

# 3 自動運転の安全性の確保

## 安全性確保に向けた技術開発と教育(概要)

### Technological Development and Education for Enhanced Safety (Overview)

保坂修, 木村裕明 (内閣府)

Osamu Hosaka, Hiroaki Kimura (Cabinet Office)

#### 1 背景と意義

自動運転車の実用化及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。そこで、SIP自動運転では、安全性確保に向けた技術開発として、以下3つの課題に取り組むこととした。<sup>(1)</sup>

- ①仮想空間での安全性評価環境の構築
- ②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(サイバーセキュリティ)
- ③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蒙手法の確立と普及(安全教育)

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、特にセンサ性能の評価に着目し、リアル環境における実験評価と代替可能な、実環境と一致性の高いシミュレーションモデルの構築を目指し、当該モデルに基づき様々な条件での評価が可

能な、仮想空間における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。SIP第2期では、IDSの性能評価手法の開発に取り組んだ。

さらに、HMI(ヒューマンマシンインタフェース)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た。

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もとで、ドイツ連邦教育研究省(BMBF)と連携して研究開発を進めてきた。【詳細 第6章②】

#### 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



図1 DIVPのセンサモデルの一致性検証

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もと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った。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、センサ性能評価を中心としたシミュレーションツールの開発が必要であると考えられる。

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取り組むことにした。(図1)

神奈川工科大学 井上秀雄教授を研究開発責任者として3大学(神奈川工科大学, 立命館大学, 豊田工業大学), 10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, トヨタテクニカルデベロップメント, パイオニア, BIPROGY, 三菱プレジジョン, SOKEN, SOLIZE, ユーシン)からなるコンソーシアムを組成し、オールジャパン体制で「仮想空間」における安全性評価環境プラットフォームDIVP<sup>®</sup>(Driving Intelligence Validation Platform)の構築に着手した。この「仮想空間モデル」とは、交通環境シナリオのもと、物標等のジオメトリ情報と反射物性・空間伝搬物性をモデル化し、これらを精緻なセンサモデルで知覚することにより、自動運転システムの安全性評価を可能にするモデルのことをいい(図2)、この「仮想空間モデル」の中で、昼夜や天候、そして車両やインフラ等様々な環境を変更することによって、あらゆる条件での評価が可能になる。

本モデルでは、センサ出力を精緻に再現するため、各センサの検出原理、使用電磁波帯域における物理現

象を、反射物性の原理原則に基づきそれぞれモデル化し、実車試験結果との突合せにより一致性検証を行った。また、カメラ, Radar, LiDAR夫々に対応した「仮想空間モデル」があり、これらセンサを同時に評価することが可能である。(図2)

#### 検証の取組

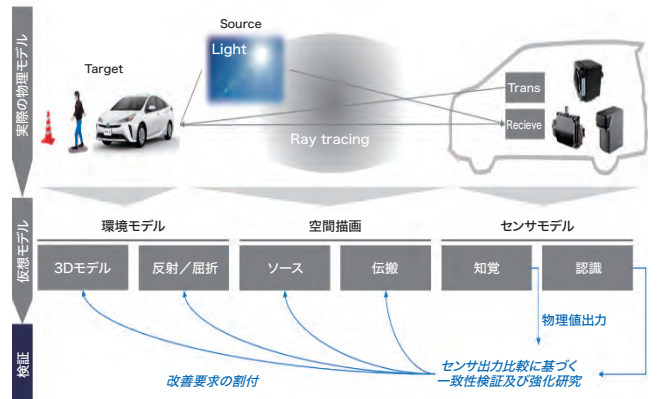


図2 仮想空間モデルとセンサモデル

2021年度からは金沢大学コンソが取り組んでいる、AD-URBAN (FOT project of Automated Driving system Under Real city environment Based on Academic researcher's Neutral knowledge) プロジェクトと連携し、LiDAR/カメラ等の実証実験での認識不調シーンを共有し、仮想環境における再現性の評価を行い、実環境と仮想環境の認識上の差異を検証し、モデルの精度向上を図った。【詳細 第3章②】

さらに、将来の顧客のニーズの把握やDIVPのデータプラットフォームの継続的な運用に対する課題の抽出を目的に、東京臨海副都心地域におけるセンサ弱点シーンを再現したシナリオパッケージを準備し、自動車メーカーやセンサメーカー等から参加者を募り、2つのステップに分けてモニタ評価を実施した。

## 安全性確保に向けた技術開発と教育(概要)

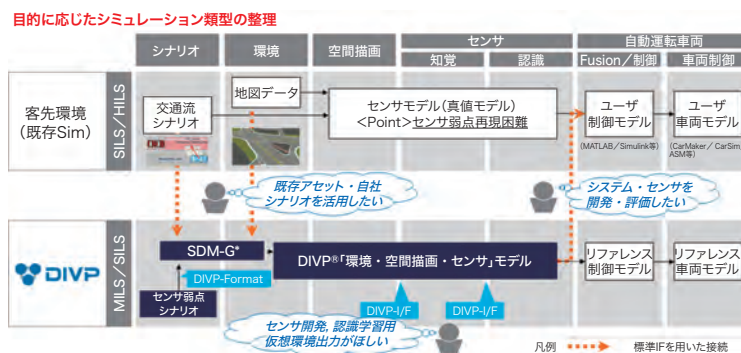


図3 顧客環境とDIVPの接続性

モニタ評価の結果は概ね好評で、STEP1で実施したシミュレーション体験では、シミュレーションの信頼性や、アセットの充実度などについて、他のシミュレータに比べて高い評価を得た。引き続きSTEP2では、STEP1のモニタ参加者の中から数社を選定し、種々の既存シミュレーション環境との接続性や、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、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、システムとの接続性の具体的な評価検証を行った。(図3)

