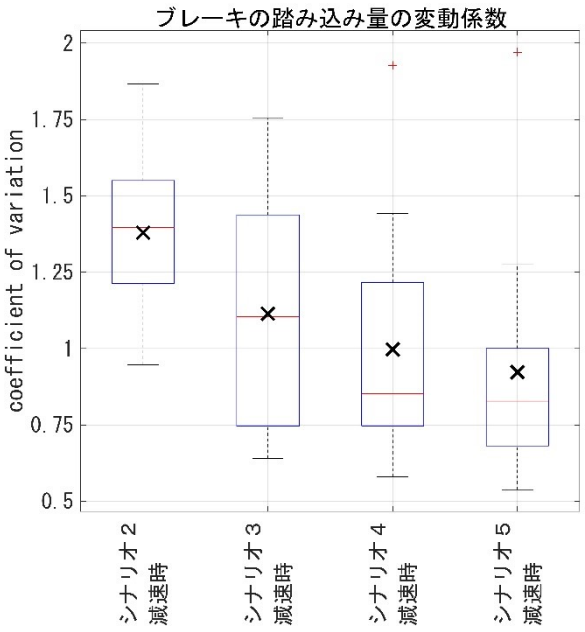


図 404　ブレーキの踏み込み量の変動係数（柏実験）

(4) 通信特性が協調型システムに与える影響の把握

協調型システムでは、車両自身がセンシングすることに加えて、センサーで認識できない空間の情報を路側機や車両、歩行者から取得することで、車両走行の安全性を向上する。無線通信技術はレベル 3 までの自動運転から大きく異なる技術要素であり、通信における信頼性や遅延などの通信品質をサイバー空間で評価するためのシミュレータを試作することを目的とする。

2021 年度は通信の活用が期待されるユースケースに必要となる通信要求を調査が必須であるとともに、2022 年度以降の実証実験環境を想定するため、粒度の高い車両トレースデータを活用し

た高精度な通信性能評価が可能なシミュレータを作成する必要があると認識できた。

2022 年度は、協調型システム・空間設計に必要となる通信特性を詳細に評価するために、サイバー空間における交通流・通信統合シミュレータを整備した。さらに、モデル地域における通信ログ観測によりモデル地域毎の特性を反映した通信特性を評価できるようシミュレータを改良した。本シミュレータにより、モデル地域においてどのような通信設計にすれば所望の遅延を満足できるか見積もることができた。

2023 年度は、柏の葉における LTE 通信サービス環境をシミュレータで再現し、実環境では困難な V2X の通信特性定量評価を実施し、スループットや通信遅延など通信特性が協調型システムに与える影響を把握した。

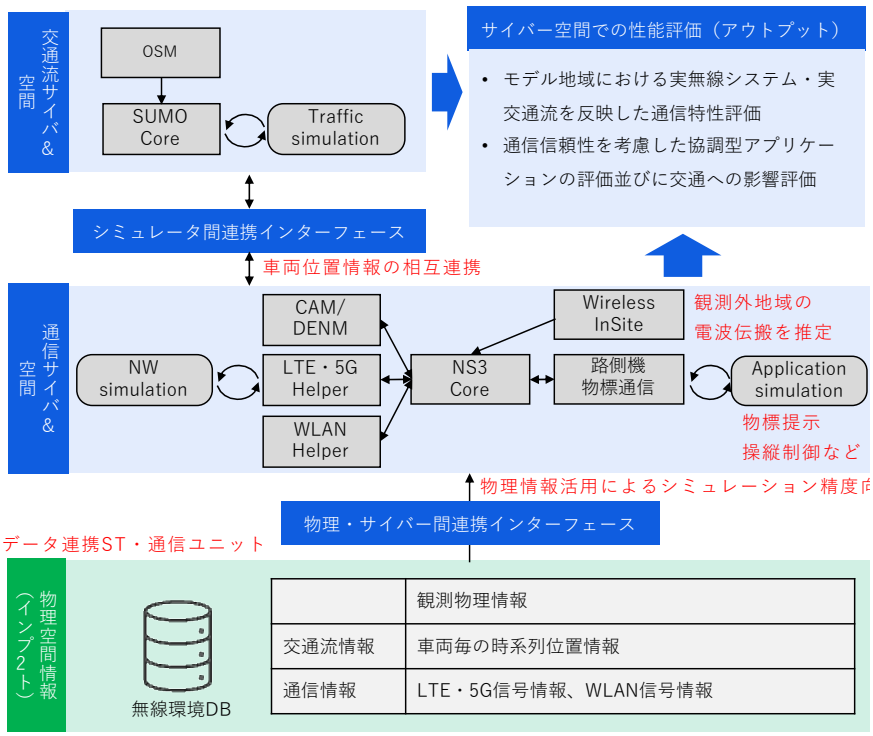


図 405　協調型システム統合評価環境

i）　柏の葉実証実験環境における協調型システム統合評価環境整備

仮想空間における協調型システムの評価手法に高精度に推定した通信品質を提供するための交通流・協調型システム統合評価環境整備（図 405）を整備した。本システムは、交通流シミュレータ、通信シミュレータ、物理環境 DB で構成され、それらが連携することで高精度なシミュレーションを実現するものであり、通信品質の時間・空間的な統計量を出力するものである。前年度までは、シミュレーション間連携インターフェースの整備と、図 406 に示す無線環境 DB 構築用観測機の開発を進めており、図 407 に示す柏の葉の無線環境情報を観測している。今年度は柏の葉全域の物理環境情報を入力した高精度シミュレーションを行うための機能を開発した。これ

により図 408 に示すような遅延特性を評価できる環境を整備する。

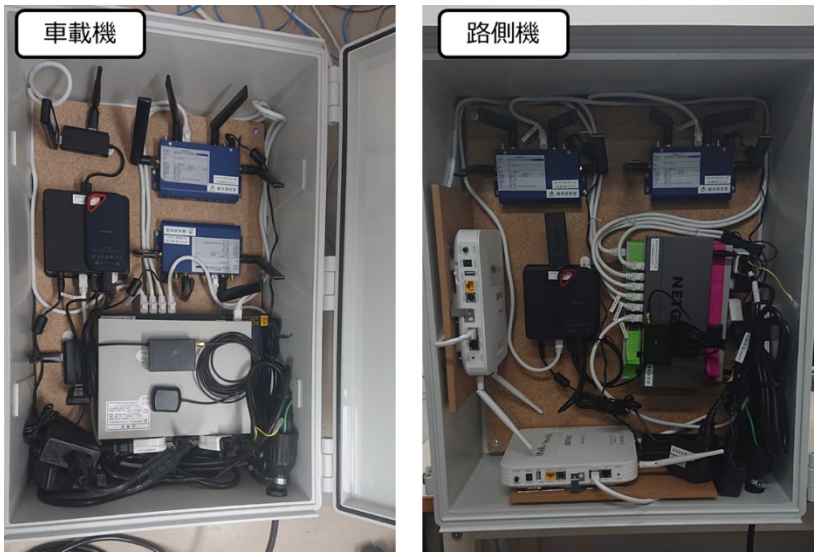


図 406　無線環境 DB 作成用車載機・路側機

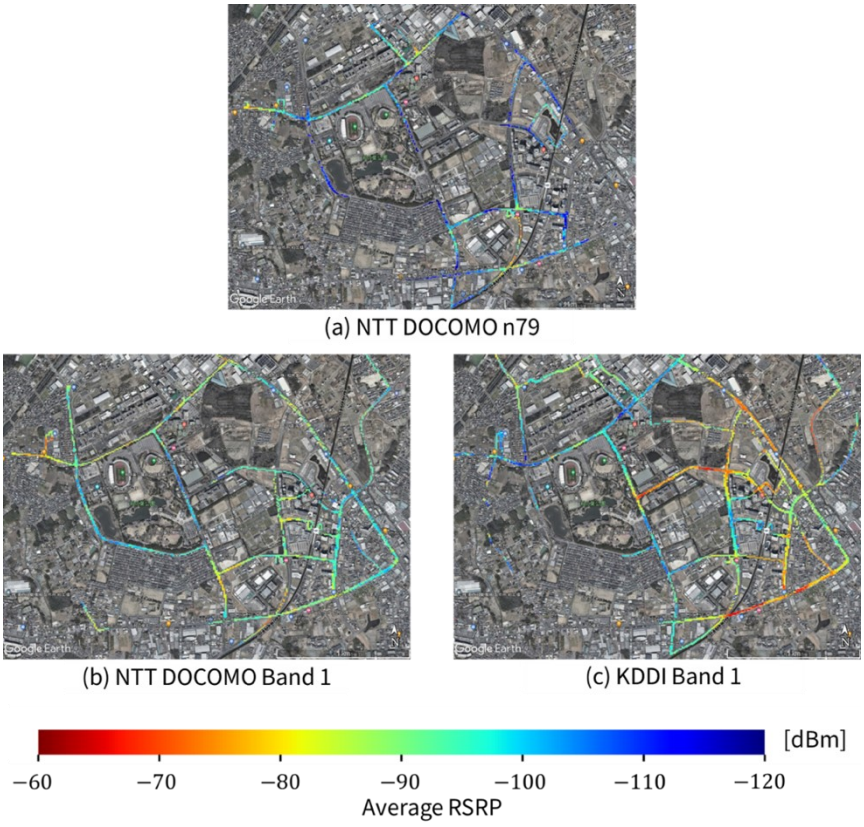


図 407　観測した無線環境情報の例

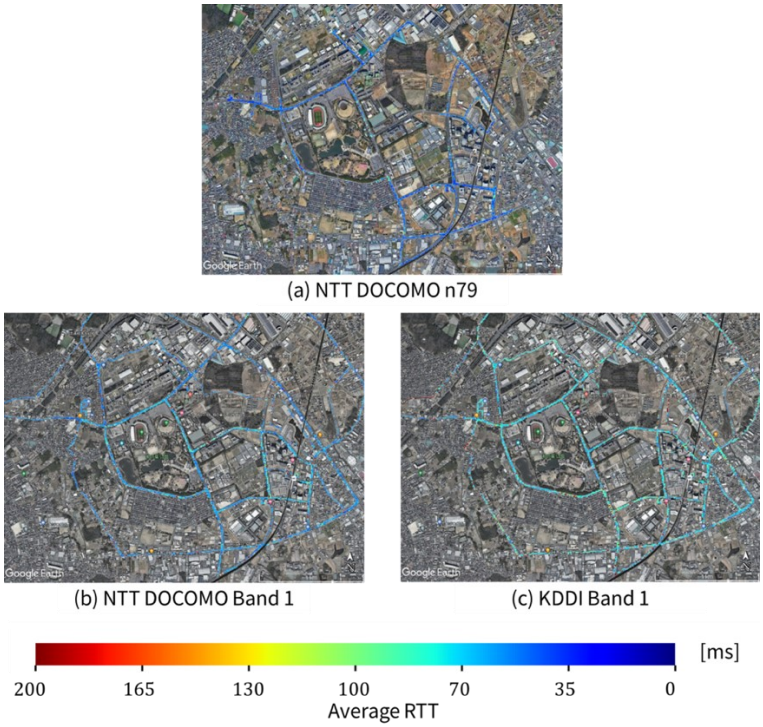


図 408　観測した通信品質の例

- 物理情報入力インターフェース

  物理情報入力インターフェースは、基地局環境情報ファイルを読み込み、NS3 のシミュレーション中の動作に反映する機能である。本機能は表 149 に示す機能で構成される。

表 149　物理情報入力インターフェース機能

No.	機能	説明
1	基地局環境情報ファイル読込機能	NS3 実行時に外部から指定した基地局環境情報ファイルを読み込む。
2	エリア判定機能	基地局環境情報が指定した基地局毎のカバーエリア情報をもとに、車両情報を特定する。
3	伝搬損失反映機能	基地局環境情報が指定した基地局毎の距離減衰情報をもとに、車両ごとの距離減衰を決定する。
4	ハンドオーバー反映機能	基地局環境情報が指定したカバーエリア情報をもとに、車両ごとの接続基地局を決定する。

- 基地局環境情報ファイル読み込み機能

  基地局環境情報ファイル読込機能は、NS3 実行時に外部から指定した基地局環境情報ファイルを読み込む機能である。表 150 に読み取り対象の基地局環境情報ファイルを示す。NS3 起動時に引数として指定されたディレクトリに存在する基地局環境情報ファイルを読み込み対象とし、シミュレーション実行中に別の機能から参照できるよう、シミュレーション

開始前にメモリ上に情報を展開する。また、基地局情報で定義された基地局と路側機情報で定義された路側機を NS3 上にノードとして配置する。

表 150　基地局環境情報

No.	ファイル	説明
1	全般設定情報	全般情報を定義したファイル。
2	基地局情報	基地局に関する情報を定義したファイル。
3	路側機情報	路側機に関する情報を定義したファイル。
4	電波環境情報	エリアごとの電波環境に関する情報を定義したファイル。

- エリア判定機能

  エリア判定機能は、基地局環境情報が指定した基地局毎のカバーエリア情報をもとに、車両情報を特定する機能である。SUMO からの位置情報更新又は NS3 内部時間の一定時間経過を契機として、「基地局環境情報ファイル読込機能」が読み込んだ基地局環境情報をもとに、当該車両のエリアを特定する。エリアが特定できない場合は、当該車両が未定義エリアに存在する旨をログに出力し、NS3 の LTE モジュールの距離減衰とハンドオーバーを適用する。

- 伝搬損失反映機能

  伝搬損失反映機能は、基地局環境情報が指定した基地局毎の距離減衰情報をもとに、車両ごとの距離減衰を決定する機能である。「エリア判定機能」でエリア特定できた場合、当該エリアで定義されている距離減衰量（dB）を適用する。本機能は NS3 起動時に引数で有効無効を設定可能とし、無効の場合は、エリア判定結果関わらず NS3 の LTE モジュールの振る舞いに従うものとする。

- ハンドオーバー反映機能

  ハンドオーバー反映機能は、基地局環境情報が指定したカバーエリア情報をもとに、車両ごとの接続基地局を決定する機能である。「エリア判定機能」でエリア特定できた場合、当該エリアで定義されている接続基地局と現在接続中の基地局が異なる場合に定義されている接続基地局へ NS3 の LTE モジュールのハンドオーバー機能を用いてハンドオーバーを行う。本機能は NS3 起動時に引数で有効無効を設定可能とし、無効の場合は、エリア判定結果関わらず NS3 の LTE モジュールの振る舞いに従う。

- 協調型アプリケーション模擬機能

  NS3 上で図 409 に示す右折支援アプリケーションを実行する。交差点に配備された協調型路側機がセンシングした物標情報を周期的に周囲に伝送し、受信データに基づき車両の動作を制御するものである。以下に示す機能で構成される。

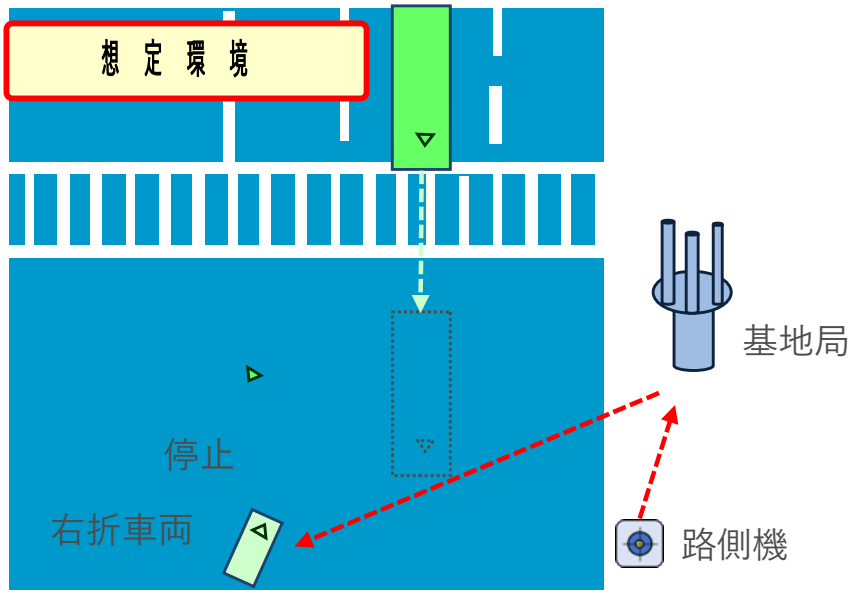


図 409　右折支援における協調型アプリケーション

- インフラ情報送受信機能

  路側機と車両が基地局を介して通信を行う。IP レイヤー上での通信を想定し、UDP により低周期で物標情報を伝送する。EPC と基地局の遅延量は任意に値を設定できるものであり、路側機と基地局、基地局と車両の通信特性は NS3 でシミュレーションする。

- 接近車両情報通知機能

  路側機側から車両に対して接近車両情報を通知する。SUMO でシミュレートされた車両情報を用いて、路側機上のアプリケーションが接近車両検知エリア内の車両の有無を判断する。接近車両検知エリアは半径 Xm で指定されるものである。

- 車両制御機能

  路側機からの情報受信時に接近車両情報がある場合は車両を停止させる。車両の停止、移動は NS3 上で SUMO に対して制御する。路側機から半径 Ym 内に存在する車両のみ停止させる。

ii) 実観測値を用いた協調型システムの通信遅延特性評価

① 概要

LTE・5G 通信システムを用いた協調型システムの通信遅延特性を開発したシミュレーで比較評価する。なお、遅延特性は交通量とトラヒック量に大きく依存するため、一例での検証であり、システム間の相対的な評価により協調型システム設計に活用するものである。

② 評価方法

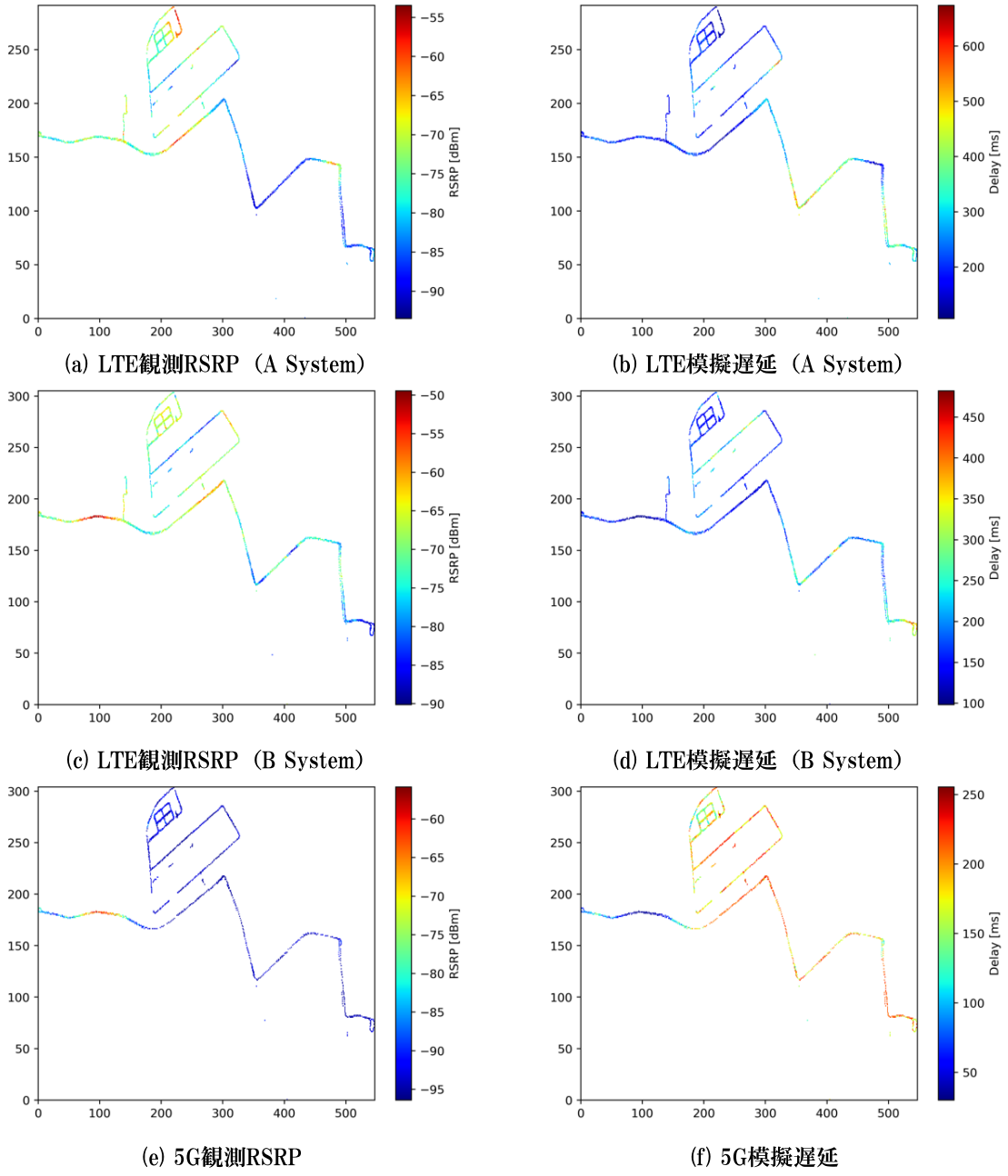
柏の葉キャンパスにおける自動運転バス経路上における通信特性を評価する。自動運転バスを含む車両の移動は SUMO でシミュレーション、路側機→無線システム→サーバー→無線システム→車両経路上の通信は NS3 でシミュレーションし、各シミュレータが車両の位置情報を共有しながら協調型システムを評価する。

交通シミュレーションは、1 台の自動運転バスが平均時速 20km で柏の葉キャンパス駅から東京大学までの経路を移動するものとし、その他の車両は Traffic factor 10、count 12 に設定して生成して評価を行う。

ネットワークシミュレーションは、図 410(a)(c)(e)に示す実観測値（RSRP：Reference Signal Received Power）を用いて距離減衰を算出し、変調方式と符号化率を決定することで実環境に近い評価を行う。ここで想定する無線システムは、事業者の異なる LTE 通信（System A、System B）と 5G 通信である。通信方式は 3GPP 準拠の LTE を採用し、LTE 通信の帯域幅は 15MHz、5G 通信の帯域幅は 37.2MHz とする。

③ 評価結果

図 410(b)(d)(f)にシミュレーションにより評価した遅延特性マップを示す。なお、絶対量はトラヒック量などに依存するものであり正確な見積もりが困難である一方、空間的な特性は実観測無線情報に大きく依存するため、局所的な遅延の増大について検証する。LTE 通信については、System A、System B 共に柏の葉駅周辺および交差点 A で劣化していることが分かる。周辺の構造物や樹木により受診信号強度が劣化し、通信速度が限定的であるために、遅延が大きくなっているものと考えられる。また、LTE と 5G を比較すると、5G の方が低い遅延を局所的（東京大学西側）に達成できている。協調型路側機の配置場所などシステム設計時に本開発シミュレータで事前評価した無線システム毎の空間特性を活用することで、所望する特性を満足する通信設計が可能となる。



(a) LTE観測RSRP（A System）　(b) LTE模擬遅延（A System）

(c) LTE観測RSRP（B System）　(d) LTE模擬遅延（B System）

(e) 5G観測RSRP　(f) 5G模擬遅延

図 410　シミュレーションによる通信遅延評価

図 411 に各無線システムの通信遅延の累積確率分布を示す。5G はより低い通信遅延を達成できているが、中央値ではLTE（System B）の特性が良い。一方で、95 パーセントタイルでは、5G の特性が良い。本統計情報を活用することで、所望する特性に応じた無線システム選定が可能となる。

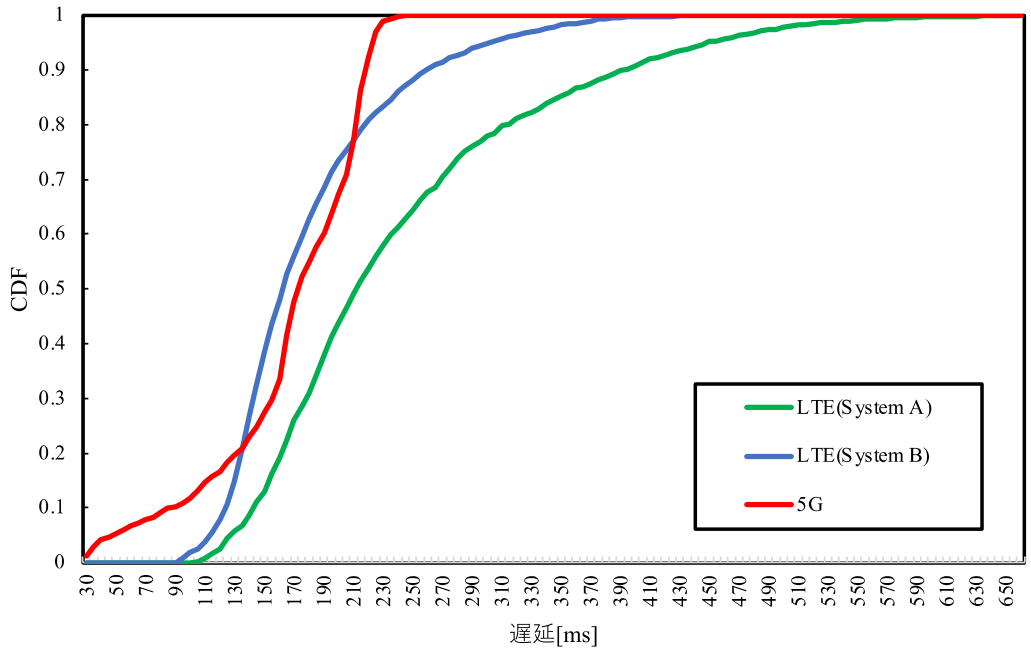


図 411　通信遅延の累積確率分布

iii） 車両の移動による遮蔽状態評価環境整備

ここまでは、サイトスペシフィックな電波伝搬の影響を考慮した高精度な協調型システム性能評価シミュレータについて報告し、観測した電波環境情報を利用することで厳密に無線システム毎の通信特性を評価できることを示した。ここからは、図 412 に示すように、観測した電波環境情報から得られる静的な電波伝搬特性に加えて、車両の移動により発生する電波環境の動的な変化をシミュレーションする環境について報告する。

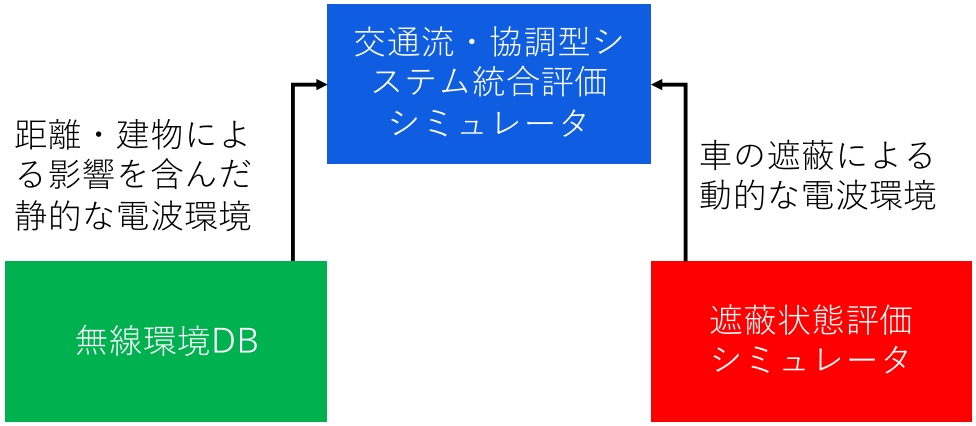


図 412　遮蔽状態評価によるより正確なシミュレータ環境整備

- 車両モデリング

路車間通信においては、所望受信機の周囲に存在する車両によって電波の遮蔽が発生し、

受信電力が大幅に低減するため、路側機毎に車両によってどのように電波環境が変化するかをシミュレーションする。SUMO でシミュレーションした交通トラヒックを基に CARLA 上で車両をモデリングすることで、路側機視点での車両のトポロジ関係をシミュレーションする。

- 遮蔽状態モデリング

電波の遮蔽状態を評価するモデルを構築した。電波の遮蔽状態は光学的遮蔽とは異なるため、CARLA 上で再現した路側機視点の画像から電波の遮蔽状態を予測するモデルを開発した（図 413）。開発モデルは深度予測、擬似 LiDAR（Light Detection And Ranging）シグネチャ構築、軌道予測、遮蔽判定から構成される。路側機が具備したステレオカメラで撮影した示唆画像に対し、StereoBM とインスタンスセグメンテーションを組み合わせることでノイズの無い擬似 LiDAR シグネチャを生成する。時系列の擬似 LiDAR シグネチャと DSRC（Dedicated Short-Range Communications）で受診した受信車両位置情報を用いて将来の遮蔽状態を予測する。

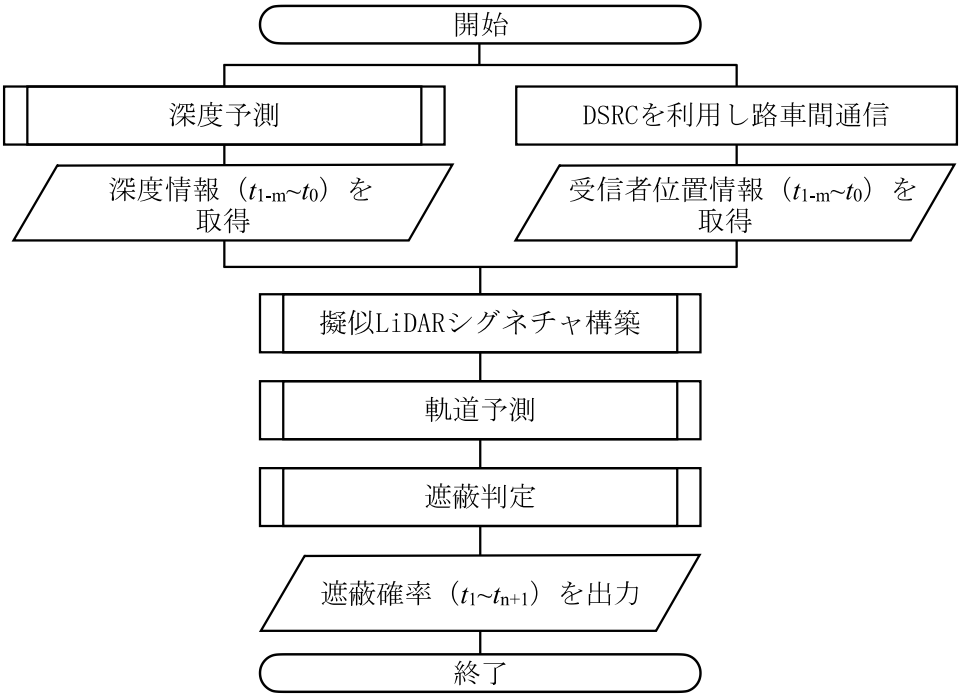


図 413　遮蔽状態予測モデルのフロー

- 深度予測

路側機で撮影した視差画像に対して、StereoBM を適用し、深度画像を取得する。このとき、補正深度情報を格納する補正深度画像を生成した深度画像と同サイズで生成しておく。

StereoBM と並行処理で視差画像の内片方に対してインスタンスセグメンテーションを適用し、車両の存在領域集合を取得する。このとき、車両ごとのセグメント ID と画像内の検出車両台数を記憶しておく。その後、深度画像においてセグメント ID に対応する領域の中央値を代表値として、セグメント内の車両の震度情報を更新する。図 414 に StereoBM のみの場合と開発方式による深度画像例を示す。StereoBM のみの場合、外形が正しく判断できないほどにノイズが含まれているが、開発方式は車両とそれ以外を綺麗に区別できており、明確に車両の外形と距離情報を抽出できている。

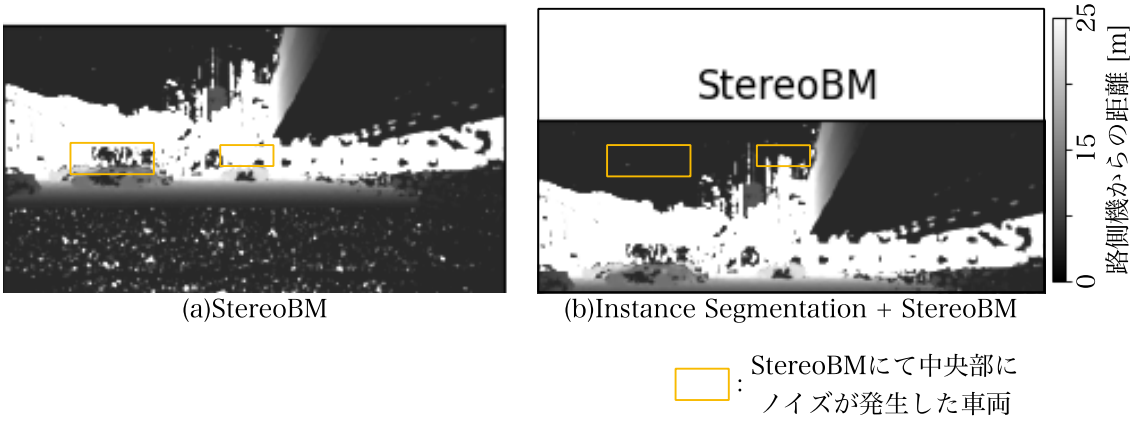


図 414　StereoBM とインスタントセグメンテーションによる深度画像生成

- 擬似 LiDAR シグネチャ構築

  深度画像から遮蔽予測に重要な特徴量を抽出するために疑似 LiDAR シグネチャを生成する。疑似 LiDAR シグネチャとは、深度画像の内ある水平方向を切り取ったものを時系列に並べたものであり、受信機が含まれる水平方向を扱うことで、遮蔽に影響を与える空間だけを取り扱う。図 415 に擬似 LiDAR シグネチャ構築例を示す。路側機は受信者から DSRC で送られてくる GNSS にて観測した受信者の緯度経度、高さ情報を含んだ位置情報と、路側機の高さと緯度経度をもとに路側機から見た受信者の仰角と方位角を計算する。また、路側機の位置情報とステレオカメラの撮影画角から深度予測で取得した深度画像の水平方向、垂直方向の最大値と最小値を算出する。これらのパラメータをもとに深度画像の所望水平方向成分を決定する。

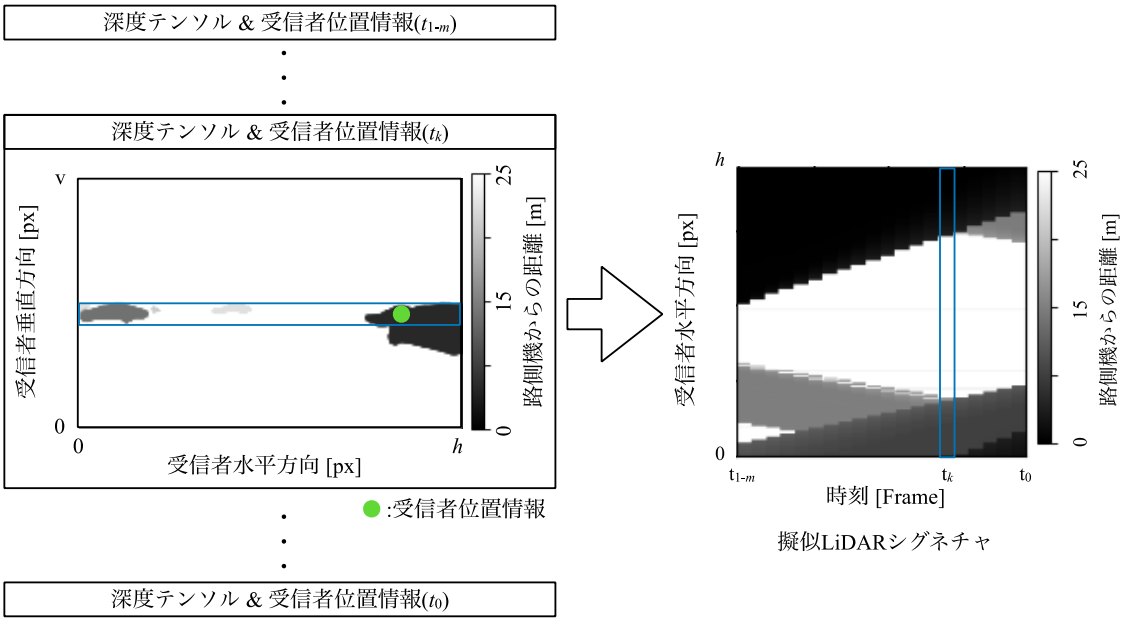


図 415　疑似 LiDAR シグネチャ構築

- 軌道予測

  疑似 LiDAR シグネチャは車両の移動をある傾きの矩形で表現できる。したがって、矩形のエッジ部分について過去数点のサンプルを用いて予測が可能である。ここでは、短い予測ウィンドウについて車速は一定であることを想定し、線形予測で将来の位置を予測する方式を採用する。

- 遮蔽判定

  軌道予測により導出した全ての車両位置情報をもとに遮蔽状況を判定する。ここでは、第1フレネルゾーン半径の 60%の領域で見通しが確保される場合を遮蔽状態として判断を行う。つまり、ある時間における疑似 LiDAR シグネチャにおいて、受信者の短形の中心から 0.6r 以上離れた領域に他の短形が存在する場合は見通しであり、それ以外は遮蔽と判断する。

- 精度評価

  協調型システムシミュレータでの最終的な通信品質特性評価に大きな誤差を与えない目標値として遮蔽状態予測精度 95%を目指して評価を行った。深度画像を直接利用し、深層ニューラルネットワークで遮蔽状態を予測する従来手法と精度比較を行った。図 416 に示す通り、開発手法は予測精度 95%を達成しており、従来手法と比較して 18 ポイント精度を向上している。また、予測ウィンドウに対してもロバストな予測が可能であり、400 ミリ秒程度（13 ウィンドウ）までは予測精度が劣化しないことが分かった。協調型システム統合評価環境に動的な電波環境情報を取り入れることを可能にする遮蔽状態評価シミュレータを確

立できた。

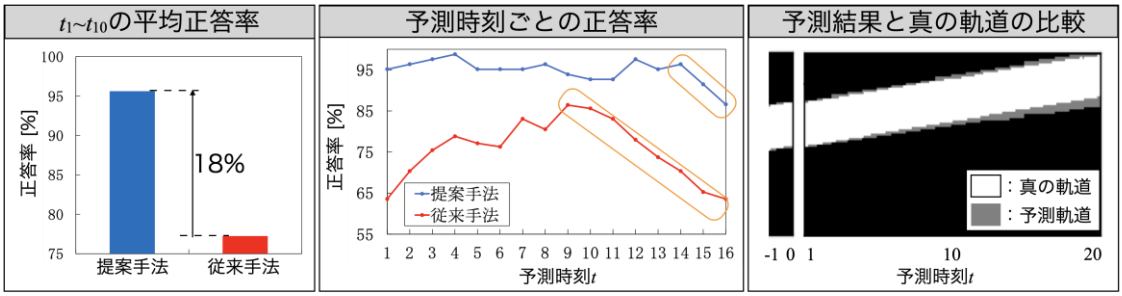


図 416　遮蔽状態予測精度

V.　データ連携プラットフォームの設計・開発・評価

1)　データ連携プラットフォームの柏の葉への対応と評価

デジタル道路交通データプラットフォーム（以下、「データ連携プラットフォーム」という）を、柏の葉で用いる自動走行車両に合わせるための開発を行った。また、データ連携プラットフォームの遅延時間（通信遅延、処理遅延）等の評価と性能向上、機能と品質向上（時刻合わせ精度の向上、運用性の向上、車両等の動き予測機能の追加など）に取り組んだ。また、API のブラッシュアップと拡張を行った。

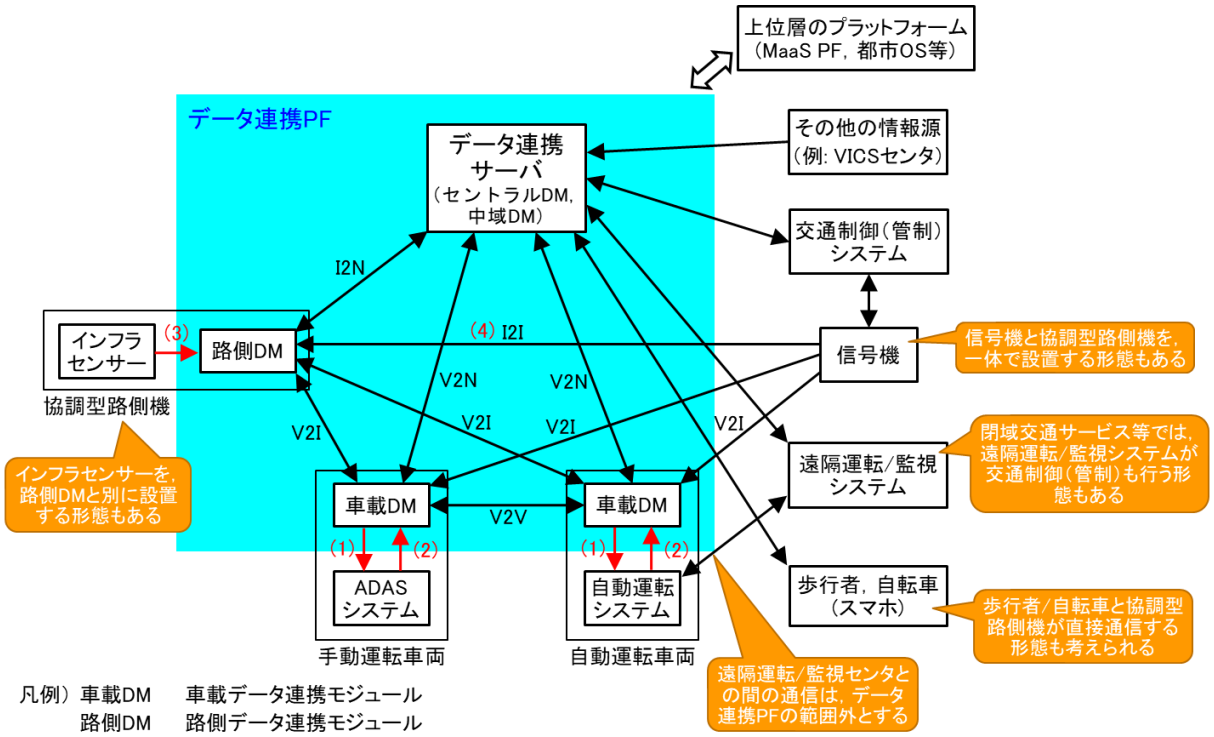


図 417　CooL4 データ連携アーキテクチャ

(1) データ連携 PF の柏の葉対応開発

協調型路側機の搭載した物標認識システムの検知結果を、データ連携 PF へ連携する機能を「DMI (Dynamic Map Interface)」として開発している。昨年度時点では ROS2 ベースの物標認識システムとの連携を中心に考えていたため、ROS2 メッセージを取り扱う専用の DMI である ROS2DMI を実装した。

今年度、柏の葉の公道に設置した協調型路側機の提供元は、図 418 の通り複数社（仮名として A 社～F 社と呼称）あり、DMI はそれぞれのフォーマットや機能や制限に合わせて固有の受信機能と変換機能を組み合わせて動作する。A 社の信号制御器と、B 社、C 社、E 社の物標認識システムの場合は、UDP 通信のパケットでデータを送信してくる仕様のため、我々が別途開発した **UDP-ROS 変換器**により、UDP パケットから ROS2 のメッセージに変換した上で、ROS2DMI がデータ連携

PF へ連携する。途中で一度 ROS2 メッセージ変換を経由するこの方式でも動作には問題はないが、UDP パケットから ROS2 メッセージに変換し、ROS2 メッセージからタプルに変換するという 2 重の変換処理が発生することから、処理遅延は大きくなりやすい。そこで、時期的に後発だった D 社の物標認識システムへの対応からは、1 度の変換で UDP パケットからデータ連携 PF のタプル形式を得ることができる、**UDP-DMI** を開発した。変換回数が少なくなった分、処理遅延の削減が行える。将来的には、UDP-ROS 変換器と ROS2DMI を組み合わせている他の協調型路側機すべてを UDP-DMI へ置き換える予定である。

また、F 社の信号制御器との連携用に **TCP-DMI** を新たに開発した。F 社の信号制御器が扱う信号情報は、灯色が変化したときにだけデータが出力される仕様である。そのため、UDP 通信を使って万が一そのデータにパケットロスが発生してしまうと、さらに次の灯色が変化するタイミングまで新しいデータが全くもらえないことになってしまう。そこで、F 社の信号制御器の信号情報については、送信側と受信側の間でコネクションを維持することのできる TCP 通信を使うことにした。TCP 通信では UDP 通信に比べてコネクションの確立までに相互のやりとりが必要なことと、毎回のパケットの受信時に ack を返すために余分に通信が発生すること、というデメリットがあるものの、パケットロスを検知する仕組みと再送させる機能が標準で備わっており、UDP 通信よりも信頼性を向上させやすい。

これらの DMI は今年度柏の葉の公道に設置された協調型路側機内ですでに動作しており、実証実験に大いに活用された。

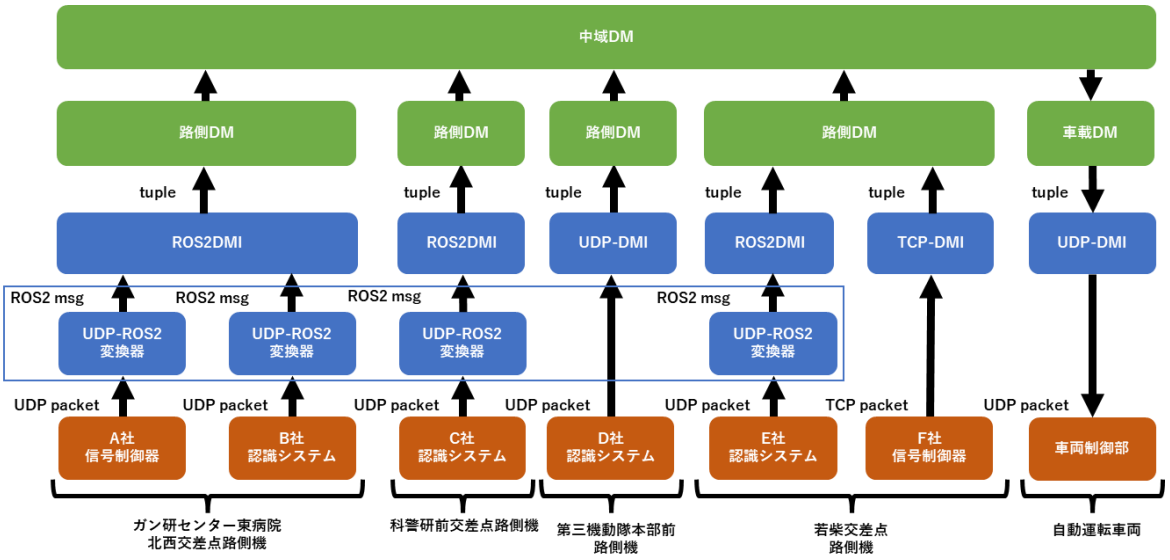


図 418　DMI(Dynamic Map Interface)の構成

(2) データ連携 PF の品質向上

i) 時刻合わせ精度の向上

協調型路側機内の構成機器で、データ連携 PF を実行する DM 計算機や、物標認識システムを実行する認識メーカーPC の間の時刻同期を行う仕組みを実現した（図 419)。GNSS 時刻情報を受信する DM 計算機から、LAN で接続されている認識メーカーPC や自動運転 PC へ時刻情報を配信する。時刻情報を受信した PC は自身の内部時計を受信したもので修正する。DM 計算機は、gpsd と chrony を用いて自身のシステム時刻を GNSS 時刻と同期し、ptpd を用いて認識メーカーPC や自動運転 PC へ時刻を配信する。認識メーカーPC・自動運転 PC（現状では Ubuntu または Windows を対象)では、ptpd を用いて時刻を受信し自身のシステム時刻を修正する。

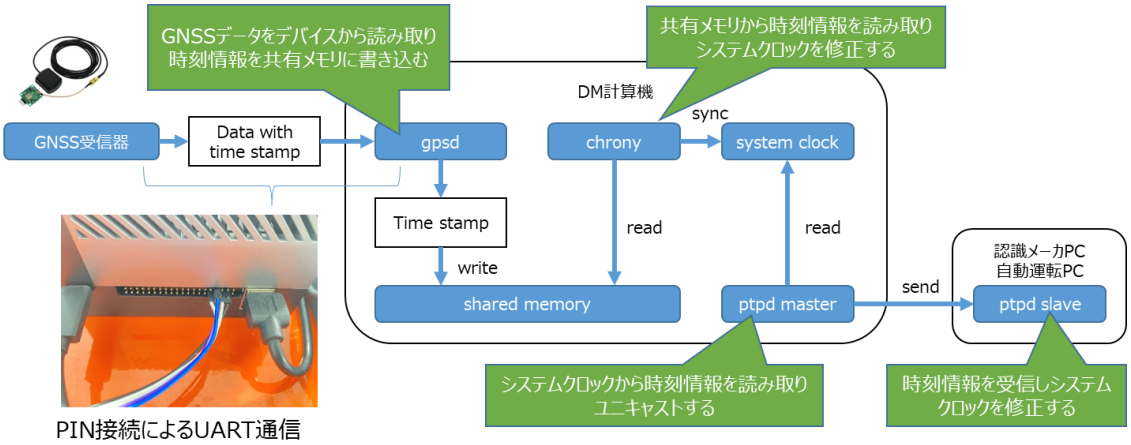


図 419　gpsd 等を用いた GPS 時刻同期と関連機器への時刻配信

また、時刻同期の監視機能として、各協調型路側機内の DM 計算機の時刻同期の状態をロギングできるソフトの開発を実施した（図 420)。状態監視の観点は、PPS 信号が 1 秒ごとに受信できているかどうか、システムクロックの参照元が PPS 信号であるかどうか、とした。それらのプロセスを AWS ECS Anywhere により各路側 DM 計算機へ配備し、そのログを AWS CloudWatch により集約・異常検知を行う環境を構築した。高蔵寺公道の協調型路側機に先行導入して動作検証を行い、問題がないことを確認した上で、柏の葉公道の協調型路側機に導入した。異常の通知先は、当面はデータ連携 PF の開発チームのメンバーに限定するものとした。

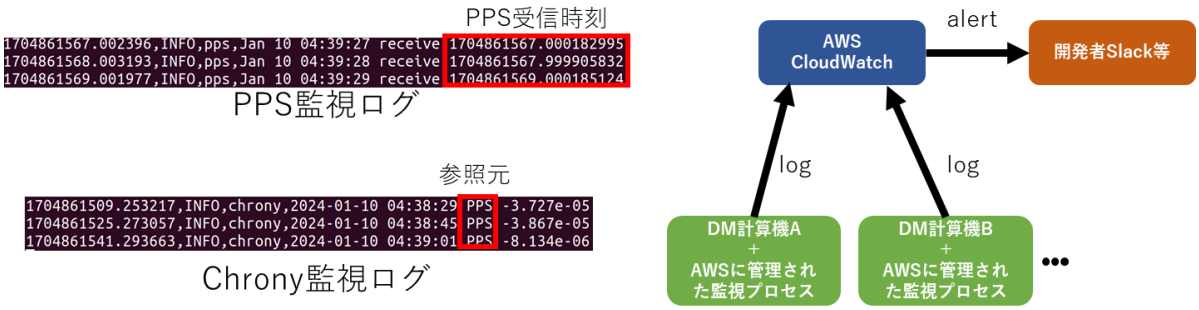


図 420　時刻同期監視機能

ii)　運用性の向上

DM 計算機の設定をだれでも再現性高く行えるようにするための活動として、自動構成ツールによる作業効率化に取り組んだ（図　421)。具体的には Ansible により、時刻同期に関する設定（gpsd, ptpd, chronyd,等）を自動化した。これにより、DM 計算機（JetsonOrin）の初期化の都度おこなう設定作業の効率が上がり、時刻同期評価環境の初期化・構築サイクルの速度向上につながった。今後、JetsonOrin に施す初期設定（ネットワークに関する設定など）は Ansible で吸収していく方針である。

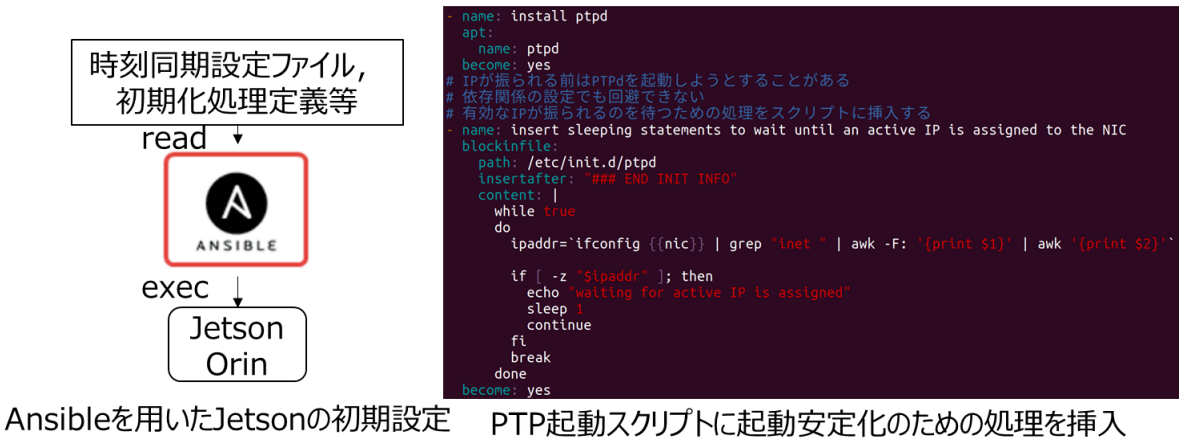
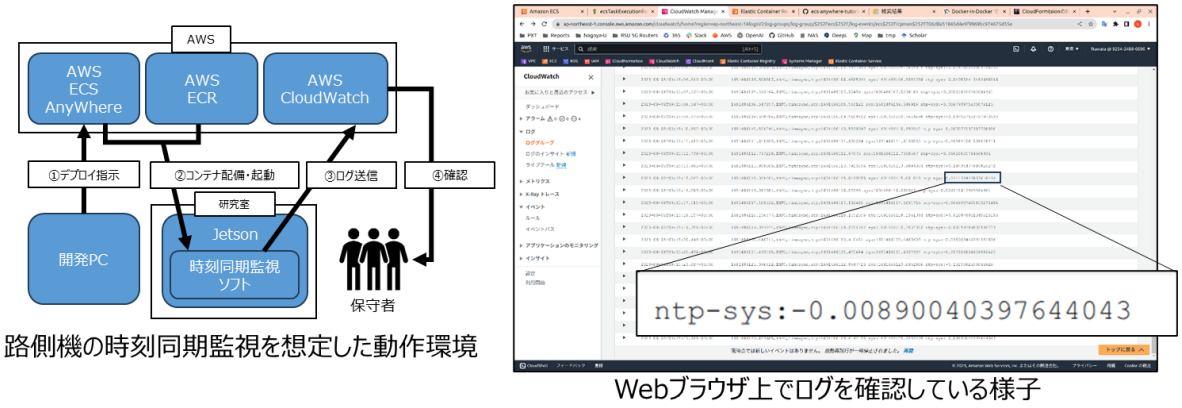


図 421　自動構成ツールによる作業効率化

また、オンプレミスな DM 計算機のログ確認のための仕組みを導入した（図　422)。研究室にある Jetson のログを AWS　ManagementConsole（Web ブラウザ）で監視できることを確認した。今後は、複数台への適用と、DM の各プロセスの状況などを確認できるかどうかを検証し、将来的に、異常検知と通知方法の検討、保守者に与えるアクセス権の検討、EC2 などを不意に落としてしまう等のヒューマンエラーへの対策、ソースコードなどの機密性がある情報へのアクセス防止などに繋げていく。



路側機の時刻同期監視を想定した動作環境

Webブラウザ上でログを確認している様子

図 422　ログ監視

iii） 車両などの動き予測

今年度の開発では、データ連携 PF に車両の予測機能を実装した（図 423)。予測アルゴリズムは Kalman Filter に基づいているが、我々の独自性として、予測時に欠けているメジャメントを過去の履歴データから補足する機能を備えている。すなわち、センサーからの入力データだけをそのまま用いるのではなく、データ連携 PF から過去の履歴データを検索し取得したデータも用いて空間補間アルゴリズムをかけ、予測を行っている。履歴データの検索のやり方は 3 種類あり、時間的性質に着目した T-メソッド、空間的性質に着目した GS-メソッド、両者を用いる GST-メソッドがある。これら 3 種類ともデータ連携 PF のユーザー定義関数として実現されており、クエリの中で呼び出して使用することができる。

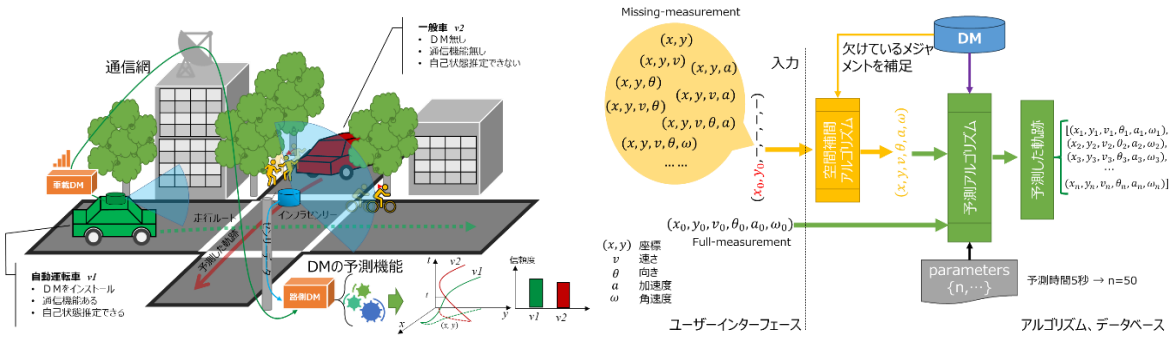


図 423　車両予測機能

車両予測機能の性能を調べるため、実験を行った。実験の環境として、履歴データのサイズは 24 万ポイント、CPU は Intel(R) Core(TM) i9-13900KF、PostGIS 3.2.0 を使用した。比較対象は、T-メソッドに時間索引として BTREE または HASH を適用した場合、GS-メソッドに空間索引として GIST/SPGIST を適用した場合、GST-メソッドに時間索引と空間索引の組み合わせを適用した場合とした。実験結果は図 424 の通りである。T-メソッドが一番速いが、GS, T, GST メソッドはど

れもリアルタイムで予測できている。空間検索としては SPGIST 索引がよく、時間検索としては、btree と hash はどちらでも差がないということが分かった。

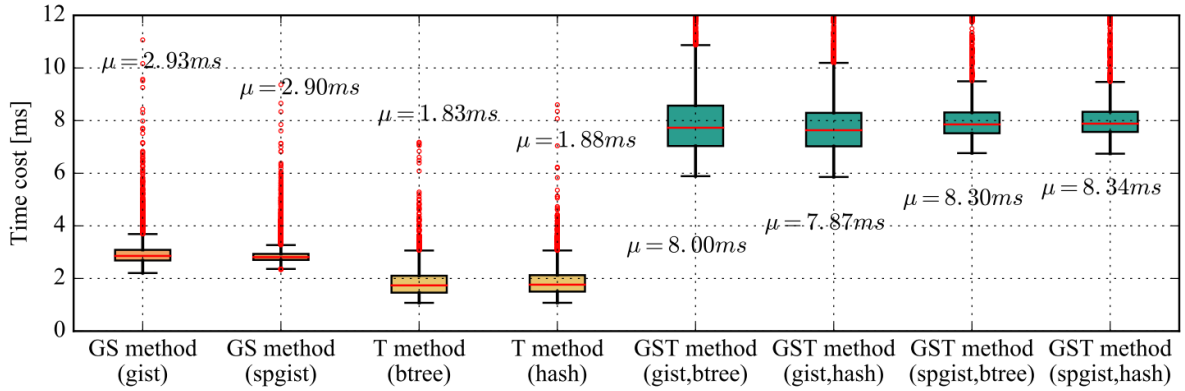


図 424　予測関数の計算時間評価

2024 年 1 月 24 日～26 日に、高蔵寺の協調型路側機内の DM 計算機にて路上からの実際のリアルタイムデータを対象とした予測情報の提供実験を行った。実験の構成を図 425 に示す。交差点付近の車両を協調型路側機内のセンサーで検知し、予測関数 GS-メソッドを使って予測情報を生成するようにした。予測情報は 5G/LTE 回線を使って路側 DM からセントラル DM を経由し、最終的に車載 DM へ伝達されように構成した。車載側のビューアで予測情報を画面表示している様子も図に含まれている。本実験により予測情報を車両に提供できることは確認できた。ただし、課題としてクエリの記述方法によっては、古い物標情報を元に予測してしまうことがある、処理時間が 100 ミリ秒周期の実行に収まらないことがあるなどがわかった。対策として、余分な古い物標情報を関数内部でフィルタする OO メソッド(One object, One prediction)を追加で実装済みである。

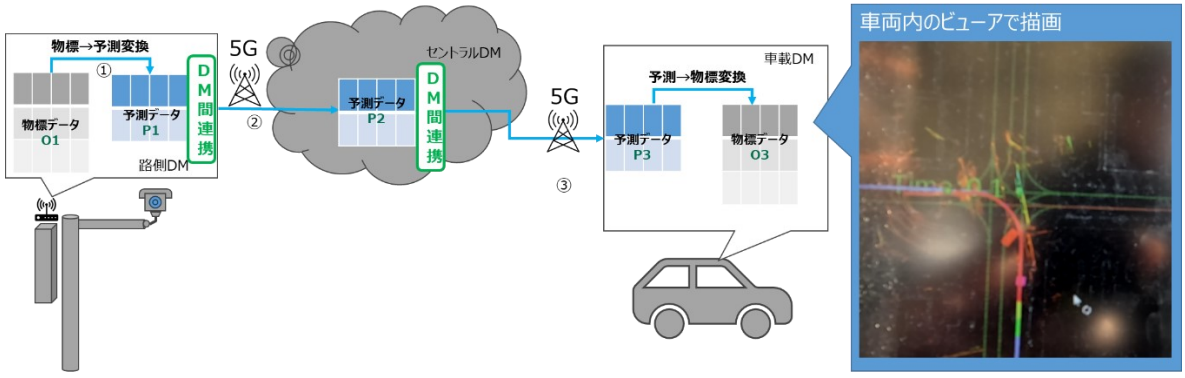


図 425　予測情報の提供実験

(3) データ連携 PF の遅延時間等の評価

本年度は、協調型路側機のセンサーで物体を検知してから、その物標情報を必要とする継続クエリを登録した車両に物標情報が届くまでの遅延時間（通信遅延、処理遅延）を測定し、現状のデータ連携 PF のボトルネックとなっている部分を調査した。ETSI の ITS V2X applications の仕様書[ETSI TS 101 539-2]には、“Typically, 300 ms end to end latency time is required.”と書かれている箇所があり、我々もそれを踏まえてエンド to エンドの遅延時間を平均 300 ミリ秒に収めることを目標の一つとして設定している。

遅延時間の測定は、2023年7月25日に、名大の公道の実験フィールド（春日井市高蔵寺）で、ITS 無線機を使用した V2I 環境でのデータ連携 PF の遅延時間を計測 (30 分程度)を行った。測定結果を図 426 に示す。路側機のインフラセンサーからデータを受信してから、自動運転システムに届けるまでの平均遅延が 200ms 程度 (物標数が多くなると増加。100ms あたりの物標数は平均 4.5 件)、計測期間内での最大遅延は 700ms 程度だった。参考として、クラウドサーバーを経由(V2N) した場合は、平均遅延が 300ms 程度、計測期間内での最大遅延は 1400ms 程度だった。路側 DM の処理遅延のばらつきが大きかったが、この原因の 1 つは周期処理をしているためで、イベント駆動処理への変更を今後検討する必要がある。I2V 環境の通信スロットの使い方にも課題があり、ITS 無線機（路→車)の送信間隔 100 ミリ秒を超えているケースが見られた。

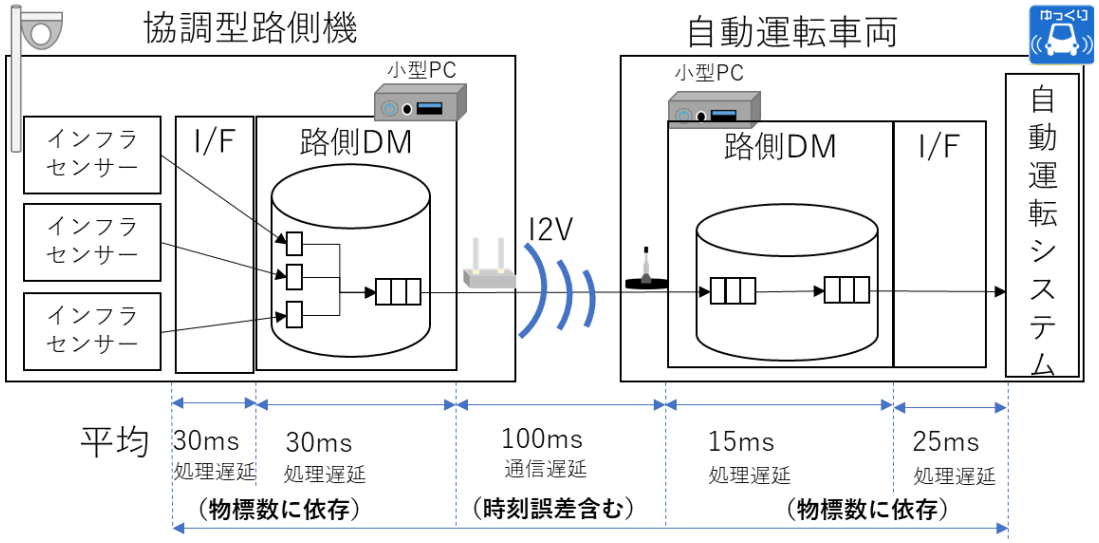


図 426　データ連携 PF の遅延時間等の評価

今回の計測では平均 300ms の遅延を満たしているが、今後、遅延が大きくなる可能性がある要因がまだ残っている。一つはセキュリティ対応 (暗号化・認証の追加) で、現状、V2I 通信では暗号化・認証を実施していないため、実施するようになった場合は処理遅延が増える可能性があ

る。2 つ目は検知される物標数が多い場合である。物標数に比例して処理遅延は増えるものと予想され、これへの対策としては、転送する情報を絞る（例えば、走行経路上の物標情報・信号情報のみを転送する）ことが必要になる。また、車両側でデータを統合する場合（複数のセンサーでとらえた情報を合わせて精度を向上する等)、各センサーの検知結果をそのまま流している今回よりも遅延が増大する可能性がある。

これらのことから、処理性能の改善、通信方法の改善を今後も継続して実施する必要があり、今年度の実施項目の中で性能改善を実施している（「効率的な物理データフォーマット」など)。

(4) API のブラッシュアップと拡張

協調型路側機内のセンサー部と路側 DM の間のインターフェース仕様として、あらたにセンサー部インターフェース仕様を策定した。この節では、センサー部インターフェース仕様の策定の経緯と概要について説明する。

i) 策定の経緯

CooL4 では、路側に設置するセンサーと、センサーからデータを取得して認識処理を行う認識装置（以下、センサーと認識装置を合わせてセンサー部と呼ぶ）は、メーカーから調達または借用して使用することとしている。今年度、柏の葉地区に配備した協調型路側においても、センサー部は複数のメーカーから調達または借用している。

CooL4 と類似の活動を行なっている組織として、ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG（以下、CCAM 検討 SWG）がある。CCAM 検討 SWG は、協調型自動運転の社会実装を目指し、路車協調システムの考え方/ポリシーや要件などの協調領域に関する議論・検討を行っている。これまでに、実装ポリシーやユースケースの策定、それらを実現する機能要件や評価指標、評価方法等の検討を行ってきた。

CooL4 と CCAM 検討 SWG は、協調型自動運転に用いる路側機の仕様検討を独立して実施していたが、路側機の開発コストを抑えるためには仕様の共通化が望ましいと考え、協議の結果、路側機内のセンサー部と路側 DM の間のインターフェース仕様（これを、センサー部インターフェース仕様と呼ぶ）を協力して策定することとなった。

以上の経緯から、2023 年 9 月から 12 月にかけて、CooL4 と CCAM 検討 SWG で集中的に検討する場を持ち、検討結果を、「CooL4／CCAM 検討 SWG 共通 路側機センサー部インターフェース仕様 version 1.0.0」（別添）として取りまとめた。

ii) センサー部インターフェース仕様の位置付け

センサー部インターフェース仕様は、CooL4 データ連携アーキテクチャ（図 417）の(3)のインターフェースを規定するものである。CooL4 のこれまでの取り組みでは、(3)のインターフェース

