

DIVP

Driving Intelligence Validation Platform



経済産業省

Ministry of Economy, Trade and Industry

令和5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）」_2023年度成果報告

Weather Forecast

2024/3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



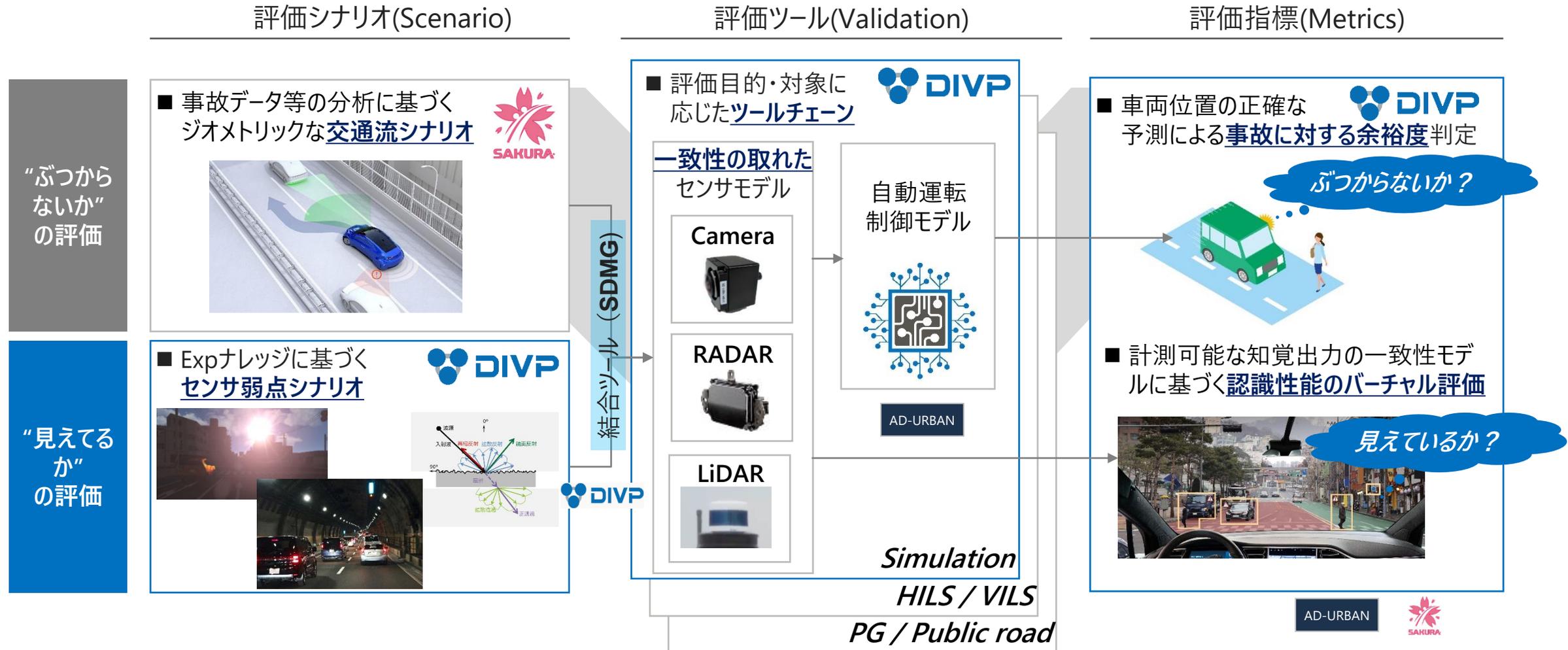
現実空間



センサ視界の仮想空間モデル，センサ内部モデルへ

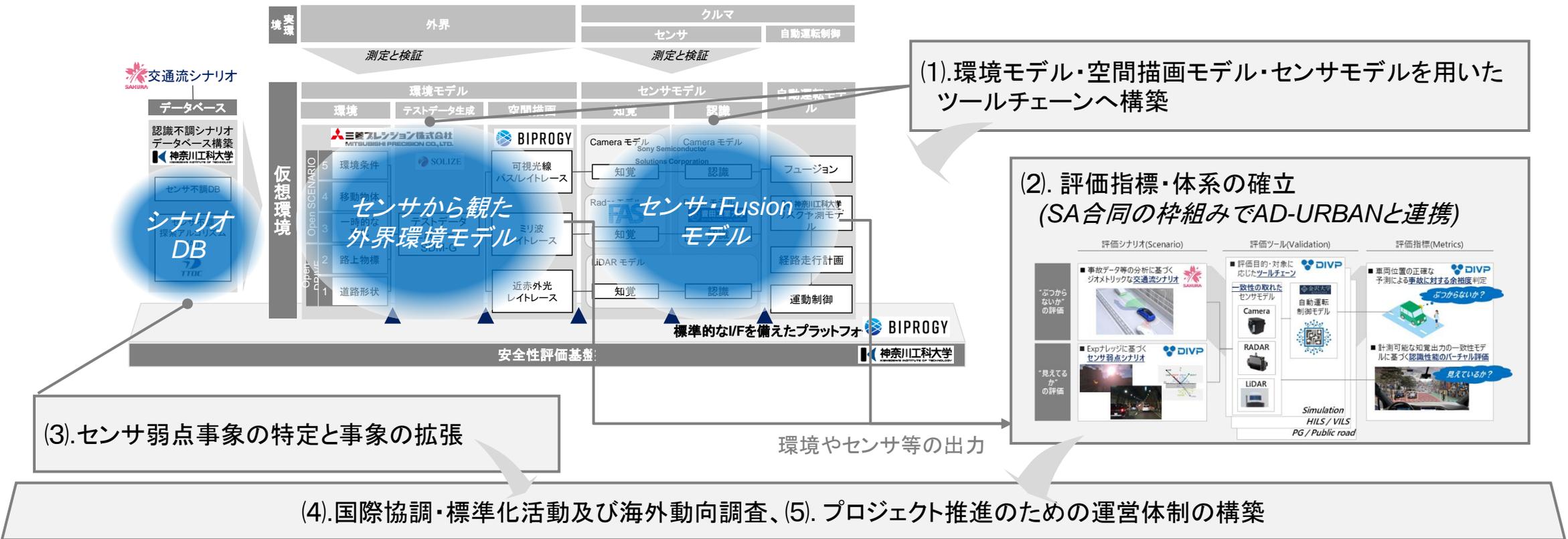
DIVPの2023年度目標;一般道 交差点シナリオでの, 評価指標を含むバーチャル評価を達成する。 (→2024年度以降, 各地域実証実験のバーチャル評価に展開)

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



自動走行ビジネス検討会

安全性評価戦略WG

4回/年程度への参加・報告

安全性評価基盤検討TF

1回/1~2月程度への参加・報告

DIVP月例会議

1回/月の実施・運営

DIVP ステアリングコミッティ

1回/週の実施・運営



委託先

リーダー

・所属 神奈川工科大学
・役職名 教授
・氏名 井上 秀雄



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究
- (1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立
- (2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立
- (2)-2. ドライバ・歩行者行動モデルの研究
- (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



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究
- (1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立
- (2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立
- (3)-1. センサ弱点事象の特定と事象の拡張
- (3)-2. 外部マテリアル連携によるセンサ弱点事象の拡張



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究
- (1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立
- (2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立
- (3)-1. センサ弱点事象の特定と事象の拡張



- (2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立

再委託先



- (1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究
- (2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究
- (3次元レーダーモデル化研究)



- (1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立
- (周辺監視レーダーモデルの検証・拡張)



- (1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究



2023年度成果まとめ

2023年度のプロジェクト開始時点では、三年間で、全国地域実証実験等へのDIVP-SA展開と国際標準化への反映を目指した

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	<ul style="list-style-type: none"> 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. 	<ul style="list-style-type: none"> 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バーチャル評価 完. 	<ul style="list-style-type: none"> 全国実証実験等への、センサ認識評価法の展開
	(1)-1.b	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 雪氷路面のRadar,LiDAR,Cameraのモデル化と認識限界の明確化 (ODDへ反映) 	<ul style="list-style-type: none"> 氷雪地域での実証実験のセンサ認識Virtual評価・適合へ展開
	(1)-2.a	<ul style="list-style-type: none"> Radar HILS実装でのI/F仕様 完 	<ul style="list-style-type: none"> Stereo-camera HILS実装に向けたプロトタイプ構築 	<ul style="list-style-type: none"> Radar/Camera Fusion HILS実装
	(1)-2.b	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 随時結合検証 	<ul style="list-style-type: none"> 随時結合検証
(2). 評価指標・体系の確立	(2)-1.a	<ul style="list-style-type: none"> 2-Stage評価指標の確立 	<ul style="list-style-type: none"> SAKURA一般道優先シナリオでの、全国各地域実証実験ユースケースでの2-stage評価実施・妥当性検証 完 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 学習データセット作成基準と自動生成の実装 	<ul style="list-style-type: none"> Fusionアルゴリズムの性能向上へ拡張適応 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 真値出力機能 (BBox, Depth, インスタンスID等) の完成 	<ul style="list-style-type: none"> V2X (遅れ考慮の情報有効性) 評価のための真値出力機能の完成 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Virtual-PG, Virtual-Community Ground モデル作成時間の40%低減 	<ul style="list-style-type: none"> 新手法のVirtual-NCAP評価での有効性検証の実施 	<ul style="list-style-type: none"> Virtual-NCAPの国際協調・標準化の達成
	(2)-2.a	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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バーチャル検証 	<ul style="list-style-type: none"> 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.	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 一般道シナリオDB~SIM自動実行の環境構築 	<ul style="list-style-type: none"> 全国各地域実証実験での適合へ展開
	(3)-2.	<ul style="list-style-type: none"> DIVP Material検証データ仕様作成・構造化 	<ul style="list-style-type: none"> DIVP MaterialのASAM等の標準化への反映と改良 全国各地域実証ニーズからのDIVP Materialの拡張 	<ul style="list-style-type: none"> DIVP MaterialのOpenMaterial標準化推進

2023年度計画目標に対して達成済み. 安全リスク指標(PET等)実装完→有効性の検証が課題

2023年度成果まとめ

		2023年度の目標	2023年度の成果内容
(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	<ul style="list-style-type: none"> ■次世代Rader(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試用ニーズ調査完 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■4Dイメージングレーダモデル開発完. 来期の一致性検証実験用レーダの調達にも目途を立てた. ■Radarフリースペース推定を、基礎的なDIVP生成シナリオでの効果を検証済み.
	1.b	<ul style="list-style-type: none"> ■Radar界面着氷の減少解析と(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 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■当初計画のエンブレム雪付着モデル完成. ■空間モデルは降雨に加え、霧、降雪モデルを開発完. 霧、降雪モデルの検証は2024年度に予定.
	2.a	<ul style="list-style-type: none"> ■Radar HILS実装でのI/F仕様 完 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■I/Fは、VIVID_JT1にて独側へ提案完. → ASAM OSI I/Fへの提案を予定. ■数種の既存HILSハードウェアでの接続実験を完了 → DIVPを使い 実機RadarのHILS評価が可能に.
	2.b	接続性検討 <ul style="list-style-type: none"> ■日独連携VIVIDプロジェクトでのJT3.1カメラモデル(レンズなど)交換検証完(SSS社担当) 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■VIVIDモデル交換検証完 ■約20機関とモデル,ツール等接続検討を実施しDIVP接続の有効性を検証. ■再利用価値の高いデジタルコンテンツ (モデル, データ, ツール連携)としてLibrary整備実施.
(2) 評価指標・ 体系の確 立	1.a	<ul style="list-style-type: none"> ■2-Stage評価指標の確立 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■シミュレーション&AD-URBAN自動運転をクラウド上に構築 ■センサ認識性能指標 (TP, IoUなど)の有効性を検証 ■ひたちBRTのユースケースから2-Stage評価の有効性を検証
	1.b	<ul style="list-style-type: none"> ■学習データセット作成基準と自動生成の実装 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■認識性能を向上させるVirtual学習データセット作成手法の確立と機能の実装 ■一般カメラ認識アルゴリズムを用いた手法の有効性検証
	1.c	<ul style="list-style-type: none"> ■真値出力機能(Bbox,Depth,インスタンスID等)の完成 	△ <ul style="list-style-type: none"> ■交通参加者、道路標識等、車線・白線情報の真値実装 ■ADシステム安全性指標 (PET, TTC) の実装完→ リスク評価指標としての有効性の検証と改良が課題.
	1.d	<ul style="list-style-type: none"> ■Virtual-PG、Virtual-Community Groundモデル作成時間の40%減 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■地図データによる3Dセット生成手法によって40%低減達成. 今後、RttL4用空間3Dモデル生成に活用. ■取材データから地図アセットを作成する手法も実施し効率化の目途付け完了.
	2.a	<ul style="list-style-type: none"> ■SAKURA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 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■ヒヤリハットシンの原因となる歩行者及び自転車行動モデルを構築し、VISSIMを利用して歩行者及び自転車行動モデルとDIVPの連携を実施し結合可能を検証済み. 今後、行動モデルアセット拡張が課題.
(3) センサー弱 点事象の 特定と事象 の拡張	1.	<ul style="list-style-type: none"> ■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 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■シナリオ調査、結合検証完了. シナリオDBのシナリオにセンサ情報自動設定機能の開発を完了 ■一般道で測定したFOTデータに対応した取り込み機能の開発完了
	2.	<ul style="list-style-type: none"> ■DIVP Material 反射特性(検証データ)構造化の設計仕様の完成. 	○ <ul style="list-style-type: none"> ■現状課題解決可能な、MAP/ASSETデータ及びMaterial設計仕様作成完了→本構造をDIVPに実装中 ASAM OpenMaterial 標準化活動を24年2月より開始. センサ弱点シーン抽出→DB化が今後の課題.



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	<ul style="list-style-type: none"> 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. 	<ul style="list-style-type: none"> 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バーチャル評価 完. 	<ul style="list-style-type: none"> 全国実証実験等への, センサ認識評価法の展開
	(1)-1.b	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 雪氷路面のRadar,LiDAR,Cameraのモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験のセンサ認識Virtual評価・適合へ展開
	(1)-1.c		<ul style="list-style-type: none"> マルチセンサ出力のシミュレーション作成完 	<ul style="list-style-type: none"> 全国実証実験でのセンサシステム開発に展開
	(1)-2.a	<ul style="list-style-type: none"> Radar HILS実装でのI/F仕様 完 	<ul style="list-style-type: none"> Stereo-camera HILS実装に向けたプロトタイプ構築 休止 	<ul style="list-style-type: none"> Radar/Camera Fusion HILS実装
	(1)-2.b	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 随時結合検証 移管 	<ul style="list-style-type: none"> 随時結合検証 移管
(2). 評価指標・体系 の確立	(2)-1.a	<ul style="list-style-type: none"> 2-Stage評価指標の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 学習データセット作成基準と自動生成の実装 	<ul style="list-style-type: none"> Fusionアルゴリズムの性能向上へ拡張適応 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 真値出力機能 (BBox, Depth, インスタンスID等、白線・車線) の完成 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Virtual-PG, Virtual-Community Ground モデル作成時間の40%低減 	<ul style="list-style-type: none"> 新手法のVirtual-NCAP評価での有効性検証の実施 休止 	<ul style="list-style-type: none"> Virtual-NCAPの国際協調・標準化の達成
	(2)-2.a	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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バーチャル検証 	<ul style="list-style-type: none"> 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.	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 全国各地域実証実験での適合へ展開
	(3)-2.	<ul style="list-style-type: none"> DIVP Material検証データ仕様作成・構造化 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> DIVP Materialの確立とOpen Material ASAM標準活動へ反映



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)では、シミュレーションを使った安全性評価の標準化を目指し、環境・センサモデルの拡充と並行して、センサ等のモデル流通のしくみづくりに着手、将来的なMBDの定着にも貢献

(1) 環境・空間・センサモデル、ツールチェーンへの拡張(実機評価での活用)

(1)-1. センサモデル多様性に対するI/F仕様の研究

a. 次期型センサモデルの開発
(3次元レーダ(4D Imaging Radar)/前方Radarモデル開発
自己位置推定技術(Gridmap、SLAM、Free Space Mapping)等)



b. センサから見た環境・空間・現象の解析とモデル化
(気象現象の実験解析による環境・空間モデルの開発、
エンブレム・バンパといった意匠部品も含めたモデルの開発)



(1)-2. 安全性評価効率化に向けた評価手法の確立

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



b. モデル結合評価の継続・拡張
・汎用センサモデルの開発と、モデル及びデータ流通のしくみづくり



テーマ(1)-1.a 次期型センサモデルの開発

全体概要

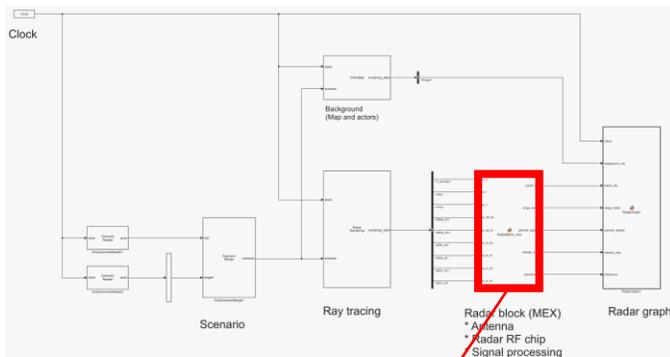
- 4D Imaging Radarモデル開発：
 - 計画通り、**モデル**1次試作完。
 - 計画通り、**実験用レーダ**を今期調達、来期実験開始見込み。
- Radar SLAM：
 - SLAM研究を支援するため、**地図上に蓄積点群**(LiDAR・Radar)を重ね描きする機能を開発完。
 - Radar画像を基に、**道路(FreeSpace)形状を推定**する技術を試作完。
- 全国実証実験における Radar使用ニーズ調査：
 - DIVP-PF と 気象データの接続(連携)により、全国100ヶ所に貢献して行くビジョンを提案した。
 - 特に RttL4 第二東名高速 において、霧による視程の低下を確認し、霧の影響を受けないRadarが有効であると判明した。



【4D Imaging Radarモデル開発】

計画通り、期内に1次モデルを試作完。

テーマ(1)-1.a 4D Imaging Radar

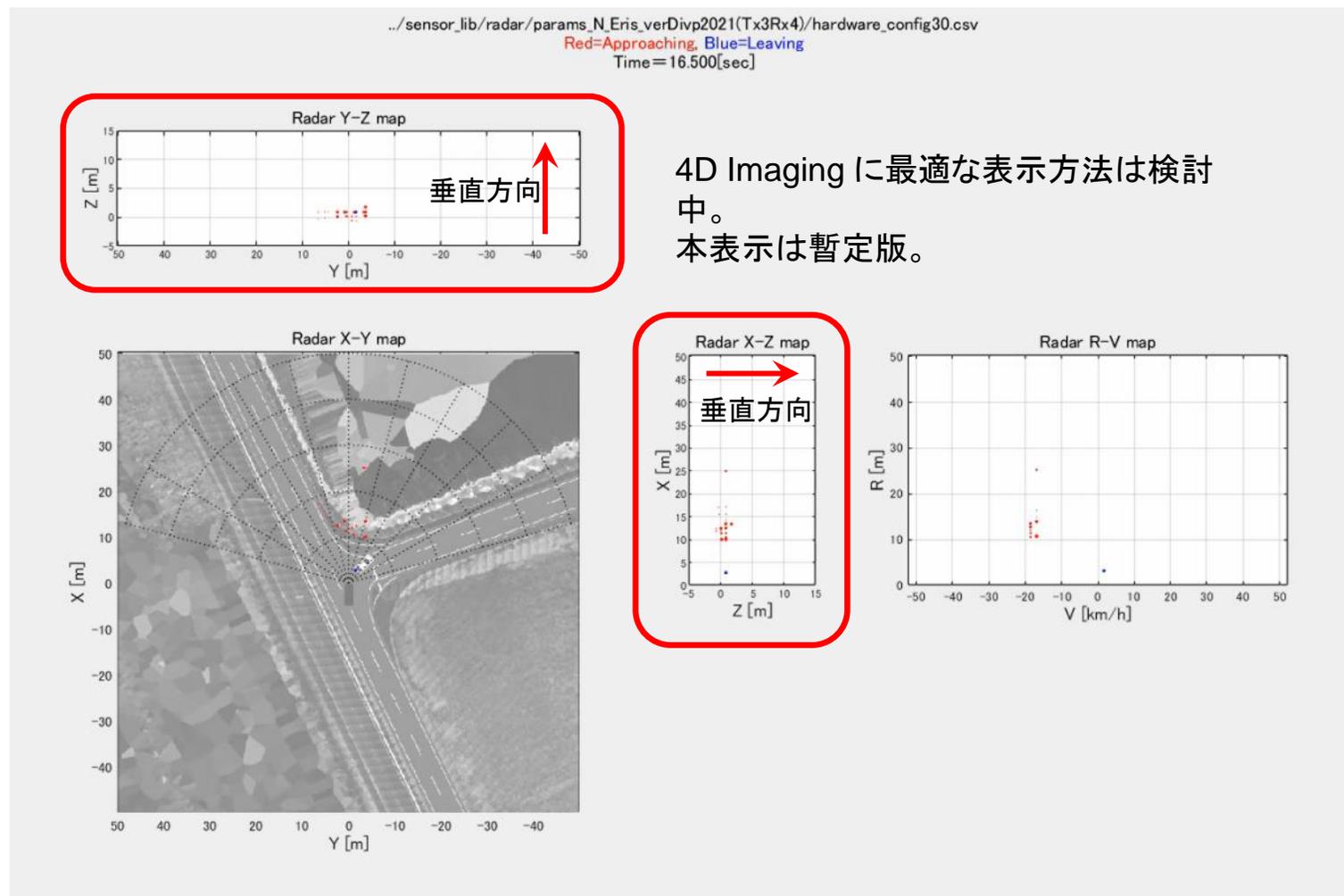


新レーダモデル

DIVP-PF最新版 (v0.6.0) を使用。

2024年度に残課題に取り組む。

- ・ 実機との一致性検証。
- ・ メモリ消費・計算時間の改善。
- ・ 現状の3D向けアンテナデータを4D向けに修正。

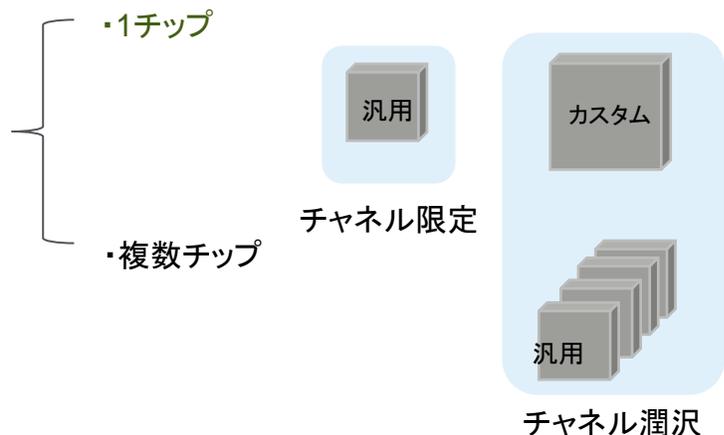


4D Imaging に最適な表示方法は検討中。
本表示は暫定版。

多様なシナリオに対応すべき次期型のセンサも多様、実機レーダ調査のポイントを整理した。

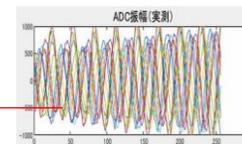
次世代Radar実機構築 4Dイメージングレーダ実機の入手調査

・センサ多様性に関して



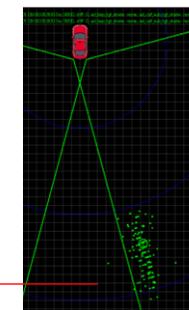
・ADCデータ出力 (利点: 一致性・自由度)

	電波現象	レーダ出力	
		ADC	点群
実機	●	●	同一
モデル	DIVP ↓	↓	処理



・点群データ出力 (利点: 実時間・実運用)

	電波現象	レーダ出力	
		ADC	点群
実機	●	●	●
モデル	DIVP ↓	↓	↓



・調査のポイントに関して

入手可能時期	今期中に手配できる範囲とする ○: 今期購入可能 ×: 今期購入不可
チャンネル数	イメージングレーダにおいて、チャンネル数を多数持つことで、高い角度分解能が得られる チャンネル数にて記述
仰俯角検知	4D(水平角検知+仰俯角検知)化には、3D(水平角検知)だけでなく、仰俯角検知を備える必要がある ○: 4チャンネル以上 △: 2~3チャンネル ×: 不可
AD出力	実機レーダの出力信号として、ADコンバータの値の出力可否 ○: 可 △: 条件付き可 ×: 不可
点群出力	実機レーダの出力信号として、点群情報の出力可否 ○: 可 △: 条件付き可、間接的に可 ×: 不可
点群設計情報	点群を出力するには内部処理が必要であり、点群生成のモデル化には内部処理情報が必要となる ○: 概ね把握 △: 部分的な把握 ×: 把握困難
SW変更容易性	実機として任意動作に設計が可能か、またSW変更によって技術適合証明取得への対応の容易性など ○: 容易 △: 要工数 ×: 困難

情報収集を実施。出力制限、秘匿性、SW変更困難等、各々実機レーダに制約がある。

次世代Radar実機構築 4Dイメージングレーダ実機の入手調査まとめ

チップベンダ	3rdParty/サプライヤ	名称(呼称)	入手可能時期	チャンネル数	仰角検知	AD出力	点群出力	点群設計情報	SW変更容易性	備考情報
TI		TIDEP-01012/01017 MMWCAS-RF(AWR2243)/DSP-EVM	○ released	12x16	○	△	△	△	×	AD出力は数秒に1度程度にて、AD出力動的評価ができない Jacintoマイコン、SW対応難易度高い
TI		TIDA-020047	×	6x8	△					今期入手困難の模様
TI	PTM	79GHz 2243 4 CAS EVM	○ released	12x16		△	×	×	×	RFフロントエンドのカスタム対応設計 接続先のTI製DSPボード、AD出力動的評価ができない
TI	PTM	48 CAS V2	○ released	6x8	○	×	×	×	×	接続先のDSP基板の販売なく、接続評価難しい
TI	SmartRadar System	RETINA-4FN	○ released	12x16	○	×	○	×	×	AD出力不可 点群出力可だが調整不可、設計情報入手不可、SW変更不可 モデル化が困難
NXP		TEF82xx-CAB + S32R45-EVB	×	6x8	×	△	△	×	△	ビジネス案件ではない研究案件において入手性困難 SDK今後拡充
NXP	PTM	2CAS + S32R41-EVB	×	6x8	○	○	△	△	△	NXPボードにてAD出力のリアルタイム性改善 仰角チャンネル6チャンネルあり 4D構成には好適ではあるものの、納期ミスマッチ
NXP	エスタカヤ	ERIS	○ released	3x4	×	△	△	△	△	DIVP2021verレーダとして使用 AD部分データのみ取得可 点群生成は間接的に実施
NXP	エスタカヤ	ERIS後継機	×	未定						AD全サイクル全データ取得可否懸念 リリース時期後ろ倒しの模様
NXP	Novtech	RENAN	○ 2023/ FY3Q	12x16	△	△	△	△	△	AD全サイクル出力可能だが、全データは困難 デモ等が初期動作として可能 全チャンネルデータ取得は初期状態では難しく立ち上げ工数要
Analog Devices	エスタカヤ	MIMO Radar Object Detection	×	3x4	×	○	○	×	×	MWE2023にて出品公開 チャンネル数不足 仰角検知無しと想定 SW変更不可だが、技適は取得済
Renesas		RAA270205 SRIR144V2	×	8x8	×	○	○	×	×	カスケードであるが、仰角検知無し インフラ向け用途 購入可能時期23年度末で入手困難
-	古河電工	試作品レーダ	○ 2023/ FY4Q		△	×	○	○	○	点群出力のみ 設計情報保有しており、モデル化可能

調査開始事前情報

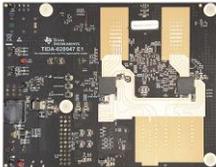
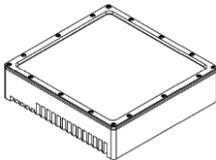
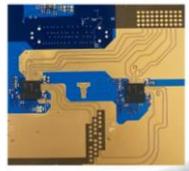
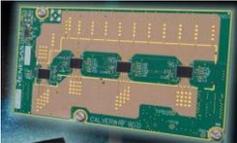
- 可能
- △条件付き可
- ×不可
- 空欄 不明

選択肢を絞る。次世代レーダは各社開発途上で未リリース多く、現状入手可能性を優先し選定。

次世代Radar実機構築 調査結果に基づく購入判断と手配

・購入に向けた選定

今期手配水準

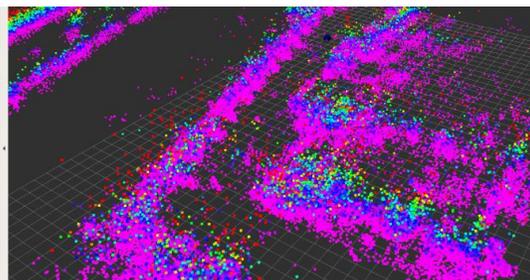
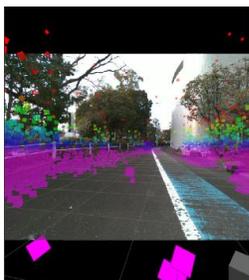
チップメーカー	AnalogDevices	NXP	古河電気	TI	Renesas	NXP	NovTech	Renesas
3rdParty/Supplier	エスタカヤ	エスタカヤ	古河電気			PTM	NovTech	
IC名				AWR2243	RRA270205	TEF82xx	TEF82xx	RRA270205
モジュール名		ERIS後継品	試作品レーダ	TIDA-020047	SRIR144V2	2CAS MIMO	RENAN	
チャンネル数	Tx3 x Rx4			Tx6 x Rx8	Tx8 x Rx8	Tx6 x Rx8	Tx12 x Rx16	Tx16 x Rx16
MMIC数	1	1	1	2 カスケード	2 カスケード	2 カスケード	4 カスケード	4 カスケード
リリース	Ready	24/FY1Q以降	23/4Q	24/FY1Q以降	23/FYend	24/FY1Q以降	23/3Q	Not available
イメージ	MWE2023 カタログより 	https://www.s-takaya.co.jp/wp-content/themes/s-takaya/assets/pdf/evaluation-kit/ERIS_catalog.pdf 写真はERIS 		https://www.ti.com/tool/ja-jp/TIDA-020047 	https://www.renesas.com/jp/ja/document/sdr/sr144v2-short-form-datasheet?v=25410181 	https://www.ptm-co.jp/doc/PR_MMW_RADAR_ROADMAMP.pdf 	https://www.nxp.com.cn/docs/zh/unique/TIP-NXP-RADER-0425-2.pdf 	https://motor-fan.jp/tech/article/2657/ 
今期KAIT手配			●					
今期古河手配							●	

結果、選定したRadarは以下のとおり、購入と評価を実施中。今後一致性検証に適用予定。

次世代Radar実機構築 調査結果に基づく購入判断と手配

・選定品の紹介

■ 古河電工製 試作品レーダ



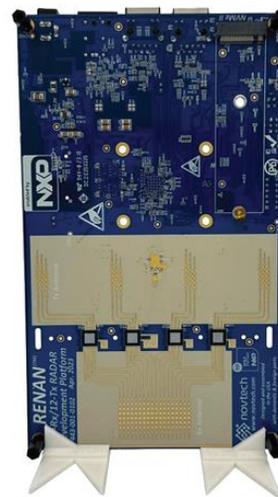
点群を時間重畳した結果

1チップレーダ
点群出力
研究開発試作品扱い、性能限定
古河電工ではこれに応じたモデル開発も予定
技適取得
スペシフィックな(サプライヤ製)レーダにおける
シミュレーションと実機の一致性検証を来年度以降実施予定

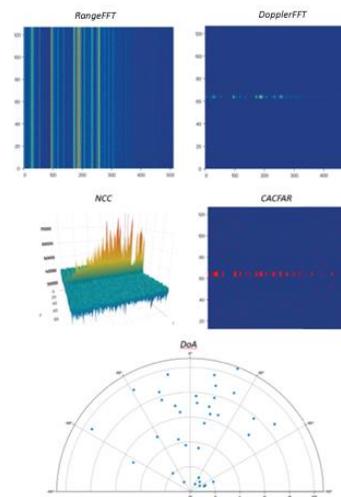
■ Novtech製 評価ボード RENAN

[/https://www.issi.com/WW/pdf/NovTech-RENAN-Flyer.pdf](https://www.issi.com/WW/pdf/NovTech-RENAN-Flyer.pdf)

RENAN™ positioned for RADAR operation



Screenshot of NXP RADAR demo application on RENAN™

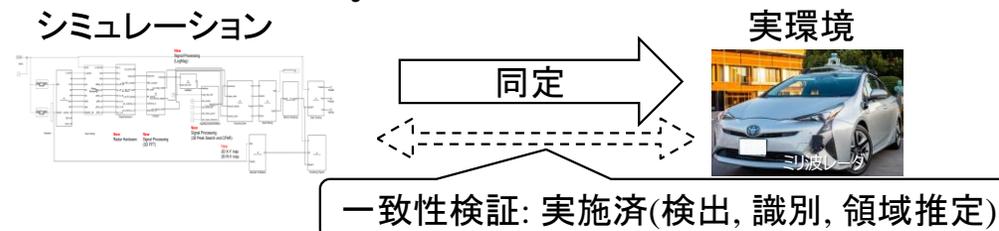


NXP TEF8232 × 4 カスケード S32R45マイコンを使用
Tx12 × Rx16
水平 64ch × 垂直 3ch
23/10Eリリース
価格 約90万円
AD出力 但し購入状態にて全チャンネル使用は不可
技適未取得
チャンネル数は潤沢であり、
今後分解能が高い出力結果が見れる可能性がある