自動運転車は、カメラ、Radar、LiDARといったセンサを複合的に活用しており、センサフュージョンによる評価が不可欠である。この時、様々なセンサの組合せでの評価が必要となり、シミュレーションでそれを実現するためにはインタフェースの標準化が重要となる。このため、ドイツを拠点とする標準化団体ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) の標準に準拠することにより、既存のシミュレーションとの結合性を確保している。

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、本活動を通じ、国際連携の取組を強化しつつ、ISO (International organization for Standardization) 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フェースの標準化を推進した。【詳細 第6章⑤】

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。安全性評価技術の実用化の加速に向け、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、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、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年度に立ち上げて取り組んでいる。

この4年間のDIVP活動の結果、シナリオ生成→認識性能評価→車両制御検証が一気通貫で可能なプラットフォームの実用化に目途付けができ、DIVP研究成果をツールチェーンとして提供する新事業会社V-Drive Technologies社 (BIPROGY 100%出資) が7月に設立され、9月より一般へ販売を開始した。

### 3 サイバーセキュリティ

自動運転車は、高精度3次元地図や信号情報などの交通環境情報を通信により取得する必要がある。自動運転車をはじめ通信機能を持つ車両にとってサイバー攻撃は大きな脅威であり、サイバー攻撃を想定したセキュリティ対策が極めて重要である。既に、いくつかの車両に対するサイバー攻撃事例が国際会議等で報告されており、車両の市場投入後にも進化を続ける車両へのサイバー攻撃手法に対する対策として、IDS (侵入検知システム) が注目されている。

一方で、IDSは未知のサイバー攻撃に対する対応策であるため、その性能の評価は難しい。そこで、SIP自動運転ではこのIDSの評価ガイドラインに取り組んだ。本施策では、業界団体 (一般社団法人JASPAR) と連携のもと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、IDS評価ガイドラインの策定を

完了した。本研究成果は、2022年8月に業界団体（一般社団法人JASPAR）へ移管し、今後も業界としてのガイドラインとして活用していく予定である。

通信機能を持つ車両は年々増加しているが、これまではエンターテインメント等での活用が主であったため、安全性に及ぶハッキング事例は多くはない。しかし、今後自動運転をはじめ通信から得られた情報を制御にも活用するようになると、そのようなインシデントの事例も増えてくることが予想される。

このため、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を積極的に収集する試みを実施し、観測、収集、分析、蓄積等の方法及び初動活動を支援する脅威情報共有システムの基本仕様の策定を行った。

本脅威情報共有システムについては、策定した基本仕様等を2022年度末に、業界団体（J-Auto-ISAC）へ移管し、今後も改善しつつ活用いただく予定である。（図4）

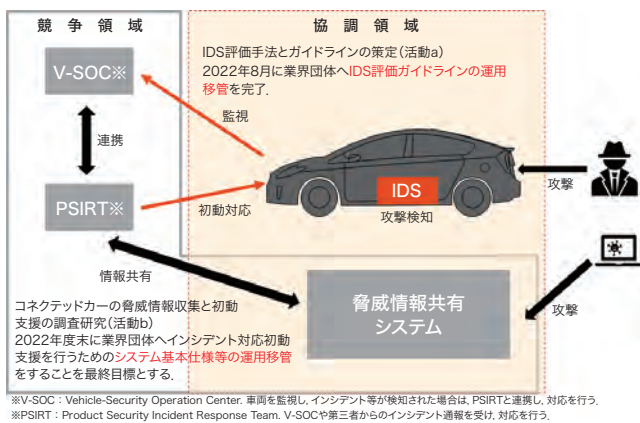


図4 本活動の範囲と最終目標（赤字、点線内）

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（Security For Connected, Autonomous Cars）との間での連携プロジェクトSAVE（Securing Automated VEHICLES）を2020年10月から開始し、脅威情報共有システムの検討等で国際連携を進めた。【詳細 第6章⑦】

## 4 安全教育

道路安全は人、クルマ、交通環境の三位一体で補完し合いながら確保されるものであり、車両だけで安全を担保することは困難である。現在、AEB（衝突被害軽減ブレーキ）など様々な安全運転支援システムが普及し、

着実に事故低減に寄与しているが、一方で過信による事故も散見される。このようなことから、全ての交通参加者の自動運転に対する正しい理解が必要である。そこで、SIP自動運転では本課題に関して、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実施した。HMIに関する協調領域として、以下3つの内容を中心に取り組んだ。

- 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わ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した。【詳細 第3章⑤】
- 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ぎ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した。【詳細 第3章⑥】
- 3) 自動運転レベル3以上の車両の導入・普及が進む前段階として、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した。【詳細 第3章④】

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3つの課題について、研究テーマの設定や研究方法についての妥当性を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、国際標準化を行い国際連携の取組を強化しつつ進めた。【詳細 第6章④】

### 【参考文献】

- (1) 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, [https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/4\\_jidosoko.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/4_jidosoko.pdf), (参照 2022.06.30)

### 【本件問合せ先】

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動運転担当、〒100-8914 東京都千代田区永田町1-6-1, 03-6257-1334, 担当：保坂修, 木村裕明

## ① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

### Development of Driving Intelligence Validation Platform (DIVP<sup>®</sup>) for Automated Driving Safety Assurance

井上秀雄 (学校法人幾徳学園 神奈川工科大学)

Hideo Inoue (Kanagawa Institute of Technology)

(概要) 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等の外界センサの物理的限界は検証が難しく、システムを構築するうえ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とした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、か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。

