

DIVP

Driving Intelligence Validation Platform

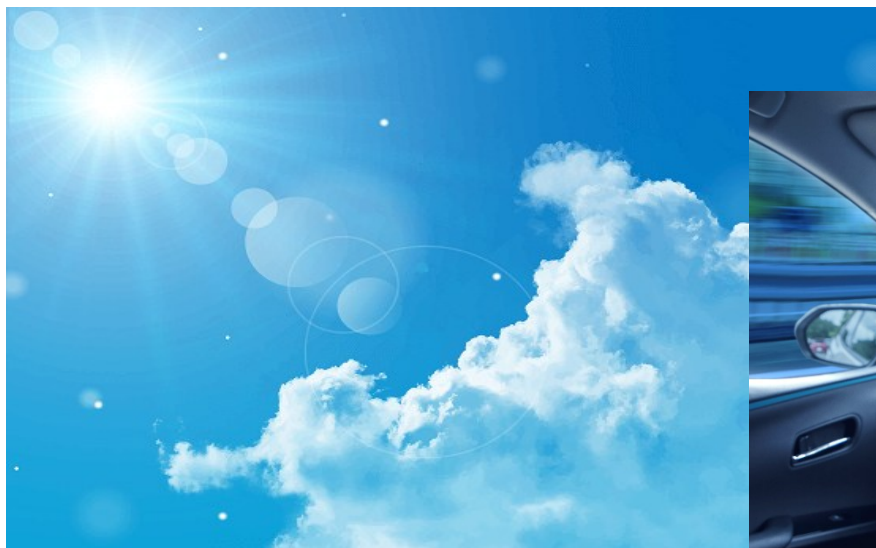


経済産業省
Ministry of Economy, Trade and Industry

令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」_2025年度成果報告

Weather Forecast

2026/3月



AD Safety assurance



For Validation & Verification Methodology

Agenda

- 概要

- 研究成果まとめ

- 研究成果

- 外部発信

概要

これまでDIVP研究コンソーシアムは、自動運転の安全性評価のための、実現象と一致性の高いセンサシミュレーションとして成果をあげてきた。

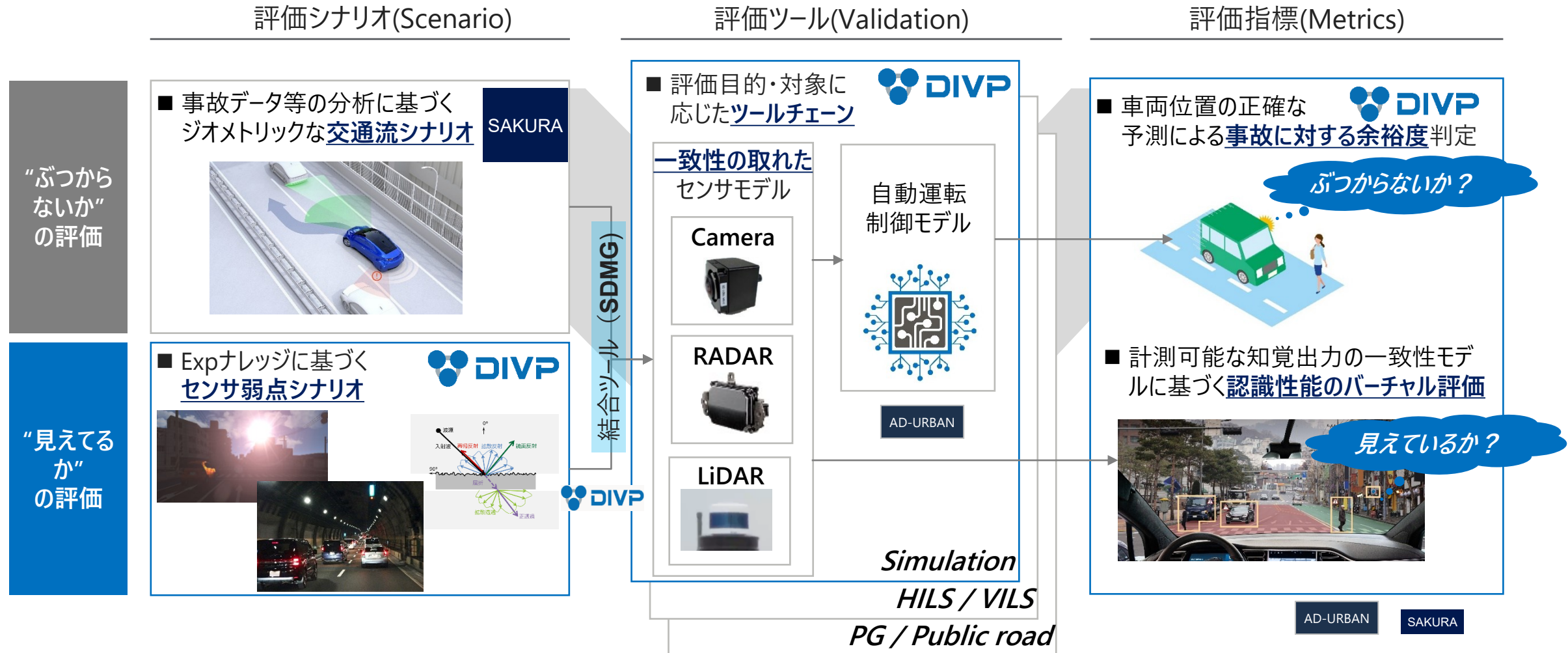
DIVP[®] シミュレーションの特徴と成果

- 実現象と一致性の高い環境・空間・センサのシミュレーションモデル
- シナリオ生成～認識性能評価～車両制御検証を一貫して評価可能なプラットフォーム
- 既存シミュレーションとの結合性の充実



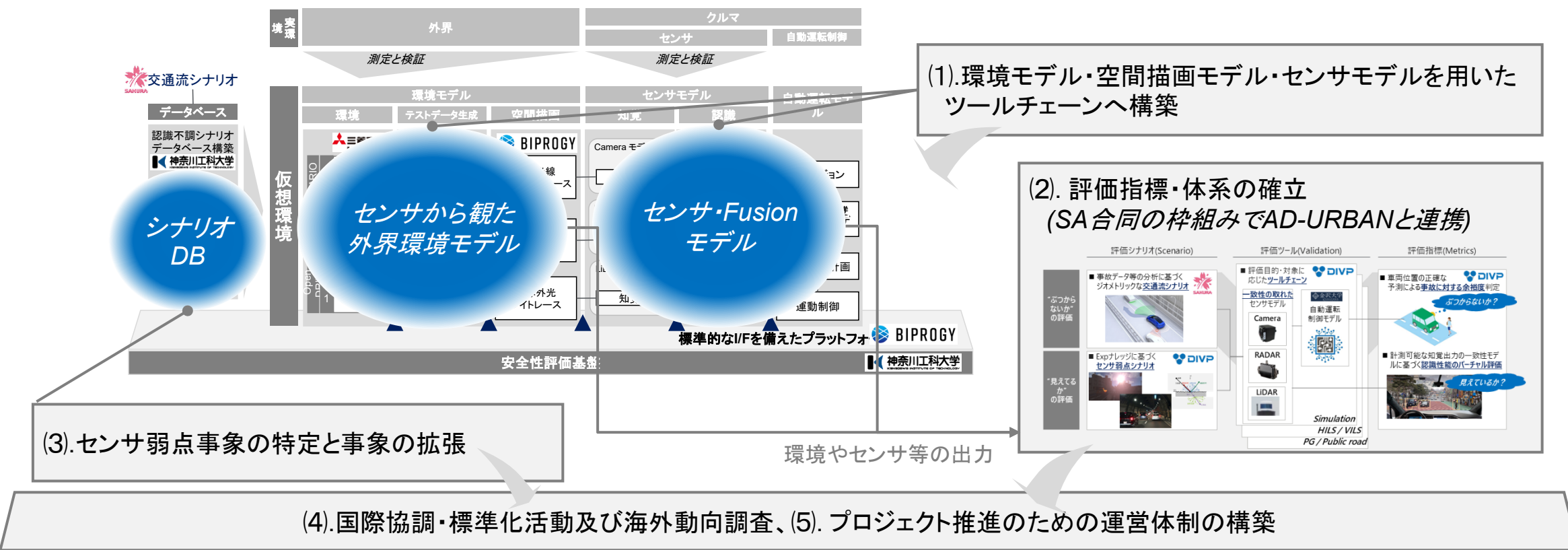
DIVPの2023年度目標;一般道 交差点シナリオでの, 評価指標を含むバーチャル評価を達成する。 (→2024年度以降, 各地域実証実験のバーチャル評価に展開)

自動運転車の仮想空間での安全性評価プラットフォームの構築



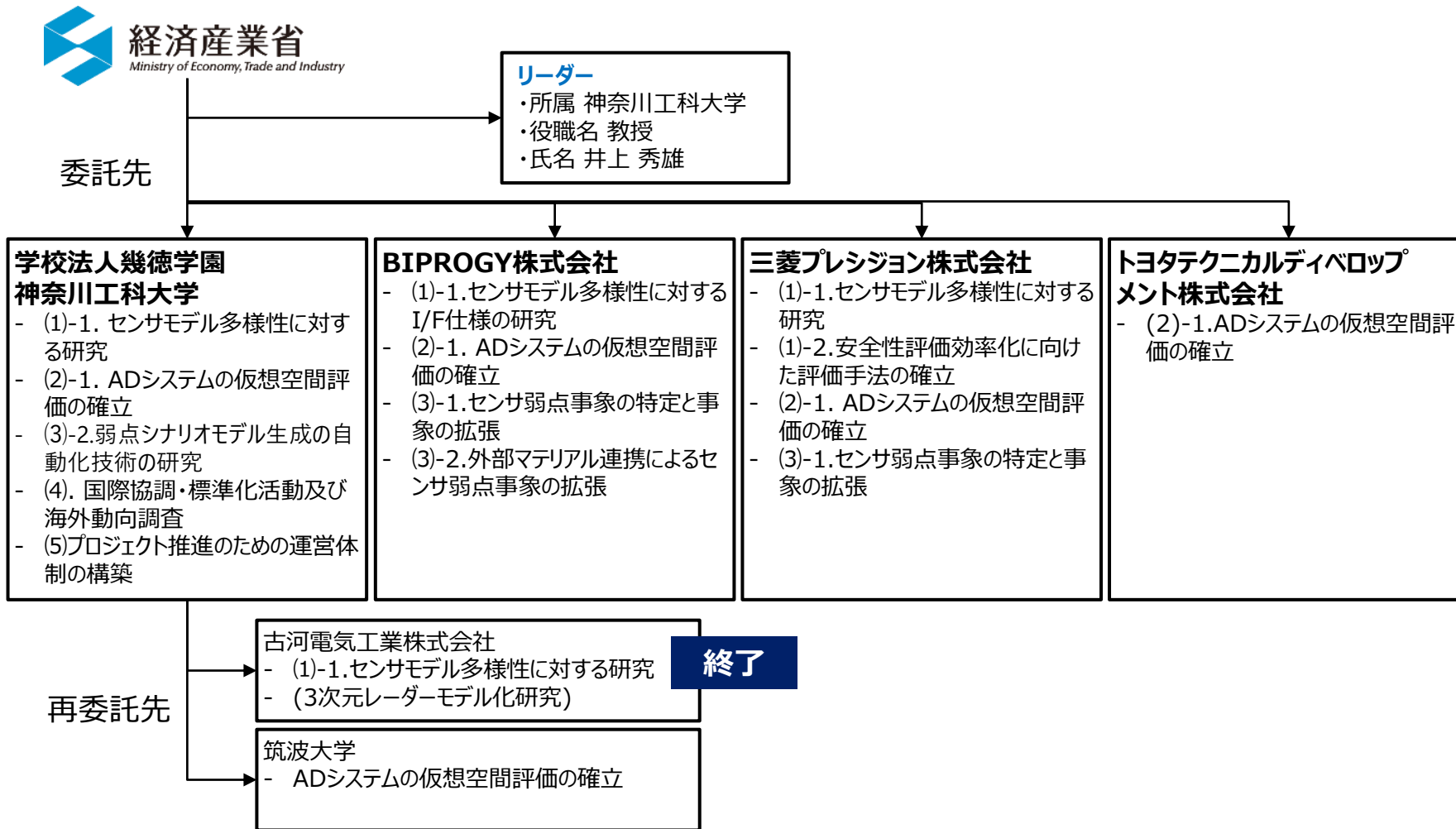
DIVP研究テーマの考え方

- ① (2)の評価指標を含む仮想空間での**安全性評価体系（基盤）**を完成させる。
- ② 多様な走行環境の**各地域実証実験**に対応するために、(2)の**構成要素**となる「**環境（降雪等）モデル**」「**センサモデル**」を**拡張**する →(1)
- ③ リアルで再現性の高いDIVPシミュレーションを支える**反射物性の検証データ（DIVP Material）**を**構造化**し、また、**環境3Dモデル作成の効率化**を進める→(3)
- ④ これらの成果を**国際連携・標準化活動**を通じて**仲間づくり**を実施（日本の安全ブランド維持・向上） →(4)



本提案は、委託先・4機関、再委託先・5機関、計9機関によるDIVP研究コンソーシアムで研究を推進

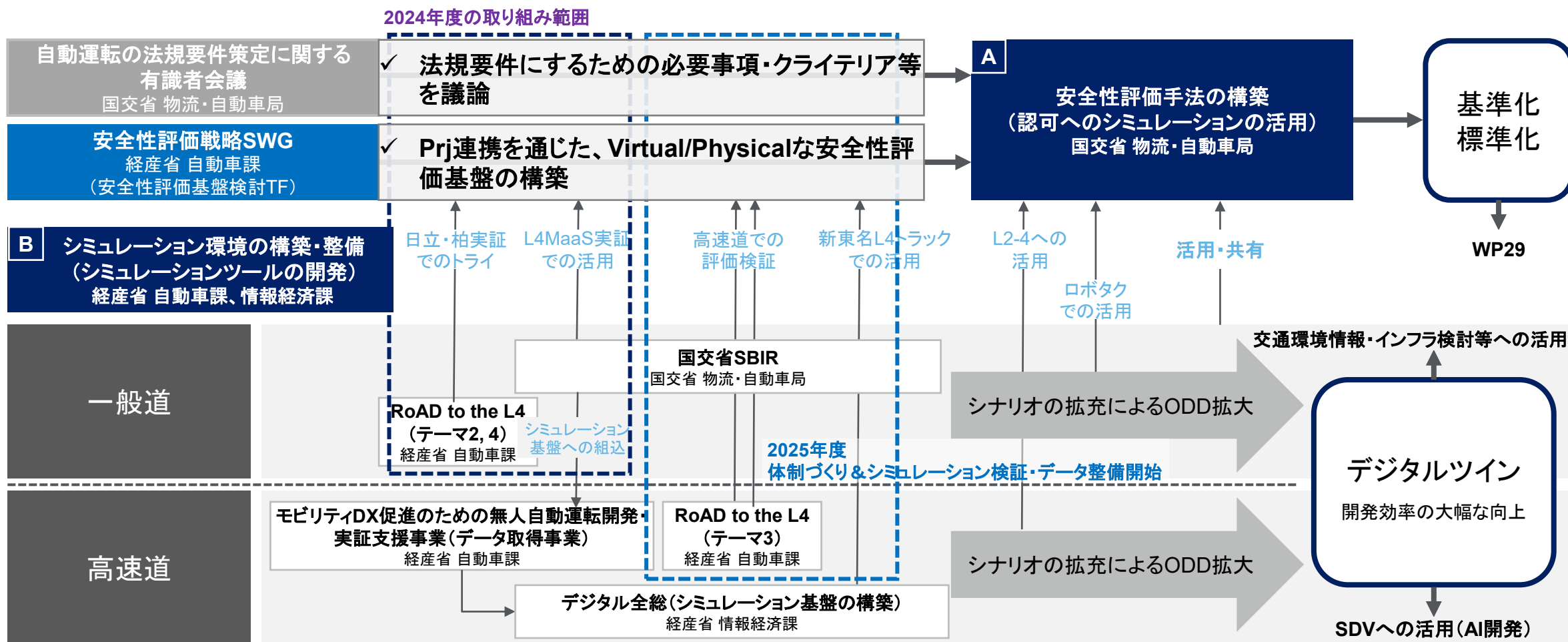
DIVP実施体制



研究成果のまとめ

FY24までに確立したVirtual/Physicalな安全性評価基盤を拡充し、FY25では、認証評価にかかる手法の確立と共に、SVD日系シェア3割を支える開発支援環境提供を進めたい

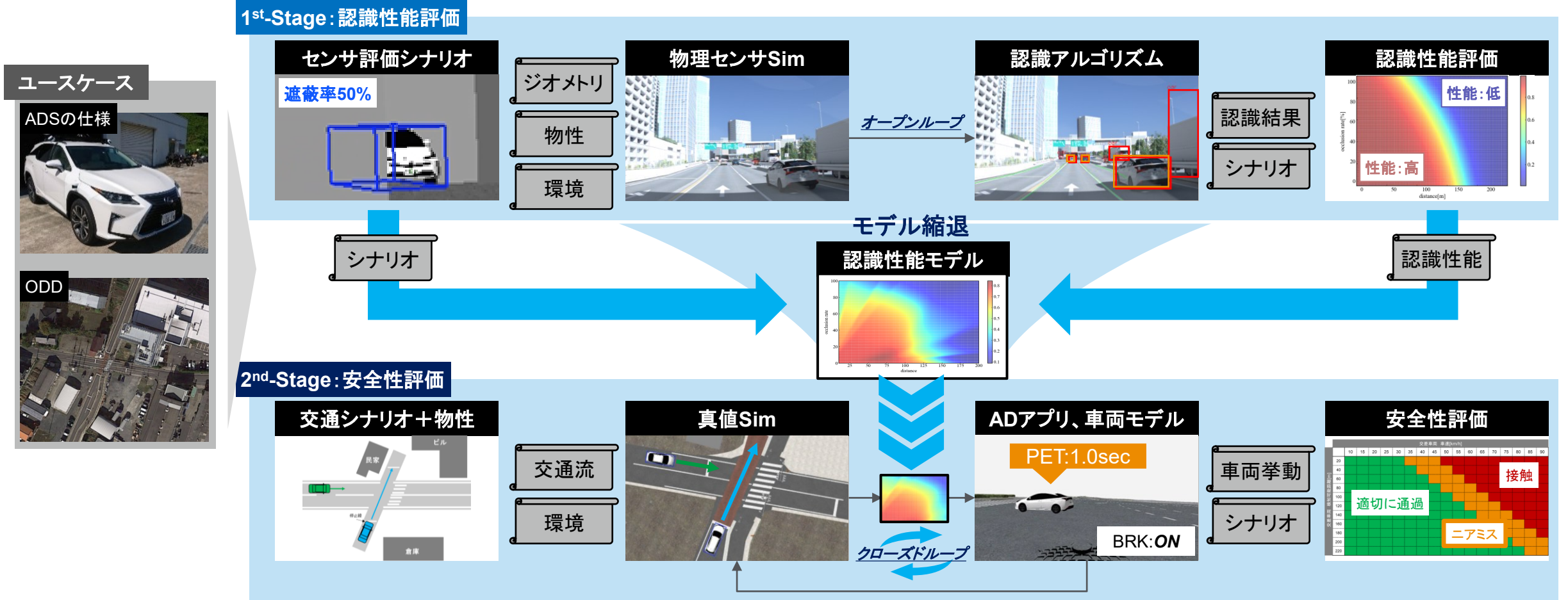
FY25でのシミュレーション環境の構築に向けた体制(案)→A. 認可, B. Virtual-FOT実践の2つを目指す



現在進んでいるプロジェクトの成果を活かしつつ連携強化を図り、将来の認証・認可への活用も視野に入れた“シミュレーション環境の構築・整備”をオールジャパン体制で推進したい

自動運転の性能評価を「認識性能」と「安全性評価」で段階的に評価する2-Stage評価体系を提案 テストユースケースに対して、評価体系の構築と有効性の検証を実施した

2-Stage 評価体系の確立



ゴール: 2-Stage評価体系の構築と実ユースケースに基づく有効性検証を実施

引用: トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト

※ Google Mapsより引用

10 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」



AD-URBAN



検討結果を国内外の規則・枠組みに盛り込むために、他の国プロと連携する体制を構築。 DIVPの成果を国土交通省プロジェクトで報告し、ガイドライン改訂に貢献した

プロジェクト間連携



国際規則・枠組み：WP29 (UNR-ADS, UNR157(LKAS), UNR-171)

ISO等 (ISO26262/21448/8800/3450X, ASAM, SAE int._DDT, …)

国内規則・枠組み：国交省「自動運転車の安全確保に関するガイドライン」等

自動運転（レベル4）の法規要件策定に関する有識者会議 (国交省)

**SBIR
(国交省)**

自動運転の安全性を評価するための
フレームワークや自動運転パッケージの
開発

一般道：L4MaaS・塩尻実証

**デジタル全総
(経産省_情経課)**

車両開発時に安全性評価の手法とし
て有用であるニアミス情報の利活用工
コシステムの構築

高速道：新東名100KM区間

**RoAD to the L4
(経産省・国交省)**

無人自動運転サービスの実現及び普
及、社会受容性の醸成等

一般道：柏の葉実証

自動運転車の安全性評価基盤構築_DIVP/SAKURA/AD-URBAN (経産省_自動車課)

目標:「一致性検証カタログ」完。新モデルの一致性検証完。「新PF」での計算速度の画期的向上

3カ年の研究計画

		FY23	FY24	FY25
		仮想空間での安全性評価フレームワークの開発 (評価指標、モデル拡充、ニーズ調査等)	全国地域実証実験等でのDIVP-SAの適合・改良	全国地域実証実験等でのDIVP-SAの適合・改良 国際標準化への反映
(1)	1.a	次期型Radar(4Dイメージングレーダ)モデルの開発と調査 各地域実証実験でのRadarニーズ調査完	特殊4Dイメージングデータモデルの開発、一致性検証の完 汎用4Dイメージングデータモデルの開発完	汎用4Dイメージングレーダ一致性検証完 計算速度の画期的向上
	1.b	Radar界面着氷の現象解析と減衰モデル完 LiDAR,Radarにおける降雪偽点空間モデル作成	Radar・LiDARの雪面透過・反射現象解析とモデル化 環境モデル拡張、LiDAR霧モデルの一致性検証	残存モデルの一致性検証完 一致性カタログ整備完
	1.c		マルチセンサへの対応 新PF構築 外付けカメラ(水滴付着)モデル作成	「新PF」 実証実験での活用 新PFの計算速度の画期的向上
(2)	1.a	一般道ユースケースの整理とトライアル センサ要件に基づく効率的なシナリオ定義 安全リスクに基づくクリティカルシナリオ定義	ユースケース→シナリオ要素の決定手法	ランダムシナリオを用いたリスクシナリオ定義 OSS Autoware評価を事例とした 統計的な安全性評価指標の提案
	1.b	安全リスク評価指標の提案と効果検証		トラッキング機能の性能向上
	1.c	認識性能評価の実施&縮退化技術の検証	クローズドループSimによる安全性リスク評価	安全リスク&ジオメトリSimによるODD検証
(3)	1	外部シナリオデータ接続検証、データ変換機能、IF開発 地図データ活用によるモデル作成・計測データ取得の効率化 テストコース構築、検証	実交通流シナリオの接続性強化・シナリオ作成の自動化 高速/一般道路構築、検証	シナリオの作成環境向上・生成技術へのユースケース反映 マップ3Dモデル生成技術の確立、効率化 複雑な環境の道路での検証、他ツールとの連携
	2	DIVP Material DB設計・OpenMATERIALのASAM提案	DIVP Material 実装作業	標準規格データの展開・再利用/ASAM OpenMATERIAL 3D V2.0推進
	3		カメラ弱点抽出モデルのエンハンス	データベースの利用・活用に向けた試行、検証
			カメラ弱点抽出モデルの評価テスト	各種センサの計測データのデータベース整備

テーマ(1)の一部を除き、積み残し課題はなく目標を達成している。FY25はFY24の成果を基に研究を進めるとともに、新規課題に対してアプローチする

DIVPの成果と今後の取り組み内容_1/2

実施項目	FY23~25実施計画	研究成果	
(1). 環境・空間・センサモデル、ツールチェーンへ拡張(実機評価での活用)	1-1. センサモデル多様性に対する研究	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4D Imaging Radar「汎用モデル」の一致性検証カタログ化完了 ➤ 計算速度の画期的向上、新PF反映のため 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 最新の動向を踏まえた汎用4Dイメージングレーダモデルの開発完了 ➤ Radar信号処理「方位FFT」に特化し最大50%短縮を実現
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 残存モデル開発・検証(霧・路面・降雪・外付けカメラ水滴付着) ➤ 「環境モデル」の一致性検証完了 ➤ クレディビリティ・アセスメントのドキュメントの完結 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 雪路面に対するカメラ・LiDAR・Radarのモデル作成完了 ➤ 霧偽点LiDARモデル作成完了 ➤ 約90項目のクレディビリティ・アセスメント資料を完成
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 「新PF/マルチセンサ」の他のプロジェクトへの応用のための技術開発 ➤ 計算速度の画期的向上 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 高速化手法「アップスケーリング」「部分レンダリング」を開発完了し70%~90%処理時間短縮 ➤ SBIR、デジタル全総プロジェクトへの応用を実施
(2). 評価指標・体系の確立	2-1. ADシステムの仮想空間評価の確立	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SimによるADシステム認証に向けたテストケース検証 ➤ RttL4テーマ4 ODDにおける他ユースケースの実行 ➤ Tire IV Autoware(他プロジェクト)との連携 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 認識性能・安全リスクをシミュ評価可能な2-Stage評価手法の開発完了 ➤ ランダムシナリオとSCT指標の統計分析による自動運転の安全リスク評価を完了 ➤ 実証実験プロジェクトとの連携評価による手法の有効性を検証完了
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ ODD認識リスクと認識性能を紐づけた評価の実施 ➤ トラッキング機能の評価と性能向上検証 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ カメラ・LiDAR・トラッキングの性能評価/性能向上をさせるシミュ手法の完成 ➤ ユーザ試供提供可能なツールチェーン事例の構築完了
	2-2. ドライバ・歩行者行動モデルの研究	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ジオメトリ的なデータ取得とモデル精度向上 ➤ Tire IV(他プロジェクト)との連携 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 歩行者軌跡推定・横断挙動モデル化の基本的な枠組みを構築 ➤ 歩行者モデルはテーマ(3)-1の交通流シミュレーションで活用

FY24の目標に対して積み残し課題はなしと認識。次年度は、FY24の正解を深めるべく継続して研究に取り組むと同時に、実装に向けた取り組みを強化する方針

DIVPの成果と今後の取り組み内容_2/2

実施項目	FY23~25実施計画	研究成果	
(3).センサ弱点DBの構築と、弱点シナリオモデル生成の自動化技術	3-1.センサ弱点事象の拡張とDB化	<ul style="list-style-type: none"> 外部データから多数のシナリオを自動生成する機能を開発・適用し、各地域の実証実験で必要なシナリオを生成・導入した。 交通流シナリオからSCTを用いて、リスクシナリオを抽出する仕組みを構築した。 地図・計測データで3Dモデル作成を効率化し、作成時間を約40%短縮した。 塩尻市の自動運転バス走行ルート・V2X市街地・作業車・作業員などの3Dマップや物標アセットを構築し、地域実証実験へ適用した。 	
	3-2.DIVP Material構造の実装の完成、及び、標準化展開	<ul style="list-style-type: none"> 仮想ADS/ADASに汎用利用可能なデータ／モデルリポジトリの研究 リポジトリデータ解析 & 情報抽出システムの研究 V1.0での課題解決にむけて、ASAMIにてOpenMATERIAL 3D V2.0プロジェクトを立ち上げる DIVPプロダクトへのV2.0仕様の早期実装 	<ul style="list-style-type: none"> リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリを構築し、リスク情報検索システムを実装完了。 DIVP Materialの設計と国際標準化への提案を実施、世界初の環境モデルフォーマットOpenMATERIAL 3D V1.0のリリースを達成。DIVPトライアルパッケージにて上記データ普及にも貢献。
	3-3.計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充	<ul style="list-style-type: none"> 各種センサの計測データのデータベース整備 データベースの利用・活用に向けた試行、検証 	<ul style="list-style-type: none"> 生成AIによるアノテーション／リスク分析と軌跡などの情報を統合し、危険交通シーンを再利用可能なデータベース資産として体系化した 交通文脈・ODD／軌跡情報などの条件をプロンプトとして、物理整合性を担保した危険シーンシナリオ映像生成を研究利用可能とした
(4)(5)海外動向モニタリング・戦略的な研究推進・国際連携・標準化	4.国内のAD safety assuranceの戦略策定	<ul style="list-style-type: none"> Prj連携を継続し、L4サービス実装における、安全性認証へのSim活用の具体化を推進 	<ul style="list-style-type: none"> 研究成果を元に、Road to the L4の他、各種政府支援Projectにおける課題解決を支援し、実用性を確認した
	5.国際連携の推進	<ul style="list-style-type: none"> IAMTS/ASAMへの参画と国内関係者との協議を通じた、俯瞰的な観点から優位性のある実効的な国際基準・標準化への日本提案を進める(IAMTSへの参加を検討中) 	<ul style="list-style-type: none"> 国内外の標準化Projectと連携を通じ、2Stage評価手法や、SCTを使った評価結果の定量化等について、国際的な合意形成をはかった 独ASAMのOSIやOpen material等へ、研究で得られた考えかたを反映した

DIVPプロジェクトの成果物のまとめ

競争力要件	成果物	これまでの研究成果	テーマNo.
評価目的に合わせたシミュレータの構築	2-Stage PFの構築と実用化	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 交差点クリティカルシナリオのADSセンサ評価完 ✓ 先進モビリティにおいて実用化 (RttL4テーマ4連携) 	(2)-1.a.b.
	1st 認識リスク - 2nd安全リスクをつなげる統合評価	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 認識性能モデルによるセンサSim-ジオSim接続(ADU連携) 	(2)-1.a.
安全性評価手法の妥当性	SCT(Safety cushion time)指標を安全性評価指標として開発	<ul style="list-style-type: none"> ✓ SCT開発し検証完 ✓ Autoware.Universe、塩尻テストケースにて実装評価完 	(2)-1.a.c.
シナリオ要件の確立	マップ・物標アセットの拡充	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 様々なシミュレーションを可能とするマップ・物標アセットの整備完 ✓ マップ3Dモデル作成工数35%減の効率化達成 	(3)-1
	ODDのためのクリティカルシナリオの生成方法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実証実験Prjと連携しクリティカルシナリオ類型化 ✓ 横断歩道歩行者行動モデル完 	(2)-1.a. (2)-2
	ニアミスデータベース	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 生成AIによるFOT映像からのリスクシーン抽出、アノテーション 	(3)-3
	標準化・利活用	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ASAM 標準規格(OpenMATERIAL 3D V1.0) へのDIVP仕様展開達成と、DIVPプロダクトへ反映し、試行パッケージにて市場展開実施 	(3)-2
シミュレーション一貫性	環境・センサモデル拡充 (認識リスク評価のため)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「雨」「霧」「雪」モデルの試作ラインナップ完 ✓ マルチセンサ対応新PF構築完 	(1)-1.a.b.c.
	一貫性検証結果のドキュメント整備、ライブラリ化完	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 約90項目のクレディビリティ・アセスメント資料完 	(1)-1.a.b.c.
国際標準化	国際動向の把握と連携の実施	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IAMTS、ASAM等との協調を継続し、認識要件、SCT指標を訴求 	(4)(5)
社会・ビジネス実装	DIVPライセンスの展開が進展	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国内企業13社/16ライセンス使用中、アカデミア研究33ライセンス、海外4ライセンス提供 	V-Drive

研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

テーマ(1)環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

3年間の計画と成果

実施テーマ	成果
■ 4Dイメージングレーダモデルの開発	<ul style="list-style-type: none">■ 4Dイメージングレーダの最新の動向を踏まえ、汎用4Dイメージングレーダモデルの開発を完了■ 特定レーダモデル(古河電工、古川IAS)の開発を完了■ RADAR シミュレーションノウハウ文書の作成完了
■ 環境モデルの拡張	<ul style="list-style-type: none">■ センサ弱点環境へ拡充していくため理論値及び実験から環境モデル生成を実施■ 雪環境 雪路面に対するカメラ・Lidar・Radarのモデル作成完了■ 霧偽点Lidarモデル作成完了■ これらと以前からあるエビデンスにて、クレディビリティ・アセスメント資料をまとめ上げた
■ マルチセンサへの対応	<ul style="list-style-type: none">■ 最新の自動運転マルチセンサ(23センサ)システムに対応可能(同時シミュレーション可能)なDIVP-PFを更新■ 更なる高速化手法(アップスケーリング機能・部分レンダリング機能)を開発完了
■ 所感(課題)	<ul style="list-style-type: none">■ 最新の自動運転や各種センサ情報を入手しながらの開発が必要なため、最先端の技術開発を進めていくことが重要であった。特にRadarは情報が乏しく苦労したが世界トップレベルのシミュレーションモデルが出来上がった。■ WP29に示されているように認可・認証に必要なシミュレーションの妥当性を示すエビデンス(クレディビリティ・アセスメント)が完成。今後提案に向けた活動としていく

テーマ(1)-1.a

- ① 4D Imaging Radar 汎用モデル開発 (KAIT)
- ② 4D Imaging Radar 特定モデル開発 (古河電工)
- ③ Radar画像に基づく自己位置推定技術 (豊田工業大学)
- ④ Radarシミュレーションのノウハウ文書の整備

成果まとめ

- 表面的な流行語「4D Imaging Radar」の水面下で隠れて進みつつある、実態がなかなか見えなかった技術革新を明らかにし、ユーザが期待するRadarモデルの開発をタイムリーに行った。
- その過程で、Radar信号処理の基盤である数学アルゴリズム（FFT、Matching Pursuit）のレベルから技術革新が不可避な情勢が判明し、下記の基礎研究成果も出した。

FFT	Radar信号処理「方位FFT」に特化し、計算時間を最大50%短縮できるアルゴリズム。
Matching Pursuit	必須となる巨大な数値テーブル「辞書」のサイズを、大幅縮小できるアルゴリズム。
	計算時間を最大10%短縮できるアルゴリズム。

- 成果物一覧：

DIVP Radarモデル開発	1件 研究完	RadarModelV3（Advanced Doppler Division MIMO法）
	1件 試作完	RadarModelV4（Random Massive Time Division MIMO法）
特許	1件	2026年3月 ミリ波レーダ信号処理
学会発表	1件（予定）	2026年5月 自動車技術会 春季大会
関連する 세미나 講演	1件	2026年3月「ミリ波レーダ技術の基礎と車載レーダおよびバイタルセンサへの応用とそのポイント ～Doppler Division MIMO～」

この3年間の、自動運転界における Radar のニーズ

	Camera	LiDAR	Radar
テスラ、Turing	◎	×	×
Waymo	○	○	○
Mobileye	○	△	○
日産	○	○	○

「カメラのみによる E2E 自動運転」がブームのように言われるが、実際はテスラと Turing だけ。(上図)
 トップメーカーの Waymo は、今も Radar 搭載数を減らさない。(下図)

Waymo 第6世代自動運転システム：次世代ロボタクシーの全貌

究極のセンサー構成と性能向上

第5世代 (現行)	センサー数を42%削減し、コストを大幅カット、ユニットコストを50%以上削減	第6世代 (新型)
29 カメラ		13 カメラ
5 LiDAR		4 LiDAR
6 レーダー		6 レーダー

Zeekr製ロボタクシー専用車「Ojai」 Hyundai「IONIQ 5」
 ロボタクシー専用車「Ojai」と「IONIQ 5」2026年までに最大5万台供給を目指す。

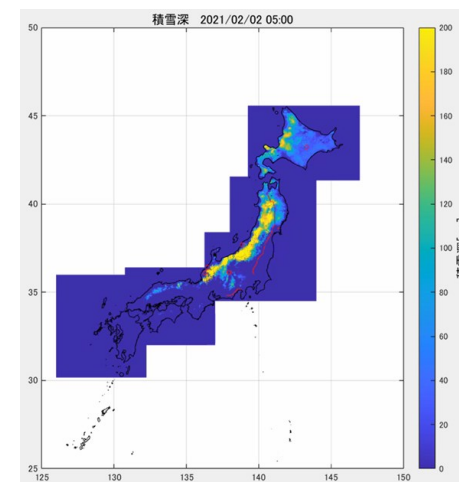
1700万画素カメラが500m先までを認識
 人間の視覚を超える高解像度イメージャーにより、夜間や強い逆光下でも正確な識別が可能。

「ステア・バイ・ワイヤ」による完全無人設計
 将来的なハンドル撤去を見据えた設計により、最大級の客室空間と利便性を提供。



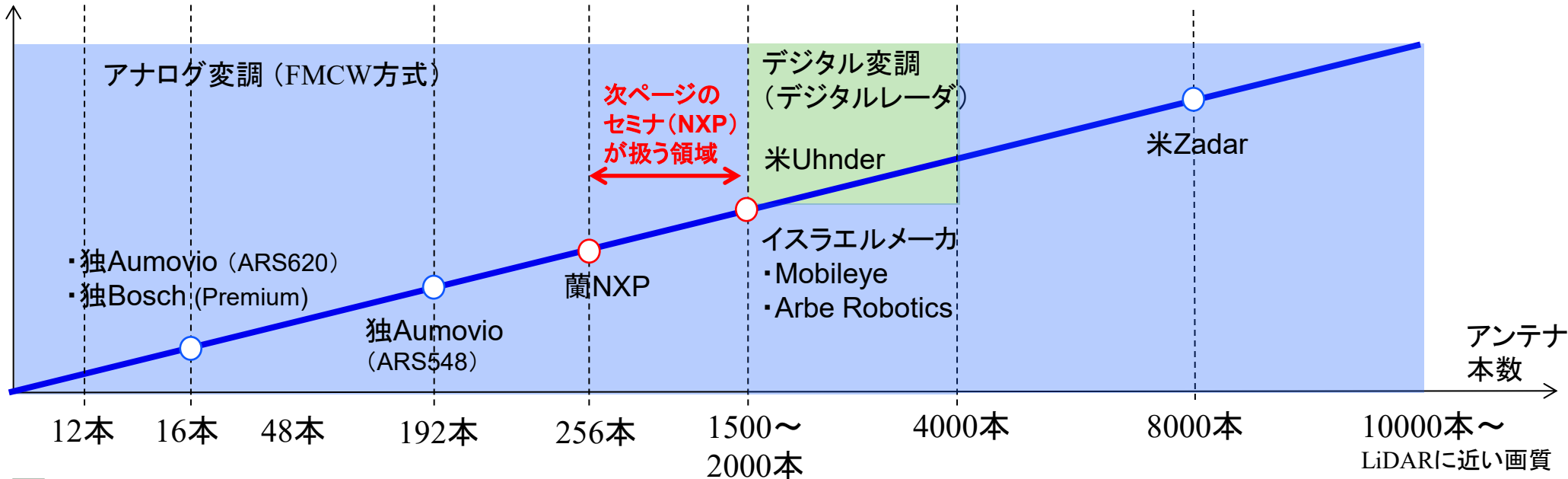
WaymoがRadarを減らさない理由は、気候が穏やかな地域から、**気候が厳しい地域へ展開中**のため、Radarの高い**耐環境性**を重視したと推測できる。

日本の国土もまた、1/3～1/4が降雪地帯（右図）であるなど、耐環境性が重要。



この3年間の、自動運転界における Radar の技術動向

性能
 ・方位分離性能
 ・点群数 ⇒ AI連携 (Rich Point Clouds)



神奈川工科大における DIVPシミュレータ開発

RadarModel V1	SIMO	
RadarModel V2	(初期の) Time Division MIMO + 位相補償	
(なし)	(初期の) Doppler Division MIMO	
(なし)	(初期の?) Time Division MIMO + Vmax Extension	
RadarModel V3 (今期開発完予定)	製品例あり	次ページセミナーで対応可と主張 (Advanced) Doppler Division MIMO
RadarModel V4 (検討中)		(Random Massive) Time Division MIMO

本命技術はこの2つに絞られた、と認識している。

(つづき) 最新のRadar原理は、2つに絞られた。

TWO DISTINCTIVE MIMO

Random Massive-Time Division MIMO

48T48R (2K virtual antennas)

- 48 TX
- 48 RX
- 2K (2304) virtual antennas
- 50Mbps ADC
- 5 μ s acquisition
- 256 samples per chirp
- 7 μ s pulse
- 28-34ms frame
- 4096-4800 chirps total
- 85-100 chirps per TX
- 1 TX transmitting at a time
- Randomly permuted transmission sequence
- 48 Doppler FFT-4k's per RX
- 2304 Doppler FFT-4k's per frame

Advanced Doppler Division MIMO

16T16R (256 virtual antennas)

- 16 TX
- 16 RX
- 256 virtual antennas
- 40/80Mbps ADC
- 26/13 μ s acquisition
- 1K (1024) samples per chirp
- 34/17 μ s pulse
- 34ms frame
- 1024/2048 chirps total
- 1K/2K (1024/2048) chirps per TX
- 16 TX transmitting at the same time
- Advanced DDM waveform
- 1 Doppler FFT-1K/2k per RX
- 16 Doppler FFT-1K/2k's per frame

PUBLIC 11 NP

② 「(Random Massive) Time Division MIMO」

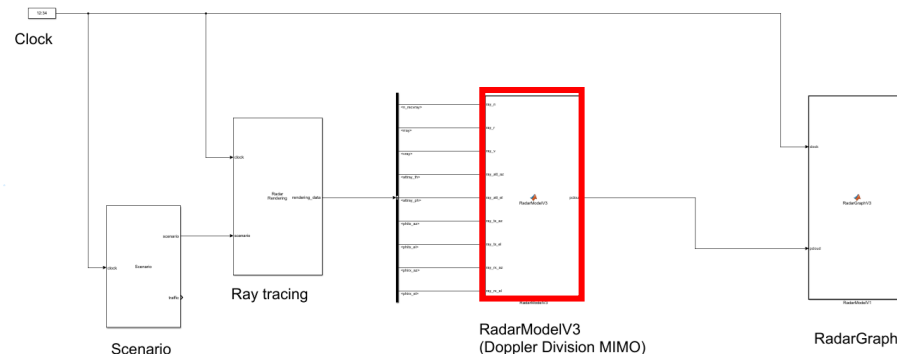
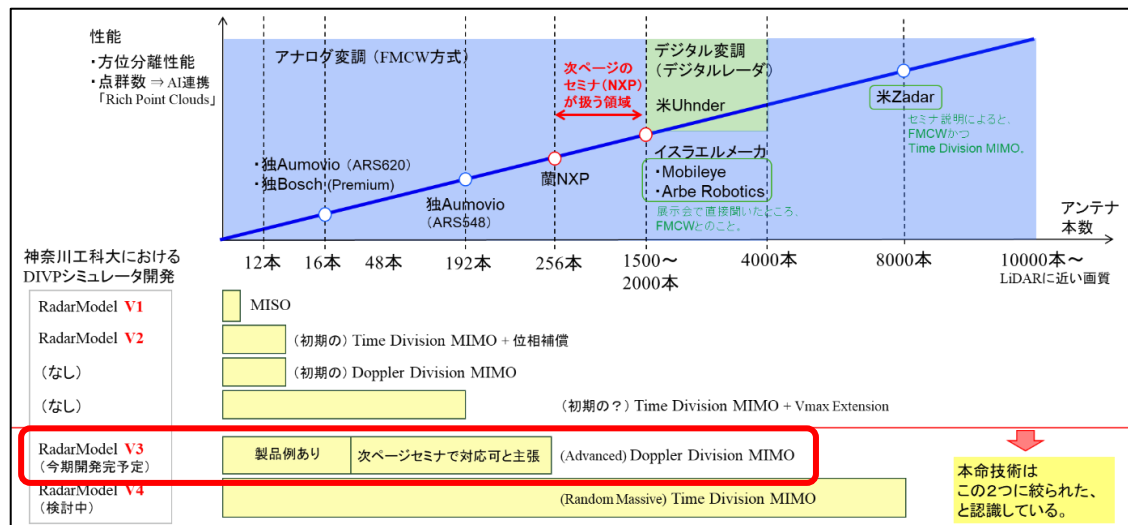
- ・ アンテナ2000本を狙える。
- ・ 計画外だったが、「DIVP RadarModelV4」として技術的目途を立てた。

① 「(Advanced) Doppler Division MIMO」

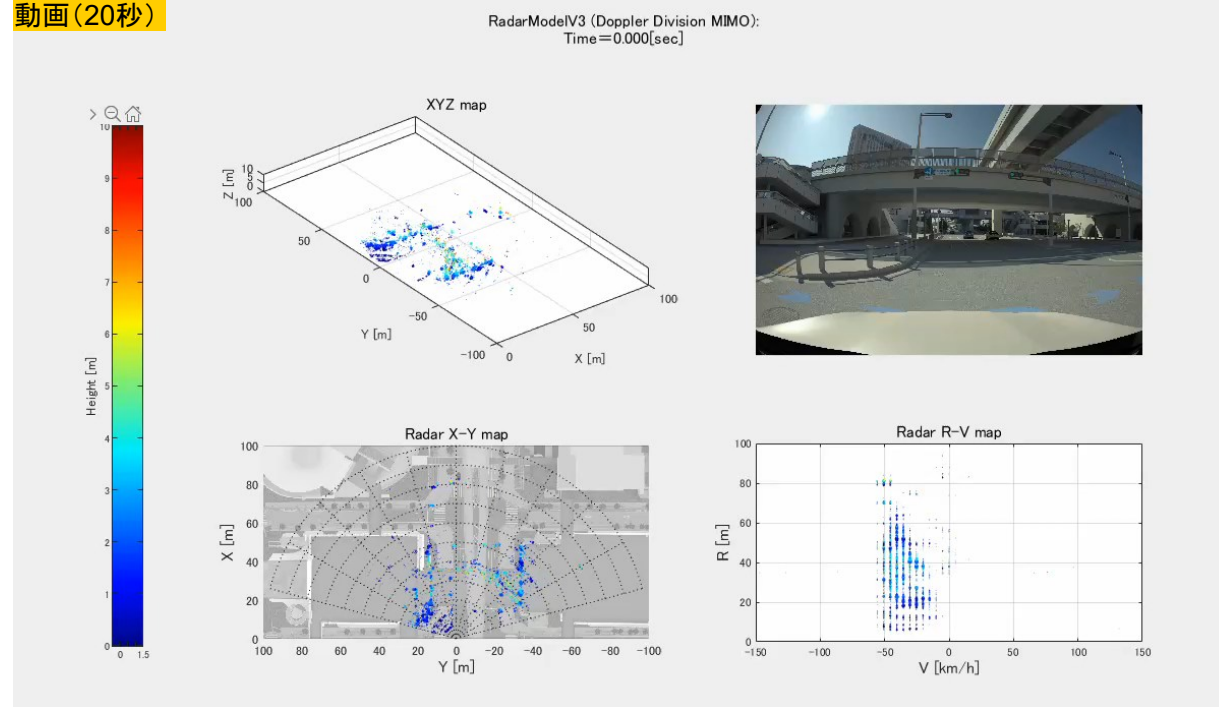
- ・ アンテナ256本を狙える。
- ・ 今期、「DIVP RadarModelV3」として開発。

<https://www.nxp.com/design/design-center/training/TIP-SPARSE-ARRAY-APPRO-IMAG-RADAR-COMP-MIMO>

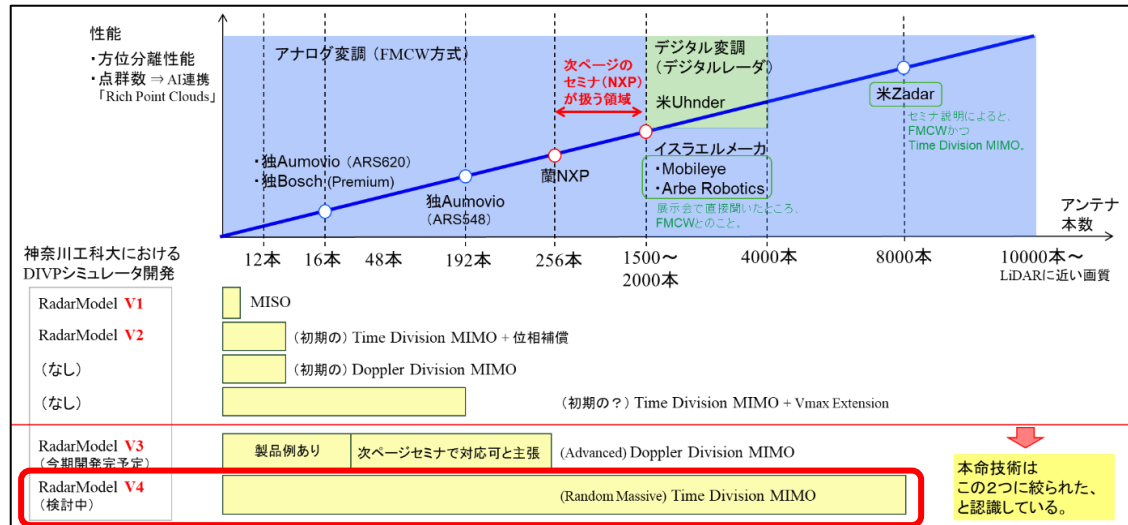
トレンドを先回りしたRadarモデルを、計画通り開発完。 「RadarModeIV3」、原理 = ① Advanced Doppler Division MIMO



動画 (20秒)



計画外の新たに見付かった有望技術についても、試作完。更に上位互換技術を発明。 「RadarModeIV4」、原理 = ② Random Massive Time Division MIMO



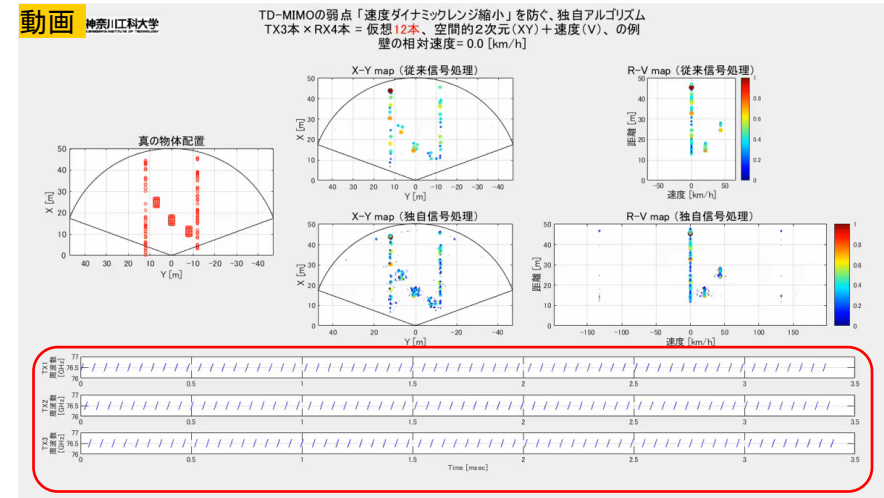
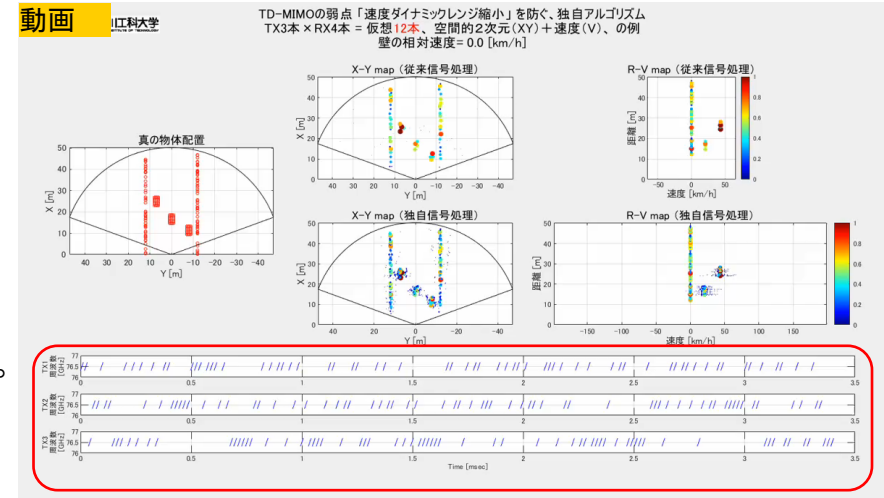
有望新技術(*)の
試作例:

(*)複雑過ぎて、
現在の市販チップ
では実現できない。

改良・
問題
解決

上位互換(*)の
独自技術例:

(*)単純で済み、
現在の市販チップ
でも実現できる。



テーマ(1)-1.a

- ① 4D Imaging Radar 汎用モデル開発 (KAIT)
- ② 4D Imaging Radar 特定モデル開発 (古河電工)**
- ③ Radar画像に基づく自己位置推定技術 (豊田工業大学)
- ④ Radarシミュレーションのノウハウ文書の整備

成果まとめ

- まだまだ 4D Imaging Radar 実製品が少ない中で、DIVPの研究手法「センサモデル開発 ⇒ 実機で一致性検証」に使える実機を調査したが見当たらず、やむを得ず自社（古河電工）の試作品を用いた。（2023年度）
結果、前節のKAIT研究とは、下記の棲み分けを行った。（2024年度）

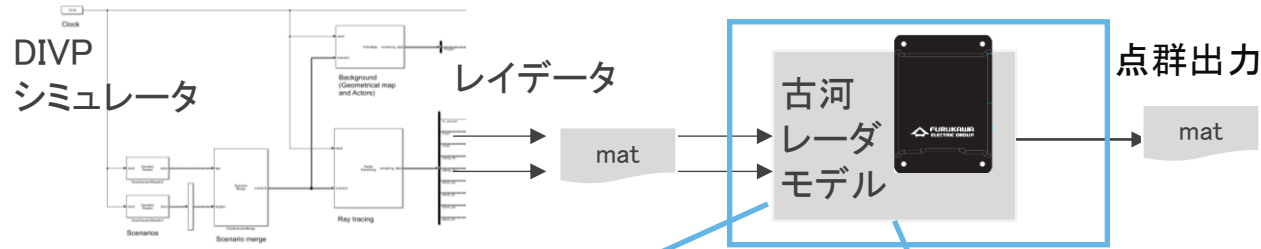
① KAIT担当	「汎用モデル」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 注目されつつあった新技術 Doppler Division MIMO にさえ拘らず、これから主流となる技術を全て網羅して行く。 ・ パラメータ変更するだけで多くの実製品を模倣できるような、汎用的なモデルを目指す。
② 古河電工担当	「特定モデル」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定の実機（古河電工）に特化する代わりに、研究を加速する。

- 研究内容としては、モデル開発後の「一致性検証」に比重を置いた。「瞬間々々のRadar画像」は不鮮明なので、SLAMで用いられる「累積Radar画像」を用いた。お台場エリアにて実測結果とDIVPシミュレーション結果を比較したところ、良好な結果を得た。
- 成果物一覧：

DIVP Radarモデル開発	1件	（現時点では一般には非公開）
学会発表	1件	2025年9月 電子情報通信学会 ソサエティ大会「4Dレーダによる仮想走行の検討」

開発した、特定機種種の4D Imaging Radarモデル

ユーザ使用状況に近い、スペシフィックな(特定の)レーダモデルを開発。



・ユーザ固有特性の割り当て

・現行活用進む変調方式の導入

アンテナ

実機アンテナは必ずしも、理論式通りの特性とならない
電磁界シミュレータが想定する振幅・位相特性をモデルに反映

古河レーダモデル

振幅テーブル

位相テーブル

スペシフィックなデータの直接適用

変調方式

DDM (Doppler Division Multiplexing) 方式

DDM (Doppler Division Multiplexing)

※色違いは初期位相違いのイメージ

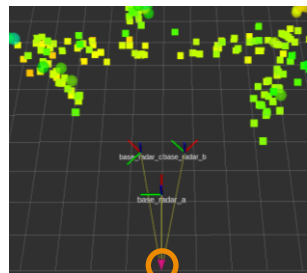
各々のチャープで位相変調を実施

受信で得られるレンジドップラマップ

速度レンジの取得のためDDMを採用

実験車と走行コース

プロジェクト実験車両にレーダ実機を搭載。

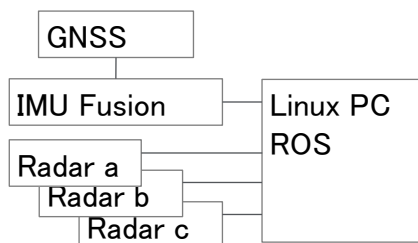


3レーダ
点群同時
出力

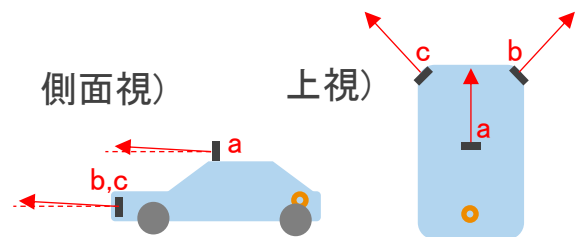


IMU
自車中心とする

・センサ接続



・レーダ設置条件



4Dレーダ3台を車両に搭載し、所定の点群出力を可能化

DIVPにてMap開発が進んだお台場エリアのうち、GNSS品質が良好なコースを選択。

ID	適用性	コース	点群	GNSS精度	周辺車両	3Dマップ
1	★	台場北2 台場中央 往復	○	○→×	△	○
2		台場北2 台場中央 周回	△	×	×	
3	★	台場南1 産総研 周回	○	○→×	○→×	○
4		台場南1 テレコム 周回	△	×	○→×	
5		有明1 周回	△	○	○→×	△
6		台場北3 青海 海岸沿 帰路	△	○→△	×	

コースID1



コースID3



- 8 (DGNSS 高精度 1cm)
- 4 (DGNSS 粗精度 1m)
- 2 (単独測位 10m)
- 1 (衛星なし)

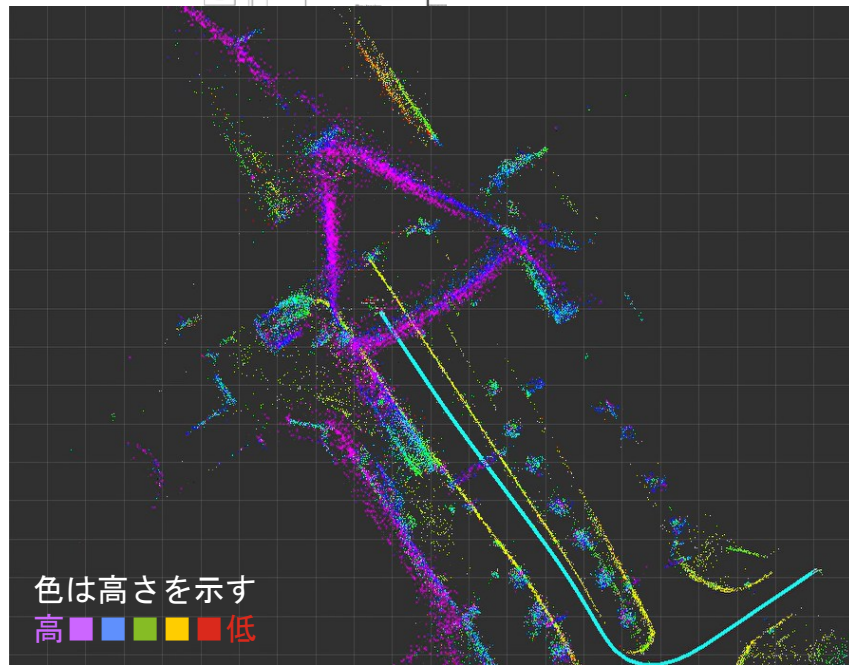
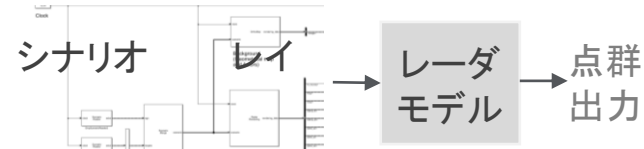
上図コース前半は位置精度良好にて選択

Simと実測の一致性検証結果

実測との一致性も確認し、高さ情報出力含む4Dレーダにおける、バーチャル評価の実現性を確認。

自動運転に向けたセンサの高度化、3D→4D→イメージングレーダという進化の中
周辺認識、SLAM、自己位置推定に向けた、4D点群による走行路周辺構造マップをレーダにて生成した。

シミュレーション



実機



古河
レーダ



KAIT
車両



色は高さを示す
高 低

DIVPシミュレーション+古河電工レーダモデルにおける点群マップ化を実現し、4Dレーダの事前検証のイメージを示した。

テーマ(1)-1.a

- ① 4D Imaging Radar 汎用モデル開発 (KAIT)
- ② 4D Imaging Radar 特定モデル開発 (古河電工)
- ③ Radar画像に基づく自己位置推定技術 (豊田工業大学)**
- ④ Radarシミュレーションのノウハウ文書の整備

成果まとめ

- DIVPシミュレータのRadar出力（点群）をベースに、令和4年度までに、基礎的な認識技術（クラスタリングやトラッキング）を開発した。
- これを踏まえ令和5年度は、更に高度な機械学習による認識技術へと発展させ、最終的にはSLAM（自己位置推定）に直結する要素技術の開発を目指した。
具体的には、不鮮明なRadar出力（点群）から、鮮明な道路形状（Free Space）を推定する技術を研究した。
- 機械学習によってRadar出力（点群）を鮮明化する技術は、海外の先端メーカー（Aumovio、Mobileye、Arbe Robotics、Zadar等）がこぞって研究中の有望分野だが、限られた研究期間では十分な学習データの収集が困難で、3つの方法を試みた。
最終的には③にて、非常に高い正解率を確認した。

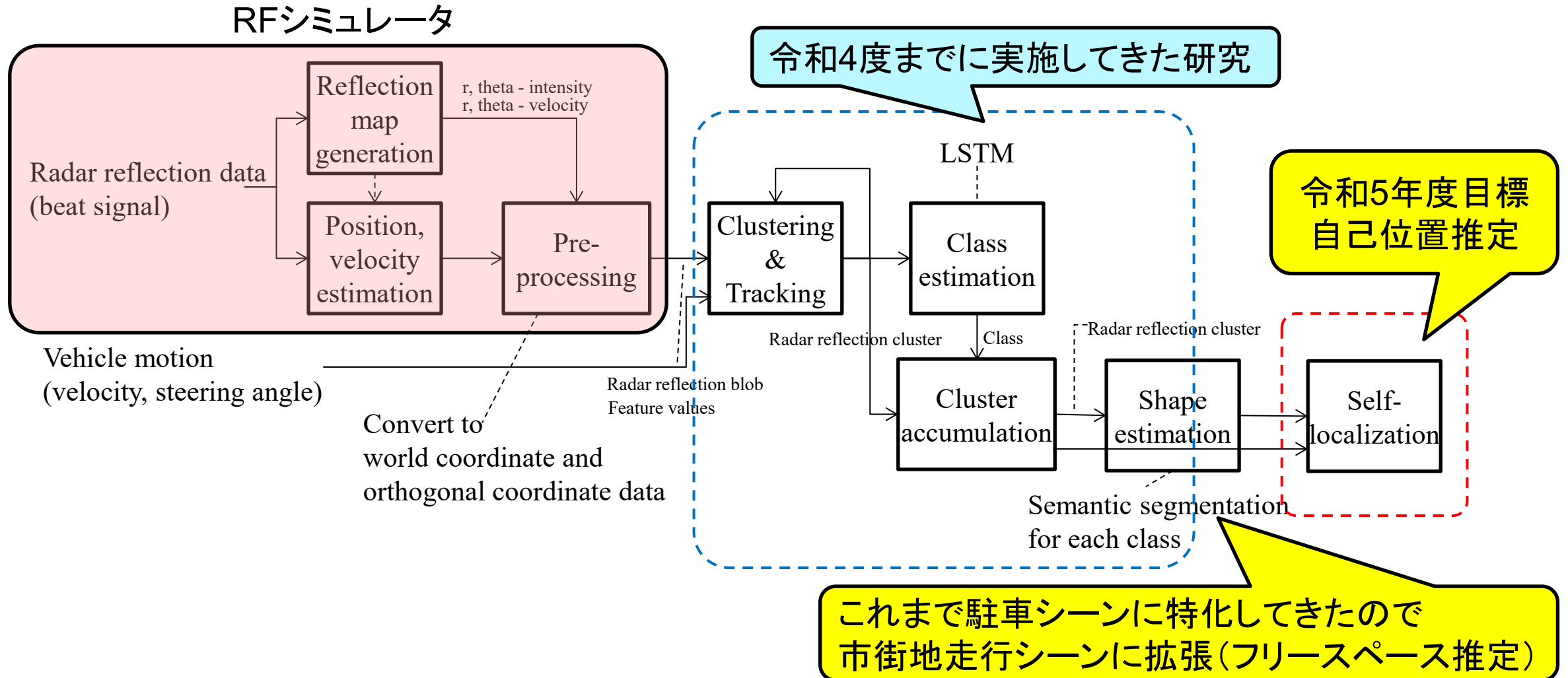
研究①	認識研究開発用の公開データセットを用いた。
研究②	Radarを搭載した車両で公道走行した実測データを用いた。
研究③	Radar出力（点群）から正解道路形状（Free Space）まで、DIVPシミュレーションを用いた。

- 成果物一覧：

学会発表	国内外 6件	詳細は「(1) 研究発表・講演リスト」参照。
------	--------	------------------------

【過去の経緯と、令和5年度の目標】 Radar画像に基づく認識技術を、更に発展させる。

ミリ波レーダを用いた認識ロジック概要と現在までの研究状況および今後の研究内容



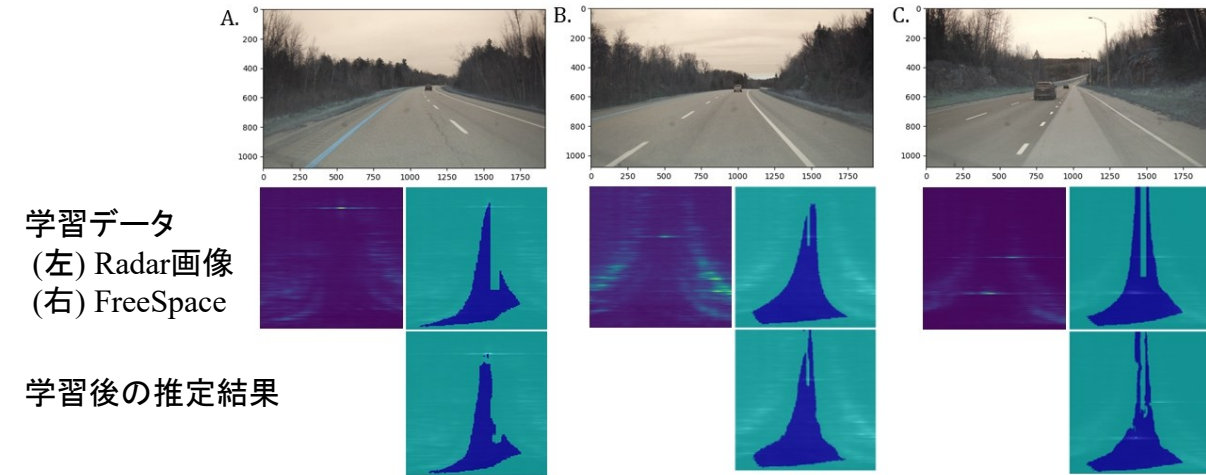
【研究①】 公開データベースを基に、道路形状を推定。

公開データセット自体の品質があまり良くなく、限界があった。

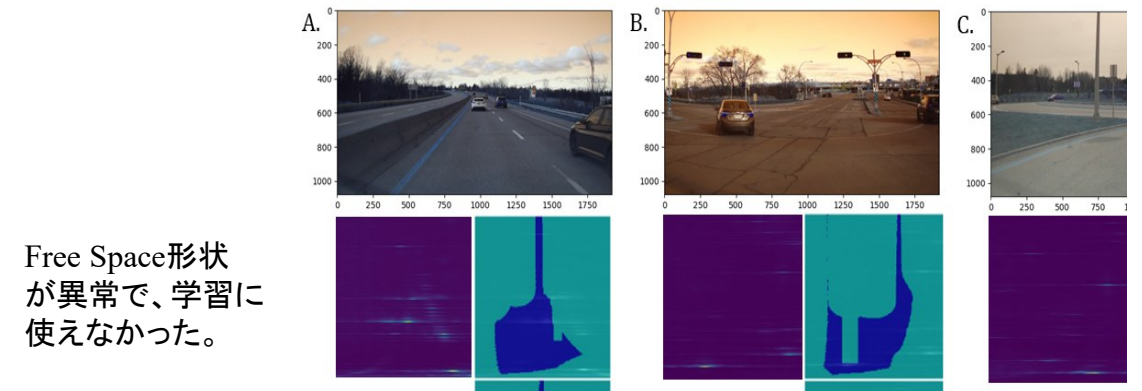
Dataset	Year	Scale	Radar data					Radar type	Modalities	Sequence	Annot. type
			ADC	RAD	RA or RD	PC	Doppler				
nuScenes [4]	2019	large	×	×	×	✓	✓	LD	CLO	✓	3D boxes
Astyx [24]	2019	small	×	×	×	✓	✓	HD	CL	×	3D boxes
RadarRobotCar [1]	2020	large	×	×	✓	×	×	S	CLO	✓	×
CARRADA [31]	2020	small	×	✓	✓	✓	✓	LD	C	✓	2D boxes, seg.
RADIATE [38]	2020	medium	×	×	✓	×	×	S	CLO	✓	2D boxes
MulRan [17]	2020	medium	×	×	✓	✓	×	S	CLO	✓	×
Zendar [27]	2020	small	×	×	✓	✓	✓	HD	CL	✓	2D boxes
CRUW [41]	2021	medium	×	×	✓	×	×	LD	C	✓	point location
RadarScenes [36]	2021	large	×	×	×	✓	✓	HD	CO	✓	point-wise
RADDet [43]	2021	small	×	✓	✓	×	✓	LD	C	✓	2D boxes
RADial (ours)	2022	medium	✓	✓	✓	✓	✓	HD	CLO	✓	2D boxes, seg.

ミリ波レーダの認識研究開発用公開データセット比較表
⇒データ種類, 機能からRADialを採用

1. 精度が良いデータを選択した場合

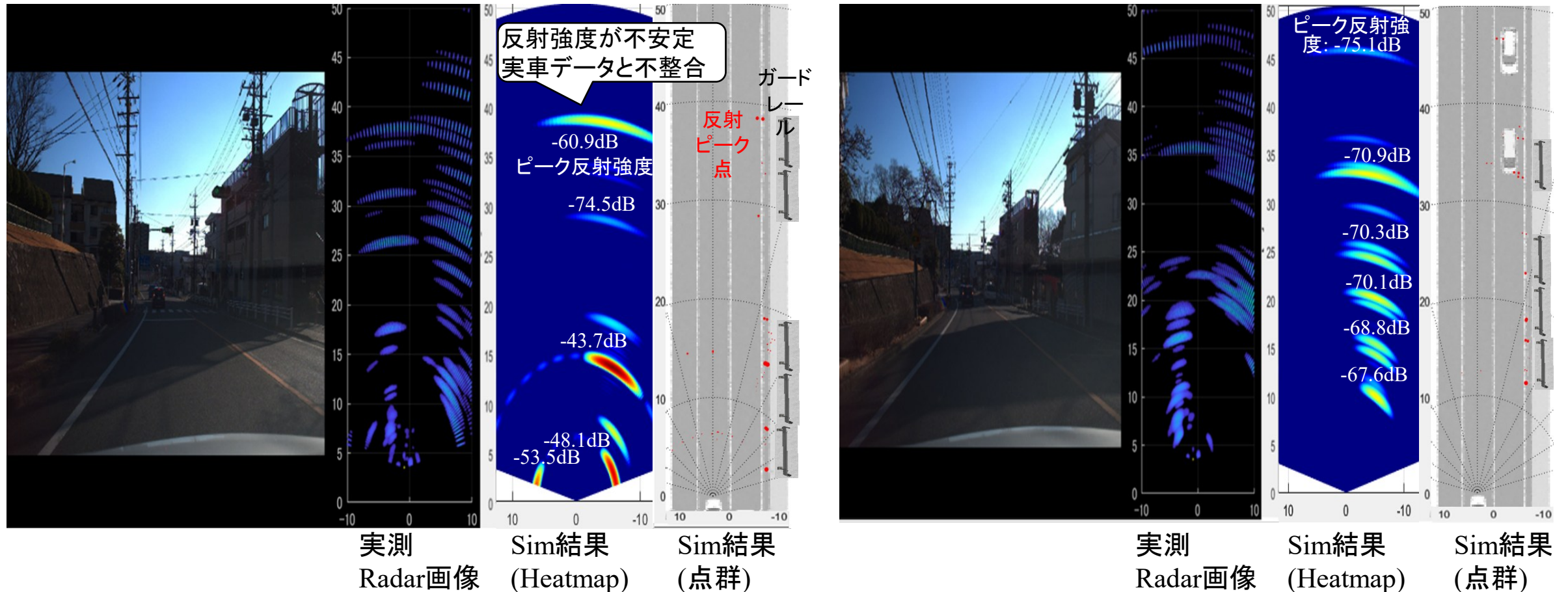


2. 精度が悪いデータの例



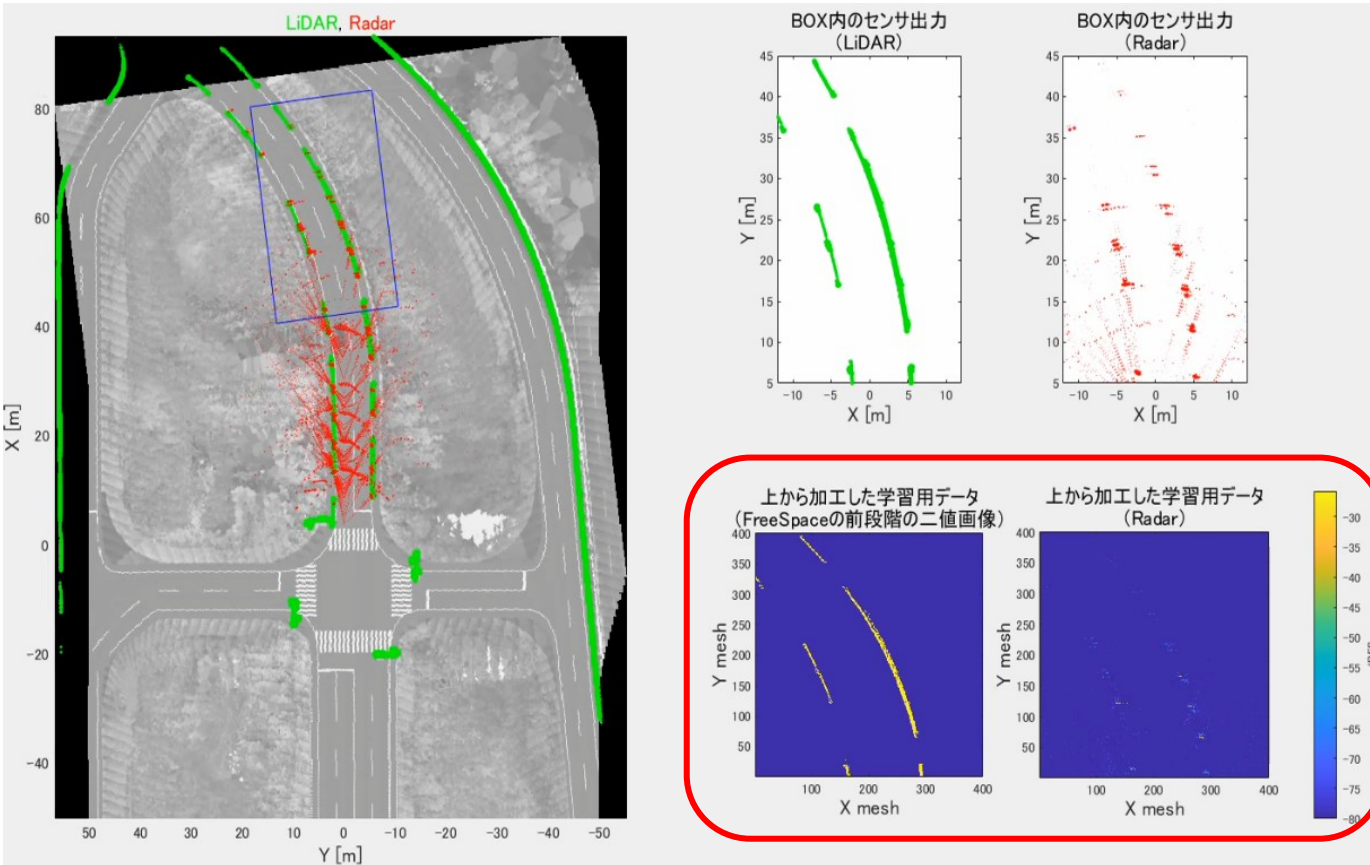
【研究②】 Radar実機による公道測定データを基に、道路形状を推定

任意の市街地の高精度マップを準備するのが難しい。
簡易的に試作したマップでは精度が出ない、等の問題があった。



【研究③】 DIVPのSimデータを基に、道路形状を推定（手順）

JARI模擬市街地マップ上にガードレールを配置し、点群(Radar・LiDAR)をDIVPシミュレータで計算。

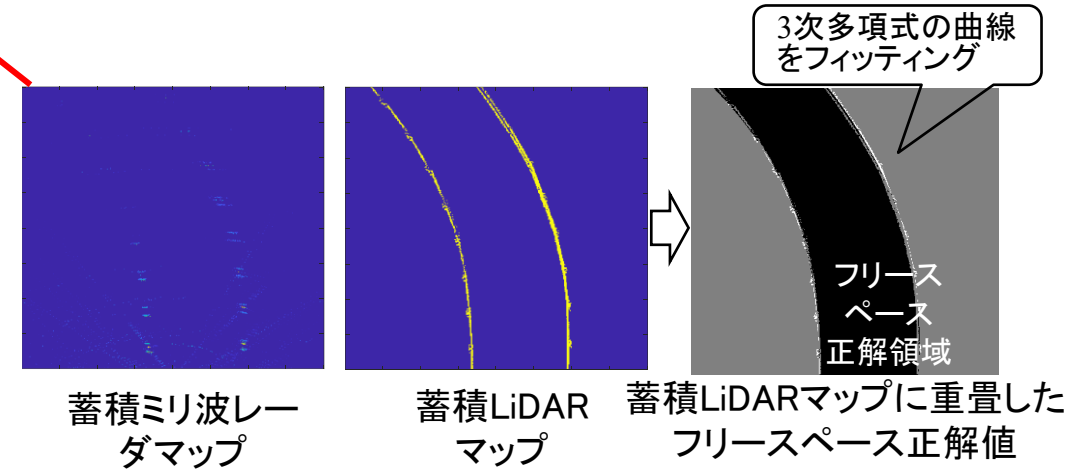


DIVPシミュレーション結果例

- ・ガードレール列には不規則に欠損を設けた。
- ・左図：JARI Jtown道路上の反射
- ・右上図：センサ出力（左図の青枠領域抽出）
- ・右下図：学習用の処理データ（400x400画素）

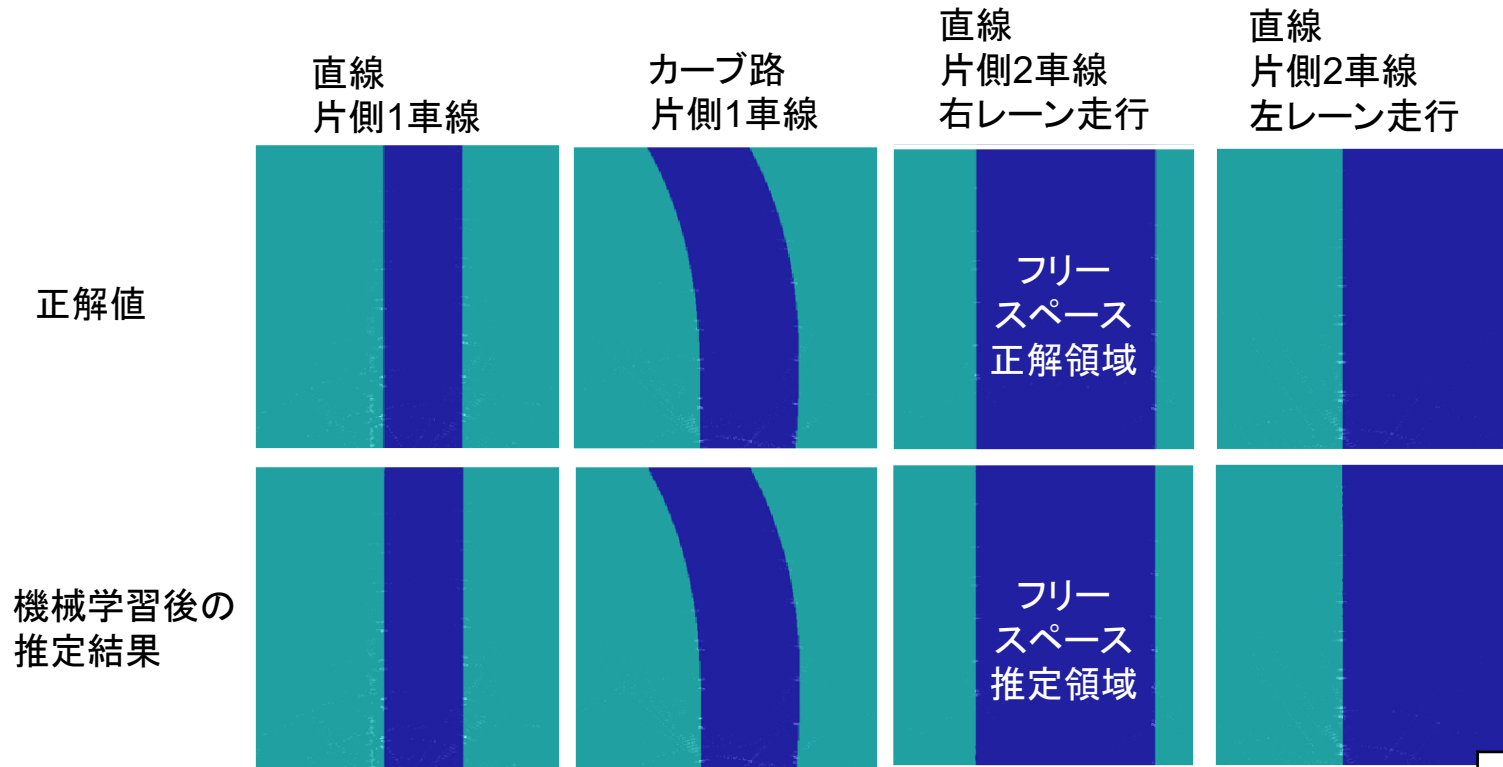


上記から、学習データを作成する手順



【研究③】 DIVPのSimデータを基に、道路形状を推定（結果）

様々な道路形状を、Radar画像から推定できる可能性を、原理実証できた。




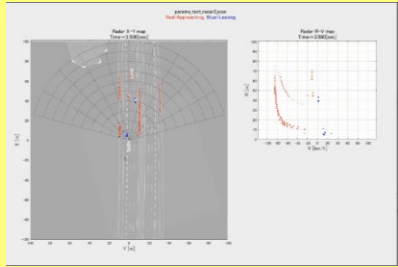
非常に高い推定精度が得られ、Radar画像から道路形状を推測できる可能性を原理実証できた。

	全体精度	平均精度	平均 IoU	重み付 IoU	平均 BF
全データ	0.9997	0.9997	0.9994	0.9994	1.0000
間引きデータ	0.9984	0.9983	0.9965	0.9967	0.9992

テーマ(1)-1.a

- ① 4D Imaging Radar 汎用モデル開発 (KAIT)
- ② 4D Imaging Radar 特定モデル開発 (古河電工)
- ③ Radar画像に基づく自己位置推定技術 (豊田工業大学)
- ④ Radarシミュレーションのノウハウ文書の整備

【背景・目的】 DIVPシミュレータの全国100ヶ所への活用を、Radarでも推進する。

全国100ヶ所への DIVPシミュレータ活用例 (2026年3月時点)	新規の マップ・Asset 作製	Camera	LiDAR	Radar
長野県 塩尻市 (SBIRとの連携)	○	○	○	
新東名高速 遠州森町PA (デジタル全総との連携)	○ 	○ 	○	○ 大手Radarメーカーが参加。  マップ・Asset を、事前に DIVP RadarModel で検証・ 調整してから、提供した。
(今後も増え続ける見込み)	新規マップ・Assetに対して Radar精度を保証して行くための、 ノウハウ文書化が急務になった。			

【成果】プロジェクト内に分散していたRadarモデリングのノウハウを、1文書に集約。



ミリ波レーダ用 Asset・Sceneファイル作成ガイドライン ver.2025.11.12



For Validation & Verification Methodology

*AD: Automated driving

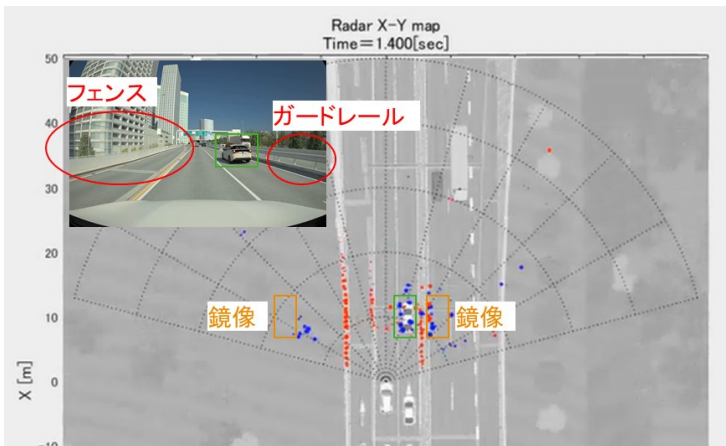
3組織 (MPC、BIPROGY、KAIT) で
将来もメンテナンスを続けて行く。

The image displays a grid of 12 numbered pages from the 'Millimeter Wave Radar Asset・Scene File Creation Guidelines' document. The pages contain various diagrams, tables, and text explaining the methodology for creating radar assets and scenes for validation and verification. Key elements include:

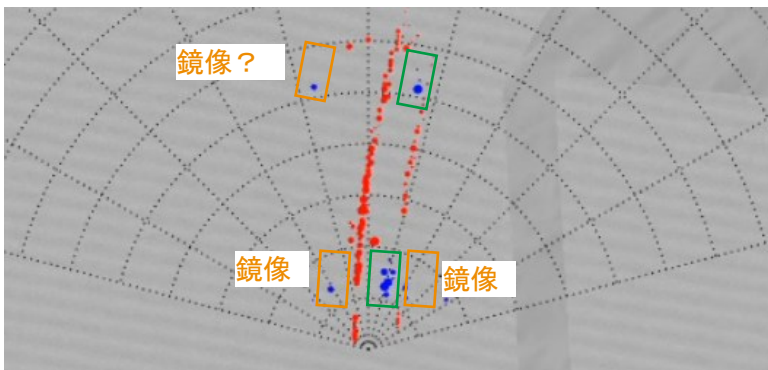
- Page 1:** Title page with logo and version information.
- Page 2:** Contents page listing sections on 'Disorder' and 'Reflection' bodies, and scene file specifications.
- Page 3:** Another contents page with a different layout.
- Page 4:** A table defining key terms like 'Disorder' and 'Reflection' bodies.
- Page 5:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.
- Page 6:** A diagram illustrating the relationship between radar and scene data.
- Page 7:** Contents page with a third layout.
- Page 8:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.
- Page 9:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.
- Page 10:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.
- Page 11:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.
- Page 12:** A diagram showing radar sensor placement and field of view.

【メンテナンス例】重要 Material のうち不足データは、追加で測定を進めた。

今期は特に、ガードレールとトンネル壁による「鏡像」について、適切なモデリングのノウハウを確立した。

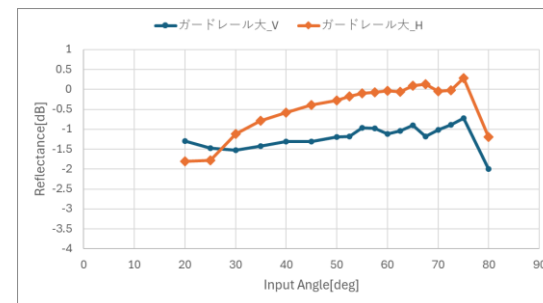
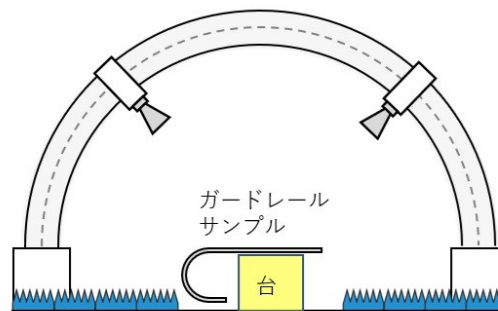


ガードレールによる鏡像を
過大計算してしまった例



トンネル壁による鏡像を
過大計算してしまった例

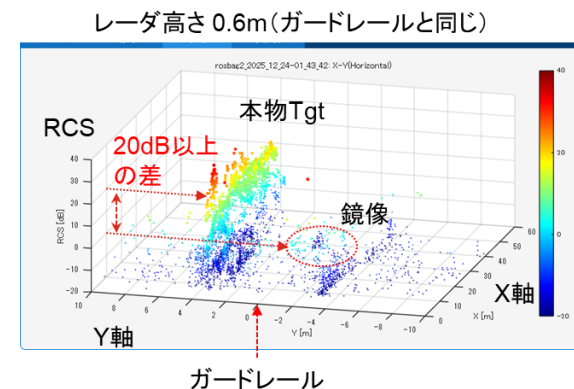
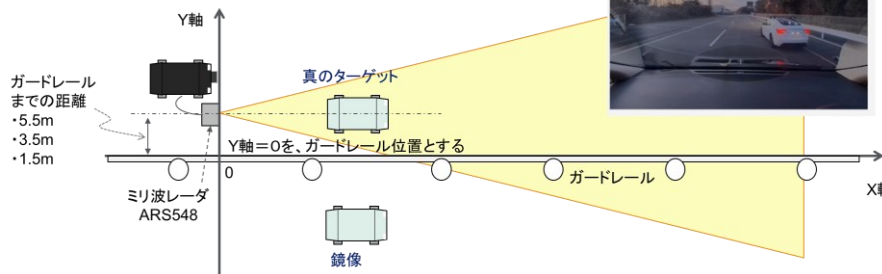
実験と比較し、
適切な反射率
に調整した。



実験①：ガードレールのミリ波反射率は、理想金属よりも低いと判明。

2025年12月22～24日 国総研つくばでのガードレール反射実験

ガードレール反射による鏡像発生を調査する



実験②：ガードレールによる鏡像は、-20dBと微弱だと判明。

テーマ(1)-1.b

① 雪研究

② 霧研究

③ クレディビリティ・アセスメント (旧名: 一致性検証カタログ)


④ 外付けカメラ雨滴付着の研究

雪研究の全体像

《背景：雪に注目する理由》

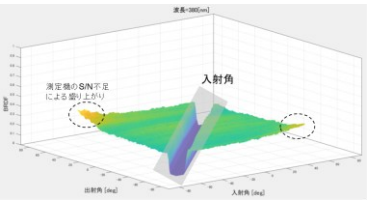
- ・ 日本は世界有数の雪国。
国土の1/3～1/4が降雪地帯。
- ・ 既にこれらで自動運転車の
冬季運行が試みられている。
(北海道上士幌町、新潟県弥彦村、
石川県小松市、等)

《Step1》
まず実際に雪国を走行し、
雪がセンサに与える不調現象を調査した。




- ① カメラに、3つの不調現象を見つけた。
- ② LiDARに、3つの不調現象を見つけた。

《Step2》
これら不調現象をシミュレータで再現すべく、
雪サンプルの反射・透過係数を測定した。

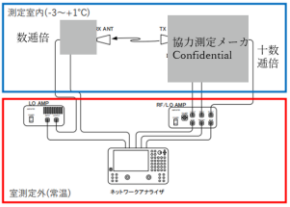


- ① 可視光～赤外線 (カメラ・LiDAR)
- ② ミリ波 (レーダ)

《Step3》
測定した反射係数を用い、
シミュレータ上で雪景色の
再現モデルを開発中。



《研究の特徴》
特殊環境(0℃)
様の測定系の
構築から始めた。

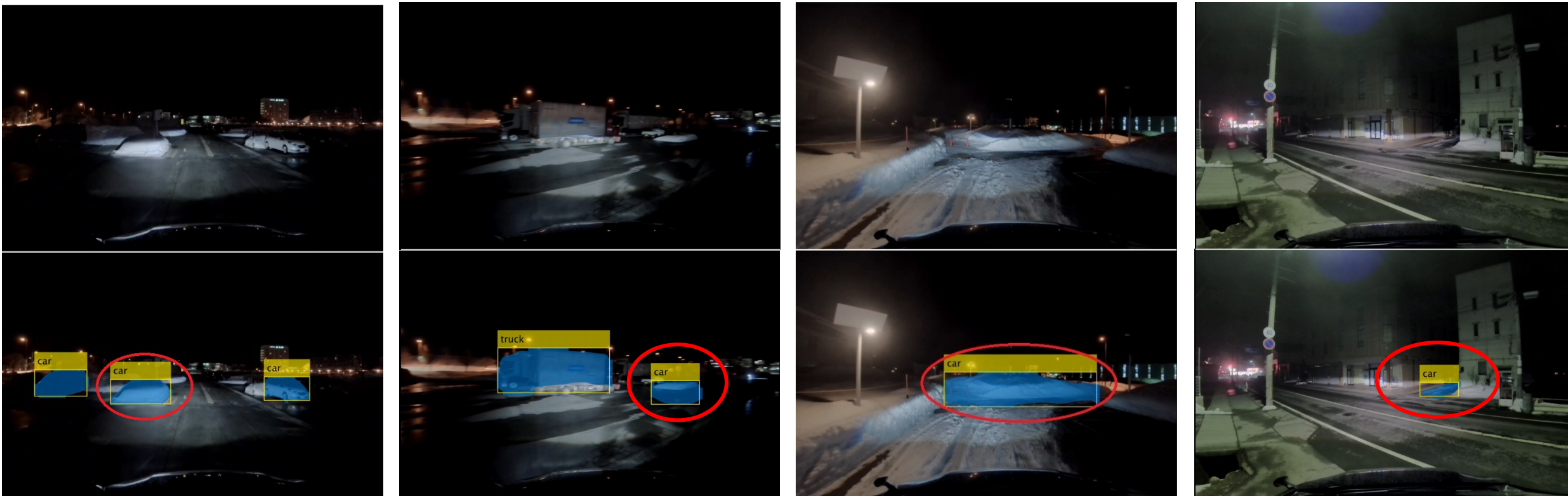


【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step1》まず実際に雪国を走行し、雪が自動運転車センサに与える不調現象を調査した。

FY24年度末報告

カメラにおいて見付かった不調現象 ①



路側に積まれた雪山を、車と誤認識

路上の積雪を、車と誤認識

YOLO v8 公開サンプルを、追加の転移学習・強化学習無しで用いた。

① 雪を車と誤認識

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step1》 まず実際に雪国を走行し、雪が自動運転車センサに与える不調現象を調査した。

FY24年度末報告

カメラにおいて見付かった不調現象 ②③



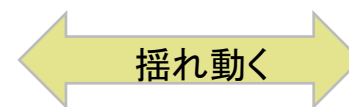
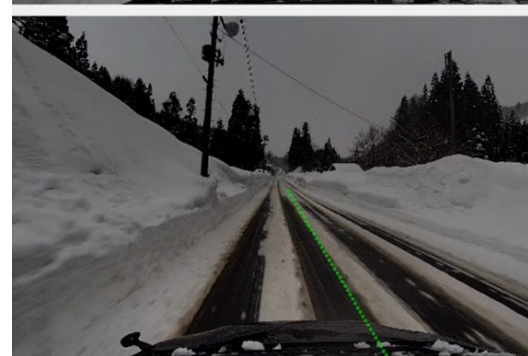
背後の雪を、車体の一部と誤認識



眼の前の車を検知できず。

② 白い車の背後に白い雪がある場合、検知能力が劣化

YOLO v8 公開サンプルを、追加の転移学習・強化学習無しで用いた。



③ 多数の轍により、白線検知が精度劣化

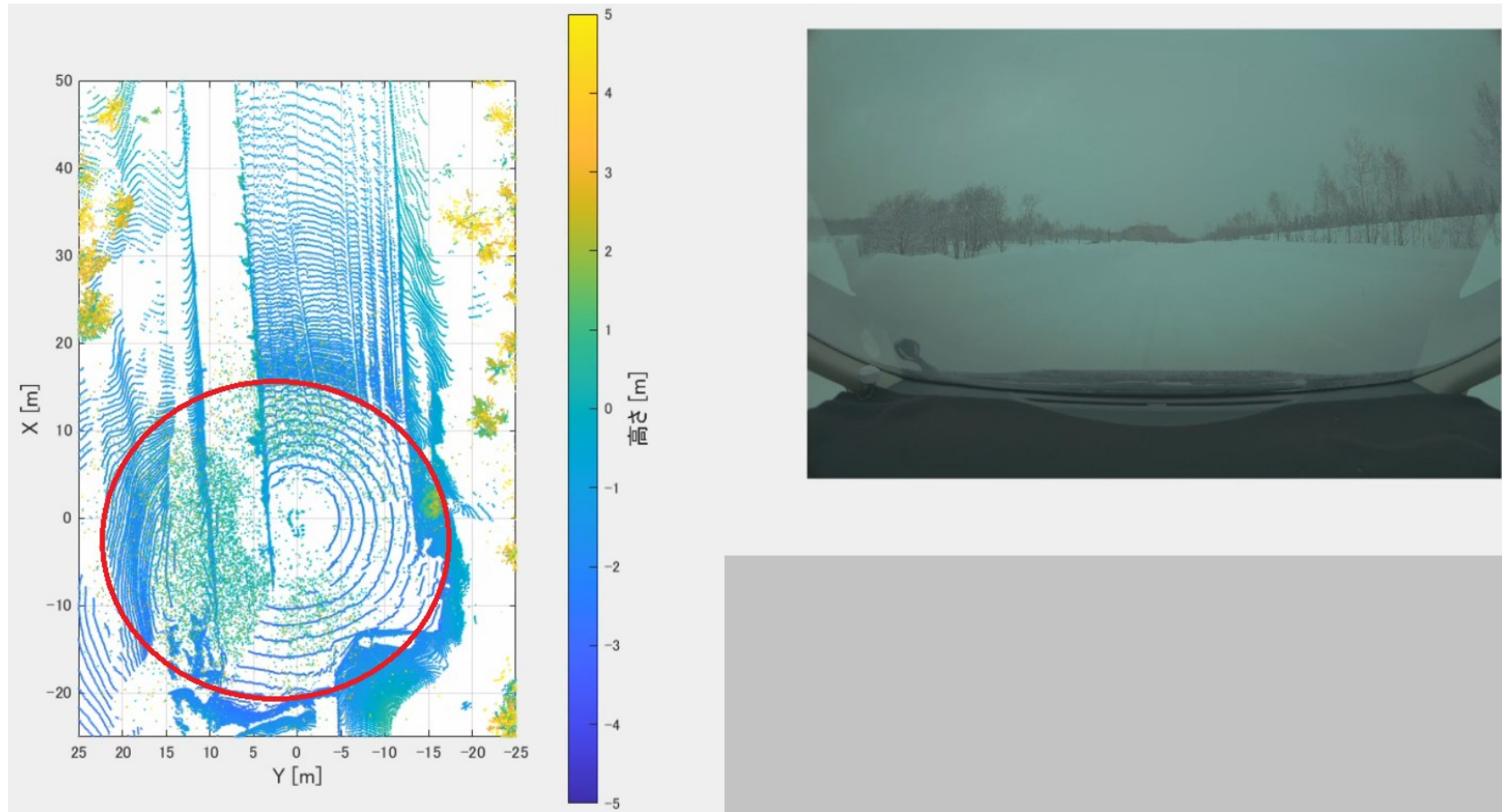
白線認識アルゴリズムは深層学習型のもの (Matlab Automated Driving Toolboxの CLRNetModelParams_v1.mat) を、追加の転移学習・強化学習無しで用いた。

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step1》 まず実際に雪国を走行し、雪が自動運転車センサに与える不調現象を調査した。

FY24年度末報告

LiDARにおいて見付かった不調現象 ①



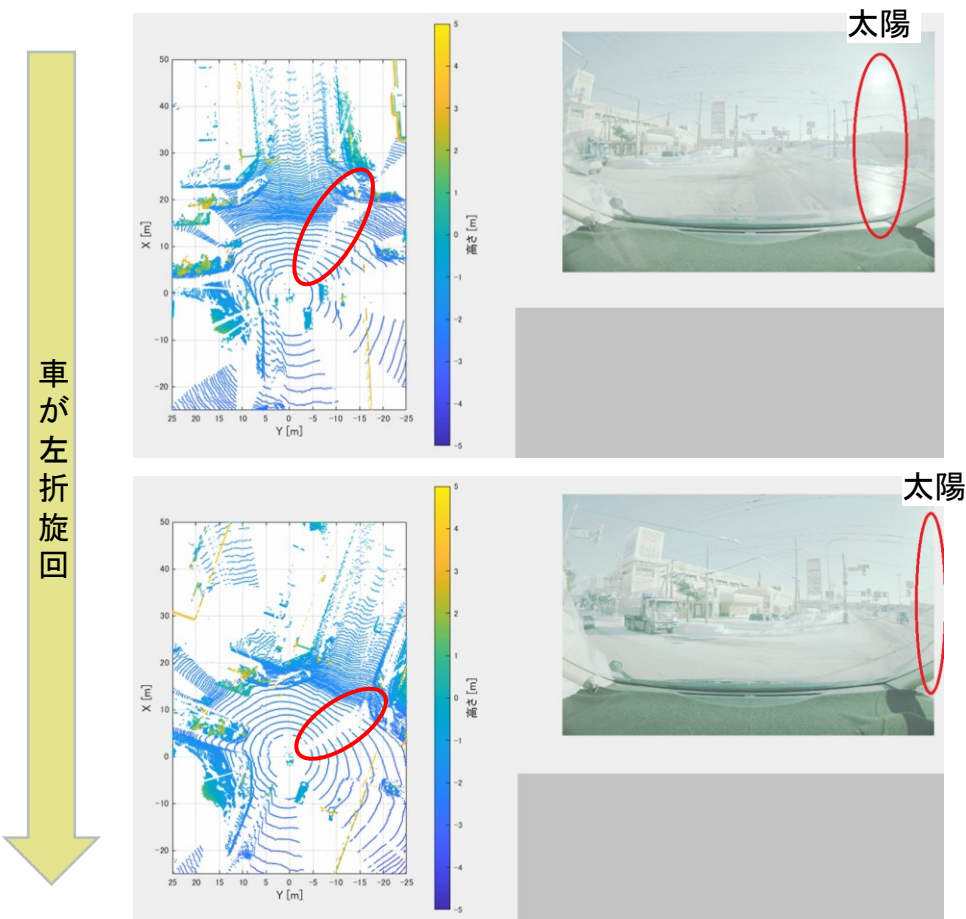
① 空中の雪片を、雲のような偽点としてしてしまう。

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step1》 まず実際に雪国を走行し、雪が自動運転車センサに与える不調現象を調査した。

FY24年度末報告

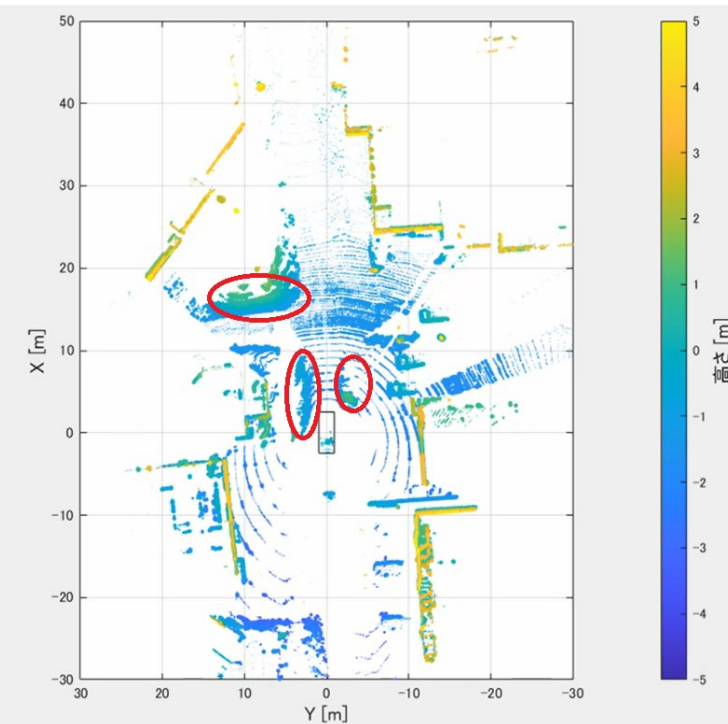
LiDARにおいて見付かった不調現象 ②③



② 太陽光が雪面で反射してLiDARに差し込むと、その方向だけ検知不能。



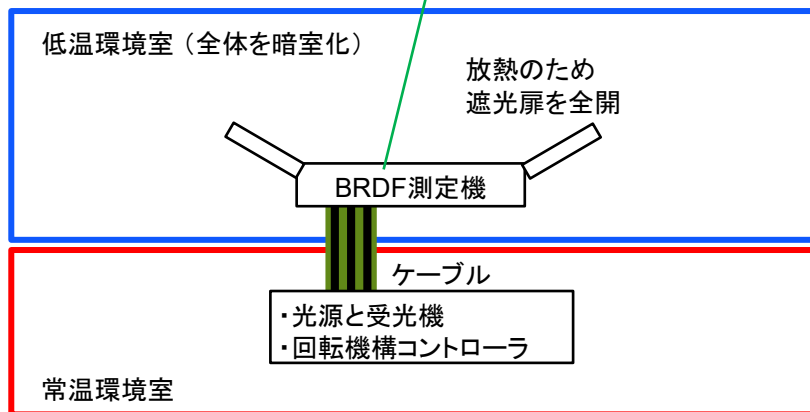
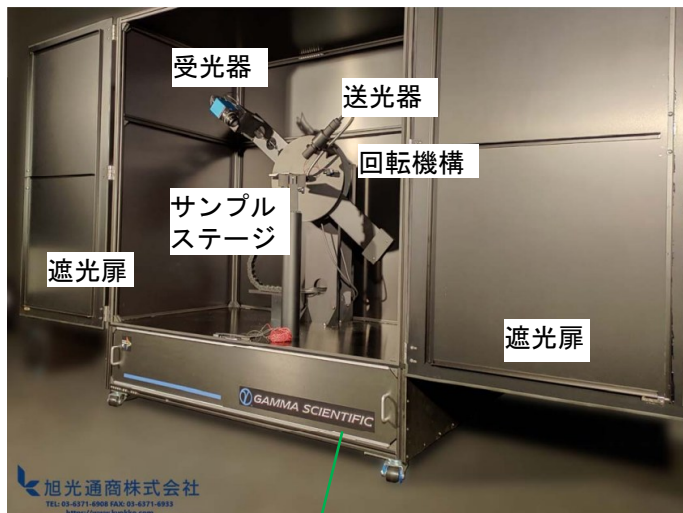
③ 路側の大量の雪のため地図の変化を観測。LiDAR-SLAMに支障が予想される。



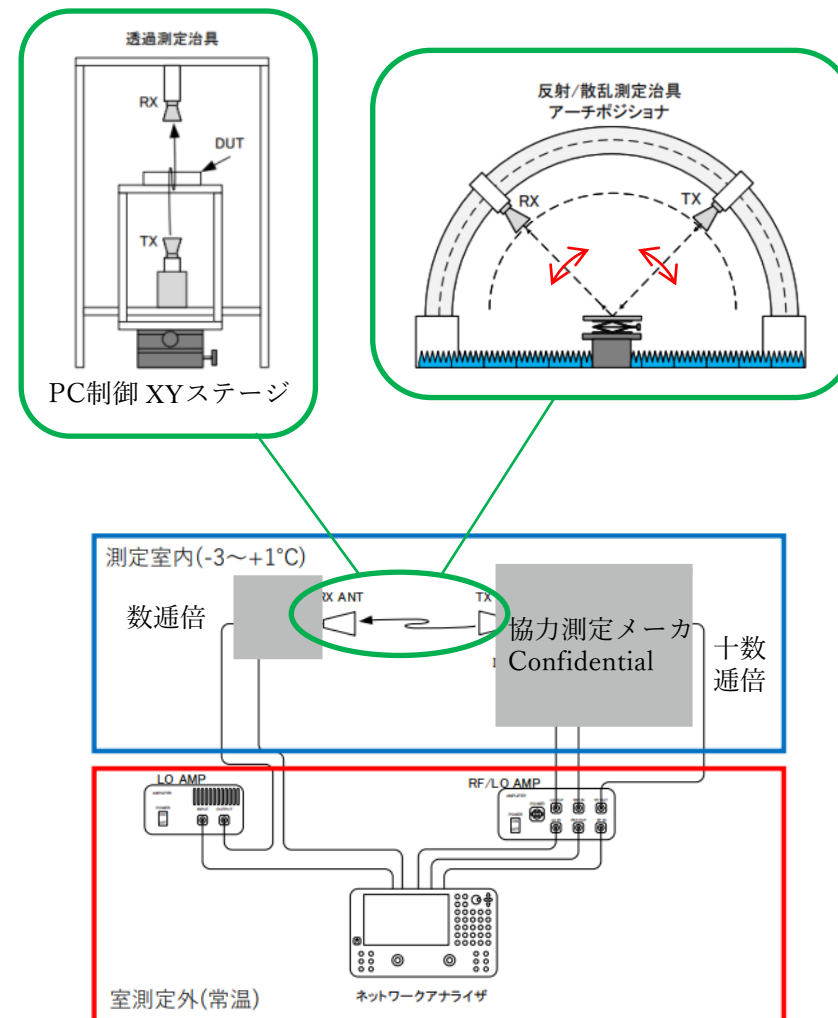
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step2》 雪の**反射**係数を測定するため、特殊環境(0°C)の測定系を構築した。