活用方向性は以下で、1の検証を進めると共に、2でより有効にシミュレータを活用する手法に取り組む

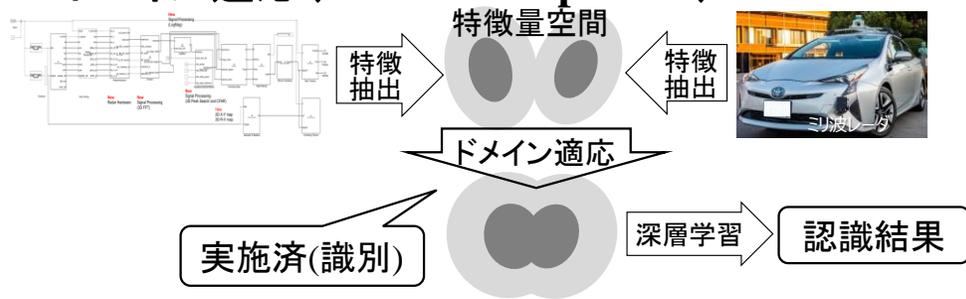
認識ロジック研究開発へのシミュレータデータ活用方向性

1. システム同定 (System identification)



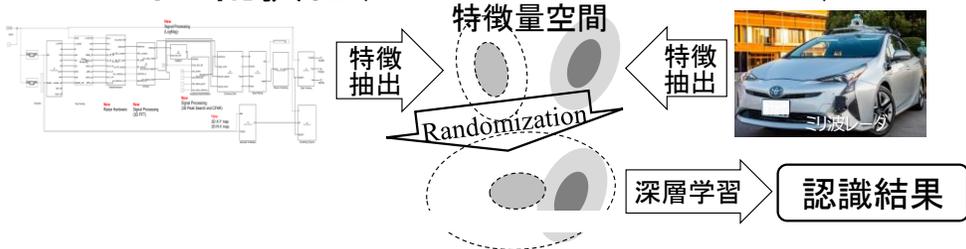
- ・実環境をシミュレーションで忠実に再現
⇒現実的には限界がある(特にミリ波は高難度)
- ・昨年度までに、検出、識別、領域推定に関して
一致性の検証を実施
⇒演繹ロジックでは一致性は高いが
帰納ロジック、特に高次の深層学習では過学習し
そのままでは性能不整合

2. ドメイン適応 (Domain adaptation)



- ・シミュレーションと実環境の特徴量分布を近付ける
- ・昨年度、識別に関して効果確認
(敵対的ドメイン適応)
⇒限界はあるが、精度改善を確認、効果定量化
=多少の違いを吸収してシミュレータ有効活用可能

3. ドメイン乱択化 (Domain randomization)



- ・シミュレーションの特徴量分布を拡げて
実環境データを包含する
⇒誤検知が増え、自動運転分野では現実的でないので
不採用

※出典: SSIH2023 OS3-04 経験拡張:ロボット学習における仮想経験の生成と応用
<https://lilianweng.github.io/posts/2019-05-05-domain-randomization/>

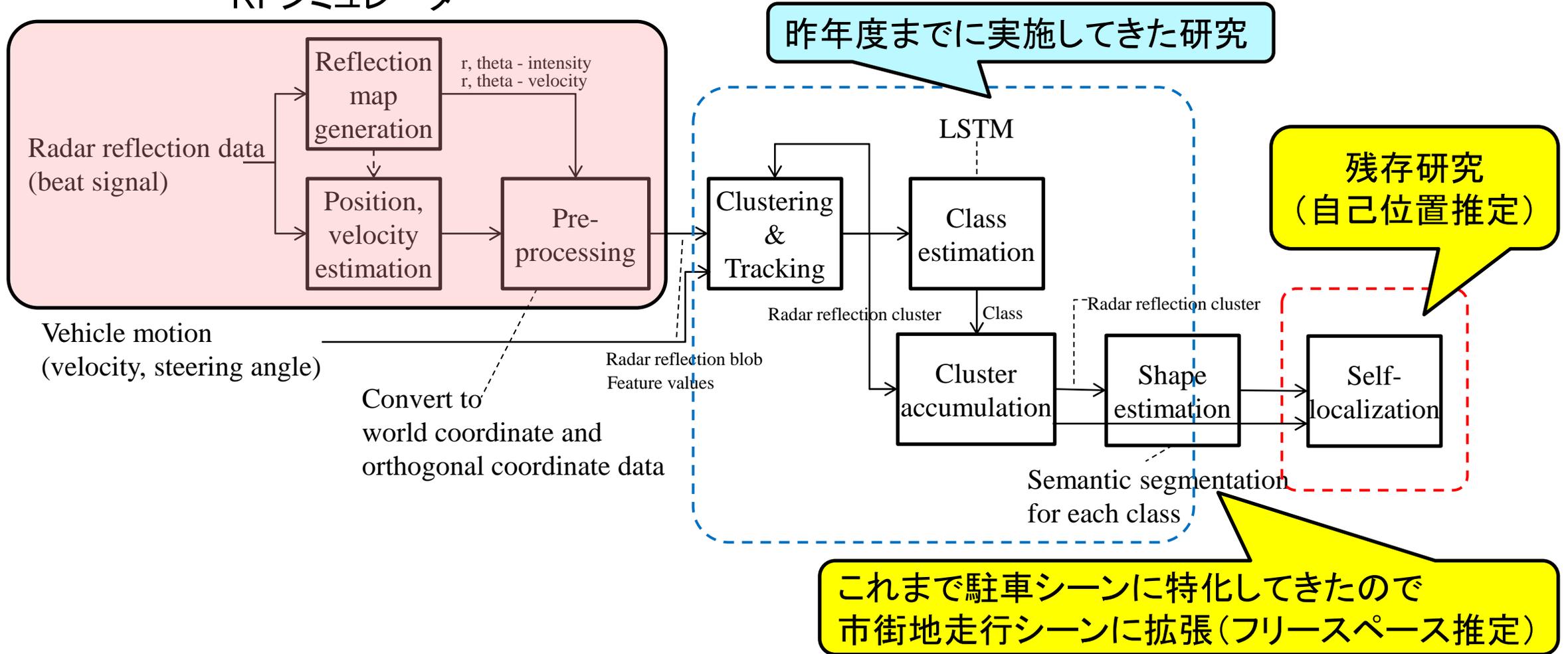
深層学習を用いた認識ロジックを研究開発するには、データセットが重要で、以下が挙げられる。
ここでは、実際にこれらを用いて、利用可能性や課題を検証する。

認識ロジック開発に用いるデータセットの比較

	実環境計測データ		シミュレーションデータ
	自己計測データ	公開データセット	
利点	<ul style="list-style-type: none"> ・実センサデータ利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・実環境データを容易に入手可能 ・正解値生成コスト不要 ・ベンチマーク可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・大量データ生成可能 ・評価環境を自由に設定可能 ・正解値生成容易 ・システムと連携容易
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・計測コスト高 ・正解値生成コスト高 ・環境限定(悪環境, レアケース再現困難) 	<ul style="list-style-type: none"> ・センサが実使用のものと異なる ・環境限定(悪環境, レアケース再現困難) 	<ul style="list-style-type: none"> ・実センサデータの再現性
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・量産車から通信にてデータ集約が今後普及(Tesla, Mobileye) 	<ul style="list-style-type: none"> ・画像系は以前からあったが、<u>近年ミリ波レーダでも増加</u> 	

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

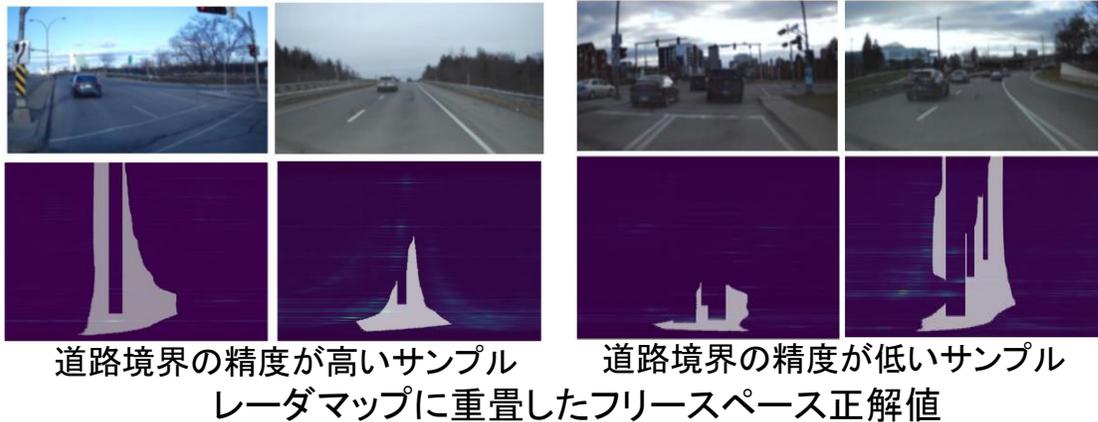
RFシミュレータ



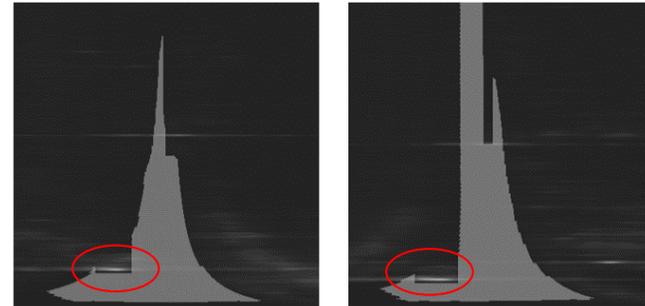
公開データセットを利用した freespace 推定 選定したデータセットとデータ品質の補正

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

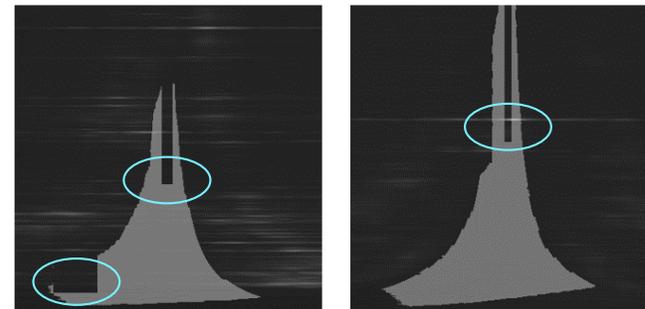
ミリ波レーダの認識研究開発用公開データセット比較表
⇒データ種類, 機能からRADialを採用



低精度の
データ
除外



比較的一致しているサンプル⇒採用



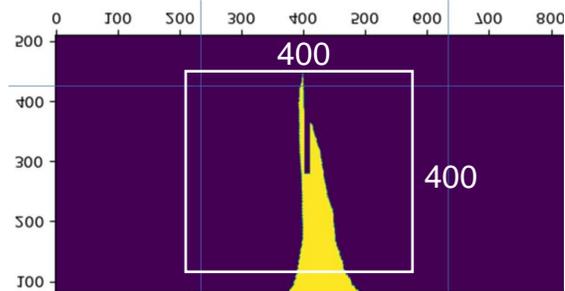
完全にズレているサンプル⇒除外

全データセット8225セット
⇒適正化データ938セット選択

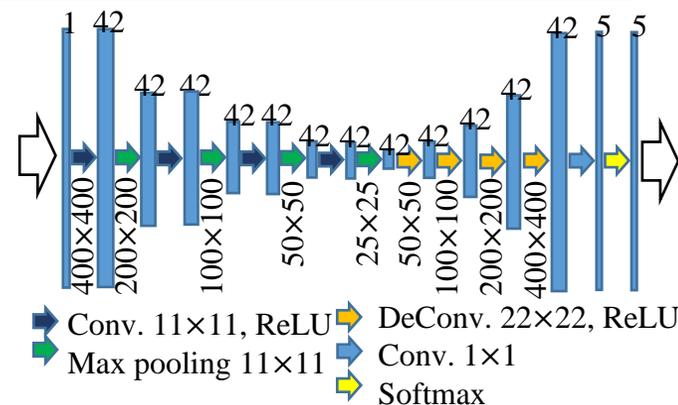
公開データセットを利用したフリースペース推定 評価結果(別手法との比較, 適正化データセットとの比較)

評価条件

- ・データセット: 全データセット8225セット
適正化データ938セット
- ・学習率: 学習データ70%, 検証データ15%,
テストデータ15%
(データセット論文評価条件に準拠)
- ・推定ネットワーク: Valeo, TTIオリジナル



必要領域を切り出し
データサイズ統一



TTIネットワーク構成(24層CNN)

フリースペース推定評価結果/Valeoのネット, 適正化データセットとの比較

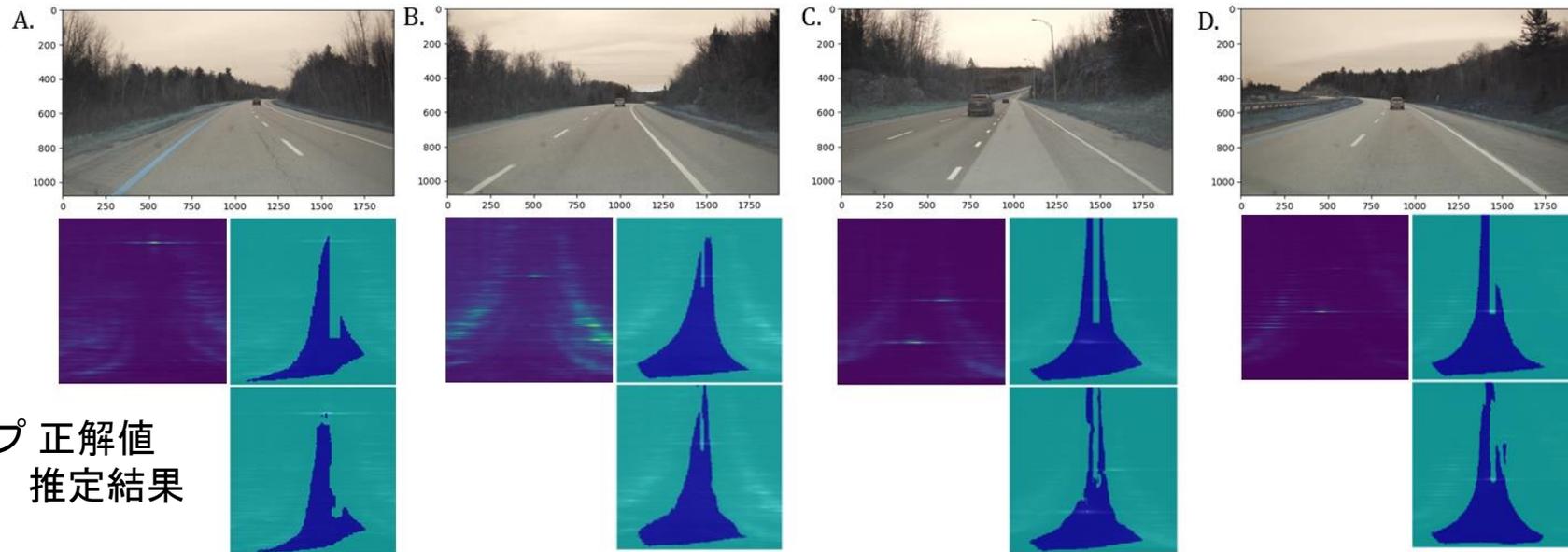
Dataset	Algorithm	Mean IoU for test data	Mean IoU for training data	Global accuracy for test data	Global accuracy for training data
全データセット	FFT-Radnet (Valeo)	0.7400	—	—	—
	TTI original (TTI)	0.8117	0.8978	0.9343	0.9649
適正化データセット	TTI original (TTI)	0.7700	0.9734	0.9257	0.9926

評価結果まとめ

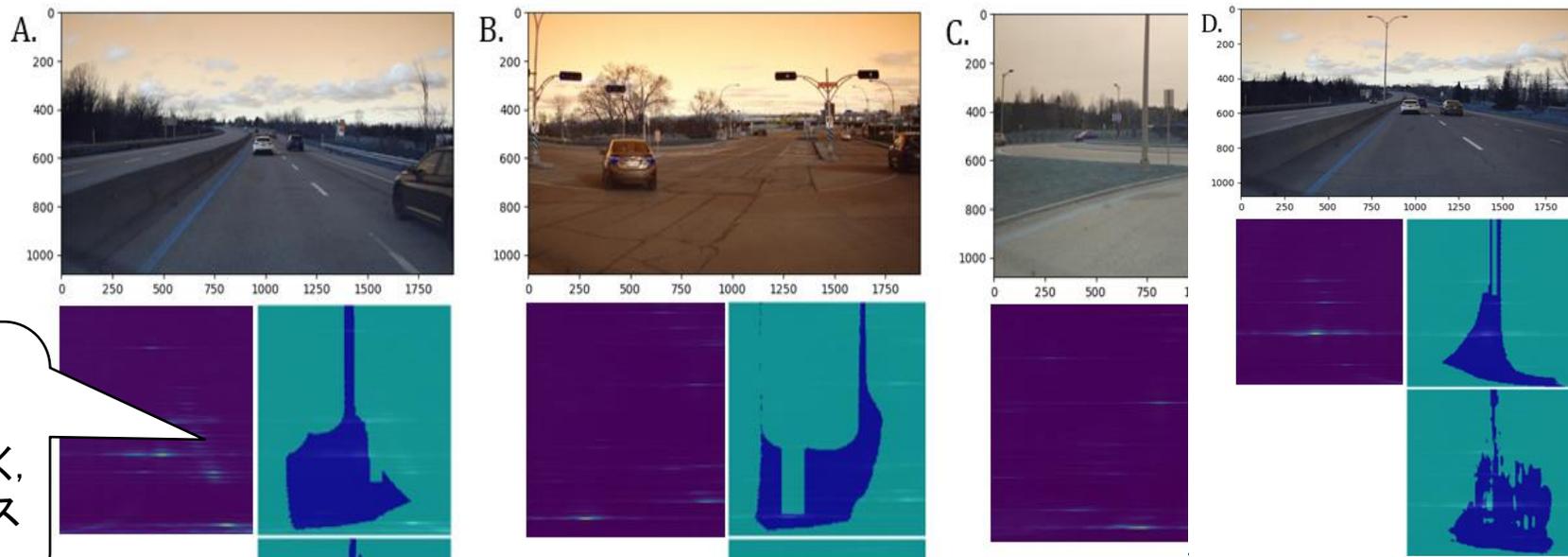
- ・推定精度は全体に低い(推定要因: 正解値精度とレーダ反射の不安定性)
- ・Valeoのネットワークより推定精度は高い
- ・データセットを適正化すると返って推定精度が低下する。
(これは学習データの精度が向上していることから, 分布が過学習し易くなったため, と推察)

公開データセットを利用した freespace 推定 評価結果サンプル

精度が良い推定サンプル



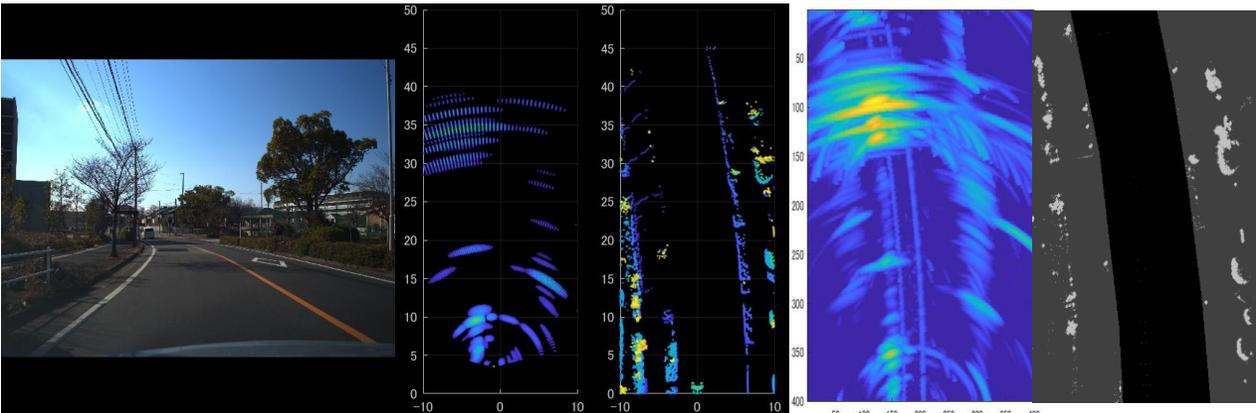
精度が悪い推定サンプル



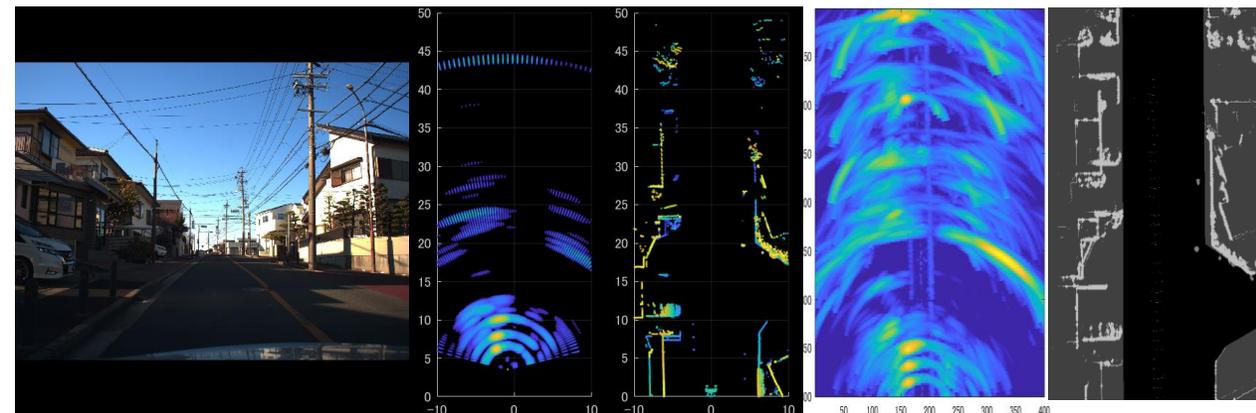
- ・元々正解値が不正確で、道路形状も変則的
⇒公開データセットの実用的利用は不適合
- ・道路境界でミリ波レーダ反射が無い状況も多く、
原理的にミリ波レーダのみでは freespace 推定は不可能

実車計測データセットを利用した freespace 推定 市街地シナリオデータセットの生成

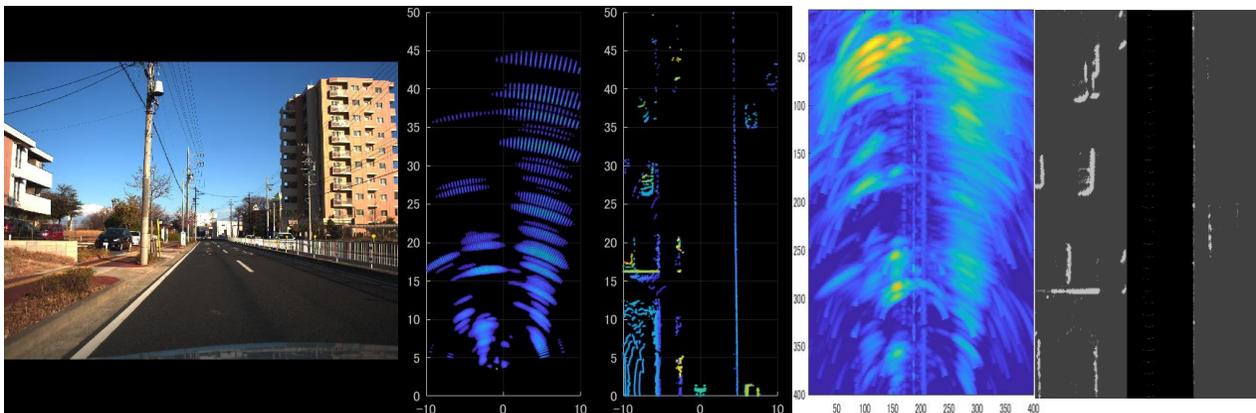
大学周辺の市街地にて実験車のミリ波レーダ・LiDARデータを計測し、蓄積マップから半自動で正解値生成



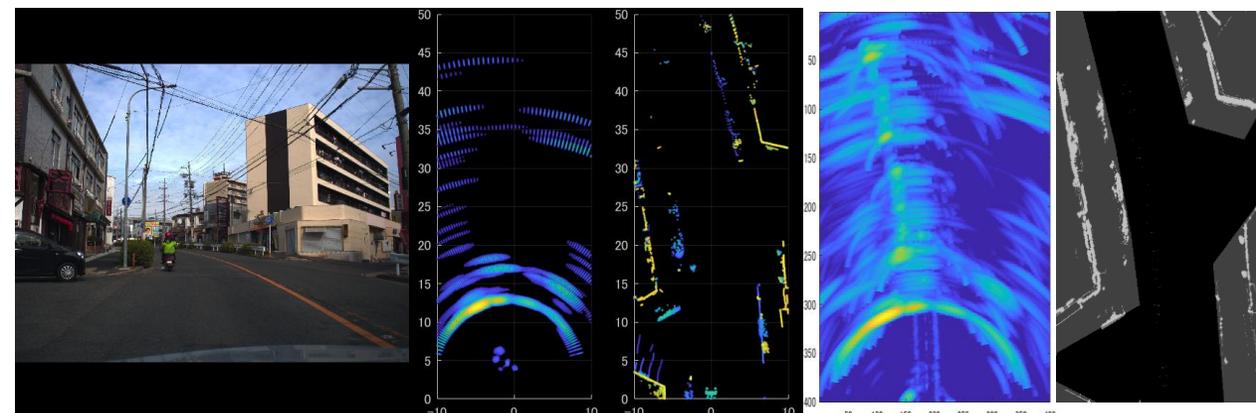
カメラ画像 レーダ反射 LiDAR点群 蓄積マップ freespace
正解値
緩いカーブ



カメラ画像 レーダ反射 LiDAR点群 蓄積マップ freespace
正解値
T字路



片側2車線



変則十字路

実車計測データセットを利用した freespace 推定 推定精度の評価 (レーダ反射マップ利用)

評価条件

- ・入力データ: ミリ波レーダ蓄積反射マップ
- ・データ数: 491セット (前回284セット)
 - ーシーン内訳: 直線道路 56.4%, T字交差点16.5%, L字交差点11.6%, 十字路9.4%, カーブ6.1%
- ・学習条件: 80%ランダムデータで学習, 20%で評価
- ・ニューラルネット: 独自24層CNN (駐車シーン推定と同じもの)

評価結果

評価指標	Global accuracy	Mean accuracy	Mean IoU	Weight IoU	Mean BF score
評価値	0.8730	0.8670	0.7679	0.7751	0.5730

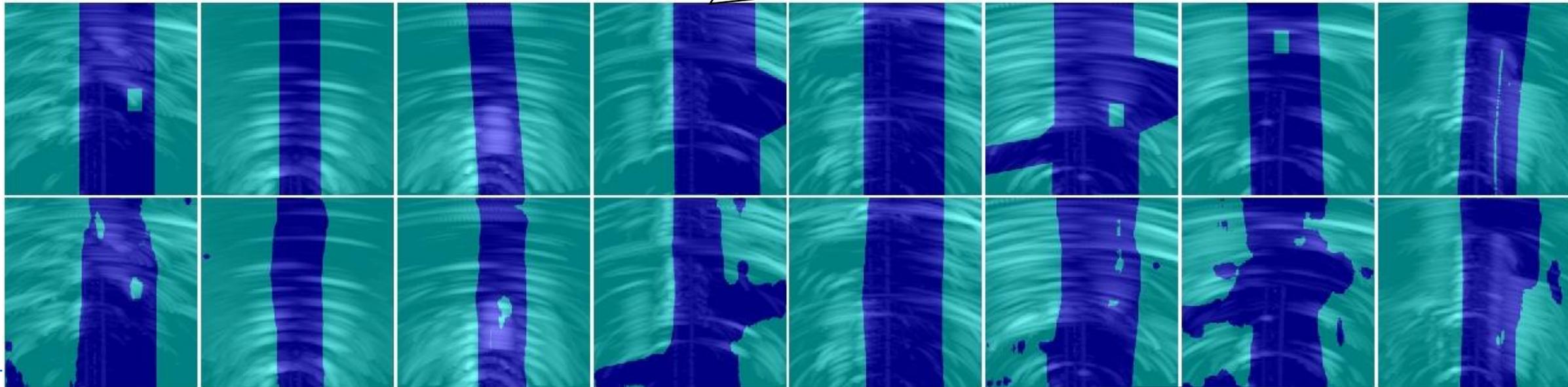
・全体に精度は低い. 特にサンプルの少ない交差点や反射のない領域での精度低下が顕著

評価サンプル

交差点では精度が低下

正解
形状

推定
結果



実車計測データセットを利用した freespace 推定 ピーク点群を用いた場合の推定精度評価

評価条件 ・入力データ: ミリ波レーダピーク点群マップ(抽出閾値=0.05(デフォルト), 0.2 ※左記以外条件は前ページと同じ)

評価結果

評価指標	Global accuracy	Mean accuracy	Mean IoU	Weight IoU	Mean BF score
ピーク点群(0.05)	0.8888	0.8848	0.7944	0.8003	0.6133
ピーク点群(0.2)	0.8841	0.8799	0.7865	0.7930	0.5864
反射マップ	0.8730	0.8670	0.7679	0.7751	0.5730

・若干改善されたが、精度は低く、傾向は同じ

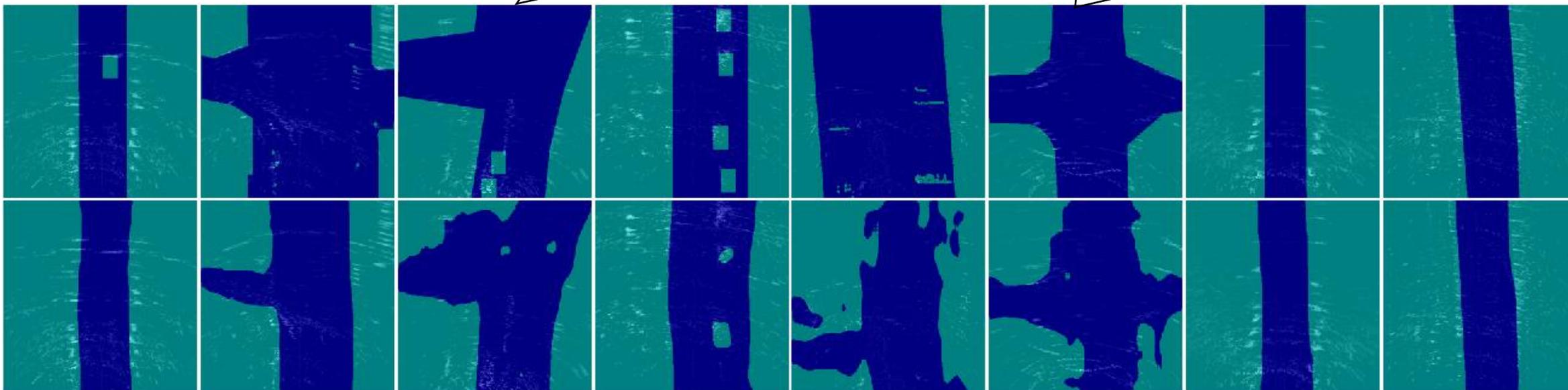
評価サンプル

交差点では精度が低下

反射が少ない領域では精度が低下

正解
形状

推定
結果



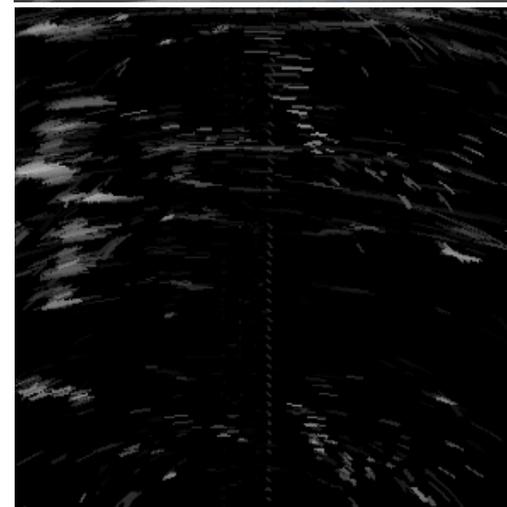
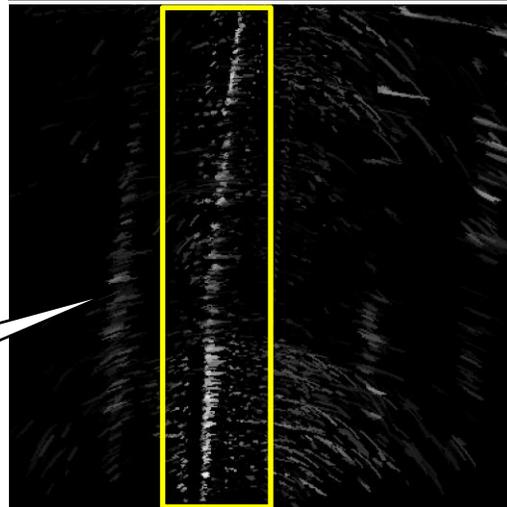
実車計測データセットを利用した freespace 推定 道路境界に立体物があるシーンのみを抽出したデータセットの生成