キーワード: 自動運転, 仮想空間, 外界センサ, バーチャルシミュレーション, 安全性評価

#### 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事故原因と想定される事例が報告されている。<sup>(1)(2)</sup>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に基づく評価手法が提案されている。<sup>(3)(4)</sup>

これらの活動の中でも、自動運転車の安全性評価を行ううえで、再現が困難な気象条件や、再現が危険な事故・ニアミス条件等、シミュレーション評価環境の活用が不可欠である。特に、センサが対象物を正しく知覚・認識できているかは大事な要諦であるが、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については、これまで本格的な研究開発活動がなされてこなかった。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<sup>®</sup>)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た。(図1)

また、本プロジェクトでは、前述の産学連携の13機関(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進めた。

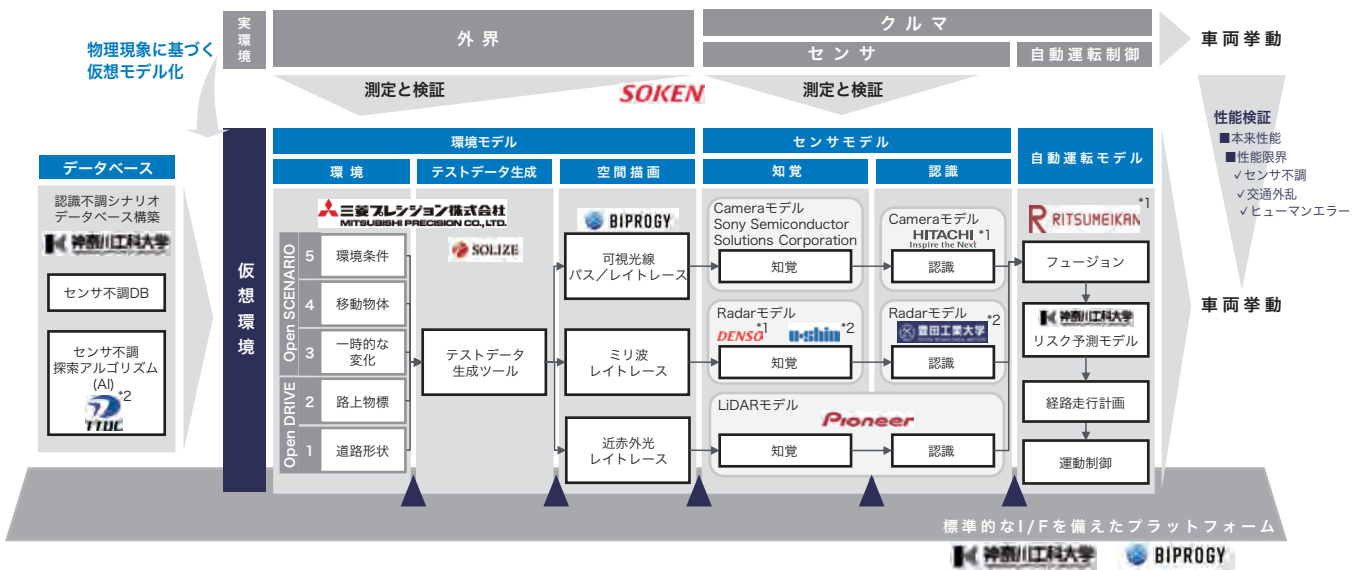
#### 2 実現象と一致性の高いセンサモデルの構築

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)ベースのセンサモデルの採用が多い。先にも述べたように、自動運転車の安全性保証には、周辺

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1 実現象と一致性の高いセンサモデルの必要性



\*1 立命館大学は2021年2月、デンソーは2021年6月、日立Astemoは2021年9月で終了  
 \*2 TTDC, U-shin, 豊田工業大学は2021年3月から参加

図2 DIVPプロジェクトの構成

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、高度な実験・計測技術を用いて雨や霧、太陽光などの周辺照度等の周辺環境の影響で変化する実現象の物理モデル

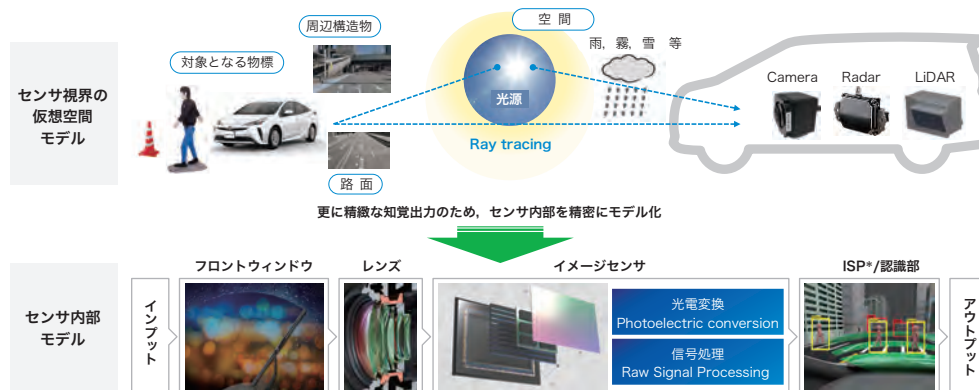


図3 空間伝搬を再現するセンサモデル(カメラの例)

①仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

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電磁波原理に基づく「走行環境～空間伝搬～センサ」の一連のモデルに反映している点がほかにはないDIVPシミュレーション基盤の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。