に対しても CooL4 データ連携 PF API 仕様（以下、API 仕様と呼ぶ）を適用するものとしたが、センサー部インターフェースを策定したことにより、API 仕様の適用範囲から(3)のインターフェースを外すことになる。

CooL4 データ連携アーキテクチャの協調型路側機の構成を詳しく記述したものを図 427 に示す。

センサー部は、路側に設置されたセンサーで取得したデータに対して認識処理を行い、認識結果をデータフュージョン部に送信する。データフュージョン部は、複数のセンサー部からの情報や車両からの情報を統合し、無線部を通して、車両やサーバーに送信する。

路側に複数のセンサーを設置する場合には、センサー毎にセンサー部があるものとしても良いし、1 つのセンサー部が複数のセンサーを持ち、複数のセンサーからのデータを統合（フュージョン）するものとしても良い。複数のセンサーを持つセンサー部が、センサーからのデータを統合せずにデータフュージョン部に送信する場合には、論理的には複数のセンサー部がある（言い換えると、1 つの装置が複数のセンサー部を含んでいる）ものと扱う。

センサー部インターフェース仕様は、図 417 および図 431 の(3)のインターフェースを規定するものである。データフュージョン部が出力するデータのフォーマットには、これまで通り API 仕様を適用する。

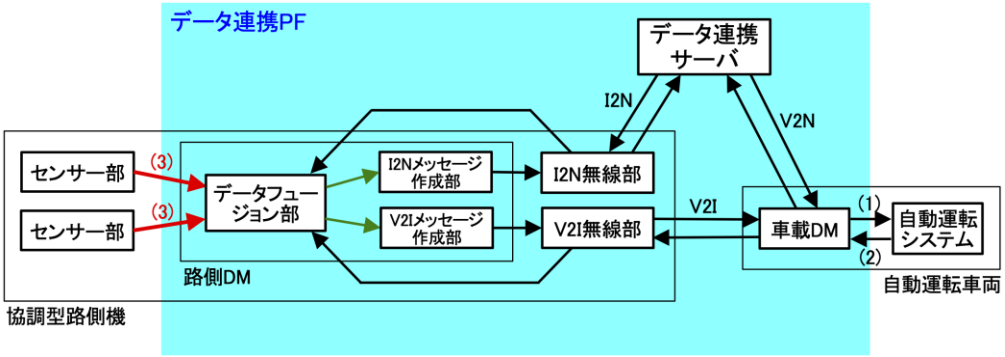


図 427　路側機周りの詳細図

iii） フリースペース情報の扱い

CooL4 と CCAM 検討 SWG で共通仕様を策定するにあたり、最も大きい論点となったのは、フリースペース（物標が存在しない領域）の扱いである。

CooL4 のこれまでの取り組みでは、フリースペースはセンサー部で生成し、API 仕様に規定するフリースペース情報の形で路側 DM に送信するものとしていた。しかし、この方法に対して、CCAM 検討 SWG の賛同が得られなかった。議論の結果、センサー部からは、物標情報に加えて、センサーの設置位置と検知領域（これらのデータ項目を含む情報をセンサー情報と呼ぶ）を送信することで、フリースペースを受信側（路側 DM または車両）で求められるようにする方針で合意が得られた。

ただし、背景にある物体（例えば道路面）をセンサーが検知したことにより検知されるフリースペース（直接検知フリースペース）については、それを受信側で求めるためには、検知した背景物体の情報を伝達する必要があるが、背景物体の形状を伝える必要があるなど、複雑なデータフォーマットになると考えられる。そこで、直接検知フリースペース情報についてはセンサー部で生成することとし、それを伝達するためのデータフォーマットを規定することとした。

具体的には、直接検知フリースペース情報は、情報取得時刻、フリースペース領域とその精度、存在信頼度、検知限界物標サイズの各データ項目で構成されることとした。フリースペース領域は、物体が存在しない道路面の領域を、頂点が 16 個以下の多角形で表現することとし、その精度は、各頂点に個別に持つのではなく、すべての頂点に対して 1 つのみ持つこととした。

なお、センサー情報と物標情報から求めるフリースペースを、直接検知フリースペースと対比させて、間接検知フリースペースと呼ぶ。CooL4 データ連携 PF においては、間接検知フリースペースは、データ連携 PF 内で生成して自動運転システムに渡す方針とする。

参考までに、センサー情報と物標情報から求めるフリースペースを求める方針は、ETSI（欧州電気通信標準化機構）による協調認識サービス（Collective Perception Service）に関するテクニカルレポートで定義されている仕様（以下、CPS 仕様と呼ぶ）と同様である。ただし、CPS 仕様では、センサー情報と物標情報から求めるフリースペース情報では不十分な場合に対応するために、フリースペース追加情報を用意している。フリースペース追加情報を用いることで、直接検知フリースペースを扱うことも可能と考えられる。

iv) センサー情報の構成

間接検知フリースペースを受信側で生成できるように、前述の通り、センサーの設置位置と検知領域を含むセンサー情報を、センサー部から送信すべき情報として規定した。1 つのセンサー部が複数のセンサーを持つ場合に対応して、センサー部が送信するメッセージには、複数のセンサー情報を含むことができる。

具体的には、センサー情報は、センサータイプ、センサー設置位置、検知性能情報のリスト（長さは 8 以下）、センサー状態の各データ項目で構成される。また、検知性能情報は、検知可能物標種別、検知領域、検知信頼度、検知限界物標サイズの各データ項目で構成される。センサー検知可能物標種別は、四輪車、列車、自動二輪車、軽車両、人、動物、非固定物体、固定物体が、それぞれ検知できるかどうかを表す。センサーの検知領域は、センサーが物標の存在を検知できる道路面の領域を、頂点が 16 個以下の多角形で表現する。センサーの検知領域には、検知対象でない物体によるオクルージョンで見えない領域は含めないものとした（図 428）。これは、図 428 の状況において、街路樹の背後にいる歩行者が、センサーから検知できないことを表すためである。

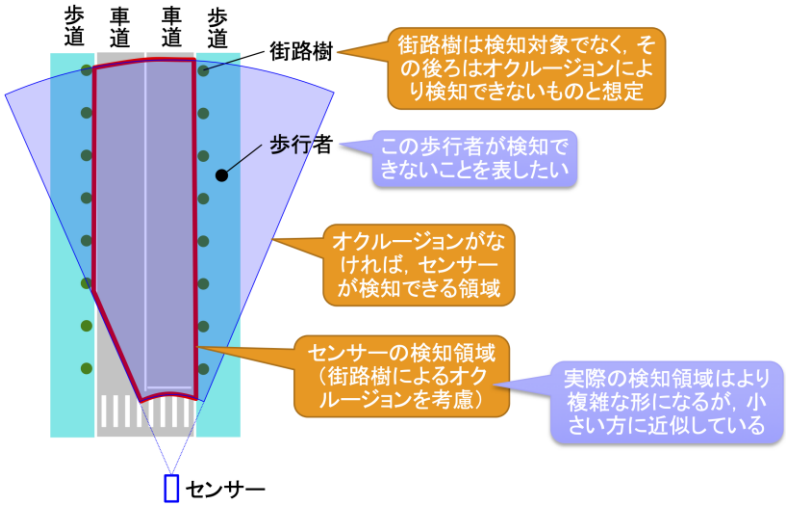


図 428　センサーの検知領域

センサー情報中に、検知性能情報を複数持てることにしたことから、検知可能物標種別によって検知領域や検知信頼度が異なる状況や、検知領域によって検知信頼度や検知限界物標サイズが異なる状況を表すことが可能となっている。

v)　物標情報の拡張・変更

検知した物体の位置や状態を表す物標情報については、API 仕様の物標情報をベースに、CCAM 検討 SWG からの提案を受けて検討した結果、以下のような拡張・変更をおこなった。

物標情報に追加したデータ項目としては、物標の静止状態と物標のトラッキング情報（トラッキング状態、検知回数、連続未検知回数、生存時間）がある。

物標の静止状態は、物標が静止しているか、静止している場合には、どれだけの時間静止しているかを表すデータ項目である。一例として、道路上に止まっている車両が、どれだけの時間止まっているかの情報は、自動運転車両の走行戦略に役立つ可能性がある。

物標のトラッキング情報に含まれるトラッキング状態は、最新のセンシング状態（物標を検知したか、検知できずに予測した情報であるか)、検知しなかった場合にその理由、物標情報の削除予告、物標情報が融合／分割されたかを表すデータ項目である。検知回数、連続未検知回数、生存時間と合わせて、物標がどの程度確実に検知できているかの判断に役立つ可能性がある。

また、物標情報のデータ項目の中で、物標種別については、API 仕様に対して大きい変更を加えた。その他に、物標 ID の長さ、情報取得時刻の表現方法、方位角の単位などにも変更を加えている。

vi)　その他の規定

センサー部インターフェース仕様には、以上で説明したセンサー情報、物標情報、直接検知フ

リースペース情報の 3 つのデータフォーマットに加えて、それらの情報を入れるメッセージのデータフォーマットや、IP ネットワーク上でメッセージを転送する方法、データのエンコーディング方法、メッセージの送信タイミング、センサー部と路側 DM の時刻同期の方法についても規定した。

メッセージのデータフォーマットとしては、メッセージヘッダに含めるデータ項目を規定した。

データのエンコーディング方法には、Protocol Buffers を使用するものとし、Protocol Buffers のメッセージ定義を付録に示している。Protocol Buffers は、Google によって開発された構造データのシリアライズを目的とした技術スタックで、XML より高速な技術として、広く活用されている。

時刻同期の方法としては、センサー部は、路側 DM または無線部をマスターとして、PTP（Precision Time Protocol、IEEE 1588-2008）を用いた時刻同期を行うことを規定した。

(5) API のブラッシュアップと拡張

データ連携PF と外部の間のインターフェースを規定するCooL4データ連携PF API 仕様（以下、API 仕様と呼ぶ）のブラッシュアップと拡張を行い、「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案) version 0.8.0」（別添）を作成した。この節では、API 仕様のブラッシュアップと拡張の内容について説明する。

i) センサー部インターフェース仕様に整合させるための修正

前節で述べた通り、CCAM 検討 SWG でセンサー部インターフェース仕様を策定したことを受けて、API 仕様をそれに整合するように修正した。

まず、CooL4 データ連携アーキテクチャ（図 417）の(3)のインターフェースを規定するものとしてセンサー部インターフェース仕様を策定したことから、このインターフェースを API 仕様の適用範囲から外した。その結果、API 仕様の外見的な適用範囲は、CooL4 データ連携アーキテクチャの(1)と(2)のインターフェースになるがインターフェースータ連携 PF 内部にも適用している。

次に、センサー部インターフェース仕様インターフェースサー情報を、API 仕様にも取り込んだ。その際に、観測機器 ID とセンサーID（協調型路側機に設置されたセンサーの場合は、協調型路側機の物標 ID と、それが持つセンサーを識別する ID 番号）の 2 つのデータ項目を追加した。

フリースペース情報は、センサー部から送信されてくる直接検知フリースペースと、データ連携 PF 内で生成した間接検知フリースペースの両方を表現できるように拡張した。具体的には、フリースペース領域の表現方法に、これまでの表現方法（フリースペースを連続するレーンの一部分とし、その始点と終点の位置で表現する。これを、レーン表現と呼ぶことにした）に加えて、多角形による表現を追加した。この理由として、センサー部からの直接検知フリースペース情報

をそのまま扱えるようにしたこともあるが、歩道上のフリースペースについては（車道上のフリースペースとは異なり）レーン表現が適しているとは限らず、より柔軟な多角形表現を用意すべきと考えたという理由もある。

また、フリースペース情報に、検知方法（直接検知か、間接検知か、その他の方法か）と検知可能物標種別を追加した。

物標情報については、センサー部インターフェース仕様において、CCAM 検討 SWG からの提案を受けて拡張・変更した内容を取り込んだ。具体的には、物標の静止状態と物標のトラッキング情報の追加、物標種別の分類方法の変更、方位角の単位の変更を行なった。

ii） デジタル道路地図のデータフォーマットのブラッシュアップ

API 仕様では、データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するデータフォーマットを規定している。規定しているデータフォーマットは、Lanelet2 の静的地図フォーマットと API をベースとした独自のものとなっており、API 仕様ではリレーショナルデータベースに格納する形式を規定している。

これまでの検討では、Lanelet2 の Regulatory Element の内、“Right of Way”（道路の優先通行権）などの扱いについて検討を保留していたが、今年度の検討において、それらの扱いを決定した。具体的には、Lanelet2 における“role”を、“attribute”と同様に、独立したリレーションに格納する方法を決めることで、“Right of Way”に限らず、Lanelet2 の独自の拡張（具体的には、Autoware における拡張）も含めて、統一した方法で扱えるようにした。これに合わせて、各フィールドのデータ型についても整理を行った。

また、これまでの API 仕様書では、各リレーションに含まれる各フィールドのデータ型を明示していなかったが、今年度にブラッシュアップした API 仕様書においては、付録でデータ型を明示する形とした。

iii） その他の検討

ここでは、API 仕様書に盛り込むまでには至らなかったが、API の拡張について行った検討について述べる。

物標情報の中に移動予定経路（走行予定経路）の情報を持たせる必要性については、API 仕様策定の当初から認識していたが、今年度の検討では、それを利用するユースケースを次の 4 つに整理した。

① 情報検索の手掛かり

データ連携 PF から、移動予定経路周辺の情報を検索するために、自車両の移動予定経路をデータ連携 PF に知らせる。

② 歩行者等への情報提供

車両の接近情報を歩行者等に知らせるために使用する。

③ 走行支援／調停

合流支援／調停、車線変更／調停、道譲り支援など、他車両の走行を支援する。または、自車両と他車両の走行を調停するために使用する。

④ 渋滞予測

移動予定経路を今後の渋滞予測に使用する。

物標情報の中に移動予定経路情報を持たせる場合の留意点として、プライバシー保護と、それを実現するための仮名 ID の変更戦略との関係がある。プライバシー保護のために仮名 ID の変更をしても、それを超える区間の移動予定経路情報が提供されると、変更の意味がなくなる可能性がある。仮名 ID の変更戦略とあわせて、さらに検討が必要である。

自転車や歩行者の自己物標情報については、ITS FORUM RC-016（自転車・歩行者事故防止支援システム向け実験用通信メッセージガイドライン）に規定されているため、それを採用する方向とした。

2) V2N／V2I 通信方式の決定・開発・評価

通信品質の向上のために、複数通信方式の併用（携帯網と狭域直接通信の併用、複数キャリアの携帯網の併用）と効率的な物理データフォーマットについて検討し、実装および評価を行った。さらなる通信品質の向上のために、位置に基づく通信の最適化・信頼性向上と、メッセージの冗長性削減手法について検討した。また、柏の葉における 760MHz 帯 ITS 無線の利用に関して、関連団体との連携・調整を行った。

(1) 携帯網と狭域直接通信の併用

データ連携 PF の通信機能（図 429）の一つとして、車載 DM と路側 DM の間、車載 DM と中域 DM との間の通信において、携帯網（例：LTE/5G）と狭域直接通信（例：ITS 無線機）を併用することができるようになっている。本年度はこの機能をデータ連携 PF のメイン開発ツリーに統合する開発を行うとともに、実際に実験フィールドで試験を行った。

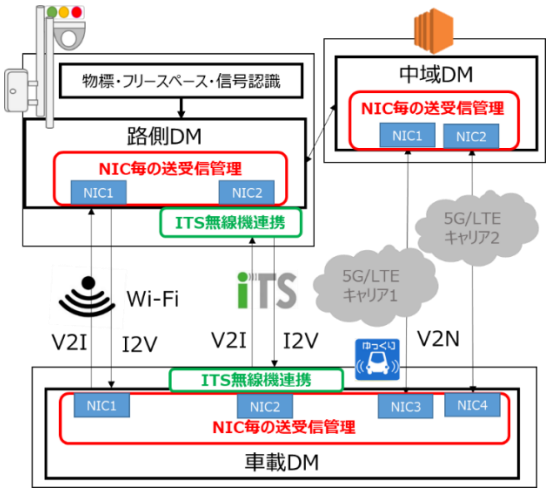


図 429　携帯網と狭域直接通信の併用

2023 年 9 月 28 日の実験では名古屋大学の公道実験フィールド（春日井市高蔵寺）において、ITS 無線機と 5G/LTE を使った通信実験を実施した。車で、「I2V の電波受信エリア内に入り、エリア外に出る」を繰り返し走行し、以下 A、B の通信環境で受信状況がどのように変化するか比較した。今回の遅延時間は、通信遅延のみを計測した（データ処理の遅延は含まない）。

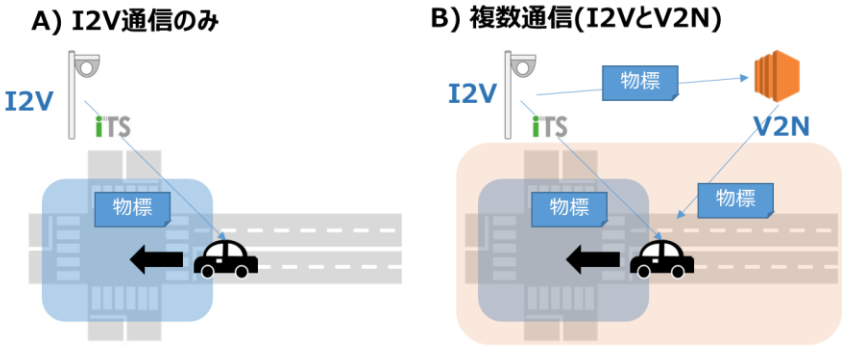


図 430　I2V 通信のみの場合(A)と I2V と V2N 併用の場合(B)

まず I2V 通信のみの場合(A)の実験結果を図 431 に示す。ITS 無線機の設置位置は小学校の北西の交差点である（マップの上方向が北である）。図 431 の右下の I2V ヒートマップは事前計測しておいたもので、黒色の地点は I2V 通信ができないエリアで、赤の地点は通信が可能なエリアである。図 431 の通信遅延グラフが今回計測した通信遅延で、I2V エリア内では平均 107 ミリ秒、最大 165 ミリ秒で受信しているが、I2V エリア外に出てしまえば受信できないことが確認できる。

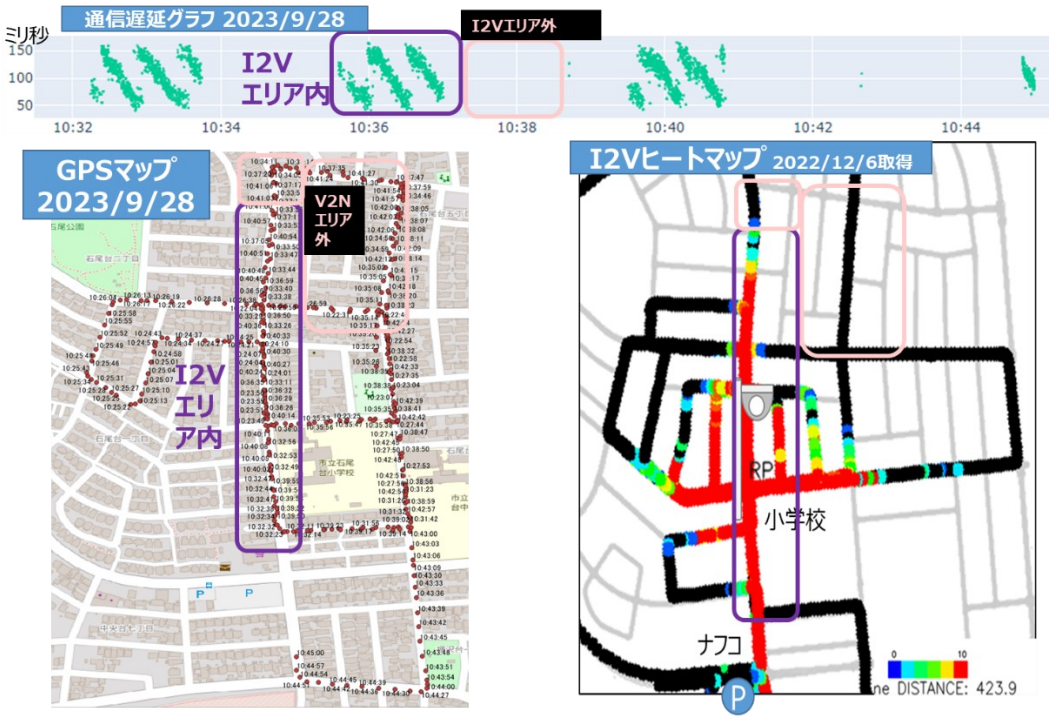


図 431　I2V 通信のみの場合(A)の実験結果

次に I2V と V2N 併用の場合(B)として、同じ情報を I2V/V2N の 2 つの経路で送り、途切れなく受信でき、且つ、I2V の範囲内であれば、素早く届けられるのかを確認する。実験結果を図 432 に示す。I2V エリア内は平均 51 ミリ秒、最大 82 ミリ秒で受信し、I2V エリア外では V2N で情報を取得しているが遅延が大きくなったエリアもある。

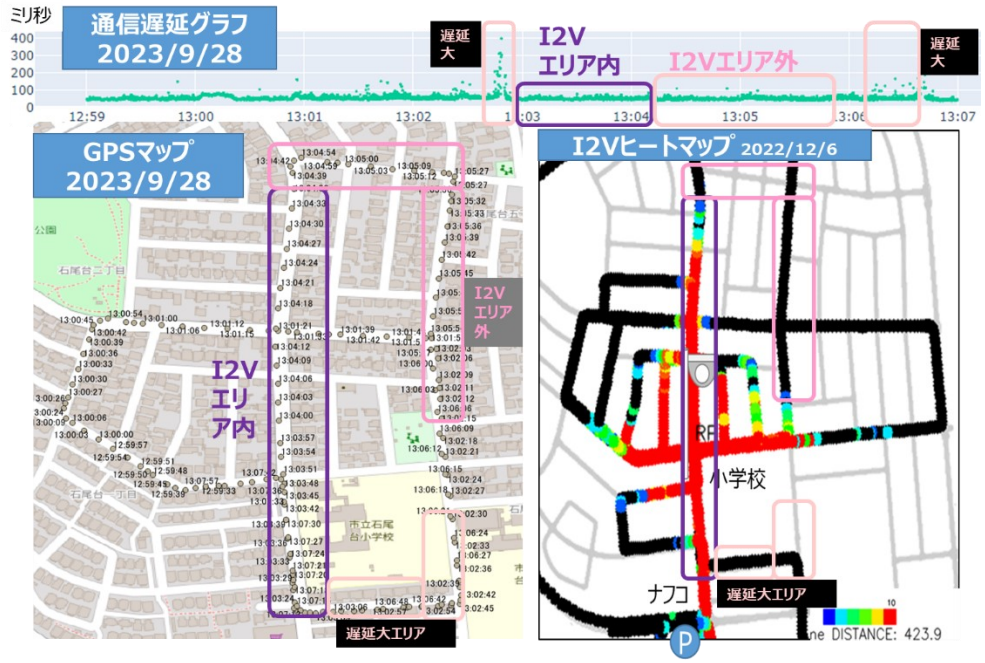


図 432　I2V と V2N 併用の場合(B)の実験結果

I2V 通信のみの場合(A)と I2V と V2N 併用の場合(B)の比較結果を、表 151 に示す。A と B の I2V エリア内を比較すると、B の I2V エリア内の方が速く情報を届けている。これは I2V の周期処理の待ち時間が長い時に、V2N の方が先に届いているためだと推測できる。

表 151　I2V 通信のみの場合(A)と I2V と V2N 併用の場合(B)の比較

(ミリ秒)

通信環境	取得時間帯	標準偏差	平均	最小	最大
A) I2Vのみ	10:30～10:45	28.7	107.2	40.8	165.3
B) I2V,V2N	13:03～13:04 (I2Vエリア内)	6.5	51.7	36.5	82.8
B) I2V,V2N	12:59～13:07	24.2	56.7	35.2	398.4

また、別の実験として、図 433 のように通信経路によって送信する情報を変える実験を行った。車両で I2V の電波受信エリアへの出入りを繰り返すように走行し、物標情報を I2V と V2N 併用して送る場合(A)と、物標情報を I2V のみで送る場合(B)が切り替わったときに、通信量がどのように変化するか調査した。

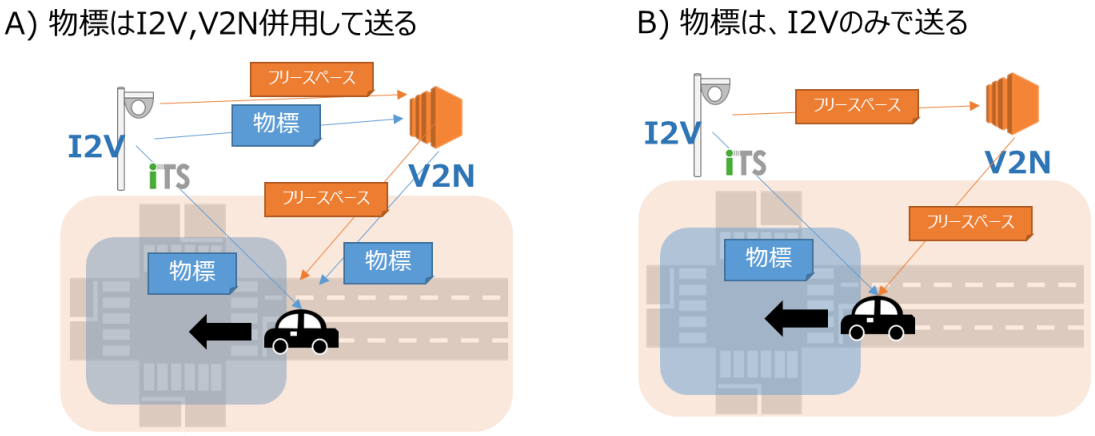


図 433　通信経路によって送る情報を変える実験

実験結果を図 434 に示す。表の 13:20～14:18 の時間帯は、物標情報を I2V のみで送る場合(B)である。図 434 右下の V2N の通信量の測定結果から、I2V のみで物標を送っている時間帯は、V2N の通信量が減っていることがわかり、減少量は約 0.15MB/10 秒だった。この実験から、I2V/V2N の 2 つの経路で違う情報を送った場合、1 経路あたりの通信量が抑えられることが確認できた。今後は、データ連携 PF を利用するユーザーの要求に応じて、通信媒体の組合せやデータ連携方法を決め、運用にのせていく必要がある。

調査方法）車載PCにてifconfigを**10秒置き**に実行し、通信量を収集

I2Vのみで物標を送っている時間帯は、V2Nの通信量が減っている。減少量：約0.15MB/10秒

表: 走行時間帯別のデータ連携設定

#	時間帯	物標	フリースペース
A	13:09～13:18	I2V,V2N	V2N
B	13:20～13:35	I2V	V2N
B	13:35～13:44	I2V	V2N
B	13:44～13:52	I2V	V2N
B	13:53～14:00	I2V	V2N
B	14:00～14:08	I2V	V2N
B	14:09～14:18	I2V	V2N
A	14:18～14:29	I2V,V2N	V2N

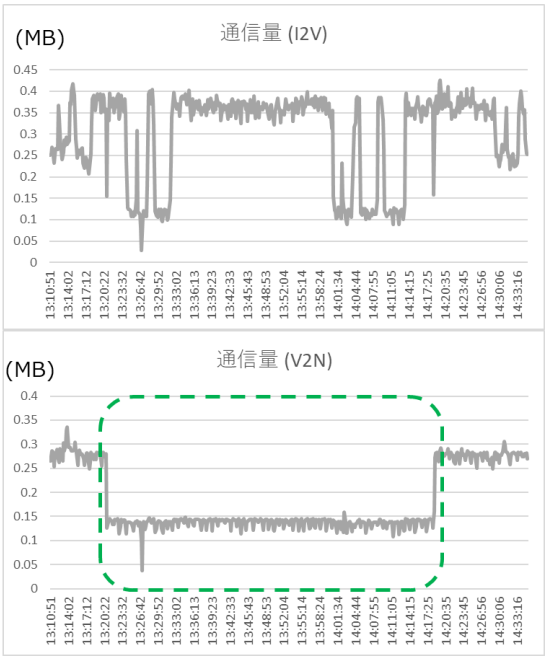


図 434　通信経路によって送る情報を変える実験の結果

(2) 複数キャリアの携帯網の併用

i) マルチパス QUIC 利用検討

① QUIC 概要

QUIC は、UDP を基に作られた高速でセキュアなトランスポート層のプロトコルである。
QUIC のメリットとしては、次のようなものがある。

● 接続確立の高速化

QUIC では、ハンドシェイクの回数を減らすことで、接続確立にかかる時間を短縮できる。また、0-RTT や 1-RTT という機能を使うことで、再接続時にもハンドシェイクを省略できる。

● 通信経路や IP アドレスの変化に対する頑健性

QUIC では、コネクション ID という固有の番号を使って通信を識別する。IP アドレスやポート番号が変わっても、コネクション ID が同じであれば通信を継続できる。また、マイグレーションという機能(後述)を使うことで、クライアントが通信経路や IP アドレスを変更した場合にも、サーバーに通知することで接続を切らずに通信を続けることができる。さらに、パケットナンバースペースという概念を使うことにより、パケット番号の重複や飛びによる問題を回避できる。

● コネクションマイグレーション

QUIC では、各コネクションにはコネクション ID という固有の番号が割り当てられる。コネクション ID は、IP アドレスやポート番号から独立した名前であり、パケットのヘッダに含まれる。下位のプロトコル層（UDP、IP、及びそれ以下）でのアドレッシングの変更が、QUIC コネクションのパケットを間違ったエンドポイントに配信しないようにすることができる。これにより、以下のようなケースに対応することが可能。

- 利用するネットワークが携帯網から Wi-Fi に変わった（またはその逆）
- NAT などのアドレス変換装置がポート番号を変更した

これらの場合、QUIC ではクライアントが通信経路や IP アドレスを変更したことをサーバーに通知し、接続を再確立せずに通信を続けることができる。通信の途切れや遅延を防ぐことができる。

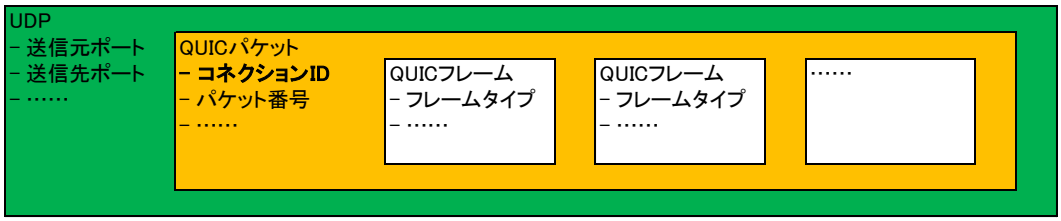


図 435　QUIC のパケット構造

QUIC のシーケンスを以下に示す。

現行搭載されている、UDP、DTLS のシーケンスとの整合性を維持することを目的とし、ハンドシェイクについて 1-RTT で実現することを前提とする(0-RTT はサポートしない)。

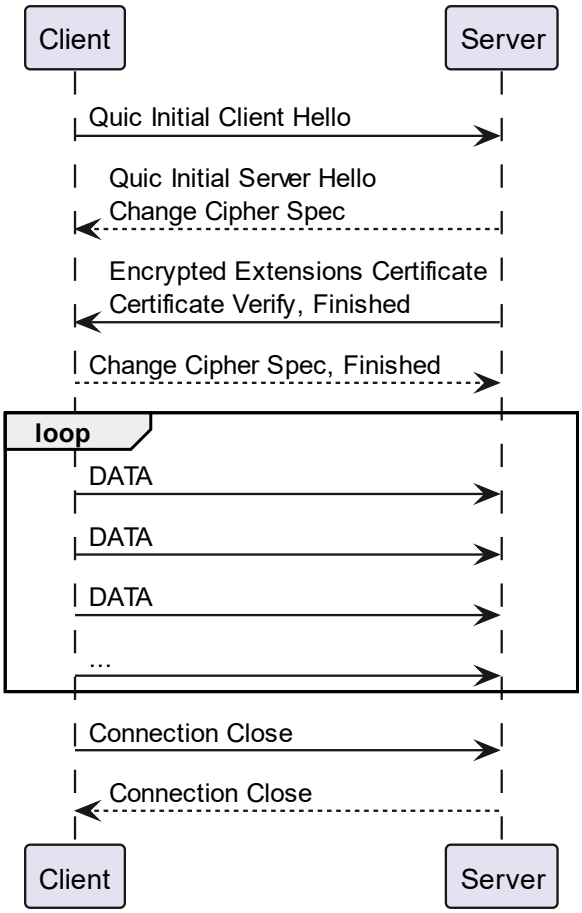


図 436　QUIC 通信シーケンス

- TLS による暗号化

QUIC では、TLS 1.3 をベースにした暗号化方式を採用しており、通信内容の機密性や完全性、相手の真正性などを保証している。また、暗号化されたパケットヘッダによって、

中間者攻撃や流量分析などの脅威から保護する。

● ストリームの多重化

QUIC では、一つのコネクション内で複数のストリームを同時に送受信できる。一つのストリームが遅延したり欠落したりすることにより、他のストリームが待たされてしまうヘッドオブラインブロッキングという現象を防ぐことができる。QUIC では、各ストリームが独立したパケットナンバーを持ち、欠落したパケットはそのストリームだけで再送することができる。また、ストリームの優先度や依存関係などを指定することもできる。

車車間、路車間、および車両とクラウド間の通信における UDP/DTLS 通信経路に対し、QUIC(Quick UDP Internet Connections)を適用する。

② システム概要

UDP/DTLS 通信経路に対して QUIC に対応する。

UDP 通信は、互いの DM2.0PF の CS 部機能間でストリームデータを送受信する際に使用している。

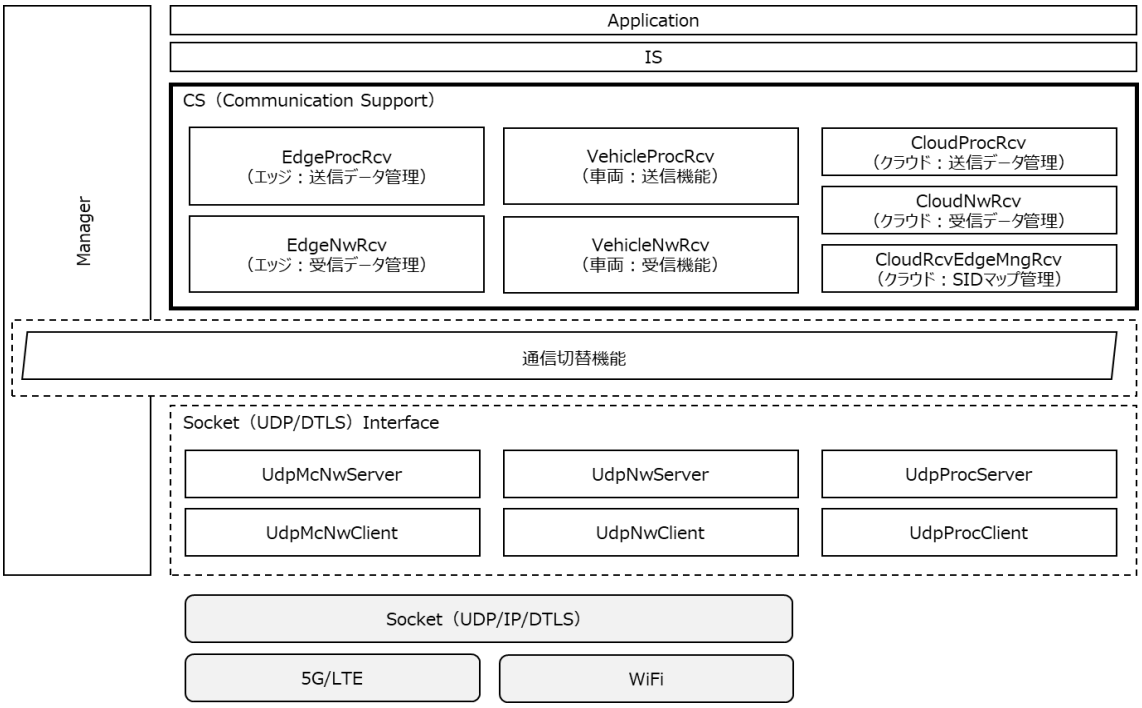


図 437　CS 部の構成、ならびに DM2.0 PF における CS 部の配置

赤枠内のモジュールで使用されている UDP/IP/DTLS Socket に対し、QUIC を適用する。

QUIC を実現するライブラリは以下の通り。どのライブラリを選択すべきかは検討が必要。

表 152　QUIC を実現するライブラリ

名称	発行元	特徴	ライセンス
Quiche	cloudflare	RUST で実装された Quic ライブラリ	BSD 2-Clause
Quiche	google	(QUIC v1.0 をサポート)	BSD 3-Clause
MsQuic	Microsoft	google で利用されている	MIT License
BoringSSL	google	C 言語としての実装、C#等で利用可	OpenSSL, ISC license
LibreSSL	OpenBSD	OpenSSL を google が拡張	Apache-1.0, BSD-4-Clause, ISC
QuicTLS	Akamai Microsoft	OpenSSL を OpenBSD が拡張	Apache-2.0

Google の Quiche や Microsoft の MsQuic は通信部分を含んだライブラリとして提供されており、socket 通信のパラメータなどを変更する DM2.OPF では自由度が低い。Cloudflare の Quiche は送受信データをコンテナとしてパッケージングすることにより Quic の仕様を満たすライブラリとなっており、socket 通信は実装者に委ねている。そのため、通信自体に対する自由度は高く Quiche で SSH 通信を実現する事例などがある。今回 DM2.OPF にて UDP や DTLS と同様、低レイヤーの socket 通信まで制御するため、cloudflare の Quiche を使用することとする。

QUIC に対して使用する証明書は、自己認証局にて手動コマンドで作成した自己証明書とする。
QUIC に関連する RFC は次の通り。

- RFC 8999 Version-Independent Properties of QUIC
- RFC 9000 QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport
- RFC 9001 Using TLS to Secure QUIC
- RFC 9002 QUIC Loss Detection and Congestion Control

DTLS と QUIC の主な相違点を以下に示す。

- 少ないハンドシェイクで通信を確立することができ、接続時の遅延が少ない(1-RTT)。
- IP 層の切り替えに追従することが可能で、通信切り替え機能のサポートが期待できる(コネクションマイグレーション)。

③ システム設計

現行のシステム構成は以下の通り。

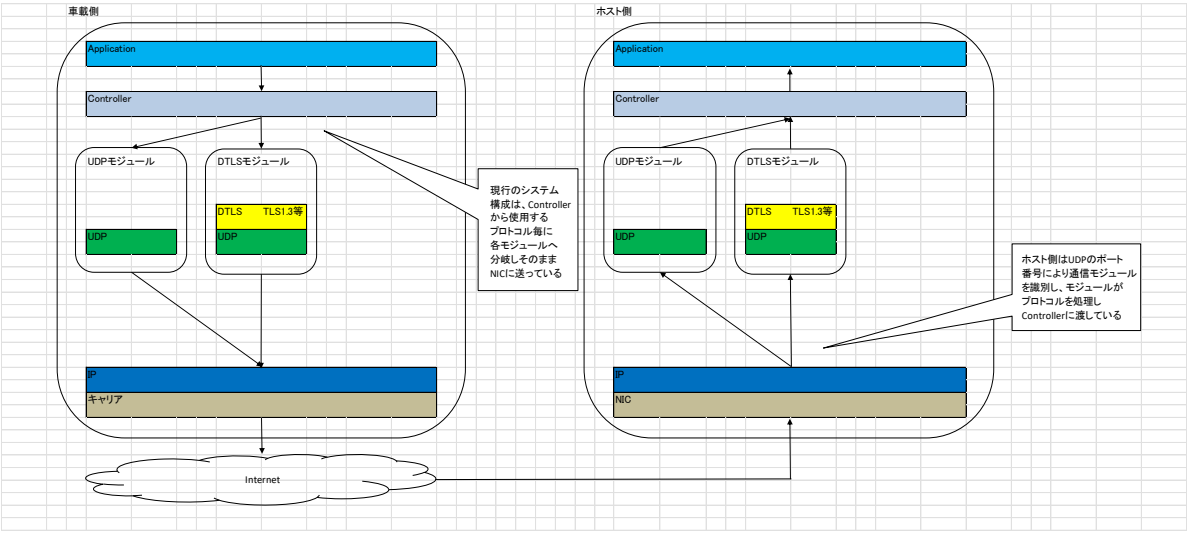


図 438　CS 部の通信機能の構成(現行)

現行システムに対し、QUIC を使用した通信機能を追加することを想定した構成は以下の図となる。

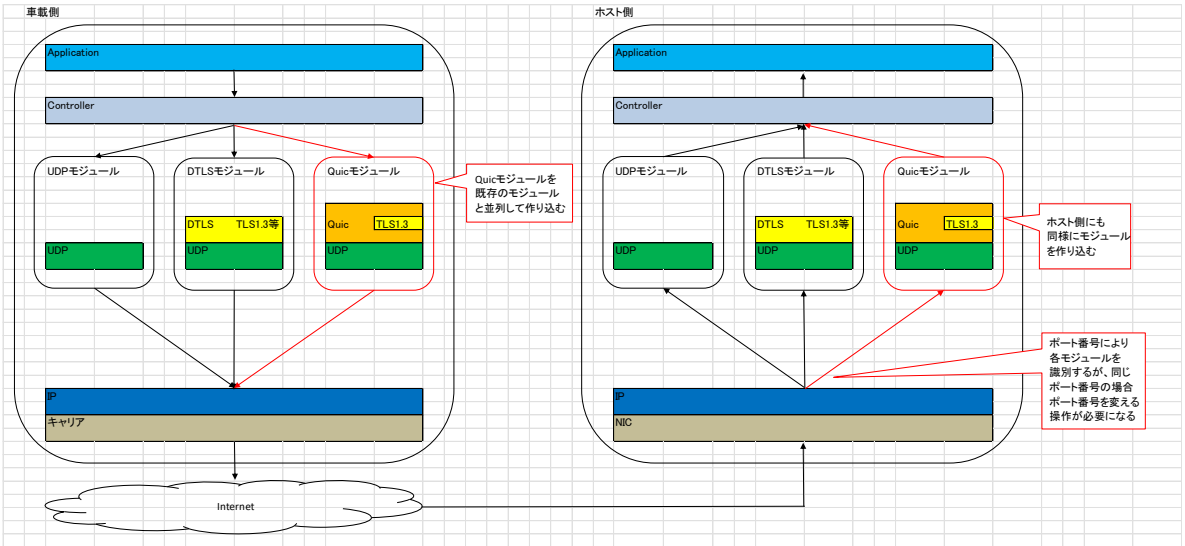


図 439　CS 部の通信機能の構成(QUIC 追加後)

QUIC は DTLS と同様にクライアント―サーバーが 1 対 1 で通信する仕組みのため、受信側にて専用の受信処理を設ける。

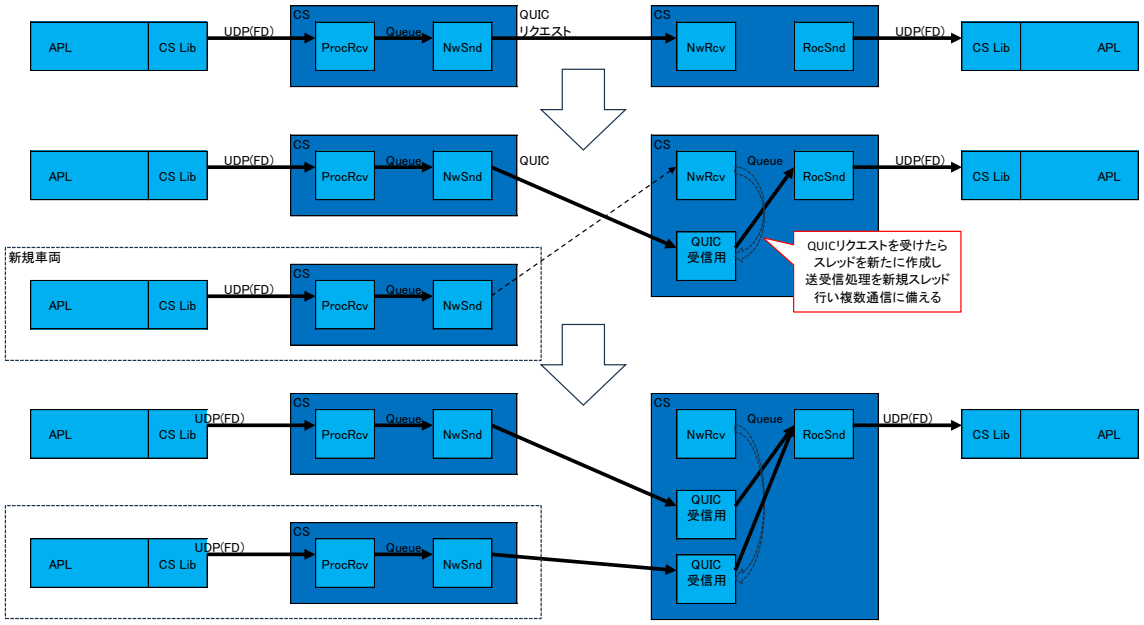


図 440　QUIC 通信処理概要

DTLS と同様に Server で Client からの QUIC リクエストを受け付けた際、新規にスレッドを生成し、QUIC 通信のハンドシェイクを実施してセッションを確立する(QUIC は UDP 上で動作するため、DTLS のハンドシェイクにおける TCP 通信はない)。以降、該当の Client との通信は生成した新規スレッドにて行う。さらに、別の Client からリクエストを受けた際には別スレッドを生成する。

受信したデータは Queue によって受け渡され、アプリケーションへ送信する。

処理の基本思想やクラス構成は既存の CS 部での形式を踏襲する形で設計している。現行のクラス図は以下の通り。

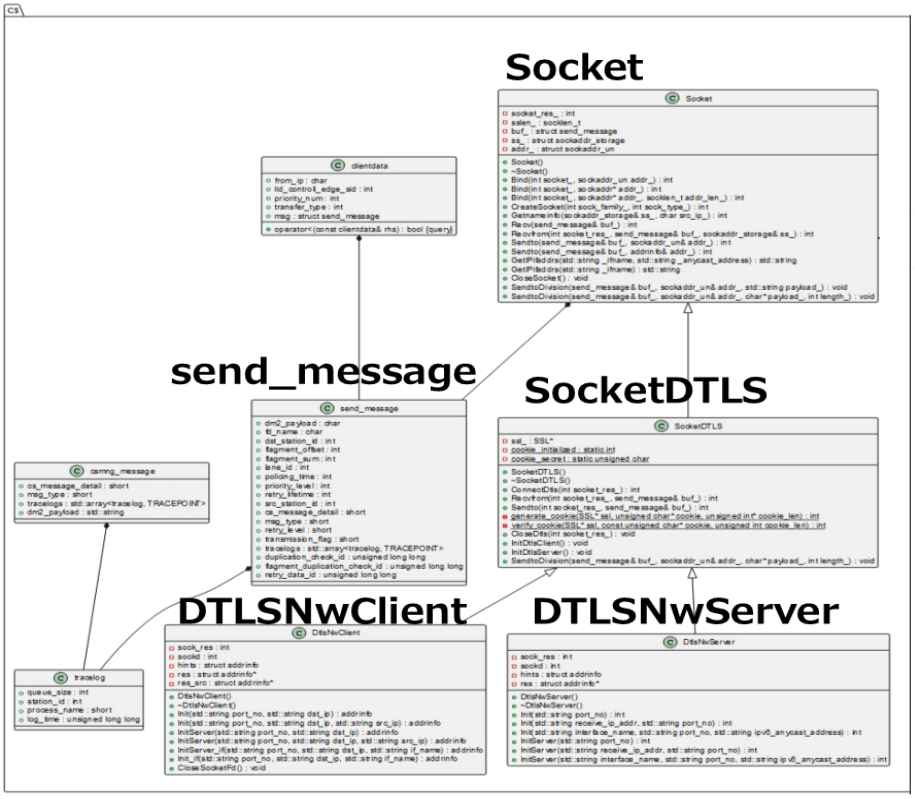


図 441　現行の CS クラス図

Socket クラスをベースとし、SocketQUIC クラスを追加する。また、SocketQUIC クラスを継承する形で QUICNwClient と QUICNwServer を追加する。

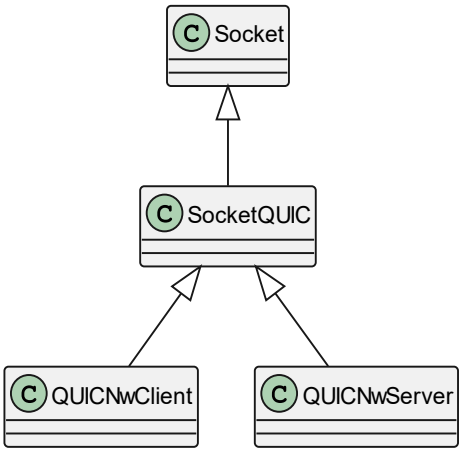


図 442　QUIC クラス図

④ マルチパススケジューラ

DM2.0 PF は、通信の信頼性向上あるいは遅延低減のために複数の通信手段を併用することを想定し通信手段を切り替えるが、単に通信手段を切り替えるだけでなく複数経路の経路数を動的変

更しながらに使う経路冗長を開発する。

現行の CS 部は、車両/エッジ/クラウドの各レイヤーにおいて固有機能や共有機能が混在する形で機能が搭載されている。これらの機能を抽出し、あらかじめ定められた通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコルを用い経路冗長の動作が可能となるよう、CS 部処理構成の見直しを行う。車両/エッジ/クラウドごとに固有機能を実現するのではなく、部品化された機能を組み合わせることで同様の処理機能を実現する。

通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコルおよび経路冗長における各設定は、設定ファイルによって定義する。なお経路冗長における経路数 N は CS 機能内で変更できるものとする。

以下に対応すべき CS 固有機能、通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコル示す。

- CS 固有機能

  CS ヘッダを元にした転送制御、再送処理、デュアル通信、分割送信、経路冗長
- 通信手段

  端末に接続する NIC デバイスにて認識できる通信手段を対象とする。
  - WiFi、5G/LTE(複数キャリア)、有線 LAN
- 通信プロトコル

  以下の通信形態への対応を対象とする。
  - UDP(ユニキャスト/マルチキャスト/ブロードキャスト)、DTLS、QUIC
- インターネットプロトコル

  ユニキャストにて通信対象を指定する場合、以下を対象とする。
  - IPv4、IPv6、非 IP

本機能は CS 部固有機能や通信手段、通信プロトコル、インターネットプロトコルを選択して実行する機能である。UDP、DTLS、QUIC も選択可能な機能の 1 つに含まれる。

クラウド、エッジ、協調型路側機、車両などの各ノード間はそれぞれのネットワークで接続される。

協調型路側機と車両は、直接通信によるブロードキャスト、携帯電話網によるユニキャストの 2 種類の通信形態で接続される。

- スケジューラ設計

複数 NIC による通信を実現するため、送受信ともに NIC 分の並列処理を行う機構を備える。

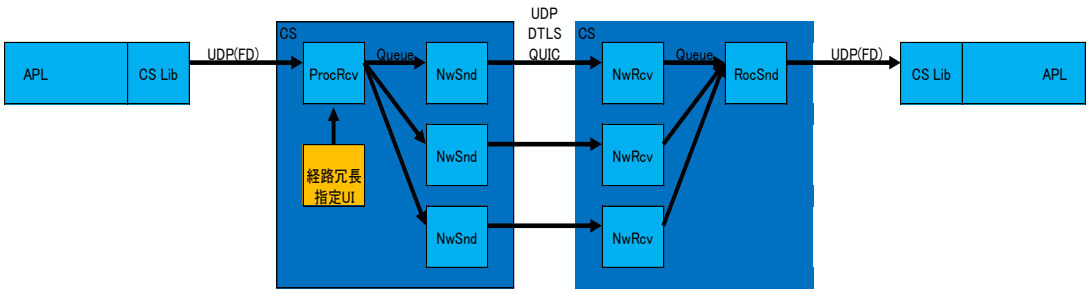


図 443　マルチパススケジューラ送信処理概要

経路冗長の経路数 N に従い、必要数分の送信、受信スレッドを生成する機構を設ける。送信処理は APL からデータを受け取り、保有している複数経路全てに対し、データ送信を行う。複数経路から同一データを受信するため、最初に届いたデータをアプリへ受け渡した上で ProcSnd 内にて記録し、後続の同一データを破棄する機構を持つ。

処理の基本思想やクラス構成は既存の CS 部での形式を踏襲する形で設計する。

QUIC、DTLS、マルチキャスト、ユニキャスト、プロセス間通信を処理するモジュールを保持し、統括する上位のクラスにある、APL/IS 部から受信データを処理する ProcRcv と、外部ネットワークからの受信データを処理する NwRcv を利用する(本構成は従来の各層における CS 部の構成を踏襲する)。

- 経路数 N の増減

経路数 N は設定ファイルにて指定する。今後、経路数 N は経路数を指定する手段を用意し、変更できることとする。経路数の変更を実現するため、最初にすべての経路に対してセッションを確立する。その後、経路数 N に合わせ、利用するセッションを選択し、そのセッションに対してのみデータを送受信する。利用対象をして選択されなかったセッションは、データ送受信に使用されないが、セッションそのものは維持したままとする。

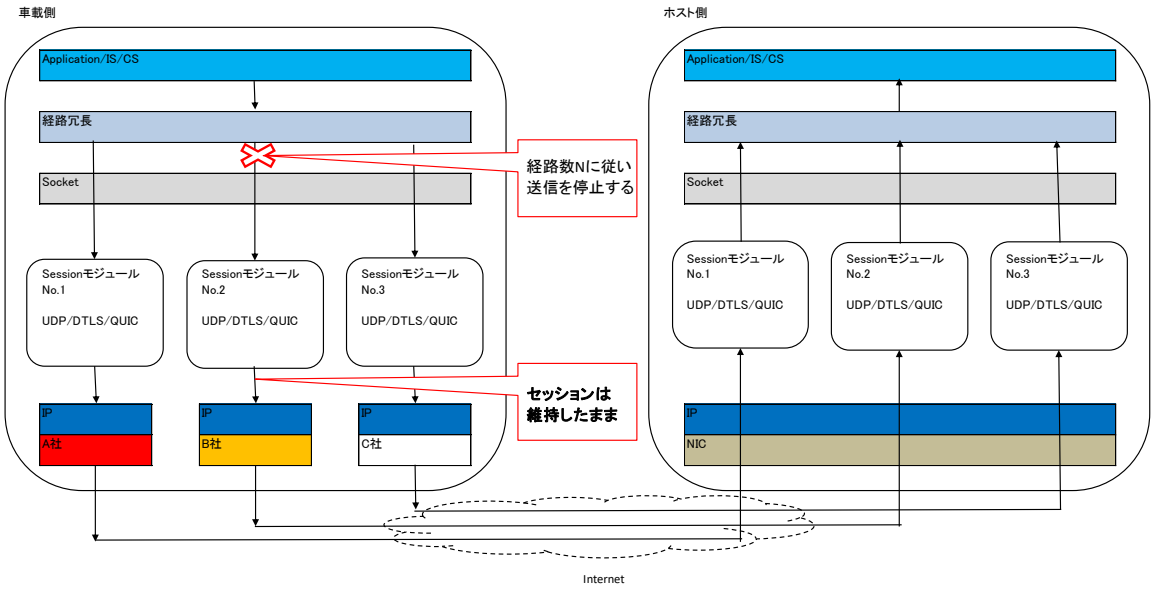


図 444　経路数 N の増減

● 経路数 N の変更方法案

経路数を変更するため、ProcRcv を修正し、ProcRcv に対し経路数を指定する手段を追加する。経路数を設定・変更する手段により、各通信路の状況(信頼性・遅延等)を踏まえ、動的に設定するモジュールに変更できるよう考慮する。

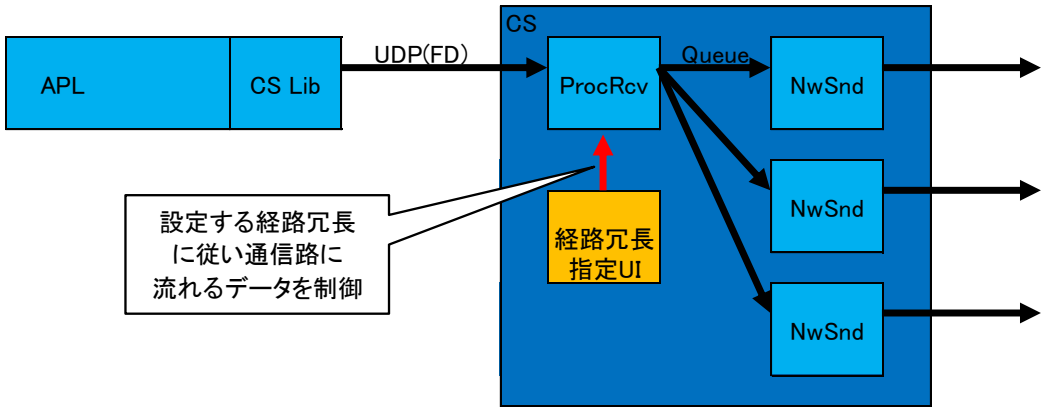


図 445　経路冗長指定の追加

ii)　実装

図 446 に示すように Socket クラスをベースとし、SocketQuiche クラスを追加する。また、SocketQuiche クラスを継承する形で QuicheNwClient と QuicheNwServer を追加する。

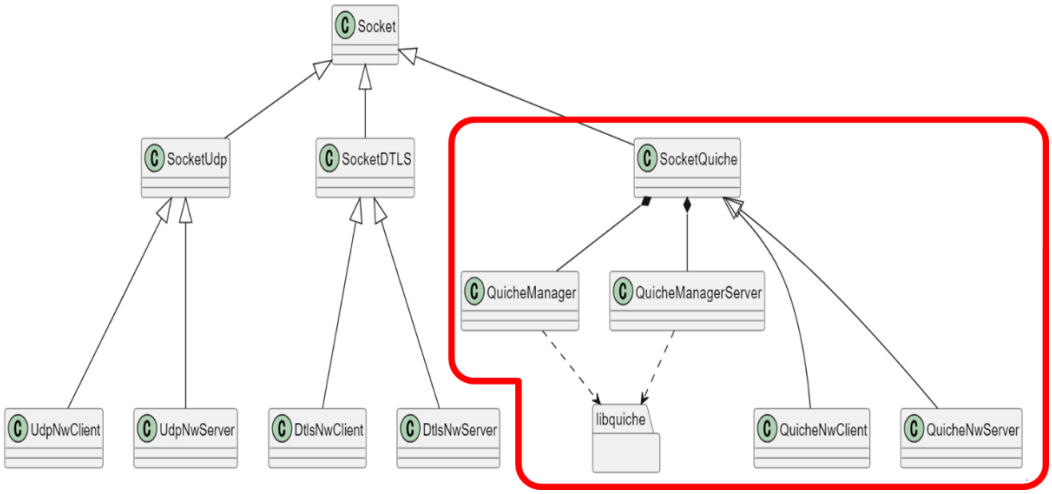


図 446　QUIC クラス図

① 送信処理

- ACK 確認が必要となるため受信スレッドを生成し、待ち受けを行う。

  QuicheManager::quiche_init()

    QuicheManager::createSocket()　　受信用 socket の生成

    QuicheManager::setConfig()　　Quiche に対する設定

    QuicheManager::initial_connect()　初回接続 + ソケット監視

      QuicheManager::recv_cb()　　受信時コールバック

- 送信 socket は独自処理にて行う。
- Quiche によって QUIC パケットの作成を行う。

データ部のコンテナ化

  QuicheManager::quiche_send()　　送信依頼キューからデータ取得し送信

    QuicheManager::sender(int stream_id)　QUIC ストリームデータの送信

    QuicheManager::flush_egress()　　共通送信処理

- タイムアウトによる再送処理を行う。

  QuicheManager::timeout_cb()　　再送処理

- 上位層から送信が完了したかどうかを確認する

  QuicheManager::wait_for_send_completion()

② 受信処理

- 受信 socket は独自処理で用意する。

  QuicheManagerServer::quiche_init()

QuicheManagerServer::createSocket()　　受信用 socket の生成

QuicheManagerServer::setConfig()　　Quiche に対する設定

QuicheManagerServer::initial_connect()　初回接続 + ソケット監視

- コネクション確立

QuicheManagerServer::recv_cb()

QuicheManagerServer::mint_token()　　トークン処理

QuicheManagerServer::gen_cid()　CID 生成（quiche 内の接続 ID：IP に依存しない情報）

QuicheManagerServer::validate_token()　トークンの validate

QuicheManagerServer::create_conn()　　コネクション生成

- Quiche によって QUIC パケットの解析を行う。
  - データ部の取得
  - 通信品質パラメータの取得
  - 統合
- Quiche によって ACK 用 QUIC パケットを作成し、返送を行う（Quiche で行う）

QuicheManagerServer::flush_egress()　　共通送信処理

- タイムアウトによる再送処理を行う。

QuicheManager::timeout_cb()　　再送処理

iii) 評価検証

① 評価検証環境

Quiche ライブラリを DM2.0PF の通信部に適用し、QUIC 通信の動作検証を行った。動作環境に関して、2 台の PC へ Quiche ライブラリを適用した DM2.0PF をセットアップし、データ送信 PC～スイッチングハブ～データ受信 PC（装置間は有線 LAN(cat6 ケーブル)で接続）の環境を用意した。PC のスペックは以下の表 153 の通り。

表 153　評価用 PC 環境

項目	仕様
プロセッサモデル	12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700
プロセッサベンダー	GenuineIntel
プロセッサ動作周波数	800.050MHz
プロセッサキャッシュサイズ	25600KB
プロセッサコア数	12
同時実行可能なスレッド数	20
メモリ総容量	31.04 GB

② 評価方法

図　447 に示すように QUIC 通信における Handshake に要する時間、および送信するデータサイズ 2 種類（1350 バイト、64000 バイト）におけるデータ送信(Send)に要する時間を計測した。

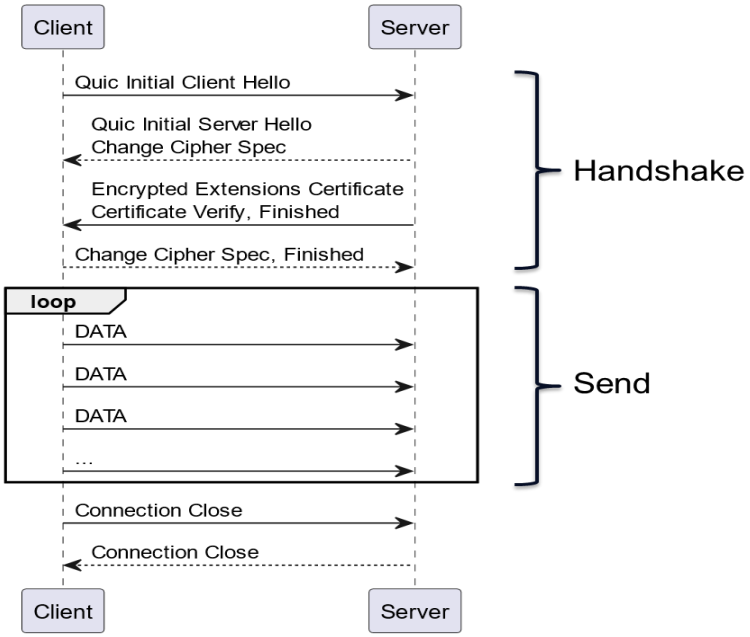


図 447　評価計測の区間

Handshake は Client から Server に対して最初の接続要求を送信し、接続を確立した状態になるまでの期間を指す。データ送信(Send)は、Client から Server へデータ送信を開始した時点から、全てのデータ送信に対する ACK が Server から返されるまでの期間を指す。

- Handshake 時間の計測

Client から Server への接続を 10 回試行し、Handshake にかかった時間の平均値、最大値、最小値、中央値を求めた。結果は以下の表 154 のとおり。

表 154　Handshake にかかった時間(msec)

平均値	6.83
最大値	7.64
最小値	5.41
中央値	7.06

- データ送信(1350 バイト)

Client から Server へのデータ送信を 10 回試行し、データ送信完了(全データの ACK 応答受信)までにかかった時間の平均値、最大値、最大値、中央値を求めた。データサイズ 1350 バイトは QUIC パケットの送信 1 回分のサイズを想定している（イーサネットの MTU 値により UDP 通信の 1 パケットサイズは 1350 バイトの制限があり、1350 バイトをパケット分割の上限に設定した)。結果は以下の表 155 のとおり。

表 155　データ送信(1350 バイト)にかかった時間(msec)

平均値	1.23
最大値	1.32
最小値	1.11
中央値	1.22

中央値と平均値から、1QUIC パケットの送信時間はばらつきが比較的少ないことがわかる。

- データ送信(64000 バイト)

Client から Server へのデータ送信を 10 回試行し、データ送信完了(全データの ACK 応答受信)までにかかった時間の平均値、最大値、最大値、中央値を求めた。データサイズ 64000 バイトは DM2.0PF にてアプリケーションからのデータ送信に使用している send_message 型の最大サイズである。QUIC パケットの送信 1 回分のサイズを超過しているため、Quiche ライブラリにて分割した複数の QUIC パケットが生成される。複数回の送信の完了までを計測した結果は以下の表 156 のとおり。

表 156　データ送信(64000 バイト)にかかった時間(msec)

平均値	71.8
最大値	76.6
最小値	63.9
中央値	73.9

- 制限事項

QUIC 通信は Client と Server の間で Handshake を行い、接続確立をしてからデータ送信を行う。Server が起動していない状態で Client からの接続要求を行った場合、Quiche ライブラリの管理により定期的に接続要求を試みる。最初は短い間隔で接続要求を行うが、接続失敗の状態が続くと徐々に接続要求の間隔が長くなる。

QUIC 通信の実現において、Quiche ライブラリにて QUIC パケットの生成・管理しており、Client からの送信データに対する Server からの ACK が返ってこない場合は、QUIC パケットの再送処理を行う。Quiche ライブラリは再送する QUIC パケットをキャッシュとして保持しているため、キャッシュサイズ以上のデータを送信すると以降の QUIC パケットが生成できなくなる。Server からの ACK を受け取るとキャッシュしている QUIC パケットのデータを解放するため、以降新たなデータ送信が可能となる。

(3) 効率的な物理データフォーマット

昨年度までのデータ連携 PF では、通信時にデータ連携 PF の間で送受信されているデータの物理的な格納フォーマットとして XML を用いてきた。XML はマークアップ型の記述言語であり、記述の柔軟性や拡張性が高いことが知られているが、個々のデータサイズが大きくなりやすいことと、構文解析のための処理時間が相対的に大きくなりやすいというデメリットもあった。そこで、XML の代わりとなる物理データフォーマットとして、ASN.1、BERT、Protocol Buffers、JSON、XML などを比較した過去研究([“A performance study of protocols used in a print on demand server”, 2015], [”Performance Comparison of Data Serialization Schemes for ETSI ITS Car-to-XCommunication Systems”,2015]など)を調査し、データサイズと処理時間の観点で優れているとされる Protocol Buffers (以降省略して protobuf と表記)を候補とすることを決めた。データ連携 PF へ組み込む前段階として、独立した性能測定用のプログラムを作成し (図 448)、実際に protobuf のデータサイズや処理時間の計測を行った。データサイズを削減するための工夫として、不明値削除対応と時刻省略対応の 2 つを導入した。不明値削除対応は、取得した属性の値が CooL4 API 仕様案の不明値であったデータに対しては電文に含めないように処理して転送時のデータ量を削減する。protobuf では電文にデータを含めないフィールドを設定できる。XML も同様の処理を追加している。時刻省略対応は、属性毎にタイムスタンプは取らず、タプル毎に

タイムスタンプを取得することで転送時のデータ量を削減する。なお、XML も protobuf もデータの圧縮を適用した場合を比較する。実験環境は Ubuntu22.04、Protobuf v3.12.4 で構築し、実験データは記録済みの物標情報を用い、1 回分の測定に使用される物標情報は約 10 件である。100 回分の測定試行の平均値を取得した。

