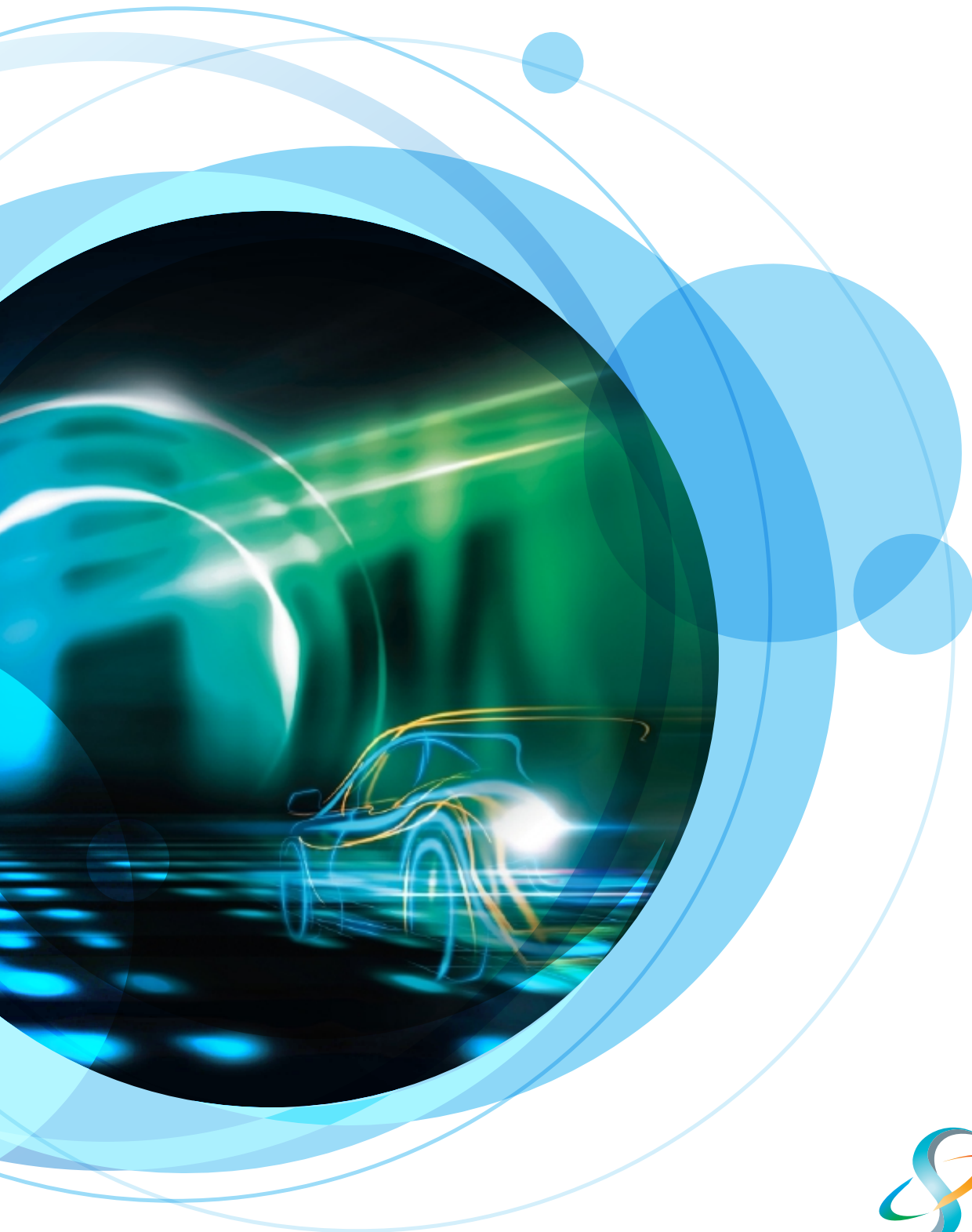


SIP第2期

— 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)



Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

ラストスパートに向けて

2018年4月に始まったSIP第2期も3年が経過し、『研究開発から実用化・事業化まで』をカバーするというSIPの命題を果たすため、今まさに最終コーナーに差し掛かろうとしています。

SIP第1期からの7年半の活動により、関係者間でVision・ロードマップの共有が図れたこと、業界でのコンセンサスが出来たこと、ハード・ソフト両面での取組みが出来たことから、産官学連携・府省連携が進み、様々な成果に結びつけることが出来ました。

SIP第2期ではSociety5.0の実現に向け、高精度3次元地図に紐づく「交通環境情報の構築と配信」及び「地理系データの流通ポータル構築」というデータベースの構築及び活用促進に取り組むとともに、自動運転の実用化にとっての最重要課題は安全性の確保であるとの思いから「仮想空間での安全性評価環境の構築」と「サイバーセキュリティの評価手法の確立」にも着手し、現在これら4つを最重要テーマと定め、実用化・事業化を推進しています。

2020年年初からのCOVID-19の感染拡大は、東京臨海部実証実験の中断などSIPの活動に少なからず影響がありました。一方、SIP第1期発足当初から2020年度をマイルストーンと定め推進してきた結果、予定通り関連法規の改正も行われ、2020年度中に世界初の運転自動化レベル3の車両の商品化が実現するとともに、DMPの高精度3次元地図を搭載した車両も複数商品化され、遅れは最小限に食い留められたと思います。これは、産官学連携・府省連携という資産があったからこそ出来たことであり、自動運転開発に携わる全ての関係者の方々の努力の賜物だと感じています。

また『自動運転社会の実現には“競争と協調”が必要である』との共通認識も広がり、国際連携や社会的受容性の醸成に対しても一枚岩となった取組みが進んでいます。是非この流れを止めず、自動運転が交通事故の削減やドライバー不足などの社会的課題の解決に、少しでも貢献できるようラストスパートをかけていきたいと思えます。

SIP 第2期自動運転
プログラムディレクター
葛巻清吾

Society5.0実現に向けた自動運転による社会課題の解決

総合科学技術・イノベーション会議の下で、Society5.0の実現、すなわち、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合により新たな価値を創出し、経済成長と社会課題を解決することを目指し、内閣府では、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) などの取組を進めております。なかでも自動運転は、路側や車載のセンサーで収集した多くの情報であるビッグデータを、サイバー空間で認知し、AIにより処理、判断を行い、リアルな空間に存在する車両を制御して、走行させるという、まさに、Society5.0を体現したものと考えています。

自動運転の取組は、IT総合戦略本部において2014年に決定された官民ITS構想・ロードマップに沿って進めて参りました。2018年には、未来投資戦略2018においてもSociety5.0実現に向けて変革の牽引力となるフラッグシッププロジェクトと位置づけられるなど、自動運転は成長戦略のなかでも重要な柱とされてきました。

SIPによる自動運転に関する研究開発等の取組は、PD、SPDのリーダーシップの下で、関係省庁、産業界、アカデミア等を結びつけ、ダイナミックマップの概念を始めとして、自動運転や運転支援に必要な静的、動的な地理系データの生成や配信、安全性評価、セキュリティ、通信など、業界や分野横断的に取り組むべき協調領域において、着実に成果を上げてきたと考えております。

自動運転の実現に向けては、技術的な進展を図ることも重要ですが、新たな技術を適切に運用する仕組みやルールの整備、自動運転を利用する人のみならず社会全体に受け入れられるような社会的受容性の醸成や国際的な連携なども図っていく必要があります。

おりしも本年3月、第6期科学技術・イノベーション基本計画が策定され、社会課題の解決の推進にあたり、今後、人文・社会科学系の知見も取り入れた「総合知」を有効に活用していくこととしております。

引き続きSIP第2期の期間において、これまでに築き上げてきた産学官の連携体制の下で、得られた成果を自動運転の社会実装につなげていくとともに、社会的受容性の醸成や国際連携の強化に向けた取組を更に強化していきます。

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 審議官
覚道崇文

成果の最大化を目指して

管理法人として、SIP第2期自動運転（システムとサービスの拡張）の成果を最大化し、いかに成功裏に導くか、それが国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に与えられた命題です。

活動内容はSIPの運用指針に則り、大きく三つの柱があります。一つ目は研究責任者の公募・契約締結、資金管理、課題の進捗管理など、当プログラムの運営管理です。NEDOがこれまでのナショナルプロジェクトのマネジメントで培った知見やネットワークを活かして、専門的観点からの技術評価（ピアレビュー）や調査活動等も実施しています。二つ目の柱は、産学官の多彩なステークホルダーがOne-teamで課題解決や業務の効率化に取り組む場作りです。推進委員会の下に構成されているワーキンググループ（WG）やタスクフォース（TF）等の会議体の運営、さらには、東京臨海部実証実験の参加者の募集、COVID-19による研究開発活動への影響のアンケート調査など、内閣府と密に連携して、きめ細かく推進しています。特にCOVID-19の感染拡大以降はコミュニケーションが希薄化しないよう、オンラインも駆使して運営しています。三つ目の柱は、広報・情報提供のサポートです。当プログラムの社会認知の向上、研究開発成果の早期社会実装に向けた情報共有、国際連携・国際標準化に資する活動など、ホームページやSNSを利用した情報発信や各種イベントを今後も活発に推進して参ります。

振り返ってみると、特に2020年以降はCOVID-19の影響で、東京臨海部実証実験が中断になるなど、様々な困難な状況に直面しました。多くの皆様の献身的なご尽力により、新しいワークスタイルの中で色々なアイデアを出し合い、課題解決に向けて今も継続的に取り組みを続けていただいていることに敬意を表します。

SIP第2期自動運転も残り2年を切り、いよいよラストスパートにかかっています。当プログラムが切り拓く将来の豊かな社会像を想い描きつつ、SIPメンバーと共にしっかり活動して参ります。ご関係の皆様のご理解ご協力をよろしくお願い申し上げます。

新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事
今井 淨

SIP 第2期中間報告書 発行にあたって

戦略的イノベーション創造プログラム（以下「SIP」）第2期の課題として、2018年から開始されたSIP自動運転（システムとサービスの拡張）（以下「SIP-adus」）については、自動運転の実用化を高速道路から一般道へ拡張するとともに、自動運転技術を活用した物流・移動サービスの実用化を目指し、様々な取組を進めてまいりました。

本中間成果報告書（以下「報告書」）は、2020年度がSIP第2期中間時点となることから、SIP-adusに関するこれまでの3年間の研究開発成果を後半期及び終了後も利用可能とするため、中間時点における研究開発の成果や情報を整理し、取りまとめたものです。また、本報告書の英語版を作成して、SIP-adusの中間時点での活動結果を国際的に発信し、標準化や制度的枠組み作りの議論の根拠として活用することとしています。

本報告書は、研究テーマ毎に、各テーマや施策を実施するに至った背景や全体像を記載するとともに、個別の施策については研究開発責任者を中心に、詳細な技術的内容を含む記事としており、より詳細かつ専門的な内容については、各記事等で参照されている論文等を参照していただくことを考えております。本報告書の読者層として、自動運転に関心を持ち、一定の技術的素養のある方を想定しており、本報告書が自動運転に係るSIPの取組についての理解を深める道標となることを目標としています。

以上の目標が達成されているかどうかは、読者諸兄の評価によるところになりますが、多忙を極める中で記事を執筆いただいた方々に深く御礼申し上げるとともに、本報告書が、より多くの方にSIP-adusの取組や成果について知っていただく機会となり、読者の皆さまの自動運転に関する理解を深めることにお役に立つこととなれば幸いです。

2021年9月

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 編集委員会

編集委員会 構成員

（所属、役職は2021年4月1日現在、敬称略）

【プログラムディレクター（PD）】	
トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー Fellow	葛巻清吾
【サブPD】	
政策研究大学院大学 客員教授 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー	有本建男
日産自動車株式会社 法規・認証部 アライアンス技術渉外グループ シニアエンジニア	白土良太
株式会社本田技術研究所 先進技術研究所 エグゼクティブチーフエンジニア	杉本洋一
【有識者等】	
ITS Japan 専務理事	天野肇
自動運転基準化研究所 所長／ 独立行政法人 自動車技術総合機構 交通安全環境研究所 自動車研究部 部長	河合英直
株式会社 三菱総合研究所 スマート・リージョン本部 先進モビリティグループ 研究員	外山友里絵

SIP 自動運転 (システムとサービスの拡張) 中間成果報告書

< 解説 >

内閣府総合科学技術・イノベーション会議が司令塔となり、府省連携・産官学連携でイノベーションの創造を目指す5年間のプログラムであるSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)は2018年から第2期が始まり、2020年でマイルストーンとなる3年間の期間が過ぎた。本書では、その12課題のひとつであるSIP自動運転(システムとサービスの拡張)のこれまでの取り組みを「中間成果報告書」としてまとめた。以下に各章の構成および内容について解説する。

第1章 SIP第2期自動運転(システムとサービスの拡張)

日本政府は「第5期科学技術基本計画」において「Society5.0(超スマート社会の実現)」(図1)を掲げており、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)はSociety5.0実現に向けた中核的なプログラムと位置づけられている。

Society5.0とは『サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会(Society)』と定義されている。その中でも、自動運転は高精度3次元地図を始めとする新たなデータ産業の創生やセンサーなど様々なデバイス産業の拡大による経済発展、そして安全で安心な移動手段の確保という社会

的課題の解決への貢献への期待から、Society5.0実現に向けての重要な技術とされ、SIP第1期に引き続き、SIP第2期でも12課題のひとつとして採択された。

SIP自動運転の取り組み内容としては、産官学連携のプロジェクトという特徴を活かし、業界として協調して取り組むべき課題について議論し、これらの協調領域のテーマを中心に研究開発を進めている。(図2)

SIP第2期の位置づけやSIP第1期での主な成果、そしてSIP第2期の目標・出口戦略、主な研究内容、取組体制などの説明を第1章「SIP第2期自動運転(システムとサービスの拡張)概要」にて説明している。

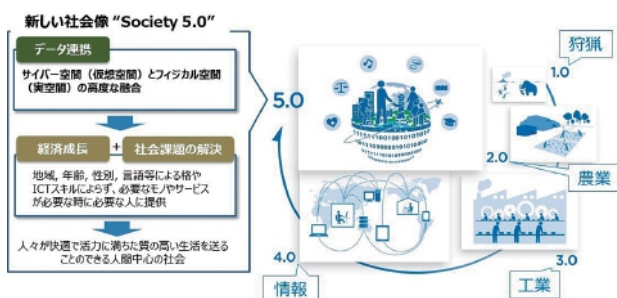


図1 Society5.0



図2 協調領域の技術および課題

取り組んでいる。（図6）

自動運転車両は外部から交通環境情報を通信で得ながら走行することからサイバー攻撃が大きな脅威となる可能性が高い。このため、SIP第2期ではもう一つの重要テーマとして、「新たなサイバー攻撃手法と対策技術に関する調査研究」にも取り組んでいる。これらの取り組みは第3章の、「安全な自動運転社会の実現」の中に記載している。

加えて、安全性確保のためにはハード面だけでなく、ユーザーへの安全教育や交通参加者とのコミュニケー

ションの在り方の工夫でも補完していく必要があると考えており、これらの取り組みについても同じく、第3章の「安全な自動運転社会の実現」に記載している。



図6 DIVEPの取り組み

第4章 | 自動運転のある社会

SIPは、社会的課題の解決を目指し“基礎研究から実用化・事業化までを目指す”プログラムである。

日本の過疎地においては、地域公共交通の採算性悪化が進み、高齢者を中心とした住民の移動手段の確保が喫緊の課題であることから、一日も早く自動運転等による移動サービスの実現が望まれている。

このためSIP第2期では、複数の地方の推進団体及び自治体と組み、電磁誘導線方式のゴルフカートを7人乗りに改良した車両を用い長期実証実験を行ってきた。この結果、道の駅「かみこあに（秋田県上小阿仁村）」では、乗務員は地元のボランティアが勤め、予約を中心としたオンデマンドサービスと定時運行を組み合わせて、地元ニーズに合ったサービスの提供が2019年末から開始されている。（図7）

これらの取り組みについては、第4章の「地域社会における自動運転移動サービス」の中で紹介している。

また、自動運転を普及させていくためには、自動運転

の正しい理解を促すとともに、そのメリット・デメリットを具体的に示しつつ、様々なインパクト（影響）を定量化していく必要があると考えている。

このため、SIP第2期では社会的受容性に関する定点観測として大規模なアンケート調査を毎年行うとともに、自動運転による事故低減効果の見積もり手法や社会的経済的なインパクトの見積もり手法の開発にも取り組んでいる。

その他にも、交通弱者に対する自動運転技術の活用として「視野障害を有する者に対する高度運転支援」の有効性に関する検

証を医工連携にて取り組んだ。これらはすべて第4章の「自動運転の社会的受容性」にまとめた。



図7 秋田県上小阿仁村での移動サービス

第5章 | Society5.0実現に向けたデータ連携・活用

ここまで紹介してきたように、自動運転の実用化のためには高精度3次元地図や交通環境情報等を始め、様々な地理系データが必要であり、SIP自動運転ではその研究開発に取り組んでいる。一方、冒頭で述べたように、Society5.0の目指す社会は、自動運転のみならず他分野とのデータ連携を含めたサイバー・フィジカル空間の実現である。

このためSIP第2期では、政府や企業のもつ様々な地理系データの連携・活用を促進するために、データの所在と形式を示すカタログの整備とマッチングの機会を与えるポータルサイトの構築が必要であると考え、2021年

春に「MD Communit」を立ち上げた。（図8）この取り組みとデータ活用に向けたアプリコンテストの紹介を第5章の中で「データ連携の促進」としてまとめている。

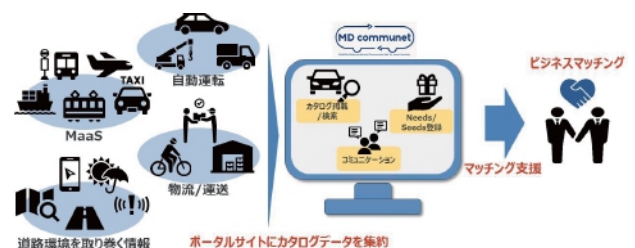


図8 MD Communit

第6章 国際連携の推進

これまで紹介してきた通りSIP自動運転では、自動運転のいち早い実現に向け、協調領域の技術開発や社会的受容性の醸成に取り組んでいる。一方、自動車は国際商品であり、自動運転についても日本国内だけで成立するようなものでは、競争力もなく普及拡大も難しい。このため、SIP発足当初から国際協調に向けた国際連携には力を入れており、国内の標準化団体と連携を強化しつつ、国際標準化にも積極的に取り組んでいる。特に、SIP第

2期ではダイナミックマップ、ヒューマンファクター、安全性評価、コネクティッド・ビークル、社会経済インパクト、サービス実装推進を国際連携の重点テーマとおき、テーマリーダーが中心となり推進している。加えて、SIP自動運転の国際連携の窓口として、“国際連携コーディネーター”を置き日独連携や日EU連携を中心に、積極的にネットワークの構築を図っている。これらの活動については第6章の中で「国際連携と国際標準化活動」としてまとめた。

第7章 その他

これまで説明したようにSIP自動運転では、多岐にわたるテーマに取り組んでおり、紙面の制約から本「中間成果報告書」に掲載できていない施策も多い。本編からは漏れたが、将来特に役にたつと思われる研究成果に関して、簡単な紹介を行うとともに、その報告書が入手できる情報を第7章に「その他」として記述している。

社会的受容性の醸成に関しては、継続的な情報発信と様々なステークホルダーとのコミュニケーションが必要であると考え、第4章の「自動運転の社会的受容性」に記述した研究開発以外にも、長期戦略に基づく「市民ダイアログ」、「ジャーナリスト向け試乗会」、「成果発表会」

などの広報活動を行ってきた。これらの様子についても第7章にて、簡単に紹介している。

最後になるが、SIP自動運転の主な施策と大日程を図9に示した。

SIP自動運転では第2期の5年間の内で3年目にあたる2020年をマイルストーンに置き、実用化の目途付けを行うとともに、残り2年間で実用化・事業化に向けたステージに移行していくことを目指して活動してきた。これらの施策に関しては成果の最大化を図るため、現在各施策の事業者間の連携、および他府省の施策との連携を強化しつつ進めている。

	18年度	19年度	20年度	2020マイルストーン	21年度	22年度	2022到達目標
[I] 実証実験 企画・推進		東京臨海部実証実験 企画・整備等	実証実験実施	<ul style="list-style-type: none"> 19年10月から実証開始、技術確立及び標準化 2020年までに限定地域Lv4移動サービスを実現 	レガシー化/実用化の検討		<ul style="list-style-type: none"> 東京臨海部でのインフラ実装の見極め 首都高速での合流支援システム実用化 ART地方展開（実証実験→実用化） 移動サービスの実用化事例拡大（5ヵ所以上）
[II] 技術開発		信号情報提供技術の開発	交通環境情報の構築と配信（車両プローブ情報の活用）	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転技術への活用に向けた標準仕様策定 交通環境情報の標準化・ガイドライン化見込 国際標準化仕様策定の策定 	V2I改修及びV2N実証実験	本格運用に向けた実証・体制構築	<ul style="list-style-type: none"> 標準仕様による信号情報配信の環境・体制の構築（2024年以降、順次配信開始） 車両プローブを活用した交通環境データの配信の環境・体制の構築（2023年以降、順次配信開始）
		狭域・中域情報の収集・統合・配信	仮想空間での安全性評価環境の構築	<ul style="list-style-type: none"> 標準P/FのI/F標準化、ADAS試験の再現性実証 IDS評価体制の構築、評価方法の策定 	実証実験	事業化に向けたデータベース構築	<ul style="list-style-type: none"> データP/Fを継続運用できる組織の設立 第3者評価機関での活用開始
		新たなサイバー攻撃手法と対策技術	地理系データ	<ul style="list-style-type: none"> ポータルサイトの実装、データ流通の効果検証 コミュニケーション方法策立案 教育に対する検証・試行 ユースケース及び課題整理 	IDS評価のガイドライン化	試験運用	<ul style="list-style-type: none"> IDS評価手法の確立、JASPARのガイドラインへの反映 地理系データの多用途展開のためのポータルサイトのサービス開始
		自動運転の高度化に則したHMI・教育方法	自動運転システムの選定に係る調査		標準化	標準化	<ul style="list-style-type: none"> 外向けHMI ISO標準への反映 安全運転教育プログラム及び教材の作成
		市民等に向けた情報発信と理解促進	社会的経済的インパクトの評価		ロードマップの作成	ロードマップへ反映	<ul style="list-style-type: none"> 官民ITS構想・ロードマップへの反映
[III] 社会的受容性の醸成		視野障害を有する者に対する高度運転支援		<ul style="list-style-type: none"> Web/SNS認知度UP イベントの成功 効果測定・評価 自動運転の影響の定量的推計 運転支援システム設計のガイドライン策定 	長期戦略に基づく理解促進	サービス実装推進WGにてブラッシュアップ	<ul style="list-style-type: none"> ポストSIPのWeb・SNSの継続運営に向けた体制の整備・構築 インパクト評価に基づくアクションプランの官民ITS構想・ロードマップへの提案 教育システムの開発
[IV] 国際連携		SIP-adus WS / 海外との共同研究	知財戦略の構築	<ul style="list-style-type: none"> 国際連携の強化 / 国際標準化の推進 標準化/特許戦略を策定 	継続的な連携活動の推進		<ul style="list-style-type: none"> 「国際標準化」目標別途 継続的な産学連携組織の設立

図9 SIP自動運転の主な施策と大日程

Contents

Introduction

ラストスパートに向けて…………… 1 葛巻清吾 (SIP 第2期自動運転プログラムディレクター)	成果の最大化を目指して…………… 3 今井浄 (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構理事)
Society5.0実現に向けた自動運転による社会課題の解決 …… 2 寛道崇文 (内閣府審議官)	SIP 第2期中間報告書 発行にあたって…………… 4 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 編集委員会

SIP 自動運転(システムとサービスの拡張) 中間成果報告書 解説…………… 5
--

1. SIP 第2期自動運転(システムとサービスの拡張) 概要…………… 9
--

杉山幸太郎, 古賀康之(内閣府)

2. 交通環境情報の構築と活用…………… 13

(1) 交通環境情報の生成に係る技術開発…………… 13

交通環境情報の活用とロードマップ(概要)…………… 13 南方真人(トヨタ自動車株式会社)	13
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…………… 16 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(オムロンソーシア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)	16
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…………… 24 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)	24
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…………… 31 中尾和浩(ダイナミックマップ基盤株式会社)	31

(2) 交通環境情報の配信に係る技術開発…………… 39

協調型自動運転のための通信方式の検討(概要)…………… 39 小川伯文(マツダ株式会社)	39
狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る研究開発…………… 43 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)	43

3. 自動運転の安全性の確保…………… 50

(1) 東京臨海部実証実験…………… 50

東京臨海部実証実験(概要)…………… 50 沼田泰(トヨタ自動車株式会社), 樋山智(本田技研工業株式会社), 横田康秀(日産自動車株式会社), 愛甲英史, 南方真人(トヨタ自動車株式会社)	50
臨海副都心地域における実証実験データの分析…………… 54 津田喜秋, 永倉亘(三菱電機株式会社), 宮下浩一(株式会社三菱総合研究所), 並木裕之(エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社)	54
羽田空港地域における実証実験データの分析…………… 63 山田康右, 内山直浩, 祢津伸一(パシフィックコンサルタンツ株式会社)	63
首都高速道路における実証実験データの分析…………… 68 津田喜秋, 高橋由華子(三菱電機株式会社), 十河孝介(株式会社三菱総合研究所), 村木由利香(エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社)	68
インパクトアセスメント実証実験データの分析…………… 73 渡部康祐, 寺本英二, 田村太彦, 秋本克哉(日本工営株式会社)	73
自動運転(レベル3, 4)に必要な認識技術等に関する研究…………… 80 菅沼直樹, 米陀佳祐, 柳瀬龍, 倉元昭季(金沢大学), 山下隆義, 藤吉弘亘(中部大学), 目黒淳一(名城大学)	80

(2) 安全な自動運転社会の実現…………… 88

安全性確保にむけた技術開発と教育(概要)…………… 88 保坂修, 古賀康之(内閣府)	88
仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発…………… 91 井上秀雄(学校法人幾徳学園 神奈川工科大学)	91
新たなサイバー攻撃手法と対策技術に関する調査研究…………… 98 奥山謙, 和栗直英, 韓欣一(PwC コンサルティング合同会社)	98
自動運転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関する調査研究…………… 103 佐藤稔久, 長谷川国大, Wu Yanbin, 木原健(産業技術総合研究所), 中野公彦, 楊波(東京大学), 合田美子, 戸田真志, 松葉龍一(熊本大学), 新日真紀, 半田純子(職業能力開発総合大学校), 伊藤誠, 周慧萍(筑波大学)	103
低速走行の自動運転移動・物流サービス車両と周辺交通参加者とのコミュニケーションに関する研究…………… 108 大門樹, 對間昌宏, Lee Jieun, 古谷知之(慶應義塾大学)	108

4. 自動運転のある社会	113
(1) 地域社会における自動運転移動サービス	113
中山間地域における自動運転移動サービス(概要).....	113
坂井康一(国土交通省道路局)	
自動運転による移動サービスの実用化に向けた環境整備.....	117
加藤宣幸(一般財団法人道路新産業開発機構)	
自動運転サービスの横展開を支える支援システムの開発.....	124
渡部康祐, 寺本英二(日本工営株式会社), 三田亮平(パシフィックコンサルタンツ株式会社), 加藤宣幸(一般財団法人 道路新産業開発機構)	
(2) 自動運転の社会的受容性	129
社会的受容性の醸成に向けた取組(概要).....	129
荒木雄一, 古賀康之(内閣府)	
社会的受容性の醸成に向けた調査と評価.....	132
宮木由貴子(株式会社 第一生命経済研究所)	
視野障害を有する者に対する高度運転支援.....	139
高橋政代(理化学研究所), 青木宏文(名古屋大学), 伊藤誠(筑波大学)	
交通事故低減等の社会経済インパクト評価手法の開発.....	145
須田義大(東京大学), 三好博昭(同志社大学)	
交通事故削減効果の見える化—シミュレーション精度の向上.....	152
大田浩之, 内田信行, 安達章人, 北島創(一般財団法人日本自動車研究所)	
5. Society 5.0実現に向けたデータ連携・活用	159
(1) データ連携の促進	159
地理系アーキテクチャの設計と構築(概要).....	159
松本光太郎, 古賀康之(内閣府)	
地理系データのアーキテクチャの設計—交通環境情報ポータルサイトの構築・普及.....	161
磯尚樹(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)	
観光都市における社会課題解決に向けた取り組み.....	168
林典之(株式会社三菱総合研究所)	
モビリティ関連データの利活用促進に向けた環境整備.....	172
清水新太郎, 日黒浩一郎, 外山友里絵, 愛甲聡美(株式会社三菱総合研究所), 田中清一(エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社)	
6. 国際連携の推進	176
(1) 国際連携と国際標準化活動	176
全体概要.....	176
梅田学(東京大学)	
SIP-adus Workshop.....	179
田中孝浩, 池田晃(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
日独連携, 日EU連携.....	183
梅田学(東京大学)	
ダイナミックマップ.....	186
中條寛(東京大学)	
ヒューマンファクター.....	189
北崎智之(国立研究開発法人産業技術総合研究所)	
安全性評価.....	193
谷口悟史(トヨタ自動車株式会社)	
コネクティッド・ビークル.....	196
小川伯文(マツダ株式会社)	
サイバーセキュリティ.....	200
上原茂(トヨタ自動車株式会社)	
社会経済インパクト.....	203
大口敬(東京大学)	
サービス実装推進.....	206
外山友里絵(株式会社三菱総合研究所)	
7. その他の成果と取組等	210
その他の成果と取組等.....	210
田中孝浩(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)	

1 SIP第2期自動運転(システムとサービスの拡張)概要



杉山幸太郎，古賀康之（内閣府）

（概要）内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）は、総合科学技術・イノベーション会議が司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより、科学技術イノベーションを実現するための国家プロジェクトである。自動運転については、SIPとして取り組むべき課題の一つとされ、交通事故の低減、交通渋滞の削減、過疎地等でのモビリティの確保、ドライバー不足の解消等を目的として、全ての国民が安全・安心に移動できる社会の実現を目指して取り組んでいる。SIP第2期（2018～22年度）は、「自動運転（システムとサービスの拡張）」として、SIP第1期「自動走行システム」（2014～18年度）の成果も踏まえ、Society5.0の実現への貢献も視野に、自動運転の実用化の領域を拡大するため、インフラ協調型自動運転システムの実現に向けた協調領域の研究開発、実証実験等に取り組んでいる。

1 背景及び政策的位置付け

自動運転に対する関心は日に日に高まっており、自動車メーカーや部品メーカー等は積極的な研究開発への投資を行うとともに、国レベルでも研究開発プロジェクトや実証実験の誘致が盛んに行われている。また、日米欧を中心に実用化に向けた法整備や環境の整備等も着実に進んでいる。

この背景には交通事故の低減や交通渋滞の削減、高齢者や交通制約者の方々のモビリティの確保といった社会的課題の解決に加え、物流や移動に係る新たなサービスやビジネスの創出など自動運転がもたらす社会変革への大きな期待があるものと考えられる。

現在、自動車産業は自動運転・電動化・コネクテッド・シェアリング等の革新の波にさらされており、100年に一度の大変革の時代と呼ばれている。この開発競争を勝ち抜くことは現在の日本の中核的産業であり裾野の広い自動車産業の競争力を維持・強化するだけでなく、自動運転に必要なデジタルインフラ・センサー・通信など関連産業への波及効果や新たな産業やサービスの創出も期待でき、将来の日本の経済的発展へ貢献できる可能性が大きい。

このような状況の中で、未来投資会議（2018年3月）において、安倍総理（当時）より「2020年東京オリンピック・パラリンピックで自動運転を実現する。信号情報を車に発信し、より安全に自動運転できる実証の

場を東京臨海部に整備するなど多様なビジネス展開を視野に取組を一層加速する」との発言があったことなども踏まえ、「官民ITS構想・ロードマップ2020」（2020年7月）⁽¹⁾においては、「自動運転システムの開発・普及及びデータ基盤の整備を図ることにより、2030年までに『世界一安全で円滑な道路交通社会』を構築・維持することを目指す」と記されている。さらに「統合イノベーション戦略2020」（2020年7月）においても、Society5.0に向けたデータ連携基盤の整備として、分野間データ連携基盤の整備、分野ごとのデータ連携基盤の整備、アーキテクチャ構築が掲げられた。

SIPは「第5期科学技術基本計画」（2016年1月）で掲げられた“Society 5.0”の実現に向けた取組であり、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（2021年3月）においては、様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知を活用し、国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会、一人ひとりの多様な幸せ（well-being）が実現できる社会を目指すとされている。

2 海外動向

世界に目を向けると、自動運転の実用化の取組はSAE（Society of Automotive Engineers）が定義する運転自動化レベル（以下「SAEレベル」という。）5の完全自動運転の実現という過度の期待から目覚め、よ

り現実的な取組に移ってきており、安全性確保や信頼性、倫理問題についての議論が深まりつつある。自動運転の実証実験も世界各地で実施されており、お互いに知見を共有しあうための共通の評価方法の策定や収集したデータの共通化フォーマットの議論も進みつつある。2020年初頭から急速に全世界に広まった新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響により、グローバル、ローカルにおいて、人流、物流に多大な影響が出ており、自動運転の研究開発等についても、遅延が生じている部分があるものの、継続的かつ積極的に進められている。

米国においては、2020年1月、ホワイトハウスと運輸省が連名で、自動運転技術における米国のリーダーシップを確保すると題してAutomated Vehicle 4.0 (AV 4.0) を発行した。AV 4.0では、安全とセキュリティを優先、イノベーションを推進、整合的な規制アプローチの確保という三つのコア分野からなる自動運転車の開発とインテグレーションのための連邦政府としての指針を確立するとしている。2021年1月に発足した新政権への移行前であるが、AV4.0の原則に基づき、自動運転に関する総合計画 (Automated Vehicles Comprehensive Plan) が公表されている。同計画においては、米国運輸省の自動運転システムのビジョン達成のため、協力と透明性の推進、規制制度の現代化、交通システムの準備の三つのゴールを定義している。

欧州においても、ドイツのPEGASUS、VIVALDIや英国のDRIVEN、Human Driveといった自動運転に係る研究プロジェクトが各国で進められてきている。さらに、EUにおいては、欧州委員会のHorizon2020の下で、Connected and Automated Drivingに係る多数の研究プロジェクトが進められている。Horizon 2020の後継プログラムであるHorizon Europeの実施については、2020年12月に合意され、社会的課題の解決の柱の下での六つのクラスターの一つとして、気候・エネルギー・モビリティを位置付けている。

ピック・パラリンピック競技大会等をマイルストーンに置き、産学官連携、府省連携で自動運転に係る協調領域の研究開発を進めてきた。

2017年度には大規模実証実験を開始し、ダイナミックマップ等に関する有効性の検証、統一仕様の策定などが進められ、地図の基盤的な整備体制の確立などといった成果を得てきた。その成果を踏まえ、ダイナミックマップ基盤株式会社は、2018年度末から、全国の自動車専用道路約3万キロメートルの高精度3D地図の商用配信を開始している。

一方、制度面においては、「自動運転に係る制度整備大綱」(2018年4月、内閣官房IT総合戦略本部) が策定され、各省において検討が進められてきた。2019年5月には道路運送車両法・道路交通法の改正法が成立し、両改正法はともに2020年4月に施行され、SAEレベル3に相当する自動運転車を公道で走行させることが制度的にも可能となった。2020年11月には、道路運送車両法に基づき、自動運行装置を備えた自動運転車 (SAEレベル3) について、世界で初めて型式指定が行われ、2021年3月には世界に先駆けて、当該自動運転車の市販が開始された。なお、当該自動運転車両を始め、複数の車両でダイナミックマップ基盤株式会社の高精度3D地図が採用されている。

また、2020年5月には、自動運転の運行を補助する施設の道路空間への整備等に関する道路法の一部改正が成立し、同年11月に施行されるなど、自動運転技術を用いた移動サービスに社会実装に向けても着実に制度改革が進められてきた。

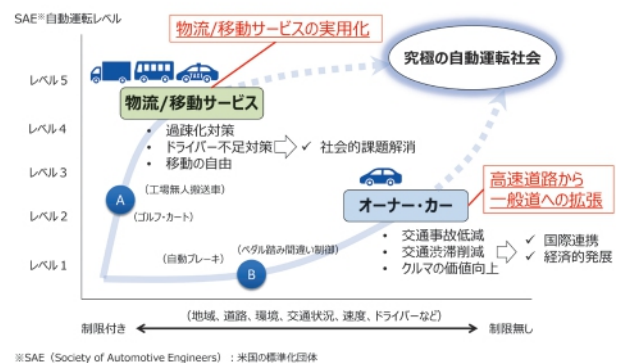


図1 自動運転の全体構想(研究開発計画)⁽²⁾

3 SIP第1期での取組とこれまでの主な成果

日本では、2014年度から開始されたSIP第1期「自動走行システム」が中心となり、2020年東京オリ

4 SIP 第2期の発足

SIP 第2期においても自動運転開発の重要性が認められ、次なる高みに向け、新たなプロジェクトが立ち上がることとなった。内閣府は、2018年3月、総合科学技術・イノベーション会議のSIP 第2期の実施方針の決定を受け、研究開発計画の策定に着手し、同年7月に「SIP 自動運転(システムとサービスの拡張) 研究開発計画」を策定した。

自動運転の社会実装のためには、技術・法制度・社会的受容性という三つの壁を克服する必要がある。SIP 自動運転では、これらの課題に対し、警察庁、総務省、経済産業省、国土交通省等と連携するとともに、産業界、大学等からの参画を得て、府省横断・産学官の協調した取組により、研究開発や実証実験等を推進している。

SIP 第2期では、自動運転の実用化の領域を拡大するため、インフラ協調型自動運転システムの実現に向けた協調領域の研究開発、実証実験等に取り組んでいる。

研究開発は、I) 自動運転システムの開発・検証(実証実験)、II) 自動運転実用化に向けた基盤技術開発、III) 自動運転に対する社会的受容性の醸成、IV) 国際連携の強化の4本柱で進めており、実証実験の場を活用したイベントの開催や情報発信を行うとともに、海外メーカーを含めたオープンな議論の場を提供することで国際的な研究開発連携や標準化の議論を促進している。さらに、技術と制度整備が一体となって進むよう内閣官房IT総合戦略室とも協力し、各省の進める制度整備に係る取組と連携している。

国際標準化活動については、グローバル市場における製品やサービスの円滑且つスピーディーな市場化のために、標準化団体との連携を強化している。一般社団法人日本自動車工業会(自工会)や公益社団法人自動車技術会(自技会)に加え、一般社団法人日本自動車部品工業会(部工会)、一般社団法人電子情報技術産業協会(JEITA)、一般社団法人UTMS協会、一般社団法人電波産業会(ARIB)、ITS情報通信システム推進会議(ITS Forum)等とも連携し、ISO、IEC、ITU等におけるデジュール標準と国際的に影響力のある業界標準化団体との連携によるデファクト標準の両面で標準化を進めている。

5 目標及び出口戦略

SIP 自動運転では、自動運転を実用化し普及拡大に向けた具体的な実現時期として、「官民ITS構想・ロードマップ2020」に記載された達成年度に沿って進めている。目標の実現に必要な協調領域の技術を確立するとともに、地域の様々な事業者・自治体等を巻き込んだ実証実験等で技術やサービスの有効性を確認するなどし、複数の実用化事例を創出することによりSIP 第2期終了時までに社会実装に目途をつけることを目指している。

- ・移動サービス；2020年までに限定地域で無人自動運転(SAEレベル4) 移動サービスを実現
- ・物流サービス；2025年以降に高速道路でトラック完全自動運転(SAEレベル4) を実現
- ・オーナーカー；2025年目途に高速道路での完全自動運転(SAEレベル4) を実現
- ・オーナーカー；一般道における運転支援技術のさらなる高度化(一般道SAEレベル2以上)

研究開発を社会実装していくためには、協調領域の技術開発のみならず、車両開発など競争領域の技術開発も含めた多様なステークホルダーの取組を統合化する必要があるため、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会等をマイルストーンに置き、推進してきた。新型コロナウイルス感染症の影響により、社会的受容性の醸成の一環である自工会との合同試乗会は延期となったものの、技術開発に関してはほぼ予定通りの進捗である。

今後はこれまで3年間の研究開発等の成果を踏まえ、SIP 自動運転の施策間連携を強化し、東京臨海部及び地方部等での実証実験と基盤技術開発を組み合わせ、アウトプットを最大化し、事業化、ガイドライン化、民間への技術移転等の社会実装に取り組んでいく予定である。

6 研究開発の内容

SIP自動運転では、研究開発は、Ⅰ)自動運転システムの開発・検証(実証実験)、Ⅱ)自動運転実用化に向けた基盤技術開発、Ⅲ)自動運転に対する社会的受容性の醸成、Ⅳ)国際連携の強化の4本柱としている。

主な研究開発内容としては、Ⅰ)実証実験については、①東京臨海部実証実験、②地方部等における移動・物流サービスの社会実装、Ⅱ)基盤技術開発については、①交通環境情報の利活用技術、②安全性評価技術、③サイバーセキュリティ、④地理系データに係るアーキテクチャの構築、Ⅲ)社会的受容性の醸成については、①市民等に向けた情報発信と理解増進、②社会的課題解決に向けた調査研究(社会経済インパクトの明確化)、Ⅳ)①国際ワークショップの開催等を通じた国際的な情報発信 ②海外研究機関との共同研究 等で構成されている。

この中で(1)交通環境情報の構築と配信、(2)仮想空間における安全性評価環境の構築、(3)サイバーセキュリティの評価手法の確立、(4)地理系データの流通ポータル構築という4つのテーマを、SIP第2期での重点テーマと位置づけして実用化・事業化に向け積極的に取り組んでいる。

7 取組体制

葛巻清吾プログラムディレクター(以下「PD」という。)が、議長として、警察庁、総務省、経済産業省、国土交通省道路局及び自動車局、有識者、関連の産業界、業界団体等から構成されるSIP自動運転推進委員会を設置、運営し、研究開発の基本的な方針や出口戦略に関する議論を産学官協働で実施している。推進委員会の下に、システム実用化WG、サービス実装推進WG、国際連携WGを設置するとともに、交通環境情報の構築、東京臨海部実証実験の実施、協調型自動運転に関する通信方式を検討するTFをそれぞれ設置して、議論を促進している。SIP自動運転の推進及び研究開発施策の実施、成果管理等に関しては、管理法人となる新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が担い、時宜に応じて柔軟に施策の実施、適切な管理

等を実施してきた。

【参考文献】

- (1) 官民ITS構想・ロードマップ2020:
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf
- (2) 「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動運転(システムとサービスの拡張)研究開発計画(内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当)、令和2年5月14日改定)

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。



図1 自動運転における交通環境情報利活用

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

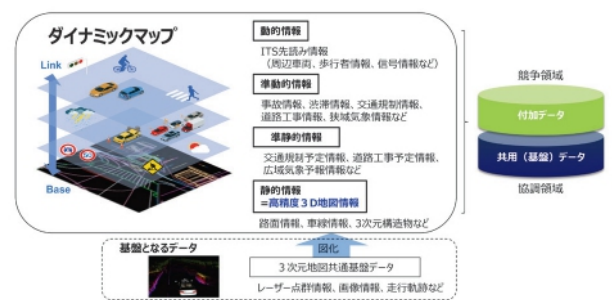


図2 ダイナミックマップの概念

(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)

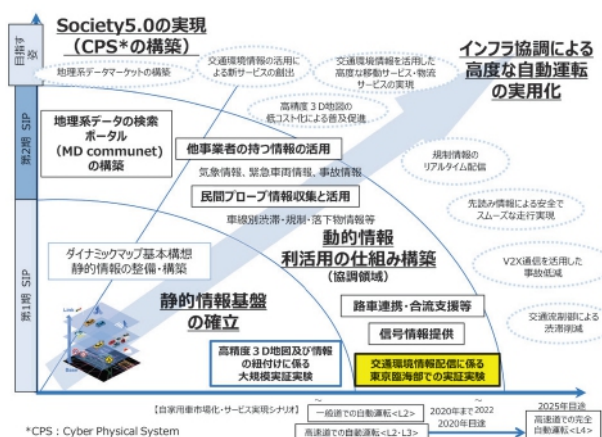


図3 交通環境情報ロードマップ

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

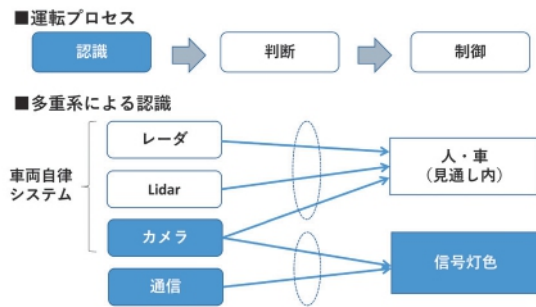


図1 通信情報活用による信号情報の多重化
(出典:一般社団法人日本自動車工業会)

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。

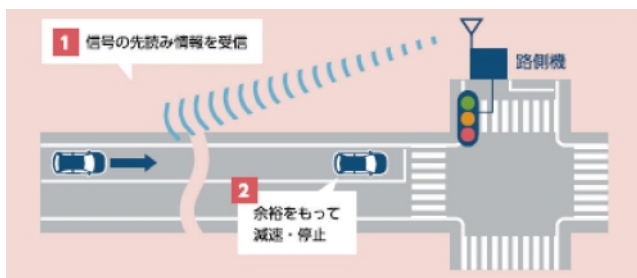


図2 信号の先読み情報提供で急ブレーキを回避
(出典:一般社団法人日本自動車工業会)

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手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。

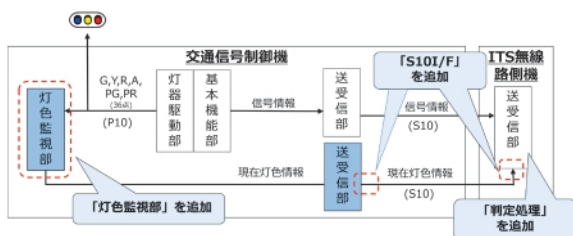


図5 フェールセーフ仕様の概要

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。

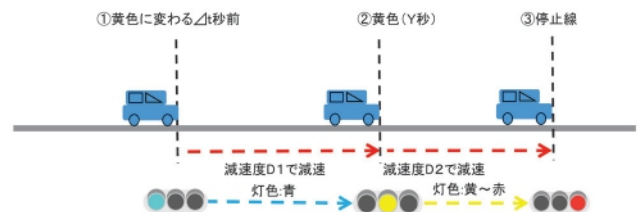
表5 信号情報の提供が困難な事象

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

4.4. 信号情報集約システムの検討

都道府県警察交通規制センターから、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。

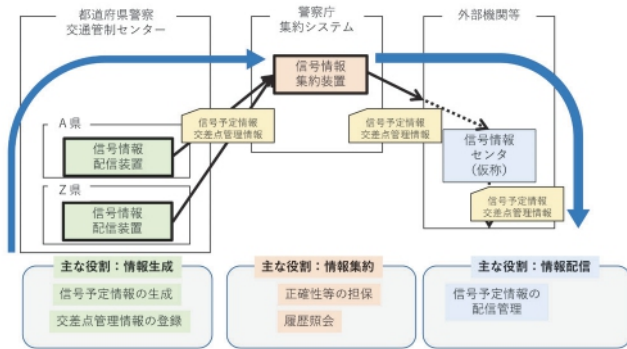


図13 データフローと役割分担

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、交通規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。

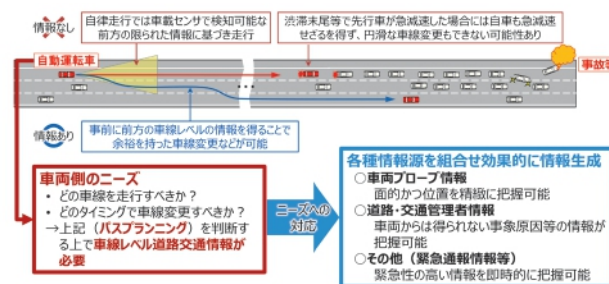


図1 車線別道路交通情報の必要性とその情報源

1.3. 本施策の範囲

前方の道路交事故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。

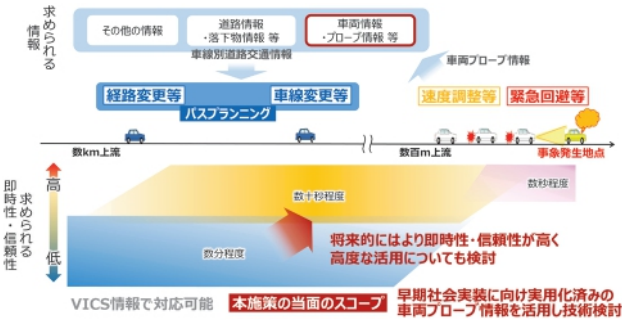


図2 本施策のスコープ

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

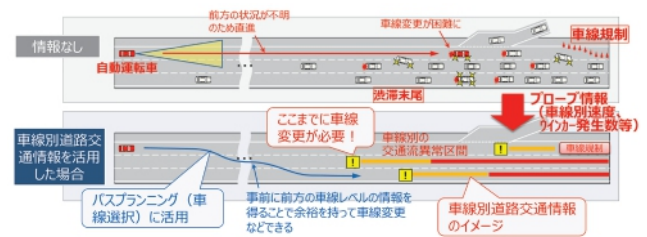


図3 車線別道路交通情報のイメージ

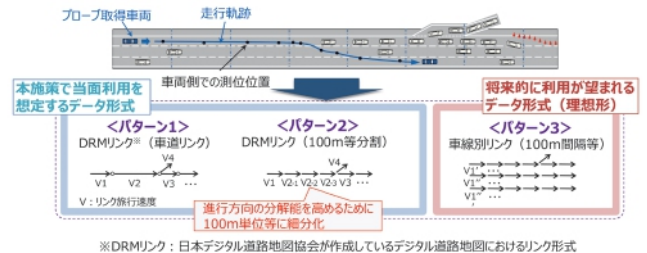


図4 利用する車両プローブ情報の形式

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。

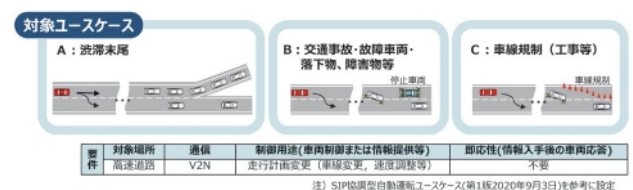


図5 対象ユースケースとその要件

1.6. 将来の目指す姿と2020年度の取組みの位置づけ

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。

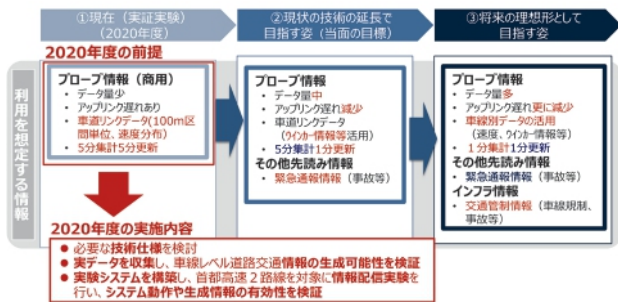


図6 将来の目指す姿と2020年度の取組みの位置づけ

1.7. 2020年度の実験の全体像

2020年度の取組み内容の全体像を図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等から過去の実際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。

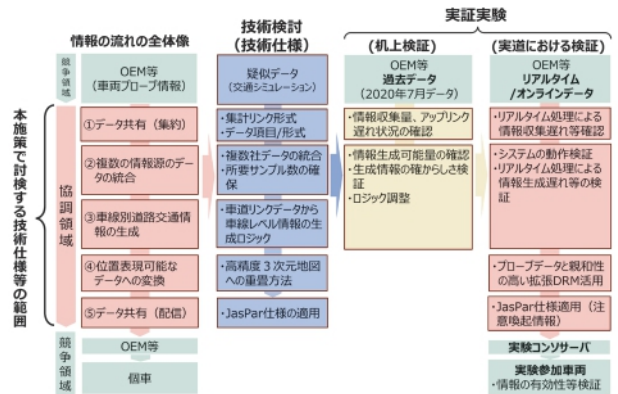


図7 2020年度の技術検討と実証実験の全体像

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) 速度層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inker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。

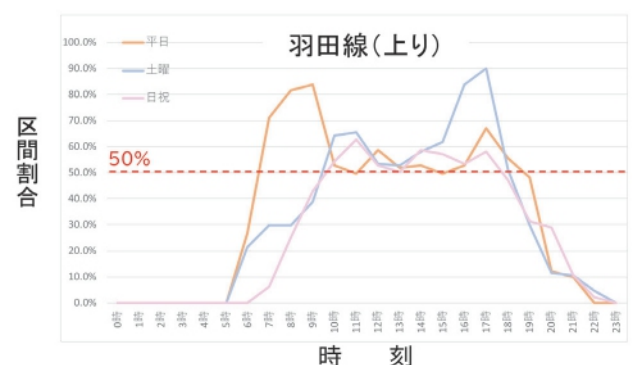


図10 速度層別台数が5台/5分以上取得出来ている区間（100m単位）の割合 2020/7/8～8/7 平日平均

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、昼間の羽田線上市の場合、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リンク単位で速度層別台数情報(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)

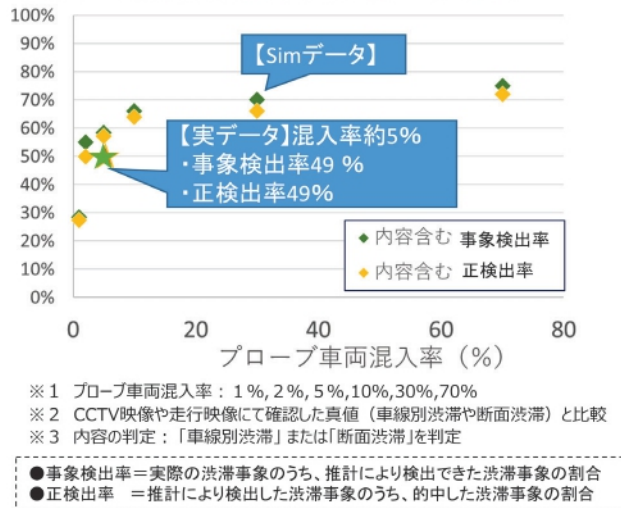


図12 プローブ車両混入率と事象判定精度の関係(羽田線上市浜崎橋JCT手前区間)

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

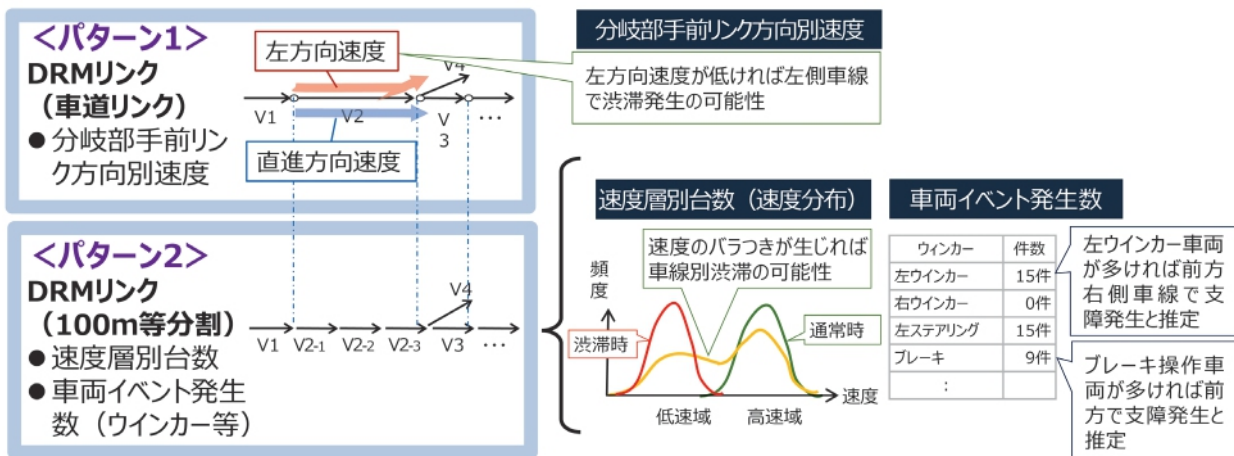


図11 車道リンクに紐づけられたプローブ情報から車線レベル情報を生成する基本的考え方

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。

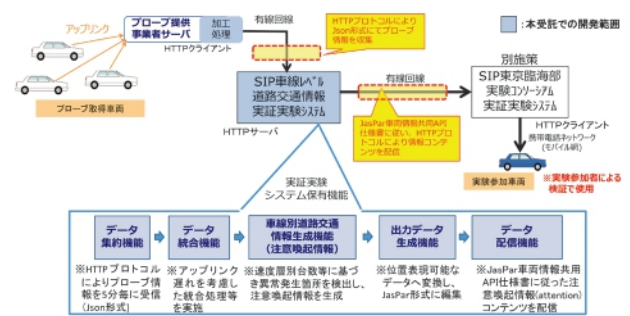


図14 実証実験のシステム構成

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

羽田線上路では平日朝夕、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)

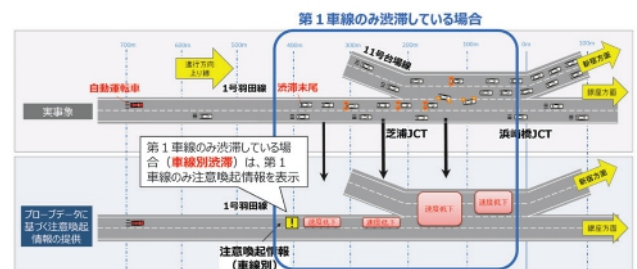


図15 主要検証箇所での渋滞発生状況と情報配信の概要

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)

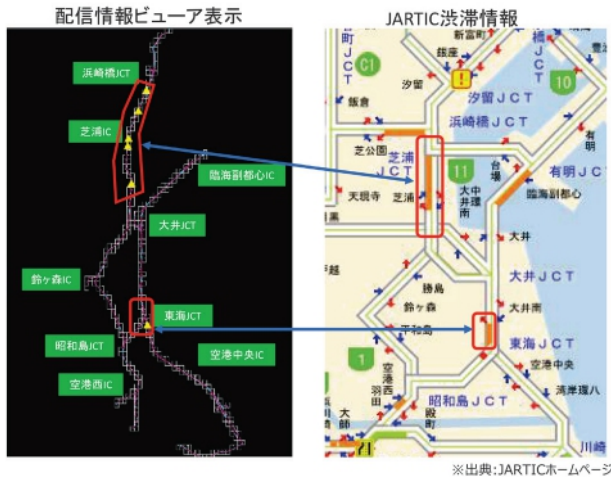


図16 朝ピーク時の情報生成状況と道路交通状況
(2021年2月24日9:30時点)

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。

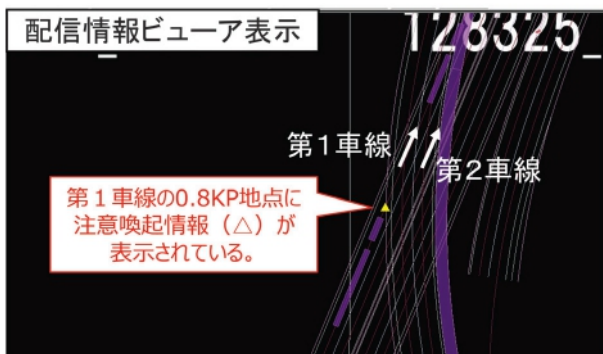


図17 車線別渋滞の注意喚起情報のビューア表示例
(羽田線上市芝浦JCT合流付近 2月17日16:30時点)

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」「どちらかといえば有効」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	○	○	○	○	○	○	○	
セパレーションの新設、廃止、変更	○	○	○	○	○	○	○	
区画線の縮減/伸長、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

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。

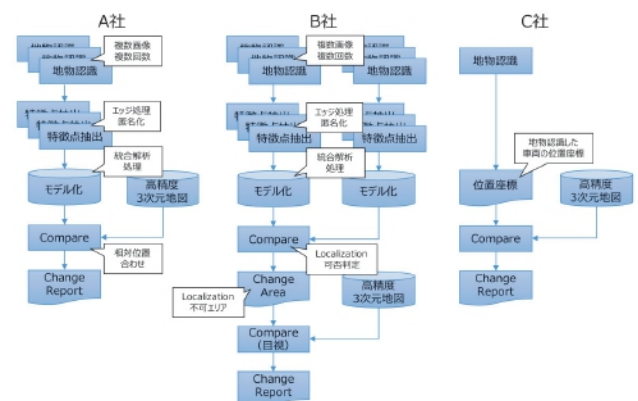


図4 道路変化点検出技術のまとめ

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。

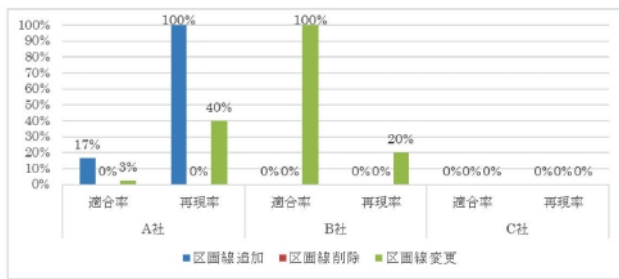


図5 区画線の再現率・適合率

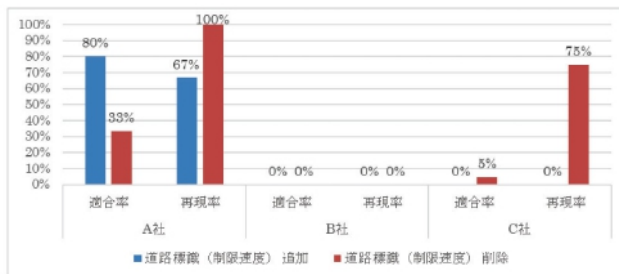


図6 道路標識の再現率・適合率

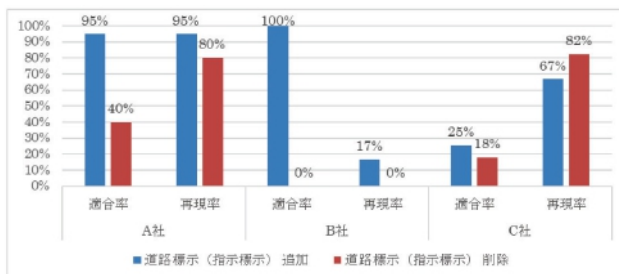


図7 道路標示の再現率・適合率

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

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。

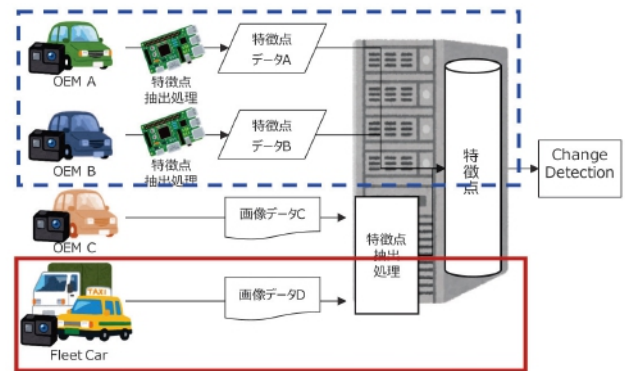


図8 画像プローブ収集スキーム

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。

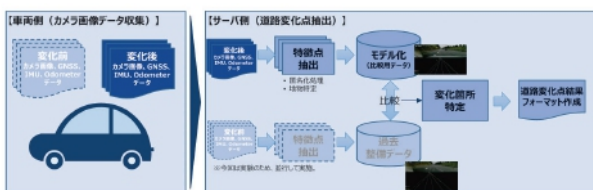


図9 カメラ画像取得から変化箇所特定までのイメージ

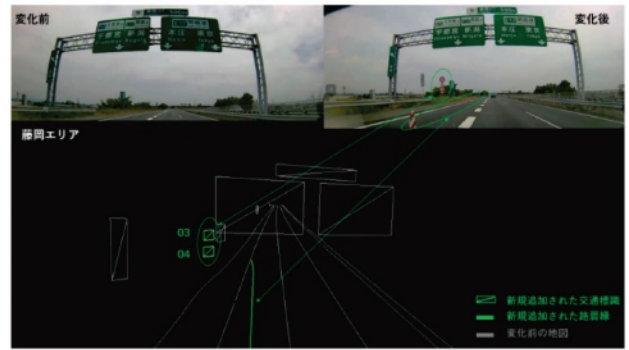


図10 上信越自動車道藤岡JCT周辺の道路変化点抽出事例

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

調査した製品20件中、実験で使用した製品(TransLog)のほかに要件を満たす機器は1製品(TransLogを含めると2製品)であった。また、20製品中17製品は、カメラのスペックを満たした機器であった。なお、20製品中15製品は、機器(GNSSやIMU等)のスペック情報が一部公開されておらず、最終的に推奨スペックを満たした機器であるか判断ができなかったため、実機による確認が必要である。

このことから、製品のスペックに頼ってカメラ画像データを収集したとしても、例えば、遠く離れたレーンの様子が確認できず、モデル化した際にデータ欠損が生じる可能性があることが分かった。これを防ぐためには、ある程度カメラ画像データを収集するとともに、遠く離れたレーンの様子が確認できない等の状況が発生しない運用で業務用車両からデータを取得する必要がある。今後は、高速道路を利用する事業者等と協力可能な範囲を確認・調整したうえで、事業で運用可能な範囲を見定める必要がある。

4.2. 特徴点の要件検討

4.1節では、対象とする道路を定期的に走行する業務用車両(Fleet Car)に要件を満たすドライブレコーダを搭載して情報を収集することで、道路の変化点を検知することが可能となる。一方で、上述の場合、要件を満たすドライブレコーダを搭載した車両から画像データを収集する運用を構築する必要があり、対象とする道路は限定的となってしまう。今後、一般道などに対象道路を拡大する場合には、一般車両に搭載されるカメラ等からのデータ収集も検討する必要がある。なお、一般車両には、安全運転支援システム、自動運転支援システム等を実現するため、カメラやレーザスキャナ等のセンサが搭載されており、車両側のシステムでオブジェクト(地物)の検知も行われている。従って、画像データを収集するのではなく、検知されるオブジェクトの情報(特徴点)を収集することも考えられる。そこで、本節では、4.1節を踏まえ道路変化を検知するために必要となる特徴点の要件を検討したうえで、本要件などを共通化・標準化していく際の方向性を検討した。

4.2.1. 関連する規格・標準等の調査

車両データの流通の仕組みと関連する規格・標準は図11に示すとおり。車両(Vehicle)からのセンタ

(Cloud)へのアップリンクに関する規格は、SENSORIS, ISO20078, JASPARが該当するが、ISO20078は、故障診断の情報を対象としていることから対象外とする。

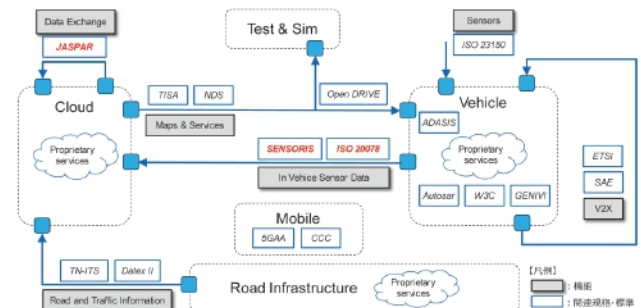


図11 車両データの流通等の仕組みと関連規格

出典: Prokop Jehlička: OADF – An Introduction, SIP-adus Workshop 2018, p.7をもとに一部加筆

4.2.2. 特徴点の要件と標準化の方向性の検討

4.1節で実施した実証実験結果等を参考に、車両側で特徴点を抽出するにあたって必要な情報の内容や、情報を収集する頻度(取得単位)、精度を机上検討した結果を表6に示す。

表6 「一般道/Global」での運用を想定した要件を4.1節の結果を踏まえ整理した結果

名称	項目・取得する内容	取得単位
地物 データ	区画線	高頻度 (参考:0.1s等)
	物理 構造物	
	道路標識	
	信号機	
	道路標示	
信頼度 情報	取得時の精度低下の要因となる情報(勾配状態、トンネルでの取得等)	
位置 速度 時刻 データ	自転車位置	高頻度 (参考:0.1s等)
	速度	
	時刻	
その他	カメラ 取付位置	低頻度 (参考:1h等)

特徴点抽出に必要なデータ項目について、既存規格との差分を分析した。なお、SENSORIS・JASPARの分析結果から、SENSORISは道路標識、道路標示等

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情報の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/対計画)、車種
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)

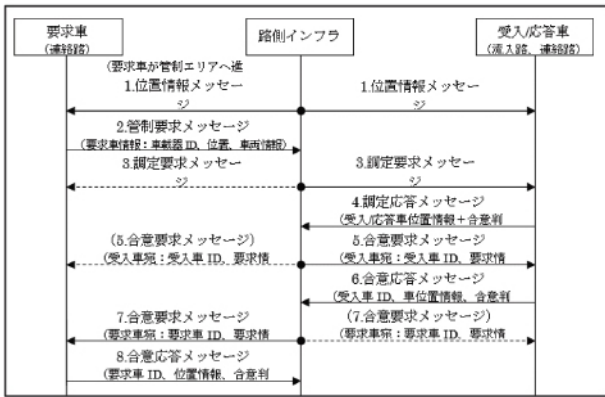


図2 メッセージ送受信シーケンス(例)

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 (周回半径: 95m)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	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	無線区間許容遅延として100msを想定	無線区間許容遅延として100msを想定	無線区間許容遅延として100msを想定	無線区間として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)	非特定車両 (同車線内)	特定車両	路側インフラ	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。

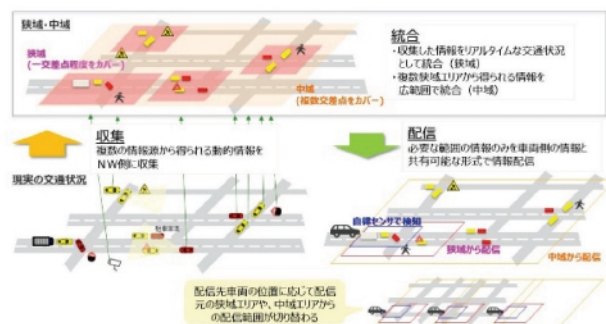


図1 研究開発の全体像

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。

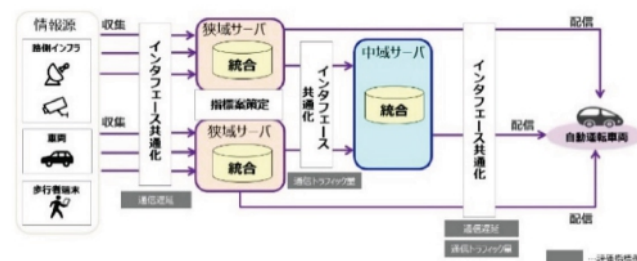


図2 研究開発の成果イメージ

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

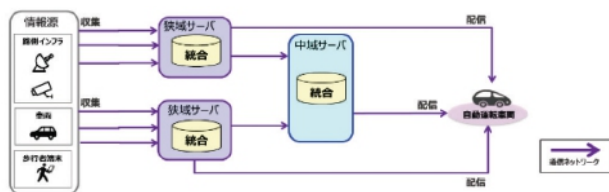


図3 全体システム構成イメージ

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

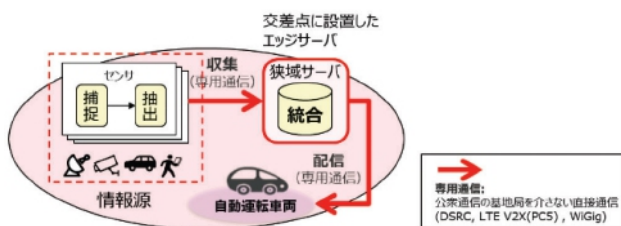


図4 路側処理方式の狭域システム構成

(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)。

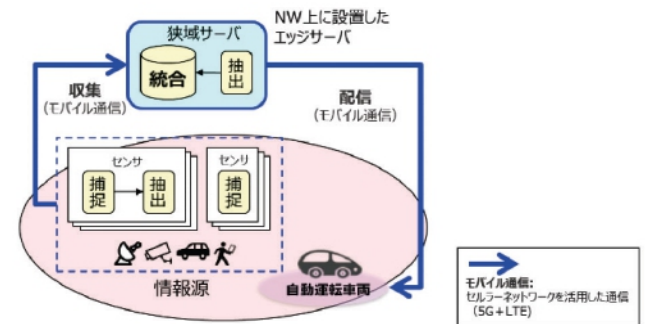


図5 センタ処理方式の狭域システム構成

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。

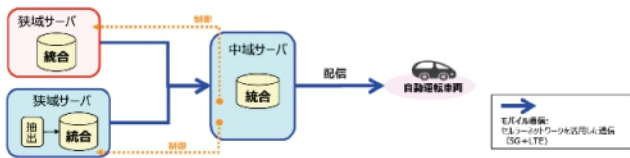


図6 中域システム構成

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
	歩行者	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。

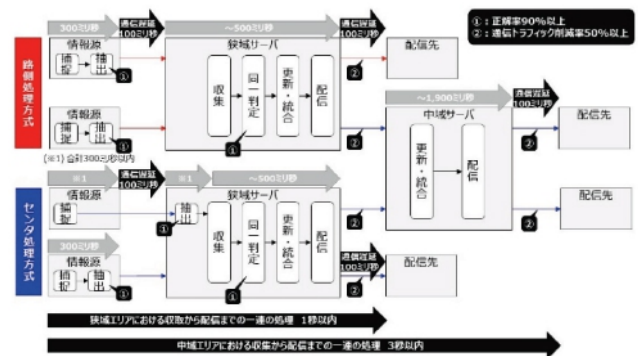


図7 KPI目標の全体イメージ

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:①2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)

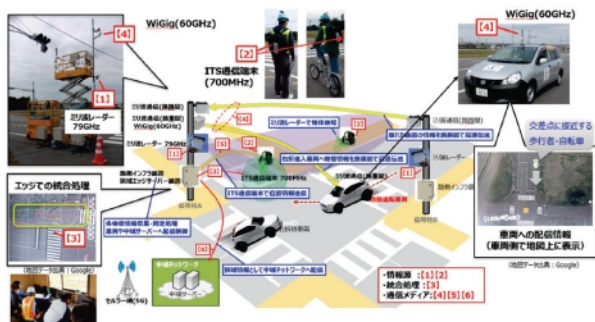


図9 試験環境(路側処理方式2)

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)

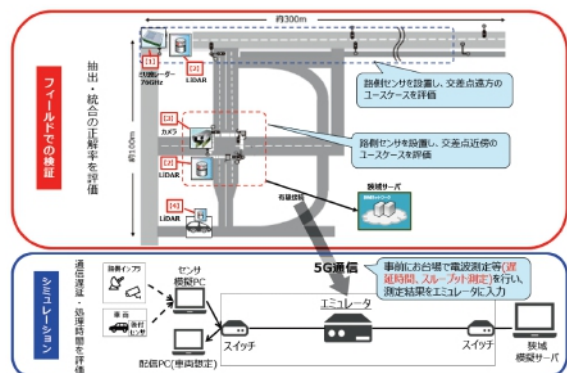


図10 試験環境(センタ処理方式)

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:①1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:①1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にも通信が有効	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にも通信が有効 ✓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・LIDAR生データ・カメラ映像情報	✓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。

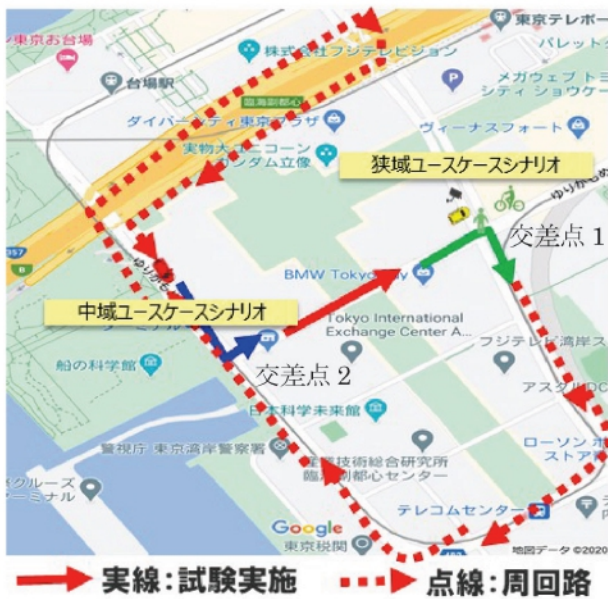


図11 総合実証の全体シナリオ

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。

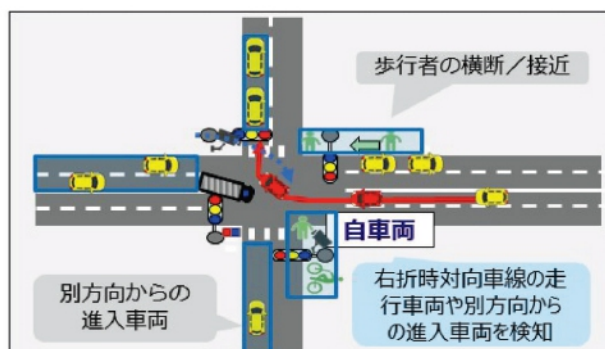


図13 狭域ユースケースイメージ

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。

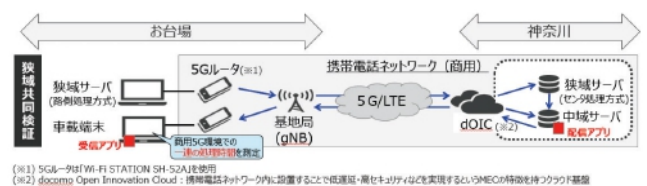


図14 システム構成

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。

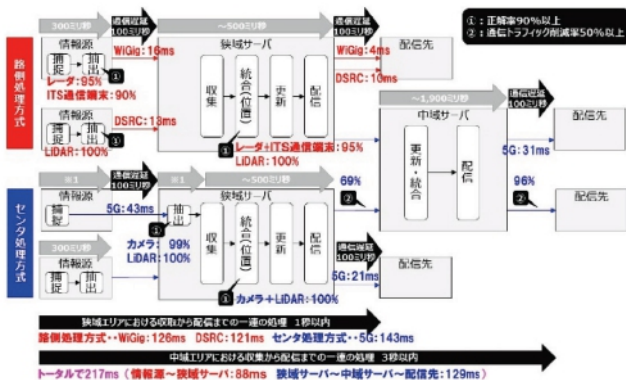


図15 KPIの達成状況 (UCは中1, 狭3-1の場合)

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のか、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。

3 自動運転の安全性の確保

(1) 東京臨海部実証実験

東京臨海部実証実験(概要)

沼田泰 (トヨタ自動車株式会社), 樋山智 (本田技研工業株式会社), 横田康秀 (日産自動車株式会社)
愛甲英史, 南方真人 (トヨタ自動車株式会社)

(概要) 東京臨海部実証実験は、政府の「未来投資戦略」における「2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を見据え、最先端の自動走行技術を国内外に発信するショーケース、レガシーとすべく、羽田空港や臨海地域等において最先端の実証を行うとともに、制度整備等を行う」との方針を実行するための取り組みである。東京臨海部の3地区において、それぞれ異なる目的で路車間の通信インフラを整備し、有効性の実証と課題の抽出を行った。羽田地区では磁気マーカーの活用や正着制御を含むバスの自動運転実証、臨海副都心地区ではインフラの集中的な整備による交通信号情報提供の実証、2地区をつなぐ首都高速道路では、合流支援、ETC通過支援の実証を行った。

1 東京臨海部実証実験の狙いと推進体制

東京臨海部実証実験は、2020年に東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催されることを踏まえ、この機会に社会にとって有益なレガシーを残すとともに、国内外に自動運転分野での最先端の取り組みを発信していくことをねらいとして2018年に検討が開始された。

東京オリパラ大会をショーケースとして、自動運転の取り組みを進めるという動きは、2017年6月に発表された政府の「未来投資戦略」において政府方針として位置づけられ「2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を見据え、最先端の自動走行技術を国内外に発信するショーケース、レガシーとすべく、羽田空港や臨海地域等において最先端の実証を行うとともに、制度整備等を行う」との方針が明記された。

上記の方針を踏まえ、2018年SIP第2期自動運転に「東京臨海部実証実験タスクフォース」が設置され、産官学の各方面のメンバーが集結することにより企画推進と実験準備を担うこととなった。

東京臨海部実証実験は、安全な道路の実現に向けた自動運転の有用性を訴求するにとどまらず、パラリンピックに象徴されるインクルーシブな社会の実現に資するべく、多様な交通参加者の「移動の自由」を具現化することもねらいとしている。具体的には、パラリンピックで来日する競技関係者が羽田空港から選手

村のある臨海副都心エリアまで介助なしで移動するシーンを想定し、実証エリアや交通モードの選定を行った。

羽田地区では、車いすでの自力乗降を目的とした正着制御やルートが一定であるという公共交通の特性を活かした磁気マーカーの活用によるバスの自動運転実証を行うこととし、臨海副都心エリアでは第1期SIP自動運転において高精度3D地図の整備を行うなど、実証環境としての実績があることから、交通信号情報の提供インフラを集中的に整備し、レベル4相当の最先端の自動運転技術のショーケースとすることとした。またこの二つのエリアをつなぐ首都高速道路では合流・ETCゲート通過支援情報の提供に関する実証を行うこととした。

これらの実証実験は各方面の支援・協力のもと実証環境の整備が進められ、国内外の多様な機関・企業(図1)の参加により2019年10月より実験が開始され、2020年度事業として、無事に完了した。



図1 実証実験参加者

2 地域のインフラ整備とインフラを活用した実証実験の概要

2.1. 臨海副都心地域

第2期SIPにて着目したのは、路車間のインフラ協調技術である。車両技術のみならず、交通インフラ全体で自動運転のレベルアップを図り、安全・円滑な交通社会の実現を目指すという考え方である。

第1期において整備された高精度地図の上に、第2期SIPにおいて信号情報を動的な情報として活用できるような仕組みを構築する、

また、今回これまでにない大規模な実証を行うことに鑑み、自動運転車両が手動運転の車両と混在する際に交通流に与える影響評価(インパクトアセスメント)を行い、今後の社会受容性向上を考える際の課題抽出を図ることもねらいの一つである。

SIPは科学技術政策の枠組みではあるが、活動の成果を来べき自動運転社会に向けた社会受容性の醸成に役立てることも大きな活動の柱となっており、広報活動や市民参加イベントの実施などを実施した。東京臨海部実証実験においては、様々な交通環境下で高度な自動運転の実現に最低限必要な情報の提供と利用に焦点を当て、車載センサでは検出困難な情報かつ、運転支援システムやドライバーにも有効な情報、という視点で産学官協調して実用化・標準化に取り組むべき技術テーマ、一般道における交通信号情報提供の実証実験に取り組む。

混在交通下での一般道走行では、自動運転制御による交差点の安全で円滑な通過には、高度な認知・判断・操作の技術が要求される。特に交通信号の灯色の認識に関しては高い精度と信頼性が要求される為、あらゆる交通環境下での認識の性能を高める為に、自動運転車両の車載センサカメラによる認識をインフラ設備からの通信(V2I)で補完することによる有効性を実交通環境下で実証する。また本情報は信号認識の二重型システムを成立させ、安全性、信頼性の向上に貢献する。

本実証実験においては、すでに警察庁・各都道府県警察により実用化されている、DSSS(Driving Safety Support Systems)に採用されているITS無線通信技術(760MHz)を利用し、自動運転システムの用途に合わせたメッセージセットやシステムの改修を行った上で、今回の実証実験エリアである臨海副都心エリ

アの33箇所の交差点信号機(図2)に設置した。

また、臨海副都心一帯を精密に測量し、自動運転による走行の実現に必要なとなる道路構造や様々な地上構造物の情報をデジタルデータ化した静的情報である高精度3D地図情報もアップデートし、全ての実証実験参加者に配布した。

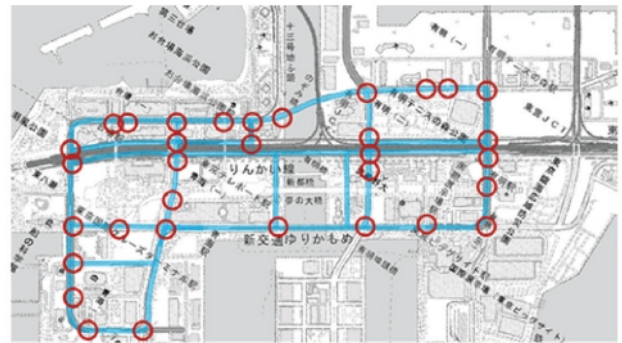


図2 交通信号情報実証実験エリア

ITS無線通信技術を使うことにより、現在の信号灯色だけでなく、次の信号灯色の遷移までの時間に関する情報も提供することが可能となり、交通流を乱さずかつ、ジレンマゾーン(通常の減速度では停止線手前で停止ができず、かつ、その速度を維持しても停止線を通過できない領域)を回避できる自動的な予備減速・停止制御の実現への有効性も実証した。また、高精度3D地図情報による信号灯具が空間上どの位置にあるかの情報と、ITS無線通信により受信した動的情報である信号情報の紐づけ活用(ダイナミックマップコンセプト)により、受信した信号情報がこれから通過しようとする交差点の信号情報であることの識別や、背景物と信号灯具の誤認識防止への有効性も実証してゆく計画であると同時に、自動運転ではない車両のドライバーへの情報提供としての有効性についても実証した。以上のような、情報の有効性を実証する一方、インフラの整備にむけた指針として、どのような環境条件、シチュエーションにおいてITS無線通信による情報配信が有効であったかも明確にした。

