

## ① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

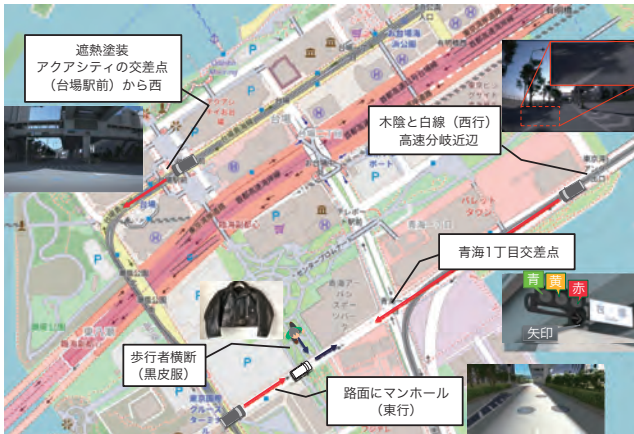


図26 お台場環境でのセンサ弱点シーン

DIVPの特徴、特に一致性について技術情報とシミュレーション結果動画を中心に解説した。物理現象の再現と実測による一致性検証に裏づけられたDIVPの高い一致性を発信することで、広く参加者に認知された。

ポータルサイトでは、ウェビナーによる情報発信も実施した。ウェビナー終了後のアンケートでは、DIVPシミュレータの業務適用可能性についても質問を受けた。結果を図27に示す。環境モデル及びシナリオ生成ツールであるSDMG<sup>®</sup>について、「研究」以上に「車両開発・設計」での適用が期待されており、開発実務におけるシミュレーションの普及がうかがえる結果となった。同時に、SDMGは実務を想定のうちで使えるレベルであることが確認できた。シミュレーションPFについては、「研究」と「車両開発・設計」でほぼ同等レベルの期待感が示された。「研究」では、新システム、アルゴリズム研究開発、「車両開発・設計」では評価から適合への一連のプロセスで適用可能との評価があった。

自由記入欄には「一致性が検証され、非常に有用なシミュレータ」との回答があったほか、「やりたいことをスピード感を持って実施できるツールであること」や「利用者目線でのフィードバックが多数寄せられることが期待される」など、今後の更なる開発への期待も示された。そのほかには、安全性評価への適用促進が今後の課

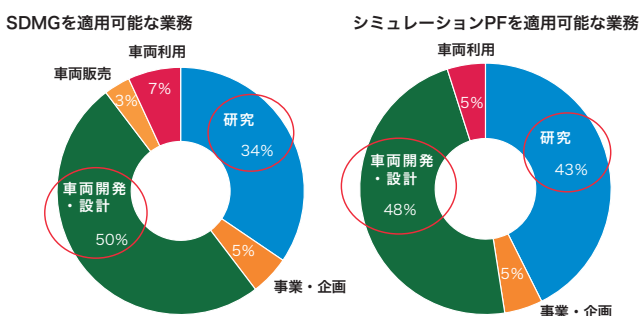


図27 アンケート結果

題としてアンケートに浮かび上がっていた。物理シミュレーションによるセンサ弱点評価活用への評価は高かったため、今後、評価指標の研究等と連携し、本シミュレーションPFが、どのように安全性評価に繋がるか、解り易く示していく。

## 5.3. 臨海部実証実験STEP2【実践版】

STEP2では、参加各社の自社環境へのDIVP適用を狙いとして、実際に各社の環境にDIVPを導入して接続性を検証した。準備した仮想空間をベースにアレンジを加えたシナリオ・環境で、DIVPシミュレーションの実行結果の出力と参加者の持つ各種モデル、システムとの接続を試み、さらに顧客導入を促進するため、複数の既存シミュレーション環境との接続性確保の実施を実現することにも挑戦している。

STEP2には8社のエントリーをいただき、各社の独自の要望に合わせて、DIVPの評価作業を実施した。具体的な取組項目としては、AI学習用データ生成の可能性確認、自社認識モデルを経由した実機比較評価、Simulink<sup>®</sup>上のソフトウェア連携などが実施されている。(図28)

適用ケース	センサ	DIVP仮想空間の出力	実施内容
AI学習用データ生成	複数カメラ	■ 大量の画像生成 (リアルな画像) シナリオ	■ 認識SW (AI) 開発、評価 機械学習 認識SWで性能向上効率向上
自社センサモデル評価	カメラ ミリ波 レーダ	■ DIVP (カメラ・ミリ波) 空間描画	■ 独自のカメラ認識モデル、ミリ波モデル性能評価 (OEM、サプライヤ)
Simulink <sup>®</sup> 上のSW連携	カメラ ミリ波 レーダ	■ DIVP (カメラ・ミリ波) 空間描画・知覚	■ SW連携を実現し、DIVPの様々な出力と各種シミュレーションを連成 他社SW → DIVP → 他社SW

図28 臨海部実証実験からのユーザーニーズ例

これまでの活動から、OEM、サプライヤ、大学等によるDIVPの仮想環境、空間描画出力の活用に関する各種システムについての顧客ニーズを受領し、DIVPの仮想空間で自動運転の安全性評価実現に向けた各種の評価を実現している。参加各社からの要望を受けて、一部の評価作業は現在も継続している。

## 6 国際連携・標準化

安全性評価に関し、世界各国では様々なアプローチが

①仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

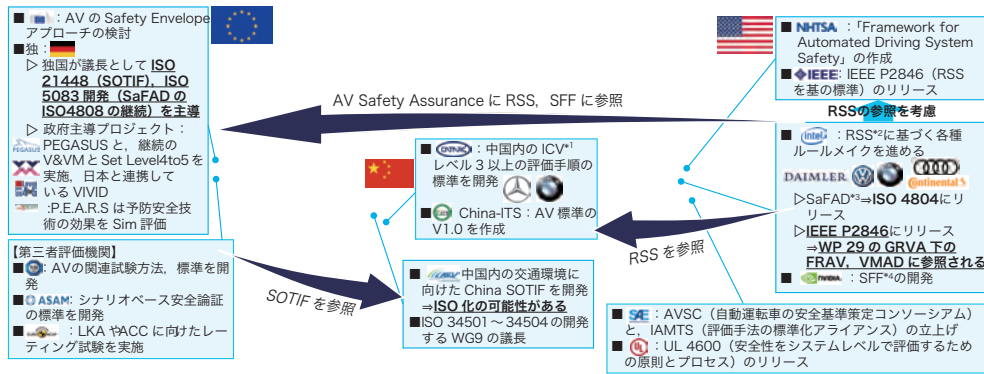


図29 国際動向の調査結果

\*1 ICV : Intelligent and Connected Vehicle. \*2 RSS : Responsibility-Sensitive Safety. \*3 SaFAD : Safety First for Automated Driving. \*4 SFF : Safety Force Field

