

DIVP

Driving Intelligence Validation Platform

経済産業省

令和6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)」_2024年度成果報告

Weather Forecast

2025/3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

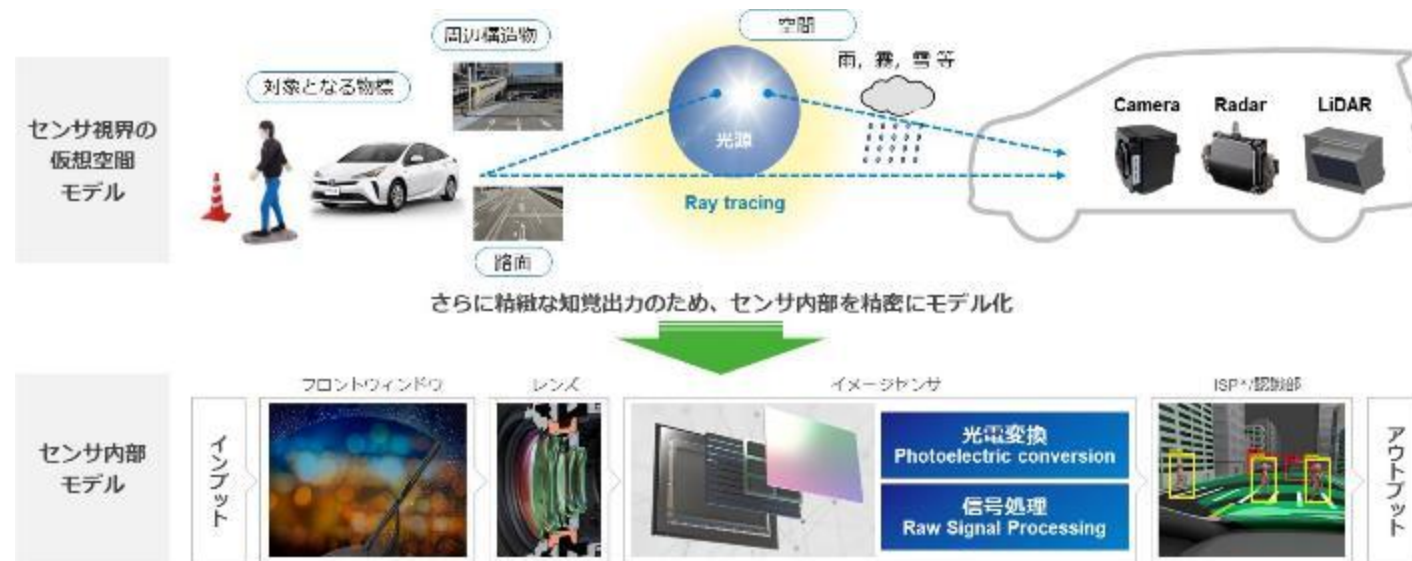
これまで、SIP-adus でのDIVP研究コンソーシアムは、自動運転の安全性評価のための、実現象と一致性の高いセンサシミュレーションとして成果をあげてきた。

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



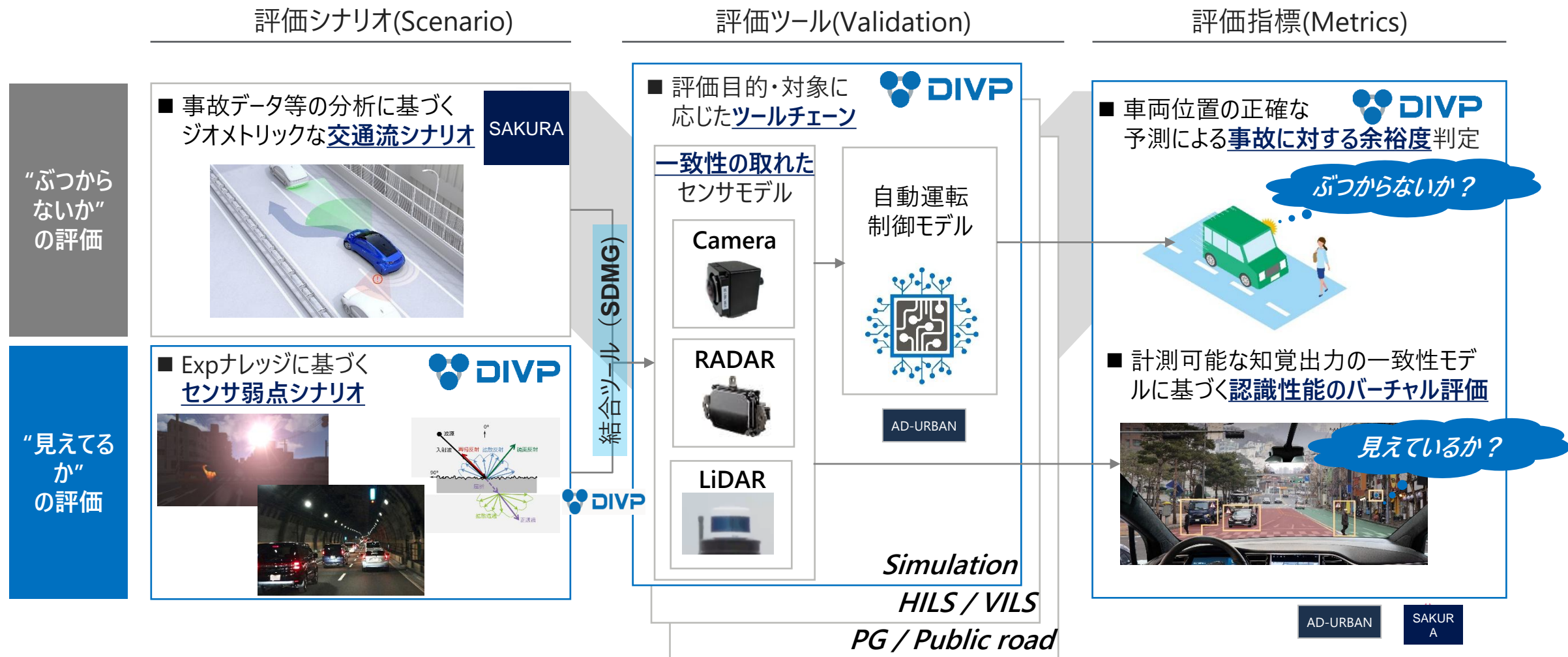
現実空間



センサ視界の仮想空間モデル，センサ内部モデルへ

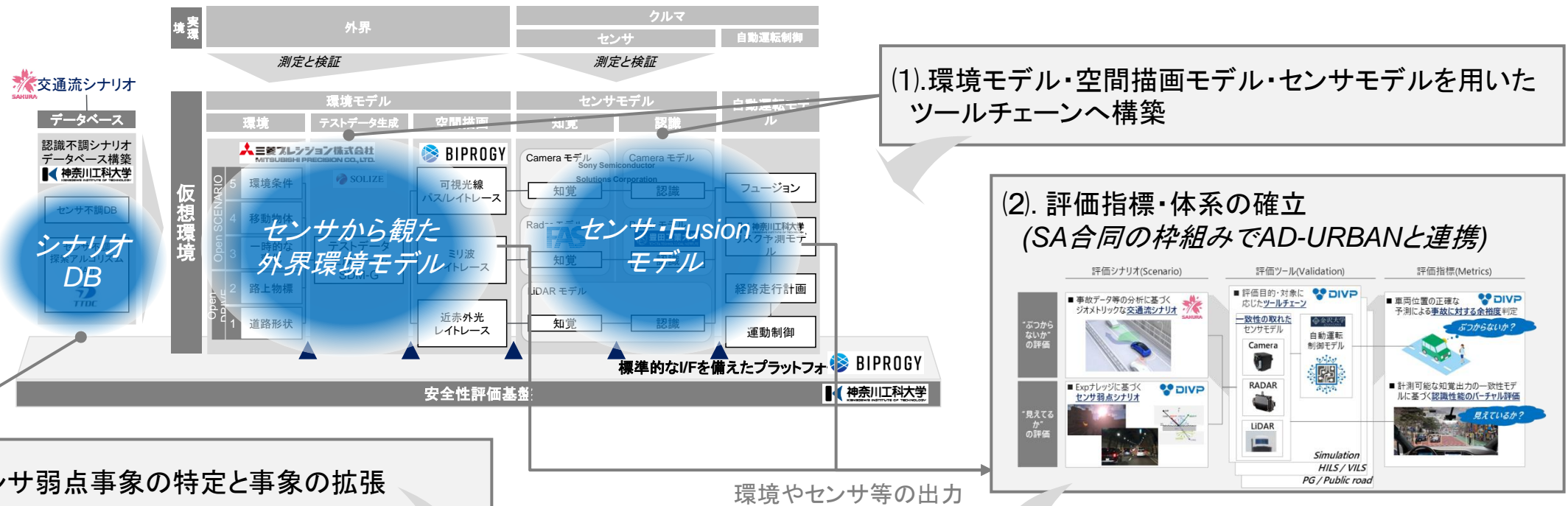
DIVPの2023年度目標;一般道 交差点シナリオでの、評価指標を含むバーチャル評価を達成する。 (→2024年度以降、各地域実証実験のバーチャル評価に展開)

2023年度の目的 ; 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



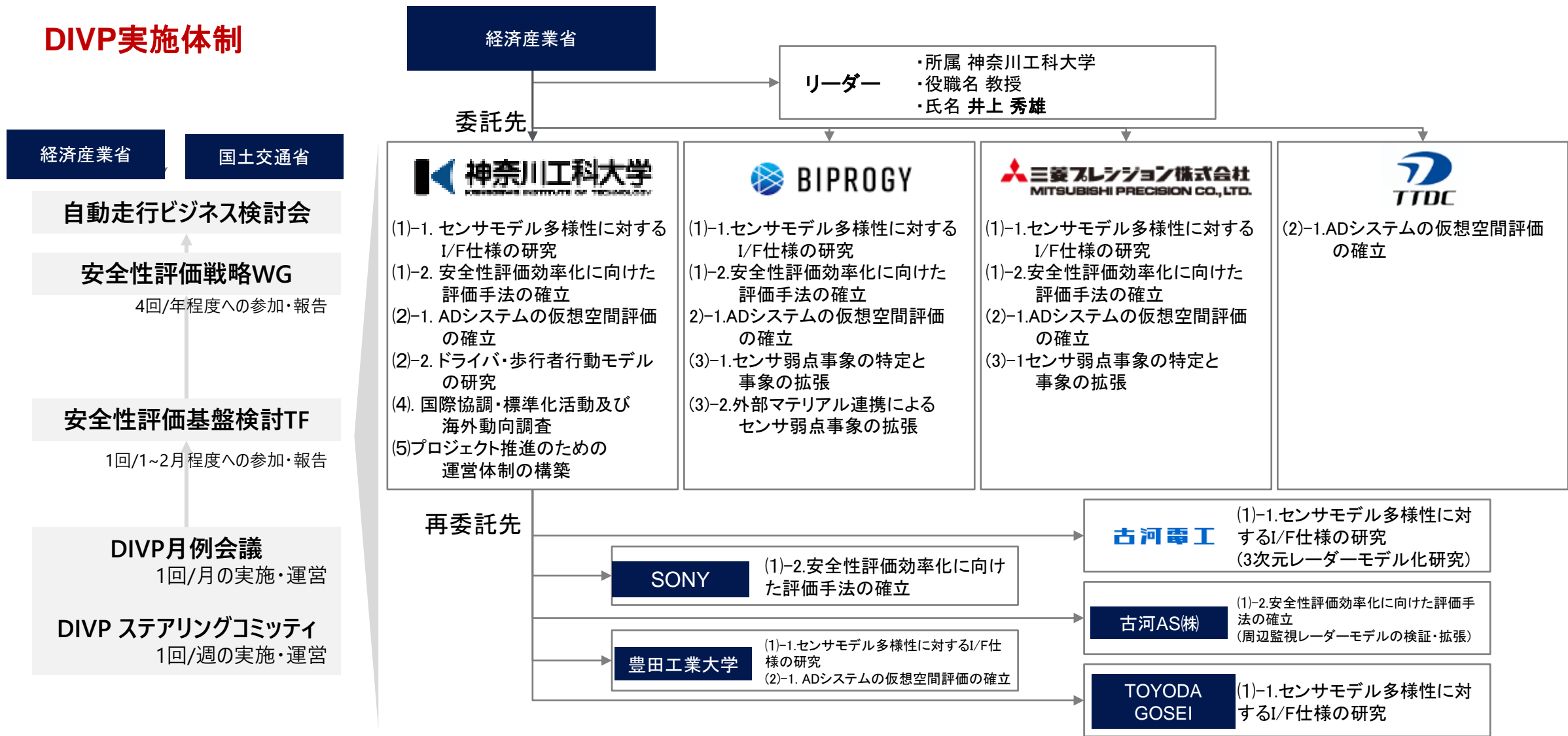
2023年度の DIVP研究テーマの考え方

- 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



2023年度成果まとめ

2023年度のプロジェクト成果と課題を踏まえ、2024/2025年度の計画を見直した

実施項目の目標と安全性評価に対する各項目の役割

		2023年度	2024年度	2025年度
		仮想空間での安全性評価フレームワーク (DIVP-SA)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へのDIVP-SA展開 国際標準化への反映
(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	(1)-1.a	■ 次期型Radar(4Dイメージングレーダ)モデルの開発&性能向上検証 完 ■ 各地域実証実験等でのRadar使用ニーズ調査 完.	■ SAKURA一般道優先シナリオに基づく, 地域実証実験等から得られる 代表的なユースケースでの認識パーチャル評価 完.	■ 全国実証実験等への, センサ認識評価法の展開
	(1)-1.b	■ Radar界面着氷の現象解析と(含水率での)減衰モデルの完成 ■ LiDAR, Radarにおける降雪現象解析と降雪空間モデルの完成	■ 雪氷路面のRadar,LiDAR,Cameraのモデル化	■ 実証実験のセンサ認識Virtual評価・適合へ展開
	(1)-1.c		■ マルチセンサ出力のシミュレーション作成完	■ 全国実証実験でのセンサシステム開発に展開
	(1)-2.a	■ Radar HILS実装でのI/F仕様 完	■ Stereo-camera HILS実装に向けたプロトタイプ構築 休止	■ Radar/Camera Fusion HILS実装
	(1)-2.b	■ 日独連携VIVIDプロジェクトでのJT3.1カメラモデル(レンズ等) 交換検証 完 (SSS社担当)	■ 随時結合検証 移管	■ 随時結合検証 移管
(2). 評価指標・体系 の確立	(2)-1.a	■ 2-Stage評価指標の確立	■ 一般道を優先シナリオとして, RoAD to the L4ユースケースでの2-stage 評価実施・妥当性検証 完	■ 全国各地域実証実験への2-Stage評価の展開・適合実 施
	(2)-1.b	■ 学習データセット作成基準と自動生成の実装	■ Fusionアルゴリズムの性能向上へ拡張適応	■ インフラセンサとV2Xまで含めた性能向上へ拡張適応
	(2)-1.c	■ 真値出力機能 (BBox, Depth, インスタンスID等、白線・車線) の完成	■ V2X評価のための真値出力機能の完成 ■ リスク評価を可能とする評価指標の定義と妥当性検証	■ センサ弱点に対するロバスト性能が評価可能な真値出力 機能の完成
	(2)-1.d	■ Virtual-PG, Virtual-Community Ground モデル作成時間の40%低 減	■ 新手法のVirtual-NCAP評価での有効性検証の実施 休止	■ Virtual-NCAPの国際協調・標準化の達成
	(2)-2.a	■ SAKURAプロジェクトデータと連携した歩行者 & 自転車行動の調査・解析 ■ 歩行者 & 自転車行動モデルの開発	■ 地域実証実験等から得られる代表的なユースケースにおける, 一般道シナ リオでのパーチャル検証	■ SAKURA一般道シナリオへの展開
(3).センサ弱点事象 の特定と事象の拡張	(3)-1.	■ 各種一般道シナリオDB構造調査、結合検証 ■ データ変換機能、IF開発	■ 交通流シナリオのさらなる接続性強化 ■ マップ3Dモデル作成効率化とRttL4ニーズへの拡張	■ 全国各地域実証実験での適合へ展開
	(3)-2.	■ DIVP Material検証データ仕様作成・構造化	■ 全国各地域実証ニーズからのDIVP Materialの拡張 ■ DIVP Materialの標準化への反映と改良	■ DIVP Materialの確立と Open Material ASAM標準 活動へ反映



2024年度の目標達成状況

			凡例 ◎ 目標以上の成果 ○ 目標達成 △ 一部積み残しあり	
2024年度の目標			2024年度の達成状況	
(1) 環境・空間 描画・セン サーモデルを 用いたツール チェーンへの 拡張	1.a	■ 高分解能Radar（4Dイメージングレーダ等）モデルの開発	△	■ 4D Imaging Radarモデルを2種類開発。うち1種類は実験による 一貫性検証を完了しモデル提供可 。
	1.b	■ 環境モデル拡張、霧/氷雪関係モデル検証とモデル改良	○	■ 「霧」「雪」評価のための環境モデルを試作、今後実験を通じた検証を行う ■ 一貫性検証カタログとして認可用ドキュメントを整備 （70%達成）
	1.c	■ センサモデル拡張 「マルチセンサ（カメラ/LiDAR）モデルへの対応／外付けカメラ（表面水滴除去技術）へのモデル対応」	○	■ マルチセンサ(10～30台)システムでの安全性検証に対応し、PFの高性能化を達成（新PF） ■ 降雨時の評価に必要な、 車外カメラレンズへの水滴付着モデル要件解析完 （追加テーマ）
(2) 評価指標・ 体系の確立	1.a	■ 2-Stage評価を実車検証プロジェクトに適応したAD安全性検証の実現	◎	■ 2-Stage評価の実効性を、AD-URBAN、RttL4との連携を通じて検証 。 ■ 2ndStage評価のための、 Closed-Loopによるアルゴリズム評価を完了 。
	1.b	■ Sim & データ分析技術によるセンサ認識の性能向上のプロセス確立	○	■ AI学習用DIVP Simデータ を用いセンサ認識性能向上を検証。カメラ・LiDARでの運用環境の構築完了
	1.c	■ ADS・V2Xの定量的な性能評価実現に向けた評価指標と真値Sim機能の開発	○	■ リスク指標(Safety Cushion Time)を最終出力とした安全性評価への効果検証を完了 ■ V2X評価に向けたSim要件の調査完
	2.	■ 歩行者/自転車の行動モデル開発と交通シナリオへの実装	△	■ ヒヤリハットデータより歩行者行動のモデル要件定義完。歩行者/自転車等 軌跡データが圧倒的に不足 。
(3) センサー弱 点事象の特 定と事象の 拡張	1.	■ マップ3Dモデル作成効率化とRttL4ニーズへの拡張 (RttL4関係UseCaseニーズに対応する3D/環境モデル生成) ■ 交通流シナリオのさらなる接続性強化	○	■ 路面標示生成、PLATEAU活用、真値出力などの各機能を含んだマップ3Dモデル作成SW開発 → マップ3Dモデル作成工数半減の効率化を達成 ■ マップ3DモデルのFOTへの拡張を実施 →柏の葉/高速道（RttL4 テーマ3,4）/Mcity等 ■ 外部データソースから多数のシナリオ生成SW開発（100シナリオあたり23h→3hに効率化）
	2.	■ DIVP Material 構造の実装の完成、及び、標準化展開 ■ 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充	○	■ DIVPプロダクトへDIVP Material 構造の実装完了 ■ ASAM 標準規格(OpenMATERIAL 3D V1.0) へのDIVP仕様展開達成
	3.	■ 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 ■ 生成AIを用いたカメラ弱点事象の検索システムの試作	○	■ ディープラーニング手法(CNN)を用いたカメラ弱点事象(太陽などの高輝度光源による逆光)の 自動抽出機械学習モデルの開発と検証を完了 。 ■ 大規模言語モデルを用いた生成AI(Chat GPT)によるカメラ弱点事象の検索システムを試作
(4)(5) 戦略検討、国際標 準化	■ 安全性評価TF(Team0)やL4等とのPrj連携推進		○	■ Team0運営→3proj連携の安全性評価確立の戦略立案と、 他プロジェクト連携 を実践
	■ 安全性評価体系の国際標準化対応 ■ IAMTSやASAM等の海外Key prjとの連携対応		○	■ 海外との連携を通じ、 ASAMやIAMTS等のデファクト標準活動における貢献が国際競争力の強化(ADS安全性プレゼンス向上)に直結 することを実感。



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)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (1).特定モデル】

特定機種の4Dレーダにて、シミュレーションと実測の一致性検証を行うべく、実機セットアップを実施。

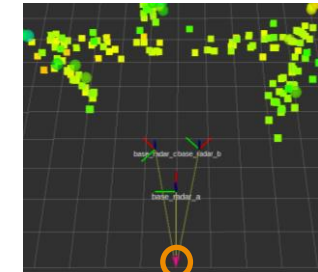
実機評価可能なレーダを選択。プロジェクト車両に搭載し、位置情報に紐付く点群を出力。

・レーダの選択

	Novtech製	古河電工製
形態	評価ボード	パッケージ
外観		
国内技術適合	未取得	取得
チャンネル数	Tx12 x Rx16 SDKでは制限	チップ内全チャンネル
チップ	4チップカスケード	1チップ
リアルタイム点群出力	未（調査中）	可能
出力形態	dat	ROSメッセージ
出力イメージ		

選択
搭載
x3

・プロジェクト実験車両への搭載

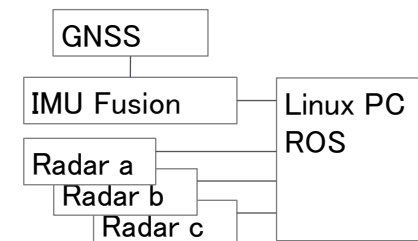


3レーダ
点群同時
出力

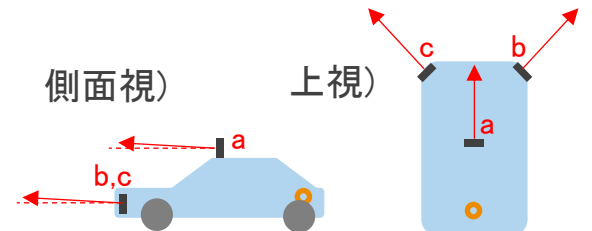


IMU
自車中心とする

・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

【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (1).特定モデル】 お台場エリアにて実車走行評価を実施。

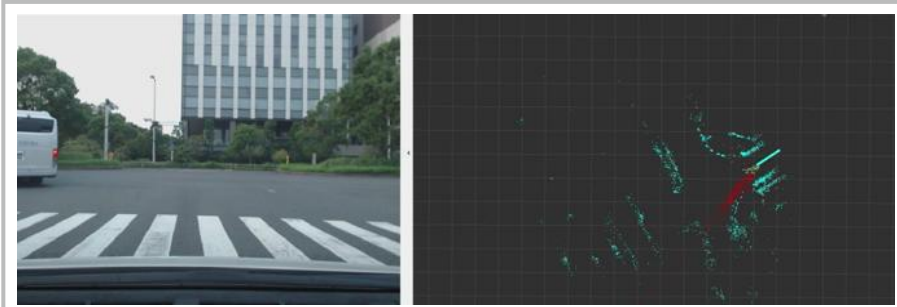
適切な走行エリアにて、走行路周辺構造の高さ情報含む点群マップ取得を実現。

・選択した走行エリア

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	△	○→△	×	

・取得した実測データ例

コースID1にて



自動走行向け
今後の
・フリースペース検知
・自己位置推定
等のアプリケーション
に資する点群マップ
を取得

コースID1

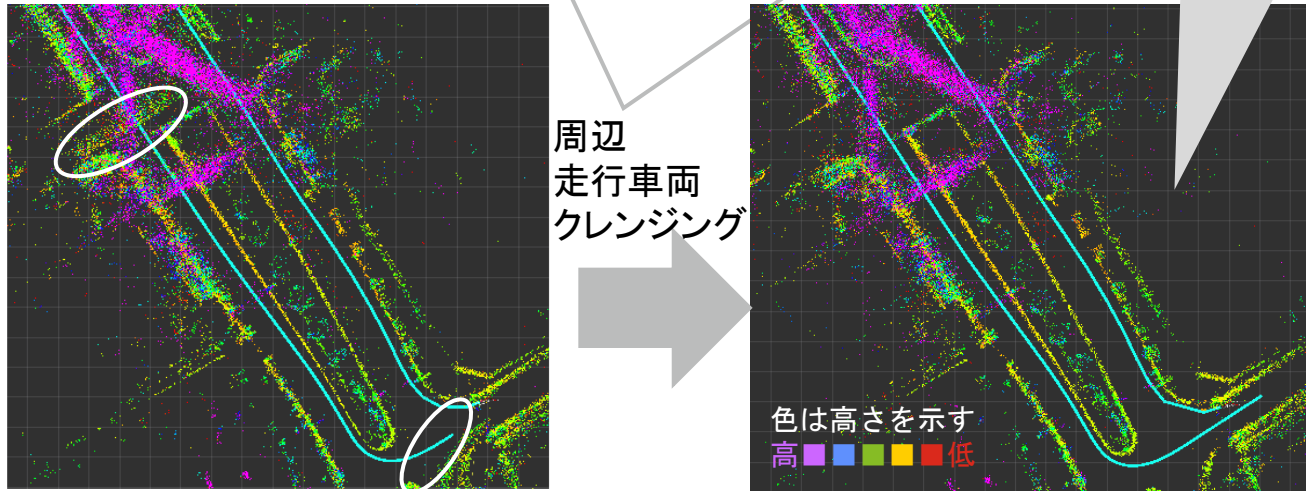


コースID3



■ : 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



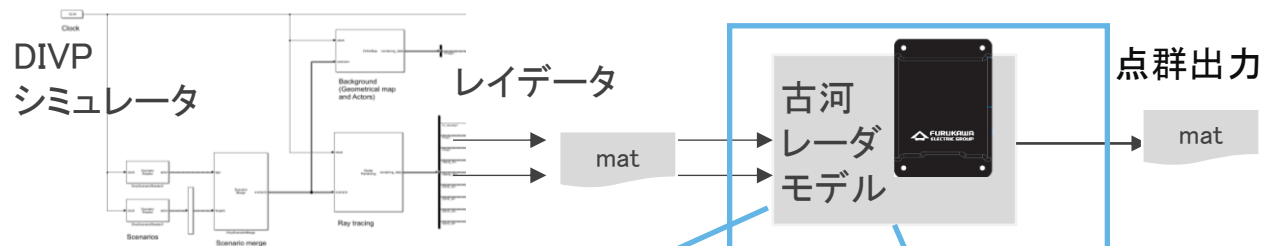
GNSS/IMUと4Dレーダにて、路側構造の点群マップ化を実現



【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (1).特定モデル】

実車走行評価に相当する、シミュレーションを実施すべく、4Dレーダモデルの準備。

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。



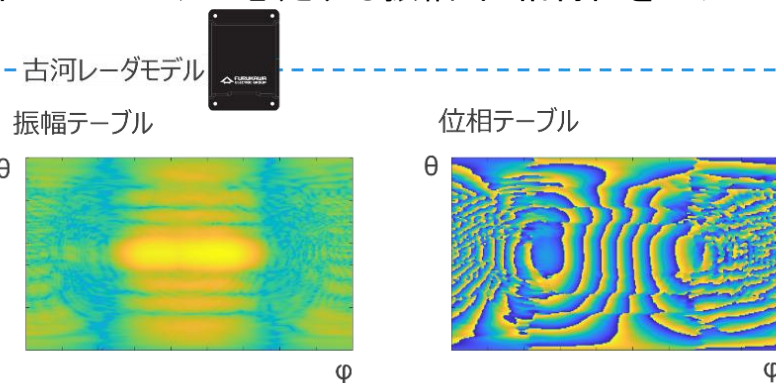
・ユーザ固有特性の割り当て

・現行活用進む変調方式の導入

アンテナ

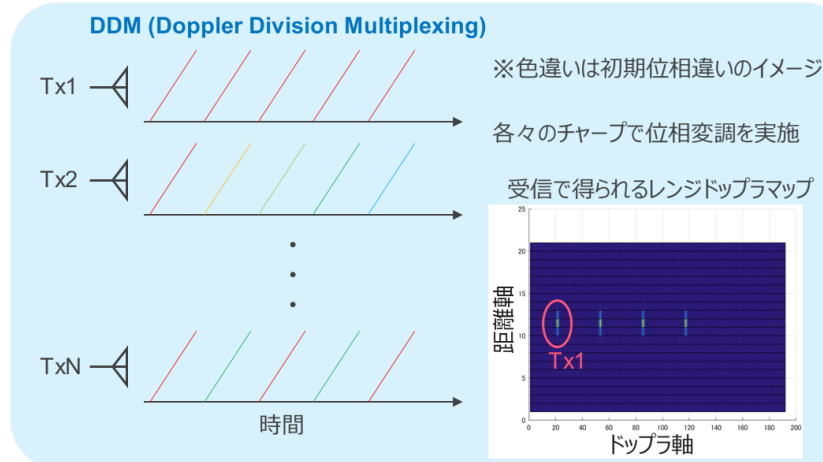
変調方式

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



スペシフィックなデータの直接適用

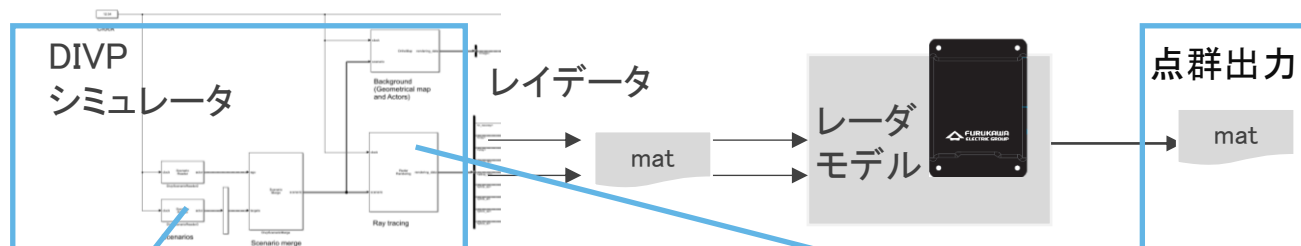
DDM (Doppler Division Multiplexing) 方式



速度レンジの取得のためDDMを採用

【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (1).特定モデル】 DIVPシミュレーションにて、4Dレーダにおける点群マップ出力を実現。

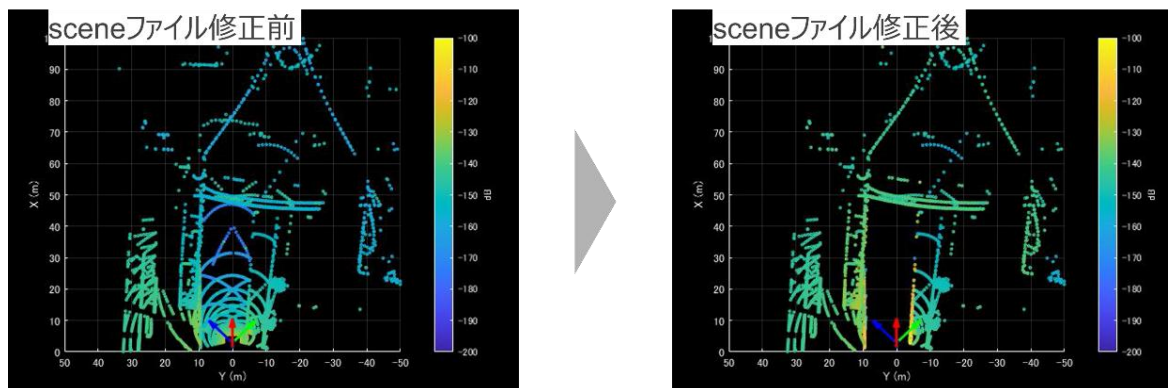
シナリオ準備、条件をブラッシュアップしながらレイレース計算、レーダモデルを接続し、点群出力。



・実状にあわせた物性の調整

マテリアル設定

精緻な物性がデフォルトとして設定されているものの、
箇所によってレイの過不足みられる 例) 地面反射多い、縁石反射少ない等

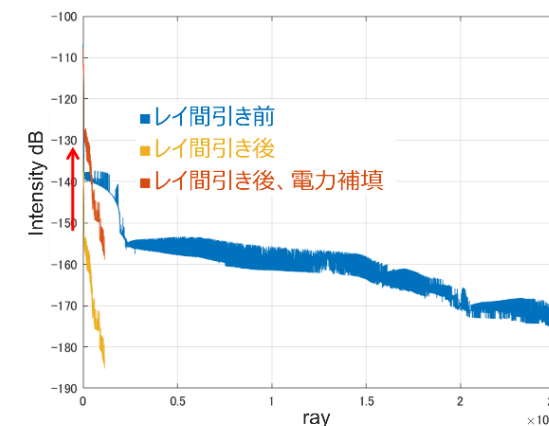


無効化や反射率増加等、ユーザ側での調整により、正確性向上

・レイ本数の調整

レンダリング設定

市街地シナリオを対象とした場合
レイ数多大 → 計算時間が多大となる課題

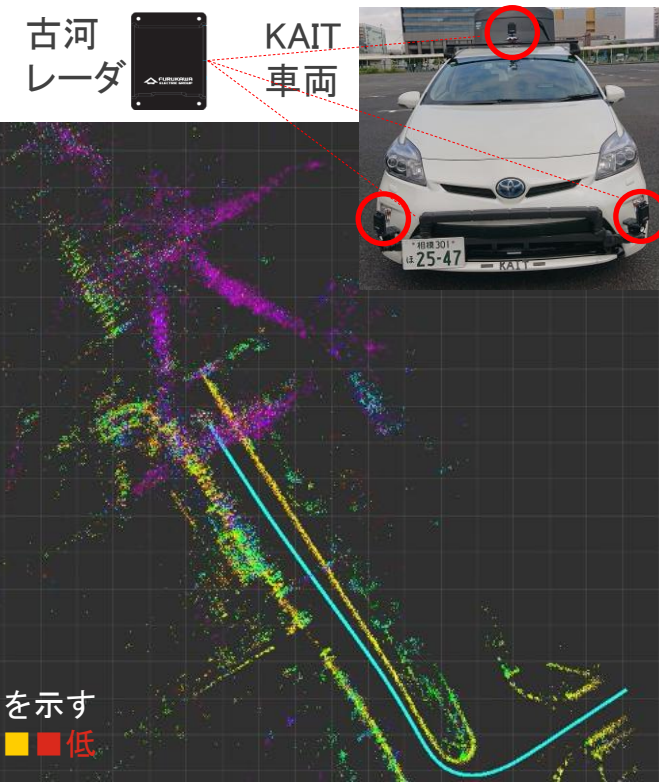
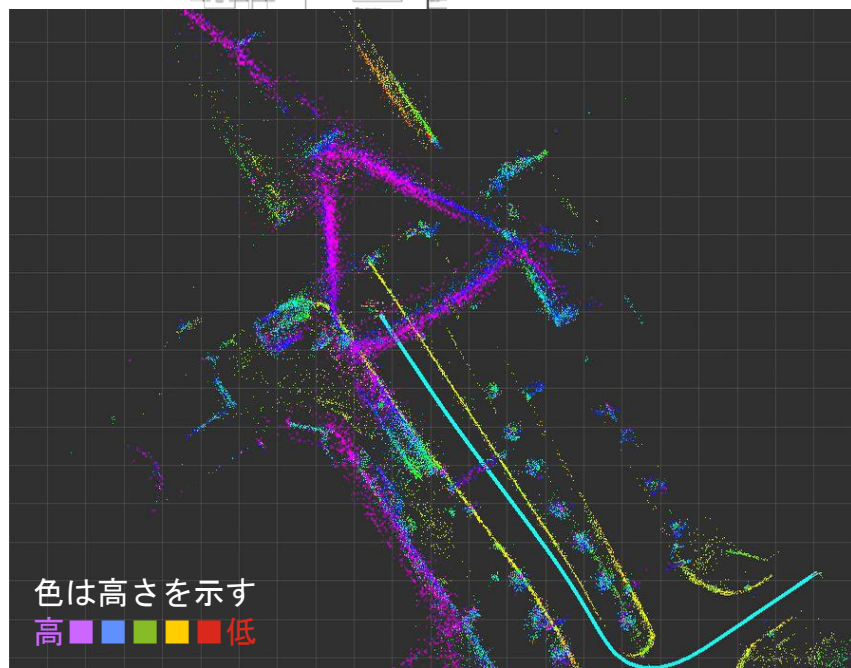


レイ数を減らしつつ、電力補填し強度維持

特定機種の4Dレーダにて、シミュレーションと実測の一致性検証を実施。

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。

実機

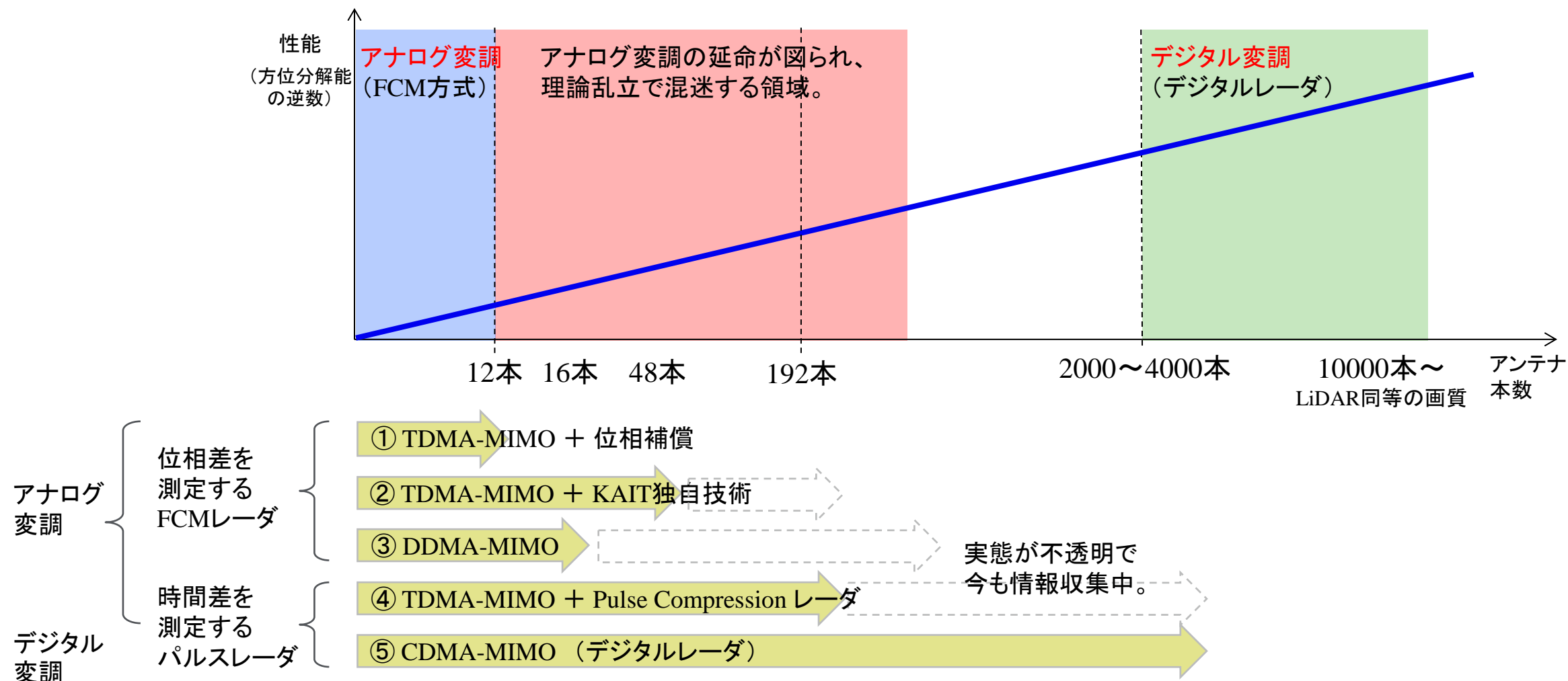


引用: 学校法人幾徳学園神奈川工科大学、古河電気工業株式会社 GoogleMap

【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (2).汎用モデル】

基本原理の業界動向

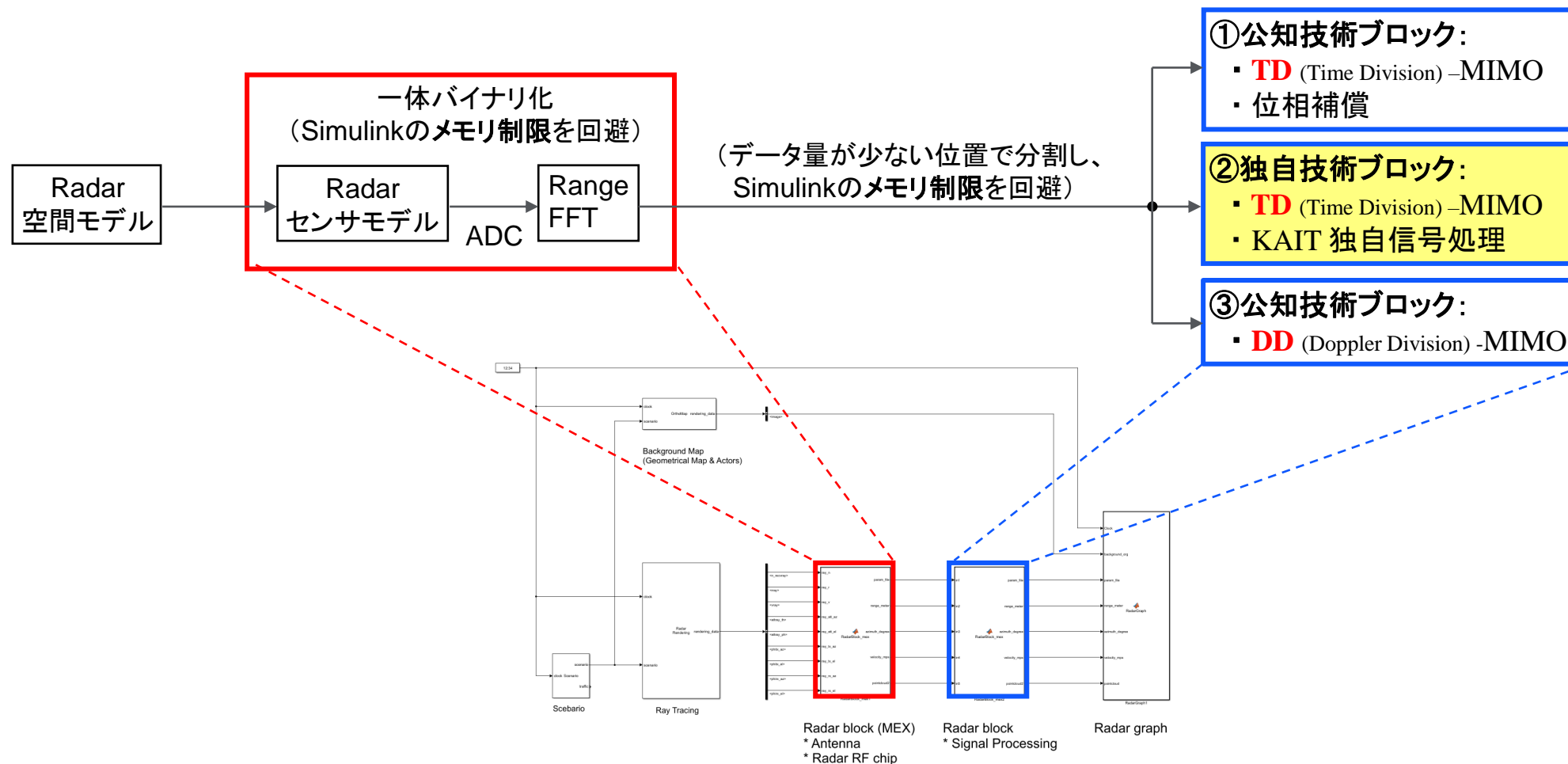
混迷状態が判明。やむ得ず①②③を全てモデル提供する方向へ方針変更。



【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (2).汎用モデル】

前ページ混迷状態を受けて修正した、モデル開発方針

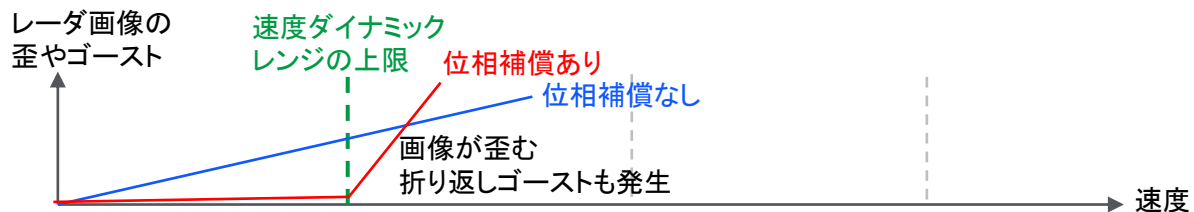
①②③を全てモデル提供する方向へ方針変更。
作業量が急増しリリースは来期へ。



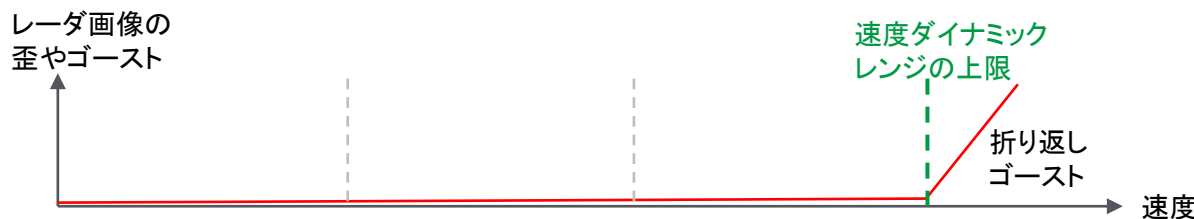
【テーマ(1)-1.a 「4D Imaging Radar 開発」 (2).汎用モデル】

派生的に生まれた基礎研究成果

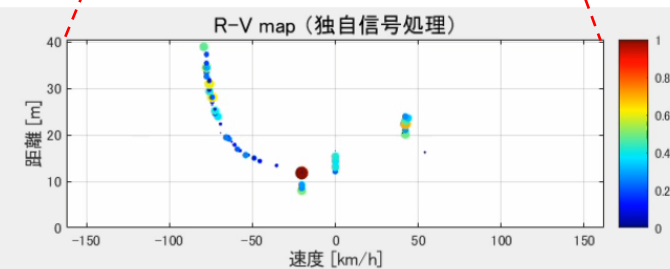
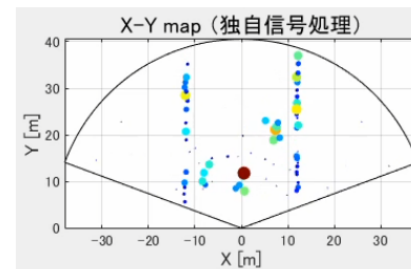
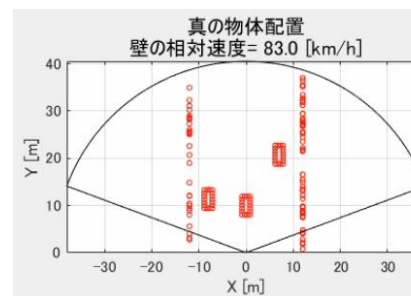
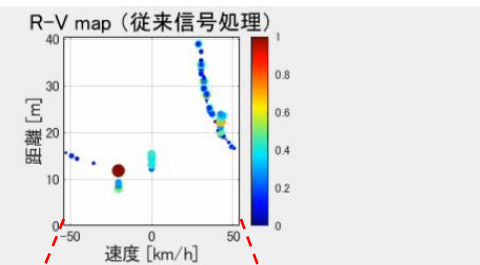
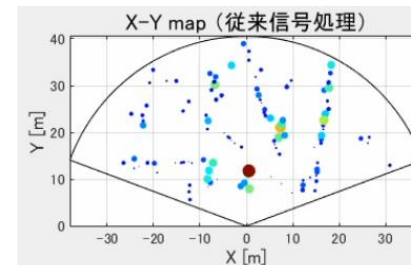
従来技術①③を超える、新技術②を発明した。
これもモデル提供する方向で開発中。



従来技術① 「TDMA-MIMO」



新技術②



メリット1:
速度ダイナミックレンジ
が数倍に広がる。

メリット2:
レーダ画像に歪・ゴーストが無い。

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】 全体像

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。

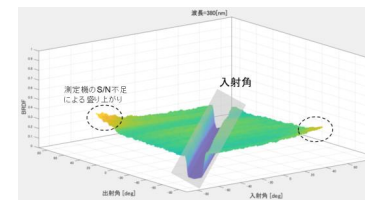
- ① カメラに、3つの不調現象を見つけた。
- ② LiDARに、3つの不調現象を見つけた。