これらの情報はSIPが実証実験参加者に貸与する車載器にデータを保存することにより、インパクトアセスメントの分析に活用した。

2.2. 羽田空港地域

公共交通に係る自動運転システムを構築するため、図5に示す羽田空港第3ターミナル・天空橋エリア間

において、自動運転技術を活用した次世代型都市交通ART(Advanced Rapid Transit)による、インフラ協調システムの実証実験と、道路交通に対するインパクトアセスメントを実施した。



図3 走行コース

今回の実証実験では全ての人に優しく快適な、自動運転レベル4相当のARTとして、インフラ整備による①ドライバー介入不要の自動運転、②定時運行、③バス停への正着や緩やかな加減速による快適性向上の実現を目指した。そのため、上記の走行コース上に、a) 自車位置推定のための磁気マーカー、b) 他の車両との交錯を低減するためのバス専用レーン、c) バス車体と停留所間に段差・隙間無く正着可能な構造のバス停、d) バスを優先的に交差点通過させるための青信号延長機能等を持ったPTPS (Public Transportation Priority Systems)、e) ITS無線技術による信号情報配信設備をインフラ設備として設置し、実証実験参加者が準備した自動運転バスの走行により①～③に対する有効性を実証した。また、自動運行バスの走行による周囲の交通への影響を評価した。

2.3. 首都高速道路

自動運転車は複数の車載センサ(カメラ、ソナー等)を搭載し、それらから得た情報を統合的な車両制御に利用している。一方、現状の車載センサでは検出範囲にそれぞれの限界があり、高速道路(自動車専用道路・高速自動車国道)をより安全・安心かつ円滑に自動運転車を走行させることを狙いに、首都高速道路横浜羽田線の空港西入口において、国土技術政策総合研究所の協力の下、インフラ連携による支援情報配信の有効性に係る実証実験を実施した。

具体的には、国交省・各道路会社によりETC2.0で実用化されているDSRC通信(5.8GHz)を活用し、ETCゲートの円滑な通過に際して、ETCゲート選択に十分な余裕を持った走行位置でのETCゲートのオープン・クローズ情報配信(図6)、ならびに車載センサによる自律走行での本線合流が困難な環境下で、本線上のインフラセンサで本線交通流に係る検出情報を合流支線上の走行中の車両に情報配信することで、自動運転継続の可否判断、自動運転車の走路計画等について支援情報の有効性を実証した。(図7)

結果、ETCゲート通過に係る支援情報配信につい

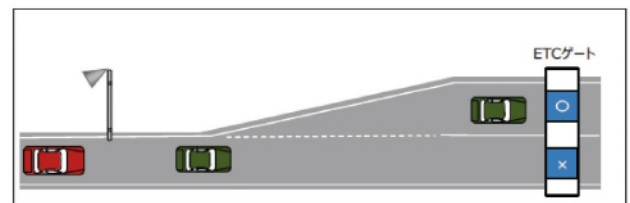


図4 ETCゲート通過に係る支援情報配信

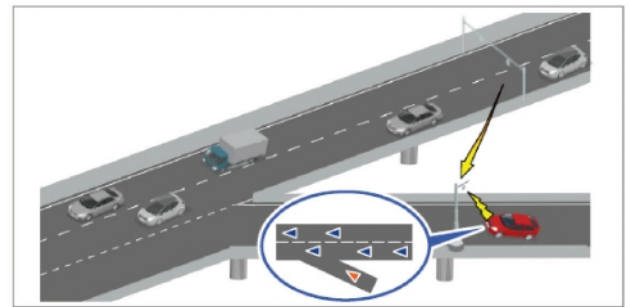


図5 本線合流に係る支援情報配信

ては、自動運転車の走路計画作成のみならず、ドライバーに対するETCゲートの円滑な選定、および安全・安心な通過の為の支援情報としても有効性を確認できた。また、本線合流に係る支援情報配信については、空港西入口の道路構造上、本線交通流の見通しが効かない中、本線交通流に係る検出情報を合流支線上の走行中の車両に情報配信し、自動運転継続の可否判断、自動運転車の走路計画作成、加減速・操舵制御について支援情報の有効性を確認できた。併せて、ドライバーに対する注意喚起としての有効性も確認できた。一方、本線上のインフラセンサで本線交通流をスポット検出し、生成した支援情報(到達計算時刻を等速走行にて仮定して算出)の為、渋滞等の発生による、本線交通流が不均一な状況下では、支援情報精度の低下が観測され、今後、多様な条件下での改善検討が期待される。

また、高速道路走行中に、車載センサによる検出範囲を超えた中広域の交通環境情報、特に静的情報である高精度3D地図情報に紐づけられた、車線レベルの各種準動的情報(渋滞、事故、故障車、落下物等)は、より安全かつ円滑な自動運転には有効とされている。しかしながら、現在提供されている情報は、VICS渋滞情報に見られるような車道レベルの情報が主流である為、SIPでは走行中の車両から収集した情報(プローブ情報)や既存の交通情報を統計化処理することによる車道レベルの各種交通環境情報生成の研究開発を並行して進めており、令和2年度の後半には広域モバイル通信等を活用した、高精度3次元地図に紐づけられた高速道路上での車線レベルの支援情報実証実験を行う計画である。

備も2018年から足掛け3年近い活動であった。その間ご支援いただいた産官学の様々な関係者の皆様にあらためて感謝申し上げたい。

3 得られた成果と課題及び今後の取組

今回の実証実験は、一言でいうならば、最先端の自動運転システムを社会実装する際に、人の手によって運転される自動車が圧倒的に多い中で、現在の交通環境や車両にどのような課題があるのかを、実際の公道上で実証するという試みであった。

詳細な評価は後述のデータ分析の章に委ねるが、概ね当初想定していた仮説が立証されたものと考えている。それは、インフラ協調による安全上のメリットは非常に大きいということであり、また一方でインフラを活用するがゆえに、導入に際しては様々な課題があるということである。代表的な課題は、今後の技術進化を織り込んだ賢いインフラ整備の在り方であり、またどのように既存の手動交通と併存するかという問題である。これらのうち、交通信号情報の提供のあり方については、今後の取り組みテーマとして取り上げられ、継続的に研究されることになっている。

最後に、本実証実験は、その仕上げとして2020年7月6日から12日予定されていた一般社団法人日本自動車工業会主催による試乗デモプログラムが当初より一体として計画されていた。まさにオリンピックイヤーに相応しい一大イベントとして国内外に発信されるはずだったが、折からの新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い中止せざるを得なかった。タスクフォースでの活動も、それと並行する業界としての試乗デモの準

3 自動運転の安全性の確保

(1) 東京臨海部実証実験

臨海副都心地域における 実証実験データの分析

津田喜秋, 永倉亘 (三菱電機株式会社)

宮下浩一 (株式会社三菱総合研究所)

並木裕之 (エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社)

臨海副都心地域における実証実験^{(1), (2), (3)}では、実験エリア内33交差点に設置されたITS無線路側機から提供される信号情報を活用し、インフラ協調型自動運転による一般道路の信号交差点を安全かつ円滑に通行できることを、延べ29,728回の交差点通過(内、信号情報を活用した自動運転:約18%)により検証した。逆光や順光, 雨天, 前走車やカーブによる隠蔽・遮蔽, 夜間及び背景同化等車載カメラでは信号灯色を認識できない道路交通環境下においては、現在の信号灯色情報を把握・活用することで交差点での自動運転が可能であることを確認した。また、交差点通過判断に差異が生じやすいジレンマゾーンでは、信号残秒数情報を活用することで、交差点手前で急減速・急加速を生じることなく安全に停止, または、安全に通過できることを確認した。一般道路における高度な自動運転の実現に向けては、自動運転導入エリアの設定や信号情報を提供するITS無線路側機の面的整備を進めることで、路車協調による安全で円滑な自動運転の導入・拡大が可能と考えられる。

1 臨海副都心地域における実証実験

臨海副都心地域でのインフラ協調型自動運転の実現に向けて、車両による信号認識の信頼性確保とジレンマゾーンでの円滑な交通流の妨げが課題である。東京臨海部実証実験のうち臨海副都心地域における実証実験では、インフラから信号灯色情報や信号残秒数情報を路車間通信で車両に提供し、各情報の有効性確認と実用化に向けた信号情報配信の必要環境条件の抽出を目的に実験を実施した。

2 実証実験の概要

2.1. 実験エリア

臨海副都心地域の実証実験は、臨海副都心地域の33交差点を対象に信号情報提供用ITS無線路側機を設置して実施した。

2.2. 実験システム

実験車両に搭載した車載システムの構成を図2と表1にそれぞれ示す。760MHz受信機が受信するITS無線路側機が提供する信号情報, GNSS受信機が受信す



図1 ITS無線路側機の設置位置
(電子地形図25000(国土地理院)を加工)

る自車位置情報を実験用車載機 (BOX型PC) で処理し, LANまたはCANインタフェースで車両制御装置へ出力する構成である。安全管理のため動態管理システムと評価用映像データ記録機器を装着必須とし, 電子数取器は自動運転と手動運転の切替えや各種事象発生を記録するために準備した。



図2 車載側のシステム構成

表1 各機材の概要

機材名	概要
受信データ確認用PC	ログデータの収集や、実験用車載機を設定する機能
760MHz受信機	信号情報提供用ITS無線路側機が提供する信号情報を受信し出力する機能
GNSS受信機	測位衛星が提供する測位信号を受信し、機材の位置を出力する機能
実験用車載器 (BOX型PC)	信号情報提供用ITS無線受信機、高速道路実験用車載器、GNSS受信機の出力信号から、必要に応じてデータ抽出・変換処理を行いCAN出力する機能
動態管理システム	実験車両のリアルタイム走行位置や、過去の走行データを確認する機能
ドライブレコーダ	前方・後続の車両挙動を把握し、高解像度の映像や走行ログを取得する機能
電子数取器	押下ルールを設定したボタンの押下により、事象や自動運転のON/OFFタイミングを記録する機能

2.3. 走行実績

臨海副都心地域における実証実験は、2019年10月15日から2021年2月28日までの約16ヶ月間実施した。ここで、2020年4月8日から5月25日までの約2か月間は、COVID-19感染症拡大に伴い首都圏に発出された緊急事態宣言を受け、実験を中断した。実験参加者による総走行距離は約64,591km（動態管理システム集計値）、総交差点通過回数は29,728回であった。走行実績の内訳を図3に示す。信号情報を用いた協調型自動運転は全体の約18%である。また、2020年10月から11月と2021年2月にそれぞれ2週間のインパクトアセスメント集中走行期間を確保したことで比較的多くの走行データを得ることが出来た。

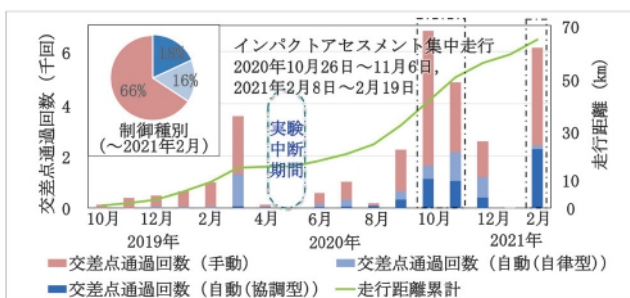


図3 臨海副都心地域における実験参加者の走行実績

3 信号灯色情報の有効性と条件

信号灯色情報の有効性と有効となる条件の抽出にあたっては、以下に示す仮説に基づき、実験エリア内全交差点通過回数に占める事象の発生回数を求めた。

- 1) 信号灯色認識阻害要因の分析
- 2) 交差点通過回数に示す1)項発生回数の分析

3.1. 信号灯色認識阻害要因の分析

実験参加者から提出された走行データの数取器が押下された事象を基に、ドライバや車載カメラが信号灯色認識を阻害する要因を求めた。これから得られた主な阻害要因は、太陽光による逆光・順光等で信号灯色認識困難、周囲大型車両による信号灯器隠蔽・遮蔽、ビル壁面への信号機輪郭同化、夜間街路灯等の光源で信号灯色認識困難、雨滴で信号灯色認識困難などが確認された。図4に主な信号灯色認識の阻害要因を示す。



図4 信号灯色認識の阻害要因

3.2. 信号灯色認識の阻害要因の発生状況

図4に示した信号灯色認識の阻害要因の発生状況毎に臨海副都心地区での発生回数と発生地点毎に整理した。

3.2.1. 全交差点・交差点別の阻害要因の発生回数

全交差点でみた場合の阻害要因の発生回数は、図5に示すように全交差点通過回数29,728回のうち、逆光が79回、順光が43回、隠蔽・遮蔽が602回、背景同化が4回、夜間が6回、雨滴が9回であった。

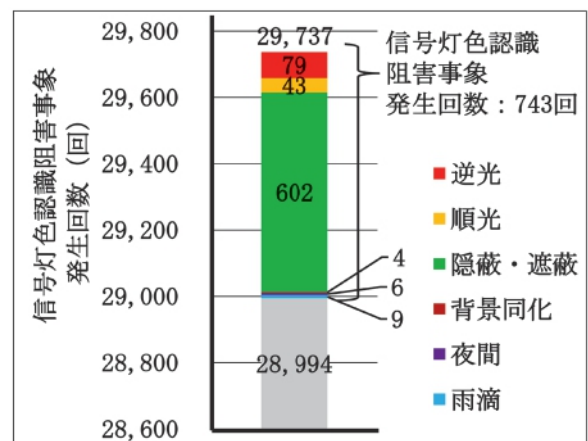


図5 東京臨海部実証実験における全交差点通過回数に占める信号灯色認識阻害事象の発生回数

ここで、隠蔽・遮蔽が他の阻害要因と比較して発生回数が多いのは、カーブでの走行を含んでいる。カー

ブ等の死角による隠蔽・遮蔽は道路構造に起因して発生するため、該当する交差点の通過回数を集計した。表2に交差点毎に発生した阻害要因数を示す。なお、阻害要因の発生回数の集計では、交差点通過時に複数の阻害要因が同時に発生した走行が9回あり、交差点通過回数よりも阻害事象発生回数は多くなっている。表2から、交差点別の阻害要因の発生回数は、特に逆光、順光、隠蔽・遮蔽において、阻害要因が発生する交差点に傾向があることも確認できる。

表2 交差点別の阻害要因の発生回数一覧

交差点名	交差点通過回数	逆光	順光	隠蔽遮蔽	背景同化	夜間	雨滴
潮風公園北	1,125	0	0	0	0	0	0
潮風公園南	1,230	0	1	0	0	0	0
船の科学館入口	1,319	3	1	1	0	0	2
東京港湾合同庁舎前	908	0	0	258	0	0	1
台場駅前第一(西側)	801	3	0	0	0	0	0
台場駅前第二(東側)	870	2	0	0	0	0	0
青海一丁目西	705	3	0	0	0	0	0
台場	1,265	1	0	0	0	0	0
お台場中央第一(北側)	723	0	1	2	0	0	0
お台場中央第二(南側)	998	1	0	1	0	0	0
テレポート駅前	1,015	0	0	2	0	0	2
テレコムセンター前	1,086	0	0	0	0	0	0
台場一丁目	840	5	2	0	0	0	0
海浜公園入口	935	7	3	0	0	0	0
有明橋西	63	0	0	1	0	0	0
レインボー入口	966	5	3	0	0	0	0
東京湾岸アンダー出口	1,040	0	3	1	0	3	0
有明テニスの森	980	3	2	1	0	0	0
有明二丁目北	329	0	0	3	0	0	0
有明二丁目南	576	2	0	3	0	0	0
有明三丁目	535	0	0	2	0	0	0
フェリーふ頭入口	1,363	4	5	6	1	0	0
有明コロシアム西	610	2	3	0	1	0	0
東京ビッグサイト正門	895	3	3	1	0	0	0
有明コロシアム北	609	5	3	0	2	0	0
有明中央橋北	673	0	1	1	0	0	0
有明中央橋南	679	0	0	1	0	0	0
青海一丁目	1,877	8	0	4	0	2	1
東京ビッグサイト前	690	0	3	3	0	0	0
東京湾岸警察署前	1,552	17	8	0	0	0	1
テレコム駅前	1,045	2	0	310	0	0	1
有明コロシアム東	642	2	1	1	0	1	0
有明駅前	784	1	0	0	0	0	1
合計	29,728	79	43	602	4	6	9

3.2.2. 阻害要因の発生頻度が高い交差点

各阻害要因の発生頻度が高い地点を、臨海副都心地域の地図上に記載したので図6に示す。阻害要因のうち、逆光と順光は、臨海副都心地域の北東から南西に

かけての大通りの交差点で確認された。また、隠蔽・遮蔽のうちカーブによる阻害は東京港湾合同庁舎前とテレコム駅前交差点で確認された。

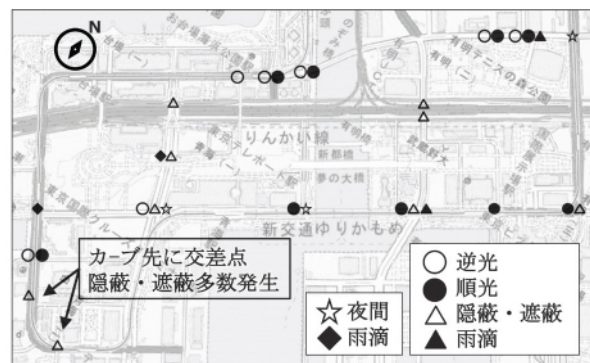


図6 阻害要因の発生頻度が高い地点 (電子地形図25000(国土地理院)を加工)

3.3. 阻害要因発生時の信号灯色情報の有効性

阻害要因発生時の信号灯色情報の有効性を評価した。

3.3.1. 逆光の場合

逆光時の主な阻害要因は、太陽光、ビル反射、対向車ライトである。逆光時の信号灯色認識への影響は、実験参加者との意見交換結果から「逆光で信号灯色の認識が一時的に困難発生、信号情報は有益」、「認識精度の低下前までの信号灯色は車載カメラで認識、走行を通じて信号灯色を継続的に認識可能」等の回答・考察を得た。これから、逆光により信号灯色が認識困難となる状況や未検出・誤検出が生じたことから、前方からの太陽光、ビル反射、夜間の対向車ライトが信号機と重なる時間帯では信号灯色情報の提供が有効であると考えられる。



図7 逆光で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.3.2. 順光の場合

順光時の信号灯色認識への影響は、実験参加者との意見交換結果から「車載カメラによる信号灯色の認識精度は一瞬低下」、「車載カメラの信号灯色認識精度低下発生、交差点通過判断への影響無し」等の回答・考察を得た。これから、順光により僅かであるが信号灯色が認識困難となる状況が生じたことから、後方からの太陽光が信号機と重なる時間帯では、信号灯色情報

の提供が有効であると考えられる。



図8 順光で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.3.3. 隠蔽・遮蔽の場合

隠蔽・遮蔽等の信号灯色認識への影響は、実験参加者との意見交換から「大型車両の隠蔽で信号灯色が青に切替わってから4秒間程度、信号認識不能、信号灯色情報を使用したことで、車載カメラで信号灯色検知前から発進準備が可能」等の回答・考察を得た。これから、信号灯色が遮蔽される交通状況やカーブ直後・クレストといった道路構造により信号機が死角となる道路構造では信号灯色情報の提供が有効であると考えられる。



図9 隠蔽・遮蔽で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.3.4. 背景同化の場合

背景同化時の信号灯色認識への影響について、実験参加者との意見交換から「信号灯色そのものは認識可能、ビル等の背景に信号機の輪郭が同化して信号機の認識信頼性が低下する」等の回答・考察を得た。これから、背景同化により信号機が認識困難となる状況が発生したことから信号機の背後にある建物等と信号機本体が同化する道路構造や時間帯では信号灯色情報の提供が有効であると考えられる。

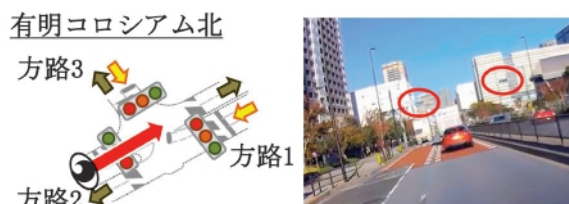


図10 背景同化で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.3.5. 夜間の場合

夜間の信号灯色認識への影響について、実験参加者との意見交換から「街路灯やビル等の光源がある場合、

信号灯色の認識が困難となる」等の回答・考察を得た。これから、夜間の走行で信号灯色(矢灯色等)が認識困難となる状況が生じたことから、複数光源による信号灯色認識精度が低下する夜間帯では、信号灯色情報の提供が有効であると考えられる。

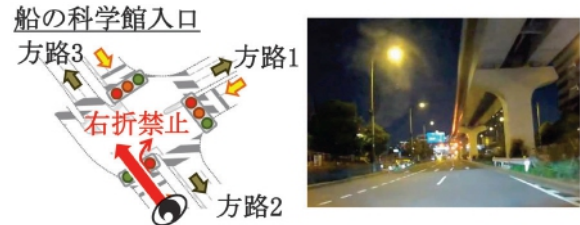


図11 夜間の走行で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.3.6. 雨滴の場合

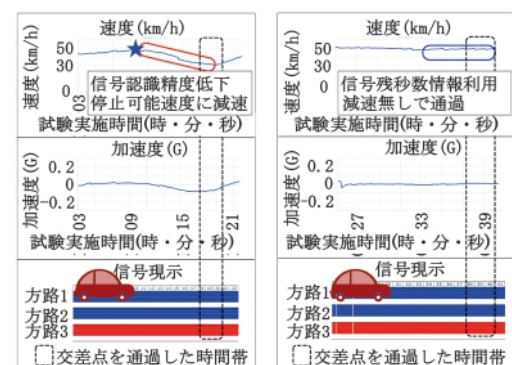
雨滴時の信号灯色認識への影響について、実験参加者との意見交換から「車載カメラ前方に雨滴がつき信号灯色認識困難となった」等の回答・考察を得た。これから、雨滴による信号灯色認識困難となる状況が生じたことから、車載カメラ前方に雨滴が付着し信号灯色の認識精度が低下する気象状況では、信号灯色情報の提供が有効であると考えられる。



図12 雨滴で信号灯色認識が困難となる状況(例)

3.4. 交差点停止時における信号灯色情報の有効性

実験参加者の走行データを基に、信号灯色情報を用いた協調型自動運転シーンの分析を行った。交差点進入時の自車両の速度と加速度の変化を図13に示す。信号灯色情報を使用することで信号認識精度低下時でも急減速せずに交差点を通過でき、信号灯色情報の有効性を確認した。



(1)インフラ情報不使用の場合 (2)インフラ情報使用の場合

図13 信号灯色情報を使用・未使用時の自動運転結果

3.5. 信号灯色情報有効性のまとめ

臨海副都心地域では、信号灯色の阻害要因を「逆光、順光、隠蔽・遮蔽、背景同化、夜間、雨滴」の6種類に分類して分析を行った。各阻害要因が信号灯色や信号機の未検出・誤検出を発生要因となることを確認した。信号灯色認識精度低下は、道路構造だけでなく交通状況、時間帯、気象にも起因し全交差点で発生し得る事象であることから、自動運転を行う区間では全ての信号交差点で信号灯色情報を提供することが望ましい。ただし、自動運転を行う区間の信号交差点のうち、特に道路構造、交通状況、時間帯の観点で、信号灯色認識精度の低下が交差点により必然的に発生する場合と交差点により稀に発生する場合があるため、前記交差点において優先的に信号灯色情報を提供するインフラを整備することが望ましい。

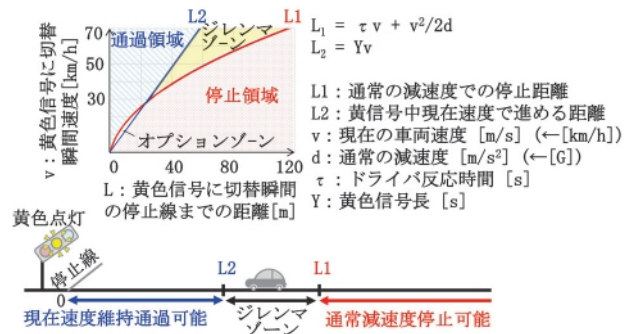


図15 ジレンマゾーンの定義⁽⁴⁾

黄残秒数3の場合		黄残秒数4の場合	
許容減速度	0.2 [G]	許容減速度	0.2 [G]
反応時間	1.0 [s]	反応時間	1.0 [s]
黄色信号長	3.0 [s]	黄色信号長	4.0 [s]

4.2. 交差点通過判断の差異の発生状況

3種類に分類したジレンマ発生要因の回数をまとめた。

4 信号残秒数情報の有効性と条件

信号残秒数情報の有効性と有効となる条件の抽出にあたっては、以下に示す仮説に基づき、実験エリア内全交差点通過回数に占める事象発生状況を求めた。

- 1) 交差点通過判断に差異が生じる要因分析
- 2) 差点通過判断の差異の発生状況

4.1. 交差点通過判断に差異が生じる要因

実験参加者から提出された走行データの数取器が押下された事象を基に、交差点通過判断に差異が生じる要因を「通過領域での停止」、「ジレンマゾーン遭遇」、「停止領域での通過」の3種類に分類したので図14に示す。停止線までの距離と速度の関係分析では、図15に示すジレンマゾーンの定義を参考にし、表3に示す通常の減速度での停止距離と黄信号中に現在速度で進める距離のパラメータを用いた。



図14 交差点通過判断に差異が生じる要因

4.2.1. 交差点別の発生回数

交差点通過判断に差異が生じた回数を、交差点別に集計した。交差点通過判断に差異が生じた割合は平均で0.51%、最大2.70%、最小が0.00%であり、割合が1.00%を超えた交差点は7つ（潮風公園北、潮風公園南、お台場中央第一（北側）、お台場中央第二（南側）、海浜公園入口、テレコム駅前、有明駅前）であった。図16と表4にそれぞれ示す

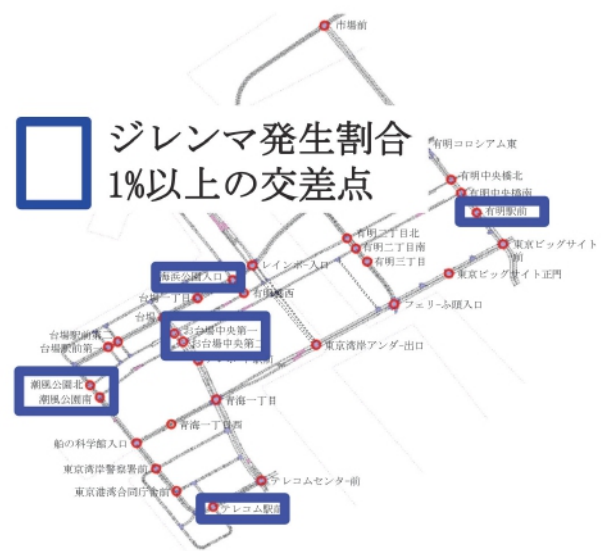


図16 通過判断差異割合が1%以上の交差点

表4 交差点別の通過判断差異発生状況

交差点名	手動	自動	通過判断差異	通過判断差異割合	
				(回数)	(%)
潮風公園北	673	287	11	11/960	1.15%
潮風公園南	797	289	24	24/1086	2.21%
船の科学館入口	873	302	4	4/1175	0.34%
東京港湾合同庁舎前	540	281	0	0/821	0%
台場駅前第一(西側)	474	254	2	2/728	0.27%
台場駅前第二(東側)	511	249	5	5/760	0.66%
青海一丁目西	547	76	5	5/623	0.8%
台場	737	394	4	4/1131	0.35%
お台場中央第一(北側)	365	322	12	12/687	1.75%
お台場中央第二(南側)	570	355	25	25/925	2.7%
テレポート駅前	575	347	1	1/922	0.11%
テレコムセンター前	622	279	0	0/901	0%
台場一丁目	570	180	2	2/750	0.27%
海浜公園入口	626	193	13	13/819	1.59%
有明橋西	55	8	0	0/63	0%
レインボー入口	630	186	1	1/816	0.12%
東京湾岸アンダー出口	740	117	0	0/857	0%
有明テニスの森	652	174	2	2/826	0.24%
有明二丁目北	226	2	0	0/228	0%
有明二丁目南	417	4	1	1/421	0.24%
有明三丁目	406	1	0	0/407	0%
フェリーふ頭入口	965	191	5	5/1156	0.43%
有明コロシアム西	441	165	0	0/606	0%
東京ビッグサイト正門	644	178	2	2/822	0.24%
有明コロシアム北	436	169	0	0/605	0%
有明中央橋北	505	164	2	2/669	0.3%
有明中央橋南	512	163	3	3/675	0.44%
青海一丁目	1,231	426	1	1/1657	0.06%
東京ビッグサイト前	493	193	0	0/686	0%
東京湾岸警察署前	1,004	401	0	0/1405	0%
テレコム駅前	672	279	15	15/951	1.58%
有明コロシアム東	476	163	0	0/639	0%
有明駅前	559	218	9	9/777	1.16%
総計	19,544	7,010	149	149/26554	0.56%

4.2.2. 交差点通過判断の差異の発生頻度が高い交差点

交差点別の交差点通過判断の差異の発生割合を、隣接信号交差点との距離、規制速度、黄残秒数、信号残秒数情報の確定・幅付の4つの視点で分析した。

(1) 隣接信号交差点との距離別の比較

隣接信号交差点との距離(単路区間)が100m未満の交差点と100m以上の交差点で、交差点通過判断の差異が生じた割合を比較したので図17に示す。100m未満の交差点で交差点通過判断の差異が1.00%(通過領域での停止が0.93%)発生したのに対し、100m以上の交差点では0.30%(通過領域での停止が0.23%)であった。隣接する交差点と短い距離で連続する場合は、手前の交差点通過後に次の交差点の通過判断を行うと対応が間に合わずジレンマゾーンへの遭遇等が発生する

可能性があり、ITS路側無線装置の信号情報到達可能距離が100m以上であることから、信号残秒数情報を利用してジレンマゾーンへの遭遇等を回避が可能である。

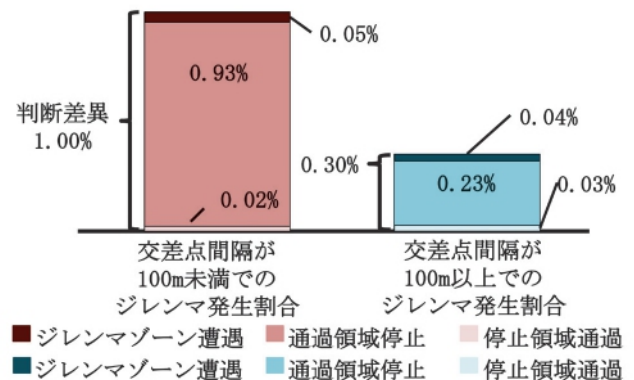


図17 隣接信号交差点距離別交差点通過判断の差異発生状況

(2) 規制速度別の比較

規制速度が時速60kmの交差点進入方路と時速50kmの交差点進入方路で、交差点通過判断の差異が生じた割合を比較したので図18に示す。規制速度が時速60kmの交差点進入方路で交差点通過判断の差異が0.54%(通過領域での停止が0.46%)発生したのに対し、規制速度が時速50kmの交差点進入方路では0.37%(通過領域での停止が0.29%)であったことから、規制速度が時速60kmの交差点進入方路で、交差点通過判断の差異の発生回数が多いことがわかった。

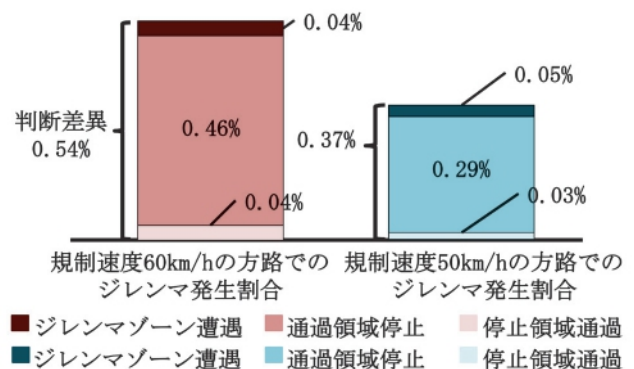


図18 規制速度別の交差点通過判断の差異の発生状況

(3) 黄残秒数別の比較

黄残秒数が3秒の交差点と黄残秒数4秒の交差点で交差点通過判断の差異が生じた割合を比較したので図19に示す。黄残秒数3秒の交差点で交差点通過判断の差異が0.42%(ジレンマゾーン遭遇が0.26%)発生したのに対し、黄残秒数4秒の交差点では0.57%(通過領域での停止が0.53%)であった。黄残秒数が3秒の場合は黄残秒数が4秒の場合に比べてジレンマゾーン遭遇の発生割合が高い傾向、また、通過領域での停止は、黄残秒数4秒の方が発生割合は高い傾向がわかった。

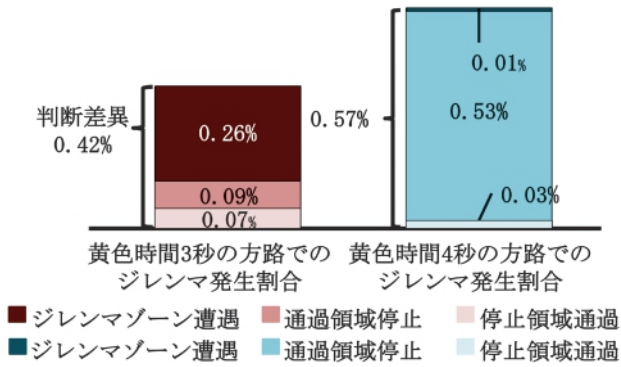


図19 黄残秒数別の交差点通過判断の差異の発生状況

(4) 信号残秒数情報の確定・幅付の比較

信号残秒数情報が確定の交差点と、幅付の交差点で、交差点通過判断の差異が生じた割合を比較したので図20に示す。確定の交差点で交差点通過判断の差異が0.03%（通過領域での停止が0.03%）発生したのに対し、幅付の交差点では0.09%（通過領域での停止が0.065%）であった。信号残秒数情報が幅付の交差点で、交差点通過判断の差異の発生回数が多いことがわかった。

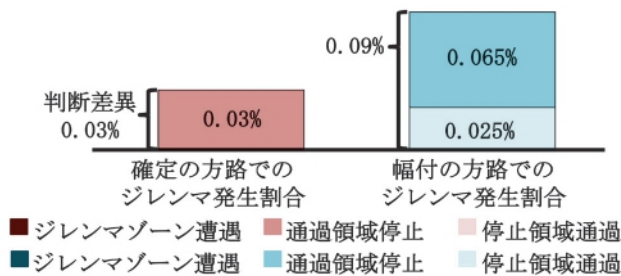


図20 信号残秒数情報の確定・幅付き別の交差点通過判断の差異の発生状況

4.3. 交差点通過判断の差異への信号残秒数情報の有効性

黄残秒数が3秒と4秒の場合で黄色信号に切り替わった時点での車両速度と停止線までの距離の分布を集計し、交差点通過判断に信号残秒数情報が有効であることを分析した。

4.3.1. 黄残秒数3秒の方路

黄残秒数3秒の方路では、信号残秒数情報を未使用の走行でジレンマゾーン遭遇、通過領域での停止、停止領域での通過がジレンマゾーン付近で複数確認できたので図21に示す。

通過領域での停止では急減速が確認されたが、信号残秒数情報の提供で緩やかな減速による停止が可能と推察される。図22に走行特性を示す。また、停止領域での通過では黄色信号を確認後、加速による交差点通過が確認されたが信号残秒数情報の提供により安全

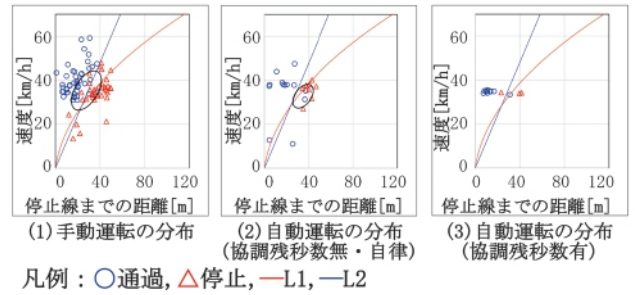


図21 黄残秒数3秒の方路での交差点通過判断結果

に停止することが可能と推察される。図23に走行状態を示す。

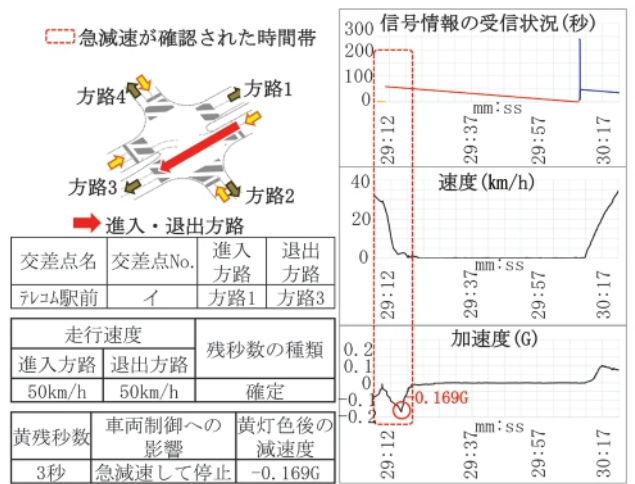


図22 通過領域での停止の走行(黄残秒数3秒の方路)

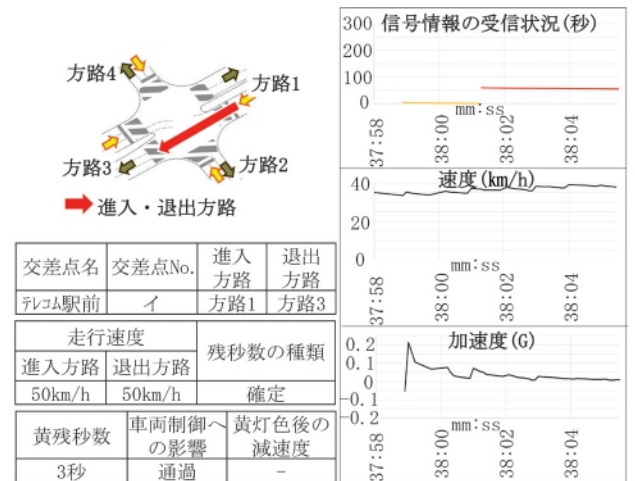


図23 停止領域での通過の走行(黄残秒数3秒の方路)

4.3.2. 黄残秒数4秒の方路

黄残秒数4秒の方路では、信号残秒数情報未使用の走行では、通過領域における通過・停止の混在が広く確認できたので図24に示す。

これから、同程度の速度と停止線までの距離の区間では、ドライバ側で通過と停止の判断が混在していることが推察される。一方、信号残秒数情報を使用したインフラ協調型の走行では、通過と停止の判断の混在

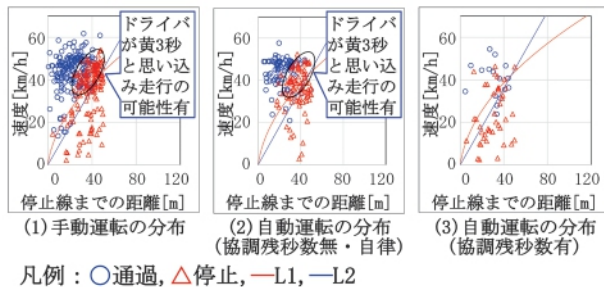


図24 黄残秒数4秒の方路での交差点通過判断結果

が減少したことから、信号残秒数情報の提供は交差点通過判断の差異の減少に有効であると考えられる。信号残秒数情報を幅付で提供している場合、黄灯色切替時の最大残秒数は20秒、最小残秒数は0秒であることから、本情報を車両制御に活用することによる、予備減速による安全な停止は困難と考えられる。図25に走行特性を示す。

また、信号残秒数情報を使用した走行では、黄色信号を受信する前に時速30km程度まで予備減速したため、ジレンマゾーンに遭遇することなく緩やかに減速して停止できたことを確認したので図26に走行特性を示す。

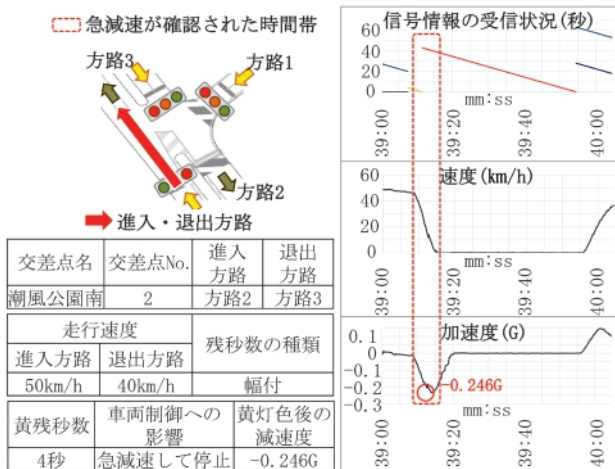


図25 通過領域での停止の走行(黄残秒数4秒の方路)

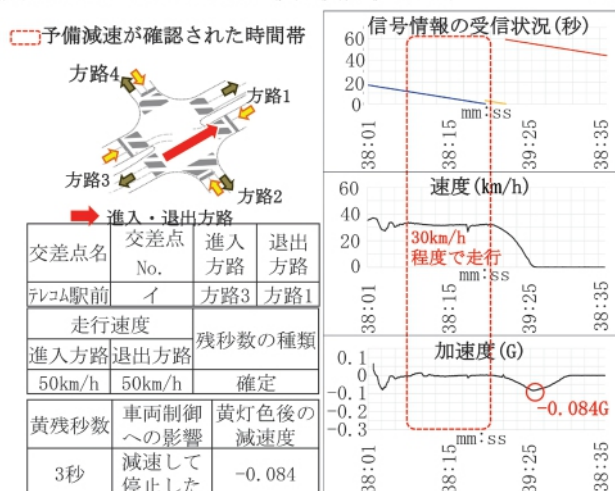


図26 予備減速を行って停止した走行(黄残秒数4秒の方路)

4.4. 信号残秒数情報の有効性のまとめ

信号残秒数情報を提供することでジレンマゾーンの回避と通過領域での適切な通過、停止領域での滑らかな停止の判断が可能になることから、自動運転を行う区間では全ての交差点で信号残秒数情報を提供することが望ましい。特に、隣接信号交差点との距離が短い交差点、規制速度が速い路線の交差点、黄色時間が短い方路を持つ交差点では、交差点通過判断の差異が生じやすく、自動運転車両に対し、信号残秒数情報を提供することが望ましい。

5 信号情報の有効性とインフラ提言

臨海副都心地域の実証実験を通して、路車協調(狭域通信インフラ活用)による信号灯色情報と信号残秒数情報が車両側に提供されることにより、自動運転車両が一般道の信号交差点を安全かつ円滑に通行できることを確認した。自動運転を行う区間では全ての信号交差点で信号灯色情報や信号残秒数情報が提供されることが望ましいが、信号情報配信の必要環境条件に関しては、警察庁が2015年12月27日に制定した信号機設置の指針⁽⁵⁾と実証実験の結果より、「カーブ等により信号機が視程に入る距離が短い道路」、「規制速度が高めに設定されている道路」、「信号間距離が近接している交差点」、「車載カメラでは信号灯色判定困難かつ、非定常的な条件下(逆光/順光, 雨天, 前走車等による遮蔽, 夜間及び背景同化等)」において信号情報を優先的に配信することが望ましいことを確認した。

信号情報優先配信交差点の考え方をまとめたので図27に示す。

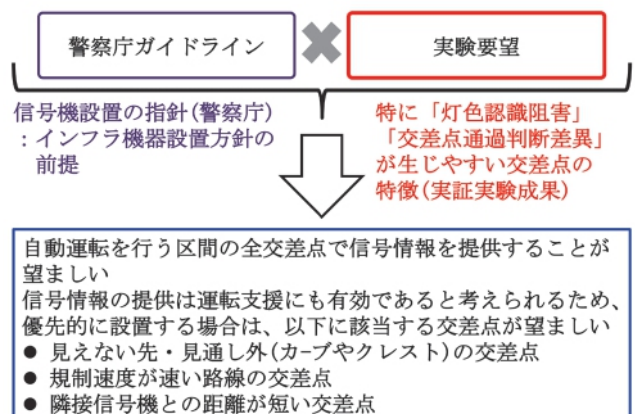


図27 信号情報優先配信交差点の考え方

6 おわりに

臨海副都心地域でのインフラ協調型自動運転の実現に向け、移動サービスを含む自動運転車の導入エリアを設定した面的なインフラ整備により、路車協調による安全で円滑な自動運転車の導入、拡大が可能であることを確認した。本実証実験では、既存サービスのITS無線路側機で配信された情報 (ISO/TS19091準拠仕様) で実験参加者と合意した一方、感応式信号機での残秒数情報のより早いタイミングでの確定要望もあったことから、影響がより顕著になるV2Nによる配信時も考慮した検討が今後必要であると考えられる。

最後に、本実証実験の実施にあたり、COVID-19の影響下、実験走行や走行データ提出に協力いただいた実験参加者の皆様に感謝する。

【参考文献】

- (1) 東京臨海部実証実験コンソーシアム「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 2020年度成果報告書」(令和3年5月)
- (2) ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム「自動走行システム向け地図データ仕様への提案 Ver1.1」
- (3) ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム「自動走行システム向け地図データ符号化仕様への提案 (試作データ用符号化仕様) Ver1.0」
- (4) 鈴木宏典, 石倉嵩也, 生駒哲一: ジレンマゾーンにおける交差点通過または停止要因の分析と意図推定, 自動車技術会論文集, Vol.47, No4 (2016年)
- (5) 警察庁「信号機設置の指針」(平成27年12月28日)

【執筆者詳細】

- ① 津田喜秋, 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, 専任, 自動運転・ITS・路車間通信に関する研究開発, SIP第2期東京臨海部実証実験研究開発責任者
- ② 永倉亘, 三菱電機株式会社, 鎌倉製作所, 鎌倉製作所ITシステム部 空間情報システム課, 担当, 高精度測位端末・パーソナルモビリティ開発, SIP第2期東京臨海部実証実験信号情報評価解析担当
- ③ 宮下浩一, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部 先進モビリティグループ, 主任研究員, 自動運転・ITSに関する研究開発, 実証の支援・コンサルティング
- ④ 並木裕之, エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社, 社会システム事業部インフラ情報チーム, 研究員, ITS・モビリティに関する調査研究・コンサルティング

3 自動運転の安全性の確保

(1) 東京臨海部実証実験

羽田空港地域における 実証実験データの分析

山田康右, 内山直浩, 祢津伸一 (パシフィックコンサルタンツ株式会社)

(概要) 羽田空港地域における実証実験では、磁気マーカー・バス専用レーン・信号情報・PTPS等の自動運転支援インフラを活用することで、自動運転技術を搭載したバスが、羽田空港周辺の公道上の周回バス路線における定時運行およびバス停への高精度な正着制御を実現できることを検証した。周回バス路線では、計322回の自動走行実験を行い、混在交通環境下で自動走行による定時運行が可能であることを確認したほか、一部走行で発生した手動介入の約8割が「路上駐車車両回避」または「左折時における対向車線の停止線への接近」に起因すること、PTPSが速達性・定時性の向上に寄与することを確認した。また、バス専用レーンが自動運転の継続性向上に貢献することを確認した一方、一般車両との錯綜事象も発生し、自動運転車の挙動特性に関する広報・啓発、バス専用レーンのルール遵守を訴求すること等の必要性も明らかになった。バス停では計416回の自動運転正着制御実験を行い、磁気マーカーの活用により標準偏差10mm未満という再現性の高い正着制御を実現できることを確認した。

1 羽田空港地域における 実証実験の目的

羽田空港地域においては、2020年6月5日から、公共交通機関であるバス・少人数輸送車等のインフラ協調型の自動運転制御による無人移動サービス等の実証実験が実施された。

羽田空港地域実験として、磁気マーカーやバス専用レーン等の自動運転支援インフラを整備し、実証実験において得られた各種データを解析することにより、インフラ協調の有効性確認、課題抽出の取りまとめを行った。羽田空港地域におけるインフラ整備箇所を図1に示す。



図1 羽田空港地域実験におけるインフラ整備箇所

2 調査手段と評価結果の とりまとめ方法

「車載器データ」、「交通状況観測」から、インフラ協

調による自動走行の実現性、定時性・快適性、一般交通への影響を評価し、データ解析に基づいたインフラ協調の有効性を考察した。さらに「実験参加者へのアンケート」を実施し、インフラ協調が特に有効な場面等のご意見を頂き、データ解析結果と合わせて自動運転支援インフラが満たすべき条件案を取りまとめた。

3 実験結果のまとめ・報告

3.1. 混在交通下でのドライバ介入要因の分析

3.1.1. 混在交通下における自動運転実現の確認

インフラ協調型の自動運転ARTシステムによって、公道上の混在交通下での自動走行が実現できたことを確認するため、目標周回数を設定し、自動走行による実績周回数を整理した。

(1) 解析方法

目標周回数の設定については、自動走行の実現性及び速達性・定時性・快適性を評価するため、統計的に有意な評価が可能となるサンプル数を算出し設定した。なお、実績周回数は、一時的な手動介入が発生した場合であっても、連続的・継続的な手動走行でなければ、自動走行とみなして集計した。

(2) 解析結果

実験参加者3社が実施した走行データにおける自動走行の実現状況を確認した結果、目標周回数以上の自

自動走行が実施されたことか把握できた。この結果より、インフラ協調が混在交通下での自動走行の実現のために有効であることが確認できた。

図2に目標周回数と実績周回数を示す。

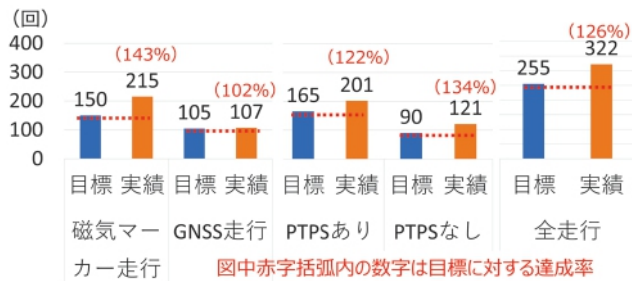


図2 目標周回数と実績周回数(3社合計,6~11月の回数)

3.1.2. 磁気マーカー走行時における手動介入発生要因の把握

本実証実験においては、多くの走行で自動走行が行われたが、いくつかの場面で手動介入が発生した。自動走行の継続可能性の確保・向上のために課題となる手動介入の発生要因を評価することで、今後の自動走行の実現に向けたインフラ整備に関する課題を整理した。

(1) 解析方法

自動走行中に手動介入が発生した場合、自動運転バスの同乗員が数取器のボタンを押下することにより、

手動介入発生時刻が記録される。手動介入発生時刻とドラレコ映像を突合し、図3に示す8種類の手動介入要因を特定した。

(2) 解析結果

手動介入要因の約8割は、「①路上駐車車両の回避」もしくは「⑦左折時における対向車線の停止線への接近」であり、次いで「③隣接レーン走行車両の接近」であった。

図4に手動介入の要因別構成率を示す。「路上駐車車両の回避」に対し走行環境改善策を、「左折時における対向車線の停止線への接近」に対し道路構造・運用の改良(停止線位置の調整等)を講じることで、自動走行の継続可能性が高まる余地が大きいと考えられる。

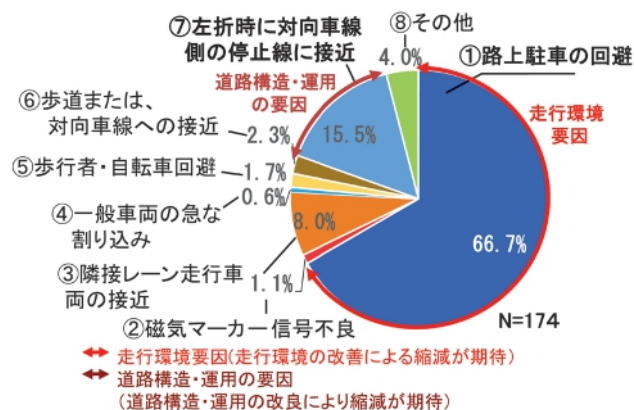


図4 手動介入の要因別構成率(磁気マーカー走行)



図3 手動介入要因の詳細

3.2. 定時運行実現に向けたインフラ協調の有効性

3.2.1. PTPSによる速達性・定時性向上効果の確認

PTPSを活用した走行、PTPSを活用しない走行のそれぞれの周回走行毎の所要時間およびその標準偏差等から、PTPSによる所要時間短縮効果および定時性向上効果を把握した。

(1) 解析方法

① GNSS 車載端末機器から得られた走行中の履歴点データ(取得時刻、緯度経度)を用いて、羽田空港地域の周回走行ルートにおける周回毎の所要時間を求め、平均所要時間や標準偏差などの各種統計量を求めた。

② 履歴点データのうち、周回走行ルートにおける周回が確認できたデータのみを抽出し、所要時間を求めた。周回走行の所要時間の計測範囲は、第3ターミナルバス停範囲を抜けてから第3ターミナル入口交差点範囲を抜けるまでの時間とした。なお、評価対象走行の同質性を担保するため、

第1ゾーン南側道路で低速走行（平均10km/h以下）している周回を除外し、PTPSを活用した走行については、通過8交差点中7交差点以上のアップリンク成功が確認された走行に限定して解析を行った。

(2) 解析結果

PTPSを活用した走行により、1周あたりの平均所要時間が21秒（約4%）短縮し、所要時間の標準偏差が12秒短縮するとともに、所要時間の中央値の短縮も38秒と大きいことを把握した。

所要時間の統計量を図5、所要時間の分布を図6に示す。

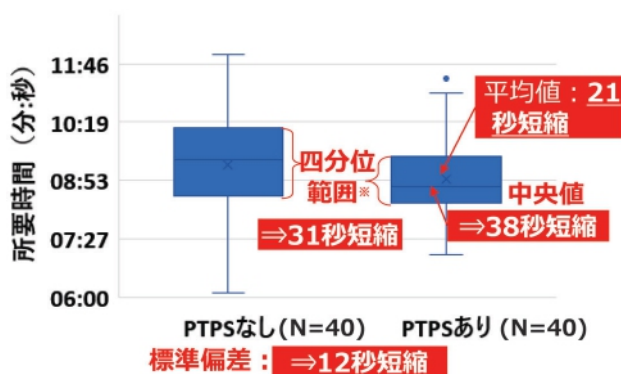


図5 PTPS活用なし/ありによる所要時間関連統計量

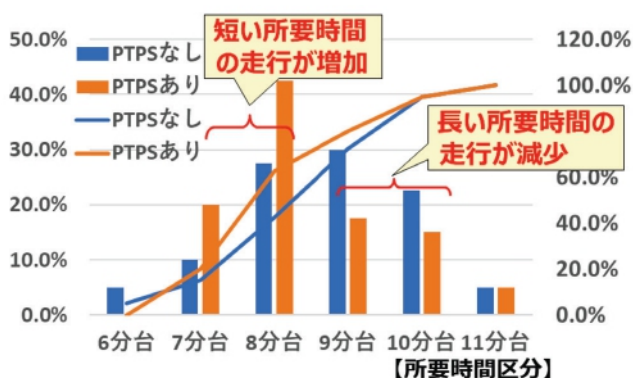


図6 所要時間分布の比較(C社の走行を対象)

3.3. 乗車・降車の快適性

3.3.1. 停止・発進時の加速度の把握

交差点やバス停での停止・発進時において、最大前後加速度の強度別の発生頻度を把握し、乗客の立席に配慮したバスの安全性・快適性を評価した。

(1) 解析方法

- ① ドラレコ映像から1周走行毎の第3ターミナルバス停における停止・発進時刻と各交差点の赤信号による停車・発進時刻を確認する。
- ② ドライブレコーダから取得した加速度データより、赤信号停車時・発進時の時刻の前後20秒間に発

生した最大加減速度を整理する。

(2) 解析結果

停止時・発進時ともに乗客に不快感を与えない範囲の加減速度 (0.2G以下) での走行が約9割を占め、乗客の立席時にも問題のない緩やかな加減速であった。

なお、0.3G超の減速度が発生した場合が数回程度あったが、交差点に差し掛かる直前に黄色信号に変わった際に発生したものであった。今後、信号残秒数情報を活用した停止・発進制御が実現できれば、このような急減速を解消できる可能性がある。

図7に加減速度の強度別発生割合を示す。

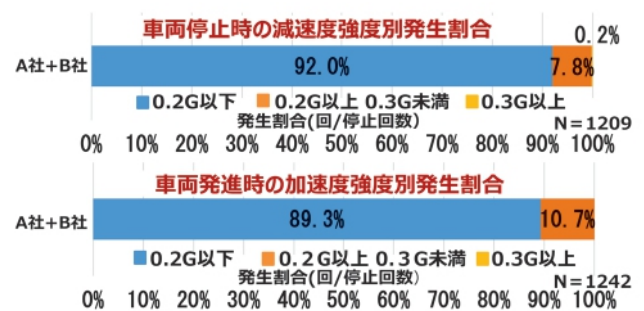


図7 加減速度の強度別発生割合 (A社+B社 磁気マーカー走行)

3.3.2. 正着制御の再現性の高さの評価

自動運転バスが自動走行によってバス停に停止した際の、バス停端からバス乗車口までの距離を計測することで、磁気マーカーによる正着制御の再現性の高さを確認した。

(1) 解析方法

正着制御時のバス停端からバス乗車口までの距離を計測した。各社における50回以上の計測値を基に標準偏差を算出することで、正着制御の再現性の高さを確認した。なお、本実証実験では実験参加者が、中扉で乗降する車椅子使用者の乗降性向上を目的とした開発を行っていることから、中扉での検証を行った。

(2) 解析結果

磁気マーカーによる正着制御では、第1ゾーン、第3ターミナルのいずれにおいても標準偏差10mm未満という再現性の高い正着制御が実現できている。

図8に第1ゾーンバス停、第3ターミナルバス停における計測値の標準偏差を示す。形状が異なる第1ゾーン、第3ターミナルのいずれのバス停においても、高い再現性で正着制御が実現できていることから、バス停での正着制御の再現性、安定性の確保において磁気マーカーが有効であると考えられる。

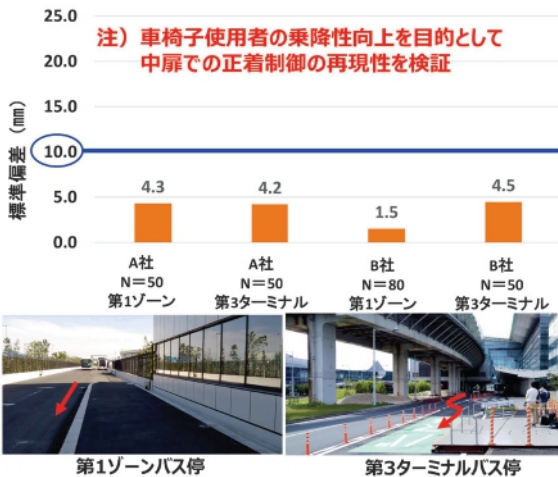


図8 第1ゾーンバス停, 第3ターミナルバス停の標準偏差 (自車位置推定:磁気マーカー)

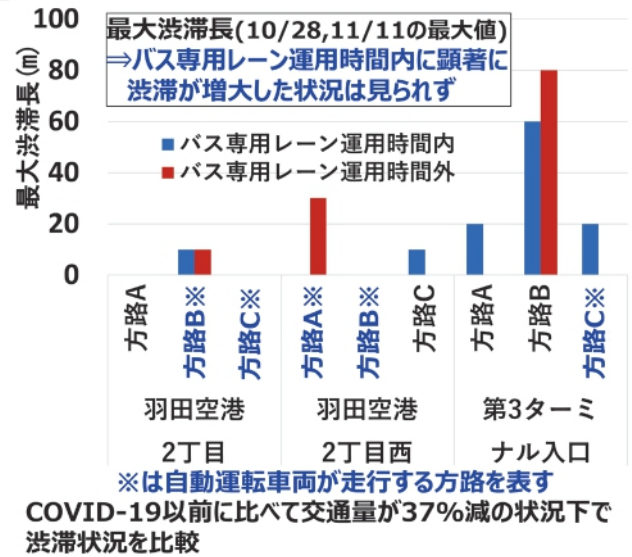


図9 交差点別・方路別の最大渋滞長

3.4. 自動運転車両の走行による交通流への影響と要因

3.4.1. バス専用レーン設置による渋滞状況の変化

バス専用レーンの設置・運用は、単路部において一般車両が利用可能な車線数の減少に伴い交通容量の低下をもたらすものの、バス専用レーンは交差点の約90~160m手前で終了しているため、交差点における交通容量への影響はないものと考えられる。一般的に、道路ネットワークの交通容量は、交差点の交通容量が支配的である場合が多いが、状況によってはバス専用レーンの設置・運用による単路部の交通容量低下の影響が顕在化する可能性もある。そこで、渋滞長の観測を通じて、実証実験のために整備されたインフラ(バス専用レーン)や自動運転バスの走行による交通影響を確認した。

(1) 解析方法

10月28日(水), 11月11日(水)に行った渋滞長調査の結果を用いて、バス専用レーン運用時間内(10時~17時), 運用時間外(7時~10時, 17時~19時)における最大渋滞長の差異を確認した。

(2) 解析結果

COVID-19以前の交通量に対し、6割程度の水準であった状況ではあるが、バス専用レーン運用時間内における渋滞長の増大は確認されなかった。実証実験時の交通状況下においては、バス専用レーン設置による渋滞への影響は顕在化しなかった。図9に交差点別・方路別の最大渋滞長を示す。

3.4.2. 自動運転バスに対する錯綜発生状況

自動運転バスは規制速度を遵守するため、一般車からすると、状況によっては低速で走行している車両と見られるケースが想定される。特にバス専用レーン運用が途切れる交差点手前では、相対的に低速な自動運転バスの前方のスペースに車線変更した上で右左折したいという一般車が、自動運転バスを追越し、急に車線変更することなどによる錯綜の発生が想定される。ここでは、バス専用レーン内を走行中の自動運転バスと一般車の錯綜を確認することで、バス専用レーンの整備による交通影響を確認した。

(1) 解析方法

図10に示す3交差点に設置した高所カメラ映像より、自動運転バスが通過する際の一般車両との錯綜を確認

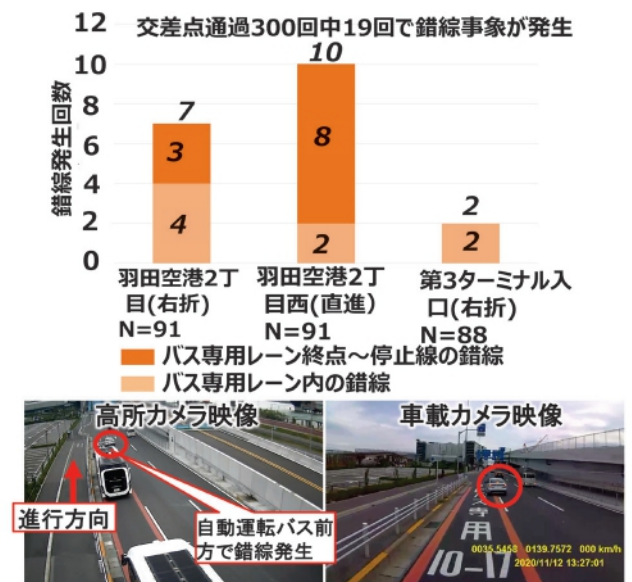


図10 交差点別の錯綜事例発生比率

した。なお、ここでの錯綜の定義は、一般車の車線変更等に伴い、当該車両と自動運転バスとの距離が接近し、いずれかの車両の挙動（速度・加速度）の変化が生じたものとした。

なお、錯綜発生箇所を「バス専用レーン内における錯綜」「バス専用レーン終点～交差点手前の停止線における錯綜」に分類し、各交差点における総発生回数を集計した。

(2) 解析結果

錯綜事象は、交差点通過回数300回中19回で発生している。バス専用レーンが途切れた後の場所だけでなく、バス専用レーン内での錯綜も発生している。

図 10に交差点別の錯綜事例発生割合を示す。バス専用レーン内においても錯綜が発生している状況であり、より安全な自動運転バスの走行環境の実現に向けて改善策を講じるべきである。そのためには、自動運転車の挙動特性に関する広報・啓発や、専用通行帯標識^{*}等での周知強化等、バス専用レーンのルール遵守の必要性を訴求することが重要である。

※実証実験時においては、バス専用レーンの起点終点に標識が設置されていた。

自動運転技術の水準の下では、バス専用レーンが自動運転の継続性向上に貢献し得るものと考えられる。一方、バス専用レーンを有効に機能させるため、自動運転車の挙動特性に関する啓発や、バス専用レーンのルール遵守の必要性の訴求が重要である。

(4) 自動運転ARTシステムによる交通流への影響

自動運転バスの混在により、交差点等における捌き交通量は若干の低下が想定されるため、今後の社会実装では、導入フィールドでの交通影響の事前確認が必要と考えられる。

【執筆者詳細】

- ① 山田 康右, 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 DX事業推進部 交通システム室長
- ② 内山 直浩, 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 DX事業推進部 交通システム室
- ③ 祢津 伸一, 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 DX事業推進部 交通システム室

4 おわりに

羽田空港地域の実証実験結果および実験参加者に対して実施したアンケート結果を総括し、協調型インフラの有効性とインフラ整備による課題を整理した。その概要を以下に示す。

(1) 磁気マーカー

GNSSでの自車位置推定精度が低下する場所、正着制御を行うバス停において有効で、これらが優先的に整備すべき箇所といえる。また、手動介入発生要因となり得る交通環境、道路構造・運用の改善（停止線位置の調整等）の実施が望ましい。

(2) 信号情報・PTPS

1周あたりの平均所要時間が短縮したことから、PTPSによる速達性・定時性向上効果を確認した。また、大型車によって信号灯色が遮蔽される状況等、信号認識が困難な場合でもスムーズな自動走行を実現するために信号情報提供が望ましい。

(3) バス専用レーン

路上駐車により自動運転の継続困難という現在の自

3 自動運転の安全性の確保

(1) 東京臨海部実証実験

首都高速道路における 実証実験データの分析

津田喜秋, 高橋由華子 (三菱電機株式会社), 十河孝介 (株式会社三菱総合研究所),
村木由利香 (エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社)

(概要) 首都高速道路における実証実験^{(1), (2), (3)}では, ETC2.0路側無線装置から提供されるETCゲート通過支援情報・合流支援情報が, インフラ協調型の自動運転やドライバーへの支援情報として有効であることを, 延べ365回の空港西入口通過 (内, インフラ情報を活用した自動運転: 12回, 約3%) により検証した. ETCゲート通過支援情報は, ETCゲートの開閉状況を早いタイミングで正確に把握できることを確認した. 運用状況の視認タイミングが遅れる料金所やゲート数の多い料金所で特に有効と考えられる. また, 合流支援情報は, 高速道路本線上流部に設置された路側センサの検知情報に基づき生成される情報である. 自動運転車両やドライバーが本線状況を事前把握できる点で有効である. 一方, 路側センサ通過後の本線車両速度の変化を把握不能であることから, 臨界時や渋滞時ではスムーズな合流に支障が生じることを確認した.

1 首都高速道路における実証実験

高速道路でのインフラ協調型自動運転の実現に向けて, ETCゲートの通過や本線車両速度に合わせた合流が課題である. 東京臨海部実証実験のうち首都高速道路における実証実験では, ETCゲート通過支援情報と合流支援情報をDSRC路車間通信で車両に提供し, 各情報の有効性確認と実用化に向けた課題を明確にすることを目的に実施した. ここで, ETCゲート通過支援情報は, 料金所のゲート運用状態 (ETC/混在/一般/閉鎖) を進入車両に提供する. 合流支援情報は, 本線上流部に設置されたセンサの検知結果から本線走行車両の車長・速度や合流部到達計算時刻を生成し合流車両に提供する.



図1 実験エリア (電子地形図2500 (国土地理院))

2 実証実験の概要

2.1. 実験エリア

首都高速道路での実証実験は, 首都高速道路羽田線 上り空港西入口で実施した. 空港西入口の位置を図1に示す.

2.2. 実験システム

(1) インフラシステム構成

インフラシステム構成を図2に示す. 実験車両とETCゲート通過支援情報提供路側機 (前アンテナ) 間

でDSRC路車間通信を行い実験車両が否か識別され, 実験車両時はETCゲート通過支援情報を実験車両に提供する. 実験車両進入を受信したゲート情報配信サーバは, 合流支援情報提供路側機 (後アンテナ) に実験車両進入を伝達, 後アンテナは実験車両にDSRC路車間通信を行い車両センサ処理装置からの最新の合流支援情報を提供する.

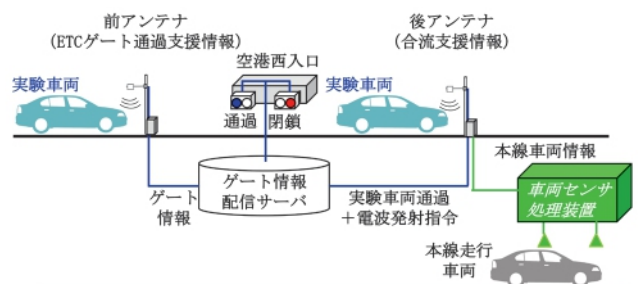


図2 インフラシステム構成

(2) 車載システム構成

実験車両に搭載した車載システム構成を図3と表1にそれぞれ示す。高速道路実験用車載器が受信するETCゲート通過支援情報と合流支援情報、GNSS受信機が受信する自車位置情報を実験用車載機 (BOX型PC) で処理し、LANまたはCANインタフェースで車両制御装置へ出力する構成である。安全管理のため動態管理システムと評価用映像データ記録機器を装着必須とし、電子数取器は自動運転と手動運転の切替えや各種事象発生を記録するため準備した。



図3 車載側のシステム構成

表1 各機材の概要

機材名	概要
受信データ確認用PC	ログデータの収集や、実験用車載機を設定する機能
高速道路実験用車載器	ゲート用・合流用路側機が提供するETCゲート通過支援情報・合流支援情報を受信・出力する機能
GNSS受信機	測位衛星が提供する測位信号を受信し、機材の位置を出力する機能
実験用車載機 (BOX型PC)	高速道路実験用車載器、GNSS受信機の出力信号から、必要に応じてデータ抽出・変換処理を行いCAN出力する機能
動態管理システム	実験車両のリアルタイム走行位置や、過去の走行データを確認する機能
ドライブレコーダ	前方・後続の車両挙動を把握し、高解像度の映像や走行ログを取得する機能
電子数取器	押下ルールを設定したボタンの押下により、事象や自動運転のON/OFFタイミングを記録する機能

2.3. 走行実績

首都高速道路における実証実験は、2020年3月16日から2021年2月28日までの約11ヶ月間実施した。ここで2020年4月8日から5月25日までの約2か月間は、COVID-19感染拡大に伴い首都圏に発出された緊急事態宣言を受け、実験を中断した。実験参加者による空港西入口の実験走行回数は合計365回であった。走行実績の内訳を図4に示す。実験走行のうちインフラ情報を車両制御に活用した協調型自動走行は12回 (約3%)、インフラ情報を車両制御に活用しない自律型自動走行は5回 (約1%) であり、その他の348回 (約95%) は手動走行であった。

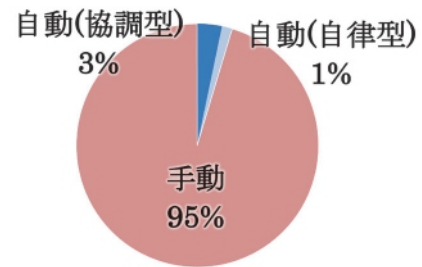


図4 実験走行実績 (空港西入口)

3 ETCゲート通過支援情報

3.1. システムの操作適切性

図2と図3に示した実験システムに基づき、ETCゲート通過支援情報が適切に提供されることを確認した。空港西入口は2つのブースで構成されており、それぞれのブースで「ETC」、「混在」、「一般」、「閉鎖」の4パターンを提供する可能性があるため、延べ16通りの組合せについて、いずれも正しくETCゲート通過支援情報を受信し、BOX型PCを経由して車両制御へ情報出力することを確認した。受信したETCゲート通過支援情報のダイナミックマップビューア表示画面とドライブレコーダ画像の対応例を図5に示す。

実験期間中も、実験システム稼働中の全走行で、ETCゲート通過支援情報を正常受信・出力できていることを確認した。

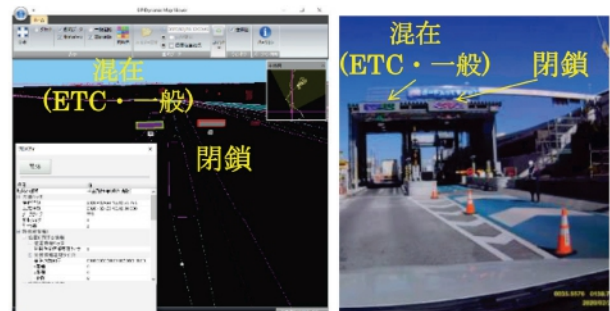


図5 ETCゲートの運用状況 (ドラレコ映像) とダイナミックマップビューアでの表示

3.2. 支援情報の有効性

(1) 走行データの分析

ETCゲート通過時の車両挙動例を図6に示す。

空港西入口は、ETCゲートの手前が緩やかなカーブとなっており、ゲート手前約110mの地点で車両からETCゲートを視認可能となる。本実験では、ゲート手前約185mの地点にETCゲート通過支援情報提供用路側装置を設置し、ETCゲートを視認可能となる十分手前の位置でETCゲートの運用状況を把握でき

ることを確認した。

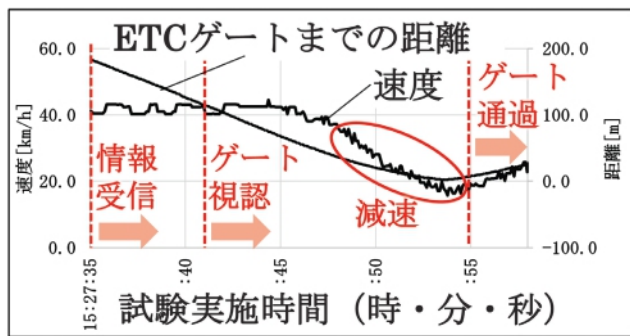


図6 ETCゲート通過時の車両挙動

(2) 評価アンケート

ETCゲート通過支援情報の提供について、実験参加者からの課題提起は無く、早期の実運用を希望する意見が多数得られた。評価アンケートで得られた主な意見を以下に示す。

- 全料金所での導入希望。特に「運用状況の視認タイミングが遅れる料金所」や「ブース数の多い料金所」で有効
- 自動運転車両の他、運転支援システムにも効果発揮大
- 突発的にゲートが閉鎖した場合の対応について検討要

等

4 合流支援情報

4.1. システムの操作適切性

図2と図3に示した実験システムに基づき、料金所通過後の後アンテナ通過時の走行形態（通常走行、左右偏り走行、2車両連続走行）によらず、合流支援情報を正しく受信し、BOX型PCを経由して車両制御へ情報出力することを確認した。受信した合流支援情報のダイナミックマップビューア表示画面とドライブレコーダ画像の対応例を図7に示す。

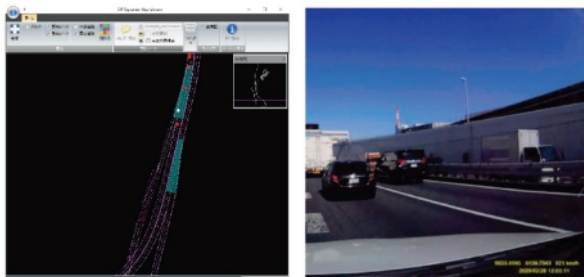


図7 合流時の本線状況(ドラレコ映像)とダイナミックマップビューアでの表示

4.2. 支援情報の有効性

(1) 走行データの分析

自動運転車両の本線合流では、本線車両速度と協調して、急挙動が発生することなく、本線車両の間にスムーズに合流することが望ましい。

実験車両が本線に合流する際の本線車両速度と実験車両速度の関係、合流時の急挙動(±0.15G以上)の発生有無を、インフラ協調無しの場合について図8に、また、インフラ協調有りの場合について図9にそれぞれ示す。

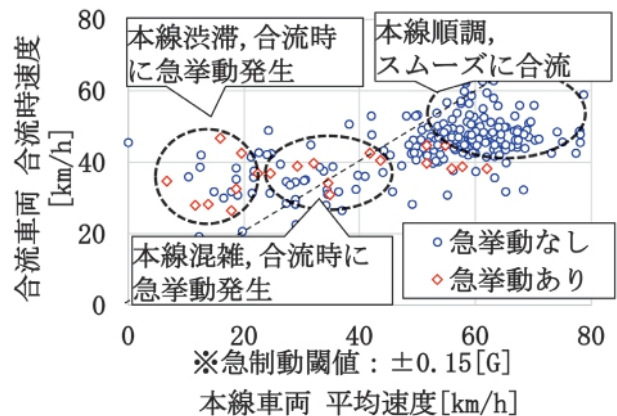


図8 本線車両平均速度と合流車両合流時速度の関係 (インフラ協調無しの場合)

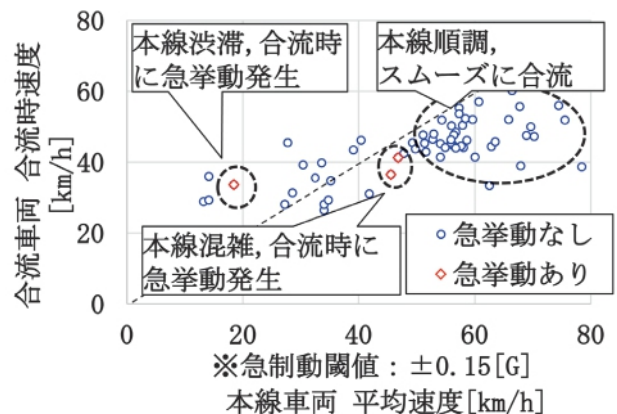


図9 本線車両平均速度と合流車両合流時速度の関係 (インフラ協調有りの場合)

ここで、インフラ協調の有無は、インフラからの合流支援情報を、車両制御に活用したか、テストドライバーに対して運転支援用の画面表示等の任意の方法で提供した走行を「インフラ協調有り」としており、これらのいずれにも該当しない走行を「インフラ協調無し」としている。

図8と図9より、インフラ協調の有無によらず、合流時の実験車両速度は、約20km/hから約60km/hの範囲に収まっている。本線順調時の実験車両速度は約40km/hから約60km/hに集中する一方、本線混雑時や渋滞時は合流時の実験車両速度に分散があることが分かる。イ

ンフラ協調無しの場合、本線車両速度が20km/h以下の渋滞状態であっても、合流時に40km/h以上まで加速し、急減速しながら本線に合流する車両も散見されたが、インフラ協調有りの場合、本線渋滞時に過度な加速を行う走行は見られなかった。このことから、合流支援情報で本線状況を事前把握することで、本線車両速度と協調した合流が可能であることを確認した。

また、急挙動の発生状況に着目すると、インフラ協調無しの場合、本線車両速度と実験車両速度に乖離があることによる急挙動発生が散見される。一方、インフラ協調有りの場合、一部走行で急挙動は発生しているが、いずれも本線車両速度と実験車両速度の乖離に起因するものではなく、本線混雑時または渋滞時で合流しようとした際に、本線車両が真横に位置したことに起因するものであった。このことから、合流支援情報により本線状況を事前に把握することで、急挙動の発生割合を抑制できることを確認した。

本線順調時にインフラ協調で本線合流した実験車両の挙動例を図10に示す。この走行では、インフラから提供された合流支援情報に基づき速度調整し、本線のギャップにスムーズに合流したと考えられる。ただし、本実験システムでは、本線上流部センサ通過後の本線車両等速運動を仮定した到達計算時刻を提供しており、センサ通過後の本線車両速度変化状況を反映することができない。このため、特に本線車両速度変化が大きくなりやすい臨界時や渋滞時において、本実験における合流支援情報に基づいて本線車両のギャップにスムーズに合流することは困難であると考えられる。

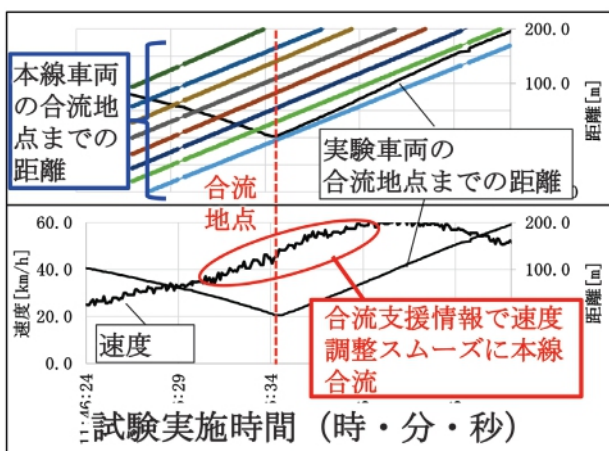


図10 本線順調時のインフラ協調本線合流実験車両挙動

(2) 本線合流シミュレーションによる解析

交通シミュレータ上で空港西入口の道路構造と本線交通状況を再現し、後アンテナと本線上流部センサ

の設置位置を変化させた場合の合流成功率を検証した。シミュレーションでは、後アンテナとセンサの設置を本実証実験位置とした場合、それぞれ合流部に近づけた場合、合流部から遠ざけた場合と本線交通状況「順調」「混雑・臨界」「渋滞」の実測データを組合せて実施した。合流成功率を図11に示す。

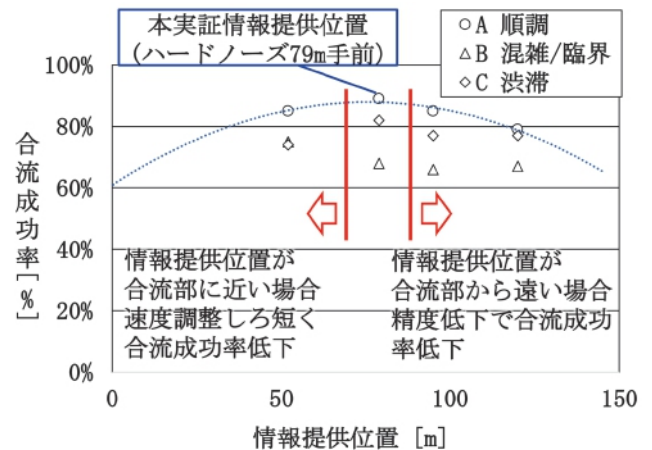


図11 本線合流シミュレーションに基づく後アンテナ・センサ位置・本線状況に応じた合流成功率

図11より、本線順調の場合には、合流支援情報の利用による合流成功率の向上が見込まれるものの、混雑時や渋滞時は到達計算時刻の精度低下に伴い合流成功率が低下することが分かる。インフラ設置位置は、本実証における設置位置の場合に最も合流成功率が高いことを確認した。設置位置を合流部に近づける場合、速度調整範囲が短くなることで合流成功率が低下し、設置位置を合流部に遠ざけた場合、到達計算時刻の精度低下に伴い合流成功率が低下すると考えられる。

(3) 評価アンケート

合流支援情報の提供について、見通しの効かない本線状況を事前に把握できることから、自動運転車両制御や運転支援システム向けに有効との意見が多数得られた。一方、本線車両のスポット検出に基づく情報提供のため、センサ通過後の本線車両速度変化を反映することができず、本線車両の隙間を狙ったスムーズな合流に向けては課題があるとの回答も複数得られた。この課題に対し、本線車両の面的なセンシングや、変化する本線状況を合流車両に対し連続通信での提供を希望する意見が多数示された。評価アンケートで得られた主な意見を以下に示す。

- 本線状況の視認が遅れる合流地点で有効
- 変化する本線状況を把握するために、本線車両の面的センシングと連続通信で合流車両に情報

提供希望

- ETCゲート通過支援情報に本線状況(交通流全体の速度・混雑度・平均車間時間)を併せて提供希望

5 おわりに

首都高速道路における実証実験を通じ、狭域通信により早いタイミングでETCゲート通過支援情報を提供することで自動運転車の経路計画立案の他、ドライバー向けの運転支援システムにも有効であることを確認した。また、見通しの効かない本線走行車両情報を狭域通信により合流車両へ提供することが、自動運転機能による合流支援、ドライバー向けの注意喚起機能等に有効であることを確認した。

一方、本実験システムで提供した合流支援情報は、本線車両のスポット検出に基づき、センサ通過後の等速運動を仮定した到達計算時刻であったため、本線センサから合流地点の間で本線車速に変化が生じる状況では、情報の精度が低下し、本線車両の間にスムーズに合流するには課題であることが判明した。インフラ協調型自動運転での本線合流実現に向けては、変化する本線車両位置情報を連続配信で提供する等の情報精度向上・改善検討が必要と考えられる。

最後に、本実証実験の実施にあたり、COVID-19の影響下、実験走行や走行データ提出に協力いただいた実験参加者の皆様に感謝する。

【参考文献】

- (1) 東京臨海部実証実験コンソーシアム「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 2020年度成果報告書」(令和3年5月)
- (2) ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム「自動走行システム向け地図データ仕様への提案 Ver1.1」
- (3) ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム「自動走行システム向け地図データ符号化仕様への提案(試作データ用符号化仕様 Ver1.0)」

【執筆者詳細】

- ① 津田喜秋, 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, 専任, 自動運転・ITS・路車間通信に関する研究開発, SIP第2期東京臨海部実証実験研究開発責任者

