2 交通環境情報の構築と活用

(1)交通環境情報の生成に係る技術開発

交通環境情報の構築と活用及び東京臨海部実証実験(概要)

Establishment and Utilization of Traffic Environment Data and the Tokyo Waterfront Area Field Operational Tests (Overview)

樋山智(本田技研工業株式会社), 南方真人(トヨタ自動車株式会社)
Satoshi Hiyama (Honda Motor co., Ltd.), Masato Minakata (TOYOTA MOTOR CORPORATION)

1 交通環境情報の必要性

自動運転車は複数種の車載センサで収集した車両周辺の情報を統合的に使って，認知・判断・操作をドライバに代わって行いながら走行する．しかし，車載センサで収集できる情報は自車の周辺約200mの範囲であり，かつ物象として実在しているものしか認知することができないため，インフラから無線通信等により提供される様々な交通環境情報を利用することができれば，より複雑な交通環境下での運行を安全かつ円滑に実現できる．(図1)

交通環境情報には，静的な情報としての高精度3次元地図情報から，秒単位で刻々と変化する信号情報のような動的情報まで様々な情報があり，SIP自動運転ではそれぞれの情報を場所，時刻や固有のID等による紐付けルールを定めて，より効率的に利活用するというダイナミックマップという概念に基づいて整理している．(図2)

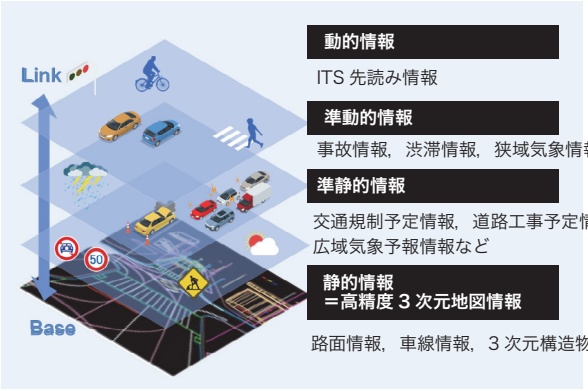


図2　ダイナミックマップの概念

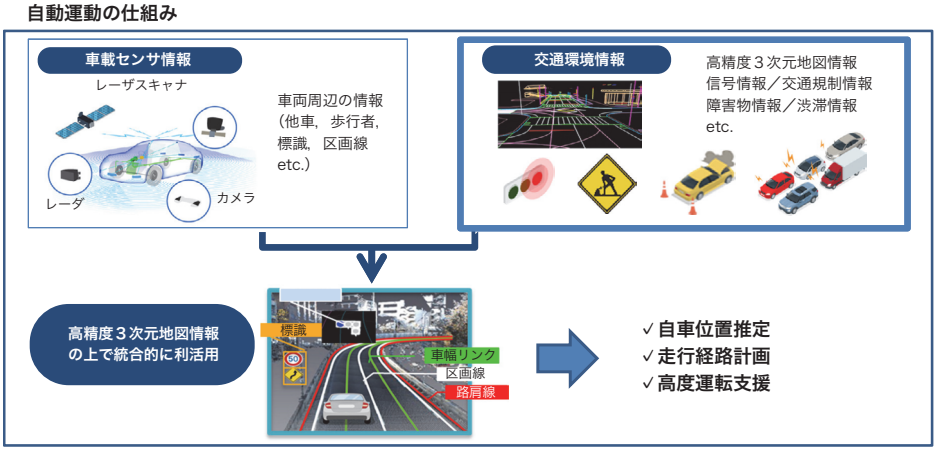


図1　自動運転における交通環境情報利活用

2 交通環境情報利活用への取組

SIP第１期では，静的情報基盤の確立に取り組み，その研究開発成果に基づき2019年，全国の高速道路・自動車専用道路約３万km分の高精度３次元地図情報提供事業が開始され，高度運転支援システム及び世界で初めて認証取得した自動運転レベル３システム搭載車両に採用された．SIP第２期では，「交通環境情報ロードマップ」(図３）を策定し，高精度３次元地図情報に紐付け利用する動的な交通環境情報利活用の仕組み構築に向けた研究開発を推進するとともに，東京臨海部での実証実験を通じて標準化・実用化に取り組んだ．

また警察庁施策として「交通規制情報のデータ精度向上」【詳細 第２章（1）⑤】に取り組むとともに，これら交通環境情報の他分野での活用による新たなサービスの創出に向け，地理系データの検索ポータル（MD communet®）の構築【詳細 第５章①】にも取り組んだ．

3 東京臨海部実証実験の概要

3.1. 実証実験の位置づけ

インフラから無線通信等により提供される様々な交通環境情報や自車が保有する情報の提供及び路車／車車間の意思疎通を通信で行うことで，より安全でスムーズな自動運転制御を可能とする協調型自動運転システムの開発では，車両開発とインフラ開発を同期させる必要があり，様々な技術を統合していかなければならない．このため交通環境情報の利活用の仕組み構築に向けて，実交通環境下での実証実験を軸にして計画を進めた．

①協調領域における技術仕様の決定，標準化の推進
②自動運転車両開発及びインフラ整備の加速
③情報発信，イベントへの活用による自動運転の社会的受容性の醸成

を目的に，日本自動車工業会とも連携し国際的にオープンな実証実験環境の整備に取り組んだ．

場所の選定にあたっては，

①公道実験に適した適度な交通量及び交通環境
②国内外からの実験参加者の移動の利便性
③東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会の機会を利用した技術訴求等

の観点から，東京臨海副都心地域を選定した．具体的には，一般道での自動運転を想定した臨海副都心地域，高速道路における自動運転を想定した首都高速道路，公共交通機関（バス，ART）の一般道における自動運転サービスを想定した羽田空港地域，という３つの特徴的なエリアにおいて実証実験を行った．（図４）

3.2. 2019年度-2020年度実証実験

日本自動車工業会と協議し，東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会での試乗会をマイルストーン

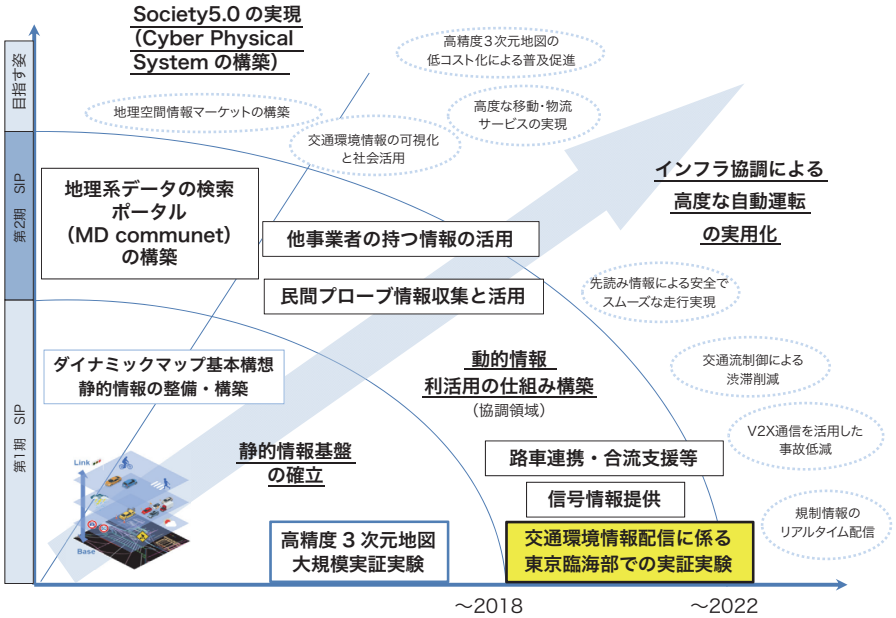


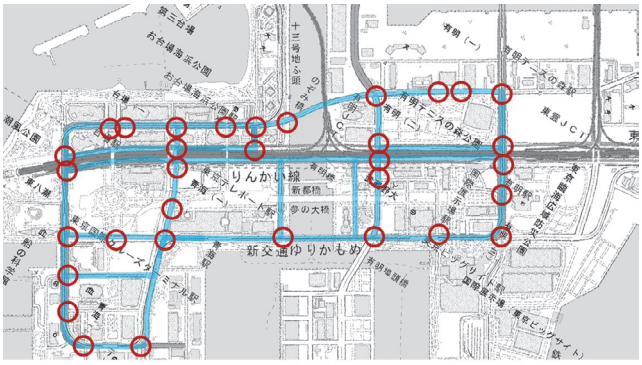
図3　交通環境情報ロードマップ

図4　実験エリア（電子地形図，国土地理院）

に置き，V2I（狭域無線通信：Vehicle to Infrastructure）による信号情報，高速道路での合流支援情報等の有効性並びに必要な技術要件の明確化に取り組むこととした．実証実験の方法としては，自動運転への民間投資と，研究開発の活性化を目的とするマッチングファンド方式を採用した．すなわち，SIP自動運転が交通環境情報配信設備の設置・運用並びにそれらの情報を受信する車載機器類を準備し，実証実験の参加者は，実験車両の準備及び実験要員ほかの実験走行に関わる費用を負担した．自動運転研究開発を推進する機関を対象にグローバルに参加者を募集した結果，国内外の自動車メーカ，サプライヤ，ベンチャー企業，大学研究機関ほか，合計29の機関が参加した．（図５）

図5　実証実験参加機関（2019-2020年度）

V2Iによる実証実験環境として，お台場エリア33か所，羽田空港周辺道路７か所の信号交差点にITS無線路側装置を設置しV2I（760MHz帯）による信号情報を配信した．（図６）



出典：国土地理院地図（国土電子Web）

図6　ITS無線路側装置機設置交差点（お台場）

首都高速道路空港西ICには，ETCゲート／合流支援情報システムとして，本線走行車両検出センサ，合流支援情報生成サーバ及びV2I（5.8GHz帯）無線装置を設置し，ETCゲートの稼働情報及び本線を走行する車両の情報を収集配信した．（図７）

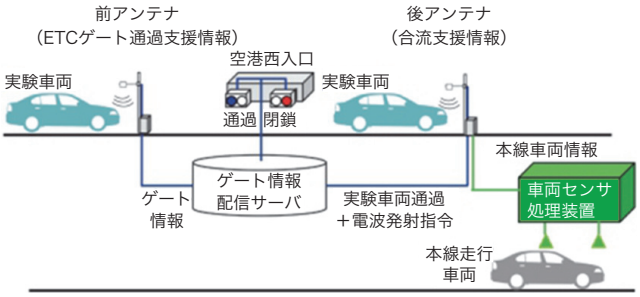


図7　ETCゲート／合流支援情報システム

『SIP第２期中間成果報告書（2018～2020）』[(1)(2)(3)]で既報のとおり，V2Iによる信号情報配信実証実験により，様々な環境下でも信号灯色情報の配信が安定的に可能なことを実証し，既にサービスが実用化されているDSSS（Driving Safety Support System）との互換性を保ちつつISO/TS19091に準拠した仕様での自動運転車での利活用有効性・実用性を実験参加者とも確認合意した．

今回の実証実験を通し，自動運転での実用化に向けた信号情報の技術的な目途付けができたが，インフラ設置の優先度に関して参加者からは，西日による逆光など交差点の立地条件等によって決まる訳ではなく，“面的な情報提供”が必須であるとの意見があった．これらの結果は，レベル４自動運転サービスの実現に向けたRoAD to the L4プロジェクトに展開し，引き

続き実装に向けた検討を進めることになっている．また，このお台場地区の“面的な実験環境”については，実験参加者からも引き続き，自動運転の開発拠点として活用したいという要望が多かった．その声を受け，次期SIPの課題候補「スマートモビリティプラットフォームの構築」においても，次ステップに向けた研究開発に活用していくこととなった．

一方，V2Iを使った合流支援情報配信実証実験の結果として，『SIP第２期中間成果報告書（2018～2020）』[(1)]で既報のとおり，交通流の変化時においても正確な合流支援情報を提供するには，スポット的な情報配信では不十分であり連続的な本線走行車両検知と連続通信の技術を使ったより高度な情報提供システムが必要であることがわかった．このため実際の交通流を観測，収集したデータをもとにしたシミュレーションにより，様々な交通流変動にも対応する合流支援情報配信システムの成立性確認とシステム要件の導出を行った．【詳細 第２章（1）④】

3.3. 2021年度実証実験

2020年より新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が拡大したことにより，東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会は2021年度に延期になるとともに，当初予定していた日本自動車工業会との連携による自動運転の大規模な試乗会も中止となった．また，各社の車両開発にも少なからず影響があり，東京臨海部実証実験の延長の要望の声も大きかったため，2021年度も引き続き実証実験を行うことにした．2019年度-2020年度実証実験の結果から，“面的な交通環境情報”の配信の要望が高かったため，2021年度実証実験では，V2Iによる信号情報の配信に加え，V2N（広域公共ネットワーク通信：Vehicle to Network）による交通環境情報の配信に取り組むことにした．（図８）

ヒアリングによる自動運転での利活用のニーズに加え，ドライバへの情報提供での有効性等も考慮し，優先順位の高い交通環境情報として以下４つの情報の生成と配信に取り組むことにした．

（一般道路）信号情報
（高速道路）車線別交通流情報
（共通）緊急走行車両情報，降雨情報

また，2019年度-2020年度実証実験と同様に，広く参加者を募った結果，22機関の参加があった．（図９）

図9　実証実験参加機関（2021年度）

V2Nによる実証実験は，社会実装を想定したアーキテクチャによる情報生成配信ネットワーク環境を構築し，広域公衆ネットワーク通信（4G／LTE回線）により実験車両に対する情報配信を実施した．（図10）

信号情報については，ITS無線路側機を設置したお台場33か所の信号交差点を対象にV2N情報配信環境を準備し，V2I／V2Nの比較検証を可能とした．

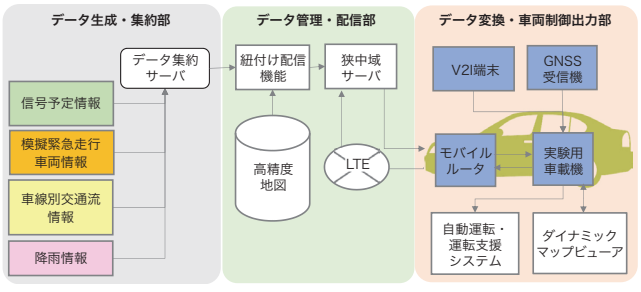


図10　V2N情報配信ネットワークアーキテクチャ

V2Nによる情報利活用にあたっては，ネットワーク経由による伝送遅延の課題が想定される．特に高い時間情報精度が求められる信号情報に関しては，各種信号制御システム方式ごとに，信号サイクルタイム予定情報生成等の技術開発を行うとともに，配信の仕組み検討及びモデルシステムによる機能確認実験にて確

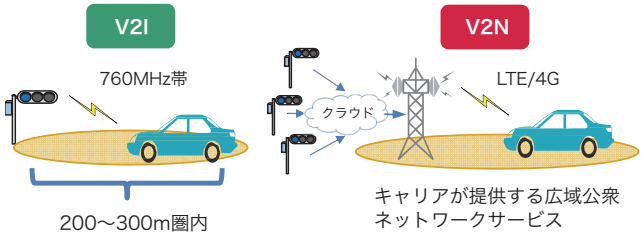


図8　V2I／V2N通信方式（信号情報の例）

認のうえで，東京臨海部実証にて検証を行った．(図11)【詳細 第２章 (1) ②】

実証実験の結果，走行予定経路上の必要な交差点の信号サイクル予定情報をネットワークからそれぞれの車両に効率的に配信する仕組みを実装することにより，自動運転車の走行等に活用の可能性があることを確認した．実験参加者からは，V2Nならではの面的な信号情報利用により，最適ルートプランニング，グリーンウェーブ等CO_2削減への貢献も期待できるとの意見も出された．

一方で，生成する信号サイクルタイム予定情報の精度，フェールセーフ機能の実現に課題があり，実用化に向け更なる研究開発が必要である．今後も引き続きUTMS協会に設置した技術委員会において，ステークホルダーによる検討が継続される予定である．

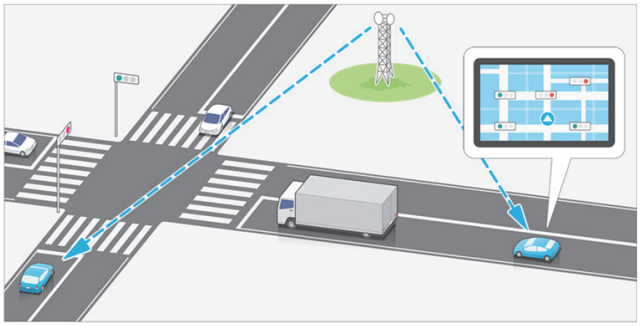


図11　V2Nによる信号情報配信

車線別の交通流情報に関しては，コネクテッドカーの普及により走行中の車両から収集可能となった車道レベル精度の民間プローブ情報を統計的に処理し，車線別の渋滞末尾情報の生成に取り組んだ．車両プローブ情報を一定数収集蓄積したうえで統計処理を行うため，その処理間隔に依存して配信情報の遅延は発生するが，既存サービスの車道レベル渋滞情報に比べ精細度において優れる情報を生成配信できることを確認した．(図12) 今後のコネクテッドカーの更なる普及，高度な運転支援システム搭載車や自動運転車からの収集情報の進化により，生成する情報精度の向上も期待できる．【詳細 第２章 (1) ③】

緊急走行車両情報の利活用に関しては，V2Vによる注意喚起サービスが実用化されているが，専用無線機の緊急車両，情報利用車両双方への搭載が前提となるため，広く普及には至っていない．

東京臨海部実証実験においては，模擬的に緊急走行車両情報を生成し配信した．実験参加者からは，２～

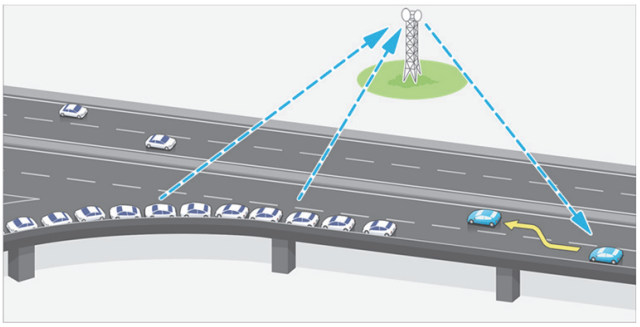


図12　プローブ情報を活用した車線別交通流情報配信

３秒程度の伝送遅延はあるものの，相対位置や相対速度が検出できるので，緊急走行車の接近による自車の回避判断に効果的であるとの評価が得られた．また，遠隔監視型自動運転には，特に有効ではないかとの声もあった．(図13)

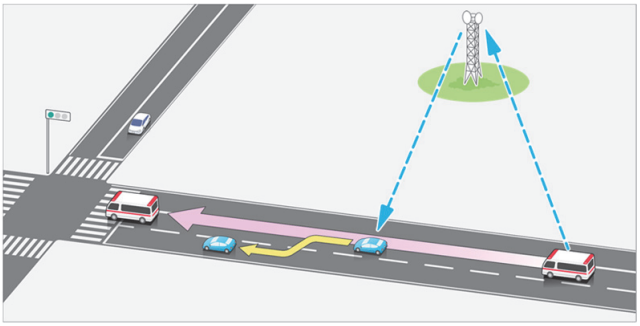


図13　V2Nによる緊急走行車両情報配信

また東京臨海部実証実験ではないが，V2Nによる情報利活用のユースケースの一つとして，公共交通機関 (バス等) や緊急走行車両の信号交差点への接近情報をV2Nで収集し，信号優先制御に活用可能かどうかという検証も行っている．地方部における実証実験の結果，優先されるべき車両が円滑に信号交差点を通過できることを確認できた．【詳細 第２章 (1) ⑥】

降雨情報に関しては，一般財団法人気象業務支援センターが情報提供サービスを実施している「高解像度降水ナウキャスト」を高精度３次元地図と紐付けたうえで実証実験車両に配信した．任意のエリアを選択して予報情報も含めて利活用できることを実証し，V2Nにより多種多様で広域にわたる交通環境情報を利活用可能なことを実証した．(図14)

3.4. V2Nによる情報利活用課題への取組

以上述べたように，V2Nによる交通環境情報の配信は，より広域で多様な情報の利活用の可能性があり，将来性があることがわかった．一方で，実用化に向け

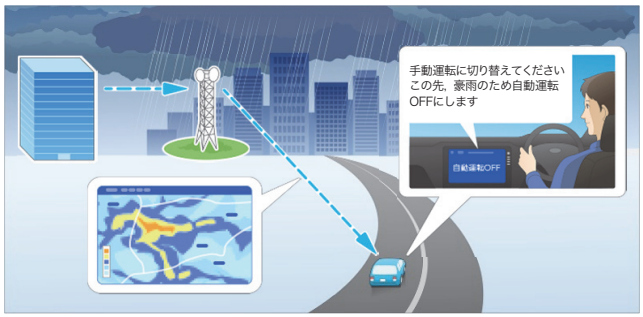


図14　V2Nによる降雨情報の配信

ては解決すべき課題も多い．

東京臨海部実証実験においては，通信トラフィックの増大という問題に対して，配信する交通環境情報の具体的な利用方法を実験参加者とも議論し，情報配信方式に対する検証を実施した．

情報配信方式としては，大容量・低頻度更新に適したPULL方式と，低容量・高頻度更新に適したPUSH方式による情報利用に大別できる．（図15）実証実験における交通環境情報の配信を通じて，両方式を使い分けることにより通信トラフィックが削減できることがわかった．また，ネットワークやサーバ負荷計測と社会実装を想定したシミュレーションを行い，実用化に向けた大規模な社会実装時に事業主体が考慮すべき課題として以下を抽出した．

・必要情報の効率的な選択利用の仕組みの実現
・ネットワーク経由による情報処理／伝送遅延の最小化と影響確認
・対象サービス規模実装に見合ったサーバ能力予測・通信データ量の削減

【詳細 第２章 (2) ③】

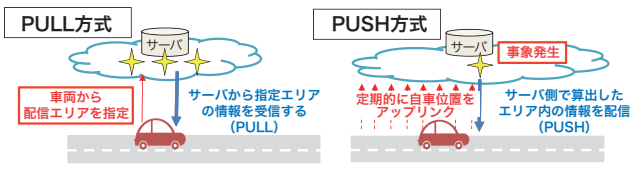


図15　V2Nによる情報配信方式

これらの課題以外についても，協調型自動運転通信方式検討TFにて，学識経験者，関係省庁，業界団体（自動車，電機）等のメンバが連携して課題の洗い出しが行われ，セキュリティ・プライバシー対策の策定など取り組むべき課題をまとめている．【詳細 第２章 (2) ①】今後，産学官それぞれ役割を分担して研究開発を行い，また業界横断で議論・連携を深めながら，V2Nによる交通環境情報利活用の実現に向けた取組が推進されることを切に期待する．

3.5. V2Nによる情報利活用の仕組み検討

V2Nによる交通環境情報利活用の実現には，その仕組みづくりも重要な課題である．欧州委員会では，モビリティに関連するデータをネットワーク通じて収集・活用するために各国ごとにNAP (National Access Point) の設置と，NAPを使ってデータ提供する仕組みを義務づけている．日本でも，今後実用化が進む自動運転や高度な運転支援システムでの，モビリティデータ活用の実例やメリット・デメリットについては継続的に調査が必要である．SIP第２期では，日本におけるV2Nによる交通環境情報利活用の仕組みのあるべき姿についてそれぞれの研究開発，実証実験を通じて検討を行った．

SIP第２期の検討過程において，V2N信号情報は，配信情報に関する高い要求精度に加え，統一されたインタフェース条件により全国的なサービスの稼働保証ができる体制の確保が必要であるなど，多様な意見が有識者，関係企業等のアンケート，ヒアリングを通じて寄せられた．これら意見を検討し，実施主体となる一元的な信号情報センター設置の必要性と，組織が具備すべき要件，条件を提案予定である．【詳細 第２章 (1) ②】

一方，降雨情報のような気象情報については，モビリティ用途以外も含めた情報利用のニーズやユースケースに基づき，競争領域として情報提供事業の進化，拡張が期待される領域であり，統一的な情報配信の仕組み構築によらず発展することが望ましいと考えられる．これら検討結果に基づき，V2Nによる交通環境情報利活用の仕組みについても提案予定である．【詳細 第２章 (1) ③】

3.6. 社会的受容性の醸成への取組

東京臨海部実証実験における産学官の自動運転実現に向けた取組に関する情報発信は，SIP-café，成果発表会をはじめとする広報活動の機会を積極的に活用した．さらには，社会的受容性醸成に向けた試乗会イベントにおいて，東京臨海部実証実験環境を使った各社の研究開発成果として，レベル４相当の自動運転実験車両による一般公道デモ走行，同乗試乗を実現し，自

動運転技術の研究開発進捗の現状やSIP自動運転の研究開発成果の一端を公開することができた．(図16)【詳細 第4章 (2) ③】

図16　自動運転実験車両によるデモ走行

4 おわりに

第2期SIP自動運転では，交通環境情報利活用に関する研究開発及び東京臨海部実証実験を通じて，自動運転実現に必要な交通環境情報の要件の明確化，情報生成と配信の仕組み構築に取り組んだ．一般道への自動運転導入に必要なV2Iによる信号情報提供の実用化の技術的な目途付けは完了し，レベル4自動運転サービスの実現に向けたRoAD to the L4プロジェクトに展開した．今後，引き続き実装に向けた検討を進める予定である．また，お台場地区の実証実験環境をレガシー化し，次期SIPの課題候補「スマートモビリティプラットフォームの構築」においても，次ステップに向けた研究に活用していくこととなった．将来の面的な情報配信のニーズから，V2Nによる様々な交通環境情報の利活用の研究開発と実証実験にも取り組み，その仕組みの有効性，提供情報の活用ポテンシャルを実証するとともに，実現に向けた要件，課題抽出及び仕組み構築に向けた提案を行った．SIP第2期における取組の成果を活用し，交通環境情報利活用の仕組み実用化に向けての取組が継続的に推進されることを期待する．

【参考文献】
(1) 小林雅文ほか：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，SIP第2期「自動運転 (システムとサービスの拡張)」中間成果報告書 (2018～2020)，pp.16-23，2021.
(2) 津田喜秋ほか：臨海副都心地域における実証実験データの分析，SIP第2期「自動運転 (システムとサービスの拡張)」中間成果報告書 (2018～2020)，pp.54-62，2021.
(3) 津田喜秋ほか：首都高速道路における実証実験データの分析，SIP第2期「自動運転 (システムとサービスの拡張)」中間成果報告書 (2018～2020)，pp.68-72，2021.

【本件問合せ先】
トヨタ自動車技術株式会社 先進技術開発カンパニー 先進技術統括部，〒471-8572 愛知県豊田市トヨタ町1番地，担当：南方真人 (masato_minakata@mail.toyota.co.jp)

①臨海副都心地域における実証実験

The Tokyo Waterfront City Area Field Operational Tests

津田喜秋，吉埜孝広（三菱電機株式会社），室山晋也，磯部健太郎（アイサンテクノロジー株式会社），
渡部康祐，秋本克哉（日本工営株式会社）
Yoshiaki Tsuda, Takahiro Yoshino (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION), Shinya Muroyama, Kentaro Isobe (AISAN TECHNOLOGY CO., LTD), Kosuke Watabe, Katsuya Akimoto (Nippon Koei Co., Ltd.)

(概要) 2021年度から2022年度の東京臨海部実証実験は，公衆広域ネットワーク（以下，V2N）を利用した情報配信システムを整備し，降雨情報，車線別道路交通情報，模擬緊急走行車両情報，信号予定情報の４種類の交通環境情報を使った実証実験を実施した．本実証実験では国内外の自動車メーカ，サプライヤ，ベンチャー企業，大学等計22団体が参加し，V2Nによる交通環境情報配信の有効性評価や課題整理を行った．情報配信にあたっては，情報特性に応じてPUSH方式・PULL方式を使い分けて構築し，実用化を視野に入れ通信トラフィックの増大の影響度やネットワーク経由による伝送遅延の影響度の評価を実施した．これらの実験結果を実験参加者と実証実験WGを通じて評価・検証し，交通環境情報の有効性・課題についてまとめた．

キーワード：V2N，実証実験，降雨情報，車線別道路交通情報，模擬緊急走行車両情報，信号予定情報

1 実証実験の概要

1.1. 実証実験の目的

東京臨海部実証実験では，交通環境情報の更なる利用促進に向け，V2Nを利用した情報配信システムを整備し，降雨情報，車線別道路交通情報，模擬緊急走行車両情報，信号予定情報の配信を行い有効性の評価を行った．

1.2. 実験エリア

本実証実験の実験エリアを図１に示す．模擬緊急走行車両情報と信号予定情報の実験は①臨海副都心地域，車線別道路交通情報は②首都高速道路，降雨情報は広域情報としても評価を可能とするため①と②のほかに③常磐自動車道から新東名高速道路でも実施した．

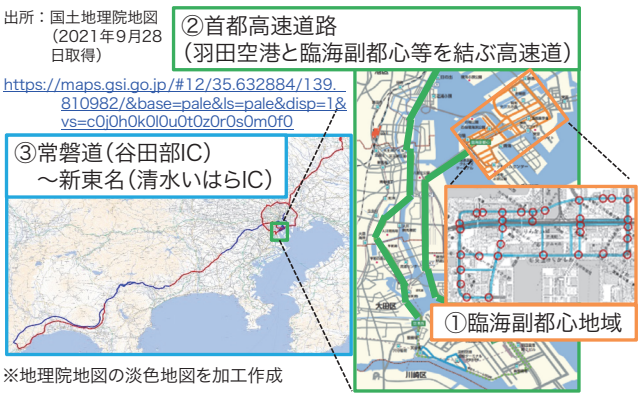
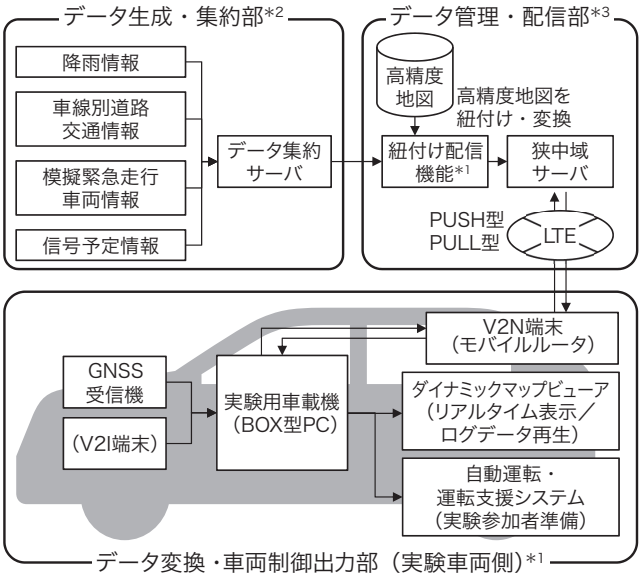


図1　実験エリア

1.3. 実験システム

本実証実験では将来の社会実装時のアーキテクチャを想定し，SIP第２期自動運転（システムとサービスの拡張）の別施策受託者と連携し，図２に示すように「データ生成・集約部」「データ管理・配信部」「データ変換・車両制御出力部」で構成する実験システムを構築した．

各種交通環境情報をデータ集約サーバで集約し，当該情報を高精度３次元地図に紐付け，狭中域サーバ・LTE通信網を経由して実験車両へ配信した．車両側では受信した交通環境情報と自車位置情報を実験用車載機で処理し，LANまたはCANインタフェースで自動運転・運転支援システム（実験参加者準備）に出力，また，受信情報をリアルタイム再生するダイナミックマップビューアと解析ソフトウェアを準備した．



＊1：「東京臨海部実証実験の実施」受託者担当（本論文著者）
＊2：「車線別プローブ等を活用した自動運転制御の技術検討及び評価」受託者担当
＊3：「狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る研究開発」受託者担当

図2　実験システム構成

1.4. 実験スケジュール

本実証実験の実施期間は2021年11月15日から2022年12月23日である．（図3）ここで，降雨情報と信号予定情報は実施期間全体で実施．車線別道路交通情報と模擬緊急走行車両情報は配信時期の制約から短期間で複数回実施した．なお，実証実験WGは実験成果の検証と意見交換を実験参加者と行うために毎月実施した．

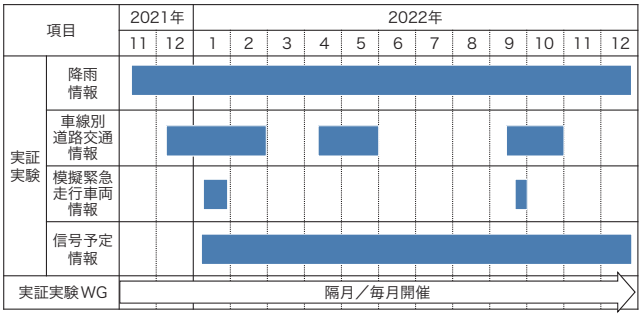


図3　実証実験スケジュール

2 V2N情報配信システムの構築・評価

V2Nによる交通環境情報の配信は，より広域で多様な情報の利活用が可能であることから，実用化を視野に入れ，クラウド上の情報を効率的に抽出する配信方式を構築し，通信トラフィックやネットワーク経由による伝送遅延の影響度合いの実験的評価を行った．

2.1. PUSH･PULL方式を活用した配信システム

V2Nを活用した配信では，情報の特性に応じてデータ量や伝送遅延に配慮した配信の仕組みが重要となる．このことから，本実証実験では図4に示すように低容量・高頻度更新に適したPUSH方式と大容量・低頻度更新に適したPULL方式の配信システムを構築し，交通環境情報ごとの特性に応じて使い分けて実施した．

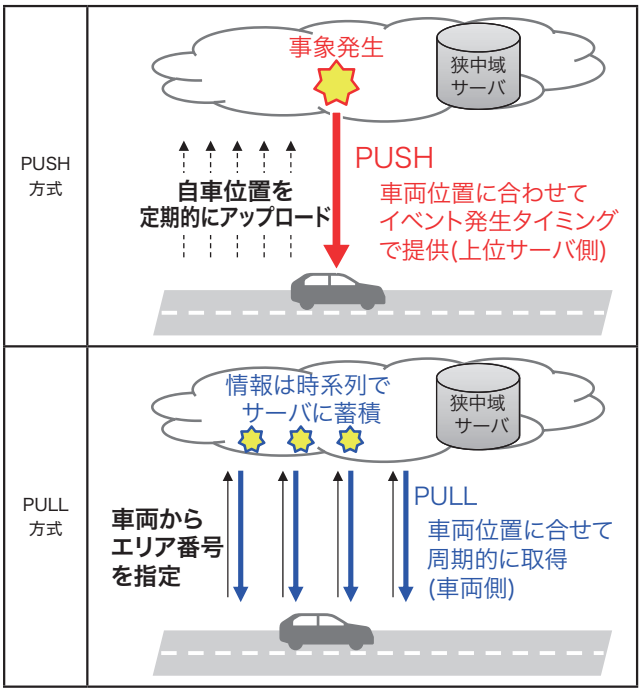


図4　PUSH方式とPULL方式

PUSH方式では，車両からデータ管理・配信部の狭中域サーバへ自車位置を定期的にアップロードし，イベント発生時に車両位置に合わせて狭中域サーバから車両へ情報を配信する．

一方，PULL方式では車両が希望エリアを指定し，データ管理・配信部の狭中域サーバから情報を周期的に取得する．

2.2. 交通環境情報の受信特性

2.2.1. 降雨情報特性

本実証実験で配信した降雨情報の概要を表1に示す．一般財団法人気象業務支援センター提供の高解像度降水ナウキャスト情報は，5分周期と低頻度で情報が提供されるのでPULL方式で実施した．降雨情報を車両側で受信した時のダイナミックマップビューア表示画面を図5，降雨情報の出力例（含：予測情報）を図6にそれぞれ示す．降雨情報は，現在時刻から30分後までの降水量情報が配信されるため，自動運転と手動運転の切り替えやドライバ向け注意喚起情報として利

用できる可能性がある．

表1　降雨情報の概要

情報源	一般財団法人気象業務支援センター
提供情報	「高解像度降水ナウキャスト」または「高解像度降水ナウキャスト(5分間降水量)」(250m格子単位での5分間の積算降水量，実況解析と5分ごと30分後までの予測値，バイナリデータ)
提供範囲	SIP第1期・第2期高精度3次元地図範囲(臨海副都心＋首都高，常磐道，東名・新東名)
配信方式	PULL方式