《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）



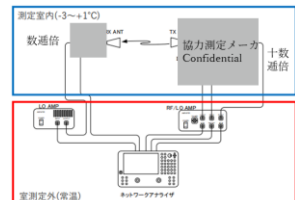
《Step3》

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》

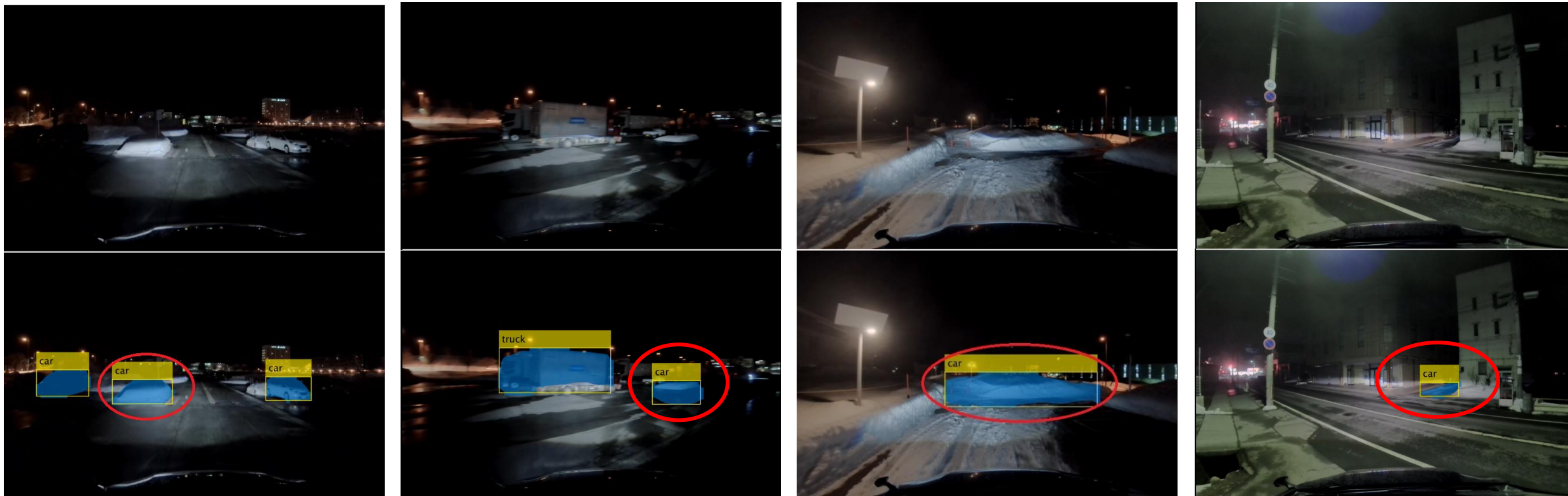
特殊環境(0℃)
様の測定系の
構築から始めた。



【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。

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

① 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。

【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。

カメラにおいて見付かった不調現象 ②③



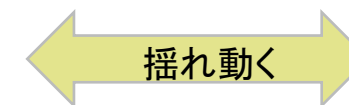
背後の雪を、車体の一部と誤認識



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。



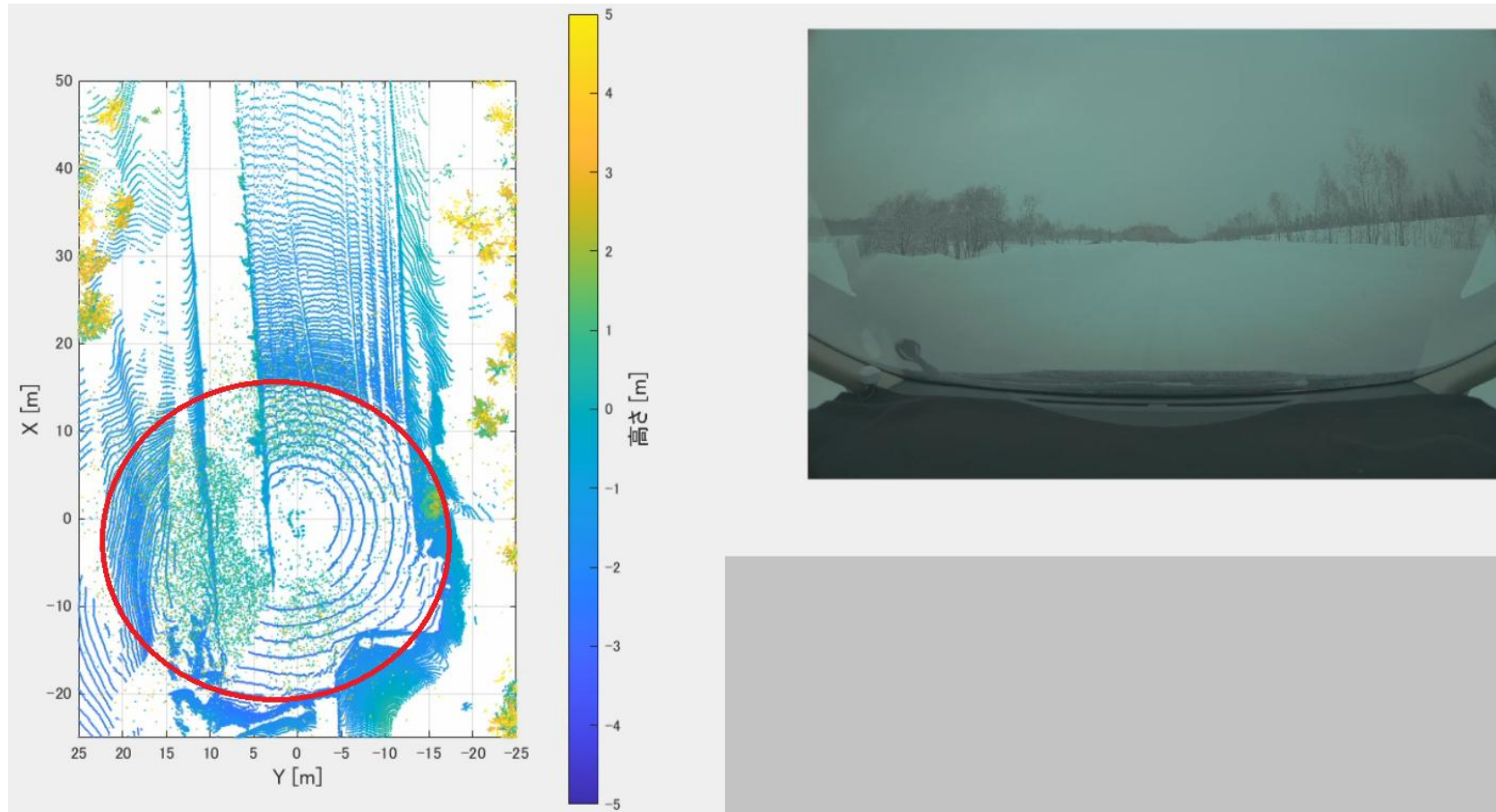
③ 多数の轍により、白線検知が精度劣化

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。

LiDARにおいて見付かった不調現象 ①

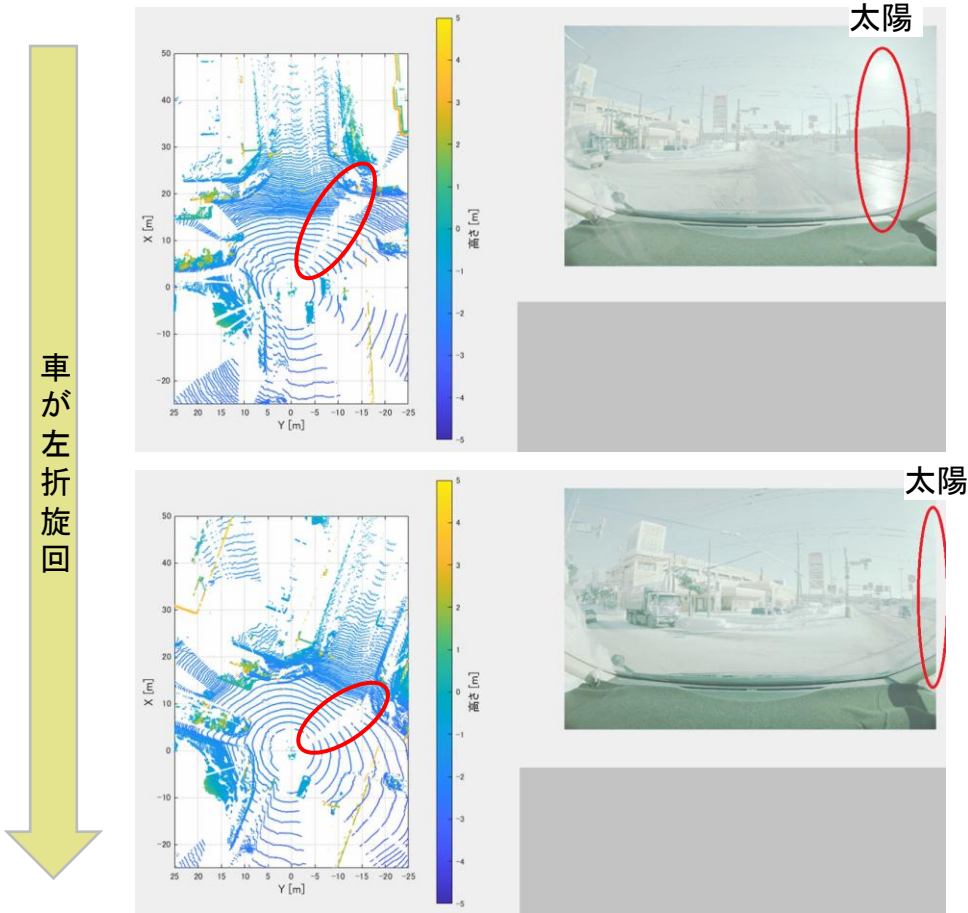


① 空中の雪片を、雲のような偽点としてしてしまう。

【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。

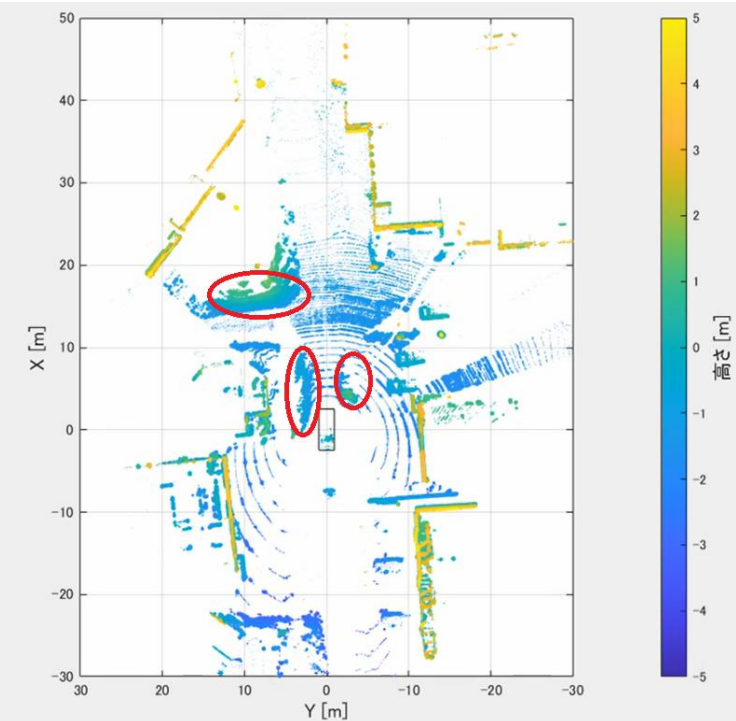
LiDARにおいて見付かった不調現象 ②③



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。



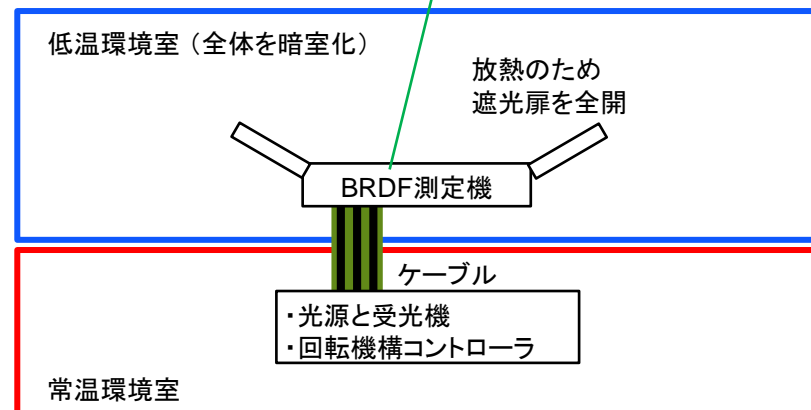
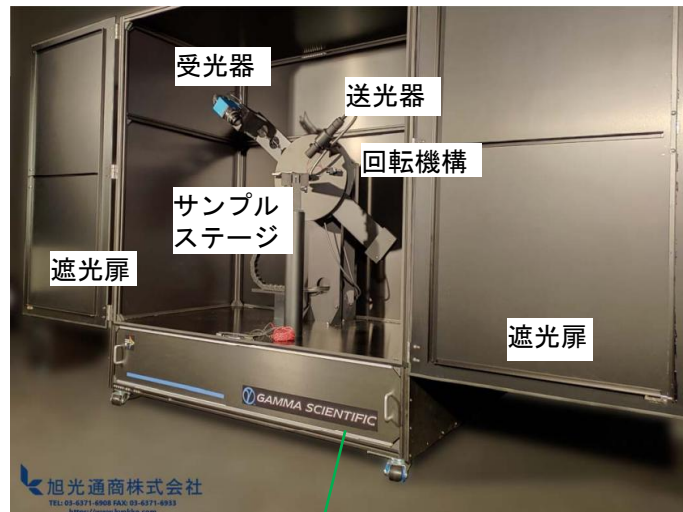
③ 路側の大量の雪のため地図の変化を観測。LiDAR-SLAMに支障が予想される。



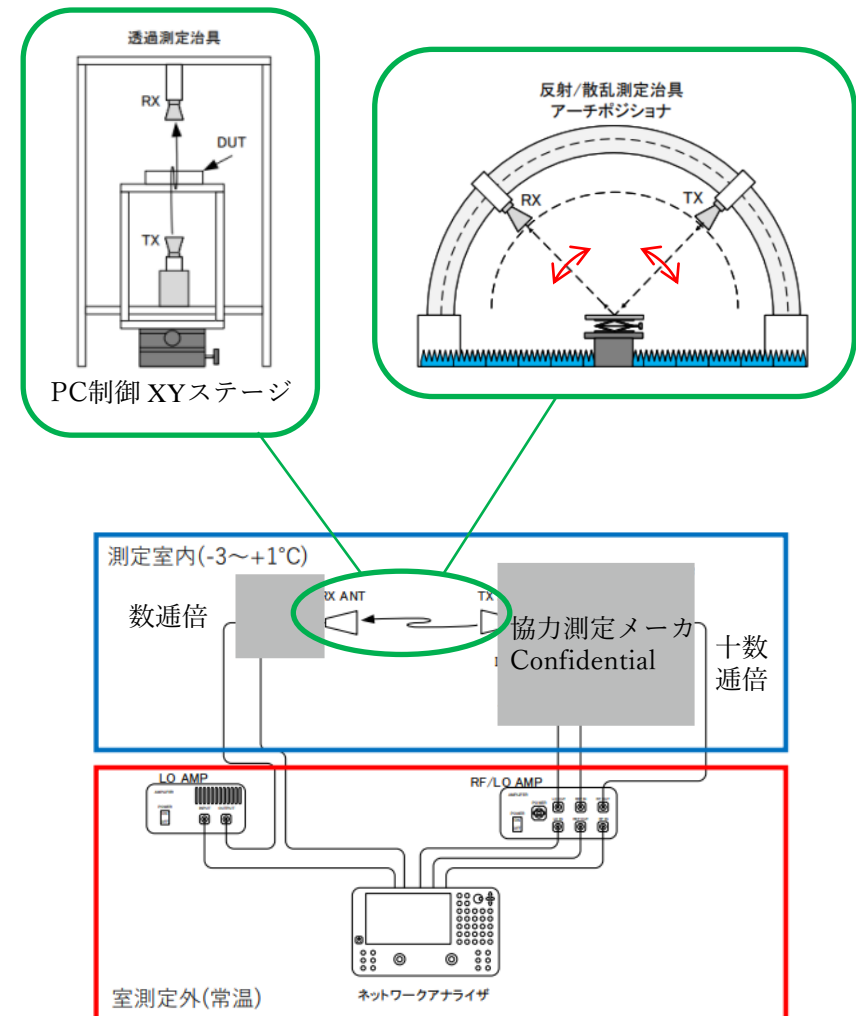
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

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

可視光 (カメラ) ～ 赤外線 (LiDAR) 帯の測定系

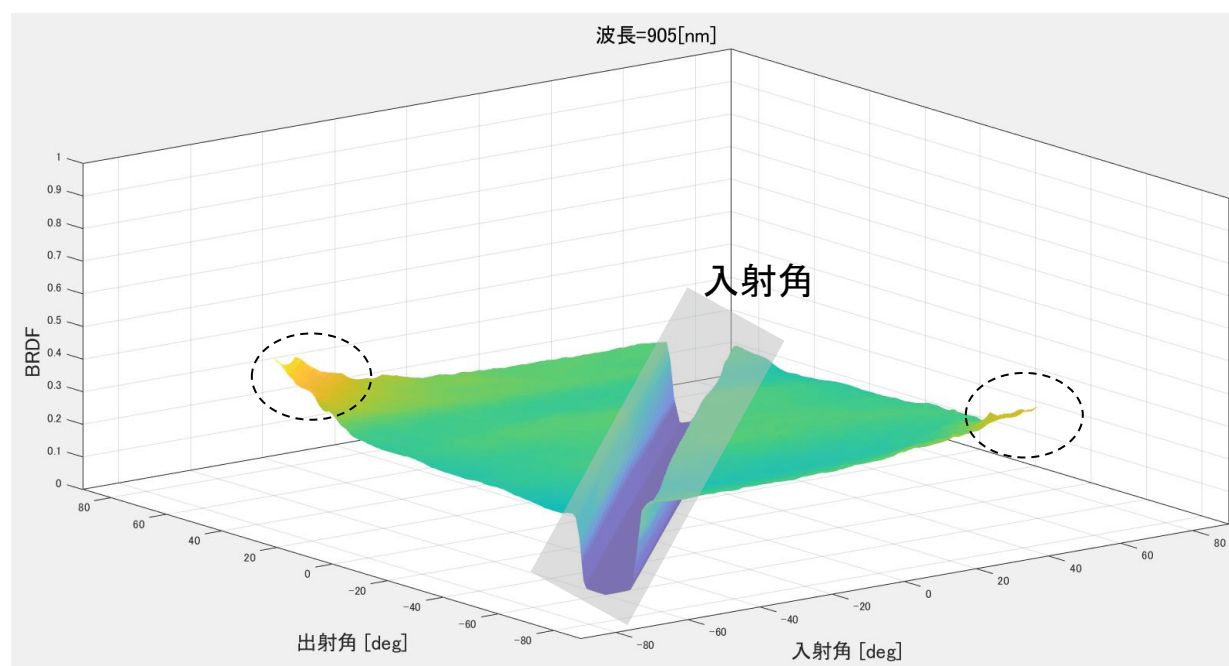
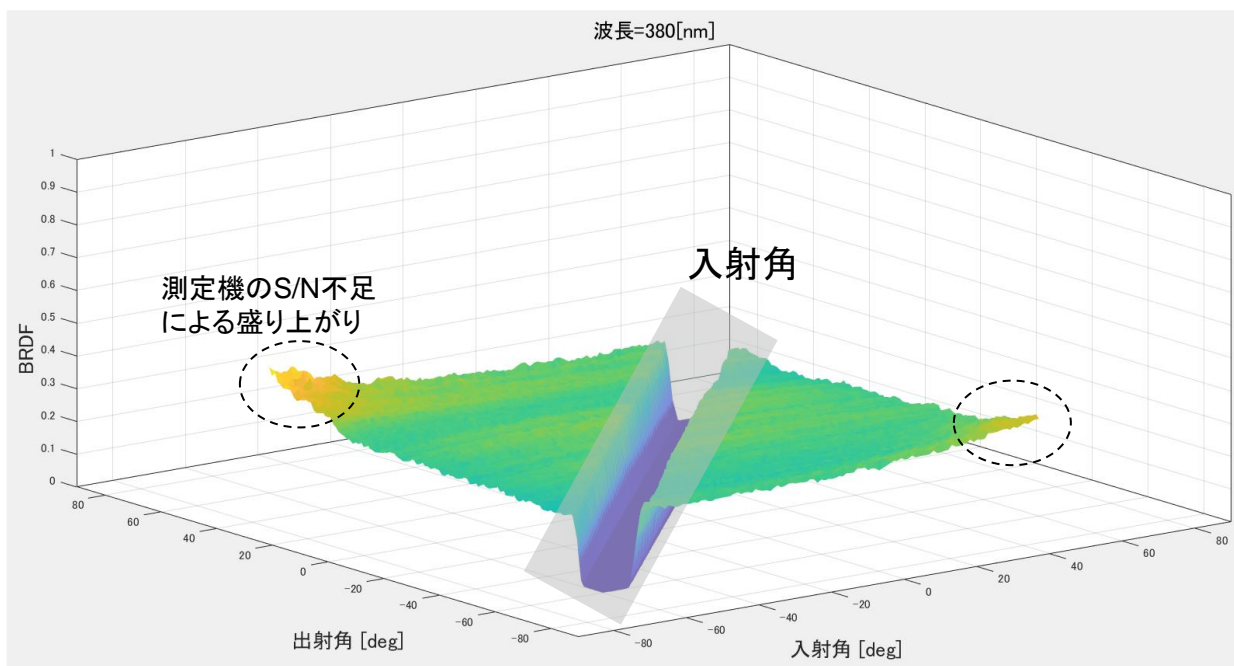


ミリ波 (レーダ) 帯の測定系



【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)

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)

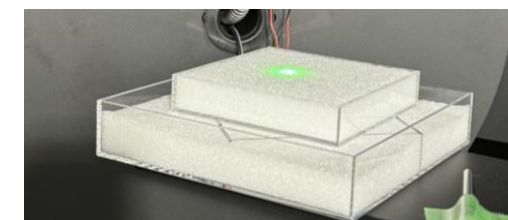
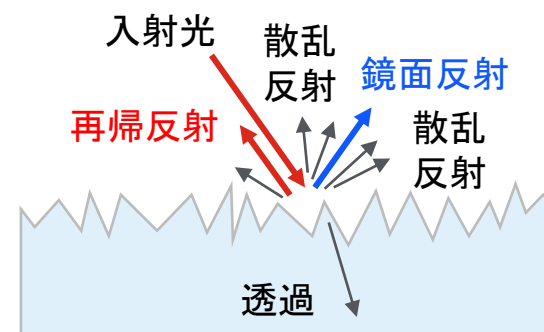
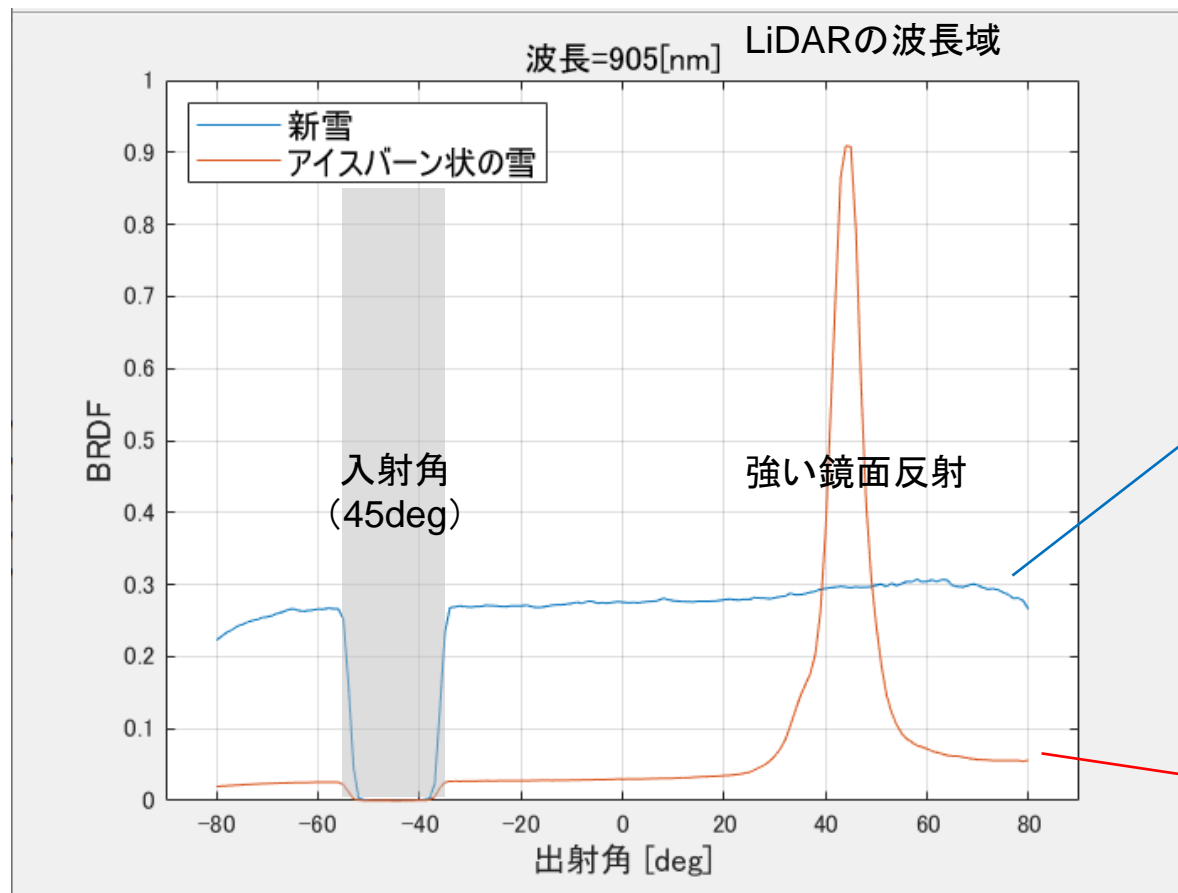
1100nm

【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

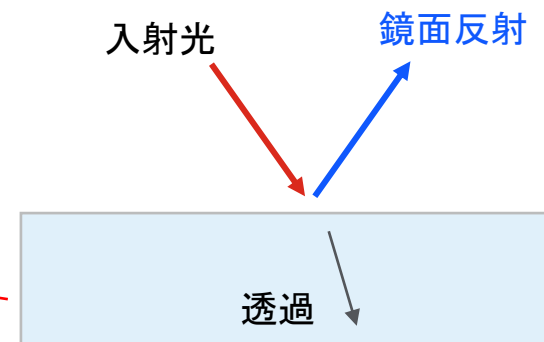
《Step2》 雪の反射係数を測定した。(LiDAR と Camera)

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。



新雪のサンプル例



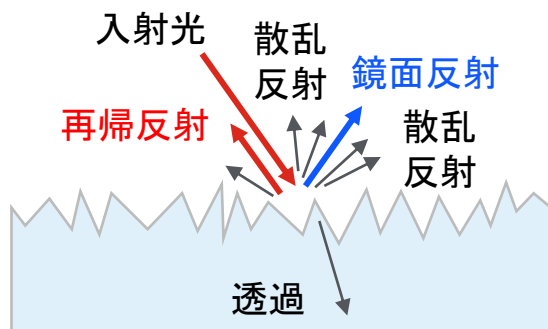
アイスバーン状雪のサンプル例

【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)

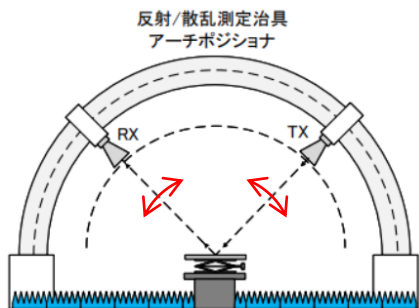
優先課題

= ミリ波 (波長4mm) から見た
雪の表面粗さの影響の把握

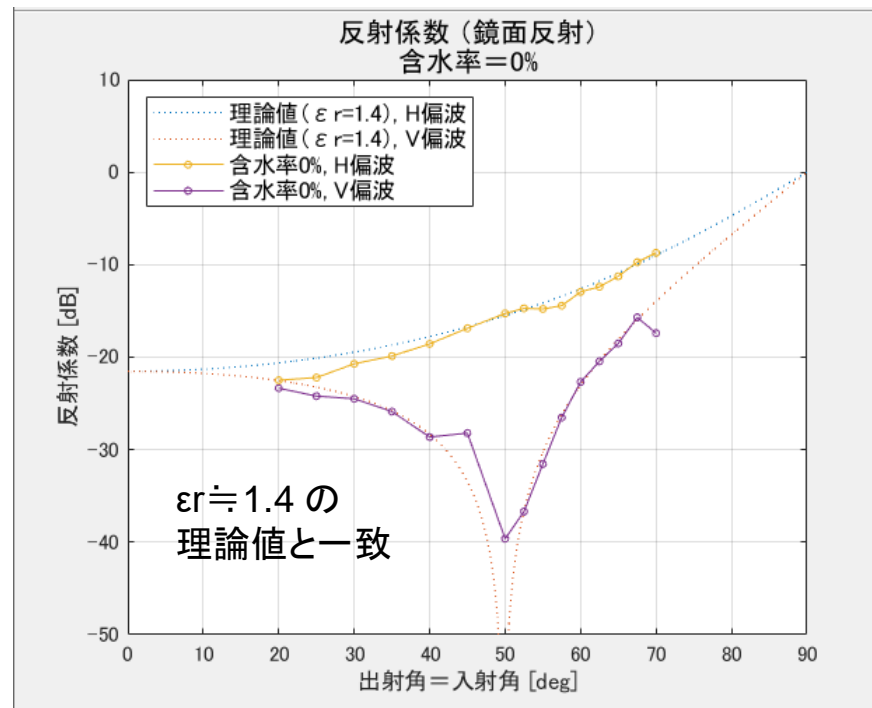


表面粗さを
直接測定は困難なので、
間接的に調査した。

測定系



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。

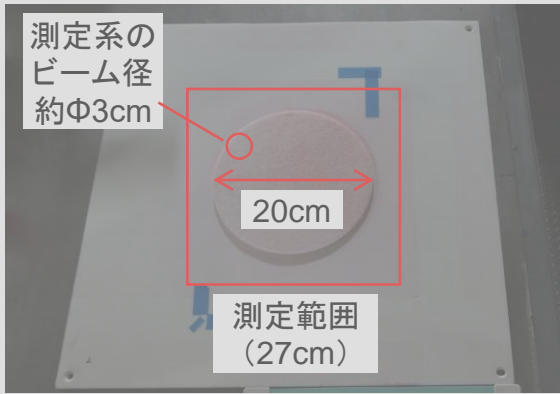
【結論】

- ・ 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】

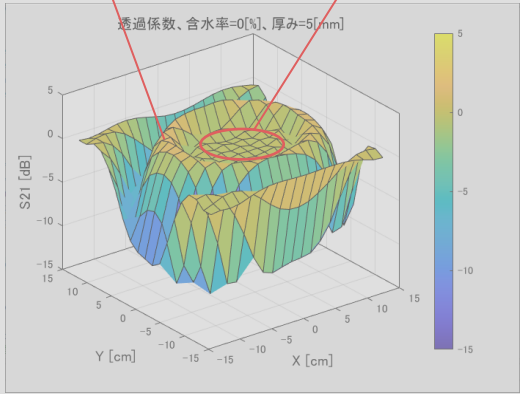
《Step2》 雪の透過係数を測定した。(ミリ波Radar)

昨年度発見し、解決済の課題

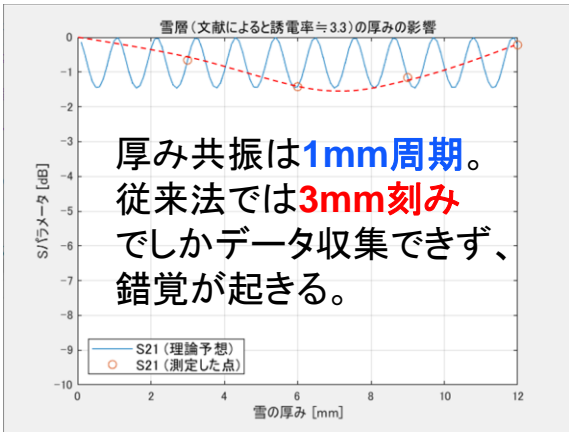
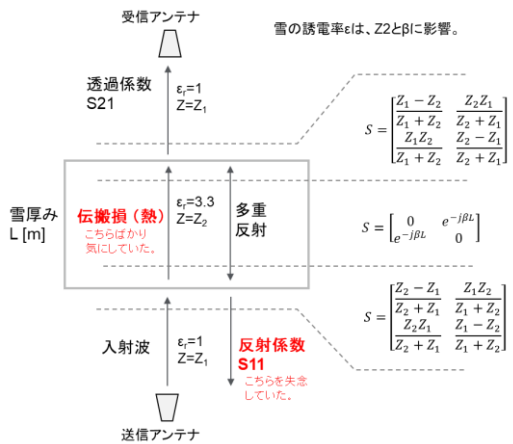


回折効果が
起きた領域

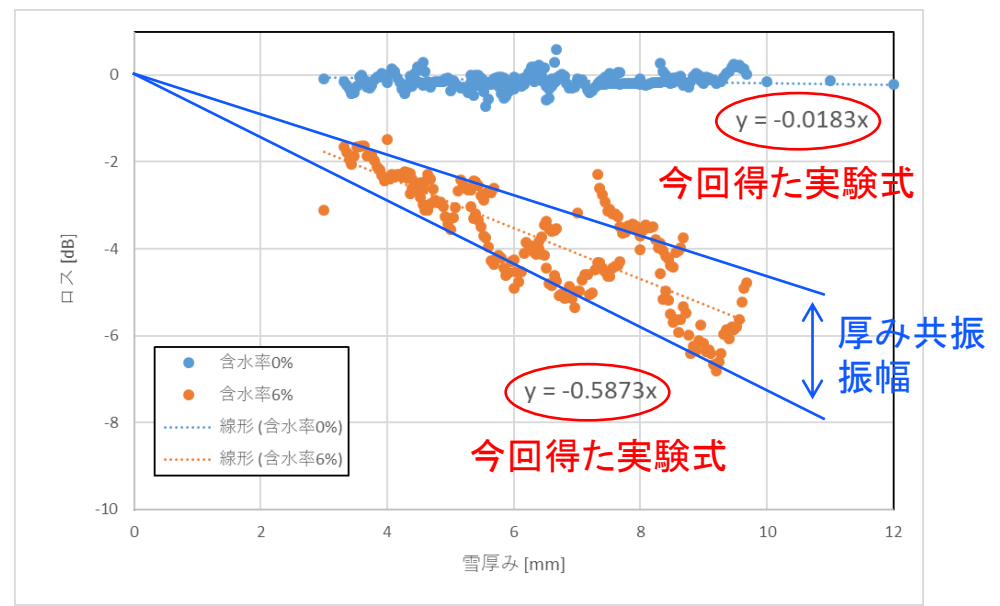
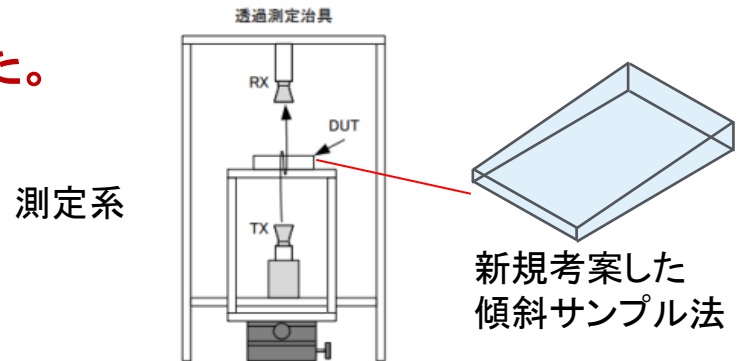
雪サンプルのみを
正しく測定できた領域



昨年度発見し、未解決だった残課題



今年度解決した。

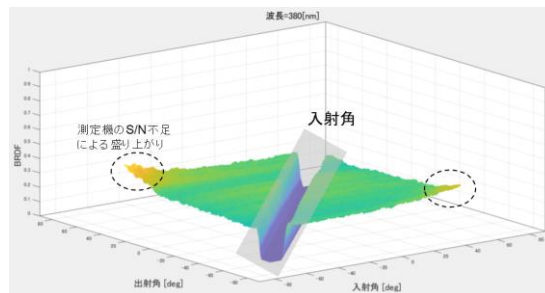


新規考案した「傾斜サンプル法」によって大量データ収集が可能になり、厚み共振の振幅を把握して、より正確な実験式化に成功した。

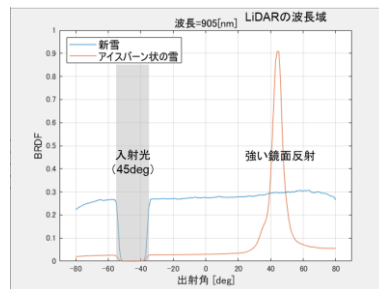


【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】 《Step3》 測定した反射係数を用い、雪景色の再現モデルを開発中。

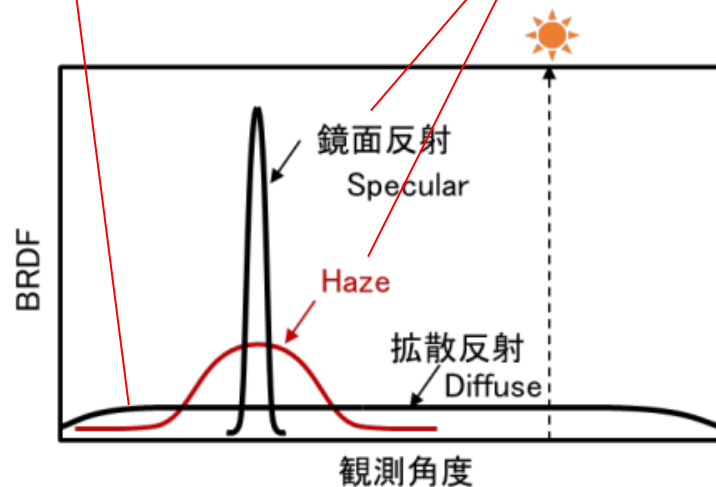
積雪路面にまだらにアイスバーンを設けれるよう、テクスチャベースの手法を検討中。



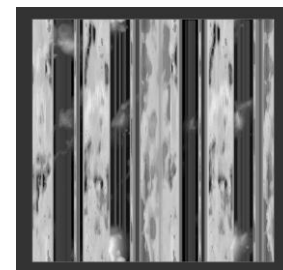
新雪は、拡散反射体
(ランバート反射体)と判明。



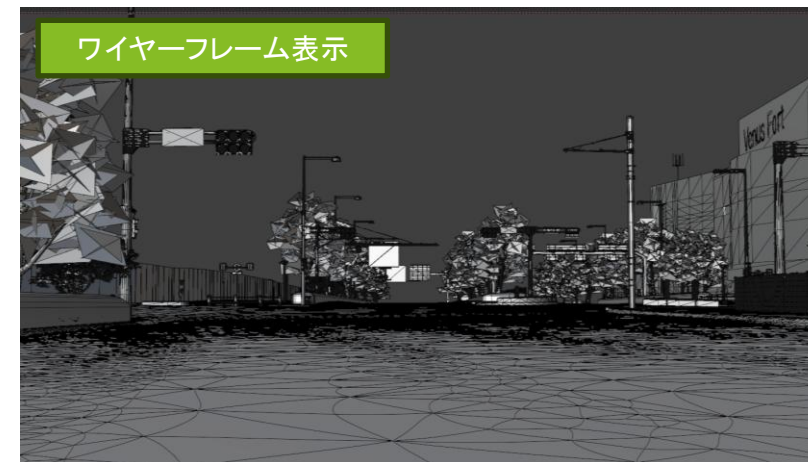
アイスバーン状の新雪は、
鏡面～Haze 反射体と判明。



出典: 令和4年度 報告書 SOKEN Figure 1-111



ラフネスマップ
ディスプレイメントマップ



ワイヤーフレーム表示

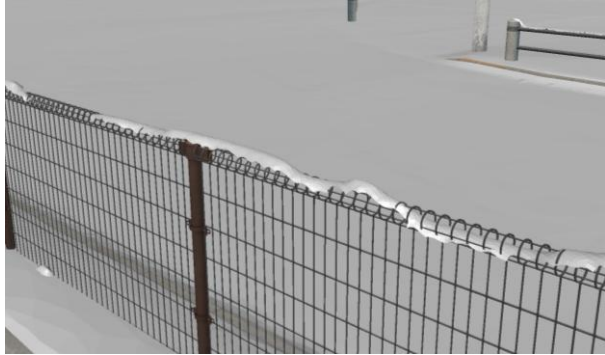


試行結果

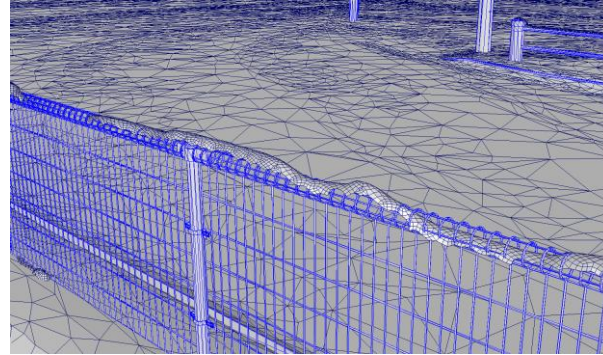
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (1). 雪の研究】

《Step3》 測定した反射係数を用い、雪景色の再現を準備中。

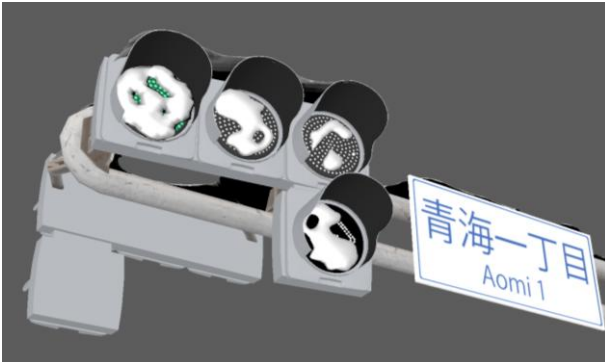
物標などに積雪したメッシュベースの雪景色の模擬



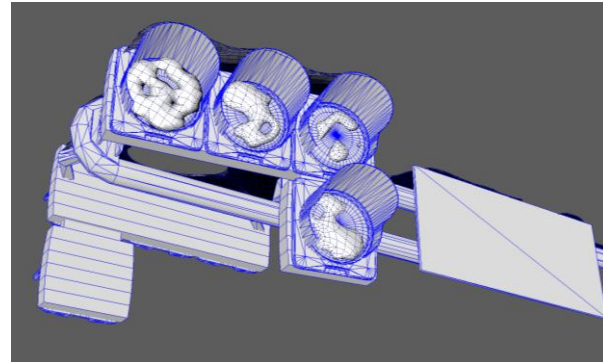
路面/柵 雪付着
[ソリッド表示]



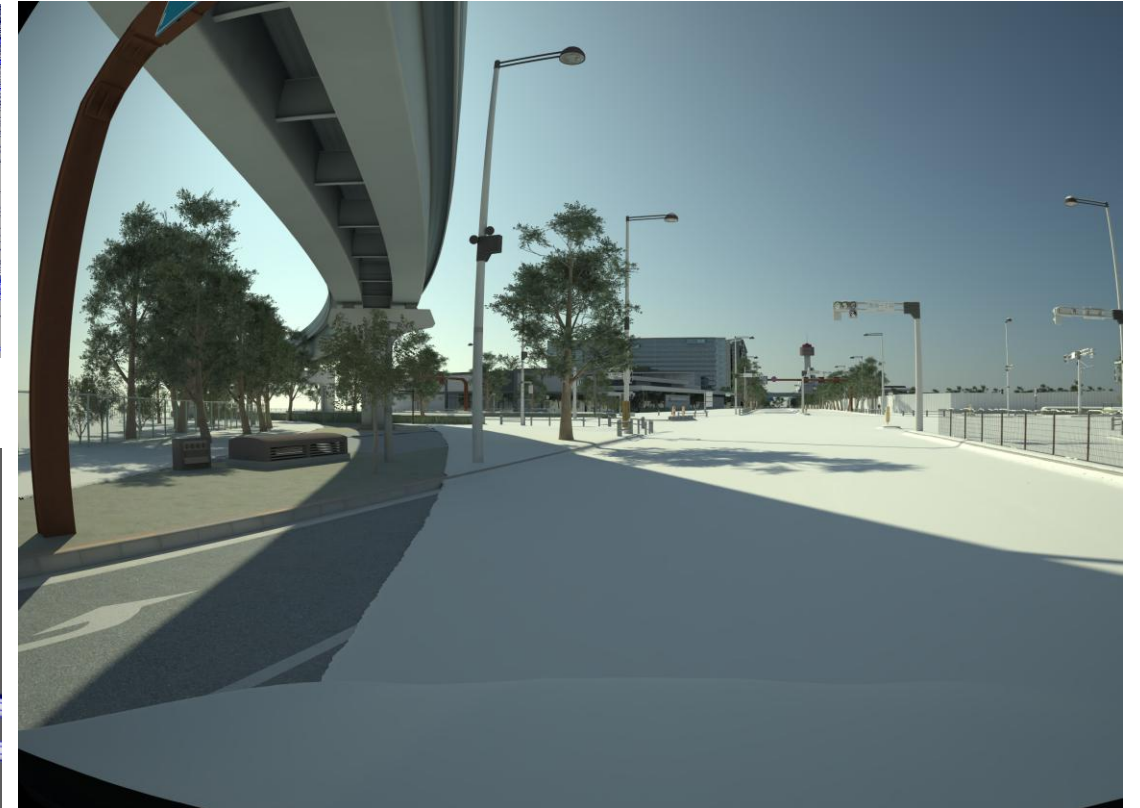
路面/柵 雪付着
[ワイヤーフレーム表示]



信号機 雪付着
[ソリッド表示]



信号機 雪付着
[ワイヤーフレーム表示]



臨海副都心 青海一丁目付近 積雪景況
[PFレンダリング]

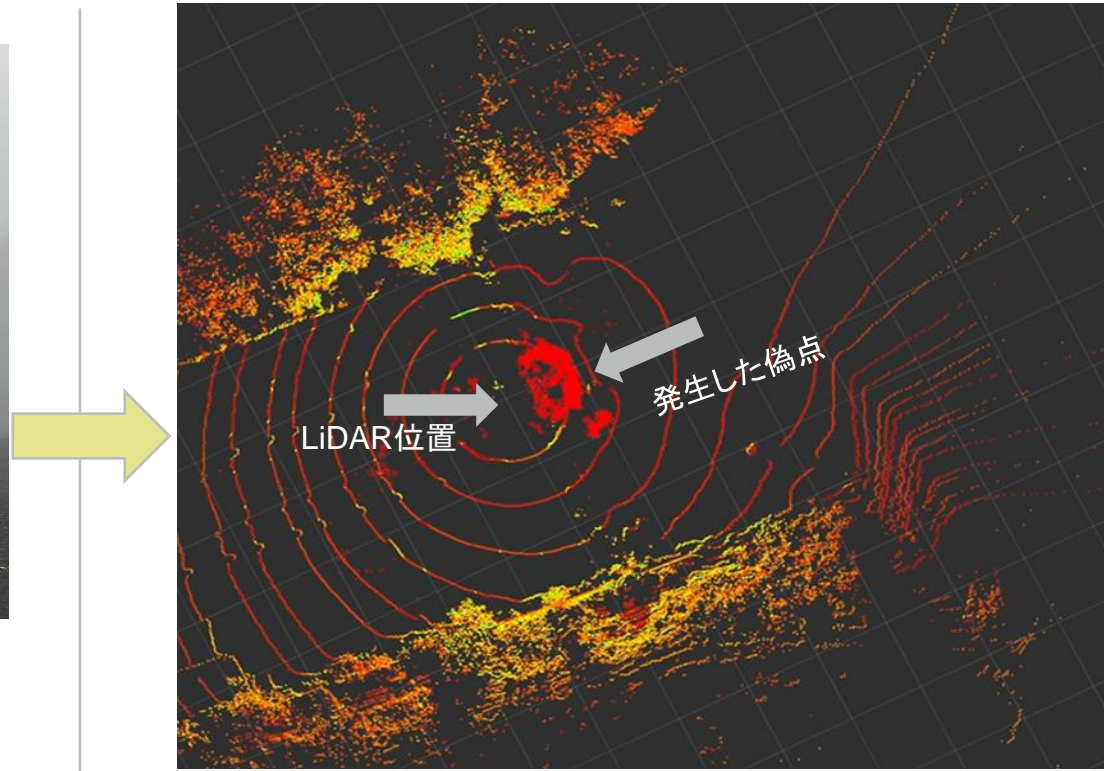
【テーマ(1)-1.b 「環境モデルの拡充」 (2). 霧の研究】

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

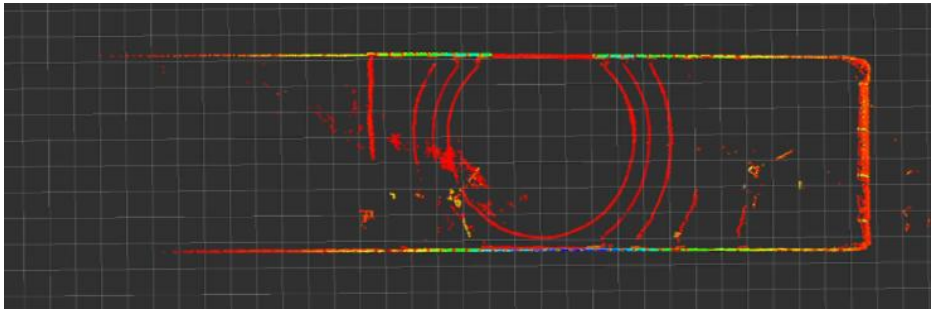
自然界でのLiDAR偽点の計測を実施
定量的な評価が出来ないことからモデル環境での計測が必要

【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、一致性検証を進行中。

霧実験施設でLiDAR一致性検証を実施。データ量不足のため、2025年2月に追加実験を実施(解析中)。



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 「環境モデルの拡充」 (2). 霧の研究】
霧による LiDAR偽点の、一致性検証を進行中。

実験結果を解析し、シミュレータへ特性を反映(解析済み部分のみ)

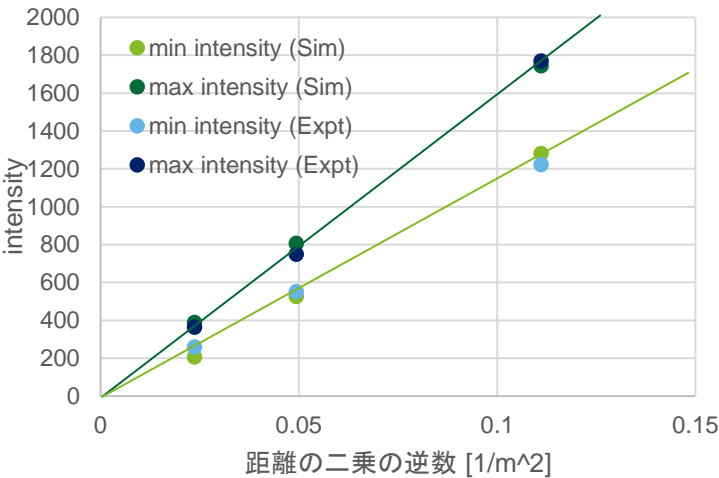
ターゲット反射強度の推定

実験結果

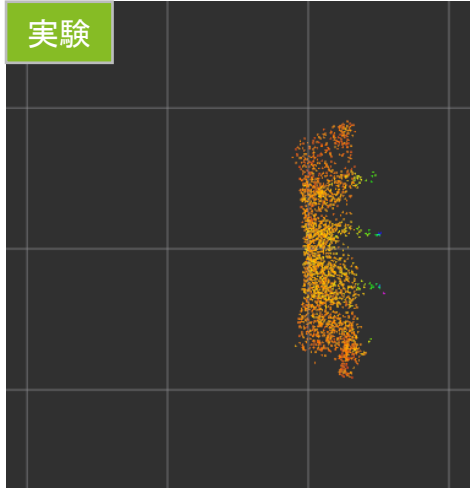
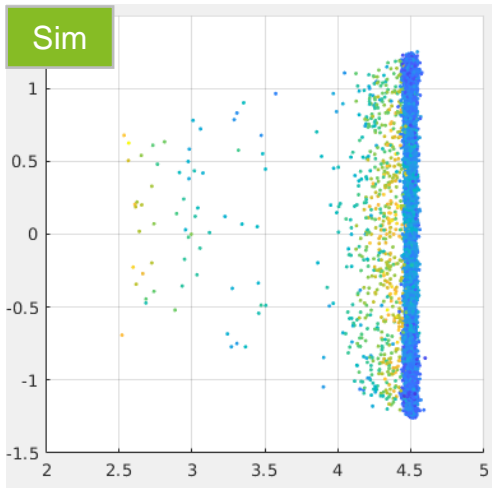
ターゲット 距離	min intensity (Expt)	max intensity (Expt)
3	1222.032	1769.257
4.5	552.2788	749.7318
6.5	259.3093	363.5321

Sim結果(ターゲット反射率 0.035)

ターゲット 距離	min intensity (Sim)	max intensity (Sim)
3	1282.2	1743.9
4.5	527.1	807.1
6.5	206.35	390

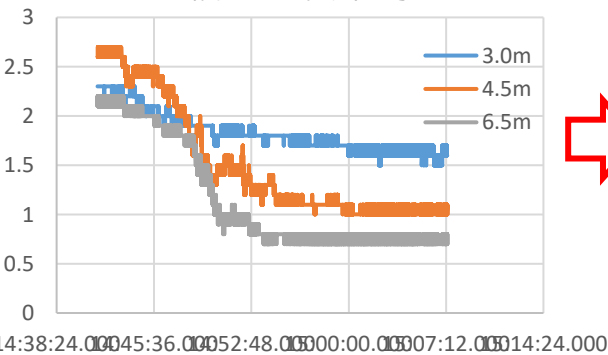


粒径分布の実装確認(偽点発生の確認)

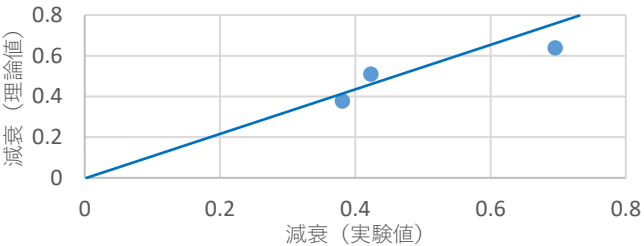


霧減衰の確認

信号強度平均



距離	信号強度		減衰	
	霧なし	視程40m	実験値	理論値
3	2.3	1.6	0.6957	0.6380
4.5	2.6	1.1	0.4231	0.5096
6.5	2.1	0.8	0.3810	0.3777