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せる3原色RGB出力ではなく、CMOS等の半導体に

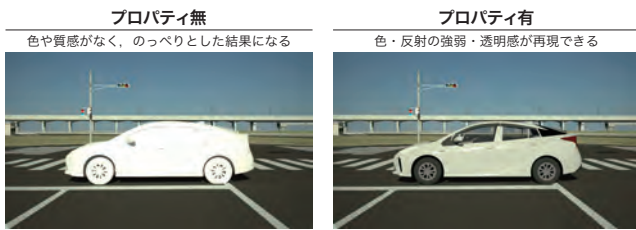


図4 物標の反射特性の有無の影響

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実現象と一致性の高いリアルなシミュレーション映像を実現している。(図4)

以上により、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を再現でき、High Dynamic Range (以下、HDR) カメラモデルにおいて認識に十分な視認性を確保できることが検証できる。(図5)

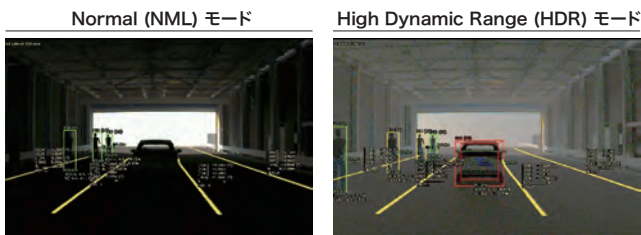


図5 HDRカメラの効果検証例

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。車、人等小さい物標に対しては散乱体モデルとしてPhysical Optics近似を使用し、ビル、路面など大きな物標に対しては、反射体モデルとしてGeometric Optics近似を使用している。さらに、解析時間短縮等のためにあらかじめ物標に定義されたRadar Cross-

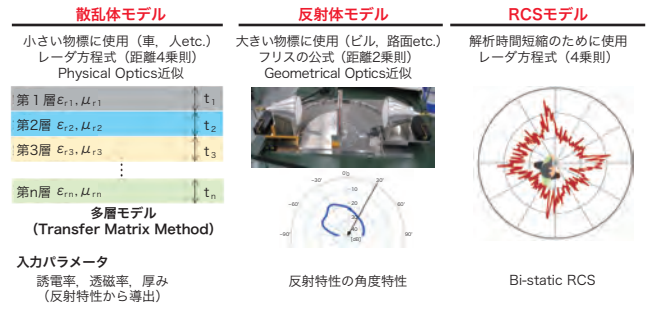


図6 精緻な反射を再現する3つのモデル(ミリ波レーダ)

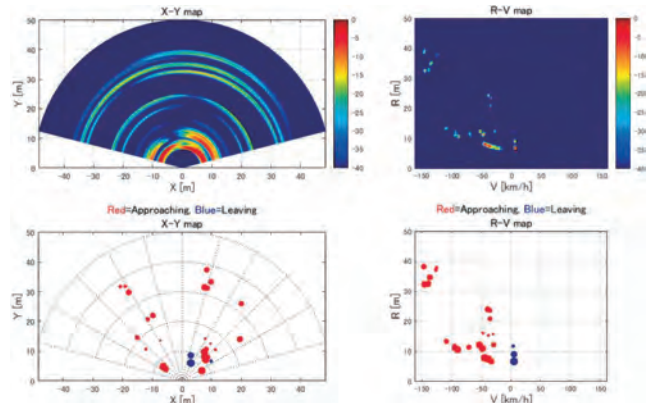


図7 ミリ波レーダモデルの出力例

Section (以下、RCS) モデルを含めた、計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)

また、出力はX-Y座標で反射強度を示す図(ヒートマップ)やその反射強度の強い位置を対象物標の反射点として示すX-Yの反射点マップなど、ミリ波の出力データを良く再現できている。(図7)

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やすいセンサである。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。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においても実現象と一致性の高いシミュレーションを可能とした。(図8)

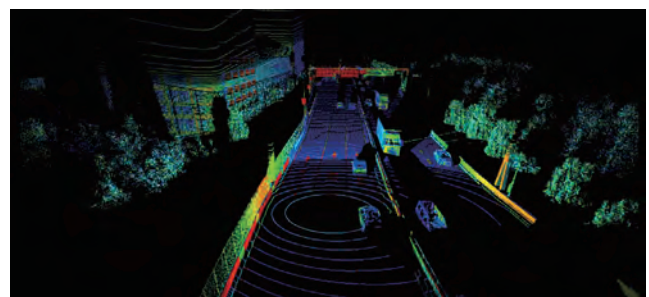


図8 LiDARモデル

## 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、実際の実験結果と比較することでシミュレーションモデルの定量的な一致性検証を行っている。(図9)

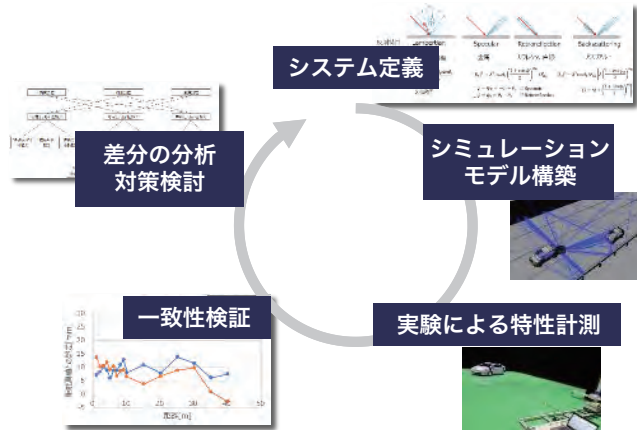


図9 実験ベースの一致性検証の取組

これまでの結果、センサの太陽など逆光、夜間等の光源に関わる弱点シナリオや、雨のガラス面の付着などの条件において高い一致性が得られている。さらに、降雪環境などのより再現が難しい現象は、実験計測に基づく電磁波の反射、伝搬の解析のもとでモデル化と一致性検証を進めている。