- ② 高橋由華子, 三菱電機株式会社, 鎌倉製作所, 鎌倉製作所ITシステム部 空間情報システム課, 担当, 高精度3次元地図用自動図化・自動接合ソフト開発, SIP第2期東京臨海部実証実験高速道路シミュレーション担当
- ③ 十河孝介, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部 先進モビリティグループ, 研究員, 自動運転・ITSに関する研究開発, 実証の支援・コンサルティング
- ④ 村木由利香, エム・アール・アイ リサーチアソシエーツ株式会社, 社会システム事業部 インフラ情報チーム, 研究員, ITS・モビリティに関する調査研究・コンサルティング

3 自動運転の安全性の確保

(1) 東京臨海部実証実験

インパクトアセスメント 実証実験データの分析

渡部康祐, 寺本英二, 田村太壱, 秋本克哉 (日本工営株式会社)

(概要) インパクトアセスメント実証実験では、多数の自動運転車両が一般道を走行する混在交通環境において、一般道への自動運転車両の混入が周辺の一般車両や歩行者に与える影響を評価した。評価にあたっては、複数交差点に設置した定点カメラの映像データ、車載カメラ映像データ、車両挙動データを組み合わせた見える化システムを構築・活用した。右左折時の捌き量は、自動運転車混入による顕著な低下は見られず、一般車両のみと比べて分散が小さくなることを確認した。一方、単路部や交差点手前等での自動運転車両の急減速挙動により、周辺車両とのヒヤリハット事象が散見された。また、横断歩道等において、自動運転によりドライバーと歩行者のアイコンタクトが不十分になることによる影響は確認されず、歩行者に対し安全な自動運転を実現できていることを確認した。周辺の一般車両や歩行者と協調した高度な自動運転実現に向けては、自動運転技術向上や自動運転車両普及に応じ、本実証実験と同様の評価を継続して実施することが望ましいと考えられる。

1 インパクトアセスメント 実証実験の概要

1.1. インパクトアセスメントとは

自動運転車両の普及・自動運転車両の実現により、安全性・快適性の向上、交通事故の減少、交通円滑化等の効果、影響が期待される。公道走行の実証実験が開始される現段階では、実証実験で得られるデータを用いて上記の効果・影響を明らかにすることが、自動運転技術の一般市民の理解促進、社会受容性の向上につながると思われる。

実交通環境下において自動運転車両が混在する場合と自動運転車両が混在しない場合の交通環境の差異を評価し、自動運転車両が周辺環境に与える影響を分析することを「インパクトアセスメント」と定義する。具体的には、実交通環境下を自動運転車両が走行する際に、自動運転車両混在による影響があると考えられるシーンを設定し、該当するシーンの事象を収集した上で、その影響評価を行うこととした。

1.2. 評価項目の設定・検討

自動運転車両の混在による、周辺車両・歩行者等に与える影響について以下の仮説を立てた。

- 自動運転車両は、安全マージンを十分に確保するため、周囲車両と異なる速度(走行速度の低下)で走行することで、交通量減少、渋滞延伸等の

影響が発生する。

- 自動走行によりドライバーと歩行者とのアイコンタクト等意思疎通が不十分になることで、歩行者の横断躊躇や他車両への注意力低下等の影響が発生する。
- 自動運転車両が交通の流れに特徴をつけ、周辺車両の挙動が変わる(割り込みや追越等の車両が増える等)。

上記の仮説を踏まえ、自動運転車両の混在/非混在時において交通流等に差異が生じうると考えられるシーンを抽出し、インパクトアセスメントの評価項目としてリストアップし、評価項目を設定した(表1, 図1)。

表1 自動運転車両が与える影響と評価項目

評価の着眼点	想定される影響	評価項目
対交通流	・交通量の減少・増加 ・滞留長・渋滞長の変化 ・追越車線の交通量増加 ・旅行速度の低下 ・右左折の捌き台数の減少	・右左折時の捌き台数の円滑性の影響 ・右折時の対向直進車との遭遇による影響
対他車両	・自動運転車両に対する割り込み・幅寄せ ・追越行動の増加	・直進時の赤信号での停止行動等の影響 ・直進時等の周辺車両の車両挙動 ・路上駐車の影響に対する評価 ・直進時の速度の乖離(追い越され)
対歩行者等	・横断躊躇 ・安全確認行動の増加 ・他車両への注意力低下	・右左折時の横断歩行者の影響 ・直進時の横断歩行者の影響 ・自転車との接触リスク

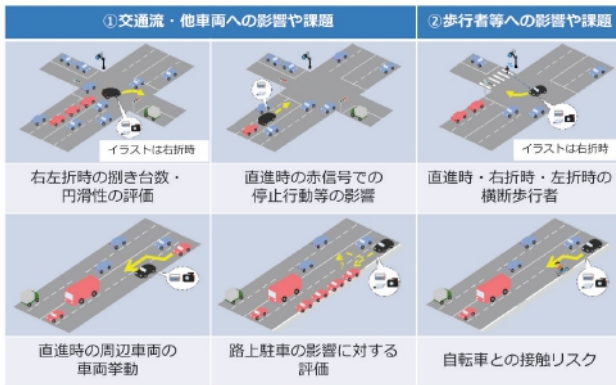


図1 設定評価項目

1.3. 実験計画

実験参加者の実験計画・ヒアリング結果を踏まえ、本実証実験における実験参加者による走行実験期間である2019年10月～2021年2月末のうち、2019年度は自動運転の開発のための準備期間、2020年度は自動運転機能の実走行による評価期間と想定した。2019年度を一般車両のみの交通流の評価のためのデータ収集を行うためのプレ評価、2020年度を自動運転車両と一般車両が混在する交通流の評価のためのデータ収集を行うための本評価と位置付けた。

さらに、実験参加者から効率的に実験データを収集するために、重点的に自動運転走行を依頼する期間を設定した。この走行期間を集中走行期間と呼び、実験参加者から自動運転の実施可能な時期をヒアリングし、2020年10月26日～11月6日の2週間、2021年2月8日～2月19日の2週間で設定した。

2 実験評価のための準備

2.1. 実験機材等の準備

2.1.1. 評価用映像データ記録機器

インパクトアセスメントでは、周辺車両や周辺環境に与える影響を評価するため、評価用映像データ記録機器（ドライブレコーダー）を車両に搭載した。高解像度の映像及び高頻度で取得した走行ログ（速度、加速度、位置情報（GNSS））を収集した。

2.1.2. 数取器

インパクトアセスメントでは、効果的かつ効率的に評価・分析を行うために、数取器を実験参加者に配布し、実験参加者が自動運転の ON/OFF 時や想定される事象の発生時に指定のボタンを押下し、数取器で時

刻を記録する運用とした。また、実験参加者が指定のボタンを押下した時刻前後の映像やログ（実験参加者のメモ含）を確認することで、事象の特定、分析・評価を行った。

2.1.3. 定点カメラ機材

表1に示した交通流の減少、滞留長・渋滞長変化及び横断躊躇等の事象を評価するためには、車両や周辺環境を俯瞰できる映像データが必要である。そこで、既存の照明柱等に固定し最大地上高10mの高さからビデオ撮影可能な定点カメラを設置した。

2.2. 定点カメラ設置交差点の設定

集中走行期間（1.3.で前述）では定点カメラを設置し、車両や周辺環境を俯瞰できるデータを取得する。実験参加者から走行ルート等をヒアリングし、図2の交差点に設置した。



図2 定点カメラ設置箇所
(赤:10・11月評価, 青:2月評価, 緑:両期間評価)

2.3. 見える化システムの構築

実証実験では、様々なインフラ設備や実験機材からデータを取得し、分析・評価を行う。取得した各種データを集約するとともに、グラフ化や地図上のプロットを行い、同時に表示・時系列で事象を再生可能なシステムとして「見える化システム」を構築した。その画面例を図3に示す。



図3 見える化システム画面例

3 評価の実施

3.1. 右左折時の捌き台数・円滑性の評価

以下、着眼点と評価方法を示す。

● 着眼点

- ① 自動運転車両の場合捌き時間に変化はあるか？
- ② 周辺車両の捌き時間に変化はあるか？

● 評価方法：定点カメラ映像から標定線通過時刻を計測しその差から捌き時間を算出(普通車を対象)

● 対象交差点：(ウ)有明コロシム東

個車の右折捌き時間(秒)に対する箱ひげ図を以下に示す。平均値を比較すると一般車両に比べ、自動運転車両の場合 1.4 秒、その後方の一般車両の場合 0.8 秒、捌き時間は大きくなっていることが分かる。また、四分位範囲(ばらつきの程度を表す指標の一つ。「75%タイル値 - 25%タイル値」で求められる。)については変化が確認されなかった。ただし、最小値については、手動運転は自動運転に対し2秒ほど小さい値となった。あわせて自動運転車両の後続車両も近い傾向の値を示している。

自動運転は、手動運転に対して、捌き時間の平均値が大きくなる傾向が確認されていることから全体的な走行の円滑性は低下しているといえるが、四分位範囲が小さいことから個車間のばらつきが少なく安定した走行であると考えられる。自動運転車両は交通流を安定させる方向に作用することを確認した。

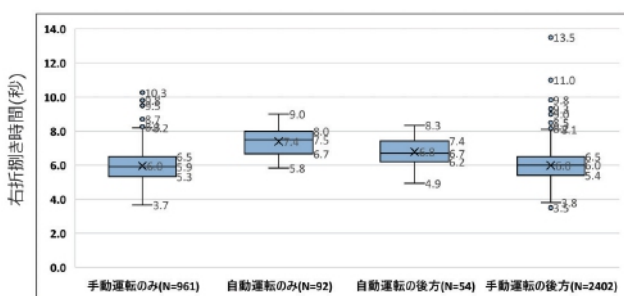


図4 右折捌き時間に対する箱ひげ図

3.2. 右折時の対向直進車との遭遇による影響評価

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

● 着眼点：自動運転車両と一般車両で、ギャップアクセプタンス挙動の違いはあるか？

● 評価方法：車頭時間と車両の右折行動の有無を確認・分析

● 評価交差点：(26) 東京ビッグサイト前 右折

● 使用するデータ：定点カメラ映像データ

ギャップアクセプタンス挙動とは、対向直進車とのギャップ(車頭時間)の間に右折車両が右折するかどうか判断する挙動である。観測されたギャップ(車頭時間)のうち、右折した場合は流入ギャップ、右折しなかった場合は棄却ギャップと呼ぶ。その累積度数曲線の交点のギャップ値は、臨界ギャップと呼ばれ、ギャップアクセプタンス挙動の特性を表す一つの指標とされている。

一般車両の場合、流入ギャップサンプルを233件取得することができたが、自動運転車両の場合、評価交差点の走行サンプル数が少ない上、対向車がすべて通過した後に右折する場合は殆どで観測できた流入ギャップサンプルは1件のみだった。自動運転車両と一般車両のギャップアクセプタンス挙動の違いの分析に資するサンプル数を取得できなかった。

3.3. 直進時の赤信号での停止行動等の影響

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

● 着眼点

- ① 速度分布や最大減速度に違いはあるか？
- ② 提供されるインフラ情報によって違いはあるのか？(信号灯色情報のみ、現在灯色+残秒数情報(幅付)、現在灯色+残秒数情報(確定))
- ③ 前方車両・後方車両との詰まりは発生するか？

● 評価方法：停止時の速度変化、最大減速度を抽出し分析

提供されるインフラ情報による車両挙動の違いを分析する。(6) 青海一丁目西の評価結果を図5に示す。本交差点では、信号残秒数は確定の情報を提供している。協調走行(現在灯色のみ)の場合と比較し、協調走行(現在灯色+残秒数情報)の最大減速度は小さく、確定の残秒数情報を用いて早い時点から滑らかな減速が行われていたと推察される。

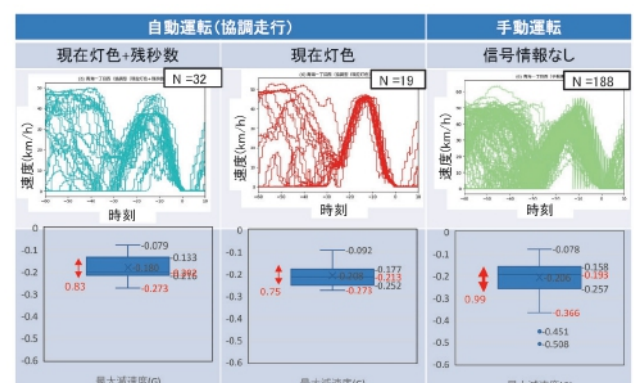


図5 (6) 青海一丁目西交差点での評価結果

「信号」のシーン例を以下に示す。右折待ちの列に混入する際に、信号が黄→赤になったシーンであり、通常は右折挙動を行いそうなシーンで停止挙動をとったことで後続車との詰まりが発生している。



図10 シーン例(直進時の周辺車両の挙動の影響)

上図のとおり、インフラ協調走行ではない車両(信号現示情報をカメラ等で検出する車両)の場合、赤信号や黄信号に変化した直後に、急減速を行い後続車へのヒヤリハットに繋がるケースが散見されている。インフラ協調による信号残秒数情報の提供等による支援の必要性が示唆されたと言える。

3.5. 路上駐車の影響に対する評価

評価方法を以下に示す。

- 着眼点：路上駐車に対する避走挙動の変化後の後続車両等の挙動(詰まり, 錯綜等が生じるか, ヒヤリハット等の変化はあるか?等)

- 評価方法：

- ① 路上駐車遭遇時の車両の挙動を確認
- ② 周辺車両挙動に与える影響を分析
- ③ 避走行動を行ったケースに着目

- 対象交差点：(A) 青海二丁目

- 使用するデータ：見える化システムデータ

路上駐車遭遇時の右方向(避走方向)の最大横加速度(横 G)に対する箱ひげ図、後方方向の最大減速度(制動 G)に対する箱ひげ図を図11に示す。自動運転車両は、路上駐車遭遇時の右方向(避走)の最大減速度(横 G)が手動運転より小さいことを確認した。また、対向直進車と接近した際には、確実に減速しスムーズな避走が行われていた。自動運転車両は、路上駐車遭遇時の最大減速度(制動 G)は手動運転車両と同程度であり、後方車両が後続したケースは2件であることを確認した。そのうち後方車両との詰りが発生したケースは1件であった。

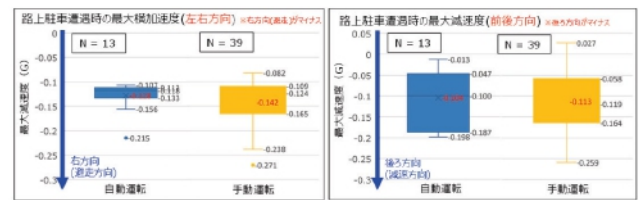


図11 路上駐車遭遇時の減速度評価

3.6. 直進時の速度の乖離(追い越され)

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

- 着眼点：

- ① 自動運転車両混在で速度に変化はあるか？
- ② 追い越され、割込まれは発生するのか？

- 評価方法：定点カメラ映像から標定線通過時刻を計測し、速度を算出、ドラレコ映像を確認

- 評価交差点：(B) 有明三丁目 直進

- 使用するデータ：定点カメラ映像データ

有明三丁目(単路部)にて計測した速度に対する箱ひげ図を図12に示す。自動運転車両の平均速度(オレンジ)は50.4km/hであり制限速度を順守した走行が確認された。四分位範囲についても一般車両では13.5km/h、自動運転車両では6.4km/hであり、自動運転車両はばらつきの少ない安定した走行を行ったといえる。

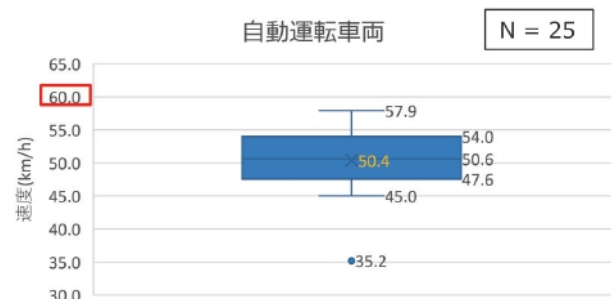


図12 (B)有明三丁目通過時の速度に対する箱ひげ図

自動運転車両の速度が一般車両の実勢速度と比べて遅いことにより、自動運転車両のサンプル(12件、後方車両が一般車両のサンプル数)のうち2件のサンプルで追い越されが発生していた。ただし、追い越されが起こった際、減速や後方車両との詰まりといった周辺車両に影響を与える事象は確認されなかった。

3.7. 右左折時の横断歩行者の影響

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

- 着眼点：横断歩行者に対してどのような停止行動を行われるか？(停止位置の違いの有無、横断歩行者と車両が遭遇した際にどちらが先に動き出したか)

- 評価方法：横断歩行者遭遇時の挙動を分析
- 評価交差点：(25) 青海一丁目
- 使用するデータ：定点カメラ映像データ

10/26～11/6 分の歩行者進行方向別に、車両遭遇時の横断歩行者の位置を図13にそれぞれ示す。ここで、車両が停止するケースを○、車両が徐行・歩行者が先行して通過するケースを△、車両が徐行・歩行者より先に通過するケースを×と示す。結果として、手動走行では14サンプル車両が先行して発進するケースが確認された。他方、自動運転車両では、先行発進するケースはゼロである。全体のサンプル数が異なることは考慮する必要はあるが、自動運転車両は手動運転車両と比較し横断歩行者との接触リスクが低い行動をとったと考えられる。

また、車両に搭載した評価用映像データ記録機器（ドライブレコーダー）から歩行者を確認したところ、歩行者は車両を確認した上で横断しており、自動運転によりアイコンタクトが不十分になる影響は確認されなかった。

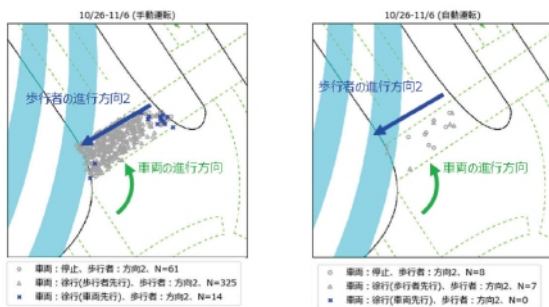


図13 車両遭遇時の横断歩行者の位置

3.8. 直進時の横断歩行者の影響

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

- 着眼点：横断歩行者遭遇時に、歩行者の横断を待ってから通過するか？
- 評価方法：横断歩行者遭遇時の挙動を分析
- 評価交差点：(A) 青海二丁目
- 使用するデータ：定点カメラ映像データ、車載データ

手動運転と自動運転で、歩行者遭遇時の挙動の違いを以下に示す。手動走行では全体の3割ほどが歩行者の横断を待たずに通過したのに対し、自動運転の場合必ず歩行者の横断を待ってから通過した。自動運転車両は、横断歩行者を覚知した際には安全側の判断を行っていると考えられる。

一方、停止時の減速度を確認したところ、上記のとおり自動運転車両は横断歩行者がいる場合には、必ず

停止行動をとっているものの、図14に示すように最大減速度の平均が-0.4G程度と手動運転車両と比較して急減速をとるケースが多いことが確認された。横断歩道周辺の歩行者の存在を検知するタイミングの遅れ等が起因しているものと推察される。

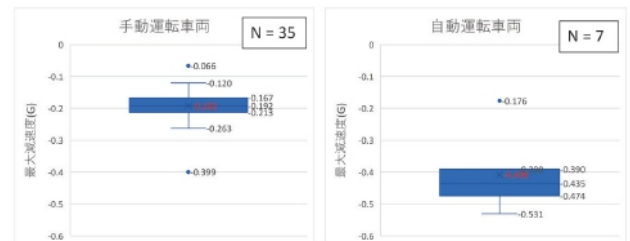


図14 (A)青海二丁目単路部における最大減速度の比較

3.9. 自転車との接触リスク

本評価の着眼点、評価方法を以下に示す。

- 着眼点：自転車に対して、自動運転車両はどのような挙動を取るのか？（急減速等）
- 評価方法：自転車に遭遇した際の挙動とその要因分析
- 使用するデータ：見える化システムデータ

集中走行期間において取得シーンを確認したところ、自動運転車両が自転車に遭遇した際、自転車は自動運転車両を覚知した後、自動運転車両を確認しても減速挙動を取ることにはなかった。

一方、自動運転車両は、自転車に対して大きな影響を与えたシーンは現時点では確認できていないが、自転車の走行挙動に影響され、急減速を行っているシーンが多く散見された。この急減速により、後方車両への影響が懸念される。



図15 シーン例(自転車との接触リスク)

4 考察と展望

上記結果より、自動運転車両が一般交通に混在した場合の影響について、以下のとおり考察した。

4.1. 交通流(円滑, 渋滞)について

事前の仮説では、自動運転車が法定速度を遵守し、安全マージンを十分に確保するため、周辺車両と異なる低速走行による交通量減少、渋滞の延伸等が発生する可能性を考えていた。しかしながら、右左折の捌き時間の計測結果からは、捌き時間の増大は1秒前後にとどまり、さらに後続車両の走行安定も見られるため、自動運転車両の混入により交通環境が安全走行側にシフトする可能性を確認できた。

4.2. 歩行者への影響について

事前の仮説では、自動走行によりドライバーと歩行者のアイコンタクトが不十分になることで、歩行者の横断躊躇や他の車両注意力低下が発生する可能性を考えていた。しかしながら、今回の実験期間中には、仮説のような事象は実際に発生しなかった。今後、自動運転の開発が進み、レベル4のドライバレスでの自動運転車が一般道路を走行可能になった場合、仮説のような事象が発生する可能性があるため、HMIの観点も加味した検証・評価を実施することが望ましい。

4.3. 安全(事故)への影響について

自動運転車両の普及に向けて必要な要素として、「協調」(インフラとの協調、周辺車両や歩行者・自転車等の行動に対する協調)が重要であることが今回の実験で確認された。

例えば、主に交差点内(3.1(右左折時の捌き台数・円滑性の影響)、3.7(右左折時の横断歩行者の影響)、3.8(直進時の横断歩行者の影響)に対応)では比較的安全な走行(横断歩道で歩行者の横断を待つから走行、信号を順守し一定速度で右左折を行う等)が行われており、周辺環境との「協調」がある程度実現可能であることを確認した。さらにインフラ(信号灯色、残秒数の提供)との「協調」についても、3.3(直進時の赤信号での停止行動等の影響)の評価によりある程度実現可能なことが示唆された。

一方、単路部や交差点手前等(3.4(直進時の周辺車両の挙動の影響)、3.9(自転車との接触リスク)に対応)では急減速が起こるヒヤリハットシーンが散見され、周辺車両への影響を与える可能性が確認された。これは交差点内に比べて単路部や交差点手前での走行は、多様な周辺環境(一般車両による信号の遮蔽、一般車両との接近等)への柔軟な対応が必要になるため

と推察される。多様な周辺環境との「協調」は今後の自動運転普及に向けた課題であることを確認した。

4.4. 総括

インパクトアセスメントは、「実交通環境」下で自動運転車両が走行する際の周辺環境に与える影響を評価した。自動運転技術の開発が進み普及していくにつれ、自動運転車両の走行割合は増えていくことが予想されるが、今回の評価時点においては、多数の一般車両の中で自動運転車両が走行する「過渡期」の段階である。この段階では、周辺環境(主に一般車両と)の「協調」が重要であり、一般車両との混在交通下で錯綜や混乱等が発生しないようにするために、「協調」に向けた仕組みづくり(例:事故責任に関する法律の整備等)が求められる。

次に、多数の自動運転車両が走行する「成熟期」を迎え、SAEレベル4やSAEレベル5等のドライバレスを達成した自動運転車両が走行する場合には、周辺環境(歩行者等)とのコミュニケーションを円滑に行えるのかどうか検証する必要がある。「成熟期」における評価も継続して実施することが望ましいと考える。

5 おわりに

自動運転車両が周辺車両や周辺環境に与える影響を評価した。自動運転車両の普及に向けて必要な要素として、「協調」(インフラとの協調、周辺車両や歩行者・自転車等の行動に対する協調)が重要であることが今回の実験で確認された。周辺環境(主に一般車両)との「協調」は今後の課題であることを確認した。

【参考文献】

- (1) 島田 大輔, 森本 章倫, 自動運転車両が混在した一般道における交通流の円滑性・安全性評価に関する研究, 交通工学論文集, 2021, 7巻, 2号, p. A_86-A_93
- (2) 森 健二, 斎藤 威, 信号交差点における右折挙動に基づいた右折処理能力に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 1992, NO.15(1), p.279-p.286

自動運転(レベル3,4)に必要な認識技術等に関する研究

菅沼直樹, 米陀佳祐, 柳瀬龍, 倉元昭季 (金沢大学),
山下隆義, 藤吉弘亘 (中部大学), 目黒淳一 (名城大学)

(概要) 市街地でのレベル4相当の自動運転には、車載されたAIによる高度で自律的な認知・判断機能とともに、それを支援する道路設備、通信設備等のインフラが必要となる。一方、道路設備・通信設備等のインフラを日本全国に設置するには莫大な予算が必要になるため最低限必要とされるインフラや、認知判断技術の検討が必要となる。そこで本事業では、将来の協調領域の議論のため、取得したデータおよび当該データを取得した際の技術を一定程度公開可能な大学等を主体とした自動運転車両の公道実験等を通して、自動運転システムに必須となる認知判断技術とインフラについて研究・調査を実施している。

1 まえがき

市街地でのLevel4相当の自動運転には、車載されたAIによる高度で自律的な認知・判断機能とともに、それを支援する道路設備、通信設備等のインフラが必要となる。しかし、道路設備・通信設備等のインフラを日本全国に設置するには莫大な予算が必要になるため最低限必要とされるインフラや、またそのインフラのもとで必要とされる認知判断技術を検討する必要がある。そこで本事業では、既に自動運転の公道走行実証を行っている大学や、関連する要素技術の最先端の研究を実施している大学との連携により、一般の交通参加者や他の自動運転車が混在する市街地の複雑な交通環境下におけるレベル4相当の自律型完全自動運転車の認知・判断技術を構築する。また、これによって得られる自動運転技術を通して、市街地の自動運転に必要な道路設備及び通信設備などの最低限のインフラを見極めることを目的としている。

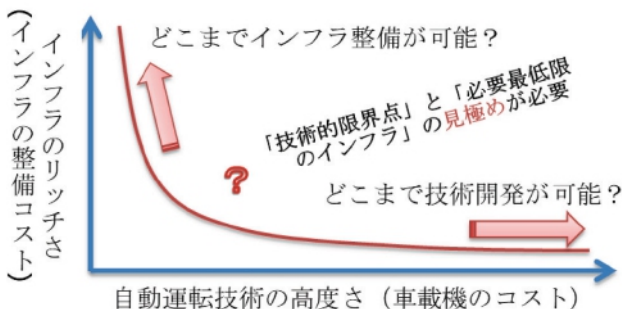


図1 インフラのリッチさと自動運転技術の高度さの関係

2 研究成果

2.1. 信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討

自動運転においてスムーズな交差点走行を行うにあたり、信号機の状態を正確に認識することが重要である。本事業では自動運転時の信号機認識における課題である「認識性能の改善」及び「通信情報の活用による交差点走行の状況判断」の実現を目的とする。車載向けなどの用途で開発されている最新のカメラを活用し、従来のパターン認識技術(①)と最新の人工知能技術(②)の側面から技術開発を行うことで信号認識の性能を最大限に高めた最先端の認識アルゴリズムを実現する。高度な信号認識アルゴリズムの開発に加えて、信号認識の本質的課題である信号機の隠れが発生する状況を考慮して、インフラ支援信号機のV2I通信によって得られる信号情報の活用方法も検討する。そして信号認識に必要なセンサスペックおよびインフラ設備などについて検討する。

(1) パターン認識による信号認識と交差点進入判断
パターン認識による信号認識では、デジタル地図を参照してカメラ画像内の信号灯及び矢印灯の点灯状態を認識し、交差点進入判断を実現する。V2I通信などのインフラによる支援が求められる状況を明確化するため、車載センサによる自律方式の認識アルゴリズムを開発する。自律方式による交差点進入判断が可能な

条件として、120m以内の信号灯及び矢印灯の認識率99%を達成可能な認識アルゴリズムを開発し、認識困難となる状況を分析する。また、インフラ支援型信号灯のV2I通信を活用した効果を検証するため、通信により得られる先読み情報を用いた交差点進入判断アルゴリズムを開発する。

上記の目的を達成するため、2018年度では多様な天候及び日照条件における信号灯の視認性への影響を調査して目標達成に必要となるカメラを選定した。次に2019年度では、デジタル地図による事前情報を活用した認識アルゴリズムを検討し、矢印灯の認識距離の改善を実現した(1)。そして、東京臨海部での実証実験にて得られる走行データに対して120m以内の青・赤・矢印信号の認識率95%を達成した。また、インフラ支援型信号灯から得られる信号情報を活用した交差点進入判断を実現するため、先読み情報を用いた急減速回避アルゴリズムを開発した。さらに2020年度では、東京臨海部での実証実験を継続実施して信号灯認識における環境要因が主となる認識への技術課題の分析及びアルゴリズム評価を実施した。その結果、逆光、順光、隠蔽、背景同化、夜間などの環境条件下では一時的に認識性能が低下する状況を確認したが、交差点接近における一時的な影響が中心のため、交差点進入判断への影響は限定的と考えられる。また認識性能の評価として、多数の信号灯の状況から交差点進入を判断する戦略を導入することで目標性能である120m以内の青・赤・矢印信号を99%以上で認識可能なことを実証した。一方、評価結果より逆光・順光時は認識への影響が大きいことも確認したため、太陽光の影響範囲の定量評価及び逆光影響領域の認識アルゴリズムを開発し、逆光時のカメラの性能限界による視認不可な状況での誤認識を抑制するための対応も補助的な対処方法として検討した。また、インフラ支援型信号灯を活用した交差点進入判断アルゴリズムを一般道で評価する検証実験を実施し、確定情報として与えられる先読み情報が得られる場合において、ジレンマゾーンにおける急減速を回避可能な点を検証した。

(2) セマンティックセグメンテーションによる信号認識

信号灯や信号灯の一部が隠れていたり風景に溶け込んでいたりする場合や、古いランプ式信号灯のような点灯部の輝度が十分ではない場合、従来の矩形や円形特徴を認識する手法だけで正確に信号灯の位置と色を

認識することが困難である。このような課題に対応するため、ディープラーニングを活用したセマンティックセグメンテーションにより信号灯の位置を画素単位で抽出する手法を開発した。これにより、局所的な形状の情報だけでなく、画像全体の構図を考慮することができ、また信号灯が小さくかつ部分的にしか見えていない場合でも信号灯が検知できることが期待できる。また、図2に示すように、セマンティックセグメンテーションにより捉えた信号灯領域に対して、畳み込みニューラルネットワークにより信号灯の認識を行う2段階の手法とした。

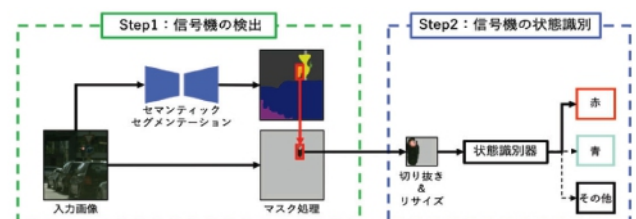


図2 信号機認識アルゴリズムの概要

2018年度は、セマンティックセグメンテーションの有効性を確認し、2019年度は、信号灯の認識機能を開発することで、認識精度95%を達成した。2020年度は、多様な天候の画像を学習データとして利用し、さらに時系列での信号灯の認識を行うことで、図3に示すような昼間および夜間での信号灯認識を可能とし、99%の認識精度を実現した。一方で、逆光状態や点滅信号への対策が今後は必要となる。



図3 信号機の認識結果

2.2. 遠距離の物体検知に必要なAI技術の開発

安全かつスムーズな自動運転を行うためには、車両周辺の自動車、二輪車、歩行者等を確実に検知することが重要となる。本事業では、移動体検知における課題である「遠距離の移動体の検知性能の改善」の実現を目的とする。高度な検知性能を実現するには、遠距離の移動体検知に適したスペックを有する車載カメラを活用し、最新の人工知能技術により遠距離にいる小さな物体を検知するアルゴリズムを実現することが不可欠である。このため物体検知技術の開発と必要十分な検知能力を得るためのセンサスペックを検討する(①)「遠

距離向け車載カメラの選定・検知アルゴリズム開発)」。また、LiDARやミリ波レーダによる観測情報に対しても遠方物体の認識性能を改善するアルゴリズム(②「LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識」)を開発する。そしてパッシブ型及びアクティブ型のセンサを活用することで遠距離の物体を正確な認識を実現する。

(1) 遠距離向け車載カメラの選定・検知アルゴリズム開発

一般的な車載カメラは視野角100度程度であり、画像サイズが1024×786ピクセルの場合、50m遠距離に存在する歩行者の高さは37ピクセル、70m遠距離に存在する歩行者の高さは27ピクセル程度と小さい。また、車載カメラは特定の距離に焦点を当てるため、その距離よりも遠方はピントがずれて物体がぼやけてしまう課題がある。これらの課題に対して、2018年度は遠距離の物体検知に適したカメラの選定を行い、データ収集を行った。2019年度は収集したデータを用いて、遠距離の物体検知に適したアルゴリズムの選定を行った。2020年度は、最新の物体検知アルゴリズムであるYOLOv4をベースとしてアルゴリズムの改良を行うことで、図4に示すような、自動車200m、歩行者70mの遠距離の物体を検出する際に生じるピントずれによるぼやけに対応し、小さな物体を正確に検知することを可能とした。



図4 遠方の物体検知結果例

(2) LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識

LiDARによる物体認識では、観測した物体の点群情報から得られる形状や運動状態に関する特徴量から機械学習で識別する手法が報告されており、自動車、二輪車、歩行者などの交通参加者の種別を認識可能である。しかし、LiDARの観測が疎になる遠方の物体の認識が課題となっている。そこで、ミリ波レーダやカメラなど他のセンサから得られる情報を活用したセンサフュージョンによる遠方物体の認識アルゴリズムを開発する。これによって200m以内の自動車及び70m以内の歩行者に対して90%以上の認識率達成を実現する。

2018年度では車両に搭載する3次元LiDARを用いた遠距離物体の観測可能距離の調査を実施した。そして、

2019年度では車載された3次元LiDARを用いた遠方物体の認識精度を評価した。評価にあたり3次元LiDARを搭載した試験車両を用いて金沢市内並びに東京臨海部で走行データを計測し、自動車、二輪車及び歩行者をラベル付けしたデータセットを作成した。またLiDARによる認識距離を改善するため、カメラによる認識矩形枠を用いたセンサフュージョンによる認識アルゴリズムを開発し、2019年度の目標である自動車135m及び歩行者50mを90%の認識率を達成した。このように遠方の疎な点群を補うためにカメラ画像とのフュージョンが効果的であることを検証した。さらに、2020年度では、前年度開発した認識アルゴリズムを改善して遠距離認識に特化したセンサフュージョンアルゴリズムを実現するためにデジタル地図を併用した認識アルゴリズムの開発を行った。遠方まで安定して認識を継続するためにはカメラによる認識距離の改善も必要であることが課題として挙げられている。そこで、カメラによる認識距離改善及びリアルタイム化を実現するために、デジタル地図を活用した認識領域の生成方法を検討した。デジタル地図から走行中に注目すべき道路領域を逐次抽出することで注目領域に特化して認識距離の改善を図り遠距離認識への効果を評価した。評価結果より限定した領域に対して画像矩形枠の検出距離が改善された。ここで開発したアルゴリズムをLiDARによる物体追跡アルゴリズムに統合して性能評価を実施し、2020年度の目標である200m以内の自動車及び70m以内の歩行者を90%の検出率を達成した。

2.3. 高精度自己位置技術の開発

デジタル地図を活用する市街地自動運転において、車両位置を高精度に推定する自己位置推定技術が重要となる。自己位置推定ではGNSSなどのセンサで測位した位置を初期位置として地図とLiDARなどのセンサの観測をマップマッチングすることで実現する。このとき、高精度な位置情報が測位されていることで、信頼性の高い初期位置を取得可能となるだけでなく、マッチング結果のバリデーションを行うためにも利用可能となる。本事業では、汎用的なGNSSとINSを用いつつも、自動運転システムに適用可能な位置が推定可能なGNSS/INSの技術開発を行う。また、LiDAR等のマップマッチングの技術と併用した高精度自己位置推定アルゴリズムの開発を行い、地図の鮮度に起因する実環境と地図との差異が自己位置推定へ与える影響につい

て調査する。また、道路には様々な状態の白線が存在し、自動運転システムは白線を認識して走行する場合もあるので、白線の状態が自動運転システムに与える影響について調査を行う。なお、GNSS/INSの精度が劣化する可能性が高く、また、地図にも特徴が無い場所では、上記の開発ができたとしても、“道路に設置されたインフラ”による位置推定に頼らざるを得ない場所も存在することが予想される。そのため、自動運転システムを安定して運用可能な条件に関しても検討を実施する。

(1) GNSS/INSの開発

GNSS/INSの開発では自動運転に必要な位置精度を、走行車線の判定が可能な位置推定精度1.5m、及びGNSS/INSだけでも自動運転システムの運用が可能な位置推定精度0.3mの2つに設定する。さらに、これらの目標を準天頂衛星みちびきの活用により実現することを目指す。まず、1.5mの位置精度の達成のため、汎用的なGNSSを用いつつも安定して推定可能な手法として、GNSS Dopplerの有効性を最大限活用した手法の検討を実施した。また、0.3mに対しては、その精度を達成していることを特に高さ方向に注目した車両運動を活用により判定する技術の開発を行った。

まず、2018年度に実施したマルチGNSSを利用した評価試験においては、東京都お台場で30cm@77%/1.5m@90%、新宿で30cm@57%/1.5m@92%の範囲で達成できることを確認することができた。そこで2019年度では0.3m以下の位置精度を達成している場所の判定に注力を行い、同様の評価場所で0.3m以下の位置精度の判定が99%で実現できる可能性を確認した(2)。併せて、2020年度では準天頂衛星みちびきから放送されている補正情報であるCLAS(Centimeter Level Augmentation Service)を活用し、自動運転に十分な位置精度0.3mを判定可能であるか検討を実施した。その結果、東京都お台場に設定したコースにて99%の割合で0.3mの位置精度を判定できる結果を得ることができた。一方、CLASが受信できたとしても、衛星数が減少することが想定される個所においては、測位性能の劣化が見受けられた。そのため、測位精度を担保するため、インフラを活用したマップマッチング等の補完技術により位置精度を維持するための技術が必要になることが想定される。

(2) マップマッチング技術の開発

マップマッチング技術は、高精度に自車の位置を把握するために必要不可欠である。トンネル内や高層ビ

ル街などのGPSの電波を捉えにくいような場所では継続的に高精度な位置を特定するために重要である。

2018年度は、複数方式のマップマッチングアルゴリズムの検討を目的として論文ベースでの調査を行い、開発・検討する手法の候補として①3次元点群を用いたNDTスキャンマッチング ②2次元の路面パターン画像を用いたテンプレートマッチング ③デジタル地図の区画線等の情報を用いた線分マッチングを選出した。また、評価のためのルートとして金沢市内における片道約20kmの経路を選定しデータ計測を行なった。2019年度においては、高精度GNSS/INSを使用し姿勢角を既知とした場合の位置推定精度0.1mを達成することを目標として、複数方式のマップマッチングアルゴリズムを実装し、推定精度の評価を行なった。2018年度に候補として選出したアルゴリズムの中から、代表的かつ自動運転での実績がある2つの方式として①NDTスキャンマッチング②テンプレートマッチングの実装を行い、目標精度の0.1mが達成可能であることを確認した。また、季節の変化による位置推定精度への影響調査として、計測した地図データから植物の変化が確認された地点でのマップマッチングへの影響を調査した。2020年度は、車載グレードのGNSS/INSを使用することを前提としたマップマッチングアルゴリズムを開発し、目標位置推定精度0.1mを達成した。車載グレードのGNSS/INSを使用する場合、安価なジャイロセンサが用いられているために、高精度GNSS/INSと比較して車両の方位角が精度良く得られない。そこで、2019年度までの東京臨海部実証において使用してきたテンプレートマッチングを利用した位置推定アルゴリズムをベースとして、位置および方位角を推定する手法を開発・実装した。Hough変換をベースとした方位角推定を組み込むことで、GNSS/INSの方位角の精度が低下するような状況においても正しく位置推定が可能となることを示した。

(3) 白線の状態が自動運転システムに与える影響の調査

「白線の剥離率」「白線の反射率」「白線と舗装の反射率コントラスト」といった白線の状態が白線認識およびマップマッチングに及ぼす影響を調査した。

まず「白線の剥離率」の、白線認識手法の一つであるセマンティックセグメンテーションへの影響を調べた。車載カメラ画像について、人手で抽出した“元々白線だったと思われる”領域を基準として、二値化処

理で抽出された「白線残存領域ではない」領域の面積比(剥離率)と、セマンティックセグメンテーションで推定された白線領域の面積比(認識率)の関係を調べた。その結果、剥離率が低い(白線が綺麗な)ほど認識率が高く、剥離率が高い(白線がかすれている)ほど認識率が低い傾向にあることがわかった(図5)。

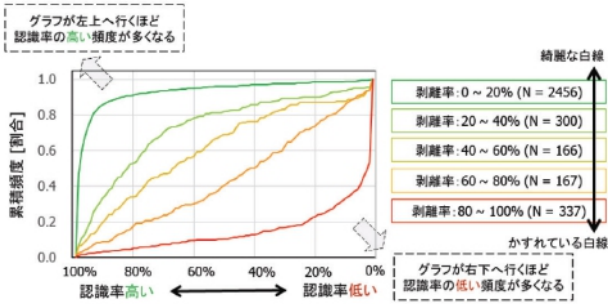


図5 剥離率ごとの認識率の累積頻度

次に「白線の反射率」や「白線と舗装の反射率コントラスト」の、マップマッチングへの影響を調べた。白線の再ペイント工事後でLiDARを用いて反射率を測定し、白線領域の把握やマップマッチング精度の評価を行った。その結果、白線と舗装の反射率コントラストが高いほど、マップマッチングの確信度が高くなる傾向にあった。また、マップマッチング用の地図と観測で白線劣化状態が類似する場合(つまり地図のメンテナンスが良好な場合)は、白線劣化状態に関わらず概ね全てのフレームで車両横方向のマップマッチング誤差が $\pm 0.375\text{m}$ 以下となった(図6②,③)。一方で、白線がマップマッチング用の地図と観測で白線の剥離状態が大きく異なる場合(つまり地図のメンテナンスが不足している場合)は、白線がマップマッチングに悪影響を及ぼす傾向にあり、誤差も $\pm 0.375\text{m}$ 以上になるフレームが多くなった(図6①,④)。

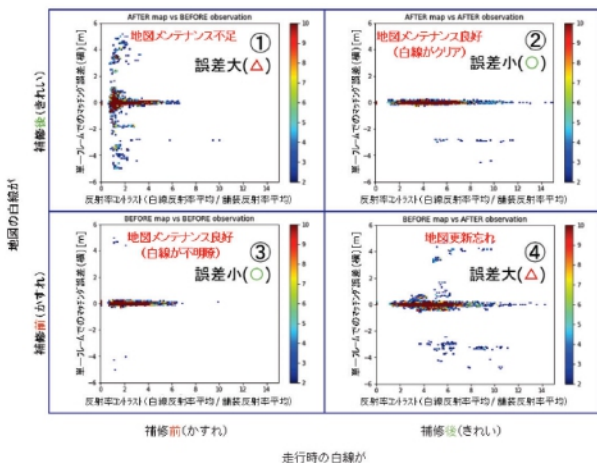


図6 反射率コントラストとマップマッチング誤差

2.4. 交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発

市街地には、車、バイク、自転車、歩行者といった多種多様な移動体が多数存在している。このような移動体に衝突せず安全に走行を行うためには、移動体の将来の行動を予測し、それを考慮した自車の走行軌道(将来自車取るべき経路と速度)を計画する必要がある。そこで本研究課題では、AI技術にもとづき移動速度の低い歩行者の属性(体の向きや年代層等)を求め、その行動を予測する技術(①「人工知能(AI)に基づく歩行者の行動予測」と、時系列的な追跡によって高速で移動する車の行動を予測し、その将来軌道を考慮して軌道計画を行う技術(②「時系列追跡による車両の行動予測とパスプランニング」)について研究を行う。そしてこれらの技術を組み合わせることで、市街地の複雑な環境下においてスムーズかつ安全に走行可能な技術を構築する。そして、市街地走行におけるインフラ支援の必要性の有無やインフラに対する要望の取りまとめを行うことを目的とする。

(1) 人工知能(AI)に基づく歩行者の行動予測

歩行者が未来の時刻にどのような経路で移動するかを推定する技術である経路予測において、移動体が経路を決定する要因は、対象物体周囲の環境などの外的要因と予測対象自身が保有している内的要因に分けることができる。外的要因は、例えば歩行者と車がガードレールなどで隔てられていない場所を走行する場合、側道に車が停車していると歩行者は走行路にはみ出して歩く、というような状況である。一方、内的要因は、性別や年齢などの属性情報であり、例えば子供は周辺に注意を向けることなく、急に道路に飛び出す、というような状況である。このような状況において、パスプランニングを実現するためには、移動体の行動を予測することが重要となる。そこで、2018年度は歩行者の属性を内的要因として推定するためのデータ収集、2019年度は収集したデータを用いて歩行者属性推定手法を開発した。2020年度は、歩行者の属性を考慮した経路予測アルゴリズムを開発した。歩行者の経路予測を行う際、入力には自動車視点または俯瞰視点の2種類が考えられる。いずれの視点からの経路予測が良いかを評価した結果、俯瞰視点からの経路予測が高い精度を得ることができた。また、俯瞰視点からの経路予測において、地図情報(シーンラベル)の有無による地図の有効性の評価した。その結果、地図情報がな

い場合、建物などの障害物に衝突する経路を予測する一方、地図情報がある場合は、障害物を避けるような経路を予測することができた。これより、地図情報が経路予測においても有効であることがわかった。また、移動物体の属性による移動経路について分析した。具体的には歩道から道路への飛び出しをどの程度前から予測できるか分析した。その結果、大人や高齢者の場合は3mから5m程度道路から離れた位置でも飛び出す経路を早期に予測できた。一方、本検討で用いた経路予測手法では、子供の場合は9m以上と十分に離れた位置からでないとい飛び出す経路の予測が困難であることがわかった。経路予測手法による予測精度の違いがあるため、最新の手法による評価および地図情報のさらなる有効な活用方法を検討する必要がある。

(2) 時系列追跡による車両の行動予測とパスプランニング

市街地における自動運転では、移動物体の将来の予測軌道を求め、その軌道に衝突しない自車の走行軌道をリアルタイムに計画することが重要となる。ただし、特に多数の移動車両が存在する都市部においては、これを実現するためには様々な問題に対処する必要がある。多数の移動車両の存在により発生する一時的な隠蔽や死角、相対的に狭いスペースなどの発生時においても安定して移動物体を認識し、移動物体の将来予測軌道を考慮して、スムーズかつ安全に走行することが課題となる。そこで、移動物体の運動状態とその形状を精度よく推定し、移動物体の将来軌道を予測する技術を開発する。そして、これらの移動物体の予測軌道を考慮して市街地においてスムーズかつ安全に走行可能な軌道計画技術を構築する。こうした認識・パスプランニング技術を開発することで市街地における自動運転状態での平均走行持続可能距離を5.0km以上とするアルゴリズムを実現する。

2018年度では、評価対象となる実験エリアの選定及び死角を補助するためのセンサの設置位置などの仕様を検討した。評価エリアとして東京臨海部のエリアに加えて石川県金沢市の市街地環境を設定した。2019年度では、周辺移動物体の形状及び運動状態を同時推定可能なExtended Object Tracking (EOT)による移動物体の追跡アルゴリズム及び地図に基づく移動物体の行動予測アルゴリズムの開発に着手し、自動運転走行中の周辺状況の予測技術の改善を図った。また、2019年9月から実施している東京臨海部にお

ける実証実験において、自動運転走行のオーバーライドの傾向を評価し、目標値である平均走行持続可能距離2.5kmを達成した。

2020年度では、昨年度までに開発していたアルゴリズムをリアルタイム化して順次実証実験に導入した。この結果、自動運転走行の実証実験において、今年度の目標値である平均持続走行距離5kmを達成した。この他、評価結果に基づいてオーバーライドの発生頻度の要因を分析し、オーバーライドに影響のある道路環境の要因の分析を実施した。これにより、道路構造物や他車の存在により死角が発生する交差点での右折走行や矢印信号の点灯時間の短い交差点での右折走行など特定の交通環境下においてオーバーライドに影響のある不調要因を調査した。

2.5. 複数自律型自動車が走行する状態での問題点の検討

将来の道路交通では、多数の自動運転自動車が混在して走行する状態となることが予想され、自動運転自動車同士が様々な交通状況において互いに遭遇する可能性が高くなる。

一般的に自動運転自動車は法令を順守して走行を行うため、その振る舞いは基本的に交通ルールに基づく運転行動となる。このため複雑な環境下において自動運転自動車が遭遇した場合、互いに身動きが取れなくなるいわゆる「デッドロック問題」を引き起こす可能性がある。したがって、将来自動運転自動車が行き交う交通環境に向けたデッドロック回避対策の検討を行うことが重要となる。このため、本研究課題では①「ロボティクス技術を活用したデッドロック回避」と、②「人工知能(AI)技術を活用したデッドロック回避」に関する個別の技術について検討を行う。そして高度なデッドロック回避策をとったとしても自律型の自動運転技術のみではデッドロックが発生してしまう状況を明らかにする。また、デッドロック回避に対してどのようなインフラ支援があるべきかについて提言を行うことを目的とする。

(1) ロボティクス技術を活用したデッドロック回避

市街地での自動運転における基本的な意思決定をシミュレーションソフト上で再現してデッドロック事象を検証するため、シミュレーション環境を構築する。開発したシミュレータを用いて複数の自動運転車が走行する環境下でデッドロックが発生しやすい状況を明

らかにする。実環境でデッドロックが発生するシーンを5件以上明らかにし、シミュレーション及び実車試験を通して開発したデッドロック回避アルゴリズムの有効性を検証する。

2018年度では、複数の自動運転自動車を構築し、デッドロック回避アルゴリズムの方式調査を実施した。2019年度では、東京臨海部での自動運転走行実験を通してデッドロックが発生しうる条件を検討しシミュレーションで検証した。一般的に自動運転車両は交通ルールに厳密に従うようにプログラミングされているため、交通ルールにそぐわない他車などの存在によりデッドロックが起り得ると考えられる。このような状況やデッドロック事象を調査・分析するため、複数の自動運転車両を考慮したシミュレータを開発し、交通ルール違反・譲り合い及び物理的制約を考慮した5種類の環境でデッドロックが発生する状況を明確化した。2020年度では、これら5種類のデッドロック発生シーンを解析し、デッドロック発生後に「事後的に対処」できるか、もしくは発生前に「事前に予防」しなければいけないか、という観点で課題を分けて対処方法を検討した。前者のタイプに対しては主にロボティクス技術を、後者のタイプに対しては主に人工知能(AI)技術を用いて、デッドロック回避の検討を行なった。「事後的に対処」可能なデッドロックシーンの回避アルゴリズムの開発にあたり、デッドロック発生時には臨時的に“あえて車線を逸脱して回避する”という柔軟性を自動運転システムに与えることで、デッドロックを回避するアルゴリズムを構築した。なお、本来このようにやむを得ないとは言え、臨時的に交通ルールを遵守せず、デッドロック回避を試みるのが法律上許容されるのかについては議論が必要ではあるが、あえてここではデッドロックのアルゴリズム上の回避策の可能性について検討を実施した。また、本テーマにて検討したデッドロック回避アルゴリズムをシミュレータおよび非公道における実車試験にて有効性を確認し、走行可能なスペースが存在する特定の条件下においてはデッドロック状態を回避可能であることを確認した。

(2) 人工知能(AI)を活用したデッドロック回避

自動運転車のパスプランニング技術では、観測した情報をもとにルールまたは数式に基づく軌道を計画している。これらのパスプランニングには限界があり、突発的なルールなどに落とし込まず、デッドロックが生じるシーンが実世界には存在する。そこで、本検討

では、デッドロックが生じるようなシーンを想定し、深層強化学習によりデッドロック回避の行動を獲得できるか、検証を行う。

2019年度に東京臨海部における実証実験を通じて、デッドロックが生じるシーンを調査した。デッドロックが生じるシーンは、1)信号待ち時に対向車線に駐車車両があり、右折車が来た時に相手の走行領域を空けるようなシーン、2)片側一車線で見通しの悪い道路に路駐車両が停車しているシーン、3)走行車線に駐車車両があり、対向車を避けて走行するシーン、4)幹線道路に合流するシーン、5)商業施設等の駐車場の出入り口でのシーンである。2020年度は、これらのシーンに対するシミュレーション環境を構築し、深層強化学習によるデッドロック回避が可能か検証した。なお各シーンにおいて、適切な報酬設計を行った。シーン3、5において、相手を考慮する行動を獲得することで、デッドロック回避を行う行動の獲得を実現した。一方、シーン1、2、4では、デッドロック回避を行う行動の獲得を実現できなかった。デッドロック回避を行う行動を獲得できたシーンでは、回避行動が一意または限定されており、回避行動の獲得が容易であったと考える。デッドロック回避行動の獲得が困難であったシーンでは、回避行動の選択肢が多い、または複数台が連携して回避行動を取る必要がある複雑な条件であった。これらのシーンで回避可能なシミュレーション環境の再検討、回避行動を獲得するための報酬ルールの見直しなどが必要である。

3 実証実験

2章で述べた研究開発項目の検証のため、複数のLiDAR、ミリ波レーダ、カメラ等の周辺環境認識センサや、GNSS/INS等の自己位置推定センサ、V2X車載端末等を搭載した試験車両を構築し、公道での実証実験を実施した。

公道走行試験に先立ち、国土交通省運輸支局による構造変更検査登録等を通して、公道走行に違法性がないことを確認した。また日本自動車研究所が実施している自動運転車の公道実証実験に向けた「事前テストサービス」を活用して、第三者機関による安全性評価を実施し、試験車両及び試験車両に搭乗するドライバーの双方により安全性を担保して公道走行試験が実施可

能であること確認した。その後、2019年7月から石川県金沢市中心部において走行実証実験を開始した。また、2019年9月から東京臨海部での走行実証実験を開始した。

そして2020年度末時点で、東京臨海部において121日間の走行実証実験を実施し、自動運転状態で約2137.8kmを走破した。図7に東京臨海部において公道で自動運転を実施している様子を示す。



図7 東京臨海部で自動運転をしている様子

4 あとがき

本事業では、市街地の複雑な交通環境下におけるレベル4相当の自動運転の実現に向けて、中立的な研究機関としての大学による学術的な調査・研究によって、車載センサによる自律的な認識・判断技術がどのような状況下において困難になるのかといった調査や、その際にどのようなインフラが求められるのかについて検討を実施してきた。本事業は、2022年度まで継続的に実施する予定としており、引き続き認識・判断技術の困難な条件やインフラに関する検討を進めるとともに、将来の協調領域の議論加速に向けて実証実験で得られたデータの公開や、SIP別施策との連携によって車載センサによる自律的な認識・判断技術の安全性の検証についても検討を進める予定としている。

【参考文献】

- (1) Keisuke YONEDA, et al., Robust Traffic Light and Arrow Detection Using Digital Map with Spatial Prior Information for Automated Driving, Sensors, Vol.20, No.4, (2020).
- (2) Aoki TAKANOSE, et. al., Focus on Height Fluctuation Kinematic Positioning Reliability Judgment, ION GNSS, St. Louis, Missouri, 2020, 9

3 自動運転の安全性の確保

(2) 安全な自動運転社会の実現

安全性確保にむけた 技術開発と教育(概要)

保坂修, 古賀康之 (内閣府)

(概要) 自動運転車の実用化および普及展開にあたっては、安全性や信頼性の確保が最重要課題であり、自動運転車両の安全性評価の手法の確立が急務である。また、自動運転車と他の交通参加者とのコミュニケーションについても、間違いなく行われる必要がある。SIP自動運転では、仮想空間における安全性評価環境の構築、コネクテッドカーへのサイバー攻撃に対する持続的かつ効果的な対策、自動運転車の意図の人への適切な伝達方法、自動運転車や自動運転サービスを利用する人々への効果的な教育や啓発手法の確立と普及に取り組んでいる。

1 背景と意義

現在、自動運転の安全性評価手法の構築に向けた取組は、グローバルにも最大の関心事であり様々な取組が進んでいる。SIP自動運転でも、東京臨海部実証実験など公道での安全性評価を実施しており、これら公道での走行試験や実験場での実車試験も重要ではあるが、再現性があり、かつクリティカルな条件も創出が可能なシミュレーションによる評価も不可欠である。そこでSIP自動運転では、特にセンサー性能の評価に着目し、実環境と一致性の高いセンサーモデルの構築を目指し、安全性評価シミュレーションのプラットフォームの開発に着手した。

また、サイバーセキュリティに関しては、SIP第1期では、車両外部からのサイバー攻撃に対するサイバーセキュリティ防御レベルの評価方法の確立に取り組み、開発段階における評価法を開発した。一方で、サイバー攻撃の技術進化は続くことから、車両が市場に出た後の車両運用時に、サイバー攻撃を検出・監視する仕組みも必要である。

現在このための対策として、悪意ある第三者からの車両へのサイバー攻撃に対する侵入検知システム (IDS: Intrusion Detection System) が注目されている。そこでSIP第2期では、IDSの性能評価手法の開発に取り組んでいる。

さらに、HMI (ヒューマン・マシン・インターフェース) の課題として、自動運転車が混在交通下で他の車

両や歩行者などと遭遇する場合のコミュニケーションミスを回避するための適切な提示、教育等の方法についても研究開発を行っている。

なお、これら3つの課題については、いずれも日独連携の枠組みの下で、連携して研究開発を進めている。

2 仮想空間での 安全性評価環境の構築

現在の公道での実車による実証実験を中心とした評価方法では、必要な走行環境条件を意図的に設定することができず、自動運転車が必要な安全性を満たしているか否かの判断や、公道において起こる様々な事象を全て実車で評価することが困難であることから、特定の走行環境条件の下で自動運転車の安全性を評価できる手法の開発が急務である。加えて、現状の自動運転車の開発において膨大な時間を要する実車による安全性評価を効率化するため、センサー性能評価を中心としたシミュレーションツールの開発及びインターフェースの標準化等が必要である。

そこで、SIP自動運転では、様々な交通環境下における再現性の高い安全性評価を行うため、リアル環境における実験評価と代替可能な、実現象と一致性の高いシミュレーションモデルの開発に着手し、当該モデルに基づき、仮想空間における安全性評価環境DIVP (Driving Intelligence Validation Platform) の構築に取り組んでいる。



図1 DIVPのセンサーモデルの一致性検証

神奈川県立井上秀雄教授を研究開発責任者として2大学(神奈川県立井上秀雄教授, 立命館大学), 8企業(日立Astemo, ソニーセミコンダクタソリューションズ, デンソー, パイオニアスマートセンシングイノベーションズ, 三菱プレジジョン, 日本ユニシス, SOKEN, SOLIZE)からなるDIVPコンソーシアムを組成して, 外界を模した「環境モデル」, 実センサーの検知機能を模した「センサーモデル」, 自動運転車の運動制御を模擬するための「自動運転モデル」や評価シナリオに基づきテストデータを生成するツール等の開発を行っている。

自動運転車は, カメラ, レーダー, LiDARといったセンサーを複合的に活用しており, センサーフュージョンによる評価が不可欠であり, シミュレーションでそれを実現するためにはインターフェースの標準化が重要となる。このため, 規格については標準化団体ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)と連携して進めている。

一方で, 自動運転車の安全性評価手法の確立にあたっては, シナリオの定義や評価基準などの妥当性の検証が必要となる。一般社団法人日本自動車工業会(自工会)安全性評価分科会の提案により, 安全性評

価技術の実用化の加速に向け, 経済産業省と国土交通省が実施する「自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト」(SAKURA (Safety Assurance Kudos for Reliable Autonomous Vehicles) プロジェクト)とDIVPが連携し, 共同で推進する実務タスクフォースとステアリング委員会を2021年度に立ち上げて取り組んでいる。さらに, SIP自動運転では, ドイツの研究プロジェクトVIVALDIとの間での連携プロジェクト(VIVID: Virtual Validation methodology for Intelligent Driving systems)を2020年10月から開始した。本活動を通じ, 国際連携の取組を強化しつつ, ISOやASAM等において自動運転の安全性評価体系とシミュレーションインターフェースの標準化を推進していく予定である。

また今後は, DIVPのデータプラットフォームを継続的に構築・運用できるよう, 東京臨海部の臨海副都心地域の実証実験環境を再現出来るデータベースを構築し, 東京臨海部における実証実験や自動車メーカー, センサーメーカーによるモニタ評価を通じて, リアル環境との一致性検証, 接続性等を確認するなどの取組を進め, 事業化を目指していく。

なお, 知財戦略については, これまでの研究成果に基づくオープン/クローズの考え方, 競争領域/協調領域の将来変化予想の考え方を入れた構想を構築しており, 知財の戦略的な確保に向けて取り組んでいる。

3 サイバーセキュリティ

自動運転の社会実装においては, 高精度3D地図や信号情報などの交通環境情報を通信で取得する必要がある。コネクテッド技術を自動運転に活用するにあたって特に重要になるのが, 車両外部から通信システムを介して車両に対するサイバー攻撃を想定したセキュリティ対策である。既にいくつかの車両に対するサイバー攻撃手法が国際会議等で継続的に報告されており, 車両へのサイバー攻撃に対するIDSが注目されている。

そこで, コネクテッドカーに対する新たなサイバー攻撃に対して, このIDSが有効であることを踏まえ, 「新たなサイバー攻撃手法と対策技術に関する調査研究」を開始した。本施策では, IDSについて調査する

とともに、テストベッド及び実車を活用したIDS性能評価を実施し、IDS評価手法の確立、評価ガイドラインの策定に取り組んでいる。

また、コネクテッドカーに対するサイバー攻撃による脅威情報の観測、収集、分析、蓄積等の方法及び初動活動を支援する情報共有システムについての調査を実施し、当該システム全体の性能目標を検討するとともにシステム全体の基本仕様の作成を進めている。

本施策については、日本の内閣府SIP自動運転とドイツ連邦教育研究省(BMBF)との間の連携枠組みに基づき、ドイツの研究プロジェクトSecForCARsとの間の連携プロジェクト(SAVE: Securing Automated Vehicles)を2020年10月から開始し、国際連携の取組を強化し、特に、情報共有システムの検討を進めていく方針である。

今後、策定したIDS評価ガイドラインについては業界団体(一般社団法人JASPAR)に移管し、業界としてのガイドライン化を推進するとともに、コネクテッドカーの脅威情報の観測、収集、分析、蓄積等と初動活動を支援する情報共有システムについては、作成した基本仕様を業界団体(J-Auto-ISAC等を想定)への移管を目指している。

4 安全教育

SAEレベル3以上の自動運転の社会実装において、運転者が乗車していないことが想定される自動運転車とその周囲の交通参加者(歩行者、自転車及び自動車等の運転者)との間、自動運転車と運転者との間におけるヒトとクルマのコミュニケーションが課題である。本課題に関して、国際的な動向も考慮しつつ、適切な提示、教育等の方法を含むHMIについての在り方を調査し、必要な技術の開発、ガイドライン化等に向けた検討を進めている。HMIに関する協調領域として、以下三つの内容を中心に取り組んでいる。

1) SAEレベル4に相当する自動運転車を利用する移動・物流サービスを想定し、自動運転車と周囲の交通参加者(歩行者、自転車、他の車両の運転者等)との安全を確保し、お互いの意図が明確に分かるような安心できる円滑なコミュニケーション方法を導出する。

2) 走行環境条件を外れた場合や自動運転システム

の機能の低下の場合における運転引継等を適切に行うためのHMIを開発し、運転者に向けた教育方法を導出する。

3) SAEレベル3及び4相当の自動運転車や普及が進む中、SAEレベル2相当の運転支援システムに関して運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法を導出する。

本施策については、日本の内閣府SIP自動運転とドイツ連邦教育研究省(BMBF)との間の連携枠組みに基づき、ドイツの研究プロジェクトとの間での連携を2019年7月から開始し、以上に述べた三つの課題について、国際連携の取組を強化している。

仮想空間における 自動走行評価環境整備手法の開発

井上 秀雄 (学校法人幾徳学園 神奈川工科大学)

自動運転はシステムが複雑化する一方で、無数に存在する走行環境に対して高い安全性の確保が求められている。しかし、現在の自動運転車両の安全性の検証は、実環境走行下での網羅的な実績評価に依存しており、膨大なコスト（人・物・金・時間）を要する。また、自然界で起こる物理現象に対し、カメラ、レーダ、LiDAR等の外界センサは、物理的限界の検証が難しく、システムを構築する上でどこまでやれば安全性を保証できるのかといった課題がある (How safe is safe enough?)。このような背景を踏まえ、本研究プロジェクトでは、自動運転の安全性評価に必要な実現象と一致性の高い「走行環境～空間伝搬～センサ」一連のモデルを特徴に、仮想空間シミュレーションでの評価プラットフォームを構築する。これにより多くの環境条件 (シナリオ) で精緻、且つ、効率的な自動運転の安全性評価 (Safety assurance) を可能とすることを目的とする。

1 プロジェクトの背景・概要

米国運輸省道路交通安全局 (National Highway Traffic Safety Administration; NHTSA) の自動運転車の事故調査では、センサが対象物を検知できていないことや、検知した対象物を適切に認識できていないことが想定される事例が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、安全性評価に関し、世界各国では様々なアプローチが試行されている。その代表例として、ドイツ連邦経済エネルギー省 (BMWi) の予算で実施され、2019年に完了したPEGASUSプロジェクトやその後継となるSET Levelプロジェクトでは走行シナリオベースの評価手法が提案されている⁽³⁾⁽⁴⁾。これらの活動の中でも、自動運転車の安全性評価を行う上でセンサが対象物を知覚・認識できているかが要諦であるが、これらのプロセスを支える実現象と一致性の高いセンサモデルを備えたシミュレーション基盤は、これまで本格的な研究開発活動がなかった。そこで、SIP第2期「自動運転 (システムサービスの拡張)」では、2018年末より、各センサメーカ、ソフトウェア企業、大学等が協力してコンソーシアム形式の研究開発である Driving Intelligence Validation Platform (以下、DIVP[®]) プロジェクトを開始し、特に実現象と一致性の高いセンサモデルに着目した仮想空間での自動運転安全性評価シミュレーション基盤の構築を目指している (図1)。



図1 実現象と一致性の高いセンサモデルの必要性

また、本プロジェクトでは、前述の産学連携の12機関 (2021年4月現在、図2) が、それぞれの専門性を活かして繋がることで、「走行環境～空間伝搬～センサ」一連の仮想空間モデルに加え、自動運転制御モデルを含む、安全性評価プラットフォームにおける各インターフェース仕様の構築にも取り組み、グローバルな標準化への貢献も目的としている。

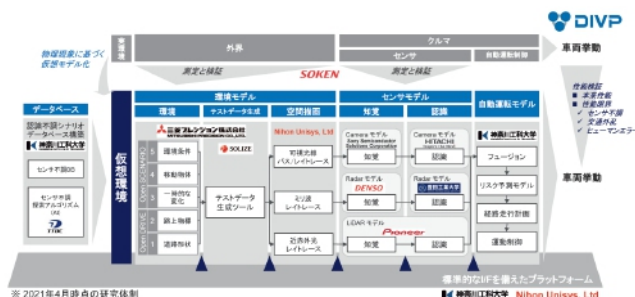


図2 DIVP[®] プロジェクトの構成

2 実現象と一致性の高いセンサモデルの構築

外界認識センサは、通常の車両コンポーネントモデルと異なり、走行環境モデルと自動運転制御を繋ぐ機能的役割を担っている。従来のシミュレータでは、システム制御が正しく動くかの評価に主眼が置かれ、いわゆる真値(正常機能)ベースのセンシングモデルが多い。先にも述べたように、自動運転車の安全性保証には、周辺監視センサそれぞれの長所と弱点(限界)を把握し、システム設計やセンサ、知覚認知アルゴリズムの改良を進める必要がある。しかし、真値ベースのセンサモデルでは電磁波の空間伝搬の検証結果をモデルに反映することが難しく、センサの弱点となるような環境条件をモデルに反映させることは困難である。本プロジェクトでは、ミリ波レーダの電波、カメラにおける可視光線、LiDARの近赤外光のそれぞれの反射特性(再帰、拡散、鏡面反射など)や透過特性を物理モデル化しレイトレースなどの空間伝搬モデルとして構築している。さらに、雨や霧、太陽光などの周辺照度等の周辺環境の影響で変化する物理現象の高度な実験・計測技術による物理モデル化にも取り組んでいる。これらをもとに、センサから見た空間伝搬特性を「走行環境～空間伝搬～センサ」の一連の電磁波原理に基づくモデルに反映している点が他にないユニークな点である(図3)。各モデルの具体例について以下に述べる。



図3 空間伝搬を再現するセンサモデル(カメラの例)

2.1. カメラモデル

DIVP®でのカメラモデルでは、人間に映像として見えるRGB出力ではなく、CMOS等の半導体に入力される分光特性をシミュレートしている。また、太陽光は天空モデルとして定式化されており、時刻、緯度・経度の入力により精緻な太陽光源を模擬できる。

以下に示すように物標に反射特性が定義されリアルなシミュレーション映像を実現している(図4)。

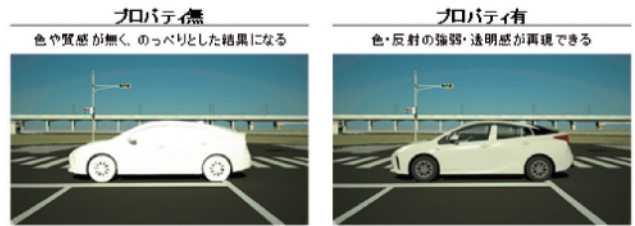


図4 物標の反射特性の有無の影響

また、トンネルの暗闇や、出口に差し掛かったときの強い太陽光のバックライトを伴う可視光の弱点シーンにおいて、HDR (High Dynamic Range) カメラモデルでは、認識に十分な視認性を確保できることがシミュレーションで検証できている(図5)。

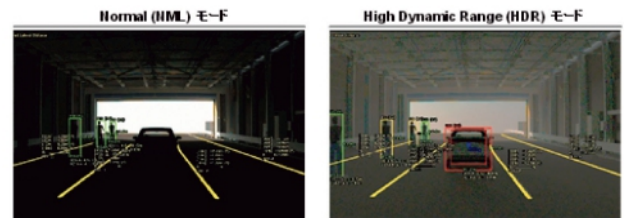


図5 HDRカメラの効果検証例

2.2. ミリ波レーダモデル

ミリ波レーダは、モデル化が最も難しいセンサである。反射物標での電波の振る舞いによって3つの反射モデルを定義し、物標によって使い分けている。散乱体モデルとして車、人等小さい物標に対してはPO (Physical Optics) 近似を使用し、反射体モデルには、Geometric Optics近似としてビル、路面など大きな物標に使用している。更に、解析時間短縮等のためには、予め物標に定義されたRCS (Radar Cross-Section) モデルの3つを複合し、シナリオ物標に対して割り付けていく(図6)。

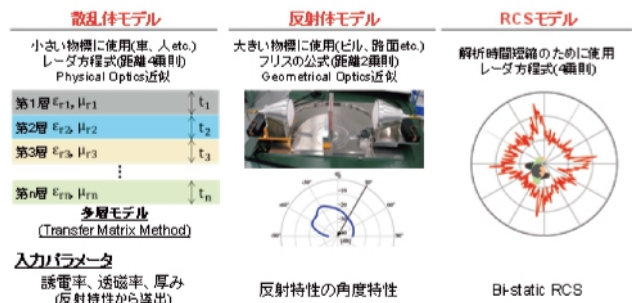


図6 精緻な反射を再現する3つのモデル(ミリ波レーダ)

ミリ波センサの弱点例として車両間をすり抜けるシーンを以下に示す(図7)。方位角の低分解能レーダでは正しい位置に知覚出力が得られていないことが再現され、また、高分解能によって改善されることが示されている。



図7 ミリ波レーダ方位角分解能の影響

2.3. LiDARモデル

LiDARが用いる近赤外光は、その指向性の特徴から比較的モデル化し易いセンサである。以下に示すLiDARモデルは360°スキャンすることにより、背景光等の環境外乱の評価が可能である(図8)。本プロジェクトではLiDARが照射する近赤外光走査のモデル化や、近赤外光の広がりによるフットプリント、太陽光等の背景光の影響等を精緻に再現することにより、LiDARにおいても実環境と一致性の高いシミュレーションを可能とした。

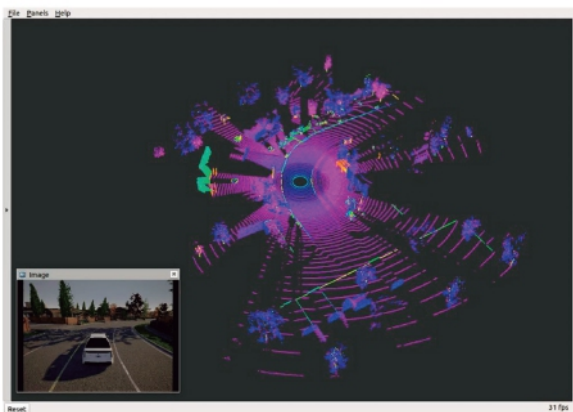


図8 LiDARモデル

2.4. センサ出力の一致性検証

本プロジェクトでは各センサモデルの入出力に対し、リアルな実験結果での定量的な検証を実施し、シミュレーションの一致性の評価を行っている(図9)。

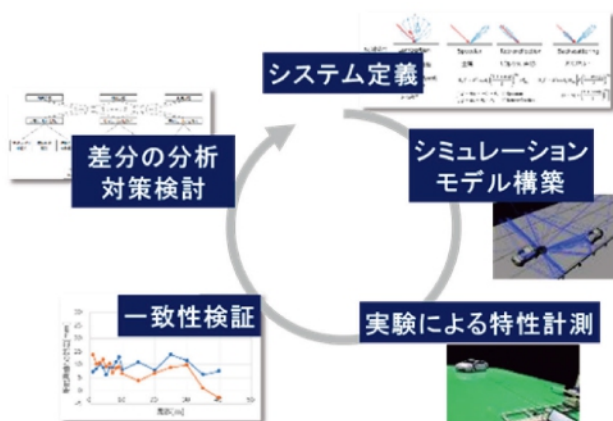


図9 LiDARモデル

これまでの結果、カメラ、LiDARについては高い一致性が得られているが、ミリ波レーダについては、単一物標に対する一致性検証は進んでいるが、トンネル壁面の反射、マルチパス要因などを複合した弱点シナリオの条件での一致性検証は、引続き改善が必要である。従来のレイトレース手法に加え物理光学近似やRCS等を併用する手法により性能向上の見通しを立てており、今後シミュレーションへの実装を進める。

3 環境モデル

欧州PEGASUSプロジェクトで定義された走行環境シナリオを示す6階層の分類や、自動運転に使われている高精度3次元地図は、自動運転制御(自己位置、交通流、ルート等々)に対し有効な走行環境情報が定義されているが、外界センサからみた反射・透過などの物理的特性が定義された環境モデルはあまり存在しない。

本プロジェクトでは①静的道路構造物、②車両、歩行者等動的物標、③太陽光源、雨・霧、天候などに対して、センサから見た、電磁波の反射・透過、減衰などの特性を定義した環境モデルを構築している点に特



図10 環境モデルの構造

徴がある(図10)。

物体表面に反射特性を付与していくために、本プロジェクトでは各物標に対する物性的な実験計測も重視し、シミュレーションモデルに反映している。この為、可視光、近赤外光、電波のそれぞれの電磁波の計測装

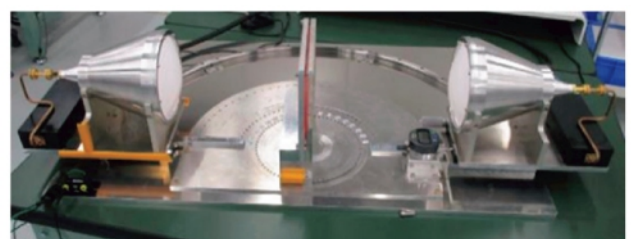


図11 ミリ波計測器

置にも工夫を凝らしている(図11)。

これらの機器を活用し各種評価環境に必要な対象物の反射特性を順次検証し、環境モデルアセットのプロパティライブラリとして拡充を進めている。現在は、NCAP等のアセスメントシナリオや、各自動運転車両の実証実験場となっているお台場地域やC1首都高速道路のリアルな環境条件でのセンサ弱点シナリオのモデル化において、優先度の高いアセットモデルのプロ

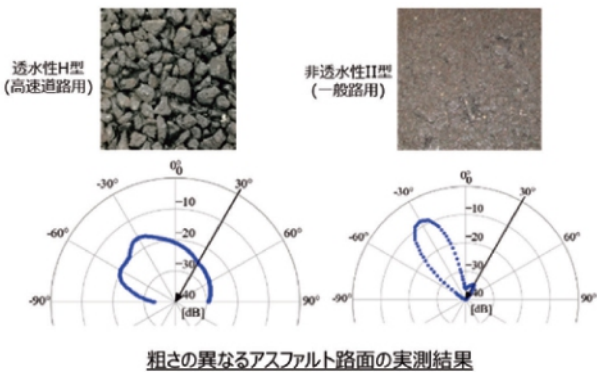


図12 計測済反射率の一例

パティの計測と検証を続けている(図12)。

4 各センサに対応した空間描画モデル

センサ検知を精緻に再現するためには各センサの物理現象を正確に再現する必要がある。例えばカメラであれば、光源から発せられた可視光線が空間を伝搬し物体表面に到達、表面を反射・透過した後空間を伝搬してカメラのレンズに到達、レンズを通った光は光電変換を経て電気信号となり各種制御に供される。この経路において空間を伝搬する際に起こる光の拡散や減衰等の現象はカメラの入力光に重要な影響を与えることから、精緻な再現が必要である。この対象は、ミリ波レーダであればミリ波、LiDARであれば近赤外光となる。

太陽光をモデル化した天空光モデルは、時刻、物標の緯度経度の入力により実現に即した太陽光の再現



図13 天空光シミュレーション

が可能となる(図13)。

5 安全性評価への貢献

安全性評価シナリオについてはどこまで網羅すればよいかは依然として課題であるが、仮想空間上で一致性の高い条件設定ができれば評価効率も格段に向上する。そこで、本プロジェクトでは評価シナリオの構築として①NCAP等のアセスメント評価、②実際の交通環境として、お台場・C1高速の実証実験コミュニティのモデル化による評価(センサ弱点環境が狙い)の2つのマイルストーンをおき、「走行環境～空間伝搬～センサ知覚認識」の一連のモデル作成を進めている。目的に沿ったパッケージシナリオともいえるべき仮想空間単位を定め、このシナリオパッケージ単位で信頼できる安全性評価のレベルアップを積み重ねていく必要がある(図14)。



図14 DIVP® シナリオパッケージのロードマップ

5.1. NCAP等アセスメント評価への応用

AEB (Automated Emergency Brake), LKA (Lane Keeping Assist System), ACC (Adaptive Cruise Control), ALKS (Automated Lane Keeping System)などの自動運転機能を有する先進安全システムでは、Euro-NCAP, J-NCAP等で評価プロトコルが詳細に定義されている。各国の交通事故状況によって多少差はあるが、歩行者、自転車、交差点右左折等、事故状況を反映したプロトコルや、自動運転ALKSにおけるカットイン、カットアウト等のシナリオが重要となっている。ここでは、センサの弱点が影響する環境条件はあまり多くないが、夜間の歩行者飛出しの条件など周辺光源が影響する条件下において、本シミュレーションは効果的と言える。本プロジェクトでは、各NCAPシナリオを順次モデル化している(図15)。

	シナリオ作成、アセットセンサ単位での単体検証			Closed-Loop検証		シナリオ作成、アセットセンサ単位での単体検証	
	CPFA-50	CPNA-25	CPNA-75	CPNC-50	CPLA-25	CPLA-50	
L1: 道路形状	右折ナシ、均質面体舗装の路面で、不整傾斜、割れ、マンホール周辺にセンサ誤検知が起こる地物アセット			マンナシ			
L2: 物標/交通ルール				障害物車両			
L3: 一時的な変化							
L4: 移動物体	車両前直前に、道路幅員が狭くなる状況で、歩行者が歩道から歩道外へ飛び出す。歩行者の歩行速度は一定で、歩行者の歩行方向は歩道から歩道外へ向かう。	車両前直前に、道路幅員が狭くなる状況で、歩行者が歩道から歩道外へ飛び出す。歩行者の歩行速度は一定で、歩行者の歩行方向は歩道から歩道外へ向かう。	車両前直前に、道路幅員が狭くなる状況で、歩行者が歩道から歩道外へ飛び出す。歩行者の歩行速度は一定で、歩行者の歩行方向は歩道から歩道外へ向かう。	障害物車両	車両前直前に、前方に歩行者が歩道から歩道外へ飛び出す。歩行者の歩行速度は一定で、歩行者の歩行方向は歩道から歩道外へ向かう。	車両前直前に、前方に歩行者が歩道から歩道外へ飛び出す。歩行者の歩行速度は一定で、歩行者の歩行方向は歩道から歩道外へ向かう。	
L5: 環境条件	昼	昼/夜	昼/夜	昼	昼/夜	昼/夜	

図15 NCAP評価環境のモデル化

一例として駐車車両の陰からの歩行者の飛出しシナリオでセンサモデルを取り入れたシミュレーションの様子を以下に示す(図16)。



図16 NCAP車両陰からの歩行者飛出しシナリオ時のシミュレーション

この様なVirtual Proving Groundとでも呼ぶべきシナリオには、更に仮想空間で雨・霧、西日などの環境の影響を加味したシステム評価への拡張が可能である(図17)。



図17 西日, 雨等のモデル化

5.2. 実環境「お台場, C1高速」評価への応用

次のシナリオパッケージとして、自動運転車両の実証実験を実施しているお台場・C1高速エリアの環境モデルの構築に取り組んでいる(図18)。



図18 お台場走行環境モデル

ここではリアルな環境的要因(走行環境, 道路, 地物, 動的物標, 天候等)が複合的に揃う仮想空間としてセンサ弱点シナリオの評価に有効である。SIP自動運転の他の自動運転実証実験プロジェクトと連携し、このリアルな環境で発生したセンサ弱点条件データ(場所, 映像, 認識出力等)をDIVP®シミュレータにフィードバックし、Virtual Community Groundとしてより多くのユーザーが評価する仮想環境に昇華させることができる。

例えば、お台場テレコムセンター前の路面は遮熱性塗装された結果、アスファルトと白線の反射特性が近似しているため、LiDARでの白線検出が難しいことが分かり、シミュレーションモデルに反映した(図19)。

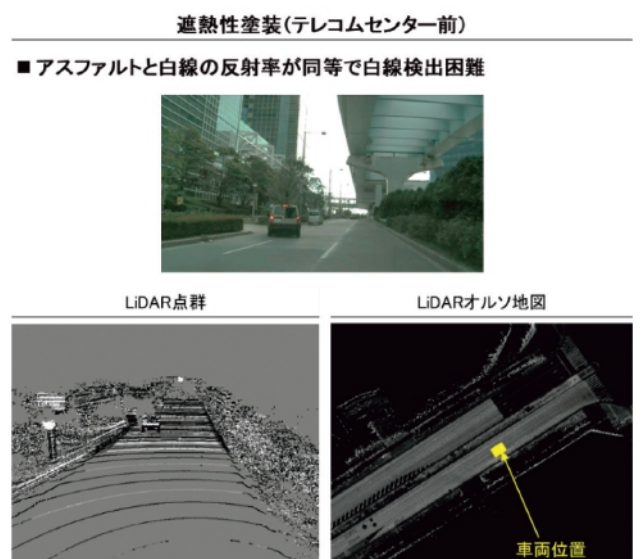
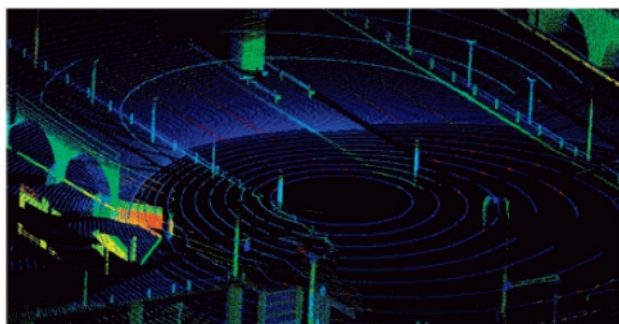
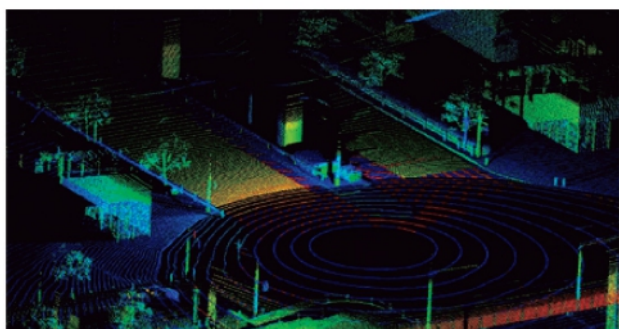


図19 お台場テレコムセンター前の遮熱塗装(金沢大学, (SIP)第2期自動運転(システムとサービスの拡張)「自動運転技術(レベル3, 4)に必要な認識技術等に関する研究」計測データより作成⁽⁵⁾)

図20にシミュレーションで再現できた様子を示す。



通常路面(白線→検出(赤線))



遮熱塗装(白線検出できない)

図20 LiDARシミュレーション(台場駅前付近)