可視光 (カメラ) ~ 赤外線 (LiDAR) 帯の測定系



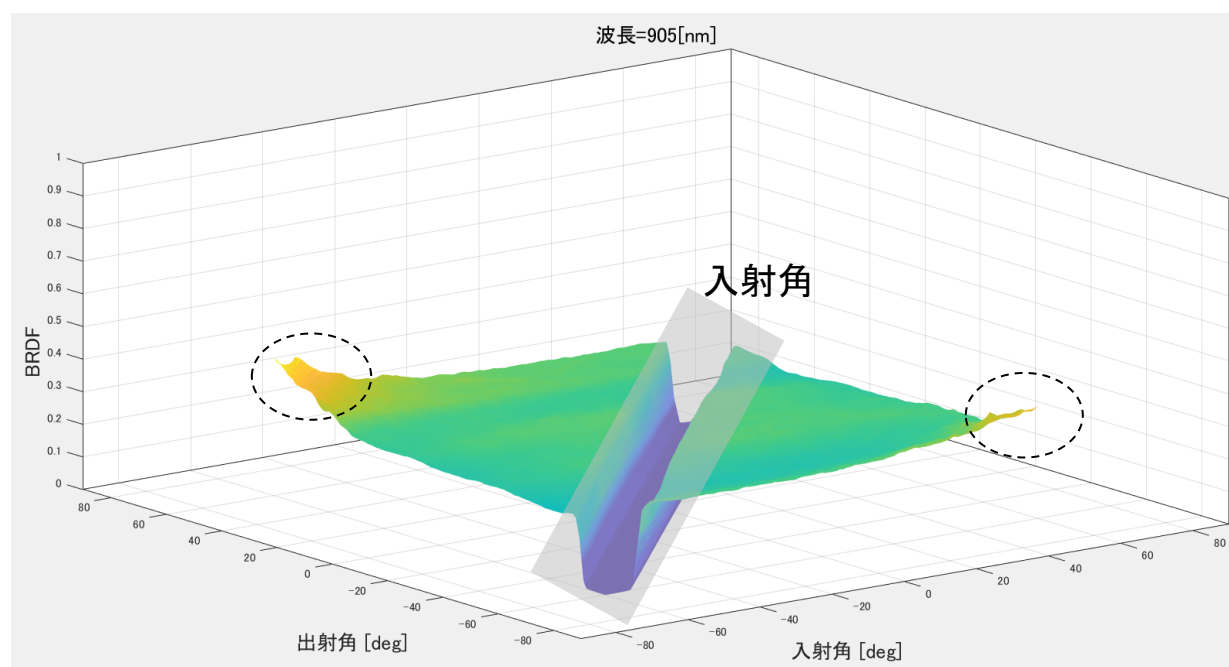
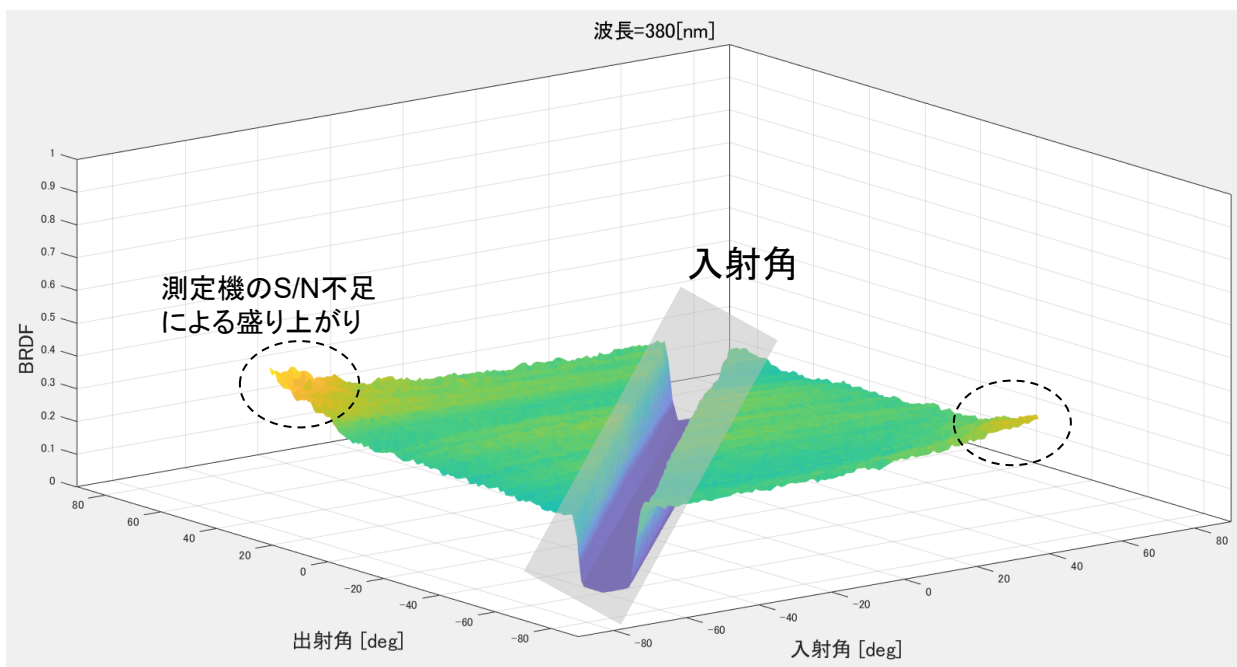
ミリ波 (レーダ) 帯の測定系



【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】 《Step2》 雪の反射係数を測定した。(LiDAR と Camera)

FY24年度末報告

DIVP-PFへMaterialデータとして組み込むため、広帯域な2次元BRDFを測定完。



360nm

可視光帯
(波長380~780nm)

広帯域で一括測定

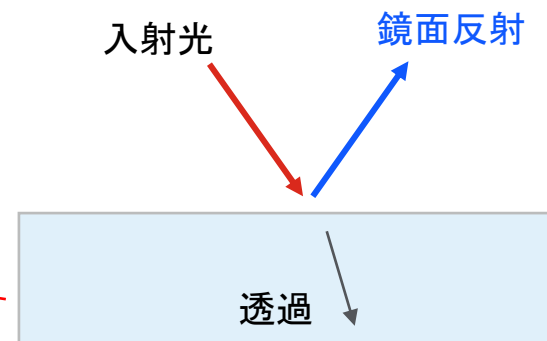
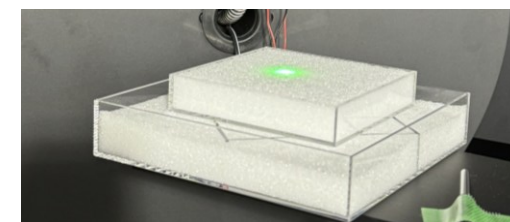
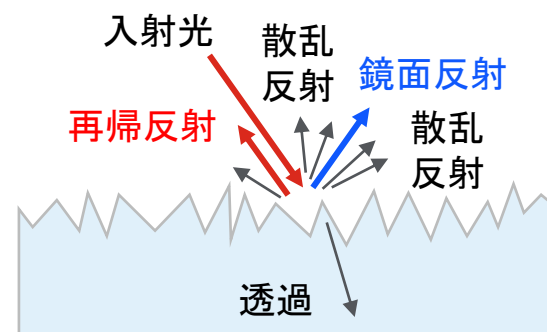
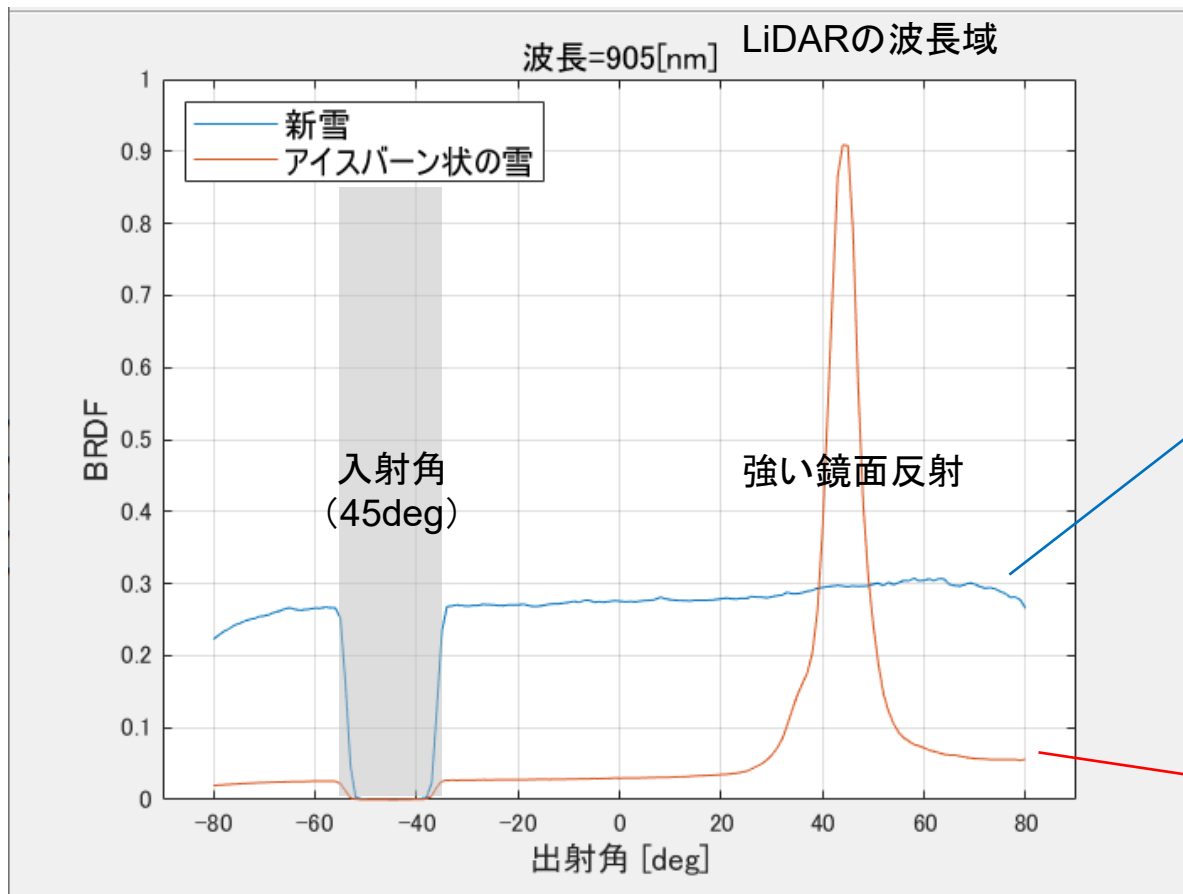
LiDAR帯
(波長905nm)

1100nm

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】 《Step2》 雪の反射係数を測定した。(LiDAR と Camera)

雪は、両極端の性質を示すと判明:

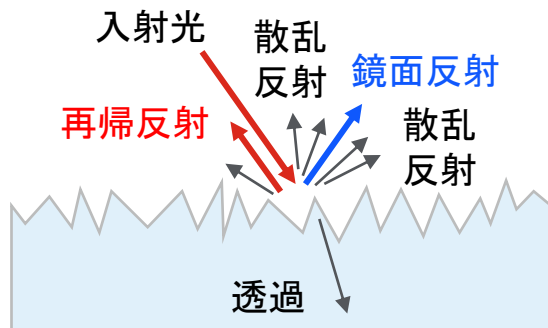
- ① 新雪は、ランバート反射体 (当方性散乱体)。
- ② アイスバーン状の凍結した雪は、逆に強い鏡面反射体に成り得る。



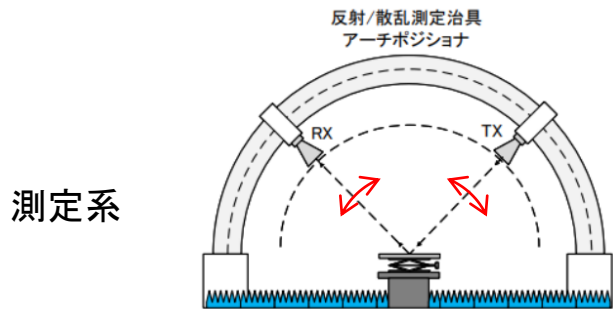
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】 《Step2》 雪の**反射係数**を測定した。(ミリ波Radar)

優先課題

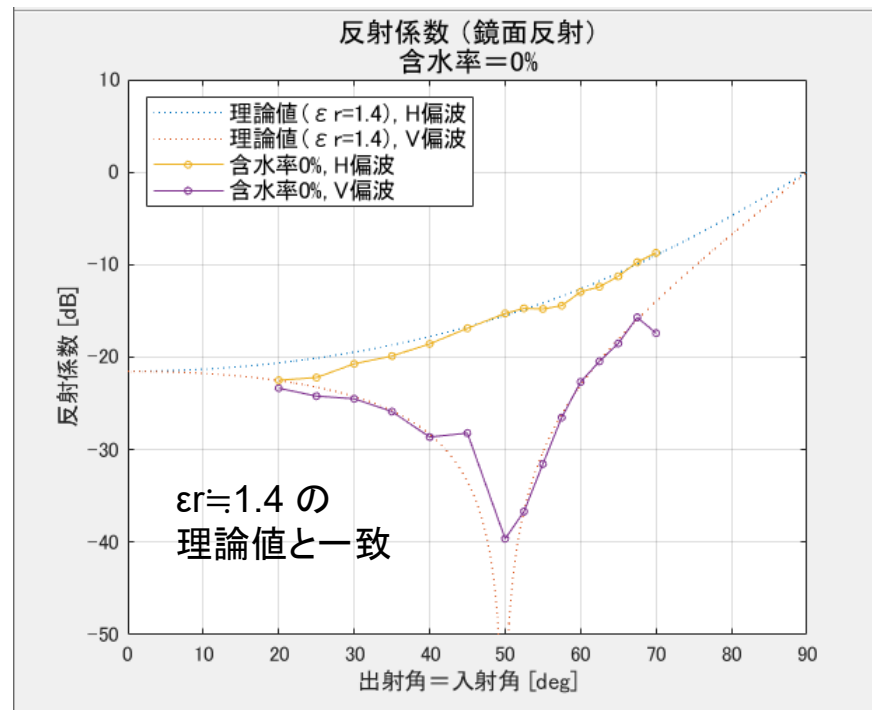
＝ ミリ波 (波長4mm) から見た
雪の表面粗さの影響の把握



表面粗さを
直接測定は困難なので、
間接的に調査した。



実験結果・結論



【結果】

DIVPシミュレータにも既に組み込まれている、「表面が滑らかで均一な誘電率 ϵ のバルク体」の理論式と、実測値が一致することを確認した。

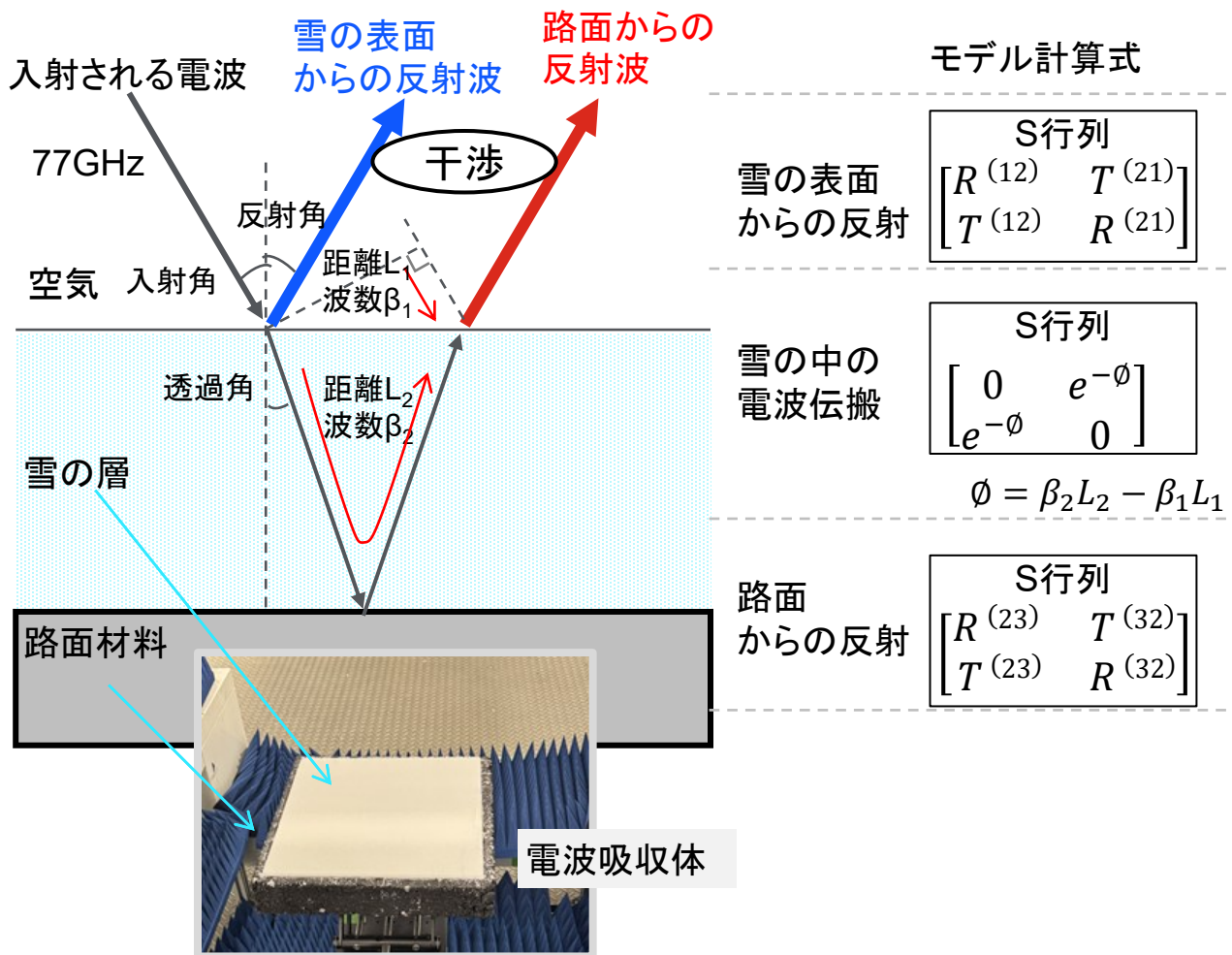
【結論】

- ・ ミリ波帯では雪の表面粗さは主要なファクターではない。
- ・ 現有のシンプルなモデルで対応可能。

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step2》 雪と路面の多層構造における反射係数を測定した。(ミリ波Radar)

雪と路面の多層構造におけるミリ波反射を実測するとともに、モデル計算式を開発しSim計算した



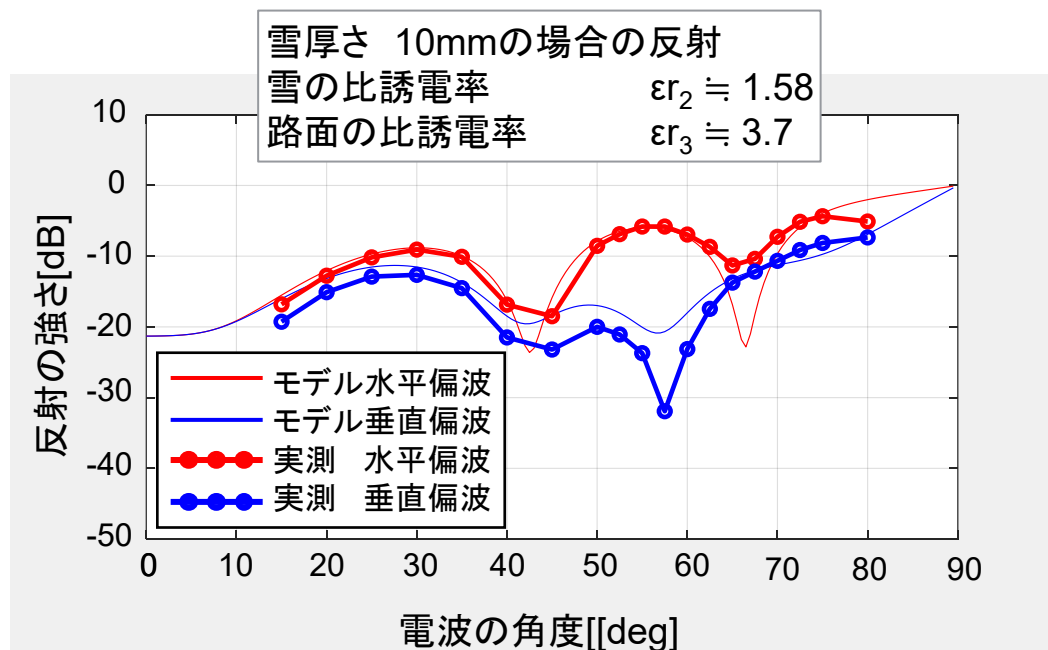
合成 S行列を計算

【計算法】

電気回路の計算等で使われるS行列を活用し、雪表面からの反射信号と、雪の層を透過して路面材料で反射される信号とを計算し、干渉現象も含めて、雪と路面の多層構造での反射をモデル化し計算した。

【結論】

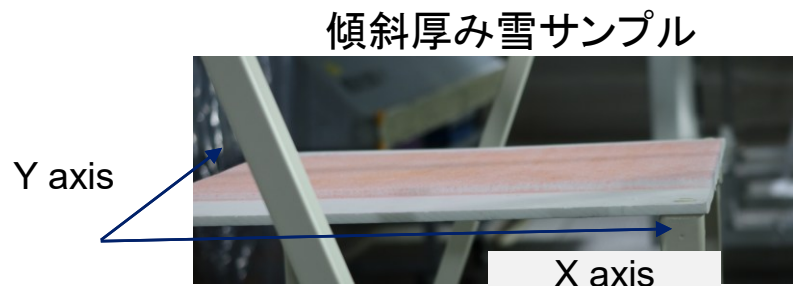
- ・ 実測結果とモデル計算結果はよく一致する



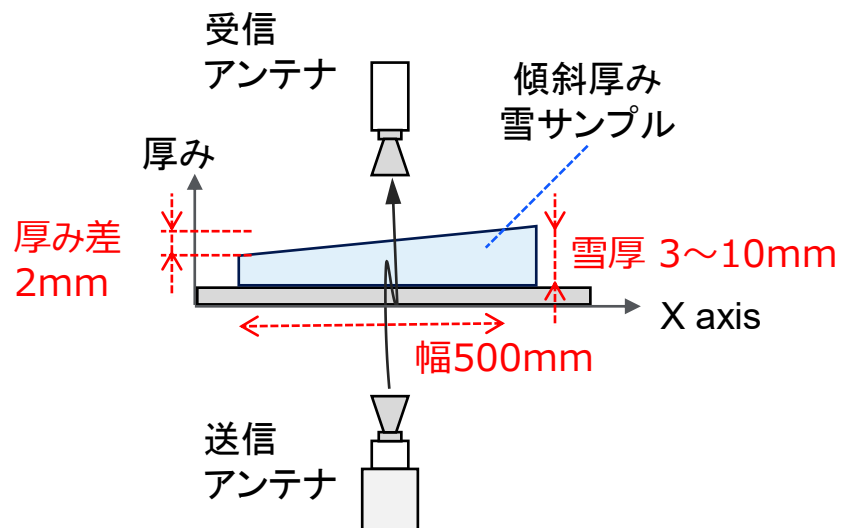
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step2》 雪の透過係数を測定した。(ミリ波Radar)

新たに考案した「傾斜厚み雪サンプル」を用い、ミリ波の雪に対する透過係数を計測した
含水率を変化させた雪サンプルの透過係数を測定した



X-Yステージで2次元平行移動

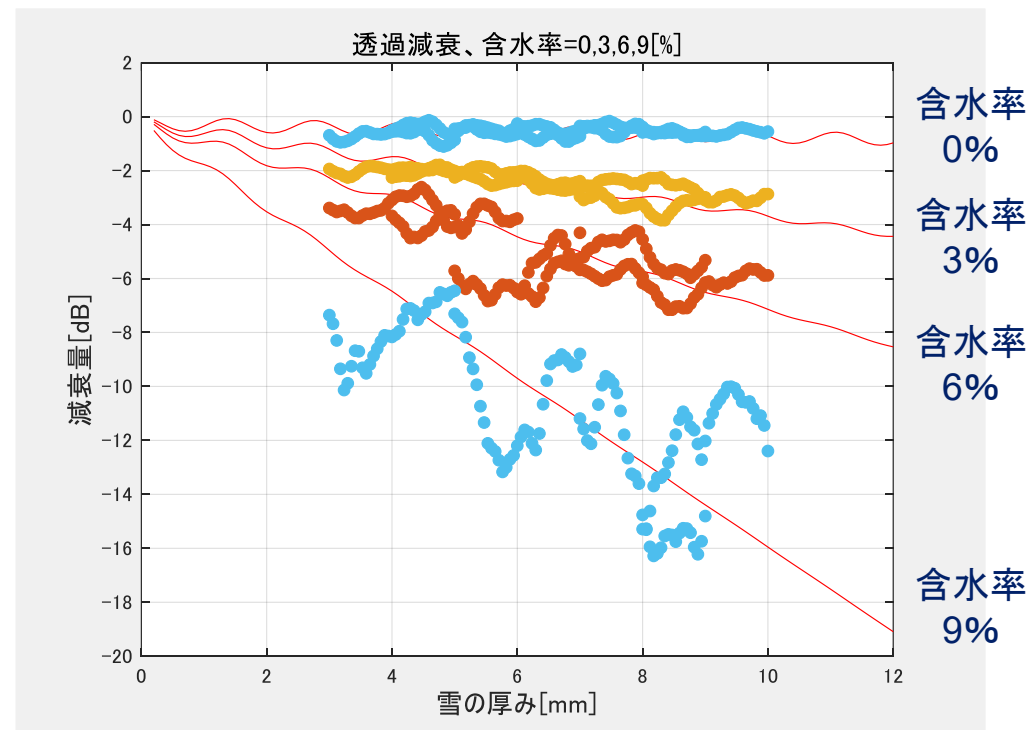


【測定内容】

含水率 0%、3%、6%、9%と変化させたときの雪サンプルの伝搬損失(透過係数)を測定

【結論】

- ・雪サンプルの厚みが増加すると損失も増える。
- ・伝搬損失は、雪サンプル内部の共振により変動する
- ・含水率が増加すると伝搬損失も増える。増え方は非線形。



【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの一致性検証」降雪路面の研究】 カメラ、LiDARの降雪路面の再現検討

ディスプレイメントマッピングを用いた降雪路面再現

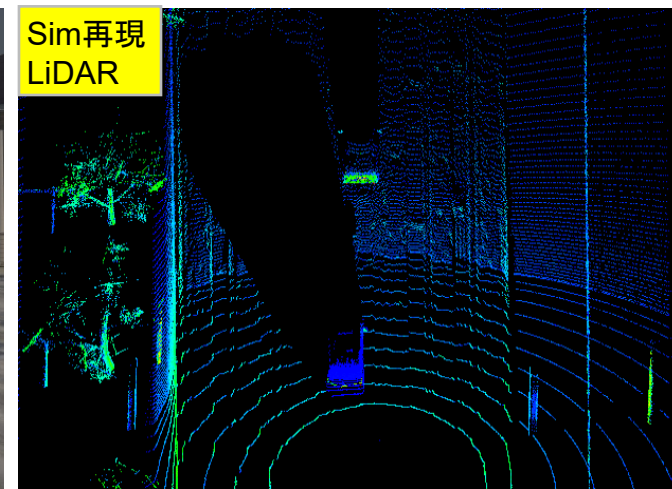
ディスプレイメントマッピング+新規反射モデルを組み合わせた表現の実装を実施。



轍部分がアイスバーン状になり、それ以外の部分は踏み固められていない状況を再現



雪が解け始め、轍部分がシャーベット状になり、地面が透過して見えている状況を再現。(テクスチャを透過テクスチャとしても使用)



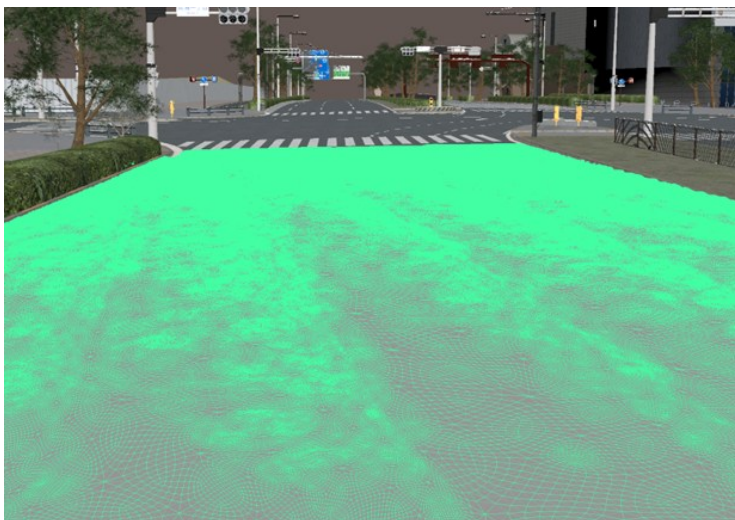
雪面の凹凸と雪面の高反射を再現

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの一致性検証」降雪路面の研究】 雪路面アセット作成

ディスプレイメントマッピングを表現する雪路面アセットを作成

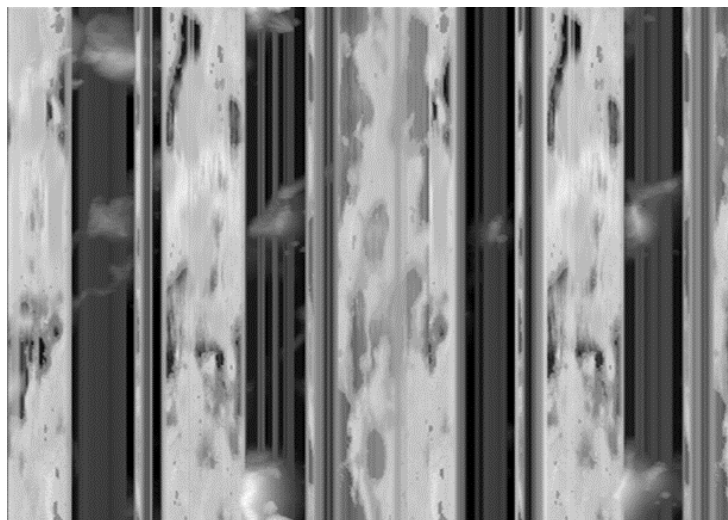
積雪用ポリゴンと凹凸用テクスチャを設定し、ディスプレイメントマッピングによる雪路面を表現

積雪用ポリゴン



積雪の凹凸を精細に表現すべく、
路面ポリゴンをテッセレーション(細分化)し、
1面あたり約1~5cmのサイズで高密度化

凹凸用テクスチャ



轍(わだち)の凹凸表現を目的に、
輝度値を高さ情報(白=高位、黒=低位)と
して割り当てた凹凸用テクスチャを作成



ディスプレイメントマッピング
による雪路面を表現

テーマ(1)-1.b

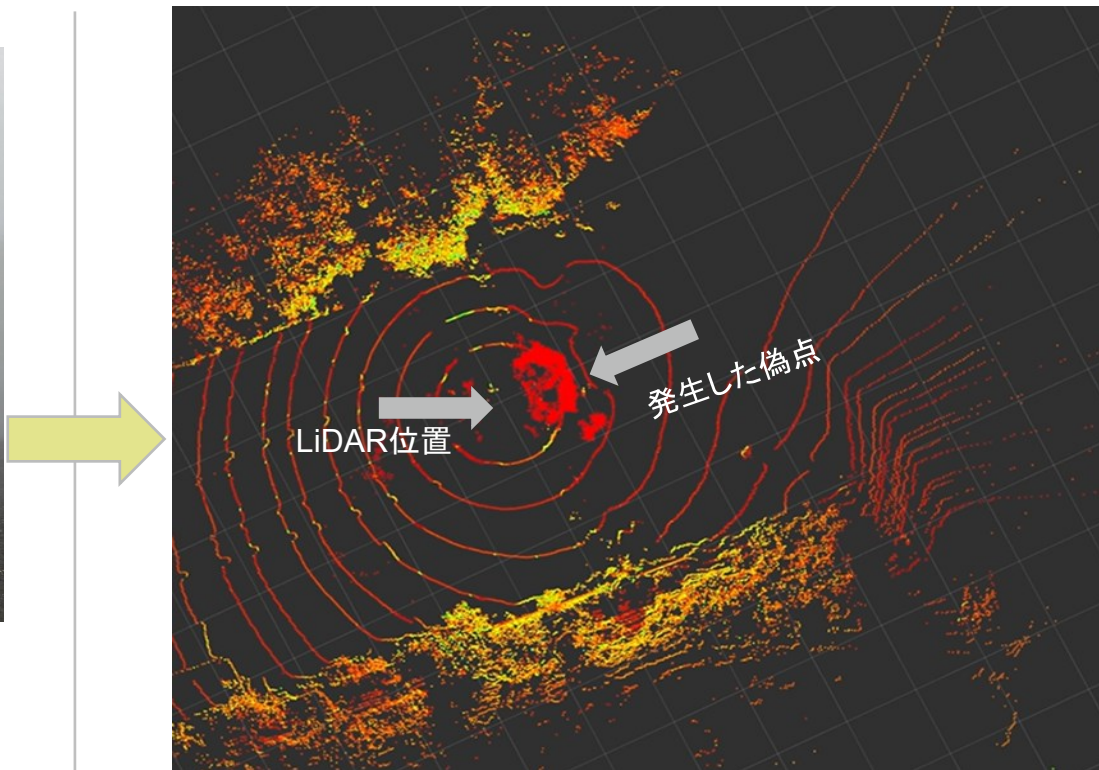
- ① 雪研究
- ② 霧研究
- ③ クレディビリティ・アセスメント (旧名: 一致性検証カタログ)
- ④ 外付けカメラ雨滴付着の研究

霧による LiDAR偽点の計測

自然に発生する霧の偽点計測



山間部で 霧が発生しやすい状況にて計測



視程200m以下にて偽点が発生している様子

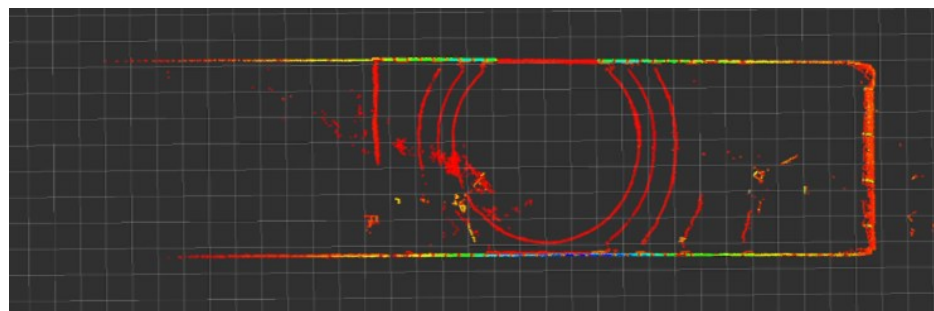
自然界でのLiDAR偽点の計測を実施
定量的な評価が出来ないことからモデル環境での計測が必要

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (2). 霧の研究】 霧による LiDAR偽点の一致性検証済みモデルを更新完了。

霧実験施設でLiDAR一致性検証を実施。収集したデータを解析し、LiDAR偽点モデルの改良につなげる。



霧実験風景



LiDARでの測定結果

試験内容(1回目)

試験日: 2024年9月26日(木)

Case1: ターゲット位置3m, 6.5m, 15mで計測

視程: 霧のない状態から、目標視程で固定

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
1	90 [m]	13:55	PSSI
2	40 [m]	14:43	PSSI
3	200 [m]	15:34	PSSI

試験日: 2024年9月27日(金)

Case2: ターゲット位置3m, 4.5m, 6.5mで計測

(ターゲット15mでは霧による減衰が大きく、偽点発生が見られなかったため)

視程: 霧のない状態から、目標視程で固定

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
4	90 [m]	9:24	PSSI
5	40 [m]	10:08	PSSI
6	40 [m]	10:57	PSSI
7	90 [m]	13:21	PSSI
8	霧なし	10:52	PSSI

Case3: 低反射体の前を人が歩行する

視程: 目標視程で固定

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
9	40 [m]	11:28	PSSI
10	90 [m]	13:55	PSSI
11	霧なし	13:18	PSSI

Case4: ターゲット位置3m, 4.5m, 6.5mで計測

視程: 目標視程から噴霧停止し、霧を晴らす

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
12	10 [m]	11:38	PSSI

Case5: ターゲット位置3m, 4.5m, 6.5mで計測

視程: 霧のない状態から、目標視程で固定

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
13	霧なし	14:35	Velodyne
14	40 [m]	14:41	Velodyne

Case6: 低反射体の前を人が歩行する

視程: 目標視程で固定

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
15	霧なし	14:37	Velodyne
16	40 [m]	15:07	Velodyne

Case7: その他

#	目標視程	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
15	40 [m]	15:11	Velodyne
16	実験室奥から噴霧	15:32	Velodyne

試験内容(2回目)

試験日: 2025年2月4日(火)

Case1: ターゲット位置3m, 6m, 9m, 12m, 15mと変えながら3種類のLiDARで計測

視程: 50 [m]

#	ターゲット位置	LiDAR計測開始時刻	LiDAR機種
1	3 [m]	13:36	VLP-16
2	3 [m]	14:16	VLP-32
3	3 [m]	14:28	Hesai
4	6 [m]	15:03	Hesai
5	6 [m]	15:35	VLP-32
6	6 [m]	16:00	VLP-16
7	9 [m]	16:13	VLP-16
8	9 [m]	16:27	VLP-32
9	9 [m]	16:44	Hesai
10	12 [m]	16:57	Hesai
11	12 [m]	17:08	VLP-32
12	12 [m]	17:22	VLP-16
13	15 [m]	17:33	VLP-16
14	15 [m]	17:40	VLP-32
15	15 [m]	17:50	Hesai

試験日: 2025年2月5日(水)

Case2: ターゲット位置9m固定で、3種類のLiDARで計測

視程: 20 [m]で5分維持し、その後、霧噴霧を停止(自然に晴らす)

#	LiDAR機種	LiDAR計測開始時刻
1	VLP-16	14:29
2	VLP-16	15:13
3	VLP-16	15:50
4	Hesai	16:22
5	Hesai	16:50
6	Hesai	17:18

試験日: 2025年2月6日(木)

※Case2の続き

#	LiDAR機種	LiDAR計測開始時刻
1	VLP-32	9:41
2	VLP-32	10:09
3	VLP-32	10:54
4	VLP-32	11:35

※記録データ破損

Case3: 霧環境における人の見え方確認

視程: 20 [m], 50[m]

ターゲット位置: LiDAR前に、5, 10, 15, 20の位置にパイロンを置いて、人が歩く様子を計測

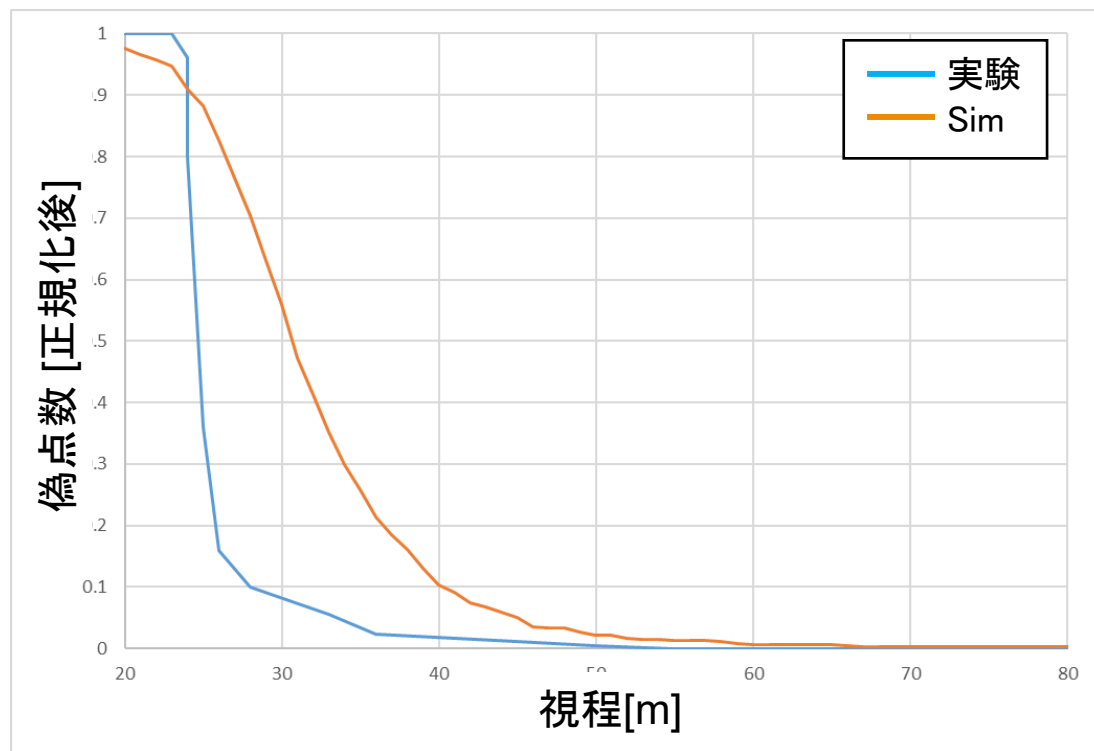
#	LiDAR機種	LiDAR計測開始時刻
5	Hesai	14:15
6	Hesai	14:17
7	Hesai	14:28
8	Hesai	14:30

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの一致性検証」霧の研究】 霧による LiDAR偽点の一致性検証済みモデルを更新完了。

LiDAR霧実験データを元に、LiDAR霧偽点処理の改善を実施

2024年度末(2月)に実施したLiDAR霧実験(神戸)のデータを解析し、LiDAR霧偽点処理の見直しを実施。「視程と霧偽点数の傾向」と「偽点の発生位置」が実験データと同傾向となるよう処理を改良した。

視程と偽点数の関係のグラフ



実験とSimで差があるように見えるが、実験結果は霧の視程が安定しない環境での結果を手動で補正したものなので、情報としての信頼性が高いとは言えない。

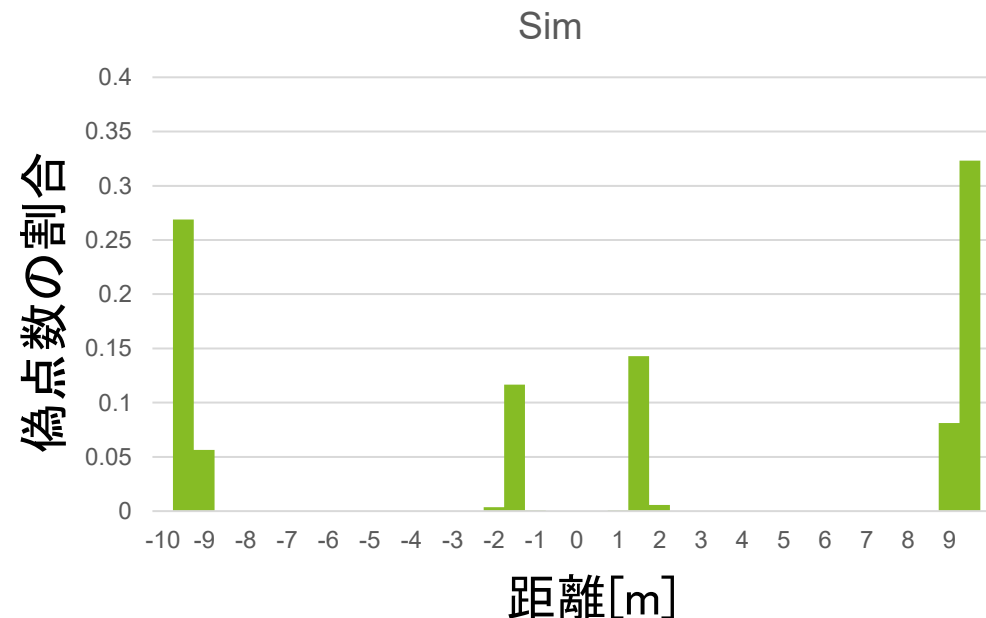
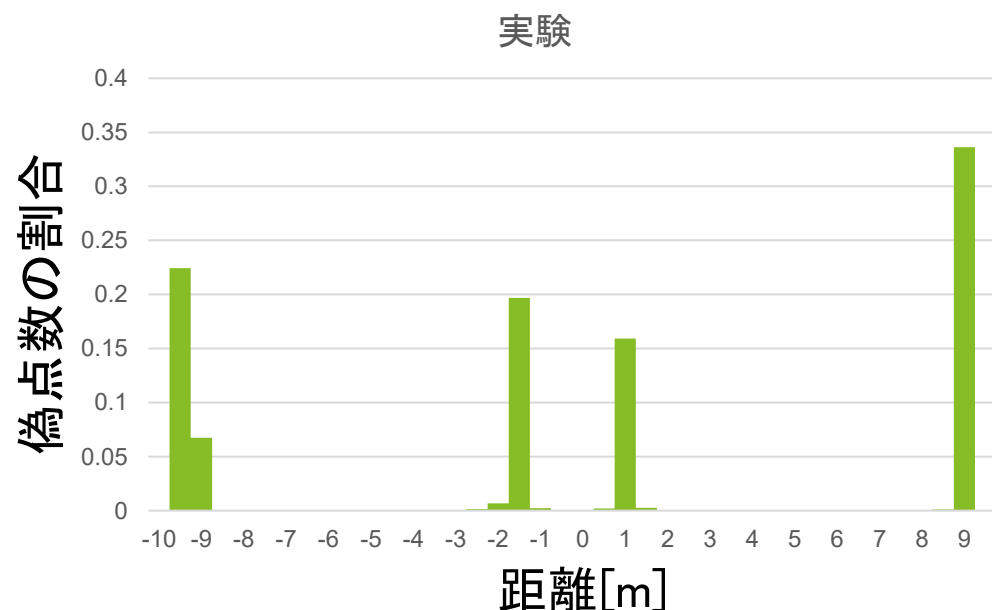
物理的な法則に則るように再現したことを考慮すると、傾向を捉えた十分な再現できたのではないかと考えている。

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの一致性検証」霧の研究】 霧による LiDAR偽点の一致性検証済みモデルを更新完了。

LiDAR霧実験データを元に、LiDAR霧偽点処理の改善を実施

2024年度末(2月)に実施したLiDAR霧実験(神戸)のデータを解析し、LiDAR霧偽点処理の見直しを実施。「視程と霧偽点数の傾向」と「偽点の発生位置」が実験データと同傾向となるよう処理を改良した。

霧偽点の発生位置と偽点数の関係のグラフ



※ 0m位置にLiDARが設置されていて、±9mの位置に壁が設置されている

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (2). 霧の研究】 霧モデルの、ユーザビリティを向上。

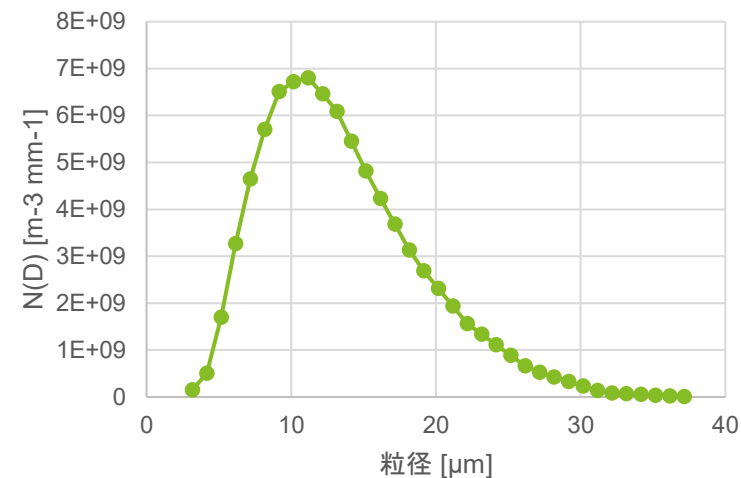
霧の濃度の設定を視程を用いて行うことができるようになり、ユーザーの利便性が大きく向上。

【視程換算式】

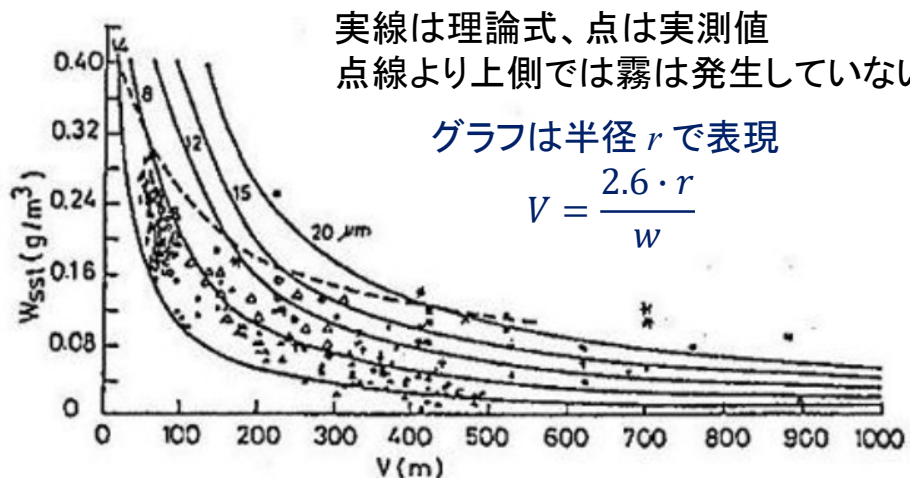
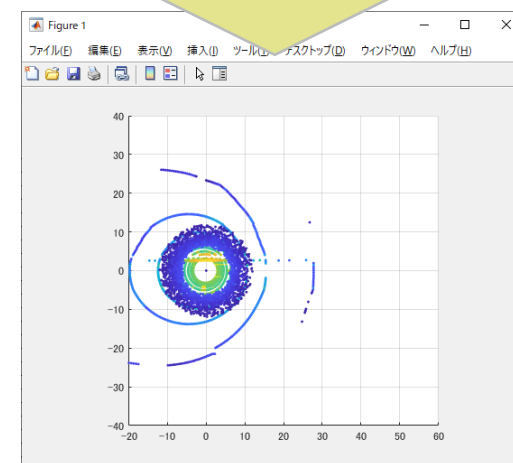
$$VIS = \frac{1.3D}{w}$$

VIS : 視程 (m)
D : 霧粒の粒径 (μm)
w : 霧水量 (g/m^3)

粒径分布に変換



偽点の再現



テーマ(1)-1.b

- ① 雪研究
- ② 霧研究
- ③ **クレディビリティ・アセスメント** (旧名: 一致性検証カタログ)
- ④ 外付けカメラ雨滴付着の研究

【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】

サマリー

クレディビリティ・アセスメント (旧名: 一致性検証カタログ)

自動運転の安全性の認可に向けたシミュレーション評価において、シミュレータの環境モデル・空間モデル・センサモデルが利用可能なモデルになっていることをクレディビリティ・アセスメントとしてまとめた。

【実施内容】

- ・3年間で環境・空間・センサモデルの拡充を実施
- ・従来(SIP-ADAS)の資料と3年間で拡充したものを、原理検証、形式化検証、妥当性検証という形で再整備を完了

【成果物】

- ・認可・認証に利用可能なエビデンスとしてADS事業者、許認可先等への提出を検討する
 - 国内: JAMAと連携して提案にしていくことを検討
 - 海外提案先: ASAM
 - カタログ一覧として提案

【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】 センサ弱点シナリオの生成について: SIP第2期の活動(2019~2022年度)

JAMA活動

認識外乱の事象リスト
発生原理

認識外乱要因

センサの認識外乱要因と発生原理のマトリックス
ミリ波レーダ、LiDAR、カメラ
延べ数百項目

2021~2022年度

SafetyAssurance合同推進タスクフォース
JAMA、JARI、AD-URBAN とDIVPの共同作業

DIVP活動

優先度付け①

各事象に対して、(致命度・影響度)と、
(シミュレーションの必要性)の観点で
優先度付け

認識外乱の事象

センサ	事象	発生原理	結果	スコア	致命度・影響度	シミュレーションの必要性	優先度
ミリ波レーダ	レーザ光の反射物、センサー、センサーの検出により検出が漏れる	レーザ光の反射物、センサー、センサーの検出により検出が漏れる	検知失敗 (FN)	2	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	高
ミリ波レーダ	検知、検知済みの危険物による誤検知	検知、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の形状、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の形状、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	6	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	高
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	6	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	高
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
ミリ波レーダ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中

(優先度スコア)
= (致命度・影響度)
× (シミュレーションの必要性)

[優先度付け①での課題]

- ・センサ弱点現象の評価にとどまっている
 - ・認識結果へ影響する度合いの観点不足
 - ・安全性評価の観点による、発生頻度が考慮されていない
- ⇒ センサ弱点シナリオの優先付けを実施

優先度付け②

(センサ弱点原理の重要度)と、
(センサ弱点要因の頻度)による
2つめの優先度付け

Table 1-53 センサ弱点原理(カメラ)の重要度スコア

センサ	事象	発生原理	結果	スコア	致命度・影響度	シミュレーションの必要性	優先度
カメラ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中
カメラ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	中

一部拡大表示

No.	センサ	事象	発生原理	結果	スコア	致命度・影響度	シミュレーションの必要性	優先度
61	カメラ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	16
62	カメラ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	16
63	カメラ	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の加速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	16
64	カメラ	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の位置、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FN)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	10
65	カメラ	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知済みの危険物の速度、大きさ、検知済みの危険物による誤検知	検知失敗 (FP)	4	検知漏れで、危険物が検出されない	検知漏れで、危険物が検出されない	10

(重要度スコア)

“センサ弱点シナリオ”の生成

【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】

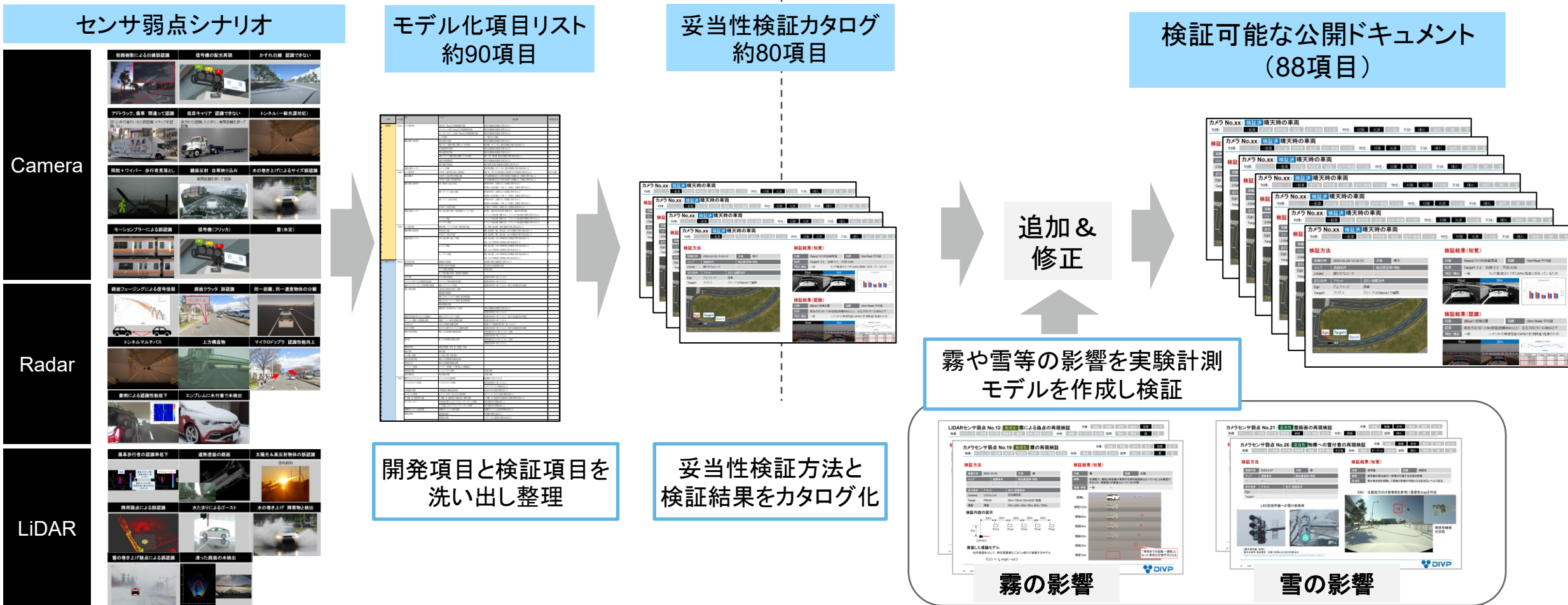
SIP第2期の活動をベースに、妥当性検証カタログを追加修正し検証可能な公開ドキュメントを作成

センサ弱点シナリオと基礎検証シナリオをベースに
妥当性検証カタログを作成

SIP第2期(2019~2022年度)

霧や雪等の影響他を妥当性検証カタログに追加し、
検証可能な公開ドキュメントを作成

DIVP (2023~2025年度)



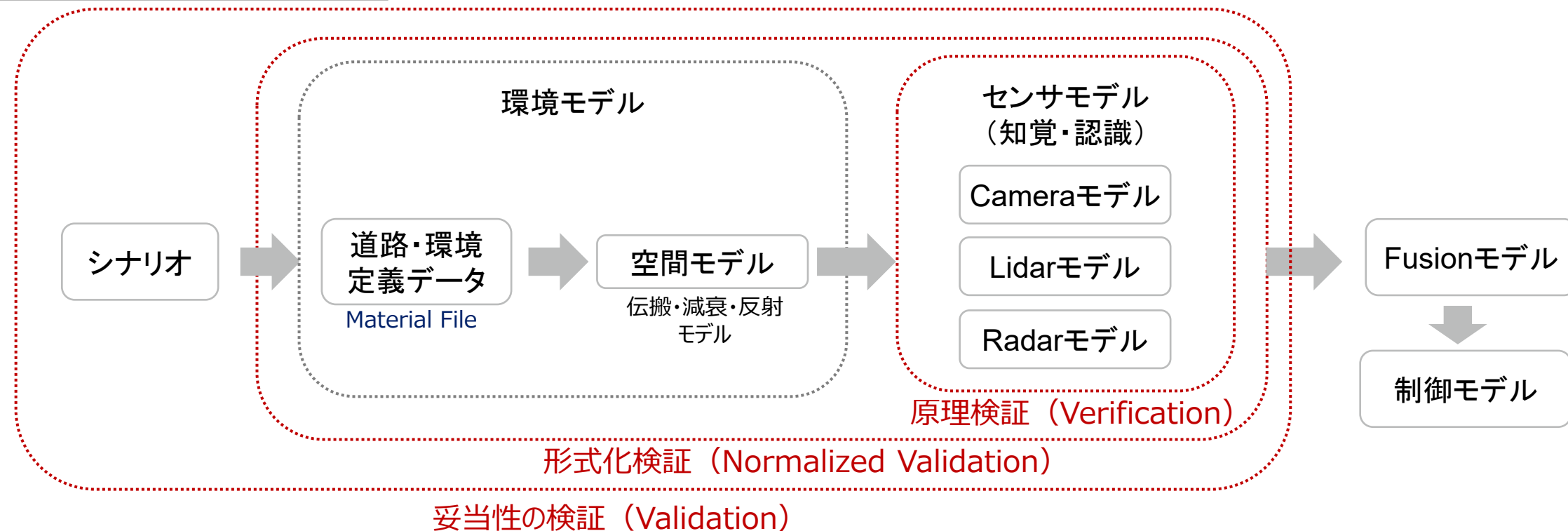
【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】

一貫性カタログを、クレディビリティ・アセスメントの観点で再整理 & 追加検証(～2025年度)

クレディビリティの観点から、評価項目を“原理検証”、“形式化検証”、“妥当性の検証”の3種類に分類し再整理

- ・原理検証: センサの性能(カタログ値)を真値と定量的に比較した項目 (Verification)
- ・形式化検証: 環境の物理現象等を数式を用いてモデル化した項目 (Normalized Validation)
- ・妥当性の検証: 実際のシーンを想定したシナリオを基に性能評価の項目 (Validation)

DIVPシミュレータの構成



【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】 クレディビリティ・アセスメント分類見直し(～2025年度)

評価項目を“原理検証”、“形式化検証”、“妥当性の検証”の3種類に分類し再整理を実施。
現在の観点で見直し、クレディビリティ検証の対象とならない項目は“対象外”とする。

種類	ケース数	原理検証	形式化検証	妥当性検証	対象外
Camera基礎	12	4	0	8	0
Camera弱点	27	0	5	10	12
LiDAR基礎	6	1	2	3	0
LiDAR弱点	18	0	6	5	7
Radar基礎	10	3	2	3	2
Radar弱点	15	0	7	6	2
小計	88	8	22	35	23

【テーマ(1)-1.b 「クレディビリティ・アセスメント」の研究】 クレディビリティ・アセスメント（一覧表：全88項目）

Camera基礎、Camera弱点

No.	検証内容	分類	コメント
Camera基礎No.1	パターンボックスを用いた検証	原理検証	実測とSimは一致
Camera基礎No.2	カラーチャートによる検証	原理検証	実測とSimは一致
Camera基礎No.3	グレースケールによる検証	原理検証	実測とSimは一致
Camera基礎No.4	レンズ歪み、周辺減光の再現	原理検証	実測とSimは一致
Camera基礎No.5	車両反射特性の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.6	車両ジオメトリ精度の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.7	歩行者反射特性の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.8	白線反射特性の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.9	白線ジオメトリ精度の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.10	太陽光放射輝度の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.11	屋間の路面反射特性の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera基礎No.12	カットインの検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.1	街路樹影の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.2	信号機灯火特性の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.3	フリッカ現象の再現検証	形式化検証	実測とSimは一致
Camera弱点No.4	ランプ式信号機の再現検証	対象外	LED型が主流のためランプ式は対象外
Camera弱点No.5	かすれ白線の未認識再現	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.6	NCAP向け街灯の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.7	ヘッドライトの再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.8	夜天候輝度の再現検証	形式化検証	理論実装のため一致すると考える
Camera弱点No.9	夜間歩行者飛び出しの再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.10	アドトラックの誤認識再現検証	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.11	低床トラックの誤認識再現検証	対象外 (Asset有)	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.12	映り込みによる誤認識再現検証	対象外 (Asset有)	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.13	ワイパーでの認識弱点再現	対象外 (Asset有)	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.14	水巻き上げの認識弱点再現	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.15	水たまり反射の認識弱点再現	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.16	降雨の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致。水滴付着の更なる改善要。
Camera弱点No.17	降雨による認識弱点の再現検証	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.18	霧の再現検証	形式化検証	実測とSimは一致
Camera弱点No.19	霧による認識弱点再現検証	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.20	雪路面の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.21	雪壁の再現検証	対象外	雪種依存性高く検証困難のため対象外
Camera弱点No.22	センサ面への雪付着の再現検証	対象外	雪付着条件設定困難のため対象外
Camera弱点No.23	降雪による認識弱点の再現検証	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.24	雪巻き上げの認識弱点再現	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
Camera弱点No.25	物標への雪付着の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Camera弱点No.26	モーションブラーの再現検証	形式化検証	実測とSimは一致
Camera弱点No.27	近赤外領域の再現検証	形式化検証	実測とSimは一致

LiDAR基礎、LiDAR弱点

No.	検証内容	分類	コメント
LiDAR基礎No.1	標準反射板による基本特性の検証	原理検証	実測とSimは一致
LiDAR基礎No.2	車両反射点の検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR基礎No.3	歩行者（子供）ダミー反射点の検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR基礎No.4	静止車両への接近の検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致。ガラスモデルの更なる精度向上要。
LiDAR基礎No.5	カットインの検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致。
LiDAR基礎No.6	カットアウトの検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.1	黒革による低反射の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.2	黒色車の低反射の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.3	高反射路面の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.4	ガラスの透過再現検証	対象外	ガラス種類依存性高く検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.5	太陽光・背景光の影響検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.6	降雨減衰の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR弱点No.7	降雨散乱の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR弱点No.8	センサ面の雨滴の影響再現	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR弱点No.9	水たまりの反射の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR弱点No.10	濡れ路面の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
LiDAR弱点No.11	水巻き上げの認識弱点再現	対象外	認識依存で検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.12	霧による偽点の再現検証	形式化検証	実測とSimは一致
LiDAR弱点No.13	降雪減衰の再現検証	対象外	雪種依存性高く検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.14	降雪散乱の再現検証	対象外	雪種依存性高く検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.15	雪路面反射の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
LiDAR弱点No.16	雪壁反射の再現検証	対象外	雪種依存性高く検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.17	センサ面に付着する雪の検証	対象外	センサ設置条件で変化し検証困難のため対象外
LiDAR弱点No.18	雪巻き上げの認識弱点再現	対象外	認識依存のため検証困難のため対象外

Radar基礎、Radar弱点

No.	検証内容	分類	コメント
Radar基礎No.1	センサ基本特性の検証	原理検証	実測とSimは一致
Radar基礎No.2	CRの自由空間での受信電力の検証	原理検証	実測とSimは一致
Radar基礎No.3	CRの路面での受信電力の検証	原理検証	実測とSimは一致
Radar基礎No.4	乗用車の反射点の検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar基礎No.5	トラックの反射点の検証	対象外 (Asset有)	形状複雑で検証困難のため対象外
Radar基礎No.6	バイクの反射点の検証	対象外 (Asset有)	形状複雑で検証困難のため対象外
Radar基礎No.7	歩行ダミーの反射点の検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar基礎No.8	静止車両への接近の検証	妥当性検証	概ね一致、車両底面反射の更なる改良要。
Radar基礎No.9	カットインの検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar基礎No.10	カットアウトの検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.1	マンホールの反射の再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.2	壁面反射特性に再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.3	マルチパスゴーストの再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.4	上方構造物の反射再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.5	ガードレールの反射再現検証	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.6	同一距離・速度の分離再現	妥当性検証	妥当なレベルで一致
Radar弱点No.7	歩行者マイクロドップラー	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.8	車によるマイクロドップラー	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.9	近距離ターゲットの反射点	対象外	条件複雑で検証困難のため対象外
Radar弱点No.10	降雨減衰の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.11	降雨散乱の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.12	センサ面の雪付着の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.13	雪路面の再現検証	形式化検証	実測とSimは概ね一致
Radar弱点No.14	雪壁の再現検証	対象外	雪種依存性高く検証困難のため対象外
Radar弱点No.15	電波干渉の再現検証	形式化検証	実測とSimは一致

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡張」】 クレディビリティ・アセスメント例

クレディビリティ・アセスメントの例を以下に示す。クレディビリティ・アセスメント全体は添付資料とする。

カメラ基礎 No.12: 妥当性 カットインの検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2024-12-10	天候	晴れ
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線3車線		
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Ego	アルファード	70km/hで走行	
Target1	プリウス	80km/hで走行	

検証結果(認識)

対象	先行車	指標	画像
結果	実車画像からカットイン車両を再現した画像上位置(角度)は一致		
妥当性	実機とSimで再現したカットイン車両の画像位置(角度)は一致しており、カットイン車両が妥当なレベルで再現できている		

実車画像とSim画像から検出した、カットイン車両の画像上の位置(角度)

70km/h 約14m 2.4 m/s
80km/h
カットイン車両(プリウス)

画像中心から車両中心までの垂直角度(下が正)

→ 画像中心から車両中心までの水平角度(右が正) →

12 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

カメラセンサ弱点 No.20: 妥当性 雪路面の再現検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2022-01	天候	晴れ
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線	任意車線、わだち	
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Ego	アルファード	10.30km/h	
Target1	プリウス	静止	

検証結果(知覚)

対象	雪路面	指標	目視
結果	目視で同等の表現となっていることを確認		
妥当性	Simでの雪面反射率データを用いた路面表現は、実車画像と同等であり、認識の評価が可能となる妥当なレベルである		

実験画像 Sim画像

検証方法 任意車線、わだち

10.30km/h

LIDAR雪面反射実験時に可視光線の雪面反射率の測定を同時実施
測定により得られた特性(Lambert反射)を雪面表現に反映
また、任意(表面研削)時の路面反射率も特性に盛り込んだ

14 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

LiDARセンサ弱点 No.15: 妥当性 雪路面反射の再現検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2022-01	天候	晴れ
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線	任意車線、わだち	
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Ego	アルファード	10.30km/h	
Target1	プリウス	静止	

検証結果(知覚)

対象	雪路面	指標	目視
結果	白色Lambertの特性が反映できていることを確認		
妥当性	赤外光の雪反射率の測定値を用いてSim画像を生成、妥当なレベルで一致している		

検証方法 任意車線、わだち

10.30km/h

Sim画像【雪路面】 Sim画像【通常路面】

LIDAR雪面反射実験にて赤外光の雪面反射率の測定を実施
測定により得られた特性(Lambert反射)を雪面表現に反映
白色Lambertの特性により通常路面よりも高高度度が高くなっている

雪面の凹凸が見える

16 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

カメラセンサ弱点 No.18: 形式化 霧の再現検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2022-10-18	天候	霧
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線		
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Camera	リファレンス	定位固定	
Target	PRIUS	20m~100mに20mおきに配置	
視程	視程	10m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m	

検証結果(知覚)

対象	霧	指標	目視
結果	各視程で、視程と等距離の車両が目視可能境界となっていることを確認できるため、理論通りの実装となっていると判断		
課題・考察	一致		

霧無し
視程100m
視程80m
視程60m
視程40m
視程20m
視程10m

「車両までの距離 > 視程」となった車両は目視不可となる

実装した理論モデル
光の強度をとして、単位距離進むごとにα倍だけ減衰するモデル
 $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$

10 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

LiDARセンサ弱点 No.12: 形式化 霧による偽点の再現検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2025-2-4	天候	霧
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線	再実験路内	
走行条件	アセット	走行・設置条件	
LIDAR	Velodyne VLP16	定位固定	
Target1	低反射体	LIDARに対して正対 LIDARから9mの位置に設置	
霧	霧	視程20mに濃度固定後、噴霧停止し霧を自然に晴らす	

検証結果(知覚)

対象	偽点	指標	偽点数
結果	各視程での偽点数の傾向が実験とシミュレーションで同等の傾向		
課題・考察	一致		

LIDAR偽点モデル理論式

$$P_{Rx}(R) = P_{Tx} \times \frac{A_{Rx}}{R^2} \times \exp(-2\alpha R) \times \Delta R \times \beta \times N_{Rx} \times C$$

PRxRX 受信光パワー[W]
PTXRX 射出光パワー[W]
ARX 受光開口面積[m²]
R 物体までの距離[m]
ΔR 最小空間分解能[m]
α 減衰係数[m⁻¹]
β 後方散乱係数[m²sr⁻¹]
N_{Rx} 検出範囲に入る層数
N_{Return} 検出範囲に含まれる平均層数
C LIDARごとの係数

9m 低反射体 ビーム

視程ごとの偽点数比較

15 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

Radarセンサ弱点 No.05: 妥当性 ガードレールの反射再現検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証方法

実験日時	2025-9-26	天候	晴れ
マップ	道路条件	周辺建物・特色	
車名高速	直線	ガードレール	
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Ego	アルファード	高速走行	
Target1	-	-	

検証結果(知覚)

対象	ガードレールの反射特性	指標	Sim結果-実測
結果	ガードレールのマテリアルを、水平板とポール部を別のマテリアルに設定することで、ガードレールの規則的な反射特性をSimで再現		
妥当性	妥当なレベルで一致している		

レーダ出力: ガードレールを規則的な点列として検出(ポール部からの反射)

実験画像 Sim画像

ガードレールの水平板とポール部を別のマテリアルに設定
Sim: レーダ出力

17 XXX 神奈川県立神奈川工科大学 DIVP

テーマ(1)-1.b

- ① 雪研究
- ② 霧研究
- ③ クレディビリティ・アセスメント (旧名: 一致性検証カタログ)
- ④ 外付けカメラ雨滴付着の研究

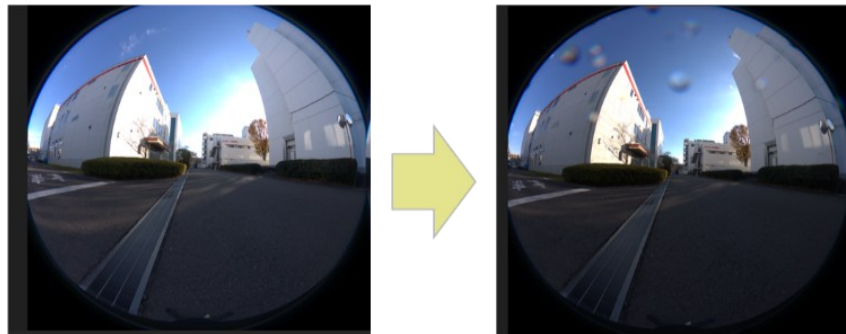
テーマ(1)-1.b外付けカメラ雨滴付着の研究 外付けカメラの水滴付着モデルの作成と妥当性の検証

経緯・目標

「車外カメラによる全周監視システム」は、自動運転車はもちろん、直近のADAS車でも実用化が期待される技術である。実用化への課題の一つとして、降雨時にレンズに水滴が付着して視界が阻害される問題がある。

昨年度は、レンズへの水滴付着による視界阻害をシミュレーションで再現する技術を試作したプログラム試作は終えたが、実験による妥当性の検証とそれによるモデルの調整を今年度で計画

DIVP-PFへ、「レンズへの水滴付着モデル」を拡張



Step1:

DIVP内の研究用に、
現実世界の任意の写真に対して、
水滴を付着するソフトを開発した。

【結果】

一致性の確認: 実環境データを取得し、モデルとの比較を今後検討
認識性能評価実施予定
夜間については今後



Step2:

仮想世界（DIVP-PF）のカメラ映像に対して、
水滴を付着するソフトを開発した。

2024年度資料より

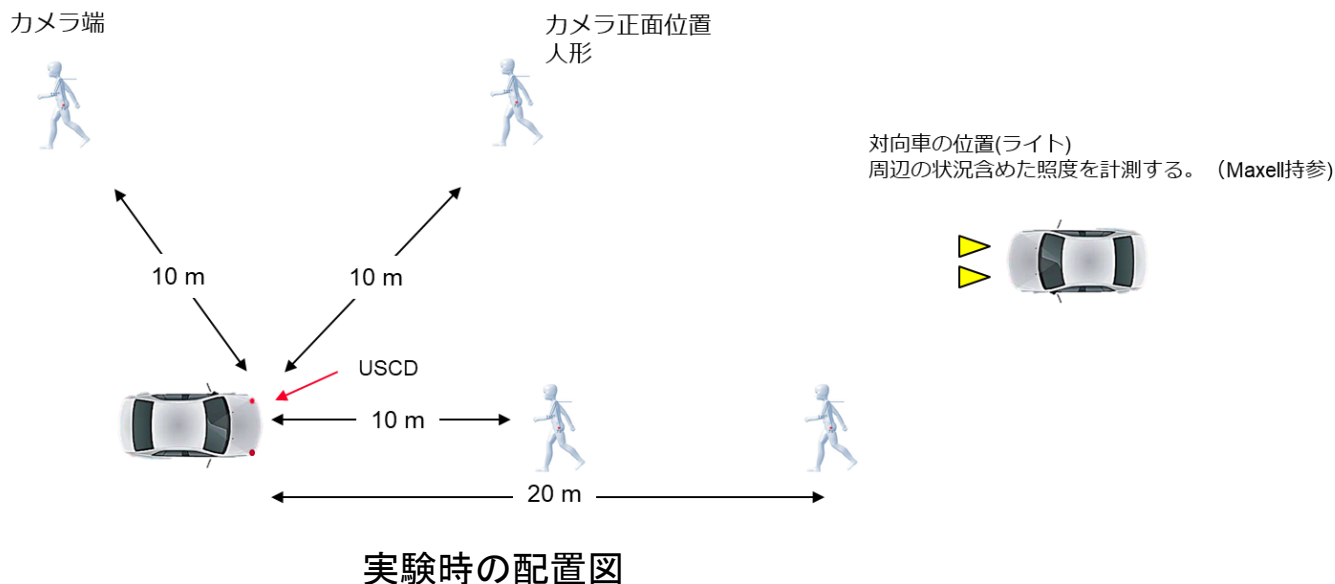
テーマ(1)-1.b外付けカメラ雨滴付着の研究 外付けカメラの水滴付着モデルの作成と妥当性の検証

実施内容

【実験データの取得】

①村田製作所・マクセルフロンティアのカメラ及び水滴除去技術にて雨滴付着の観測

- ・自然の雨: 1mm/h、5mm/h程度の雨滴の付着状況確認済
- ・水滴付着状況と認識性能確認のために、スプレー等によるデータの取得を実施

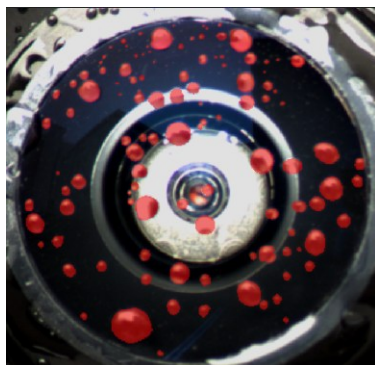


- ・カメラ中心位置にNCAP用ダミー人形を配置
- ・雨滴はスプレーで連続噴霧を実施
- ・夜間はレンズ撮影用のカメラを調整(10FPS)し雨滴観測

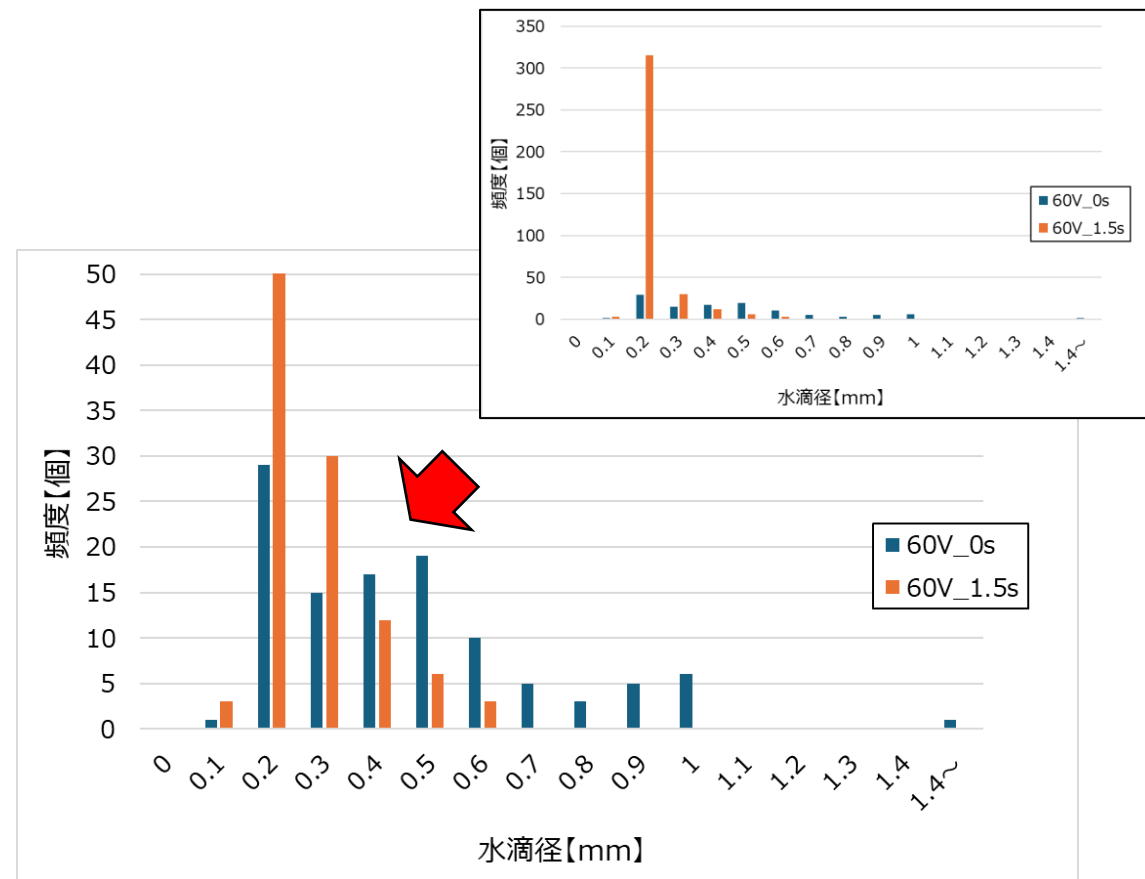
テーマ(1)-1.b外付けカメラ雨滴付着の研究 外付けカメラの水滴付着モデルの作成と妥当性の検証

水滴径ごとの内部映像の影響

• 60V 0s



• 60V 1.5s



- ✓ 霧化駆動前の内部映像は水滴による認識障害があるが、駆動後はほぼ確認されず
- ✓ 水滴径の分布からは、0.6mm以下の水滴であれば日中における視野の障害は少ない
- ✓ 60V(25 μ m)、1.5s以上の駆動で水滴除去可能

テーマ(1)-1.b外付けカメラ雨滴付着の研究

外付けカメラの水滴付着モデルの作成と妥当性の検証

実施内容

【実験結果と考察】

- ①水滴の大きさと認識性能の評価可能な手法が確立できた
⇒昼の実験にて直径0.6mm以下の水滴では認識性能(YOLOv11例)に影響が少ないことが分かった
- ②夜間是对抗するヘッドライトの影響でフレアが出来ることは分かった。
- ③同時に行った水滴除去技術(USCD)においては60V(25 μ m)以上で1.5sの動作で有れば除去できることが分かった。

【課題】

- ①夜間自車のヘッドライトや周辺光の影響を踏まえた実験方法の確立が必要:今後検討していく
- ②シミュレーションモデルの妥当性の検証

【成果物】

- ・雨滴環境での実験手順
- ・雨滴と認識性能評価手法
- ・各実験データ

テーマ(1)-1.c

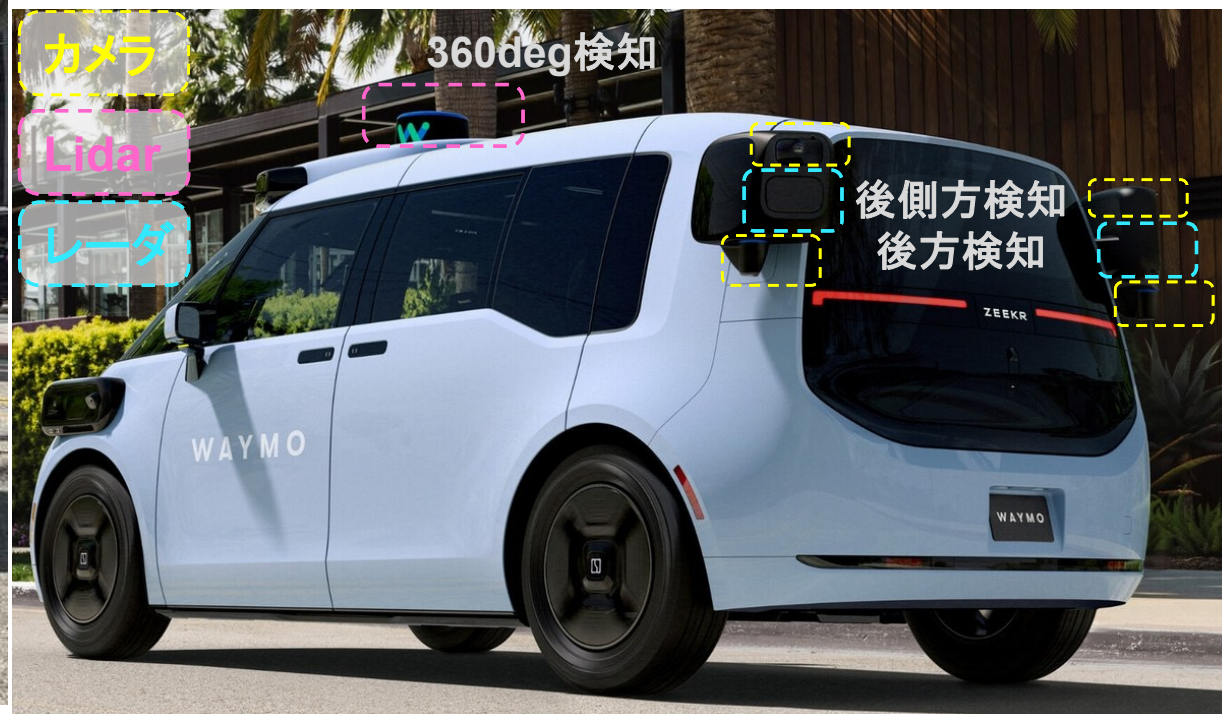
- ① マルチセンサ対応と、その画期的な高速化
- ② 「全国100ヶ所」への活用・貢献

【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】 マルチセンサの、具体的な目標台数を決定した。

Waymoの最新車両に合わせて、センサ23台とした。

	第5世代 (2020年3月)	第6世代 (2024年8月)
カメラ	29個	13個
Lidar	5個	4個
レーダ	6個	6個

コストダウン

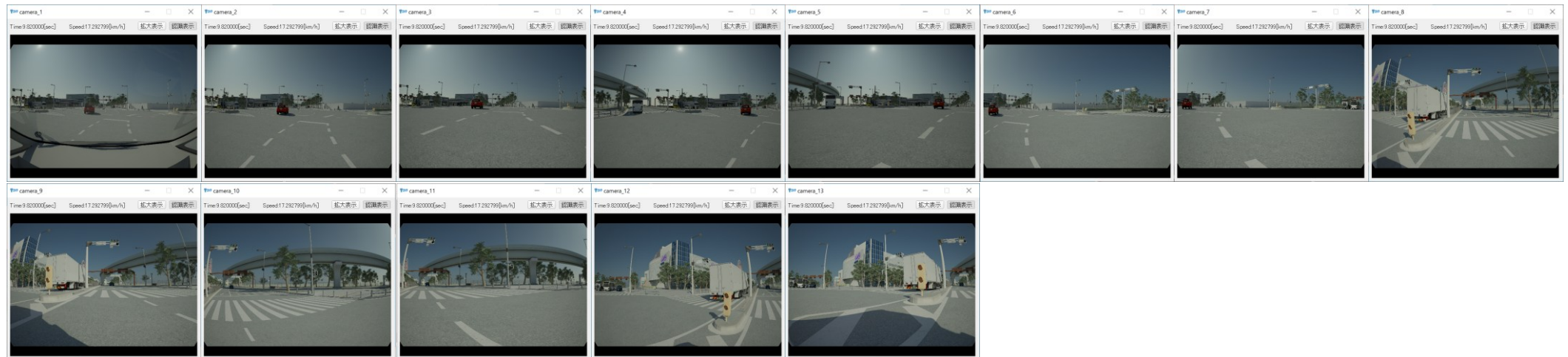


【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

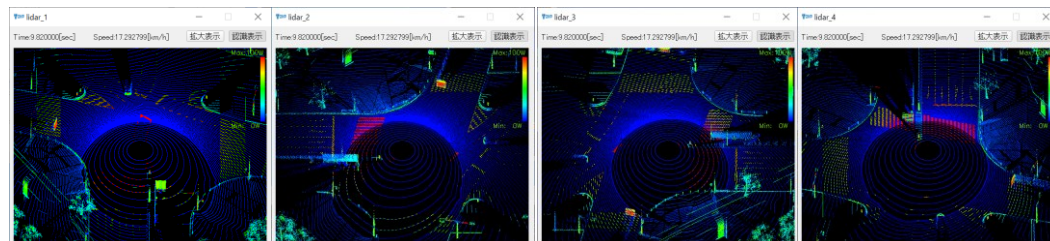
その目標台数のセンサを同時にシミュレーションできるよう、DIVE-PFを機能拡張した。

センサ23台を同時シミュレーションできることを確認した。来年度、連携プロジェクトに展開予定。

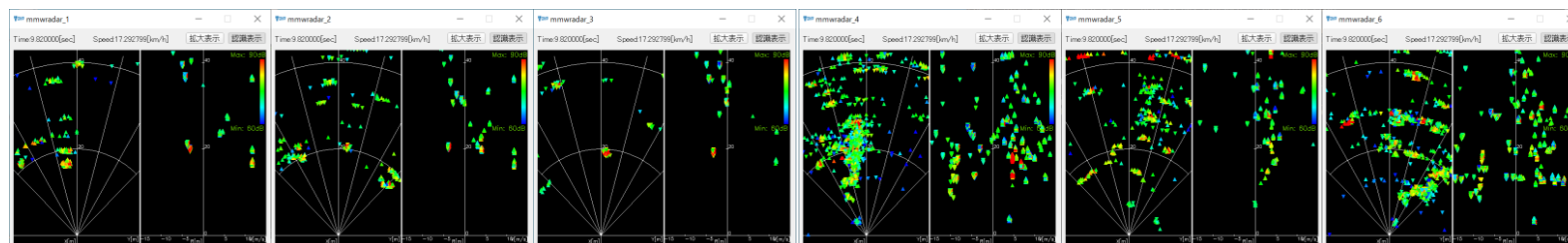
カメラ 13台



LiDAR 4台



レーダー 6台

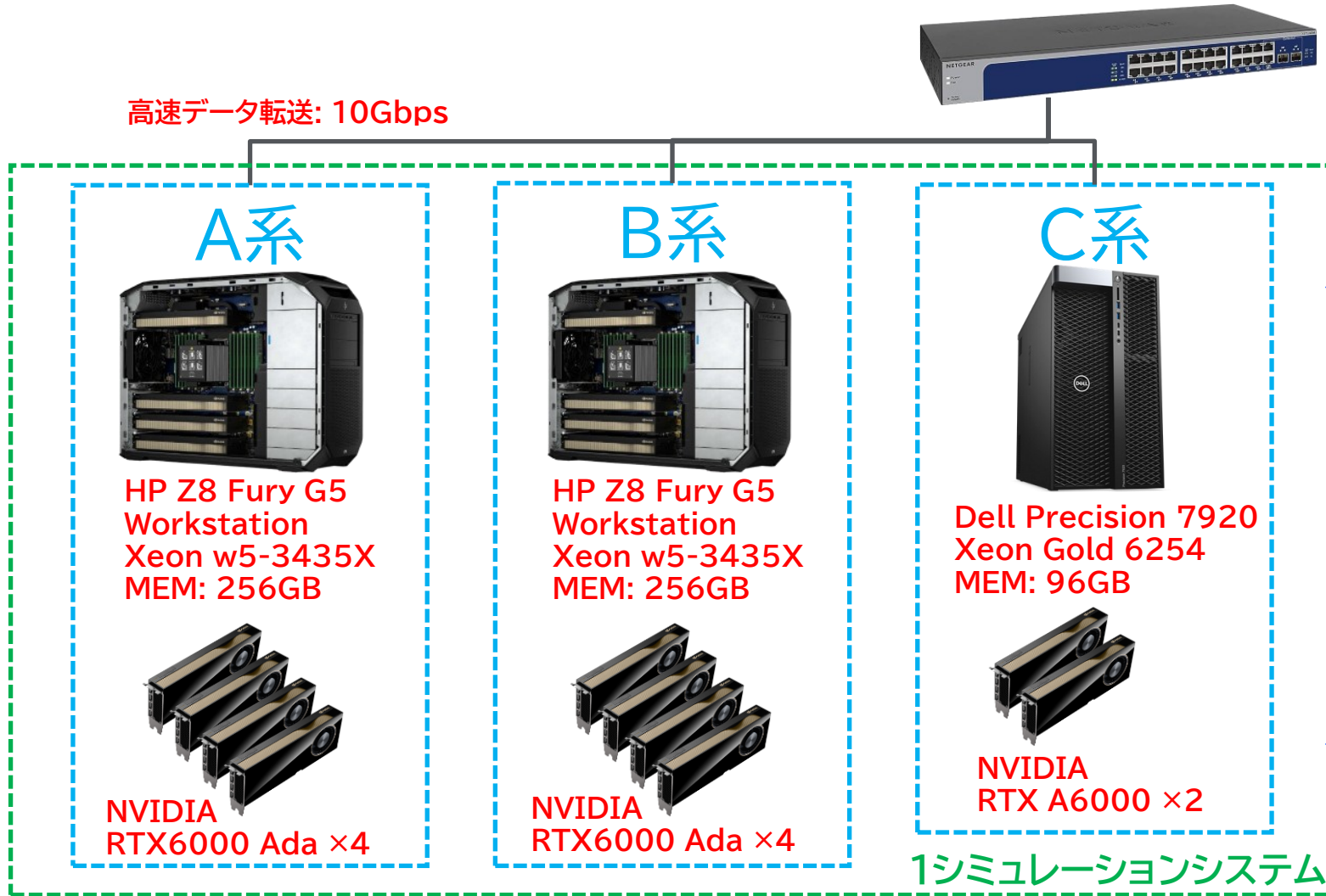


【テーマ(1)-1.c「マルチセンサへの対応」】

高性能ワークステーションで、合計23センサ(カメラ×13台、LIDAR×4台、ミリ波×6台)のマルチセンサシミュレーション環境を構築し、評価を実施した。

FY24年度末報告

マルチセンサシミュレーション環境の概要



【計算機構成】

PC×3台、GPU×10台

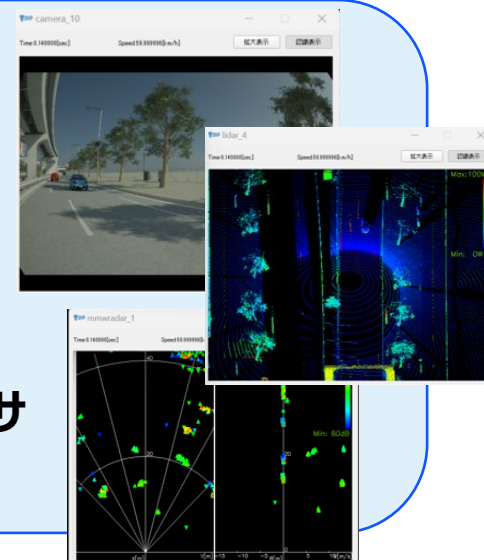
(GPU内訳)

NVIDIA RTX 6000 Ada×8台
NVIDIA RTX A6000×2台

【センサ構成】

カメラ×13台
LiDAR×4台
ミリ波×6台

→合計23センサ



【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 2025年度の取り組み

画期的な高速化への取り組み

2024年度

DIVPシミュレータを多数のセンサの同時シミュレーションが実施可能な本格的マルチセンサシミュレータへと改修



2025年度

さらなる高速化を目指し、カメラセンサのレンダリング処理における計算速度向上のため、以下の機能を実装

- ・アップスケーリング機能
- ・部分レンダリング機能

【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 アップスケーリング機能の実装

アップスケーリング機能とは



出力画像よりも解像度の低い画像をレンダリング

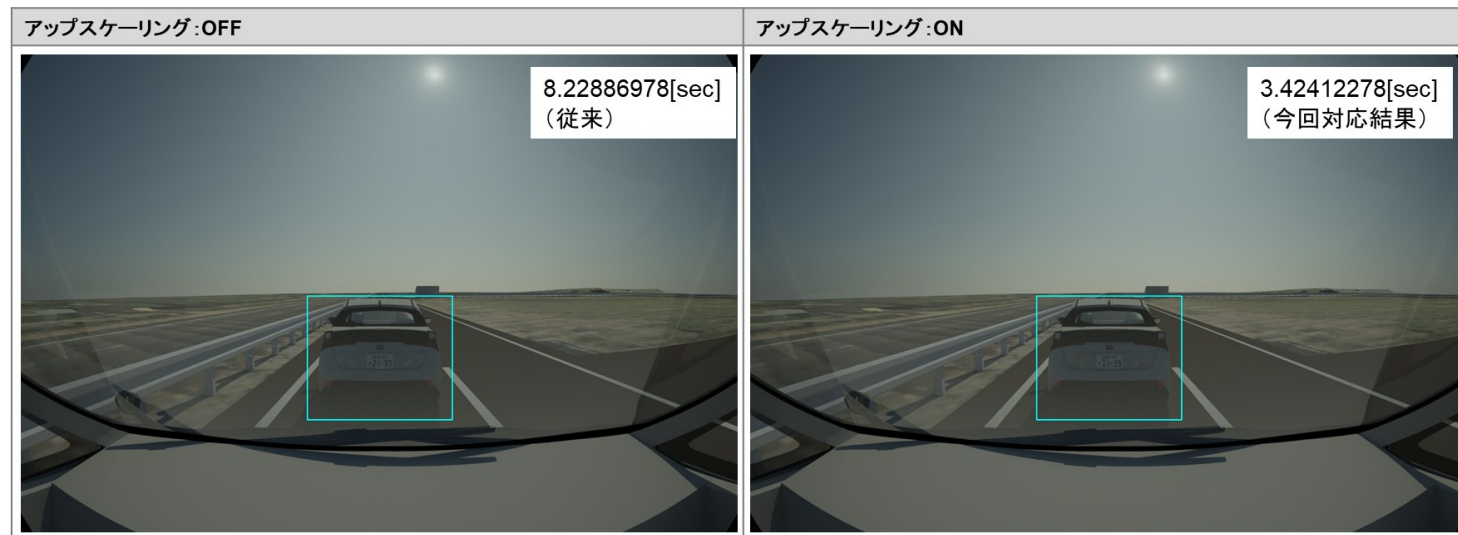


出力画像の解像度にアップスケーリング

解像度の低い画像のレンダリングにより
処理時間を短縮

例) 1448 x 938 (135万画素)でレンダリングし、
2896 x 1876 (540万画素)にアップスケーリング

アップスケーリング機能:効果測定



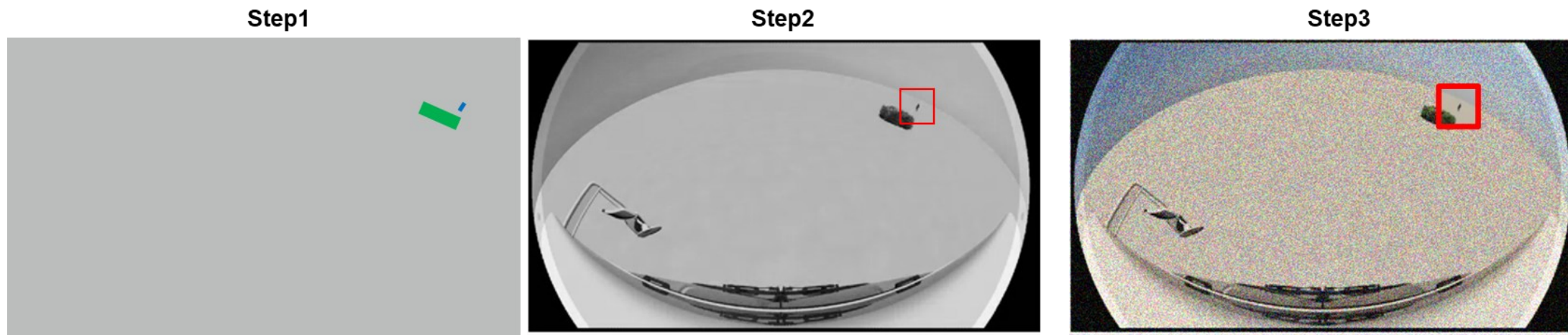
【測定条件】

- ・レンダリング回数: 100回に設定
- ・Default Scenario

アップスケーリング機能を活用することでパフォーマンスの良化を確認

【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 部分レンダリング機能の実装

部分レンダリング機能とは



- ・BBOXをスクリーン座標で計算
- ・ターゲットBBOX+ α の領域をROI設定

レイトレ開始

ROI内:レイトレ回数100回
ROI外:レイトレ回数 1回

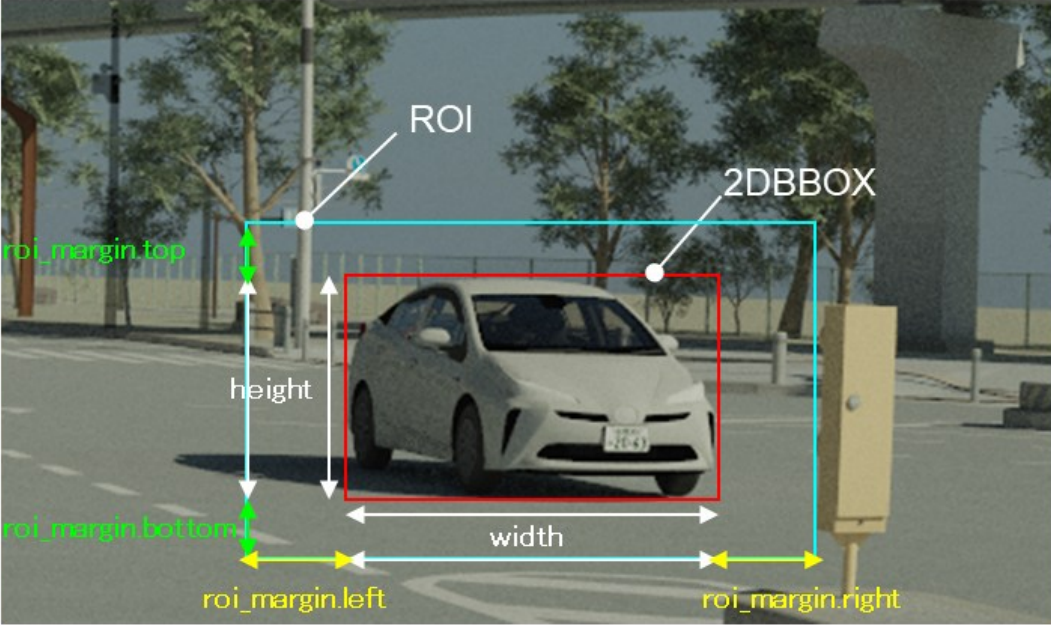
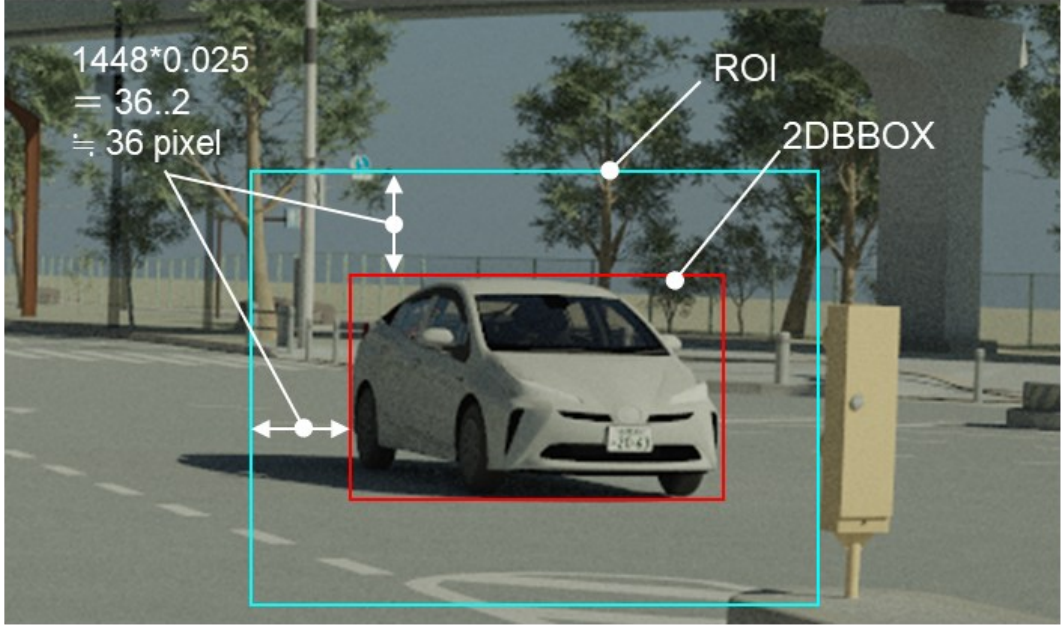
ROI内の注目オブジェクトに限定して従来通りにレンダリングし、
ROI外はレイトレ回数を減らしてレンダリングすることで、全体のレンダリング時間を短縮

部分レンダリング機能によって、1stステージ評価における認識性能モデル生成のための画像生成時間高速化が期待できる

【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 部分レンダリング機能の実装

部分レンダリング機能: ROIマージン設定

ROI領域設定時のマージンは、真値BBOX結果を活用して以下の2パターンで設定が可能

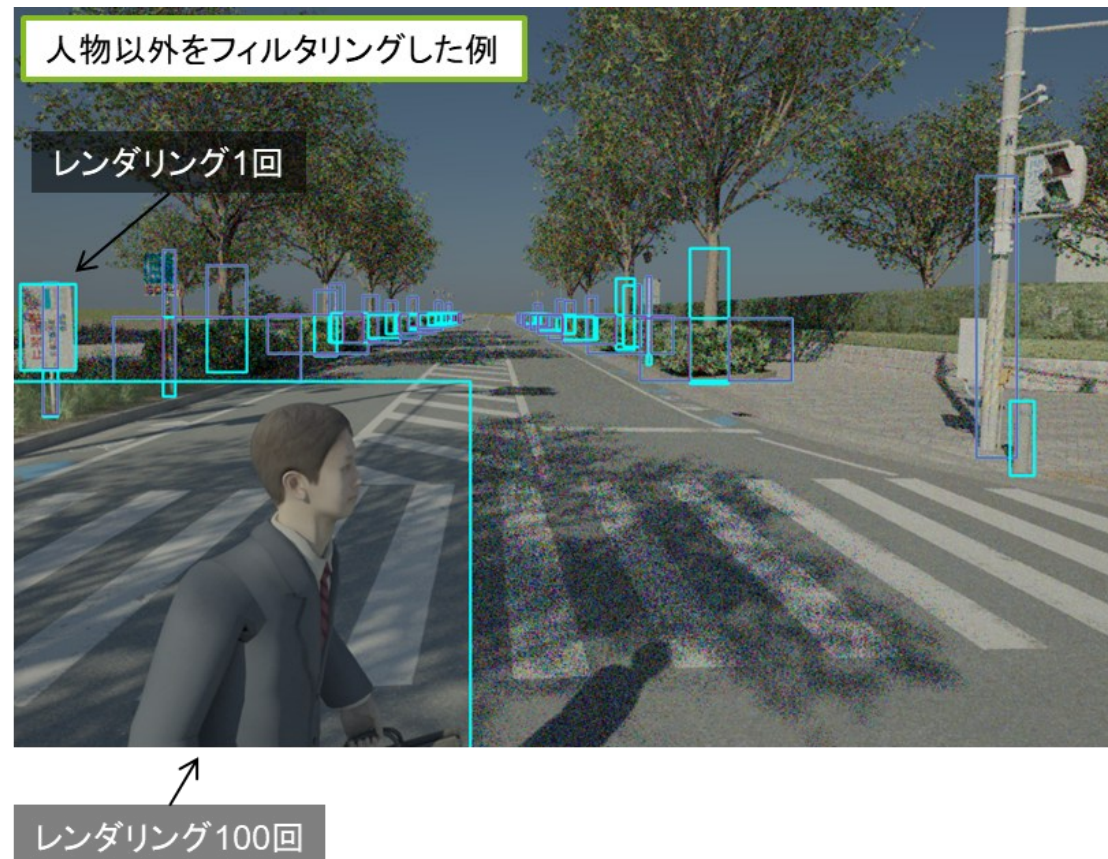
上下左右ピクセル指定	画像サイズの幅に対する割合
<p data-bbox="377 529 1082 606">真値BBOXの周囲に指定された上下左右のpixelマージンを付加してROIを拡大する</p> 	<p data-bbox="1319 511 1523 625">出力画像 1448x938</p> <p data-bbox="1574 529 2305 606">例えば左の画像サイズの時、マージンを2.5%と設定したら真値BBOXの周囲36pixelをマージンとする</p> 

【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 部分レンダリング機能の実装

部分レンダリング機能:部分レンダリング対象フィルタ設定

部分レンダリングを実行する際に、対象とする物標を以下のTYPEでフィルタリングが可能
着目したい物標のTYPEに絞り込むことでレンダリング領域をさらに低減することができ、処理時間の高速化が期待できる

TYPE一覧
TYPE_ROAD_MANHOLE
TYPE_OTHER
TYPE_POLE
TYPE_BARRIER
TYPE_WALL
TYPE_DELINEATOR
TYPE_BUILDING
TYPE_BRIDGE
TYPE_VERTICAL_STRUCTURE
TYPE_OVERHEAD_STRUCTURE
TYPE_TREE
TYPE_VEGETATION
TYPE_EMITTING_STRUCTURE
TYPE_TRAFFIC_SIGN_JPN_REGULATORY_PARKING_PROHIBITED
TYPE_TRAFFIC_SIGN_JPN_REGULATORY_BICYCLE_LANE
TYPE_SUPPLEMENTARY_SIGN_JPN_START
TYPE_TRAFFIC_SIGN_JPN_REGULATORY_EXCLUSIVE_LANE_FOR_ROUTE_BUS
TYPE_TRAFFIC_SIGN_JPN_REGULATORY_TURNING_RESTRICTION
TYPE_SUPPLEMENTARY_SIGN_JPN_FINISH

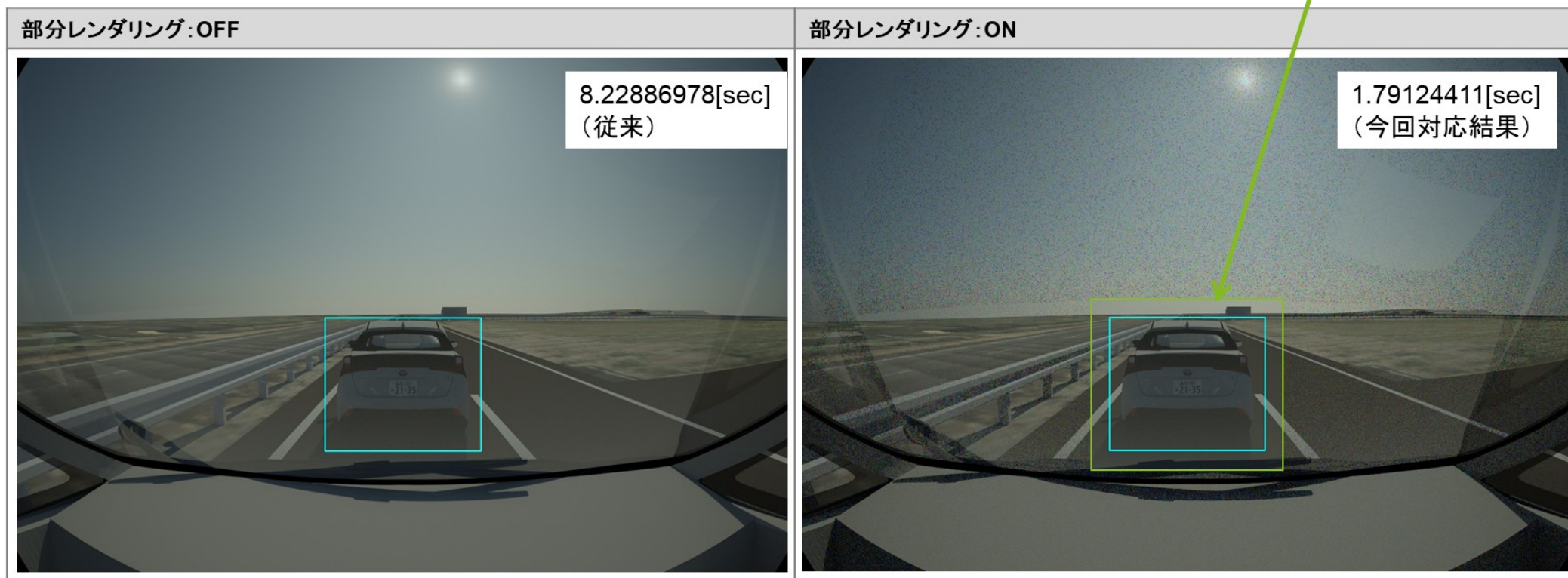


【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】 部分レンダリング機能の実装

部分レンダリング機能：効果測定

【測定条件】

- ・ROI内レンダリング回数：100回に設定
- ・Default Scenario



部分レンダリング機能を活用することでパフォーマンスの良化を確認

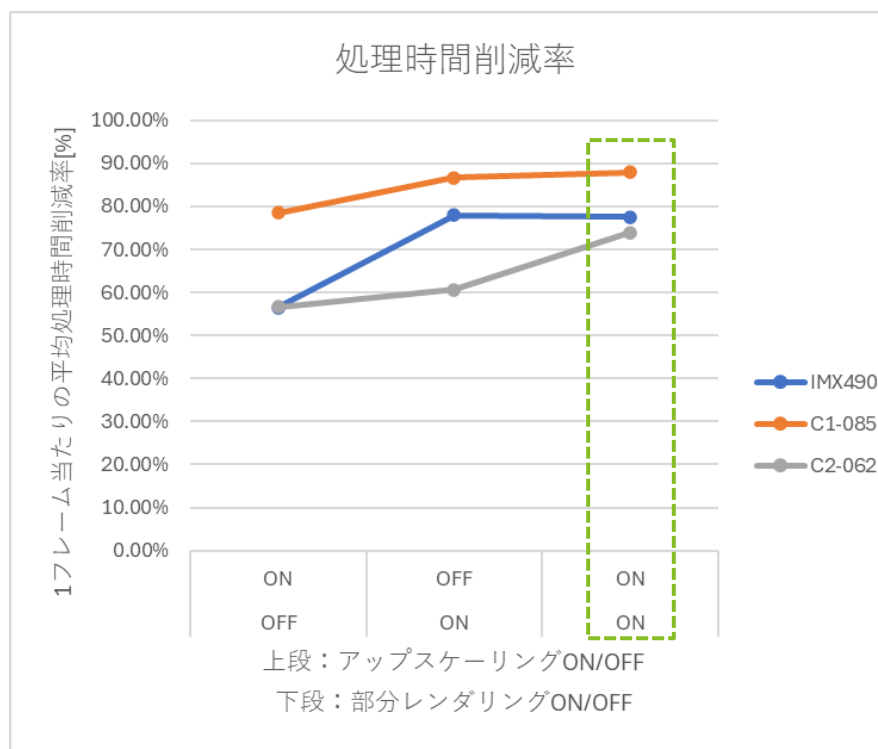
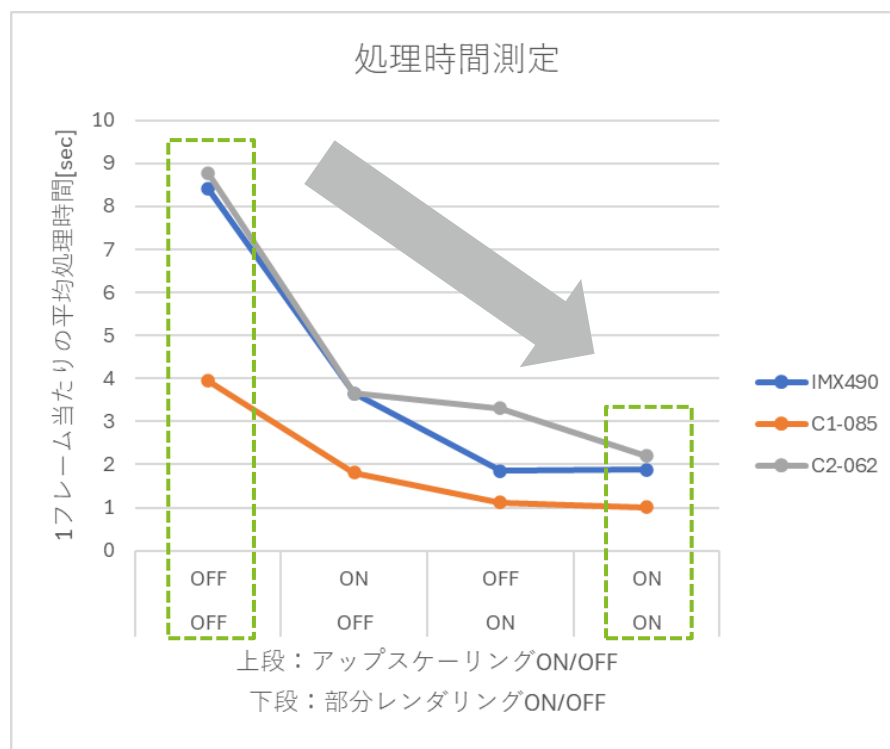
【テーマ(1)-1.c「マルチセンサ対応と、その画期的な高速化」】