【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。

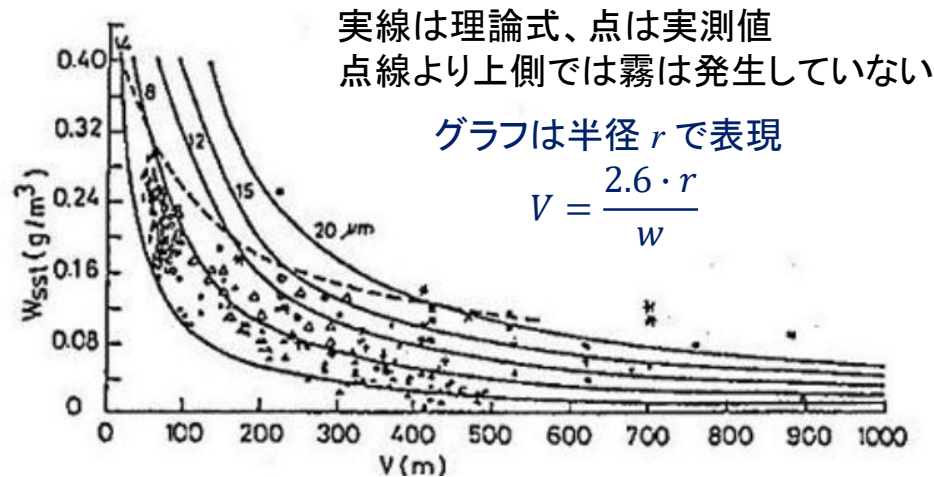
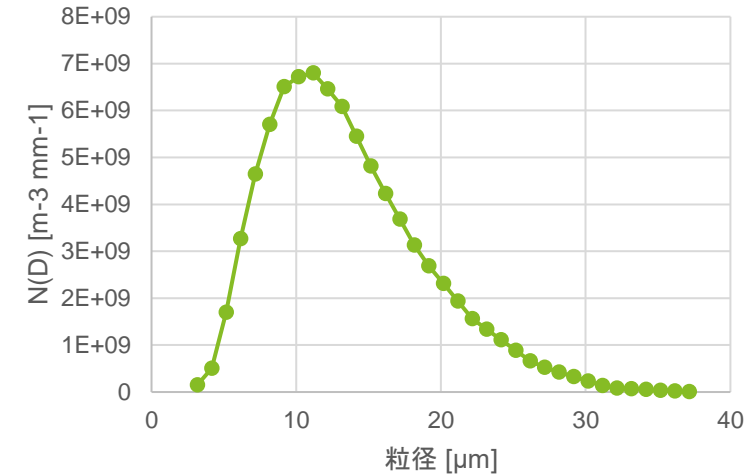
霧の濃度の設定を視程を用いて行うことができるようになり、ユーザーの利便性が大きく向上。

【視程換算式】

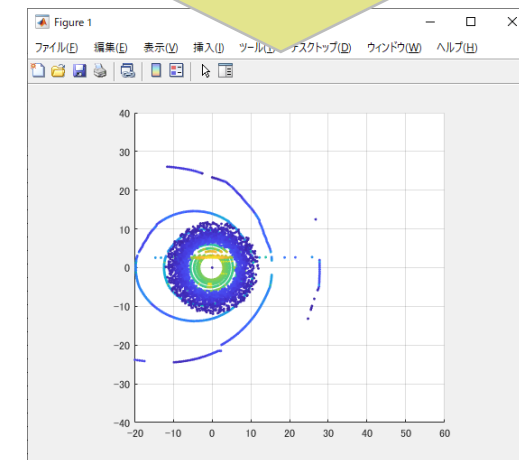
$$VIS = \frac{1.3D}{w}$$

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.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

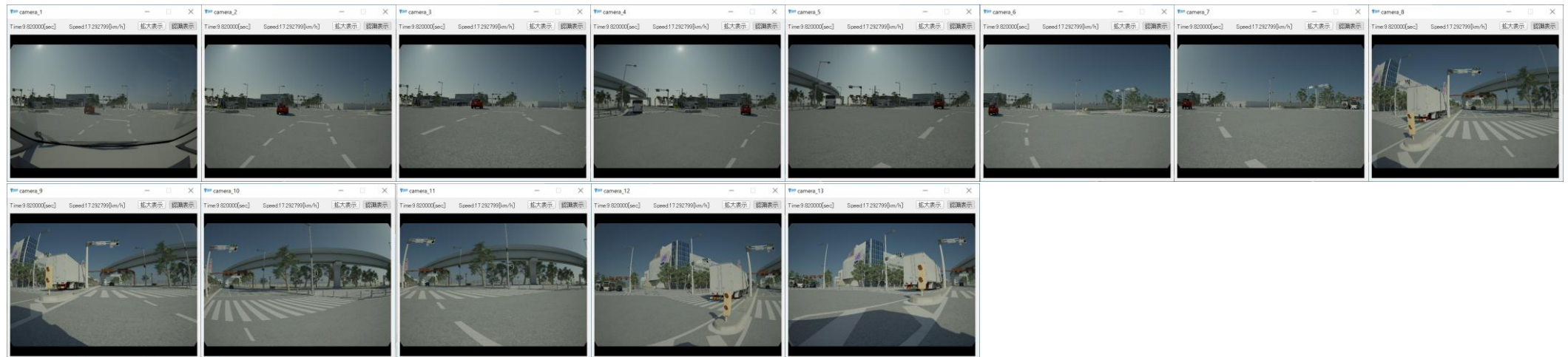


【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

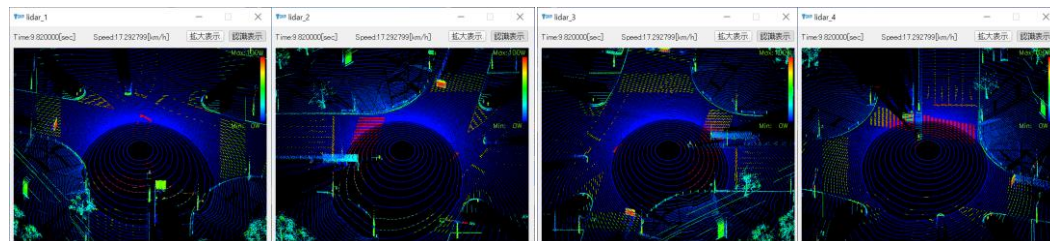
その目標台数のセンサを同時にシミュレーションできるよう、DIVP-PFを機能拡張した。

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。

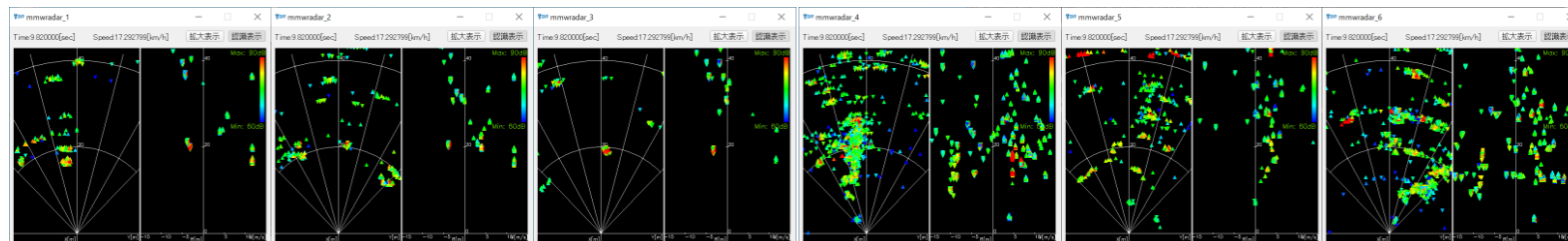
カメラ 13台



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

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

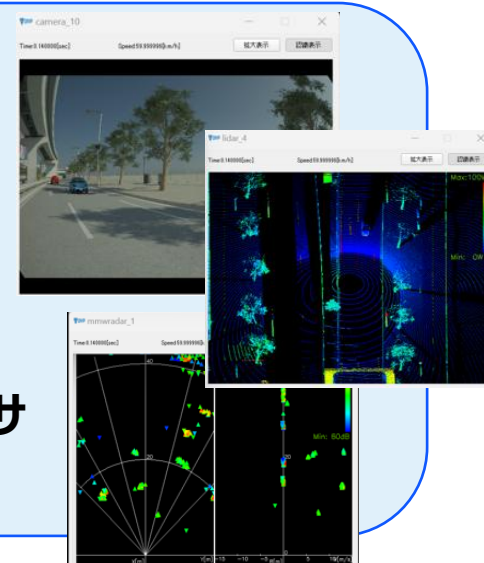
【センサ構成】

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「マルチセンサへの対応」】
SIM時間30秒のテストシナリオを用いてマルチセンサシミュレーションを実施した
合計23センサのマルチセンサシミュレーションは約21時間で実行することができた

マルチセンサシミュレーション環境でのテストシナリオ実行



マルチセンサシミュレーションの実行例図

合計23センサのマルチセンサシミュレーションが
約21時間でシミュレーション実行できた

各種センサのGPU割振り表

センサ 種別	センサ 番号	PC 1				PC 2				PC 3	
		GPU 0	GPU 1	GPU 2	GPU 3	GPU 0	GPU 1	GPU 2	GPU 3	GPU 0	GPU 1
カメラ	1	○									
	2		○								
	3			○							
	4				○						
	5					○					
	6						○				
	7							○			
	8								○		
	9									○	
	10										○
	11	○									
	12		○								
	13			○							
ミリ波	1				○						
	2					○					
	3						○				
	4							○			
	5								○		
	6									○	
LiDAR	1										○
	2					○					
	3						○				
	4							○			

【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

マルチセンサの代表例の全周カメラについて、レンズへの水滴付着モデルを開発した。

背景・目的

既存のフロントガラスの雨滴付着モデルとは異なる外付けカメラの雨滴付着のモデル生成と検証を目的に

1. 実際の雨滴付着状況の観測
 2. 外付けカメラ雨滴モデルの生成と検証
 3. 雨滴除去技術と認識性能の評価
- を実施する

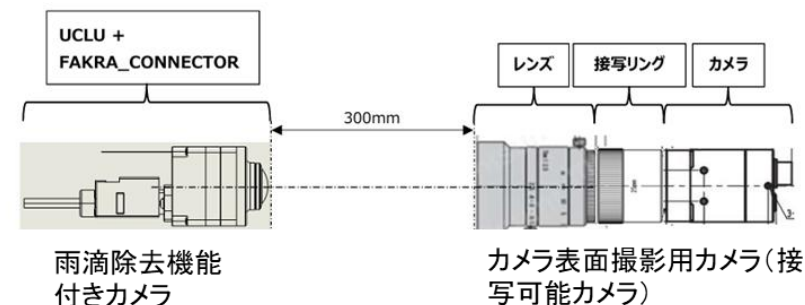
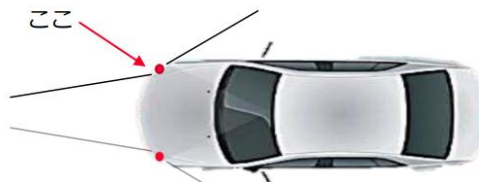
雨滴の観測

雨滴観測のためカメラ内部からの画像と外からレンズ面に雨滴が付着する様子の観測を行う

実際に使用されることの多い車両フロント側面への装着を想定して観測

- ・雨滴除去機能(村田製作製)の装着されたカメラシステムを装着
- ・外部からの観測のため、観測用カメラを設定

－ 現在の超音波センサが搭載されている位置を想定



【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

マルチセンサの代表例の全周カメラについて、レンズへの水滴付着モデルを開発した。

雨天時の雨滴付着の観測

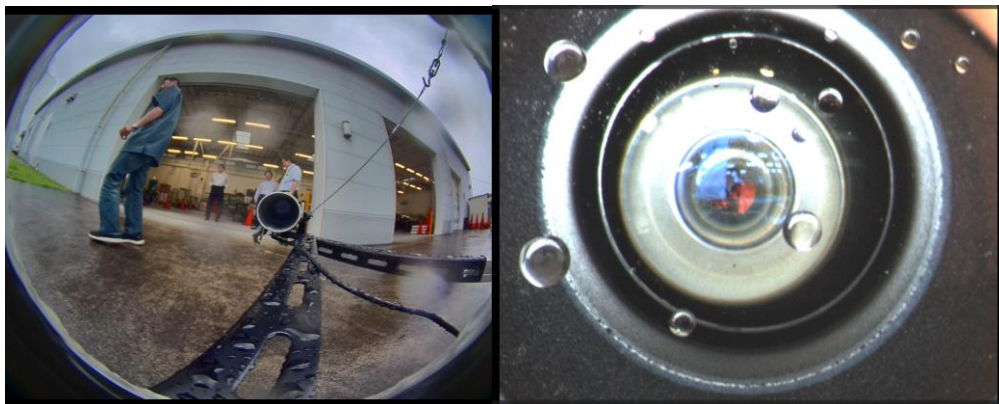
雨天時に観測システムを搭載した車両を走行して、雨滴の付着状況の観測を実施（雨量はディストロメータで計測）

場所：神奈川工科大学構内

最大走行速度：20km/h

雨量計測：神奈川工科大学内ディストロメータ

5mm/h時の外付けカメラ雨滴付着の観測結果 例1



カメラ内部からの雨滴による影響撮影

外からのレンズ表面撮影

5mm/h時の外付けカメラ雨滴付着の観測結果 例2



カメラ内部からの雨滴による影響撮影

外からのレンズ表面撮影

【観測結果】

実雨量 5mm/h時の外付けカメラの雨滴付着状況（内・外）の観測ができた。

雨滴は直径1mm程度と非常に小さいが画像の歪みなどの影響が発生することが分かった



SE-LP5411

ディストロメータ

- 霧雨 (DZ)
- 着氷性の霧雨 (FZDZ)
- 雨 (RA)
- 着氷性の雨 (FZRA)
- ひょう (GR)
- 雪 (SN)
- 霧雪 (SG)
- ソフトヘイル (GS)
- 凍雨 (PL)

【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

マルチセンサの代表例の全周カメラについて、レンズへの水滴付着モデルを開発した。

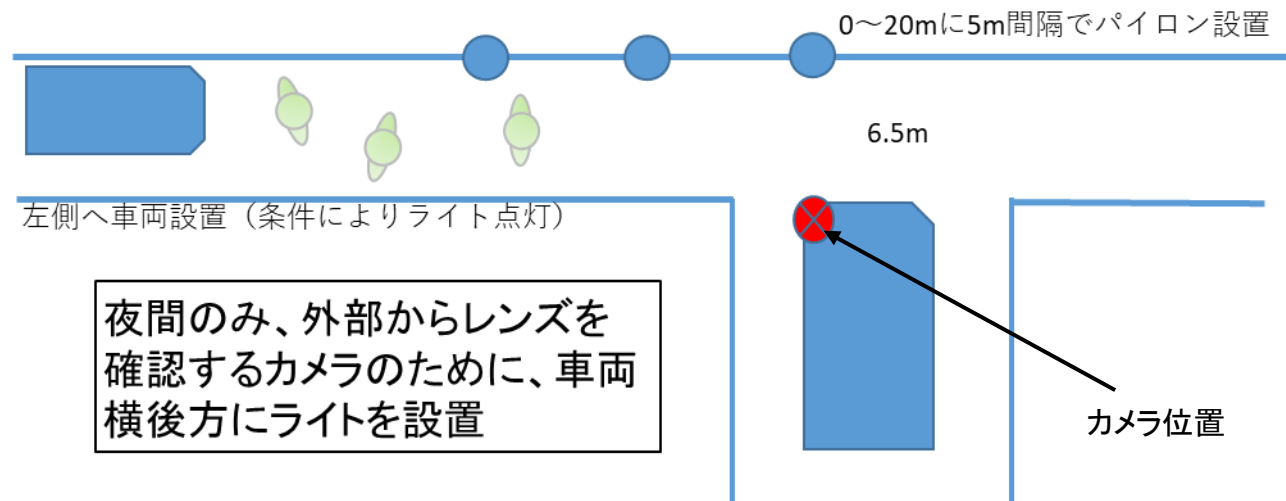
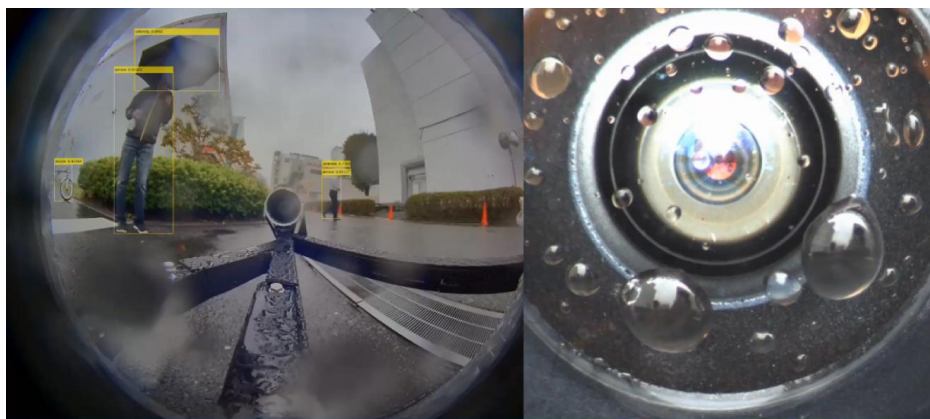
雨滴付着の影響の調査

雨滴付着の影響の調査のため、昼夜での実験で影響の明確化を検討

雨天時だけ映像を撮ることだけでは不十分なため、人工的な水滴付着を検討し、実際の雨滴と同等な雨滴の付着を人工的に作成することができたため、雨天時以外での観測を実施。

昼夜での観測を実施した

雨滴付着を模擬した水滴付着方法の確立



実験方法の図

【観測結果】

弱点事象の計測は出来た

夜間は周辺光による影響が大きいことが観測された(次ページ)

定量的に評価することが非常に難しいこともわかった

雨滴付着結果の画像

昼間の観測結果

雨滴によって歩行者が半分になっているが検出

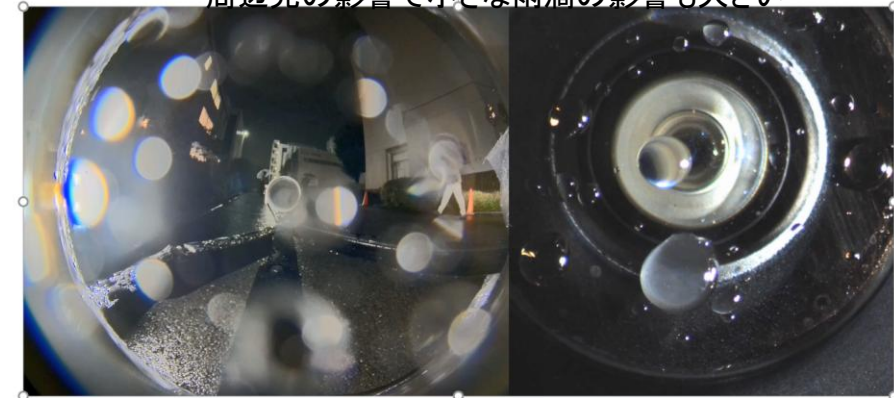


歩行者が未検出

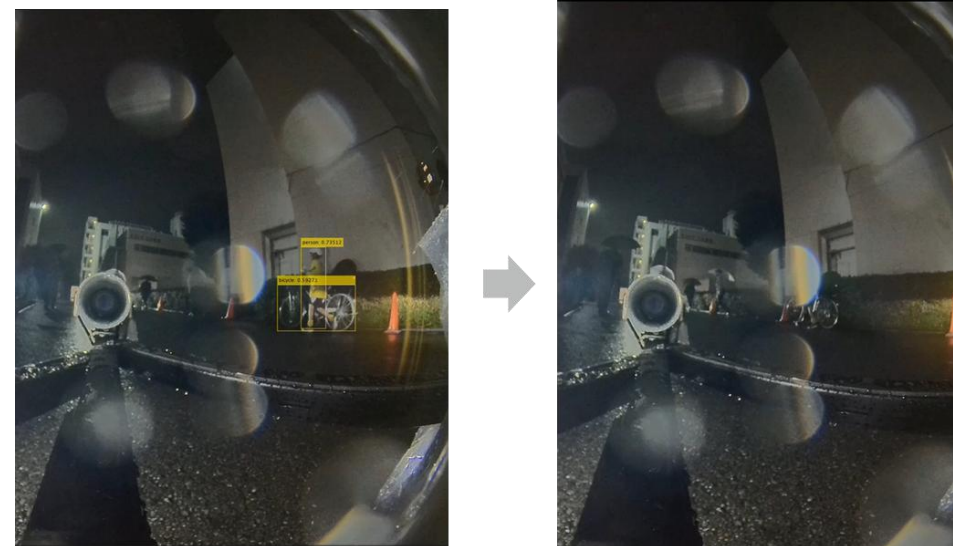


夜間の観測結果

周辺光の影響で小さな雨滴の影響も大きい



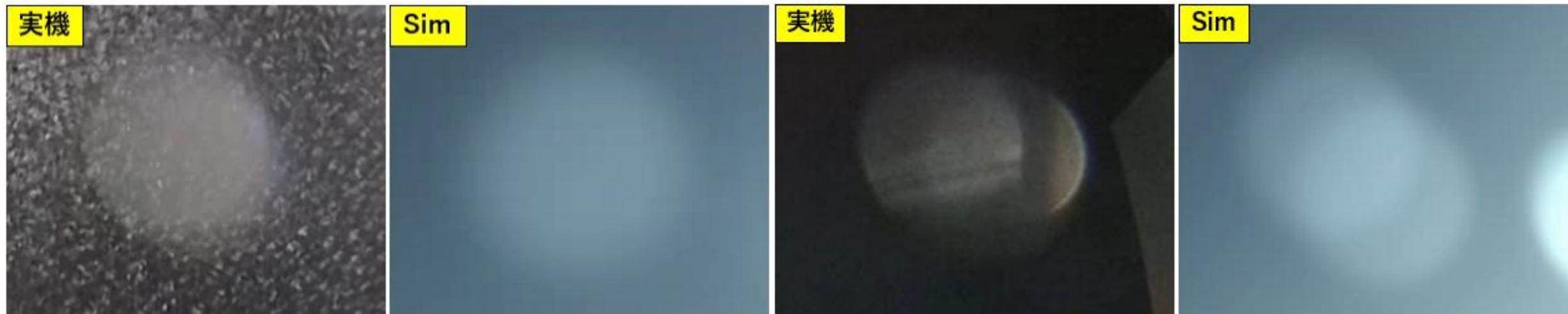
自転車に乗った子供が認識出来なくなる現象



【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

マルチセンサの代表例の全周カメラについて、レンズへの水滴付着モデルを開発した。

レンズへの水滴付着処理



レンズスペックを手に入できなかったため、物理的に正しいモデルの実装は困難なため、実機の振る舞いに似せたモデルの開発を実施。

水滴がボケて表示される現象を、ガウシアンブラーの処理を流用した新規処理を用いて再現した。

光の入射の関係で、水滴が二重に表示される現象が、実機では観察されるが、Simでもこの現象の再現を行った。

【テーマ(1)-1.c 「マルチセンサへの対応」】

マルチセンサの代表例の全周カメラについて、レンズへの水滴付着モデルを開発した。

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。



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。

【今後】

1. 一致性の確認: 実環境データを取得し、モデルとの比較
2. 認識性能評価:
3. 上記を昼夜環境で実施し、モデルを完成

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

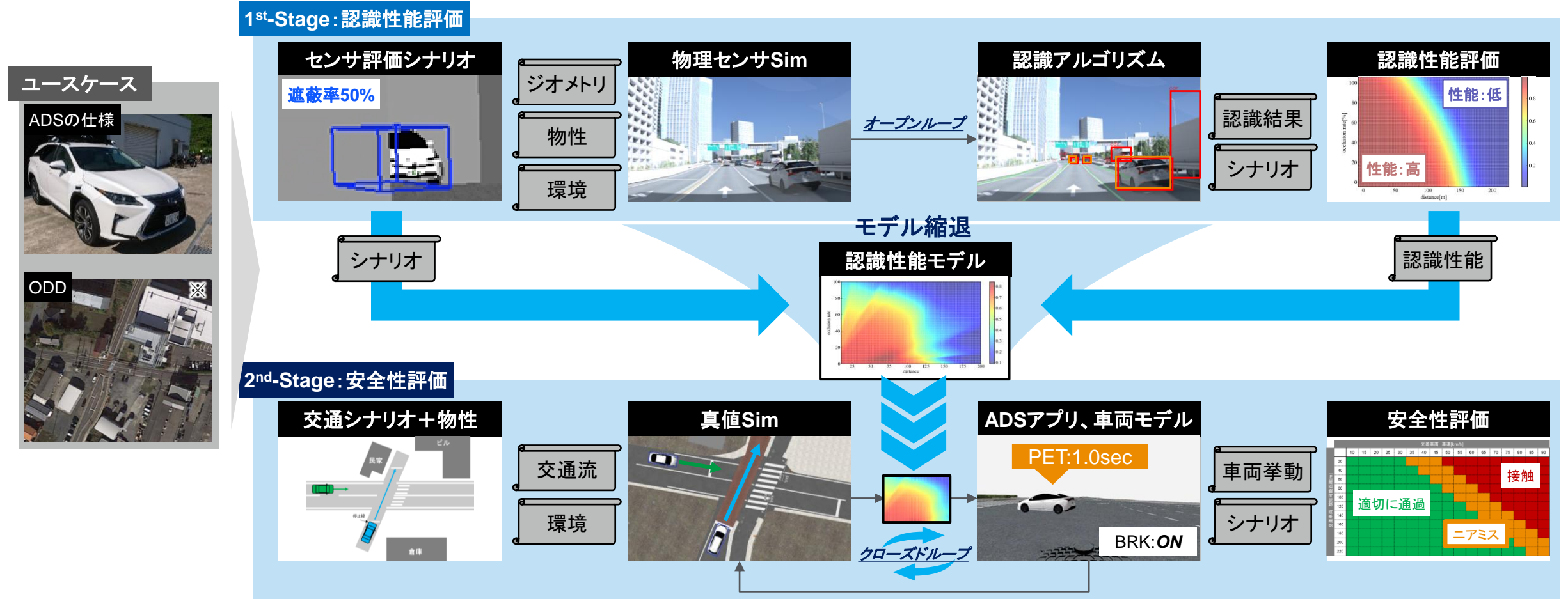
テーマ(2)では事業者による研究開発のためのツールチェーン構築の他、自動運転の認可取得を想定した、実車・実機との接続等、具体的な安全性評価の体制づくりを加速

(2). 評価指標・体系の確立



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

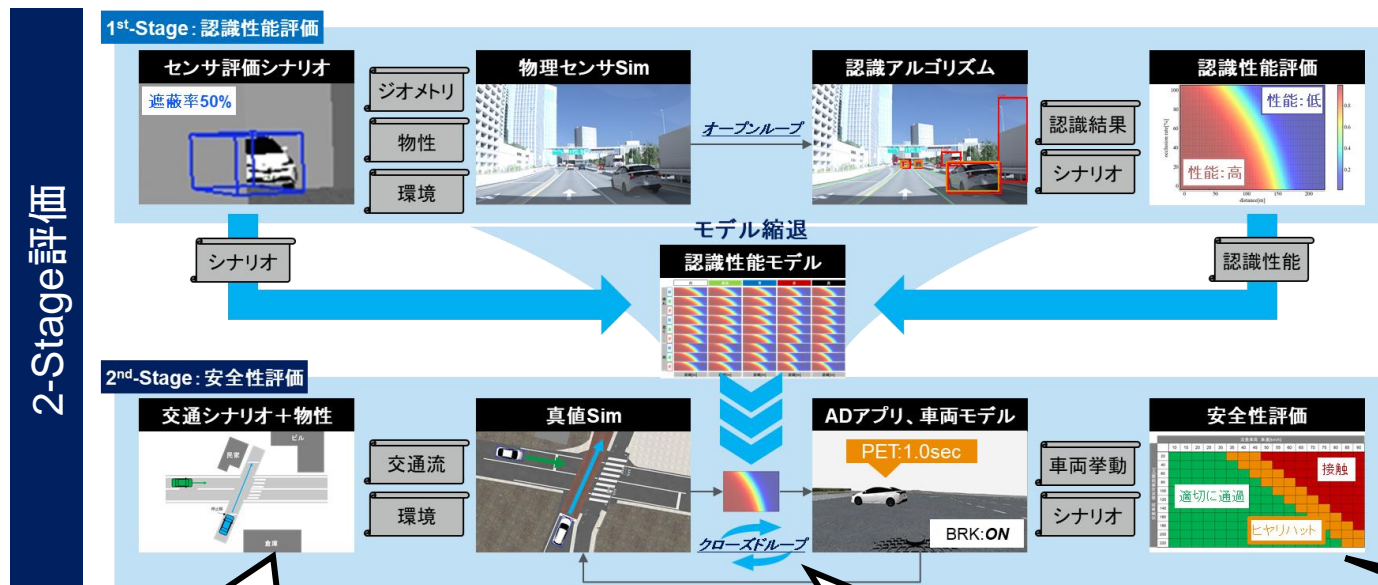
(2). 2-Stage 評価体系の確立



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

多くのユースケースに対応すべく、2-Stage評価(シナリオ・評価対象・評価指標)の拡張を実施 実課題への適合として、RoAD to the L4のシミュレーションを用いた安全性評価に貢献していく

(2)-1. 2024年度実施内容:2-Stage評価の拡張と実課題への適合

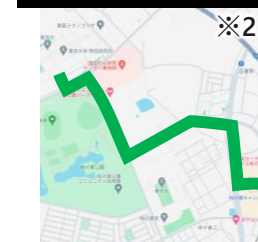


実課題
へ適合

RoAD to the L4 ユースケース

テーマ4: 柏の葉自動運転バス

柏の葉 走行ルート ※2



自動運転バス ※1



重要シーン例



2-Stage評価拡張

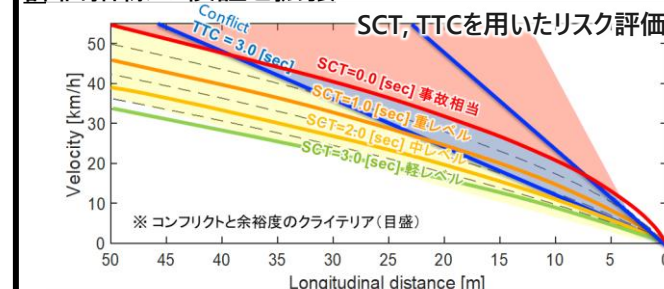
実課題のシナリオ・マップに拡張



自動運転バスのモデル化、クローズドループ適応



評価指標の検証と拡張



(2)-1.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立

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

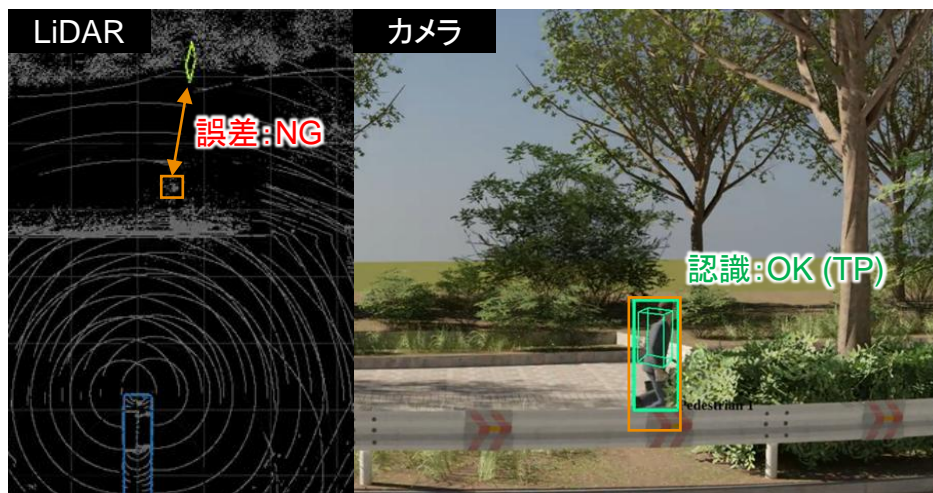
新規研究の効果検証

ユース ケース

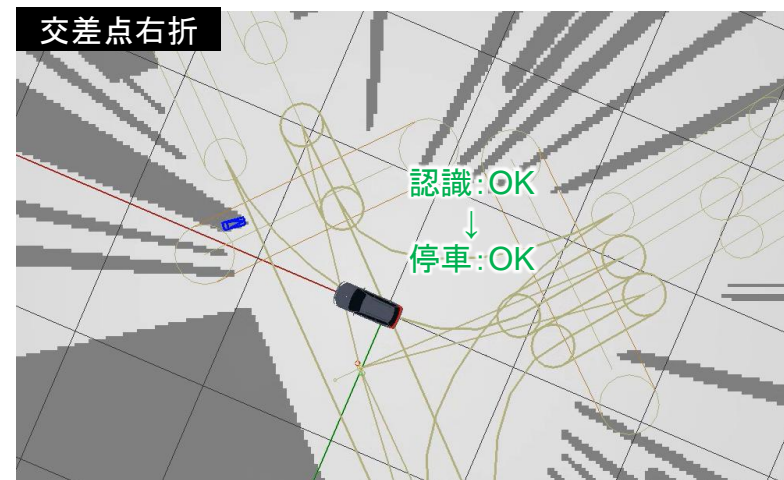
柏の葉 科警研交差点の右左折

成果

柏の葉ユースケース & ADS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


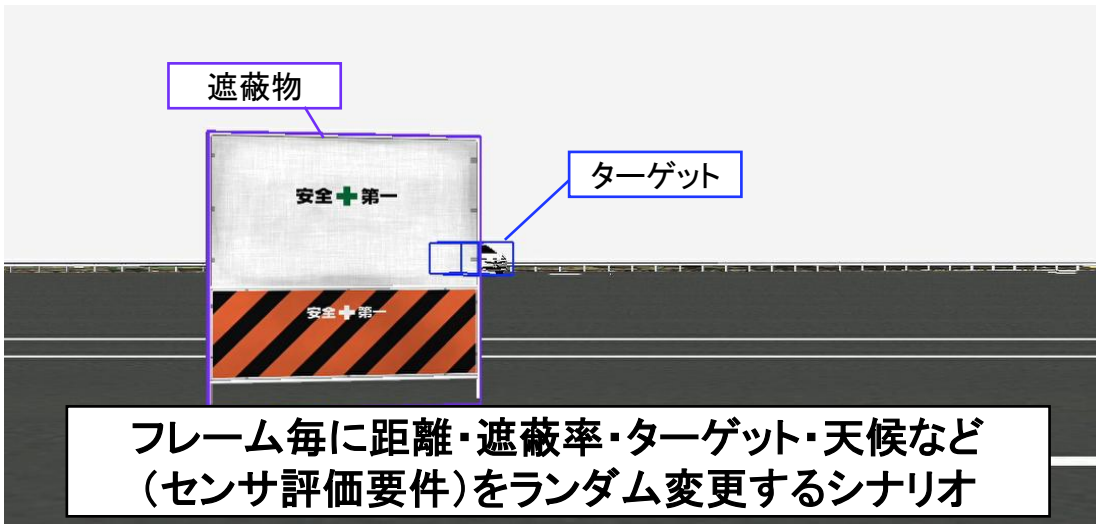


Closed-Loop Simulation構築と
自動運転制御アルゴリズムの性能評価



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	<p>実際の走行状態に近い性能が評価できる</p> <p>欠点 1つの条件の評価が長時間</p>	<p>補う → センサに重要な条件を網羅的に評価できる</p>

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

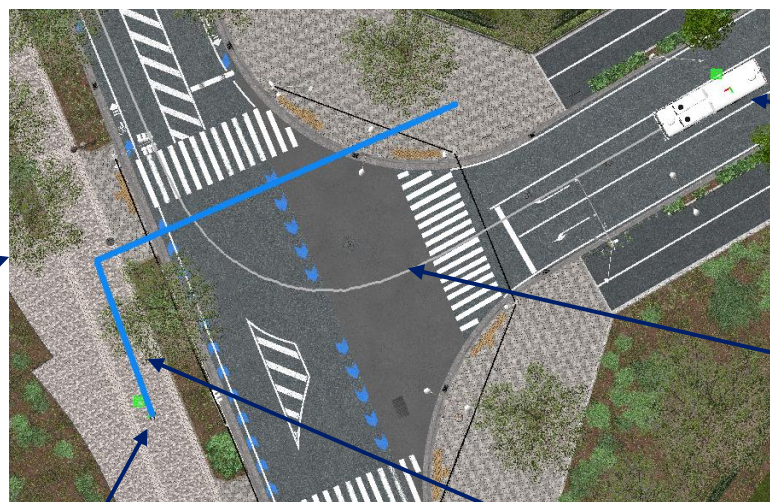


マップアセット

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)

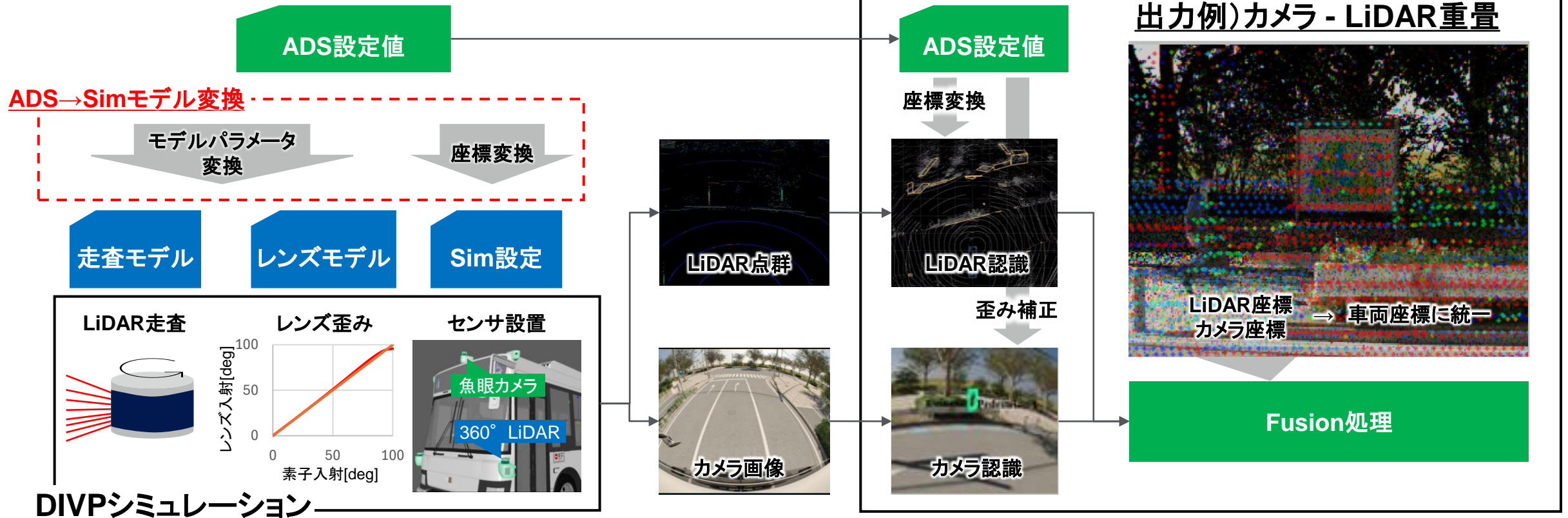
自動運転バス経路

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



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②
遮蔽がなくなると認識が可能
一時的に街灯などで遮蔽される

右折シナリオ

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

エリア③

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
周辺監視カメラ

認識率が低いシーンを洗い出し、認識課題を明確化

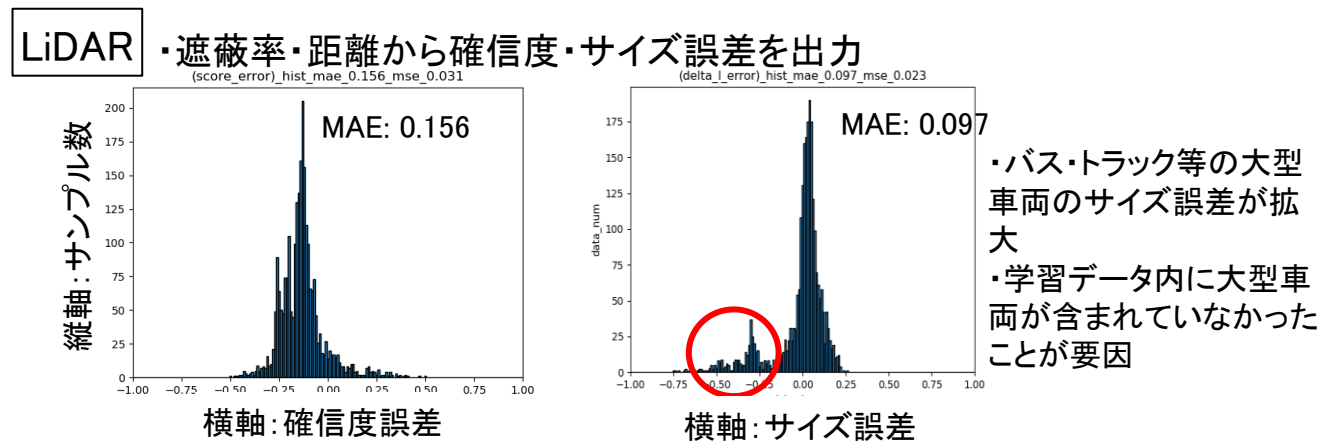
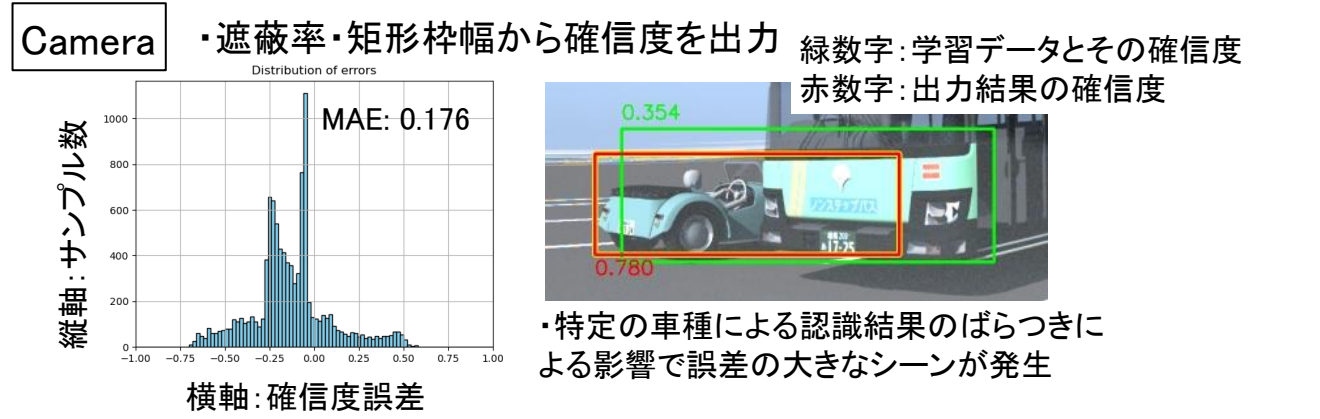
・周辺監視カメラの認識性能評価の例

天候	ターゲット	ターゲットまでの距離[m]			【凡例】 ○: 認識できた ×: 認識できていない △: ○と×が混在
		短距離	中距離	長距離	
晴れ	歩行者(男性)	○	○	○	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
	歩行者(子供)	△	△	×	
	自転車	○	○	○	
曇り	歩行者(男性)	○	○	×	
	歩行者(子供)	△	×	×	
	自転車	○	△	×	

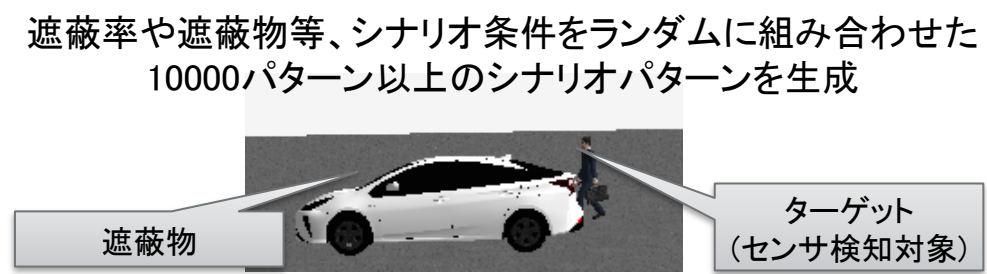
エッジケースシナリオの他プロジェクト共有を図り、認識性能評価の標準議論を進める

AD-URBAN 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



学習データの作成



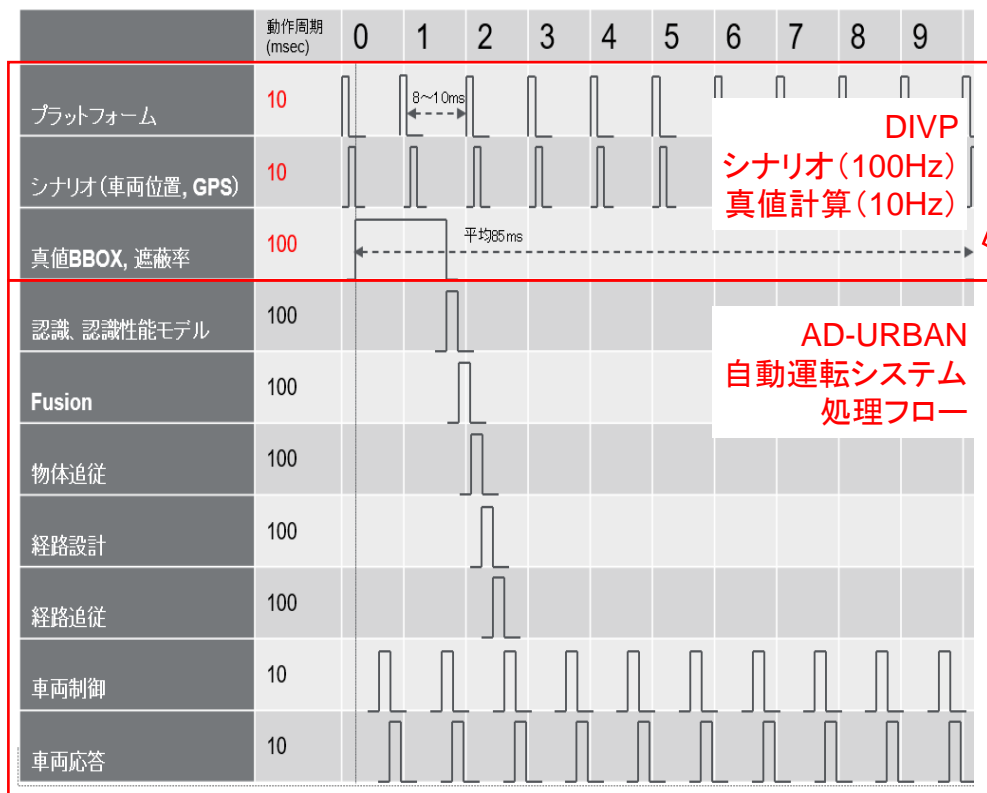
項目	条件
日時	2024/8/15 09:00 12:00 15:00 18:30 2025/1/25 09:00 12:00 15:00 17:00
天候	晴れ、曇り、雨 (雨量:10mm/h)
距離	10 - 150[m]
自車方位角	0 - 360[deg]
ターゲット	大人、子供、自転車、二輪車
ターゲットYaw角	0 - 360[deg]
遮蔽物	車両、街路樹、植込み、信号機、標識
遮蔽部位	左 or 右 or 中
遮蔽率	0 - 100[%]

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

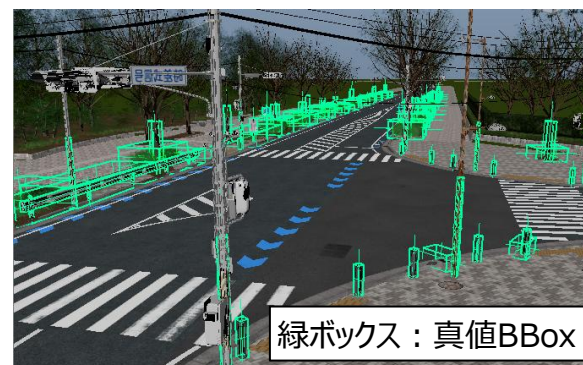
認識以降の処理に固定周期でデータ出力する機能を構築



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



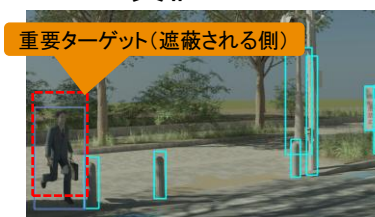
歩行者の遮蔽に影響しない

- ・ 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 遮蔽物	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x1
	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

AD-URBAN 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

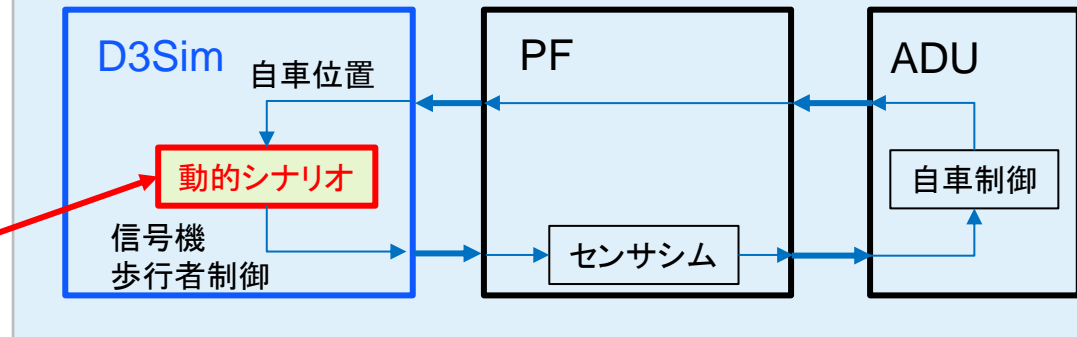
自転車以外の交通参加者制御、信号制御

制御条件:

- ・ 自転車の進行方向(右左折)と信号機の現示を一致
- ・ 自転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、自転車と歩行者の接触/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転車位置に同期して制御