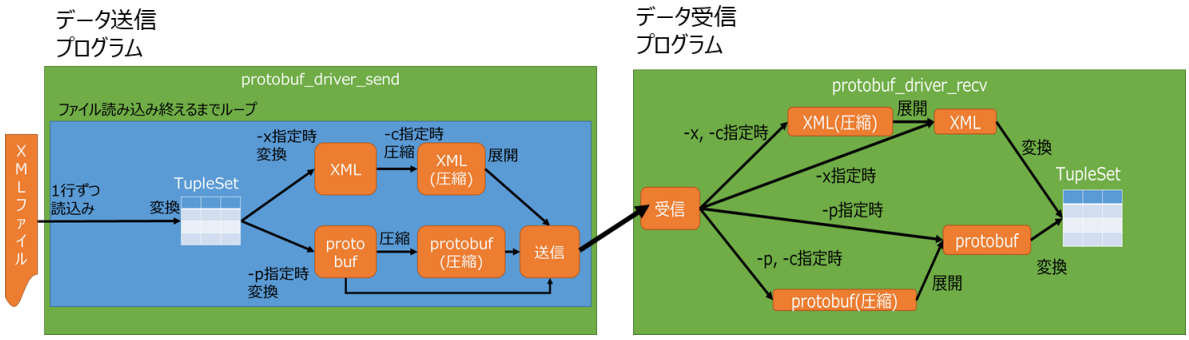


図 448　Protobuf 性能調査プログラム

データサイズの比較結果は図 449 のとおりである。XML①と protobuf①は不明値削除対応と時刻省略対応を入れる前のもので、XML②と Protobuf②は不明値削除対応と時刻省略対応を行ったあとのものである。①と②の比較では、②の方が XML と protobuf ともにサイズが小さくなっており、不明値削除対応と時刻省略対応の効果があることが分かる。また、XML②と protobuf②の比較では、protobuf の方が XML の 1/2 程度のサイズになっており、protobuf の方がサイズを小さくできていることが確認できる。

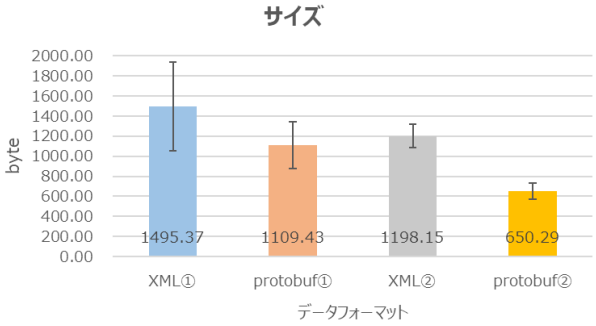


図 449　XML と Protobuf データサイズ比較

処理時間については、メモリ上の物標情報を UDP 通信のパケットに直列化が完了するまでの変換時間と、受信側で UDP パケットを受けとってメモリ上の物標情報へ戻すための複合時間にわけて計測した。実験結果は図 450 のとおりである。①は不明値削除対応と時刻省略対応を適用しない場合、②は不明値削除対応と時刻省略対応を適用した場合である。変換時間では、XML の方が protobuf より変換時間は短くなっている。これは現行のデータ連携 PF では XML の変換の際に、

一般的な外部の XML ライブラリを使用せず、この用途に最適化した自前の専用機能で変換しているためと思われる。一方、複合時間では①、②のケース共に XML に対して protobuf は 1/10 以下の処理時間となっており protobuf の性能の方が圧倒的に良い結果となっている。現行のデータ連携 PF では XML の復号時の構文解析には、XML ライブラリである Xerces を使用しており、変換時ほど用途に特化した最適化が行えていないためと思われる。変換時間と複合時間の総合で判断すると、protobuf②が最も有利であることがわかった。

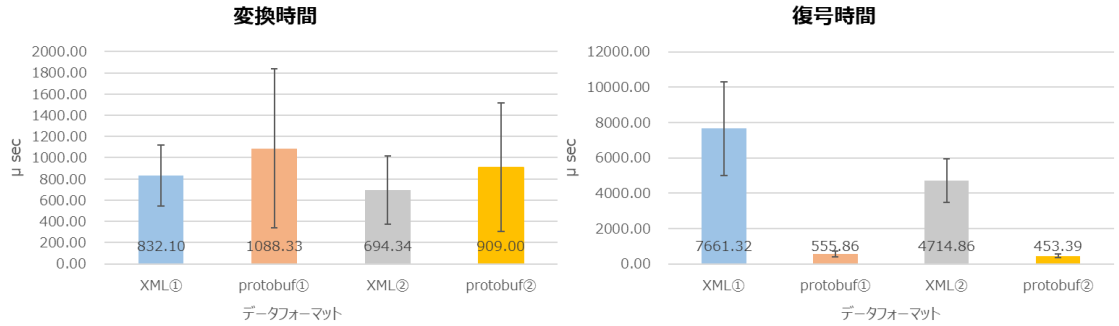


図 450　XML と Protobuf 処理時間比較

これらの実験結果を踏まえて、データ連携 PF の通信の新たな物理データフォーマットとして protobuf②を用いる方式を実装した。本機能は、本年度 1～2 月に実施される公道での実証実験でも活用された。

(4) 位置に基づく通信の最適化・信頼性向上

i)　検討内容

各車両のセンサー情報などを集約するサーバーをインターネット上のクラウドサーバーとする場合、膨大な数の車両の情報を集約・統合することによる処理負荷や、インターネットを介することによる通信遅延の増大が懸念される。交差点における衝突の回避や車線合流時の車車間の調停などの低遅延での通信・処理が求められるため、処理負荷や通信遅延の増大は重大な問題となる。そこで、通信の最適化・信頼性を向上させる手法が求められる。地理的に分散配置されたエッジサーバーを利用することにより、車両から送信された情報はエッジサーバーで逐次処理され、処理結果が車両へと送信される。クラウドサーバーは渋滞情報などの時間的な制約の緩い情報の処理を担当し、時間的制約の大きい情報の処理はエッジサーバーが担当することで、地理的に分割された領域内のみの車両の情報をインターネットを介さずに集約・統合するため、処理負荷の分散や通信遅延の軽減可能となる。

エッジサーバーは自身が管轄する領域内の車両の情報を集約するが、車両とエッジサーバー間

の通信帯域は限られているため、その通信帯域で収容可能な台数以上の車両が管轄領域内に集中した場合に通信帯域が逼迫されることが懸念される。通信帯域が逼迫すると通信遅延が増大し、協調型移動運転において許容される遅延要件内に車両が必要な情報を受け取ることができず、協調型自動運転を行うことができない。また、通信の品質（Quality of Service、以下 QoS）が保証されないことを車両は事前に判断することができないため、必要な情報が受け取れないことを知らないまま協調型自動運転を試みることになり、安全性や効率の点で重大な問題となる。

ii） 検討手法

エッジサーバーの管轄領域内に車両が集中した際に QoS を保証することができないことを車両が事前に判断することができない問題に対して、位置に基づく通信の最適化・信頼性向上のために、SDN（Software-Defined Networking）技術を利用することで、QoS の予測・予約を行うことを考える。車両の集中を事前に把握して QoS が保証できないことを予測し、通信を行う車両と行わない車両を決定する。各車両が通知された通りに通信を制御することで、通信帯域が逼迫せず QoS を保証することができる。

SDN とはソフトウエアを介してネットワークを一元管理する技術である。ネットワーク機器のデータ転送機能とネットワーク制御機能のうち、ネットワーク制御機能のみを SDN コントローラと呼ばれるソフトウエアに集約することで、ネットワークの状況の把握や通信経路の変更・更新を柔軟に行うことができる。ここでは、図 451 に示すように複数のエッジサーバーとその管轄領域内の車両との通信を SDN コントローラが管理することを考える。SDN コントローラとエッジサーバーは有線で接続されており、SDN コントローラからエッジサーバーから QoS の予測に必要な情報を定期的に受け取る。受け取った情報をもとに QoS を予測・予約し、その結果をエッジサーバーを介して車両へと送信する。具体的な QoS 予測・予約の手順は後述する。

V2X 通信の通信方式の 1 つとして検討されている 5G では、端末と基地局の接続の確認や端末が通信可能であるかの識別といった制御を目的とした通信を行うコントロールプレーンと、データの伝送を目的とした通信を行うユーザープレーンを分離した設計がされている。本検討において、QoS 予測・予約のために行われる通信はコントロールプレーンに該当し、QoS の予測・予約が行われる対象の通信はユーザープレーンに該当する。QoS 予測・予約のための通信は大きく通信帯域を使用するものではなく、コントロールプレーンの通信帯域は常に確保されているものとする。協調型自動運転のための通信が行われるユーザープレーンは車両の集中によって通信帯域が逼迫する恐れがあるため、本検討ではこの通信の QoS を対象に予測・予約を行う。

iii） 車両の走行に伴う QoS 予測・予約

QoS を予測するにあたり、SDN コントローラはまず一定時刻後の車両の集中状況を想定する。上述の通り、SDN コントローラは一定周期で車両の移動計画を集約しており、エッジサーバーの

管轄領域の地図情報と統合することで、一定時刻後における各基地局の通信範囲内の車両台数を求めることができる。各基地局の通信範囲内の車両台数と 1 台あたりの協調型自動運転のための通信に必要な通信帯域から、その通信範囲内での一定時刻後での合計通信帯域使用量を計算できる。その結果と、SDN コントローラが保持するエッジサーバーと車両間の最大通信帯域からすでに予約されている通信帯域を差し引いた使用可能な通信帯域を比較することで、QoS を予測することができる。使用可能な通信帯域に対して合計通信帯域使用量が多い場合、通信帯域が逼迫するため QoS が保証されないと予測する。

QoS が保証されないことを車両が事前に知らないまま協調型自動運転を試みることになる問題に対して、各車両に QoS が保証されるかを通知することを考える。QoS 予測および予約の手順を図 451 に示す。SDN コントローラは QoS 予測の結果をもとに、QoS が保証される車両を決定し、その分の通信帯域を確保するとともにすでに予約された通信帯域として保持する。その後 QoS が保証されるか否かを車両に通知し、各車両は通知の通りに通信を行うまたは行わないことで、通信帯域の逼迫を防ぐことができる。

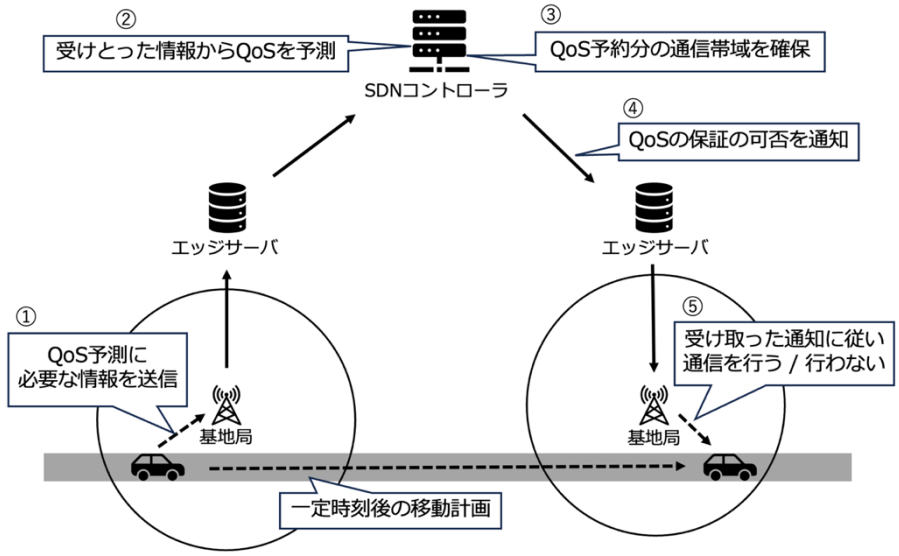


図 451　QoS 予測・予約手順

QoS 予測の結果、全ての車両に対して QoS を保証できる場合には、全ての車両分の通信帯域を確保し、全ての車両に QoS が保証されることを通知する。一方、通信帯域が逼迫し、全ての車両に対して QoS を保証することができないと予測した場合には、QoS を保証することができる台数分の車両の通信帯域を確保し、確保した車両には QoS が保証されることを通知する。残りの車両に対しては、QoS が予約されていないことを通知し、その通知を受けた車両は通信を行うことができない。

全ての車両の QoS を保証できない場合に QoS を保証する車両を決定する必要があるが、一定時

刻後における車両の周囲の走行環境や車両の運転操作によって QoS 予約されるべき優先度は変わると考えられる。例えば、図 452 に示すように一定時刻後に交差点を右折する車両は、周囲の車両との調停や歩行者との衝突を回避が求められるため、QoS 予約は優先的にされるべきである。また、交差点の右折開始時に QoS が保証されていても、右折が終了する前に QoS が保証されなくなるとその時点で協調型自動運転に必要な情報を受け取れなくなるため危険である。そのため、QoS が保証された運転操作は終了するまで保証される必要がある。よって、QoS 予約の際には QoS 予約する車両の優先度と予約する期間を考慮する必要がある。

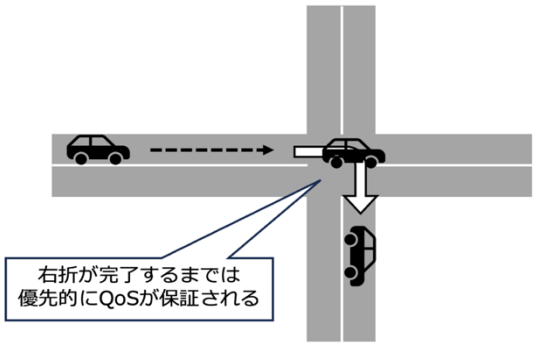


図 452　交差点通過時の QoS 予約

QoS 予約する車両の優先度の決定は一定時刻後の車両の周囲の車両台数と移動計画における運転操作をもとに行う。SDN コントローラは一定時刻後の車両の位置を想定しているため、各車両の周囲の車両台数を求めることができる。具体的な優先度の決定方法としては、まず右左折などの運転操作を行うと想定される車両の QoS を優先的に予約し、その後使用可能な通信帯域に応じて周囲の車両台数が多い車両から順に QoS を予約することを検討している。

右左折などの運転操作中の QoS の予約の期間は、運転操作が完了すると移動計画から予測される期間よりも十分に長く設定される。車両は実際に QoS 予約された時刻に運転操作を行い、運転操作が完了すると SDN コントローラに完了したことを通知する。SDN コントローラは完了の通知を受け取ると長く予約していた通信帯域を解放し、使用可能な通信帯域に加える。十分に長く QoS 予約の期間を設定することで、運転操作中に QoS の保証が途切れることを防ぐことができる。

iv)　シミュレーション評価

QoS 予測・予約を適用することで通信の品質にどのような影響を与えるかを検証するため、ネットワークシミュレータである NS-3[5]を用いてシミュレーションによる評価を行った。1 台のエッジサーバーが 1 基の基地局を介して車両へダウンリンクの通信を行い、車両台数を変化させて平均通信遅延を測定した。

評価は QoS 予測・予約を行わない場合と QoS 予測・予約を行ったと想定した場合で比較した。

QoS 予測・予約を行わない場合は、全ての車両が常に協調型自動運転のための通信を行った。QoS 予測・予約を行ったと想定する場合は、QoS を予約した台数を事前に机上計算で求めておき、シミュレーションではその台数以上の車両がいる場合にも QoS 予約された台数分の車両のみが協調型自動運転のための通信を行った。また、QoS 予測・予約に必要な通信帯域を机上計算により求め、全体の使用可能な通信帯域から差し引いてシミュレーションを行った。

評価におけるパラメータは表 157 の通りである。NS-3 のバージョンは 5g-lena NR Module を使用し、NR-V2X を想定したシミュレーションを行った。また、車両台数はシミュレータの都合上、一部スケールを縮小してシミュレーションを行った。

表 157　評価パラメータ

評価パラメータ	設定値
仮想環境	VirtualBox 7。0。8
OS	Ubuntu 22。04
NS-3	5g-lena NR Module
下り速度	100 [Mbps]
パケットサイズ	1000 [byte]
送信間隔	100 [ms]
車両台数	100 ～ 2000 [台] ※シミュレータの都合上 一部スケールを縮小して実施
1 台あたりの QoS 予測に必要な通信帯域	10 [Kbps]

評価結果を図 453 に示す。QoS 予測・予約を行わない場合、1500 台までは平均通信遅延が少しずつ増加し、2000 台になると急激に増加した。一方、QoS 予測・予約を行ったと想定した場合は、平均通信遅延は車両台数の増加につれて QoS 予測・予約を行わない場合と同様に少しずつ増加したが、急激に増加することはなかった。QoS 予測・予約を行わない場合において平均通信遅延が急激に増加しなかった 1500 台までにおいて、QoS 予測・予約を行ったと想定した場合と比較すると、QoS 予測・予約を行ったと想定した場合の方が平均通信遅延は大きく、その差は車両台数が大きくなるにつれて大きくなった。

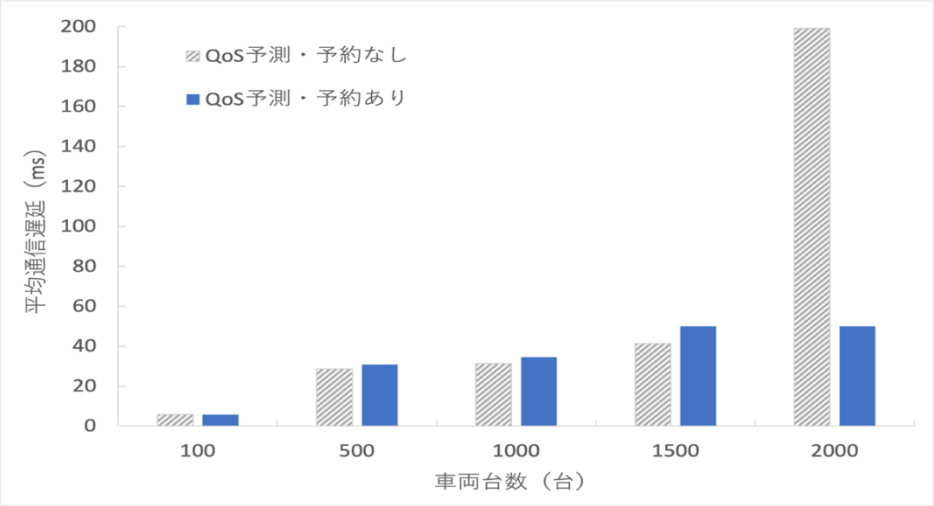


図 453　QoS 予測・予約を行わない場合との平均通信遅延の比較

QoS 予測・予約を行わない場合、車両台数が 2000 台になると平均通信遅延が急激に増加し、協調型自動運転のための通信の遅延要件である 100ms を上回った。これは使用可能な通信帯域で収容可能な車両台数を超え、通信帯域が逼迫したことが原因であると考える。一方、QoS 予測・予約を行うと想定した場合は 2000 台でも平均通信遅延が増加することはなく、通信を行う車両を QoS 予約された車両のみに制限することで、QoS 予約され実際に通信を行なった車両に対しては QoS が保証された。

QoS 予測・予約を行なったと想定した場合は、QoS 予測・予約を行わない場合と比較して平均通信遅延が大きくなったが、これは全体の使用可能な通信帯域が QoS 予測・予約に必要な分だけ差し引かれたことが原因であると考える。車両台数が 1500 台の場合でも平均通信遅延の差は 10ms ほどであり、実施したシミュレーションの環境では QoS 予測・予約を行うための通信の影響は大きくないことを確認した。

(5) メッセージの冗長性削減手法

i)　ETSI によるメッセージ（CPM）生成規則

ETSI（欧州電気通信標準化機構）が定義している物標情報を送信するためのメッセージである CPM（Collective Perception Message）には、コネクテッドカー（または路側機）がセンサーで直接検知して得たオブジェクト情報と以前に受信した CPM に含まれるオブジェクト情報が含まれる。しかし、このようなオブジェクト情報を CPM にすべて含むことはなく、CPM に含まれるオブジェクト情報は以下のいずれかの条件を満たす。

- オブジェクト情報が人または動物ではない場合
  - 最後に CPM を送信した後に、初めて認識されたオブジェクト情報

- 位置が前回の CPM に含まれてから 4 m 以上変化したオブジェクト情報
- 速度が前回の CPM に含まれてから 0.5 m/s 以上変化したオブジェクト情報
- 方位が前回の CPM に含まれてから 4 度以上変化したオブジェクト情報
- 最後に CPM に含まれた時から経過時間が 1s を超えるオブジェクト情報

● オブジェクト情報が人または動物である場合

- 最後に CPM を送信した後に、初めて検出された人または動物のオブジェクト情報
- 最後に CPM に含まれた時から経過時間が 500ms を超える人または動物のオブジェクト情報

通環境におけるコネクテッドカーの普及率が増加すると、複数のコネクテッドカーが冗長なオブジェクト情報を含んだ CPM を生成してしまうため、通信帯域が逼迫してしまい CPS の効果が低下してしまう傾向があることが判っている。そこで、ETSI では、通信帯域が逼迫した場合に、冗長なオブジェクト情報を CPM から削除する RMR(Redundancy Mitigation Rule)という手法が検討されている。

① Frequency-based RMR

オブジェクト情報の更新回数を考慮することで冗長なオブジェクト情報を削除する Frequency-based RMR という手法がある。一定の時間間隔 W において、あるオブジェクト情報について受信し更新した回数が閾値 N 以上である場合に、そのオブジェクト情報を削除するという手法がある。N が 2 の場合の Frequency-based RMR を図 454 に示す。しかし、この手法では、速度や方位などのオブジェクト情報の品質に関わらず削除してしまうため、周辺環境の認識が低下する恐れがある。

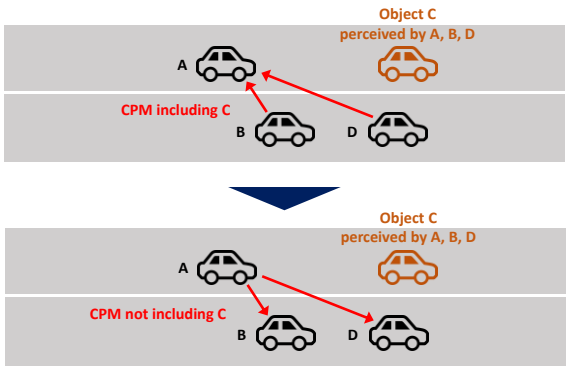


図 454 Frequency-based RMR

② Dynamics-based RMR

オブジェクト情報の挙動を考慮することで冗長なオブジェクト情報を削除する Dynamics-based RMR という手法がある。Dynamics-based RMR を図 455 に示す。あるオブジェクトについてオブジェクト情報を受信した最後の更新から、その位置の変化が閾値 P、または絶対速度の変化が閾値 S より小さい場合、そのオブジェクト情報を削除するという手法がある。しかし、位置または絶対速度の閾値が小さいと同じオブジェクトに関するオブジェクト情報が頻繁に通信されるため、通信帯域が逼迫する恐れがある。

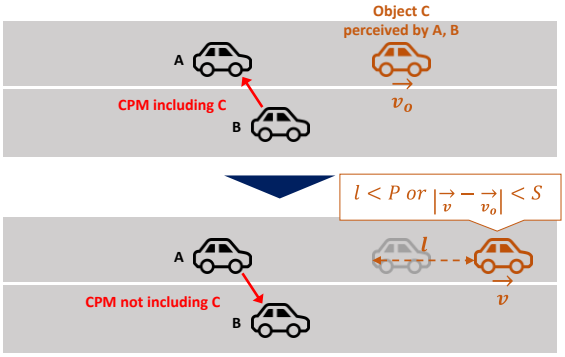


図 455　Dynamics-based RMR

③ Distance-based RMR

オブジェクト情報の送信側と自車両の距離を考慮することで冗長なオブジェクト情報を削除する Dynamics-based RMR という手法がある。Dynamics-based RMR を図 456 に示す。一定の時間間隔 W において、閾値 R の距離内のコネクテッドカーからすでにあるオブジェクト情報を受信している場合、そのオブジェクト情報を削除するという手法がある。しかし、この手法では、閾値 R が小さい場合、通信帯域の逼迫を抑えることができない。一方、閾値 R が大きい場合、通信帯域の逼迫を抑えることができても、オブジェクト情報の品質が低下してしまう。

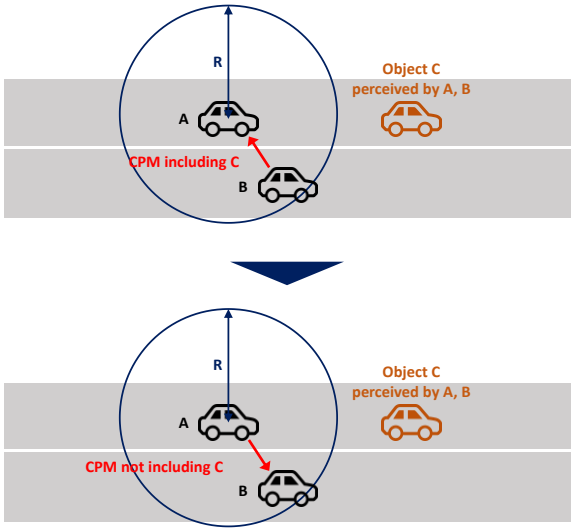


図 456 Distance-based RMR

Delooz らは、ETSI が提案している RMR の性能を比較するために、通信帯域逼迫率を表す CBR (Channel Busy Ratio)、認識率、冗長性をまとめた指標を提案し、それぞれの RMR の閾値を変化させながら評価を行った。結果としては、交通環境におけるコネクテッドカーの普及率によって RMR の性能が異なり、また、同じ RMR でも閾値によって性能が異なるという問題を示し、複数の RMR を組み合わせた手法の必要性を述べている。また、RMR は人や動物に関するオブジェクト情報を考慮していないため、人や動物に関するオブジェクト情報を CPM から削除してしまい、交通環境における歩行者の安全性を確保できないという問題がある。

ii) ETSI 手法の組み合わせ検討

RMR を組み合わせて CPM のメッセージサイズを削減することで、通信帯域の逼迫を低減しコネクテッドカーの周辺環境の認識を向上させることを検討する。コネクテッドカーや路側機が認識しているそれぞれのオブジェクト情報の冗長性について RMR を組み合わせて評価を行うことで、冗長性が大きいオブジェクト情報を抽出する。CBR をもとに、削除するオブジェクト情報の個数を定期的に変更することで、冗長性が大きいオブジェクト情報を含んだ CPM による通信帯域の逼迫を低減し、コネクテッドカーの周辺環境の認識を向上させる。さらに、人や動物に関するオブジェクト情報を考慮することで、歩行者の安全性を確保する。

オブジェクト情報の冗長性評価について図 457 に表す。コネクテッドカーはオブジェクト情報の冗長性を評価するために、一定時間内で認識しているそれぞれのオブジェクト情報について以下の値を測定し、オブジェクトリストを作成する。

- 受信回数：N
- 最後に受信したオブジェクト情報と現在のオブジェクトの移動距離と絶対速度の変化量：l、V

- 対象車両と送信側コネクテッドカーとの距離：L

Object ID	N	*l*	*V*	*L*
C	2	3	3	1，4

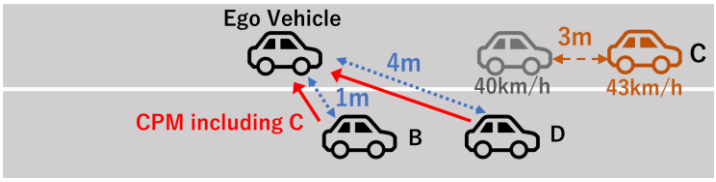


図 457　オブジェクト情報の冗長性評価

冗長性が大きいオブジェクト情報を抽出するために、オブジェクトリストのソートを行う。オブジェクトリストのソートについて図 458 に示す。N が大きく、1、V が小さく、かつ L が小さいオブジェクト情報から順にオブジェクトリストのソートを行う。

Object ID	N	*l*	*V*	*L*
B	1	5	5	3
C	2	3	3	10
D	0	6	6	5

Object ID	N	*l*	*V*	*L*
C	2	3	3	10
B	1	5	5	3
D	0	6	6	5

冗長性

図 458　オブジェクトリストのソート

また、交通環境における歩行者の安全性を考慮するために、オブジェクト情報が人または動物である場合においては、CPM の生成ルールに従ってオブジェクト情報の冗長性を評価する。

コネクテッドカーは定期的に CBR を測定し、ソートされたオブジェクトリストの中から CBR に応じて冗長性が大きいオブジェクト情報を削除する。CBR に応じて削除するオブジェクト情報の個数を設定することで、通信帯域の逼迫具合に応じて冗長性が大きいオブジェクト情報を削除し CPM のメッセージサイズを削減する。

iii） 評価

検討手法の有効性を評価するために、通信帯域使用率と認識率に関して数理モデルと評価モデ

ルをそれぞれ構築し、シミュレーションを行う。通信帯域使用率の評価には、1 秒間において 1MHz の帯域幅でコネクテッドカー（以下、車両とする）が送信するビット数を表すスペクトラル効率を評価項目とした。また、認識率の評価には、車両が通信可能な範囲に存在するオブジェクトの内、CPM で認識しているオブジェクトの割合を評価項目とした。

● スペクトラル効率に関する数理モデルの構築

まず、冗長性削減手法を用いない場合において、1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出する。3 車線の道路を 100ms の間に一定間隔の車間距離で複数台の車両が一定速度で走行する環境を想定する。車両の長さと車間距離をそれぞれ d_l,d_i とすると、1 車線における車両密度 ρ は次式で表される。

$$\rho = \frac{1}{d_l + d_i} \tag{1}$$

車両の通信可能距離をl_cとし、車両が各車線において前後l_cの距離の中に存在する他車両を認識している場合、車両が認識しているオブジェクト情報の数nは次式で表される。

$$n = 6\rho l_c - 1 \tag{2}$$

続いて、Frequency-based RMR を用いた場合の 1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出する。ある特定のオブジェクト情報を送信する車両台数は車両密度に応じて増加するため、CPM に含まれるオブジェクト情報の数$n_{frequency}$はパラメータβ_Nを用いて次式のように表される。

$$n_{frequency} = \beta_N \rho n \tag{3}$$

次に、Dynamics-based RMR を用いた場合の 1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出する。ある特定のオブジェクト情報を送信する車両台数は車両密度に応じて増加するため、100ms の間で車両がそのオブジェクト情報を受信し次に送信する CPM に含むまでの平均時間$\bar{t}$は次式で表される。

$$\bar{t} = \frac{100}{6\rho l_c - 1} \tag{4}$$

車両の速度をvとすると、車両の平均移動距離$\bar{d}$は次式で表される。

$$\bar{d} = v\bar{t} \tag{5}$$

閾値Pに対して$\bar{d}$を削除するオブジェクト情報の個数の割合とすると、Dynamics-based RMR を用いた場合の CPM に含まれるオブジェクト情報の数$n_{dynamics}$は、次式で表される。

$$n_{dynamics} = \left(1 - \frac{\bar{d}}{P}\right) n \tag{6}$$

次に、Distance-based RMR を用いた場合の 1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出する。各車線において車両から前後閾値Rの距離の中に存在するオブジェ

クトはその近傍の車両からオブジェクト情報として CPM で受信しているため、Distance-based RMR を用いた場合の CPM に含まれるオブジェクト情報の数n_{distance}は次式で表される。

$$n_{\mathrm{distances}} = n - 6\rho R \tag{7}$$

最後に、検討手法を用いた場合の 1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出する。車両密度が増加すると、複数の車両から CPM が送信されるため、通信帯域が逼迫する。検討手法では、CBR に応じて CPM に含むオブジェクト情報の数を減らすため、検討手法を用いた場合の CPM に含まれるオブジェクト情報の数$n_{proposal}$はパラメータα_ρを用いて、次式で表される。

$$n_{proposal} = n - \alpha_\rho \tag{8}$$

以上より、ETSI による手法と検討手法による 1 台の車両が送信する CPM に含まれるオブジェクト情報の数について導出した。次に、1 台の車両が送信する CPM のメッセージサイズについて導出する。CPM は、ITS PDU Header と呼ばれるヘッダと複数のコンテナから構成される。コンテナには、管理コンテナ、センサー情報コンテナ、認識オブジェクトコンテナ、空きスペース補足コンテナがある。管理コンテナでは、車両または路側機などの送信元の基本的な情報が記される。センサー情報コンテナでは、送信元に備わるセンサーに関する情報が記される。認識オブジェクトコンテナでは、送信元が認識したオブジェクト情報が記される。空きスペース補足コンテナでは、CPM 内の空きスペースについての情報が記される。認識オブジェクトコンテナはオブジェクト情報ごとに生成されるため、認識したオブジェクトの数に応じて CPM のメッセージサイズが変化する。したがって、ITS PDU Header と管理コンテナ、センサー情報コンテナ、空きスペース補足コンテナを全て合わせたサイズを$L_f[Bytes]$とし、1 つの認識オブジェクトコンテナのサイズを$L_v[Bytes]$とし、認識したオブジェクトの数をnとすると、CPM のメッセージサイズ$L[Bytes]$は次式で表される。

$$L = \min \quad + nL_v, L_{max}) \tag{9}$$

$L_{max}[Bytes]$は CPM の最大のメッセージサイズであり、CPM のメッセージサイズがL_{max}を超えないようにする必要がある。

車両が送信間隔$T_c[ms]$で CPM を送信し、帯域幅を$B[MHz]$とすると、1 台の車両が 1 秒間において 1MHz の帯域幅で車両が送信する CPM のスペクトラル効率$S[bytes/s/MHz]$は次式で表される。

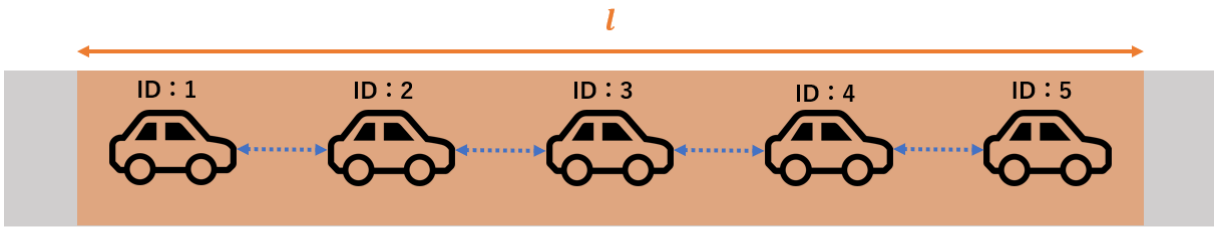
$$S = \frac{8000L}{BT_c} \tag{10}$$

● 認識率に関する評価モデルの構築

車両の認識率について評価するために、1 車線の道路のあるエリアにおいて一定間隔の車間距離で複数台の車両が存在し、同時に CPM を送信し 1 台の車両が受信する環境を想定し、次のような通信帯域の逼迫を考慮した評価モデルを構築する。

図 459 に示すように、車両には車両 ID が割り振られており、各車両は距離lのエリア内に存在する他の全車両の情報をオブジェクトリストとして保持している。オブジェクトリストには各車両 ID についての受信回数、送信元 ID、移動距離の情報がある。移動距離についてはランダムな値が付与され、送信元 ID についてはエリア内に存在する他の車両 ID が付与されている。また、受信回数については近傍に存在する車両同士は近い値になるようにランダムな値が付与されている。

この環境において全車両が RMR を適用し、RMR が適用されたオブジェクトリストを CPM として同時に送信するとする。ある車両は全車両が同時に送信した CPM を受信すると、通信帯域が逼迫し、全てのオブジェクト情報を受信することができない。したがって、全車両から受信したオブジェクトリストから無作為に K 個だけ選択し、新たにオブジェクトリストを作成するという操作を行う。



車両IDが1が持つオブジェクトリスト

ID	2	3	4	5
受信回数	4	6	12	8
送信元ID	4	5	3	2
移動距離	3	2	1	6

図 459　評価モデルの概要図

● 評価結果

① スペクトラル効率

導出した数理モデルを用いてシミュレーションを行った。シミュレーションで用いたパラメータは表 158 に示す。

表 158　数理モデルにおけるパラメータ

$L_v[Bytes]$	99
$L_v[Bytes]$	25
$L_{max}[Bytes]$	1500
$d_l[m]$	5
$\rho[vehicles/km/lane]$	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
$l_c[m]$	200
$l_c[ms]$	100
N	10, 20, 30
P	2, 4
R	25, 50, 100
α_ρ	0, 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48
β_N	10, 20, 30

図 460 に検討手法を適用した場合と Frequency-based RMR を適用した場合のスペクトラル効率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台、20 台の場合において、検討手法のスペクトラル効率はどの閾値の Frequency-based RMR のスペクトラル効率に対しても下回らなかった。1km あたりの車両台数が 40 台から 60 台の場合においては、N が 20、または 30 の Frequency-based RMR のスペクトラル効率に対して検討手法のスペクトラル効率が下回ったが、N が 10 の Frequency-based RMR のスペクトラル効率に対しては上回った。

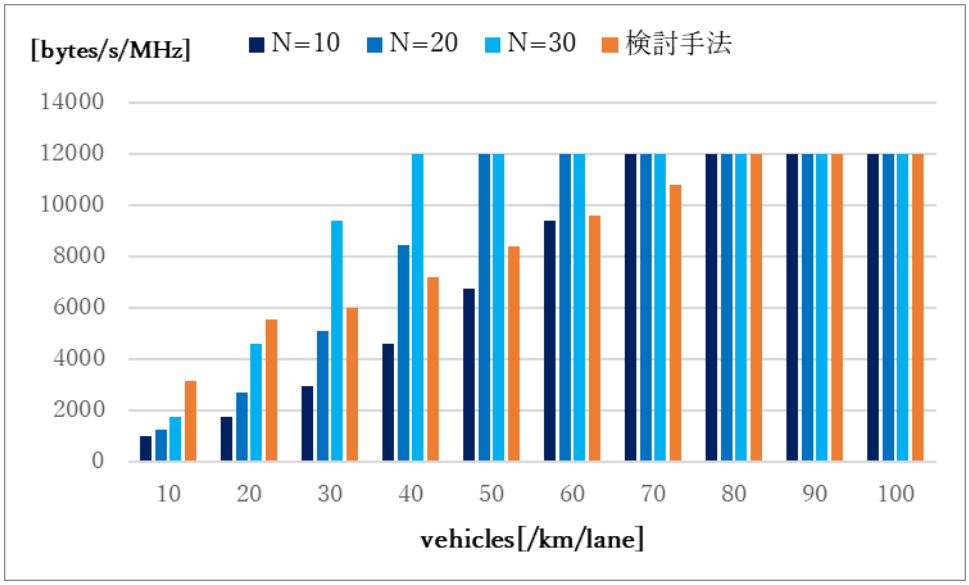


図 460　検討手法と Frequency-based RMR のスペクトラル効率に対する結果

次に図 461 に検討手法を適用した場合と Dynamic-based RMR を適用した場合のスペクトラル効率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台、20 台の場合において、Dynamic-based RMR と検討手法のスペクトラル効率は約 3000byte/s/MHz、約 5300byte/s/MHz となった。1km あたりの車両台数が 30 台を超えると検討方式が Dynamic-based RMR よりも最大で約 4000byte/s/MHz ほどスペクトラル効率が下回った。

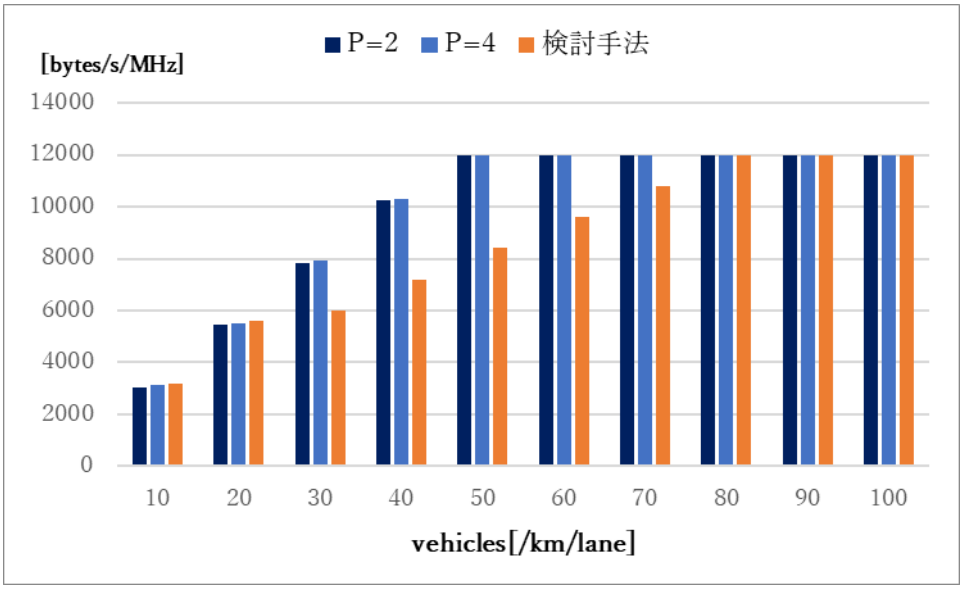


図 461　検討手法と Dynamic-based RMR のスペクトラル効率に対する結果

次に図 462 に検討手法を適用した場合と Distance-based RMR を適用した場合のスペクトラル効率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台、20 台の場合において、検討手法は Distance-based RMR に対してスペクトラル効率が上回った。1km あたりの車両台数が 30 台以上になると、検討手法は R が 25、50 の Distance-based RMR に対してスペクトラル効率が下回った。どの車両密度においても、R が 100 の Distance-based RMR に対して検討手法のスペクトラル効率が下回らなかった。

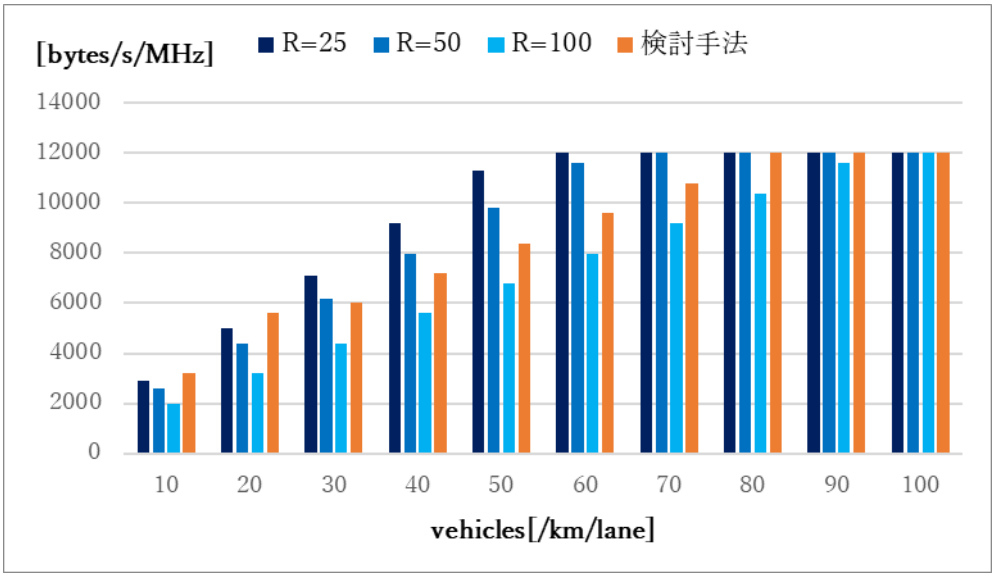


図 462　検討手法と Distance-based RMR のスペクトラル効率に対する結果

● 認識率

認識率について評価をするために、導出した評価モデルを用いてシミュレーションを行った。検討手法を適用する場合、受信回数が大きい方からソートを行い、次に移動距離が小さい方からソートを行い、最後に送信元 ID の車両との距離が小さい方からソートを行った。また、評価モデルにおけるパラメータを表 159 に示す。

表 159　評価モデルにおけるパラメータ

$d_l[m]$	5
$\rho[vehicles/km/lane]$	10, 50, 100
$l[m]$	400
N	10, 20, 30
P	2, 4
R	25, 50, 100
K	30

図 463 に検討手法を適用した場合と Frquency-based RMR を適用した場合の認識率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台の場合においては、検討手法と N が 20、30 の Frquency-based RMR は 100%となった。1km あたりの車両台数が 50 台以上になると、検討手法の認識率が約 80%となったが、Frquency-based RMR の認識率は車両密度が増加するにつれて、減少した。

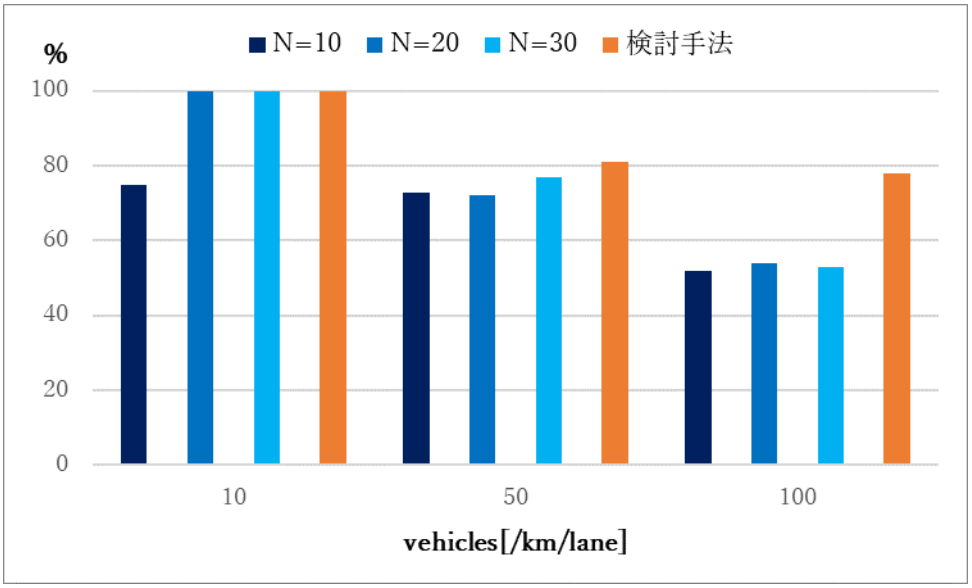


図 463　検討手法と Distance-based RMR の認識率に対する結果

次に図 464 に検討手法を適用した場合と Dynamic-based RMR を適用した場合の認識率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台の場合では、検討手法と P が 2 の Dynamic-based RMR の認識率は 100%となった。1km あたりの車両台数が 50 台の場合では、検討手法と Dynamic-based RMR の認識率は 70%を上回った。1km あたりの車両台数が 50 台の場合では、Dynamic-based RMR は約 56%となったが、検討手法は約 80%となった。

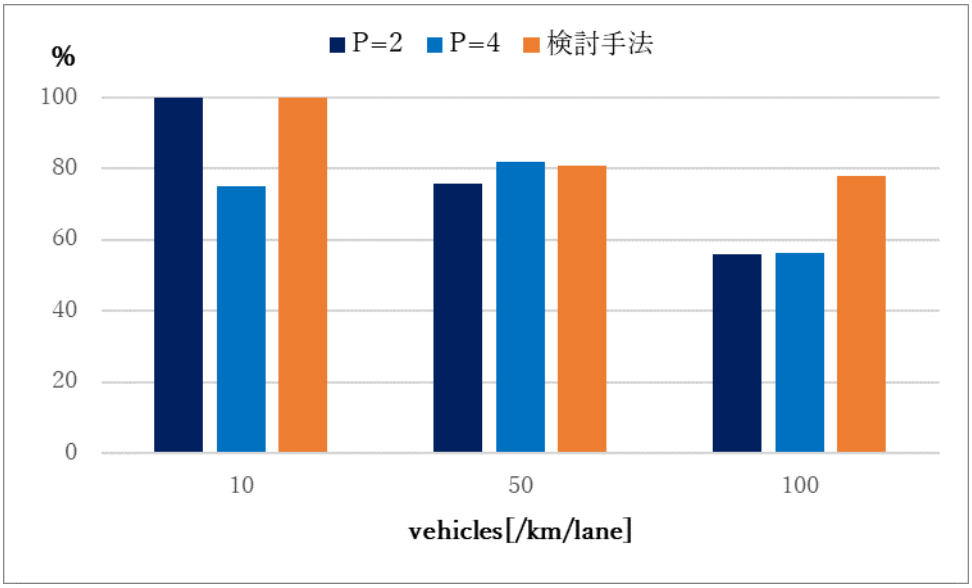


図 464　検討手法と Dynamic-based RMR の認識率に対する結果

次に図 465 に検討手法を適用した場合と Distance-based RMR を適用した場合の認識率の結果を示す。1km あたりの車両台数が 10 台の場合では、検討手法と R が 25 の Distance-based RMR の

認識率は 100%となった。1km あたりの車両台数が 50 台の場合では、検討手法と Distance-based RMR の認識率は 75%以上となった。1km あたりの車両台数が 100 台の場合では、Distance-based RMR の認識率は約 50%となったが、検討方式では認識率が 78%となった。

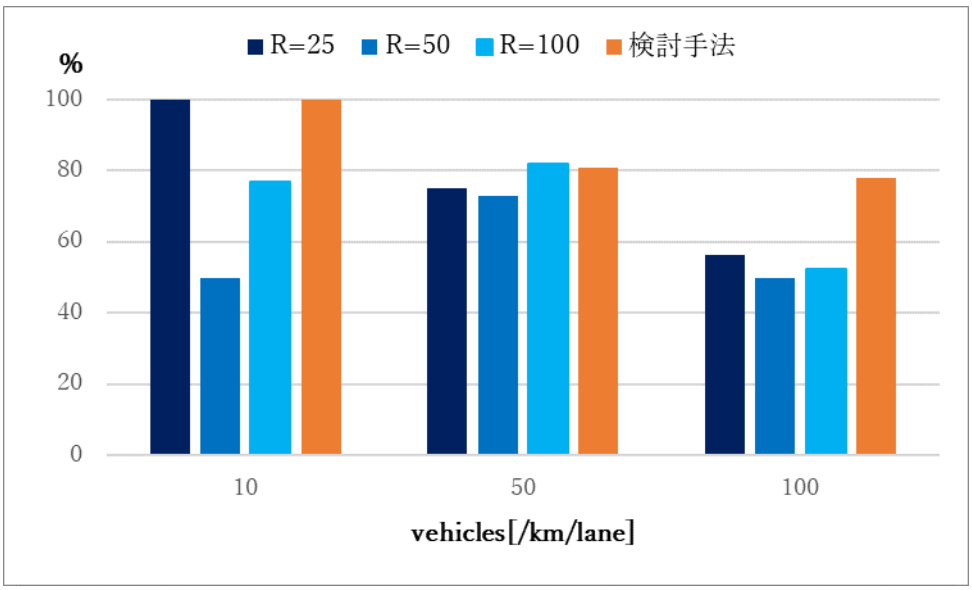


図 465　検討手法と Distance-based RMR の認識率に対する結果

(6) 760MHz 帯 ITS 無線の利用に関して関連団体と連携・調整

令和 4 年度の検討で、CooL4 における協調型システムに、携帯網（LTE/5G）と 760MHz 帯 ITS 無線を利用する方針としたことから、その利用に関して関連団体と連携・調整を行った。この活動は、令和 4 年度末から令和 5 年度にかけて実施した。

i)　総務省との相談

自動運転の実証実験に 760MHz 帯 ITS 無線を利用するためには、路側機に設置する無線機の無線局免許申請を行う必要がある。

最初に、総務省に対して CooL4 の取り組みについて説明し、実証実験実施のための手続き、サービス運用に向けて取り組むべきこと、CooL4 の成果の標準化に向けて取り組むべきことに関して相談した。その結果、以下のことが確認できた。

- ARIB STD-T109 を逸脱していなければ、電波法上の問題はないこと。
- 実験試験局免許であれば、大きい問題はないと思われること。懸念事項があるとしたら、既存の ITS Connect サービスとの干渉が考えられること。
- 免許事務は、各地方の総合通信局（東京大学が柏の葉地区に設置するものについては関東総合通信局、名古屋大学が高蔵寺地区に設置するものについては東海総合通信局）に委託されていること。

- 実験試験局の制限として、実用局との通信はできないこと。
- 実用局の免許取得については、警察庁の民間開放がどうなるかに依存すること。免許取得には、運用体制（誰がどう運用するか、セキュリティ鍵の管理方法）がはっきりすることが必要であること。

また、以下のアドバイスをいただいた。

- CooL4 の 760MHz 帯 ITS 無線の使い方が、ARIB STD-T109 を逸脱していないか確認してもらうために、ITS 情報通信システム推進会議（以下、ITS フォーラム）とも相談した方が良いこと
- 既存の ITS Connect サービスとの干渉ないことを説明できるようにしておくこと

ii) ITS フォーラムへの相談

総務省からのアドバイスを受けて、ITS フォーラムに対して、CooL4 の 760MHz 帯 ITS 無線の使い方を説明し、それが ARIB STD-T109 を逸脱していないかの確認を依頼した。

依頼に対する回答において、ARIB STD-T109 を逸脱しないために留意すべきことをお知らせいただいた。特に重要なポイントとして、STD-T109 で規定されている設定可能なパラメータはすべて守る必要があること、STD-T109 で規定していないパラメータについては ITS Connect 推進協議会および UTMS 協会に確認すべきことが挙げられた。

この回答を受けて、ITS 無線機のメーカーに対して、STD-T109 で規定されている設定可能なパラメータを守るために、無線機のユーザー側で留意すべきことについて問い合わせた。その結果、STD-T109 で規定されている設定可能なパラメータについては無線機側で設定されており、ユーザー側で留意すべきことはないことを確認した。

iii) ITS Connect 推進協議会への確認依頼

760MHz 帯 ITS 無線を用いた ITS Connect サービスの運用団体である ITS Connect 推進協議会に対して、CooL4 の取り組みについて紹介し、760MHz 帯 ITS 無線を実証実験に使用する上での注意点について協議を行った。

特に、既存の ITS Connect サービスとの干渉について注意して検討した結果、CooL4 の使用方法（無線機は平文を送受信する設定で使用し、それに接続する計算機側でセキュリティ対応を行う）であれば、既存サービスとの干渉は起こらないことを確認いただいた。

iv) UTMS 協会への説明

760MHz 帯 ITS 無線の路側機から車両への通信メッセージ仕様を策定している UTMS 協会に対して、CooL4 の取り組みについて、760MHz 帯 ITS 無線の使用方法を中心に説明した。

v)　総合通信局への免許申請と取得

以上の協議を踏まえて、東京大学から関東総合通信局に、名古屋大学から東海総合通信局に、760MHz 帯 ITS 無線機の無線局免許申請を行い、免許を所得した。

3)　セキュリティ・プライバシー確保方法の検討の開発

データ連携プラットフォームのセキュリティ・プライバシー確保のための機構として、鍵の管理や漏洩時の対応が容易な公開鍵基盤（PKI）に基づいたセキュリティ管理システムの開発を行った。開発するセキュリティ管理システムにおいては、車両の位置情報のプライバシーを確保するために、仮名 ID 方式を用いた。また、仮名 ID を用いた際にプライバシーを向上させるために、仮名 ID の変更戦略について検討を進めた。

(1) PKI に基づいたセキュリティ管理システムの開発

i)　Station ID の 64 ビット化

仮名 ID は、ネットワーク上の第 3 者が個々の車両を長期にわたって追跡することを難しくするための使い捨ての ID であり、我々はデータ連携 PF に仮名 ID を導入するための開発を継続的に行っている。今年度の開発では、各車両側のデータ連携 PF につける ID（車両の固有の ID）と、自己物標情報（車両から発信される自身の情報）に付与する物標 ID を、ともに同じ 64 ビットの ID 空間に統一する作業を実施した。仮名 ID も同じ 64 ビットの ID 空間を利用するため、この統一化作業により、自己物標情報に付与する ID として、データ連携 PF 固有の ID の代わりに仮名 ID を用いることがより簡単にできるようになった。また、ID の持ち主であることを裏付けるための証明書を発行する際も、同じ 64 ビット空間であることで、データ連携 PF 固有の ID と仮名 ID を区別することなく同じ手順を使って発行できる。署名検証の手順も同様に一本化できる。

ii)　公開鍵基盤(PKI)による仮名 ID の開発

仮名 ID も含めたすべての ID は、単なる 64 ビットのユニークなデータというだけではなく、その ID の持ち主であることを保証するための証明書とセットで運用されるべきである。証明書を用いた署名や検証により、なりすましやデータの改ざんを防止する。本研究では、公開鍵基盤を用いて、データ連携 PF 内固有の ID と仮名 ID のための証明書を発行するためのセキュリティシステムの開発を行った。車両ごとの固有 ID(真名 ID)の証明書を管理し車両の認証を行う登録局、車両のために仮名 ID の仮名証明書を発行する認可局、車両側の処理に分けて実装を行った。証明書の発行自体はオープンソースソフトの OpenSSL を用いている。

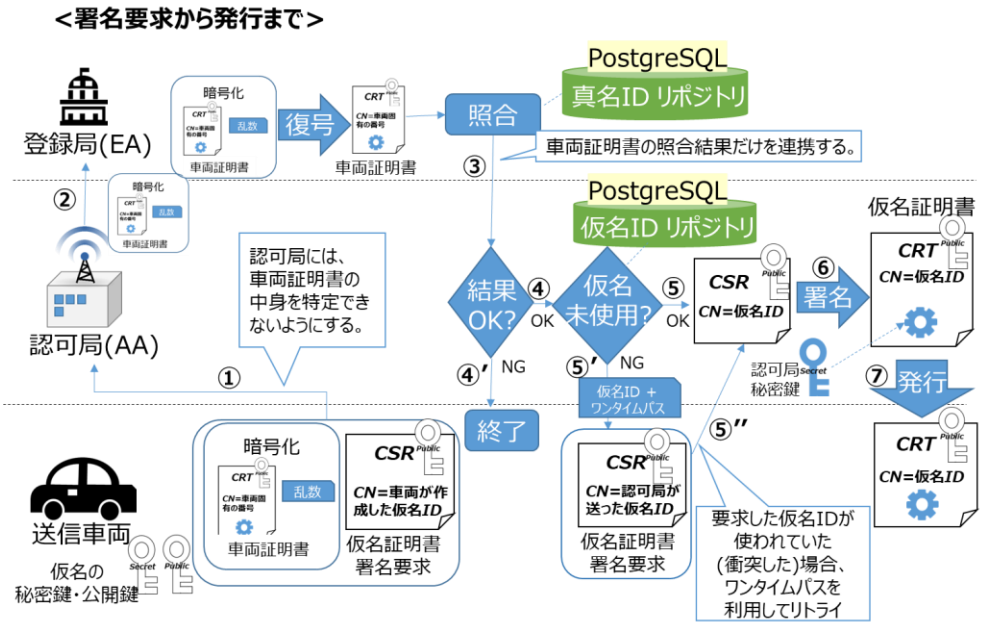


図 466　仮名証明書の発行

PKI の評価環境として、図 467 のように 3 台のマシンを利用し、各局には NGINX を利用したリバースプロキシ、SSL 化を導入した。各処理の開始と終了時点で時刻を出力し、証明書発行までの処理時間を算出した(13 回実施平均)。仮名 ID が衝突しなかった場合は平均 718ms、仮名 ID が衝突しリトライをした場合は平均 1387ms となった。

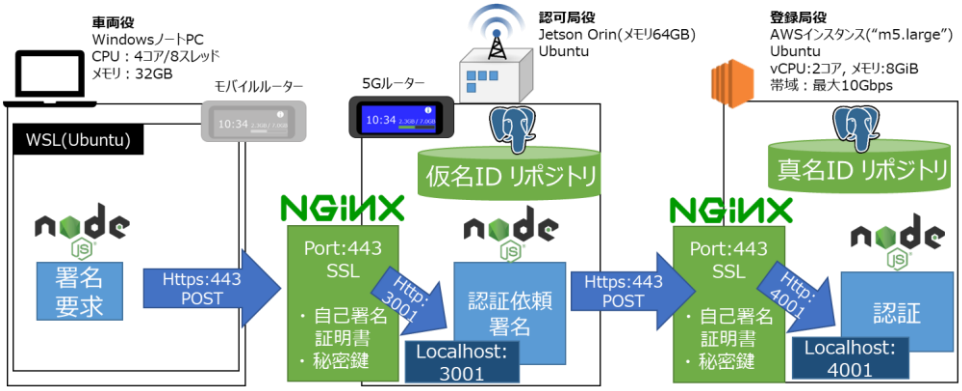


図 467　PKI の評価環境

(2) 仮名 ID の変更戦略の検討

i)　合流地点における合流調停と仮名 ID 変更の併用方式の検討

仮名 ID は車両の走行中に別の ID に付け替えることで、ネットワーク上の第 3 者からの長期的な追跡を難しくするためのものである。しかし、周囲にほかの車両が全くいない状態で別の仮名 ID に変わったとしても、その車両以外には候補がいないことが明らかなため、変更前と変更後の

仮名 ID の対応関係が容易に推測され、追跡を継続されてしまう。そのため、仮名 ID を安全に変更するためには、周囲に十分な台数の車両がいる状況で、かつ車両の走行順番などを変えさせながら実施することが望ましい。直線などの単純な道路構造の場所では、車両の走行順番を変更することが難しいことから、本研究では、合流地点のような複数方向から来た車両が混ざる場所に着目する。路側機と車両間の直接通信を行って、合流調停を行うことで合流地点に進入する順番を制御しながら、合流地点から出ていく各車両の仮名 ID 変更を実施すれば、各車両がどこからきたのかの推測がより難しくできると考えた。

道路構成として図 468 のように、5G/LTE 通信をする道路区間と、DSRC 通信をする道路区間の 2 種類に区分けする。合流地点ではない通常の道路区間は各車両とも 5G/LTE を使ってセントラル DM に対して、仮名 ID（図では仮名 ID a1～a3）を付けた自己物標情報を提供する。合流地点付近では、DSRC 通信に切り替えて路側 DM とだけ直接通信し、合流地点侵入前は路側 DM による合流調停の指示の受け取り、合流地点通過後は新しい仮名 ID への切り替えを行う。5G/LTE 区間に復帰したときには新しい仮名 ID により自己物標情報をセントラル DM へ送信再開する。

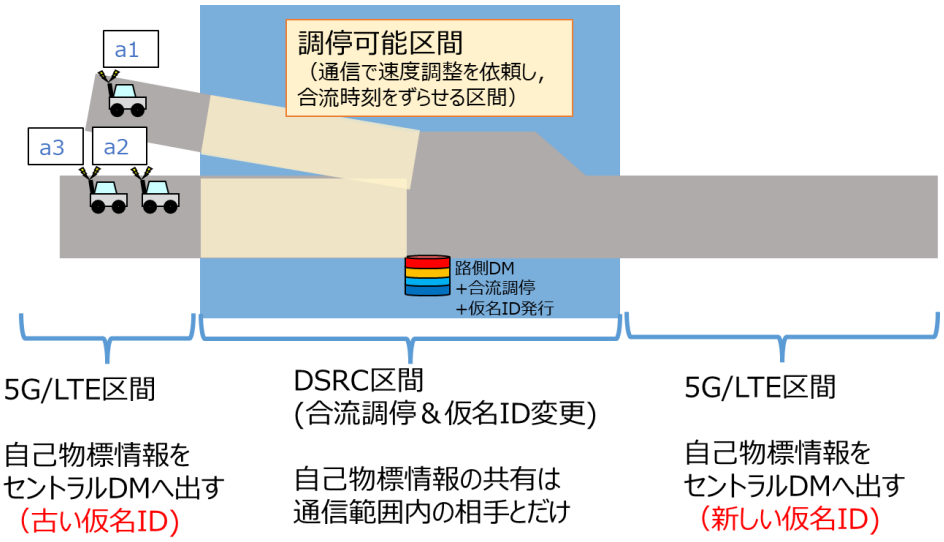


図 468　合流調停と仮名 ID 変更の併用方式

提案手法による調停介入実行の判断は、車両が合流地点前の調停可能区間にいる間に行う。調停可能区間は、DSRC 区間であり、かつ、車両が速度調整で合流地点到着時刻を変えられる範囲であるとする。提案手法の各ステップを以下に示す：

1. 各方向の調停可能区間に車両が 1 台以上いるか、を調べる。
   いなければ調停不要、かつ、匿名性確保不可として終了する。
2. 手順 1 の条件を満たしていても、確率（1-p）で合流調停を実施しないものとする。これは常に最適解での介入を選択すると変更後の仮名 ID の対応関係を予測されるためである。

3. 介入しない場合の合流地点到着順の予想と、出口までの旅行時間合計の推定を行う。
   例：([a1, a2, a3], 30 秒)
4. 手順 3 の合流地点到着順を変更できる調停プランを列挙し、旅行時間合計を推定する。
   例：([a2, a1, a3], 33 秒), ([a2, a3, a1], 35 秒)
5. 合流地点到着順を変更でき、かつ旅行時間合計の増加が閾値未満となる調停プランが存在する場合に合流調停を実施
   例：([a2, a1, a3], 33 秒) を選択 → a1 に対して「減速し、a2 の後に入る」よう指示。
6. 各車両は合流地点を通過後、DSRC 区間を退出するところで新しい仮名 ID に切り替える。

上記のような仮名 ID 変更戦略が実現すれば、セントラル DM で車両の動きを監視している第 3 者に対して、走行順序に基づいた古い仮名 ID と新しい仮名 ID との対応付けを困難にすることができ、仮名 ID 変更の効果を高められる。その上で、合流地点の交通流の円滑さへの影響を最小限に留めることが期待できる。次年度以降、シミュレーションなどにより、提案手法の有効性を評価する予定である。

ii) LSH に基づく類似車両抽出による V2X 通信の仮名変更方式の検討

① 概要

車両の速度や位置情報等の車両情報で、より類似する車両情報を持つ車両群を LSH (Locality Sensitive Hashing) により抽出する。抽出した車両群で更に協調して仮名を変更することで、攻撃者による仮名変更前後の車両の特定を困難にし、高い位置プライバシーの保護を可能にする方式について検討を行った。

② 検討方式

車両の送信するメッセージは、基地局を介してサーバーに集約され、サーバーにおいて LSH による類似車両の抽出を行う。LSH による車両情報が類似する車両の抽出を行うためのパラメータは ITS Connect の車車間メッセージ仕様において基本メッセージの共通アプリデータ領域に格納されている「位置情報」、「車両状態情報」を車両情報として使用する。ここで類似車両とは、ある車両 P の車両情報を入力とした時、ハッシュ関数群の出力するハッシュ値のベクトル p と、ある別の車両 Q の車両情報を入力とした時のハッシュ値のベクトル q が次式を満たす時、車両 P と車両 Q は類似車両であると定義する。

$$||p - q|| \leq r$$

ここで r は、P の類似車両と類似していない車両を表すための閾値である。

類似車両同士でクラスタを形成する際、各車両は 1 つのクラスタのみに属するものとする。サーバーが管理する全ての車両において、順に抽出した類似車両でクラスタを形成した場合、2

つ以上のクラスタに属する車両が現れる可能性があるため、クラスタの中心となる車両を決定する。クラスタの中心とする車両は類似車両を抽出した際に、閾値内に最も多くの車両を持つ車両をクラスタの中心として、可能な限り多くの類似車両でクラスタを形成する。

- サーバーはクラスタを形成後、基地局を介してクラスタに属する車両に対し、次に仮名変更を行う仮名変更予定時刻を送信する。
- 各車両は仮名変更予定時刻を受信した際に、サーバーに対して仮名変更予定時刻を正常に受領した確認メッセージを送信する。サーバーがクラスタに属する全ての車両から確認メッセージを受信出来なかった場合、仮名変更予定時刻を更新して新たにメッセージを送信し、クラスタに属する全ての車両から確認メッセージを受け取るまでこの処理を繰り返す。
- 各車両は仮名変更予定時刻の更新メッセージを受け取らなかった場合、仮名変更予定時刻において同時に仮名を変更する。

しかし、車両の中には予定している仮名変更を行う前に所属しているクラスタを離れる挙動を取り、サーバーが新たにクラスタを形成した際には異なるクラスタに属してしまう場合が考えられる。車両が異なるクラスタに属する挙動を取った場合は、次のように仮名変更予定時刻の更新を行う。

- あるクラスタに属する車両が、異なるクラスタに属することになった場合、サーバーはその車両に対して現在予定されている仮名変更を取り消し、
- 新たに属するクラスタにて予定している仮名変更時刻に更新することをメッセージにて送信する。
- 車両は受信したメッセージから仮名変更予定の取り消しと新たな仮名変更予定時刻を正常に受領した確認メッセージをサーバーに送信する。
- 車両は新たに属するクラスタの仮名変更予定時刻において、仮名変更を行う。

③ 評価

仮名変更により車両の位置プライバシーがどの程度保護されているか評価するため、位置プライバシーの保護レベルについて数理モデルを構築する。構築した数理モデルについて数理シミュレーションを行い、提案方式の有効性を検討する。位置プライバシーの保護レベルを示す指標には、攻撃者が車両の中から攻撃対象とするターゲット車両を特定出来るか、その不確実さを確率として表した平均エントロピーを評価項目に用いる。