ガードレールや植え込みなど立体物が無いシーンにおいて、現状のミリ波レーダでは道路境界を検知できない
⇒ 立体物のあるシーンのみでの評価実施

前方カメラ画像



ミリ波レーダ
反射点マップ



金属フェンスに対応した
点群が見られる

ガードレールなど無く
縁石のみだと反射点群は
得られない

反射点群が出ているシーン

反射点群が出ていないシーン

直線上に点群があるシーンを半自動選定してデータセット生成 (全273シーン 中198シーン)

実車計測データセットを利用した freespace 推定 道路境界に反射点群がある場合の推定精度評価

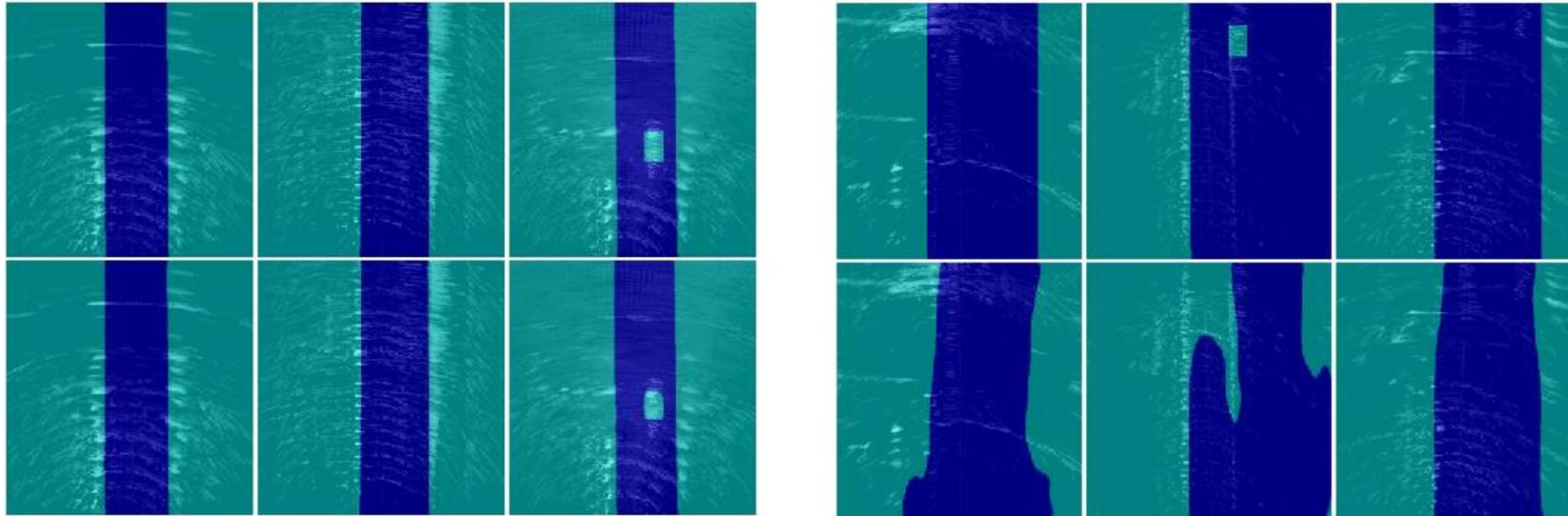
- 評価条件**
- ・直線シーンのみ273シーン
 - ・ピーク点抽出数値: 0.20
 - ・境界反射点群あり: 198 (70%), 無し: 75 (30%)

評価結果

境界反射点群有無	Global accuracy	Mean accuracy	Mean IoU	Weight IoU	Mean BF score
境界点群あり	0.9476	0.9408	0.8804	0.9020	0.6570
境界点群無し	0.8671	0.8625	0.7623	0.7647	0.5561
(全データ)	0.8841	0.8799	0.7865	0.7930	0.5864

・推定精度に明確な差発生⇒境界に立体物(点群)が無いと推定は困難

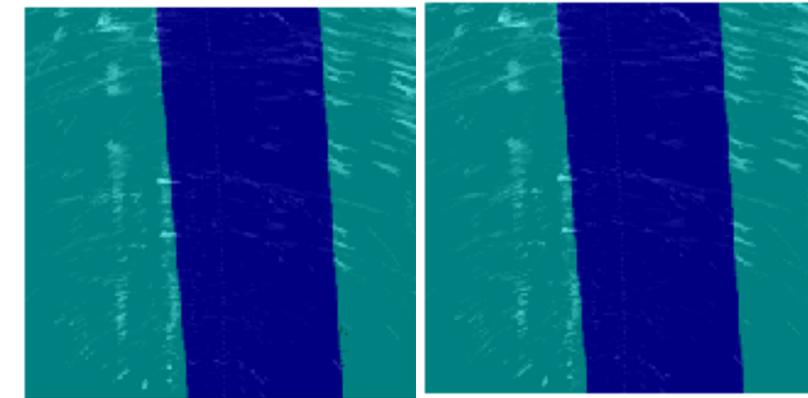
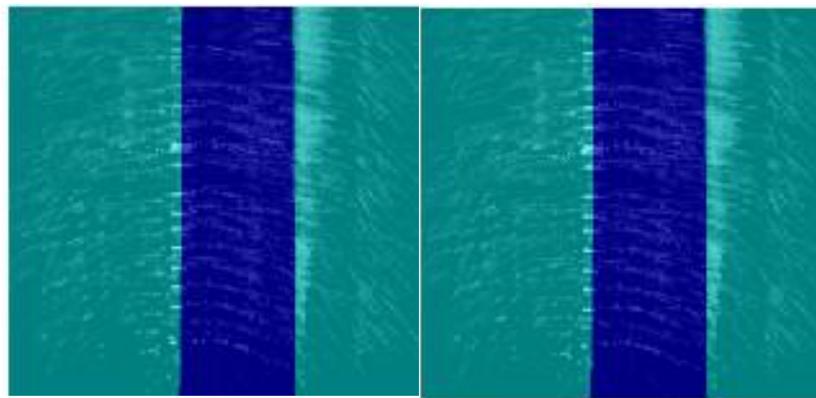
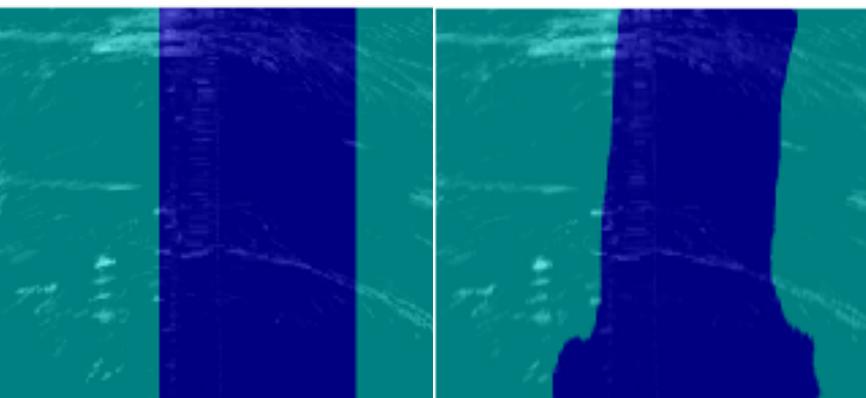
評価サンプル



境界点群のあるサンプル

境界点群の無いサンプル

実車計測データセットを利用した freespace 推定 道路境界に反射点群がある場合の推定精度評価 / 評価サンプル 道路境界立体物(ガードレール, 植え込み)の有無による推定精度の差異



レーダマップ重畳正解値 推定値
境界立体物の無いサンプル

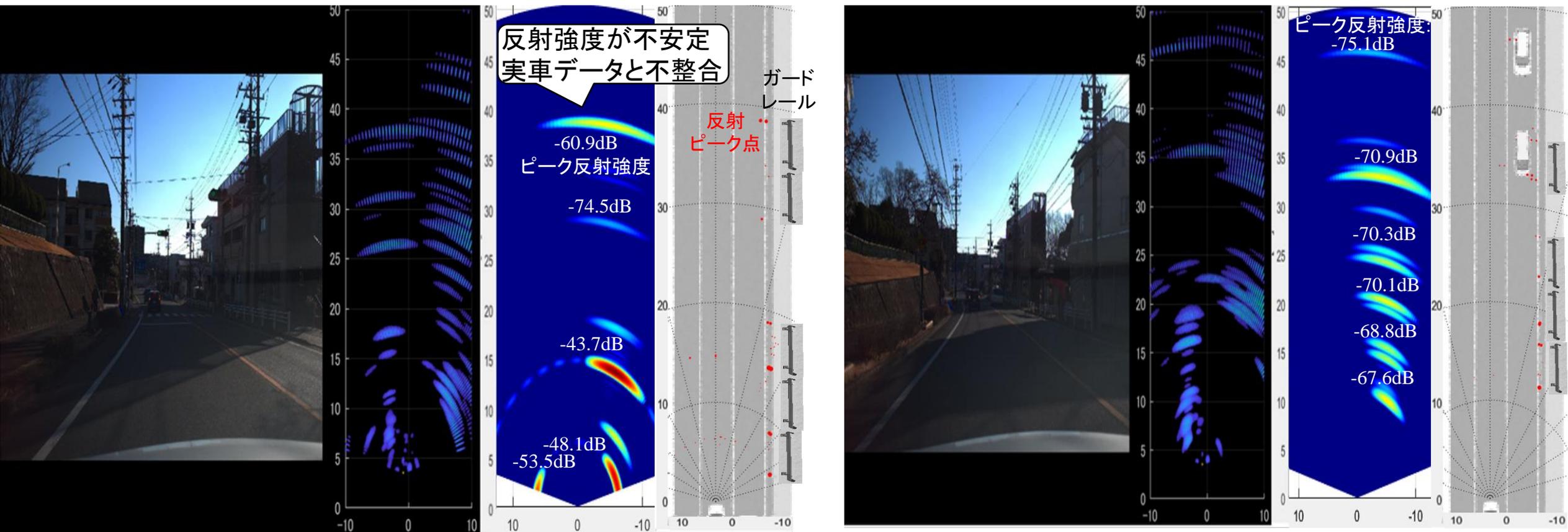
レーダマップ重畳正解値 推定値
境界立体物のあるサンプル

レーダマップ重畳正解値 推定値
樹木を含む境界立体物のあるサンプル

シミュレーションデータセットを利用した freespace 推定 道路境界構造物に対するシミュレーションと実車データの一致性確認

市街地計測シナリオの一部(ガードレールのみ)と対応したシナリオでシミュレータモデルを作成し, 実車データと比較

モデル化方法 SDMGMにてガードレールアクタを右側のみに適当に配置し, シミュレーション計算



実車レーダマップ シミュレーション モデルピーク点群

- ・ガードレールなど道路構造物のモデルが適合されておらず, 現状では評価は困難⇒今後, 評価可能内容を選定し実行
- ・SDMGMによる手作業でのモデル作成では, 機械学習に必要な多彩なシナリオ生成は非常に困難⇒関係者と協議し, 実施内容調整

シミュレーションデータセットを利用した freespace 推定 シミュレーションデータ生成条件

- ・SDM-Gにて、JARI模擬市街地マップ上にガードレールを配置し、ミリ波レーダ・LiDAR反射をDIVPシミュレータにて計算

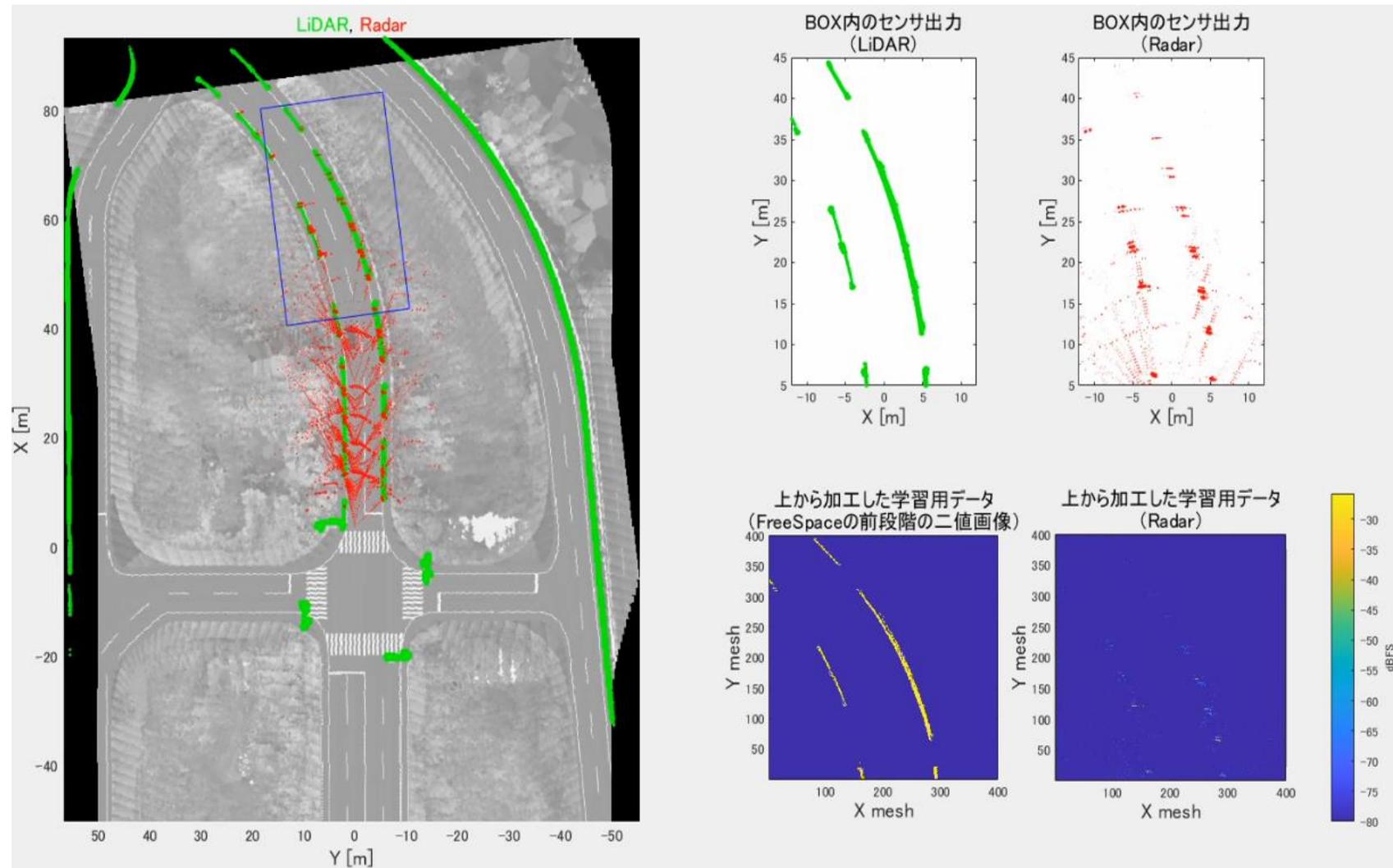
計算条件

- ・0.1秒毎に計測し、データ蓄積
- ・最新データの処理領域を抽出
- ・配列サイズ: 400x400
- ・使用道路: 直線1/2車線, カーブ1車線
- ・ガードレールの配置:
全領域およびランダムに除去

シミュレーション結果画面例

(片側1車線カーブ路,
ガードレールランダム除外)

- ・左図: JARI Jtown道路上の反射
- ・右上図: センサ出力
(左図の青枠領域抽出)
- ・右下図: 推定処理データ
(400x400画素)



シミュレーションデータセットを利用した freespace 推定 freespace 正解値生成を含む評価データセット生成

データセット概要

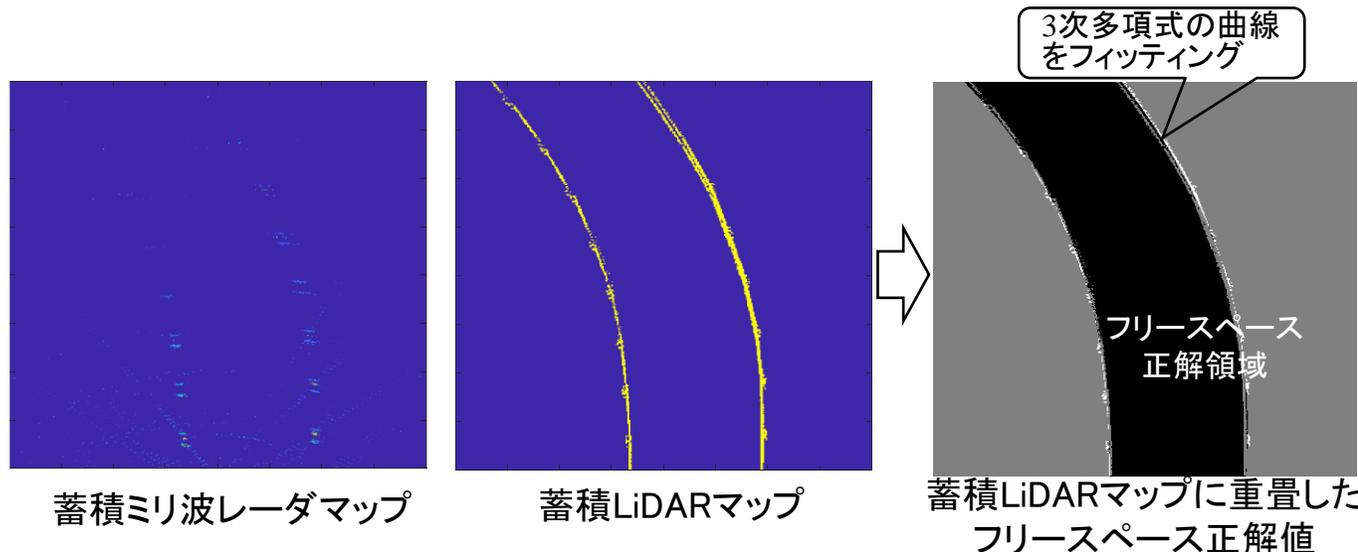
- ・入力データ: 反射マップを0.1秒毎に時々刻々蓄積したミリ波レーダマップ
- ・出力正解値: 下記方法にて蓄積LiDAR点群から直線若しくは曲線当て嵌めにより生成した freespace マップ
- ・評価コース: JARI模擬市街路内の片側1車線および2車線の直進路(左右車線走行), 片側1車線の曲線路
道路境界構造物: ガードレール(道路境界に隙間なく配置, ランダムに除外)
- ・データセット: 全1171データ

データ内訳

道路形状	車線	走行車線	ガードレール	枚数	割合(%)
直線	1	—	全境界設置	222	19.0
直線	1	—	ランダムに撤去	222	19.0
直線	2	左側	全境界設置	121	10.3
直線	2	右側	全境界設置	230	19.6
直線	2	右側	ランダムに撤去	230	19.6
カーブ	1	—	全境界設置	73	6.2
カーブ	1	—	ランダムに撤去	73	6.2

freespace 生成方法概要

- ・全境界ガードレール設置のシナリオでの, LiDAR点群マップに対して多項式曲線を最小自乗法にて当て嵌めて正解境界を計算
- ・ランダムガードレール設置除外のシナリオでは, 多項式曲線の当て嵌め精度が下がるため全境界ガードレール設置のシナリオのデータを流用



freespace 推定ロジック

- ・実車データおよび公開データセット評価で用いた
独自設計の24層畳み込みニューラルネットワーク(前述)

シミュレーションデータセットを利用した freespace 推定

freespace 推定結果

評価条件

- ・全データ(1171セット)を学習データ80%, 評価データ20%にランダムに分割し評価
- ・直線路データを0.5秒毎に間引きしたデータセット(350セット)に対しても評価(間引きデータ)
 - ー評価理由: 0.1秒間隔では評価データに学習データの類似データが含まれるため(データリークの改善)

推定結果評価値

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

- ・非常に高い推定精度が得られた。これは、評価シナリオが単調でサンプリング間隔が小さい為と推察される。評価データが学習データに類似していることが原因である。
- ・サンプリング間隔を長くしても、微少な精度低下はあるが、依然として高精度である。

結論

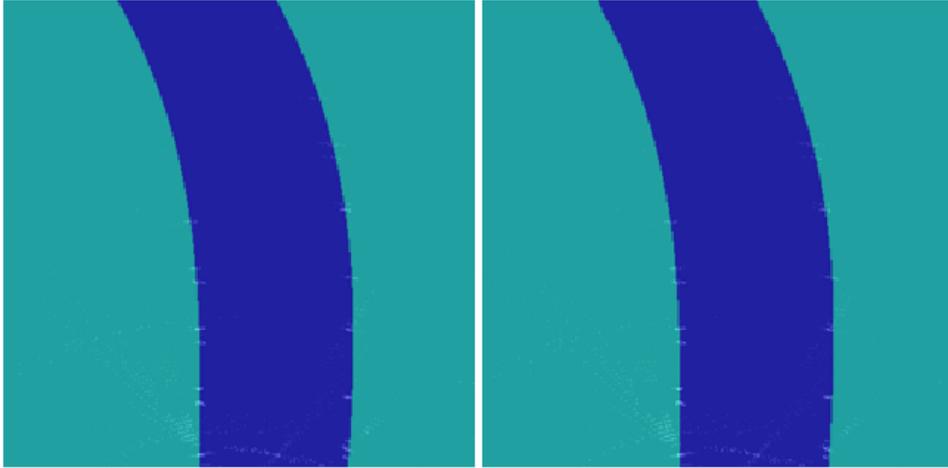
- ・DIVPシミュレータを用いて、 freespace 推定ロジックの評価が可能であることを示した。
- ・ freespace はこの条件では高精度に推定できるが、汎化性検証は出来ていない。

今後の進め方

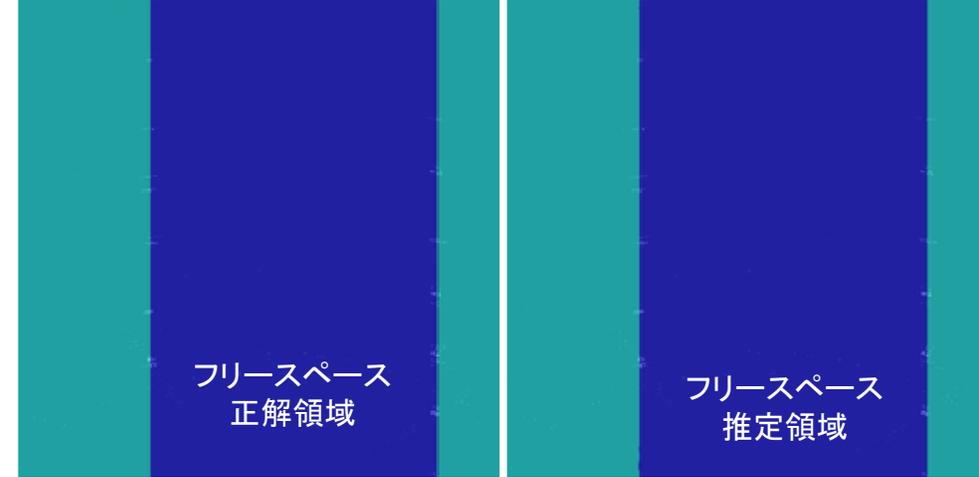
- ・実際の市街地シーンに準じたバリエーションの多いシナリオを生成し汎化性を評価する

シミュレーションデータセットを利用したフリースペース推定 フリースペース推定結果サンプル

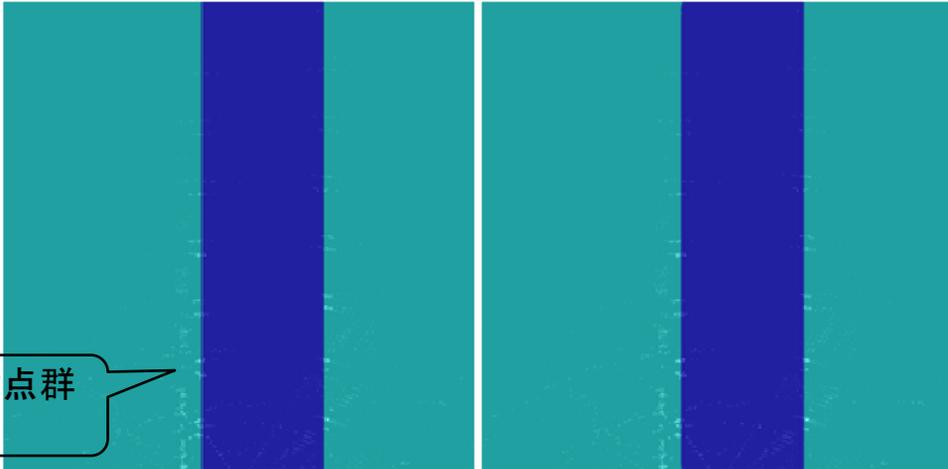
カーブ路
片側1車線



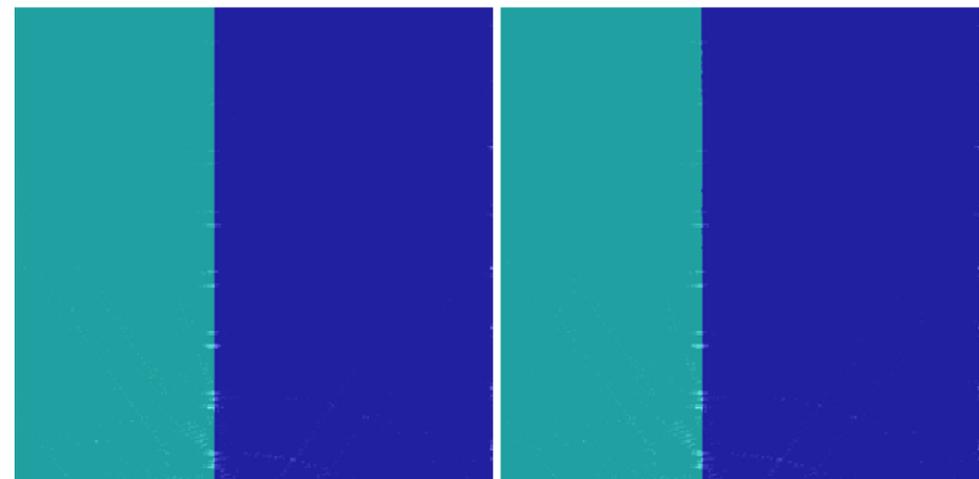
直線
片側2車線
右レーン走行



直線
片側1車線



直線
片側2車線
左レーン走行



正解値

推定結果

正解値

推定結果

これらのサンプルの様に、ほぼ完全にフリースペース推定ができている

評価条件: ランダムにガードレール撤去, 間引きデータ

【全国実証実験における Radar使用ニーズ調査】

①「全国100ヶ所」のうち、「RttL4 第二東名高速」の気象データを調査した。

テーマ(1)-1.a Radarニーズ調査

テーマ1 福井県永平寺町

- ・鉄道廃線跡地の自転車歩行者専用道路を自動運転車両の走路として通行許可承認取得
- ・木々の深い山間の走路のため、電磁誘導線を用いた小型電動カートを活用
- ・1人の遠隔監視・操作者が3台を運行可能なレベル3の自動運転装置の認可を日本初で取得し、2021年3月から無人自動運転移動サービスとして事業運行中



テーマ2 ひたちBRT (茨城県日立市)

- ・鉄道跡地をバス専用道路空間として整備
- ・一般車両や自転車などが混在しない
- ・時間帯顧客別にタイヤを構成。朝夕は駅への通勤・通学利用が多く、日中はスーパーなどを沿線住民が利用



テーマ3 第二東名高速

- ・日本の大都市間（東京～名古屋）を接続する高速道路
- ・従来の東名高速道路に並行し、現在、6車線化（片道3車線）の整備が進む
- ・路車間通信（V2I）実証実験も予定

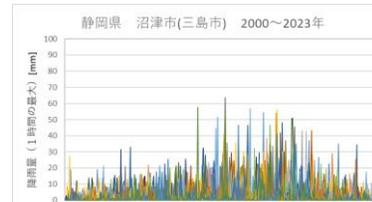


テーマ4 柏の葉(千葉県柏市)

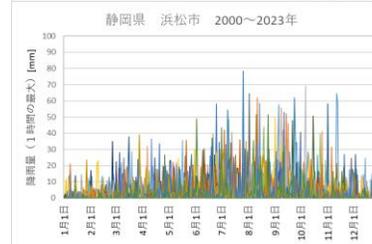
- ・東京大学、がん研究センターなど拠点施設が存在する再開発エリア
- ・「柏の葉スマートシティコンソーシアム」として、地域の移動需要を多様なデータ（プローブデータなど）から把握・予測し、MaaS展開を見据えた情報基盤を構築



出典：気象庁
「過去データのダウンロード」



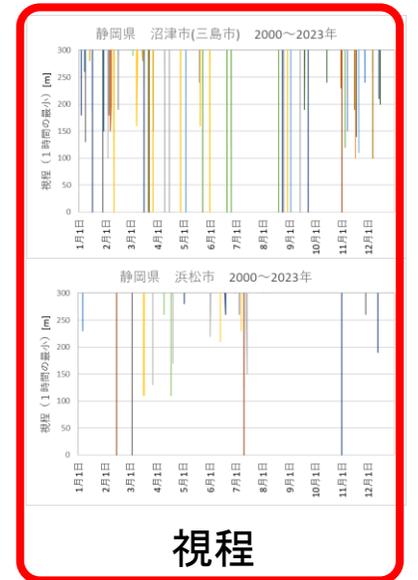
(データなし)



(データなし)

降雨量

降雪量



視程

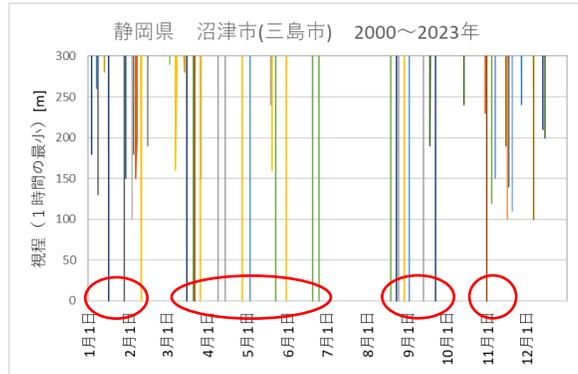
RttL4「第二東名高速」

2000～2023年の、1時間当たりの最悪値

【全国実証実験における Radar使用ニーズ調査】

① 結論：「RttL4 第二東名高速」は霧による視程の低下が課題。霧の影響を受けないRadarが有効。

テーマ(1)-1.a Radarニーズ調査

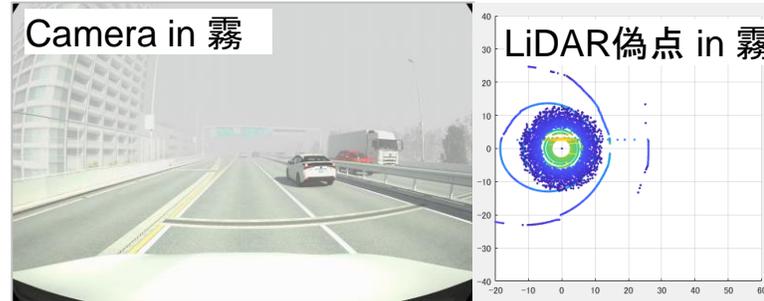


新東名 濃霧走行
出典: YouTube「新東名 濃霧走行」

【発見した課題と結論】

- ・ 視程の低下が著しい日がある。
- ・ Radarは霧の影響をほぼ受けないため、対策としてニーズが高いと結論した。

将来
ビジョン



DIVP-PFの環境モデル

- ・ 上記霧モデルを今期テーマ(1)-1.bにて開発。
- ・ ただし一致性検証は来期に持越し。

+
接続・連携

入手可能な有料気象データ

- ・ 降雨: 1kmメッシュ / 1時間毎
- ・ 降雪: 5kmメッシュ / 1時間毎
- ・ 視程: 5kmメッシュ / 3時間毎



【将来的な貢献ビジョン】

- ・ 国が「自動運転専用レーン」を解放する際の、判断根拠となるデータを整備して行く。
(例) 年間の自動運転運行率の予測。
 - ・ Radar 無 / 有: 〇〇% / 〇〇%
 - ・ 路車協調 無 / 有: 〇〇% / 〇〇%
- ・ そのためにも、気象データのような基礎データを関係者間で共有する必要性を、本活動を通じて訴えて行く。

【全国実証実験における Radar使用ニーズ調査】

②「全国100ヶ所」のうち、「2023年度に確定した13ヶ所」の気象データを調査した。

テーマ(1)-1.a Radarニーズ調査

地域公共交通等における自動運転の推進 国土交通省

○自動運転について、国際標準化も見据え、2025年度目途 50ヵ所程度、2027年度 100ヵ所以上の目標を実現※するべく、2024年度において、**社会実装**につながる「**一般道での通年運行事業**」を20ヵ所以上に**倍増**するとともに、自動運転のすそ野拡大を図るため、**全ての各都道府県で1ヵ所以上の計画・運行**を目指す。
※デジタル田園都市国家構想総合戦略(2022年12月閣議決定)

