

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

交通環境情報の活用と ロードマップ(概要)

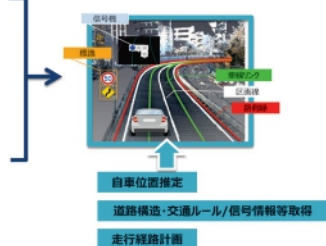
南方真人 (トヨタ自動車株式会社)

(概要) 自動運転システムを搭載した車両が、多種多様な交通参加者と混在しながら様々な交通環境の下で安全かつ円滑な運行を実現するためには、路側での交通環境情報の収集や生成、そしてそれらを適時車両側に配信して活用できるインフラ協調の仕組みを構築することが必要である。さらに車両側から収集する民間プローブ情報等から新たな交通環境情報を生成配信し、車両側で再利用するといった、Society5.0におけるCyber physical systemを具現化したデータ循環の仕組みの構築も将来に向けて重要である。SIP自動運転では、協調領域におけるこの交通環境情報、民間プローブ情報の利活用の仕組み構築に関わる研究開発から実用化にむけた取組を推進している。

1 自動運転における交通環境情報の 利活用

ヒューマンドライバーは、認知、判断、操作という基本行為を繰り返しながら複雑な交通環境下で車両の運転行為を行っている。自動運転システムにおいても同様で、特に自車の周辺交通環境を認知するために、多種多様な車載センサーを装備して情報を収集する必要がある。しかしながら、車載センサーだけでは収集できる情報には限りがあり、自車の道路上の正確な位置推定、車載センサー検知エリア外の道路構造、従うべき交通ルール(信号灯火色等、時々刻々と変化するものを含む)、車両を制御して進むべき走行経路の計画作成、等に関して外部から提供される交通環境情報の利活用が必須である。(図1)

SIP自動運転では、高度な自動運転システムの実現に必要な様々な交通環境情報のニーズを調査、分類を行った。



1) 道路、道路上構造物、恒久的な規制の情報および、道路、道路上構造物から仮想的に生成される論理的情報である静的情報。

2) 対象事象位置や範囲、出現時間(時間帯)、あるいは保有する属性情報は時間と共に変化するが、事象の状態が事前に計画もしくは予測される情報である準静的情報。

3) 対象事象位置や範囲、出現時間(時間帯)が一定ではなく、発生・消滅・移動・拡大・縮小し、あるいは定位置・一定時間帯であっても保有する属性が時間と共に変化する事象の実際の状態および、事象発生に伴う対象物の実際の情報である準動的情報。

4) 対象物の位置が定位置ではなく移動、あるいは定位置であっても保有する属性の更新サイクルが短く、かつ位置の変化や属性の更新は対象物独自に変化するものに関する情報である動的情報。

以上、様々な情報を場所、時間により静的情報である高精度3D地図情報と相互に紐付けて活用するダイ

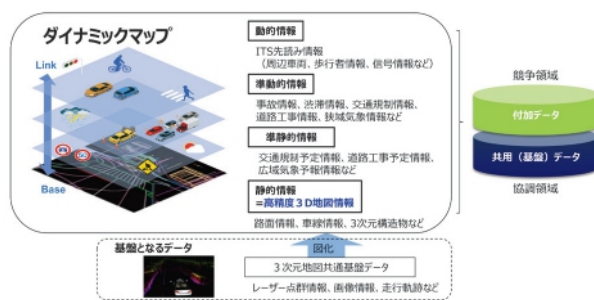


図1 自動運転における交通環境情報利活用

図2 ダイナミックマップの概念

(1) 交通環境情報の生成に係る技術開発

交通環境情報の活用とロードマップ(概要)

ナミックマップという概念に基づき、それぞれ協調領域の情報生成と配信に係る研究開発、有効性検証や利活用の仕組み構築を推進している。(図2)

2 交通環境情報ロードマップ

SIP自動運転では、インフラ協調による高度な自動運転の実用化を目指して、ロードマップを策定して交通環境情報利活用のしくみ構築に取り組んでいる。(図3)

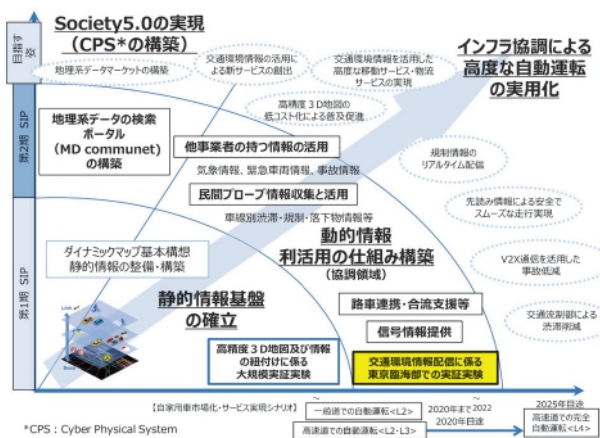


図3 交通環境情報ロードマップ

SIP第1期では、静的情報基盤の確立に取り組み、高精度3D地図情報の仕様検討、試作および国際標準化も視野に国内外に広く参加者を募集しての大規模実証実験において、東名、新東名、常磐道、首都高の総延長約600km分の高精度3D地図情報を準備し、その仕様および静的情報に紐付けして動的情報を利活用するというコンセプトの有効性に関わる実証実験を経て事業化を実現した。

SIP第2期では、自動運転車の運行設計領域(Operational Design Domain)の拡大に向けて必要とされる各種の準静的、準動的、動的な交通環境情報の生成から配信といった利活用の仕組み構築の研究開発を推進している。社会実装に向けた重要なマイルストーンとして、東京臨海部の実交通環境下に各種交通環境情報を配信するインフラを整備し、SIP第1期と同様に広く国内外の参加者を募り、2021年度末迄を目途に実証実験を実施中である。また、SIP第2期においては、インフラ協調による高度な自動運転の実用化だけでなく、Society5.0の実現にも地理系データの利活

用促進で貢献すべく、ロードマップにも明示した上で、社会実装に向けた取り組みを推進している。

3 各種交通環境情報構築への取組

3.1. インフラ協調型自動運転のための信号情報提供技術

高度な自動運転車のODDを一般道に拡張する際に必須とされる技術要件の一つに、高精度な信号灯火色の認識技術がある。車載カメラによる画像認識に加えて認識手段の冗長性確保および、様々な環境下での灯火色認識信頼性担保の為、国際的にも無線通信による信号情報提供の研究開発が進められている。

我が国においては、既にITS用途に割り当てられた専用周波数帯(760MHz帯)を用いた狭域無線通信による一般ドライバーへの信号情報提供サービス(信号灯火色現示情報、信号残秒数情報)が実用化されており、SIP自動運転ではこの資産を生かしつつ、自動運転車両の制御への信号情報利活用に向けた研究開発に取り組んでいる。

研究開発のポイントは、①自動運転制御への利活用を前提としたシステム信頼性の確立 ②情報精度の確認 ③様々な信号制御方式に対応した可用性の確保、の3点である。取り組みにあたりUTMS協会主催による技術委員会を立ち上げ、警察庁、自動車工業会、インフラメーカーとも連携して研究開発を推進。①については、フェールセーフ仕様として信号制御機、ITS無線路側機内に信号灯器の点灯状態監視機能および、現示灯火色情報と配信信号情報の整合判定機能追加し、試作機にて適切に作動することの確認を実施。②、③については、通信に追加が必要なメッセージ、情報への要求精度や可用性の要件の検討および、テストコースでの実験を行う一方、2019年度-2020年度には東京臨海部実証実験において、実交通環境下での情報提供の有効性と効果が実証できた為、UTMS協会が発行する規格仕様書に反映を行う予定である。また、一部特殊な感応制御信号に対して機能面、運用面から自動運転車に対する信号情報提供の対策案/要望事項をとりまとめ、引き続き技術委員会において実用化に向けた仕様検討を進めている。

SIP自動運転では、従来のITS無線通信周波数帯を

使った狭域無線通信による信号情報配信 (V2I 方式) に加え、よりエリア単位での信号情報配信インフラ整備に適しているとされる、公衆ネットワークを通じた信号情報配信 (V2N 方式) の研究開発にも着手しており、2020年度には埼玉県でモデルシステムによる実証実験を実施。2021年度後半には東京臨海部での実証実験も予定している。

3.2. 車両プローブ情報による車線別道路交通環境情報に係る技術開発

車載通信機 (DCM) を搭載したつながるクルマ (コネクティッドカー) の増加に伴う走行車両から収集されるプローブ情報のビッグデータとしての潜在価値に着目し、SIP 自動運転では関係府省庁、業界団体、情報サービスプロバイダが参画した検討会を発足。自動運転車両制御での活用を視野に、車両プローブ情報を用いた車線別の交通環境情報生成の研究開発と社会実装に向けた仕組みづくりに取り組んでいる。

国内において、車道レベルの交通流情報に関しては既に JARTIC/VICS センターによる情報配信サービスが車載ナビゲーションシステムを通じて普及している。SIP 自動運転では、民間の実走行車両からプローブ情報を収集し、統計的な処理により高精度な車線別の交通流情報および交通規制情報、障害物の有無情報を自動運転車両の走路計画立案への利活用の為に、リアルタイムで生成、配信する手法に関する机上検討と、コンセプト確認の為の実道での実証実験を2020年度までに完了。2021年度後半には、さらなる情報精度向上に向けて、収集するプローブ情報の規模と種類を拡大し、東京臨海部で実証実験を行うのと並行して実用化にむけたしくみの社会実装に取り組む予定である。

3.3. 車両プローブ情報を活用した高精度3次元地図更新

SIP 第1期の成果を活用して、ダイナミックマップの基盤となる静的情報である高精度3D 地図情報を提供する事業が、日本全国約30,000km の高速道路、自動車専用道路を網羅して2019年3月に開始され、この高精度3D 地図情報を採用した高度な運転支援システムを搭載する車両の販売も既に開始されている。しかしながら、この高精度な情報の精度、鮮度をいかにして効率的に管理、維持し続けるかということが新たな課題として提起されている。

SIP 第2期では、実際に道路を走行している車両からプローブ情報を収集、分析することで、この高精度3次元地図情報に反映されている道路構造物の変化をいち早く低コストで検出することを目指して研究を進めてきた。現時点で走行車両から収集できるプローブ情報として、GNSS に基づく位置情報による車両の走行軌跡、ウィンカー、ブレーキ操作等の走行履歴データおよび、普及が進む車載ドライブレコーダーによる走行画像データを用いて、道路構造変化前後の情報収集と、変化点抽出技術の研究開発の取り組みを進めた結果、現在市場に流通しているドライブレコーダーの走行画像データでも、従来作業者の目視により抽出を行っていたものに比べて、より精度高く短期間で変化点の抽出を行えることが確認された。本研究開発成果を基に画像収集時の運用要件も整理され、事業化に向けた調整の後、2022年度以降の実用化が予定されている。

【参考文献】

- (1) SIP-adus Workshop 2020 成果報告会講演資料,
https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_04J_Minakata.pdf
https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_05J_Kobayashi.pdf
https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_07J_Ichikawa.pdf

【執筆者詳細】

南方真人・トヨタ自動車株式会社・先進技術開発カンパニー先進技術統括部安全技術企画G・技範

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

小林雅文（住友電気工業株式会社）、畑崎由季子（日本信号株式会社）、
高柳雄一（パナソニック システムソリューションズジャパン株式会社）、
馬淵透（オムロンソーシャルソリューションズ株式会社）、川邊俊一（一般社団法人 UTMS 協会）

（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、①信号情報と実際の灯色の誤差を±300m秒以下とすること ②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 ③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項目を抽出した。まずはV2I方式を対象とし、信号情報の精度を検証するとともに路側機のフェールセーフ仕様を取りまとめ、試作機による機能検証を実施した。可用性向上においては、信号制御の運用見直し案を整理するとともに、テストコース等において特殊な信号制御における信号情報の検証実験を実施し、信号情報提供が困難である緊急車両優先 (FAST) 制御、歩行者押しボタン制御を対象に信号情報提供機能の拡張を実施した。これらの検証結果より、V2Iを用いた信号情報提供インフラ技術仕様を決定した。また、V2I以外の信号情報の提供手法として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年度以降にV2N方式の検証実験が計画されており、実験結果等を踏まえ、適切な提供方式の棲み分けを整理する計画である。

1 研究の目的

自動運転を実用化し、普及拡大していくことにより、交通事故の低減、交通渋滞の削減、交通制約者のモビリティの確保、物流・移動サービスのドライバー不足の改善・コスト低減等の社会的課題の解決に貢献し、すべての人が質の高い生活を送ることができる社会の実現が期待される。自動運転の実現に向けては、高精細3次元道路地図等の静的情報に加えて、自動運転車両周辺の動的な交通環境を高い精度で確実に認識することが不可欠である。歩行者や対向車など自動運転車両周辺の移動体を検出する車両自律センシング技術では、カメラ、ミリ波レーダ、LiDAR等、多様な技術の開発が進められており、それらを多重に併用することによって、自動運転に求められる高い信頼性が得られると期待されている。一方、自動運転車両が一般道路を走行するためには、交差点に設置されている信号灯器を認識し、信号灯器状態に従って安全に走行することが求められる。現状の車両自律センシング技術において、信号灯器を認識できるのはカメラのみであり、カーブやクレストの出口などの見通し範囲外、先行する大型車等による遮蔽、信号灯器と太陽光が重なった場合等、カメラ単独では信号灯器が認識できない場合

や認識精度が低下する事象の発生が懸念される。よって、自動運転車両が信号灯色を正しく認識し、安全に一般道を走行するためには、道路に設置された路側インフラ (V2I) やモバイル回線 (V2N) より、無線通信を介して信号情報を提供することで、情報の多重化を実現することが不可欠であると考えられる。本調査研究では、自動運転のための信号情報提供技術について、その課題や対策を明らかにすることで、自動運転に資する高度化の実現を目的としている。

2 自動運転における インフラ信号情報の要件

本章では、自動運転において、インフラから提供される信号情報の要件を述べる。道路に設置された路側インフラ (V2I) やモバイル回線 (V2N) により無線通信を介して信号情報を提供する第一の目的は、研究の目的にて示した通り、自律カメラと通信情報の二重化を実現することによって、確実な信号灯色の認識を実現することである。図1に通信情報活用による信号灯色情報の多重化の概念を示す。

なお、信号灯色情報の多重化によって、信号灯色が青信号から黄色信号に切り替わったことを自動運転車両が確実に認識できたとしても、所定の減速度以下で

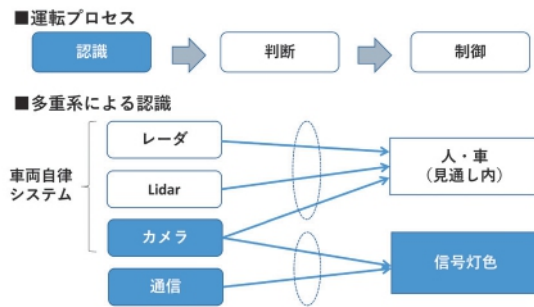


図1 通信情報活用による信号情報の多重化
(出典:一般社団法人日本自動車工業会)

は停止線手前に停止することができず、かつ、黄色の表示時間中に交差点に進入することもできない、いわゆるジレンマゾーンの状態に陥る場合がある。よって、インフラでしか取得することができない青信号残秒数等の先読み情報をインフラから提供することで、信号の切り替わり時に発生するジレンマゾーンへの進入を未然に回避し、急減速や急加速の発生を抑え、余裕を持った減速・停止を実現する、より高度な自動運転の実現が期待される。図2に信号先読み情報を活用した速度制御の概念を示す。

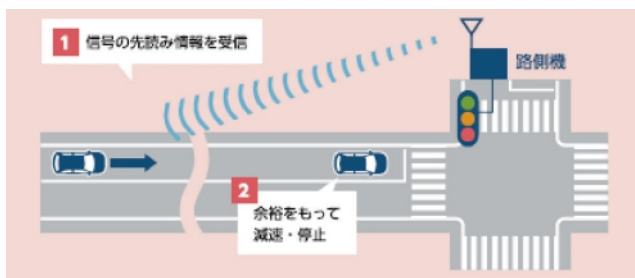


図2 信号の先読み情報提供で急ブレーキを回避
(出典:一般社団法人日本自動車工業会)

これら現在灯色情報と信号残秒数情報を提供データ項目とする信号情報の具体的なデータ仕様については、既に一般車両に向けたサービスが提供されている ITS Connect との互換性を保ちつつ、V2I 通信における信号情報メッセージセットの SPaT (Signal Phase & Timing) を規定した国際標準規格である ISO/TS19091-Annex-F Profile-B (1) に準拠した仕様とした。また、自動運転に資する信号情報の高度化要件としては、本調査研究に参加された日本自動車工業会からの要望事項を踏まえ、信号情報の信頼性及び可用性向上の観点から、以下の3項目を抽出した。

- ①信号情報と実際の灯色の誤差を±300m秒以下とすること
- ②信号情報の異常発生を検出し、速やかに異常発生を車両に通知すること
- ③様々な信号制御において信号情報提供を実現すること

3 V2Iを用いた信号情報提供技術の高度化

3.1. ITS無線の概要

本章では、V2Iを用いた自動運転のための信号情報提供技術の高度化に係わる調査研究の概要を示す。V2Iインフラとしては、ITS Connectで活用されているITS無線路側機より自動運転車両に向けた信号情報を提供することを前提とした。ITS無線路側機は、ITS Connectにおけるインフラ協調安全運転支援システムであるDSSS(3) (Driving Safety Support Systems) として、既に8都府県、93交差点(2019年度末現在)にシステムが導入され、市販車両に向けサービスを提供中である。ITS無線路側機は、760MHz帯(755.5-764.5MHz)周波数を利用した狭域無線通信システムであり、その通信規格は、ARIB STD-T109(2)に準拠している。図3にITS無線路側機システムの概要を示すとともに、表1に主なITS無線の仕様概要を示す。