Mix Zone を用いた場合の平均エントロピーについて導出する。あるエリアにおいて車両の走行シミュレーションを想定し、エリア面積を S とする。エリア内には N_{all} 台の車両が走行しており、そのエリアに半径Rの円形の Mix Zone が敷き詰めて配置されているとするとエリア内に存在する Mix Zone の数は、次式で表される。

$$N_{zone} = [\frac{S}{\pi * R^2}]$$

Mix Zone 内の車両数を N_{inzone} とする。ある Mix Zone で仮名変更が行われた場合、その Mix Zone でのエントロピー H_{MZ}（i=1、2、。。。、N_{zone}）は次式で表される。

$$H_{MZ_i} = -\sum_{j=1}^{N_{inzone}} p_j * log_2 p_j$$

全ての Mix Zone において同様にエントロピーを計算出来るため、平均エントロピー AH_{MZ} は次式のように表すことが出来る。

$$AH_{MZ} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{zone}} H_{MZ_i}}{N_{zone}}$$

本方式を用いた場合について平均エントロピーを導出する。ここで、仮名変更を行った車両から攻撃者がターゲット車両を特定することが出来る確率に着目する。Mix Zone のエントロピーにおいて、p_j は Mix Zone 内の全ての車両において一様ではなく、車両によって異なる。この確率の変化には車両情報の類似性が影響していると考えられ、Mix Zone の領域内でも他の車両と離れた位置にいる、走行する方向が違うなど、他車両と情報が異なれば異なるほど仮名変更後も車両を特定される確率が高くなる。LSH を用いた提案方式では、類似車両の抽出により車両情報がより類似した車両同士でクラスタを形成して仮名変更が行われるため、確率 p_j は各車両ごとに大きく変化せず、より離散一様分布に収束する。クラスタ内の車両台数を $N_{incluster}$ とすると、理想的な離散一様分布において攻撃者がターゲット車両を特定する確率 p は

$$p = \frac{1}{N_{incluster}}$$

と表される。この場合、クラスタの数を $N_{cluster}$ とすると、あるクラスタのエントロピー H_{Ci}（i=1、2、。。。、$N_{cluster}$）は

$$H_{C_i} = log_2 N_{incluster}$$

となり、これはエントロピーにおいて達成できる最大値となる。平均エントロピー AH_{LSH} は N_{zone} と H_{MZ_i} をそれぞれ置き換えて同様に表すことが出来るため、次式のように表すことが出来る。

$$AH_{LSH} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{cluster}} H_{C_i}}{N_{cluster}}$$

以上のように、各仮名変更方式について平均エントロピーを導出する数理モデルを構築した。

導出した平均エントロピーの数理モデルを用いて数理シミュレーションを行う。シミュレーション内で設定したパラメータについて表 160 に示す。

表 160　シミュレーション評価パラメータ

パラメータ	値
N_{inzone}，$N_{incluster}$	5, 10（台）
N_{zone}，$N_{cluster}$	$10 * k$ $(k = 1, 2, 3, ..., 10)$（個）

攻撃者がターゲット車両を特定する確率は、Mix Zone 方式では Mix Zone 内の各車両に離散確率分布に従う乱数を生成するものとし、本方式では理想的な離散一様分布であるとして設定した。

これら前提を基に数理シミュレーションを行った結果を図 469 および図 470 に示す。

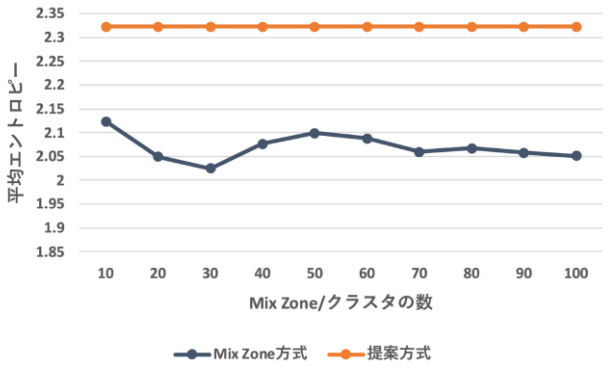


図 469　Nincluster=5 の時の平均エントロピー

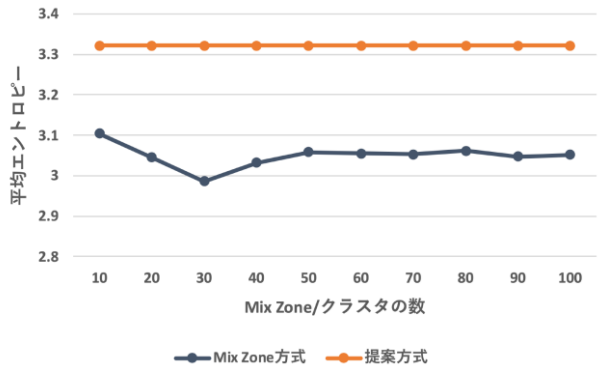


図 470　Nincluster=10 の時の平均エントロピー

これらの評価結果より、Miz Zone 方式では攻撃者がターゲット車両を特定する確率を乱数を用いて表現しているため、各 Mix Zone 数の場合においてエントロピーに差が生まれ、平均エントロピーが取りうる最大値より全ての場合において下回る結果となっている。一方で、提案方式を用いた場合では、各クラスタのエントロピーは理想的な離散一様分布でエントロピーの最大値を取ることが出来る。本来であれば、ターゲット車両を特定する確率がこの理想的な離散一様分布を定常的に取ることは難しいが、LSH による類似車両の抽出によって、確率が一様分布に収束していくことで、平均エントロピーも同様に最大値へと収束することが期待出来る。本方式は Mix

Zoneを用いた方式よりも高い位置プライバシーの保護レベルを示すことが出来ることを検証した。

■ 今年度の成果物

- データ連携プラットフォームを、柏の葉で用いる自動走行車両に合わせるための開発を行った。
- データ連携プラットフォームの遅延時間（通信遅延、処理遅延）等の評価と性能向上、機能と品質向上（時刻合わせ精度の向上、運用性の向上、車両等の動き予測機能の追加など）に取り組んだ。
- データ連携プラットフォームのAPIのブラッシュアップと拡張を行った。
- 複数通信方式の併用（携帯網と狭域直接通信の併用、複数キャリアの携帯網の併用）と効率的な物理データフォーマットについて検討し、実装および評価を行った。
- 位置に基づく通信の最適化・信頼性向上と、メッセージの冗長性削減手法について検討した。
- 760MHz帯ITS無線の利用に関して、関連団体との連携・調整を行った。
- 公開鍵基盤（PKI）に基づき、仮名ID方式を用いたセキュリティ管理システムの開発を行った。
- 仮名IDを用いた際にプライバシーを向上させるために、仮名IDの変更戦略について検討を進めた。

■ 次年度以降の実施事項

- データ連携プラットフォームの性能・運用性・信頼性の向上と機能拡張として、CCAM検討SWGの共通仕様への対応、データフュージョン機能の拡充、処理タイミングの最適化等を行う。また、公道上の複数地点に設置された路側機の管理を集中化・効率化するための運用ツールの充実化を行う。さらに、仮想空間における協調型の評価プラットフォームと相互接続するための機能を開発する。
- 通信品質向上のための複数通信方式の併用方式の評価と改善を行うとともに、通信方式併用・選択のためのアルゴリズムの組込み方式の検討を行う。また、パケット損失時に再送機能のある通信路の導入方法について検討する。
- 位置に応じて通信相手を特定する方式を実装し評価する。また、さらなる通信の信頼性向上に向け、位置や走行環境に基づく通信の最適化・信頼性向上の手法を組み込んで柔軟に通信相手を特定する方式についての検討を行う。
- データ連携プラットフォームに導入した公開鍵基盤（PKI）を用いて、協調型路側機との間で暗号化された通信を行えるようにし、実験により通信性能などを評価する。また、電子証明書で通信メッセージに署名することで物標情報の送信者の信頼性を高める実験

を行う。

- 車両の位置情報のプライバシーを確保するため、仮名 ID 方式をデータ連携プラットフォームに統合する。仮名 ID の変更戦略のシミュレーションによる検討を進める。

2-3. 協調型自動運転移動サービス運行・遠隔監視システムの検討

＜この項目での実施事項＞

I. 車内監視システムの検討

II. 協調型自動走行機能の監視システムの検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- テーマ 4 実証コースにおいての遠隔監視システムの現段階における要件案を策定した。(テーマ 2 や車内乗客安全 WG の成果活用と、事業者への複数回のヒアリングによる)
- 現段階の乗務員の対応を元に、今年度段階における自動走行システムを想定し、遠隔監視システム(車内監視システムを含む)において求められる要求案について、実際にテーマ 4 の走行コースを簡易的な遠隔監視システムの実験結果も元に策定した。
- 協調型自動走行機能の監視を行うためのシステム要求について、現段階における想定での仕様案を策定した。

■ 実施事項と実施方法

下記の 1)、2) である車内監視システムと遠隔監視システムは密接に関係する。特に、共通に必要となるのは緊急時や異常時などであり、説明を明確にするため、車内監視・遠隔監視システムとして記述する。また、2) については、1) で説明済みの箇所は除き協調型システムとしての差分となるため、協調型の遠隔監視システムに特化した説明とする。

1) 車内監視システムの検討

自動運転移動サービスを運行する際に、車内乗客安全確保のために実施すべき事項、特に、柏の葉における車内監視システムに必要な要件として、レベル 4 走行時の 2 種免許の要否を確認した。また、乗客の乗車～降車までの間に車内の乗客安全において必要なタスクを確認した。加えて、遠隔監視を想定した車内監視カメラ映像を用い、交通事業者とのディスカッションをもとに、車内監視における最低限の必要要件や改善点を抽出した。

テーマ 4 で想定されるルートは、図 471 となっており、このコースの出発から到着までにおいて、監視システムにおける重要事項（表 161）を抽出した。今年度は、車両システムがレベル 4 の実現まで至っておらず、実証実験を始めた段階であるため、あくまでも現段階で考えうる想定での抽出を行っている。

整理項目は下記の 3 点を中心に行った。故障時と異常時が主に乗客への対応、MRM 後は主に、レベル 4 としての車両の運行開始判断への対応となる。

- 故障時における車内乗客及び車両移動等への対応
- 異常時における車内乗客への対応

- MRM 後の状況判断への対応

上記を考えるにあたり、実証実験ルート内に存在する、交差点（信号有無、直進右左折）、出入口（駐車場、車両出入口）、バス停、横断歩道（信号無し）といった対応を要する場所で、乗務員が行うべきタスクを列挙した。



【走行経路】

・東京大学柏キャンパスシャトルバスルート上の一部区間

A:東大柏キャンパス内～柏の葉6丁目

B：柏の葉6丁目～三井ガーデンホテル柏の葉パークサイド前（税関研修所）

・原則、起終点はバス停とし停止状態からの発着

図 471　ルートと経路

表 161　遠隔監視・車内監視システムにおいて考えるべき項目

バスの状態確認項目	従来運転手の対応と遠隔監視への置き換え
＜走行安全＞	
車両の状態：駆動系、制御系、機器、扉 自動運転の状態：センサ、制御系、現在位置(右左折) 外乱等の状況：障害物、渋滞、気象、事故、火災 救急車両退避 （※過去の路線バスでの異常・故障等の事例調査要）	正常時：状態の確認 異常・故障時：状態の確認、対応の検討 ①自動運転再開可否 ②最寄りへの退避可否 ③緊急性
＜車内安全＞	
乗降客の安全確認・対応 ①前扉降車：ステップ、車外 ②中扉乗車：ステップ、車外 ③車内座席・通路：着席、立席、移動、荷物 急病人、迷惑行為 サービス ①車内表示、アナウンス ②料金収受 （※過去の路線バスでの異常・故障等の事例調査要）	正常時：状態の確認 異常・故障時：状態の確認、対応の検討 ①遠隔からの支援 ②自動運転への影響、自動運転再開可否 ③車内からの緊急連絡への対応

交通事業者へのヒアリング

遠隔監視システム構築に向けては、遠隔監視システムが必要な場面・状況を考える必要があるため、実際のテーマ 4 におけるコースの中で特に対応が異なると予測されるものをまず抽出した（図　472 から図　484）。これらの図を用いつつ、東武バスセントラルとの会議を踏まえて状況を整理した。下記でそれぞれの項目について説明する。

● 緊急時の定義

レベル 4 自動運転システムを想定した場合、下記の 3 つに分けられる。

（走行環境起因）

MRM 等によりレベル 4 の ODD 外になる状況、車両故障（なお、車両故障においては、自動運転システム車両提供会社である先進モビリティより提供されることを確認）

（乗客起因）

車内乗客の異変・トラブルにより緊急停止ボタン押下または、遠隔監視者からの停止ボタン押下による停止の状況

（乗務員起因）

乗客起因と同様、ただし、乗務員乗車型レベル 4 の場合に限る

● 現状として必要なもの

専用無線機器（運行管理者との通話用）が必要、また全体のシステム化は各社で進んでいる。なお、レベル 4 自動運転においても、乗務員乗車型においては同様に必要と考える。

● 車両故障や車両不具合、乗務員・乗客体調不良等においての対応方針

現在の手動での運行の場合は、通常走行ではない様々な緊急時には、乗務員の判断により、まずは最寄りのバス停や停車できるところまで移動し、停車し運行管理者に判断を仰いでいる。

なお、運行管理者への連絡はバスに備え付けの専用無線を使用している。また、安全な場所の定義は、乗務員への教育で行う（バス停とは限らない)。

以下それぞれの具体例における対応を記す。

● 車両故障時における対応の具体例

- 走行できる場合

→ 交通の妨げにならない場所まで移動し、修理する整備士またはレッカーを待つ状況を作る。第一に安全な場所で停めるということが必要。

故障の例として、アライメントのずれ、空気圧異常、オーバーヒート、ファンベルト切れ、バッテリー異常、サイドブレーキ解放不具合等が挙げられる。なお、「ダイアグ」でとれるのか否かが無人化においては重要と考える。

- 走行できない場合

→ 乗務員が交通整理を行う。同時に事業所に応援も要請する。

故障の例として、アイドリングストップ車のエンジン再始動異常、ギヤチェンジ不良等が挙げられる。なお、これまで交差点の真ん中等で停止した記録はない（高速道路でのみ、そのような事象の経験あり）

上記の故障は、始業前点検では基本的に発見困難

始業前点検では、エンジンオイルチェック、ベルト切れチェック、タイヤ空気圧チェック、ワンマン機器、電照等のチェック等を行っている。

- 乗務員体調不良時における対応の具体例

社内規定により、安全な場所に停めて、すぐに運行管理者に連絡をする。

- 乗客体調不良時における対応の具体例

近くの停められるところで運行管理者に連絡し、必要であれば救急車の手配まで行う。

レベル 4 遠隔監視時においては、緊急時の駆けつけが必要とされる場合はできれば 5 分以内、現実的には 5－10 分以内での到着が理想と考える。なお、その際は遠隔監視者からの説明等が必須であると考える。（レベル 4 乗務員乗車型では、乗務員が説明することで解決され

る）

- 車両停止後の対処方法
  運行管理者へ現状報告を行う。

- 運賃サービスにおける対処例
  乗客から降りたいという希望があれば、乗務員判断として、周囲の安全確認後、扉を開ける動作を行い、下車させる。運賃については、目的地までの輸送の契約不履行となるため、いただかないのが基本となる。基本的には、次に到着するバスを待っていただき、そのバスに乗って目的地まで行っていただくように依頼する。路線にもよるが、目的地が近い場合や駅などに近い場合は、利用者が駅まで自力で移動する場合が多い。

- 障碍者への具体的対応例
  障碍者施設の方からの事前に乗車の連絡がある場合はあるが、基本的には連絡や予約なしで乗車をされる。ただし、乗務員は経験と実績からどのバス停でどの時刻に障碍者の方が乗ってくるかを把握していて、かつ乗務員同士での情報交換を行うことで、対応を行っている。

- その他、乗務員において共有し対応しているもの
  乗客について：杖を利用される方、クレーマーの方などの情報
  乗客以外について：車道における危険情報（自転車が飛び出す、危険個所など）

上記のそれぞれの対応を行うことを考慮して、遠隔監視に求められる要件を考えるが、まだ今年度は自動走行における走行の仕方等がまとまっていないため、現状で考えられるもののみを想定する。ヒアリングを通じて事業者が懸念しているものとして、運転士と同等の迅速な環境把握を行うための下記の課題がある。

課題：通信速度

扉の開閉については、通信の遅れが致命的になる可能性もあり、理想とする環境把握は現状では困難な状況であるため、他の手段との組み合わせ等を考える必要がある。代案としては、扉の開閉を乗客のボタン操作に委ねる方法が考えられるが、特別な操作を有する（エアを抜く作業）こともあり、操作説明は扉付近にあるものの実際の対処は非現実的である。車内に装備されている緊急停止ボタンは、扉の開閉とは連動しておらず、停止のみを行うものであり、実際の緊急時には、窓ガラスを割るなどした対処が生じる可能性もある。

また、実際の運用の際には、運行管理者が必要になるが、運行管理者は車両数によって必要人

数の規則が存在する。運行前の乗務員に対して、運行管理者の点呼が必要である。事業所においては、車両数で在席人数が決定する。運行管理者が必ず点呼の何割以上をやらなければいけない、補助者は何割までなどが決まっている。東武バスでは、基本的に運行管理者が必ず点呼している。

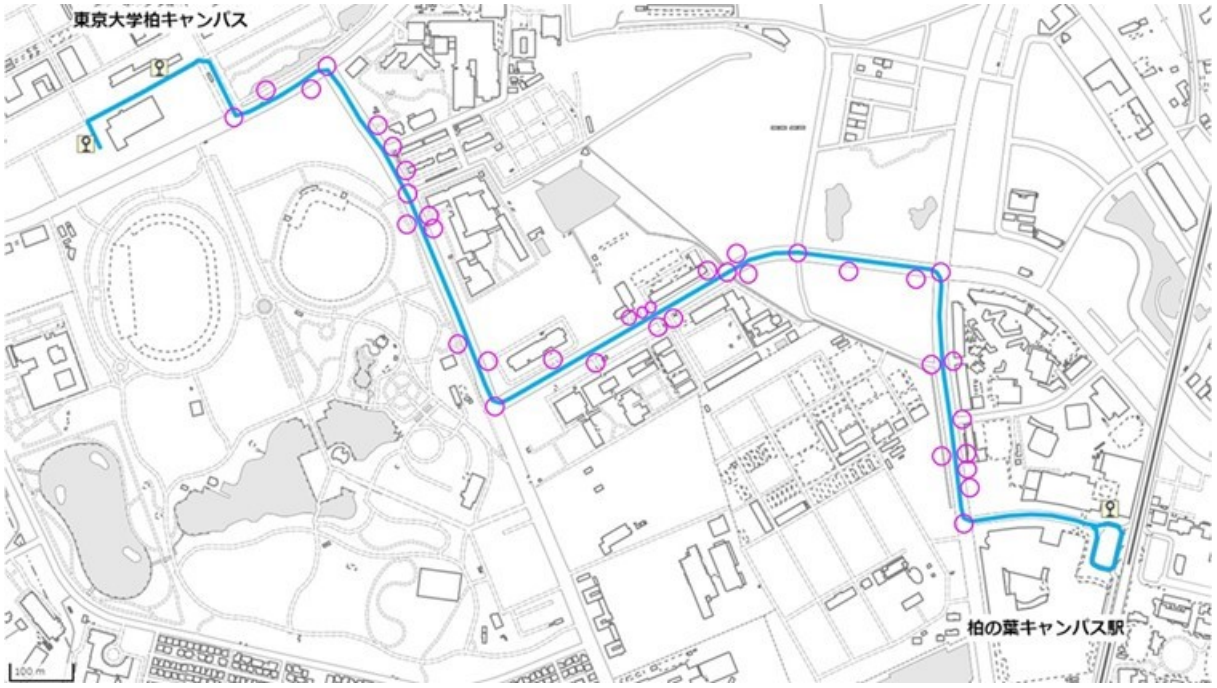


図 472　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 473　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 474　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 475　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 476　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所

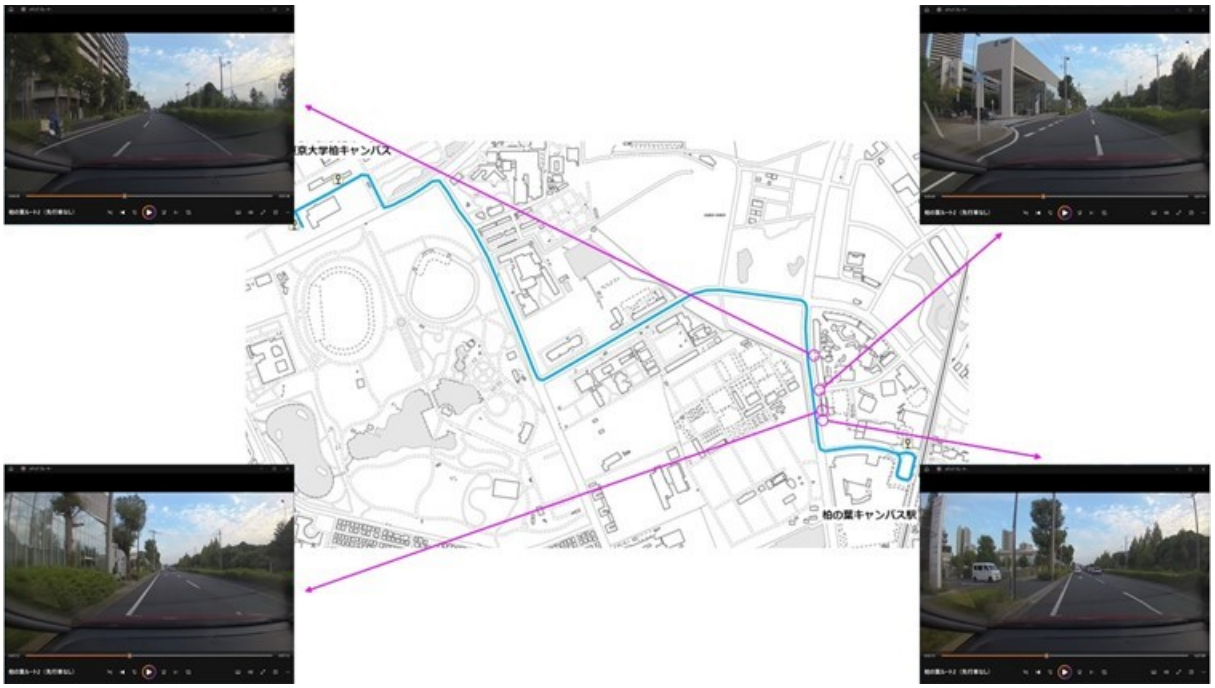


図 477　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所

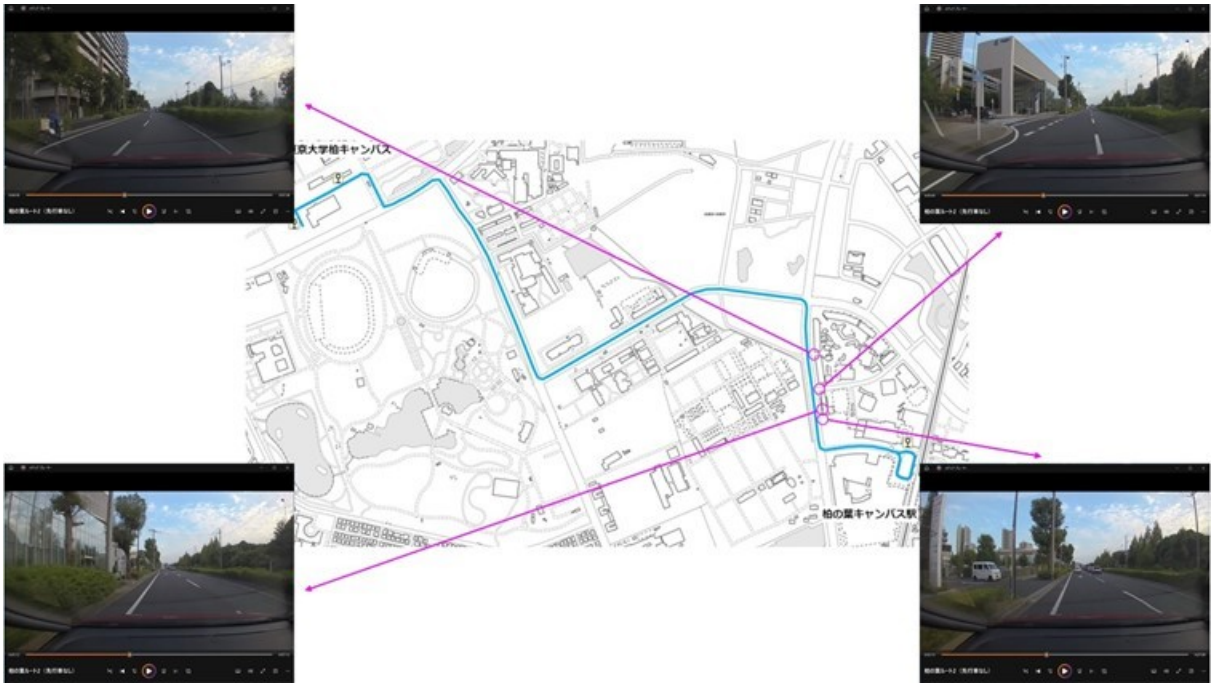
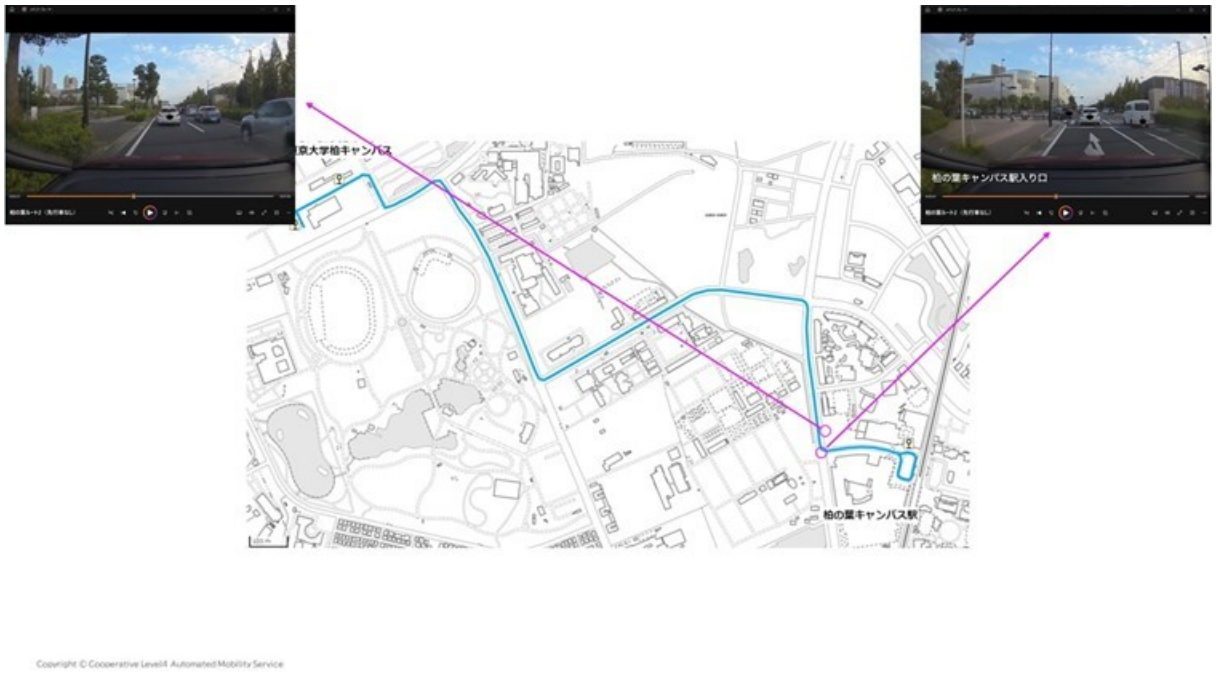


図 478　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

図 479　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所

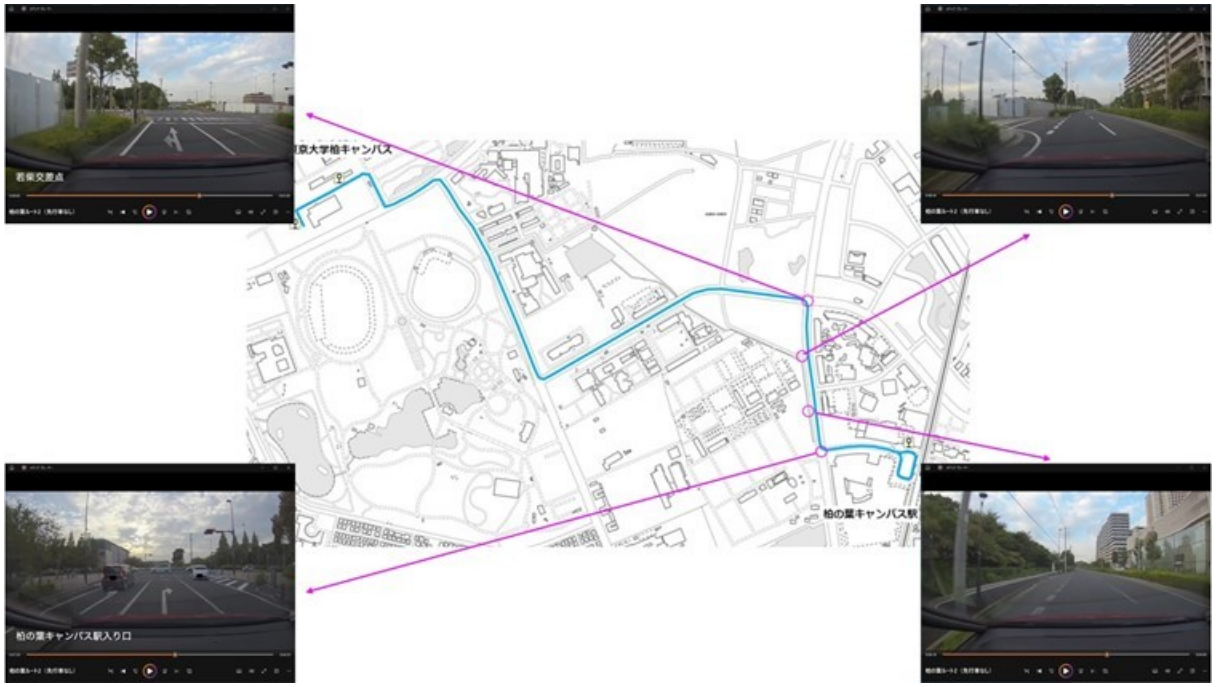


図 480　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 481　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 482　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所

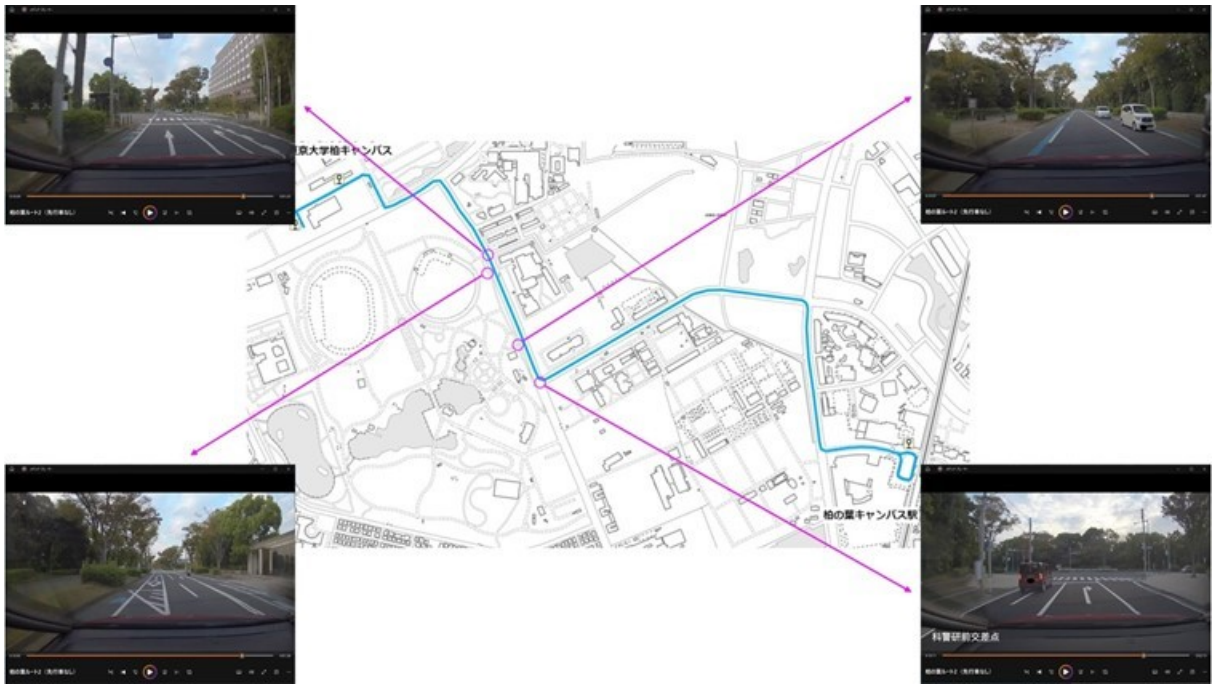


図 483　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所



図 484　柏の葉実証コースにおける停止した場合の対応に注意が必要な個所

テーマ 2 や WG の成果を活用しつつ、事業者への複数回のヒアリングを通じて、テーマ 4 実証コースでの遠隔監視システムの現段階における要件案を策定した。今年度は、遠隔監視型の実証ではないが、交通事業者との遠隔監視への要求仕様策定に向けて、実際のバスに遠隔監視を想定したカメラを取り付けるとともに、テーマ 2 の過去の実験で使用した遠隔監視装置をつけて、見

え方等の確認までを行った。

車内監視に使用したカメラは 4 方向のアングル（車外前方、車内客室、前扉付近、中扉付近）への設置を行い、以下に示す状況での安全確認確保を目的として設置した。

① 車外前方：走行する前方の交通状態の状況確認
　　進行方向の交通状況の確認
② 車内客室：客室乗客の安全確認
　　車内の安全確認（着座、立席、移動、荷物、急病人、迷惑行為）
③ 前扉付近：前扉降車時の扉付近の安全確認
　　降車扉付近（ステップ、車外）の安全確認
④ 中扉付近：中扉乗車時の扉付近の安全確認
　　乗車扉付近（ステップ、車外）の安全確認

それぞれの監視カメラの設置位置および方向、設置状況、映像例を図 485 から図 487 に示す。テーマ 4 のコースにおいての様々な対応を行うにあたり、遠隔監視に求められるカメラの位置関係についての要求について仮案として抽出した（今年度は、制御方法が定まっていないためあくまでも議論できるところまでとなる)。まず、車内監視におけるカメラについては、図 485 に加えて、バスの後方を監視できることが望ましいことが得られた。車内安全については、今後車両側で装備される自動化のシステムに応じて必要な要件は変わってくるため、次年度のアップデートが必要である。ただし、バスの扉の開閉については、バス側での制御を行い、遠隔監視からの制御は極力行わないという要望があった。また、事業者としては、忘れ物の確認や寝てしまった方の確認について現状行っており、いつ行うかを含めて考慮していく必要があり、走行の仕方によっては、車内システムや遠隔監視システムからの確認が必要となる可能性はある。

また、遠隔監視からバスの状況を見る場合は、周囲カメラとして、前後左右とバスの車体下が見えることが望ましいことが得られた。なお、バスの状況については、MRM の想定にもよるため、次年度以降に制御方針が固まった際に再度要求については、こちらもアップデートが必要である。

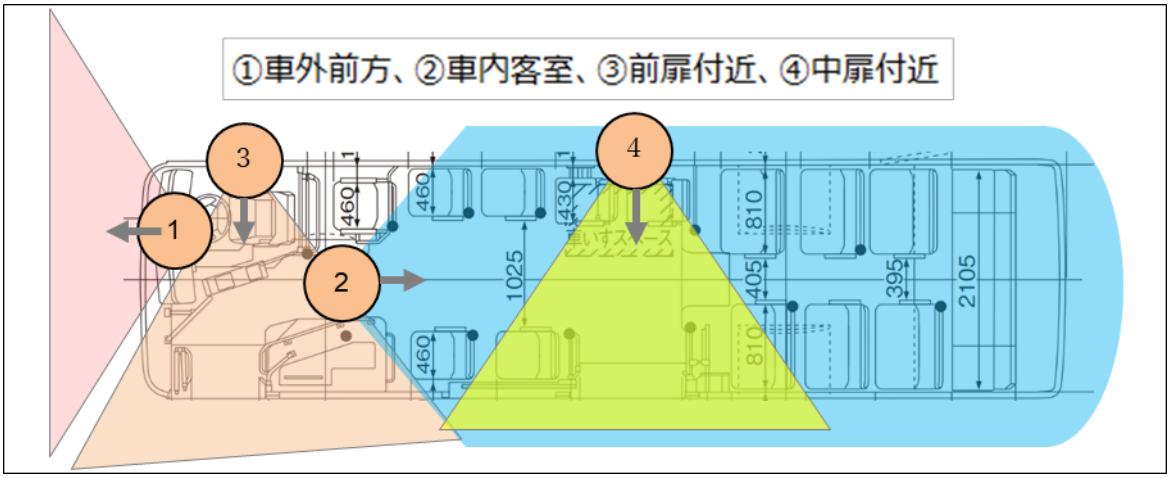


図 485　監視カメラの設置位置および方向

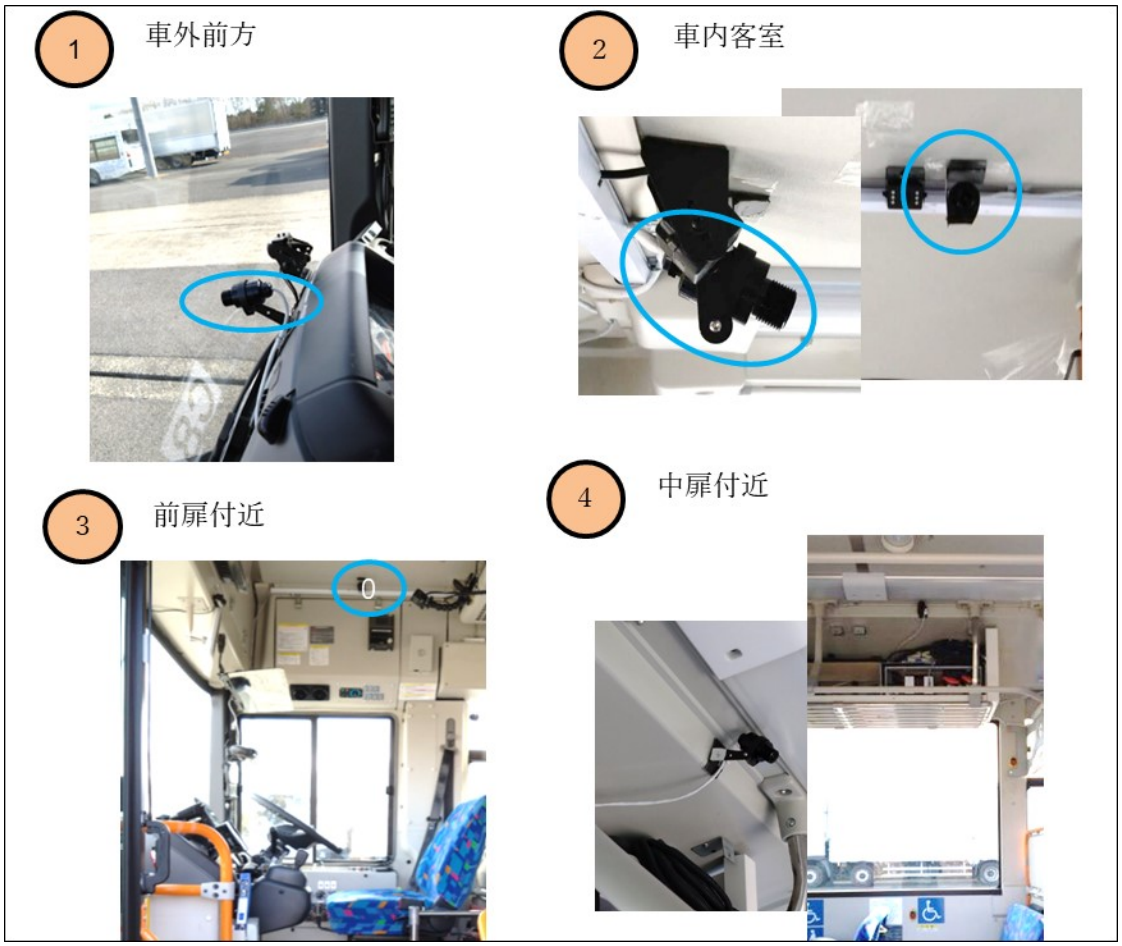


図 486　監視カメラの設置状況

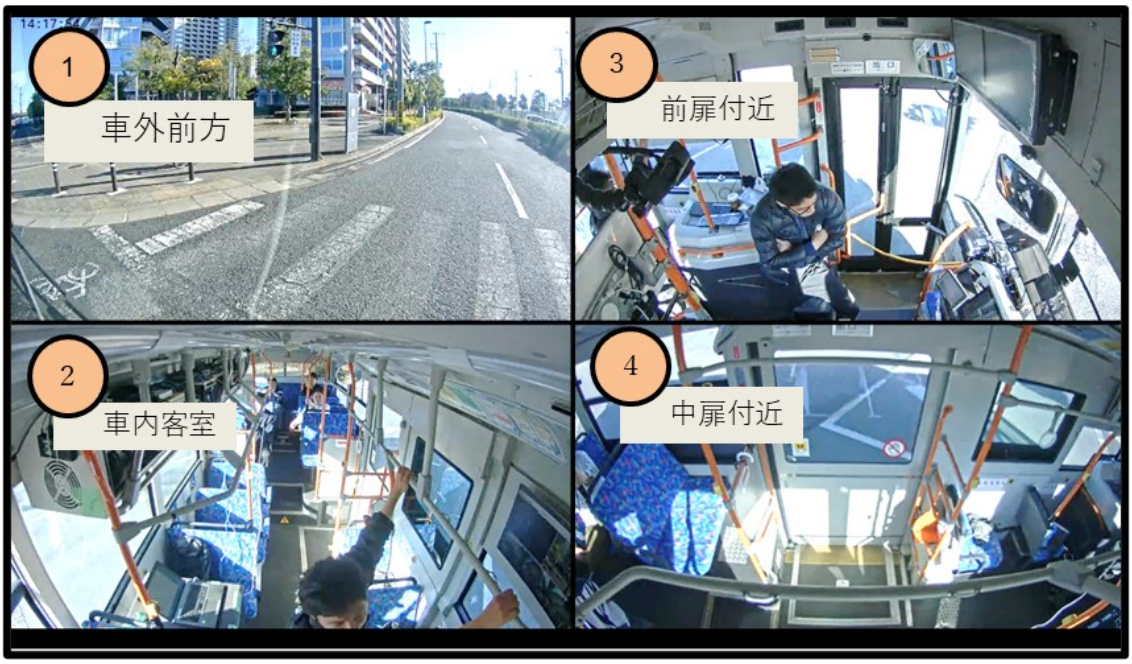


図 487　監視カメラの映像

2)　協調型自動走行機能の監視システムの検討

今年度は、インフラの使い方や考え方についての結論が出ていないため、現段階で想定されている協調型路側機をインフラとして、遠隔監視とのやり取り・要件について、あくまでも仮定のシナリオとして構築した。また、自動運転システム側の仕様とインフラの仕様の使い方が固まっていないため、今年度はあくまでも仮のものとはなるが、次年度以降システムの構成やインフラの活用方法などが見えてきた段階において、更新・変更しながら今年度の検討を発展させていく予定である。これらの調査内容を表 162 と図 488 で示す。

表 162　インフラ協調型・遠隔監視システムの要件

ID	大分類	中分類	小分類	要求
1	路側	協調型路側機		協調型路側機は、規定の周期時間で、接続された信号、カメラ、LiDARの生存確認を行うこと。
2				協調型路側機は、交差点に接近する自動運転バスからの問い合わせに対し、自機（路側機とセンサ）の正常性を通知すること。
3				協調型路側機は、交差点に接近する自動運転バスからの問い合わせに対し、交差点進入前の青信号の残り時間をもとに速度を抑制する、交差点進入支援機能を提供すること。
4				
5	自動運転バス	走向制御		自動運転バスは、進入を開始したタイミングで信号が黄色になった際に、すぐに停止できる速度でなければ、走行を継続すること。
6				自動運転バスは、対向右折車両が進路妨害している際には、交差点に進入しないこと。
7				自動運転バスは、インフラからの情報と、自車が検知した情報が異なる場合、自車センサーに故障がなければ、自車の情報を採用すること。
8				自動運転バスは、他の優先通行車両や歩行者／自転車を検知しない状態が規定時間以上継続したら走行開始するが、検知の通知を受けたらすぐに停止できる速度で走行開始すること。
9				
10		車内システム	車内システム共通	車内システムは、非常ボタンが押されたことが確実に通知されるように機能安全開発されていること。
11				非常アナウンスは、火災による影響を受けにくい電気系統であること。
12				非常アナウンスは、機能安全開発されていること。
13				
14			非常ボタン	非常ボタンは、危険な場所（火元）を避けて押せるように複数の場所に設置されること。
15				
16			車内カメラ	車内カメラは、車内の各所を見渡すことができる視野角であること。
17				車内カメラは、車内の細部を確認できる解像度であること。
18				
19			ドア	ドアは、火災による影響を受けにくい電気系統であること。
20				ドアは、機能安全開発されているこ／手動でも開扉できること。
21				
22	遠隔監視システム			遠隔監視システムは、監視者の見逃しがないユーザーインタフェースであること。
23				

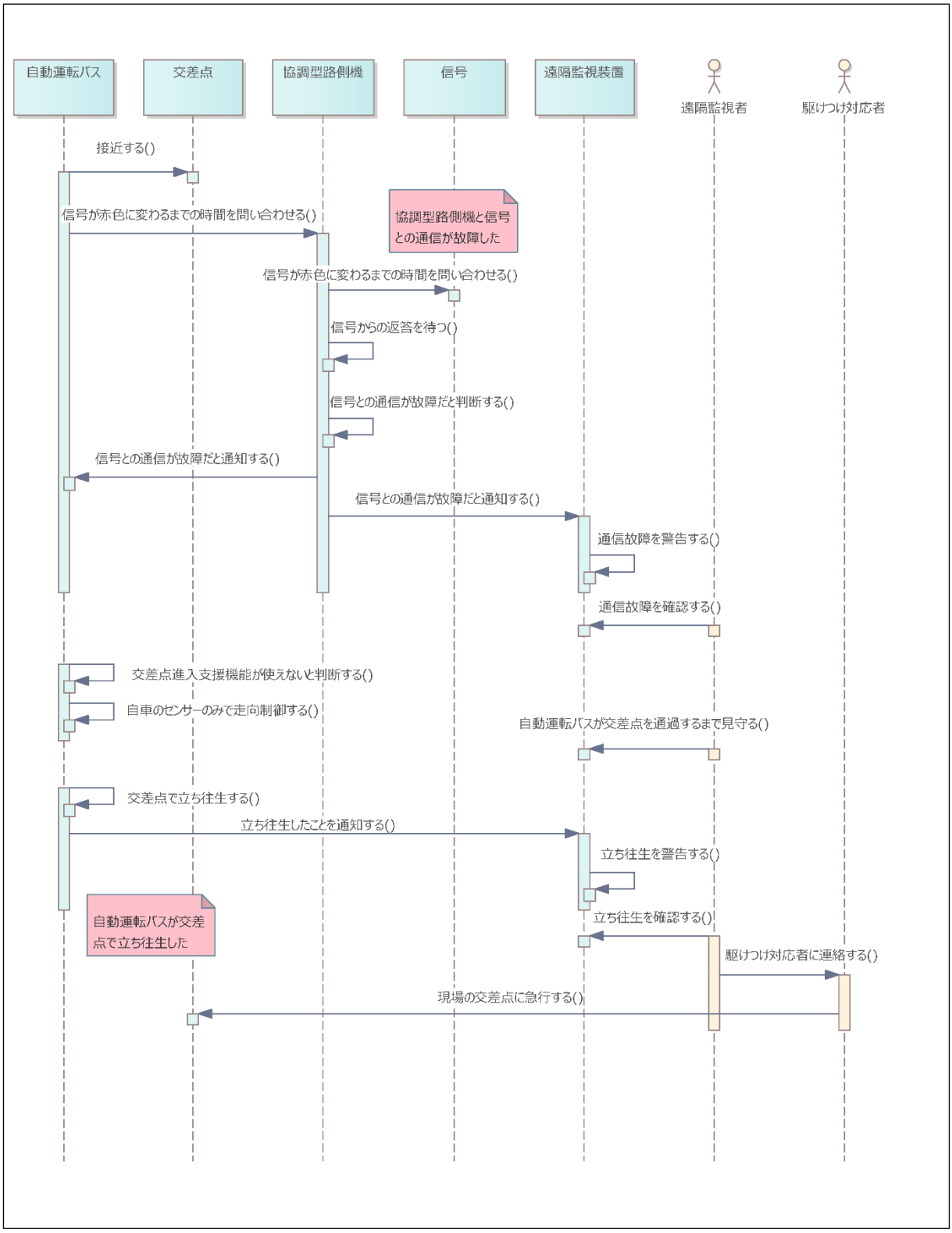


図 488　インフラ協調型のシステム要件_交差点進入支援機能の故障＋遠隔監視による対応

■ 今年度の成果物

特になし。

■ 次年度以降の実施事項

レベル 4 の乗務員が搭乗しない場合の遠隔監視システムは、基本的に通常時以外に必要となるため、走行制御にも大きく左右される。走行制御の考え方の進捗に応じて、要件についてのアップデート引き続き行うとともに、事業性や車内乗客安全 WG の成果を踏まえ、技術で解決するだけでなく、運用や考え方に応じて、最終サービス形態に応じた策定案を提示する。また、他の項目の進捗を鑑みて、最終的なサービス実証を見据えた検討を開始し、これまでの成果をもとに、ベンダー等との議論を開始する。

2-4. ODD 拡大・全国展開に向けた課題検討

＜この項目での実施事項＞

I. 全国展開に向けた課題の整理

II. ODD 拡大･全国展開に向けた課題の解決方法検討

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

- 交通シナリオ記述方法等の他地域展開方法
- 混在度の高い空間への対応として、俯瞰カメラを利用した協調型路側センサーシステムの構築
- オクルージョンへの対応として、マルチカメラシステムの自動キャリブレーション手法開発とスマートカメラ活用検討
- GNSS ロスト時の対応として、統合型位置推定システムの実装および評価環境の構築
- フリースペースの直接検知手法
- センサーフュージョンアルゴリズムの改良による協調型路側機のセンサー検知率の向上手法
- 共通の評価手法による協調型路側機の歩行者･自転車認識性能評価

■ 実施事項と実施方法

1) 全国展開に向けた課題の整理

本事業の実施項目は、2025 年度に柏の葉地域での協調型レベル 4 自動運転サービス実装を目指したものであるが、検討に当たっては全国展開可能なことを念頭に置いている。

例えば、2-2.I.1)項で提案の交通シナリオの記述方法は、柏の葉に限らず混走空間の交通シナリオを体系的に表現可能である。また、2-2.I.2)の安全走行戦略の基本的な考え方についても全ての走行環境に適用可能なことを目指し策定している。

各地域で自動運転移動サービスの導入検討を開始する際には、まず移動サービス事業を踏まえ運行ルートを定め、運行ルートの ODD（道路条件・地理条件・環境条件等）を設定する。この過程において、本事業提案の交通シナリオの記述方法に基づき運行ルートの道路環境や考慮すべき交通参加者の行動について整理すれば、網羅的に地域のユースケースが記述でき、考慮すべきリスクシナリオを抽出し安全走行戦略を立案し、システムの要求仕様を定義することができる。この際、他地域のユースケースが柏の葉と共通であれば、本事業の技術が適用可能であり、異なるユースケースであっても検討の道筋やツール・手法については本事業の実施内容が流用可能である。以下、2-2.I.1)項で提案した交通シナリオ記述手法において交通環境および他の交通参加者の行動分類の図表を再掲する。これら分類を用いた交通シナリオの記述方法および柏の葉の走行

環境の具体的な記述については 2-2.Ⅰ.1)項を参照されたい。

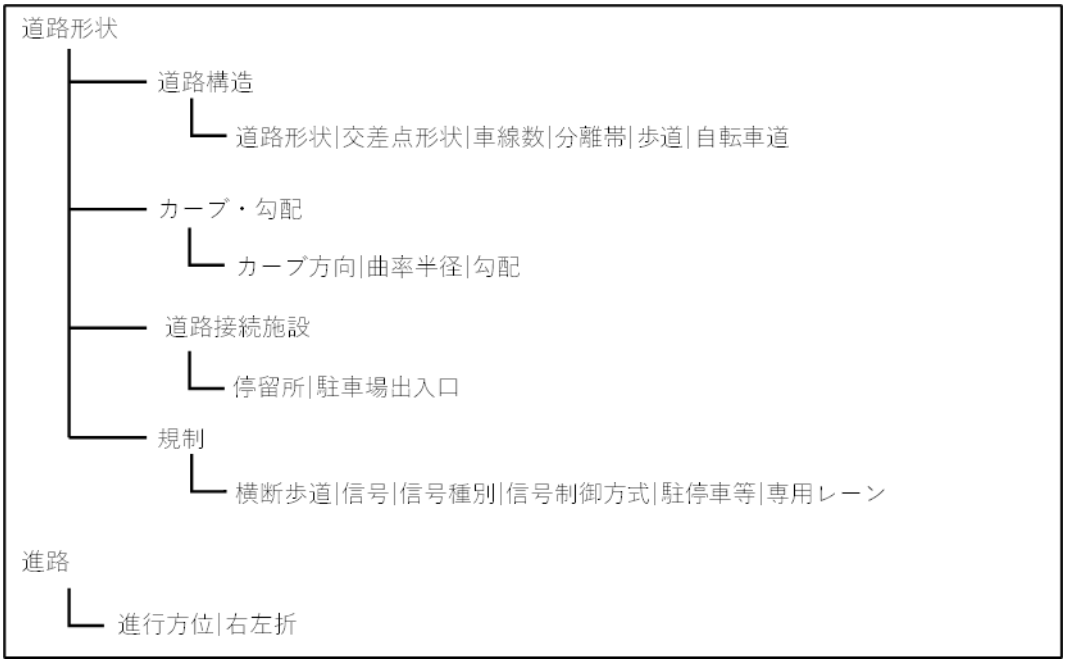


図 489　交通環境分類の階層構造（2-2.Ⅰ.1)）図 65 再掲）

表 163　道路形状の中小分類と細目（2-2.I.1)）　表 71 再掲）

道路構造											
道路形状		交差点形状		車線数		分離帯		歩道		自転車道	
0		0	非交差点	0	交互交通	0	なし	0	区画線なし	0	区画線なし
1	出入口	1	十字	1	片側１車線	1	分離帯	1	区画線あり	1	区画線あり
2	単路	2	丁字	2	片側２車線	2	車線分離標	2	歩道あり	2	自転車通行帯
3		3	多差路	3	片側３車線以上			3	柵付き歩道	3	歩道通行
4	交差点	4	ラウンドアバウ	4	一方通行			4		4	
5	分岐	5	踏切	5							
6	合流	6		6							
7	併用軌道										

カーブ・勾配					
カーブ方向		曲率半径		勾配	
0	直線	0	無限大	0	平坦
1	左カーブ	1	大	1	上り
2	右カーブ	2	小	2	下り

道路接続施設			
停留所		駐車場出入口	
0	なし	0	なし
1	バスベイ	1	あり
2	バス停		
3	路面電車停留所		

規制											
横断歩道		信号		信号種別		信号制御方式		駐停車等		専用レーン	
0	なし	0	なし	0	なし	0	なし	0	なし	0	なし
1	横断歩道	1	あり	1	矢灯なし	1	通常	1	駐車禁止	1	右折レーン
2	自転車通行	2		2	右折矢灯あり	2	押しボタン	2	駐停車禁止	2	左折レーン
3		3		3	左折矢灯あり	3	時差式	3	停止禁止	3	
				4	3方位矢灯あり	4	歩車分離	4	導流帯		
				5	赤点滅	5	感応式	5	安全地帯		
				6	黄点滅			6			
								7			

表 164　大分類「進路」の細目（2-2.I.1)）　表 72 再掲）

進路			
進行方位		右左折	
0	不問	0	直進
1	東	1	左折
2	西	2	右折
3	南	3	左車線
4	北	4	右車線

表 165　他者行動の分類（2-2.I.1)）　表 73 再掲）

分類	対向車線	交差車線(左方)	交差車線（右方）	交差歩道	並進交通	交通区分外進入
細目	直進	直進	直進	流入	先行車	歩行者
	右折	右折	右折	流出	後続車	自転車
	左折	左折	左折		左車線	二輪車
	路側等				右車線	四輪車
					路側等	

一方、現時点で実装可能な技術の制約から、2025 年度柏の葉のルート案（図 30 参照）では、一部に手動運転区間が存在する。難易度の高い技術課題としては、駅前ロータリーなど混雑度の高い空間への対応や施設出入口の飛出し対応のように自律センサーでは計測困難な認識技術の課題や、自己位置推定に不可欠な GNSS ロスト時の対応技術などが挙げられる。これらへの対応は全国展開においても有効であり、次項に、これら将来に向けた技術課題の検討結果を報告する。

2) ODD 拡大・全国展開に向けた課題の解決方法検討

ODD 拡大に向けた全国共通の既知の課題として、ロータリーなど混雑度の高い空間やオクルージョン、GNSS ロスト時などへの対応方法について検討し、有効性を評価した。また ODD 拡大・全国展開に向けてデータ連携プラットフォームへ実装するインフラ情報の更なる精度、信頼性の向上を目指し、フリースペースの直接検知手法、センサーフュージョンアルゴリズムの改良による検知率の向上、歩行者や自転車の認識性能向上技術について検討を行った。

(1) 混在度の高い空間への対応

駅前ロータリー、駐車場出入口等において自律系センサーでは計測困難な移動体をスポット的に検出可能で、自動運転車両に通信により配信し、減速・緊急停止等に利用する協調型システムを検討した。

まず、全体の構成は以下の通りであり、図 490 にも示す。

1. 俯瞰カメラ：歩行者・自転車の検出と追跡、移動先の予測
2. 俯瞰カメラ↔自動運転車両：減速・停止を通信経由で伝達
3. 自動運転車両：受け取った情報をもとに減速・停止の実行

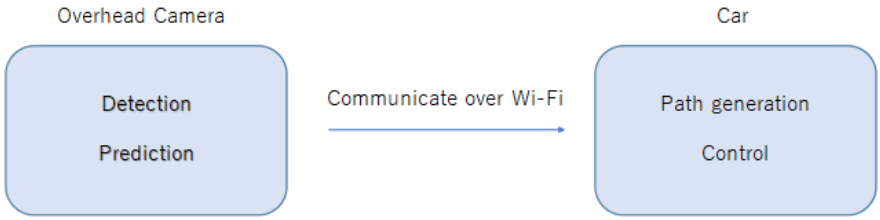


図 490 インフラセンサーシステム全体の構成

想定する環境の例を図 491 に示す。図 491 では、路側帯に自動車が駐車しており、自動運転車両から駐車車両の奥にいる歩行者や自転車が死角により見えにくくなるような環境であり、駅ロータリー、交差点付近や駐車場出入口（図 492）などの歩行者や自転車が多い場所で顕著に現れる状況である。



図 491　想定環境の例

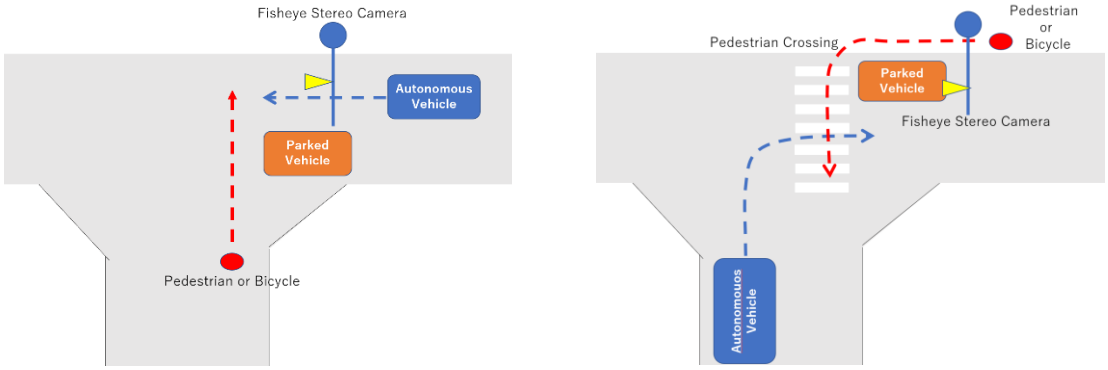


図 492　停止車両側方の通り抜け（左）・交差点での右折時・駐車場出入口（右）

協調型路側機に取り付けられた俯瞰カメラ（図 493、図 494）により、歩行者や自転車の運転者の頭部を検出し、追跡する（図 495)。また、カメラは超広角カメラ 2 台が取り付けられたステレオカメラ（図 493）であり、頭部の高さを計測することが可能であり（図 496、図 497)、頭部の速度・加速度を推定し、移動先を予測する（図 498)。その結果により、歩行者や自転車の衝突可能性を評価し、協調型自動運転車両が減速・停止すべきかを判断し、その結果を通信により、協調型自動運転車両に伝達する。自動運転車両は、その結果を受けて、減速・停止などを実行する。

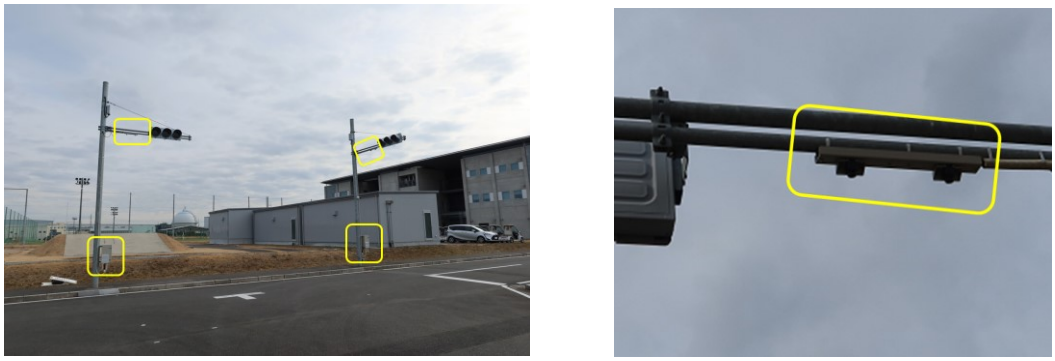


図 493　ステレオカメラと計算機ボックスの設置（左）とステレオカメラの拡大図（右）

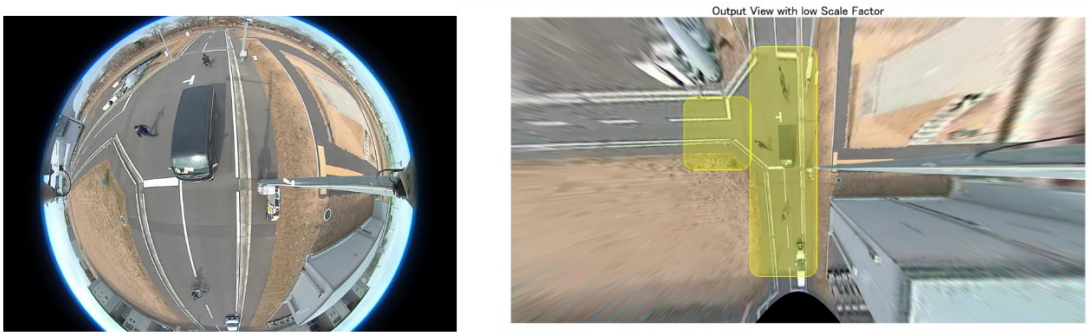


図 494　超広角カメラからの撮影画像（左）と歪み補正画像（右）

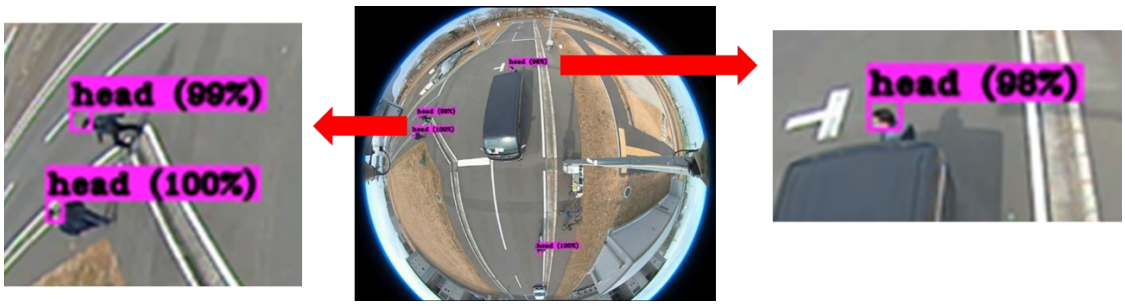


図 495　頭部検出結果

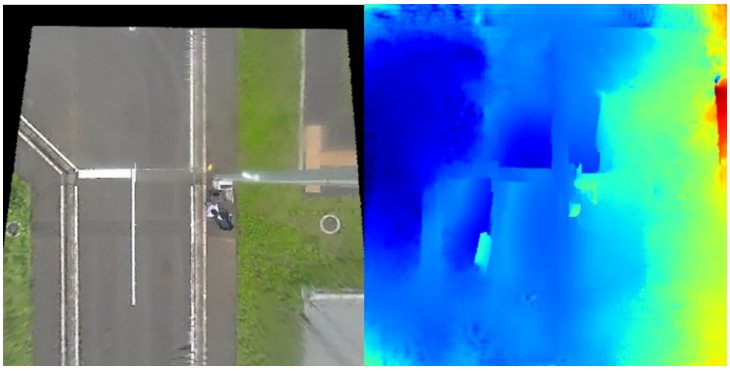


図 496　ステレオカメラから得られた距離画像

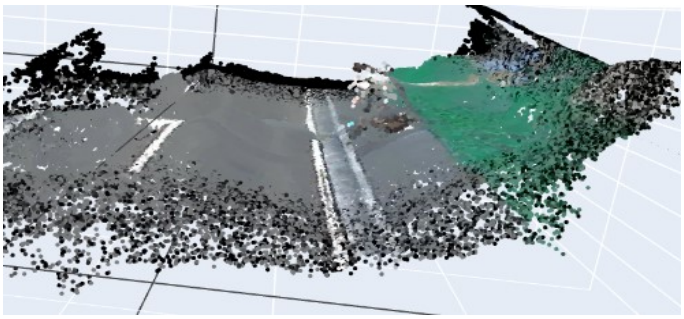


図 497　3 次元復元結果

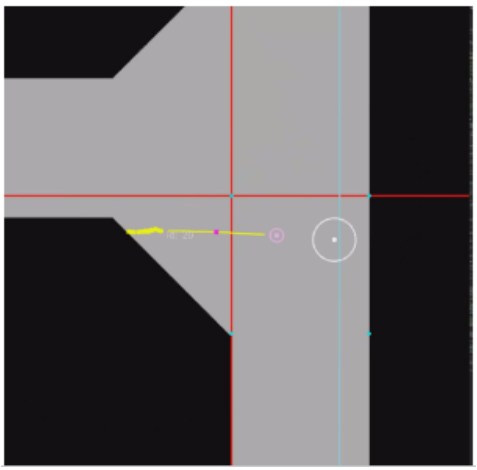


図 498　歩行者・自転車の移動先予測

今回用いたカメラとレンズの仕様と設置高さから、以下が限界性能であるが、カメラの解像度を上げるなどにより、さらに性能を向上させることは可能である。

- 頭部から足元位置推定の精度：10cm 以内
- 頭部追跡可能範囲：15m～20m

頭部検出にはディープラーニングを用いた検出アルゴリズムである YOLOv3 を利用したが、頭

部検出性能は約 97%であった。この精度向上には、最新の検出アルゴリズムを用いるなどにより、精度向上は可能であると考えている。なお、現在の学習データは、帽子をかぶっておらず、長髪ではない人物のみである。

頭部高さの距離計測のため、ディープラーニングベースのステレオアルゴリズムである RAFT-Stereo を利用したが、距離計測誤差は約 10%であり、頭部から信号までの距離が 3.9m のときは、97.5% ～ 102.5% の精度、つまり誤差は約 2.5%であった。

頭部の検出・追跡による歩行者や自転車の移動予測には、2 種類の予測手法を組み合わせており、高めの速度で旋回する自転車も考慮している。なお、位置、速度、加速度を推定している。