## 3 センサ検出弱点に対応した仮想空間モデルの構築

### 3.1. 仮想空間モデルの定義

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仮想空間モデルはあまり例がない。本プロジェクトではセンサの反射特性等から見た仮想空間のアーキテクチャとして、

①交通参加者などの物標

②周辺構造物

③路面

④太陽光源、雨・霧などの空間

⑤センサと空間の界面(フロントガラス, Radar雪氷着等)

の5つの領域を定義し、電磁波の反射・透過、減衰などの特性を反映した仮想空間モデルを構築している点に特徴がある。(図10)

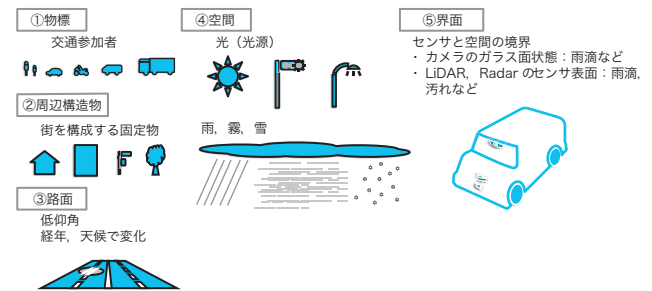


図10 センサから見た仮想空間

### 3.2. 環境モデル開発プロセス

図11にDIVPシミュレータの主な構造を示す。ドイツASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) 標準活動で定義されたシナリオ記述のOpen SCENARIO, OpenDriveのデータ読み込みはもちろんのこと、①反射原理に基づき検証された材料物性を定義したファイル(通称: DIVPマテリアル)、②SDMG (Space Designed Model Generator)、③センシング弱点シナリオ事象のデータベース、それを結合して仮想空間モデルを生成するツール④環境・空間描画モデル、⑤センサ知覚モデル/認識アルゴリズム、⑥各モデルの入出力を繋ぐインタフェースの標準化、⑦物標等アセット3次元モデル、を特徴とした構造となっている。

反射原理の計測検証には、可視光、近赤外光、ミリ波それぞれの計測装置に工夫を凝らし、正確に物理特性を計測することで、実現象と一致性の高い反射特性をシミュレーションモデルとして物性ファイル(DIVPマテリアル)に集約している。(図12)

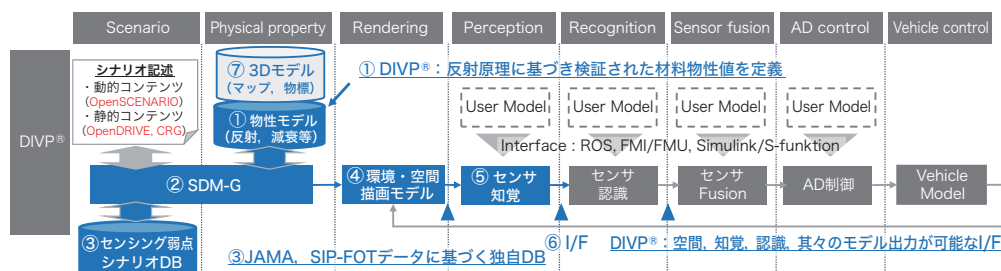


図11 センサ弱点シナリオ～仮想空間モデル生成の構造



①仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

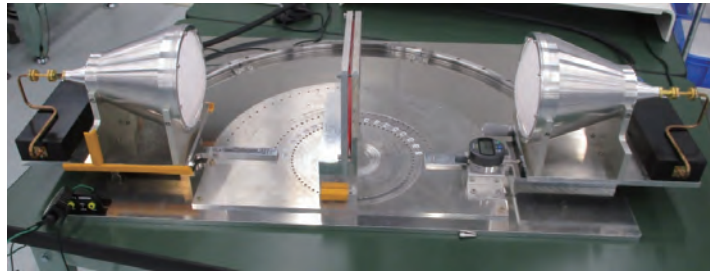


図12 ミリ波計測器

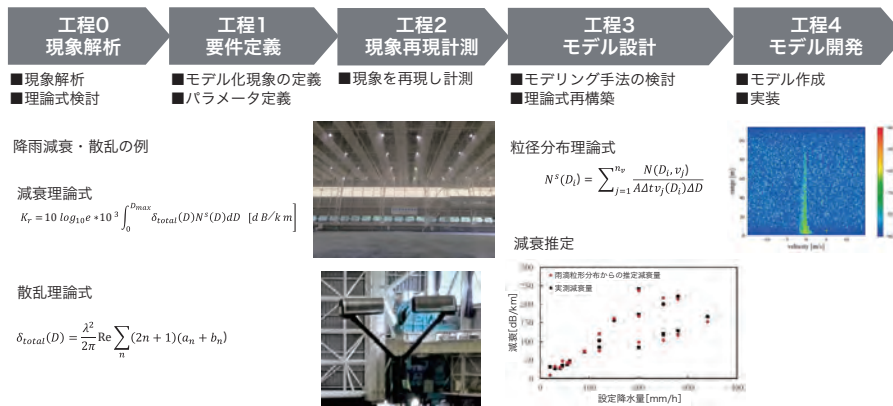


図13 空間モデルの開発プロセス

3.3. 伝搬・減衰等の空間モデルにおける開発プロセス

センサ検知を精緻に再現するためには太陽光源や雨・霧など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・透過した後に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。(図3)