図3 V2Iシステムの概要

表1 ITS無線の仕様概要

主な項目	規格概要
通信方式	同報通信方式
周波数	760MHz帯(755.5-764.5MHz)
変調方式	BPSK/OFDM, QPSK/OFDM, 16QAM/OFD
アクセス方式	TDMA(路車) CSMA/CA(車車)
空中線電力	10mW以下/MHz
送信周期	100m秒
送信時間制御	任意の100m秒間における送信時間の総和は10.5m秒以下

3.2. 自動運転のための高度化の概要

本調査研究では、ITS無線路側機を自動運転のための信号情報提供に適用するにあたり、前述した3つの要件に沿って以下の課題を抽出した。それぞれについての研究成果を以下に述べる。

- ①信号情報における誤差
- ②路側機故障時におけるフェールセーフ機能の拡充
- ③信号情報提供対象外となっている事象の対策

3.2.1. 信号情報における誤差の検証

ITS無線路側機においては、正確な絶対時刻を持たない車両をサービス対象に含む安全運転支援システムDSSSとの併用・共存を図るため、信号情報が車両に提供される時刻を起点とした残秒数(信号情報が無線出力された時点から残りの青信号が何秒あるか等)を提供している。これより、ITS無線路側機を用いた信号情報提供システムにおける信号情報誤差は、信号灯色変化などの事象発生から無線通信で信号情報が出力されるまでの遅延時間に起因する。また、この遅延時間は、路側機の処理負荷の変動等によって「ゆらぎ」が発生する。これらの提供遅延時間と提供遅延時間のゆらぎを計測することを目的として、工場内及びテストコースにおいて、実験システムを用いた検証実験を実施した。図4に住友電工の横浜製作所テストベッドにて実施したテストコース実験の概観を示す。



図4 テストコース実験の概観

実験システムの計測結果より、信号動作のサイクル開始時点(信号階梯1の開始時)からITS無線路側機から無線送出が完了するまでの遅延時間は約500～600m秒であった。

なお、信号制御には、交通管制センターからサイクル開始前に指令されたスケジュール(各信号階梯の実行秒数)に従って、信号階梯を順次で進めていく「通常制御」と、車両感知器で計測される車両の存在有無等の感知情報に応じて、信号制御機自身が、即時に信号階梯を進める「感応制御」がある。「通常制御」の場合、信号秒数が事前に確定しているため、定常的かつ固定的に発生する遅延時間(500m秒)を差し引くことで信号残秒数を補正することができる。すなわち、この補正処理を実施することによって、0～100m秒誤差の精度で、正確に信号階梯の変化を把握し、信号情報の要件と定義した±300m秒の精度を担保した信号情報を提供することができる。しかし、「感応制御」のように事前に事象発生の予測が不可能な信号階梯で

は、信号情報出力における遅延発生が避けられず、前述した遅延時間に相当する500m秒程度以上の誤差が発生する。この誤差の影響としては、信号残秒数が急に大きく減少したり、信号情報における灯色状態(青信号)と実際の灯色状態(黄信号)の不一致が遅延相当時間にわたって発生したりするため、信号情報の信頼性の低下が懸念される。これらの対策としては、感応制御の対象階梯と黄色信号階梯の間に遅延時間を吸収できる青信号時間を固定的に実行するといった運用上の対応が考えられる。一方、信号階梯数の上限や交通状態などの制約により、上記の固定青時間階梯の導入ができない場合がある。このような場合においては、提供遅れによる誤差の発生は不可避であり、自動運転車両の運転制御における対応が必要となる。この自動運転制御を支援することを目的として、自動運転車両に対して予見できる誤差発生を事前通知することとした。併せて、自動運転車両の運転制御に特別な対応が必要となる信号動作状態を整理し、路車間メッセージ仕様の改訂案を策定した。追加したデータ仕様案を表2に示す。

表2 追加した路車間メッセージデータ仕様

項番	通知対象とする特定信号動作状態	事象を通知する条件
1	規定以上の遅延(誤差)の発生が予見される動作(例:感応制御対象階梯と黄色信号階梯が連続している場合)	対象感応階梯の開始から終了まで
2	前回タイミングで提供された最小残秒数と最大残秒数の変動範囲を逸脱して、信号残秒数が大きく変動する動作(例:緊急車優先制御)	対象交差点通知 ・感応許可中 事象発生通知 ・対象の感応動作実施中
3	前回タイミングで提供された灯色出力変化の順序と異なる信号灯色となる動作(例:現示切替制御)	灯色順序変化の切替開始時点から所定の秒数

3.2.2. フェールセーフ機能の拡充について

自動運転車両に信号情報を提供するにあたり、路側機に故障等の異常が発生した場合、即時に異常発生を検出して、自動運転車両に通知するフェールセーフ機能を備えることで、自動運転用インフラに資する信頼性を確保する必要があると考えられる。これより、ITS無線を活用した既存の信号情報提供システムであるDSSSの路側機仕様を分析対象として、現状のフェールセーフ機能の課題を抽出するとともに、その機能拡充に向けた検討を行った。

DSSS用の路側機における信号情報提供のフェールセーフ機能としては、信号灯器の点灯・滅灯を制御している信号制御機の灯器出力 I / F (AC100V) を ITS無線路側機に引き込み、その電圧状態を監視する

ことよって、灯器の点灯・滅灯に係わる物理状態を把握し、その物理状態と受信した信号情報が一致しない時間が設定した許容範囲を逸脱した場合に、信号情報を異常と判定する機能を備えている。このフェールセーフ機能の課題としては、筐体サイズ等のハード上の制約や設置工事の煩雑さの問題から、監視できる灯器数を最大4点までに限定していることが挙げられる。自動運転車両に向けた信頼性を担保するためには、監視対象灯器を、少なくとも車両に通行権を付与する全ての灯器(青灯器、青矢灯器及び夜間等に実施される黄点滅信号)に拡張することが必要と考えられる。よって、筐体サイズや設置工事の制約条件を解決するとともに、信号制御機が持つ全ての灯器(最大36点)を対象に監視機能の拡充を実現することを目的として、交通信号制御機の灯器出力 I/F が出力する信号をシリアル通信に変換し、信号情報出力 I/F とは独立した通信回線を用いて ITS 無線路側機に出力することとした。図5に新たに機能追加するフェールセーフ仕様の概要を示す。ITS 無線路側機では、それぞれ独立した通信回線より取得した現在灯色情報と信号情報が一致しない時間が設定した許容範囲を逸脱した場合に、信号情報異常と判定する。

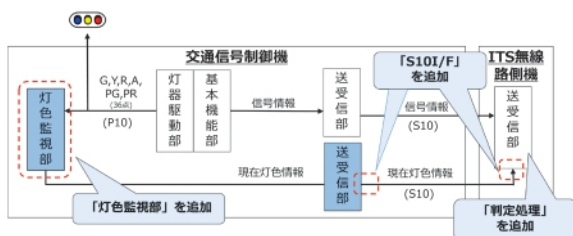


図5 フェールセーフ仕様の概要

フェールセーフ仕様案を反映した信号制御機及びITS無線路側機の試作機を開発し、その試作機を用いた実験システムにおいて、信号情報と灯色信号情報が整合しない状況(フェール事象)を模擬的に再現し、情報入出力 I/F の各所にロジックアナライザ等を接続することにより、各情報の送受信タイミングを検出し、灯色変化から無線出力において信号情報が無効化されるまでの遅延・ゆらぎ時間を測定した。ここで、主な検証結果を示す。

(1) ケース1

車両信号灯器が赤信号から青信号に変化するタイミングで、ダミーの灯色信号情報として「赤」を継続送出することで、不整合状態を模擬的に作り出し、不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間を計測した。

実験結果を表3に示す。この実験結果より、当該フェール事象発生後、平均約350m秒、最大で約411m秒にて信号情報異常を通知できることが確認された。

表3 ケース1における異常通知遅延時間

計測回数(60回)	遅延時間(m秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ判定時間	354.4	304.6	411.1

(2) ケース2

夜間時間帯等において、主道路は黄点滅、従道路は赤点滅の「閃光動作」が実施される場合がある。通常青→黄→赤の一般的な順序で灯色変化を行っている場合(通常3色状態)から閃光動作へ遷移する場合におけるフェールセーフ機能検証を実施した。通常3色状態から閃光動作に遷移する場合、全ての灯器が滅灯(全滅灯:実験システムでは0.5秒間)した後、赤点灯→黄点灯の順序で、赤と黄の灯器が交互に0.5秒間点灯する。閃光動作に遷移した黄点灯の整合を判定するためには、全滅灯時間+赤点灯時間に加えて、複数回の黄点滅を確認する必要がある。このため、閃光状態のフェールセーフ判定時間は、通常3色状態と比べて長くなることが想定される。今回の検証実験においては、この判定時間を低減するため、閃光状態の直前に存在する「全滅灯時間」の検出及び信号制御機が別途で出力する信号動作状態情報を併用した整合性判定を行うこととした。

信号情報は閃光動作に遷移を示すが、灯色情報が閃光と異なるフェール事象として、全滅灯時間開始を基準として、閃光時間となっても黄、赤が点灯しないようなダミーの灯色信号情報を与えることで不整合状態を模擬した。実験結果を表4に示す。実験結果より、フェール発生から信号情報が無効となるまでの時間は1秒以下であった。

なお、今回の実験で使用した全滅灯時間などのパラメータは、今回の実験機器固有の仕様によるものであり、これらの標準仕様化を進めていく必要がある。

表4 ケース2における異常通知遅延時間

計測回数(32回)	遅延時間(m秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ判定時間	836.6	742.7	939.2

3.2.3. 信号情報提供機能の拡張

信号制御機の動作状態や信号制御の内容によっては、

信号情報を生成し、提供することが困難な場合がある。一方、自動運転に資する信号情報提供の実現に向けては、信号情報の可用性を明らかにし、可用性向上に向けた方策を検討する必要がある。よって、ITS無線を活用した既存の信号情報提供システムであるDSSSの仕様を分析対象として、信号情報の提供が困難な事象を抽出した。表5に主な整理結果を示す。信号動作が不連続に変化し先読みができない、階梯保持の動作状態(1項)については、現状仕様である「現在灯色のみを提供」を踏襲した。また、手動の動作状態(2項)及び路側インフラがフェール状態にあり、信号情報の信頼性を担保できない動作状態(3項)については、現状仕様である「信号情報提供停止」を踏襲することとした。さらに、費用対効果の観点から、運用箇所数が多く信号情報提供機能を追加することが可用性の改善に大きく貢献できる事象として、歩行者押しボタン等によって青信号を呼び出すリコール機能(5項)及び緊急車両を優先するFAST感応機能(6項)を抽出し、これらを対象に信号情報提供機能を拡張する仕様検討を実施した。

なお、各種の感応制御(4項)及び現示切替制御(7項)については、機能仕様の追加では無く、信号制御の運用における対策案を検討し、要望事項や注意事項のとりまとめを行うこととした。その詳細を以下に述べる。

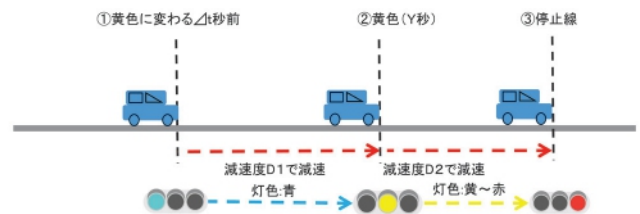
表5 信号情報の提供が困難な事象

項番	信号機の動作	現状(DSSS仕様)	対策方針
1	階梯保持	現在灯色のみを提供	現状のままとする
2	手動動作	信号情報提供停止	
3	フェール動作 ・保安動作 ・異常閃光	信号情報提供停止	
4	各種の感応機能	感応制御によって青時間が増減する範囲(最小残秒数, 最大残秒数)を提供	運用ルールを整理
5	リコール機能 (押ボタン等の要求信号により信号現示を呼び出す機能)	信号情報提供の対象外	運用箇所が多い主要な方式について、信号情報提供機能を追加
6	FAST感応機能 (緊急車両の優先制御)	FAST感応実行中は現在灯色のみを提供	FAST感応実行中の信号残秒数提供機能を追加
7	現示切替機能・夜間点滅制御 ・特定時間帯における時差制御 (信号表示順序を切り替える機能)	次サイクルも同ステータスが継続する前提で信号情報を提供	運用ルールを整理

感応制御が実行される場合、感応制御が実行される対象階梯や制御内容によって、提供される信号情報の内容が異なり、条件によっては、自動運転制御に大きく影響があると考えられる。具体的には、感応制御実行時の信号情報は、青時間が変動する延長幅/短縮幅

に応じて、青時間の最小残秒数と最大残秒数が提供される。ここで、感応制御対象階梯と黄色信号階梯が連続している場合など、黄色信号の開始タイミングが事前に確定できない感応制御が実行されている場合、即時で青信号が打ち切られることを想定し、最小残秒数として「0秒」が提供される。このような信号情報が提供される場合、自動運転車両が急減速による赤信号停止を回避するためには、青信号表示中から交差点停止を前提とした事前の予備減速を実行することが必要となる。一方、黄色信号の開始タイミングを一定秒数前(Δt 秒前)事前に提供できる場合は、信号情報を先読み情報として活用し、予備減速の必要有無を判断したり、予備減速を最小限に抑えたりすることが期待される。

なお、青信号中の予備減速は、後続車両への影響等を最小限とするため、通常の減速と比して、緩やかな減速度とすることが望ましい。現状速度を維持しても青信号通過ができない場合と判断される場合のみに限定して、エンジンプレーキ相当の緩やかな予備減速を実施するといった運転モデル(図6参照)を想定した場合において、必要となる Δt 秒の試算結果を表6に示す。



- ①現在の速度だと通過できない場合、灯色が黄色に変化する Δt 秒前に減速度D1で減速開始
- ②信号灯色が黄色に変化後、減速度D2で減速開始
- ③停止線手前で停止

図6 予備減速運転モデルの例
(出典:一般社団法人日本自動車工業会)

表6 Δt 秒の試算結果

車両	黄色時間	規制速度		
		40km/h	50km/h	60km/h
一般車両	3秒	2.75秒	5.98秒	8.93秒
	4秒	-	1.20秒	4.91秒
大型車両	3秒	5.67秒	8.84秒	11.90秒
	4秒	2.04秒	5.69秒	8.98秒

※試算条件
 車載機処理時間: 0.3秒
 信号情報のゆらぎ: 0.3秒
 一般車両(D1=0.03G, D2=0.2G)
 大型車両(D1=0.03G, D2=0.15G)

感応制御を実施する場合、黄色信号の開始タイミングを事前に確定する運用ルールを規定することで、予

備減速の軽減が期待される。一方、表6に示すような大きな Δt 秒を保証することによって、感応制御の制御効果が損なわれ、交通流円滑性に影響が生じることが懸念される。両者はトレードオフの関係にあるため、仮定した運転モデルの妥当性の検証並びに交通状態など現地の実情に合わせた運用方針の決定が必要と考えられる。

次に、信号灯色の表示順序が変化したり、信号表示内容が切り替わったりする現示切替制御(例：青→黄→赤と順番に灯色に変化する通常3色状態から、夜間などの時間帯によって、黄点滅/赤点滅に切り替わる制御)においては、その切替前後における信号情報の提供遅延の影響が懸念される。その対策案としては、現示切替の前後で通行権が与えられている対象交通流が変化しない運用ルールを徹底することや、現示切替が実施される交差点や時間帯を予め公開するなどの運用が期待される

3.2.4. V2Iに係わる調査研究のまとめ

本調査研究における研究成果としては、自動運転のための信号情報の3つの要件を定義したこと、それぞれの技術課題の導出・検討、試作機の製作、動作検証等を行い、各要件について、以下に示す①～③の結果が得られたこと、これらを踏まえた本研究の成果物として、自動運転車両用ITS無線路側機及び交通信号制御機の仕様書案・規格書案を策定することができたことである。

① 信号灯色情報の誤差

通常制御については $\pm 100\text{m}$ 秒以内で対応可能であり、要件を達成した。他方、打ち切り感応制御については、 500m 秒の遅れが生じ、要件を達成しなかったものの、対応策として、路車間メッセージ仕様を改訂し、遅れ(誤差)が生じることを車両に事前通知する仕組みを考案した。

② フェールセーフ機能

試作機による動作検証の結果、フェールセーフ機能について正常に動作することを確認した。車両への異常通知遅延について、信号灯器が3色状態のときは 500m 秒、閃光状態のときは1秒の遅れであった。

③ 特殊な信号制御への対応

運用数が多く影響の大きな「リコール1制御」、 「FAST制御」について、試作機による信号情報の提供(最小秒数と最大秒数を送信)の動作検証を行うとともに、信号情報が急変することを車両に事前通知することを可能とした。

4 V2Nを用いた信号情報提供技術の高度化

4.1. V2Nを用いた信号情報提供技術開発の位置付け

V2Iによる信号情報提供システムは、性能は高いが整備コスト面での課題がある。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スタートさせた。

研究開発の計画は、2018年度からの5か年となっており、2020年度は都道府県警察での信号情報提供手法(案)について、モデルシステムによる検証を実施した。2021年度以降、社会実装に向けた検討を行うこととしている。

2018年度からの過去3年間の研究成果について報告する。

表7 研究開発の全体計画

2018年度 (実施済)	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 (実施済)	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 (実施済)	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 ※交通管制センターや交通信号制御機から送信される信号情報を集約するシステムのこと、警察庁の広域交通管制システムの活用を検討している。
2021年度 (予定)	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 (予定)	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

4.2. システム構成と提供手法について

4.2.1. システム構成について

クラウド等を活用したV2Nによる信号情報の提供を実現するためのシステムを検討している。システム構成案を図7に示す。

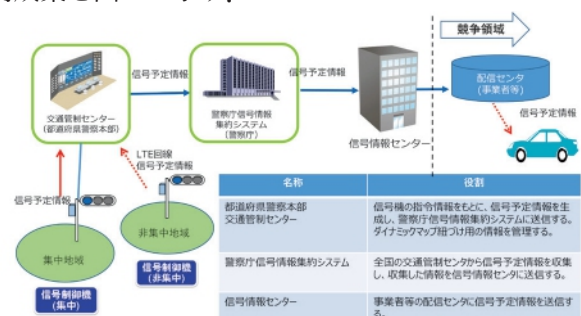


図7 システム構成案

4.4. 信号情報集約システムの検討

都道府県警察交通管制センターから、信号予定情報を集約し、信号情報センターに送出するまでのシステムについて検討を行い、警察庁の信号情報集約システムと連携する主要なシステムについて図13の通り各々の役割を明確にした。