クローズドループシミュレーション



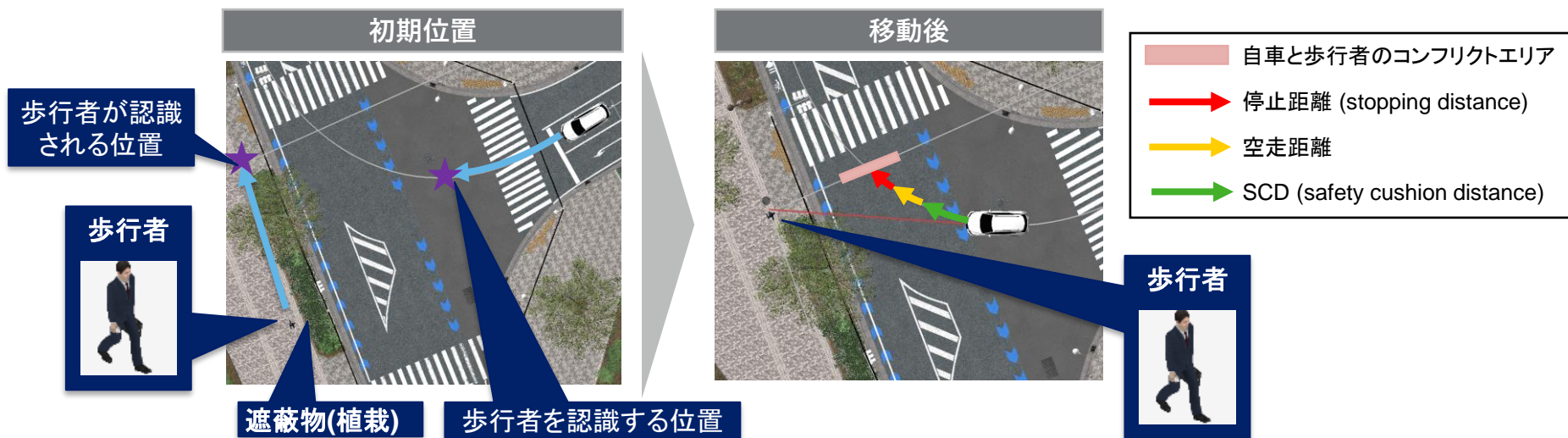
制御機能の適用

SCT指標によるシナリオ

SCT(0,1,2,3[秒])となる位置で自転車が歩行者を認識するシナリオ

【シナリオ作成方法概要】

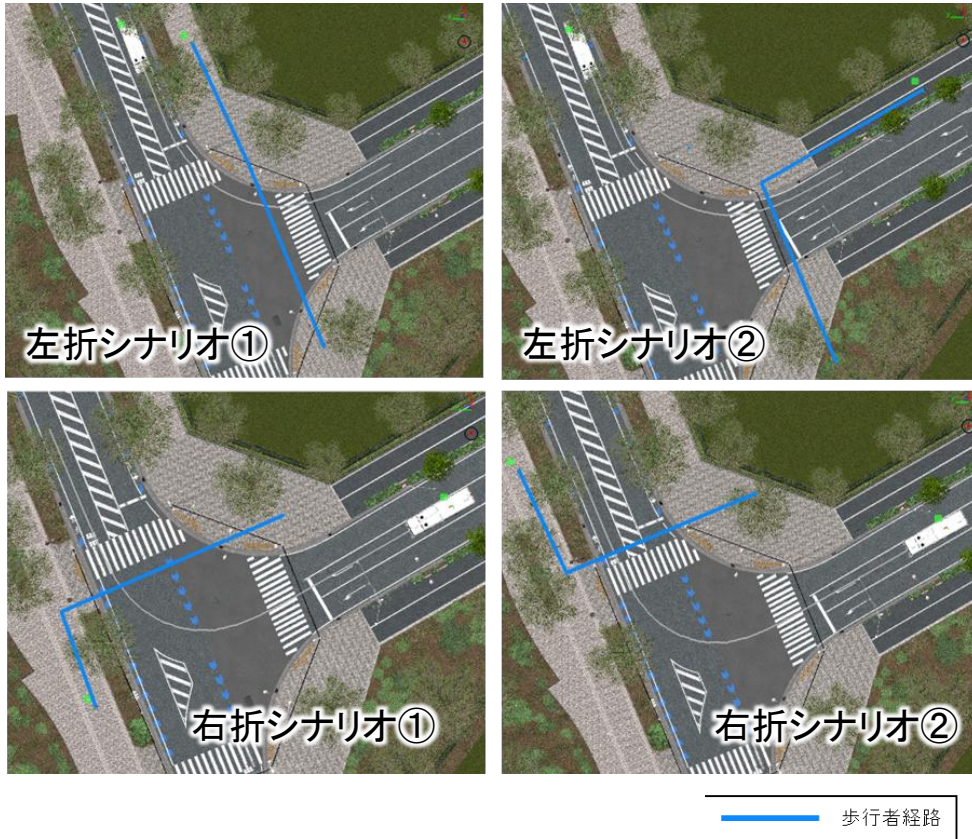
- ① SCTより自転車が歩行者を認識する位置を計算
- ② 自転車位置から歩行者位置を決定
- ③ 自転車と歩行者を初期位置へ配置
- ④ 歩行者に自転車に対する相対速度を指定(制御により、自転車速度に歩行者速度を連動する)



特定条件下での自転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

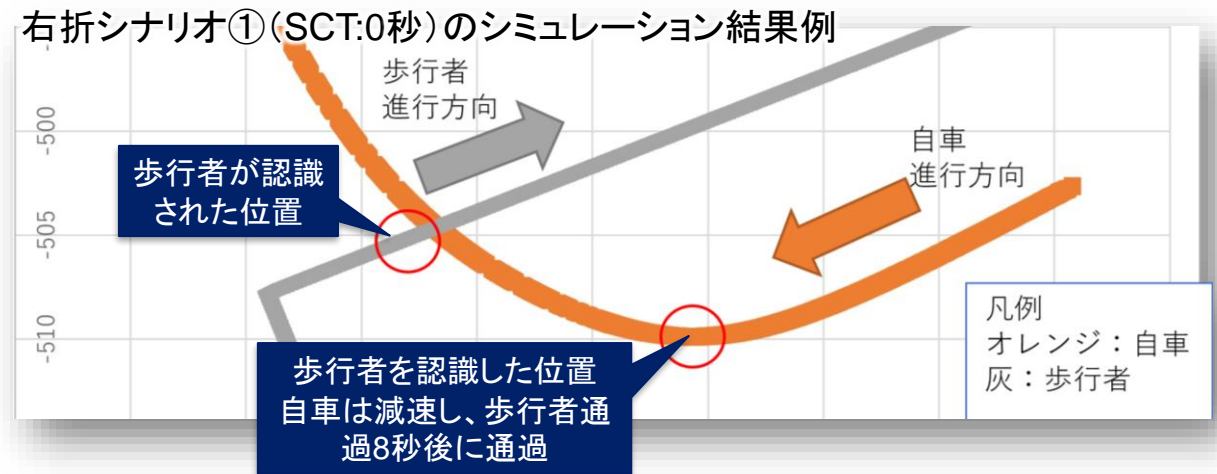
評価シナリオ



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



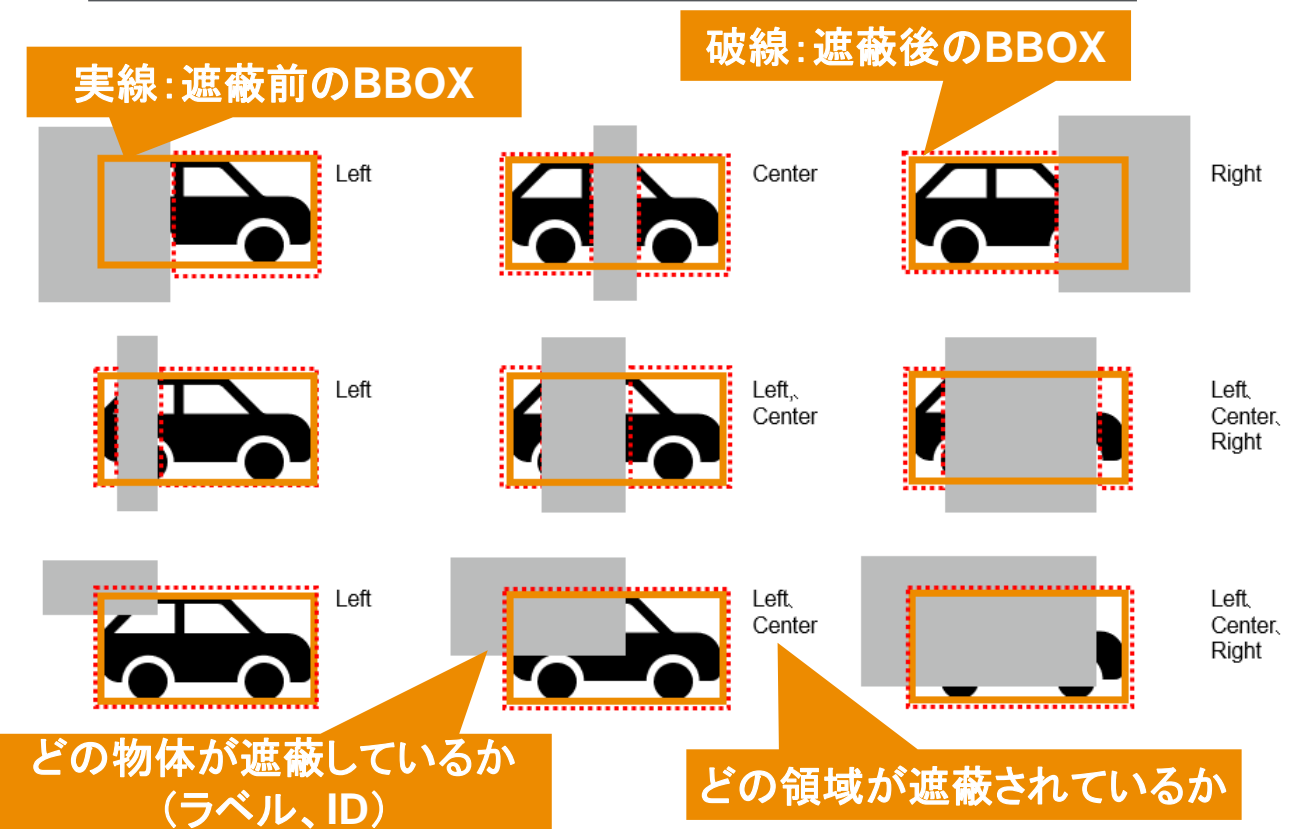
SCT指標によるシナリオでクローズドループSimによる自動運転システムの安全性評価を実施

機能強化

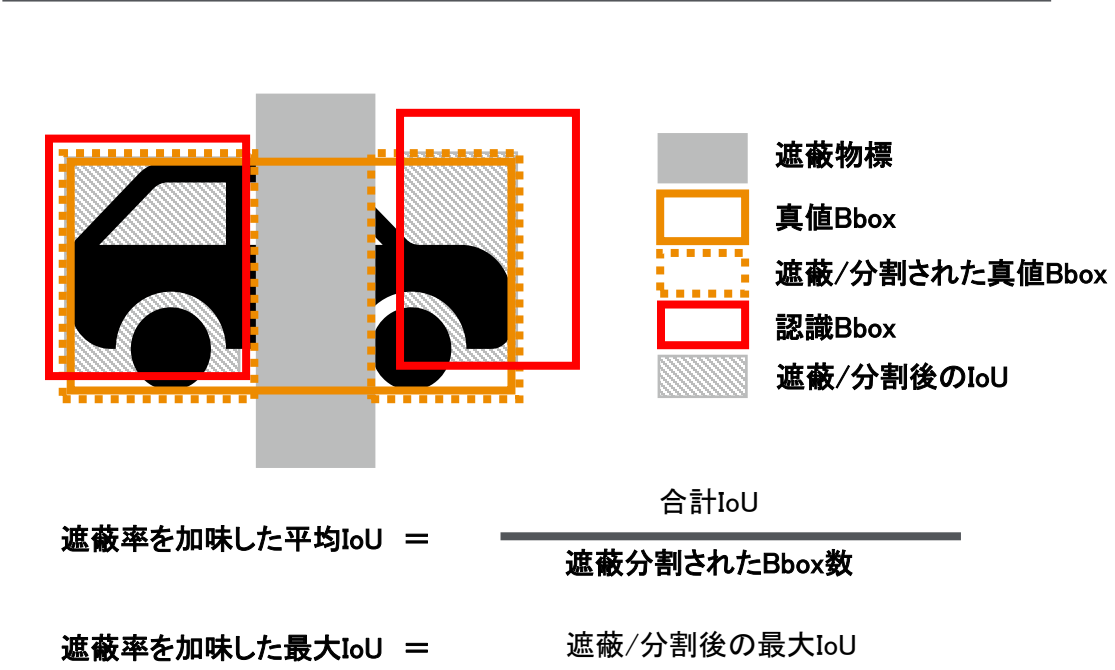
認識対象の遮蔽される部位による認識性能への影響を考慮し、ASAMより先行的にGroundTruthへ遮蔽部位に関する定義を追加。合わせて、IoUの計算機能も更新

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

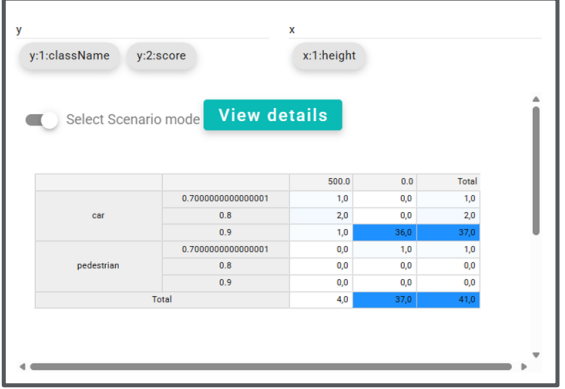

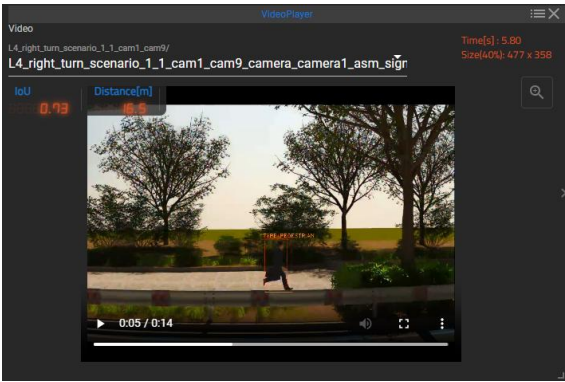


遮蔽部位による認識性能の評価が可能

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

Road to the L4連携における対応ユースケースの拡大、およびオープン自動運転ソフトとの接続によるクローズドループ構築と横展を目指す

課題と来年度計画

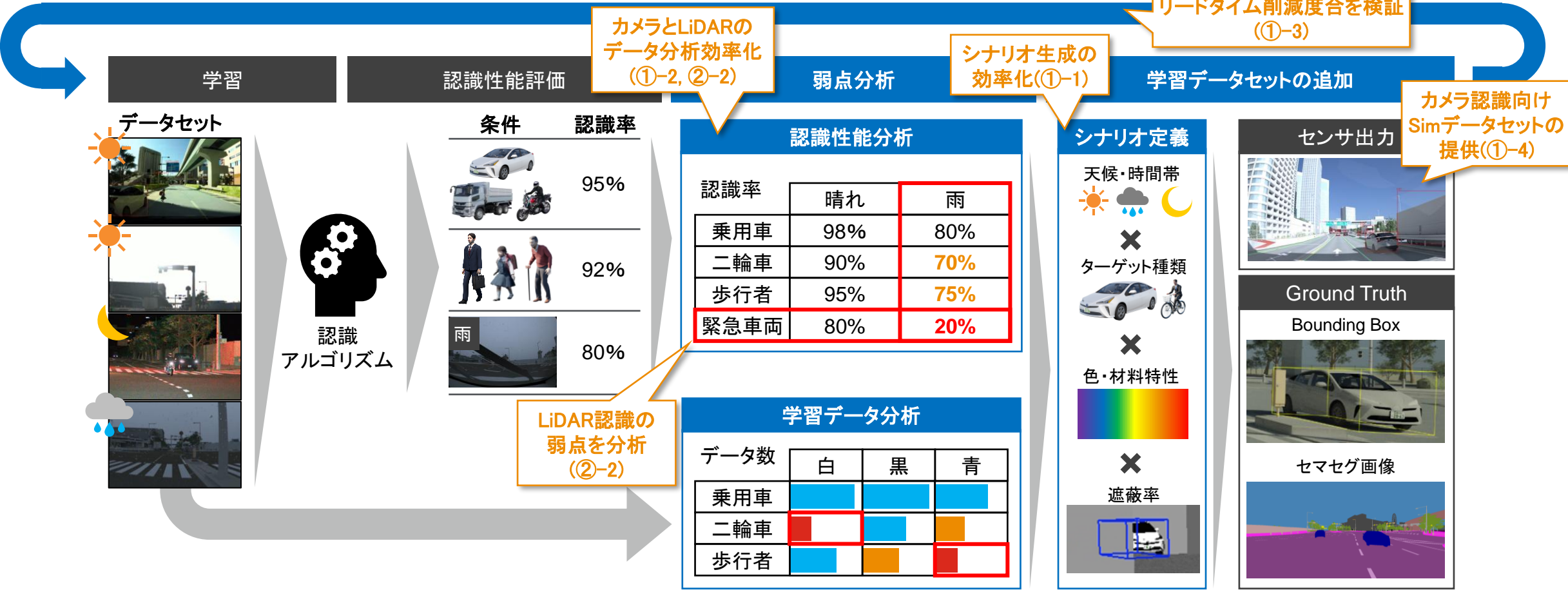
カテゴリー	課題	来年度計画
ユースケース	Road to the L4テーマ4の残シチュエーション対応（バス停発進、路上駐車、etc.）	←
シナリオ	効率的シナリオ生成の有効性が未検証	生成されたシナリオのシミュレーション結果を用いて認識性能モデルの学習を実施し効果検証する
その他課題	秘匿性の高いシステムの使った事例でシミュレーションの有用性を示すことはできたが、詳細公開はできない	オープン自動運転ソフト（Autoware）との接続確認を実施し、横展に向けて詳細を公開していく

(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

シナリオ生成とデータ分析を効率化する拡張機能を開発し、認識性能向上フローの実用化をめど付け。
またLiDAR認識アルゴリズムにおける弱点分析と性能向上の手法を研究

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

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(①-1):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

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

AUDAS
弱点分析

分類	内容
シナリオ	シナリオ生成数
環境	マップファイル名、日付、時刻、天気、雲量、降雨強度
交通参加者	ID、名前、位置、姿勢、経路ファイル(csv)、道路上配置フラグ

特徴量領域指定ファイル(JSON)

SDMG

具体シナリオ

JOBごとのシナリオ

DIVP
PF

シナリオ生成数

シナリオXML(具体シナリオ)

シナリオパラメータ生成 & 論理シナリオ生成

シナリオパラメータ(CSV)

具体シナリオ生成 & PF向けCSV等出力

シナリオXML、経路CSV、sim_config_setting.json、真値OSI、真値補正OSI

Job出力用Pythonスクリプト

抽出結果ログファイル(CSV)

シナリオ生成例:環境のランダム指定による生成

environment_1_a1

environment_1_a2

environment_1_a3

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	・区間(連続値) ・選択肢(離散値)
生成・抽出の方式	・ランダム(正規分布) ・ランダム(一様分布) ・総当たり

特徴量領域指定ファイルの設定

出力シナリオファイルの設定

その他設定(シナリオ終了時間)

OKまたは適用ボタンによりシナリオXML(論理シナリオ)生成

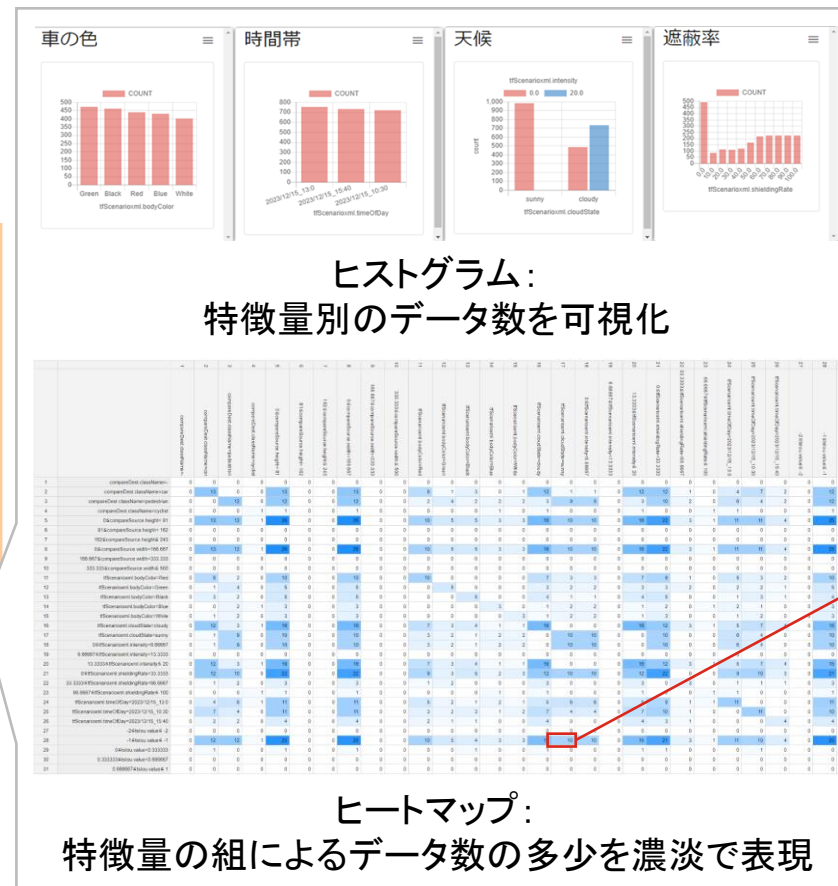
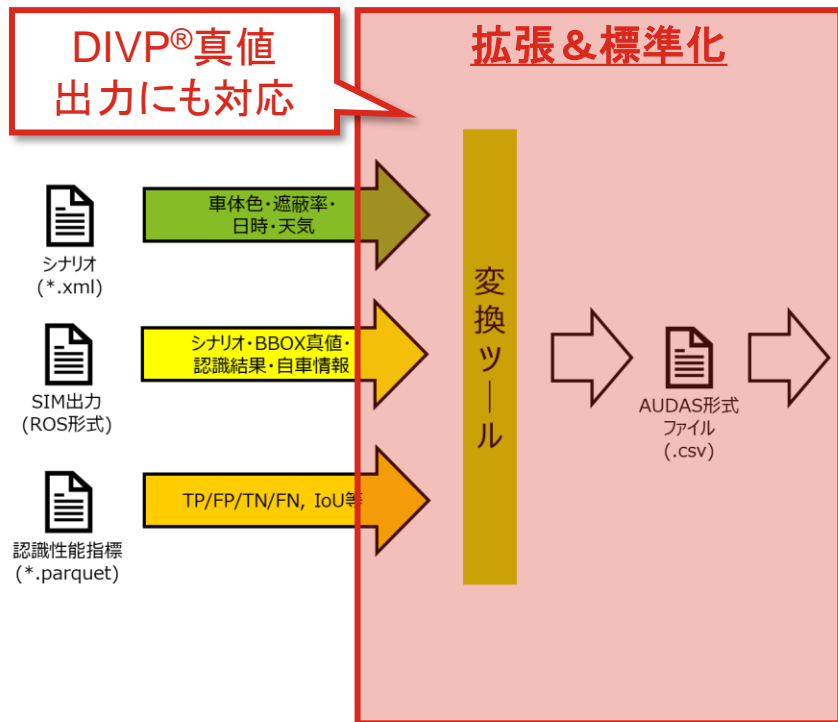
分析結果からのシナリオ自動生成により、分析～追加学習で発生するルーチンを効率化

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

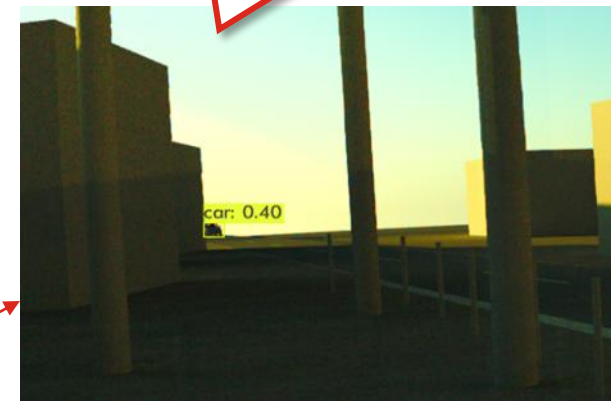
AUDAS®によるカメラ認識データ分析の例

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



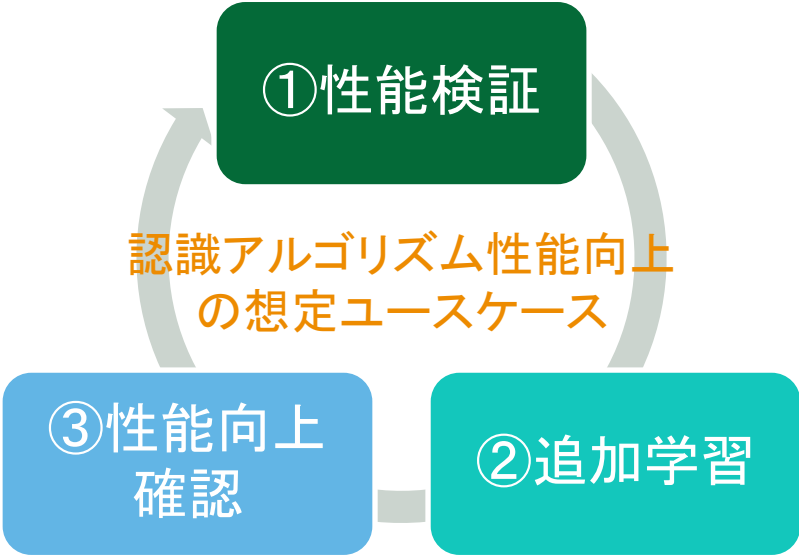
実験データの前処理と分析 & 可視化の自動化によりユーザは認識性能の評価に注力可

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

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 *今年度はカメラ画像とラベルの一部を提供

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):

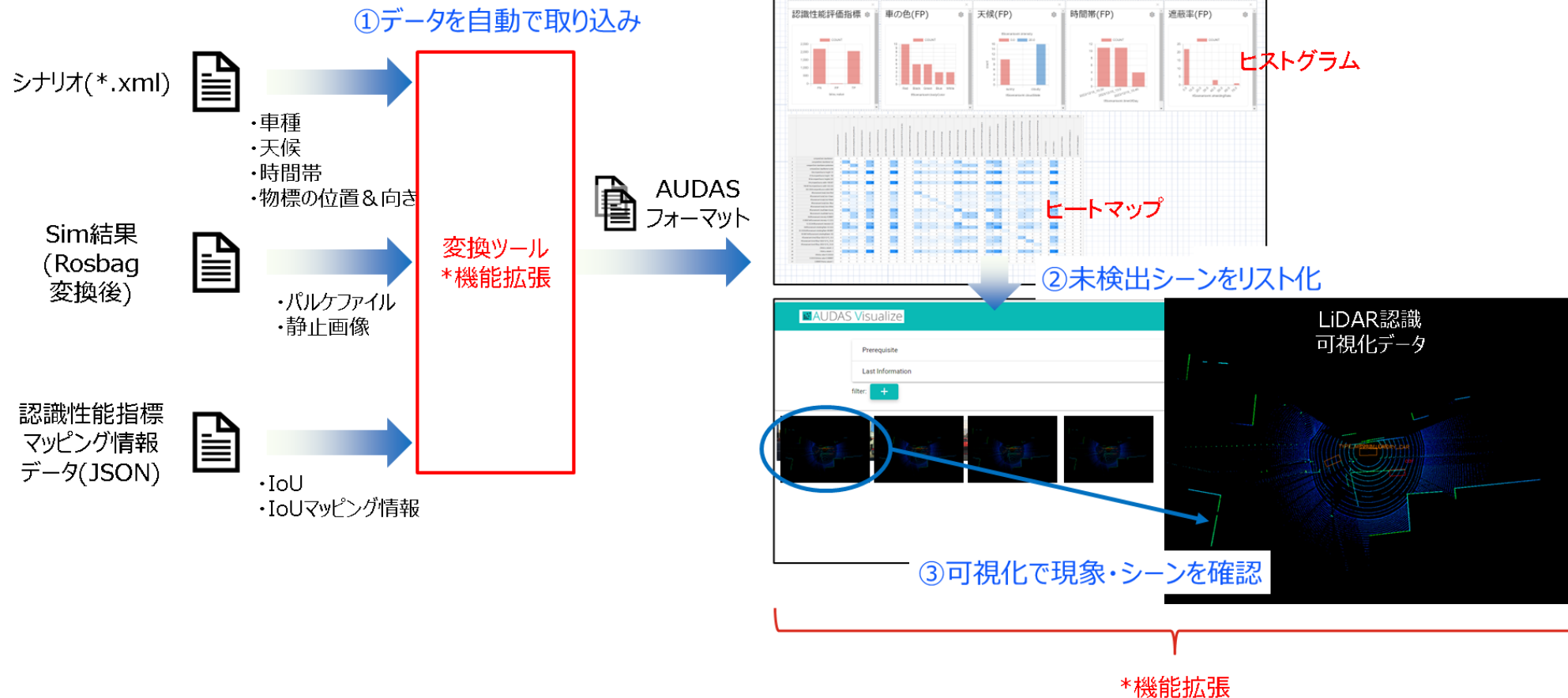
```
Car 0 2 0.3 800 400 850 430 ...  
53.4 12.3 24.9 3.8 1.5 2.1 -0.2
```

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

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

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

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

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

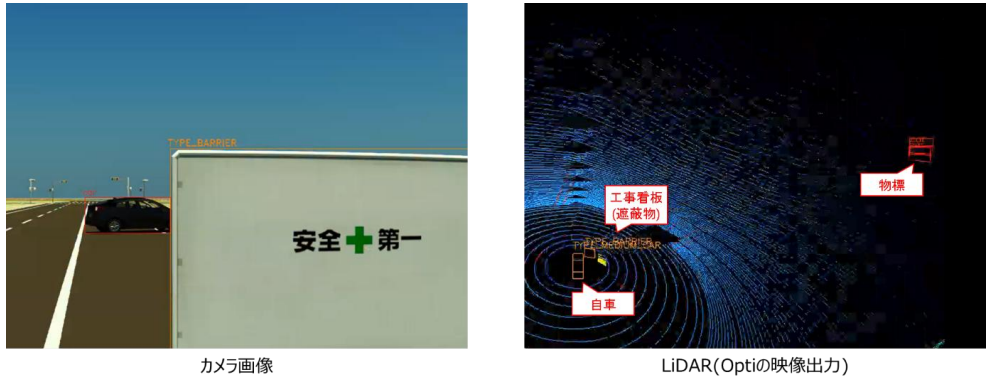
適合率(precision) = $\frac{TP}{TP + FP}$,

再現率(recall) = $\frac{TP}{TP + FN}$,

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

		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)



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

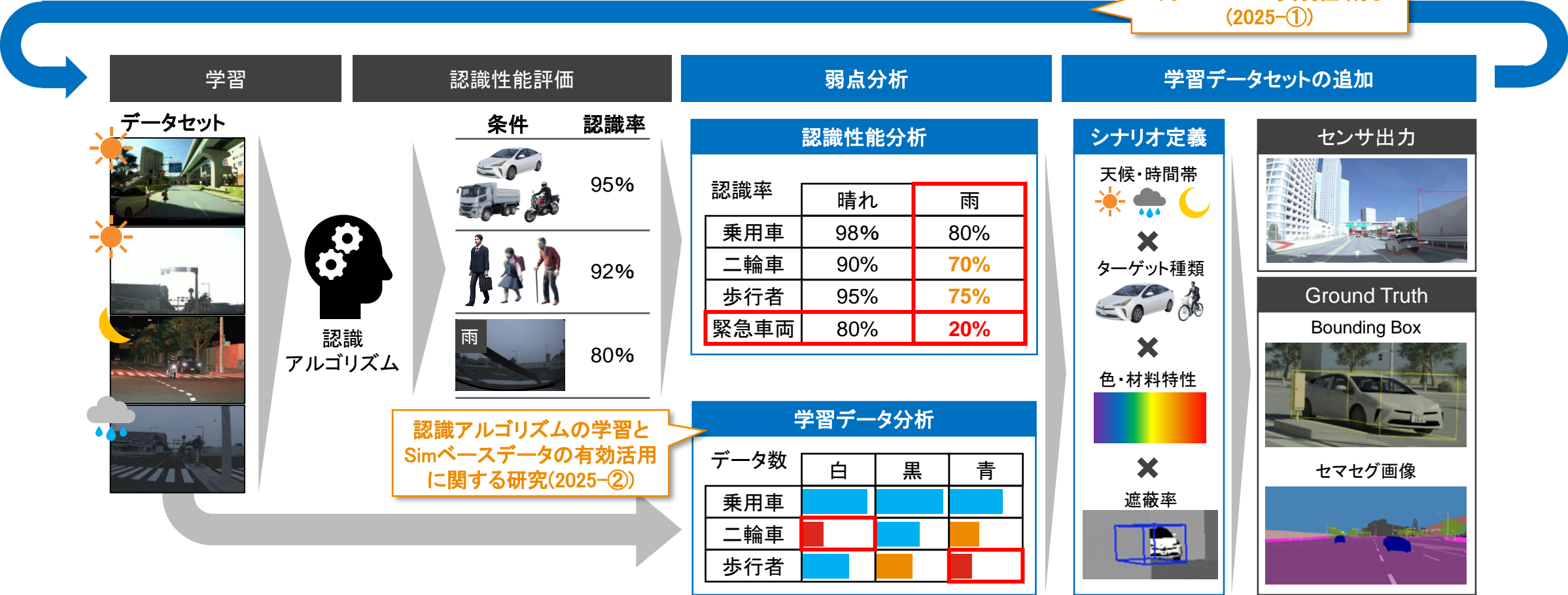


2025年度は「トラッキングアルゴリズム性能向上フローの実現性技術研究」と「認識アルゴリズムの学習とSimベースデータの有効活用に関する研究」を行う

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

トラッキングアルゴリズム性能向上フローの実現性研究
(2025-①)

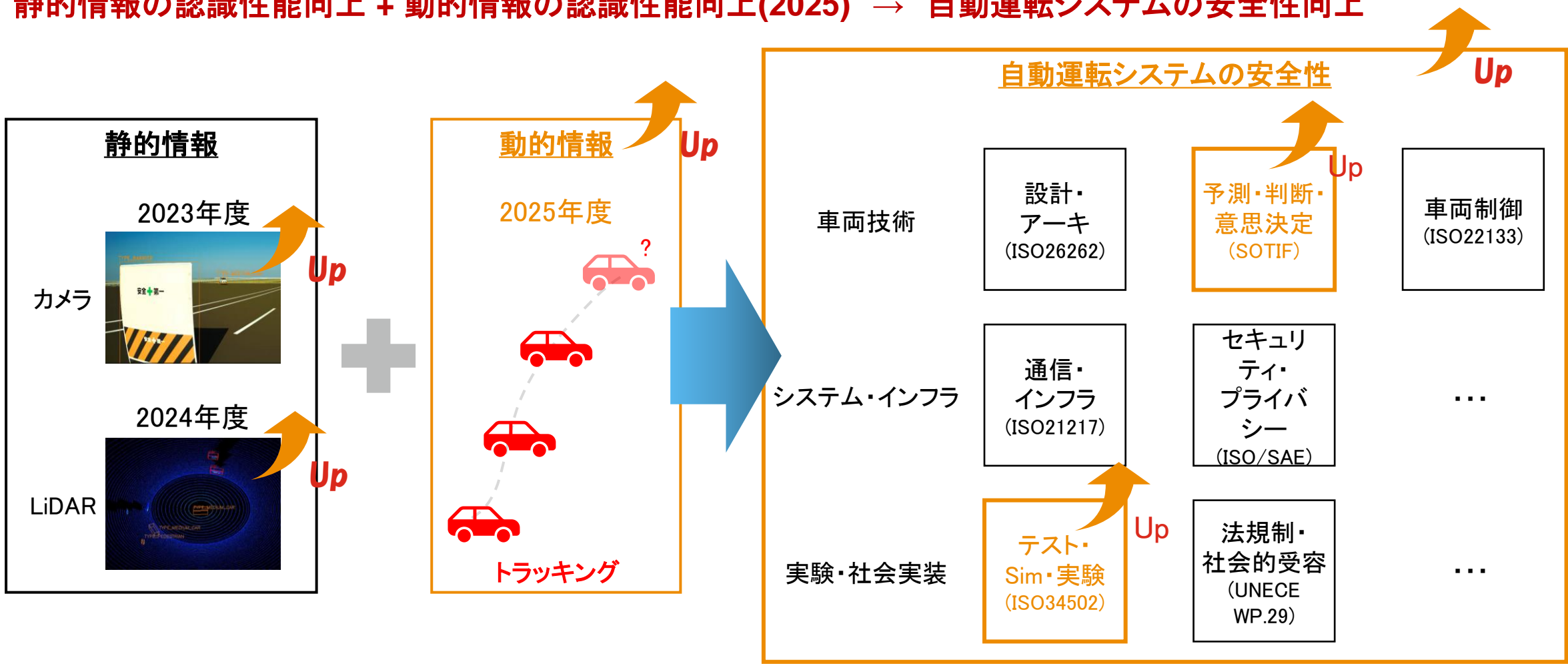
全体概要



性能向上フローの拡充とSimデータ有効性を示すことにより、同フレームワークの認知度を高める

2025年度計画案①:トラッキングアルゴリズム性能向上フローの実現性研究

静的情報の認識性能向上 + 動的情報の認識性能向上(2025) → 自動運転システムの安全性向上

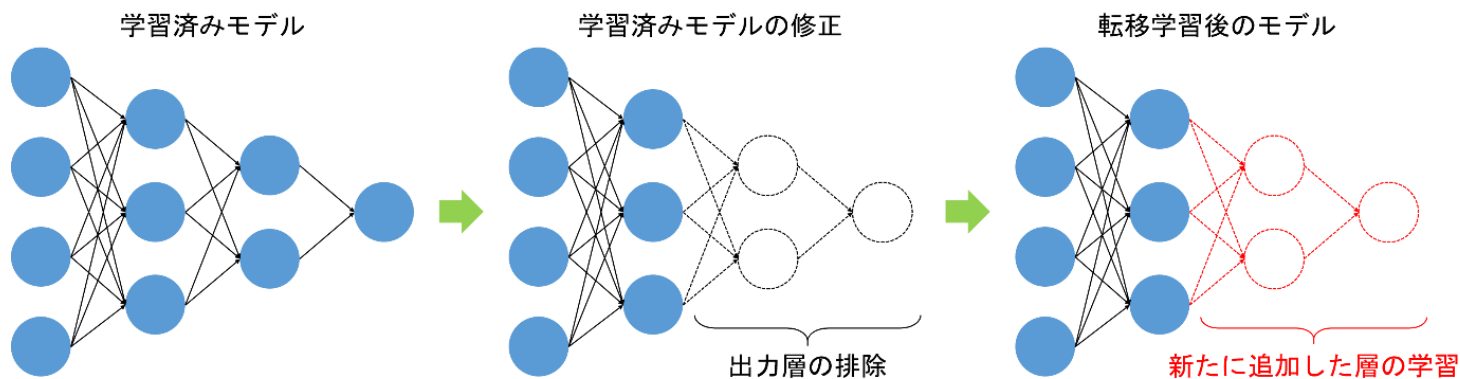


動的情報を扱うトラッキングの性能向上フロー実現により,自動運転システム全体の安全性向上に寄与

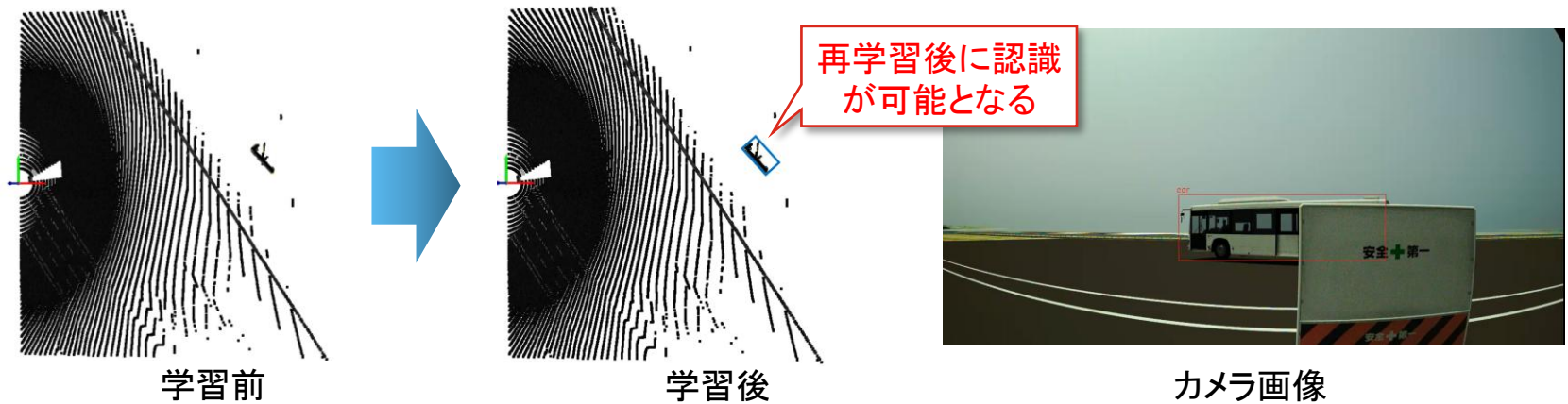
2025年度計画案②: 認識アルゴリズムの学習とSimベースデータの有効活用に関する研究

追加学習, 性能改善の例とデータセットの比較検証イメージ

例) 転移学習(追加学習手法の一つ)



例) PointPillars(汎用LiDAR認識アルゴリズム)における性能改善



例) データセットの比較検証

A	実データ (100)%	
B	実データ (α)%	Simベースデータ (100- α)%
C	Simベースデータ(100)%	

性能指標	A	B	C
正解率	データ配分比毎の認識の性能向上度合を比較		
適合率			
再現率			
F値			

Simベースデータの有効な活用および学習方法を明らかにし, 認識アルゴリズムの性能改善率を高める

(2)-1.c.真値出力・指標算出機能の拡張

DIVPでは安全性評価指標の研究・実装をしており、FY23にはTTC/PETの計算機能を実装した。
FY24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

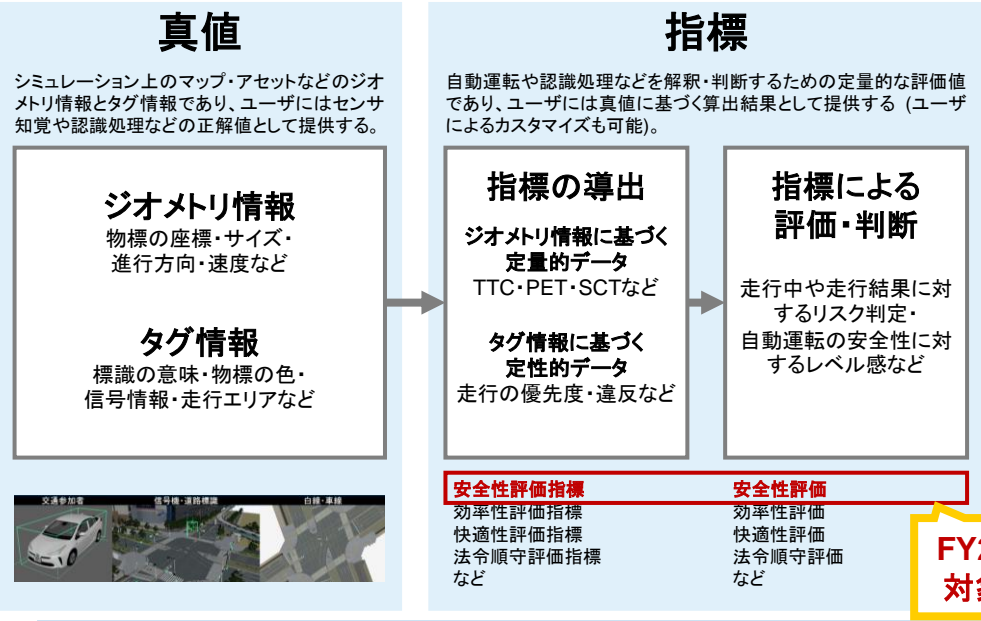
背景

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

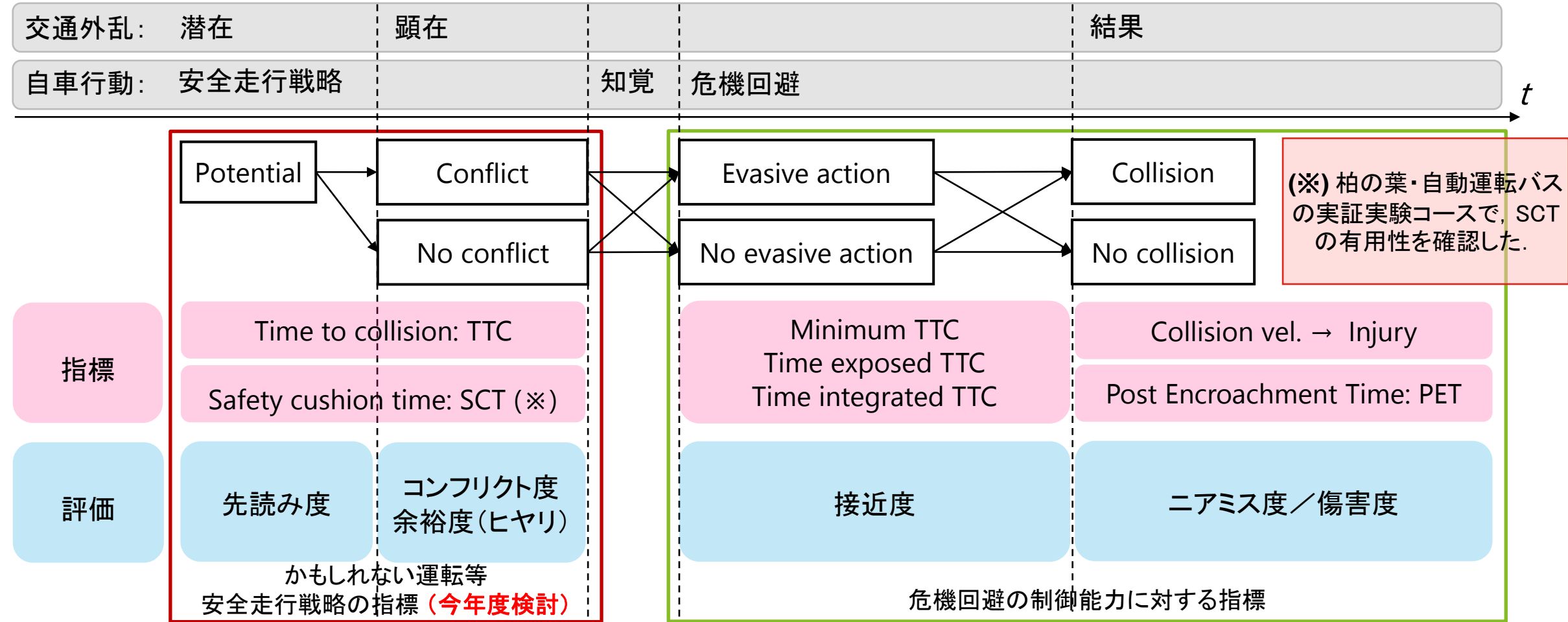
■ SCTを用いた安全リスク評価の効果検証 完了

- 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

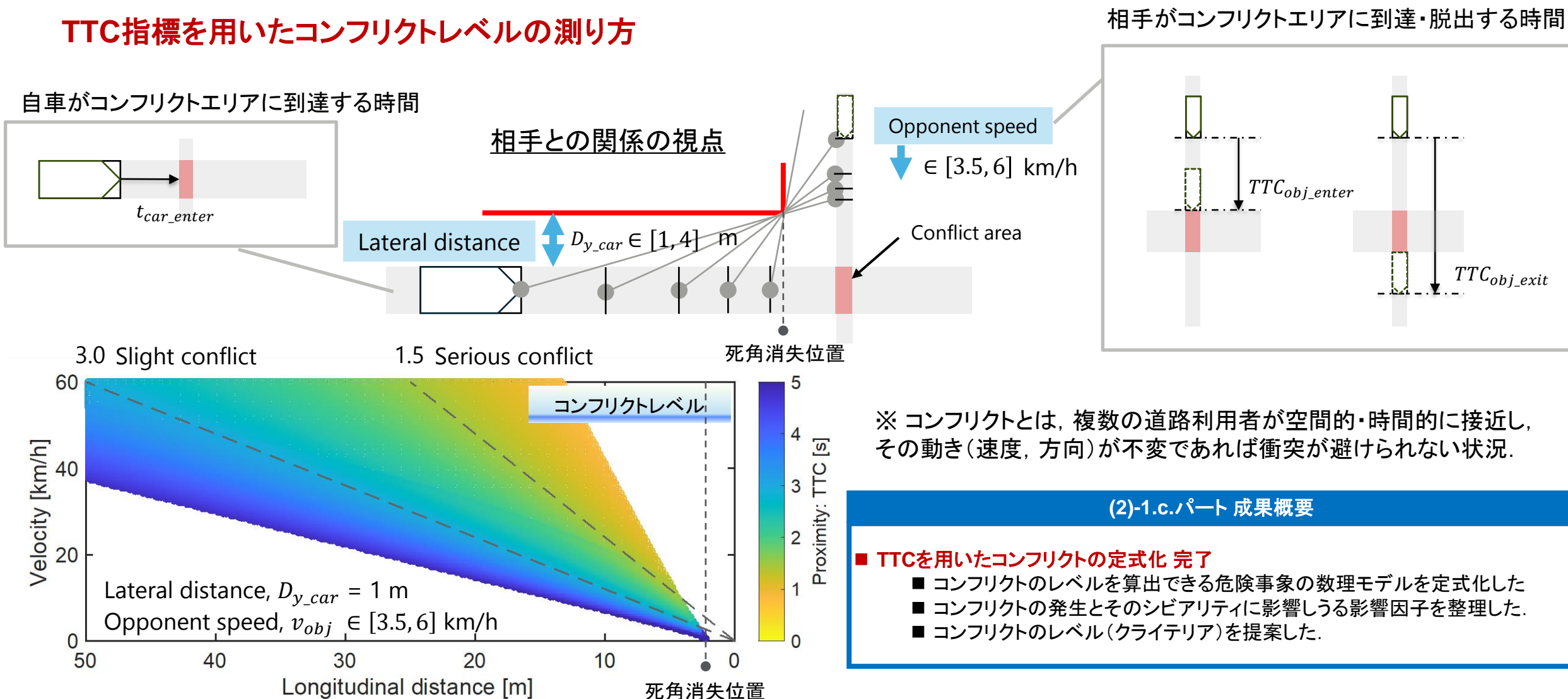
安全性評価指標の種別と今年度検討内容の範囲

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。



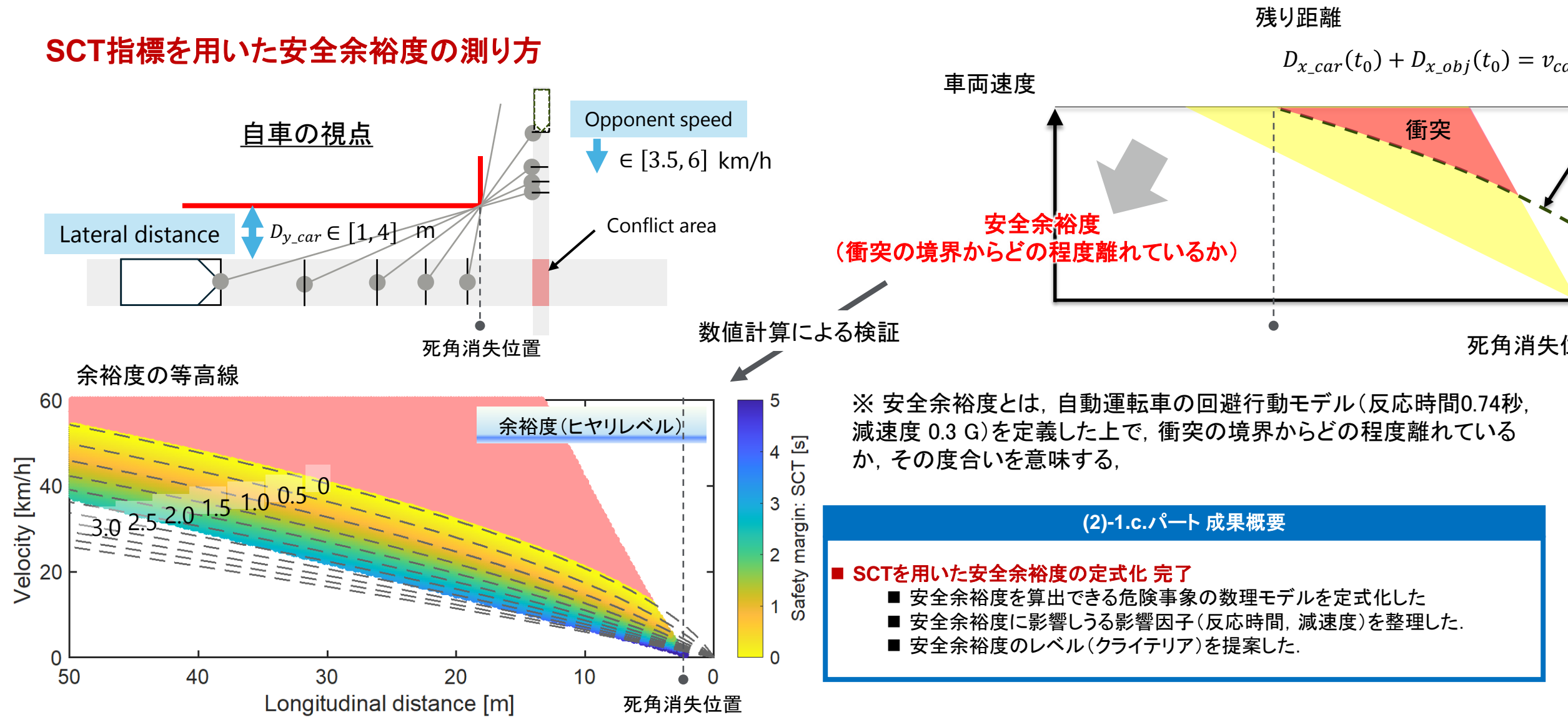
TTC指標を用いた交通コンフリクトの定式化を行い、コンフリクトレベル(クライテリア)を定義した。

TTC指標を用いたコンフリクトレベルの測り方



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.