この際に起こる光の拡散や減衰等の現象はカメラへ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。ミリ波レーダであればミリ波帯の電波、LiDARであれば近赤外光が対象となる。本プロジェクトでは、①現象の解析・理論式検討、②モデル化現象の定義、③現象を再現し計測、④理論式に基づく詳細モデル設計、⑤モデル実装を定義し、再現性の高い伝搬・減衰等の空間モデルの開発プロセスも特徴がある。(図13)

3.4. 夜間の路面反射モデル例(カメラ)

夜間のヘッドライト光源に対する路面反射特性を精緻に再現することはカメラ、LiDARモデルにとって重要となる。自転車ヘッドライトから低入射角度で光源が当たるため、反射率を実験値から再帰反射モデルとして最適化した。これにより実環境と一致性の高いカメラシミュレーション映像が可能になった。(図14)



図14 ヘッドライト路面反射の最適化による夜間映像再現

3.5. LiDARにおける降雨空間モデル例

本プロジェクトでは、実車では再現評価の難しい逆光、雨・霧など天候に関する空間モデルを開発している。降雨をモデル化した空間モデルは、降雨量に応じた実現象に即したLiDAR信号の雨滴反射による偽点影響、及び濡れた路面での鏡面反射による虚像(偽点)の影響をシミュレーションモデルとして再現し検証中である。(図15)

3.6. 仮想空間用3次元アセットモデルの拡充

これまで述べてきたように本プロジェクトではセンサから見た仮想空間のモデルとそれに対応するセンサモデルが特徴となる。さらに各種評価環境に必要な対象物の反射特性を順次計測、実験値とシミュレーションの比較検証を行いDIVPマテリアルに拡充する。このもとなる環境モデル3次元アセットは、対象物標や道路、周辺構造物などのライブラリとして拡充を進めて

## ① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

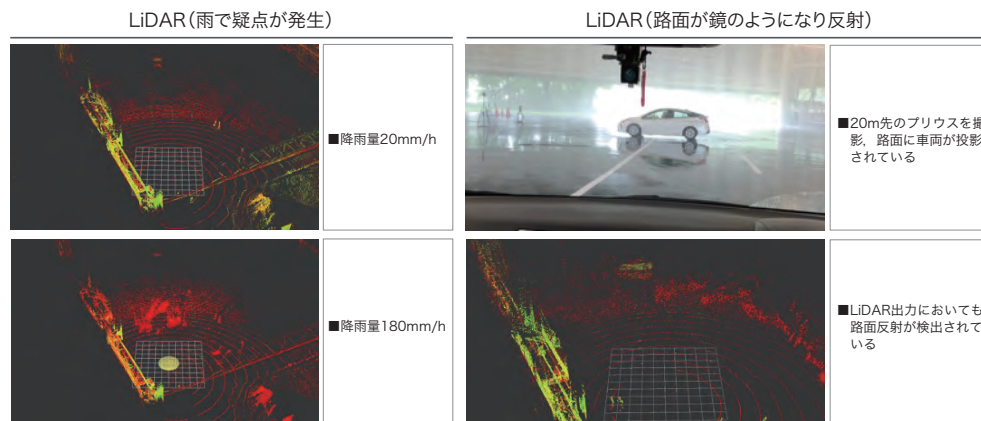


図15 降雨がLiDARセンサに与える影響(実験)



図16 再現可能なアセット/空間モデルの拡充

いる。特に、NCAP (New Car Assessment Programme) 等のアセスメントシナリオや、各自動運転車の実証実験場であるお台場地域やC1首都高速道路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・空間モデルが拡充されている。(図16)

## 4 DIVPシミュレータの自動運転安全性評価への応用

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は格段に向上する。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きた。目的に沿ったパッケージシナリオとして仮想空間単位を定め、このパッケージシナリオ単位で信頼できる安全性評価を積み重

ねていくことがシナリオ構築として重要である。(図17)



図17 DIVPパッケージシナリオのロードマップ

### 4.1. NCAP等アセスメント評価への適用

AEB (Automated Emergency Brake), LKAS (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

① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

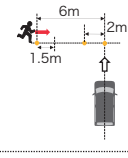
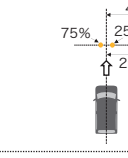
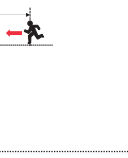
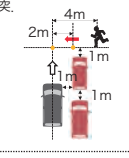
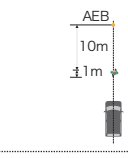
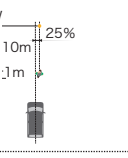
	シナリオ作成, アセット/センサ単位での単体検証			Closed-Loop検証	シナリオ作成, アセット/センサ単位での単体検証	
	CPFA-50	CPNA-25	CPNA-75	CPNC-50	CPLA-25	CPLA-50
L1: 道路形状	勾配ナシ, 均質/固体舗装の路面で, 不整(傾斜, 割れ, マンホール)ナシ 周辺にセンサ誤検知が起りえる地物ナシ					
L2: 物標/交通ルール						
L3: 一時的な変化	—	—	—	障害物車両	—	—
L4: 移動物体	車両前進中に, 運転席側(Farside)から経路を走って横断する大人の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作がない状態で, 車両幅50%の所で歩行者に衝突。 	車両前進中に, 運転席の反対(Nearside)から経路を歩いて横断する大人の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作がない状態で, 車両幅25%の所で歩行者に衝突。 	車両前進中に, 運転席の反対(Nearside)から経路を歩いて横断する大人の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作がない状態で, 車両幅75%の所で歩行者に衝突。 	車両前進中に, 運転席の反対側(Nearside)からの障害物(小型車両と大型車両)から走って横断する子供の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作がない状態で, 車両幅50%の所で歩行者に衝突。 	車両前進中に, 前方に同じ方向を歩いている大人の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作またはFCW作動後衝突回避のためのステアリング操作がない状態で, 車両幅25%の所で歩行者に衝突。 	車両前進中に, 前方に同じ方向を歩いている大人の歩行者に衝突。 なお, ブレーキ操作がない状態で, 車両幅50%の所で歩行者に衝突。 
L5: 環境条件	昼	昼/夜	昼/夜	昼	昼/夜	昼/夜