アップスケーリング機能＋部分レンダリング機能の効果

効果測定

【測定条件】

- ・レンダリング回数／ROI内レンダリング回数：100回に設定
- ・Default Scenario



レンダリング処理時間について、**従来処理時間から70～90%の処理時間を削減**することができた

テーマ(1)-1.c

- ① マルチセンサ対応と、その画期的な高速化
- ② 「全国100ヶ所」への活用・貢献

「全国100ヶ所」への活用・貢献 2026年3月時点の一覧

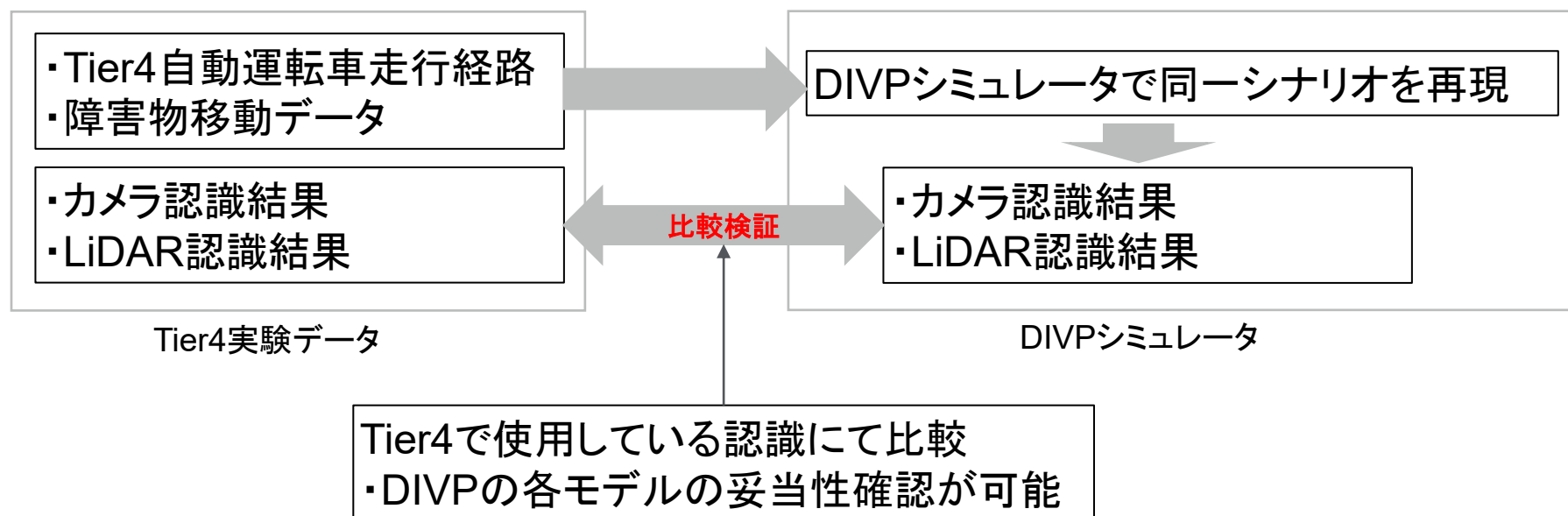
以下に認識シミュレーションでの
性能評価、妥当性評価を記載

全国100ヶ所への DIVPシミュレータ活用例	DIVPが連携した、 主担当を勤める国プロ	新規マップ 作製	使用するセンサ		
			Camera	LiDAR	Radar
長野県 塩尻市	SBIR	○	○	○	
新東名高速 遠州森町PA	デジタル全総	○	○	○	○
今後も増えて行く見込み					

テーマ(1)-1.c 長野県塩尻市への活用 安全性評価手法を確立することを目的にSBIRとの連携実施

目的

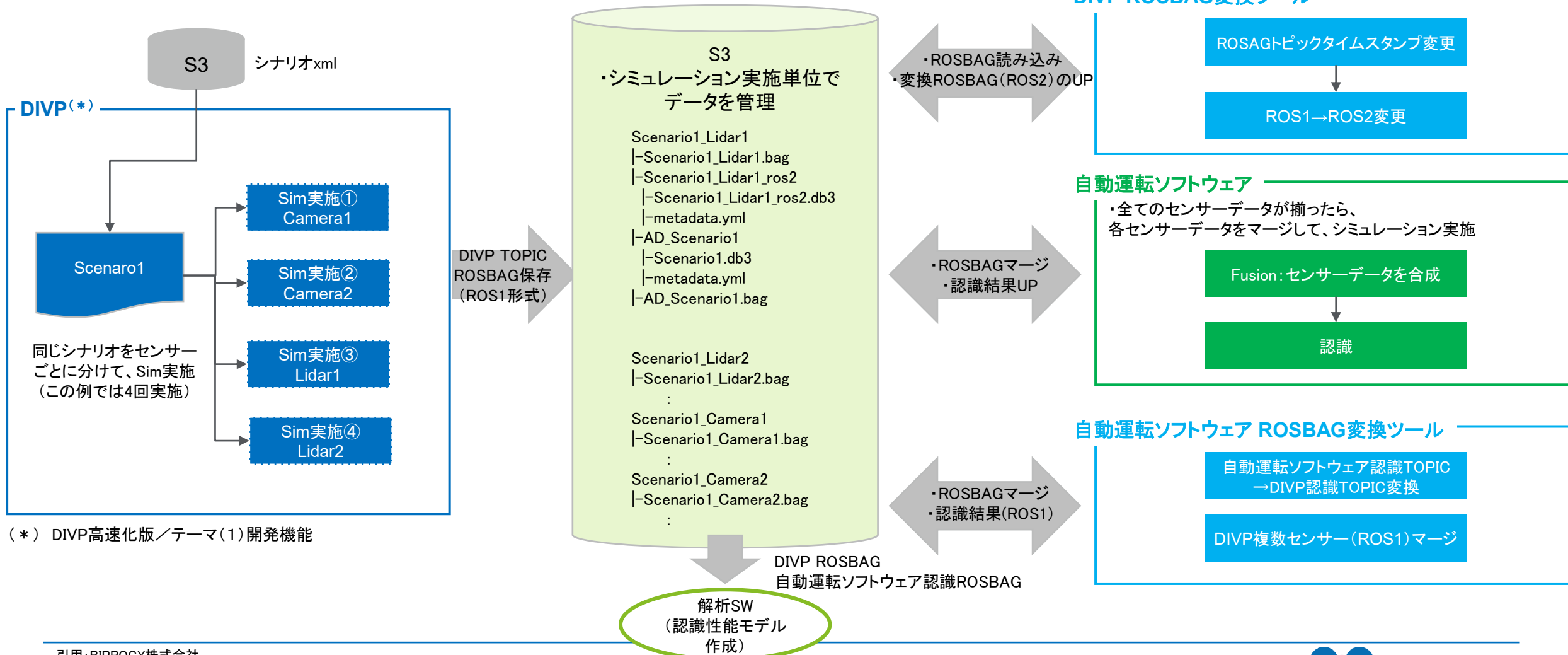
- 実車での安全性評価のシミュレーションへの移行による効率化
- 認識シミュレーションでの妥当性検証
 - Tier4の安全性評価を行った実験データとDIVPシミュレーション評価の比較



自動運転ソフトウェア連携にあたり、センサ性能評価のための環境を構築 各種データ変換ツールを開発し、異なるデータ形式間でのシステム連携を可能とする環境を実現した

既存機能 2025年度
開発 自動運転
ソフトウェア

自動運転ソフトウェア連携アーキテクチャ(1st-Stage)

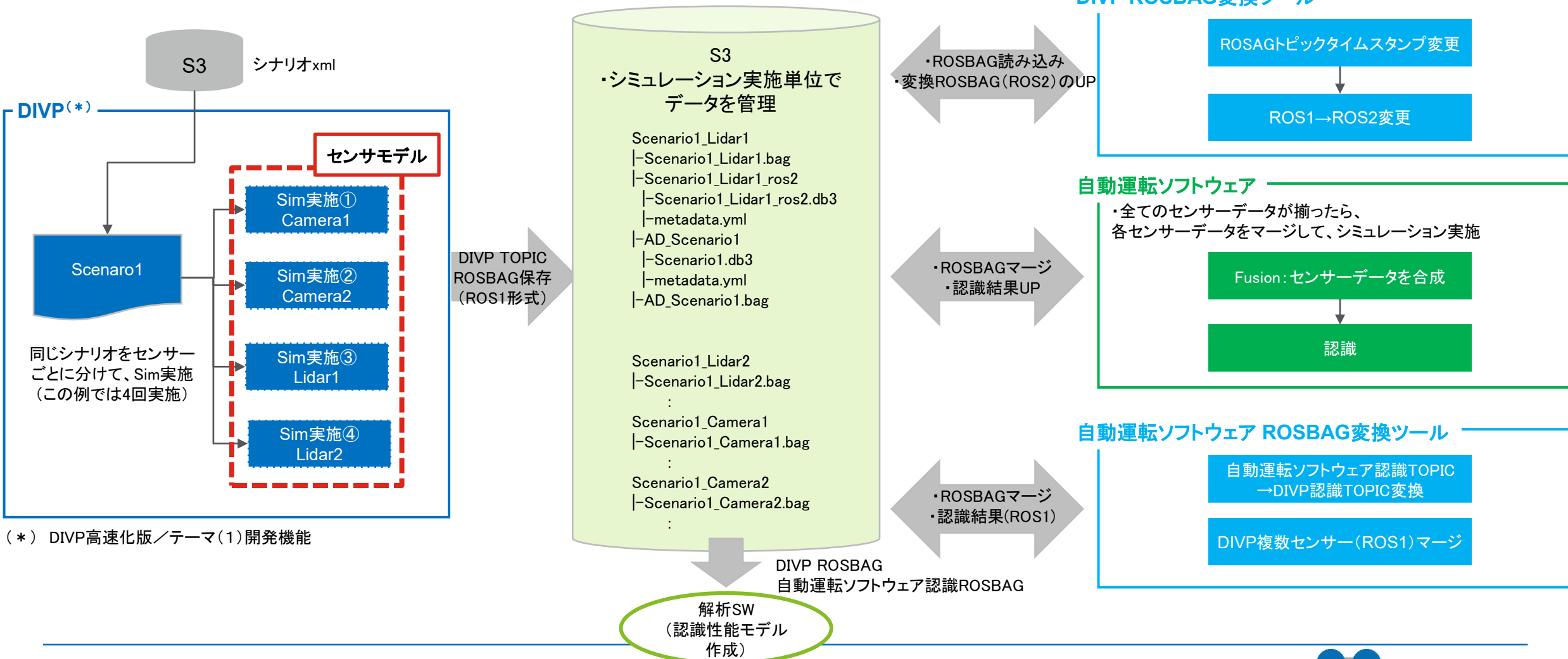


(*) DIMP高速化版/テーマ(1)開発機能

実車と同等なセンサモデルの作り込みを実施

自動運転ソフトウェア連携アーキテクチャ(1st-Stage)

既存機能 2025年度
開発 自動運転
ソフトウェア



(*) DIVP高速化版/テーマ(1)開発機能

実車と同等なカメラモデルの作り込み

カメラモデル Camera1 / Camera2

SBIRプロジェクトにおける自動運転バスに搭載されているカメラ(Camera1 / Camera2)を再現

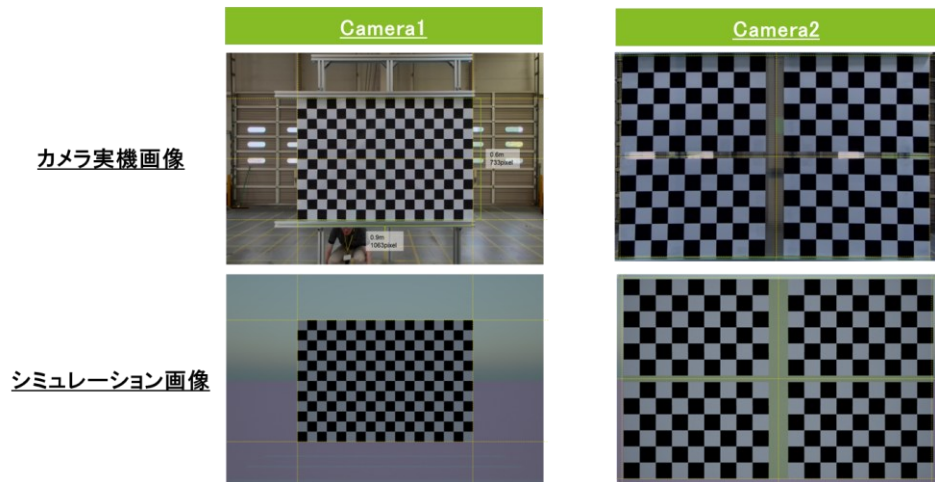
センサ仕様

機種	FOV (レンズ歪み補正ON)	F#	EFL	IRCF
Camera1	78° (H) 56° (V)	1.7	3.955mm	648±10nm
Camera2	63° (H) 40° (V)	1.7	7.9mm	650nm@50% transmission

作成したカメラモデルの実行例(左: Camera1、右: Camera2)



カメラ実機画像とシミュレーション画像の比較



実車と同等なLiDARモデルの作り込み

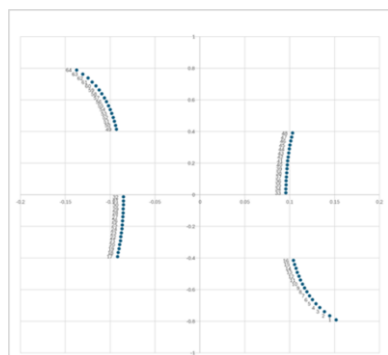
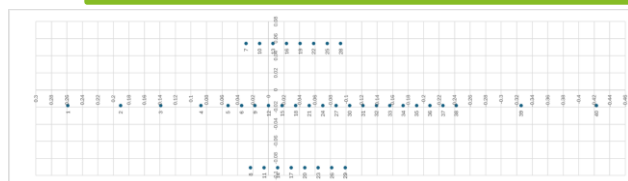
LiDARモデル Lidar1 / Lidar2

SBIRプロジェクトにおける自動運転バスに搭載されているLiDAR(Lidar1/Lidar2)を再現

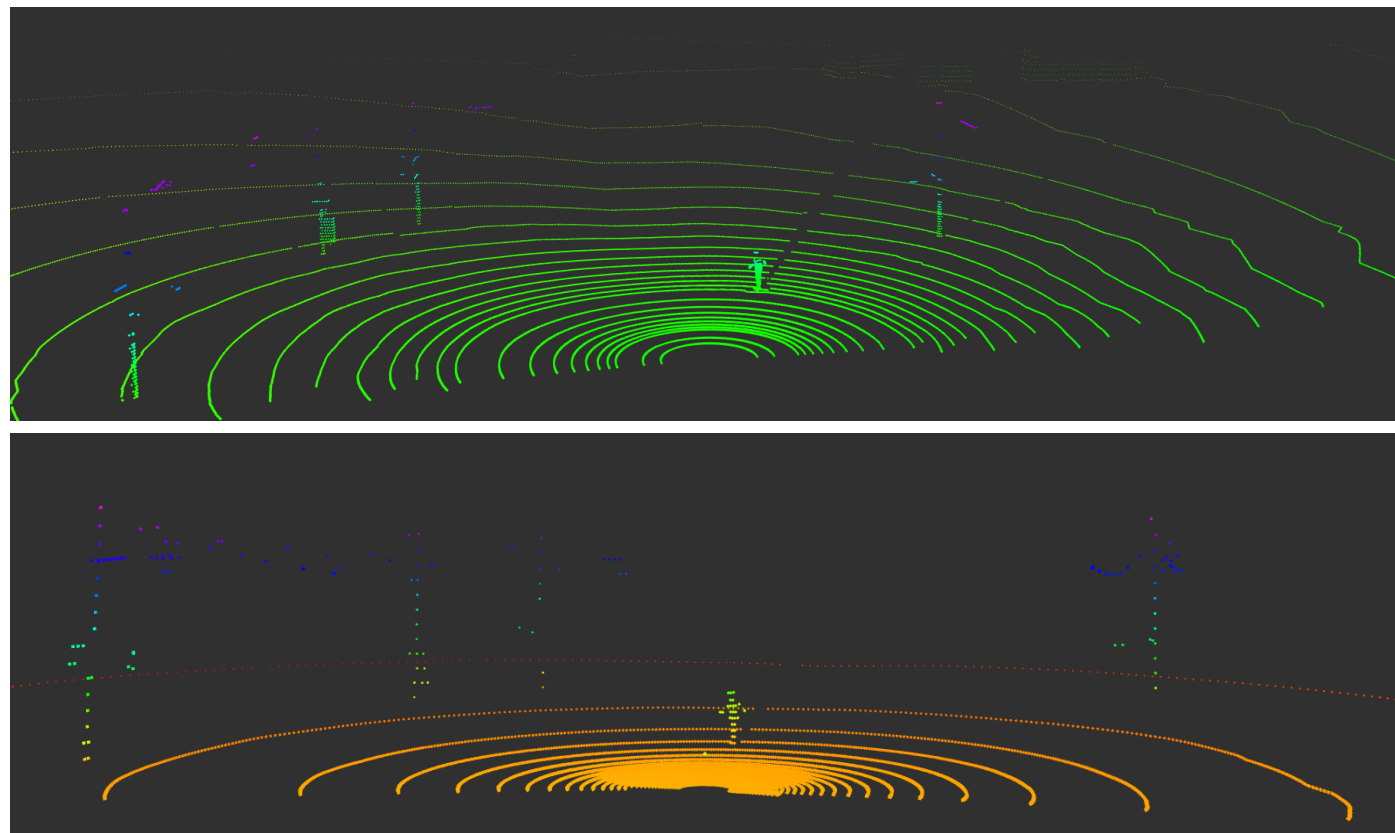
センサ仕様

機種	チャンネル数	射程距離	解像度	視野角
Lidar1	40	0.3 m ~ 200 m 200 m@10%	0.2° (H) 0.33° (V)	360° (H) -25° to +15° (V)
Lidar2	64	0.1 to 60 m 20 m@10%	0.6° (H) 1.45° (V)	360° (H) -52.1° to +52.1° (V)

レーザー発射仕様(上:Lidar1、下:Lidar2)



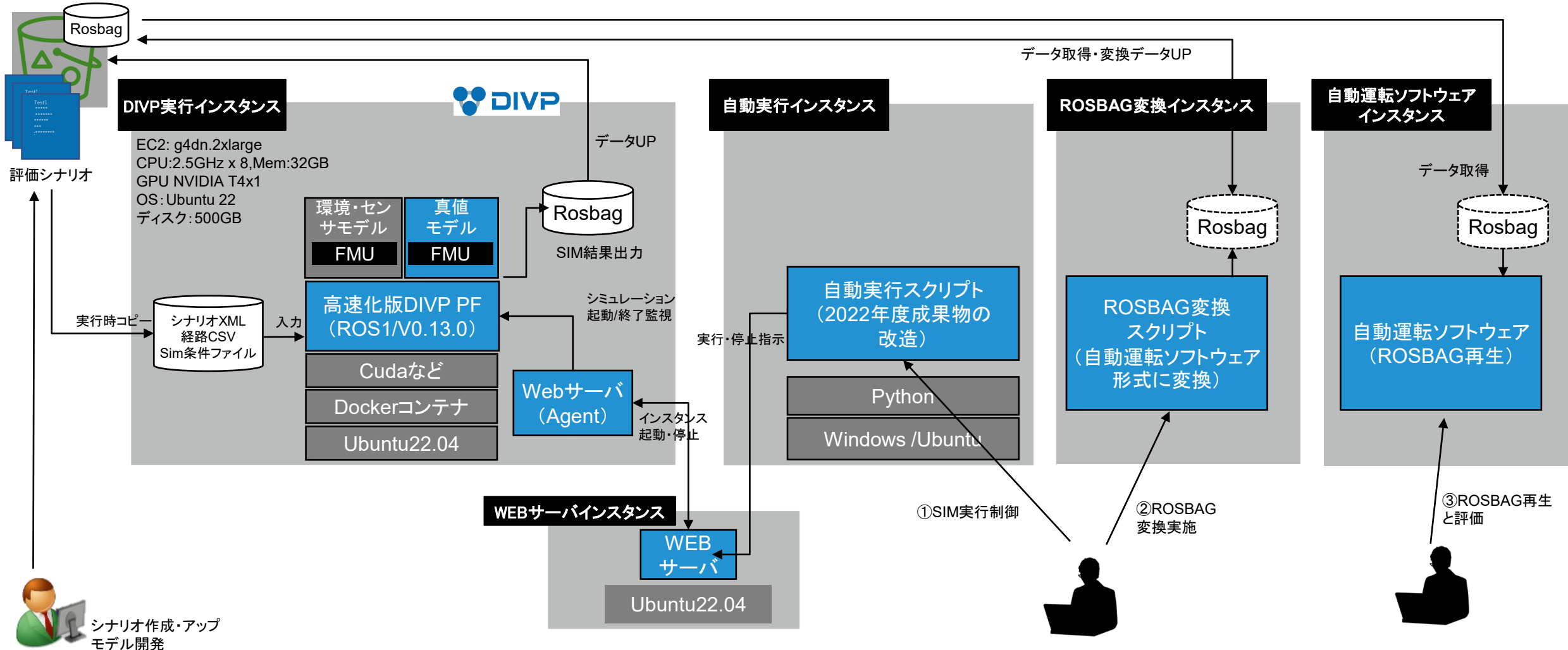
作成したLiDARモデルの実行例(上:Lidar1、下:Lidar2)



自動運転ソフトウェア連携にあたり、センサ性能評価環境をクラウド上に構築 クラウドリソースを活用し、各ソフトウェアの並列実行やデータの一括管理を可能とし、作業効率化を実現

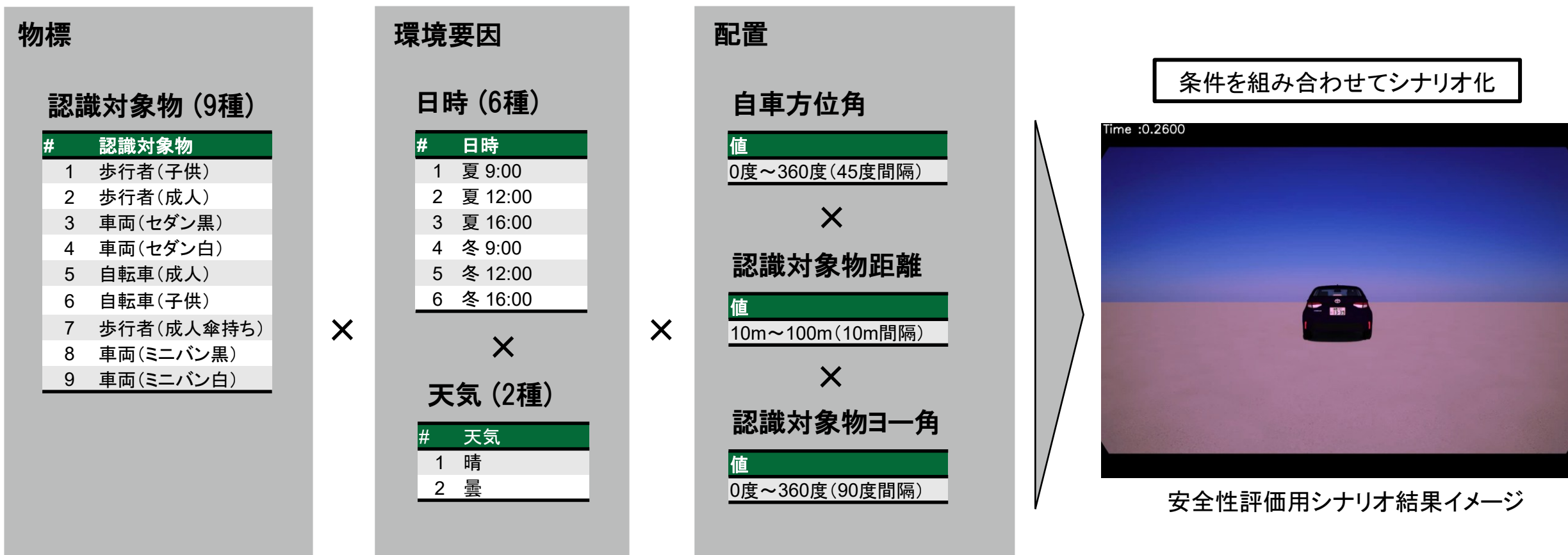
AWSクラウドシミュレーション評価基盤(1st-Stage)

2025年度拡張/構築箇所



SBIR側で検討されたユースケースに対し、DIVP知見を加えて認識性能評価のSim実行要件を定義

認識性能評価のSim実行要件

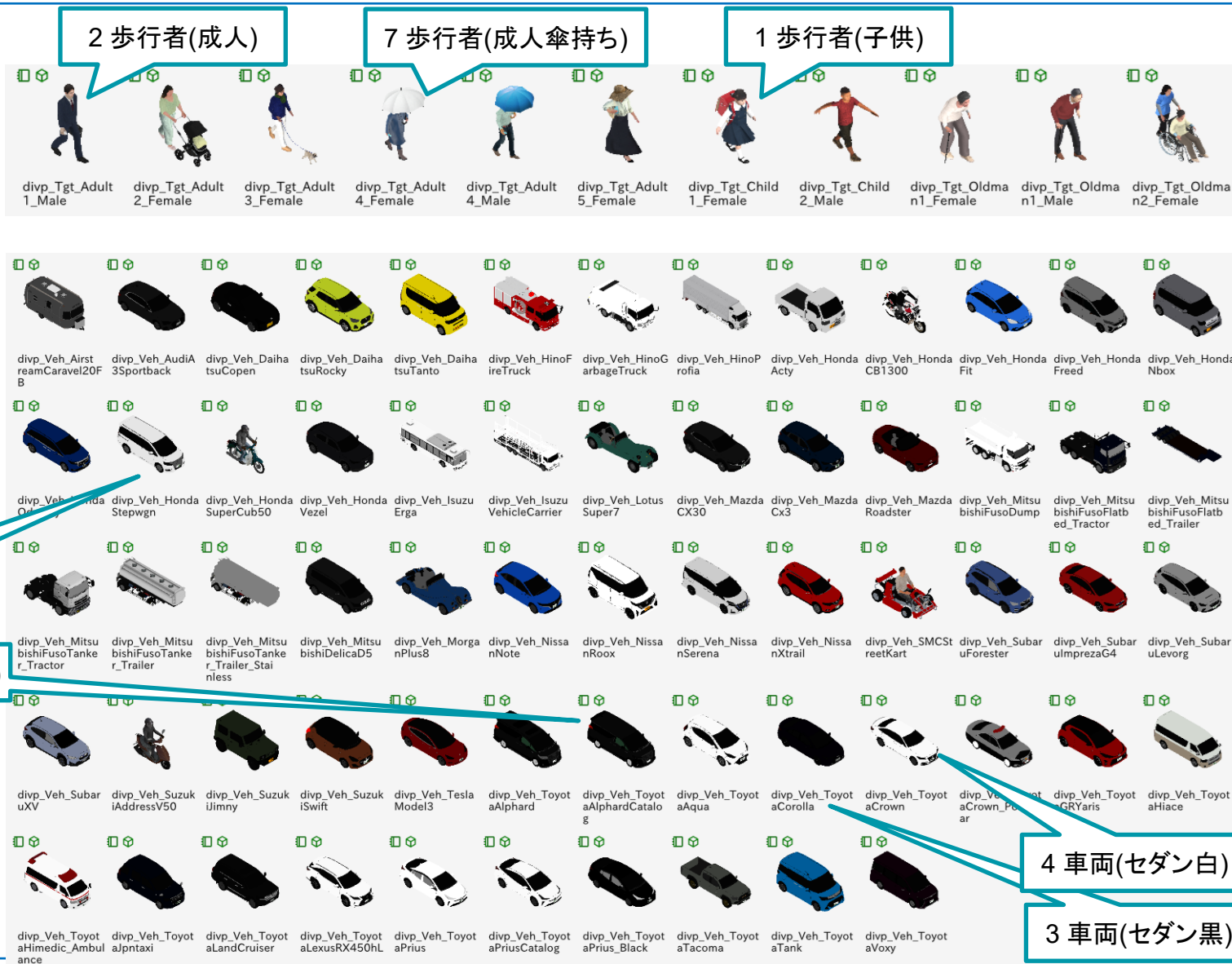


SBIRのユースケースを、条件の組み合わせと各条件の範囲により包括

認識性能評価のSim実行に必要なアセットをSDMGの既存アセットから選定

認識対象物(9種)

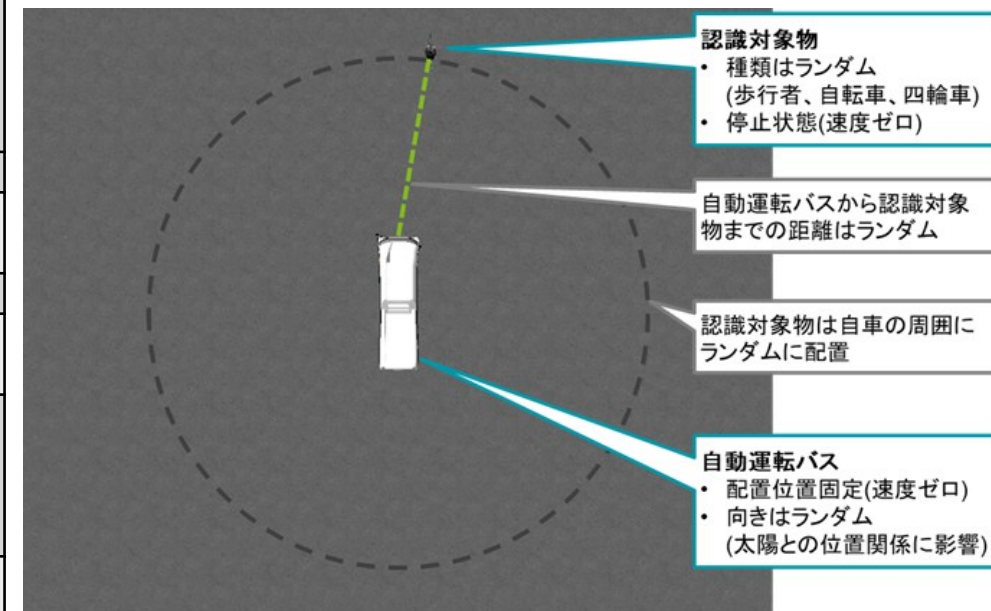
No.	認識対象物
1	歩行者(子供)
2	歩行者(成人)
3	車両(セダン黒)
4	車両(セダン白)
5	自転車(成人)
6	自転車(子供)
7	歩行者(成人傘持ち)
8	車両(ミニバン黒)
9	車両(ミニバン白)



認識性能評価のSim実行要件に基づく条件をランダムに組み合わせた10000シナリオを作成

シナリオ条件一覧

分類	項目	条件	パターン数
環境	日時	2025/8/15 09:00 12:00 16:00	6
		2026/1/25 09:00 12:00 16:00	
	天候	晴れ、曇り	2
マップ	アセット	仮想マップ(500m×500m, アスファルト)	1
自車	位置	原点	1
	方位角	0、45、90、135、180、225、270、315[deg]	8
ターゲット	アセット	歩行者2種、セダン2種、自転車2種、 傘持ち歩行者1種、ミニバン2種	9
	位置(距離)	10、20、30、40、50、60、70、80、90、100[m]	10
	Yaw角	0、90、180、270[deg]	4
シナリオ	具体シナリオ数	各条件をランダムに組み合わせ	10000



自動運転バスと認識対象物の配置関係

1回のシム実行で全評価が行えるよう、10000シナリオを一定時間ごとに並べて1シナリオの形態にした

ADS認識性能評価の結果例

DIVPシミュレーションで生成されたセンサーデータをADSの認識モジュールに入力し
認識性能を認識距離として評価

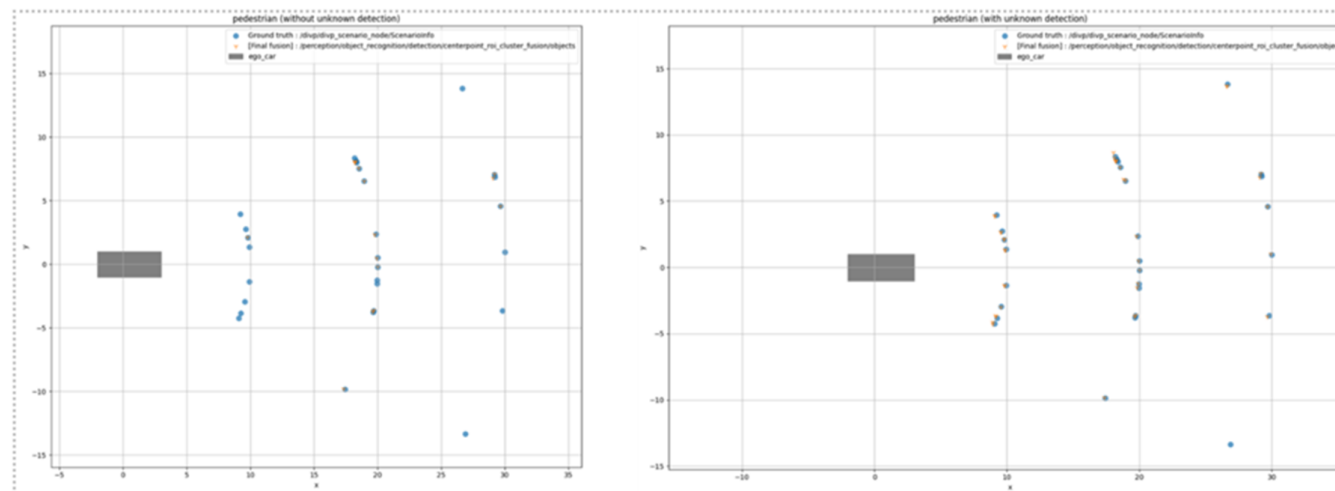
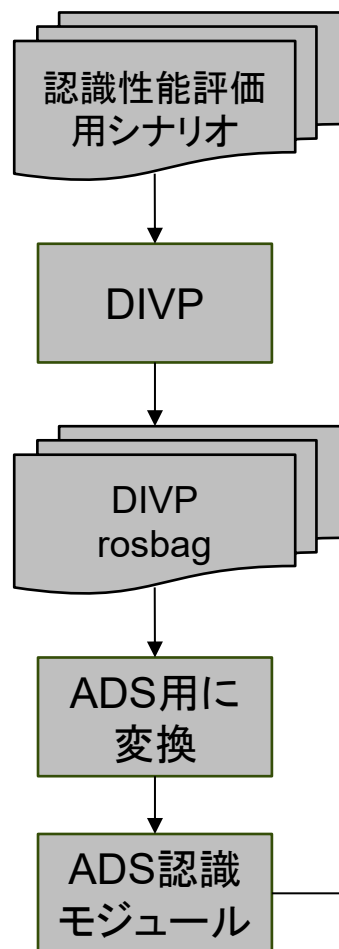


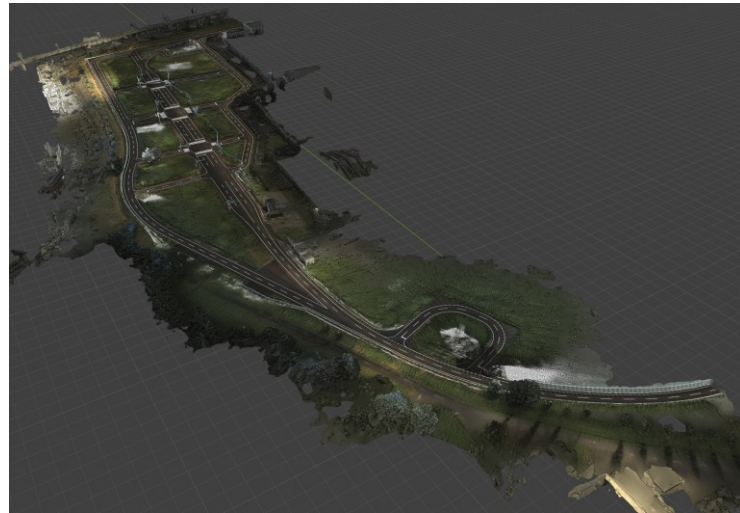
図5.4-17 : DIVPシミュレーションでの歩行者認識結果 (左) と種別不明と認識されたものも含めた認識結果 (右)

ターゲットB(大人)の認識結果

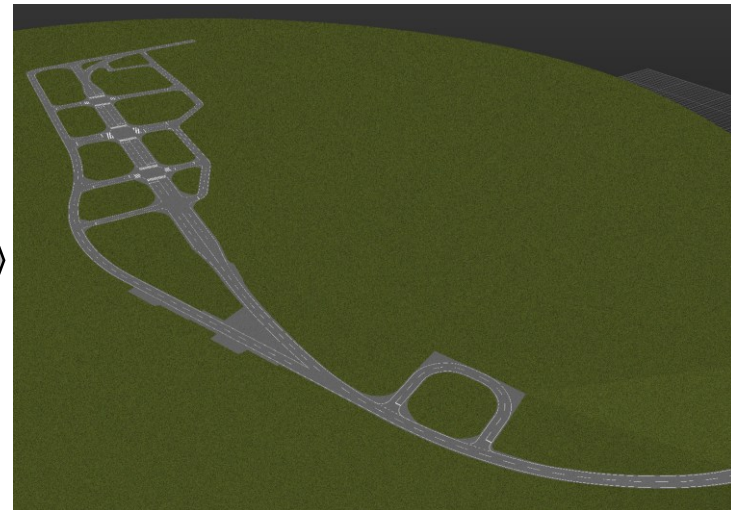
- 種別が歩行者と認識された距離: 20 m 程度まではよい傾向
- 種別が不明と認識された距離(物体としては認識): 30 m 程度までよい傾向

妥当性検証に必要なマップアセットを開発

JARI V2X市街地マップ3Dモデル



取材により写真、点群などを取得



SDMG等のツールを利用し、
道路ネットワーク(OpenDRIVE)および
3Dモデルを作成



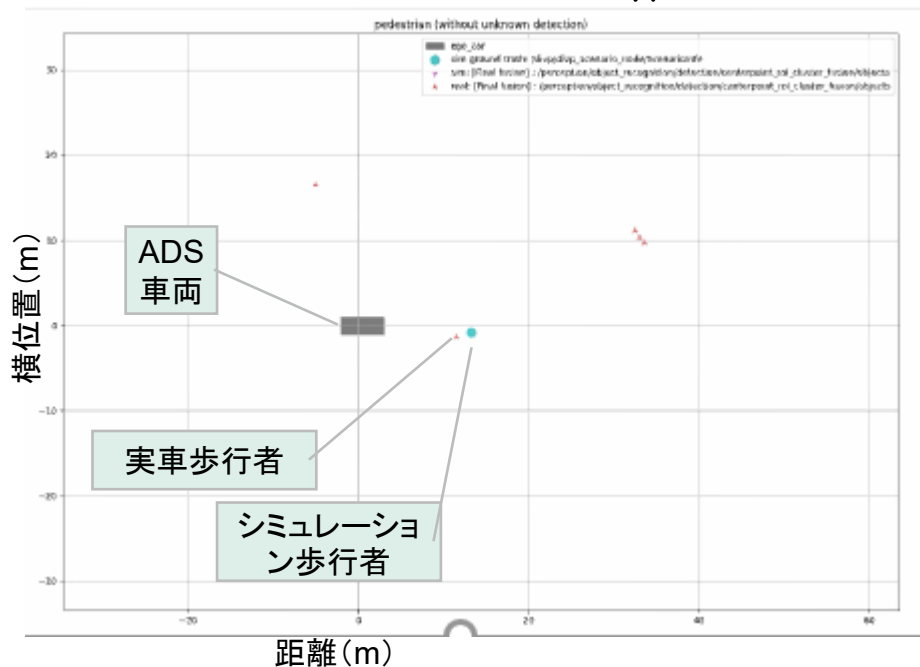
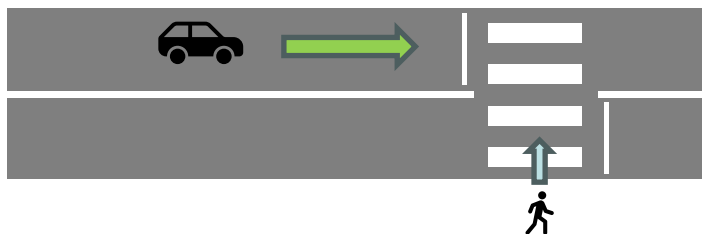
信号機などの構造物を配置した
最終的なマップ3Dモデル

計測データをベースにすることで、実験データと比較可能なデジタルツインの精緻なマップを作成

認識評価用シミュレータの妥当性検証結果例

SBIRにて評価した結果の一部を抜粋
認識性能評価用シミュレータの妥当性検証例

歩行者横断シナリオ例



結果

①認識開始距離

実車/Sim共に約22mから認識が可能
⇒前方歩行者の認識距離は十分一致

②認識率

Sim : 179/300 \approx 0.60
実車 : 297/300 \approx 0.99

③誤差 20cm ~ 30cm

認識率 = Sim歩行者位置から一定範囲内に歩行者がいると認識したフレーム数 / 実車またはSimで歩行者を認識した最初のフレーム以降のフレーム数

■ 認識率低下の考えられる要因

- センサ特性の再現精度
- 自車センサ取付位置や向きの再現精度
- 認識対象3Dアセットの再現精度
- 認識対象以外の環境3Dアセットの再現精度
- 認識実行環境の性能不足
- データフォーマットの差(タイムスタンプのズレや送受信タイミング含)

■ 誤差要因

- 試験再現シナリオ生成時の誤差

認識率低下原因の解析を実施しSBIRにて報告

テーマ(1)-2.a

**実機センサ出力評価環境の構築によるI/F仕様の標準化、
MBD手法の研究（VILS/HILSへの接続、等）**

成果まとめ

- ミリ波Radar製品の性能テスト技術「HILS (Hardware In the Loop Simulation)」では、従来は、現実の複雑な市街地と比べて著しく単純な反射点しか生成できない弱点があった。改善のため、仮想空間シミュレータ (CarMaker等) の点群出力を入力する試みがある。DIVPシミュレータでもこれが可能で、現実の複雑な市街地に近いテストを可能にできることを、実証した。
- 本研究は、日独連携「VIVID」の一環として行い、3種類のHILS製品で実施し、全て良好な結果を得た。

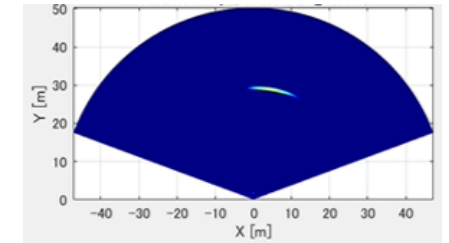
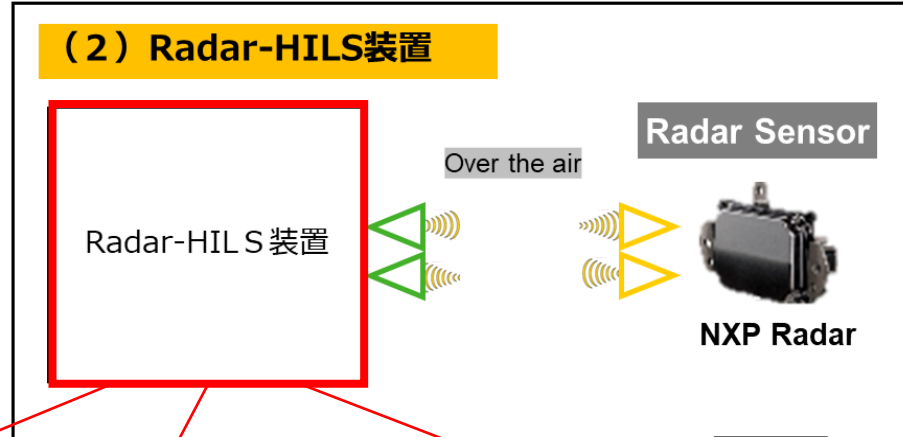
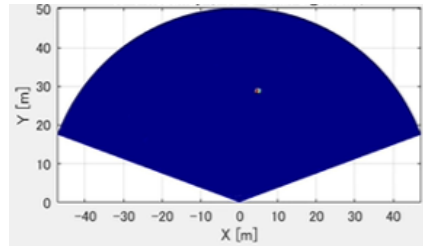
	反射点 模倣性能	反射点 数	補足	本報告
① AVL製	2D (距離・速度)	Max 8個	VIVIDのうち 独Kempton大保有	(詳細は省略)
② dSPACE製	4D (距離・速度・水平方位・垂直方位)	Max 8個	VIVIDのうち 独TU-Ilmenau大保有	(詳細は省略)
③ Keysight製 「Radar Scene Emulator」	4D (距離・速度・水平方位・垂直方位)	Max 256個	最新機	詳細データ紹介

- 今後このような HILS と仮想空間シミュレータの連携が一般化すれば、両者をつなぐ点群情報ファイル (*.csv等) のフォーマットの国際標準化が重要になる。VIVID にてこのフォーマットを議論し、提案した。

「Radar用HILS」とは？

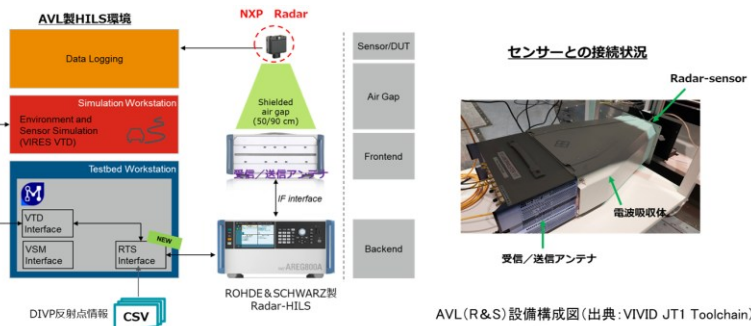
Radarの開発・出荷検査で使われる。

狭い屋内スペースの中で、
広い屋外スペースの高速移動体を模倣した
電波を生成し、Radarを錯覚させる。



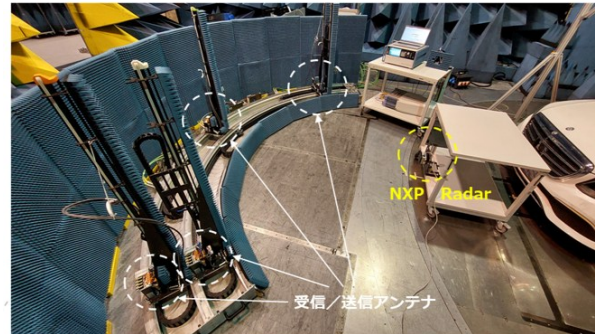
本研究で用いたHILS装置①

ROHDE&SCHWARZ AREG800A
2次元Radar用、32ターゲットを模倣



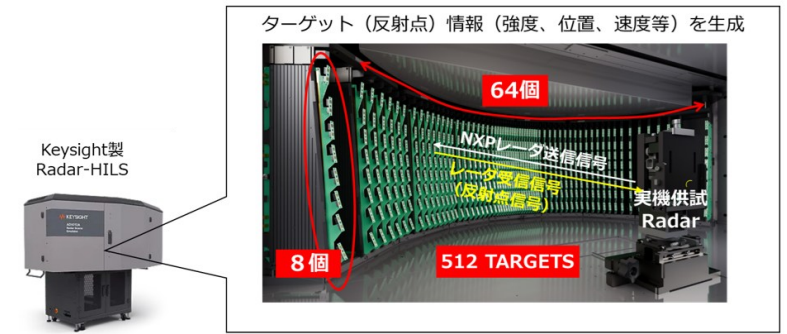
本研究で用いたHILS装置②

dSPACE DARTS
4次元Radar用、8ターゲットを模倣



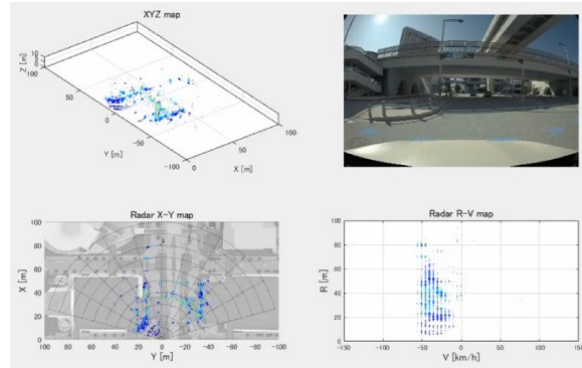
本研究で用いたHILS装置③

Keysight レーダー・シーン・エミュレータ AD1012A
4次元Radar用、最大256ターゲットを模倣



「Radar-HILS」の課題と、本研究の狙い

課題

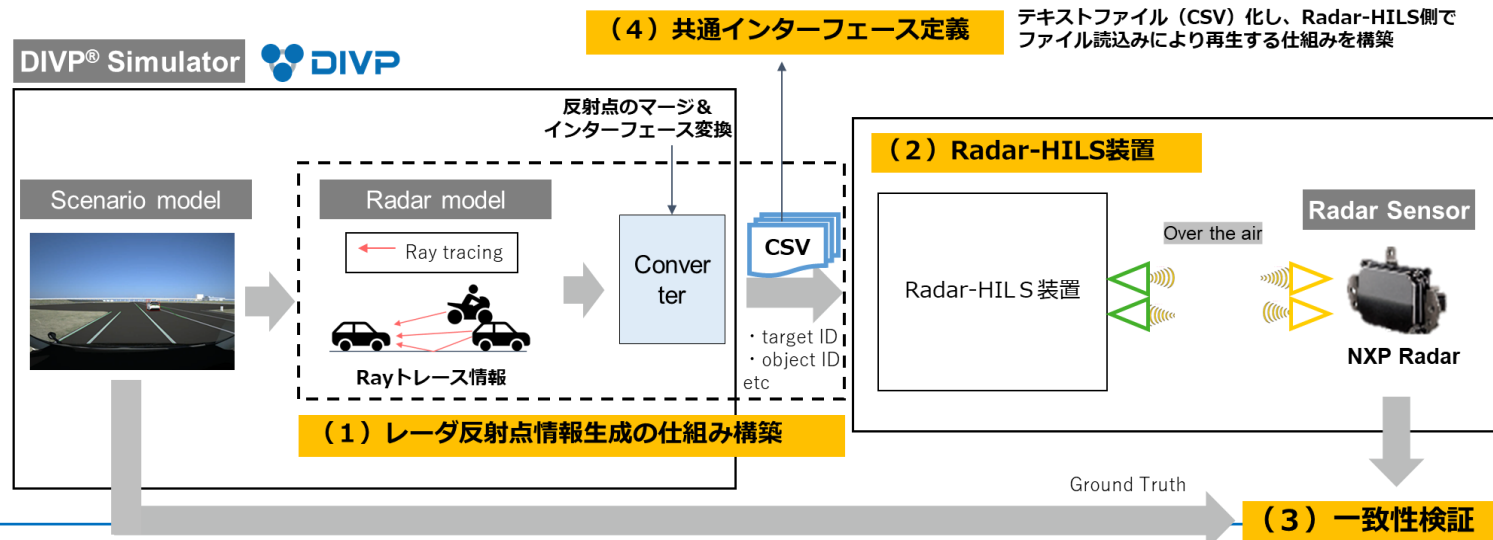


複雑な市街地を模倣する大量の点群データを生成する方法が、今後の課題。

解決

DIVPシミュレータで、大量の点群データを計算する。

本研究の狙い

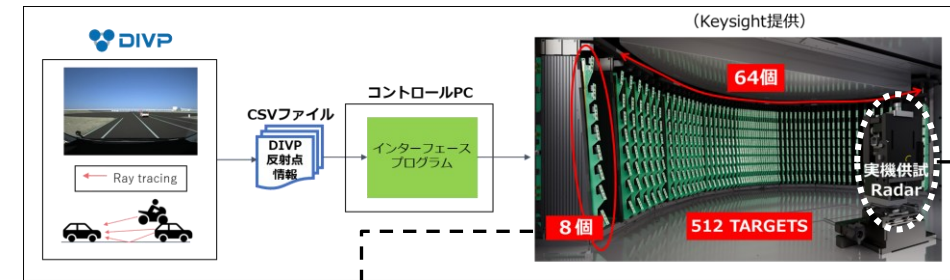
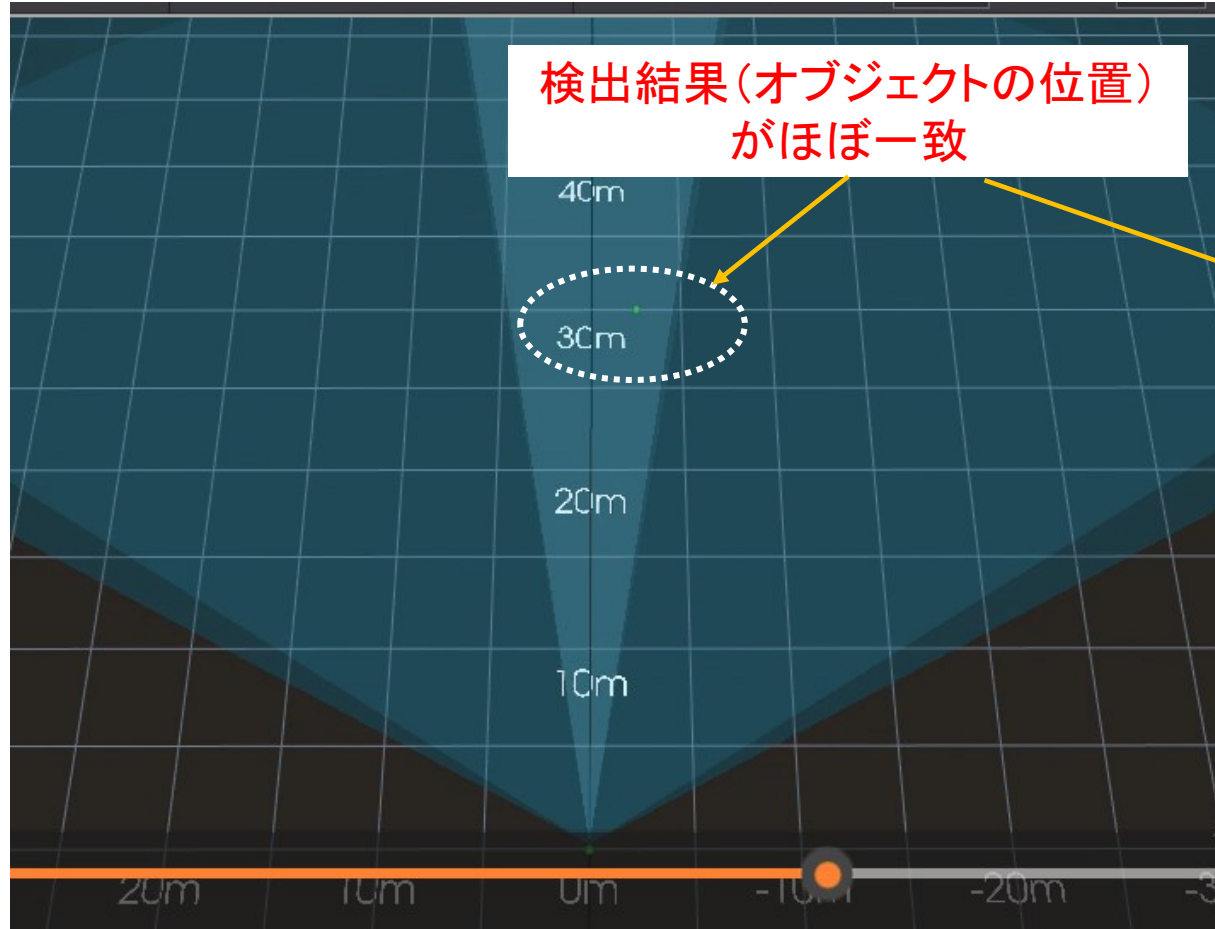


研究の全体像：
HILS装置①②③を使い、
左図(1)～(4)を実施。

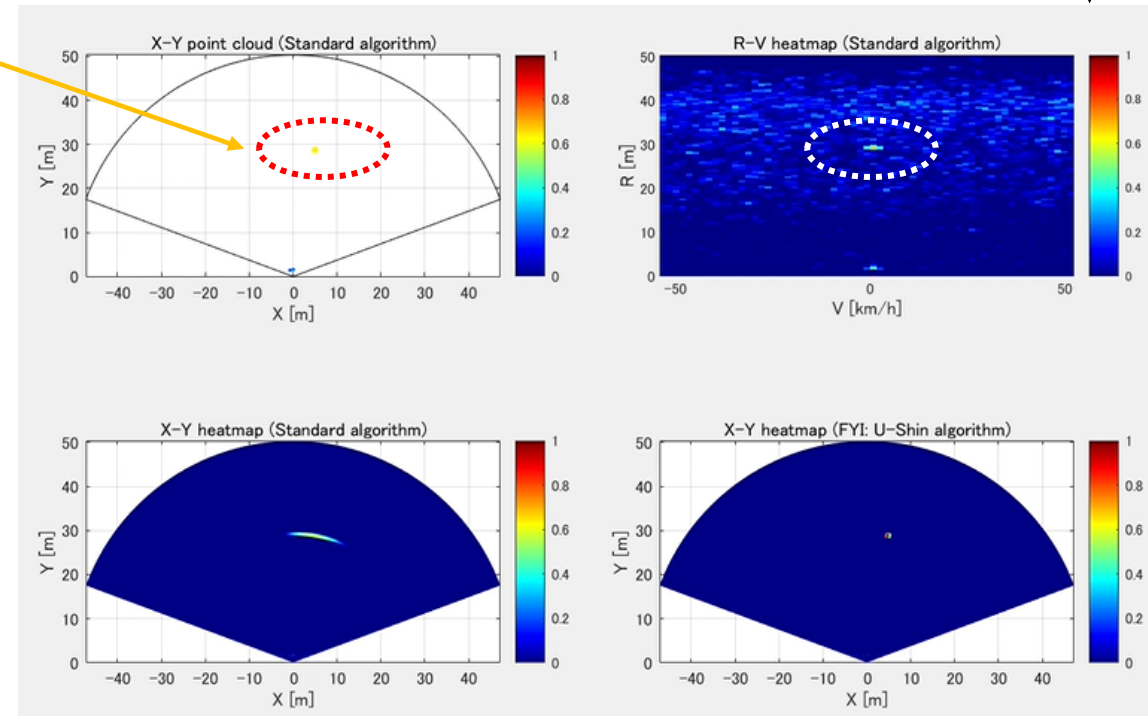
課題「(3) 一致性検証」結果 (HIL装置③の例)

単純・基本的なシナリオでの確認例

一致性検証結果 Radar-HILS装置で再生(提供: Keysight)



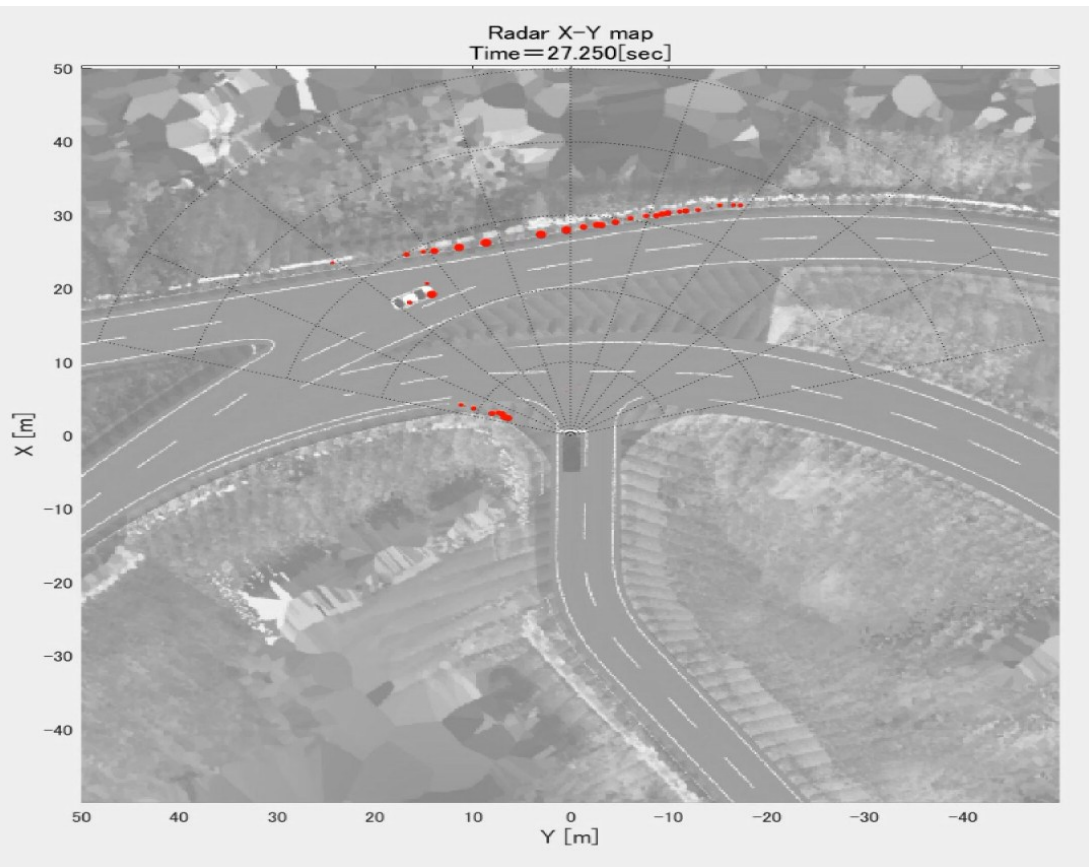
実機供試Radar (NXレーダ)での検知結果



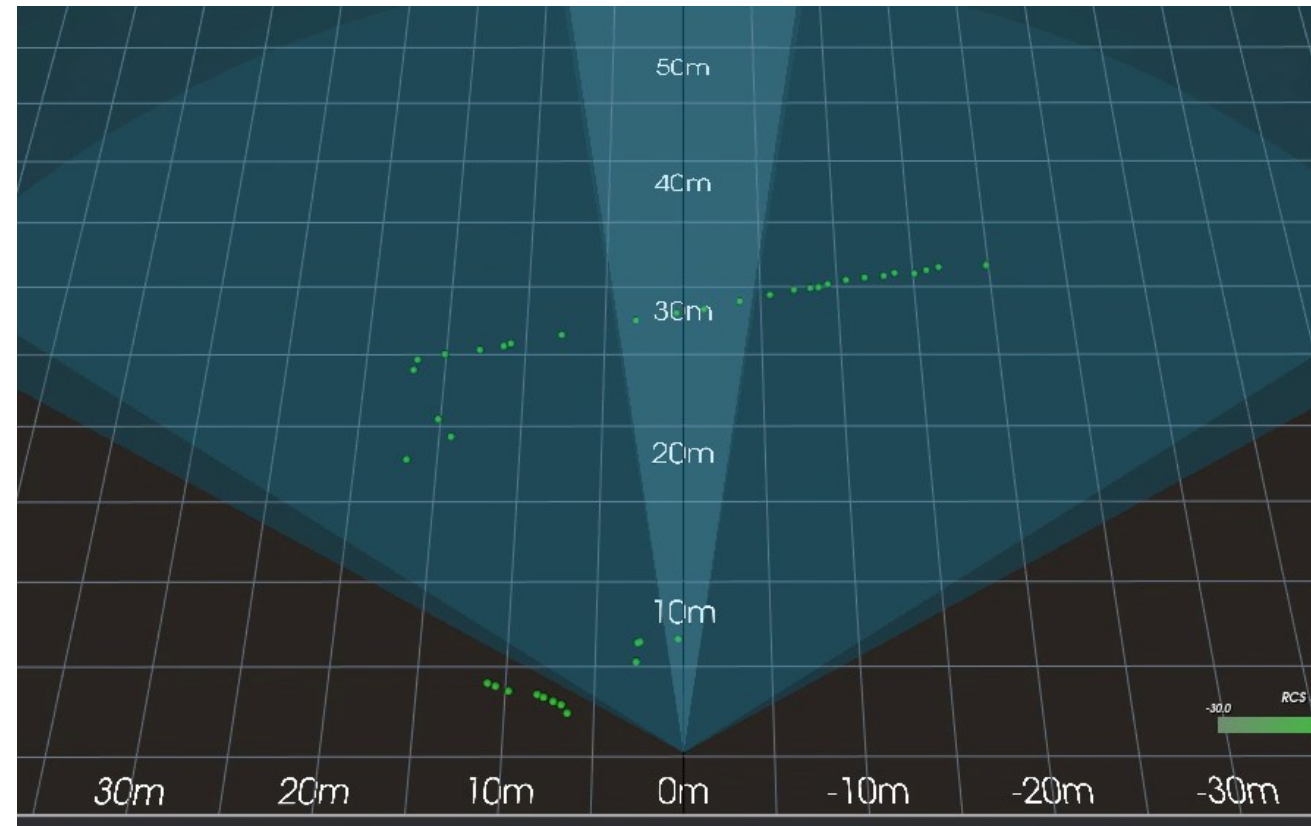
課題「(3)一致性検証」結果 (HIL装置③の例)

複雑なシナリオでの確認例

DIVP 検証シナリオ(多反射点動的シナリオ)



Radar-HILS装置で反射点再生 (提供: Keysight)



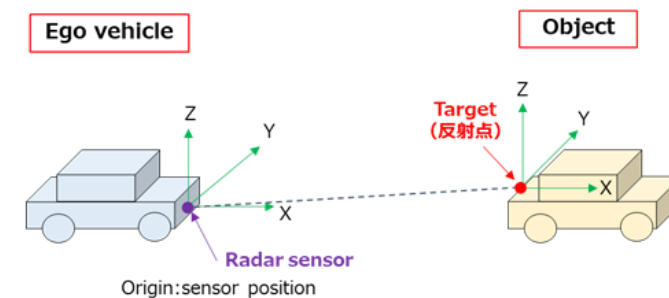
課題「(4) 共通インターフェース定義」結果

VIVID JT1 Workshop内で議論して提案

Classification	Item	Unit	Description	Classification	Item	Unit	Description
Target Information	time	sec	timestamp	Object Information	obj_rel_pitch	rad	pitch angle of object
	tgt_id	-	target id number		obj_rel_roll	rad	roll angle of object
	tgt_rcs	dBsm	radar cross section		obj_rel_vel_yaw	rad/s	yaw velocity of object
	tgt_rel_dist_lon	m	relative longitudinal distance		obj_rel_vel_pitch	rad/s	pitch velocity of object
	tgt_rel_dist_lat	m	relative lateral distance		obj_rel_vel_roll	rad/s	roll velocity of object
	tgt_rel_dist_ver	m	relative vertical distance		obj_rel_acc_yaw	rad/s ²	yaw acceleration of object
	tgt_rel_vel_lon	m/s	relative longitudinal velocity		obj_rel_acc_pitch	rad/s ²	pitch acceleration of object
	tgt_rel_vel_lat	m/s	relative lateral velocity		obj_rel_acc_roll	rad/s ²	roll acceleration of object
	tgt_rel_vel_ver	m/s	relative vertical velocity		obj_size_lon	m	longitudinal size of object
Object Information	obj_id	-	object id number	obj_size_lat	m	lateral size of object	
	obj_rel_dist_lon	m	relative longitudinal distance	obj_size_ver	m	vertical size of object	
	obj_rel_dist_lat	m	relative lateral distance	Ego-vehicle Information	ego_dist_lon	m	longitudinal distance
	obj_rel_dist_ver	m	relative vertical distance		ego_dist_lat	m	lateral distance
	obj_rel_vel_lon	m/s	relative longitudinal velocity		ego_dist_ver	m	vertical distance
	obj_rel_vel_lat	m/s	relative lateral velocity		ego_vel_lon	m/s	longitudinal velocity
	obj_rel_vel_ver	m/s	relative vertical velocity		ego_vel_lat	m/s	lateral velocity
	obj_rel_acc_lon	m/s ²	relative longitudinal acceleration		ego_vel_ver	m/s	vertical velocity
	obj_rel_acc_lat	m/s ²	relative lateral acceleration		ego_size_lon	m	longitudinal size
	obj_rel_acc_ver	m/s ²	relative vertical acceleration		ego_size_lat	m	lateral size
	obj_rel_yaw	rad	yaw angle of object		ego_size_ver	m	vertical size

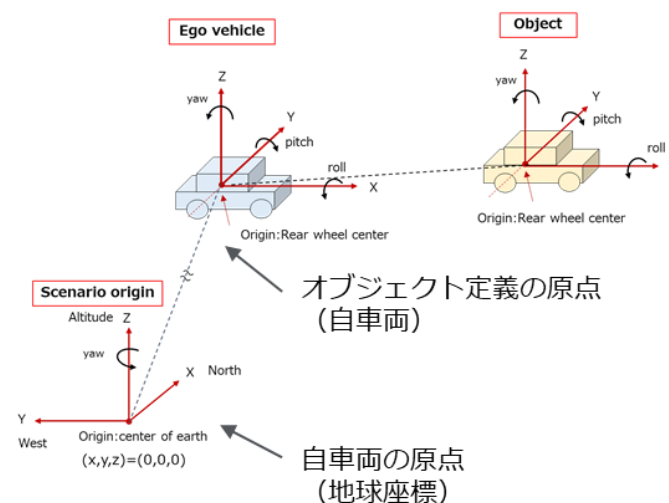
ターゲットの座標系

Radarセンサー ~ ターゲット間の相対値情報として定義



オブジェクト・自車両の座標系

各原点との相対値情報として定義



研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立

(2). 評価指標・体系の確立 成果報告

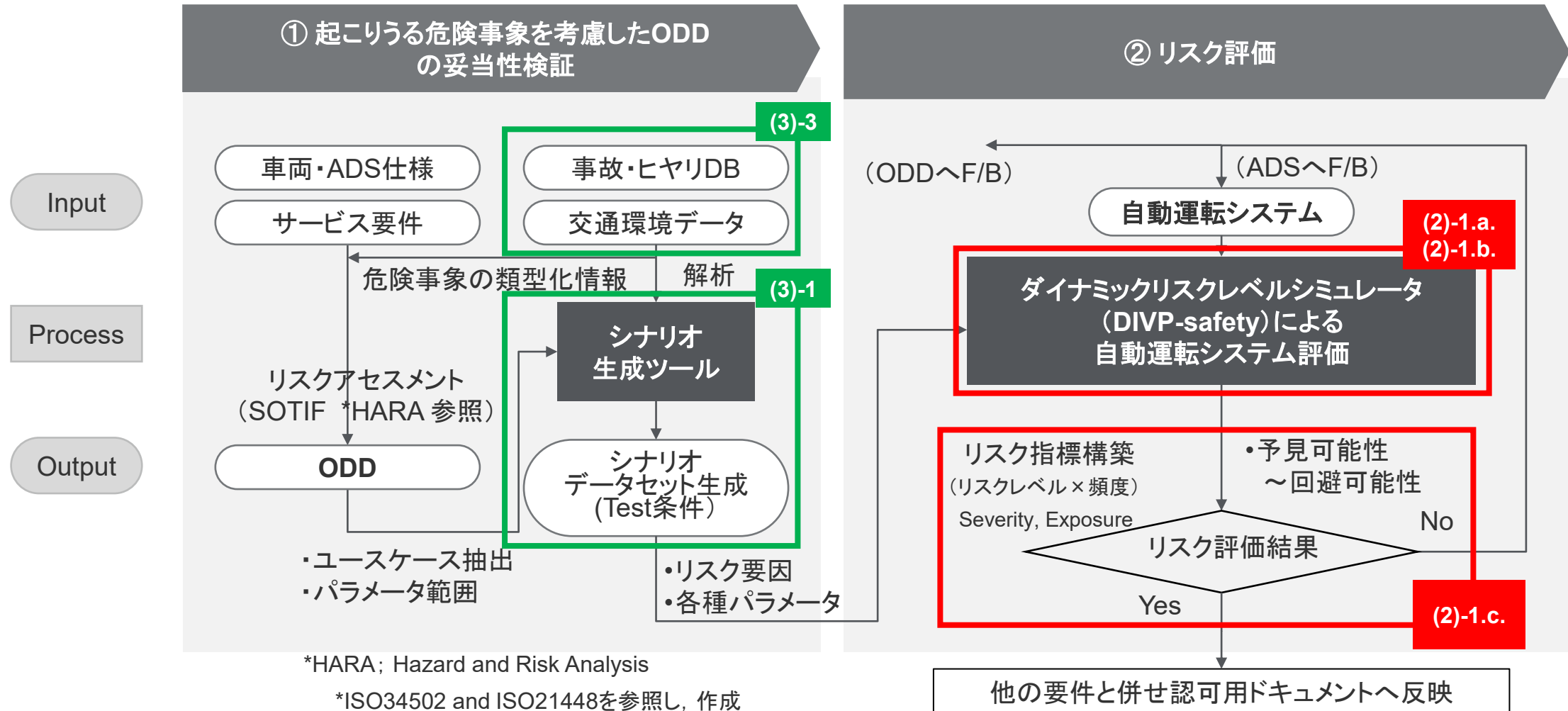
(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立

3年間の計画と成果

実施テーマ	成果
■ 2-Stage評価環境の構築	■ 実車に搭載されている自動運転ソフトウェアを接続し、PlanningやControlを評価可能なクローズドループシミュレーション環境を構築した。
■ RoAD to The L4 テーマ4連携 (物体検知AIの性能向上フレームワークの実証実験適応)	■ 実際の自動運転の認識AIに対する性能向上の手法と結果をまとめた ■ 学習・評価に効率的なシナリオ設計方法を考案し、実践した。
■ Autoware評価 (リスクシナリオの統計分析による安全性評価)	■ Autowareをシミュレーションと接続し、安全性評価としてリスクシナリオの統計分析により事故やヒヤリハットの発生頻度を評価した。
■ 試供版ツールチェーンの構築	■ 上記シミュレーション環境を他プロジェクトやAD開発関係者へ展開可能な形でツールチェーンの構築を実施した。
■ 所感(課題) 認識性能評価 : DIVEPシミュレータで生成したデータを活用することで認識AIの評価・学習が効率的に実施できる一方、広く活用されているデータフォーマットは複数種類がありその統一により一層の効率化が望める。 安全性能評価 : ランダムシナリオで生成したリスクシナリオと安全リスク指標のSCTを統計的に分析することにより自動運転システムの実証検証を加速できる可能性を示した。ツールチェーンの拡張に向けてASAM OpenXの拡大による通信標準化が望まれる。	

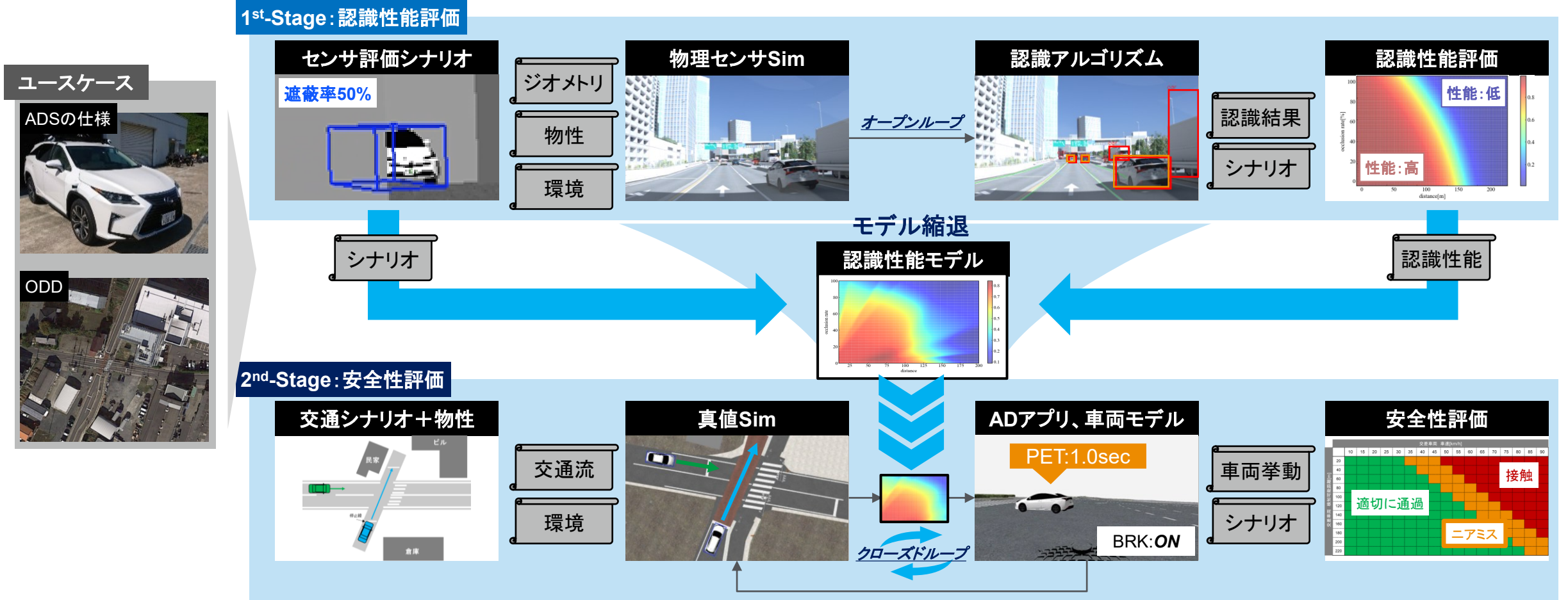
テーマ(2)では②リスク評価における「ダイナミックリスクレベルシミュレータによる自動運転システム評価」と「リスク評価結果」を担当する。また、上記実施のためにテーマ(3)との連携を実施する。

研究テーマ



自動運転の性能評価を「認識性能」と「安全性評価」で段階的に評価する2-Stage評価体系を提案 テストユースケースに対して、評価体系の構築と有効性の検証を実施した

(2). 2-Stage 評価体系の確立



ゴール: 2-Stage評価体系の構築と実ユースケースに基づく有効性検証を実施

引用: トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト

※ Google Mapsより引用

110 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」



DIVPで研究開発したシミュレーション評価手法の実用性を検証するために、 実証実験プロジェクトへの展開計画を作成し完了させた。

協調成果を競争へ



ストーリー

クラウドでSIM環境構築
1 Stage/2 Stage評価 (PoC)

研究⇒実用化に向けた機能拡張
実システム評価
安全性評価指標 (SCT) 実装とPoC

認可へのシミュレーションの活用
実システムの認識性能改善
安全性評価基盤の確立

引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社

※1 RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/> ※2 Google Mapsより引用 ※3 OSS: Open Source Software

(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立 2023年度成果報告書抜粋

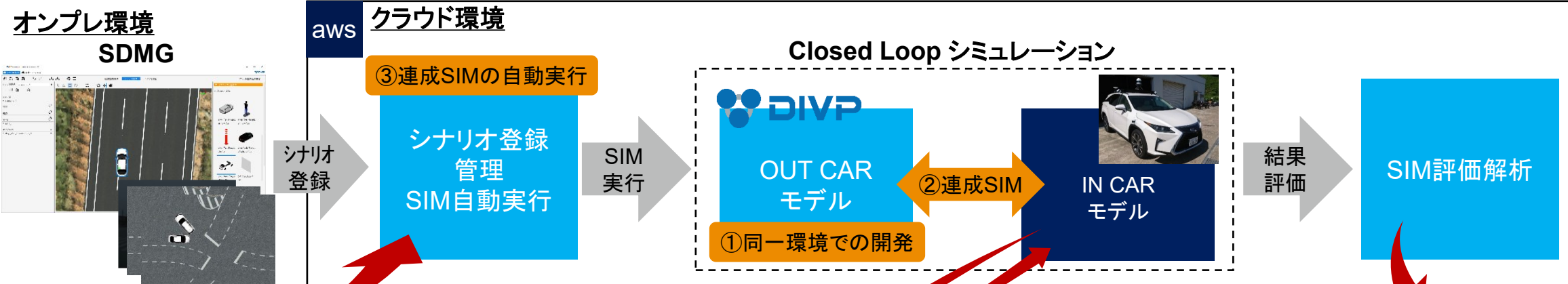
2Stage評価を効率的に実施する目的で①各社が同一環境を使った擦り合わせ開発による効率化、②異なるプラットフォーム(SIM環境)におけるSIM連成、③SIM自動実行環境をクラウド上に構築

AWSクラウドシミュレーション環境概要

■ DIVE成果物 ■ 評価対象(ユーザモデル)



機能構成



ユーザ活用例

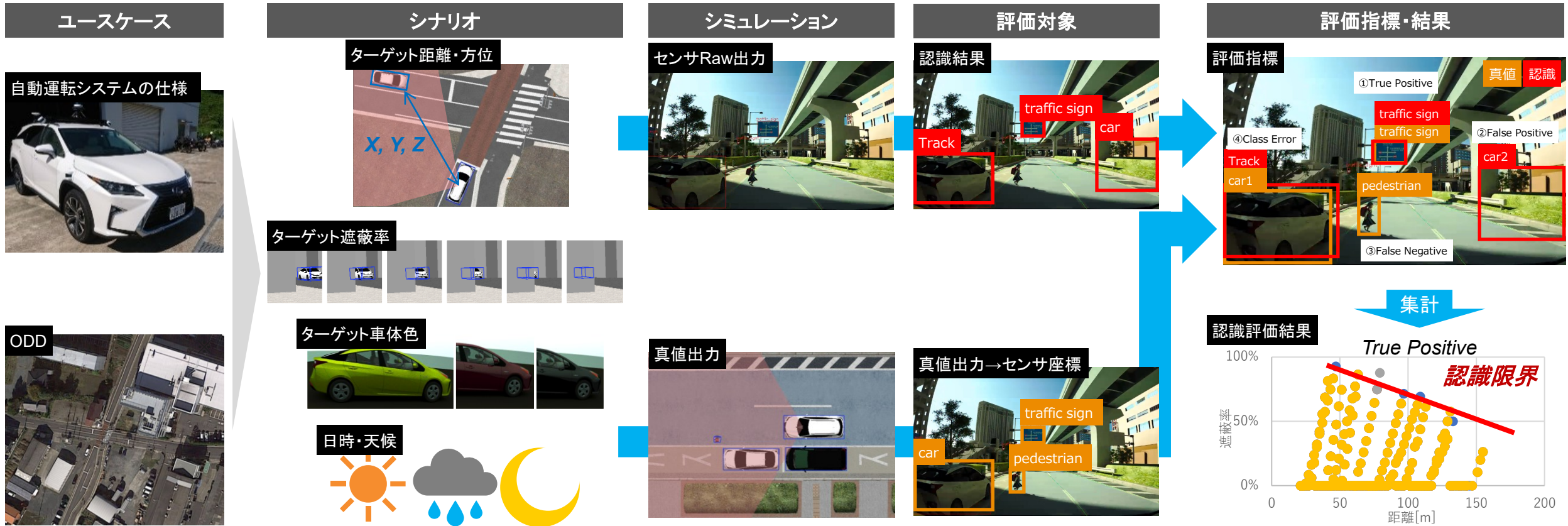


引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、三菱プレジジョン株式会社、AD-URBANプロジェクト
 ※1 RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/> ※2 Google Mapsより引用
 113 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」



1st-Stageでは、センサ認識機能を評価対象として自動運転システムの仕様とODDからシナリオを定義 IoU, TP/FN/FPなどAI性能を示す評価指標を用いて認識性能を定量評価を行う

1st-Stage: 認識性能評価



センサを評価対象としたADシステム仕様とODDに基づく性能評価を実施

引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト

※ Google Mapsより引用

114 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」

AD-URBAN



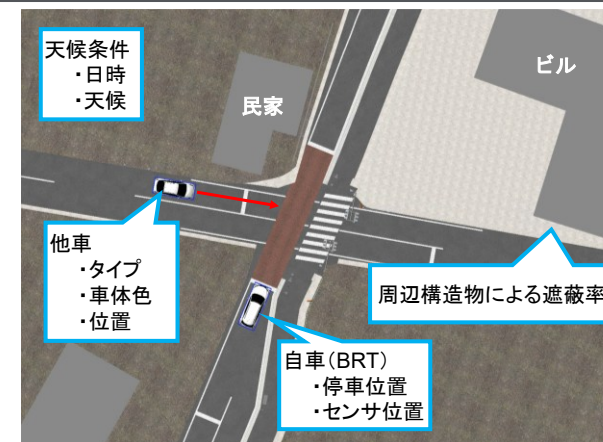
安全性評価基盤検討TF Team1/AD-URBANとの連携により、具体的なユースケース(ひたちBRT 磯坪交差点)とAD車センサ仕様に基づいた1st-Stage評価シナリオの検討、作成を実施

1st-Stage評価シナリオ

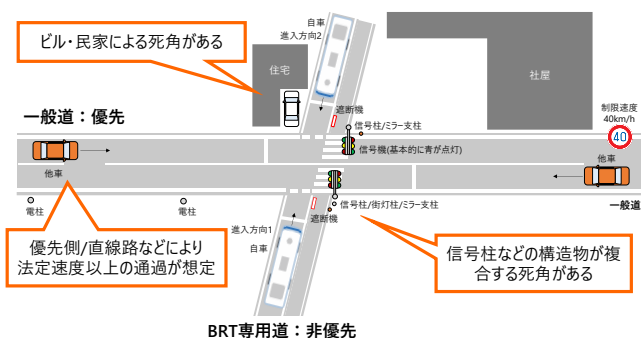
ひたちBRT ODD (Team1より受領)

AD-URBAN AD車両のセンサ仕様

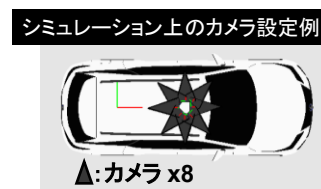
1st-Stage評価シナリオ



磯坪交差点における評価ポイント



モデル化



大項目	小項目	パラメータ範囲
地図	磯坪交差点	点群データを使用
車両	自転車	車種 RX450h
		センサ位置 カメラ x8, LiDAR x1 (実車両のセンサ搭載位置)
	他車	タイプ トヨタ プリウス(1種)
		車体色 白・黒・青・黄緑・赤(5色)
日時	過去の運行実績	12月: 10:30、13:00、15:40
天候	雲量・雨量	晴れ(雲:0%)、曇り(雲:50%)、雨(雲:100%、雨量:20mm/h)
配置	自転車	停車位置
	他車	位置
		遮蔽率0~100%を基準に相対位置を定義(11種類)

遮蔽率 11種 x 時間帯 3種 x 天候 3種 x 車体色 5色 = 495シナリオを定義

1st-Stage評価シナリオでYOLO v4を用いた物体認識評価を実施

シミュレーション結果例

真値 認識結果

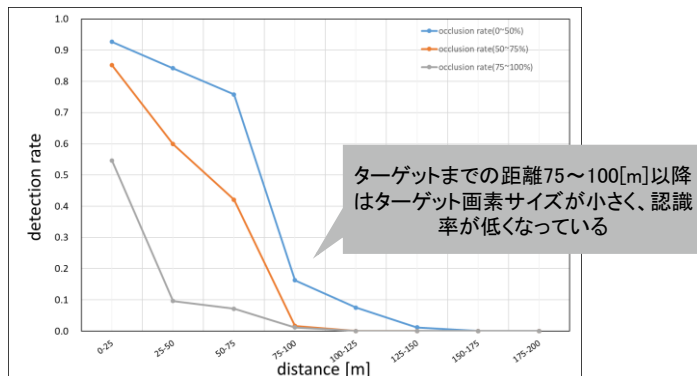


天候が晴れていてもターゲット車両が黒いクルマ&建物の影に入った場合は認識対象のコントラストが低下し、未検出となる事例を確認。また、カメラレンズに付着する雨粒影響による未検出の評価も可能。

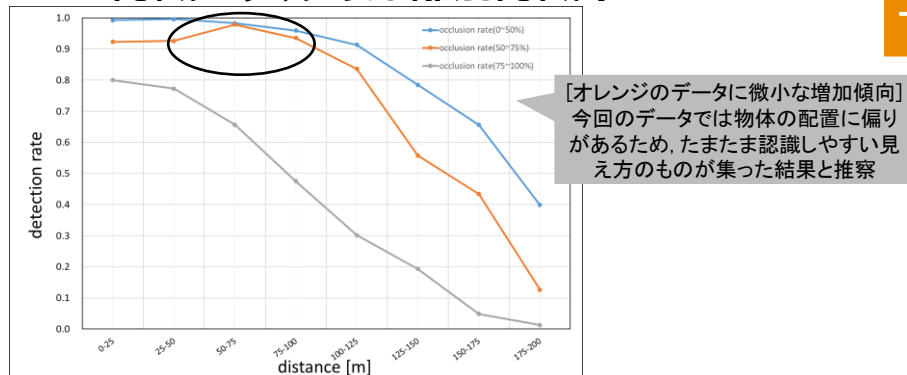
1st-Stage評価シナリオの条件において、カメラ及びLiDARセンサの認識性能評価を実施 距離と遮蔽率における認識性能など物理SIM & 真値情報から効率的な評価・解析が出来た

1st-Stage評価結果

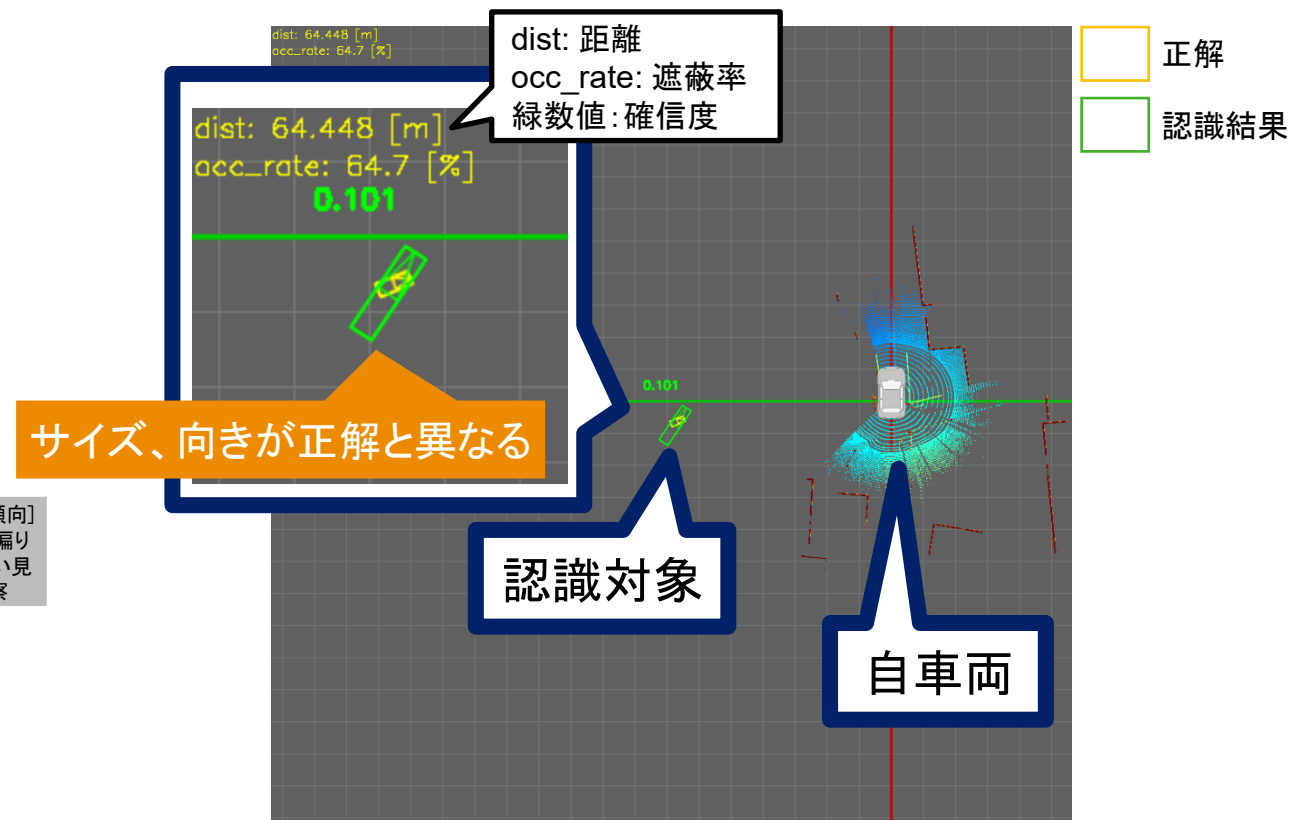
カメラ認識モデルの距離別認識率



LiDAR認識モデルの距離別認識率



LiDAR認識モデルの認識弱点例



距離・遮蔽率が大きくなると認識性能は低くなる、また認識可能な距離ではあるが遮蔽率が大きいシーンでは認識結果が正解と異なるエッジケースの評価も可能となることを確認

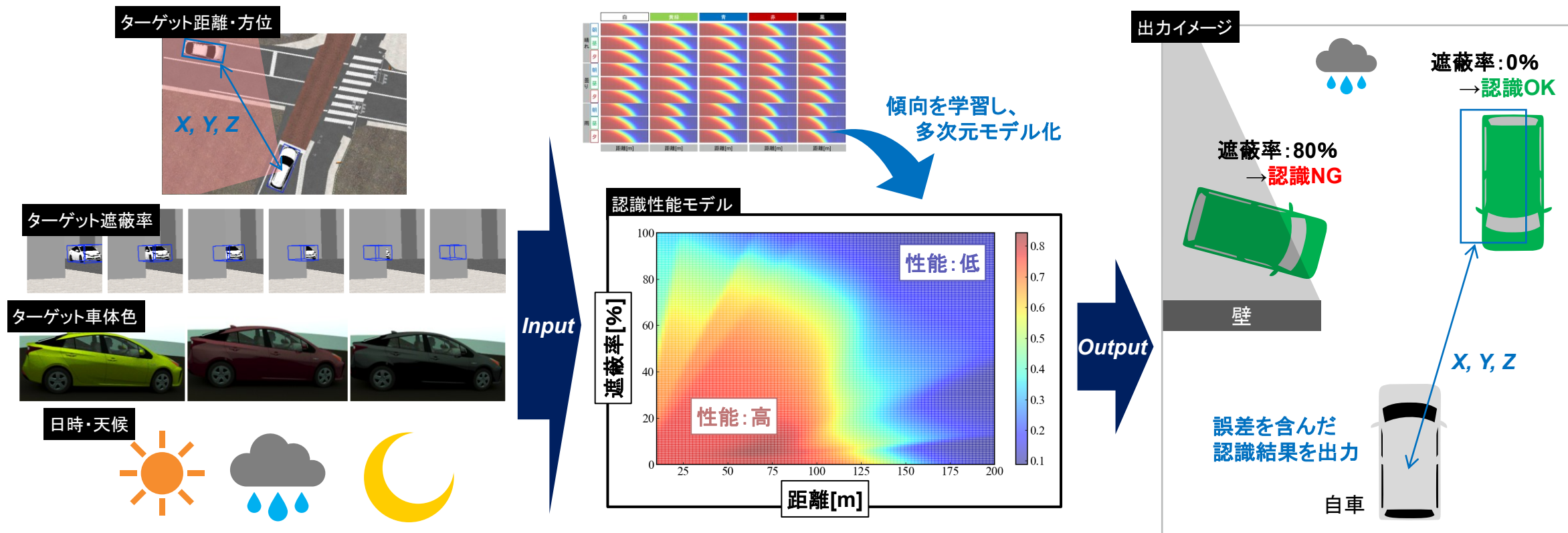
認識精度の傾向を学習することで認識性能モデルを開発 シナリオ条件を入力として、認識可否や認識誤差を含んだ認識結果を出力する

認識性能モデルの開発

Input: シナリオ条件

認識性能モデル

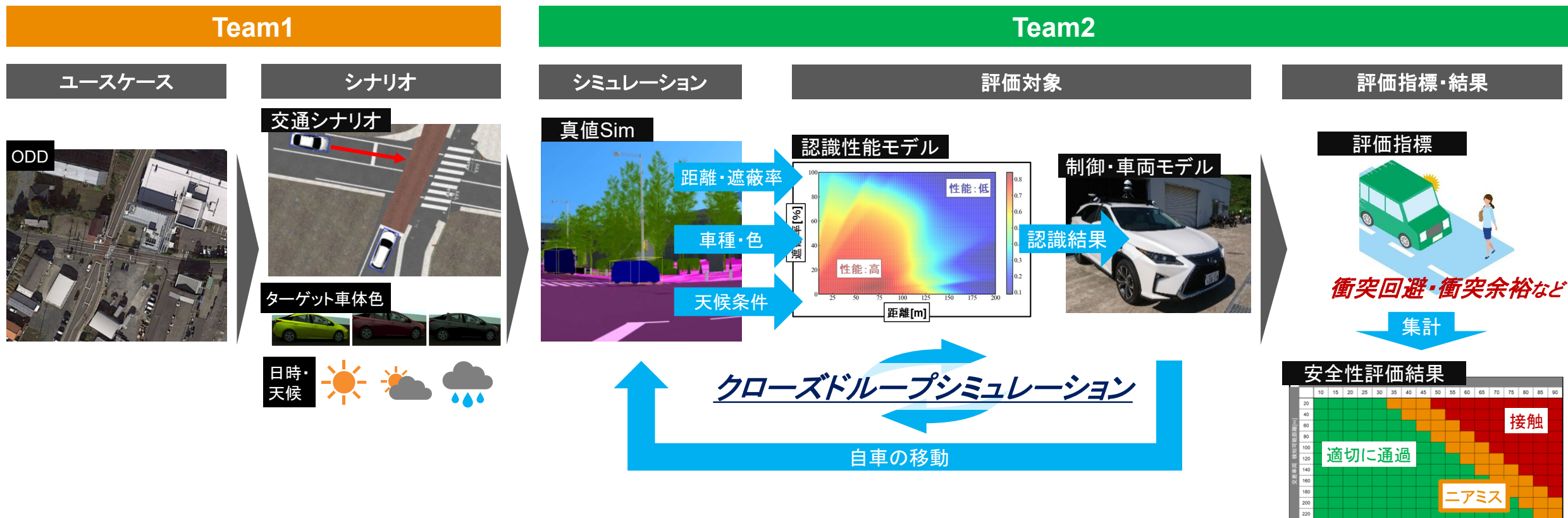
Output: 認識結果



認識可否を認識性能モデルに縮退することで高速に認識結果をシミュレート可能

2nd-Stageでは、制御・車両モデルを評価対象として自動運転システムのODDからシナリオを定義 センサ特性をモデル化した認識性能モデルを用いることで、センサ性能を加味した安全性評価を行う

2nd-Stage: 安全性評価



高速な認識性能モデルにより、認識性能を考慮したADシステムの安全性評価が実施できる

ADSによってニアミスと衝突発生を回避可能なことを確認 合わせて、改善が必要な交通・環境条件の解析によってADSの改良方針を立てることが可能となる

2nd-Stage: 評価結果

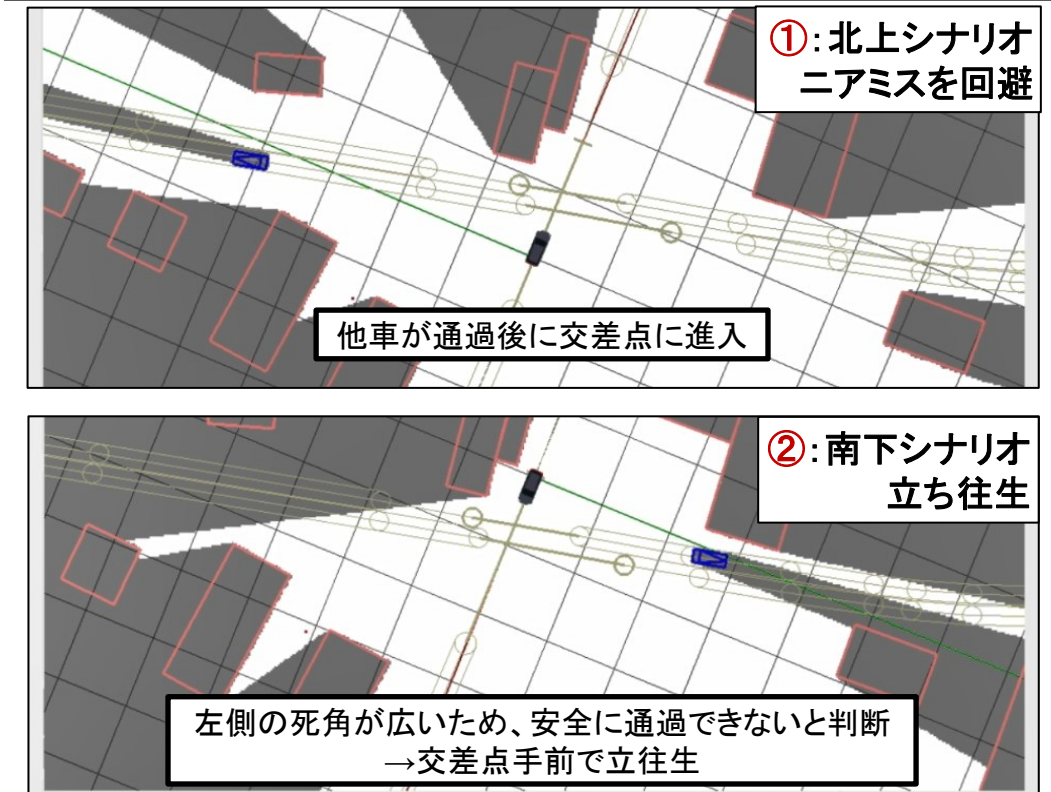
安全性評価の結果



凡例

- : 自車
- (赤) : 遮蔽物 (建物など)
- (白) : 他車 (未検出)
- (黒) : 死角
- (青) : 他車 (検出済)

走行軌跡の例



現在のADS安全性能と改善点を分析可能なことを確認 今後は実例に基づく評価指標の安全閾値を検討していく

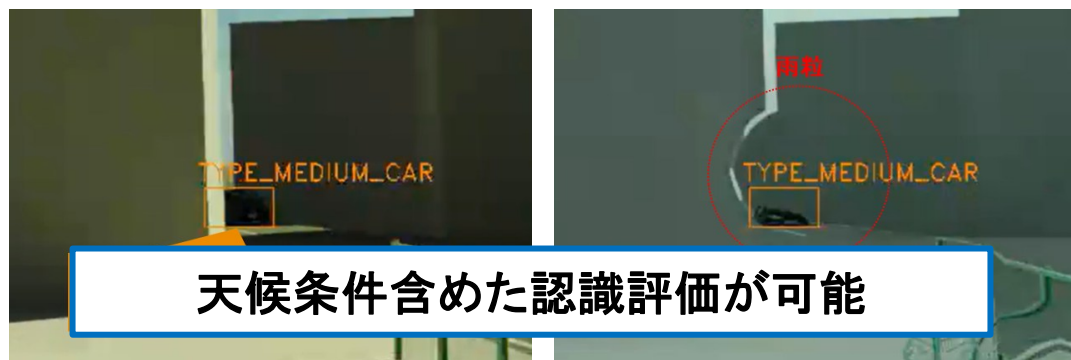
引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト



認識性能評価では天候条件やジオメトリ条件などユースケースに合わせシナリオ化、SIM評価が効率的に実施可能。安全性評価では認識含めたAD車両評価のフロントローディング、再現検証が可能。

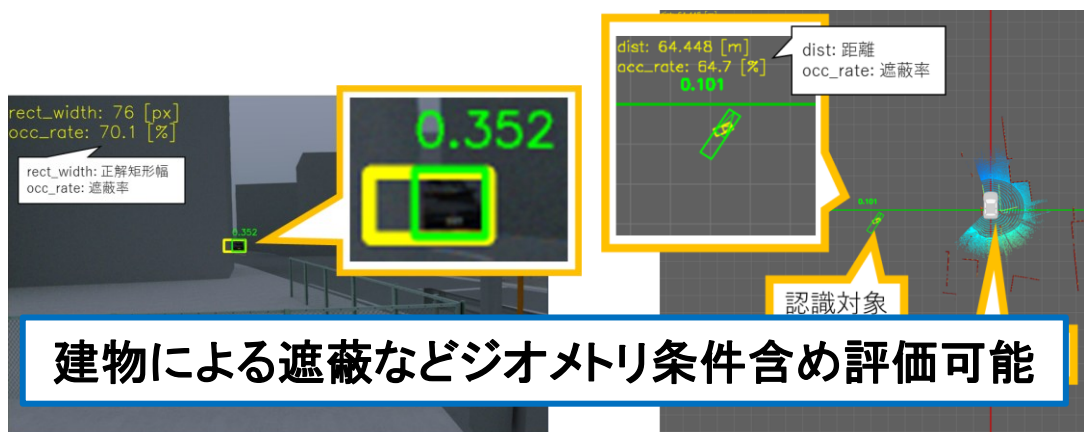
2-Stage評価結果

認識性能評価結果(1st-Stage評価)



未検出

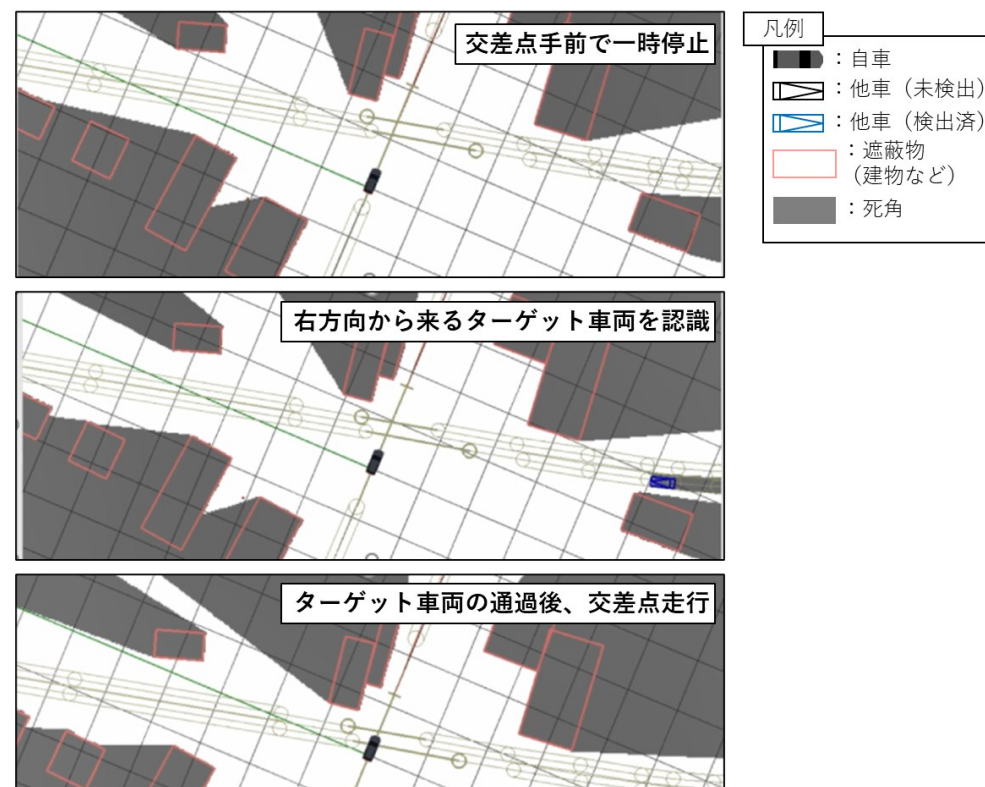
未検出



誤検出

誤検出

安全性評価結果(2nd-Stage評価)