○交差点等での円滑な走行を支援する「**路車協調システム**」の整備など、**道路側からの支援も推進**する。

2023年度

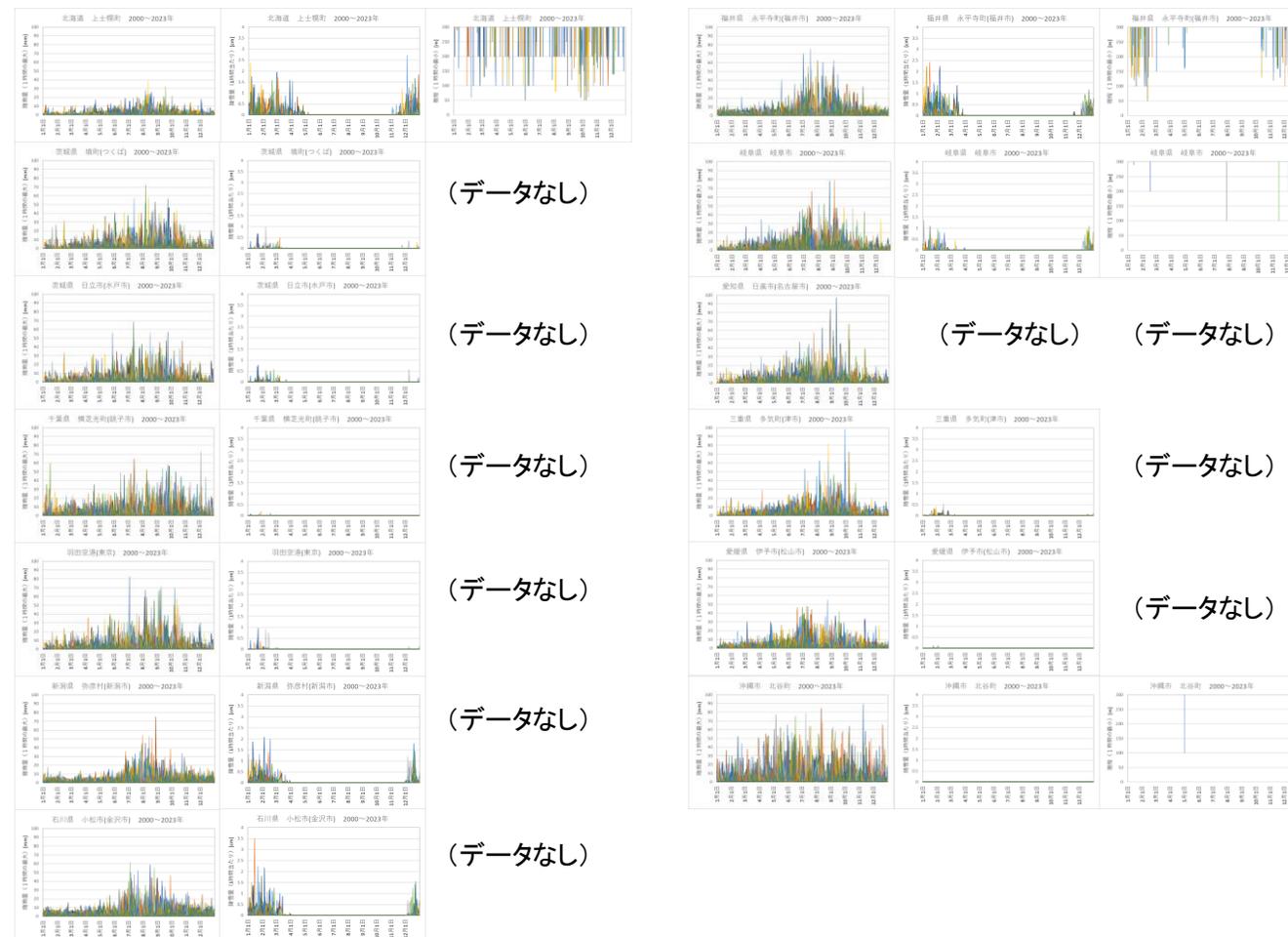
- 62件の事業を採択し、全国各地で展開。様々な状況における実走行データの収集などを通じ、自動運転技術の向上を目指す。
- うち、10ヵ所以上で一般道での通年運行事業を実施予定。

自動運転バスに触れ、**便利さを実感し**、自動運転への**理解と期待(=受容性)**を高める。

2024年度

- 社会実装**につながる「**一般道での通年運行事業**」を**20ヵ所以上に倍増**するとともに、**交差点等での円滑な走行を支援する「路車協調システム」の整備等道路側の環境整備も実施**
 - 過疎地・都市部といった地域性や、通勤・通学需要への対応など、地域課題に応じた事業を積極的に支援。
 - 通年運行を行う中で、事業採算性の確保方策についても検証。
- 全ての各都道府県で1ヵ所以上の計画・運行**を目指す
 全国各地で「いつでも気軽に自動運転バス・タクシー」に触れ、地域の住民から「見える」自動運転の導入を促進
- 高速道路においても自動運転レーンを活用した自動運転トラックの社会実装に向けた取組を実施**

※上記は一般道での通年運行を実施予定の自治体



降雨量 降雪量 視程 降雨量 降雪量 視程

2000～2023年の、1時間当たりの最悪値

「全国100ヶ所」のうち、「2023年度に確定した13ヶ所」

Source : 神奈川工科大学



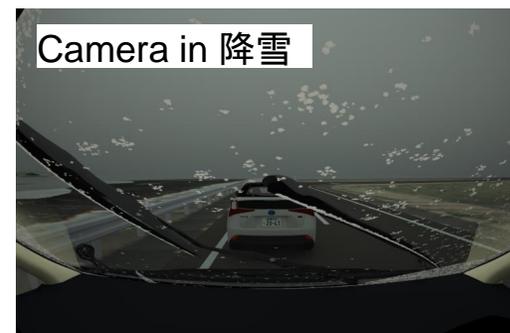
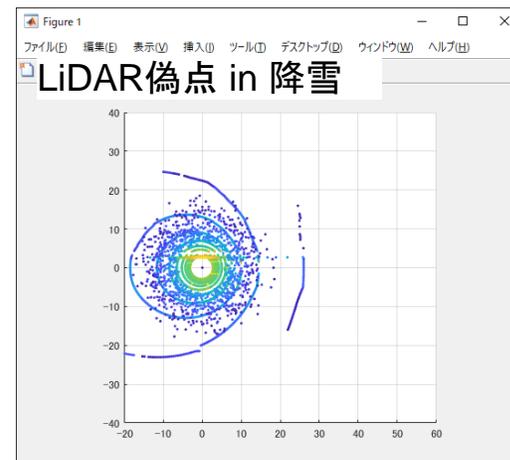
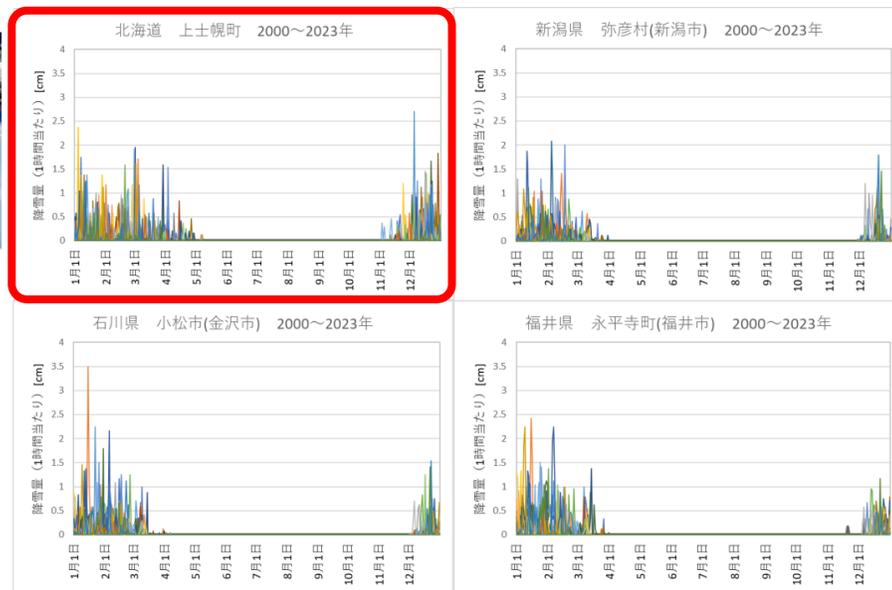
【全国実証実験における Radar使用ニーズ調査】

② 結論：「2023年度に確定した13ヶ所」では、降雪によるLiDAR偽点が課題。

テーマ(1)-1.a Radarニーズ調査



出典：BOLDLY社プレスリリース



【発見した課題】

- ・ 13ヶ所中4カ所が雪国。中でも北海道上士幌町は、冬季の積雪の中でも運行中。
⇒ 「全国100ヶ所」実現のためには、雪国対策が必要不可欠な情勢。
- ・ その上士幌町では、一番の技術課題は降雪によるLiDAR偽点、との報道。
⇒ 降雪による偽点の定量モデルのニーズが高い。

【今期の成果・結論・現状】

- ・ 定量解析可能な降雪モデルを今期 テーマ(1)-1.b で開発したが、一致性検証が間に合わず来期に持越し。
- ・ 来期この降雪モデルを用い、Radar ニーズを明らかにして行く。

テーマ(1)-1.b センサから見た環境・空間・現象の解析とモデル

環境モデル開発の、全体状況

計画通り環境モデルを拡張できた。→センサ弱点評価, 認識限界評価, ODD決定への適用が可能!

(1)-1.b 環境モデル拡張

凡例

◎: 一致性確認済	SIPにて実施済
○: 一致性未確認	23年度実施
-: 未実装	24年度実施予定

		Camera	LiDAR	Radar
光源	太陽光	◎	◎	◎
	逆光	◎	◎	◎
	街灯	◎	◎	◎
空間モデル	降雨	○	減衰 ◎ 偽点 ◎	減衰 ◎ 偽点 ◎
	霧	○	減衰 ◎ 偽点 ◎	○
	降雪	○	減衰 ○ 偽点 ○	減衰 ○ 偽点 ○
センサの 界面モデル	水滴付着	- 外付けカメラでは必須	-	-
	雪付着	-	-	◎
巻き上げ	水	-	-	-
	雪	-	-	-



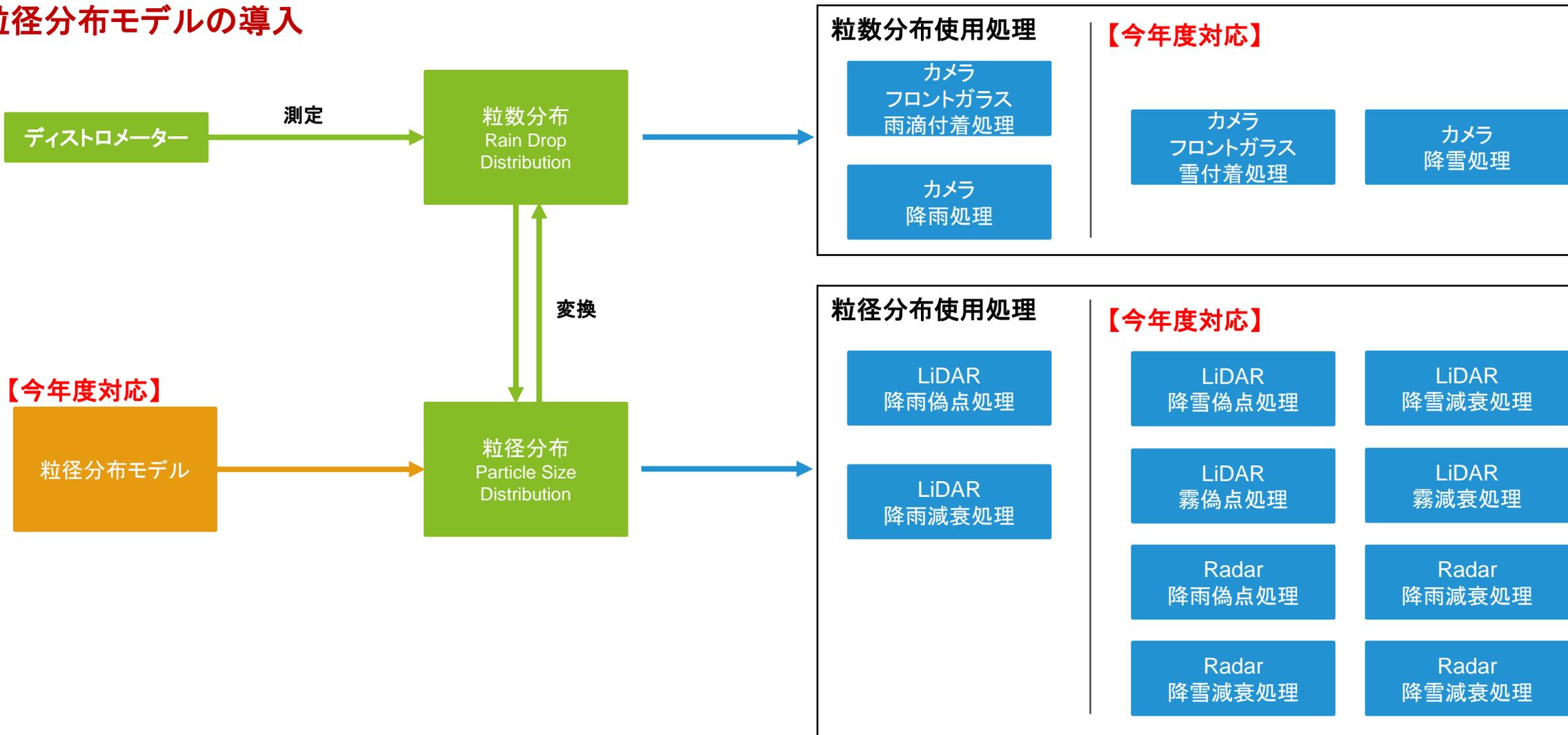
環境モデル開発の、今期の成果

研究・実装項目

センサー	天候	処理	概要
カメラ	雪	降雪	パーティクルによる降雪の再現
		フロントガラス付着	フロントガラス面への雪付着とワイパー処理の再現
LiDAR	雨	散乱・減衰	粒径分布の理論式導入
	雪	散乱・減衰	粒径分布の理論式導入
	霧	散乱・減衰	粒径分布の理論式導入
Radar	雨	散乱・減衰	ミー散乱理論による散乱・減衰処理 粒径分布の理論式導入
	雪	散乱・減衰	ミー散乱理論による散乱・減衰処理 粒径分布の理論式導入

粒子分布データのない降雪処理のために、粒径分布モデルを導入

粒径分布モデルの導入



様々な粒径分布モデルを導入することで、測定データのない降雨量にも対応可能に。

粒径分布モデル

ある降水量の環境において、自然界の雨を長期間観測して統計的にモデル化したもの。

【降雨】

モデル名	Laws-Parsons	Marshall Palmer	Joss-Drizzle	Joss-Thunderstorm
文献	[1],[2]	[3]	[4]	[4]
式	$N_D = N_0 D^{2.93} e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 1.98 * 10^4 R^{-0.384}$ $\Lambda = 5.38 R^{-0.186}$	$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 8 * 10^3$ $\Lambda = 4.1 R^{-0.21}$	$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 3 * 10^4$ $\Lambda = 5.7 R^{-0.21}$	$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 1.4 * 10^3$ $\Lambda = 3.0 R^{-0.21}$

【降雪】

モデル名	Gunn Marshall	Sekhon Srivastava
文献	[5]	[6]
式	$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 7.6 * 10^3 R^{-0.87}$ $\Lambda = 2.55 R^{-0.48}$	$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$ $N_0 = 5.0 * 10^3 R^{-0.94}$ $\Lambda = 2.29 R^{-0.45}$

【霧】

モデル名	Deimendjian
文献	[7]
式	$N_D = \frac{\gamma \rho b^{\frac{\alpha+1}{\gamma}}}{\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\gamma}\right)} \left(\frac{D}{2}\right)^\alpha e^{-b\left(\frac{D}{2}\right)^\gamma}$

[1] R. G. Medhurst, "Rainfall attenuation of centimeter waves: Comparison of theory and measurement," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-13, pp. 550-564, July 1965.

[2] J. O. Laws and D. A. Parsons, "The relation of raindrop-size to intensity," Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 24, pp. 452-460, 1943

[3] J. S. Marshall and W. McK. Palmer, "The distribution of raindrops with size," J. Meteor., vol. 5, pp. 165-166, Aug. 1948.

[4] J. Joss, J. C. Thams, and A. Waldvogel, "The variation of raindrop size distributions at Locarno," in Proc. Int. Conf. Cloud Physics, pp. 369-373, 1968.

[5] Gunn, K. L. S. and Marshall, J. S.: The Distribution with Size of Aggregate Snowflakes, J. Meteorol., 15, 453-455, 1957.

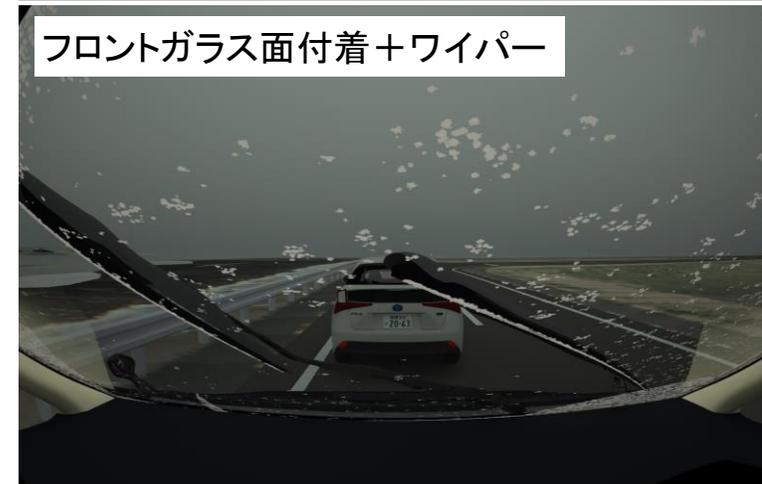
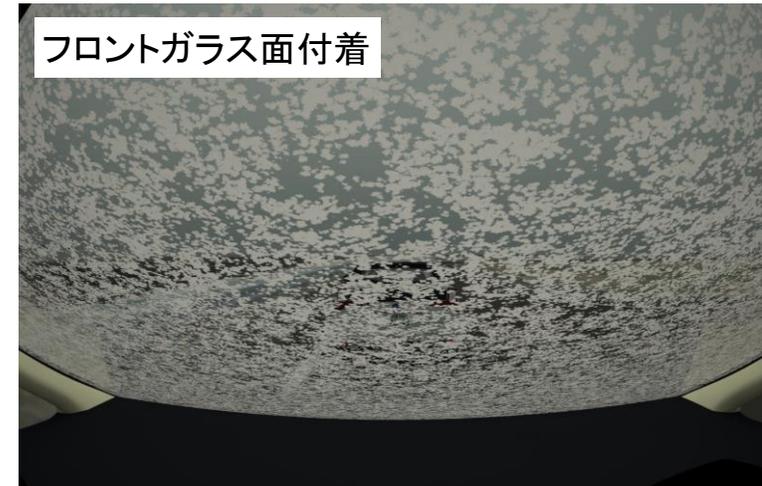
[6] Sekhon, R. S. and Srivastava, R. C.: Snow size spectra and radar reflectivity, J. Meteorol., 27(2), 299-307, 1970.

[7] Isaac, K. I., McArthur, B., and Korevaar, E.: Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications, Proc. SPIE Vol. 4214, Optical Wireless Communications III, pp. 26-37, 2001.

【カメラ】降雪とフロントガラス面降雪付着処理を実装

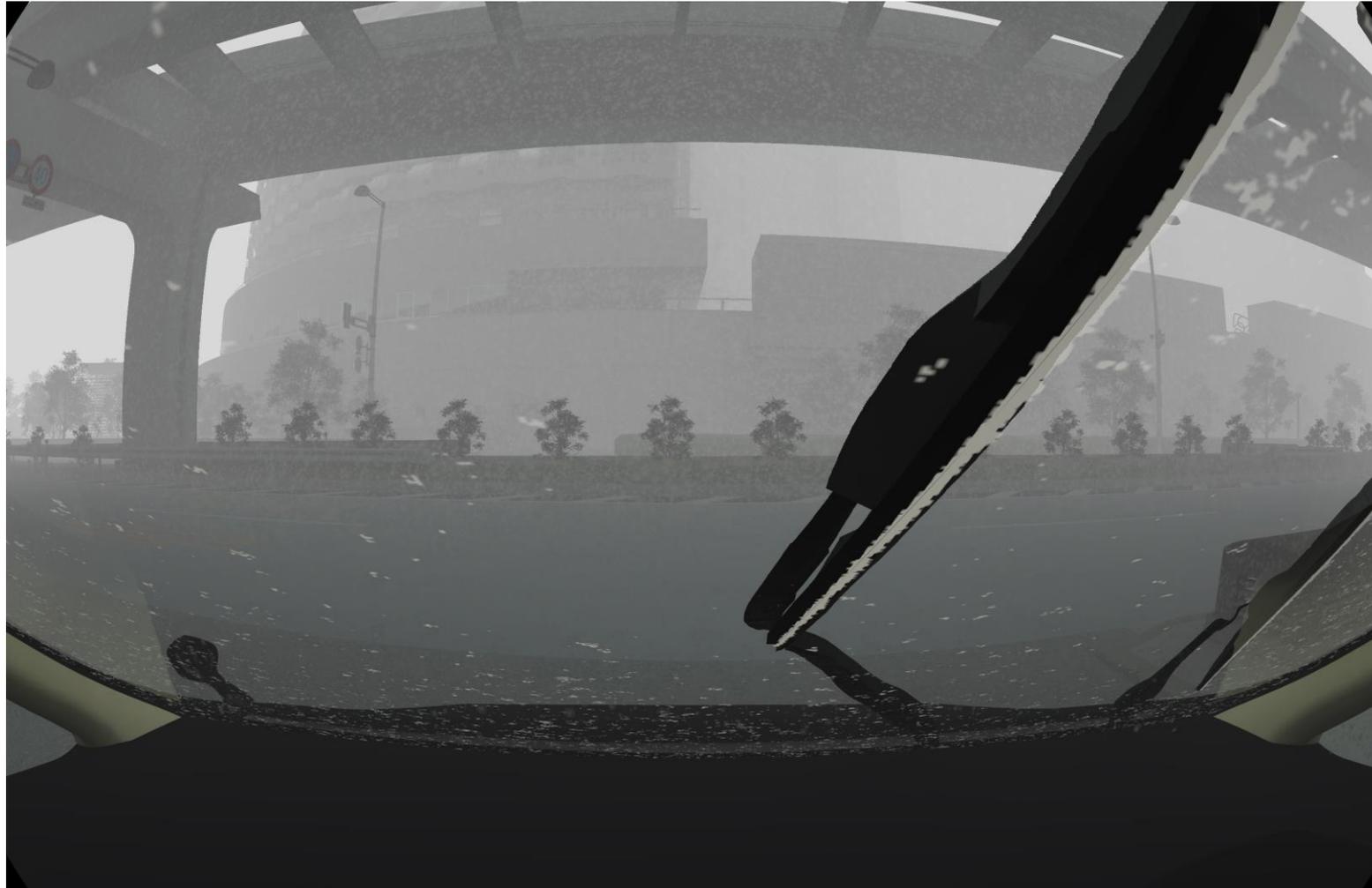
降雪とフロントガラス付着結果例

2種類の雪粒径分布を用いて、降雪とフロントガラス面付着の再現を実施。



【カメラ】降雪とフロントガラス面降雪付着処理を実装

降雪処理、ガラス面付着、フォグを組み合わせた結果例

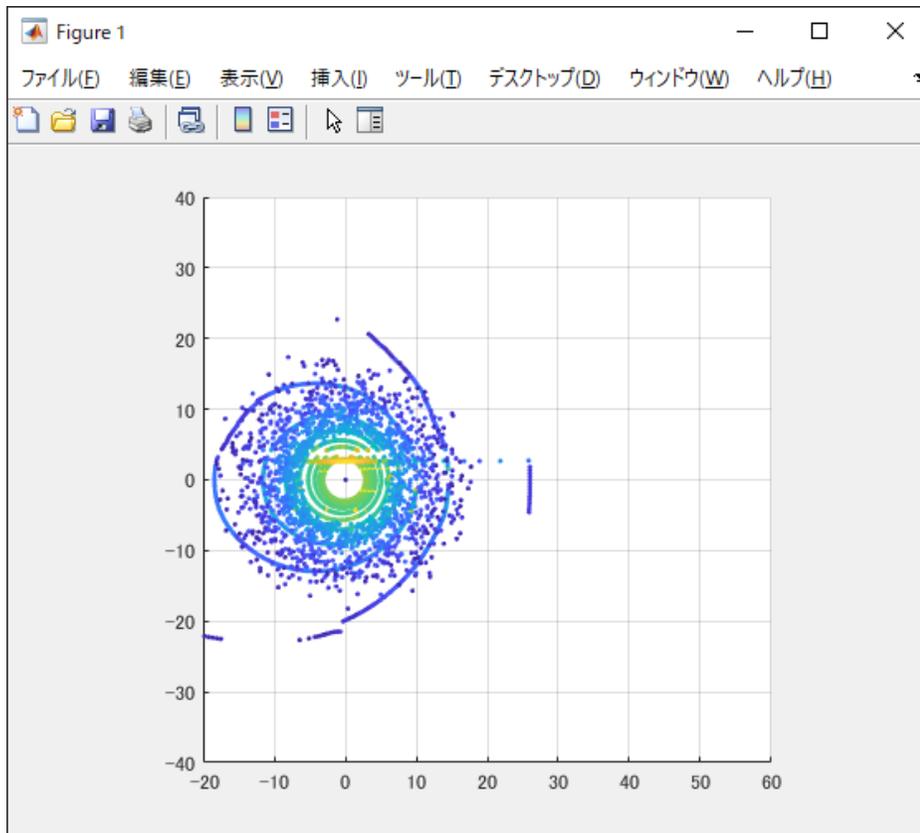


【LiDAR】降雪偽点と降雪減衰処理を実装

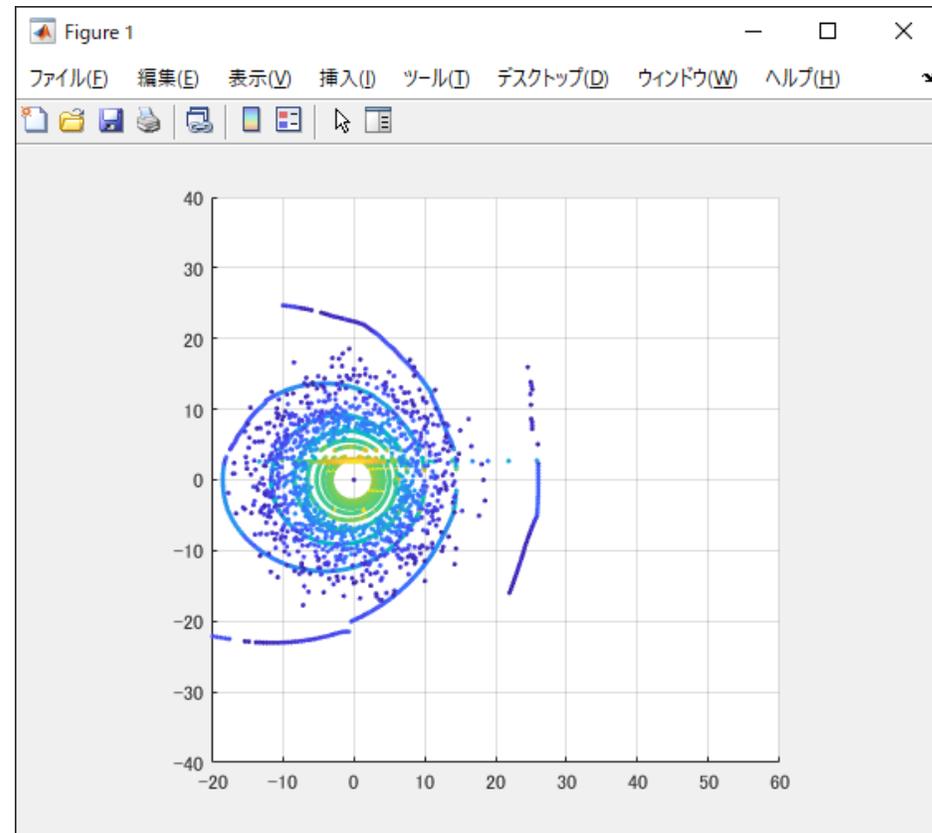
LiDAR降雪処理実行結果例

2種類の粒径分布で、降雪偽点が発生することを確認。
一貫性検証は未実施のため、検証実験の実施を検討中。

Gunn Marshall



Sekhon Srivastava



【LiDAR】霧偽点と霧減衰処理を実装

霧タイプと実行例

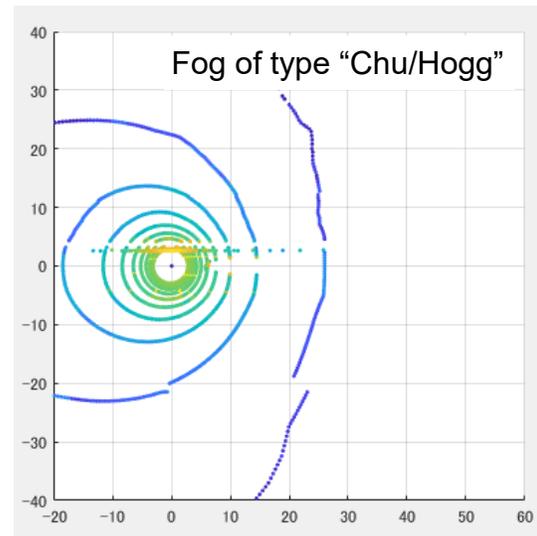
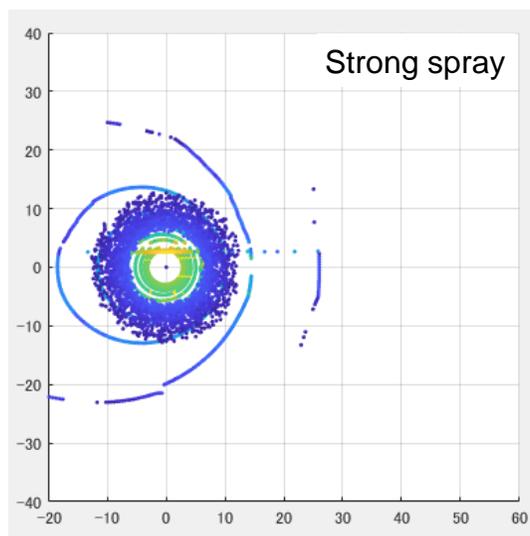
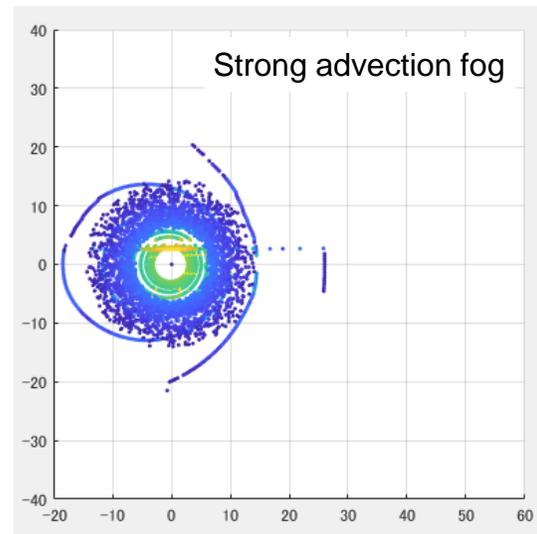
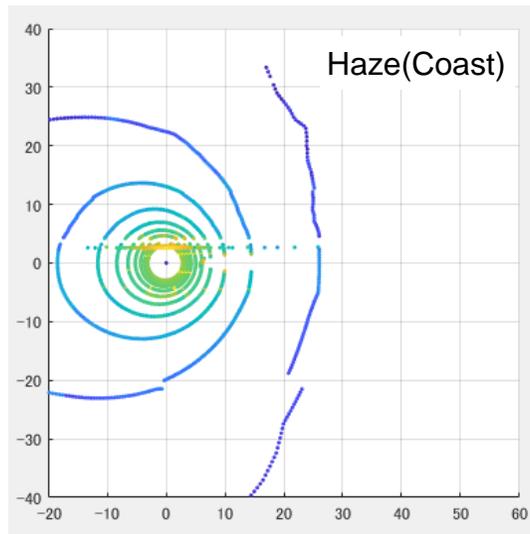
霧タイプ

Weather condition	ρ [cm^{-3}]	α	γ	r_C [μm]
Haze (coast)	100	1	0.5	0.05
Haze (continental)	100	2	0.5	0.07
Strong advection fog	20	3	1.0	10.00
Moderate advection fog	20	3	1.0	8.00
Strong spray	100	6	1.0	4.00
Moderate spray	100	6	1.0	2.00
Fog of type “Chu/Hogg”	20	2	0.5	1.00