通常路面で反射特性が違う白線(赤線)がLiDARで検出できているが、遮熱塗装路では、反射特性が似てきて白線が検出できていない。

このように他の自動運転プロジェクトと連携できる点もSIP-adusならではの効果的な枠組みと言える。

6 国内の連携活動

6.1. OEMモニタ, センサメーカーモニタ

研究成果の産業界への貢献として、日本自動車工業会(以下、JAMA)を通じ国内OEM各社とのワークショップを開催し、研究成果についての中間レビューを2回実施し仮想空間シミュレーションへの理解を深めた(図21)。



図21 国内OEM各社とのワークショップ

更に、産業界ユーザーからの具体的なフィードバックを得るため、国内OEM及び、センサメーカー各社のモニタ評価を実施している。これらの連携活動を通じて、『一致性の高いシミュレーションの利用価値の合意形成』『ユーザー側既存シミュレーションとの接続性の向上』『業務利用を想定した適用範囲拡大の要求(アセット、シナリオモデル等の拡充)』『インターフェース標準化への期待』などが進展し、要求要件がより明確になった。この結果、他のシミュレーションとの連携(Co-sim.など)等への2021年度のDIVP®計画の拡張に繋がっている。

6.2. 安全性評価に向けたSAKURAプロジェクトとの連携

また、JAMA、経産省主導の日本自動車研究所(JARI)採択のSAKURA(<https://www.sakura-prj.go.jp/>)プロジェクトでは走行シナリオの体系化を推進しており、SIP自動運転 DIVP®プロジェクトとの連携において、日本の安全性評価体系の進展が期待されている。本件は、安全性評価基盤合同推進委員会として2021年4月より、強化された体制で開始している。

7 標準化・国際連携活動

7.1. 日独連携 VIVIDプロジェクト

ドイツのVIVALDIプロジェクトは、センサのモデル化をもとに自動運転の安全性評価に貢献しようとしており本プロジェクトの目的と合致する。この背景からVIVALDI(独)とDIVP®(日)間で日本の内閣府SIP-adusとドイツ連邦教育研究省(BMBF)との連携の枠組みに基づき、両者連携のプロジェクト「VIVID」を2020年10月より開始した。このプロジェクトを通じ、自動運転安全性評価体系とインターフェース標準化等を推進中である(図22)。

No	topic	JAMA/DIVP®	VIVALDI
1	■ Simulation I/F	Nihon Unisys, Ltd	AVL
2	■ Environmental data	三菱電機システムズ	KIT
6	■ Simulation validation roadmap	JAMA	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
3.1	➢ Camera	Sony Semiconductor Cooperation	Hochschule Kempten
3.2	➢ LIDAR	Pioneer	Hochschule Kempten
3.3	➢ Radar	SOKEN	Continental
4	■ V&V testing framework	神奈川工科大学	TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU
5	■ Scenario structuring	SOLIZE	IPG



図22 VIVID実施体制

7.2. 国際的標準団体ASAM(独)への参加

ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) では、自動運転に関し幅広い標準化活動を実施している。本プロジェクトからはOpenDRIVE/OpenSCENARIO, OSI (Open Simulation Interface) 等のWGに参加し、知覚インターフェースなどを提案している(図23)。

OpenX	Contribution
<ul style="list-style-type: none"> ■ OSI (Open Simulation Interface) 	
<ul style="list-style-type: none"> ■ OpenDRIVE / OpenSCENARIO ■ OpenX ontology 	
<ul style="list-style-type: none"> ■ OpenODD 	

図23 DIVP®メンバのASAMWGへの参加

- PEGASUS Project Office (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems) : PEGASUS METHOD An Overview, <https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/Pegasus-Abschlussveranstaltung/PEGASUS-Gesamtmethode.pdf> (参照2021.6)
- 菅沼直樹(金沢大学) : (SIP) 第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)「自動運転技術(レベル3, 4)に必要な認識技術等に関する研究」(2020)

【執筆者の詳細】

井上秀雄, 学校法人幾徳学園神奈川工科大学, 工学教育研究推進機構 先進自動車研究所, 教授/所長, 専門分野: 自動車工学, 車両運動・制御, 統合安全, 運転支援/自動運転

8 おわりに

本プロジェクトではSIP-adus事業の一環として産学官連携の研究開発を推進してきた。本プロジェクトが「走行環境～電波伝搬～センサ」の一連のモデルの新規性を活かし、他のシミュレータとも接続性を担保し、複雑化する自動運転安全性検証を効率的かつ幅広く実施するための基盤技術になれば幸いである。実環境を精緻にデジタルツイン化した仮想空間技術が、自動運転の安全性に対する消費者の受容性を向上し、自動運転の社会実装の促進に貢献できることをDIVP®メンバー同、切に願っている。

【参考文献】

- ODI RESUME : U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 01/19/2017, <https://static.nhtsa.gov/odi/inv/2016/INCLA-PE16007-7876.pdf> (参照2021.6)
- 日経ビジネス : 技術の限界を伝える難しさ (2016), <https://business.nikkei.com/atcl/report/15/264450/071500039/> (参照2021.6)
- SET Level Project Office (Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), German Aerospace Center (DLR), Institute of Transportation Systems) : SET Level Project, <https://setlevel.de/en/project> (参照2021.6)

新たなサイバー攻撃手法と 対策技術に関する調査研究

奥山謙, 和栗直英, 韓欣一 (PwC コンサルティング合同会社)

(概要) 自動走行システムの基盤となる高度な地図情報や地図上にマッピングされる自動車, 人, インフラ設備等の情報は, 主に外部ネットワークから取得され, 車両制御に活用する目的で, 車両の制御系/情報系の機器に送られるが, このような状況は従来の自動車にはなかったサイバーセキュリティ問題を引き起こす要因にもなっている。また, UNECE WP29 における UNR155/R156 の合意に伴って, 法規の観点からもサイバー攻撃への対策が必要となっている。このような問題を解決するために, 本研究調査では, 出荷後における新たなサイバー攻撃への対策技術として, 侵入検知システム (IDS) に着目し, IDS 導入時における評価・テストのベースラインとなる IDS 評価ガイドラインを策定する。また, 実際にインシデントが発生した際の初動対応を支援するための仕組みづくりとして, コネクテッドカーの脅威情報の収集・蓄積方法の検討およびハニーポット等による収集実験を実施する。本研究調査は, 2022年度までの計画となっており, 本年度は, 基礎調査や検討を中心に行い, 活動成果としてまとめた。

1 本研究調査の目的と活動概要

「戦略的イノベーション創造プログラム (S I P) 第2期/自動運転(システムとサービスの拡張)/新たなサイバー攻撃手法と対策技術に関する調査研究」における研究開発計画および目的, 目標に合致する形で, 「IDS評価手法とガイドライン策定」および「コネクテッドカーの脅威情報と初動支援の調査研究」を2020年8月~2022年3月まで実施する予定となっている。

2 IDS 評価ガイドラインの策定

本テーマでは, 図1に示すとおり, 「出荷後のセキュリティ対策」に貢献することを目的とし, 各OEMにおいて, IDSを選定・検証・運用する際のベースライ

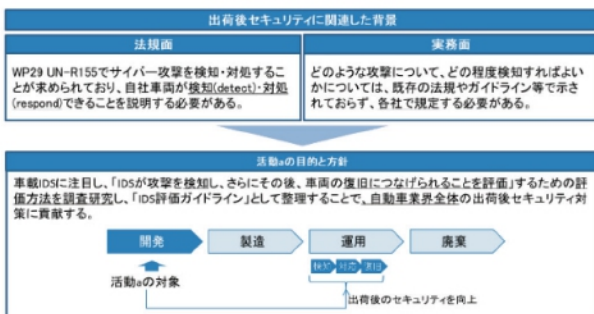


図1 「IDS 評価ガイドライン策定」の目的と方針

ンとして活用するための, 「IDS評価ガイドライン」の策定をし, 最終的に業界団体へのハンドオーバーすることを目標としている。また, 作成したガイドラインは, 車両の出荷後セキュリティ品質の底上げを目的とし, 特に車載IDS導入の検討を始めたばかりのOEMを主な想定読者としている。

2.1. IDS 評価ガイドライン策定に向けたアプローチ

IDS評価ガイドライン策定に向けて計画している活動概要について図2に示す。本章ではこれらのうち, IDS基本機能要素調査, 検討及び仕様に基づく評価観点検討について解説する。

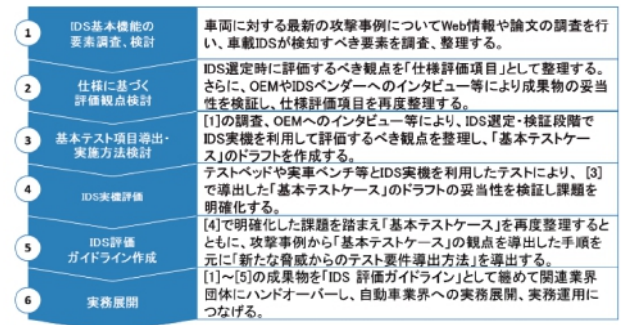


図2 IDS 評価ガイドライン策定アプローチ概要

2.2. IDS 基本機能の要素調査・検討

本活動では, 実際の攻撃事例を踏まえて, IDSが検知すべきセキュリティイベントを導出するために, 2020年に開催されたカンファレンスやWeb情報, 脆弱性情報を調査した。これらの結果からさらに車両制御

に至っているものを、車両に直接関係のある事例として、12件に絞り込みを行い、詳細に分析した(表1)。その結果、ネットワークおよびホストで発生、観測し得る事象をセキュリティイベントとしてそれぞれ抽出した(表2)

表1 事例調査・分析件

	調査件数	分析対象件数
Web情報・脆弱性情報	1329	6
論文	1062	6
合計	2391	12

2.3. 仕様に基づく評価観点検討

本活動では、2019年度に実施したアンケート内容をベースに、IDSベンダー3社、6製品について、検知アルゴリズム等の基本仕様、検知機能の種類、ロギング項目等、24項目についてアンケート調査を行うことで、評価項目(アンケート項目)から得られる情報に関して考察を行った。なお、アンケート内容については、可能な限り比較が容易になるよう、選択式となるように設計、ヒアリングを実施した

2.3.1. 考察

検知対象のセキュリティイベントについて、各社概ね共通であったことから、基本的な検知機能は各社ともにサポートしており、公称仕様における大きな違いは出にくく、この項目のみで各社の比較検討を行うことはできない。その一方で、サポートするプロトコルの種類や外部機器接続の検知機能等、一部の機能仕様について、ベンダーの独自性が出る部分もある。ロギングや通知方式などについては、各社対応済み、もしくはカスタマイズ可能であり、基本的にはOEMの要求ベースでカスタマイズする前提である。したがって、

OEMとしてIDSに要求する機能とカスタマイズ機能のギャップを知ることで、IDSの比較検討がある程度可能ではないかと考える。また検知内容の分析を行う、SOC (Security Operation Center) に関する運用面でのサービスについては、サービスメニューとして存在しているベンダーとそうでないベンダーで差が出ていることから、IDSによるモニタリングや検知以降の分析や、必要に応じた対応・復旧の支援を含めて検討する際に、この項目は比較検討する上で有用と考える。

2.4. 今後の活動

本テーマは、2022年3月末までの計画となっており、今後は、これまでの調査結果から得られた示唆に基づくテスト項目の実現性や妥当性を実際にOEMおよびIDSベンダー協力のもと、実機テストという形で実験を行い、ガイドラインへのフィードバックを行う予定である。また、想定する利用者に対して有用なものとなるよう、各ステークホルダーと定期的な検討会を引き続き実施していく

3 コネクテッドカーの脅威情報と初動支援の調査研究

本テーマでは、コネクテッドカーの脅威情報の収集・蓄積手法、脅威インテリジェンスを活用した初動支援の基本仕様を策定し、2023年に業界団体への運用移管することを目標とする。脅威インテリジェンスとは、サイバー攻撃などの脅威への対応を支援するために、収集・分析・蓄積された情報のことで、一部の産業では、企業横断的にインテリジェンスを共有する活

表2 調査事例から抽出したセキュリティイベント

イベント発生箇所	イベント	セキュリティイベント例
ネットワーク	車載NW上のコンテキスト矛盾の動作	走行状態と矛盾するタイミングで基本動作には影響しない制御メッセージの送信, 走行状態と矛盾するタイミングでの有効な診断メッセージの送信
	UDSプロトコルへの攻撃	UDSプロトコルへの攻撃
	車載NWへの不正な機器の物理接続	外部機器のOBD I/Fへの接続
	車載NWへのファジング攻撃	OBD I/Fからのファジング攻撃
ホスト	不正な振る舞い	規定外のプロセスからのシステムコール・ライブラリの呼び出し
	不正な外部通信	許可されていない車外の送信元/送信先との通信
	不正なファイルシステム操作	重要なファイルの属性変更(パーミッション等)
	不正なアプリインストール	規定外のアプリのインストール
	不正なログ	不正なシステムログ, アプリケーションログ
	規定外のエラー発生頻度	単位時間あたり一定回数以上の外部公開サービスへのリクエスト処理エラー
	高負荷	CPUやメモリの高負荷状態
	ファームウェアの変更	ファームウェアの変更

動が行われている [1]。脅威インテリジェンスを共有することで、類似のサイバー攻撃による連鎖的な被害を防ぐなどの効果が期待できるが、共有されているのはIT領域の脅威インテリジェンスが中心となっている。

3.1. 研究アプローチ

脅威インテリジェンスを活用した初動支援の基本仕様を策定するために、以下のアプローチに基づいて計画を策定した。下記図 3に全体の活動アプローチ概要について示す。また本章では、基礎調査および情報収集・蓄積の手法検討に加えて、一部先行着手しているハニーポットによる情報収集実験について解説する。

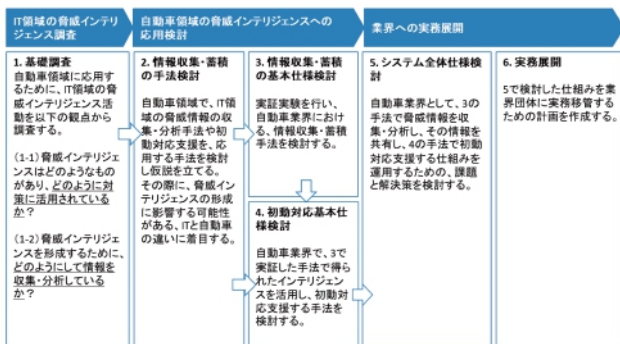


図3 調査研究アプローチ概要

3.2. 基礎調査

自動車の脅威インテリジェンスの基礎とするため、先行するIT領域の脅威インテリジェンス活動事例から、どのような脅威インテリジェンスが提供されているか、どのようにして脅威情報を収集・分析しているかを調査した。なお本活動において脅威インテリジェンスとは、脅威への対応を支援するために、収集・分析された情報を指す。

3.2.1. IT領域の脅威インテリジェンス

IT領域の脅威インテリジェンス活動は、国・業界団体、民間企業などの組織により、様々な目的をもって行われている。本研究の「初動支援」に類似する目的を持つ脅威活動に焦点を当て、提供される情報を調査した。

脅威インテリジェンスを構成する主な情報として、5つの情報を上げることができる(表3)。続いて、上記の脅威インテリジェンスがどのように活用されているか、NISTのCSF(Cyber Security Framework) [2]で定義される「特定」、「防御」、「検知」、および「対応」と「復旧」それぞれのフェーズでの活用例を整理した結果を図4に示す。

表3 脅威インテリジェンスを構成する情報例

情報	定義・概要
1 インジケータ	サイバー攻撃によって安息された具体的な事象(マルウェアハッシュやIPアドレス、URL、ドメイン情報など)
2 TTPs(戦術/Techniques、戦略/Tactics、手順/Procedures)	攻撃者の意図、ふるまいや手口を使用するリソース、攻撃対象などの観点から説明したもの。
3 セキュリティアラート	システムの脆弱性情報やエクスプロイト情報
4 インテリジェンスレポート	組織の状況認識を高めるための、脅威関連情報を記述したドキュメント
5 ツールコンフィギュレーション	1~4で得られた情報の活用を支援するためのツール設定

	特定	防御	検知	対応・復旧
①インジケータ	サイバー攻撃による観測された具体的な事象	サイバー攻撃で、利用されたIPアドレス、URL、ドメインをブラックリストに入れてブロックする。	サイバー攻撃で観測されたイベントから、セキュリティイベントを定義し検知する。	IPアドレス、ハッシュなど攻撃の痕跡を照合し、サイバー攻撃を判別し、対応・復旧を策定する。
②TTP(戦術、戦術、手順) 攻撃者の意図、ふるまいや手口、使用するリソース、攻撃対象などの観点から説明したもの	機密になりうる情報資産やシステムを特定し、サイバー攻撃を受けた場合の影響度を評価する。	攻撃シナリオを作成し、対応訓練を行う。	TTPに特有のふるまいを定義し、不審な動作を検知する。	
③セキュリティアラート 脆弱性のあるシステムや、悪用された場合の影響度を評価する。	脆弱性のあるシステムや、悪用された場合の影響度を評価する。	脆弱性のあるシステムに、修正プログラムを適用する。		
④インテリジェンスレポート 組織の状況認識を高めるための脅威関連情報を記述したドキュメント	自組織に関連する脅威を特定し、ビジネスへの影響度を評価する。			
⑤ツールコンフィギュレーション				攻撃を防御・検知・復旧するために、①~④から得られた情報から、セキュリティツールの設定を定義し、ポリシーとして配信する。

図4 CSFに基づく情報の活用例

3.2.2. IT領域の脅威情報収集方法

IT領域における脅威情報は、主に公開情報のサーベイ、インシデントレポート、対象となるネットワークやシステムの観測・実験を情報源としている。これらの代表的な収集例を表4に示す。またこれら各収集方法について、攻撃者の手口をどの程度まで補足できるかをサイバーキルチェーン [3]に従って整理した結果を図5に示す。なお、サイバーキルチェーンにおける武器化は、マルウェアやエクスプロイトキットを開発する段階を指していることから、表4で示した手法では補足できない。

表4 脅威情報の収集方法例

方法	概要	実施事例
インターネット定点観測	インターネット上の通信を定点観測することで、サイバー攻撃の大規模な傾向を把握する方法。	• NICER(NICT) • TSUBAME(IP-CERT/CC)
ハニーポット	攻撃を受けたいことを意図したシステムをインターネットに公開し、攻撃者のアクセス情報を収集する方法。本物のシステムを守るために代わりに攻撃を受け、おとりとして活用される場合もある。	• MITT(NTT) • A IoT Malware Story(Kaspersky社) • コネクテッドホーム実験室(横浜国立大学)
CTF	システムを模した環境に、ホワイトハッカーに意図的に攻撃を仕掛けてもらい、情報を収集する方法。攻撃の目標(flag)を設定し、得点を争う(CTF)方式のほか、疑心的な攻撃を試す遊び場(フレイグラウンド)を提供する方法もある。	• DEFCON CTF • SECCON
バグバウンティプログラム	バグの発見者に、報奨金を与える制度を設け、実際のシステムの脆弱性情報を収集する方法。	• LINE社のBug Bounty Program • HackerOne、Sproutなどのサービス
OSINT収集	人手またはウェブクローラー、製品・サービスなどの機械的な手段で、インターネットから情報を収集する方法。事例やレポートのほか、自社の偽サイトや偽アプリ等、すでに起きている脅威が発見される場合がある。	• (多数の製品・サービスが覆蔽されている)。

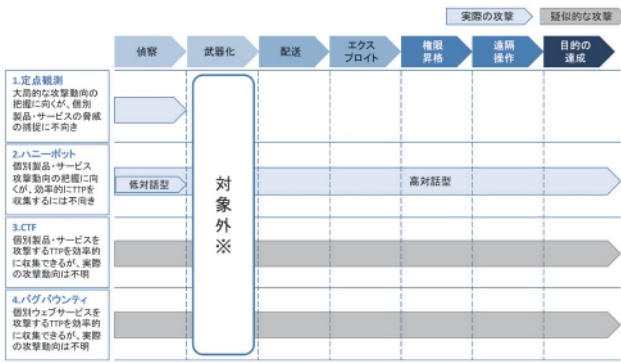


図5 情報収集手法と、サイバーキルチェーンにおける関係

3.3. 情報収集・蓄積の手法検討

ITシステムは、OSなどのプラットフォームが利用組織やユーザー間で概ね共通しているが、自動車は車種ごとにアーキテクチャが異なっている。そのため、IT領域で共有されるような脅威インテリジェンスの形式では対策に活用できない恐れがある。これは、自動車は、「車両制御」という観点においてHW/SWや通信プロトコルがOEMに依存しているためで、ITとの大きな違いがある。一方で、車両制御に至るまでの「一連の攻撃の流れ」を分析することで、最終的な目的の達成に至るまでに、OEMに依存しない手法が用いられていることが明らかになり、共通の脅威として、共有する価値のある情報となる可能性が期待できる。

3.4. ハニーポットによる情報収集実験

アフターマーケット製品のハニーポットによる、脅威情報収集実験に先行して着手している。まず、広域スキャンで発見可能なアフターマーケット製品を調査し、該当する製品でハニーポットのプロトタイプを開発し、2021年1月下旬よりサイバー攻撃の観測実験を開始した。

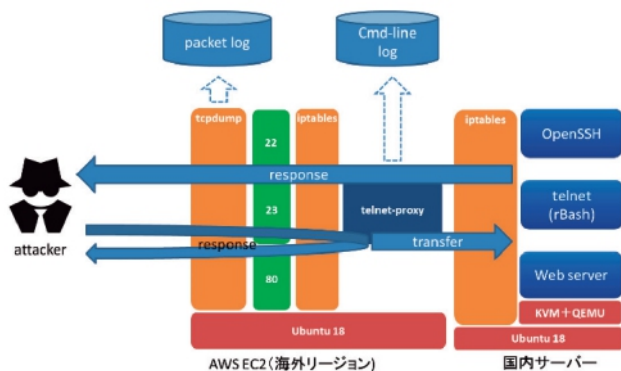


図6 アフターマーケット製品を模したハニーポットプロトタイプ構成

現状の観測結果としては、IoT製品同様にtelnetに対してIDと弱いパスワードを送り付ける、IoTマルウェア

ア (Mirai等) の特徴と一致するアクティビティを多数観測しており、これは、同マルウェアに感染した機器からの自動化攻撃で、当該ハニーポットを車載機器として認識したうえでの攻撃ではないものと考えられる。

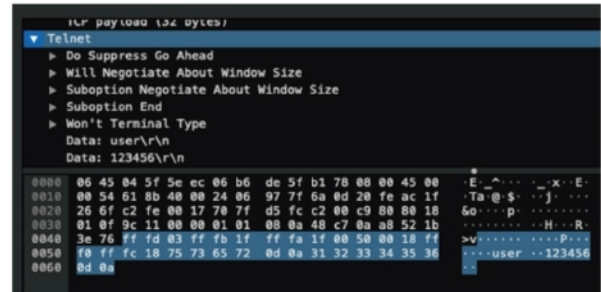


図7 観測したパケットの例

3.5. 今後の活動

本テーマは、2023年3月までの計画となっており、今後は脅威情報収集実験および収集した情報を業界内でのインシデント対応に活用するための共有方法について検討を進めていく予定である。情報収集については、ハニーポット設置の際に車両への攻撃の判断指標を検討するために、CTF (Capture the Flag) のような形式で意図的にホワイトハッカーやベンダー等に攻撃を依頼し、その際のアクティビティを観測することを検討中である。

4 まとめ

自動車のサイバーセキュリティの確保は、自動車の安全(セーフティ)にも影響を与えることも考えられるため、最低限満たすべきセキュリティ水準や業界共通の脅威については日本の業界全体の協調領域とする、あるいは積極的に共有することが適切であり、これによりコネクテッドサービスの開発や運用効率の改善を図ることも可能となり、日本企業の国際的な競争力維持にもつながる。また、定められたセキュリティ対策や情報共有のための仕組みは、国内の業界における共有にとどめるのではなく、昨今の自動車セキュリティ開発における国際標準・標準規格に提言するなど、日本企業の強みとして活用できるよう、戦略的に標準化団体に働きかけることも重要である。

以上を踏まえ、自動走行システムに係る情報セキュリティ活動は、重要な役割を持つものであり、業界のセキュリティ活動の発展に寄与することを期待するものである。

【参考文献】

1. 戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保 (b2)情報共有プラットフォーム技術「情報共有デザインガイド 構築編」, 株式会社日立製作所, <https://www.nedo.go.jp/content/100904081.pdf>
2. CYBERSECURITY FRAMEWORK, NIST, <https://www.nist.gov/cyberframework>
3. Cyber Kill Chain®, Lockheed Martin, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/cyber/cyber-kill-chain.html>

自動運転の高度化に則した HMI 及び安全教育方法に関する調査研究

佐藤稔久, 長谷川国大, Wu Yanbin, 木原健 (産業技術総合研究所), 中野公彦, 楊波 (東京大学), 合田美子, 戸田真志, 松葉龍一 (熊本大学), 新目真紀, 半田純子 (職業能力開発総合大学校) 伊藤誠, 周慧萍 (筑波大学)

(概要) SIP 第2期自動運転 (システムとサービスの拡張) の“走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のためのHMI等に関する研究開発”と“運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発”の取り組みを概説する。前者では、自動運転から手動運転への運転交代前におけるドライバーの周辺監視状態の評価指標の検討や、HMIによるドライバーのシステム理解への効果の検討等に取り組んでいる。後者では、主な研究目的に基づき、(1)個人特性を踏まえた教育方法の提案、(2)動機づけ手法の提案、(3)部分教育を意識したモジュール化可能な完全教育教材の開発の3つの研究テーマを設定し研究を行っている。また、試作した教材を用いて、自動運転に関する一般的な知識を事前に提供することの効果についてドライビングシミュレータを用いた検証を行った。これらの成果をもとに、日独連携として自動運転と教育についてのワークショップを担当した。

1 自動運転から手動運転への 運転交代場面

自動運転を使用している際、システム機能限界などの原因のために自動運転から手動運転への運転交代が発生する可能性がある。そのため、自動運転中のドライバーの状態をシステムが検知し、ドライバーが運転交代可能かどうかをシステムが知る必要がある不可欠となる。SIP 第1期自動走行システムにおいては、ドライバーの状態の中でも、わき見 (前を向いていない状態)⁽¹⁾、意識のわき見 (前を向いているけど運転以外のことを考えていて運転に必要な情報に注意を向けていない状態)⁽¹⁾⁽²⁾、居眠り (覚醒度の低下)⁽¹⁾⁽³⁾ を取り上げ、それぞれの状態の評価指標とその状態から運転交代時における運転パフォーマンスへの影響⁽⁴⁾ について検討した。さらに、自動運転中に覚醒度を低下させないための方策⁽⁵⁾⁽⁶⁾ について検討した。

第2期では、自動運転から手動運転への運転交代において、システム主導による運転交代場面とドライバー主導による運転交代場面に分類してヒューマンファクタ課題に取り組んでいる。システム主導による運転交代とは、システムから運転交代のアナウンスが提示されてからドライバーが運転交代する状況であり、ドライバー主導による運転交代とは、システムによる機能限界をドライバーが理解して、ドライバー自らが運転交代する状況である。

2 システム主導による運転交代

2.1. 取り組み課題概要

自動運転レベル3において、自動運転中にドライバーが運転以外のことを実施している中で運転交代を適切に行うためには、自動運転中の運転以外のことに集中しているドライバー状態から運転タスクに適切に注意を移行させることが必要となる。そのためには、運転交代要請 RtI (Request to Intervene) よりも手前からドライバーが周辺監視を行って、運転交代の準備をすることが有効と考えられる。ここで、ドライバーが周辺監視を行っていることをどのように評価するのが重要な課題となる。このような課題認識のもと、本テーマでは、運転交代前におけるドライバーの周辺監視が運転交代後の運転行動に及ぼす影響の評価、ドライバーの周辺監視の評価方法、周辺監視状態への移行を促すHMIなどに取り組んでいる。

2.2. 運転交代前におけるドライバーの周辺監視が運転交代後の運転行動に及ぼす影響の評価

(1) 実験方法

実験参加者30名 (女性15名, 男性15名, 平均年齢45.7歳, 20~70歳) によるドライビングシミュレータ実験を行った。自動運転にて、片側3車線の自動車

専用道の中央車線を時速約60キロで走行した。自動運転中、実験参加者はタブレットPCを使用したゲーム(テトリス)を行った。自動運転開始から数分後に運転引継ぎを発生させ、手動運転による車線変更を行った。ここで、ドライバーの運転行動、視線運動および頭部運動を計測した。実験条件は、運転引継ぎ1分前からテトリスをやめて周辺監視を行う条件とそのような周辺監視をしないで運転交代をする条件を設定した。

(2) 実験結果：運転交代後の運転パフォーマンス

運転交代後、他車と衝突せず、設定された区間内で車線変更出来た割合を算出したところ、周辺監視有りの条件の方が周辺監視無しの条件に比べてその割合が有意に高かった。以上の結果より、自動運転レベル3で運転以外のことを行っているドライバー状態から手動運転へ運転交代する際、周辺監視を行って運転交代の準備状態を作ること、より適切な運転交代を実現できる可能性が示唆された。

(3) 実験結果：ドライバーの周辺監視の評価指標

アイカメラで検知したドライバーの視認行動より、周辺監視を開始してから10秒毎の前方注視率を分析したところ、周辺監視開始後の20秒間で前方注視率が50%から60%へ増加し、周辺監視開始後30秒後に約70%となり、その後、運転交代時点まで、さらに、運転交代後も、前方注視率は70%で推移した。前方注視以外の視認行動は、サイドミラー、ルームミラー、計器などであった。この結果より、周辺監視開始後の前方注視率が、ドライバーの周辺監視状態の評価指標となり、開始直後の低い前方注視率が約70%に増加したところが、周囲の交通状況をドライバーが認識でき、周辺監視状態として安定したところと判定できる可能性が示唆された。

3 ドライバー主導による運転交代

自動運転レベル2では、自動運転中にドライバーが周辺状況やシステム状態を認識し、システムの機能限界場面ではドライバー自らが運転交代を行う必要がある。ここでは、ドライバーが適切にシステムの状態を理解できているかを評価する方法を検討するとともに、ドライバー自らの運転交代を確実に実現するためのシステム理解を促進するHMIについて検討する。

3.1. ドライバーのシステム理解状態の評価方法

自動運転中であっても手動運転時と同じドライバー状態になっていることで、ドライバーがシステムと共存できている＝ドライバーがシステムの状態を理解できていると解釈し、手動運転時と自動運転レベル2使用時のドライバー挙動の差を分析し、ドライバーによるシステム理解状態の評価方法を検討した。

ドライビングシミュレータ実験を実験参加者10名で実施し⁽⁷⁾、片側3車線の第2車線を手動運転または自動運転レベル2で走行し、走行中に周囲に注意を払うべき潜在的なリスクシーンを設定した。走行中の視線行動を非接触アイカメラで計測したところ、複数の領域で注視時間に有意差が認められ、自動運転レベル2使用時は手動運転時よりも正面および計器類への注視時間が短くなり、周囲やミラーへの注視時間が長くなる傾向がみられた。

3.2. システム理解を促進するHMI

ドライバーがシステムの未検知、誤検知を理解しやすいHMIの候補を挙げ、ドライビングシミュレータ環境に試作した。その中から、交通状況の認識結果をリアルタイムに表示するHMIを用いて、実験参加者18名で走行実験を行った⁽⁸⁾。HMI提示有りの方が、自動運転システムが車両以外の物体を認識できていない可能性があることをドライバーが分かっているアンケート結果が得られ、HMIによってシステムに対するドライバーの理解が促進する可能性が示唆された。

4 運転者や歩行者などが修得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発

4.1. 個人特性を踏まえた教育方法の提案

SIP第1期の実験結果⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾より、様々な経験をすれば、次第にドライバーがうまく対応できるようになったことが分かった。一方、急に「センサ機能喪失」のような厳しい状況に遭遇した場面では、運転への介入の遅れが見られた。また、運転引継ぎが必要な状況のうち、とくに厳しい状況と考えられる「機能失陥(故障)」の経験をしておくことが実際の場面に遭遇したときに有効であり、またその経験が長期間にわたって有効である可能性が確認された⁽¹¹⁾。

そこで、パーソナリティ特性の個人差変数の1つであるレジリエンス特性に着目し、レベル3の自動運転

から手動運転へ遷移する際の知識習得に与える影響を確認した。SIP第1期(平成30年度2月)にインターネットで実施した3240名の調査結果を、パーソナリティ特性と知識習得との関連で分析した。チラシ、クイズ、動画の3形式の教材を用い、各教材で学習した後の知識習得効果を比較した⁽¹²⁾。

傾向スコアマッチングを用いた上昇群・非上昇群の2値変数を従属変数とし、この従属変数への影響が想定される変数群を独立変数としてロジスティック回帰分析を行った。その結果、教材形式によってレジリエンス特性の吸収効果が異なり、動画教材が最もレジリエンス特性を吸収できる可能性が確認された。レジリエンス特性は、性別、年齢、学習スタイルによって差が見られたことから、今後は更なる検証を行う予定である。

また、個人特性を吸収し多くの受講者へ教育効果のある方法を検討するとともに、特性を簡易に判別できる手法も検討した。その結果、学習スタイルとキャリアレジリエンスの尺度の短縮版⁽¹³⁾を開発した。

4.2. 動機づけ手法に関する提案

安全教育の対象は、交通利用者すべてとなり、年齢層、背景、学習スタイルなど、多様で幅広い。自動運転車などに興味を持たない対象者も多い。運転者教育として、免許更新時の講習などが考えられるが、限られた時間で、学習効果を上げるための工夫が必要となる。そこで、教材に加えて、学習内容の興味関心を喚起するための方法を検討することとなった。本研究では、動機づけARCSモデルを援用し、安全教育のための動機づけ動画を2種開発した。形成的評価の結果、2種の動画では、同等レベルの動機づけが可能であることが示唆された。

また、自動運転教育への動機づけ方法を検討するために、開発した2種類の動機づけ動画を用い、2790名を対象としたweb調査より、個人特性の影響を考慮した動機づけ動画の有効性について検討した⁽¹⁴⁾。傾向スコアマッチングの結果、ナラティブ手法を活用した動機づけ動画は、ファクトベースの動画と比較し、個人のレジリエンス要因を吸収でき、レジリエンスのレベルが低い程事後得点が上昇する可能性が検証された。また、ナラティブベースの動機づけ動画の利用により、個人のレジリエンスの違いを吸収でき、さらに、個人の学習スタイルを考慮するとより有効性が高くなる可能性が示された。また、ナラティブベースの動機づけを実施

することで、性別や年代、既婚未婚、子供の有無といった個人属性の違いを吸収できる可能性が示唆された。

4.3. 部分教育を意識したモジュール化可能な完全教育教材の開発

多様な背景を持つ交通利用者が教育の対象者であることから、自身の特性や学習スタイルに合った教材で学んでもらえるように、組合せ可能な、多種の教材モジュールを開発、蓄積することを目的の一つとしている。2020年度は、4.2で説明した動機づけ動画2種の他に、一般的な自動運転に関する知識習得のためのクイズ教材と動画教材の計4モジュールを開発した。短く、マイクロラーニングが可能なモジュールとして多様な教材を開発することで、それぞれを単独で、また、学習目標、または、実際の目的に合わせて、教材を組み合わせ学習することが可能となる。今後は、教材の組合せ方法、個人に適した提示方法などを含む、個別最適化した学習方法の提案を目指し、さらに研究を進める予定である。

教材開発とともに、自己の特性をよりシンプルに測定可能にするために、キャリアレジリエンスと学習スタイル尺度の縮小版を開発した。

5 教育機会を想定した教育効果検証実験

5.1. 教育機会

本研究プロジェクトにおいては、社会実装を視野に入れて自動運転に関する教育機会を検討している。自動運転を利用する、あるいは自動運転車とインタラクションするために必要な知識を提供する機会としては、マスメディア、ウェブサイトなどをはじめとして各種教育の機会がありうる。いずれの機会も、利用できる時間、リソースは限られていることから、それぞれの特徴に即して適切な具体性・粒度を選択することが重要であると考えている。

特定のシステムについて、実際の利用者に対して知識・情報を伝達する機会としては、ディーラー・レンタカーの営業所や納品時の説明の機会、あるいは車載システムで知識を伝える機能などが考えられる。しかし、本プロジェクトにおけるこれまでの継続的な調査⁽¹⁵⁾によると、一般には自動運転に関する知識をほぼ全くもっていない人もいると考えられることから、個

別のシステムの説明を理解できるようにするための一般的な知識を持っている必要があると考えられる。そこで、本プロジェクトにおいて、自動運転に関する一般知識をあらかじめ伝えることの有効性を検証することに取り組むこととした。

5.2. シミュレータによる検証実験

まず、2節での教材試作前の試行として、一般知識提供の効果の検証を行うこととした(実験1)。第1期において行った知識提供に関する研究で使用したインストラクション素材をもとに、自動運転に関する一般的な知識を整理し、説明用の動画を作成し、実験参加者に視聴させた。約1か月後にドライビングシミュレータを用いて、自動運転から手動運転への引き継ぎに関する実験を行った。この実験では、一般的な知識が複数の具体的なシステムに有用であるかどうかを検証するために、低速追従時のみレベル3相当の機能を提供するタイプと、速度に制限のないレベル3相当の機能を提供するタイプの二つを対象とした(被験者間要因)。いずれのものも、自動車線変更の機能はない。

実験結果⁽¹⁶⁾の一例を図1に示す。これは、自車レーン前方に故障車が止まっており、これを回避するために車線変更が必要なシーンである。本実験における自動運転システムは車線変更の機能を有していないため、走行を継続するためにはドライバーが運転を交代せざるを得ない。図1は、故障車に対する衝突事故が発生した人数の割合を表している。図1に示すように、自動運転に関する一般的な知識を事前に提供すると、運転交代が必要な場面でシステムからRtIが提示された場合に、適切な運転交代が実行できる可能性が示唆された。

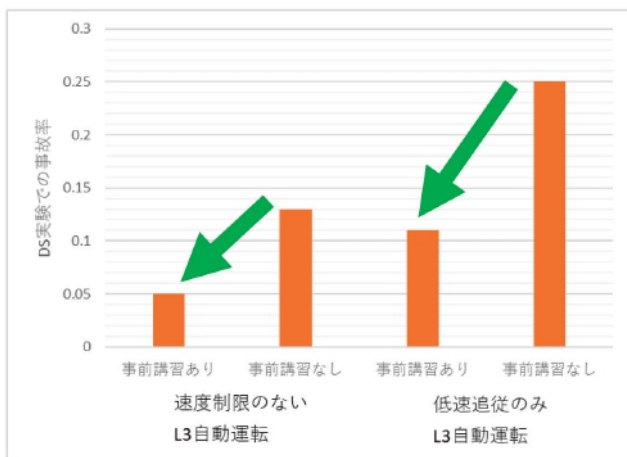


図1 実験結果の例

つづいて、2節で開発した動画教材を用いた検証実験を行った(実験2)。この実験では、実験において利用するシステムについての説明を、一般的な知識と合わせて、シミュレータ実験実施の約1か月前に行った。その結果、実験の前半で経験させる運転引継ぎシーンでは、RtIが提示されたにもかかわらず運転交代を要求されていることに気づかない実験参加者が数多く観察された。実験1では、実際に使用するシステムについての説明は実験実施当日に提供されたのに対し、実験2では実験実施1か月前に提供された点が異なる。一般的な知識の提供の有用性は実験1で確認できたものの、真に安全な利用を可能とするためには提供した知識の促進を図る必要がある。現在、この点についての検討を進めている。

【参考文献】

- (1) Yanbin Wu, et al.: Assessing the Mental States of Fallback-Ready Drivers in Automated Driving by Electrooculography, Proceedings of 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), pp. 4018-4023, 2019.
- (2) Toshihisa Sato, et al.: Comparison of Driver Conditions in Automated Driving Systems and Transition Behaviors in Driving Simulator versus Real Proving Ground, Proceedings of DSC 2019 Europe, pp.43-50, 2019.
- (3) Toshihisa Sato, et al.: Evaluation of Driver Drowsiness While Using Automated Driving Systems on Driving Simulator, Test Course and Public Roads, In: Krömker H. (eds) HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Driving Behavior, Urban and Smart Mobility, HCII 2020, pp. 72-85, 2020.
- (4) Damee Choi, et al.: Effects of cognitive and visual loads on driving performance after take-over request (TOR) in automated driving, Applied Ergonomics, Vol. 85, 103074, 2020.
- (5) Yanbin Wu, et al.: Effects of scheduled manual driving on drowsiness and response to take over request: A simulator study towards understanding drivers in automated driving, Accident Analysis & Prevention, Vol. 124, pp.202-209, 2019.
- (6) Yanbin Wu, et al.: Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving, Journal of Safety Research, Vol. 72, pp.231-238, 2020.
- (7) 井上功一朗ほか: 先進運転支援システムによるドライバメンタルモデルの変容, 第18回 ITSシンポジウム, 2020.
- (8) 井上功一朗ほか: 物体認識結果をドライバに提示することが先進運転支援システムに対するメンタルモデルに与える影響, 第29回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2020), 2020.
- (9) SIP第1期自動走行システム成果報告: HMI等のヒューマンファクタに関するデータ収集によるガイドライン策定

https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/121.pdf

(参照2021.06.29)

- (10) Zhou, H., et al.: How Do Levels of Explanation on System Limitations Influence Driver Intervention to Conditional Driving Automation? in IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Vol. 51, No. 3, pp.188-197, 2021.
- (11) Zhou, H., et al.: Long-term Effect of Experiencing System Malfunction on Driver Take-over Control in Conditional Driving Automation. Proceedings of The 2019 IEEE international Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2019), pp.1950-1955, 2019.
- (12) Arame, M., et al.: Effects of Learning materials about Automated Driving Level 3 Focusing on Driving Frequency: Verification by Propensity Score Matching, Proceedings of 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), pp. 454-460, 2020.
- (13) Goda Y, et al.: Development of a Short-Form Learning Style Inventory for Automated Driving Safety Education. Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) 2020, pp. 847-851, 2020.
- (14) Arame, M., et al.: Using Narrative based Video on Gaining Safety Driving: Focusing on Career Resilience and Learning Style in Automated Driving Level 3, Proceedings of Fifth International Congress on Information and Communication Technology, ICICT 2021, London, in press.
- (15) SIP第2期自動運転（システムとサービスの拡張）
平成31年／令和元年度研究開発：自動運転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関する調査研究
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/211.pdf>
(参照2021.06.29)
- (16) Huiping Zhou, Makoto Itoh, Satoshi Kitazaki: Influence of Prior General Knowledge on Older Adults' Takeover Performance and Attitude Toward Using Conditionally Automated Driving Systems, Proc. HFES Annual Meeting, 2021 (to appear).

低速走行の自動運転移動・物流サービス車両と 周辺交通参加者とのコミュニケーションに関する研究

大門樹, 對間昌宏, Lee Jieun, 古谷知之 (慶應義塾大学)

(概要) 交通制約者のモビリティの確保や移動・物流サービスのドライバ不足の改善・コスト低減等の社会的課題の解決に向けて、低速走行の自動運転移動・物流サービス車両の技術開発や中山間地域等での実証実験が実施されている。低速走行の自動運転サービス車両では、従来の手動運転車の場合とは異なり、将来的には運転を常時行うドライバが乗車しないことから、歩行者や他のドライバなどの周辺交通参加者とのコミュニケーションにおいて、安全、安心、交通効率などの課題が存在する。低速走行の自動運転サービス車両と周辺交通参加者間の安全・安心で円滑なコミュニケーションの実現を目指して、実証実験等で観測されたコミュニケーションの特徴分析、自動運転サービス車両からの意図や状態を交通参加者に伝達するためのコミュニケーション方法(車両挙動や外向けHMI等)の実験的検討を実施している。低速走行の自動運転サービス車両が備えるべきコミュニケーション方法の設計推奨、周辺交通参加者が備えるべき知識などの抽出・提案のための研究開発を進めている。

1 背景

中山間地や過疎地における交通制約者の移動手段の確保や移動・物流サービスにおけるドライバ不足を補うため、SAE (Society of Automotive Engineers) のJ3016 (2018年6月) に定義される運転自動化レベル(以下、「運転自動化レベル」) 3, 4に相当する自動運転車両を利用する移動・物流サービスの導入・活用が検討されている。初期の段階では、低速走行での運行により、歩行者やドライバなど周辺交通参加者も存在する一般の道路環境・交通状況での活用が想定されており、実証実験地域などでは、安全運行上、必要に応じて手動介入する乗務員が同乗する形態で運行されている。今後の技術的進展により、乗務員が乗車していても運転操作にほとんど関与しない運行形態や、乗務員が同乗しない運行形態など、導入地域の事情や制約などに対応した運行形態が考えられている。

低速走行の自動運転移動・物流サービス車両(以降、自動運転サービス車両)を実道に導入する場合、従来の手動運転車と比較して、歩行者やドライバなど周辺交通参加者との関わり方に異なる状況が生じうる。手動運転車であれば、乗車するドライバ自身が身振りやアイコンタクトなどを使って、周囲の車両や歩行者などの交通参加者との安全を確保したり、相手に進路を譲っていることを表明して周辺交通の円滑を図ったりしてい

ることが少なくない。このようなドライバの意図伝達は交通参加者間の安全の向上や周辺交通の円滑に寄与するコミュニケーションとして捉えることができる。このようなコミュニケーションに関して、自動運転サービス車両と周辺交通参加者を対象に、乗務員が運転操作にほとんど関与しない状況や乗務員が同乗しない状況を想定すると、従来のようなドライバ自身によるコミュニケーションを活用することは難しく、またそのようなコミュニケーションを周辺交通参加者が手掛かりとして利用しようとしても利用できない。低速走行の自動運転サービス車両の場合、減速などの車両挙動をコミュニケーションの手掛かりに利用することも難しく、従来の手動運転車と比較して、利用可能なコミュニケーション手段や媒体に制約が生じる可能性が考えられる。

以上の背景から、実道に導入される自動運転サービス車両と周辺交通参加者とのコミュニケーションを支援し、安全・安心で円滑なコミュニケーションを実現することを目的として、低速走行の自動運転サービス車両が備えるべきコミュニケーション方法の設計推奨、周辺交通参加者が備えるべき知識などの抽出・提案のための研究開発を行っている。

2 映像データに基づいた コミュニケーション分析

“中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運

転サービス実証実験”と連携して、低速走行の自動運転移動・物流サービス車両に搭載のドライブレコーダ映像を分析した⁽¹⁾。映像データから運行中の自動運転サービス車両と周辺交通参加者が接近・関与する交通場面のうち、両者のコミュニケーションの齟齬や失敗などに起因する不安全なケースや非効率なケースを抽出してそれらの特徴を分析した。

2.1. 分析対象の実証実験地域および自動運転サービス車両

分析とした実証実験地域は、表1に示される道の駅等を中心とした7地域であり、1地域あたり20日間以上、計233日間の自動運転サービス車両の運行が対象となった。各実証実験地域で運行された自動運転サービス車両は、図1に示されるゴルフカートやバスの2車種であり、自動運転での走行は、ゴルフカートでは道路に埋設された電磁誘導線を利用して、バスではGPSと磁気マーカおよびジャイロセンサを利用して、それぞれ既定の走行軌跡上のみを走行した。自動運転中の車速は、ゴルフカートで12km/h程度以下、バスで35km/h程度以下であったが、運行上の安全対応や駐車車両等の回避のためには乗務員による手動運転介入、減速操作や操舵操作が必要となった。いずれの実証実験地域においても、自動運転サービス車両は、道の駅や支所を中心として、庁舎、郵便局、病院などの地域の主要施設への移動、農産物等の輸送などを担うルートであったが、実証実験地域によって、道路環境や交通状況などの特徴が異なるものであった。

表1 分析対象の実証実験地域⁽²⁾

実証実験地域	都道府県	導入車両
道の駅 コスモール大樹	北海道	バス
道の駅 かみこあに	秋田県	ゴルフカート
道の駅 ひたちおおた	茨城県	バス
道の駅 南アルプスむら長谷	長野県	バス
道の駅 芦北でこぼん	熊本県	ゴルフカート
みやま市役所 山川支所	福岡県	ゴルフカート
道の駅 奥永源寺溪流の里	滋賀県	ゴルフカート



(a) ゴルフカート



(b) バス

図1 低速走行の自動運転移動・物流サービス車両⁽²⁾

2.2. 観測されたコミュニケーション場面および分析

映像データを分析するにあたり、“ある交通参加者が自動運転サービス車両の存在を認識して、その交通参加者のその後の行動が何らかの影響を受けていると考えられる交通場面”をコミュニケーションと定義して広く抽出した。その結果、自動運転サービス車両と周辺交通参加者との間に、主として図2に示される3種類のコミュニケーション形態が抽出された(図中の“AV”は自動運転サービス車両を示す)。各コミュニケーション形態の特徴について次の通りである。

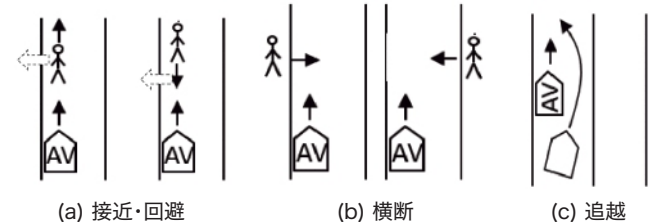


図2 交通参加者とのコミュニケーション形態の分類

(1) 接近・回避のケース

図2(a)に示されるように、自動運転サービス車両が交通参加者の進行方向の後方(あるいは前方)から接近してきたため、交通参加者が自動運転サービス車両のいずれか一方が他方の予定進路から横方向に移動して進路を譲る交通場面が該当する。このケースにおいては、次のような特徴を有する非効率なケースが観測されている。

- 自動運転サービス車両の接近に気づいた交通参加者が、自動運転サービス車両の進路上から横方向に移動して進路を譲ろうとしたが、横方向への移動が十分でない状態のため、自動運転サービス車両が進行を再開できず、乗務員が手動運転で介入して予定進路から外れて進行しているケース
- 自動運転サービス車両の接近に気づいて交通参加者が路肩に寄って回避しているが、横方向への移動が不十分のため、自動運転サービス車両の予定進路に干渉している。さらなる回避のために交通参加者が横方向への移動を何度か繰り返して、ようやく自動運転サービス車両が進路上を自動運転可能な状態となって自動運転を再開させているケース

これらの非効率なケースが生じる原因は、自動運転サービス車両の技術的な制約に依存しているが、交通参加者は、自動運転サービス車両が既定の走行軌跡上でしか自動運転で走行できないことを認識していない、

あるいはそのような知識を有していないことに起因している可能性が示唆される。

(2) 横断のケース

図2(b)に示されるように、自動運転サービス車両の予定進路と交通参加者の予定進路が交差してしまうため、その場で停止して、一方が他方に進路を譲る交通場面が該当する。交通参加者が歩行者である場合は、自動運転サービス車両が歩行者に進路を譲る交通場面がほとんどである。このケースにおいても、次のような特徴を有する非効率なケースが観測されている。

- 自動運転サービス車両は交通参加者の待機位置手前で停止して交通参加者に進路を譲っているが、交通参加者は自動運転サービス車両の停止を認識しても、すぐに横断しようとはせず、乗務員が手振りやアイコンタクトなどの合図を行った後、あるいは特定の時間経過の後、横断を開始しているケース

このような非効率なケースが生じる原因としては、自動運転サービス車両が交通参加者に進路を譲ろうとしているのか、どのような意図を表明しているのかを交通参加者自身が判断できず、乗務員からの手振りやアイコンタクトなどの実施がなければ、交通参加者が自動運転サービス車両側からの譲りや発進などの意図を適切に認識・判断することができない可能性が示唆される。

(3) 追越のケース

図2(c)に示されるように、低速走行の自動運転サービス車両の後方から他ドライバ（以降、後続ドライバ）が接近・追従した後に、その自動運転サービス車両を追い越す交通場面が該当する。このケースは比較的多く観測されており、またこのケースにおいては、次のような特徴を有する不安全なケースが観測されている。

- 低速走行の自動運転サービス車両を追い越す際に、後続ドライバが対向車線を十分に確認しない状態のまま、あるいは対向車が存在しているにもかかわらず、追い越しを開始して、追い越しのための右側部分はみ出し通行時に対向車とニアミスしているケース
- 低速走行の自動運転サービス車両の後方に複数の他ドライバが接近・追従している状況下で、1番目の後続ドライバの追い越し開始に合わせて、2番目以降の後続ドライバも追い越しを開始しているが、2番目以降の後続ドライバは対向車線を十分に確認しない状態のまま、あるいは対向車

が存在しているにもかかわらず、追い越しを開始して、追い越しのための右側部分はみ出し通行時に対向車とニアミスしているケース

これらの不安全なケースが生じる原因としては、自動運転サービス車両であることよりも、低速走行の車両の後方で追従走行を継続していることに起因していると考えられるが、低速走行での運用といった現在の自動運転サービス車両が抱える技術的な制約によって誘発される不安全なケースとして捉えることもできる。その一方で、低速走行の自動運転サービス車両が後続ドライバに進路を譲るためのコミュニケーションを方向指示器と車両挙動の組合せで実施した場合に、左折意図と譲り意図を後続ドライバに混同させてしまう可能性が示唆されている⁽¹⁾。

3 低速走行の自動運転移動・物流サービス車両のコミュニケーション方法の検討

“中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験”でのドライブレコーダの映像データ分析の結果、低速走行の自動運転サービス車両の技術的制約と自動運転サービス車両に対する周囲交通参加者の行動の特徴に基づいて、コミュニケーションのユースケースの網羅性について配慮しつつ、特に不安全や非効率なコミュニケーションを改善・支援する必要があるユースケースとして、接近・回避ケース、横断ケース、追越ケースの3種類が抽出されている。これらのユースケースに対するコミュニケーション方法の候補として、SIP第1期の成果⁽³⁾として車両挙動（停止位置、減速挙動）、外向けHMIに加え、既に実証実験地域の一部にて設置されている路面標示や音声提示などの方法も追加して、導入時に見込まれるコミュニケーション効果の机上検討ならびに実験検討を進めている。

4 VR実験による歩行者とのコミュニケーション検討

4.1. 単路部での横断ケースを対象にした歩行者とのコミュニケーション実験

単路部における非効率な横断ケースを対象にしたコミュニケーションのユースケースを取り上げて、HMD(Head-Mounted Display)とVR(Virtual Reality)環境を利用した実験を実施して歩行者の横断判断・心理面に与える影響を分析・評価し、単路部での横断ケー

スにおける周囲交通参加者とのコミュニケーション方法の設計推奨等を検討している。

(1) 実験方法

道の駅を拠点とする周辺地域の住宅路を想定した道路環境(図3参照)を設定し、歩行者役の被験者が住宅路を横断しようとする際に自動運転サービス車両が接近してくる交通場面を体験させて、自動運転サービス車両の停止位置や減速度、外向けHMIによる意図や状態の伝達(図4参照)などの要因が歩行者の横断判断や心理面に及ぼす影響などについて検討している。



図3 道の駅を拠点とする周辺地域の住宅路のVR環境



図4 外向けHMIによる意図・状態の伝達

(2) 実験結果

自動運転サービス車両から歩行者に譲り意図を伝達するためのコミュニケーション方法として、歩行者の横断判断に影響する要因は、自動運転サービス車両の車両挙動が主であり、車両挙動のみを手掛かりに判断しづらい場合に外向けHMIの実装が早い段階での横断判断を可能にすることが確認されているが、外向けHMIの運用に関しては、歩行者の過信などの影響も考慮して総合的に判断する必要があること、バスなどの大きな車両外観を伴う自動運転サービス車両の場合は、歩行者との距離が長い場合でも横断判断時に不安感を誘発する一方で、外向けHMIの実装が不安感の低減に期待できることなどの結果が得られている。

4.2. 駐車エリアでの横断ケースを対象にした歩行者とのコミュニケーション実験

駐車エリアにおける非効率な横断ケースを対象にしたコミュニケーションのユースケースを取り上げて、HMDとVR環境を利用した実験を実施して歩行者の

横断判断・心理面に与える影響を分析・評価し、駐車エリアでの横断ケースにおける周囲交通参加者とのコミュニケーション方法の設計推奨等を検討している。

(1) 実験方法

道の駅の駐車エリアを想定した道路環境(図5参照)を設定し、歩行者役の被験者が駐車車両から降車して道の駅建物入口まで駐車エリア内を歩行して、駐車区画外の通路部を横断しようとする際に、自動運転サービス車両が接近してくる交通場面を体験させて、自動運転サービス車両の停止位置や減速度、外向けHMIによる意図や状態の伝達などコミュニケーション方法の違いが歩行者の横断判断や心理面に及ぼす影響などについて検討している。



図5 道の駅の駐車エリアのVR環境

(2) 実験結果

駐車エリアでは、単路部と比較して、交通参加者の通行区分や優先権が明確でないなどの特徴が挙げられる。そのような状況において、自動運転サービス車両から歩行者に譲り意図を伝達するためのコミュニケーション方法として、歩行者の横断判断に影響する要因は、主として自動運転車の停車位置であるが、それに加えて、車両挙動のみを手掛かりに判断しづらい場合には外向けHMIの実装が早い段階での横断判断を可能にすることなど、単路部の場合と同様な結果が確認されている。自動運転サービス車両から歩行者に譲り意図を表明するために、停止位置と外向けHMIを組合せてコミュニケーションを行う際、歩行者との距離が長い場合に、歩行者はそのコミュニケーションが誰に向けられたものなのかが判断しづらく、横断判断時の不安感などを誘発する可能性があることが示唆されている。

4.3. 単路部での接近・回避ケースを対象にした歩行者とのコミュニケーション実験

単路部における非効率な接近・回避ケースを対象にしたコミュニケーションのユースケースを取り上げて、HMDとVR環境を利用した実験を実施して歩行者の横断判断・心理面に与える影響を分析・評価し、単路

部での接近・回避ケースにおける周辺交通参加者とのコミュニケーション方法の設計推奨等を検討している。

(1) 実験方法

道の駅を拠点とする周辺地域の単路部を想定した道路環境(図6参照)を設定し、歩行者役の被験者が単路部の左側を道路に沿って歩行している際に、後方から自動運転サービス車両が接近・停止、被験者は後方に振り返って、自動運転サービス車両の状態を視認する交通場面を体験させて、外向けHMIや路面標示の実装(図7参照)などの要因が歩行者の認識や回避判断、行動、心理面に及ぼす影響などについて検討している。



図6 道の駅の周辺地域における単路部のVR環境



図7 外向けHMIの装備と路面標示の敷設

(2) 実験結果

歩行者の後方から接近する自動運転サービス車両とのコミュニケーションにおいて、“とまります”など外向けHMIによる車両自体の行動伝達のみでは、自動運転サービス車両の予定進路から回避しなければならない状況を歩行者に認識させることが難しいが、路面標示の実装により予定進路と回避の必要性の認識を容易にさせる結果が得られている。路面標示のような路側の設置が困難な場合への対応として、引き続き、音声提示の活用や外向けHMIとの組合せなどの検討を進めている。

5 DS実験による後続ドライバとのコミュニケーション検討

単路部における不安全的な追越ケースを対象にしたコミュニケーションのユースケースを取り上げて、

DS(Driving Simulator)環境を利用した実験を実施して後続ドライバの認識・追越判断・心理面に与える影響を評価し、単路部での追越ケースにおける後続ドライバとのコミュニケーション方法の設計推奨等を検討している。

(1) 実験方法

道の駅を拠点とする周辺地域の単路部を想定した道路環境を設定し、後続ドライバ役の被験者が周辺地域の道路を走行中に自動運転サービス車両の後続に追従する交通場面を体験させて、自動運転サービス車両の車両挙動や灯火器類操作、外向けHMIによる意図や状態の伝達(図8参照)などの要因が後続ドライバの認識や追越判断、心理面に及ぼす影響などについて検討している。



図8 外向けHMIによる意図・状態の伝達

(2) 実験結果

自動運転サービス車両から後続ドライバへの譲り意図を伝達する際、左ウィンカと減速挙動を利用した譲り挙動を後続ドライバが繰り返し経験すると、自動運転車の左折時合図と譲り挙動を混同したり誤解を招いたりする可能性が確認されている。また後続ドライバに対して外向けHMIを利用して譲り意図を表明すると、そのような混同や誤解を回避できる可能性が示唆されており、引き続き、検討を進めている。

【参考文献】

- (1) SIP第2期自動運転(システムとサービスの拡張)
平成31年/令和元年度研究開発:自動運転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関する調査研究,
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/211.pdf>,
(参照2021.08.06)
- (2) 国土交通省道路局:中山間地域における長期の自動運転実証実験を開始~自動運転に対応した道路空間の基準等の策定に向けて~,
<https://www.mlit.go.jp/common/001259382.pdf>,
(参照 2021.03.31)
- (3) SIP第1期自動走行システム成果報告:HMI等のヒューマンファクタに関するデータ収集によるガイドライン策定
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/121.pdf,
(参照2021.08.06)

4 自動運転のある社会

(1) 地域社会における自動運転移動サービス

中山間地域における 自動運転移動サービス(概要)

坂井康一 (国土交通省道路局)

我が国では、人口減少や超高齢化社会が社会問題となっている。特に中山間地域では高齢化の進行が著しく、人流・物流の確保が喫緊の課題となっている。高齢化が進む中山間地域等での人流・物流を確保するため平成29年より全国18箇所で道の駅等を拠点とした自動運転による移動サービスの実証実験を実施してきた。本稿では、その実証実験で得られた成果や社会実装に向けた課題と今後の取り組みについて概説する。

1 地方部における社会的課題と自動運転移動サービスの意義

我が国では、高齢化が進展する中、交通事故における高齢者による事故の割合が高い一方で、過疎地域などの地方における移動手段の確保やドライバー不足への対応が喫緊の課題となっている。路線バスの廃止路線延長は、平成19年度から平成29年度の間で1万5千キロメートルを超えている。また、ドライバーに関しても、トラックドライバーの約4割が50歳以上と言われているほか、65歳以上の運転免許の自主返納件数が、平成30年では、約40万件にのぼり、平成19年の約2万件から約20倍にまで増加しているなど、高齢化が著しい。特に、中山間地域では、その傾向が顕著であり、高齢化率は35% (平成27年) と全国平均の26%を大きく上回るなど、全国の10年先を行く高齢化に直面している。

自動運転移動サービスには、ドライバー不足への対応を含めたこれらの課題解決に向けて、大きな効果が期待される。

2 地方部における実証実験で得られた成果

(1) 地方部における実証実験の概要

中山間地域をはじめとした全国的な高齢化の課題に対応するため、自動運転技術を用いた自動運転サービ

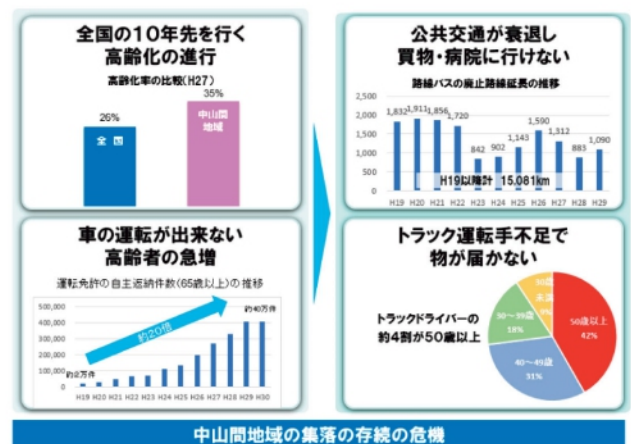


図1 中山間地域の課題と現状

スを導入し、中山間地域における人流・物流を確保することを目標に、「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験」を平成29年9月より実施している。令和3年6月時点で、全国18箇所で実際に自動運転車を走行させ、実証実験を実施し、その中で道の駅「かみこあに」(秋田県)においては、技術面やビジネスモデルに関する実証実験結果を踏まえ、令和元年11月に本格導入され、現在まで1年以上にわたる安全な運行管理、延べ6,000 kmを超える安全な走行を継続しているところである。

更に、「奥永源寺溪流の里」(滋賀県)においても市議会の承認を得て、令和3年4月より本格導入された。(図2, 3, 4)

(1)地域社会における自動運転移動サービス

中山間地域における自動運転移動サービス(概要)



図2 「かみこあに」の走行の様子



図3 「奥永源寺溪流の里」の走行の様子

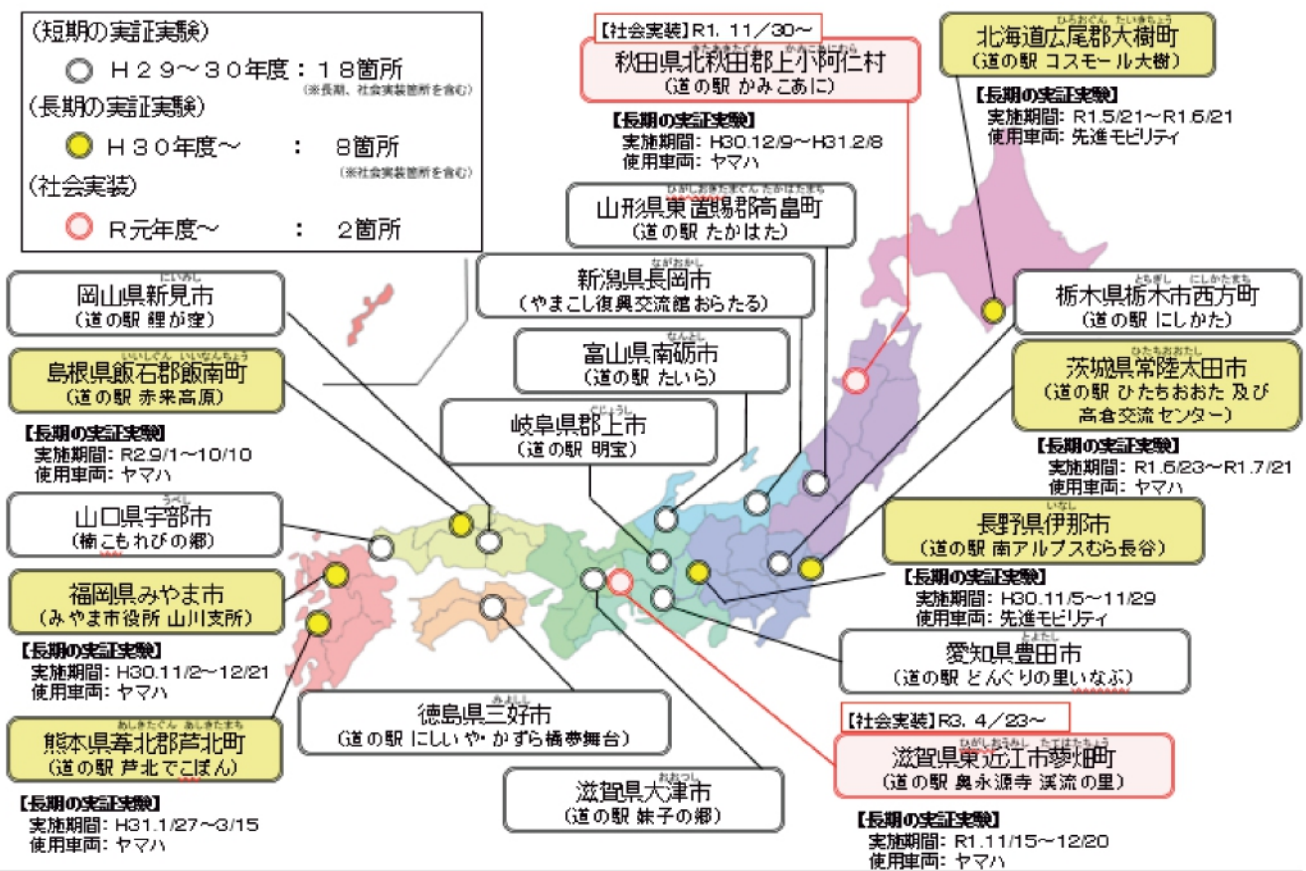


図4 中山間地域の道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験の実施箇所

(2)各地での取り組み

実証実験では、段階毎に分け、短期実験では、道路構造や他の交通への影響、地域環境(気象・通信条件)、コスト、社会受容性、地域への効果といった技術的検討やビジネスモデルの検討、長期実験では、導入の要否に直結する車両の技術的課題や自動運転車が走行するにあたり必要な道路環境、サービスの持続性等の検討を行い、準備が整ったところから順次、社会実装を行っている。

社会実装した地域では、ビジネスモデルにおける課題の対応やサービスの持続性、道路インフラの維持管理等

の全国への横展開に資する検討を行っている。(図5)

なお、短期実験等では、カート以外の車両でも行っているが、車両費等に必要経費のコスト負担が大きいことや狭隘区間の走行での安全な走行が困難なことから、社会実装に関しては、現在のところ、カートタイプの車両を使用している。



図5 各地域における取り組み

(3) 自動運転車の技術的課題と対策

全国18箇所の実証実験において、歩行者等の回避や山間部やトンネル内におけるGPS測位不能、降雪・霧等の悪天候によるLiDARの機能低下によって、手動介入が発生し、自動運転が継続できない場面が生じた。それらの技術的課題の抽出・精査を行い、自動運転車が安全で円滑に走行するために、自己位置特定のための道路インフラの自動運行補助施設からの支援の検討を行った。電磁誘導線を用いて走行している道の駅「かみこあに」では、雨や雪等の悪天候時においても、安定した走行を実施している等、有効性が確認された。これらを踏まえ、民間事業者や道路管理者、地方公共団体が自ら設置できるように令和2年11月に自動運行補助施設を道路附属物に位置づける道路法等の改正を行った。(図6)



図6 道路法の改正概要

3 地方部における自動運転サービスの社会実装に向けた技術、事業上の課題と今後の取組

交通量の少ない地方部を念頭においた自動運転サービスの社会実装に向けて、事業を行う上での課題への対応が必要である。

事業を行う上での課題として、道路空間の確保がある。道の駅「かみこあに」では、交通誘導員による通行止め等を行い、自動運転車の専用空間の確保により運転席にドライバーが乗車しない形でレベル4の走行を実現した。しかし、交通誘導員等のコストがかかることから、今後は、交通誘導員等の配置が不要となるような自動運転車の専用空間の確保や路面標示について検討を行う。(図7)

また、採算性の確保も課題であり、外部委託による受付事務等を道の駅職員で行うなど、道の駅との連携による支出圧縮や他事業との連携・新サービス展開による収入の増加が必要である。今後は、地方自治体や関係事業者と連携して、自動運転による移動サービス等を継続的に運営可能なビジネスモデルの構築に必要な調査研究等を実施し、地方部における自動運転サービスを導入する自治体の財政的な受容性を図りつつ、地域間連携の強化など、社会実装に必要な取組を進める。(図8)

(1) 地域社会における自動運転移動サービス

中山間地域における自動運転移動サービス(概要)



図7 道路空間の確保策について



図8 地域間連携の強化

【執筆者】

坂井 康一・国土交通省 道路局道路交通管理課 ITS 推進室長

4 さいごに

全国18箇所では実証実験を行い、8箇所では長期実験、2箇所では社会実装を行うとともに、令和2年11月に、自動運行補助施設を道路附属物に位置づける道路法等の改正を行った。

これらの実証実験等により得られたノウハウを活用し、内閣府未来技術社会実装事業と連携した自動運転サービス導入支援事業を実施し、自動運転サービス導入を目指す市町村に対して、実装を見据えた計画策定等の支援を令和2年度より行っている。

令和2年7月15日IT戦略本部決定された「官民ITS構想・ロードマップ2020」では、限定地域での無人自動運転移動サービスについて、2020年までの実現に引き続き、2025年目途に全国普及する政府目標が掲げられているところであり、自動運転の更なる普及を支援していくこととしている。

自動運転による移動サービスの 実用化に向けた環境整備

加藤宣幸（一般財団法人道路新産業開発機構）

（概要）自動運転による移動サービスや物流サービスの事業化に向けて、まずは現時点の技術レベルで一般道における自動運転による移動サービスの導入が可能な地域として、他の交通が少ない地方部を念頭におき、道路の走行空間の確保、運行管理等の社会実装を行う上での課題を解決する。また、全国への横展開に向け、地方部における自動運転による移動サービスの導入ガイドラインの策定、自動運転車が走行する道路空間の基準の整備等を行う。このため地方自治体や関係事業者と連携して、自動運転による移動サービス等を継続的に運営可能なビジネスモデルの構築を念頭においた検証及び当該検証に必要な調査研究等を実施する。地方部の実証実験については、導入する自治体の受容性も踏まえ、社会実装に必要な部分に限って実施する。そのために地方部における自動運転サービスを導入する自治体の財政的な受容性を図りつつ、地域間連携の強化など、社会実装に必要な取組を進める。

1 はじめに

自動運転サービスの恒久的実施に向けて、限定地域で開始している自動運転サービスを、全国の複数地域に社会実装を実現することを目的とする。また、社会実装初期において、地域の社会課題を解決しつつ、各種実証実験において共通の課題とされてきた走行空間の確保策等を横展開し、事業として軌道に乗るための方策を検討することも目的とする。更に、これまでに策定した自動運転移動サービスに関するマニュアルを適宜更新し、最終目標である自動運転による移動サービス実用化の事例拡大に貢献するものである。

自動運転移動サービスの社会実装については、自動運転による移動サービスや物流サービスの事業化に向けて、まずは現時点の技術レベルで一般道における自動運転による移動サービスの導入が可能な地域として、他の交通が少ない地方部を念頭に置き、道路の走行空間の確保、運行管理等の社会実装を行う上での課題を解決する。また、全国への横展開に向け、地方部における自動運転による移動サービスの導入ガイドラインの策定、自動運転車が走行する道路空間の基準等の整備等を行う。このため、地方自治体や関係事業者と連携して、自動運転による移動サービス等を継続的に運営可能なビジネスモデルの構築を念頭に置いた検証および当該検証に必要な調査研究等を実施するものである。

2 実用化に向けた 検討対象箇所・使用車両について

2.1. 検討対象箇所

本取り組みでは2019年度～2020年度事業の成果を基に、社会実装ユースケースの横展開に資する知見のさらなる蓄積のための評価検証と、その知見を他箇所に適用した場合の課題の洗い出しと対応を行うため、複数の社会実装箇所での評価検証を実施する。

表1 実証実験実施予定箇所

	実施箇所	実施予定	備考
1	地域A	2019年度より継続運営中	
2	地域B	2021年度より社会実装開始予定	
3	地域C	2021年度より社会実装開始予定	
4	地域D	2021年度より社会実装開始予定	
5	地域E	2021年度より社会実装開始予定	
6	地域F	2021年度中技術検証および社会実装に向けたビジネスモデル等の検証を1ヶ月程度実施予定	長期実証

2.2. 使用車両について

本取り組みでは、2018年度～2019年度事業より採用している埋設された電磁誘導線からの磁力を感知して既定ルートを走行（レベル2相当）するカートタイプの車両を用いる。また、前述とは異なる路車連携技術を採用する車両（メーカーにおいて鋭意開発中）の技術検証を行うための長期実証実験も行う。

以下に本事業での取り組みの一部を示す（関係者調整中の事項を含むため、すべての案件や評価検証事項を報告するものではないことに留意いただきたい）。



図1 本取り組みにて使用する車両

3 地域別の取り組み状況

3.1. 地域Aにおける自動運転移動サービス社会実装(継続)

(1) 過年度の取り組み概要

地域Aでは、2017年に短期実証実験(1週間)を実施し、積雪時の坂道走行などの走行性や安全性、道の駅への野菜搬送などの利便性について実験を行った。その後2018年に長期実証実験を2か月実施し、自動運転専用区間の設定や、地元ボランティアによる受付、将来的な運営体制などを検証した。これらの結果を踏まえ、当地域では、2019年11月末より社会実装を開始し、地元NPO運営のもと1年以上にわたり無事故で運行を継続している(2021年3月現在)。

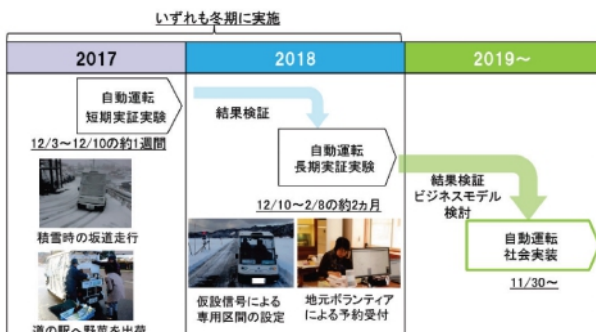


図2 地域Aにおける取り組み概要

(2) 地域内におけるビジネスモデルの検討

地域Aにおいて社会実装後の地元での持続可能な運用体制の構築に向け、地域内の利用特性などを分析するため、表1のとおり地域内の既存の有償運送実施状況を整理した。この結果を踏まえ、運賃設定による収入やダイヤ、ルート等の改善を検討した。

一方で運賃収入のみによる収支の安定化は困難であることから、日常運営は地元ボランティア等で対応し、将来的に道の駅や社会福祉協議会など、既存組織との兼業化により、継続的に地元で運営可能な体制とする必要がある。

事業採算性については、人件費の占める割合が大きいく、毎日の運行から隔日の運行にして運営費用を抑え

表2 地域内における有償運送の実施状況

種類	運営	車両、条件	便数、料金
①有償運送(交通空白)	社会福祉協議会	・乗用車、7人乗 ・電話予約	・朝、昼、夕 ・大人1,000円、小学生500円(片道)
②有償運送(福祉輸送)	社会福祉協議会	・乗用車 ・介護認定・身体障害者手帳を有し、病院送迎・行事参加等に限定	地域内200円 地域外600~2,000円
③過疎地有償運送	NPO	・乗用車 ・地域内の高校生以上、通院者、障害者、妊婦等	入会金200円 年会費800円 を負擔し目的地に応じた料金を支払う
④デマンド型乗合タクシー	各タクシー会社	・乗用車 ・事前予約制、自宅前から出発	大人2,000円 子供1,000円
⑤診療所バス	自治体	・マイクロバス、20人程度	平日のみ1便運行

ることも今後検討しつつ、利用者増加、運賃以外の収入を増やす方策が必要である。

▷ 利用者増加策：新規路線の開拓、観光利用等の外客の誘致等

▷ 運賃以外の収入方策：道の駅等から協力金の徴収、民間企業からの協力、視察・研修ツアーの実施等
車両や電磁誘導線などの故障、交換時や車両保険の支払いなど、まとまった費用が必要なタイミングが今後訪れる。運営する人件費も含めて自治体からの補助など公的な補助制度の改善・創設が必要と言える。一方、現状の地域公共交通施策においては合致する補助制度がなく、一定レベルまでは自助努力するが、過疎・超高齢化の地域では限界がある

そこで収入向上策として、観光地域づくり法人(DMO)との連携による観光メニューの検討、ルートを実験フィールドとして提供することによる企業等からの協力金や広告費等のメニューも検討している。同時に、コスト削減の観点から、車両やインフラの維持管理に係るメンテナンス体制も検討も行っているところである。



図3 収支向上策の検討

(3) 今後の運行方法の検討

地域Aにおける社会実装を約1年半実施した結果、集落間を「ゆっくり」移動する車両として、安全に走行できる、乗り降りしやすい、など、高齢者の移動手段としてのニーズが高いことを確認した。一方で、近距離の利用喚起(例：イベント等)や、定期券利用(例：地域住民は無料)といった利便性を向上させる方策が今後必要である。

また、平日の利用が少ない曜日(例：火・木)の運休や、休日は地域外利用者等の観光ツアー企画の検討を行うこととする。さらに、自動運転の「良さ」を実感してもらった住民がリピーター(概ね約20名)になっており、その方々の口コミ需要の他、沿線集落での市場体験などのPR活動も継続的に実施する必要がある。

(4) 自動運転移動サービスに必要なインフラ維持管理検討

地域Aでは、舗装修繕などへの財源も厳しく、除雪時の舗装剥がれ等の影響もあり、乗り心地の悪化の解消や、電磁誘導線の露呈などへのメンテナンスが必要である。さらに冬期間には屋根からの落雪や堆雪が走行空間(電磁誘導線)を塞ぐと、それを避けて走行しなければならず、追加の除雪が必要になるケースも発生する課題が残る。

また、自動運転移動サービスに必要な、電磁誘導線やRFタグ等は昨年の道路法改正により、道路付属物に指定されていることから、舗装修繕などについては、公的な支援が今後必要と言える。一方で、自動運転のセンサ(RFIDタグ)や電磁誘導線等のメンテナンスは、専門業者の対応が必要のため、今後は地元業者でも対応可能となるための教育研修などが必要である。

(5) 地域Aでの現状の取り組み取りまとめ

地域Aは、我が国において最も少子高齢化が進む豪雪地域である。そこで日本初の自動運転の社会実装を始めた。これまで、地元有志による停留所の設置など、「地元の足」として定着してきている。また地域内の高齢者の移動手段を確保し、買い物やお茶のみ、福祉イベントへの参加など、出歩き支援や健康維持など日常生活を支援しており、これまで移動手段がなかった一人暮らしの高齢者など、特定の方からは喜ばれる一方、乗車人員が増えず採算性が確保できていない。

地域内には高齢者が多いため、今後は乗降時等に軽い介助なども必要になる。

今後は、要望の多いコンビニ、JA、学習センター、隣接集落等への送迎など、利用者の要望に応じたデマンド運用により、リピーターを確保し、高齢者の暮らしのサポート、健康寿命を延ばしていきたい。併せて、他エリアからの誘客の手段として、自動運転の魅力も活かし、村の観光振興や視察、研修ツアーなどにも積極的に取り組んでいく必要がある。

3.2. 地域Bにおける自動運転移動サービスの社会実装に向けた検討

(1) 過年度の取り組み概要

当地域では、2017年に実施した短期実験(5日間)では、主に自動運転車両の技術的な検証を行うことを主眼として、道の駅と集落をつなぐ国道・県道ルートを、バスタイプの車両を用いて走行する実験を実施した。

その後、自動運転サービスを地域に定着させることに主眼を置き、道の駅から集落沿いを走行するルートを、小型のゴルフカートタイプの車両を用いて走行する実験として、2019年11~12月に36日間の長期実証を実施した。

この取り組みを踏まえ、2020年12月より施行された「交通事業者協力型自家用有償旅客運送」制度を活用し、自治体を運営主体とする市町村自家用有償旅客運送事業の枠組みにより、運行を地元ボランティアが担い、地元交通事業者が運行管理を支援する形態で社会実装する予定である。

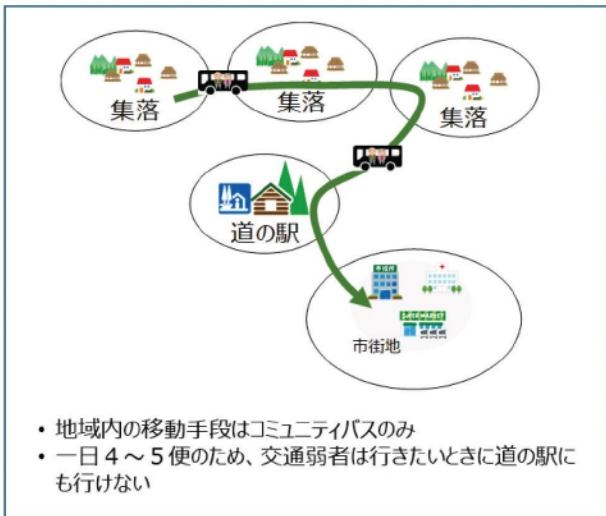
(2) 地域の課題解決に向けた社会実装方針

2020年度は、2021年度の実装開始に向け、実装方針や運営形態、ルート・ダイヤ等を検討し、地域実験協議会に報告して了承を得た。以下にその一部を示す。

社会実装により目指す方向性としては、地域で『シェア』するような移動サービスにより、免許返納等により、移動が困難な高齢者の移動手段を確保することに加え、道の駅までのちょっとした移動は自動運転、道の駅から地域の支所までの移動はコミュニティバスといった使い分けを行うことにより、高齢者の移動の負担を軽減することとしている。

現在は、コミュニティバスで地域の移動をしているが、将来的には、集落から道の駅へは地域で運営する自動運転車両に乗車、道の駅から市街地へはコミュニティバスに乗車というように、道の駅へより気軽に楽しく行ける移動環境を実現したい。

現在の公共交通の状況（コミュニティバス）



将来の方向性（コミュニティバス+自動運転）

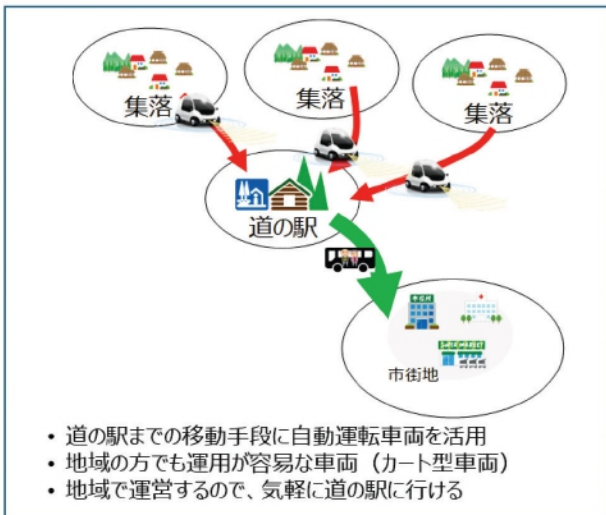


図4 自動運転移動サービス社会実装の方向性

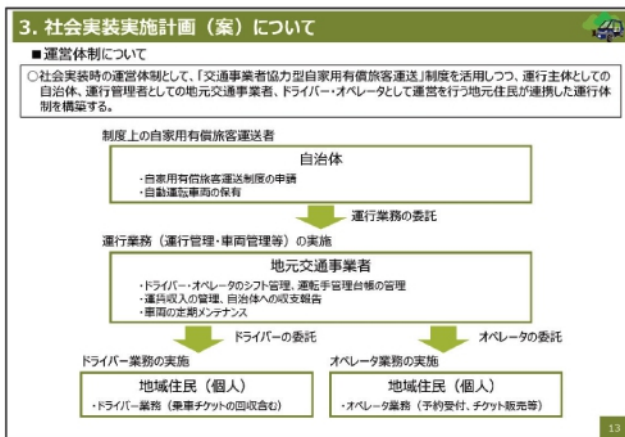


図5 自動運転移動サービス社会実装時の運営体制⁽¹⁾

(3) 想定される利用シナリオの検討

地域Bでは、以下の4つのサービスの実現を目指している。

- 高齢者等を地域拠点である道の駅へ送迎し、高齢者の日常的な生活での移動支援
- 地域の観光資源である紅葉や登山、キャンプ等を目的として地域を訪れる観光客の移動支援
- 貨客混載による道の駅への農産物輸送、道の駅からの商品配送
- コミュニティバスとの乗り継ぎ利用による、地域住民の市街地への外出支援