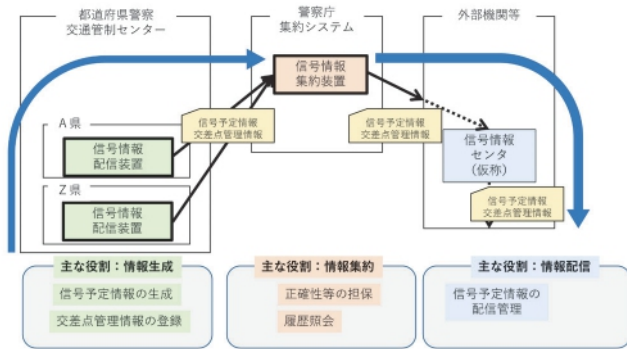


図13 データフローと役割分担

システム機能構成、機能配置、管理上必要な画面構成等について検討を行うとともに、性能要件を明確にするための評価等を行い、システム稼働要件をまとめた。

4.5. 成果

- (1) 各都道府県向けモデルシステム及び信号情報集約システムの仕様書案を作成した。
- (2) 感応制御交差点、リコール制御交差点等に対し、交通流への影響を抑えて、信号予定情報提供を行うための信号制御手法のガイドライン案を作成した。
- (3) 信号予定情報を活用するための定義情報(地図との対応)の設計と運用方法を検討した。
- (4) 信号情報集約システムの過負荷試験を実施し、今後の設計のための基礎数値を得た。

4.6. V2N 信号情報提供の今後について

2021年度については、100m秒のデータ管理による新しい信号機を活用した精度検証をはじめ、次のような検討を進めていくことを計画している。

(1) 精度向上に向けた検討

管制方式では、数秒程度の認識誤差が発生する等、各信号情報提供手法における性能把握を行うことができた。精度向上のための改善策としては、交通管制センター内の信号時刻の0.1秒化等があるが、難易度の高いケースも想定され、さらなる改良、検証の他、状況に応じて要件定義の見直しを行う。

(2) 遅延時間の軽減に向けた検討

即時に信号が切り替わる感応制御等の対応として、信号予定情報を予め確定させる方式があるが、運用においては遅延時間を考慮する必要がある。2020年度の実験結果では、管制センター内の遅延時間が2秒程度であった。運用に与える影響を少なくするため、システム全体を通して、遅延時間を軽減するための検討を行う。

(3) 社会実装に向けた検討

また、クラウド等を活用したV2Nによる信号情報提供の社会実装に向けては、警察庁信号情報集約システムから全国の信号予定情報を受信して、事業者間のサーバに配信する信号情報センターの在り方について、情報セキュリティを含めた観点で検討を行う。

5. おわりに

ITS無線路側機を用いた信号情報提供 (V2I) については、自動運転に資する高度化について、その機能要件を満足するための技術検証を完了し、自動運転車両用ITS無線路側機等の路側インフラ機器の仕様書案・規格書案を策定するなど、一定の成果を得ることができた。今後のV2I路側インフラ整備・普及の方策として以下の①～④が考えられる。

- ①インフラ整備計画(対象路線・工程)の立案
- ②感応制御方式や実施箇所など、信号制御運用の見直し
- ③自動運転用インフラに求められる運用保守体制の確立
- ④信号機更新など路側機整備を実施する都道府県の財政負担軽減

なお、早期に一定レベルの信号情報提供を大きな規模で実現する手段として、整備の時間、コスト面で比較優位と期待されるクラウドの活用 (V2N) についての調査研究を並行して進めている。V2IとV2Nは、それぞれメリット・デメリットがあり、今後、信号制御方式や信号情報を活用したユースケースに応じた適切な提供方式の棲み分けによる整理が期待される。

【参考文献】

- (1) ISO/TS19091:2017, Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections
- (2) ITS FORUM. (2014). RC-013 ver1.0
- (3) Masafumi Kobayashi, “DSSS (Driving Safety Support Systems), Today and the Future”, The journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers 95(8), 701-705, 2012-08-01

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

市川博一、竹之内篤（パシフィックコンサルタンツ株式会社）、鯉淵正裕（株式会社三菱総合研究所）

（概要）自律走行の自動運転車は前方の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など急減速が必要となったり、交通量が多い場合には円滑な車線変更が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）を車線別に予め把握することができれば、事前に予備減速し、余裕をも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、コネクティッドカーの普及に伴い、このような交通状況に関する先読み情報を生成できる環境が整いつつあるが、車線別の交通状態を直接的に把握できるデータ形式とはなっていない。本取組みは、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、現状得られるプローブ情報から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ころから取組みを始めているものである。

1 事業概要

1.1. 事業の目的と概要

本取組みは、高速道路を対象に自動運転車の安全・円滑な走行に有用と考えられる車線別の道路交通情報を生成する技術開発を行うものであり、具体的には、OEM等の市販車両から得られるプローブ情報を実際に収集し、それらを統合し、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・検証したものである。また、東京臨海部大規模実証実験において、首都高速の分岐部の方向別渋滞によって生じる車線別の渋滞末尾等を中心に、車線レベルの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。

1.2. 車線別道路交通情報の必要性とその情報源

自律走行の自動運転車は図1に示すように前方の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など、先行車が急減速した場合には自車も急減速せざるを得ず、交通量が多い場合には円滑な車線変更ができないことも想定される。この時、前方の車線別の道路交通情報を事前に得ることができれば、余裕を持った予備減速や車線変更など（パスプランニング）が可能となる。本取組みはこの方策を実用化することを目的に技術検討を行うもので、このニーズに応えるのが車線別の道路交通情報である。近年普及が進んでいるコネクティッドカー

から得られる車両プローブ情報や、道路・交通管理者が保有する情報などがその情報源として考えられ、また、最近では事故等が発生した際に車両からの発報を受け、関係機関に通報を行う緊急通報サービスが広がりを見せているが、この情報も事故による車線支障を即時に把握する情報源として有用と考えられる。

本取組みでは、まずは車両プローブ情報を活用した情報生成の検討から取組みを始めている。また、この生成情報は、ドライバーが運転する車両にも有用であるといえる。

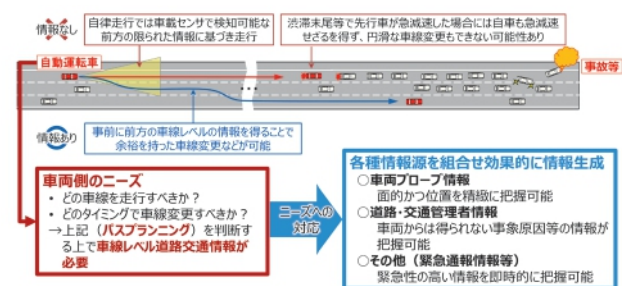


図1 車線別道路交通情報の必要性とその情報源

1.3. 本施策の範囲

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。車線別の道路交通情報は各段階で必要であるが、その際には各段階で求められる情報の即時性に応じて様々な通信手段を用い、情報を提供することが必要となる。ここで事象直近では緊急回避などの制御に直結する情報が必要となり、V2V等の通信を用いることが必要となる。

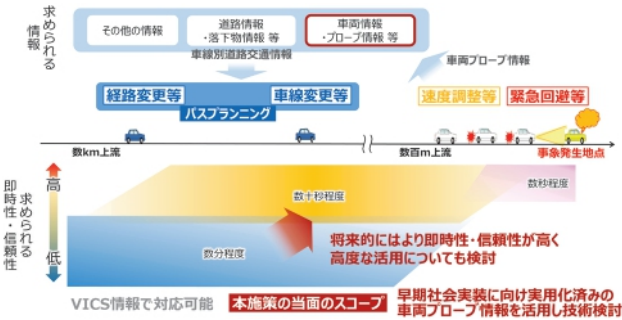


図2 本施策のスコープ

一方、より上流側では経路変更や車線変更などのいわゆるパスプランニングの変更を行うことが想定され、これに必要なのは判断や制御を支援する情報であり、V2N等の通信でカバーできる領域と言える。本取組みでは生成した情報について車線変更を中心としたパスプランニングで活用することを対象に検討を進めており、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、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。本取組みでは、自動運転の早期実現の後押しを図ること、並びにドライバーの運転する車両にも有効な情報と考えられることから、開発技術の早期社会実装を目指し、市販車両からV2N通信で得られる実用化済みの車両プローブ情報を活用し、従来の道路交通情報と同等程度のリアルタイムで情報生成するところから検討を進めている。

1.4. 車線別道路交通情報のイメージと利用可能な車両プローブ情報

本取組みでは車線別道路交通情報は図3に示すような、車線別の道路交通状況（速度低下や規制区間、その末尾位置等）を表す情報を想定しており、このような情報が提供できれば、情報提供を受けた自動運転車等は自分にとって一番メリットのある車線を選択して走行することができる。従って、利用する車両プローブ情報は、図4に示すように情報収集段階から車線情報を持った形式のもの（図中パターン3）を利用することが望ましく、将来このような情報が利用できるようになるものと思われるが、現状ではまだ研究開発段階にあるものと思われ、入手できるプローブ情報は車道リンクに紐づいて集計された形式のもの（図中パターン1）となる。

そこで本取組みでは、現状利用可能であるパターン1のプローブ情報から車線レベルの情報を生成する方法を検討するものであるが、予備減速や車線変更等の

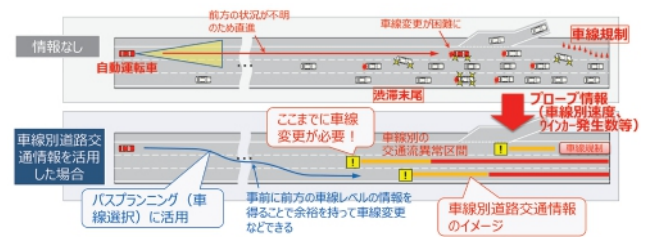


図3 車線別道路交通情報のイメージ

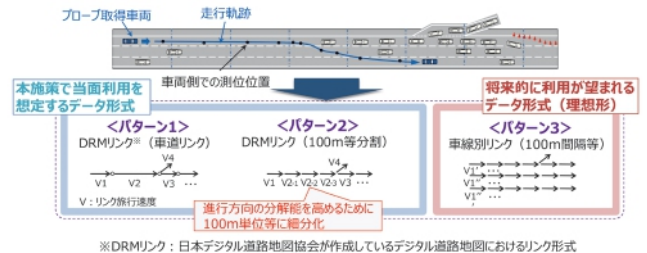


図4 利用する車両プローブ情報の形式

パスプランニングに活用するものであることから、進行方向は100m等の等間隔の分解能を持った情報（図中パターン2）をOEM等から収集することとした。

1.5. 対象ユースケース

情報提供の対象とするユースケースは、図5に示すとおり車線変更等の制御にあたり車線別の交通情報が有効と考えられる①渋滞末尾（特に車線別）、②交通事故等の突発事象、③車線規制の3つとした。ここで、①は渋滞末尾位置をプローブ情報そのものから検出することとなる。一方、②③は車線支障が生じている位置をウインカー発生状況等のプローブ情報から検出することを目指すものの、それにより生じる渋滞末尾位置も重要であるため、併せて情報提供することを想定する。



図5 対象ユースケースとその要件

1.6. 将来の目指す姿と2020年度の実践の位置づけ

以上のとおり、本取組みは現状収集できる車道リンクに紐づいたプローブ情報から車線レベルの道路交通情報を生成する技術開発に取り組んでいるものだが、将来的にはコネクティッドカーや自動運転車の普及に伴い、収集段階から車線情報を持ったプローブ情報が利用可能になることを期待している。そして今後、利用可能なデータ量は多くなり、より短い時間周期でアップリンク遅れのない鮮度の高い情報が収集・利用

可能になることが想定され、プローブ情報以外の情報も総合的に組み合わせ、より有用な先読み情報を提供可能になることが期待される。しかし、そのような情報が流通するようになるのはまだ先と思われることから、まずは現状の技術の延長で実現できる姿を目指し、取組みを始めている。(図6)

2020年度は現状収集できるプローブ情報の形式や情報量でどの程度の情報生成ができるかを検証し、必要となる技術仕様案をとりまとめるとともに、オンライン接続が可能な一部のOEM等のデータを用い、東京臨海部大規模実証実験において首都高速を対象にリアルタイムの情報生成・配信実験を行い、技術仕様の妥当性や、実験参加者による情報の有効性評価等までを行った。

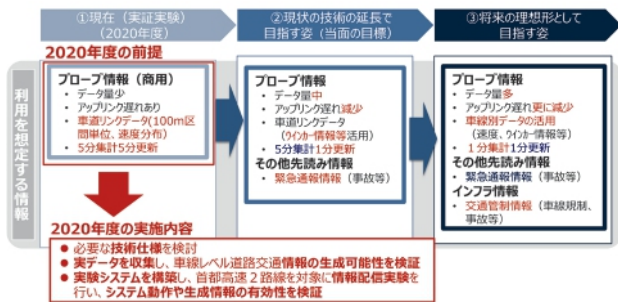


図6 将来の目指す姿と2020年度の実験の位置づけ

1.7. 2020年度の実験の全体像

2020年度の実験内容の全体像を図7に示す。情報の流れの全体像は、OEM等から情報を収集し、実用段階では生成した情報を再びOEM等を通して個車に提供することを想定している。本取組みで技術開発の範囲となるのは、OEM等からの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つの技術要素である。各要素の技術検討にあたっては、まず交通シミュレーションにより車両プローブ情報の混入率を仮定した疑似データを作成し、情報生成ロジックの構築並びにプローブの混入率に応じた情報生成精度の評価等を行った。それを受け、OEM等から過去の実験のプローブ情報を収集し、現状での情報収集量やアップリンク遅れの実態を把握し、その状態での情報生成精度を確認した。また、構築した情報生成ロジックを実装した実験システムを構築し、2020年度中にオンライン接続が対応可能であったプローブ提供事業者を対象にリアルタイムの情報生成を行い、東京臨海部実証実験コンソーシアムのサー

バを通して実験参加車両まで情報配信を行うことで、実証実験を行った。

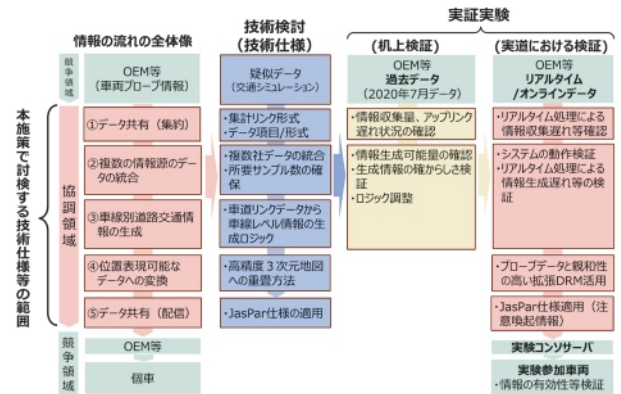


図7 2020年度の技術検討と実証実験の全体像

2 各要素の技術検討と机上検証

2.1. データ共有（集約）

ここでは、プローブ情報をOEM等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。

2.1.1. 使用するプローブ情報の内容

OEM等から入手するプローブ情報は図8に示すとおりである。その利用方法は、過去データの提供を受け、データ量を確認した上で、渋滞等の実事象と後述の方法で生成する車線レベル情報を突合して生成情報の信頼性等の評価を行う机上検証と、プローブ事業者と実験システムをオンライン接続し、リアルタイムデータにより実験参加車両まで実際に情報配信を行う実道での実証実験に大別される。

机上検証では「リンク速度」に加え、車線レベル情報を生成するために用いる「分岐部方向別速度」や「車両イベント発生数」など全てのデータを使用した。実道での実証実験では、2020年度にオンライン接続が可能であったプローブ提供事業者が提供可能であった速

集計リンク単位	データ項目	実証実験	
		机上検証 (過去データ利用)	実験システムによる検証 (オンライン/リアルタイムデータ)
パターン1 DRMリンク単位	分岐部方向別速度 (5分値)	○	○
パターン2 DRMリンク100m分割単位	リンク速度 (5分値)	○	○
	車両イベント発生数 (5分値)	○	○

注1) 速度階別台数のデータ形式イメージ
0<V≤10km/h
10<V≤20km/h
:
110<V≤120km/h
120<V

図8 使用するプローブ情報と実証実験での利用区分

度系プローブ情報（リンク速度と分岐部方向別速度）のみのデータを使用して行える範囲で実証実験を実施した。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。

2.1.2. アップリンク遅れデータの取扱い方法

プローブ情報には遅れてアップリンクされるデータも多いと想定され、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9）

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」と言う）で集計し、遅れてアップリンクされてくる分を含め、過去30分まで遡ってデータ収集する。

②階層毎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。



図9 アップリンク遅れを考慮したデータ収集方法の概念

2.1.3. 収集する情報項目及びデータフォーマット

OEM等から収集する情報項目及びデータ定義を検討すると共に、統一したデータフォーマット（JSON形式）を規定した。（表1）

表1 データ収集に使用するフォーマット構造

構成情報	主な情報
基本情報	測地系、タイムゾーン、情報生成時刻
DRM基本情報	DRMリンクバージョン、2次メッシュコード、リンク番号
階層1～6	収集締切時刻の過去30分前までの情報を5分刻みで集計。
DRMリンク単位情報	方向別平均旅行速度
階層1～6	収集締切時刻の過去30分前までの情報を5分刻みで集計。
100m分割	分割シリアル番号、分割リンク距離
リンク単位情報	平均速度情報、速度層別情報、その他車両情報、方向別平均旅行速度

2.2. 複数情報源のデータの統合

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するとともに、収集した過去データに基づき、どの程度の情報量が収集できるかを確認した。

2.2.1. 数値データの統合方法

複数のOEM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OEM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OEMがカウントした数値の総和とした。