図18 NCAP評価環境のモデル化

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。特に, 実車では周辺光源が影響する夜間の歩行者飛出しの条件などで, 本シミュレーションは再現性の点からも効果的と言える。本プロジェクトでは, 各NCAPシナリオを順次モデル化しており, Euro-NCAPの既存プロトコル30シナリオのモデル化が完了している。(図18)

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19) 1つの評価シナリオに対し, カメラ, Radar, LiDARを同時出力でき, 動的な評価が可能である。



図19 NCAP車両陰からの歩行者飛出しシナリオでのシミュレーション

4.2. 実環境「お台場, C1高速」評価への応用

次のパッケージシナリオとして, 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だ。(図20)

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が評価する仮想環境に昇華させることができる。以下, 仮想環境での評価例を示す。

4.2.1. 遮熱塗装路面での白線検出弱点評価への応用 (LiDAR)

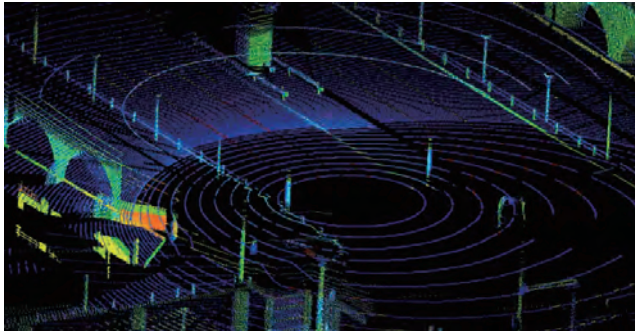
自動運転の実証実験において, お台場テレコムセンター前の遮熱性塗装路面では, LiDARでの白線検出が難しくなる現象が判明した(金沢大学, (SIP) 第2期自動運転(システムとサービスの拡張)「自動運転技術(レベル3, 4)に必要な認識技術等に関する研究」計測データ<sup>(5)</sup>)。これは, 遮熱塗装路面では再



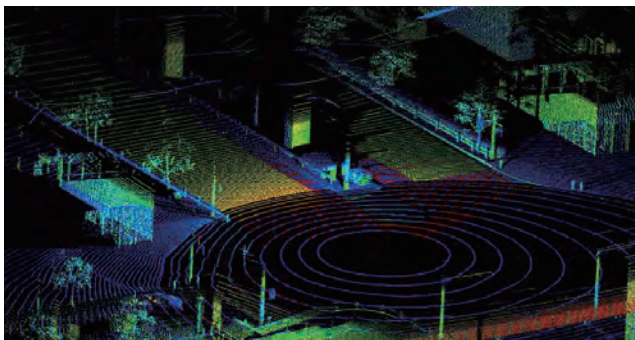
図20 お台場走行環境モデル(カメラシミュレーション)

## ① 仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発

帰性反射成分が強くなる傾向があり白線の反射特性と近似してしまうことが原因であると解析され、シミュレーションモデルに反映した。図21にシミュレーション結果を示す。通常路面では白線(図の赤線)がLiDARで検出できているが、遮熱塗装路面では白線が検出できていない様子が良く再現されている。



通常路面(白線→検出(赤線))



遮熱塗装(白線検出できない)

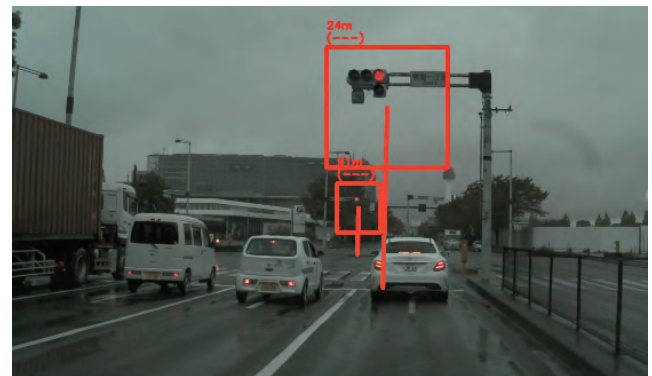
図21 LiDARシミュレーション(台場駅前付近)

## 4.2.2. 信号認識限界評価への応用(降雨条件の抽出)

金沢大学(AD-URBANプロジェクト)の自動運転システム(以下、AD-URBANシステム)を対象にDIVPシミュレータを使い、信号認識アルゴリズムの降雨レベルによる認識限界の評価を実施した。実車評価では容易に再現できない激しい降雨条件を、シミュレーションのパラメータとして変化させることで再現し、信号の認識限界に至る評価条件を導出した。これにより、他のアルゴリズムや改良要件を再現性良く、

## ■ 実車での信号認識評価

→ 激しい降雨に遭遇できず認識限界が不明確



## ■ DIVPシミュレータによる信号認識評価

→ パラメータにより降雨量変化させ認識限界を評価



図22 DIVPシミュレータによる信号認識限界の検証

かつ効率的に評価でき、DIVPシミュレータの有効性を実証できた。(図22)

## 4.2.3. 横断歩道認識限界評価への応用(路面濡れ条件の抽出)

前節同様に、AD-URBANシステムの路面濡れ条件でLiDARでの路面横断歩道などのオルソ地図との位置マッチングアルゴリズムの認識限界をDIVPシミュレータを使い評価した。DIVPで生成したLiDAR出力から濡れ路面を再現しコントラストレベルにより認識限界(図23 レベル1.9(性能限界))を検証できた。