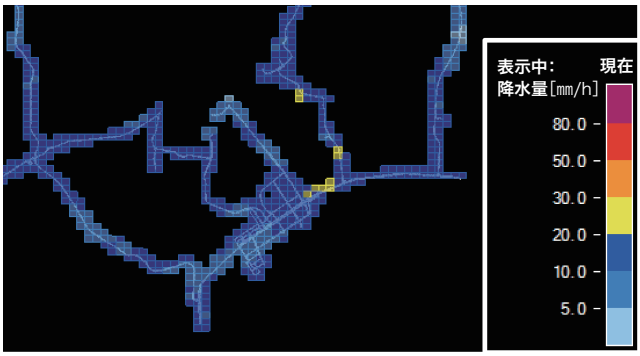


図5　降雨情報受信時のダイナミックマップビューア表示画面

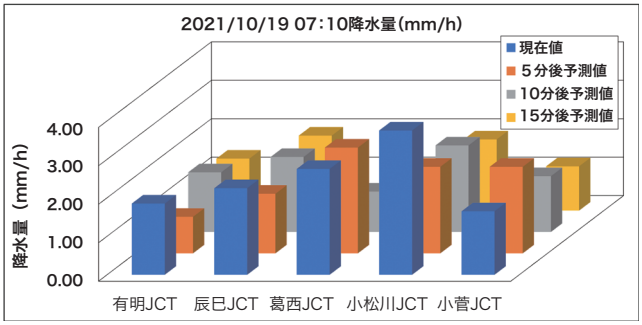


図6　降雨情報の出力例(含：予測情報)

2.2.2. 車線別道路交通情報特性

車線別道路交通情報の概要を表2に示す．車線別道路交通情報は，高速道路を走行中の車両から提供されたプローブ情報から生成した渋滞末尾や支障発生個所の座標・車線情報等を車両側に提供する．その際，車両側で搭載している高精度地図データと当該情報を関連付けする必要があるため，図2に示した紐付け配信機能で当該情報を高精度地図上のCRP (Common Reference Point：位置参照点) からの距離または高精度地図上の座標に変換 (ISO17572-4準拠) して車両側に提供する．車線別道路交通情報は1分周期と低頻度で更新されるためPULL方式で実施した．車線別道路交通情報受信特性を図7に示す．

表2　車線別道路情報の概要

情報源	プローブ情報(OEM・カーナビメーカ)
提供情報	渋滞末尾位置情報，支障発生個所位置情報(1分周期，①発生時刻，②消滅時刻，③発生地点，④路線名，⑤車線番号，⑥発生地点確度，⑦渋滞確度)
提供範囲	首都高羽田線・湾岸線
配信方式	PULL方式

図7では，全車線で発生した渋滞末尾に実験車両が遭遇し，速度を落としながら走行し，渋滞が解消されたことで速度を上げて走行したことがわかる．

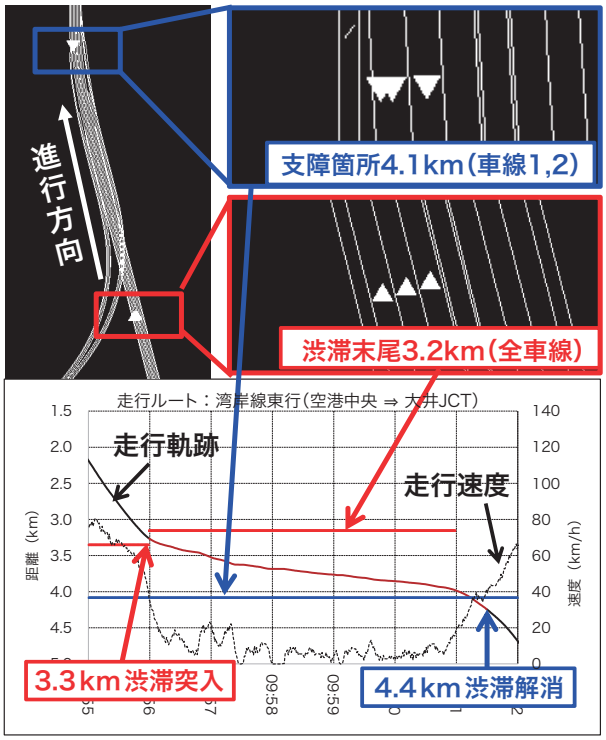


図7　車線別道路交通情報受信特性

2.2.3. 模擬緊急走行車両情報特性

模擬緊急走行車両情報の概要を表3に，受信特性を図8にそれぞれ示す．模擬緊急走行車両情報は，100m秒ごとの車両位置情報を2秒周期と高頻度で更新して配信されるためPUSH方式で実施した．

図8は，車両前方に記録された模擬緊急車両の通過

表3　模擬緊急走行車両情報の概要

情報源	模擬緊急車両(レンタカーを使用)
提供情報	模擬緊急車両の100m秒ごとの位置情報を2秒周期で配信(100m秒×2秒＝20個のGNSS情報をまとめて配信)
提供範囲	臨海副都心地域の一般道
配信方式	PUSH方式

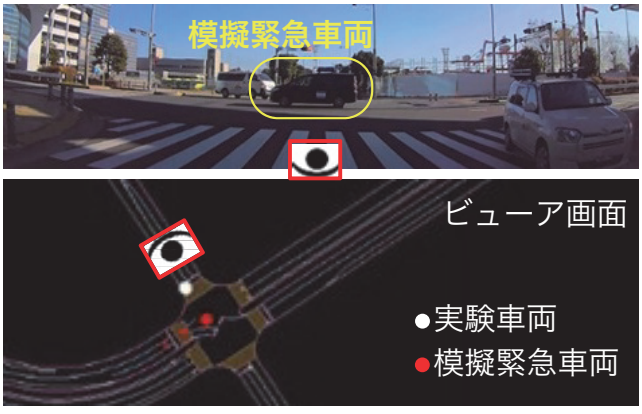


図8　模擬緊急走行車両情報受信時の車両前方画像とダイナミックマップビューア表示画面

画像と実験車両と模擬緊急車両の位置関係をダイナミックマップビューア表示で示している．また，実験車両と模擬緊急車両がすれ違った場合の車両間距離と速度特性を図９に示す．本実証実験を通じて，将来の社会実装時の緊急走行車両情報のユースケース検討や車両挙動の検討が可能となった．

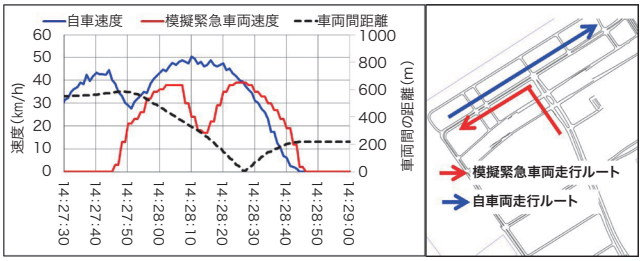


図９　実験車両と模擬緊急車両の速度及び位置関係

2.2.4. 信号予定情報特性

信号予定情報は，信号予定情報生成サーバで当該交差点の灯色情報を青信号開始時刻３秒前に生成し，データ生成・集約部とデータ管理・配信部を介して実験車両に提供される．信号予定情報の概要を表４に示す．

表４　信号予定情報の概要

情報源	警視庁
提供情報	信号サイクル確定時の灯色の予定情報 今回の実験は，信号予定情報開始時刻の３秒前に生成・提供，サイクル開始時刻（主道路が青になる時刻）とそこからの２サイクル分の各進入方路の退出方路ごとの灯色情報を提供
提供範囲	臨海副都心地区信号機
配信方式	PUSH方式，PULL方式，交差点指定PUSH方式

信号予定情報の実験では，将来の社会実装を想定すると様々な使い方が考えられ，本実証実験では表５に示す３種類の方式で実施した．

表５　信号予定情報の配信方式

方式	特徴
PUSH方式	自車位置をデータ管理・配信部の狭中域サーバへ１秒ごとに車側から提供し，自車を中心とする指定半径距離内の交差点信号予定情報を１秒周期で配信してもらう
PULL方式	自車位置を中心とした矩形エリア内の交差点信号予定情報を１分周期で車両側からデータ管理・配信部の狭中域サーバに要求し取得する
交差点指定PUSH方式	走行ルート上の交差点ID情報（複数設定可能）をデータ管理・配信部の狭中域サーバに要求し，該当情報を信号予定情報の更新周期単位に配信してもらう
車両制御部への出力方式	PUSH方式とPULL方式の場合は受信した信号予定情報のうち，車両進行方向の交差点の信号予定情報を100m秒ごとに出力，また，交差点指定PUSH方式の場合は指定した交差点の信号予定情報を100m秒ごとに出力

図10に信号予定情報の受信特性を示す．ここでは，交差点指定PUSH方式を示す．

図10は，（1）に示すようにお台場中央第一（北側）手前から図中の３交差点の信号予定情報を要求したルート１の場合と（2）に示すように台場交差点手前から図中の４交差点の信号予定情報を要求したルート２の場合の信号灯色情報を示している．走行経路に沿った交差点の信号情報が複数同時に把握可能であるため，交差点での一時停止を回避可能となることがわかり，走行ルートの最適選定に有効である．

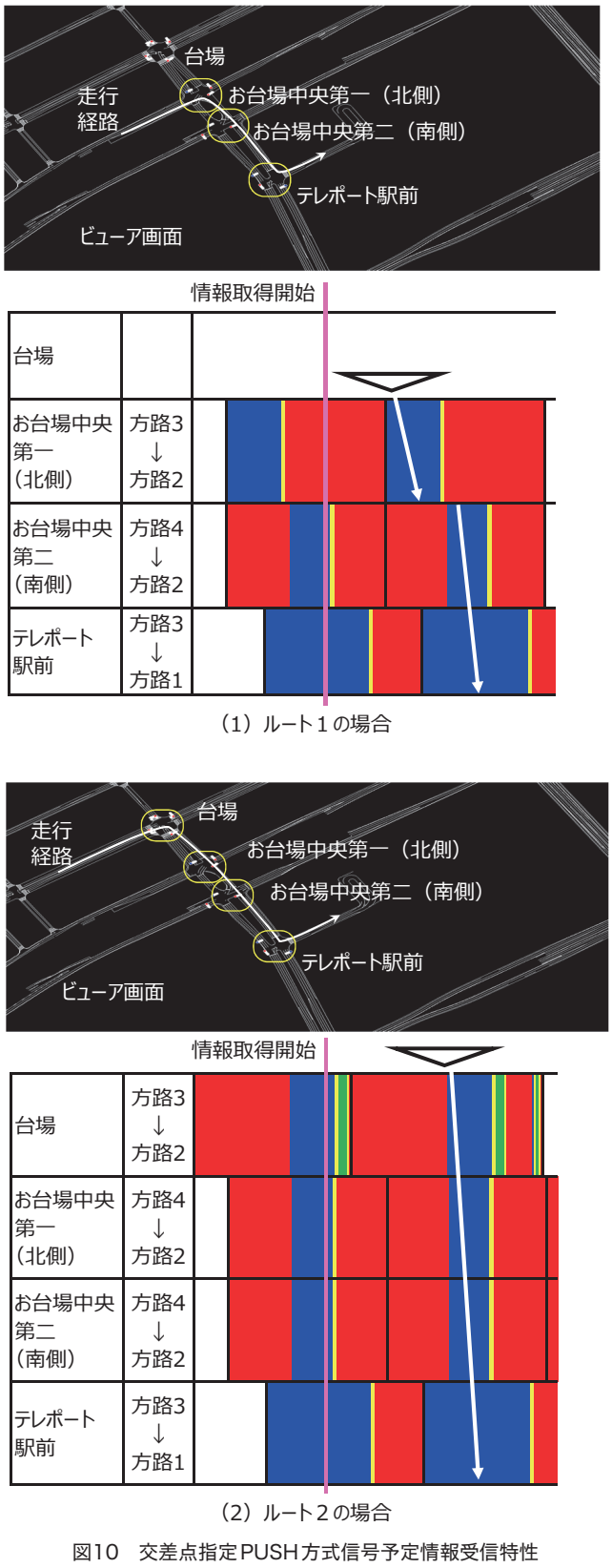


図10　交差点指定PUSH方式信号予定情報受信特性

2.3. 配信システムの評価

2.3.1. 時刻同期特性

ネットワーク経由による伝送遅延の影響度を評価するため図２に示した「データ生成・集約部」「データ管理・配信部」「データ変換・車両制御出力部」の時刻同期を実施したうえで，配信システムの遅延時間を評価した．結果，各装置の時刻ずれは最大±20m秒に抑えることができ，配信情報のネットワーク遅延評価を可能とする試験系を構築できた．

2.3.2. 伝送遅延特性

本実証実験では，情報により配信方式が異なるため，各配信方式の通信トランザクションと遅延時間を図11[(1)]に示す．

(1) 降雨情報の伝送遅延特性

降雨情報は，図11のPULL方式を採用した．降雨情報の伝送遅延は，図２に示したデータ生成・集約部からデータ変換・車両制御出力部（実験車両側）の実験用車載機（BOX型PC）の出力まで10秒から130秒生じた．一般財団法人気象業務支援センターのデータ配信周期は５分であることから，伝送遅延に問題はないと思われる．なお，データ要求の間隔を１分以下にする場合は通信トラフィック増に繋がるため，現在の設定が望ましい．

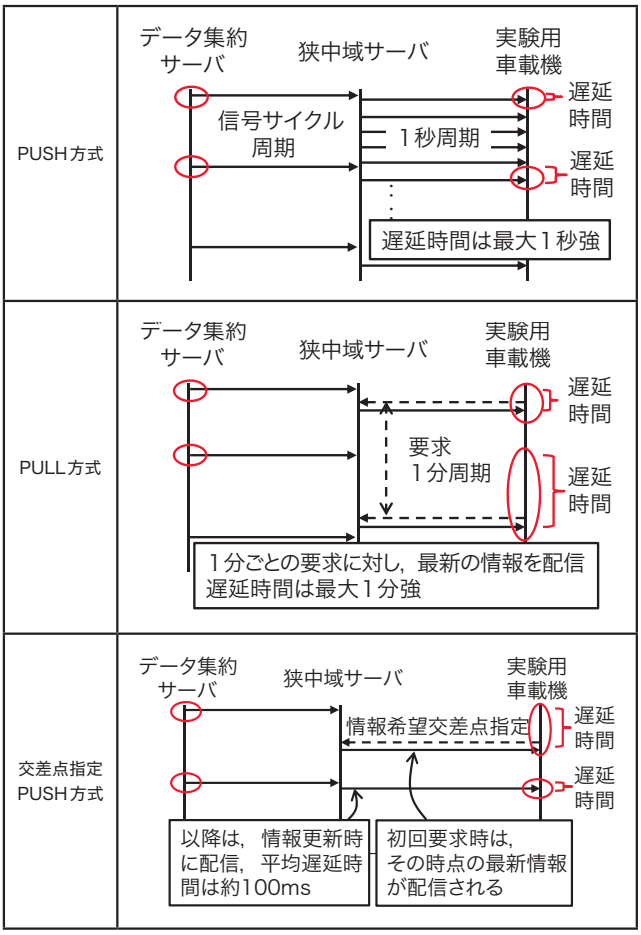


図11　配信方式（PUSH方式・PULL方式・交差点指定PUSH方式）の通信トランザクションと遅延時間

(2) 車線別道路交通情報の伝送遅延特性

車線別道路交通情報配信は，降雨情報と同様にPULL方式を採用していることから，車線別道路交通情報の伝送遅延もデータ変換・車両制御出力部（実験車両側）の実験用車載機（BOX型PC）の出力まで最大66秒生じた．情報源の配信周期と同程度であり実験運営的に問題ない．なお，車線別道路交通情報は１分周期と低頻度で更新されることから，現在の設定が望ましい．

(3) 模擬緊急走行車両情報の伝送遅延特性

模擬緊急走行車両情報は，図11のPUSH方式を採用した．図２に示したデータ生成・集約部からデータ変換・車両制御出力部（実験車両側）の実験用車載機（BOX型PC）の出力までの伝送遅延は最大1.3秒であった．今回の実験では２秒周期で模擬緊急走行車両情報が提供されることから伝送遅延の影響はない．今後，緊急走行車両情報が１秒周期で配信される場合は伝送遅延を１秒以下にする検討が重要となるが，緊急車両の接近を事前に把握することでこの伝送遅延の影響は受けなくなると予想される．このことも含め緊急車両情報の利用方法や想定ユースケース等について検討を深めることが重要である．

(4) 信号予定情報の伝送遅延特性

信号予定情報は，図11に示した３方式で図２に示したデータ管理・配信部の狭中域サーバとデータ変換・車両制御出力部（実験車両側）の実験用車載機（BOX型PC）の出力までの伝送遅延を測定した．PUSH方式では，狭中域サーバから実験用車載機に１秒周期で信号予定情報が提供されたことで１秒程度の遅延となった．PULL方式では，車両側から１分周期で狭中域サーバへ情報提供を要求したことで60秒以上の遅延が生じた．一方，交差点指定PUSH方式では，車両側からデータ取得希望交差点情報を要求（MQTTプロトコル）し，要求に応じた交差点の最新の信号予定情報を配信するため，通信負荷も低く抑えることができ，かつ遅延時間も100m秒程度となり３方式の中で伝送遅延を最も短く抑えられる．３秒前に予定情報を確定し，100m秒程度の遅延なので，信号サイクル開始に対して十分な余裕を持って信号情報の利用が可能である．信号予定情報では交差点指定PUSH方式を採用することが望ましい．

3 交通環境情報の有効性

4種類の交通環境情報について，実証実験の実施と全実験参加者及び実験環境提供者，内閣府，関連省庁，NEDOなどが参加する東京臨海部実証実験WGでの議論を通じて有効性を検討した．

3.1. 降雨情報の有効性

本実証実験で配信した降雨情報は，自動運転と手動運転の切り替えやドライバ向け注意喚起，旅行時間予測，車速調整や車間距離調整等，幅広い活用方法が想定される．また，降雨情報を運転支援・自動運転システムで活用する場合，情報生成から伝達までの所要時間短縮により，急激な気象変化にも対応できる可能性が高まる．実用化に向け降雨情報の利活用のユースケースの明確化・具体化と，ユースケースを踏まえた情報配信システムについて継続検討することが望ましい．

3.2. 車線別道路交通情報の有効性

車線別道路交通情報は，渋滞発生時（出口から路側帯まで延伸した渋滞含む），車両制御判断（追従・車線変更）を行う場合や，走行支障事象（事故・落下物等）の事前把握による早目の車線変更や走行経路変更などのドライバへの注意喚起情報として活用が大いに期待されると考えられる．これらのシーンで，自動運転から手動運転への引継ぎ要求や予備減速，車線変更，経路変更等に活用することも想定される．また，本実証実験で配信したメッセージ内容は，情報信頼度，統計情報に基づく渋滞確率，渋滞伸縮状況，渋滞末尾位置平均車速，末尾と先頭の対応付けに関する追加要望があり，車線別道路交通情報生成を担った受託者とも共有を図った．

3.3. 模擬緊急走行車両情報の有効性

模擬緊急走行車両情報は，緊急車両の接近を事前検知できる点で運転支援・車両制御に利活用が可能である．本情報を活用するユースケースとして，緊急車両接近時に必要な対応を行うための時間猶予の確保（例：減速，停止，路肩退避，自動運転から手動運転への切替やドライバへの警告等）や高精度地図データとの組合せによる「緊急車両接近が自車への直接影響の有無」の確認や，カメラ検知の緊急車両が緊急走行中か否かの判別等への活用も想定される．社会実装に向けて緊急車両接近時の自動運転車両挙動について，業界内でユースケースや情報の利活用についての議論を希望する．

3.4. 信号予定情報の有効性

信号予定情報（V2N）は，狭域通信（V2I）で有効であった灯色認識阻害シーンや通過判断差異シーン[(2)]で同様に，本情報を活用するユースケースを確認した．自車両周辺以外の広域情報も受信できるため，走行ルート計画に適用することで停車回数減少・所要時間短縮や，カーボンニュートラルにも貢献できる可能性がある．また，信号間隔が長い郊外や地方部でも巡行速度設定や運転支援に利用できる可能性から，V2N信号予定情報配信エリアの面的拡大により，自動走行可能エリアの拡張を助けることも期待される．社会実装に向け継続的に議論することが望ましい．

4 おわりに

臨海副都心地域での公衆広域ネットワーク（V2N）を利用した情報配信システムを整備し，降雨情報，車線別道路交通情報，模擬緊急走行車両情報，信号予定情報等の配信実験を実施し，実験結果と実証実験WGでの議論を通じて，配信システムや情報利活用の評価及び課題整理を実施し有効性を検証した．今後，本実証実験で確認した課題や有効性を踏まえ，ユースケースの明確化や交通環境情報配信の活用シーンの議論を進め，社会実装を進めることが望ましい．

【参考文献】
(1) 東京臨海部実証実験コンソーシアム：2021年度「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）／東京臨海部実証実験の実施」成果報告書2022年3月，pp. 42-73，2021.
(2) 津田喜秋ほか：臨海副都心地区のおける実証実験データの分析，SIP第2期「自動運転（システムとサービスの拡張）」中間成果報告書（2018～2020），pp. 54-62，2021.

【本件問合せ先】
三菱電機株式会社 鎌倉製作所 ITシステム部 空間情報システム課，〒247-8520 神奈川県鎌倉市上町屋325，0467-41-6228，担当：津田喜秋

②インフラ協調型自動運転のための信号提供技術(V2N)の開発

Technological Development to Provide Traffic Signal Information to Automated Vehicles Connected to Infrastructures (V2N)

畑﨑由季子(日本信号株式会社),高柳雄一(パナソニック コネクト株式会社),
馬渕透(オムロンソーシアルソリューションズ株式会社),川邉俊一(一般社団法人 UTMS協会)
Yukiko Hatazaki (NIPPON SIGNAL CO., LTD.), Yuichi Takayanagi (Panasonic Connect Co., Ltd.), Toru Mabuchi (OMRON Social Solutions Co., Ltd.), Shunichi Kawabe (UTMS Society of Japan)

(概要) 自動運転のための信号情報の要件として,信頼性向上及び可用性向上の観点から,信号情報と実際の灯色の誤差を±300ミリ秒以下とすること,信号情報の異常を検出し異常発生を車両に通知すること及び様々な信号制御において信号情報提供を実現することの3項目が抽出された.まず,V2I方式を対象とし,2020年度までにV2Iを用いた信号情報提供インフラ技術仕様を決定した.次いで,整備コストの低減等の観点から,2019年度にモバイル回線を利用するV2N方式について検討に着手した.2021年度までに,埼玉県における実証実験等を経てV2N方式による信号情報提供技術の確立に取り組んだ.また,V2N方式の検討の中で想定してきた社会実装モデルの中核を構成する信号情報センターの社会的機能要件についても検討した.こうした検討を踏まえて,2022年度には,17か所の交通信号機から模擬車載機までの一連の構成要素を統合した実証実験を実施し,3つの信号情報提供方式とシステム全体構成の有効性を検証した.

キーワード:V2N,信号情報提供,信号情報センター,MQTT

1 研究の目的

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,カメラ単体では信号灯色を認識できない場合,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.その対策として,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が,整備コスト面で課題があった.そのため,低コスト化を目的とし,クラウド等を活用した新たな信号情報提供手法を確立するための研究開発を2018年度からスタートさせた.(表1)

表1 研究開発の全体計画

2018年度	事例調査及び実現可能性が高い手法の課題検討 ・信号情報の提供を可能とする路車間通信以外の手法の事例調査 ・路車間通信以外の信号情報提供手法の整理 ・実現可能性等が高い手法の実現に向けた課題への対応策の検討
2019年度	模擬システムによる検証及びモデルシステムの仕様書案作成 ・信号情報提供手法に対する機能・技術要件の詳細化 ・3つの信号提供手法案の模擬システムによる検証 ・2020年度事業において構築するモデルシステムの仕様書案の作成
2020年度	単一都道府県でのモデルシステム実証及び信号情報集約システムの仕様検討 ・単一都道府県警察での信号情報提供モデルシステムの整備・検証 ・警察庁信号情報集約システムの仕様の検討
2021年度	社会実装に向けた信号情報センターの在り方の検討 ・信号情報センターの要件の検討 ・他の情報との連携・統合に関する検討 ・信号情報の精度向上に向けた検証
2022年度	都道府県警察システム,警察庁信号情報集約システムの構築及び検証 ・都道府県警察での信号情報提供システムの構築・効果検証 ・警察庁信号情報集約システムの構築 ・効果検証

信号情報の提供手法については,交通管制センターや交通信号制御機(以下,信号制御機)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システム構成を基本とし,管制方式,集中方式,制御機方式の3方式による実現が適用可能性の高い手法であると判断した.

3方式について,図1に示す.

2 信号情報センターの社会機能的要件の検討

本事業で検討された社会実装モデルは,図2のとおりである.このモデルでは,信号情報の直接の利用者のほか,自動運転推進企業,自動運転バスを運行する地方自治体等に負担を求めている.

交通信号機を管理する都道府県警察から車両までの経路の中で,非競争領域(警察の領域+協調領域)と競争領域の間に存在する信号情報センターについては,

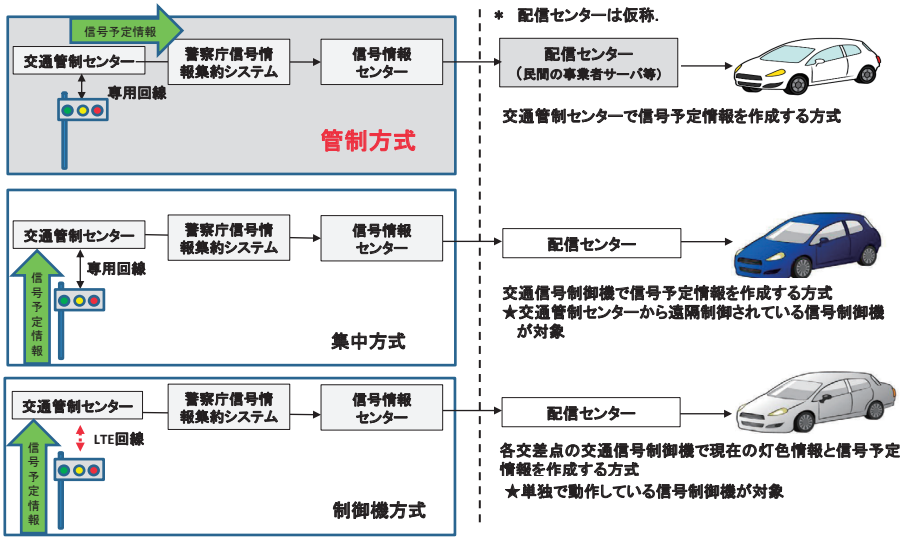


図1　信号情報提供方式

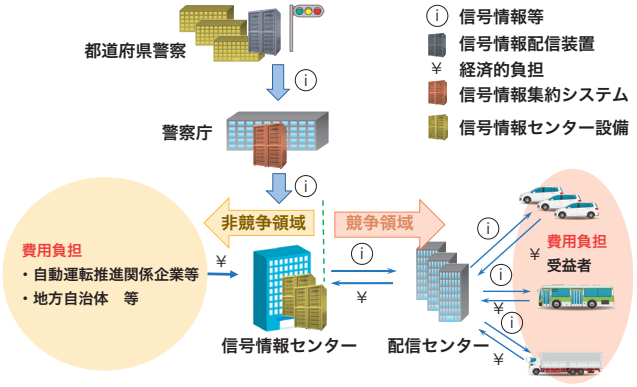


図2　社会実装モデルのイメージ

社会実装の成否に決定的な役割を果たすことから，ヒアリング・アンケート等の手段により有識者，関係企業等の意見を聞いた．

表2　必要な社会的機能要件

項目	必要な社会的要件	課題
組織体の運営	・経営企画機能 ・ファイナンスの確保機能	・人材確保(受益者負担の確保を含むファイナンス経験) ・関係機関との意思疎通の円滑性
信号情報の中継	・中継に関するオペレーション機能 ・イベント発生時のリカバリー対応機能	・人材確保(オペレーション経験) ・類似業務の経験
信号情報センター施設の整備・維持・管理	・信号情報センター施設の企画・設計及び関係する発注機能 ・セキュリティ管理機能 ・日常的な障害処理 ・顧客へのサポート	・人材の確保(フィールドエンジニアリング機能) ・類似業務の経験
顧客への技術的な接続	・接続用装置等の設置(信号情報センター施設の工事施行含)等実施機能	・人材確保(技術管理能力) ・類似業務の経験
顧客への手続的な接続	・受付(条件の確認)機能 ・費用(受益者負担分)の徴収機能	・人材確保(カスタマーサービス経験) ・類似業務の経験
顧客への技術的サポート	・仕様，規格等の確認等の技術サポート	・人材確保(新規開発した信号情報提供技術に関する知見)

※　赤字の人材は信号情報センターで確保することが必要．オペレーション，施設関係は外部依存も可能．

その結果は，的確なニーズの把握，地方のニーズへの配慮，交通情報提供を担ってきた機関の保有する人材・知見の活用，初期費用及び維持費用の負担に関する慎重な配慮の必要性等多様な内容を含むものとなった．必要な社会的機能要件については表2のとおりである．各種人材の必要性についての意見が複数あった．また，全国的に統一されたインタフェース条件により同レベルのサービスを提供する必要があり，24時間稼働できる全国的な体制の確保が必要であるという意見があった．

実施主体の条件については，図3のとおり．

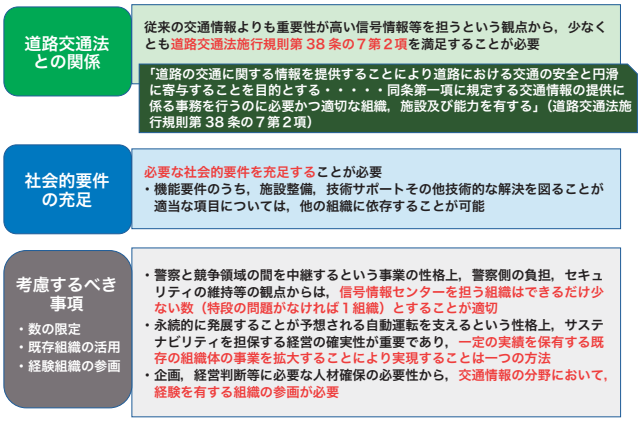


図3　実施主体の条件

3　信号情報提供の手法について

3.1. 管制方式の概要

管制方式は，集中制御の信号制御機を対象に交通管制センターに設置する信号情報配信装置により信号情報を生成する方式である．

集中制御とは，交通管制センターにおいて，感知器情報等を用いてサイクル長，スプリット，及びオフセッ

トからなる信号制御パラメータを決定し信号サイクルが始まる前に信号制御機に指令する制御であり，信号情報はサイクルごとに異なる可能性がある．

管制方式では，信号制御機の前サイクルの制御履歴と信号制御機に指令した信号制御パラメータを用いて，信号情報を予測する．この方式では，制御履歴に付加されるタイムスタンプの精度が重要となる．

埼玉県における実証（2020年度）では，当時の信号制御機の時刻精度が低かったため，目標の信号情報の精度が得られていない．そのため，2021年度，GPSによる時刻同期が追加された信号制御機の最新仕様を対象とし，工場内検証で目標性能が得られることを検証した．

2021年度の検討の過程で新たな課題として，信号制御機にはオフセット追従時のスプリットを自ら決定する機能があるが，秒数の100ミリ秒以下の端数処理の方法がメーカごとに異なるため，最大で200ミリ秒程度の誤差が生じることが認識された．本事業を受託した企業のうち１社の信号制御機については，その端数処理方法に合わせた信号情報作成を行うことで誤差は生じないこと実証した．（図４）他社製の信号制御機に対して，実施可能な対策がないか検討している．

信号情報配信装置の主な機能を表３に示す．信号情報の生成，配信，及びデータ蓄積機能に加え，信号情報を管理するための交差点管理情報，信号情報の精度

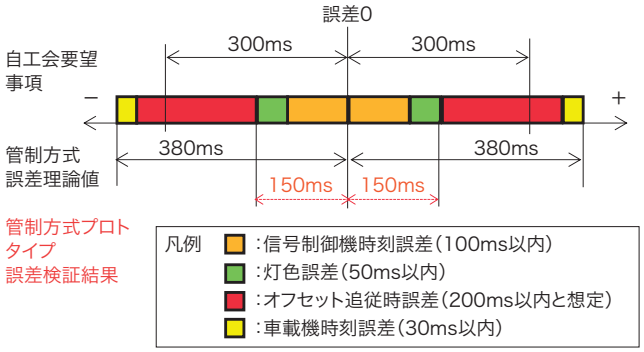


図4　管制方式の誤差モデルと検証結果

表3　信号情報配信装置の主な機能

機能名	機能概要
情報収集	端末制御ブロック経由で信号情報生成に用いる情報を信号制御機から収集する.
信号情報生成，配信	管制方式の信号情報を生成し，MQTTブローカーを介して配信する.
信号情報変換，配信	集中方式の信号情報を変換し，MQTTブローカーを介して配信する.
データ蓄積	MQTTブローカーで更新された各種情報をデータベースに蓄積する.
信号情報監視	信号情報の配信が停止していないか監視する.
信号情報検証	管制方式の信号情報の精度を検証する.
MQTTブローカー	信号情報集約システム，信号情報路側機等から接続を受け，情報配信する.