2.2.2. 情報生成に必要なプローブ情報量の確認

速度層別台数は、速度分布から車道リンクにおける車線別の速度差を推定し、車線別渋滞の発生有無を判別する、車線レベル情報を生成する上で最も基本となる情報である。速度層別台数を対象に、首都高速羽田線を対象に全走行台数に対するプローブ車両混入率を確認したところ、昼間時間帯で概ね3%程度であった。これは5分間あたり6台のデータ量に相当する。

サンプルデータから一定精度で平均速度を推定しようとする場合、5サンプル取得できれば $\pm 10\text{km/h}$ （信頼度95%）程度の誤差に収めることができる。このことから5台/5分間以上を目標の目安とした場合、実証実験フィールドの首都高速2路線において必要サンプル数が取得できる区間割合は、2車線区間（羽田線上り）で約5割（図10）、3車線区間（湾岸線東行き）で約8割となった（いずれも昼間）。一方、夜間は5台/5分に満たない時間帯が多い結果となった。

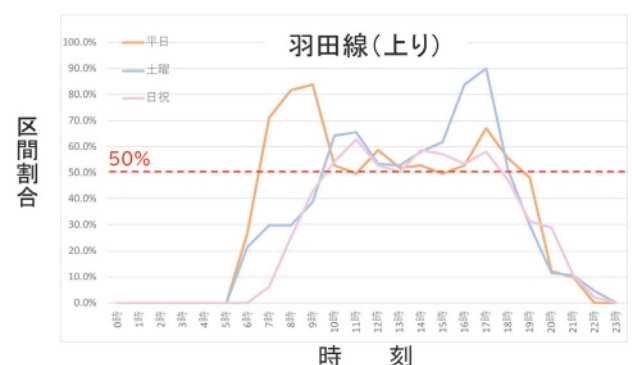


図10 速度層別台数が5台/5分以上取得出来ている区間（100m単位）の割合 2020/7/8～8/7 平日平均

2.2.3. アップリンク遅れの影響

前述において実証実験フィールドで一定のプローブ情報量が確認できたが、アップリンク遅れにより遅れて情報が収集されている場合、鮮度の高い情報生成を行うことができない。

そこで一定精度が保たれる5台/5分間以上のサンプル数が取得できる区間の割合を、遡り階層別に整理したと

ころ、昼間の羽田線上的の場合、階層1(直近5分間)で10%、階層2(直近10分間)まで遡ると60%、階層3(直近15分間)まで遡ると概ね80%程度となった。よって、昼間時間帯であれば、現状収集し得るプローブ情報で一定程度の情報生成の可能性があることが確認できた。

2.3. 車線別道路交通情報の生成

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。

2.3.1. 車線レベル情報生成の基本的考え方

はじめに、100mリンク単位の数速度層別台数情報(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inker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11)

なお、2020年度のオンラインデータを用いた実道での実証実験では、速度系プローブ情報のみが利用可能であったことから、実証実験システムに実装する車線レベル情報の生成ロジックは、速度系プローブ情報のみを入力データとする場合について検討した。

2.3.2. 生成情報の精度の検証

交通ミクロシミュレーションで作成した車両プローブ情報の疑似データを用い、羽田線上市浜崎橋JCT手前区間を対象に、プローブ車両混入率に応じた速度層別台数情報による渋滞末尾位置の情報生成精度を検証した。これによると、10%程度の混入率で7割程度

の情報生成精度が期待できる結果となった。また、今回収集した実データ(過去プローブ情報、混入率約5%)から同様に情報生成精度を検証したところ、渋滞末尾位置で5~6割、車線別渋滞か断面渋滞かの内容まで含むと5割程度の精度となった(図12)。これは、実データではアップリンク遅れを考慮しているため、アップリンク遅れを考慮していないシミュレーション結果に比べ低い結果になったものと推察される。

検出率(渋滞末尾位置及び内容※3の判定)

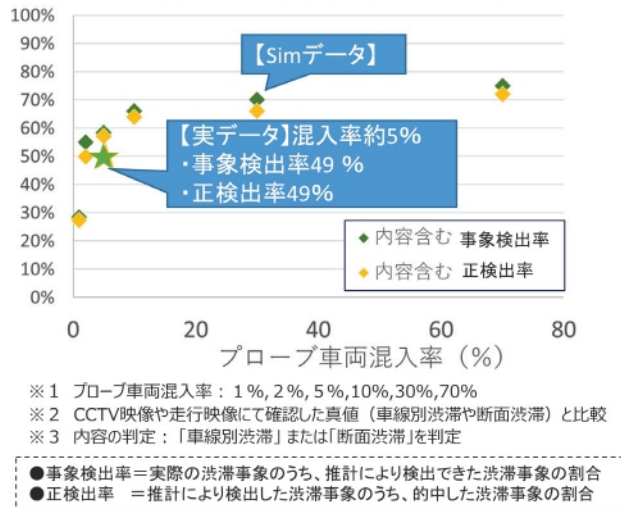


図12 プローブ車両混入率と事象判定精度の関係(羽田線上市浜崎橋JCT手前区間)

2.4. 位置表現可能なデータへの変換

ここでは、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の位置表現可能なデータ形式への変換仕様を検討した。

本取組みでは、OEM等からは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

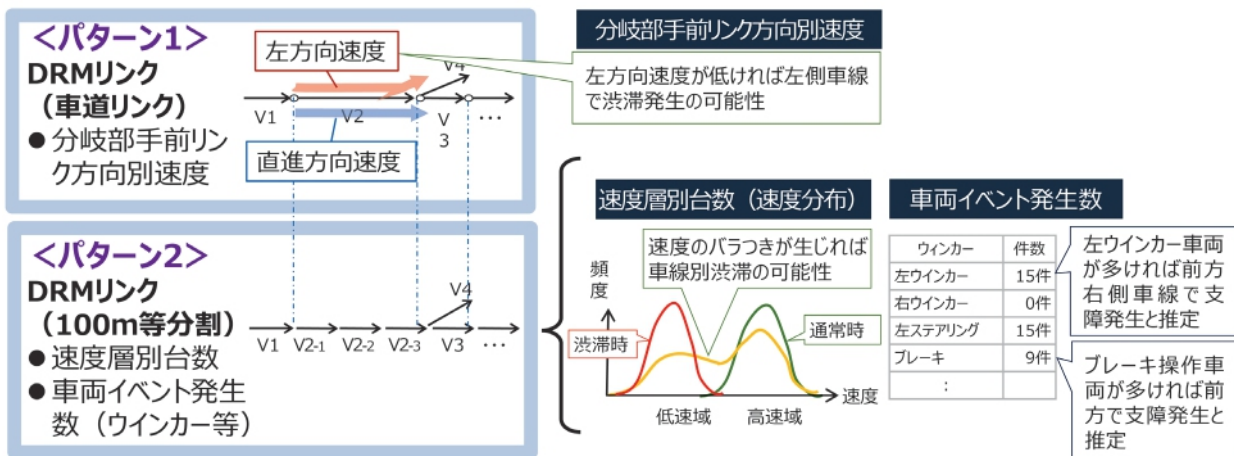


図11 車道リンクに紐づけられたプローブ情報から車線レベル情報を生成する基本的考え方

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仕様を採用することとした。そして、高精度3次元地図の対応箇所から100m区間毎の車線数を付与したノードリンク地図を作成し、生成する注意喚起情報を100mリンク区間単位で車線別に表現できるようにした。

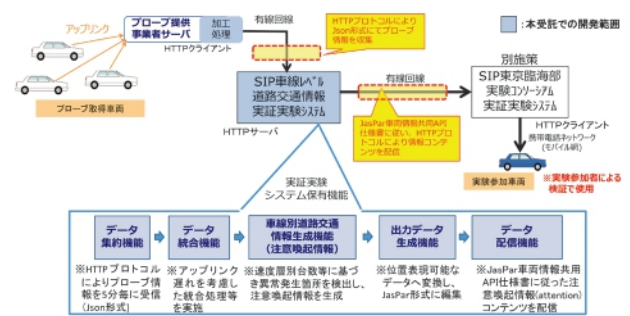


図14 実証実験のシステム構成

2.5. データ共有(配信)

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SIP第1期での位置表現仕様を用い、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。

3 実証実験の実施

3.1. 実証実験の実施概要

2の各技術要素の技術評価を行うために、2020年度中にオンライン情報提供が可能であったOEMと接続し、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(図13)を対象に、情報配信実験を行った。



図13 実証実験の実施区間

3.1.1. 実証実験システムの構成

実証実験で構築した実験システムは図14のとおりであり、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。

3.1.2. 実証実験の実施内容

2020年度に利用可能であった速度系プローブ情報を用い、車線レベルの注意喚起情報が生成可能となる分岐部での方向別渋滞によって生じる「渋滞末尾」のユースケース(時間帯により車線別)を主たる対象に、情報配信実験を行った。情報配信期間は2021年2月15日(月)から2月26日(金)までの平日10日間で、東京臨海部大規模実証実験の参加者は、この間に対象区間を走行することで情報を受信可能であり、情報の有効性評価等に関するアンケートの協力を依頼した。

3.1.3. 主要検証箇所の渋滞発生状況と情報配信の概要

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。新宿方面が渋滞するため、渋滞列が羽田線左車線に溢れ、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。なお、当該の注意喚起情報として、渋滞末尾位置を100m単位、5分間周期で配信した。ここで、渋滞が第1車線のみの場合には当該車線に注意喚起情報を表示し、両車線(断面渋滞)の場合は両車線に表示することとした。(図15)

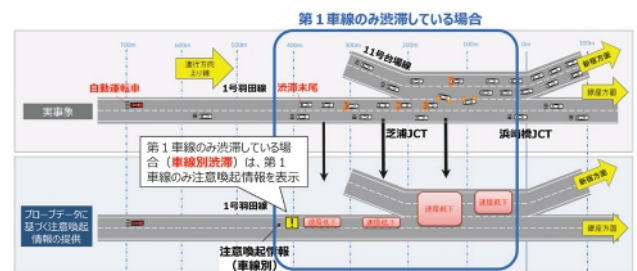


図15 主要検証箇所での渋滞発生状況と情報配信の概要

3.2. 実証実験の実施結果

3.2.1. 実証実験期間中の注意喚起情報の配信状況

朝ピーク(09:30)時における、配信情報の実験参加車両車載のビューア表示とJARTIC道路交通情報を

比較したところ、配信情報の渋滞末尾位置は、同時刻帯の道路交通状況と概ね対応していた。例えば、2/24 (水) 09:30のビューア表示をみると、羽田線上市の浜崎橋JCT～芝浦IC周辺、湾岸線東行きの東海JCTにおいて注意喚起情報が表示されており、当日の交通状況と概ね対応していた。(図16)

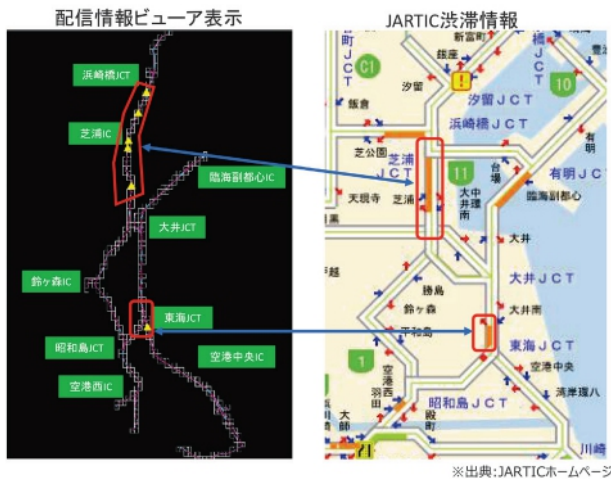


図16 朝ピーク時の情報生成状況と道路交通状況
(2021年2月24日9:30時点)

なお、車線別の渋滞の注意喚起情報は、頻度は少ないものの主に芝浦JCT合流付近において生成・配信された。例えば2/17 (水) 16:30のビューア表示例(図17)をみると、高精度地図上において、第1車線のみ渋滞末尾位置(0.8kp地点)が注意喚起情報として表示されている。

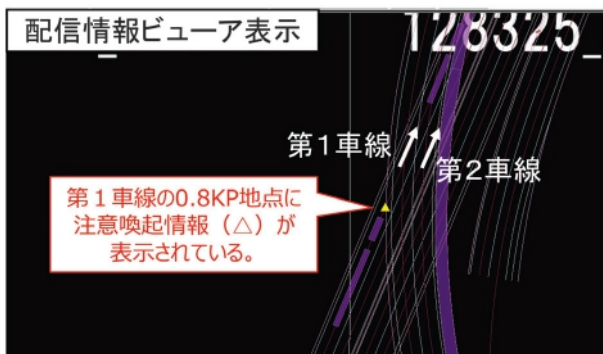


図17 車線別渋滞の注意喚起情報のビューア表示例
(羽田線上市芝浦JCT合流付近 2月17日16:30時点)

3.2.2. 実験参加者による有効性評価

(1) 配信情報と実事象との整合状況

アンケート回答者は計11社あり、このうち、首都高速の実走行において配信情報を受信した回答者は5社であった。アンケート結果によると、配信した渋滞末尾情報について、「合っていた」「概ね合っていた」との回答は3割程度であった。これは、今回の実証実

験ではオンライン接続できたプローブデータ量が少なく、結果、情報生成に必要なサンプル数を得るために階層データを遡った鮮度の低い情報を用いざるを得なかったことによるものであり、これについては今後、プローブ提供事業者やプローブ情報量が増えることで、情報精度は向上することが期待できる。

(2) 配信情報の有効性

今回情報提供を試みた車線レベル道路交通情報について、過半数の参加者が「有効」「どちらかと言えば有効」と回答した。理由としては「事前にレーンチェンジ等を実施することで、スムーズな走行が可能となる」などとされている。一方で、半数は「有効でない」「分からない」などとの回答となっている。しかし、それらを選択した参加者の配信情報(渋滞末尾)への遭遇状況を確認したところ、実事象に的中した配信情報に遭遇していないケースが大多数であった。従って、今後プローブ情報量が増え、アップリンク遅れが減少すれば、本情報を有効と考える利用者は増えるものと考えられる。

4 おわりに

2020年度は現状で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、速度系プローブ情報を用いた情報生成に関しては、収集できる情報量や情報生成の可能性について、実用化に向けた一定の成果を得ることができた。

【参考文献】

- (1) 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,2020.1.17

【執筆者詳細】

市川 博一, パシフィックコンサルタンツ株式会社
竹之内 篤, パシフィックコンサルタンツ株式会社
鯉淵 正裕, 株式会社三菱総合研究所

車両プローブ情報を活用した高精度3次元地図更新の開発

中尾和浩 (ダイナミックマップ基盤株式会社)

(概要) 本研究開発では、「ドライブレコーダを活用した道路変化点抽出技術」と「車両プローブ情報を活用した道路変化点抽出技術」をそれぞれ検討したうえで、「速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術」について検討した結果をまとめた。「ドライブレコーダを活用した道路変化点抽出技術」では、道路が変化している既知の区間を対象に、道路変化後のカメラ画像データを取得した。取得したカメラ画像データから地物を認識する既存技術を利用して道路変化後の地物を整理し、道路変化前の地物と比較することで、道路変化の有無を把握可能か確認、評価した。「車両プローブ情報を活用した道路変化点抽出技術」では、高精度3次元地図の更新に必要なと考えられるプローブデータの要件を机上検討し、テストコースでその妥当性を検証した。検証の結果、理想的な環境においては、車両から取得するプローブデータで、道路変化に伴う運転操作や車両の挙動を把握できることが確認できた。この結果を踏まえ、実交通での車両プローブ情報の提供についてOEMと調整し、提供された実交通での車両プローブから道路変化点を把握できるかを確認した。「速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術」では、①研究開発後に速やかに運用開始を前提としたスキームで実証実験を行い、機器スペック等の要件を整理した。次に最新の動向等を調査し、②「一般道/Global」での運用開始時に必要な要件を整理した。①の段階で整理した要件と②の段階で整理した要件のギャップ分析を行い、共通化に向けた手順をまとめた。

1 高精度3次元地図(更新)の現状

高精度3次元地図は、区画線、多重区画線、路肩縁、道路標示、道路標識、信号機といった、図1に示す多様な地物により構成されている。

対象地物名	地物事例
区画線	区画線、多重区画線、路肩縁、道路標示、道路標識、信号機、信号機(本体・補助信号)、信号機(矢印灯)
多重区画線	多重区画線
路肩縁	路肩縁
道路標示	道路標示
道路標識	道路標識
信号機(本体・補助信号)	信号機(本体・補助信号)
信号機(矢印灯)	信号機(矢印灯)

図1 高精度3次元地図を構成する地物

地物の変化の有無を調査するにあたって、道路構造の変更を伴うものについては、道路工事情報等の公開資料から把握することが可能である。一方で、道路構造の変更が伴わないものについては、変化があったことを把握できていないケースや、情報が整理されていないケース等があり、高精度3次元地図情報を更新するのに必要な情報を現状の仕組み(道路工事情報等)

から網羅的に把握することは難しい状況である(表1)。そのため、最近活用が推進されている車両プローブ情報のうち、車の動きや交通量の変化から判断ができるものは履歴データ(表1の緑箇所)を、変化前後の画像から判断ができるものはカメラ画像データ(表1の黄箇所)を活用し、高精度3次元地図情報を更新するのに必要、かつ、道路構造の変更が伴わない変化情報を検出する仕組みを新たに開発する必要がある。