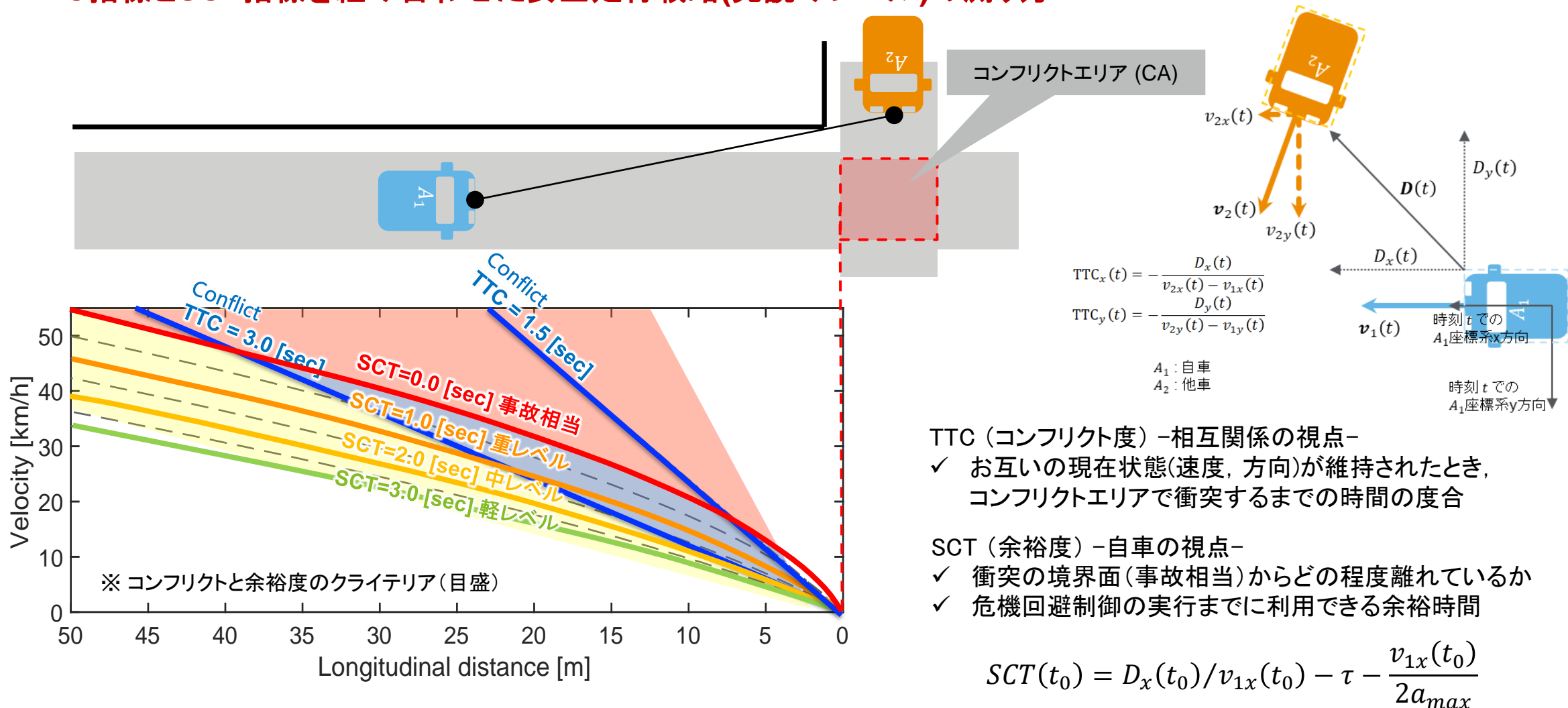
SCT指標を用いた安全余裕度の測り方



安全性評価指標算出の拡張)

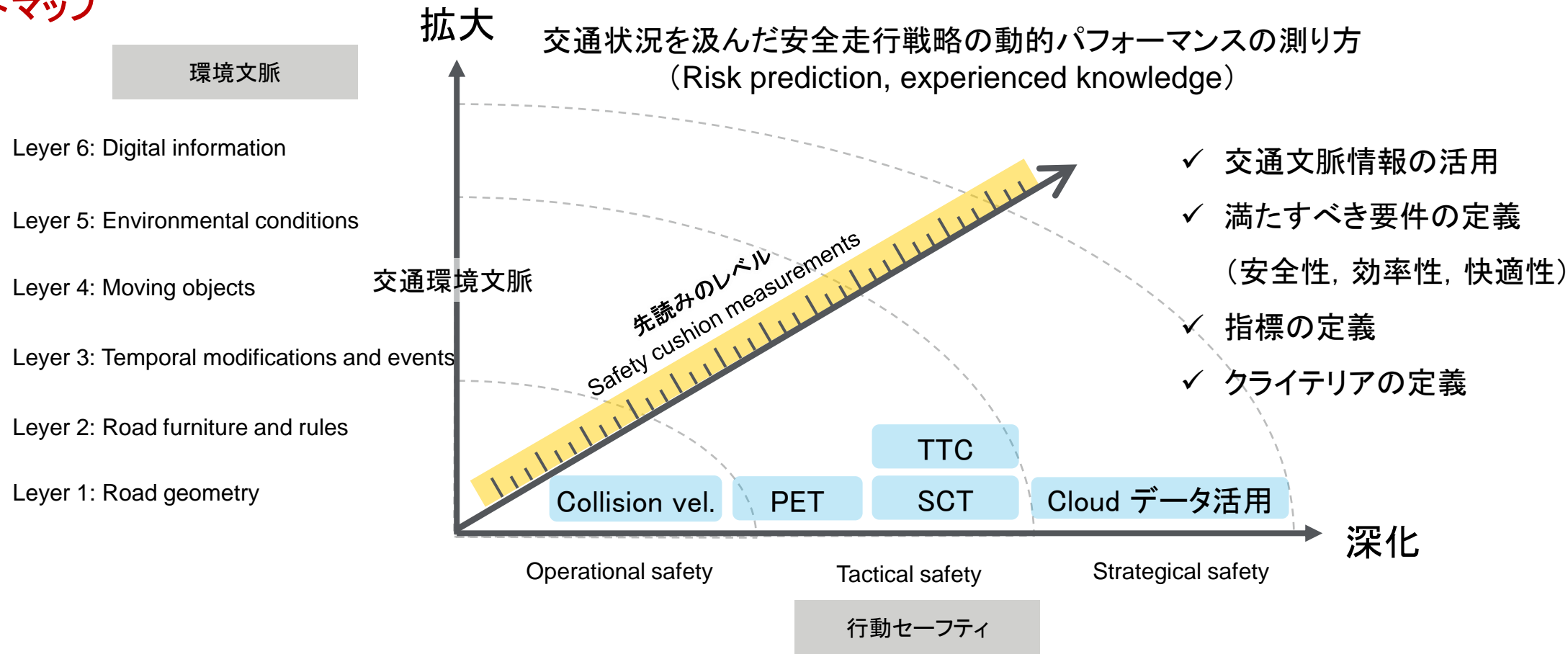
DIVPにおける安全走行戦略を評価可能な指標の算出方法とそのクライテリアに関する定義を行った

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



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



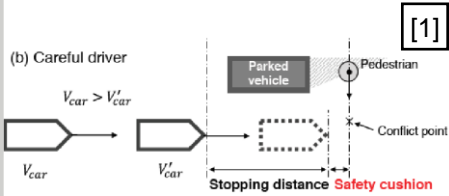
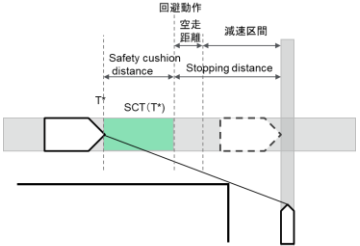
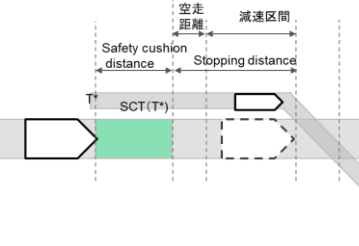
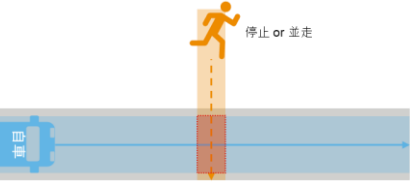
動的リスク評価の深化のため国内外研究機関と連携して行動セーフティの要件，測定，評価の枠組み構築を進める。

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

FY24はリスクとなりうる代表的な状況を対象とした

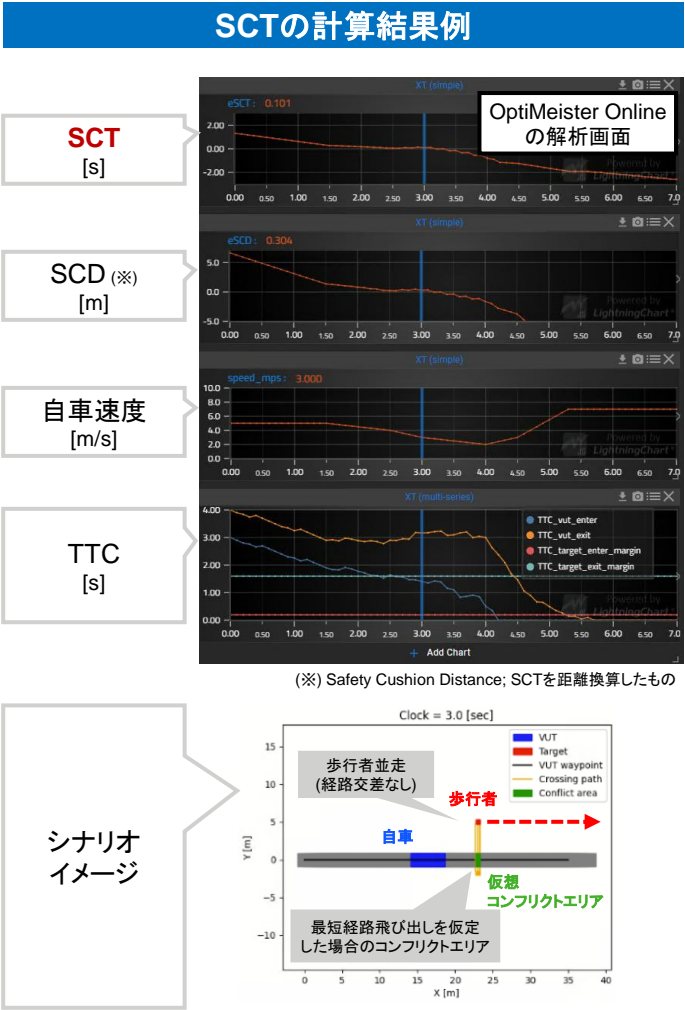
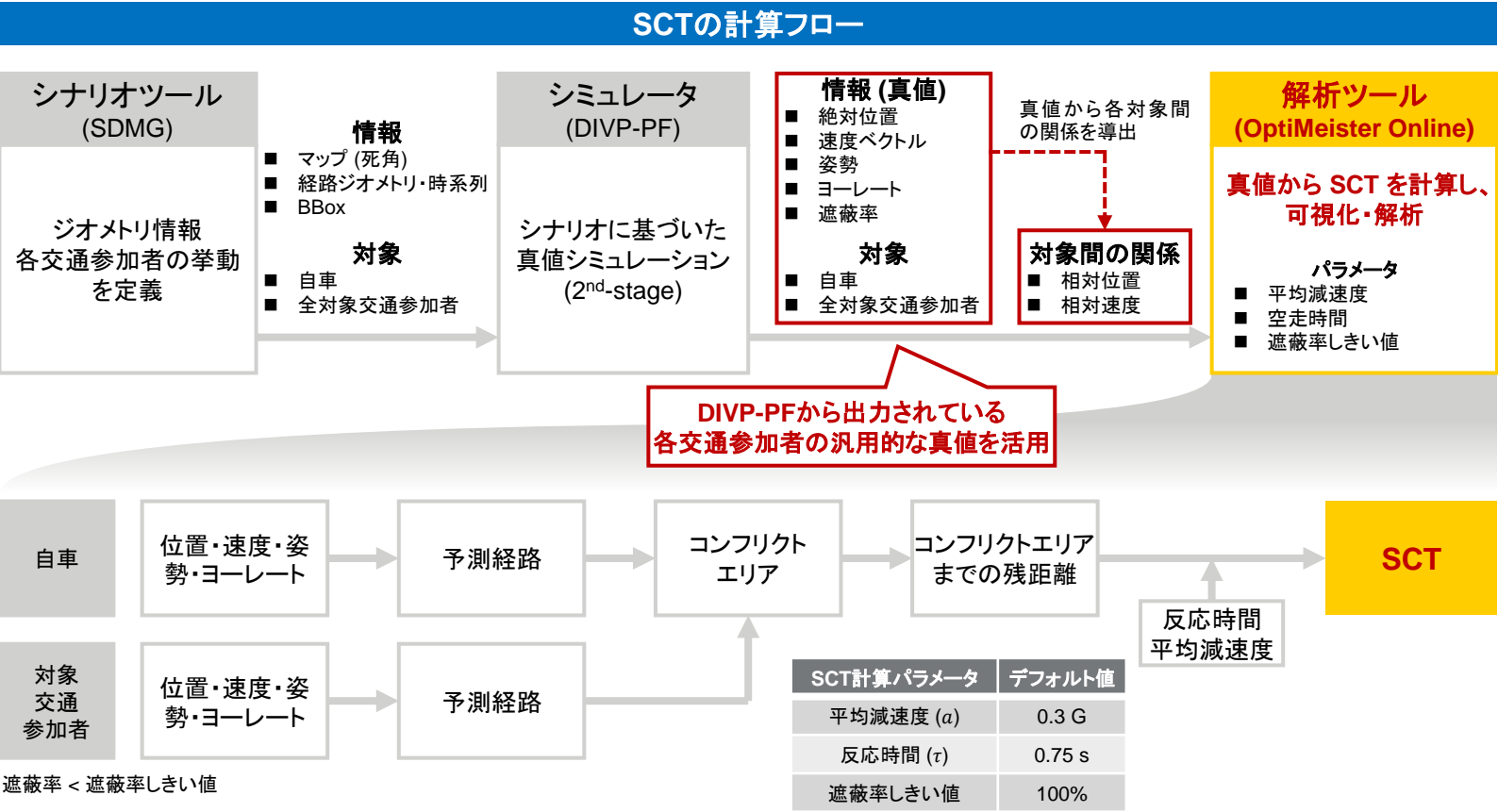
対象シナリオの拡張

SCTの基本概念 (理論)			SCT計算機能の要求仕様 (FY24)			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	<p>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</p> 					
コンフリクトエリア (SCT計算の基準位置)	自車・歩行者の経路が交差する領域		自車・歩行者の予測経路が交差する領域	自車・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。

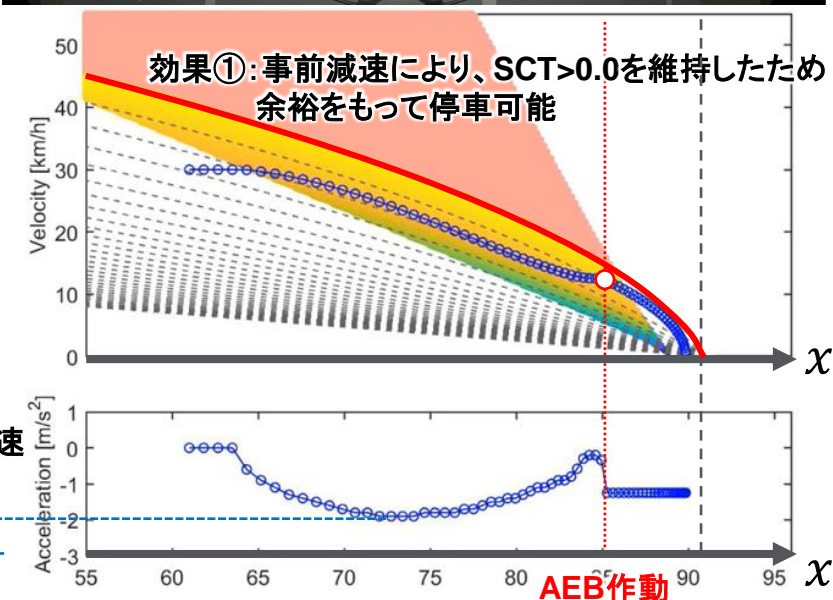
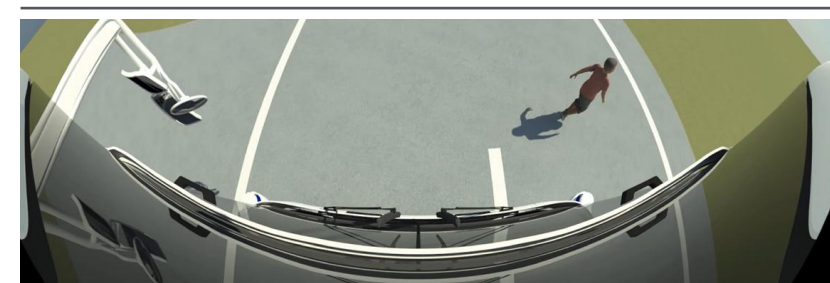
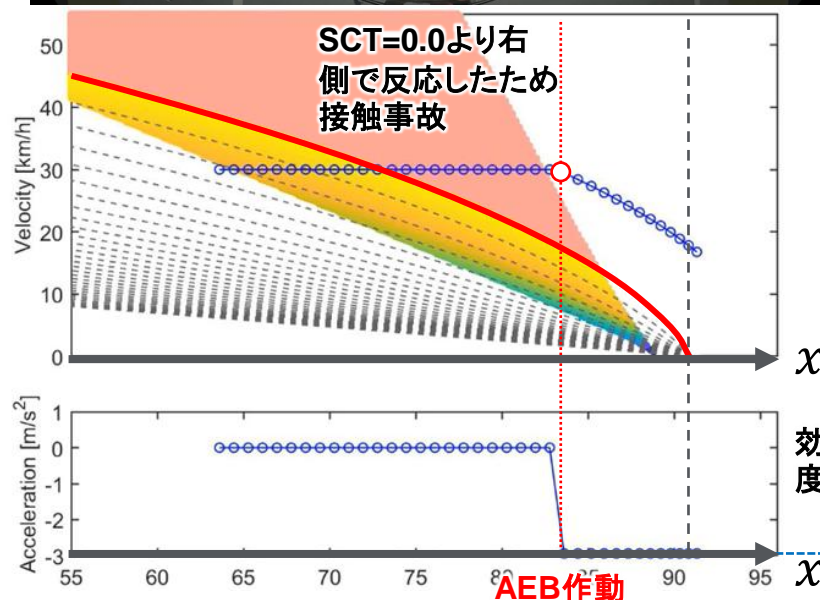
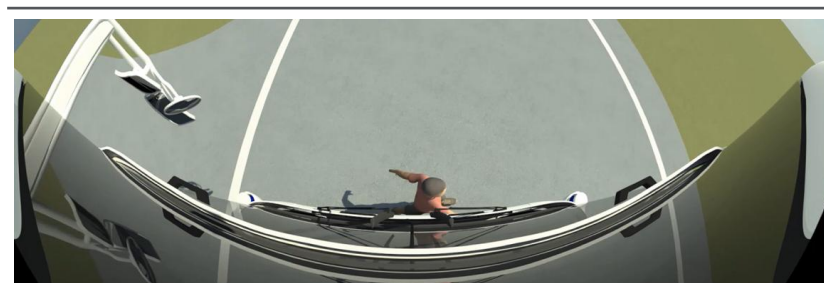
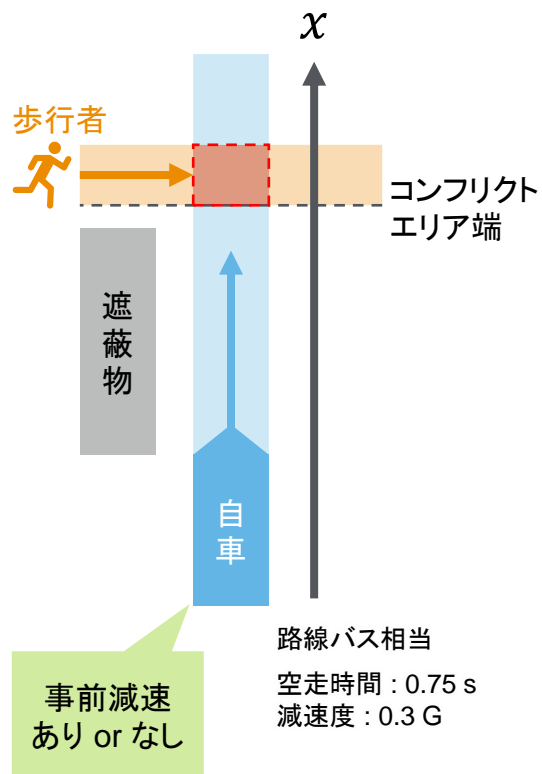
SCTを用いた評価事例として、死角からの歩行者飛び出しについてDIVPシミュレーションを実施した。
TTC・SCTを組み合わせることで衝突回避のための走行戦略を評価することが可能である。

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

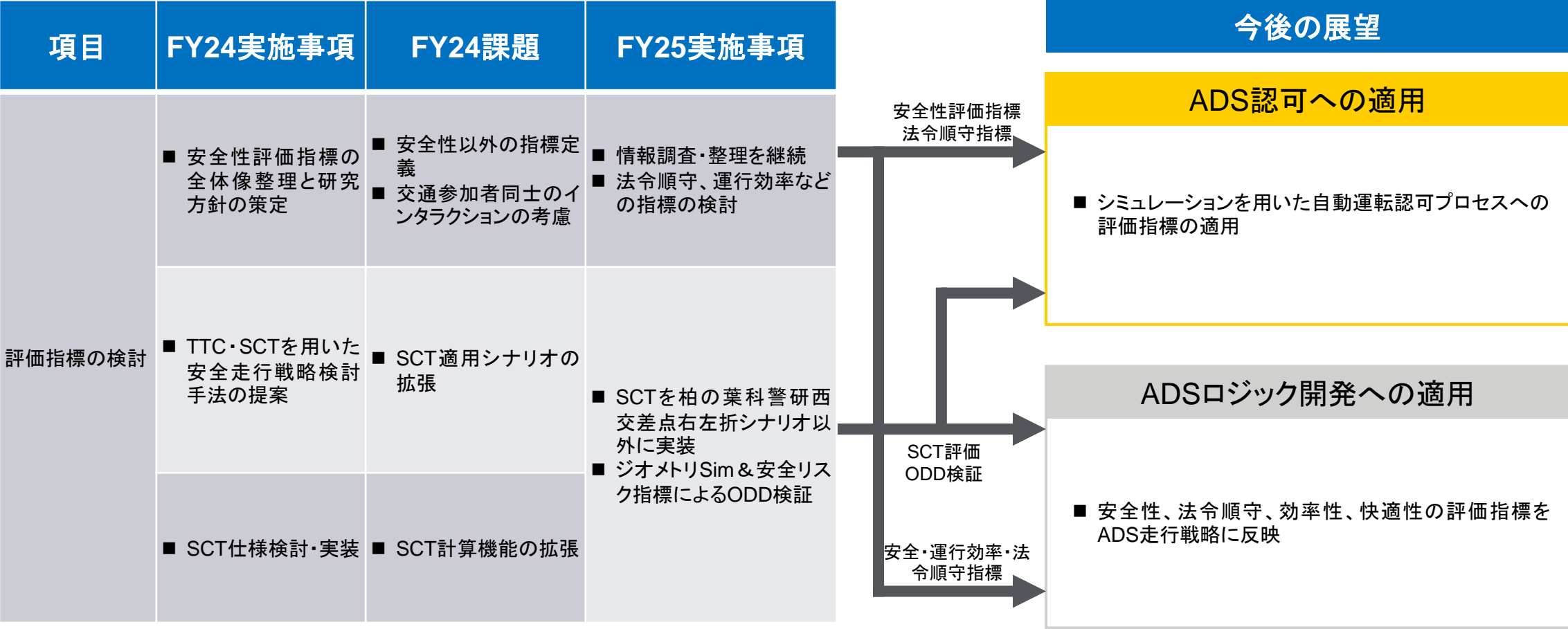
事前減速あり → 緩やかに停止



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。

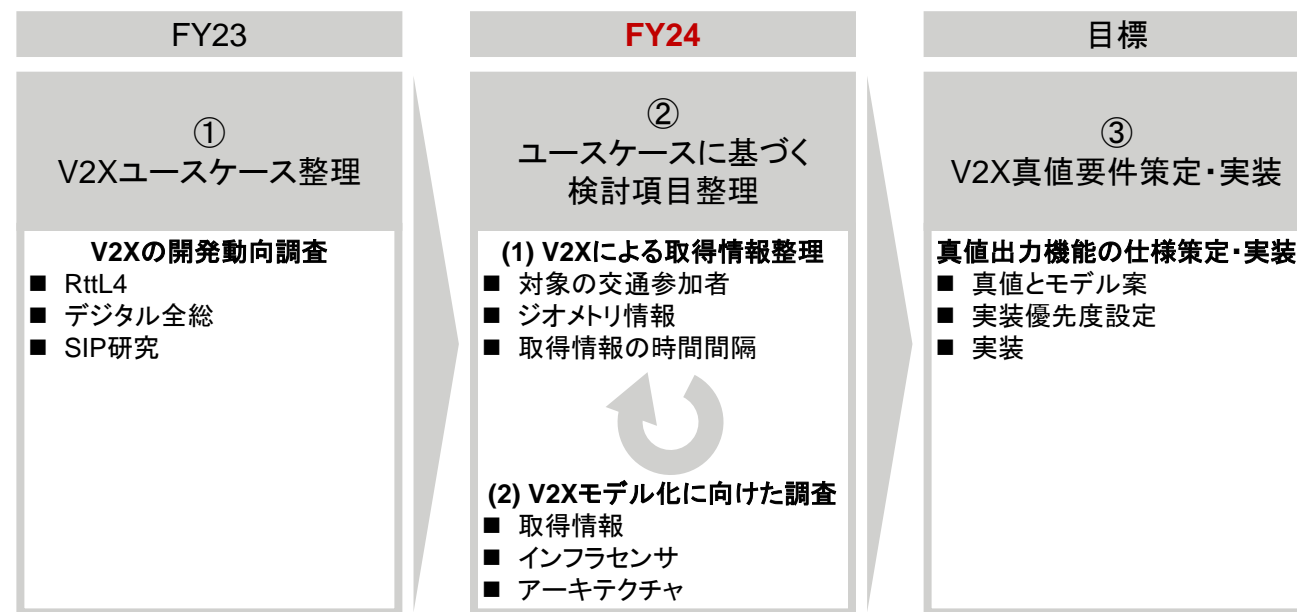
目的

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。



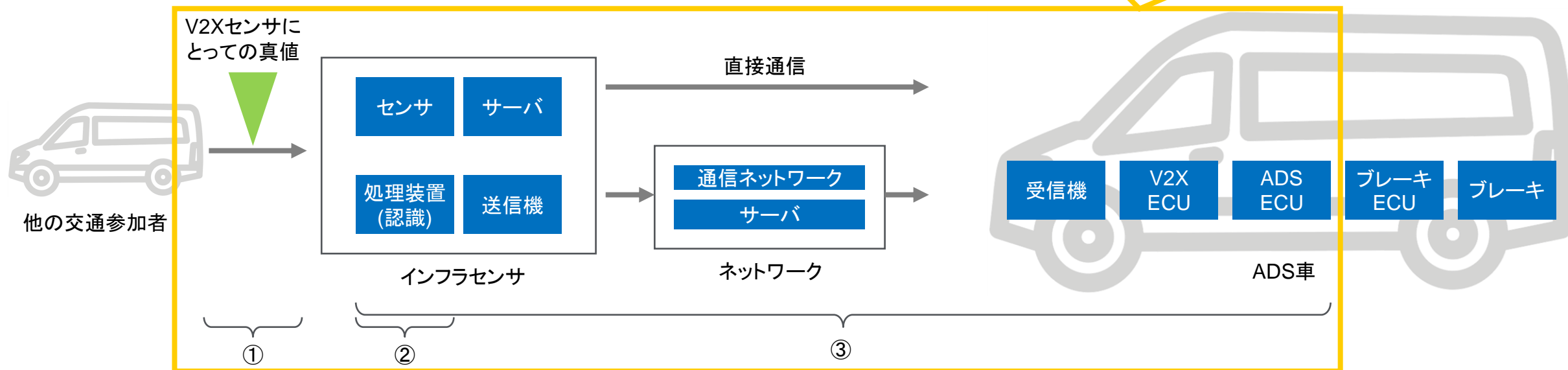
成果概要

- **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。

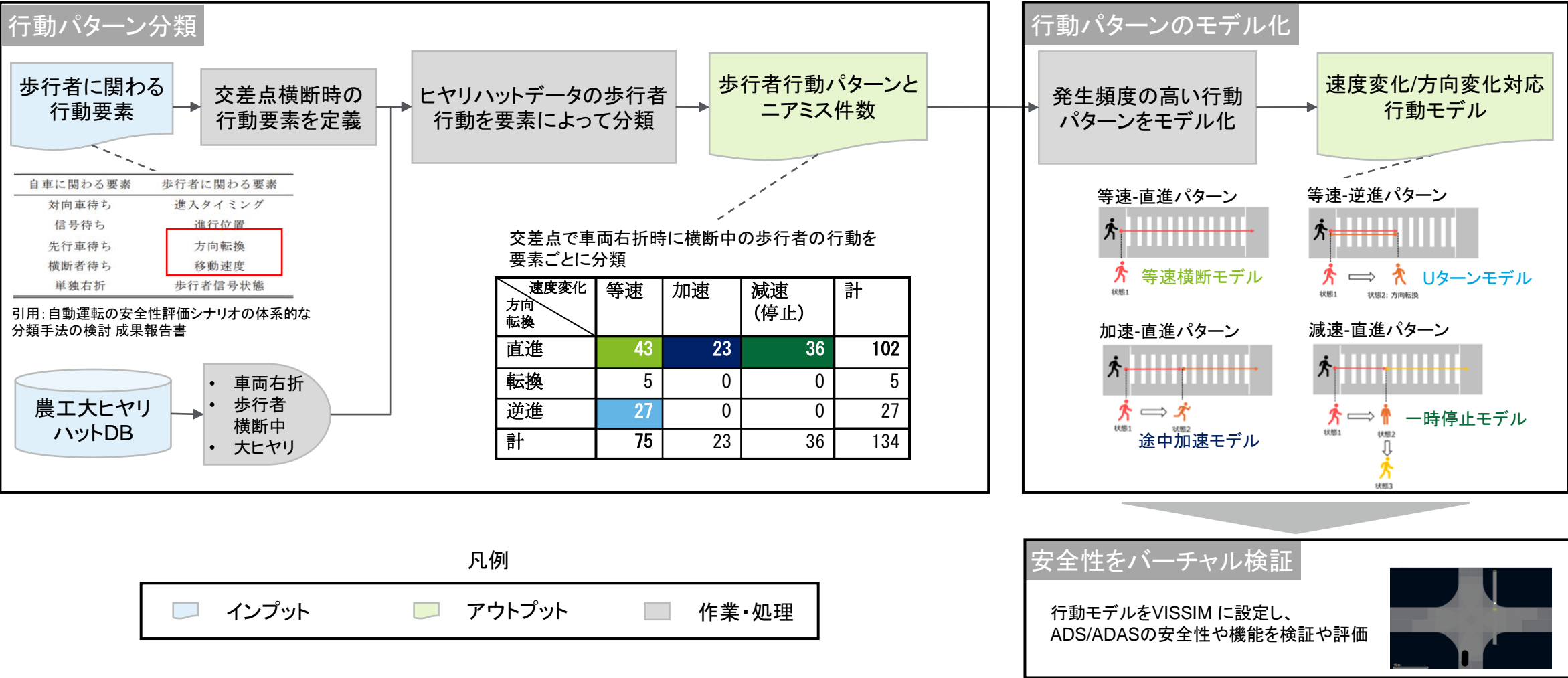
アーキテクチャを整理し、真値出力のためのモデル化対象と性能低下要素 (検出/認識性能の低下・通信処理遅延) を明確化した。

(2)-2. ドライバ・歩行者行動モデルの研究

取り組み概要

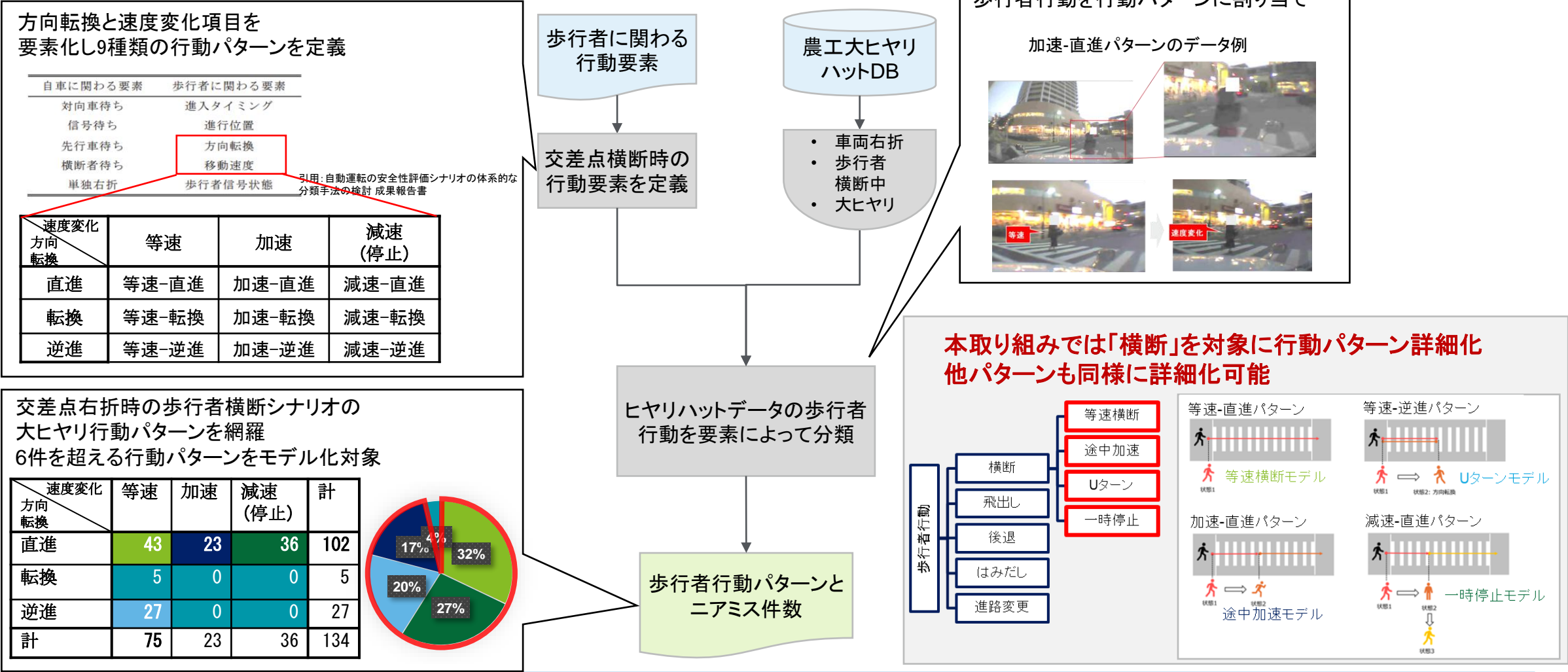
交通弱者の行動※をモデル化し、交通流シミュレータ上で安全性をバーチャル検証する

※行動文脈



行動パターン分類

行動パターン分類の方法を形式化

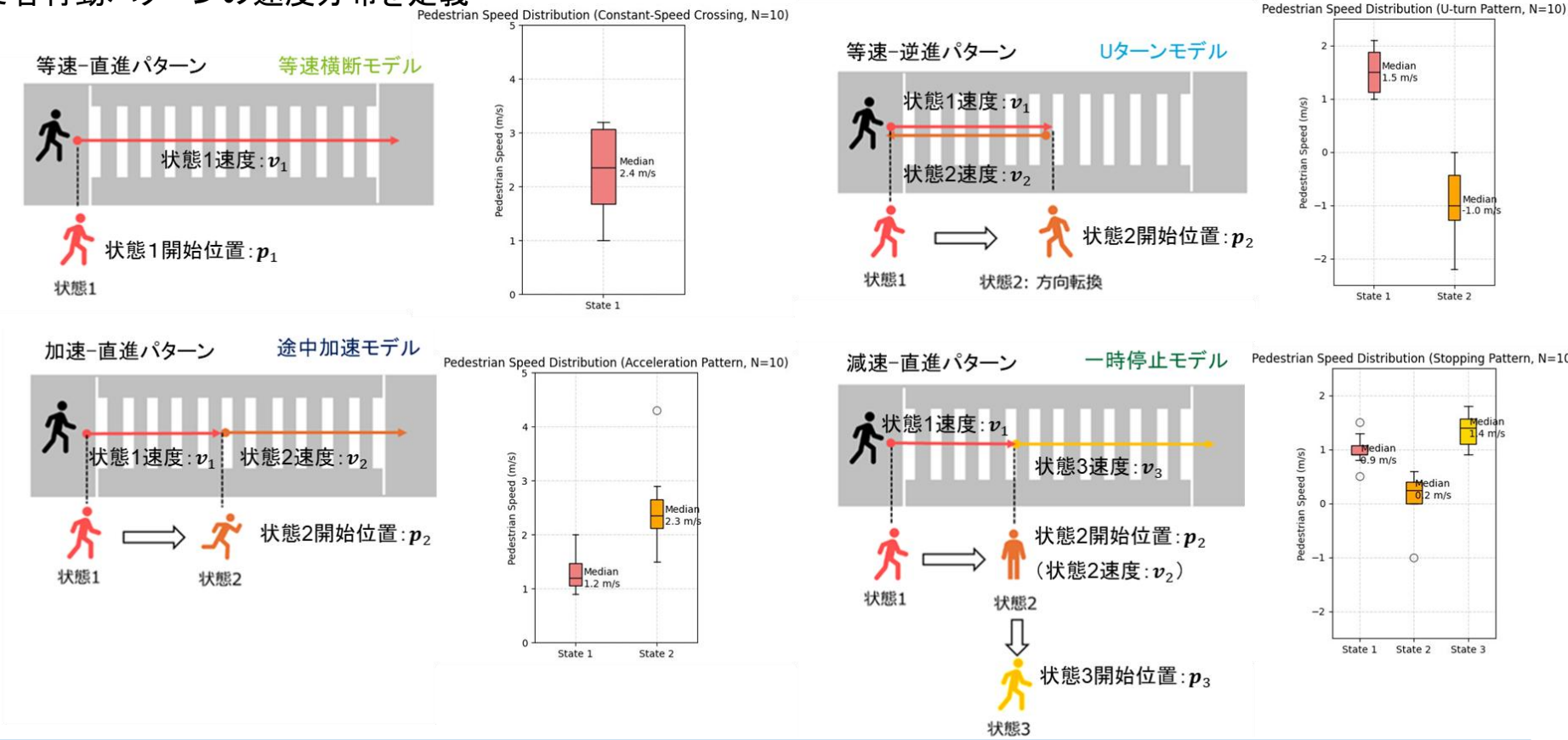


行動パターンのモデル化

選定した歩行者行動パターンを速度変化/方向変化の状態毎に直線運動としてモデル化
ヒヤリハットデータから速度分布を分析

- 状態*i*における時刻*t*での移動物の位置*P*: $P_i(t) = p_i + v_i(t - \tau_i) + \frac{1}{2} a_i (t - \tau_i)^2, \quad i = 1, \dots, n$
- ヒヤリハットデータを分析して各行動パターンの速度分布を定義

パラメータ	説明
t	現在の時刻
τ_i	状態 <i>i</i> の開始時刻
$p_i = (x_i, y_i)$	状態 <i>i</i> の始点座標
$v_i = (v_{x,i}, v_{y,i})$	状態 <i>i</i> の初速度
$a_i = (a_{x,i}, a_{y,i})$	状態 <i>i</i> の加速度
n	状態数



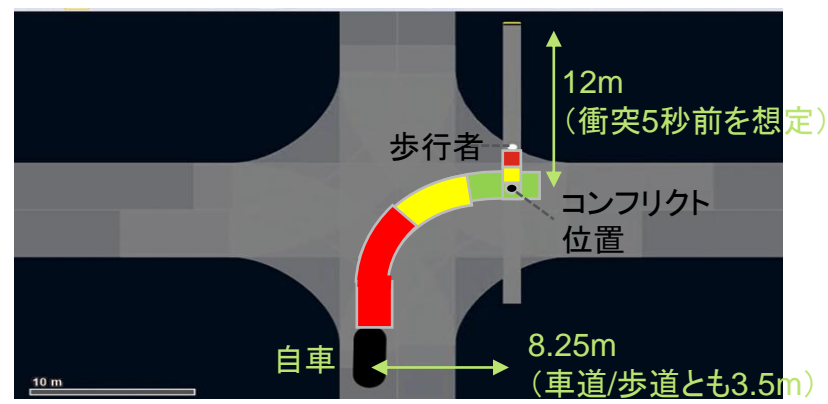
安全性バーチャル検証

VISSIMで行動モデルを実装し、安全性検証プロセスを実施(例: AEBによる安全性検証)

- 車両が交差点右折時に、AEBの有無で横断歩行者とのリスクが生じた件数を比較し、AEBによる安全性をバーチャル検証
- Vissimでは車両や歩行者の制御/行動モデルを差し替えて交通流が生成可能

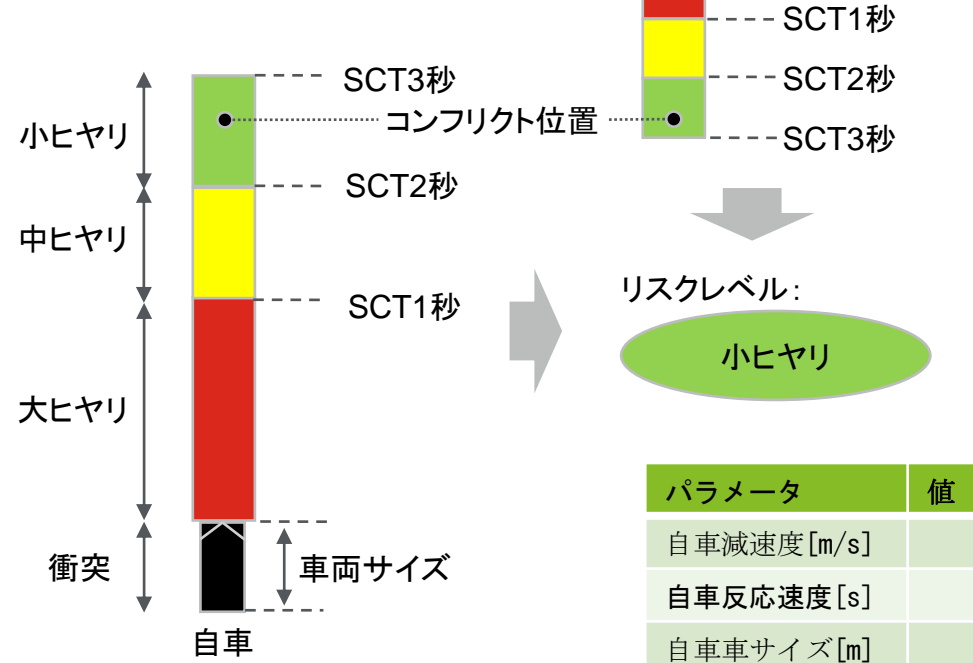
交通流パラメータ設定

シミュレーション時間: 1hour



行動パターン	状態1速度 (m/s)	状態2速度 (m/s)	状態3速度 (m/s)	発生頻度 (1/hour)
等速横断	2.4	-	-	25
途中加速	1.2	2.3	-	18
Uターン	1.5	-1.0	-	10
一時停止	0.9	0.3	1.4	12

リスク評価モデル パラメータ設定

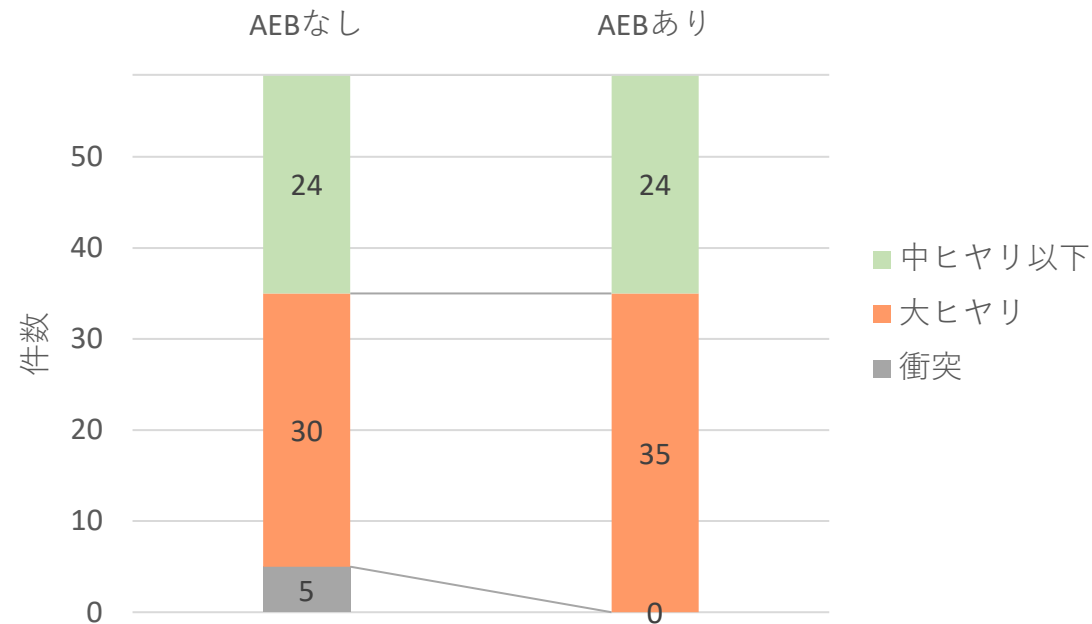


車両と歩行者の各時刻でのSCBの重なりをもとにリスクレベルを算出

パラメータ	値
自車減速度[m/s]	0.6
自車反応速度[s]	0.75
自車車サイズ[m]	5
歩行者サイズ[m]	1

安全性バーチャル検証

行動モデルを踏まえた安全性検証プロセスの有用性を確認



検証結果と考察

- AEBにより「衝突」が「大ヒヤリ」にリスク軽減
- 他ADAS機能や、ADS車の安全性検証においてもプロセス適用可

今年度の成果と次年度計画

今年度の成果

- 交差点での横断時の歩行者行動を形式的にパターン分けし、ヒヤリハットデータ(大ヒヤリ)をもとにパラメータを分析して交差点横断時の歩行者行動モデルを定義した
- 行動モデルとパラメータをもとにバーチャル検証環境を構築し、行動モデルを踏まえた安全性リスク評価プロセスの有用性を確認した

次年度計画

- モデル精度向上に向けたデータ取得要件策定とデータ取得関係プロジェクトとの連携
 - モデル開発観点でのデータ取得要求要件を策定し、データ取得に関わる関係各所と連携する
 - 連携によって新たに得られたデータを用いてモデル開発手法と行動モデルを改善する

データ取得要件	行動モデル改善点
高精度な位置/速度情報	各行動パターンのパラメータレンジの精度向上
属性情報の取得	パラメータレンジと歩行者属性の紐づけによるモデル精度向上

- 行動モデルの社会実装: 他プロジェクト(SBIRなど)との連携
作成した行動モデルや行動モデル作成プロセスを他プロジェクトの地域実証実験へ適用する

連携に向けた課題	必要な実施項目
異なる道路形状への拡張	交差点以外の道路形状での行動パターン分類とモデル化を実施
異なる行動パターンの詳細化	横断以外の行動パターンの詳細化とモデル化を実施

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

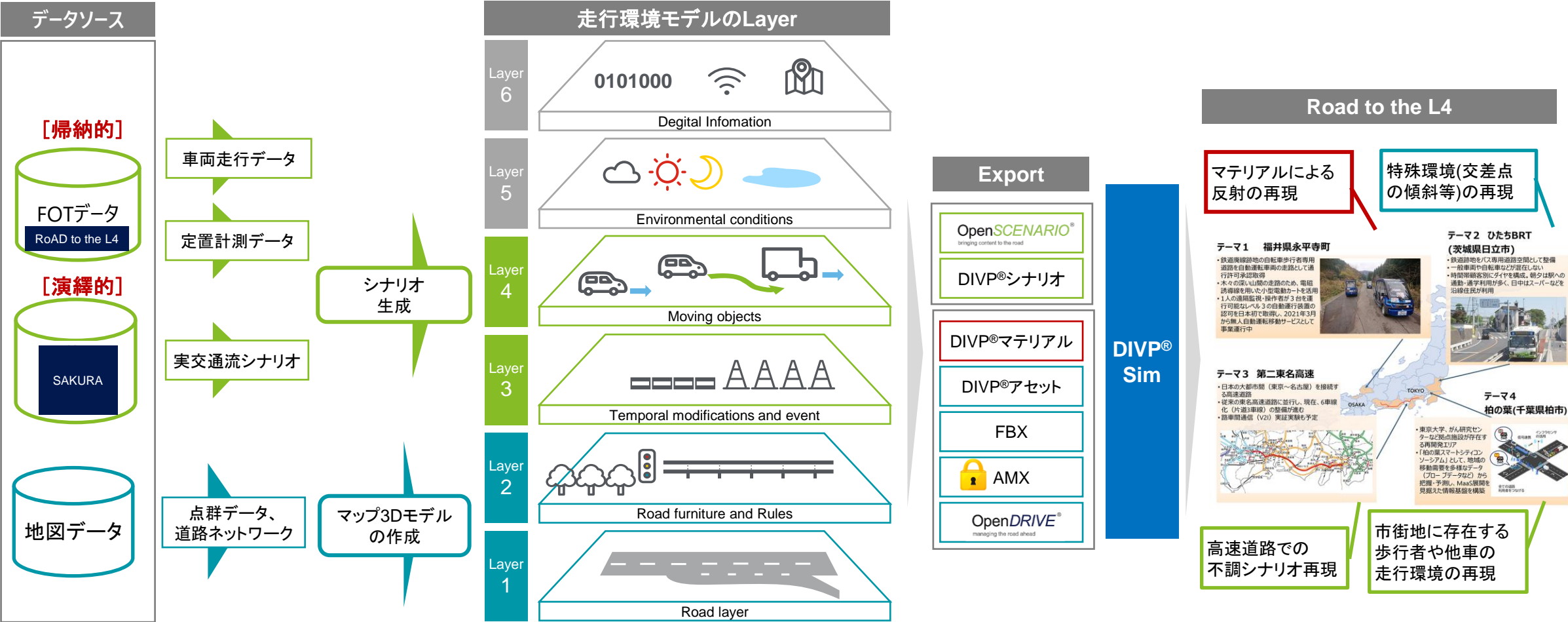
(3). センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(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(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・検証に必用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