を常時監視する信号予定情報検証機能等を有する．また，同装置はMQTTブローカー機能を持ち，信号情報集約システム，信号情報路側機などの外部機器との通信をMQTTプロトコルにより行う．

MQTTプロトコルは新しい情報をプッシュ型で送信できるため，低遅延で信号情報を配信するうえで有利であることから採用している．通信メッセージは，信号情報を生成，または利用する各装置が参照する共通規格案に基づき作成される．

3.2. 集中制御方式の概要

集中方式は，管制方式と同様に集中制御機を対象としている．管制方式と異なり，信号制御機側で信号情報を生成することから，管制方式で実現できない感応制御等の即時処理にも対応することができる．

SIP事業「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」(2020年度終了）において，既に信号制御機における信号情報の生成方式が確立されているため，集中方式の実現においては，当該方式に準ずることを前提としている．

3.3. 制御機方式の概要

制御機方式は，通信機能を有しない非集中制御の信号制御機を対象とする方式である．現在運用されている信号制御機に信号情報路側機を追加する方式（路側機方式）と信号情報を生成できる信号制御機と無線機器を追加する方式が検討された．

路側機方式は，灯色信号のON／OFFをCTセンサで検知し信号情報を生成する方式である．非集中制御の交通信号機では曜日と時刻に応じた信号制御が行われるため，信号情報の予測が容易に行える．ただし，信号パターン変更時にオフセット追従が行われるため，誤差300ミリ秒以内の精度での予測は難しく，2020年度の埼玉県における実証試験では精度低下が見られる課題があった．そのため，2021年度に100ミリ秒単位でオフセット追従時の動作を学習する方法により対策を図った．

4　県警モデルシステムによる検証

4.1. 県警モデルシステム概要

図５に県警モデルシステム構成概要を示す．

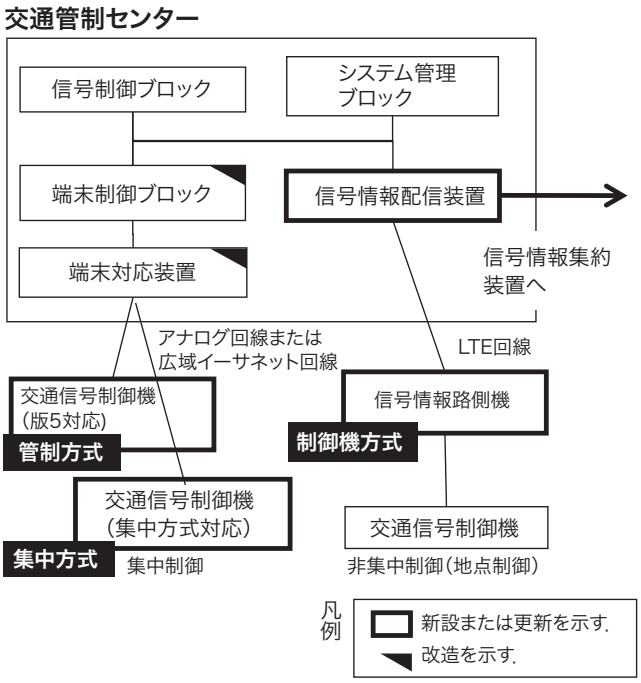


図5　県警モデルシステムのシステム構成概略

4.2. 検証の目的

本検証の目的は，多種多様な交差点の信号情報を精度よく，かつよりコストを低減できる方式で提供できることを運用中の機器を用いて実証することである．そのため，表４に示す交差点を対象に検証を行う．

表4　方式ごとの検証交差点と信号制御の状況

項目 / 方式	対象交差点数	リコール制御数	右折感応制御数	系統制御数	夜間閃光数
管制方式	9注)	6	0	9	0
集中方式	6注)	3	3	4	0
制御機方式	5	1	0	4	4

注）3交差点で管制方式，集中方式の両方を実施．

4.3. 検証項目

表５に県警モデルシステムを用いた主な検証項目を示す．

表5　県警モデルシステムを用いた主な検証項目

観点	検証項目
信号情報生成に関する検証	管制方式，及び制御機方式の精度向上 リコールや右折感応等の各信号制御への対応確認
信号情報配信に関する検証	通信インタフェースの標準化に関する検証 交差点定義情報に関する検証 通信遅延時間の検証 模擬車載機におけるΔt 確保の検証
実環境，実運用に着目した検証	信号情報集約システムとの接続に関する検証 実回線の性能，GPSの受信環境等による信号情報精度への影響に関する検証 信号情報提供の長期稼働に関する検証 信号情報提供状態の監視に関する検証

4.4. 検証方法

信号情報の精度検証は，2020年度の埼玉実証と同様，信号灯器と模擬車載機を動画撮影し，信号灯色の変化時における信号情報の残秒数で誤差を算出することで行う．図６に2020年度の埼玉実証における検証風景を示す．動画撮影のほか，各機器に蓄積された情報を比較し，遅延時間の算出やデータ間の整合性を検証した．

図6　動画撮影風景

5 信号情報集約システムと信号情報センター

5.1. 機能の概要

信号情報提供サービスの概要図を図７に示す．

信号情報集約システムは，47都道府県に設置される信号情報配信装置からの信号情報を収集し１つにまとめる．収集された信号情報は，いずれの方式で作成されたものでも同じフォーマットであり，同様に扱える．一方，信号情報センターは受信した信号情報を民間の各信号情報配信センターへ配信する．また，社会的機能実現のため，配信履歴の管理機能，運用実績の集計機能，及び信号情報のフォーマット検証等の運用支援機能を有する．

都道府県警察の交通管制システムでは，管制方式，集中方式，制御機方式のいずれかの方式により信号予定情報を生成し，信号情報配信装置を介して配信する．次に，警察庁に整備される信号情報集約システムは，全国の信号情報配信装置から配信される信号予定情報を集約し，信号情報センターへ配信する．最後に，信号情報センターは，民間事業者により運営される配信センターへ信号予定情報を配信する．最終的には配信センターを介して，自動運転車両に信号予定情報が配信される．

信号情報センターの社会的要件を考慮し，信号情報集約システム及び信号情報センターの立場から各シス

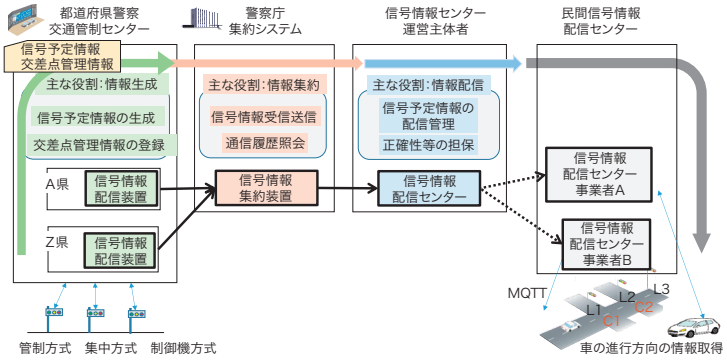


図7　信号情報集約システム等の機能の概要

テム機能を検討し，信号情報の規約整合性の確保と提供情報の管理を信号情報センター側に持たせ集約システム側はルートの一本化並びに通信監視のみとする機能の整理を行った．

5.2. 信号情報受信までの統合環境での通信時間評価

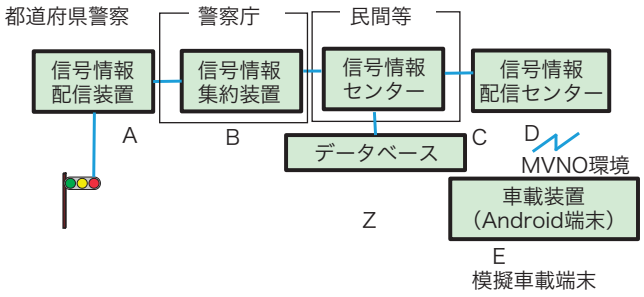


図8　一気通貫試験環境

信号情報センターでは，全国の数千を超える交差点の信号情報の配信を行い，またデータの蓄積機能等も検討しているが，処理遅延時間が大きくなることが懸念さるため，図８に示すシステム構成により，模擬信号制御機から模擬車載機までを一気通貫する通信負荷検証環境についてMQTTプロトコルを共通プラットフォームとして活用することで構築した．

信号情報センターシステムの性能を測定し，より高速に信号情報を伝達するための考察を行ったが，信号情報センターから車載機までは競争領域であり，あくまで実装の参考例である．

信号情報は，灯色が黄色になるΔt秒前（Δtは，５秒程度）に車載機に届く必要がある．そのため，簡易な模擬システムを構築し，通信遅延時間を計測した．

信号情報集約装置と信号情報配信センター間は，2048交差点（４県接続状態）での必要な帯域を机上で設計し，低帯域（12.5Mbps）環境を構築した．（図８のA-B間帯域）また信号情報配信センターと模擬車載機間は１秒間隔のMQTT-PING通信により通信呼を永続的に確立した．

図８の各区間の通信時間含む遅延時間の１日の平均結果を図９に示す．

信号予定情報は複雑な交差点を想定し585byteのデータを用いた測定を行った．

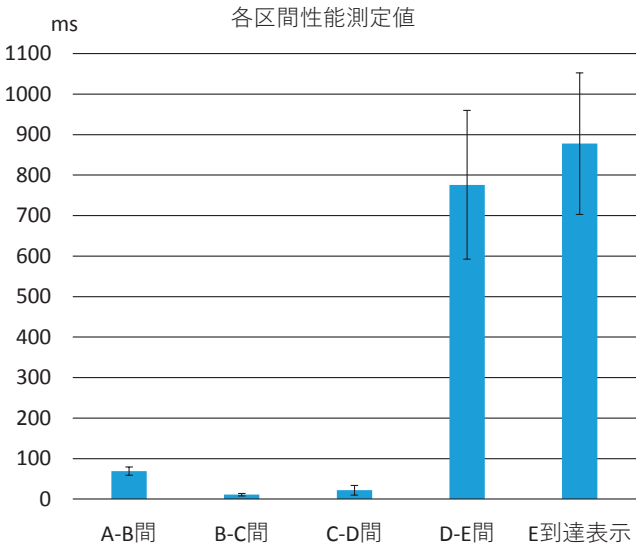


図9　各区間の通信処理時間

路側の交通信号機から模擬車載機までの時間とし１秒程度でデータ伝送が可能であることを示すことができた．模擬環境での限定的な条件下ではあるが，実環境と同程度の装置を介してサービスとして成立することを示せたのは非常に意義が大きい．

5.3. 2022年度検証環境について

2022年度は，県と警察庁は仕様書に基づいて整備した信号情報配信装置及び信号情報集約システム，信号情報センターから車載機までは模擬装置という構成の検証環境を準備して検証を行った．(図10)

また，回線網については，他のSIP実証実験環境に合わせて閉域網での評価を行った．

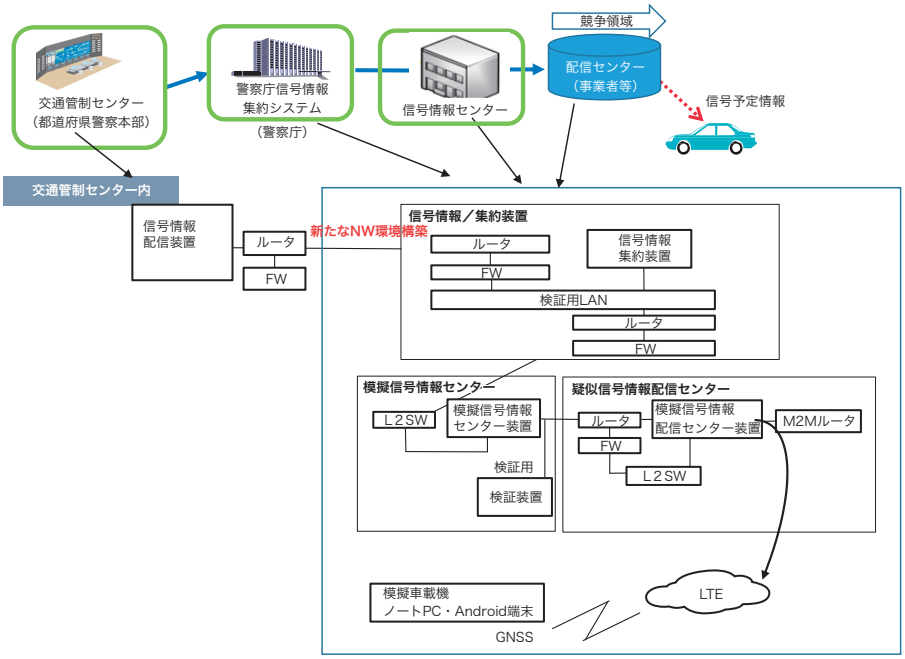


図10　2022年度検証環境

信号情報センターから車載機までの模擬装置による検証環境は社会実装時により近いと想定される環境で整備することを目的とするものである.

6 信号情報と高精度3次元地図の連携に関する検討

第２期SIP事業で，2019年度から2020年度に実施された東京臨海部実証実験では，「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」の成果を活用し，高精度３次元地図と紐付けた信号情報提供を実施している．そこで，その方式について調査を行い，信号情報と高精度３次元地図の連携に必要な情報を次のとおりまとめた.

・交差点情報：　交点IDと交差点の位置情報
・地図上でどの交差点を指すのか特定するための情報
・信号灯器情報：　灯器IDと位置情報
・走行ルート：　流入方路と流出方路の組合せ
・参照灯器情報：　走行ルートごとの参照灯器
・停止線情報：　位置情報
・地図上の灯器と信号情報の方路を紐付ける情報

また，高精度３次元地図との連携に必要な情報について，V2Nによる信号情報提供における機能配置案を表６に提案する.

東京臨海部実証実験では模擬車載機で信号情報対応テーブルを管理したが，社会実装を見据えた場合，各事業者が管理すべき情報ではなく協調領域で管理すべき情報と考える.

表6　高精度3次元地図との連携機能配置案

都道府県警(含警察庁)	信号情報提供における協調領域(信号情報センター・地図ベンダ等)	競争領域(自動車メーカ，自動運転事業者等)
以下の情報を提供 ・情報を特定するための交差点IDと地図上の場所を特定するための位置情報 ・方路IDと地図上の場所を特定するための情報	・信号情報(交差点ID，方路)と高精度3次元地図(停止線(方路)，灯器)とを紐付けるための信号情報対応テーブルの管理 ・高精度3次元地図と信号情報の紐付け	車両へ信号情報を配信

7 おわりに

7.1. 本事業の成果

V2N方式の信号情報提供技術については，絶対時刻の導入，交通信号機に対する新仕様の導入（GPSによる時刻同期及び１秒単位の制御から0.1秒単位の制御への変更等）により，信号情報と実際の灯色の誤差を±300ミリ秒以下とすることをはじめ，自動運転で必要となる信号情報提供の技術的要件を満足するという観点からは大きく前進することができた.

一方，今回の研究開発において想定した社会実装モデルの中核の位置を占める信号情報センターの技術的な機能要件について，58機能，画面や帳票については14画面，５帳票から構成される提案を行った．また，提案した信号情報センターの機能要件を前提に，2020年度検討した信号情報集約システムの仕様案から軽減できる機能について検討を行った.

また，セキュリティについては，可用性，継続性，拡張性等の観点から15の対策要件を提案した．

7.2. 今後の技術的課題と対応

技術面で，フェールセーフの実現，オフセット追従等への対応，異常情報の通知が通信時間分遅延することへの対応等の課題が残存しており，今後，技術的検討を継続する必要がある．

2022年度については，県警に信号情報配信装置，警察庁に信号情報集約システムを実装するとともに，模擬の信号情報センター，配信センター等から構成される検証環境を構築し，MQTTプロトコルを活用した各種検証を行った．これにより，2021年度までの模擬的検証環境では経験できなかった，実環境において初めて生じるような現象の洗い出しが可能になった．

上記残存課題及び2022年度に洗い出された課題については，2023年度以降の自主研究の中で継続的に検討を進めたい．

7.3. 方式間の棲み分け

V2N方式としては，管制方式，集中方式及び制御機方式を検討したが，特に注力した管制方式は，既存の交通安全施設を活用できることから，社会実装に向けたプロセスの推進を図るうえで期待できる技術である．しかし，V2N方式は，遅延，フェールセーフの実現等の技術的にV2I方式に及ばない面があることも否定できない．また，V2N方式で検討した管制方式以外の方式もそれぞれ技術的なメリットがある．そのため，交差点ごとの交通事情，信号制御の特性，ユースケースの内容等に合わせて，方式間の棲み分けを整理していく必要がある．

7.4. 社会実装への取組

加えて，事業化等の社会実装に向けて必要となる技術的な観点以外の課題についても検討も継続し，レベル４以上の自動運転の社会実装の実現に向けた活動を続けていきたいと考えている．

【本件問合せ先】
一般社団法人 UTMS協会，〒162-0843 新宿区市谷田町２丁目６番エアマンズ市ヶ谷７階，03-3235-6520，担当：川邉俊一（専務理事，090-1185-5373，kawabe@utms.or.jp）

③車両プローブによる車線別道路交通情報に係る技術開発

Technological Development for Lane-level Road Traffic Information Using Probe Vehicle Data

市川博一，竹之内篤，船岡直樹，内山直浩，森暁雄（パシフィックコンサルタンツ株式会社），
森崎千雅，大島竜輝（株式会社三菱総合研究所）
Hirokazu Ichikawa, Atsushi Takenouchi, Naoki Funaoka, Naohiro Uchiyama, Akio Mori (PACIFIC CONSULTANTS CO., LTD.), Yukimasa Morisaki, Ryuki Oshima (Mitsubishi Research Institute, Inc.)

（概要）自律走行の自動運転車は限られた範囲の情報に基づき走行しており，前方で事故等があり渋滞が生じている場合，急減速が必要となったり，交通量が多い場合には円滑に車線変更できない可能性もある．この時，前方の交通状況（先読み情報）をあらかじめ車線別に把握することができれば，事前に予備減速し余裕を持って車線変更するなど，より安全・円滑な走行が可能となる．現在，コネクテッドカーの普及に伴い，このような先読み情報を生成するためのデータ取得環境が整いつつあるが，交通状態を車線別に直接把握できるようなデータ形式とはなってない．本取組は，自動運転車の安全・円滑な走行に有用と考えられる車線別の道路交通情報に係る技術開発を行うものであり，現状，市販車両から得られるプローブ情報でどの程度の車線レベルの情報生成ができるかを検証し，今後の可能性を明らかにするとともに，生成した情報をその他の交通環境情報と合わせて一元的に集約・配信する実証実験環境の構築を行ったものである．

キーワード：車両プローブ情報，車線別道路交通情報，渋滞末尾，渋滞車線，ウインカー情報，実証実験

1 実施目的と本施策の概要

自動運転及び高度な安全運転支援の実現に向け，車載センサでは検知できない遠方等の状況を先読みするため，車線レベルの道路交通情報をはじめとする各種交通環境情報の活用が期待される．しかし，路側センサでは定点観測しかできないことから，面的に道路交通状況の把握が可能な車両プローブ情報を活用した道路交通情報を生成・提供する仕組みの検討が課題となっている．

本取組ではこれらの課題解決を目的に，車両プローブ情報を活用した道路交通情報提供の仕組み作りに向け，官民ステークホルダーによる検討会を実施した．また，東京臨海部実証実験において市販車両から得られるプローブ情報をプローブ事業者から実際に収集し，首都高速における車線別の渋滞末尾等を対象に車線レベル道路交通情報を生成・配信する実証実験を実施し，情報の有用性や課題の抽出等を行った．

2 目指すべき姿

2.1. 車線レベル道路交通情報の必要性

自動運転車の車載センサでは，図1に示すように前方の限られた範囲しか情報収集できない．しかし，車線レベルの渋滞をはじめとした支障をあらかじめ先読みできれば，より安全で円滑な走行が可能となり，この情報はドライバにとっても有効と考えられる．

その情報源としては，近年普及が進んでいるコネクテッドカーから得られる車両プローブ情報などが考えられる．また，最近では事故等が発生した際の車両か

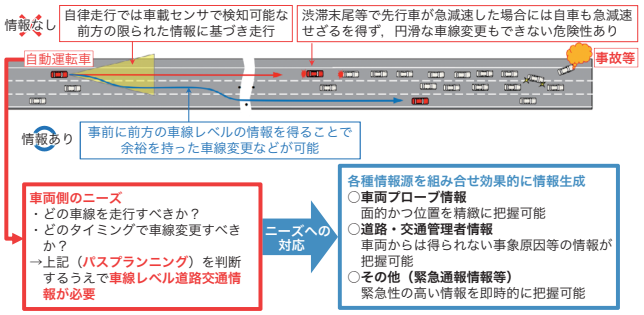


図1　車線別道路交通情報の必要性とその情報源

らの緊急通報サービスが広がりを見せるが，この情報も事故による支障位置を即時に把握する情報源として有効性が期待できる．

2.2. 施策のスコープ

前方の道路交通事象に対して自動運転車両が行う判断や制御は，図２に示すとおり事象からの距離に応じて段階がある．本取組では車線変更を中心としたパスプランニングでの活用を対象としており，求められる情報の即時性は数分程度でも良いと考えられるため，現状入手し得るプローブ情報からでも情報生成の可能性があるといえる．

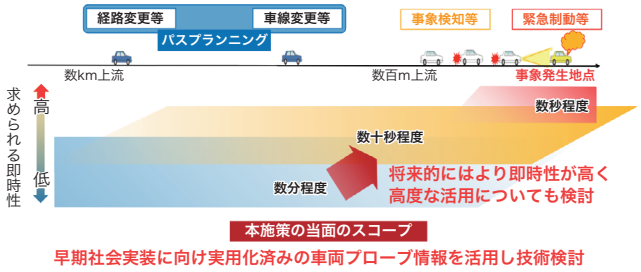


図2　本施策のスコープ

3 各要素技術の検討

車線レベル道路交通情報の配信に関する流れの全体像として，プローブ事業者から情報を収集し，実用段階では生成した情報をプローブ事業者を通して個車に提供することを想定している．（図３）

このため，車線レベル道路交通情報生成の協調領域として検討が必要となる要素技術は，プローブ事業者からの①データ集約，②複数の情報源のデータの統合，③車線レベル道路交通情報の生成，④位置表現可能なデータへの変換，⑤データ配信の５つに大別できる．

3.1. データ共有（集約）機能の検討

ここでは，プローブ情報をプローブ事業者サーバから集約する際のセンター間のデータ共有仕様について検討した．プローブ事業者から入手するプローブ情報は表１に示すとおりである．なお，プローブ情報の集計時間単位は，現状のデータ収集状況等を踏まえて５分値で収集することとした．

表１　使用するプローブ情報

集計リンク単位	データ項目	
DRMリンク単位	分岐部方向別速度(5分値)	分岐部手前リンクにおける方向別速度
DRMリンク100m分割単位	リンク速度(5分値)	平均速度
		速度層別台数[注1)]
	車両イベント発生数(5分値)	ブレーキ発生数
		ウインカー発生数
		ステアリング発生数

注1)速度層別台数のデータ形式イメージ

速度階級区分	台数
0<V≦10km/h	
10<V≦20km/h	
:	
110<V≦120km/h	
120<V	

また，プローブ情報には，車両からプローブ情報提供事業者側のセンターサーバに遅れてアップリンクされるデータも一定割合存在すると想定され，直近の５分データだけでは必要なサンプル数を得られない可能性がある．よって，データ共有（集約）段階においては次の①～②を考慮し，30分前のデータまでを遡って使用できるようにした．（図４）

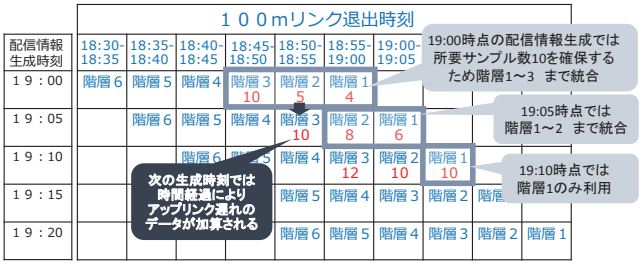


図4　アップリンク遅れを考慮したデータ収集方法

①プローブ車両の走行時刻に基づき５分単位（これを「階層」という）で集計し，遅れてアップリンクされ

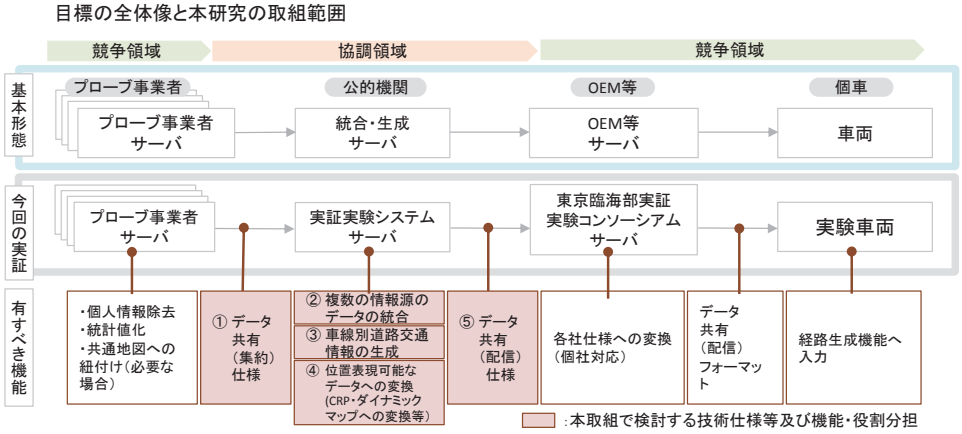


図3　本研究の取組範囲

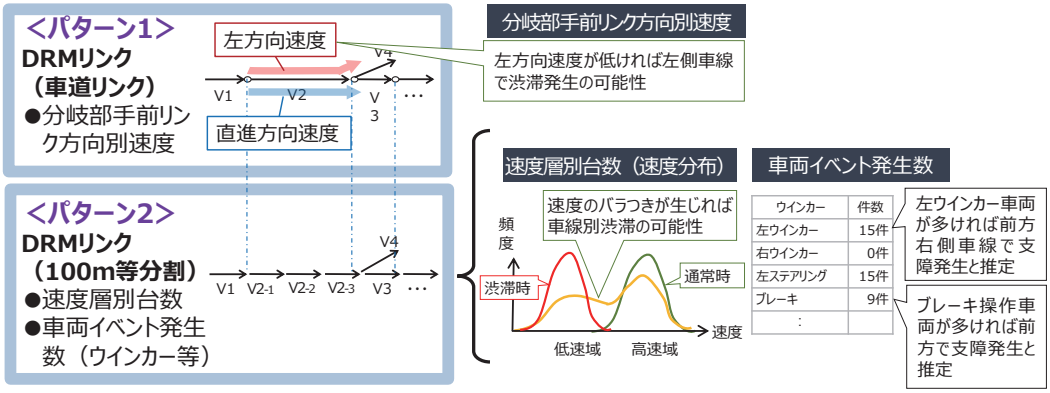


図5　車道リンクに紐付けられたプローブ情報から車線レベル情報を生成する基本的考え方

てくる分を含め，過去30分まで遡ってデータ収集する．

②階層ごとにそれまで収集された前の情報生成時刻のデータも集約する．階層1は直近の5分間データ，階層6は30分前からの5分間データを集約することとなる．

なお，サンプルデータから一定精度で平均速度を推定する場合，5台以上の取得で±10km/h（信頼度95%）程度の誤差に収まるとされ，システム上は最小必要サンプル数として，6台を基本値に設定している．

さらに，プローブ事業者から収集する情報項目及びデータ定義を検討するとともに，統一したデータフォーマット（JSON形式）を規定した．そして規定したフォーマットに基づき，実際にプローブ事業者からプローブ情報を収集し，4章で報告する実証実験を実施した．

3.2. 複数情報源のデータの統合機能の検討

ここでは，複数の情報提供事業者から収集するプローブ情報の統合処理仕様を検討した．複数のプローブ事業者のプローブ統計情報を1つのリンク単位情報に統合する際，平均値データである「平均旅行速度」「方向別旅行速度」は各プローブ事業者のサンプル数で重み付けした加重平均とした．また，数量データである「速度層別情報」「その他車両情報（ウインカー等発生回数）」は各プローブ事業者がカウントした数値の総和とした．

3.3. 車線別道路交通情報の生成機能の検討

ここでは，前項で統合した車道別プローブ情報から車線レベル道路交通情報を生成する技術仕様を検討した．はじめに，100mリンク単位の速度層別台数情報（速度分布）から進行方向の速度低下箇所を特定する．その際，速度層別台数の分布が低速から高速に跨る場合は，一部の車線が渋滞していることが推定される．その場合，分岐部では方向別速度（DRMリンク単位）から分岐方向に対応した車線の渋滞を判定し，それ以外の箇所ではウインカー情報（100mリンク単位）から支障車線の方向（左右の別）を判定する．（図5）

3.4. 表現可能なデータへの変換機能の検討

ここでは，首都高速上で生成した車線レベル道路交通情報を高精度3次元地図へ重畳するため位置表現可能なデータ形式への変換仕様を検討した．本取組では，プローブ事業者からは，進行方向の情報分解能向上をねらい，DRMリンクを100m分割したリンク形式にてプローブ情報を収集する仕様とし，車線レベル情報の生成においては，リンク上流端に注意喚起情報を表示する車線番号を生成することとした．そこで，車線表現可能なデータ形式としては，OEM等から収集するデータ形式に親和性があり，車線情報を表現できる拡張DRM-DB仕様[(1)]を採用することとした．そして，高精度3次元地図を参照することで，100m毎区間の車線数を付与したノードリンク地図を作成し，注意喚起情報を車線別に表現できるようにした．

3.5. データ共有(配信)機能の検討

ここでは，生成した情報を実験参加者に中継するサーバに配信する際のセンター間のデータ共有仕様を検討した．具体的には，100mリンク区間単位の車線別情報の表現には，当該地点ノードの緯度経度情報と注意喚起情報を表示する車線番号を送ることとした．また，配信仕様については一般社団法人 JASPARの車両情報共用API仕様書他[(2)(3)(4)]に従い，注意喚起情報コンテンツを用いて配信することとした．

4 車線レベル道路交通情報配信実証実験の概要

各要素技術の技術評価を行うために，プローブ情報提供事業者とオンライン接続し，リアルタイム処理される情報を配信する実証実験システムを構築し，首都高速２路線を対象に情報配信実験を行った．

4.1. 全体のスケジュール

2020年度の冬に第１回の実証実験を行い，PDCAにより様々な改良を実施しながら情報精度向上を目指して，計４回の実証実験を行った．（図６）

4.2. 実証実験環境の全体構成

実証実験で構築した実験システムは図７のとおりである．プローブ提供事業者とオンライン接続するとともに，東京臨海部実証実験コンソーシアムのシステムと接続することで，実験参加車両に情報配信を行えるようにした．また，2021年度の実証実験からは，自動運転車両の適切な判断や制御に活用しうる各種交通環境情報（降雨情報，V2N信号情報等）を，車線レベル道路交通情報と合わせて一元的に集約し，同じく実験参加車両に情報配信を行う仕組みとしている．

ここで，各交通環境情報の収集は，情報源の配信仕様に応じて行った．一方で，OEMデータセンター相当側への配信は，情報の特性を踏まえた仕様により配信した．なお，配信時のデータ形式はJASPAR（車両情報共用仕様）の採用を基本としたが，高いリアルタイム性が求められる場合はJASPAR変換後のデータ量等を考慮し，情報源のデータ形式をそのまま用いた．（表２）

4.3. 情報生成対象区間と主要検証箇所

実証実験では，首都高速２路線（図８）を対象に情報配信を行った．羽田線上りでは平日朝夕，浜崎橋JCTを先頭とする渋滞が恒常的に生じる．新宿方面が

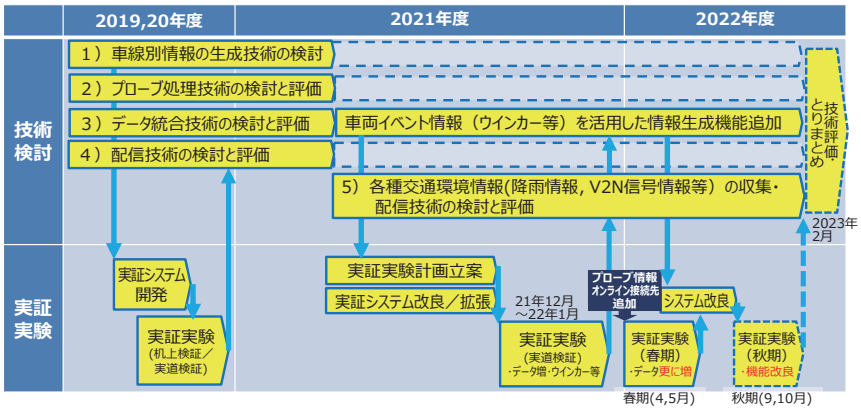


図６　実証実験の全体スケジュール

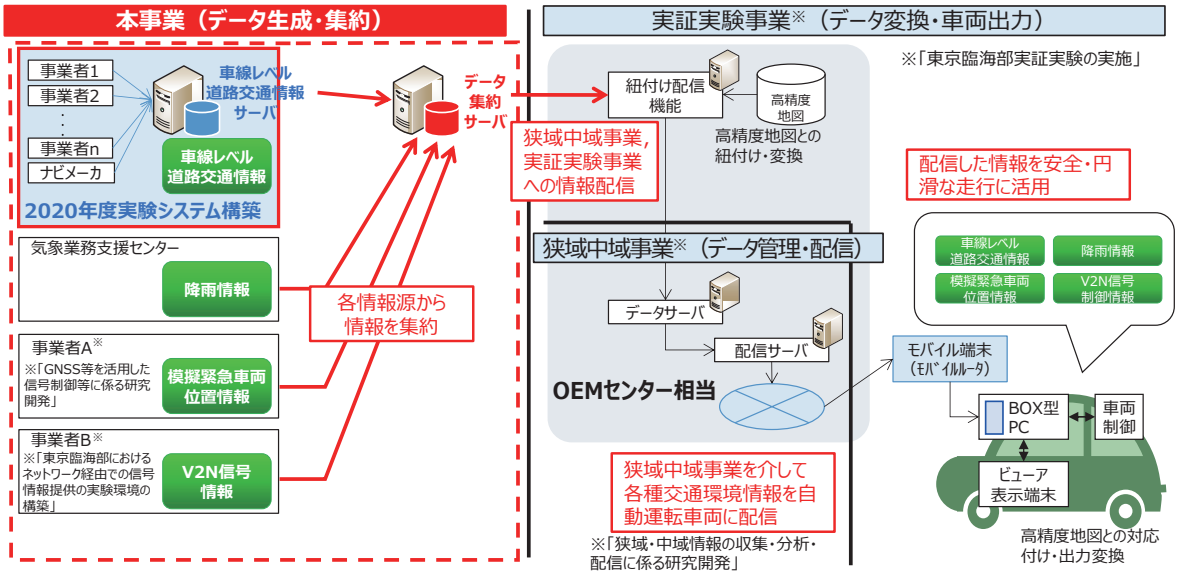


図７　実証実験環境の全体構成

表2　各種交通環境情報の収集･配信方式

情報種別	情報源からの情報収集				OEMセンター側への情報配信		
	情報源	情報表現形式	通信方式	収集周期	情報表現形式	通信方式	配信周期
①車線レベル道路交通情報	車線レベル道路交通情報サーバ	JASPAR:JSON形式 コンテンツ:attention	HTTP	1分周期	JASPAR:JSON形式 コンテンツ:attention	HTTP	1分周期
②降雨情報	気象業務支援センター	GRIB2※1	SFTP	5分周期	JASPAR:JSON形式 コンテンツ:environment	HTTP	1分周期
③模擬緊急車両位置情報	事業者A	独自のバイナリ形式	UDP	随時	独自のバイナリ形式	Web Socket	随時
④信号予定情報	事業者B	独自のバイナリ形式	UDP	随時	独自のバイナリ形式	Web Socket	随時

※1　**GRIB2形式**:国際気象通報式FM92 GRIB二進形式格子点資料気象通報式(第2版)

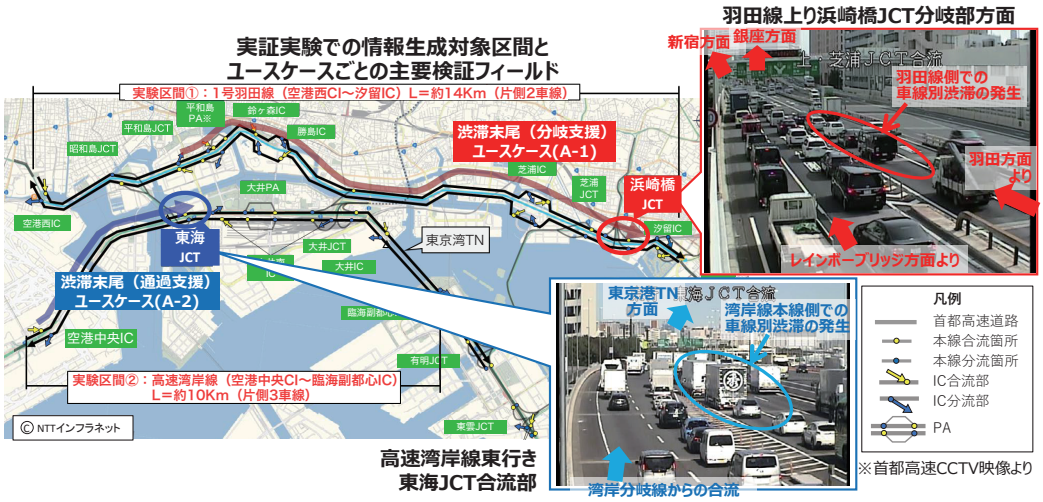


図8　実証実験での情報生成対象区間

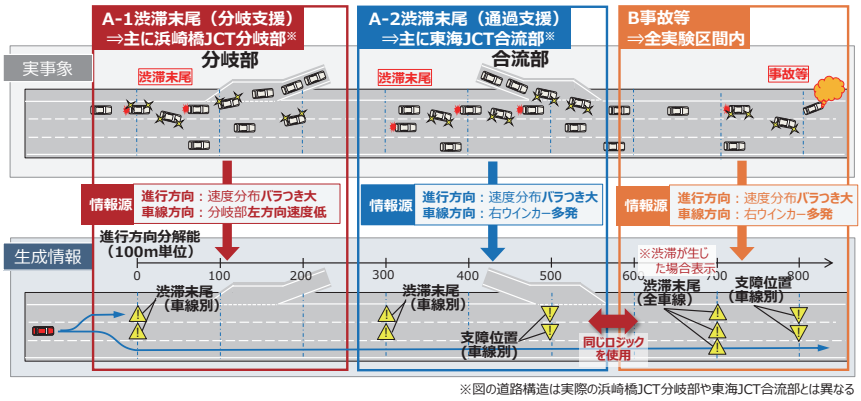


図9　対象ユースケースにおける情報生成の概要

渋滞するため，渋滞列が羽田線左車線にあふれ，時間帯により車線別渋滞が発生することから，車線レベル情報評価の主要検証箇所として位置づけた．また，湾岸線東行きでも，平日朝夕時に，湾岸分岐線から合流する車両を原因とした，東海JCTを先頭とする渋滞に遭遇する確率が高く，こちらも主要検証箇所として位置づけた．