表1 データ収集に使用するフォーマット構造

変化情報	高精度3次元地図を構成する地物							変化検出に必要な情報の取得しやすさ(現状)
	車線中心線	区画線	多重区画線	路肩縁	道路標示	道路標識	信号機	
道路新設	○	○	○	○	○	○	○	課題あり
道路延伸	○	○	○	○	○	○	○	
車線形状変更	○	○	○	○	○	○	○	
車線幅員変更	○	○	○	○	○	○	○	
車線数変更	○	○	○	○	○	○	○	
IC新設、廃止、移設	○	○	○	○	○	○	○	
SAPA新設、廃止、移設	○	○	○	○	○	○	○	
IC下新設、廃止、移設	○	○	○	○	○	○	○	
料金所新設、廃止、移設	○	○	○	○	○	○	○	
分岐合流部の変更	○	○	○	○	○	○	○	
車線数変更	○	○	○	○	○	○	○	課題あり
分岐合流部の変更	○	○	○	○	○	○	○	
物部構造物の新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
ゼブララインの新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
区画線の縮短/延長、色の変更	○	○	○	○	○	○	○	
赤黄灯車線の新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
区画線の逆り直し	○	○	○	○	○	○	○	
標識の新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
標識の設置、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
信号機の新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	

2 車両プローブ情報を活用した道路変化点抽出技術

2.1. 道路変化点抽出に活用する情報の選定

本研究開発の検証を行うために必要な履歴データの

仕様検討をOEMと連携して検討した。OEMとの調整を踏まえて取り決めた履歴データのデータ項目を表2に示す。

表1 履歴データ提供仕様(データ項目)

集計対象パラメータ	概要
1 進行方向別データ合計(台数)	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報の合計(車両台数)を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。
2 進行方向別車速平均	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報の車速の平均を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。
3 進行方向別車速分散	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報の車速の分散を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。
4 進行方向別ステアリング角度平均	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報のステアリング角度の平均を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。
5 進行方向別ウィンカーON状態台数(左)	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報のうち、左折用ウィンカーがON状態になっている台数の合計を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。
6 進行方向別ウィンカーON状態台数(右)	空間的な集計の単位領域に、集計対象期間内に存在した車両プローブ情報のうち、右折用ウィンカーがON状態になっている台数の合計を算出したもの。8方位の進行方向別で集計する。

2.2. 技術検討・実装

履歴データは広範囲、高密度に分布した膨大なデータである。このデータから道路変化点を検出するために、履歴データを一定の空間的範囲、時間的範囲で集計した。本研究開発では、OEMから約2m四方の範囲の情報として提供された履歴データに対して、約20m四方の空間的な集計範囲を設定した。この範囲内で履歴データの変化範囲を集計し、変化量が大きい箇所を道路変化点として検出することとした。

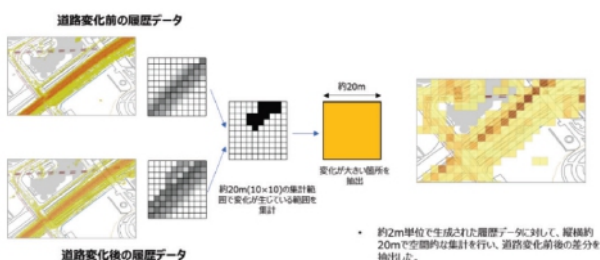


図2 履歴データによる道路変化点検知イメージ

本研究開発では、高速道路上で、車線追加や出口変更等の道路変化が実際に生じた場所を4箇所選定し、道路の変化点検出を試みた。その結果、2箇所については、車両分布パターンから検出可能であり、2箇所については検出不可という結論が得られた。道路変化点を検出できた例を図3に示す。

この結果を踏まえ、本研究開発で取り組んだ履歴データを用いた道路変化点の検出は、測位環境が良好で一般道の混在が少ないエリアでは、道路変化を把握



図3 道路変化点の検出結果【花園IC出口】

することができる可能性があるという結論を得ることができた。その上で、将来の実用化に向けては以下のような課題が残っている。

- 検出率の向上に有用な履歴データ項目の検討
- 本手法による検出可能性が高い領域の特定手法の検討
- 多くの事例検証による閾値設定の自動化と誤検出の事例蓄積、解決方法の検討

2.3. 実運用に向けた検討

2.3.1. 検出率向上に有用な履歴データ項目

履歴データは、各車両単位で取得時刻、緯度経度を必ず持つ時系列データとし、OEMとの調整およびこれまでに実施した検証を通じて得られた結果より、道路変化が生じた際にドライバが行う運転行動、車両操作と、履歴データに生じるであろう事象との対応づけを表3に整理した。

表2 有効性評価マトリクス

変化情報	変化の検出	検出率	検出精度	検出時間	検出コスト	検出精度	検出時間	検出コスト	検出精度	検出時間	検出コスト	検出精度	検出時間	検出コスト
車線追加	大	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
車線削除	大	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
分岐点位置の移動	中	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
路幅の増減	中	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの設置/撤去	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの位置変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの形状変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの設置/撤去	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの位置変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの形状変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの設置/撤去	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの位置変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
ガードラールの形状変更	小	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○

凡例
 ○：変化が顕著に表れると想定される項目
 △：変化が検出できる可能性のある項目（変化は確認できるが量的、頻度的に微小と考えられるもの）
 □：処理の過程で使用する可能性のある項目
 緑箇所：履歴データでの検知対象
 黄箇所：カメラ画像データでの検知対象

2.3.2. 実運用化に向けた運用面に関する考察

履歴データの調達スキームとして、複数のOEMから同一の仕様で加工データを調達し、最終的に自動車メーカーを始めとする各企業に高精度3次元地図を提供するスキームを想定する。各OEMから調達するデータの品質が均一化されれば、エリア網羅性を高めるための変化検出に必要となるデータ量を満たす最小限のデータを補完しながら調達する運用が可能となる。そのためには、各社からの調達データに対して実施する品質評価や傾向分析を行い、変化点抽出結果と現況確認結果を照らし合わせ、継続的に見直しをかけていく必要がある。

また、OEM各社でシステム実装が異なることが容易に予想される。この場合、DMPから技術仕様を提示し、それに合わせた実装・開発をOEMで行う場合と、OEM各社が提供可能な加工データを受領し、DMP側で実装差異を吸収する2つのアプローチがある。複数社とのインターフェースに関連して発生する対応が、各社とのビジネスにおいて、かつトータルで成立させられるかが課題となる。今後OEM各社と実現に向けた調整を進めていく中で、各項目の対応内容の具体化と分担の整理が必要である。

想定する運用フローについて、OEM側で継続的に蓄積される履歴データに対し、変化前の分析結果と変化が発生した月の1ヶ月分の分析結果を比較して差分を検出する。OEM側のデータ加工とDMP側の統計分析をそれぞれ1ヶ月とした場合、道路変化検知まで2~3ヶ月の期間を要することが想定される。期間を短縮するためには、品質分析の結果を見ながら交通量の多いエリアにおいて抽出期間を短くする、OEM側・DMP側の処理を定型化するなどして効率化を図る必要がある。

なお、OEMからの調達コスト、システム化/運用コストは高精度3次元地図の販売価格に転嫁されるため、調達側はトータルコストの削減、販売側は更新頻度の向上による価値訴求やOEM以外への多用途活用により収支を成立させる必要があるため、今後の検討課題となる。

2.4. 今後の展望

履歴データには様々な環境要因や車両特性等が含まれるため、統計的なアプローチで道路変化検知を行う手法を考案し、好条件となる郊外での活用が適しているという結果となった。このことから、次の展望を考えることができる。

2.4.1. 位置情報の高精度化

高精度測位モジュールの低価格化や高精度測位技術の普及、アーバンキャニオンにおけるマルチパス除去技術、自己位置推定技術の高度化等により位置情報の精度が飛躍的に高まることが期待される。これにより都市部における道路変化検知や、車線別の運転行動の把握も可能となれば、道路構造の変更を伴わない中小規模の変化検知や多用途で活用する機会が増えることも期待できる。

2.4.2. 管理可能な商用車の履歴データ活用

統計的なアプローチにおいては網羅的で一定量のデータが必要になるが、同一路線を繰り返し走行している管理可能な商用車両の履歴データを活用することにより、特定路線において必要量のデータを集めることも考えられる。

3 ドライブレコーダを活用した道路変化点抽出技術

3.1. 画像データ等を用いた道路変化点抽出技術

現状、ドライブレコーダを活用した技術は研究開発段階である。そこで、道路変化の多い区間にてカメラ画像データを収集し、収集したカメラ画像データをもとに各社が保有する技術を実装し、高精度3次元地図を構成する地物や属性の特定の可否等、地図更新のためのプローブデータの要件を検討した。各社の変化点検出技術の特徴を整理した結果を図4に示す。

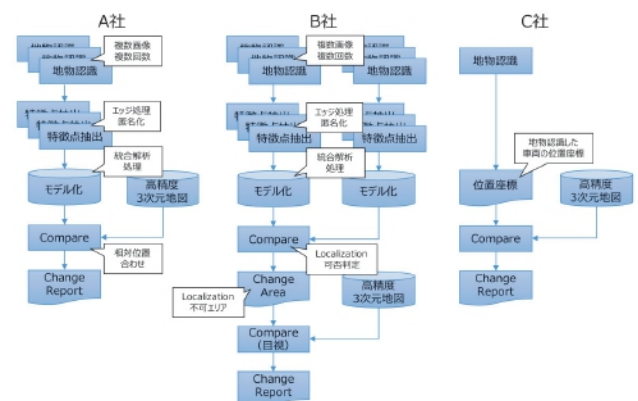


図4 道路変化点検出技術のまとめ

A社とB社の大きな違いは、高精度3次元地図と直接的に比較ができるか否かである。A社は現況をモデル化したデータと高精度3次元地図を直接比較することができるが、B社は過去にモデル化されたものと現況をモデル化したものを比較した結果をもとに、高精

度3次元地図との比較を行う。また、A社は地物同士での比較を実施しているが、B社はローカリゼーションできるか否かという観点で比較をしているところも大きな相違点である。

C社はA社やB社と比べて、シンプルなフローとなっている。A社やB社が複数の画像から統合解析処理をしてモデル化するが、C社は地物認識した単一の画像から、地物の位置情報を判別するところが大きな特徴である。

各社が道路変化情報を取りまとめた結果と、DMPが保有する正解データとを突合し、実道路での変化の有無を各社の技術で正しく検出できたか、適合率(Precision)、再現率(Recall)を算出し評価した。

区画線、道路標識および道路標示の再現率・適合率をグラフで表したものを図5、図6および図7示す。

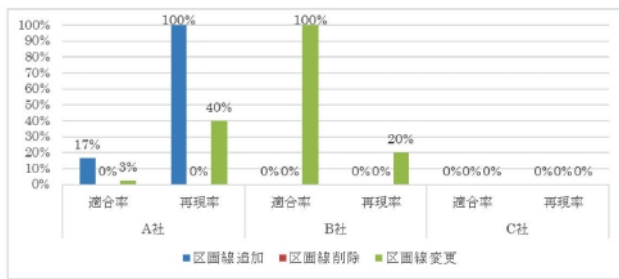


図5 区画線の再現率・適合率

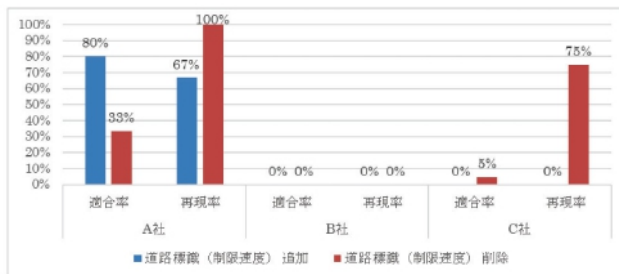


図6 道路標識の再現率・適合率

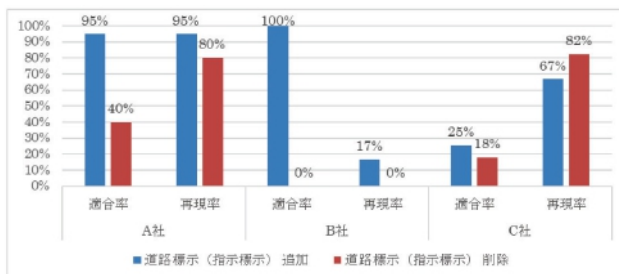


図7 道路標示の再現率・適合率

ここまで整理した結果から、各社の技術的な特徴により、適合率や再現率が低下したケースがあることがわかった。

- A社の技術(カメラ画像データから地物を認識し、特徴点群を抽出、統合解析処理(モデル化)し、DMPの高精度3次元地図と比較)は、

B社やC社と比較して、再現率・適合率が高い。

- B社の技術は、地物単位で変化点を検出することができないため、再現率が低い。
- GNSSの位置精度に大きく依存した仕組み(C社)は、撮影環境の影響により誤検出になる可能性が高い。
- システム側の理由(学習不足、検出対象外)により、対象地物が認識できていないケースがある。
- 複数の地物が混在する地点は、モデル化する際、各地物単位に検出できないケースがある。

これまでの検討結果を踏まえ、道路変化点検出技術の要件を以下のとおり整理した。

- 画像から地物を認識できること。
- モデル化のために画像から地物の特徴点を抽出できること。
- 地物の特徴点からモデル化ができること。
- モデル化したデータと高精度3次元地図を相対的な位置合わせができること。
- モデル化したデータと高精度3次元地図を地物単位で比較できること。

3.2. 道路変化点検出に向けた画像データ等の収集スキーム

3社の技術を活用して運用するにあたり、実際にカメラ画像データ等を収集するスキームを机上検討した結果、2パターン想定されることが分かった。

1つ目はドライブレコーダで取得したカメラ画像データ等を、エッジ側(車両)で特徴点(道路変化点抽出のために収集する情報)を抽出し、サーバ側に送信・収集するスキームである。この場合、データ通信負荷の低減や個人が特定されないよう匿名化処理をエッジ側で処理した上で、サーバに特徴点を蓄積する必要がある。

2つ目は、すでに普及しているドライブレコーダやスマートフォンを用いてカメラ画像データそのものをサーバ側に蓄積するスキームである。この場合、物理的なストレージを用いてカメラ画像データを収集するが、匿名性を担保するためには、特徴点の抽出処理をサーバ側で実施した上で蓄積する必要がある。

今回検証した乗用車を対象に実施したカメラ画像データを活用した道路変化点抽出技術では、エッジ側で特徴点を処理し、特徴点を収集するスキームを持ち、かつ、高精度3次元地図の変化点を適切に抽出できる

システムが実運用する際には有用であることが確認できたが、既存システムにこのような処理が可能なシステムがなく、実運用に向けては運用スキームの構築が必要なことがわかった。

また、様々な収集スキームが考えられる中、多くの事業者あるいは車両から網羅的かつ効率的に道路変化点を抽出するためには、標準化動向等を考慮したシステム化が不可欠であり、そのための「特徴点」及び「カメラ画像データ」の収集に向けた要件や機器のスペックの定義及び共通化が大きな課題であることが把握できた。

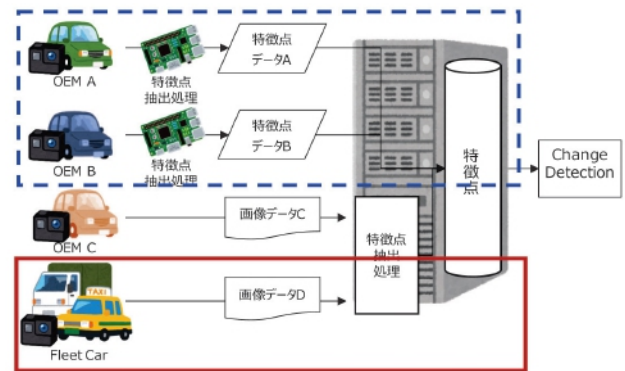


図8 画像プローブ収集スキーム

課題については、3章の検討結果から、品質低下を防ぐために必要な機器スペックの要件を十分に整理することができなかった。

そのため、本章では2章や3章で整理した地図更新に求められるプローブデータの要件を基に、速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術のための機器の要件を調査し、調査した機材により変化点抽出の実証実験を行い、その結果を踏まえ、機器の要件をまとめることとした(4.1節)。また、図8の青点線枠のスキームでの運用を目指し最新の標準化動向等を調査したうえで、特徴点(道路変化点抽出のために収集する情報)の課題を整理し、特徴点の共通化に向けた実現手順とあわせ、とりまとめることとした(4.2節)。

4.1. 機器スペックの要件検討

3章で整理した高精度3次元地図の変化点抽出のための技術的要件を基に、機器(カメラ、IMU、GNSS等)の要件を机上検討し、検討した結果をもとに機器を選定した(4.1.1項)。選定した機器を活用して実証実験を行い、業務用車両でカメラ画像データを収集するために必要な機器等の要件を明確化した(4.1.2項)。

4.1.1. 机上検討

3章の検討結果から、「既存のドライブレコーダで取得したデータを活用して技術を実装した結果、GNSSの位置精度の影響により誤検出が発生。車両に搭載される機器のスペックによって結果が左右される可能性がある。」ことがわかった。上記を防ぐためには、速やかな運用開始を前提に、道路変化点抽出技術の特徴を考慮しつつ、機器スペックの要件を整理する必要がある。そこで、まずは3章で整理した高精度3次元地図の変化点抽出のための技術的要件のうち、機器等の影響を受ける可能性が高い要件について、その要件

4 速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術

2章や3章の検討結果から、カメラ画像データおよび履歴データを活用した道路変化点抽出技術を実装するにあたって、以下が確認できた。

● カメラ画像データ

- ▷ 将来実運用する際は図8の青点線枠のスキームが望ましいが、既存にある技術において適切に車両側で特徴点を抽出処理できる仕組みが現在ない。
- ▷ 図の赤枠は、既存にあるドライブレコーダ等から取得したデータをサーバ側で処理するスキームだが、その際、匿名性等を担保する必要がある。
- ▷ 既存のドライブレコーダで取得したデータを活用して技術を実装した結果、GNSSの位置精度の影響により誤検出が発生。車両に搭載される機器のスペックによって結果が左右される可能性がある。
- ▷ 多くの事業者あるいは車両から網羅的かつ効率的に道路変化点を抽出するためには、標準化動向等を考慮したシステム化が不可欠である。

● 履歴データ

- ▷ 車線数の増減等の把握で活用可能性はあるが、速やかな運用開始を前提とした場合、現在の履歴データはデータの粒度等に課題がある。

上記結果やデータ取得上の問題等を考慮すると、速やかな運用開始を前提とした場合は、図8の赤枠のスキームで、かつ、匿名性等の問題を配慮して特定の業務用車両から収集したカメラ画像データを活用して運用することが適切と考える。ただし、上記、下線部の