試行されている。従来のBMW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プロジェクトや、米Mobileyeや独BMWが推進するSaFADを基としたIEEEやISO標準化等の動きのほか、中国が独自の安全性評価の枠組みを検討するなど、群雄割拠の状況である。(図29)

その中で、米American Automobile Association (AAA) は自動運転の事故が散見される現状から、自動運転技術の導入による事故低減等、消費者が実感できる適切で客観的な安全性評価の実施が求められており、これまでのシステムに立脚した作り手目線の安全性評価に一石を投じている。

これらの海外の取組に対し、SIP自動運転DIVPでは、日独連携を通じた安全性評価の共同研究と、これら成果に基づき、独ASAMを通じた標準化活動を進めている。

6.1. 日独連携VIVIDプロジェクト

独VIVALDIプロジェクトとDIVP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するVIVIDプロジェクトとして国際連携活動を実施している。VIVIDは、内閣府SIP-adusとドイツ連邦教育研究省(BMBF)の支援のもとで、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フェース標準化等を推進中である。(図30)

VIVIDは、2022年には6月に独ベルリンで日独共同の活動報告会を実施し、両国の自動運転関連プロジェクト関係者に、センサや環境モデルの重要性にインパクトを与えるなど、大きな成果を達成している。(図31)

6.2. 国際的標準団体ASAM(独)への参加

自動運転に関し幅広い標準化活動を実施しているASAMに対しては、DIVPからOpenDRIVE/Open SCENARIO, OSI (Open Simulation Interface)等の主要WGに参加し、DIVPの特徴となるセンサ弱点シナリオ記述、各環境モデル対象への反射特性、センサ等各モデル間のI/Fの標準化などの提案を進めている。カメラ入力に関するI/FについてはOSI3.0の標準仕様の実績を達成した。

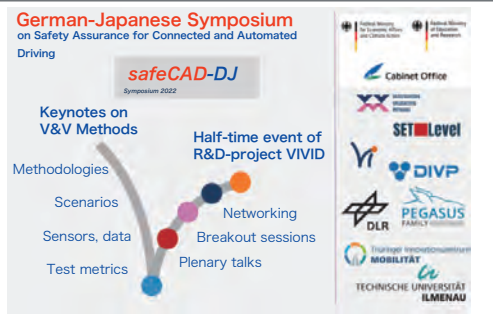
本件は画期的な成果であり、DIVPの先駆性と、日独VIVIDを通じた賛同者の獲得が要諦であり、今後も引き続き自動運転安全性評価の標準化に向けた研究開発と国際標準化を進めていく。(図32)

	JT1 - Toolchain -	JT2 - Scenario -	JT3 - Sensor Model -	JT4 - Framework & metrics-
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> <li>■DIVP環境モデル下でVILSを構築し、OTAを通してVIVALDIのシミュレータへデータを送信</li> <li>■データフォーマットとI/Fの標準化に向けたジョイントスタディに向けた準備を進める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■センシング弱点シナリオを交換</li> <li>■Open-materialでの標準化に合意</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■DIVP環境モデルとVIVALDIのセンサモデル間で、相互のデータ交換を実施</li> <li>■センサモデルI/F標準化に向けたジョイントスタディの準備を進める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■プロセスと評価手法について、比較を実施し、相互に理解</li> <li>■今後、VIVIDとして、AD安全性評価の標準の策定、定義を進める</li> </ul>

図30 国際連携・国際標準化への体制

① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

“German-Japanese Symposium on Safety Assurance for Connected and Automated Driving”



Representatives of funding institutions, key note speakers of large scale validation projects and event participants

	Mr. Seigo Kuzumaki SIP-adus Program Director		Dr. Stefan Mengel Head of division, electronics and automated driving, <b>BMBF</b>
	Mr. Shigekazu Fukunaga Director, ITS and Autonomous Driving Promoting Office, METI		Mr. Reinhold Friedrich Deputy Head, electronics and automated driving, <b>BMBF</b>
			Ernst Stöckl-Pukall, Head of Unit Digitisation and Industry 4.0, <b>BMK</b>
			Mr. Benjamin Engel Global technology manager, <b>ASAM</b>

図31 日独シンポジウム概要

VIVIDの先進性

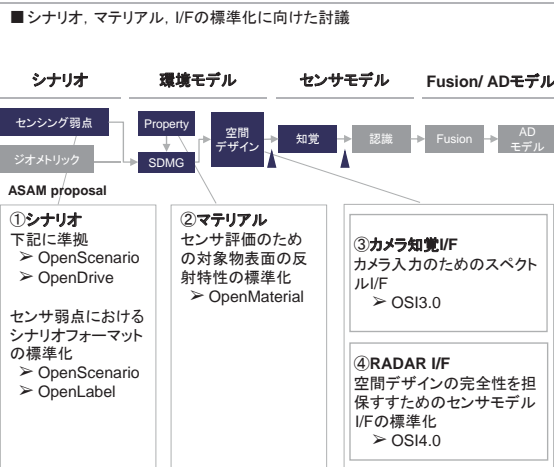
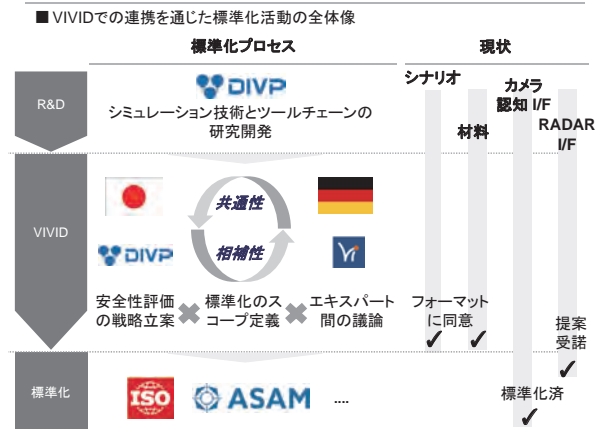


図32 DIVEPの優位性とVIVIDを通じたASAM標準への貢献

国際連携体制とASAMでの標準化状況



7 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シミュレーション技術が、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DIVEPメンバー一同、切に願っている。

【参考文献】

- (1) 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 2021.06)

- (2) 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 2021.06)
- (3) 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 2021.06)
- (4) 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 2021.06)
- (5) 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.