4.4. 対象ユースケースにおける情報生成の概要

「A-1：渋滞末尾（分岐支援）」は分岐部での提供を想定しており，車線別渋滞の場合，分岐部の方向別速度情報により渋滞車線を推定し，渋滞末尾情報を提供する．また，「A-2：渋滞末尾（通過支援）」は合流部での提供を想定しており，車線別渋滞の場合，ウインカー情報により渋滞車線を推定し，渋滞末尾情報を提供する．なお，渋滞先頭部では，ウインカー情報により支障車線を推定し，支障位置情報を提供する．「B：事故・落下物等」は全ての区間での提供を想定しており，情報生成・提供ロジックは「A-1：渋滞末尾（通過支援）」と同じであるが，交通量が少なく渋滞が発生しない場合は，ウインカー情報により支障車線を推定し，支障位置情報を提供する．なお，注意喚起情報として，渋滞末尾（支障）位置を100m単位，５分間周期で配信した．ここで，渋滞等が左側車線のみと推

定される場合は，最右車線以外の全ての車線に注意喚起情報を表示し，全車線（断面渋滞）の場合は全ての車線に表示することとした．（図９）

4.5. プローブ情報の取得状況

プローブ事業者４社より実証実験期間（2022 年度春期）中にオンライン収集したサンプル台数は，実証実験の情報生成対象区間である首都高羽田線上り（空港西IC～汐留IC）の階層１（直近５分以内）において平均5.2台/５分間であった．（図10）なお，実際のサンプル台数分布をみると（図11），階層１で６台以上取得できた区間・時間帯は４割にとどまり，残り６割の区間・時間帯は階層２（直近５～10分）以降の階層のサンプルも活用して情報を生成することとなる．

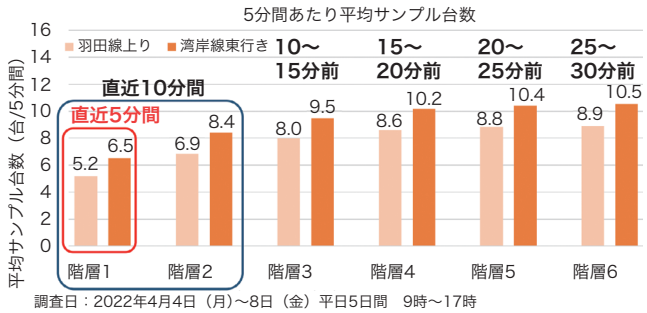


図10　5分間あたり平均プローブサンプル台数

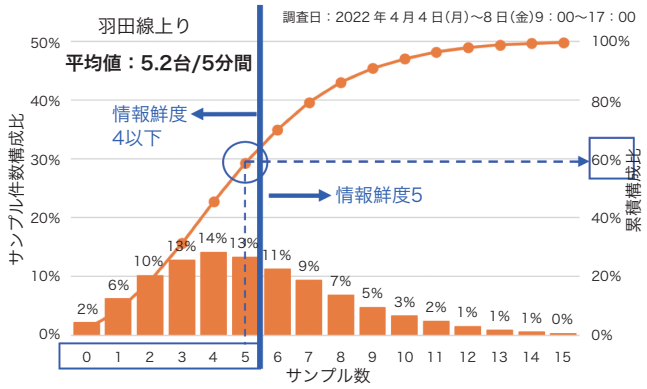
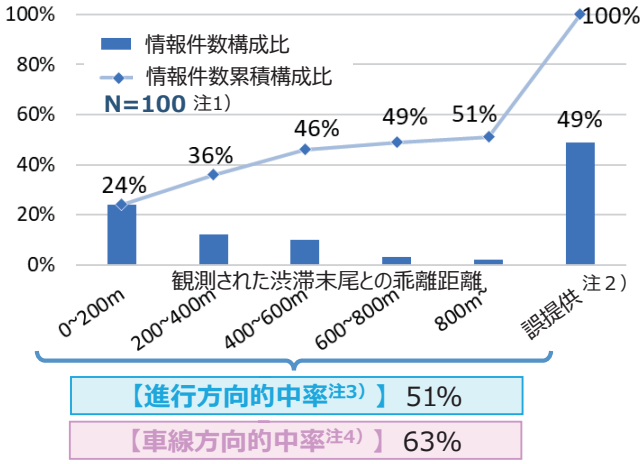


図11　プローブサンプル台数分布（階層１：直近5分）

4.6. 生成情報の精度の検証

実証実験期間（2022年度春期）中に提供された渋滞末尾情報に対する，調査車両によって観測された実際の渋滞末尾位置との乖離距離について，距離帯別情報件数分布を図12に示す．これによると，乖離距離が200m以内の情報件数の割合は24%，同じく400m以内の割合は36%という結果であった．なお，提供された渋滞末尾情報件数のうち，実際に渋滞が観測された件数の割合である「進行方向的中率」は51%という



注１）春実験（2022年5月）検証対象期間：2022/5/10～5/31
注２）誤提供：渋滞末尾情報は表示されたが，試験車両は渋滞に遭遇しなかったなど，対応する渋滞末尾が観測されなかった場合
注３）進行方向的中率：提供された渋滞末尾情報のうち，渋滞が発生していた割合
注４）車線方向的中率：進行方向が的中した渋滞末尾情報のうち，渋滞している車線方向が的中した割合

図12　観測された渋滞末尾位置との乖離距離分布

結果にとどまった．また，進行方向が的中した渋滞末尾情報のうち，渋滞車線の方向が的中した「車線方向的中率」は63%という結果となった．これらの要因には現状の５分周期判定の短縮やウインカー情報取得量の増など，中期的な改善が求められるものもあるが，一方で現状の判定手法の改良で改善が期待できるものについては2022年度秋実験での適用を行い，効果の認められるものについては技術仕様に反映する．

5　今後の方向性と課題

実用化に向け，技術検証と並行して，社会実装にあたっての方向性としてプローブ情報の集約機能や官民情報の統合機能など必要となる機能や役割分担を検討し，車線レベル道路交通情報の生成及び提供のアーキテクチャ案を作成した．

実用化に向けた検討課題としては，持続的な運用体制の構築，データ基盤の整備・維持管理体制の構築，サービス拡張のロードマップの明確化等が挙げられる．

6　おわりに

現状で複数のプローブ事業者の市販車両から得られるプローブ情報を実際に収集し，車線レベルの道路交通情報の生成，並びにその表現方法を検討・検証した．

また，限られたプローブデータ量によるものではあったが，首都高速２路線を対象に実証実験を実施し，情報の有用性や課題の抽出等を行った．その結果，プローブ情報を用いた車線レベル道路交通情報生成に関して，収集できる情報量や情報生成の可能性について，実用化に向けて一定の成果を得ることができた．

【参考文献】

(1) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：「拡張DRMDBのデータ標準（案）（概要とUMLクラス図）」及び「拡張DRM-DBのデータ標準（レコードフォーマット）」(2019/12/11版)．
(2) 一般社団法人JASPAR：ST-VI-1 車両情報共用API仕様書 Ver.1.0，車両情報共用検討WG，2020.01.17.
(3) 一般社団法人JASPAR：ST-VI-2 車両情報共用コンセプト仕様書Ver.1.0，車両情報共用検討WG，2020.01.17.
(4) 一般社団法人JASPAR：ST-VI-3 車両情報共用データセット仕様書Ver.1.0，車両情報共用検討WG，2020.01.17.

【本件問合せ先】

パシフィックコンサルタンツ株式会社 デジタルサービス事業本部，〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地，03-6777-4476，担当：市川博一，竹之内篤

株式会社三菱総合研究所 スマート・リージョン本部，〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目10番３号，03-6858-0241，担当：森崎千雅

④合流支援のためのシミュレーション環境の構築及び技術開発

Technological Development and Establishment of Simulation Environment for Lane Merging Assistance

荒木伸太，新徳顕大（株式会社構造計画研究所），宮下浩一，愛甲聡美（株式会社三菱総合研究所）
Nobuhiro Araki, Kenta Shintoku (KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.), Koichi Miyashita, Satomi Aiko (Mitsubishi Research Institute, Inc.)

(概要) 高速道路における合流は，走行速度の速い本線車両の隙間を狙って合流することが求められる，自動運転車両の制御が難しいユースケースの一つである．特に，首都高をはじめとする都市内高速道路は合流部の距離が短く，合流車両は短い合流部の中で本線速度まで加速したうえで，本線車両間の隙間（ギャップ）に合流することが求められる．このような合流部においては，路車間通信システムを活用して車両位置情報などを自動運転車両に共有し，自動運転を支援することで，円滑な合流が可能になると考えられる．そこで，本研究開発では，路車間通信システムによる合流支援を行う「合流支援システム」について，シミュレータを用いて，コンセプト検討やシステム成立性評価を実施している．具体的には，首都高5号池袋線下り東池袋入口を対象に実交通流の軌跡データを取得のうえ，それらを再現した交通流シミュレータを開発した．このシミュレータを活用し，通信エリアやセンシングエリアなど，合流支援システムを構成する要素を変化させて，支援の有無による合流車挙動や本線交通流への影響を比較分析している．

キーワード：合流支援，サービス成立性，本線隙間狙い支援システム(Day2システム)，本線車協調支援システム（Day3システム）

1 検討背景・位置づけ

高速道路における自動運転の実現に向け，車両制御の難易度が高い箇所として合流部が挙げられる．合流車両は目標速度まで加速したうえで，本線車両間の隙間（ギャップ）に合流することが求められるが，特に合流部の距離が短く，合流車線から本線が前もって確認できない道路線形となっている箇所の多い都市内高速道路において，合流のための車両制御は困難となる．

このような合流部においては，「合流支援システム」によって，合流車への本線情報の提供や本線車への協調行動の指示を行うことで，円滑な合流が可能になると考えられる．

1.1. 合流支援システムのコンセプト

合流支援システムにおいては，技術的実現性の観点より，一般社団法人日本自動車工業会（以下，自工会）にて次に示すDay1～Day4システムの４ステップを定義している．（図１）

Day1システム及びDay2システムは，自由流からやや密な交通流までを想定したシステムである．Day1システムではスポットでの本線車両センシングをもとに，予測情報の配信を行う（予備加減速の支援）．本線状況からハンドオーバーの要否を判断し，空いている状況下においては本線速度まで加速して合流を行えるよう支援する．Day2システムでは，面的なセンシングを行い，連続的に情報を配信する（本線隙間狙い支援）．本線車両の動きを連続的な情報配信によって把握できるため，あらかじめ本線車両の隙間位置に合わせて円滑に合流できるよう速度を調整して合流することが可能となる．

一方，Day3システムでは車載機を搭載した自動運転車の普及率が30%以上で，かつ密集した交通流までを想定し，Day2システムに加え路側より本線車両側に合流支援指示を追加する（本線車協調支援［路側管制］）．支援内容としては，本線車両の動きから横並びしないように速度の調節を行い，本線車両も合流しやすいように車間維持もしくは拡大あるいは車線変更をして合流を支援する．

Day4システムでは，車載機搭載自動運転普及率が50％以上での渋滞環境も含む交通流を想定し，Day3

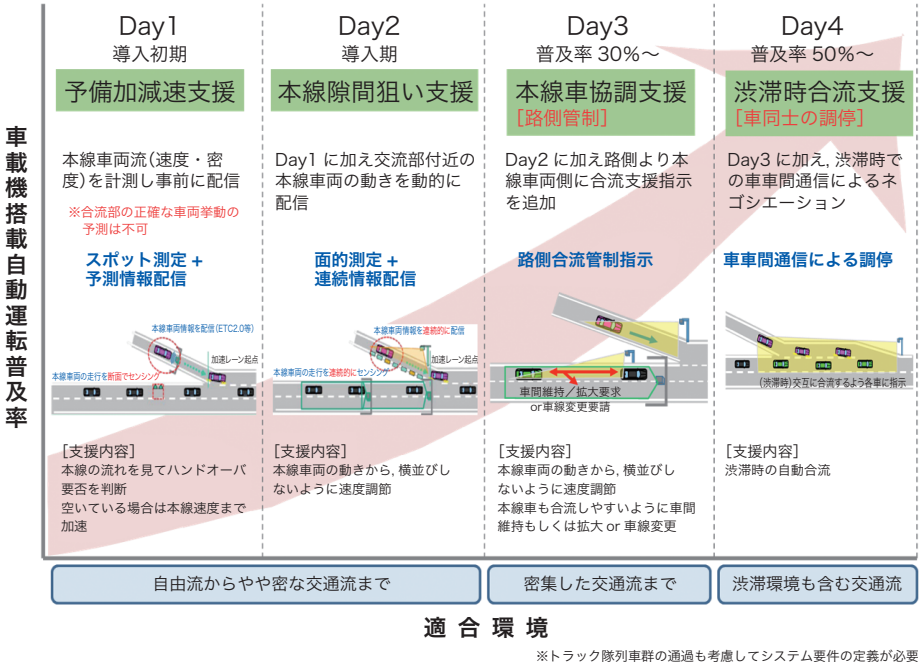


図1　合流支援のステップ[1]

システムに加え，渋滞時での車車間通信によるネゴシエーションによる自動合流支援を目指す（渋滞時合流支援［車同士の調停］）.

1.2. 本検討の位置づけ

SIP自動運転においては，この合流支援システムの早期実現を目指す．第１ステップとして既存技術を組み合わせ，早期に実現可能なDay1システムを検討し，第２のステップとして，将来の実現を見込むDay2システムを検討している.

SIP自動運転においては，東京臨海実証実験にて，2019年度・2020年度にDay1システムを首都高羽田空港西入口に整備し，走行実験及び評価を実施した．その結果，合流支援システムのポテンシャルは感じる（情報提供を受けヒューマンマシンインタフェース評価を実施した被験者意見）ものの，Day1システムのスポットでセンシングし合流到達時刻を推定する方法は，渋滞・混雑時の推定精度が十分に得られないため，本線を面的にセンシングし情報提供する仕組み（Day2システム）が望ましいのではないかとの結論に至った．そのため，合流支援システムの早期実現を目指し，サービス有効性・社会実装に向けた課題を明らかにするため，2021年度・2022年度の取組としてDay2及びDay3 システムを対象にシミュレーションを通じた検証を実施することとした.

本検討では，Day2システムを対象にシミュレーションを通した検証を行い，その知見を踏まえたDay2システムの深掘検証並びにDay3システムのコンセプト検討・成立性確認を実施する.

2　シミュレーション対象地の検討

シミュレーション対象地を決定するため，首都高入口の合流部について道路線形調査を実施し，合流車線長と本線交通量を整理した.

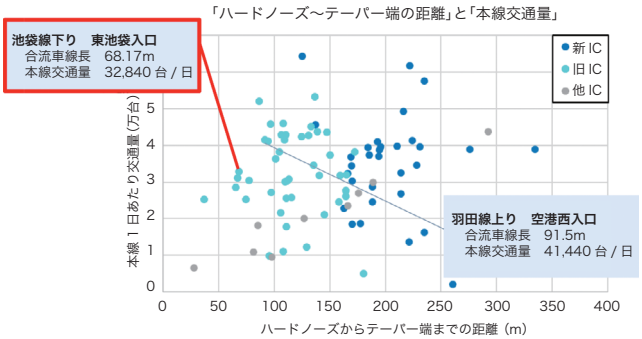


図2　首都高合流部における「ハードノーズからテーパー端までの距離」と「本線交通量」

池袋線下り東池袋入口は，合流車線長が非常に短い合流部であることがわかる．（図２）また首都高合流車線長の分布には旧規格と新規格で２つのピークがあることが確認できた．（図３）

東池袋入口を含む合流車線長の短い箇所（旧規格）は，合流起点到達から合流完了までの時間が短く，合流支援が有効なシーンが多いと考えられる．合流車線

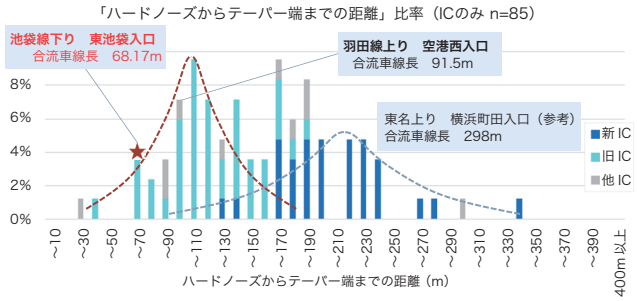


図3　「ハードノーズからテーパー端の距離」別
全合流箇所に占める割合

長の比較的長い箇所（新規格）では，支援なしの自律走行で合流が可能な可能性がある．

また，経済産業省SAKURAプロジェクトにおいて作成された東池袋入口の車両軌跡データ，及び自工会において東池袋入口の合流挙動を再現したシミュレーションが存在することから，2021年度・2022年度の取組では，首都高５号池袋線下り東池袋入口を対象としてシミュレーションを実施することとした．

3　Day2システムの成立性の検証

3.1. 合流の良否の定義

合流支援システムの有効性を検証するためには，合流の良否を定義し，サービスの導入による合流挙動の改善度合いを評価する必要がある．

本検討では合流挙動の良否を判断するための指標として，車間時間と相対速度によって算出される評価点を定義・導入した．評価点の算出対象となる車両は，合流時において合流車両と最も近い本線車両とした．

本節の解析において用いた評価点と車間時間・相対速度との関係を図４に示す．相対速度が小さく車間時間が大きいほど評価点が高く，安全かつ効率的な合流

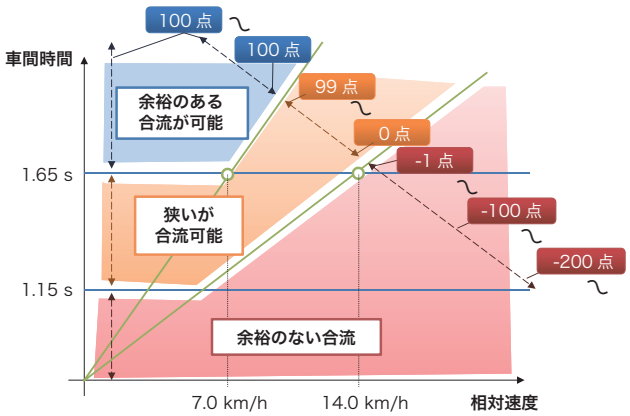


図4　暫定版合流評価点マップ

であるとしている．衝突の危険性などを考慮しつつ，余裕を持った合流が可能な領域を100点とし，その領域から離れるほど評価点が低下し，０点未満の領域を余裕がなく合流に適さないものと定義した．

3.2. シミュレーション環境構築

シミュレーション環境のベースとして，構造計画研究所が所有する首都高５号池袋線下り東池袋入口の合流挙動を再現したシミュレーションモデル（以下，東池袋モデル）を用いた．なお，東池袋モデルで発生させる交通流データは，SAKURAプロジェクトで取得された実際の交通データから渋滞時を除いたデータを使用している．

Day2システムの効果検証シミュレーションを行うため，東池袋モデルにDay2システムを模擬する機能及びDay2システムの支援を受けた合流車両の行動ルールを追加した．前者では，本線・センシングエリア内において本線車両の情報を取得し，当該情報を通信エリア内の合流車両に連続的に配信する機能を追加した．後者の行動ルールは，合流評価点を向上させるように合流車両に加減速させるものである．

Day2システムの要件を検証するため，同システムの物理条件として以下のパラメータをシミュレーションに導入した．（図５）

・センシングエリアの長短
・通信エリアの長短
・車両検知センサの情報提供遅延
・車両検知センサの配信情報の位置誤差
・車両検知センサの配信情報の速度誤差

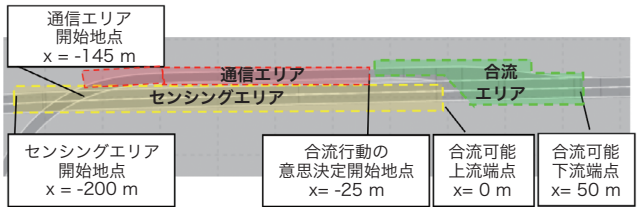


図5　対象地の道路線形

3.3. Day2システムの効果の検証

Day2システムの支援があるシナリオと支援がないシナリオについてシミュレーションを実施し，各シナリオについて合流評価点を比較した．Day2システムの物理条件は，センシングエリアや通信エリアが十分に広く，情報提供遅延や配信情報誤差がない理想的な状態とした．具体的なパラメータ設定としては，セン

シングエリアの広さは合流可能上流端点から上流方向に最大200m，通信エリアの広さは合流行動の意思決定開始地点から上流方向に120mとした．

自動運転車20%混在時において，支援ありのシナリオと支援なしのシナリオに合流評価点の分布を比較した結果を図6に示す．評価点が0点未満の発生台数が減少したことから，Day2システムの導入は，余裕のない（ある）合流を減少（増加）させ，全体としての評価点を改善することがわかる．この結果から，Day2システムの物理条件が理想的な場合，Day2システムは余裕のあるより良い合流を実現させる効果を有する結論を得た．

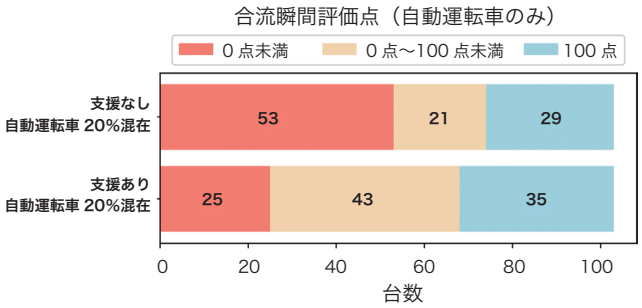


図6　シナリオ別の評価点分布

支援を実施したシナリオでも評価点が0点未満，すなわち合流に適さない状況となっていた車両について，シミュレーション動画を検証し原因を考察した．その結果，本線車両が密になっている状況では本線の車間が短くなるためDay2システムによる支援効果が得られにくいということが判明した．本線車両が密になっている状況において合流を改善するためには，本線車両への合流支援を含むDay3システム以上の支援を検討する必要があると考えられる．

また，合流支援による周囲の交通流への影響についても検証したが，影響は確認されなかった．

3.4. Day2システムの物理条件に関する検証

Day2システムの物理条件をパラメータとして変化させてシミュレーションを実施し，それらの条件変化が支援効果に与える影響を検証した．各物理条件が与える影響を表1に示す．センシングエリア・通信エリアの検証範囲は，Day2システムの支援を受けた車両が加減速の調整を行うのに必要とする走行距離から算出した．車両検知センサの情報提供遅延・誤差（位置）・誤差（速度）の検証範囲は，既往研究[(2)(3)]を参考に決定した．

表1　Day2システムの物理条件パラメータの検証範囲と支援効果への影響

物理条件パラメータ	パラメータの検証範囲	支援効果への影響
センシングエリアの長短	合流可能上流端点から上流方向に最大200m～最小140m	ほとんど影響なし
通信エリアの長短	合流行動の意思決定開始地点から上流方向に最大120m～最小40m	短くなるほど悪影響大
情報提供遅延	平均値0秒～1.3秒，標準偏差0.2の正規分布	遅延が大きくなるほど悪影響大
配信情報の位置誤差	-1m～+1mの一様分布	ほとんど影響なし
配信情報の速度誤差	-6km/h～+6km/h，-12km/h～+12km/h，-12km/h～0km/hを95%区間とする正規分布	速度誤差の分布が負に偏る場合のみ悪影響あり

4　Day2システムの深掘検証

3章ではDay2システムの成立性を確認した．本章では，その発展として，様々な物理条件パラメータの組合せについてDay2システムの効果を推定し，Day2システムの要件の検証を行う．

また，交通流量の変化は支援効果に大きな影響を持っていると考えられ，特に本線混雑時において支援効果が見込まれる．そのため，本章ではDay2システムの深掘検証として，交通流量がDay2システムの支援効果に与える影響について評価する．

4.1. シミュレーション環境の改修

3章までのシミュレーション環境には，後述する3つの課題があったため，深掘検証に際して，シミュレーション環境に対して，3つの課題を解決するために改修を行った．それぞれの課題と改修の内容について以下に示す．

①合流評価点マップの見直し

3章の分析で利用した合流評価点マップによる評価では，シミュレーション上の車両挙動に対して評価点が直感的でないケースが一定数見受けられた．本項の検証で深く掘り下げるにあたり，より実態に即した合流評価ができるよう評価点マップの見直しを行った．後続車の反応遅れ時間を考慮した車間距離に基づいた評価が行える閾値の数式を採用し，評価点マップ内の0点，100点の境界線を示す数式とパラメータは表2のとおりである．

合流車と本線車が「接近しつつある」状況と「離れつつある」状況は合流難易度の観点から全く異なる合流状況であると考えられ，この2つの異なる状況を区別して評価できるよう，相対速度が負の領域についても評価点を定

表2　評価点マップにおける0点及び100点の閾値の数式

項目	0点	100点
①減速後の車間距離マージン[m]	15	25
②反応遅れ時間[秒]	1.0	1.5
③減速度[G]	0.3	0.2
A(x:相対速度)	$\frac{x^2}{0.6G}+1.0x+15$	$\frac{x^2}{0.4G}+1.5x+25$

義した．最終的な合流評価点マップは図7のとおりである．

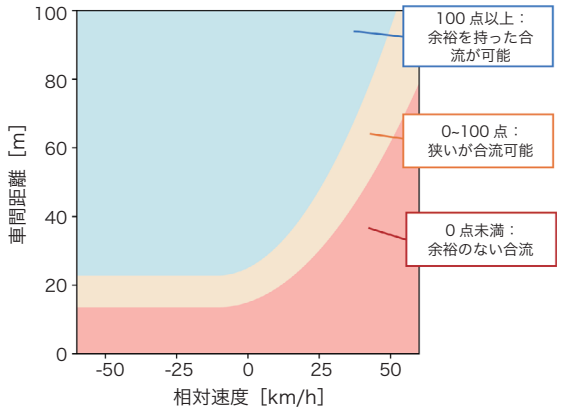


図7　最終版合流評価点マップ

②本線上流部の車両挙動モデルの構築

Day2システムの成立性の検証時点では対象地の本線上流部における実軌跡データがなかったため，本線上流部の車両挙動は等速直進としていた．そのため，センシングエリア内における車線変更や加減速を反映できていない，という課題があった．

センシングエリア内における車線変更や加減速といった車両挙動は本線の状況を変化させる要因であり，Day2システムの支援効果に大きな影響を持つと考えられる．したがって，Day2システムの深掘検証に際して，本線上流部の車両挙動モデルを構築し，センシングエリア内における車両挙動の再現性を向上させることを予定している．そのために，本線上流部の実軌跡データを新たに取得する予定である．

③自動運転車の車両挙動モデルの見直し

東池袋モデルでは，自動運転車でない車両（以下，一般車）について，実軌跡データから取得した車間分布に従って希望車間を設定している．一般車は設定された希望車間を維持するように走行し，車間時間が1秒未満となる車両も少なからず存在する．一方で，自動運転車はより車間を確保して走行すると考えるのが自然であるため，自動運転車は先行車との車間時間を原則2秒以上保って走行すると仮定した．

4.2. Day2システムのシステム要件の検証

Day2システムの物理条件をパラメータとして変化させてシミュレーションを実施し，それらの条件変化が支援効果に与える影響を検証する．システムの対象エリアが広く，遅延や誤差が小さいほど支援効果は増大すると考えられる．支援なしの場合と比較して一定以上の支援効果をもたらす物理条件について調査することでシステム要件を検証する．

4.3. 交通流量変化によるDay2システム支援効果への影響評価

本線の交通流量が少ない場合は合流支援がなくてもスムーズな合流が実現でき，反対に交通流量が多い場合はDay2システムによる合流支援を行ったとしても本線の車間が狭いためにスムーズな合流が行えないと考えられる．Day2システムによる支援効果は，本線の交通流量の変化によって異なり，対象とする本線の交通流量がその道路の交通容量以下の適度な状態で最も支援効果を発揮すると考えられる．

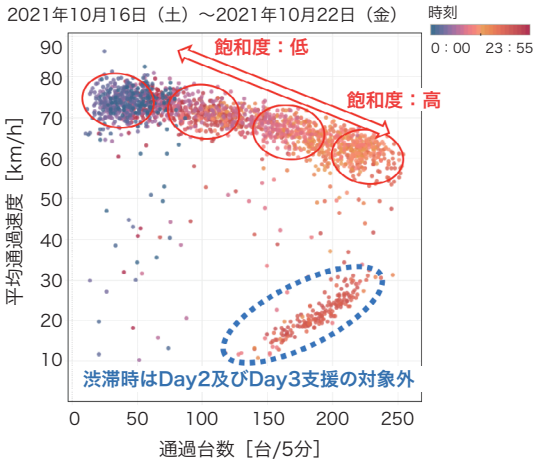


図8　対象地で計測されたトラフィックカウンターデータに基づくQV図と交通流量の区分

本線交通流量の影響を評価するため，図8に示す4つの交通流量の領域について，Day2システムの支援効果をシミュレーションにより推計する（対象地のトラフィックカウンターデータは首都高速道路株式会社より提供いただいた）．4つの交通流量区分における支援効果を比較することで，Day2システムの支援効果が大きい交通流量及びDay3システムの支援効果が低減する交通流量を調査する．

なお，渋滞時は，合流エリア内の車車間通信と協調が必要になると考えられるため，Day2／Day3システムの対象外であり，本評価の対象外としている．

5 Day3システムのコンセプト検討・成立性確認

5.1. Day3システムのコンセプト検討

Day3システムは，合流車両と本線車両の両方に合流支援を行う．ただし，例えば，本線車両が自動運転車ではなく一般車である場合は本線車両への合流支援は実施できない．また，合流車両から見た本線の先行車と後続車との車間が十分広い場合は本線車両への支援を行わなくてもスムーズな合流が可能である．このように合流時の周辺車両状況によって，Day3システムにおいて実施する支援の内容は異なると考えられる．そのため本事業では，３台の本線車両（合流車両から見た先行車・後続車・その後続車）が自動運転車か否か，及び各本線車両の車間時間の２つの要因から，合流車両と本線車両の２車両に対する各支援の有無を決定する仕様を仮定した．

5.2. Day3システムの効果の検証

交通流量が多くDay2システムの支援効果が低減する状況において，Day3システムの導入により支援効果が改善する見込みがある．Day3システムのコンセプト検討・成立性確認では，Day2システムの深掘検証で支援効果が低下した交通流量を対象とする．なお，対象の交通流量はシミュレーションにより推計する．Day3システムの物理条件は，理想的な物理条件及びDay2システムの要件と同等とする．

6 2022年度中の技術成果見込み

2022年度中には，本線上流部の車両挙動モデル構築及び自動運転車の車両挙動モデルの見直しを行う予定である．さらに，Day2システムの支援効果及びシステム要件，Day3システムの成立性の有無について分析を行う．得られる成果の見込みとしては下記の項目が挙げられる．

- センシングエリアにおける車両挙動再現性が向上したシミュレーションを用いた，Day2システムの効果及びシステム要件
- 交通流量がDay2システムに与える影響の評価結果
- Day2システムの支援効果が低減する交通流量におけるDay3システムの支援効果
- Day2システム，Day3システムの１日の推定支援効果

7 おわりに

7.1. 本分析の留意点

本事業での分析は，東池袋入口を対象としており，また普通車（大型車ではない車両を指す）のみに焦点を当てた限定的なモデルとなっている．

7.2. 今後の事業展望や分析に向けた提言

本事業では，Day2／Day3システムの支援効果を評価できるシミュレーション環境を構築し，東池袋入口を対象として支援効果を評価した．本事業の成果を踏まえ，合流支援システムの実現を目指したSIP第２期終了後の検討継続に向け，合流支援システムシミュレーションに関する検討会に参加する関係者と協議を行っている．

7.1節で述べたとおり，本事業での分析は道路線形と対象車両について限定的なものである．Day2／Day3システムの支援効果やシステム要件は合流部の道路線形によって異なると考えられるため，今後は本事業で構築したシミュレーション環境を用いて，東池袋入口以外の合流部についてもDay2／Day3システムの支援効果を評価することが望ましい．

加えて，本事業で構築したシミュレーション環境を大型車へ拡張することも今後の展望としてあげられる．シミュレーション環境を大型車へ拡張する場合は，普通車よりも加速度／減速度の幅が小さい点への考慮が必要である．

【参考文献】
(1) NEDO：2021年度「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第２期／自動運転（システムとサービスの拡張）／合流支援（本線隙間狙い）システム検証のためのシミュレーション環境構築及び分析」公募説明会資料，https://www.nedo.go.jp/content/100936118.pdf，（参照 2022.09.01）
(2) 中川 敏正ほか：「東京臨海部実証実験による合流支援情報提供システム（DAY1 システム）の検証」交通工学論文集，第８巻，第１号，pp. 39-48，2021.01.
(3) 中川 敏正ほか：「合流支援情報提供システム（DAY2 システム）の車両検知センサの計測精度に関する基礎検討」交通工学論文集，第８巻，第１号，pp. 49-58，2021.01.