を満たすために必要な機器や機能とその役割を机上検討した。

表4 道路変化点検出技術の要件及び必要な機器

道路変化点抽出技術の要件		要件を満たすのに必要な機器	要件を満たすのに必要な機能	
カメラ画像データから地物が認識できること	地物が画像内に存在すること	カメラ	画角	
	地物を認識できる解像度であること	カメラ	解像度	
カメラ画像データから正しくモデル化できること	走行軌跡の推定ができること	絶対位置が得られること	GNSS	座標値
		相対位置が得られること(変位量が得られること)	GNSS	速度
			IMU	角速度・加速度
			Odometer	移動距離
			カメラ	画角・解像度・フレームレート

次に、業務用車両での運用を前提に、表4で整理した要件を満たすのに必要な機器 (GNSS, IMU, Odometer, カメラ) や位置精度を補完する情報が取得可能な機器 (デバイス) の調査を行った。調査を実施した結果、標準的なスペック等を公開資料から確認することができなかったため、本研究開発では必要な機器や機能を有す株式会社デンソーが開発した「TransLog (DN-CDR)」を活用して実証実験を行い、機器スペックの要件を整理することとした。

4.1.2. 実証実験の実施

対象ルートの選定にあたっては、公開情報から実証期間中に行われる工事のうち、新型コロナウイルスの影響等を考慮し、首都圏近郊で行われる工事に対象を絞り、道路管理者等の関係者と協議し、ルートを選定した。なお、一部の対象道路では、一時的に行われる工事を地図変化が生じる工事と仮定して、実証実験を行うこととした。決定したルートを対象に、道路管理者の協力のもと、4.1.1項で選定した機器を活用してカメラ画像データを取得し、カメラ画像データを活用して道路変化点抽出技術を実装し、道路変化点の抽出を行った。

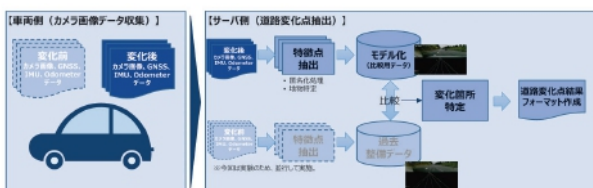


図9 カメラ画像取得から変化箇所特定までのイメージ

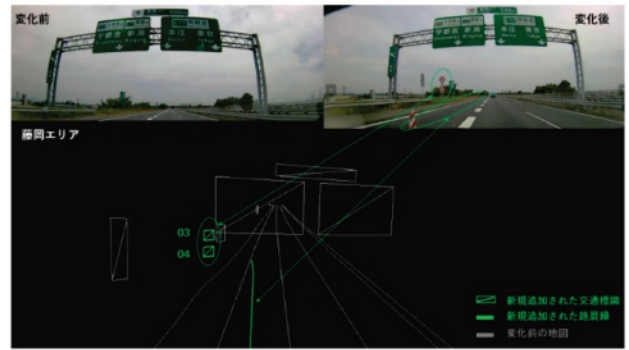


図10 上信越自動車道藤岡JCT周辺の道路変化点抽出事例

道路変化点抽出技術を実装した結果、正しく抽出したかを評価するため、変化前と変化後のカメラ画像データを地図更新者 (本研究開発ではDMPが実施) が評価した結果を真値として、道路変化点抽出技術を実装して抽出した結果と比較評価した。

道路変化点抽出技術を用いることで、再現率高く、道路変化点を抽出することができたことを確認することができたが、一部結果では、地図更新者は「変化なし」と報告したのに対し、道路変化点抽出技術では「変化あり」と報告があったが、地図更新者が見逃したあるいは、目視では判断できなかった地物の変化が判定できており、道路変化点抽出技術を実装することで、より精度よく変化を抽出できることが確認できた。

これまでの検討結果より、4.1.1項で選定した機器 (TransLog) と同等の機能・スペックを有す機器を使用すれば、問題なく道路変化点の抽出が可能であることが分かったが、この機器と同等のスペックを有す機器が市場に流通しているかが課題として残る。そこで、実験結果等を踏まえ整理した表5の推奨スペックを満たす製品が市場に流通しているのかを確認するため、内閣府が公開するみちびき (準天頂衛星システム) 対応製品リスト (2020年12月時点) にあるドライブレコーダ等のスペックを調査した。

表5 TransLogのスペックと推奨スペック

出典:株式会社リーデックス, 通信型ドライブレコーダDN-CDR, <https://www.leadex.co.jp/pdf/DN-CDR.pdf> (参照2020.10.01)

センサ	機能	推奨スペック	TransLog
GNSS	座標値	[オフスカ]15m以下 [都市部]20m以下	単独測位
	速度	2Hz	2Hz
IMU	角速度・加速度	100Hz*	100Hz
Odometer	移動距離	50Hz*	1Hz
カメラ	画角	水平118~135度	水平118度
	解像度	HD(1280×720)	HD(1280×720)
	フレームレート	22Hz	22Hz

において日本の体系に合わせた整理が必要となるため、今回はJASPARとの差分を分析・整理した。

その結果、JASPAR仕様は地物の変化情報を共有する仕様であるのに対し、検討した特徴点の要件は各車両で検知したオブジェクト（特徴点）を共有する際の要件であり適用範囲が異なるため、「位置、速度、時刻データ」等はJASPAR仕様に含まれていないが、地物データについては、一部地物が不足しているものの大きな差異はないことが分かった。なお、JASPAR仕様とはスコープが異なるものの、OEMでの道路変化検知の処理が不要となるため、OEMの技術開発要素は少なくなり、情報の流通が進展する可能性がある。また、情報が流通されることにより、カバー範囲拡大、サンプル数の増加による検出精度の向上が期待されることから、OEMの技術開発のハードルを下げた収集の仕組みも検討しておく必要があると考える。よって、まずは本研究開発で検討した特徴点の要件を踏まえて、JASPARに変化情報になる前段階の車両が検知した特徴点の情報をセンタ間（クラウド）で交換する際の仕様の追加を働きかけることが考えられる。

5 まとめ

本研究開発では、「ドライブレコーダを活用した道路変化点抽出技術」と「車両プローブ情報を活用した道路変化点抽出技術」をそれぞれ検討したうえで、「速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術」について検討した結果をまとめた。「ドライブレコーダを活用した道路変化点抽出技術」では、道路変化の有無を把握可能であることを確認し、道路変化点検出技術の要件をまとめた。

「車両プローブ情報を活用した道路変化点抽出技術」では、提供された実交通での車両プローブから道路変化点を把握できるかを確認し、実運用化に向けた運用面の課題をまとめた。

「速やかな運用開始を前提とした道路変化点抽出技術」では、機器スペック等の要件を整理し、専用機ではない市場に流通するドライブレコーダで実現できることを確認した。また、将来的な展開を見据え「一般道/Global」での運用開始時に必要な要件を整理し、共通化に向けた実現手順をまとめた。

協調型自動運転のための 通信方式の検討(概要)

小川博文 (マツダ株式会社)

(概要) 協調型自動運転のコンセプトは以前より様々な企業、研究機関等により検討されてきた。また、この機能を実現するための通信方式についても各地域で実証実験や標準化活動を通じて検討が行われている。日本においては、既に実用化され安全運転支援に活用されているITS無線を自動運転へ拡張することが考えられるところ、その適用可否又は将来のあるべき通信方式についての議論は個別には行われていたと思われるが、日本としてまとまった議論となっていなかった。SIPでは産学官が一堂に会して自動運転の実現に向け取り組む体制ができていることから、この枠組みを活用して議論することとした。2019年度に協調型自動運転通信方式検討TF(以下「TF」という。)を立ち上げ、3年計画で将来の通信方式の検討をスタートさせた。TFで、検討のベースとなる通信を用いるユースケースを定義し、そのうえで通信要件の明確化と要件を満足する通信方式の検討を行っている。ゴールとしては、協調型自動運転に必要な通信方式の提案とそれが必要となる時期を明記したロードマップの策定を目標とする。

1 背景

自律型自動運転にインフラ協調型システムを組み合わせた安全でスムーズな高度な自動運転が構想され、その実現が期待されている。しかし、この実現に必要な通信に関しては様々な課題があげられている。例えば、現在日本では安全運転支援システム用のITS通信は実用化されているが、協調型自動運転の時代にはこの周波数、帯域幅では不足で、新たな周波数が必要になるのではないかと、必要としたら帯域幅はどれぐらいか、さらには、アメリカ、ヨーロッパは5.9GHz帯の電波がITS通信用に割り当てられているが、日本は760MHz帯、5.8GHz帯の電波を使用しており世界標準から取り残されてしまうのではないかなど、多くの議論があるものの結論は見えていない。SIPシステム実用化WGではこの課題に対し、2019年度より協調型自動運転通信方式検討TF(以下「TF」という。)を立ち上げ3年計画で将来の協調型自動運転に必要な通信方式の検討をスタートさせた。

2 TFの目標と達成計画

TFの目標は「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、ALL JAPANとして最適な通信方式の方針を固める」とし、活動のゴールは、協調型自動運転に最適な通信方式を提案することと、通信方式の変化点のロードマップを描くこととした。

将来の通信方式を検討するためには、どのような機能、性能を持つ協調型自動運転を想定するかが重要である。そのためには協調型自動運転の具体的なユースケースを決めることが必要である。次にそのユースケースに基づき通信要件をまとめ、通信要件を満足する通信方式を考えるというステップで検討を進めることとした。

この考えに従い、TFの活動は、Phase1として協調型自動運転の定義と対象を明確化とこれに基づくユースケースを選定する。Phase2においては、Phase1で定義したユースケースを実現するための技術要件、通信要件の調査・検討を行い、現状のITS通信に適用した場合における課題を明らかにする。Phase3では、課題を解決するための通信方式の検討とその妥当性の評価を行い、協調型自動運転に最適な通信方式を提案するとともに将来にわたる通信方式のロードマップを策定するという三つのPhaseで取り組むこととした。

TFメンバーとして、Phase1のユースケースの策定では(一社)日本自動車工業会(以下「自工会」という。)、有識者、関係府省庁に参加いただいた。Phase2以降の通信方式等の検討では、それに加えITS

情報通信システム推進会議、(一社)電気情報技術産業協会、(一社)UTMS協会、国土技術政策総合研究所、(公社)自動車技術会の参加を得た。これら自動車業界、通信業界、ITS関連団体、学術団体、関係府省庁が参加することによりALL JAPANで将来の通信方式の検討を行う体制を組むことができた。

3 ユースケースの策定

3.1. 協調型自動運転定義

通信を用いた協調型自動運転のユースケースとしては走行そのものから交通環境データの活用まで幅広く考えることができるが、本検討では協調型自動運転を成立させるために不可欠なユースケースに絞ることとした。この方針を明確にし、選定時の判断のよりどころとするため、協調型自動運転システムの定義を策定した。以下が策定した定義となる。

「協調型自動運転システムとは自律型自動運転システムをベースに、車載センサー検知外の情報の入手や自車が保有する情報の提供及び車車/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」

通信による情報伝達は、電波外乱等コントロールできない要素を含んでおり、100%の品質保証は難しいため、自律型自動運転をベースに協調型自動運転を考えることとした。したがって、最終的な制御の判断は車載センサーの情報により行い、通信を使って入手した情報は、より安全でスムーズな自動運転に活用とするものとした。

また、通信の役割は、車載センサーなどでは検知できない情報の入手と考え、車載センサー検知外の情報、車外との情報のやり取りや意思疎通として定義に含めた。

対象は、高速道路や一般道、いわゆる公道を走行するオーナーカー、物流/移動サービスカーとした。

3.2. ユースケースの選定

3.2.1. ユースケース調査

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」(1)では、欧、米、アジア(日本含む.)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調査・収集された。また、日本においては自工会により高速道路のユースケース及び一般道のユースケースが検討されており、これらを本ユースケースを考えるうえでの参考とした。

3.2.2. SIP ユースケース選定の考え方

TFでは、将来の通信方式や通信資源の提案を行うことを目標としている。前項で収集したユースケースには実用化の可能性が低いユースケースも含まれているため、それら全てを実現するために通信資源を確保した場合、無駄が生じるおそれがある。このため、将来的な実用化の可能性に基づき、ユースケースの取捨選択を行った。選定基準を以下1), 2)に記す。

1) 協調型自動運転システムを考えるうえでの前提条件

① 全ての交通参加者は基本的に法規を遵守する

理由：周囲の交通参加者の故意による交通法規違反に起因する事故の回避機能の実現は協調型自動運転システムに過度な性能・コストの負担を要求することになるため。

② 自律型自動運転システムで実現できるユースケースは含めない

理由：自律型自動運転システムをベースにして協調型自動運転システムは実現されるため、自律型自動運転システムで実現できる機能については冗長機能となり協調型自動運転システムとしての実用化可能性は低いと考えるため。

2) 協調型自動運転システム定義に合致する

TFで設定した協調型自動運転システム定義を基にSIPユースケース選定要件として以下の3項目を設定した。

① 車載センサー検知外の情報の入手が必要

② 自車が保有する情報の提供が必要

③ 車車間及び路車間の意思疎通が必要

3.2.3. SIP ユースケース選定結果

3.2.1項での調査結果を基に選定の考え方により取捨選択したユースケースは25件となった。そのうえで、全体を俯瞰しやすくするためa~hの8機能(a.合流・車線変更支援, b.信号情報, c.先読み情報：衝突回避, d.先読み情報：走行計画変更, e.先読み情報：緊急車

両回避, f. インフラによる情報収集・配信, g. 隊列・追従走行, h. 遠隔操作) に分類を行った。

これらを協調型自動運転定義ごとに整理したものを以下に示す。(カッコ内はユースケース件数を示す。)

- ① 車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース (14)
 - a. 合流・車線変更支援 (2)
 - b. 信号情報 (2)
 - c. 先読み情報：衝突回避 (4)
 - d. 先読み情報：走行計画変更 (5)
 - e. 先読み情報：緊急車両回避 (1)
- ② 自車が保有する情報の提供が必要なユースケース (4)
 - f. インフラによる情報収集・配信 (4)
- ③ 車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース (7)
 - a. 合流・車線変更支援 (4)
 - g. 隊列・追従走行 (2)
 - h. 遠隔操作 (1)

ユースケースの詳細は、SIP ホームページに掲載の「SIP 協調型自動運転ユースケース」⁽²⁾を参照していただきたい。一例として a-1-1 予備加減速合流支援を図1に示す。

①車載センサー検知外の情報入手が必要なユースケース
a.合流・車線変更支援
a-1-1. 予備加減速合流支援

機能分類	a.合流・車線変更支援		
ユースケース名	a-1-1. 予備加減速合流支援		
対象場所	高速道路＋一般道	対象車両	オノ・カ
概要	本線上の目標地点での本線北行車両の速度や合流車到達予定時刻等の情報群、インフラから合流車両に提供し、合流路での予備加減速の支援を行う。		
ユースケースイメージ			
通信	V2I	情報の受け分け	メッセージ
接続形態	1対多	センサーデータ	合流車到達予定時刻(本線車)
制御用途	予備加減速	リッチコンテンツ	速度(本線車/対計測)、車程
応答性	変	データ量	小

図1 ユースケース(例)(予備加減速合流支援)

25のユースケースは一品一葉で図1のように概要、対象場所、対象車両を示すとともに簡略図を付けて理解しやすくした。また、留意事項として、Phase 2で検討する通信要件の参考となる情報として通信、接続形態、制御用途、即応性、通信するデータ概要なども付記した。

上述の25ユースケースのほかに前提条件に合致しないものや、他のユースケースと統合したものが14件あった。これらはSIPユースケースからは除いたが、今後SIPユースケースを見直す必要があった場合の参

考となる様、検討の記録として残すこととした。

4 通信要件

Phase2の通信要件の検討は、これまでITS無線通信の標準化等を通じ、豊富な知識・経験を有するITS情報通信システム推進会議(ITS Forum)の協力を得て進めている。

ITS Forumではユースケースを通信の切り口で再整理し、5カテゴリーに分類した。これら5カテゴリーを以下五つのワーキンググループが並行して検討を進めることで、短期間に通信要件をまとめることとした。

- WG1：合流車線変更支援(a-1-1~4, a-2, a-3)*
 WG2：先読み情報・衝突回避支援(c-1~3)
 WG3：信号情報/隊列・追従走行(b-1-1,2, g-1,2)
 WG4：先読み情報：走行計画変更(d-1~5, e-1)
 WG5：インフラによる情報収集・配信(f-1~4, h-1)
 *：参考文献(2)中のユースケース番号

4.1. 前提条件

通信要件を検討するに当たっては、SIP協調型自動運転ユースケース(2)で示された情報だけでは不十分なため、更に詳細なユースケースシナリオの検討を行う必要があった。また、検討を行う前提条件として高精度3次元地図情報の保有や通信遅延、通信品質の定義を明確にし検討を開始した。

4.2. シナリオ検討

シナリオの検討をより現実的で実現可能なものとするため、ユースケース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にヒアリングを行い必要な情報を収集した。そのうえで検討対象となる道路の最大車線数、想定車間距離、速度条件、最大加減速条件など、道路や自動車の基本的な条件設定を行った。

個々のユースケースに対するシナリオ検討では、ユースケースに求められる通信エリア、通信対象台数を想定したうえで実際の自動車の動きや必要な情報項目(メッセージ)を決めていった。また、送信元と送信先とのメッセージのやり取りを一連の送受信シーケンスにまとめた。図2にメッセージ送受信シーケンスの例を示す。

(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)

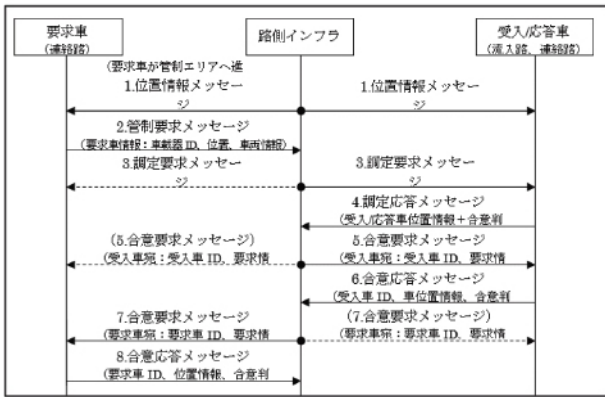


図2 メッセージ送受信シーケンス(例)