認識含めたAD車両の安全性評価可能

(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立 2024年度成果報告書抜粋

研究と実用化を並行するため、RoAD to the L4(テーマ4)とAD-URBANの2プロジェクトと連携を実施

RttL4連携とAD-URBAN連携の位置づけ

RoAD to the L4 テーマ4

AD-URBAN

目的

実証実験を対象に1st-Stageセンサ認識評価を実施

新規研究の効果検証

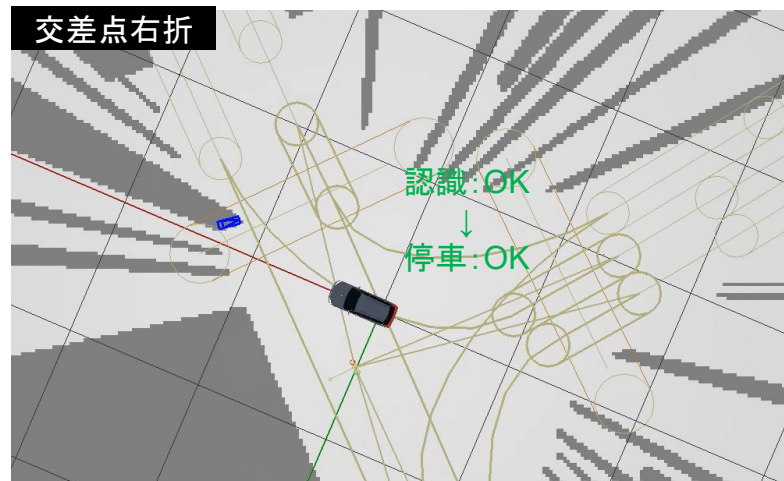
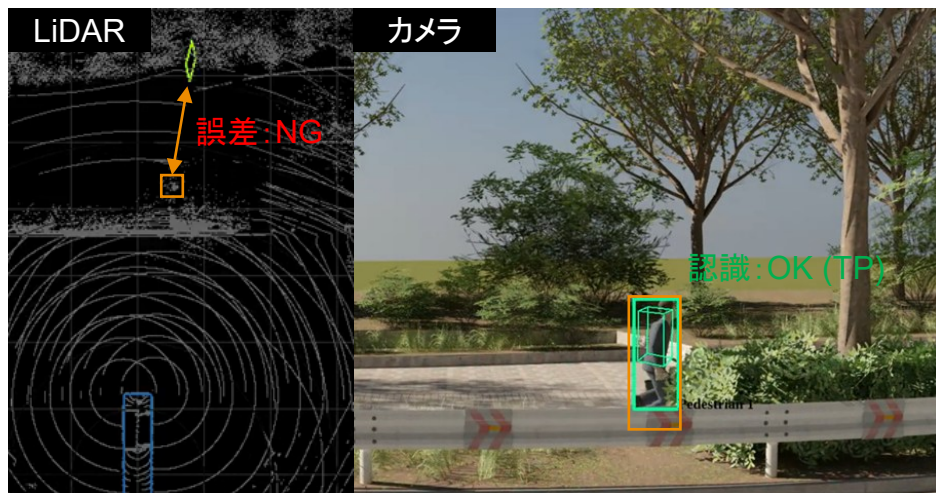
ユース
ケース

柏の葉 科警研交差点の右左折

柏の葉ユースケース & ADバスのモデル化と
現地特性に基づくセンサ認識性能の検証


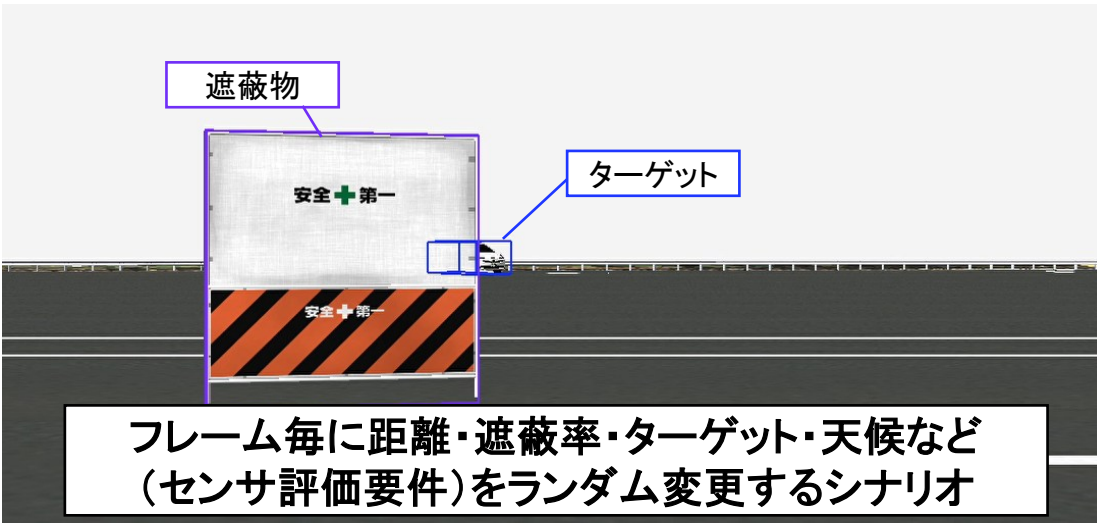
Closed-Loop Simulation構築と
自動運転制御アルゴリズムの性能評価

成果



センサシステムの認識性能評価を効果的・効率的に行うため、以下の2種評価を実施

センサ認識評価の種別

	走行状況の評価	センサ要件の評価
目的	走行状態・道路環境下での認識評価	センサ要件に基づく網羅的な認識評価
シナリオイメージ	 <p>バスと交通参加者の軌跡を定義したシナリオ 3Dマップモデル・天候は現地に合わせる</p>	 <p>フレーム毎に距離・遮蔽率・ターゲット・天候など (センサ評価要件)をランダム変更するシナリオ</p>
特徴	実際の走行状態に近い性能が評価できる 欠点 1つの条件の評価が長時間	補う → センサに重要な条件を網羅的に評価できる

それぞれの評価の特徴を活かし、ODD範囲での性能評価を効率的に実施する

RoAD to the L4 具体的なユースケース(科警研交差点)と自動運転バスセンサ仕様に基づいた評価シナリオの検討、作成を実施

評価シナリオ、マップアセット

要件

柏の葉走行区間で、飛び出し可能性が高い場面での評価
植栽等の影から人物や歩行者がでてくる危険性の高い箇所(RoAD to the L4プロジェクト)

自動運転バスのセンサ再現
自動運転バスの前後左右に取り付けられたカメラやLiDAR

自動運転バスの走行再現
自動運転バスの設計走行軌跡による走行再現

リスクの高い歩行者行動の再現
計測された交差点での歩行者パラメータ分布から、リスクの高い経路を再現(SAKURAプロジェクト)

ユースケース (ユースケースに基づくシミュレーション環境の構築)

場所

柏の葉 科警研交差点

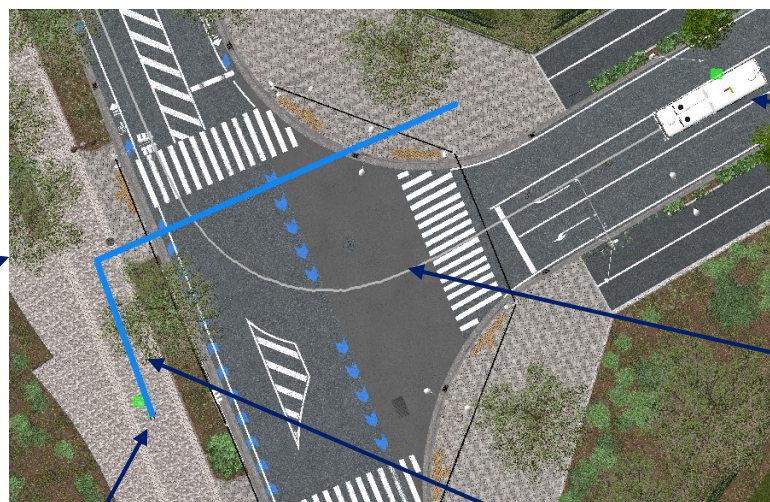


マップアセット

人物を隠す
植栽やポールの再現



交差点右左折時の歩行者シナリオ(画像は右折)



歩行者経路

リスクの高い横断歩道を渡る経路(12パターン)

- ・リスクの高い場面として、横断歩道の内側を渡る歩行者を設定
- ・パラメータはドイツの交差点歩行者パラメータ分布をもとに設定
- ・認識の難易度を考慮して、横断歩道手前で方向転換

自動運転バスアセット

実車の計測データより作成



画像はセンサを外したものを使用
(実際のシミュレーション時はセンサを配置)

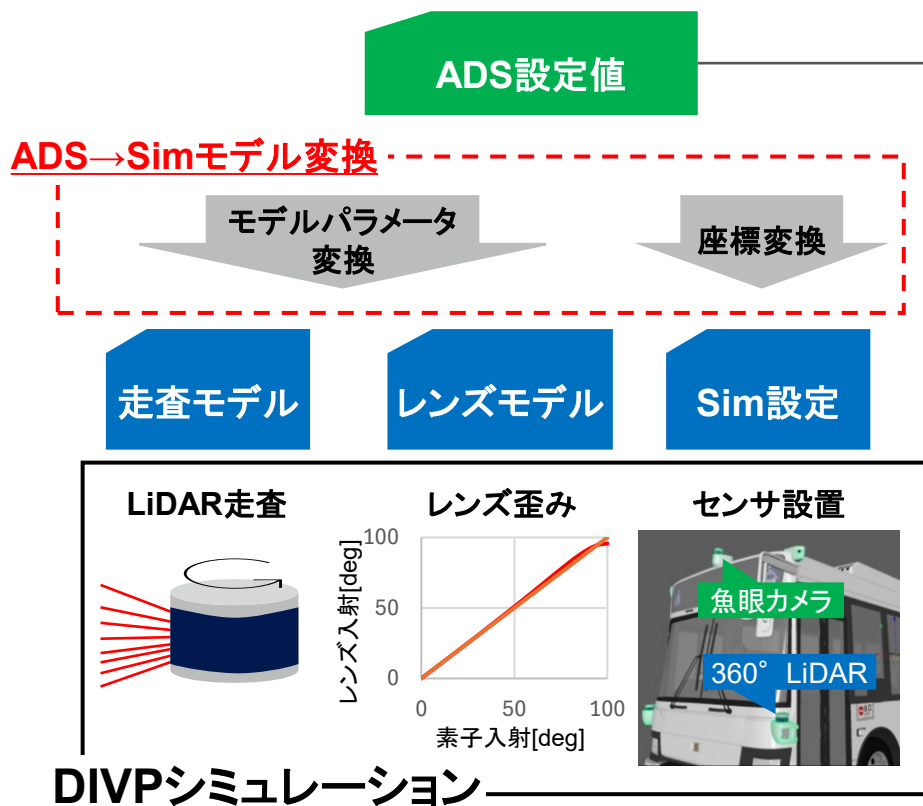
自動運転バス経路

設計走行軌跡から、交差点右左折部分を切り出し

自動運転バスの評価要件に合わせたユースケースを作成、シミュレーション環境を構築した

RoAD to the L4 センサ仕様や設置条件をシミュレーションモデルに変換する技術を開発 実車両のADS設置値を基にFusion処理可能なカメラ画像とLiDAR点群をシミュレーションで算出可能

シミュレーション結果例



AD認識アプリケーション



シミュレーションにおけるセンサのキャリブレーションと配置手法を確立させた

RoAD to the L4 2種類の評価方法に合わせてセンサシステムの認識性能評価を実施 遮蔽物や木陰などに認識エッジケースシナリオを抽出し、センサ認識評価を実施した

走行状況の評価

左折シナリオ

エリア①

施設の植込みや信号機で遮蔽されているため認識できない

エリア①

遠方かつ樹木、電柱が密集し、ほぼ全体が遮蔽される

エリア②

注意看板、信号機などが密集して遮蔽が多い

エッジケースシナリオ
他評価への活用が有効

センサ要件の評価

・周辺監視カメラによる認識評価の事例

認識○

認識×

木の陰に入ることによってコントラストが下がり、認識し難い状況になったと推察

自動運転バス

認識率が低いシーンを洗い出し、認識課題を明確化

・周辺監視カメラの認識性能評価の例

天候	ターゲット	ターゲットまでの距離[m]		
		短距離	中距離	長距離
晴れ	歩行者(男性)	○	○	○
	歩行者(子供)	△	△	×
	自転車	○	○	○
曇り	歩行者(男性)	○	○	×
	歩行者(子供)	△	×	×
	自転車	○	△	×

【凡例】
○: 認識できた
×: 認識できていない
△: ○と×が混在

認識性能として 晴れ>曇り の傾向・子供の認識性能が低い傾向を確認

エッジケースシナリオの他プロジェクト共有を図り、認識性能評価の標準議論を進める

引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、RoAD to the L4プロジェクト

※1 RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

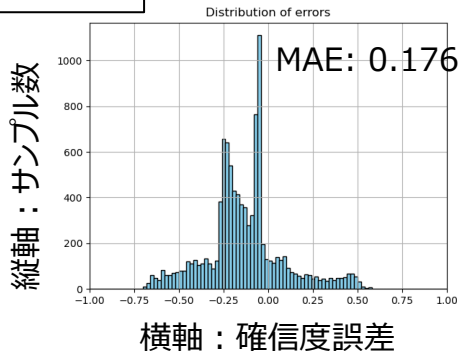
昨年度開発したカメラ・LiDARの認識性能モデルの課題確認を実施 また、歩行者・自転車の認識を目的とする認識性能モデル拡張用の学習データを作成

認識性能モデルの回帰性能を評価・課題シーンの確認

Camera

・遮蔽率・矩形枠幅から確信度を出力

緑数字：学習データとその確信度
赤数字：出力結果の確信度



・特定の車種による認識結果のばらつきによる影響で誤差の大きなシーンが発生

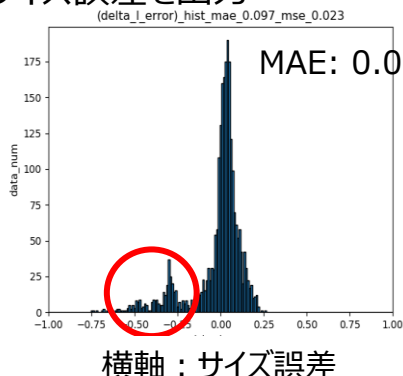
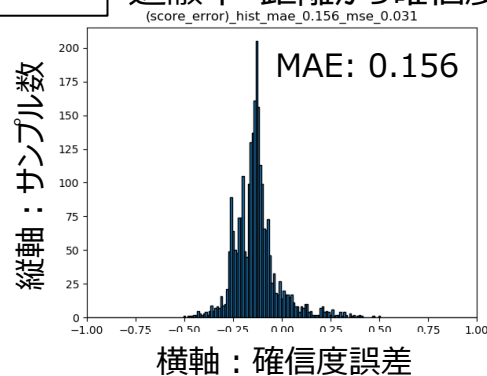
学習データの作成

遮蔽率や遮蔽物等、シナリオ条件をランダムに組み合わせた10000パターン以上のシナリオパターンを生成



LiDAR

・遮蔽率・距離から確信度・サイズ誤差を出力



・バス・トラック等の大型車両のサイズ誤差が拡大
・学習データ内に大型車両が含まれていなかったことが要因

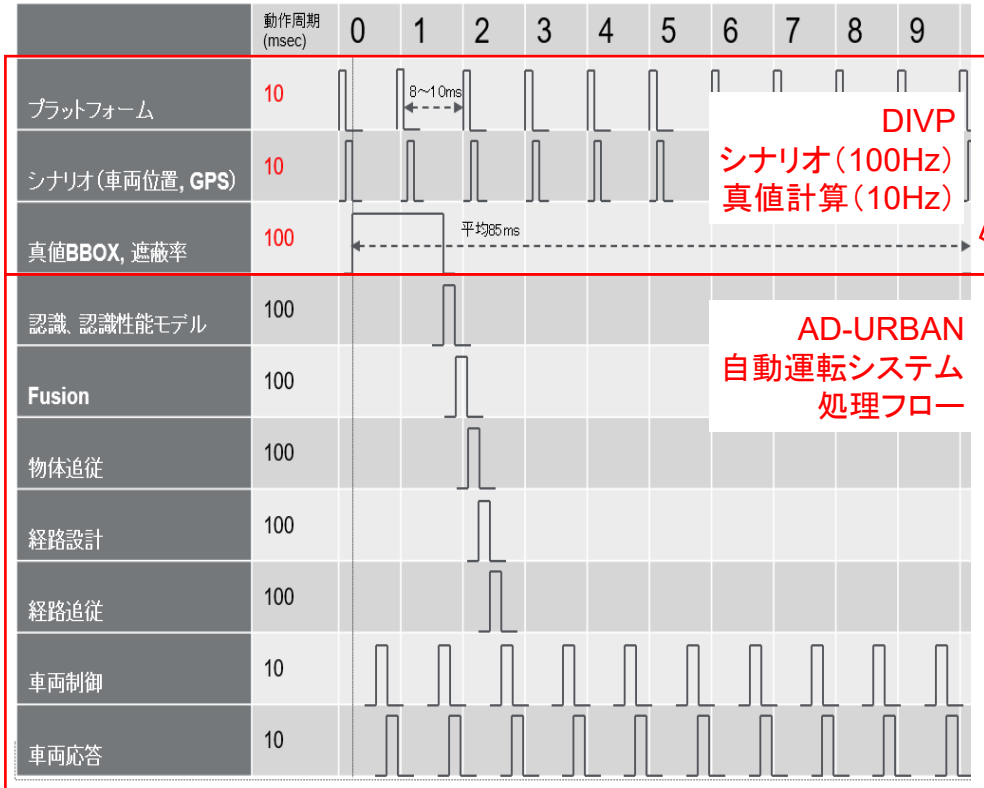
項目	条件
日時	2024/8/15 09:00 12:00 15:00 18:30 2025/1/25 09:00 12:00 15:00 17:00
天候	晴れ、曇り、雨 (雨量:10mm/h)
距離	10 - 150[m]
自転車方位角	0 - 360[deg]
ターゲット	大人、子供、自転車、二輪車
ターゲットYaw角	0 - 360[deg]
遮蔽物	車両、街路樹、植込み、信号機、標識
遮蔽部位	左 or 右 or 中
遮蔽率	0 - 100[%]

センサ認識要件による性能評価シナリオの効率的な自動生成が可能

AD-URBAN自動運転システムにDIVPシミュレーション環境を適合させ、クローズドループ環境を実現

自動運転システムのリアルタイム要件対応

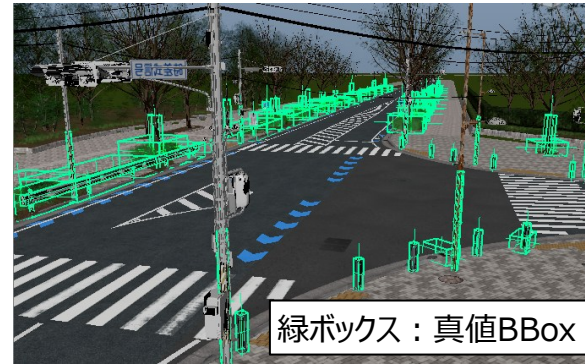
認識以降の処理に固定周期でデータ出力する機能を構築



真値BBOX, 遮蔽率の処理最適化

シミュレーションの処理負荷が真値BBox数に比例

⇒ 昨年度PFが10msで動作したひたちBRTマップ (BBox数約100) を参考に 柏の葉マップのBBox数を低減



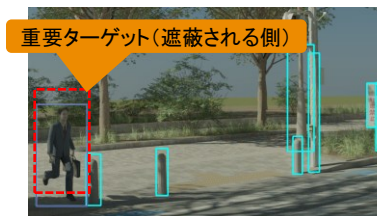
歩行者の遮蔽に影響しない

- 歩道より外側の物標のBBox
- バスの高さ以上のBBoxを削除

BBox数: 約740→約150

遮蔽率計算をすべての物標に対して、実施すると計算負荷が高くなるため、重要ターゲットに絞って、遮蔽率を計算

⇒ 真値シミュレーション(*) 性能を、カメラ1.3倍、Lidar50倍程度UP



ターゲット	平均処理時間 (ms) / frame			柏の葉マップシナリオ ・BBOX数: 150 ・重要ターゲット: 歩行者 x 1
	遮蔽率計算対象	全ての物標対象	歩行者のみ	
Camera	14.2	10.7		
Lidar	903.9	17.1		

※真値シミュレーション: 真値BBOX/遮蔽率計算のみ (空間描画/知覚は実行せず)

リアルタイムで動作する自動運転システムの安全性評価が可能

SCT指標の用いた自動運転安全性評価を目的に、自動運転車の接近に合わせ歩行者の見えるタイミングを動的制御するシナリオの作成方法を考案した

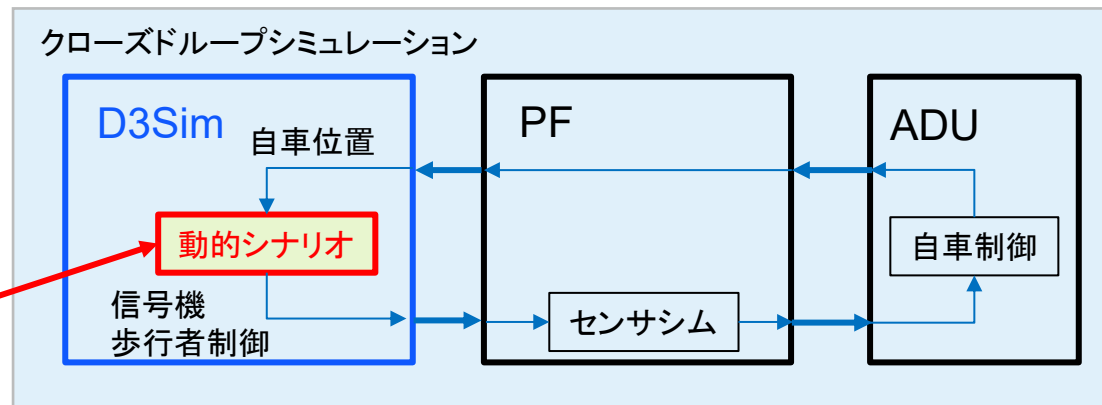
自車以外の交通参加者制御、信号制御

制御条件：

- 自車の進行方向（右左折）と信号機の現示を一致
- 自車制御による横断歩道の通過タイミングに歩行者を対応
- 安全性評価のために、自車と歩行者の接触／ニアミスの程度を調節



動的シナリオの導入
交通参加者および信号機を自車位置に同期して制御



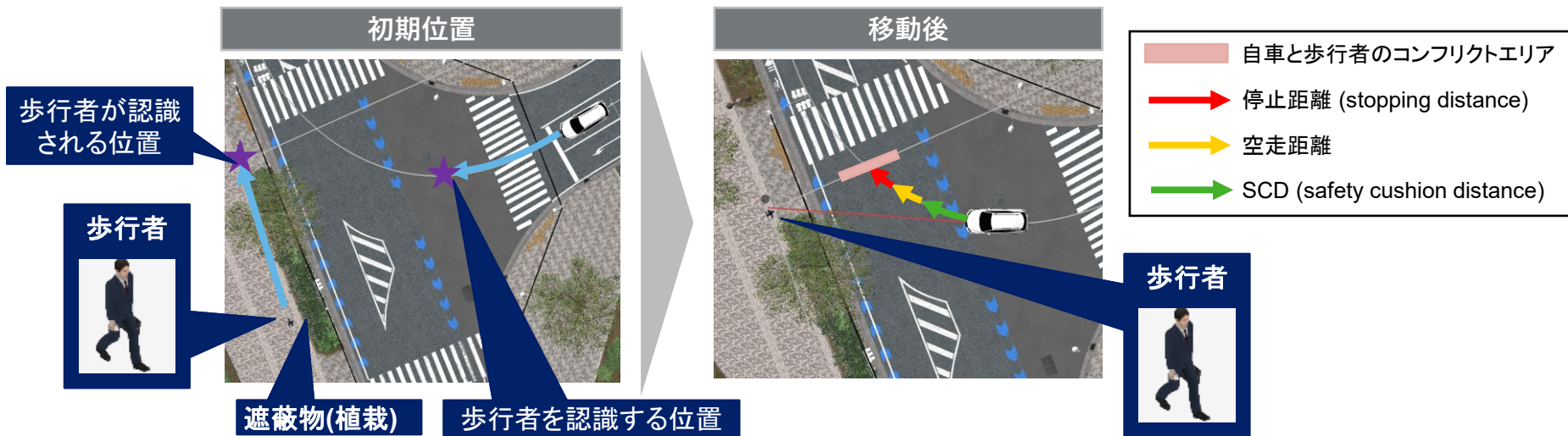
制御機能の適用

SCT指標によるシナリオ

SCT(0,1,2,3[秒])となる位置で自車が歩行者を認識するシナリオ

【シナリオ作成方法概要】

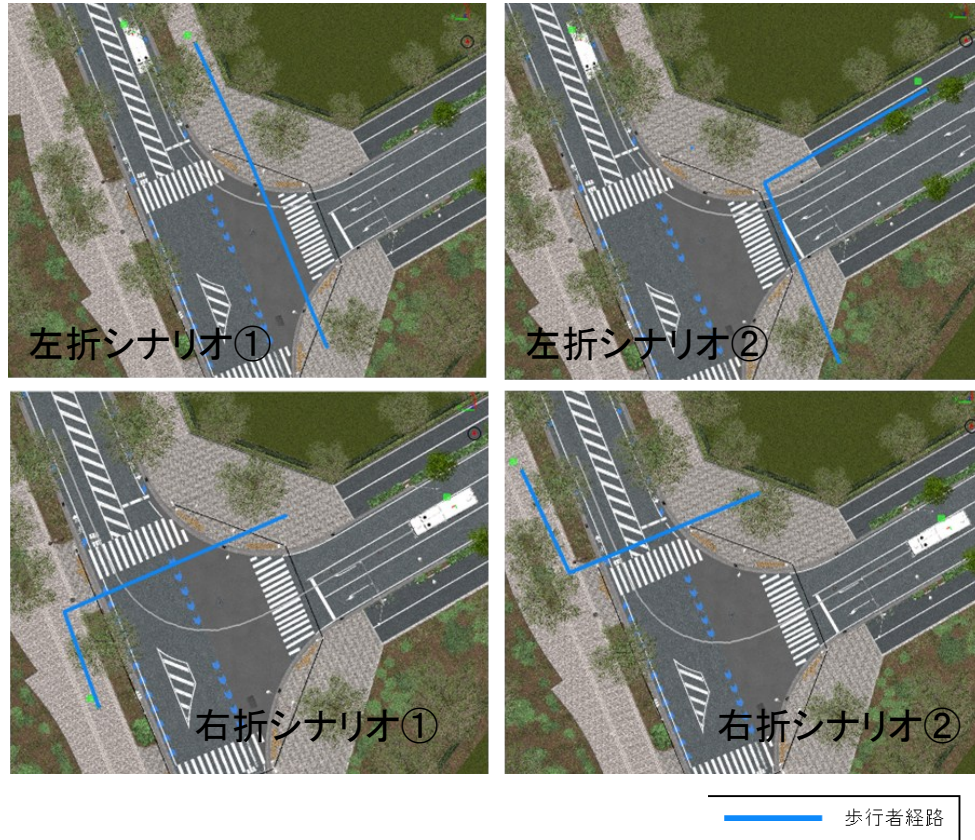
- ①SCTより自車が歩行者を認識する位置を計算
- ②自車位置から歩行者位置を決定
- ③自車と歩行者を初期位置へ配置
- ④歩行者に自車に対する相対速度を指定(制御により、自車速度に歩行者速度を連動する)



特定条件下での自車制御を含む自動運転システムの交通参加者に対する安全性評価が可能

AD-URBAN 自転車の右左折に対して歩行者経路がそれぞれ2パターン、SCT設定が4種類の計16シナリオをシミュレーション実施

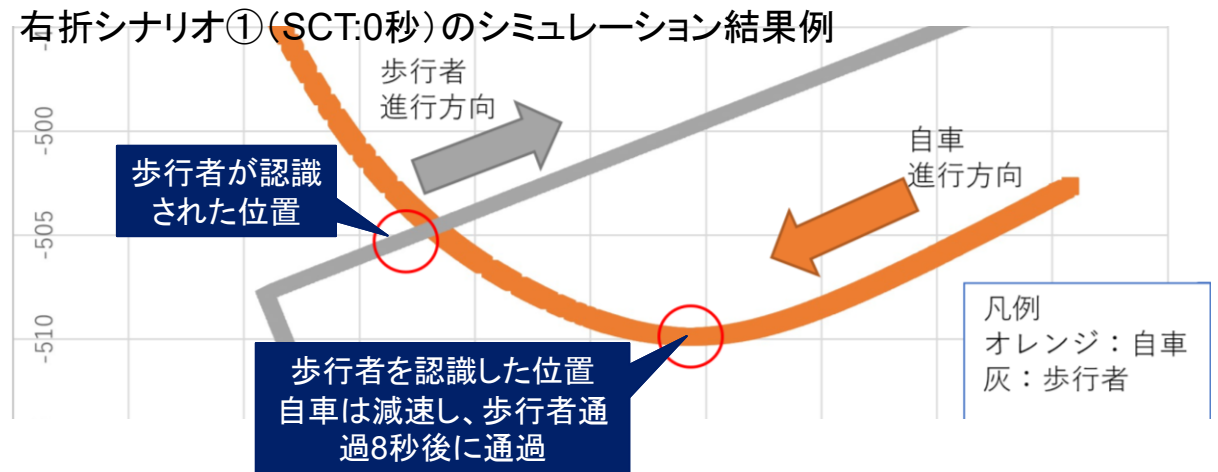
評価シナリオ



評価結果

【凡例】
○：認識できた
×：認識できていない

シナリオ	歩行者認識				自転車動作	衝突
	SCT:0秒	SCT:1秒	SCT:2秒	SCT:3秒		
左折シナリオ①	○	○	○	○	減速	なし
左折シナリオ②	○	○	○	○	減速	なし
右折シナリオ①	○	○	○	○	減速	なし
右折シナリオ②	○	○	○	○	減速	なし

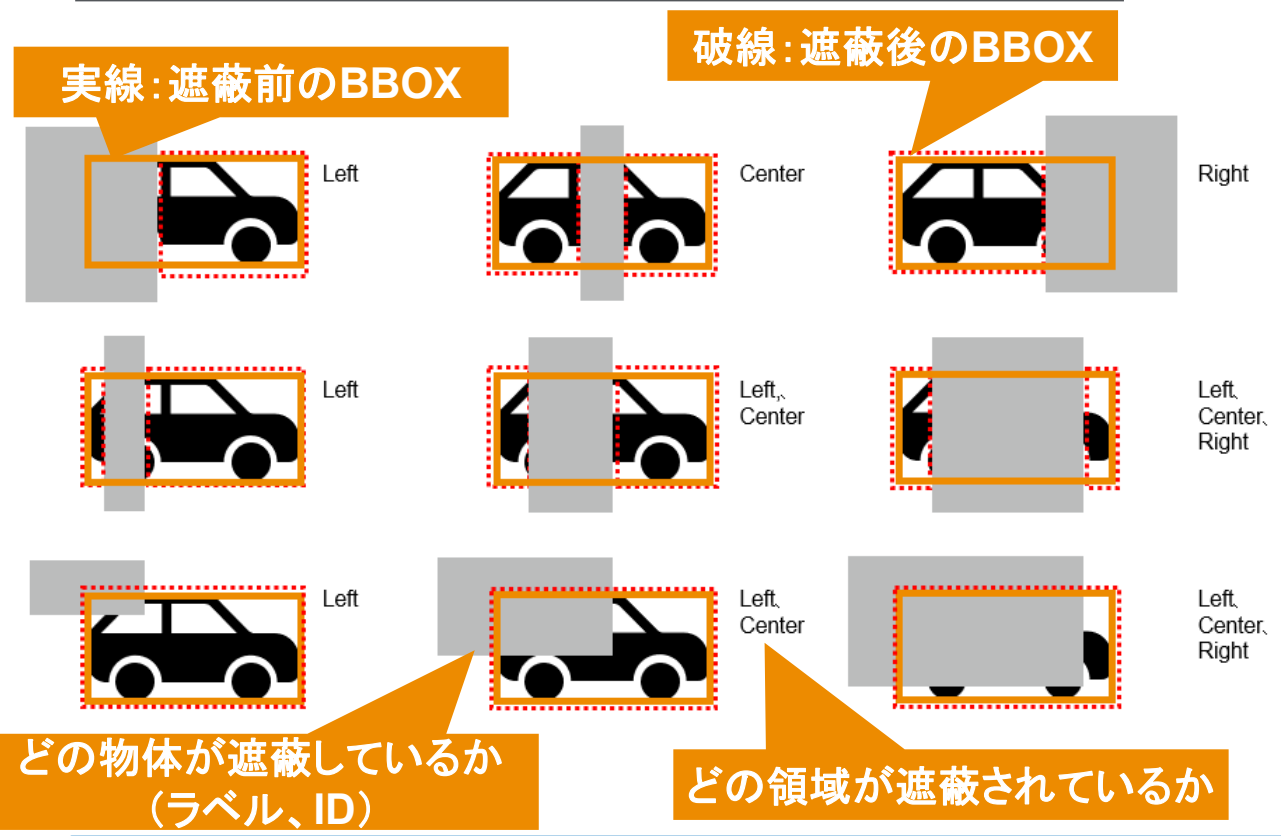


SCT指標によるシナリオでクローズドループSimによる自動運転システムの安全性評価を実施

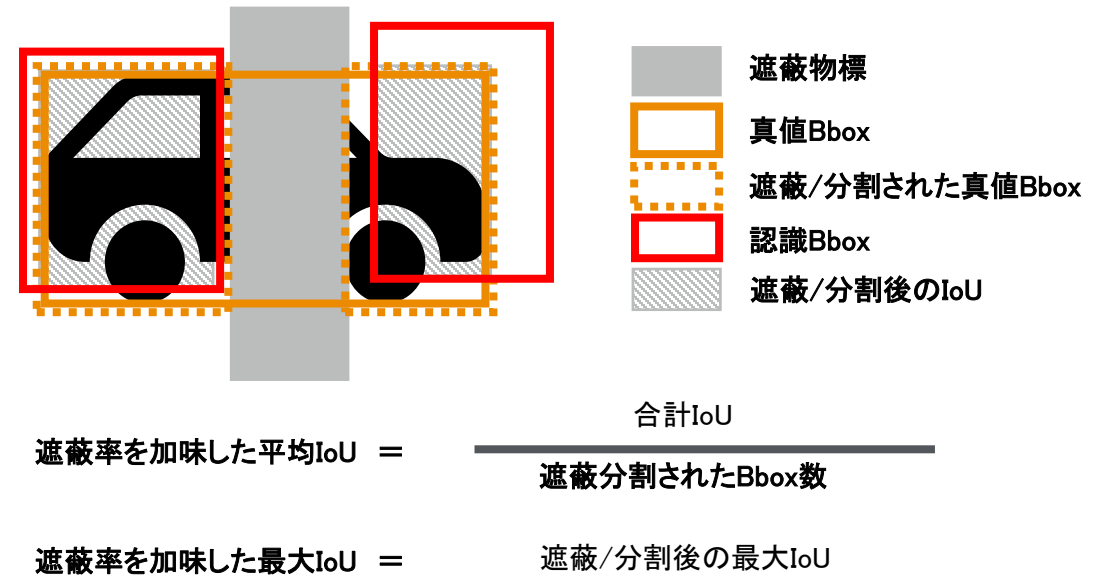
機能強化 認識対象の遮蔽される部位による認識性能への影響を考慮し、ASAMより先行的にGroundTruthへ遮蔽部位に関する定義を追加。合わせて、IoUの計算機能も更新

遮蔽率情報とIoU計算機能の追加

遮蔽率情報の追加



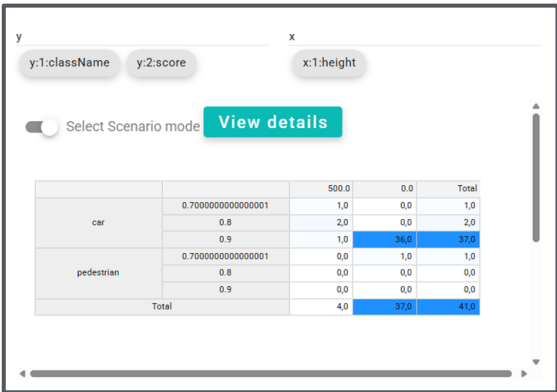

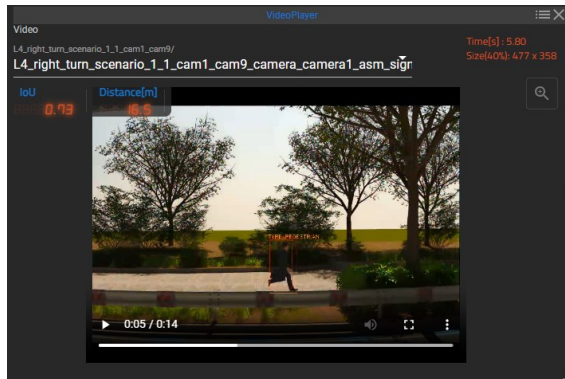
IoU計算



遮蔽部位による認識性能の評価が可能

機能強化 認識結果IoUと制御結果SCTを統合して分析できるように真値Sim結果Viewerを追加 同期分析により安全性能の課題要因を切り分け可能

効率化が必要な評価フローを定義し、真値Sim結果を鳥観図で表示するチャートを追加

対象	2nd-Stage評価結果	真値Sim結果	センサSim結果
Sim結果	真値Sim + 認識性能モデル		センサ知覚+認識モデル
画面イメージ			
解析目的	<ul style="list-style-type: none"> マクロ的に車両全体として目標通りの動作が可能か確認 新旧アルゴリズムでの性能変化 	<ul style="list-style-type: none"> 時系列データとして、各ポイントでの車両動作が想定通りか確認 どのターゲットでNGが出たのか要因切り分けを行う 	<ul style="list-style-type: none"> 時系列データとして、認識結果が想定通りか確認 認識結果の誤差などターゲットごとの詳細を把握する
遷移条件 (完了条件)	<ul style="list-style-type: none"> NG条件を把握 OK/NGの変化点、アルゴリズムでの結果変化点を把握 上記該当データの選択 	<ul style="list-style-type: none"> NGにつながるポイント(例: 制動開始位置など)を把握 上記該当時間の前後数秒を選択 	<ul style="list-style-type: none"> 認識に課題があるターゲット、条件を把握 認識性能モデルとセンサモデルの挙動が同じ

認識性能に基づいた安全性評価が可能

(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立 2025年度成果報告

2025年までの成果を他の実証実験プロジェクトに適応するため、以下2つの取り組みを実施

(2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立

RoAD to the L4テーマ4連携

Autoware評価

目的

Simを用いたセンサシステムの性能向上

実施内容

- センサシステムの苦手条件の導出(1st-Stage評価)
- Simセンサ出力の追加学習による性能向上
- 実車走行データ評価における有効性検証

イメージ

天候	ターゲット	短距離	中距離	長距離
晴	大人	○	○	○
	子供	△	△	×
	自転車	○	○	○
曇	大人	○	○	×
	子供	△	×	×
	自転車	○	△	×



担当パート

- (2)-1.a. ユースケース定義
- (2)-1.b. 認識性能向上フレームワークの適応

2-Stage評価を用いた安全性評価

- クローズドループSimの構築(2nd-Stage評価)
- Autowareソフトウェアの接続
- 安全リスク指標SCTを用いた車両全体の安全性評価



- (2)-1.a. ジオメトリSim構築、Autoware接続
- (2)-1.c. 安全リスク指標の接続、ODD検証

RoAD to the L4

2025年までの成果を他の実証実験プロジェクトに適応するため、以下2つの取り組みを実施

(2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立

RoAD to the L4テーマ4連携

目的

Simを用いたセンサシステムの性能向上

実施内容

- センサシステムの苦手条件の導出(1st-Stage評価)
- Simセンサ出力の追加学習による性能向上
- 実車走行データ評価における有効性検証

イメージ

天候	ターゲット	短距離	中距離	長距離
晴	大人	○	○	○
	子供	△	△	×
	自転車	○	○	○
曇	大人	○	○	×
	子供	△	×	×
	自転車	○	△	×



Autoware評価

先進モビリティの課題感

子供歩行者の検出性能が他に比べて低い

- データ数を準備しづらい
- 行動パターンが多い
走る、しゃがむなど

→必要な条件のデータを取集するのが難しい

研究の狙い

- 必要な条件を効率的にシナリオ化
- 精緻な物理センサシミュ&自動アノテーションでデータの質も確保




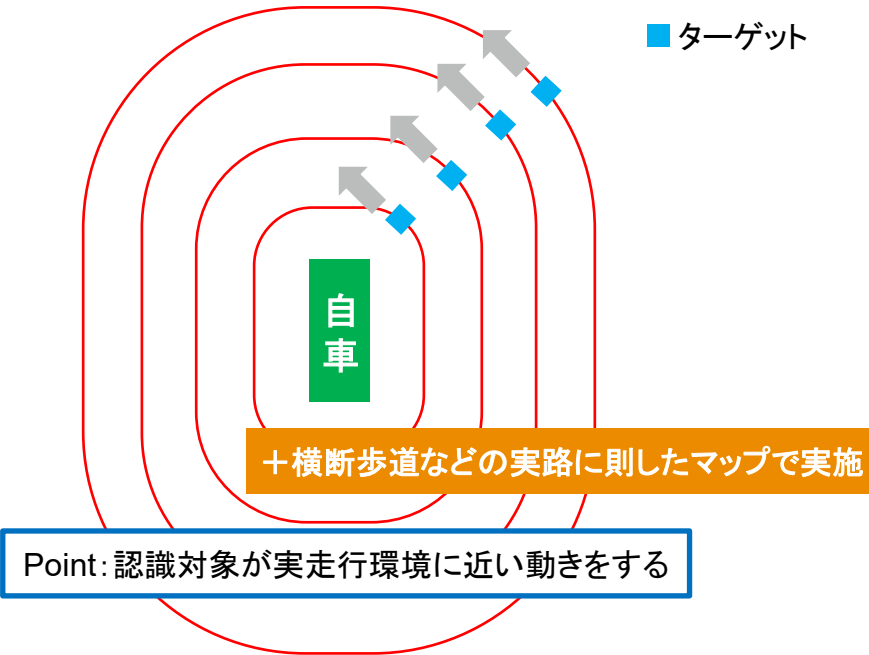
担当パート

- (2)-1.a. ユースケース定義
- (2)-1.b. 認識性能向上フレームワークの適応

- (2)-1.a. ジオメトリSim構築、Autoware接続
- (2)-1.c. 安全リスク指標の接続、ODD検証

センサシステムの認識性能評価と学習を効果的・効率的に行うため、2種類のシナリオを定義した

センサ認識評価シナリオの種別

名称	ランダムシナリオ	幾何学シナリオ
説明	指定条件内でランダムな条件を再現する	特定の規則的な動きを再現する
イメージ	 <p>Point: 1フレームごとに条件が変更される</p>	 <p>Point: 認識対象が実走行環境に近い動きをする</p>
利点	多彩な条件を網羅的 & 効率的に評価できる	評価結果の車両性能に対する説明性が高い

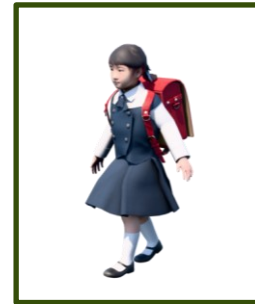
テーマ2 ひたちBRT実証実験で実際に起こる小学生の飛び出しを想定してアセットを作成

マップおよび子供アセットの開発



マップアセット

既存アセット



バリエーションを新規開発



帽子無

帽子有

子供アセット(12種)

自車から距離の異なる横断を実行するために
直線路に横断歩道と遮蔽物(樹木)を複数配置

男女 x 服装(カラー)3種 x 帽子の有無で
12種のバリエーションを作成

RoAD to the L4 幾何学的な移動軌跡に加えて天候や歩行速度、ターゲットの種別などの条件を振ることで、400,000件以上のセンサ&アノテーション(正解値付与)データを準備

幾何学シナリオ カメラサンプル

夏:8/15 9:00相当のシミュレーション結果



センサ弱点の再現例

先進モビリティが課題感を持っている状況をヒアリング
それらの状況が含まれるシナリオを設計

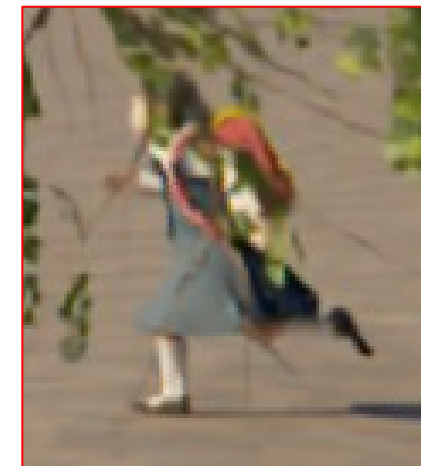
課題例:

- ・木陰などに入ると検出しづらい
- ・移動中の歩行者は停止時比べて検出しづらい

「木陰」の事例



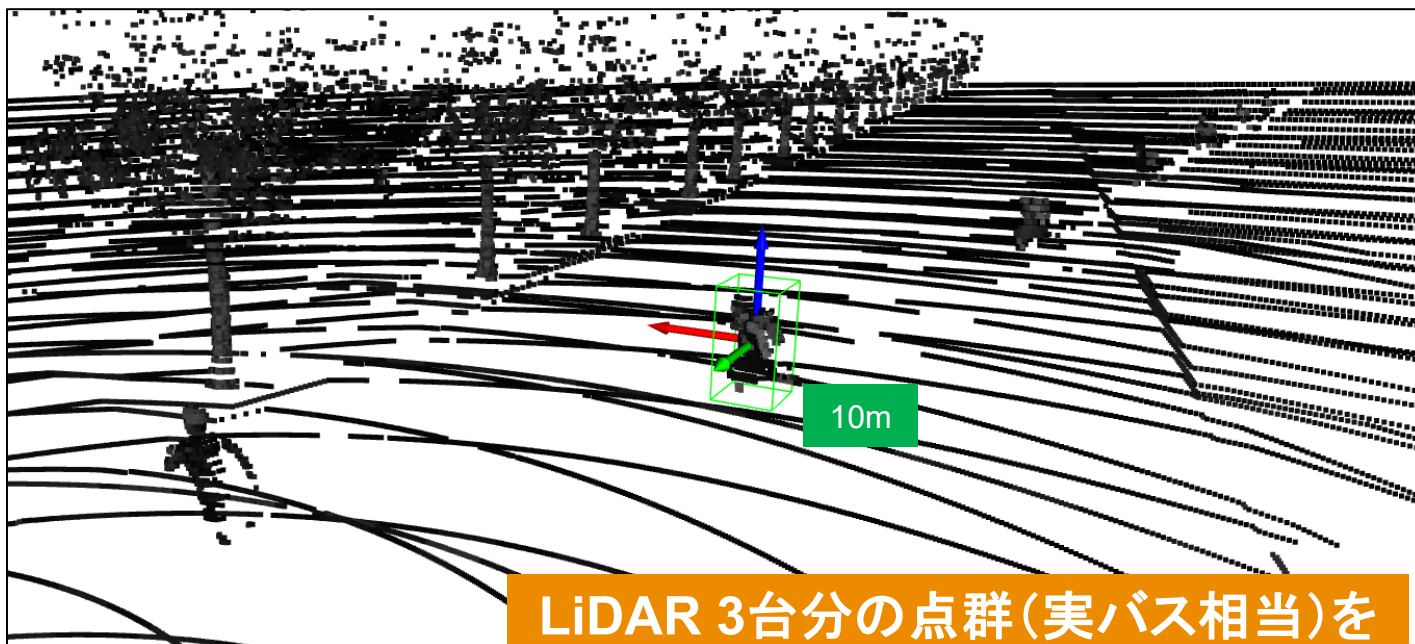
「走る」+「小枝で遮蔽」の複合事例



RoAD to the L4 LiDARセンサなど、複数センサを同期した自動アノテーションや実データでは正確に計測しづらい速度情報なども自動アノテーションが可能

幾何学シナリオ LiDARサンプル

走行(疾走)状態のシミュレーション結果



LiDAR 3台分の点群(実バス相当)を
複合した点群データ

(参考)カメラ映像



RoAD to the L4 実データで学習済みの「従来モデルAI」と、シミュデータで追加学習した「追加学習モデルAI」で性能比較を実施 狙い通り子供の認識性能が向上しつつ過学習が起きていないことを確認

検証結果

使用したデータセット

学習: 計246,380データ(リアル94%、DIVP6%)
リアルデータ : 車、歩行者、自転車などを含む
DIVPデータ : 子供のみ
検証: うち25,107データ

子供の認識性能※

指標	従来モデル	追加学習モデル
適合率: Precision	81.7%	82.8% ↑
再現率: Recall	53.6%	92.7% ↑

子供クラスではRecallが19.1%上昇
→検出漏れが発生しづらくなった(性能向上した)

全クラスの認識性能※

指標	従来モデル	追加学習モデル
適合率: Precision	80.0%	80.0% →
再現率: Recall	67.0%	68.0% →

クラス別のAP値(一部抜粋)※

Class Name	従来モデル	追加学習モデル
vehicle_car	81.27%	81.52% →
truck_trailer	63.93%	62.11% →
bus	60.41%	60.42% →
bicycle	73.59%	74.61% →
motorbike	65.19%	65.65% →
person	61.58%	61.54% →
traffic_cone	86.07%	86.43% →
guidepost	89.40%	88.67% →

子供以外のクラスで2.0%以上のAP値低下は無し
→過学習は発生していない

AI評価の指標説明(主要なうちの一部)

正解、不正解の分類

		正解値	
		いる(正)	いない(負)
予測値	いる(正)	TP	FP
	いない(負)	FN	TN

正解 : TP, TN

不正解 : FP, FN

※物標認識ではTN評価は無い

性能を示す値


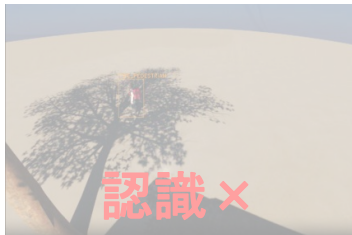
全問正解: 1.0、不正解: 0.0となり、1に近いほど性能が高い

用語	計算方法	意味
適合率: Precision	$\frac{TP}{TP + FP}$	ターゲットがあると予測したデータに対して正解した割合 1.0に近いほどファントムブレーキなどが起きづらい
再現率: Recall	$\frac{TP}{TP + FN}$	実際にターゲットがいるデータに対して正解した割合 1.0に近いほど漏れなく検出できている
AP (Average Precision)	適合率と再現率の変化を グラフ化し面積を求める	適合率と再現率のバランスを計算 1.0に近いほど誤検出も未検出も少ない 0.5以下は性能不足

2025年までの成果を他の実証実験プロジェクトに適応するため、以下2つの取り組みを実施

(2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立

RoAD to the L4テーマ4連携

目的	Simを用いたセンサシステムの性能向上																																	
実施内容	<ul style="list-style-type: none">センサシステムの苦手条件の導出(1st-Stage評価)Simセンサ出力の追加学習による性能向上実車走行データ評価における有効性検証																																	
イメージ	<table border="1"><thead><tr><th>天候</th><th>ターゲット</th><th>短距離</th><th>中距離</th><th>長距離</th></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="3">晴</td><td>大人</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>子供</td><td>△</td><td>△</td><td>×</td></tr><tr><td>自転車</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td rowspan="3">曇</td><td>大人</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr><tr><td>子供</td><td>△</td><td>×</td><td>×</td></tr><tr><td>自転車</td><td>○</td><td>△</td><td>×</td></tr></tbody></table>	天候	ターゲット	短距離	中距離	長距離	晴	大人	○	○	○	子供	△	△	×	自転車	○	○	○	曇	大人	○	○	×	子供	△	×	×	自転車	○	△	×		
天候	ターゲット	短距離	中距離	長距離																														
晴	大人	○	○	○																														
	子供	△	△	×																														
	自転車	○	○	○																														
曇	大人	○	○	×																														
	子供	△	×	×																														
	自転車	○	△	×																														
担当パート	(2)-1.a. ユースケース定義 (2)-1.b. 認識性能向上フレームワークの適応																																	

Autoware評価

2-Stage評価を用いた安全性評価

- クローズドループSimの構築(2nd-Stage評価)
- Autowareソフトウェアの接続
- 安全リスク指標SCTを用いた車両全体の安全性評価



- (2)-1.a. ジオメトリSim構築、Autoware接続
- (2)-1.c. 安全リスク指標の接続、ODD検証

Autoware 実証実験の加速に向けて、数年分の高リスクのシナリオを抽出するシナリオシミュレータと車両安全性を評価する2nd-Stageを組み合わせた2-Stage評価の拡張

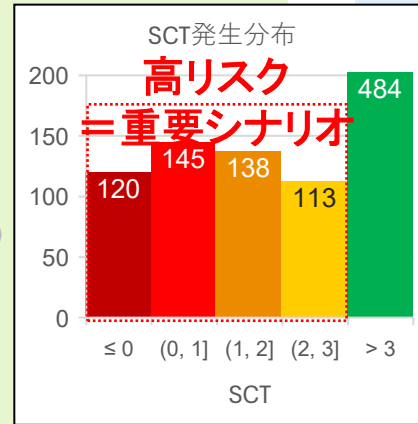
リスクシナリオ抽出 & 安全性評価

優位性①

現実には起こりえる偶発的リスクシナリオを発見できる

テーマ(3)

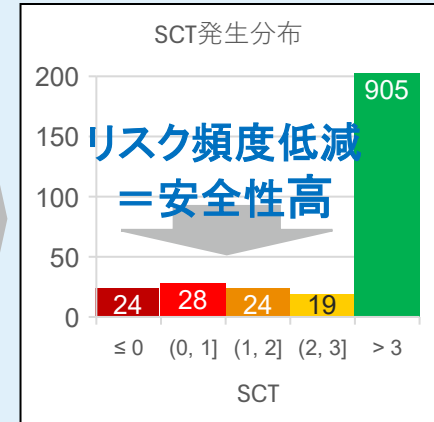
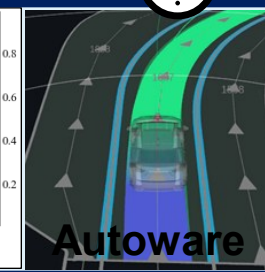
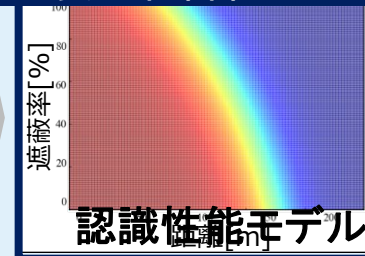
加速評価



テーマ(2)

リアルタイム評価

2nd-Stage: 安全性評価シミュ



FOTのモデル化により実車検証を補う

1st-Stage: センサ評価シミュ

優位性②

実証実験1.2年分の加速評価を約1ヶ月で可能

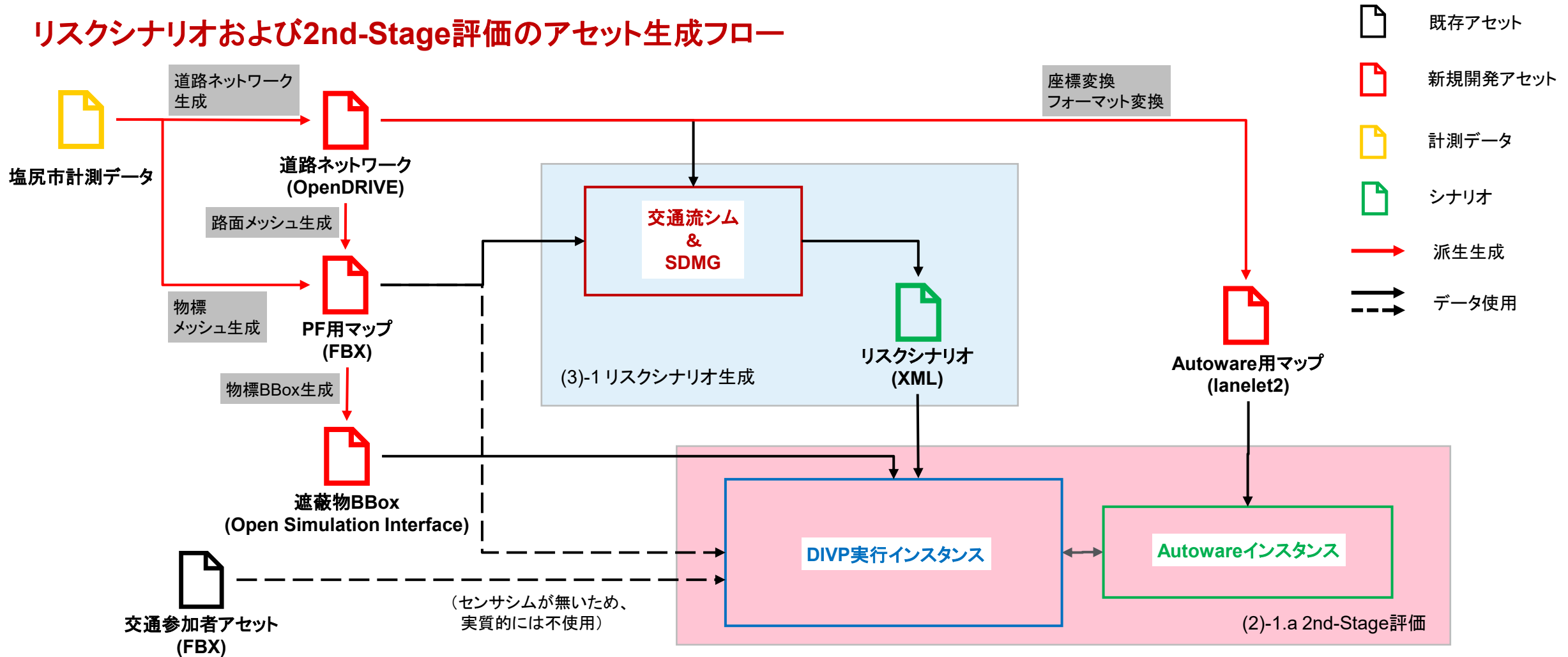
1,000km分の交差点シナリオ (バス1,000往復分 ≒ 1.2年分)

リスク値で絞込

1,000km分の高リスクシナリオ

Autoware Autowareに接続した2nd-Stage評価およびリスクシナリオ生成で用いるマップアセットを塩尻市の計測データから開発

リスクシナリオおよび2nd-Stage評価のアセット生成フロー



標準フォーマット(OpenX)を活用しながら各種入力データを作成。

塩尻市の計測データをベースに道路ネットワーク、3Dメッシュおよび遮蔽物BBoxを開発

塩尻市のADS走行ルートマップと遮蔽BBoxの作成

※マップ作成の詳細はテーマ(3)-1を参照

塩尻市ADS走行ルートの実環境計測



塩尻市の計測点群データ



OpenDRIVEおよびメッシュ生成



塩尻市の3Dメッシュ



遮蔽計算用BBox生成



塩尻市の遮蔽物BBox

ルート上で計測車両を走行させ、実際の交通環境を3D計測

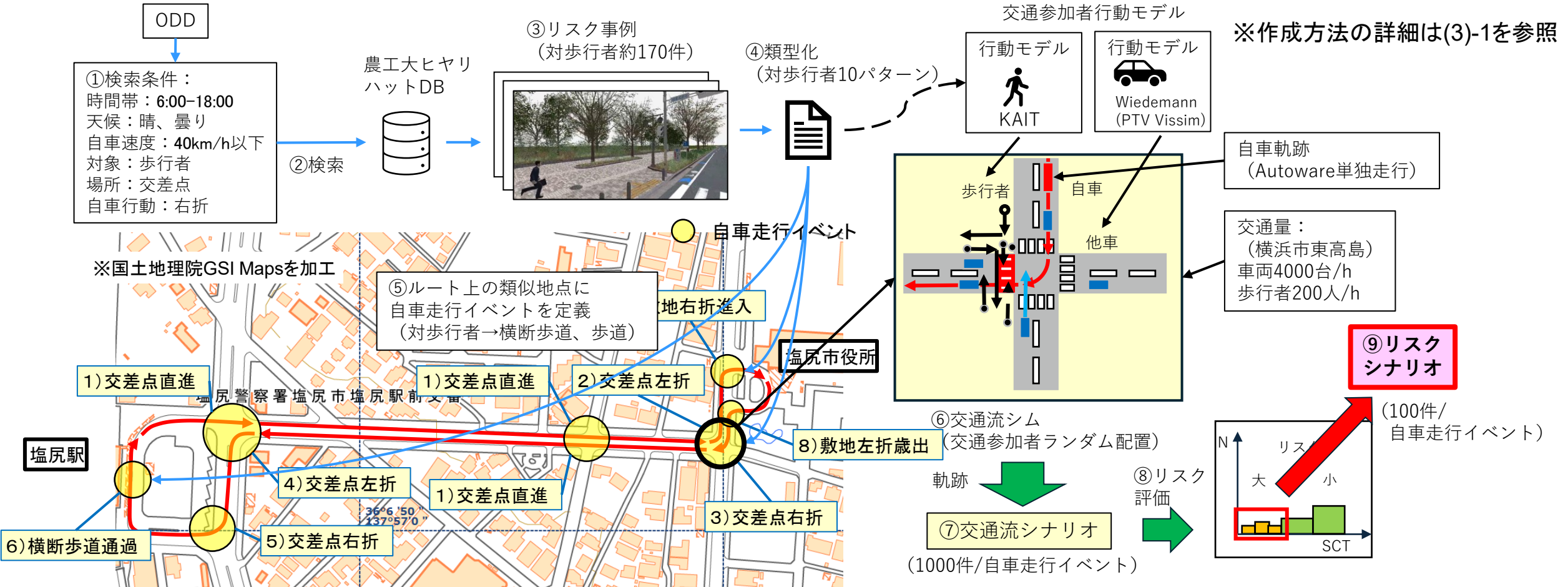
計測データに合わせて道路ネットワークおよび3Dメッシュを生成

3Dメッシュから歩行者を遮蔽するBBox(緑ボックス)を生成

実測データに基づきつつ、簡素化した遮蔽物をマップに配置。

塩尻市ADSバスルート走行の交差点右左折時での歩行者に対するリスクシナリオを作成

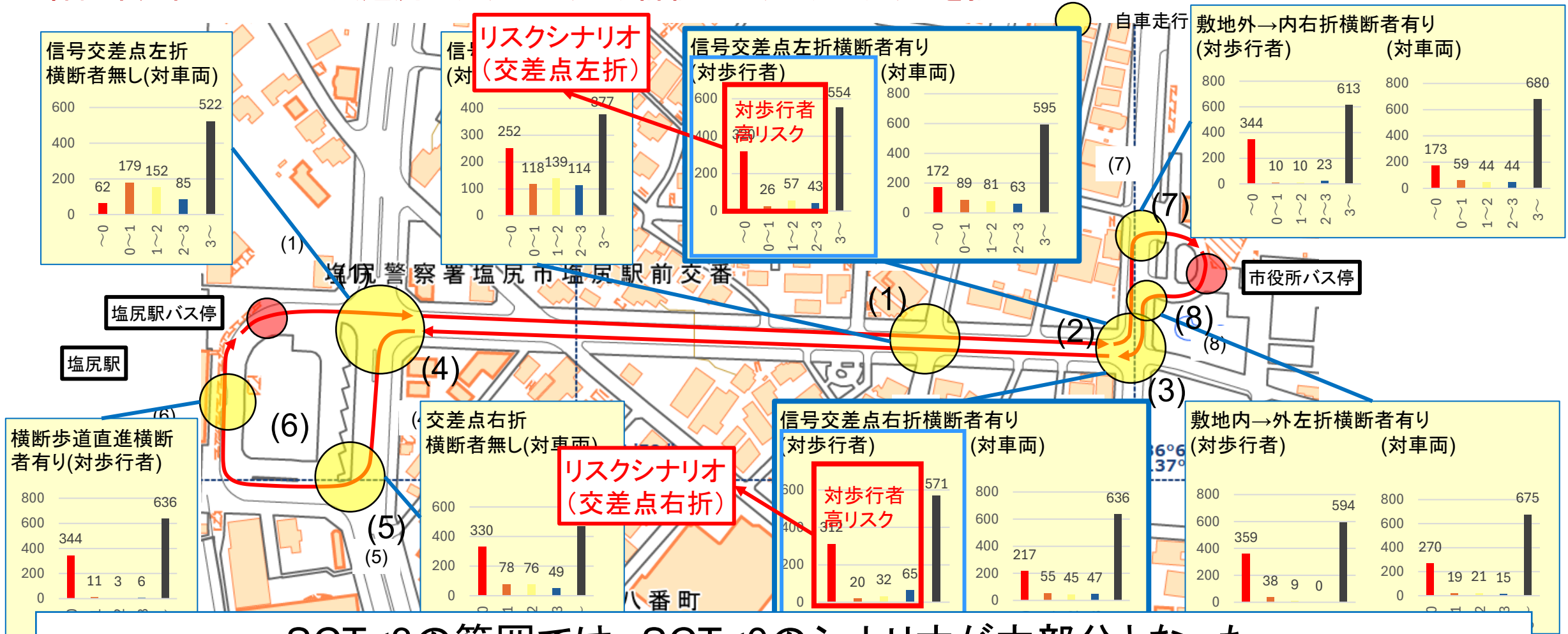
ODDとニアミス事例に基づく交通流シムで生成された交通流シナリオから高リスクのシナリオを抽出



交差点右折・左折で歩行者へのリスクの高いシナリオを各100ずつ生成。

Autoware 交差点右・左折時の交通流シナリオ各1000シナリオをリスク評価し、それぞれ高リスクの100シナリオずつを抽出し、リスクシナリオとした

各自車走行イベントの交通流シナリオのリスク評価からリスクシナリオを抽出



SCT<3の範囲では、SCT<0のシナリオが大部分となった。

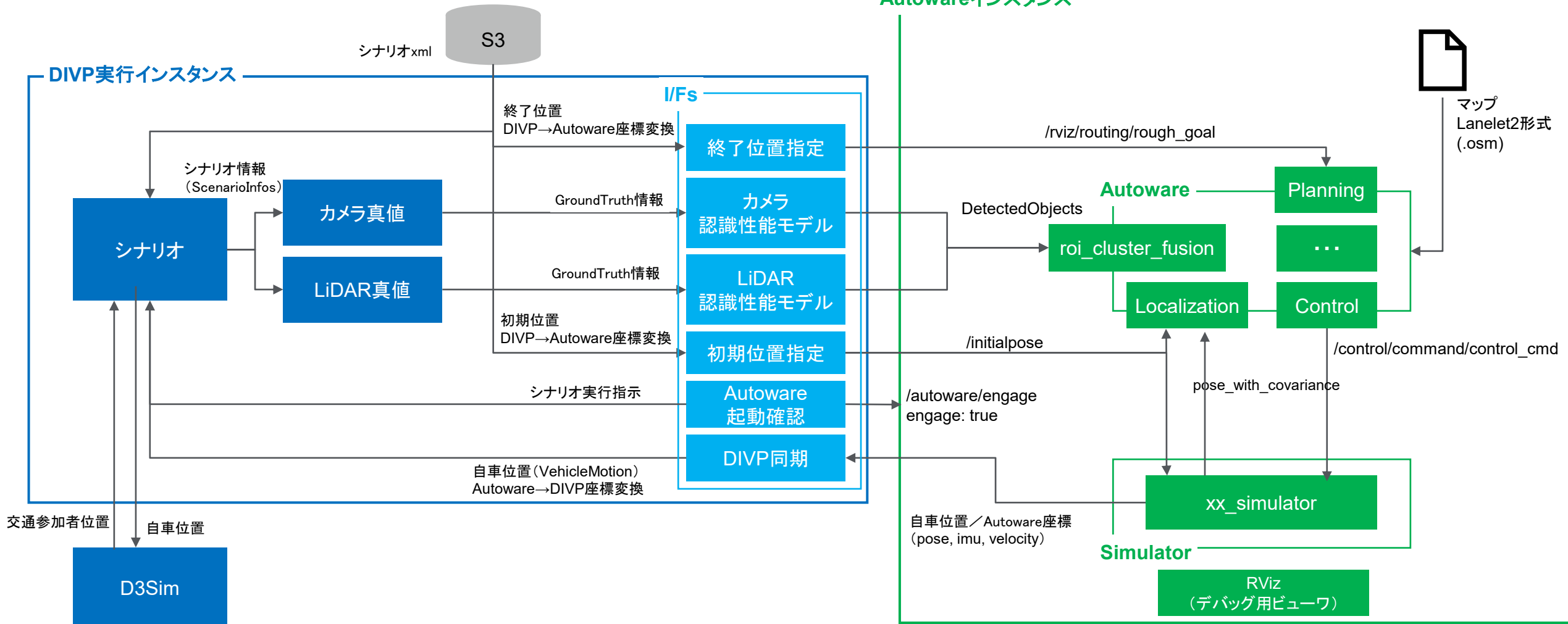
Autoware Autoware連携にあたり、安全性評価のためのクローズドループ環境を構築 DIVP⇔Autoware接続I/Fを開発し、Autowareと連携したクローズドループシミュレーションを可能とした

Autoware連携アーキテクチャ(2nd-Stage)

既存機能

2025年度
開発

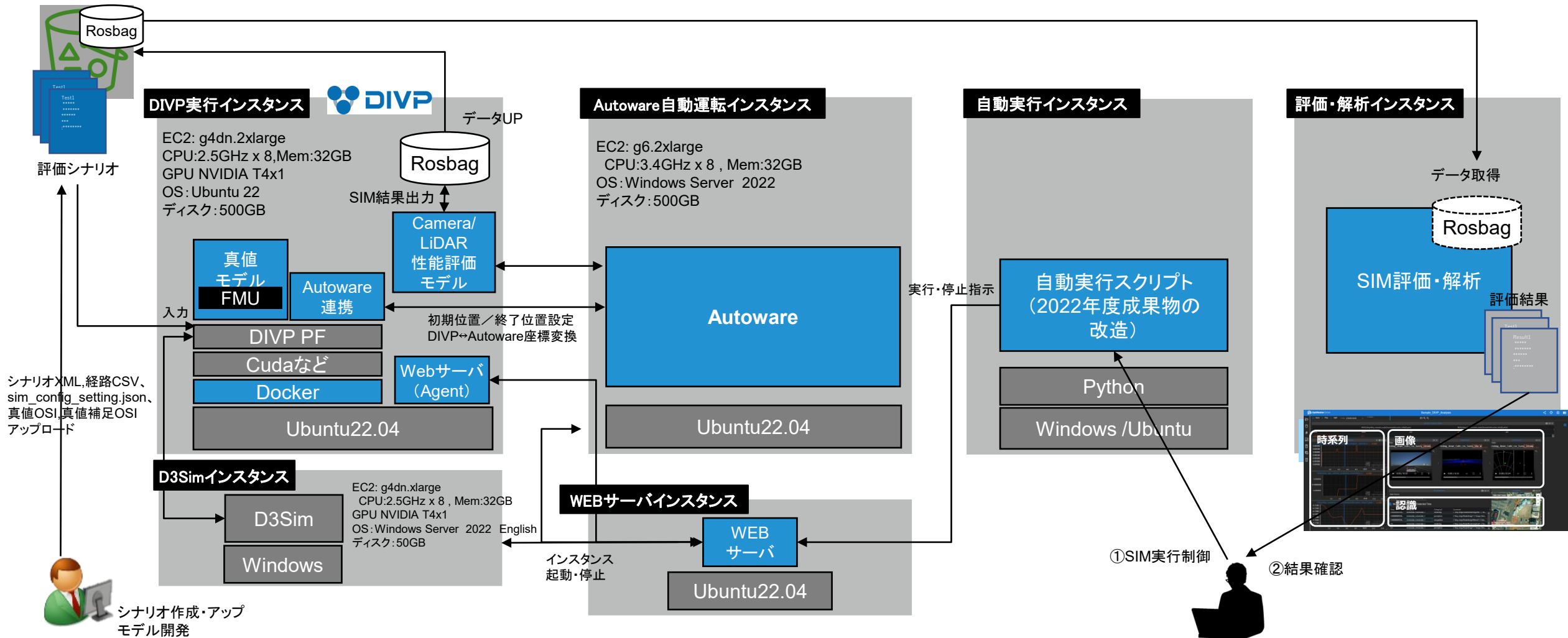
Autoware



Autoware Autoware連携にあたり、安全性評価のためのクローズドループ環境をクラウド上に構築 クラウドリソースを活用し、複数インスタンスによるシミュレーションの自動実行を可能とした

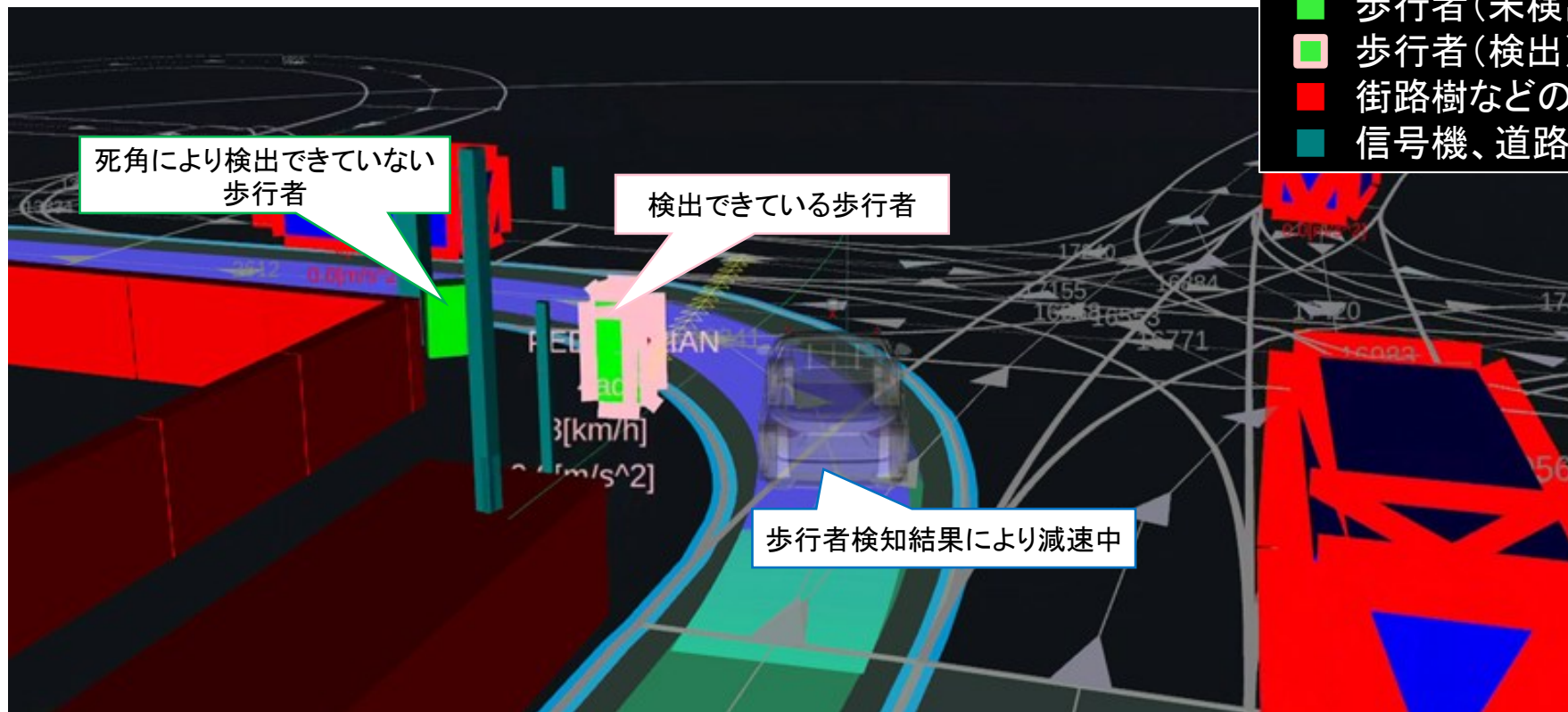
AWSクラウドシミュレーション評価基盤(2nd-Stage)

2025年度拡張/構築箇所



Autoware DIVP シミュレータ算出した各ターゲットの位置・速度、遮蔽率などから認識性能モデルがターゲットの検出可否を算出。検出できたターゲットをAutowareのPerception結果として入力している。

シミュレーション結果事例 (Autoware RVizで可視化)

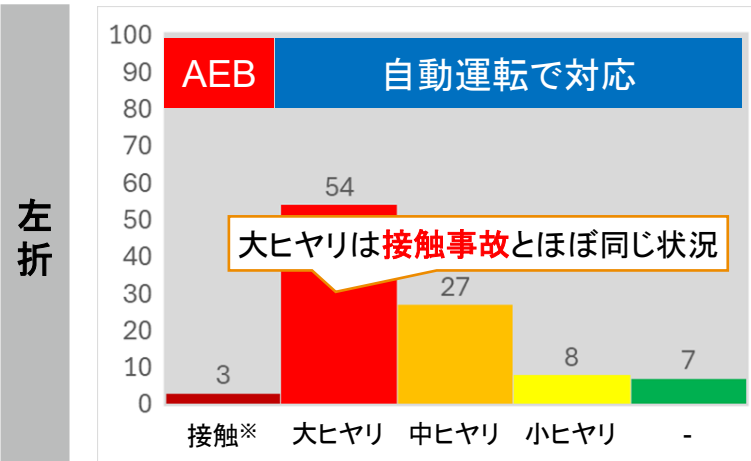


DIVPで定義した高リスク・複雑なシナリオ状況での自動運転動作 (Tracking, Planningなど) が評価可能

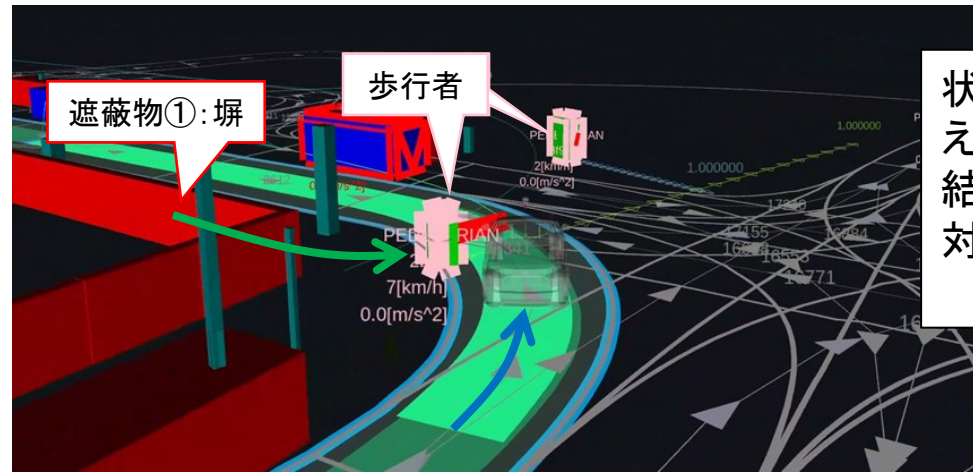
Autoware ランダムシナリオ評価から算出した高リスクシナリオ全200種に対して走行結果から接触事故やヒヤリハットの発生頻度を分析。リスク値の統計分析により安全性を評価可能なことを示した。

リスクシナリオによる安全性評価結果

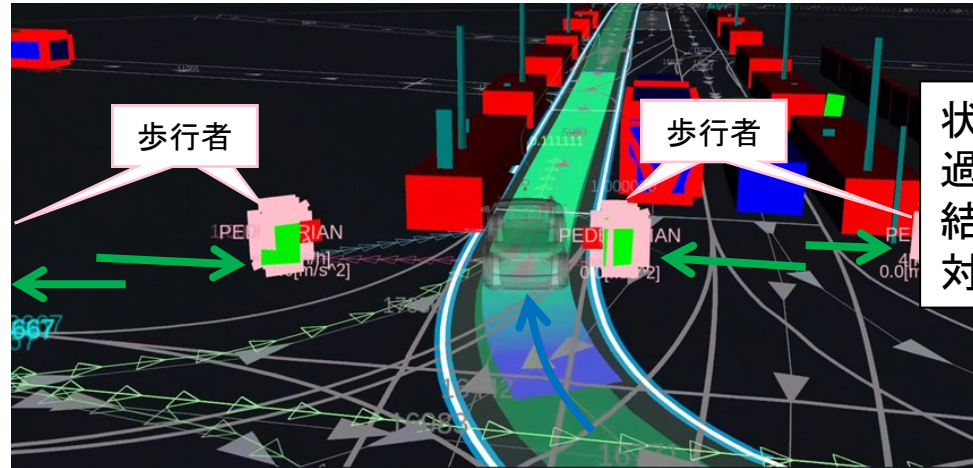
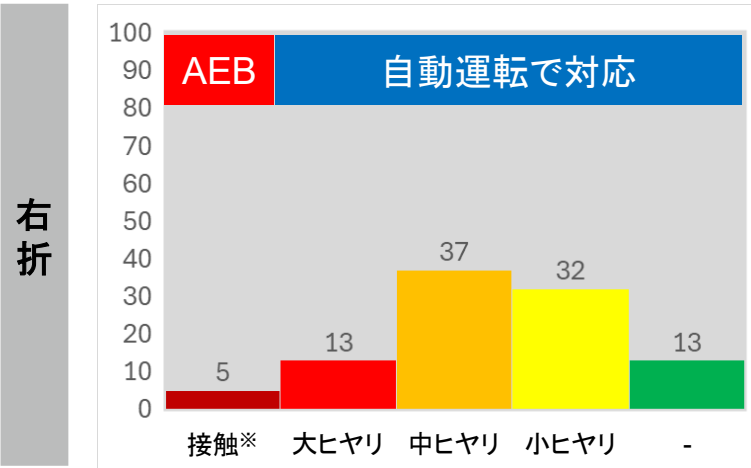
ヒヤリハット発生結果[件数]



接触事例



状況: 遮蔽物①により歩行者が見えていない状態で左折
 結果: 側面から歩行者が衝突
 対策: 交差点侵入時の十分な減速
 →大ヒヤリの発生数も削減可能



状況: 歩行者のすき間を縫って通過を試みる
 結果: 右後方に歩行者が接触
 対策: 歩行者の通過を待つ

(2)-1.b. 物理センサSim.を用いた認識アルゴリズム性能向上

(2). 評価指標・体系の確立 成果報告

(2)-1.b. 物理センサSim.を用いた認識アルゴリズム性能向上

3年間の計画と成果

実施テーマ	成果
■ 物体検知AIの性能向上フレームワーク構築	■ DIVP®, 弱点シナリオ、プリプロセス、データ分析を統合した性能向上を効率化するフレームワークを実現。成果をMPC/BIPROGY/TTDC3社による発明として共同特許出願を完了
■ カメラ、認識AIの性能向上検証	■ 認識AIの学習におけるDIVP®などのシミュレーションデータの活用方法と効果を提案。同提案内容を先進モビリティ、TierIVらとの共同プロジェクトに適用
■ トラッキング機能の性能向上検証	■ MOTA/IDF等トラッキングアルゴリズムのオフライン評価指標が持つ動的評価の課題に対し、DIVP®を活用した具体的な評価手段を提案。成果を特許出願予定
■ 試供版ツールチェーンの構築	■ 自動運転系シミュレーションの課題であった、シナリオ生成、プリプロセス、データ分析の効率化を行い、使用性と再現性を両立する評価環境を実現。信頼性に関するデータのスループット性や分散実行は今後の課題

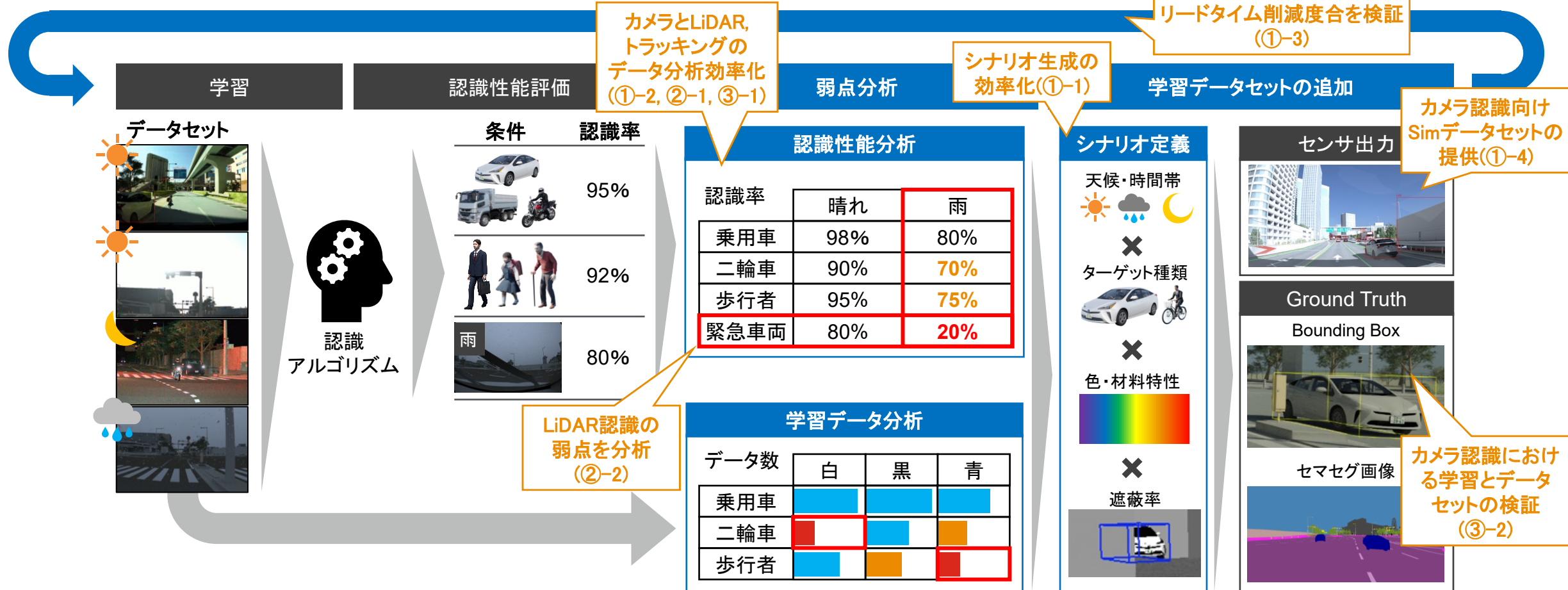
■ 所感(課題)

3年間で、DIVP®を核に「弱点シナリオ→実行→プリプロセス→弱点分析」までを統合した性能向上フレームワークを確立し、特許出願(完了/予定)につながる成果も得た。一方で、評価環境の実運用・外部展開に向けては、データ量増大時のスループット、分散実行を含む信頼性・保守性(運用設計、標準化)の強化がボトルネックであり、次段では“回る仕組み”の堅牢化と標準運用ライン化が主要課題である。

シナリオ生成とデータ分析を効率化する拡張機能開発により認識性能向上フローを実用化。さらに弱点分析と性能向上、データセットの検証により認識アルゴリズムの性能を向上させる新たな手段を提供

DIVP®と関連ツールの連携による認識アルゴリズム性能向上のフロー

(2)-1.b 全体概要



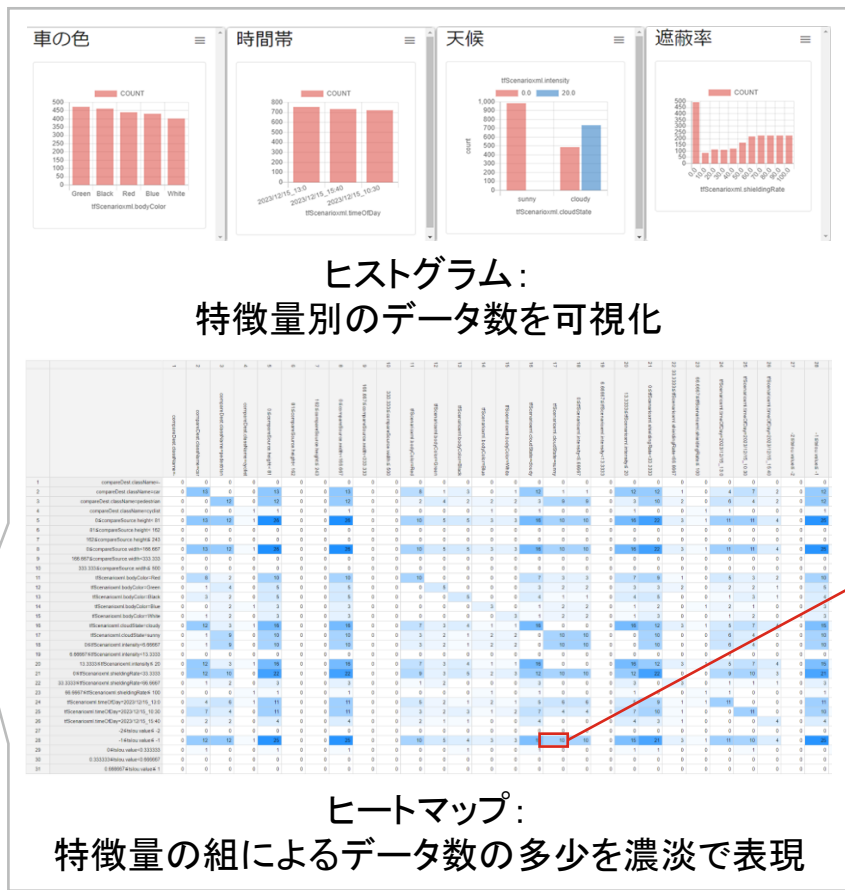
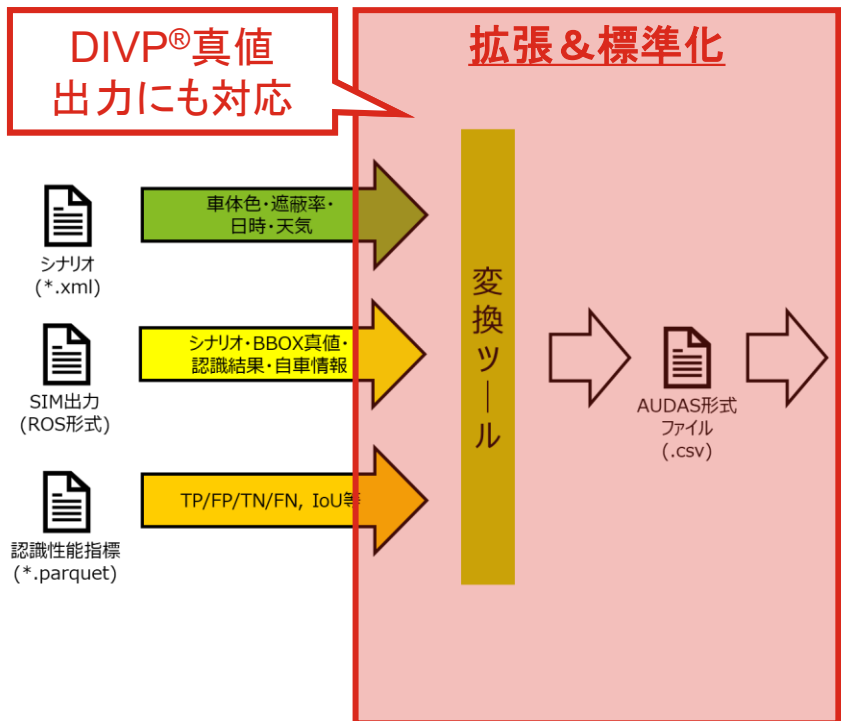
シナリオ生成とデータ分析の拡張機能開発, Simデータセットの提供によりFusion開発の効率化に寄与

カメラ認識性能向上フロー実用化技術の研究(①-2):分析ツールAUDAS[®]の標準機能として真値を含めたDIVP出力の大半を自動で取り込む拡張をアドオンとして開発し、効率的で多様なデータ分析を実現

2023年度

AUDAS[®]によるカメラ認識データ分析の例 処理方法

実行結果



サンプル
IoU:-1(未検出)
天候:晴れ
のケースを可視化



実験データの前処理と分析 & 可視化の自動化によりユーザは認識性能の評価に注力可



カメラ認識性能向上フロー実用化技術の研究(①-3): 認識アルゴリズム性能向上の想定ユースケースにおいて発生する作業のリードタイムを試算し、その削減度合を検証

2023年度

想定ユースケースにおけるリードタイム削減度合の試算値

フェーズ	工程	リードタイム(h)	
		効率化前	効率化後
①性能検証	計画とシナリオ作成	20	4
	実行と計測	16	16
	データ分析	32	4
②性能向上	計画とシナリオ作成	8	1
	実行と計測	8	8
	認識の追加学習*	8	8
③性能向上確認	実行と計測	16	16
	データ分析	32	4
計		140	61

フェーズ	シナリオ条件
①, ③	車種(10) x 天候+時間帯(4) 計: 40シナリオ, 10,000シーン
②	車種(1): セダン(黒) 計: 10シナリオ, 2,500シーン



シナリオ生成・データ分析効率化によりリードタイム全体を約60%圧縮。実行時間は全体的課題



カメラ認識性能向上フロー実用化技術の研究(①-4) : 一般的なKitti形式のラベル表現を用いてカメラ認識用データセットを開発 *カメラ画像とラベルの一部を提供

2023年度

データセットの概要(左:フォルダ構成, 中央:ラベル定義, 右:サンプル画像)

フォルダ	フォルダ	説明	キー	補足
training		学習用データ	クラス	'Car', 'Truck', 'Pedestrian', 'Cyclist', 'DontCare'(対象外) ...
	image_2	ステレオカメラの片側画像(.png)	見切れ度合	0 or 1
	velodyne	3D点群データ(.bin)	遮蔽度合	0: 遮蔽なし, 1: 一部遮蔽, 2: 大部分または完全に遮蔽
	calib	カメラ→LiDARを重畳して可視化するための補正データ(.txt)	観測角(α)	自車から見た物標の存在する方角
	label_2	ラベルデータ(.txt), 空白区切り	2D-BBOX 頂点座標	スクリーン座標, 左上が原点からなるピクセル値
testing		検証用データ	3D-BBOX中心座標	センサ座標系, 単位はm
	image_2	ステレオカメラの片側画像(.png)	3D-BBOX寸法	単位はm
	Velodyne	3D点群データ(.bin)	3D-BBOXの水平角 (rotation_y)	右手系, Y軸を0°として時計回りが正の向き
	calib	カメラ→LiDAR変換用補正データ(.txt)		

エッジケース (遮蔽, 逆光など) を中心としたデータ構成

カメラ画像サンプル(.png) :



ラベルサンプル(.txt) :

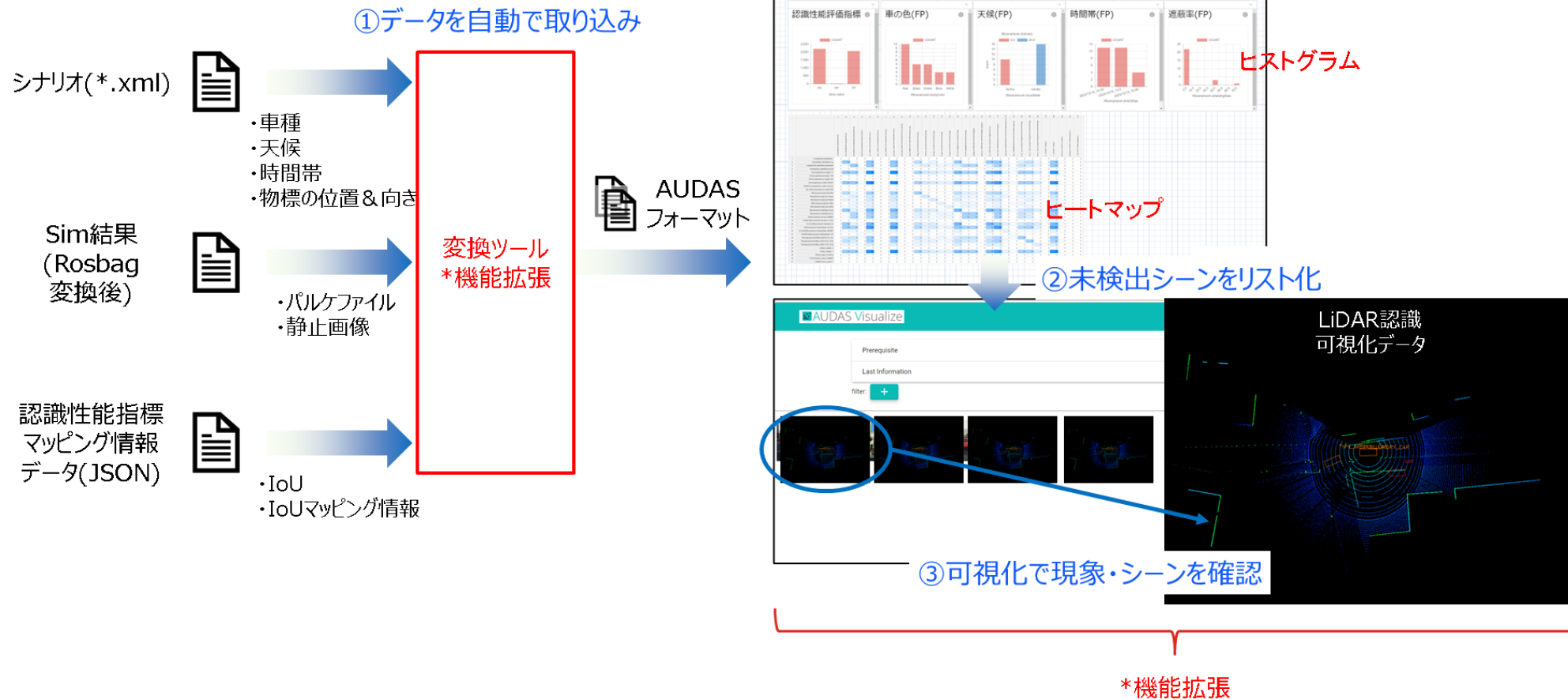
```
Car 0 2 0.3 800 400 850 430 ...
53.4 12.3 24.9 3.8 1.5 2.1 -0.2
```

実機での再現が難しいケースを標準形式(Kitti)で提供することによりカメラ認識に幅広く活用可

LiDAR認識性能向上フローの実現性研究(②-1):分析ツールAUDASに真値を含めたDIVP®出力結果の自動取り込み機能を付与し、弱点分析を効率化

2024年度

AUDAS®によるLiDARデータ分析の例



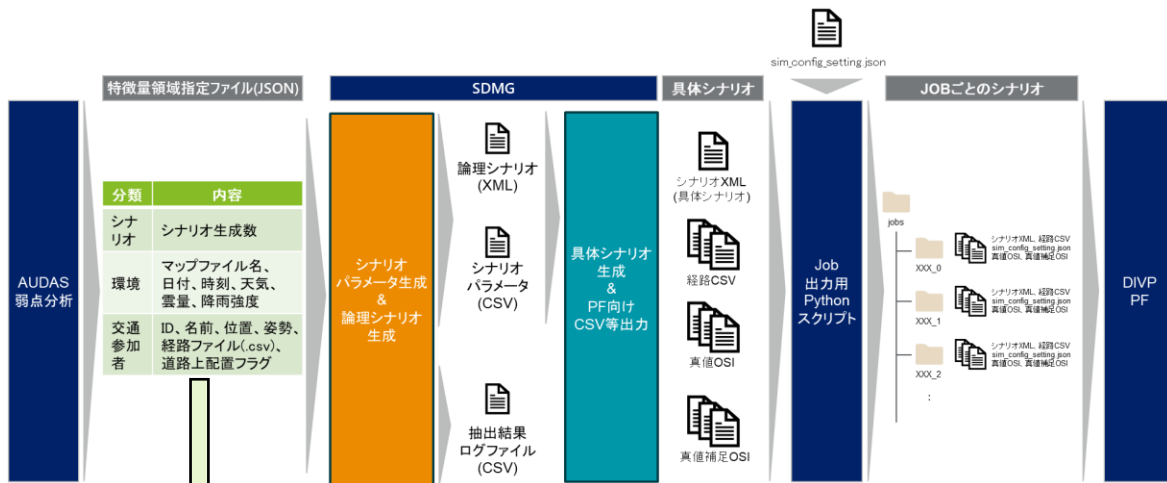
仮想空間においてLiDARデータの「前処理→データ分析」のプロセスを自動化 & 効率化

カメラ認識性能向上フロー実用化技術の研究(①-1):シナリオ生成の効率化

指定された特徴量と値の範囲(領域)から指定された数のパラメータとシナリオをSDMG[®]で自動生成

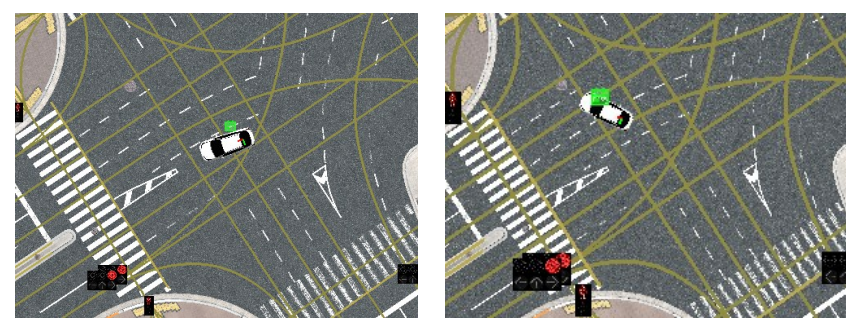
2024年度

弱点分析結果(特徴量領域指定ファイル)からのシナリオ自動生成



- ▼ environment_1_a1
 - ▼ 各種情報
 - 年月日: 2026/08/11
 - 時刻: 01:38
 - 雲の厚さ: 48.22
 - 降水量[mm]: 101.60
- ▼ environment_1_a2
 - ▼ 各種情報
 - 年月日: 2025/09/12
 - 時刻: 23:38
 - 雲の厚さ: 12.51
 - 降水量[mm]: 0.00
- ▼ environment_1_a3
 - ▼ 各種情報
 - 年月日: 2025/11/26
 - 時刻: 12:36
 - 雲の厚さ: 0.00
 - 降水量[mm]: 0.00

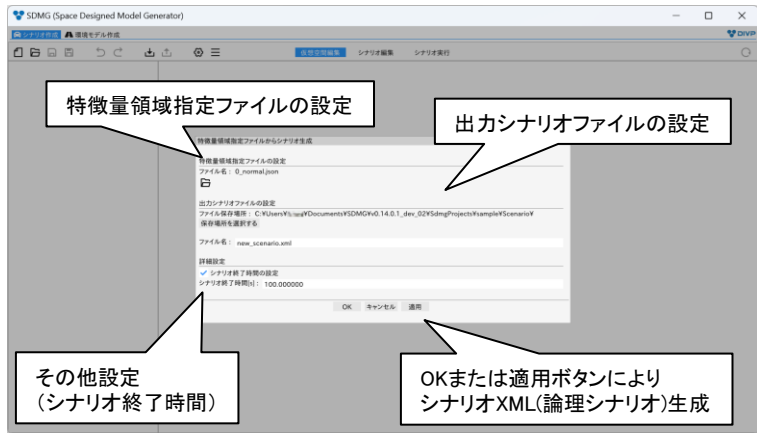
シナリオ生成例:環境のランダム指定による生成



シナリオ生成例:位置・姿勢のランダム指定による生成

特徴量の範囲と生成・抽出方式の指定

項目	説明
値の範囲	区間ないし選択肢を1次元ないし2次元の配列形式で指定
範囲の種別	<ul style="list-style-type: none"> 区間(連続値) 選択肢(離散値)
生成・抽出の方式	<ul style="list-style-type: none"> ランダム(正規分布) ランダム(一様分布) 総当たり



分析結果からのシナリオ自動生成により, 分析～追加学習で発生するルーチンを効率化

引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、三菱プレジジョン株式会社 *SDMGは三菱プレジジョン株式会社の製品です



LiDAR認識性能向上フローの実現性研究(②-2): LiDAR認識アルゴリズムとしてPointPillarsの学習済みモデルを活用。SimベースのDIVP®データに対する性能検証とアルゴリズムの弱点を分析

PointPillarsの学習済みモデルを用いたDIVP®データに対する性能とデータ分析結果

2024年度

シナリオの概要

項目	値
シーン数	2,543
車種	10車種
天候+時間帯	日中+晴れ
遮蔽率	0-100%で任意
他車の位置	遮蔽物の外側で任意

DIVP®データに対する学習済みモデルの認識性能 ←同データに対する予測性能は高くない

指標	値
正解率	0.021
適合率	0.363
再現率	0.022
F値	0.041

$$\text{正解率(correctness)} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$\text{適合率(precision)} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{再現率(recall)} = \frac{TP}{TP + FN}$$

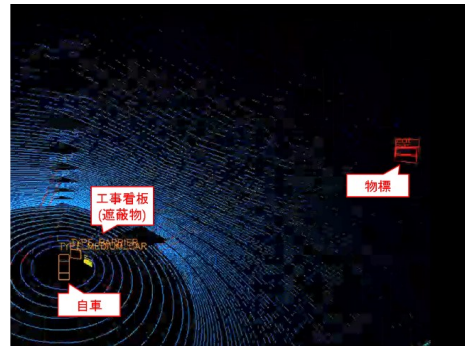
$$\text{F値(F-value)} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

		予測値	
		物標あり	物標なし
真値	物標あり	TP(真陽性)	FN(偽陰性)
	物標なし	FP(偽陽性)	TN(真陰性)

シナリオのサンプル(左:カメラ画像, 右:3D点群)



カメラ画像



LiDAR(Optiの映像出力)

距離 x 車種別の認識率 *データなし

距離 (m)	車種				
	セダン (黒)	SUV (赤)	パトカー (白)	軽ワゴン (黄)	ハッチバック (青)
(0, 10)	0.33	0.33	0.00	0.33	0.00*
[10, 20)	0.88	0.38	0.50	0.63	0.67
[20, 30)	0.27	0.00	0.27	0.27	0.32
[30, 40)	0.00	0.00	0.06	0.07	0.18

10~20mの距離よりも10m未満の方が認識率は低い

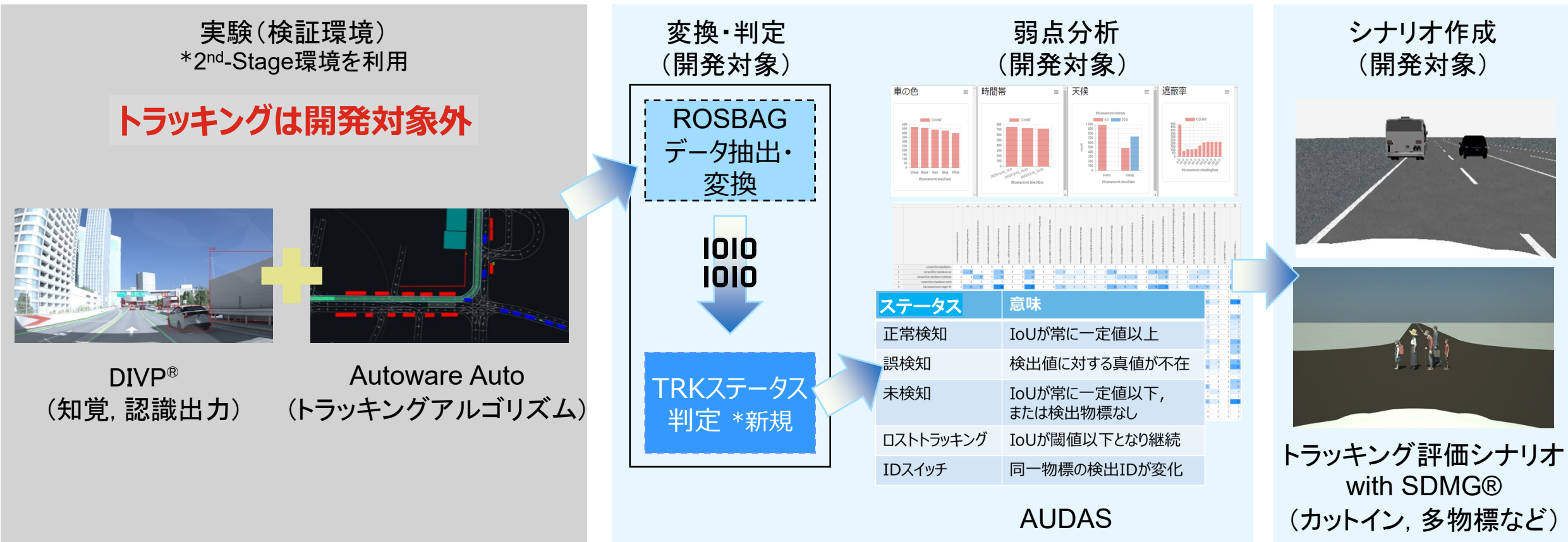
車の形状または色により認識限界に差異がある

現状の学習済みモデルはDIVP®データに対する予測性能は高くなく、車両の形状・色は認識限界に影響

データ分析の効率化(③-1): 遮蔽・多物標等の弱点シナリオを開発し、動的エラーを自動判定する評価手段を確立。従来指標では捉えにくい時間的変化を一貫フローで定量的に検証可能とした。

トラッキング評価シナリオと動的評価手法とそれらを検証するための装置構成

2025年度



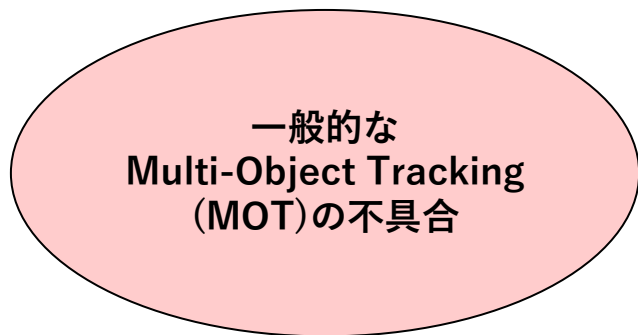
各エラーの時系列発生状況を記録し、従来指標では扱えなかったODDリスク(遮蔽等)と紐づけて評価

データ分析の効率化(③-1):トラッキング評価用のシナリオ作成に向けて、トラッキングの不具合要因を調査し、シナリオとして実装可能なトラッキング不具合ケースを生成

2025年度

トラッキング不具合ケースの生成方法

トラッキング不具合要因の組み合わせ



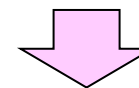
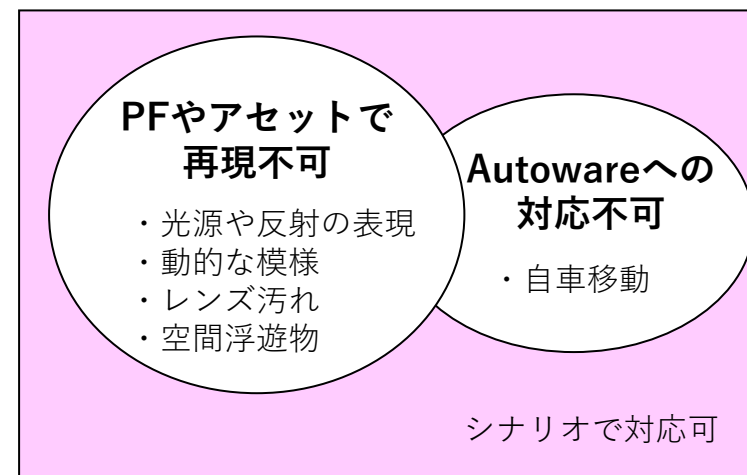
- ・混雑した環境
- ・外観の急激な変化
- ・ダイナミックな背景
- ・遮蔽
- ・ノイズによる検出不安定
- ・スケール変化
- ・視覚的な類似性
- ・高速・不規則な動き



- ・光源によるS/N低下
- ・車両その他による遮蔽
- ・カメラ画像のボケ
- ・LiDARの信号減衰
- ・反射体による鏡像



シナリオでの対応不可の項目を除外




トラッキング不具合ケース

トラッキングの不具合要因を網羅的に組み合わせ、その中からシナリオで実現可能なケースを選択する。

データ分析の効率化(③-1): MOT不具合要因とADS認識不調要因の組み合わせに対して、PFとAutowareの実現性を考慮して具体的なトラッキング不具合ケースを抽出

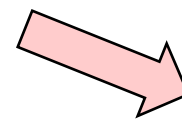
2025年度

トラッキング不具合ケース一覧

 シナリオを生成

No.	MOT不具合要因	ADS認識不調要因	PF再現可	Autoware対応可	シナリオ可否
1	混雑した環境	-	○	○	○
2-1	外観の変化(影)	-	○	○	○
2-2	外観の変化(直射、反射)	太陽光の直射	○	×(要自転車移動)	×
2-3		ヘッドライトの直射	△(光量不足)	○	×
2-4		他車LiDARの直射	×(ビーム無し)	○	×
2-5		他車、地面の反射光	△(光量不足)	○	×
3	ダイナミックな背景	-	×(静的背景のみ)	○	×
4-1	遮蔽(完全/部分)	カットインによる遮蔽	○	○	○
4-2		車両以外の遮蔽	○	○	○

No.	MOT不具合	ADS認識不調	PF再現可	Autoware対応可	シナリオ可否
5-1	ノイズによる検出不安定	レンズ汚れによるボケ	×	○	×
5-2		空間浮遊物によるボケ	×	○	×
5-3		色・散乱材質による減衰	○	○	○
5-4		形状・角度の散乱指向性による減衰	○	○	○
5-5		反射体による鏡像	○	○	○
6	スケール変化	-	○	○	○
7	視覚的な類似性	-	○	○	○
8	高速・不規則な動き	-	○	○	○

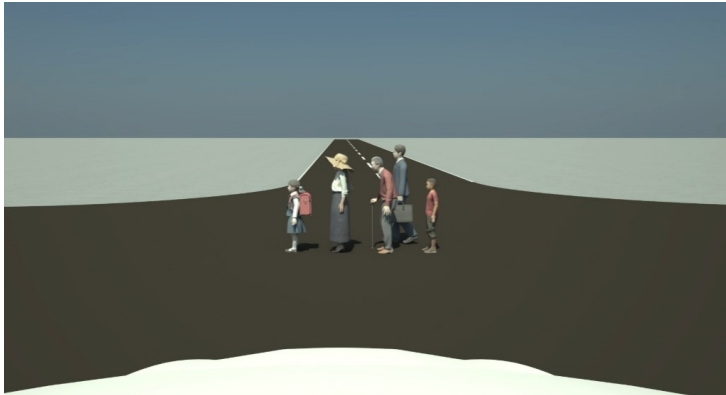


シナリオ生成可の各不具合ケースについて、交通参加者の種類、速度や自転車との距離などを変えた複数シナリオを用意。

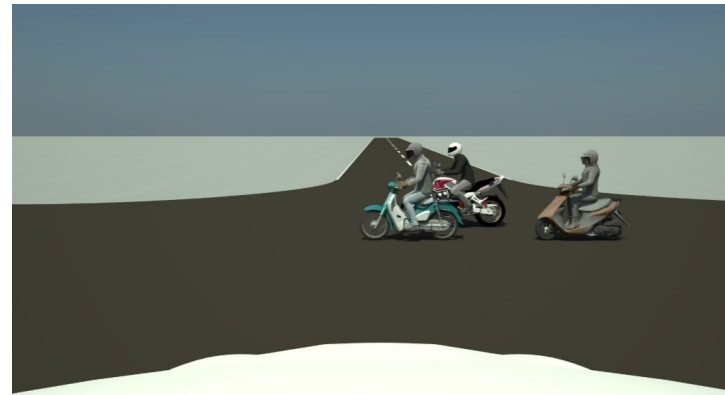
データ分析の効率化(③-1):シナリオ化可能なトラッキング不具合要因に対して、パラメータを変動させた複数シナリオを作成

2025年度

作成したシナリオの例



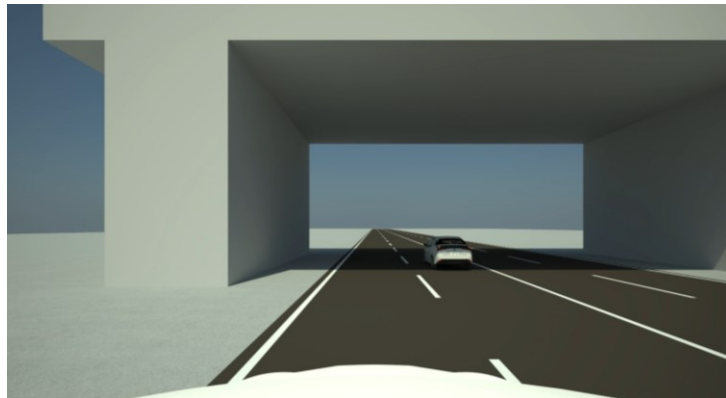
1) 歩行者集団を通過時のIDスワッピング



1) バイク集団を通過時のIDスワッピング



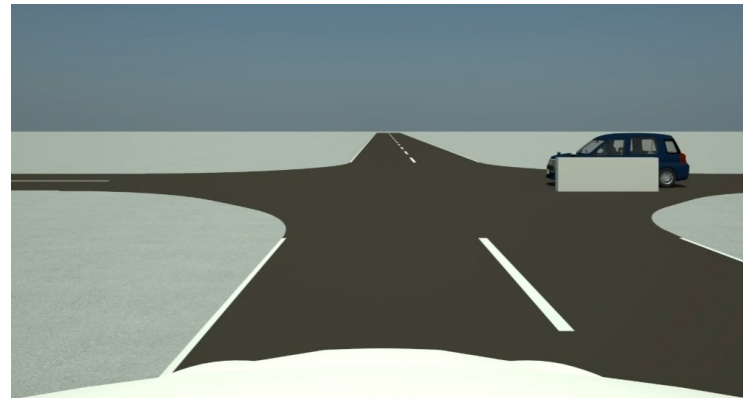
1) バイク集団のカットインのIDスワッピング



2) 影を通過時の色調変化



4-1) カットインによる遮蔽



4-2) 壁による遮蔽

データ分析の効率化(③-1):シナリオ化可能なトラッキング不具合要因に対して、パラメータを変動させた複数シナリオを作成

2025年度

作成したシナリオの例



5-4) 色によるLiDAR信号減衰



5-5) 形状によるLiDAR信号減衰



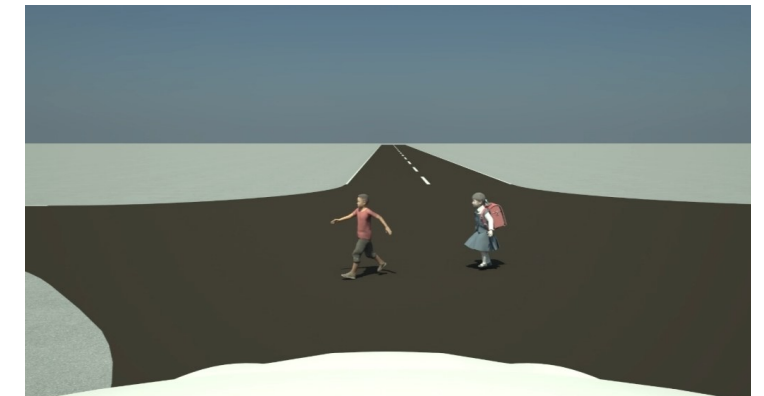
5-6) 鏡面反射の誤認識



6) 遠近のスケール変化での認識可否



7) 植栽を類似の迷彩柄の子供が通過

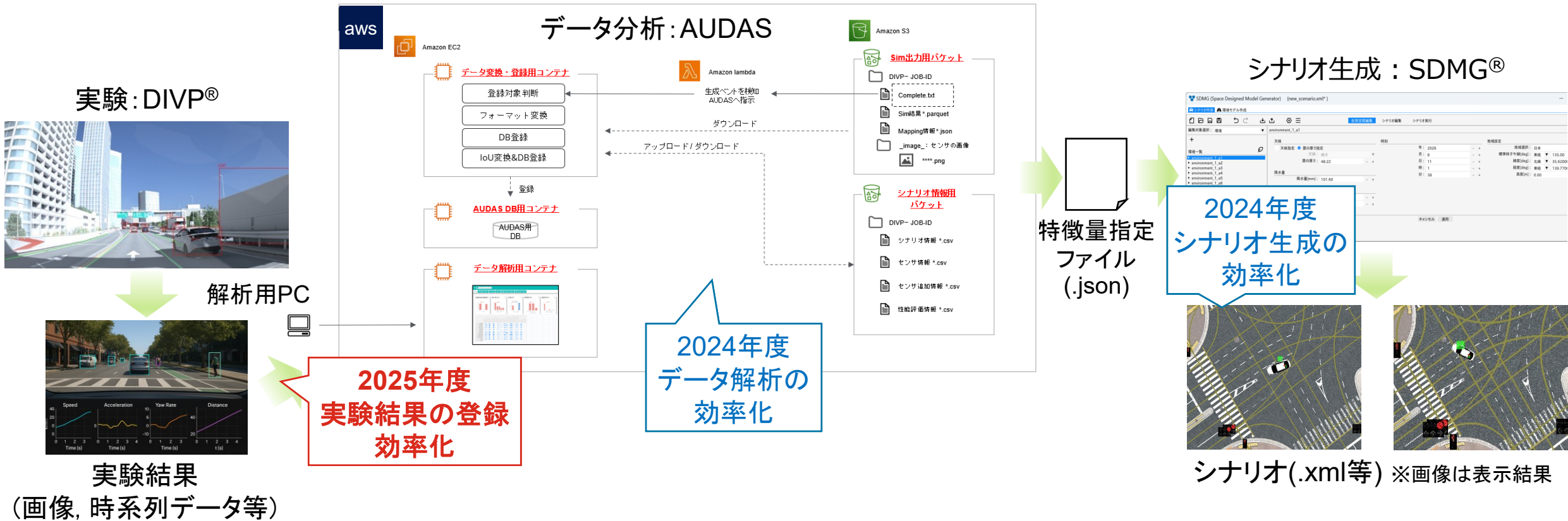


8) 不規則な移動

データ分析の効率化(③-1): 残課題であった解析ツールAUDAS®へのデータ登録を自動化し、性能評価パイプライン全体での接続性、一貫性を維持する効率的な試供版フレームワークを完成

2025年度

試供版フレームワークの構成と効率化の内容



GUIベースでのデータ登録、DBインデックス型登録の自動化により性能評価フローの全体を効率化

引用:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、三菱プレジジョン株式会社 *SDMGは三菱プレジジョン株式会社の製品です

167 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」

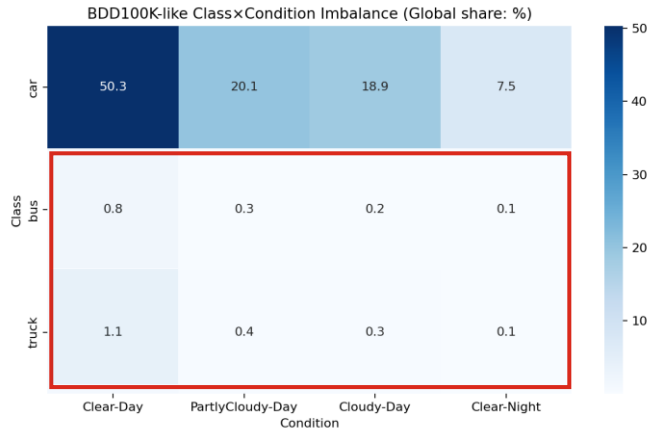


カメラ認識における学習とデータセットの検証(③-2): 実データ(BDD100K)+シミュレーション(DIVP)の混合により教師データの偏在を微調整、また情報劣化のないデータにより認識の学習を効率化

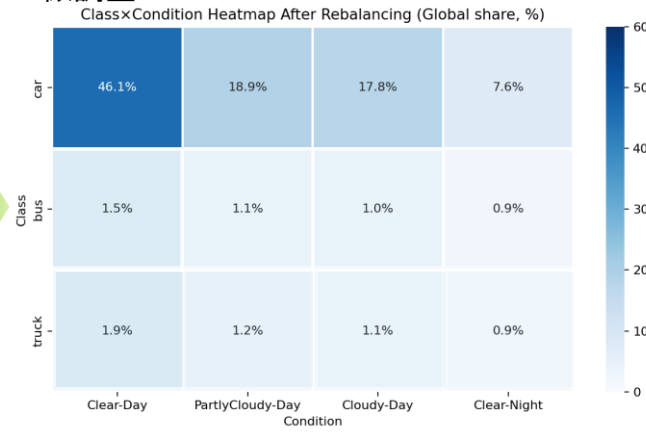
2025年度

データセットのヒートマップと混合データでのカメラ認識性能

実データセット(BDD100K)は晴天・日中における'car'にデータが集中



特定条件、特定クラス('bus', 'truck')のシミュレーションデータ追加により分布の偏りを微調整



*Sim: シミュレーションデータ, Real: 実データ

Real : Sim* = 9:1
で学習した場合の
性能が高い

No.	教師データ数		AP			mAP	CV
	Real	Sim	Car	Bus	Truck		
0	3000	0	57.45	23.05	22.84	34.48	0.4718
1	2700	300	55.83	35.09	32.98	41.3	0.2496
2	2400	600	55.68	28.39	32.76	38.95	0.3073
3	2100	900	55.49	24.46	26.93	35.63	0.3952
4	1800	1200	54.06	34.37	27.48	38.64	0.2915
5	1500	1500	53.9	28.71	28.14	36.92	0.3253
6	1200	1800	50.08	22.87	24.49	32.48	0.3837
7	900	2100	52.01	21.85	29.52	34.46	0.3714
8	600	2400	50.31	20.99	25.09	32.13	0.4035
9	300	2700	48.11	9.60	20.52	26.08	0.6214
10	0	3000	27.17	3.08	4.93	11.73	0.9332

一般的な公開データセットの分布解析+シミュレーションによるロングテールデータで認識性能を向上

将来の展望：世界に先駆けたE2E×データ品質×Sim-Real*ギャップ低減の研究

展望を踏まえての研究テーマ案

研究テーマ(案)	モチベーション	期待効果
E2E閉ループ評価の標準化	ブラックボックスなE2Eにおいて失敗要因を説明できない課題を解消したい	閉ループ評価×安全指標による妥当性の定量提示・評価手法の標準化
データセントリックAI視点による教師データ品質確保	教師データ品質揺らぎにより性能が不安定になる課題を解消したい	教師データの分布・品質監視と補完による学習安定性と再現性の確保
Sim-Real*ギャップ低減	シミュレーション成果の実車適用可能性を判断できない課題を解消したい	条件別転移性能の定量化と適用限界の明確化

*Sim-Real: シミュレーションと実環境間

E2E対応の学習・評価・改善の循環設計により、安全性の説明可能性と改善速度を同時に高める

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張

(2). 評価指標・体系の確立 成果報告

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張

3年間の計画と成果

実施テーマ	成果
<ul style="list-style-type: none"> ■ 安全性評価指標(TTC・PET)の定義と評価基盤構築 	<ul style="list-style-type: none"> ■ TTC・PET算出仕様・適用条件の整理、評価ツール実装 ■ 接触・ニアミス事象を定量的に比較できる評価基盤
<ul style="list-style-type: none"> ■ SCT(Safety Cushion Time)の理論化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 反応時間・平均減速度を含む数理モデル ■ SCTの意味づけ・評価クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> ■ SCT算出機能の実装と2-stage評価への統合 	<ul style="list-style-type: none"> ■ SCTを自動算出する解析機能 ■ 高リスク状態の抽出・可視化手法
<ul style="list-style-type: none"> ■ 実証シナリオへの適用と機能拡張 	<ul style="list-style-type: none"> ■ SCTを用いた高リスクシナリオの抽出・頻度評価手法 ■ 右左折など道路形状・走行経路を考慮したSCT計算機能 ■ SCT分布やヒヤリハット頻度を用いたODD検討・機能改善に活用可能な事例

■ 所感(展望)

SCTを中心とした安全性評価指標について、理論検討・機能実装や実証シナリオへの適用で一定の研究成果を得ることができた。一方で、SCTに基づくリスク定量値の解釈に関する整理が途上であり、今後は多主体・交通流を含む複雑シナリオへの適用拡張と、指標解釈の標準化・社会的合意形成が重要な課題となる。

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張 2023年度成果報告書抜粋

DIVPの機能拡張として、真値出力において白線・車線の機能拡張とV2X調査、安全性評価指標としてPET/TTCの要件定義を行った。

真値出力・指標算出機能の拡張((2)-1.c.)