【本件問合せ先】.....  
 学校法人幾徳学園 神奈川工科大学 研究推進機構 先進自動車研究所,  
 〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野1030, 046-291-3277, 担当：  
 井上秀雄 (教授/所長)

## ②自動運転(レベル3,4)に必要な認識技術等に関する研究

### Research on the Recognition Technology Required for Automated Driving Technology (Levels 3 and 4)

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)  
Naoki Suganuma, Keisuke Yoneda, Ryo Yanase, Akisue Kuramoto (Kanazawa University),  
Takayoshi Yamashita, Hironobu Fujiyoshi (Chubu University), Junichi Meguro (Meijo University)

(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、取得したデータ及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・調査を実施した。そして公道走行によって得られた知見から、自律型の自動運転システムの認識不調が起こる要因や課題を調査するとともに、インフラから提供される交通環境情報の有効性について評価を行った。

キーワード：信号認識，物体認識，衛星測位，自己位置推定，緊急車両認識，仮想環境，認識限界

#### 1 まえがき

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。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、関連する最先端の要素技術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相当の自動運転システムに必要な認識技術等を構築した。また各種認識技術の限界性能について評価するとともに、インフラ協同走行の有効性について評価を実施した。

#### 2 実証実験の概要と成果

##### 2.1. 実証実験の概要

本事業では、自動運転システムにおける認識技術等の開発及び検証や、V2I/V2Nといったインフラ情報との連携技術の開発及び検証を目的とし、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。図1(a)に構築した試験車両の概要を示す。

実証実験は、2019年7月から石川県金沢市中心部における走行実証実験を開始するとともに、2019年9月から東京臨海部での走行実証実験も開始した。そして東京臨海部に関しては2021年度までの3年間で182日間の走行実証実験を実施し、自動運転状態で約3,212.8kmを走破した。図1(b)に東京臨海部において自動運転を実施している様子を示す。

また実証実験で収集したデータのうち、認識不調を生じやすい悪環境下における走行データは、本事業の実施者に関わらず認識アルゴリズムの研究を行う広く一般の研究者にとっても有益なデータであると考えら

## ②自動運転(レベル3,4)に必要な認識技術等に関する研究

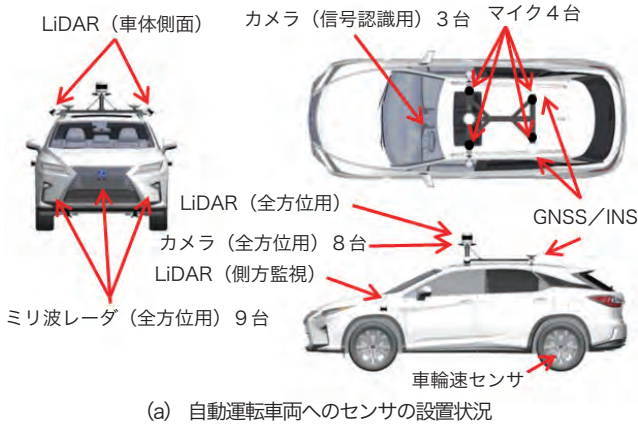


図1 本事業で開発した自動運転車両の概要

れる。このため本事業で収集した様々な地域におけるセンサデータのうち、逆行、背景同化、隠蔽、夜間、雨天などといった認識不調が発生しやすい悪条件下を含むセンサデータを収集したデータセット (AD-URBAN Open Image Dataset v1) を構築し、2022年3月末より国内の所属機関における研究活動の目的に限定して提供を開始した。<sup>(1)</sup>

## 2.2. V2I/V2N 交通環境情報の有効性評価

東京臨海部における実証実験においては、V2I (Vehicle to Infrastructure), V2N (Vehicle to Network) といったインフラから無線通信によって提供される交通環境情報を取得可能である。このため、自律型の自動運転機能の評価に加え、V2I/V2Nを使用したインフラ協調走行の実施及び評価も実施した。

V2I/V2Nからは様々な交通環境情報の提供等が行われるが、本事業では特にV2I/V2Nから提供される信号情報及びV2Nから提供される緊急車両位置情報について評価を行った。

図2 (a) はV2I/V2Nから送信される信号情報と本事業により開発した車載カメラを用いた信号認識技術を用いて信号認識を行ったときの信号灯色の認識可

能距離を示したものである。この結果から、信号機の認識可能距離は車載カメラを用いた自律型の認識技術を用いた場合、概ね150m程度から認識可能であることがわかる。一方、V2IやV2Nに基づく無線通信による信号情報はより遠くの距離から信号の状態を認識可能であることがわかる。ただし本事業での検討では、交差点通過時に必要な信号認識距離は概ね120m程度であると想定しており、いずれの方式においても十分な認識可能な距離を有していることも判明した。一方、信号機が物理的に視認不可能な状況では、車載カメラを用いた認識が困難となるため、そのような状況においてはV2I/V2Nが有効に機能すると考えられる。