数種類の霧のタイプを実装。

霧の密度や粒子の大きさによって、偽点が発生したりしなかったりすことを確認。

一貫性検証は未実施のため、検証実験の実施を検討中。

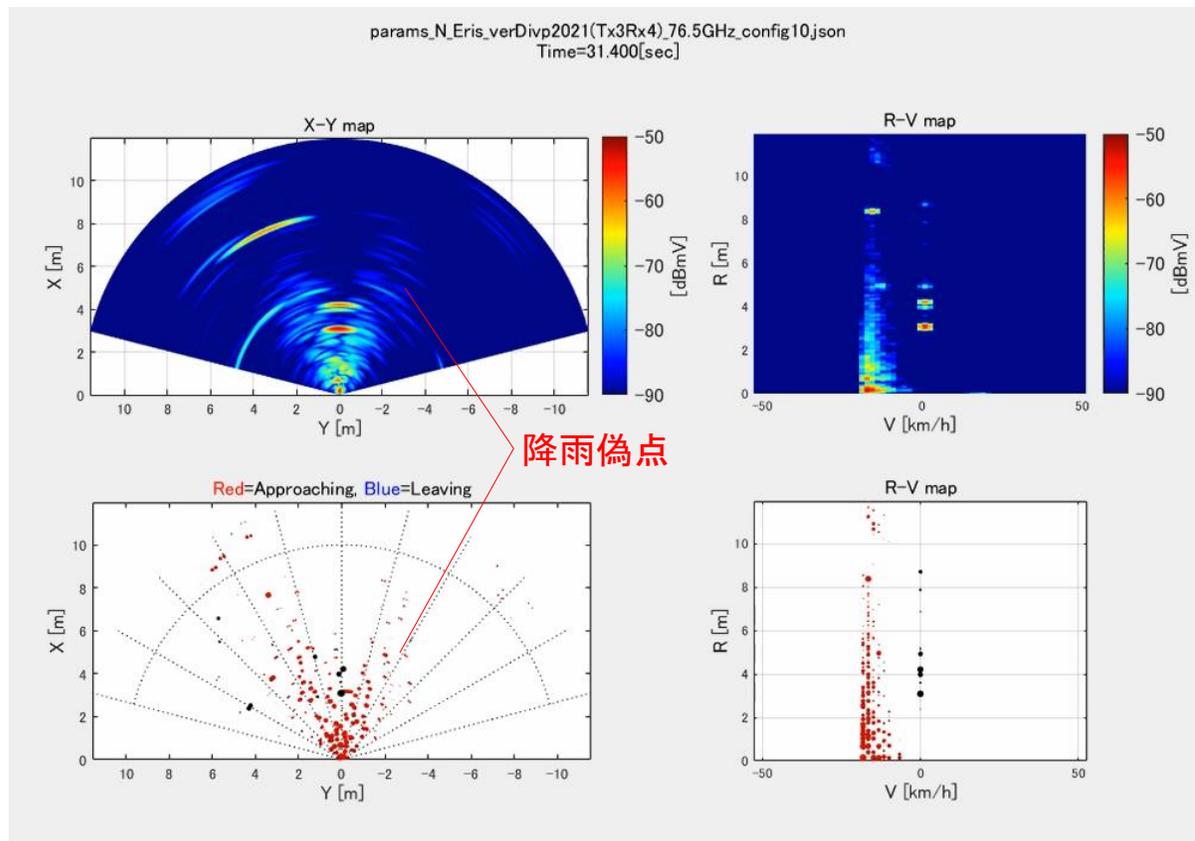


【Radar】降雨偽点と降雨減衰処理を実装

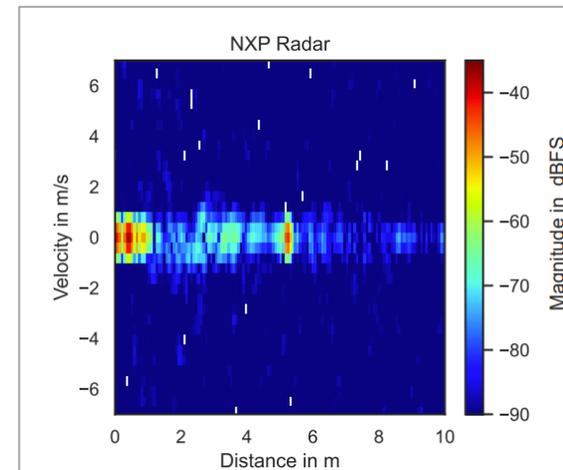
Radar降雨処理実行結果例

実測と類似した結果が得られることを確認。

シミュレーション結果



実測結果

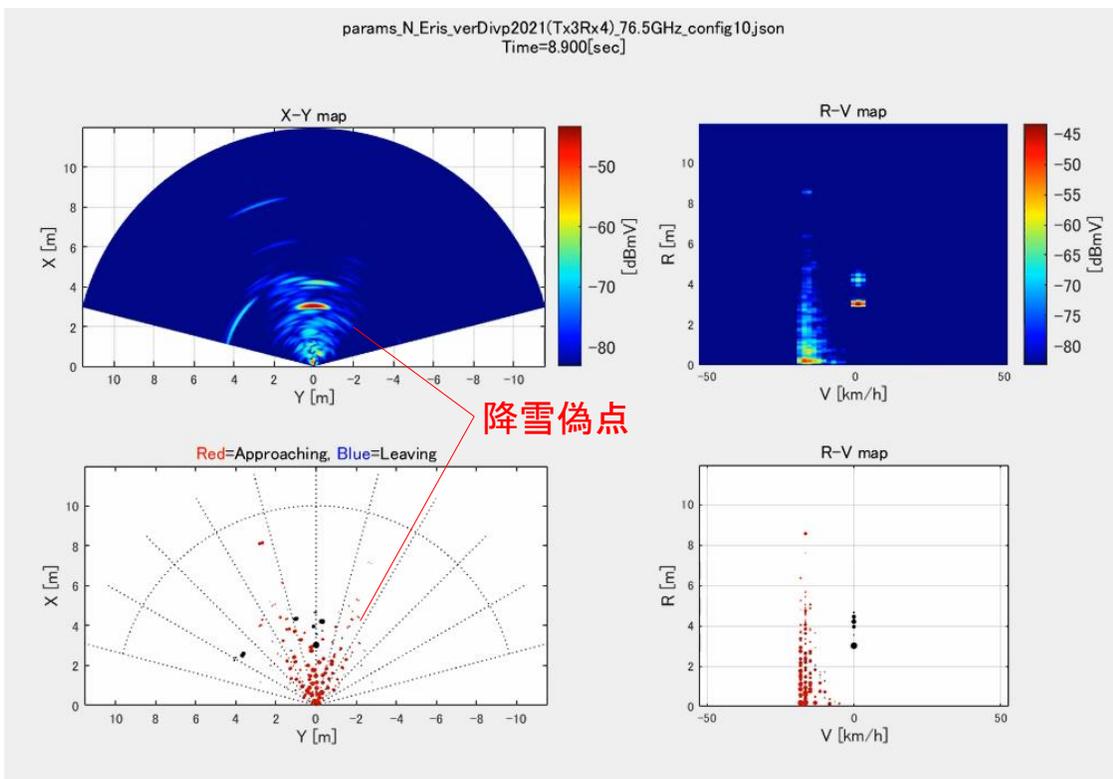


【Radar】降雪偽点と降雪減衰処理を実装

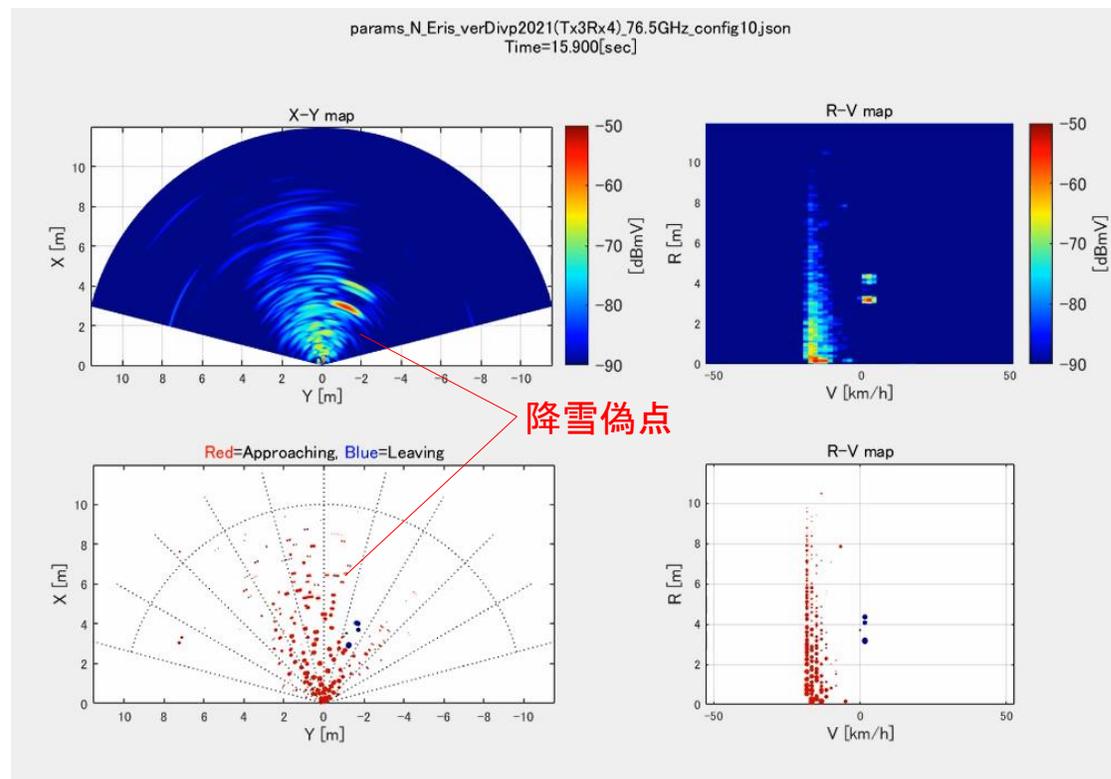
Radar降雪処理実行結果例

2種類の粒径分布で、降雪偽点が発生することを確認。
一貫性検証は未実施のため、検証実験の実施を検討中。

Gunn Marshall

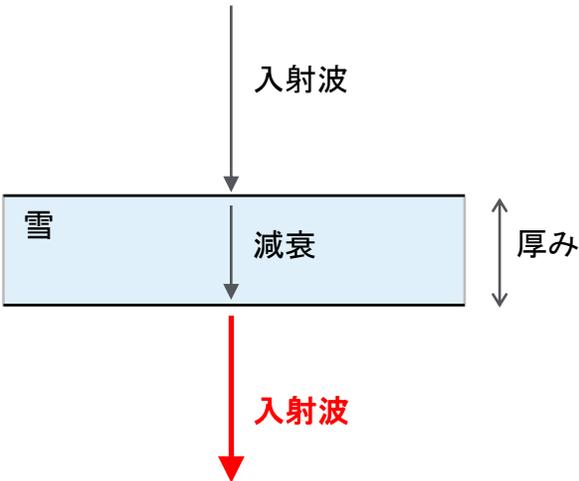
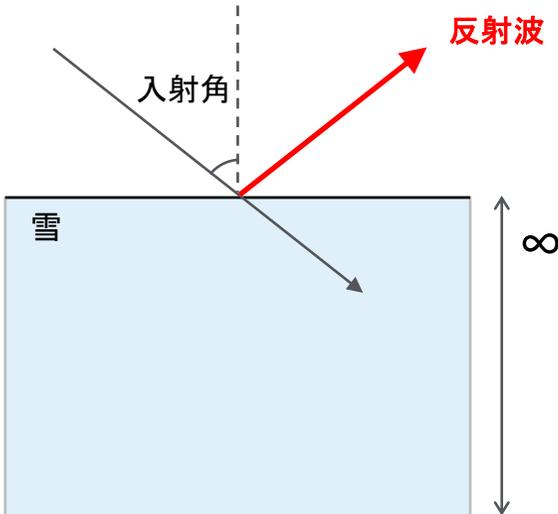


Sekhon Srivastava



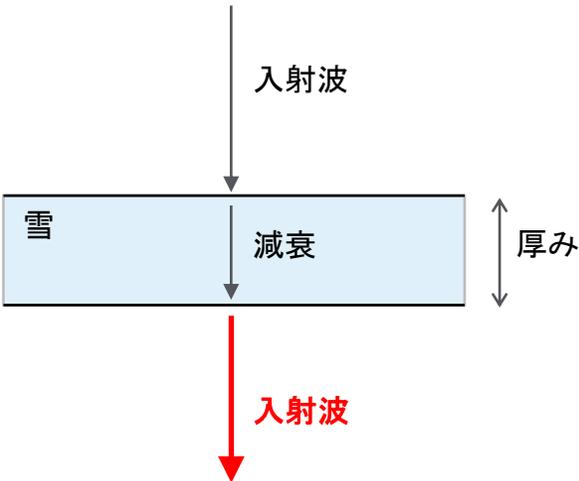
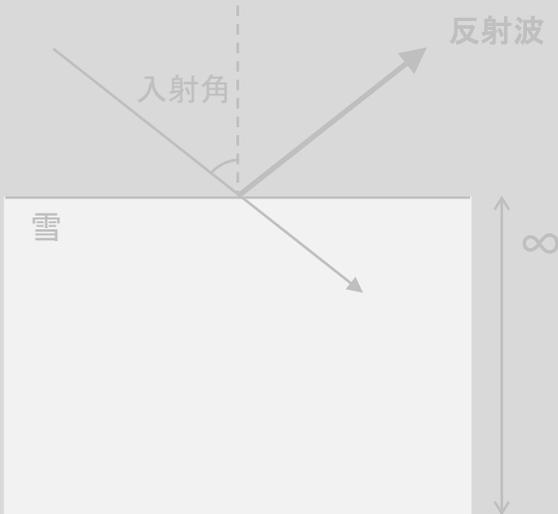
【雪モデル開発】 今期の担当内容一覧

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

雪のミリ波特性の把握		仮想空間に再現すべき雪景色の、 現実的なイメージの取りまとめ
① 透過測定	② 反射測定	③ 積雪量・降雪量
		<p>積雪</p>  <p>降雪</p> 
		

【雪モデル開発】 今期の担当内容一覧

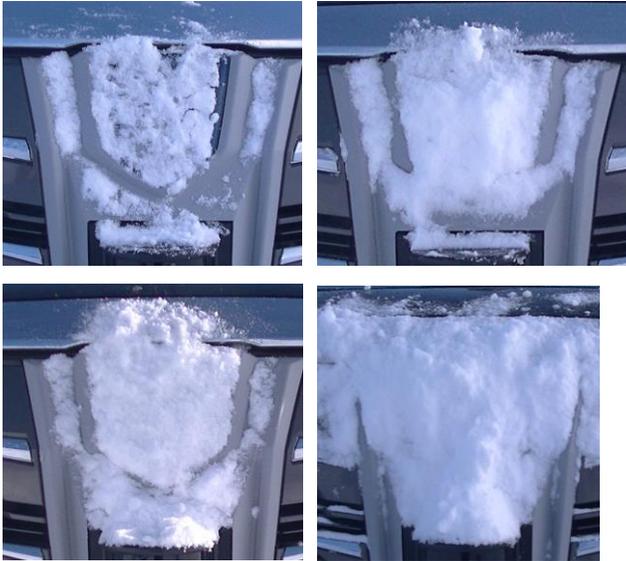
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

雪のミリ波特性の把握		仮想空間に再現すべき雪景色の、 現実的なイメージの取りまとめ
① 透過測定	② 反射測定	③ 積雪・降雪
		<p>積雪</p>  <p>降雪</p> 
		

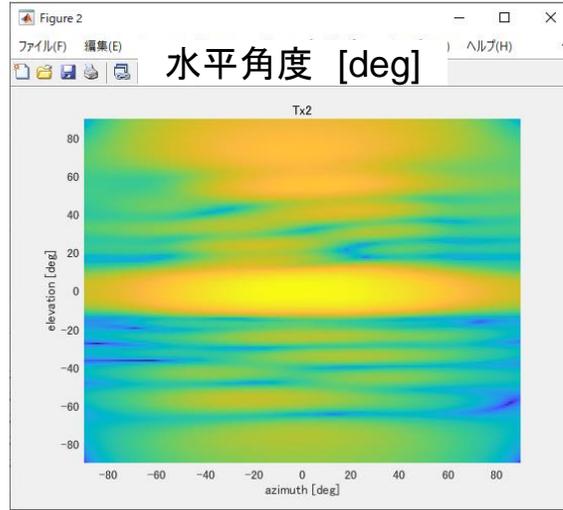
【雪モデル開発】

① 透過測定：目的と解決策

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



垂直角 [deg]



既存のアンテナ放射パターン数値テーブルに、

×
掛け算

垂直角 [deg]

水平角度 [deg]

	-90	-80	-70	...	90
-90	1	0.123	1	...	1
-80	0.345	0.001	0.005	...	1
-70	0.343	0.001	0.001	...	1
-60	1	0.013	0.209	...	1
-50	1	1	1	...	1
...
90	1	1	1	...	1

雪の有無とロスを表す、数値テーブルを掛け算
(ユーザが自由に設定可能)

ロスを表す数式開発担当



目的

エンブレムに付着した雪が、
Radarへ与えるロスを定量解析。

課題

雪の形・厚み・含水率の偏りを
どうモデル化するか？

解決策

プログラム開発担当



【雪モデル開発】

① 透過測定：【Step1 文献調査によるロスの数式化】

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

出典：<https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd62/rd6230/rd62300105.html>



ミリ波列車無線システム

3. 鉄道特有環境における電波伝搬特性の把握

3-1. 40GHz帯によるミリ波列車無線システム

(c) 着雪による透過減衰特性

降雪地域にアンテナを設置する場合、アンテナ表面への着雪が通信品質に影響を及ぼすことが想定されます。そこで、雪の厚さと含水率が、40GHz帯ミリ波の伝搬に与える影響（減衰量）を測定により把握しました（図3）。その結果、回線設計時のマージン設定に着雪の影響を考慮するとともに、アンテナ表面に着雪させない工夫が必要であることが分かりました。

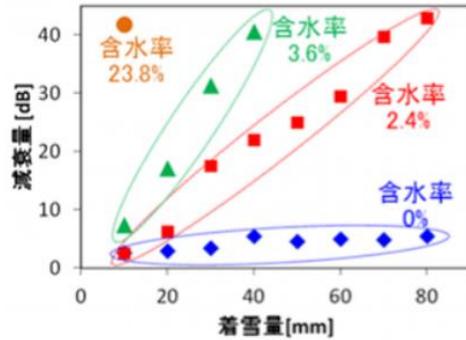


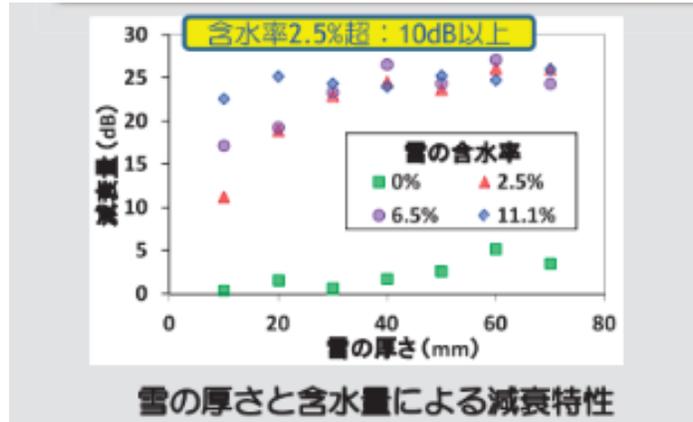
図3 雪の含水率・厚さと減衰特性

文献1 (40GHz)

データ数が少ないため、これらを77GHzに換算し混合した。

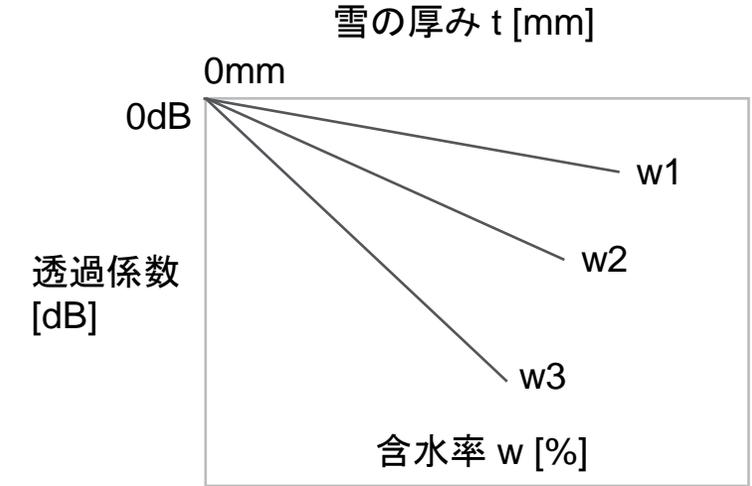
文献2 (90GHz)

90GHz帯ミリ波の鉄道環境での活用



雪の厚さと含水量による減衰特性

結果



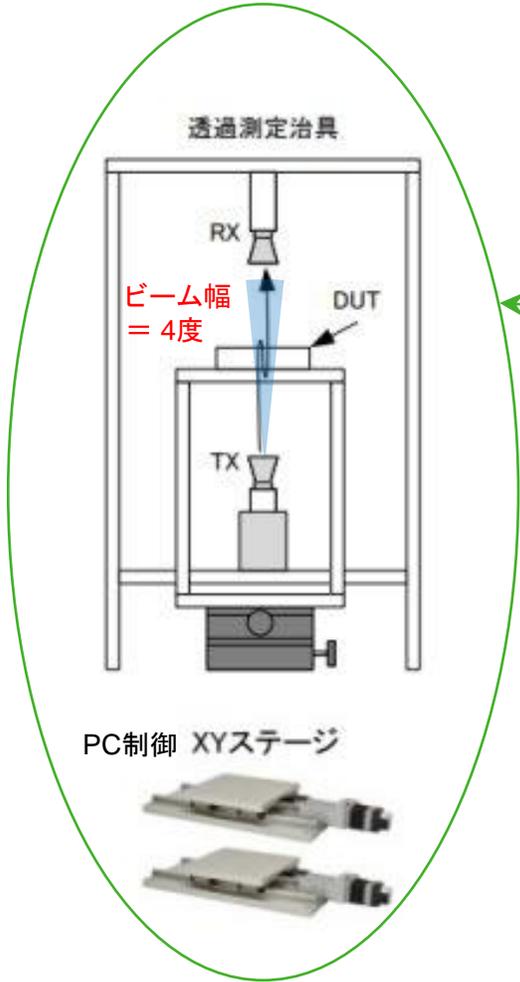
$$\text{透過係数 [dB]} = - (0.0642 + 0.2516 * w) * t$$

しかし、【Step2】で自分達で測定を行ううち、雪はこのような単純な式ではなく、もっと複雑な現象を起こすことを発見した。
(文献にも見当たらない新しい知見)

【雪モデル開発】

① 透過測定：【Step2 自分達自身で実験】 世界最高レベルの測定系を構築した。

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

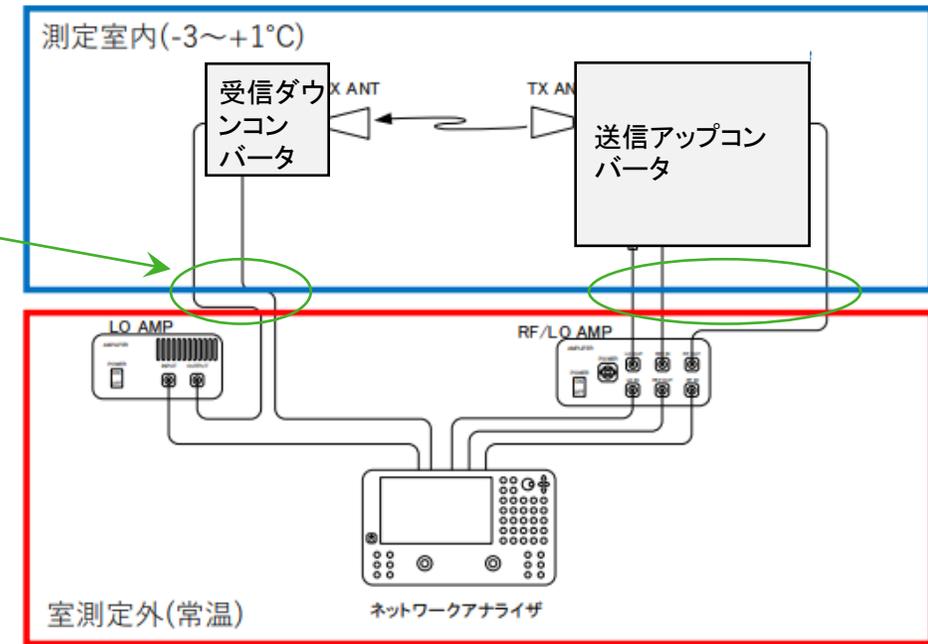


改良



国立研究開発法人防災科学技術研究所
雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所

高価な精密測定機は常温室に置き、
最低限の機材のみ低温室に置いた。



出典：Microwave Factory社

文献で見ると、
この分野では**世界最高レベルの測定系**。

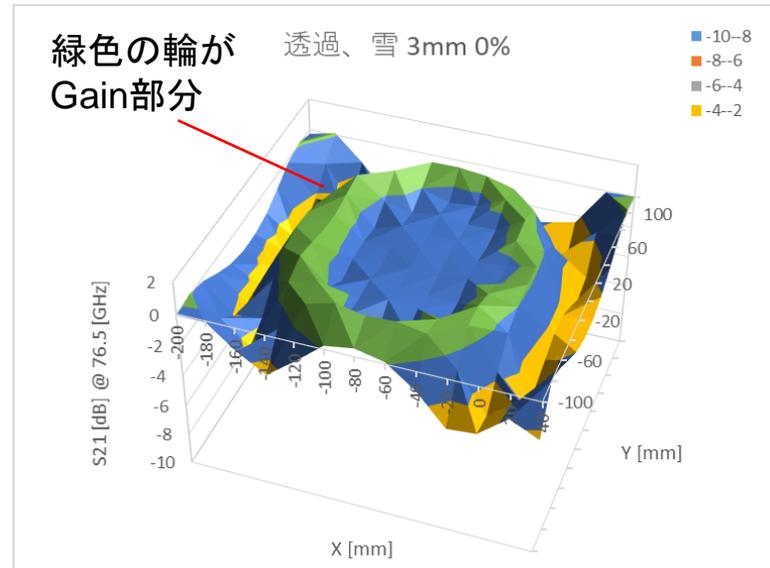
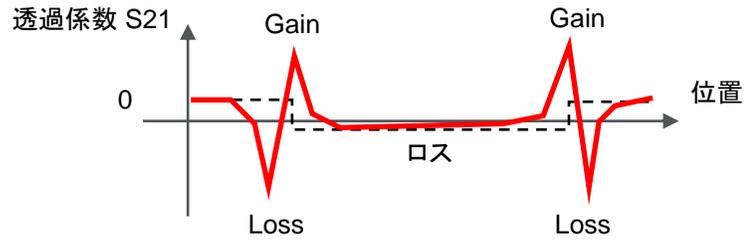
【雪モデル開発】

① 透過測定: 【Step2 自分達自身で実験】 発見した新しい知見 (1/2)

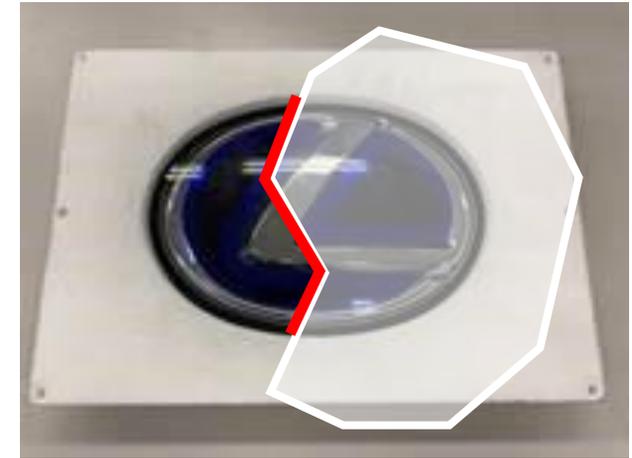
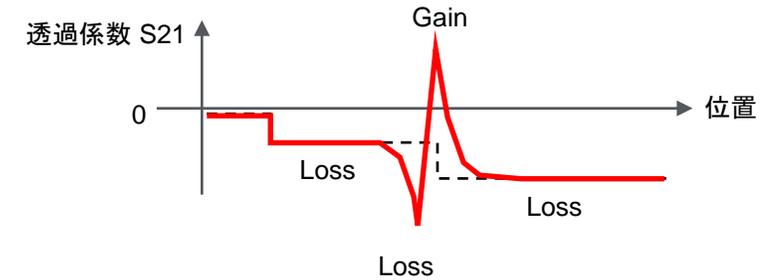
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



Φ20cmの雪サンプル



発見した新しい知見 = 雪の縁で複雑な回折現象が発生する。



現時点
の結論

雪付着したエンブレムでも回折が起こり得る。
しかし、現時点では本現象のニーズ自体が
不明なので、いったん研究を保留する。

【雪モデル開発】

① 透過測定：【Step2 自分達自身で実験】 発見した新しい知見（2/2）

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

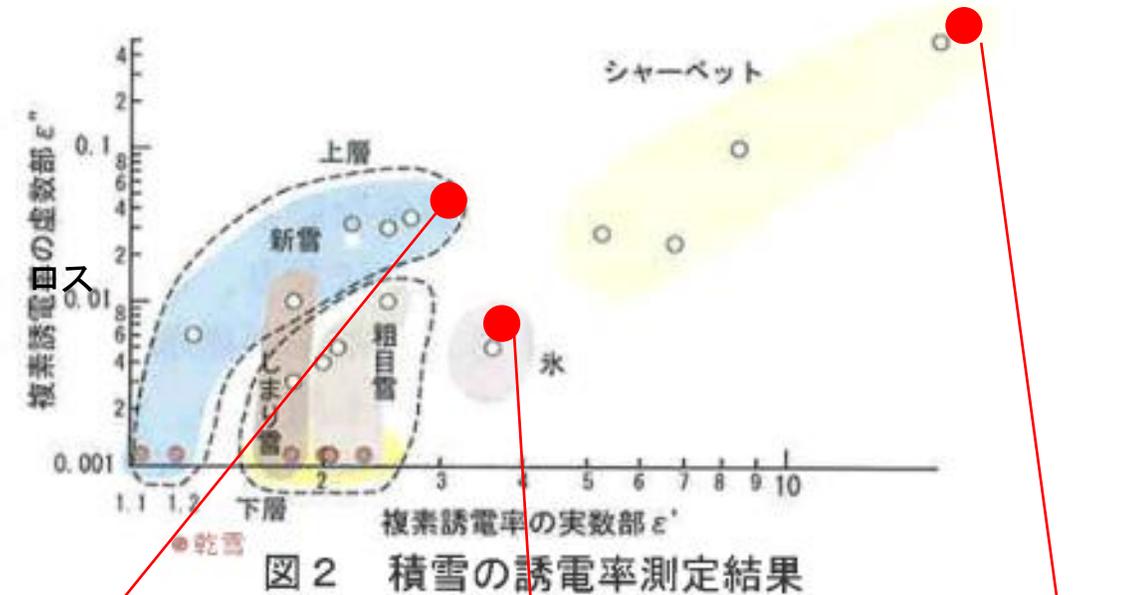
雪の比誘電率 ϵ_r が予想外に大きく、3.3~80 と判明。
この大きさなら、表面での電磁波反射を考慮することが
不可欠と分かった。

文献1

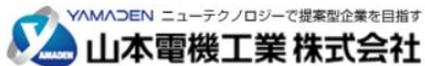
電子航法研究所研究発表会（第7回 平成19年6月）

25. ILS グライドパス反射面の積雪によるパス特性の変化

機上等技術領域 ※横山 尚志、朝倉 道弘、田嶋 裕久



文献2



各種物質の誘電率表

出典: <http://www.ydic.co.jp/technology/table.html>

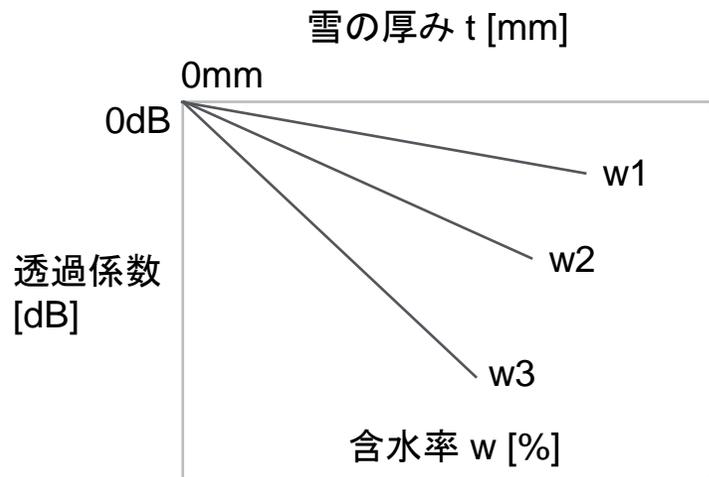


含水率小 ← → 含水率大

【雪モデル開発】

① 透過測定：【Step2 自分達自身で実験】 発見した新しい知見（2/2）

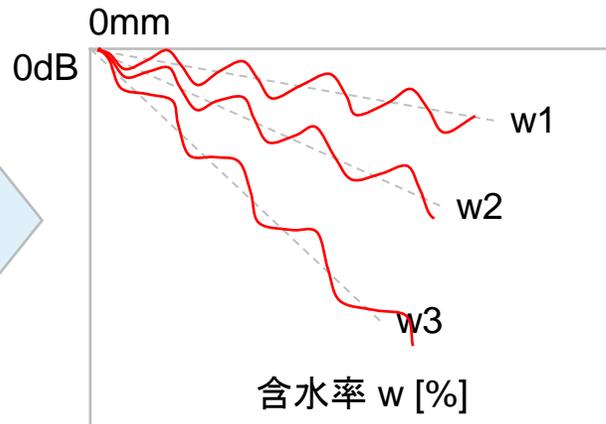
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