4.3. メッセージ

通信要件のうち大きな要素を持つものとして通信量がある。前述の送受信シーケンスでやりとりするメッセージとデータ量を定義した。以下、通信内容と必要なデータ量の例を示す。このように個々のユースケースに対してデータ量を見積もった。

情報要素	データサイズ ※1		
	ユースケース #1-1	ユースケース #1-2	ユースケース #1-3
メッセージ ID	16 bit	16 bit	16 bit
インクリメント ID または情報更新時刻	32 bit	32 bit	32 bit
路側管制情報	8 bit	8 bit	8 bit
路側機 ID	32 bit	32 bit	32 bit
合流起点情報	16 bit	16 bit	16 bit
道路番号	32 bit	32 bit	32 bit
走行車両数	8 bit	8 bit	8 bit
車両 ID	16 bit	16 bit	16 bit
車両位置 (緯度経度高度)	—	88 bit	88 bit
走行車線	8 bit	8 bit	8 bit
走行速度	16 bit	16 bit	16 bit
車両長さ	14 bit(+空 2 bit)	14 bit(+空 2 bit)	14 bit(+空 2 bit)
合流起点到達予定時刻	32 bit	32 bit	32 bit
センサ情報取得時刻 ※2	32 bit	32 bit	32 bit
情報信頼度 ※2	8 bit	8 bit	8 bit

図3 メッセージとデータ量(例)

4.4. 通信要件

ユースケースごとのシナリオ、メッセージデータ量、要求遅延時間、要求通信品質などの諸要件から通信要件を図4のようにまとめた。今後、これをベースに通信方式の検討を行う。

ユースケース No.	予備加減速合流支援 #1-1	本線併走型合流支援 #1-2	路側管制による本線車両協調合流支援 #1-3				
			管制要求	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答	調定合意	
通信目的	—	—	位置情報提供	管制要求	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答	調定合意
対象エリア (最少範囲)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (V→I)	V
通信品質	合流起点6秒前から合流起点の中央まで	合流起点6秒前から合流起点の中央まで	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	合流範囲
必須通信距離	PAR≧99% (仮) 33.9~53.8m	PAR≧99% (仮) 66.7~116.7m	PAR≧99% (仮) PAR: 99.7~116.7m 車線: 111.1~266.7m	PAR≧99% (仮)	PAR≧99% (仮)	PAR≧99% (仮)	PAR≧99%
データサイズ (※1)	764 byte (514+250) 想定台数: 31台	1042 byte (1692+250) 想定台数: 62台	3616 byte ※2 (3366+250) 想定台数: 124台	287 byte ※3 (37+250)	271 byte ※3 (21+250)	287 byte (37+250)	283 (44)
通信条件	遅延: 100ms 周波数帯域: 1台	遅延: 100ms 周波数帯域: 1台	遅延: 100ms 周波数帯域: 1台	不定 100ms (仮)	不定 100ms (仮)	不定 100ms (仮)	不定 100ms (仮)
通信遅延	規定しない	規定しない	規定しない	併線区間許容遅延として100msを想定	併線区間許容遅延として100msを想定	併線区間許容遅延として100msを想定	併線区間として100
通信相手	非特定車両 (同車線内)	非特定車両 (同車線内)	非特定車両 (同車線内)	特定車両	特定車両	特定車両	非特定車両 特定車両
走行速度	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	20~1

図4 通信要件(例)

5 今後の検討

各ユースケースに対する通信要件がまとまった後、既に実用化されているITS無線(狭域通信)やモバイル通信(広域通信)への適用検討を通して課題の抽出を行う。さらに、Phase3では課題解決のための通信方式の提案とそれが必要とされる時期を明らかにしたロードマップを策定する。これにより将来を見通して協調型自動運転に必要な電波リソース確保の準備を行うことができる。

【参考文献】

- (1) 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
- (2) 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>

狭域・中域情報の 収集・統合・配信に係る研究開発

油川雄司（株式会社NTTドコモ）、大久保義行（パナソニック株式会社）、
高山浩一（住友電気工業株式会社）、浜口雅春（沖電気工業株式会社）

高度な自動運転を実現するための技術は多岐に渡り存在し、その一つとして、距離が離れている、遮蔽物が存在する等により自車のカメラやレーダ等では認識できない範囲の物標を自動運転車両がV2X通信で得られる情報により認識する技術がある。自動運転車両に搭載されるセンサだけでは安全が確認できるまで停止又は徐行すると想定され交通流への影響が懸念される中、この技術により交通流への影響を軽減することが期待できる。

本研究開発は、高度な自動運転の実現に資するため、情報源である多数の路側インフラ等から得られる車両や歩行者等の動的情報の効率的な収集、これら情報の統合等の処理による動的情報の効率的な生成、処理後の動的情報の効率的な配信を行うための要素技術の研究開発を行い、複数情報源から情報を収集するための通信方式・共通インターフェース、収集した情報を統合するための指標案、自動運転車両に配信するための情報配信手法の策定を行う。

1 研究開発スコープ

1.1. 研究開発の全体像

本研究開発では、複数の情報源から得られる動的情報を収集・リアルタイムな交通状況として統合し、必要な範囲の情報のみを自動運転車両側の情報と共有可能な形式で配信することで、自動運転車両が、自車両のセンサの死角、検知外の対象物の位置、属性等の制御に必要な情報を俯瞰的に把握することを支援する。

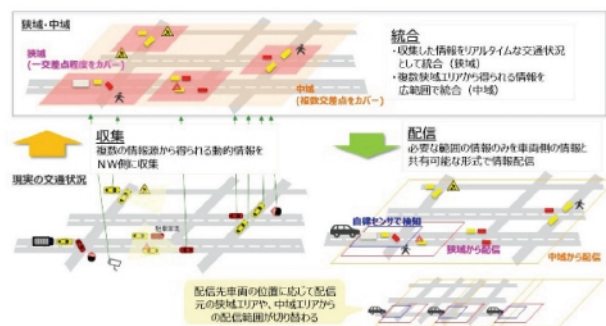


図1 研究開発の全体像

1.2. 研究開発の成果目標

本研究開発では、複数の情報源から情報を収集することとなるため、複数情報源とサーバ間での共通的なデータフォーマットやプロトコルが要求されることから、インフラ・車両間、サーバ間におけるIF仕様などの国内外の規格を参考に、共通的なインターフェースを策定

する。さらに、収集した情報を結合する際の条件を検討・整理した上で、情報統合における指標案を策定する。

また、収集した情報を自動運転車両へ配信する際に、ネットワーク側から配信する情報が、車両側が保有する情報と共有可能な形式となるように情報配信手法の策定を行う。

最終的には、本研究開発における成果を、道路環境における様々な情報源から情報を収集・統合・配信する際の、標準的な収集・配信インターフェース、統合指標などのガイドライン策定につなげることを目指す。

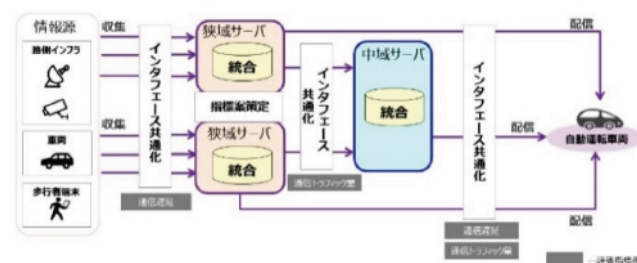


図2 研究開発の成果イメージ

2 アーキテクチャの検討・設計

2.1. システム構成

本研究開発のシステムは、路側インフラに設置した情報源、車載器を搭載した車両、歩行者端末等の情報

源、一般的な一つの交差点程度の大きさを想定した「狭域エリア」をカバーする「狭域エッジサーバ(狭域サーバ)」、市区町村程度の大きさを想定した「中域エリア」をカバーする「中域エッジサーバ(中域サーバ)」, 情報の配信先となる自動運転車両及びそれぞれの装置を接続する通信ネットワークで構成する。

「狭域エリア」における自動運転では、見通し外を含め、車両周辺の交通状況に応じた対応が必要となる。そこで本研究開発では、交差点周辺の物標(車, 歩行者など)情報を複数の情報源から抽出し、抽出した情報を「狭域サーバ」に収集, 統合し, 更に統合された情報を自動運転車に配信するための研究開発を実施する。

「中域エリア」においては、車両が移動する先の状況を広く連続的に認知し, 対応することが必要となる。そこで本研究開発では、複数の狭域エリアで収集・統合した情報を「中域サーバ」に収集し, 集められた情報を統合し, 更にこれら統合された情報を配信するための研究開発を実施する。

2.2. 狭域エリアにおけるシステム構成

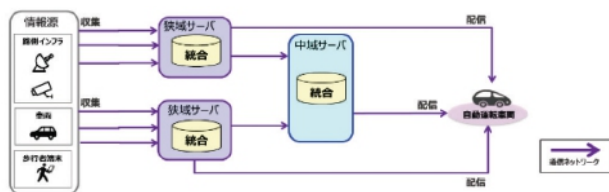


図3 全体システム構成イメージ

物標情報の抽出・統合処理の実装方法とその実装方法に適した通信方式として、「路側処理方式」と「センタ処理方式」の2方式で検証する。

2.2.1. 路側処理方式

情報源側で物標情報の抽出を実施し, 路側エッジサーバにおいて統合する方式であり, 通信方式として専用通信(公衆通信の基地局を介さない直接通信(DSRC, LTE V2X(PC5), WiGig))を使用する。特徴としては, 路側に設置した軽量かつ安価な処理装置

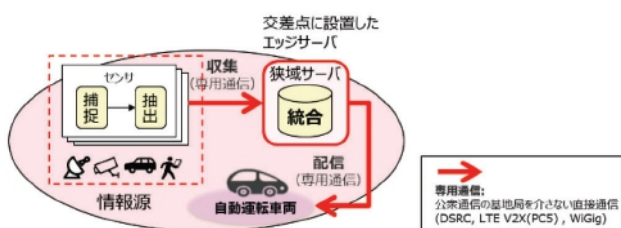


図4 路側処理方式の狭域システム構成

(エッジサーバ)を用いて, 車両や歩行者の位置情報等, 比較的少ない情報量を取り扱い, 狭域エリア内で活用するという点である(分散型エッジサーバ)。

2.2.2. センタ処理方式

情報源側で捕捉したセンサ情報をそのままネットワーク上に設置したエッジサーバに送信し, サーバ側で物標情報の抽出・統合を行う方式(ただし, 一部センサ情報は情報源で抽出)であり, 通信方式としてモバイル通信(セルラネットワークを活用した通信(5G+LTE))を使用する。特徴としては, センタ側に設置した高性能サーバ(エッジサーバ)を用いて, カメラ映像等, 情報量が多く, 高度な演算を必要とする情報を一括処理するという点であり, 経済的に複数交差点をサポートすることも可能である(集中型エッジサーバ)。

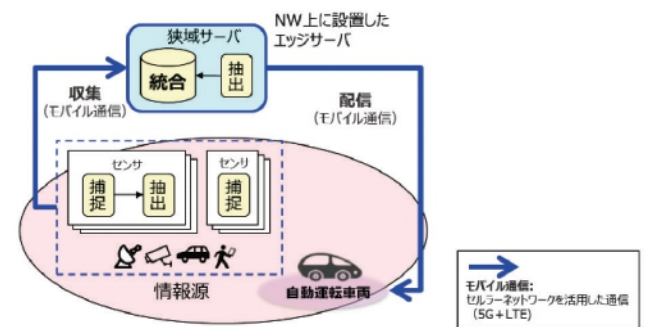


図5 センタ処理方式の狭域システム構成

2.2.3. 狭域における情報の統合方法

実際の交通状況との乖離や, 車両へ配信する情報量の増大を防ぐため, 同一物体に対する複数センサ情報の同定・統合処理が必要となる。その際, 異なる情報源の間での時刻や位置の誤差・ズレに対する考慮が必要であり, GNSS(Global Navigation Satellite System, 全球測位衛星システム)ベースの高精度な時刻同期方法の採用や, 物標間の位置と移動軌跡の相関性から同一物体の判定を行うなど, 対策を講じた。

2.3. 中域エリアにおけるシステム構成

「中域エリア」においては, 自動車が移動する先の状況を広く連続的に認知し, 対応することが必要となる。そのため, 狭域サーバからの情報収集及び自動運転車両への情報配信については, セルラネットワークを活用したモバイル通信を利用した。

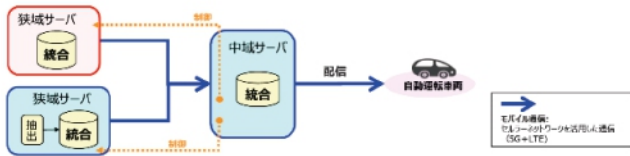


図6 中域システム構成

3 想定ユースケースとKPI達成目標

3.1. 想定ユースケース

本研究開発におけるユースケースを検討するに当たっては、手動走行、運転支援システム（レベル1～2）、自動走行システム（レベル3～4）が混在する「混在期」においても見通し外の事故が共通課題になる点に留意した上で、想定ユースケースの検討を実施した。ここでは、協調型自動運転通信方式TFで検討されたユースケースとの整合性の観点及び本研究開発の独自性である狭域と中域の両エリアをカバーする観点を考慮した。

検討の結果、想定課題の解決に資するユースケースとして、狭域エリアにおいては、「通信を活用した自動運転車両の交差点への円滑な進入・通過支援」を、中域エリアにおいては「交差点手前での事前の車線変更、経路変更の支援」を設定した。

また、対象とする交差点規模については（事故多発交差点マップ過去データ分析 報告書 概要版 平成29年3月）により、以下の観点で、「4車線×2車線」を選定した。

- ・事故多発交差点は、主道路の8割以上が4車線以上の大規模交差点
- ・4車線×2車線は交差点形状として多い
- ・混雑度が高めで自動運転車の円滑な走行が難しいと想定

表1 ユースケース一覧

SIP協調型自動運転UC	検知対象	本研究開発におけるUC	ユースケース詳細	
d-5	(狭域NW等から収集した情報)	UC中1	前方交差点の右折待ちによる滞留状況等の情報を提供(→経路変更の支援)	
d-1	(狭域NW等から収集した情報)	UC中2	前方の断続的な路駐車両等の情報を提供(→車線変更を支援)	
c-2-2	対向車線直進車両	UC狭1	自車両センサでは検知できない対向直進車の情報を提供	
c-2-2	右折先道路渋滞	右折先状況	UC狭2	右折先状況(空きスペース等)の情報を提供
		接近	UC狭3-1	横断歩道への歩行者・自転車の接近情報を提供
		横断待ち	UC狭3-2	横断歩道付近で停止した歩行者の詳細属性情報を提供
	横断中	UC狭3-3	横断歩道上の歩行者や自転車の情報を提供	
d-5	障害物	UC狭4-1	車両センシング情報を提供(右折支援以外のUCにも活用可能)	

3.2. KPI目標

本研究開発におけるKPIについては、情報源からの抽出処理や狭域サーバでの統合処理の正解率、情報収集・配信における通信遅延時間、情報配信におけるトラフィック削減率を各処理における評価指標とし、くわえて、システム全体での一連の処理時間も評価指標とした。KPI目標値と設定根拠を表2に示す。設定した評価指標は、前述のユースケースごとに定義や条件を詳細化した上で各種検証を実施した。

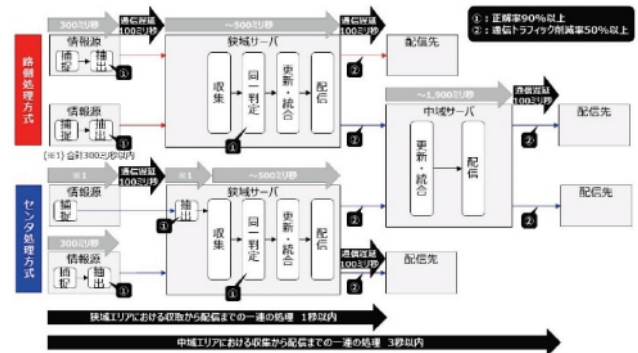


図7 KPI目標の全体イメージ

表2 KPI一覧

研究項目	達成目標(KPI)		
	指標	目標値	想定目標値と根拠
抽出	情報源で抽出した情報の正解率	90%以上	一般的なセンサの正解率相当【参考条件】
収集	情報源から狭域サーバまでの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当
統合	狭域サーバで統合した情報の正解率	90%以上	抽出の正解率に対し、統合による精度劣化無し
	狭域サーバ等から中域サーバまでの通信トラフィック削減率	50%以上	収容可能なユーザー数(狭域エリア数等)に対するマージンを確保するための一律の目標値
配信	狭域サーバから配信先までの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当
	通信トラフィック削減率	50%以上	収容可能なユーザー数(配信先数)に対するマージンを確保するための一律の目標値
	中域サーバから配信先までの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当
	通信トラフィック削減率	50%以上	収容可能なユーザー数(配信先数)に対するマージンを確保するための一律の目標値
総合	収集から配信までの一連の処理時間(狭域)	1秒以内	ダイナミックマップにおける「動的情報」の定義(≦1s)相当
	収集から配信までの一連の処理時間(中域)	3秒以内	中域サーバが想定するUCのうち最短のケース(1つ前の交差点の情報配信)を設定

4 実証の内容及び結果

本研究開発では、狭域エリア及び中域エリアそれぞれで個別に実証を行うとともに、総合実証として、実際の道路環境(お台場エリア)において、狭域エリアと中域エリアを統合したフィールド実証を実施した。

4.1. 狭域エリアでのKPI検証

本節では、DSRCを用いた路側処理方式(路側処理

方式1), WiGigを用いた路側処理方式(路側処理方式2), 5Gを用いたセンタ処理方式の狭域3方式の試験環境及びKPI検証の結果を示す。KPI検証の結果, 狭域3方式のいずれも目標値を達成することを確認した。