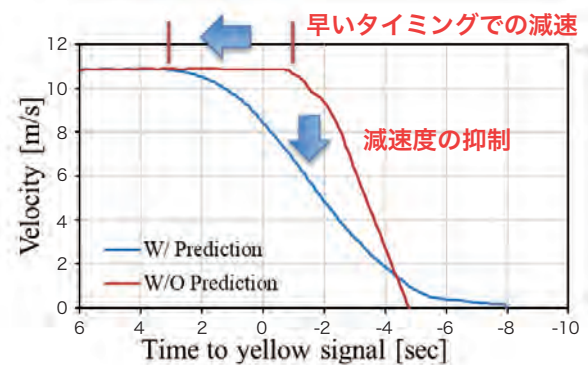
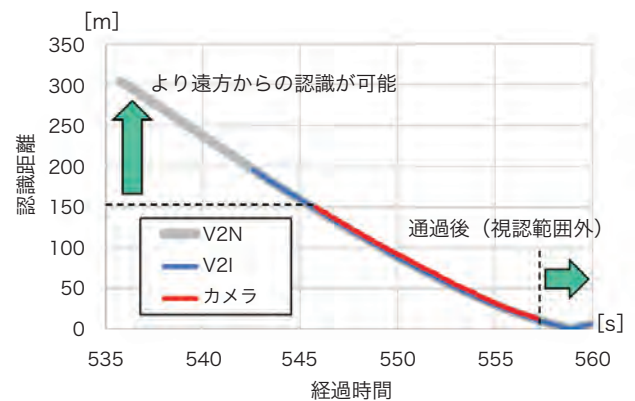


図2 V2I/V2N信号情報の評価結果

また本事業ではV2Iから送信される信号機の残秒数情報を活用し、交差点進入を円滑に行う技術も開発し、その効果を検証した。具体的には図2 (b) に示すように、交差点進入直前に信号灯色が青から黄/赤に変化し急減速を発生せざるを得なくなるいわゆるジレンマゾーンにおいて、信号灯色が実際に変化する前に減速を開始することで滑らかに減速を行い、交差点手前で停止することが可能であることを確認した。ジレンマゾーンにおける急減速は、自動/手動運転に関わら

ず信号現時情報のみによって交差点への侵入可否を判断する場合は常に発生するため、無線通信による残秒数提供は安全な交差点進入に対して有益な情報の一つと考えられる。

次にV2Nから提供される緊急車両位置情報についての評価結果を示す。この評価では模擬的な緊急車両の位置を、サーバを介してV2Nにより配信し、車両で受信した情報からその有用性について評価した。図3は東京臨海部において模擬緊急車両位置を受信した例を示したものである。この結果から、模擬緊急車両の位置を概ねスムーズに把握可能であることがわかる。一方、環境によっては20m程度の誤差が発生する場合も見受けられ、細かい模擬緊急車両位置を把握することは困難であることもわかる。したがって、自動運転車両が模擬緊急車両の接近に伴い回避行動を自律的にとることまで想定した場合には、車載センサによる自律的な認識技術との組合せによって詳細な緊急車両の位置を把握することも必要になるかと考えられる。一方、自律型のセンサを用いた場合、遠方や視認可能な範囲外における緊急車両の接近の確認は困難であることが想定されるため、このような状況におけるV2Nによる模擬緊急車両位置情報は特に有益な情報であると考えられる。



図3 V2N模擬緊急車両位置情報取得データ例

### 3 認識技術の評価

自動運転システムの開発及び安全性の評価においては、本事業で実施したように実道において自動運転車両を走行させ、実際の交通環境下において正しく自動運転機能が動作するかどうかを確認することが重要となる。一方、実際の道路環境における評価には、時間・コスト・効率といった観点で限界が生じる。また、自動運転機能の限界性能の評価を実環境において行うことは困難であると考えられる。このため、本事業では、別施策として実施されたDIVP<sup>®</sup> (Driving Intelligence Validation Platform) 等の仮想環境を用いた認識技術

の評価も実施した。本章では、本事業において開発した各種認識技術概要について示すとともに、仮想環境を用いた限界性能評価結果についても示す。

#### 3.1. 信号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と最新のAI技術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構築した。また実証実験で確認された認識が困難となるシーンを対象に、DIVP事業にて開発している仮想環境を用いて不調シーンにおける限界性能についても評価を行った。

##### (1) 信号機の認識技術の開発

車載カメラを用いた画像認識による信号機の認識アルゴリズムの開発としては、デジタル地図の利用の有無及び複数種類の画像認識アルゴリズムを開発の観点から実施した。デジタル地図の利用にあたっては画像内の認識範囲を限定可能となるため、誤検出が抑制されて高速な処理が期待できる。また、複数の画像認識アルゴリズムとしては、入力画像に対して明るさ・点灯部の円形形状などの特徴に注目して認識するパターン認識による方法と、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技術により認識する方法を検討した。AI技術を用いることで局所的な明るさの情報だけではなく周辺物体の状況も考慮した認識が期待される。このようにして開発したアルゴリズムを用いて、東京臨海部の走行データに対する性能評価を実施した。図4に開発したアルゴリズムを用いた信号機の認識結果例を示す。



図4 信号機の認識結果例

##### (2) 東京臨海実証実験で得られた課題

次に東京臨海部での実証実験の結果から信号機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、図5の

ように逆光、順光、隠蔽、背景同化、夜間における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。一方、多くのシーンでは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。他方、逆光による影響下では画像の飽和により対象物が見えない瞬間が発生することから、交差点発進時に事象が発生した場合は適切な進入判断ができないおそれがある。しかし、車載グレードのカメラを利用した場合、こうした不調による影響は画像内でも限定的であることも検証できたため、当該交差点に複数の信号機が存在する場合は他の信号機の情報から判断する、交差点に単体の信号機しか存在しない場合はV2I/V2N情報で補助するなどの対応が望まれる。実証実験を通じた認識性能の評価として、多数の信号機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・

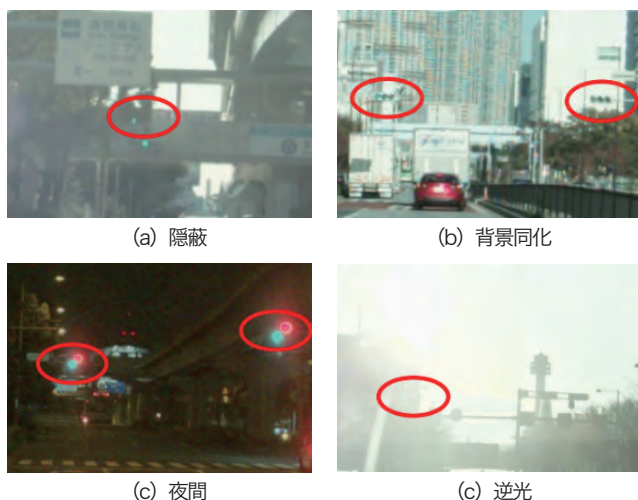


図5 東京臨海部の実証実験で確認した信号認識が困難となるシーンの例



図6 ビル反射光の仮想環境における再現例



図7 仮想環境を用いた雨天時の限界性能評価

矢印信号を99%以上で認識可能なことを実証した。(2)