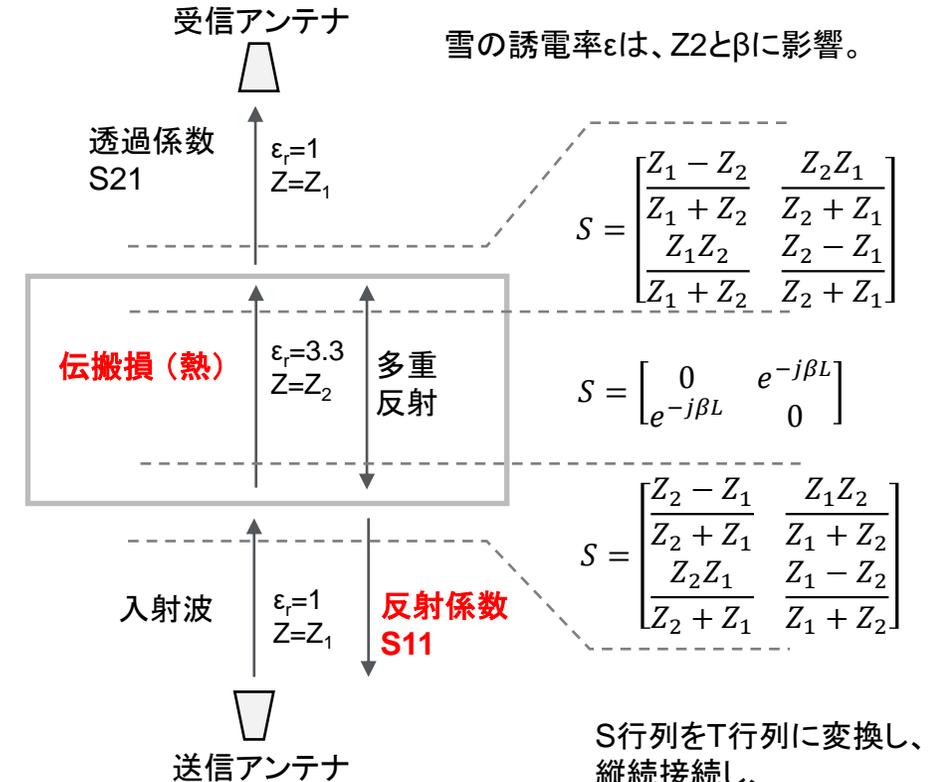
$$\text{透過係数 [dB]} = - (0.0642 + 0.2516 * w) * t$$

単純な「1次関数モデル」から、

モデル改良



複雑な「多重反射モデル」へ改良した。
文献で見られない、新しい知見。



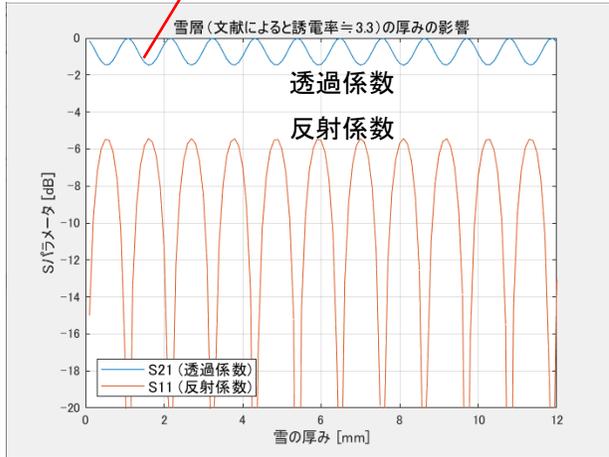
S行列をT行列に変換し、
縦続接続し、
またS行列に戻すと、
単純計算で複雑な
多重反射を扱える。

【雪モデル開発】

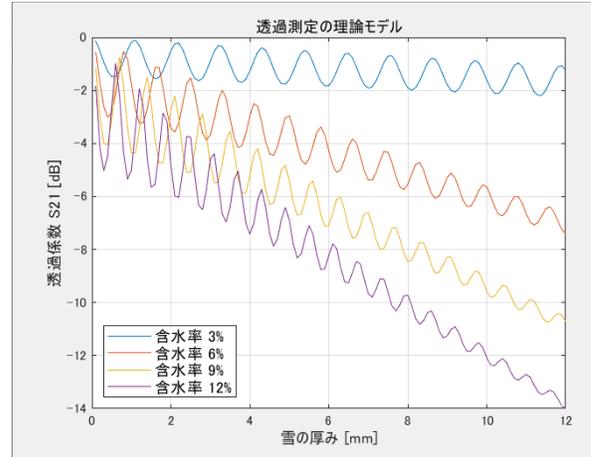
① 透過測定：【Step2 自分達自身で実験】 発見した新しい知見（2/2）

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

「反射」が原因で、
周期的な（見掛け上の）
ロスが発生する。



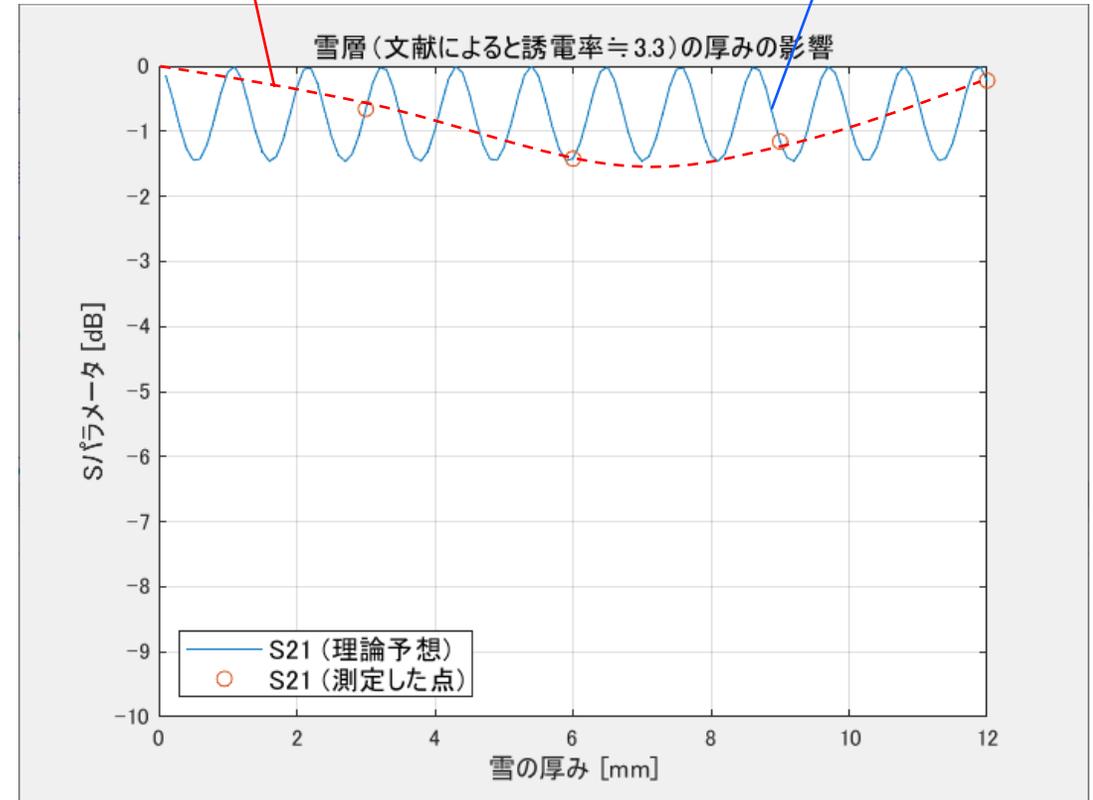
理論モデル
(雪の伝搬損なし)



理論モデル
(雪の伝搬損あり)

世界最高レベルの測定系を用いても、
測定データが直線に乗らなかったのだが、

新モデルでは
測定データを自然に説明できる。



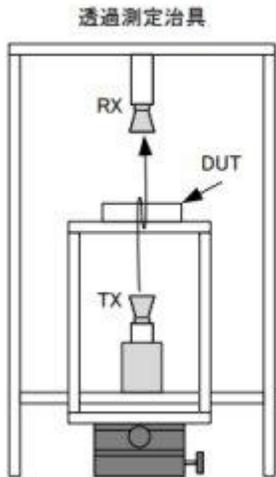
新モデルの効果

【雪モデル開発】

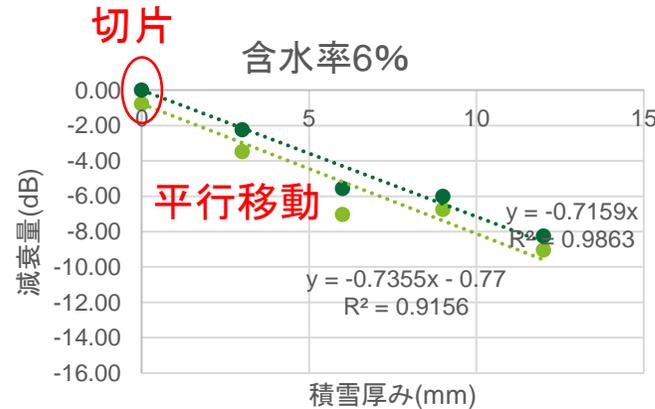
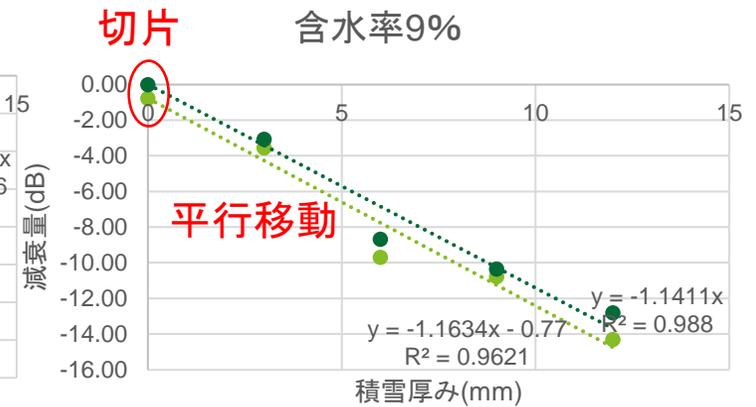
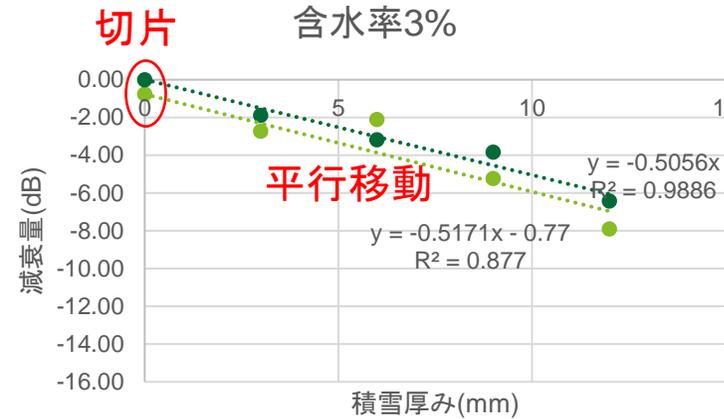
① 透過測定：【Step2 自分達自身で実験】 エンブレム影響 = グラフの並行移動。

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

測定系



サンプル

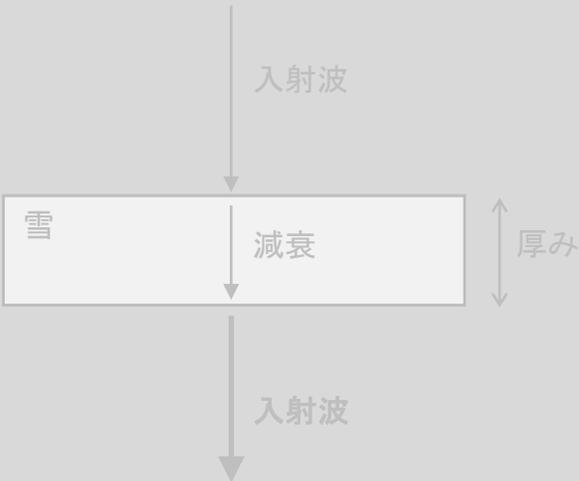
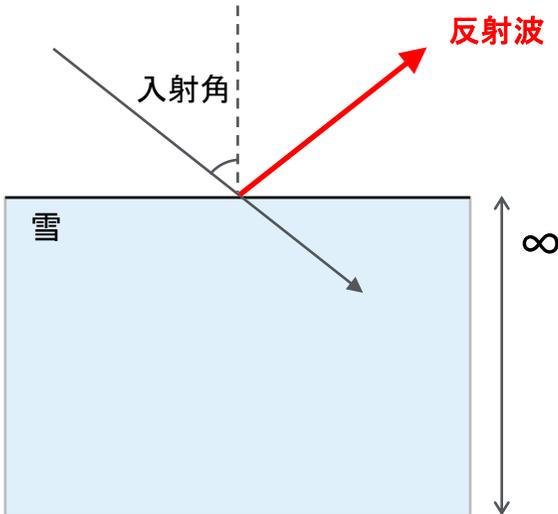


		傾き		切片	
エンブレム		なし	あり	なし	あり
含水率	3.00	-0.51	-0.52	0.00	-0.77
	6.00	-0.72	-0.74	0.00	-0.77
	9.00	-1.14	-1.16	0.00	-0.77

エンブレムの影響は切片に現れ、含水率、厚さによらない

【雪モデル開発】 今期の担当内容一覧

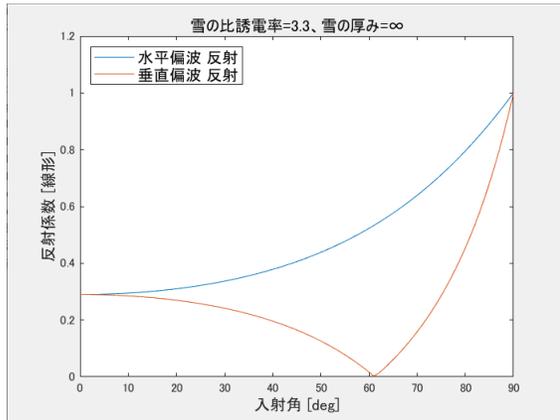
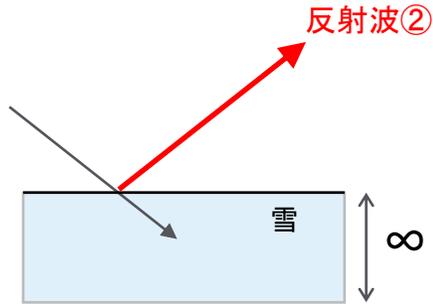
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

雪のミリ波特性の把握		仮想空間に再現すべき雪景色の、 現実的なイメージの取りまとめ
① 透過測定	② 反射測定	③ 積雪・降雪
		<p>積雪</p>  <p>降雪</p> 
		

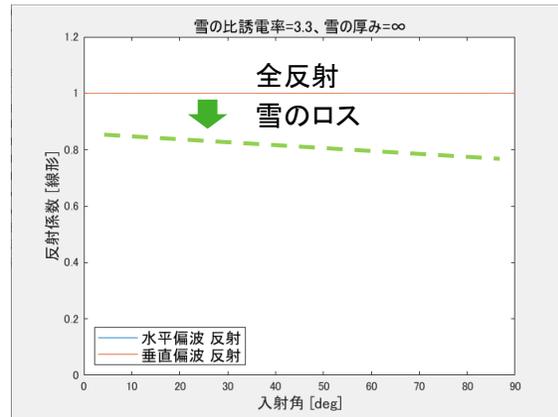
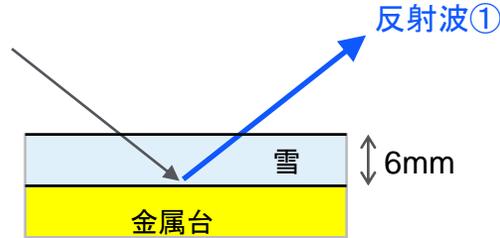
【雪モデル開発】

② 反射測定：結果 = 測定系が構築困難と判明。来期にチャレンジする。

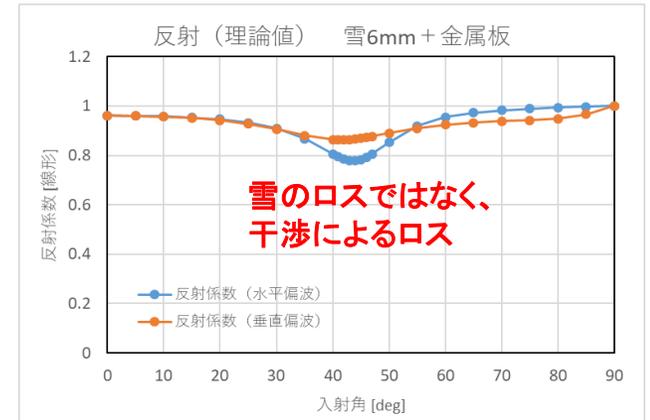
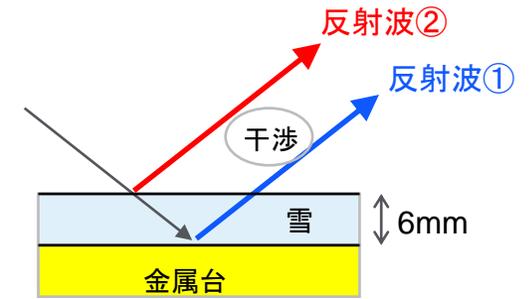
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



妥協



現実に準備できそうだった測定系と、当初イメージした測定結果。

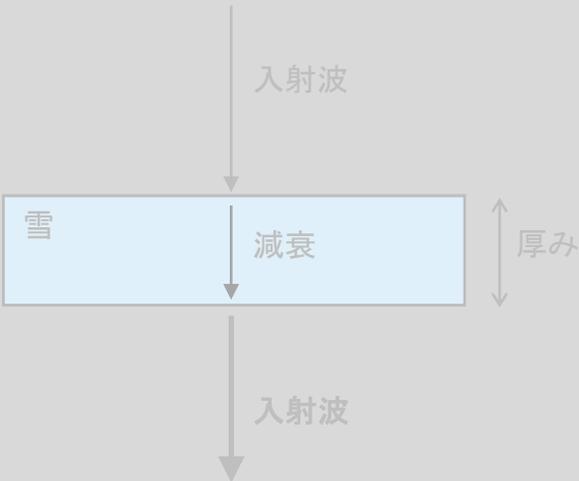
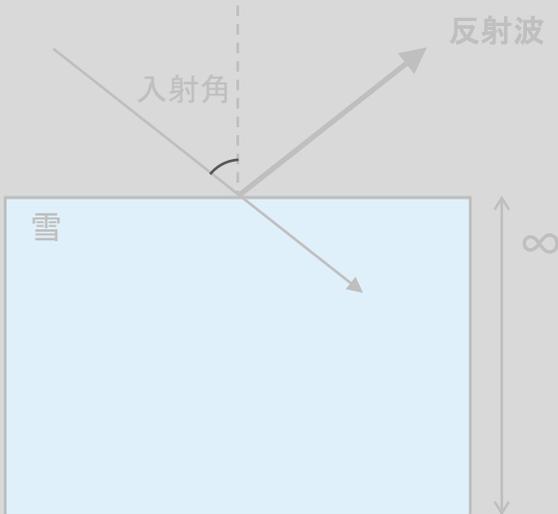


雪に対する理解が深まった結果

意味がある測定データを得るには当初イメージよりも測定系が構築困難と判明。来期にチャレンジする。

【雪モデル開発】 今期の担当内容一覧

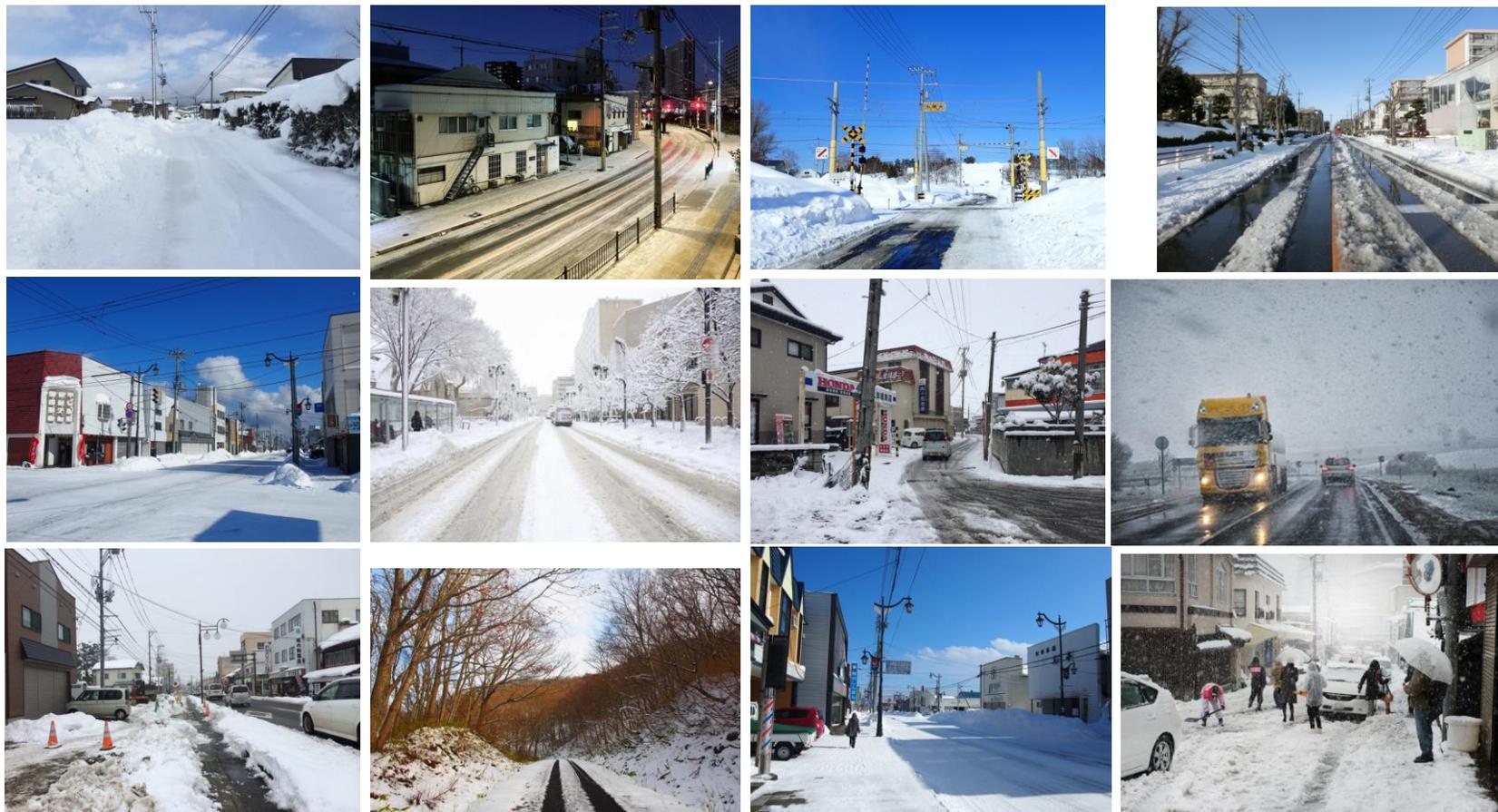
テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

雪のミリ波特性の把握		仮想空間に再現すべき雪景色の、 現実的なイメージの取りまとめ
① 透過測定	② 反射測定	③ 積雪・降雪
		<p>積雪</p>  <p>降雪</p> 
		

【雪モデル開発】

③ 降雪・積雪のイメージのとりまとめ：何が課題か？

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



課題 = 雪景色はあまりにも **千差万別**。全てを再現は不可能なので、どのようなイメージに絞り込むか？

【雪モデル開発】

③ 降雪・積雪のイメージのとりまとめ： 検討方法 = 「全国100ヶ所」のうち 雪国4カ所 の現状を調査した。

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張

国の政策 (2023年12月末発表の最新版)：

2023年度	10カ所以上で一般道での通年運航を実施予定
2024年度	<ul style="list-style-type: none"> 20ヶ所以上で一般道での通年運航 路車協調のインフラを整備 全都道府県で1カ所以上の計画・運行
2025年度	全国50ヶ所以上
2027年度	全国100ヶ所以上

我々がとった検討方法：

確定した13ヶ所のうち、4カ所 (31%) が雪国。
これら4カ所の、降雪・積雪の現状を調査し、
開発目標のイメージとして採用した。

地域公共交通等における自動運転の推進



- 自動運転について、国際標準化も見据え、2025年度目途 50カ所程度、2027年度 100カ所以上の目標を実現※ するべく、2024年度において、**社会実装**につながる「**一般道での通年運行事業**」を20カ所以上に**倍増**するとともに、自動運転のすそ野拡大を図るため、**全ての各都道府県**で1カ所以上の**計画・運行**を目指す。
※デジタル田園都市国家構想総合戦略(2022年12月閣議決定)
- 交差点等での円滑な走行を支援する「**路車協調システム**」の整備など、**道路側からの支援も推進**する。

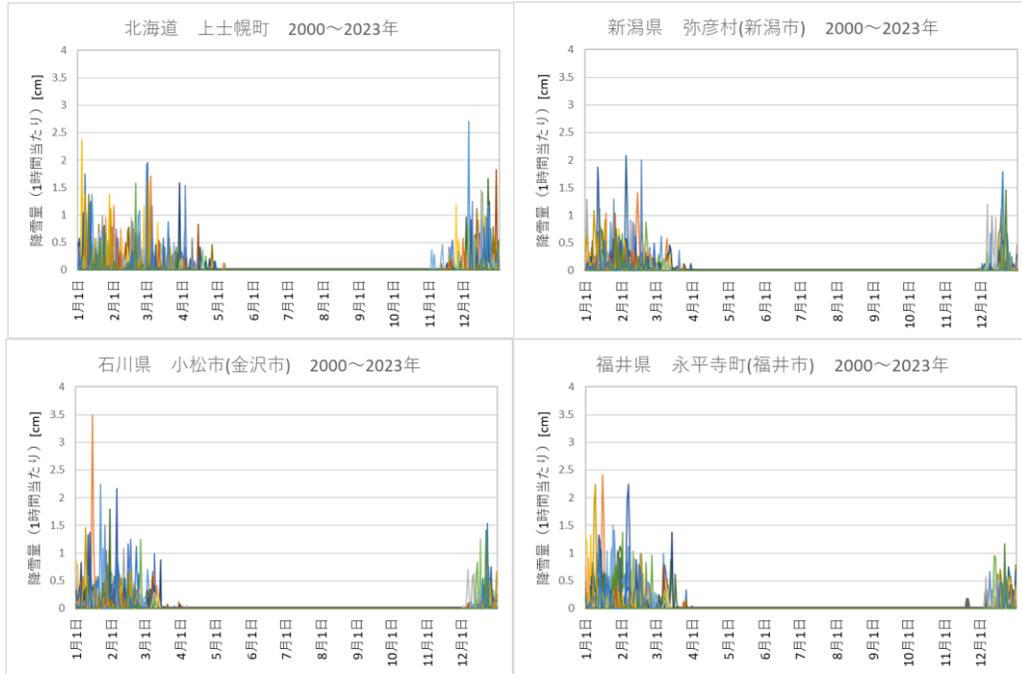


出典 国交省 https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_gyozaikaikaku/kaigi1/kaigi1_siryou9.pdf

【雪モデル開発】

③ 降雪・積雪のイメージのとりまとめ： 結論

テーマ(1)-1.b 環境モデル拡張



出典 気象庁「過去データのダウンロード」

【モデル開発すべき降雪量のイメージ】

「全国100ヶ所」中の雪国である4カ所の気象データを調査した。

⇒ 暫定最悪値として、**2.5cm/h** に設定。

【上士幌町】自動運転バス冬季運行の乗車体験！！



車内から見た景色



3Dマップに登録されたバス停に止まる自動運転バス



雪道を自動運行するバス

出典 <https://kamishihoro-horology.com/living/4693/>

【モデル開発すべき積雪量のイメージ】

既に冬季も運行中の上士幌町では、10cm積もると除雪を実施。

⇒ 道路上で**10cm以下**に設定。

実際の雪景色開発は来期に実施。

テーマ(1)-2.a

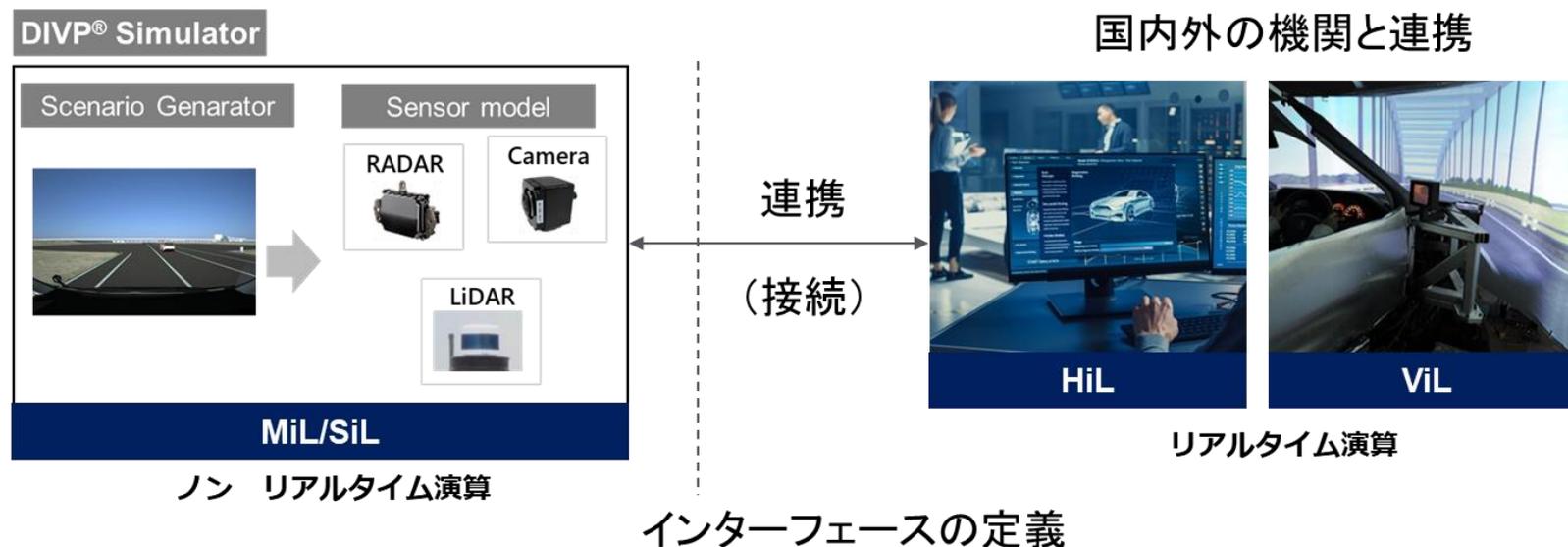
**実機センサ出力評価環境の構築によるI/F仕様の標準化、
MBD手法の研究(VILS/HILSへの接続、等)**

DIVPシミュレーションとVILS/HILSを連携できる仕組みを構築、ハードウェア接続し、有効性を検証する。

背景・目的

DIVP[®] シミュレーションは、全てソフトウェアでのシミュレーション(SILS)であるが、実車(実機センサー等)搭載状態で評価可能なVILS/HILS環境と連携(接続)する仕組みを構築し、将来の完成車評価に備える。

VILS/HILS 環境構築において、ソフトウェアとハードウェア両輪の研究が重要であり、ソフトウェア要件や I/F 要件を研究対象とし、国内外の機関と連携し、実際のハードウェア接続までを含めた有効性検証を目指す。