- 通常時：カルマンフィルタに基づく予測　※歩行者と自転車の直進時
- 高速旋回時：円軌道予測に基づく予測　　※主に自転車の旋回時

上述の方法により、テストフィールドにて、実車を用いた検証試験を実施した。図 492 に示した二例であるが、一例目は停止車両をすり抜けて道路を横断する歩行者や自転車を検出し、停止車両の側方を通り抜けて近づいてくる自動運転車両に対して、自動減速・停止させるものである。二例目は停止車両の影から停止車両をすり抜けて道路を横断する歩行者や自転車を検出し、右折しようとする自動運転車両に対して、自動減速・停止させるものである。検証試験の様子を図 499 に示す。なお、実験条件としては、自動運転車両は車両の屋根に設置した RTK-GNSS/Compass を利用して自動運転を時速 10km で行い、減速時は減速度 0.2G とした。また、停止条件は歩行者・自転車が歩道を超えて車線内に入り、衝突する可能性がある場合とした。



図 499　停止車両側方の通り抜け（左）・交差点での右折時・駐車場出入口（右）

表　166 に 1 秒後の予測誤差を示すが、約 30～60cm の誤差となった。頭部のみの追跡のため、歩行者や自転車を漕ぐ際の頭部の揺れがあり、ローパスフィルタをかけて滑らかにした結果である。この予測誤差は、歩行者や自転車が実際に 1 秒後に通った場所と、予測した場所との差であるが、歩行者や自転車の挙動次第であるため、完全に正確な予測は不可能である。このため、図

498 には 1 秒後、2 秒後の予測範囲を確率に基づいて示しているが、丸は 1σ 内の場所である。これらにより、予測の不確定性や通信の遅れ、減速・停止の遅れを考慮した上で、自動減速・停止の指令を行うことになる。

表 166　1 秒後の予測誤差

Prediction Target	Error of prediction in 1 second
Scenario 1: Person	33.6 cm
Scenario 2: Person	36.5 cm
Scenario 1: Bicycle	38.1 cm
Scenario 2: Bicycle	61.1 cm

今後、歩行者や自転車、自動運転車両の行動データなどから、上記の不確定性や遅れなどのパラメータとその上下限値を整理し、また推定アルゴリズムの精度向上を目指すとともにその限界値を明らかにし、安全な自動減速・停止をバスなどの乗客がいる場合も考慮することで、自動減速・停止指令のタイミングや減速方法の明確化を行う必要がある。

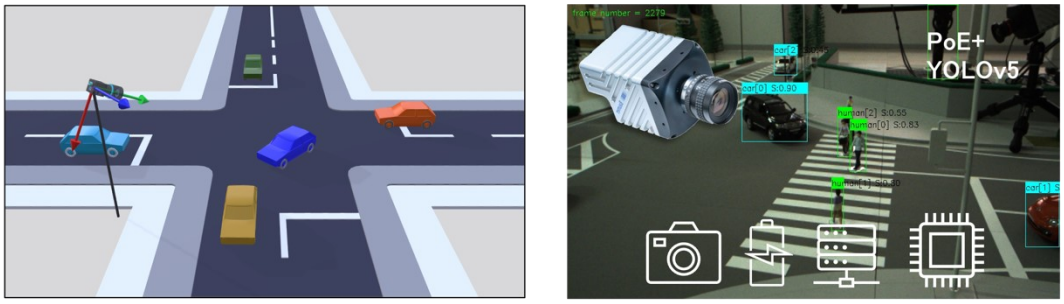
(2) オクルージョンへの対応

オクルージョンに頑健なインフラスシテムの構築に向けて、昨年度はマルチカメラシステム導入の効用性について検討し、大型車両によるオクルージョンに有効な対策であることをテストフィールドでの実験より確かめた。しかし、マルチカメラシステムの効用だけでなく導入に伴うコストもカメラの台数に依存して増加するため、多くのカメラを効率的に導入して運用するための手法開発を課題として見出した。そこで本年度は、マルチカメラから構成されるシステムの設置ハードルを下げるためのスマートカメラの活用について検討し、多数のカメラを効率的に管理するための自動キャリブレーション手法の開発について取組んだ。

インフラセンサーにおいて Lidar と併用されることが多いカメラは、豊かなテクスチャ情報が取得できるために物標識別に有利であることや比較的に低価で入手できてマルチセンサー化しやすいことが長点として挙げられる。このような特徴から、マルチカメラシステムの導入は将来的に、オクルージョンに頑健なインフラセンサーシステムの構築に欠かせないものと考えられるが、全国展開を念頭においた多様な実環境で活用するためには、維持・保守と設置・運用における効率化を図ることが重要である。例えば、交通カメラの計測精度には地震など災害による何らかの外力や経年変化より生じうるカメラの姿勢変化が大きく影響するため、その変化の検知・補正が必要である。従来の人手の介入による方式では実施が大変かつ多大なコストが発生するため、日

常レベルで処理できるような自動化手法の開発が求められる。また、マルチカメラの設置と運用に関わる負担を減らすために、関連設備の改善および簡素化も要求されている。

そこで、本年度の取組み(図　500)として、(i)交通カメラの姿勢変化を高精度で自動キャリブレーションできる手法を開発すると共に、(ii)マルチカメラ設備の簡素化を図ったスマートカメラの動作検証を行った。自動キャリブレーション手法については、国内学会「第 24 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2023)」にて成果を発表し、優秀講演賞を受賞するなど高く評価された。



（A）交通カメラの自動キャリブレーション　　（B）スマートカメラの活用検討

図 500　本年度の取り組みの概要

i）　走行車両の剛体トラッキングに基づく交通カメラの自動キャリブレーション手法の開発

① 背景

インフラ協調によるレベル 4 自動運転では、インフラに設置した環境認識用センサーが重要な役割を果たす。インフラセンサーによる環境認識結果は、センサーの幾何的な設置状態、つまり設置環境における位置や向きに大きく依存するため、センサーの設置状態を正確に把握しておく必要がある。しかし、地震などの天災や周辺で発生した事故、あるいは経年変化など様々な要因によりセンサーの設置状態は変わりうる。このため、何らかの方法で設置状態を検証する仕組みが必要であるが、人手の介入を必要とするキャリブレーションには多大なコストを伴うため、現実的な解ではない。また、今後のレベル 4 自動運転システムの多地域展開に備えて、インフラセンサーのメンテナンスコストを抑えるため、自動的にセンサーの設置状態を検証する手法が必要である。そこで人手の介入を必要とせず、様々な環境で適用できる交通カメラの自動キャリブレーション手法を提案した。

交通カメラの自動キャリブレーションは、これまでにも多くの研究で取り組まれてきた。代表的なものに、白線などの既知の構造を有する環境物を利用するものがあるが、環境への依存度が高いため、汎用性の面で課題がある。そこで、交通カメラの視野内を往来する車両を用いるアプ

ローチが提案されてきた。Bhardwaj らは、車両から検出可能なキーポイントを利用して、PnP 問題を解くことによりキャリブレーションする AutoCalib と呼ばれる手法を提案したが、視野内の車両に関して利用する情報が少ないため、自動運転などの環境認識用カメラに適用するには精度の面で十分ではない。レベル 4 自動運転バスの走行ルート上や、タクシーなどの構造が既知の車両が定期的に往来する状況では、走行している車両のモデルを特定した上で、それらの設計情報を用いることにより高精度なキャリブレーションができると期待できる。Bartl らは、深層学習を用いて走行車両の車種を特定し、画像から検出した車両のキーポイントと既知の 3D モデルを照合することでキャリブレーション精度の向上を図った。しかし、現状ではキーポイントの検出精度が低いため、単一のフレームのみを用いるこの手法では、性能の向上が限定的であった。

そこで本研究では、複数のフレームから得られる情報を統合することにより、高い精度とロバスト性を持つ交通カメラの自動キャリブレーション手法を提案した。特に、交通カメラを運用する上で変化を受けやすく、かつ環境計測結果に影響しやすい対路面姿勢角である Pan 角及び Tilt 角を推定した。提案手法ではまず、動画像の中から既知の走行車両を検出した上でトラッキングを行った。さらに、各画像上で検出した車両のキーポイントと車両の設計情報を利用し、幾何的な最適化問題として定式化した。この一連のプロセスにおいて、車両の検出からカメラの対路面姿勢角推定まで自動で行うことが特徴である。本取組みでは、実環境におけるキャリブレーション精度を検証するため、実車を用いて精度評価を行い、マイクロソフト研究チームによる既存手法である AutoCalib と比較した。その結果、既存手法と比べて Pan 角及び Tilt 角のキャリブレーション精度が大幅に向上したことを確認した。

② 走行車両を用いた交通カメラの姿勢推定

【提案手法における座標系】

交通カメラの設置状態の推定は、交通カメラの座標系$\sum_C$から設置環境に固定された世界座標系$\sum_W$への座標変換T_C^Wを推定することである（図 501）。提案手法では、設置環境への依存を極力抑えるため、動画像から得られる走行車両の姿勢に基づいてカメラの設置状態を推定した。

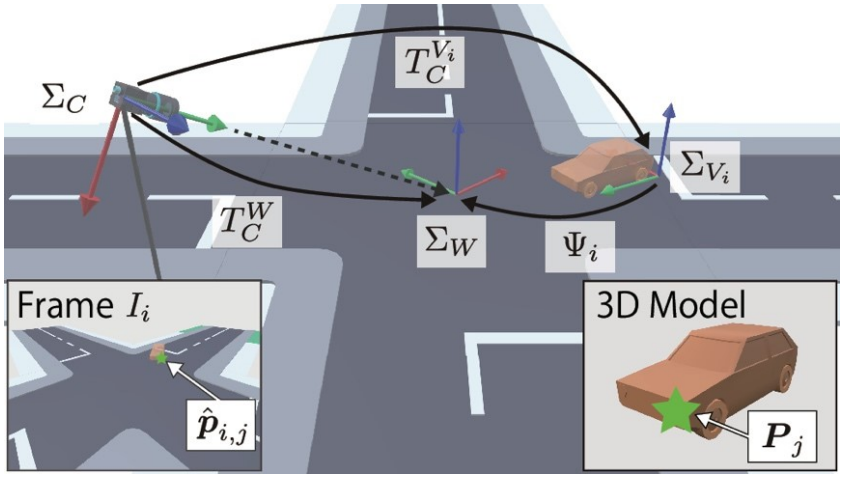


図 501　提案手法における座標系

しかし、カメラに対する車両の姿勢から推定できるのは、カメラ座標系$\sum_C$と車両に固定された座標系$\sum_V$の相対的な位置関係T_C^Vであるため、カメラ座標系$\sum_C$と世界座標系$\sum_W$の間の位置関係T_C^Wを推定するためには、車両座標系$\sum_V$と世界座標系$\sum_W$の間に追加の仮定が必要となる。

そこで他の単眼交通カメラキャリブレーション手法と同様に、車両は平坦な道を走行しており、車両に固定された座標系$\sum_V$の Z 軸と世界座標系$\sum_W$の Z 軸は並行であると仮定した。また世界座標系$\sum_W$として、カメラの画像中心の視線方向と地面との交点を原点とし、画像上左方向に X 軸、地面と鉛直上向きに Z 軸を持つ座標系を設定した。さらに、車両座標系$\sum_V$の原点は地面上にとった。

図 502 に提案手法の流れを示す。まず、入力となる動画像の各フレームに対して、深層学習を用いた物体検出手法である YOLOv5 を用いて車両を検出する。その後、学習済みの ResNet を元に転移学習を用いて訓練したニューラルネットワークを用いて検出車両の車種を特定する。また、フレームごとに独立に検出される車両を同定するため、連続するフレーム間で同一物体の関連付けを行う DeepSORT を用いて車両のトラッキングを行う。

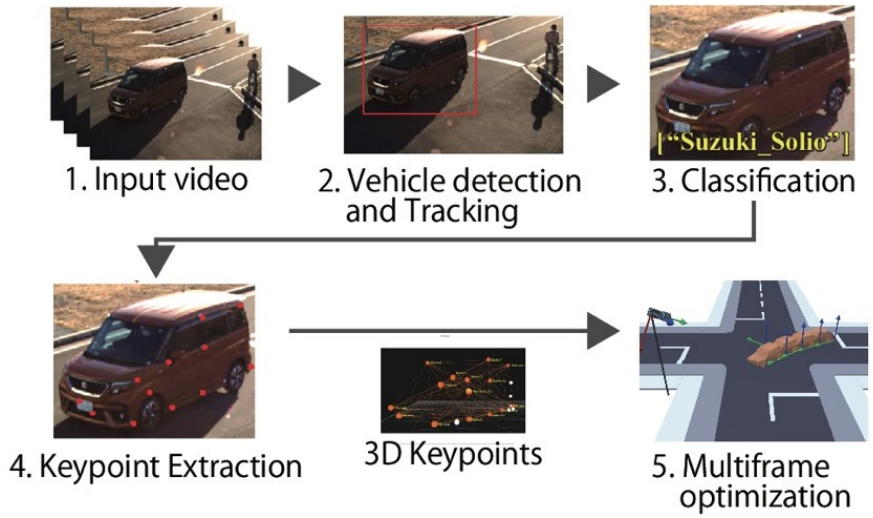


図 502　提案手法の処理の流れ

【マルチフレーム最適化による設置状態推定】

各画像I_i内の走行車両の姿勢を推定するため、深層学習ベースの手法である OpenPifPaf を用いてトラッキングした車両のキーポイントを検出した。ここで画像I_iにおいて検出したキーポイントの 3 次元位置は既知であるため、PnP 問題を解くことによりカメラに対する車両の姿勢$\boldsymbol{\phi}_i$を推定した。ここで、検出したキーポイント数が少ないと推定が不安定となるため、本手法では 9 点以上検出され、かつ平面に縮退していない場合のみ利用した。

しかし、キーポイントの検出精度には限界があり、単一フレームを用いた姿勢推定精度は低いため、複数のフレームから得られる情報を用いて精度向上を図った。まず、各フレームから推定した姿勢$\boldsymbol{\phi}_i$には、推定に失敗したアウトライアが含まれているため、複数のフレームで同様に計算した姿勢の平均$\boldsymbol{\mu} = 1/N \cdot \sum_{i=1}^{N}(\phi_i)$との Mahalanobis 距離が近いものから順に 50%を利用することで、アウトライア除去を行った。

次に、求めたい姿勢$\boldsymbol{\phi}$を変数とする目的関数を定義し、姿勢角推定を最適化問題として定式化すした。まず、各フレームごとに推定する姿勢は、カメラとそのフレームにおける車両の間の関係であるため、フレーム間の車両の移動を考慮し、統一した座標系に変換する必要がある。フレームI_iにおける車両座標系$\sum_{V_i}$と世界座標系$\sum_W$の Z 軸は並行であり、かつ原点は地面上にあるため、車両座標系$\sum_{V_i}$から世界座標系$\sum_W$へは自由度 3 の座標変換Ψ_iとして記述できる。このとき、各フレームI_iで検出したキーポイント$\hat{\boldsymbol{p}}_{i,j}(j = 1,2,\dots,M_i)$の複数フレーム$i = \{1,2,\dots,N\}$に渡る再投影誤差の二乗和は以下のように記述できる。

$$L_1 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M_i}\left\|\pi(T_W^C(\phi)\cdot\Psi_i(\boldsymbol{P}_j)) - \hat{\boldsymbol{p}}_{i,j}\right\|^2$$

ここで$T_W^C(\boldsymbol{\phi})$は、カメラの姿勢$\boldsymbol{\phi}$が既知のときの世界座標系$\sum_W$からカメラ座標系$\sum_C$までの変換である。また、$\boldsymbol{P}_j$は車両座標系におけるキーポイントの 3 次元座標、πはカメラ座標系で表現

された 3 次元点から画像平面への射影を表す。

さらに、トラッキングしている車両は走行路面に対して傾かずに進んでいると仮定し、車両のキーポイントの地面からの高さは既知であるとした。ここで車両は剛体とみなせるため、正しく逆投影した 3 次元空間中のキーポイント間の距離は、モデルから得られる距離と同じとなることを利用した。つまり、フレームI_iにおける一対のキーポイント$\hat{\boldsymbol{p}}_{i,j}, \hat{\boldsymbol{p}}_{i,k}$を、それぞれの地面からの高さ$h_{i,j}, h_{i,k}$が既知として 3 次元空間上に逆投影したときに得られる 3 次元点の間の距離と、既知のモデルから得られる対応するキーポイントの 3 次元点$\boldsymbol{P}_j$, $\boldsymbol{P}_k$間の距離との差の二乗和であるL_2を評価関数に加えた。

$$L_2 = \sum_i \sum_{j \neq k} (\|\pi^{-1}(\hat{\boldsymbol{p}}_{i,j}|\phi, h_{i,j}) - \pi^{-1}(\hat{\boldsymbol{p}}_{i,k}|\phi, h_{i,k})\| - \|\boldsymbol{P}_j - \boldsymbol{P}_k\|)^2$$

ここでπ^{-1}は、カメラの姿勢及び地面からの高さが既知のときの画像平面から 3 次元空間への射影を表す。以上より、解くべき最適化問題は以下の通りである。

$$\boldsymbol{\phi}^* = \mathrm{argmin}_{\phi}(L_1 + \omega L_2)$$

ここで、ωはL_1に対するL_2の重みである。この最適化問題を解くことで、求めたいパラメータ$\boldsymbol{\phi}$を得た。

③ 提案手法の評価

提案手法の検証のためには、走行車両の正確な 3D モデルを伴ったデータが必要であるが、そのようなデータセットはほぼ存在せず、また実環境でのライティング等の影響も加味した評価を行うため、ここでは実車を用いた実験系を構築し、評価実験を実施した。図 503 に構築した実験系の概要を示す。

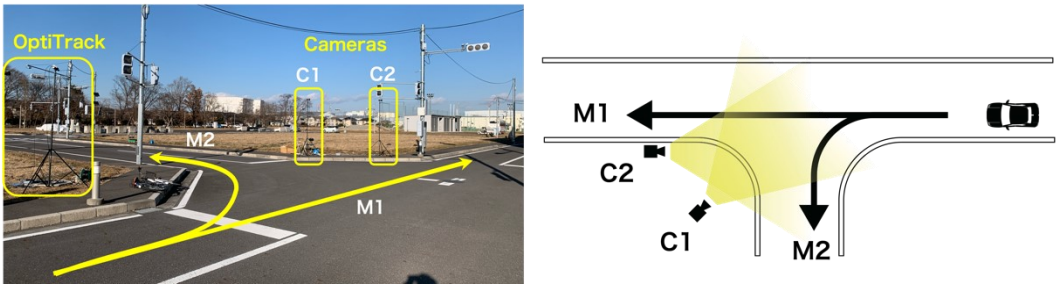


図 503　実験系の概要（実験時の車両走行軌跡のうち、直進を M1、左折を M2 で表す）

キャリブレーションの対象として、走行車両の前方上方約 5 メートルに、2 台のカメラ(Baumer 社製 VAX-50C.I.NVX、解像度：960×720 ［px］、フレームレート：100 ［fps］) を設置した。また車両の 3D モデルの取得及び定量評価のため、モーションキャプチャーシステムである OptiTrack を利用した。計 17 台の OptiTrack を道路脇に設置しー、車両が交差点に侵入する前から抜け出

すところまでトラッキングした。実験にはスズキ・ソリオを利用し、OptiTrack によるトラッキングのため、車両に計 14 個のマーカーを取り付けた。実験では走行軌跡の影響を検証するため、図 503 に示す通り、直進と左折の 2 種類の軌道を走行した。実験時の天候は晴れで、15 時ごろに実施した。また、キーポイント検出を容易にするため、入力画像に対してヒストグラム均一化と輝度及びコントラストの調整を行った。

提案手法によるキャリブレーション精度を評価するため、推定した姿勢情報を元に算出した実世界における 3 次元点間の距離を、真値との二乗平均平方根誤差（RMSE）で評価した。まず、互いに十分離れた 3 枚のフレームを選択し、それぞれの画像上から手作業で位置を検出した同一のマーカーに対し、そのマーカーの高さが既知として、推定した姿勢情報を用いて計算できる 3 つの 3 次元点がなす距離をそれぞれ$\{d_1^1, d_1^2, d_1^3\}$とする。同様に、別の 2 つのマーカーに対して計算できる距離をそれぞれ、$\{d_2^1, d_2^2, d_2^3\}, \{d_3^1, d_3^2, d_3^3\}$とする。また、地面上の白線から選択した 2 点間の距離を D とする。このとき、RMSE は以下のように計算できる。

$$\sqrt{\frac{1}{10}\left(\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{d_i^j - \bar{d}_i^j}{\bar{d}_i^j}\right)^2 + \left(\frac{D-\bar{D}}{\bar{D}}\right)^2\right)}$$

ただし、$\bar{d}, \bar{D}$はモデルから得られる対応するマーカー間の距離である。

精度評価の指標として、画像から推定できる性能限界を確認するため、画像上のマーカーの位置を手で特定し、3 次元モデルを用いて PnP 問題を解くことによって得られた姿勢情報（参照値）を利用した。さらに、AutoCalib によって算出した距離と真値との RMSE を計算した。なお、AutoCalib の実装は公開されていないため、我々で再実装したものを利用した。

④ 評価結果

評価結果を表 167 に示す。提案手法による RMSE の平均は 4.07%となり、参照値である RMSE の平均の 1.27%の 3 倍程度となったが、4%程度という高い精度でキャリブレーションできたことを確認した。また、AutoCalib による RMSE の平均は 10.05%となり、提案手法の方が約 2.5 倍精度良くキャリブレーションできた。なお、AutoCalib の論文中では RMSE が 8.98%と報告されていたため、概ね手法を再現できていることも確認した。

表 167　参照値(Reference)に対する提案手法および AutoCalib の距離推定精度(RMSE(%))

	C1M1	C1M2	C2M1	C2M2
Reference	1.05	1.05	1.49	1.49
AutoCalib	7.05	10.75	13.27	9.13
提案手法	**2.5**	**3.91**	**5.66**	**4.21**

また、距離推定精度と同様に、姿勢を構成する角度のうちPan角とTilt角を比較指標として、提案手法による姿勢角推定誤差をAutoCalibと比較した。その結果を表 168 に示す。提案手法では、Pan角の平均推定誤差が1.30[deg]だったのに対し、AutoCalibでは5.95[deg]となった。一方で、提案手法での Tilt 角の平均推定誤差は 0.75[deg]となったのに対し、AutoCalib では2.5[deg]となった。以上より、Pan 角、Tilt 角ともに、比較手法よりも高い精度で姿勢角が推定できたことを確認した。これは、車種特定による正確な 3D モデルの利用および、複数のフレームを利用した最適化の効果であると考えられる。また、提案手法による姿勢各推定誤差は、10[m]先で約 20[cm]程度の誤差に相当するものであり、高い精度でのキャリブレーションが実施できた。

表 168　提案手法と AutoCalib との姿勢角度推定誤差(deg.)

	C1M1	C1M2	C2M1	C2M2
AutoCalib	4.94	6.96	2.14	2.86
提案手法	**1.05**	**1.56**	**0.66**	**0.85**

推定したキャリブレーション結果に基づき、地面をグリッドで表示した結果を図 504 に示す。ただし、カメラの高さは既知とし、Yaw 角は車線に合わせて調整した。推定したグリッドが車線に対して並行となっていることからも、精度良くキャリブレーションできたことを確認した。

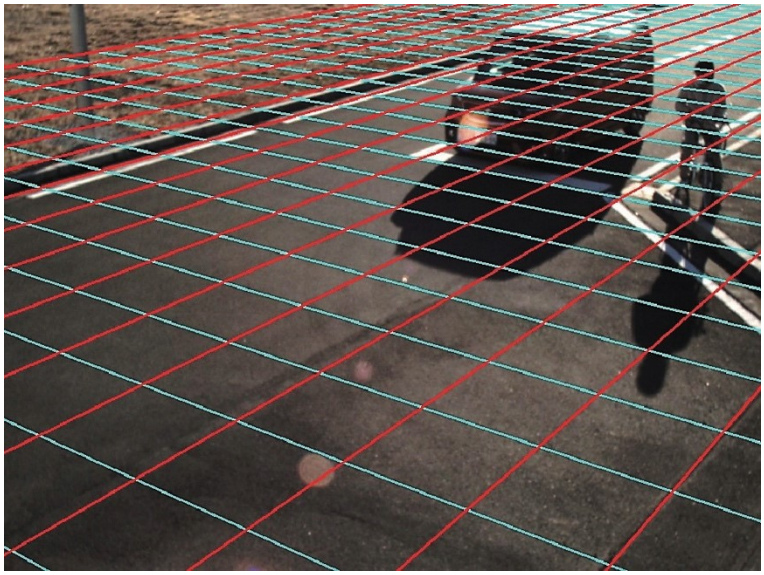


図 504　姿勢推定結果に基づく地面のグリッド表示

⑤ まとめ

本節では、自動運転を始めとした環境認識用カメラのメンテナンスを目的とした、走行車両のキーポイント検出に基づく交通カメラの対路面姿勢角（Pan 角及び Tilt 角）の自動推定手法を提案した。提案手法では、深層学習を用いて走行車両の車種を特定したのち、検出したキーポイントと既知の 3 次元モデルを照合することでカメラの姿勢を得た。さらに、複数のフレームから得られる情報を統合することにより、高精度の姿勢角推定を可能とするキャリブレーション手法を提案した。一方で提案手法は、走行車両のみから対路面姿勢角を推定するため、位置や Yaw 角に関して不定であるという問題がある。このため今後の課題として、これらの不定性を解消するキャリブレーション手法の開発が挙げられる。また、提案手法を LiDAR やミリ波レーダーといった他の路側センサーや、自動車以外の物標（例えば自転車）を利用する手法の開発が挙げられる。

ii） スマートカメラの活用検討

① 概要

従来のマルチカメラシステムにおいては、カメラと画像処理用の計算機が分離された形が一般的であり、電源供給、処理系別途設置や画像データ転送などの制約より、柔軟な設置と運用が困難であった。そこで、カメラ、画像・データ処理用計算機、ネットワーク機能が単一筐体に統合されているスマートカメラの活用が期待されている。さらに、図 505 に示すように、PoE(Power-over-Ethernet、IEEE802.3 規準)装置を組み合わせることにより、従来のネットワーク線が電源線を兼ねるため、配線工数やコストの削減のみならず、カメラ配置の自由度も一層上がると期待できる。しかし、現在一番普及されている PoE type2(IEEE802.3at または PoE+)の装置から供給できる電力においては最大 30W までという制約があり、その条件においてもスマートカメラが計算機性能を最大限引き出せるか、また安定に動作できるかなどを検証する必要がある。さらに、スマートカメラに組み込まれた計算機自体が従来計算機のような高性能でないため、インフラセンサーとして要求される物標検出用に活用できるかも合わせて検証する必要がある。

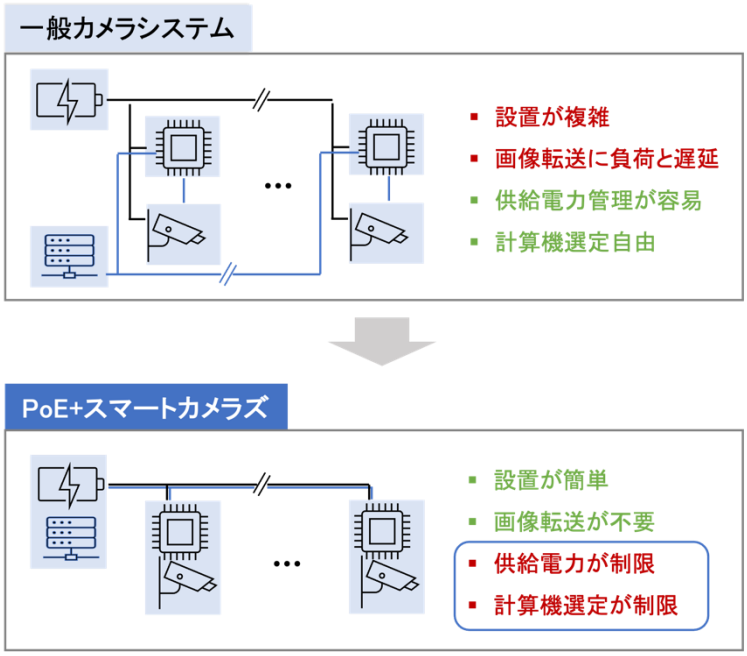


図 505　スマートカメラと PoE+を活用したマルチカメラシステム

そこで本年度は、昨年度に選定したスマートカメラ(Baumer 製 VAX-50C.I.NVX)を用いて PoE+レベルの電力供給における動作安定性の検証を行い、結果的にはメーカーのサポートを得られてアップデートされたカメラ OS により、高負荷時にも動作安定性を実現することができた。さらに、改良したカメラを用いて、実験フィールドでの物標検出実験による性能評価を行い、実用可能性を確かめた。

② PoE+ 環境におけるスマートカメラの動作安定性評価と改善

昨年度選定したスマートカメラ(図　506)を用いて、高速撮像および GPU による並列画像処理といった高負荷作業における動作安定性を評価した。まず産業用 PoE+(type2)スイッチングハブからスプリッタを経由して電力供給を行い、動作性能を確認した。対照群としては安定化電源を利用して動作安定性の比較を行なった。高負荷作業としては、スマートカメラによる高速撮像と GPU をフルで活用した YOLO による物体検出を行った。



Baumer製VAX-50C.I.NVX

- NVIDIA Jetson Xavier NX基盤スマートカメラ
- 組込GPUより, CUDA/cuDNNなど利用可能
- 高速撮像: 73fps @ 2448x2048 (100 fps @ 968x540)
- 定格消費電力: 17.9W
- VAX-OS (Ubuntu基盤, 18.04 -> 20.04)

図 506　本検討で用いたスマートカメラ

各電源を用いた画像処理では約 10fps のスループットが確認された。しかし、安定化電源では特に異常がなかったものの、PoE+では高負荷状態が続くとシステムクラッシュが起こることが確認された。メーカーの協力を得ながら、撮像関連と YOLO 関連の SW 構造や HW 仕様などを参考に原因調査した結果、システムが要求する瞬時最大電流がカメラの定格消費電力仕様は満たしているものの、PoE+の仕様(<1A)より高いことが原因として特定できた。その後、PoE+でも活用可能とするカメラ OS(VAX OS 1.3.0)アップデートのメーカーサポートが得られ、改良版カメラ OS ではシステムクラッシュがなくなったことを確認できた。また、基盤 OS のバージョンアップ(Ubuntu 18.04→20.04)や CUDA/cuDNN のバージョンアップなどより、最新画像処理用ライブラリへの互換性も向上した。

③ 物標検出の性能評価

改良したスマートカメラでは十分活用可能なレベルの安定性が確認できたので、実験フィールドにおいて物標検出を行う際の性能評価を行った。評価実験では、図 507 に示すようにスマートカメラ 2 台と制御用計算機 1 台からなる評価系を構築した後、YOLOv5 による物標検出を行いて信頼度スコアと処理時間を定量評価した。昨年から検討してきたユースケースを参考にして、信号交差点における車両右折支援を想定し、対向車道上の自転車に乗った人を物標として用意した。静的シーンにおける計測精度の評価では、停止状態の物標に対するラベルの認識率と計測精度の確認を行い、動的シーンにおいては、物標移動時の位置精度とラベル認識率の確認と共に、物標追跡データの連続性を確認した（図 508)。撮像画像の解像度は 968×540 とし、撮像速度は YOLOv5 に合わせて 10fps とした。



図 507　スマートカメラを用いた実験系の概要

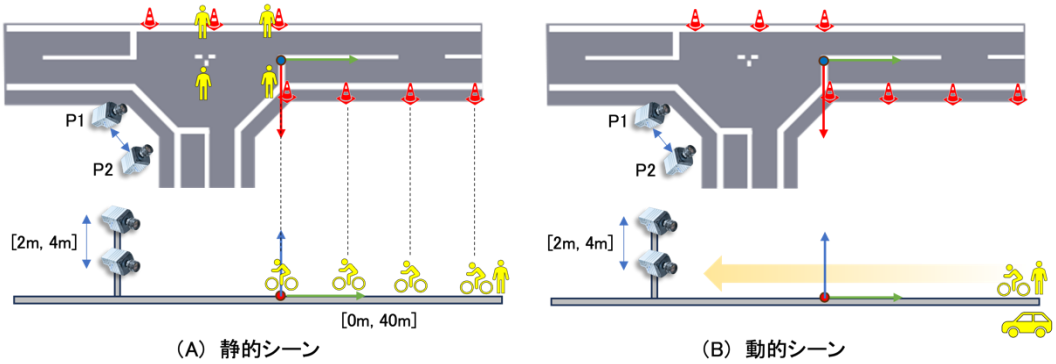


図 508　評価実験の概要

【実験結果】

対向車道上の二輪車に乗った人の検出についてカメラからの検出距離(D)と信頼度スコア(S)の評価を行った。ここでの信頼度スコアは YOLO の Confidence Score であり、次式で表現できる。

$$\Pr(Class_i|Object) * \Pr(Object) * \mathrm{IOU}_{pred}^{truth} = \Pr(Class_i) * \mathrm{IOU}_{pred}^{truth}$$

ここで、Pr は各物標と識別クラスに対する確率を、Intersection-Over-Union (IOU)は物標に対するバウンディングボックスの推定値と真値間の重畳量を表す。

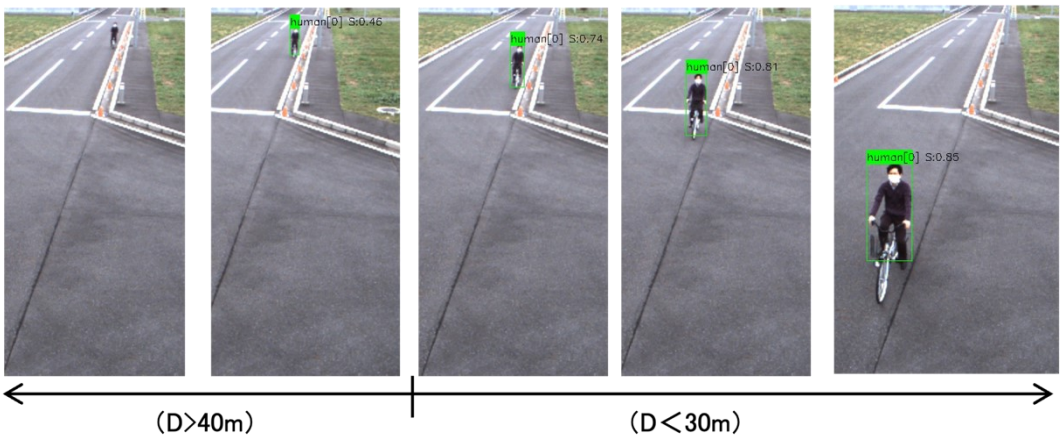


図 509　実験結果Ⅰ．検出距離と信頼度スコア

実験結果を図　509 に示す。距離 D が約 40m 以内の物標に対して検出に成功していて 30m から 40m の間では信頼度スコア S が 0.5 より小さかった。一方、距離 D<30m では S が 0.5 より大きくなり、カメラから近いほど信頼度は上昇することがわかった。一般的に検出距離と信頼度スコアは光学系の選定に大きく影響されるため、最適化が必要な部分と考えられが、今回の実験における設定でも交差点内に入ってくる物標に対して十分な検出が可能であった。

スマートカメラのリアルタイム処理性能評価において、YOLOv5 を用いてフレームごとの推論に掛かる処理時間を計測した（図　510)。各カメラにおける平均値は約 80ms(標準偏差 1.3ms)となり、インフラシステムから車両へ転送されるデータの更新レート 100ms に対して十分な処理速度であることが確認できた。

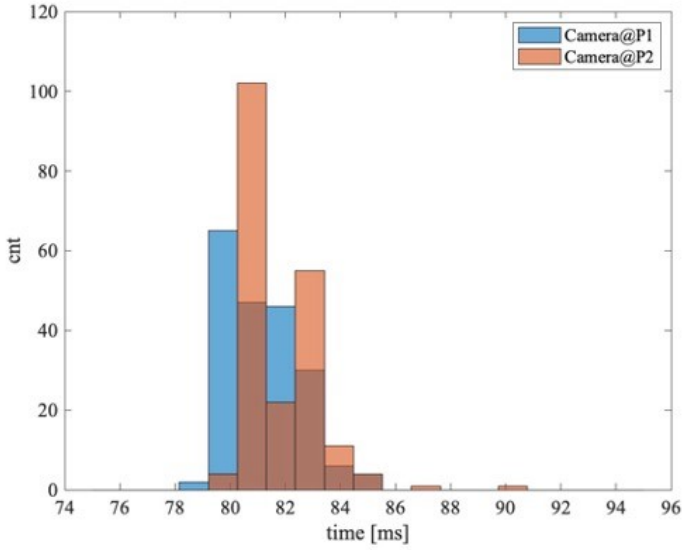


図 510　実験結果Ⅱ．YOLOv5 のリアルタイム処理期間

④ マルチモーダル評価システムとしての評価系の検討

スマートカメラを用いたマルチカメラシステム（図 511）は、その簡素化された構造やスタンドアローン動作という特徴から、長期的な観点から全国展開に向けた公道での活用が期待される。また、短期的にも実験フィールドでの評価系としての活用できる他、センサー部の最適化を効率的に行うためのツールとして機能が期待できる。実環境において直接マルチカメラの最適化を行うことは作業コストや手間がかかるだけでなく、多様な環境を検証することが難しい場合が多く、シミュレーション環境、スケールダウン環境や実験フィールド環境を活用して、各環境で得意かつ検証しやすい項目から検証していくことが最適化を行う上で効率的な進め方と言える。スマートカメラを用いたマルチカメラシステムは、各カメラにおいて撮像だけでなく、ネットワーク上のエッジ処理が可能な特徴があるため、画像入力をカメラからファイルに変更するだけで、実環境での処理と同様な処理を模擬できると考えられる。それは、公道で活用可能なレベルのスマートカメラがデータ処理に用いられ、ネットワーク上の分散型システムとして構築されるためである。

本年度はスマートカメラを用いたマルチカメラシステムを、マルチモーダル評価システムとして活用するための検討にも着手し、多様な入力に対応できるシステムの改良に取り組んだ。

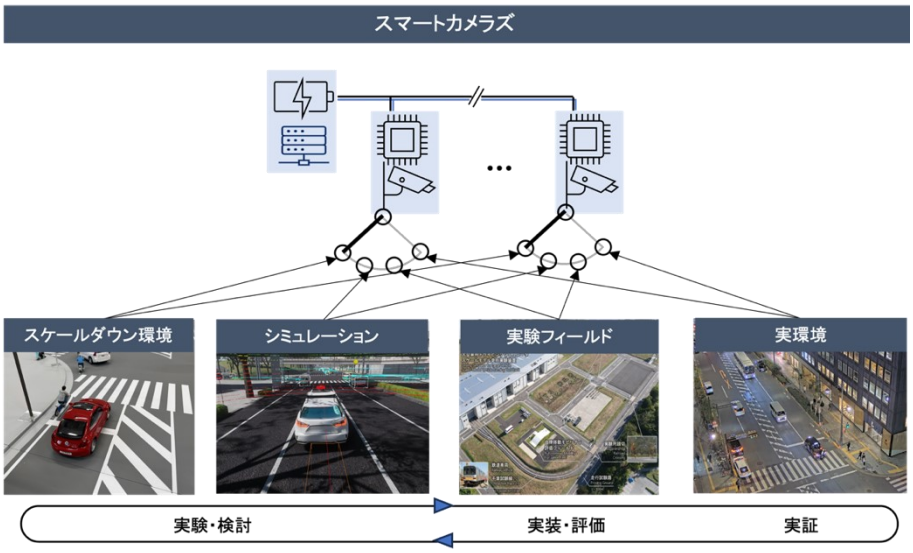


図 511　マルチモーダル評価系としての活用

iii） まとめ

オクルージョンに頑健なインフラスシステムの構築に向けて、昨年度はマルチカメラシステム導入についての基礎評価と効用性検討を行なった。本年度は、インフラセンサーの全国展開に向けた活用に注目し、カメラ台数に依存して増加する傾向があるマルチカメラシステムの導入ハードルを下げるため、維持・保守と設置・運用の効率化を目指す課題に取り組んだ。その成果として、

交通カメラの姿勢変化を高精度で自動キャリブレーションできる手法を開発すると共に、マルチカメラ設備の簡素化を可能とするスマートカメラの実用可能性を検証した。マルチカメラの活用性をさらに高めるためには、センサー配置や光学系仕様などの最適化が必要となり、既に構築したスマートカメラ基盤の評価系をマルチモーダル評価系として活用しながら、次年度以降も検討していく予定である。

(3) GNSS ロスト時の対応

GNSS ロストによる位置計測誤差の発生を防止するために、2022 年度は LiDAR および 3 次元点群地図を用いた位置推定技術を併用し、GNSS ロスト時に LiDAR による位置推定結果を使用することで位置計測の精度を維持する統合型位置推定システムを試作し評価した。本システムは GNSS ロストが明確に生じた際には有効であることが確認できたが、GNSS による計測誤差が 2m 未満のような場合や、LiDAR による位置推定側に誤りが生じた場合の対応策については未実施であった。そこで 2023 年度は、GNSS および LiDAR による位置計測結果の双方を監視し、より正確な位置計測結果を選択しながら、誤りの生じた位置計測系の自動復旧を行う機能を開発し評価する。これにより実利用時には統合型位置推定システムが自律的に位置計測の正常性を維持することが可能となる。

まず、GNSS ロストおよび LiDAR による位置推定の誤りが生じた際に、位置計測データがどのような振る舞いとなるのかについて分析する。両方式を用いて実走行環境において計測したデータを分析することで、位置推定誤り時のデータを図 512 に示す 4 タイプの挙動に分類した。各タイプの特徴について以下にまとめる。

【タイプ①】 GNSS ロスト時や反射波による影響を受けた際に、位置情報が短時間で数 m～数十 m 変動する場合がある。その際、自動運転車両の見かけ上の追従目標位置も大きき変化するので走行に大きな影響を与えるものの、発生の検出は容易であるという特徴がある。

【タイプ②】 GNSS ロストの中でも衛星数の軽微な減少に留まるような場合位置情報の誤差は数 m 以内に収まり、その状態が継続する場合がある。このタイプは大きな変動が観測されず、計測位置は移動に応じて一定の誤差範囲内で追随し続けるので、位置情報の連続値から誤差が生じていることが推定しにくいという特徴がある。

【タイプ③】 LiDAR による位置推定に誤りが生じた際に位置と姿勢の双方が不安定となり、真値から大きく外れる場合がある。このタイプは、タイプ①と同様に変動が大きく検出は容易である。

【タイプ④】 LiDAR による位置推定に誤りが生じた際に、位置や姿勢の誤りが生じた地点周辺で滞留する場合がある。このタイプは、姿勢や位置の急激な変化は生じ

ないものの、車両が走行している場合、時間とともに真値との距離が離れるという特徴がある。

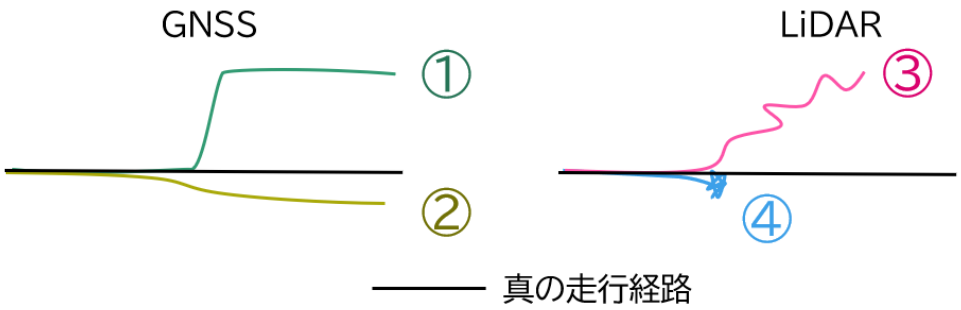


図 512　位置推定の誤り挙動

以上の分析結果から、GNSS ロストおよび LiDAR による位置推定の誤りを検出するためのシステムを設計する。本システムでは位置計測誤差を検出するために、過去 2 秒間の位置計測情報（走行軌跡）を参照し、各計測系の示す走行軌跡を車両の速度および旋回角速度から予測した走行軌跡と比較することで、位置計測の誤認を検出する。本システムの構成図を図 513 に示す。まず、GNSS 情報に関しては GNSS が出力する位置情報および RTK の測位タイプ（Fix 解/Float 解）の履歴（走行軌跡 A）を保存する。LiDAR による位置推定は NDT アルゴリズムを用いて 3 次元地図との位置合わせを行い、得られた推定位置の履歴（走行軌跡 B）を保存する。この両者の走行軌跡の正常性を評価するために、車両に搭載されているセンサー等から速度および旋回角速度の値を取得し、車両運動モデルを用いてその走行軌跡（走行軌跡 C）を推定する。

次に、走行軌跡 A および B の正常性を評価するために走行軌跡 C との比較を行う。比較をする際には、各走行軌跡の始点から終点へ向かうベクトルの方向を基準軸として、姿勢の正規化を行う。姿勢の正規化を行うことで、終端点で大きな誤差が生じている走行軌跡は、基準となる走行軌跡 C から中間点が大きく離れることとなり、誤り検出を容易にする。また、GNSS に位置推定制度の低下（Float 解）が生じた場合も誤りが生じたものとして次で説明する措置を実施する。

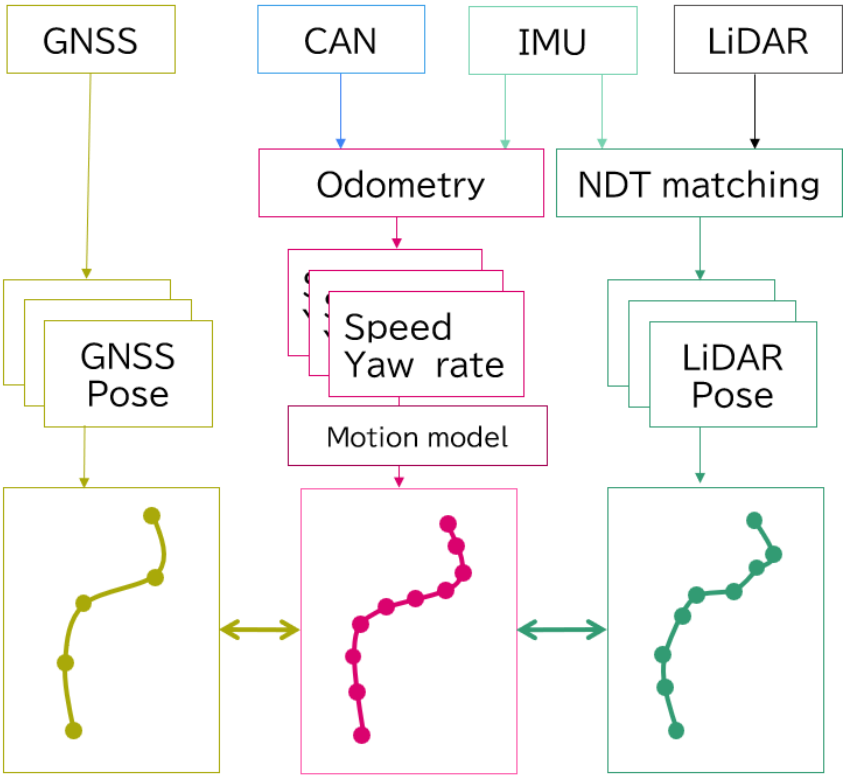


図 513　位置計測の誤り検出

次に、誤り検出時の動作について説明する。GNSS または LiDAR による位置推定のいずれかに誤りが生じた場合は、統合型位置推定システムは正常に動作している情報元からの位置をそのまま出力する。双方が正常に計測できていた場合には、あらかじめ定められた情報元からの情報を出力する。この時、GNSS ロスト等の GNSS 側の位置計測精度低下が生じた場合、GNSS には高精度な位置計測状態に自律的に復帰する機能があるので、特別な措置を必要とはしない。一方で LiDAR による位置推定アルゴリズムは初期推定位置を与えなおす必要がある。そこで、GNSS から提供される位置情報を真値として位置推定アルゴリズムの初期化を自動的に実施する設計とする。

最後に、統合型位置推定システムの評価実験について報告する。上記で報告した機能を有する統合型位置推定システムを実装し、実環境において計測した GNSS 情報および LiDAR 情報を用いて、各位置計測系に誤りが生じた際に、誤りの検出および復帰までの位置情報精度の維持が可能かどうかを評価する。評価データを作成する際には、タイプ①および②の事例は GNSS ロスト時の位置計測結果を模擬するために実測値に対して模擬的な誤差を加え、タイプ③および④の状態は LiDAR による位置推定システムのパラメータを意図的に不安定な設定に変更し、実際に誤認が生じた際の動作を再現した。図 514 に検出した位置推定の誤り例を示す。まず、タイプ①および③の事例に関しては、車速等から推定した走行経路から GNSS または LiDAR による位置推定系の出力結果が大きく乖離しているので、容易に検出することが可能であった。評価試験においては推定走行経路を 2 秒間分生成し、各位置計測系が計測した位置との距離を合計した値を判定値と

して用い、この判定値を 0.8m 以上とすることで誤り検出が可能となった。次にタイプ②の事例では、真の走行経路と GNSS の計測位置との差が少ないので、推定走行経路との比較では検出ができない場合が多く生じた。タイプ②については、GNSS の測位タイプ（Fix 解/Float 解）を用いて検出し、LiDAR による位置推定系の出力結果が正常であればその値に切り替える対策が有効である。最後に、タイプ④の事例では、走行軌跡を時間軸上で比較すると、次第に距離が離れることから、タイプ①および③の検出法と同様の方法で検出が可能であった。また、LiDAR による位置推定に誤差が生じたタイプ③およびタイプ④において、GNSS の位置計測結果を用いた位置推定系の再初期化機能を実行している。図 514 に示した例からもわかるように、位置計測に誤認が生じた後に正常な計測状態に復帰することができた。本試験により LiDAR による位置推定系に誤差が生じた際に自律的に正常な状態に復帰することが可能であることが確認できた。

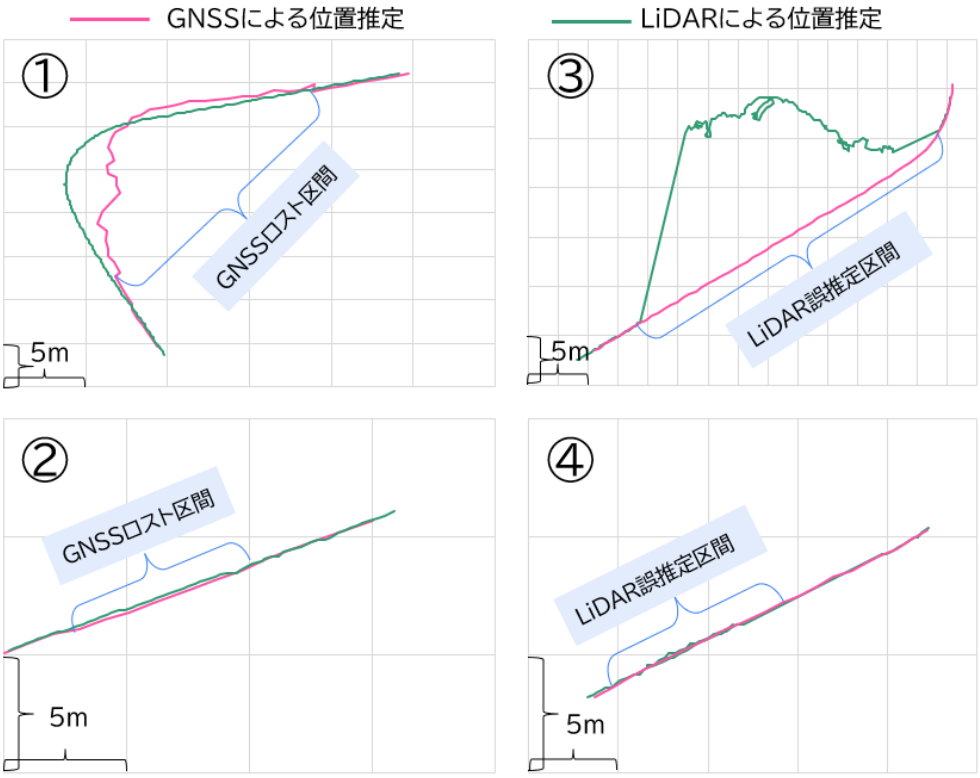


図 514　位置計測の誤りタイプ別の検出例

(4) フリースペースの直接検知手法の検討

CooL4 データ連携 PF は、自動運転システムに提供する動的情報として、現時点では、自動運転車両の周辺環境に関する情報（周辺環境情報）と、信号の現示やその変化予定に関する情報（信号情報）を扱う。車両の周辺環境情報としては、車両周辺に存在する物体（他車両や歩行者など）の位置や状態などの情報（物標情報）を伝達する必要がある。さらに、物標情報がない場所（領

域）に、物体が存在しないのか、センサーから見えていないかを判別するためにも、物標が存在しない領域（フリースペース）を伝達するか、センサーから見えている領域（または、その裏返しのセンサーから見えていない領域）を伝達する必要がある。

i） フリースペースの検知手法に関する先行研究

CooL4 の API 仕様でのフリースペースの検知方法を次の 3 つに分類している。

(a) 直接検知：

(b) 間接検知

(c) 時間補完検知：

(a)直接検知は、背景にある物が検知できたことにより、その手前に物標がないこと（フリースペースであること）を検出する方法である。道路の上方に設置されているインフラセンサーの場合、道路面が認識できれば、その上には物標が存在しないことがわかるため、フリースペースと判定することができる。(b)間接検知は、センサーの検知領域内で、オクルージョン領域でなく、物標が存在しない領域をフリースペースであると推定する方法である。(c)時間補完検知は、過去に物標がないことが検知されており、その後、その領域に入った物標（または、その領域に入ったが出ていない物標）がない場合に、その領域をフリースペースであると推定する方法である。(a)直接検知と(b)間接検知は、両方ともセンサーの検知結果を基にフリースペースを推定する手法である。(c)時間補完検知は、2 つとは異なり、過去の検知情報を利用して空間における物標の変化を考慮した手法である。センサーの検知結果をもとにフリースペースを推定する手法である(a)直接検知と(b)間接検知について先行研究の調査を行った。

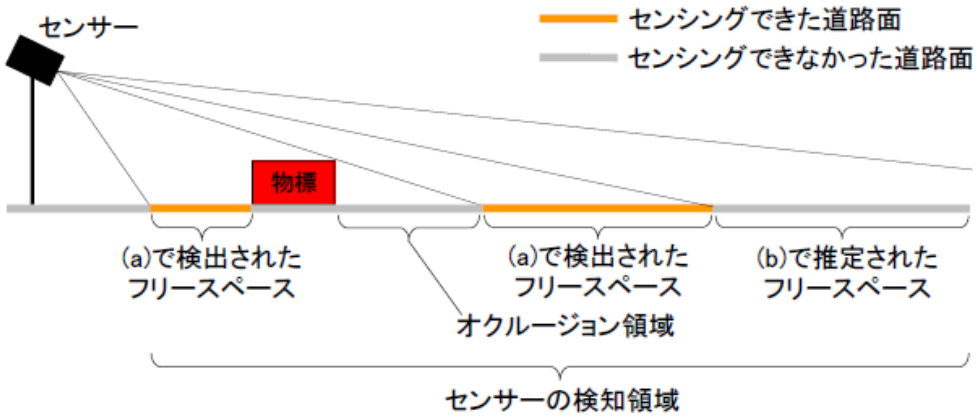


図 515　フリースペースの検知手法の概念図

(a)直接検知でのフリースペースの検知方法の先行研究では、次の 4 つの手法が提案されてい

る。

✓ 鳥瞰図を用いたCNNによる検知手法（使用センサー：LiDAR、カメラ）

点群データやカメラ画像を鳥瞰図視点の画像に変換し、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）よりフリースペースを検知する手法である。鳥瞰図視点の画像に変換することで、1つの画像に多くの空間情報が含めることができるため、物体や障害物の位置関係や配置をより包括的に捉えることが可能である。CNNはこのような複雑な特徴を学習しやすいため、フリースペースの検知に有利な手法である。一方で、多様な環境やシナリオに対して適切にフリースペースを検出するCNNモデルを作成するために大量の学習データが必要となる。

✓ 点群データの路面高さに基づく検知手法（使用センサー：LiDAR、カメラ）

LiDARやカメラから取得した点群データの路面に対する高さを利用してフリースペースを検知する手法である。点群データの路面に対する高さを求めるために、自動運転車両の自己位置推定や経路生成に使用される高精度地図や、物標が存在しない環境で記録した点群データが利用される。センサーの振動による位置や姿勢のずれ、環境の変動による影響を最小限に抑えるためにも、定期的なメンテナンスやキャリブレーションが必要となる。

✓ 点群データの幾何学的な変動に基づく検知手法（使用センサー：LiDAR、カメラ）

LiDARやカメラから取得した点群データで、大きな幾何学的変動を起こした箇所をフリースペースと運転不可領域の境界として扱い、幾何学的変動が小さい箇所をフリースペースとして検知する手法である。この手法では、大きな幾何学的変動を起こしたと判定する閾値を適切に設定する必要がある。

✓ 画像処理（セグメンテーション、テクスチャ、色）による検知手法（使用センサー：カメラ）

ディープラーニングを用いた画像セグメンテーションによる道路領域を識別してフリースペースを検知する手法や、道路と非道路領域のテクスチャの違いによりフリースペースを検知する手法、カラー画像での道路の特性を調査してフリースペースを検知する手法が提案されている。この手法でも、多様な環境やシナリオに対して適切にフリースペースを検出する深層学習モデルを作成するために大量の学習データが必要となる。

(b)間接検知でのフリースペースの検知方法では、物体のトラッキングによる検知手法が提案されている。この手法では、センサーから見えている領域において、物体のある領域以外をフリースペースとして推定するものである。センサーから見えている領域は、物体や地物によるオクルージョンが影響を与えるため、これらを考慮する必要がある。また、適切にフリースペースを検知するためには、物体の未検知がないことが前提である。

ii） 協調型路側機のフリースペースの直接検知手法について

直接検知でのフリースペースの検知方法の先行研究において、鳥瞰図を用いた CNN による検知手法、および、画像処理（セグメンテーション、テクスチャ、色）による検知手法（カメラ）については、公道に協調型路側機を設置し始めた段階では多様な環境やシナリオでの学習データが用意できていないため検討の対象外とする。点群データの幾何学的な変動に基づく検知手法では、例えば地物や樹木などの物体の一部が道路面にかかり、フリースペースと運転不可領域の境界が曖昧に変化する箇所では誤検知が発生する可能性がある。点群データの路面高さに基づく検知手法では、点群データの路面に対する高さを求めるために、自動運転車両の自己位置推定や経路生成に使用される高精度地図や、物標が存在しない環境で記録した点群データが必要であるが、協調型路側機が設置される箇所は自動運転車両が走行するため、自動運転車両が使用する高精度地図を利用することができる。そのため、様々な環境やシナリオに対して比較的容易に実装できると考えられる。一方で、センサーの位置や姿勢のずれ、環境の変動の影響により誤情報を出力する可能性があるため、定期的なメンテナンスやキャリブレーションが必要であることが課題である。

iii） 点群データの路面高さに基づく検知手法の精度評価

点群データの路面高さに基づく検知手法で作成されたフリースペースの精度を評価するために、アプリケーションの開発と実機での動作確認を行った。図 516 に開発したアプリケーションの概要図を示す。

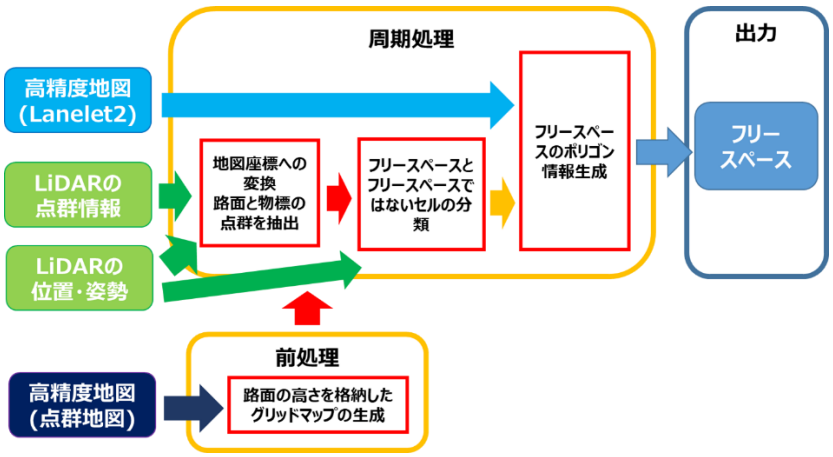


図 516　路面高さに基づくフリースペースの検知手法の概要図

まず前処理として、LiDAR のセンサー検出範囲を格子状に区切ったグリッドマップを作成する。グリッドマップの各セルには、高精度地図の点群地図に基づいて路面の高さの情報を格納してお

く。LiDAR が出力した点群情報を、LiDAR の高精度地図上での位置・姿勢に基づいて地図座標への変換を行う。そして、次の 3 つの分類基準に基づいて、地図座標に変換した LiDAR の点群データから物標と路面の点群を抽出する。

- 物標の点群：セルに格納された路面の高さよりも 20cm 以上高い位置にある点群データ
- 路面の点群：セルに格納された路面の高さよりも 20cm より低い位置にある点群データ

分類した路面と物標の点群データと LiDAR の位置・姿勢に基づいて、グリッドマップの各セルを「フリースペースのセル」と「フリースペースではないセル」に分類する。それぞれ次の手順で行う。

- フリースペースのセルの分類方法：物標の点群データがなく、路面の点群データのみがあるセルを「フリースペースのセル」と分類する。そして、図 517 のように LiDAR の設置位置からフリースペースのセルを通過する直線を伸ばす。そして、その直線上でフリースペースのセルから路面や物標の点群データが存在するセルの間にある未分類のセルを「フリースペースのセル」と分類する。
- フリースペースではないセルの分類方法：物標の点群データがあるセルを「フリースペースではないセル」と分類する。そして、図 518 のように LiDAR の設置位置からフリースペースではないセルを通過する直線を伸ばす。そして、その直線上でフリースペースではないセルから路面や物標の点群データが存在するセルの間にある未分類のセルを「フリースペースではないセル」と分類する。

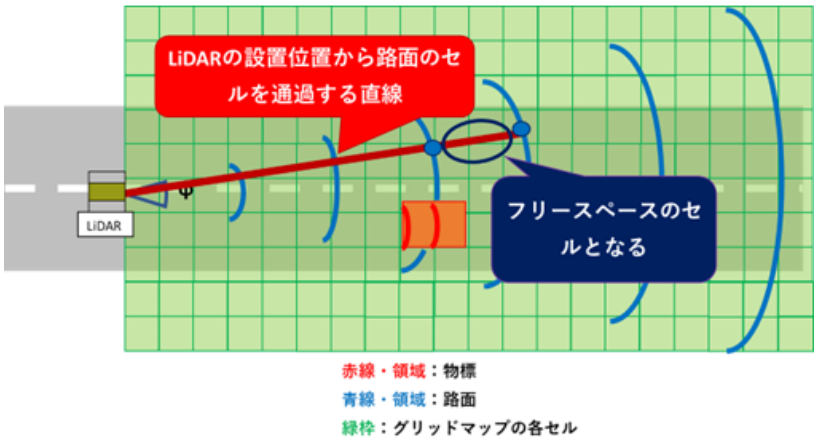


図 517　「フリースペースのセル」の分類方法のイメージ図

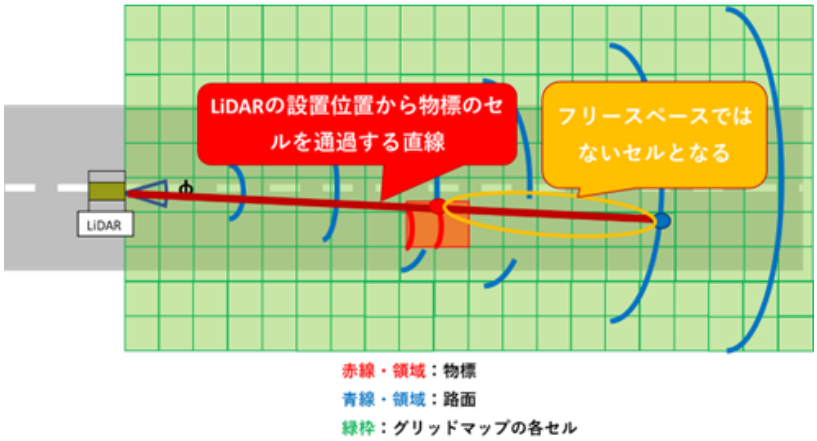


図 518　「フリースペースではないセル」の分類方法のイメージ図

「フリースペースのセル」と「フリースペースではないセル」の分類結果に基づいて、フリースペースのポリゴン情報を生成する。まず、図 519 のように、高精度地図である lanelet2 の車線を進行方向に 1m 間隔で分割する。次に、各区間内で車線上にある「フリースペースのセル」をグリッドマップから抽出する。そして、のように進行方向と中央線方向の両方に「フリースペースのセル」があるセルを抽出し、フリースペースの矩形情報として算出する。各区間で生成したフリースペースの矩形情報を統合し、フリースペースのポリゴン情報として出力する。この際、本アプリケーションではポリゴン情報を表す頂点の数を最大 16 点に制限しているため、制限を超えないように矩形情報の数を調整して統合する。図 521 は、公道に設置した協調型路側機のセンサーで記録した点群データを利用して、本アプリケーションで出力した車線上のフリースペースを可視化したものであり、車線ごとにフリースペースの情報を出力することができている。

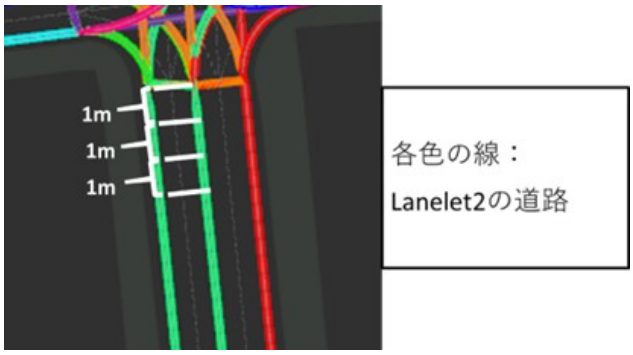


図 519 lanelet2 の車線の分割イメージ

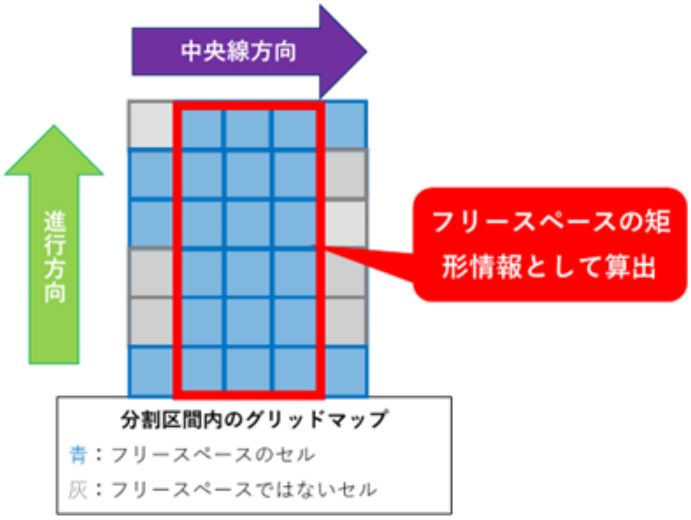


図 520　フリースペースの矩形情報の算出方法

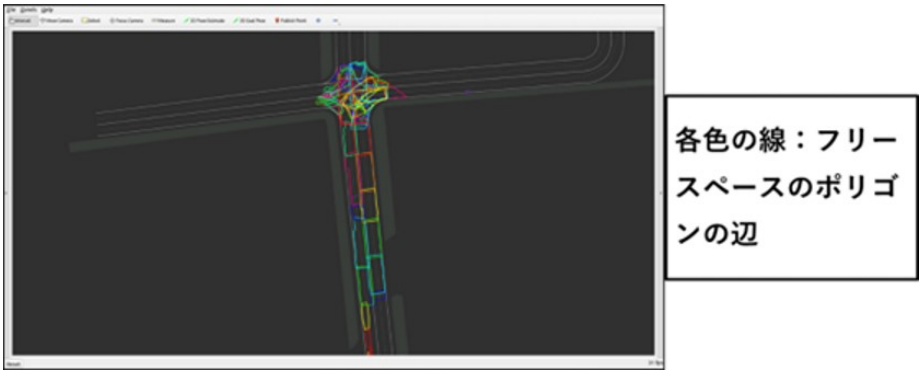


図 521　フリースペースの出力結果

同志社大学構内に設置している LiDAR で 2023 年 2 月 6 日に記録した点群情報を使用して本アプリケーションの精度評価を行った。評価に使用した点群情報の一例を図 522 に示す。アプリケーションの前処理で作成したグリッドマップを使用し、フリースペースのポリゴンとして選択されたセルを「フリースペースのセル」、それ以外を「フリースペースではないセル」として、正解データと比較した。正解データは、点群データで物標が存在する場所にアノテーションを行い作成した。具体的には、アプリケーションの前処理で作成したグリッドマップで、アノテーションしたデータが存在するセルを「フリースペースではないセル」とし、アノテーションしたデータが存在しないセルを「フリースペースのセル」として各セルに格納した。入力データと正解データが比較可能なシーン数は 1474 個であった。