### (3) 仮想環境での限界性能評価

これまでの実証実験で得られた課題を仮想環境で再現する取組を実施し、前述した逆光による不調シーンや、図6に示すようなビルに太陽光が反射して信号機の認識が困難となる状況のようなレアシーンを仮想環境で再現し、再現された画像の一致性の評価及び限界性能の評価を行った。その結果、実際の実証実験では小雨程度の状況しか発生せず認識不調が生じなかった雨天時の信号認識について、仮想環境における評価結果から降水量が数十mm/h程度の大雨(いわゆる土砂降り)の環境においては認識不調が発生しうることが確認された。(図7)

## 3.2. 遠距離の物体検知に必要となる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。このため本事業では、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について検討した。

### (1) 遠距離物体の認識技術の開発

これまでに実施してきた実証実験の経験から、市街地の交通環境では状況に応じて200m以内の自動車や70m以内の歩行者を認識する必要がある。このためこれらの要件を満足するための認識アルゴリズムを開発した。まず車載カメラを用いた画像認識ではピントの影響による遠方物体のボケが課題となるため、ボケに対応した物体認識アルゴリズムを開発して画素数の小さな遠距離物体をより正確に検出することを可能とした。また、遠距離の認識が要求されるのは通過予定の交差点などシーンが限定されているため、デジタル地図を用いて画像内の認識領域を限定することで安定した認識が可能であることも検証した。

LiDARによる認識では、観測した点群から3次元矩形枠として物体を検出することが求められるが、遠方の疎な点群から安定して物体を認識することは容易ではない。そこで、遠方の疎な点群を補うためにカメラ画像の認識結果とのセンサフュージョンが効果的であることを検証した。このような双方のセンサフュージョンにより、目標性能である200m以内の自動車及び70m以内の歩行者を通常的环境下において90%で検出する認識アルゴリズムを実現した。

(2) 東京都臨海部実証実験で得られた課題

LiDAR及びカメラなどによる物体認識では、観測されるセンサ情報をもとに対象物の全体像の特徴から認識するため、周辺物体の配置や隠れの程度、天候など環境条件の変化により認識が困難となる。そのほかにも中央分離帯や柱などの付近に対象物が存在するときの背景同化やカメラの場合は日照条件による影響も課題として挙げられる。センサ特有の不調要因の場合は前述したセンサフュージョンによる戦略での対処が期待できるが、双方のセンサで課題となる隠れのシーンでは車載センサで認識するうえで本質的に認識困難な状況となる。実証実験においても隠れが主要因となる不調シーンとして交差点右折時の対向車の接近判断が確認された。車線数が多い交差点を通過する場合はより遠方の車両を認識することが要求されるため、こうした状況下での限界性能を評価することは重要である。

(3) 仮想空間での死角評価結果

実証実験では隠れによる影響下における物体認識が課題として確認されている。しかしながら、走行時においてこうしたシーンは瞬間的に遭遇する事例のため異なる条件での走行データを大量に用意することは困

難である。そこでDIVP事業にて開発している仮想空間を活用して死角影響時の限界性能の評価を実施した。生成したデータは図8のように自車が交差点右折時に対向車として右折待ちトラックを配置した環境で直進対向車が接近するシーンを想定している。それぞれの相対位置関係を変更することで異なる遮蔽率のLiDAR及び画像データを生成した。

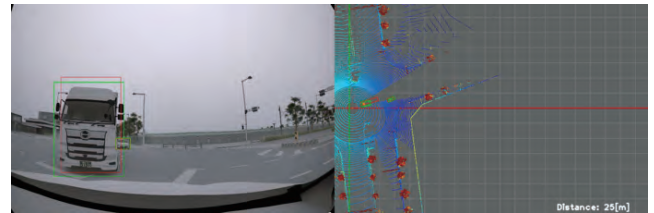
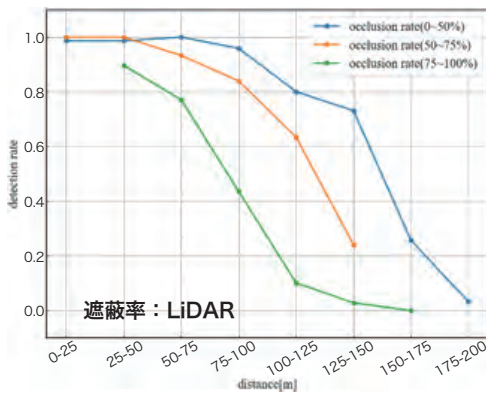
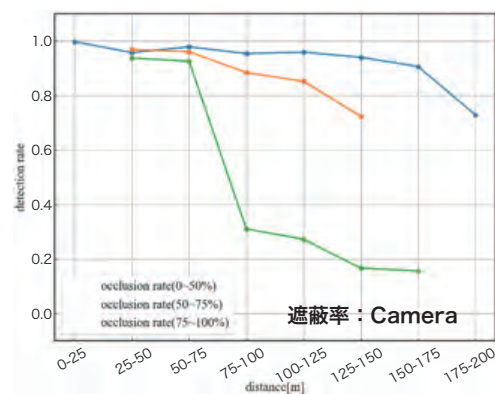