4.1.1. 路側処理方式1(通信方式:DSRC)



図8 試験環境(路側処理方式1)

表3 KPI検証結果一覧(路側処理方式1)

検証種別	UCシナリオ	共通試験	正解率(位置)				通信遅延・処理時間		備考
			抽出	適合	統合	合計	適合率	合計	
KPI検証	UC狭1-1-1	○	①:100% ②:100% ③:100%	○	100%	○	①:119ms ②:205ms ③:229ms	98%以上	センサ:①2個, ②, ③1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭2-1-1	○	①:98%	○	100%	—	①:125ms ②:207ms ③:229ms	98%以上	センサ:①2個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭3-1-0	○	①:100%	○	100%	○	①:121ms ②:201ms ③:221ms	98%以上	センサ:①2個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭4-1-1	—	—	—	—	—	—	—	評価対象外
ピーク時想定	限定エリア②(UC狭2'3)	○	—	—	—	—	①:160ms ②:215ms ③:220ms	98%以上	センサ:①1個, ②2個 抽出物標:①1個 配信車両:57台

センサ種別: ①LIDAR, ②長距離LIDAR, ③レーザ 通信遅延・処理時間: ①平均, ②CDF95%, ③CDF99%

4.1.2. 路側処理方式2(通信方式:WiGig)



図9 試験環境(路側処理方式2)

表4 KPI検証結果一覧(路側処理方式2)

※: 同定処理の問題処理(250ms)待ち時間含む

検証種別	UCシナリオ	共通試験	正解率(位置)				通信遅延・処理時間※3		備考
			抽出	適合	統合	合計	適合率	合計	
フィールド検証	UC狭1-1-1	—	—	—	—	—	—	—	当社評価対象外
	UC狭2-1-2	○	①:95%以上	○	統合対象外	○	①:218ms ②:302ms ③:330ms	99%以上	センサ:①1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭3-1-0	○	①:95%以上 ②:90%以上	○	95%以上	○	①:269ms ②:454ms ③:504ms	99%以上	センサ:①1個, ②1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭4-1-1	—	—	—	—	—	—	—	当社評価対象外
ピーク	ピークシナリオ	○	—	—	—	①:518ms	—	—	シミュレーション実施 抽出物標数:44個 統合物標数:12個 配信車両:57台

抽出におけるセンサ種別: ①レーザ, ②ITS通信端末 通信遅延・処理時間: ①平均, ②CDF95%, ③CDF99%

4.1.3. センタ処理方式(通信方式:5G)

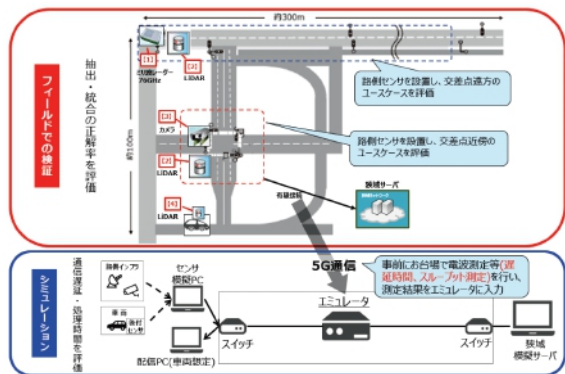


図10 試験環境(センタ処理方式)

表5 KPI検証結果一覧(センタ処理方式)

シミュレーション評価結果を含む

検証種別	UCシナリオ	共通試験	正解率(位置)				通信遅延・処理時間		備考
			抽出	適合	統合	合計	適合率	合計	
フィールド検証	UC狭1-1-1	○	①:98% ②:100%	○	100%	○	①:96ms ②:134ms ③:145ms	98%以上	センサ:①1個, ②1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭2-1-1	○	①:100%	○	—	—	①:85ms ②:128ms ③:140ms	98%以上	センサ:①1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭3-1-0	○	①:100% ②:98%	○	100%	○	①:143ms ②:186ms ③:200ms	98%以上	センサ:①2個, ②1個 抽出物標:1個 配信車両:1台
	UC狭4-1-1	○	①:97%	○	—	—	①:316ms ②:368ms ③:389ms	98%以上	センサ:①2個 抽出物標:1個 配信車両:1台
ピーク時想定	UC狭2'3	○	—	—	—	—	①:238ms ②:319ms ③:349ms	98%以上	センサ:①2個, ②2個 抽出物標:32個 配信車両:57台

センサ種別: ①レーザ, ②LIDAR, ③カメラ 通信遅延・処理時間: ①平均, ②CDF95%, ③CDF99% ※エミュレータ検証後、最新の測定結果を反映

4.1.4. 狭域3方式の結果まとめ

狭域3方式の評価結果を表6に示す。トータルの処理時間等に大きな差がないことを確認した。

表6 狭域システムの比較

処理方式	通信方式(収集/配信)	情報源	得られた知見	KPI評価結果(上段:達成状況,下段:達成情報)			
				抽出正解率	統合正解率	通信遅延・処理時間	トータル処理時間
路側処理方式1	DSRC	レーザ・LIDARに基づく物標情報 + DSRC連携情報	✓低コストでセンサ処理デバイスで実現可能 ✓大量車による高頻時も通信が有効	達成	達成	達成	達成
				課題あり	位置精度向上	平均値 -収集13ms -配信10ms	平均値 121ms
路側処理方式2	WiGig	レーザ・ITS端末に基づく物標情報 + DSRC連携情報	✓低コストでセンサ処理デバイスで実現可能 ✓大容量車による高頻時も通信が有効 ✓中域処理により、路側情報の処理コスト削減、リソースの動的割当の可能性を確認	達成	達成	達成	達成
				課題あり	位置精度向上、両性並進	平均値 -収集16ms -配信4ms	平均値 126ms
センタ処理方式	5G	レーザ・カメラ・ITS端末	✓高性能サーバで映像等の詳細解析が可能 ✓中域処理により、路側情報の処理コスト削減、リソースの動的割当の可能性を確認	達成	達成	達成	達成

4.2. 総合実証

総合実証では、対象車両について、中域エリアにおいて経路変更を支援し、狭域エリアにおいて交差点での右折を支援するという、一連のユースケースシナリオを作成して検証を実施した。また、検討・構築したシステムアーキテクチャ全体の妥当性確認やKPI評価を実施した。図11に走行コースを示す。

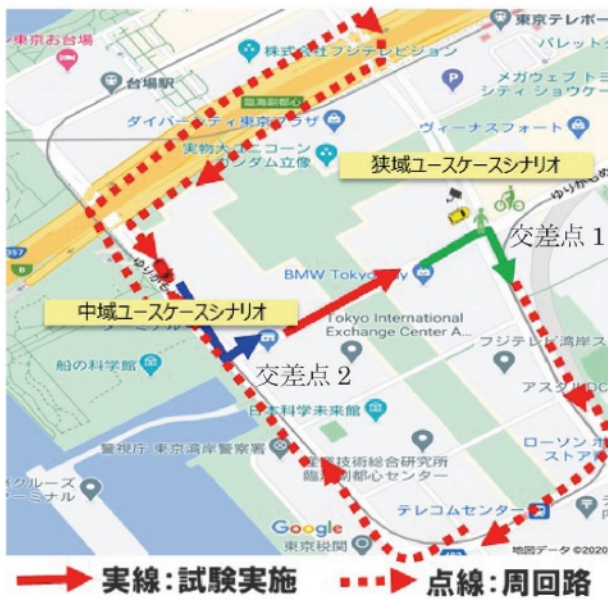


図11 総合実証の全体シナリオ

4.2.1. ユースケースシナリオ

中域エリアにおいては、交通流の円滑化の実現を目的に、車両前方の状況を連続的に配信することで、事前の車線変更や経路変更の支援を行うシナリオを設定した。



図12 中域ユースケースイメージ

狭域エリアにおいては、交差点内と交差点付近の交通状況を把握し、その情報を自動運転車両に配信することで、交通環境が複雑な交差点への円滑な進入・通過の支援を行うシナリオを設定した。

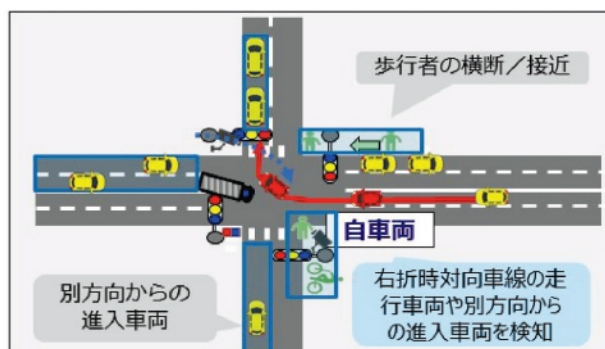


図13 狭域ユースケースイメージ

上述の中域、狭域エリアのユースケースを一連の車両走行でのシナリオとして以下の様に設定した。

具体的には、支援対象車両(図11の赤色車両:自動運

転車想定)は、狭域エリア内の交差点1に停車中の黄色い車両(交差点2から交差点1にかけて走行しており、交差点1付近が渋滞しているため、滞留車両として交差点1で滞留している状況)を滞留車として、物標情報(滞留情報)を5G経由で中域サーバから受信し、これに基づいて混雑エリアを避ける形で事前経路を変更する(図11の交差点2で左折する予定を変更して直進する。)こととなる。次に、交差点1が渋滞していなければ、交差点2を左折して交差点1エリアに進み、交差点1付近では、路側に設置したセンサより物標情報を狭域サーバから受信することで、円滑に交差点に進入するシナリオを設定し、一連の流れに係る処理時間などの計測を行った。

4.2.2. システム構成

構築したシステムアーキテクチャは以下である。携帯電話ネットワークは商用5G/LTE網を利用し、狭域サーバ向けの路側センサとしてはレーダを設置した。

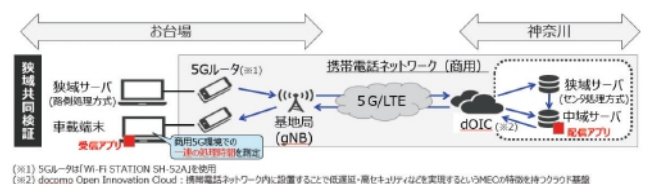


図14 システム構成

4.2.3. 実証結果

ユースケースシナリオの過程で、収集⇒統合⇒配信の一連の処理時間などを計測し、中域エリア及び狭域エリアにおける一連の処理時間がそれぞれ目標値を達成することを確認した。中域ユースケースシナリオにおける収集から配信までの一連の処理時間に関する検証結果を表7に示す。

表7 総合実証結果(中域ユースケースシナリオ)

種別	ユースケースシナリオ	処理時間合計	
路側処理方式1	UC中1-1-1 (滞留無し)	①216.7 ms	
		②333.5 ms	
		③388.1 ms	
路側処理方式2	UC中1-1-1 (滞留無し)	ITS端末	レーダ
		①142.0 ms	①153.1 ms
		②265.2 ms	②282.2 ms
		③318.9 ms	③338.9 ms

凡例 ①平均値 ②CDF 95% ③CDF 99%

4.3. KPIの達成状況

総合実証を含む各実証の結果、一連の処理時間については、円滑・快適走行の目標として狭域配信で1秒、中域配信で3秒をKPIとして設定していたが、今回のユースケースと交差点規模においては、十分対応可能と考えられることが分かった。

また、安全・安心走行の目標としてサーバの処理時間は300msを目安としたが、今回実施したユースケースについては大部分で問題ない範囲であり、検討・構築したシステムアーキテクチャも妥当であると考えられる。ただし、狭域サーバや中域サーバ内部での統合処理や、配信の周期によっては、300ms以上になることも想定されるため、その場合にはエッジサーバでの内部処理のチューニングや負荷分散などが必要である。

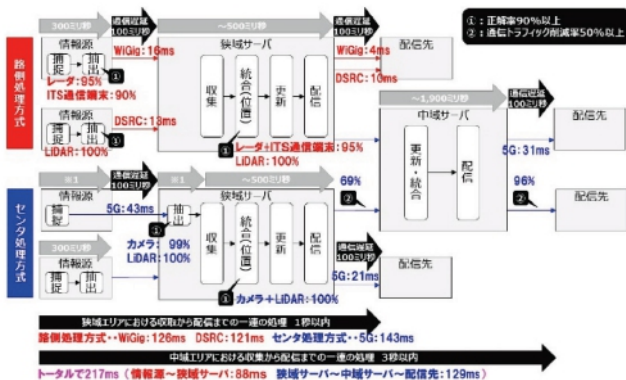


図15 KPIの達成状況(UCは中1, 狭3-1の場合)

とが分かった。

一方で、配信アプリケーションは、配信先の車両台数や配信データ量の増加に伴う処理時間の増加が大きくなることが分かった。これを踏まえると、今後のスケールアップも考慮して中域ネットワークシステムを実用化するには、アプリケーションを含めたシステム全体の設計の変更、例えば、サーバ内部の処理負荷を分散させるためサーバの構成をクラスタ構成にすることで負荷を分散させるなどの検討が必要である。

5.3. 総合実証

狭域から中域への情報収集と中域から車両への配信に商用5Gネットワークを活用した実証実験(東京お台場公道)において、前方交差点での滞留状態の把握による手前交差点での経路変更を可能とする中域配信、前方交差点での円滑な右折を実現するための交差点情報の狭域配信を実現し、中域エリアから狭域エリアへ移動する車両に対して、シームレスな支援が可能であることを確認した。

5 研究開発のまとめ

5.1. 狭域エリア

今回想定したユースケースや前提条件の範囲においては、全てのKPIを達成し、特定の用途や条件下ではあるが、検討したシステムアーキテクチャの有用性を示すことができた。

路側処理方式(DSRC, WiGig)とセンタ処理方式(5G)の比較においては、一連の処理時間等に大きな差がないことを確認した。また、エッジサーバにおける同一物体判定や統合処理において、複数センサ情報を統合する際の時刻や位置の誤差・ズレへの対策について知見を獲得し、さらに、支援対象車両に重複なく高精度で切れ目のない情報を提供することができ、遮蔽対策や位置精度改善の効果を確認した。

5.2. 中域エリア

今回想定したユースケースや前提条件の範囲では、中域ネットワークシステムへの負荷は限定的であった。本研究開発で検討した共通IFや配信制御技術等の活用で、現在の商用携帯電話ネットワーク(5G及びLTE)に対して中域ネットワークシステムを導入しても、ネットワークとしては問題なく運用等が可能であるこ

6 社会実装に向けた提言

本研究開発の検証結果を踏まえ、自律型の自動運転車両の円滑な運行を支援するに当たっては、以下の五つの観点について留意する必要がある。なお、詳細については、実装ガイドラインにとりまとめている。

① 共通IF

- ・ 交差点での多種多様な情報源(路側インフラ・車載センサ, ITS 端末等), 狭域サーバの処理方式や通信メディアの違いを考慮し, 交差点情報の収集IF(狭域)を共通化すること。
- ・ 交差点情報(狭域), 周辺交差点情報(中域)を自動運転車両に活用可能とするため, 標準化団体(ETSI等)で規定されているフォーマット, 位置参照方式(CRP)等も考慮し, 狭域からの情報を中域で統合するためのIF(中域)と, 車両への配信IF(狭域/中域)を共通化すること。

② 配信制御

- ・ 狭域からの配信情報については, 自動運転車両での処理量軽減, 通信量削減のため, 配信先車両の位置や経路等に応じて必要な情報に限定する制御をすること。

- ・中域からの配信情報については、配信先車両の速度や進行方向に応じた配信範囲の絞り込みを行うこと。

③路側センサ

交差点周辺における遮蔽等の対策として、各センサの特徴を生かしつつ精度や信頼性を高める必要があるため、各センサのコストを加味した上で複数センサを路側に設置すること、そして、センサの種別や設置数を最適化すること。

④エッジサーバ

対応すべき交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理時間等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討すること。

⑤通信メディア

主に交差点右折支援を想定した狭域・中域の本システム検証では、通信メディア(5G, DSRC, WiGig)に依る処理時間に大きな差異は見られなかった。しかし、将来的な画像・センサの高解像度化や、よりリアルタイム性の高い走行支援等の用途拡大を見据え、路側システムを構築する際には、それぞれの通信メディアの特徴に適した用途に合わせて使用すること。

自動運転車両との連携に加え、今後普及が進むと考えられる5Gスマートフォンを使った歩行者端末や自転車端末と路側支援連携、端末を持たない歩行者や自転車、車両との混在環境での支援検討も必要である。また、現状のダイナミックマップの情報には歩行者や自転車、車両の動的情報の反映がされていないため、動的情報としてダイナミックマップへの反映とその有効な活用についての検討も必要と想定される。

以上のような検討を進めると共に、交差点周辺の交通参加者の種別や数量の拡大、様々な挙動・振る舞いの組合せ等、実際の交通環境において、提案システムが有用か、想定外の課題が無いか、条件が異なる様々なフィールドでの大規模な実証実験が、実用化を見据えるに当たり必要な取組となる。

上記により、日本でも全国展開の機運が高まり、市場拡大、コスト低減につながると考える。

7 社会実装を見据えた今後の課題

本研究開発において、今回設定したユースケースや前提条件の範囲では全てのKPIを達成し、特定の用途や条件下ではあるが検討したシステムアーキテクチャの有用性を確認できた。一方で、今後の社会実装に向けては、本研究開発での実証や検討結果も踏まえ、ユースケースや条件を段階的に拡大していく必要があり、特に、自動運転車両やダイナミックマップとの連携を含めた実証実験が引き続き必要と考える。

本研究開発では、配信車両として一般車両を使用し、交差点情報の配信までを実施したが、自動運転車両への配信を実施し、交差点情報の配信による円滑走行、安全走行への効果を路側支援がある場合とない場合で定量的に評価する必要がある。さらに、路側支援による交差点情報と自動運転車両の自センサ情報と合わせた処理量の負荷に問題がないか、路側インフラで検知した物体と自動運転車両が検知した物体の整合性等の検討も必要と考えられる。