真値出力機能の拡張において行った研究項目を下表にまとめた。成果概要にて、実施内容を記載した。また、本年度研究において見えてきた技術課題や次ステップにむけた取り組み内容について記載した。

カテゴリ	研究項目	成果概要	次ステップ、技術課題
真値	白線・車線に関する真値出力	<ul style="list-style-type: none">・白線・車線に関する調査結果の整理・白線・車線に関する要求仕様の策定・要求仕様に基づき、SDMG上での白線・車線情報を実装	<ul style="list-style-type: none">・白線/車線情報のDIVP PF出力への実装・フリースペースの要件定義
	V2Xに関する真値出力	<ul style="list-style-type: none">・V2Xの現状仕様の調査・V2Xの国際動向の調査・RoAD to the L4やSIP2のユースケースに基づくV2Xの仕様分類・V2Xの実装優先度の検討	<ul style="list-style-type: none">・V2X実装の要件定義-アーキテクチャ検討-メッセージの選定・SDMGおよびDIVP PFへの実装
安全性評価指標	安全性評価指標の要件定義	<ul style="list-style-type: none">・安全性評価指標の位置づけと今年度の実施範囲・TTC/PETの調査・TTC/PETの要件定義	<ul style="list-style-type: none">・TTC/PETによる安全性評価の試行と効果確認・安全性評価指標の深堀-SCT等のかもしれない運転の評価-TTC/PETやその派生指標の活用検討

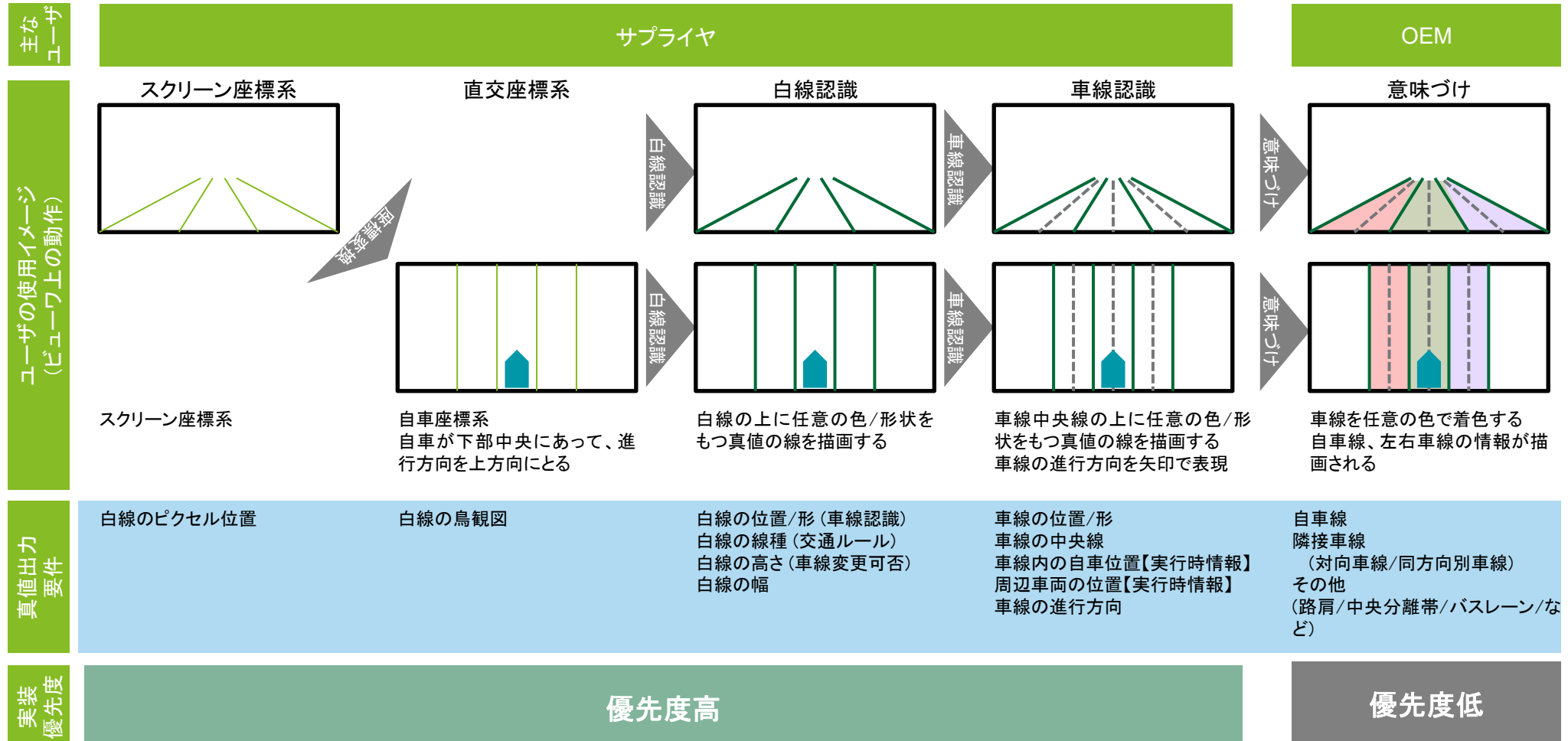
真値と指標について

DIVPにおける真値は、シミュレーション上に存在するアセットやマップなどのジオメトリ情報やタグ情報に基づくデータとなる。これらを基にして何かを解釈・判断するために導出するデータが指標となる。特にDIVPでは、自動運転や認識処理などの性能評価にむけて安全性評価指標の設定を行っている。

真値出力の拡張) 車線・白線の真値出力要件を策定し、SDMGで出力が必要な真値データの内容を明確化した

車線・白線の真値出力要件

ユーザの車線・白線検出ロジック開発時は、何らかのビューワでの動作確認が行われると想定した。一般的なツールを参考に、出力イメージを提示したその際のデータとして必要な真値出力の要件を明確化した。自動運転実装時は、ビューワは使わずこれらの数値データを利用している物と想定した。

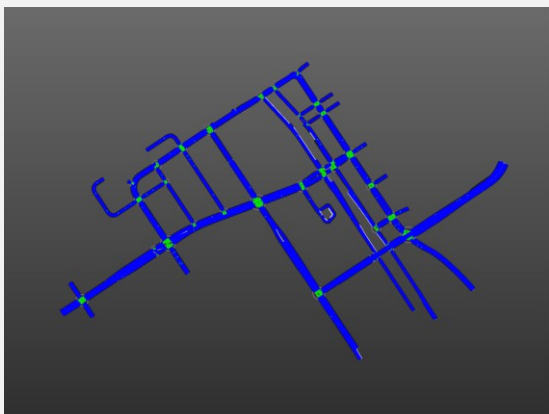


OpenDRIVEデータを解析し、車線と白線情報を変換することで、真値出力機能を実現

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張

SDMGへの車線・白線真値実装

OpenDRIVEから車線・白線真値(OSI)変換



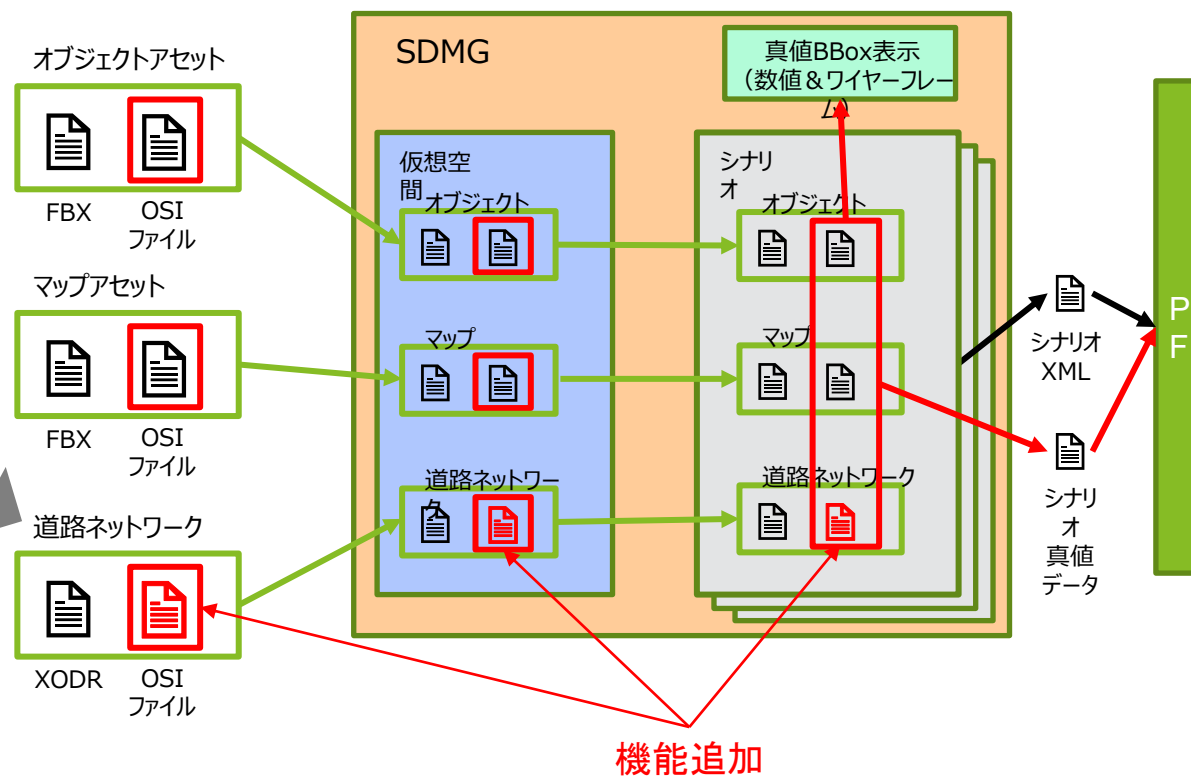
臨海副都心台場の
OpenDRIVEを
車線・白線真値(OSI)へ
変換(全景)



車線・白線真値(OSI)と
アセットの重畳表示例

車線・白線真値

SDMGへの車線・白線真値入出力機能の追加



真値出力の拡張) V2X通信のユースケース分析により、安全支援側の実装優先度を高く設定

V2Xユースケースに対する時系列および対象物標による層別

来年度以降のV2XのDIVPへの実装に向けて、本年度はV2Xの調査とユースケースの整理を実施した。

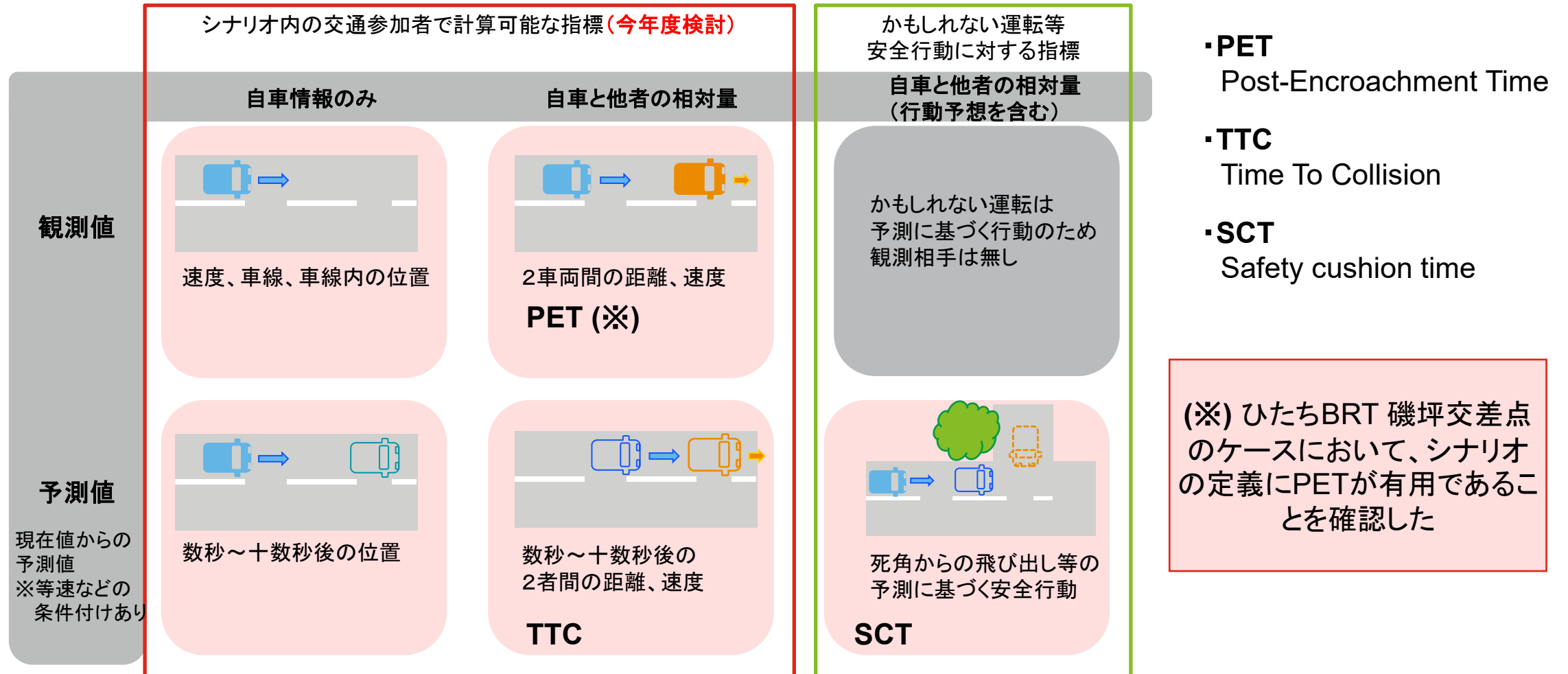
横軸に時間軸(右ほど緊急性の高い状況)、縦軸に交通参加者にて分類した。DIVPへの実装優先度としては、緊急性の高い、つまり安全上重要度の高い、前方車両の挙動や飛び出し情報、合流や車線変更先の道路状況といった情報を優先的に実装すべきものと考える。次年度は、こちらの実装にむけて真値要求定義を順次検討する。

役割	円滑・快適支援		安全支援		
事象の時間スケール	数十秒～	十秒～数十秒	～十秒		
機能	固定事象の回避支援 (事故回避、工事回避、など)	交通流円滑化支援 (渋滞対応、異常車両対応、など)	先読み支援 (予備加減速、予備車線変更、など)	安全確保支援、周辺情報による走行支援 (かもしれない運転、信号連携、車車間調停、など)	緊急行動支援 (飛び出し検知、衝突回避、など)
対象物標	歩行者、自転車			L4テーマ4 (横断歩行者検知支援)	L4テーマ4 (側道飛び出し検知支援)
	自動車	<ul style="list-style-type: none"> ◆ d-1. (異常車両の通知による走行支援) ◆ d-2. (逆走車の通知による走行支援) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> L4テーマ1 (永平寺町) L4テーマ4 (柏の葉) デジタル全総 NCAP SIP </div>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ a-1-1. (予備加減速合流支援) ◆ d-4. (分岐・出口渋滞支援) ◆ e-1. (緊急車両の情報による走行支援) ■ L4テーマ4 (右左折支援) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ a-1-2. (本線隙間狙い合流支援) ◆ a-1-3. (路側管制による本線車両協調合流支援) ◆ a-1-4. (車同士のネゴシエーションによる合流支援) ◆ a-2. (混雑時の車線変更の支援) ■ c-2-1. (交差点の情報による走行支援) ■ c-2-2. (交差点の情報による走行支援) ◆ g-1. (電子牽引による後続車無人隊列走行) ◆ g-2. (追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行) ◆ デジタル全総 高速道自動運転車用レーン (車両検知センサ) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ c-1. (前方での急停止、急減速時の衝突回避支援) ◆ c-3. (ハザード情報による衝突回避支援)
	静止物標 (信号機、標識、障害物、工事、事故)	<ul style="list-style-type: none"> ■ NCAP (事故情報) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ a-3. (渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援) ◆ d-3. (渋滞の情報による走行支援) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ b-1-2. (信号情報による走行支援) ◆ d-5. (ハザード情報による走行支援) ◆ デジタル全総 高速道自動運転車用レーン (落下物検知) ■ L4テーマ4 (信号連携制御) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ b-1-1. (信号情報による走行支援) ■ NCAP (信号連携制御)

安全性評価指標算出の拡張) 安全性評価指標算出機能の拡張の取り組みとして、シナリオ内の交通参加者で算出可能な指標を今年度取り組み

安全性評価指標の種別と今年度検討内容の範囲

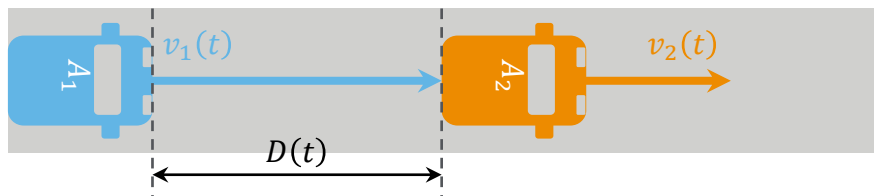
安全性評価指標を、横軸に情報、縦軸に観測値か予測値によって分類。実際に交通参加者が存在する中、PETとTTCを優先して実装することとなった。議論の中、かもしれない運転への拡張も考えた場合、SCT等も必要となるため、来年度以降に検討を継続する。



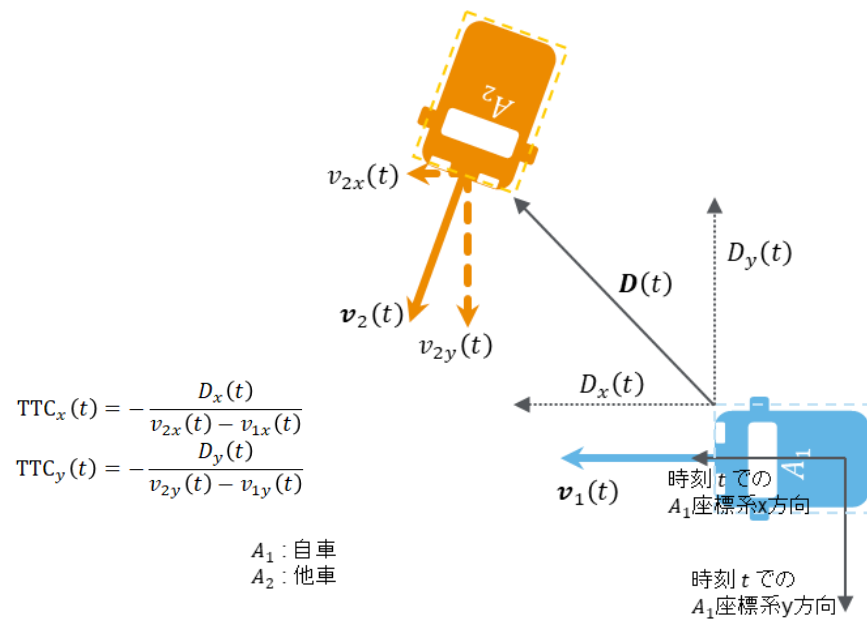
安全性評価指標算出の拡張) DIVPにおけるPETおよびTTCの算出設定に関する定義を行った

TTC算出の概念図

自車と他車から車間距離、相対速度から計算



$$TTC(t) = \frac{D(t)}{v_1(t) - v_2(t)} = \frac{\text{(時刻 } t \text{ での車間距離)}}{\text{(時刻 } t \text{ での相対速度)}}$$



$$TTC_x(t) = -\frac{D_x(t)}{v_{2x}(t) - v_{1x}(t)}$$

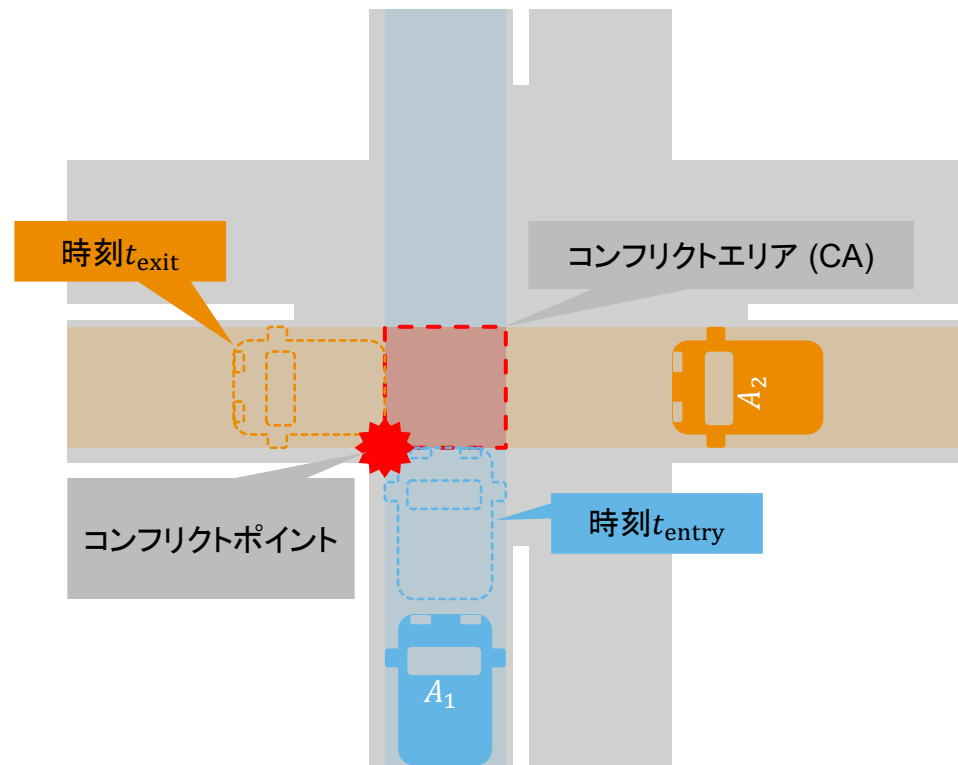
$$TTC_y(t) = -\frac{D_y(t)}{v_{2y}(t) - v_{1y}(t)}$$

A₁: 自車
A₂: 他車

A₁ と A₂ の TTC 算出方法のイメージ

PET算出の概念図

2車両の走行経路の重なりをコンフリクトエリアとし、先行車両の離脱と後続車両の進入時間に基づき計算



$$PET = t_{\text{entry}} - t_{\text{exit}}$$

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張 2024年度成果報告書抜粋

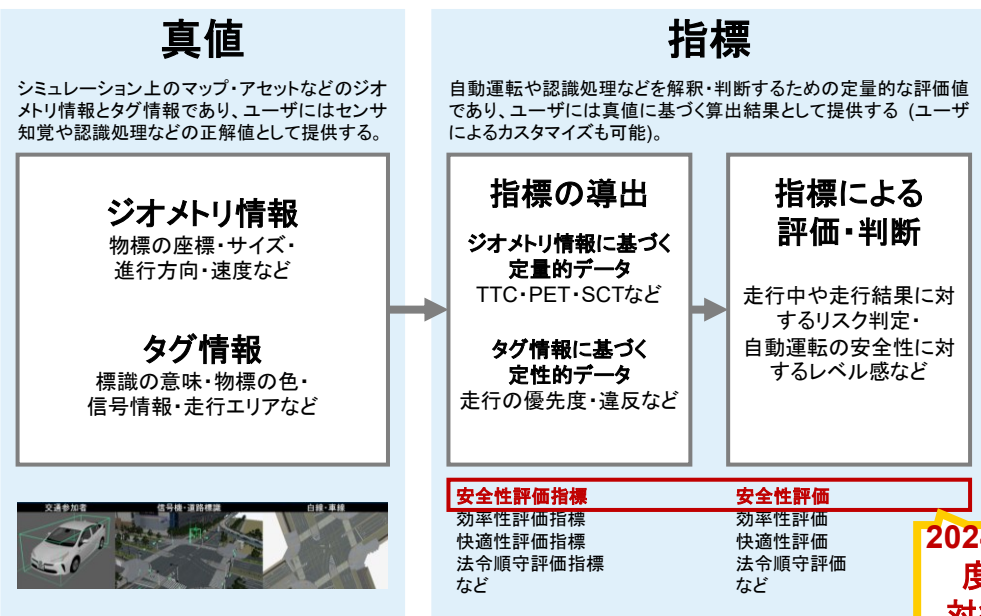
DIVPでは安全性評価指標の研究・実装をしており、2023年度にはTTC/PETの計算機能を実装した。2024年度はSCT (Safety Cushion Time) の研究・仕様検討、および実装・動作検証を完了した。

リスク評価を可能とする評価指標の定義と妥当性検証

背景 ADS制御の性能評価をするために、自車の行動の良し悪しなどを定量的に検討する必要がある。よりインテリジェントなADシステムの評価のためには、リスクが顕在化した後の行動に加えて「**リスクが顕在化する前の行動**」(「かもしれない運転」) の評価指標が求められる。

目的 潜在リスクに対する行動を評価できる指標を研究・検討し、計算機能を実装する。

「真値」と「指標」の関係性



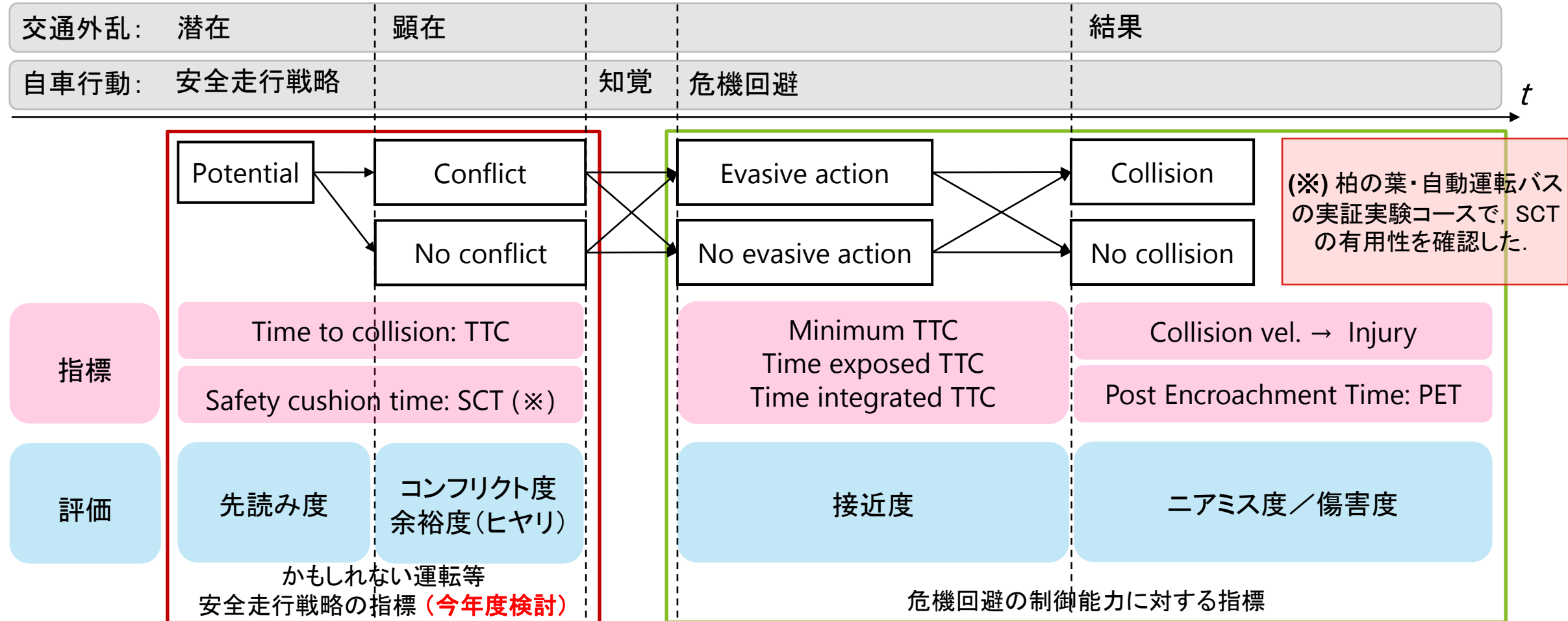
- 「かもしれない運転」の評価指標 (SCT) の研究 (数理モデル・安全余裕度・研究方針)
- TTCとSCTを組み合わせた走行戦略評価方法の提案
- SCT計算機能の仕様検討・計算機能の実装

- 成果概要**
- SCTを用いた安全リスク評価の効果検証 完了
 - コンフリクトレベルの数理モデルを定式化し、影響因子を整理した。
 - コンフリクトレベルのクライテリアを提案した。
 - 「かもしれない運転」の性能を示す指標としてSCTの導入を決定し、計算機能を実装した。
 - TTC/PETと合わせて、リスク顕在化前からコンフリクト後まで時系列的に評価指標が揃った。

安全性評価指標の研究) 安全性評価指標算出機能の拡張の取り組みとして、安全性リスク評価指標の研究ロードマップ、新たな評価指標とクライテリアの定義、ベンチマークに取り組む

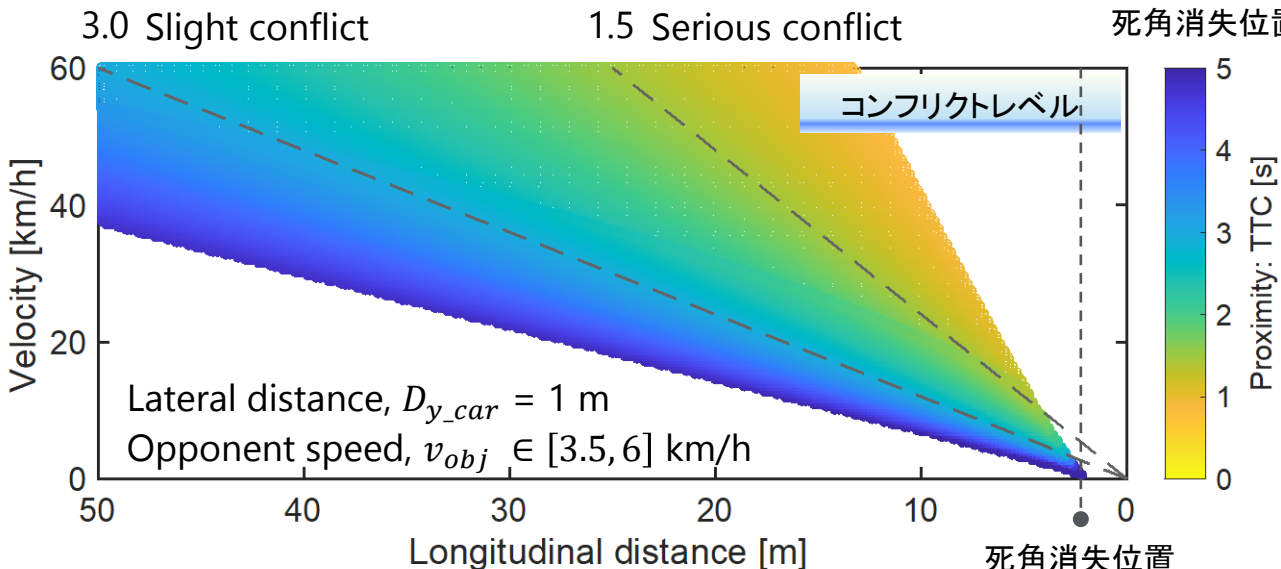
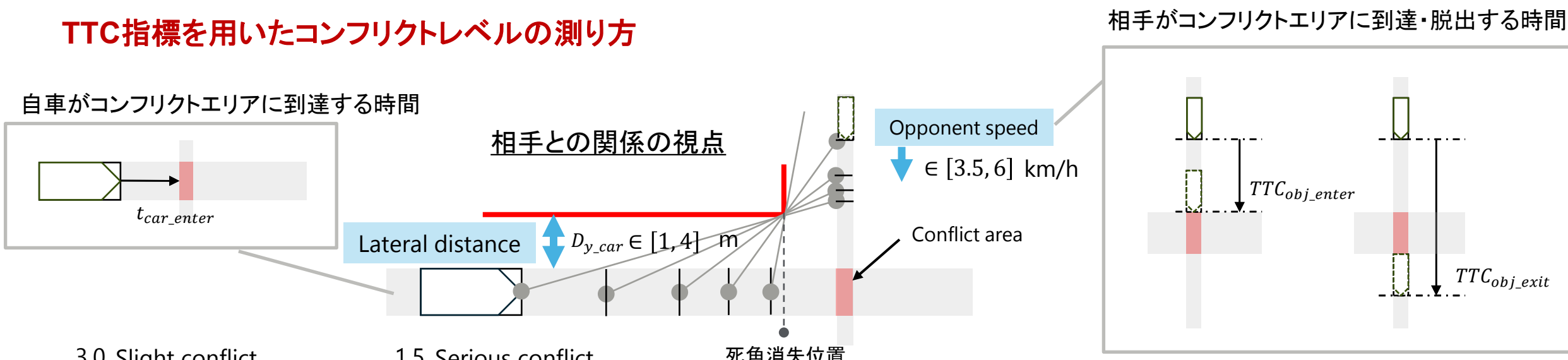
安全性評価指標の種別と今年度検討内容の範囲

安全性評価指標を、横軸に時間、縦軸に指標と評価によって分類。実際に交通参加者が存在する中、かもしれない運転等の安全走行戦略を評価できるSCTを優先して実装することとなった。議論の中、快適性、協調性、効率性、道路交通法遵守も必要となるため、来年度以降にさらなる検討を継続したい。



TTC指標を用いた交通コンフリクトの定式化を行い、コンフリクトレベル(クライテリア)を定義した。

TTC指標を用いたコンフリクトレベルの測り方



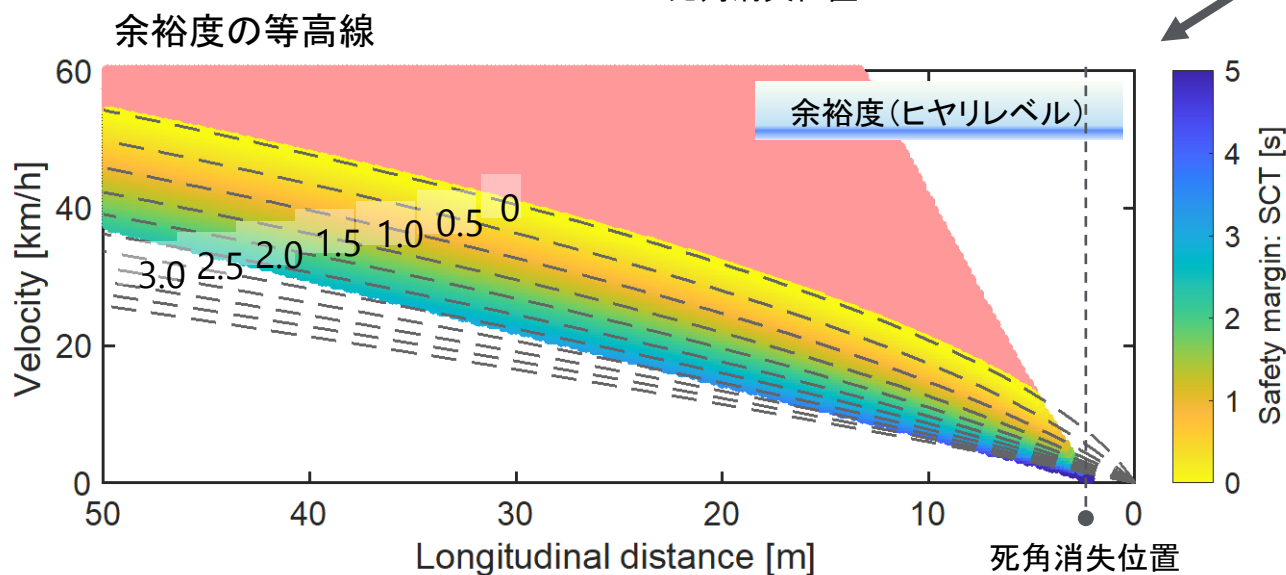
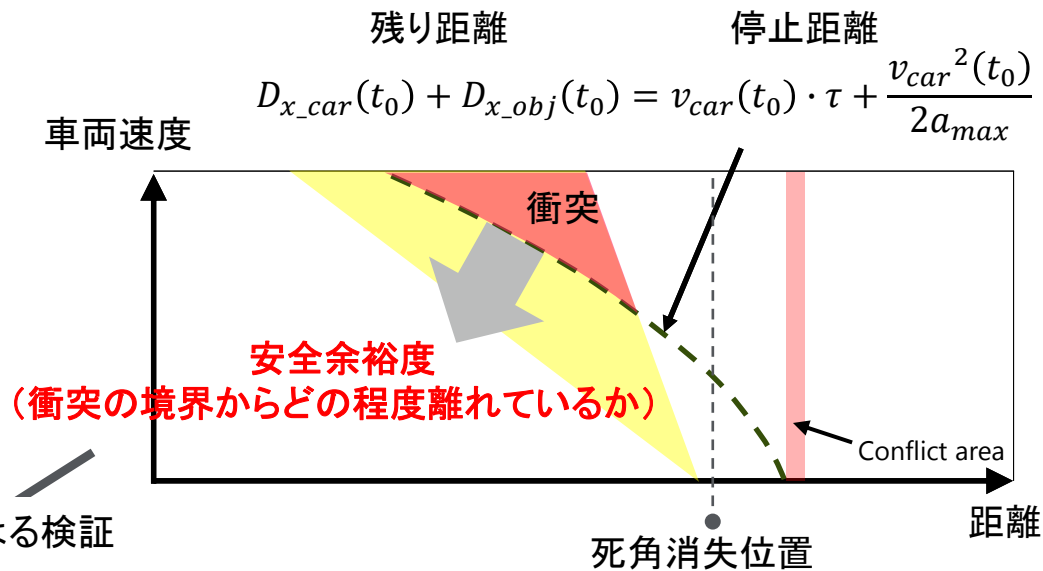
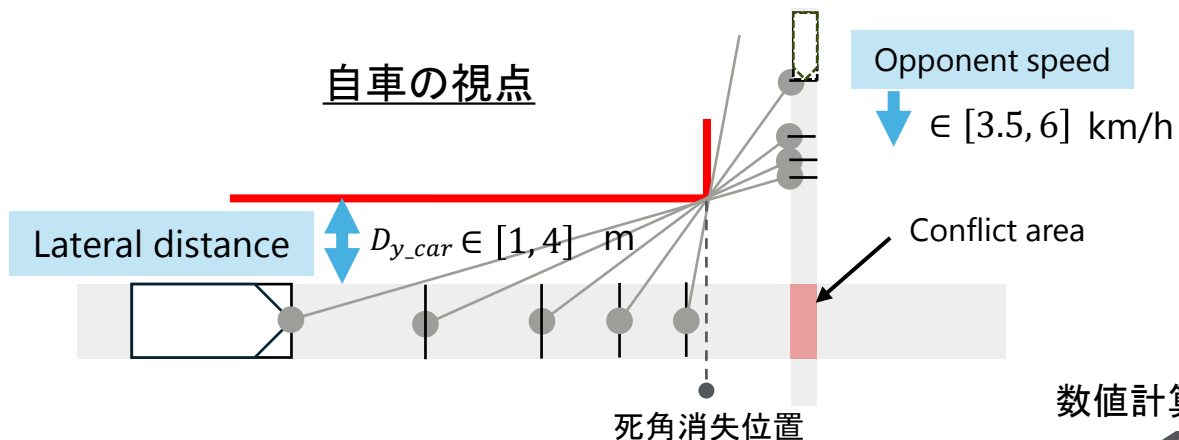
※ コンフリクトとは、複数の道路利用者が空間的・時間的に接近し、その動き(速度, 方向)が不変であれば衝突が避けられない状況。

(2)-1.c.パート 成果概要

- **TTCを用いたコンフリクトの定式化 完了**
 - コンフリクトのレベルを算出できる危険事象の数理モデルを定式化した
 - コンフリクトの発生とそのシビアリティに影響する影響因子を整理した。
 - コンフリクトのレベル(クライテリア)を提案した。

SCT指標を用いた安全余裕度の定式化を行い、余裕度のレベル(クライテリア)を定義した.

SCT指標を用いた安全余裕度の測り方



※ 安全余裕度とは、自動運転車の回避行動モデル(反応時間0.74秒、減速度 0.3 G)を定義した上で、衝突の境界からどの程度離れているか、その度合いを意味する、

(2)-1.c.パート 成果概要

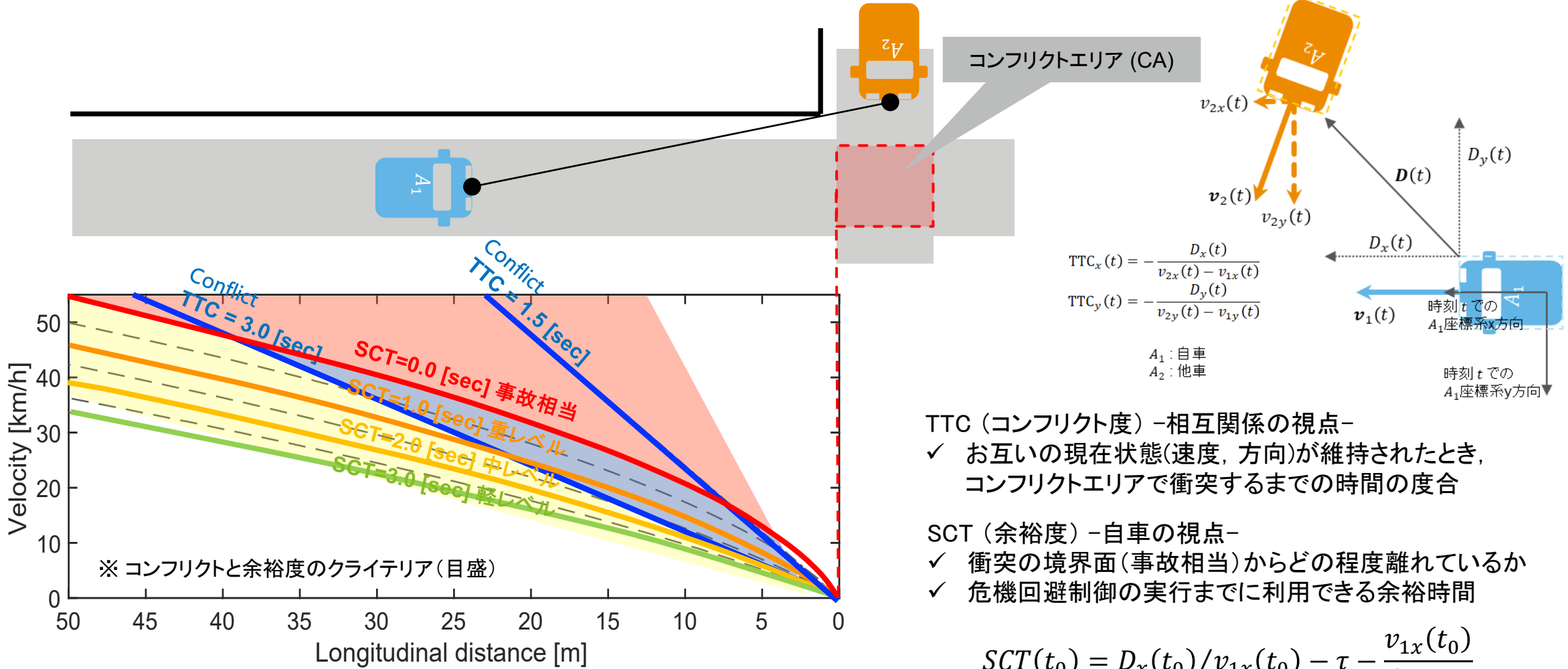
■ SCTを用いた安全余裕度の定式化 完了

- 安全余裕度を算出できる危険事象の数値モデルを定式化した
- 安全余裕度に影響する影響因子(反応時間、減速度)を整理した。
- 安全余裕度のレベル(クライテリア)を提案した。

安全性評価指標算出の拡張)

DIVPにおける安全走行戦略を評価可能な指標の算出方法とそのクライテリアに関する定義を行った

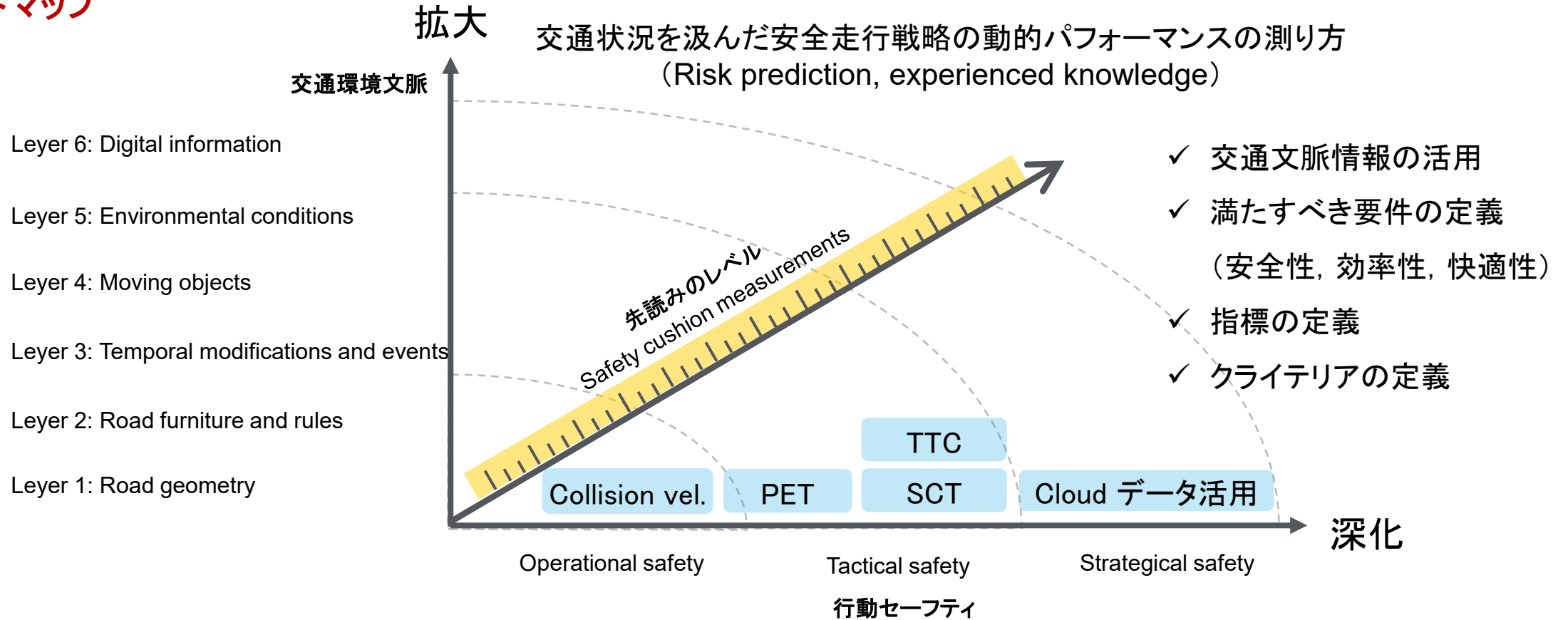
TTC指標とSCT指標を組み合わせた安全走行戦略(先読みレベル)の測り方



- TTC (コンフリクト度) -相互関係の視点-
- ✓ お互いの現在状態(速度, 方向)が維持されたとき, コンフリクトエリアで衝突するまでの時間の度合
- SCT (余裕度) -自車の視点-
- ✓ 衝突の境界面(事故相当)からどの程度離れているか
 - ✓ 危機回避制御の実行までに利用できる余裕時間

安全余裕はヒト、クルマ、交通環境の影響によりリアルタイムに変化。一定シナリオに基づき、運転行動と道路状況、交通状況を統合したリスク評価が必要

ロードマップ



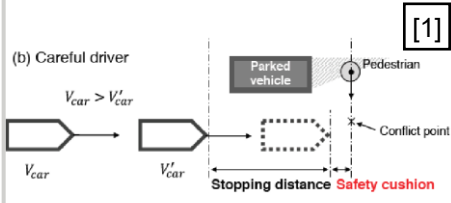
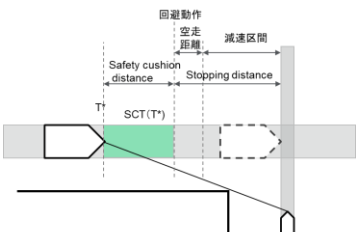
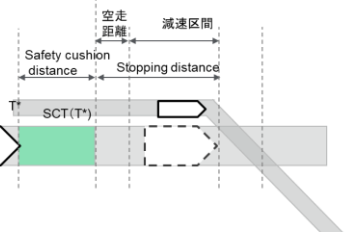
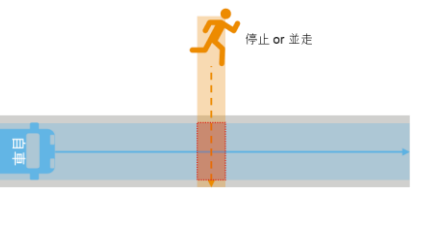
動的リスク評価の深化のため国内外研究機関と連携して行動セーフティの要件, 測定, 評価の枠組み構築を進める。

SCTの実装に向け、対象とするシナリオを拡張した (交通流の中でリスクとなりうる代表的な状況を対象)。 また、各シナリオについて必要となる情報の定義を検討した。

SCT計算機能のシナリオ拡張

2024年度はリスクとなりうる代表的な状況を対象とした

対象シナリオの拡張

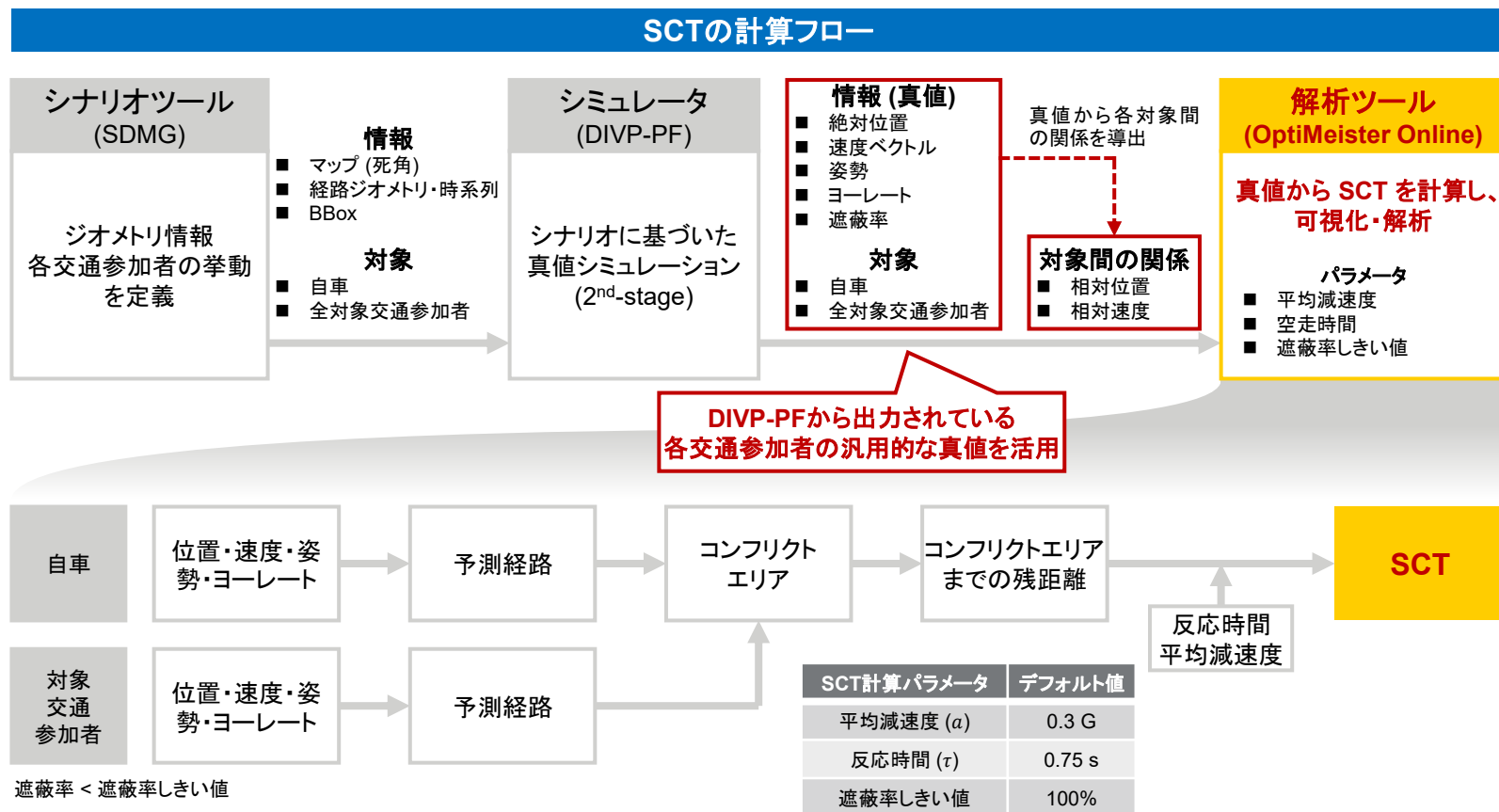
SCTの基本概念 (理論)		SCT計算機能の要求仕様 (2024年度)			追加の拡張
シチュエーション	死角からの飛び出し	死角からの飛び出し	歩道からの急な横断	急な飛び出しの仮定	死角はあるが歩行者は存在しない場合 各交通参加者から見たSCT計算 等
イメージ	手動運転で死角から歩行者が知覚可能になったタイミングにおいて、減速行動開始までに残された余裕時間 				
コンフリクトエリア (SCT計算の基準位置)	自転車・歩行者の経路が交差する領域	自転車・歩行者の 予測経路 が交差する領域	自転車・歩行者の 予測経路 が交差する領域	歩行者の 最短経路飛び出しを仮定 した場合に 予測経路 が交差する領域	
リスクが顕在化した時刻 t^* (SCT計算の基準時刻)	ドライバーから歩行者が知覚できた時刻	歩行者の 遮蔽率が閾値を下回った時刻	歩行者が 方向転換した時刻	実際に飛び出さなくても常時リスクがあると仮定して 時系列的に計算する	

SCTの適用シナリオを検討し、実交通流において「かもしれない運転」が求められるシチュエーションに拡張した。

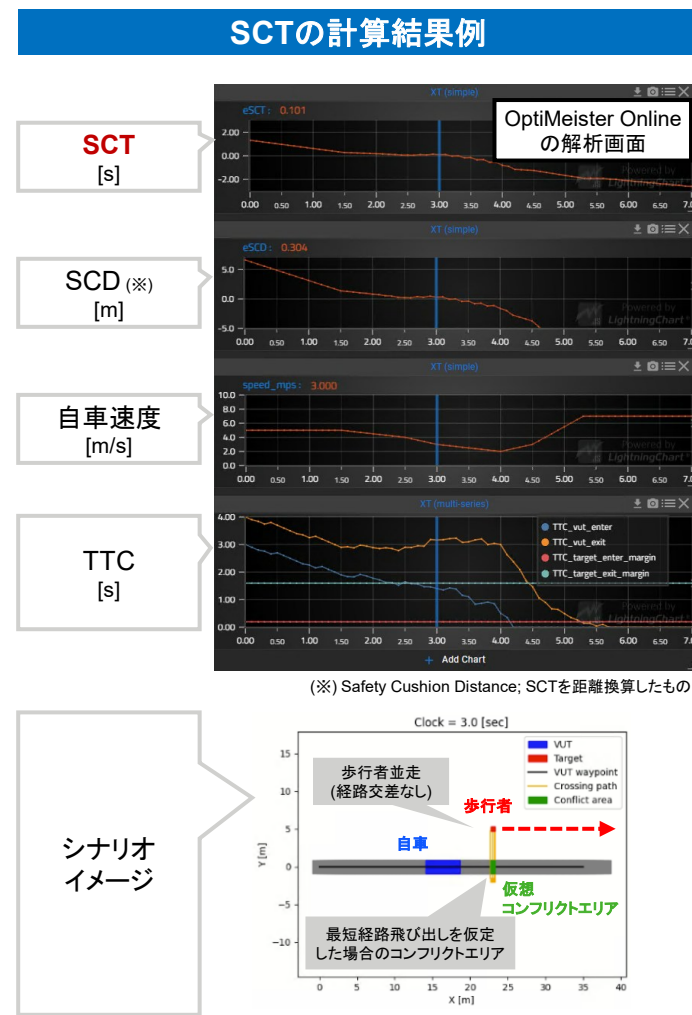
SCT計算のフロー・必要となる情報を整理し、解析ツールに計算機能を実装した。 DIVP-PFから安全性評価指標の計算に必要な汎用的な真値が出力されており、それを活用した。

SCT計算機能の実装と検証

SCTの計算フロー



SCTの計算結果例

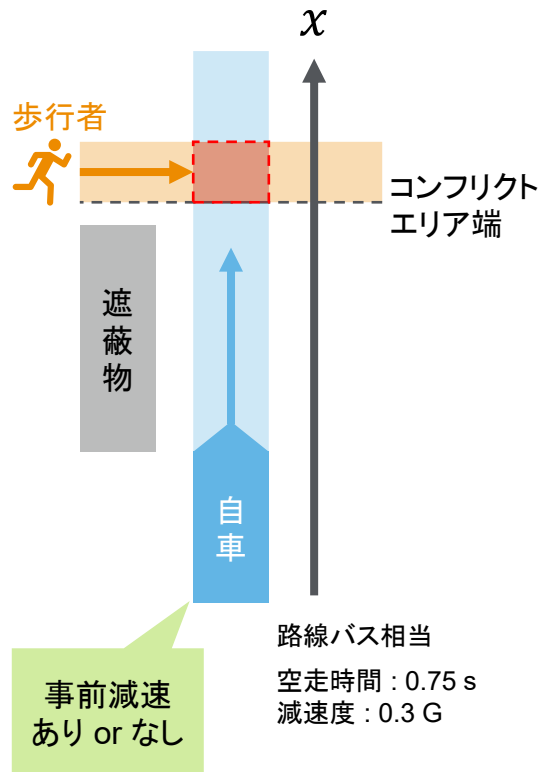


SCT計算機能を実装し、「かもしれない運転」の性能評価環境を構築した。

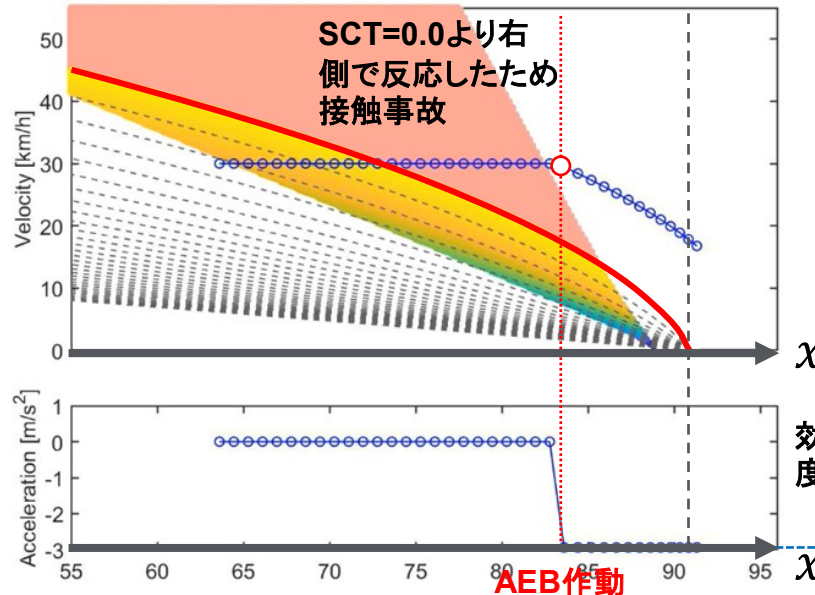
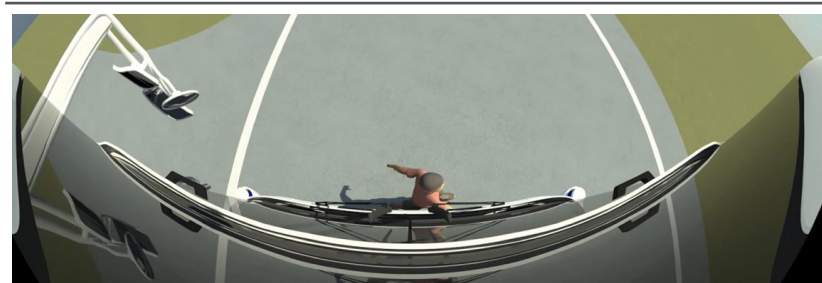
SCTを用いた評価事例として、死角からの歩行者飛び出しについてDIVPシミュレーションを実施した。 TTC・SCTを組み合わせて衝突回避のための走行戦略を評価することが可能である。

SCTの応用：事前減速の有無による衝突回避の評価事例

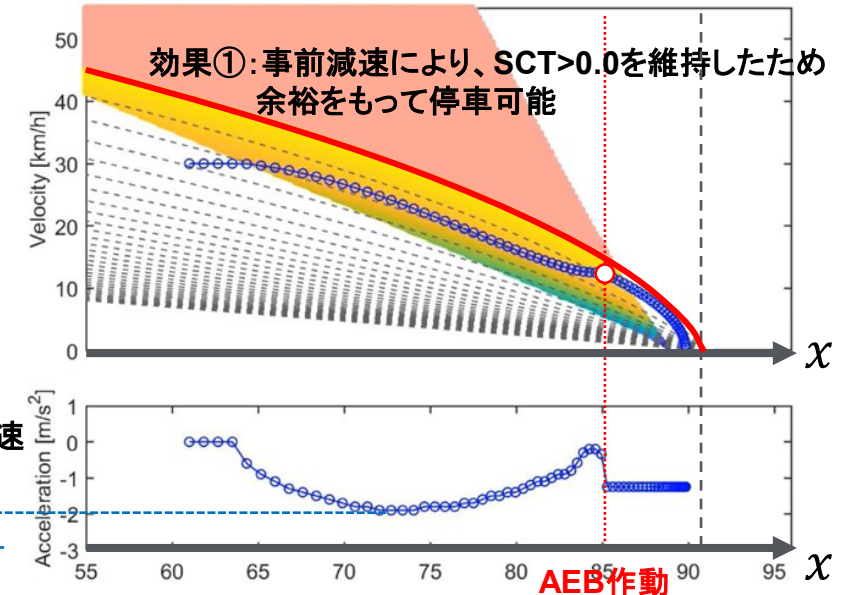
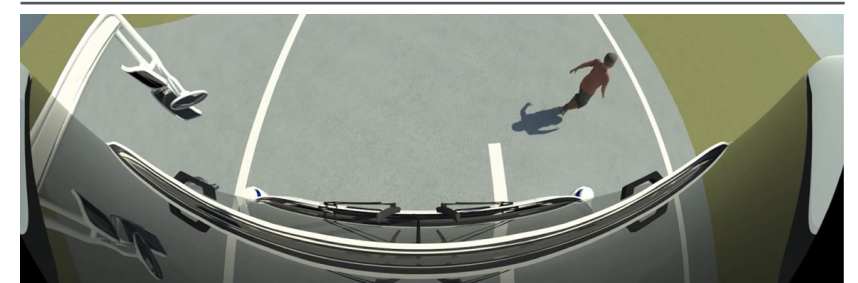
評価シナリオ



事前減速なし → 接触事故発生



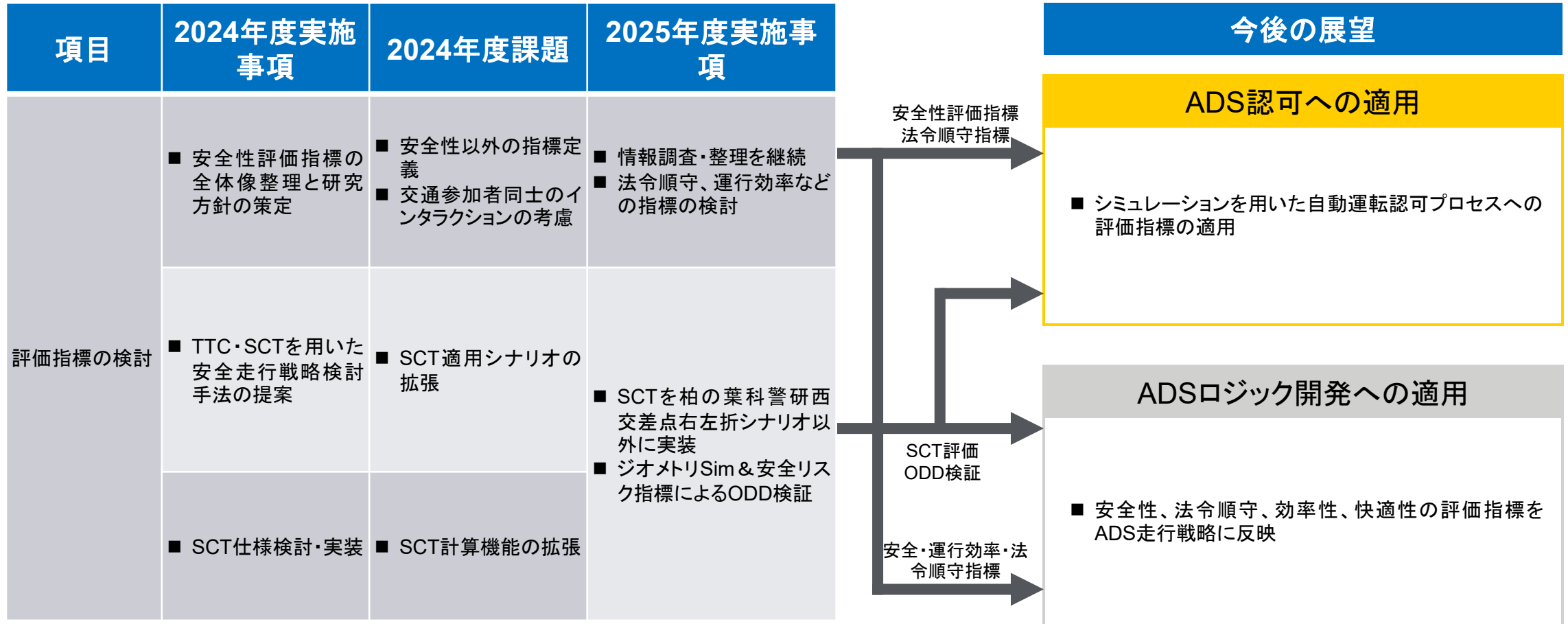
事前減速あり → 緩やかに停止



SCTを用いてAEBの衝突回避性能を示せることを確認した。

法令順守・効率性などを考慮した評価手法の確立SCT計算機能の拡張・汎用化が課題となる。 今後、Simを活用した認可プロセスへの適用やADSロジック開発への活用が考えられる。

課題と今後の展望



RoAD to the L4 テーマ4 (柏の葉ADSバス) でのシナリオ拡張や ODD 検証へと活用する。
それによりシミュレーションを用いたADS認可へ貢献していく。

V2Xの真値出力機能の仕様について調査検討を実施した。 そのために、V2Xシステムのアーキテクチャを整理しモデル化対象を明確化した。

【付録】V2X評価のための真値出力機能の完成

背景

ADS車の安全性や交通効率性を高めるために、自律型自動運転システムに加えてインフラや他車などとの通信 (V2X通信) による**協調型自動運転システム**が世界的に重要視されている。

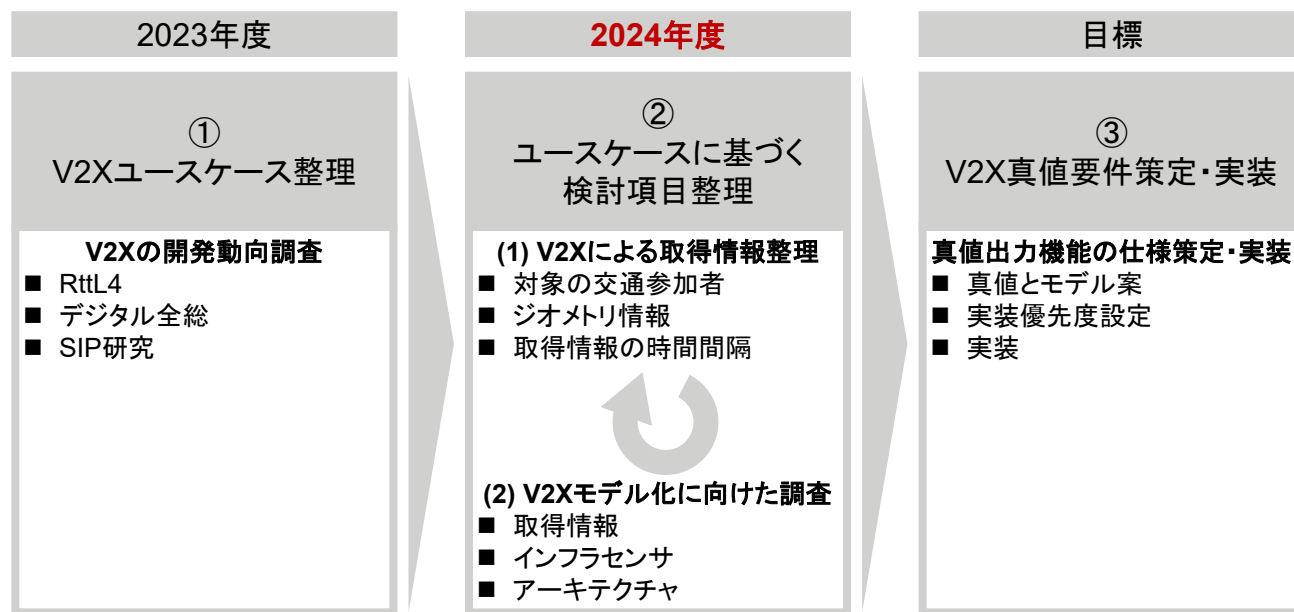
目的

協調型自動運転システムの性能評価をするために、正解値となる**V2X通信の真値**を出力する機能を開発する (真値出力機能の拡張)。



実施事項

V2X真値出力機能実装に向けた検討フローを整理し、対象システムのアーキテクチャを調査検討した。



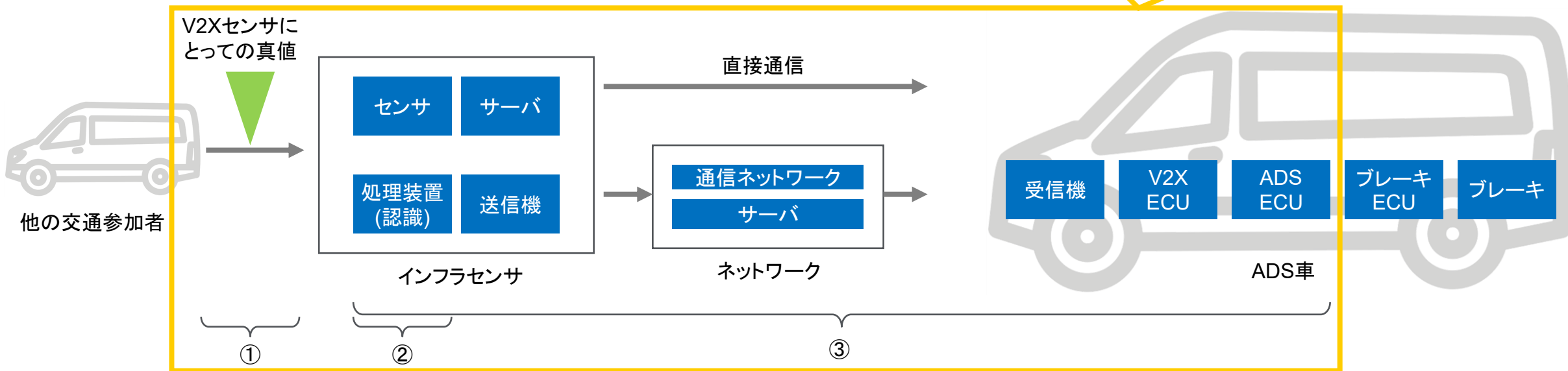
成果概要

- **V2X評価に向けたSim要件の調査 完了**
 - V2Xシステムの評価用検証機能のフロー/アーキテクチャを策定した。
 - 開発項目(モデル化対象)の定義 完了

V2Xの真値出力機能を検討するために、V2Iを事例にシステムのアーキテクチャを調査した。
 真値出力機能に性能低下要素を加味することにより、V2Xシステムでの安全性評価環境の構築を目指す。

【付録】実V2X (V2I) アーキテクチャに基づくSimモデル化対象の調査検討

モデル化の対象とする範囲



機能開発・モデル化の対象となる要素

① 真値生成・出力機能

V2Xシステム出力に対応する真値となる情報 (交通参加者の位置・速度・サイズなど) を出力させる。

② 認識性能モデル (検出・認識)

V2Xセンサの検出率や認識率などをモデル化することにより、V2Xシステムの検出・認識性能の低下を加味した安全性評価をすることができる。

③ 性能低下要素 (遅延)

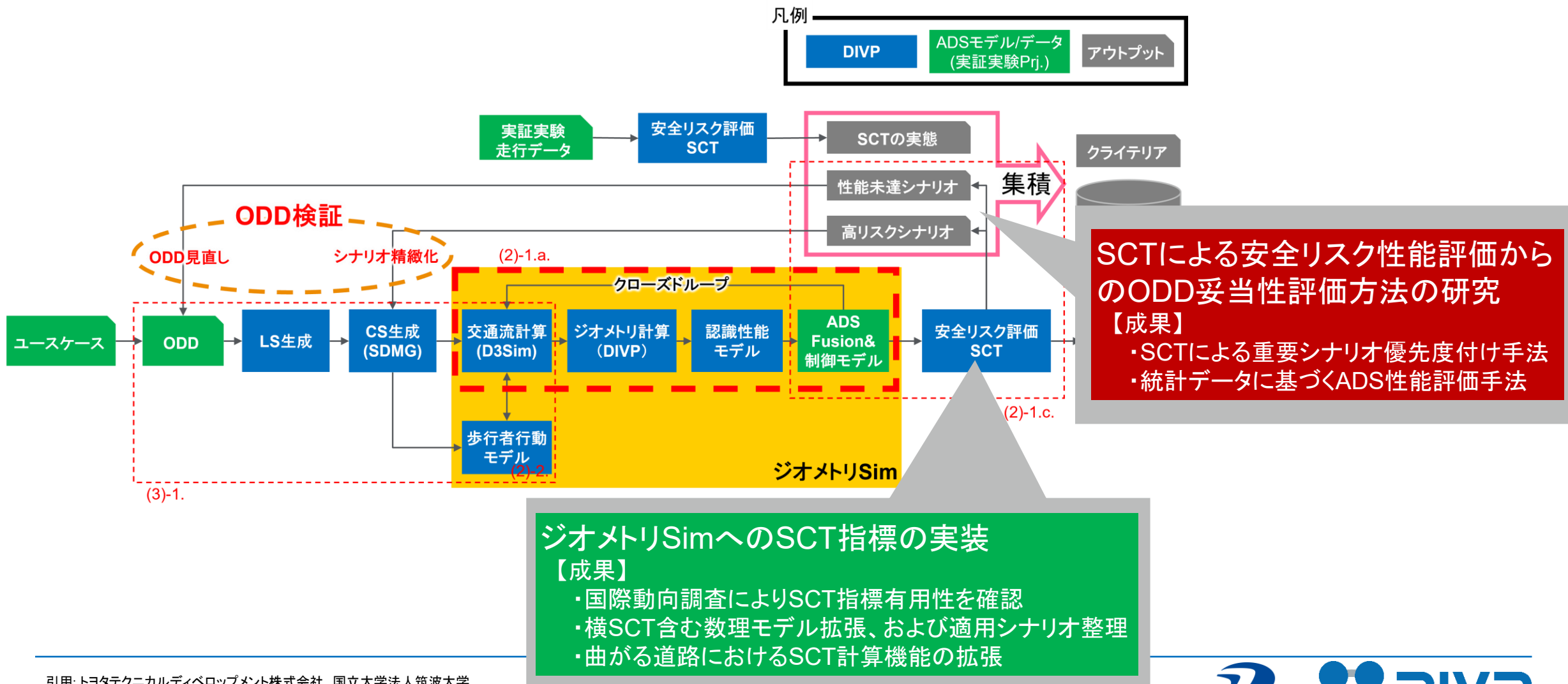
通信や車両内部処理による遅れをモデル化する (例: 受信機・ECU処理・CAN) ことにより、V2Xシステムの情報遅延を加味した安全性評価をすることができる。

アーキテクチャを整理し、真値出力のためのモデル化対象と性能低下要素 (検出/認識性能の低下・通信処理遅延) を明確化した。

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張 2025年度成果報告書抜粋

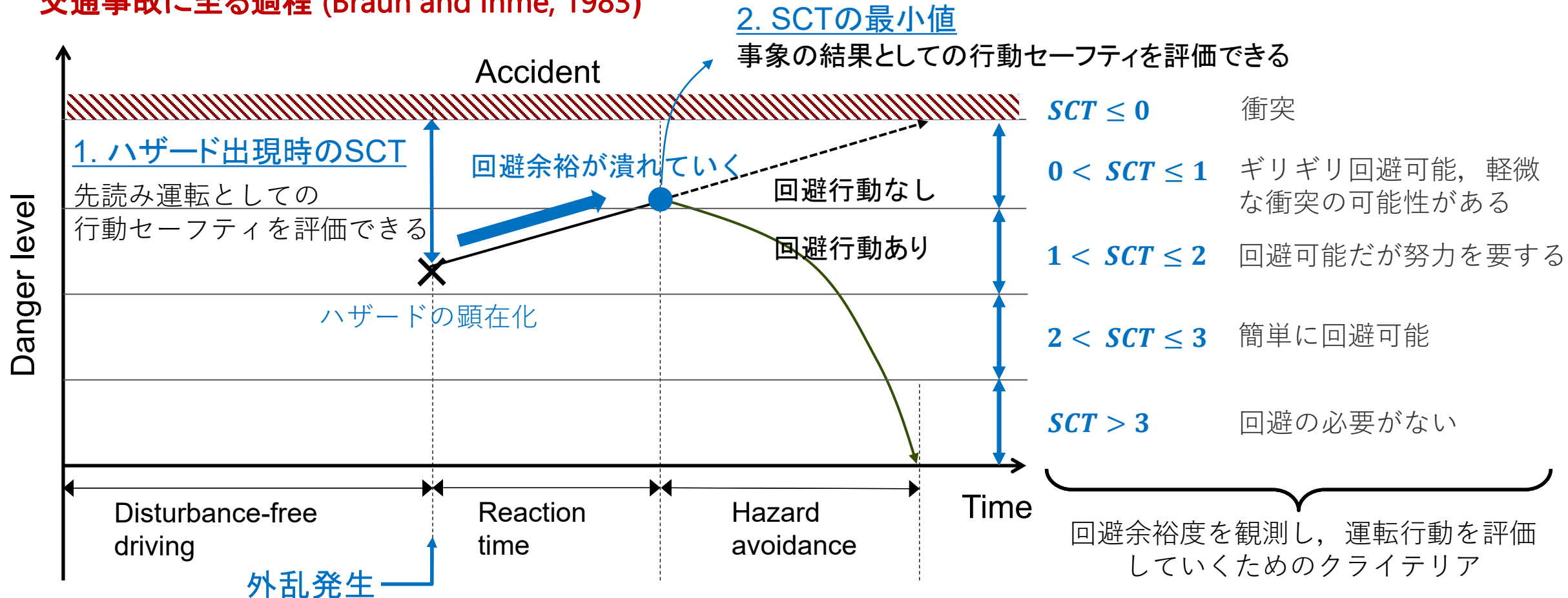
より幅広い交通シナリオでの適用に向け、進行方向に加え横方向SCT指標を理論検討し機能実装した。
 またSCT活用で重要シナリオ優先度付け手法を確立したことにより統計的にADS性能評価を可能にした。

クローズドループによる2nd-Stage安全性評価における(2)-1.cの位置付け



交通事故の発生より手前の時刻における回避余裕度から安全運転を評価していくことが重要

交通事故に至る過程 (Braun and Ihme, 1983)



遭遇頻度と回避余裕度から運転行動(安全運転)を評価していくセーフティクッションの考え方を明確化した

安全性評価指標に関する国際動向を調査し、SCT指標の位置付けを明確化した。 セーフティクッションが安全性評価指標として有用であることを整理した。

安全性評価指標に関する国際動向調査(筑波大学)

SAE International, J3237_202508 -Dynamic Driving Task Assessment Metrics for Automated Driving Systems, 2025

- ✓ SAE推奨規格は、自動運転によって運行される車両の DDT の性能を定量化するために用いられる評価指標のメトリクスを提供し、評価指標が満たすべき要件 (P.1~P.7) を提示している。
- ✓ 評価指標が満たすべき要件に適合するセーフティエンベロープ (SE) 指標の定式化を推奨する。
SE指標は、車両が安全確保の操作を行うために利用できる時間と空間を定義(安全領域の明確化)するものである。
- ✓ セーフティクッションは、P.1~P.7の要件を満たす評価指標として位置付けられる。

満たすべき要件への適合: SE指標と従来指標の比較

	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7
Comprehensive Safety Envelope Formulations							
Minimum Distance Safety Envelope	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Model Predictive Instantaneous Safety Envelope	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reachability-Based Drivable Area	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traditional Formulations							
Time Gap			✓	✓	✓	✓	✓
Post-Encroachment Time			✓	✓	✓	✓	✓
Time-to-Collision				✓	✓	✓	✓
Modified Time-to-Collision				✓	✓	✓	✓

NOTE: See Appendix A for detailed explanation of met and unmet properties of Safety Envelope Formulations.