図8 死角環境下での交差点対向車の認識

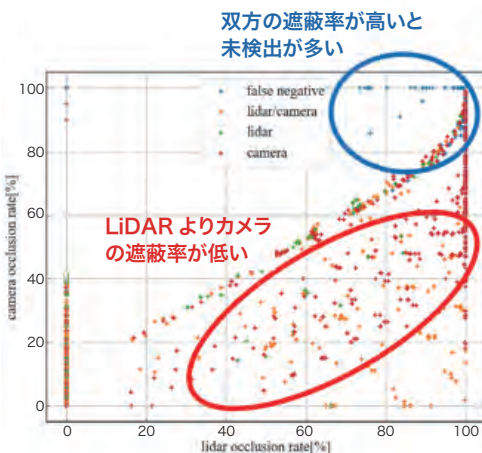
このようにして生成した交差点のシーンに対してLiDAR及びカメラによるセンサデータから対象物の検出結果を確認し、図9(a),(b),(d)に示すように異なる遮蔽率に対して各センサ及びセンサフュージョンによる限界性能を評価した。また図9(c)に同一フレーム時のLiDAR／カメラの遮蔽率の分布を示す。これらの結果から、センサの設置位置や観測方法の違



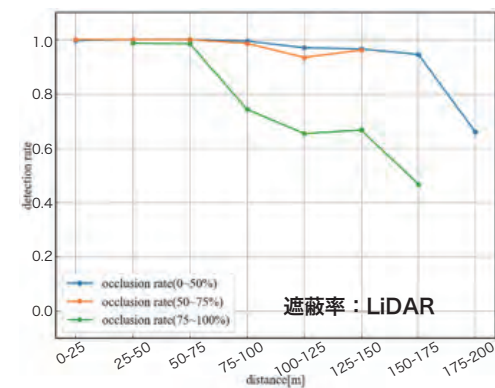
(a) LiDARによる検出率



(b) カメラによる検出率



(c) 評価データにおけるLiDAR／カメラの遮蔽率分布



(d) LiDAR／カメラのセンサフュージョンによる検出率

図9 死角環境時のセンサフュージョンによる物体検出結果



いによりセンサフュージョンによる認識性能の向上が期待できることも検証した。

### 3.3. みちびきを活用した衛星測位技術の開発

本事業ではみちびきをはじめとしたGNSS (Global Navigation Satellite System) 衛星からの信号とINS (Inertial Navigation System) を用いながらも、自動運転システムに適用可能な位置が推定可能なGNSS/INSの技術開発を行った。なお自動運転を適用する実環境では、GNSSからの信号が受信できず、GNSS/INSの精度が劣化する可能性が高い問題がある。そのため、GNSS/INSを利用した自動運転システムが安定して運用可能な条件についても検討を実施した。

#### (1) 自動運転に適用するGNSS/INSの検討と評価

GNSS/INSの開発では自動運転に必要な絶対位置精度の目標を、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つに設定した。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を用いながら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の活用により判定する技術の開発を行った。さらに、高精度な位置推定をGNSSが受信できない地点においても継続するために、DR (Dead Reckoning) の高精度化に関する検討も実施した。

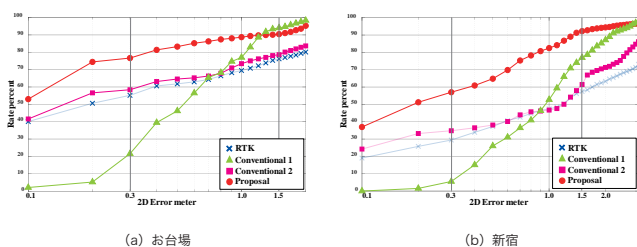


図10 GNSS/INSの絶対位置評価結果

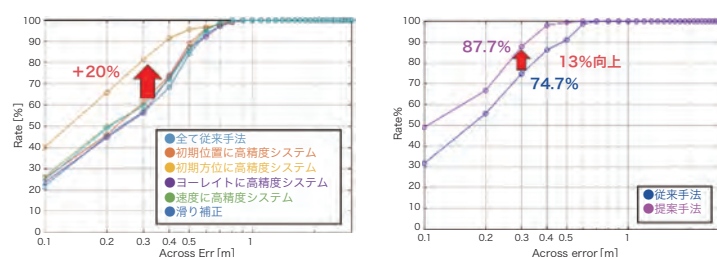


図12 DRの誤差要因解析と性能改善

まずマルチGNSSを利用した絶対位置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した。結果の概要を図10に示す。なお、図10ではConventional 1として車両軌跡を利用した測位手法、Conventional 2としてRTKの探索初期位置の予測にDopplerを用いる手法を示している。

そこで次に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。あわせて、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。<sup>(3)</sup> 結果の概要を図11に示す。

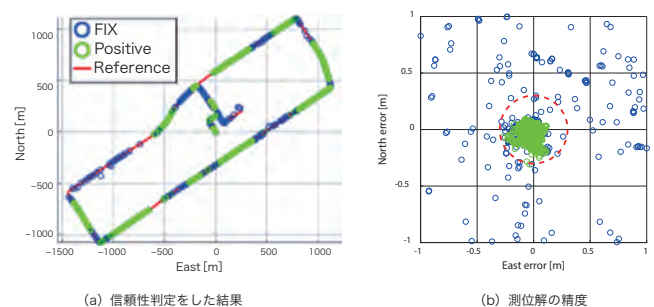


図11 お台場における信頼性判定結果

さらに、高精度に位置が推定できる地点間の補間をする際に重要となる、DRの高精度化を実施した。まずDR区間の誤差とその要因について検証した結果、10秒のDRの場合は初期方位角が影響することを確認した。次に初期方位角の性能を向上させるため、過去数十秒間のFIX解を使用して初期方位角を最適化させる手法を提案した。評価試験では都市部の評価コースにおいて10秒間DRした際の誤差が0.3m以下になる割合が87.7%を達成し、提案手法の有効性を確認した。(図12)

## ②自動運転(レベル3,4)に必要な認識技術等に関する研究

## (2) GNSS/INSの課題とその対応

本事業の成果によりみちびきをはじめとしたGNSSが受信できる環境では、自動運転に必要な絶対位置性能が得られる見込みが得られ、お台場のような東京臨海部でも30cmの信頼性の判定が95%以上で可能な見込みを得ることができた。しかし、評価においてはCLASを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。そのような場所に関しては、測位精度を担保するため、道路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。

そこで本事業では高精度3次元地図データと、収集したGNSS信号の誤差を二重差として収集することで、仮想環境を用いて事前に任意の地点における測位誤差を予測可能にする技術の検討を行った。開発した技術により、事前に測位性能が劣化する場所が予測可能となることが期待できる。以上の成果より、測位性能が劣化すると予測される場所に位置推定に必要な道路インフラを優先的に整備することで、より安全な自動運転の運用が可能になると考えられる。