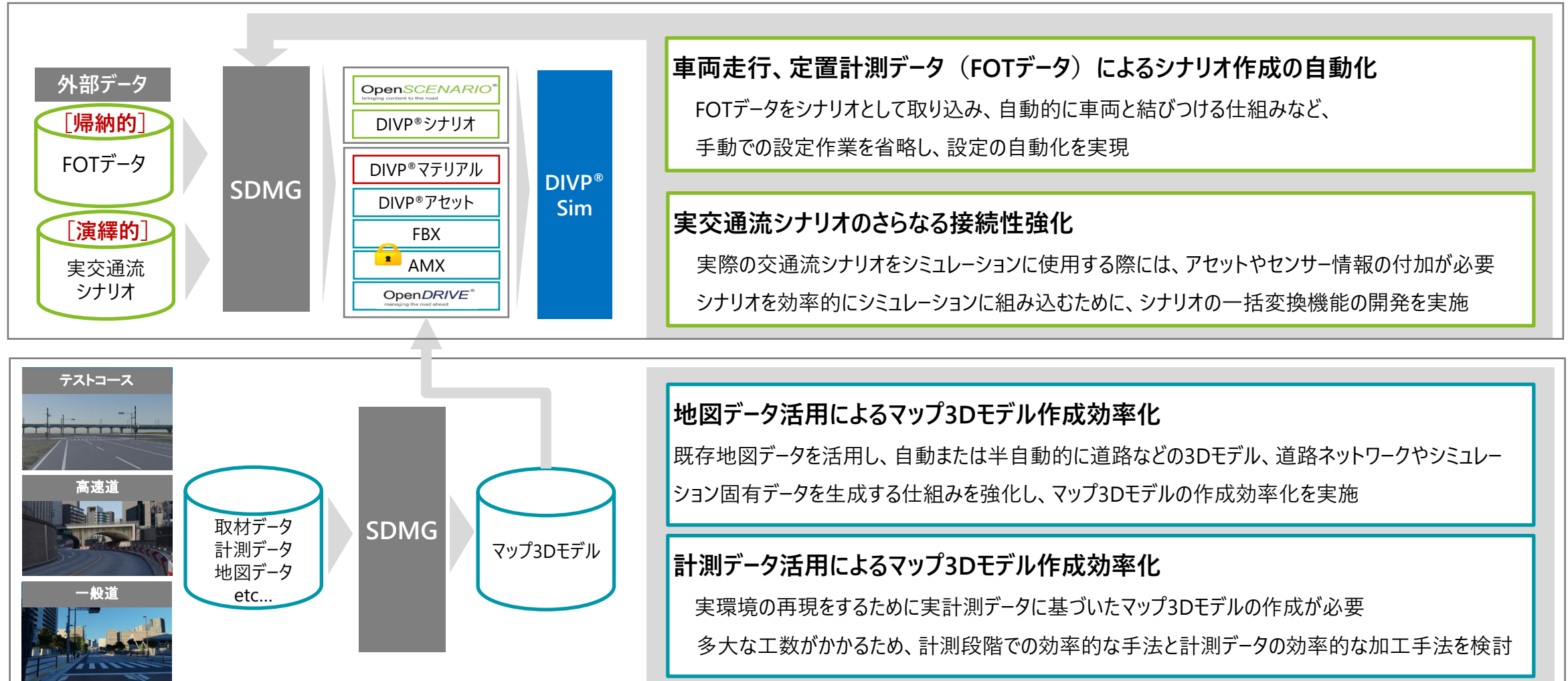
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化



ADS/ADASの安全性評価・検証に必用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

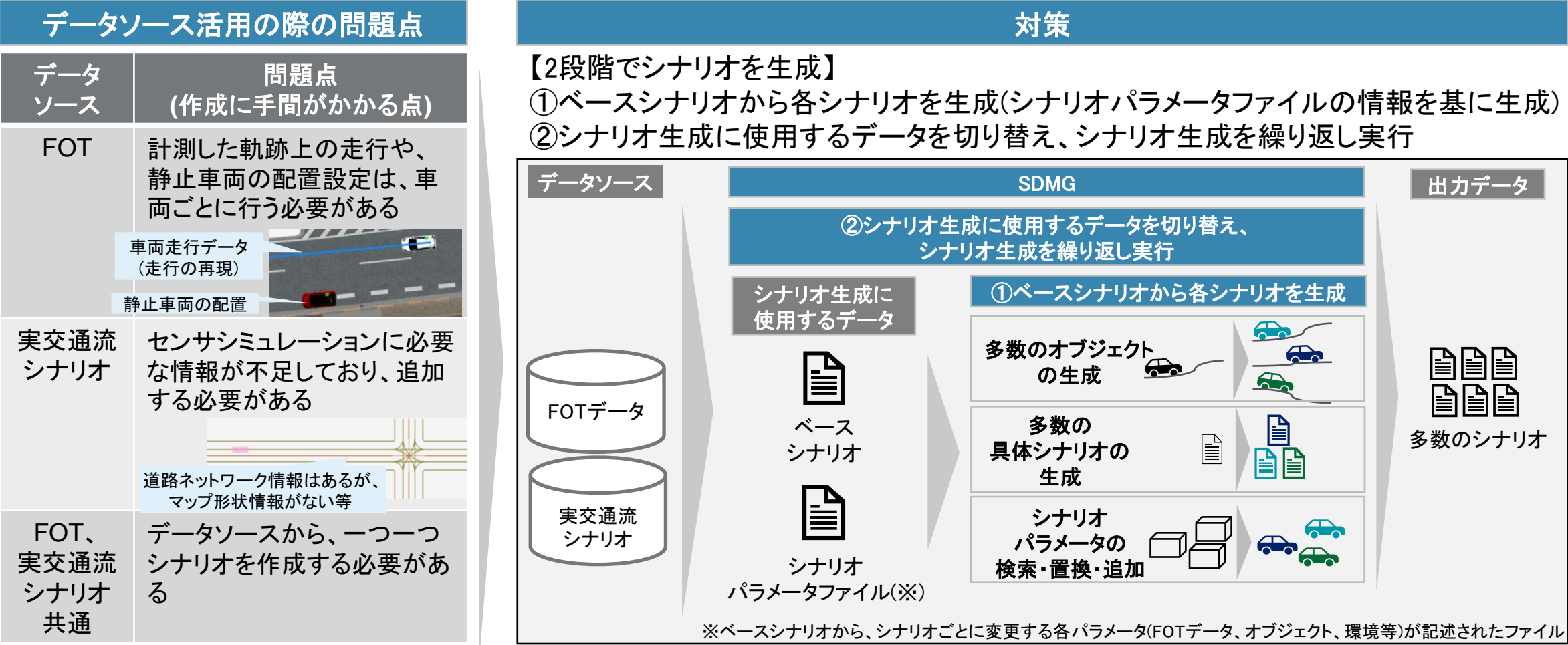
ADS/ADASの安全性評価・検証に必要なマップ3Dモデルデータやシナリオの生成を行い、仮想空間における効率的な安全性評価に貢献する

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化



データソース(FOTデータ、実交通流シナリオ)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

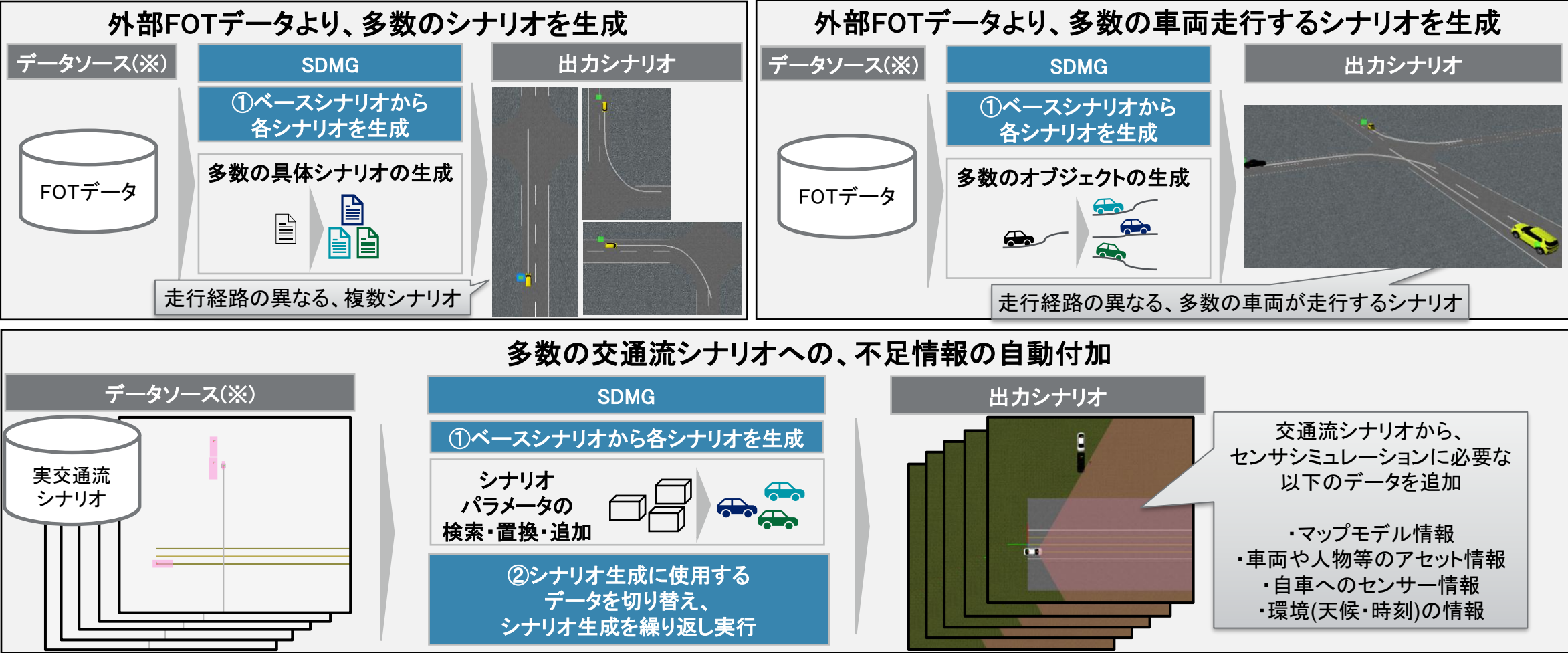


大量のデータソースから多数のシナリオを効率的に生成する環境を構築した

データソース(FOTデータ、実交通流シナリオ)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

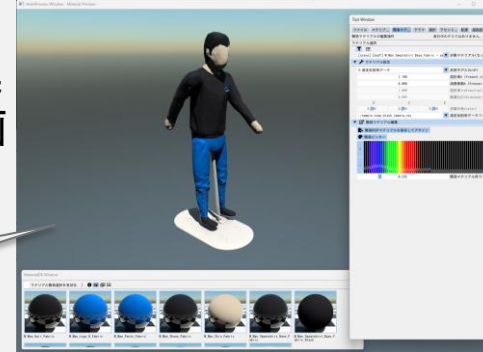
インタラクティブにシナリオを編集、確認が可能



【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

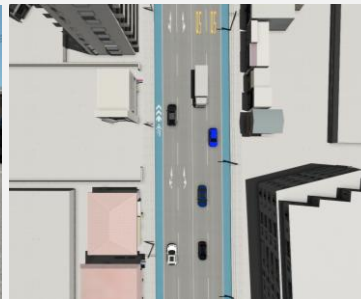


時刻変更の例

変更中のパラメータを写實的に即時確認



センサー視点

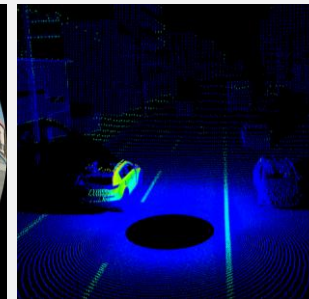


俯瞰視点

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

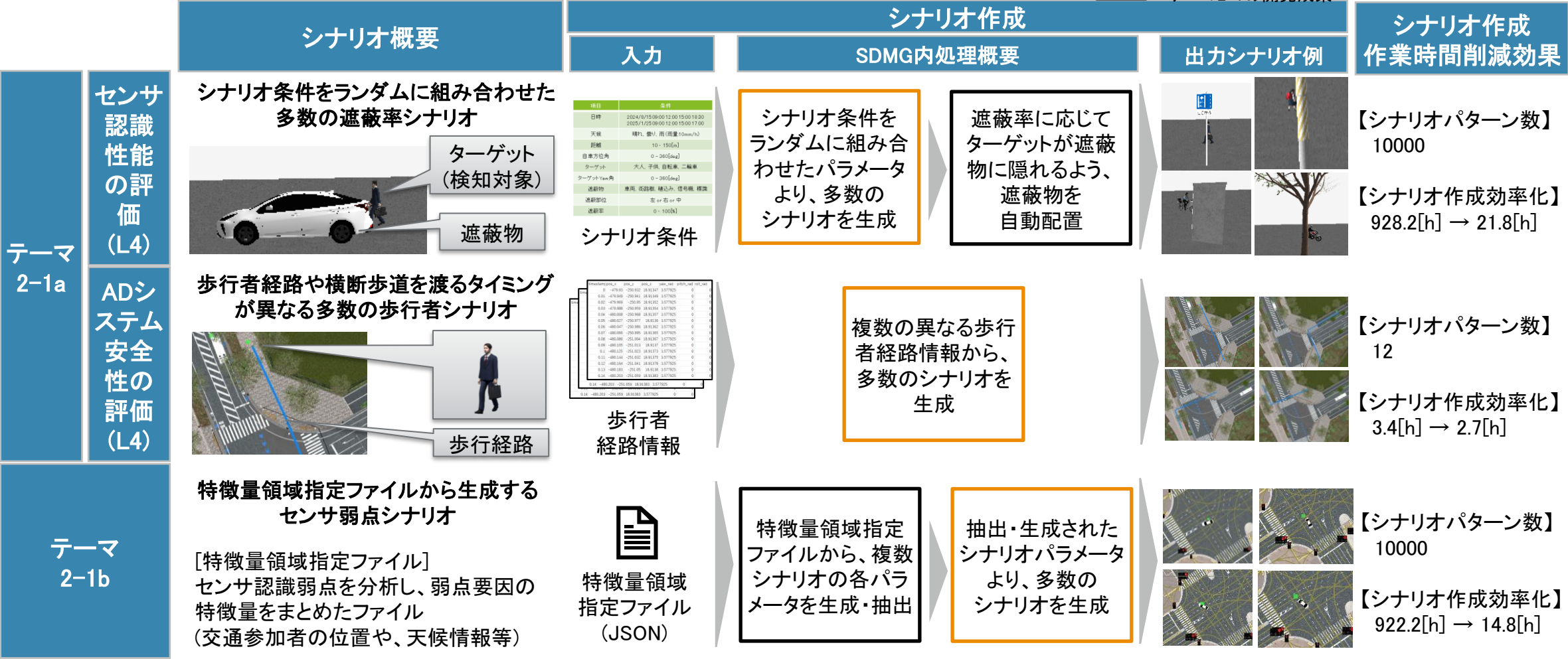
レイトレーシングを活用した情報生成

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

地域実証実験で必要となるシナリオを効率的に作成するため、令和5年度、6年度で行ったシナリオ作成効率化活動の成果を順次適用している

(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 シナリオ作成効率化

テーマ3-1成果適用
テーマ2-1の開発成果

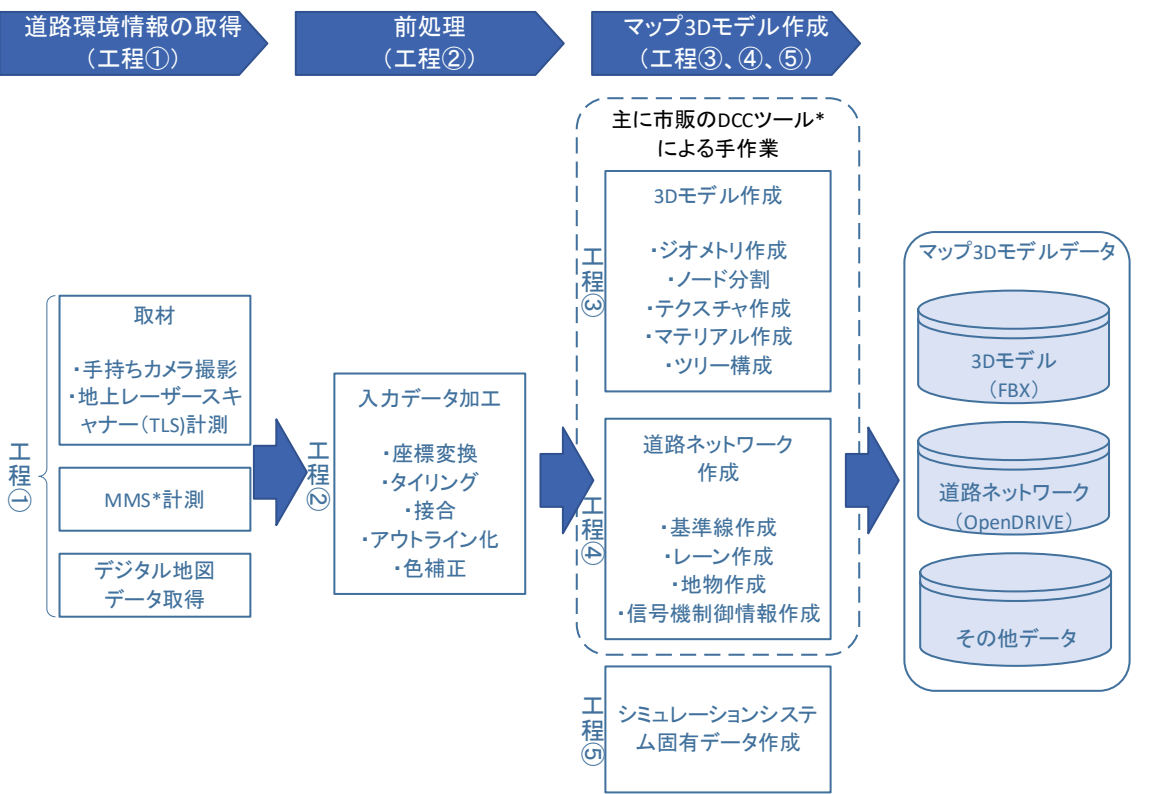


テーマ2活動と連携し、大量のシナリオを効率的に生成、適用した

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「ADS/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



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マップ3Dモデル作成効率化の仕組みを整備

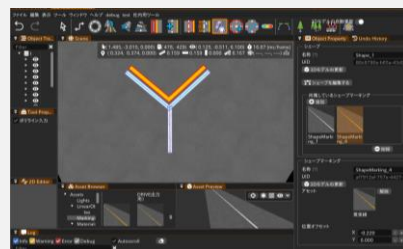
引用:三菱プレジジョン株式会社

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

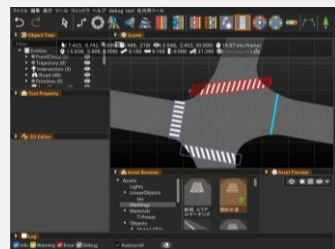
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

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

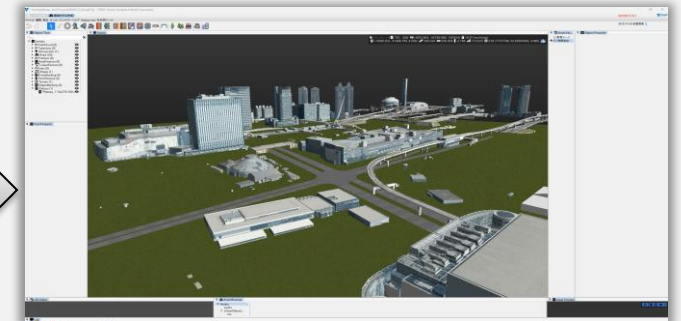


横断歩道やレーン形状に沿ったゼブラゾーン

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

PLATEAUデータの活用

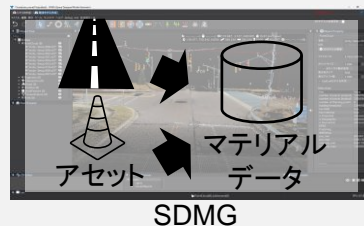
街並みを1時間ほどで作成可能に



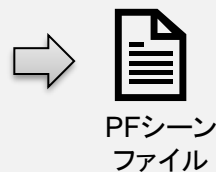
PLATEAUの建物モデルを取り込み、道路モデルとマージし、マップ3Dモデルとして出力
現実の道路周辺環境を短時間で構築可能に

マテリアル情報作成作業の効率化

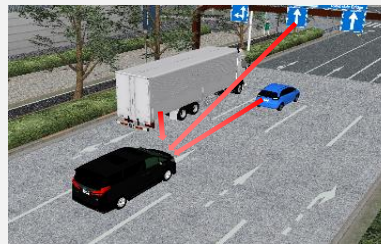
作業時間例: 45分→0分



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

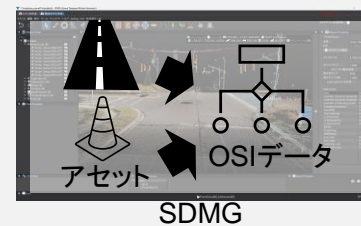


マップ3Dモデルを出力する際に、マテリアルデータから同時にPFシーンファイルを自動生成し、シミュレーションで利用



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

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

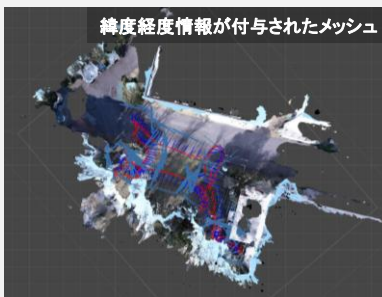
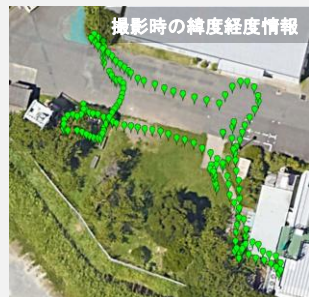
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

地理座標付与作業の効率化

作業時間50%減

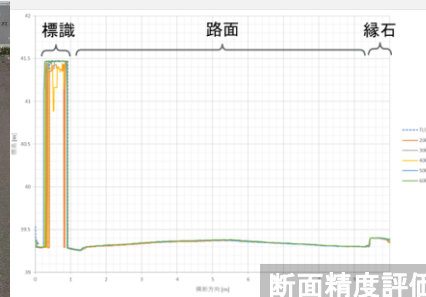
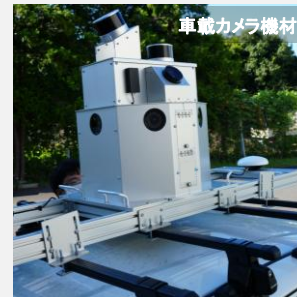


カメラ撮影時および地上レーザースキャナ計測時にGNSS機器で同時に位置情報を取得。マップ3Dモデルに効率的に緯度経度情報を付与。



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



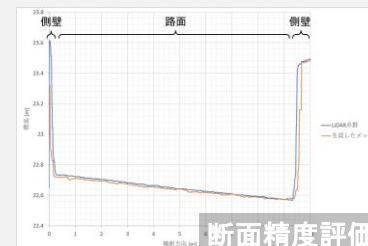
教習所コースにて、走行速度を変えて計測。撮影したカメラ画像から生成したメッシュの精度を検証。60km/hでも実用範囲内のメッシュが生成できることを確認。

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モデル作成工数の前年2023年度比20%、2022年度比52%効率化を実施

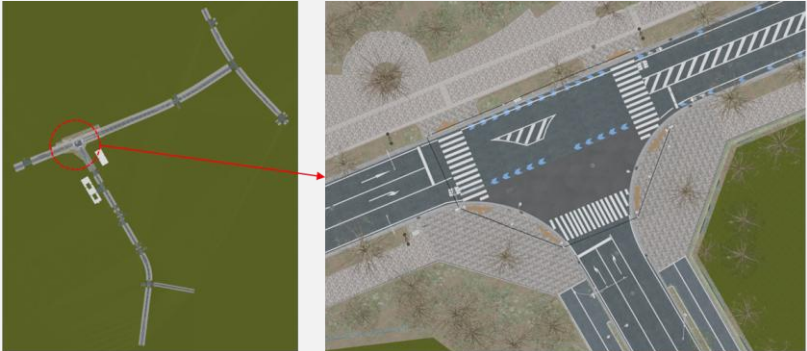
(3)-1. センサ弱点事象の拡張とDB化 マップ3Dモデル作成効率化

成果まとめとマップ3Dモデル作成全体の効率化評価

・ 下表の項目を実施し、マップ3Dモデル作成工数の前年2023年度比20%、2022年度比52%効率化を実施

↓テストケースのマップにおいて666Hr→320Hrの工数低減

実施項目	成果内容	今後の課題
路面標示作成作業の効率化	・ 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	・ 複雑な構造の道路への応用 ・ 水たまりなど特殊なシミュレーションデータの効率的な作成 ・ 処理速度向上や他ツール連携などのユーザビリティ向上
マテリアル情報作成作業の効率化	・ 道路や周辺地物の3Dモデルを自動生成する際、シミュレーション用のマテリアル情報も同時に自動生成する仕組みを構築した	
真値データ作成作業の効率化	・ 道路や周辺地物の3Dモデルを自動生成する際、シミュレーション用の真値データも同時に自動生成する仕組みを構築した	
PLATEAUデータの活用	・ 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	・ 国内/海外道路用アセットの充実
地理座標付与作業の効率化	・ GNSS機器を用いて、手持ちカメラやレーザースキャナで取得したデータにシミュレーションに必要な緯度経度情報の効率的な付与を検証した	・ フォトグラメトリによるメッシュ生成後に必要な「シミュレーション用途向け後処理」の効率化
MMSを用いた効率化	・ MMSで撮影したカメラ画像を用いて、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	



作業項目	2022年度時点での想定工数	2023年度成果での工数(実績)	本年度効率化後の想定工数	内容
ベース形状作成&地物配置	166Hr	80Hr	43Hr	フォトグラメトリ、PLATEAUによるメッシュをベースとして効率化
路面標示作成	62Hr	30Hr	17Hr	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	40Hr	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)	398Hr	250Hr	250Hr	—
合計	666Hr	400Hr	320Hr	2023年度比20%減 2022年度比52%減

マップ3Dモデル作成工数の前年2023年度比20%、2022年度比52%効率化を実施

(SDMG v0.14.0.0)

(SDMG v0.13.1.3)

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

交通参加者アセットの追加



レクサスNX350h



電動キックボード

Mcicityテストコース(米国ミシガン大)のマップ3Dモデル



Mcicityメインストリート付近の外観

柏の葉マップ3Dモデル



自動運転バス運用交通区域にある交差点の外観

SDMG環境モデル作成機能用プリセットアセット拡充



住宅、駐車場など建物10カテゴリ各5個の計50種を拡充

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

テーマ(3)-1で、シナリオ作成効率化としてユースケースやODDを基にしたシナリオ生成技術開発を実施

2025年度の作業計画

	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へのDIVP-SA展開 国際標準化への反映
シナリオ作成 効率化	外部シナリオデータ接続検証	実交通流シナリオのさらなる接続性強化	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
	データ変換機能、IF開発	車両走行、定置計測データ(FOTデータ)による シナリオ作成の自動化	シナリオ作成環境の向上
環境モデル 作成効率化	地図データ活用によるモデル作成効率化		地図データからマップ3Dモデルのさらなる 効率化技術の確立
	計測データ取得効率化	計測データ活用によるモデル作成効率化	実計測データからマップ3Dモデルのさらなる 効率化技術の確立
	テストコース構築、検証		複雑な環境の道路での検証
	高速/一般道路構築、検証		
	地物作成機能	線・面状の路面標示作成機能	他ツールとの連携向上
	道路構造物、地物アセット開発		

ADS/ADASの安全性評価・検証に必用なシナリオ生成やマップ3Dモデルの作成効率化を通じ、
デジタルツインの早期実現を下支え

(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。

DIVP Material 実装方針 – 対象とするデータ要件

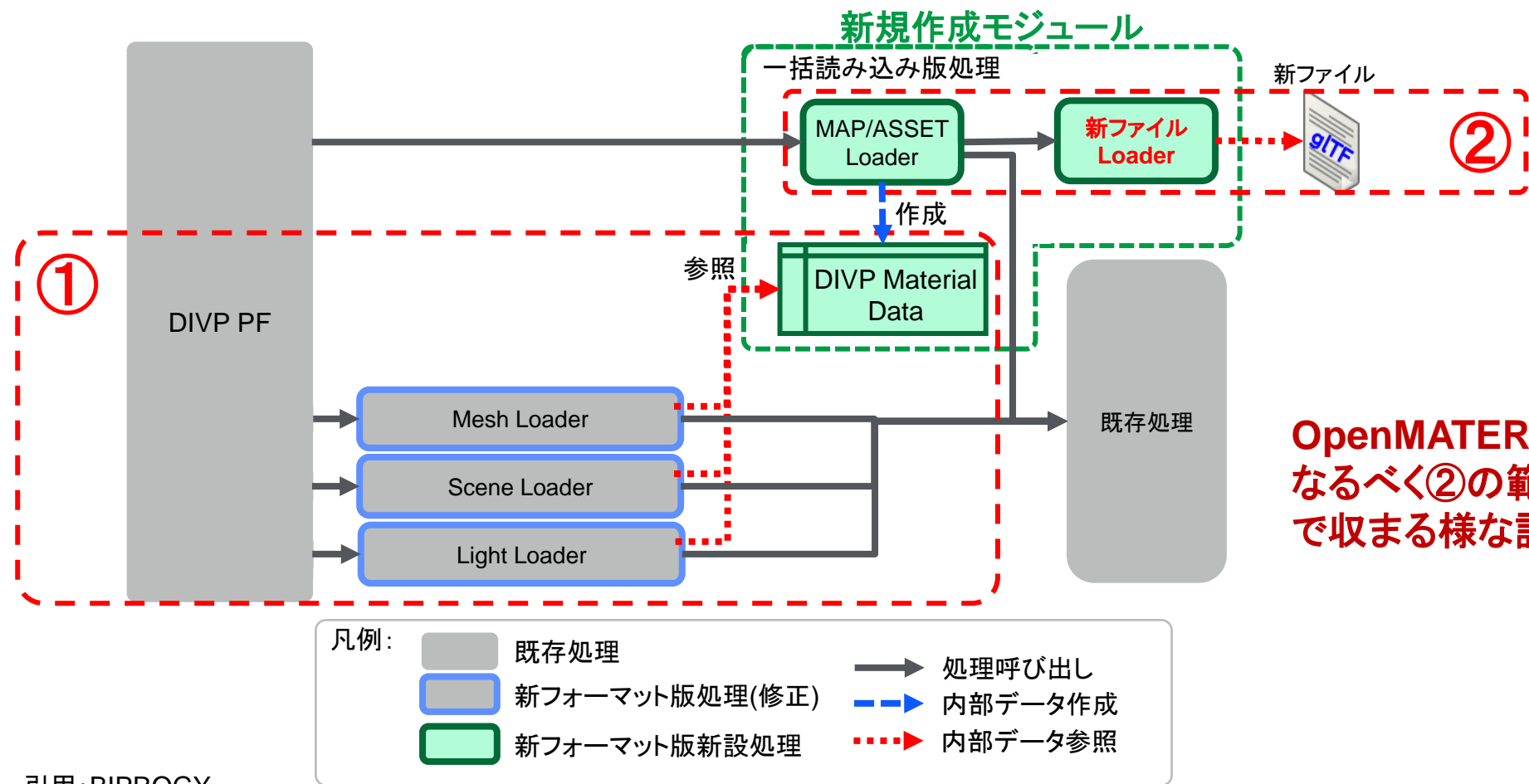
昨年度、DIVP内部での課題ヒアリング等から、以下のADS/ADAS向けMAP/ASSETデータ要件を抽出した。
この中で、優先順位を設定し、今年度必須対応と、標準化の状況をみて順次対応の2つに分けて対応。

#	データ要件	対応
1	Camera/LiDAR/Raderのセンサーシミュレーションを可能にする材料特性を保持できる事。	必須(今年度対応)
2	対象のMAP/ASSETに纏わる、仮想ADS/ADASに必要なデータを纏めて保持できる事。	標準化状況より順次対応
3	材料特性情報及び、ADS/ADASデータ等の情報追加に対応できる拡張性を保持する事。	必須(今年度対応)
4	FBX等の作成済3D形状データを利用可能な事。	必須(今年度対応)
5	測定材料特性データは、各センサー毎に保持できる事。	必須(今年度対応)
6	3D形状データファイルと測定材料特性データファイルはMAP/ASSETファイルと別ファイル構成を可能にする事。	必須(今年度対応)
7	別ファイル構成とした3D形状データファイルと、測定材料特性データファイルは著作権保護が可能な事。	標準化状況より順次対応
8	MAP/ASSETデータ内容が判る様に、データ内容説明情報をファイル内部に保持する事。	必須(今年度対応)
9	MAPデータ上の樹木や標識等、同一データの複数配置表現が可能な事。	標準化状況より順次対応
10	作成済MAP/ASSETデータに対して、新たな材料特性等を上書き設定可能にする事。	標準化状況より順次対応

引用:BIPROGY

DIVP Material 実装方針 – 実装設計内容

昨年度設計したDIVP Materialを基に一旦実装は進めるが、ASAM OpenMATERIALが平行実施される事を考慮し、標準化結果により大きく手戻りしない実装設計とした。



OpenMATERIALの結果がなるべく②の範囲内の対応で収まる様な設計とした。

引用:BIPROGY

DIVP Material 実装方針 - 実装結果確認

**Camera・LiDAR・Radarの全てにおいて、新フォーマット形式への対応完了。
対応前後の結果比較にて、結果確認済。**

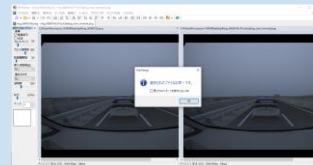
■従来の測定データ結果

■新測定データフォーマット結果

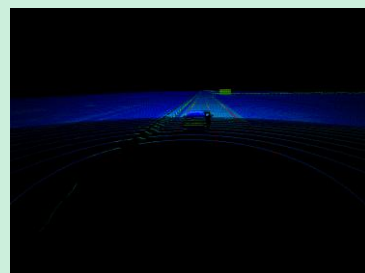
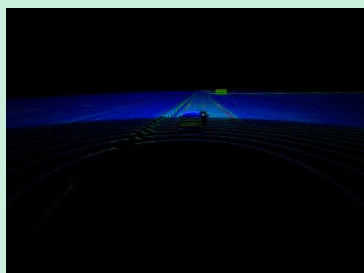
Camera



➤ ピクセル単位のRGBの比較を実施 ➡ 一致性を確認



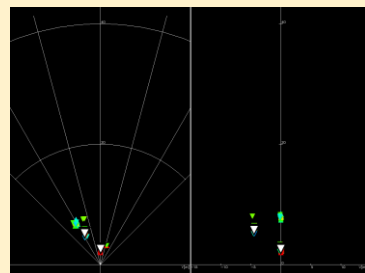
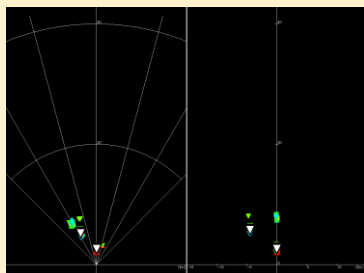
LiDAR



➤ LiDAR知覚から出力された3D点群を比較して検証を実施 ➡ 一致性を確認



Radar



➤ Radar空間描画から出力された結果を比較して検証を実施 ➡ 一致性を確認

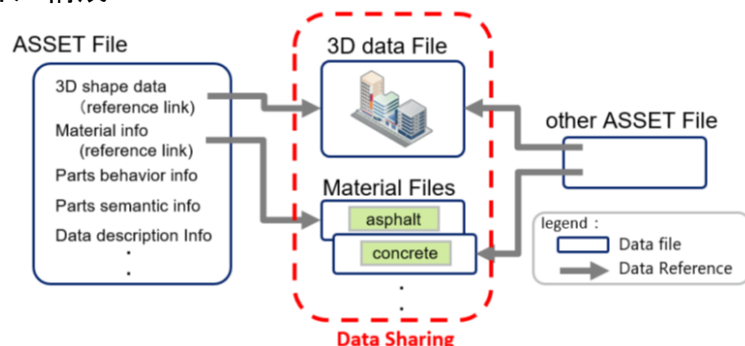


名称	型	単位	説明
zRay	float4	3x3	雷达扫描线
zRay	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_x	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_y	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_z	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_x	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_y	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_z	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_x	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_y	float4	3x3	雷达扫描线
zRay_ph_z	float4	3x3	雷达扫描线

標準化展開 – DIVPの提案概要

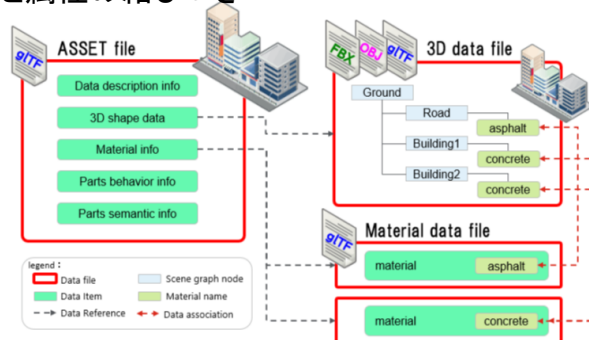
ASAM OpenMATERIAL開始段階でDIVPが提案に盛り込んだ内容は以下の通り。

●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



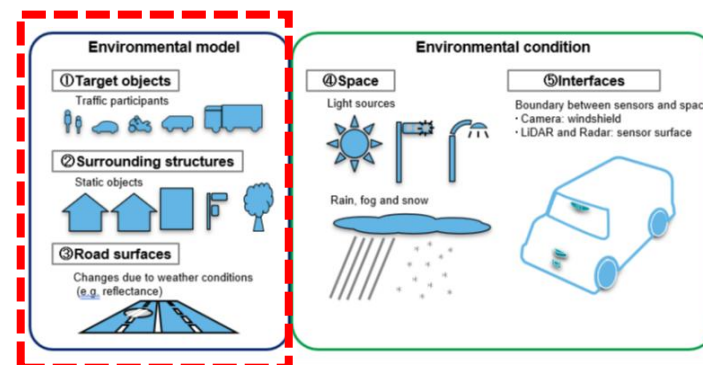
形状と属性は、マテリアル名による連携とする。

引用: OpenMATERIAL proposal

●格納対象とするデータ

1. 3D 形状データ
FBX等の既存データを利用できる事。
2. 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。
3. 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。
4. 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)



標準化展開 – ASAM OpenMATERIALでの標準化計画

先ずは、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。

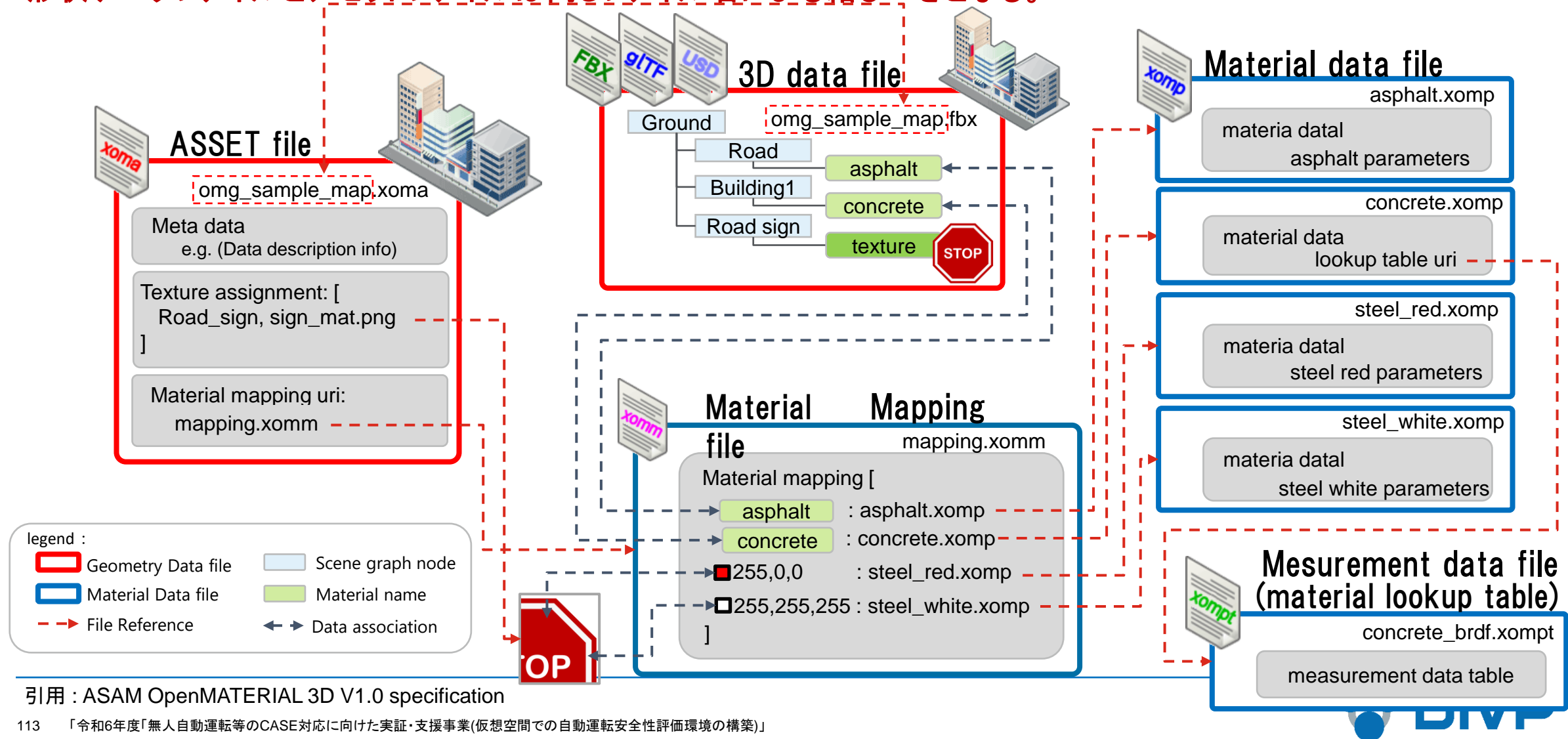
		2024												2025		
		FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	
WP Id	Work package name															
	Project Coordination															
1	Use case definition															
2	General Structure															
3	Material Properties															
4	3D Geometry															
5	Harmonization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

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D



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。

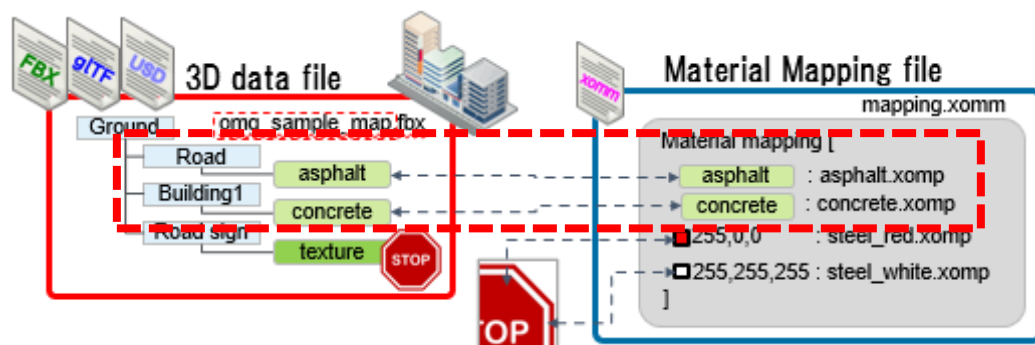


引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Material Mapping 方法

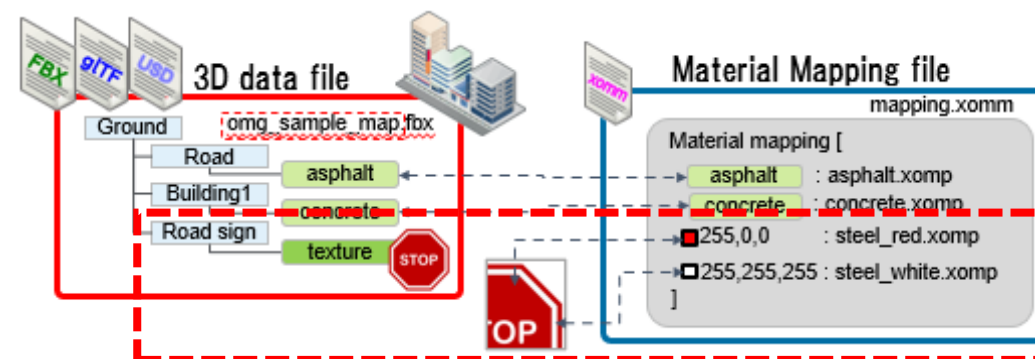
形状データとMaterialの紐づけは、Material Mappingファイルにて行う。
形状データとMaterialを紐づける方法は2通り存在する。

●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。

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Asset ファイル格納情報

OpenMATERIAL 3Dのトップファイル。以下の情報を保持する。

●メタデータ

全ファイル共通メタデータ

項目	型	必須	内容
name	string	○	データ名称
description	string	×	データ内容説明
uuid	string	○	ユニバーサルID
assetVersion	string	○	データ自体のバージョン
openMaterialVersion	string	○	対象となるOpenMATERIALバージョン
copyright	string	○	年と著作権者を含む著作権の詳細
license	string	○	配布に関するライセンス種別
author	string	○	データ作成著者
creationDate	string	○	データ作成日時

Assetファイル固有メタデータ

項目	型	必須	内容
modelingMethod	string	○	モデル生成方法 (e.g. “3D scan” “photo-base modeling” ...)
validationDescription	string	○	実モデルとの一致性検証方法説明
assetType	string	○	データタイプ “object”:個別データ “scene”:集約データ
objectClass	string	○	データクラス “vehicle”, “human”, “environment”, “other”...
animated	boolean	○	アニメーションデータを含むか否か
pbrMaterialWorkflow	string	○	PBRを使用する場合の使用法。 ”metallic”, “specular”, “none”
triangleCount	Integer	○	含まれる総3角ポリゴン数, 4角ポリゴンは2分割して計上。
meshCount	Integer	○	含まれる総メッシュ数。
textureResolutions	array	○	含まれるテクスチャの解像度リスト “1K”, “2K”, “4K”
normalMapFormat	string	○	使用するnormalMapのフォーマット “DirectX”, “OpenGL”, “none”
boundingBox	object	○	データが含まれるABB。 “x”: [min,max], “y”: [min,max], “z”: [min,max]

●Material Mapping ファイルURI

利用するMaterial MappingファイルのURI

```
“materialMappingUri” :  
  “example_mapping.xomm”,
```

●マテリアルテクスチャ割り当て情報

マテリアルテクスチャが紐づくマテリアル名と、マテリアルテクスチャ
ファイルパスの対のリスト

```
“materialTextureAssignment” : [  
  [“Material_Cube”, “checker_xom.png”]  
]
```

```
“metadata”: {  
  ....  
  “triangleCount”: 100000,  
  “meshCount”: 10,  
  “textureResolutions”: [“2K”],  
  “normalMapFormat”: “OpenGL”,  
  “boundingBox”: {  
    “x”: [-1, 1],  
    “y”: [-1, 1],  
    “z”: [0.0, 3]  
  }  
}
```

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Material Mapping ファイル格納情報

マテリアル名もしくはマテリアルテクスチャ内の色コードに割り当てるマテリアルファイル情報を保持。

●メタデータ

全ファイル共通メタデータ

項目	型	必須	内容
name	string	○	データ名称
description	string	×	データ内容説明
uuid	string	○	ユニバーサルID
assetVersion	string	○	データ自体のバージョン
openMaterialVersion	string	○	対象となるOpenMATERIALバージョン
copyright	string	○	年と著作権者を含む著作権の詳細
license	string	○	配布に関するライセンス種別
author	string	○	データ作成著者
creationDate	string	○	データ作成日時

```
"metadata": {
  "name": "asphalt_brdf_for_lidar",
  "description": "Reflectance properties of asphalt for lidar sensor.",
  "uuid": "c83d3856-db38-40a5-b64e-49b52869d780",
  "materialVersion": "1.0.0",
  "creationDate": "20240919T101728Z",
  "openMaterialVersion": "1.0.0",
  "copyright": "(C) 2023-2024, DIVP",
  "license": "MPL-2.0",
  "author": "DIVP",
}
```

●Material Mapping 情報

マテリアル名もしくはマテリアルテクスチャ内の色に割り当てるマテリアルファイルを指定。

・マテリアル名への割り当て

“マテリアル名”： “割り当てマテリアルファイルパス”

・マテリアルテクスチャ内の色への割り当て

“rgb: R;G;B”： “割り当てマテリアルファイルパス”

上記R,G,Bは0～255の整数値。

```
"materialMapping": [
  ["Material_Sphere", "example_material.xomp", "white aluminum"],
  ["rgb:255;0;0", "example_material.xomp", "white aluminum"],
  ["rgb:0;11;255", "example_material_2.xomp", "black aluminum"]
]
```


OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Material File 格納情報

材料特性に関する情報を保持。

- メタデータ
全ファイル共通メタデータ (前ページ参照、省略)
- Material 情報

```
"materialProperties": {  
  "surfaceRoughness": {  
    "surfaceHeightRms": 0.8,  
    "surfaceCorrelationLength": 1.0,  
    "source": "estimate"  
  },  
  "electromagneticPropertiesUri": "example_material_emp.xompt",  
  "opticalPropertiesUri": "example_material_optical.xompt",  
  "brdfUris": [  
    "example_material_camera_brdf.xompt",  
    "example_material_lidar_brdf.xompt"  
  ],  
  "reflectanceUris": [  
    "example_material_radar_reflectance.xompt"  
  ]  
}
```

パラメータ	内容	必須	説明
brdfUris	カメラ・LiDAR用のBRDFファイルURI	×	入射角、出射角、波長、振幅のテーブル
reflectanceUris	Radar用の反射強度テーブルファイルURI	×	入射角、出射角、方位角、偏波面角、波長、振幅、位相のテーブル
electromagneticPropertiesUri	電磁特性を保存したファイルURI	×	波長毎の複素誘電率・複素透磁率のテーブル
opticalPropertiesUri	屈折率を保存したファイルURI	×	波長毎の複素屈折率のテーブル
surfaceRoughness	表面粗さパラメータ。表面粗さRMS、表面相関長	×	
emissivityData	放射率パラメータ。温度(k)、放射率ε(T)	×	特定の温度に対するすべての波長、方向、偏光に対する全放射を考慮した半球の全放射率
retroreflectivityData	再帰性反射輝度 (cd / (lx * m^2))	×	単位は1平米あたりの光度(cd/lx)
elasticityData	弾性パラメータ。ヤング率(GPa)、ポワソン比	×	
densityData	密度パラメータ。物体密度(kg/m^3)	×	
customProperties	独自拡張情報	×	独自情報を、自由度高く格納可能

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 -カメラ・LiDAR用測定BRDFデータフォーマット

カメラ・LiDAR用測定データ(BRDF)テーブル (*.xompt)

●メタデータ

全ファイル共通メタデータ+測定データ用メタデータ

測定データファイル用メタデータ

項目	型	必須	内容
typicalSensorTechnology	string	×	主に対象となるセンサー技術

●測定データテーブル

共通パラメータ	説明／備考		
波長範囲(m)	波長1,波長2,波長3....波長N（格納する全ての波長を列挙）		
テーブル内パラメータ	Camera	LiDAR	備考
波長(m)	○	○	
入射角度(rad)	○	○	
出射角度(rad)	○	○	
方位角度(rad)	△(常に0)	△(常に0)	DIVPは使用せず(常に0)
振幅(1/sr)	○	○	入射した放射照度に対する出射する放射輝度の比率

```
"brdf": {
  "wavelengths": [
    3.9e-07,
    4.0e-07,
    4.1e-07,
    ...
  ],
  "lookupTable": [
    [3.9e-07, -0.017453, 0.000000, 0.000000, 1.4e-05],
    [3.9e-07, -0.034907, 0.000000, 0.000000, 1.4e-05],
    ...
  ]
}
```

Camera

```
"brdf": {
  "wavelengths": [
    9.05e-07
  ],
  "lookupTable": [
    [9.05e-07, -1.570796, -1.570796, 0.000000, 3.31644e-05],
    [9.05e-07, -1.570796, -1.553343, 0.000000, 3.31644e-05],
    [9.05e-07, -1.570796, -1.535890, 0.000000, 3.31644e-05],
    [9.05e-07, -1.570796, -1.518436, 0.000000, 3.31644e-05],
    [9.05e-07, -1.570796, -1.500983, 0.000000, 3.31644e-05],
    ...
  ]
}
```

LiDAR

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - Radar用測定反射データフォーマット

Radar用測定データテーブル (*.xompt)