【本件問合せ先】
株式会社構造計画研究所 創造工学部 データサイエンス室，〒164-0011 東京都中野区中央４-５-３，03-5342-1100，担当：荒木伸太

株式会社三菱総合研究所 スマート・リージョン本部 モビリティ戦略グループ，〒100-8141 東京都千代田区永田町２-10-３，03-6858-0241，担当：宮下浩一

⑤交通規制情報のデータ精度向上

Improvement of Data Accuracy of Traffic Regulation Information

馬場素（公益財団法人日本道路交通情報センター），前田誠（株式会社トスコ），坂口良（株式会社ドーン）
Moto Baba (JARTIC), Makoto Maeda (TOSCO CORPORATION), Ryo Sakaguchi (Dawn Corporation)

（概要）本調査研究は，自動運転車が安全安心に走行可能な交通環境の整備に向けて，自動運転車が必要とする警察が管理する交通規制情報のデータ精度向上を目指して2020年度からの3か年で実施した．交通規制情報の精度向上を図るために既存の交通規制情報の標準フォーマットにおける課題及び改善策を検討して新たに拡張版標準フォーマット及び同解説書を作成した．実証実験では2020年度に作成したモデルシステムの要件定義書（案）を踏まえ，2021年度に交通規制情報と標識情報の整合性を確認して紐付けを行うモデルシステムの開発及び実証実験を行うとともに画像認識技術の評価を実施した．2022年度には前年度に開発した技術及び拡張版標準フォーマットを用いてプロトタイプシステムを構築し，交通規制情報のデータ精度向上に係る実証実験及び効果検証を行い，システムを導入するための要件定義書（案）を取りまとめた．

キーワード：交通規制情報，標識・標示情報，画像認識技術，データ精度向上，拡張版標準フォーマット，高精度３次元地図

1 調査研究の目的・概要

自動車は，道路に設置されている道路標識や道路標示から車載カメラやモービルマッピングシステム（MMS）にて高精度に標識・標示情報を収集することが可能であるが，そこから交通規制情報そのものを作成することは難しい．そのため警察が保有，公開している交通規制情報のデータ精度の向上を図ることにより，自動運転車が交通規制に従って安全に走行するための安全運転支援情報の一つとして活用することができるようにするために，交通規制情報のデータ精度向上等に係る調査研究を実施した．

1.1. 交通規制情報のデータ精度向上手法

道路に設置された標識・標示と警察が保有する交通規制情報を照合することで，交通規制情報のデータ精度向上を図ることとした．標識・標示情報を収集する手法は，①自動車に搭載したドライブレコーダの映像から画像認識技術を活用して標識・標示情報を抽出・収集する手法及び②スマートフォン上でWebアプリケーション（調査アプリ）を利用して標識・標示情報を収集する手法の２つを採用した．

収集した標識・標示情報は，実証実験システムの標識・標示位置予測システムに取り込み，交通規制情報と道路に設置された標識・標示情報を自動照合してデータの整合性（マッチ，アンマッチ）を確認し，交通規制情報の精度向上を図った．データ整合の取れていない（アンマッチとなった）標識・標示は，②により現地調査を行ったうえで，再度データ整合性を確認して，交通規制情報のデータ精度向上及びデータ精度向上方法の最適化手法を検討した．

画像認識システムについては，収集した標識・標示情報をもとにした交通規制情報の作成支援方法について検討した．

また，既存の交通規制情報の標準フォーマットには構造上の課題等があったため，課題解決や交通規制情報のデータ精度向上に向けて交通規制情報の一元的な管理ができる新たな拡張版標準フォーマット（案）及び利用者向けの解説書を作成した．

1.2. 実証実験概要

2020年度にモデルシステム開発のための要件定義書（案）を作成した．2021年度にモデルシステム（調

査アプリ及び標識位置予測システム）を構築し，神奈川県下の対象エリアにおいて実証実験を行った．

また，効率良くデータ精度向上を図るために，ドライブレコーダで撮影した標識・標示データについて画像認識技術を使って自動認識させるための調査を行った．2022年度は，2021年度に開発した技術及び拡張版標準フォーマットを用いてプロトタイプシステムを構築して，実証実験，効果検証を行って，警察庁及び都道府県警察の交通規制情報管理システムに対して機能等を導入するためのシステム要件定義書（案）を作成した．

2 モデルシステムの構築

2.1. 調査アプリ

調査アプリは，スマートフォンを用いて標識・標示の現地調査を支援するもので，標識・標示情報の収集機能及び交通規制情報の表示機能を有したアプリケーションである．

調査アプリはスマートフォン端末でWebブラウザから利用するもので，スマートフォン端末に表示された交通規制データと，現地に設置された標識を比較し，不足や誤りがある場合にはデータの登録や修正を実施することができる．登録できる情報は，標識の管理情報，標識板の種類，劣化状態，写真画像などであり，標識位置予測システムと同様に手動での仮紐付けも可能とした．

これを使用することで，後述する標識位置予測システムで交通規制情報と標識情報の自動仮紐付けができなかった標識に対して仮紐付けを行うことが可能となった．

2.2. 標識位置予測システム

標識位置予測システムは，交通規制データと標識データの整合性確認のための紐付けを支援するシステムであり，システムに誤登録されたデータのチェックを行えるシステムである．はじめに都道府県警察が保有する交通規制データを取り込み，その交通規制データに対応する標識データの位置予測を行って，標識データが予測範囲内に存在するかを判定して，交通規制データと標識データの自動仮紐付けを実施する．自動仮紐付けの結果は，標識位置予測システムの地図画面や一覧画面で確認ができ，仮紐付けができなかったデータに対しては，標識位置予測システム上で操作者が手動で仮紐付けを行うことを可能とした．標識データの位置予測は，複数の予測手法の中から，規制種別ごとに最適な候補を選定した．また，交通規制データの座標位置の登録方法や，交通規制データと標識データの紐付け方法は都道府県警察によって異なるため，パラメータの調整ができる仕組みとした．

2.3. モデルシステムを用いた実証実験

2021年度の実証実験は，神奈川県内の一部の警察署が管轄する地域の交通規制情報を対象として実施した．

実施の手順については以下のとおりである．（図１）

・標識位置予測システムに対象エリアの標準フォーマットデータ，標識データを登録し仮紐付けを行った．
・仮紐付け結果を確認し，精度が低い地域では調査アプリにて現地調査を行い，再度仮紐付けを実施した．
・都道府県警察のシステムにおいて紐付けられた交通規制情報と比較し，最終的な紐付け結果を検証した．
・紐付け結果から予測方法の見直しを行い，最適な予測方法の検証を実施し，再度仮紐付けを行った．

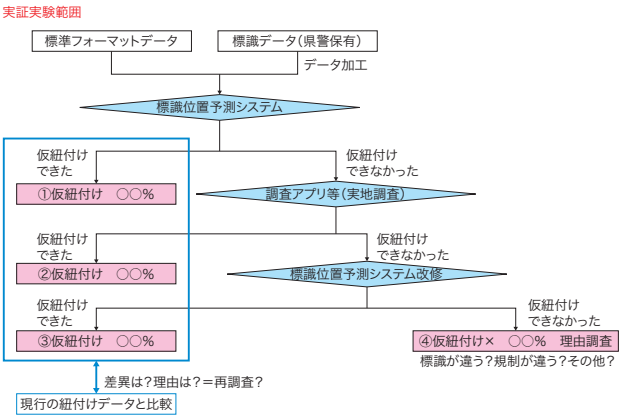


図１　実証実験フローチャート

効果検証については，図２のフローに沿って交通規制データの「仮紐付け率」及び「正解率」を求めた．予測手法の改善を計５回行った結果，「仮紐付け率」は91.5%，「正解率」は93.8%の成果を得た．

また，仮紐付けができなかった交通規制データ27件については，調査アプリを用いて現地調査を実施し，全て仮紐付けを行うことができた．

【仮紐付け率】

評価対象の交通規制データ数に対する仮紐付けあり交通規制データ数の割合

【正解率】

本紐付け情報を持つ仮紐付けありデータ数に対する正解データ数の割合

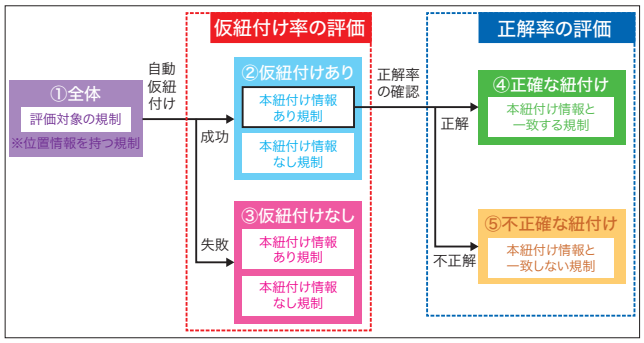


図2　実証実験における評価の流れ

2.4. 画像認識技術の検討と評価

画像認識技術の検討では，都道府県警察が標識・標示の設置工事及び点検業務等で収集する画像情報から，標識・標示の位置情報等を容易に収集・抽出するための手法について図３の流れを想定して検討を行った．

2.4.1. 技術の調査及び評価

システムを構築するのに必要な抽出，認識，位置推定の技術については，表１に示す観点で調査を行った．

また，技術評価における抽出，認識技術の分類としては，テンプレートマッチングと機械学習の２種類に大別でき，テンプレートマッチングでは，マッチングアルゴリズムを開発することで実現できるが，イレギュラーの網羅に膨大な開発が必要となる．これに対して機械学習は，全てのパターンを開発する必要がなく，該当する学習用データを追加収集したうえで，このデータを学習する時間を確保できればイレギュラーに対応できる．

したがって，機械学習手法技術を用いた評価ソフトウェアを試作して評価を実施した．

(a) 抽出

抽出手法の評価としては，雨天や劣化等の悪条件画像を含む200枚の画像（対象となる本標識297枚，補助標識131枚）及び約34分の走行動画（対象となる本標識219枚，補助標識112枚）を使用し，結果として表２に示すようにいずれも95％以上の抽出結果を確認した．

また，標示については，停止線，横断歩道，方向指示，最高速度について評価を行い，平均で95％の結果を確認した．

表2　抽出結果

標識種別等	標識数	抽出枚数	抽出率
本標識静止画	297	281	95%
補助標識静止画	131	129	98%
本標識動画	219	214	98%
補助標識動画	112	111	99%
標示	261	248	95%

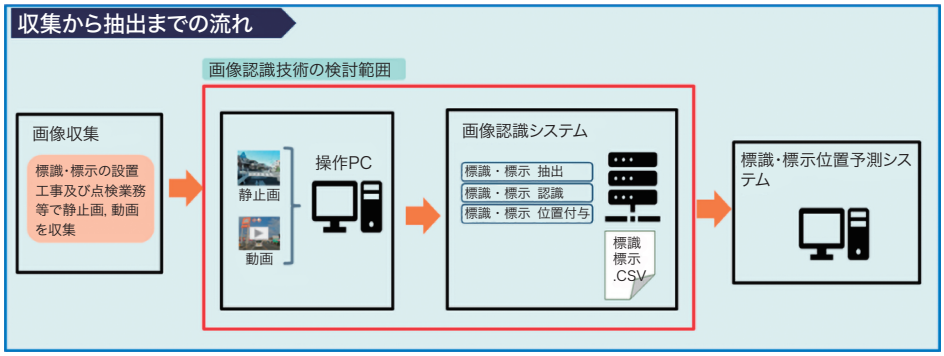


図3　収集から抽出までの流れ

表1　処理想定

処理	説明	処理イメージ
抽出	静止画及び動画から標識または標示と考えられる領域を特定し，その領域から画像を抜き出す処理	領域を特定し，画像を抜き出す (株)トスコ撮影
認識	抽出で得られた領域画像から正しい標識または標示であるかを判断し，規制種別を特定する処理	規制種別ごとに認識する 407: 横断歩道 203: 停止線 (株)トスコ撮影
位置推定	画像中の物体（標識または標示）について，動画・静止画に含まれる撮影位置情報を基準とし，距離と角度を推定し緯度・経度を算出する処理	距離と角度を推定する 距離 3m 角度 -30度 距離 3m 角度 0度 ●距離 3m ●角度 左30度 (株)トスコ撮影

(b) 認識

認識手法の評価としては，抽出画像から標識部分を抜き出した297枚の評価用画像を使用した．

結果として，進行方向別通行区分（図４）が一方通行（図５）と誤認される場合が確認されたが，進行方向別通行区分の学習データを再学習させて認識率が向上した．

認識結果は，表３のとおり．

図４　進行方向別通行区分

図５　一方通行

表３　認識結果

クラス	標識数	抽出枚数	抽出率
駐車禁止	106	106	100%
最高速度40km	15	15	100%
横断歩道･自転車横断帯	14	14	100%
指定方向外進行禁止	13	13	100%
進行方向別通行区分 ※(　)内は再学習後の計測値	11	3 (11)	27% (100%)
最高速度50km	11	11	100%
(中略)			
計	297	274	92.3%

(c) 位置推定

位置推定の評価としては，深度推定アルゴリズムと回帰式モデルを使用して距離データ計測済みの評価用画像1,600枚（距離2m～10m）を使用して行った．

結果として1,600枚中，約96％が誤差2m以内の距離で推定可能であった．（表４）

表４　距離測定結果(実際の距離と推論した距離の誤差)

誤差の区分	評価枚数 (1,600枚)	割合
2m以内	1,539	96.2%
2m超～4m以内	59	3.7%
4m超	2	0.1%

2.5. 拡張版標準フォーマットについて

現在の標準フォーマットは，戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）事業の一環として実施した「交通規制情報の活用による運転支援の高度化」に係る調査研究において取りまとめられた交通規制情報のデータフォーマットであるが，本調査研究において確認した課題の解決を図るために，拡張版標準フォーマットを検討し作成した．

2.5.1. 拡張版標準フォーマット

交通規制情報のデータ精度向上を図るため，都道府県警察が交通規制を実施する際の基準である交通規制基準に準拠した拡張版標準フォーマット案を作成した．この拡張版標準フォーマットは，差分更新への対応や規制を正確に表すために必要な不足コードの追加，似通った項目の統廃合，入力定義の明確化など都道府県警察における入力負担の軽減を図ることを目的として，交通規制情報と対応する標識情報，標示情報の３つの情報を一元的に管理できるフォーマットとして定義した．

拡張版標準フォーマットの全体構成を図６に示す．

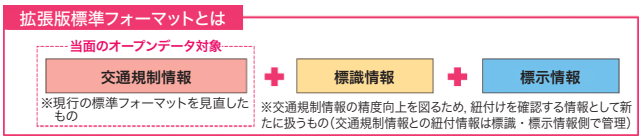


図６　拡張版標準フォーマットの構成

3　プロトタイプシステムについて

3.1. 標識･標示位置予測システム及び調査アプリ

都道府県警察において決定された交通規制と現地の標識の対応関係を確認することを目的として，交通規制データと標識データの紐付けを行うシステムとして2021年度に構築，実証実験を行ったモデルシステムに対して，以下の機能を追加した新たなプロトタイプシステム（図７）を構築した．

・拡張版標準フォーマット（交通規制データ，標識・標示データ，紐付け）の入出力
・交通規制データからの標示位置の予測
・標識位置からの交通規制位置の予測
・補助標識の登録
・画像ファイルの取り込み

また，標識・標示位置予測システムを補完し，交通規制データと標識・標示データを紐付けすることを目的とした調査アプリ（図８）には，以下の機能を追加した．

・拡張版標準フォーマット（交通規制データ，標識・標示データ，紐付け）の入出力
・補助標識の登録

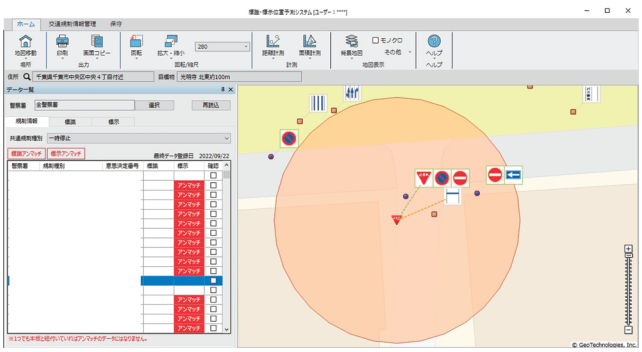


図７　標識･標示位置予測システムイメージ

・標識・標示の方向の登録

図8　スマートフォン端末で標識･標示を登録するイメージ

3.2. 画像認識システム

広範囲の標識・標示情報を網羅的に収集し，データ整備を効率的に行うことを目的とした画像認識システムは，スマートフォン端末で撮影した静止画やドライブレコーダで撮影した動画等を，2021年度に調査・検証した画像認識技術を使用して標識・標示情報（規制種別，位置情報，規制方向）を抽出する機能と，抽出結果を標識・標示位置予測システムに転送できる機能を搭載したプロトタイプシステム（図９）を構築した．

3.3. プロトタイプシステムを用いた実証実験･効果検証

2022年度の実証実験は，千葉県内の一部の警察署が管轄する地域の交通規制データ及び標識・標示データを対象に実施した．調査アプリ及び画像認識システムを用いて取得した標識・標示データを標識・標示位置予測システムに取り込むことによる交通規制データの精度向上を行った．

画像認識システムについては，調査アプリで取得した画像情報及びドライブレコーダの画像情報等から，標識・標示の位置情報，規制種別，撮影方向の取得について検証を行い，あわせて補助標識データ取得の検討も行った．

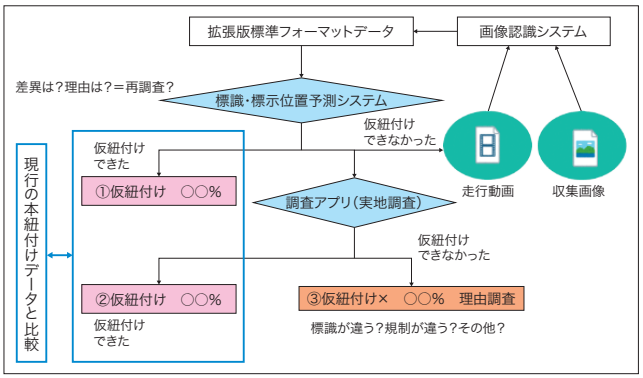


図10　プロトタイプシステム実証実験フローチャート

プロトタイプシステムの効果検証については図10のフローに従って2021年度と同様に「仮紐付け率」及び「正解率」を求める．2021年度は，標準フォーマットデータと標識データを対象データとして検証を実施したが，2022年度は，拡張版標準フォーマット（交通規制データ，標識・標示データ）を用いて図11の評価の流れで「仮紐付け率」及び「正解率」を求めることとなる．

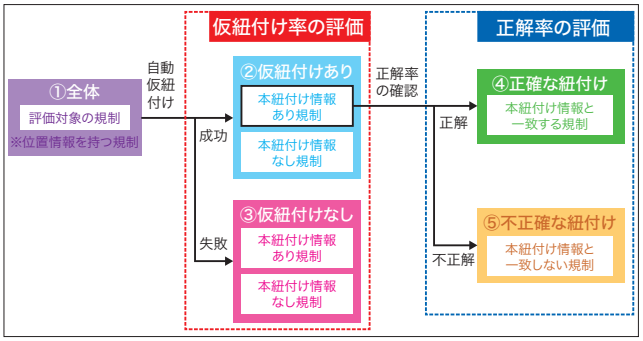


図11　プロトタイプシステムの評価の流れ

詳細な手順としては，まず拡張版標準フォーマットデータに対応した標識・標示位置予測システムを用いて交通規制データの位置や規制種別をもとに標識・標示位置の予測を行い，標識・標示データが予測範囲に入るものを仮紐付けする．仮紐付けの結果をもとに予測範囲の変更を行い最適な予測範囲を求め，最終的に仮紐付

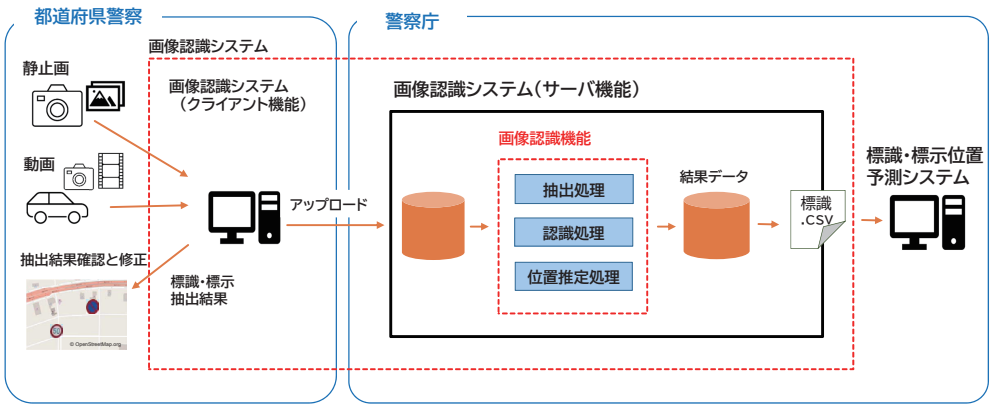


図9　画像認識システム構成

けできなかった交通規制データをアンマッチデータとする．このアンマッチデータに対して，調査アプリ及び画像認識システムを用いて現地の標識・標示データを取得する．取得したデータを再度標識・標示位置予測システムで予測を行い，仮紐付けを実施して最終的な「仮紐付け率」及び「正解率」を求める．仮紐付けできない，もしくは間違った仮紐付けを行った交通規制データについては，原因分析を実施しデータ精度向上に繋げる．

3.4. 拡張版標準フォーマットの解説書作成

2021年度に検討した拡張版標準フォーマット（案）について，都道府県警察へのヒアリング結果，拡張版標準フォーマットを使用した実証実験結果及び有識者検討会に基づき，規制種別を74項目に絞り込み，224項目の交通規制情報項目について見直しを行った．特に交通規制情報項目は，交通規制基準に沿って「規制種別」「規制場所」「規制対象」「規制日時」を基本とする項目とし，似通った項目の統合等の精査を実施した．また，登録担当者が正確に交通規制データを拡張版標準フォーマットへ登録できるように，交通規制情報の利用者が拡張版標準フォーマットを理解するための解説書を作成した．

解説書は，本編と付属資料とで構成し，本編にはデータ概要やファイル仕様を記載し，付属資料にはフォーマット，コード表及び規制種別ごとの入力定義・登録事例を掲載した．

3.5. システム運用マニュアル

交通規制情報のデータ精度向上を図るため，社会実装を想定して構築したプロトタイプシステムについてシステム運用マニュアルを作成した．システム運用マニュアルは，整備目的，全体構成を示した本編と各ツール（標識・標示位置予測システム，調査アプリ，画像認識システム）の操作マニュアル，運用方法を記載した運用編で構成した．

4 高精度3次元地図との連携

自動運転車が公道を走行するためには，高精度３次元地図（図12）を利用することが想定されていることから，

・高精度３次元地図データの調査
・交通規制情報の提供手法の検討
・交通規制情報の提供に係る課題の整理

を実施した．

本調査研究で生成した交通規制情報とモービルマッチングシステム（MMS）の高精度３次元計測により作成された標識・標示情報等を活用し，高精度３次元地図に組み込む技術を確認した．

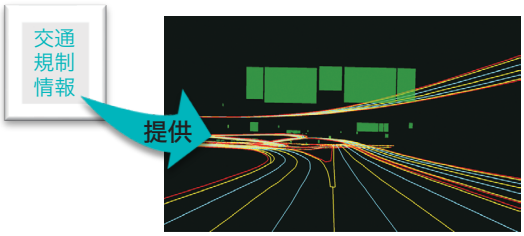


図12　高精度3次元地図のイメージ
（出典）ダイナミック基盤株式会社

5 おわりに

5.1. 今後の運用イメージ

拡張版標準フォーマットは，図13に示すとおり都道府県警察の交通規制情報管理システムへの導入が検討されている．

警察庁には，都道府県警察が拡張版標準フォーマットに対応するまでの間，標準フォーマットと拡張版標準フォーマットの両方のデータを受信する機能が必要である．交通規制情報のデータ精度向上に係る作業は都道府県警察で取り組む必要があることから，業務負担の軽減を図りながら作業を行うことが望まれる．

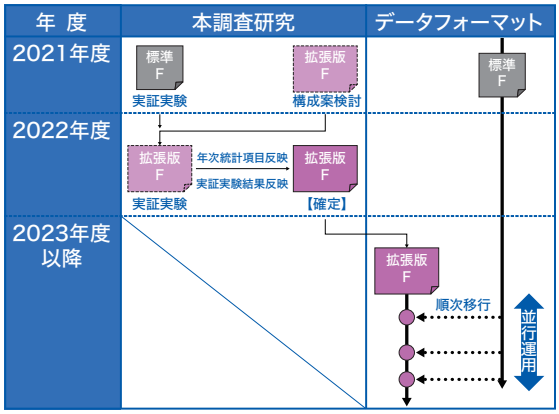


図13　今後の運用イメージ

【本件問合せ先】
公益財団法人日本道路交通情報センター 調査部，〒102-0072 東京都千代田区飯田橋１- ５-10，03-3261-7672，担当：馬場素

⑥GNSS(位置情報)等を活用した信号制御等及び緊急車両情報に係る技術開発

Technological Development for Traffic Signal Control and Emergency Vehicles Information Using GNSS (Location Information) and Other Technologies

角建志 (コイト電工株式会社)
Kenji Sumi (KOITO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)

(概要) 公共交通である路線バスと緊急車両に対する優先信号制御は，現在は路側に設置した光ビーコンを用いたシステムが主流であるが，GNSS (位置情報) と携帯電話通信網を活用したシステムで適用可能とする技術開発を実施した．GNSSを活用することにより，光ビーコンが設置されていない場所でも同サービスを提供することが可能となる．優先信号制御の実証実験では，GNSSにより位置情報と走行速度を継続して把握することで，光ビーコンと比較してバスの青延長時非通過率が88.9%削減され，よりきめ細やかな優先信号制御が可能となることを実証した．また，本技術開発で構築した仕組みを活用して東京臨海地区で緊急走行車両情報 (模擬) を自動運転車両へ配信する実証実験を実施した．緊急走行している救急車等の位置情報を自動運転車両に対して提供することで，より遠方から存在を認識することが可能となる．今後は交通環境情報ロードマップに示されている「インフラ協調による高度な自動運転の実用化」実現に向け，本技術開発の成果が早期に社会実装されることを期待する．

キーワード：GNSS，信号制御，位置情報，緊急走行車両情報，公共交通

1 研究開発の概要

1.1. 背景

現在幅広く活用されている新交通管理システム (UTMS：Universal Traffic Management Systems) のうち，道路交通信号の優先信号制御を実施しているサブシステムは，路線バスを対象とする「公共車両優先システム (PTPS)」(平成７年より) と緊急走行をしている緊急車両を対象とする「現場急行支援システム (FAST)」(平成15年より) の２種類である．[(1)]

これらは主に道路上に設置された光ビーコンと車載機が近赤外線を用いて通信することにより，対象車両の接近感知と緊急走行中であるか等を判別し，必要な車両に優先信号制御 (青信号の延長，赤信号の短縮) を実施するシステムとなっている．

これまでの優先信号制御は図１に示すとおり，交差点手前に設置した光ビーコンにより公共車両 (バス)・緊急車両 (消防車・パトカー等) の接近を感知することで位置を把握するシステムであり，光ビーコン設置に係るコストが課題であった．

また，光ビーコンは定点感知となるため光ビーコン

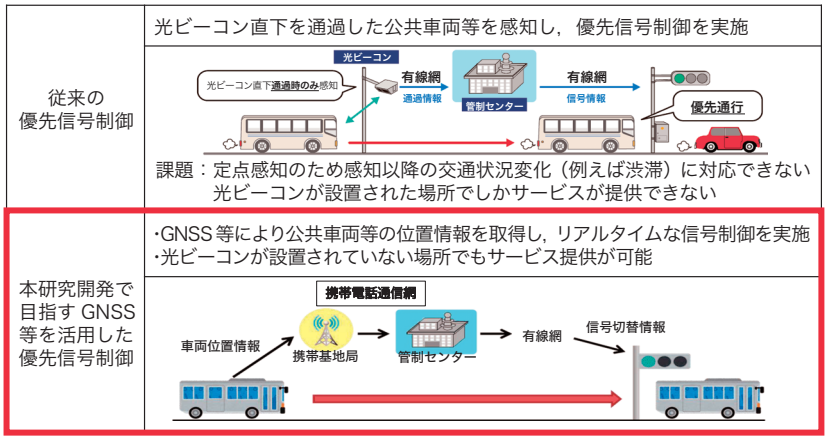


図1　従来とGNSS優先信号制御との比較

通過後の交通環境変化（例えば交差点手前の渋滞）には対応できず赤信号で停車する場合があり，その場合には交差方向の交通に対しては無駄な青時間となる．

今回の技術開発で，車両の位置把握に活用を検討している位置情報については，日本国内における衛星を活用した位置測位システムとしてGNSS（Global Navigation Satellite System）の一つであるGPS（Global Positioning System：米国により運用されている衛星測位システム）が多用されてきたが，一般的に単独測位方式では位置誤差は10～20m程度と位置誤差に課題があった．

その課題解消に向けて日本独自のGNSSであるQZSS（Quasi-Zenith Satellite System：準天頂衛星システム（みちびき））がGPSを補完する形で2018年11月より4機運用を開始し，測位方式もRTK方式，DGPS方式等の普及により位置誤差が改善され，より高精度な測位が期待されている．

1.2. 目的

GNSS（位置情報）等を活用した信号制御等及び緊急車両情報に係る技術開発（以下，本技術開発）における優先信号制御の目的は，バス等の位置把握手段を光ビーコンから，より一般的なGNSSに変更することで，光ビーコン未設置箇所でもサービス展開を可能にすること及びバス等の位置情報を光ビーコンより交差点近くまで連続的に把握できることによる交差点到着予想時間の誤差低減，つまりは優先信号制御の有効性向上を図ることである．

1.3. 概要

本技術開発は，警察庁，都道府県警察，車両メーカ，交通インフラメーカ，GNSSに知見を持つ有識者等の審議を経て，一般社団法人UTMS協会と共に実施した．

また，本技術開発において構築した緊急走行中の緊急車両の位置情報を収集する仕組みを活用し，東京臨海部実証実験において緊急走行車両情報（模擬）の生成と提供を実施した．

仕様策定フェーズでは，図2に示す①から⑥の仕様書（案）等を策定した．効果検証フェーズにおいては，策定した仕様書（案），検証計画に基づいた「優先信号制御実証実験」を静岡県静岡市で実施した．

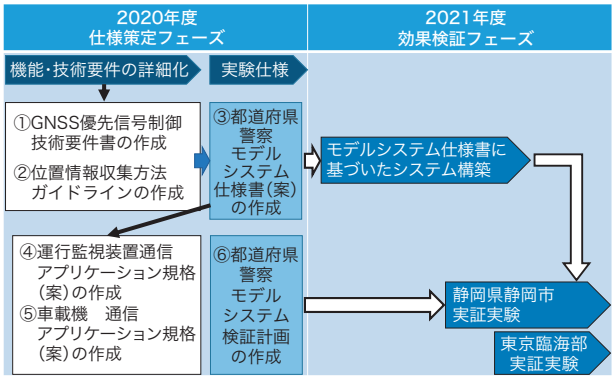


図2　本技術開発の全体工程

2 本技術開発における優先信号制御

2.1. 現状の優先信号制御

現状の優先信号制御は，図3に示すとおり交差点手前に設置された光ビーコン（定点）を用いて，バスの接近を感知し，あらかじめ決められた一定の算出速度でバスが交差点まで到着する秒数分の青信号の延長や赤信号を短縮する制御方式であり，算出速度と実速度がほぼ同じ場合に有効となる．

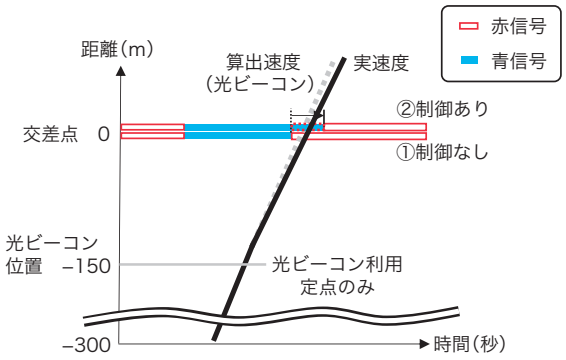


図3　従来の優先信号制御有無比較

2.2. 現状の課題

交差点手前で渋滞等の交通状況変化がある場合には，図4に示すとおり算出速度と実速度の差が大きくなり，交差点を青信号で通過できない場合が生じる．

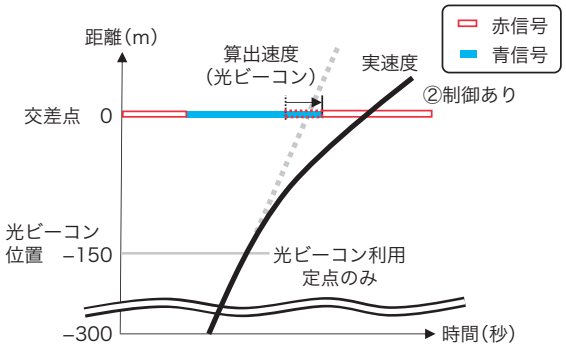


図4　従来の優先信号制御の課題

2.3. 本技術開発における優先信号制御

本技術開発では，図５に示すとおりGNSSを利用して光ビーコンよりも交差点に近い位置に最終判定位置を設定する．最終判定位置で実速度に基づいた到着時間を求めることで，交差点到着時間の誤差が抑えられる．

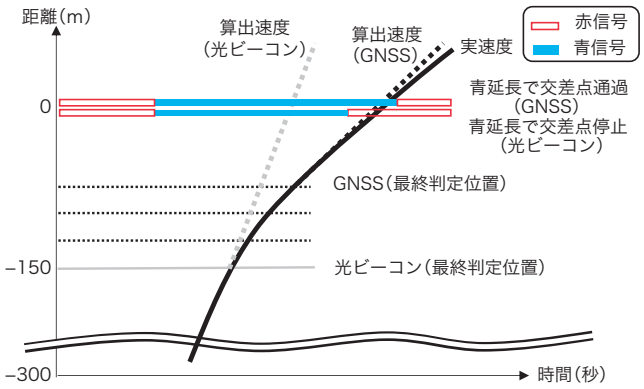


図５　本技術開発による優先信号制御

3 機能・技術要件の詳細化

位置情報等を活用し，バス等の交差点到着予想時間の精度向上に向けた機能・技術要件の詳細化を実施した．

3.1. 位置誤差の目標性能

位置誤差については，走行速度50km/hの場合を想定した．信号制御機の短縮／延長時間の設定秒数は１秒単位であることから，交差点到着予想時間誤差を１秒未満に抑えるよう位置誤差を設定することが望ましい．よって位置誤差の性能要件を走行速度50km/hで到着時間誤差が0.8秒となる10m以下に設定した．

3.2. 計測周期の目標性能

計測周期については，携帯電話網による揺らぎを含めた通信遅延が数百ミリ秒～１秒程度発生すると想定されることと，運行監視装置の処理負荷，データ通信量の影響を考慮して２秒に設定した．

3.3. 測位方式

測位方式については，一般的に広く利用されている方式の中から，運用路線の外部環境に応じ，基準局を設置しその補正情報について携帯電話網等を介して使用するRTK方式，または衛星から配信される補強信号をGNSS受信機にて受信し測位精度を高めるDGPS方式を採用するものとし，共存も可能なようにどちらか一方以上とした．

3.4. 位置補正方式

GNSS測位精度低下時の位置補正方式については，今後の最新技術の導入を踏まえ任意とした．

4 優先信号制御実証実験

4.1. 実験概要

GNSS優先信号制御を実施した場合の動作検証及び制御効果検証等について，「都道府県警察モデルシステム検証計画」に基づき検証を実施した．実験概要を表１に示す．

表１　実験概要

項目	内　容	
検証地区	静岡県静岡市	
実施方針	GNSS優先信号制御を実施した場合の動作及び制御効果等をモデルシステムにおいて検証する． 検証路線は既存の光ビーコンを用いた優先信号制御(PTPS及びFAST)との比較を行うために既存路線定する．既存路線(公道)及び既存管制システムに接続して行う検証のため，安全確保に十分配慮し，既存システムへの影響を最小限となる構成で実施する．「都道府県警察モデルシステム検証計画」より．	
対象交差点	PTPS	FAST
	2方向　4交差点 (うち新規1交差点) 上り方向：篭上，材木町，安倍町，中町(新規) 下り方向：安倍町	11交差点(うち新規2交差点) 柚木，護国神社南，護国神社入口，常磐町2丁目，黒金町西，相川公園北，相川公園南，伊河麻神社北，伊河麻神社西，江川町(新規)，中町(新規)
検証期間	光ビーコン： 11/29～12/3，1/18～1/21 9日間 (GNSS制御の検証日数(9日間)に合わせた期間)	光ビーコン： 11/27～12/3，1/17～1/21 12日間
	GNSS： 12/15～12/21，1/11～1/14 9日間 (土・日・祝日は含まず)	GNSS： 12/15～12/21，1/10～1/14 12日間 (土・日・祝日も含む)
検証曜日時間帯	月～金(平日)9時～16時 (周辺交通への影響を考慮し，交通への影響が少ない日中の時間帯で実施)	土・日・祝日も含む　24時間
検証車両台数	バス：3台＋実験車：1台	救急車：3台

実験路線については静岡県静岡市で既存の光ビーコンを用いた優先信号制御（PTPS及びFAST）との比較を行うために図６に示した既存路線から選定した．

既存路線（公道）及び既存管制システムに接続して行う検証のため，既存管制システムへの影響が最小限となる構成で実施した．

具体的には図７に示すとおり，管制システムに運行

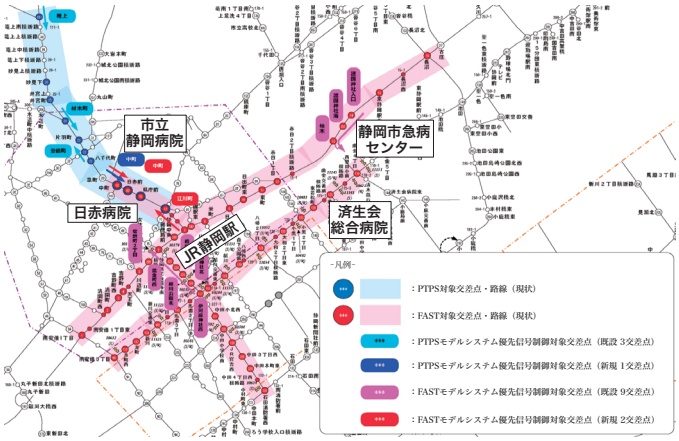


図6　実験路線及び交差点

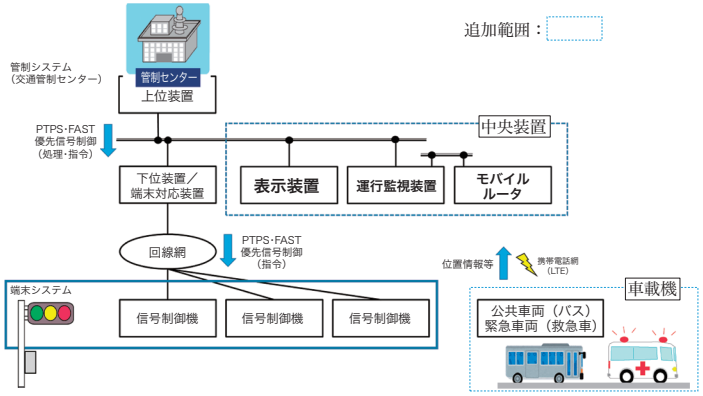


図7　実験システム構成図

監視装置等，バス・救急車にGNSS対応車載機を新たに設置（付加）するシステム構成とした．

既存の管制システムに対しては，運行監視装置が判断したタイミングで通知を与え，信号機の優先信号制御は既存の装置により実行（動作）させた．光ビーコンによるPTPS及びFASTの機器設定秒数及び光ビーコン位置等は，比較のため既存システムを変更しない条件で実施した．