## 3.4. マップマッチング技術の開発

高精度地図を用いる自動運転システムでは、常に高精度な自己位置を推定し続けることが必要となる。このため本研究では、マップマッチングに基づく自己位置推定技術について開発を行った。

## (1) 開発技術概要

図13に示すように、本事業で開発した自己位置推定技術は、DRとマップマッチングによって位置の推定を継続的に行うことにより実現している。<sup>(4)</sup> DRはセンサから得られる速度ベクトルを積算して高周期に自己位置を計算することが可能であるが、累積誤差が

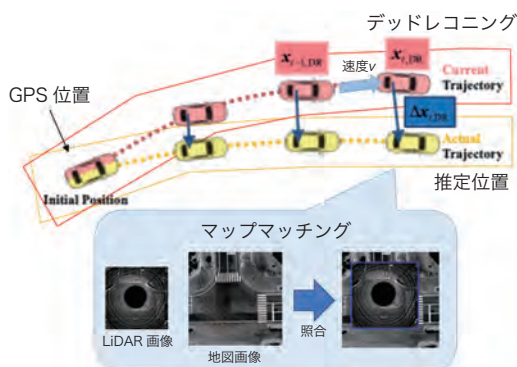


図13 自己位置推定技術概要

発生し長期での自己位置推定には不向きである特徴がある。このため本手法では、LiDARからリアルタイムに得られた路面パターン画像と、あらかじめ路面パターンを取得し作成された参照用の地図画像とを画像マッチング(テンプレートマッチング)させることにより、DRに生じる累積誤差を補正することで正確な自己位置をロバストに推定する手法を開発した。

## (2) 東京臨海実証実験で得られた課題

一方、東京臨海部における実証実験から得られた課題として、遮熱性塗装の路面や降雨時において、白線とアスファルトとのコントラストが低下することによりマッチングの精度が低下することが確認された。この対策として、光の拡散反射のモデルであるLambertモデルによってレーザ入射角から反射率の補正を行う手法を開発した。(図14) またLiDAR画像全体を地図画像のコントラストに合わせるようなコントラスト補正処理を導入することで、位置推定精度0.1mを達成可能であることを確認した。

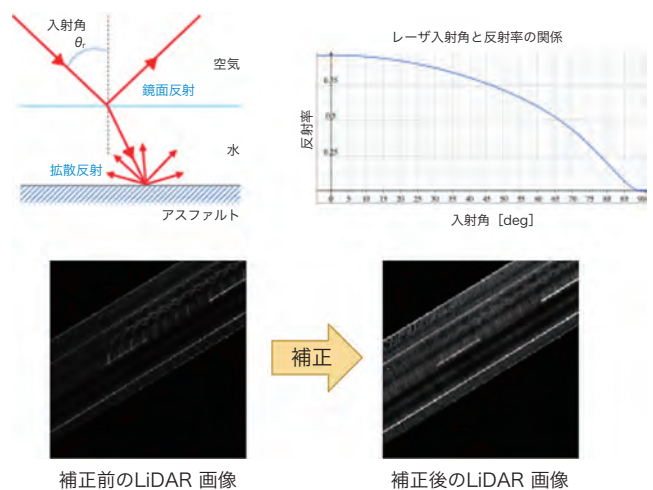


図14 Lambert反射モデルによる反射率の補正

## (3) 仮想空間での限界性能評価

一方、路面の材質や路面の濡れ方などによっては、白線とアスファルトのコントラストが大きく低下することで正しく位置推定できないことが考えられる。このため、DIVP事業にて開発している仮想環境を用いて実証実験において確認された位置推定の課題となるシーンを再現し、自己位置推定性能の限界性能評価を行った。

本評価では、通常のアスファルト路面と遮熱性塗装路面それぞれに対して、図15に示すように路面の濡れ方を変化させ、マッチング結果を比較することで性能限界を求めた。DIVP仮想環境においては、路面の

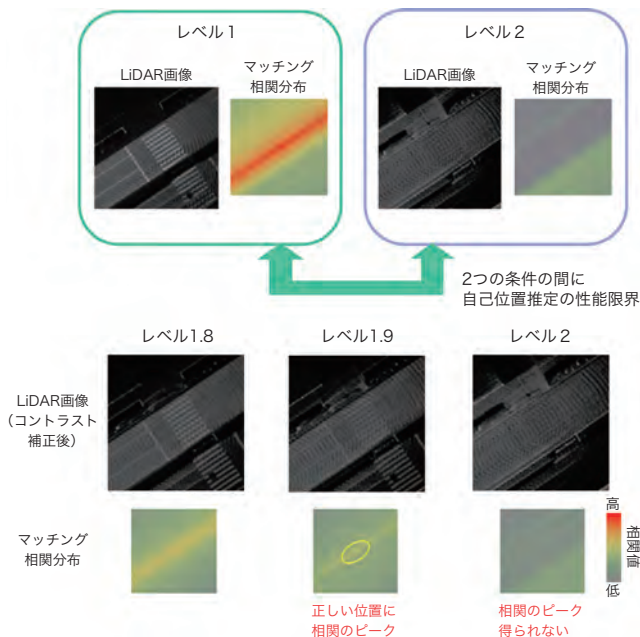


図15 遮熱性塗装路面での降雨時における性能限界付近のマップマッチング結果

濡れが5段階のレベルで定義されており、レベル0が乾燥路、レベル1は雨滴が浸み込み始めた状態、レベル2は路面に水が十分に浸み込み飽和となった状態、レベル3～4はそれぞれ1～2mm程度の薄い水膜、数mm以上の厚い水膜状態を示している。評価の結果、通常のアスファルト路面の場合には、濡れが最大のレベル4の状態であっても自己位置推定が可能であることが確認された。一方、遮熱性塗装の路面では、濡れレベル1.9が性能限界であることが確認された。

### 3.5. 緊急車両認識技術の開発

道路交通法第40条に定められているように、緊急自動車（以下、緊急車両）が接近した際にはその進路を妨げないような回避行動を取る必要がある。このため本事業では車載センサによる緊急車両の認識技術について開発を行った。