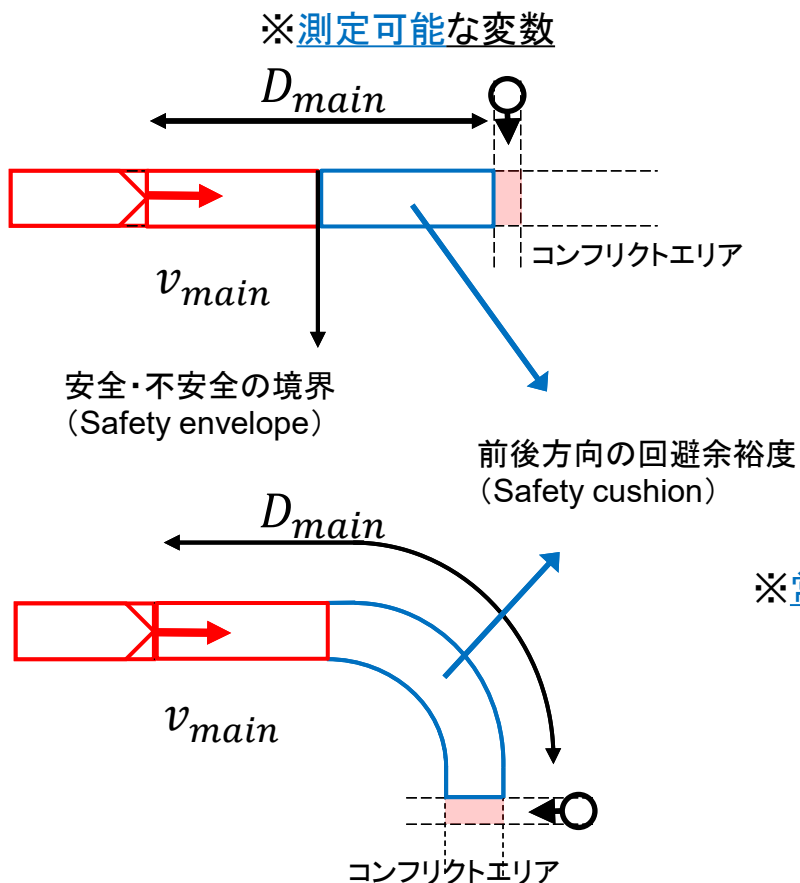
評価指標が満たすべき要件

- P.1 運動学的要素(速度・加速度等)および自動運転のDDTに影響を及ぼす道路利用者の合理的に予見可能な行動を含めること(例: 反応時間, 想定される制動挙動など)。
- P.2 自動運転車において機能が作動することを想定しているODDの主要な動的要素を包含すること(例: 地理的要因に基づいた仮定やパラメータ)。
- P.3 適用対象シナリオに対して常に定義可能な出力を有し、計算が再現可能。
- P.4 SEの定式化が適用可能となる条件および前提を明示的に含むこと。
- P.5 危険事象(例: ニアミス事象や衝突など)との論理的な関係を有し、自動運転の安全性能および機能性を評価できるものであること。
- P.6 容易に利用可能であり、より広範な適用性を持つこと。
- P.7 容易に入手可能な市販機器で測定可能な変数に基づく実装であること。

回避余裕度を定量化するSCT指標の数理モデルを整理した。

一般道路(例: 交差点シナリオ)でのSCT指標の数理モデルの定式化(筑波大学)

※ 自車進行方向における安全の時空間を定義



✓ 回避余裕距離の定式化: セーフティクッションディスタンス

$$\text{前後} \quad SCD = D_{main} - \tau v_{main} + \frac{v_{main}^2}{2a_{mean,decel}}$$

✓ 回避余裕時間の定式化: セーフティクッションタイム

$$\text{前後} \quad SCT = TTC - \tau + \frac{v_{main}}{2a_{mean,decel}}$$

想定反応時間

想定制動挙動

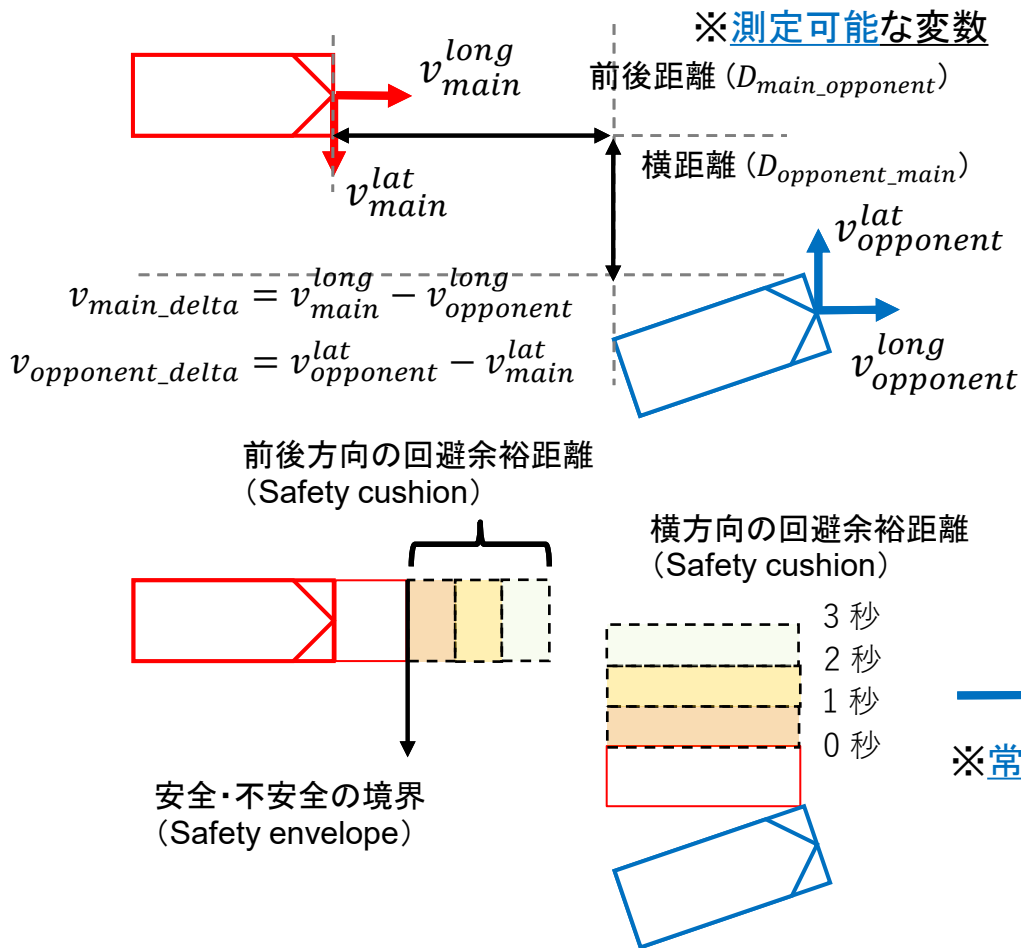
※常に出力可能

※道路利用者の合理的に予見可能な行動に係るパラメータ

物理量を前後と横に分割し、前後と横方向の回避余裕度を算出するSCT指標の数理モデルを定式化。

自動車専用道路(例:カットインシナリオ)でのSCT指標の数理モデルの定式化(筑波大学)

※物理量を前後と横で分けて安全の時空間を定義



✓ 回避余裕距離の定式化: セーフティクッションディスタンス

前後 $SCD_{long} = D_{main_opponent} - \tau v_{main_delta} + \frac{v_{main_delta}^2}{2a_{mean,decel}}$

横 $SCD_{lat} = D_{opponent_main} - \tau v_{opponent_delta} + \frac{v_{opponent_delta}^2}{2a_{mean,decel}}$

✓ 回避余裕時間の定式化: セーフティクッションタイム

前後 $SCT_{long} = TTC_{long} - \tau + \frac{v_{main_delta}}{2a_{mean,decel}}$

横 $SCT_{lat} = TTC_{lat} - \tau + \frac{v_{opponent_delta}}{2a_{mean,decel}}$

※常に出力可能

想定反応時間

想定制動挙動

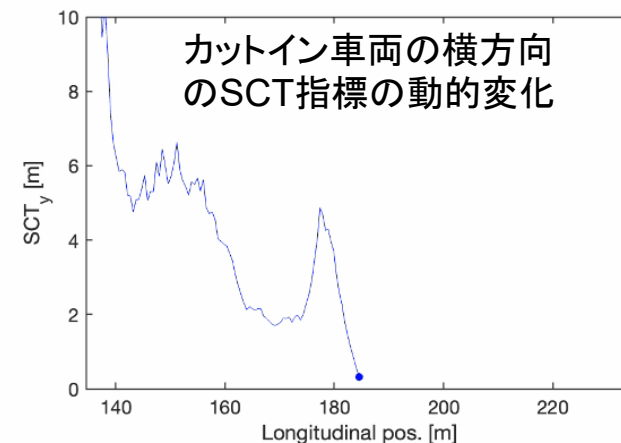
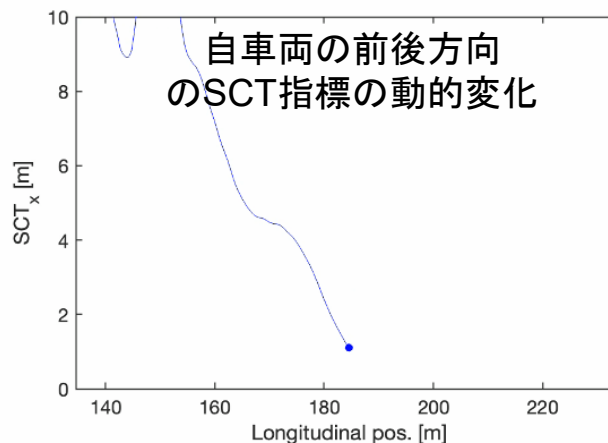
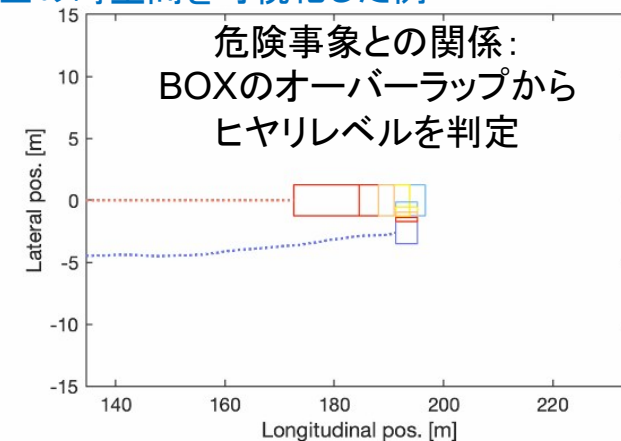
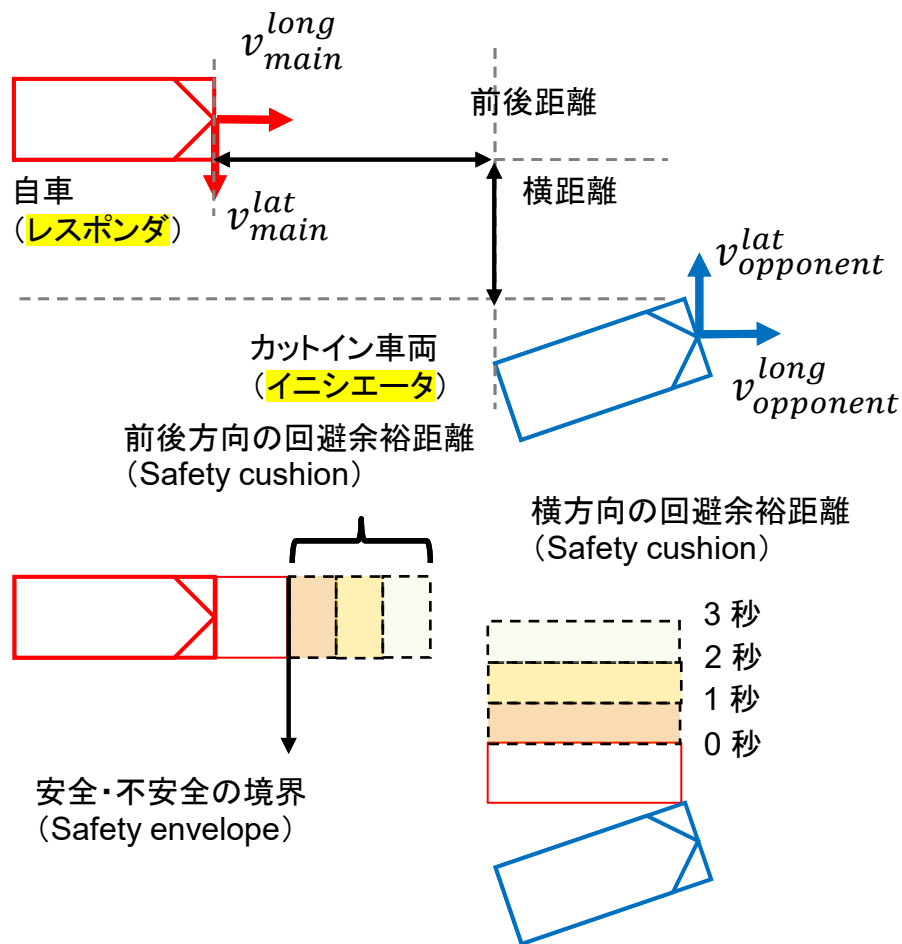
※道路利用者の合理的に予見可能な行動に係るパラメータ

※危険事象との関係: BOXのオーバーラップからヒヤリを判定可能

物理量を前後と横に分割し、前後と横方向の回避余裕度を算出するSCT指標の数理モデルを定式化。

自動車専用道路(例:カットインシナリオ)でのSCT指標の数理モデルの可視化(筑波大学)

物理量を前後と横で分けて安全の時空間を可視化した例

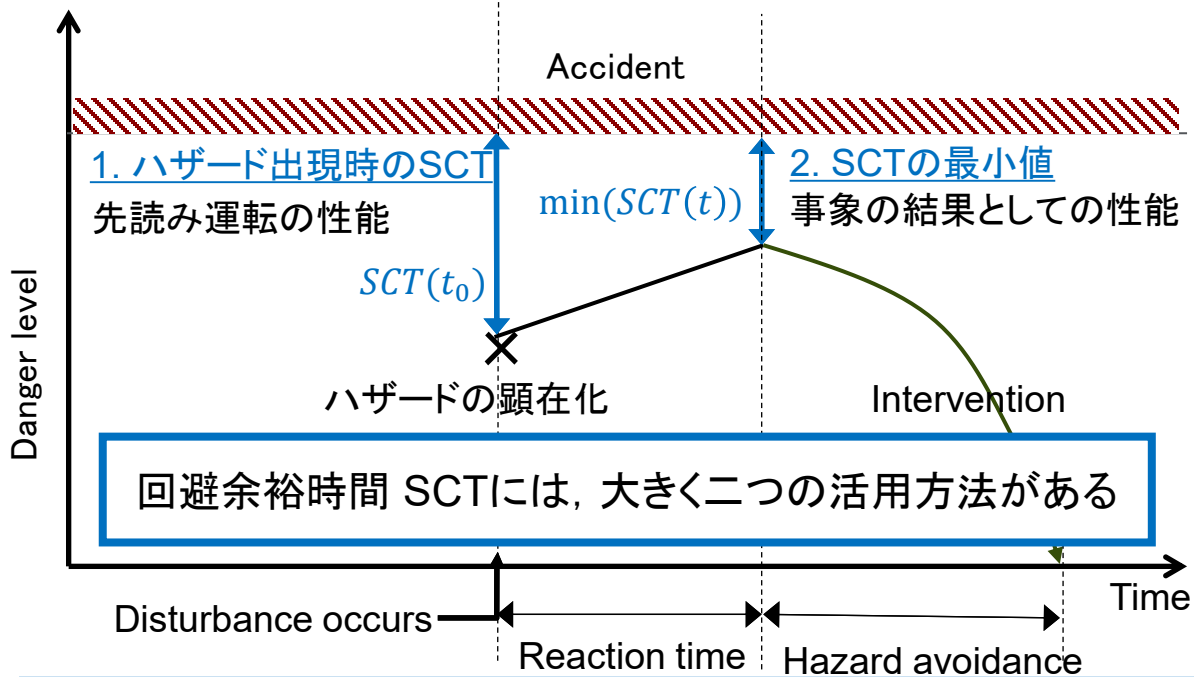
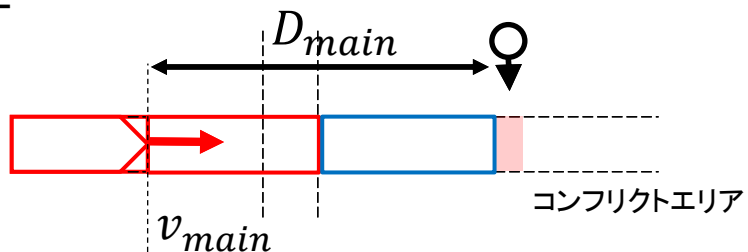


経済産業省・令和5年度補正「モビリティDX促進のための無人自動運転開発・実証支援事業(データ取得事業)」で計測されたカットイン事例に対して回避余裕度を算出した。

回避余裕時間 SCT の活用方法を整理するとともに、パラメータに関する考え方を整理した。

回避余裕時間SCT指標の使い方とパラメータに関する考え方(筑波大学)

例: 交差点シナリオ



- ✓ 衝突余裕時間 (相手との相対的な視点)

$$TTC_{long} = D_{main} / v_{main}$$

イベント発生時における危機回避のための行動能力に依らず、TTC は一定である。

- ✓ 回避余裕時間 (自車視点)

$$SCT_{long} = TTC_{long} - \tau - \frac{v_{main_delta}}{2a_{mean,decel}}$$

想定反応時間
想定制動挙動

パラメータを変更することで、行動能力に応じた自車の回避余裕度を表現できる。

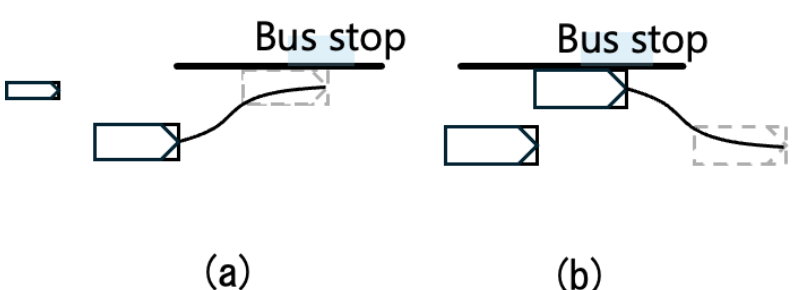
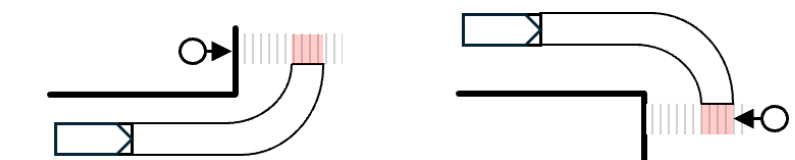
反応時間	人間の反応時間を参考に、0.75秒程度を目安とする。
制動挙動	バスの搭乗客の安全を考慮して、0.3 G 程度を目安とする。

セーフティクッションの考え方の下で、幅広いシナリオに対して SCT 指標の数理モデルが適用可能であることを整理した。

セーフティクッションの数理モデルの適用可能性の検討

回避余裕時間 SCT 指標の数理モデルは、自車の回避行動に対する制御目標に応じて使い分けてよい。

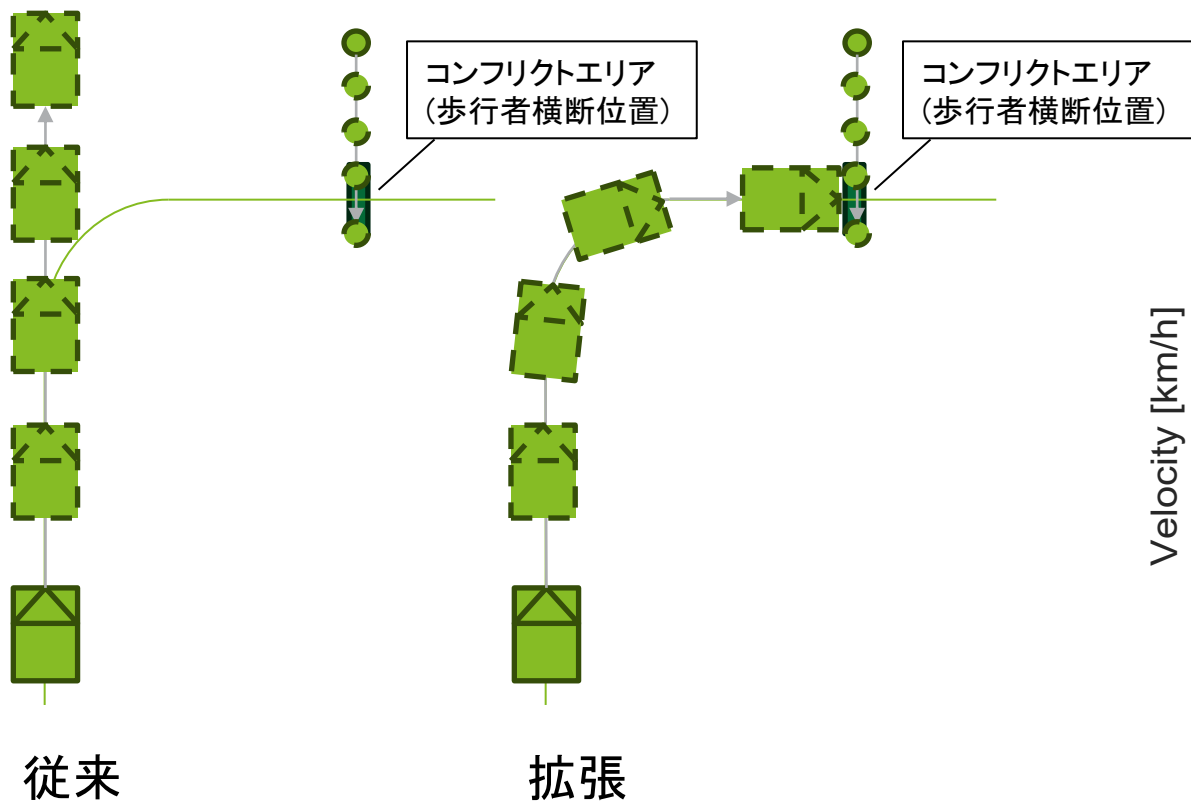
- 自車速度をゼロにする回避行動を定義する
- 相手に対する相対速度をゼロにする回避行動を定義する

<p>1. バス停における回避余裕時間 SCT の例</p>  <p>(a) (b)</p>	<p>(a)の場面では、自動運転車がバス停に停車しようとした際、後方から自転車が接近する状況を示している。 (b)の場面では、自動運転車がバス停から発車しようとした際、後方から他車両が接近する状況を示している。 このような状況では、自動運転車および相手車両の双方において、前後方向および横方向の相対速度をゼロにする回避行動が要求される。 したがって、双方の速度ベクトルを前後方向および横方向に分解することで、回避余裕度を説明してもよい。</p>
<p>2. 交差点における回避余裕時間 SCT の例</p> 	<p>自動運転車が交差点で右左折する状況を示している。 このような状況では、コンフリクトエリアを定義する際、自動運転車は進行方向に沿った道なり距離上で自車速度をゼロにする回避行動が要求される。 したがって、自車の絶対速度に基づいて回避余裕度を説明してもよい。</p>

曲がる道路の行った先で歩行者とクロスするシナリオに対し、SCT計算対応した。 更に歩行者速度の予測値パラメータを考案し、飛び出しに対する予測込みのAD性能評価を可能にした。

曲がる走行経路、及び接触予測計算への対応

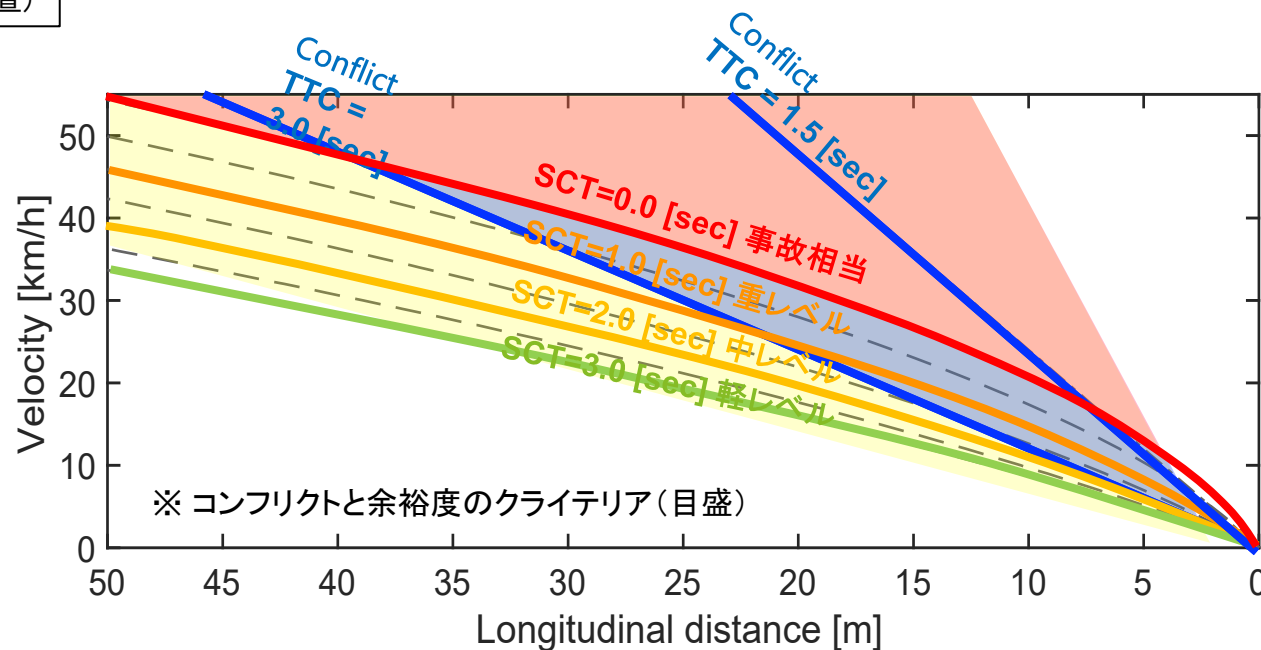
従来: 現在の進路・方向をそのまま進んだ場合のコンフリクトエリアを算出。
 拡張: 走行経路に沿って進んだ場合のコンフリクトエリアを算出。



昨年度の研究の結果、コンフリクト指標 (TTC) ならびに安全余裕度指標 (SCT) の定式化は、自動運転車両が最低限に満たすべき速度の要件を定義できた。定義した要件を元に接触予測計算を実装した。

歩行者速度の予測パラメータを考案し、飛び出し予測に対応した。

- 歩行者速度Min速度: 2.0km/h=0.556m/s
- 歩行者速度Max速度: 24.0km/h=6.667m/s



※ コンフリクトと余裕度のクライテリア (目盛)

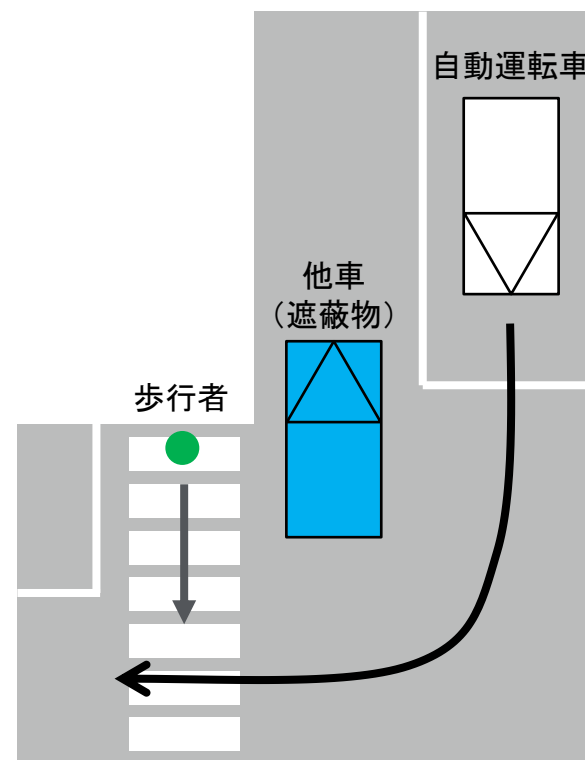
ODD妥当性評価方法の研究に向け、SCT安全リスク性能評価用に塩尻市役所付近交差点右左折時の交通流シナリオから高リスクの200シナリオを抽出した。

シナリオ一覧抜粋 計200シナリオ

filename	SCT	遮蔽物	他歩行者向き	他歩行者種類
shiojiri_sample_offset_1.xml	2.5120876	他歩行者	北→南	Child1_Female
shiojiri_sample_offset_2.xml	2.629585806	対向車(直進)	南→北	Child2_Male_ColorB
shiojiri_sample_offset_3.xml	2.286867221	対向車(直進)	北→南	Child1_Female_ColorA
shiojiri_sample_offset_4.xml	2.914526505	対向車(直進)	南→北	Child1_Female_ColorB
shiojiri_sample_offset_5.xml	2.744478275	対向車(直進)	南→北	Oldman1_Male
shiojiri_sample_offset_6.xml	2.512725485	対向車(直進)	北→南	Oldman1_Male
shiojiri_sample_offset_7.xml	2.406165544	対向車(直進)	南→北	Adult1_Male
shiojiri_sample_offset_8.xml	2.393943057	対向車(直進)	北→南	Child1_Female
shiojiri_sample_offset_9.xml	2.294145759	対向車(直進)	北→南	Child2_Male
shiojiri_sample_offset_10.xml	-0.969404483	他歩行者	南→北	Child1_Female_ColorA
shiojiri_sample_offset_11.xml	2.123423839	対向車(直進)	南→北	Child2_Male_ColorA
shiojiri_sample_offset_12.xml	0.629593738	他歩行者	北→南	Child1_Female_ColorB
shiojiri_sample_offset_13.xml	2.874821497	対向車(直進)	北→南	Child2_Male_ColorA
shiojiri_sample_offset_14.xml	2.619779646	他歩行者	北→南	Child1_Female
shiojiri_sample_offset_15.xml	2.735602336	対向車(直進)	南→北	Child2_Male_ColorA
shiojiri_sample_offset_16.xml	2.082249611	対向車(直進)	北→南	Child1_Female_ColorA
shiojiri_sample_offset_17.xml	2.4530024	対向車(直進)	北→南	Oldman1_Female
shiojiri_sample_offset_18.xml	2.563486111	対向車(直進)	北→南	Child1_Female_ColorB
shiojiri_sample_offset_19.xml	2.697879146	対向車(直進)	北→南	Adult1_Male
shiojiri_sample_offset_20.xml	2.622222252	対向車(直進)	南→北	Child2_Male
shiojiri_sample_offset_21.xml	2.952640956	他歩行者	北→南	Child2_Male_ColorB
shiojiri_sample_offset_22.xml	2.238585907	対向車(直進)	北→南	Oldman1_Male
shiojiri_sample_offset_23.xml	2.785450301	他歩行者	南→北	Oldman1_Male
shiojiri_sample_offset_24.xml	2.897218989	対向車(直進)	北→南	Child1_Female

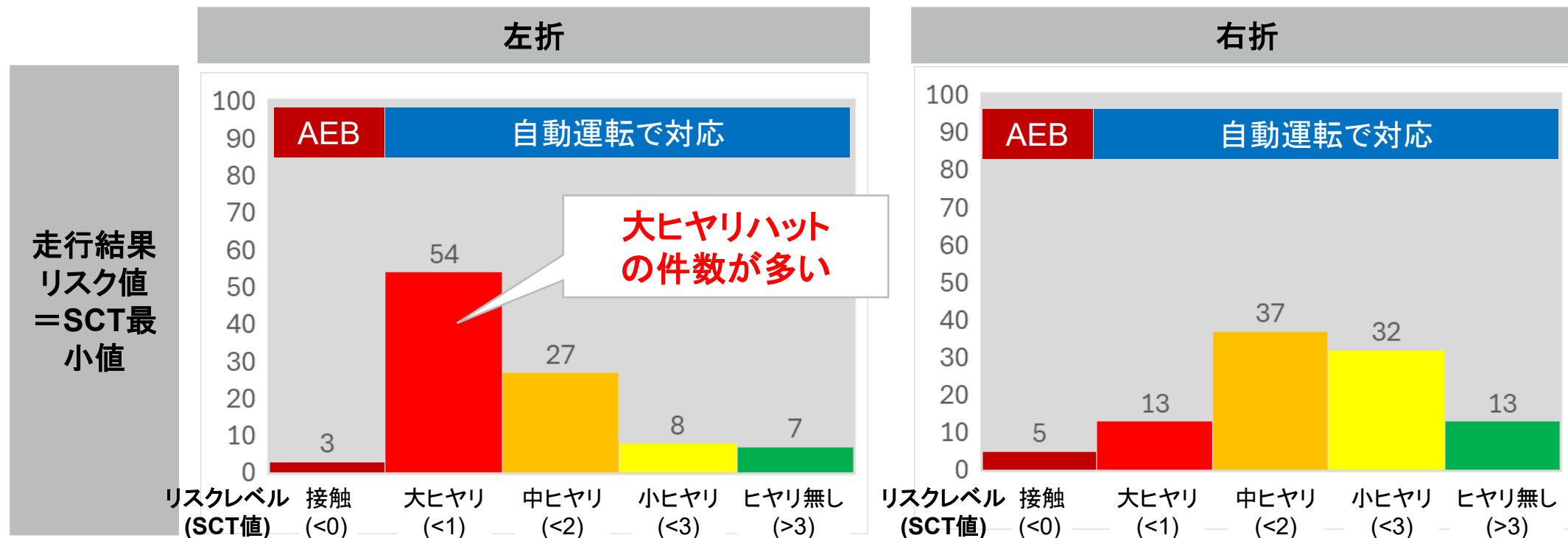
シナリオイメージ

交差点右左折時、遮蔽物による死角から歩行者が横断



シミュレーション結果としては、左折において大ヒヤリハット (SCT < 1.0sec) が半数をしめており、左折歩行者飛び出しがリスクのもっとも大きな要因である点を示した。

リスク分布 200シナリオの結果(大ヒヤリハット件数)



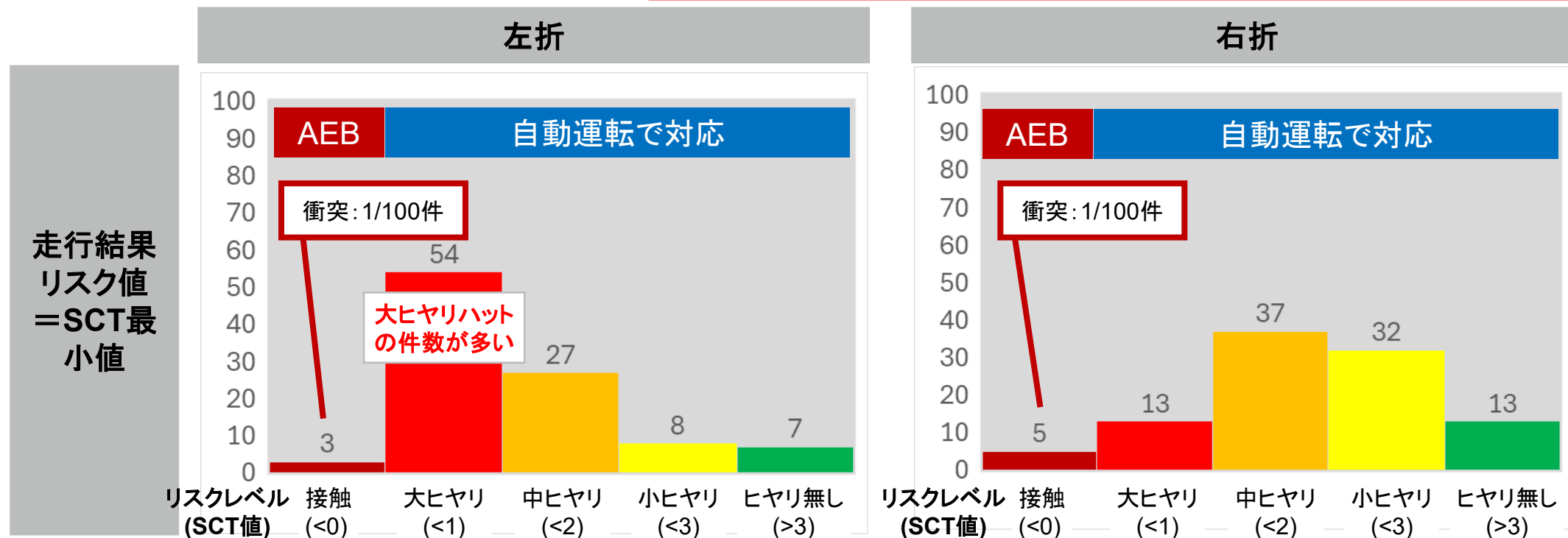
本結果は「1年間のバス走行回数」と「横浜並みの歩行者数」条件においてヒヤリハット発生頻度は約 50件/年



また右左折1件ずつの接触事故が発生しており、前述大ヒヤリハット発生頻度と合わせシステム機能改善(減速要求など)の検討に活用できる可能性がある。

本評価は横浜市街地相当の高交通量条件下で、かつ高リスクシナリオを抽出して実施しており、現実の交通環境よりも厳しい条件設定である。したがって、本結果は自動運転アルゴリズムの安全性の優劣や性能の良否を直接示すものではない。

リスク分布 200シナリオの結果(衝突件数)



走行結果
リスク値
=SCT最
小値

本結果は「1年間のバス走行回数」と「横浜並みの歩行者数」条件において事故2件に相当
→事故発生率は 2.2×10^{-4} であり、一般ドライバ事故率概算 1.0×10^{-5} より高い

テーマ(2)-2 ドライバ・歩行者行動モデルの研究

テーマ(2)-2 ドライバ・歩行者行動モデルの研究

3年間の計画と成果

実施テーマ

- ドライバ・歩行者行動モデルの研究

成果

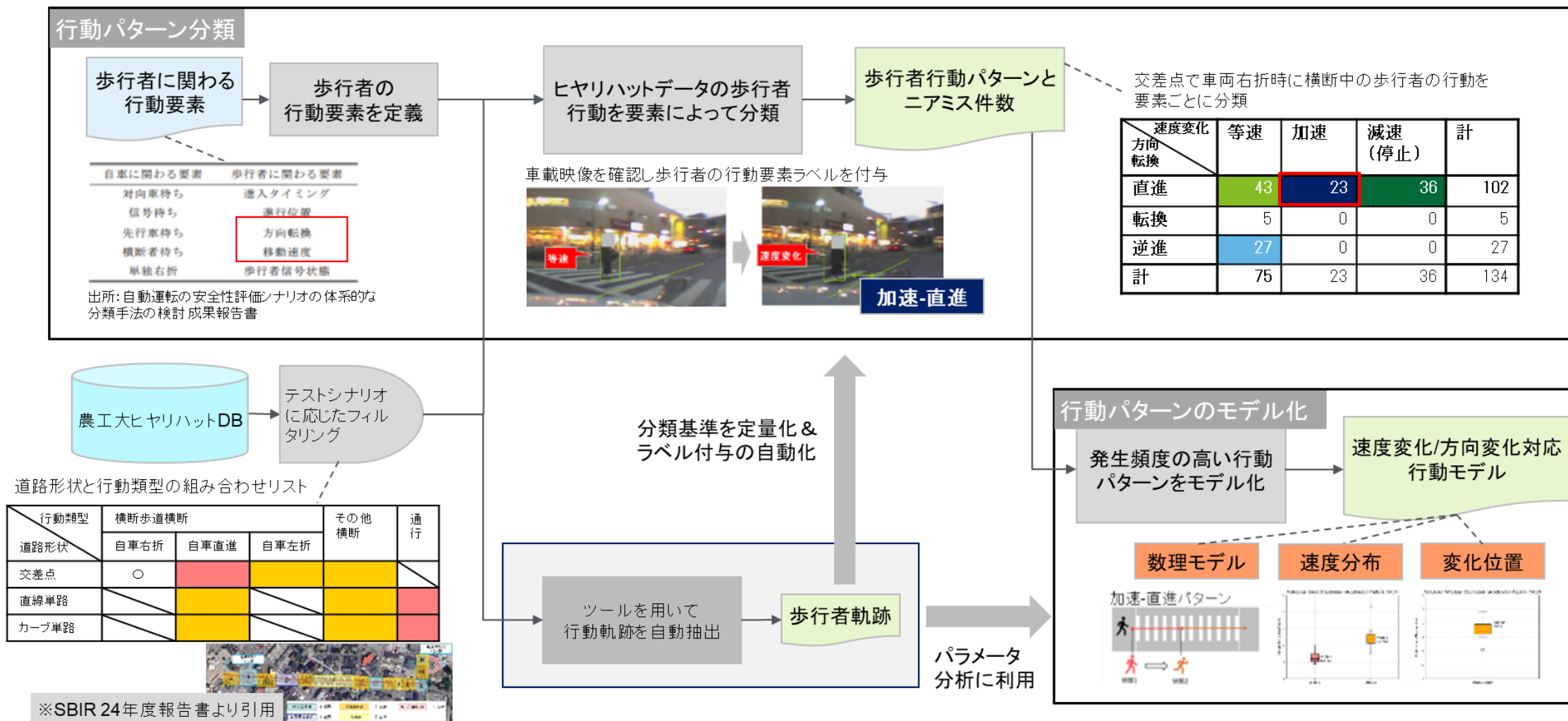
- 既存行動モデルのベンチマークと適用範囲整理(2023~2024年度)
- 車載映像による歩行者軌跡推定・横断挙動モデル化の基礎枠組みを構築
 - ・ 単純横断(直交・等速)についてはモデル精度は十分
 - ・ 基礎的な推定・モデル構築のパイプラインを確立
- 歩行者モデルをテーマ(3)-1の交通流シミュレーションにて利用

- 所感(課題)
- 車載映像からの軌跡推定を可能にしたことで横断歩行者のモデルを提案出来た。
- 今後さらにヒヤリハットDB等の拡充によるモデルの精緻化に発展すると考えている

テーマ(2)-2 ドライバ・歩行者行動モデルの研究 取り組み概要

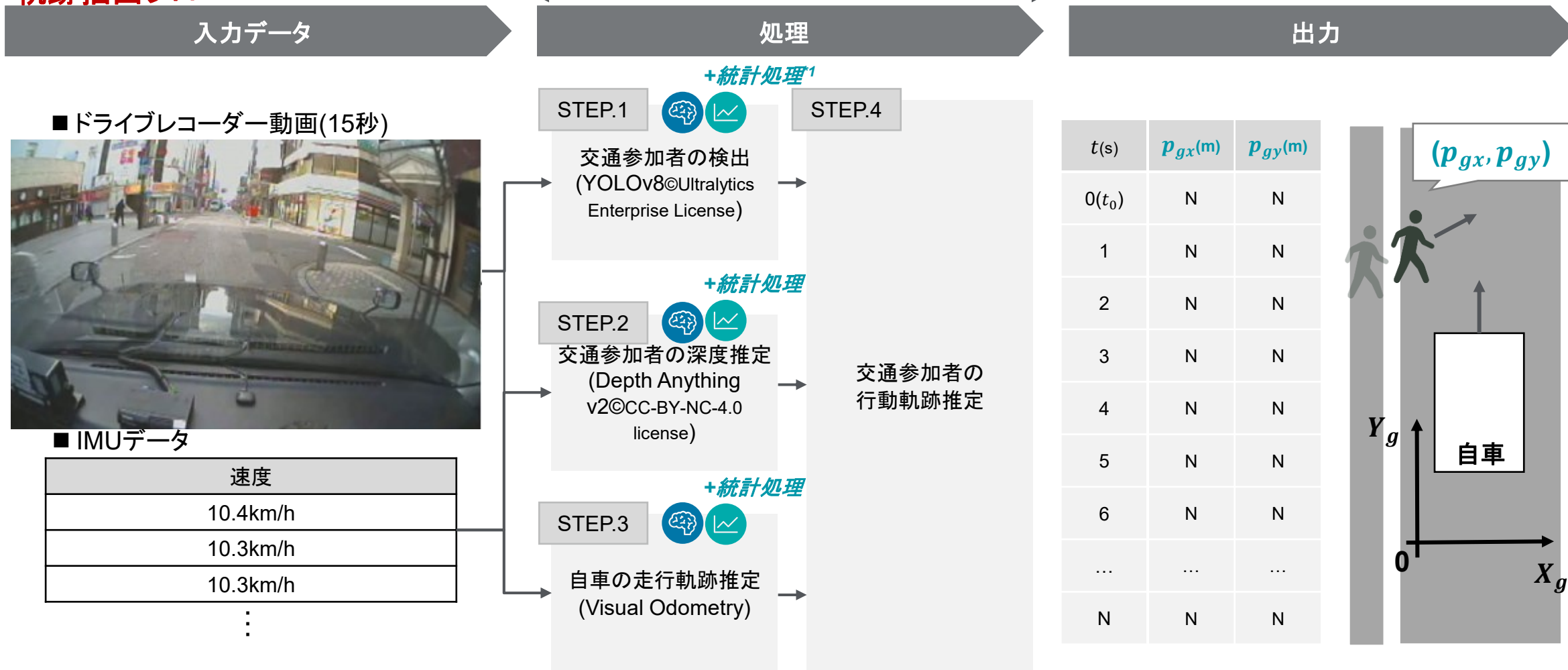
安全性評価シミュレーションを行うために、交通弱者の行動※をモデル化する

※行動文脈



車載前方カメラ映像からのニアミス歩行者軌跡抽出

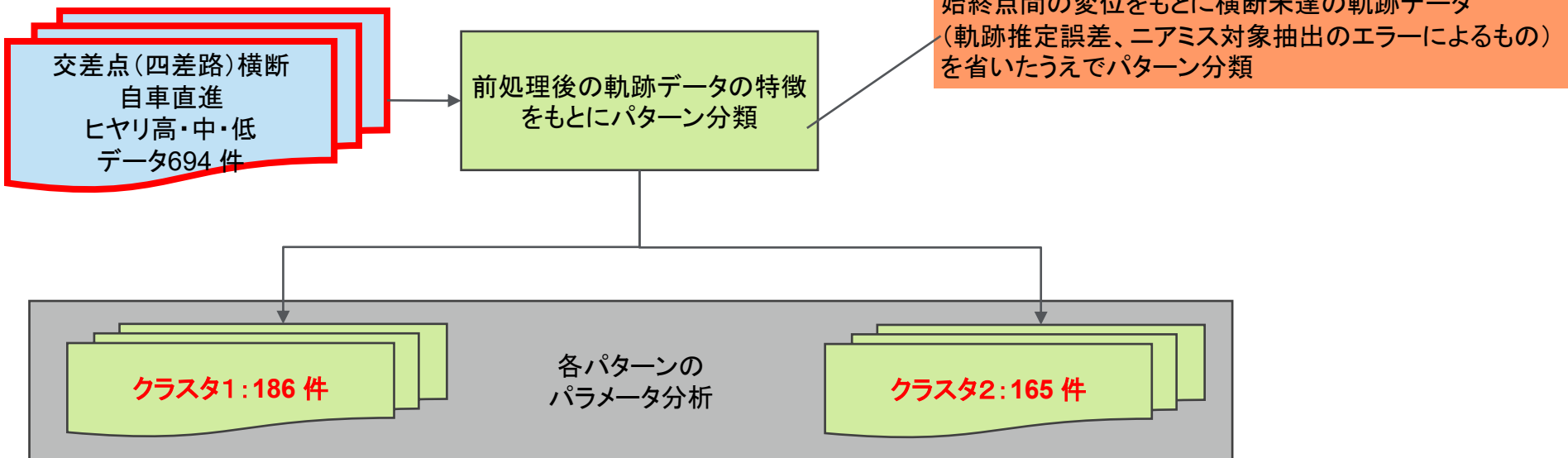
軌跡抽出フロー



* 1: オフライン処理として実施。前回までの処理15秒に加えて、新たに追加5秒必要

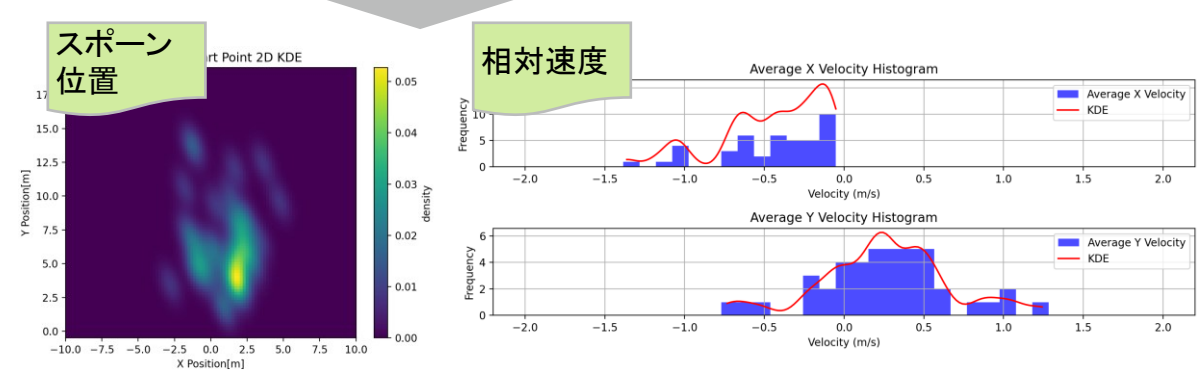
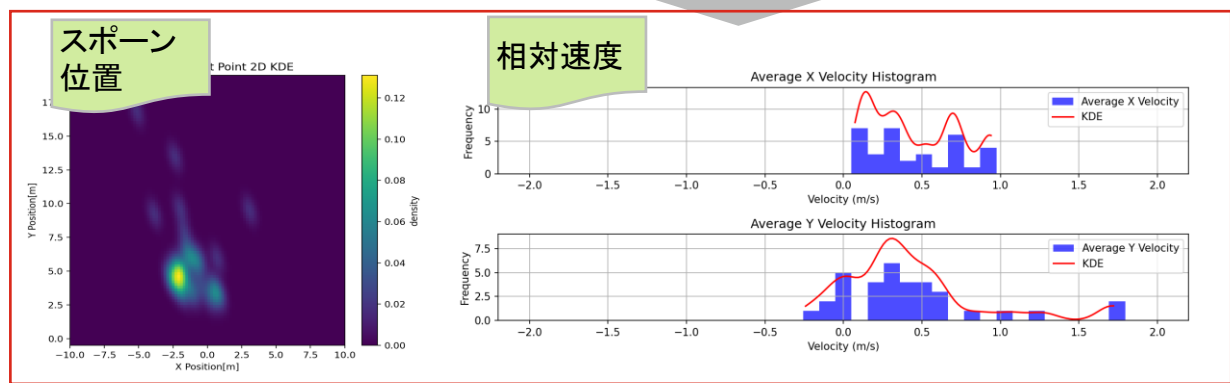
モデル開発： 軌跡データをクラスタリングしてパターン分類

各パターンの軌跡データからパラメータ分布を算出



ラベルによる
仕分け

軌跡データに
よる仕分け

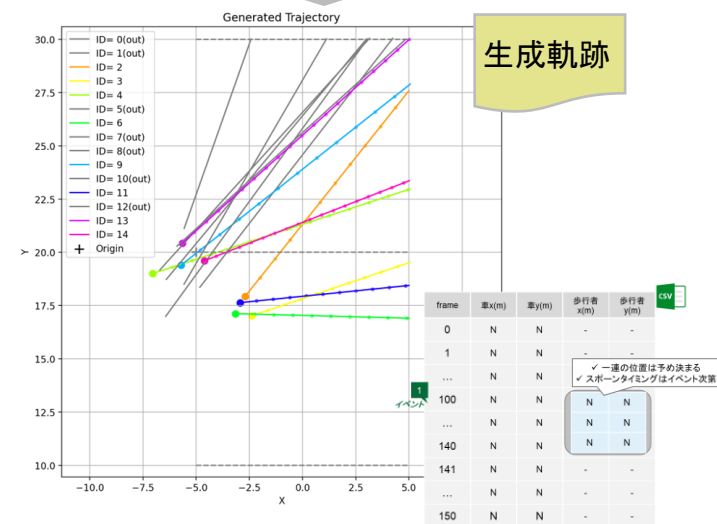
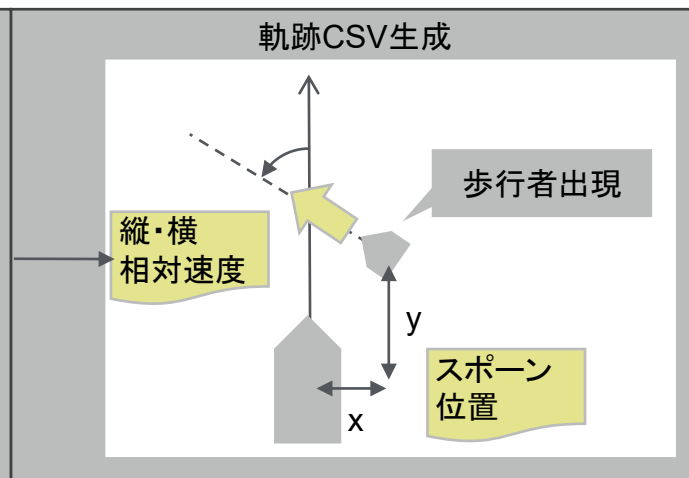
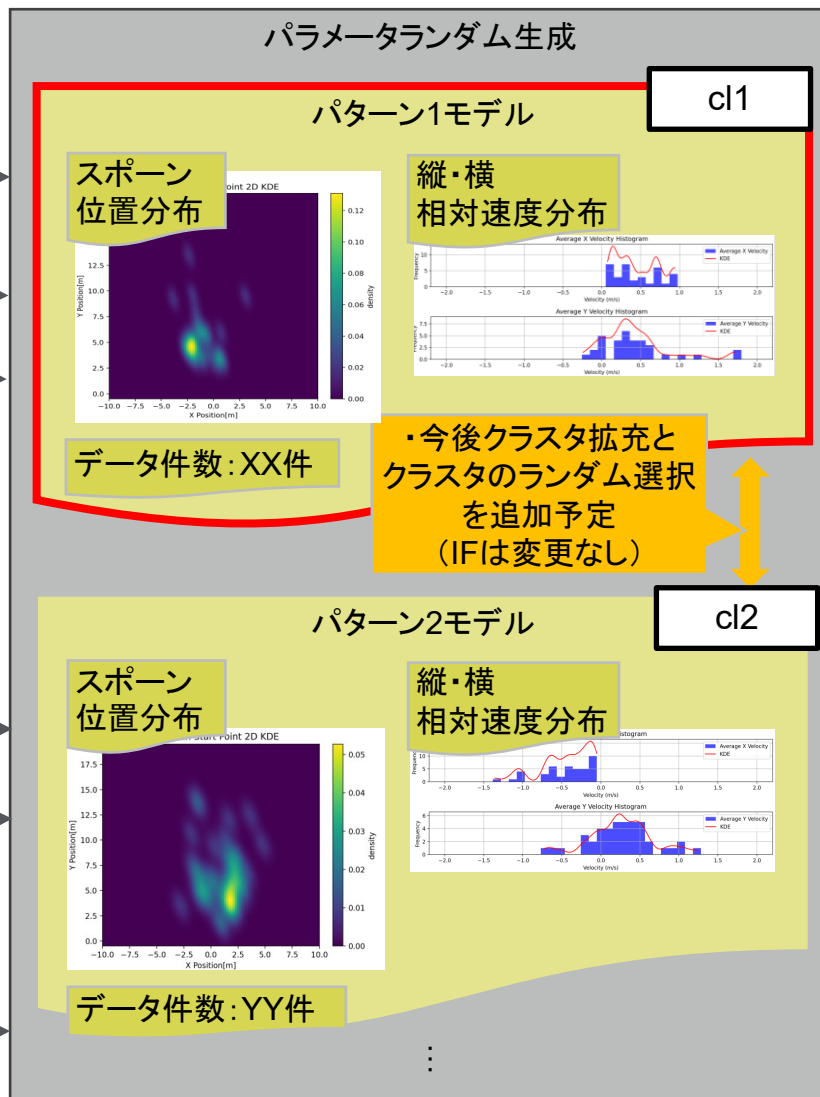
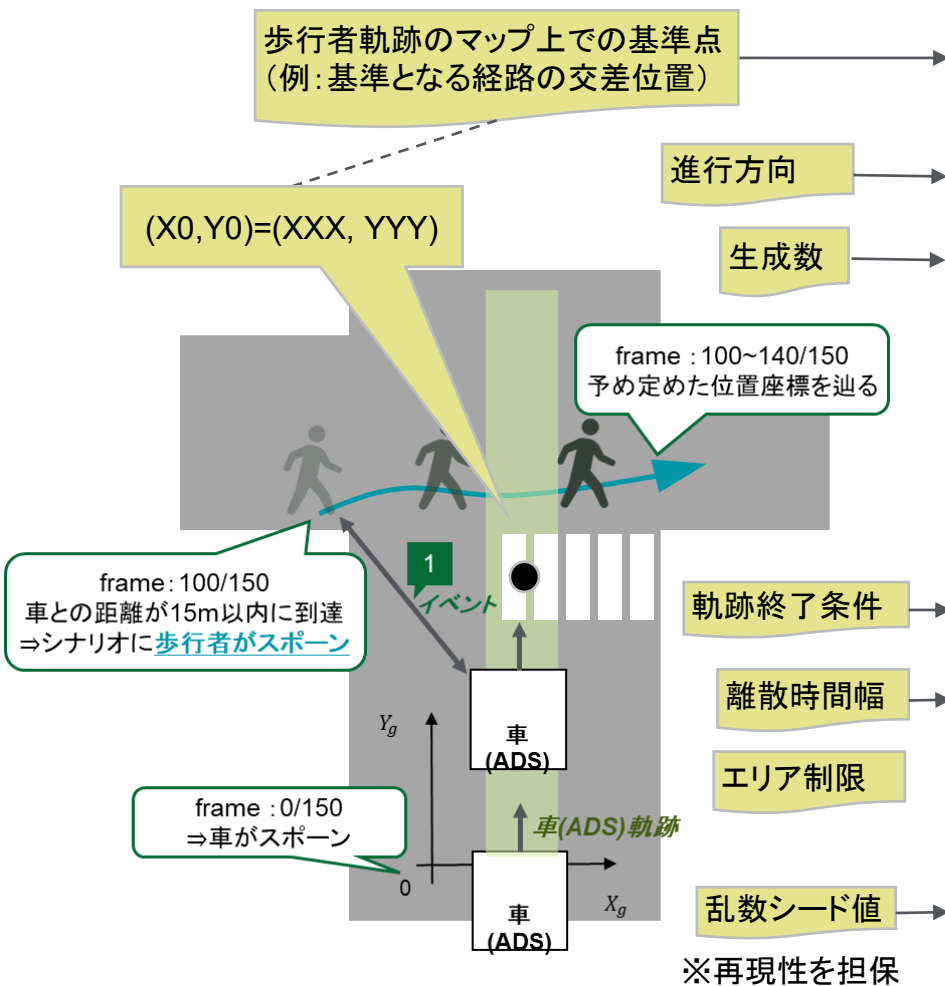


パターン1モデル
(kde_model.pkl)

モデル活用例：各クラスターで分析したパラメータ分布をもとに軌跡を生成する

PedTrajGen.py

軌跡生成プログラム概要



モデル評価

軌跡モデルの妥当性を検証

■ 評価対象： 左方向から横断してきた歩行者186件

■ 評価尺度：

- ADE (Average Displacement Error)
- FDE (Final Displacement Error)

■ 評価結果：

ADEの平均値は0.587m、中央値は0.464m
誤差分布は全体として0.1~0.5m付近に集中

FDEの平均値は0.544m、中央値は0.202m
誤差分布は0.1~0.2m付近に集中

実環境データに対して0.5 m程度の平均誤差で軌跡を再現可能

■ ADEが小さいケース(右図Q1)

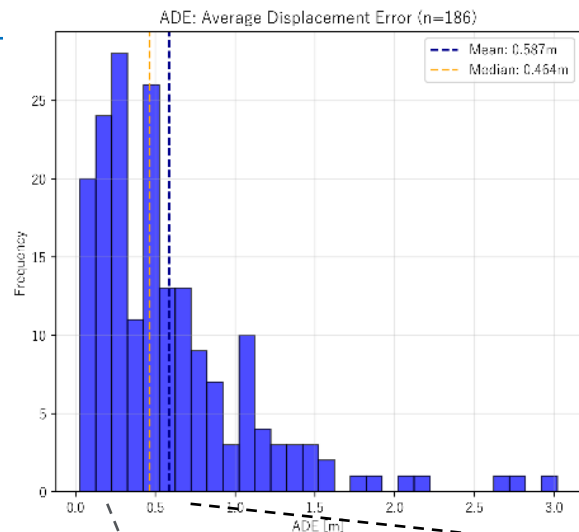
→ 短時間・直線的な横断動作の再現において有効

■ ADEの大きいケース(右図Q3)

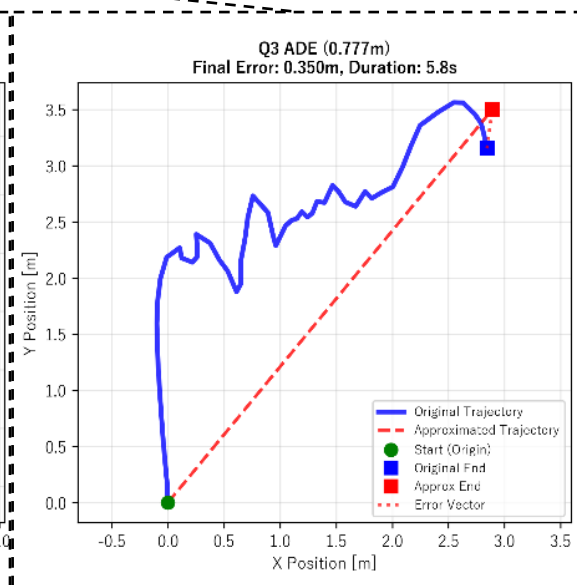
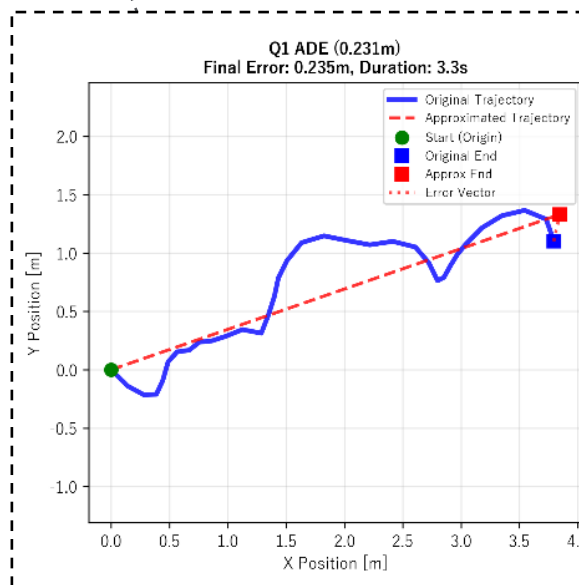
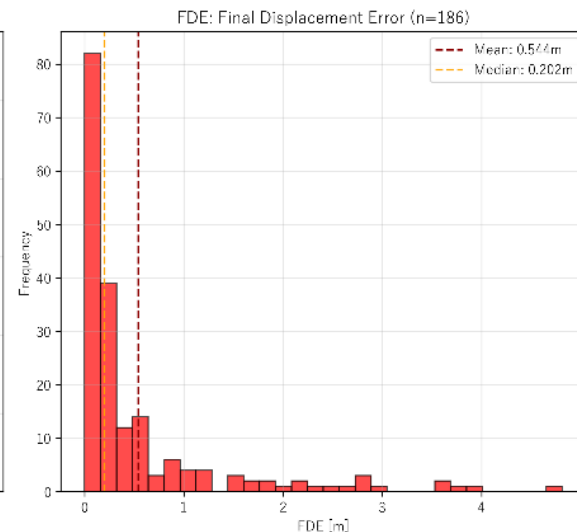
→ 軌跡が湾曲していると再現できない

回避行動や方向変化を含む複雑な挙動には拡張が必要

ADE (全体的な形状の再現度)



FDE (横断の終点位置に対する一緻度)



まとめ

2023～2025年度で歩行者軌跡推定・横断挙動モデル化の基礎枠組みを構築

- 既存行動モデルのベンチマークと適用範囲整理(～2024年度)
- 2025年度:車載映像による歩行者軌跡推定・横断挙動モデル化の基礎枠組みを構築
 - 単純横断(直交・等速)についてはモデル精度は十分
 - 基礎的な推定・モデル構築のパイプラインを確立
- 歩行者モデルについてはテーマ(3)-1の交通流シミュレーションにて利用

課題

- 推定軌跡データの精度検証が不十分
- はみ出し・急旋回・加減速など短時間で変化する挙動の再現に限界
- 改善方策
 - ① カメラパラメータ自動キャリブレーションで座標精度向上
 - ② 複数視点(定点カメラ等)導入で観測精度拡張
 - ③ 軌跡推定アルゴリズム高度化／強化学習の適用

今後の方向性

- 農工大の映像解析・軌跡DB研究と連携
- L4法規要件PJや他機関の高度安全運転支援研究へ展開

研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

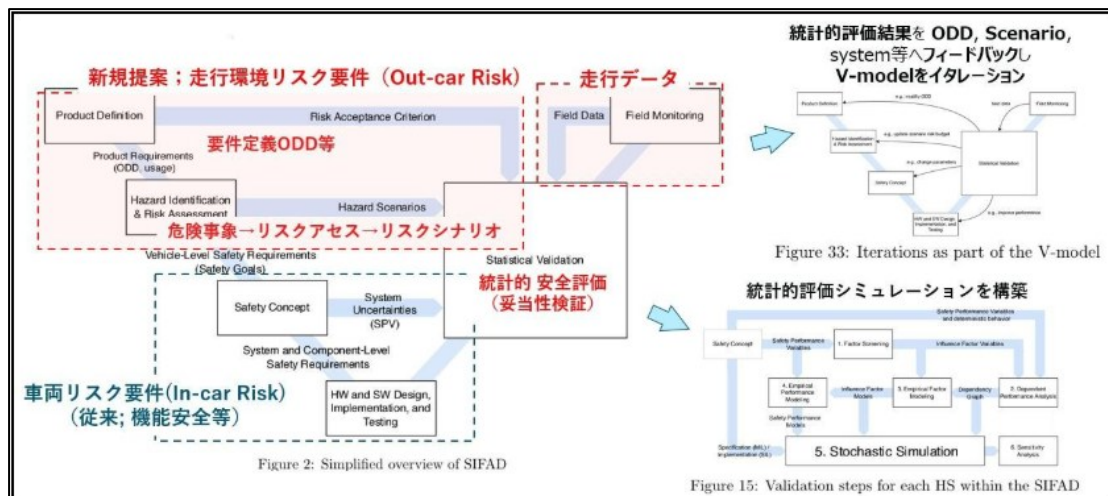
(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

センサ弱点事象の特定と事象の拡張

リスクシナリオの動向

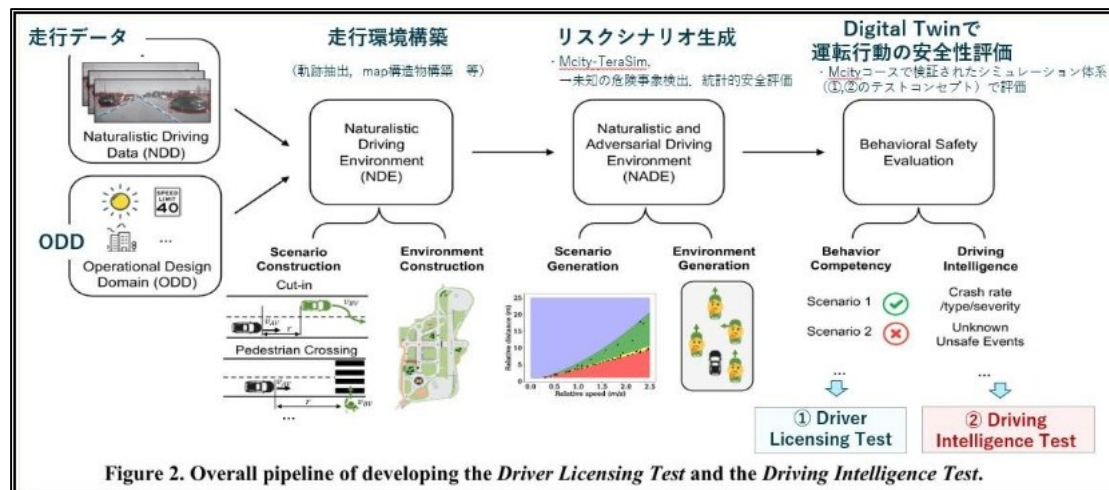
自動運転の安全性評価に際しては、ODD要件を満たすシナリオや環境モデルが重要となる。環境モデルは精緻なセンサーシミュレーションが可能となる属性を格納できる標準化がキーとなり、シナリオ生成に際しては、車両リスク要件やJAMA等の定型化されたシナリオに加えて、走行環境リスクを含ませたリスクシナリオとする必要がある。

この考えはDIVPのみならず、BMWやM-City等からも同様な提案がされており、ADSの安全性評価には必須要件となりつつある。



引用: Moritz Werling, et.al., Safety Integrity Framework for Automated Driving, 26 March 2025, BMW White paper

BMW提案のSafety Integrity Framework for Automated Driving



引用: Henry X. Liu, et.al., Behavioral Safety Assessment towards Large-scale Deployment of Autonomous Vehicles, May 2025, Haowei Sun, Henry X. Liu, et.al., TeraSim: Uncovering Unknown Unsafe Events for Autonomous Vehicles through Generative Simulation, March 2025

M-City提案のDriver Licensing Test/Driving Intelligence Test

DIVPでは、リスクを含むニアミスFOTデータ等を基に、AIを用いてリスク情報を抽出したリスクデータベースを構築。そのデータベースからODD要件を満たすリスク情報を検索、さらに交通流リスク等の不確定リスクを加えてリスクシナリオを生成し安全性評価に繋げた。

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

(3).センサ弱点DBの構築と、弱点シナリオモデル生成の自動化技術

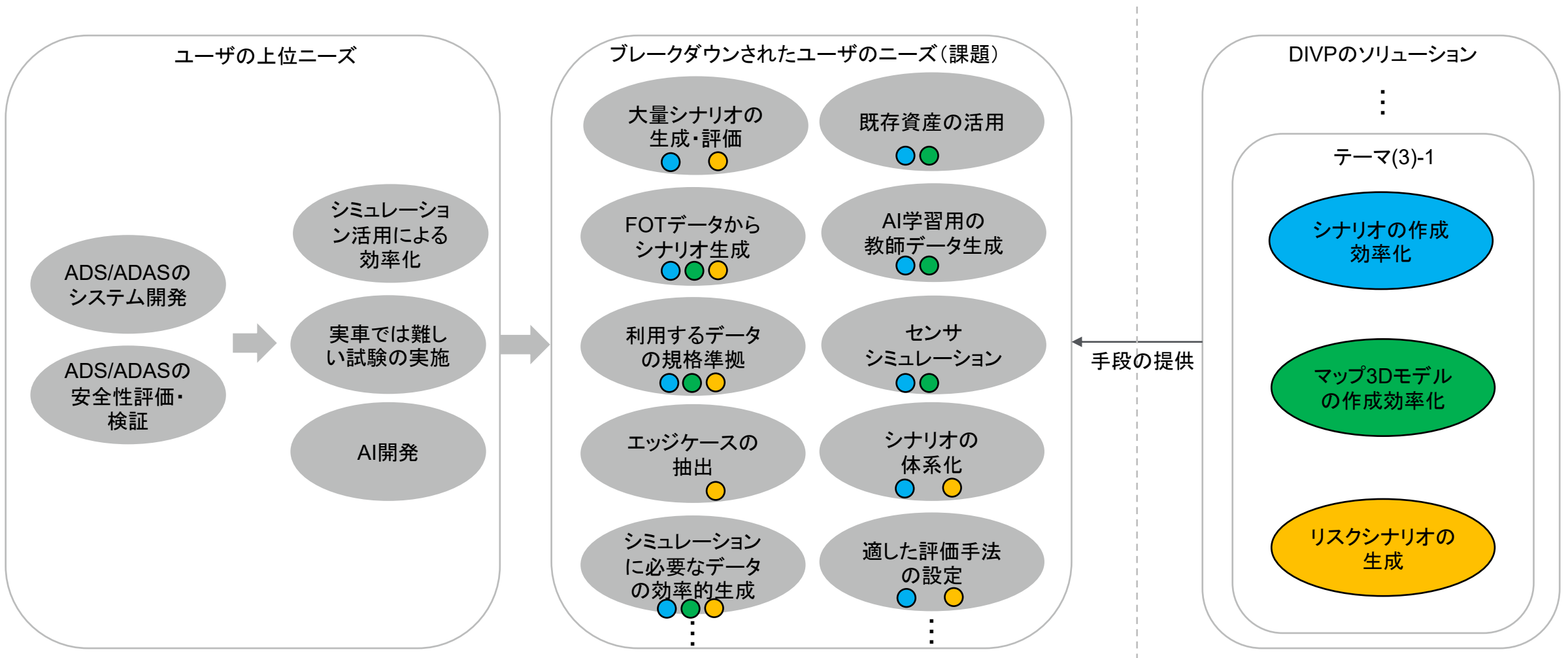
3-1.センサ弱点事象の拡張とDB化 成果報告

3年間の計画と成果

実施テーマ	成果	成果物
■ 外部データから具体シナリオ生成	<ul style="list-style-type: none">■ 外部データ活用効率化のため、外部データソース(FOTデータ、外部シナリオ)から多数のシナリオを生成する機能を開発した■ 開発したシナリオ生成機能を用いて、各地域実証実験に対し、必要な大量のシナリオを生成し、適用した	<ul style="list-style-type: none">■ SDMGシナリオ作成機能の追加機能(ソフトウェア) 緯度経度による車両走行軌跡の具体シナリオ化機能、外部の具体シナリオに対して、センサシミュレーションに必要な情報の自動付加機能、多数の具体シナリオの一括生成機能、DIVPマテリアルに対応したシナリオレビューの描画高機能化
■ リスクシナリオ生成	<ul style="list-style-type: none">■ リスクシナリオ生成に関して、交通流シナリオ生成から安全余裕度SCTを用いて、リスクシナリオを抽出する流れを構築した。	<ul style="list-style-type: none">■ 交通流シナリオ生成環境(ソフトウェア)■ SCT計算機能(SDMGシナリオ作成機能の一機能として追加、ソフトウェア)
■ マップ3Dモデル作成効率化	<ul style="list-style-type: none">■ OpenStreetMapやPLATEAUといった地図データ/オープンデータを活用し、道路ネットワークや3Dモデルを効率的に作成する仕組みを構築した■ カメラ、レーザースキャナ、MMSなどの計測機器から取得したデータを活用し、シミュレーション用の3Dモデルを効率的に作成できるかを検証した■ 上記の成果により、マップ3Dモデルの作成時間を約4割短縮した	<ul style="list-style-type: none">■ SDMG環境モデル作成機能の追加機能(ソフトウェア) OpenStreetMap⇒OpenDRIVE変換機能、OpenDRIVE⇒マップ3Dモデル変換機能、シミュレーション用情報(信号現示、ライト、マテリアル、OSI等)の付与機能、路面標示作成機能、PLATEAU取り込み機能、交差点生成機能強化、OpenDRIVE/FBX取り込み時のツールチェーン能力強化
■ 地域実証実験に使用するアセット構築	<ul style="list-style-type: none">■ 塩尻市の自動運転バス走行ルート、JARI V2X市街地、Mcity、高速道路での作業車・作業員などのマップ3Dモデルおよび物標アセットを構築し、地域実証実験でのシミュレーションを可能とした	<ul style="list-style-type: none">■ 塩尻市の自動運転バス走行ルート、JARI V2X市街地、Mcity、高速道路での作業車・作業員などのマップ3Dモデルおよび物標アセット(OpenDRIVE、FBX、その他DIVP PFに用いる各種シミュレーション用データ)

テーマ(3)-1では、多様なデータの活用効率化を行い、ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なデータ生成を行い、仮想空間における効率的な安全性評価に貢献

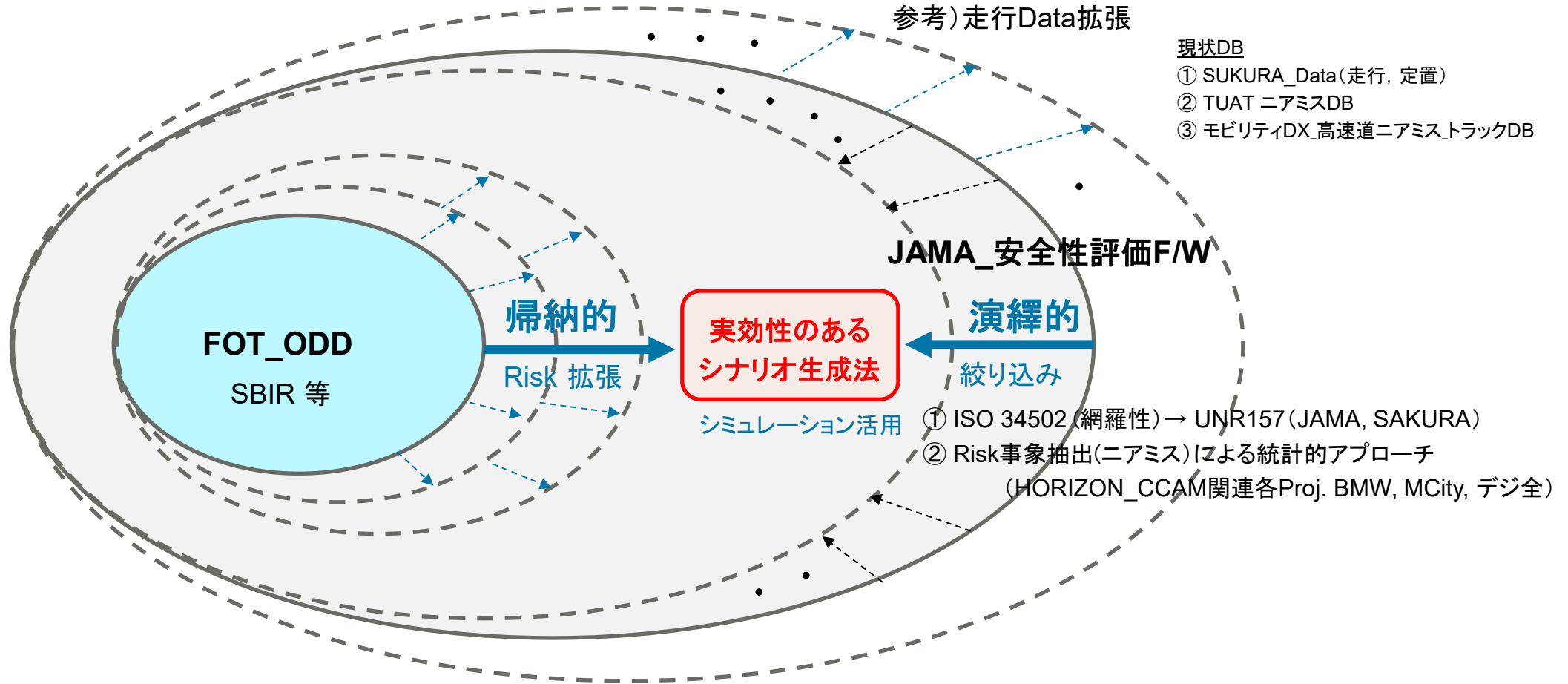
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化



※各ニーズの下に示した丸の色が
テーマ(3)-1の各項目との対応を示している

ODDからの要件に沿ったリスクシナリオを自動／半自動で生成するシステムの研究 【安全性評価が可能となるシミュレーションシナリオとは】

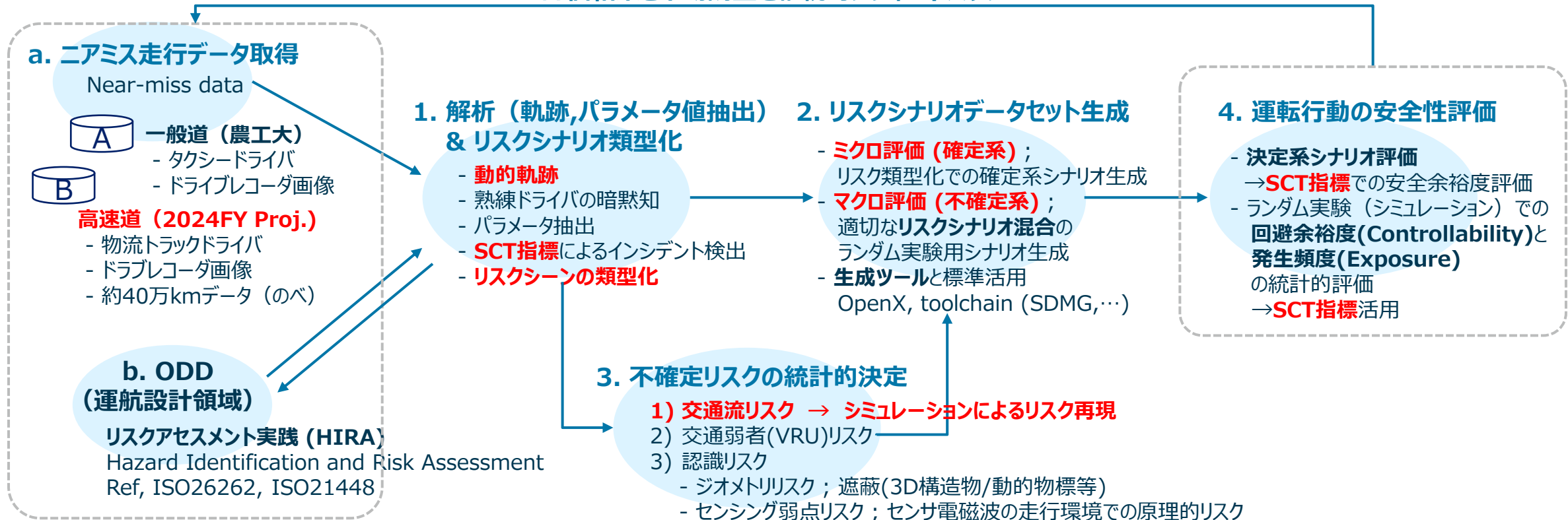
実効性のある安全性評価に向け、演繹的・帰納的の両面の連携が重要



リスクシナリオ生成のパイプラインと2nd stage評価（回避可能性）

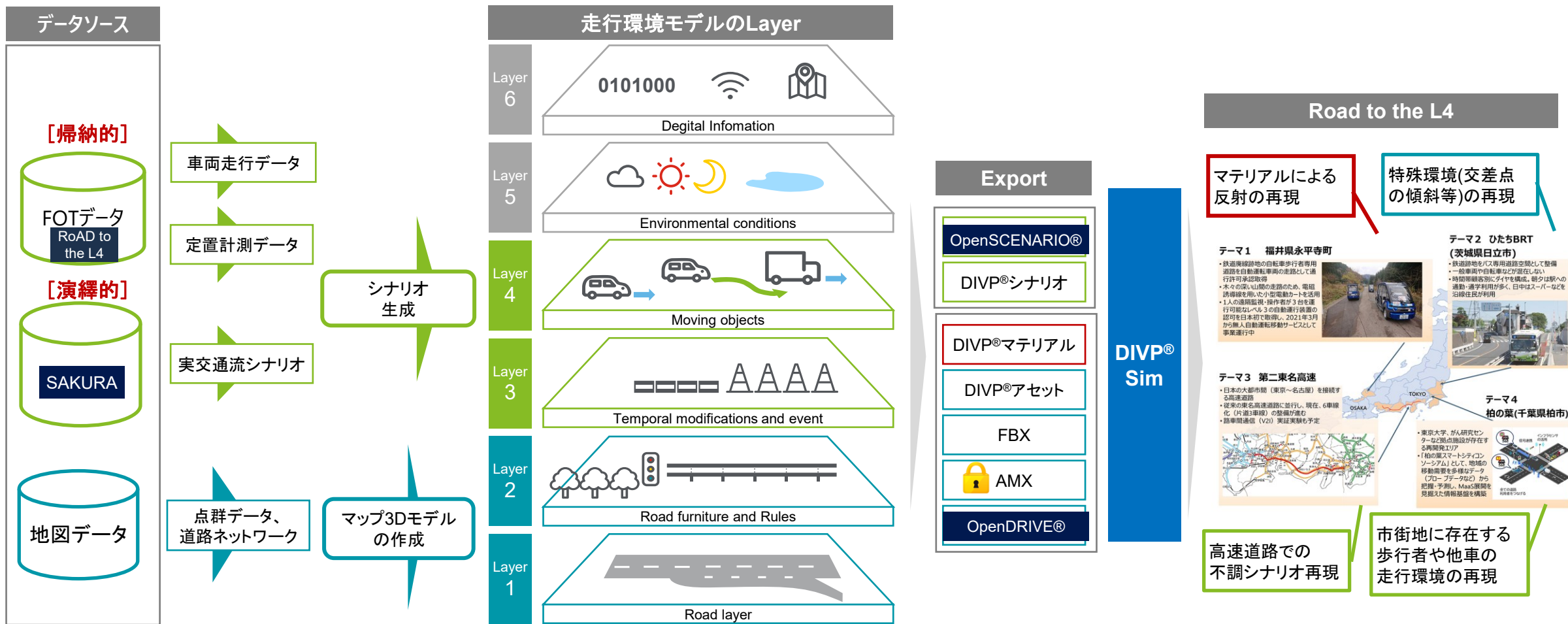
- ① 人間ドライバー主観から危険と感じた場面を収集したニアミスデータソースが特徴.
- ② このデータ群のカメラ画像から自車および他車の軌跡を抽出し、統計的パラメータデータを生成.
- ③ 更に、自動運転車の走行挙動を評価するため、新たなSCT（安全クッション時間）指標を考案.
→ヒヤリハット相当の危険度レベルとその発生頻度に対する安全マージンの定量的な評価に活用可能.

5. 評価結果と市場調査を継続的にフィードバック



多様なデータの活用効率化を行い、ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なデータ生成を行い、仮想空間における効率的な安全性評価に貢献

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化



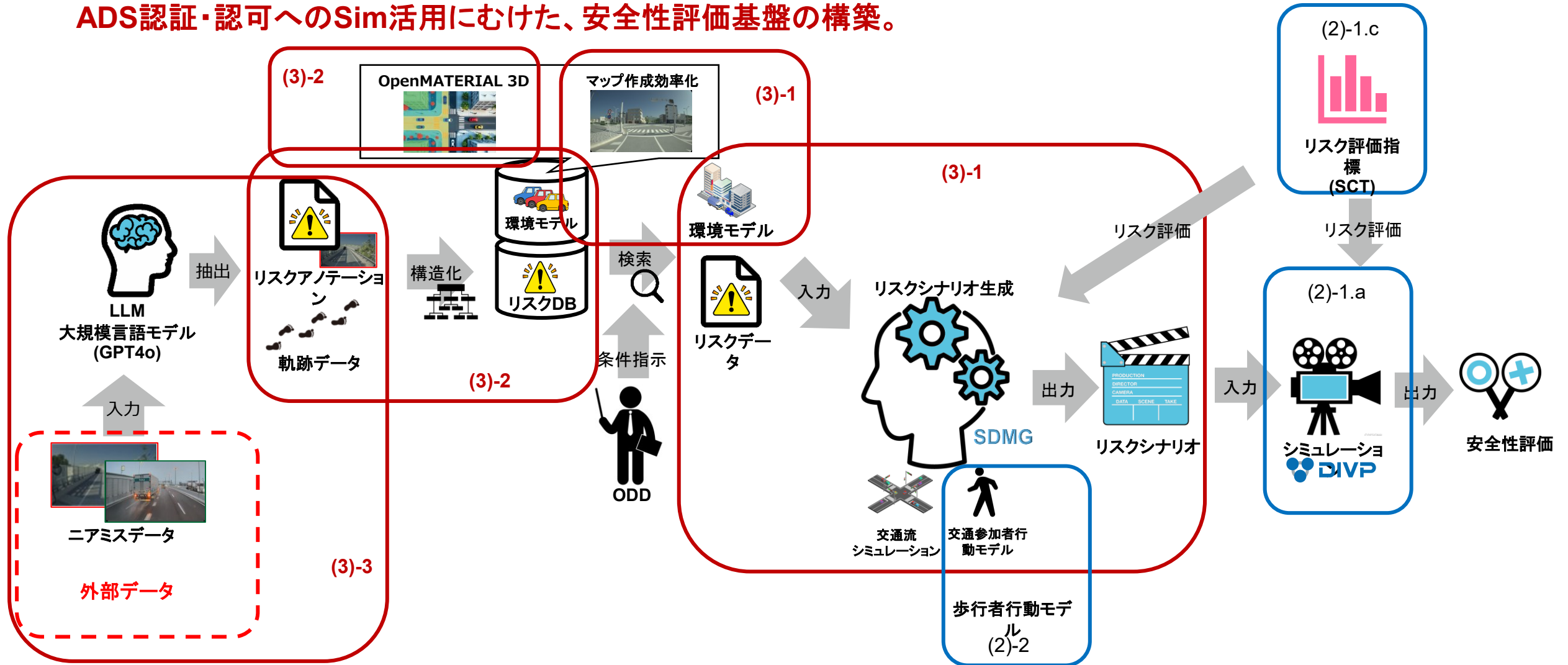
ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なデータ生成を効果的に行い仮想空間における効率的な安全性評価に貢献

引用:三菱プレジジョン株式会社



ODDからの要件に沿ったリスクシナリオを自動／半自動で生成するシステムの研究 (ランダムなリスクシナリオ生成)

ADS認証・認可へのSim活用に向けた、安全性評価基盤の構築。



(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

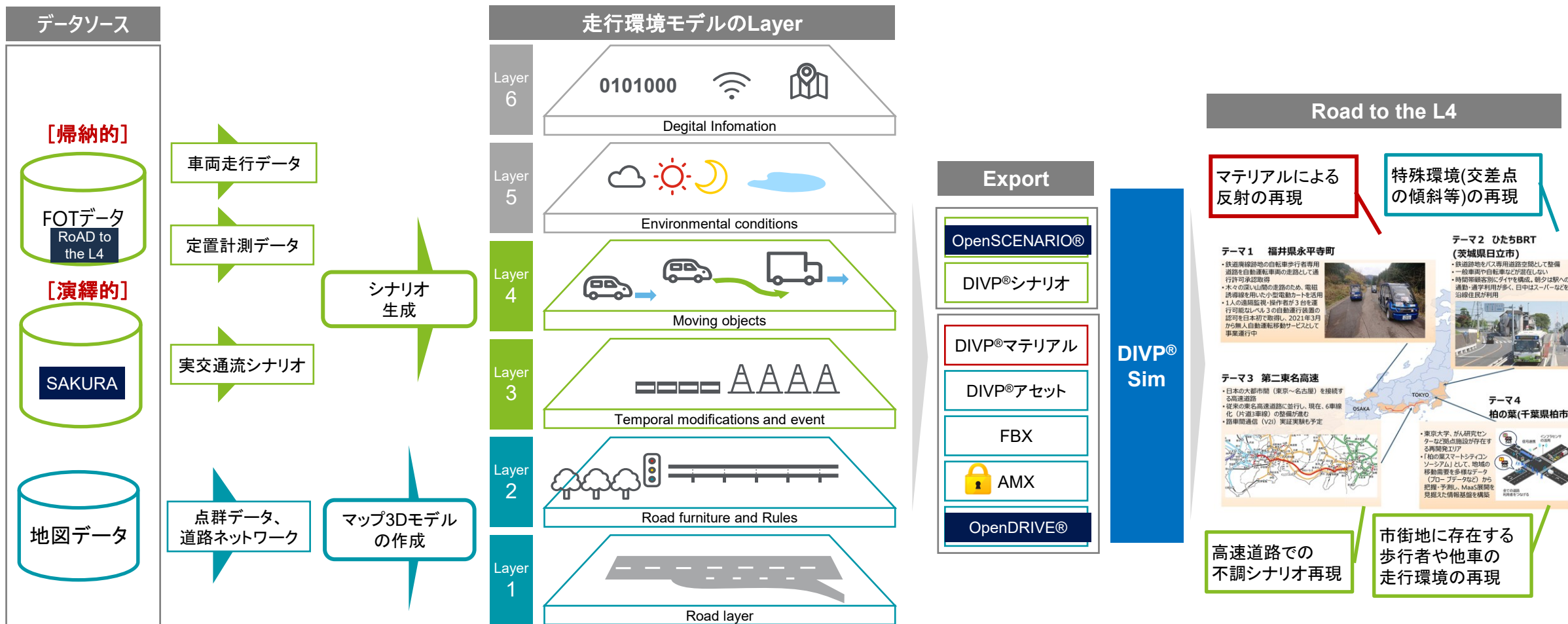
- 外部データから具体シナリオ生成
- リスクシナリオ生成
- マップ3Dモデル作成効率化
- 地域実証実験に使用するアセット構築

(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

多様なデータの活用効率化を行い、ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なデータ生成を行い、仮想空間における効率的な安全性評価に貢献

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化



ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なデータ生成を効果的に行い仮想空間における効率的な安全性評価に貢献

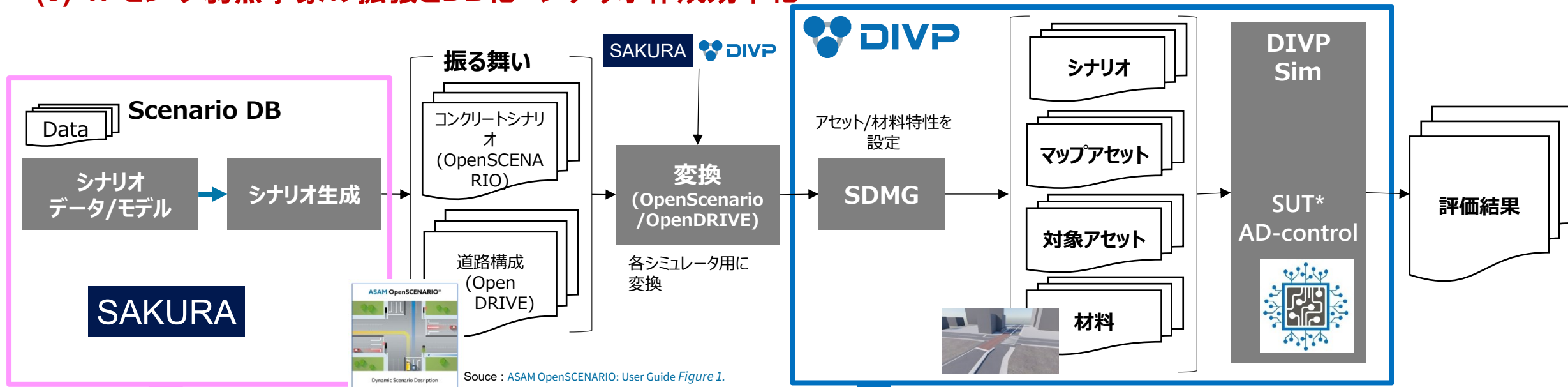
FOTデータ活用のため、車両走行データ(FOTデータ)をシミュレーションツールで読み込み可能な形に変換する環境を構築した

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化



Scenario DBから出力されるコンクリートシナリオ(OpenSCENARIO)に対し、アセットや材料特性、センサ情報等を自動付加し、シミュレーション実行可能とした

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化



交差点通過の安全性評価範囲 / 基準案の具体化

実交通流データ分析に基づき、交差車のふるまいについて定量的な範囲を定義し、交差点における安全性評価用シナリオを具体化した

自動車・交差車のふるまいの定量的な範囲定義

分類	項目	値	対応値
自動車	進行方向	北上、南下	2
	速度 [km/h]	0(停車) ~ 10	1
自転車	進行方向	自動車道で左から、右から	2
	速度 [km/h]	40, 47, 64	3
距離 [m]	PETCによって決定	-	-
	PETC [s]	4.0 ~ 2.0 (0.5秒刻)	17
色	白、黒、黄、青線、赤	-	5
	日時	12月	3
環境	10:30, 13:00, 15:40	-	-
	天候	晴れ、曇り、雨	3

OpenSCENARIOにはセンサ情報がないため、SDMGにて車両にセンサを自動配置する機能を開発

センサ配置情報の登録

センサー配置情報の編集/表示

センサー配置情報の車両への自動適用

センサー情報の編集/表示

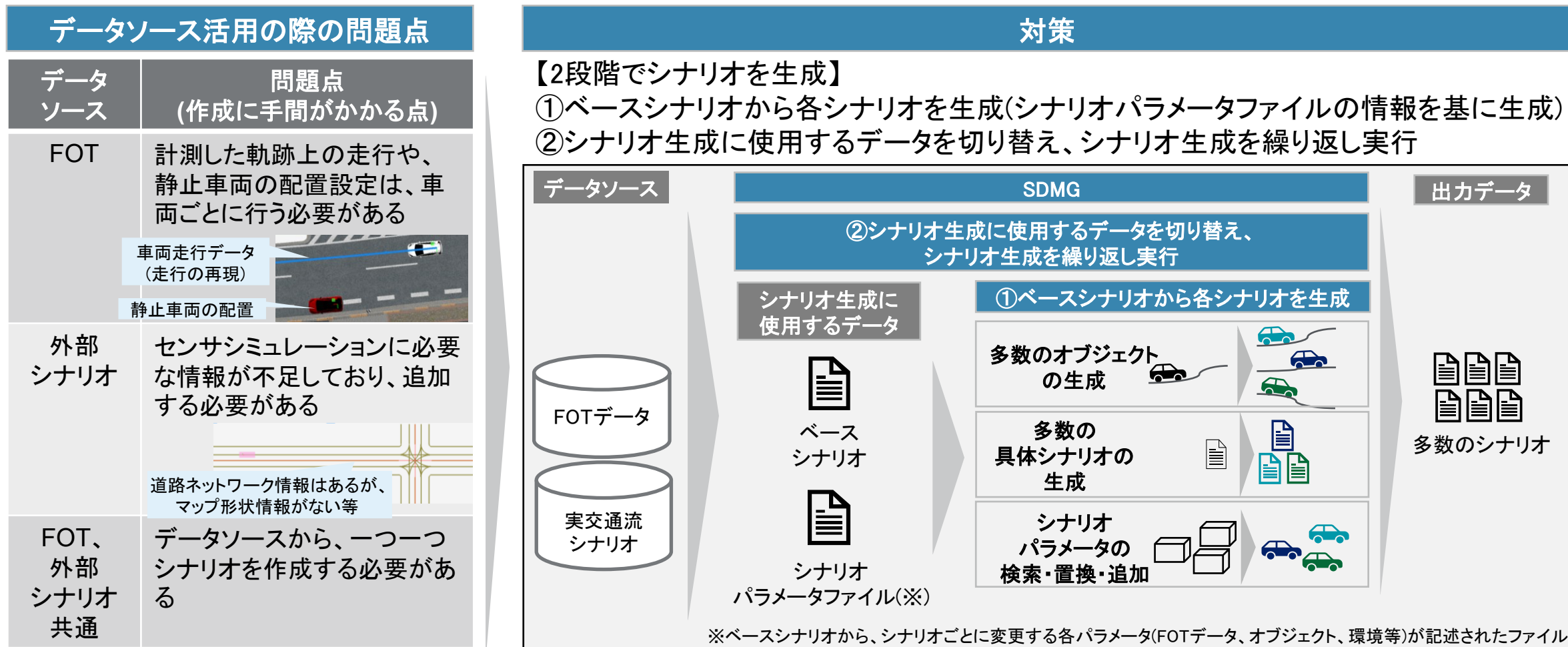
登録した情報のインポート/エクスポート

外部生成シナリオに対し、センサシミュレーションに欠かせない情報を自動的に付加する環境を構築した

引用: SAKURA、DIVP、三菱プレジジョン

データソース(FOTデータ、外部シナリオ)からシミュレーションを効率的に実施するため、シナリオ生成の効率化が必要となる

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

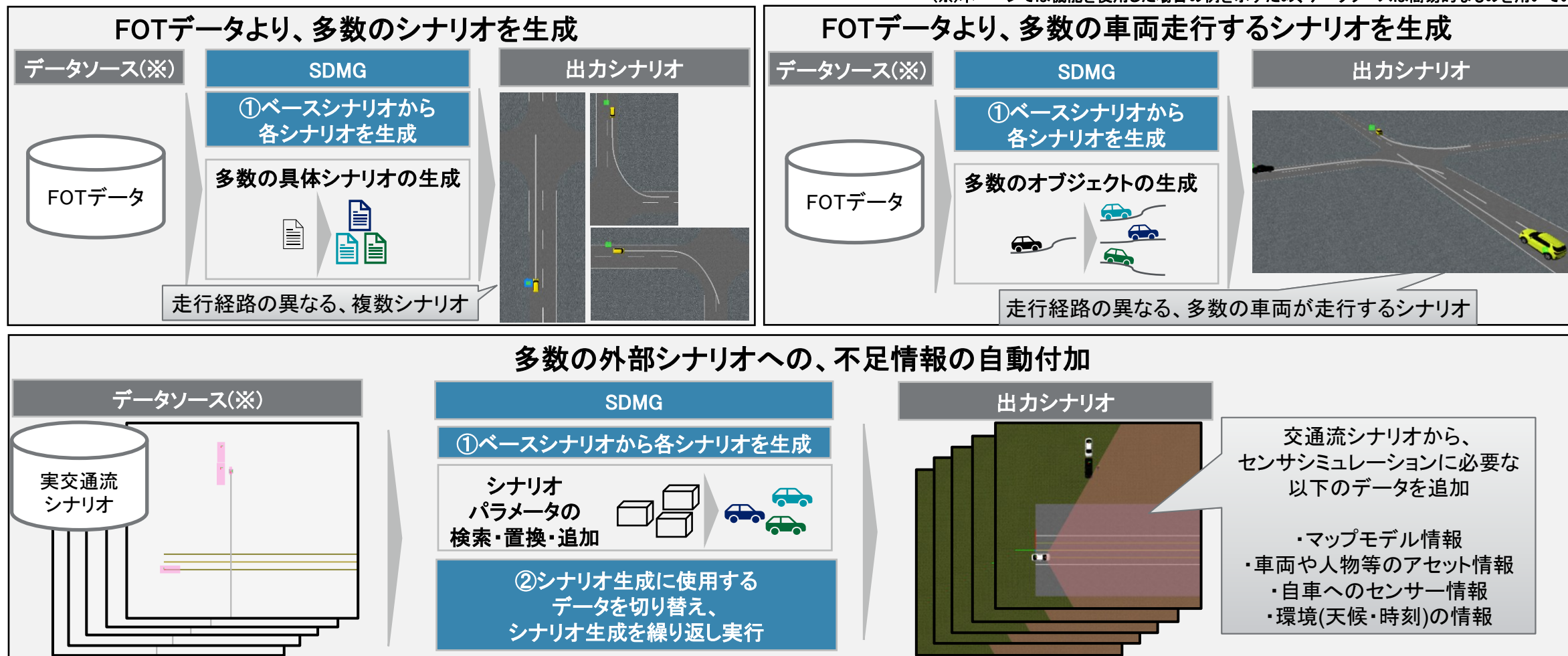


大量のデータソースから多数のシナリオを効率的に生成する環境の作成を行った

データソース(FOTデータ、外部シナリオ)からシナリオを効率的に生成する環境について、実行した場合の基本例を示している

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

(※)本ページでは機能を使用した場合の例を示すため、データソースは簡易的なものを用いている



シナリオ作成機能効率化環境の確認を行い、SDMG(製品)へ適用した

作成したシナリオが想定通りかどうか効率的に確認するため、シナリオ確認環境の拡張を行った

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

【シナリオ作成機能】

- ①シナリオの編集
- ②シナリオの俯瞰表示
- ③センサ可視/照射範囲図示

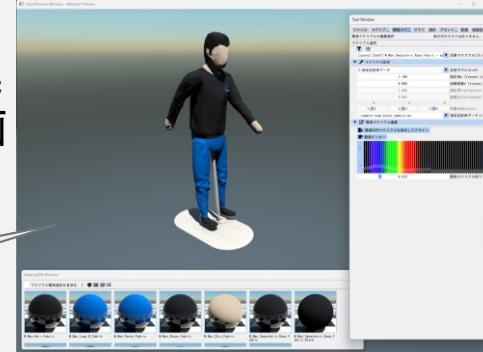
インタラクティブにシナリオを編集、確認が可能



【アセット編集機能】

- ①マテリアル置換テーブル編集
- ②DIVPマテリアルに基づく描画
- ③アセット制御状態の模擬

DIVPのマテリアルを利用しつつインタラクティブなGUIで編集が可能



アセット編集機能の描画部分をシナリオ編集から利用可能に

【高機能化シナリオプレビュー】

- ①従来のシナリオ編集機能から呼出
- ②レイトレーシングによる描画



時刻変更の例



変更中のパラメータを写實的に即時確認



センサー視点

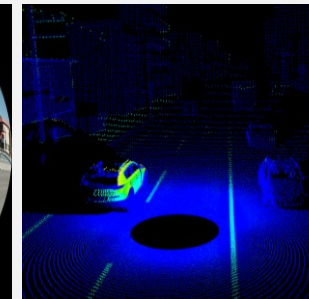


俯瞰視点

センサ視点/俯瞰視点の映像を写實的に即時確認



魚眼射影系への対応



シーンのメタ情報出力

レイトレーシングを活用した情報生成

シミュレーション時に近い映像で、事前のシナリオ確認を可能とした

シナリオ作成効率化機能適用により、センサ認識性能評価やADシステム安全性評価を具体シナリオ化する流れについて示している

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

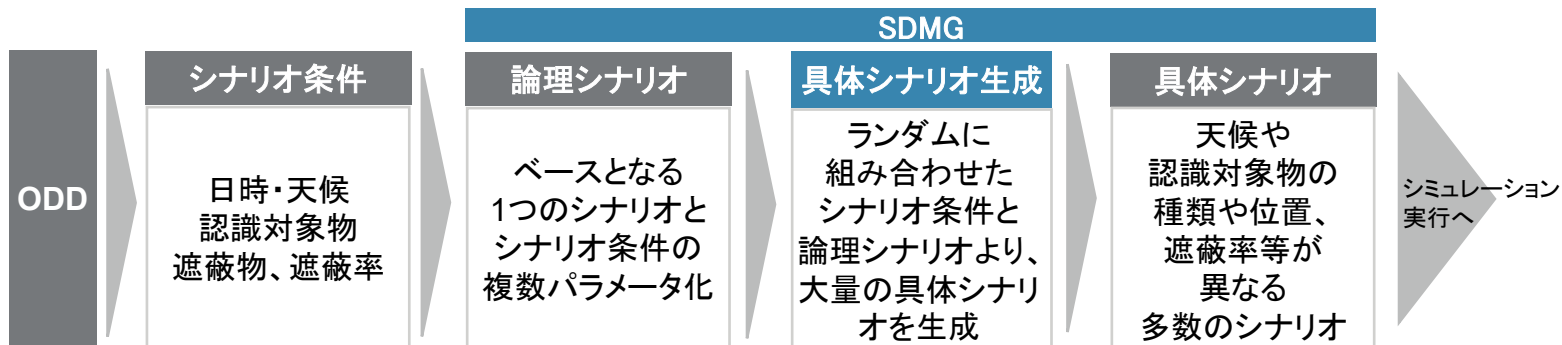
シナリオ概要(例)

シナリオ条件(認識対象・遮蔽物・天候等)をランダムに組み合わせた多数のシナリオ

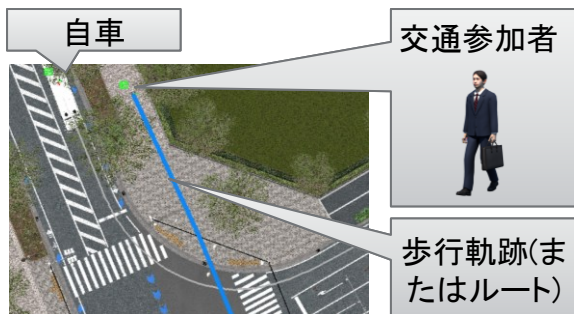


センサ認識性能の評価

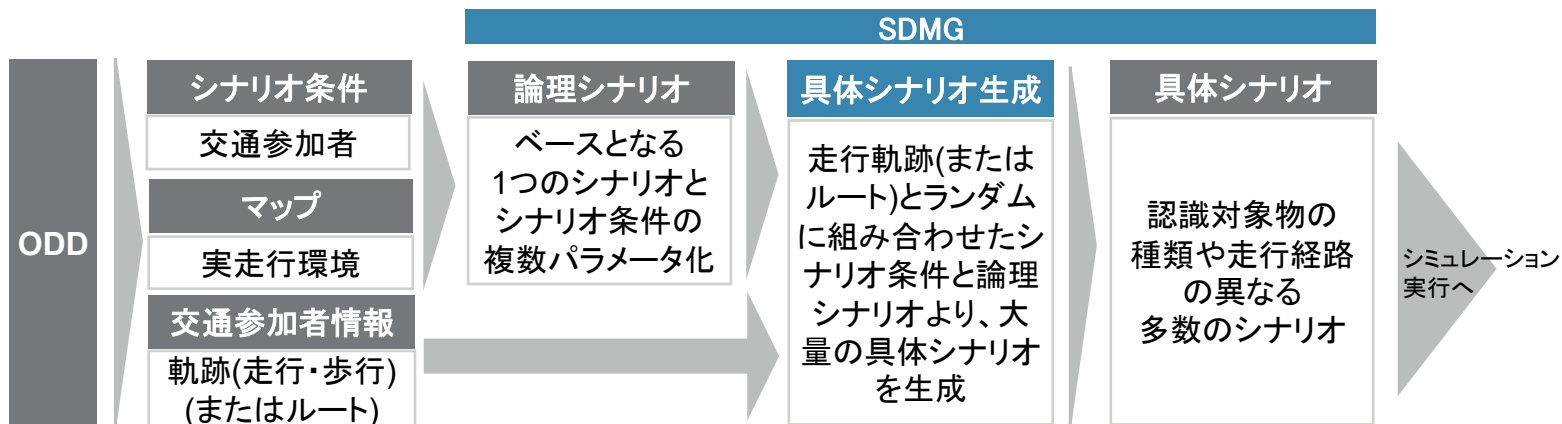
具体シナリオ作成の流れ



交通参加者(歩行者・車両)の走行軌跡より、様々な動きを再現したシナリオ



ADシステム安全性評価



センサ認識性能評価やADシステム安全性評価を行う際の具体シナリオを生成することを可能とした

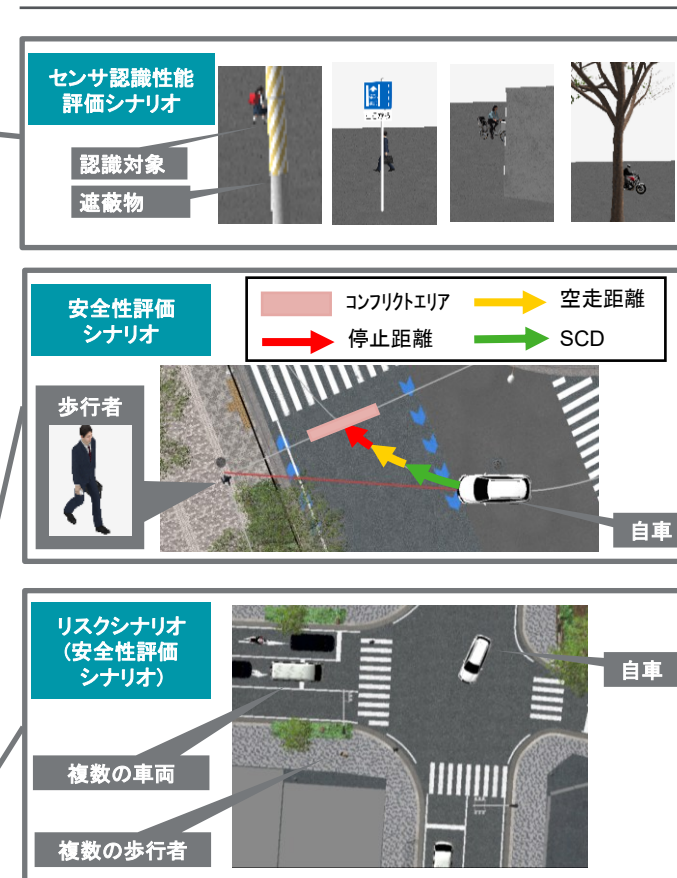
各地域実証実験と連携し、認識リスクや交通弱者によるリスク評価を行うための具体シナリオを作成した

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

センサ認識性能評価シナリオ

連携先	実施年度	自転車 (評価対象)	シナリオ概要	シナリオ数	備考
RoAD to the L4連携	2024年度	柏の葉 自動運転バス(エルガミオ)	走行区間である柏の葉周辺にある遮蔽物をランダムに配置し、シナリオ条件をランダムに組み合わせた多数のシナリオ	10000	シナリオはテーマ2で作成
	2025年度			10000~	
AD-URBAN連携	2024年度	自動運転車両(Lexus RX450hL)	遮蔽物を配置し、シナリオ条件をランダムに組み合わせた多数のシナリオ	10000	
SBIR連携	2025年度	ティアフォー製 Minibus(塩尻)	シナリオ条件をランダムに組み合わせた多数のシナリオ	10000	

シナリオ例



安全性評価シナリオ

連携先	実施年度	自転車 (評価対象)	シナリオ概要	シナリオ数	備考
RoAD to the L4連携	2024年度	柏の葉 自動運転バス(エルガミオ)	柏の葉科警研交差点における歩行者経路や横断歩道を渡るタイミングが異なる多数の歩行者シナリオ	12	
AD-URBAN連携	2024年度	自動運転車両(Lexus RX450hL)	安全余裕度SCT(0,1,2,3[秒])となる位置で自車が歩行者を認識するシナリオ	16	
Autoware接続	2025年度	Autoware (評価対象の例として使用)	交通流シナリオより、SCTを用いてリスクの高いシナリオを抽出(詳細はリスクシナリオ生成を参照)	200	パターン数200はテーマ2での評価分

シナリオ作成効率化機能により、評価に必要な各シナリオを生成し、各地域実証実験へ適用した

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

- 外部データから具体シナリオ生成
- リスクシナリオ生成
- マップ3Dモデル作成効率化
- 地域実証実験に使用するアセット構築

(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

従来の確定的なリスクシナリオに加えて、交通流などによる不確定リスクを含むリスクシナリオによる安全性評価を提案

不確定リスクのリスクシナリオ生成パイプライン

①ニアミス走行データ取得

Near-miss data

- A 一般道（農工大）
 - タクシードライバ
 - ドライブレコーダ画像
- B 高速道（2024FY Proj.）
 - 物流トラックドライバ
 - ドライブレコーダ画像
 - 約30万kmデータ（のべ）

② ODD（運航設計領域）

リスクアセスメント実践
Hazard and Risk Assessment
Ref, ISO26262, ISO21448

③ 解析（軌跡,パラメータ値抽出）& リスクシナリオ類型化

- 動的軌跡
- 熟練ドライバの暗黙知
- パラメータ抽出
- SCT指標によるインシデント検出

確定系
リスクシナリオ

= 意図した不具合が必ず発生するように設計

⑤ リスクシナリオデータセット生成

- ミクロ評価；
リスク類型化での確定系シナリオ生成
- マクロ評価；
適切なリスクシナリオ混合の
ランダム実験用シナリオ生成
- 生成ツールと標準活用
OpenX, toolchain (SDMG, ...)