PTPSの評価時間帯は，現状交通に影響を与えないように現在運用中である朝夕のラッシュ時間帯を外した日中の9時～16時とし，光ビーコンによるPTPS及びFASTの成果を基準として，同等以上となっていることを確認する目的で実施した．

検証期間は，1か月とし，検証期間中の交通量差異を抑えつつ各曜日の影響を平均化する目的から，光ビーコンによる優先信号制御とGNSSによる優先信号制御を1週間ごと，交互に2回に分けて検証を実施した．

なお，PTPSについては現在の運用実態と合わせて平日のみを実験日とした．

4.2. 実験結果

基本動作，位置誤差，遅延時間等の確認及び制御効果が光ビーコン制御と同等以上であることを表2のとおり確認した．

各検証項目と目的，評価値とその結果を示す．詳細については成果報告書[(2)]を参照願えれば幸いである．

GNSS精度については，PTPS検証路線内は表3の

表2　検証項目と結果

No.	検証項目	目的／評価	結果
1	優先制御動作	「青延長」「赤短縮」の基本動作確認	優先制御（「青延長」「赤短縮」）を実行 停止線通過差異削減 平均−74.7秒 青延長時非通過率削減 −88.9%
		基本動作:光ビーコン制御と同等以上	
2	制御効果	優先制御実施による旅行時間短縮効果確認 交差方向交通に与える影響確認	交差点通過時間短縮　平均2.1秒 路線旅行時間短縮　平均8.1秒 無駄な青延長時間削減 平均2.1秒
		制御効果:光ビーコン制御と同等以上	
3	GNSS精度	選定路線の位置誤差確認	静岡市:10m以下 東京臨海部:マルチパス環境では10m以上となる場合がある
		位置誤差:10m以下	
4	延長時間	計測周期に対する妥当性確認 車載機～信号機の通信･処理遅延時間:1秒未満	281msec(最大960msec)
5	複数バス通過時のバス優先制御動作	バス連続接近時の動作確認	バス停止時の最大減速度 0.83m/s^2(0.09G)
		停止時の減速度:1.96m/s^2(0.2G)以下	
6	優先制御実施条件	バス路線に交差方向渋滞延伸時の動作確認	設定値以上で，優先制御解除を実行 (設定値100mに対し，100m以上で解除を確認)
		設定値以上の交差方向渋滞長で，優先制御実施解除	

表3　検証路線内の位置誤差検証結果

単位m

評価地点	安倍町	籠上	材木町	中町
平均値	1.58	2.74	2.39	2.49
最大値	4.95	5.12	4.84	4.89
最小値	0.16	0.99	0.63	0.63

表4　検証路線外の位置誤差検証結果

単位m

評価地点	日赤前	日赤前～江川町間	江川町
平均値	2.59	3.19	3.23
最大値	9.71	11.57	20.00
最小値	0.42	1.44	0.50

とおり，目標とした位置誤差10m以下を満たしていることを確認した．

また，静岡駅近くはマルチパス（ビル等による反射波）の影響を受けるため検証路線外とした．検証路線外の位置誤差検証結果を参考として表4に示す．

また，本技術開発特有の機能について検証した結果を以下に示す．

(1) 優先信号制御の追加動作機能

現状の光ビーコンによるバス位置は，路側に設置された光ビーコン直下通過時のみ感知する仕組みのため，光ビーコン通過後にバス位置は不定となる．

例えば，光ビーコン通過後にバス停があり，停車した場合には青信号の延長を実施しても通過できないケース等が考えられる．

一方GNSSによる優先信号制御ではバス位置を継続的に把握できることから，バス停停車により赤信号となった場合でも，さらに赤信号を短縮する優先信号制御を追加実行できる．図8に本機能によりバスが交差点を早く通過できた事例を示す．

(2) 優先信号制御の解除動作機能

現状の光ビーコンによる緊急車両位置もバスと同様に光ビーコン通過後不定となる．GNSSによる優先信号制御では緊急車両位置を継続的に把握できることから，緊急車両が交差点を通過直後に優先信号制御解除を実行できる．

従来の光ビーコンであれば緊急車両が交差点通過後も青信号の延長が続くケースにおいて，GNSSによる優先信号制御では無駄な青時間を削減できた事例を図9に示す．

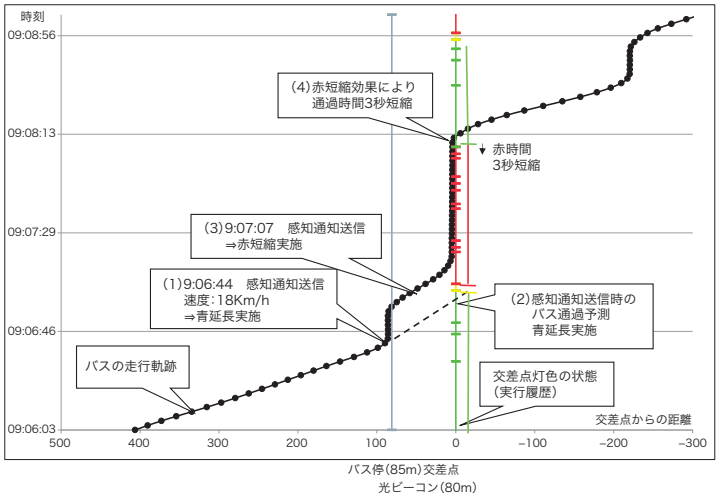


図8　本技術開発特有機能(優先制御追加動作)事例

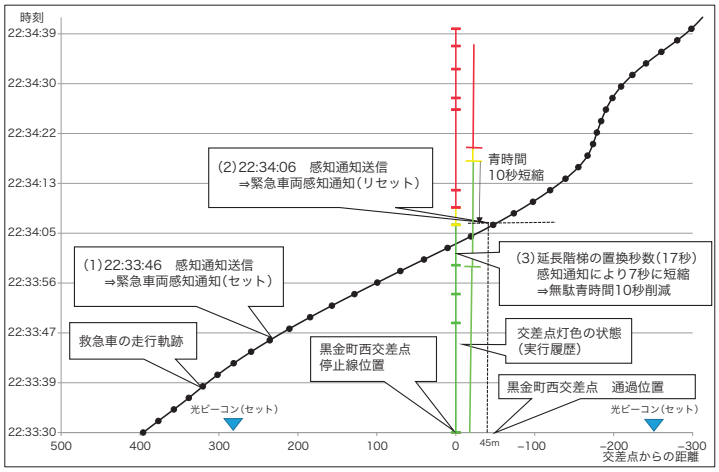


図9　本技術開発特有機能(優先制御解除動作)事例

無駄な青時間を削減することにより，交差方向の交通流に与える影響を小さくすることができる．

5 緊急走行車両情報(模擬)配信実証実験

5.1. 実験概要

本技術開発でGNSS優先信号制御用途に開発した，シンプルかつ必要最低限の性能要件とした車載機を活用した緊急走行車両情報(模擬)配信実証実験とGNSS位置誤差についての検証を2022年１月10日から14日と17日から21日の10日間，10時から16時の時間帯で実施した．

車載機からの位置情報は運行監視装置にて管理し，優先信号制御に活用する仕組みを開発していたが，さらに運行監視装置に位置情報を他サーバへ配信する機能を追加し「情報収集配信サーバ」とした．

模擬緊急車両に搭載した車載機から携帯電話網LTE(閉域網)により位置情報を収集し，他サーバへはビジネスイーサ(閉域網)を通じて，東京臨海部実証実験に参加している自動運転車に模擬緊急車両の位置情報を配信した．

図10に実験構成図，表５に配信情報仕様を示す．

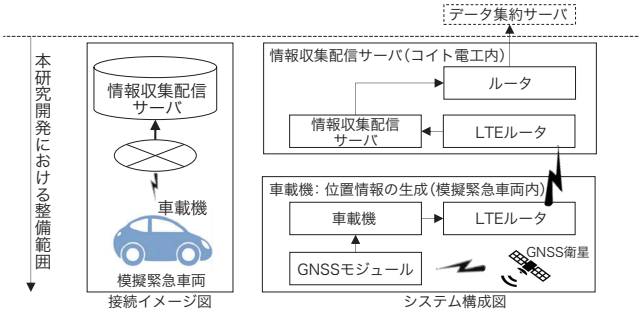


図10　東京臨海部実証実験における実験構成図

表5　配信情報仕様

項目	規格
通信制御手順	UDP
送信周期	2秒ごと
GNSS情報格納数	最大20個(100ms)

実験においては緊急車両を模擬した乗用車２台を用意し，実験参加者のドライブレコーダ等で確認できるように識別目印となるステッカーをボディに貼り付け，ルーフラックにカラーボックスを搭載した．

実際に東京臨海地区を走行して位置情報を配信する実験を行った模擬緊急車両の外観を図11，走行ルート(５種類)を図12に示す．

図11　模擬緊急車両

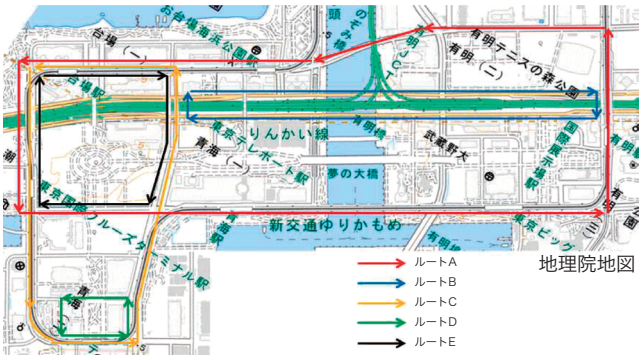


図12　走行ルート

5.2. 実験結果

位置情報を配信した結果が実験参加者の自動運転車両まで配信・活用されたことは，自動運転車両に搭載された高精度３次元地図に紐付いた確認画面(ダイナミックマップビュワー)にて確認した．

位置誤差の評価方法については，模擬緊急車両に２台のカメラを設置し，前方及び上空の映像から19か所の評価地点通過時の時刻を求め，GNSS受信機で取得した同時刻の位置情報(緯度・経度)をもとに，真値との比較により位置誤差を算出した．

東京臨海地区における評価地点を図13に示す．

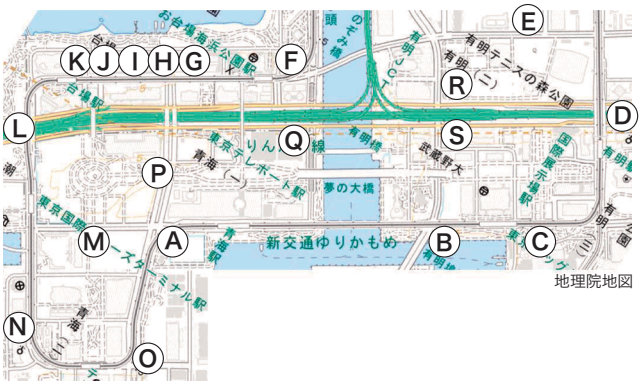


図13　評価地点

位置誤差の評価結果を表６に示す．

優先信号制御実証実験時に計測したPTPS実証実験の検証路線内は，上空が開けたオープンスカイ環境で

あり，想定どおり位置誤差が最大値10m以下の5.12mであった．

一方，東京臨海地区ではビルが隣接するマルチパスが懸念される地点や，ゆりかもめ高架下等の衛星からの電波が遮蔽される環境が多く存在している．

平均値では10m以下であるものの，最大値が10mを超える場合があり，最小値と最大値の差異が大きい箇所が多く見られた．

表6　評価結果（その1）　単位：m

評価地点	A	B	C	D	E
平均値	2.41	2.07	2.49	2.90	1.98
最大値	4.73	3.51	3.87	5.30	4.67
最小値	0.59	0.57	0.38	0.97	0.16

評価結果（その2）　単位：m

評価地点	F	G	H	I	J
平均値	2.14	3.22	5.29	8.37	5.09
最大値	4.60	5.27	9.92	17.67	14.10
最小値	0.16	0.19	1.41	1.12	0.92

評価結果（その3）　単位：m

評価地点	K	L	M	N	O
平均値	2.35	1.27	2.18	3.20	2.41
最大値	5.23	2.19	3.62	20.81	5.36
最小値	0.82	0.34	0.50	0.45	0.70

評価結果（その4）　単位：m

評価地点	P	Q	R	S
平均値	2.55	2.23	2.56	1.92
最大値	8.28	3.47	3.79	2.19
最小値	0.25	0.39	0.13	1.56

また，今回２台の模擬緊急車両を用いて位置情報の配信を行っているため，位置誤差評価として２台が同一ルートを走行したL～Sの区間において車載機の誤差評価を実施した．

車両１と車両２の評価結果を，それぞれ表７と表８に示す．

評価地点Nのみ大きな差異が発生していたが解析により停車中の位置誤差変動の影響と判明した．

結果として大きな誤差は見受けられなかった．

表7　車両別評価結果　車両1（その1）　単位：m

評価地点	L	M	N	O
平均値	1.13	2.32	1.90	2.75
最大値	1.96	3.56	2.97	5.36
最小値	0.63	1.56	0.85	0.70

車両別評価結果　車両1（その2）　単位：m

評価地点	P	Q	R	S
平均値	2.39	3.47	3.79	1.91
最大値	6.97	3.47	3.79	1.91
最小値	0.28	3.47	3.79	1.91

表8　車両別評価結果　車両2（その1）　単位：m

評価地点	L	M	N	O
平均値	1.41	2.04	4.47	1.99
最大値	2.19	3.62	20.81	4.89
最小値	0.34	0.50	0.45	0.77

車両別評価結果　車両2（その2）　単位：m

評価地点	P	Q	R	S
平均値	2.79	0.99	1.33	1.94
最大値	8.28	2.08	2.19	2.19
最小値	0.25	0.39	0.13	1.56

6　おわりに

本技術開発では，現状の管制システムへの影響を最小限に抑え，早期社会実装を可能とする構成で技術開発を実施した．２か年の成果は下記のとおりである．

2020年度は，機能・技術要件の詳細化を行い，下記の仕様書（案）等６本を策定した．

①GNSS優先信号制御技術要件書
②位置情報収集方法ガイドライン
③運行監視装置　通信アプリケーション規格（案）
④車載機　通信アプリケーション規格（案）
⑤都道府県警察モデルシステム仕様書（案）
⑥都道府県警察モデルシステム検証計画

2021年度には，優先信号制御実証実験を静岡市で実施．これまでの光ビーコンと比較して優先信号制御の有効性の向上を確認した．

また，「インフラ協調による高度な自動運転の実用化」実現に向け，東京臨海地区で緊急走行車両情報（模擬）配信実証実験を実施し，インフラからの配信情報が有効であることを確認した．

今後は早期社会実装へ向け，社会インフラ設備としての標準化を進めていく．

【参考文献】
（1）一般社団法人UTMS協会：日本の交通信号史 その後の40年，p.54.
（2）国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：2020年度～2021年度成果報告書 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第２期／自動運転（システムとサービスの拡張）／GNSS（位置情報）等を活用した信号制御等に係る研究開発，2022年.

【本件問合せ先】
コイト電工株式会社 人事総務部，〒411-0932 静岡県駿東郡長泉町南一色720番地，055-955-5688，担当：稲毛光治，成島和子

2 交通環境情報の構築と活用

(2)交通環境情報の配信に係る技術開発

協調型自動運転のための通信方式の検討(概要)

Research for V2X Communication for Cooperative Driving Automation (Overview)

菅沼英明(トヨタ自動車株式会社)
Hideaki Suganuma (TOYOTA MOTOR CORPORATION)

1 はじめに

自動運転社会の実現に向けた技術開発や法整備など,産官学による様々な取組が進められるなか,より安全かつ快適な自動運転の実現に向け,クルマ同士やクルマと道路交通インフラが協調する「協調型自動運転」に期待が寄せられている.しかし,協調型自動運転の実現に必要な通信方式に関しては,未だ統一された見解がなされていなかった.

日本においては,安全運転を支援するITS無線として700MHz帯の電波を活用したARIB-STD T109[(1)](以下,これを「700MHz帯ITS」と呼ぶ)が規定され,すでにサービスも実用化されている.このことから,700MHz帯ITSの拡張が協調型自動運転向け通信の早期実現に最も寄与するとの考えがある.一方,今割り当てられている周波数だけでは帯域幅が不足しないか,5.9GHz帯の電波を割り当てている欧米諸国と比べ,700MHz帯の電波を使用している日本は世界標準から取り残されてしまわないか,といった懸念も出されている.

グローバルな視点で見れば,多くの地域・国が5.9GHz帯をITS用の周波数として割り当てているが,5.9GHz帯を含む5GHz帯の電波は直進性が強く,見えない先の状態を検知したいITSには向かないのではないか,ETCをはじめとした他のシステムへの与干渉や無線LANの周波数拡張による被干渉などにより,用途や場所が限られるのではないか,何よりも5.9GHz帯は放送業者がFPU (Field Pickup Unit) として現在も利用中であり,業界を超えた周波数移行作業が必要になることから,日本の周波数事情に適さないのではないかといった意見もあり,結論は見えていなかった.

SIPでは自動運転の実現に向けて産学官が一堂に会して取り組む体制ができていることから,こういった背景を踏まえ,2019年度に「協調型自動運転通信方式検討タスクフォース(以下,本TF)」を立ち上げ,将来の通信方式を3年計画で検討した.以下,本TFの取組について述べる.

2 活動概要

2.1. 協調型自動運転の定義・目的・目標

本TFの活動はまず,TFが扱う協調型自動運転システムとは何かを定義し,その目標を定めるところからスタートした.これらを明確にすることは,TFでの議論を円滑に進めるうえで非常に重要である.

本TFでは協調型自動運転システムを,「自律型自動運転システムをベースに,車載センサ検知範囲外の情報の入手や自車が保有する情報の提供,及び車車間や路車間の意思疎通を通信で行うことで,より安全でスムーズな自動運転制御を可能とするシステム」と定めた.

また,本TFを立ち上げた目的は,「協調型自動運転のあるべき姿,実現までのロードマップを描き,国際

標準も考慮しつつ，オールジャパンとして最適な通信方式の方針を固める」ことであった．この目的を達成するための目標は，①協調型自動運転に適切な通信方式を提案すること，②協調型自動運転に必要な通信方式，及びその通信方式が必要となる時期を明記したロードマップを策定することとした．

2.2. 検討のステップ

2.1節に示した目標を達成するために，本TFでは実施事項をPhase Ⅰ～Ⅲの３つに分け，検討を行った．

Phase Ⅰ：検討のベースとするユースケースの整理
Phase Ⅱ：各ユースケースの通信要件の明確化
Phase Ⅲ：通信要件を満たす通信方式の検討
　　及びロードマップの策定

また，検討体制においては，ITS関係省庁の方にも検討を主体的に進める委員という立場で参加いただき，Phase Ⅱ以降の検討では，通信に知見のある方にも広く加わっていただくことで，検討内容の充実を図った．

これらの取組に関しては３章で述べる．また，本TFの検討メンバと大日程を図１に示す．

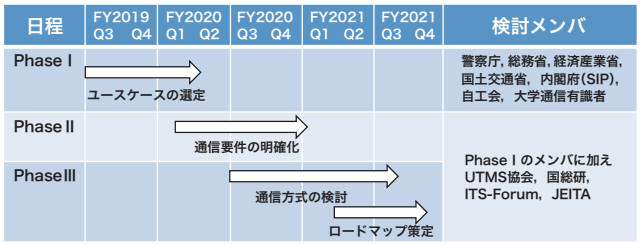


図１　TF検討メンバと大日程

3 通信方式の検討

3.1. ユースケースの選定

協調型自動運転を対象とした通信活用に関しては，国内外問わず多くのユースケースが提唱されている．ただしその中には，車載センサの代わりに通信を使うなど，明らかに通信という手段が目的化されているものや，今時点で通信以外の要素技術に大きな課題が見えており，通信の適用だけでは実現困難と思われるものも多く存在している．本TFではこういったユースケース全てを実装することは現実的でないと考え，将来に向けて実現することが想定されるユースケースを定めることとした．ただし，本TFが新たに全てのユースケースを考えるのでなく，世の中で提唱されているユースケースを集約・整理し，TFとして取り組むべきユースケースを選定するというやり方を採用した．実際のユースケースは，一般社団法人日本自動車工業会（以下，自工会）からの提案，及び2018年度に実施されたSIP自動運転における調査研究「自動運転システムにおけるV2X技術等を含む新たな通信技術の活用に関する調査」[2]の結果を用いた．自工会の提案は，自動運転車が走行可能となるために必須と考えられるユースケースであり，信号情報配信，合流支援，緊急車両存在通知などである．また，2018年度の調査研究には，欧・米・日本を含むアジアの協調型自動運転及び安全運転支援のプロジェクトで用いられたユースケースがまとめられている．

これらをもとにTFとしてのユースケース選定を行ったが，選定にあたっては以下の３点を重視した．

(1) 全ての交通参加者は基本的に法規を遵守する
(2) 自律型自動運転システムでは実現不可能である
(3) 協調型自動運転システムの定義で定めた①車載センサ検知外の情報の入手，②自車が保有する情報の提供，③車車間／路車間の意思疎通を目的とするユースケースに合致するもの

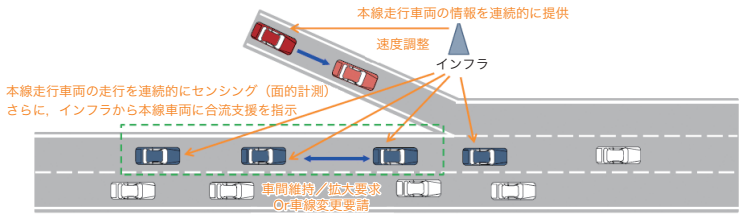
このように，グローバルに提唱されているユースケースの整理から，TFで取り組むべき25のユースケース（以下，SIP-UC）を選定した．SIP-UCの詳細は2020年９月に一般公開されている．[3]図２に，ユースケースの例として，路側管制による本線車両協調合流支援のユースケースを示す．

3.2. 通信要件の明確化

Phase Ⅱでは，ITS無線通信の規格・標準化に対して豊富な知見・経験を有するITS情報通信システム推進会議（以下，ITS Forum）の協力のもと，ITS Forum主体で通信要件の整理を行った．また，通信要件を定めるためには各サービスの詳細化が必要なため，SIP-UCに類似した技術検討や実証実験等を実施している研究団体等へのヒアリングも行った．各団体等から収集した情報をもとにITS Forumが定めた通信要件[4]の例として，路側管制による本線車両協調合流支援の通信要件を表１に示す．

機能分類	a. 合流・車線変更支援		
ユースケース名	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援		
対象場所	高速道路+一般道	対象車両	オーナーカー
概要	本線走行車両の位置や速度等，面的に計測した情報を，インフラから合流車両に提供するとともに，インフラから本線車両側に車間調整等を指示し，合流の支援を行う．		

ユースケースイメージ



留意事項（通信要件等）		情報内容／データ区分	
通信	V2I	メッセージ	合流部到達時刻（本線車），車間調整要求
接続形態	1対多	センサデータ	速度，位置
制御用途	速度調整，車間調整	リッチコンテツ	−
即応性	要	データ量	小

図2　合流支援のユースケース例

表1　通信要件の例

機能分類	a. 合流・車線変更支援			
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			
No.	a-1-3			
メッセージ名	位置情報	管制要求	調定要求 更新要求	調定応等 更新応答
通信形態	V2I(I→V)	V2I(V→I)	V2I(I→V)	V2I(V→I)
通信相手	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア（最小範囲）	合流起点6秒前から合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリアあたり送信台数	1台	1台	1台 (×管制数)	48台 (管制数，混雑時)
必要通信距離	連絡路: 66.7〜116.7m 本線: 111.1〜266.7m	66.7〜116.7m	連絡路: 66.7〜116.7m 本線: 111.1〜266.7m	連絡路: 66.7〜116.7m 本線: 111.1〜266.7m
最大相対速度	連絡路: 20〜70km/h 本線: 20〜120km/h	連絡路: 20〜70km/h 本線: 20〜120km/h	連絡路: 20〜70km/h 本線: 20〜120km/h	連絡路: 20〜70km/h 本線: 20〜120km/h
最大データサイズ	5236byte (4986+250) 想定台数: 184台	287byte (37+250)	273byte (23+250)	287byte (37+250)
周期型／非周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	不定		
1パケットあたりPAR	PAR≧99% (仮)	PAR≧99% (仮)	PAR≧99% (仮)	PAR≧99% (仮)
無線区間許容遅延	規定しない	100msを想定	100msを想定	100msを想定

3.3. 通信方式の技術的検証

3.1節で選定したSIP-UCに対し，3.2節で定めた通信要件を適用することで，ユースケースの実現可否を通信の成立性の観点から評価した．評価では，SIP-UCの中で，明らかにV2N通信（V2N：Vehicle to Network）による広域への情報配信が適していると考えられる5つを除いた20のユースケースについて，以下の2つの通信方式の適用可否を検討した．

1）700MHz帯ITSの拡張

2）新たな通信方式の例としてのC-V2X(※)適用

※5.9GHz帯周波数の活用事例として採用

C-V2X（Cellular V2X：Xはeverythingの意）

実際の評価を行ったのは，本業務を受託した京セラ株式会社（以下，京セラ）と日本電気株式会社（以下，NEC）である．このうち700MHz帯ITSの評価は京セラが担当し，C-V2Xを題材とした新たな方式の評価，ロードマップ策定，全体まとめをNECが担当した．

これら京セラとNECが行った評価に関しては，本稿に続く第2章 (2) ①「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討」に詳しいので，そちらを参照いただきたい．ここでは，検証結果を簡潔に述べる．

京セラが担当する700MHz帯ITSの評価では，20のSIP-UC全てを対象に，既存の安全運転支援ITSサービスに追加可能かを評価した．結果，クルマと路側インフラ間とで行うV2I通信（V2I：Vehicle to Infrastructure）のうち，路側インフラからクルマへの情報配信については全て実現可能であった．一方，クルマから路側インフラへの情報配信に関しては，一部要件を満たせなかった．また，クルマ同士が通信を行うV2V通信（V2V：Vehicle to Vehicle）に関しては，SIP-UCの中でV2V通信を想定した11のユースケースのうち8つが要件を満たせなかった．

要件が満たせなかったユースケースの特徴は，情報の送信元となるクルマが通信相手を特定し，個別の情報をやりとりする機能（これを「ネゴシエーション」

と呼んでいる)を必要とするものであった．ネゴシエーションの機能はブロードキャストを基本とする700MHz帯ITSにはない仕組みであり，このようなユースケースを実現するためには新たな通信方式や，場合によっては新たな通信帯域が必要となることが，今回の評価で確認できた．

一方のNECが担当するC-V2Xを用いた評価では，700MHz帯ITSの評価で実現ができなかったネゴシエーションによる合流支援や交差点周辺のサービスを題材とし，パケット到達率や受信レベル，遮蔽による影響などを中心とした評価を行った．結果，遮蔽による急激な通信状況の悪化や道路反射等の影響によるパケット到達率の落ち込みなど，要件を満たすことができないケースがあることを確認できた．

技術的検証結果をまとめると以下である．

・V2I通信のうち路から車への通信に関しては，全てのユースケースが700MHz帯域ITSの拡張により成立する
・V2I通信のうち車から路への通信の一部とV2V通信のユースケースは要件を未達
ユースケースの個別シーンごとの詳細な条件の見直しや新たな通信方式の適用が必要となる
・クルマ同士のネゴシエーション等，高度な通信を必要とするユースケースについては，C-V2Xによる評価でも要件を満たさなかった．

これらより，単純に新たな方式を追加しただけではSIP-UC全てを実現することは難しいことがわかり，「更なる検討が必要である」と結論づけた．

4 ロードマップの策定

本TFが定めたSIP-UCは，自動運転車を走らせるために必須となるものと，より安全・快適な走行をサポートするものに分類される．また，安全運転支援の延長で実現できるものや高度な仕組みを要するもの，さらにはITS関連省庁をはじめとした国の施策として既に位置づけられているものなど，その実現時期は様々である．そこでPhase Ⅲでは，関係する各方面の情報をもとに，SIP-UCそれぞれの展開時期を整理し，概ね5年程度のスパンをもって定めた．さらには，ユースケース実現には，単に技術だけでなく，法制度，ビジネスモデル，事業者間での役割と責任分担の明確化等，解決すべき課題は多岐にわたることから，本TFでは，SIP-UCの実現に必要な課題も同時に洗い出し，これらを含めた展開計画とした．

展開計画では，安全運転支援から自動運転に拡張できるユースケースや自動運転車両を走らせるために必須のユースケースは，概ね2025年ごろの実現を見込んでおり，700MHz帯ITSが活用できる．実現時期を2030年以降と想定した，より安全・快適な自動運転走行を実現するためのユースケースでは，先に示したネゴシエーション等の高度な通信が必要となり，新たな通信方式の導入や周波数帯域の確保が必要となる．これらを踏まえ，本TFでは図3に示すロードマップを策定し，以下の結論を導いた．

・ネゴシエーション等に対応する新たな通信方式が必要な時期を2040年ごろと想定
・2040年ごろに，例えば30％の協調型自動運転車普及を見込むのであれば，新たな通信方式を2030年ごろから導入する必要がある
・2030年以前の早期に開始するユースケースについては，700MHz帯ITSが活用できる

さらには，それぞれのユースケース実現のためには，本TFが行った通信方式の検討結果だけでなく，それ以外の多くの課題に対しても対応の目途がついていることが非常に重要となる．

なお，展開計画とロードマップに関しても，第2章(2)①「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討」に詳しいので，そちらを参照いただきたい．

5 おわりに

本TFでは，通信を活用した協調型自動運転を実現するための25のユースケースを定めた．次にこのユースケースに適用すべき通信方式の検討を行い，各ユースケースの実現時期，解決すべき課題と併せてロードマップにまとめた．

自動運転を早期実現するためには，700MHz帯ITSを活用したユースケースの適用と，将来の高度な通信を必要とするユースケースを実現するための新たな通信方式に関する継続的な検討が必要である．

協調型自動運転のための通信方式の検討(概要)

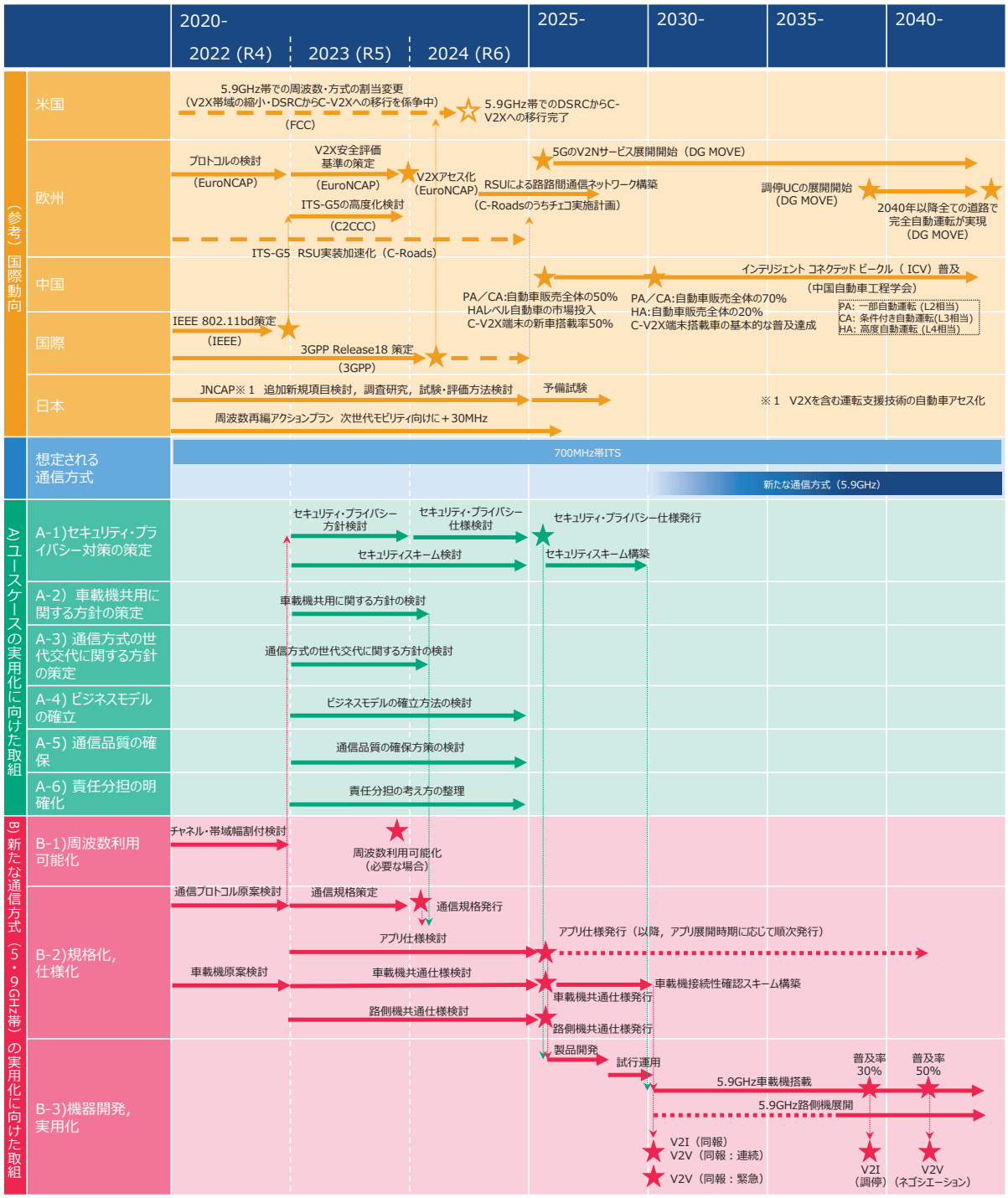


図3 協調型自動運転向け通信方式のロードマップ

今後は,今回定めたロードマップに従った着実な検討が進められることを期待する.