上記自動運転サービスの実施により安定した運賃収入の確保、その他の収益向上策もあわせながら、自治体からの補填金を極力減らした、継続して、地域が主体的に運営できるビジネスモデル構築を目指している。

併せて、利用者への自動運転サービス利用促進に向け、利用シーンごとに推奨する運行ダイヤ等を示したシナリオを作成した。

①自宅から道の駅への移動手段としての利用

道の駅に買い物や役所機能の利用などで行きたい地域住民、道の駅での出店・出荷者をターゲットとし、買い物に加え、役所機能、出張診療所を兼ね備えた地域拠点（道の駅）への移動手段としての利用を想定した。

自動運転		
A停留所 ⇄	自宅 ⇄	道の駅
12:45 →	乗車 →	13:00
15:55 ←	降車 ←	15:40



- 備考
- 道の駅内施設 ※毎週火曜日休
食堂（10時～17時半※）、直売店（9時半～17時半※）※12月は16時半まで出張診療所（14時～16時※第1・3水曜日のみ）等
 - 道の駅で販売する荷物を輸送する貨客混載サービスも今後検討

図6 自宅から道の駅への移動手段としての利用イメージ

②自動運転サービスとコミュニティバスの乗継利用

コミュニティセンターや東近江市街地に行きたい地域住民をターゲットとし、既存の基幹交通（コミュニティバス）との将来的な役割分担を見据えた乗り継ぎ支援（道の駅での乗り継ぎ）を想定した。

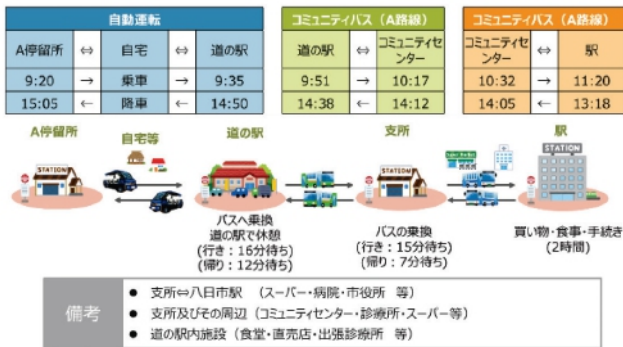


図7 自動運転サービスとコミュニティバス乗継イメージ

③観光客(登山客)の利用

道の駅まで自家用車あるいは公共交通を利用して訪れる登山客(登山口へのアクセス)をターゲットとし、道の駅から登山口まで自動運転車両を使って移動することを想定した。

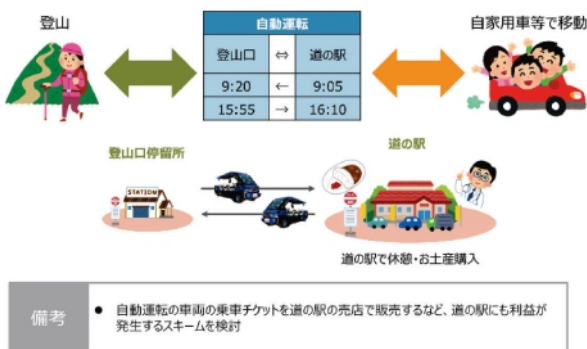


図8 登山客(登山口へのアクセス)の利用イメージ

④道の駅への商品出荷時の利用

長期実験の際にニーズもあった道の駅への出店・出荷者(貨物のみの輸送/出店者自身の移動)をターゲットとし、道の駅で毎週日曜日に実施されている朝市への出荷物の輸送に対して使用することを想定した。(出荷が事前に確認できている場合には運行)

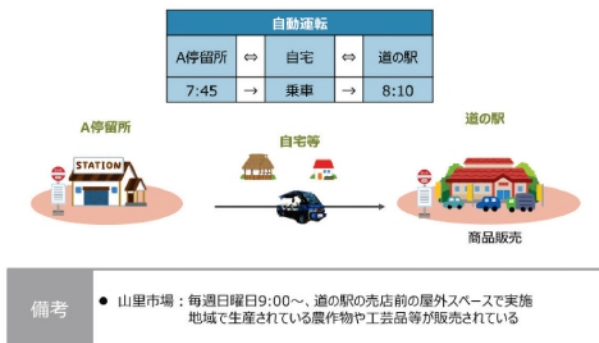


図9 道の駅への商品出荷時の利用イメージ

(4) 料金徴収及び採算性確保について

長期実験時は、燃料代程度の料金を徴収したが、社

会実装では一定の収入を確保する観点から、1乗車あたりの運賃を設定することを予定している。なお運賃は長期実験時のアンケート結果に基づき設定する。

その他、回数券や定期券、一日乗車券といった多様な乗車チケットを用意して、地元の方がより利用しやすいサービスを進める予定である。さらに、貨物輸送について、1回あたりの料金徴収を予定している。ただし、出荷者などが乗車もした際には乗車分の運賃のみとする。

表3 販売予定のチケット一覧

チケットの種類		ターゲット(想定)
1回利用		● 登山やキャンプ、紅葉等を目的とした観光客
多様な乗車チケット	回数券(6枚)	● 不定期に自動運転車両を利用する地域住民
	定期券(1か月)	● 道の駅までの移動などで定期的に自動運転車両を利用する地域住民
	1日乗車券	● 山里市場での商品の販売状況確認に道の駅と自宅を往復する地域住民
貨物輸送(1回)		● 山里市場に農作物等を出荷する地域住民

※貨物輸送とともに乗車した場合は乗車券のみ支払とする

また、運賃収入だけでは採算性確保は厳しいことから、自動運転車両への広告掲載等、収益向上策についても検討し、自治体からの補填金を極力減らした、地域により自立した運用を目指す。

- 広告掲載による収入

 バス側面への広告掲載イメージ(出典:近江バスHP)
- 観光ツアーと連携したパッケージ商品の販売

 長期実験時の観光イベント
- 地域住民向けの利用促進イベントの実施

 長期実験時の住民向けサロン

図10 収益向上施策イメージ

3.3. 地域Cにおける自動運転移動サービスの社会実装に向けた検討

当箇所では、2020年9~10月に長期実証を実施した。

自治体を運営主体とする市町村自家用有償旅客運送事業の枠組みにより、運行を地元ボランティアが担い、地元交通事業者が運行管理を支援する形態で社会実装する予定であり、現在、実装開始に向け準備を進めているところである。

2020年度は、上記実装方針、運営形態等の検討の他、通年運用に向けた冬期（積雪時）の運行や協力体制に関する課題の抽出を行った。

表4 冬期（積雪時）走行検証の実施概要

項目	内容
実施日時	R3.1.29（金）※午前と午後の2回に分けて実施
実施概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ルートを短区間に分けて、それぞれを複数回走行 ・駐車場内、公道（連担地、りんご園の急勾配）等を走行し、課題を抽出 ・実施後は、道の駅にて意見交換会を実施 ・車内と車外の人員が適宜入れ変わり、利用者目線の声も抽出
車両装備	<ul style="list-style-type: none"> ・スタッドレスタイヤにチェーンを装着（午前はチェーンを装着、午後はチェーンを外して走行） ・座席に電気ホットマットを設置 ・積雪による防寒対策として、常にビニールを下げた状態で走行
参加者	町、観光協会、地元交通事業者、自治会長、国土交通省、コンサルタント会社（計14名）



図11 試走後の意見交換会実施状況



図12 冬期（積雪時）走行検証実施状況

(5) 雪道走行に関する評価

冬季試走を行った結果、積雪により白線や電磁誘導線等の把握が困難な状況であるものの、雪道での走行に大きな問題は生じなかった。また積雪が浅い時には、スタッドレスタイヤで十分走行できることを確認すると共に、急勾配での緊急の手動介入を想定して、急ブレーキを実施した際も問題なく作動することを確認した。

一方、大雪時には連担地内では、路肩に溜まる雪が走行を妨げる可能性があることから、運行管理者等による連担地内の地元の除雪ルールの設定や、手動走行への適切な切り替え、運休の判断基準の検討を本格運用に向けて検討する必要がある。

(6) 車両環境に関する評価

冬季の車両利用については、「ビニールカーテンだけでは足下から隙間風が入る」「車内の床に雪が入り込む、足下の雪が寒さで凍るなど、足下が滑りやすくなる」等の意見が挙がった。これらに対応するためには、「ビニールカーテンで密閉」「ひざ掛けの貸出や電気ホットマットの設置」「ステップや床等の足下のすべり止め」等の対策が必要である。



図13 車両附属のビニールカーテン設置状況

また、ビニールカーテンを降ろした際に、サイドミラーの視認性が悪いとの意見もあり、安全確保の面からもビニールカーテンを降ろした走行時には、サイドミラーに頼らず、目視確認をする等の運用面でカバーする等の対応を、運行管理者によるドライバーへの指導することとした。

併せて、冬季は利用者の荷物が多いことから、スムーズな乗降のための対策として、今後の本格運用に向けて、傘、厚手の上着、杖等の荷物置き場等の設置の工夫を行うこととした。

(7) 車両性能に関する評価

試走後の意見の中には、「車両そのものは、安定した形状であるため、今後は、乗客の座る位置などの荷重が偏った場合の走行バランス等も検証すべき」「風が

吹いた時の揺れ方が気になるため、どのくらいブレがあるか等の検証が必要」等が挙げられている。現状では通年運行していないため、季節の影響なのか、自動運転車両及びそのタグ等のインフラに関する性能によるものであるかの知見が十分ではない。そこで他地域との情報交換をより一層実施する必要があると言える。

4 まとめ

2018年度以降、地方部における自動運転サービスの社会実装可能なシステムの構築に着手しており、各地域の実証による成果・課題検証を経て、全国展開しうる自動運転サービスのシステム開発を推進してきた。これまでの実証実験成果（知見）を踏まえ、事業終了後を見据え持続的運営に向けた仕組みの構築を目指している。

これまでの成果と課題について、「車両」「運行・サービス」「環境整備（インフラ）」に分類して以下に取りまとめた。

車両については、長期運用に資するメンテナンスやイレギュラーな事象への対応、アフターフォローや関連企業等との連携による効率化等の検証が必要である。また乗客の安心感確保に向けた改修や地域の利用ニーズに応じた活用方法等の検証も必要である。

運行・サービスについては、地域ボランティア等の協力も得て、持続可能なサービス提供・運営体制を構築（道の駅等と連携した兼業化の推進）が必要であり、今後他事業等との連携による利用者の多角化、収入手段の多角化、地域の受容性向上を目指すべきである。

環境整備として、インフラ協調システムについては、異常時や季節、地域変動に対応したインフラの維持管理・更新方法の確立や、磁気マーカによるカートタイプの走行性の確認が望まれる。また道路空間に関しては、地域における安定的な運行空間の維持、管理、路面標示をはじめとする地域協力の安定運用の検証を引き続き実施する必要がある。

【参考文献】

- (1) 道の駅「奥永源寺溪流の里」を拠点とした自動運転サービス地域実験協議会：「社会実装実施計画（案）」(2021)

自動運転サービスの横展開を支える支援システムの開発

渡部康祐，寺本英二（日本工営株式会社），三田亮平（パシフィックコンサルタンツ株式会社），
加藤宣幸（一般財団法人 道路新産業開発機構），

（概要）「地方部における自動運転サービス事業」において，地域毎の固有の課題や導入目的の違いを超えて，サービスの導入や実装，運用をよりスムーズに行うための運行支援システムを開発した。最初にアーキテクチャモデルを整理し，機能層について早期の必要性や汎用性などに着目して層別を行い，位置管理，安全管理，予約および乗降管理機能を抽出した。抽出した機能を実現するための要件検討および開発を行い，2つの地域で実際に運用・評価し多くの課題を抽出した。これらの結果を踏まえ，地方の自動運転サービスの運行管理者が容易に展開可能なシステムパッケージを開発した。これはクラウドサーバ上に機能を集約し実装することで，新しい地域への展開や保守を容易にするのに加え，車載機器を統合化して導入時や運用時のコストを抑えるよう配慮している。開発したシステムパッケージをこれまでに3つの地域の自動運転サービスに適用し有効性を確認した。今後はシステムパッケージを全国の自動運転やモビリティサービスに展開する予定である。

1 目的

本研究の目的は，現在社会実装に向けて取り組まれている「地方部における自動運転サービス」事業において，地域毎の固有の課題や導入目的の違いを超え，サービスの導入や実装，運用がより円滑に行われるために必要な支援システムの基本要件やサービス要件，ツールの提供・支援等を行うことである。

高齢化や過疎化など地方に共通した実情を踏まえ，全ての地域において適用できるサービス（運行管理，ロケーション提供，予約システム等）が利用可能になり，地域に寄与できることを想定し，有用なAPIやアプリの要件について検討し，簡易な運用システムを開発したうえで，自動運転サービスの社会実装を進めている地域に実際に適用し評価を行った。

また，これらの結果・成果や得られた課題を踏まえ，地方の自動運転サービスの運行管理者が自動運転サービスの展開を図ることが可能なシステムパッケージの検討・設計及び開発を行った。実験的な利用ではなく，実サービスとして現場で実践可能となるよう，クラウドサービス環境下でのサービスプラットフォームを成立させた。そして，このシステムパッケージを自動運転サービスの実証事業を行う地域において適用し，有効性検証を行った。

2 研究開発の内容

本研究は2019年8月より着手し，サービス・アプリの要件検討および開発，実証実験での活用・評価，地方での導入に向けたシステムパッケージの開発，自動運転サービスの社会実装への適用及び技術的要件の取り纏めを行い，2021年5月末に終了した。以下，各実施内容について説明する。

2.1. リファレンス・アーキテクチャモデルの各層へのマッピング，および検討対象とすべきデータ等の抽出

多様な地域のニーズがある中，一定のサービスレベルを確保しつつ，地方に共通した実情を踏まえ，対象としている全ての地域において適用できる運行支援システム（運行管理，ロケーション提供，予約システム等）を想定し，「機能」，「データ」，「アセット」をリファレンス・アーキテクチャモデルへマッピングするための検討対象・データの抽出を実施した。抽出した機能層，データ層およびアセット層の関係を図1に示す。地方の自動運転サービスには，路線や時刻表を持たず個別に乗客を出発地から目的地に輸送する自家用有償運送タイプと，予め決められた路線と時刻表に沿って相乗りで乗客を輸送するコミュニティバスタイプの2通りが考えられ，運行支援システムに必要な機能やデータもそれぞれに対応できる必要がある。

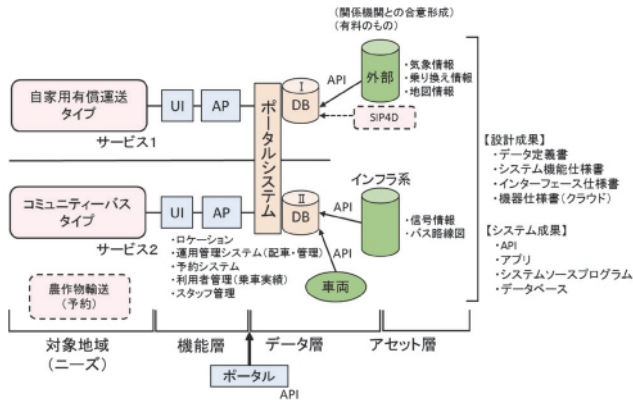


図1 機能層・データ層・アセット層の関係

2.2. 機能実現項目の抽出

地方の自動運転サービスに求められる機能について、地方における早期の必要性や汎用性などに着目し、地域課題やニーズを把握しながら、Stage1～3の3段階に層別した。機能実現項目の抽出結果を図2に示す。最も必要性が高いStage1として、位置管理、車内外映像による安全管理、予約機能および乗降管理機能を抽出し、今回はこれらを優先して要件検討および開発を行った。



図2 機能実現項目の抽出

2.3. 運行支援システムの要件検討と開発

抽出したStage1の機能を実現するため、支援システムの要件検討を行い、自動運転サービスの実証実験を行っている地域で評価するためのシステム開発を行った。

システムの構成を図3に示す。システムは、設置場所によって自動運転車の車内、管理事務所などの事務局、および一般利用者のスマートフォン等の端末の3つの部分から構成される。自動運転車の車内には位置情報（ロケーション）を収集する端末、自動運転車の前方及び車内の画像を撮影し車両監視するカメラ、乗客の乗降を記録するバーコードリーダが搭載されている。管理事務所に設置された事務局のPCで自動運転車の位置とカメラ画像をリアルタイムに見ることで運

行状況を監視し、安全な運行に寄与する。

一般利用者が自動運転サービスを利用するためには、事前に事務局で利用者登録を行い、乗車証の発行を受ける。乗車を予約する時は、利用者はスマートフォンから乗車証に記載された番号（セキュリティコード）を用いてログインし、メニューに従って出発地・目的地等を入力することで予約を行う。高齢者でも簡単に予約ができるよう、メニューの選択項目を少なくし、ボタンを大きく表示するなどの工夫を行っている。また、乗降時に乗車証をバーコードリーダで読み取ることで、システムは利用者がどの停留所で乗降したかを記録する。

事務局PCでは、自動運転車の位置やカメラ画像に加え、利用者からの予約情報や乗降実績、乗車券の購入状況等を表示する。さらに、スマートフォンなどの操作が不慣れな高齢者が電話で乗車予約する際の代理予約機能を備えている。



図3 運行支援システム構成

なお、本運行支援システムでは、予約機能で使用する運行ルート・時刻表などのデータ定義にGTFS-JP（標準的なバス情報フォーマット）を使用している⁽¹⁾。データを標準化された共通フォーマットに従って整備することで、複数の異なる地域の自動運転サービスを、共通のアプリケーションで動作することが可能になる。また、GTFSファイルをオープンデータ化することで、世界中の経路選択サービスから、自動運転サービスの停留所を対象とした経路探索や、他の公共交通機関への乗り継ぎを考慮した乗車予約が可能になり、地域住民の利便性を大幅に向上することができる。

2.4. 社会実装・実証実験での現場運用と評価

開発した運行支援システムを2020年3月から8月まで「道の駅かみこあに」（秋田県小阿仁村）の社会実装事業にて運用し、運行管理者、乗務員、利用者からアン

ケート及びヒアリングを行った。コロナ禍の影響で一時的評価ができない期間があったが、長期間の利用を通して多くの指摘事項や改善課題を収集した。これらの課題を解決するための最初のシステム改修を2020年8月に行うとともに、改修後のバージョンを基に「道の駅赤来高原」(鳥根県飯南町) 向けの運行支援システムを開発し、2020年9月~10月の長期実証実験で運用と評価を実施した。この2つの地域での現場運用を通じて、運行支援システムの実用化に向けた課題を抽出した。

抽出された課題と対応策について、機能層毎に整理したものを表1に示す。これらの課題を大別すると、地方に特有の環境(気候や通信環境)によるものと、自動運転サービスに関与する人(利用者や運行管理者)によるものに分けられる。前者については、特に「道の駅かみこあに」において、冬期の低温や積雪による不整路面の振動が原因で、長期間利用の間に車載カメラや通信システムの故障が発生したことから、車両への搭載方法や耐環境性を備えた機器選定が重要であることを経験した。一方、後者については、主たる利用者である高齢者のスマートフォン利用が予想以上に少なく、利用者予約の殆どが事務局への電話予約となり、スマートフォンによる予約数が伸び悩んだ。また、利用者だけでなく事務局のスタッフも地元の高齢者が多く、PC等の操作経験が殆どないため導入に苦労するケースが多かった。これらは事前にある程度予想されていたが、現場評価においてより一層の対策が必要であることが明らかになった。

表1 現場運用で抽出された課題と対応策

分類	課題	対応策
運行管理 (画像・位置)	・通信量が依然多く、通信料が高い ・民間サービスのためセキュリティが心配 ・冬季の低温でカメラ映像が映らなくなる	・通信量のさらなる低減 ・画像サーバを自前で持つ ・低温でも動作する安価なカメラの採用
乗降管理 (車両)	・搭載機器が多く、運転席周辺が混雑 ・乗降管理処理に手間取る場合がある	・複数の端末機能の統合(位置+乗降管理) ・操作をシンプルに、表示をわかりやすくする
予約管理 (事務局)	・電話や窓口での直接予約が多い →代理入力時のユーザー予約との連携不十分 ・事務局スタッフがIT機器に不慣れ ・視光、視察時の対応が不十分	・代理入力とユーザー予約との連携改良 ・事務局ソフトの表示・操作性の改良 ・複数人予約機能追加、運用マニュアルの改善
利用者機能 (スマホ予約)	・スマホ予約の利用数が伸びない (高齢者のスマホ利用小、PR不足) ・ユーザの多様な要望に応えられない ・動作が重い、予約できない等	・使い勝手・表示の改善、積極的なPR ・ユーザ要望に応える入出力機能の追加 ・ソフトウェア見直し、性能改善

2.5. 地方での導入を支えるシステムパッケージの開発

「道の駅かみこあに」「道の駅赤来高原」で取り組んだ成果を踏まえ、地方の自動運転サービスの運行管理者が容易に展開可能な「システムパッケージ」を開発した。これは、単なる実験的なシステムではなく、実サービスとして適用可能なシステムとして現場で容易に導入・継続利用できることを念頭において開発したものである。以下に特徴を説明する。

①クラウドサーバ、車載機器の機能統合

これまで個別に開発されていた各機能を単一のクラウドサーバ上に集約して実装し、事務局、車載器、利用者の端末側ではブラウザ上で動作するようにした。システムの新設、更新を現地へ赴かなくてもクラウド上で行えるため、新しい地域へのシステムの展開や保守を容易にした。

また、車載機器についても位置情報、監視カメラ、乗降管理などの機能を1台の車載器(タブレット)に統合した。構成部品が減ることで信頼性や搭載性が向上するとともに、導入時や運用時のコストを抑えるよう配慮した。システムパッケージの構成を図4に示す。

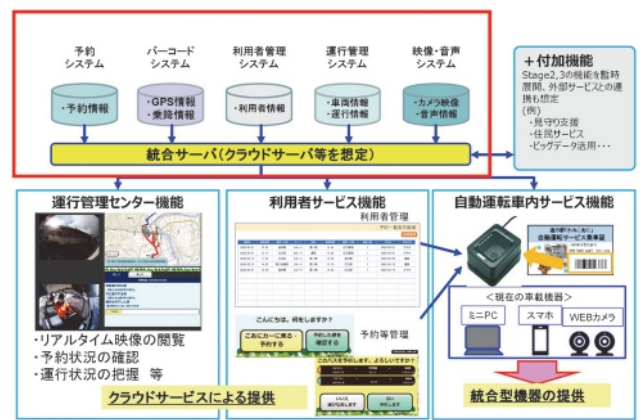


図4 システムパッケージの構成

情報機器に不慣れな地方の利用者や運行管理者にも使いやすいように、スマートフォンやPCの画面デザインを改良した。管理者向けのPCの利用者管理・予約管理機能については、メニューボタンの文字を大きく、アイコンや色使いを工夫することにより、直感的に選択できるよう改良した。一方、利用者向けのスマートフォン用画面では、縦長の画面で文字が小さくなる問題があったため、文字を大きくして高齢者が読みやすくなるよう画面を再設計した。改良した画面デザインの例を図5に示す。



図5 画面デザインの改良

③利用者予約、運行管理／乗降管理の改良

従来の利用者予約では、高齢者でも使いやすいようメニュー構成をできる限りシンプルにしていたが、情報機器に慣れた利用者からの要望を取り入れ、1週間先までの予約、複数人予約(上限4人)、往復予約、複数予約時の個別キャンセルの機能を追加し、きめ細かい予約ニーズに対応可能とした。

運行管理／乗降管理では、従来の位置情報、乗降管理に加えて、現在の位置情報と運行ダイヤを比較することで次のバス停の表示や遅れ時間を表示したり、予約情報に基づいて乗降予定者の数を表示したりするなど、運行管理者やドライバーを支援する機能を新たに追加した。また、これらの機能により、GTFSリアルタイム(GTFS-RT)への対応も容易に可能となっている。運行管理／乗降管理の改良を図6に示す。



図6 運行管理／乗降管理の改良

3 自動運転サービス社会実装への横展開

開発したシステムパッケージを各地域の自動運転サービスに展開するため、全国の道の駅を拠点に自動運転サービスの社会実装を進めているSIP自動運転恒久化コンソーシアムと連携し、各地域での実装を担当するメンバと情報交換しながら各地域向けシステムの実装を進めている。

2021年6月現在、既に評価を実施した「道の駅かみこあに」に加え、「道の駅奥永源寺溪流の里(以下奥永源寺)」(滋賀県東近江市)、みやま市役所山川支所(福岡県みやま市)の合計3か所で実装を進めている。ここでは、2021年4月から自動運転サービスを開始した奥永源寺の事例を述べる。

3.1. 奥永源寺でのシステム実装

奥永源寺では、2021年4月の社会実装開始に合わせ

てシステムパッケージをフル導入した。奥永源寺の自動運転サービスのルートを図7に示す。道の駅を起点として山間の集落を通り、鈴鹿十座の登山口(銚子ヶ口)に至る往復約4.4kmのルートであり、1日6便(日曜日は7便)が定時運行される。



図7 奥永源寺 自動運転社会実装ルート図

奥永源寺向けシステムの利用者予約画面の例を図8に示す。奥永源寺では道の駅の営業日である水、金、土、日のみ運行され、月、火、木曜日が運休となるため、予約メニューでは運休日を灰色とし、利用者に分かりやすく表示している。

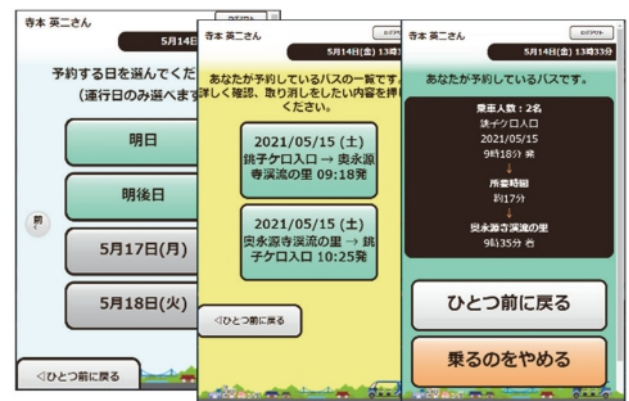


図8 奥永源寺 利用者予約画面

奥永源寺の車載機器の写真を図9に、管理事務所の運行管理システムの写真を図10に示す。4月のサービス開始から現在(6月)までシステムは順調に稼働を続けている。



図9 奥永源寺 車載機器(カメラ、タブレット)

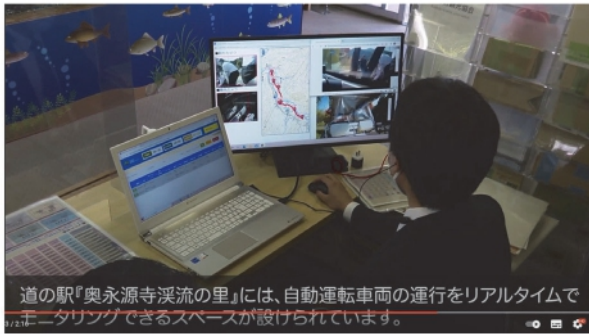


図10 奥永源寺 運行管理システム(事務局)

現在の残存課題は通信である。走行ルートの一部で電波状況が悪く、位置情報やカメラ画像の途切れが発生しているため、通信キャリアや通信装置の変更を検討している。中山間部の自動運転サービスでは、奥永源寺に限らず発生しうるため、地域毎の通信状況にフレキシブルに対応できる必要がある。

4 まとめ

「地方部における自動運転サービス」事業において、地域毎の固有の課題や導入目的の違いを超えて、サービスの導入や実装、運用がよりスムーズに行われるための運行支援システムを開発した。地方の自動運転サービスの管理者が容易に展開可能なシステムパッケージを開発し、これまでに3か所の道の駅を拠点とした自動運転サービスに展開しており、引き続き全国の自動運転サービスに横展開する予定である。

今回開発した運行支援システムは、研究開発メンバー間の協議により、愛称を「もびすけ」と命名された。これは「モビリティ運行管理 (Mobility Scheduling)」の略称であるとともに、地域の移動を「たすける」システムになって欲しい、という期待が込められている。今後は、「もびすけ」を、自動運転や各種モビリティサービスに活用するとともに、発展、継続運用するための体制づくりを進めて行く。

【参考文献】

- (1) 国土交通省 総合政策局 公共交通政策部：静的バス情報フォーマット (GTFS-JP) 仕様書 (第2版), 国土交通省,
<https://www.mlit.go.jp/common/001283244.pdf>,
 (参照 2021.06.27)

4 自動運転のある社会

(2)自動運転の社会的受容性

社会的受容性の醸成に向けた取組(概要)

荒木雄一，古賀康之（内閣府）

(概要) 自動運転車や自動運転技術を活用した物流・移動サービスの普及を進めていくためには、技術開発、制度整備に加え、社会的受容性を醸成していくことが重要である。SIP自動運転の社会的受容性の醸成活動では、自動運転に関する正しい情報の発信と自動運転の効果の定量化を中心に取り組むとともに、実証実験と連携させつつ、本活動をより効果的に進めるために長期的な視点で幅広いターゲットに向けた活動を行っている。

1 背景及び全体戦略

広く国民が自動運転という新たなイノベーションを受け入れ、安心して使用するようになるためには、自動運転に対する正しい理解を促すとともに、定量化した効果の提示や認知度の向上、さらには保険などの制度整備など多面的な取組が必要である。SIP自動運転では、主に情報発信と効果の定量化に力点を置きつつ、長期的な計画のもと幅広いターゲットに向けた取り組みを進めている。

情報発信に関しては、東京臨海部実証実験と地方部における自動運転移動サービスの実証実験という二つの実証実験と連動させるとともに、対象とするターゲットを明確化しつつ、双方向型の情報発信によるコミュニケーション強化を進めてきた。

また、東京臨海部実証実験に合わせた試乗イベント等を開催するとともに、地方部での移動サービス実証実験と連動したオンラインイベントなどを開催した。加えて関連する省庁のイベントとの連携も積極的に進めている。

一方、効果の定量化では、自動運転の普及による社会的・経済的インパクトを見積もる手法の開発を行うとともに、社会的受容性醸成活動そのものの効果を測定する手法の開発にも取り組んでいる。

2 Web/SNS等による情報発信

社会的受容性の醸成を図る観点から、東京臨海部実証実験の開始に合わせて、一般の市民等への情報発信、理解増進を目的として、2019年10月、「自動運転社会を考えるコミュニティSIP-café」^[1]を開設した。国際ジャーナリストである清水和夫氏による責任編集の下で、SIP自動運転を始め、自動運転に関する動画、一般向けの自動運転の情報をわかりやすく伝える記事、自動運転に造形の深い有識者による一般向けのコラム等を通じて積極的かつ継続的に自動運転に係る情報を配信している。開設以来、SIP自動運転を始め、関係省庁等における自動運転に関連する取組に係る記事を月平均で10程度以上をコンスタントに掲載するとともに、自動運転に詳しいコラムニスト等によるコラム、民間企業等の自動運転の取組等に関する記事を掲載している。

また、自動運転の実現による社会の未来像に関する動画や東京臨海部実証実験の実験参加者の実施内容等に関する動画の作成を始め、東京臨海部や地方部における実証実験、地理系データに関するアーキテクチャに係るポータルサイト(MD communit)やアプリコンテスト(KYOTO楽Mobiコンテスト)、仮想空間における安全性評価技術(DIVP)など、SIP自動運転の各施策と連動した情報発信も実施している^[2]。また、Twitter、Facebook等のソーシャルメディアと連動して双方向のコミュニケーションを促進している。

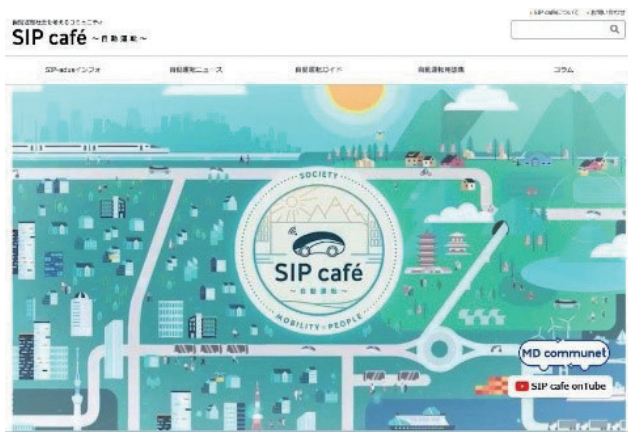


図1 SIP-Caféのウェブサイトトップページ

3 メディア/一般向けイベント

3.1. メディア/一般向けイベント

2020年11月、SIP自動運転の施策間連携を推進するため、東京国際フォーラムにて施策実施者の参加を得て成果報告会を実施した。本成果報告会は、SIP-adus Workshop2020の一環として開催し、英語資料や同時通訳により世界に向けてオンラインでも配信し、内外で1,000名以上が視聴した。

また、2020年10月には、弁護士による『自動運転関連の法律について』法整備ウェブセミナー、2021年3月には、国土交通省自動車局、自動車メーカーの専門家による「自動運転レベル3法改正と技術基準ウェブセミナー」を開催した。

2020年のオリンピック・パラリンピック東京大会に合わせて、東京臨海部実証実験の場を活用して、一般社団法人日本自動車工業会と連携した一般向けの試乗会及び実証実験の成果等に関する展示イベントの開催を予定していたが、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響を受けて延期することになった。

一方、新型コロナウイルス感染症の影響は受けつつも、2021年3月には、リアル会場とヴァーチャル会場のハイブリッド方式による中間成果発表会とシンポジウム形式のイベントを組み合わせた“未来を変える自動運転ショーケース”を経済産業省及び国土交通省の取組と連携し開催した。

中間成果発表会では、主として自動運転サービスに関わる事業者や技術者を対象としつつ、出来るだけ多くの方に理解できるような形で、SIP自動運転の中間地点における成果を一般に公開した。会場では、信号

情報、合流支援情報、車両プローブを活用した道路交通情報等の交通環境情報の構築と配信に係る技術開発の成果を始め、東京臨海部実証実験や中山間地域における実証実験で使用している車両、仮想空間における安全性評価環境や地理系データの流通ポータル構築等に関する実機や動画による成果展示を実施した。オンラインによるガイドツアーや3Dウォークスルーによるヴァーチャル展示なども試み、新たな生活様式(ニューノーマル)に対応したイベントにできた。

さらに、2021年4月には、東京臨海副都心地域において、メディアを対象として、東京臨海部実証実験参加者9社 約20台の車両提供の協力を得て試乗会を開催した。複数の自動運転車両を同時に試乗できたことから、メディアからも技術や考え方に対する理解が深まったとの評価を得た。

3.2. 市民ダイアログ

市民・地方自治体関係者・関係事業者等との対話型のイベントとして、シンポジウムや市民ダイアログを実施してきた。

特にSIP第2期においては、地域の社会課題解決を主要なテーマとして東京だけでなく、自動運転による社会課題の解決を目指している地方部においても開催した。

2018年12月、香川県小豆郡小豆島町にて「日本の未来図 小豆島～地域で創るモビリティサービス～」、2019年8月、SIP自動運転において実証実験を実施した長野県伊那市にて「ひと・まち・暮らしの未来を支える自動運転の役割～いつまでも住み続けたいまちの実現に向けて～」、2021年1月、群馬県前橋市にて「まちのありたい姿と自動運転」をテーマにそれぞれ開催した。

2021年3月の地域自動運転サミットにおいては、島根県飯南町、福井県永平寺町、秋田県上小阿仁村、沖縄県北谷町、滋賀県東近江市の首長から各自治体の取組と自動運転への思いを語っていただいた。続いて「地域の課題解決」及び「次世代公共交通システムと事業者の取組」として2部構成で、地域において自動運転に取り組むステークホルダー、公共交通事業者、自動運転のベンチャー企業等によるパネルディスカッションを行った。地方の様々なステークホルダーをWebで繋ぐという形式はオンラインならではのイベントとなった。

4 自動運転の効果の定量化

自動運転の技術レベルや普及状況などの動向を踏まえ、自動運転がもたらす効用と潜在リスクについてのオープンな議論の材料を提供することを目的として、自動運転のインパクトの整理・定量化の取組を行っている。

具体的には、経済学の研究者による交通事故や渋滞等の低減効果等の社会経済的なインパクトに係る定量的評価、SIP第1期に開発した交通事故削減効果を推計するシミュレーションの精度向上についての調査研究を行い、一定の結論を得ることができた。また医工連携による視野障害者への運転支援技術の有効性評価等に関する調査研究にも取り組み、高度運転支援システムの効果と運転における視野の重要性を明らかにした。

さらに、社会的受容性活動そのものの効果の測定手法の開発にも着手し、全国を対象として2020年1月、2021年1月に1万人規模のアンケート調査(経済産業省・国土交通省事業と連携)を実施した。継続的に同規模なアンケート調査を、毎年実施することにより、その経年変化を評価するとともに、アンケート調査結果から、社会的受容性のファクター(生活変化、学習、コスト、固有性・技術限界、事故時対応等)の現状を数値化するなどの分析を実施した。また、これまでのアンケート調査に基づき、KPI/KGI指標を作成した。今後も調査結果に基づき経年変化等を調査分析して、社会的受容性の醸成に係る取組を評価するとともに、取組にフィードバックする予定である。

【参考文献】

- [1] 動運転社会を考えるコミュニティ SIP-café <https://sip-cafe.media/>
- [2] S I P自動運転のホームページ <https://www.sip-adus.go.jp/>

【執筆者詳細】

荒木雄一、古賀康之(内閣府 科学技術・イノベーション事務局 SIP自動運転担当)

社会的受容性の醸成に向けた調査と評価

宮木由貴子 (株式会社 第一生命経済研究所)

自動運転技術の社会実装においては、技術開発と制度整備に加え、社会的受容性の醸成が不可欠である。消費者の正しい理解と柔軟で適切な対応が、技術の早期かつ有効な活用を促進するとともに、新しい道路交通システムの安全性を担保する。筆者は関係省庁と連携しつつ、数年にわたって自動運転に関する消費者意識調査を受託・実施し、その変化をフォローしながら、いかなる領域にどのような情報をどのように提供することが、効果的な社会的受容性の醸成につながるかを模索してきた。本稿では、これまでのアンケート調査の結果の一部と全国各地での定性情報収集の結果をもとに、①消費者における自動運転に対する意識の停滞、②運転支援技術の利用者における効果体感の低さ、③運転支援技術の利用者における機能理解の不足、④高齢者を中心とするモビリティニーズの高さと技術期待への不連携、④「コスト」「固有性・技術限界」面での低受容度について考察した上で、社会的受容性醸成におけるアクション評価チェックリストを提示し、共創体制の重要性を指摘する。

1 事業遂行フローと調査内容

1.1. 調査の背景と目的

自動運転技術の社会実装に向け、技術開発・制度整備・社会的受容性醸成はその3本柱であり、同時進行で行う必要がある。全国各地で自動運転の実証実験が行われ、技術的な検証や消費者ニーズの模索と共に、関連法の改正・施行など実用化に向けた制度整備が進められる中、利用者である消費者自身の意識喚起と理解は十分といえない実態がある。

第一生命経済研究所では、2016年から経済産業省・国土交通省事業「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：自動走行の民事上の責任及び社会受容性に関する研究」に筆者が有識者委員として参画し、この活動に合わせて、同年度より当社内にて、消費者理解を目的とした自動運転に関するアンケート調査を開始した。これをベースに、2019年1月(2018年度)調査からは経済産業省・国土交通省事業として本アンケートの定点実施を開始し、消費者の行動や意識の変化に関する時系列データを収集している。2020年(2019年度)調査では、ジョイント調査として本調査に内閣府SIPの調査項目を加える形で実施した。

さらに、経済産業省・国土交通省事業の一環として地方でのワークショップ(ワールド・カフェ)開催や、全国各地での自動運転の社会的受容性醸成に向けた講

演機会を活かして現地の声を収集するなど、定性データ収集も実施してきた。

本稿では2021年調査として実施した「第3回自動車・自動運転に関するアンケート調査」を中心に現状を概観し、社会的受容性醸成に向けたアクションにおけるKPI/KGI評価指標の作成・考案と、戦略策定に向けた提案プロセスを考察する。

1.2. アンケート調査の概要

アンケート調査の概要は、以下のとおりである。

■調査対象：全国の18-79歳の男女

24,583名(経産・国交省部分)

うち12,392名(内閣府SIP部分)

■調査時期：2021年1月

経産・国交調査 1/6-11

内閣府SIP調査 1/16-24

■調査方法：インターネット調査

調査は2度にわたって実施し、経済産業省・国土交通省調査として実施した調査サンプル24,583名に対し、内閣府SIP調査として再度調査を実施し、12,392名から回答を得てそれらをマージした。分析は主に18-69歳までで実施し、必要に応じて70代の分析を行っている。

本稿においては、内閣府SIP部分のみならず、上記の調査全体を通じた結果を紹介する。

1.3. 調査項目

調査項目については、内閣府SIP、経済産業省、国土交通省のほか、警察庁、消費者庁の協力・確認も得て作成した。主な内容は以下のとおりである。

【経産・国交省調査部分】

- ・ タイプ別自動運転総合受容度得点
- ・ 自動運転理解度
- ・ 免許有無・クルマ利用状況・利用タイプ
- ・ クルマ保有台数
- ・ 事故・ヒヤリハット経験
- ・ コロナによる交通機関利用変化
- ・ 普段行く場所・手段
- ・ コロナによる外出頻度変化
- ・ 加齢に伴う免許返納
- ・ サポカー・サポカー補助金利用実態
- ・ モビリティ環境
- ・ MaaSへの意識
- ・ 自動運転に関する意識・実態
- ・ 運転支援技術の利用状況・理解度
- ・ 自動運転サービスカーへの期待

【内閣府SIP調査部分】

- ・ 居住地に対する意識
- ・ 自動運転への項目別受容度
- ・ 自動運転普及に向けた理解協力意識
- ・ 具体的な自動運転サービス実現希望
- ・ 普及に向け利用者として行うべきこと
- ・ コロナによる移動制限状況と生活変化
- ・ 生活における移動状況満足度
- ・ コロナ感染拡大回避行動
- ・ コロナ感染拡大回避とクルマの可能性
- ・ ワークスタイル変化の希望(就労者)
- ・ 価値観・行動

* 下線のついたものは時系列項目

- 期待も不安もない無関心層の割合も固定化している。
- ② 現在、運転支援機能を活用している人における、機能搭載の意識や機能活用の度合いは低く、効果体感が弱い。すなわち、イノベーター、アーリーアダプターといった先駆的利用者からの波及効果が期待できない。
- ③ 現在、運転支援機能を活用している人における、各機能の理解度が低い。今後、シェア・サブスクリプションといった形態や、用途に応じた車両選択が行われることが期待される社会において、機能の十分な活用という点のみならず、利用上の安全性の点からも懸念が生じる。
- ④ 高齢者の現在の居住地における居住継続が、モビリティ面からみても課題であり、不安感が高い。高齢期の移動手段確保の観点から、運転免許返納が難しい地域も少なくなく、ドライバー不足も課題となる中、それらのテクノロジーによる解決に対する期待が高くない。
- ⑤ 自動運転の社会実装に関する負荷として「生活変化」「学習」についての受容性はある程度認められるものの、「コスト」「固有性・技術限界」への受容性が低い。

以下では、これらの点についてそれぞれ実態としてのデータを紹介する。

2.2. アンケート調査の結果より

(1) 期待と不安

自動運転の開発・普及による社会の変化に対する期待と不安についての回答をクロス集計したものを、2018年調査から比較したものをみると、多少の数値の上下はあるものの、それらの分布は大きく変わっていないことがわかる。

2018年からみても、国内の自動運転関連については、非常に大きな変化が生じている。技術的なアドバンテージのみならず、制度整備に関しては世界に先駆けて整えられてきた実態があるが、それらは社会的に認識されているとはいえ、「日本は後れをとっている」との見方すらあるのが現状である。

留意したいのは、ここで「不安あり」を減らすことにはあまり大きな意味はないという点だ。むしろ、期待と不安が両立するのは健全な状況であるといえ、新しい技術を社会に浸透させていく上で、一定の不安感を持った上で慎重に進めるのは有効である。期待も不安もないという「無関心層」を今後いかに巻き込み、

2

調査結果からみられた社会的受容性醸成における課題

2.1. 課題

調査結果から、自動運転技術の社会実装に向けた社会的受容性の醸成に向けた課題として、以下の点が挙げられる。

- ① 自動運転の開発・普及による社会の変化に対する期待と不安の分布はこの数年でほとんど変化がなく、

様々な形で課題となることが必至のモビリティについて、自分事ととらえてもらえるかが重要となる。

だとすれば、情報として重要なのは、自動運転の不安を払拭することではなく、まずは今なぜ自動運転がソリューションとして必要なのかという“WHY”の認識と、自動運転とはどういうものかという“WHAT”の理解であると考えられる。

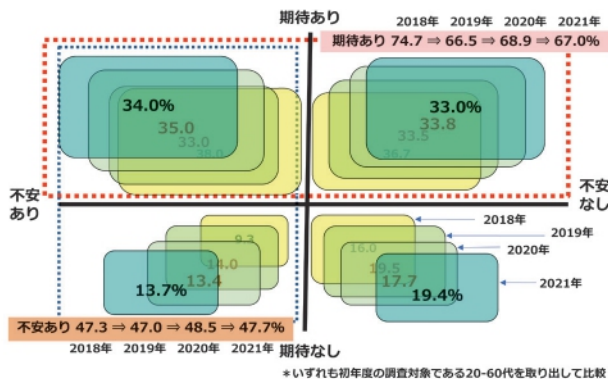


図1 自動運転の開発・普及による社会の変化に対する期待と不安

(2) 運転支援機能の認知度と利用状況

こうした状況の中、その延長上に自動運転があるといえる「運転支援機能」について、消費者はどのようにとらえているのだろうか。

「衝突被害軽減ブレーキ」「ペダル踏み間違い時加速抑制装置」「定速走行・車間距離制御装置」「車線維持支援制御装置」「駐車支援システム」の各機能について「知っている」とする割合は、2019年に比べると2020年・2021年で高い傾向にあるが、大きな伸びは見られない。

また、各機能が搭載された自動車の利用率についても、徐々に伸びてはいるが、大きな変化は見られない。運転免許保有者の24.8%が自身の利用する自動車について「機能がついているかどうか不明」と回答しており、搭載の認識をしていないことも特筆すべき点である。

「衝突被害軽減ブレーキ」「ペダル踏み間違い時加速抑制装置」が搭載されている自動車を利用している人については「機能がついていることを普段認識している」か否かを、「定速走行・車間距離制御装置」「車線維持支援制御装置」「駐車支援システム」が搭載されている自動車を利用している人については「機能を普段利用している」か否かを尋ねたところ、肯定した割合は全体的に4割から6割未満にとどまっており、利用率や搭載への意識はあまり高くないことが確認された。

現在、これらの運転支援機能を活用している人において、機能搭載の意識や機能活用の度合いが低いことは、それらの効果体感が弱いことを意味しており、イノベーター、

アーリーアダプターといった先駆的利用者による周囲への波及効果があまり期待できないことを意味している。

	機能を知っている			機能のついた自動車を 利用している			機能を普段 利用している*	
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2020	2021
衝突被害軽減ブレーキ	68.8	73.8	69.9	17.8	18.5	20.7	56.1	56.8
ペダル踏み間違い時 加速抑制装置	49.8	61.1	54.6	7.9	7.5	8.5	56.7	56.0
定速走行・車間距離 制御装置	48.9	54.1	51.1	10.5	10.7	12.1	55.2	51.5
車線維持支援制御装置	44.5	50.6	47.5	7.8	9.1	10.4	52.3	51.8
駐車支援システム	48.2	52.0	49.3	3.9	4.8	5.5	42.5	44.4
どれもない	24.2	20.4	23.4	-	51.7	48.4		
機能がついているか どうか分からない	-	-	-	23.7	24.8			

注:「衝突被害軽減ブレーキ」「ペダル踏み間違い時加速抑制装置」については「機能がついていることを普段意識」

図2 運転支援機能の認知度と利用状況

(3) 運転支援機能の利用者における理解度

さらに、各運転支援機能についての理解度について尋ねた結果をみると、「詳しい説明を受け、理解した」とする人はいずれも3割未満にとどまっており、「詳しい説明を受けたが、あまりよくわからなかった」「詳しい説明を受けたがわからなかった」「詳しい説明は受けなかった」の合計で3~4割を占めている。

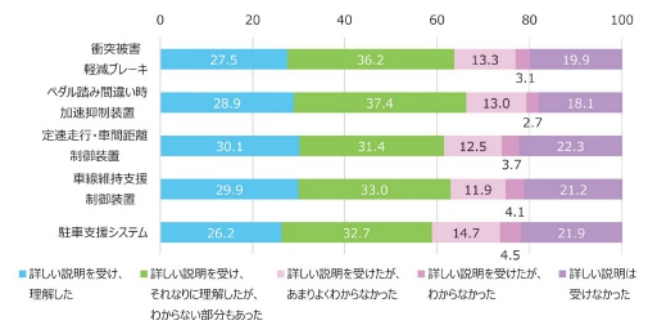


図3 運転支援機能の利用者における理解度

現在、運転支援機能を活用している人における、各機能の理解度が低いことは、今後、シェア・サブスクリプションといった形態や、用途に応じた車両選択が行われることが期待される社会において、機能の十分な活用という点のみならず、利用上の安全性の点からも懸念が生じる可能性があるといわざるを得ない。

(4) 高齢期の移動課題に対する意識

一方で、高齢期の移動課題に対する人々の意識は高い。「高齢期に自由に移動ができることで、生活の質が上がる」(74.1%)、「高齢期に自由に移動ができることで健康寿命が延びる」(69.2%)と考えている人は多い。また、「高齢期は、今住んでいる地域に住み続けたい」(58.2%)と考えている人は高齢になるほど顕著に多いことが確認されている。

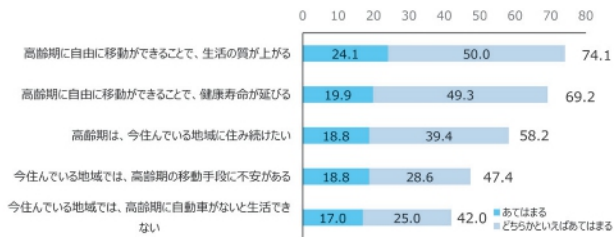


図4 高齢期の移動課題に対する意識

高齢者による運転の安全性が課題となる中で、運転免許の返納が社会的に注目されている。身近に免許返納が必要だと思う人が「誰かしらいる」割合は27.4%を占めており、内訳としては「自分の父親」が31.8%を占めてトップとなっている。免許返納が心配だと思う人の今後についての意見としては、「いかなることがあっても、運転を止めない」「事故や危ない目にあうなど、危険な体験をするまでやめない」「カギや免許証をかくすなど、誰かがむりやり運転を止めさせるしかない」の合計で約3割を占める。一方で、「代替交通機関の確保がされれば返納すると思う」は約2割となっている。

これらの結果をみると、オーナーカーの自動化の機能を高めることで安全性を強化し、個人の運転寿命の延伸をはかると同時に、サービスカーの普及による自家用車の代替移動手段を確保することを平行で進めるなどして、モビリティの多様性を高めていくことが重要であると結論づけられる。

(5)自動運転の「何を受容するのか」を考える

自動運転の社会的受容性を考えるにあたり、消費者が具体的に何を受け入れていくことが求められるのかを考え、以下の①～④のとおり、4つの要素ごとに考察した。

- ① 生活変化：自動運転の普及による様々な生活の変化の受容
- ② 学習：自動運転の普及に向けた学習負荷の受容
- ③ コスト：自動運転の普及における様々なコスト負担の受容
- ④ 固有性・技術限界：自動運転特有の性質や技術の限界・リスクの受容

それぞれについて実態を探ったものが以下の図表となる。これらについては、性別、年代、都市規模などの各属性や状況等によって差がみられており、各結果を俯瞰しながらのアクション提言も行っている。

	受け入れられる	どちらかといえば受け入れられる	どちらかといえば受け入れられない	受け入れられない
自動運転車の安全な走行のために、路上駐車や割り込みを制限するなど、新たなルールを設けること	33.5	53.9	9.8	2.9
自動運転車の安全な走行のために、歩行者・自転車・他の車がこれまで以上に交通ルールに配慮すること	33.7	53.0	10.1	3.2
自動運転バス(公共交通)の利用や乗降において乗客同士が助け合うこと	24.2	58.5	13.2	4.1
自動運転バス(公共交通)の走行ルートやルールについて地域の住民も積極的に検討に関わること	20.4	59.0	16.4	4.3
自家用車ではなく自動運転バス(公共交通)に乗るためにはバス停まで行かなければならないこと	19.7	47.1	24.0	9.1
自家用車を手放して、自動運転バス(公共交通)を使うこと	17.8	36.9	29.7	15.7

図5 生活変化の受容

	受け入れられる	どちらかといえば受け入れられる	どちらかといえば受け入れられない	受け入れられない
自動運転車の「使い方や利用方法」について自動運転を「利用する人」が理解しなければならないこと	34.4	53.3	9.6	2.7
自動運転車の「特徴や限界」について自動運転を	「利用する人」が理解しなければならないこと	34.2	53.8	9.5
	「利用しない人」も理解しなければならないこと	26.8	54.9	14.6
自動運転車の「事故の際の法的な責任」について自動運転を	「利用する人」が理解しなければならないこと	33.0	53.4	10.7
	「利用しない人」も理解しなければならないこと	27.0	53.9	15.1

図6 学習負荷の受容

	受け入れられる	どちらかといえば受け入れられる	どちらかといえば受け入れられない	受け入れられない
自動運転バス(公共交通)を走らせるために税金で道路などの整備を行うこと	16.9	56.4	19.7	7.0
自動運転の自家用車を走らせるために税金で道路などの整備を行うこと	15.9	54.9	21.8	7.4
自動運転の自家用車の購入にあたってこれまでの自家用車に比べて高額になること	12.1	41.0	32.1	14.7
自動運転バス(公共交通)によりバスの便数は増える一方で料金が従来のバスより多少上がる	11.0	41.7	35.1	12.2
自動運転の自家用車の保有にあたってこれまでの自家用車に比べて高額になること	12.1	38.4	33.6	15.9

図7 コスト負担の受容

	受け入れられる	どちらかといえば受け入れられる	どちらかといえば受け入れられない	受け入れられない
自動運転車の判断が、自分が行うであろう判断と必ずしも同じではないこと	16.0	53.4	23.8	6.8
自動運転車の実用化において技術的に100%安全であるということはないこと	18.9	47.8	24.1	9.2
自動運転車は交通ルールを守り法定速度以下で走行したり安全を優先するため、周囲の交通の流れに乗れない可能性があること	14.4	51.8	26.7	7.1
自動運転バス(公共交通)は、安全な走行のためにセンサーによってしばしば停止して安全確認をするなど運転手のいるバスより目的地につくまで時間がかかること	13.2	51.6	27.5	7.7
人の不注意による事故は大幅に減るが自動運転車の誤作動による事故の可能性があること	12.0	39.6	32.7	15.8

図8 固有性・技術限界の受容

この4つの受容性の結果から項目を選別し、それぞれ合成得点を作成したもので、時系列比較を行っている。それによると、生活変化や学習についてはこの2年で受容性が上がっている傾向がみられるが、コストと固有性・技術限界についての受容性については変化が小さい。これまでの調査結果からも、自動運転によ

る社会変化や学習についてはある程度受容したとしても、それによりコスト負担が増えることや自動運転ならではの事故発生の可能性などについては否定的な意見が多く、これらについてどう理解を求めていくかが今後の自動運転の社会的受容性醸成のカギとなることが想定される。

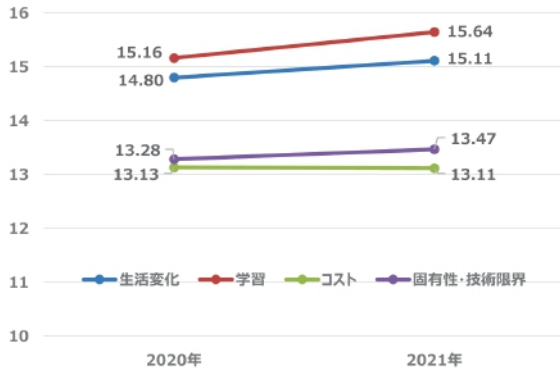


図9 各受容性の時系列変化

3 社会的受容性醸成におけるKPI/KGIをどうとらえるか

3.1. KPI/KGIを定量目標としてたてることの限界

こうした実態を踏まえ、内閣府SIPからの委託事業として、当社では社会的受容性醸成評価のKPI/KGI指標作成を受託し、検討してきた。

自動運転の社会的受容性醸成においては、まずその認知度を上げる必要があるといえる。しかし、認知度の向上と受容性の醸成は必ずしも正の相関関係にあるとは限らず、例えば、情報を得たとしても非受容のスタンスを変えない人もいれば、自動運転についてよく理解しないまま受け入れていた人が、情報を得たことで非受容に転じることもある。

そのため、まずは図10下部のようにPHASE 1として消費者の情報量を増やし、理解度を上げるアクションが必要となるが、その際に理解した上で非受容というスタンスをとる消費者において、どのような要素が受容されどのような要素が受容されていないのかという中味を把握する必要がある。そして、受容されていない要素に対する個別の課題検討をし、対策を講じるなどの解決策を模索する必要がある。その上で、同図のPHASE 2のように、理解した上で非受容という消費者に対しても理解を求め、消費者の積極的な課題解決への関与などを通じて協調する道を模索することが必要となると考えられる。

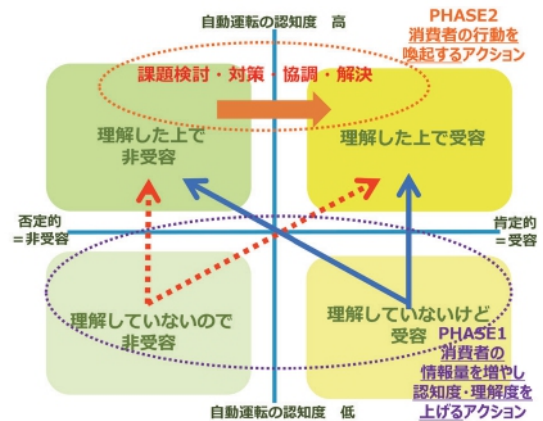


図10 認知度と受容度

こうしたフローを鑑みると、KPI/KGIとして数値目標をたてることには慎重にならざるを得ず、定性目標としてアクションの質を整えていくことが効果的であるとの判断をし、了承を得た。

3.2. 社会的受容性醸成に向けたアクション評価

社会的受容性醸成に向けて行うべきアクションとしては、具体的実施するイベントや情報発信において、その対象を明確にし、その対象に応じた情報の選択、情報の加工、発信メディア選定が不可欠となる。さらにそのベースとして各対象の理解が重要となる。そうした観点を盛り込み、表1のフローとしてプロセスを整理した。各受託者はこのフローに基づいて各アクションを検討するほか、このフローに沿って既に実施したアクションの課題を振り返り、それらの情報を受託者同士で共有する機会を創出した。特に2020年度はCOVID-19による制約が多い中、各事業者が方針転換や新方式を検討したが、それらが共有されたことで課題の抽出とアイデアの共有が積極的に行われた。とかく事業者ごとに独立した作業となりがちな中、こうした媒体を通じて情報交換ができたことは、特にコロナ禍で模索が続いた時期に共創体制を構築する上で有意義であったと感じている。

3.3. 具体的事例からみられる受容性醸成のヒント

こうしたアクションを通じ、将来的に目指す社会的受容性醸成のあり方とはどのようなものなのだろうか。

人口減少や高齢化によりモビリティ課題に直面する自治体として、自動運転をコミュニティに取り入れている茨城県境町の事例からは、いくつかの興味深いヒントが得られている。デザイン性の高い外観の自動運転車は、手段としてのモビリティにプラスアルファの

活動項目(FIX項目)	チェック項目(毎年更新)
1 全体フレームと 個々のプロジェクトにおける 戦略作成・連携 <Frame & Strategy>	1 1. 既存情報・状況・昨年度成果を踏まえ、中・長期的かつ包括的な戦略を立てた上で、年間の活動計画を策定しているか
	2 それぞれのプロジェクトが明確なゴールを見据えたプロセス策定を行っているか
	3 プロジェクト同士が無駄や重複なく連携しているか(網羅性、適切なターゲット選定等)
2 対象・土壌に関する 情報収集・理解 <Target Grasp>	1 社会的受容性を醸成しようとする対象(社会・地域・人など)についての情報収集と理解が事前に十分に行われたか
3 発信情報の選定・編集・加工 <Adaptation>	1 情報発信に向けて、当該対象に合わせた適切な情報選定について検討されたか
	2 情報発信に向けて、当該対象に合わせた適切な編集・加工が行われたか
4 情報発信手段・メディア・場 <Means>	1 当該対象に対して行う情報発信において、適切な情報発信手段・メディア・場が用いられたか
	2 SOCIETY 5.0 視点(フィジカル/バーチャルの融合)は意識されたか
5 体験機会創出・UX <Experience>	1 リアリティのある顧客体験により、当該対象が課題を自分事化する機会を創出できたか
6 フィードバック・双方向性 <Communication>	1 発信情報に対する相手からの反応や対象とのやりとりを通じ、発信情報のインパクト検証ができたか
	2 発信情報に対する相手からの反応や対象とのやりとりを通じ、発信情報の内容・手法に関する改善点発見、新たなアイデア会得につなげられたか
7 情報拡散・社会的関心 <Expansion>	1 活動の内容や発信情報を、マスメディア・SNS等での関連情報拡散につなげられたか
	2 人から人への情報伝達という派生効果を創出できたか
	3 既利用者の満足度向上による「インベーター、アーリーアダプター」としての牽引効果を引き出すことができたか
8 消費者における理解 <Understanding>	1 自動運転・ADAS機能に関する消費者の理解度は向上したか
	2 自動運転・ADAS機能について理解しようとする消費者の内発的な行動を喚起できたか
9 消費・利用行動 <Use>	1 消費者が社会課題や自らの状況を理解し、それを関連商品・サービス・機能の購入に結び付けているか
	2 既に保有している商品・サービス・機能の利用を開始したか
10 消費者における社会的受容度 <Acceptance>	1 消費者が、自動運転導入によって生じる可能性のある要素それぞれを受け入れる姿勢を見せているか ①生活変化 ②学習 ③コスト ④固有性・技術限界

表1 アクション評価シート

価値を創出し、子どもを中心に人と人をつなげる効果を生むなど、自動運転車がモビリティの創出という一義的な効果だけでなく、コミュニティのアイコンとしても機能している。こうした効果は、自動運転と住民の距離を縮め、低スピード走行等の技術的ハードルを心理的に緩和し、乗客のみならず周囲の交通参加者の受容を醸成している。住民によるバス停用地の無償供出や乗降の見守り、路上駐車減少という形で、町民自身が新しいモビリティの技術活用を自ら模索し、育成する姿勢を持つことで、自動運転の技術限界や固有性をカバーしているのである。

また、筆者がオーストラリアのアーミデールで自動運転車を試乗した際にも同様の発見があった。やはり高齢化などの課題を抱える当該地域においても、日常の移動手段としての自動運転の可能性が模索されている。ここで自動運転サービスカーに試乗した際、周囲の車にセンサーが反応することから、ラウンドアバウト(環状交差点)への侵入ができず、数分立ち往生したことがあった。しかしこの状況の自動運転サービスカーに対し、列となった後続車からはクラクションな

どのアクションは特段見られなかった。自動運転車の地域における必要性和、その特性・限界をある程度受け入れているからこそ、こうした動きができるのだろう。

いずれの事例も、なぜ自動運転技術を導入するのか、なぜ課題解決のソリューションとして「自動運転」なのかという“WHY”と、自動運転がどのようなもので何ができる／できないのかという“WHAT”を、それぞれの地域の人がそれなりに理解した上で、内発的に“HOW”を考えているからこそその受容であると考えてよいだろう。こうしたフローをたどることで、アンケート調査結果の部分で指摘したような、社会的受容性醸成における課題の打開に向けた糸口がみえるだろう。

3.4. 研究から得られた示唆

今後の自動運転社会の社会的受容性醸成において、特に課題となる「コスト」と「固有性・技術限界」の受容に向けた示唆を以下にまとめる。

(1) コスト受容について

コストの受容度を上げていくのは容易ではなく、特に高齢者に対してこれまで体験してこなかったコスト負担について理解を求めるのは難しい。自家用車は、単に移動している時だけにその効果を発揮しているわけではなく、例えば駐車場に止まっても、「いつでも乗れる」という心理的安心感や所有欲という側面での消費効果も大きい。よって、自家用車を手放すことにより、コスト負担がなくなった分を、公共交通の費用負担に振り向けるという理屈は、心理的に見て簡単には受け入れられない可能性が高い。

このように捉えれば、新しい移動手段に関するコストを運賃収入だけで回収していくマネタイズモデルは、現実的に難しいと言わざるを得ない。しかし、モビリティの向上にはそれ自体で大きな価値があるといえる。例えばコミュニティの回遊性向上による経済効果に加え、高齢者が移動の機会を喪失しないことによるフレイル予防効果や健康寿命の延伸効果も期待できる。こうした効果が、結果として社会保障費用の低減を実現することまで視野に入れば、移動手段整備に公的資金を用いる根拠ともなるだろう。さらに、モビリティ環境の向上による消費者のウェルビーイング実現などの非財務価値まで含めて捉えれば、社会的に十分に価値があると理解されるケースもあると考えられる。今後、社会的受容性の醸成に向けた文脈形成にあたっては、こうした多面的かつ長期的な視野を試算などによ

て可視化しながら盛り込んでいく必要がある。

(2)固有性・技術限界の受容について

ヒューマンエラーが必然であるように、システムエラーもまた必然といえる。100%の技術というのはあり得ない。しかし、人間に限界のある部分をテクノロジーがカバーすることは可能であり、テクノロジーの限界を人が理解していればそこを人がカバーすることもある程度可能である。消費者が技術の必要性(WHY)と固有性や限界(WHAT)を理解した上で、自ら方法(HOW)を模索し、その限界を補完する動きが期待できる。こうした、消費者による技術限界の補完は、従来の自動車においても、安全管理やシートベルトの着用、制限速度の遵守などといった形で日常的に実施されているものでもあるといえる。

Society5.0は、サイバーとフィジカルを融合させて社会課題の解決に臨む社会とされる。新しいテクノロジーを活用し、その限界や欠点を人間が補うスタイルをとることで、限りなく100%に近いテクノロジーの実現を待つよりも、ずっと早期に社会課題の解決をもたらすことが期待できる。自動運転の社会実装における社会的受容性の醸成とは、そうしたSociety5.0のあり方を体現できるものであると考える。

今後の社会的受容性醸成においては、こうした視点を盛り込みつつ、省庁間の連携、中央と地方の連携、企業間の協調を図りながら、産官学に「民」を加えた形で、生活者にとっての効用を表した自動運転社会のグランドデザインをまず提示すべきである。そのうえで、生活者のウェルビーイングの視点から立体的ソリューションの創出に向けた対話を重ねることが重要であると考えられる。

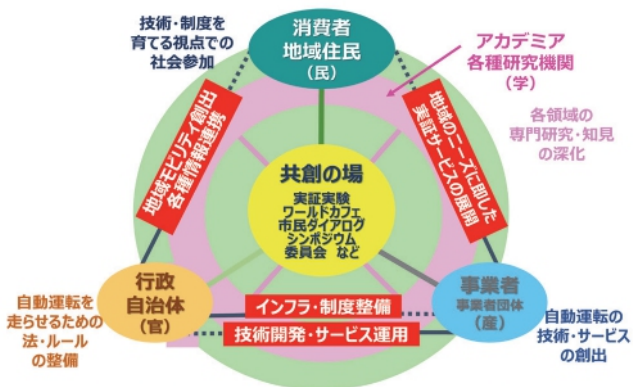


図11 産官学民の共創体制

【参考文献】

- (1) 宮木由貴子：「社会における自動運転の受容に向けてー消費者の主体的な関与による社会課題解決を目指してー」自動車技術、Vol.73, No.2, p.32-38 (2019)

【執筆者詳細】

宮木由貴子・(株)第一生命経済研究所・ライフデザイン研究部長 兼 主席研究員

視野障害を有する者に対する高度運転支援

高橋政代（理化学研究所）、青木宏文（名古屋大学）、伊藤誠（筑波大学）

（概要）本事業は、視野障害者の運転に対して支援システム利用による安全性確保を担保するための方法論を確立し、それを周知啓発することを目標とした。まず、医療機関において、ドライビングシミュレーター(DS)を用いたデータベースを構築し、視野障害特有の事故要因を明確化し、次に事故リスクに対して自動ブレーキや音声支援をはじめとする運転支援システムの支援条件を検討した。それらの結果を用いて、運転支援システムの有用性・有効性について、視野障害者を例として社会や関係各所に広く情報発信し、高度運転支援システムの普及と安全意識を向上することを行なった。特に、簡易型DSの結果をSelf Organizing Map(SOM)解析により、視野障害のパターンと起こしやすい事故の場面を明らかにすることができた。また、簡易型および高精度DSを用いて視野障害者においても、高感度のセンサーと自動ブレーキ、あるいは状況ではなく指示を音声により知らせることにより事故を軽減させることができることを示した。一方で、事故を完全に防ぐことのできない自動ブレーキではかえって事故が増える可能性も見ることができた。さらに簡易型DSの結果を用いて初めての運転外来を2つの眼科施設で開始し、社会への発信を開始した。

以上のように現在の視野障害者の運転という課題を発掘し、それを解決する糸口を提示した。視野障害者の運転に対する当事者及び眼科医の対応の啓発が必要であり、さらにこれらの結果をもって一般社会、産業界、省庁に向け全方向への働きかけが重要である。技術的な解決だけでなく、車の表示やルールなどソフト面も加味して課題解決につなげたい。

1 背景

視覚障害には視力障害と視野障害がある。世界における免許制度を見ると、視力に関しては、欧米では多くは矯正視力0.5以上、カリフォルニア州については0.1以上と視力が高度に低下した場合でも免許取得が可能であるものの視野に関しては基準がある国が多い(米国の34州⁽¹⁾、ヨーロッパの23カ国⁽²⁾)。それに対して日本は視力に関しては厳しく、両眼で矯正視力0.7以上が求められている。しかし、視野に関しては両眼で矯正視力0.7以上、かつ一眼の視力が0.3以上であれば視野検査は行われない。そのため、顕著な視野障害があっても中心視力は比較的末期まで保たれる緑内障患者や網膜色素変性患者では、現在の基準では、運転免許を取得することは十分可能となっている。

日本では緑内障患者が多く40歳以上の20人に1人が罹患しているとされており(多治見スタディ他)⁽³⁻⁵⁾、重症となると様々なタイプの視野障害が存在するが、視野狭窄が何十年もかかってゆっくり進行するため、視野が狭くなっていることを自覚していない患者が多く存在する。國松らは、病院で簡便に検査できるドラ

イビングシミュレーターを用いて15の危険場面で、事故の有無、ブレーキ反応時間を記録することにより視野障害者の運転に関する危険度の研究を行なった。その結果、視野狭窄のある後期緑内障患者36名と年齢と運転時間をマッチングした健常者36名で比較した所、後期緑内障患者での事故率が有意に高かった⁽⁶⁾。

また、網膜色素変性⁽⁷⁾は視野が中心部を残して徐々に狭窄する疾患であるが、医療側は80%の患者に運転しないように説明しているが、13%が自動車を、6%がバイクを運転しており、その内の55%が運転中に何らかの事故を起こした経験があるという調査がある⁽⁸⁾。

しかし、同じ視野障害でも全く事故を起こさない人も多く存在し視線の移動によって視野の狭さをカバーできていると考えられる。法的に運転する権利を持っており、免許がなくなることで生活の基盤を失う人たちに即座に運転を禁止することはできず、危険を説明し説得する困難さに直面している。また視野狭窄による事故という概念はなく警察では全て「前方不注意」として処理されている。視野障害者が運転しているという課題認識がないことは問題である。

平成29年1月から「高齢運転者交通事故防止対策に関する有識者会議」が開催され、高齢者の特性が関係す

る交通事故を防止するために必要な方策について幅広く検討されている。その中で、高齢者に多い視野障害などの対応として、1、視野と安全運転の関係に関する調査研究の実施 2、視野障害に伴う運転リスクに関する広報啓発活動の推進 が提言され、高齢者講習時の視野検査機器を新たに開発する方向で調査研究が進んでいる。

車の運転には認知、判断、動作の3ステップがあると言われるが、認知の前に知覚の段階があり、視覚障害の場合では知覚と認知の段階を切り離して考えることができる。昨今問題となっている認知症の運転では、日本に多い緑内障などの知覚に障害のある場合も含まれていると考えられ、知覚と認知の切り分けがなされていないという問題もある。知覚のみの問題である視野障害者の運転という課題は自動運転のニーズとして日本が世界に先駆けて認識し解決することで、自動運転の導入に寄与することができるかもしれない。

2 目的

医工連携による視野障害-自動車運転の影響及び高度運転支援機能による運転支援効果を明らかにし、視野障害者の安全なモビリティ確保と交通事故低減に資する。

実施者らが開発してきた眼科用簡易ドライビングシミュレーター (S-ナビ) を用いて効率よく視野障害者・健常者の運転行動データを収集し、視野障害部位・程度に応じた視野障害者特有の事故要因を特定する。

また、その結果を活用して、視野障害者にとって真に有用な運転支援機能を明確にしたうえで、その機能を高性能ドライビングシミュレーター上に実装し、その事故低減効果への有効性を検証する。

さらに、視野障害者の運転支援システム利用による安全性確保を担保するための方法を検討し、この課題と解決策を周知啓発する。

3 SIPでの取り組み

3.1. 視野障害者・健常者運転データベース構築

(1) ドライビングシミュレーター (S-ナビ)

視野障害を有する者特有の事故頻度について眼科外来に設置したDS (眼科用に設定した本田技研工業製のHondaセーフティナビGE (Sナビ)) (図1) を用い

て検証した。Sナビではアクセルを踏むことにより速度が上がるが、ハンドルで方向を変えることはできず直進とブレーキのみが操作できる検査である。ハンドルを握ることにより臨場感が得られる。モニタ上に風景と様々な障害物や赤信号など事故を起こしやすい場面が15箇所設定されており(表1)、視野障害により生じやすい事故を検証することができる。

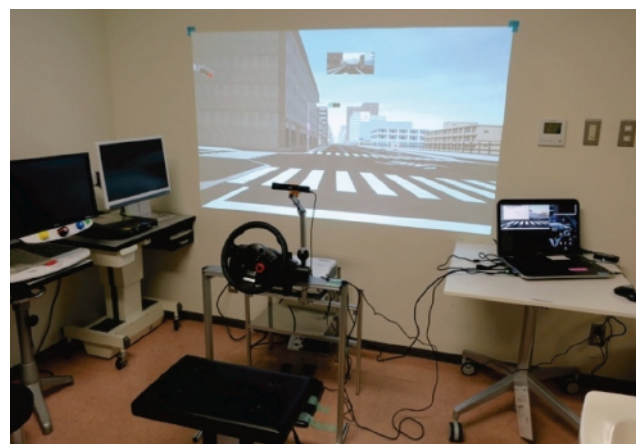


図1 病院に設置した簡易型DS(Sナビ)

2018年度に神戸アイセンター病院、新潟大学、東北大学の3医療機関の倫理審査を経て、2019年2月より本課題の被験者データを収集した。また、研究分担者の異動に伴い、西葛西井上眼科病院も同様にデータ収集を7月より開始した。

研究期間中に神戸アイセンター病院108例、東北大学44例、新潟大学113例、西葛西井上眼科55例が得られた。これに警察庁の調査研究のデータ116例の2次利用と合わせて計436例のデータベースが得られた

番号	自車速度	ハザード
H1	50km/h	赤信号
H2		道路外左から自動車横断
H3		信号交差点对向右折車
H4		道路外右から自動車走行車線合流
H5		赤信号
H6		道路外左から自動車横断
H7		信号交差点对向右折車
H8	40km/h	信号なし交差点左方右折車
H9		赤信号
H10	30km/h	道路外右からシニアカー横断
H11		一時停止標識
H12		信号なし交差点左から自動車直進
H13		信号なし交差点左からシニアカー横断
H14		一時停止標識
H15		信号なし交差点右から自動車直進

表1 走行ハザード

(2) 視野障害者特有の事故要因の明確化

これらの結果についてデロイトトーマツの協力を得て、AIを用いた新しい解析法を開発した。被験者は年齢・性別といった一般的な身体特徴量や、視力・各視野領域の感度といった眼科診察に基づく特徴量、各場面での事故の有無のような運転特性に基づく特徴量など、100次元近い特徴量を持っている。Self Organizing Map (SOM)を用いることで、互いに「似た」被験者が近距離に配置されるような制約条件に基づき、シンプルな特徴量空間（ここでは二次元平面）にマッピングがされる。さらに、マッピング後の被験者をクラスタリングし、互いに特徴の類似する被験者を視野障害のパターン別にまとめて大きくクラスタに分類すると、被験者ごとの特徴差の理解が容易になり、各場面の事故と視野障害のパターンを検討できるようになる(図2)。こうして視野障害に関する臨床所見のクラスタリングを実施したのち、DSシナリオにおいて事故回避ができたか否かの結果を重ねたSOM解析を実施し、視野障害の種類とリスク回避可否について可視化した。

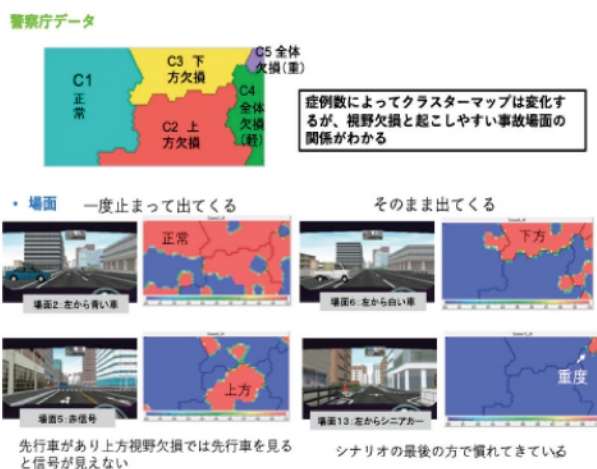


図2 Self Organizing Map (SOM) 解析

例えば、視野障害のパターンと起こしやすい事故の場面の関係を見ると、左から車が一旦止まってその後飛び出す場面2では視野正常の被験者でも事故を起こしやすいのに対し、左から止まらずに出てくる車に関しては下方視野障害の被験者で事故を起こしやすかった(図2)。赤信号を無視する事故は上方視野障害、シナリオの最後近くに出現する場面13では重度の視野障害のみ事故を起こしていた。このように起こしやすい事故が視野障害に紐づけられることとともに、視野障害があっても重度でなければ事故を起こさない場合も多くあることが確認された。

3.2. 事故を低減できる支援条件の明確化

(1) 簡易DSによる検討

視野障害による特有の危険があることを確認し、次にそれら事故を回避、低減するための各支援条件の効果を検討した。まず、眼科用に設定した本田技研工業製のHondaセーフティナビ(眼科用Sナビ)を使用し、65インチディスプレイに表示し、水平視野70度を確保した。視線情報の取得のために、Tobii社製のアイトラッキングデバイスProナノを用い、実験参加者の視線を60Hzで取得する。音声支援システムは実験参加者の左前方スピーカーから発生させた。

実験の参加者は、(1) 普通自動車免許を有し、日常的に運転を行う、(2) 目の病気の既往がない、(3) 裸眼視力(矯正視力)が0.7以上である、3つの条件を満たす成人健常者対象で、以下の各群10名、合計60名である。健常者に視野障害を模擬するために、視野模擬欠損システムを使用した。

アイトラッキングデバイスで取得した視線情報を基に、リアルタイムでマスクを走行画面上に表示した。

- ① 健常者 支援なし
- ② 視野障害模擬 支援なし
- ③ 視野障害模擬 音声ガイド(状況)
- ④ 視野障害模擬 音声ガイド(とるべき行為)
- ⑤ 視野障害模擬 ブレーキ支援(ぶつからない)
- ⑥ 視野障害模擬 ブレーキ支援(ぶつかる場合あり)

ハザード	支援なし		視野障害 +音声支援		視野障害 +ブレーキ支援	
	①なし	②マスク	③状況	④行動	⑤早い	⑥遅い
全て	4/149	6/150	4/150	1/150	0/150	16/149

表2 各支援条件による事故軽減効果(簡易DS)

その結果、音声ガイドについては事故削減に有効であったが、特に状況のみを伝えるのではなく、行動を直接指示する音声の方が効果的なことがわかり、これはSIP-Adus HMI第1期A課題の成果と整合する結果であった。一方で、ブレーキ支援の能力が十分でない場合むしろ事故は増えるという結果であり、ブレーキ支援を過信させない工夫が重要であると思われた。

さらに、支援のタイミングについての検証のため、同様の条件の参加者、22歳から77歳までの男性26名、女性28名の合計54名(平均年齢49.8歳、標準偏差17.9)について同様に視野障害を模擬し、下記の4グループに分け、実験を行った。

- ① 支援なし 13名
- ② 音声ガイドによる注意喚起あり 14名
(とるべき行為を伝える表現, ③よりタイミングが遅め)
- ③ 音声ガイドによる注意喚起あり 13名
(とるべき行為を伝える表現)
- ④ 自動ブレーキによる事故回避支援あり 14名
(ブレーキ作動タイミングが遅く, 場面によっては衝突することもあるタイミング)

本実験では, グループ③では音声ガイドを聞いてから対象物を確認することが多く, グループ①の支援なしより衝突することが少ないという結果となった. 早いタイミングでの音声ガイドによりドライバーが適切な対応を取りやすそうであることがうかがわれた. グループ②では音声ガイドを聞いてから対象物を確認すると衝突してしまう可能性があるタイミングなので, まず音声ガイドを聞いて先にブレーキを踏んで衝突を避け, その後対象物を確認するという事が起きるようになった. また, 自動ブレーキがあると言いながら, ぶつかりうるタイミングの仕様(④)の場合は, むしろ衝突事故が増える可能性も認められた. 以上のことから支援技術の提供とともに, ドライバーの役割についてのリマインドも重要であることが示唆された.

(2) 高精度DS及びシミュレーションを用いた検討

SIP第一期「交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」の成果であるJARIのマルチエージェント交通環境再現型シミュレーション技術を利用して, シミュレーションでは, 視野の角度を3段階(正常眼 140°, 中等度障害 40°, 重度障害 20°), 自動ブレーキのセンサーの検出角度を2段階(普及版 40°, 高級版 140°)に設定し(図3),

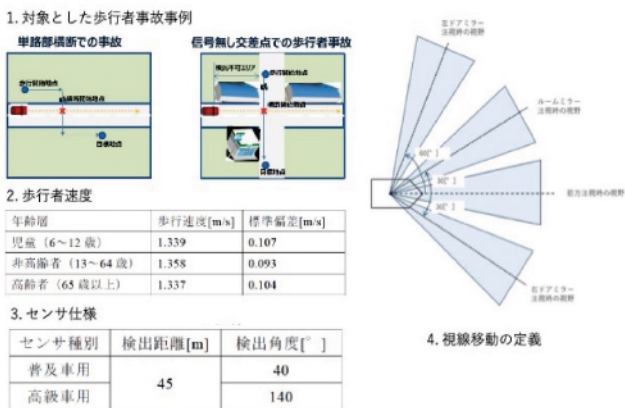
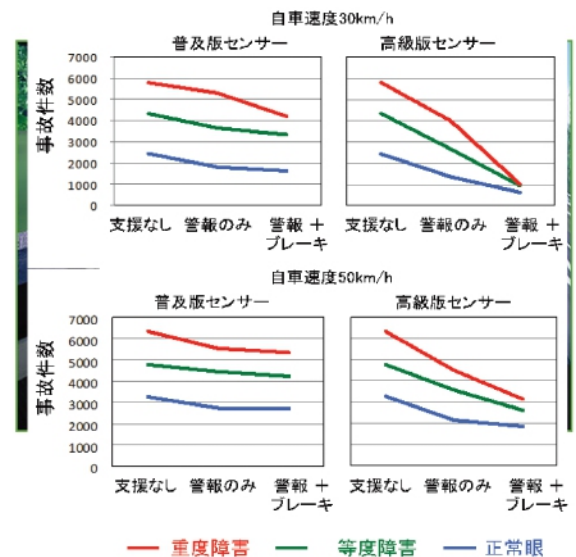


図3 シミュレーション諸条件

仮想空間における交通環境の走行を繰り返した. その結果, 自動ブレーキによって, 特に視野障害を有する

ドライバーの事故が低減すること, さらに, 死亡事故が正常眼・自動ブレーキなしの条件と同等のレベルまで低減する可能性が示された(図4).