#### (1) カメラによる緊急車両の認識

画像による緊急車両の認識においては、パトカーや救急車などの車両自体の認識及び警光灯の点滅検出を行った。本事業では緊急車両の認識アルゴリズムとしてYOLOv4を用いた。まず東京臨海部で収集した物体検出用データセットを用いて、YOLOv4の学習を行った。東京臨海部のデータセットには、一般車両、歩行者、自転車、信号機の各種状態を含む7クラスを検出対象としている。東京臨海部のデータセットで学習後、緊急車両のクラスを追加し、9クラスにより追



(a) 救急車 (b) パトカー

図16 緊急車両の検出例

加学習を行った。最初に7クラスで学習することで、車両に搭載したカメラから取得した映像を入力とする物体検出に適した特徴を獲得する。そして追加学習することで緊急車両に適した特徴を追加して獲得できるようにする。緊急車両の検出結果の例を図16に示す。一方画像認識に基づく手法のみでは、緊急車両が遠方に存在している状況や、死角等により物理的に視認が難しい環境においては、緊急車両の接近の検知が困難となる状況が想定される。このため、図1に示す試験車両に搭載したマイクを活用して緊急車両のサイレン音を検知する手法についても検討した。

#### (2) マイクによる緊急車両の認識

マイクによる緊急車両認識においては、緊急車両の存在の有無の把握に加え、緊急車両の存在位置の把握が必要となる。このため、本事業ではサイレン音の認識技術と音源定位技術の開発を行った。サイレン音の認識に関しては、車載マイクの音声データから特徴量を抽出し、機械学習によってサイレン音を識別する。本事業では、認識アルゴリズムとしてSVM (Support Vector Machine) を用いており、学習用のデータセットとしては試験車両走行データに加え、公開されている環境音データセットであるESC-50のデータやオンラインでスクレイピングした音声データなども追加している。表1に本事業で開発した救急車サイレン音検出技術の評価結果を示す。ここで、Precisionは誤検出が少ないほど1に近い値を示し、Recallは未検出が少ないほど1に近い値を示す指標となっている。表1から90%以上の精度でサイレンを識別できていることがわかる。

表1 救急車サイレン音の認識率

	Precision	Recall
認識率	0.964	0.965

また緊急車両までの距離や自車速度に応じてサイレン音の減衰、ノイズの増大やドップラー効果が発生し認識率が低下することが考えられるため、これについての検証を行った。図17に自車速度と緊急車両まで

## ②自動運転(レベル3,4)に必要な認識技術等に関する研究

の距離に応じた認識率のグラフを示す。図17から緊急車両までの距離が120m以内の範囲では90%の認識率となっているが、より遠方では認識率が大きく低下していることがわかる。また、速度が大きくなるほど認識率が全体的に低下していることが確認できる。

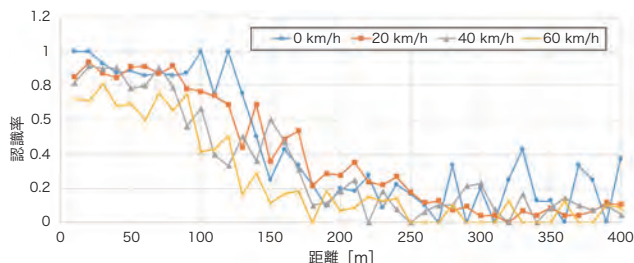


図17 自車速度と距離による認識率

音源定位に関しては、試験車両には音源定位用に4個のマイクを搭載しており(図1)、これらの車載マイクを使用しマイク間の音の到達時刻差を計算することで、音源の方位や距離を推定する技術の開発を行った。

原理確認のため、緊急車両までの距離を100mに固定し、両者が静止した状態で方位角を変化させ、2つのマイクにより音源方位を推定した際の精度評価を行った。その結果、表2に示すようにいずれの条件においても誤差10deg程度での方位推定が可能であることを確認した。

表2 2つのマイクによる音源方位推定精度

真値 [deg]	推定値 [deg]	誤差 [deg]
-36.2	-45.7	-9.5
9.4	1.9	-7.5
48.6	37.7	-10.9

## 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相当の自動運転システムに必要となる認識技術等を構築した。また東京臨海部における実証実験を通して、V2I/V2Nといった無線インフラを活用したインフラ協調走行の有効性について評価した。さらに、東京臨海部等における実証実験において顕在化した車載センサに基づく自律型の認識技術の課題を仮想環境で再現し、認識技術の限界性能評価を行う試み

も実施した。

今後、一般道を含めた様々な環境下における自動運転技術の社会導入には、本事業で開発したような自動運転システムにおける認識・判断技術の高度化に加え、安全性の評価が重要になると考えられる。一方、実際の道路環境における評価には、時間・コスト・効率といった観点で限界が生じる。このため仮想環境を用いて、本事業で実施したような効率的かつ網羅的に安全性評価を行う枠組みを構築することが今後重要になると考えられる。

### 【参考文献】

- (1) AD-URBAN Open Image Datasetダウンロードページ, [https://github.com/AdmoreKanazawa/open\\_data](https://github.com/AdmoreKanazawa/open_data), (参照 2022.08.31)
- (2) K. Yoneda, A. Kuramoto, N. Suganuma, T. Asaka, M. Aldibaja, and R. Yanase, Robust Traffic light and Arrow detection using Digital map with Spatial prior information for Automated driving, Sensors, Vol.20, No. 4, 2020.
- (3) Aoki Takanose, Yoshiki Atsumi, Kanamu Takikawa, Junichi Meguro, Improvement of Reliability Determination Performance of Real Time Kinematic Solutions Using Height Trajectory, Sensors, Vol.21, No. 2, 2021.
- (4) N. Suganuma, D. Yamamoto and K. Yoneda, Localization for autonomous vehicle on urban roads, Journal of Advanced Control, Automation and Robotics, Vol. 1, No. 1, pp. 47-53, 2015.

### 【本件問合せ先】

金沢大学 高度モビリティ研究所, 〒920-1192 石川県金沢市角間町, 076-234-4714, 担当: 菅沼直樹