【参考文献】

(1) ARIB-STD T109 700MHz帯高度道路交通システム,https://www.arib.or.jp/kikaku/kikaku_tushin/desc/std-t109.html,(参照 2022.10.25)
(2) 自動運転システムにおけるV2X技術等を含む新たな通信技術の活用に関する調査,2019,https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd02/204_s.pdf,(参照 2022.10.25)
(3) SIP協調型自動運転ユースケース 第1版,2020,https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf,(参照 2022.10.25)
(4) ITS Forum RC-017 SIP協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ/通信要件の検討資料,2022,https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf,(参照 2022.10.25)

【本件問合せ先】

トヨタ自動車株式会社 コネクティッドカンパニー コネクティッド統括部 ITS推進室,〒112-8701 東京都文京区後楽1-4-18,050-3165-1695,担当:菅沼英明

①協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討

Research on Communication Methods to Realize Cooperative Automated Driving Use Cases

木村聡，布本剛史（日本電気株式会社），小川真人，小西友明（京セラ株式会社）
Satoshi Kimura, Takeshi Nunomoto (NEC Corporation), Masato Ogawa, Tomoaki Konishi (KYOCERA Corporation)

（概要）本事業は，協調型自動運転通信方式検討タスクフォースにて策定されたV2Xの活用が期待される協調型自動運転ユースケースについて，無線通信技術への具体的な要求仕様等，通信に関する技術的な実現性の検討，検証及び実証を踏まえ，自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップを策定することを目的として実施した．具体的には，ユースケースに対する通信要件の検討，無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式による対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証，既存の無線通信システムである700MHz帯高度道路交通システムによる対応可否の検証及び課題解決の対応策立案，自動運転社会の実現に必要な協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案の策定を実施した．

キーワード：協調型自動運転，V2X，セルラーV2X（C-V2X），700MHz帯ITS

1 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討（セルラーV2X方式）

1.1. 概要

協調型自動運転通信方式検討タスクフォース（以下，検討TF）で策定されたSIP協調型自動運転ユースケース[(1)]（以下，SIP-UC）に基づき，ITS情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ（以下，無線方式検討TG）と共同でSIP-UCに対する技術要件及び通信要件を検討した．その通信要件に対し，無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式を適用した場合の対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証を実施した．（V2X：Vehicle to X, V2I：Vehicle to Infrastructure, V2V：Vehicle to Vehicle, V2N：Vehicle to Network）

1.2. 通信要件の検討

SIP-UCに対し，無線方式検討TG及びSIP-UCのそれぞれのユースケースに関係する団体，企業との議論を通じ，ユースケースの実現に際し求められる技術要

表1　通信要件の例

機能分類	a.合流・車線変更支援					
ユースケース	予備加減速合流支援	本線隙間狙い合流支援	路側管制による本線車両協調合流支援			
No.	a-1-1	a-1-2	a-1-3			
メッセージ名	位置情報	位置情報	位置情報	管制要求	調停要求／更新要求	調停応答／更新応答
通信形態	V2I(I → V)	V2I(I → V)	V2I(I → V)	V2I(V → I)	V2I(I → V)	V2I(V → I)
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア(最小範囲)	合流起点6秒前から合流起点6秒前と合流起点の中央まで	合流起点6秒前から合流起点まで	合流起点6秒前から合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリアあたり送信台数	1台	1台	1台	1台	1台(×管制数)	48台(管制数，混雑時)
必要通信距離	33.9～59.3m（国総研仕様書：95m）	67.8～118.6m	連絡路:67.8～118.6m 本線:112.5～270.0m	67.8～118.6m	連絡路:67.8～118.6m 本線:112.5～270.0m	連絡路:67.8～118.6m 本線:112.5～270.0m
最大相対速度	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h
最大データサイズ	1510byte 想定:46台	2752byte 想定:92台	5236byte 想定:184台	287byte	369byte	287byte
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	100ms	100ms	不定		
1パケットあたりPAR	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)	PAR≧99%(仮)
無線区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	100msを想定	100msを想定	100msを想定

PAR: Packet Arrival Rate

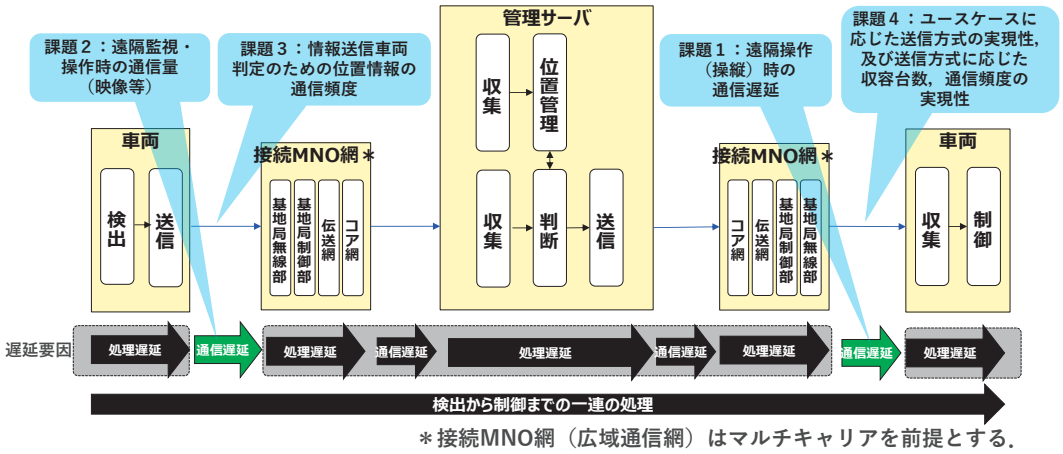


図１　通信要件の実現上の課題

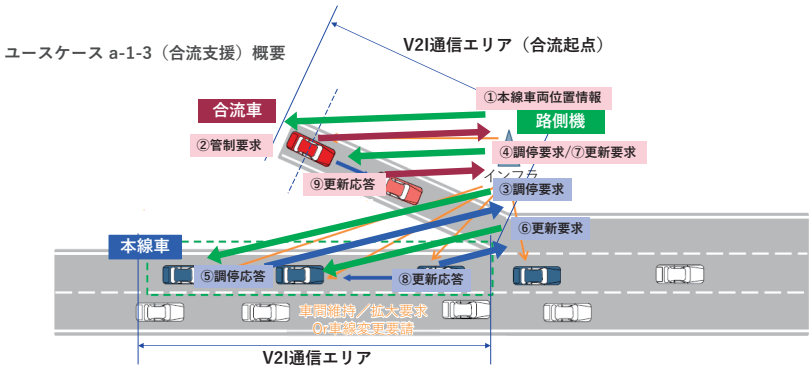


図２　合流支援における通信モデル

件（路車での機能分担，通信機能等）及び通信要件（通信シーケンス，メッセージ内容，通信性能等）を無線方式検討TGとの協働により規定した．合流・車線変更支援に関するユースケースに対する通信要件の例を表１に示す．

検討した結果は，無線方式検討TGによりSIP-UCに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料[(2)]として策定された．

表２　各課題への対応策案

課題	検討事項	方策案概要
課題１：遠隔操作（操縦）時の通信遅延	・通信遅延低減（V⇔N）	・無線通信の優先度制御 ・専用周波数帯域の確保 ・End-to-Endでの専用帯域の確保（スライシング等）
課題２：遠隔監視・操作時の通信量（周辺映像等）	・通信遅延低減（V→N）	・無線通信の優先度制御 ・アップリンク（V→N）通信容量の確保 ・専用周波数帯域の確保 ・End-to-Endでの専用帯域の確保（スライシング等）
課題３：情報送信車両判定の位置情報の通信頻度	・通信頻度低減（V→N）	・送信方式ごとの実現性検討（ユニキャスト，マルチキャスト，ブロードキャスト）
課題４：ユースケースに応じた送信方式の実現性，送信方式に応じた収容台数，通信頻度実現性	・通信量低減（N→V）	

V：Vehicle，N：Network

1.3. 広域通信に関する検討

広域通信網を利用するSIP-UCのそれぞれのユースケース（d. 先読み情報：走行計画変更，f. インフラによる情報収集・配信等）に対し，通信要件の実現上の課題を整理し，その課題の対応策を机上検討した．通信要件の実現上の課題を図１に，各課題への対応策案を表２に示す．

1.4. 狭域通信に関する検討

狭域通信（路車間，車車間）を利用する各ユースケースに対し，通信要件の実現上の課題を整理し，その課題に対し，セルラーV2Xの通信シミュレーション（5.9GHz，10MHz帯域幅）を通じ通信性能を検証し，

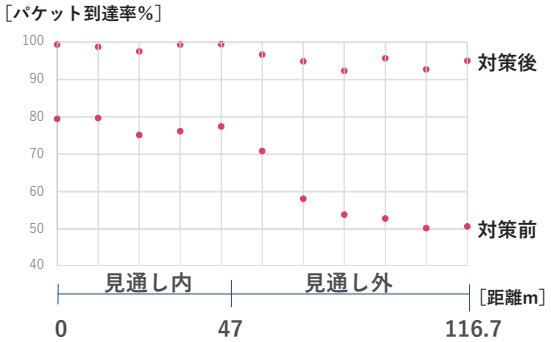


図３　通信シミュレーション結果例

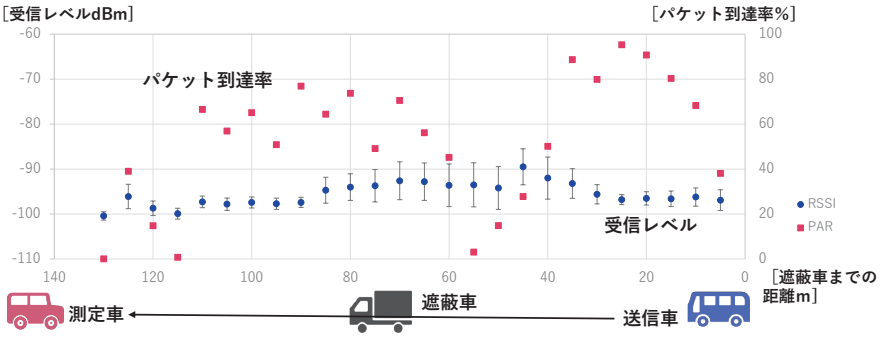


図4　遮蔽車によるシャドウイングの影響の実証結果例

対応策案を机上検討した．検証に際しては，代表的なユースケース２例（①合流支援，②交差点周辺）を取り上げ実施した．図２に一例として合流支援における通信シミュレーションの際の通信モデルを示す．

通信シミュレーションを通じ通信要件実現のための課題が明らかになり，その対策を含めた再評価を実施した．図３に一例として当初のシミュレーション結果（距離に応じたパケット到達率）とパケット到達率の低下の要因と想定された要因（路側機における送受信タイミング競合による受信不能，車両送信におけるパケット衝突（隠れ端末の影響））に対する改善策（路側機の送信メッセージの集約，車両遮蔽損失の影響の低減）を対策後のシミュレーション結果を示す．

またシャドウイング及び通信輻輳の影響といった，無線通信を実フィールドで実証し，検証が必要な事項に関し，テストコースで車両及びセルラーV2X通信機を配した通信性能評価の実証を行った．通信性能として，①遮蔽車によるシャドウイングの影響，②通信量に応じた通信輻輳の影響を評価した．図４に一例として遮蔽車によるシャドウイングの影響の実証結果を示す．

狭域通信に関する検討として，通信シミュレーション結果及び実証結果より，以下のことが確かめられた．

1) 単独ユースケースを実現するため，様々な通信要件の通信が混在し相互影響が生じる
2) 同じ場所で複数ユースケースを実現するため，様々な通信要件の通信が混在し相互影響が生じる

実運用においては，無線通信環境（シャドウイング，マルチパス等），走行車両環境（台数，車間）が一義に特定あるいは制限できるものではなく，想定と異なる環境下において通信が生じた場合，通信が輻輳し，結果として相互影響による通信遅延，通信未達が生じ得る．そのための方策検討が求められる．具体的には，１）通信レイヤでの通信輻輳制御に加えた，無線通信環境，走行車両環境等に応じたアプリケーションレベルでの通信輻輳制御を行うことでの通信輻輳の影響の低減，２）通信エリア（車線，道路の上下線等），もしくは通信内容に応じた通信チャネルの割当を行うことでの通信輻輳の影響の低減が考えられる．

2 協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討（700MHzITS）

2.1. 概要

１章と同様に検討TFで策定されたSIP-UCのうちV2I，V2Vの対象である20ユースケース（表３参照，以下ユースケース名を記号で記す．）において，無線方式検討TGのSIP-UCに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料[(2)]の通信要件に基づき，700MHz帯高度道路交通システム（以下，700MHz帯ITS）での対応可否の検証及び課題解決の対応策立案を，机上検討及びシミュレーションにより実施した．

2.2. 机上検討

机上検討ではリンクバジェットの観点で通信品質，送信時間制約，路側機設置制約，メッセージセットの評価を実施した．

通信品質，送信時間制約評価において，意思疎通が必要なユースケースの一部（a-1-3，a-1-4，a-2，a-3）はエリアあたりの送信台数が原因で送信時間制約評価が未達であった．電子牽引による後続車無人隊列走行（g-1）のユースケースは緊急時の送信周期が20msと通信要件に定められているが，700MHz帯ITS規格ARIB STD-T109では通信周期を100ms周期と規定しているため，通信要件未達とした．その他のユースケースでは通信要件を達成した．

路側機設置制約評価において，路側機の無線送信スロット（以下，スロット）割当を検討した結果，SIP-

UCに必要な４スロットが確保可能となった．よって，路車間・路路間通信は700MHz帯ITSサービスにSIP-UCを加えてもスロット割当が成立することを確認した．

メッセージセット評価において，700MHz帯ITSのメッセージにSIP-UCのメッセージセットが追加可能かの検討を行った結果，ITS Connect TD-001 [3] の自由領域（オプションの領域）を活用することでSIP-UCの車載機メッセージセットが追加可能なことを確認した．

2.3. シミュレーション

SIP-UCが700MHz帯ITSで対応可能かを確認するために複数の路側機，車載機から送信される電波が相互に干渉し合うシミュレーション環境を構築した．図５にSIP-UC検討モデルを示す．道路モデルは既存モデルシミュレーション [4] の中で最も路側機設置密度が高い300m面配置に高速道路の本線及び連絡路を配置したものとした．

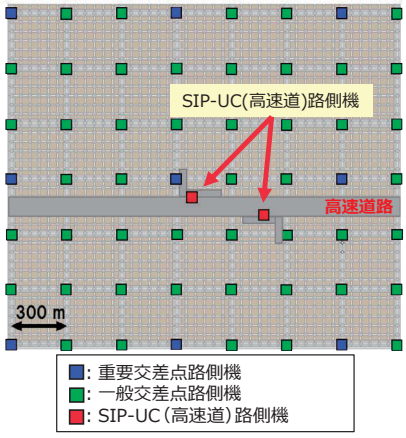


図５　SIP-UC検討モデル

表３　シミュレーション結果

SIP-UC名	700MHz帯ITSでの対応可否
a-1-1. 予備加減速合流支援	○
a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	○
b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	○
c-1. 前方での急停止，急減速時の衝突回避支援	×
c-2-1. 交差点の情報による走行支援（V2V）	×
c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	○
c-3. ハザード情報による衝突回避支援	×
d-1. 異常車両の通知による走行支援	○
d-2. 逆走車の通知による走行支援	○
d-3. 渋滞の情報による走行支援	○
d-4. 分岐・出口渋滞支援	○
d-5. ハザード情報による走行支援	○
e-1. 緊急車両の情報による走行支援	×
f-2. 交通流の最適化のための情報収集	○
a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	×（V2Iは○）
a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	×
a-2. 混雑時の車線変更の支援	×
a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	×
g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	×
g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	×

表３のシミュレーション結果を示す．

SIP-UC路車間通信（a-1-1，a-1-2，a-1-3，b-1-1，c-2-2，d-1～d-5）とSIP-UC車路間通信の一部（d-1～d-4，f-2）は，無線方式検討TG提示の通信要件を達成した．SIP-UC車車間通信（a-1-4，a-2，a-3，c-1，c-2-1，c-3，e-1，g-1，g-2）とSIP-UC車路間通信の一部（a-1-3）は無線方式検討TG提示の通信要件を達成することができなかった．この原因は，700MHz帯ITSの車載機送信時の無線方式であるCSMA/CAにおいて，車載機A及びBが互いにキャリアセンス範囲外に位置し互いの送信タイミングを把握していない場合において，車載機A及びBが同タイミングで送信すると，それぞれの送信メッセージが到達する位置ではメッセージが衝突する問題（隠れ端末問題）が発生するためと考えられる．

2.4. 課題と対策

2.2，2.3節の結果より，無線方式検討TG提示の通信要件未達となったユースケースに対し，課題の抽出と対策立案を行った．

無線方式検討TGから提示された通信要件は，サービス要件の詳細が未確定な状態であり，より厳しい要件となっている．当該通信要件を詳細に確認していくなかで，SIP-UCそれぞれに対する適用シーンや情報収集手段など自動運転に関するサービス要件について更なる整理が必要であることがわかった．対策としては，各ユースケースを検討した関連団体と連携し，サービス要件の更なる具体化を図り，実用的・最適な通信要件を定めていくことが挙げられる．

意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3，a-1-4，a-2，a-3については，700MHz帯ITSの通信方法がブロードキャストであるため意思疎通への対応は困難である．対策として下記２つを提案する．

案１）新たな通信方式のみ

周囲状況の認知（位置や速度情報等）も含めて新たな通信方式で行う．この場合，帯域幅や伝搬性の検討が必要である．また既存の安全運転支援サービスとの関係（共存の場合，コストと搭載のインパクトが大きい．新方式への移行は車両の展開・普及，品質担保が課題）の検討が必要である．

案２）700MHz帯ITS＋新たな通信方式

周辺状況の認知（位置や速度情報等）を700MHz帯ITSで行い，その後の意思疎通のシーケンスは新たな通信方式で行う「ベーシックメッセージ＋高度化メッセージ」の考え方を導入する．

上記について今後検討を行う必要がある．

システム実用化に向けて，メッセージセットの規格化，スロット割当配置ルール，セキュリティの要件などを定義することが課題となる．対策は各関連団体と協議しガイドライン策定や規格化の推進が挙げられる．

g-1のユースケースは，急制動時（緊急時）の20ms周期送信が課題となる．対策として，ARIB STD-T109の規格変更，あるいはユースケース要件の深掘りによる要件変更が挙げられる．

2.5. 今後の展望

2.5.1. 長期的な活用が可能である700MHz帯ITSの実証実験・社会実装推進

本研究開発ではSIP-UCに関して，机上検討，シミュレーションを通じて700MHz帯ITSでの対応可否を検証した．意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3，a-1-4，a-2，a-3以外の多くのユースケースで扱う車両の位置，速度，方向などといった基本情報は，現在利用されている700MHz帯ITSサービスと同一である．また，700MHz帯波の遠くまで届き回り込む特性は，見通しが悪いといった日本の道路事情や車両におけるアンテナ設計等に対しても非常に有利であると言われている．よって，国際動向を踏まえつつ700MHz帯ITSは協調型自動運転向けにも最大限活用することが重要であると考える．そのためには，各SIP-UCに対して，道路状況など様々な状況を踏まえた，より詳細なサービス要件や，そこから求められる通信要件をしっかり定義すること，ユースケースのロードマップに従い，自動運転車両を走らせるために必須のサービスを優先し，これを着実に社会実装しつつ，通信に関してもより高度化を図ることが求められる．

2.5.2. 意思疎通が必要なSIP-UCの実現時期を想定し，新たな通信方式を検討

意思疎通が必要なSIP-UC a-1-3，a-1-4，a-2，a-3は，情報配信を想定したブロードキャストである700MHz帯ITSでは対応が困難であるため，意思疎通を行うための双方向通信ができる新たな通信方式での対応が必要である．しかしながら意思疎通を行うためには通信要件の深掘り，新たな通信方式の検討など多くの課題が残されているため更なる検討が必要である．今後も継続して検討を行うなかで，「ベーシックメッセージ＋高度化メッセージ」の考え方を取り入れた案も含めて新たな通信方式についての議論が重要であると考えられる．

3 自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップ策定

3.1. 概要

ロードマップの策定にあたり，関係府省庁及び団体により既に策定されている計画や各所の取組事例等をもとに，SIP-UCの各ユースケースの実現時期を設定し，実現時期を時系列に列挙したユースケース展開計画を整理した．続いて，１章及び２章で述べたユースケースの通信要件実現上の課題を考慮し，展開計画の実現に必要な事項を整理した．以上を踏まえ，展開計画の実現に必要な実施事項を時系列上にロードマップとして取りまとめた．

3.2. ユースケース展開計画の検討

ユースケース展開計画の検討にあたり，各ユースケースに適用される通信方式（路車間通信：V2I，車車間通信：V2V，広域通信：V2N）を検討TFでの協議を通じ，想定し検討を進めた．またユースケースは基本的に協調型自動運転として実現されるものであるが，一部のユースケースは先行して安全運転支援に供することも考えられるため，展開計画においては，協調型自動運転と安全運転支援に分けて整理した．以上を踏まえ，関係府省庁及び団体により既に策定されている計画や各所の取組事例等をもとに，各ユースケースの実現時期を設定し，実現時期を時系列に列挙したユースケース展開計画を整理した．図６～８に通信方式ごとのユースケース展開計画を示す．

3.3. ユースケース展開計画の実現に向けた実施事項

１章及び２章で述べたユースケースの通信要件実現上の課題を踏まえ，展開計画の実現に必要な事項を整理した．ユースケース展開計画の実現に際し，以下の２つに区分し実施事項を整理した．

A) 各種の論点について関係主体間で検討・議論し方向性を明確化（詳細は図９に示す）

通信メディアごとの各ユースケースの展開と想定される通信要件：V2I

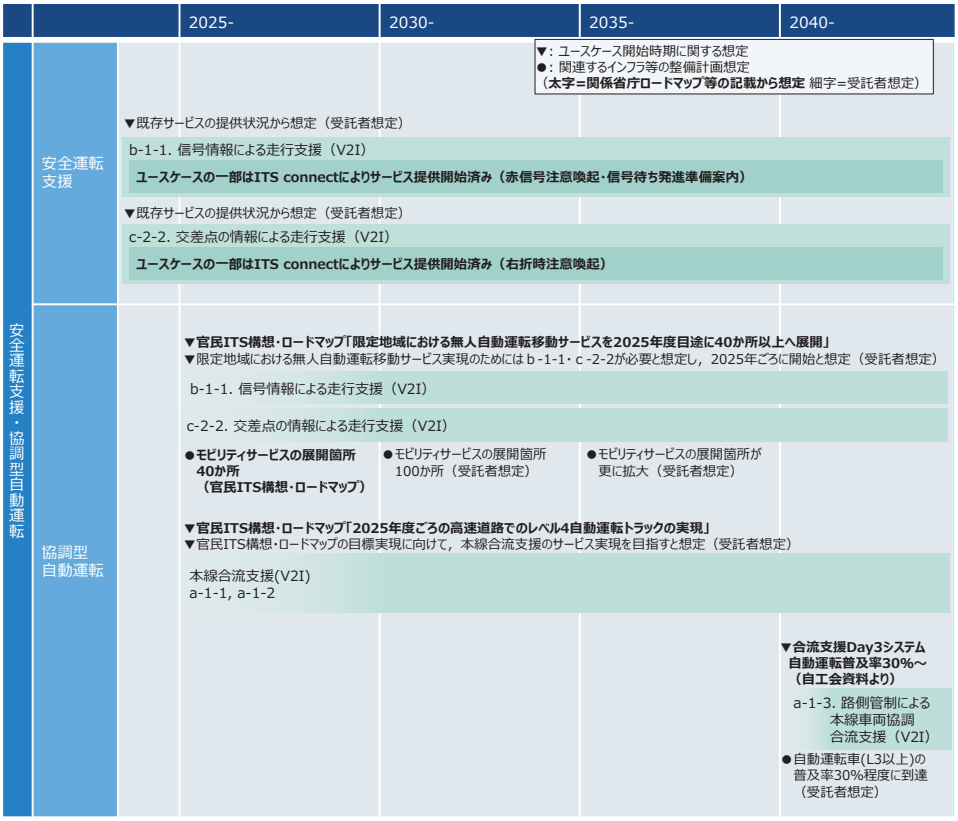


図6　ユースケース展開計画(V2I)

通信メディアごとの各ユースケースの展開と想定される通信要件：V2V

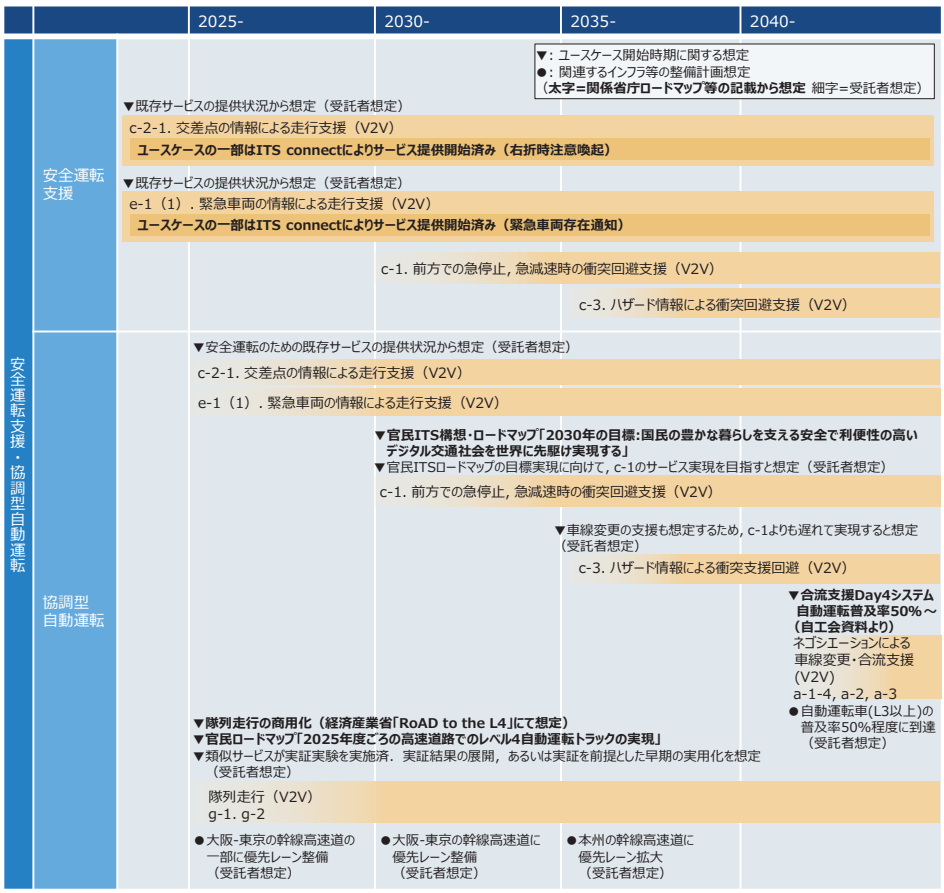


図7　ユースケース展開計画(V2V)

図8　ユースケース展開計画(V2N)

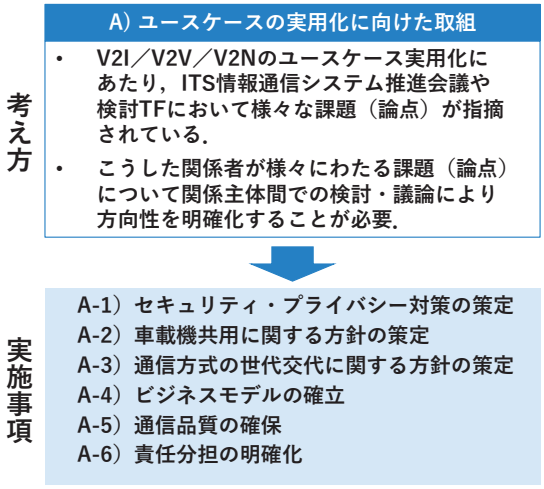


図9　ユースケースの実用化に向けた取組

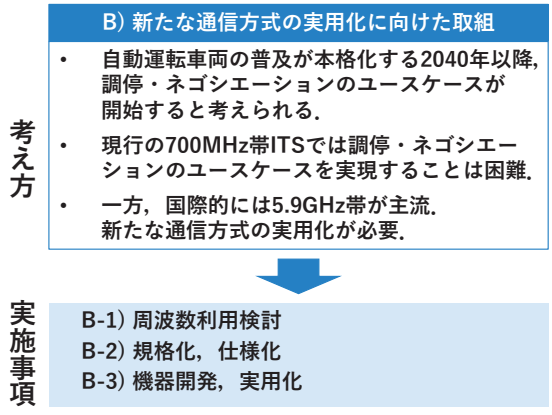


図10　新たな通信方式の実用化に向けた取組

B) 新たな通信方式（例えば5.9GHzの適用など）を実用化（詳細は図10に示す）

なおA) の取りまとめに際しては，ITS情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 セルラーシステムTGにおける検討結果[(5)]を参照した．

3.4. ロードマップの策定

これまでの検討結果を踏まえ，25のSIP-UCを全て実現するためには，V2I及びV2Vについて2040年ごろに新たな通信方式が必要であること，新たな通信方式をユースケース展開計画で想定する2040年に30%の協調型自動運転車に装着されるために，2030年ご

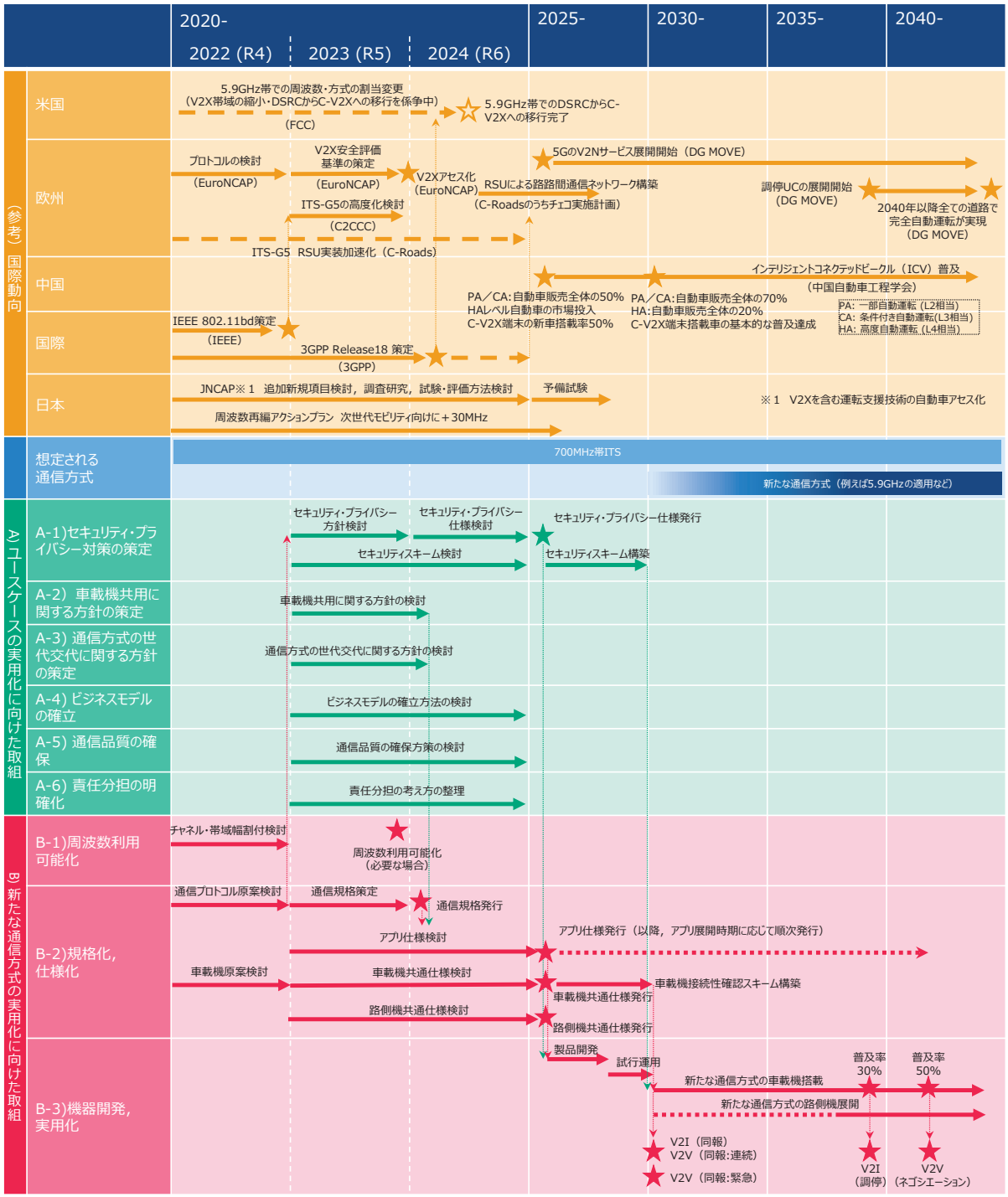


図11　ロードマップ案

ろ（自動運転が普及し始める時期）から新たな通信方式の整備が必要であること及び早期に開始するユースケースについては，既存のITS無線通信システムである700MHz帯ITSを活用すると考えられることを踏まえ，ユースケース展開計画実現のための実施事項を詳細化し，自動運転社会の実現に必要な協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案を策定した．ロードマップ案を図11に示す．

4　おわりに

無線通信システムの一つであるセルラーV2X方式による対応可否の検証及び課題解決の対応策立案及び妥当性の検証を通じ，SIP-UCの実現に向けた課題解決の方向性を見極めた．

既存の無線通信システムである700MHz帯ITSによる対応可否の検証及び課題解決の対応策立案を通じ，

700MHz帯ITSの長期活用がSIP-UCの実現への有効な手段であることを示した.