⑥ 運転行動の安全性評価

- 決定系シナリオ評価
→SCT指標での安全余裕度評価
- ランダム実験（シミュレーション）での
危険度レベル(Severity)と
発生頻度(Exposure)
の統計的評価
→SCT指標活用

④ 不確定リスクの統計的決定

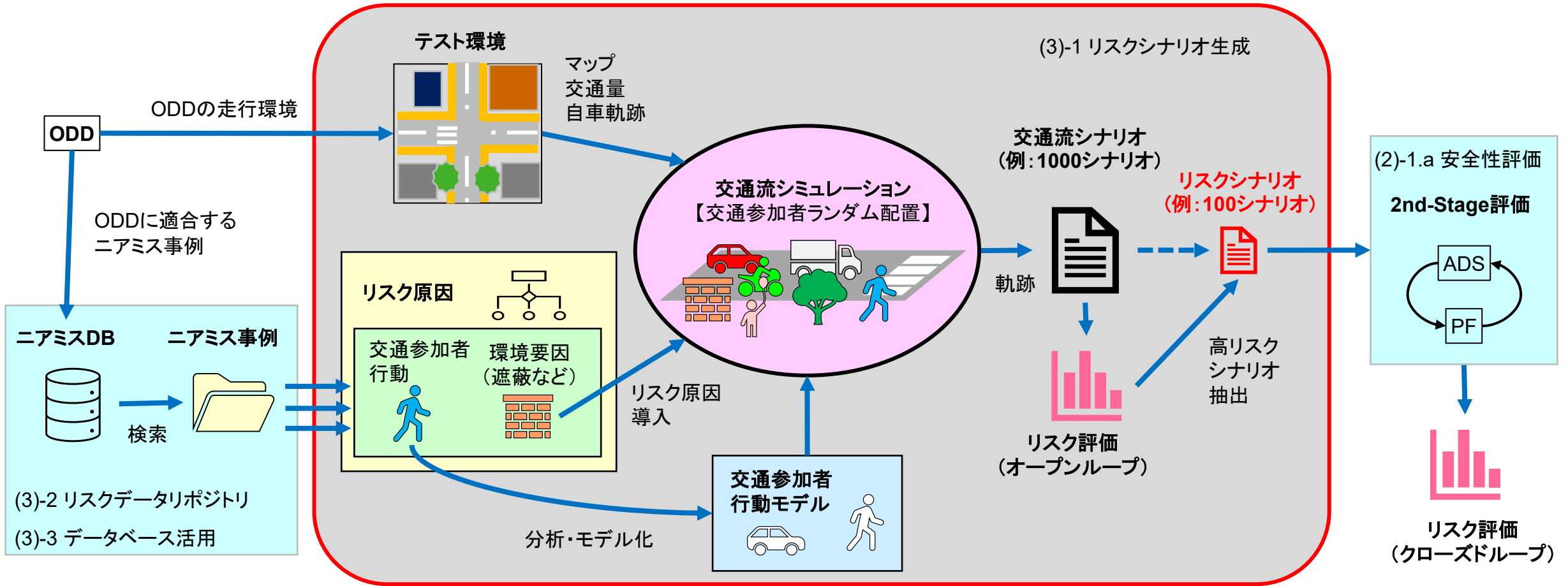
- 1) 交通流リスク
- 2) 交通弱者(VRU)リスク
- 3) 認識リスク
 - ジオメトリック；遮蔽(3D構造物/動的物標等)
 - センシング弱点リスク；センサ電磁波の走行環境での原理的リスク

不確定リスクの
リスクシナリオ
= 不具合の発生や
危険度が確率的

リスクがランダムに発生するシナリオにより、発生頻度を考慮した安全性評価が可能となる。

ODDに適合するニアミス事例に基づいた交通流シムの軌跡から交通流シナリオを生成し、リスク評価で高リスクとして抽出したシナリオが不確定なリスクのリスクシナリオとなる

不確定なリスクのリスクシナリオの生成方法



リスクシナリオはODDおよびニアミス事例の事実に基づいた交通流シムで生成される

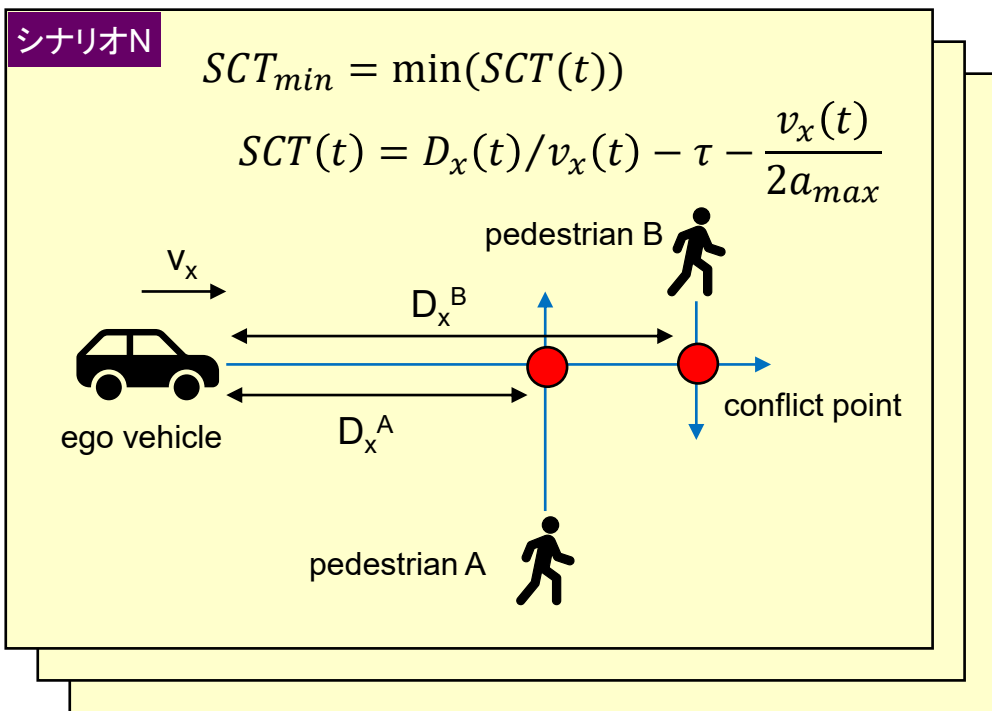
交通流シナリオをリスク評価では、SCTを指標とした回避余裕度と発生頻度の2軸で評価を行い、高リスク(SCT<3)のシナリオがリスクシナリオとなる

SCTによる交通流シナリオのリスク評価とリスクシナリオの抽出

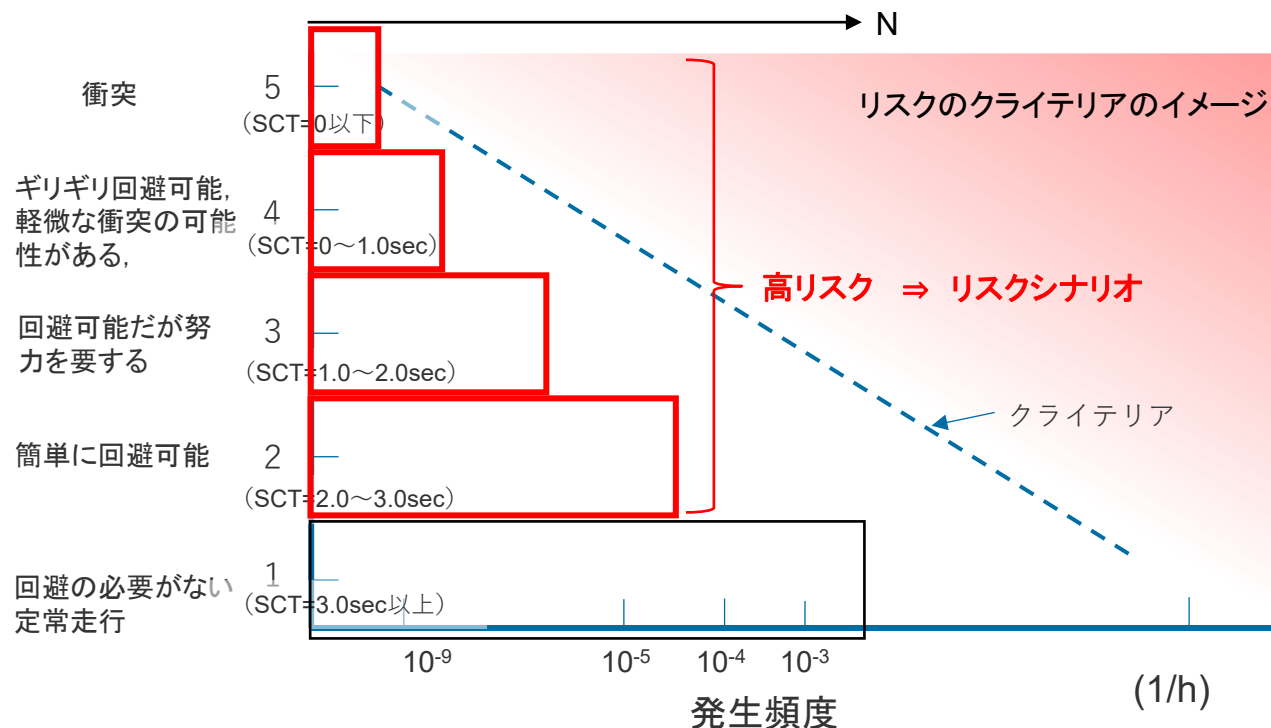
各交通流シナリオで全交通参加者に対するSCTの最小値を求める

最小SCTに対するシナリオ数のヒストグラムを作成

高リスクのシナリオをリスクシナリオとする



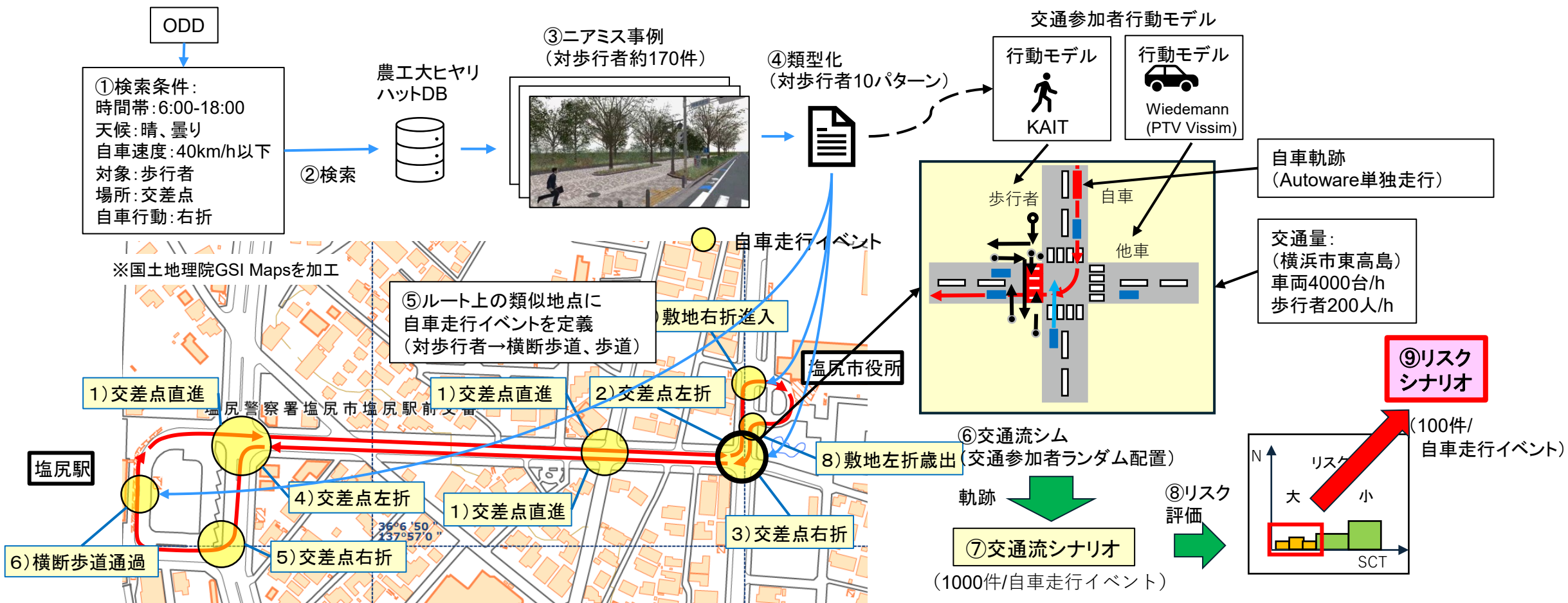
回避余裕度



高リスクのシナリオのみがリスクシナリオとして後段の安全性評価で実行される

塩尻市の自動運転バスのルート走行に対して、具体的にリスクシナリオを生成

ルート上の各自車走行イベントに対してリスクシナリオを生成



リスクが高いとされる交差点と横断歩道に対してリスクシナリオを生成した

車両と歩行者の交通量データを調査し、交通流シミュレーションの交通量を決定した

横浜市神奈川2丁目交差点の交通量



断面	断面交通量		ピーク時間帯
	車両(台/12h)	大型車混入率(%)	(台)
A	11,959	7.3	4,352 (A+B 7:15-8:15)
B	11,401	26.9	
C	33,179	19.3	4,349 (C+D 7:15-8:15)
D	31,195	20.3	
	歩行者・自転車(人/12h)		(人/h)
A	1,693		224 (11:15-12:15)
B	1,923		227 (17:30-18:30)
C	-(横断歩道無)		-
D	-(歩道橋未調査)		-

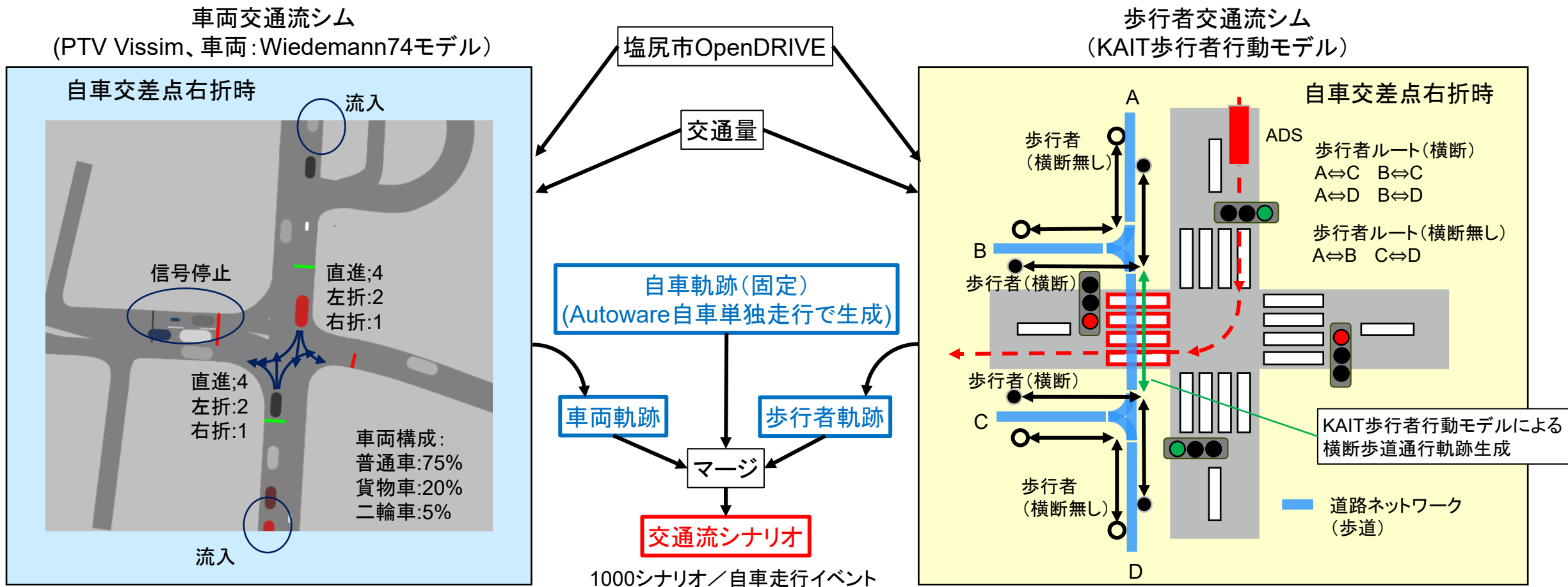


車両:4000台/h、歩行者200人/h

車両と歩行者の交通量が同時に計測されたデータとして、塩尻より混雑した横浜市の交通量が採用された

自転車走行イベントごとに車両および歩行者の交通流シミュレーションを実行し、車両、歩行者および自転車の軌跡をマージして1000件ずつの交通流シナリオを生成

交通流シムによる車両および歩行者軌跡の生成



車両と歩行者の行動モデルの実装に応じて、それぞれ独立に交通流シムを行って軌跡をマージする方法を採用した

交通流シミュレーションで得られた軌跡から、シミュレーションに必要な各種情報(シナリオ条件)を付加した具体シナリオを生成し、そこからリスクの高いシナリオを抽出する流れを構築した

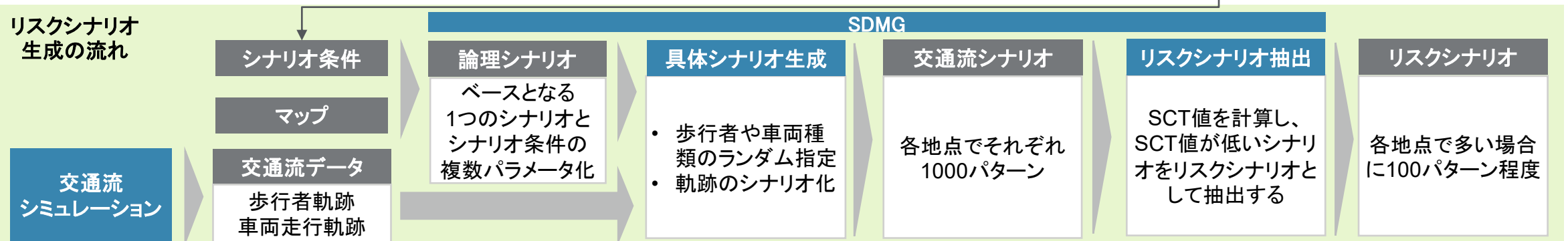
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 リスクシナリオ

右折シナリオ(例)



シナリオ条件(例)

項目	内容	パターン数
環境	夏、12:00、晴	1
マップ	塩尻駅周辺	1
自転車	種類	四輪車 (カメラ : 6、LiDAR : 4)
	動作	軌跡上を走行
歩行者	数	2 ~ 10程度 (シナリオパターンごとに異なる)
	種類	成人男女 : 2、高齢男女 : 2、子供男女 : 6
	動作	軌跡上を歩行
車両	数	10 ~ 20程度 (シナリオパターンごとに異なる)
	種類	四輪車 : 3、二輪車 : 1
	動作	軌跡上を走行



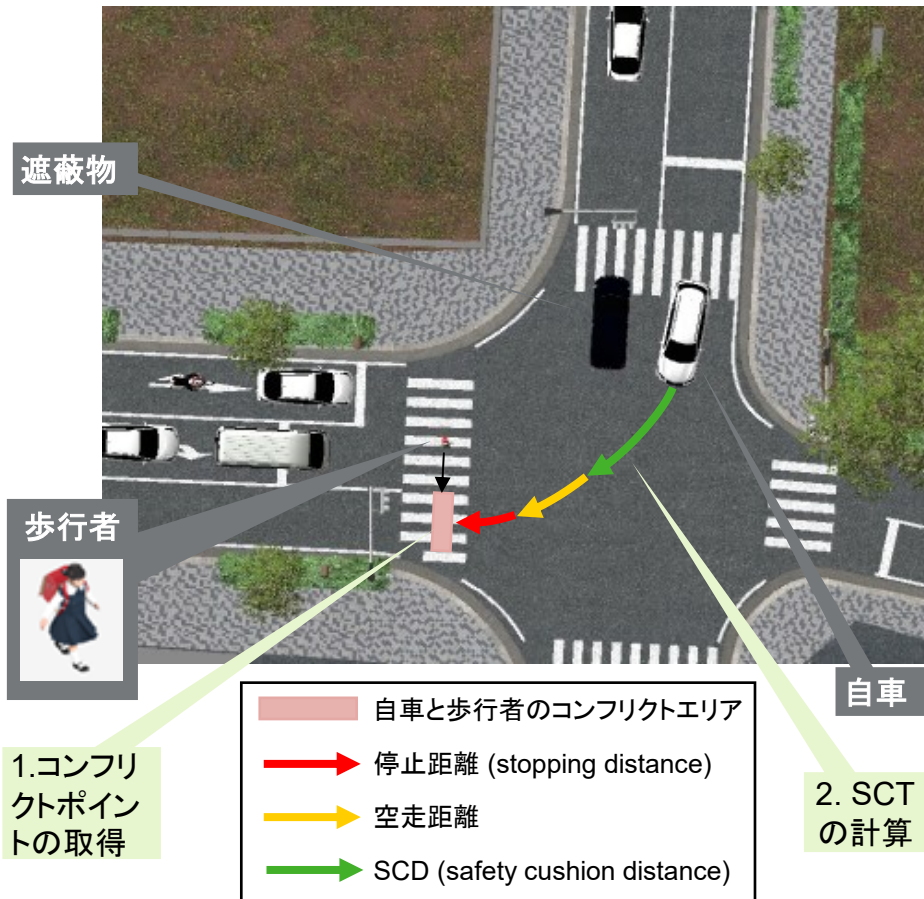
子供・成人・高齢者や異なる種類の車両等、様々な交通参加者を含むリスクシナリオ生成を可能とした

引用:三菱プレジジョン株式会社

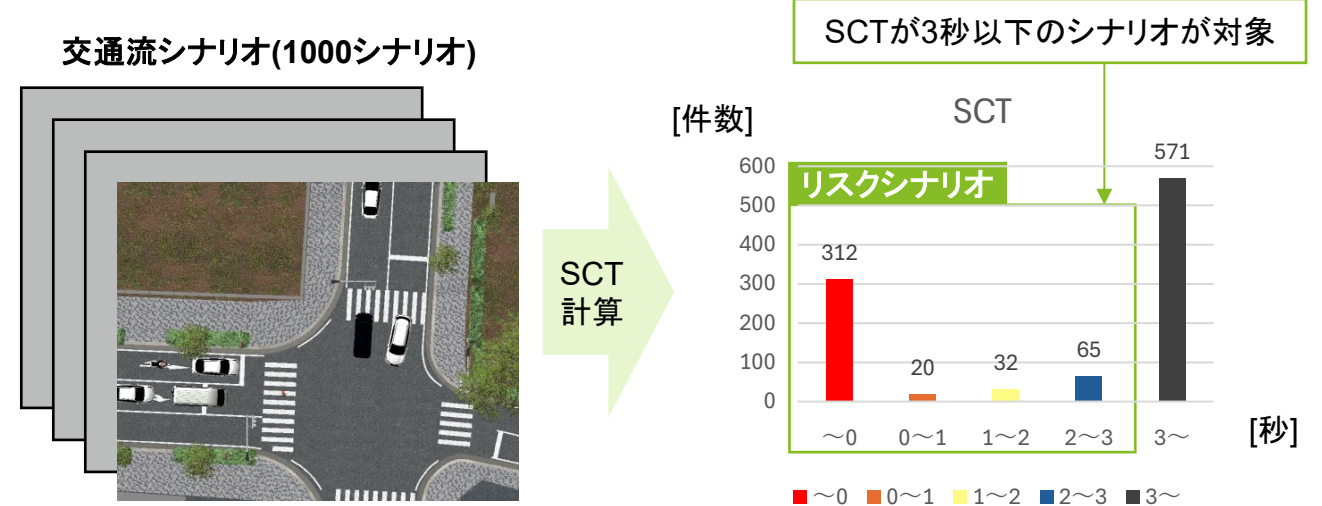
多数の交通流シナリオから、SCTの計算を行い、3秒以下の低SCTのシナリオをリスクシナリオとして抽出する仕組みを構築した

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 リスクシナリオ

交通流シナリオ(例)



多数の交通流シナリオから、低SCTのシナリオをリスクシナリオとして抽出



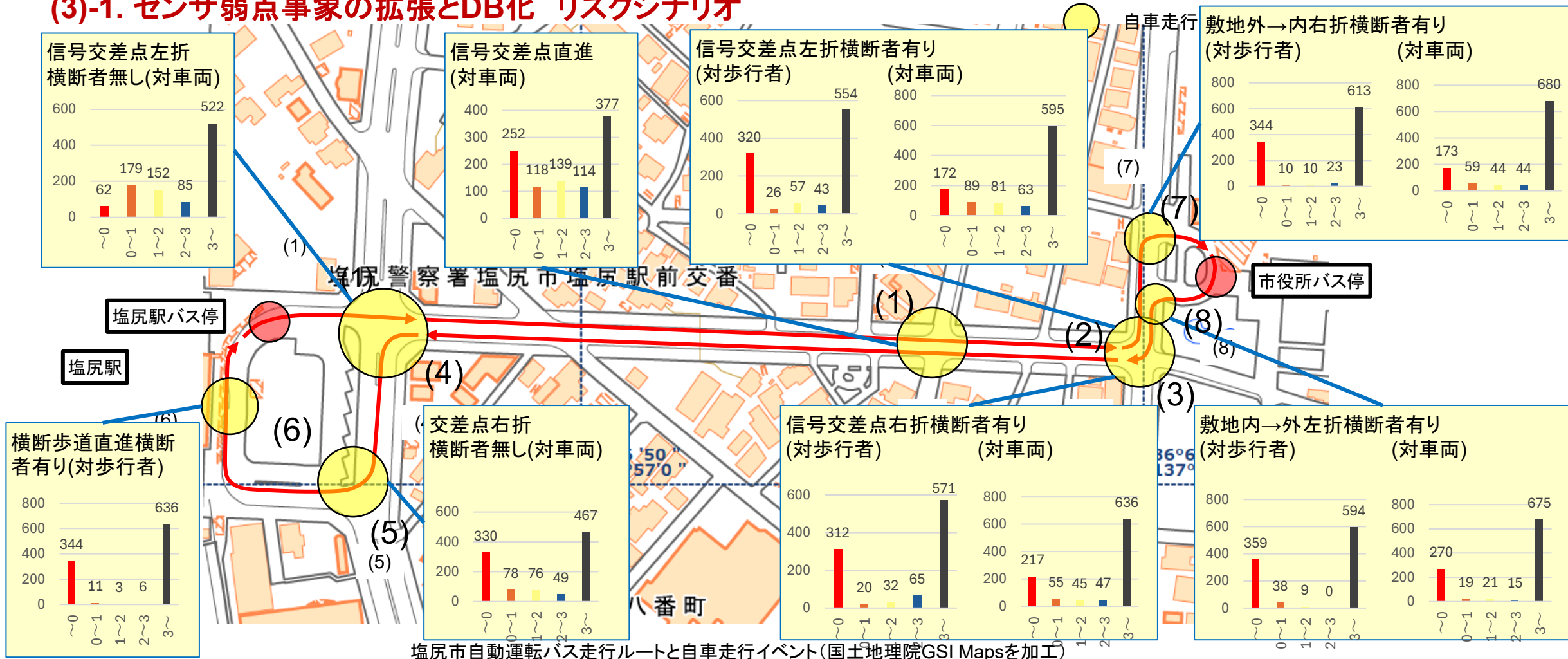
SCT計算手順

- 1.コンフリクトポイントの取得
自車の軌跡と各交通参加者の軌跡の交点(コンフリクトポイント)を取得する
- 2.SCTの計算
コンフリクトポイントとSCTの計算式より、SCTの最小値を計算する

交通流シナリオからリスクのあるシナリオのみ抽出し、効率的に安全性評価を行う可能とした

塩尻市ADSバス走行ルート一周分における、各地点でのリスクを評価した

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 リスクシナリオ



各地点でのリスクの高いシナリオを抽出することが可能

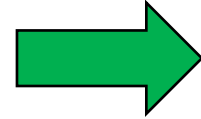
塩尻市ルート1周でのリスク傾向を把握するために、各自車走行イベントのリスク評価を平均化してルート全体の平均リスクを求めた

リスクシナリオの塩尻市ルート1周での平均リスク

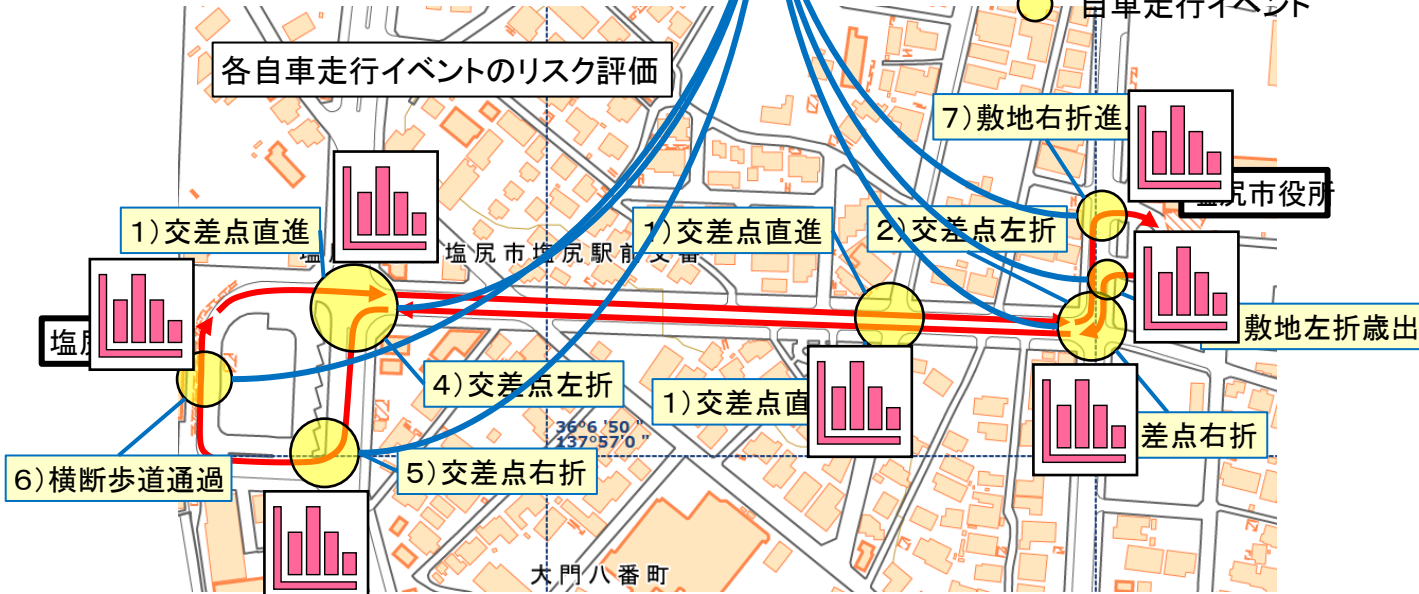
通過回数の
重み付き平均

$$\text{ルート全体平均} = \frac{\sum (\text{各自車走行イベントのリスク評価}) \times (\text{通過回数})}{(\text{各自車走行イベント全通過回数})}$$

塩尻ルートで
平均化

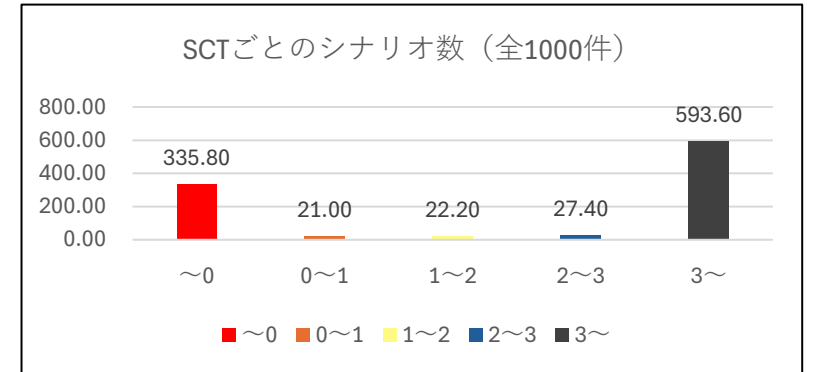


(※対歩行者／車両の場合に歩行者／車両の通行がない各自車走行イベントの通過回数は0とする)



塩尻市自動運転バス走行ルートと各自車走行イベント(国土地理院GSI Mapsを加工)

ルート全体の平均リスク評価(対歩行者)



ルート全体の平均リスク評価(対車両)



国交省 自動車運送事業用自動車事故統計年報 令和4年
乗合バス事故件数(H25-R4): 30.5~57.3件/1億km

交通参加者が自車を確率的に回避する交通流シムにより、ニアミス発生頻度が現実に近づくことが期待される

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

- 外部データから具体シナリオ生成
- リスクシナリオ生成
- マップ3Dモデル作成効率化
- 地域実証実験に使用するアセット構築

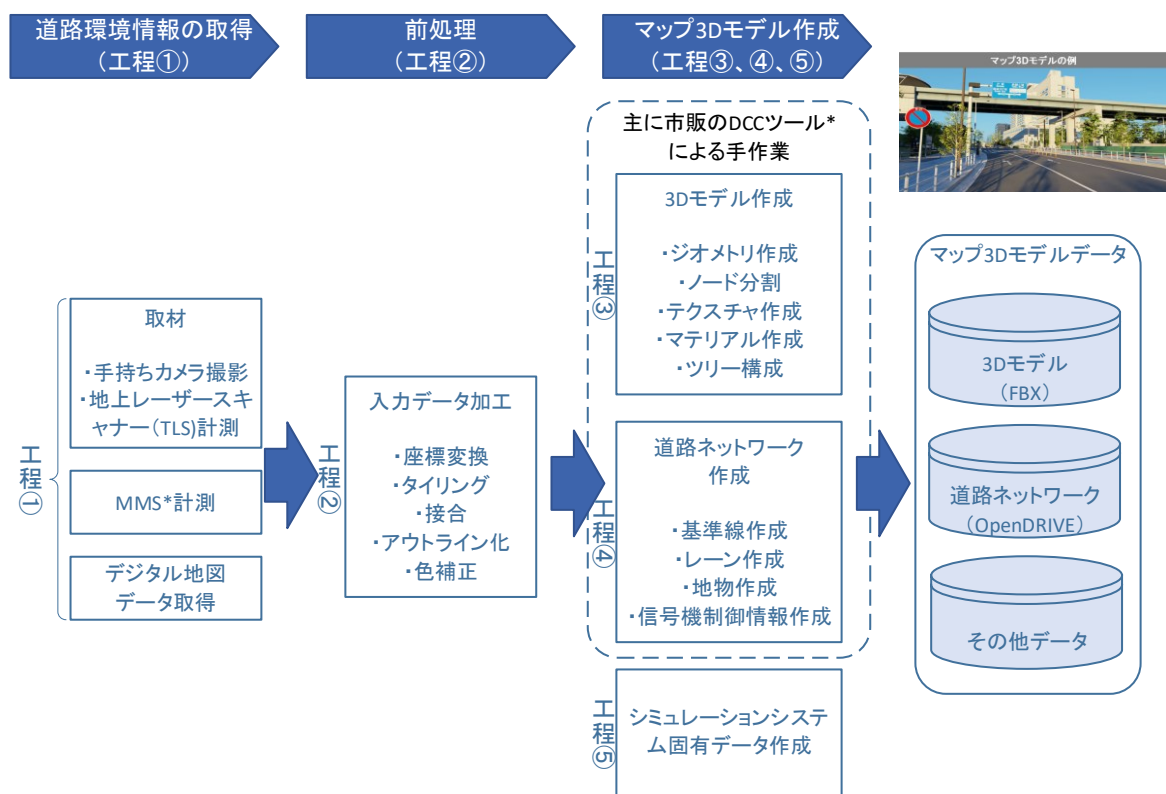
(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

マップ3Dモデルを効率的に構築する仕組みを整備することで「AD/ADASの安全性評価・検証」をサポートする

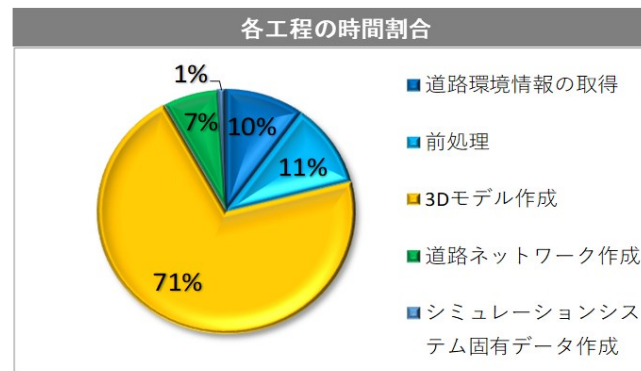
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

一般的なマップ3Dモデル作成フロー



* MMS: Mobile Mapping Systemの略で、各種計測機器を車両に搭載したシステムを指す
 * DCCツール: Digital Content Creation ツールの略で、3DCGデータを作成するためのツールの総称

問題点(作成に手間がかかる点)と対策



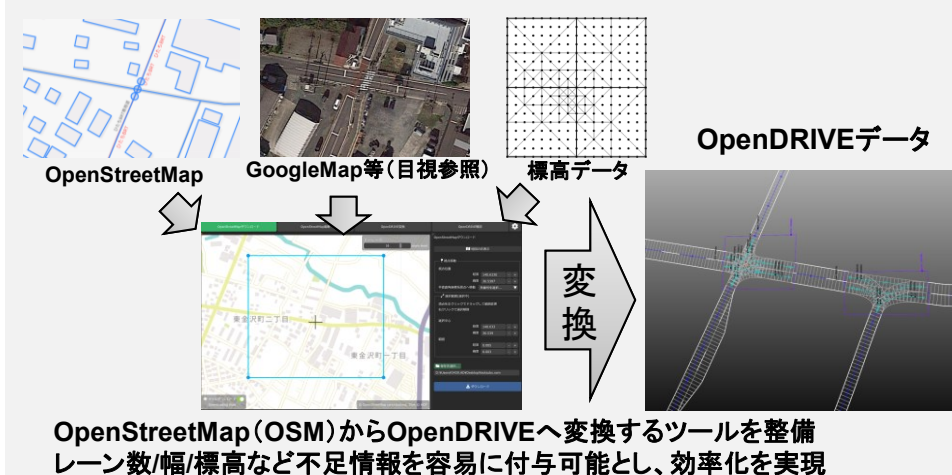
問題点	対策
ジオメトリ作成における手作業への依存度が高い (工程③、④)	オープンデータの地図や3Dモデル、OpenDRIVEなどのデジタル地図データの活用
MMS点群の扱いに手間がかかる (工程①、②、③、④)	地図データにある地物情報から、地物の形状等を容易に作成できる仕組みの整備
シミュレーションシステムに固有なデータも作成する必要がある (工程⑤)	カメラ画像やレーザースキャナ点群の計測データをもとにしたジオメトリ生成
	マップ3Dモデルの出力と同時にシミュレーションシステム固有データも自動生成する仕組みの整備

地図データや計測データを活用した仕組みを整備し、マップ3Dモデル作成の効率化を図る

地図データを活用した3Dモデル、シミュレーション用データの自動生成の仕組みを整備

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

既存地図データ活用によるマップ3Dモデル作成効率化 ～ オープンデータライセンスの地図データ、外部で作成された地図データの活用検討



外部作成のOpenDRIVEデータを入手/調査

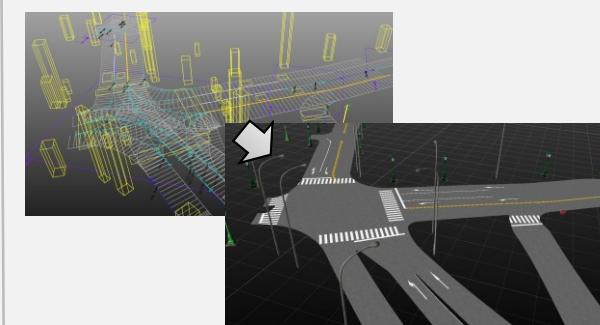


作成元	使用ツール	データ種類	調査結果	評価
Mcity(米ミシガン大)	RoadRunner	OpenDRIVE、FBX(uasset)	一部ジオメトリに歪みがあり手直しが必要	△
GeoMate社	独自ツール、RoadRunner	GeoJSON、OpenDRIVE	シナリオ走行は可能、一部修正が必要	○
C社	RoadRunner	OpenDRIVE、FBX	シナリオ走行は可能、一部修正が必要	○
D社	RoadRunner	OpenDRIVE	通行方向が通常とは異なる定義になっているため修正が必要	△
E社	独自ツール	OpenDRIVE	サンプルデータ入手準備中	—
...

既存地図データ活用によるマップ3Dモデル作成効率化 ～ 地図データを基にしたマップモデルの自動生成

独自ツールにて道路部分のマップ3Dモデルを自動生成

OpenDRIVE地物データから地物モデルの自動配置も可能



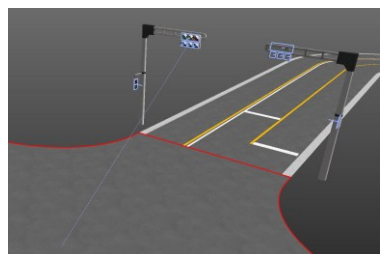
地図データやオープンデータの情報をもとにマップ3Dモデルを効率的に作成する仕組みを構築

地図データを活用した3Dモデル、シミュレーション用データの自動生成の仕組みを整備

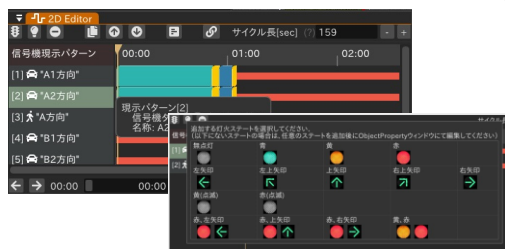
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

既存地図データ活用によるマップ3Dモデル作成効率化 ~ シミュレーション用データの生成機能を開発し、作業時間を低減

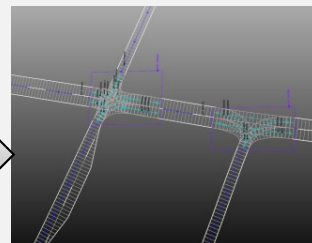
信号機の制御情報設定機能



信号機と交差点の対応づけ

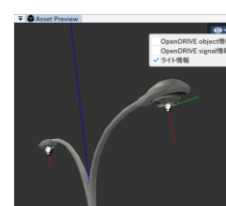


現示パターン編集

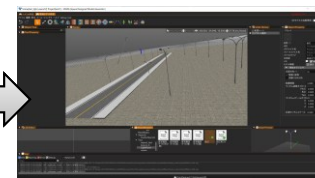


信号機制御が可能な
OpenDRIVE、FBX
データを生成

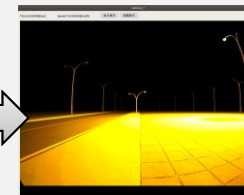
ライト情報出力機能



3Dモデルアセットへの
ライト情報の埋め込み



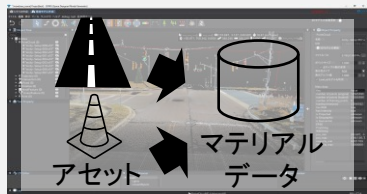
ツール上で街灯などのア
セットを配置してエクスポート



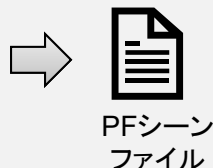
光源のシミュレ
ーション用データを
自動生成

マテリアル情報作成作業の効率化

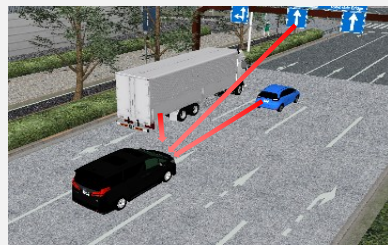
作業時間例: 45分→0分



道路モデルや配置したアセット
からマテリアルデータを生成

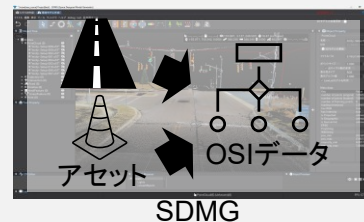


マップ3Dモデルを出力する際に、マテリアル
データから同時にPFシーンファイルを自動生成
し、シミュレーションで利用



真値データ作成作業の効率化

作業時間例: 200分→0分



道路モデルや配置したア
セットからOSIデータを生成



マップ3Dモデルを出力する際に、同時にOSI
ファイルを自動生成し、シミュレーションで利用



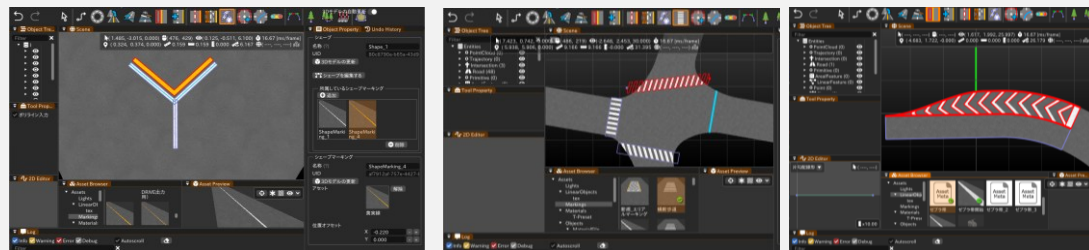
地図データやオープンデータの情報をもとにマップ3Dモデルを効率的に作成する仕組みを構築

地図データを活用した3Dモデル、シミュレーション用データの自動生成の仕組みを整備

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

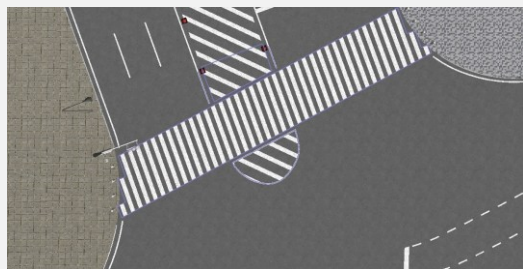
路面標示作成作業の効率化

作業時間例: 15分→3分/標示

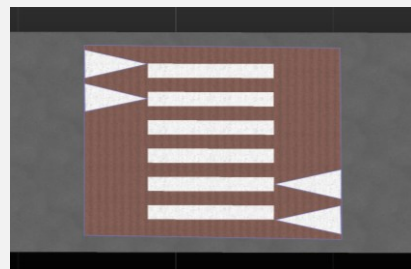


任意形状のライン型路面標示

横断歩道やレーン形状に沿ったゼブラゾーン



任意形状の導流帯、横断歩道



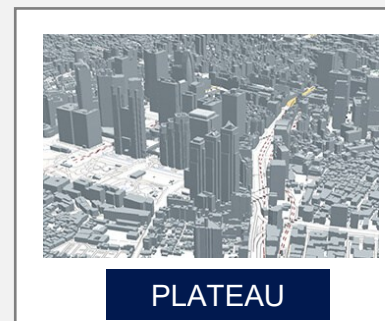
カスタム形状の路面標示

対象物 名称	路面標示の パーツ数	作業時間(効率化前) ※3DCGモデリングソフト習熟者による作業	作業時間(効率化後) ※効率化機能による作業
横断歩道(2車線道路の横断箇所1カ所)	6	15分	3分
交差点クロスマーク(1カ所)	2	15分	3分
レーンに沿った導流帯(約200m)	180	25分	3分~20分
レーンマーキング編集機能の範囲外の導流帯	5	15分	3分
交差点の内側の導流帯	6	15分	3分
歩道との境目で白線の端が直角になる横断歩道 編集機能では作成できない形状の横断歩道	41	20分	3分
スムーズ横断歩道	9	15分	3分

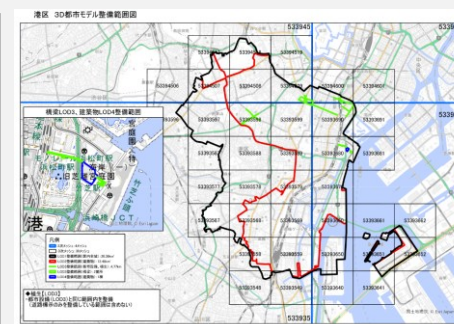
3DCGモデリングソフトでは作成に手間がかかる路面標示を半自動生成し効率化を実現

PLATEAUデータの活用

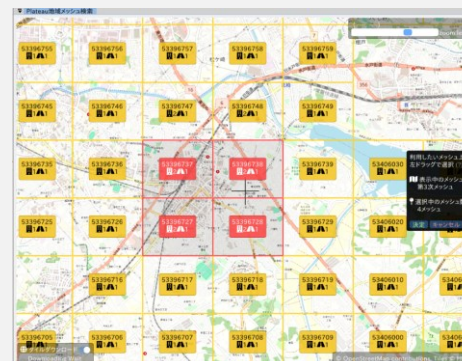
街並みを1時間ほどで作成可能に



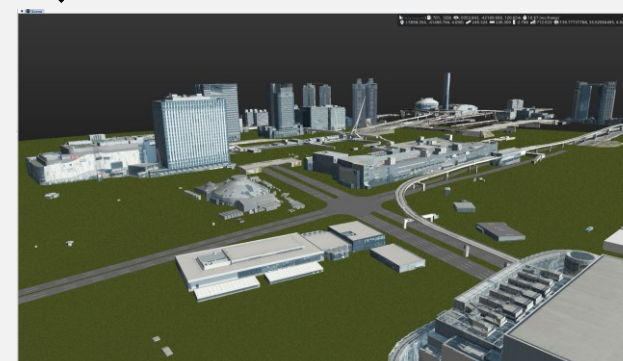
PLATEAUデータ



引用:国土交通省 都市局 3D都市モデル(Project PLATEAU)港区索引図



マップ3Dモデル作成ツール内でデータを取得し、建物等を配置



PLATEAUの建物モデルを取り込み、道路モデルとマージし、マップ3Dモデルとして出力
現実の道路周辺環境を短時間で構築可能に

地図データやオープンデータの情報をもとにマップ3Dモデルを効率的に作成する仕組みを構築

地図データを活用した3Dモデル、シミュレーション用データの自動生成の仕組みを整備

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

OpenStreetMap変換機能の強化 分合流や交差点をよりリアルに生成

高速道路の分合流生成機能による道路形状の再現性を向上

OpenStreetMapの情報を補間し、OpenDRIVEに地物情報を埋め込むことで、地物を自動配置

交差点生成機能の強化 交差点内の複雑な形状を生成可能に

交差点内の歩道/縁石レーンの自動生成により、交差点形状の再現性を向上

地図データやオープンデータの情報をもとにマップ3Dモデルを効率的に作成する仕組みを構築

機器を活用し、計測データを基にしたマップ3Dモデル作成の効率化を実施

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

フォトグラメトリによるマップ3Dモデル開発手法の検証



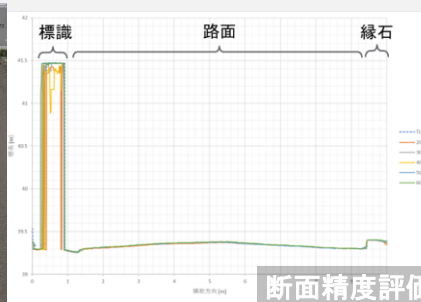
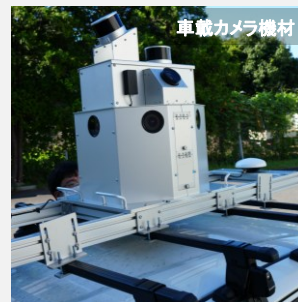
カメラ撮影とレーザースキャナでの計測を実施



数百mほどのエリアであればレーザースキャナによりcm精度のメッシュデータが測定含め半日程度の作業で作成可能

車載カメラを用いたマップ3Dモデルの作成手法検証

精度±1cmでの作成が可能



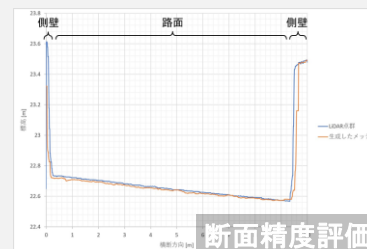
教習所コースにて、走行速度を変えて計測。撮影したカメラ画像から生成したメッシュの精度を検証。60km/hでも実用範囲内のメッシュが生成できることを確認。

車載カメラを用いた一般道路／高速道路のマップ3Dモデル作成検証

手持ち機材に比べて30倍の効率化、高速道路にも適用可能に



一般道路を15分ほど走行し(約4.5km)、車載カメラで撮影した画像からフォトグラメトリでメッシュを生成。マップ3Dモデルのベースとなる実用的なメッシュが生成できることを確認。



高速道路を走行し、車載カメラで撮影した画像からフォトグラメトリでメッシュを生成。LIDAR点群と比較評価し、高速移動条件下でも実用的なメッシュが生成できることを確認。

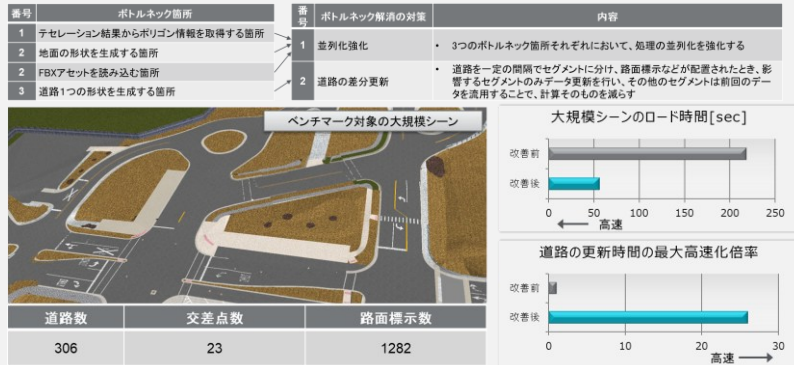
計測データをもとにマップ3Dモデルのベースとなるメッシュを効率的に作成する仕組みを構築

マップ3Dモデル作成ツールのユーザビリティ向上とツールチェーン強化を実施

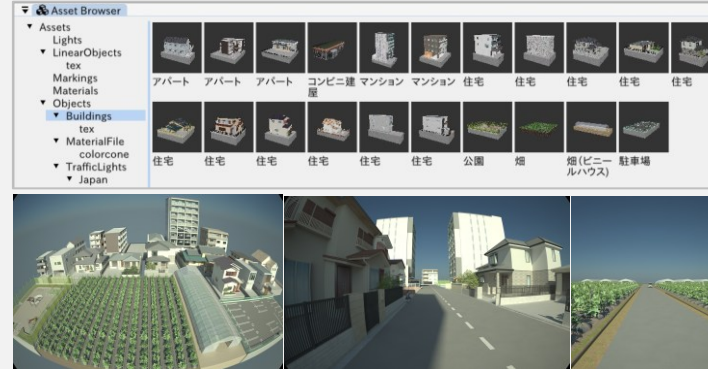
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

マップ3Dモデル作成ツール (SDMG環境モデル作成機能) のユーザビリティ向上

高速化、プリセットモデル充実、ユーザからのフィードバックによる操作性改善を実施



処理改善によりマップ3Dモデルの形状生成処理の高速化を実施



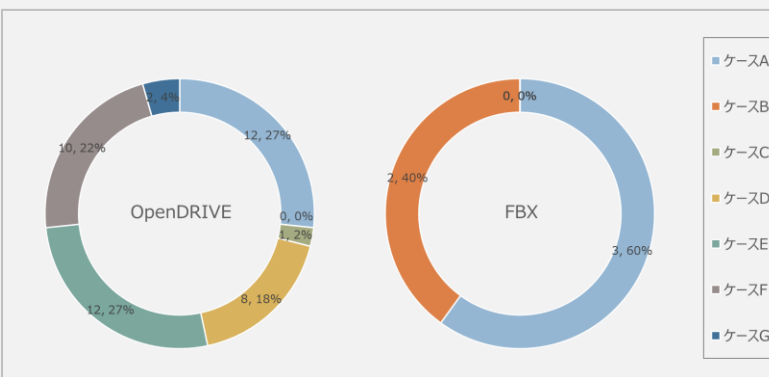
リスクシナリオ作成に必要な遮蔽物となる建物モデルの充実

ユーザへのヒアリングと機能改善

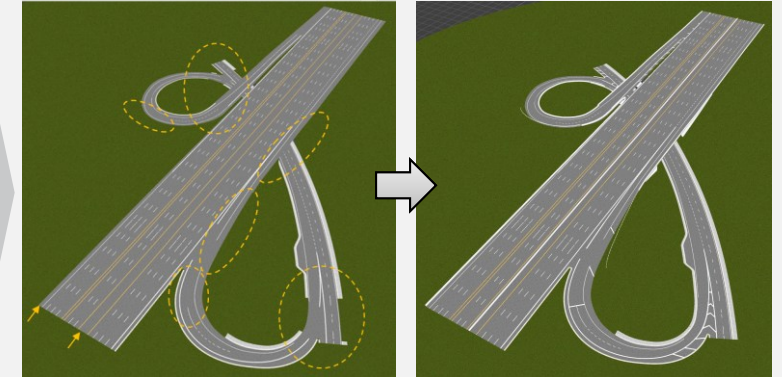
マップ3Dモデル関連データ取り込みに関するDVPツールチェーン強化

20項目ほどの機能改善によりデータ取り込み時の再現性を向上

項目	内容
ケースA	表現方式が複数あり、入力側に機能が実装されていないケースである。 例: FBXの透明マップにおいて、TransparentColorには対応しているが TransparencyFactorの読み込みには対応していない
ケースB	入力側の方式の制約により対応していない。 例: レイトレース計算の都合上、複色マテリアルを持ったメッシュには非対応
ケースC	出力フォーマットに仕様解釈の曖昧さに起因して正確に再現できない。 例: OpenDRIVEの三次曲線領域の連続性
ケースD	誤って出力されている。 例: 出力ツール側において、バグ等によりデータが誤って出力されている、あるいは出力フォーマットの仕様が誤って解釈されているケース
ケースE	データから推測できるものの、入力側に特別な処理が必要。 例: OpenDRIVEに記述されたobjectの名前から、地物の細かい形状が推測できるが、入力ツール側で正確に再現するには、出力ツール側のデータと同様のものを出力ツール側にも用意する必要がある
ケースF	出力側がエクスポートしていない、ただしフォーマットとしては対応している。 例: OpenDRIVEにおいて、建物の情報はobjectとして記述できる方法が用意されているものの、出力ツールがエクスポートしていない
ケースG	出力側がエクスポートしていない、かつフォーマットとしても対応していない。 例: OpenDRIVEには地面の情報を記述できる方法は用意されておらず、出力ツール側も代替手法も含め地面の情報はエクスポートしていない



DVP外のツールで作成されたOpenDRIVE/FBXをDVPで利用する際に発生する問題を調査



データ取り込み時の再現性を向上させ、ツールチェーン能力を強化

マップ3Dモデル作成ツールの利便性向上およびユーザ資産の有効活用によりDVP利用を促進

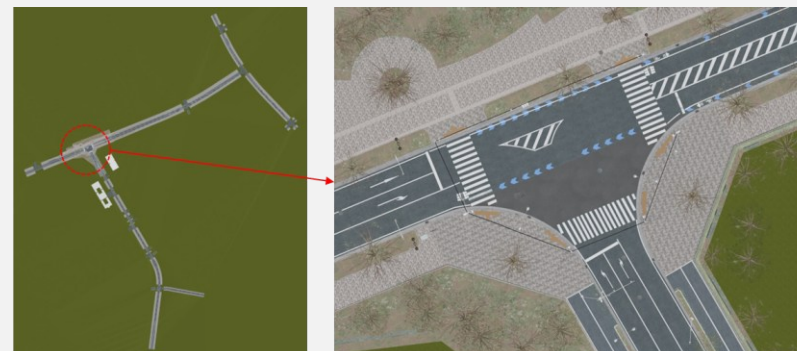
マップ3Dモデル作成工数について2023年度比35%の効率化を実現

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

成果まとめとマップ3Dモデル作成全体の効率化評価

実施項目	成果内容	成果物
地図データを基にした3Dモデルの自動生成	<ul style="list-style-type: none"> オープンな地図データや既存のOpenDRIVEデータを基に3Dモデルを自動生成するツールを開発した 	SDMG 環境モデル作成機能 (ソフトウェア)
シミュレーション用データの生成機能	<ul style="list-style-type: none"> 3Dモデルの作成と同時に、マテリアル情報や真値情報(ASAM OSI)といったジオメトリ情報以外のシミュレーションに必要なデータも自動生成する仕組みを構築した 	
路面標示作成作業の効率化	<ul style="list-style-type: none"> 任意形状の区画線、ゼブラゾーンや横断歩道といった、場所によって動的に形状が変わる路面標示を効率的に作成する仕組みを構築した 	
PLATEAUデータの活用	<ul style="list-style-type: none"> オープンデータであるPLATEAUの建物モデルや地図情報を活用することで実環境の再現をより効率的に実施する仕組みを構築した 	
ツールチェーン強化	<ul style="list-style-type: none"> DIVP外のツールで作成されたOpenDRIVEやFBXについて、それらからDIVP向けにマップ3Dモデルを作成しシミュレーションに用いる際に発生する問題を調査し、それに対し改善を行うことでツールチェーン能力を強化した 	
計測データを用いたマップ3Dモデルの作成効率化	<ul style="list-style-type: none"> 地上レーザースキャナや手持ちカメラ/MMSで撮影した画像を用いて、一般道および高速道にてマップ3Dモデルのメッシュを効率的に生成可能なことを検証した 	検証結果、作成手法 (ドキュメント)

↓テストケースのマップにおいて400Hr→261Hrの工数低減



作業項目	2023年度の工数(実績)	2024年度成果適用後の想定工数	2025年度成果適用後の想定工数	内容
ベース形状作成 & 地物配置	80Hr	43Hr	39Hr	フォトグラメトリやPLATEAUUIによるメッシュをベースとして効率化
路面標示作成	30Hr	17Hr	15Hr	ゼブラゾーン、横断歩道などを動的生成
シミュレーション用情報付与	40Hr	10Hr	10Hr	真値データ、マテリアル情報の出力を自動化
上記以外の作業(手作業でのポリゴン編集など)	250Hr	250Hr	197Hr	交差点の形状生成強化による効率化
合計	400Hr	320Hr	261Hr	2024年度比19%減 2023年度比35%減

マップ3Dモデル作成工数の2023年度比35%効率化を実現

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

- 外部データから具体シナリオ生成
- リスクシナリオ生成
- マップ3Dモデル作成効率化
- 地域実証実験に使用するアセット構築

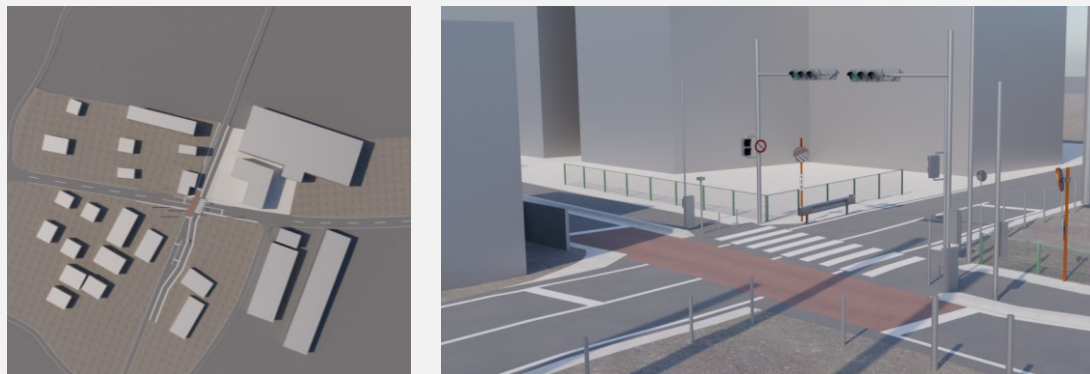
(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

シミュレーションで利用可能なアセット(交通参加者やマップの3Dモデル)を拡充

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 アセット作成

ひたちBRT 磯坪交差点マップ3Dモデル



ひたちBRT走行ルートでの障害物が多い交差点をモデル化し、安全性評価・検証に利用

交通参加者物標アセット



電動キックボードなどの交通参加者の物標アセットを拡充

柏の葉(科警研交差点)マップ3Dモデル



柏の葉の自動運転バス走行ルートでの障害物が多い交差点をモデル化し、安全性評価・検証に利用

シミュレーションに即時利用可能なアセットの拡充により「ADS/ADASの安全性評価・検証」をサポート

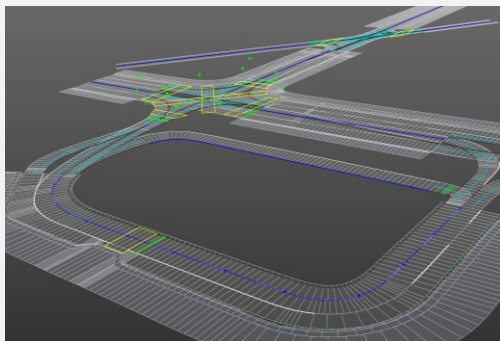
シミュレーションで利用可能なアセット(交通参加者やマップの3Dモデル)を拡充

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 アセット作成

塩尻市マップ3Dモデル 駅～市役所 (道路以外の建物等に関しては簡易)



写真、点群などを取材により取得
塩尻市の自動運転バス実証実験のシミュレーション再現のため駅～市役所間をモデル化し、AutowareとDIVPシミュレータを接続した2-Stage評価にて安全性評価に利用

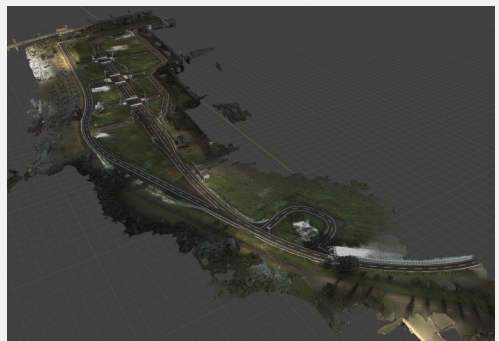


SDMG等のツールを利用し、道路ネットワーク(OpenDRIVE)、3Dモデルを作成

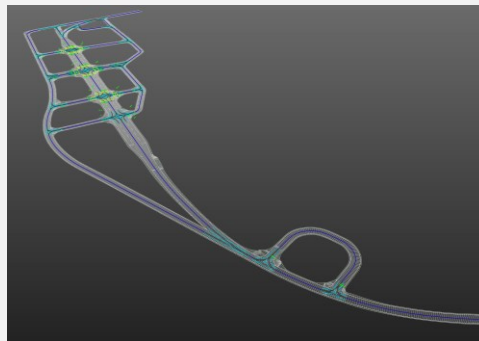


最終的なマップ3Dモデル(建物は簡易モデル)

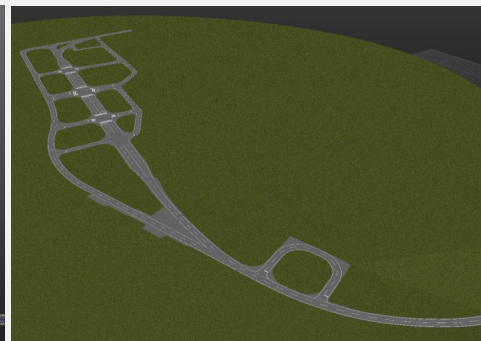
JARI V2X市街地マップ3Dモデル



写真、点群などを取材により取得



SDMG等のツールを利用し、道路ネットワーク(OpenDRIVE)、3Dモデルを作成
JARI V2X市街地をモデル化し、実車とシミュレーションでの一貫性検証に利用



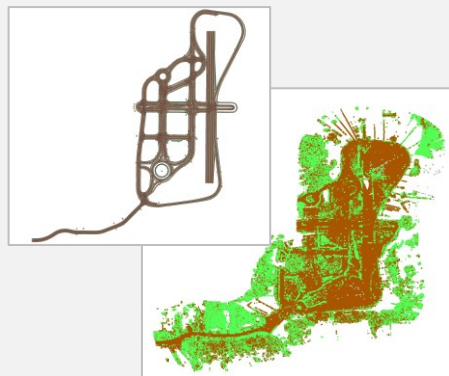
最終的なマップ3Dモデル

シミュレーションに即時利用可能なアセットの拡充により「ADS/ADASの安全性評価・検証」をサポート

シミュレーションで利用可能なアセット(交通参加者やマップの3Dモデル)を拡充

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 アセット作成

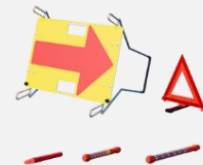
Mcityマップ3Dモデル



写真、点群などからSDMG等のツールを利用し、道路ネットワーク(OpenDRIVE)、3Dモデルを作成

最終的なマップ3Dモデル

高速道路の危険事象検証用物標アセット



物標アセット	内容
トヨタランドクルーザープラド 巡回車仕様 1種	<ul style="list-style-type: none"> 通常制御に加え起立式標識アニメーションを実装
作業員 2種	<ul style="list-style-type: none"> 通常動作に加え「落下物を拾う動作」「旗を振る動作」を実装
交通整備用物品 5種	<ul style="list-style-type: none"> 矢印板、三角標示板、緊急保安炎筒、LED発炎灯

様々な道路環境条件で作業員等がセンサで認識できるかといったシミュレーション評価に利用(2026年度以降も成果の社会実装の一環として各企業にて実施継続予定)

シミュレーションに即時利用可能なアセットの拡充により「ADS/ADASの安全性評価・検証」をサポート

シミュレーションで利用可能なアセット(交通参加者やマップの3Dモデル)を拡充

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 アセット作成

再利用可能なアセット一覧(物標)



シミュレーションに即時利用可能なアセットの拡充により「ADS/ADASの安全性評価・検証」をサポート

シミュレーションで利用可能なアセット(交通参加者やマップの3Dモデル)を拡充

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 アセット作成

再利用可能なアセット一覧(マップ3Dモデル)

モデリングツールを用いて作成したもの



フォトグラメトリにより作成したもの



シミュレーションに即時利用可能なアセットの拡充により「ADS/ADASの安全性評価・検証」をサポート

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

(3)-2 物理特性データの構造化 - DIVP Material 開発の背景・目的

3年間の計画と成果

実施テーマ

成果

■ 物理特性データの構造化と標準化展開	■ DIVPの知見を基に、DIVP Materialを構築。それを基にASAMへ標準化提案実施。2024年2月より標準化プロジェクト「OpenMATERIAL」が開始、DIVPメンバーも議論に参画。2025年4月にDIVPの要求仕様を多く含んだ、世界初となる環境モデルフォーマット「OpenMATERIAL 3D V1.0」がリリースされた。 ■ OpenMATERIAL 3D V1.0に対応した試行版DIVPプラットフォームである「DIVP トライアルパッケージ」を構築し公開。一部OEM等に提供。
■ リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究	■ (3) - 3で構築したリスクシナリオデータベースに対して、ODD要件を基に対象データを検索するToolを構築。実装に際しては、他のデータベースにも汎用対応可能なToolとした。 ■ データ検索機能に加えて、検索データ列に対してLLMを用いた「リスクデータ類型化機能」も実装。使用するLLMもクラウドからローカルまで設定で可能な仕様とし、秘匿データにも対応可能とした。
■ 所感(課題) 「物理特性データの構造化と標準化展開」に関しては、DIVPの知見を多く含んだ「OpenMATERIAL 3D V1.0」の規格化を達成し、大きな成果である。 また、「リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究」に関して構築したリスク情報検索Toolは、汎用的なToolとして構築。他DBへの転用が期待できる。	

(3)-2 物理特性データの構造化 - DIVP Material 開発の背景・目的

DIVPで培った知見を基に、各種課題を解決すべく開発された、仮想ADS/ADAS向けMAP/ASSETデータフォーマットがDIVP Material

仮想ADS/ADASの安全性評価には、精緻なセンサーシミュレーションを行う必要があり、物理現象を基にした材料特性情報が必須である。しかしながら、現状では、これら材料特性情報の内容やデータ内格納方法は統一されていない。

また、仮想ADS/ADASには、形状データや付随する材料特性情報のみならず、シミュレーションに必要な部位動作情報や、結果評価に必要な真値情報も必要となるが、それらの保持方法もシステム毎に異なり、システム間データ流通や、一貫した性能評価の障壁となっている。



DIVP Materialの利用が広がる事により、システム開発効率が向上し、ADS/ADASの安全性向上が期待できる。

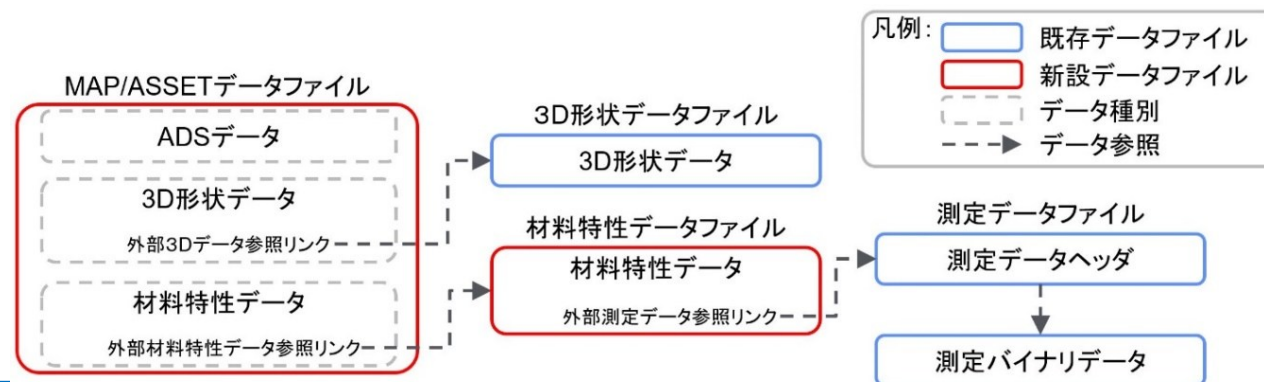
物理特性データの構造化 - DIVP Material データ構造

MAP/ASSETデータファイルのファイル構成

「3D形状データ」と「材料特性データ」は、サイズも大きくなりがちで、複数のMAP/ASSETデータ間で共有可能な物である。

よって、DIVP Material では、MAP/ASSETデータと、これらデータを別ファイル構成とする事も可能にする。

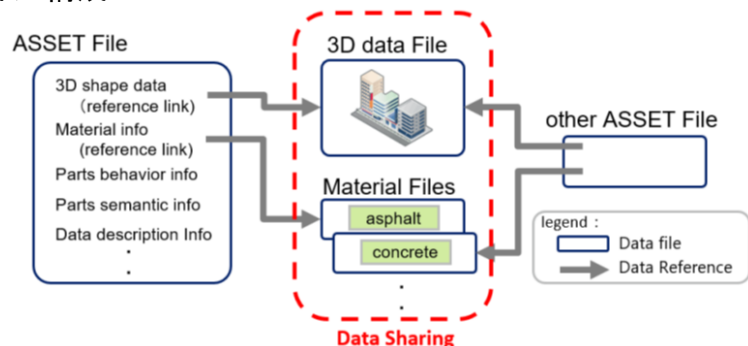
- MAP/ASSETデータファイル(新設)
対象となるMAP/ASSETデータに関して、仮想AD/ADASシステムに必要な情報を一纏めにしたファイル。拡張性確保の為、glTF形式のファイルとする。
- 3D形状データファイル
対象となるMAP/ASSETデータの3D形状及びそれに付随するテクスチャやアニメーション情報を格納したファイル。FBXやOBJ等の一般CGフォーマットのファイル。
- 材料特性データファイル(新設)
対象となる物質の材料特性情報を格納したファイル。
推定材料特性データおよび測定材料特性データが格納される。こちらも拡張性確保の為、glTF形式のファイルとする。
- 測定データファイル
対象となる物質の測定材料特性データのみを格納したファイル。csv及びバイナリ形式のファイル。



物理特性データの構造化 - 標準化展開

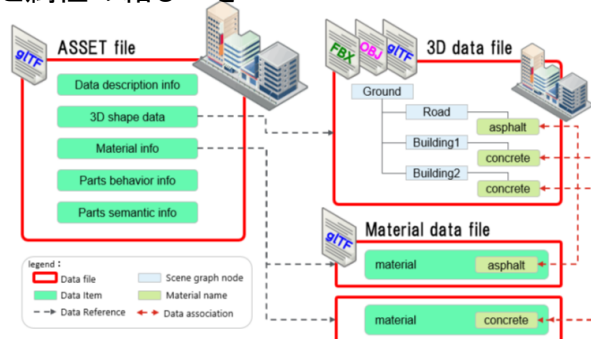
ASAM OpenMATERIAL開始段階でDIVPが提案に盛り込んだ内容は以下の通り。

●ファイル構成



アセットファイル、3D形状ファイル、属性格納ファイルは別ファイル構成とし、他のアセットファイルとの共有利用も可能になる事。

●形状と属性の結びつき

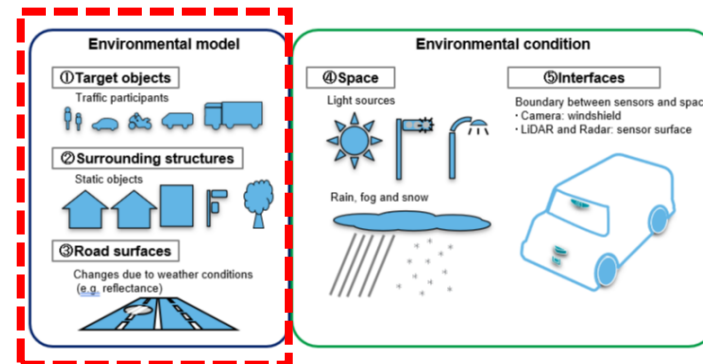


形状と属性は、マテリアル名による連携とする。

●格納対象とするデータ

- 3D 形状データ
FBX等の既存データを利用できる事。
- 材料特性データ
精緻なセンサーシミュレーションを可能にする、波長毎の反射測定データ等を格納できる事。また、それらは、センサー種別毎に保持できる事。
- データ内容説明情報
作成後のデータ利用性向上の為、データ内容を外部から判定可能な情報を保持する事。
- 部位動作情報
ライト等の光源情報や、ワイパー等の動作情報等、仮想ADS/ADASに必要な情報を格納できる事。

尚、V1.0では議論の拡散を避ける為、上記1～3までをV1.0の格納対象とした。(下図の赤枠範囲内)



物理特性データの構造化 - ASAM OpenMATERIALでの標準化

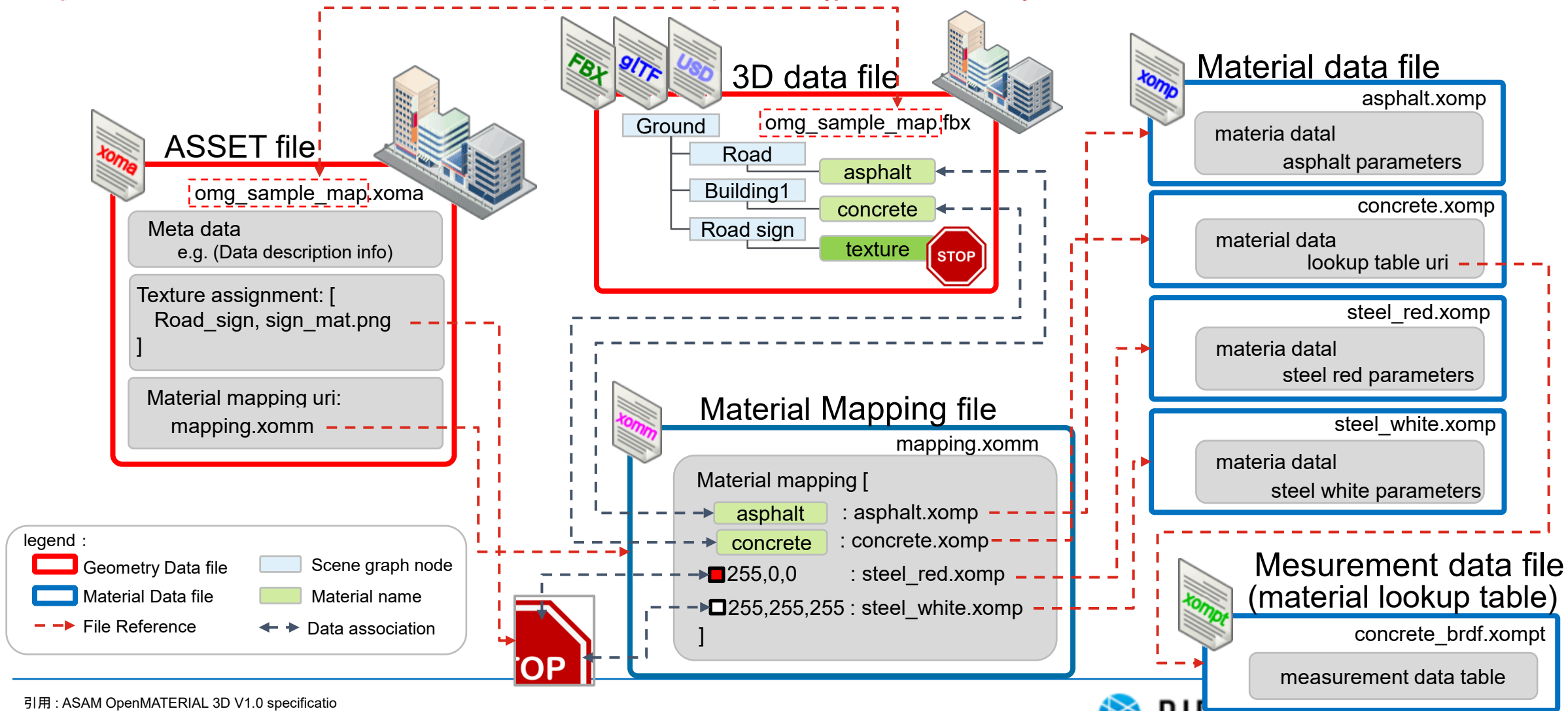
まずは、共通部分で「格納情報範囲、ファイル構造、格納共通情報(メタデータ)」を決め、その後、格納幾何情報を検討する「3D Geometry」グループと、格納属性情報を検討する「Material」グループに分かれて検討を進めた。

WP Id	Work package name	2024												2025			
		FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR		
	Project Coordination	[Solid black bar]															
1	Use case definition	Blue															
2	General Structure	Blue	Blue														
3	Material Properties		Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue					
4	3D Geometry		Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue					
5	Harmonization with other ASAM Standards and Projects	Blue	Blue			Blue	Blue			Blue							
6	Compile Standard Document									Blue	Blue	Blue					
6.1	Service Provider(GitHub framework, Terminology Support, Data Modeling Support, Technical Writing Support)			Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue			
7	Propose further development												Blue	Blue			
8	Review												Blue	Blue	Blue		
9	Feedback Implementation														Blue		
	TSC Submission														Blue	Blue	
	TSC Meeting		Red					Red				Red					Red
-	Milestone																Red
-	ASAM Meetings	Red															
	Project Level Meetings	Blue			Blue			Blue		Blue					Blue		

**2025年4月に世界初の環境モデルフォーマット規格である
OpenMATERIAL 3D V1.0がASAMよりリリースされた。**

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - File構成

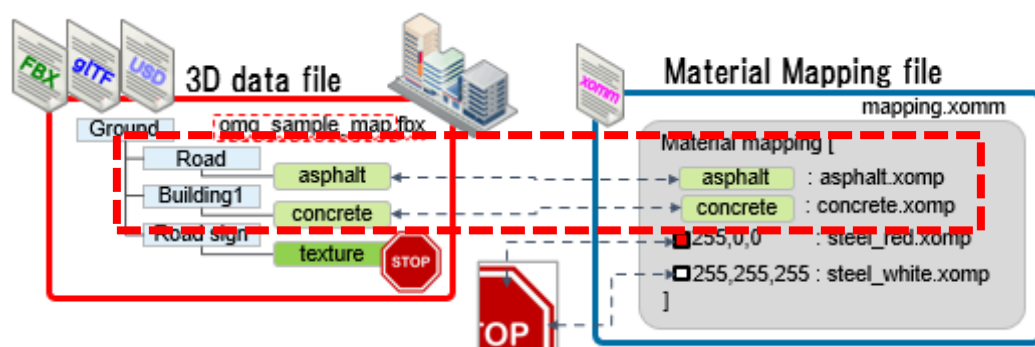
マテリアル情報はマテリアルファイルに格納され、マテリアルマッピングファイルを介して形状と紐づく。
形状データファイルとアセットファイルは同じファイル名による結びつきとなる。



OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Material Mapping 方法

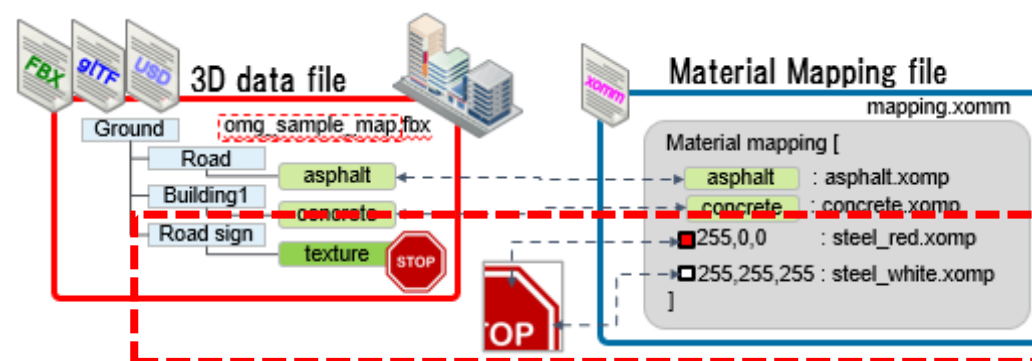
形状データとMaterialの紐づけは、Material Mappingファイルにて行う。
形状データとMaterialを紐づける方法は2通り存在する。

●マテリアル名を介した紐づけ



ノード又はメッシュに付与されたマテリアル名をMaterial Mappingファイル内から探しだし、そのマテリアル名に紐づけられた属性をメッシュに付与する。

●テクスチャを介した紐づけ



メッシュに付与されたテクスチャの色コードが、Material Mappingファイル内に規定されている場合、その色コードに割り当てられた属性をテクスチャ上に割り当て、そのテクスチャをメッシュに貼り付ける。

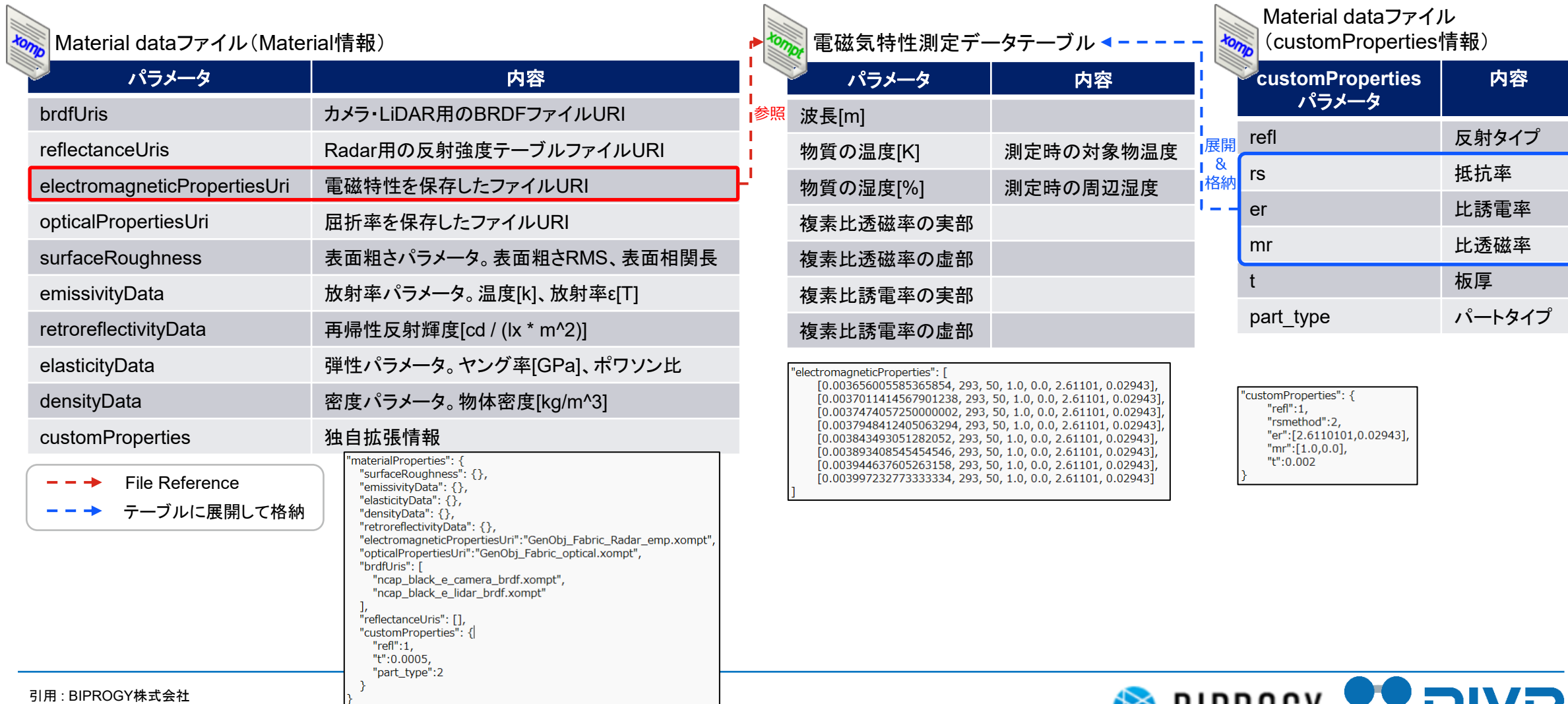
OpenMATERIAL 3D V1.0 - DIVP PFへの対応

FY24に設計したOpenMATERIAL 3D V1.0対応のDIVP-PFに対し、V1.0仕様の追加対応を実施。DIVPトライアルパッケージとして試行版を作成。

- **OpenMATERIAL 3D V1.0追加対応**
誘電率・透磁率および屈折率を、従来customPropertiesに格納していたパラメータからOpenMATERIAL 3D形式のテーブルへ展開し、OpenMATERIAL 3Dの共通属性として保持。PF側処理への対応。
- **DIVPトライアルパッケージ**
精緻なセンサーシミュレーションを可能にする反射属性などを格納可能な新標準規格「ASAM OpenMATERIAL 3D」対応データを扱うDIVPプラットフォームと、動作確認用サンプルシナリオ、さらにOpenMATERIAL 3D V1.0に準拠したデータを同梱したDIVP試行用パッケージ。

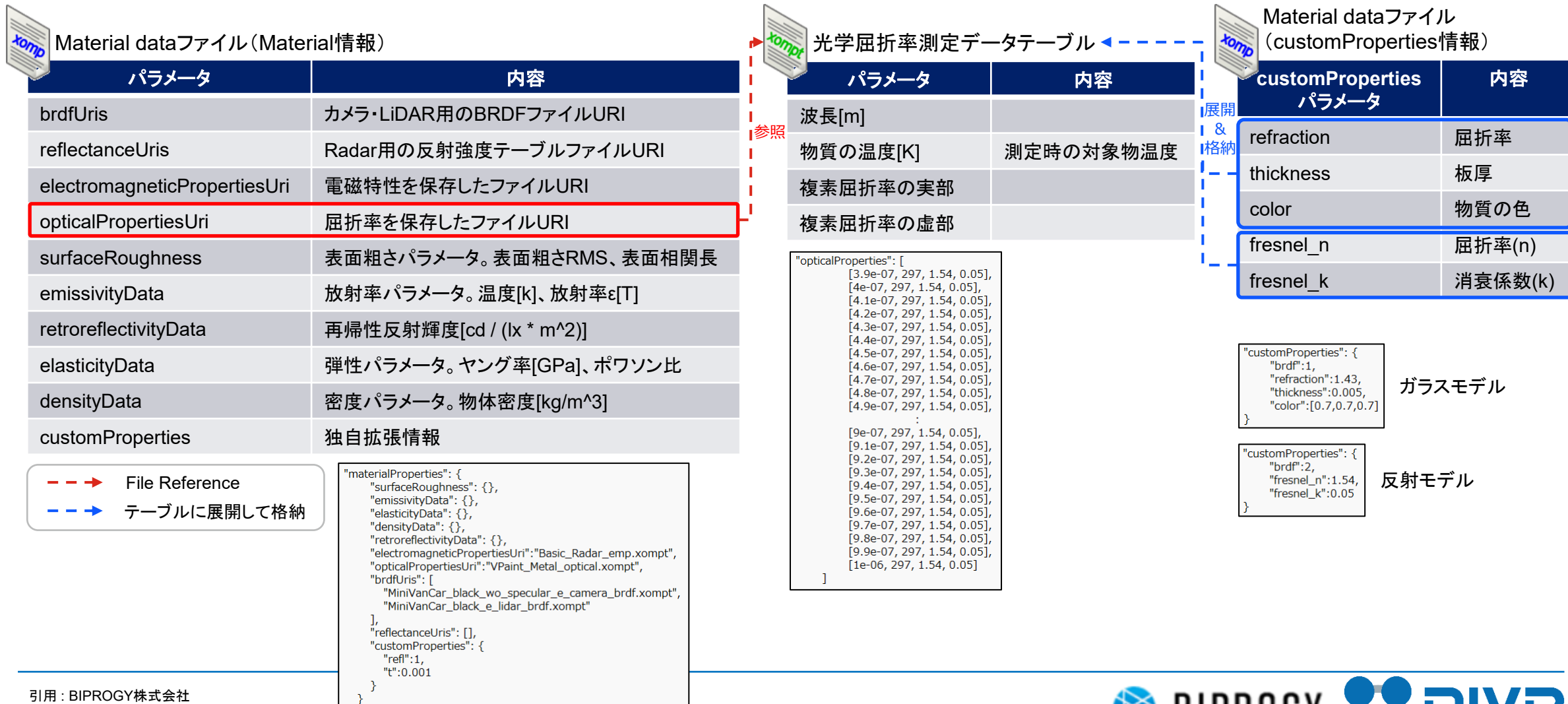
OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 - 電磁気特性測定データテーブル

customPropertiesに格納していたRadar用パラメータを、OpenMATERIAL 3D形式の電磁気特性測定データテーブルへ展開し、格納。



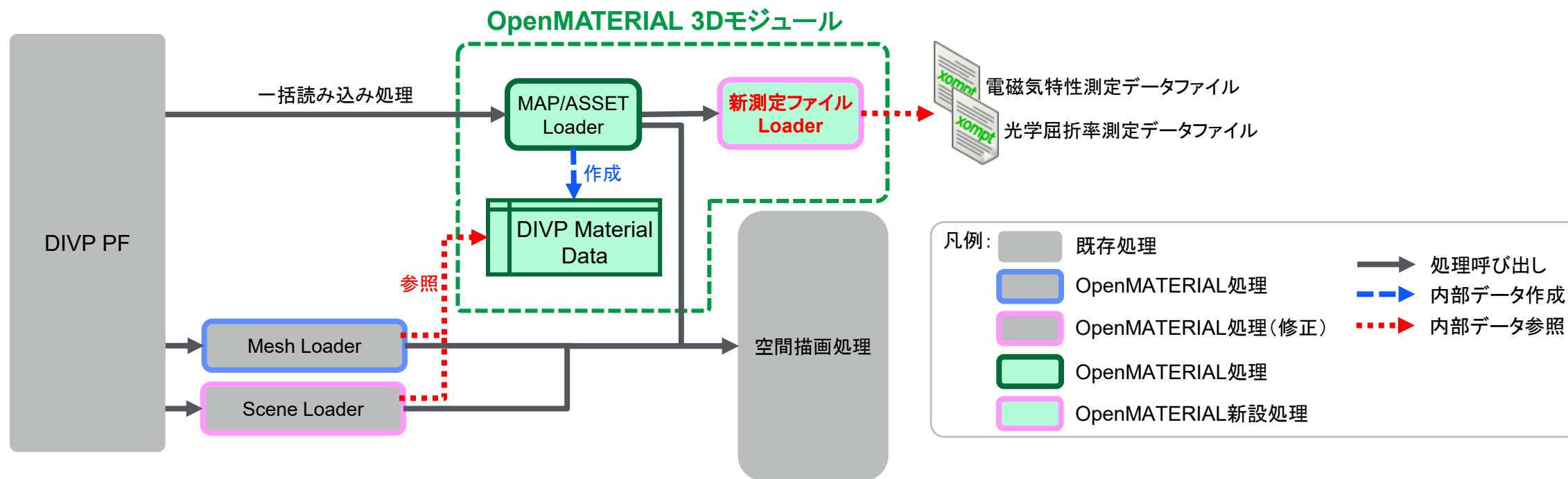
OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 – 光学屈折率測定データテーブル

customPropertiesに格納していたCamera用パラメータをOpenMATERIAL 3D形式の光学屈折率測定データテーブルへ展開し、格納。



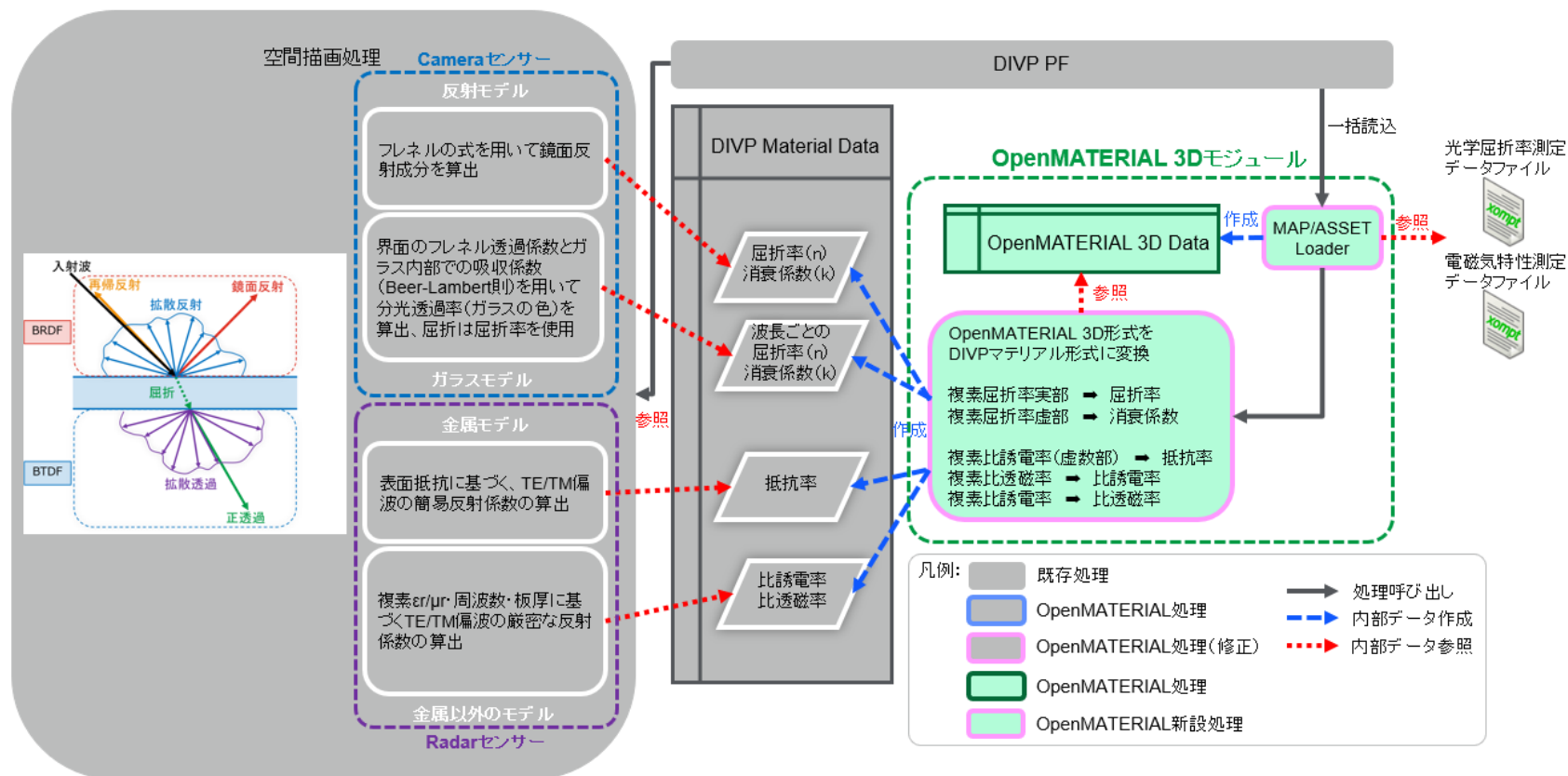
OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 - DIVP PF 実装設計

FY24に設計したASAM OpenMATERIAL 3Dに対し、光学屈折率測定データテーブルおよび電磁気特性測定データテーブルの読み込み処理と内部展開処理を、OpenMATERIAL 3Dモジュール内で完結する実装設計。



OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 - DIVP PF 実装概要

光学屈折率測定データテーブルおよび電磁気特性測定データテーブルの読み込みと内部展開の処理概要。
 Cameraセンサーによる複素屈折率データ読み込みと反射モデル・ガラスモデルによる反射・透過特性の算出、Radarセンサーによる複素誘電率・複素透磁率データ読み込みと金属・非金属モデルによる反射係数の算出。



OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 - DIVP PF 実装結果確認

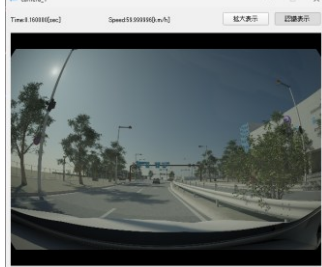
CameraおよびRadarにおいて、OpenMATERIAL 3D形式の光学屈折率測定データテーブルならびに電磁気特性測定データテーブルへの対応を完了。対応前後の結果比較による検証を実施し、結果を確認済み。

Camera

従来のcustomProperties結果



屈折率・電磁気特定測定データ結果



● Camera空間描画ノードからPublishされた分光データ (spectrum_data) を比較して検証を実施
 → 一致性を確認 (ガラスについては概ね一致)

ROS2 Node
Camera空間描画

→

Topic
CameraSpectrumData

→

名称	型	単位	説明
header	std_msgs/Header	-	
split_max_count	uint32	-	msg split max count
split_num	uint32	-	msg split number
height	uint32	[pixel]	image height
width	uint32	[pixel]	image width
wave_length_num	uint32	-	バンド数
wave_length_dlt	float32	[nm]	波長Δ
wave_length_data	float32[]	[nm]	波長[nm]、size is (wave_length_num)
spectrum_data	float32[]	[W/m^2/nm]	35/62バンド分光データ、size is (height * width * wave_length_num)

LiDAR

従来のcustomProperties結果



屈折率・電磁気特定測定データ結果



● LiDAR知覚(receiver)ノードからPublishされた結果データ (PointCloud2) を比較して検証を実施
 → 一致性を確認

ROS2 Node
LiDAR知覚

→

Topic
PointCloud2

→

name	型	単位	説明
x	float32	[m]	3次元座標x
y	float32	[m]	3次元座標y
z	float32	[m]	3次元座標z
intensity	float32	[W]	インテンシティ
delta_time	int32	[nsec]	ヘッダのタイムスタンプからの経過時間

Radar

従来のcustomProperties結果



屈折率・電磁気特定測定データ結果



● Radar空間描画ノードからPublishされた結果データ (RadarRendering) を比較して検証を実施
 → 一致性を確認

ROS2 Node
Radar空間描画

→

Topic
RadarRendering

→

名称	型	単位	説明
rray	float64	[m]	総伝播距離
vray	float64	[m/s]	反射点間相対速度総和
attray_th_re	float64	-	θ方向伝播減衰量総和(センサの上方向と垂直な平面と平行)戻部
attray_th_im	float64	-	θ方向伝播減衰量総和(センサの上方向と垂直な平面と平行)去部
attray_ph_re	float64	-	φ方向伝播減衰量総和(センサの上方向とセンサ方向が必ず平面と平行)戻部
attray_ph_im	float64	-	φ方向伝播減衰量総和(センサの上方向とセンサ方向が必ず平面と平行)去部
phitx_az	float64	[rad]	送信水平方位
phitx_ez	float64	[rad]	送信垂直方位
phinx_az	float64	[rad]	受信水平方位
phinx_ez	float64	[rad]	受信垂直方位

OpenMATERIAL 3D V1.0 対応 - 普及促進

DIVPトライアルパッケージ

精緻なセンサーシミュレーションを可能にする反射属性等を格納可能にした新標準規格「ASAM OpenMATERIAL 3D」のデータに対応したDIVPプラットフォームと、動作確認用のサンプルシナリオ及び、OpenMATERIAL 3D V1.0に準拠したデータを同封させた、DIVP試行用パッケージ。OpenMATERIAL 3D V1.0普及促進の為、無償配布を実施。

●提供形式

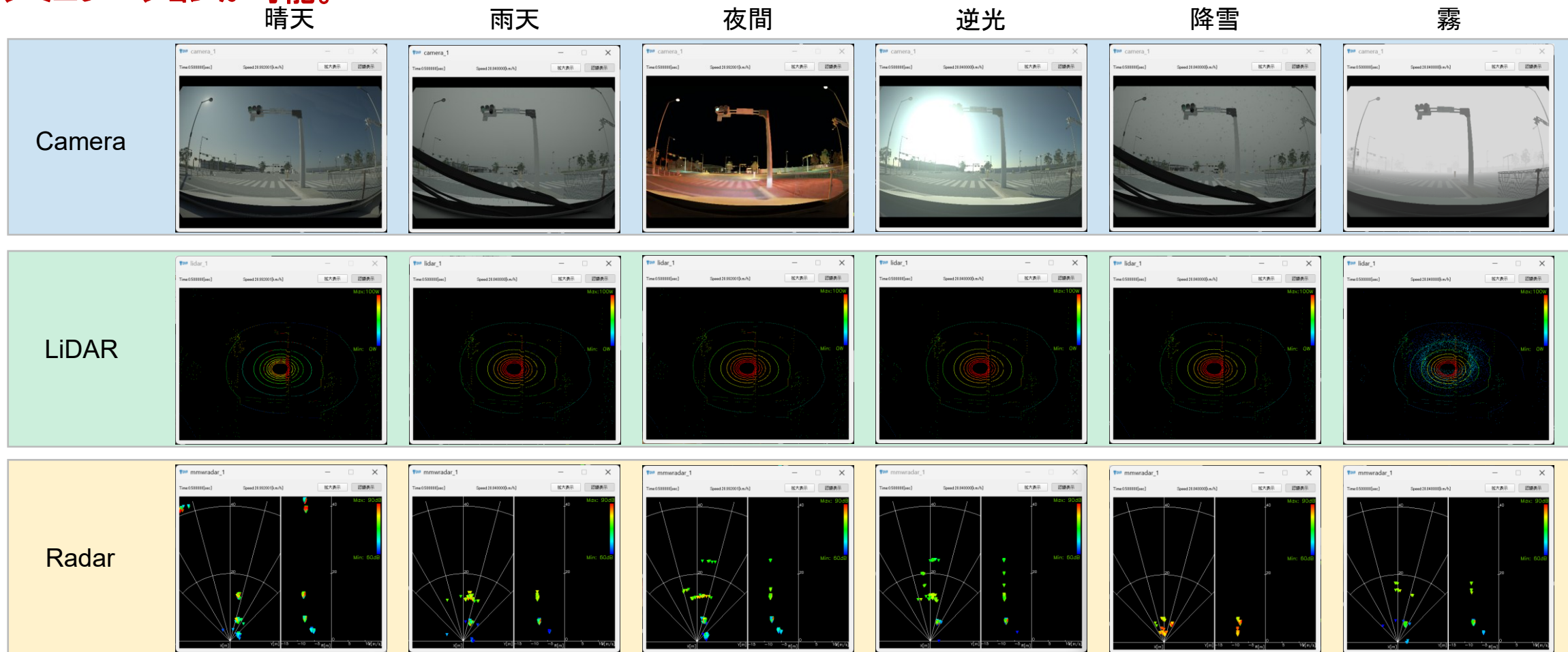
タイプ	OS	アーキテクチャ	OpenMATERIAL 3D 対応状況	Docker イメージ	英語版	DIVPベース バージョン	備考
研究開発版	Ubuntu 18.04	ROS	○	○	○	v0.13.0	降雪・霧は未対応
	Ubuntu 22.04	ROS2	○	○	○	v.0.14.0	Geometry構造はV1.1.0 以降で対応予定
	Windows 10/11	ROS2	○	×	○	v0.14.0	
製品版	Windows 10/11	Matlab Simulink	×	×	—	—	V1.1.0以降で対応予定

●動作環境

項目	Linux動作環境	Windows動作環境
OS	Ubuntu 22.04.5 LTS	Windows11 24H2(26100.7171)
CPU	Intel Xeon Gold 6242R(20cores,40threads,3.10GHz)x2, DDR4 192GB	Intel Xeon Gold 6242R(20cores,40threads,3.10GHz)x2, DDR4 192GB
GPU	NVIDIA RTX A6000(GDDR6 48GB)x2	NVIDIA RTX A6000(GDDR6 48GB)x2
NVIDIAドライバ	nvidia-driver-550.163.01	nvidia-driver-571.96
cuda	12.4	10.2
ROS	ros-humble-desktop(0.10.0-1jammy.20250916.062930)	ROS 2 Humble Hawksbill Patch Release 10 (2024-08-07)
OpenSSL	3.0.2	1.1.1l
OpenSV	4.5.4	3.4.6

DIVPトリアルパッケージ – 動作確認用サンプルシナリオ

東京・お台場の青海一丁目交差点を対象としたシナリオ。対向車が交差点内を通過するのを待つて右折する挙動。「晴天」「雨天」「夜間」「逆光」「降雪」「霧」の6条件におけるシナリオで、カメラ、LiDAR、レーダーの3センサーによるシミュレーションが可能。



DIVPトリアルパッケージ – OpenMATERIAL 3D V1.0準拠データ

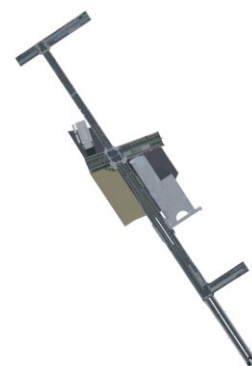
DIVPトリアルパッケージには、ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0に準拠したアセットデータ(マテリアルファイル含む)を同梱。3Dデータファイルはパスワード設定付きFBX形式とし、秘匿性を確保。

OpenMATERIAL 3D V1.0 対応版
測定反射属性付き環境モデル(3Dデータ)

アセット	内容/シナリオ動作			
Tokyo_WaterFrontCity_Daiba_north_Area03 (臨海副都心台場地区)	マップ(お台場青海交差点)			
SUVCar(トヨタレクサスRX450hL)	自車両			
SedanCar(トヨタプリウス)	対向方向 直進			
MiniVanCar(トヨタアルファード)	対向方向 左折			
NcapBicycle(NCAP自転車)	対向方向 直進			
AdultMale(大人男性)	対向方向 横断歩道直進			
Motorbike(ホンダCB1300)	対向方向 直進			
HeavyTruck(日野プロフィア)	対向方向 直進			
WagonCar(スバルレヴォーグ)	同一方向 直進			
MidSUVCar(日産エクストレイル)	同一方向 直進			
マテリアルファイル	ファイル数			
アセットファイル(.xoma)	11ファイル			
マテリアルマッピングファイル(.xomm)	11ファイル			
マテリアルデータファイル(.xomp)	52ファイル			
測定データファイル(.xompt)	カメラ用	26ファイル	13ファイル	—
	LiDAR用	23ファイル	—	—
	Radar用	9ファイル	—	7ファイル

3Dデータ数:10個
内訳:

マップ:1個
車両:6個
バイク:1個
自転車:1個
歩行者:1個

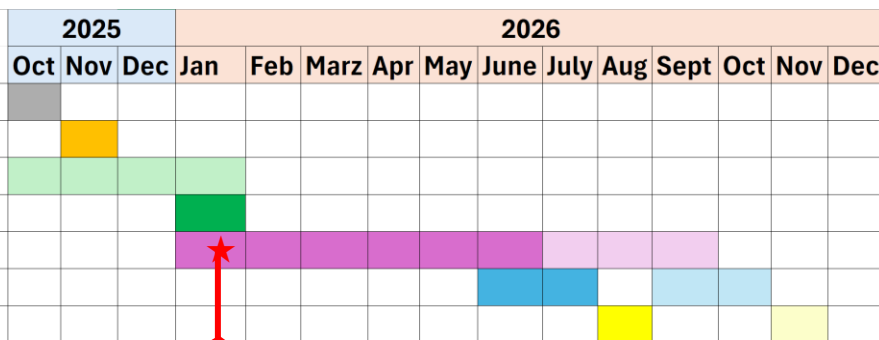


OpenMATERIAL 3D V1.1.0 活動

ASAM OpenMATERIAL® 3D v1.1.0 – Proposal & Timeline

OpenMATERIAL 3DV1.1.0 議題（優先度順、赤字はDIVP提案議題）

#	内容	説明
448	ライトの光源情報及び、複合ライト等の構造定義	#59の発光情報に加えて配光情報等も含める。さらに復号ライト等の形状構造表現も検討。
59	マテリアルに発光情報を追加	点光源等の発光情報を追加保持
118	3D形状ファイルの階層化。他ファイルへの参照(インスタンス対応)	形状ファイル内で、同一形状を外出してファイル参照により表現可能にする
141	板厚情報の追加	屈折計算時や、Radarの多層反射計算時に必要となる板厚を追加保持する
449	測定テーブルのバイナリ版と秘匿化対応追加	測定テーブルがサイズ大となり実行速度に影響がある為、バイナリ版を作成。同時に暗号化機能も追加して秘匿化対応する
183	アセットファイルからの明示的な形状ファイル参照	アセットファイルと形状ファイルの同名参照を止める。複数のアセットファイル間で1つの形状ファイルに共有可能にする。
451	マテリアルマッピングの方法追加	課題が不明。マッピングファイルではなくアセットファイル内でテクスチャ内の色コードを指定可能にする。
447	各ファイルのトップレベルに\$schema情報の追加	Jsonスキーマの参照情報をファイルトップに追加
236	BRDFテーブル作成時の方法説明追加	BRDFテーブルの作成方法説明（ガイドライン）を明記する
450	BRDF測定時の検出器の立体角情報をメタデータに追加	反射強度測定器の情報が必要なケースを考慮
445	GitHubのREADMEへ、リリース/ブランチ情報を追加	GitHubのバージョン情報を詳細化する
415	チェッカーツールへのルール追加	チェッカーツールにルールを追加
78	人体モデルにLODを導入。	普通は腕と足だけ、詳細版は指まで可動可能な様に、データ詳細化レベルを形状構造に組み込む
452	RGB記述方法の追加	マテリアルテクスチャ内の色コード表記を“#FF0000”等の表記も可能にする。
446	Blenderのエクスポート拡張を実装	OpenMATERIAL 3DファイルをBlenderで入出力可能にガイドライン作成&PG実装する。
382	複素誘電率から導電率を計算する	誘電率から導電率を計算する様にする。



1/21
OpenMATERIAL
3DV1.1.1 project start

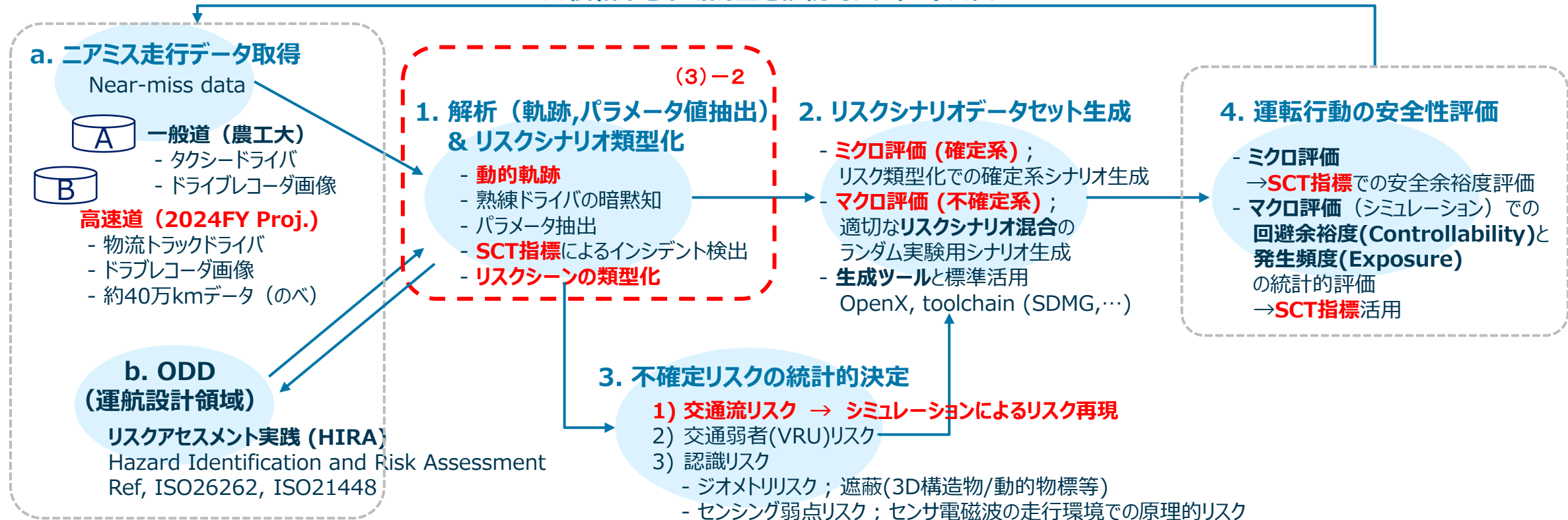


(3)-2 リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究

リスクシナリオ生成のパイプラインと2nd stage評価（回避可能性）

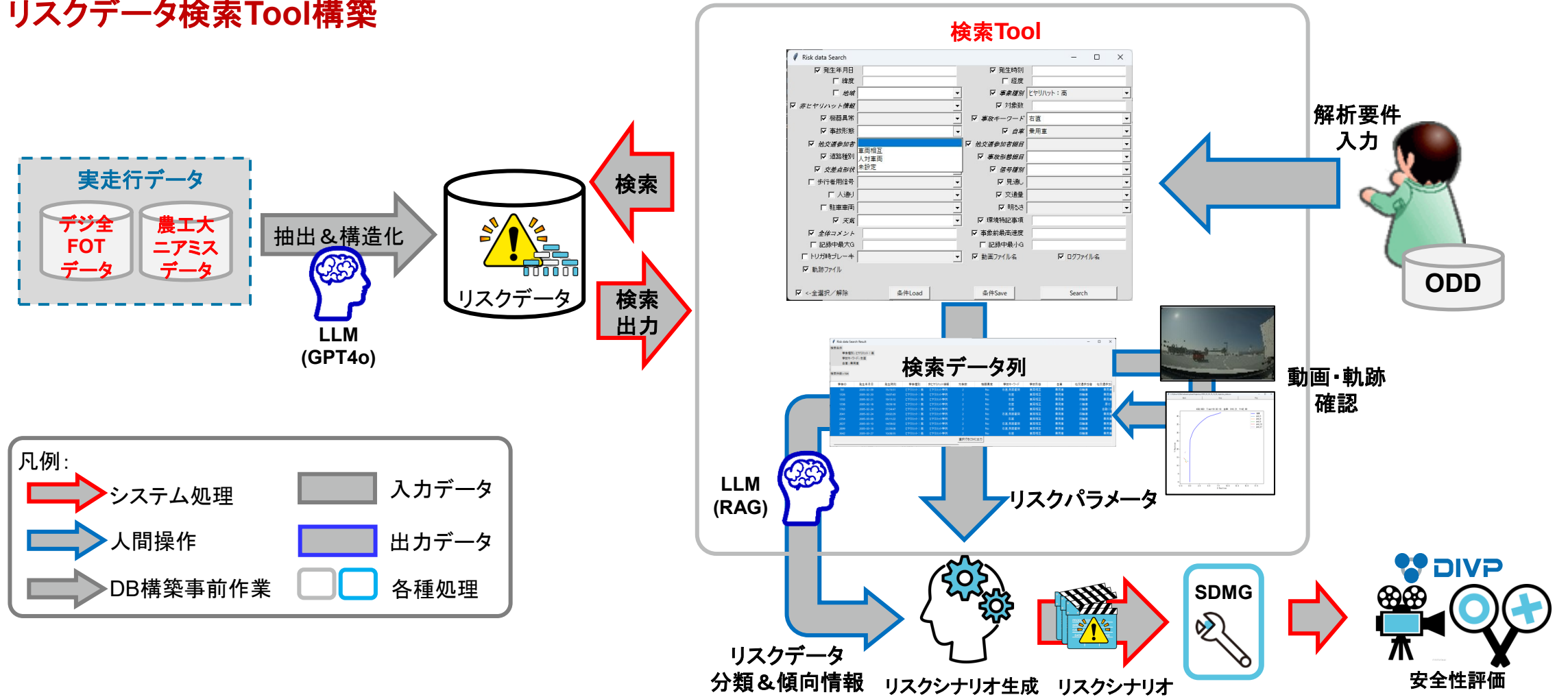
- ① 人間ドライバー主観から危険と感じた場面を収集したニアミスデータソースが特徴.
- ② このデータ群のカメラ画像から自車および他車の軌跡を抽出し、統計的パラメータデータを生成.
- ③ 更に、自動運転車の走行挙動を評価するため、新たなSCT（安全クッション時間）指標を考案.
→ヒヤリハット相当の危険度レベルとその発生頻度に対する安全マージンの定量的な評価に活用可能.