●メタデータ

全ファイル共通メタデータ+測定データ用メタデータ

測定データファイル用メタデータ

項目	型	必須	内容
typicalSensorTechnology	string	×	主に対象となるセンサー技術

●測定データテーブル

共通パラメータ		説明／備考
波長範囲(m)		波長1,波長2,波長3....波長N （格納する全ての波長を列挙）
テーブル内パラメータ	Radar	備考
波長(m)	○	
入射角度(rad)	○	
出射角度(rad)	○	
方位角度(rad)	△(常に0)	DIVPIは使用せず(常に0)
偏波面角度(rad)	0.0 か1.570796	入射ベクトルを含む平面と偏波面(θ or Φ)の角度
振幅(linear)	○	
位相(rad)	○	位相データが無い場合は null

```
"reflectance": {
  "wavelengths": [ 0.00365601, 0.00399723 ],
  "lookupTable": [
    [0.00365601, -1.553343, -1.553343, 0.000000, 0.000000, 6.78751e-10, -0.330338 ],
    [0.00365601, -1.553343, -1.553343, 0.000000, 1.570796, 6.78751e-10, -2.72048 ],
    [0.00365601, -1.553343, -1.570796, 0.000000, 0.000000, 6.78785e-11, -1.94677 ],
```

引用: ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification



OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 電磁気特性測定データフォーマット

電磁気特性測定データテーブル (*.xompt)

- メタデータ
 - 全ファイル共通メタデータ

- 測定データテーブル

共通パラメータ	説明／備考
	共通情報無し
テーブル内パラメータ	備考
波長(m)	
物質の温度(K)	測定時の対象物温度
物質の湿度(%)	測定時の周辺湿度
複素透磁率の実部	
複素透磁率の虚部	
複素誘電率の実部	
複素誘電率の虚部	

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

```
Electro Magnetic Properties
"electromagneticProperties": [
  [500e-9, 293.0, 50.0, 0.000001256665, 0.0, -56.0, 24.0],
  [500e-9, 300.0, 50.0, 0.000001256665, 0.0, -57.0, 25.0],
  [905e-9, 293.0, 50.0, 0.000001256665, 0.0, -182.7, 51.4],
  [905e-9, 300.0, 50.0, 0.000001256665, 0.0, -185.7, 53.0]
]
```



OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 光学屈折率測定データフォーマット

屈折率測定データテーブル (*.xompt)

- メタデータ
 - 全ファイル共通メタデータ

- 測定データテーブル

共通パラメータ	説明／備考	
	共通情報無し	
テーブル内パラメータ	備考	
波長(m)		
物質の温度(K)	測定時の対象物温度	
物質の湿度(%)	測定時の周辺湿度	
屈折率の実部		
屈折率の虚部		

"opticalProperties":
[1.8368e-07, 297, 2.0700, 0.102],
[1.8505e-07, 297, 2.0850, 0.1044],
[1.8644e-07, 297, 2.1033, 0.1062],
[1.8786e-07, 297, 2.1242, 0.1076],
[1.8929e-07, 297, 2.1467, 0.1088],
[1.9075e-07, 297, 2.1700, 0.11],
[1.9223e-07, 297, 2.1933, 0.1113],

Optic Refraction

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification



OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 3D Geometry 共通情報

●単位系

種類	単位
加速度	m/s ²
角度	rad
距離	m
重量	kg
時間	秒
速度	m/s

●座標系

ISO8855準拠の右手直交座標系
車両の例では

X軸: 前後方向(前が+)

Y軸: 左右方向(左が+)

Z軸: 上下方向(上が+)

回転は反時計回りが正回転

OpenDRIVEマップと併用する場合、OpenMATERIAL 3DとOpenDRIVEのワールド座標系の原点は一致させる。

●3D形状データ

glTF、FBX、USDが利用可能。

omg_で始まるファイル命名規則とする。

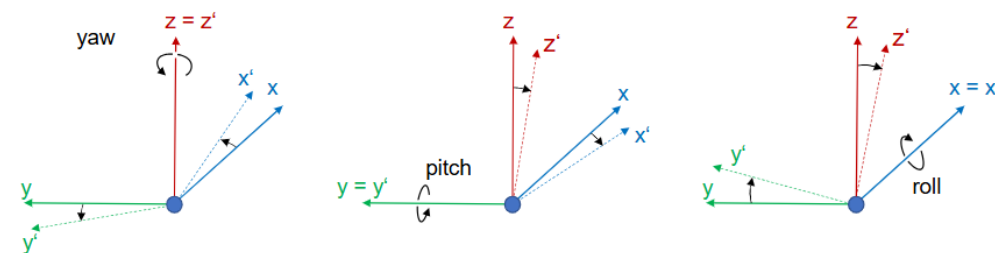


Figure 2. Yaw, pitch, and roll angle in an ISO 8855:2011 compliant coordinate system

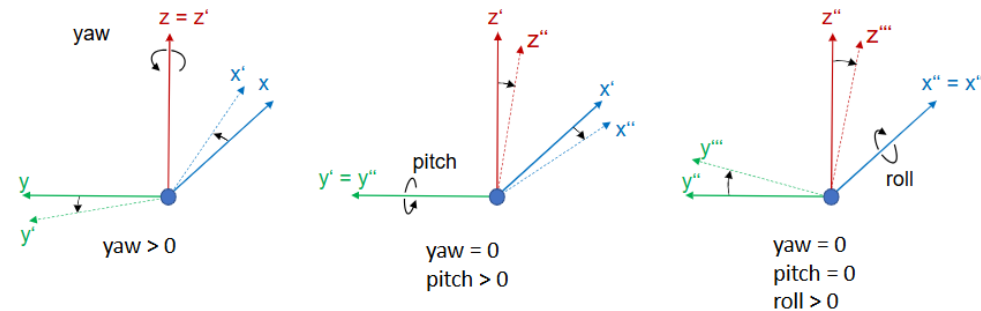
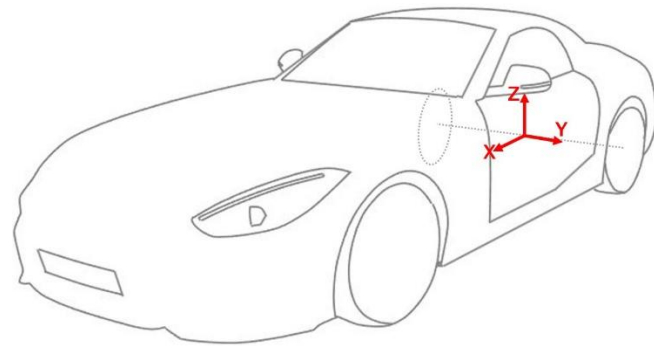


Figure 3. Coordinate system with defined rotations

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 3D Geometry モデル構造

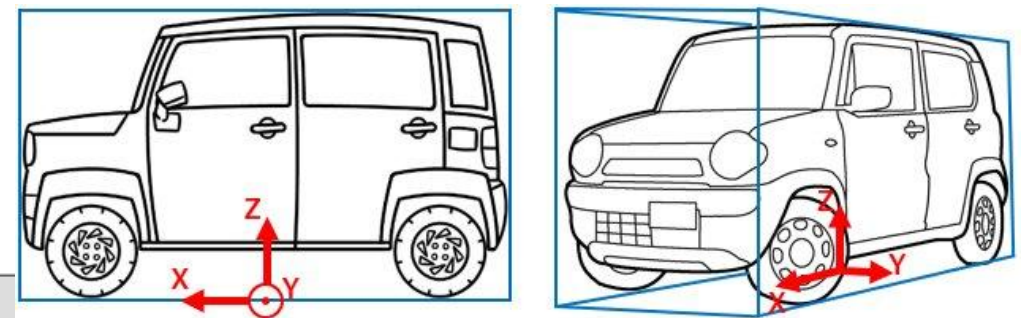
車両構造

車両全体を包含するBoundingBoxの中心を地上に投影した位置(Z座標が0)を車両座標系の原点とする。尚、DIVPで使用する後軸中心位置は「Grp_Rear_Axle_Center」としてノード保持している為、座標変換利用が可能。車両を構成する各部位は、個々にLocal座標系を持ち、部位位置・方向を特定する座標変換MTXを介して、上位構造から繋がる。



Grp_Rear_Axle_Center

車両座標系



Grp_Root

- Grp_Exterior
 - Grp_Exterior_Dynamic
 - Grp_Convertible_Top (T)
 - Grp_Door_Bottom <door bottom idx> (T)
 - Grp_Door_Front <door front idx> (T)
 - Grp_Door_Left <door left idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_Mounting <blindspot mirror mounting idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_Joint <blindspot mirror joint idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_View <blindspot mirror view idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Mounting_Left <side mirror mounting left idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Joint_Left <side mirror joint left idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_View_Left <side mirror view left idx> (T)
 - Grp_Door_Rear <door rear idx> (T)
 - Grp_Door_Right <door right idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_Mounting <blindspot mirror mounting idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_Joint <blindspot mirror joint idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_View <blindspot mirror view idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Mounting_Right <side mirror mounting right idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Joint_Right <side mirror joint right idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_View_Right <side mirror view right idx> (T)
 - Grp_Door_Top <door top idx> (T)
 - Grp_Hitch_Front (T)
 - Grp_Hitch_Front_Contact_Point (T)
 - Grp_Hitch_Rear (T)
 - Grp_Hitch_Rear_Contact_Point (T)
 - Grp_License_Plate <license plate idx> (T)
 - Grp_Light_Brake_Center <brake center idx> (T)
 - Grp_Light_Brake_Left <brake left idx> (T)
 - Grp_Light_Brake_Right <brake right idx> (T)
 - Grp_Light_Corner_Left <corner left idx> (T)
 - Grp_Light_Corner_Right <corner right idx> (T)
 - Grp_Light_Day_Left <day left idx> (T)
 - Grp_Light_Day_Right <day right idx> (T)
 - Grp_Light_Fog_Left <fog left idx> (T)
 - Grp_Light_Fog_Right <fog right idx> (T)
 - Grp_Light_High_Beam_Left <high beam left idx> (T)
 - Grp_Light_High_Beam_Right <high beam right idx> (T)
- Grp_Light_Indicator_Left <indicator left idx> (T)
- Grp_Light_Indicator_Right <indicator right idx> (T)
- Grp_Light_License_Plate <license plate light idx> (T)
- Grp_Light_Low_Beam_Left <low beam left idx> (T)
- Grp_Light_Low_Beam_Right <low beam right idx> (T)
- Grp_Light_Park_Left <park left idx> (T)
- Grp_Light_Park_Right <park right idx> (T)
- Grp_Light_Position_Left <position left idx> (T)
- Grp_Light_Position_Right <position right idx> (T)
- Grp_Light_Reverse_Left <reverse left idx> (T)
- Grp_Light_Reverse_Right <reverse right idx> (T)
- Grp_Light_Tail_Left <tail left idx> (T)
- Grp_Light_Tail_Right <tail right idx> (T)
- Grp_Light_Warning <warning idx> (T)
- Grp_Mirror_Blindspot_Mounting <blindspot mirror mounting idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_Joint <blindspot mirror joint idx> (T)
 - Grp_Mirror_Blindspot_View <blindspot mirror view idx> (T)
- Grp_Mirror_Side_Mounting_Left <side mirror mounting left idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Joint_Left <side mirror joint left idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_View_Left <side mirror view left idx> (T)
- Grp_Mirror_Side_Mounting_Right <side mirror mounting right idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_Joint_Right <side mirror joint right idx> (T)
 - Grp_Mirror_Side_View_Right <side mirror view right idx> (T)
- Grp_Rear_Axle_Center (T)
- Grp_Wheel <axle idx> <wheel idx> (T)
- Grp_Wheel_Steering <axle idx> <wheel idx> (T)
- Grp_Wheel_Steering_Rotating <axle idx> <wheel idx> (T)

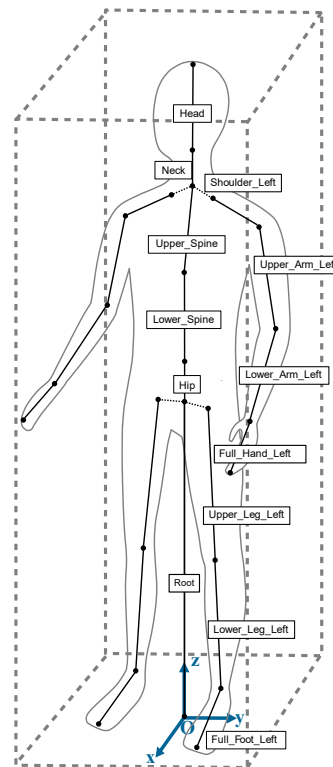
- Grp_Exterior_Static
- Grp_Interior
- Grp_Interior_Dynamic
 - Grp_Eyepoint <eyepoint idx> (T)
 - Grp_Mirror_Rearview_Mounting <rearview mirror mounting idx> (T)
 - Grp_Mirror_Rearview_Joint <rearview mirror joint idx> (T)
 - Grp_Mirror_Rearview_View <rearview mirror view idx> (T)
 - Grp_Seat <seat row> <seat idx> (T)
 - Grp_Steering_Wheel (T)
- Grp_Interior_Static
- Optional Grp_Vehicle_Part (T)

引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

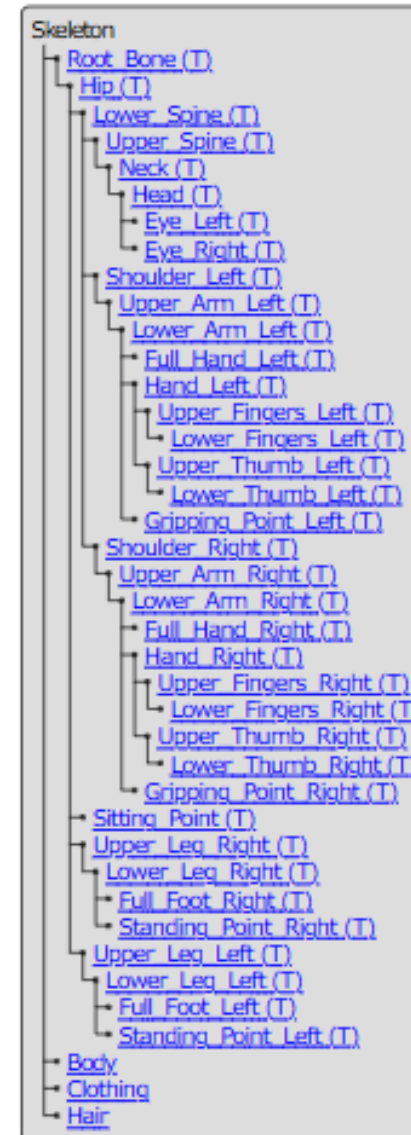
OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 3D Geometry モデル構造

歩行者構造

人間の腰位置を地面上に投影した位置 (Z座標が 0) を原点とする。



引用: ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

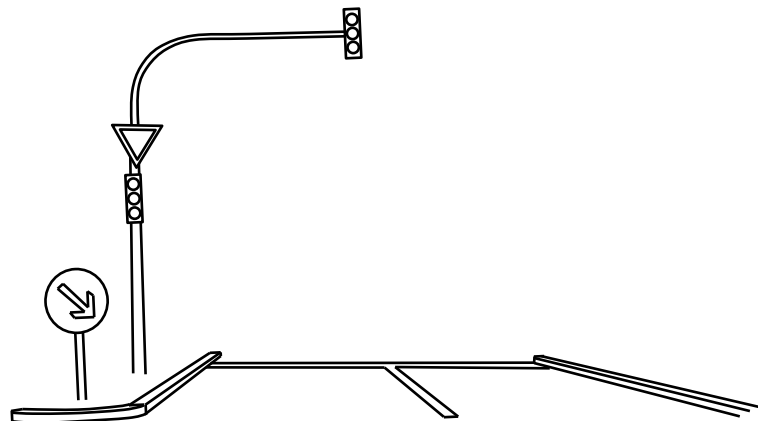


OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 - 3D Geometry モデル構造

環境構造

「Grp_Terrain」は地面や景観、「Grp_Environment_Objects」は周辺建物や植生、「Grp_Network」は走行可能領域、車線、標識等を含める。

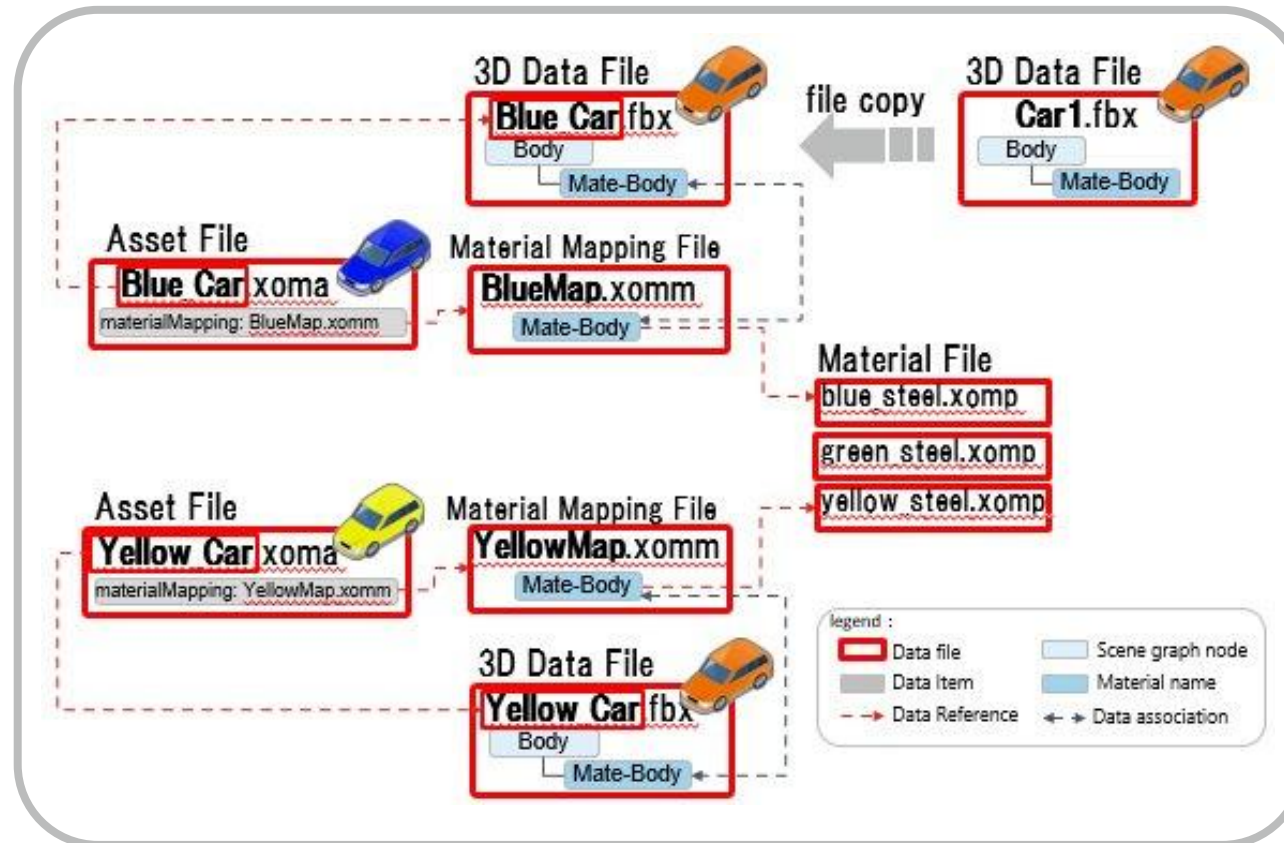
OpenDRIVEマップと併用する場合、環境物のトップであるEnvironment_RootとOpenDRIVEのワールド座標系の原点は一致させる。



引用 : ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0 specification

V1.0のDIVPへの適用 - 基本方針

V1.0では、現状同様に3Dファイル毎にアセットファイルとマテリアルマッピングファイルを割り当てる。
一部のDIVP特有情報は、customPropertiesへ格納。



引用 : BIPROGY

V1.0仕様での適用案

V1.0のDIVPへの適用 - DIVP保持パラメータの格納方針

現在DIVPで使用しているパラメータのOpenMATERIAL 3D V1.0格納方針は以下の通り
カメラ用パラメータ

パラメータ	対応内容
brdf	customProperties内に格納
refraction	customProperties内に格納
thickness	customProperties内に格納
fresnel_n	customProperties内に格納
fresnel_k	customProperties内に格納
file	brdfUriとopticalPropertiesUriに格納
color	customProperties内に格納

LiADR用パラメータ

パラメータ	対応内容
brdf	customProperties内に格納
file	brdfUriに格納
color	customProperties内に格納

Radar用パラメータ

パラメータ	対応内容
refl	customProperties内に格納
brdf	使用せず
rsmethod	使用せず
type	使用せず
file	reflectanceUriに格納
er	customProperties内に格納
mr	customProperties内に格納
specular	使用せず
retro	使用せず

引用 : BIPROGY

OpenMATERIAL 3D V1.0 仕様 – DIVPとしてのデータ要件対応実現状況整理

#	データ要件	V1.0での対応状況
1	Camera/LiDAR/Raderのセンサーシミュレーションを可能にする材料特性を保持できる事。	対応完了
2	対象のMAP/ASSETに纏わる、仮想ADS/ADASに必要なデータを纏めて保持できる事。	V2.0にて議題化予定
3	材料特性情報及び、ADS/ADASデータ等の情報追加に対応できる拡張性を保持する事。	対応完了
4	FBX等の作成済3D形状データを利用可能な事。	対応完了
5	測定材料特性データは、各センサー毎に保持できる事。	対応完了
6	3D形状データファイルと測定材料特性データファイルはMAP/ASSETファイルと別ファイル構成を可能にする事。	対応完了
7	別ファイル構成とした3D形状データファイルと、測定材料特性データファイルは著作権保護が可能な事。	V2.0にて議題化予定
8	MAP/ASSETデータ内容が判る様に、データ内容説明情報をファイル内部に保持する事。	対応完了
9	MAPデータ上の樹木や標識等、同一データの複数配置表現が可能な事。	V2.0で議題登録済
10	作成済MAP/ASSETデータに対して、新たな材料特性等を上書き設定可能にする事。	V2.0で議題登録済

引用：BIPROGY

OpenMATERIAL 3D 次バージョン以降の検討項目

V2.0への持ち越し(既にV2.0マイルストーンに登録済)

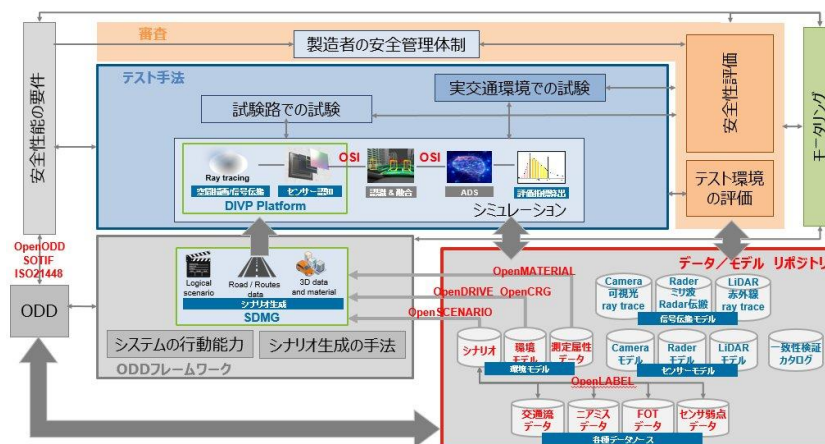
項目	備考
インスタンス対応	アセットファイルから形状ファイルへの明示的な参照も含む
板厚パラメータの保持	マテリアルファイル内に保持するか？
周波数毎の弾性パラメータ	ヤング率やポアソン比等は周波数に依存する。超音波センサー向けに再検討。
LOD対応	人間モデル等に適用検討
光源情報	発光体や光源の情報(輝度、照度等)
鉄道およびレールの扱い	OpenDRIVEでも十分に定義されていないが、対象とするかも含めて再検討
詳細Geometry構造規定	付与INDEXルール等？

V2.0への追加検討

項目	備考
境界情報	ガラス等への雨滴貼りつき等
秘匿化対応	パスワード等によるマテリアル情報の秘匿化対応
処理効率向上対応	マテリアルファイル等の読込時間向上対応

2025年度の作業計画

- ① リスクシナリオデータセットのための、データ／モデル リポジトリの研究
リスクシナリオデータセットの元となる各種データを格納するリポジトリの構造及び機能(データ解析／情報抽出)を研究する。



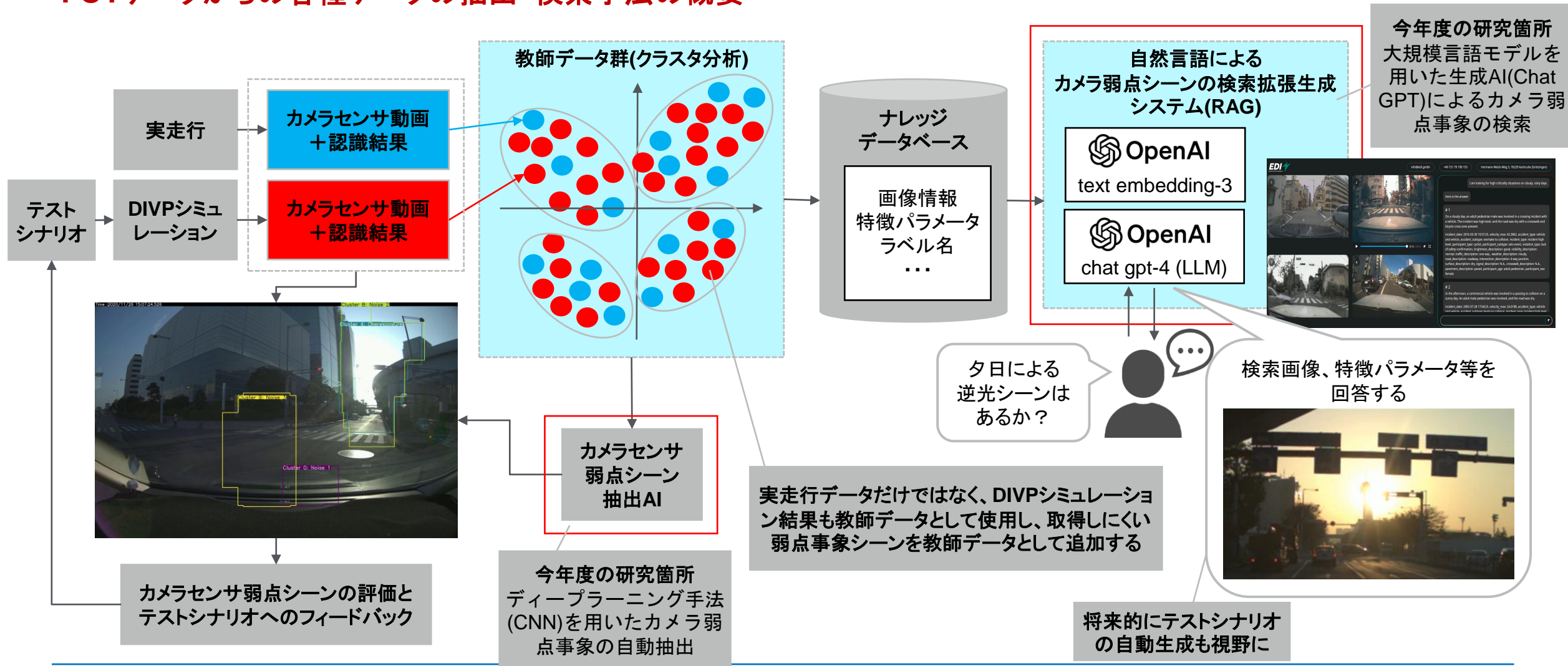
引用：BIPROGY

- ② 国際標準化展開
FY24に作成したOpenMATERIAL 3D V1.0対応のDIVP-PFを国内外市場に展開し、ASAM OpenMATERIAL 3D V1.0の市場課題を把握。課題解決に向けて、ASAM OpenMATERIAL 3D V2.0プロジェクトを立ち上げ、活動を再開する。
- ③ DIVPプロダクトへのOpenMATERIAL 3D V2.0対応実施
ASAM OpenMATERIAL 3D V2.0での活動結果(途中状況含め)を迅速にDIVPプロダクトへ反映し、社会実装を進める。

【テーマ(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

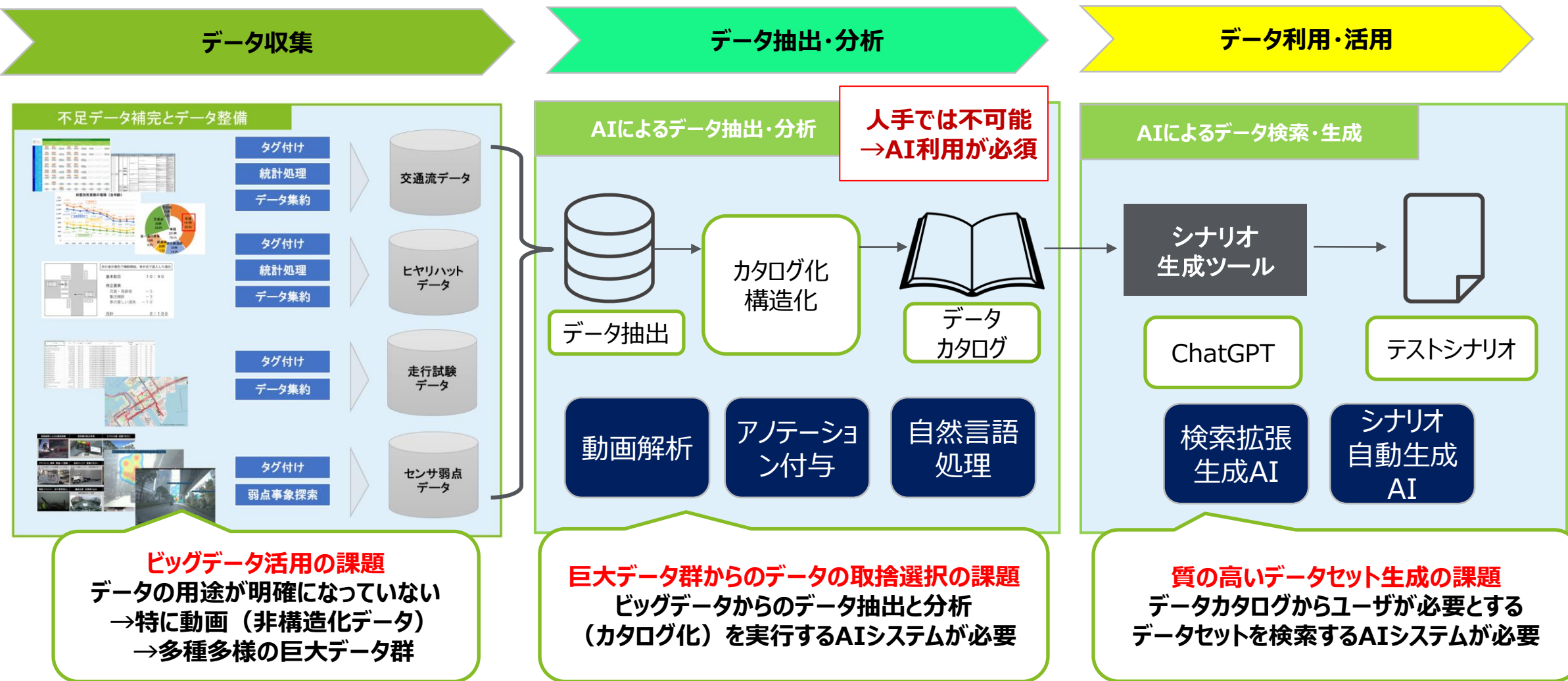
FOTデータからの各種データの抽出・検索手法の概要



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

収集したFOTデータは3V(Volume(データ量), Variety(多種多様), Velocity(高頻度更新))の条件を満たすビッグデータそのものであり、ビッグデータの利用にはAI利用が必須である

FOTデータのデータ利用・活用フロー

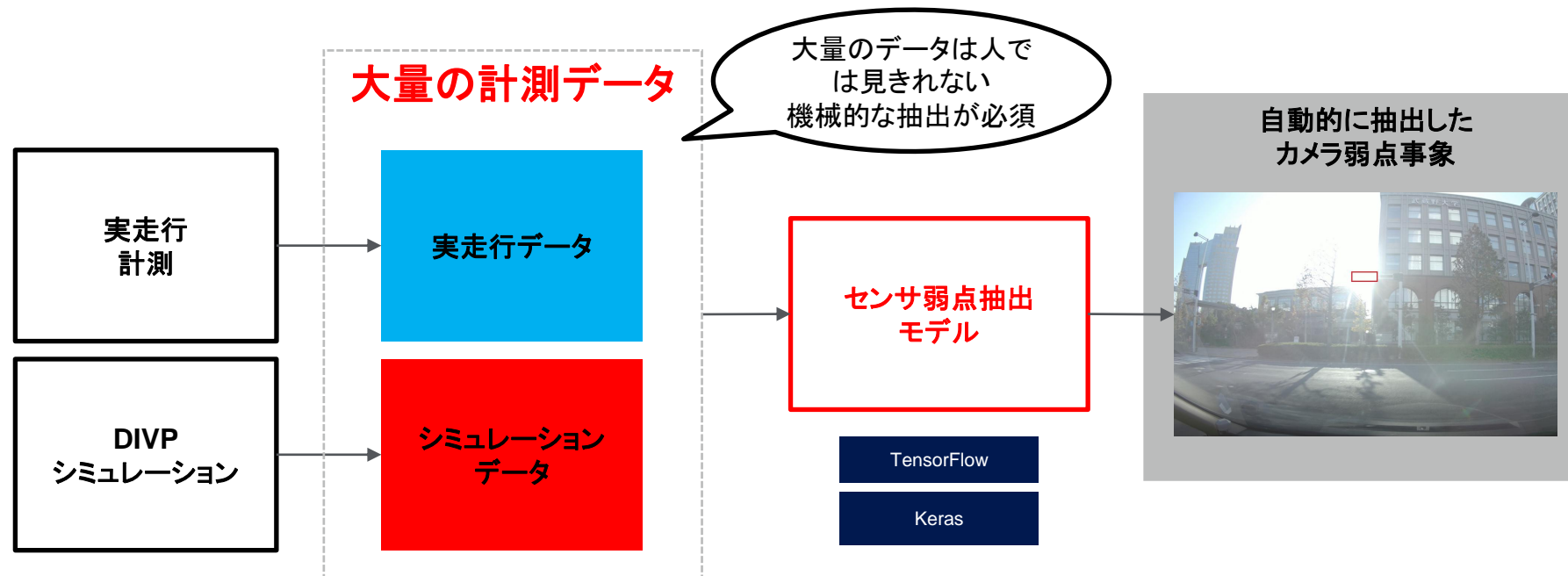


【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

大量の実走行データに含まれるカメラ弱点事象を自動抽出するセンサ弱点抽出モデル(畳み込みニューラルネットワークモデル;CNN)を構築する

カメラ弱点抽出モデルの目的

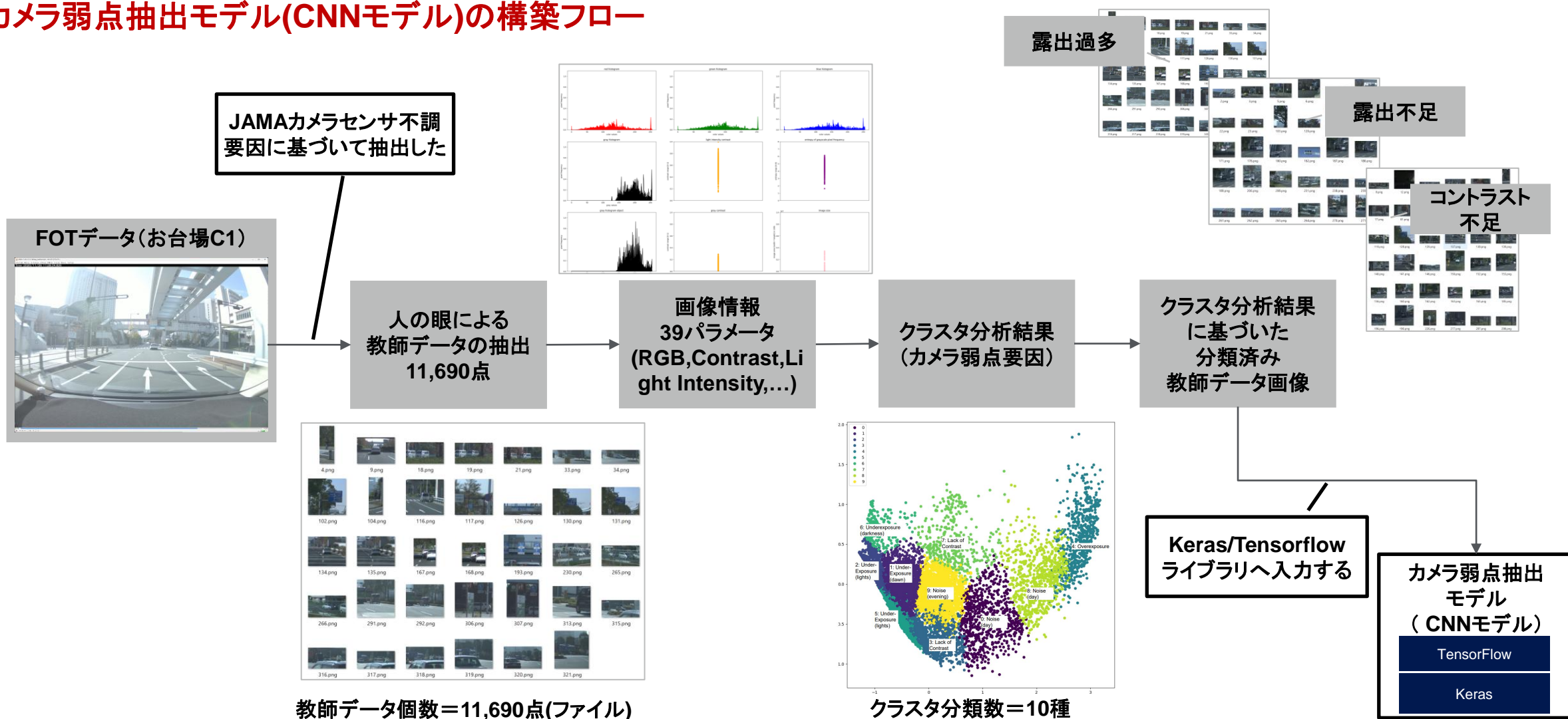
大量に存在する実走行データ・DIVPシミュレーションデータからカメラ弱点事象を人手で抽出することは現実的には難しい。したがって、機械学習モデルによる自動抽出が必要である。



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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



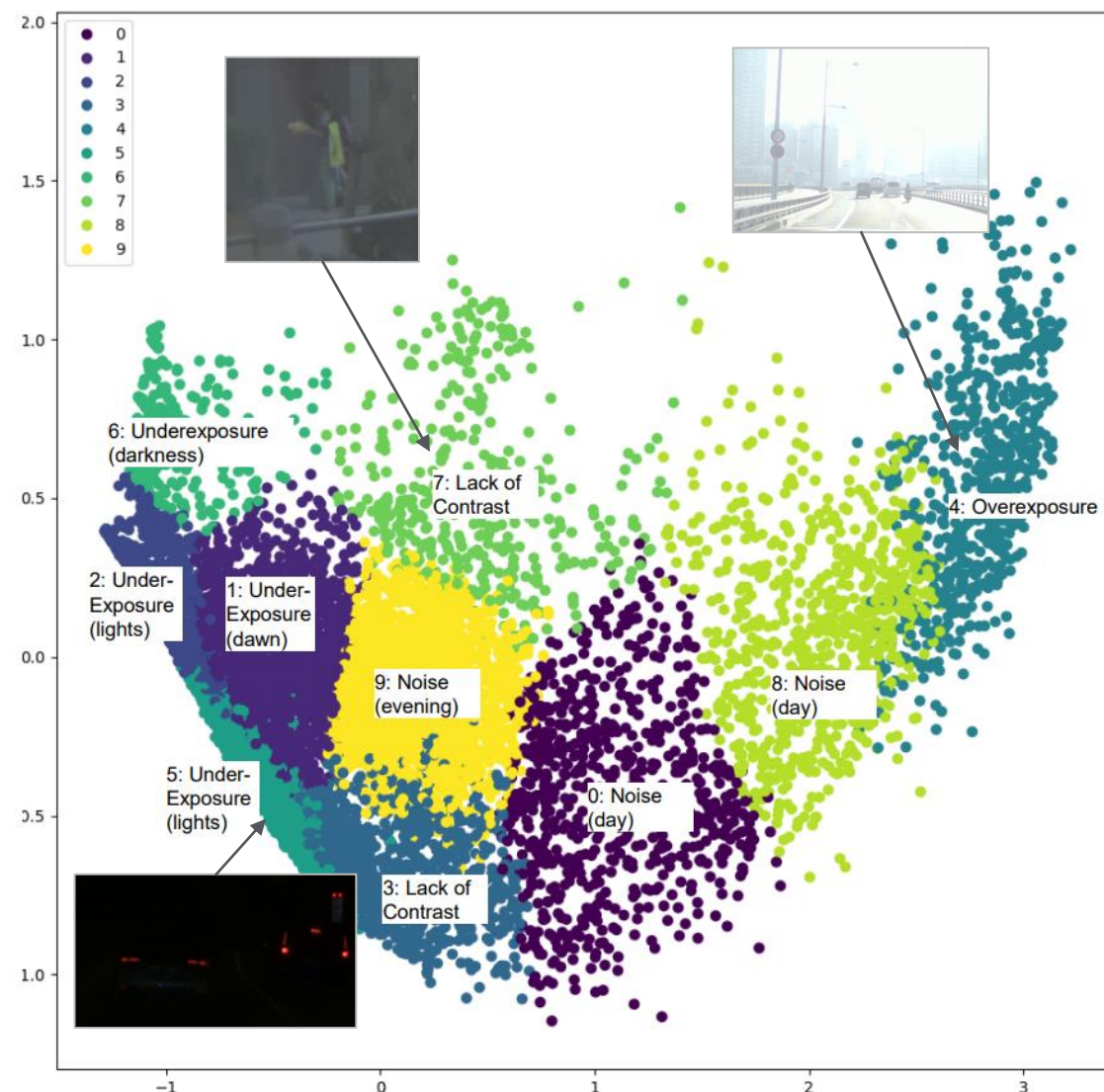
【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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1

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る部分を
「Over-Exposure」(露光過多)として抽出
できている



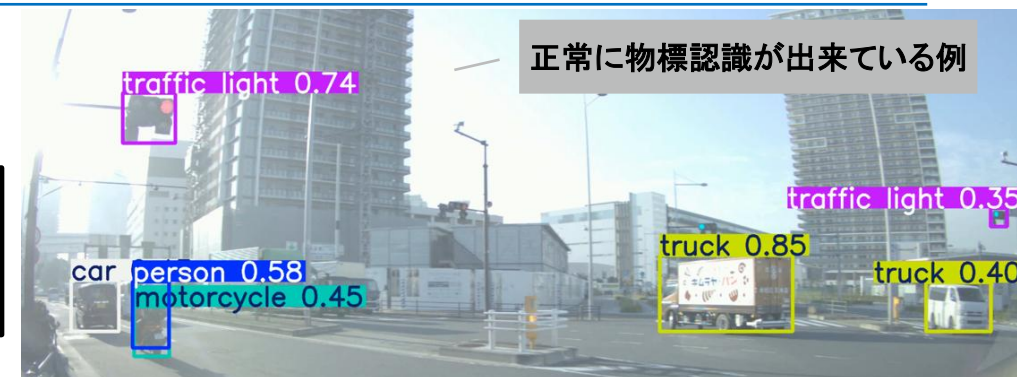
【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

実走行データだけではなく、DIVPシミュレーション結果も強化学習データとして使用し、取得しにくい弱点事象を教師データとして追加する

自動抽出アルゴリズム強化学習用素材の一覧

動画の種類	データソース名	動画イメージ	車速範囲	動画数(総時間)
DIVPシミュレーション	歩行者・自転車 事故再現シナリオ		市街地	12ファイル (180秒)
DIVPシミュレーション	首都高速都心環状線C1 (お台場周辺) 逆光・雨・夜シナリオ		高速道路	16ファイル (320秒)
実走行 (FOT)	首都高速都心環状線C1 (お台場周辺)実走行		高速道路	1182ファイル (約20時間)
実走行 (FOT)	新東名高速道路 (厚木～豊田)実走行		高速道路	788ファイル (約13時間)

【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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



信号機の認識不調



標識の認識不調



標識の認識不調

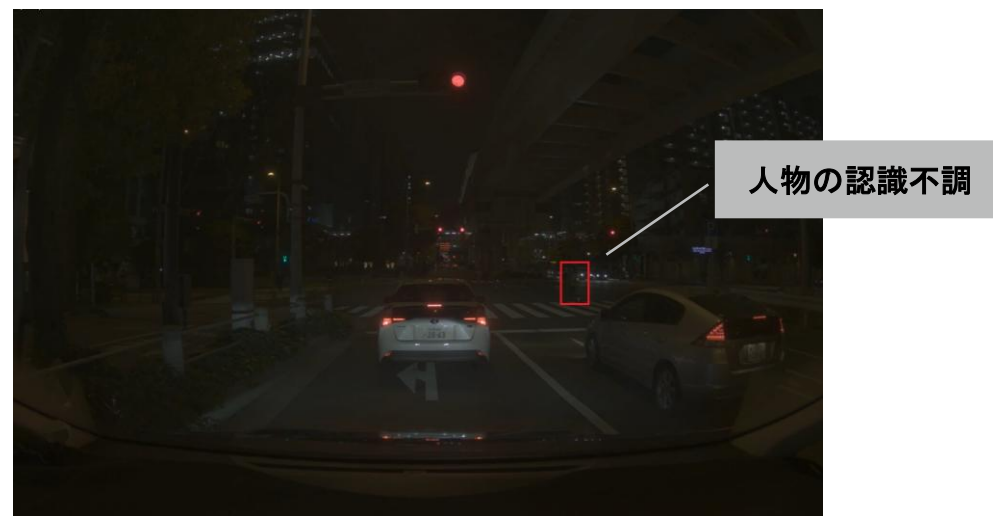


【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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

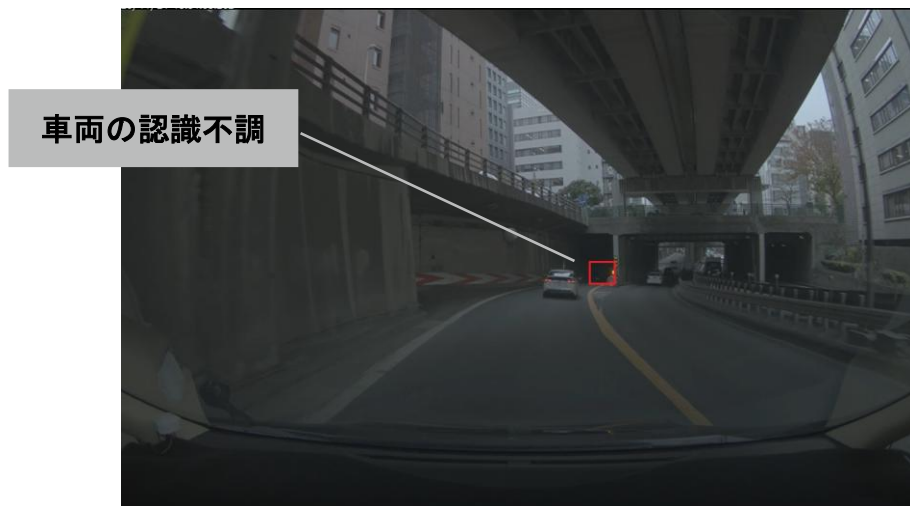


【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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3

コントラスト不足(背景光ノイズ; バックスキャタリング)が原因による認識不調ケース



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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4

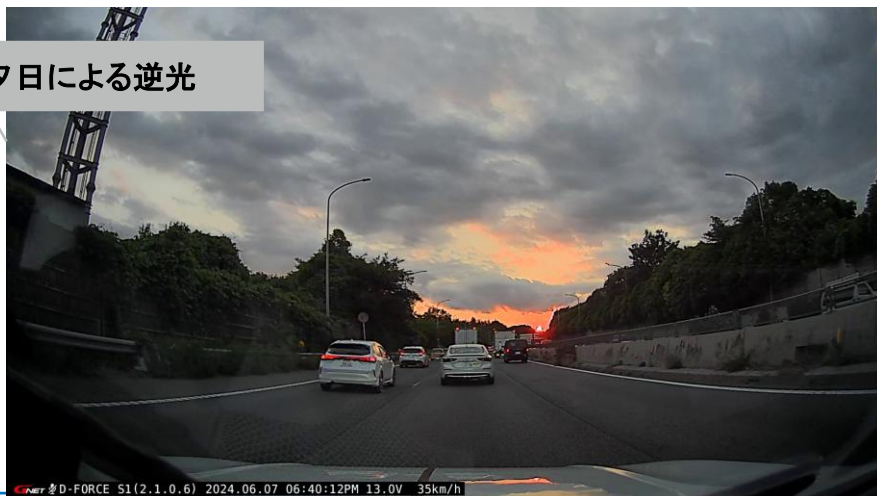
逆光



霧



夕日による逆光



雨天



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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5

夜間



トンネル



曇天



トンネル(夜間)



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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

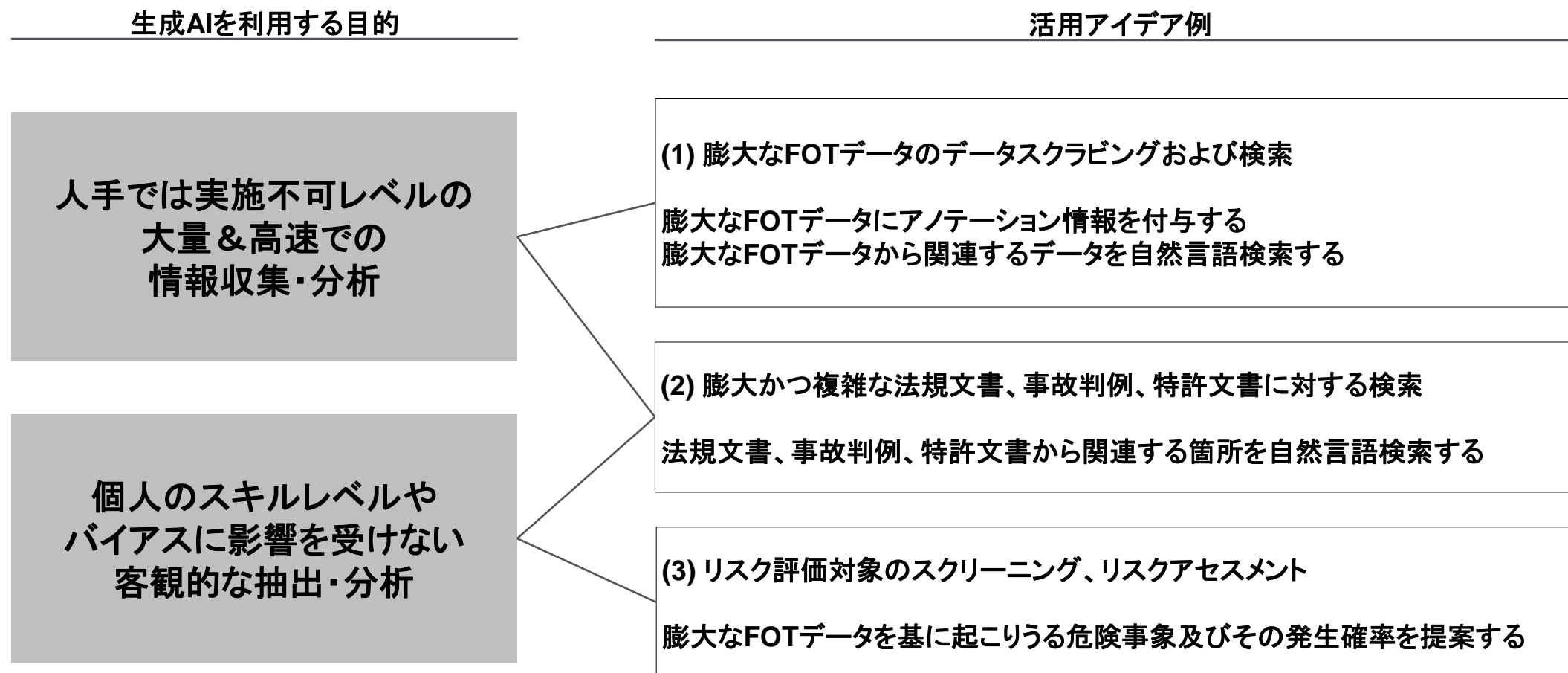
検索拡張生成(RAG)システムの概要



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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



【テーマ(3)-3 計測データからのカメラ弱点事象の抽出と拡充】

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

The screenshot displays the EDI (Engineering Data Intelligence) system interface. At the top, there is a header with the EDI logo, contact information (info@edi.gmbh, +49 721 79 199 155), and the address (Hermann-Weick-Weg 3, 76229 Karlsruhe (Grötzingen)). Below the header, there are four video thumbnails labeled 1, 2, 3, and 4, showing various street scenes. A video player is visible in the center, showing a video of a car driving on a street. To the right of the video player, there is a search input field containing the text "I am looking for high criticality situations on cloudy, rainy days." Below the search input, there is a button labeled "Here is the answer". The search results are displayed in a list format, with two entries labeled #1 and #2. Entry #1 describes a crossing incident involving a pedestrian and a vehicle on a cloudy day. Entry #2 describes a passing to collision involving a commercial vehicle and a pedestrian on a sunny day. The search results are highlighted with a red box. On the right side of the interface, there are two callout boxes: one labeled "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" (Natural language inquiry about high-risk situations on rainy and cloudy days) and another labeled "Chat GPTの回答" (Chat GPT's answer).