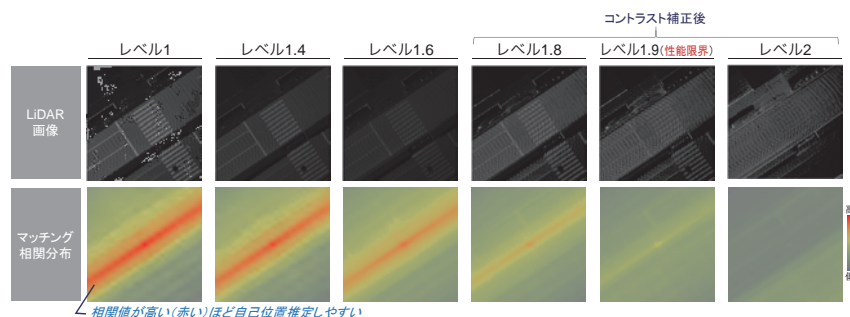


図23 路面濡れレベルでのLiDAR認識限界の検証

#### 4.2.4. 自己位置推定アルゴリズムのロバスト性評価への応用

AD-URBANシステムでは、LiDARを利用したマップマッチングによる自己位置推定アルゴリズムを構成している。このロバスト性評価のために、DIVPシミュレータで走行路面を隠すように駐車車両が多数並んだ厳しい条件をLiDAR出力の仮想空間モデルとして生成した。その評価の結果、AD-URBANの自己位置推定アルゴリズムは常に正解値と一致し高いロバスト性を有することが検証できた(図24)。このように、DIVPは、現実空間では設定が難しい条件の設定が可能でシステム評価に貢献できる。

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。

#### 4.2.5. 自動運転車の交差点右折時の安全性評価

さらに、AD-URBAN連携では、実際の交差点右折時のデータから、DIVPシミュレータで交通状況と、カメラ、ミリ波レーダ、LiDARから観た知覚・認識状況を再現し、対向車などの認識性能と安全余裕等の評価指標の導出にも取り組んでいる。時刻同期されたシミュレーションプラットフォーム(以下、シミュレーシ

ンPF)であるため、様々な交通環境の交差点での認識能力と安全余裕の両面の安全性評価に対応できる可能性がある(図25)。今後、交差点評価シナリオの構築や自動運転車のアルゴリズムの開発に貢献していく。

## 5 臨海部実証実験の成果

### 5.1. 目的・背景

DIVPの事業化に向けて、OEMやサプライヤの業務適用可能性を評価し、さらには実環境での利用を促すため、2021年11月からSTEP1【シミュレーション体験】、2022年1月からSTEP2【実践版】として臨海部実証実験を実施した。

### 5.2. 臨海部実証実験STEP1【シミュレーション体験】

図26に示す東京臨海部実証実験フィールドである臨海副都心地域の環境を仮想空間上で再現したシミュレーションモデルの使用体験を実施し、ツールの使用性とシミュレーション実行結果について評価を得た。使用体験にはOEM各社を含む56社から81名のエントリーがあった。使用体験のために、専用ポータルサイトを開設し、

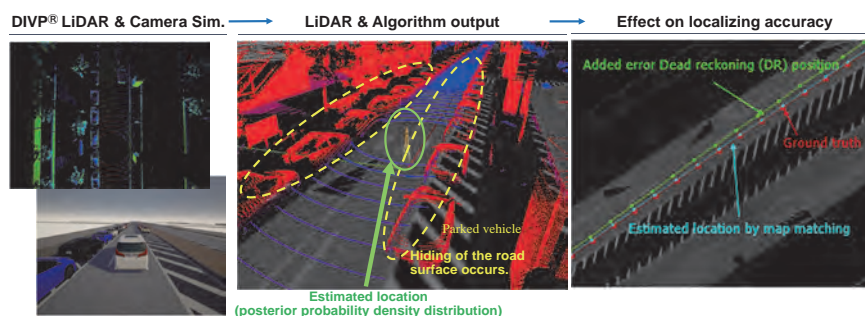


図24 自己位置推定アルゴリズムのロバスト性評価

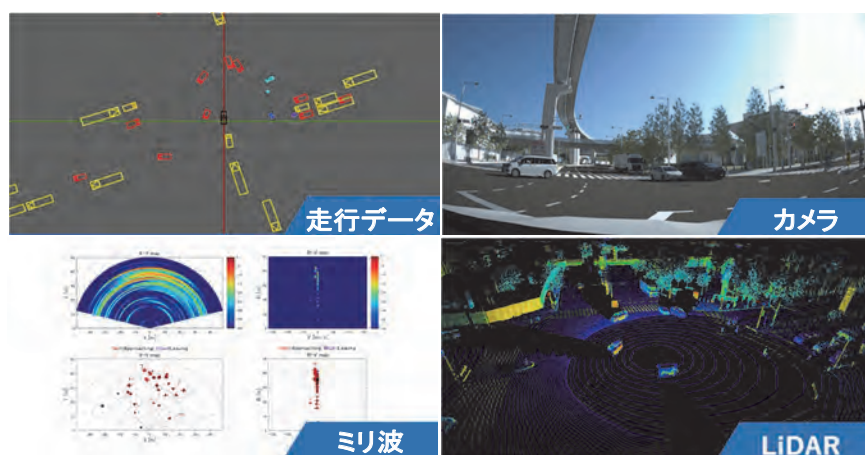


図25 交差点右折時のDIVPシミュレーションでの安全性評価