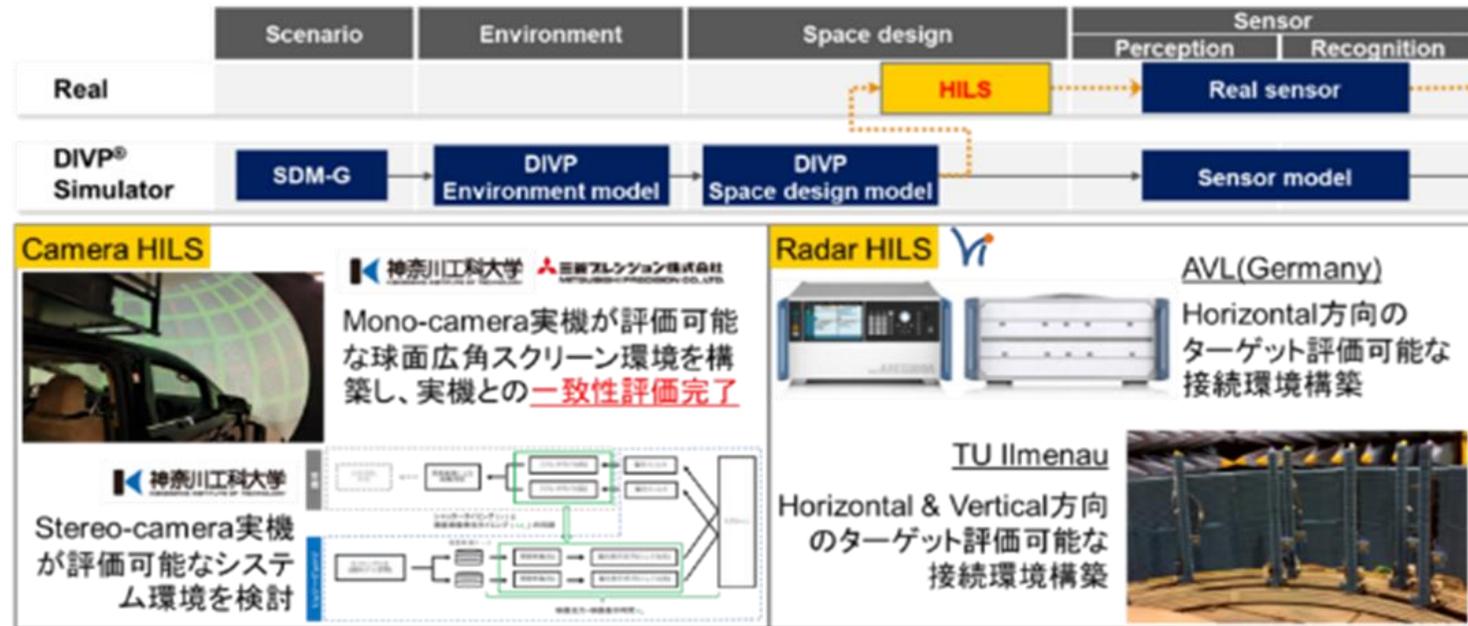
ハードウェアは、ミリ波(Radar)では反射物体の情報を再現できるハードウェアが必要であり、Stereo-camera では視差映像を生成できるハードウェアが必要である。

Radar HILS 装置・仕組みの構築と検証 および Stereo-Camera HILS の要件・実現性を検討する。

実施内容

2023 年度テーマ: Radar HILS 検証と Stereo-Camera HILS 検討

反射を模擬可能なハードウェアに入力可能な反射物体の情報を生成する。それに伴い、接続要件や性能要件を洗い出し、センサモデルとの一致性検証を行う。また、VIVIDの国際協調の場を活用して、I/F 仕様の標準化を推進する。Stereo-camera HILS 実装に向けた要件定義および実現性検討を行う。



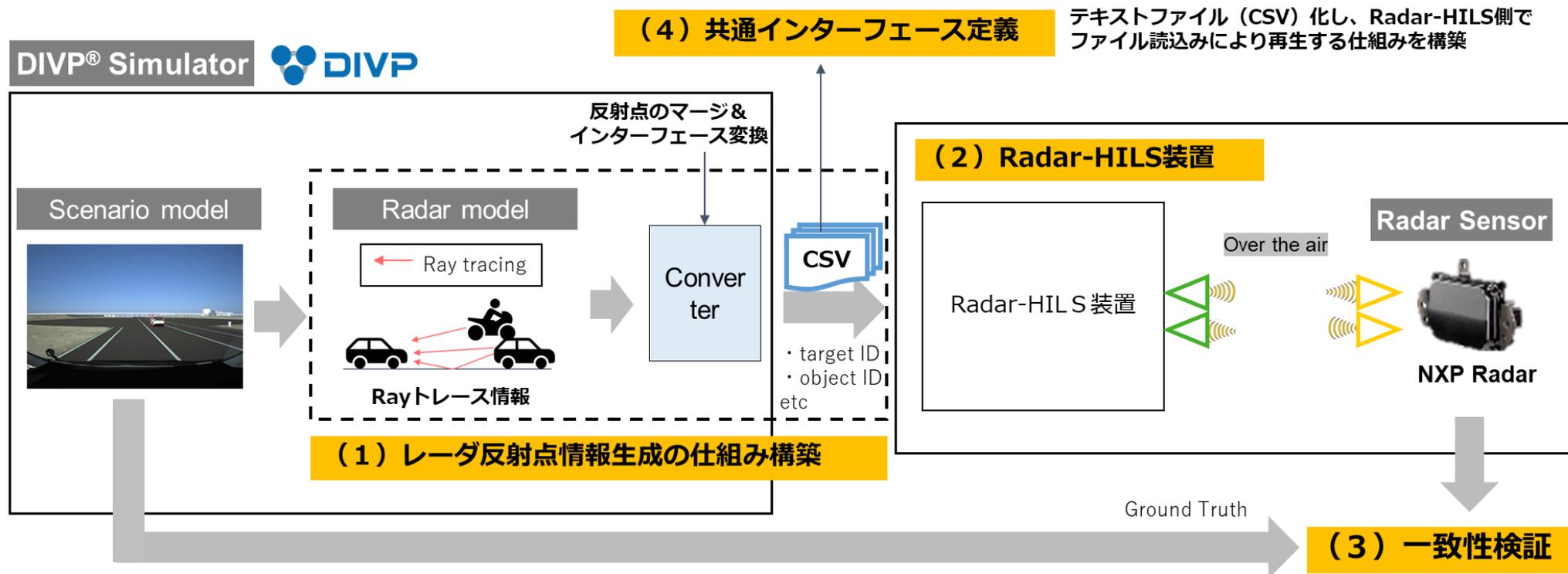
本研究成果の価値

DIVPの一致性の高いセンサ出力データと国内外の他プロジェクトや関係機関のVILS/HILSとの接続環境を構築することで、実測結果のシナリオに基づく任意条件での実機評価が可能となり、I/F要件や性能要件等の標準化に寄与する。

DIVPから、CSV形式化されたRadar反射点情報をRadar-HILSが読み込み・再生させる仕組みを構築した。

1. RADARとHILS/VILS装置の連携の仕組みの構築(2023年度の成果)

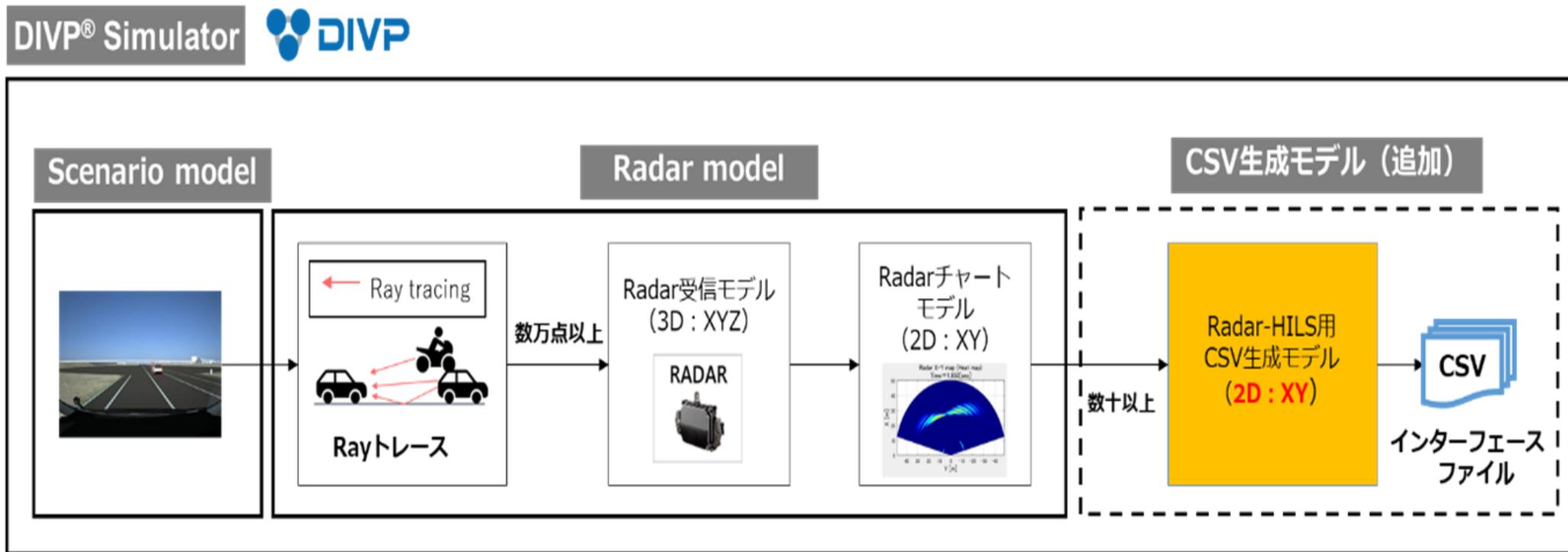
DIVPとRadar-HILSのインターフェースは、オブジェクト(=ターゲット:反射点)として定義すべきか、オブジェクトとターゲット(反射点)は、別々で定義すべきか不明であったため、3種類のRadar-HILS装置のハードウェアを準備し、調査・検証実験を行うことで、必要なインターフェースの明確化を行った。(4) 具体的には、国外はVIVID(日独連携)のJT1 ToolchainのWorkshopと連携し、AVL と TU-Ilmenau保有の設備を借用し、DIVPとの接続環境を構築した。また、国内は多反射点再生可能なRadar-HILS装置を保有している装置を使用し、DIVPとの接続環境を構築した。(1)



Rayトレーシングによる反射点情報(数万点以上)から、数十以下の反射点情報へマージする。

(1) レーダ反射点情報生成の仕組み構築

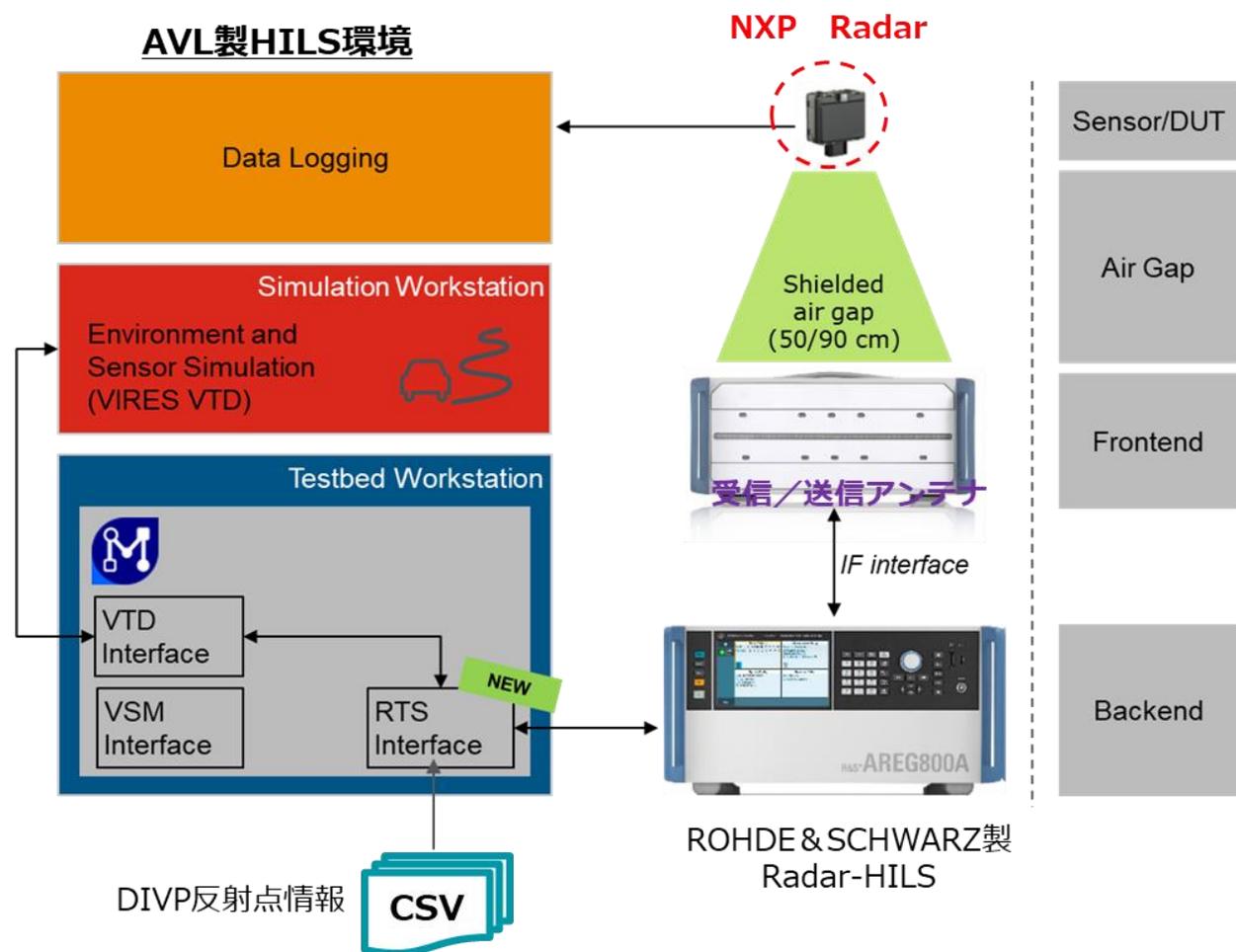
レーダのセンサーモデルは、Rayトレーシング技術を使って約数万本ものRayトレーシング(送信電波)をオブジェクト(車両、ガードレール、道路など)に送信している。そのため、オブジェクトから反射された反射点も何百、何千と多く反射される。(レーダーセンサーモデルでオブジェクトからの反射電波を受信。) Radar-HILSで再現できる反射点の数には制限があるため、レーダセンサーモデルの一部(Radarチャートモデル)を流用し、反射点をマージ(削減)した。



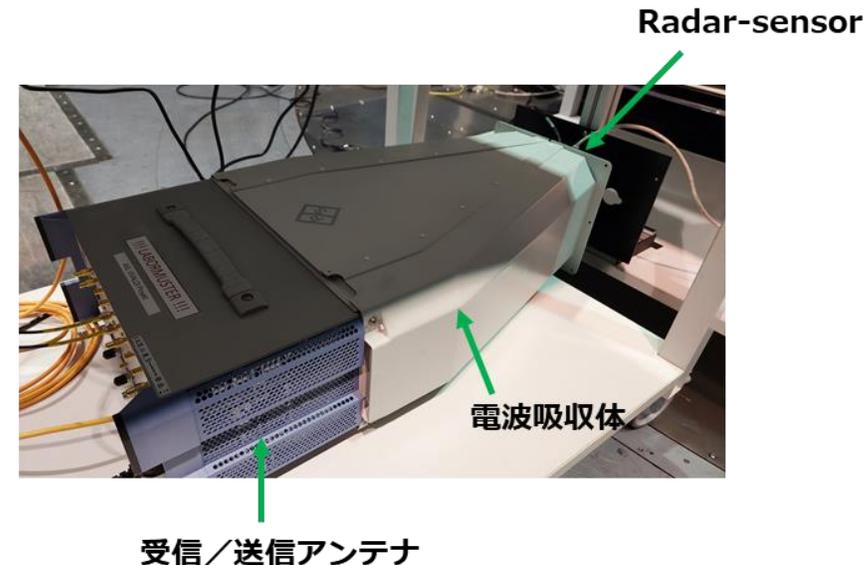
日独連携: VIVIDのJT1 Toolchain Workshop で、独側メンバでDIVPとRadar-HILSの連携環境を構築

(2)-1 Radar-HILS(日独連携: VIVID)環境構築

(a) AVLの協力を得て、AVL-HILS環境に、ROHDE & SCHWARZ製Radar-HILSを組み込んだ環境を構築した。



センサーとの接続状況

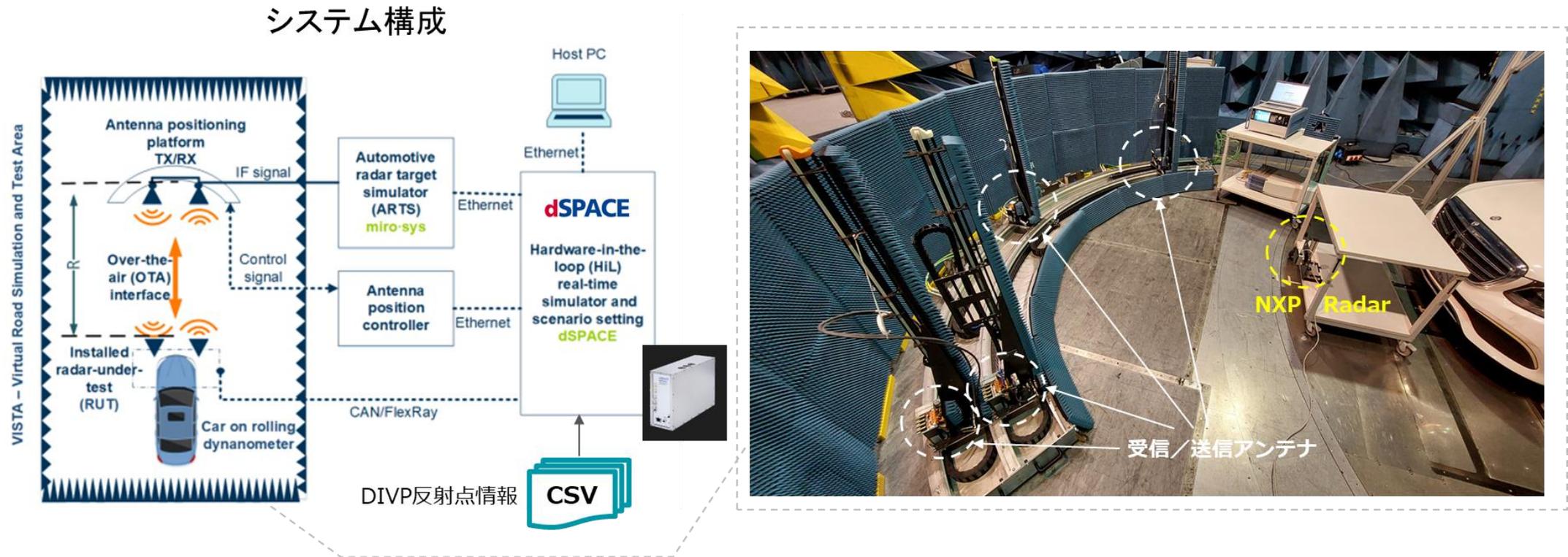


AVL (R&S) 設備構成図 (出典: VIVID JT1 Toolchain)

日独連携: VIVIDのJT1 Toolchain Workshop で、独側メンバでDIVPとRadar-HILSの連携環境を構築

(2)-2 Radar-HILS(日独連携: VIVID)環境構築

(b) TU-Ilmenau大学のdSPACE製のRadar-HILSの環境を、JT1独側メンバのAVL、Kempton大、TU-Ilmenau大の協力を得て構築した。

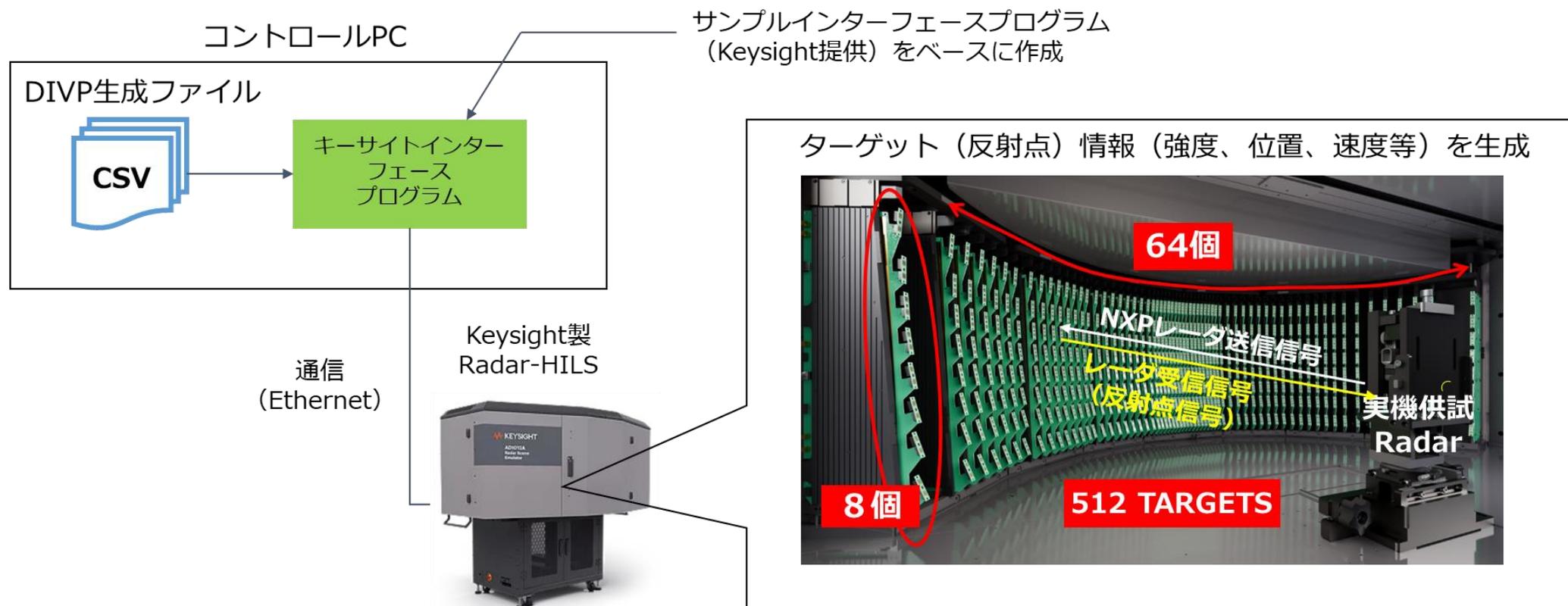


TU-Ilmenau(dSPACE)設備構成図(出典:VIVID JT1 Toolchain)

DIVPと多反射点再現可能なRadar-HILSの連携環境を構築(国内)

(2)-3 Radar-HILS(国内)環境構築

DIVP® シミュレーションから、装置の外部入力インターフェース仕様に合わせて反射点情報のファイル(CSV形式)を生成し、メーカー提供のインターフェースプログラムでCSVファイルを読み込み、リアルタイムに再生する仕組みを構築した。

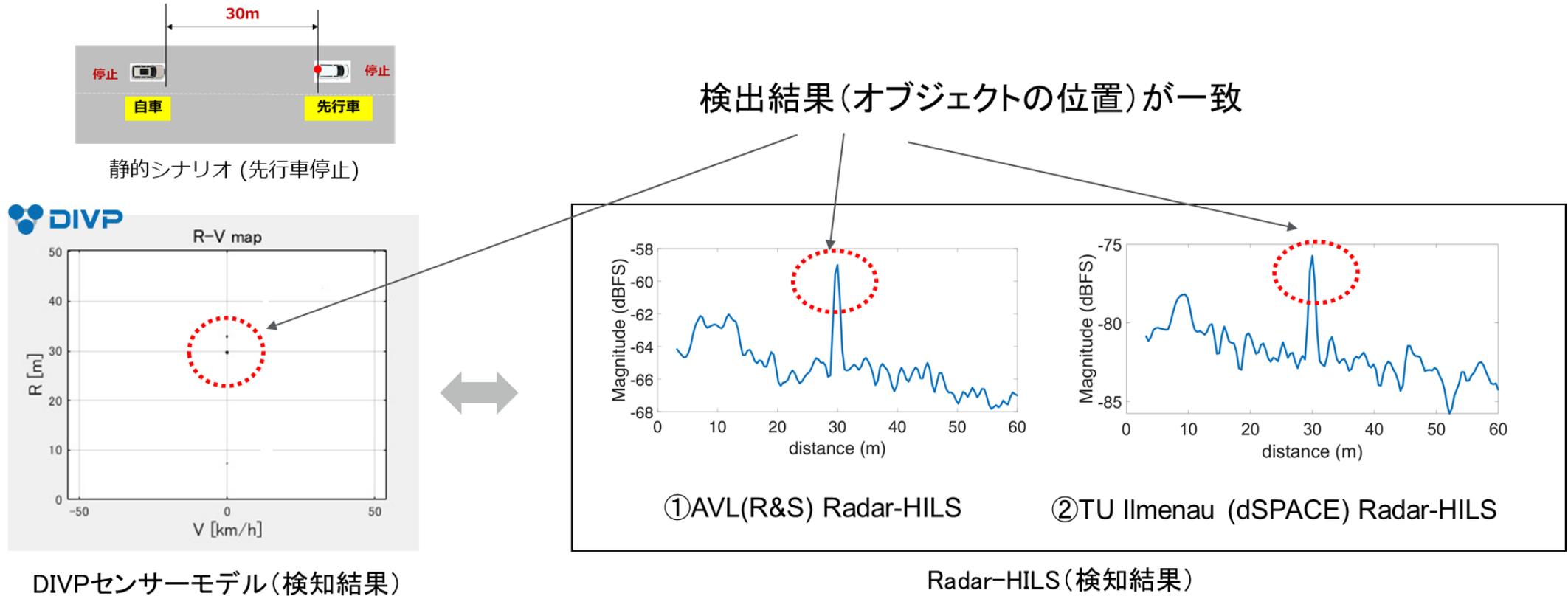


システム構成図

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。(VIVID)

(3)-1 Radar-HILS(日独連携:VIVID)一致性検証

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果と、Radar-HILS使用しての実機供試Radarでのオブジェクト検知結果を比較し、先行車停止位置が一致していることを確認した。(実機供試Radar:NXプレーダ)



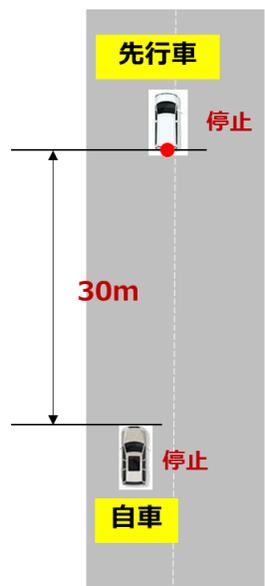
一致性検証結果 (出典:VIVID JT1 Toolchain)

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。(国内)

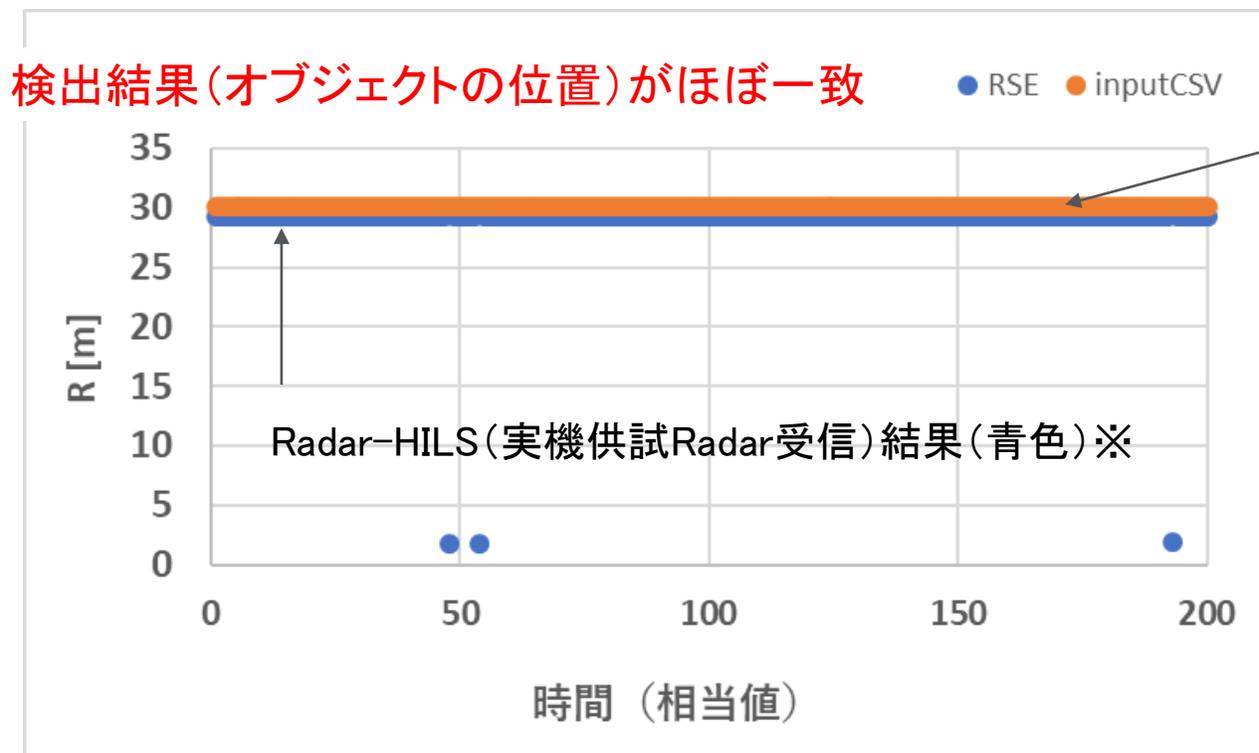
(3)-2 Radar-HILS(国内)一致性検証(静的シナリオ)

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果と、Radar-HILS使用しての実機供試Radarでのオブジェクト検知結果を比較し、先行車停止位置が一致していることを確認した。(実機供試Radar: NXPLレーダ)

停止先行車の停止位置(時系列)で比較



検証シナリオ1 (静的シナリオ)



DIVPセンサー反射点(橙色)

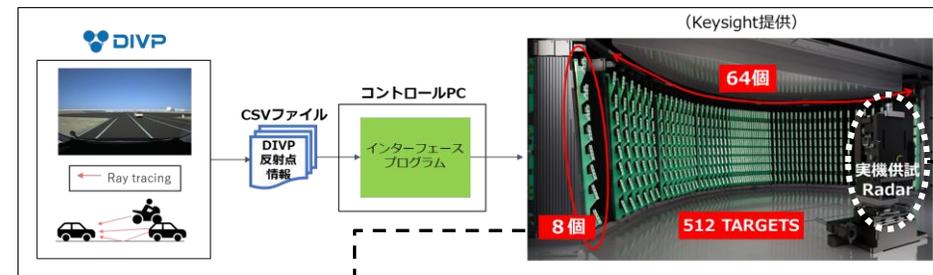
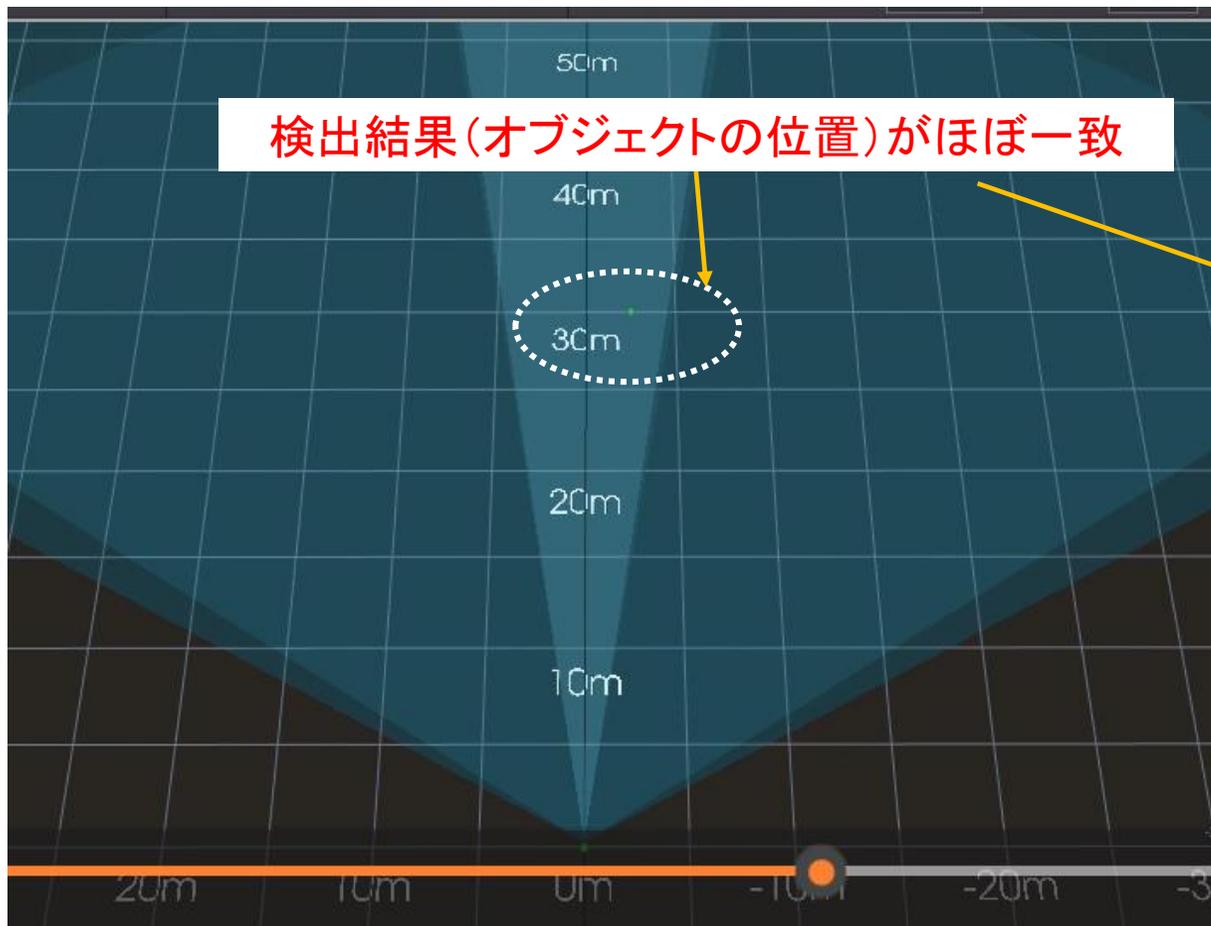
※自車周辺の反射点(ゴースト)は、実機供試Radarの性能に起因と考えられる。