次に高精度DS(図5)で得られたドライバーの行動モデルを反映させた上で, JARIのマルチエージェント交通環境再現型シミュレーションを再度実施した. 単路部と交差点(信号あり, 信号なし)を含む交通環境を作成し, 歩行者や車両をランダムに発生させた. 前回と同様に, 視野の角度を3段階(正常眼 140°, 中等度障害 40°, 重度障害 20°)に設定し, 運転支援システムについては, 4種類(警報のみ, 警報+自動ブレーキ × 普及版センサー 40°, 高級版センサー140°)に設定した. それぞれの条件において十分な回数(20万回以上)の走行を繰り返し, 事故の発生件数を集計した. その結果, 自動ブレーキと高級版センサーを組み合わせることで, 視野障害を有するドライバーによる事故が, 正常眼・支援なしの条件と同程度以下まで低減することが確認できた(図6).



図5 NICに設置している高精度DS

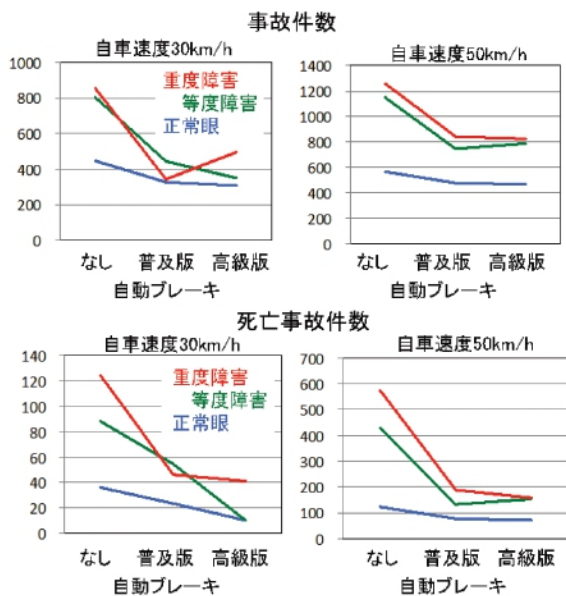


図6 ドライバーの行動モデルを含むシミュレーションの集計結果

3.3. 周知啓発

(1) 視野障害者への周知啓発—運転外来

これらの結果をふまえて、協力機関の西葛西井上眼科病院は2019年7月より、神戸アイセンター病院は2019年12月より世界初の運転外来を開始した(図7)。

運転外来ではDSおよび理化学研究所で開発した視線視野計によるデータ取得後に、医師による外来を実施した。医師からは視野検査および眼科関連検査をもとにDSのリプレイを見ながら危険に対する振り返りを実施した。外来には家族も同席し、心配事や不安に対する助言・指導を行なった。視野障害患者は、多くの場合、自身の視野障害を自覚していない。そのため、ドライビングシミュレータ施行後、リプレイ場面を見ながら、医師が、視野検査結果を示し、照らし合わせながら説明を行うと、初めて自分の運転の危険な場面を理解する。衝突した場面で、進行方向正面を見ながら、コマ送りをして、「車が消えた」「車が見えた」と、自身に見えない場所があることを認知していただく。実際には、視線を動かすことにより、見えない場所をなくし、事故を防ぐよう、助言を行っている。このように、片眼あるいは両眼で、信号、車や人が「消える」ことを知っていただくことが重要である。

将来的には、視野障害部位にあわせて、どのような高度運転支援システムを利用して事故を防ぐのか、助言できるのではないかと考えている。

また、最近では企業から視野障害を持つ従業員に対する対応を確認される場合もあり、企業に向けても視野障害者の運転の危険度、対策をアドバイスしたり周

知する必要も高まるであろう。

これら運転外来はこれまで類を見ないものであったためメディアの注目を集めた。開始早々からテレビ番組に取り上げられ、その後も様々なメディアを通して周知を図っている。

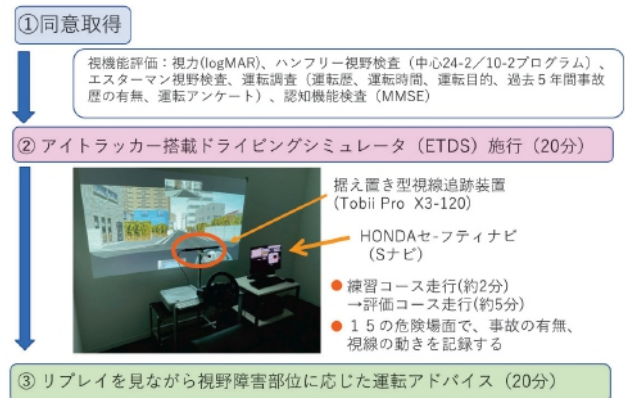


図7 運転外来手順

(2) 健常人や患者家族への周知・啓発—ヘッドマウントディスプレイ

視野障害患者の家族等への視野障害危険性の理解方法の検討

視野障害を有する患者とのコミュニケーション、相互理解をより深めるためには、家族など、患者に近い存在の人々が視野障害とその影響をよく理解することが重要である。

そこで、健常眼を有する人が視野障害を簡易に体験できるシステムの開発を行った。ドライビングシミュレータ上に視野障害マスクをかけ、アイトラッカと連動させることによってその人が注視している点を中心に視野障害を経験させる方式は、時間のかかるキャリブレーションが必要であるため、眼科の外来等で家族の方に「ちょっと試してもらおう」には敷居が高すぎるといった問題があった。

そこで、加速度センサを用いて「目の動きには連動しないが、頭の動きには連動させる視野障害マスク」を、ヘッドマウントディスプレイを用いて提示する方式を開発した。ヘッドマウントディスプレイで描かれる風景は、本田技研製のSナビの走行風景であり、画面中央の半径10度程度の領域のみが見え、周辺は黒く塗りつぶされている(「視野障害で見えない領域は、黒く感じられるわけではない」のであるが、見えない感覚を通常の人にも感じてもらえるように、あえて黒く塗りつぶした)。

必要なハードウェアはPC1台のみであるので、可搬

性にも優れている。2021年3月25、26日に開催されたSIP成果報告会においてデモ展示を行い、体験された来場者の方々からはおおむね好評であった。

4 まとめ

以上、現在の視野障害者の運転という課題を発掘し、それを解決する糸口を提示した。一番身近な課題である眼科内での視覚障害者への理解に関する啓発もまだまだ必要であるが、さらにこれらの結果をもって一般社会や当事者、産業界、省庁に向け全方向への働きかけが重要である。

運転を継続することが危険とされた人の中には安全運転サポート車（セーフティ・サポートカーS）など先進安全技術のサポートがあれば安全に運転できる人が多く含まれる可能性がある。自動運転の技術開発が進んでいる現代、これらの人々の運転を禁止して時代を後戻りするのではなく、障害を乗り越えて生活を広げることが必要なことであり可能な時代が近づいている。自動運転が一般に広がって初めて障害者にも使わせるというのではなく、むしろ最先端の技術を最も必要としているこれらの人に一般の人より優先的に適応することによって、先端技術の恩恵を可視化することが技術を誇る国の方向性であり、自動運転実装の近道でもあると考える。視覚障害というと重篤な失明者だけを思い浮かべ、完全に見えない者に対するレベル4以上の自動運転が必要と考えがちであるが、障害がグラデーションであり、重度のものから中程度、軽度そして晴眼者（正常）まで地続きであることを認識し、軽度から中程度の者にとっては高度運転支援システムがあれば運転が続けられることを理解することが必要である。しかるに現在自動運転のシステム構築がなされようとしているが、これらの技術を最も必要としているロービジョン者障害者を含めない健常者だけを対象としたシステムの構築は片手落ちとも言える。日々危険にさらされながら生活に必要なために運転している視野障害を有する人たちがいる以上、より安全を確保できるように少なくとも安全運転サポート車に対する補助などが喫緊に必要である。

技術的なことだけでなく、白杖のように「視覚障害者が乗車していることを明示する車両」などのソフト面も含めて安全を確保できるようにし、最も必要とし

ている視覚障害者が自動運転の恩恵を受け社会に寄与できるように高度運転支援システムのための公的補助などの体制やシステムを構築し周知啓発を行なっていく必要がある。特に公共交通機関の存在しない地方などでは、それが誰もが認める大義を持った自動運転の実装であり、実用化の近道ではないかと考える

【参考文献】

1. aul G. Steinkuller. Virtual Mentor. American Medical Association Journal of Ethics 2010;938-940. <https://journalofethics.ama-assn.org/article/legal-vision-requirements-drivers-united-states/2010-12>
2. Visual standards for driving in Europe. A Consensus Paper, January 2017 <https://www.ecoo.info/wp-content/uploads/2017/01/Visual-Standards-for-Driving-in-Europe-Consensus-Paper-January-2017....pdf>
3. The Prevalence of Primary Open-Angle Glaucoma in Japanese.: The Tajimi Study Ophthalmology 2004; 111: 1641-1648
4. The Tajimi Study report 2: prevalence of primary angle closure and secondary glaucoma in a Japanese population. Ophthalmology 2005; 112: 1661-1669
5. 日本緑内障学会多治見疫学調査報告書,2012,日本緑内障学会
6. 難病情報センター 網膜色素変性 <https://www.nanbyou.or.jp/entry/196>
7. 松村美代他. 網膜色素変性の医療状況. 臨眼45 : 287-9,1991

交通事故低減等の 社会経済インパクト評価手法の開発

須田義大（東京大学），三好博昭（同志社大学）

（概要）自動運転の社会経済インパクトの評価は、自動運転に対する社会的受容性の醸成、企業経営や政府の政策形成への活用という点で極めて重要である。本稿は、この認識の下、2018年から2021年にかけて実施した「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」の各種シミュレーション分析について、その手法の概要を紹介することを目的にしている。本稿では、まず、社会経済インパクト評価の基礎となる自動運転車の「普及シミュレーション」の2つのモデル（動学モデルと静学モデル）を紹介した後、この普及シミュレーション結果を用いて実施した「道路交通に与える影響分析」、「交通サービス分野への影響分析」、「産業・社会分野への影響分析」の概要を紹介する。

1 研究の目的と内容

「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動運転 (システムとサービスの拡張) 研究開発計画」(2018年, 内閣府) においては、その研究開発の目標を「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を目指していく」としている。

こうした目標の実現に資するために、この研究では、次の2つの目的のために、自動運転の社会経済へのインパクトの評価に取り組んでいる。まず、第1は、自動運転に対する社会的受容性の醸成である。今後、自動運転技術を活用したサービスや車両の実用化及び社会普及を進めるためには、大前提として、社会の自動運転に対する国民の理解が必要である。そして、国民の理解を得るためには、自動運転が、国民生活や日本経済に及ぼす影響を、効用と潜在リスクの両面から定量的に把握しておく必要がある。第2は、政府の政策形成や企業経営に資することである。例えば、自動運転に対する経済的インセンティブ等の大きさや自動運転車の市場投入方法によって、自動運転車の普及スピードやその結果生じる社会経済インパクトにどのような違いが生じるかを把握しておくことは、政府や企業の意思決定にとって極めて重要である。

このような目的意識の下、本研究では、図1に示す研究を実施した。まず、基礎的な情報整理を目的として、自動運転と国際連合が掲げる「持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals)」の17の目標、169のターゲットとの関連性を整理し、自動運転の持続可能な社会形成に対する意義を確認した。次に、自動運転車の「普及シミュレーション」を実施し、その結果を、社会経済インパクトを分析する際の共通の基礎的数値として利用する。そして、自動運転の社会経済インパクトを、「道路交通への影響」、「交通サービス分野への影響」、「産業・社会分野への影響」という3つの角度から定量的に分析した。第1の「道路交通への影響」では、「交通事故低減効果の推計」、「交通渋滞削減効果及びCO₂排出削減効果の推計」という2つの分析を実施している。第2の「交通サービス分野への影響」では、「交通制約者及び過疎地等の交通不便地域でのモビリティ確保」、「物流サービスのドライバー不足への対応」、「車の所有と利用、移動に関する

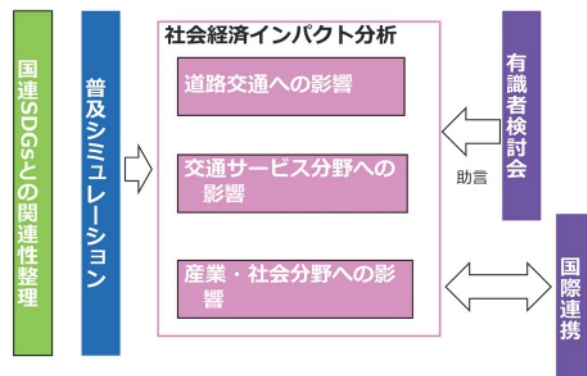


図1 研究の全体像

る消費者の選択構造の変化」について分析を実施している。そして、第3の「産業・社会分野への影響」では、自動運転の日本経済に与える影響を「自動車の保有構造等の変化による自動車産業並びに産業全体への影響」、「生産性の向上への貢献」という観点から分析を実施している。

これらのモデルは次の5つの特色を持ち、広範囲の社会経済インパクトを理論的かつ統合的に分析することが可能である。

- 1) 交通工学・自動車工学の知見と経済学の知見を融合させた文理融合によるモデル構築
- 2) 社会経済環境(人口、GDP等)に関する共通データをシミュレーションの前提条件として統一的に使用
- 3) 消費者の支払意思額(WTP: Willingness to Pay)と生産の学習効果を考慮したマイクロ経済理論に基づく自動運転車の普及シミュレーションモデル
- 4) 様々な普及促進策に対応した自動運転車の普及率推計が可能
- 5) 普及率推計結果を、社会経済インパクト評価の共通データとして活用

本研究の実施にあたっては、工学分野だけでなく広範な分野の有識者で構成される検討会を設置し、本検討会での議論を踏まえながら研究を進めた。また、本研究の内、「自動運転車の普及シミュレーション」「車の所有と利用、移動に関する消費者の選択構造の変化」は、日独連携研究の一環として、ドイツの研究機関と連携しながら研究を進めた。この日独連携研究は、「自動走行技術の研究開発の推進に関する日独共同声明」(平成29年1月12日)に基づき、2019年1月に開催された内閣府と独BMBFとのSteering Committee会議において、社会経済インパクト評価が日独連携研究のプロジェクトと位置づけられたことに基づいている。

以下では、本研究で開発したシミュレーションモデルの機能や考え方に焦点をあてて、プロジェクトの成果を示す。

2 普及シミュレーション

財・サービスの普及をシミュレートする場合によく用いられるモデルは、S字成長曲線モデルである。市

場投入されていない財・サービスに対してこのモデルを適用する場合、類似の財・サービスのケースを参考にしてパラメータを設定する等の方法が採られる。自動運転車についても、いくつかの研究でS字成長曲線モデルを使った普及予測が実施されている⁽¹⁾⁽²⁾が、本研究のようにいくつものレベルの自動運転が併存する状況を想定する場合、こうした方法で設定したパラメータを単純に利用するのは適切ではない。また、S字成長曲線モデルは構造が極めて単純のため、政策措置やOEMの市場投入策が、自動運転車の普及率に及ぼす影響をシミュレーションする際には利用し難い。このため、本研究では、乗用車を対象として独自の普及シミュレーションモデルを構築することとした。

自動運転車の普及を考えた場合、すでにSAE Level 1~4は、導入時期が議論されているが、SAE Level 5の自動運転車は、自動運転が可能な条件に制約がないが故に、実現可能性や実現時期を予測することはできない。こうした点を踏まえ、本研究の普及シミュレーションモデルは、市場投入時期がある程度見通せるSAE Level 4までの自動運転車を対象としてそれらの普及を推計するモデルと、ドライバー不要の自動運転車(SAE Level 4/5相当)の普及を推計するモデルとの2つに分けて構築した。前者は、年次を示しながら自動運転車の普及プロセスを捉える動学モデルとし、後者は、ドライバー不要の自動運転車が実現した際の、定常状態における自動運転車の普及率を推計する静学モデルとした。

普及シミュレーションモデルの構築にあたり、本研究では、自動運転車を表1のような8種類に分類した。この分類は、SAEの自動化レベルと、各レベルの自動運転が利用可能な道路の範囲という2つを組み合わせる自動運転車を分類したものである。動学モデルでは、運転支援装置の付いていない車を含む自動運転車カテゴリC0から、主要幹線道路においてSAE Level 4の自動運転が可能な自動運転車カテゴリC5までを対象としている。一方、静学モデルでは、人間が車の運転の主体となるSAE Level 2をすべての道路で実現する自動運転車カテゴリL2と、ドライバー不要の自動運転を実現した自動運転車をシミュレーション分析の対象としている。

表1 自動運転車の分類

カテゴリ	高速道路	一般道路	対応技術など	動的モデル	静的モデル
C0	SAE Lv. 1以下	SAE Lv. 1以下	C1を下回る水準	○	
C1	SAE Lv. 1 運転支援	SAE Lv. 1	以下の4つの装置をすべて搭載 ・衝突被害軽減ブレーキ ・ペダル踏み間違い時加速抑制装置 ・車線逸脱警報装置 ・車間距離警報装置	○	
C2	SAE Lv. 2 部分運転自動化	SAE Lv. 1	C1に加え、 ・高速道路におけるLKAS (レーンキープアシストシステム) + ACC (アダプティブ・クルーズコントロール) ・高速道路における自動レーンチェンジ	○	
L2	SAE Lv. 2 部分運転自動化	SAE Lv. 2	C2に加え、 ・一般道におけるLv. 2の運転支援		○
C3	SAE Lv. 3 条件付き運転自動化	SAE Lv. 2	C2に加え、 ・高速道路におけるLv. 3の自動運転 ・一般道におけるLv. 2の運転支援	○	
C4	SAE Lv. 4 高度運転自動化	主要幹線道路における SAE Lv. 3	C3に加え、 ・高速道路におけるLv. 4の自動運転 ・一般道の主要幹線道路におけるLv. 3 ・一般道では、システムを要請に応じて運転操作の引継ぎ (TOR) が発生	○	
C5	SAE Lv. 4 高度運転自動化	主要幹線道路における SAE Lv. 4	C4に加え、 ・一般道の主要幹線道路におけるLv. 4 ・運転操作の引継ぎ (TOR) は発生しない	○	
C6	SAE Lv. 5 完全自動運転車				○

(1) 動学モデル

動学モデルは、乗用車の他、物流サービス(トラック)、移動サービス(バス)を対象に、2015年以降2050年までの5年毎の、C0からC5(表1)の自動運転車の普及台数や走行量を推計するものである。この3つのそれぞれで、推計方法が異なるが、ここでは、乗用車の推計方法を紹介する。

乗用車のシミュレーションでは、まず、各年に必要となる車の保有台数から、前年の台数のうちの残存台数を控除し、その差を各年の新車台数とする。そして、各年の新車台数の自動運転車カテゴリ別の構成は、図2に示すような需要と供給の関係で決定されるという考え方を採っている。

図2の左図の紫色の線は、自動運転車各カテゴリ(表1)に対する賛同率曲線(消費者全体の内、その額で購入してもよいとする消費者の割合)である。この研究では、webアンケートを実施し、自動運転車各カテゴリの機能に対するWTPを2段階2肢選択の手法によって聞いている。賛同率曲線は、このwebアンケート結果をロジスティック回帰分析によって分析して導出したもので、自動運転車各カテゴリについて、オプション価格(自動運転機能の価格)と、賛同率との関係を示している。一方、供給側については、各年の販売価格は、生産の経験曲線効果が働いて決定されるメカニズムを組み込んでいる。

経験曲線効果とは、累積生産量が増加することによって、生産技術が向上し、製品コストが低下する現象を指し、様々な製品で経験曲線効果が確認されてい

る。ここでは、自動運転技術についても同様の関係が成立すると仮定している。

この消費者の賛同率曲線と各年のオプション価格との交点で、自動運転車各カテゴリに対する賛同率、すなわち購入意向を示す消費者の割合が決まるが、自動運転の場合、複数の自動運転車カテゴリが市場に同時に混在する状況となっていることに留意する必要がある。そこで、このモデルでは、自動運転車カテゴリC5, C4, C3, C2と上位の自動運転車カテゴリから順に、賛同率曲線と販売価格に基づき賛同率を求め、対象とする自動運転車カテゴリの賛同率とその上位の自動運転車カテゴリの賛同率との差が、新車台数に占める当該自動運転車カテゴリの割合になると仮定している。なお、自動運転車カテゴリC1以下となった新車は、外生的に設定する割合に基づいて自動運転車カテゴリC0, C1に案分される。

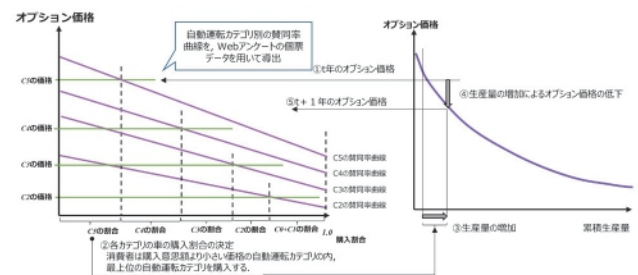


図2 動学モデルの考え方

(2) 静学モデル

静学モデルは、動学モデルとは異なり、乗用車のみを推計対象としており、ドライバー不要の自動運転車(Level 4/5相当)が実現した際の、定常状態における自動車の保有や利用の状況を推計するモデルである。

このモデルでは、自動運転車を利用した自動運転タクシーの他、乗合により料金が安価になる乗合自動運転タクシーの導入を想定し、それらの料金や待ち時間等の様々な要因によって、各交通モードの利用がどのような影響を受けるのかを推計することができる。

このモデルは、「交通サービスに与える影響分析」の内の「車の所有と利用、移動に関する消費者の選択構造の変化」で実施した消費者の交通モード選択に関するwebアンケート調査の結果を利用して構築した。このアンケートでは、図3で示すように6つの交通モードを設定し、平休日別、移動目的別、移動距離帯別に、各交通モードの移動時間や移動費用、乗合を含む自動運転タクシーの配車までの待ち時間が、生活者のモー

ド選択にどのような影響を与えるのかを調査している。静学モデルは、この調査結果を用いて構築した交通手段選択モデルを、そのコア部分として活用している。

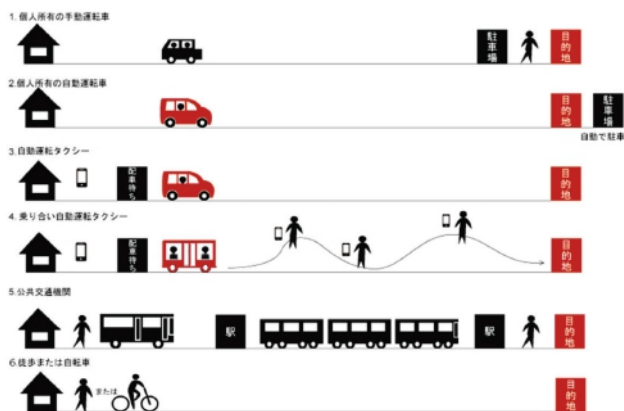


図3 静学モデルにおける交通モード

3 社会経済インパクト分析

3.1. 道路交通に与える影響分析

ここでは、「交通事故低減効果の推計」、「交通渋滞削減効果及びCO₂排出削減効果の推計」の2つを実施している。

(1) 交通事故削減効果

交通事故削減効果は、別施策「自動運転及び運転支援による交通事故削減効果の見える化」から、自動運転車普及による交通事故件数、死傷者数の低減効果の推計結果の提供を受け、ITARDA交通事故マクロデータを利用してこれを補正し、さらに内閣府調査⁽³⁾から得られる人体損傷程度別の経済的損失額を乗じて、その効果を金銭価値化するものである。この別施策のシミュレーションは、本研究の普及シミュレーション(動学モデル)結果を用いて実施されている。

ここで、アクティブセーフティ技術(安全運転支援システム・自動運転等)とパッシブセーフティ技術(エアバッグシステム等)は、社会に生じる便益において大きな2つの違いがある。第1は、両技術共に「自身の人体損傷程度の軽減」をもたらす点は共通しているが、アクティブセーフティ技術には、これに加え、外部経済として、事故の相手方当事者の人体損傷程度の軽減ももたらすという違いがある。第2は、アクティブセーフティ技術利用者には、事故の相手方当事者の人体損傷程度の軽減の裏返しとして、加害者としての心理的な負担(非金

銭的損失)も軽減されるという違いがある。第1の便益は、内閣府調査から得られる交通事故被害者1名当たりの経済的損失額と、自動運転車普及による交通事故被害者数の低減量を用いれば推計することができる。一方、第2の便益については、そもそも、「交通事故被害者1名当たりの加害者の経済的損失額」の数値が存在しないために、計測することができない。加害者になることを回避できるというのは、自動運転の価値を評価する上で極めて重要である。このため、本研究では、加害者としての心理的な負担(非金銭的損失)を、webアンケート調査を利用して新たに推定した。

このwebアンケート調査は、加害者調査と被害者調査で構成されている。加害者調査では、四輪車同士の事故で、自身の運転ミス(自身の過失割合は10を想定)によって相手方(1名を想定)を死亡させる確率を50%(または90%)軽減させるデバイスに対するWTP(1年間の利用料金)を2段階2肢選択方法で聞いている。一方、被害者調査では、四輪車同士の事故で、事故の相手方の運転ミス(自身の過失割合は0を想定)によって自身が死亡する確率を50%(または90%)軽減させるデバイスに対するWTPを聞いている。この分析の結果、両者に対するWTPの中央値には大きな差はないことが分かった。本研究では、この調査結果も取り入れた上で自動運転による交通事故削減効果の金銭価値化を実施している。

(2) 交通渋滞削減効果及びCO₂排出削減効果

自動運転車の追従時や自由走行時、車線変更条件・判断、反応遅れ時間等の挙動特性等の前提条件を設けた上で、将来の交通需要と、普及シミュレーション(動学モデル)で設定した自動運転車の普及率を考慮して、道路上での交通シミュレーションを実施すると共に、自動運転の導入効果についてSIP第1期「地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証」で評価された結果を活用し、交通渋滞削減効果とそれによるCO₂排出削減効果を推計した。

具体的には、図4に示すとおり、自動運転の普及を考慮した交通シミュレーションを実施し、渋滞削減量及びCO₂排出削減量の原単位を推計した上で、全国拡大推計を行う二段階の構成としている。

原単位の推計にあたっては、高速道路と一般道路を対象とし、高速道路についてはサグ部での渋滞削減を主に見込むものとして、該当する片側2車線区間及び

3車線区間において交通シミュレーションを実施した。特に3車線区間の選定にあたっては、SIP第1期の「地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証」で多くの知見が得られた区間を選定した。また、CO₂排出削減効果の推計にあたっては、EVの普及およびEVの種類ごとのCO₂排出量削減効果の違いについても考慮した推計を試行している。

全国拡大推計にあたっては、高速道路は国土交通省が作成する高速道路の交通状況ランキング(平成30年)の上位30区間を対象として、複数の車間時間、普及率想定別に拡大推計を行った。また、一般道路は、信号交差点を含む一般道路の中でも重要物流道路相当(直轄国道+高規格幹線道路)を対象を絞り、普及率想定別に拡大推計を行った。

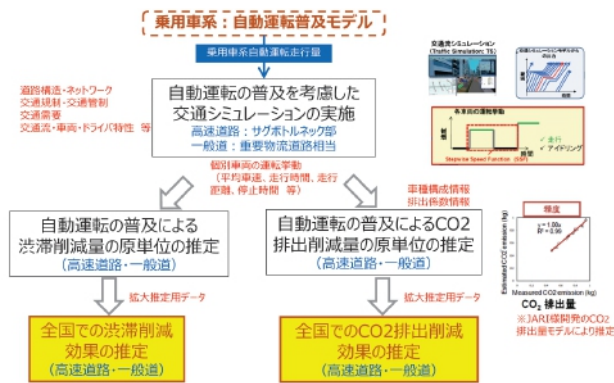


図4 交通渋滞削減効果及びCO₂排出削減効果の推定方法

3.2. 交通サービスに与える影響分析

ここでは、「交通制約者及び過疎地等の交通不便地域でのモビリティ確保」、「物流サービスのドライバー不足への対応」、「車の所有と利用、移動に関する消費者の選択構造の変化」の3つを実施している。「車の所有と利用、移動に関する消費者の選択構造の変化」の成果は2.(2)で紹介したので、「交通制約者及び過疎地等の交通不便地域でのモビリティ確保」、「物流サービスのドライバー不足への対応」について記述する。

(1) 交通制約者及び過疎地等の交通不便地域でのモビリティ確保

中山間地域では住民の少子高齢化や若者の都会への流出、企業の経営悪化とそれに伴う撤退などによって、本来は企業や住民が行うサービスを行政が担っている例が散見される。例えば、交通安全の啓発・広報や防犯パトロールといった業務は、都市部では町内会や地元の住民団体によって行われるが、中山間地域では行

政サービスとして実施されていることも多い。このような行政サービスには多くの労働力や費用が伴うが、企業や住民と同様に、行政においても人材不足が深刻化しているため、現在行政が担っているサービスの持続可能性は高いとは考えられない。そのため労働力と費用を節約し、いかに行政サービスを維持するかが中山間地域における最重要課題の1つであるといえる。本研究では、行政サービスの視点から、中山間地域において自動運転技術がどの分野のどの用途に導入可能であり、どのように活用が期待されるかを、行政サービスのために利用されている自動車の利用実態から検討している。さらに、中山間地域の自治体職員との対話により自動運転技術の導入効果とその課題について考察している。

(2) 物流サービスのドライバー不足への対応

将来時点でのトラックドライバーの供給人数、需要人数を複数のGDP推移前提条件の下で推計し、それらの差分として物流サービスのドライバー不足数を算出した上で、その不足数が、仮定する自動運転車の導入・普及シナリオの下でどの程度解消できるのかについて推計している。

具体的には、まず、物流サービスを担う将来のドライバー供給人数を、年齢階層別トラックドライバー数にドライバーを継続する人の割合(継続率)や、若年層で新規に就労する人の割合(新規ドライバー雇用率)を用いて推計した。次に、将来のトラックドライバー需要人数については、将来GDPから品目計及び品目別の生産額+輸入額を求め、この生産額+輸入額を用いて生成貨物量を推計し、そこから、将来の貨物車輸送トン数、さらに貨物車走行台キロを推計することで推計した。

次に、「官民ITS構想・ロードマップ」(2019)⁽⁴⁾における物流サービスの将来動向を踏まえ、表2の通り、物流サービスにおける自動運転車の普及シナリオを設定し、自動運転で置き換え可能な走行量と自動運転によるドライバー削減可能人数の推計を行った。

最後に、自動運転によるトラックドライバー不足軽減の経済効果を推計した。具体的には、ドライバー不足で輸送能力に制約が生じた場合の生産額+輸入額を基準にして、高速道路を走行する普通貨物車に自動運転を導入し、ドライバー不足が軽減(輸送能力が改善)することによって、生産額+輸入額がどの程度改善するかを推計し、これを経済効果とした。

表2 物流サービスにおける自動運転車の普及シナリオ

シナリオ	2025年	2035年	2040年
1 特定の高速道路（新東名、新名神）において、トラックの完全自動運転（後続車無人隊列走行の設定も実施）	開始	○ 達成	
2 4車線以上の高速道路において、トラックの完全自動運転		○	
3 限定地域（過疎地を中心とする地方部）を対象とした無人自動運転の配送サービス	開始	○ 達成	
4 限定地域（交通量の少ない都市部・都市部郊外を除く地域）を対象とした無人自動運転		○	○
5 一般道路を含む重要物流道路におけるトラックの完全自動運転			○

3.3. 産業・社会に与える影響分析

ここでは、「自動車の保有構造等の変化による自動車産業並びに産業全体への影響」と「生産性向上への貢献」の2つを実施している。

(1) 自動車の保有構造等の変化による自動車産業並びに産業全体への影響

自動運転車の実現には、多くのセンサーやソフトウェアなどの搭載が必要であり、生産に必要な投入物は、従来車とは異なる。本研究では、自動運転化のみならず電動化も考慮し、自動運転化と電動化に必要な自動車の構成部品の変化が、自動車産業や日本経済全体にどのような影響を与えるかを、電動車を対象にした先行研究⁶⁾の手法を参考に、産業連関表を用いて分析している。

具体的には、まず、自動運転化並びに電動化に必要な部品とその部品の産業部門を特定したうえで、自動運転車カテゴリ別・電動化種類別・投入産業部門別に部品コストの増加額ならびに減少額を推計した。次に、この部品コストの情報と普及シミュレーション（動学モデル）から得た自動運転車カテゴリ別・電動化種類別の新車台数から、将来の自動運転化・電動化を考慮した産業連関表の投入係数表を導出した。そして、この投入係数表を用いて、「乗用車部門」、「自動車部品・同付属品部門」、そして、日本の全産業部門を対象にして、自動運転化並びに電動化の生産額や雇用者数に与える影響を分析している。さらに、電動化や自動運転化のコストが変化した場合の感度分析も併せて実施している。

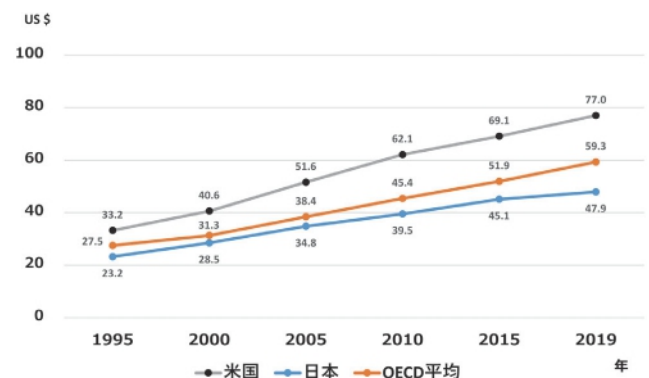
(2) 生産性の向上への貢献

人口減少時代に持続的な成長を達成するためには労働生産性を持続的に高める必要があり、そのためには技術進歩あるいはイノベーションが重要である。図5は、米国、日本、OECD加盟国全体の労働生産性（就業時間1時間当たりの付加価値）を1995から2019年まで示

したものである。これを見ると、1995年には、日本と米国、OECD加盟国全体との間にはそれほど大きな差はなかったが、その後、徐々に差が拡大し、2019年には、日本(47.9 US\$)は、米国(77.0 US\$)の62.2%、OECD加盟国全体(59.3 US\$)の80.8%の水準に止まっている。

この労働生産性を高めるためには、経済学では、資本装備率（労働者1人あたりの資本量）を増加させるか、あるいは、技術進歩あるいはイノベーションにより、全要素生産性（TFP：Total Factor Productivity）を上昇させるかのどちらかが必要とされる。ここでは、自動運転が、日本経済の労働生産性、全要素生産性を高める効果を分析している。一般的に全要素生産性の上昇率を上昇させる要因は、「資本の質の向上」、「労働の質の向上」、「経営効率の向上」等の変化に分類されるが、自動運転が、全要素生産性向上に及ぼす主な要因は、「資本の質の向上」によるものと考えられる。「3.2 (2) 物流サービスのドライバー不足への対応」に示すように、SAEレベル4の自動運転の導入によって、不足するドライバーを自動運転へ代替が可能となれば、これは、まさしく「資本の質の向上」の効果に相当する。本研究では、ここでは、「3.2 (2) 物流サービスのドライバー不足への対応」の結果を用いて、営業用と自家用に分けて、自動運転導入による労働生産性、全要素生産性の上昇を推計している。

一方、「経営効率の向上」の例としては、自動運転タクシーによる貨客混載などが挙げられる。仮に、制度面の条件が整い、旅客運送と貨物運送の双方を提供できるとすれば、自動運転タクシーは、高度な配車システムを利用することによって、人の移動と物の移動を、同一車両で効率的に実現できるようになる。この結果、主に「経営効率の向上」によって、全要素生産性が上昇することになる。



注)単位:購買力平価換算US\$

資料)日本生産性本部「労働生産性の国際比較」の付票8, 9, 10を用いて作成

図5 労働生産性(就業時間1時間当たりの国際比較)

4 おわりに

本稿では、2018年から2021年に実施した「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」で開発した、自動運転車の普及シミュレーション並びに社会経済インパクト分析の手法の概要を紹介した。今後は、この成果を用いて、具体的に自動運転のもたらす社会・経済への影響を、社会に向けてSIP-adusとして発信していくこととしている。

【参考文献】

- (1) Litman T., Autonomous Vehicle Implementation Predictions :Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute (2018) <http://www.vtpi.org/avip.pdf> (参照 2019.02.02)
- (2) Trommer S., V. Kolarova, E. Fraedrich, L. Kröger, B. Kickhöfer, T. Kuhnimhof, B. Lenz, P. Phleps, Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behavior, Institute for Mobility Research (2016) <https://www.ifmo.de/publications.html?t=45> (参照 2021.06.25)
- (3) 内閣府政策統括官(共生社会政策担当)「交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査 報告書」(2017) <https://www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/h28/index.html> (参照 2021.05.25)
- (4) 官民ITS構想・ロードマップ2019：
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryu9.pdf>
- (5) 間瀬貴之「産業連関表における電動車部門の推計と電動車の生産台数シェア上昇のシミュレーション分析」一般財団法人電力中央研究所社会経済研究所ディスカッションペーパー (SERC Discussion Paper), SERC18001 (2019) <https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/discussion/download/18001dp.pdf> (参照 2021.06.21)

【執筆者詳細】

須田 義大・東京大学・モビリティ・イノベーション連携研究機構 (UTmobl)・機構長, 教授・制御動力学
三好 博昭・同志社大学・政策学部・教授・公共経済学

交通事故削減効果の見える化 —シミュレーション精度の向上

大田浩之, 内田信行, 安達章人, 北島創 (一般財団法人日本自動車研究所)

自動運転車及び運転支援車の円滑な導入や利用を促進するためには、社会的受容性を醸成することが必要である。本施策では、交通参加者が各々に、知覚・認知、判断及び操作を行うマルチエージェント型のシミュレーション (SIP 第1期「自動走行システム」施策⁽¹⁾にて開発) を用い、選定したモデル都市の交通環境を再現し、その中にドライバの脇見などの事故発生要因を実装することにより現実の事故発生状況を再現した。また、別施策「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」より提供される2015年度から2050年度まで5年おきの自動運転(運転支援)システムの普及シナリオを用いて交通事故削減効果の推計を行った。自動運転(運転支援)システムの普及シナリオは車両区分ごとに異なるため、車両区分を細分化し、乗用車、乗合、貨物などの区分ごとに自動運転(運転支援)システムの普及率を設定した。全国規模の交通事故削減効果は、モデル都市を対象としたシミュレーションから算出される交通事故削減割合を用いて交通事故統計データより推計した。

1 施策概要

自動運転技術・運転支援技術の実用化・普及に向けた社会の期待が高揚する中、自動運転車及び運転支援車の円滑な導入や利用を促進するためには、社会的受容性を醸成する必要がある。「官民ITS構想・ロードマップ2019」⁽²⁾においても、「交通参加者においては、自動運転車を利用する、しないに関わらず、自動運転車の使用に関する知識の習得、理解の向上が必要となる。自動運転車に関する正しい知識を通じ、自動運転機能の過信や誤解による事故を防ぐことができ、社会全体の社会的受容性の確保にもつながると期待される」などとされている。

本施策は、交通環境再現型シミュレーションを用いて、本稿4(1)で定義するモデル都市での自動運転技術及び運転支援技術による交通事故削減効果を算出し、自動運転車及び運転支援車の普及率に応じた全国規模での交通事故削減効果を推計し、社会的受容性の醸成に資する成果物を得ることを目指すものである。

2 シミュレーション概要

交通事故削減効果推計の精度を向上させるためには、各交通参加者(ドライバ、歩行者、自転車)のエラー

などの事故要因も含めた行動モデルを可能な限り忠実にシミュレーションに織り込むことが求められる。すなわち、本施策で使用する交通環境再現型シミュレーションは、図1に示すように各交通参加者が、知覚・認知、判断及び操作を自律的に行う主体(エージェント)となり、相互の行動に影響し合うマルチエージェント方式のシミュレーションである。

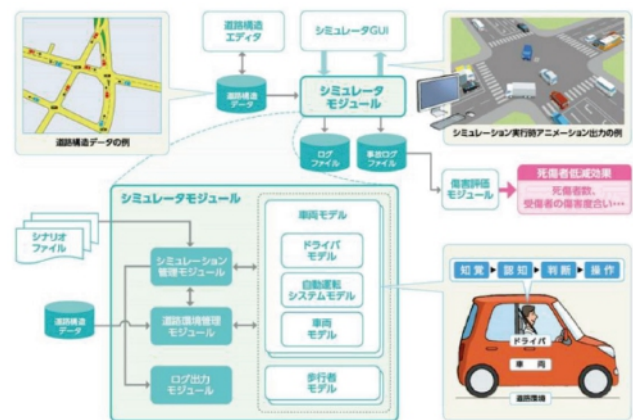


図1 システム構成

図2は、モデル都市(所沢市)におけるシミュレーション実行環境を構築する流れを示している。モデル都市の主要部(幹線道路、鉄道駅、役所・役場等)を含む数km四方のエリアを選定し、そのエリアの衛星写真から道路ネットワークを抽出する(①)。つぎに、国土交通省が5年毎に実施している全国道路・街路交通情勢調査(以下「道路交通センサス」という)のデータに基づいてエリア内の主要な道路の交通量を調査す

る(②)。さらに、ドライバエージェントや歩行者エージェントに、交通事故の要因となるエラー行動を織り込むことにより、交通事故を再現させることができる。その発生地点をシミュレーション内で集計した結果と、都道府県警が公開している実際の事故発生地点(③)を比較することで事故発生状況の再現性を確認することができる。これらによって事故低減詳細効果を見積もるためのシミュレーション実行環境をモデル都市毎に構築することができる。



図2 シミュレーション全体イメージ

3 交通参加者の行動モデル

交通事故削減効果推計の妥当性を高めるために、各交通参加者(ドライバ、歩行者、自転車)の行動モデルと自動運転(運転支援)システムモデルを下記の(1)~(3)に示す通り詳細に設定した。

(1) ドライバモデル

本施策では、知覚・認知、判断及び操作といったドライバの行動プロセスを踏まえて作成したドライバモデルを使用した(図3参照)。「知覚・認知」では、ドライバの視線の方向(視野)を考慮し、視野の範囲内に存在する車両・歩行者の位置、速度などの情報を取得するようにした。交通事故の要因の一つである脇見行為については、脇見を行う時間の間隔や脇見の継続時間を設定し、その間の車両・歩行者の位置、速度などの情報取得を停止することで再現した。「判断」では、一例としては先行車との相対速度や車間距離に応じた加減速等を決定し、「操作」にて、判断結果に基づくアクセル・ブレーキ・ステアリング操作を行う。加えて、知覚・認知、判断及び操作の各プロセスにおいて、一定確率でドライバエラーが発生するよう設定した。

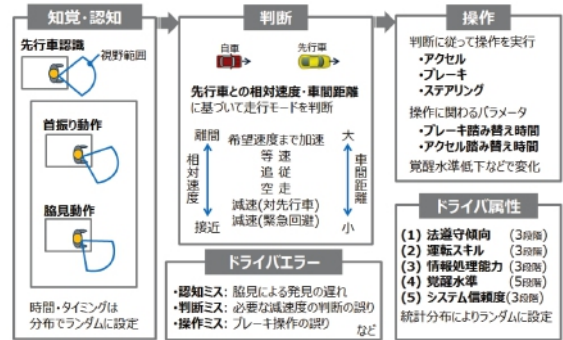


図3 ドライバモデル

(2) 歩行者・自転車モデル

歩行者事故の中で特に死亡事故件数が多い「単路横断の歩行者飛び出し」(図4参照 横断速度及び横断角度を実装)に加え、次に死亡事故件数が多い「交差点横断」を再現できる歩行者モデルを実装した。一定確率で、横断歩道以外の車道を横断する歩行者、歩行者用信号を無視し横断する歩行者や、右左折をする車両のドライバエラーにより歩行者を認知していないなどの要因で「交差点横断」の歩行者事故が発生する。

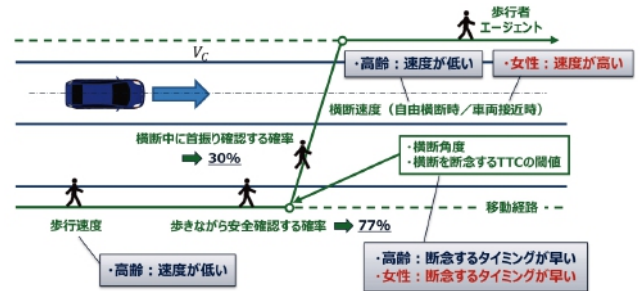


図4 単路横断の歩行者飛び出しモデル

また、自転車モデルに関しては、自転車が交通事故の被害となる場合のみを対象とし、特に交通事故発生件数の多い出会い頭事故、左折巻き込み事故及び右直事故をシミュレーション上で再現した。

(3) 自動運転(運転支援)システムモデル

図5に自動運転(運転支援)システムの作動条件を示す。

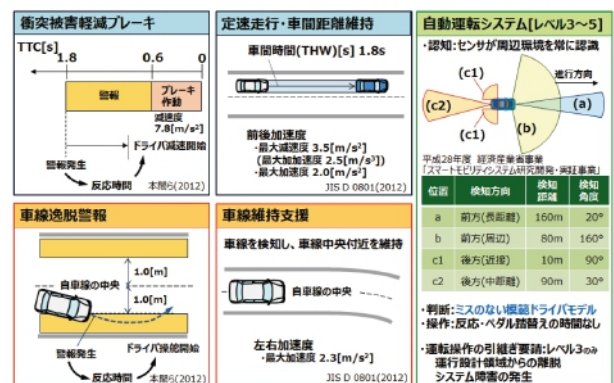


図5 自動運転システムの作動条件

衝突被害軽減ブレーキ機能は、本間亮平ほか⁽³⁾の論文を参照して作動条件を設定した。自車と先行車との車間距離を相対速度で除したTTC (Time to Collision : 衝突余裕時間) が1.8[s]になった場合に警報が発生し、その警報に対してドライバの反応特性を考慮した反応時間が経過した後にドライバエージェントによる減速が始まる。このとき、ドライバエージェントが反応しない場合(例えば、居眠りのような覚醒水準が低い状態)は、TTCの値が減少して0.6[s]になった場合に自動ブレーキが作動するように設定し、自動ブレーキの最大減速度は $7.8[m/s^2]$ とした。定速走行・車間距離維持機能は、日本工業規格(JIS0801)⁽⁴⁾が規定している内容を参照して作動条件を設定した。自車と先行車との車間距離を自車速度で除したTHW (Time Head Way : 車間時間) が1.8[s]になるように先行車との相対速度を制御するように加速・減速が行われる。このとき、規格の規定を参照して、前後方向の加速度の設定値は、最大減速度を $3.5[m/s^2]$ 、最大加加速度を $2.5[m/s^2]$ 、最大加速度を $2.0[m/s^2]$ とした。車線逸脱警報は、自車が走行できる車線の中央から車両の中心が左右に1[m]以上離れた場合に警報が発生し、衝突被害軽減ブレーキと同様の反応特性を考慮した反応時間でドライバエージェントが操舵を始める。車線維持支援機能については、前記の定速走行・車間距離維持機能に関する規格⁽⁴⁾において曲線道路対応能力として規定されている内容を参照して作動条件を設定した。規格では性能クラスをI~IVで分類しており、曲線半径が500[m]まで対応できるものをクラスII、曲線半径250[m]まで対応できるものをクラスIII、曲線半径が125[m]まで対応できるものをクラスIVとしている。本施策で設定する機能はクラスIIIの性能を具備しているものと仮定し、車線を検知して車線中央付近を維持するための左右方向の最大加加速度は $2.3[m/s^2]$ を採用した。

自動運転システムモデルは、ドライバエージェントと同様に、センサによる「知覚・認知」、コンピュータによる「判断」、アクチュエータによる「操作」にて構成した。「知覚・認知」については、経済産業省の施策⁽⁵⁾で検討されたセンサ構成・検知角度・検知距離を参照して、前方(長距離)、前方(周辺)、後方(近傍)、後方(中距離)を「知覚・認知」するようにした。「判断」については、判断エラーが発生しない模範ドライバ相当のモデルで代用し、「操作」についても、ドラ

イバエージェントの場合に考慮される反応時間やペダル踏み替え時間を無くして実装した。

自動運転(運転支援)システムのレベル3自動運転車の運転操作の引継ぎ時の仕様に関しては、すでに実用化されているレベル2運転支援車両のドライバに対する調査・研究を参考に設定した⁽⁶⁾。自動運転システムからの引継ぎ要請は、図6に示すようにODD外となる10秒前になされるものと仮定した。過信ドライバに対しては、自動運転システムから運転操作を引き継がず、その結果、全ての場合でミニマル・リスク・マヌーバー (Minimal Risk Maneuver, 以下「MRM」という。) が引継ぎ要請の発令後10秒後に作動するように設定した。MRMでは、操舵角一定で急ブレーキとならない減速度 ($2.94[m/s^2]$)^{(7),(8)} で減速・停止するように設定した。

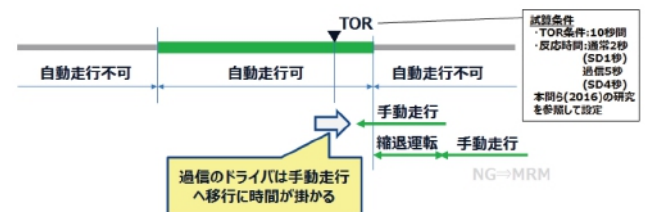


図6 レベル3自動運転車の運転操作の引継ぎ時の仕様

4 シミュレーションデータ作成及びシミュレーション実行条件の設定

車両区分ごとに異なる自動運転(運転支援)システムの普及率でシミュレーションを行うために、モデル都市の選定を(1)、シミュレーションデータの作成及び実行条件の設定を(2)~(8)に示す。

(1) シミュレーションモデル都市の選定

本施策では、代表的なモデル都市を選定し、それらのモデル都市を対象にシミュレーションを実行した上で、その結果に基づき、全国規模の交通事故削減効果の推計を行うこととした。具体的には、「日本自動車工業会 中長期モビリティビジョン検討会:中長期モビリティビジョン(2018)」を参考にして、全市区町村を、都市の規模及び交通事故発生状況の観点から大都市・地方都市・過疎地に分類し、それぞれの分類ごとに最も平均的な特徴を有する市区町村(大都市:埼玉県所沢市、地方都市:茨城県常総市、過疎地:長野県山ノ内町)をモデル都市として選定した(図7参照)。

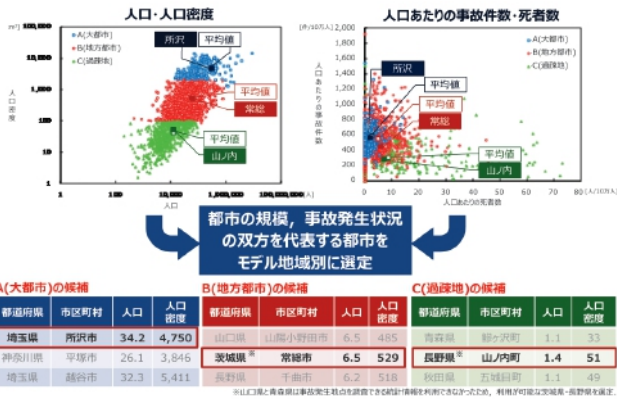


図7 モデル都市の選定



地図データ@Google

図10 シミュレーション対象領域の地図データへの交通規制情報の設定(埼玉県所沢市)

(2) 車両モデルの設定

本施策では、別施策「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」より提供される普及シナリオに合致した図8に示す車両区分ごとの車両モデルを定義した。

乗合 小型車	小型車	軽四輪車
単位等 数値	単位等 数値	単位等 数値
車長 [m] 6.995	車長 [m] 4.495	車長 [m] 3.650
車幅 [m] 2.065	車幅 [m] 1.745	車幅 [m] 1.665
車重 [kg] 3,710	車重 [kg] 1,310	車重 [kg] 910
乗合 普通車	普通車	軽貨物車
単位等 数値	単位等 数値	単位等 数値
車長 [m] 11.99	車長 [m] 4.910	車長 [m] 4.475
車幅 [m] 2.49	車幅 [m] 1.800	車幅 [m] 2.065
車重 [kg] 13,180	車重 [kg] 1,690	車重 [kg] 350
小型貨物	自動二輪	特種車両
単位等 数値	単位等 数値	単位等 数値
車長 [m] 4.690	車長 [m] 1.990	車長 [m] 4.910
車幅 [m] 1.695	車幅 [m] 0.710	車幅 [m] 1.800
車重 [kg] 2,000	車重 [kg] 167	車重 [kg] 1,690
普通貨物	自転車	
単位等 数値	単位等 数値	
車長 [m] 5.280	車長 [m] 1.850	
車幅 [m] 2.080	車幅 [m] 0.580	
車重 [kg] 2,770	車重 [kg] 20	

図8 車両区分ごとの車両モデル

(3) 交通規制情報の設定

警察庁から提供されたモデル都市の歩行者信号情報を含む信号現示情報及び交通規制情報について、測地系変換(座標変換)を行い、地図データに設定した。(図9, 10参照)



地図データ@Google

図9 信号現示情報の設定地点(埼玉県所沢市の例)

(4) 規制速度・実勢速度の設定

シミュレーションを実行するにあたり、自動運転車は規制速度以下の速度で走行するようにしたが、ドライバ車両は実勢速度に基づいて走行するために、地図の車線情報に図11に示すように規制速度と実勢速度の2つの速度情報を設定した。規制速度については、警察庁より提供された値を設定し、実勢速度については、平成20年度「規制速度決定のあり方に関する調査研究」報告書を参考に設定した。また、図10に示す通り所沢市では、ゾーン30が設定されているため、その内部は、規制速度を30[km/h]に設定した。



図11 道路情報における規制速度と実勢速度の設定

(5) 歩行者・自転車情報の設定

各モデル都市の県警が公開している事故発生状況及び発生地点を調査し、事故が多い地点に歩行者、自転車の走行経路を設定した。また、自転車及び歩行者の交通量の設定に必要な基礎データを取得するために、当該現地で交通量調査を行い、その集計結果を地図データに設定した。(図12参照)

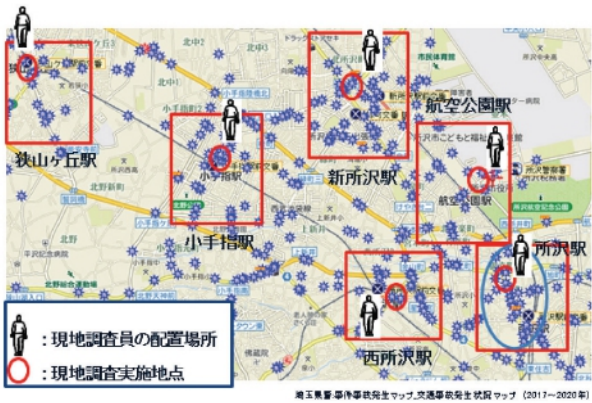


図12 歩行者事故発生地点及び交通量調査地点

(6) モデル都市における交通量の設定

本施策では、国土交通省より提示いただいた全国道路・街路交通情勢調査 自動車起終点調査(以下「OD調査」という)と自動車保有台数調査をもとに、車両区分ごとの交通量を図13に示す変換方法にて算出した。

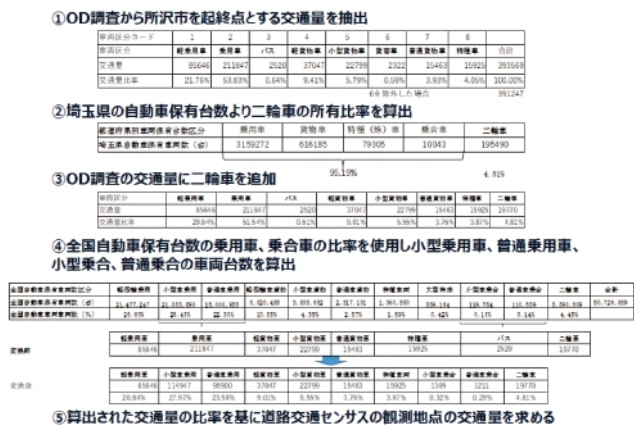


図13 OD調査に基づく交通量按分方法

従来使用していた道路交通センサスでは車両区分が普通車と大型車の2区分であったが、精度向上のために、OD調査における車両区分と自動車保有台数調査における車両区分を参考に、道路交通センサスの交通量を全10区分に按分し、シミュレーションで使用する交通量とした。(図14参照)

注：ODのOは起点(Origin), Dは終点(Destination)を表し、本施策においては、交通参加者(車両, 歩行者, 自転車)のシミュレーション上への出場退場地点を指す用語として用いる。

平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 箇所別基本表

線番	路線名	交通量観測地点地名 市 区 丁目 郡 町 字	基幹12時間自動車交通量			24時間自動車交通量		
			上下合計		上下合計			
			小型車 (台)	大型車 (台)	合計 (台)	小型車 (台)	大型車 (台)	合計 (台)
①	463 一般国道4 6 3号	所沢市牛沼437-5	11488	2447	13935	15612	3340	18952
②	463 一般国道4 6 3号	所沢市有楽町14-14	11513	2431	13944	15654	3310	18964
③	463 一般国道4 6 3号	所沢市西所沢2-4-12	8014	1028	9042	10464	1471	11935
④	463 一般国道4 6 3号	所沢市林3丁目54番地7号	23183	2317	25500	31789	4931	36720
⑤	463 一般国道4 6 3号	所沢市東所沢1丁目177番地6号	12698	965	13663	16681	1764	18445
⑥	4 東京所沢線	所沢市北所沢125	11785	1464	13249	15551	2203	17754
⑦	4 東京所沢線		6133	828	6961	8801	1292	10093
⑧	6 川越所沢線	所沢市上野松1286-7	8737	1249	9986	11511	1770	13281
⑨	50 所沢狭山線	所沢市北所沢258番地34号	8719	649	9368	12433	914	13347
⑩	55 所沢狭山線	所沢市上野松190番地7号	4926	674	5600	7008	975	7984
⑪	179 所沢青梅線	所沢市所沢1746番地1号	8920	1781	10701	12496	2661	15157
⑫	223 狭山ヶ丘停車場線	所沢市西狭山ヶ丘1-2421	7142	1060	8202	9306	1439	10745

平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査 集計表 (道路交通センサス 抜粋)

OD調査に基づく交通流 (最終シミュレーションに使用)

	軽乗用車	小型乗用車	普通乗用車	小型乗用車	普通乗用車	軽貨物	小型貨物	普通貨物	特種	自転車
合計	20.84%	27.97%	23.57%	0.32%	0.29%	9.01%	5.55%	3.76%	3.87%	4.81%
①	14639	3050	4094	3451	47	43	1319	812	551	567
②	14649	3052	4097	3453	47	43	1320	813	551	568
③	9459	1979	2656	2239	30	28	856	527	357	368
④	25789	5582	7491	6315	85	79	2414	1486	1008	1038
⑤	14353	2991	4014	3384	48	42	1294	796	540	556
⑥	13918	2990	3892	3281	44	41	1254	772	524	539
⑦	7313	1524	2045	1724	23	22	659	406	275	283
⑧	10491	2186	2934	2473	33	31	946	582	395	406
⑨	9841	2051	2752	2320	31	29	887	546	370	381
⑩	5883	1226	1645	1387	19	17	530	326	221	228
⑪	11242	2342	3144	2650	36	33	1013	624	423	436
⑫	8616	1795	2410	2031	27	25	777	478	324	334

OD調査に基づき道路交通センサス情報を按分

図14 所沢市のシミュレーションで使用する交通

(7) 交通事故統計の設定

交通事故総合分析センター(以下「ITARDA」という)より入手した交通事故統計データを、図8で定義した車両区分ごとに変換し再集計を行った。再集計にて求められた事故発生比率をシミュレーションで再現するように実行パラメータを設定した。なお本施策で使用するシミュレーションは、図15に示すITARDAで分類している29の事故類型のうち、赤く示した8種の事故を取り扱っており、事故件数の約70[%]を再現する。

大分類	詳細分類
人対車事故	対面通行中、背面通行中、横断歩道横断中(注)、横断歩道付近横断中、歩道横断付近横断中、その他横断中、路上遊戯中、路上作業中、路上停止中、路上横断、その他
車両相互事故	正面衝突、追突、出会い頭、追越・追抜、追越変更時、すれ違い時、左折時、右折時、横断時、転回時、後追突時、その他
車両単独事故	工作物衝突、駐車車両衝突、路外逸脱、転倒、その他
列車事故	

(注) 但し、交差点での横断歩道横断のみ。

図15 ITARDAにおける事故分類

(8) 普及シナリオの設定

自動運転(運転支援)システムの普及率は、別施策「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」より提供される普及シナリオに基づいて算出している。別施策による普及シナリオはSAEの運転自動化レベルでの区分ではなく、また普及率ではなく走行距離として与えられるため、各走行距離の比率で自動運転(運転支援)車が普及していると考えて、SAEレベルでの普及率に換算した。(図16参照)ただし、今回提供いただいた普及シナリオにおいてはSAEレベル5に関しては現時点では

予測困難なため2050年度まで普及率0[%]と仮定した。

普及シナリオ	走行距離(km)									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2050	2050
乗用	1941284200	1543791800	9962872000	4482214300	1552783400	307487400	85041900	4832100		
軽自動車	474417700	4812177000	1062910100	1459541900	15980349200	1603288400	14101217000	11987438100		
軽乗用車	0	293208200	40722000	92922000	199929800	62624300	21484400	524100		
乗用車	0	18693900	1228910200	13481800	102967800	64437000	40801200	33078000		
軽乗用車	0	0	296139100	1492348000	1279183000	87478200	41905400	12809400		
乗用車	0	0	42483400	2483733000	2483733000	4277842000	5254489900	5223779300		
軽乗用車	0	0	0	0	0	0	0	0		
合計	241572200	241572200	22,902,070,200	22,902,070,200	22,902,070,200	21,897,844,400	20,258,708,700	17,658,161,700		

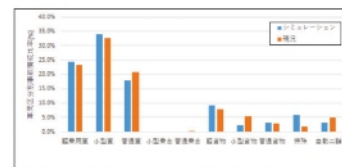
普及シナリオ	走行距離(km)									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2050	2050
乗用	19,741,700	15,437,918	9,962,872	4,482,214	1,552,783	307,487	85,042	4,832		
軽自動車	474,417	4,812,177	10,629,101	14,595,419	15,980,349	16,032,884	14,101,217	11,987,438		
軽乗用車	0	293,208	40,722	92,922	199,929	62,624	2,148	524		
乗用車	0	186,939	1,228,910	1,348,180	1,029,678	644,370	4,080	3,308		
軽乗用車	0	0	296,139	1,492,348	1,279,183	874,782	41,905	12,809		
乗用車	0	0	42,483	2,483,733	2,483,733	4,277,842	5,254,490	5,223,779		
軽乗用車	0	0	0	0	0	0	0	0		
合計	20,206,117	20,206,117	22,902,070	22,902,070	22,902,070	21,897,844	20,258,709	17,658,162		

普及シナリオ	走行距離(km)									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2050	2050
乗用	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
軽自動車	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
軽乗用車	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
乗用車	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
軽乗用車	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		

図16 普及シナリオから普及率への変換

(2) 事故発生状況の再現性確認

ITARDAから入手した交通事故統計と各モデル都市で公開されている交通事故発生地点のデータとシミュレーションで発生した交通事故の結果を比較し、交通事故発生比率と交通事故発生地点の観点で、シミュレーション結果と事故実態がほぼ一致していることを確認した。(図18参照)



地図データ@Google 埼玉県警察:事件事故発生マップ

図18 交通事故発生状況比較(所沢市)

5 シミュレーション結果の確認

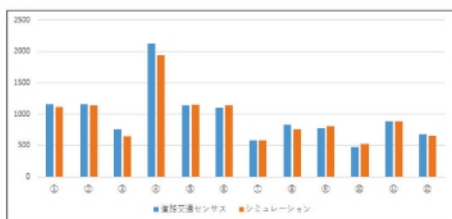
交通事故削減効果の推計は、以下の(1)～(4)のプロセスを経て行われる。(1),(2)は、シミュレーションが現実の交通量や事故を再現できているかの妥当性確認である。

(1) 交通量の再現性確認

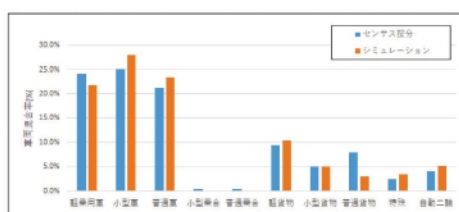
モデル都市(埼玉県:所沢市,茨城県:常総市,長野県:山ノ内町)の道路交通センサス観測地点での交通量が現実の交通量と合っていることを、図17に示すように、交通量と車両混在率の2つの観点から確認した。



地図データ@Google



観測地点ごとの交通量比較



モデル都市(所沢市)における車両混在率

図17 観測地点における交通量比較

(3) 自動運転(運転支援)システムによる交通事故削減率の算出

図19は、大都市モデル(所沢市)について、自動運転(運転支援)システムの普及率を用いてシミュレーションを実行した際の、2015年の交通事故件数に対する事故の削減率を算出したものである。

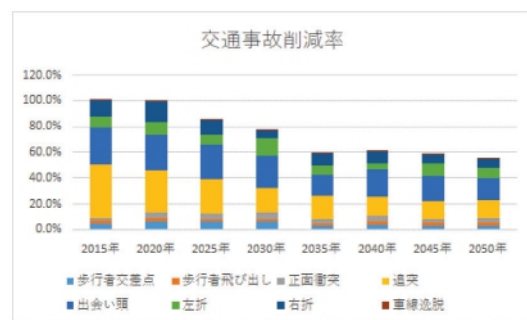


図19 所沢市における交通事故削減係数算出

(4) 全国規模における交通事故発生状況の推計



図20 モデル地域の交通事故件数より全国規模推計

図20は、本稿5(3)と同様な手法に基づき、本施策において設定したモデル都市（大都市，地方都市，過疎地）ごとの交通事故削減率を算出した上で、それぞれが、全国の市区町村におけるモデル地域を代表する値であると仮定し、全国のモデル地域ごとの交通事故発生件数及びそれらを積算することによって全国規模の交通事故発生状況を推計したものである。

の一考察，pp.2(2004):

http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/200411_no30/pdf/228.pdf

- (9) 平成20年度規制速度決定の在り方に関する調査研究報告書，pp.4-17(2008)

6 おわりに

本施策においては、現実の交通量や事故などの統計データを用いてシミュレーションの妥当性を検証した。また、本シミュレーションをもとに、交通規制情報及び別施策「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」より提供された自動運転（運転支援）システムの普及シナリオなどの前提条件を設定することによって、システムの導入による交通事故削減効果をより高精度に推計できることを示した。今後、「自動運転による社会・経済に与えるインパクト評価と普及促進策に関する研究」において、社会経済インパクト評価のため、自動運転の普及シナリオごとの交通事故低減効果等の推計を進めて行く。

【参考文献】

- (1) 経済産業省：平成30年度経済産業省委託施策「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」
- (2) 官民ITS構想・ロードマップ2019：
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryu9.pdf>
- (3) 本間亮平ほか：前方車両衝突防止支援システムの効果予測：危険の予期が低いドライバの衝突予知警報に対する反応特性，自動車技術会論文集，Vol.43，No.3，pp.769-775，2012
- (4) 日本工業規格：高度道路交通システム—アダプティブ・クルーズコントロールシステム（ACC）—性能要求事項及び試験手順（JIS0801:2012），pp.6-12，2012
- (5) 経済産業省：平成28年度スマートモビリティシステム研究開発・実証事業「安全設計技術の開発」
- (6) Vehicle Owners' Experiences with and Reactions to Advanced Driver Assistance Systems: <https://aaafoundation.org/vehicle-owners-experiences-reactions-advanced-driver-assistance-systems/>
- (7) 橋本成仁：平成26年度交通安全フォーラム 基調講演7，2014：
<https://www8.cao.go.jp/koutu/keihatsu/forum/h26/pdf/kouen7.pdf>
- (8) 樋口恒一郎ほか：ヒヤリハットデータを用いたアウトカム指標

地理系アーキテクチャの設計と構築(概要)

松本光太郎, 古賀康之 (内閣府)

(概要) SIP自動運転では、自動運転のための高精度3次元地図の生成・配信や、その地図に紐づく交通環境情報の生成・配信を通し、ダイナミックマップの構築に取り組んでいる。これらの地理系データは自動運転や高度運転支援システムにとって有効であるばかりでなく、MaaSや災害発生時の避難支援、人流・物流のマネジメントなどにも活用が期待されている。分野間のデータ連携・データ活用が不可欠となるSociety 5.0の実現に向け、SIP自動運転では、自動運転等に利用する交通環境情報の生成・配信に加え、データビジネス市場の創出を目指し、地理系データの流通を促進する交通環境情報ポータル構築を進めている。

1 背景

我々がSociety 5.0として目指すべき社会では、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させ、ビッグデータとAIの活用から生まれたイノベーションにより、新たなビジネスモデルが誕生し、様々な分野で新たな価値が創出され、経済社会システムのパラダイムシフトが起こることが期待されている。こうしたイノベーションの創出を実現するためには、これまでのように分野ごとのデータのみならず、分野の垣根を越えてデータを連携させることが重要である。

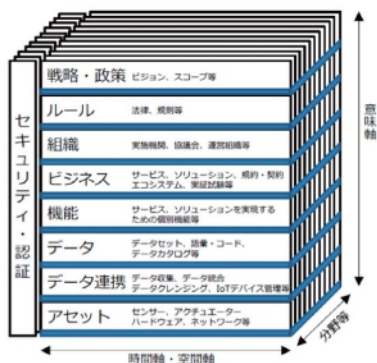


図1 Society 5.0リファレンスアーキテクチャ

そのため、SIP「ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術」では、「分野間」及び「分野ごと」のデータ連携基盤の整備と、これら基盤間の相互運用性の確保も含めた、全ての関係者の見方・理解を深め、相互に連携・協調可能な技術開発や標準化するための

フレームワーク(以下「Society 5.0リファレンスアーキテクチャ」という。)に基づくアーキテクチャの構築と実証を2019年から開始した。アーキテクチャの構築は、スマートシティ、地理情報関連分野(自動運転、農業、防災、インフラ)、パーソナル関連分野において、AI技術開発、社会実装、分野間連携、国際標準化戦略等の加速を目指した取組が進められてきた。

2 SIP自動運転での取り組み

SIP自動運転では、自動運転分野における地理系データに係るアーキテクチャの構築に取り組み、Society 5.0リファレンスアーキテクチャを参照しつつ、地理系データに係る自動運転分野のアーキテクチャ(以下「自動運転アーキテクチャ」という。)を構築した。

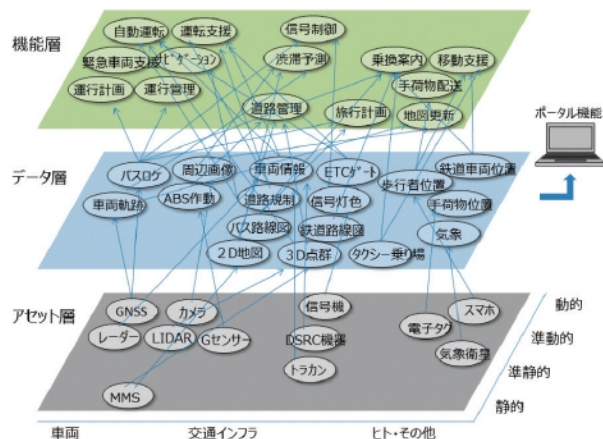


図2 自動運転アーキテクチャ

(1) データ連携の促進

地理系アーキテクチャの設計と構築(概要)

自動運転アーキテクチャに基づき、交通環境情報の多分野での活用を図るため、①交通環境情報ポータル
の構築、②物流・移動分野におけるユースケースに基
づく東京臨海部における実証実験、③観光都市である
京都の交通に係る課題を解決するアプリコンテスト、
④地方部における自動運転サービスに活用できる共通
の運行管理・予約システムの開発などを実施してきた。

さらに2020年には、国内外におけるモビリティ関連デー
タ利活用の取組事例を調査・分析し、官民が連携し、関
係するステークホルダーが当該データを円滑かつ適切に
利活用するための環境を整備することを目的として、モビ
リティ関連データの利活用に関して、Society 5.0リファレ
ンスアーキテクチャの上位レイヤーの戦略・ルール・組織
層を対象とした検討を実施した。検討結果を踏まえ、デー
タ提供者、サービス提供者、情報収集者、学識経験者か
らのヒアリング、有識者で構成される検討会の議論の結
果として、モビリティ分野におけるデータ取扱いに関する
ガイドライン案及び官民データ連携提案書を取りまとめた。

2.1. 交通環境情報ポータル「MD communit™」 の構築・公開

交通環境情報ポータルの構築に際しては、自動運転アー
キテクチャに基づき機能層におけるサービスを想定しつつ、
データ提供者とデータ利用者とのマッチングのトリガー
となるために、交通環境情報データ等のデータ層を集約
して可視化・カタログ化することで、ワンストップで閲
覧可能とすることを目指した。さらに、キーワードだけで
なくエリアや利用目的を鍵とした高度なデータ検索機能
や機械学習による類似データの検索、サジェスト機能、
ニーズとシーズのマッチングを促す機能等を具えている。

本ポータルは、オープン化されたAPIで多様な利用
者が交通環境情報を様々なサービスに利活用できるよ
うにし、情報流通の促進と新たなサービスの創出を支
援するポータルサイト「MD communit™」として、ま
ず、2020年10月に普及展開のためのウェブサイト
(www.adus-arch.com)を開設、公開した。その後デー
タ提供者を中心にユーザーの拡大を図り、2021年4月に、
11の参加企業・参加団体を得て、一般公開を行った。

交通環境情報ポータル「MD communit™」は、今後
も継続して交通環境情報を多用途に展開するために必要
な要件、仕組み等について検討を行いつつ、社会実装を
目指して、普及促進や機能向上を進めて行くこととしている。



図3 MD communitの普及展開のウェブサイト

2.2. アプリコンテストの開催

交通環境情報やモビリティ関連データを活用した交通
に関する課題を解決するユースケースを創出、拡大する
観点から、多くの観光資源を擁する世界的な観光都市で
ある京都が抱える観光や交通に関する課題を解決するア
プリやアイデアを募るコンテスト(「観光・交通に関する
課題解決のためのアプリコンテスト(愛称:KYOTO 楽
Mobi コンテスト)」)を実施した。コンテストの実施にあ
たっては、SIP自動運転において、京都市交通局を始め
とする事業者の協力を得て、バスや鉄道等の公共交通シ
ステムの駅、停留所、路線、ダイヤ、運賃データ、物流
における手荷物一時預かり・配送サービス及び店舗デー
タ、観光施設に関する混雑予想、観光スポット情報、拠
点案内サービスAPI、混雑統計データ等を整備、提供した。

コンテストの実施を通じて、交通環境情報ポータル
の認知度向上を図るとともに、コンテストにエンター
したデータ利用者からのフィードバックを得てポータル
の改良につなげてきた。

2.3. 地域の自動運転サービスの支援システム開発

地方部における自動運転サービスの社会実装にあつ
て、地方の過疎地等における自動運転サービスにおけ
る機能、データ、アセットを整理して、共通的な課題を
明確化し、高齢者等を含む誰にでも優しいインターフェ
スを有する共通的な予約・運行管理システム(車両位置
のロケーション管理、車内外カメラ映像による安全監視、
予約管理、乗降情報管理等)を開発した。開発にあつ
ては、SIP自動運転において自動運転サービスの社会実
装を進めている秋田県上小阿仁村や島根県飯南町にお
ける取組と連携して実証実験を行い、サービスの提供
者及び利用者の声を反映して、機能改善等を行ってきた。

今後は、安価で便利なシステムとして提供しつつ、
地域間連携を強化する観点から、交通環境情報ポータル
におけるコミュニケーション機能の活用等も視野に、
システムを含む支援サービスの事業化を目指している。

(1) データ連携の促進

地理系データのアーキテクチャの設計 —交通環境情報ポータルサイトの構築・普及

磯尚樹 (株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

(概要) 自動運転の実現に向けて整備される高精度地図データや道路交通、車両プローブ等の収集データは、交通環境情報として自動車産業以外にも様々な産業での活用が期待できるとし、これらの情報がより安全に使いやすい形で流通できるための仕組みづくりが重要と考えられる。この仕組みを実現するため、モビリティ分野のデータを集約し他の分野との連携を行う交通環境情報ポータルサイト「MD communit™」を構築し、一般公開した。MD communit™の持続的な運用を目指し、会員企業の獲得や各種プロモーションによる認知度の向上、オフライン/オンラインでのマッチングの場づくり等の普及促進活動を進めている。さらに、本仕組みを社会実装する上で重要な鍵となる交通環境情報を、他の分野の情報とも組み合わせ有効利用するサービス事例づくりとしての実証を進めている。

1 交通環境情報ポータルサイト 「MD communit™」の構築・公開

1.1. ポータルサイトの提供価値

本プログラムの目標として、「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」とあるように、自動運転の実用化に貢献することによって安心・安全な社会の実現と社会課題の解決及びそのための新たなビジネス価値の創出が求められるものと考えられる。

本プログラムの目標達成に寄与するために、人や情報、データが集まり、様々なアイデアやサービスを創出するための場として、交通環境情報ポータルサイト「MD communit™」を構築した。本ポータルサイトでは、世の中に散在するモビリティ分野の多種多様な交通環境情報を一元的に集約するとともに、ユーザー同士のコミュニケーションの場を様々な形で形成することで、ポータルサイトを通じた、データの利活用及び新たなビジネス創出の促進することを狙いとしている。

そのため、ポータルサイトに実装する機能としては、カタログ検索サイトとしての機能とビジネスマッチングを促進するための機能の大きく2つにフォーカスをあて、ポータルサイトの開発を進めている。

例えば、カタログデータの検索機能に関して言えば、ポータルサイト側からユーザーに対してプロアクティ

ブな提案を行える形での検索サービスとして構築することや、マッチングを促進するためのユーザーによるニーズ/シーズの登録機能やユーザー間同士のコミュニケーション機能等の開発に注力している。

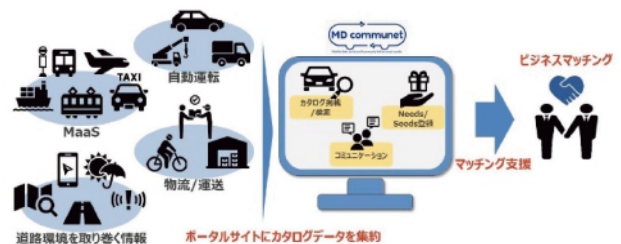


図1 ポータルサイト通じたビジネス創出のイメージ

また、本ポータルサイトは様々な分野や職種のユーザーから利用されることを想定しているため、開発を進めていくにあたっては、ユーザーから定期的にフィードバックを受け、UI/UXの側面にも留意した上で、開発を実施している。

1.2. ポータルサイトの提供機能

上述の通り、本ポータルサイトの機能としては、プロアクティブな検索機能やビジネスマッチングを促進するためのコミュニケーション機能に注力して開発を進めている。

主なポータルサイトの提供機能を以下に示す。

(1) データカタログ検索機能

ユーザーが、目的とするデータに容易にたどりつくこと可能とするために、多様な検索方法を実装・提供するとともに、その検索精度を向上させるための機能である。

例えば、検索方法としては、データカテゴリで絞り込むカテゴリ検索機能やユーザーが入力したキーワードを

(1)データ連携の促進

地理系データのアーキテクチャの設計—交通環境情報ポータルサイトの構築・普及

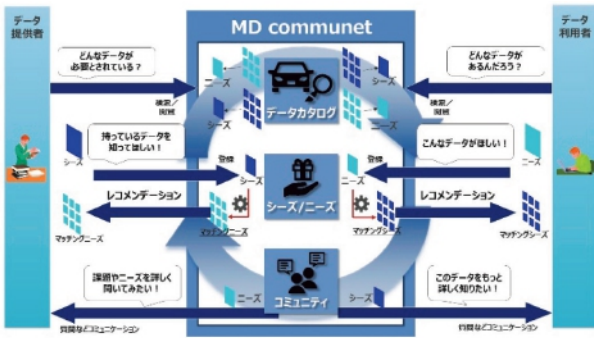


図2 ポータルサイトが提供する機能の全体像

元に、メタデータ、ファイルテキストを対象に検索するキーワード検索機能といった、基本的な検索機能から、情報の持つ概念的情報をもとに類似した情報を検索する方法やユーザーが登録した情報に類似する情報をシステムが自動的に検索するインテリジェンスな機能を具備している。これらの検索方法に加え、検索精度の向上を目的として、ユーザーのテキスト入力をサポートするような正規化(半角全角, 大文字小文字, 異体字, 表記ゆれ等の変換, 検索時にノイズとなるキーワードの除去)の機能や検索時の検索キーワード提案する類義語機能, 機械学習を使った学習モデルを生成することによる, 入力途中でのキーワード提示といったサジェスト機能を実装している。

(2) ニーズ/シーズ登録機能

データ提供者/利用者が持つニーズとシーズを可視化し、マッチングを支援する機能である。

ユーザーが登録したニーズやシーズ情報の他、過去のカタログデータの登録情報や他のユーザーの登録情報等のデータを基に、システムが合致する情報を発見した場合、ユーザーに対して、ユーザーの属性に即した、推奨されるカタログデータの情報を通知する自動検索機能を実装することで、システムでのユーザー同士のマッチングを支援する。

(3) コミュニケーション機能

データ提供者, 活用者が直接繋がることにより, 新たなデータ利用方法の発掘や直接的なビジネスマッチングを促進するための機能である。

具体的には掲載されているデータを評価する機能や, データやニーズ/シーズに対して関心があった場合に, 直接ユーザー間でコミュニケーションをとることを可能とするメッセージ機能を実装している。

1.3. 一般公開に向けた取り組み実績

2021年度の一般公開に際して, ポータルサイトを通じたユーザー同士のニーズとシーズのマッチング率

の向上やユーザーのポータルサイトの利便性の向上を目的として, 一部の先行会員や京都アプリコンテストのユーザー等からのフィードバックも踏まえ, 継続的な追加開発を実施している。

例えば, 取り扱いデータの情報の更新を可能な限り, リアルタイムにポータルサイト上へ反映させるために, 一部のデータカタログに対して, データ提供元のメタデータ情報を定期的に収集し, ポータルサイトが保有するメタデータと合わせてカタログを再構築する機能を構築している。また, マッチング精度の向上を目的に, ユーザーがメタデータを記述する際の記述誘導・サジェスト機能を追加したりするなど, ポータルサイトの機能を充実するための機能を開発している。

また, G空間情報センター, SIP4Dといった, 既存のデータプラットフォームとの連携も実施している。既存のデータプラットフォームが保有するデータカタログを本ポータルサイトと系統的に連携させることで, データカテゴリの拡充を図るとともに, 自動車分野だけでなく, 地理空間情報, 防災といった分野等との, 分野横断的な取り組みも進めている。

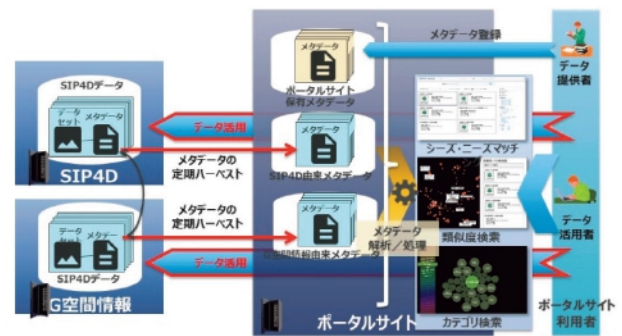


図3 機能充実のための追加開発例
～メタデータの定期ハーベスト機能イメージ～

この他にも, 会員企業の更なる獲得を目的として, 普及促進活動HPから, ポータルサイトへ連携するためのシステム導線の最適化を検討する等, 普及促進活動とも連携して開発を進めている。

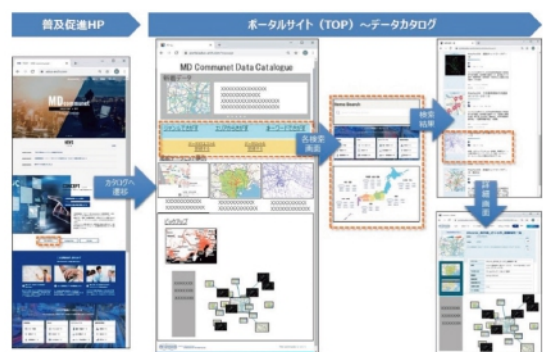


図4 普及促進HPとの導線最適化

1.4. ポータルサイトを起点としたビジネスマッチングの創出

2021年度のポータルサイトの一般公開以降、会員企業の拡大やそれに伴うデータカタログの拡大等によりビジネスマッチング創出機会が増え、より多くのデータや人、情報があつまる場として、ポータルサイトの役割はより重要になっていくものと想定している。

今後の開発方針として、ポータルサイトからのプロアクティブな提案機能やコミュニケーション機能等、ポータルサイトをトリガーとしたデータ利活用ビジネスの促進に寄与するための機能開発を進めていく。

2

MD communit™の普及促進に向けた取組

2.1 取り組み概要

MD communit™を継続的に運営していくためには、広く認知してもらい仲間を作っていくことと、マッチングによるデータ利活用の促進をすることで、新しいサービスや価値を創出していくことが大切である。仲間づくりにおいては、MD communit™の取り組みに賛同し、共に創っていくことができるパートナーを見つけるだけでなく、利用者が円滑に取引を行えるような運用や推進体制を構築することが必要である。データ利活用の促進においては、広く交通環境情報を収集するだけでなく、官民双方が持つ特徴的なデータを掲載することで、知らなかったデータとの出会いをつくり、新しいサービスや価値の創出に繋げていくことが必要である。そこで、2019年度、2020年度においては、特に仲間づくりおよび掲載データ拡充、認知度向上に焦点を当てた。