5. 評価結果と市場調査を継続的にフィードバック



(3)-2 リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究

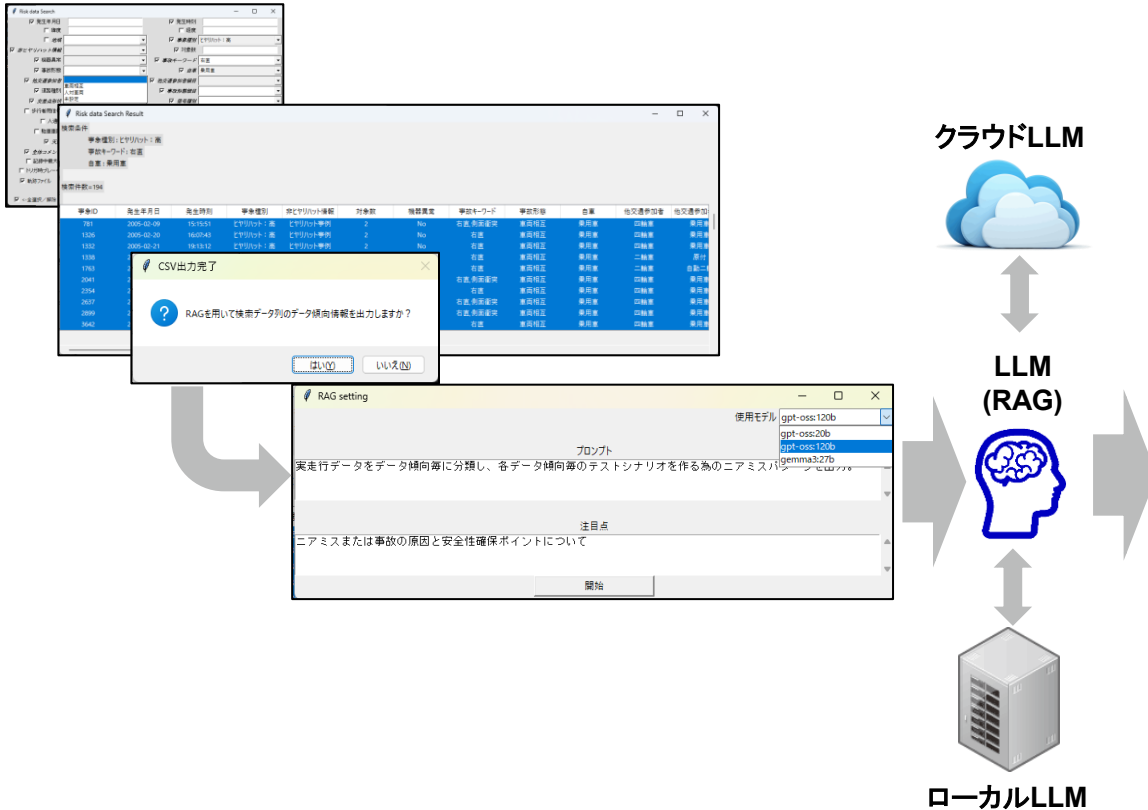
リスクデータ検索Tool構築



実走行データから抽出&構造化されたリスクデータベースに対して、ODD要件を基に対象となるデータを検索するToolを開発。
検索されたデータ列を用いて、リスクシナリオを生成する。

(3)-2 リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究

リスクデータ分類&傾向表示機能



Request 内容

依頼内容：
以下の着眼点を踏まえて、上記実走行データをデータ傾向毎に分類し、各データ傾向毎のテストシナリオを作る為のニアミスパターンを出力して。

着眼点：
ニアミスまたは事故の原因と安全性確保ポイントについて

検索結果：195件
[検索結果\(csv\(検索条件含む\)\)](#)

RAG生成結果
使用モデル: gpt-oss-20b

1. データ傾向 (=ニアミスパターン) の分類

傾向	主な発生状況 (実走行データからの抜粋)	ニアミスの原因	安全性確保ポイント
① 右折時に対向車線から直進/右折車両が接近	右折走行中に対向車が直進または右折開始で衝突しそうになった (例: 2017-05-01 22:23:50, 2020-03-15 10:45:10)	・信号や歩行者・自転車の視認性不足 ・右折レーンの形状(曲がりくねり)により対向車が見えづらい	① 右折レーンの視線確保 (前車・対向車の動線確認) ② 右折開始前に周囲を全方向確認 ③ 進入前に対向車線の信号状態を確認 ④ 進入ラインに対向車が停車している場合は停止
② 右折時に対向車線が混雑・信号遅延	右折走行時に対向車線が停車中、信号が黄→赤に変わった直前に停止しようになった (例: 2020-03-15 10:45:10)	・対向車線の渋滞・信号遅延による停車車への接近	① 右折時に歩行者・自転車の動線を確認 ② 歩道横断者がいないか確かめる
③ 右折時に歩行者・自転車横断者が接近	左歩道から横断自転車来る際に右折先を見ているだけで衝突しそうになる (例: 2017-12-16 02:26:25)	・横断者の視認性不足・運転者の視線移動	① 右折前に対向車線の信号状態を確認 ② 歩道横断者がいないか確かめる
④ 右折時にバイクが黄信号で進入、車両側の影に隠れる	右折走行中に対向バイクが黄信号で進入し、影に隠れて発見遅れ (例: 2017-05-09 19:17:26)	・バイクが視界に入らず発見遅れ	① 右折前には左右の歩道・自転車の影を見にくい点に注意 ② バイクの進入点を予測し、速やかにブレーキ
⑤ 右折時に急操舵で避けるケース	右折開始直前に対向車が右折したため、急ハンドルで避けた (例: 2017-10-30 17:14:36)	・対向車の動線が不明瞭、急ハンドルにより車線変更失敗	① 右折時には左右の歩道・自転車の視線を確認 ② 急操舵ではなく、適切な角度でブレーキを踏む
⑥ 右折時に他車がクラクションを鳴らしながら進入	交差点右折中に対向バイクがクラクションを鳴らして直進、車両側に影ができて発見遅れ (例: 2017-12-29 15:09:13)	・クラクションがかかるまで視界が遮られる	① 交差点入線前に左右を確認 ② 視線が遮られそうな場合は速度を落とす
⑦ 右折時に前車が停止中で衝突しそう	右折走行中に前車が停止中で接触しそうになる (例: 2013-07-11 11:26:40)	・前車の停止状態を認識できず接近	① 進入前に前車の動作状態を確認 ② 停止中の車両を避けるために減速
⑧ 右折時に車線変更ミス (正面衝突)	車線変更しつつ交差点直進進入時、対向二輪車が右折開始で衝突しそうになる (例: 2017-11-05 19:10:27)	・車線変更のタイミングミス	① 車線変更前に周囲の車両を確認 ② 交差点内では車線変更を控える
⑨ 右折時に左側歩道から横断自転車が接近	右折中に左側歩道から横断自転車が接近し、衝突しそうになる (例: 2017-12-16 02:26:35)	・横断自転車の存在を視認できず	① 右折時には左右の歩道・自転車の視線を確認 ② 速度を落とし、横断者がいないことを確認
⑩ 右折時に天候が悪い(雨・曇り)で滑りやす	雨・曇り時に右折走行中に対向車が接近し、減速・ブレーキ失敗 (例: 2017-10-12 15:19:28, 2017-08-31 16:49:39)	・滑走性が増し制動距離が長くなる	① 雨天・曇り時は減速して進入 ② 制動距離を考慮し、十分な余裕を持つ
⑪ 右折時に対向車線におけるバイクの黄信号進入	右折時に対向バイクが黄信号で進入し、発見が遅れた (例: 2017-05-01 22:23:50)	・バイクが視界に入りにくい	① 交差点入線前に左右を確認 ② 黄信号の進入前に速度を落とす

LLMに検索リスクデータ列を渡し、データ分類&傾向等の情報を出力。プロンプト指示可能なGUIとして、注目点変更など出力の微調整にも対応。

RAG_result_251210.html

(3)-2 リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究

2023～2025年度の総括

■ 物理特性データの構造化

2023年度からの活動により、DIVPの知見を多く含めた環境モデル規格である「OpenMATERIAL 3D V1.0」をリリースできた。また、上記規格に対応したS/W及びデータを試行可能にした「DIVPトリアルパッケージ」は、上記規格およびDIVP-PFの普及に貢献する成果物である。

また、この「OpenMATERIAL 3D V1.0」は、世界初の規格であり、それを試行可能にした「DIVPトリアルパッケージ」は世界初の対応S/Wである。これらは全世界のADS/ADAS開発の効率向上に寄与する。

■ リスクシナリオ生成の基となるリスクデータリポジトリの研究

ADS/ADASの安全性評価には、車両リスク要件やJAMA等の定型化されたシナリオに加えて、走行環境リスクを含ませたリスクシナリオを用いる必要がある。2025年度の活動により、実走行リスクを含んだニアミスFOTデータから構築したリスクデータベースに対して、ODD要件に沿ったリスクデータをリスクデータ検索Toolを用いて抽出しリスクシナリオを生成する事で、安全性評価に繋げる成果が確認できた。

尚、構築したリスクデータ検索Toolは、前述のとおり検索対象データベースを設定ファイルで定義可能となっており、汎用的に利用可能な成果物である。

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化

(3)-2. DIVP Material 構造の実装の完成, 及び, 標準化展開

(3)-3. 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充

膨大な走行試験映像からパーセプション／ジオメトリ起因リスクを自動抽出し、安全性評価に必要なシナリオを生成した。人の主観に依らないリスク判定・アノテーション取得と作業効率の向上に寄与する。

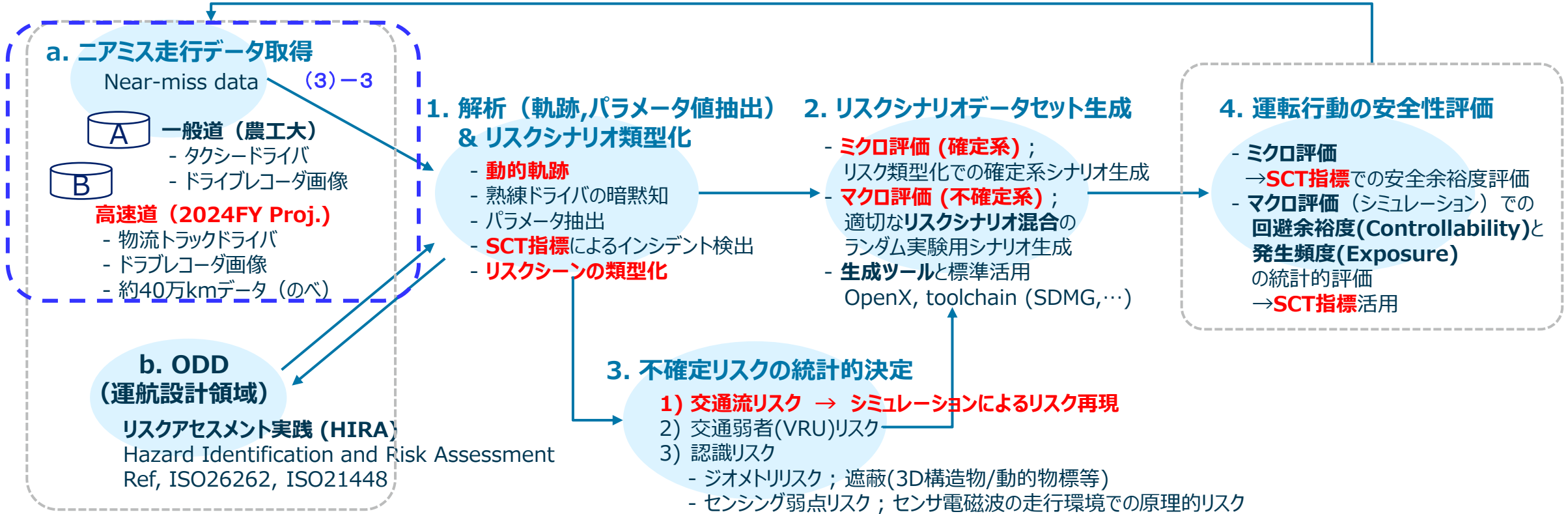
2年間の計画と成果

実施計画(テーマ)	成果内容	成果物
■ カメラ弱点事象の自動抽出アルゴリズムの精度向上と評価	■ CNN(ディープラーニング)を用いたカメラ弱点事象の自動抽出(逆光、夜間時のカメラ弱点事象)	■ ニアミスDB(抽出結果の蓄積) ■ 機械学習モデル
■ 生成AIを用いたカメラ弱点事象の検索システムの試作	■ RAG(検索拡張生成)を用いたカメラ弱点事象シーンの検索(ニアミスDBの検索)	■ ソースコード(RAG)
■ 各種センサの計測データのデータベース整備	■ LLM(GPT)/機械学習モデルを用いたリスクシーンのリスク判定およびアノテーション、交通参加者軌跡推定(ニアミスDBへのデータ追記)	■ ニアミスDB(判定結果の蓄積) ■ 機械学習モデル ■ ソースコード(GPTモデル)
■ データベースの利用・活用に向けた試行、検証	■ VLM(Sora2)を用いたリスクシーン映像生成 ■ RAG(検索拡張生成)を用いたリスクシーンの検索(ニアミスDBの検索)	■ ソースコード(Sora2モデル) ■ ソースコード(RAG)

実効性のある安全性評価フレームワークの全体像を以下のパイプラインとして定義した

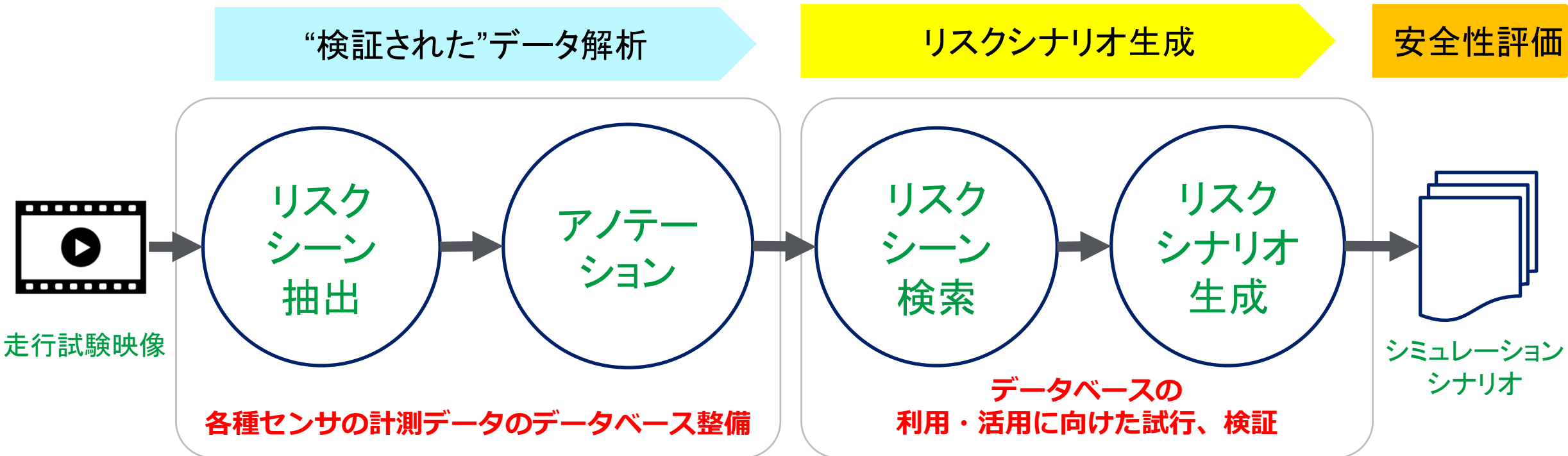
テーマ(3)-3の位置づけ

5. 評価結果と市場調査を継続的にフィードバック



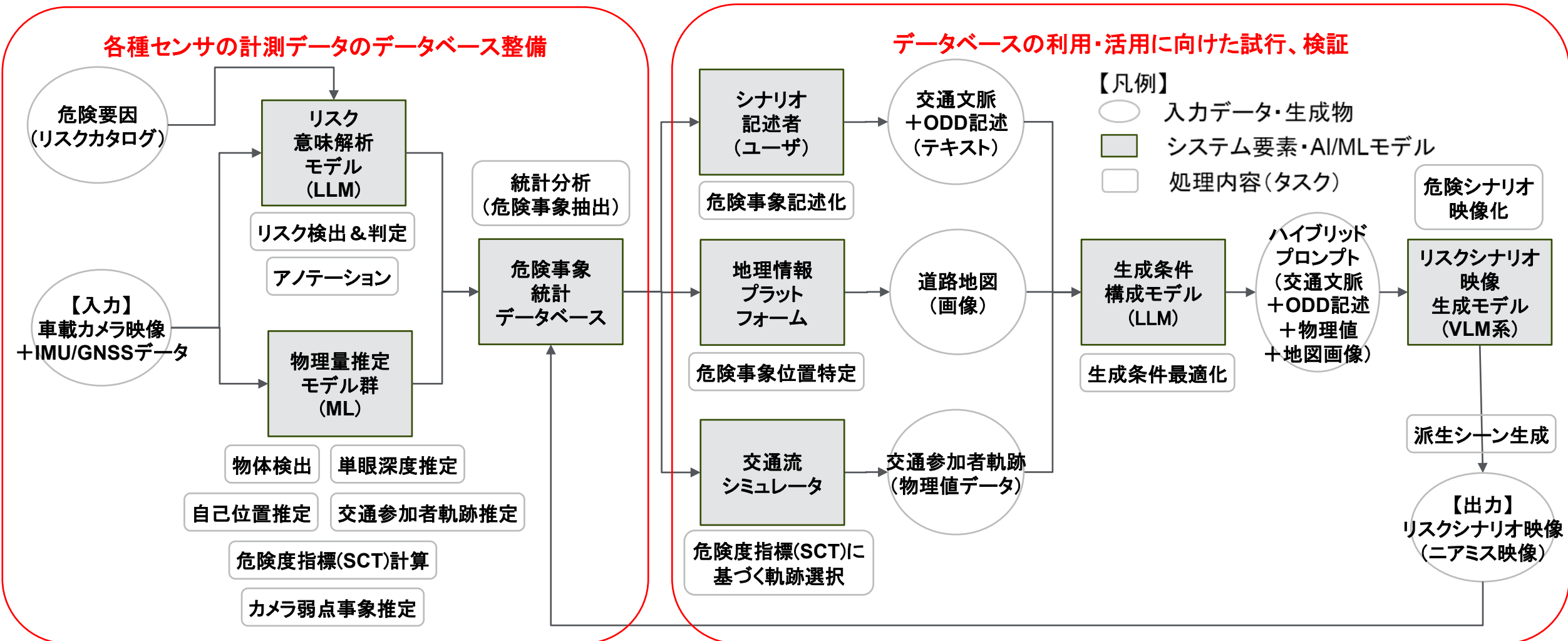
膨大な走行試験映像から、自動運転の安全性評価のために必要なシミュレーションシナリオを生成した

テーマ(3)-3の目的



生成AI/MLを活用したリスクシナリオ生成プロセスを構築した

テーマ(3)-3の全体像(リスクシナリオ生成プロセス)



走行試験映像を解析し、映像中の周辺交通状況のアノテーション出力と、交通参加者の行動軌跡を得た

生成AIとリスク判定によるリスクシーン抽出

走行試験映像のアノテーション手法

走行試験映像から周辺交通状況の推定

走行試験映像から交通参加者の行動軌跡推定

Deloitte.

STEP.1 軌跡情報データの収集*

農工大
ヒヤリDB

交通参加者の行動軌跡推定出力
(CSV形式)



軌跡抽出ツール

$t(s)$	$p_{gx}(m)$	$p_{gy}(m)$
$0(t_0)$	N	N
...
N	N	N

$t(s)$	$p_{gx}(m)$	$p_{gy}(m)$
$0(t_0)$	N	N
...
N	N	N

■ 各ヒヤリデータから歩行者の行動軌跡を抽出
 > ヒヤリ開始時の自転車位置を原点とした座標系を使用

走行試験映像をLLM
(GPT)に入力する



抽出

映像中の周辺交通状況
をアノテーションする
(LLMからの出力)

全体の交通状況



撮影環境

- ・ 昼間の市街地でのダッシュカメラ映像。
- ・ 明るく、晴れた天候で視界良好。
- ・ 撮影地点は横断歩道手前の停止線付近。
- ・ 周囲は歩行者が多く、人通りの多い商業エリアであると推察されます。

歩行者の状況

横断者

- ・ 中央にベビーカーを押す人物と付き添いの男性が横断中。
- ・ 左側歩道からも複数の歩行者が横断を開始または終了しており、全件で10人以上が映っています。
- ・ 右側にも犬を連れて人物や、別方向に進む歩行者が確認され、非常に動きの多い状況です。

注意点

- ・ 小さな子どもまたはベビーカーが含まれており、横断速度が遅い可能性があります。
- ・ 歩行者が四方から入り乱れているため、ドライバーからの死角や見落としリスクが高い。
- ・ 多くの歩行者が「信号が変わる前に渡ろうとして急いでいる様子」も一部に見られる。

周辺環境の特徴

項目	内容
道路構造	幅の狭い片側1車線道路。横断歩道あり。
建物・施設	両側に商業ビル、飲食店、看板多数（繁華街や駅前の特徴）
信号・標識	歩行者用信号と標識あり。車両用信号は映っていないが、信号制御交差点であると推察される
歩道の様子	左右に広めの歩道あり。通行人多数。柵やポールが安全対策として設置されている可能性

車両の状況

- ・ ドライバーは現在、横断歩道の前で一時的停止または徐行中。
- ・ 車両前方に明確に歩行者が存在するため、発進は完全に禁止される状況。
- ・ 路面は乾燥しており、天候条件による滑りやブレーキの遅れのリスクは低い。

膨大な走行試験映像を生成AI/MLを用いて解析し、映像中のリスクシーンを自動に抽出できた

各種センサの計測データのデータベース整備

生成AI活用によるリスクシーン抽出 & リスク判定およびアノテーション結果（「カットイン」判定）



ヒヤリハットリスク判定	中	道路形状	直線	自車前方の明るさ	普通	天候	晴れ
自車の走行に関係する歩行者の数	なし	車両用信号機の有無	なし	自車前方の人通り	少ない	自車前方の横断歩道の有無	なし
自車の走行に関係する車両の数	4	歩行者用信号機の有無	なし	自車前方の車両交通量	普通	自車前方の路面状態	乾燥
ヒヤリハットの詳細分類	カットイン	自車前方の見通し	良い	自車前方の駐車車両	なし	自車前方の舗装状態	舗装路
						自車前方の車線数	2

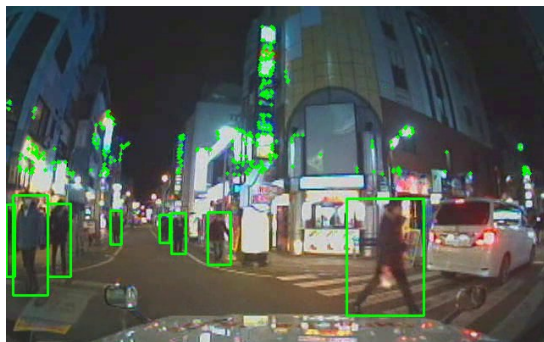
車載カメラ映像とIMU・GNSSデータを入力として、交通参加者の行動軌跡を推定できた

各種センサの計測データのデータベース整備

物体検出、単眼深度推定、自己位置推定、交通参加者の行動軌跡推定の例

STEP.1

交通参加者の検出



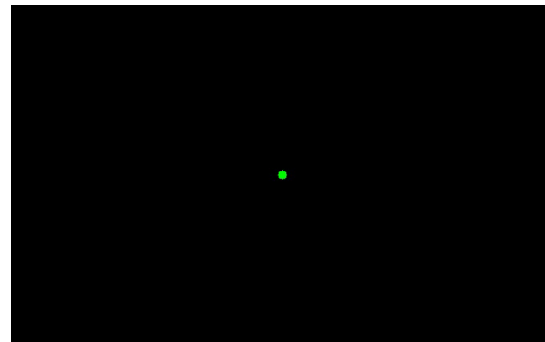
STEP.2

交通参加者の深度推定



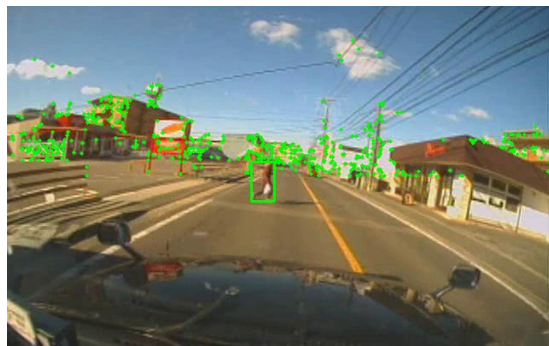
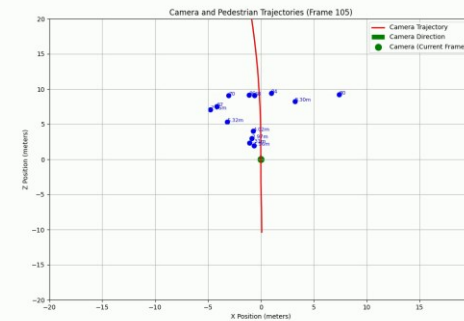
STEP.3

自車の走行軌跡推定

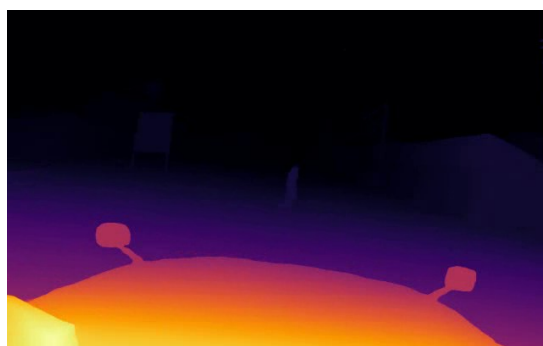


STEP.4

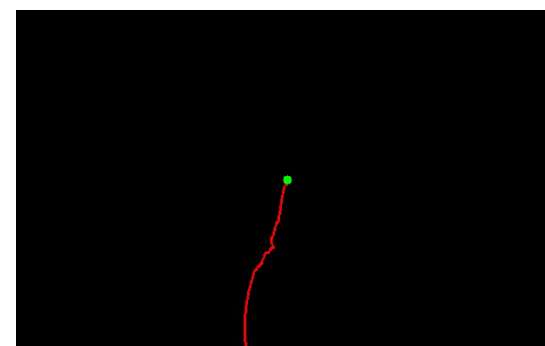
交通参加者の行動軌跡推定



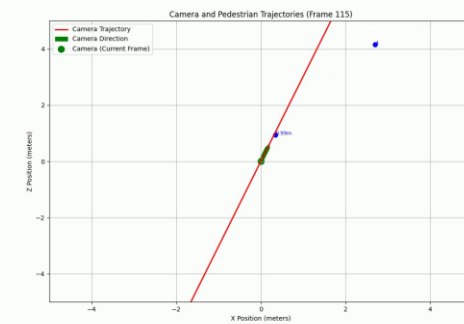
YOLOの実行例



Depth Anything v2の実行例



Visual Odometryの実行例

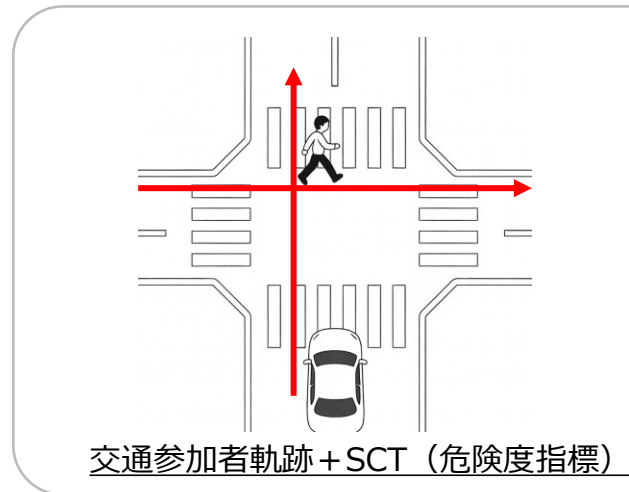


交通参加者軌跡の推定結果例

交通参加者軌跡と交通文脈を組み合わせ、動画生成AI(Sora2)を用いてリスクシーン映像を生成した

データベースの利用・活用に向けた試行、検証

Sora2により生成したリスクシーン映像の例



入力プロンプト

車が十字路に近づいた瞬間、左側から歩行者が突然飛び出して横断し
車が急ブレーキをかける状況
日本の郊外住宅地を走行する車のドライブレコーダー視点の実写映像
信号機がない見通しの悪い十字路になっている
自車は時速20~30km程度で前進する
晴れた日中、自然光での昼間
日本の道路標識、電柱、建物を忠実に再現
日本の典型的な住宅街のディテール(瓦屋根、電柱、狭い路地)
車が前のめりに沈む挙動

交通文脈

出力生成映像(リスクシーン映像)



危険度: 高
(非常に危険な“飛び出し”寸前)



危険度: 中
(やや危ないが回避可能)

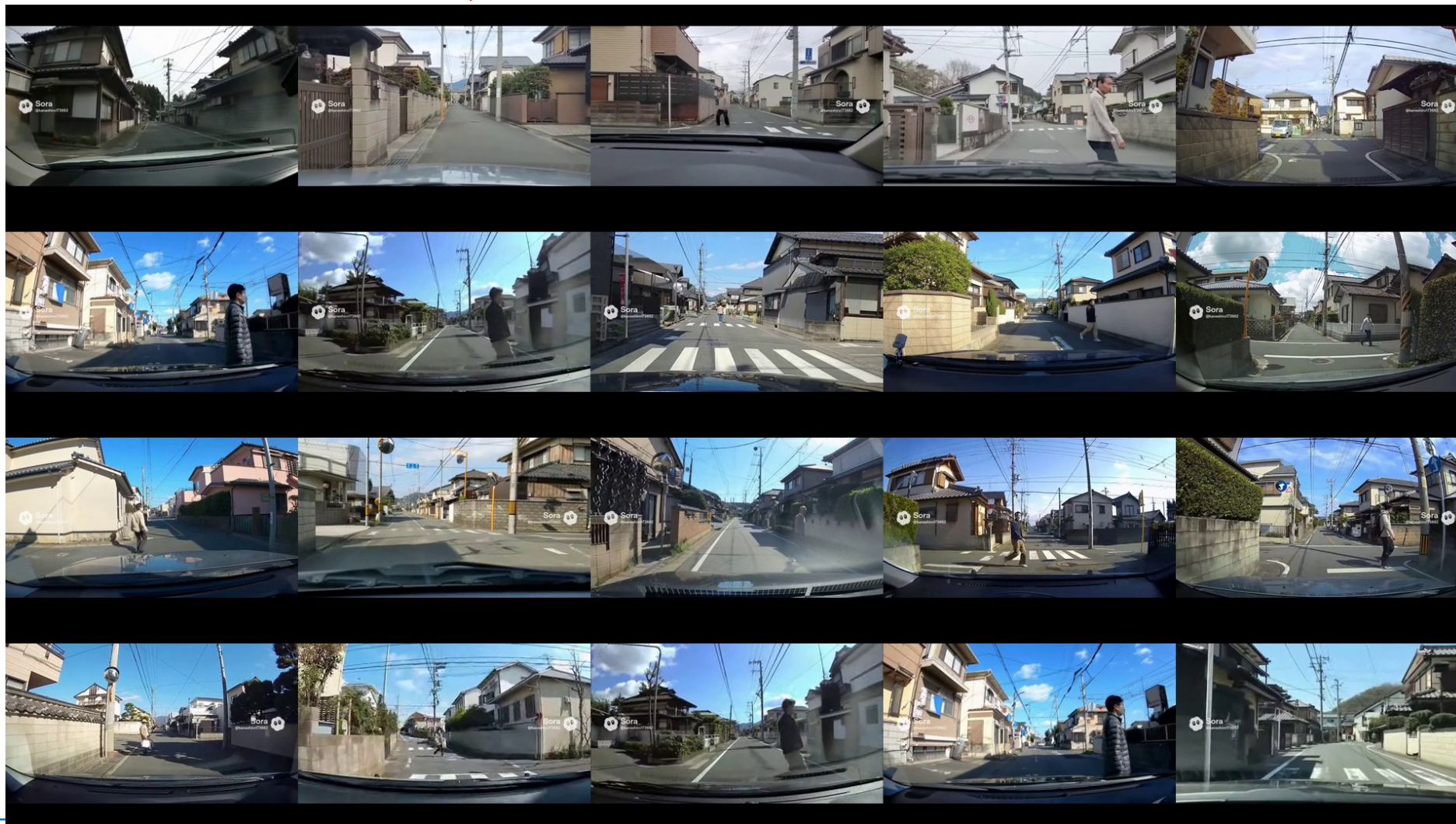


危険度: 低
(気づいて止まれたパターン)

1映像当たりの生成時間は約3分弱で、1時間で約20本のリスクシーン映像を生成可能である

データベースの利用・活用に向けた試行、検証

生成映像の例(1時間で生成した映像;20ファイル)

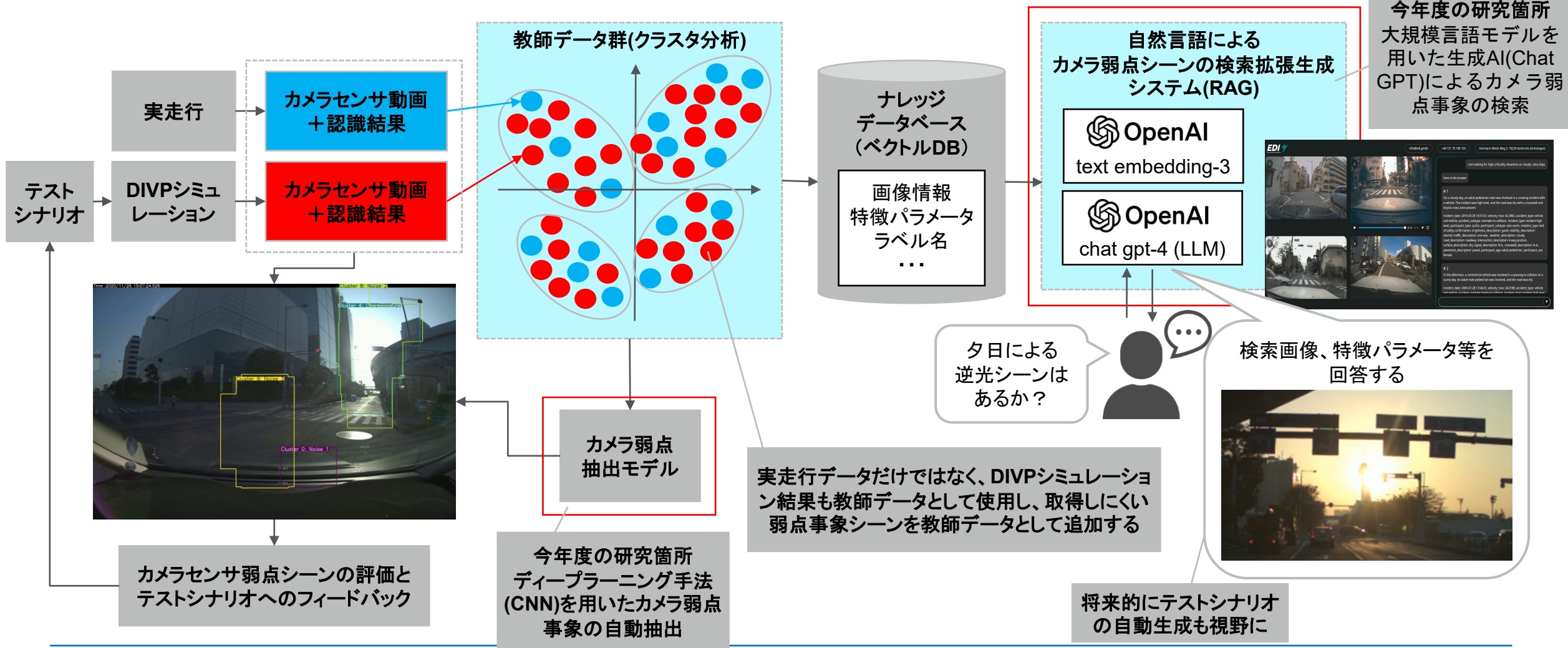


引用: 学校法人幾徳学園神奈川工科大学

289 令和7年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」

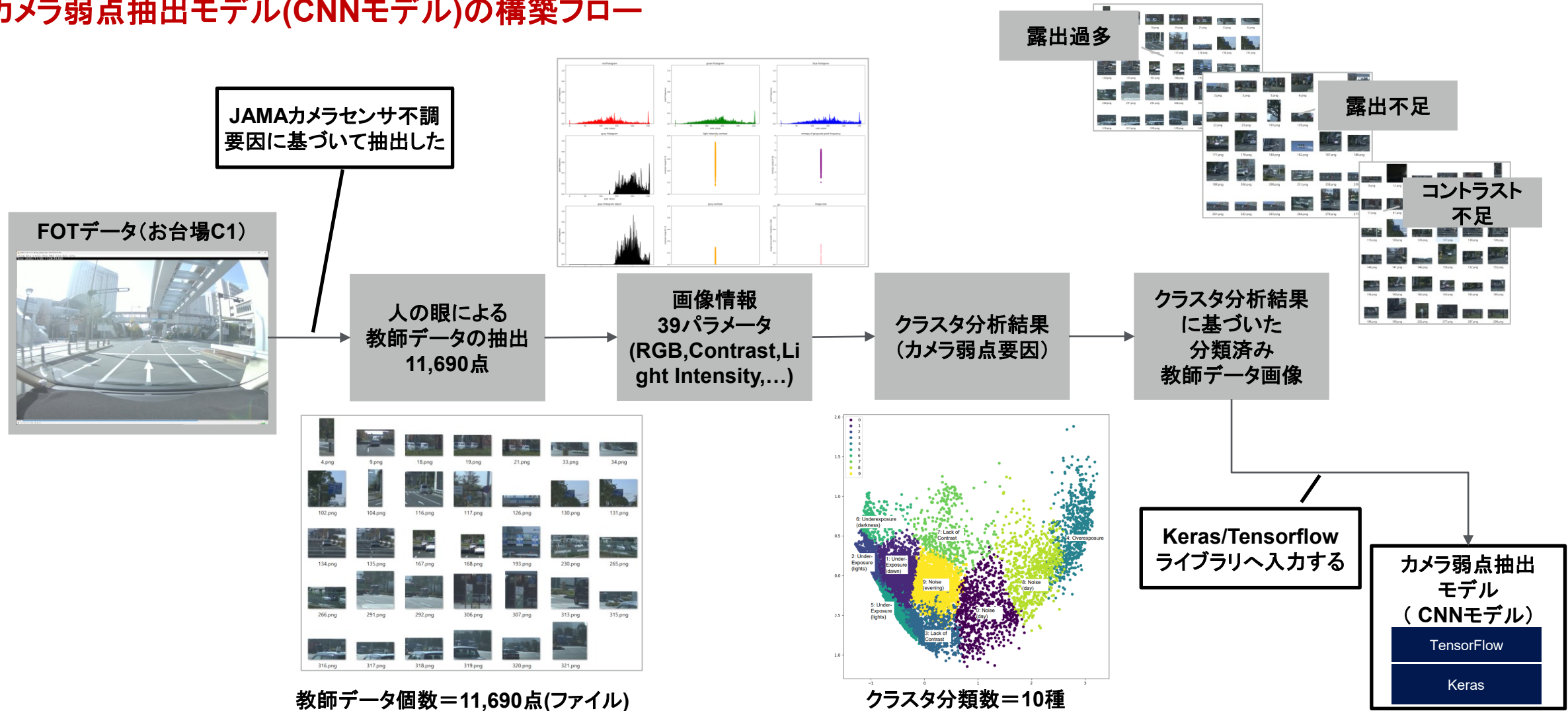
膨大なFOTデータから必要となる各種データの抽出手法および検索手法を整備する

FOTデータからの各種データの抽出・検索手法の概要



人の眼による評価で実走行データからカメラ弱点事象を抽出し、カメラ弱点抽出モデルを構築した

カメラ弱点抽出モデル(CNNモデル)の構築フロー

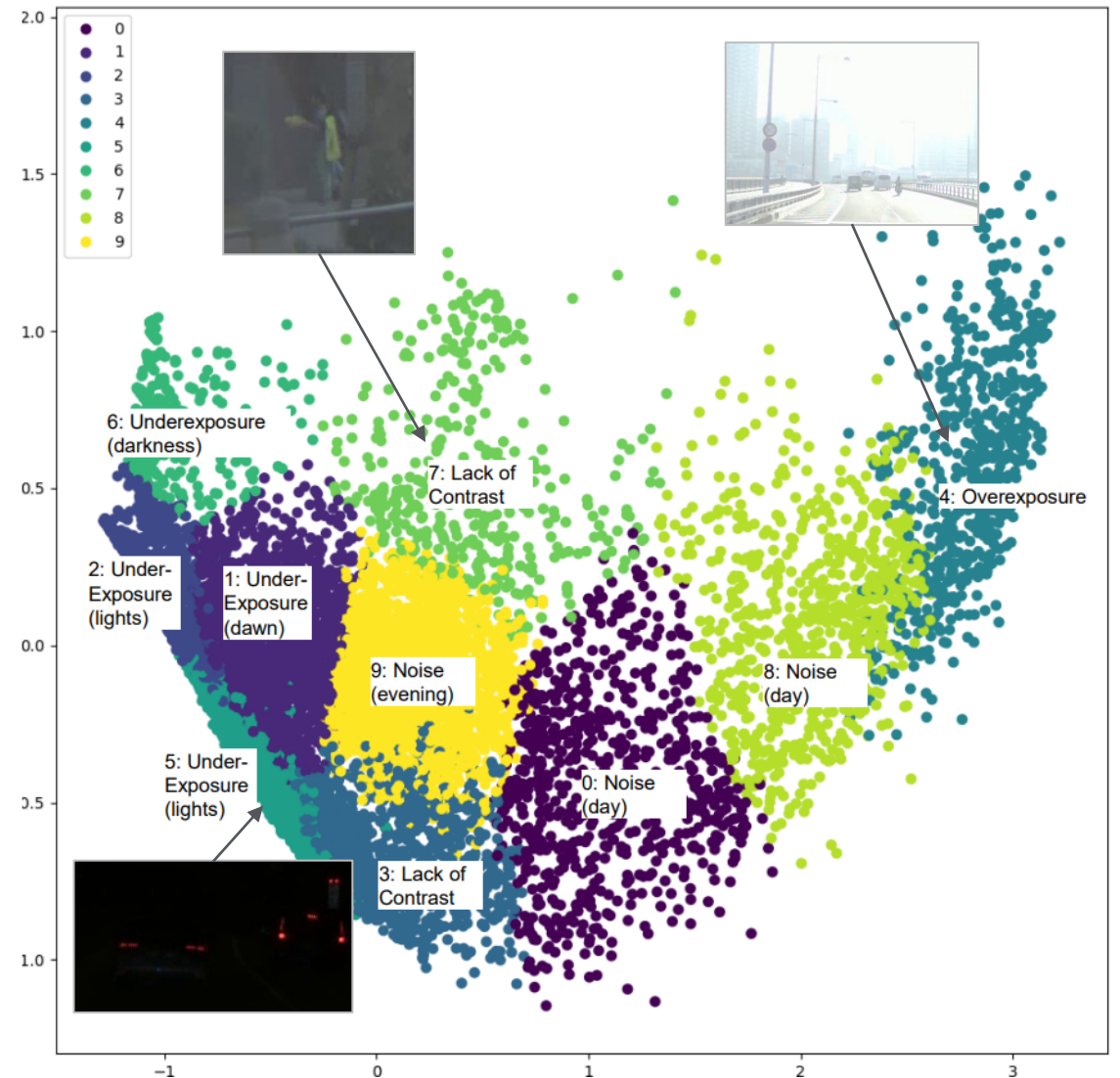


カメラ弱点要因分析(クラスター分析)により、以下の10種の要因により、カメラ弱点が発生している

カメラ弱点要因のクラスター分析結果

#	分類名	説明
0	Noise	ノイズ*1
1	Underexposure(dawn)	露出不足(夜明け)
2	Underexposure(lights)	露出不足(光源)
3	Lack of Contrast	コントラスト不足
4	Overexposure	露出過多
5	Underexposure(lights)	露出不足(光源)
6	Underexposure(darkness)	露出不足(暗闇)
7	Lack of Contrast	コントラスト不足
8	Noise	ノイズ*1
9	Noise	ノイズ*1

*1:ノイズは人の目では判別できないが、カメラでは判別できる弱点事象



カメラ弱点抽出モデルにより、逆光による白とびによる物標の認識不調が抽出できている

カメラ弱点抽出モデルの実行例

西日による信号機消失(白飛び)の抽出例。信号機付近の白飛びしている部分を抽出できている。



西日による逆光で
信号機付近に白飛びが発生している部分を
「Over-Exposure」(露光過多)として抽出
できている



カメラ弱点抽出モデルにより、逆光による白とびによる物標の認識不調が抽出できている

カメラ弱点抽出モデルの実行例2

信号機の認識不調

弱点発生確率の表示
赤色ほど弱点発生確率が高い



過去の実走行データから、人の目（主観評価）によりカメラ弱点事象を人手で抽出し、カメラ弱点抽出モデルの教師データとして使用した（画像数＝11,690ファイル）

カメラ弱点抽出モデルに使用した教師データの例1

露出過多（白とび）が原因による認識不調ケース

信号機の認識不調



標識の認識不調



信号機の認識不調



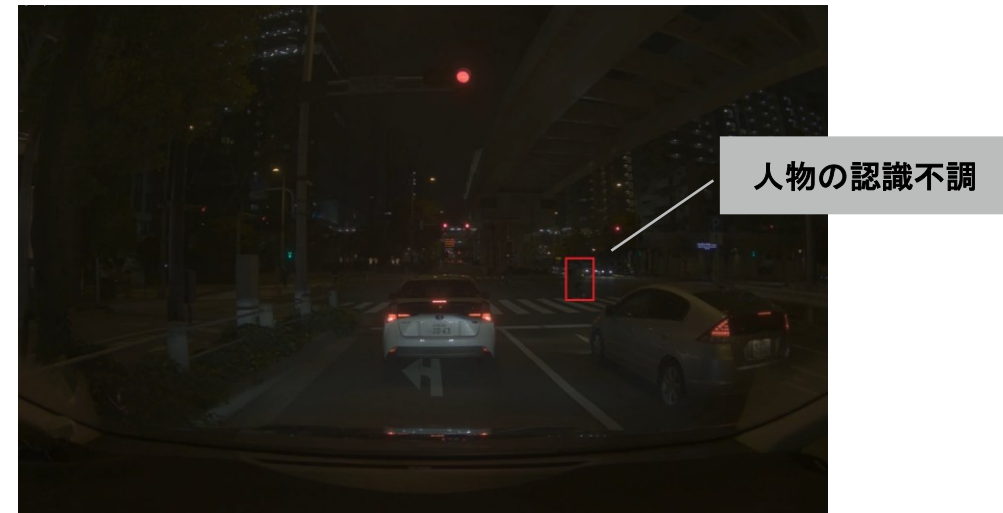
標識の認識不調



過去の実走行データから、人の目(主観評価)によりカメラ弱点事象を人手で抽出し、カメラ弱点抽出モデルの教師データとして使用した(画像数=11,690ファイル)

カメラ弱点抽出モデルに使用した教師データの例2

露出不足(黒つぶれ)が原因による認識不調ケース



Chat GPT(LLM;大規模言語モデル)を用いた検索拡張生成(RAG)システムを試作し、膨大なFOTデータから高リスク(ヒヤリハット)事象、センサ弱点事象の検索を行う

検索拡張生成(RAG)システムの概要



自然言語による検索文により、検索目的にヒットする動画と自然言語のテキストを抽出・生成できた

検索拡張生成(RAG)システムによる高リスク(ヒヤリハット)状況の検索例

info@edi.gmbh +49 721 79 199 155 Hermann-Weick-Weg 3, 76229 Karlsruhe (Grötzingen)

1 2 3 4

I am looking for high criticality situations on cloudy, rainy days.

Here is the answer

1
On a cloudy day, an adult pedestrian male was involved in a crossing incident with a vehicle. The incident was high-level, and the road was dry with a crosswalk and bicycle cross zone present.

incident_date: 2016-03-30 10:57:25, velocity_max: 42.3862, accident_type: vehicle and vehicle, accident_subtype: overtake to collision, incident_type: incident high level, participant_type: cyclist, participant_subtype: solo event, violation_type: lack of safety confirmation, brightness_description: good, visibility_description: normal, traffic_description: one way, weather_description: cloudy, road_description: roadway, intersection_description: 4 way junction, surface_description: dry, signal_description: N.A., crosswalk_description: N.A., pavement_description: paved, participant_age: adult pedestrian, participant_sex: female

2
In the afternoon, a commercial vehicle was involved in a passing to collision on a sunny day. An adult male pedestrian was involved, and the road was dry.

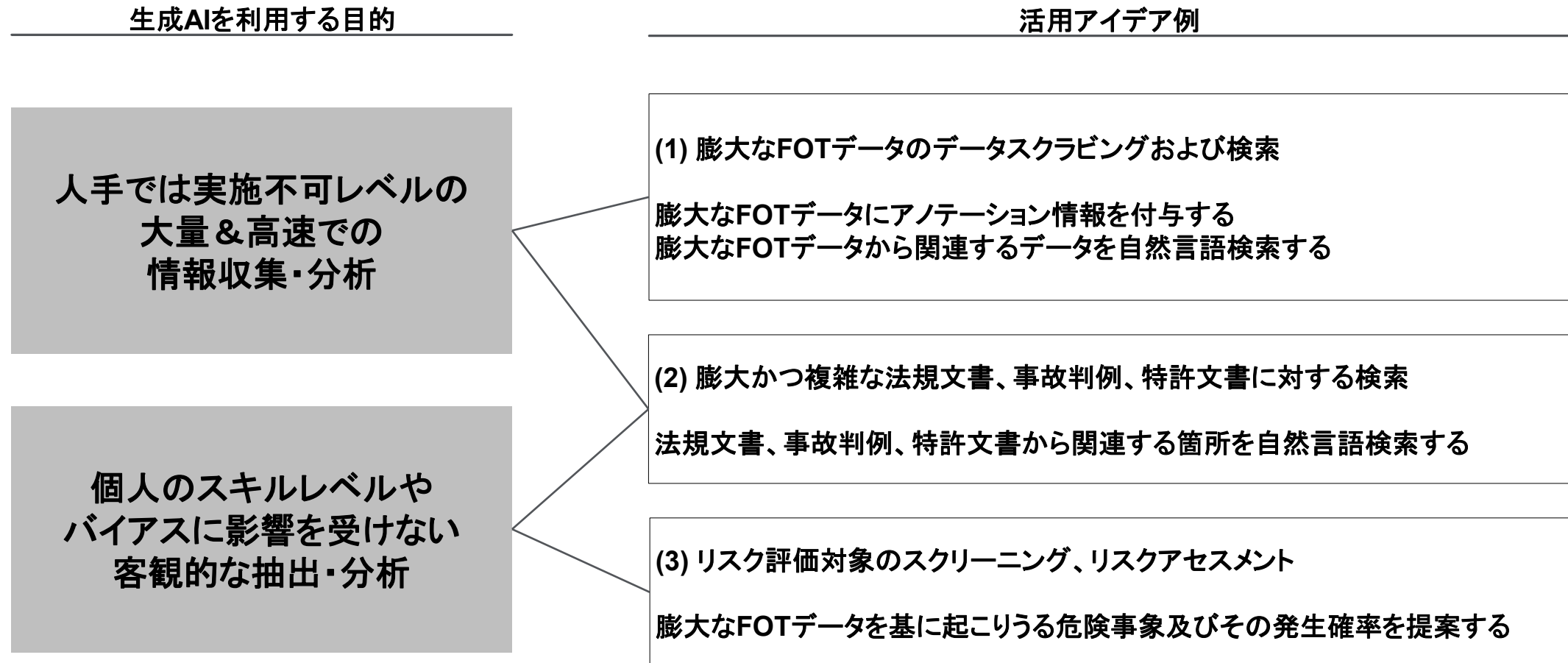
incident_date: 2005-07-28 17:04:25, velocity_max: 24.0188, accident_type: vehicle and vehicle, accident_subtype: head-on collision, incident_type: incident high level

自然言語による「雨天、曇天時の高リスク状況」の問い合わせ

Chat GPTの回答

検索拡張生成の活用が有効なケースとしては、人手では実施不可レベルの大量&高速での情報収集・分析、個人のスキルレベルやバイアスに影響を受けない客観的な抽出・分析が想定される

検索拡張生成の活用案



研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

Mobility Innovation Week Japan 2025へ参加。4日目のBreakout Workshop 4を主催し、各国の自動運転安全性評価の専門家と議論・意見交換を実施した

Mobility Innovation Week Japan 2025



As of July 3, 2025

Mobility Innovation Week Japan 2025

Co-creating Life-centric Mobility for Tomorrow

Mobility Innovation "CAMP"
 "CAMP": "Connected / Cooperative Automated Mobility Promotion" workshop

- Nov.10(Mon) Discover Fukaya Test site, Saitama
Open Discussion and stay in Matsumoto, Nagano
- Nov.11(Tue) Discover Shiojiri Test site, Nagano

Mobility Innovation Workshop 2025

- Plenary Session Komaba Research Campus, The University of Tokyo

This session features distinguished speakers from around the world who will share high-quality, thought-provoking insights on the latest developments in mobility. Expect a rich and inspiring lineup that will broaden your understanding of global trends and their local implications.


- Nov.12(Wed) & Nov.13(Thu) **Global voices, deep insights**
 - Learn from leading experts on cutting-edge mobility trends
 - Gain global perspectives with real local relevance
- Breakout Workshop** Komaba Research Campus, The University of Tokyo

After receiving shared input during the Plenary Session, participants will split into smaller groups based on specific themes. These interactive sessions are designed for open dialogue—come ready to contribute your perspectives and learn from the experiences and insights of others in a dynamic group setting.

- Nov.14(Fri) **From input to interactive discussions**
 - Dive into focused group discussions on key themes
 - Share your insights and learn from peers in an open, dynamic setting

*Welcome Reception on Nov.12, and Farewell Reception on Nov.14

R : Open to registered participants | I : Invitation only

	Nov-10 th	Nov-11 th	Nov-12 th	Nov-13 th
	Mobility Innovation "Camp"		Mobility Innovation Workshop 2025	
Session	Discover Fukaya Test site/ Open Discussion and stay	Discover Shiojiri Test site	Plenary Session	Breakout Workshop 
Location	Fukaya Test site, Saitama* ¹ /Matsumoto, Nagano	Discover Shiojiri Test site, Nagano* ²	Komaba Research Campus, The University of Tokyo	

Breakout Workshop 4 : Safety Assurance を主催。
 各国の自動運転安全性評価に関する専門家が集まり、議論・意見交換を実施

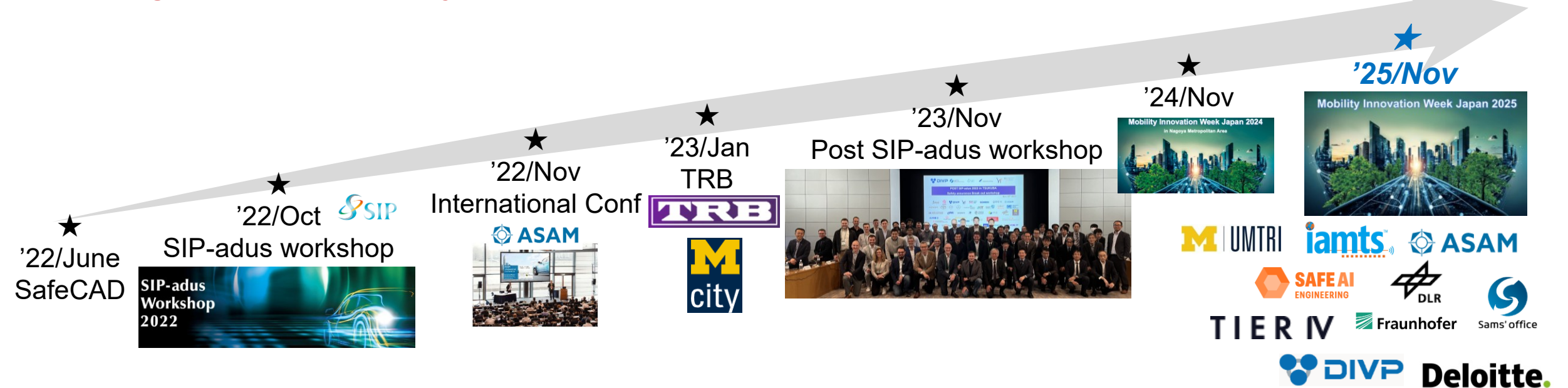
引用: <https://www.sit.ac.jp/media/202507024.pdf>



Safety assurance have continued international collaboration from 2022

Background of ADS Safety assurance

Global Standardization



Logos of participating organizations and companies:

- jama
- SAKU RA
- DIVP
- YI
- VERIFICATION VALIDATION METHODS
- SUNRISE
- gaia-x
- ASAM
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU
- Hochschule Kempten
- Applus IDIADA
- SE INTERNATIONAL
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
- HONDA
- TOYOTA
- NISSAN
- JARI
- SONY
- KIT
- TTDC
- IPG
- DLR
- Automated Vehicle Safety Consortium
- bast
- Blickfeld
- MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.
- Continental
- Technische Universität Braunschweig
- VIRGINIA TECH TRANSPORTATION INSTITUTE
- SIEMENS
- M city
- BIPROGY
- V-Drive
- 豊田工業大学 TOYOTA TECHNOLOGICAL INSTITUTE
- Deloitte
- AVL
- VDI|VDE|IT
- 神奈川工科大学 KANAGAWA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

引用: 学校法人幾徳学園神奈川工科大学



Agenda

Time	Title	Speaker
10:00~10:05	Opening	Mr. Seigo Kuzumaki (Sams' office)
10:05~10:30	Japanese research status for Digital homologation & Driving Intelligence	Prof. Hideo Inoue (DIVP/Kanagawa Institute of Technology)
10:30~10:35	Acceleration of Automated Driving technology by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (Video message)	Mr. Ernst Stoeckl-Pukall (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy)
10:35-11:00	Initial Approach to the Validation of L4-vehicles' Driving Safety within Type Approval	Mr. Fabian Szydelko (Federal Highway and Transport Research Institute)
11:00~11:30	Driving innovation by virtual homologation – German/European strategic corridors and its leading projects	Dr. Henning Mosebach (Institute of Transportation Systems, DLR)
11:30~11:40	Short Presentation of the Project Safe AI Engineering	Dr. Sven Hallerbach (Institute for AI Safety and Security, DLR)
11:40~12:10	Ecosystem Mobility 4.0 - a holistic approach initiative to foster the transformation of the mobility system	Prof. Dr. Frank Koster (Founding Director of the Institute for AI Safety and Security, DLR)
12:10~13:00	Lunch Break	
13:00~13:30	Collaboration of IAMTS and ASAM to drive forward safety assurance for automated driving through standardization	Prof. Dr. Joachim Taiber (Managing Director International Operations(Founder), IAMTS)
13:30~14:00	ASAM standards in the context of virtual homologation	Mr. Marius Dupuis (CEO, ASAM)
14:00-14:30	Industrializing the AV safety case: Safety DevOps and Dynamic Risk Management	Mr. Jan Reich (Head of Safety, Fraunhofer IESE)
14:30-15:00	The art of open source, reimagine intelligent vehicles.	Prof. Dr. Shinpei Kato (TIER IV, Inc. Founder & CEO)
15:00-15:30	Behavioral Safety Assessment towards Large-scale Deployment of Autonomous Vehicles	Prof. Henry Liu (M-city)
15:30-15:40	Wrap up	Mr. Seigo Kuzumaki (CEO Sams' office)
16:00-16:30	Wrap up session as Mobility innovation week Japan	
18:00~	Farewell reception	

Speakers



Mr. Seigo Kuzumaki

Session owner / Opening & closing



Mr. Kuzumaki is former Program Director of Japanese SIP-adus and Toyota Fellow and supporting various governmental funded research projects towards ADS social implementation



Prof. Hideo Inoue

ADS Safety Assurance Initiative in Japan



Dr. Inoue is a specially appointed professor at the Kanagawa Institute of Technology, and the leader of DIVP®. His expertise lies in vehicle dynamics, active safety and ADAS technology.



Mr. Fabian Szydelko

Initial Approach to the Validation of L4-vehicles' Driving Safety within Type Approval



Research Engineer in the section Automated Driving at the Federal Highway and Transport Research Institute (BAST). As an Automotive Engineer he gained several years of experience within the automotive industry, especially in the field of ADAS development. Here he set focus on system engineering as well as scenario, vehicle and system simulation. Since joining BAST his research work has focused on the topics of methodologies for simulation-based type approval as well as criteria that define defensive driving behavior of autonomous vehicles.



Dr. Henning Mosebach

German pilotsites for CCAM, leading projects and virtual homologation ecosystems



International business development manager at DLR representing the projects of the PEGASUS Family (e.g. SET Level and VV Methods). He also represents the DLRs strategy for virtual development and validation technologies and future collaboration corridors of the VV Methods project



Dr. Sven Hallerbach

Short Presentation of the Project Safe AI Engineering



Head of the AI Engineering Department at the Institute for AI Safety and Security at DLR. His research focuses on engineering AI systems for safety-critical applications in automated mobility, combining simulation-based methods, Safety-and-Security-by-Design and Human-in-the-Loop approaches.



Prof. Frank Köster



Ecosystem Mobility 4.0 - a holistic approach initiative to foster the transformation of the mobility system

Head of the DLR Institute for AI Safety and Security at DLR. He heads many initiatives and projects in the area of AI, safety assurance and virtual development and is the German ambassador of the GAIA-X Mobility domain and is co-creating the new governmental initiative Mobility Ecosystem 4.0.



Prof. Dr. Joachim G. Taiber



Introduction of IAMTS and ASAM activity

Dr. Taiber is the founder and managing director international operations of IAMTS (International Alliance for Mobility Testing and Standardization, see iamts.org) which is an independent global membership-based non-profit association headquartered in Vienna, Austria.



Mr Marius Dupuis



Global standardization for Digital homologation

Marius Dupuis holds a diploma in Aerospace Engineering and started his career in flight simulation. In 1998, he co-founded VIRES Simulationstechnologie GmbH and grew the company to a leading provider of simulation solutions for ADAS and automated driving systems. Being one of the initiators and original authors of the data standards OpenDRIVE, OpenCRG and OpenSCENARIO, Marius managed their transfer to ASAM e.V. in 2018. After leaving VIRES in 2020 and working as an independent consultant, he followed the standards and his personal interest in dynamic organizations and took on the role as ASAM's CEO in 2022.



Mr. Jan Reich



Industrializing the AV safety case: SafetyDevOps and Dynamic Risk Management

Head of the safety engineering research department at Fraunhofer IESE. His research concerns model-based safety assurance and argumentation methods to enable companies to create holistic, digital twin-based, through-lifecycle safety assurance cases for autonomous systems. Recently, he coordinated the creation of the reference safety case framework in VV methods

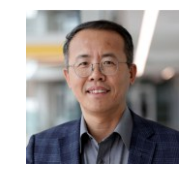


Prof. Dr. Shinpei Kato



The art of open source, reimagine intelligent vehicles.

Shinpei is the founder and CEO of TIER IV, and a co-founder of the Autoware Foundation. He also works as a specially appointed professor for the Graduate School of Technology Management for Innovation at the University of Tokyo. An internationally renowned expert in computer science and a pioneer in the evolution of open-source software for autonomous driving technology, Shinpei served as an associate professor at Nagoya University's Graduate School of Information Science from 2012 to 2016, where his team created Autoware, the world's first open-source software for autonomous driving technology.



Dr. Henry Liu

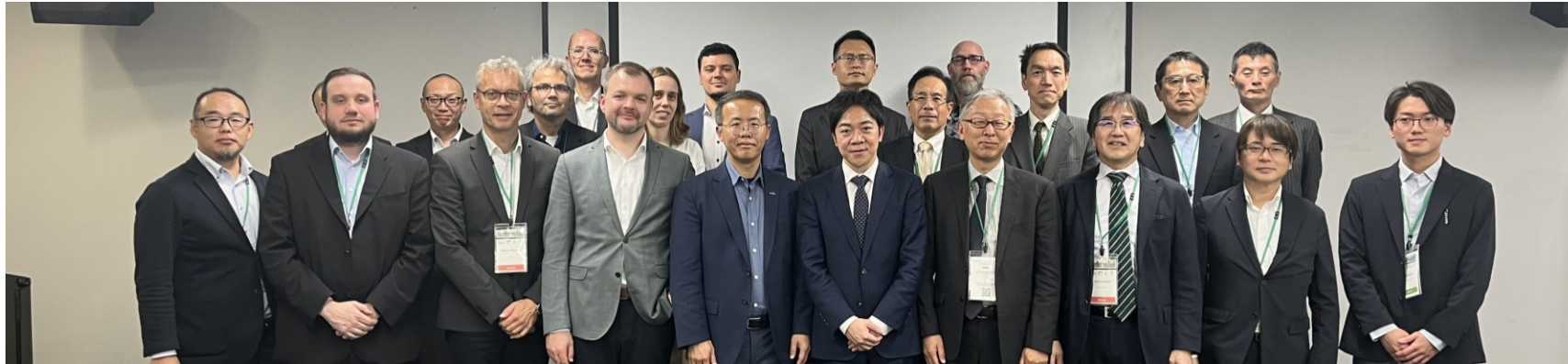


Behavioral Safety Assessment towards Large-scale Deployment of Autonomous Vehicles

Dr. Henry Liu is the Director of the University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) and Bruce D. Greenshields Collegiate Professor of Engineering at the University of Michigan, Ann Arbor. He is a Professor in Civil and Environmental Engineering, and a Professor in Mechanical Engineering. He also directs the Center for Connected and Automated Transportation, a USDOT funded Region 5 university transportation center. Dr. Liu conducts interdisciplinary research at the interface of transportation engineering, automotive engineering, and artificial intelligence. He is recognized for his foundational work in cyber-physical transportation systems, particularly on the development of smart traffic signal systems and testing/evaluation of autonomous vehicles. His work on safety validation of autonomous vehicles has been published in Nature and featured as the cover story. Prof. Liu is the managing editor of Journal of Intelligent Transportation Systems and a board member for the ITS America.

From the BW4, Digital homologation, Dynamic risk management and Open source are major key word for ADS Safety assurance and social implementation acceleration

Wrap up



- Safety assurance used to start from Scenario based approach and now expands their scope to risk-based scenario definition in highway to urban road, recently trending to focus onto traffic flow base **“unknown” scenario** validation.
- US/Germany/Japan have a similar approach but not yet concluded “how safe is safe enough”, Michigan-U proposed License test for known scenarios and Intelligence test for un-known scenarios and DIVP proposed severity & exposure as a metrics and continue study their practicality for safety assurance
- Those are under a way of Global standardization by ASAM OpenX initiatives, contributing to **Digital homologation**
- Moreover, promoting ADS social implementation “traffic smoothness without scarifying safety” would be also important aspect and how to measure & balance those conflicts, and proposed **Dynamic risk management** from Fraunhofer IESE to validate & train Driving intelligence
- Due to complexity of development effort and technology acceleration ie E2E(may expand to ODD like L4+), utilizing **Open source** supporting application base might enable accelerating the social implementation

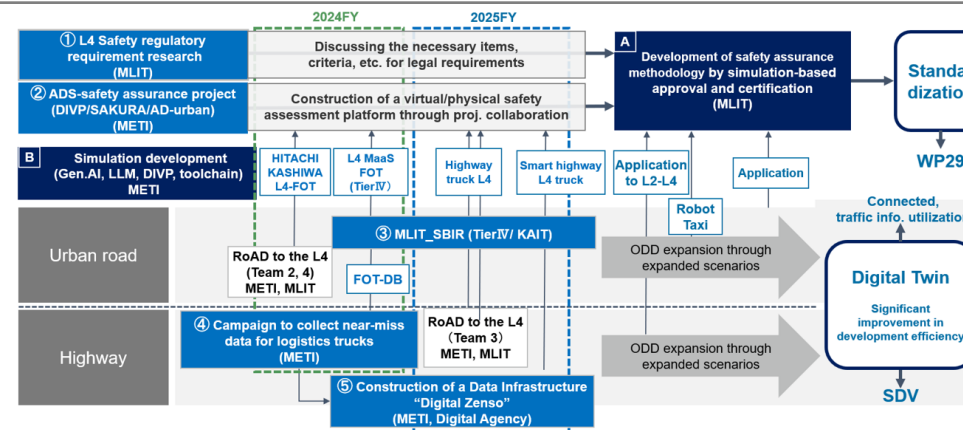
モビリティDX戦略に基づき、DIVPコンソーシアムではデジタルツイン基盤構築と安全性評価フレームワークの構築を推進している

井上秀雄教授による日本の取組の紹介 (1/2)



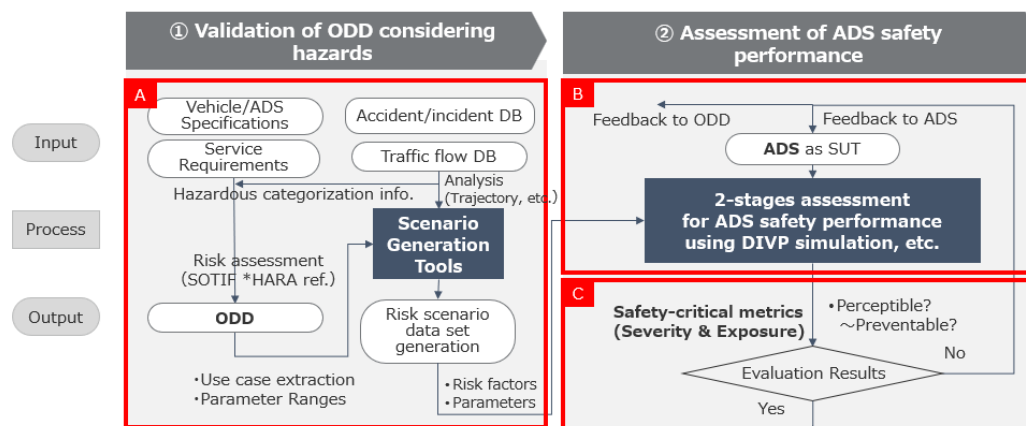
背景・概要

- 政府のモビリティDX戦略の下、ADSの安全性保証やシミュレーション活用に関するプロジェクトが進んでいる
- DIVPコンソーシアムは、全国で行われているFOTと連携しながら、デジタルツイン基盤構築と安全性評価フレームワークの構築を推進している



活動内容

- DIVPが提案する安全性評価フレームワークは大きく3つのパートから構成される
 - A) 事故やニアミスデータからODD内のハザードイベントを抽出しシナリオを生成する
 - B) 2-stageのDIVPシミュレーションを実行し、認識性能や回避性能を評価する
 - C) 重大度と頻度の観点から、安全余裕度 (SCT) を用いて運転行動を評価する
- フレームワーク全体の入出力となる「シナリオ生成」と「安全性評価指標」が重要となる



*HARA ; Hazard and Risk Analysis

*reference to ISO34502 and ISO21448/ISO26262

Reflected in the documentation for approval along with other contents



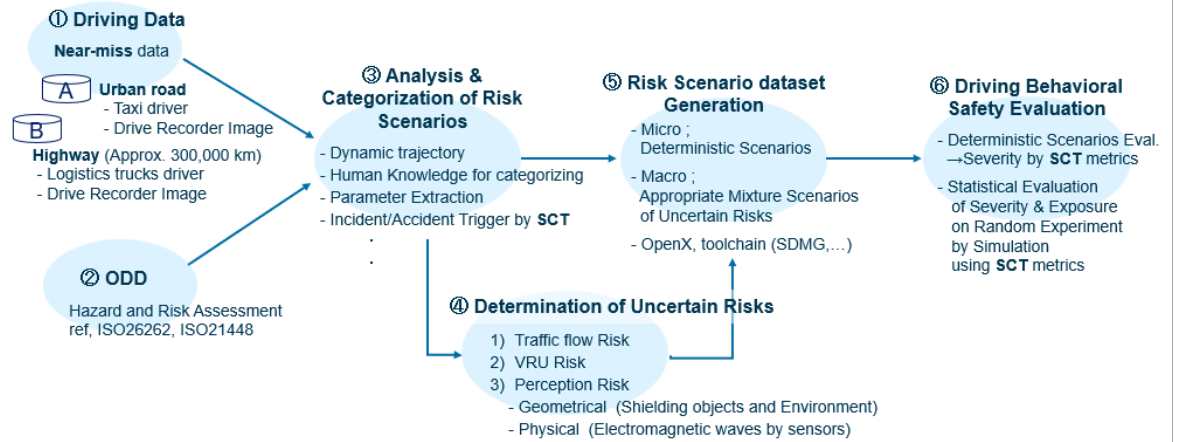
ニアミスデータを解析することで不確定なリスクも取り込んだシナリオを生成し、SCTを用いて重大度(Severity)と発生頻度(Exposure)に基づく統計的な評価を行う

井上秀雄教授による日本の取組の紹介 (2/2)



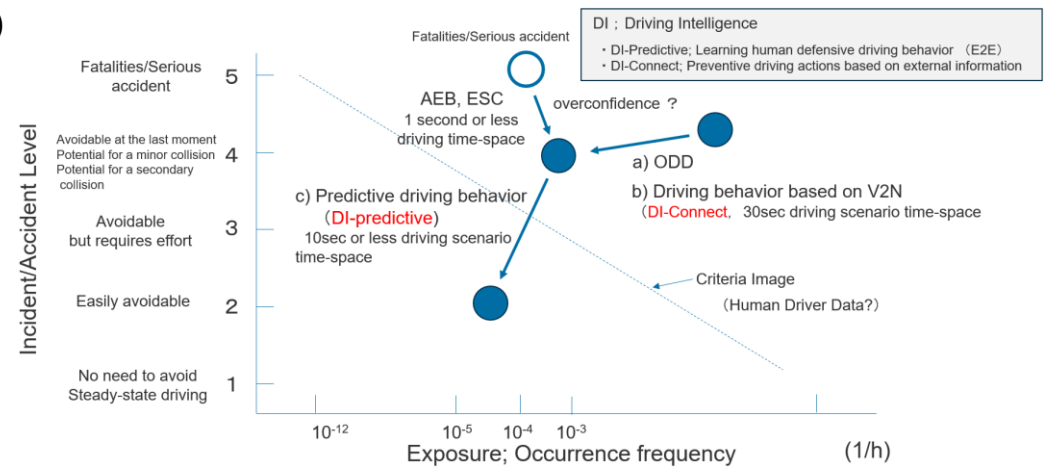
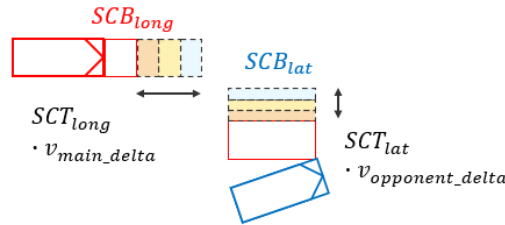
シナリオ生成

- ニアミスデータを出発点とし、カメラ画像を解析することで自車・他車の動的情報を抽出し、それらを統計的手法や暗黙知を活用しながら分析してシナリオを生成する
- 決定論的なシナリオだけでなく、交通流やVRUの動き、認識等の不確定なリスクもシナリオに取り込む



安全性評価指標

- ADSの安全性評価は、重大度(Severity)と発生頻度(Exposure)を用いて統計的に議論する必要があり、SCTが有用な評価指標となり得る
- SCTは、自車の動的行動を基に安全余裕度を定量化する指標であり、基本的な物理値のみで算出することができる



ウィンカー等から周囲の交通参加者の行動を予測して予防的な運転行動を行うことができるかをテストする“Indicator Recognition Approach”を提唱し、シナリオ作成・フィージビリティスタディを行っている

Mr Fabian SzydelkoによるドイツにおけるL4車両認証に関する取組

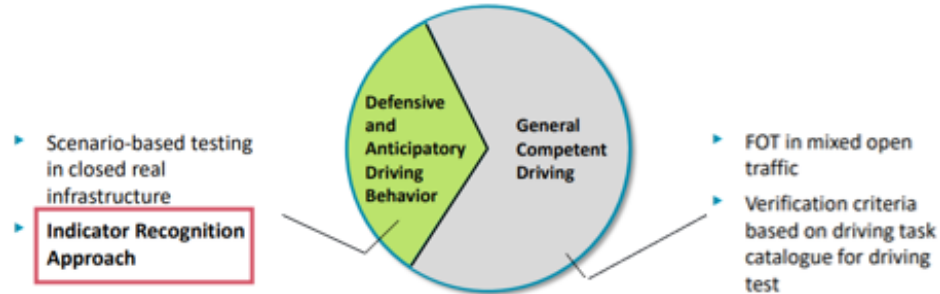


背景・概要

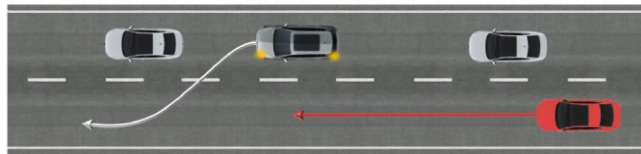
- 自動運転レベル4の型式認証は「一般的に上手い運転」と「防御的・予測的な運転行動」で構成
- 「防御的・予測的な運転行動」は、閉鎖環境でのシナリオテストと“Indicator Recognition Approach”で検証する(仮説段階)

Building Block within Type Approval
Validation of „Careful and Competent Driving“

Under discussion



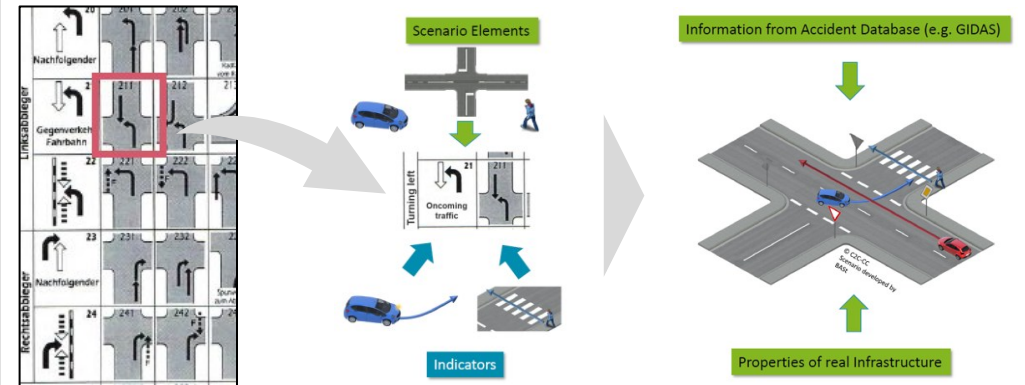
Indicator Recognition Approach



周囲の交通参加者の動きを先読みして、事前に減速をするなどの予防的行動をとれるか

活動内容

- 事故類型に基づいて場面を設定し、ウィンカー等の“Indicator”付与や、事故データに基づく状況の詳細化等を行い、テスト用のシナリオを作成している



- 作成したシナリオで実際にテストするフィージビリティスタディを行っている

Example: Motorway Scenario



Example: Urban Scenario



PEGASUSプロジェクトを起点として安全性評価手法が開発されてきたドイツ・欧州では、近年、AIやデジタル化・仮想化に関するプロジェクトが立ち上がっており、巨額の費用が投じられている



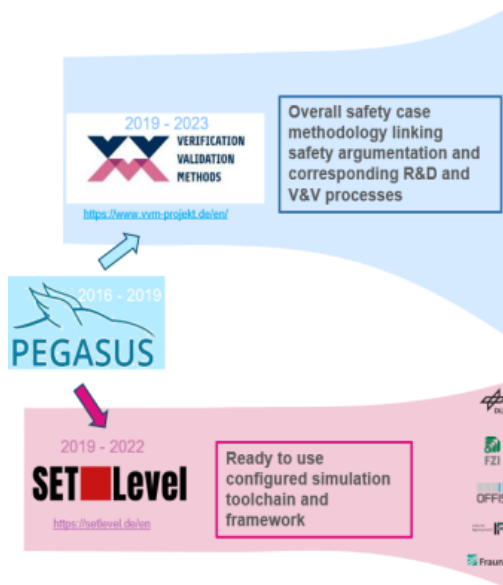
Dr. Henning Mosebachによるドイツ／欧州の取り組み紹介

背景

- PEGASUSプロジェクトを起点として、ドイツ・欧州ではシナリオベースの安全性評価アプローチが開発されてきた
- 近年の技術進歩や社会実装の拡大に伴い、AI活用やバーチャル評価活用が重要視されている

概要

- AIを活用した自動運転の基盤モデル開発や安全性論証手法の開発、デジタル化・仮想化による認証プロセスの効率化等に取り組んでいる
- 各プロジェクトに巨額の費用を投じるとともに、業界のトッププレイヤーが参画している



プロジェクト概要	予算	参加企業
生成AIを活用し、自動運転の知覚・予測・計画の基盤モデルを開発	43.5百万€ (約78億円)	
AIによる自動運転の安全性保証のため、信頼性の高いAI機能と承認に必要な安全論証手法開発	34.5百万€ (約62億円)	
複雑なオープン環境下での高度自動運転システムのリスク制御と安全保証手法を開発	22.5百万€ (約40億円)	
OD/ODD(運行設計領域)のデジタル化と仮想化により、認証・検証プロセスの効率化を目指す	-	-

引用: Dr. Henning Mosebachの報告資料

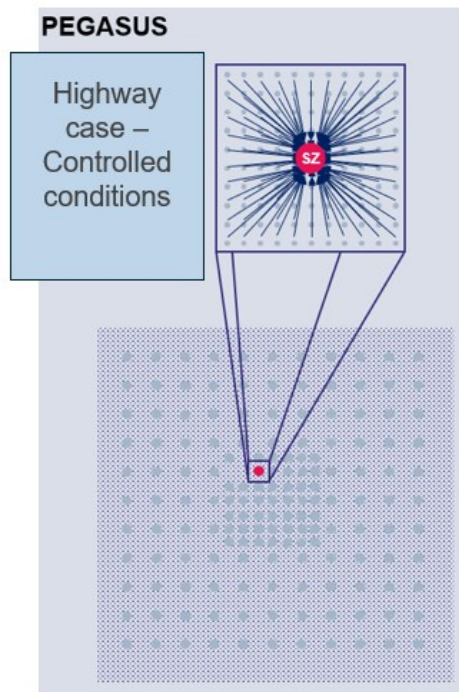


CONTROLプロジェクトでは、頻度は低いが重大なリスクを伴う事象への対処を念頭に、複雑な環境下における予測困難な事象や未知の事象に対する安全性評価手法を開発している

Dr. Henning Mosebachによるドイツ／欧州の取り組み紹介

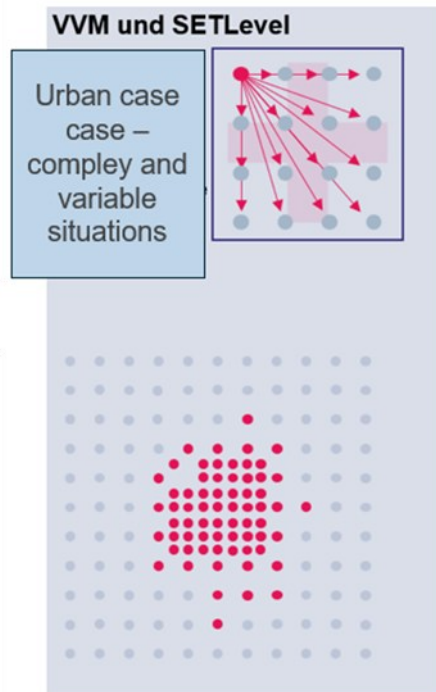


活動内容



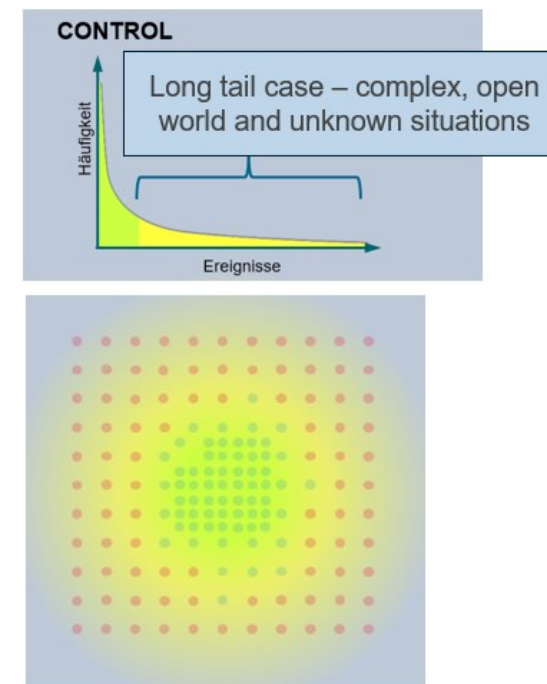
Safety by Test (of isolated test scenarios)

PEGASUSでは、高速道路を対象とし、コントロールされた条件下での安全性評価手法が検討されてきた



Safety by Design (Covering the ODD by sufficient coverage)

VVMでは、都市部を対象とし、複雑かつ多様な状況での安全性評価手法が開発されてきた



Safety by Design (enhancing the ODD with rare and unknown scenarios in open context)

CONTROLでは、頻度は低いが重大なリスクを伴う事象への対処を念頭に、**複雑な環境における予測困難な事象や未知の事象**に対する安全性評価手法を開発している

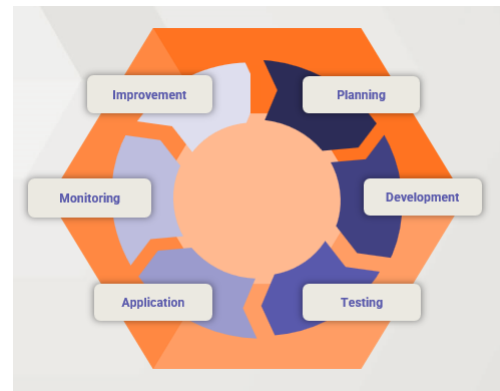
「Safe AI Engineering」は自動運転レベル4に係るAI機能のライフサイクル全体にわたって、社会的に受容される実践的な安全性評価手法の構築に取り組んでいる



Dr. Sven Hallerbachによる「Safe AI Engineering」の紹介

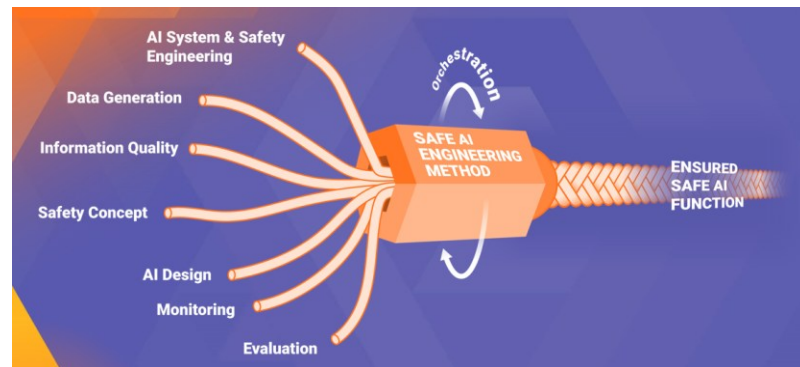
背景

- 自動運転分野におけるAI活用が進むにつれて、その安全性を示すための評価手法開発が急務となっている



概要

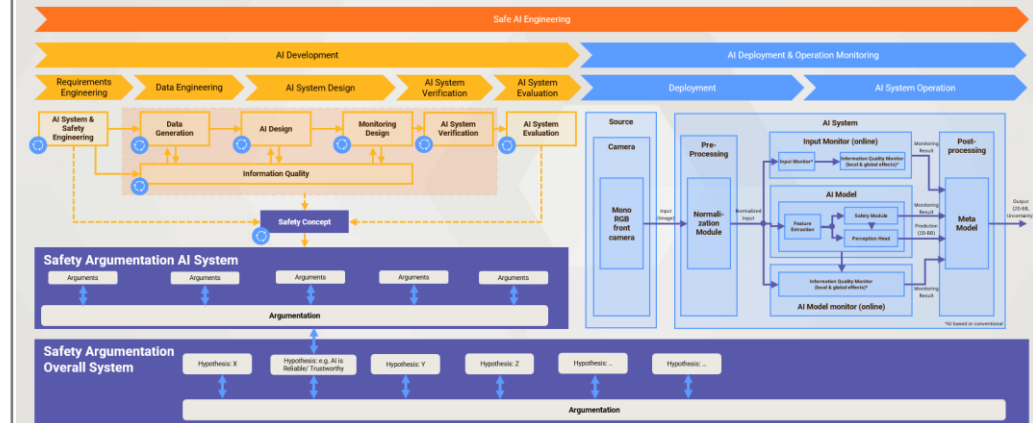
- AI設計、データ生成、評価等を統合することで、安全なAIエンジニアリング手法を構築する



活動内容

- AI開発に留まらず、AIの導入や運用中のモニタリングを含めた包括的な安全保証の枠組みを構築する

Roadmap towards a Safe AI Engineering Methodology



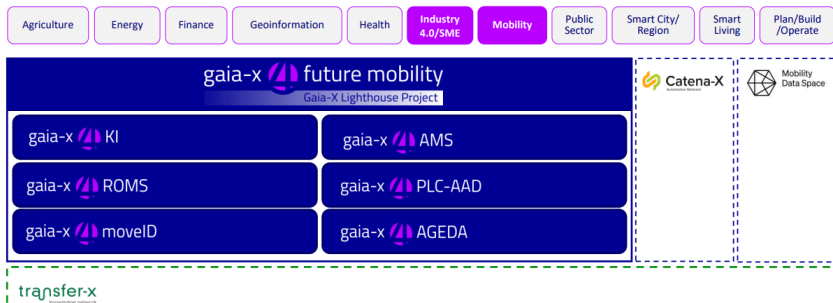
「Ecosystem Mobility 4.0」では自動運転の普及に向け、オープンなデジタル基盤と多様なユースケースを展開し、関係者連携による安全・効率的なモビリティ社会を目指している



Prof. Dr. Frank KosterによるEcosystem Mobility 4.0の紹介

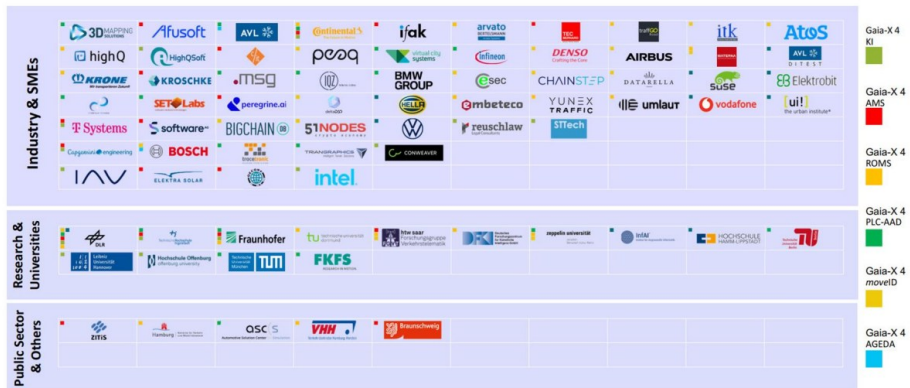
背景・概要

■ モビリティ分野の変革と自動運転の普及に向け、デジタル基盤や安全性確保が求められている



■ 多様な関係者が連携し、オープンで拡張性の高い自動運転エコシステムの構築を推進している

Family of Projects – Participants

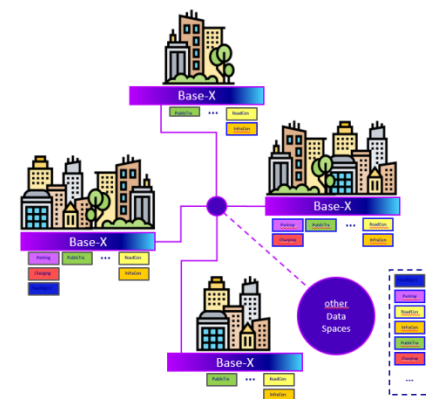


活動内容

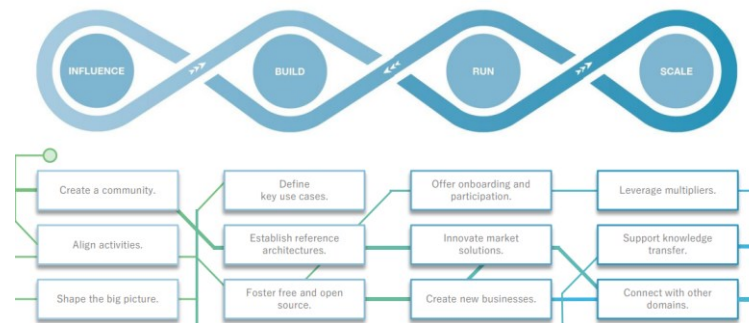
■ 車両データを活用した道路損傷検知や柔軟なバス停運用などのユースケースを展開

First Use-Cases

- Road Damage Detection:** Utilizing vehicle data (e.g. service vehicles) to provide higher quality of the road infrastructure while lowering the costs and reducing negative effects of road construction works regarding e.g. congestions and traffic safety.
- Flexible Bus Stop Usage:** Involving selection and release of stops in a city. On-street stops can be reduced, like e.g. for delivery vehicles and ride sharing offerings, which has a impact on traffic efficiency and safety.
- OD Mapper:** This aims to automatically determine areas and streets for automated vehicles. Support e.g. the quick roll-out of automated vehicles and their integration in an holistic traffic/mobility planning approach.
- Intermodal Traveling:** Demonstrating the combination of various mobility modes. The comfort of passengers can be raised and new (active) mobility modes can be offered in relation with the traveler needs.



■ オープンソース推進や参画型コミュニティ形成による知識共有と市場拡大を図る



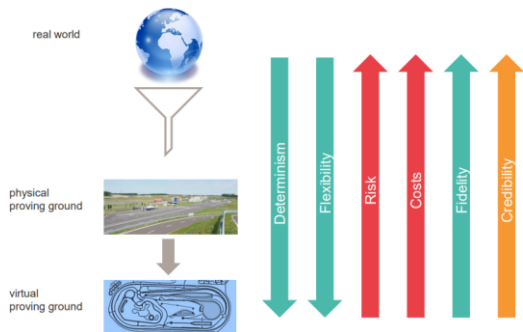
ASAMは自動運転分野のバーチャルテスト・デジタルホモロゲーションにおける信頼性向上を目指し、シミュレーション品質や3Dアセット、テスト仕様の標準化を推進している



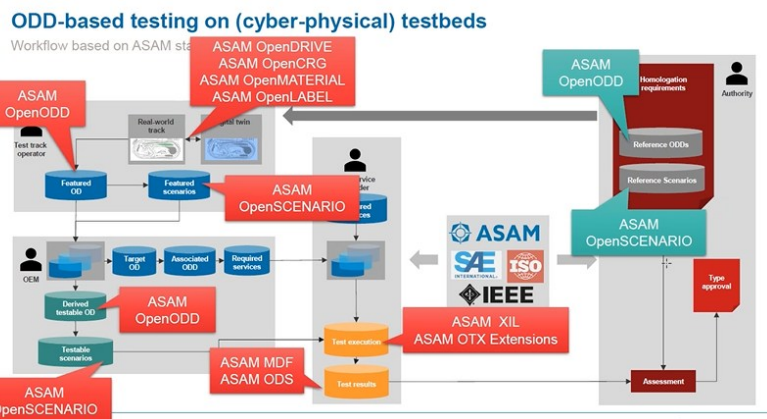
Mr. Marius DupuisによるASAM標準の紹介

背景

- 自動運転やADASのバーチャルテスト及びデジタルホモロゲーションには、標準化が不可欠

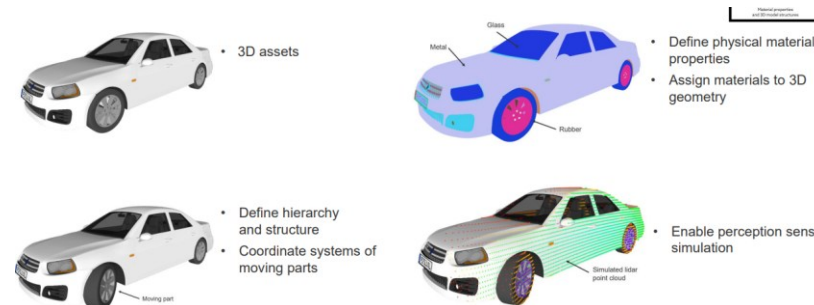


- ASAMは自動運転分野の様々な標準化に取り組んでおり、特に近年はシミュレーション活用に係る標準化に力を入れている

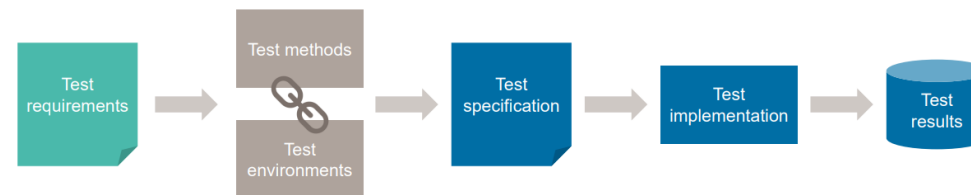


概要

- シミュレーション品質の標準化と評価指標の策定推進
- OpenMATERIAL等の3D資産標準で高精度なセンサーシミュレーションを実現



- テスト仕様標準化で要件から実行まで一貫したテスト管理を目指す



活動内容



TIER IVはオープンソース戦略により、自動運転レベル4の技術革新・社会実装の加速を目指している。 また、AutowareにもE2E AIを段階的に取り入れ、より柔軟な運転行動が可能なシステムを目指す

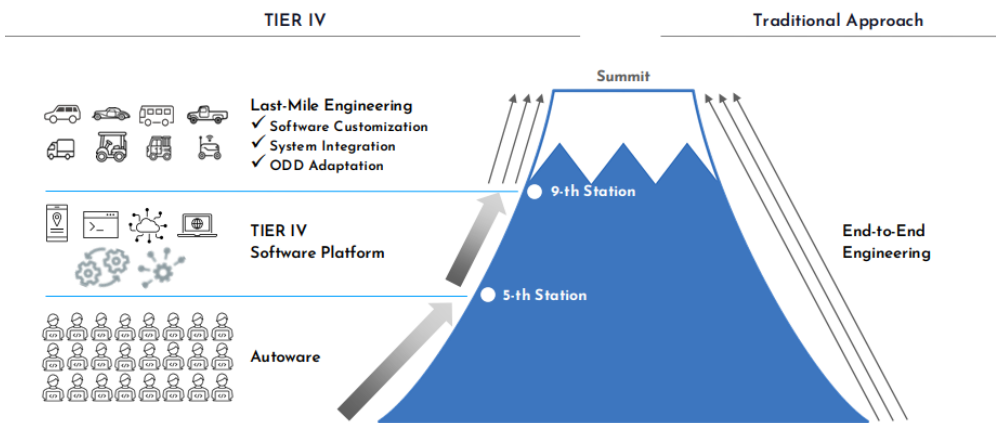
加藤真平教授によるTIER IVの取組の紹介

TIER IV

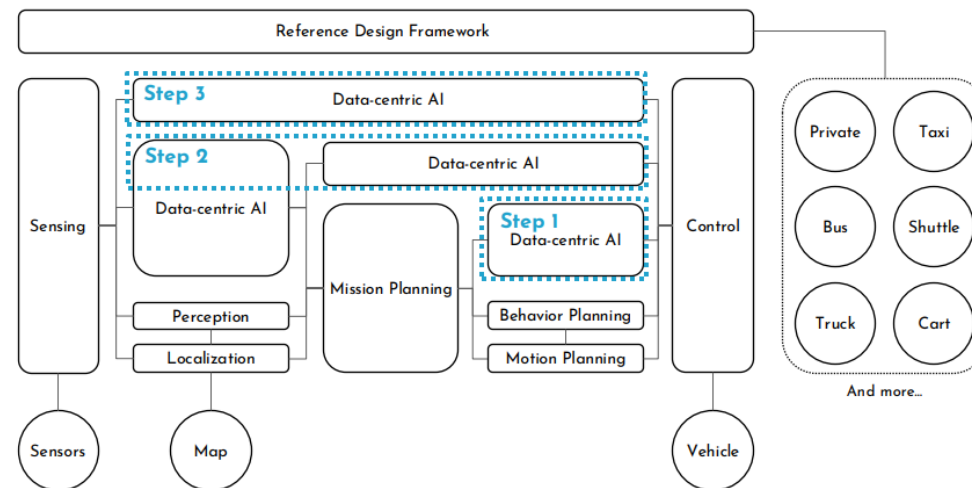
- 自動運転技術の進化と安全認証の必要性が高まる中、オープンソース戦略が注目されている
- ある程度共通して使われる機能をオープンソース化することで、技術革新や社会実装を加速する

- E2E AI (Data-centric AI) にも、対象とする自動運転機能の範囲により、いくつかのパターンが存在する
- AIを使用する範囲を徐々に拡大し、より柔軟な運転行動が可能なシステムを目指す

コンテナ



アーキテクチャの進化



新しい安全の考え方として「行動安全」を提案。従来のシナリオテストと同様の”Driver Licensing Test”と未知の環境での走行性能を統計的に評価する”Driving Intelligence Test”を組み合わせる

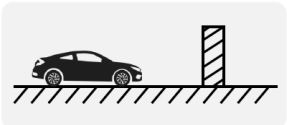
Prof. Henry LiuによるM Cityの取組の紹介



背景・概要

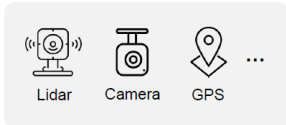
- 既存のNCAPや機能安全、SOTIFだけでは自動運転の安全性評価を十分に行うことは困難

New Car Assessment Program (NCAP)



Crashworthiness and Crash Avoidance Technologies like AEB

Functional Safety (FuSa)



Hardware/Software Malfunctions (e.g., ISO 26262)

Safety Of The Intended Functionality (SOTIF)

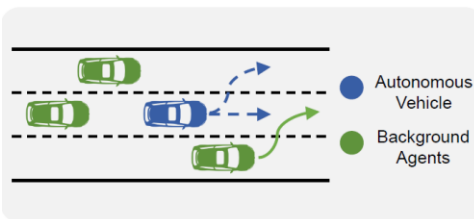


Software Insufficiencies (e.g., ISO 21448)

- 新しい安全性の枠組みとして、“行動安全”を提案
- “行動安全”は、既知のシナリオによるテストと未知のシナリオの探索を組み合わせる

- Behavioral Safety:

“Absence of unreasonable risk due to hazards resulting from an AV's unsafe behavioral responses to and interaction with the traffic environment.”

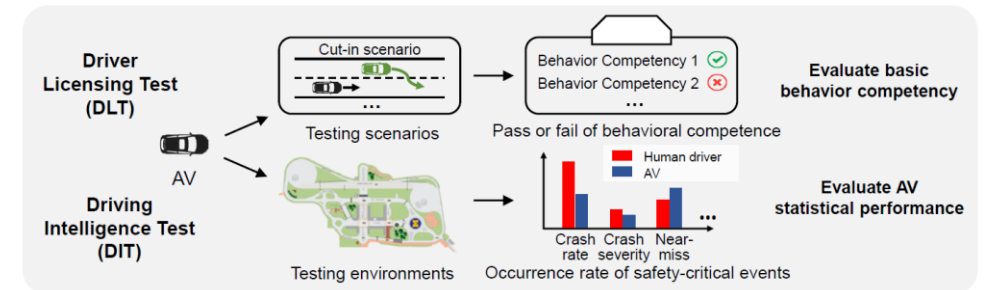


To evaluate safety impact when deployed at scale

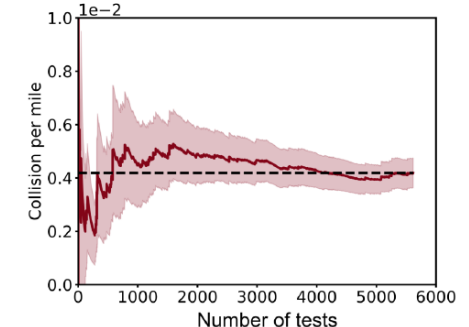
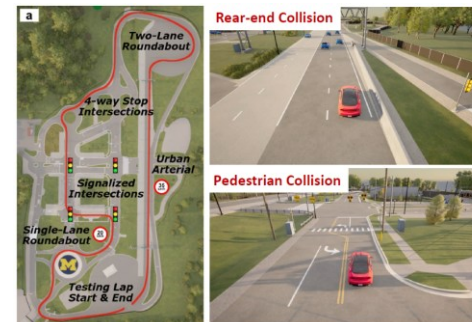
1. Validate known unsafe performance
2. Explore unknown unsafe scenarios

活動内容

- 既知シナリオにおける基本的な行動能力を評価する”Driver Licensing Test”（従来のシナリオテスト）と、未知の環境における統計的な性能を評価する”Driving Intelligence Test”を組み合わせる



- “Driving Intelligence Test”は、リアルな交通環境をシミュレーション上に再現して自動運転車を走行させ、性能を統計的に評価する



研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

METI月例会議、DIVP月例会議、DIVPステアリングコミッティを開催し、情報共有や進捗報告を行った

情報共有・進捗報告の会議体

METI月例会議

- 月に1回、経済産業省のご担当者様に対して、オンラインで事業の進捗報告を実施した
- テーマ毎の進捗報告や他プロジェクトとの連携成果の他、シミュレーション技術や自動運転技術の解説を行った

DIVP月例会議

- 月に1回、DIVPコンソーシアムに参画しているメンバーを集め、オンラインで進捗や情報共有を実施した
- テーマ毎に進捗や成果を報告し、コンソーシアム内で議論を行った

DIVP ステアリングコミッティ

- 週に1回、DIVPコンソーシアムのマネジメントメンバーを集め、オンラインで情報共有を実施した
- 円滑なコンソーシアム運営のための意見交換や、対外報告内容の検討等を行った

※令和7年度はSDV WG及び安全性評価基盤検討TFは実施していない

検討結果を国内外の規則・枠組みに盛り込むために、他の国プロと連携する体制を構築。 DIVPの成果を国土交通省プロジェクトで報告し、ガイドライン改訂に貢献した

プロジェクト間連携



国際規則・枠組み: WP29 (UNR-ADS, UNR157(LKAS), UNR-171)

ISO等 (ISO26262/21448/8800/3450X, ASAM, SAE int._DDT, ...)

国内規則・枠組み: 国交省「自動運転車の安全確保に関するガイドライン」等

自動運転(レベル4)の法規要件策定に関する有識者会議 (国交省)

SBIR
(国交省)

自動運転の安全性を評価するための
フレームワークや自動運転パッ
ケージの開発

一般道: L4MaaS・塩尻実証

デジタル全総
(経産省_情経課)

車両開発時に安全性評価の手法と
して有用であるニアミス情報の利活
用エコシステムの構築

高速道: 新東名100KM区間

RoAD to the L4
(経産省・国交省)

無人自動運転サービスの実現及び
普及、社会受容性の醸成等

一般道: 柏の葉実証

自動運転車の安全性評価基盤構築_DIVP/SAKURA/AD-URBAN (経産省_自動車課)

外部発信

研究発表・講演

No	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者	所属
8	2025.11.19	第41回寒地技術シンポジウム	自動運転センサから見た雪(1)積雪路面の77GHz帯 Radar 反射	日比野愛子 天野義久 黒田浩司、佐藤研吾 井上秀雄	神奈川工科大学 防災科学研究所
9	2025.11.19	第41回寒地技術シンポジウム	自動運転センサから見た雪(2)カメラ・LiDARの可視光～赤外線反射測定	天野義久 日比野愛子、黒田浩司 佐藤研吾 井上秀雄	神奈川工科大学 防災科学研究所
10	2025.07.09	ASAM Regional Meeting Japan 2025	New standard: ASAM OpenMATERIAL 3D	木村聡輔	BIPROGY
11	2026.5.29	自動車技術会2026年春季大会	ミリ波レーダにおけるTime Division MIMO方式の改良	天野義久 井上秀雄	神奈川工科大学
12	2026.5.29	自動車技術会2026年春季大会	積雪のある路面におけるミリ波の反射特性とモデル化	黒田浩司 天野義久 日比野愛子 水越雅司 佐藤研吾 井上秀雄	神奈川工科大学 防災科学研究所
13	2026.5.29	自動車技術会2026年春季大会	降雪のミリ波レーダの検知特性に与える影響	佐藤研吾 富樫数馬 森川浩司 萩野直人 井上秀雄 木村茂雄	神奈川工科大学 工学気象研究所 防災科学研究所

研究発表・講演

No	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者	所属
1	2025.09.23	自動車技術会学術講演会春	自動運転車の行動セーフティの評価のための接近度と余裕度の指標提案	齊藤裕一 下鳥翔平 井上秀雄	筑波大学 神奈川工科大学
2	2025.09.23	8th International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-Traffic Accident	Evaluating Behavioral Safety of Automated Vehicles Based on Frequency of Traffic Conflict Encounters	齊藤裕一 下鳥翔平 井上秀雄	筑波大学 神奈川工科大学
3	2025.09.24	8th International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-Traffic Accident	Measuring Behavioral Safety of Automated Vehicles Using Safety Margin and Proximity Indicators	齊藤裕一 土井雄太郎 井上秀雄	筑波大学 神奈川工科大学
4	2025.10.1	IEEE International Automated Vehicle Validation Conference	A Mathematical Framework for Evaluating Behavioral Safety of Automated Vehicles at Blind Intersection Situations	齊藤裕一 下鳥翔平 井上秀雄	筑波大学 神奈川工科大学
5	2025.5.22	自動車技術会2025年春季大会	雪の、Camera・LiDAR・ミリ波Radarに対する反射・透過係数の測定	天野義久	神奈川工科大学
6	2025.10.1	IEEE International Automated Vehicle Validation Conference	DIVP®'s Digitalization for ADS/ADAS Safety Assurance	井上秀雄	神奈川工科大学
7	2025.10.2	IEEE International Automated Vehicle Validation Conference	Analysis of Snow Properties in Optical and Millimeter Wave for High-Fidelity Sensor Modelling	黒田浩司 天野義久 水越雅司 井上秀雄 屋間詔仁 佐藤研吾	神奈川工科大学 Biprogy 防災科学研究所

論文発表

年月日	媒体	論文タイトル	執筆者

知財の蓄積

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2026年(令和8年)1月28日	特願2026-012284	情報処理装置、情報処理システムおよび情報処理方法	学校法人幾徳学園、 エーデーイー ゲームベーパー、 株式会社NTTデータモビリティジェンス研究所、 三菱プレジジョン株式会社
2025年(令和7年)12月22日	特願2025-272736	性能改善支援装置、性能改善支援方法、及び性能改善支援プログラム	トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、 三菱プレジジョン株式会社、 BIPROGY株式会社
出願準備中 出願準備中	出願準備中につき未定 出願準備中につき未定	自動運転トラッキングエラー検出装置、方法、ならびにベアデータ生成プログラム ミリ波レーダ信号処理	トヨタテクニカルディベロップメント株式会社 学校法人行徳学園

END

Tokyo Odaiba → Virtual Community Ground