上記を踏まえ策定したロードマップ案は，検討TFの中で，学識経験者，関係省庁，業界団体（自動車業界，電機業界）等のメンバとの間で議論を重ね，通信に関する2021年10月～2022年３月現在の技術開発動向，実用化動向を踏まえて取りまとめたものである．協調型自動運転を実現していくために必要な新たな通信方式（例えば5.9GHzの適用など）の実用化時期を2030年ごろと想定し，その実用化に向けた周波数利用検討，規格化・仕様化，機器開発・実用化の取組が必要である．またユースケース自体の実用化に向けては，提供サービスに関するセキュリティやプライバシー対策，車載機の共用に関する方針，機器の世代交代に関する方針，ビジネスモデル，通信品質の確保，責任分担等といった関連する多様な課題についても関係主体で議論し，方向性を明確化していくことが必要である．

今後ロードマップ案やユースケースを起点とし，通信のみならず車両やインフラも含めた関係各所においてそれぞれ役割を分担して検討を行い，また業界横断で議論・連携を深めることで，協調型自動運転の実現に向けた取組が推進されることが期待される．

【参考文献】
(1) 協調自動運転通信方式検討TF：SIP協調型自動運転ユースケース 2019年度協調自動運転通信方式検討TF活動報告，https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf，（参照 2022.12.12）
(2) ITS情報通信システム推進会議：SIP協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料，ITS FORUM RC-017 1.0版，ITS情報通信システム推進会議，2022，https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf，（参照 2022.12.12）
(3) ITS Connect推進協議会：ITS Connect TD-001 1.1版，ITS Connectシステム 車車間通信メッセージ仕様，2018，https://www.itsconnect-pc.org/_img/about/td_001.pdf，（参照 2022.12.12）
(4) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告 平成21年７月28日付諮問2029号「ITS無線システムの技術的条件」のうち「700MHz帯高度道路交通システムの高度化に関する技術的条件」について，2017.
(5) ITS情報通信システム推進会議 セルラーシステムTG：セルラー通信技術を用いたITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書 補足資料 SIP協調型自動運転ユースケースに対する課題調査報告，ITS情報通信システム推進会議，2022，https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p69/Cellular_system_202205.pdf，（参照 2022.12.12）

【本件問合せ先】
日本電気株式会社 クロスインダストリー事業開発部門，〒108-8001 東京都港区芝５- ７- １，03-3454-1111（代表），担当：木村聡

京セラ株式会社 研究開発本部 システム研究開発統括部 高度交通システム研究開発部，〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい３- ７- １，045-605-7189，担当：小川真人

②V2X技術等を含む新たな通信技術開発

Development of New Technologies, V2X and Others, for Communication

浅野欽也，中林昭一（沖電気工業株式会社），木村聡，大塚昌弘（日本電気株式会社）
Kinya Asano, Shoichi Nakabayashi (Oki Electric Industry Co., Ltd.), Satoshi Kimura, Masahiro Ohtsuka (NEC Corporation)

（概要）本検討では，SIP第2期の研究開発で得られた，協調型自動運転ユースケースに対する無線通信技術への具体的な要求仕様を策定したロードマップに基づき，協調型自動運転の実現に向け，5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため，その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した．

キーワード：協調型自動運転，V2X，セルラーV2X（C-V2X），DSRC（専用狭域通信），通信プロトコル

1 検討スコープ

1.1. 全体像

SIP第２期として実施された研究開発「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討」では，協調型自動運転ユースケース[(1)]（以下，ユースケース）に対する無線通信技術への要求仕様等，通信に関する技術的な実現性の検証結果，並びに今後進化すると予想される通信技術を想定したうえで各々のユースケースとそれぞれの無線通信技術への具体的な要求仕様を策定したロードマップ（以下，ロードマップ）が得られた．

本検討では，上記の検証結果やロードマップの検討結果に基づき，5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステム（以下，5.9GHz帯V2Xシステム）の導入に係る課題解決及び検討を加速化するため，その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した．（V2X：Vehicle to X，V2I：Vehicle to Infrastructure，V2V：Vehicle to Vehicle）

1.2. 実施項目と成果目標

以上の中長期的な視野を踏まえ，図１に示す調査検討項目を実施した．以下に各項目の成果目標を示す．

a) 国際動向調査

米国，欧州及び中国等の国及び地域における5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコル，メッセージセット及び関係する通信仕様に関し，制度化・規格化動向を調査・分析した．

b) 通信プロトコルの案出に向けた検討

ITS情報通信システム推進会議にて検討されている通信要件及びメッセージセット[(2)]，ロードマップの検討結果等を踏まえ，通信プロトコルの技術的検討に必要な5.9GHz帯V2Xシステムの通信要件を検討した．

c) 通信プロトコル案の設計

通信シミュレーションによる評価結果を踏まえ，5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコルの設計を行い，通信手順，プロトコルスタック等の通信プロトコル案及びメッセージセット案としてまとめた．

d) 無線機仕様の案出

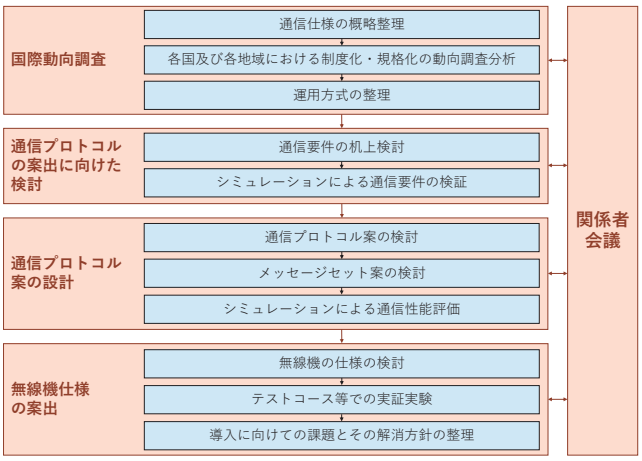


図1　調査検討項目

実運用に向けて必要となる機能や，既存無線システムとの連携等を考慮し，5.9GHz帯V2Xシステムの車載器及び路側機の仕様を案出し，導入に向けての課題とその解消方針と併せて整理した．

また，本検討では，図２に示す関係者会議にて，検討結果，課題に関する確認，議論を随時実施し，それら結果を適切に反映することに努めた．

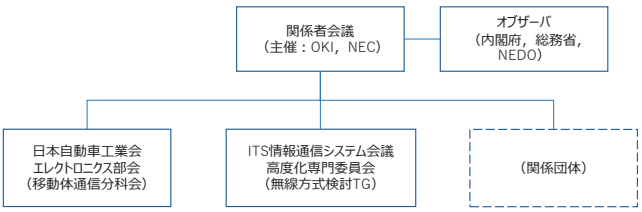


図2　関係者会議体制

2 国際動向調査

協調型自動運転ユースケース[(1)]について，無線通信技術に関する具体的な実施事項をロードマップとして策定した．そのロードマップの検討結果を踏まえ，米国，欧州及び中国を含む世界の国及び地域における交通環境等に応じた5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコル（通信手順やスタック等），メッセージセット及び関係する通信仕様に関し，制度化・規格化動向を最新かつ網羅的に調査・分析した．調査・分析した結果は，３～５章で述べる検討に資するものである．調査対象とする各地域の標準化団体の仕様等は図３のとおりである．

3 通信プロトコルの案出に向けた検討

国際動向調査結果，ITS情報通信システム推進会議高度化専門委員会 無線方式検討TG（以下，無線方式検討TG）が策定した通信シナリオ／通信要件の検討資料[(2)]，ロードマップの検討結果等を踏まえ，700MHz帯安全運転支援システムとの連携を考慮し，通信プロトコルの技術的検討に必要となる，以下に示す5.9GHz帯V2Xシステムの通信要件を検討した．検討結果は，４，５章で述べる検討に資するものである．

(1) 通信チャネルの割当

ユースケースが利用する通信メディア（V2I，V2V），通信内容（同報，調停・ネゴシエーション）等に基づき，ユースケースをグループ化し，特定条件下でのケーススタディに基づく通信量の試算を踏まえ，各グループに対する通信チャネルの割当案を検討した．ユースケースのグループ化の考え方を図４に示す．

(2) 上位層における通信輻輳制御方式

SAE，ETSI等における仕様例，通信チャネルの割当案の検討結果等を踏まえ，上位層における通信輻輳制御方式案を検討した．

上位層における通信輻輳制御方式例を図５に示す．

(3) 交通流シミュレーションを通じた効果検証

(1)，(2) の検討結果を踏まえ，ユースケースにおける5.9GHz帯V2Xシステムの効果を，700MHz帯高度道路交通システムが運用されている場合とされていない場合を含め，交通流シミュレーションにより検証した．

		SAE（米国）		ETSI（欧州）		CCSA（中国）
全体		[DSRC] SAE J2945	[C-V2X] SAE J3161	[DSRC] ETSI TS302 665	[C-V2X] ETSI TS103 723	[C-V2X] YD/T 3400
プロファイル	アプリケーション・ファシリティ	[BSM ほか] SAE J2735		[CAM／DENM] ETSI EN302 637		[BSM ほか] YD/T 3709
	トランスポート・ネットワーク	[WSMP] IEEE 1609.3		[GeoNetwork] ETSI EN302 636-5 [DSRC] ETSI EN302 636-4-1	[C-V2X] ETSI TS102 636-4-3	[DSMP] YD/T 3707
	アクセス	[DSRC] IEEE 1609.4 IEEE 802.11p	[C-V2X] 3GPP TS23.285	[DSRC] EN302 663 IEEE 802.11p	[C-V2X] EN303 613	[C-V2X] YD/T 3340
運用方式	輻輳制御	[DSRC] SAE J2945/1	[C-V2X] SAE J3161/1	[DSRC] TS102 687	[C-V2X] TS103 574	[C-V2X] (3GPP C-V2Xを参照)
	セキュリティ	[Security] IEEE 1609.2 IEEE 1609.2.1 SAE SS V2X 001		[Security] TS102 940, 941, 942, 943 TS103 097		[Security] GB/T 40856

図３　調査対象とする各地域の標準化団体の仕様等
SAE:Society of Automotive Engineers
ETSI:European Telecommunications Standards Institute
CCSA:China Communications Standards Association

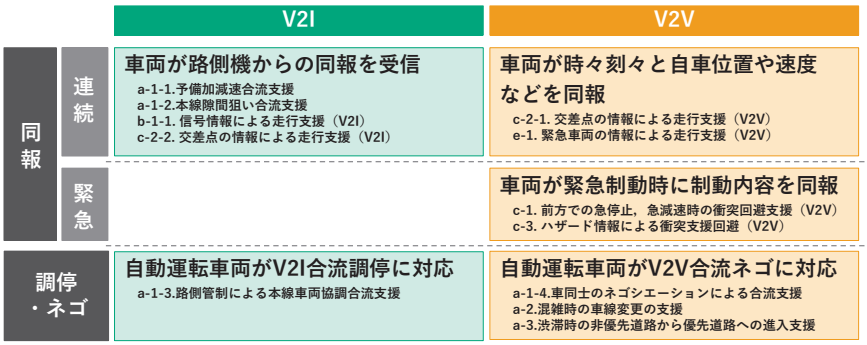


図4　ユースケースのグループ化の考え方

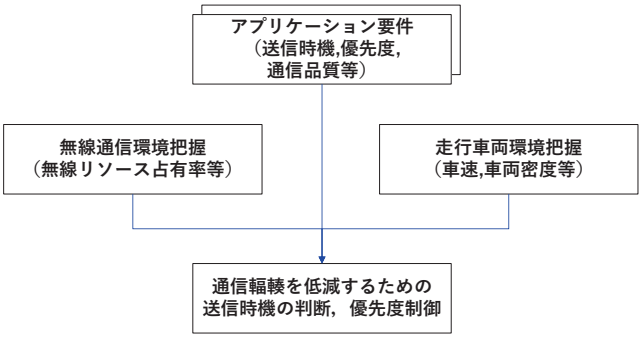


図5　上位層における通信輻輳制御方式例

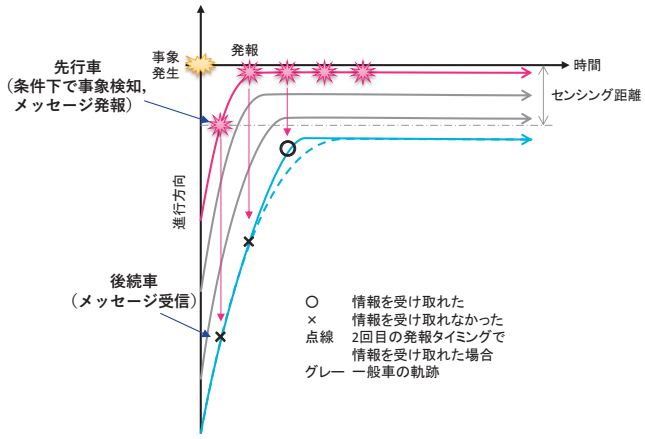


図6　交通流シミュレーションにおける車両の挙動のイメージ

交通流シミュレーションは，特定条件下でのケーススタディに基づきユースケースを再現し，通信仕様（通信タイミング等）の違いによる車両の挙動（減速度等）の違いを評価するものである．交通流シミュレーションにおける車両の挙動のイメージを図6に示す．

4　通信プロトコル案の設計

2，3章の調査検討結果，交通環境・周波数割当等のわが国の制度化状況等を踏まえ，以下に示す5.9GHz帯V2Xシステムの通信プロトコル案を検討した．

(1) 通信プロトコル案の検討

2，3章の調査検討結果や後述のシミュレーションによる通信性能評価の結果等を踏まえ，想定ユースケースごとの通信内容や手順，レイヤ構成，必要機能等について検討し，通信プロトコル案としてまとめた．表1に参考規格の通信プロトコル整理例を示す．

(2) メッセージセット案の検討

国内外での規格化・検討状況[(2)]，3章の通信要件，通信チャネル割当等を踏まえ，構成，サイズ等のメッセージセット仕様を検討した．その際，メッセージの流用／共通化の可能性の観点を加味した．

(3) シミュレーションによる通信性能評価

上記(1)，(2)にて検討した通信プロトコル案及びメッセージセット案を適用した場合のV2Xシステム導入による影響を，コンピュータシミュレーションによるシステムレベルの通信性能評価により確認した．

3章の通信チャネル割当等の検討における想定や前提条件を踏まえ，ユースケースの組合せや，道路モデル（道路規模，交差点の有無等），交通流モデル（走行速度，車間距離等）等の評価シナリオを設定，電波伝搬モデルや輻輳・干渉モデルを検討して，評価系を構築した．図7に電波伝搬モデル例を示す．

5　無線機仕様の案出

5.9GHz帯V2Xシステムの無線機（車載器及び路側機）の仕様を検討し，無線機仕様案としてまとめた．各通信レイヤの仕様・機能については，2～4章の調査検討の結果を踏まえ，既存無線システムとの連携を見据えて検討した．表2に無線機仕様の検討項目例を示す．

また，ユースケースが複数混在する時等を想定した

表1　参考規格の通信プロトコル整理例

レイヤ	通信制御フロー				プロトコルスタック			
	米国		欧州		米国		欧州	
	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X	DSRC	C-V2X
アプリケーション	イベント検出時，メッセージ生成を要求				EEBL, FCW 等（DSRC：SAE J2945/1 等，C-V2X：SAE J3161/1 等）		Co-operative Awareness, Road Hazard Warning 等（ETSI TS 102-637-1 等）	
上位層（レイヤ5〜7）に相当	・必要な情報を収集し，メッセージを生成 ・輻輳制御（帯域制御（*1））				通信サービス：BSM Exchange 等（DSRC：SAE J2945/1 等，C-V2X：SAE J3161/1 等），メッセージ：BSM 等（SAE J2735 等）		通信サービス：CA Basic Service, DEN Basic Service 等（ETSI TS 102-894-1 等），メッセージ：CAM, DENM 等（ETSI TS 102-894-2 等）	
トランスポート層（レイヤ4）	上位層のサービスを特定する情報を追加				WSMP Transport Protocols（IEEE 1609.3）		Basic Transport Protocol（ETSI EN 302 636-5）	
ネットワーク層（レイヤ3）	実質的な機能なし		ネットワーク上の宛先を特定する情報を追加		WSMP Networking Protocols（IEEE 1609.3）		GeoNetworking（ETSI EN 302 636-4）	
データリンク層（レイヤ2）	上位層のプロトコルを特定する情報を追加				LLC（IEEE 1609.3）	PDCP（ETSI TS 136 323）	LLC（ISO/IEC 8802-2）	PDCP（ETSI TS 136 323）
	パケットを分割				−	RLC（ETSI TS 136 322）	−	RLC（ETSI TS 136 322）
	複数チャネルの場合，切替を行う				Channel Coordination（IEEE 1609.4）	−	−	−
	・送信元リンクを特定する情報を追加 ・送信タイミング制御 ・輻輳制御（優先度制御（*2））				MAC（IEEE 802.11）	MAC（ETSI TS 136 321）	MAC（IEEE 802.11）	MAC（ETSI TS 136 321）
物理層（レイヤ1）	符号化，変調を行い送信				PHY（IEEE 802.11）	PHY（ETSI TS 136 201）	PHY（IEEE 802.11）	PHY（ETSI TS 136 201）
セキュリティ層	送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報（署名）を追加				電子署名（IEEE 1609.2）			

(*1) 米国DSRCの場合，出力制御あり　　(*2) 欧州DSRCの場合，帯域制御及び出力制御あり

分類	概要	検討モデル
距離特性	通信距離による減衰	ITU-R P.1411（都市部環境を想定）
シャドウイング	周辺環境の変化による変動	対数正規分布，標準偏差は，5.9GHz：　3.68dB
瞬時フェージング	シンボル単位の変動	3GPP Extended Vehicular A model（EVA）
遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合の減衰	・3GPP TR 38.901 Blockage model B（ナイフエッジ回折によるモデル） ・減衰量は，隣接する大型車1台の遮蔽に基づく固定値（40km/h，車間1秒で5.9GHz：10dB）

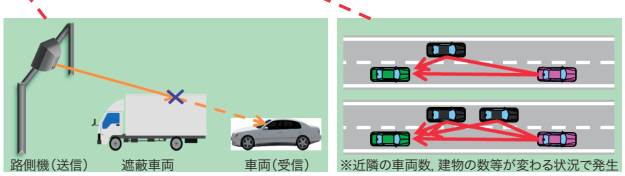


図7　通信性能評価系における電波伝搬モデル例

実証実験をテストコース等で行い，複数チャネル使用時等の通信性能評価結果を4章のシミュレーション評価結果と比較分析した．

6　まとめ

協調型自動運転の実現に向け，5.9GHz帯の電波を用いた場合のV2Xシステムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため，その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した．

通信プロトコルの案出に向けた検討に際しては，国際動向（関連する制度，規格）等を踏まえ，5.9GHz帯V2Xシステムの通信要件（通信内容，通信チャネル，通信輻輳制御等）を検討した．また，通信プロトコル案の設計及び無線機仕様の案出に際しては，電波伝搬特性や通信チャネル間干渉の影響等を考慮した通信シミュレーション評価結果に基づき，通信手順，プロトコルスタック等の通信プロトコル案，及び複数ユースケース混在時の共通化や拡張性等のメッセージセット案について検討し，無線機仕様案に反映した．

案出された通信プロトコルを含めた無線機の仕様をもって，協調型自動運転の実現に向け，各研究機関，各企業で整合を図り，検討に取り組んでいくことが期待される．

表2　無線機仕様の検討項目例

V2X通信の機能／特性／インタフェースの詳細項目		
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
		送信タイミングの精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
		副次的に発する電波等の限度
		受信最大入力電力
		CCA 要件
	空中線	空中線の構造
		空中線の利得
		空中線の偏波
		空中線の設置

V2X通信の機能／特性／インタフェースの詳細項目				
通信制御部の機能，特性，インタフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—
		レイヤ1 サービスインタフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送／受信手順	—
	⋮	⋮	⋮	⋮
	レイヤ7の機能	概要	—	—
		レイヤ7 サービスインタフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
			セキュリティプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送／受信手順	—
	レイヤマネジメント エンティティ機能	レイヤマネジメント サービスインタフェース	レイヤ1	機能
				管理情報ベース（MIB）
			⋮	⋮
			レイヤ7	機能
				管理情報ベース（MIB）
	セキュリティレイヤの機能			
	その他機能	送信要件	ユースケース a-1-1	通信シーケンス
				利用サービス インタフェース
				送信パラメータ
			⋮	⋮
			ユースケース g-2	通信シーケンス
				利用サービス インタフェース
				送信パラメータ
			輻輳制御	—
	空中線部ー送受信部間	物理インタフェース	—	—
	送受信部ー通信制御部間	物理インタフェース	—	—
	アプリケーション-レイヤ7間	物理インタフェース	—	—
		論理インタフェース	—	—

【参考文献】

(1) SIP協調型自動運転ユースケース，2019年度協調自動運転通信方式検討TF活動報告，2020.
(2) SIP協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料，ITS FORUM RC-017 1.0版，ITS情報通信システム推進会議，2022.

【本件問合せ先】

沖電気工業株式会社 DX事業推進センター，〒335-8510 埼玉県蕨市中央1-16-8，048-431-7211（代表），担当：浅野欽也

日本電気株式会社 クロスインダストリー事業開発部門，〒108-8001 東京都港区芝5-7-1，03-3454-1111（代表），担当：木村聡

③中域情報の収集・配信に係る研究開発

Research and Development Concerning the Collection and Transmission of Mid-Scale Network Information

斉藤知彦，滝将太（エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社）
Tomohiko Saito, Shota Taki (NTT Communications Corporation)

(概要) 将来の自動運転社会の実現に向けて解決すべき課題の一つに，交差点等の複雑な環境下では，自動運転車両側だけではセンシングできない死角が増え，交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止／徐行することになり，交通流に影響を与えるおそれがあるというものがある．2019年度及び2020年度における研究開発では，交差点周辺のセンサ等からの車，歩行者などの物標情報の収集及び自動運転車両への配信制御などの要素技術の机上検討及びフィールド実証を実施した．2021年度においては，緊急走行車情報や信号予定情報といったより広範な情報への対応，多様なユースケースにおける中域配信への対応を行うとともに，実用化に向けた中域サーバの負荷検証や配信効率等の検証，中域配信システムの有効性評価を実施した．またそれらの成果を踏まえ，V2N中域情報配信を検討する事業者向けの中域サーバ実装ガイドラインを策定した．

キーワード：V2N，V2X，中域配信システム，緊急走行車両情報，信号予定情報，PULL／PUSH配信

1 本研究開発の概要

将来の自動運転社会の実現に向けては，様々な課題を解決する必要がある．その一つに，交差点等の複雑な環境下では，自動運転車両側だけではセンシングできない死角が増え，交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止／徐行することになり，交通流に影響を与えるおそれがあるという課題がある．

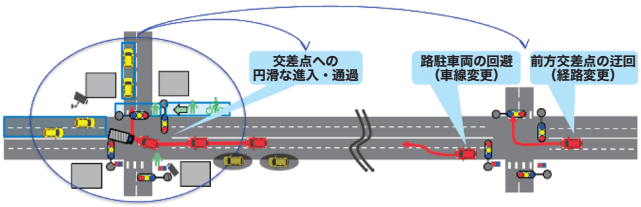


図1　本研究配発で目指す姿･目的

本研究開発では，図1に示すように，その課題解決を目的に，交差点への円滑な進入支援や，路駐車両の回避，さらには前方交差点を回避する経路変更支援などのユースケースを設定し，見通し外の物標情報を複数の情報源から収集・統合して，情報を収集した交差点近傍等の狭域エリアやそこから数交差点離れた地点や市区町村単位等，より広範囲な中域エリアへ配信し，自動運転車両の交差点における円滑な通過支援や交差点手前での車線変更支援に資する技術の研究・開発を2019年度から実施してきた．2019年度は，路側インフラ等から得られる複数の物標情報を効率的に収集・統合・配信を行うための要素技術の机上検討を，2020年度は実証を実施し，それらの成果を踏まえ，「自動運転車両の支援を行うシステム」を構築する際の共通インタフェース仕様，配信手法，統合手法，エッジサーバの設置基準等を規定した．

実用化に向けては，物標情報だけではなく，自動運転に資するより広範な情報に対応する必要があるとともに，多様なユースケースにおける課題抽出が必要となることが課題とされた．[1]

2 2021年度の研究開発内容及びその成果

2021年度の研究開発では，実用化に向けての課題を解決するために，中域における自動運転車両等への情報配信に関する技術の拡張・応用に係る検討を行うとともに，東京臨海部における大規模な実証と連携したユーザ参加型の実証試験を通じて，中域配信システム全体の適応性を確認することで，実用化に向けたよ

り深掘りした検証を実施した.

2.1. 配信に係る技術の拡張･応用に関する検討

中域の配信では，ユースケースに基づき，情報ごとにその即時性の要否や有効な配信範囲を精査し，配信方法を検討する必要がある．本研究開発では，上記に加え，配信方式（PULL／PUSH）の特性を考慮して，実証実験において各配信情報に適用する配信方式，通信プロトコル，配信エリア，配信頻度について検討した．

(1) 想定ユースケースに対する配信手法の検討

まず，今回配信対象とする各情報について，想定するユースケースとそれに求められるリアルタイム性を表１のように整理し，表２の配信方式の特性と照らし合わせて，適切な配信方式を検討した．

表1　配信情報の想定ユースケース等

情報	想定UC	リアルタイム性
降雨情報	手動運転へのハンドオーバ／アンダーパスを回避(ルート変更)	低
車線別道路交通情報	中域･広域での渋滞･規制を回避(ルート／パス変更)／渋滞末尾を確認し事前減速	低
緊急走行車情報	緊急車両の接近を感知し徐行･停車	高
信号予定情報	ジレンマ回避／信号機が死角になる場合の補助／最適なルート･速度の調整	中･高

表2　各方式での配信に適した情報の特徴

配信方式	適した情報 利用シーン	適した 情報種別	配信情報の リアルタイム性
PULL方式 :ユーザのリクエストに応じ情報を配信	広範囲かつ多量な情報から必要な情報を受け手が選択して活用する場合	静的情報 準静的情報 準動的情報	低
PUSH方式 :配信側から対象となる車両に情報を配信	イベントの発生時や早い周期で情報を配信したい場合	動的情報	高

車線別道路情報や降雨情報に関しては，更新頻度が低いため，配信先の車両が必要な時に必要なタイミングで取得するPULL方式が適切である一方，緊急走行車情報や信号予定情報は，情報に対し即座に対応する必要があるため，サーバ側から車両に必要な情報を配信するPUSH方式が適切であるという整理を行った．

特にPUSH方式においては，個々の車両に高頻度で配信することでデータ量の増加が見込まれるため，本研究開発では緊急走行車情報と信号予定情報を中心に検討を行った．なお，信号予定情報については，距離指定方式と交差点指定方式の２つの配信方式を実装した．

(2) 中域配信で用いる通信プロトコル

中域配信で用いる通信プロトコルは，MQTTを採用した．MQTTプロトコルはPublish／Subscribe型のモデルを採用し，シンプルで軽量，高速かつライブラリが豊富であることが特徴であり，多数のデバイスの間で，短いメッセージを頻繁に送受信することを想定して作られたプロトコルである．また，Topicによって配信の振り分けが容易であること，IoTでの利用実績が豊富である点など，他のプロトコルと比較して優位点が多くあり，本実証に最適であると考えられるため採用した．また，QoSの設定により，クライアントとブローカ間の到達保証を設定することも可能である．MQTTを用いた中域サーバのシステム構成図を図２，ソフトウェア構成図を図３に示す．

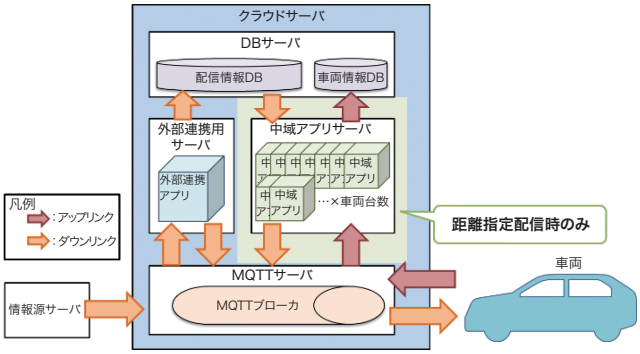


図2　中域サーバ システム構成図

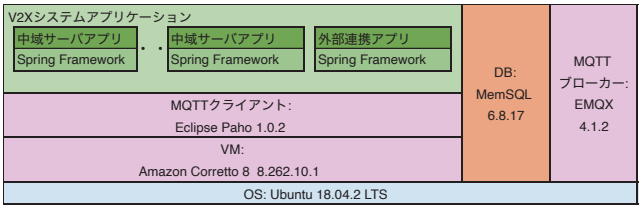


図3　中域サーバ ソフトウェア構成図

(3) 中域サーバアプリの構成検討

PUSH配信では，各車両の位置情報に基づき近傍の情報に絞り込んで配信を行うため，中域サーバアプリを実装した．車両ごとに検索する内容が異なるため，車両１台につき１アプリが起動する構成とした．この構成を採用することにより，また，情報の更新から配信にかかる遅延を削減するため，１秒ごと（パラメータ変更可）にサーバ側から情報を配信し，MQTTのTopicは車両ごとにユニークな値とした．実装にはJavaのSpring Frameworkを採用した．

(a) 緊急走行車情報

緊急車両に関しては，後方や見通し外からの緊急車両の接近にリアルタイムで対応する必要がある一方，遠方にあるものは車両の走行に影響しない．そのため，図４のように，車両の周囲一定範囲内の緊急走行車情報をPUSH配信することを検討した．

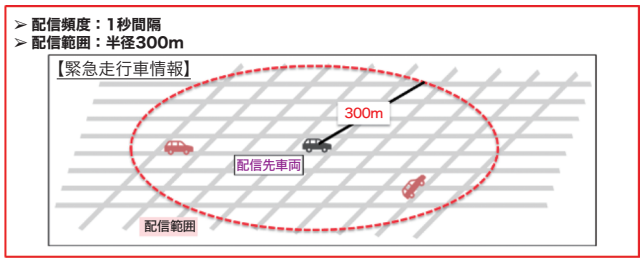


図4　緊急走行車情報の配信頻度及び配信範囲

(b) 信号予定情報（距離指定方式）

信号予定情報の配信は，逆光や遮蔽などにより信号灯色を目視で確認できない場合や，事前に情報を受信することにより，交差点でのジレンマ回避や効率の良いルートプランニングやグリーンウェーブ走行を支援すること等を想定して検討された．距離指定方式では通信トラフィック削減のため，図５のように配信車両の進行方向の矩形内に絞り込んで信号予定情報の配信を行う．

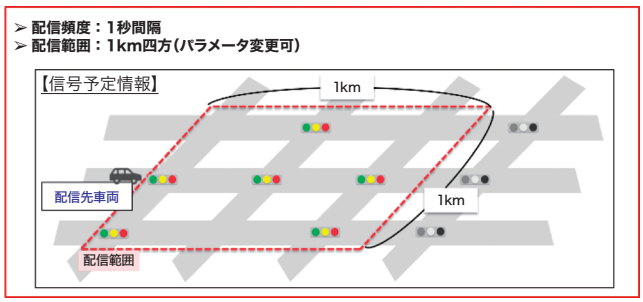


図5　信号予定情報の配信手法(距離指定方式)

(c) 信号予定情報（交差点指定方式）

交差点指定方式は，交差点ごとに信号予定情報の更新タイミングでPUSH配信し，図６のように車両側で自らの進行ルート上及び分岐ルート上の交差点を指定して信号予定情報を受信し続ける方式である．

車両が新たに交差点を指定した場合，過去に配信された信号予定情報の最新のものを配信する．また，不要になった交差点は受信を停止する．

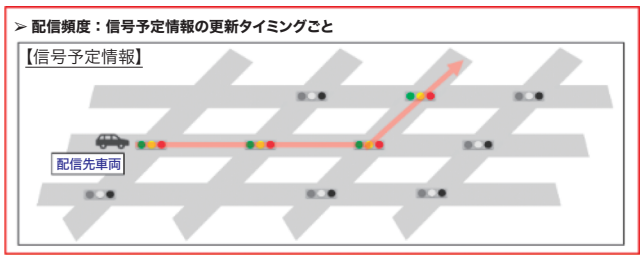


図6　信号予定情報の配信手法(交差点指定方式)

この方式は以下のように実現した．情報源サーバから中域サーバに配信された信号予定情報は，各交差点を識別する交差点IDをTopicとしてPublishする．車両がSubscribeを開始したときにMQTTのRetain機能で即時最新情報を配信し，車両がSubscribeしている間は，情報が更新されたタイミングで配信される．

この方式では，車両側で情報が必要な交差点を指定する必要があるが，サーバ側の車両ごとの処理がないため，サーバ負荷が軽減される．また，配信タイミングがSubscribe開始時と信号予定情報の更新タイミングごとになるため，配信頻度を削減し，通信量の低減も可能である．

2.2. 実用化時システム構成の実現性検討

中域配信システムの実用化に向けて，中域サーバの負荷検証及び通信トラフィック検証を行い，中域配信システムの有効性評価を行った．

(1) PUSH配信に際してのサーバ負荷検証

模擬緊急走行車情報や信号予定情報を車両へ配信する際の中域サーバの負荷検証を，配信車両台数に基づいて，表３の構成を用いて実施した．

表3　検証用サーバのスペック一覧

サーバ名称	vCPUコア数	メモリ(GB)
DBサーバ	4	16
外部連携サーバ	2	8
中域アプリサーバ	8	56
MQTTサーバ	4	16

2.1節 (3) で述べたとおり，緊急走行車情報と信号予定情報の距離指定方式においては，車両１台ごとにサーバアプリを１台起動する実装とした．しかし，リソースの消費が激しく，本環境においては70台より多いサーバアプリの起動時，CPUの不足によりそれ以上の起動が不可能となった．これは，１台ごとに１アプリが起動していることのほか，アプリごとにSpring Frameworkが動いていること，アプリそれぞれが１秒ごとに配信処理を行っていることなどの原因が考えられる．

それに対し，信号予定情報の交差点指定方式は，前述の要因が排除されているため，距離指定方式に比べ

表4　中域サーバ配信時のCPU／メモリ使用率

負荷検証 処理遅延検証 (平均)		中域サーバ CPU最大 使用率	中域サーバ メモリ最大 使用率	MQTT サーバ CPU最大 使用率	MQTT サーバ メモリ最大 使用率
		70台へ同時に配信			
【配信方式】	模擬緊急車両位置情報 距離指定	46.58%	58.14%	2.75%	2.42%
	信号予定情報 距離指定	50.19%	58.02%	8.77%	2.47%
	信号予定情報 交差点指定			3.23%	2.38%

サーバ負荷が軽減された．MQTTサーバにおいても，サーバ負荷の増加は見られなかった．車両70台へ配信した際のCPU／メモリ使用率を表４に示す．

(2) PUSH配信に際しての通信トラフィック検証

中域サーバから車両へPUSH配信する際の配信方式の違いによる通信トラフィックの差を机上検証した．このとき，検証対象として，距離指定方式と交差点指定方式の両方を備えている信号予定情報を採用した．

表５に示すとおり，配信交差点数が同じ場合，距離指定方式は情報の更新が遅延しないよう高頻度で配信するのに対し，交差点指定方式の配信頻度は信号予定情報の更新時のみになるため，配信データ量を100分の１以下に減らせることがわかった．したがって，通信トラフィックの観点では，交差点指定方式が有利である．

表5　信号予定情報 通信トラフィック量机上検証結果

	配信手法	配信交差点数（箇所）	配信頻度	配信先車両台数（台）	1時間あたり通信回数（回）	1時間あたり配信データ量
中域サーバ→車両	信号予定情報（距離指定）	12（1km^2）	1秒	258（※）	928,800	約2.79GB
	信号予定情報（交差点指定）	12	120秒（信号サイクル長）		7,740	約9.68MB

※東京都の1km^{2}あたりの平均車両台数 2022年度算出

(3) 配信システムの実現性検討

中域配信システムの実用化に向けて，より大規模で配信するために必要となる中域サーバ費用を算出し，その実現性を考察した．

2.2節 (1) の算出結果をもとに，仮にマイクロソフト社のAzureのサーバを用いたときの，車両に配信する場合のコスト試算をした．表６に示すとおり，交差点指定方式の配信車両１台あたりのコストは，距離指定方式に比べ100分の１以下に抑えられることがわかった．

表6　対応可能な台数と１台あたりのサーバ費用試算

情報	Azure D96ads v5 1構成(1台)で対応可能な台数	車両1台あたりのサーバ費用
緊急走行車情報 信号予定情報(距離指定)	車両約840台分	188円/月
信号予定情報 (交差点指定)	車両約88,800台分	1.78円/月

2.3. 実用化に向け具備すべき機能等の考察

将来的に全国展開することを見据え，大規模エリアへの情報配信の実用化に向けた検討を行う場合に，考慮すべき機能や課題となる点についてまとめた．

(1) 要件の見直し

配信車両一台あたりのコストを更に下げるためには，より効率的な配信に向けた諸要件（配信手法／機能配置等）を見直す必要がある．今回のサーバ負荷検証により，各情報とも配信先車両ごとの配信制御はサーバの負荷が大きいことが判明した．そのため，例えば，信号予定情報であれば交差点を基準とする交差点指定方式，緊急走行車情報であれば，図７のように配信先車両ではなく，緊急車両を基準に周囲一定範囲内を走行する車両へ配信するなど，ユースケースも含めた配信方法の見直しを行う必要がある．

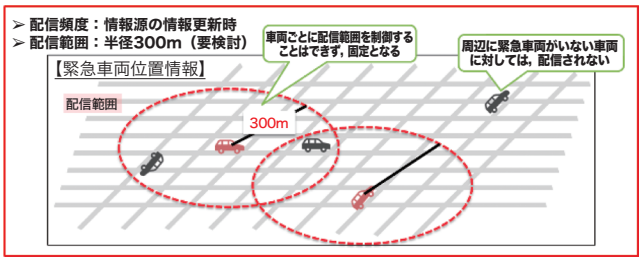


図７　緊急走行車情報を基準に周囲一定範囲内を走行する車両への配信方式案

(2) 実装を見据えたシステムの構築

大規模配信を見据えた中域配信システムの構築のためには，全体システムアーキテクチャの検討が必要である．例えば，図８のように複数配信サーバから空きサーバを指定する機能の追加，アプリケーションの最適化によりリソースの効率化を図る，冗長性やセキュリティなどの非機能要件を実装するなど，可用性，スケーラビリティを見据えた更なる検討が必要である．

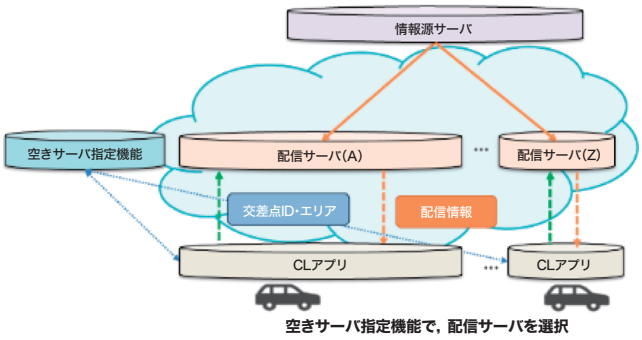


図８　空きサーバを活用可能とするための複数の配信サーバ指定案

(3) 中域サーバ実装ガイドラインの策定

本研究開発の成果を踏まえ，中域サーバを構築・検討する際にあらかじめ検討が必要な事項を取りまとめるとともに，V2Nの仕組みを活用して車両に中域の

情報配信を検討する事業者向けの中域サーバの情報配信に係る実装ガイドラインを策定した．事業者としては，例えばOEM，コンテンツプロバイダ等が考えられる．

3 終わりに

2021年度の研究開発では，中域配信システムの全国での利用・展開を見据え，配信に係る技術の拡張・応用に関する検討と大規模な実証実験を通じた評価を実施した．

今後は，本研究開発成果の実用化に向けた動きを加速化するとともに，本研究開発を通じて得られた知見を，ガイドライン等を通して様々な分野で展開・活用を行っていきたいと考えている．

【参考文献】

(1) 油川雄司：SIP第２期「自動運転（システムとサービスの拡張）」中間成果報告書 (2018-2020)，p.43-49，2021.09，https://www.sip-adus.go.jp/file/rd03/chapter2_s.pdf（参照 2022.11）

【本件問合せ先】

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社 ビジネスソリューション本部 第二ビジネスソリューション部 第八グループ，〒100-8019 東京都千代田区大手町２-３-１，050-3463-5532，担当：滝将太