2.2 MD communit™の仲間づくり

ポータルサイトの継続的な運用のためには、各プレーヤーとの人的リレーションを含めた「マッチング」が大前提かつ最重要であると考え、本事業への仲間づくりを目指した。まず初めに、仲間づくりをする上で重要となるMD communit™の訴求ポイントを洗い出すため、本事業の目的やコンセプトに基づき、目指す世界観や提供価値の整理を実施し、本事業で形成したいエコシステムについて定義した。

次にエコシステム実現のために必要なステークホルダーについて官・民それぞれ調査／整理を実施した。まず、道路上での車、人の流れを可視化し、交通環境

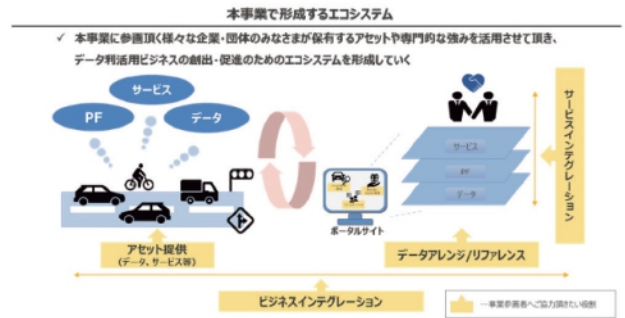


図5 本事業で形成するエコシステム

情報が使われるユースケースを想定し、それらのデータの収集や配信の流れについて調査を実施した。次に、そこから見えてきたステークホルダーを官と民でそれぞれ分類した。官においては、交通環境情報を保有もしくは管轄する官公庁、公益社団法人等の外郭団体を想定。民間においては、テレマティクスサービスを行うような事業者やサービス事業者を想定した。それらのステークホルダーの関係性について整理し、候補事業者の選定を行った。

※具体的な事業者名は割愛

ID/ID	所属する業種(官公庁)				
	メーカー	建設/IT/不動産/流通/IT	物流(宅配、郵便、運輸等)	通信(電力、ガス、水道)	教育
民間(法人)組織					
民間(個人)組織/サービス					
官公庁組織					
個人組織					

※具体的な事業者名は割愛

ユーザー属性	2019年度(2019年度)					2020年度以降(2020年度)				
	10代	20代	30代	40代	50代	10代	20代	30代	40代	50代
男性(10代)										
男性(20代)										
男性(30代)										
男性(40代)										
男性(50代)										

図5 候補事業者のマッピング

2019年度においては、マッピングした候補事業者に対して、今後の普及促進活動やポータルサイトの機能等へ活用することを目的として、ポータルを目指す世界観やサービス内容に対する興味・共感度や自社でのポータルを活用したビジネスへの関心・確度、また、ポータルサイトの機能や取扱いデータの要望等を把握するためのヒアリングを実施した。ヒアリングを通じて、今後のポータルサイトの機能開発やポータルサイト運営等の普及促進活動に係る示唆も得ることができ、ポータルサイト開発へフィードバックするとともに、次

年度の検討課題とした。2020年度においては、様々な企業から交通環境情報を集約し、カタログデータとして掲載することが重要と考え、データ提供者候補事業者にアプローチを行うこととした。その結果、MD communit™の取り組みに賛同する9社+2団体の事業者の会員を得ることができた。



図6 MD communit™参画企業一覧

参画企業からのカタログデータ提供により、5000件を超えるカタログデータの取得することができた。また、継続的な事業者への働きかけを行うことで、車両プローブ等の先進的なデータの取得見込みを得ることができた。

2.3 認知度向上に向けた活動

2020年度はポータルサイトの公開に向けてMD communit™を広く認知・興味関心を持ってもらうためのコンテンツの制作や各種プロモーション活動も積極的に実施した。

まず、2020年10月の情報公開に合わせ、MD communit™を候補事業者へ紹介するほか、今後の普及展開において、広く認知・興味関心を得ることができるツールとして普及促進HPを制作し、公開した。この普及促進HPは、HP訪問者へポータルサイトの価値や機能を周知し、会員登録への動機付けを行うことを目的としたものである。そのためデータカタログの入口として、提供サービスの概要や掲載カタログ情報、ユースケース、サポート内容、会員登録方法等の各種情報を掲載し、サービスについて理解して頂き、興味を持っていただいた上で会員登録やお問い合わせに誘導できるような導線設計を行った。また、設計をする上ではMD communit™の認知者/非認知者双方にとって煩わしくないUIの実現を目指したサイト構成を設計し、制作を行った。公開後は、各種プレスリリースやSIP自動運転関連のWebサイトとの連携により、認知度の向上に取り組んだほか、普及活動を実施する際の紹介ツールとして活用することができた。

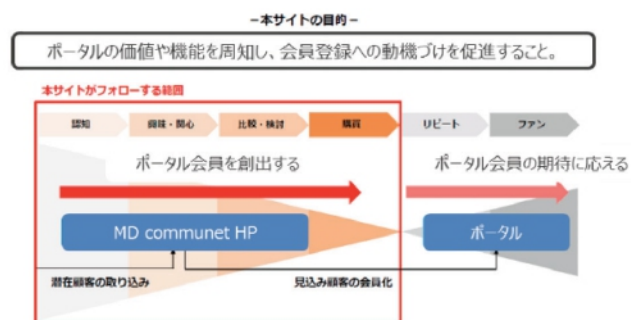


図7 普及促進HPの目的

次に、MD communit™についての理解を促進するためのコンテンツとして、プロモーション動画を制作した。各種イベントで放映する他、SIP caféのHPにて公開し、興味関心を引いて普及促進HPへ誘導するような導線を設計した。これによりSIP caféからのサイト流入も増え、認知度向上に繋がった。

交通環境情報ポータルサイト『MD communit』でビジネスが広がる
2021/7/15



図8 SIP café ニュースリリース

上記コンテンツ制作だけでなく、イベントを通じたMD communit™の認知度向上を目的とした活動も行った。MD communit™の認知およびモビリティ

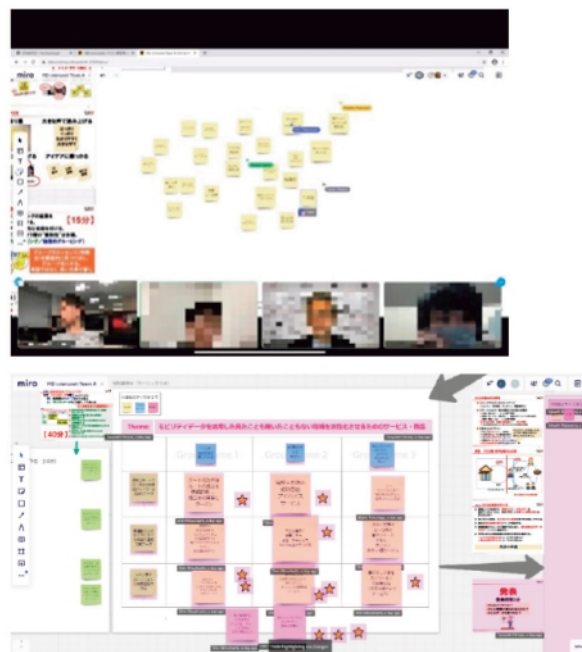


図9 イベント当日の風景

データの利活用の可能性の訴求のため、セミクローズな環境でのアイデア創発を通じて、モビリティデータの価値の再発見、アイデア発想手法の体感、今後のパートナー企業になりうる企業との出会いを作るためのイベントを開催した。当日は、慶應義塾大学システムデザインマネジメント研究科の協力の基、広くモビリティ業界に関わる企業が、講義およびワークショップを通じて様々なアイデアを出し合った。またイベントを通じて企業同士の交流も生まれ、イベントにおける企業同士のマッチングの可能性を得ることができた。

2.4 2021年4月の一般公開とその後の活動方針

2021年4月にポータルサイトの一般公開を実施した。一般公開に合わせては各種ニュースリリースを行い、各媒体でのニュース掲載がなされた。多くの企業からも問合せや会員申請があった。今後もポータルサイトの活性化に向けて、継続してポータルサイトの利活用を促進する仲間づくりを意識して進めていく。また、一般公開を迎え、データドリブンによる新たなビジネス創出を促進するために、データ利用者、提供者の課題・関心事項に対して、サイバー/リアル両面でのアプローチを行い、サービス化まで繋げていくことを活動方針に掲げた活動を実施していく。具体的には企業同士のマッチングに注力し、イベントを通じた企業同士の出会いの場づくりや、オンライン上で企業同士がマッチングできるようなコンテンツを整備するなど、サイバー/リアル両面によるサポートを実施していく。

3 実証事業推進

3.1 概要

自動運転分野における地理系データに係るアーキテクチャ（以下「自動運転アーキテクチャ」）に基づき、2019年度に「物流事業者向けサービス分野」及び「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス分野」について第1期SIPの事業の検討成果を踏まえて抽出した社会課題を解決するためのユースケースを設定した実証実験を行った。その結果、利用者同士がデータを出し合うことで、新たな付加価値あるサービスが成り立つ可能性を見出すことができた。

さらに2020年度には、業界共通の社会課題解決につながる協調データの物流分野での活用・連携に向け

て、物流業界が抱える課題等の調査を踏まえ、物流事業者の取組みや課題等に関連する協調領域化可能なデータ候補を抽出した。

また、SIPプローブ等車両情報を活用したアーキテクチャに基づく物流効率化のための調査・実証事業（以下、SIP物流効率化）の受託者とのディスカッションに基づき、上記データ候補の有用性及び提供性に係る課題及び課題解決の方向性を踏まえたポータルを活用したサービス創出イメージを検討した。

3.2 2019年度の取り組み

第1期SIPの取り組みをもとに、「物流事業者向けサービス分野」及び「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス分野」について第1期SIPの事業の検討成果を踏まえて抽出した社会課題を解決するためのユースケースを設定し、実証実験を行った。

社会課題としては、「物流事業者向けサービス分野」については安全走行を考慮した際の危険ルート回避の必要性等を含む、トラック運転者にとっての安心・安全な運転環境の提供を設定した。また、「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス分野」については、天候や混雑状況等の変化に臨機応変な、ユーザー属性にマッチした交通手段及びルート案内を含むパーソナライズされた移動手段（自動運転含む）を組み合わせたストレスフリーな移動支援を設定した。

「物流事業者向けサービス」では、交通関連情報ポータルを利用することで、データ利用者が認知していないデータや、これまでに気づけなかったデータ活用方法によって、安心安全な運転環境の提供や労働環境の改善等の提供といった価値をどの程度提供できそうかを検証することを目的とした。この目的に沿って、ユーザー間で交通関連情報の地理系データを協調的に提供・活用するためのアプリケーションのデモンストレーションを実施した。ヒアリング調査はトラック運転者及びトラック運転経験のある運行管理者、交通情報サービス業者を対象とした。

「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス」では、交通関連情報ポータルを利用することで、データ利用者が認知していないデータや、これまでに気づけなかったデータ活用方法によって、動的情報の提供による、従来よりもパーソナライズされた移動手段（自動運転含む）を組み合わせたストレスフリーな移動支援ができることを検証することを目的とした。

(1)データ連携の促進

地理系データのアーキテクチャの設計-交通環境情報ポータルサイトの構築-普及

この目的を達成するために複数のユースケースを組み込んだ実証実験シナリオを設定し、全ユースケースを実装したサービスアプリケーションを実験参加者が利用して機能評価及び課題抽出を実施した。

ユースケース	実証・評価内容
1 A. 搬入口(位置/荷待ち有無)/法定休憩を加味したルート案内	・物流協調領域として整備した搬入口(位置/荷待ち有無)や休憩スポットの情報を加味したルート案内を提供することで、 労働条件の改善に寄与 することを実証する。
2 A. 道路情報(幅員/高さ)によるルート回避 B. 交通標識に基づく注意喚起	・3D高精度地図から生成した道路情報(幅員/高さ)をもとに、 車幅規制/車高規制を回避したルート案内 を提供することで、 ドライバの安心・安全に寄与 することを実証する。 ・3D高精度地図から生成した交通標識をもとに、 走行中に注意喚起 を行うことで、 ドライバの安心・安全に寄与 することを実証する。
3 A. 通行実績情報を活用したルート回避と注意喚起 B. データ還流による通行実績情報の蓄積/活用	・ 通行実績がない道路の回避及び走行中の注意喚起 により、 ドライバの安心・安全に寄与 することを実証する。 ・プローブ情報から トラックの大きさごとに通行実績情報を蓄積し、データ還流による通行実績情報の利活用が可能 であることを実証する。
4 A. 災害時における危険道路/危険エリアの回避 B. 他分野連携による情報の共有	・災害発生時の被災状況に応じて、 危険道路や危険エリア全体を回避したルート案内 を提供することで、 ドライバの安心・安全に寄与 することを実証する。 ・防災情報の取得や蓄積した通行実績情報などにより、 他分野のデータ基盤(SIP4D)との連携方法を検証 する。

図10 「物流事業者向けサービス分野」における実証概要

ユースケース	実証・評価内容
1 ・合間時間を活用した旅程作成	・合間時間活用の導入により、合間時間内で行ける施設がユーザに提供され、 スムーズに旅程が組めるか を実証する。
2 A. 動的情報の変化による行程の更新(運行情報、迂回ルート、気象情報) B. ラストマイルの多種多様な移動手段の情報提供(自動運転、タクシー、シェアサイクル、徒歩(バリアフリー情報含む))	・動的情報の変化抽出と、多種多様な移動手段の情報提供により、 気象や鉄道の運転見合わせなどの回避や移動手段の確保が可能 となるかを実証する。 ・タミデータを使用し、 自動運転車を移動手段の選択肢として表示し、拡張性をアピール する。
3 ・イベントによる鉄道への影響情報の提供 ・ラストマイルの多種多様な移動手段の情報提供 ・時間的、空間的な混雑の分散	・イベント事前事後の混雑通知による意識づけと、移動手段の提供により、 時間的な面と空間的な面で混雑分散を促す ことが可能か実証する。
4 A. ユーザ属性にマッチした情報提供 ・データの還流による提供データの精度向上	・ データの還流 により、ユーザ属性と施設が紐づき、施設情報に付加価値が生成される。 ・施設情報の付加価値が還流し更新されることで、 ユーザ属性に、よりマッチするスポットや移動手段がリコメ ンド可能となるかを実証する。

図11 「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス」における実証概要

上記2件の実証に際して、データ提供と利用のための汎用的なAPI群を構築した。またセミクローズな領域で協調領域データを自律的に成長させるための還流機能も構築した。

更に、上記実証実験システム構成に基づいてシステム・アプリケーションを開発し、エンドユーザを交えながら、各ユースケースの実証・評価ポイントの検証を行った。

実証実験の結果、「物流事業者向けサービス」の実証では、トラック運転者にとって安心・安全な運転環境の提供、搬入口や休憩所、道路情報、交通標識等、特に不慣れなルート/道路環境が変更されたルートでの静的情報を考慮したルート案内は改善に寄与することを確認した。また、協調領域データの有用性及び範



図12 物流事業者向けサービス分野



図13 End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス分野

困については、公共目的の用途であれば協調領域として有用であるほかデータの性質によっては共有するメリットが大きいケースがあることを確認した。

「End to Endのマルチモーダルナビゲーションサービス」の実証では、ユーザーの属性情報等を考慮した、天候や混雑状況等の動的情報の変化に臨機応変な交通手段やルート案内の機能を実装した。また、アプリ経由で収集できる行動実績及び滞在時間等の情報は、マーケティングなどに有効活用できる情報となり得るため、ポータルを介して流通する協調領域のデータとして、他分野でのデータ活用の可能性を見いだした。

3.3 2020年度の取り組み

協調領域化データの仮説検証のため業界共通課題の解決につながる協調データの候補に対し、物流業界で生成される具体的なデータを活用してポータルで利用できるようにするための協調領域データの提供等に向けた課題抽出をおこなった。

はじめに、他分野でも活用可能な物流分野の協調領域データ候補の生成・提供可能性を模索するため、SIP物流効率化の実証で対象としているデータ候補に関して、データの種類、各々のデータ仕様などの確認を進めた。

協調領域データ候補の生成に向けては、2019年度の物流事業者ヒアリングや物流系のガイドライン、物

流事業者のCSRから有用とされている取り組みやキーワードをピックアップし、物流分野でも利用ニーズが見込まれるデータを抽出した。

抽出したデータをもとに、SIP物流効率化側でデータ利活用候補としている車両情報をアセットとしたデータの流通、アセットから抽出したデータの活用に係る課題について、ユースケースを設定して検討した。

ユースケースの選定においては、昨年度までに検討された分野毎（物流、自治体、建設、ナビ、自動車、インフラ）のデータ利用ユースケースのなかから、車両を扱う業務として分野横断での利活用が可能と考えられるものとしている。

No.	ユースケース名	概要
1	休憩スポット情報生成	デジタコのGPSとスポット情報を連携し、トラックが利用可能な休憩スポットを特定する。
2	通行実績情報生成	カーナビのGPSや進行方向と道路リンク情報を連携し、車種別の通行実績を特定する。
3	搬入口情報生成	デジタコのGPSとスポット情報・道路リンク情報を連携し、スポット（配送先）の搬入口を特定する。

図14 設定したユースケース

ユースケース設定後、SIP物流効率化事業者より共有された「車両から現在車両から取得しているデータ」のデータ項目一覧を基に、これまで検討してきたユースケースで扱うデータの有用性および提供性を検討した。データの提供性の向上を図るため、Society5.0のリファレンスアーキテクチャを参考に、ルール・ビジネス・テクニカルの3つの観点で課題を想定し、取り組み案を検討し、SIP物流効率化事業者とのディスカッションを実施した。ディスカッションの結果、ビジネス面及びでテクニカル面において、新規の課題が抽出された。

更に、抽出したデータの協調領域化に向けた課題および解決の方向性を踏まえ、トラック業界内でリアルタイムの駐車場空き情報を活用した駐車場シェアリングサービスの創出イメージを検討した。

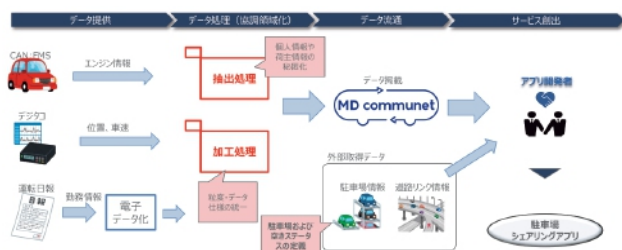


図15 課題解決の方向性を踏まえたサービス創出イメージ

3.4 今後の取り組み

2020年度は、協調領域化データの他分野連携ユースケースの検討及びデータの有用性・提供性の確認、課題整理、データ提供フロー検討や技術的処理仕様の検討を実施したうえで、MD communit™を活用したサービス創出イメージの検討を実施した。2021年度以降は、MD communit™に掲載されているデータから実際のサービスが創出されることを目指し、これまでに実施したサービス創出イメージの実現に向けた課題整理や各種仕様検討を実施し、詳細なサービス創出計画の立案を実施する予定である。

(1) データ連携の促進

観光都市における社会課題解決に向けた取り組み

林典之（株式会社三菱総合研究所）

（概要）交通環境情報を活用し、都市部における交通に関する課題を解決するユースケースを創出する観点から、多くの観光資源を擁する世界的な観光都市である京都市が抱える観光や交通等に関する社会課題を解決するためのアプリケーションやアイデアを募るコンテスト（「観光・交通に関する課題解決のためのアプリコンテスト（KYOTO 楽Mobiコンテスト）」）を実施した。コンテストの実施にあたっては、京都市交通局をはじめとする交通・物流・観光にかかわる事業者の協力を得て、バスや鉄道等の公共交通機関の駅・停留所・路線・ダイヤ・運賃データや、物流分野における手荷物一時預り・配送サービスや店舗データ、観光分野における施設・スポット情報、過去の混雑統計データや将来の混雑予想、地図API等を整備・提供した。コンテストの実施を通じて、交通環境情報ポータルサイトの認知度向上を図るとともに、様々な関係者との協議・調整によりポータルサイトに掲載するデータの収集・活用を実現した。

1 コンテストの企画・準備～開始 (2019年度の取組み)

都市部における人の移動や物流に関する課題解決に係るユースケースをいくつか想定したうえで、特に観光・交通に関する課題を抱える京都市を対象とし、交通環境情報（交通・物流・施設に関する様々なデータ）を用いた課題解決のためのアプリコンテストの企画を検討した。

ユースケースの検討にあたっては、都市部を対象とした移動・物流に関するサービスとして、様々な属性の主体（居住者、観光客、行政・交通事業者等）を対象とし複数のユースケースを検討した。具体的には、例えば観光客を対象としたユースケースでは、①生活者の動線を避けた観光ルートのご案内、②荷物を預けて観光できる「手ぶら観光」の推奨、③混雑予想を加味した目的地の提案、④混雑状況や交通機関の運行状況を考慮した案内サービス等を検討した。

生活動線を避けた観光ルートのご案内については、一部の人気観光地に向かう公共交通（生活バス等）に、観光客が過度に集中することにより、観光動線と生活動線が混在しているという課題が発生しているため、生活動線を避けた経路案内等を想定した。

荷物を預けて観光できる「手ぶら観光」の推奨については、観光客が大きな荷物を携えてバスに乗車し、バス車内の混雑に影響を与えているケースがあるため、「荷物は持って歩く」という観光客の意識を変え、荷物を預

けて観光できる「手ぶら観光」を推奨する方策を想定した。

混雑予想を加味した目的地の提案については、一部のエリアに観光客が集中する「オーバーツーリズム」が顕著になっているため、これを考慮した目的地の提案等を想定した。

混雑状況や運行状況を考慮した案内サービスについては、観光客から「公共交通機関が複雑であり特に路線バスがわかりづらい」「乗り間違えてしまうことがある」等の声があり、交通案内情報の提供に課題があるため、混雑状況や運行状況を考慮した案内サービス等を想定した。

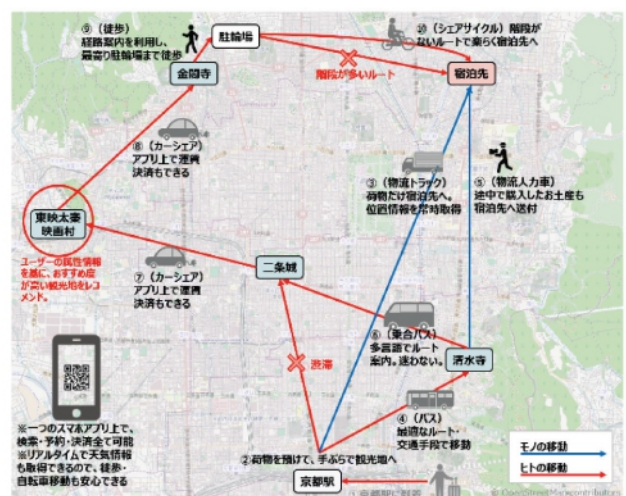


図1 ユースケースの検討例(観光客の場合)

以上のようなユースケースの検討を踏まえ、観光都市京都における移動・物流に係る課題解決に関すると考えられるさまざまなデータを「交通」「物流」「施設」の3分類で整理し、これらのデータを保有する主体など、

関係者に対し、事業の主旨説明、データ提供の依頼、必要となるデータの調達を行った。

なお、公共交通機関に関するデータについては、データの標準化や経路探索サービスでの活用等の観点から、できる限り標準的な形式「GTFS-JP」で整備・提供することとした。

以上の検討を踏まえ、京都市における観光・交通の課題解決に資するアプリケーションやアイデアを募るアプリコンテストを企画し、2020年2月から実施することとした。

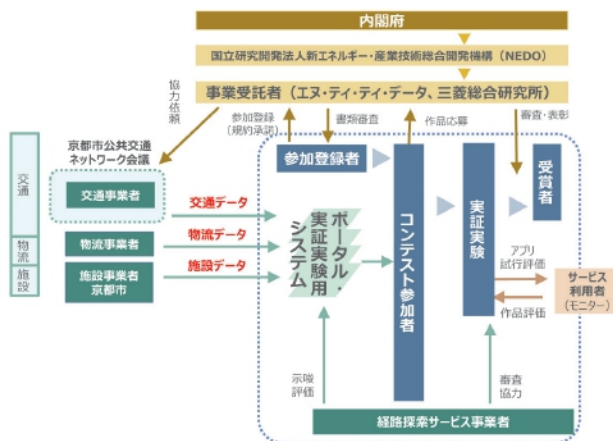


図2 アプリコンテストの実施スキーム

また、2020年2月14日にプレスリリースを行い、2020年2月25日にコンテストサイトの公開を開始した。



図3 公開開始したコンテスト専用サイト（告知）
出典）「KYOTO 楽 Mobiコンテスト」ウェブサイト
<https://web.contest.adus-arch.com/>

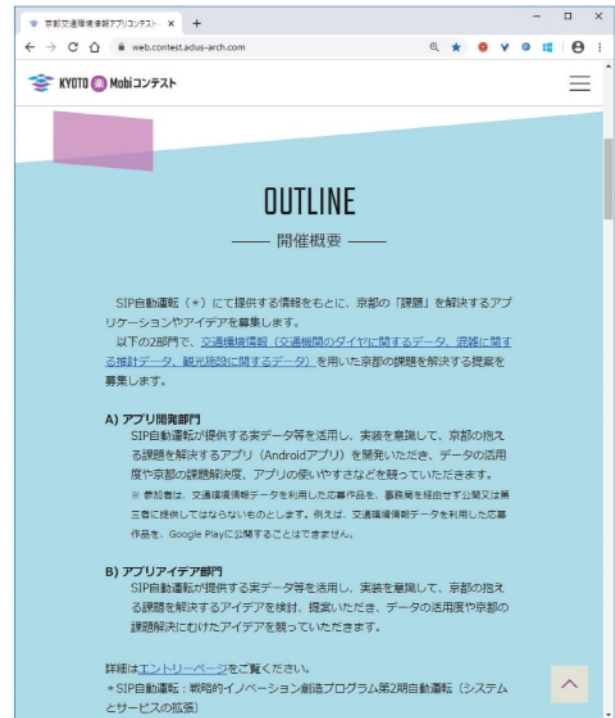


図4 公開開始したコンテスト専用サイト（開催概要）
出典）「KYOTO 楽 Mobiコンテスト」ウェブサイト
<https://web.contest.adus-arch.com/>

2019年度事業では、様々な関係者との調整からポータルサイトに掲載するデータの収集を実現したほか、交通環境情報やデータ・API等の提供環境を整備し、アプリコンテストを開始したことが成果であった。

2 コンテスト運営～審査・表彰等（2020年度の取組み）

2020年度は、「KYOTO 楽 Mobiコンテスト」の運営を進め、コンテスト参加者に対し交通環境情報のデータやAPIを提供するとともに、これらのデータの内容・仕様等の説明、京都市の抱える交通・観光に関する課題のレクチャーや意見交換、個別のコンテスト参加者に対するメンタリング等を行った。

「KYOTO 楽 Mobiコンテスト」は、アプリ開発部門、アプリアイデア部門の2部門構成により、事務局が提供する交通・施設に関するデータ（交通環境情報）を活用し、社会実装を意識した、京都の課題解決に資するアプリケーション作品またはアイデアを募集した。

アプリ開発部門では、事務局が提供する実データやAPIを活用し、アプリケーション（Androidアプリ）を開発し、交通環境情報データの活用度や京都の課題の解決度、アプリの使いやすさなどを競う内容とした。アプリアイデア部門では、同じく事務局が提供する

実データ等を参照・分析等したうえで、アプリケーションのアイデアを検討、提案し、データの活用可能性や京都の課題解決への貢献の期待度等を競う内容とした。

応募された作品に対し、書類審査やモニターユーザによる実証・評価を経たうえで、2020年10月17日(土)に最終審査会、2020年11月7日(土)に表彰式を開催し、7つの賞を選定・授与した。アプリ開発部門の最優秀賞「歩くまち・京都賞」は、公共交通機関のGTFS-JPデータをはじめ、さまざまな交通環境情報を活用し、京都来訪者の観光行動を支援するアプリ「(仮)京都観光アシスト」が、アプリアイデア部門の最優秀賞「SIP自動運転賞」は、手ぶらで歩き観光地の新たな価値を発見・提供するアプリアイデア「手ぶらで歩きたくなるアプリ-Teburan-」が受賞した。



図5 表彰式の様子

その後、アプリ開発部門の最優秀賞「歩くまち・京都」賞作品の制作者と打合せ等を実施し、社会実装に向け、アプリ完成に係る業務委託を行った。なお、アプリ開発に向けたGTFS-JPデータの処理については、GTFS-JPを事前に解析・統合したJSONファイルを初回起動時に組み込み、Android端末内で交通情報データベースを構築するかたちで構築している。

その結果、2つのバージョンのアプリが開発された。「(仮)京都観光アシスト(Android版)」では、京都市内の移動・観光支援のためのスマートフォンアプリとして、①地図・環境情報を表示する機能、②交通機関の経路・時刻表を表示する機能、③移動経路(観光ルート)の探索機能を実装した。



図6 「(仮)京都観光アシスト(Android版)」の画面

「観光ルート作成(Webアプリ版)」では、Androidアプリで使用する「お勧めルート」を登録・編集するWebアプリを作成した。

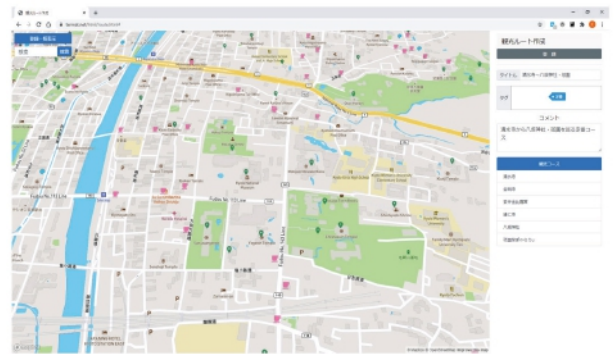


図6 「観光ルート作成(Webアプリ版)」の画面

さらに、上記コンテストにおいてデータ提供者となった交通事業者等と、継続的なデータ提供のための条件等の確認・協議を実施した。まず、アプリ開発部門最優秀作品で利用しているデータについては、該当データの提供者と個別交渉を行い、コンテストでの利用目的で締結した規約の契約期間を、2021年3月まで(本業務の契約期間まで)延長した。これにより、最優秀作品における継続的なアプリ開発にデータが利用できるよう、調整を行った。

また、アプリ開発部門最優秀作品が利用しているデータ以外についても継続的なデータ提供の可能性について協議し、特に交通事業者において、今回のようにある時点でのダイヤデータに関する資料をコンテストに提供することは問題ないという見解が多く得られた。ただし、この場合は、データ提供はコンテスト参加者のみに限定し、情報の品質に対してはコンテスト事務局で負うことを前提とする事業者が多かった。また、コストや作業の分担については、今後交通事業者において、GTFS-JPへの対応等が個社取組として検討されていく中で、その方向性に合致したものであれば、コンテストの機会等で継続的なデータ提供・活用と連携することも可能性があるという示唆が得られた。

3 今後の展開に向けて

2019~2020年度にかけて、アプリコンテストの企画・準備から、開催・運営、審査・表彰、社会実装に向けた検討等の取組を行った。今後は、交通環境情報ポータルサイト(MD Communit)の普及促進に資す

るため、引き続き京都を対象に第2回コンテストを実施することで、交通環境情報を用いた地域課題解決の取組の例として、特定の値域におけるデータの提供・活用のマッチングに係るエコシステムの構築促進や、成果が社会実装につながることを目指し取り組む方針である。このことから、第1回コンテストに加え、地元におけるデータ提供者・自治体等の関係主体、コンテスト参加者の間や、参加者どうしの交流の促進、運営に係る地元団体の巻き込み等を図っていく方針である。

(1) データ連携の促進

モビリティ関連データの 利活用促進に向けた環境整備

清水新太郎，目黒浩一郎，外山友里絵，愛甲聡美（株式会社三菱総合研究所），
田中清一（エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社）

（概要）モビリティ関連データは様々な用途での活用が期待されているが，データの取り扱いやステークホルダー間でのデータ連携に課題があり，ステークホルダーがデータ利活用に参画しやすくするための環境を整備する必要がある。本調査研究では，まずデータ利活用促進に向けた課題の調査・分析を行い，その結果を踏まえてデータ連携・利活用に向けたルール整備の在り方を検討した。分析の結果から，データ連携を加速させるための推進手順として，官データから利活用を始め，徐々に民を巻き込み本格的な官民データ連携を目指すことが有効である可能性が示唆された。また，分析の結果抽出したデータを取り扱う際のリスクに対し，データの取り扱い方法，および業界で取り組むべき事項の観点から対応策を検討した。検討結果は「モビリティ分野におけるデータ取り扱いに関するガイドライン」（以下「データ取り扱いガイドライン」）および「モビリティ分野における官民データ連携提案書」（以下「官民データ連携提案書」または「提案書」）に取りまとめた。

1 背景と目的

モビリティ関連データ（主にコネクテッドカーのデータ）の活用については，個車レベルの安全性向上から交通流制御や災害対応等の社会課題の解決に至るまで，様々な価値提供が期待されているが，個人情報を始めデータそのものの取り扱いに関する問題の他，ステークホルダー間のデータ連携のルールが未整備であること等から，その社会実装は順調に進捗しているとは言えない状況がある。

そのため本事業では，官民が連携し，関係するステークホルダーがデータ利活用に参画しやすくするための環境を整備することを目指す。

2 モビリティ関連データ利活用促進に向けた課題の調査・分析

2.1. ユースケース定義と検討対象

過年度のSIP検討成果からモビリティ関連データ利活用のユースケースを抽出し，本事業におけるユースケースとして9分野23ユースケースを再定義した。また，本事業における検討対象として，官民のデータを活用するユースケースをサービス利用者別（商用車・一般車・歩行者向け）に1つずつ選定した。ここで，選定の観点は以下とした。

- ・官民データ連携を目指すため，官民双方のデータを活用すること
- ・モビリティデータとして，車両あるいは歩行者から取得するデータを活用すること
- ・データ利用者でユースケースを3分類（商用車※，一般車，歩行者）し，各分類のいずれかにおいて最も多様なデータを活用すること

※：ここでは「商用車」は，車両管理者によって管理される，物流車両・建設車両その他業務用車両を含む。

2.1.1. 商用車ユースケース（トラック運転者の安心・安全な運転環境につながる情報提供）

収集したデータをもとに，車両サイズに応じたルート案内や事故・災害時のリルート案内の情報をドライバーに提供する。円滑な走行を実現し，トラックドライバーの安心・安全に寄与することを目指す。（図1）

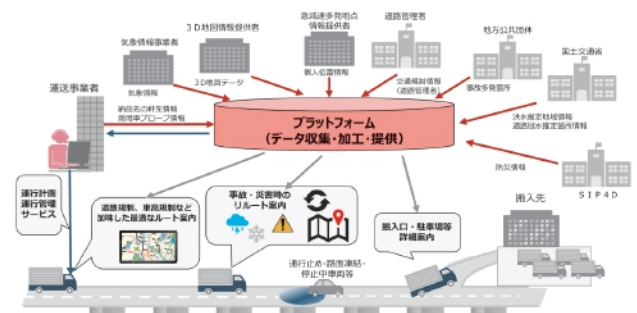


図1 商用車ユースケースのハイレベル業務概念図

2.1.2. 一般車ユースケース(車両(ドライバー)への高度な情報提供)

収集したデータをもとに、車線レベルの情報提供を実施する。また、詳細な情報提供により円滑な走行を支援し、安心・安全なナビゲーションの実現を目指す。(図2)

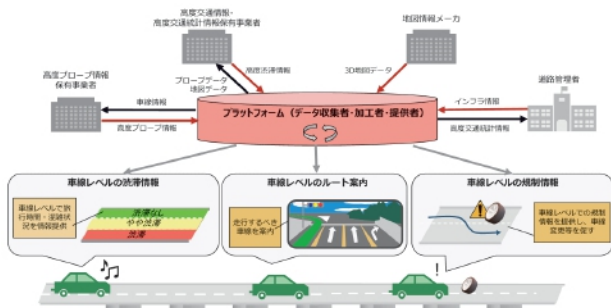


図2 一般車ユースケースのハイレベル業務概念図

2.1.3. 歩行者ユースケース(分かりやすく円滑な移動のための情報提供)

収集したデータをもとに、利用者属性に合った通行ルート案内し、円滑な移動の実現を目指す。(図3)



図3 歩行者ユースケースのハイレベル業務概念図

2.2. リファレンスアーキテクチャによるユースケースの可視化

前節における3つのユースケースについて Society5.0リファレンスアーキテクチャによる可視化を行い、課題分析を行った。具体的には、3つのユースケースを、米国国防総省が開発したアーキテクチャ・フレームワーク (DoDAF (1, 2)) を活用し、DoDAFで定義されている各ビューにより可視化した。本検討で想定した、Society5.0リファレンスアーキテクチャとDoDAFの各ビューとの関係を図4に示す。

また、アーキテクチャを用いて分析した内容、および抽出した課題について、実際にモビリティ関連データを取り扱う企業や団体等にヒアリングを行い、分析結果の妥当性の確認や実務における課題抽出を行った。

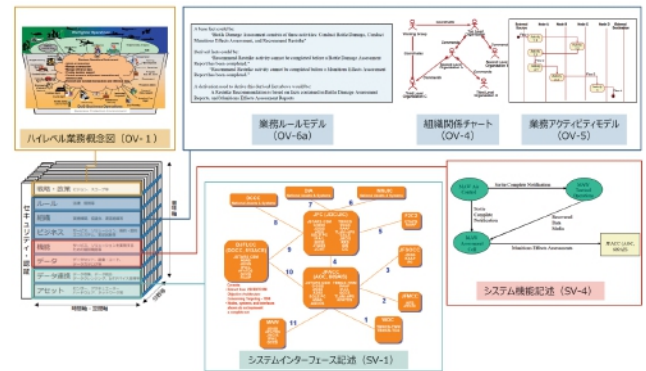


図4 Society5.0 リファレンスアーキテクチャの各層とDoDAFの各ビューとの関係

3 官民のデータ連携の在り方

3.1. 官民データ連携に関する役割分担と実現したい姿

本事業では、官民データ連携の実現によって、①よりたくさんのデータが集まる、②より継続的に仕組みが運営できる、③簡単にデータの利活用ができることを目指すと想定した。そこで、官民のデータ連携を行うために官民で担うべき役割分担を整理し、提案書として取りまとめた。また、官民が保有するデータについて整理するとともに、相互にデータ連携することで価値を生み出すユースケースについてデータ連携の実現に向けた官民の役割と取組を整理し、ルール整備の在り方について検討し提案した。整理した図を図5に示す。

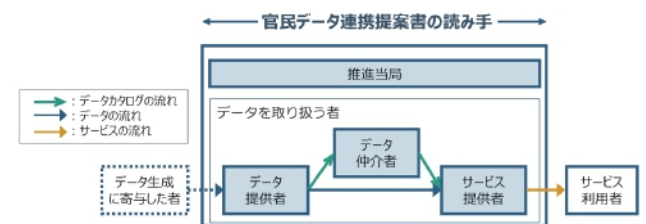


図5 官民データ連携提案書で想定する主体と提案書の読み手

3.2. 官民連携に関する課題整理

集約した課題の関係性を整理すると、データを活用したサービスの事業性確保が見通せずサービス対価の回収ができないことから、データ提供者も質・量ともに十分なデータの確保に踏み出せず、データの流通が広まらないというスパイラルに陥っていることが分かった。このスパイラルにおいて、データ提供・サービス提供それぞれの観点から事業性確保のための突破口を見つけることが官民データ連携推進のポイントであると考えられる。官民データ連携に関する課題を整理したものを図6に示す。

(1)データ連携の促進

モビリティ関連データの利活用促進に向けた環境整備

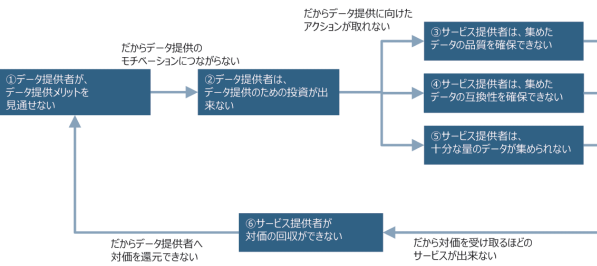


図6 官民データ連携に関する課題の整理

3.3. 推進手順と対応方針

官民データ連携に向けては、事業性が大きなハードルである。民データはシビアにデータ提供の事業性の判断が求められるなど、官データと比べて提供のハードルは高いと考えられるため、官データから利活用を始め、徐々に民を巻き込み本格的な官民データ連携を目指す。(図7)

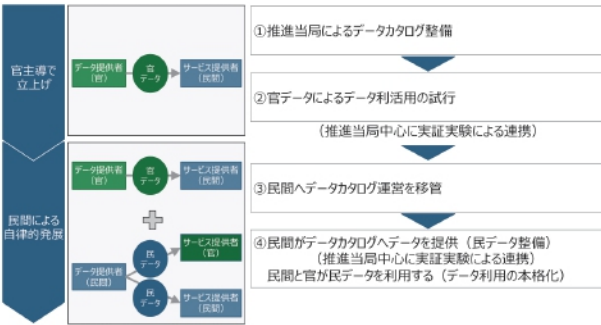


図7 推進手順と対応方針

4 データ取り扱い方法の在り方

4.1. 不適切なデータ取り扱いによるリスク

データを適切に取り扱うことにより、データ生成に寄与した者は安心してデータの提供ができるようになり、またサービス利用者も安心してサービスを受けることができるようになると期待される。結果として、データが集まって付加価値の高いサービス提供につながり、データ利活用促進につながっていくと考えられる。

そこで、データの不適切な取り扱いによる他主体の権利侵害あるいは不利益を防止するため、データを取り扱う主体が遵守すべきデータ取り扱い方法を明確化した。本事業で分析対象とした各ユースケースで取り扱うデータそれぞれについて、データ取り扱いを不適切に行うことでデータ生成に寄与した者、あるいはサービス利用者の権利が侵害されたり不利益を被るおそれはないかという視点でリスクを抽出した。

4.2. リスクへの対応策

データ取り扱いにおけるリスクは概ね8つ程度に集約され、各リスクについて図8のような対応の方向性が考えられる。この対応について具体化する形で「データ取り扱いガイドライン」を作成した。

集約したリスク	対応の方向性
① データを不適切に収集することで、データ生成に寄与した者の心証を害する	・ データ提供者は、データ生成に寄与した者に説明を行い、同意を取得する ・ 場合によってはデータ収集に寄与した者との間でデータ利用権限の取り決めを行う
② データを不適切に提供することで、データ生成に寄与した者の営業上の利益を損う	・ データ提供者は、データ生成に寄与した者との間で合意した以外の提供先に提供せず、また合意した事項以外の利用目的に用いられないようにする
③ 漏洩せずデータのセキュリティを損うことで、サービス品質が確保できない、あるいはデータの生成に寄与した者の心証、利益を損う	・ データを取り扱う者は、適切なセキュリティ基準に従いセキュリティ管理システムを構築し、運用する
④ データを不適切に収集・提供することで、個人情報保護法で保護された権利を侵害する	・ データを取り扱う者は、個人情報に該当するデータは個人情報保護法に従い取り扱う ・ または、個人情報に該当するデータに適切な匿名加工を施して取り扱う
⑤ データを様々な主体から集約して使うことで、サービス品質が確保できない	・ 様々な主体からの集約が想定されるデータについては、データ提供者の合意の下でフォーマットや位置参照の方法を標準化する
⑥ データを不適切に利用することで、データの著作権を侵害する	・ 著作権で保護されるデータは、著作権を遵守して取り扱う
⑦ データの処理・加工が遅れること（鮮度の低下）により、サービス利用者が予定通りの移動ができない等の不利益が生じる	・ データを取り扱う者は、サービス提供者が指定する鮮度を達成できるようデータの処理・加工を行う
⑧ 信頼性が不明確なデータを利用することで、サービス品質が確保できない	・ サービス提供者は、サービスに求められる品質が高くない場合に限り信頼性が不明確なデータを利用する、あるいは信頼性を向上させる方を開発する

図8 課題への対応策の考え方

リスクへの対応策として、データの取り扱い方法、および業界で取り組むべき事項の2種類を想定してガイドラインに記載した。

なお、データ取り扱いガイドラインは関係者を拘束するものではなく、データを取り扱うにあたってのリファレンスモデルとして参照することを想定した。また、データ利活用が進むにつれてデータの取り扱いの関係主体や環境も変化すると想定されるため、データ取り扱いガイドラインは継続的に更新していくことを想定した。

5 おわりに

モビリティデータ利活用ユースケースの可視化による分析を通じて、データを活用したサービスの事業性確保が見通せずサービス対価の回収ができないことから、データ提供者も質・量ともに十分なデータの確保に踏み出せず、データの流通が広まらないというスパイラルが生じていることが示唆された。データの利活用を加速するためには、官データから利活用を始め、徐々に民を巻き込み本格的な官民データ連携を目指すことが必要と考えられる。また、データの適切な取り扱いがデータ提供とサービス利用の安心感を高め、データ集積による高付加価値サービス提供につながり、データ利活用促進に寄与することも示唆された。

本事業で作成したデータ取り扱いガイドラインおよび提案書がリファレンスモデルとして参照され、今後

のデータ利活用が進むことが期待される。データ利活用の促進によって、データの取り扱いの関係主体や環境も変化すると想定されるため、提案書およびデータ取り扱いガイドラインは変化に応じて継続的に更新されることが望ましいと考えられる。

【参考文献】

- (1) DoD Architecture Framework Working Group, DoD Architecture Framework Version 1.0 Volume II: Product Descriptions, p.4-2, 4-28, 4-36, 4-47 (2004)
- (2) DoD Architecture Framework Working Group, DoD Architecture Framework Version 1.0 Deskbook, p.2-41, 2-43 (2004)

【執筆者詳細】

清水 新太郎, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部
先進モビリティグループ, 主席研究員, 自動運転・ITS・モビリティに
関する調査研究およびコンサルティング

目黒 浩一郎, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部
先進モビリティグループ, グループリーダー, 自動運転・ITS・モビ
リティに関する調査研究およびコンサルティング

外山 友里絵, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部
先進モビリティグループ, 研究員, 自動運転・ITS・モビリティに関
する調査研究およびコンサルティング

愛甲 聡美, 株式会社三菱総合研究所, スマート・リージョン本部
先進モビリティグループ, 研究員, 自動運転・ITS・モビリティに関
する調査研究およびコンサルティング

田中 清一, エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社,
社会システム事業部, 上席専門部長, 自動運転・ITS・モビリティに
関する調査研究およびコンサルティング

6 国際連携の推進

(1) 国際連携と国際標準化活動

全体概要

梅田学（東京大学）

(概要) 自動運転に関する技術が劇的に進化し、様々な活動が世界各地で行われている中、自動車産業及びその関連企業の国際競争力を維持し続けるためには、自動運転の標準化・基準化活動において我が国がイニシアティブを発揮し、国際的な調和を図っていくことが重要となる。

SIP 第2期自動運転では国際連携の強化を活動の4本柱の一つとして掲げ、7つの国際連携重点テーマを設定、テーマ毎に国際連携テーマリーダーをアサインするとともに、国際連携活動を推進、調整する国際連携コーディネーターを設置した国際連携体制を構築し、国際連携活動の推進を図っている。現在、ドイツ連邦教育研究省との共同研究や、欧州委員会の研究・イノベーション枠組み下の研究プロジェクトとの連携等の国際連携活動が行われており、SIP-adus workshop等を通じたSIP研究成果の海外への情報発信や、国際連携強化に必要な調査研究を行っている。また、国際標準化活動においては関連する標準化団体と連携し、デジュール標準、デファクト標準の両面での標準化活動を進めている。

1 背景

自動運転に関する技術は、既存の自動車メーカーのみならず、情報サービス関連企業やスタートアップを含め多様な業種が参画し、劇的に進化してきている。自動車メーカーは車両の生産、販売を含め日本のみならず世界市場で活動し、車両技術やインフラストラクチャー、標準化、法的課題、実証実験など様々な活動が世界各地で行われている。

自動車産業は我が国において重要な産業の一つであり、我が国における自動車産業及びその関連企業の国際競争力を維持し続けるためには、自動運転の標準化・基準化活動においてイニシアティブを発揮し、国際的な調和を図っていく必要がある。そのため、SIP 第2期自動運転では国際連携の強化を活動の4本柱の一つとして掲げ、その研究成果を積極的に海外に情報発信していくとともに、議論が活性化するような国際的にオープンな研究開発、社会実装の場を創出していくため、国際連携の強化に必要な調査研究等の活動を行っている。

現在、SIP 自動運転に対して日独連携やEU 基金プロジェクトという枠組みでの共同研究のオファーがあり、SIP 第2期自動運転では共同研究テーマ探索のための議論の場の設定や公募条件への追加等を通して、

日本の大学・研究機関と欧米の研究機関との自動運転に関連する共同研究を後押ししている。

2 国際連携体制と重点テーマ

SIP 自動運転では、国際連携活動の推進にあたりSIP 第1期で取り組んできた国際連携テーマを発展させ、以下2.1～2.7に示す7つの重点テーマを設定し、その分野での国際連携活動を推進する国際連携テーマリーダーをアサインした。また、SIP 自動運転における国際連携活動の全体窓口として連携活動を推進、調整する国際連携コーディネーターを推進委員会の下に置き、図1に示すような体制を構築し、国際連携活動の推進を図っている。

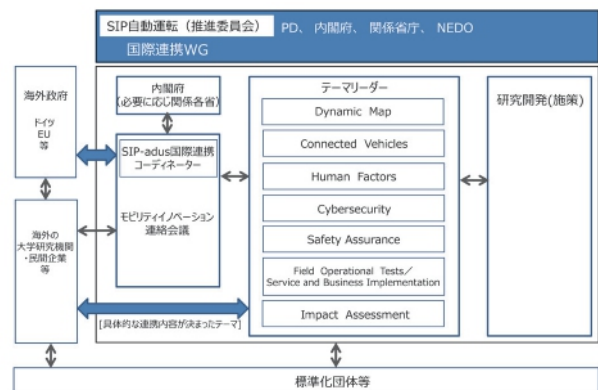


図1 SIP自動運転 国際連携活動体制図

2.1. Dynamic map(ダイナミックマップ)

道路ネットワークを表現した階層構造からなるデジタル地図データベースは、道路構造やその周辺環境の精密な再現を含め、様々な拡張性を有している。デジタル地図データベースは車両に搭載されたセンサーシステムからのリアルタイムな情報や、V2X通信による準リアルタイム情報と動的にリンクする。そのようなデータベースは産業界と公共事業者の連携を通じて開発することができる。

2.2. Human Factors(ヒューマンファクター)

自動化レベルのシフトは作動中の運転環境や運転者の状態に左右される。運転者の状態認知が維持され、自動化レベルのシフトが正しく行われるように運転者との効果的なコミュニケーション方法を設計することが自動運転システムにとって重要となる。

2.3. Safety Assurance(安全性評価)

自動運転技術を社会実装するためには、どのように安全性を担保するかが非常に重要な要素となる。自動運転に求められる安全性評価のために、信頼できる効率的な試験手法が必要となる。複雑な電子システムとソフトウェアの安全性を確保するため、仮想空間での試験環境が求められており、これらの検証、モデリング、シミュレーションを適用するための評価手法の開発が行われている。

2.4. Connected Vehicles(コネクティッド・ビークル)

高レベルの自動化は運転環境の幅広い状況観察を必要とするため、コネクティッド技術の展開は自動運転システムにとって有益である。近接物は車両に搭載されたセンサーによって検知され、遮蔽物により検知困難な車両は車車間通信(V2V)の活用により検知可能となる。また、V2I通信による信号情報等インフラ情報の自動運転車両への提供は、よりスムーズで安全な自動走行を実現する上で有効である。

2.5. Cybersecurity(サイバーセキュリティ)

コネクティッドカーは、DSRCやセルラー通信により利便性や安全性の向上等、様々なサービスを提供できるようになる。一方で、これらのコネクティッドカーはサイバー攻撃のリスクを抱えており、車両のサイバー

セキュリティに関して、新たなサイバー攻撃手法がBlackHatを始めとする国際会議等で継続的に報告されている。サイバーセキュリティ対策は将来にわたりシステムを安全に維持する上で向上策が取られ続ける必要があり、業界の壁を超えて産業界と政府間の連携を促進し、情報共有することが必要となる。

2.6. Impact Assessment(社会経済インパクト)

自動運転技術が社会に広く受け入れられるためには、自動運転技術がもたらす経済的、社会的効用を明らかにするとともに、自動運転がもたらす潜在的なリスクについても正しく社会に認知されることが重要となる。自動運転の技術レベルや普及状況などの動向を踏まえ、日本としての長期ビジョンを整理した上で、交通事故低減、CO2排出量の削減、交通渋滞への影響等、インパクトの整理・定量的提示を行い、自動運転がもたらす効用と潜在的リスクについてオープンな議論を行うことが必要である。

2.7. Service and Business Implementation(サービス実装推進)

高密度の移動需要がある大都市の都心部では、歩行者中心のマルチモダルな移動システムが、効果的で持続可能なモビリティとして期待されている。自動運転技術やオンデマンド方式を活用した革新的な移動システムは移動時間を減少させ、乗客の移動時の快適性を改善するとともに、より効率的な運行を促進させる。一方で、個人使用目的の高度な運転支援機能を有した小型車両をお年寄りや交通制約者に提供することが、彼らの積極的な社会活動への参画を促進するために期待されている。

このような自動運転技術を活用した新たなモビリティサービスや移動の変革に関する様々な取り組みが世界各地で行われている。

3 主な国際連携活動

3.1. ネットワーキング

SIP自動運転の国際連携テーマリーダーは、ITS世界会議や米TRB (Transportation Research Board)、欧州EU-CADといった国際会議に積極的に参加し、

(1) 国際連携と国際標準化活動

全体概要

海外の専門家と継続的に意見交換を行うことで、彼らを持つ専門家ネットワークの維持・強化を図っている。加えて、国際連携コーディネーターが米国運輸省(USDOT)や欧州委員会研究・イノベーション総局(DG-RTD)といった政府関係者とのコネクションを持つことにより、各専門家からの要請に対し欧米政府関係者経由で専門家や研究プロジェクトリーダーを紹介してもらおうといった、新たなネットワーキングを構築する体制を有している。

3.2. 日独、日EU 連携活動

日独連携活動は、2017年1月の「自動走行技術の研究開発の促進に関する日独共同声明」に基づき、内閣府とドイツ連邦教育研究省(BMBF)との間で具体的な連携活動の検討が行われてきた。結果、2019年にHuman FactorsとImpact Assessmentの2領域で日独共同研究の開始が合意され、2020年には新たにSafety AssuranceとCybersecurityの2領域について共同研究の開始が合意された。

日EU連携活動は、欧州の研究・イノベーション枠組み計画であるHorizon 2020のプロジェクトとSIP自動運転研究プロジェクトの間で、既存プロジェクト間同士での連携を検討していくことで欧州委員会研究・イノベーション総局(DG-RTD)と合意し、連携の可能性を検討してきた。2021年6月時点でHorizon 2020傘下の3つのプロジェクトと連携活動を行っている。

3.3. SIP-adus Workshopの開催

自動運転の研究開発における我が国のイニシアティブ向上、我が国発の技術の訴求、国際標準化等に向けたハーモナイゼーション、共同研究等による国際連携の促進を目的とした情報発信のため、SIP-adus Workshopと冠した国際会議をSIP第1期より行っている。本Workshopは2014年より毎年11月に継続的に開催され、現在では日本が主催する自動運転研究に関する国際会議として認知されてきている。

本Workshopは一般公開されるPlenaryセッションと、招待された専門家間による深い議論の実施を目的としたBreakoutセッションからなり、基本的に国際連携重点テーマに基づき各セッションが構成されている。2018年、2019年は3日間に渡り東京国際交流館で開催されたが、2020年はCOVID-19の影響により

ヴァーチャル形式による開催となり、SIP自動運転の成果報告会と併せての開催となった。

3.4. 大規模実証実験環境の提供

交通量が多い高速道路や交通環境が複雑な一般道において、本線合流支援情報や渋滞情報、信号情報等を用いたインフラ協調型の情報活用による技術課題の解決に加え、自動運転車開発の促進、国際的な協調/標準化の推進、社会的受容性の醸成、優れた技術の訴求を目指して、東京臨海部副都心地域、羽田空港地域、羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路等の東京臨海部において大規模実証実験を実施した。

東京臨海部実証実験の実施にあたっては、国際的にもオープンな実験環境を整備することにより、海外からも自動車メーカーや部品メーカーが実証実験に参加し、公道の実交通環境下において、自動運転実用化に向けた基盤技術の検証等が行われた。

3.5. 国際標準化活動

国際標準化活動については、グローバル市場における製品やサービスの円滑且つスピーディーな市場化のために、標準化団体との連携を強化している。一般社団法人日本自動車工業会(自工会)や公益社団法人自動車技術会(自技会)に加え、一般社団法人日本自動車部品工業会(部工会)、一般社団法人電子情報技術産業協会(JEITA)、一般社団法人UTMS協会、一般社団法人電波産業会(ARIB)、ITS情報通信システム推進会議(ITS Forum)等とも連携し、ISO、IEC、ITU等におけるデジュール標準と国際的に影響力のある業界標準化団体との連携によるデファクト標準の両面で標準化を進めている。

【執筆者詳細】

梅田 学 東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構
SIP-adus 国際連携コーディネーター

SIP-adus Workshop

田中孝浩，池田晃（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）

（概要）SIP-adus Workshopは、SIP第1期がスタートした2014年よりSIP自動運転が毎年開催している国際会議である。2020年には第7回の開催を行い、本会議は日本で開催する自動運転分野の国際会議として、世界の主要な自動運転分野の国際会議のひとつとして認知されつつある。SIP-adus Workshopは、SIP自動運転におけるひとつのイベントではなく、研究開発とサービスの実用化双方の領域における多くの自動運転分野の専門家が世界中から集結し、それぞれの専門知識を交換し、国際的ネットワークを充実させるフォーラムとして大きな流れと共に進化を遂げてきた。2021年は第8回となるSIP-adus Workshop 2021を11月に開催し、SIP自動運転の研究開発や実用化の成果等を中心に、さまざまな議論や意見交換を行い、自動運転に関する国際的な情報発信と交流を行う場として、SIP自動運転の国際連携活動の一翼を担う予定にしている。なお、SIP第1期の報告書にはSIP-adus Workshopに関する項がないため本書にてSIP第1期に開催されていたSIP-adus Workshopについても簡単に触れる。

1 目的と開催概要

SIP自動運転（システムとサービスの拡張）では、国際連携の強化を活動の4本柱の一つに掲げ、国際連携活動を推進している。

SIP-adus Workshopの開催は、国際的な議論がなされている自動運転に共通する課題について、欧米を中心とした諸外国との情報交流や、日本発の国際標準化に向け、積極的に情報発信を行う等、日本の国際的な立ち位置を明確に打ち出すといった目的のもと、SIP第1期スタートの2014年に第1回が開催された。

2014年以降、毎年秋に開催することにより、日本における自動運転分野の国際会議として、毎年国内外から多くの専門家が参加し、それぞれの分野で議論や意見交換を行える場として国際的にも認知されるようになった。

Workshopの構成は、内閣府特命担当大臣のウェルカムスピーチや、欧米政府およびPDのキーノートスピーチによるオープニングで開幕し、国内外の専門家によるプレゼンテーションが行われるプレナリー・セッションと、テーマごとの分科会として議論や意見交換を行うブレイクアウト・ワークショップが行われる。

また、会場ではポスター展示によるセッションも行われ、多くの参加者の皆さまにご覧いただいている。

2 SIP第1期におけるSIP-adus Workshop

2.1. 2014年(第1回)

2014年11月17日～18日開催（於 国連大学）

SIP第1期自動走行システムがスタートした年に第1回として開催した。

以下5テーマによるプレナリー・セッションとブレイクアウト・ワークショップを開催した。

- ・ Dynamic Map
- ・ Human Factors
- ・ Next Generation Transport
- ・ Connected Vehicles
- ・ Impact Assessment

2.2. 2015年(第2回)

2015年10月27日～29日（於 東京国際交流会館）

日程を3日間に拡大し、以下6テーマによるプレナリー・セッションとブレイクアウト・ワークショップを開催し、3日目には自動車会社各社の協力による試乗会を実施した。

- ・ Dynamic Map
- ・ Connected Vehicles
- ・ Human Factors
- ・ Impact Assessment
- ・ Next Generation Transport
- ・ Security

2.2. 2016年(第3回)

2016年11月15日～17日開催(於 東京国際交流会館)
2015年同様の6テーマでプレナリー・セッションと
ブレイクアウト・ワークショップを開催した。

2.3. 2017年(第4回)

2017年11月14日～16日開催(於 東京国際交流会館)
以下7テーマによるプレナリー・セッションとブレイク
アウト・ワークショップを開催した。

- ・ Regional Activities and FOTs
- ・ Dynamic Map
- ・ Connected Vehicles
- ・ Cybersecurity
- ・ Impact Assessment
- ・ Next Generation Transport
- ・ Human Factors

2.4. 2018年(第5回)

2018年11月13日～15日開催(於 東京国際交流会館)
2017年同様の6テーマでプレナリー・セッションと
ブレイクアウト・ワークショップを開催した。

3 SIP 第2期における SIP-adus Workshop

3.1. 2019年(第6回)

2019年11月12日～14日開催(於 東京国際交流会館)
以下7テーマによるプレナリー・セッションとブレイク
アウト・ワークショップを開催した。

- ・ Regional Activities
- ・ FOTs and Next Generation Transport
- ・ Human Factors
- ・ Cybersecurity
- ・ Safety Assurance
- ・ Dynamic Map
- ・ Connected Vehicles

海外29名を含む51名が講演, 23か国から511名が参加。
オープニングセッションでは内閣府特命担当大臣に
よるウェルカムスピーチ, 欧米政府関係者とSIP自動
運転PDによるキーノートスピーチで開幕した。(図1)

各テーマそれぞれプレナリー・セッションとブレイク
アウト・ワークショップを開催し, 多くの発表や議
論, 意見交換が行われた。(図2)

また, 会場では政府各省庁とSIP自動運転の国際連
携テーマのポスター展示も行われ, 多くの参加者が熱
心に見学する様子が見られた。(図3)

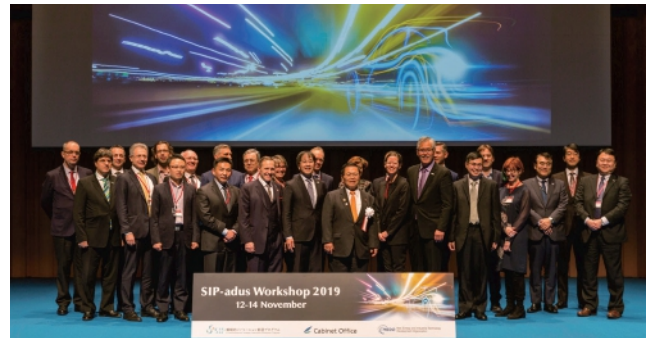


図1 内閣府特命担当大臣を囲んだ記念撮影



図2 ブレイクアウト・ワークショップの様子



図3 ポスター展示

3.2. 2020年(第7回)

2020年11月10日～12日開催(於 10日のみ東京国
際フォーラム)

2020年は世界的な新型コロナウイルス感染拡大の
影響から, 国内外より専門家の来日や, 会場に多くの
参加者を集めて開催することが困難となり, 初のオン
ラインによるヴァーチャル開催となった。

オンライン開催のメリットを最大限活かして国内外
の多くの方に参加いただけるよう, 全編同時通訳によ
る日本語・英語の2か国語配信, また欧米の時差を考
慮し1日3回の時差配信を行うなどの工夫により, 海
外28名を含む76名が講演, 29か国から1,152名の参

加者となり、過去最大の参加者数となった。

1日目はSIP自動運転の研究開発成果を発表する場として、「SIP自動運転成果報告会」を開催し、オープニングセッションでは内閣府特命担当大臣のウェルカムスピーチや欧米政府関係者とSIP自動運転PDによるキーノートスピーチで開幕した。(図4)

成果報告会は以下4セッション、計20名からSIP自動運転の成果が発表され、その模様はリアルタイムでオンライン配信された。

- ・ Society5.0実現に向けたデータ連携・活用
- ・ 交通環境情報の構築と活用
- ・ 安全な自動運転社会の実現に向けて
- ・ 自動運転のある社会

2日目・3日目はオンラインシンポジウムとして、以下の8テーマと政府各省庁による従来のプレナリー・セッションをオンラインで開催した。(図5)

- ・ Regional Activities
- ・ Service and Business Implementation
- ・ Dynamic Map
- ・ Connected Vehicles
- ・ Safety Assurance
- ・ Human Factors
- ・ Impact Assessment

オンライン開催としたことにより、従来は時間の都合で参加できなかった人が多く参加できたこと、また日本語・英語の2か国語で配信したことや、時差を考慮し欧州向けと米国向けの時差配信を行ったことなどにより、国内外ともに大幅に参加者が増加し、多くの方にSIP自動運転や各国の研究開発の成果などの情報を得られる機会となった。

また、開催期間中にオンライン配信を見ることができなかった人や、もう一度じっくりと講演を聞きたいといった要望に応え、12月より約1か月間のオンデマンド配信を実施し、12か国から1,212名が参加(うち264名がオンデマンド配信による新規参加)した。



図4 内閣府特命担当大臣を囲んだ記念撮影



図5 オンライン配信画面

3.3. 2021年度(第8回)

2021年11月9日～10日開催予定

2021年も引き続き新型コロナウイルスの影響が続く中、海外からの専門家来日や、会場に多くの参加者を集めて開催することが困難と判断し、オンラインによるヴァーチャル開催とした開催する。(図6)

SIP-adus Workshop 2021

To share the latest reports as below from global experts to find out our future views and seeds of further cooperation towards Society 5.0 with higher possibilities, by exchanging opinions through thematic sessions and workshops

- Reports by industry and academia research partners on the achievements of SIP-adus projects in Japan.
- Presentations by global experts on recent global progress and the status of R&D themes focusing on automated driving and connected vehicles.

Objectives

Date and Format

- ✓ **Date : November 09-10, 2021**
- ✓ **Format : Virtual conference**

All sessions will be streamed live on line, additionally streamed in Central European Time and Eastern Standard Time(U.S.) for worldwide participants.

Session Theme	
Regional Activities	Introduction of regional activities regarding automated driving
Service and Business Implementation / FOTs	Business model and planning scheme for accessible automated driving
Dynamic Map	Dynamic contents distribution/exchange with Dynamic Map and the updates
Connected Vehicles	Trends in Cooperative Driving Automation
Safety Assurance	Safety Assurance Virtual Testing Requirement and Validation
Cybersecurity	Utilization of IDS/IDPS* for the realization of cyber-safe automated driving *IDS / IDPS : Intrusion Detection System / Intrusion Detection and Prevention System
Human Factors	Human factors in automated mobility services
Impact Assessment	Social Impact of Automated Driving technologies

As of July 7, 2021

Organizer

Cross-Ministerial Strategic Innovation Program, Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy, Cabinet Office, Government of Japan
New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)
Supported by ITS Japan

For the latest information <https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2021/>

NEDO SIP

図6 SIP-adus Workshop 2021 Flyer

2日間の日程でSIP自動運転の以下の8テーマと政府省庁によるプレナリー・セッションをオンラインで配信する。

また、2020年に実施できなかったテーマごとのブレイクアウト・ワークショップを開催し、情報発信による

交流だけでなく、オンラインでも従来実施していた意見交換や議論が行える場をつくり、2020年よりさらに充実したSIP-adus Workshopの開催を目指していく。

【参考文献】

(1) SIP-adus ホームページ: <https://www.sip-adus.go.jp/>

【執筆者詳細】

- ①田中孝浩, 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構,
モビリティグループ, プロジェクトマネジャー
- ②池田晃, 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構,
モビリティグループ

日独連携, 日EU連携

梅田学 (東京大学)

(概要) SIP第2期自動運転における政府間の国際連携活動として、SIP自動運転に対し日独連携やEUプロジェクトという枠組みでの共同研究のオファーが寄せられ、日独連携、日EU連携としてドイツ連邦研究教育省(BMBF)および欧州委員会研究・イノベーション総局(DG-RTD)と連携活動を行っている。日独連携では2019年1月に自動運転に関するヒューマンファクターと社会経済インパクトの研究分野での共同研究計画が承認され、また、2020年には新たに安全性評価、サイバーセキュリティの研究分野での共同研究計画が承認され、現在4つの研究分野で連携活動が行われている。日EU連携では欧州委員会が進める研究開発枠組みプログラムであるHorizon 2020のプロジェクトとの連携活動についてオファーがあり、現在Horizon 2020傘下の3つのプロジェクトと連携活動が行われている。

1 背景

SIP第2期自動運転では、柱となる4つの取り組み領域の一つとして「国際連携の強化」を掲げ、世界各地で行われている自動運転の実証実験や様々な国際的議論に対して、自動運転分野における海外研究機関との国際的な共同研究等の連携活動を促進している。

欧州においては、ドイツ政府が進める研究開発プロジェクトのPEGASUSや、欧州委員会が進める研究開発枠組みプログラムであるHorizon 2020の下で、Connected and Automated Drivingに係る多数の研究プロジェクトが進められており、SIP自動運転に対して日独連携やEUプロジェクトという枠組みでの共同研究のオファーが寄せられている。これらの状況を受け、現在SIP自動運転では後述する日独連携、日EU連携活動が政府間の国際連携活動として行われている。

内閣府、経済産業省、BMBF、ドイツ経済・エネルギー省及び日独関係省庁等の高級事務レベル、専門家等により構成され、自動運転分野に関する日独連携活動の意思決定を行うステアリング委員会が設置されている。また、ステアリング委員会の下に専門家間の意見交換を行う専門家ワークショップ、およびそれらの活動を調整・サポートする調整事務局を設置した図1のような日独連携体制を構築し、活動を行っている。

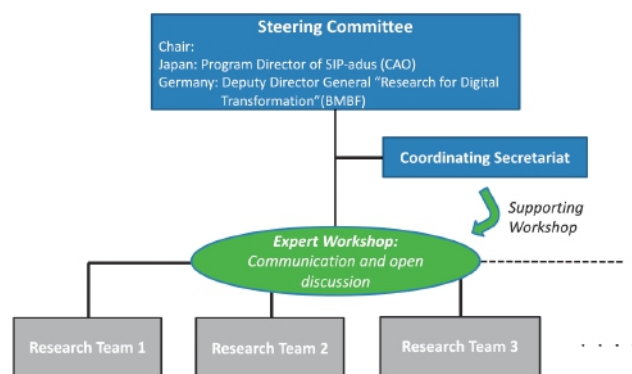


図1 日独連携体制図

2 日独連携活動の概要

自動運転に関する日独連携については、内閣府とドイツ連邦研究教育省(BMBF)との間で、2017年1月12日に「自動走行技術の研究開発の推進に関する日独共同声明(Joint Declaration of Intent)」が締結されたのを機に活動が進められてきた。

日独連携による自動運転の研究開発を促進するため、

具体的な連携研究項目を論議する日独連携専門家ワークショップは、SIP-adus workshopの開催に合わせて2017年11月に第1回が実施された。以降、年1回のペースで開催され、自動運転に関するヒューマンファクター、社会経済インパクト評価、安全性評価等、様々な研究分野において専門家間の議論が行われている。

日独連携の具体的な連携研究テーマの論議、連携研究活動の承認を行う日独連携ステアリング委員会は、2019年1月に第1回が開催され、以降2021年6月現在、

計4回開催されている。

また、日独連携活動を進めるにあたり、各連携研究テーマ間のコミュニケーションを円滑に行うため、各研究テーマの窓口担当者リストを2019年11月に日独双方で作成し、共有している。

2.1. ヒューマンファクター、社会経済インパクト評価の日独連携活動

2017年11月および2018年9月に行われた日独連携専門家ワークショップにて、自動運転に関するヒューマンファクター、社会経済インパクト評価の研究開発について議論が行われ、2019年1月に行われた第1回日独連携ステアリング委員会にてこれら2分野の共同研究計画が承認された。

自動運転に関するヒューマンファクターでは、自動運転車にとって必要不可欠な外部環境とのコミュニケーションに関し、日独間でコミュニケーションの合図に対する解釈の違いが存在するかどうか、存在する場合はどのように対処するか等について、日独の学術研究者が共同で調査を行っている。

社会経済インパクト評価では、自動運転の実現によりもたらされる、より安全で効率的な交通流、交通渋滞の削減、交通死亡事故の低減等について、それらの影響を定量的に算出するための科学的な手法開発を行うとともに、自動運転に対する社会的受容性の醸成に関する日独の違いについても研究を行っている。

2.2. 安全性評価、サイバーセキュリティの日独連携活動

上述したヒューマンファクター、社会経済インパクト評価の共同研究活動に続き、更なる連携研究テーマとして安全性評価、サイバーセキュリティの2分野について、連携に向けた検討を進めることが2019年11月に行われた第2回日独連携ステアリング委員会にて合意され、2020年5月に開催された第3回日独連携ステアリング委員会にて、両分野の新しい共同研究計画の開始が承認された。

安全性評価では、自動運転に求められる最大限の安全性評価のために、検証、モデリング、シミュレーションを適用するための評価手法の開発を行っている。

サイバーセキュリティでは、開発プロセス段階で既に開始されている初期段階における現代の自動車の潜在的なセキュリティの脅威を検出し、排除する手法の開発を行っている。

3 日EU連携活動の概要

日EU連携活動は、欧州委員会が進める研究開発枠組みプログラム Horizon 2020において、日本を含む米国、アジア・オセアニア等海外との連携を推奨していることを踏まえ、2018年4月のSIP自動運転と欧州委員会研究・イノベーション総局(DG-RTD)間での意見交換会を機に、具体的な日EU連携について検討を行ってきた。

その後、2019年11月の欧州委員会DG-RTDとの会合にて、欧州 Horizon 2020のプロジェクトとSIP自動運転研究プロジェクトの既存プロジェクト間での連携を検討していくことが合意され、現在は Horizon 2020とSIP自動運転の既存プロジェクト間で連携活動が行われている。

日EU連携活動の推進にあたり、日EU各プロジェクト間での連携をベースとし、調整事務局間でプロジェクト間の連携状況をモニター、サポートするため、図2のような連携体制を構築することについて、欧州委員会と合意した。

調整事務局間の会合は2020年5月より開始され、以降数ヶ月に1回の頻度で定期的に会合を行い、プロジェクト間の連携活動の状況について確認するとともに、新たな連携の可能性について議論を行っている。また、高級事務レベルによる High-level ミーティングは、2020年の日EU連携活動内容を取りまとめた連携活動レポート (Annual Status Report) の報告と合わせ、2021年3月に第1回が開催された。

なお、日EU連携は日独連携と異なり、共同研究の形で新たなプロジェクトを立ち上げるのではなく、Horizon 2020とSIP自動運転の既存プロジェクト間での連携をベースとして活動している点が特徴である。

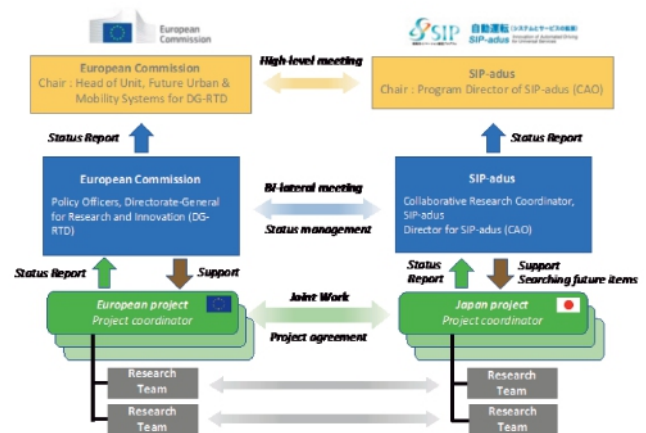


図2 日EU連携体制図

3.1. 日EU連携プロジェクトの状況

2021年6月現在, 日EU連携としてHorizon 2020傘下の以下3つプロジェクトとの連携活動が行われている。

◇ HADRIANプロジェクトとの連携活動

自動運転の安全性を高めるためのHuman Machine Interface (HMI)の研究開発分野において, 欧州HADRIANプロジェクトと, 専門家間での定期的な情報交換を行っている。

◇ HEADSTARTプロジェクトとの連携活動

安全性評価の分野では, 欧州委員会DG-RTDの仲介により, 欧州HEADSTARTプロジェクトとの連携活動を行っている。なお, 2020年9月以降は, 経済産業省施策のSAKURAプロジェクトと合同で打ち合わせを行い, 安全性評価に係る情報交換や具体的な連携内容の議論を行っている。

◇ SHOWプロジェクトとの連携活動

都市部における自動運転サービス実用化研究に関し, 東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構(UTmobl)とITS Japanが, 都市部を中心としたモビリティサービスの大規模実証を行う欧州SHOWプロジェクトと2020年9月にNDA(秘密保持契約)を締結し, 連携活動を行っている。

欧州では, 上述したHorizon 2020の研究開発枠組みプログラムが2020年で終了し, 2021年から新たな研究開発枠組みプログラムであるHorizon Europeが立ち上がっている。Horizon EuropeでもHorizon 2020と同様に日本を含む海外との連携が推奨されており, 今後Horizon Europeの枠組みで自動運転分野に関する様々な研究開発プログラムが立ち上がる予定である。今までのEU連携活動で構築した関係を活用し, Horizon Europeプロジェクトとの連携活動が期待される。

【執筆者詳細】

梅田 学 東京大学モビリティ・イノベーション連携研究機構
SIP-adus 国際連携コーディネーター

ダイナミックマップ

中條 覚 (東京大学空間情報科学研究センター)

(概要) ダイナミックマップの国際連携活動は、国内におけるSIP-adus研究開発成果をもとに行っている。活動の主たる目的は、SIP-adus、特にその中でもダイナミックマップに関する活動および研究開発成果を海外に周知するとともに、それらに関するフィードバックを得ることである。具体的な活動は、各種国際会議での発表等、国際標準化活動、業界標準活動、日米欧三極連携活動に大別できる。SIP第二期のこれまでの活動においては、ITS世界会議をはじめとする複数の国際会議での発表とともに、ISO17572-4 (高精度相対位置参照手法)、ISO20524-1,2 (地理データファイル) の3つの国際標準成立、デジタル地図に関する業界標準活動であるOADF (Open AutoDrive Forum) へのステアリングメンバとしての正式な参画、またOADF参加団体であるADASIS (Advanced Driver Assistance Systems Interface Specification Forum) との今後のSIP-adus実証実験での協力に関する覚書締結といった成果を得ている。

1 取り組みの全体像

ダイナミックマップの国際連携活動の主たる目的は、SIP-adus、特にその中でもダイナミックマップに関する活動および研究開発成果を海外に周知するとともに、それらに関するフィードバックを得ることである。具体的には、①各種国際会議での発表等、②国際標準化活動、③業界標準活動、④日米欧三極連携の4つの活動を実施している。

各種国際会議での発表は、ITS世界会議での発表を始め、複数の国際会議での発表等を行っている。国際標準化活動は、これまでにSIP-adusが支援してきた複数のアイテムが国際標準成立となった。具体的には、ISO17572-4 (高精度相対位置参照手法)、ISO20524-1,2 (地理データファイル) の3つである。業界標準活動においては、年複数回開催されるOADFイベントに継続的に参加し、SIP-adusの進捗状況を参加者に説明するとともに、月1回程度で開催されるOADFステアリングコミッティに参加し、OADF運営の方向性議論に参加している。また、参加団体のひとつであるADASISと覚書を締結し、今後のSIP-adusへの実証実験の協力を得ることができた。日米欧三極連携活動においては、当該活動のひとつである、Physical and digital Infrastructure SWGにおいて、欧米の窓口担当者とともに、定期的な情報交換を行っている。

2 国際会議での発表等

SIP第二期前半においては、以下の国際会議での発表等を行った。各回の発表では、SIP-adusにおけるダイナミックマップの位置づけとともに、これまでの研究開発成果、および第二期活動における取り組み概要を説明した。

特に第二期の活動においては、ダイナミックマップは動的情報連携に力点を置いていることを踏まえ、説明においても、静的な地図のみならず動的な情報も一体的に取り扱うことを念頭に様々な実証実験等を行っていることを強調している。

2018年ITS世界会議 (コペンハーゲン) :

SIS58; A new cooperation approach for an Automated Driving Ecosystem

2019年AVS (サンフランシスコ) :

Data/digital Infrastructure session

2019年ITS世界会議 (シンガポール) :

SIS09; Challenge of Integrating Automated Vehicles into the Digital Infrastructure

2020年 International Conference on HD Maps for Autonomous Vehicle (台北 : ビデオ参加)

基調講演 : The development and trends on HD Map Format : SIP-adus

3 国際標準化活動

3.1. SIP第二期の活動概要

ダイナミックマップの国際連携活動では、SIP第一期から継続的にISO/TC204/WG3 (ITS地理情報)に関わってきた。ISO/TC204/WG3は、ITSにおける国際標準を検討しているTC204において、主にデジタル地図および空間情報に関する国際標準を検討している。これまでのSIP-adusの活動により、ISO17572-4 (高精度相対位置参照手法)、ISO20524-1,2 (地理データファイル)の3つの国際標準が成立した。以下に、それぞれの国際標準の概要を述べる。

3.2. ISO17572-4(高精度相対位置参照手法)

位置参照手法とは、異なったアプリケーションや地図データベース間で情報交換をする場合の位置の表現方式に関する標準である。交通情報等を異なったシステム間で交換する場合に、どの場所でのことなのかを異なった地図データベースを使ってもわかるようにすることが目的である。

過去の活動において、Pre-coded方式 (ISO17572-2)、Dynamic方式 (ISO17572-3)の標準は成立していた。Pre-coded方式は、予め皆で共通で用いるID (道路リンク等)を定めておき、これをもとに位置参照を行う方式である。VICS (Vehicle Information and Communication System)や欧州等で用いられているRDS-TMC (Radio Data System, Traffic Message Channel)などで用いられている。Dynamic方式は、緯度経緯度+ α の情報を伝達することにより、位置参照を行う方式である。

上記に加え、2016年4月に協調/自動運転システムのための高精度な位置参照を可能とする第4のプロファイル「高精度相対位置参照手法」の追加が承認され、NP 17572-4として作業を開始した。本提案は、SIP-adusにおける検討などを踏まえ、日本が提案を行った。その後、標準検討・審議の過程を経て、2020年4月にISO (ISO17572-4)が発行された。

高精度相対位置参照手法においては、2つの方式を規定している。方式1はレーン番号カウントであり、レーンが存在する道路部位に適用し、レーンを特定するために活用する。方式2は、参照ポイントからの差分計測であり、明確なレーンを定義しにくい道路部位

(交差点内や料金所前後など)などで適用する。正確な位置を表現するために、参照ポイントから概ね200m以内でのエリアで適用することとしている。

高精度相対位置参照手法の基本概念図

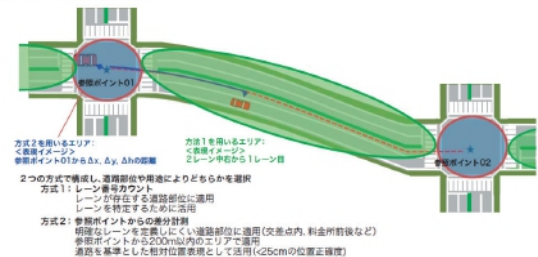


図1 高精度相対位置参照手法の基本概念図

3.3. ISO20524-1,2(地理データファイル)

地理データファイル (GDF : Geographic Data File) は、これまでカーナビゲーションシステムを主要対象とした地理データを扱ってきた。その後、協調ITS、マルチモーダルナビゲーション、自動運転システム等の新規アプリケーションの出現に呼応し、改訂のニーズが高まってきた。これを踏まえ、2014年10月にPWI 20524が承認されGDF 5.0を改訂する作業が開始された。このうち、自動運転システムについては、日欧米からのインプットを踏まえ、日本リードで議論を進めてきた。最終的に、パート1は2020年4月にISOが発行され、パート2は2020年10月にISO発行となった。

GDF 5.1機能構成図

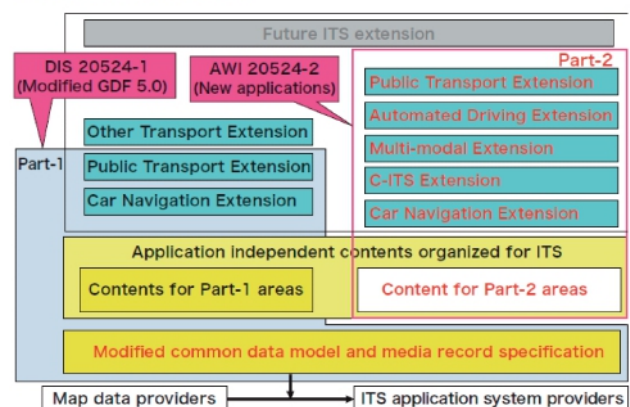


図2 地理データファイルの機能構成図

4 業界標準活動

SIP-adusは、自動運転に関するデジタル地図に関する業界標準団体であるOADFに継続的に参加してきた。OADFは2015年より開始された、標準化団体間での情報共有を目的としたフォーラムである。SIP-adusは、2016年に行われた第5回会議 (北京)に参加し、議長

と個別会談を行うとともに、第6回会議（ブリュッセル）から継続的に発表を行っている。2017年には、SIP-adus ワークショップと合わせて第8回会議を東京でホストした。そうした活動を経て、2019年よりステアリング会議のメンバとなり、現在に至っている。