EDI Engineering Data Intelligence

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

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

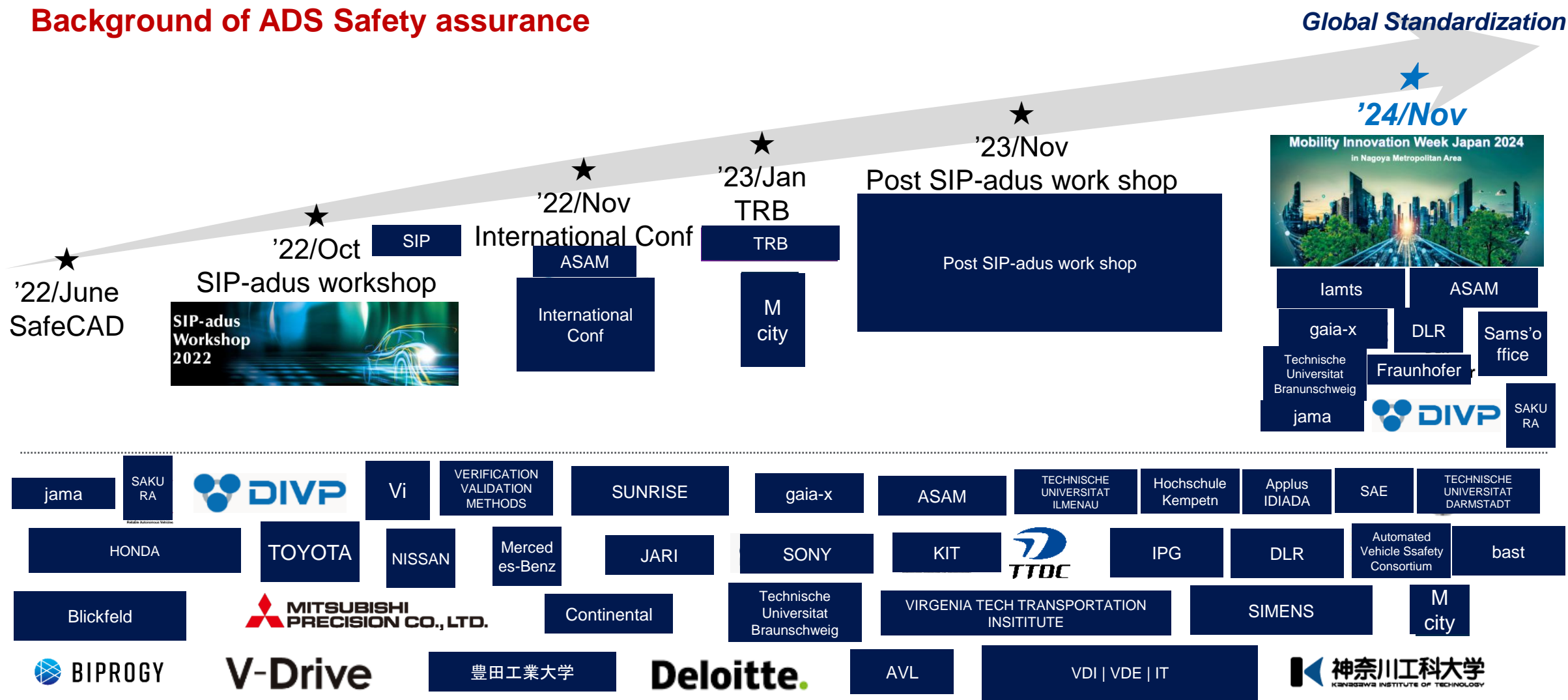
(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(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

Safety assurance have continue the international collaboration from 2022

Background of ADS Safety assurance



Experts from Japan, Germany and US are to present keynote speeches in the breakout WS.

Speakers



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.



Dr. Hiroki Nakamura

Recent updates on SAKURA project

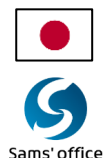


Dr. Nakamura is currently a senior researcher at the Japan Automobile Research Institute (JARI), and leading project called SAKURA, which is safety assurance initiative of Japan.



Mr. Seigo Kuzumaki

The Japanese government's efforts towards realizing ADS society



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. 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.



Dr. Henning Mosebach

Virtual safety assurance with and beyond VVM – continuous collaboration strategy



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



Mr. Marcus Nolte

Applying VVM – Towards Safety by Design & Behavior-Based Testing



Marcus Nolte is a post-doctoral researcher at the Institute of Control Engineering, TU Braunschweig. His research concerns systems and safety engineering for automated vehicles with a focus on traceable and explainable vehicle behavior.



Mr. Jan Reich

Research beyond VVM – residual gaps in safety assurance methodologies and applying the safety case with digital twinning



Jan Reich is 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. Frank Köster

Distributed data- and service ecosystems for V&V and AI based perception for virtual safety assurance

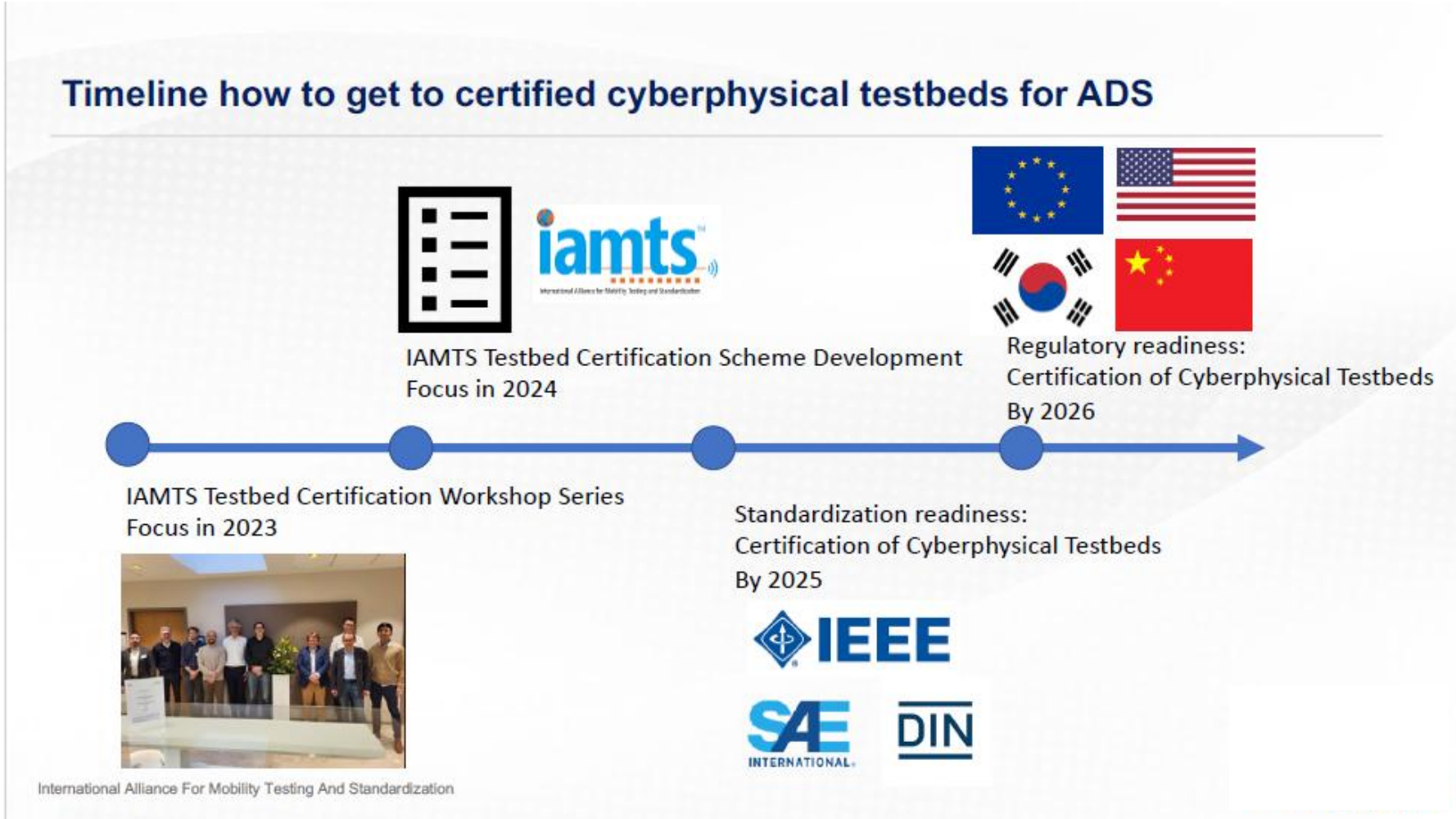


Prof. Dr. Frank Köster is head of the DLR Institute for AI Safety and Security at DLR. He heads many initiatives and projects in the area of AI, safety assurance and virtual development and is the German ambassador of the GAIA-X Mobility domain.

先日行われた国際連携の場では、独米中が推進する国際連携Prjの紹介を受けており、各国主要機関による共同研究の成果に基づき、2026の国際基準化を目指すロードマップが示された

国際連携Prjに基づく国際基準化ロードマップ

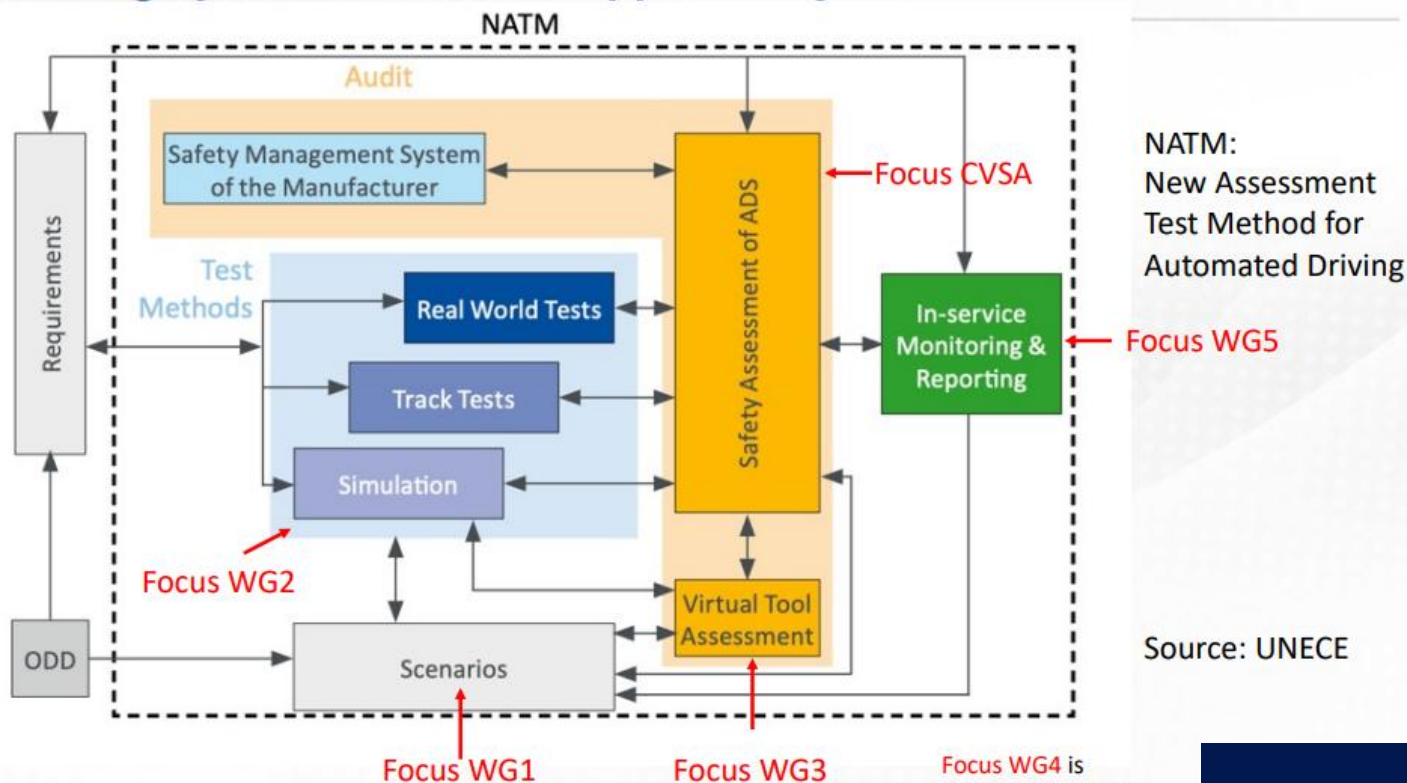
*IAMTS : International Alliance for Mobility Testing Standards
出所:「Collaboration of IAMTS and ASAM to drive forward safety assurance for automated driving through standardization」(Mobility In



IAMTSにおける各種取組みは、WP29の議論と密接に関係している

IAMTSとWP29議論の関係性

UNECE provides a comprehensive framework approach how to test automated driving systems which is supported by IAMTS



5つのWGと、Lead/Co-lead機関

1 : Global Test Scenario Library

CATARC

M city

2 : Global Advanced Mobility Test beds

TUV Rheinland

ASAM

3 : Correlation of Physical & Virtual Testing

Nvidia

KIT

4 : Cybersecurity Testing

CLEMSON

AVL

5 : Certification of HAVs over whole lifecycle

TUV

AVL

6 : Policies & Regulations

CATARC

DIN

iamt

International Alliance For Mobility Testing And Standardization

出所:「Collaboration of IAMTS and ASAM to drive forward safety assurance for automated driving through standardization」(Mobility Innovation Week Japan、2024年11月14日)を基に記載

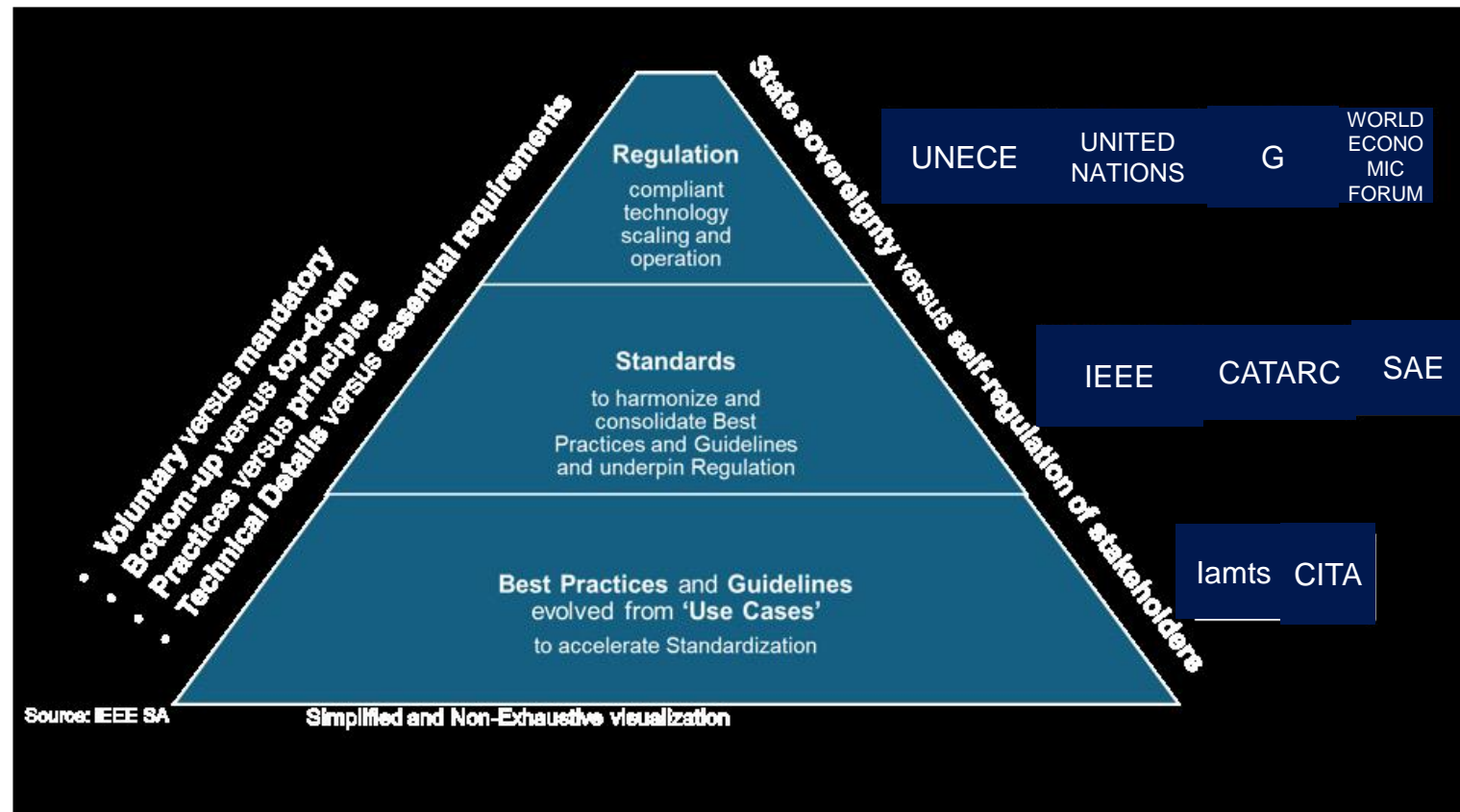
151 「令和6年度「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築)」



個々の実証実験等を通じたベストプラクティスを取りまとめ標準化を行い、それらを元に国際基準化を目指す、標準・基準を一体的に捉えた進め方が提唱されている

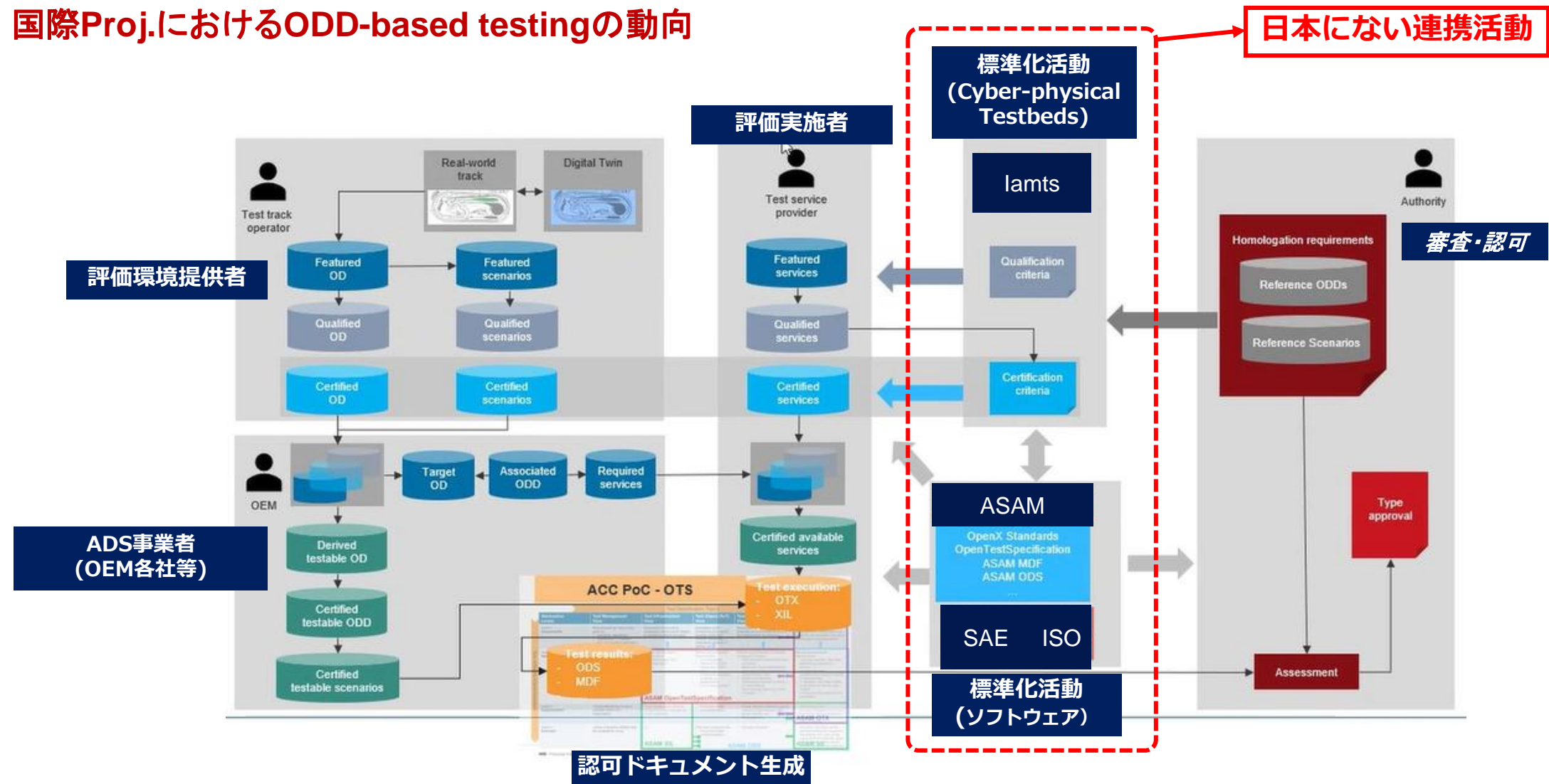
国際標準・基準の考え方

標準化といっても、実効性のある標準化活動（ASAM, Autosar, iamts等）が実際には効果を発揮する。
（ISOの考え方に基づくことは前提としても、ISOだけでは実効性に欠ける）



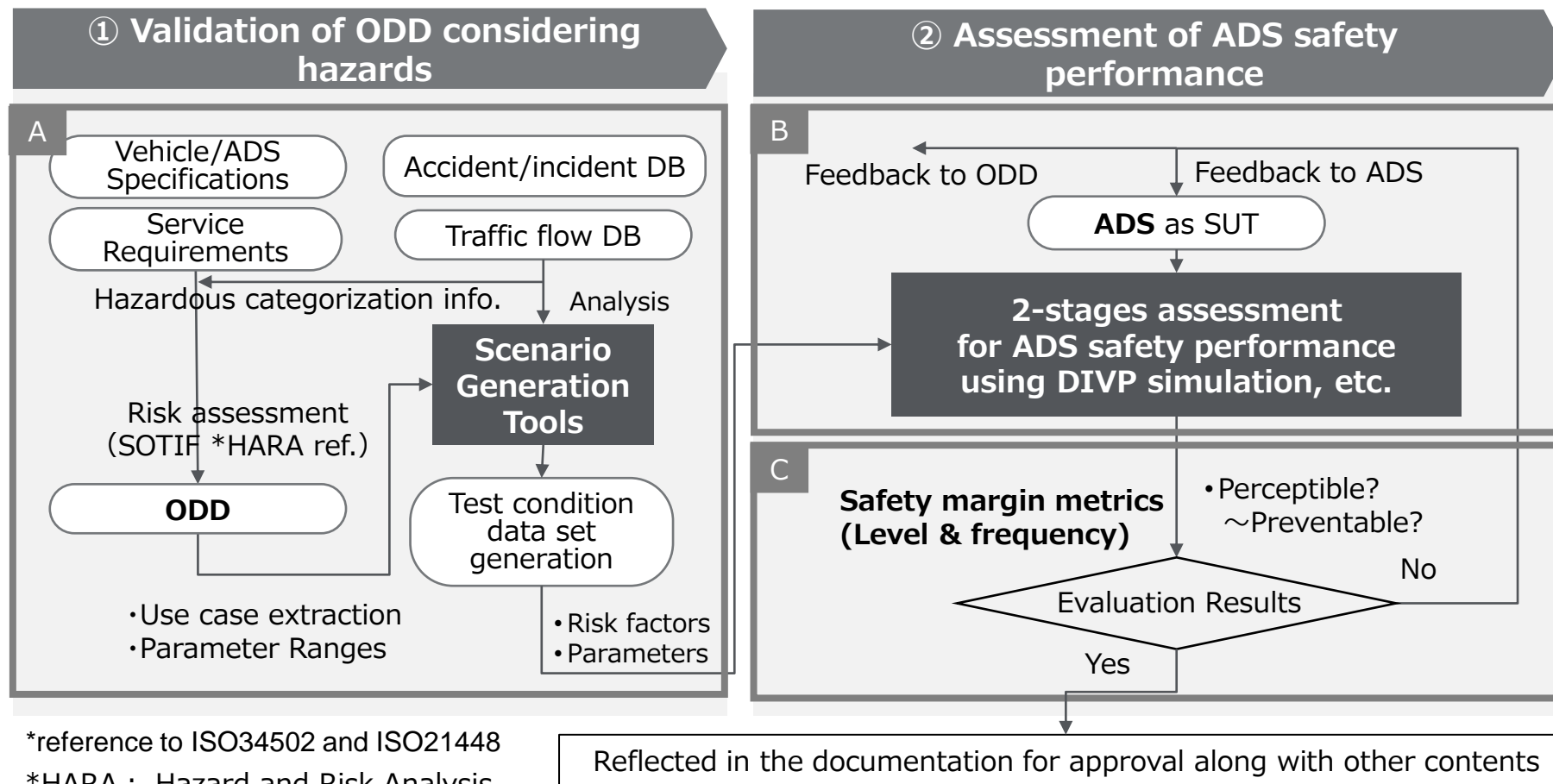
IAMTSコンソーシアムと独ASAMを中心に、OEM各社や評価環境提供、評価実施主体と、審査・認可主体が一体で実効的な仕組みの検討が進む

国際Proj.におけるODD-based testingの動向



日本からは安全Prjで掲げる安全性評価のフレームワークをご紹介、今後の連携やISO、WP29への提案について積極的な意見をいただいた

Safety Assessment Framework draft for ADS regional FOT in Japan



➤ ISO WG9でVirtual validationの議論が始まっている



Dr. Henning Mosebach
VVM リーダー

➤ 興味深い内容であり、WP29に持ち込んでみは？



Prof. Dr. Joachim G. Taiber
IAMTS Managing director
(Funder IAMTS)

国際ルールメイクから遅れをとらぬよう、今後の実務レベルでの積極的な協調が肝要

以上、WP29を出口とした実効性のある社会実装の他、SDVやAI、データ流通や、PoC prj等にかかる議論を実施、日独Expert間で今後も継続した国際協調の必要性を確認した

Safety assurance Break out work shop概要

概要

- SIP-adusを引継ぎSafety assuranceとして日独専門家を招いてのBreak out work shopを開催
- '24/11/14 @ 名古屋大学、日独より計20名の参加

参加機関



■ Practical implementation

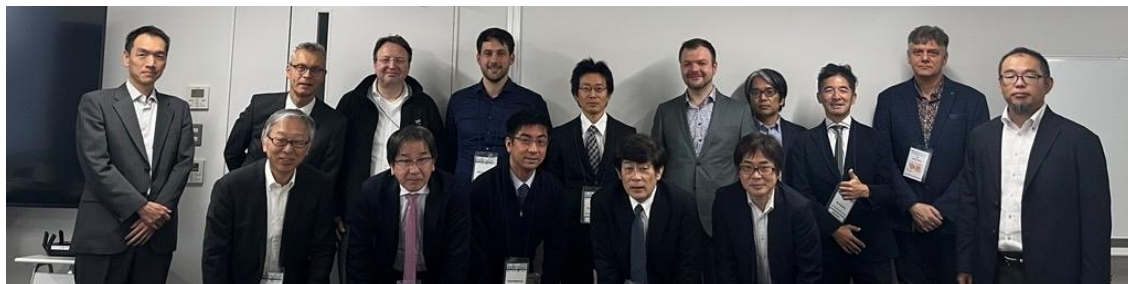
- Shared simulation based SA validation framework and start study with IAMTS & ASAM bringing them to WP29 discussion

■ SDV & AI, Data space

- Shared big picture of Data ecosystem, SDV, ADS, AI, etc, and agreed to define commonality & complementary for next step collaboration

■ From POC to social implementation

- Shared ATLAS project(Commercial truck PoC) and concept not only technological but also business approach would be important for L4 implementation,,



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

これまで、SDV、ADSの社会実装にかかるステークホルダから様々な意見をいただく中で、シミュレーションを活用した認証の効率化は当座の主要論点

シミュレーション利活用にかかる論点

国土交通省

- ✓ 国交省としては業界から”こういうSim活用ではどうか”の提案をいただき、それを元の実現可能性を検討したい
- ✓ これまでにSim結果のみで認可に至った事例は存在しない、今後ADSをはじめとする認証評価へのSim活用が進むと想定されるが、Simのみは現実的でなく、実車や台上評価等との組み合わせが現実解になりのでは

jama

JAMA及び国内OEM関係者

- ✓ ADS認証をSimを活用し効率化するニーズは高いが、活用手法やG/L等が示されておらず、“まずは提案してみなさい”が現状であり、その状態で個社ごとに検討・提案をしたところでどこまで受け入れられるのか、不透明、国としてなにかしらの方針を示してほしい

- ✓ メーカーからはシミュレーションによる安全性評価結果の型式認証・認可への活用も期待されている。

R5 SDV WG参加の委員様

経済産業省

- ✓ “SDV日経シェア3割”を目指す

危険事象には、実車評価検証が困難な事象がある（視界不良、逆光、降雨等・・・）。一方、実車試験可能領域では、実現性のあるテスト条件の設定が必須（テスト条件が決まればシミュレーションも可）。

シミュレーションの効果的使用領域

→シミュレーションの利活用は、A.実車模擬で効率化、B.再現困難な事象検証、2つの領域に効果的。

実車実験では危険な検証

混み合う交差点
動物の飛び出し、等



人や自転車の
飛び出し、等



自動車専用道



B

実車での実施が現実的でない領域
→ Simの再現性価値を用いた検証評価が現実的

一致性の高いシミュレーション  DIVP・・・

A

実車実験が可能な領域
→ Sim活用による
効率化が期待される領域

実車実験では再現が困難

晴れ、昼間



夜間、雨、霧、等



複合的な環境要件
雪の夜間、等

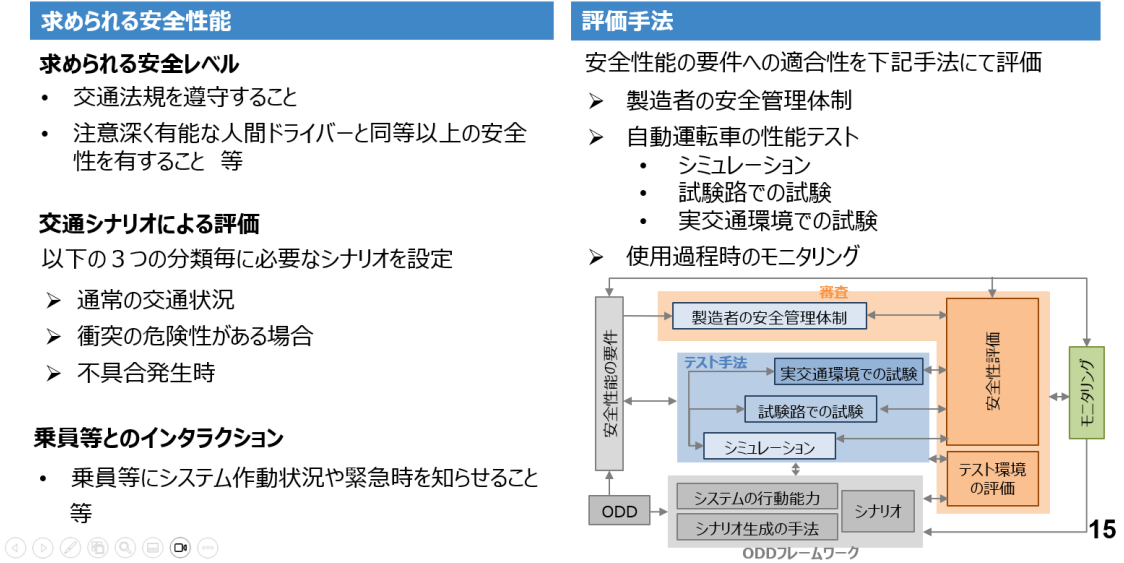


こうした課題感からか、現在WP29では、” Virtual testing and credibility assessment”について議論が進んでおり、Annexの中でフレームワークが示されている状況

WP29におけるSim活用の議論

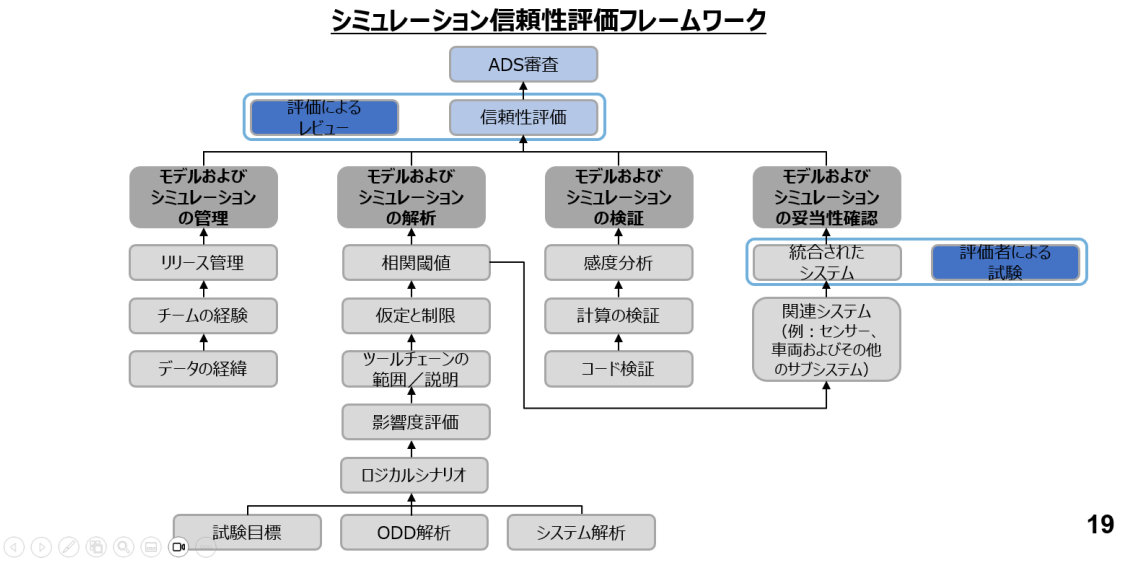
【レベル3・4】自動運転システムの国際ガイドラインの概要

- 日本が自動運転車に求められる安全性能やその評価手法を提案し、専門家会議の共同議長国として議論を主導
- 本ガイドラインをもとに、今後、法的拘束力のある国連基準（UNR/GTR）の策定に向けて議論中。引き続き、共同議長国として議論を主導。



シミュレーションの信頼性評価

- シミュレーションによる試験は、その**結果の信頼性が確認された場合にのみ**使用できる
- ガイドラインにおける信頼性評価フレームワークでは、実車試験の結果等を踏まえつつ、**モデル及びシミュレーションの管理・解析・検証・妥当性確認**を行い、信頼性を証明することとしている

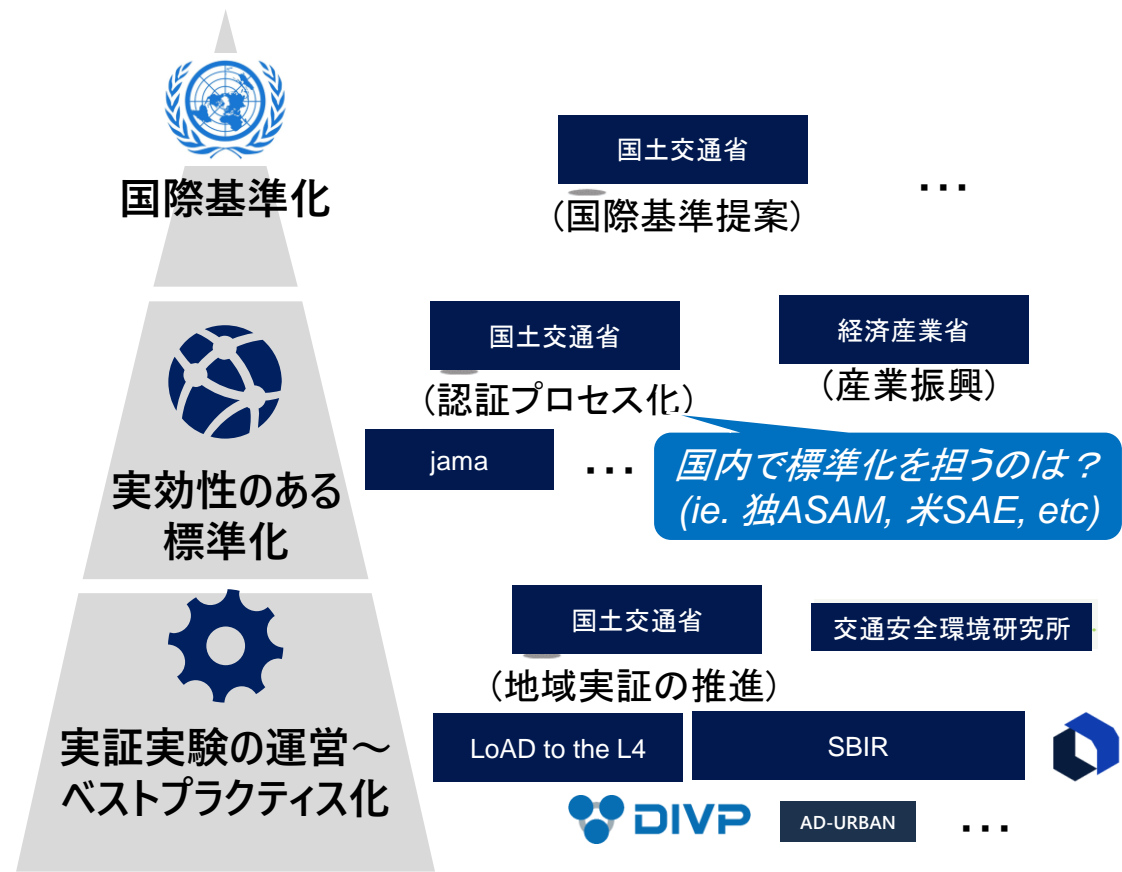


■ ECE/TRANS/WP.29/2024/39 working document 16/04/2024より
[\(GRVA\) - Guidelines and recommendations for Automated Driving System safety requirements, assessments and test methods to inform regulatory development | UNECE](#)

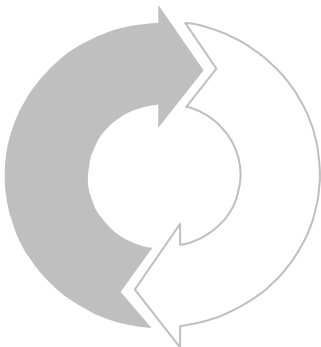
認証へのSim活用については、認可側・申請者側、双方の緊密な連携とリーダーシップが肝要

認証プロセス化～国際標準・基準化にかかる論点

認証プロセスの構築～国際基準化



プロセスに基づく実装・運用



実行体制の構築

- ✓ 評価環境の提供
- ✓ 評価の実施
- ✓ 評価環境や結果の第三者監査
- ✓ 審査効率化のためのデジタル化を含む、認証不正への再発防止(ODS)、等

国土交通省
(審査・モニター)

国内で客観評価を担うのは?
(ie. 独TUV,, etc)

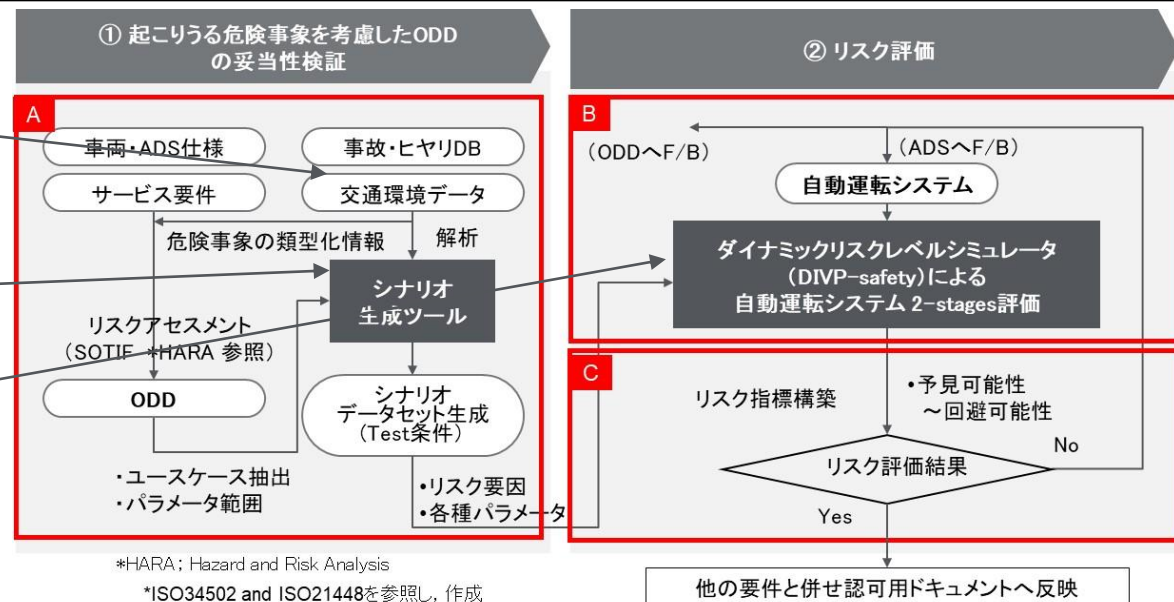
今後TFでは、“日系シェア3割”の実現を支えるためのCyber-physical testing構築を提案したい

Cyber-physical testing構築に向けての提案と関係各位へのお願い

- ✓ 安全性評価基盤検討T/Fは、JAMAガイドラインに基づき、SAKURA/AD-URBAN/DIVPの3プロジェクトの連携により、センサ視の仮想空間シミュレータの構築や認識可能性から回避可能性評価を可能とするグローバルにも優位性のあるシミュレーション評価基盤を構築してきた。今後、SDVに向けて、シミュレーションの認可案件にとどまらず**自動運転車の安全性評価におけるCyber-physical testing構築**は、重要事例になる予想される。
- ✓ よって、**Cyber-physical testing構築へのプロジェクトの昇華を提案するとともに、**お願いは、**ASAM/IAMTSのような実践的な標準化（協調）活動の日本の強化策について相談させて頂きたい。**（複雑な自動運転システムの認可側と事業側をつなぐ重要な機能部と考えているため）

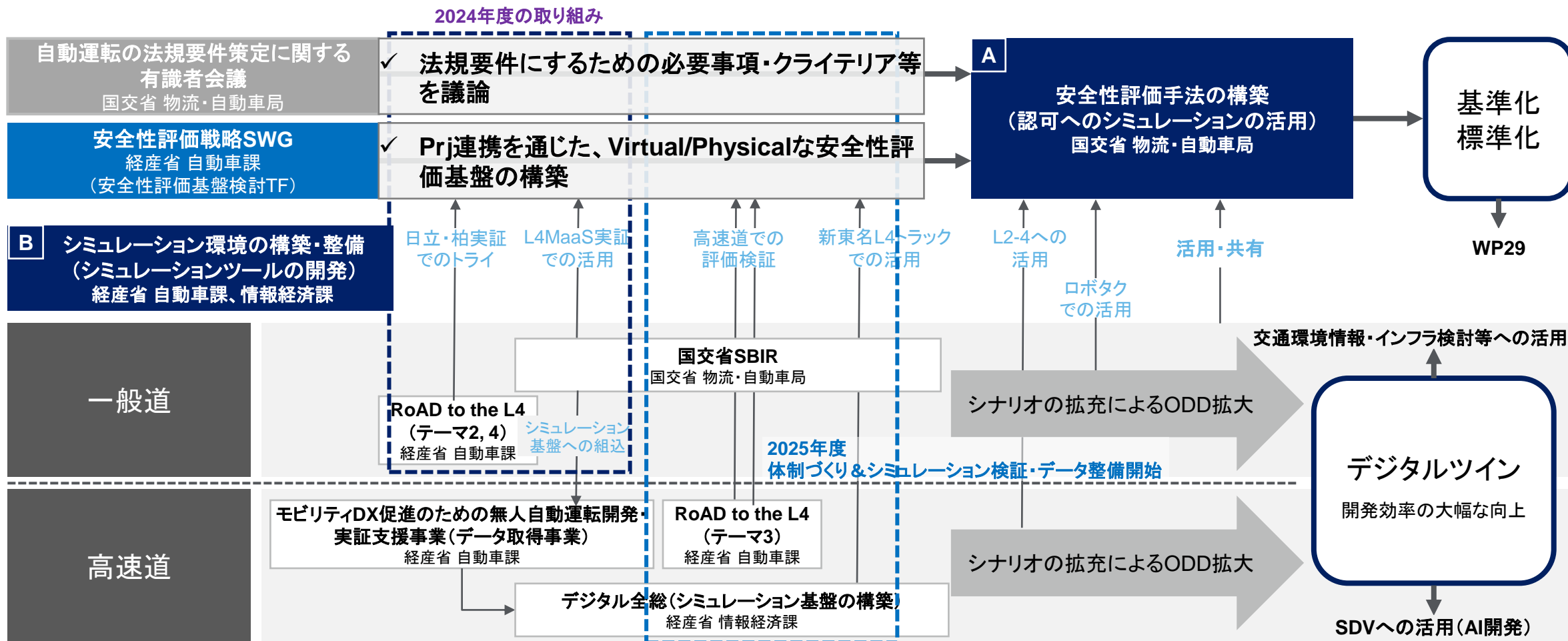
【個別課題】

- 1) 事故・ニアミス・交通DBの拡充
 - ・VRU（歩行者、自転車等）軌跡データ取得等
→定置計測（ドローン等）、車両計測
 - ・J-産学官共有DB構築
- 2) 生成AIによるシナリオ生成のインテリジェント化
- 3) テストコースでの実車評価方法と標準化
→シミュレーションへの置換検証
- 4) 2-stages安全性評価基盤の実践/検証の拡張
→プロジェクト連携拡大による
- 5) IAMTS/ASAMとの国際連携の実施・強化



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、SDV日系シェア3割を支えるシミュレーション環境の構築を進める。

FY25でのシミュレーションに向けた体制(案)→A. 認可, B. シミュレーション環境構築, 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

外部発信

2024年度は 24件の研究発表や講演を実施

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	2024.3月	三菱プレジジョン技報2024年度 Vol.13, 寄稿	仮想空間シミュレーション;DIVPによる自動運転車の安全性評価	井上 秀雄	神奈川工科大学
2	2024.4.22	第1回 DIVP技術セミナー	認識 & 安全リスク評価を実現するDIVPプラットフォーム開発(2-Stage評価の提案)	長瀬 功児	トヨタテクニカルディベロップメント株式会社
3	2024.4.22	第1回 DIVP技術セミナー	コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介	竹田 和司 別宮 彰	三菱プレジジョン株式会社
4	2024.4.22	第1回 DIVP技術セミナー	センサーモデルを活かす空間伝搬モデルとその使い方	渡邊 龍雄	BIPROGY株式会社
5	2024.4.22	第1回 DIVP技術セミナー	Radarの必要性和、最近の進化	天野 義久	学校法人行徳学園神奈川工科大学
6	2024.5.23	自動車技術会2024年春季大会 講演発表,予稿集,講演番号253,文献番号20245253	レイトレーシングシミュレータによる車両のミリ波レーダ散乱点の再現手法	磯野友輔 池田正和 井上秀雄	SOKEN SOKEN 神奈川工科大学
7	2024.5.30	MATLAB Expo2024	自動運転の仮想環境による安全性評価	石 峰	トヨタテクニカルディベロップメント株式会社
8	2024.06.25	ASAM Regional Meeting Japan 2024	Standardization project: ASAM OpenMATERIAL with DIVP	昼間 詔仁	BIPROGY
9	2024.7.4	ROAD 2024	ROAD 2025 proposal in KAIT - KAIT, DIVP perception simulation -	Hideo Inoue	Kanagawa Institute of Technology
10	2024.7.11	東急懇談会	DIVP's Digitalization for ADS Safety Assurance	井上 秀雄	神奈川工科大学
11	2024.07.25	第2回 DIVP技術セミナー	ミリ波レーダの原理、特徴、電波法	天野 義久 黒田 浩司	学校法人行徳学園神奈川工科大学



2024年度は 24件の研究発表や講演を実施

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
12	2024.07.25	第2回 DIVEP技術セミナー	DIVEP-PFのRadarセンサモデル、およびシミュレーション事例	天野義久 井上大輔	学校法人行徳学園神奈川工科大学 古河電気工業株式会社
13	2024.8.2	九州大学オートモーティブサイエンス専攻, 講義	自動車の運動と制御・知能化による安全技術の進化	井上 秀雄	神奈川工科大学
14	2024.8.5	SBIR_ADS安全性評価_合宿, 講演	DIVEP; Driving Intelligence Validation Platform	井上 秀雄	神奈川工科大学
15	2024.9.30	一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会, 光学系設計技術部会, 講演会	仮想空間とセンサ物理モデルに注目した自動運転安全性評価シミュレーションDIVEPの開発	井上 秀雄	神奈川工科大学
16	2024.10.31	第3回 DIVEP技術セミナー	どんどんつながるDIVEP	松本 律樹	三菱プレジジョン株式会社
17	2024.11.1	自動車技術会会誌「自動車技術」Vol.78, No.11 2024	仮想空間シミュレーションによる自動運転車の安全性評価	井上 秀雄	神奈川工科大学
18	2024.11.14	MIWJ Safety Assurance breakout WS	ADS Safety Assurance Initiative in Japan	Hideo Inoue	Kanagawa Institute of Technology
19	2024.11.18	情報処理学会_連続セミナー2024_自動運転	自動運転車の安全性評価に向けた仮想空間シミュレーション:DIVEP®の開発	井上 秀雄	神奈川工科大学
20	2024.11.26	JSAEアクティブセイフティ部門委員会講演	仮想空間による自動運転車の安全性評価基盤の構築 - 安全性評価基盤検討タスクフォース活動 -	井上 秀雄	神奈川工科大学
21	2024.12.05	ASAM International conference 2025	DIVEP®'s Digitalization for ADS/ADAS safety assurance	Hideo Inoue	Kanagawa Institute of Technology



2024年度は 24件の研究発表や講演を実施

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
22	2025.2.13	ASIFスキルアップ 세미나 講演	自動運転車の安全性評価に向けた 仮想空間シミュレーション:DIVP [®] の開発	井上 秀雄	神奈川工科大学
23	2025.2.17	とことんわかる自動車のモデリング と制御2024	センサ電磁波特性からみた走行環境～空間伝搬～センサのモデル化	渡邊 龍雄 池田 正和 水越 雅司	BIPROGY 株式会社 株式会社SOKEN 学校法人行徳学園神奈川 工科大学
24	2025.2.27	JAMBE年度末報告会	自動運転の仮想環境による安全性評価	岡本 竜治	トヨタテクニカルディベロッ PMENT株式会社

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	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人



END

Tokyo Odaiba → Virtual Community Ground