評価方法として、適合率・再現率の 2 通りで評価した。適合率は本アプリケーションが出力したセルの内、正解データのセルの判定結果と一致した割合を示しており、0 に近いほど誤検知が発生しやすいセルであり、1 に近いほど誤検知が発生しにくいセルである。再現率は正解データのセルの内、本アプリケーションが出力したセルの判定結果と一致した割合を示しており、0

に近いセルは未検知が発生しやすいセルであり、1 に近いセルは未検知が発生しにくいセルである。図 523 に適合率と再現率のヒートマップを示す。適合率のヒートマップでは、LiDAR の検出範囲内では適合率が 1 に近い値であり、誤検知が少なかったことがわかる。また、再現率のヒートマップでは、一部再現率が低い箇所がある。これはオクルージョンが発生し、LiDAR のレーザー光が届かなかった場所である。また、LiDAR の検出範囲の端では見落としが多くなっている箇所がある。これはフリースペースの矩形情報を算出する際にポリゴンを構成するセルとして選択されなかったことが原因である。引き続き、本アプリケーションを様々な環境で稼働し、フリースペースの検出精度やフリースペースの有用性を評価していく予定である。また、オクルージョンや矩形情報の作成時に発生する未検知の問題についても対策を検討する予定である。

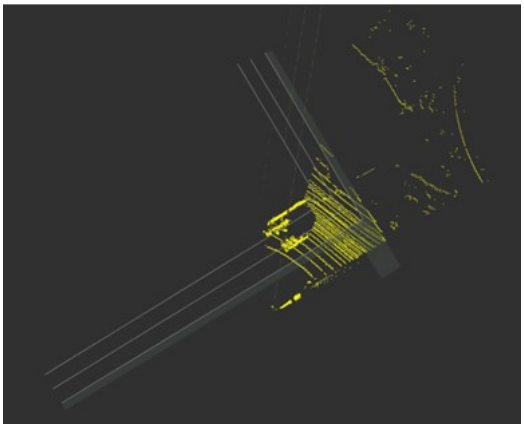


図 522　評価に使用した点群データの一例

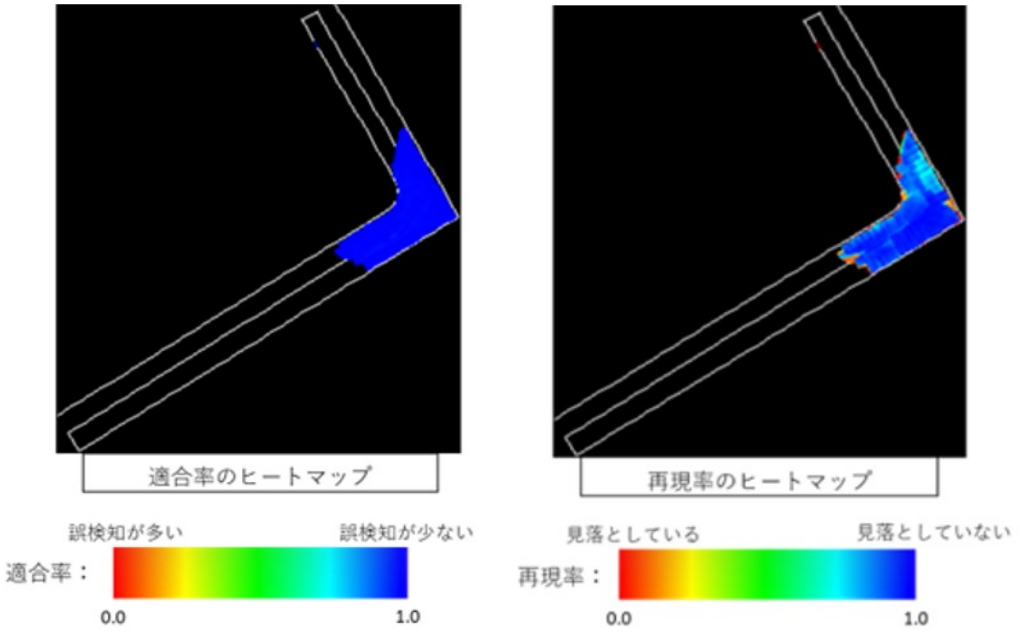


図 523　再現率・適合率のヒートマップ

(5) センサーフュージョンアルゴリズムの改良による検知率の向上の検討

センサーフュージョンアルゴリズムの改良による検知率の向上の検討を行うために、まずは公道に設置した協調型路側機に昨年度開発したセンサーフュージョンアプリケーションを実装して検出精度の評価を行った。評価を行った交差点は図 524 で信号のない交差点である。赤丸の箇所に協調型路側機が設置されている。図 524 の道路は南北に横断しており、RSU1 は交差点の北側、RSU2 は交差点の南側に設置されている。図 525 に、各 RSU の LiDAR から得られる点群データを周辺の点群地図に重畳し可視化したものを示す。交差点の領域に RSU1 由来の点群（橙色）と RSU2 由来の点群（緑色）が交差していることが確認できる。実験に用いた車両を図 526 に示す。車両の天井部には LiDAR と GNSS 受信機を設置している。LiDAR には Velodyne HDL-64(Velodyne lidar)、GNSS には ichimill LC01(Softbank)を使用している。車両の自己位置は、車両天井部の LiDAR から得られた点群データを点群地図に対してマッチングさせることで取得した。マッチング手法として Autoware に実装されている ndt-scan-matcher を用いている。このとき、GNSS の測位情報を補助的に使用している。車両自己位置推定結果の取得を RSU の観測領域が重複している領域で行うことで、各 RSU で観測した物標情報およびフュージョン後の物標情報を同時に取得した。得られた観測位置と推定した自己位置を時刻で対応付けを行い、ユークリッド距離を求め、中央値や RSME を計算した。これらの統計値がフュージョンによりどのように変化するかを評価した。

図 524　評価実験を行った交差点と設置している協調型路側機

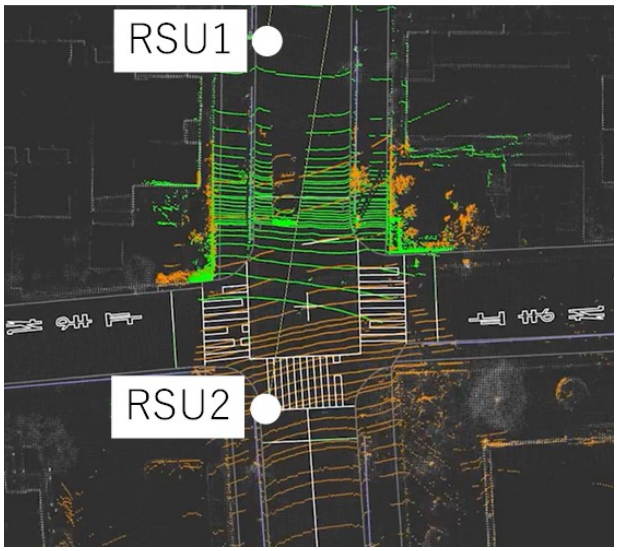


図 525　各 RSU の LiDAR から得られる点群データ



図 526　評価に使用した実験車両

位置誤差分布を図 527 に、統計量を表 169 に示す。図 527 の縦軸は正規化された頻度、横軸は位置誤差である。フュージョン後の位置誤差分布のモードは、フュージョン前である RSU1、RSU2 のものよりも小さくなることが確認できる。中央値については RSU1 に対して 80.9%改善し、RSU2 に対しては 64.5%改善した結果が得られた。フュージョン後の位置に関する RMSE については RSU1 に対して 44.8%改善し、RSU2 に対しては 37.5%改善された。しかし、表 169 の RMSE 行を見るとフュージョンされた物標位置誤差の RMSE は 1.8m であり、これは普通自動車の全幅を超える結果となっている。この結果は、現状のシステムは普通自動車 1 台分横にずれた認識結果を出力してしまう可能性があることを示している。

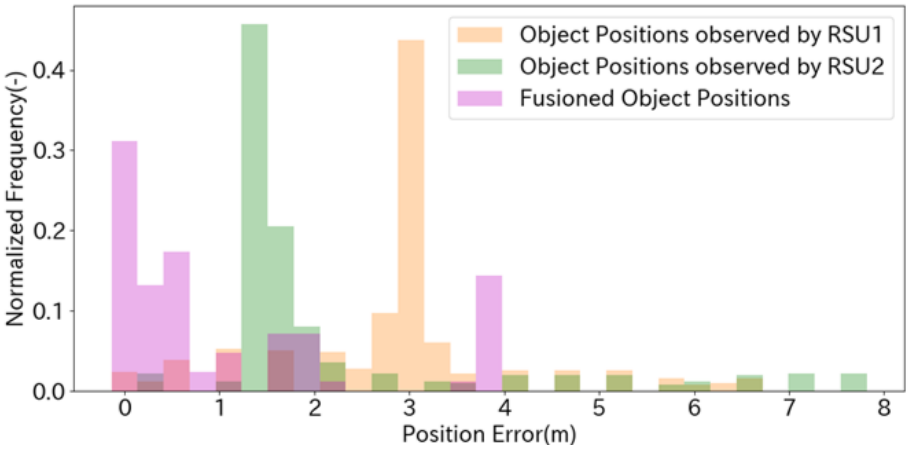


図 527　位置誤差分布の評価結果

表 169　位置誤差分布の統計値

	RSU1	RSU2	データフュージョン結果
出力データ数	40	48	17
中央値	3.08 m	1.65 m	0.588 m
RMSE	3.26 m	2.88 m	1.80 m

図 527 を見ると、横軸 Position Error の値が 2 付近および 4 付近に、RSU1 や RSU2 のものと比較すると大きい頻度を持つフュージョン後の位置誤差分布が確認できる。大きな要因としては、RSU に組み込まれている物標認識システムの振る舞いによるものを考えている。物標認識システムは、物標のトラッキングが途切れると、その時の位置情報はそのままに、含まれる時刻情報を更新しながら数秒間発行し続ける。つまり、物標が停止し続けているような情報が発行される。この情報がフュージョンソフトウエアに入力されるとその影響を受け、車両の自己位置から外れていく。図 528 に南北方向に関する物標位置の時間変化を示す。縦軸は平面直角座標 7 系の南北方向の座標値、横軸は計測開始から経過した秒数である。RSU1 で観測した物標位置の更新は、車両が観測範囲外に出たため横軸 Time の値が 2.4 の時点で止まっている。この時間以降、フュージョンソフトウエアが出力する南北方向に関する物標位置の時間に対する増加量が、車両自己位置に対して鈍化していることが確認できる。その結果、位置誤差が増加したと考えられる。物標のトラッキングが途切れた場合に、途切れる直前の物標情報を発行し続ける仕様は、物標の存在を車両へ知らせ続けることで、より安全な意思決定を車両で行ってもらうことを意図したものであった。この評価結果から、この仕様はフュージョンソフトウエアが発行する物標位置精度に悪影響を与えることがわかった。安全性を損なうことなく位置精度を確保するため、物標認識システムの仕様を見直す必要がある。

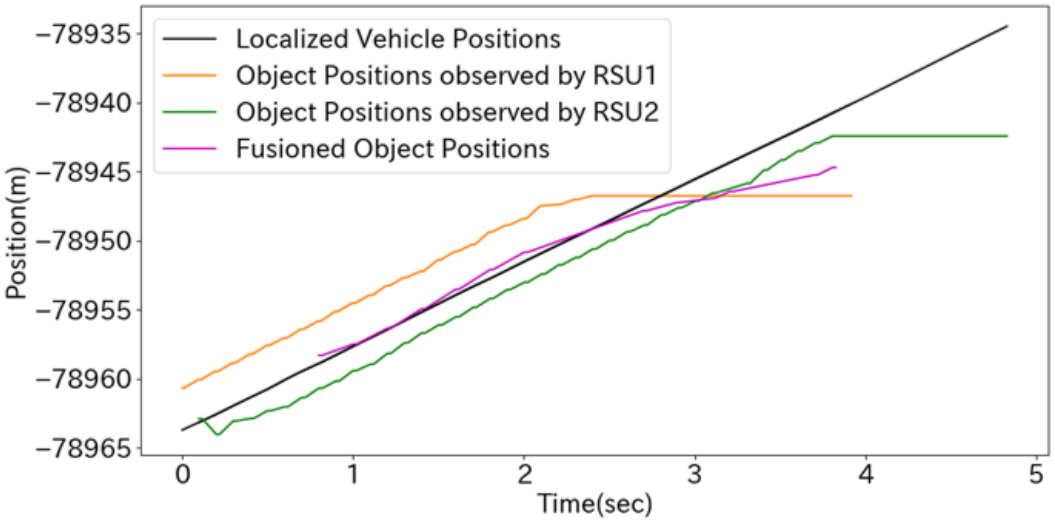


図 528　南北方向に関する物標位置の時間変化

i)　センサーフュージョンアルゴリズムの改良による検知率の向上について

センサーフュージョンによる検知率の効果については、表 169 の Data Num 行を見ると、フュージョンソフトウエアが出力するデータ数は、それぞれの RSU に対して半分以下と少ない傾向がある。RSU から出力された物標情報を適切に同定できていないことが挙げられる。要因としては RSU 同士の時刻同期の精度によるものが挙げられる。フュージョン部の前処理であるアソシエーション部において、それぞれの RSU から得た物標情報に含まれる時刻を用いたマッチングが行われる。それぞれの RSU のシステム時刻がずれている場合、グルーピングされない可能性がある。現在 NTP(Network Time Protocol)サーバーから得られる時刻を用いて、それぞれの RSU のシステム時刻の修正を行っているが、より精度を高めるため、GNSS(Global Navigation Satellite System)受信器を導入し、GNSS 測位情報に含まれる時刻を、GNSS 受信器から発信される PPS(Pulse Per Second)で補正してシステム時刻に使用することを考えている。またアソシエーション部の処理方法についても改良を検討している。具体的には、マルチフレームでの物標情報の同定を考えている。現在は単一のフレームで RSU から出力された物標情報を用いて同定を行っているが、マルチフレームで同定を行うことで、より広範なパターンを検出することができると考えられる。これにより、単一のフレームでは見えなかった関連性を検出することができ、物標情報の同定の精度を高めることができ、検知率の向上が見込めると考えられる。

(6) 歩行者や自転車の認識性能向上技術の検討

歩行者や自転車の認識性能向上技術の検討を行うために、協調型路側機の歩行者と二輪車の識別精度の評価を行った。計測時に使用したセンサーユニットは図 529 の通りであり、表 170 にはセンサーユニットに搭載された機器を示す。このセンサーユニットは、RTK-GNSS と 9DoF 方位/慣性計測モジュールから時刻、位置、加速度、角速度、向きを取得し、計算機で自己物標情報を

生成して記録する。このセンサーユニットが入ったリュックサックを背負って図 530 の経路を移動し、記録された自己物標情報と協調型路側機が出力した物標情報とのアソシエーションを行い、協調型路側機が歩行者や二輪車を正しく識別できているかを評価した。実験に使用した二輪車は図 531 に示す通りであり、検知対象は中型自動二輪車、原付、自転車、歩行者の 4 種類である。比較対象は、図 530 の交差点に設置されている RSU1 と RSU2 に搭載された A～D 社の物標認識システムである。

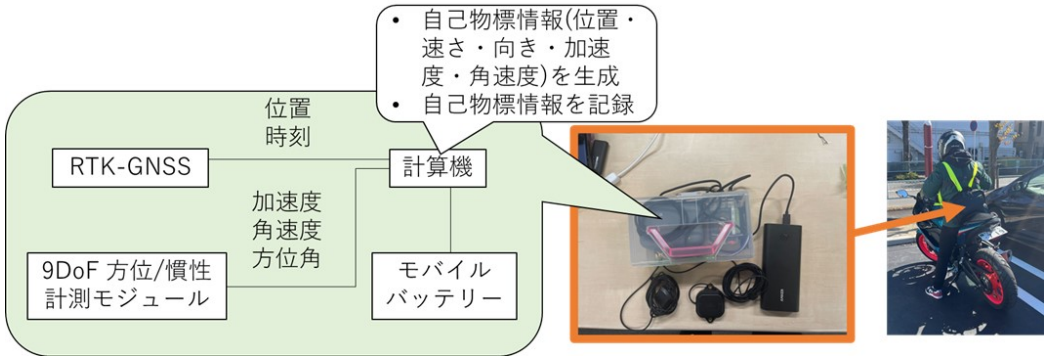


図 529　計測に使用したセンサーユニット

表 170　センサーユニットに搭載された機器

機器	製品名
計算機	Raspberry Pi 4 Model B 8GB （ラズベリーパイ財団）
RTK-GNSS	LC01（ソフトバンク株式会社）
9DoF 方位/慣性計測モジュール	BNO055 使用 9 軸センサーフュージョンモジュールキット （株式会社秋月電子通商）

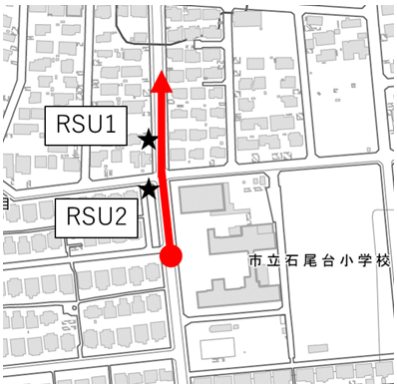


図 530　移動経路



図 531　実験に使用した二輪車

評価結果を表 171 に示す。各社の物標認識システムは CooL4 データ連携 PF API 仕様（案）version 0.7.0 に準拠した物標情報を出力している。この API 仕様では、物標種別を物標の分類（車両、人、動物、その他の物標）と分類毎の種別情報で構成されている。表 171 では、各社が出力した物標種別について、物標の分類(分類毎の種別情報)として表記している。なお、検知対象毎の物標種別の正しい出力結果は表 172 に示す。各社とも中型自動二輪車・原付を検知して出力した物標情報について、物標の分類を正しく識別できているものの、種別情報までは正しく識別できていないことが分かった。また人（自転車）と誤検知される場合もあった。原付については、人（歩行者）として誤検知される場合もあった。自転車を検知して出力した物標情報については、物標の分類と種別情報を正しく識別できていたが、人（歩行者）として誤検知される場合もあった。一方で、歩行者については、A 社と B 社は物標の分類と種別情報ともに正しく識別できていた。

表 171　各社が出力した物標の識別結果

メーカー	中型自動二輪車	原付	自転車	歩行者
A 社	車両（乗用車） 人（自転車）	車両（乗用車） 人（歩行者） 人（自転車）	人（歩行者） 人（自転車）	人（歩行者）
B 社	車両（乗用車） 人（自転車）	車両（乗用車） 人（歩行者） 人（自転車）	車両（乗用車） 人（歩行者） 人（自転車）	人（歩行者）
C 社	車両（不明）	車両（不明）	車両（不明）	＜検知対象外＞
D 社	車両（不明） 車両（乗用車） その他の物標（不明）	車両（不明） 歩行者（不明） 不明（不明）	車両（不明） 歩行者（不明） 不明（不明）	車両（不明） 歩行者（不明） 不明（不明）

表 172　物標種別の正しい出力結果

中型自動二輪車	原付	自転車	歩行者
車両（二輪車）	車両（原付）	人（自転車）	人（歩行者）

中型自動二輪車は人（歩行者）として誤識別されることはなかったが、一方で、中型自動二輪車よりも長さや幅が小さい原付や自転車については、人（歩行者）と誤って識別されることが分かった。この原因は、物体の大きさや形状の類似性が影響している可能性がある。このような誤検知を減らし、歩行者や自転車の認識性能を向上させるためには、より詳細に歩行者や自転車の特徴量を抽出する方法や、複数の視点からのデータを統合して物体を正確に識別する方法を検討する必要がある。

■ 今年度の成果物

- ODD 拡大・全国展開に向けた課題の解決方法検討
  - 混在度の高い空間への対応として、俯瞰カメラを利用した協調型路側センサーシステムの構築
  - オクルージョンへの対応として、マルチカメラシステムの自動キャリブレーション手法開発とスマートカメラ活用検討
  - GNSS ロスト時の対応として、統合型位置推定システムの実装および評価環境の構築

■ 次年度以降の実施事項

- ODD 拡大・全国展開に向けた課題の解決方法検討
  - 混在空間に対する協調型路側センサーシステムについて、各交通参加者の行動データに基づいたパラメータ調整と精度向上
  - マルチカメラシステムについて、自動キャリブレーション手法の高度化と、センサー配置や光学系の最適化検討
  - 統合型位置推定システムについて、実路走行中のリアルタイム動作試験による性能評価

第3章　協調型自動運転移動サービスの国際・国内連携

3-1.　欧米での協調型システムの開発・導入状況の分析

＜この項目での実施事項＞

I.　公開情報を通じた動向調査

II.　国際会議を通じた情報収集・情報発信

III.　欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催

＜この項目での今年度の成果まとめ＞

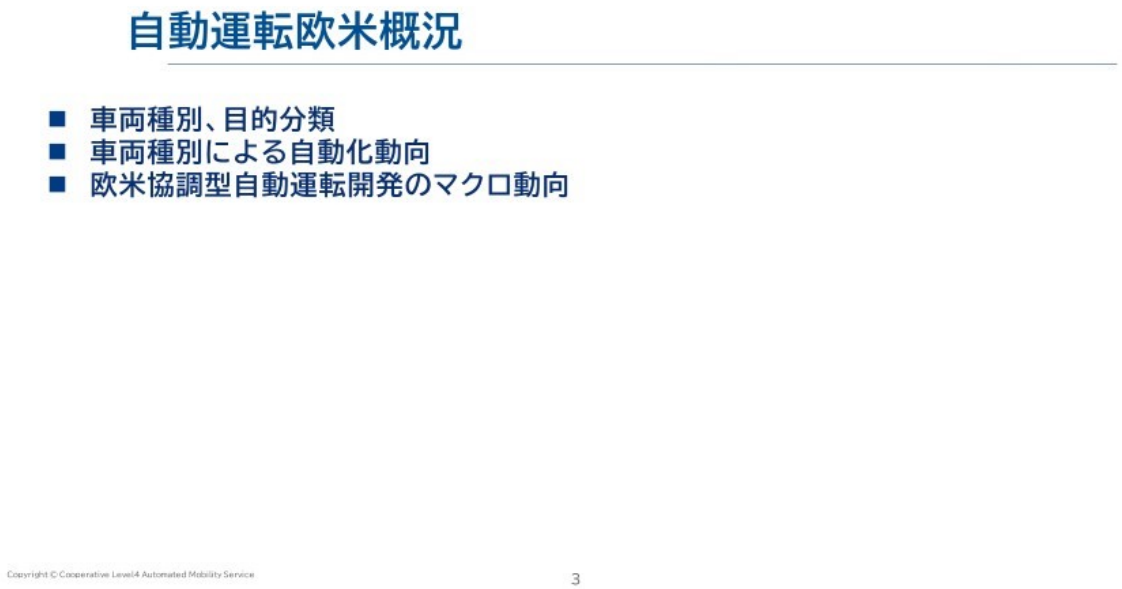
- 海外出張を通じた現地調査での情報収集、専門家とのコネクション形成
- 欧州自動運転プロジェクト（ULTIMO）との関係性構築
- 国内・海外双方の公開情報収集

■ 実施事項と実施方法

1)　公開情報を通じた動向調査

公開情報を活用し、産・官・学によるレベル 4 自動運転サービスに関する欧米の取組内容の動向調査を行った。

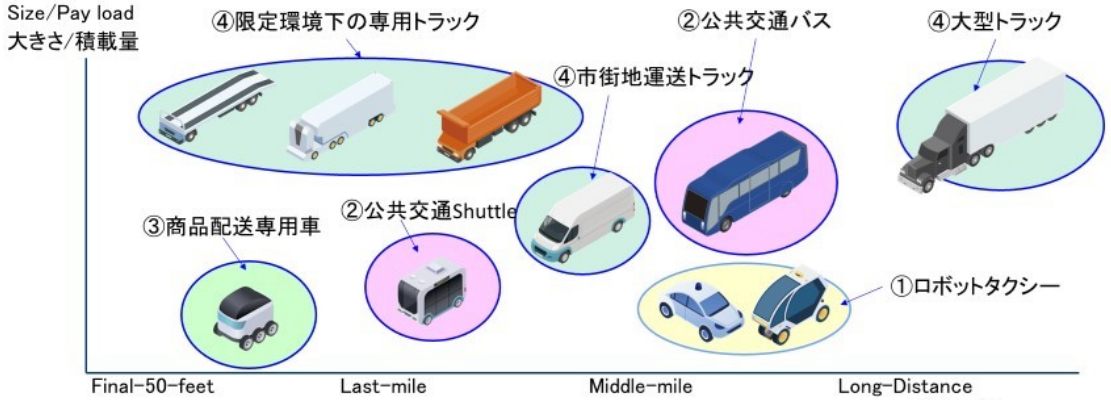
(1) 海外情報調査関連



自動運転開発のマクロ動向

■ 大別すると4形態での進化が進む（下図①～④）

- トラックの自動化が先行
- 技術的に先行するRobotaxiは社会受容性がカギ
- バスの自動化は、製造会社の増加により加速傾向



Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

車両種別による自動化動向

■ 車両種別、目的別2023年の動向概要　➡:進化状況

限定環境下の自動運転車両 ➡
☞炭鉱、港湾、農地等の限定地域
- 運転席を備えないトラックの活用など、限定空間の利点を活用した実証実験が進む
- 遠隔監視、遠隔操作を含めた作業地専門業者による活用が進む
- 作業専用車への拡大、農耕作業への展開が拡大
- 軍事利用のプロジェクト、軍事環境実験場展開等新たな取り組みが見られた

商品配送専用車 ➡
☞小型配送専用ロボット
- 大学キャンパス等の限定地域での実装事例が報告されている
- 遠隔監視などの技術との組み合わせによる実証実験開始が報告されているが、ビジネスの成立性に対して今後の展開が注目される



革新型自動運転車両 ➡
☞コントロール系を装備しない型式が存在しない車両
- 専門運転手不要の自動運転車両の実現には期待が高く、課題の整理、解決への取り組みが進む

〈米国〉
- Cruiseの事故により同社Origin計画量産は凍結、政府への製造許可交渉も停止となり、米国製は停滞

〈欧州〉
- NAVYA, EZ10に次ぐ新型車両が出現開始
- 2030年に大規模実証実験展開のロードマップに従う開発計画のため、急展開は認められない

自動運転大型トラック ➡
☞単独長距離自動運転トラック
- 商用化準備完了の宣言出され、米国テキサスの規制緩和地域で実装が近い
- 北米運転者組合からは反対声明発行
- 欧州でHorizon Europe傘下で走行路を限定したトラック輸送の自動化目的とした「MODI」プロジェクト開始

既存車両流用型自動運転車両 ➡
☞ロボタクシー
- 米国は厳しい環境に直面
- 10月の事故により,Cruise社のサービス/実証実験が全米から撤退
- Waymo他はサービス/実証実験が進むが、Cruiseの事故から、実装される地域からの厳しい対応に直面
- 安全性の証明、地域政府を含めた道路管理者、利用者の理解、利用者の受容など今後の動向が注目される
- 欧州では、公共交通の自動化開発が中心なため、米国の影響を受けた目立った動向は認められない

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

自動運転開発のマクロ動向

■ 米国：自動運転車両と他の道路利用者との共存や実装地域での社会受容性が課題
■ 欧州：利用者本位の自動運転サービス実用化に向けた展開が拡大

Key word	米国	欧州
自動運転の表現	•CAV：Connected Automated Vehicle •CAD：Connected Automated Driving	•CCAM：Connected, Cooperative Automated Mobility 繋がり連携する自動運転として総合戦略に定義
達成目標	•具体的ロードマップ無	•2030年に欧州域30の地域でCCAM技術の大規模実証実験実施
国家戦略、資金援助プログラム	•多くのプロジェクトは民間主導 •公共移動サービス：FTA •インフラの準備：FHWA	•欧州委員会（EC）が推進役となりHorizon Europe他資金援助を伴う研究開発を推進 •官民連携CCAM Partnershipを構成し研究開発を支援
現在の取り組み	•Robotaxi, 物流Truckの自動化：民間主導 •SFでRobotaxiの24時間営業がスタート •実証実験/サービス実装の主舞台SFでRobotaxi実用化に賛否の議論拡大 •Bus/公共交通サービス：FTA、FMCSA	•環境対応を含め、共用モビリティ(Shuttle/Bus), 物流の自動化を促進 •大規模実証プロジェクト“SHOW”に続き、15台規模自動運転車両活用によるサービスの実用化目指す“ULTIMO”プロジェクト開始
顕在化した課題	•Level 4実現の予想外の難しさに直面 •Robotaxi：事業性、大都市での他の道路利用者との共存	•Level 4実現の予想外の難しさに直面 •運賃収入のみでは成立しない共用Shuttle/Busの事業性、利用者本位のサービス提供への課題解決
法律、規制	•州毎に対応異なり、連邦としての取り組み無い	•規制の破壊的革新、欧州域での調和前提

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

(2) 国内動向関連調査

概要

■ 国内動向調査

【狙い】：Level 4移動、物流に関する関係業界、組織の情報を収集
- CooL4プロジェクト開発のベンチマークとして活用
- 連携の可能性を模索

【対象領域】
- 政府施策（省庁、地域活動）
- 業界動向
- 各地での実証実験

【調査内容】
下記分類毎のLevel 4走行実現の為の技術（車両側、インフラ側）、法制度、受容性、住民協力等を調査
①移動サービス
②物流サービス

【調査方法】
- 各種関係セミナー・シンポジウムの聴講及び公開情報による情報調査
- 実証実験の現地現物調査（実証実験実施内容、搭載技術等に応じ調査対象を選定）
- ①車載技術、②物理インフラ、③デジタルインフラ、④法制度、⑤社会受容性、⑥実証実験で整理

【調査メンバー】
ITS Japan 自動運転研究会メンバー

①車載技術
- 次世代LiDAR技術を活用し、交差点事故を回避する技術(日産)
- 後のせ自動運転システムと高精度単独測位システム(東海クラリオン、ATI、JAXA)

②物理インフラ（目に見えるもの）
- 継続調査中

③デジタルインフラ
- 継続調査中

④法制度
- 継続調査中

⑤社会受容性
- ISO 39003 自動運転車の安全に関する倫理的考慮事項に関するガイダンス
- ヒューマン・マシン・インターフェースの公道実証実験

車載技術 物理インフラ デジタルインフラ 法制度 社会受容性 実証実験

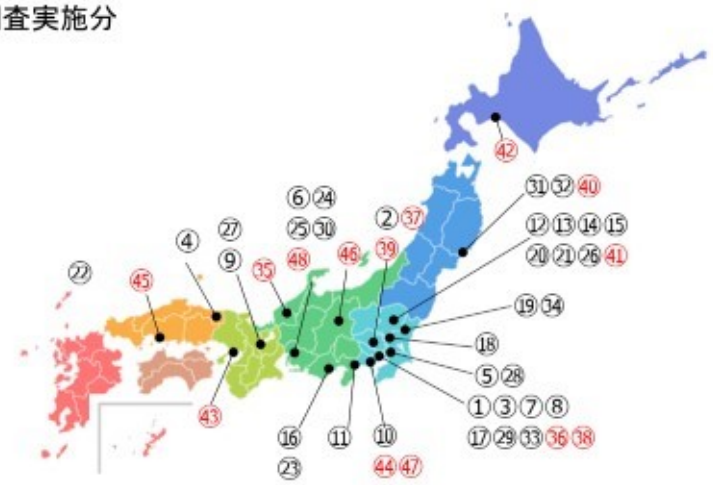
⑥実証実験

車載技術 物理インフラ デジタルインフラ 法制度 社会受容性 実証実験

⑥実証実験

2021年以降調査実施分

※赤字は今年度調査分



車載技術 | 物理インフラ | デジタルインフラ | 法制度 | 社会受容性 | 実証実験

⑥実証実験

*インフラ連携：インフラからの情報を使って、システムが制御している⇒有、ドライバーが操作⇒無

	場所	インフラ連携*
1	羽田空港周辺の一般公道	無
2	埼玉県深谷市	有
3	東京都西新宿	無
4	鳥取県鳥取市	不明
5	千葉県柏市	有
6	愛知県長久手市愛・地球博記念公園	不明
7	東京臨海副都心・お台場	無
8	東京都千代田区丸の内仲通り	無
9	滋賀県大津市	有
10	横浜みなとみらい地区	無
11	新東名高速道路建設中の一部区間	有
12	栃木県茂木町	無
13	栃木県小山市	有
14	栃木県壬生町	無
15	栃木県那須塩原市	不明
16	しずおか自動運転ShowCASEプロジェクト	無
17	SIP東京臨海部実証実験	有
18	茨城県境町	無

	場所	インフラ連携*
19	JARI城里テストセンター内ADAS試験場	-
20	栃木県那須塩原市	無
21	栃木県那須町	無
22	長崎県対馬市	無
23	静岡県掛川市	無
24	愛知県	-
25	愛知県常滑市	無
26	栃木県宇都宮市	有
27	滋賀県大津市	有
28	千葉県千葉市幕張	無
29	東京都西新宿	有
30	愛知県日進市	無
31	宮城県気仙沼市	有
32	岩手県陸前高田市	無
33	東京都臨海副都心	無
34	ひたちBRT	無
35	福井県永平寺町	無
36	東京都臨海副都心	無

※赤字は今年度調査分

車載技術 | 物理インフラ | デジタルインフラ | 法制度 | 社会受容性 | 実証実験

⑥実証実験

*インフラ連携：インフラからの情報を使って、
システムが制御している⇒有、ドライバーが操作⇒無

	場所	インフラ連携*
37	埼玉県飯能市	無
38	東京都西新宿地区	有
39	埼玉県和光市	無
40	岩手県陸前高田市	無
41	栃木県日光市	無
42	北海道苫小牧市	無
43	兵庫県神戸市須磨地区	無
44	神奈川県川崎市	無
45	広島県東広島市	無
46	長野県塩尻市	有
47	神奈川県平塚市	無
48	愛知県	-
49		
50		
51		
52		
53		
54		

	場所	インフラ連携*
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
71		
72		
73		
74		

※赤字は今年度調査分

車載技術 | 物理インフラ | ﾃﾞｼﾞﾀﾙｲﾝﾌﾗ | 法制度 | 社会受容性 | 実証実験

2)　国際会議を通じた情報収集・情報発信

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複数開催される。幅広い情報収集の観点から、複数の国際会議に参加し、セッション参加や専門家との意見交換を通じて本プロジェクトの取り組み内容を情報発信するとともに、情報収集を行った。今年度の出張活動の一覧は以下の通りである。

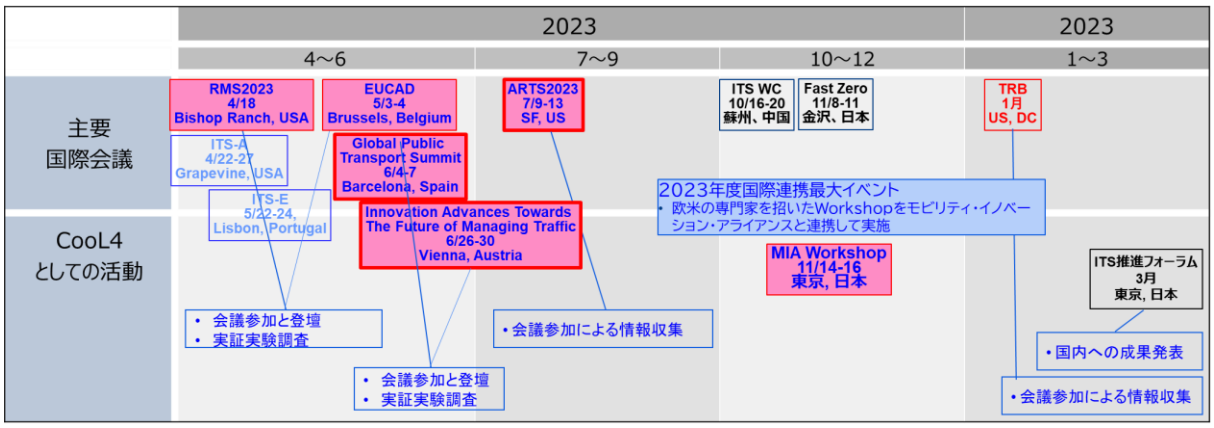


図 532　今年度の出張活動一覧

(1) サンフランシスコ出張（4 月）



(2) EUCAD 出張（5 月）

参加イベントを通じた全体総括

■ 全体動向
- 欧州でも協調型自動運転の開発は実施もしくは実施予定(Hi-Drive、SHOW等)
- 自動車業界の最大の課題は環境対応で電動化、充電施設の充実等の大リソースが必要な課題に直面
- 自動運転としても環境対策への貢献は必須であり、電動化、効率化、利用者の挙動の変革(自家用車ではなく公共交通の活用)などの価値を創出できることが重要

■ 自動運転への取り組み
- 利用者への価値の提供、利用者視点のサービス提供が必須であるが、具体的**商用展開に至っていない**
- さらなる**研究開発の継続が必要**
  - ✓ 周囲の利用者を含めた受容性の確保
  - ✓ 市場での活用に向けた技術の熟成
  - ✓ 運賃収入だけでの持続的商用化の見通しは厳しい
  - ✓ インフラを通じて収集できるデータ利活用を含めた協調型の活用と拡大に向けた施策の適用
- 地域、交通事業者も価値を感じるサービス構築が必須

■ 欧州委員会の意向
- ✓ CCAMの社会実装に向けた研究開発を強化するために、**CCAM全体戦略であるSRIAを改訂案を提示し、関係者のコメント募集開始：SRIAの改定には、協調型の利用拡大、AI研究追加、他の組織との連携強化などを追加**
- ✓ **利用者中心のサービス構築は必須**であり、幅広いStakeholdersの協力の協力により検討を推進したい
- ✓ 欧州域を超えた国際連携**「学んだことの共有」**によるCCAMの実装を強化したい

■ その他の関心情報
- ✓ 単純(交通環境が単純、周囲の理解の得やすい場所)な条件からの実装が現実的
- ✓ **自動運転への協調型の活用はSRIAでの追加も含め、今後研究開発、制度、法律の見直しなど検討拡大が見込まれる**
- ✓ 自動運転へ適用しやすい車両(バス、Shuttle)が必要：NAVYA, EZ10では需要に満たないとの意見多数

3

International Cooperation Workshop 概況

■ 概要
- 今回初めての開催：世界9カ国代表がWeb含めて参加
- 欧州委員会の意図を受けたERTICOが、TRB（米国）、国総研(日米欧3極会議日本の主幹組織)を通じて世界の自動運転関係者を招聘
- CCAMに関する各国の現状、関心事を共有
- 日本へは日米欧3極会議日本窓口国総研を通じて参加招待

■ 第1回の参加組織
- Japan, Korea, US, Singapore（Web）、Australia（Web）, UK（Web）, Switzerland, Israel（Web）, 主催EC

■ 主要な議論
- 各地で実証実験が進められるが、持続的商用展開には至っていない
- 米国は自動運転開発には政府の資金は投入されず、民間の資金が中心であるが、欧州は欧州員会の多くの資金が投入されているところに大きな違いがある
- AVによる価値：「User centric」なサービスの展開が必須
- 各国の戦略では、自動運転において世界のリーダーになることを明記している
- 国際協調を行うのは重要であるが、資金を準備できなければ実行は難しいだろう(競争もあることを意識)

■ 結論
- 今後の進め方は今回の会議結果を受けて各国が検討、次回ARTS(2023年7月9日～14日@San Francisco)でFollow up会議を行う

11

日欧2極会議概況

■ 概要
- ➢ 今回から米国が離脱して2極会議となったが、欧州関係局との情報交換会を実施

■ 欧州委員会(EC)傘下組織と提供された情報
- ➢ 研究イノベーション総局主催(DG-Research and Innovation)
  - ✓ CCAMへの取り組み最新情報
  - ✓ 大規模デモの準備状況(次ページ参照)
- ➢ 域内市場・産業・起業・小規模企業総局(DG-GROW)
  - ✓ 欧州でのADSに関する法律改定概要
- ➢ 交通運輸総局(DG-Mobility and Transport)
  - ✓ CCAMに向けたITSの準備
- ➢ CCAMに関連する新規Horizon Europe傘下プロジェクトの紹介:MODI, ULTIMO, SUNRISE
  - ✓ 今後の日本との連携を検討したい

■ 日本からの情報共有
- ➢ 国総研の活動報告
- ➢ CooL4からの情報共有:SHOW-CooL4の連携活動の報告
  - ✓ 2022年度の連携活動
  - ✓ Frankfurt, Linkoping訪問計画
  - ✓ 日本でのCooL4 Workshopの紹介

■ 結論
- ➢ 日本でのWorkshopは大変興味深いので、欧州の関係者が多数参加できるように欧州委員会も支援する
- ➢ 次回は、11月日本で実施

12

(3) UITP サミット出張（6 月）

UITP Summit 全体概要

■ イベント概要

UITP Summit ウェブサイト https://uitpsummit.org

- ➢ UITP（国際公共交通連合）が主催する公共交通をテーマにした世界最大規模の国際サミット。
- ➢ 6月4～7日　スペイン・バルセロナ市で開催。世界110ヵ国から約2,700人名が参加。
- ➢ 展示では、多数の大型バスの展示（全て電動車）があったのが印象的。
- ➢ 将来の公共交通のあり方をテーマに幅広い議論が行われた。公共交通の現状として、労働コストが劇的に上がっており、次の世代の労働者を惹きつけるために戦略を作るべきといった意見があった。また、人々に公共交通を利用してもらうために、駅前の移動（徒歩）が重要な要素であるといった意見や、女性は公共交通を安全だと思っていないので、その改善に向け様々な取り組みが必要で時間がかかるとの意見が出された。









Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility

2

UITP Summit 参加まとめ

1. セッションへの登壇と発表

- UITP Summitで欧州SHOWプロジェクトが企画するサイドイベント、およびメインセッションに登壇。RoAD to the L4プロジェクトとCooL4プロジェクトの取り組み概要を紹介し、協調型を活用したレベル４モビリティサービスの実用化に向けた課題を共有。
- 観衆からは路側機で使用している通信方式や、磁気マーカーについて質問があり、同様の課題に直面している様子が伺えた。

2. 全体動向

- 公共交通の課題として専門ドライバーの不足、人件費高騰があり、専門ドライバーが不要な自動運転が期待されている。
- サービス形態としては、自由度の高い自動運転ライドヘイリング・プーリング（少人数、ロボタクシー、オンデマンド型、行先任意）、自動運転シャトル（中人数、ルート・行先設定は事業者による）、自動運転バス（大人数、固定ルート）で取り組みが行われている。

3. 大型バスの自動運転に向けた取り組み

- 欧州では、大型電動バスをベースとしたレベル４を目指した自動運転バスの開発が進められており（MAN社、KARSAN社、Irizar社）、Navya、EasyMile等の小型低速シャトルでの課題に対処した取り組みが行われている。
- 環境対応として電動化車両が前提となっているが、運転席を取り除いたレベル４専用車両の開発までは至っていない。

4. レベル4モビリティサービス実用化への運行事業取り組み体制

- バス事業者、バス製造メーカー、自動運転開発会社（研究機関）、地方自治体が連携して取り組んでいる（P19参照）。
- 今回発表のあった大型バス実証実験では全てバス製造メーカーが入っており、製造会社としての関心が高いことが伺えた。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

UITP Summit 参加まとめ

5. レベル４モビリティサービス実用化に向けた課題

- 技術的にもまだ混在交通下での展開には課題が多いと認識。
- 運行事業者視点では、労働コストの削減が自動運転に一番期待するところであり、そのためには無人運転化する必要があるが、無人化に向けての課題はまだまだ多いとの認識。
- 欧州では無人運転化としても、低速＆保安員付きから始め、ステップバイステップで展開するアプローチ。
- 受容性については、実証を実施していくことで住民の理解が得られるケースもある。
- 自家用車移動を公共交通に変えさせるのは容易ではなく、次世代の人々に向けた取り組みが重要、との意見も聞かれた。
- 大きな課題は持続可能なビジネスモデル。どこも国からのファンドに頼っており、持続的なビジネルモデルはできていない印象。

6. 参考となりそうな海外での自動運転取り組み事例

- 独ハンブルグ市の取り組み：2030年までに1万台の自動運転車を走らせる
  企業ベースの取り組みとしてRide-Poolingサービス(MOIA社)の自動運転化、公共交通としてオンデマンド自動運転シャトルの導入
- スペインEMTマドリード社の取り組み：バスの車庫における自動化の取り組み
- UAEドバイの取り組み：2030年までに4,000台の自動運転車（Cruise Origin）を公共交通として導入

7. SHOWテストサイト調査（Sweden Gothenburg）

- チャルマート工科大学での自動運転シャトル実証実験を視察。手動介入も多く、まだ技術実証段階。
- Gothenburgでは、将来の自動運転導入に向けたロードマップ作成に取り組んでいる。サービス設計や認可プロセス、インフラ開発等、我々と同様の課題意識を持っており、今後も継続的な意見交換を実施していく。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

(4) ISFO 出張（6 月）

ISFO*会議概要

*ISFO : International Symposium on Freeway and Tollway Operations

■ 会議概要

- オーストリアのAustriaTechと米TRB（Transportation Research Board）が主催し、世界中からの管理者、交通エンジニア、実務者、研究者が「交通管理の未来」について議論し、その経験を共有する国際会議。6月26～28日オーストリア・ウィーンで開催され、世界36か国から320名が参加。









Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ISFO会議ウェブサイト https://www.austriatech.at/en/isfo2023

ISFO会議概要

■ セッションへの登壇と発表

- AustriaTechが企画するセッションに登壇。RoAD to the L4プロジェクトとCooL4プロジェクトの取り組み概要を紹介し、協調型を活用したレベル４モビリティサービスの実用化に向けた課題を共有。



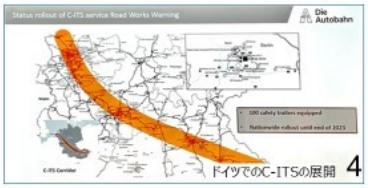
■ 全体動向

【欧州での協調型システム（C-ITS）の取り組みと課題】

- 欧州での協調型システム（C-ITS）の取り組みは、15年かかってようやく実装段階。
- オーストリア、ドイツの高速道路を中心にC-ITSを活用したサービス（前方での道路工事、交通事故情報や、道路オペレータ車両の接近通報等）が展開されており、今後C-ITSを搭載する道路網の拡大と、緊急車両等への実装を予定。
- 高速道路に設置されたC-ITSは、高速道路の交通管理業者（ドイツではDie Autobahn、オーストリアではASFINAG）により運営・管理されている。
- 一般車で現在C-ITSの受信機能を持っている車はVWとSkodaの一部車両に限られており、対応車種の拡大、C-ITSの有効活用拡大が課題。
- C-ITSの更なる展開に向け、関係者が共通のビジョンを持ち、サービス内容を合意する必要があるが、特にOEMにとってデータを提供・共有するメリットは何かを明確にすることが課題。



オーストリアで展開しているC-ITSサービス



ドイツでのC-ITSの展開

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ISFO会議概要

■ 全体動向

【ISFO会議での主な議論】

- 交通マネジメントに関して、産官連携、また国際連携を行い、エコシステムを作る重要性が強調され、スタートとして共通のビジョン、KPI、ユースケースを作るべき、と言った意見が出された。
- C-ITSやコネクテッドカーにより収集される車両プローブデータ等を分析、活用することで、交通事故削減や渋滞緩和等といったより良い交通マネジメントが期待されるが、これらのデータの規格統一や、（そもそもデータ自体が競争領域となっている部分もあり）データの活用については課題がある。
- CCAM、C-ITSの観点から見た自動運転の持続可能な展開に向けた課題を技術、インフラ、法制度、市場・ビジネス、社会経済の5つの観点で整理し議論を実施。ボトルネックは、インフラのコストと投資の課題であり、海外でもインフラ投資や維持コストが課題と考えていることを確認。

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

SHOW/ULTIMOテストサイト調査まとめ

■ SHOWテストサイト（ドイツKarlsruhe：試乗無）

- 路上駐車や自転車の往来が多く、L4の実装には難易度の高い走行環境
- 当日は予約時間が定期的に遅れるアプリの不具合で試乗不能となり、サービス面での課題を体験

■ ULTIMOテストサイト（ドイツKronach*）

- 自動車の交通量も多く、狭い路地・トンネルや見通しの悪い交差点があり、 L4の実装には難易度の高い走行環境
- 試乗中も急ブレーキや手動介入の場面に加え、システムの高熱によるクーリングのため休憩が発生する等、様々な課題を体感
- Kronachの実証を行っているValeo社技術者との意見交換
  - Kronachの実証実験は地方での公共交通確保を目的に行っており、最終的には保安員なしの運行を目指している。
  - 持続可能な展開を考えているが、国からのファンドに頼っている状況であり、ビジネスモデルは描けていない。
  - ドイツではL4は法的に可能だが、車両（Navya Arma）側が対応できていないことに加え、Navya社が会社更生のため技術開発が停止中であり、適切な車両がないことに苦労している。

* Kronachは当初ULTIMOプロジェクトの実装予定地域となっていたが、変更となり現在はドイツプロジェクトでの実証を実施中。



Karlsruheの走行環境。自転車の往来が多い



Kronachの走行環境。見通しの悪い交差点を左折

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

(5) ARTS 出張（7 月）

ARTS*会議概要

*ARTS：Automated Road Transportation Symposium

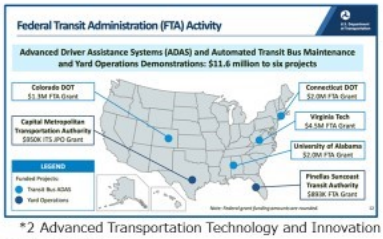
■ 会議概要

- 米TRB（運輸研究委員会）主催の自動運転に関する国際シンポジウム。第11回目となるARTS2023は7月9日～13日にサンフランシスコで開催され、国内外含め約600名の専門家が参加。
- 米ではロボタクシーのサービス展開が既に始まっており、社会実装され始めている一方、自動運転車が引き起こすインシデントにより信頼が損なわれている様子も見受けられ、自動運転車に関する国レベルでの法整備の対応含め、今後自動運転車がどのように米国社会で信頼を得ていくかがポイントとなる印象を受けた。

■ 米国関係者のスピーチ、プレゼン

- NHTSA*1, Acting administrator
  - AV STEPプログラムを立ち上げる。免除権限のある条項を使って非適合の自動運転車両の展開申請を検討する。
  - 既存のルールメーキングオフィスの下にAutomation Safety Officeを設立。ここで次世代安全基準の検討等を行う。
- USDOT, Deputy Assistant Secretary
  - ATTAIN*2プログラム：高速道路や交通システムを利用する人々の移動体験を向上させる、技術ベースのソリューションの研究を行うプログラム。
  - FTA（連邦運輸局）では自動運転バスに関する4つのプロジェクトを実施（右図）
- サンフランシスコ交通局, Director
  - 自動運転により移動の選択が少ない人々により良い交通選択を提供できるのかが重要な関心事。
  - 自動運転車（ロボタクシー）は安全性に影響を及ぼす重大な問題を作り出している。これらに対してデータがない。
  - 我々が望んでいるのは金儲けの自動運転技術ではなく、人々へのサービスにおける技術。

*1 National Highway Traffic Safety Administration：米国運輸省道路交通安全局



*2 Advanced Transportation Technology and Innovation

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

ARTS会議概要

■ 米国関係者のスピーチ、プレゼン（続き）

- Waymo社, Director
  - Waymoは100万マイルの走行実績があり、歩行者・自転車との衝突・負傷の報告はない。発生した事例は他の道路利用者による危険な運転によるものだった。
  - 死亡重傷事故について、詳細のデータ収集は難しく、信頼性できるデータを取得できる仕組みが必要。
  - Waymoの自動運転車が人間ドライバーよりも保険金の請求頻度が低いことを示す論文を近々発表する予定。

■ レベル4協調型自動運転に関連する取り組み動向

- リモートアシスタンス：
  リモートオペレーションのHuman factor、ヒューマンリモートサポートの考え方、リモートオペレータのタスク、ライセンスの必要性や必要なトレーニング、First responderとのコミュニケーション等各種の議論があり、リモートアシスタンスの役割の定義が焦点となっている。
- 都市への自動運転の社会実装に向けた課題：
  - 参加者の議論では、データの重要性や人々への教育、路側を再設計すべき等の政策・都市計画に関する意見が多く出された。
  - 登壇した専門家からは、各都市で普遍的な解決策はない、資金調達にはビジネスモデルが重要、自動運転車が地域社会のニーズにどのように応えられるかを理解する必要があるといった意見が出された。

■ 米国外からの報告

- 欧州からの報告（欧州委員会、イギリス、フランス、ドイツ政府から欧州での自動運転に関する法整備の取り組み紹介）
- 日本からの報告（RoAD to the L4プロジェクトの紹介）

Copyright © Cooperative Level4 Automated Mobility Service

3) 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催

欧州 Horizon 2020 傘下の SHOW プロジェクトと共同ワークショップを開催し、特に法制度分野において専門家同士で意見交換を行った。後継のプロジェクトとなる ULTIMO とは、UTmobI・ITS Japan との間で MOU の締結を行い、今後の継続的な連携の基盤を構築した。

また、国際連携活動の中で関係を築いた各国の専門家を日本に招いて、レベル 4 自動運転サービス実用化に関する意見交換やデモを実施するワークショップを 11 月に開催した。

■ 今年度の成果

- 国際会議等を通じ、海外動向調査と情報発信を行った。
- 欧州委員会傘下の事業「ULTIMO」との連携を行った。
- 柏の葉地区ワークショップに海外の専門家を招いて、成果のデモとディスカッションを行った。

■ 次年度以降の実施事項

① 海外事業との連携を通じた情報発信

主要国際会議で Level 4 実用化に向けた課題と解決に向けた取り組みを議論するセッションを実施し、課題の共有、連携組織の拡大、連携による解決に向けた取り組みに進化させる。

② 欧米プロジェクトとの共同ワークショップ開催

連携先を中心に、同様な課題に取り組む専門家を招聘したワークショップの実施により、具体的な課題解決に向けた共同活動への取り組みを推進する。

(2) テーマリーダーの選定

テーマ 4 の全体を統括するテーマリーダーとして、以下のものを選定した。

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、3 年目となる R5 年度は、事業化を促進させる必要があるため、事業体制の構築と事業モデルの検討を行う、柏の葉 AD モビリティ事業モデル検討チームを一番上に置き、その下に、協調型自動走行移動サービス全体設計チームを配置した。テーマリーダーと、この 2 つのチームのリーダーが強い連携を図りながらレベル 4 協調型自動運転移動サービスの社会実装に向けた活動を行った。また、協調型自動運転移動サービス全体設計チームは扱う技術範囲が広いので、6 つの専門性をもつサブチームに分け、それらのサブチームにおいて、専門的な課題解決を図った。協調型自動走行移動サービス全体設計チームのリーダーと、各サブチームのリーダーはコミュニケーションを密にして、個々の議論が全体設計につながるようにした。

テーマ 4 全体の横断的な課題を議論する際には、各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ことから、チームの定期的な進捗報告・共有と、チーム間の連携促進のため、統括委員会を設けた。

(3) 分科会の開催

テーマ 4 の推進にあたっては、テーマリーダーの強いリーダーシップの下で、統括委員会を通じて各サブチームを統括して推進することとしたが、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。

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、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、配慮した。なお、統括委員会議長を分科会の主査とし、議論の進行・とりまとめを行った。

表 173　テーマ 4 分科会メンバー

役職	氏名	所属･役職	立場
主査	☆須田　義大	東京大学生産技術研究所	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
	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	

役職	氏名	所属・役職	立場
	榎本　英彦	一般社団法人日本自動車工業会　大型車委員会　大型車技術部会　副部会長	
	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	
	渡辺　学	一般財団法人道路新産業開発機構(HIDO)　常務理事	
	岡野　直樹	一般社団法人　電波産業会（ARIB）　常務理事	
	☆加藤　昌彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所	テーマ４サブリーダー
	☆萩野　光明	東京大学生産技術研究所	テーマ４サブリーダー、全体設計チームリーダー
	☆森崎　千雅	三菱総合研究所	テーマ４サブリーダー、事業モデルチームリーダー
	☆内村　孝彦	東京大学生産技術研究所	テーマ４国際・国内連携チームリーダー
	☆谷川　浩	日本自動車研究所	テーマ４安全性評価サブチームリーダー
	☆瀬川　雅也	先進モビリティ	テーマ４自動走行車両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協調型路側機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
事業実施機関		経済産業省製造産業局自動車課モビリティ DX 室	
		国土交通省物流・自動車局技術・環境政策課自動運転戦略室	
オブザーバー		国土交通省道路局道路交通管理課 ITS 推進室	
		警察庁交通局交通企画課自動運転企画室	
		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	

役職	氏名	所属・役職	立場
		デジタル庁国民向けサービスグループモビリティ班	
		内閣府科学技術・イノベーション推進事務局　戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動運転担当	
事務局		東京大学	
		三菱総合研究所	

(4) テーマ 4 に関するスケジュール

表 174　テーマ 4 に関する実施スケジュール



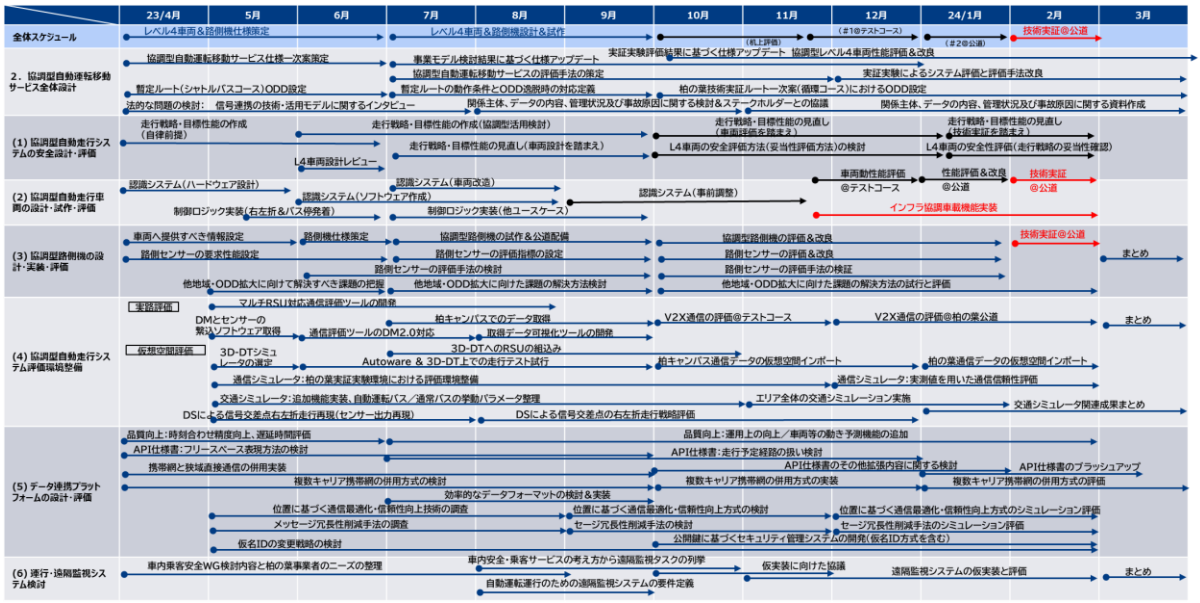
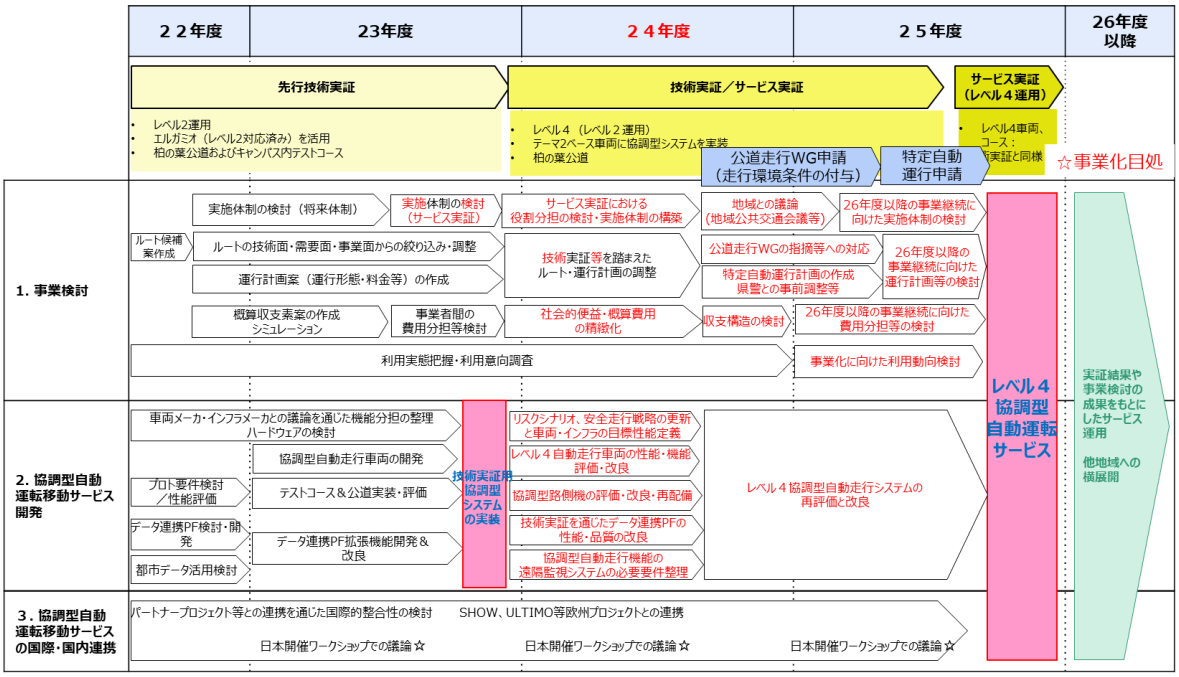


表 175　2025 年度までの実施スケジュール



(5) 事業実施期間

令和５年４月１日から令和６年３月 31 日

(6) 支出計画

別途支出計画書のとおり

(7) 成果物

① 事業報告書電子媒体（CD-R）1式

- 事業報告書、調査で得られた元データ、委託事業報告書公表用書誌情報（様式1)、二次利用未承諾リスト（様式2）を納入する。
- 事業報告書については、PDF形式に加え、機械判読可能な形式のファイルも納入する。
- 調査で得られた元データについては、機械判読可能な形式のファイルで納入することとし、特に図表・グラフに係るデータ（以下「EXCEL 等データ」という。）については、EXCEL形式等により納入する。なお、様式1及び様式2はEXCEL形式とする。

② 事業報告書電子媒体（CD-R）2式（公表用）

事業報告書及び様式2（該当がある場合のみ）を一つのPDFファイル（透明テキスト付）に統合したもの、並びに公開可能かつ二次利用可能なEXCEL等データを納入する。

- セキュリティ等の観点から、経済産業省と協議の上、非公開とすべき部分については、削除するなどの適切な処置を講ずる。
- 事業報告書は、オープンデータ（二次利用可能な状態）として公開されることを前提とし、経済産業省以外の第三者の知的財産権が関与する内容を報告書に盛り込む場合は、①事前に当該権利保有者の了承を得、②報告書内に出典を明記し、③当該権利保有者に二次利用の了承を得ること。二次利用の了承を得ることが困難な場合等は、下記の様式2に当該箇所を記述し、提出する。
- 公開可能かつ二次利用可能なEXCEL等データが複数ファイルにわたる場合、1つのフォルダに格納した上で納入する。
- 各データのファイル名については、事業報告書の図表名と整合をとる。
- EXCEL等データは、オープンデータとして公開されることを前提とし、経済産業省以外の第三者の知的財産権が関与する内容を含まないものとする。

  ※事業報告書電子媒体の具体的な作成方法の確認及び様式1・2のダウンロードは、下記URLから行う。

  http://www.meti.go.jp/topic/data/e90622aj.html

(8) 成果物の納品場所

経済産業省製造産業局自動車課

(9) 不開示情報の取扱い

① 情報管理体制

1. 受注者は本事業で知り得た情報を適切に管理するため、次の履行体制を確保し、発注

者に対し「情報セキュリティを確保するための体制を定めた書面（情報管理体制図)」及び「情報取扱者名簿」（氏名、個人住所、生年月日、所属部署、役職等が記載されたもの）別紙様式を契約前に提出し、担当課室の同意を得ること（住所、生年月日については、必ずしも契約前に提出することを要しないが、その場合であっても担当課室から求められた場合は速やかに提出すること。)。なお、情報取扱者名簿は、委託業務の遂行のため最低限必要な範囲で情報取扱者を掲載すること。

（確保すべき履行体制）

契約を履行する一環として契約相手方が収集、整理、作成等した一切の情報が、経済産業省が保護を要さないと確認するまでは、情報取扱者名簿に記載のある者以外に伝達又は漏えいされないことを保証する履行体制を有していること。

2. 本事業で知り得た一切の情報について、情報取扱者以外の者に開示又は漏えいしてはならないものとする。ただし、担当課室の承認を得た場合は、この限りではない。
3. 1 の情報セキュリティを確保するための体制を定めた書面又は情報取扱者名簿に変更がある場合は、予め担当課室へ届出を行い、同意を得なければならない。

② 履行完了後の情報の取扱い

国から提供した資料又は国が指定した資料の取扱い（返却・削除等）については、担当職員の指示に従うこと。業務日誌を始めとする経理処理に関する資料については適切に保管すること。

(10) 情報セキュリティに関する事項

業務情報を取り扱う場合又は業務情報を取り扱う場合又は業務情報を取り扱う情報システムやウェブサイトの構築・運用等を行う場合、別記 1「情報セキュリティに関する事項」を遵守し、情報セキュリティ対策を実施すること。

(11) その他

会議（検討会、研究会及び委員会を含む。）を運営する場合は、別記2「会議運営について」に基づき、会議運営実績報告書を納入物とともに提出すること。

CooL4／CCAM 検討 SWG 共通
路側機センサー部インタフェース仕様
version 1.0.0

2023 年 12 月 26 日

自動運転レベル4等先進モビリティサービス
研究開発・社会実装プロジェクト テーマ 4（CooL4）

ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG

目次

1. 本仕様の目的と策定の考え方 2
1.1 本仕様の目的と策定の経緯 2
1.2 仕様策定の考え方（CooL4） 2
1.3 仕様策定の考え方（CCAM 検討 SWG） 2
2. 参照文献 4
3. 用語の定義 5
4. センサー部インタフェースの位置付けと構成 6
4.1 センサー部インタフェースの位置付け 6
4.2 センサー部インタフェース仕様の構成 7
5. データフォーマット仕様 8
5.1 データフォーマットの構成 8
5.2 データ項目の設計原則 8
5.3 メッセージのフォーマット 9
5.4 センサー情報のデータフォーマット 10
5.5 物標情報のデータフォーマット 12
5.6 直接検知フリースペース情報のデータフォーマット 15
6. 下位レイヤの規定 18
6.1 物理層・データリンク層 18
6.2 ネットワーク層・トランスポート層 18
6.3 データのエンコーディング方法 18
6.4 メッセージの送信タイミング 18
6.5 時刻同期 18
付録 A. データ型の定義 19
付録 B. Protocol Buffers のメッセージ定義 30
付録 C. Collective Perception Message（CPM）との関係 35
付録 D. バージョン履歴 37

1. 本仕様の目的と策定の考え方

1.1 本仕様の目的と策定の経緯

本仕様は，協調型自動運転に用いる路側機内で，センサーからデータを取得して認識処理を行うセンサー部と，複数のセンサー部や車両からの情報の統合や，車両に送信するデータの生成を行う路側データ連携モジュール（CCAM 検討 SWG の用語では制御部。以下，路側 DM という）との間のインタフェース仕様を定義するものである。協調型自動運転の実現を主目的としているが，協調型自動運転車のみを目的に路側機を設置するのはコスト的な負担が大きいため，手動運転車やその他のサービスにも有益なものとすることを目指している。

経済産業省・国土交通省による自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト テーマ 4（以下，CooL4）は，協調型のレベル 4 自動運転サービスの実現を目指すプロジェクトで，2021 年に開始された。CooL4 では，路側に設置したセンサーや信号機からの情報を車両に共有するために，データ連携プラットフォーム（データ連携 PF）の開発を行っている。これまでに，データ連携アーキテクチャ（案）[1]とデータ連携 PF API 仕様（案）[2]の策定，データ連携 PF と路側機の開発・評価などを行ってきた。

ITS Japan 自動運転研究会 CCAM 検討 SWG（以下，CCAM 検討 SWG）は，協調型自動運転の社会実装を目指し，路車協調システムの考え方/ポリシーや要件などの協調領域に関する議論・検討を行っている。これまでに，実装ポリシーやユースケースの策定，それらを実現する機能要件や評価指標，評価方法等の検討を行ってきた。

両プロジェクトでは，協調型自動運転に用いる路側機の仕様検討を独立して実施していたが，路側機の開発コストを抑えるためには仕様の共通化が望ましいと考え，協議の結果，路側機内のセンサー部と路側 DM の間のインタフェース仕様を協力して策定することとなった。

以上の経緯から，2023 年 9 月から 12 月にかけて，CooL4 と CCAM 検討 SWG で集中的に検討する場を持ち，本仕様を取りまとめた。

1.2 仕様策定の考え方（CooL4）

本仕様を策定するにあたり，CooL4 で設定した考え方は次の通りである。

将来のユースケースに向けた拡張性を重視し，センサー部が取得・認識した有用と思われる情報を，なるべく落とさずに伝達できるインタフェースとする。このことから，現時点での V2I 通信の制約（通信帯域が狭いことなど）に縛られた仕様とはしない。ただし，現時点のユースケースを実現する際に高コストになることを避けるために，必須のデータ項目を最小限とする。

データの受信側は，高精度地図を持っていることを想定するが，高精度地図がシングルベンダであることは仮定しない。また，独自のデータ項目を追加可能なデータフォーマットとする。

路側機のセンサーからの情報と自己物標情報（車両等が発信する自分自身に関する情報）をフュージョンした情報を扱うことは，本仕様のスコープ外とする。

1.3 仕様策定の考え方（CCAM 検討 SWG）

本仕様を策定するにあたり，CCAM 検討 SWG で設定した考え方は次の通りである。

2025 年での社会実装を目指し，同年度までに技術的に実装可能なものを前提に検討し，自動運転車両側からの要望については可能な限り採用する。また，2025 年度以降，新たな技術が実用化された際に，機能拡張ができるように設計する。

CCAM 検討 SWG がユースケースを成立させるのに必要な情報と考える項目は必須とし，必ずしも必要ではないが性能の向上が期待できるとするものはオプションとする。また，CooL4 との間で意見が分かれる項目については，その議論の経緯を残した上でオプションとして採用する。

2. 参照文献

[1] CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）version 0.7.0（2023 年 3 月 14 日）.