現在、OADFには、正式メンバとして、以下の6団体が参加している。

- ADASIS : Advanced Driver Assist Systems Interface Specification
- NDS : Navigation Data Standard
- SENSORIS : Sensor Interface Specification
- SIP-adus
- TISA : Traveller Information Services Association
- TN-ITS : Transport Network Intelligent Transport Systems

さらには、ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) が主導する OpenDRIVE および OpenSCENARIO といわれるシミュレーション標準とも継続的な議論を行っている。

OADF 自体では標準は定めず、あくまで参加する各団体の情報交換を主目的に活動している。SIP-adus は標準化団体ではないが、各種業界標準に参考となる実験成果を提供する位置づけで参加している。

OADF における継続的な議論を踏まえ、SIP-adus は、2019年に ADASIS と覚書を交わし、SIP-adus 実証実験での活用可能性検討へ向けて、ADASIS 仕様 (version3) の開示を受けている。現在、適宜 ADASIS と個別の意見交換を実施しつつ、実証実験での活用可能性を検討している。



図3 OADF 活動の概要(OADF 会議資料より)

5 日米欧三極連携活動

日米欧三極連携活動は、2009年に欧州委員会と米国運輸省で交わされた覚書、2010年および2011年に日本の国土交通省が、日米および日欧の ITS 分野における協力に関する覚書を締結したことをもとに行われている、政府主導による国際連携活動である。

これまで SIP-adus は、自動運転に関する取り組みに参加し、欧米の関係者との定期的な意見交換を実施している。自動運転に関する取り組みのひとつに、Physical and digital Infrastructure SWG があり、この活動において、欧米の窓口担当者に対して、定期的な SIP-adus におけるダイナミックマップ関連の動向を報告するとともに、欧米における活動状況の情報提供を受けている。

過年度は、ITS 世界会議の他、三極で行われる様々な国際会議とあわせ会議が開催されてきた。2019年以降は、年に数回オンラインでの会議を行っている。

【参考文献】

- (1) SIP-adus ホームページ
<https://en.sip-adus.go.jp/> (参照2021.6.30)
- (2) 自動車技術会：ITS の標準化2020 (2020)
https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2020_en.pdf
(参照2021.6.30)
- (3) OADF ホームページ
<https://www.openautodrive.org/> (参照2021.6.30)

ヒューマンファクター

北崎智之（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

（概要）自動運転のヒューマンファクターは、自動運転の安全性や社会受容性に関わる重要な側面である。また人を理解することは、基盤研究と位置付けることもでき、いわゆる協調領域を多く含む。SIP第1期、第2期を通して、積極的な海外連携により、SIPヒューマンファクター関連プロジェクトの課題設定や研究方法の妥当性を検証するとともに、成果を国際的に発信してきた。また国際標準への成果の織り込みに積極的に取り組んできた。本稿では、その具体的な活動を紹介する。

1 背景

自動運転のヒューマンファクターは、自動運転の安全性や社会受容性に関わる重要な側面である。レベル2、3においては、自動走行中もドライバーは一定の役割を担っており、ドライバーが何らかの原因でこの役割を実行できないときには、不安全な状況が発生しうる。またレベル3以上の自動運転車が他の交通参加者と道路を共有する場合（混在交通）、自動運転車の意図が他のドライバーや歩行者に理解されないと、交通の円滑性が損なわれたり、不安全な事象が発生しうる。そしてこれは自動運転車の社会受容性の醸成を妨げるものとなりうる。

自動運転のヒューマンファクター研究開発は、自動運転技術の基盤領域（協調領域）と捉えられる部分が多く、SIPを通じたオールジャパン体制での取り組みだけでなく、海外の産学における研究開発主体と積極的な連携や情報交換を行い、研究テーマ設定や研究方法についての妥当性を常に検証しながら進めてきた。また得られた成果を国際的に発信するとともに、国際標準化に積極的に関わり貢献してきた。本章では自動運転のヒューマンファクターに関わる国際連携と国際標準化活動の具体的事例を紹介する。

2 国際連携

2.1. 日米欧三極連携

日米欧政府間合意に基づく三極連携下の Automated

Road Transport Working Group (ART-WG)の下に位置するHuman Factors sub-Working Group (HF-subWG)として活動してきた。HF-subWGは、米国がStacy Balk (NHTSA)、欧州がEmma Johansson (Volvo trucks)、日本が北崎智之 (AIST) の3人の共同議長のもとに、各地域産学官領域の数人の専門家メンバーから構成される（表1）。

表1 三極連携 ヒューマンファクター サブWGメンバー

United States	
Stacy Balk, co-chair	NHTSA
Brian Philips	FHWA
Paul Rau	NHTSA
Daniel McGehee	University of Iowa
Johan Engström	Waymo
Chuck Green	MIT
European Union	
Emma Johansson, co-chair	Volvo trucks
Andreas Keinath	BMW
Anna Schieben	DLR
Natasha Merat	University of Leeds
Klaus Bengler	TU Munich
Ludgrer Rogge	EC, DG R&I
Japan	
Satoshi Kitazaki, co-chair	AIST
Makoto Itoh	University of Tsukuba
Tatsuru Daimon	Keio University
Keisuke Ishii	Honda, JAMA

連携の目的は、①自動運転におけるヒューマンファクターに関わる知見や情報の共有、②新たなヒューマンファクター課題の抽出、③研究連携の機会創出、④

論文共同執筆などである。サブワーキング会議は3か月に1回程度の頻度で実施され、①②③について情報交換と議論を行っている。また、日米欧の主要国際会議において、ワークショップやオーガナイズドセッションを企画し、各国の専門家を交えて様々な情報共有や議論、成果の発信を行ってきた。④については2019年に連携成果として自動運転におけるOut-of-the-Loopコンセプトについての論文を発表した⁽¹⁾。現在は自動運転のメンタルモデルについての論文を共同執筆中である。

2.2. 日独連携

日独政府間合意に基づく自動運転に関する日独連携のもとに、ヒューマンファクターについては、約1年の準備期間を経て2019年より連携を開始した。日本側はSIP「自動運転の高度化に則したHMIの設計及び安全教育方法に関するデータ検証と評価プロジェクト」に関わる、産総研、筑波大学、慶應義塾大学、東京大学、熊本大学の5研究機関からなるコンソーシアム、ドイツ側はミュンヘン工科大学、ケムニッツ工科大学、ウルム大学、ドレスデン工科大学、DLRの5研究機関からなるコンソーシアム間の連携とした。連携コーディネータは日本側が北崎智之(産総研)、ドイツ側がKlaus Benglerである。研究連携テーマは、SIPの3つの研究課題(路上コミュニケーションと外向きHMI、ドライバーとシステムのインタラクション、ドライバー教育とトレーニング)に合わせて、ドイツ側コンソーシアムも同じ3つの課題に分担して取り組んでいる(表2)。

2019年11月に第1回ワークショップを東京で開催し、双方の研究計画を共有した。それ以降は年2回のワークショップを日独交互に実施し、活発な意見交換を行うとともに、共同実験も企画している。なお、COVID-19の影響で第2回以降はすべてon-lineでのワークショップとなっている。またウェビナーを日独双方で実施してきた。ウェビナーにおいては、連携研究テーマ以外のヒューマンファクター研究全般について、教育を目的として学生や若手研究者を招いて実施してきた。2020年度に双方のリーダー層によるウェビナーが一巡し、今後は若手研究者中心のものとしてゆく予定である。連携活動をアピールするために、2021年6月に国際人間工学会(IEA, on-line)にてオーガナイズドセッションによる双方の研究成果の発信を行った。今後も他の国際学会/会議を含めて連携の発信を継続してゆく予定である。

表2 日独連携の研究テーマと実施組織

研究テーマ	日本側コンソーシアムメンバー	ドイツ側コンソーシアムメンバー
1 路上コミュニケーションと外向きHMI	慶應義塾大学	ケムニッツ工科大学 ドレスデン工科大学 ウルム大学 ミュンヘン工科大学 DLR
2 ドライバーとシステムのインタラクション	産総研 東京大学	ミュンヘン工科大学 ウルム大学
3 教育とトレーニング	筑波大学 熊本大学	ドレスデン工科大学 ミュンヘン工科大学

2.3. その他の国際連携

その他の国際連携としては、EU Horizon2020のヒューマンファクター関連プロジェクト2件との連携を図っている。MEDIATORプロジェクトは、ドライバーと自動運転システムの、より安全な新しいインタラクションを研究開発するプロジェクトであるが、SIP「自動運転の高度化に則したHMIの設計及び安全教育方法に関するデータ検証と評価プロジェクト」のプロジェクト代表者である北崎智之が、アドバイザーボードメンバーを務めている。またHADRIANプロジェクトは、道路交通環境とドライバー状態に応じて、自動運転の安全性を高めるために流動的に変化するHuman Machine Interface (HMI)を研究開発するプロジェクトであるが、同SIPプロジェクトの「課題B: 走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のためのHMI等に関する研究開発」との情報交換を行っている。

3 国際標準化活動

自動車のヒューマンファクターやHMIについての標準化活動は、ISO/TC22/SC39/WG8で実施している。日本は自動車技術会ヒューマンインターフェース(HI)分科会がWG8への代表組織となっているため、SIP「自動運転の高度化に則したHMIの設計及び安全教育方法に関するデータ検証と評価プロジェクト」の主メンバーがHI分科会の委員としてWG8で活動している。

自動運転については、これまでドライバーとシステムとのインタラクション、特に安全上重要な運転引継ぎに関して、TR21959-1²⁾、TR21959-2³⁾が2018年、2020年に発行されている。TR21959-1は、システムとドライバーそれぞれの遷移プロセスを定義したほか(図1)、自動運転のヒューマンファクターに関するコンセプトをまとめたものである。またTR21959-2は、

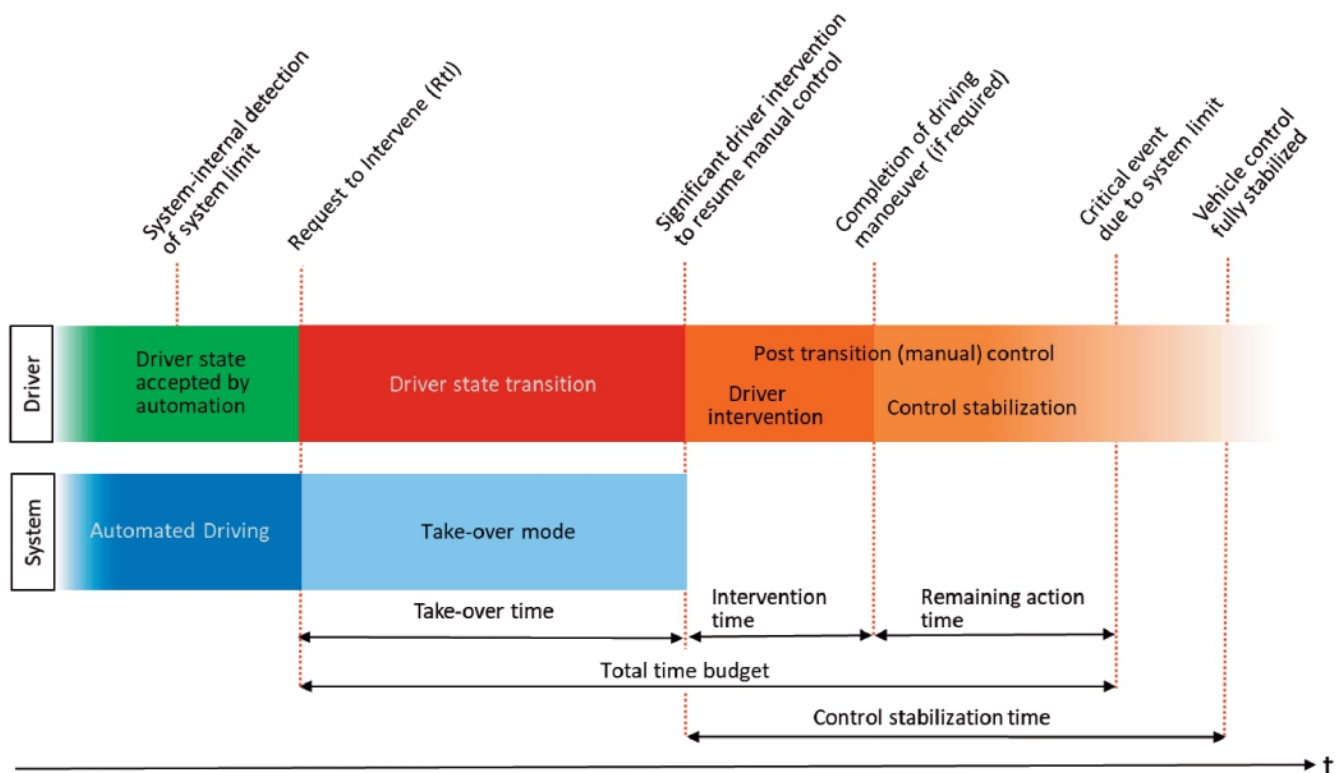


図1 ISO TR21959-1で定義されているTransition process model (system-initiated transitionの場合)

ドライバーの運転引継ぎパフォーマンス評価の実験計画における配慮事項として、運転引継ぎに影響を及ぼすと考えられるヒューマンファクターやシステムパラメータ、実験シナリオ構築の考え方、パフォーマンス評価のための計測指標、実験環境選択時の配慮事項などをまとめたものである。TR21959-1, TR21959-2ともに日本がプロジェクトリーダー、共同リーダーを務め、主にSIP自動走行第1期のヒューマンファクター研究開発プロジェクトの成果を織り込んだものである。現在はTS5283⁴⁾ドライバーモニタリングシステムについて、日本が共同プロジェクトリーダーとして取り組んでいる。

一方、自動運転車の路上コミュニケーションおよび外向きHMIに関しては、そのコンセプトについてTR23049⁵⁾が2018年に発行された。現在、外向きHMIの設計に関わるTR23735⁶⁾、実験評価に関するTR23720⁷⁾の二つのプロジェクトが米国のリーダーのもとに進められている。日本としては、SIP第1期、第2期ヒューマンファクター関連プロジェクトで得られた、外向きHMIへの過信による負の効果(不安全感)への注意喚起をTR23735に織り込むとともに、実施してきた様々な実験の方法論をTR23720に織り込んでいるところである。

現在議論されている、自動運転のヒューマンファク

ターに関わる新しいプロジェクトとしては、自動運転車の遠隔オペレーションのヒューマンファクターの提案がなされたところであり、今後WG8内で議論し承認されれば、新プロジェクトとして発足する予定である。

4 まとめ

SIP第1期、第2期ヒューマンファクター関連プロジェクトにおいては、国際連携を通して、研究テーマ設定や研究方法についての妥当性を常に検証しながら進めてきた。また成果を広く世界に発信するとともに、国際標準化に貢献してきた。加えてこれらの活動を通して、海外とのネットワークを構築することができ、この分野の日本のプレゼンスを向上することができた。

【参考文献】

- (1) Natasha Merat, Bobbie Seppelt, Tyron Louw, Johan Engström, John D. Lee, Emma Johansson, Charles A. Green, Satoshi Kitazaki, Chris Monk, Makoto Itoh, Daniel McGehee, Takashi Sunda, Kiyozumi Unoura, Trent Victor, Anna Schieben, and Andreas Keinath: The “Out-of-the-Loop” concept in automated driving: proposed definition,

measures and implications. *Cognition, Technology & Work* 21: p.87-98 (2019).

- (2) International Organization for Standardization: ISO TR21959-1, Road vehicles - Human Performance and State in the Context of Automated Driving: Part 1 – Common underlying concepts. (2018).
- (3) International Organization for Standardization: ISO TR21959-2, Road vehicles - Human Performance and State in the Context of Automated Driving: Considerations in designing experiments to investigate transition processes (2020)
- (4) International Organization for Standardization: ISO TS5283, Road Vehicles: Ergonomic aspects of driver monitoring and system interventions in the context of automated driving. (under development).
- (5) International Organization for Standardization: ISO TR23049, Road Vehicles: Ergonomic aspects of external visual communication from automated vehicles to other road users. (2018).
- (6) International Organization for Standardization: ISO TR23735, Road vehicles — Ergonomic design guidance for external visual communication from automated vehicles to other road users. (under development).
- (7) International Organization for Standardization: ISO TR23720, Road Vehicles — Methods for evaluating other road user behavior in the presence of automated vehicle external communication. (under development).

安全性評価

谷口悟史 (トヨタ自動車株式会社)

(概要) より安全、効率的で自由なモビリティ社会の実現のために、自動運転車両の実用化と展開が期待される中、『どのような考え方で社会受容性のある安全性判断を行うか』という安全性評価基準と、『多様な交通状況における安全性をどのように包括的に評価するか』という安全性評価手法の整備が急務である。国内においては安全性評価仮想環境構築を推進する内閣府支援のDIVPと、安全性評価シナリオデータベース構築を推進する経産省支援のSAKURAを立ち上げ、自工会がこれらのプロジェクトの横串を指す形で技術戦略を示しながら産官学で連携して安全性評価基準と安全性評価手法を支える安全性評価基盤技術の構築を行っている。各国でも多くの安全性評価の研究プロジェクトが活発に立ち上がっており、国内だけでなく国際も含めてプロジェクト間で密に連携し、国際基準・標準、共通基盤技術の確立に向けたテコとなる連携体制の構築・運営が重要である。

1 安全性評価手法の課題

自動運転車両が人の運転を代替する上で遭遇する数多の危険な状況について、実交通環境で長距離・長時間の試験評価により安全性評価を行い、ブラックボックス的に改善を繰り返していくことで一定以上の確率的な信頼性を保証する安全性保証は、評価結果が開発会社・プロジェクトから公表されず市場にとって透明性が低く、審査当局が監査を行う場合にもその十分性について絶対的な判断を行うことが難しいことから、評価プロセスとして評価範囲の十分性・透明性に課題がある。また、認可試験として予め定められた試験条件をコントロールされたテストコース上で実施するのでは、数多存在する運転状況を包括的にカバーして十分な安全性評価を行うことが難しい。

この自動運転車両の安全性評価技術の課題に対応するため、国内においては次の2つの大きな柱となる共有基盤要素技術を構築するプロジェクトを立ち上げ、対応に当たっている。

①安全性評価の条件を論理的に構造化して評価シナリオに落とし込み、これをシナリオデータベースとして維持改善していく『シナリオベーステスト』を検討するプロジェクト。

②実世界では危険で実行できない評価条件や効率面において現実的な期間ではやり切れないような数の評

価パターンをカバーするための仮想環境技術を構築するプロジェクト。

1.1. 安全性評価の国内合同推進と国際協調

①のシナリオデータベース構築については経済産業省が実施するSAKURA (Safety Assurance KUDos for Reliable Autonomous Vehicles) ②については本SIP下の検討としてDIVPを立ち上げ認識仮想の検討を実施している。両プロジェクトともに2期目を迎え、それぞれにプロトタイプの実用化が開始されていることからこれを結合して実用化を加速するために合同で推進する実務タスクフォースとステアリング委員会を2021年度より立ち上げた(図1)。



図1 自動運転安全性評価合同推進体制

この合同推進の体制により、シナリオDBと認識仮想環境を結合して実際の自動運転車両開発に適用することで、この基盤技術の実用化加速が期待される(図2)。

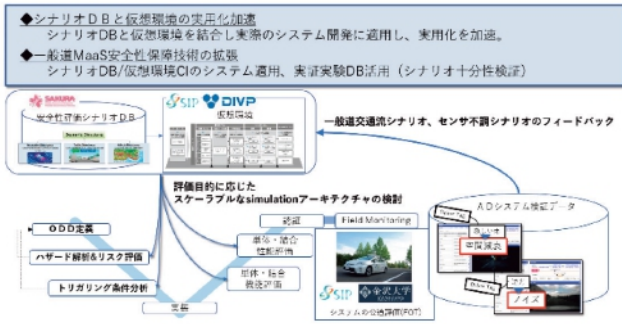


図2 AD安全性評価合同推進の狙い

また、同合同推進の体制で国際連携としてこれまでシナリオ観点でPegasus, 仮想環境観点でVIVALDIとそれぞれ日独連携を進めていた体制を統合し、日独連携についても強化を行っている(図3)。

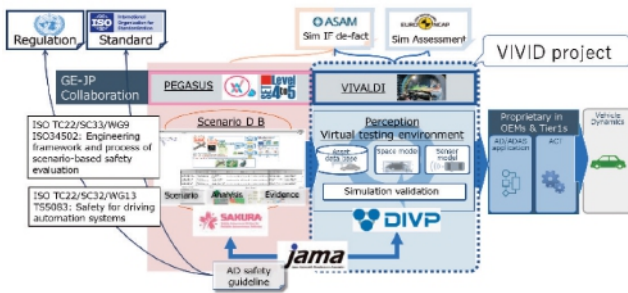


図3 合同推進による日独連携の強化

特に VIVALDI との間での連携 (VIVID : Virtual Validation methodology for Intelligent Driving systems) では、図4に示すように専門家タスクフォースに活動を分割してISOやASAM等での自動運転の安全性評価体系やシミュレーションインターフェースの標準化への提言を強化し、国内でしか使用できない技術にならないよう、海外のセンサ・シミュレーション環境とも容易に結合できる形を目指している。

JTTC	Topic	・SIP safety assurance: Satoshi Taniguchi ・DIVP: Hideo Inoue		VIVALDI: Matthias Hein	
1	Simulation and data interfaces Comparison of simulation tool chains	NUL	Nakamura-san	AVL	David Nickel
2	Environmental data Modelling, geometries and materials	MPC	Nerio-san	KIT	Mario Pauli
3 Propagation modelling, sensor modelling, and integration					
3.1	Camera	SSS	Sugiyama-san	UAS Kempfen	Stefan-Alexander Schneider
3.2	LIDAR Reference data and model metrics	PSSI	Takemura-san		Thomas Zeh
3.3	Radar Sensor-specific performance simulation and reference data	SOKEN	Ikeda-san	Conti- nental	Frank Gruson
4	V&V testing framework Test facilities and test metrics	KAIT	Nagase-san	TUIL	Matthias Hein
5	Scenario structuring Modularity, criticality, sensor-specific weaknesses	SOLIZE	Minami-san	IPG	Yannik Cichy
6	Simulation validation roadmap, joint test campaigns	KAIT	Itokawa-san	TUDA	Hermann Winner

図4 安全性評価仮想環境の日独連携 VIVID 体制

2 安全性評価基準における国際連携

2.1. 国際基準調和の背景

安全性評価基準については倫理・法規の専門家も含めて国連の自動車基準調和フォーラム (WP29) を始めとした基準調和や国プロ内においても活発な議論が行われている。

自動運転車に関する国際基準の策定はWP29配下のGRVA(Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles) で VMAD(Validation Methodology for Automated Driving) という専門家会議が2018年に発足され、2020年には初のLv3自動運転車の型式認証法規であって自専道低速車線維持を対象とした国連法規としてUN-R157が合意された。

この国際基準調和で議論されている安全性判断の考え方として、『社会的に許容可能なリスクレベルを下回っているかどうか』という指針が自動車産業以外も含めて技術イノベーションを社会実装する際の判断基準として実績があり、自動運転の領域での許容可能なリスクレベルを具体化する議論が進められている。WP29配下での議論をえて2019年6月に採択された自動運転のフレームワークドキュメントでは『設定された ODD の範囲内において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを確保する必要がある』という考え方が示された。

この議論において日本としてJASIC下で国交省、交通研、自工会で連携して提言を行う中で、『合理的に予見される防止可能なレベル』の解釈として『システムの性能が人間のドライバーの能力を超えたかどうか』という解釈を行い、この人間ドライバー能力のリファレンスとして『competent and careful human driver』というレベルを想定することをUN-R157 5.2.5.に規定し、計量可能かつ包括的な安全性評価シナリオに対する安全性評価基準としてUN157 Annex 4 - Appendix 3 Guidance on Traffic disturbance critical scenarios for ALKSを織り込んでいる。

2.2. 国際基準調和を支える国際連携

この議論の背景として国際標準 ISO TC22/SC33/WG9として安全性評価シナリオのプロジェクトが中国 CATARC コンビナーで発足され、日本の VMAD 議

長から SC33/WG9 コンビナーに対して ISO 側からの技術インプットの期待が示された。これに対して、自工会としては安全性評価ガイドラインを ISO と VMAD の両方に提案を行うことで、国際基準と国際標準を調和しながら進める支援を行った。さらにこの国際標準 SC33/WG9 下のシナリオベース安全性評価フレームワークを定める ISO34502 の推進体制は日本 leader、ドイツ co-leader で leader/co-leader の緊密な連携のもとに最速で CD フェーズまで進んでおり、これは背景として Pegasus1 期目から日独間で密に技術協調を継続してきた信頼関係が結実した形である。

以上のように UN-R157 が 1 年程度の議論で一定の技術的成熟を迎え世界初の Lv3 自動運転車両の国際基準調和に繋がった原動力として、国内の産官学間の密接なコミュニケーションに支えられた各レイヤーの戦略的な国際協調の努力が有機的に結実した成果があったことは、今後の ALKS 拡張に向けた議論等においても継続的な日本の国際貢献の礎になるものである。

2.3. 新たな国際協調の取り組み

これまで独・仏・中・米と個別にプロジェクト間で連携を行うことで技術検討の加速を狙ってきたのに対して、今後は乱立しつつある国際標準の活動を調和させていくために各種連携の統合を進めていく必要がある(図5)。

この打ち手の一つとして日欧連携として欧州自動運

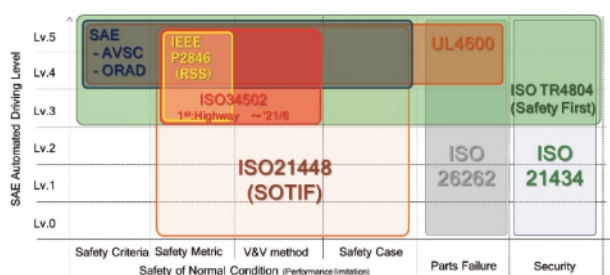


図5 安全性評価仮想環境の日独連携 VIVID 体制

転プロジェクト HEADSTART と合同で安全性評価フレームワークの state of the art を集約する white paper を編纂する活動を新たに 2021 年に立ち上げる(図6)。

SAFETY VALIDATION WHITE PAPER

SAKURA – SIP-adus – HEADSTART

Introduction – Safety validation of highly automated driving

Mission and objectives

Describe the paper mission

To have a storyline complete by December 2021 because of time constraints of the HEADSTART project.

Define the scope and timing of the paper: decide when to freeze

Scope projects: SAKURA + SIP-adus + HEADSTART

Timing: Final draft in early November

Public dissemination: we can take opportunities but it could outlive the project

- e.g. conferences in 2022: TRA, ITS WC 2022, ARTS (former AVS), TRB, Aachen colloquium, ESV, ITSC (include Nicoletta Karabatis in the loop), Autonomous Vehicle Symposium, Testing Expo
- Events: SIP-adus workshop (November 2021 – 2022)
- Internal events: Final event HEADSTART (mid-November)
- Potential idea: organize a webinar to show the paper

図6 日欧連携による安全性評価 white paper

3 結び

自動運転技術により運転者が原因の交通事故が大幅に削減され、またより自由で便利なモビリティの社会実装が期待される中、まだまだその安全性能についての十分性・透明性の課題は大きい。

引き続き産官学が連携して共通基盤技術の構築と国際連携を通じた基準・標準の整備を進め、安全な交通社会の実現に向けた健全な競争環境を実現することが重要である。

【参考文献】

- (1) <https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>
- (2) <https://sip-cafe.media/column/1210/>
- (3) <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2019/wp29/WP29-177-19e.pdf>
- (4) <https://unece.org/sites/default/files/2021-03/R157e.pdf>
- (5) <https://www.pegasusprojekt.de/en/home>
- (6) <https://www.headstart-project.eu/>
- (7) <https://blog.irt-systemx.fr/wp-content/uploads/2020/03/VMAD-05-12-AD-safety-validation-french-views-Vdef-1.pdf>
- (8) http://jama-english.jp/publications/Automated_Driving_Safety_Evaluation_Framework_Ver1.0.pdf

【執筆者詳細】

谷口悟史・トヨタ自動車株式会社・自動運転・先進安全開発部・グループ長・自動運転システム開発

コネクティッド・ビークル

小川博文（マツダ株式会社）

(概要) Connected Vehiclesの国際連携活動として、SIP-adus WorkshopやITS世界会議などの国際会議を通じてSIPで取り組んでいる通信を活用した協調型自動運転関連施策の情報発信や、国際会議への参加を通し海外の関連活動の情報収集や海外の専門家とのネットワーク作りを行ってきた。特にSIP-adus Workshopでは開催期間中海外の専門家に直接SIPの活動の紹介を行うことができ、また、本音レベルでの意見交換をすることができた。一方、欧米で開催される国際会議は、各国の取り組みや様々な企業の考えを聞くことで、幅広い情報を入手することができた。本稿ではこれら活動の概要を紹介する。

1 活動概要

Connected Vehiclesの国際連携活動としては、第1期SIPと同様にITS無線の協調型自動運転への適用に関する日本からの情報発信と、欧米の動向を調査し日本の関係者と情報を共有することに主眼を置いた。具体的な活動としては、SIP-adus Breakout Workshopのリード、欧米の自動運転に関する国際会議への参加や海外のプロジェクト等の視察を通してSIPの取り組みの情報発信と情報収集、および各国の専門家との情報交換などを行った。

2019年に協調型自動運転通信方式検討TFが立ち上がり、協調型自動運転の通信方式の検討がスタートしたため、TF活動の成果発信も重要な活動となった。

2 SIP-adus Workshop

2.1. 2018年度SIP-adus Workshop

1) Plenary session

米欧の専門家より最新のConnected Vehicleに関する情報が紹介された。各登壇者の発表トピックスを記す。

USAのKevin Dopart氏(U.S. Department of Transport, (USDOT))よりUSDOT発行のAutomate Vehicleガイドライン3.0の概要が説明された。安全最優先、技術の中立、規制の最新化、などが明記されている。また、5.9GHz帯V2Xの展開として安全運転

支援通信パイロットプロジェクト(CV Pilot)および全米70か所の実証実験について紹介された。加えて、協調型自動運転の研究(CARMA2)が完了し、自動運転用ROS(Robot Operating System)を構築したことも紹介があった。

John Kenney氏(TOYOTA IT Center)からは5.9GHz帯DSRCの技術情報として、FCCの技術要件策定、市場展開状況(5315か所の路側機配備)、市場での互換性確保について紹介された。また、DSRC、C-V2X、Wifiの周波数の割り当てに関する課題が示された。

EUからはChristian Rousseau氏(RENAULT)が参加。EUプロジェクトSCOOPでは通信要件の確立、データの取り扱いについて議論されており、Hybrid V2XおよびITS-G5実証実験などが実施されている。

EUでは5.9GHzの周波数帯域50MHzを道路安全30MHz、鉄道20MHzに割り当てることとなった。また、EUプロジェクトC-ROADSのステータスやEUの政策、法規制の枠組みについて紹介された。

Maxime Flament氏(5GAA)からは5G NR最新の通信技術としてNetwork Slicing、Edge Computingの活用が紹介された。5GのC-V2X技術は交通安全アプリケーションやネットワーク通信と親和性が高いことが示された。

日本からは第1期SIPの成果として既存のITS通信を活用したV2Xアプリケーションの実用化に向けた可能性検証を行ったことや、第2期SIPの計画として臨海副都心への通信インフラの導入と実証実験概要を説明した。



2) Breakout Workshop

15名 (EU3名, USA2名, 日本10名) の参加者によりグローバルな Connected Vehicle の動向について共有化した。

① 情報共有化

USAからは5.9GHz周波数の割り付けと帯域の必要性について問題提起され、議論した。技術の中立性と各州/各機器相互の通信互換性が技術課題として認識されている。

EUからは自動運転プロジェクト HEADSTART, ICT4CARTおよび5Gのプロジェクト 5G CROCO, 5G MOBIX, 5G CARMENが開始された旨の紹介があった。また、Delegated act (委任法令) の概要紹介と承認予定時期 (19年夏) についても紹介された。

日本からは第2期SIPの計画として、信号情報提供、高速道路合流に関する技術要件の検討が始まったことを紹介した。

② Learn 5G

5Gの技術要件, 5G推進企業, 団体による活動状況の共有化により5Gの理解促進を図ることを目的に実施した。Flament氏より5Gの技術情報の共有化と日本における5G実証実験が紹介された。

2.2. 2019年度SIP-adus Workshop

1) Plenary session

当初予定していた登壇者 (USA2名, EU2名, 中国1名) の内, USA1名, EU2名のキャンセルがあり日本を含め3名の登壇となった。

Kevin Dopart氏 (USDOT) から協調型自動運転プロジェクト CARMA について詳細に報告された。

中国より朱 厚道氏 (Huawei) からは無錫でのC-V2Xを用いた大規模実証実験について紹介された。

日本からはSIP第1期の通信活用施策のサマリーと第2期で実施する東京臨海部実証実験の計画について紹介した。



2) Breakout Workshop

USA1名, 中国2名, 日本7名により実施。各地区での活動の紹介, 質疑応答を通じて Connected Vehicle の情報共有を行った。

USAからはCARMAプロジェクトの詳細が説明された。通信方式としては, DSRCとネットワークを用いる, いわゆるハイブリッドの構成。ネットワーク型の通信システムはCARMA Cloudと名付けられている。また, SAEでは協調型自動運転の定義, クラス分けなどが検討されている。SAEJ3216として2020年4月に完了予定とのこと。

中国からは無錫での実証実験について詳細の説明があり, 深く理解することができた。実用化については, バス, 商用車で車載機搭載が先行すると想定されている。

日本からは警察庁, 総務省の Connected Vehicle に関する施策や, SIP実証実験, 自動車メーカーの取り組み, ISO TC204WG14の活動状況などを説明した。

海外からの参加者は少なかったが, 深い議論ができた。

2.3. 2020年度SIP-adus Workshop

2020年度のSIP-adus Workshopはコロナ禍の影響によりWeb開催となり, 発表は録画による配信となった。

日米欧各地区から専門家に登壇いただき, それぞれの活動について紹介していただいた。一方, Breakout sessionは開催されず, 密な情報交換は行えなかった。

USA Kevin Dopart氏 (USDOT) からはSAEによる協調型自動運転Class定義など通信の最新動向とDOTのプロジェクトCARMAやトラック隊列走行実証の紹介があった。

John Kenney氏 (TOYOTA IT Center) はFCCによるITS周波数の再割当ての状況や次世代DSRCの概要を説明。

EU Christian Rousseau (RENAULT)からはフランスにおけるC-ITS実証実験プロジェクトPACV2XとInDiDの取り組みについて紹介された。

日本からは江原信一郎氏 (総務省) により総務省の

周波数アクションプランなどの諸施策が紹介された。また、SIPからは青木芳憲氏 (UTMS協会/日本信号) により信号情報のV2I, V2Nによる配信の検討状況、筆者より協調型自動運転ユースケースの紹介を行った。

3 情報収集 国際会議への参画

SIP国際連携WGの活動には国際会議での情報収集、専門家とのネットワーク作りがあり、いくつかの国際会議へ参加した。それぞれの会議でのトピックスを記す。

3.1. ITS America デトロイト/CV-Pilot/Smart Columbus(2018.6)

ITS America年次会議への出席、ニューヨークで行われているCV-Pilot実証実験、ColumbusでのSmart Cityのプロジェクトの視察を通じてアメリカのConnected Vehicleに関する諸活動の進捗を調査した。

- ・ITS AmericaではGMが次期キャデラックへITS無線の搭載を行うと大々的に宣言し会場を盛り上げていた。一方、USDOTはテクノロジー・ニュートラルとの立場でDSRC, C-V2Xのどちらを推奨するかは明確にしなかった。

- ・ニューヨーク市DOTの交通管制センターへ訪問し、CV-Pilotの実施状況を調査。路側機等設備導入が進んでいる。

- ・Columbusで行われているSmart Cityの実証実験を視察。公共交通とパーソナルな交通システムの融合を図る計画。

3.2. Automated Vehicle Symposium サンフランシスコ(2018.7.9~12)

- ・DSRCとC-V2Xを推進している団体双方より、それぞれの通信方式の技術面、運用面の優劣が主張された。一方、USDOTはテクノロジー・ニュートラルの姿勢は崩さないが、実証実験の進捗や自動車メーカーの車載器の搭載予定を例に挙げてDSRCの実用化が目前に来ていることをアピールしていた。

- ・通信アプリケーションとしては、信号情報提供、工事区間情報提供にDSRCを活用した事例が紹介された。FHWAはミシガンで13か所、テキサスでは15か所の交差点に路側機を設置して、青信号通過支援やCACCの優先通行などにより交通流の最適化を狙っている。

- ・EUプロジェクトのICT4CARTではC-ITS, C-V2Xなど多様なICT技術を用いて実世界でのレベル4の自動運転活用を目指している。実証実験はオーストリア、ドイツ、イタリアのテストサイトとイタリア-オーストリアの国境を越えたテストコースを用い、国境での相互接続性を検証する。

3.2. ITS 世界会議 コペンハーゲン(2018.9.17~21)

- ・ヨーロッパではEU委員会よりV2Xに関する委託法令(Delegated Act)が提出されようとしており、その概要と認証方法、プライバシーの問題などが報告された。

- ・アメリカではCV Pilotの準備が整い、実証実験を開始するタイミングとなっている。すでにテストが開始されており、ニューヨークのビル街での自転車位置精度、データ収集上の問題など実用化を進める上での課題を明らかにした。また、実験用ではあるが、DSRC路側機が全米で5000台を超えたことも紹介された。

3.3. Transportation Research BoardワイントンD.C.(2019.1.13~17)

- ・CV PilotではPhase 3の実証実験の時期に入っており、実験が開始されているがまだすべての準備が完了していない。

- ・CARMA(自動運転への通信技術活用プロジェクト)ではCARMA 1でCACCの実証、CARMA 2でオープンソースプラットフォームの構築および、高速道路でのアプリケーションの開発が終了。CARMA3ではプラットフォームソフトの実用化が検討される。

- ・EUからはAUTOCITS(2016~2019)について紹介された。C-ITSの自動運転への応用、安全機能の改善を狙ったプロジェクトとしてポルトガルからスペイン(10kmの高速道路)、フランスをまたぐコリドーで実証実験を実施。

- ・5G関連プロジェクトでは5GC r oCo, 5GCarmen, 5GMOBIXが今年よりスタートした。高速道路1000km, 8か国にまたがる実証実験。

- ・C-ITS Delegated Actが発行され、4週間のパブリックコメントを公募し最終化を図る。

3.4. EU Connected Automated Driving Conference(2019.4)

- ・C-ITS Delegated Actが3月に議会へ提出され、5月中旬には発行される予定で進んでいる。ただし、フィ

ンランドなどから反対意見が出ており、法案が成立するかどうか予断を許さない状況。

- ・ARCADE (EUプロジェクト) workshopへ参加した。EUプロジェクト情報としては、5Gに関する3プロジェクトが進行中で、国境を越えた相互接続性の検証を行っている。

- ・USDOTのプロジェクト情報としては、通信を使った自動運転プロジェクトであるCARMAが第3期に入っており、車両コントロールや自動運転プラットフォームの検証を行う。

3.5. Automated Vehicle Symposium オランダ (2019.7.15~18)

- ・FCC長官の5.9GHz帯の周波数割り当て見直し発言に対し、FHWA長官は5.9GHz周波数を交通安全のために死守すると宣言した。一方、通信方式(DSRC or C-V2X)についてはテクノロジー・ニュートラルの立場を崩していない。

- ・協調型自動運転の標準化に関する動向として、SAEは協調型自動運転の用語の定義と分類の標準化(J3216)の活動を行っている。

3.6. ITS世界会議 シンガポール(2019.10.21~25)

- ・EUではC-ITS Delegated actが議会に否決されたが、一部の国や民間企業から成るC-ITS推進グループ(C-ITS Deployment Group)が結成され、実用化の活動が開始された。

- ・USAでは5GAAが5.9GHzの帯域(75MHz)の上側20MHzをCellar V2Xに割り当てるよう要求したことが紹介された。

3.7. Transport research board ワイントンD.C. (2020.1.12~16)

- ・CV-Pilotのセッションでは3地区(NYC, Tampa, Wyoming)の進捗状況報告に加え、FCCによる5.9GHz帯再配分に対し、設備改修費用やプロジェクトの遅れなど反対意見が出された。

- ・CV-Pilotの進捗状況としてはNYC, Tampa, Wyomingより実験が始まったことが紹介された。

4 情報発信

第1章ではSIP-adus Workshopを通じた情報発信について記したが、それ以外の発信について紹介する。

4.1. 第5回 オートモーティブ・ソフトウェア・フロンティア 2020(2020.2.6)

「CASE時代の自動車ソフト開発の課題と可能性を展望する」と題し、2日間にわたり開催された民間主催の講演会に登壇した。題目は「ITS無線通信に関する国際動向とSIPの取り組み」とし、ITS無線通信に関する欧米中の動向やSIP協調型自動運転通信方式の検討状況について紹介した。

4.2. 自動車基準調和世界フォーラム(WP29 ITS IWG) (2020.11.6) Web開催

WP29ITSインフォーマル・グループでSIPの活動を紹介する機会を得たためSIP協調型自動運転通信方式TFの活動を紹介した。TFの目的、活動プロセスに加え、外部公開している協調型自動運転ユースケースの紹介を行った。

4.3. Future Network Car(2021.3.25)Web開催

上述WP29の参加者からの要請を受け、ITU主催の標記会議に参加した。参加者約150名と盛況であった。講演内容はWP29と同様に協調型自動運転通信方式の検討状況とユースケースの紹介。

5 おわりに

国際連携Connected VehiclesのテーマリーダーとしてSIP-adus Workshopへの海外専門家の招聘や国際会議等への参加を通じて以上述べた情報収集や発信を行ってきた。このような専門家との直接のコミュニケーションは双方の活動状況の理解促進には非常に有用であった。しかし2020年1月のTransportation Research Board (TRB) を最後にCOVID19の影響でほとんどの国際会議が中止となり、このような貴重な場が失われたことは残念であるが、早い復活を期待したい。

サイバーセキュリティ

上原茂 (トヨタ自動車株式会社)

(概要) 自動走行システムの基盤となる高度な地図情報や地図上にマッピングされる自動車、人、インフラ設備等の情報は、主に外部ネットワークから取得することが想定されている。

こうして得られた情報は、自動走行システムによる車両制御に活用する目的で、車両の制御系/情報系の機器に送られるが、このような状況は従来の自動車にはなかったサイバーセキュリティ問題を引き起こす要因にもなっている。また、UNECE WP29におけるUN-R155/R156の合意に伴って、法規の観点からもサイバー攻撃への対策が必要となっている。

このような問題を解決するために、「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)/新たなサイバー攻撃手法と対策技術に関する調査研究」では、出荷後における新たなサイバー攻撃への対策技術として、侵入検知システム(IDS: Intrusion Detecting System)に着目し、IDS導入時における評価・テストのベースラインとなるIDS評価ガイドラインを策定する。

また、実際にインシデントが発生した際の初動対応を支援するための仕組みづくりとして、コネクテッドカーの脅威情報の収集・蓄積に係わる技術要件の検討およびハニーポット等による収集実験を実施する。

「IDS評価ガイドラインの策定」については、IDS検知機能の評価項目へのフィードバックを目的として、2020年に公表された新たなサイバー攻撃の調査を行ない、ベンダー3社に対してアンケートおよびヒアリングによる仕様調査のほか、NIDS(Network IDS)の検知機能を中心に、テストベッドや車両ベンチといった実機環境によるIDSの性能評価項目について検討中である。

「コネクテッドカーの脅威情報と初動支援の調査研究」については、脅威情報を業界で共有することが初動支援に寄与するという仮説のもと、先行するIT業界での脅威インテリジェンス活動および、脅威情報収集・蓄積方法などを解析した上で、脅威情報の収集実験として、アフターマーケット製品(例: OBDを介して接続される外部機器)を模したハニーポットの検討および観測実験を行う予定である。

1 国際法規動向

自動車基準調和世界フォーラム(WP.29)において、自動運転に係る国際基準である、UNR.155(サイバーセキュリティ)、UNR.156(ソフトウェアアップデート)を策定中で、日本は、WP.29 GRVA議長長の立場でサイバーセキュリティを推進していたこともあり、各国に先行して法制化した。

それに伴い、各自動車メーカーは、2022年7月以降に市場にリリースするすべての新型乗用車・商用車に対して、UNR.155に基づくプロセス認証に準拠しなければ、型式認証を得ることができない(継続生産車両は2024年7月以降より適合が必要)。

UNR.155では、サイバーセキュリティマネジメントシステムを持つことや、新たな、あるいは進化する

サイバー脅威及び脆弱性に適切に応じるプロセスを持つことが必要になり、これらのプロセスは3年毎の監査を受ける。

OEM及びサプライヤー各社は、標準規格であるISO/SAE 21434を参照し前述のプロセス構築を進めている。一方で、ISO/SAE 21434は2021年7月現在において、FDIS(Final Draft International Standards)となっており、IS(International Standard)は、今後発行される見込みとなっていることから、UNR.155の要件と併せて、ISO/SAE 21434の差分についても考慮した手戻りの少ないプロセス構築が望まれる。

本事業では、こうした背景を踏まえ、特に車両の生産以降に顕在化するサイバー攻撃の検知技術や脆弱性を含むサイバー脅威の収集、共有の仕組みを調査研究し、各業界団体へハンドオーバーする計画となっている。

2 現状の課題と調査研究状況

「IDS評価ガイドラインの策定」については、法規面からWP29 UN-R155にてサイバー攻撃を検知し適切に対処することが求められており、車両自体がサイバー攻撃を検知・対処できる事を説明する必要があるが、どのような攻撃をどの程度まで検知すればよいかについては、既存の法規やガイドライン等で明確に示されておらず、各社で判断する必要がある。本テーマでは、「出荷後のセキュリティ対策」に貢献することを目的とし、各OEMにおいて、IDSを選定・検証・運用する際のベースラインとして活用いただくための「IDS評価ガイドライン」の策定および業界団体へのハンドオーバーを目標としている。

また、作成したガイドラインは、車両の出荷後セキュリティ品質の底上げを目的とし、特に車載IDS導入の検討を始めたばかりのOEMを主な想定読者としている。

本活動では、実際の攻撃事例を踏まえて、IDSが検知すべきセキュリティイベントを導出するために、2020年に開催されたカンファレンスやWeb情報、脆弱性情報を調査した。

これらの結果からさらに車両制御に至っているものを、車両に直接関係のある事例として、12件に絞り込みを行い、詳細に分析しネットワークおよびホストで発生、観測し得る事象をセキュリティイベントとしてそれぞれ抽出した(表1)。

本テーマは、2022年3月末までの計画となっており、今後は、これまでの調査結果から得られた示唆に基づくテスト項目の実現性や妥当性を実際にOEMおよび

IDSベンダー協力のもと、実機テストという形で実験を行い、ガイドラインへフィードバックする予定である。

また、想定する利用者に対して有用なものとなるよう、各ステークホルダーと定期的な検討会を引き続き実施していく。

「コネクテッドカーの脅威情報と初動支援の調査研究」については、コネクテッドカーの脅威情報の収集・蓄積手法、脅威インテリジェンスを活用した初動支援の技術要件書を策定し、2023年に業界団体への運用移管することを目標とする。

脅威インテリジェンスとは、サイバー攻撃などの脅威への対応を支援するために、収集・分析・蓄積された情報のことで、一部の産業では、企業横断的にインテリジェンスを共有する活動が行われている[1]。

脅威インテリジェンスを共有することで、類似のサイバー攻撃による連鎖的な被害を防ぐなどの効果が期待できるが、共有されているのはIT領域の脅威インテリジェンスが中心となっている。ITシステムは、OSなどのプラットフォームが利用組織やユーザー間で概ね共通しているが、自動車は車種ごとにアーキテクチャが異なっている。

そのため、IT領域で共有されるような脅威インテリジェンスの形式では対策に活用できない恐れがある。

これは、自動車は、「車両制御」という観点においてHW/SWや通信プロトコルがOEMに依存しているため、ITとの大きな違いがある。

一方で、車両制御に至るまでの「一連の攻撃の流れ」を分析することで、最終的な目的の達成に至るまでに、OEMに依存しない手法が用いられていることが明らかになり、共通の脅威として、共有する価値のある情

表1 調査事例から抽出したセキュリティイベント

イベント発生箇所	イベント	セキュリティイベント例
ネットワーク	車載NW上のコンテキスト矛盾の動作	走行状態と矛盾するタイミングで基本動作には影響しない制御メッセージの送信, 走行状態と矛盾するタイミングでの有効な診断メッセージの送信
	UDSプロトコルへの攻撃	UDSプロトコルへの攻撃
	車載NWへの不正な機器の物理接続	外部機器のOBD I/Fへの接続
	車載NWへのファジング攻撃	OBD I/Fからのファジング攻撃
ホスト	不正な振る舞い	規定外のプロセスからのシステムコール・ライブラリの呼び出し
	不正な外部通信	許可されていない車外の送信元/送信先との通信
	不正なファイルシステム操作	重要なファイルの属性変更(パーミッション等)
	不正なアプリインストール	規定外のアプリのインストール
	不正なログ	不正なシステムログ, アプリケーションログ
	規定外のエラー発生頻度	単位時間あたり一定回数以上の外部公開サービスへのリクエスト処理エラー
	高負荷	CPUやメモリの高負荷状態
	ファームウェアの変更	ファームウェアの変更

報となる可能性が期待できる。

また、ハニーポットによる脅威情報収集実験における現状の観測結果としては、IoT製品同様にtelnetに対してIDと弱いパスワードを送り付けるIoTマルウェア(Mirai等)の特徴と一致するアクティビティを多数観測しており(図1)、これは、同マルウェアに感染した機器からの自動化攻撃であり、当該ハニーポットを車載機器として認識したうえでの攻撃ではないものと考えられる。

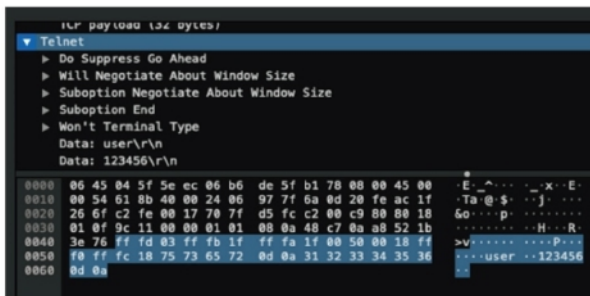


図1 観測したパケットの例

本テーマは、2023年3月までの計画となっており、今後は脅威情報収集実験および収集した情報を業界内でのインシデント対応に活用するための共有方法について検討を進めていく予定である。

情報収集については、ハニーポット設置の際に車両への攻撃の判断指標を検討するために、CTF (Capture the Flag) のような形式で意図的にホワイトハッカーやベンダー等に攻撃を依頼し、その際のアクティビティを観測することを検討中である。

3 日独連携

ドイツでは、連邦教育・研究省(BMBF)主導のもと、コネクテッドカー(自動運転)のセキュリティ研究開発支援を行っており、現在、4つのプロジェクトが進行している。SIPは、これらのうち「SecForCARs」プロジェクト[2]と連携しており、4つの研究テーマ(#1: ECUやそれを構成するLSIなどハードウェアと車載ネットワークのセキュリティ #2: セキュアなサブシステムで構成される車両システムが全体としてセキュアである為に必要な要件と確認手法 #3: サイバー攻撃を観察し、捕捉し、分析するための方法論 #4: 想定される各攻撃ベクトルについて実際の車両と仮想システム(ハニーポット)を使用してサイ

バー攻撃を監視する手法)を掲げ、日独の大学の専門家も加わり分担し研究を進めている。その研究状況および成果をワークショップ(2022年末までに5回開催を予定、1回目は2021年7月1日、2日に開催)を通じ共有を行っている。

4 まとめ

自動車のサイバーセキュリティの確保は、昨今では自動車の安全・安心に直結していると言っても過言ではなく、最低限満たすべきセキュリティ水準や業界共通の脅威については日本の業界全体の協調領域とする、あるいは積極的に共有することが適切であり、これによりコネクテッドサービスの開発や運用効率の改善を図ることも可能となり、日本企業の国際的な競争力維持にもつながる。

また、定められたセキュリティ対策や情報共有のための仕組みは、国内の業界における共有にとどめるのではなく、昨今の自動車セキュリティ開発における国際標準・標準規格に提言するなど、日本企業の強みとして活用できるよう、戦略的に標準化団体に働きかけることも重要である。

以上を踏まえ、自動走行システムに係る情報セキュリティ活動は、重要な役割を持つものであり、業界のセキュリティ活動の発展に寄与することを期待するものである。

【参考文献】

- [1]. 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保(b2)情報共有プラットフォーム技術「情報共有デザインガイド 構築編」, 株式会社日立製作所, <https://www.nedo.go.jp/content/100904081.pdf>
- [2]. SecForCARs, <https://www.secforcars.de/>

社会経済インパクト

大口敬（東京大学）

（概要）社会経済インパクトに関する国際連携の取組みは、日独連携の枠組みを中心に進められている。具体的には、カールスルーエ工科大学 (KIT) とドイツ宇宙研究所 (DLR) の研究者を中心とするドイツ側の研究プロジェクト CADIA と、日本の SIP-adus 第2期で2018-2021年度に東京大学・同志社大学が受託した「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」プロジェクトとが連携している。これは、ドイツ連邦研究教育省 (BMBF) と日本の内閣府 SIP-adus との間で、2019年1月開催の日独・二国間連携運営会議 (Steering Committee) で、日独連携研究として認められた。2019年10月にはドイツで専門家が集まる会合を持ち、2020年11月の SIP-adus Workshop 2020では、日独連携を中心としたセッションも開催し、自動運転普及のモデル化や、自動運転による新しい交通サービスの社会受容性などについて、国際的な共通の認識や国や文化の違いによる認識の違いなどに関する意見交換が実施された。また、日米欧三極会議を通じたインパクト評価に関する情報交換も定期的に行われている。

1 はじめに

自動運転に関する日本とドイツの連携については、内閣府とドイツ連邦研究教育省 (BMBF) との間で、2017年1月12日に締結された「自動走行技術の研究開発の推進に関する日独共同声明 (Joint Declaration of Intent)」にもとづいて、活動が進められている。

日独双方から、連携して推進する研究開発テーマについて意見交換がなされる中で、社会的なインパクト評価 (Social Impact Assessment) については、日本の SIP-adus 第2期・自動運転 (システムとサービスの拡張) の中では、2018-2021年度に実施された「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」として実施されており、ドイツ側でもドイツ宇宙研究所 (DLR) が中心となったコンソーシアムが BMBF の支援を受けたプロジェクトとして採択されるに至り、2019年度から連携活動が開始された。

一方、ITS 分野における日米欧の三極会議の場でも、デジタルマップやヒューマン・ファクタとともに、インパクト評価 (Impact Assessment : IA) も三極連携のサブテーマとして設定されており、三極で相互に調和した形で、自動運転による交通社会全般に与える影響を評価するフレームを高い次元で実現することを目指して、情報提供・共有と議論が進められている。

ここでは、社会経済インパクトに関する国際連携の

取組みとして、この2つの取組みを紹介する。

2 日独連携における取組み

2.1. プロジェクト形成までの経緯

自動運転の社会インパクトに関する日独連携については、まず、SIP-adus 「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」の研究メンバが、2018年秋にカールスルーエ工科大学 (KIT) の Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) を訪問し、日独の連携の可能性について意見交換を行ったのがきっかけである。その後、2019年度に入って両国の専門家同士で議論を重ね、以下の2点が両国での連携事項として双方にメリット・興味があることが同意された。

- 1) Diffusion of Connected and Automated Driving in a Future Vehicle Stock: 自動運転の普及に影響する要因とその関連性を整理した上で、自動運転普及を量的にシミュレートするモデルを構築。これを用いて、今後数十年でのあり得る普及シナリオを描く
- 2) Social Acceptance of Automated Driving Explored: 自動運転に対する社会的受容性とは何かを定義すると共に、先行実証研究調査を通じて、自動運転に対する社会的受容性について、

国を跨がる類似点と社会的文化的環境による相違点を分析するとともに、自動運転に関する国家的イノベーション戦略上の論点、自動運転とその関連技術に関する（標準化を含む）国際協調上の課題を抽出する

2019年1月に、ドイツBMBFと日本の内閣府SIP-adusとで開催された日独・二国間連携運営会議(Steering Committee)において、上記の2つのテーマを1つのプロジェクトにまとめて、日独連携研究として実施することが決定され、定期的に合同のミーティングを開催するとともに、連携の成果として、合同成果報告シンポジウムの開催と書籍の出版を目指すことが合意された。

2.2. 日独連携研究の進捗概要

2019年度は、オンライン会議で事前準備を進めた後、10月7日・8日に、日本側の専門家がドイツへ訪問し、ドイツ国ベルリン市内のドイツ宇宙研究所(DLR)ベルリン事業所にて、第1回会合を実施した。

第1回会合の主たる目的は、相互のプロジェクトの概要説明とともに、それぞれの関心事項を提示し、連携の方向性などを決定することであった。討議の結果、次回の会合は、自動車の所有と共有の観点から議論することが合意された。また、第2回会合として、2020年3月に日本で開催するとともに、2020年11月に開催予定のSIP-adus Workshop 2020に進捗報告する方針を合意した。

しかし、2020年の新型コロナウイルスの世界的流行に伴い、大きく予定が変更となり、その後、直接、会って会合をすることができずに、2021年夏を迎える状況にある。そのため、オンライン会議主体に切替えて連携活動を推進している。

2020年6月には、2019年10月の会議で次回テーマとされた、自動車の保有と共有からの観点の議論を目的に、オンラインの会合が2回開催された。

2020年11月10-12日に開催されたSIP-adus Workshop 2020の一環として、本連携活動の専門家を中心としたメンバにより、オンライン・シンポジウムを開催し、インパクト評価(IA)に関する日独連携活動内容を広く一般に向けて発信した。また、11月25日開催の第4回専門家会議において、社会インパクト評価に関する日独の専門家がオンラインで参集し、ドイツBMBFと日本の内閣府、SIP-adusプログラムダ

イレクタ(PD)に対する活動進捗報告を行った。

2021年4月と6月に2回のオンライン会合を行い、共同での取り組みの成果として、書籍出版を目指す方針を合意し、その内容、構成などを検討した。

2.3 SIP-adus Workshop 2020における報告

SIP-adus Workshop 2020は、2020年11月10-12日にオンラインで配信・開催されたが、これに先立つ11月9日の夕方に、インパクト評価(Impact Assessment)のオンライン・セッションを実施し、これを録画したものを配信した。

プログラム構成は以下の通りである。

日時：2020年11月9日(月) 17:30-19:00 (日本時間JST)

1. 「開会」大口 敬(東京大学・SIP-adus IA テーマリーダー)
2. 「日本とドイツにおける自動運転システムの社会的受容：概念的課題と実証研究成果(Social acceptance of automated driving in Germany and Japan: Conceptual issues and empirical insights)」Torsten Fleischer(カールスルーエ工科大学)・谷口綾子(筑波大学)・中尾聡史(京都大学)・田中皓介(東京理科大学)
3. 「自動運転の普及シミュレーション分析：日本における消費者の支払意思額(Analysis of automated driving diffusion: Customers' willingness-to-pay in Japan)」三好博昭(同志社大学)
4. 「自動運転の将来普及分析：ドイツ国内市場における普及の道筋の可能性(Analysis of automated driving diffusion: Potential diffusion paths into the German Market)」Christine Eisenmann(ドイツ宇宙研究所)
5. 「自動運転の社会啓発へ向けた道筋(Automated driving on the path toward enlightenment)」Bart van Arem(デルフト工科大学)

2. では、社会的受容性(Social Acceptance)を概念定義からその意味に関連した日独両国における社会的背景も踏まえて、社会的受容を問う理由、主体、対象の整理など概念的課題が提起されるとともに、個人の受容態度を日独で同一内容アンケートを設計して実証分析が行われたことが紹介され、自動運転に対する態度として、日本は好意的かニュートラルな傾向だが、ドイツは好意的と懐疑的意見の両方存在することや、

NIMBY (施設の必要性は認めるが、自らの居住地域には建てないでくれ) という総論賛成、各論反対的な態度) の違い、位置情報へのプライバシー意識の違いなどが確認されたことが報告された。

3. と 4. では、自動運転の普及に対して、それぞれ日本とドイツにおける普及モデル・シナリオ設定の取組みについて中間報告が行われ、日本では、消費者支払意思額に基づく普及予測、ドイツでは、個人所有タイプと MaaS の普及予測の方針で取組まれていることが報告され、日独で、それぞれ独自のモデルで自動運転の普及予測を検討しているが、今後の日独連携活動を通じて相互に参考し、予測結果の比較に繋げることが確認された。

5. では、日独連携とは直接関係ないが、オランダのデルフト工科大学の専門家から、2016年から5年計画のオランダ・産官学プロジェクト STAD (Spatial and Transport Impacts of Automated Driving) が紹介された。ここでは、歩行空間と共用運用の自動運転車運用時の要点、異なる対応レベルの道路インフラネットワーク計画、自動運転移動中の時間価値などが検討されていることが紹介された。

また、オンラインとはいえ、4件の研究活動の取組み報告が行われたことを良い機会として、セッション終了後に有志でそのままオンライン接続を継続し、次のような論点の意見交換が活発に行われた。

(1) 自動運転車の普及

背後にある様々な考え方によって、異なった普及の道筋が考えられるが、その設定については未検討である。人々は、より高い自動化レベルの車両へ転換する傾向はあるだろうが、2050年代であっても、自動運転では実現できない何らかの理由のために、人間が運転する車も依然として残るであろう。

(2) 自動運転による交通サービスの受容性

どのようにして、既存の交通サービスから転換することが実現できるかが大きな課題である。米国におけるウェイモ、ウーバー、テスラが一定程度、市民に受け入れられていることは、同国における自動車会社の技術開発に大きな影響があり、電動化やCADの推進にも寄与しているようだ。こうした技術開発推進が、さらに一般市民の意識にも正のフィードバックをもたらすことになる。こうした状況が継続することで、中長期的に人々の日々の行動や習慣にどのような具体的な変化をもたらすかは注目に値するであろう。

(3) 自動運転車専用車線

自動運転のために、物理的な専用車線を確保することの意義を明確に見出すことは難しい。自動運転による新しい公共交通サービスにとっては、公共交通専用車線の実現可能性はある。都市部の限られた道路空間では、自動運転であるという理由で、その専用車線を確保することは政治的に極めて実現の難しい問題だと考えられる。

3 日米欧三極連携による取組み

日米欧の三極で、自動運転を含む、ITS全般に関して情報交換、意見交換に関する定期的な会合が行われている。この中の一つに、自動運転のインパクト評価 (Impact Assessment, IA) に関するサブグループがあり、米国から、米国 DOT・Volpe 研究センターの Dr. Scott Smith、欧州から、フィンランド VTT の Dr. Satu Innamaa、および、日本から、現在は筆者が、それぞれ各極の連名代表となり、このサブグループを運営している。年に2-3回程度のサブグループでの会合が開かれ、それぞれの地域での取組み内容が情報交換され、自由な意見交換を継続している。欧州では、Horizon 2020や各国で支援するプロジェクトがあるので、それらの取組みを通じた研究が紹介され、一方で米国 DOT・Volpe センターでは、システムダイナミクス・モデルによる IA のフレームワーク作りが継続的に実施されており、その経過が逐次報告される。日本からも、適宜、SIP-adus における「自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究」の取組みを報告することとしている。

【執筆者詳細】

大口敬・東京大学・生産技術研究所・教授・交通制御工学

サービス実装推進

外山友里絵（株式会社三菱総合研究所）

（概要）自動運転の実用化に向けて、自動運転を活用したサービスのユースケースやビジネスモデル等の検討は重要である。国内外において、自動運転を活用したサービスの実証実験は行われているものの、実証実験から実装に向けたステップアップの際に生じる課題とその対応策等については様々な検討や議論の途上段階である。そこで、国際連携活動においてもサービス実装推進という観点において、SIP-adus ワークショップ等を通じた情報交換を行ってきた。本稿ではその取組状況を紹介する。

1 はじめに

自動運転を活用したサービスカー（注：ここでは、マイカーに対して、旅客や物流を輸送するサービスのために活用する車両を言う）の実装については、SIP 第1期より、「次世代都市交通ワーキンググループ」の活動の下、国際連携においても、“Next Generation Transport”として筑波大学・川本雅之教授（当時）のリーダーシップにおいて推進されてきた。

SIP 第2期においては、一層実装という観点を意識し、「次世代都市交通ワーキンググループ」は「サービス実装推進ワーキンググループ」となり、国際連携活動においても、2020年度SIP-adus ワークショップより、“Service and Business Implementation (SBI)”という領域名に改称し、活動を行っている。

2 SIP-adus ワークショップにおける取組

自動運転の実用化に向けて、自動運転を活用したサービスのユースケースやビジネスモデル等の検討は重要であるものの、国内外において、実証実験から実装に向けたステップアップの際に生じる課題とその対応策等については議論の途上である。そこで、SBIではワークショップを通じて国内外の専門家とサービス実装に関する議論を行ってきた。

2.1. 2018年度SIP-adusワークショップ

2018年度のSIP-adus ワークショップは、“Practical applications of Automated Driving Technology-Get out of Demonstration -”をテーマとして、日本、欧州（フランス、イタリア）、アジア（シンガポール）、北米（米国）よりスピーカーを招き、情報交換を行った。

2018年度のワークショップでは、プレナリーセッションにおいては第1部Automated Driving Shuttle and Service（自動運転を活用した旅客シャトルサービス）と、第2部Truck Automation and Platooning（トラックの自動化と隊列走行）の2部構成とし、それぞれのトピックにおける専門家との情報交換を行った。

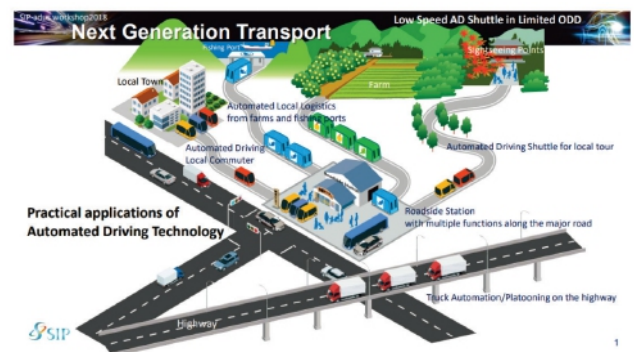


図1 2018年度SIP-adus WS NGTセッションのスコープ⁽¹⁾

2.2. 2019年度SIP-adusワークショップ

2019年度のSIP-adus ワークショップは、FOTs（Field Operational Tests）とのジョイントセッションとし、“FOTs and Next Generation Transport”と題して開催された。プレナリーセッションにおいては、日本から経済産業省および国土交通省における自動運

転サービスの実証実験の取組に関する情報提供がなされた。また、前年度に引き続き、欧州、アジア（シンガポール）、北米（米国）よりスピーカーを招き、情報交換を行った。

2.3. 2020年度 SIP-adus ワークショップ

2020年度のSIP-adusワークショップより、"Next Generation Transport"の名称を"Service and Business Implementation"と改め、ラストマイル旅客・物流サービスの実装に向けて、事業化の観点を考慮に入れ、より多様なユーザーを念頭に置き受容性を目指すスコープを定義した。

自動運転に関する様々な研究開発が推進され、国内外で公道にて実験が行われ、一部の地域においては長期間の実証実験に取り組んでおり、ほぼ実装に近い状況にあるところもある。一方、自動運転を活用したサービスの実装を加速させるためには、ユーザーとしてあらゆる状況・特性の人々が想定されることを念頭に置き、自動運転サービスによる地域へのメリット、活用のための事業化のアイデアを検討することが必要である。また、地域で活用していくためには、自動運転を活用することによるメリットをPRし、自動運転に対する過度な信頼や過度な懸念を与えるのではなく、安全性や信頼性を正しく市民に理解してもらうための活動が必要である。こういった様々な課題への対応を検討すると共に、自動運転サービスのある都市の姿をビジョンとして描くことは、社会受容性醸成に向けた政策として市民の理解・普及を推進するために必要である。図2に示すように、以上の観点を盛り込みながら、2020年度のワークショップの企画を行った。

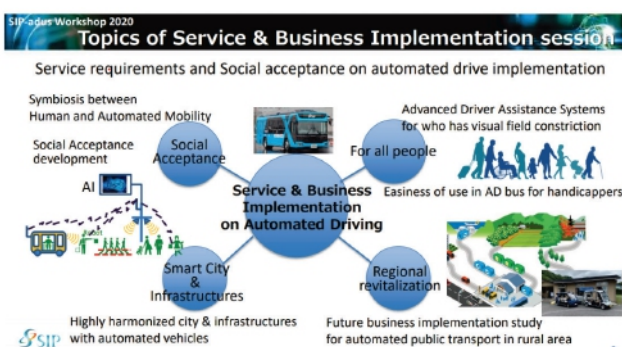


図2 2020年度 SIP-adus WS SBIセッションのスコープ⁽²⁾

全体を通じ、本セッションにおいては、"Automated Driving for Everyone"というメッセージを共通して発信することが出来た。自動運転に対しては、誰もが

ドライバーになりうるし、乗客にもなりうる、また、自動運転車両の走る街の市民にもなりうる可能性を認知し、実装に向けては様々な多様性を考慮に入れたうえで、サービス全体としての設計をいかに使いやすく検討できるかがカギであるとして議論をまとめた。

3 国際会議における情報収集

3.1. TRB Annual Meeting 2021

(1) 参加目的

Transportation Research Board (TRB) の Annual Meeting (年次総会) において、サービス実装推進に関わるトピックスの情報収集を行った。特に、米国における自動運転のサービスが、モビリティサービスとしてどのようなユースケースの構想の下に都市への実装を検討されていて、ビジネスモデルの検討や都市への実装に関する議論がどのように進んでいるか、という観点から情報収集を行った。

(2) 会議概況

2021年年次総会は、100回記念大会という節目の会であった。但し、新型コロナウイルス感染防止の観点から完全オンライン開催となった（注：通常は、毎年ワシントンD.C.にて開催）。米国を中心として、多くの参加者（登壇者）が、大学／研究期間、連邦／地方運輸局、公共交通事業者（オペレーター）であることから、ディスカッションは政策研究が中心であることは前提として記しておく。

(3) サービス実装推進に関するキーワードと議論概要

TRBにおいては、「自動運転」に関するセッションの他、「公共交通」に関するセッションにおいて自動運転を見据えた議論がなされているものを中心に視聴した。情報収集の結果、サービス実装推進を検討する上で、フォローすべきキーワードとして5点が挙げられる。以下にそれぞれのキーワードにおける議論の概要をまとめる。

1) 新型コロナウイルス (COVID-19) 禍における自動運転 コロナ禍において、米国では特に物流用（特に都市間長距離トラックではなくラストマイル配送用ロボット）へ自動運転適用が技術・制度的に大幅に加速した⁽⁴⁾。Nuro, Zooxなどの新しい会社が続々と公道での実証を開始している。本格的な実装に向けては、車両デザインの向上、ビジネスモデル・受容性の検証、遠隔監

視の技術開発が伴う必要があるという議論がされていた。

2) 自動運転の普及と実装

2017年頃には、米国でGMやWaymoなどは2019-20年頃に完全自動運転車両の商用化を目指すという発表をしていたが、この1-2年の状況を見ると2024から2025年くらいがリアルなターゲットではないかという議論があった。また、商用化の順序として、RobotaxiやSharing用の6-7人乗りのシャトルや、超小型モビリティ車両(1-2人乗りタイプ)などから始まり、その後には自家用車になっていくのではという議論があった。

また、実装に向けてはまだ安全性の議論はする必要があり、ODDを規定してシナリオベースアプローチでリスク分析を行いつつ、政策と連携してサービスの設計を行っていく必要があるという提案もされていた⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

3) MobilityとEquity

移動手段・移動機会をどんな人にも提供するというアイデアは、昨今の米国における社会問題等の背景から、「MobilityとEquity」というキーワードが目立ち、いくつか関連セッションが立っていた。Equityは自動運転などの新しい技術に対してどう確保していくべきか、という論点を中心に、関連する調査結果の共有、またそれらに基づく議論がなされていた。

また、高齢者の自動運転の安全性に関するアンケート調査なども実施されており、高齢者は自動運転に対する受容性の分析結果なども報告されていた。

高齢者や障害者に使いやすいモビリティサービスの実装に当たっては、車両設計面での配慮のみではなく、サービス設計(どこでどのように介助して乗降してもらうか、どう予約決済してもらうか等)から配慮する必要があるという投げかけもあった⁽⁹⁾。

4) Rural地域での自動運転

米国の人口の2割がRural地域に住み、半数以上の交通死亡事故がRural地域で発生していることから、Ruralでの自動運転を使ったモビリティサービスの実現は安全性向上やモビリティ確保の観点でニーズが高いとの報告があった⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

ただし、Rural地域では、特有の道路環境条件(未舗装道路、天候、ハイスピード、動物の出現)や人口が少ないことによるビジネスモデル成立上のハードルが多いことから、Ruralの条件なりにテストを行っていく必要がある、既にアイオワ州などではRuralな自

動運転というキーワードで研究・実証が実施されている。

また、地方部では、実験データの共有などにも力を入れている⁽¹²⁾。バーモント州では、州DOTがトリッププランナー(経路検索)のブラウザサービスおよびアプリを作成し、全てオープンソースのデータ活用を基本とし、データメンテナンスの簡易化を図る。また、今後Vanpoolの予約システムなどの機能もトリッププランナーに拡張し、モビリティサービスに関する情報・データのワンストップ化を目指す。

ペンシルバニア州では、州内の信号に関する情報を集約するデータベースを整備した⁽¹³⁾。信号設置交差点の場所、数、また各信号機のスペックなどがオープン化されている。これは、オープンにすることにより、最適な信号サイクル等の設計のために多くのフィードバックを得られるようにすることを目指していると報告があった。

5) コロナ禍における道路空間・街路空間活用

サンフランシスコ、ニューヨーク市、オークランド、トロントなどにおいて、コロナ禍における道路空間の運用の見直しがなされた⁽¹⁴⁾。歩行者間の間隔を開けられるように、自動車の進入を禁止した道路や、自転車レーンの拡張・延伸、自転車・歩行者・キックボード等のみが通れる「Slow Street」の設置、道路空間を広場化しPCR検査スペースや飲食スペース化するなどの取組等が進められている。

このように、Slow Streetなどの運用が定着すると、自動運転のLow Speed Shuttleの実験・実装などが行いやすい環境であり、コロナ禍による道路空間の運用の変化が、米国の市中におけるLow Speed Shuttleの走行環境の拡大につながる可能性があると考えられる。

4 おわりに

今後企画される2021年度以降のSIP-adus WS SBIセッションにおいては、ますます全世界で取組が加速する自動運転サービスの実証実験について、実証実験から実装へ移行するために欠かせないサービス設計のアイデアや、事業化に資するアイデアについて、海外における取組と情報共有・意見交換を行い、SIP第2期におけるサービス実装推進に寄与する知見を得るよう工夫していく。

【参考文献】

- (1) SIP-adus Workshop Next Generation Transport Plenary Session, https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2018/file/SIP-adus_Workshop_2018_Plenary_session_NGT.pdf, (参照 2021.06.30)
- (2) SIP-adus Workshop Service and Business Implementation Session, https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sbi/05SBI_01E_Kawamoto.pdf, (参照 2021.06.30)
- (3) SIP-adus Workshop Service and Business Implementation Session, https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sbi/05SBI_06E_Toyama.pdf, (参照 2021.06.30)
- (4) USDOT Volpe Center, “Emerging Automated Urban Freight Delivery Concepts: State of the Practice Scan” <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/53938> (参照 2021.06.30)
- (5) World Economic Forum, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Safe_DI_AV_policy_framework_2020.pdf (参照 2021.06.30)
- (6) World Economic Forum, http://www3.weforum.org/docs/WEF_SafeDI_creating_safe_AV_policy_2020.pdf (参照 2021.06.30)
- (7) World Economic Forum, https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/PDF-Symposium/04_Scenario-Description.pdf (参照 2021.06.30)
- (8) World Economic Forum, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Reshaping_Urban_Mobility_with_Autonomous_Vehicles_2018.pdf (参照 2021.06.30)
- (9) RAND, “Approaches to Assessing Acceptable Safety for Automated Vehicles”, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA569-1.html (参照 2021.06.30)
- (10) University of Iowa, “ADS for Rural America”, <https://adsforruralamerica.uiowa.edu/> (参照 2021.06.30)
- (11) USDOT, “Rural Opportunities to Use Transportation for Economic Success (ROUTES)”, <https://www.transportation.gov/rural> (参照 2021.06.30)
- (12) Vermont DOT, “Commuter CO-OP VT”, <https://www.connectingcommuters.org/commuterco-opvt/> (参照 2021.06.30)
- (13) Penn DOT, “Traffic Signal Asset Management System”, <https://www.tsams.penndot.gov/tsams/login.do> (参照 2021.06.30)
- (14) NACTO, <https://nacto.org/program/covid19/> (参照 2021.06.30)

【執筆者詳細】

外山友里絵・株式会社三菱総合研究所・スマート・リージョン本部・
研究員・都市交通計画

その他の成果と取組等

田中孝浩（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

（概要）最後となるが、本文中では触れられてはいないが今後の自動運転の議論に役立つことが期待されるいくつかのSIP-adusの施策について紹介するとともに、これまでの研究成果の発表や東京臨海部実証実験の研究データの提供、成果発信などについて説明する。

1 他の主な実施施策

第2章～第6章では紹介されていないが、今後の自動運転の研究や開発の礎になると期待されるいくつかの施策について紹介する。

1.1. 高精度3次元地図における位置参照点(CRP)のあり方に関する調査検討

自動運転車に搭載される高精度3次元地図が全て同じものとなることは非現実的なため、地図の違いによる位置ずれという課題が発生する。この対策として、共通の方式（高精度相対位置参照方式）により、車両やその他の主体が共通の認識を持てる位置の表現法が必要となっている。そのためルール化された参照ポイント（Common Reference Point: CRP）に対する自動運転からのニーズを整理した上で、三つのユースケース（ユースケース1: 落下物・渋滞、ユースケース2: 高速合流支援、ユースケース3: 一般道交差点）を定義し、ユースケース1とユースケース2に対し、CRPの機能要件やCRPに係わる実施事項（Anchorage Point: APとすべき地物、CRPの設置方法、CRPの管理方法等）を机上で検討しまとめた。現時点では異なる高精度3次元地図による認識誤差という課題が表面化していないため、机上検討までにとどめた。但し、今後自動運転が進化し普及していくとともに、必要となる技術であることから今後、本研究を活用しつつ具体的な定義

方法や整備方法等の決定が進むことを期待している。

1.2. 知財戦略の構築に向けた立案に関する調査

2019年度のガバニングボードの指摘に基づき、知財戦略を構築するため、現在事業化を目指している重点テーマに対して、知財の専門家を集め、自動運転に係る特許動向及び標準化動向を整理した上で、SIP自動運転や日本の関連産業の競争上の戦略やビジネスモデルについて提案頂き、事業化を目指す企業も入れ、議論を行った。

重点テーマとして選択したのは、「仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発」と（「自動運転・運転支援に係るアーキテクチャの設計及び構築のための調査研究」施策のうちの）「地理系データ流通促進ポータルサイト構築」の二テーマである。前者はオープン・クローズのメリット・デメリットをまとめ、DIVPとしてオープン化すべきもの、クローズで進めるべきものの範囲を確定した。後者は集約した様々な地理系データを流通させ、それらを組み合わせ、社会実装に結びつけて行く際に注意すべきポイントや知財の懸念点を整理した。今後はNTTデータにより、ポータルサイトの構築に反映していく予定である。

1.3. 交通制約者に優しい自動運転バスに係る基礎調査

車椅子利用者や視覚、聴覚等に障がいのある方、ベビーカーを使用する方など交通制約者が自立していくために、より安心して利用できる自動運転バスによる

移動サービスの実用化・社会実装に必要な要件等を明らかにするため、調査や実証実験による検証を実施した。

具体的には、交通制約者のニーズや国内外の動向の調査、分析を行った上で、協力者である日本自動車工業会（自工会）などの関係者とともに、交通制約者が安心して利用できるバスの将来像のコンセプトを作成し、モニター評価者を募り、2021年6月には実際にモックアップやVR映像を用いて評価を行なった。今後は車内レイアウトデザイン案を含めたデザインガイドライン案を策定することを目指している。

1.4. 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

2019年度に実施した「自動運転システムのための通信技術に関する調査」では、自動運転システムにおける既存又は新たな無線通信システムの活用に関し、ユースケースについての詳細な調査・分析を行った。この調査に基づき、協調型自動運転通信方式検討タスクフォースにおいて、自動運転や高度安全運転支援システムに関して、高速道路及び一般道路の先読情報の提供、合流・車線変更支援などを分類整理し、3分類25ユースケースを「協調型自動運転ユースケース」としてまとめた。

現在、ITS情報通信システム推進会議（ITSフォーラム）と連携し、これら「協調型自動運転ユースケース」に必要な通信要件（データ量、通信エリア、許容遅延時間、通信速度、パケット到達率等）を整理しており、これらの検討を基に、狭域通信（700MHz帯、5.9GHz帯通信）と広域通信（5G等の携帯電話網）の課題を整理し、対応策を策定した上で、その妥当性や実現性をシミュレーションによって検証する予定である。今後は、通信技術の進化も想定した上で、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まとめ、協調型自動運転および高度安全運転支援システムとしての通信方式に関するロードマップを策定する予定である。

2 東京臨海部実証実験データの提供

2019年10月15日から2021年2月末まで実施した東京臨海部実証実験は、国内外の29機関が参加し、公道における自動運転に係る実証実験として、臨海副都

心地域だけでも、総走行距離は64,591 kmとなり、インパクトアセスメントなども実施するなど、大規模な実証実験により貴重な実験データが得られている。SIP自動運転の関係者（実験参加者、受託者、大学等の研究機関等）に対し、実験データの利用ニーズを調査したところ、特に大学等の研究機関等の多くの関係者において、利用したいとの幅広いニーズがあることがわかった。そこで、東京臨海部実証実験において収集した実験データを、自動運転の実用化に資する技術開発等を行う研究機関等においても有効に活用すべく、収集したデータを提供する仕組みを構築した。

提供するデータは、路側のカメラ映像、ドライブレコーダーの映像、車両の走行軌跡、インフラの情報ログ、車両挙動（速度・加速度等）がある。一部のデータはビューワーにより可視化することができるが、原則データ形式の異なる生のデータが提供され、データ利用者側で抽出や加工等の処理を実施する必要がある。

データ利用希望者は、「東京臨海部実証実験データ利用規約」に同意し、東京臨海部実証実験NEDO窓口申請する。窓口では、東京臨海部実証実験コンソーシアムと必要に応じて知財委員会に相談し、提供の可否を決定する。提供が許可された場合には、東京臨海部実証実験コンソーシアムからデータが提供される。なお、データ利用期間はSIP-adus事業が終了するまでとなっている。

3 成果の発信

3.1 メディア向け発表

ニュースリリース等メディア向けの発表を通じて、SIPの活動を周知・理解いただくことは重要であり、担当する省庁、受託者、管理法人によるニュースリリースが行われている。特に重点的にニュースリリースが行われた施策としては、地方部実証（国土交通省、受託者によるニュースリリース）、「自動運転・運転支援に係るアーキテクチャの設計及び構築のための調査研究」施策の中のポータルサイト（内閣府、NEDOによるニュースリリース）、京都アプリコンテスト関連（内閣府、京都市、関係者等によるニュースリリース）、及びSIP-adus Workshopや中間成果発表会の開催が挙げられる。これらのニュースリリースにより複数の

自動運転・運転支援に係るアーキテクチャの設計及び構築のための調査研究	愛知県ITS 推進協議会, 公共交通オープンデータ最前線
視野障害を有する者に対する高度運転支援システムに関する研究	日本視野画像学会, 日本緑内障学会, 国際交通安全学会, 日本眼科学会, 自動車技術会, World Glaucoma Congress, CBI学会, 関西経済同友会
交通制約者に優しい自動運転バスに係る基礎調査	シーズ・ニーズマッチング交流会2020

表1 施策ごとの他の学会等での発表

4 まとめ

論文や研究データの提供, 様々な対外イベントや広報活動により, SIPの活動を周知・理解いただくことは重要な活動であり, 今後も引き続いて取り組む予定である。

また社会的受容性の醸成のためには, 様々なステークホルダーとの継続的なコミュニケーションが不可欠であることから, 長期的な視点でイベントを計画するとともに, 他の省庁でのイベントとも連携を図りつつ, 双方向でのコミュニケーションにより理解が深まるよう心掛けていきたい。

【参考文献】

- (1) 令和3年5月26日付SIP自動運転(システムとサービスの拡張) 研究開発計画
- (2) 令和2年5月14日付SIP自動運転(システムとサービスの拡張) 研究開発計画
- (3) SIP-adus 成果報告書:
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/>
- (4) SIP café ホームページ
<https://sip-cafe.media/info/>
- (5) SIP 協調型自動運転ユースケース:
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf>
- (6) NEDO 成果報告書データベース(ユーザー登録が必要):
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf>

【執筆者詳細】

田中孝浩, 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, モビリティグループ, プロジェクトマネジャー



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)

企 画 内閣府

発行者 国立研究開発法人新エネルギー・
産業技術総合開発機構

編 集 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 編集委員会
公益社団法人自動車技術会

発行日 2021年9月30日

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務として実施した「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)」の2018年度から2020年度までの成果を取りまとめたものです。従って、本報告書の著作権は、NEDOに帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、NEDOの承認手続きが必要です。

ISBN 978-4-904056-88-2