[2] CooL4 データ連携 PF API 仕様（案）version 0.7.0（2023 年 3 月 14 日）.

[3] 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（2018 年 8 月）.

[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（2019 年 12 月）.

[5] SAE J2735_202309. V2X Communications Message Set Dictionary（2023 年 9 月）.

[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（2015 年 9 月 30 日）.

[7] ISO 23150:2023. Road vehicles – Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions – Logical interface（2023 年 5 月）.

3. 用語の定義

本仕様では，以下の用語を用いる。

物標

検知対象とする種別の物体。

移動物体

自分で移動する能力を持った物体。車両，歩行者など。

非固定物体

自分で移動する能力は持たないが，位置が固定されておらず，移動する可能性のある物体。落下物，倒木など。

固定物体

位置が固定されており，移動することがない物体。樹木，壁，電柱など。

フリースペース

道路（歩道も含む）の移動可能領域上の物標が存在しない領域。

直接検知フリースペース

背景にある物体が検知できたことにより，物体がないことが検知できた領域。

オクルージョン

センサーで取得される情報が，物体に遮られることで，不完全になること。

誤検知

存在しない物標を存在するものと認識すること。

未検知

存在する物標を見落とすこと。

4. センサー部インタフェースの位置付けと構成

4.1 センサー部インタフェースの位置付け

図 1 に，CooL4 データ連携アーキテクチャ(案)[1]を示す。また，この図の路側機周りをより詳細化したものを図 2 に示す。

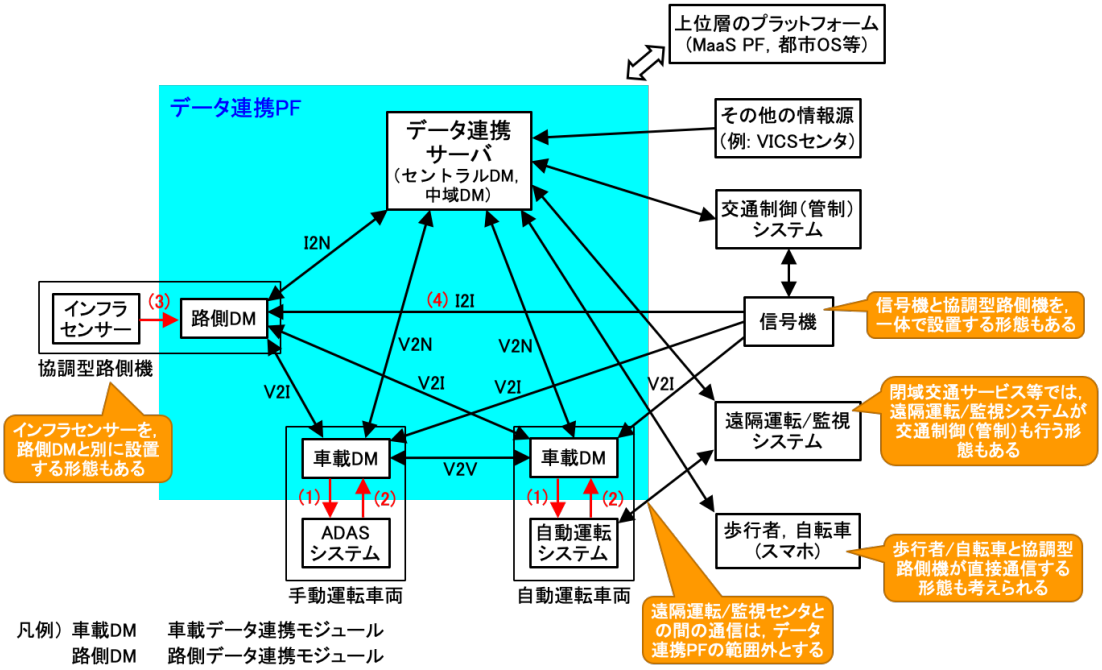


図 1. CooL4 データ連携アーキテクチャ

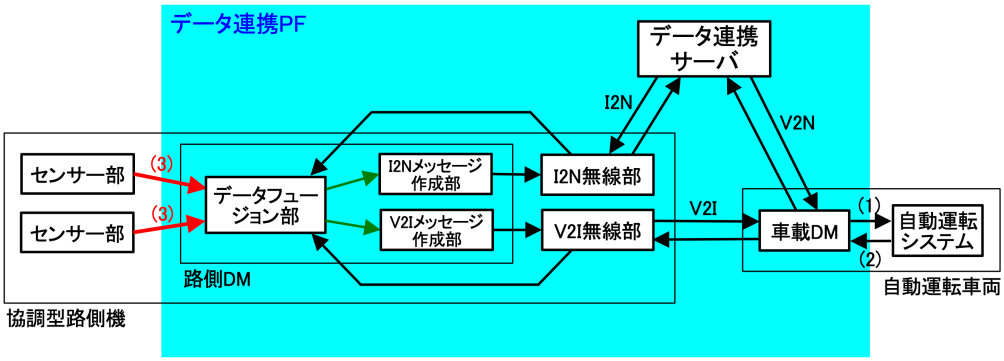


図 2. 路側機周りの詳細図

センサー部は，路側に設置されたセンサーで取得したデータに対して認識処理を行い，認識結果をデータフュージョン部に送信する。路側に複数のセンサーを設置する場合には，センサー毎にセンサー部があるものとしても良いし，1 つのセンサー部が複数のセンサーを持ち，複数のセンサーからのデータを統合(フュージョン)するものとしても良い。複数のセンサーを持つセンサー部が，センサーからのデータを統合せずにデータフュージョン部に送信する場合には，論理的には複数のセンサー部がある(言い換えると，1 つの装置が複数のセンサー部を含んでいる)ものと扱う。

データフュージョン部は，複数のセンサー部からの情報や車両からの情報を統合し，無線部を

通して，車両やサーバに送信する。

本仕様では，図 1 および図 2 の(3)のインタフェースを規定する。データフュージョン部が出力するデータのフォーマットや，V2I 通信により車両に送信されるデータのフォーマット等は，本仕様のスコープ外である。

4.2 センサー部インタフェース仕様の構成

本仕様では，(3)のインタフェースに流れるメッセージのデータフォーマットを中心に規定する。また，IP ネットワーク上でメッセージを転送する方法や，データのエンコーディング方法，メッセージの送信タイミング，センサー部と路側 DM の時刻同期の方法についても規定する。物理インタフェース（通信路の物理層・データリンク層）については，具体的な方式を規定するのではなく，要求を提示するにとどめる。また，路側 DM がセンサー部に動作指令を出す場合が考えられるが，そのような場合に用いる路側 DM からセンサー部へのメッセージ仕様については，本仕様のスコープ外とする。

5. データフォーマット仕様

5.1 データフォーマットの構成

センサー部から路側 DM に対して伝達することが必要な情報として，少なくとも，センサー部が検知した車両や歩行者などの物標情報がある。しかし，物標情報のみが伝達された場合，物標情報がない場所（領域）は，物標が存在しないのか，センサーから見えていないのかが判別できない。センサーから見えない理由としては，センサーの検知範囲外であることと，オクルージョンにより見えないことが考えられる。

物標が存在しないのか，センサーから見えていないのかを判別できるようにするには，物標が存在しない領域（フリースペース）を伝達するか，センサーから見えていない領域を伝達する必要がある。センサーから見えていない領域の内，オクルージョンにより見えていない領域は，センサーの設置位置と物体の位置および大きさから計算で求めることができる。

本仕様では，センサー部から路側 DM に，センサーの設置位置と検知領域を伝達することで，物標が存在しない領域とセンサーから見えていない領域を，受信側（路側 DM または車両）で求められるようにする。

ただし，背景にある物体（例えば道路面）をセンサーが検知したことにより検知されるフリースペース（直接検知フリースペース）については，それを受信側で求めるためには，検知した背景物体の情報を伝達する必要があるが，背景物体の形状を伝える必要があるなど，複雑なデータフォーマットになると考えられる。そこで，直接検知フリースペース情報についてはセンサー部で生成することとし，それを伝達するためのデータフォーマットを規定する。

以上より，センサー部から路側 DM には，センサー情報，物標情報，直接検知フリースペース情報の 3 種類の情報を伝達することとし，本仕様ではそれらのデータフォーマットを規定する。

路側機のセンサーがどのような種別の物体を検知する必要があるかは，ユースケースによって異なるため，本仕様では規定しない。具体的には，移動物体以外の物体については，検知が必須ではないユースケースが多いため，それらの検知はオプション機能とする。センサー部がどの種別の物体を検知できるかを示すために，検知可能物標種別のデータ項目をセンサー情報中に持たせる。

センサー部が複数のセンサーを持つ場合，複数のセンサーからのデータの統合（フュージョン）は，センサー部の役割である。センサー部から路側 DM に送信する物標情報と直接検知フリースペース情報は，複数のセンサーからのデータを統合して認識した結果とする。言い換えると，同じ物標に対する物標情報を，センサー毎に送信してはならない。

5.2 データ項目の設計原則

各情報のデータ項目の策定にあたって，以下の設計原則を設定する。

- 必須のデータ項目を最小限とする。これは，現時点のユースケースを実現する際に高コストになることを避けるためと，センサーの種類や検知状況によって得られるデータ項目が異なる（例えば，初回の検知では移動方向や速さの情報が得られないなど）ためである。なお，以下のデータフォーマットの記述で，「必須」と記載されていないデータ項目は，すべてオプションである。
- 必須のデータ項目以外のすべてのデータ項目に，そのデータ項目が設定されていないことを示す「不明」を表す値を入れられるようにする。ただし，データ項目が設定されていないことを他の方法で表せる場合（6.3 節で規定するエンコーディング方法はこれに該当する）には，

「不明」を表す値は使用しない。

- 認識によって得られるすべての数値データ項目に，精度の情報を持たせるようにする。これは，複数の情報源からの情報を統合する時に必要となるためである。精度は数値で表現し，精度が x であるとは，誤差（真値と計測値の差）の絶対値が x 以下である確率が 95%になることを言う。例えば，物標情報に含まれる速さが 10m/s，速さの精度が 1m/s の場合，真の速さが 10m/s±1m/s の区間に入る確率が 95%であることを表す。計測値が正規分布に従う場合，精度は，誤差の標準偏差の約 2 倍（いわゆる 2σ）となる。
  ただし，センサーで取得したデータから，誤差の絶対値が x 以下である確率が 95%（以上）であることを「保証」できる x を求める手法は確立していない。各数値データの精度を，センサーから物標まで距離や物標を検知できた回数などの状況毎にあらかじめ計測して表にしておき，その表を引くといった方法で精度の値を生成することを想定している。
- 長さの単位は，原則として 0.01m（＝1cm）とする。
- 方位角の単位は，原則として 0.0125 度とする。ただし，回転速度の単位は，0.01 度/s とする。

以降のデータフォーマットの規定には明示しないが，いずれの情報に対しても，独自のデータ項目を追加して良い。

5.3 メッセージのフォーマット

センサー部から路側 DM に送信するメッセージは，次の構成とする。

- メッセージヘッダ［必須］
- センサー情報のリスト［必須］（リストのサイズは 1 以上）
- 物標情報のリスト（リストのサイズは 0 以上）
- 直接検知フリースペース情報のリスト（リストのサイズは 0 以上）

メッセージヘッダは，次のデータ項目で構成される。

- メッセージ ID［必須］
- プロトコルバージョン［必須］
- メッセージカウンタ［必須］
- センシング時刻［必須］
- センサー部異常通知
- センサー部異常コード

以下では，メッセージヘッダのそれぞれのデータ項目について説明する。

メッセージ ID

メッセージの種類を表す識別番号。本仕様に規定されたメッセージにおいては，1 を設定する。

メッセージ ID は，8 ビットの符号なし整数で表現する。

プロトコルバージョン

データフォーマットのバージョンを表す識別番号。本仕様に規定されたメッセージにおいては，1 を設定する。

プロトコルバージョンは，8 ビットの符号なし整数で表現する。

メッセージカウンタ

メッセージの順序を示す番号。メッセージを送信する度にインクリメントする。255 の次は 0 に戻す。

メッセージカウンタは，8 ビットの符号なし整数で表現する。

センシング時刻

センサーが情報を取得した時刻。

センターが情報を取得するのに時間がかかる場合には，情報取得を開始してから終了するまでの間の任意の時刻を用いる。

センシング時刻は，DE_TimestampIts で表現する。

センサー部異常通知

センサー部の異常状態，サービス提供状態，機能停止準備中，要求動作，自己動作を表す。

センサー部異常通知は，DE_ErrorNotification で表現する。

センサー部異常コード

センサー部の異常内容を示すためのコード。コードの意味は，センサー部のメーカが定義する。

センサー部異常コードは，24 ビットの符号なし整数で表現する。

5.4 センサー情報のデータフォーマット

センサー情報とは，センサー部が持つセンサーの設置位置や検知性能などに関する情報であり，メッセージ中には 1 つ以上のセンサー情報を含む。

センサー情報には，物標を検知することができる領域（検知領域）に関する情報を複数含むことができ，検知領域毎に，センサーの検知能力（検知できる物体の種別や検知信頼度）に関する情報を持つ。センサーの検知領域と検知能力を含むデータ単位を，検知性能情報と呼ぶ。センサー情報中に検知性能情報を複数持つことができるのは，センサーの検知領域が複数に分かれている場合や，検知領域によって検知能力が異なる場合に対応できるようにするためである。

センサーの検知領域には，検知対象でない物体によるオクルージョンで見えない領域は含めないものとする（図 3）。検知領域は頂点数が 16 以下の多角形で表現するが，検知領域が複雑な形状となりそれでは表現できない場合には，複数の検知領域に分割するか，小さくなる方向に近似する。

センサーの検知性能は，その時の状況（天候やセンサーのレンズの汚れなど）によって変化する動的な情報である。検知対象の物標の属性（大きさ，光や電波の反射率など）によっても検知領域や検知信頼度は変化するため，センサーの検知性能を正確に求めることは難しい。

検知可能物標種別

検知可能な物体の種別。四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体が，それぞれ検知できるかどうかを表す。

検知可能物標種別は，DE_DetectableClasses で表現する。

検知領域

センサーが物標の存在を検知できる道路面の領域。

道路面の領域は多角形で表現する。多角形は頂点のリストで表現し，最初の頂点と最後の頂点をつないだ内側の領域を表すものとする。各頂点の位置は，センサー設置位置からの相対座標で表現し，頂点のリストのサイズは 3 以上 16 以下とする。各頂点の標高は静的地図からわかるため，頂点の標高を表すデータ項目は持たない。

検知領域は，頂点の位置を表す DF_OffsetPointXY のリストで表現する。

検知信頼度

センサーの検知領域内で，検知限界物標サイズより大きい物標の存在を検知できる確率。言い換えると，未検知率を 1 から減じた値。

検知信頼度を正確に求める手法は確立していない。ある信頼度が達成できない場合に，情報を出力しなくなるセンサー部の場合，その信頼度の値（固定値）を用いれば良い。

検知信頼度は，DE_Confidence で表現する。

検知限界物標サイズ

センサーの検知領域内で，このサイズ以下の物標は見落とす可能性があるというサイズ。

検知限界物標サイズは，DE_ObjectDimensionValue で表現する。

センサー状態

センサーの稼働状態（正常稼働中か縮退稼働中か停止中か）と運用状態（運用中か試験中か）。

センサー状態は，DE_SensorStatus で表現する。

5.5 物標情報のデータフォーマット

物標情報とは，道路上およびその周辺に存在する物体の位置や状態に関する情報であり，メッセージ中には任意の数の物標情報を含む。

物標情報は，次のデータ項目で構成される。

- 物標 ID［必須］
- 情報取得時刻
- 物標種別のリスト（リストのサイズは 0 以上 4 以下）
- 存在信頼度
- 物標位置［必須］とその精度
- 物標参照位置
- 移動方向とその精度
- 速さとその精度

- 回転速度とその精度
- 前後加速度とその精度
- 物標の向きとその精度
- 物標のサイズとその精度
- 物標の静止状態
- トラッキング状態[必須]
- 検知回数
- 連続未検知回数
- 生存時間

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

センサーが，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。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。

物標 ID は，16 ビットの符号なし整数で表現する。

情報取得時刻

物標情報を得た時刻。言い換えると，センサーが物標を観測した時刻。

情報取得時刻は，メッセージヘッダ中のセンシング時刻からの相対値で表現する。情報取得時刻がセンシング時刻と一致している場合には，情報取得時刻を設定する必要はない。

情報取得時刻は，物標の位置と整合していることが重要である。認識処理等で遅れが生じる場合には，遅れ分を補正しても良い。

情報取得時刻は，DE_TimeOfMeasurement で表現する。

物標種別のリスト

2 段階で表現した物標の種別と段階毎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。リストのサイズが 0 の場合，物標の種別が不明であることを表す。

1 段階目の種別では，物標が不明，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体のいずれに分類されるかを表す。不明以外の場合には，2 段階目の種別で，さらに詳しい種別を表す。

分類信頼度は，1 段階目，2 段階目のそれぞれに対して，パーセント値で表現する。

2 段階目の種別に，物標の群を表す種別があるが，この種別の必要性と使い方は次の通りである。センサーで多くの車両や人が検知できた場合に，それらを個別の物標情報として表すとメッセージサイズが大きくなり，通信帯域の制約などにより送信できなくなる場合が考えられる。このような場合に，送信する物標情報を間引くと，受信側では，本来は物標が存在する場所をフリースペースと誤認する可能性がある。これを防ぐためには，物標情報を間引くのではなく，類似の動きをする複数の物標情報を統合する方法が望ましい。複数の物標を統合した物標情報は，物標種別を物標の群を表す種別とすることで区別する。

物標種別を物標の群を表す種別とした場合，物標 ID は，物標の群に対して付与する。物標位置，物標参照位置，物標の向き，物標のサイズの各データ項目で，物標の群全体のバウンデ

ィングボックスを表す。移動方向，速さ，回転速度，前後加速度は，物標の群に属する物標で，これらのデータがほぼ同じ値であればその値を用い，そうでなければ不明（または値を設定しない）とする。

物標種別は，DF_ObjectClass で表現する。

存在信頼度

物標情報が表す物体が実際に存在する確率。言い換えると，誤検知率を 1 から減じた値。

存在信頼度を正確に求める手法は確立していない。ある信頼度が達成できない場合に，物標情報を出力しなくなるセンサー部の場合，その信頼度の値（固定値）を用いれば良い。

存在信頼度は，DE_Confidence で表現する。

物標位置とその精度

物標の位置とその精度。

物標位置は，日本測地系 2011（JGD2011）に基づく経度緯度標高で表現する。

位置の精度は，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，標高の精度で表現する。楕円は，長半径，短半径，長軸の方位角で表現する。

物標位置とその精度は，DF_Position で表現する。

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。

認識した物標の位置をできる限り正確に伝えるために，位置を最も正確に特定できる場所を参照位置とする。具体的には，センサーから見えている場所を参照位置とすることを想定している。認識した物標の全体が見えている場合には，車両の場合は前面の中心の底辺位置，人の場合は中央の底辺位置を使う。どの面が見えているかわからない場合には，見えている面を前面であるものと扱う。

物標参照位置は，DE_RefPoint で表現する。

移動方向とその精度

物標の移動方向とその精度。移動方向は，WGS84 測地系における方位角で表現する。

移動方向は DE_AzimuthValue，移動方向の精度は DE_AzimuthAccuracy で表現する。

速さとその精度

物標の移動の速さとその精度。

速さが負の値の場合は，物標が後退していることを表す。

速さは DE_SpeedValue，速さの精度は DE_SpeedAccuracy で表現する。

回転速度とその精度

物標の回転速度（ヨーレート）とその精度。

回転速度は DE_YawRateValue，回転速度の精度は DE_YawRateAccuracy で表現する。

前後加速度とその精度

物標の前後加速度（速さの時間微分）とその精度。

前後加速度は DE_AccelerationValue，前後加速度の精度は DE_AccelerationAccuracy で表

現する。

物標の向きとその精度

物標の向きとその精度。向きは，WGS84 測地系における方位角で表現する。

物標の向きは，移動方向と一致するとは限らない。向きが明確でない物標に対しては，物標のサイズを表現するために用いる情報と位置付ける。

向きは DE_AzimuthValue，向きの精度は DE_AzimuthAccuracy で表現する。

物標のサイズとその精度

物標のサイズとその精度。具体的には，物標の向きに対する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。

長さ，幅，高さはそれぞれ DE_ObjectDimensionValue，長さの精度，幅の精度，高さの精度はそれぞれ DE_ObjectDimensionAccuracy で表現する。

物標の静止状態

物標が静止しているか，静止している場合には，どれだけの時間静止しているかを示す。

物標位置の変化が，センサーの位置認識誤差以内である場合に，物標が静止しているものとする。

静止状態は，DE_StaticStatus で表現する。

トラッキング状態

最新のセンシング状態（物標を検知したかどうか），検知しなかった場合にその理由，物標情報の削除予告，物標情報が融合または分割されたかを表す。トラッキング状態は必須のデータ項目であるが，最新のセンシング状態以外はオプションとする。

トラッキング状態は，DE_TrackingStatus で表現する。

検知回数

物標を検知した合計回数。物標を複数のセンサーで検知した場合は，センサー毎に検知回数を増加させる。

検知回数は，DE_DetectionCount で表現する。

連続未検知回数

物標を連続して検知できなかった回数。

連続未検知回数は，DE_LostCount で表現する。

生存時間

物標が最初に検知されてからの経過時間。

生存時間は，DE_ObjectAge で表現する。

5.6 直接検知フリースペース情報のデータフォーマット

直接検知フリースペース情報とは，センサー部が背景にある物体を検知したことにより検知されたフリースペースに関する情報であり，メッセージ中には任意の数の直接検知フリースペース情報を含む。

路側センサーは，道路の上方に設置することが一般的であるため，道路面が認識できれば，そ

の上には物体がないこと(フリースペースであること)を高い信頼度で検知することができる。

規定値よりも小さい直接検知フリースペースは，検知不要とする。具体的には，フリースペース領域が直径 5m の円に収まるサイズの直接検知フリースペースは，検知する必要がないものとする。

なお，直接検知フリースペース情報を自動運転車両の制御に活用する方法やその有用性については，現時点では明らかになっていない。

直接検知フリースペース情報は，次のデータ項目で構成される。

- 情報取得時刻
- フリースペース領域[必須]とその精度
- 存在信頼度
- 検知限界物標サイズ

なお，フリースペースをトラッキングすることはないため，フリースペースには ID を付与しない。

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

情報取得時刻

直接検知フリースペース情報を得た時刻。言い換えると，センサーがフリースペースを観測した時刻。

情報取得時刻は，メッセージヘッダ中のセンシング時刻からの相対値で表現する。情報取得時刻がセンシング時刻と一致している場合には，情報取得時刻を設定する必要はない。

情報取得時刻は，フリースペースの位置と整合していることが重要である。認識処理等で遅れが生じる場合には，遅れ分を補正しても良い。

情報取得時刻は，DE_TimeOfMeasurement で表現する。

フリースペース領域とその精度

物体が存在しない道路面の領域とその精度。

道路面の領域は多角形で表現する。多角形は頂点のリストで表現し，最初の頂点と最後の頂点をつないだ内側の領域を表すものとする。最初の頂点の位置は，日本測地系 2011(JGD2011)に基づく経度緯度標高で表現し，2 番目以降の各頂点の位置は，最初の頂点の位置からの相対座標で表現する。2 番目以降の頂点のリストのサイズは 2 以上 15 以下とする。2 番目以降の各頂点の標高は静的地図からわかるため，頂点の標高を表すデータ項目は持たない。

フリースペース領域の精度は，各頂点に個別に持つのではなく，すべての頂点に対して 1 つのみ持つ。具体的には，各頂点の水平方向位置精度を表すための 95%信頼楕円をすべて含む楕円と，各頂点の標高の精度の最大値で表現する。楕円は，長半径，短半径，長軸の方位角で表現する。

最初の頂点の位置とフリースペース領域の精度は DF_Position で，2 番目以降の頂点の位置は DF_OffsetPointXY のリストで表現する。データフォーマット上では，フリースペース領域の精度は，最初の頂点の位置の精度として表す。

存在信頼度

直接検知フリースペース情報が表す領域内に，検知限界物標サイズより大きい物体が実際に存在しない確率。言い換えると，存在する物体を見落とす確率を 1 から減じた値。

存在信頼度を正確に求める手法は確立していない。ある信頼度が達成できない場合に，直

接検知フリースペース情報を出力しなくなるセンサー部の場合，その信頼度の値（固定値）を用いれば良い。

存在信頼度は，DE_Confidence で表現する。

検知限界物標サイズ

フリースペース領域内で，このサイズ以下の物標は見落とす可能性があるというサイズ。

検知限界物標サイズは，DE_ObjectDimensionValue で表現する。

6. 下位レイヤの規定

6.1 物理層・データリンク層

センサー部と路側 DM を接続する通信路の物理層・データリンク層は，本仕様では規定しない。ただし，IP 通信が可能で，おおよそ 10Mbps 以上の転送レートを持つものであることを要する。

6.2 ネットワーク層・トランスポート層

ネットワーク層には IP（IPv4 または IPv6），トランスポート層には UDP を使用する。使用する IP アドレスやポート番号は，本仕様では規定しない。

6.3 データのエンコーディング方法

1 回のセンシングで認識された情報（センサー情報，物標情報，直接検知フリースペース情報）を入れたメッセージを，1 つの UDP データグラムに入れて送信する。メッセージが，UDP データグラムの最大長（約 64KB）を超えるケースは想定していない。

メッセージを UDP データグラムに入れるためのエンコーディングには，Protocol Buffers（バージョン 3.15 以降）を使用する。

Protocol Buffers のメッセージ定義を付録 B に示す。Protocol Buffers のメッセージ定義において，オプションのデータ項目を optional フィールドとすることで，オプションのデータ項目を設定しないことを optional フィールドに値を設定しないことで表せるようにしている。そのため，各データ項目の「不明」を表す数値は使用しない。ただし，物標種別の 2 段階目が「不明」であることを表す数値は使用する。

本仕様で規定するデータフォーマットに独自のデータ項目を追加する場合には，付録 B に示すメッセージ定義に対して，独自のフィールドを追加する。その場合，独自のフィールドに対するフィールド番号を，1000 以上の値とすること。

6.4 メッセージの送信タイミング

センサー部から路側 DM へは，周期的にメッセージを送信する。メッセージの送信周期は，本仕様では規定しない。

静止している物標については，物標情報を送る間隔を長くしても良い。物標情報中の静止状態は，物標情報を送る間隔を決めるために用いることができる。具体的な方法は，本仕様では規定しない。

6.5 時刻同期

センサー部は，路側 DM または無線部をマスターとして，PTP（Precision Time Protocol，IEEE 1588-2008）を用いた時刻同期を行う。

付録 A. データ型の定義

ここでは，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。

DE_TimestampIts

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。

このデータ型は閏秒も数えるため，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で表現できる。

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

DE_ErrorNotification

センサー部の異常状態，サービス提供状態，機能停止準備中，要求動作，自己動作を表すデータ型。それぞれの状態を表現する値のビット毎論理和で表す。

センサー部の異常状態の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　正常動作中
0x01:　異常発生中

センサー部のサービス提供状態の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　サービス提供中
0x02:　サービス縮退中
0x04:　サービス停止中

センサー部が機能停止準備中であることの表現値は以下の通り。

0:　　通常動作中
0x08:　機能停止準備中

センサー部の要求動作の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　要求なし
0x10:　電源 OFF/ON 要求
0x20:　リセット指示要求
0x30:　状態変更指示要求

センサー部の自己動作の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　通常動作
0x40:　自己リセット予告
0x80:　自己状態変更予告
0xc0:　自己復旧中

DE_SensorType

センサーの種類を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0:　　不明（数値で表現する場合）

1: レーダー
2: LiDAR
3: 単眼カメラ
4: ステレオカメラ
5: ナイトビジョン
6: 超音波センサー
7: PMD センサー
8: 複数のセンサーのフュージョン
9: 誘導ループ
10: 球面カメラ

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DF_DetectCapability

検知性能情報を表すデータ型で，検知可能物標種別，検知領域，検知信頼度，検知限界物標サイズで構成される。

検知可能物標種別は DE_DetectableClasses で，検知領域は DF_OffsetPointXY のリストで，検知信頼度は DE_Confidence で，検知限界物標サイズは DE_ObjectDimensionValue で表現する。

DE_DetectableClasses

検知できる物標種別の集合を表すデータ型。

8 ビットの符号なし整数の各ビットで，それぞれ，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体が検知できるかどうかを示す。

具体的なビットと物標の種別の対応は以下の通り。

ビット 0（LSB）: 四輪車
ビット 1: 列車
ビット 2: 自動二輪車
ビット 3: 軽車両
ビット 4: 人
ビット 5: 動物
ビット 6: 非固定物体
ビット 7（MSB）: 固定物体

DF_OffsetPointXY

平面上での相対位置を表すデータ型で，WGS84 測地系における東西方向の距離（dx，東が正）と南北方向の距離（dy，北が正）で構成される。

東西方向と南北方向の距離は，それぞれ DE_DistanceValue で表現する。

DE_DistanceValue

相対位置を示すための距離を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–132768: 不明（数値で表現する場合）
–132767: –1327.67m 以下
……

–1: –0.01m
0: 0m
1: 0.01m
……
132767: 1327.67m 以上

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_SensorStatus

センサーの稼働状態と運用状態を表すデータ型。それぞれの状態を表現する値のビット毎論理和で表す。

センサーの稼働状態の具体的な表現値は以下の通り。

0: 正常稼働中
0x1: 縮退稼働中
0x2: 停止中

センサーの運用状態の具体的な表現値は以下の通り。

0: 運用中
0x4: 試験中

DE_TimeOfMeasurement

基準時刻との時間差をミリ秒単位で表すデータ型。時刻を相対値で表すために用いる。

具体的な表現値は以下の通り。

–1500: 基準時刻の 1500ms 前
……
–1: 基準時刻の 1ms 前
0: 基準時刻
1: 基準時刻の 1ms 後
……
1500: 基準時刻の 1500ms 後

このデータ型は，文献[4]のものを採用した。

DF_ObjectClass

物標種別を表すデータ型で，物標の 1 段階目の種別（不明，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体），1 段階目の分類信頼度，2 段階目の種別，2 段階目の分類信頼度で構成される。

1 段階目の種別は， 2 段目のどの種別に関するデータがあるかで表現する。2 段階目の種別は，1 段階目が四輪車の場合は DE_VehicleSubclassType で，列車の場合は DE_TrainSubclassType で，自動二輪車の場合は DE_MotorcycleSubclassType で，軽車両の場合は LightVehicleSubclassType で，人の場合は DE_PersonSubclassType で，動物の場合は DE_AnimalSubclassType で，非固定物体の場合は DE_NfoSubclassType で，固定物体の場合は DE_FoSubclassType で表現する。2 段目の種別に関するデータがない場合には，1 段階目の種別が不明であることを示す。また，分類信頼度は，DE_ClassConfidence で表現する。

このデータ型は，文献[4]のものに拡張・修正を加えたものである。

DE_VehicleSubclassType

車両の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 乗用車
2: バス
3: 小型トラック
4: 大型トラック
5: 牽引車（牽引されている車両）
6: 特殊車両
7: 緊急車両
8: 農業用車両
9: 四輪車群

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_TrainSubclassType

列車の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 路面電車
2: その他の列車

DE_MotorcycleSubclassType

自動二輪車の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 原付
2: 自動二輪車
3: 自動二輪車群

DE_LightVehicleSubclassType

軽車両の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 自転車
2: 人力車
3: 荷車
4: キックボード
5: 軽車両群

DE_PersonSubclassType

人の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 歩行者
2: 車椅子
3: シニアカー
4: ベビーカー（とそれを動かしている人）
5: スケート/スケートボードに乗っている人

6: 人の群

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_AnimalSubclassType

動物の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[4]のものを採用した。

DE_NfoSubclassType

非固定物体の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

DE_FoSubclassType

固定物体の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

DE_ClassConfidence

分類の信頼度をパーセント値で表現したもの。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 1%
……
100: 100%

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_Confidence

信頼度（検知信頼度，存在信頼度）を表すデータ型。

信頼度を表す確率から，以下の式で求めた値を切り上げた整数値で表現する。ただし，値が101 以上となる場合には，101 とする。また，不明を数値で表現する場合には，0 を用いる。

$-10 \cdot \log_{10}$（1−信頼度を表す確率）

具体的には，DE_Confidence の値と信頼度を表す確率の関係は以下のようになる。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: ～20.6%
2: ～36.9%
3: ～49.9%
……
9: ～87.4%
10: ～90.0%
11: ～92.06%
……
99: ～99.999999987%
100: ～99.999999990%
101: それより大きい

DF_ Position

位置とその精度を表すデータ型。

経度，緯度，標高，水平方向位置精度楕円の長半径（長軸の長さの半分），短半径（短軸の長さの半分），長軸の方位角，標高の精度で構成される。

経度は DE_Longitude，緯度は DE_Latitude，標高は DE_AltitudeValue，水平方向位置精度楕円の長半径と短半径は DE_SemiAxisLength，長軸の方位角は DE_AzimuthValue，標高の精度は DE_AltitudeAccuracy で表現する。

DE_Longitude

経度を 0.1 マイクロ度単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

DE_Latitude

緯度を 0.1 マイクロ度単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

DE_AltitudeValue

標高を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–100000:	–1000m 以下
……	
–1:	–0.01m
0:	準拠楕円体上
1:	0.01m
……	

800000: 8000m 以上
800001: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

DE_AltitudeAccuracy

標高の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
20000: 200.0m 以上
20001: 不明（数値で表現する場合）

DE_SemiAxisLength

精度を表す楕円の半径を 0.01m 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

DE_AzimuthValue

WGS84 測地系における方位角を 0.0125 度単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 北
……
7200: 東
……
14400: 南
……
21600: 西
……
28800: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[5]の DE_Angle を採用した。

DE_AzimuthAccuracy

WGS84 測地系における方位角の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）を 0.0125 度単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.0125 度
……
80: 1.00 度
……

7199: 89.9875 度
7200: 90.00 度以上
7201: 不明（数値で表現する場合）

DE_RefPoint

物標位置が，物標のどの場所を表しているかを表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 中央（バウンディングボックスの中央）の底面位置
2: 前面の中心の底面位置
3: 右前角の底面位置
4: 右側面の中心の底面位置
5: 右後角の底面位置
6: 背面の中心の底面位置
7: 左後角の底面位置
8: 左側面の中心の底面位置
9: 左前角の底面位置

地面に接している物体においては，底面位置とは地面位置のことである。

DE_SpeedValue

速さを 0.01m/s 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[4]の DE_SpeedValueExtended に修正を加えたものである。

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）を 0.01m/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_YawRateValue

回転速度（ヨーレート）を 0.01 度/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[3]のものを採用した。

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）を 0.01 度/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_AccelerationValue

前後加速度を 0.01m/s^2 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–2000:	20.00m/s^2 以上で減速
–1999:	19.99m/s^2 で減速
……	
–1:	0.01m/s^2 で減速
0:	一定速度
1:	0.01m/s^2 で加速
……	
1999:	19.99m/s^2 で加速
2000:	20.00m/s^2 以上で加速
2001:	不明（数値で表現する場合）

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）を 0.01m/s^2 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m/s^2
……
999: 9.99m/s^2
1000: 10.00m/s^2 以上
1001: 不明（数値で表現する場合）

DE_ObjectDimensionValue

物標の一辺の長さを 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明（数値で表現する場合）

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）を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明（数値で表現する場合）

DE_StaticStatus

物標の静止状態を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 移動している（静止している時間が 1 秒未満）
1: 1～2 秒間静止している
2: 2～3 秒間静止している
……
3599: 3599～3600 秒間静止している
3600: 3600 秒間以上静止している
3601: 移動が観測されたことがない
3602: 不明（数値で表現する場合）

DE_TrackingStatus

最新のセンシング状態（物標を検知したかどうか），検知しなかった場合にその理由，物標情報の削除予告，物標情報が融合または分割されたかを表すデータ型。それぞれの状態を表現する値のビット毎論理和で表す。

最新のセンシング状態の具体的な表現値は以下の通り。

0: 物標を検知した
0x01: 物標を検知しなかった

検知しなかった理由の具体的な表現値は以下の通り。

0: 物標を検知した，または，検知しなかった理由が不明

0x02: センサーの検知範囲外
0x04: オクルージョン

物標情報の削除予告の具体的な表現値は以下の通り。

0: 削除予告なし，または不明
0x08: 削除予告あり（予告物標情報を削除する N 周期前からセットする）

物標情報が融合されたかの具体的な表現値は以下の通り。

0: 融合なし，または不明
0x10: 他の物標と融合された（物標の融合後，N 周期の間セットする）

物標情報が分割されたかの具体的な表現値は以下の通り。

0: 分割なし，または不明
0x20: 分割して生成された（物標の分割後，N 周期の間セットする）

N の具体的な値は，本仕様では規定しない。

DE_DetectionCount

物標を検知した合計回数を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 1 回
……
65534: 65534 回
65535: 65535 回以上

DE_LostCount

物標を連続して検知できなかった回数を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 物標を検知した，または不明（数値で表現する場合）
1: 1 回
……
254: 254 回
255: 255 回以上

DE_ObjectAge

物標が最初に検知されてからの経過時間を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 0 秒（物標がはじめて検知された）
1: 0.1 秒
……
35999: 3599.9 秒
36000: 3600.0 秒以上
36001: 不明（数値で表現する場合）

付録 B. Protocol Buffers のメッセージ定義

```
syntax = "proto3";

message SensingMessage {
  uint32 message_id = 1;
  uint32 protocol_version = 2;
  uint32 message_counter = 3;
  uint64 sensing_time = 4;
  uint32 error_notification = 5;
  uint32 error_code = 6;
  repeated SensorInformation sensor_info = 7;
  repeated ObjectInformation object_infos = 8;
  repeated PerceivedFreeSpaceInformation freespace_infos = 9;
}

message SensorInformation {
  optional SensorType type = 1;
  sint32 latitude = 2;
  sint32 longitude = 3;
  sint32 altitude = 4;
  repeated DetectCapability detect_capabilities = 5;
  uint32 sensor_status = 6;
}

enum SensorType {
  ST_UNKNOWN = 0;
  ST_RADAR = 1;
  ST_LIDAR = 2;
  ST_MONOVIDEO = 3;
  ST_STEREOVISION = 4;
  ST_NIGHTVISION = 5;
  ST_ULTRASONIC = 6;
  ST_PMD = 7;
  ST_FUSION = 8;
  ST_INDUCTIONLOOP = 9;
  ST_SPHERICALCAMERA = 10;
}

message DetectCapability {
  uint32 detectable_classes = 1;
  repeated OffsetPointXY poly_points = 2;
  optional uint32 confidence = 3;
```

```
  optional uint32 detectable_size = 4;
}

message OffsetPointXY {
  sint32 dx = 1;
  sint32 dy = 2;
}

message ObjectInformation {
  uint32 object_id = 1;
  optional sint32 time_of_measurement = 2;
  repeated ObjectClass object_classes = 3;
  optional uint32 confidence = 4;
  Position position = 5;
  optional RefPoint ref_point = 6;
  optional uint32 heading = 7;
  optional uint32 heading_accuracy = 8;
  optional sint32 speed = 9;
  optional uint32 speed_accuracy = 10;
  optional sint32 yaw_rate = 16;
  optional uint32 yaw_rate_accuracy = 17;
  optional sint32 acceleration = 18;
  optional uint32 acceleration_accuracy = 19;
  optional uint32 orientation = 20;
  optional uint32 orientation_accuracy = 21;
  optional uint32 length = 22;
  optional uint32 length_accuracy = 23;
  optional uint32 width = 24;
  optional uint32 width_accuracy = 25;
  optional uint32 height = 26;
  optional uint32 height_accuracy = 27;
  optional uint32 static_status = 11;
  optional uint32 tracking_status = 12;
  optional uint32 detection_count = 13;
  optional unit32 lost_count = 14;
  optional unit32 object_age = 15;
}

message ObjectClass {
  oneof subclass_type {
    VehicleSubclassType vehicle_subclass_type = 1;
    TrainSubclassType train_subclass_type = 2;
    MotorcycleSubclassType motorcycle_subclass_type = 3;
```

```
    LightVehicleSubclassType light_vehicle_subclass_type = 4;
    PersonSubclassType person_subclass_type = 5;
    AnimalSubclassType animal_subclass_type = 6;
    NfoSubclassType nfo_subclass_type = 7;
    FoSubclassType fo_subclass_type = 8;
  }
  optional uint32 class_confidence = 9;
  optional uint32 subclass_confidence = 10;
}

enum VehicleSubclassType {
  VSCT_UNKNOWN = 0;
  VSCT_PASSENGER_CAR = 1;
  VSCT_BUS = 2;
  VSCT_LIGHT_TRUCK = 3;
  VSCT_HEAVY_TRUCK = 4;
  VSCT_TRAILER = 5;
  VSCT_SPECIAL_VEHICLES = 6;
  VSCT_EMERGENCY_VEHICLE = 7;
  VSCT_AGRICULTURAL = 8;
  VSCT_GROUP = 9;
}

enum TrainSubclassType {
  TSCT_UNKNOWN = 0;
  TSCT_TRAM = 1;
  TSCT_OTHER_TRAIN = 2;
}

enum MotorcycycSubclassType {
  MSCT_UNKNOWN = 0;
  MSCT_MOPED = 1;
  MSCT_MOTORCYCLE = 2;
  MSCT_GROUP = 3;
}

enum LightVehicleSubclassType {
  LVSCT_UNKNOWN = 0;
  LVSCT_BICYCLE = 1;
  LVSCT_RICKSHAW = 2;
  LVSCT_CART = 3;
  LVSCT_KICKBOARD = 4;
  LVSCT_GROUP = 5;
```

```
}

enum PersonSubclassType {
  PSCT_UNKNOWN = 0;
  PSCT_PEDESTRIAN = 1;
  PSCT_WHEELCHAIR = 2;
  PSCT_SENIOR_CAR = 3;
  PSCT_STROLLER = 4;
  PSCT_SKATES = 5;
  PSCT_GROUP = 6;
}

enum AnimalSubclassType {
  ASCT_UNKNOWN = 0;
}

enum NfoSubclassType {
  NFOSCT_UNKNOWN = 0;
}

enum FoSubclassType {
  FOSCT_UNKNOWN = 0;
}

message Position {
  sint32 latitude = 1;
  sint32 longitude = 2;
  sint32 altitude = 3;
  optional uint32 semi_axis_length_major = 4;
  optional uint32 semi_axis_length_minor = 5;
  optional uint32 semi_orientation = 6;
  optional uint32 altitude_accuracy = 7;
}

enum RefPoint {
  RP_UNKNOWN = 0;
  RP_CENTER_BOTTOM = 1;
  RP_FRONT_MIDWIDTH_BOTTOM = 2;
  RP_FRONT_RIGHT_BOTTOM = 3;
  RP_MIDLENGTH_RIGHT_BOTTOM = 4;
  RP_REAR_RIGHT_BOTTOM = 5;
  RP_REAR_MIDWIDTH_BOTTOM = 6;
  RP_REAR_LEFT_BOTTOM = 7;
```

```
  RP_MIDLENGTH_LEFT_BOTTOM = 8;
  RP_FRONT_LEFT_BOTTOM = 9;
}

message PerceivedFreeSpaceInformation {
  optional sint32 time_of_measurement = 1;
  Position position = 2;
  repeated OffsetPointXY poly_points = 3;
  optional uint32 confidence = 4;
  optional uint32 detectable_size = 5;
}
```

付録 C. Collective Perception Message（CPM）との関係

ETSI（欧州電気通信標準化機構）による協調認識サービスに関するテクニカルレポート[4]には，ITS ステーション（車両や路側機）間で，検知した物標の情報を共有するための Collective Perception Message（CPM）が規定されている。CPM は，ITS ステーション間のメッセージであるため，本仕様で定義するセンサー部インタフェースのデータフォーマットとは位置付けが異なるが，目的が似ているために，共通する部分が多い。以下では，本仕様のデータフォーマットとCPM との主な相違点について述べる。

CPM には，管理情報，ステーションデータ情報，センサー情報，認識物標情報，フリースペース追加情報などが含まれる。管理情報とステーションデータ情報には，メッセージの発信元である車両や路側機に関する情報が含まれる。特に車両からのメッセージの場合には，車両の現在位置に加えて，移動状況（移動方向，速さ，回転速度，加速度など）が含まれる。本仕様のデータフォーマットには，これに対応する情報は含んでいない。

CPM のセンサー情報と本仕様のセンサー情報には，以下の相違がある。

- CPM のセンサー情報は，センサーID のデータ項目を持つ。本仕様では，センサーID は路側 DM 側で付与することを想定しており，センサー情報はセンサーID のデータ項目を持たない。
- CPM では，1 つのセンサー情報に対して，検知領域は 1 つしか持てない。
- CPM では，センサーの検知領域は，放射状の領域，円，楕円，長方形でも表現できる。多角形による検知領域の表現では，センサー設置位置の情報は持っていない。
- CPM には，検知可能物標種別，検知限界物標サイズ，センサー状態の各データ項目はない。

CPM の認識物標情報と本仕様の物標情報には，以下の相違がある。

- CPM の認識物標情報は，物標の向きは判別できないという前提でデータ項目が設計されている。そのため，物標の位置，速度，加速度は，x, y, z の 3 軸方向の値で表現されている。これと比較すると，本仕様の物標情報では，鉛直方向の速さと，前後方向以外の加速度は表現できない。逆に CPM では，回転速度のデータ項目を持たない。また，物標参照位置の表現方向も異なる。
- CPM には，本仕様の物標情報に含まれないデータ項目として，物標を認識したセンサーのリスト，物標の存在するレーン ID と縦方向の位置（matchedPosition）がある。
- CPM には，トラッキング状態，検知回数，連続未検知回数の各データ項目はない。

CPM のフリースペース追加情報は，センサーの検知領域と物標情報から算出できるフリースペースが実際のフリースペースと一致しない場合に，追加的に送信する情報である。それに対して，本仕様の直接検知フリースペース追加情報は，センサーが直接検知したフリースペースに関する情報を表すものであり目的が異なるが，両者のデータフォーマットには類似性が高い。CPM のフリースペース追加情報情報と本仕様の直接検知フリースペース情報のデータフォーマットには，以下の相違がある。

- CPM のフリースペース追加情報には，本仕様の直接検知フリースペース情報に含まれないデータ項目として，物標を認識したセンサーのリストと，フリースペース領域内でオクルージョンを考える必要があるかないかを示すフラグ（shadowingApplies）がある。
- CPM では，フリースペース領域は，円，楕円，長方形でも表現できる。

- CPM には，情報取得時刻と検知限界物標サイズの各データ項目はない。

この他に，各データ項目の表現方法にも多くの違いがある。比較的重要なものを以下に示す。

- CPM では，メッセージ全体に対して管理情報の中に基準位置の情報を持っており，認識物標情報に含まれる物標の位置は，そこからの相対位置で表現されている。
- CPM では，信頼度（検知信頼度，存在信頼度）を表す値の意味を定めていない。本仕様では，値の意味を決めているが，値を求める手法には言及していない。

付録 D. バージョン履歴

2023 年 12 月 26 日　　version 1.0.0　　最初のリリース版

CooL4 データ連携 PF API 仕様（案）
version 0.8.0

最終更新日：2024 年 3 月 11 日

自動運転レベル4等先進モビリティサービス
研究開発・社会実装プロジェクト テーマ 4（CooL4）

目次

1. ドキュメントの位置付け 3
2. 参照文献 4
3. 動的情報のデータフォーマット 5
3.1 データフォーマットの構成 5
3.2 データ項目の設計原則 5
3.3 物標情報のデータフォーマット 6
3.3.1 基本方針 6
3.3.2 データフォーマット 6
3.3.3 物標 ID の構成 12
3.3.4 位置の表現方法 13
3.3.5 論点 16
3.4 フリースペース情報のデータフォーマット 16
3.4.1 基本方針 16
3.4.2 フリースペースの多角形表現 17
3.4.3 フリースペースのレーン表現 17
3.4.4 データフォーマット 18
3.5 センサー情報のデータフォーマット 20
3.5.1 基本方針 20
3.5.2 データフォーマット 21
3.6 信号情報のデータフォーマット 22
3.6.1 基本方針 23
3.6.2 データフォーマット 23
3.6.3 信号灯器 ID の構成 25
3.6.4 地図に対する要求 26
3.6.5 論点 26
3.7 物理フォーマットとの関係 27
4. デジタル道路地図のデータフォーマット 28
4.1 仕様策定の方針 28
4.2 デジタル道路地図の格納形式 28
5. データ型の定義 37
付録 A. 既存の物標情報のデータフォーマットとの関係 50
付録 B. デジタル道路地図の各テーブル内のデータ型 54
付録 C. バージョン履歴 57

C.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所 57
C.2 version 0.7.0 から version 0.7.1 への主な変更箇所 57
C.3 version 0.7.1 から version 0.7.2 への主な変更箇所 57
C.4 version 0.7.2 から version 0.8.0 への主な変更箇所 58

1. ドキュメントの位置付け

このドキュメントは，CooL4 プロジェクトにおいて実現を目指すデータ連携プラットフォーム（データ連携 PF）の API 仕様を定義するものである。

CooL4 は，標準を作成する活動ではなく，標準の叩き台となる技術開発や技術評価を目的とするプロジェクトである。そのため本仕様には，CooL4 の中で開発・評価していきたい技術（逆に言うと，現時点では有益であることが検証されていない技術）も含まれている。本仕様は，CooL4 における机上検討や実証実験の結果等を踏まえて，CooL4 の実施期間を通じてブラッシュアップしていく計画である。

現時点で，このドキュメントで規定している API 仕様は，次の通りである。

- 図 1 に示す CooL4 データ連携アーキテクチャ（文献[1]より）の(1)と(2)のインタフェースを流れる次の 4 種類の情報の論理データフォーマット
  - 物標情報
  - フリースペース情報
  - センサー情報
  - 信号情報
- データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するための論理データフォーマット

データ連携 PF 内のデータを検索するためのクエリ言語としては，文献[11]に定義されているものを用いる。具体的には，CooL4 データ連携アーキテクチャの(1)のインタフェースを通してどのデータを取得するかの指定に，このクエリ言語を使用する。

また，図 1 の(3)のインタフェース仕様は，文献[10]に定義されているものを用いる。

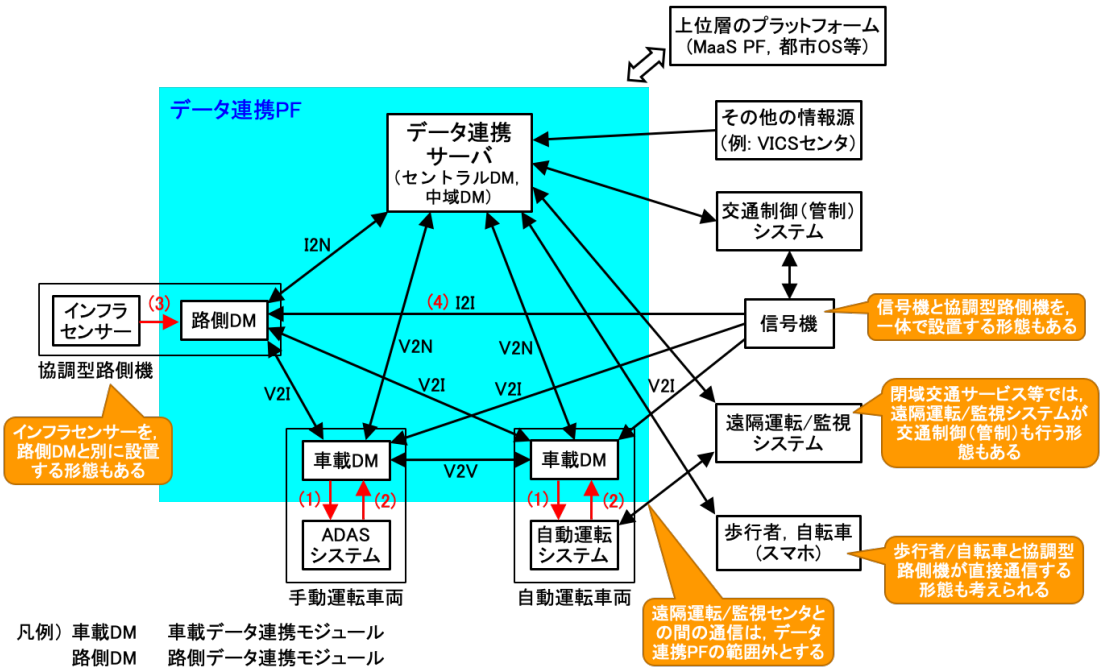


図 1. CooL4 データ連携アーキテクチャ

2. 参照文献

[1] CooL4 データ連携アーキテクチャ（案）version 0.7.0（2023 年 3 月 14 日）.

[2] ETSI TS 102 894-2 V1.3.1 (2018-08). Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary.

[3] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service.

[4] ETSI TR 103 562 V2.1.1 (2019-12). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2.

[5] ITS Connect 推進協議会: ITS Connect システム 車車間通信メッセージ仕様 ITS Connect TD-001 1.0 版.

[6] ISO 17572-4:2020. Intelligent transport systems (ITS) — Location referencing for geographic databases - Part 4: Precise relative location references (precise relative profile).

[7] UTMS 協会: ITS 無線路側機 DSSS 用 路車間通信アプリケーション規格「版 1」（B3U01010）.

[8] ISO/TS 19091:2019. Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections.

[9] SAE J2735_202309. V2X Communications Message Set Dictionary（2023 年 9 月）.

[10] CooL4／CCAM 検討 SWG 共通路側機センサー部インタフェース仕様 version 1.0.0（2023 年 12 月 26 日）.

[11] DM2.0 クエリ言語仕様書 Version 4.00（2022 年 3 月 28 日）.

[12] F. Poggenhans, J.-H. Pauls, J. Janosovits, et.al.: Lanelet2: A high-definition map framework for the future of automated driving, 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2018 年 11 月.

[13] Lanelet2, https://github.com/fzi-forschungszentrum-informatik/Lanelet2.

[14] ITS 情報通信システム推進会議: 自転車・歩行者事故防止支援システム向け実験用通信メッセージガイドライン ITS FORUM RC-016 1.0 版（2022 年 3 月 29 日）.

[15] ISO/IEC9075:1999 Information technology – Database language SQL.

[16] ISO/IEC9075-15:2023 Information technology – Database language SQL – Part15: Multi-dimensional arrays (SQL/MDA).

3. 動的情報のデータフォーマット

3.1 データフォーマットの構成

CooL4 データ連携 PF は，自動運転システムに提供する動的情報として，現時点では，自動運転車両の周辺環境に関する情報（周辺環境情報）と，信号の現示やその変化予定に関する情報（信号情報）を扱う。車両の周辺環境情報の情報源としては，周辺に存在する車両自身と，路側に設置されたセンサーや車両に搭載されたセンサーがある。

車両の周辺環境情報としては，少なくとも，車両周辺に存在する物体（他車両や歩行者など）の位置や状態などの情報（物標情報）を伝達する必要がある。しかし，物標情報のみが伝達された場合，物標情報がない場所（領域）は，物体が存在しないのか，センサーから見えていないなどの理由で物体が存在するかどうかがわからないのかが判別できない。物体が存在するかどうかがわからない理由としては，センサーの検知範囲外であることや，オクルージョンによりセンサーから見えないことなどが考えられる。

物体が存在しないのか，物体が存在するかどうかがわからないのかを判別できるようにするには，物標が存在しない領域（フリースペース）を伝達するか，センサーから見えている領域（または，その裏返しのセンサーから見えていない領域）を伝達する必要がある。センサーから見えていない領域の内，オクルージョンにより見えていない領域は，センサーの設置位置と物標の位置およびサイズから計算で求めることができる。

本仕様では，フリースペースを伝達するためのデータフォーマット（フリースペース情報）と，センサーの設置位置と検知領域を含むセンサー情報を伝達するためのデータフォーマットの両方を定義する。自動運転システムは，データ連携 PF 側で生成されたフリースペース情報を用いることもできるし，センサー情報と物標情報からフリースペースを求めて用いることもできる。

以上をまとめると，本仕様では，データ連携 PF と自動運転システムの間でやりとりする動的情報として，物標情報，フリースペース情報，センサー情報，信号情報の 4 種類の情報のデータフォーマットを規定する。

3.2 データ項目の設計原則

各情報のデータ項目の策定にあたって，以下の設計原則を設定する。

- 必須のデータ項目を最小限とする。これは，現時点のユースケースを実現する際に高コストになることを避けるためと，情報源や検知状況によって得られるデータ項目が異なる（例えば，初回の検知では移動方向や速さの情報が得られないなど）ためである。なお，以下のデータフォーマットの記述で，「必須」と記載されていないデータ項目は，すべてオプションである。
- 必須のデータ項目以外のすべてのデータ項目に，そのデータ項目が設定されていないことを示す「不明」を表す値を入れられるようにする。ただし，データ項目が設定されていないことを他の方法で表せる場合には，「不明」を表す値は使用しない。
- 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。
- 方位角の単位は，原則として 0.0125 度とする。ただし，回転速度の単位は，0.01 度/s とする。

文献[2][4][5][7][9]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，または修正を加えて採用する方針とする。

3.3 物標情報のデータフォーマット

物標情報とは，道路上およびその周辺に存在する物体の位置や状態に関する動的な情報である。

3.3.1 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。なお，自己物標情報と認識物標情報を統合して得られた物標情報は，自己物標情報として扱う。

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。本仕様では，これらのメッセージフォーマットを参考にして，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。データ項目の具体的な削減方法については，物理フォーマットの規定に委ねる。

3.3.2 データフォーマット

物標情報は，次のデータ項目で構成される。

- 物標 ID［必須］
- 情報取得時刻［必須］

- 物標種別のリスト(リストのサイズは 0 以上 4 以下)
- 存在信頼度
- 位置と移動
  - 物標位置[必須]とその精度
  - 物標参照位置
  - 移動方向とその精度
  - 速さとその精度
  - 回転速度とその精度
  - 前後加速度とその精度
  - 物標の静止状態
- 物標の状態/属性
  - 物標の向きとその精度
  - 物標のサイズとその精度
  - 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
    - ✧車両サイズ種別
    - ✧車両用途種別
    - ✧車両用途種別毎の状態
    - ✧牽引車両
- 物標のトラッキング情報
  - トラッキング状態[必須]
  - 検知回数
  - 連続未検知回数
  - 生存時間
- 情報源のリスト[必須]

この他に，将来のユースケースのためには，移動予定経路を含める必要があるが，現時点ではスコープ外としている。

この中で，「車両の状態等」に含まれる各データ項目は，物標が自動車であることを前提としたものである。また，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，自動車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。

なお，文献[14]には，自転車や歩行者の状態等を表現するデータ項目が定義されている。今後，自転車や歩行者からの自己物標情報を扱う場合には，この文献を参考に，物標情報の拡張を検討することとする。

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。

複数の物標情報を統合する場合には，統合前の物標情報のいずれかの物標 ID を，統合後の物標 ID とする。統合対象に自己物標情報が含まれている場合には，その物標 ID を用いる。ここで，ある物標情報が自己物標情報であるか否かは，物標情報の物標 ID が情報源のリストの最初の要素と一致するかどうかで判断する。物標情報の物標 ID の構成（自己の物標 ID は上位 2 ビットが 01 であること）から判断すべきではない。

物標 ID は，64 ビットの符号なし整数で表現する。物標 ID の構成については 3.3.3 節で述べる。

情報取得時刻

物標情報を得た時刻。認識物標情報においては，センサーが物標を観測した時刻。

情報取得時刻は，物標の位置と整合していることが重要である。認識処理等で遅れが生じる場合には，遅れ分を補正しても良い。

DE_TimestampIts で表現する。

物標種別のリスト

2 段階で表現した物標の種別と段階毎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。リストのサイズが 0 の場合，物標の種別が不明であることを表す。

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。

1 段階目の種別では，物標が不明，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体のいずれに分類されるかを表す。不明以外の場合には，2 段階目の種別で，さらに詳しい種別を表す。

分類信頼度は，1 段階目，2 段階目のそれぞれに対して，パーセント値で表現する。

2 段階目の種別に，物標の群を表す種別があるが，この種別の必要性と使い方は次の通りである。センサーで多くの車両や人が検知できた場合に，それらを個別の物標情報として表すとデータサイズが大きくなり，通信帯域の制約などにより送信できなくなる場合が考えられる。このような場合に，送信する物標情報を間引くと，受信側では，本来は物標が存在する場所をフリースペースと誤認する可能性がある。これを防ぐためには，物標情報を間引くのではなく，類似の動きをする複数の物標情報を統合する方法が望ましい。複数の物標を統合した物標情報は，物標種別を物標の群を表す種別とすることで区別する。

物標種別を物標の群を表す種別とした場合，物標 ID は，物標の群に対して付与する。物標位置，物標参照位置，物標の向き，物標のサイズの各データ項目で，物標の群全体のバウンディングボックスを表す。移動方向，速さ，回転速度，前後加速度は，物標の群に属する物標でこれらのデータがほぼ同じ値であればその値を用い，そうでなければ不明（または値を設定しない）とする。

物標種別は，DF_ObjectClass で表現する。

存在信頼度

物標情報が表す物体が実際に存在する確率。言い換えると，誤検知率を 1 から減じた値。

DE_Confidence で表現する。

物標位置とその精度

物標の位置とその精度。

DF_Location で表現する。その構成については 3.3.4 節で述べる。

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。

認識した物標の位置をできる限り正確に伝えるために，位置を最も正確に特定できる場所を参照位置とする。具体的には，センサーから見えている場所を参照位置とすることを想定している。自己物標情報の場合と，認識した物標の全体が見えている場合には，車両の場合は前面の中心の底辺位置，人の場合は中央の底辺位置を使う。どの面が見えているかわからない場合には，見えている面を前面であるものと扱う。

DE_RefPoint で表現する。

移動方向とその精度

物標の移動方向とその精度。移動方向は，WGS84 測地系における方位角で表現する。

移動方向は DE_AzimuthValue，移動方向の精度は DE_AzimuthAccuracy で表現する。

速さとその精度

物標の移動の速さとその精度。

速さが負の値の場合は，物標が後退していることを表す。

速さは DE_SpeedValue，速さの精度は DE_SpeedAccuracy で表現する。

回転速度とその精度

物標の回転速度（ヨーレート）とその精度。

回転速度は DE_YawRateValue，回転速度の精度は DE_YawRateAccuracy で表現する。

前後加速度とその精度

物標の前後加速度（速さの時間微分）とその精度。

前後加速度は DE_AccelerationValue，前後加速度は DE_AccelerationAccuracy で表現する。

物標の向きとその精度

物標の向きとその精度。向きは，WGS84 測地系における方位角で表現する。

物標の向きは，移動方向と一致するとは限らない。向きが明確でない物標に対しては，物標

のサイズを表現するために用いる情報と位置付ける。

向きは DE_AzimuthValue，向きの精度は DE_AzimuthAccuracy で表現する。

物標のサイズとその精度

物標のサイズとその精度。具体的には，物標の向きに対する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。

長さ，幅，高さはそれぞれ DE_ObjectDimensionValue，長さの精度，幅の精度，高さの精度はそれぞれ DE_ObjectDimensionAccuracy で表現する。

物標の静止状態

物標が静止しているか，静止している場合には，どれだけの時間静止しているかを示す。

認識物標情報においては，物標位置の変化が，センサーの位置認識誤差以内である場合に，物標が静止しているものとする。

DE_StaticStatus で表現する。

シフトポジション

車両のシフトポジション。

文献[5]の「DE_シフトポジション」で表現する。

前輪舵角，後輪舵角

車両の前輪と後輪の舵角。

それぞれ DE_SteeringAngle で表現する。

ブレーキ状態

車両のブレーキの状態。

文献[5]の「DE_ブレーキ状態」で表現する。

補助ブレーキ状態

車両の補助ブレーキの状態。

文献[5]の「DE_補助ブレーキ状態」で表現する。

アクセルペダル開度

車両のアクセルペダルの操作量。

文献[5]の「DE_アクセルペダル開度」で表現する。

灯火の状態

車両の灯火の状態。

文献[5]の「DE_灯火類状態」または文献[2]の DE_ExteriorLights で表現する。

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。

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で表現する。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。

車両サイズ種別

車両のサイズ種別。

文献[5]の「DE_車両サイズ種別」で表現する。

車両用途種別

車両の用途種別。

文献[5]の「DE_車両用途種別」または文献[2]の DE_VehicleRole で表現する。

車両用途種別毎の状態

車両の用途種別毎の状態。

文献[5]の「DF_拡張情報」または文献[3]の SpecialVehicleContainer で表現する。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。

トラッキング状態

最新の検知状態（物標を検知したかどうか），検知しなかった場合にその理由，物標情報の削除予告，物標情報が融合または分割されたかを表す。トラッキング状態は必須のデータ項目であるが，最新の検知状態以外はオプションとする。

DE_TrackingStatus で表現する。

検知回数

認識物標情報において，物標を検知した合計回数。物標を複数のセンサーで検知した場合は，センサー毎に検知回数を増加させる。

DE_DetectionCount で表現する。

連続未検知回数

認識物標情報において，物標を連続して検知できなかった回数。

DE_LostCount で表現する。

生存時間

認識物標情報において，物標が最初に検知されてからの経過時間。

DE_ObjectAge で表現する。

情報源のリスト

物標情報の情報源のリスト。リストのサイズは，1 以上 4 以下とする。

情報源は，自己物標情報の場合はその物標自身の物標 ID，認識物標情報の場合は観測機器を表現するための物標 ID で表す。複数の物標情報を統合して得られた物標情報においては，

統合前の情報源のリストを結合したリストとする。結合にあたっては，その物標自身の物標 ID が含まれていればそれを最初に置き，残りの情報源は，貢献度が大きいと考えられる順に並べるものとする。結合した結果，リストのサイズが 4 を超える場合には，リストの先頭から順に 4 つまでの情報源を含めるものとする。

ここで，ある物標 ID がその物標自身の物標 ID であるか否かは，物標情報の物標 ID と一致しているかどうかで判断する。物標 ID の構成（自己の物標 ID は上位 2 ビットが 01 であること）から判断すべきではない。

情報源のリストは，物標情報を統合する際に利用することを想定している。情報源のリストがない場合，例えば，1 つの情報源からの認識物標情報が複数の経路で届いた場合に，それらを独立に認識した情報と考えて，信頼度が高いと誤認するおそれがある。また，情報が循環することで，誤った情報が流通するおそれも考えられる。

3.3.3 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，情報源の表現などに用いるために，物標 ID を割り当てる。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，車両に搭載されたセンサーで検知した物標にのみ番号を付与する車両と，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）

自己物標情報に用いるID（仮名ID）

01	予約（12ビット）	仮名ID（50ビット）

協調型路側機による認識物標情報に用いるID（認識物標ID）

10	協調型路側機が付与する 番号（30ビット）	機器ID（32ビット）

車両による認識物標情報に用いるID（認識物標ID）

11	車両が付与する 番号（12ビット）	仮名ID（50ビット）

3.3.4 位置の表現方法

位置は，次の 5 つの方法のいずれか，または複数の方法を併用して表現する。また，位置精度の情報も持たせる。

- 経度緯度標高
- 平面直角座標と標高
- 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。

位置とその精度を表すデータ型である DF_Location は，次のデータ項目で構成される。

- 経度緯度標高
  - 空間参照系
  - 経度
  - 緯度
  - 標高
- 平面直角座標と標高
  - 空間参照系
  - X 座標
  - Y 座標
  - 標高
- 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
  - 標高方向位置精度

以下では，上のそれぞれのデータ項目について説明する。

空間参照系

経度緯度標高および平面直角座標と標高による位置の表現に用いる空間参照系の種類。

DE_SRID で表現する。

経度

指定された測地系に基づく経度。

DE_Longitude で表現する。

緯度

指定された測地系に基づく緯度。

DE_Latitude で表現する。

標高

指定された測地系または座標系に基づく標高。

DE_AltitudeValue で表現する。

X 座標，Y 座標

指定された座標系に基づく X 座標と Y 座標。

それぞれ 32 ビットの符号付き整数で表現する。

CRP ID

位置参照の基準点として用いる CRP（Common Reference Point）の ID。

32 ビットの符号なし整数で表現する。

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 の標高方向（上が正）の距離を表す。

それぞれ DE_DistanceValue で表現する。

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。

DE_LaneCount で表現する。

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？）。

DE_LanePosition で表現する。

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。

DE_LaneLateralPosition で表現する。

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。

道のり距離の比率は，DE_DistanceRatio で表現する。

レーン ID

物標の位置の標準地図におけるレーンの ID。

64 ビットの符号なし整数で表現する。

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 の標高方向（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 DE_DistanceValue で表現する。

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）と標高の精度。楕円は，長半径（長軸の長さの半分），短半径（短軸の長さの半分），長軸の方位角で表現する。

楕円の長半径と短半径は DE_SemiAxisLength，長軸の方位角は DE_AzimuthValue，標高の精度は DE_AltitudeAccuracy で表現する。

3.3.5 論点

- 異なる情報源からの物標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，車両の車種やメーカーは含めなかった。

3.4 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（歩道も含む）の移動可能領域上の物標が存在しない領域に関する情報である。

物標情報のみが伝達された場合，物標情報がない場所（領域）は，物標が存在しないのか，センサーから見えていないのかが判別できない。フリースペース情報は，物標が存在しない領域を明示することで，センサーから見えていない領域と区別するために用いる。また，物標を見逃している確率は，物標情報では表すことができず，フリースペースの存在信頼度で表される。

フリースペースは，いくつかの方法で検知することができる。フリースペースを直接的に検知する方法として，背景にある物体をセンサーが検知することで，その手前に物標がないと判定する方法がある。この方法を直接検知と呼び，この方法で検知されたフリースペースを直接検知フリースペースと呼ぶ。それに対して，センサーの検知領域内で，物標が存在せず，オクルージョンにより見えていない領域でもない領域をフリースペースと推定する方法を，間接検知と呼ぶ。その他にも，過去に物標がないことが検知されており，その後その領域に入った物標がない場合に，その領域をフリースペースであると推定するといった方法も考えられる。

3.4.1 基本方針

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なっている。一方で，想定されているユースケースを踏まえると，少なくとも道路上の車両が走行する領域については，多角形による表現は不必要に複雑で，もっとシンプルな方法でも十分と考えられる。

そこで本仕様では，フリースペースを多角形で表現する方法（これを多角形表現と呼ぶ）と，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たシンプルな表現方法（これをレーン表現と呼ぶ）の 2 つを用意する。

フリースペース情報には，その領域を検知しているセンサーが検知対象とする物標の種別（検知可能物標種別），検知できない可能性のある物標の最大サイズ（検知限界物標サイズ），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）の情報を持たせる。検知限界物標サイズや存在信頼度が大きく変わる場合は，フリースペースを分割する。

規定値よりも小さいフリースペースは，フリースペース情報の生成対象としない。具体的には，多

角形表現の場合はフリースペース領域が規定値(現時点での実装では 5m とする)の直径の円に収まるサイズの領域，レーン表現の場合は長さが規定値(現時点での実装では 5m とする)より短い領域のフリースペース情報は，生成する必要がないものとする。

3.4.2 フリースペースの多角形表現

フリースペースの多角形表現では，フリースペース領域(物標が存在しない道路面の領域)を多角形で表現する。

多角形は頂点のリストで表現し，最初の頂点と最後の頂点をつないだ内側の領域を表すものとする。最初の頂点の位置は，DF_Location で表現し，2 番目以降の各頂点の位置は，最初の頂点の位置からの相対座標で表現する。2 番目以降の頂点のリストのサイズは 2 以上 15 以下とする。2 番目以降の各頂点の標高は静的地図からわかるため，頂点の標高を表すデータ項目は持たない。

フリースペース領域の精度は，各頂点に個別に持つのではなく，すべての頂点に対して 1 つのみ持つ。具体的には，各頂点の水平方向位置精度を表すための 95%信頼楕円をすべて含む楕円と，各頂点の標高の精度の最大値で表現する。楕円は，長半径，短半径，長軸の方位角で表現する。

3.4.3 フリースペースのレーン表現

フリースペースのレーン表現では，フリースペース領域は連続するレーン(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 2)。図 2 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。

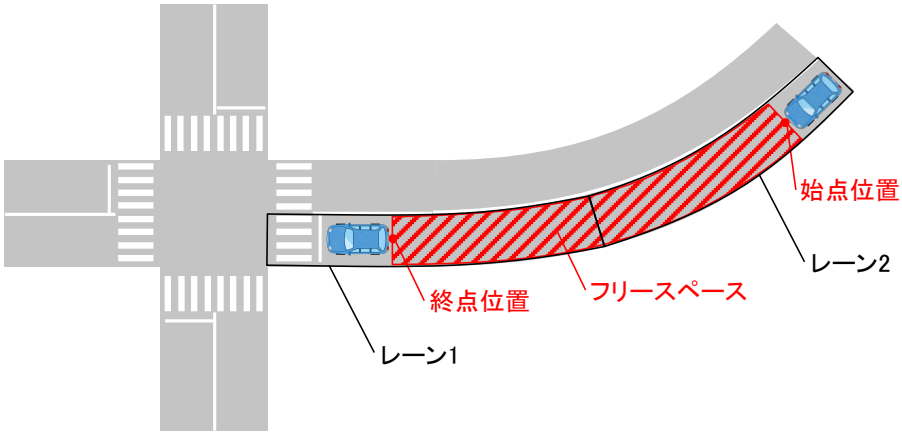


図 2. フリースペースの表現

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 3)。図 3 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。

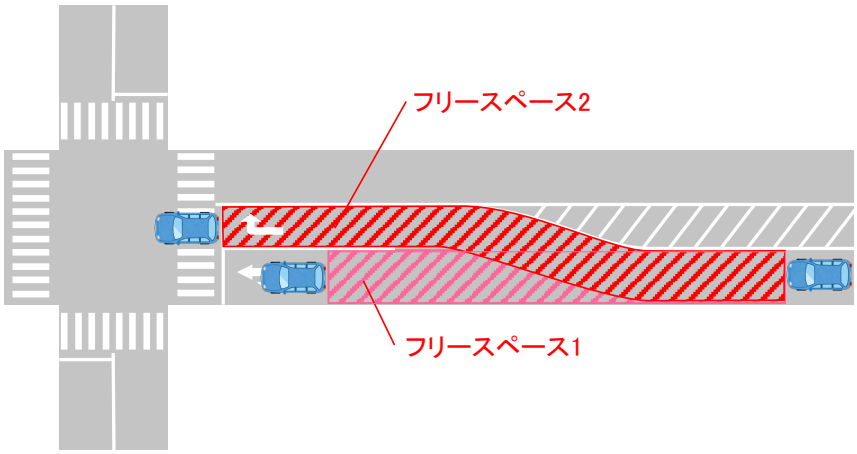


図 3. 分岐するレーンのフリースペース

フリースペースのレーン表現には，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。

レーン表現は，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しているが，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，レーン表現は，道路上の車両が走行する部分のみを対象としている。歩道の扱いについても，今後の課題である。

3.4.4 データフォーマット

フリースペース情報は，次のデータ項目で構成される。

- フリースペース ID[必須]
- 情報取得時刻[必須]
- 検知方法[必須]
- 検知可能物標種別[必須]
- フリースペース領域とその精度

  〔多角形表現の場合〕

  - 最初の頂点位置[必須]とフリースペース領域の精度
  - 頂点のリスト[必須]

  〔レーン表現の場合〕

  - 始点位置[必須]とその精度
  - 終点位置[必須]とその精度
  - 長さとその精度
  - 始点物標 ID
  - 終点物標 ID
- 存在信頼度
- 検知限界物標サイズ

- 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）。

フリースペース ID は，64 ビットの符号なし整数で表現する。フリースペース ID の構成は，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。

DE_TimestampIts で表現する。

検知方法

フリースペースを検知した手法が，直接検知か，間接検知か，その他の方法か。

検知方法は，DE_FreeSpaceDetectionMethod で表現する。

検知可能物標種別

フリースペース内に存在しないことが検知できる物標の種別。四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体が，それぞれ存在しないことが検知できるかどうかを表す。

DE_DetectableClasses で表現する。

存在信頼度

フリースペース情報が表す領域内に，検知限界物標サイズより大きい物標が実際に存在しない確率。言い換えると，存在する物標を見落とす確率を 1 から減じた値。

DE_Confidence で表現する。

検知限界物標サイズ

フリースペース領域内で，このサイズ以下の物標は見落とす可能性があるというサイズ。

DE_ObjectDimensionValue で表現する。

最初の頂点位置とフリースペース領域の精度

フリースペース領域を表す多角形の最初の頂点の位置と，フリースペース領域の精度。

DF_Location で表現する。

頂点のリスト

フリースペース領域を表す多角形の 2 番目以降の頂点の位置のリスト。リストのサイズは，2 以上 15 以下とする。

各頂点の位置は，DF_OffsetPointXY で表現する。

始点位置とその精度

フリースペース領域の（レーンの進行方向に対して）始点（横方向はレーンの中央）の位置とその精度。

DF_Location で表現する。

終点位置とその精度

フリースペース領域の（レーンの進行方向に対して）終点（横方向はレーンの中央）の位置とその精度。

DF_Location で表現する。

長さとその精度

フリースペース領域の長さ（道のり距離）とその精度。

長さは DE_ObjectDimensionValue，長さの精度は DE_ObjectDimensionAccuracy で表現する。

始点物標 ID

フリースペース領域の始点の手前にある物標またはフリースペースの ID。始点の手前に物標もフリースペースもない場合（典型的には，始点の手前がセンサの検知範囲外やオクルージョンで見えていない場合）には，不明を表す値とする。

終点物標 ID

フリースペース領域の終点の先にある物標またはフリースペースの ID。終点の先に物標もフリースペースもない場合（典型的には，終点の先がセンサの検知範囲外やオクルージョンで見えていない場合）には，不明を表す値とする。

情報源のリスト

フリースペース情報の情報源のリスト。リストのサイズは，1 以上 4 以下とする。

情報源は，観測機器を表現するための物標 ID で表す。複数のフリースペース情報を統合して得られたフリースペース情報においては，統合前の情報源のリストを結合したリストとする。結合にあたっては，情報源を貢献度が大きいと考えられる順に並べるものとする。結合した結果，リストのサイズが 4 を超える場合には，リストの先頭から順に 4 つまでの情報源を含めるものとする。

3.5 センサー情報のデータフォーマット

センサー情報は，センサーの設置位置や検知性能などに関する情報である。

3.5.1 基本方針

センサー情報には，物標を検知することができる領域（検知領域）に関する情報を複数含むことができ，検知領域毎に，センサーの検知能力（検知できる物体の種別や検知信頼度）に関する情報を持つ。センサーの検知領域と検知能力を含むデータ単位を，検知性能情報と呼ぶ。センサー情報中に検知性能情報を複数持つことができるのは，センサーの検知領域が複数に分かれている場合や，検知領域によって検知能力が異なる場合に対応できるようにするためである。

センサーの検知領域には，検知対象でない物体によるオクルージョンで見えない領域は含めないものとする（図 4）。検知領域は頂点数が 16 以下の多角形で表現するが，検知領域が複雑な形状となりそれでは表現できない場合には，複数の検知領域に分割するか，小さくなる方向に近似する。

センサーの検知性能は，その時の状況（天候やセンサーのレンズの汚れなど）によって変化する動的な情報である。

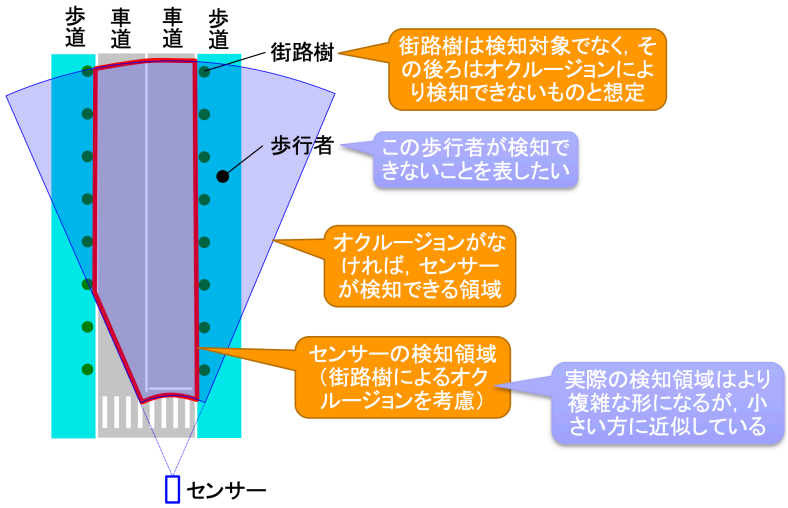


図 4. センサーの検知領域

3.5.2 データフォーマット

センサー情報は，次のデータ項目で構成される。

- 観測機器 ID[必須]
- センサーID[必須]
- センサータイプ
- センサー設置位置[必須]
- 検知性能情報（以下のデータ項目で構成）のリスト（リストのサイズは 0 以上 8 以下）
  - 検知可能物標種別[必須]
  - 検知領域[必須]
  - 検知信頼度
  - 検知限界物標サイズ
- センサー状態[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。

観測機器 ID

センサーが設置された観測機器を表す物標 ID。協調型路側機に設置されたセンサーの場合は，協調型路側機を表現するための物標 ID で，車両に設置されたセンサーの場合は，車両の仮名 ID とする。

センサーID

1 つの観測機器に設置されたセンサーを識別するための ID。

8 ビットの符号なし整数で表現する。

センサータイプ

センサーの種類。

DE_SensorType で表現する。

センサー設置位置

センサーの設置位置。

DF_Location で表現する。

検知性能情報のリスト

検知可能物標種別，検知領域，検知信頼度，検知限界物標サイズで構成される検知性能情報のリスト。リストのサイズは 0 以上 8 以下とする。リストのサイズが 0 になるのは，センサーが故障した場合のみとする。

検知可能物標種別と検知領域に重なりのある検知性能情報が複数ある場合には，その中で最初のものが適用される。言い換えると，リストの前にある方が優先される。

検知性能情報は，DF_DetectCapability で表現する。

検知可能物標種別

検知可能な物体の種別。四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体が，それぞれ検知できるかどうかを表す。

DE_DetectableClasses で表現する。

検知領域

センサーが物標の存在を検知できる道路面の領域。

道路面の領域は多角形で表現する。多角形は頂点のリストで表現し，最初の頂点と最後の頂点をつないだ内側の領域を表すものとする。各頂点の位置は，センサー設置位置からの相対座標で表現し，頂点のリストのサイズは 3 以上 16 以下とする。各頂点の標高は静的地図からわかるため，頂点の標高を表すデータ項目は持たない。

各頂点の位置は，DF_OffsetPointXY で表現する。

検知信頼度

センサーの検知領域内で，検知限界物標サイズより大きい物標の存在を検知できる確率。言い換えると，未検知率を 1 から減じた値。

ある信頼度が達成できない場合に，情報を出力しなくなるセンサー部の場合，その信頼度の値（固定値）を用いれば良い。

検知信頼度は，DE_Confidence で表現する。

検知限界物標サイズ

センサーの検知領域内で，このサイズ以下の物標は見落とす可能性があるというサイズ。

検知限界物標サイズは，DE_ObjectDimensionValue で表現する。

センサー状態

センサーの稼働状態（正常稼働中か縮退稼働中か停止中か）と運用状態（運用中か試験中か）。

センサー状態は，DE_SensorStatus で表現する。

3.6 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。

3.6.1 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。

3.6.2 データフォーマット

信号灯色情報は，次のデータ項目で構成される。

- 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。

32 ビットの符号なし整数で表現する。

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 3.6.3 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。

DE_TimestampIts で表現する。

信号状態情報

信号機の動作状態。SIP-adus の事業で検討されたものを用いる。

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。SIP-adus の事業で検討されたものを用いる。

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。

文献[7]の「DE_イベントカウンタ」で表現する。

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。

文献[7]の「DE_カウントダウン停止フラグ」で表現する。

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。

DE_MainLightIndication で表現する。

青矢信号表示

青矢灯器の状態。

文献[7]の「DE_青矢信号表示方向」で表現する。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）。

文献[7]の「DE_最小残秒数」で表現する。

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。

文献[7]の「DE_最大残秒数」で表現する。

3.6.3 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，見るべき論理的な信号灯器は，横断する方路によって決まるのが一般的である。

そこで，信号灯器 ID は，交差点に接続されている方路をユニークに識別するための方路 ID を用いて，以下のように構成することとする。方路 ID は，文献[7]の「DE_方路 ID」に従って 1～8 の値とし，交通管理者が付与することを想定している。

車両用信号灯器

流入方路ID（1～8） （4ビット）	流出方路ID（1～8） （4ビット）

歩行者用信号灯器

横断方路ID（1～8） （4ビット）	００００

例外的な状況として，1 つの流入方路に対して複数の車両用信号機が設置されており，流入レーンによって見るべき信号灯器が異なる場合には，見るべき信号灯器が同じレーンの集合毎に，流入方路 ID の部分を異なる値にして区別する。また，横断方路と 1 対 1 に対応しない歩行者用信号機が設置されている場合にも，流入方路 ID の部分で区別する。このような例外的な状況において，信号灯器 ID をどのように付与するかについては，今後の課題である。

3.6.4 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。

3.6.5 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。

3.7 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 フィールドや Protocol Buffers の optional フィールド）。そのような場合には，値が不明の場合には値を設定しないこととし，本仕様で規定した不明を表す値は使用しないものとしても良い。これにより，通信メッセージのデータ長を短くすることができる場合がある。

4. デジタル道路地図のデータフォーマット

4.1 仕様策定の方針

データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するデータフォーマットとして，自動運転向けの高精度デジタル道路地図を扱うための ROS 向けのライブラリである Lanelet2（文献[12]，文献[13]）の静的地図フォーマットと API をベースに，独自のデータフォーマットを策定する。

Lanelet2 の静的道路地図フォーマットは，XML ベースとした OpenStreetMap のデータフォーマットを拡張したものとなっている。一方，CooL4 のデータ連携 PF では，デジタル道路地図をリレーショナルデータベースに格納するため，Lanelet2 の静的道路地図フォーマットを，リレーショナルデータベースに格納する形式を規定する。

ここで，Lanelet2 に対して改良を加えた点として，レーン間の関係の扱いがある。Lanelet2 では，レーンに関する情報から，レーン間の関係を動的に計算している（具体的には，道路地図をメモリ上に読み込む時に計算する）。しかし，レーン間の関係はほぼ静的な情報であるため，事前に計算して，データベースに格納しておいた方が効率が良い。そこで，レーン間の関係を格納する方法についても規定する。

もう 1 つの重要な拡張として，論理的な信号灯器を扱えるようにしたことが挙げられる。無線通信によって受信する信号の現示情報は，物理的な信号灯器ではなく，論理的な信号灯器に対して提供されるため，それを解釈するには，デジタル道路地図に論理的な信号灯器の情報を含める必要がある。

4.2 デジタル道路地図の格納形式

Lanelet2 では，デジタル道路地図を，物理層，関係層，トポロジー層の 3 つのレイヤで構成している。物理層は，point，lineString，polygon の 3 つの要素を持ち，それぞれ物理的な点，線，多角形を表す。関係層は，lanelet（レーン），area（エリア），regulatory element（交通規則）の 3 つの要素を持ち，道路としての意味を表現する。トポロジー層は，レーンやエリア間の関係を表現するもので，前述した通り，Lanelet2 では動的に計算している。

これをリレーショナルデータベースに格納する際のデータ形式を記述した ER 図（Entity Relationship Diagram）を， 図 5 に示す。以下では，この各部分を拡大した図を用いて，その内容を説明する。

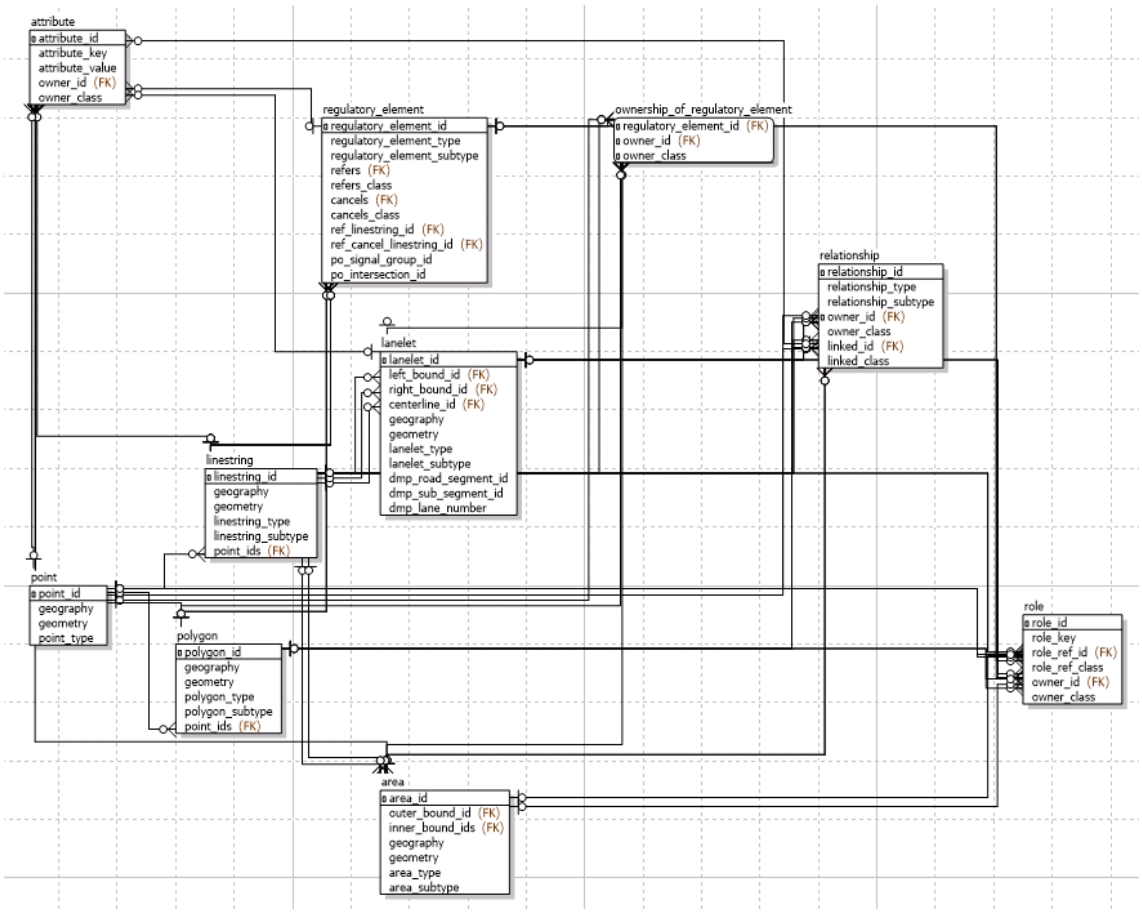


図 5. デジタル道路地図の格納形式の ER 図

図 6 は，point，lineString，polygon，lanelet，area を格納するリレーションと，それらの間の関係を示す。

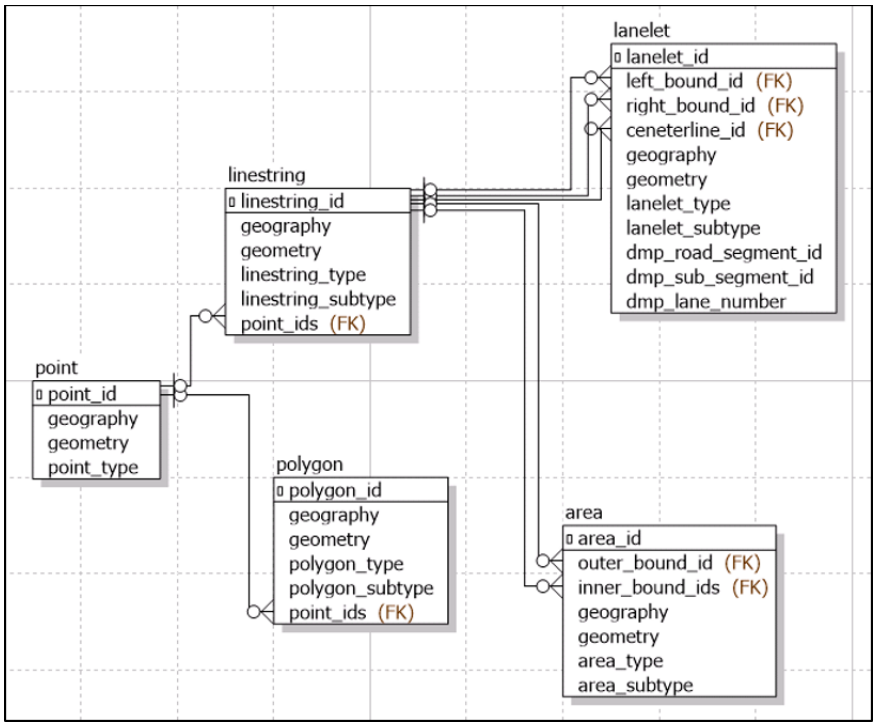


図 6. 地物テーブル同士の関連

point は，地図を構成する点を表すもので，経度緯度標高による位置表現(geography)と平面直角座標系での位置表現(geometry)の両方で点の位置を表現する。geography と geometry の両方を持たせているのは，データの検索時に，使いやすい方の表現を使えるようにするためである。また，point のタイプを表すフィールドを持つ。

lineString は，地図を構成する線分列を表すもので，線分列を構成する point のリストに加えて，geography と geometry の両方で線分列の位置を表現する。線分列を構成する point のリストを持つため，geography と geometry は冗長な情報であるが，データの検索を効率化するために持たせている。また，lineString のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

polygon は，地図を構成する多角形を表すもので，lineString と同様に，多角形を構成する point のリストに加えて，geography と geometry の両方で多角形の位置を表現する。また，polygon のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

lanelet は，道路を構成するレーン(車線)を表すもので，レーンの左右の境界を表す線分列と中央線をそれぞれ lineString として持つことに加えて，レーンの範囲を表す geography と geometry を持つ。ここでも，geography と geometry は冗長な情報であるが，データの検索を効率化するために持たせている。さらに，lanelet のタイプとサブタイプを表すフィールド等を持つ。

area は，道路周辺のエリア(領域)を表すもので，lanelet と異なり，走行する向きの情報を持たない。駐車場や路側帯などは，area で表現する。area は，その外周を表す lineString と，エリアに穴が開いている場合に穴を表す線分列の集合のリストを持つことに加えて，エリアの範囲を表す geography と geometry を持つ。さらに，area のタイプとサブタイプを表すフィールドを持つ。

lineString や polygon 等の要素が，それぞれのリレーションに含まれない属性を持つ場合には，attribute リレーションを用いて表現する(図 7)。attribute には，属性を持つのがどの要素(point，lineString，polygon，lanelet，area，regulatory element，relationship のいずれか)であるかとその要

素の ID，属性のタイプと値を持つ。

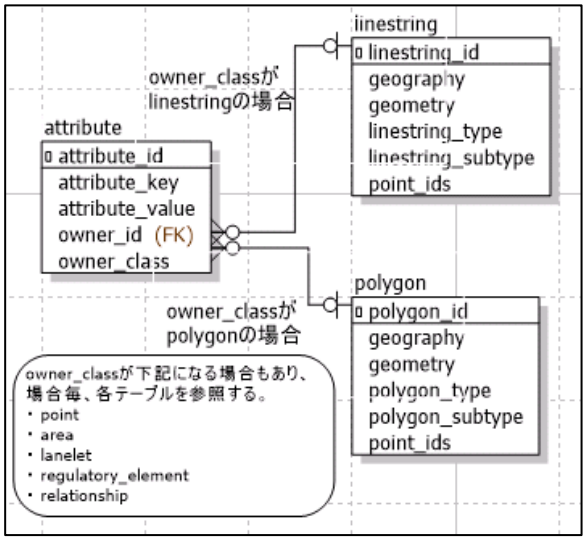


図 7. 属性テーブルの関連

図 8 は，Lanelet2 の regulatory element の内，信号機（物理的な信号灯器），標識，速度規制を表すためのリレーションを示すものである。また，無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も，このリレーションで表す。これらの交通規制が，どのレーンまたはエリアに適用されるかは，図 9 に示す ownership_of_regulatory_element リレーションで表現する。

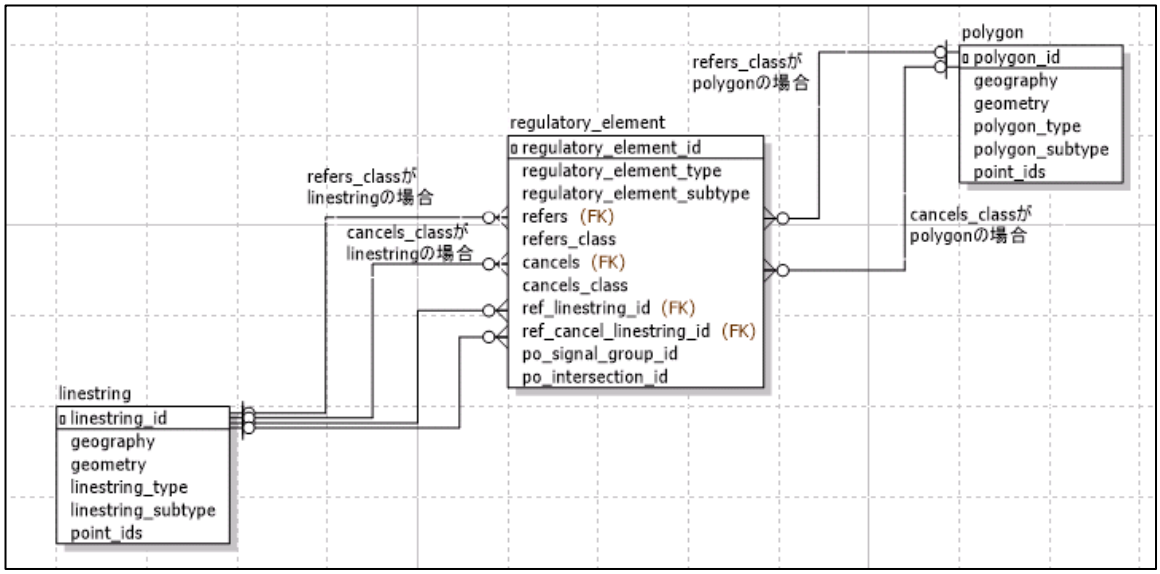


図 8. 交通規則テーブルと標識あるいは開始・停止線を示す地物テーブルとの関連

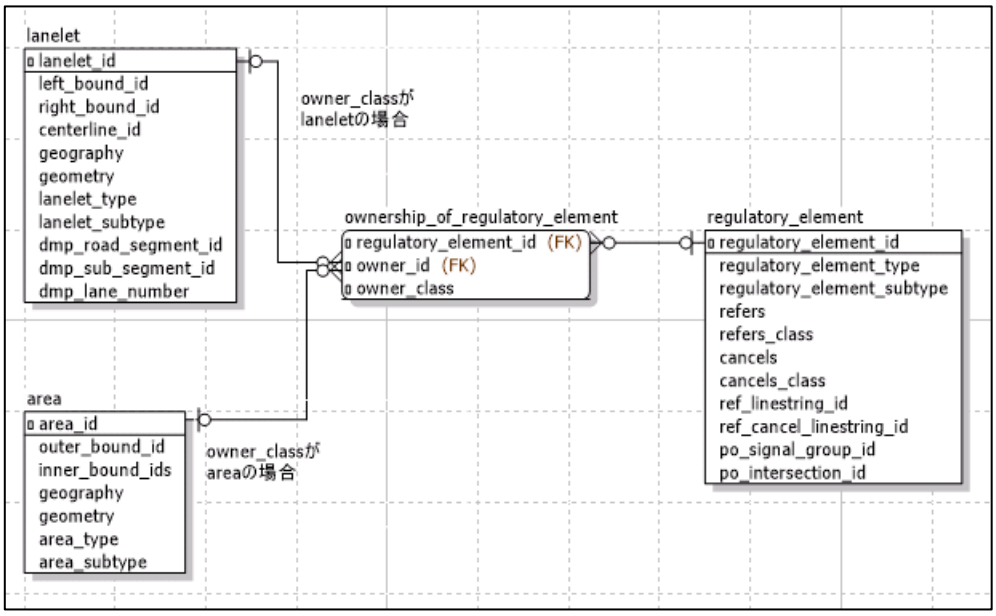


図 9. 地物テーブルと交通規則テーブルを紐づける関連

regulatory element のリレーションには，regulatory element のタイプとサブタイプを表すフィールドに加えて，以下で説明するフィールドを持つ。

regulatory element のタイプが物理的な信号灯器（traffic_light）の場合には，refers_class と refers により，信号灯器の底辺を表す lineString または周囲を表す polygon を参照する（refers_class が linestring の場合は refers には linestring_id が，refers_class が polygon の場合は refers には polygon_id が格納される）。また，ref_linestring_id により，信号灯器に対応する停止線を参照する。

図 10 に示す物理的な信号灯器の表現例では，ownership_of_regulatory_element リレーションにより，regulatory_element「55」が lane_id「10」に対する交通規制であることを示している。また，regulatory_element リレーションにより，regulatory_element「55」が，物理的な信号灯器に関する交通規則であること，その信号灯器の位置は linestring_id「33」と「34」から得られること，対応する停止線の位置は linestring_id「22」から得られることを示している。同様に，regulatory_element「56」が lane_id「11」に対する交通規制であり，その信号灯器の位置が polygon_id「35」と「36」から得られることを示している。

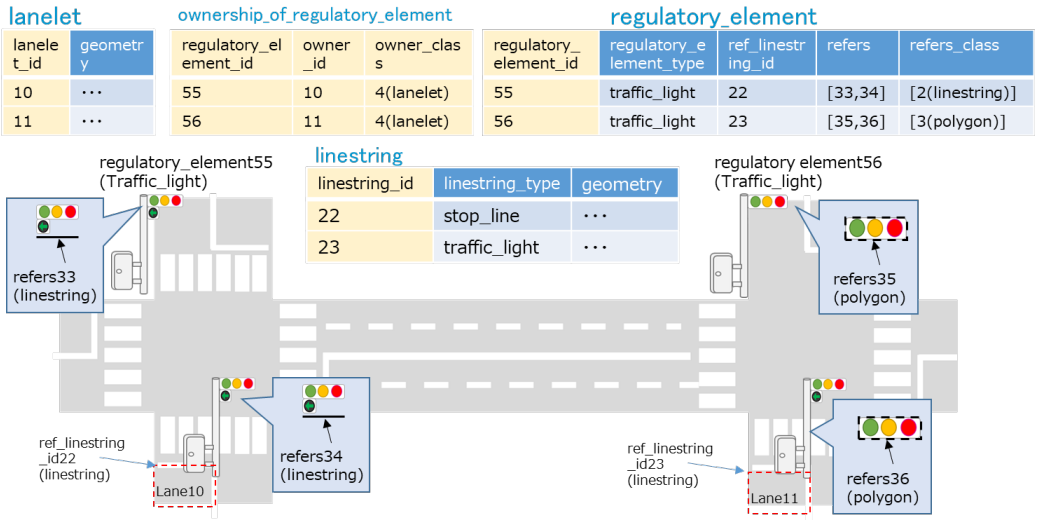


図 10. 物理的な信号灯器の表現例

regulatory element のタイプが標識の場合には，refers_class と refers により，物理的な標識の底辺を表す lineString を参照する。標識の種類は，その lineString のサブタイプにより表現する（図 11）。また，標識の種類によっては，ref_linestring_id により，標識に対応する停止線を参照する。

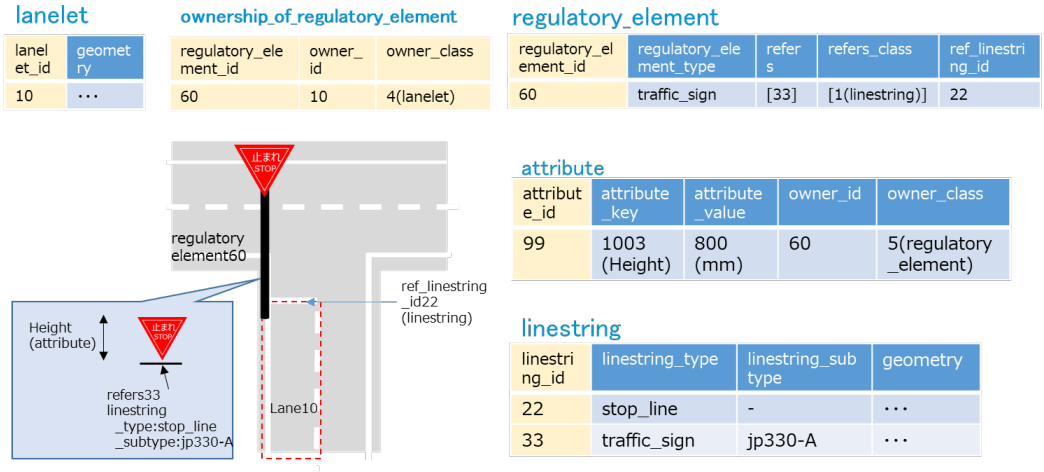


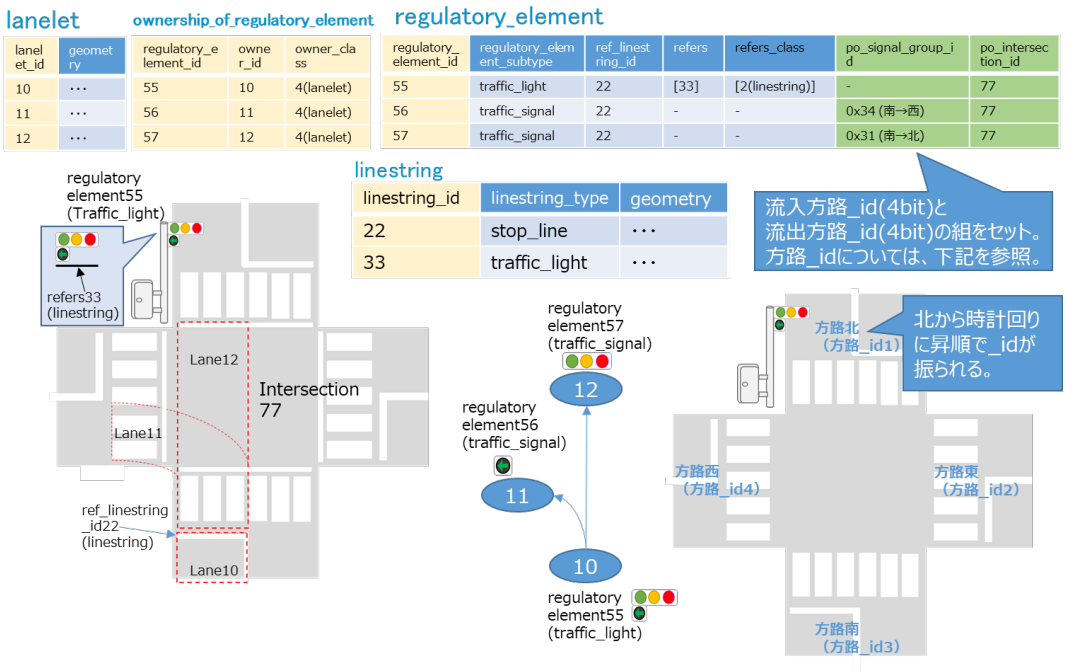
図 11. 標識および停止線の表現例

regulatory element のタイプが速度制限の場合には，refers_class と refers により，物理的な速度制限標識の底辺を表す LineString を参照し，cancels_class と cancels により，速度制限標識に付随する制限区間を表現する標識の底辺を表す lineString を参照する。また，ref_linestring_id と ref_cancel_linestring_id により，速度制限の適用が開始／解除される線分列を参照する。ただし，ref_linestring_id が NULL の場合には，レーン全体に速度制限が適用されることを表す。

以上で説明した Lanelet2 で定義されている regulatory element に加えて，無線通信で提供される信号情報に対応する論理的な信号灯器も，regulatory_element リレーションで表すこととした。データ連携 PF から提供される信号情報では，論理的な信号灯器は，交差点 ID と信号灯器 ID で識別される。そこで，タイプが論理的な信号灯器（traffic_signal）である regulatory element で，交差点

ID と信号灯器 ID で識別される論理的な信号灯器が，どのレーンや停止線に紐づくものであるかを表現する。具体的には，po_intersection_id に交差点 ID を，po_signal_group_id に信号灯器 ID を格納し，ref_linestring_id により信号灯器に対応する停止線を参照する。

図 12 に示す論理的な信号灯器の表現例では，車両が lane_id「10」から lane_id「11」を通って左折する場合に，ownership_of_regulatory_element リレーションによって lane_id「11」に対応づけられている regulatory_element「56」が，見るべき論理的な信号灯器に関する交通規則であることを示している。regulatory_element「56」のリレーションからは，交差点 ID が「77」，信号灯器 ID が「0x34」であることがわかるので，これを手掛かりに，無線通信で提供される情報の中から当該信号灯器に関する信号情報を取り出すことができる。そのため，3.6.3 節で示した信号灯器 ID の構成に依存せずに，信号情報を取り出すことができる。



lanelet	
lanelet_id	geometry
10	…
11	…
12	…

ownership_of_regulatory_element		
regulatory_element_id	owner_id	owner_class
55	10	4(lanelet)
56	11	4(lanelet)
57	12	4(lanelet)

regulatory_element						
regulatory_element_id	regulatory_element_subtype	ref_linestring_id	refers	refers_class	po_signal_group_id	po_intersection_id
55	traffic_light	22	[33]	[2(linestring)]	-	77
56	traffic_signal	22	-	-	0x34 (南→西)	77
57	traffic_signal	22	-	-	0x31 (南→北)	77

linestring		
linestring_id	linestring_type	geometry
22	stop_line	…
33	traffic_light	…

図 12. 論理的な信号灯器の表現例

Lanelet2 の regulatory element の内，“Right of Way”と“All Way Stop”は，複数の lanelet 間の交通規則を表すという点で他の交通規則と持つべき情報が大きく異なるため，図 13 のように role リレーションを用いて表すこととした。複数のレーン間の交通規則は，regulatory element を使用して表現され，各レーンは role を介して役割と共に regulatory element に関連付けられる。ただし，“Right of Way”と“All Way Stop”は日本国内では使用しないと考えられることから，role リレーションは今後の拡張性のために用意したものである。

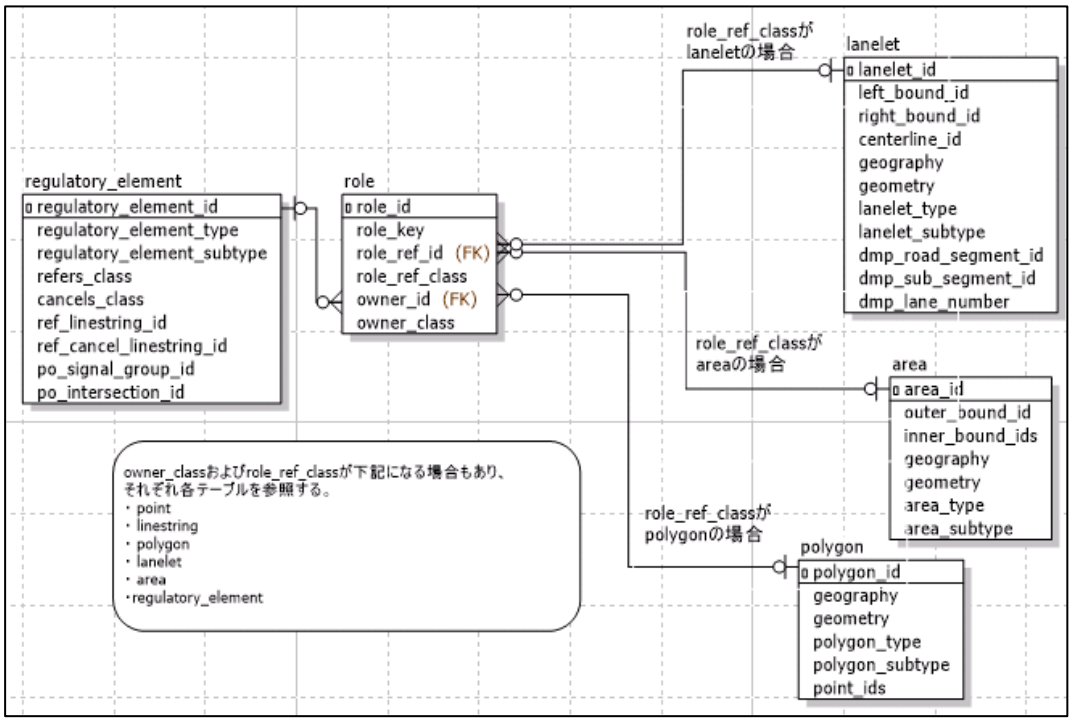


図 13. 複数の lanelet 間の交通規則と交通規則テーブルの関連

最後に，図 14 に，lanelet または area の間の関係を表すためのリレーションを示す。relationship のタイプには，connectivity（経路接続），adjacency（隣接），crossing（交差）がある。

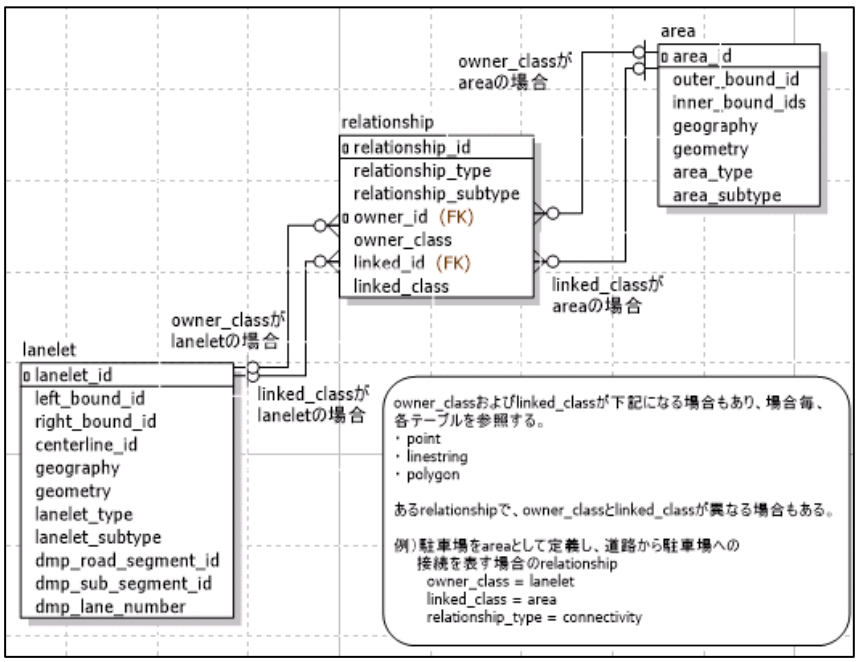


図 14. 2 つの地物テーブルの関係を示すテーブルの関連

レーン A の終端がレーン B の始端となっている場合，レーン A とレーン B は経路接続の関係にあると言い，relationship リレーションの owner_class と owner_id でレーン A を，linked_class と

linked_id でレーン B を参照する。隣接の関係は，文字通り，2 つのレーン（またはエリア）が隣接していることを，交差の関係は，2 つのレーン（またはエリア）に重なりがあることを表す。

5. データ型の定義

ここでは，定義したデータフォーマット中で使用するデータ型について規定する。文献[5]または文献[7]に規定されているデータ型をそのまま用いる場合には，ここでは再掲しない。

DE_TimestampIts

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。

このデータ型は閏秒も数えるため，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で表現できる。

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

DF_ObjectClass

物標種別を表すデータ型で，物標の 1 段階目の種別（不明，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体），1 段階目の分類信頼度，2 段階目の種別，2 段階目の分類信頼度で構成される。

1 段階目の種別は， 2 段目のどの種別に関するデータがあるかで表現する。2 段階目の種別は，1 段階目が四輪車の場合は DE_VehicleSubclassType で，列車の場合は DE_TrainSubclassType で，自動二輪車の場合は DE_MotorcycleSubclassType で，軽車両の場合は LightVehicleSubclassType で，人の場合は DE_PersonSubclassType で，動物の場合は DE_AnimalSubclassType で，非固定物体の場合は DE_NfoSubclassType で，固定物体の場合は DE_FoSubclassType で表現する。2 段目の種別に関するデータがない場合には，1 段階目の種別が不明であることを示す。また，分類信頼度は，DE_ClassConfidence で表現する。

このデータ型は，文献[4]のものに拡張・修正を加えたものである。

DE_VehicleSubclassType

車両の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 乗用車
2: バス
3: 小型トラック
4: 大型トラック
5: 牽引車（牽引されている車両）
6: 特殊車両
7: 緊急車両
8: 農業用車両
9: 四輪車群

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_TrainSubclassType

列車の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 路面電車
2: その他の列車

DE_MotorcycleSubclassType

自動二輪車の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 原付
2: 自動二輪車
3: 自動二輪車群

DE_LightVehicleSubclassType

軽車両の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 自転車
2: 人力車
3: 荷車
4: キックボード
5: 軽車両群

DE_PersonSubclassType

人の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 歩行者
2: 車椅子
3: シニアカー
4: ベビーカー（とそれを動かしている人）
5: スケート/スケートボードに乗っている人
6: 人の群

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_AnimalSubclassType

動物の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[4]のものを採用した。

DE_NfoSubclassType

非固定物体の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

DE_FoSubclassType

固定物体の種別を表すデータ型。具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）

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%

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DE_Confidence

信頼度（検知信頼度，存在信頼度）を表すデータ型。

信頼度を表す確率から，以下の式で求めた値を切り上げた整数値で表現する。ただし，値が101 以上となる場合には，101 とする。また，不明を数値で表現する場合には，0 を用いる。

$-10 \cdot \log_{10}$（1–信頼度を表す確率）

具体的には，DE_Confidence の値と信頼度を表す確率の関係は以下のようになる。

0:　不明（数値で表現する場合）
1:　～20.6%
2:　～36.9%
3:　～49.9%
……
9:　～87.4%
10:　～90.0%
11:　～92.06%
……
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_Confidence の値を101 とする。

DF_Location

物標等の位置とその精度を表すデータ型。その構成は，3.3.4 節で説明した通り。

DE_RefPoint

物標位置が，物標のどの場所を表しているかを表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0:　不明
1:　中央（バウンディングボックスの中央）の地面位置
2:　前面の中心の地面位置
3:　右前角の地面位置
4:　右側面の中心の地面位置
5:　右後角の地面位置
6:　背面の中心の地面位置
7:　左後角の地面位置

8: 左側面の中心の地面位置
9: 左前角の地面位置

地面に接している物体においては，底面位置とは地面位置のことである。

DE_AzimuthValue

WGS84 測地系における方位角を 0.0125 度単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 北
……
7200: 東
……
14400: 南
……
21600: 西
……
28800: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[9]の DE_Angle を採用した。

DE_AzimuthAccuracy

WGS84 測地系における方位角の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）を 0.0125 度単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.0125 度
……
80: 1.00 度
……
7199: 89.9875 度
7200: 90.00 度以上
7201: 不明（数値で表現する場合）

DE_SpeedValue

速さを 0.01m/s 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[4]の DE_SpeedValueExtended に修正を加えたものである。

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）を 0.01m/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_YawRateValue

回転速度（ヨーレート）を 0.01 度/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

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）を 0.01 度/s 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_AccelerationValue

前後加速度を 0.01m/s^2 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–2000:	20.00m/s^2 以上で減速
–1999:	19.99m/s^2 で減速
……	
–1:	0.01m/s^2 で減速
0:	一定速度
1:	0.01m/s^2 で加速

……

1999: 19.99m/s^2 で加速
2000: 20.00m/s^2 以上で加速
2001: 不明（数値で表現する場合）

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）を 0.01m/s^2 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m/s^2
……
999: 9.99m/s^2
1000: 10.00m/s^2 以上
1001: 不明（数値で表現する場合）

DE_ObjectDimensionValue

物標の一辺の長さを 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明（数値で表現する場合）

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）を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1: 0.01m
……
65534: 655.34m
65535: 不明（数値で表現する場合）

DE_StaticStatus

物標の静止状態を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 移動している（静止している時間が 1 秒未満）
1: 1～2 秒間静止している
2: 2～3 秒間静止している
……
3599: 3599～3600 秒間静止している
3600: 3600 秒間以上静止している
3601: 移動が観測されたことがない
3602: 不明（数値で表現する場合）

DE_SteeringAngle

車両の前輪または後輪の舵角を 1 度単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_TrackingStatus

最新の検知状態（物標を検知したかどうか），検知しなかった場合にその理由，物標情報の削除予告，物標情報が融合または分割されたかを表すデータ型。それぞれの状態を表現する値のビット毎論理和で表す。

最新の検知状態の具体的な表現値は以下の通り。

0:	物標を検知した（自己物標情報においては，その物標自身からの情報を受け取ったか，センサーがその物標を検知した。認識物標情報においては，センサーがその物標を検知した）
0x01:	物標を検知しなかった（自己物標情報においては，その物標自身からの情報を受け取らず，センサーもその物標を検知しなかった。認識物標情報においては，センサーがその物標を検知しなかった）

検知しなかった理由の具体的な表現値は以下の通り。

0:	物標を検知した，または，検知しなかった理由が不明
0x02:	センサーの検知範囲外
0x04:	オクルージョン

物標情報の削除予告の具体的な表現値は以下の通り。

0:	削除予告なし，または不明
0x08:	削除予告あり（予告物標情報を削除する N 周期前からセットする）

物標情報が融合されたかの具体的な表現値は以下の通り。

0:	融合なし，または不明
0x10:	他の物標と融合された（物標の融合後，残る予定の物標情報と削除される予定の物標情報の両方に対して，N 周期の間セットする）

物標情報が分割されたかの具体的な表現値は以下の通り。

0:	分割なし，または不明
0x20:	分割して生成された（物標の分割後，以前から存在した物標情報と新しく生成された物標情報の両方に対して，N 周期の間セットする）

N は，現時点の実装では 3 とする。

DE_DetectionCount

物標を検知した合計回数を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 不明（数値で表現する場合）
1: 1 回
……
65534: 65534 回
65535: 65535 回以上

DE_LostCount

物標を連続して検知できなかった回数を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 物標を検知した，または不明（数値で表現する場合）
1: 1 回
……
254: 254 回
255: 255 回以上

DE_ObjectAge

物標が最初に検知されてからの経過時間を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0: 0 秒（物標がはじめて検知された）
1: 0.1 秒
……
35999: 3599.9 秒
36000: 3600.0 秒以上
36001: 不明（数値で表現する場合）

DE_SRID

位置の表現に用いる空間参照系の種類を表すデータ型。

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。

経度緯度標高による位置の表現の場合

4326: WGS84，地理座標系
6668: JGD2011，地理座標系

平面直角座標と標高による位置の表現の場合

6669: JGD2011，日本平面直角座標 1 系
6670: JGD2011，日本平面直角座標 2 系
……
6687: JGD2011，日本平面直角座標 19 系

DE_Latitude

緯度を 0.1 マイクロ度単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

DE_Longitude

経度を 0.1 マイクロ度単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

DE_AltitudeValue

標高を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–100000:	–1000m 以下
……	
–1:	–0.01m
0:	準拠楕円体上
1:	0.01m
……	
800000:	8000m 以上
800001:	不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

DE_AltitudeAccuracy

標高の精度（誤差がそれ以下である確率が 95%になる値）を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

1:	0.01m
……	
20000:	200.0m 以上

20001: 不明（数値で表現する場合）

DE_DistanceValue

相対位置を示すための距離を 0.01m 単位で表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

–132768: 不明（数値で表現する場合）
–132767: –1327.67m 以下
……
–1: –0.01m
0: 0m
1: 0.01m
……
132767: 1327.67m 以上

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

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）を表すデータ型。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（数値で表現する場合）

DE_LanePosition

レーン番号を表すデータ型。

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
–15: 反対側（または内側）の歩道
–14: 反対側の外側の路側
……
–2: 反対側の内側から 2 番目のレーン
–1: 反対側の最も内側レーン
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
16: 外側（日本では左側）の道路外
17: 不明（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものに拡張を加えたものである。

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すためのデータ型。

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（数値で表現する場合）

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すためのデータ型。

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（数値で表現する場合）

DE_SemiAxisLength

精度を表す楕円の半径を 0.01m 単位で表すデータ型。

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（数値で表現する場合）

このデータ型は，文献[2]のものを採用した。

DE_FreeSpaceDetectionMethod

フリースペースの検知方法を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0:	不明（数値で表現する場合）
1:	直接検知
2:	間接検知

DE_DetectableClasses

検知できる物標種別の集合を表すデータ型。

8 ビットの符号なし整数の各ビットで，それぞれ，四輪車，列車，自動二輪車，軽車両，人，動物，非固定物体，固定物体が検知できるかどうかを示す。

具体的なビットと物標の種別の対応は以下の通り。

ビット 0（LSB）:	四輪車
ビット 1:	列車

ビット 2:　　自動二輪車
ビット 3:　　軽車両
ビット 4:　　人
ビット 5:　　動物
ビット 6:　　非固定物体
ビット 7（MSB）:　固定物体

DF_OffsetPointXY

平面上での相対位置を表すデータ型で，WGS84 測地系における東西方向の距離（dx，東が正）と南北方向の距離（dy，北が正）で構成される。

東西方向と南北方向の距離は，それぞれ DE_DistanceValue で表現する。

DE_SensorType

センサーの種類を表すデータ型。

具体的な表現値は以下の通り。

0:　　不明（数値で表現する場合）
1:　　レーダー
2:　　LiDAR
3:　　単眼カメラ
4:　　ステレオカメラ
5:　　ナイトビジョン
6:　　超音波センサー
7:　　PMD センサー
8:　　複数のセンサーのフュージョン
9:　　誘導ループ
10:　　球面カメラ

このデータ型は，文献[4]のものに修正を加えたものである。

DF_DetectCapability

検知性能情報を表すデータ型で，検知可能物標種別，検知領域，検知信頼度，検知限界物標サイズで構成される。

検知可能物標種別は DE_DetectableClasses で，検知領域は DF_OffsetPointXY のリストで，検知信頼度は DE_Confidence で，検知限界物標サイズは DE_ObjectDimensionValue で表現する。

DE_SensorStatus

センサーの稼働状態と運用状態を表すデータ型。それぞれの状態を表現する値のビット毎論理和で表す。

センサーの稼働状態の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　正常稼働中
0x1:　　縮退稼働中
0x2:　　停止中

センサーの運用状態の具体的な表現値は以下の通り。

0:　　運用中
0x4:　　試験中

DE_MainLightIndication

主たる灯器の表示灯色を表すデータ型。

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。

付録 A. 既存の物標情報のデータフォーマットとの関係

ここでは，本仕様で提案する物標情報のデータフォーマットと，既存のデータフォーマットの関係について整理する。

文献[3]のメッセージセットに含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[3]	本仕様
protocolVersion	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
messageID	対応データ項目なし（物理インタフェースで対応）
stationID	物標 ID
generationDeltaTime	情報取得時刻
stationType	物標種別
referencePosition	物標位置
heading	移動方向
speed	速さ
driveDirection	速さ（正か負か）
vehicleLength	物標のサイズの長さ
vehicleWidth	物標のサイズの幅
longitudinalAcceleration	前後加速度
curvature（曲率）	対応データ項目なし（必要性が低い）
curvatureCalculationMode（曲率の算出方法（ヨーレートを使ったか否か））	対応データ項目なし（必要性が低い）
yawRate	回転速度
accelerationControl（OPTIONAL）	対応データ項目なし（他のデータ項目で表現可能？）
lanePosition（OPTIONAL）	レーン番号
steeringWheelAngle（OPTIONAL）	前輪舵角，後輪舵角
lateralAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
verticalAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
performanceClass（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
cenDsrcTollingZone（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
protectedCommunicationZonesRSU（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
vehicleRole	車両用途種別
exteriorLights	灯火の状態
pathHistory（過去の移動経路）	対応データ項目なし（必要性が低い）
specialVehicleContainer（OPTIONAL）	車両用途種別毎の状態

文献[4]のメッセージセットの originatingVehicleContainer（自車両に関する情報）に含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[4]	本仕様
heading	移動方向
speed	速さ
vehicleOrientationAngle（OPTIONAL）	物標の向き

driveDirection	速さ（正か負か）
longitudinalAcceleration（OPTIONAL）	前後加速度
lateralAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
verticalAcceleration（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
yawRate（OPTIONAL）	回転速度
pitchAngle（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
rollAngle（OPTIONAL）	対応データ項目なし（必要性が低い）
vehicleLength（OPTIONAL）	物標のサイズの長さ
vehicleWidth（OPTIONAL）	物標のサイズの幅
vehicleHeight（OPTIONAL）	物標のサイズの高さ
trailerDataContainer（OPTIONAL）	牽引車（★要検討）

文献[4]のメッセージセットの perceivedObjectContainer（認識物標情報）に含まれているデータ項目との関係は以下の通り。

文献[4]	本仕様
objectID	物標 ID
sensorIDList（物標を認識したセンサーの ID のリスト）	情報源のリスト（センサーのリストではない）
timeOfMeasurement	情報取得時刻
objectAge	生存時間
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	物標の向き
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	物標の静止状態
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	車両サイズ種別
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. デジタル道路地図の各テーブル内のデータ型

ここでは，デジタル道路地図の各テーブルのデータ型を示す。データ型は，SQL99（文献[15][16]）に準拠する形で記載している。ただし，GEOGRAPHY は，一部の DBMS（PostgreSQL や Microsoft SQL Server）のみでサポートされているデータ型である。また，二次元配列は，DBMS によって記述方法が異なるため，ここでは一次元配列と同等の方法で記述している。

データ型内の VARCHAR に与える文字数と ARRAY に与える要素数は，十分と思われる値を例として記述しているが，使用する状況に応じて値を変更しても良い。

point

フィールド名	データ型
point_id	BIGINT
geography	GEOGRAPHY (POINT)
geometry	GEOMETORY (POINT)
point_type	VARCHAR (100)

linestring

フィールド名	データ型
linestring_id	BIGINT
geography	GEOGRAPHY (LINESTRING)
geometry	GEOMETORY (LINESTRING)
linestring_type	VARCHAR (100)
linestring_subtype	VARCHAR (100)
point_ids	BIGINT ARRAY [1000]

polygon

フィールド名	データ型
polygon_id	BIGINT
geography	GEOGRAPHY (POLYGON)
geometry	GEOMETORY (POLYGON)
polygon_type	VARCHAR (100)
polygon_subtype	VARCHAR (100)
point_ids	BIGINT ARRAY [1000]

lanelet

フィールド名	データ型
lanelet_id	BIGINT
left_bound_id	BIGINT
right_bound_id	BIGINT
centerline_id	BIGINT
geography	GEOGRAPHY (POLYGON)
geometry	GEOMETORY (POLYGON)
lanelet_type	VARCHAR (100)
lanelet_subtype	VARCHAR (100)
dmp_road_segment_id	INT
dmp_sub_segment_id	INT

dmp_lane_number	INT

area

フィールド名	データ型
area_id	BIGINT
outer_bound_id	BIGINT ARRAY [100]
inner_bound_ids	BIGINT ARRAY [100] [100]
geography	GEOGRAPHY (POLYGON)
geometry	GEOMETORY (POLYGON)
area_type	VARCHAR (100)
area_subtype	VARCHAR (100)

attribute

フィールド名	データ型
attribute_id	BIGINT
attribute_key	INT
attribute_value	VARCHAR (100)
owner_id	BIGINT
owner_class	INT

regulatory_element

フィールド名	データ型
regulatory_element_id	BIGINT
regulatory_element_type	VARCHAR (100)
regulatory_element_subtype	VARCHAR (100)
refers	BIGINT ARRAY [100]
refers_class	INT ARRAY [100]
cancels [opt]	BIGINT ARRAY [100]
cancels_class [opt]	INT ARRAY [100]
ref_linestring_id [opt]	BIGINT
ref_cancel_linestring_id [opt]	BIGINT
po_signal_group_id [opt]	BIGINT
po_intersection_id [opt]	BIGINT

ownership_of_regulatory_element

フィールド名	データ型
regulatory_element_id	BIGINT
owner_id	BIGINT
owner_class	INT

role

フィールド名	データ型
role_id	BIGINT
role_key	INT
role_ref_id	BIGINT
role_ref_class	INT
owner_id	BIGINT

owner_class	INT
lanelet_type	VARCHAR (100)
lanelet_subtype	VARCHAR (100)
dmp_road_segment_id	INT
dmp_sub_segment_id	INT
dmp_lane_number	INT

付録 C. バージョン履歴

2022 年 3 月 13 日	version 0.6.0	2021 年度の最終版
2023 年 3 月 15 日	version 0.7.0	2022 年度の最終版
2024 年 1 月 5 日	version 0.7.1	2023 年度の最初の版
2024 年 3 月 7 日	version 0.7.2	
2024 年 3 月 xx 日	version 0.8.0	2023 年度の最終版

C.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所

- デジタル道路地図のデータフォーマットの規定を追加
- 使用するクエリ言語について記述
- 位置参照の考え方の変更と方式の追加
  - 平面直角座標と標高による位置表現方法を追加
  - 規定されている位置参照方式のいずれかを用いれば良いことに変更
- 物標 ID の扱いについての記述を追加
- 両端に物体がないフリースペースの扱いを明記
- 「DE_物標参照位置」の表現方法を変更

C.2 version 0.7.0 から version 0.7.1 への主な変更箇所

- CooL4 データ連携アーキテクチャの(3)のインタフェースをスコープから外す
- データフォーマットの構成の説明（3.1 節）を追加
- 方位角の単位を 0.0125 度に変更
- 物標情報に，物標の静止状態，車両サイズ種別，物標のトラッキング情報（トラッキング状態，検知回数，連続未検知回数，生存時間）を追加
- 物標種別の分類方法を変更
- 位置は，5 つの方法のいずれか（または複数の方法を併用）で表現することを明記
- フリースペースの多角形表現を追加。これまでの表現方法をレーン表現と呼ぶことに
- フリースペース情報に，検知方法と検知可能物標種別を追加
- センサー情報を追加
- 独自のデータ型の名称を英文字表記に変更。名称の見直し
- データ項目とデータ型の説明の記述スタイルを変更

C.3 version 0.7.1 から version 0.7.2 への主な変更箇所

- 空間参照系（DE_SRID）に関するデータ構成と説明を変更
- デジタル道路地図のデータフォーマットのフィールド名とデータ型を整理
- lineString の説明を，「線分」から「線分列」に変更
- 複数のレーン間の交通規則を表すために role リレーションを追加
- デジタル道路地図の各テーブル内のデータ型を付録 B に追加。これまでの付録 B を付録 C

に変更

C.4 version 0.7.2 から version 0.8.0 への主な変更箇所

- 参照文献の差し替え