一致性検証結果

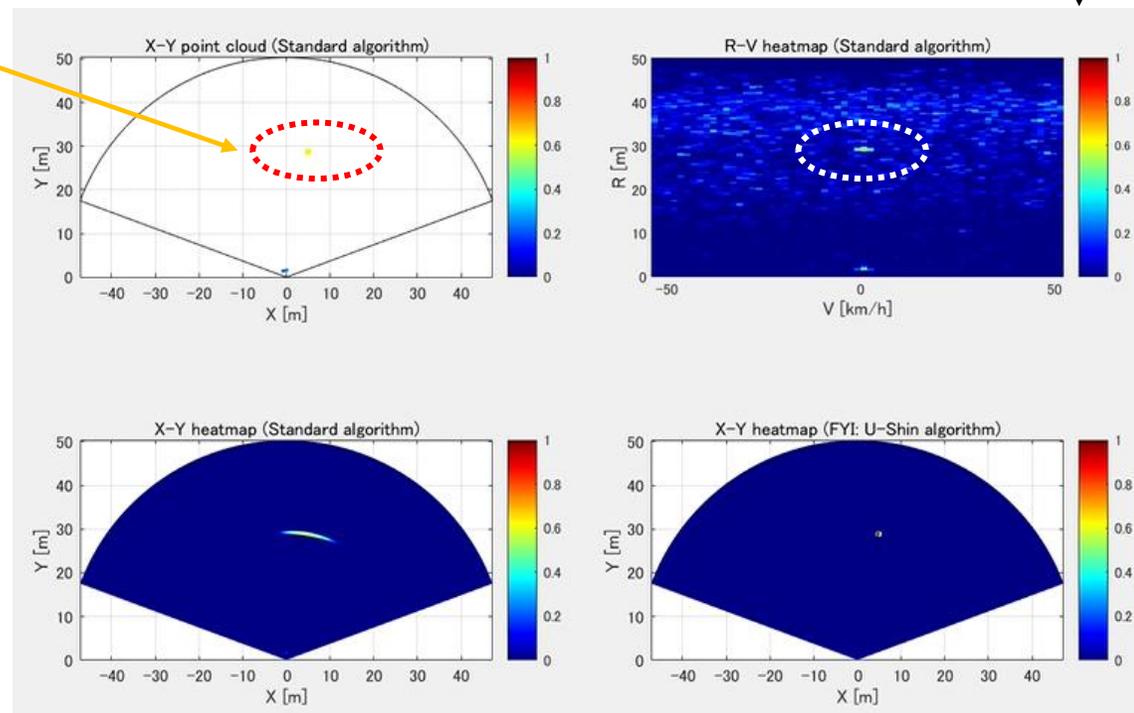
DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。

(3)-2 Radar-HILS(国内)一致性検証(静的シナリオ)

一致性検証結果 Radar-HILS装置で再生(提供:Keysight)



実機供試Radar (NXレーダ)での検知結果

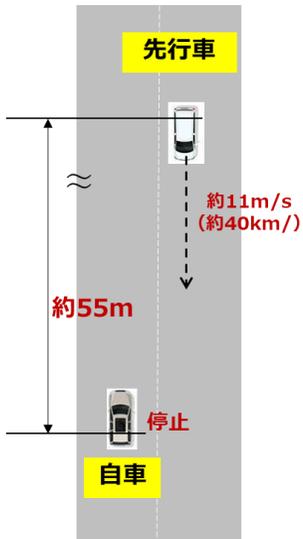


DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。

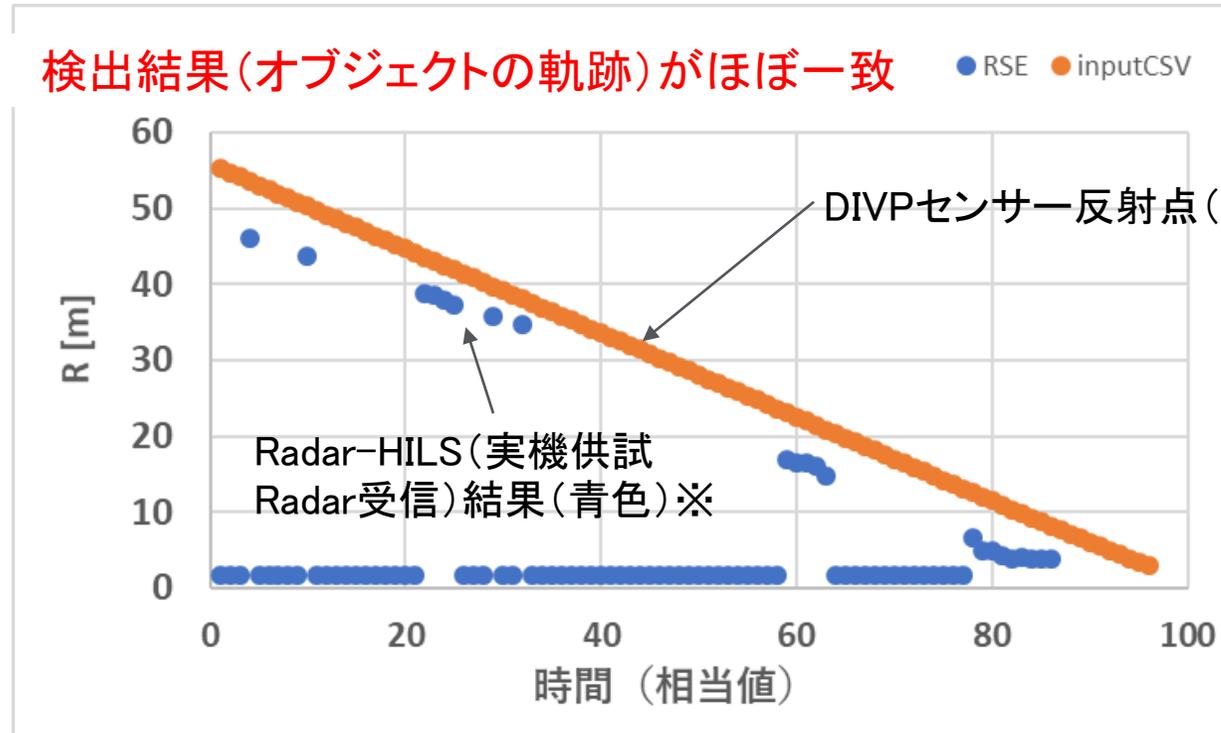
(3)-3 Radar-HILS(国内)一致性検証(単一反射点の動的シナリオ) ・・1/2

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果と、Radar-HILS使用しての実機供試Radarでのオブジェクト検知結果を比較し、先行車の変化(位置、速度)が一致していることを確認した。(実機供試Radar:NXPLレーダ)

先行車の時系列の走行軌跡で比較



検証シナリオ2(動的シナリオ)



一致性検証結果

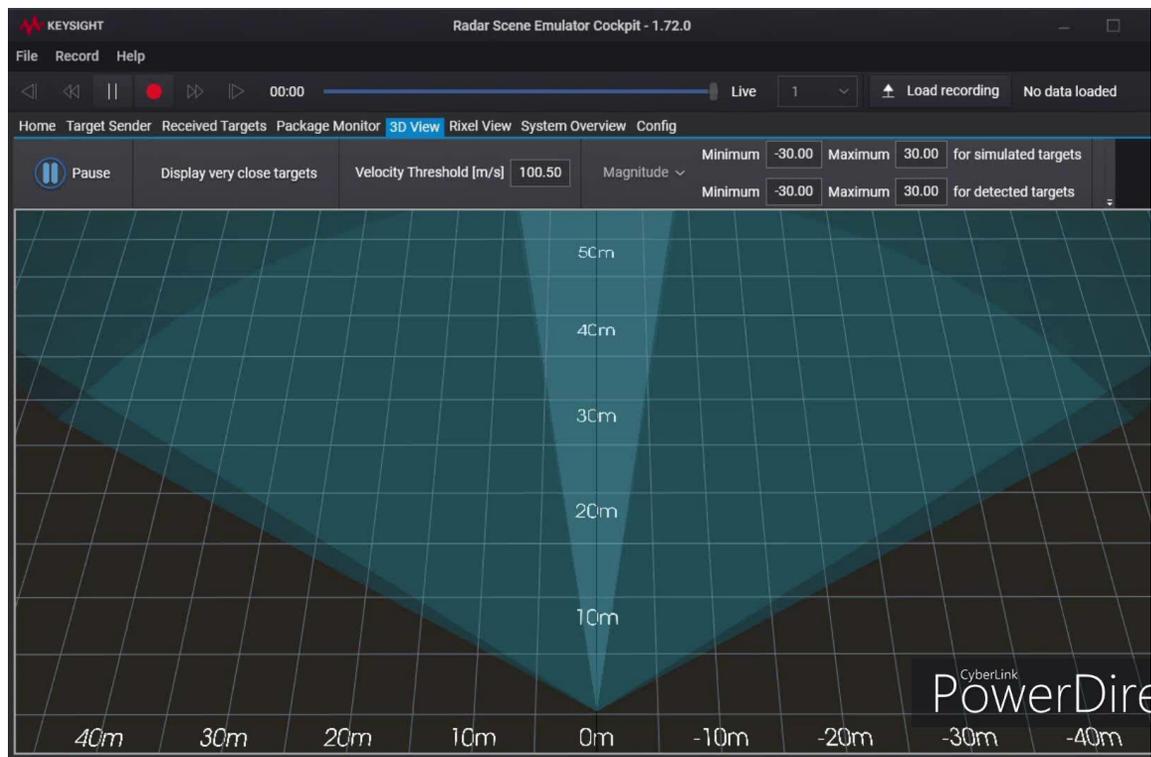
※受信反射点の抜け&自転車周辺の反射点(ゴースト)は、実機供試Radarの性能に起因と考えられる。

DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。

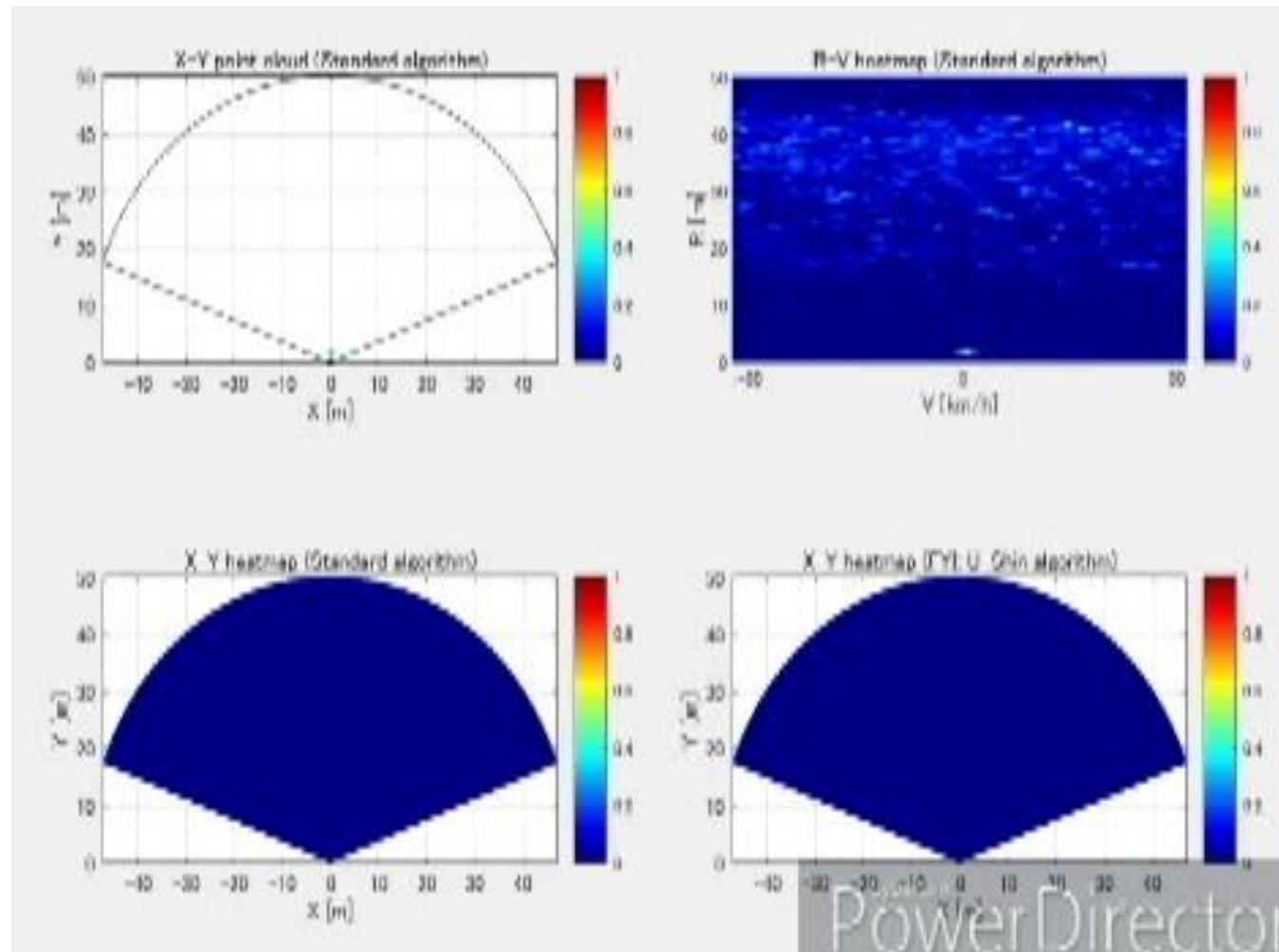
(3)-3 Radar-HILS(国内)一致性検証(動単一反射の動的シナリオ) 2/2

実機供試Radar(NXPLレーダ)の検知結果

Radar-HILS装置で反射点再生



(提供: Keysight)

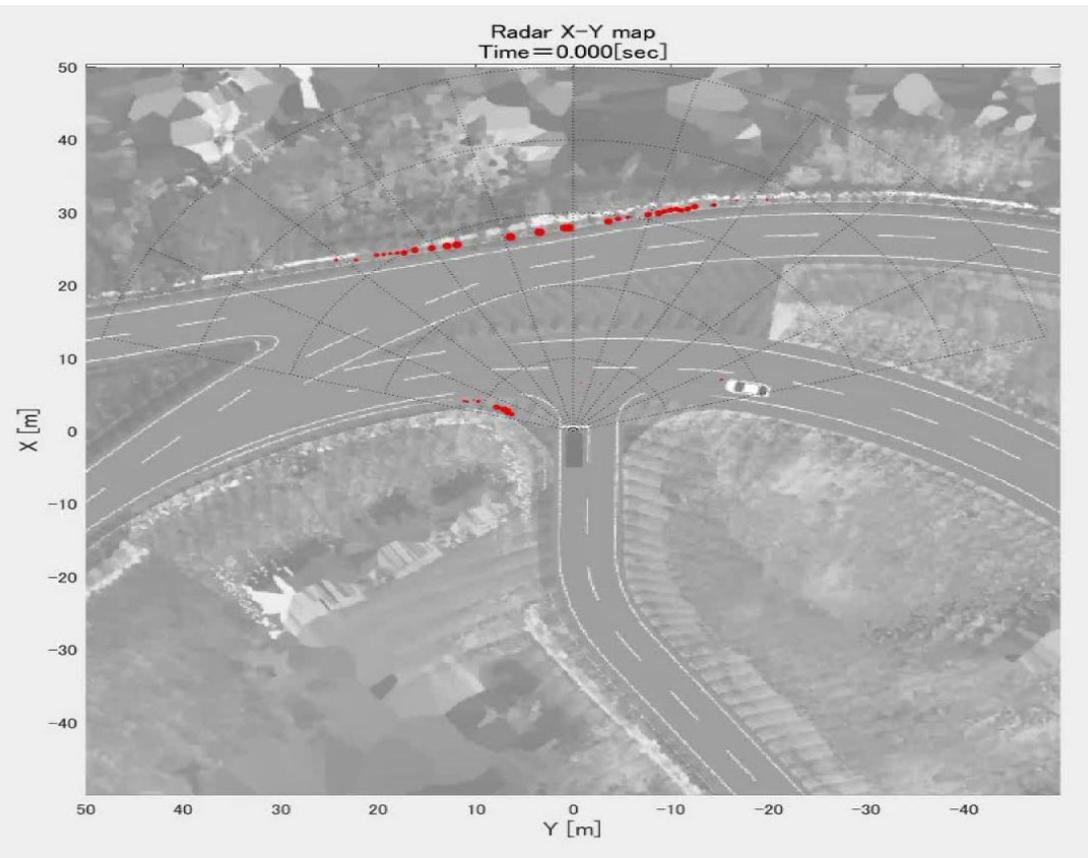


DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。

(3)-4 Radar-HILS(国内)一致性検証(多反射点の動的シナリオ) ・・1/2

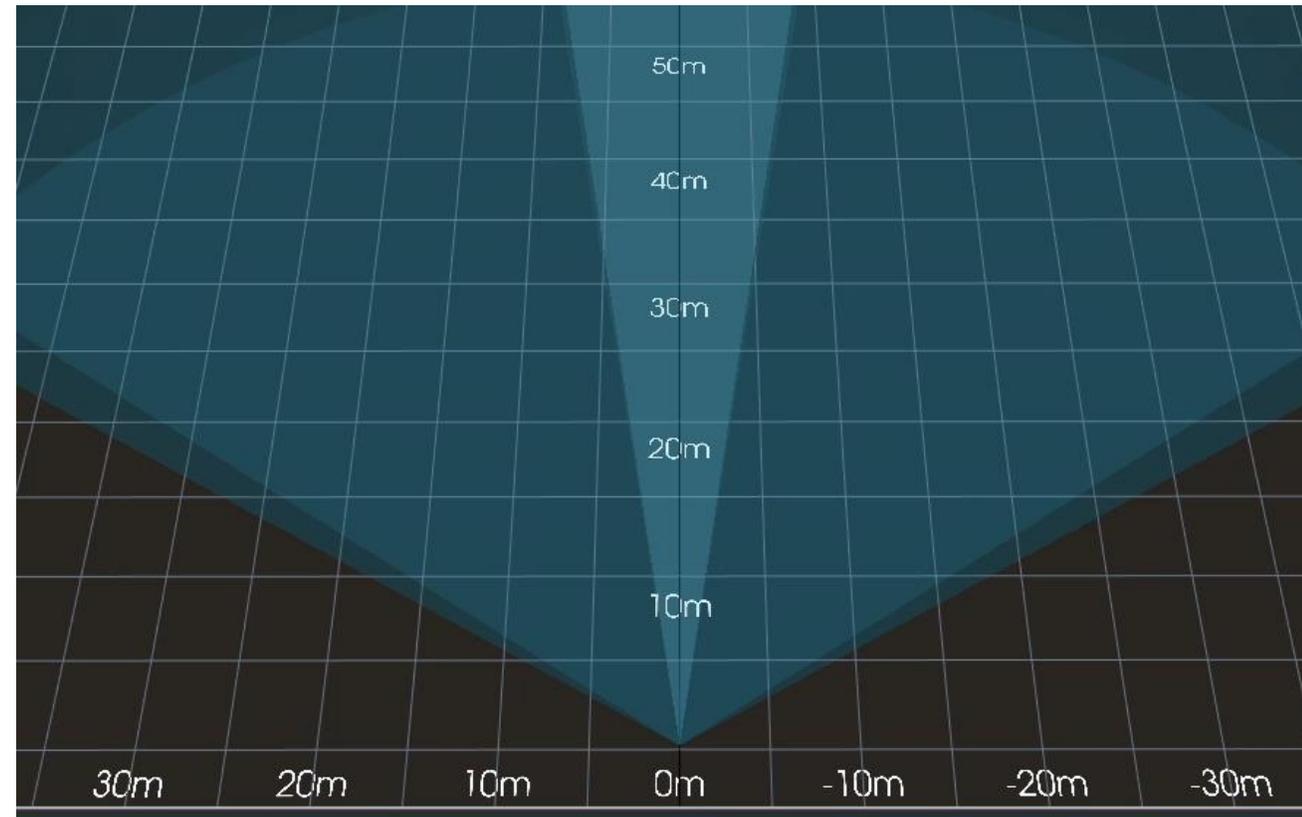
◇静止ガードレール、路面、走行車両への複数の反射点を模擬

DIVP 検証シナリオ(多反射点動的シナリオ)



Radar-HILS装置で反射点再生

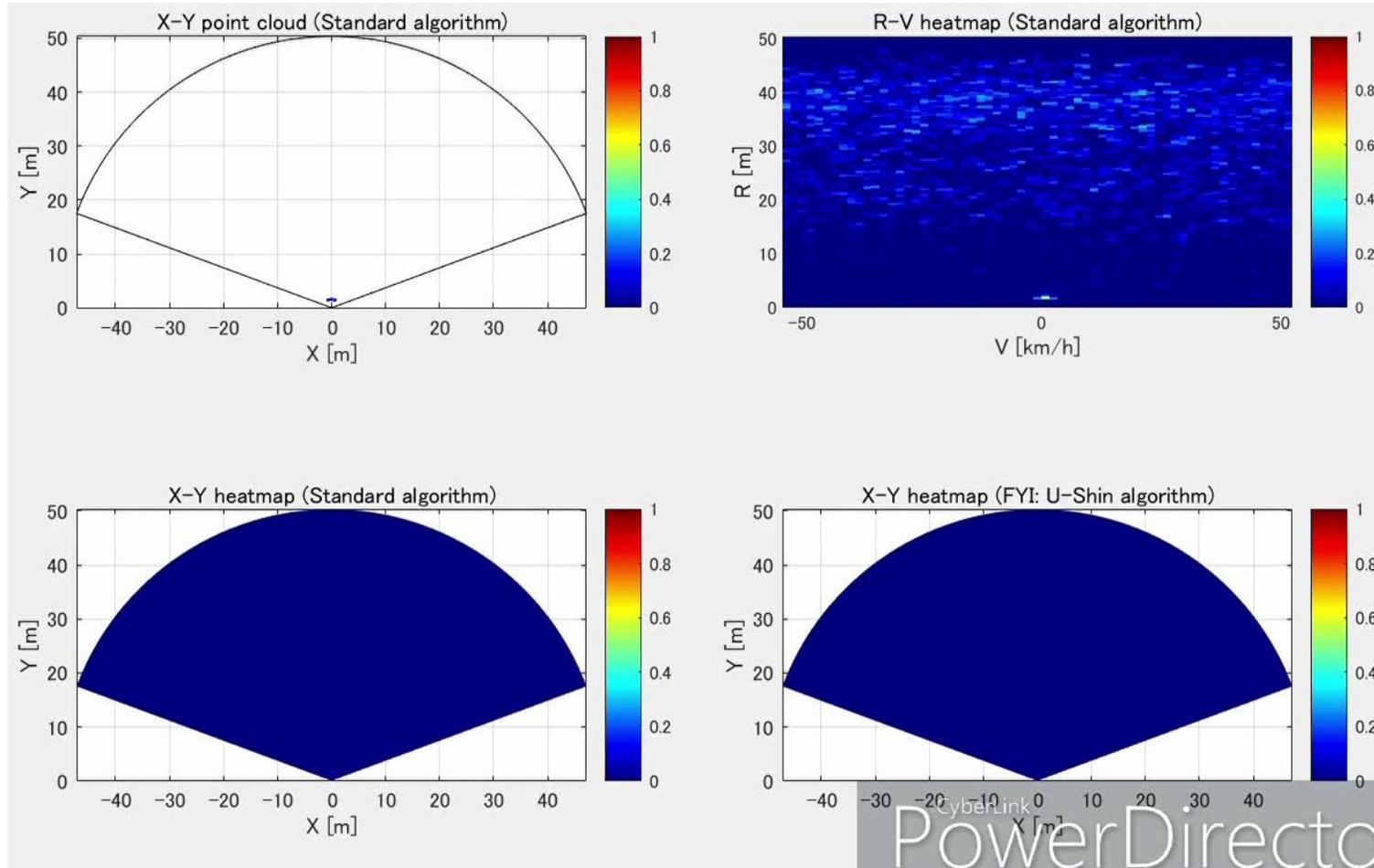
(提供:Keysight)



DIVPセンサーモデルのオブジェクト検知結果とRadar-HILSの検知結果の一致性を検証。

(3)-4 Radar-HILS(国内)一致性検証(多反射点の動的シナリオ) ・・2/2

実機供試Radar(NXPレーダ)での検知結果

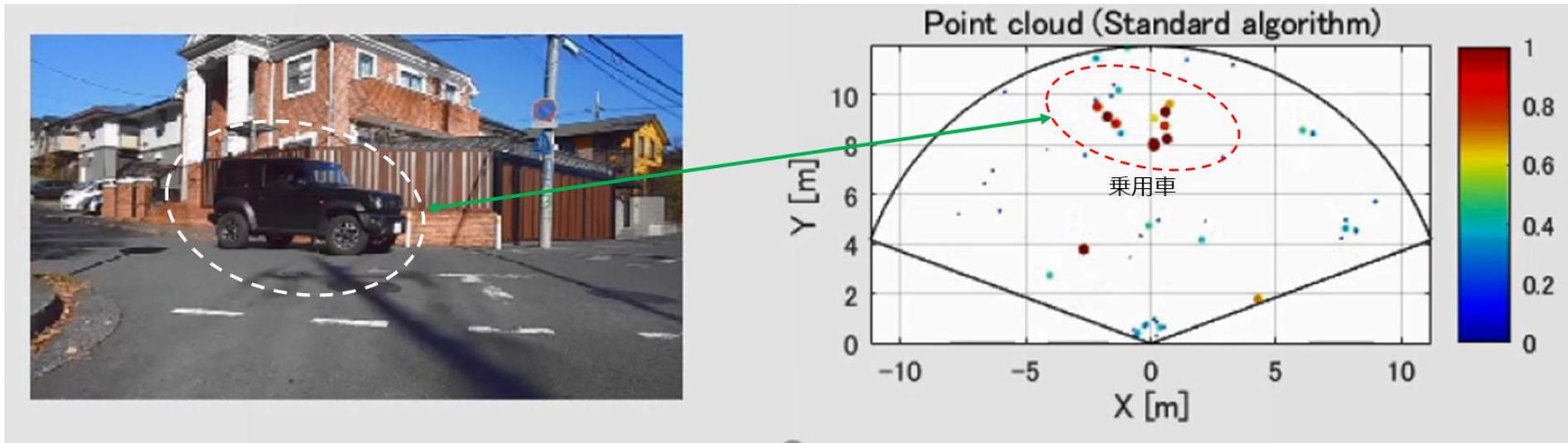


Radarの反射点情報(ターゲット)とオブジェクト情報は、分離したインターフェースとして定義。

(4) 共通インターフェースの定義(概要)

3種類のRadar-HILS装置を使用してのDIVPとの接続検証実験を踏まえると、VIVID連携のRadar-HILSでは、ハードウェアとして模擬可能な反射点数制限が少ないため、1ターゲット(反射点)／1オブジェクトで模擬し、インターフェースも、ターゲット(反射点)情報＝1オブジェクト情報で問題なかったが、多反射点再生可能なRadar-HILS装置(ex Keysight)では、複数ターゲットを模擬できている。また実世界では、最近のRadarセンサーでは、複数ターゲット／1オブジェクトが一般的であるため、インターフェースも、より拡張性の高い、ターゲットの情報とオブジェクトの情報を分離して定義することにした。具体的には、ターゲット(反射点)情報、オブジェクト(物標)情報、自車情報の3つの情報のインターフェースとし、日独連携のVIVIDで協議し、定義した。

例：乗用車(左側の写真)は、複数の反射点がある。
(赤点：強度が高い反射点)



実車レーダ検知結果(神奈川工科大学 研究結果引用)

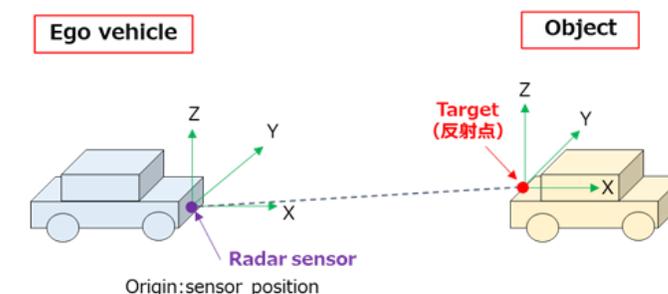
VIVID JT1 Workshop内メンバで議論し、共通のインターフェースとして定義。

(4) 共通インターフェースの定義(詳細)

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

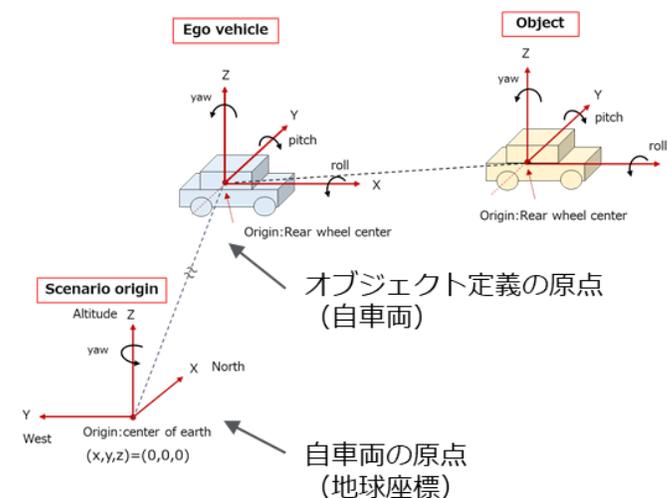
ターゲットの座標系

Radarセンサー ~ ターゲット間の相対値情報として定義



オブジェクト・自車両の座標系

各原点との相対値情報として定義

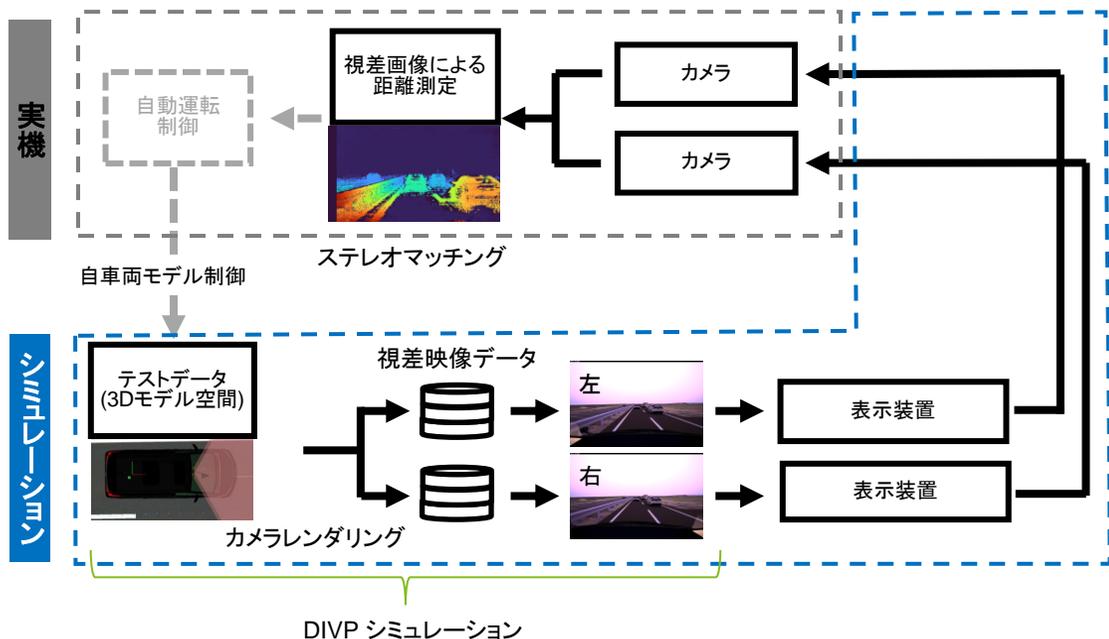


Stereo-camera HILS実装に向けて必要技術の整理と、初期検証方法について検討

➤ 1. Stereo-camera HILS実装に向けた要件定義

Stereo-camera HILSの基本構成

左右のセンサレンダリング結果表示装置の映像をステレオカメラでキャプチャするためのシステム構成



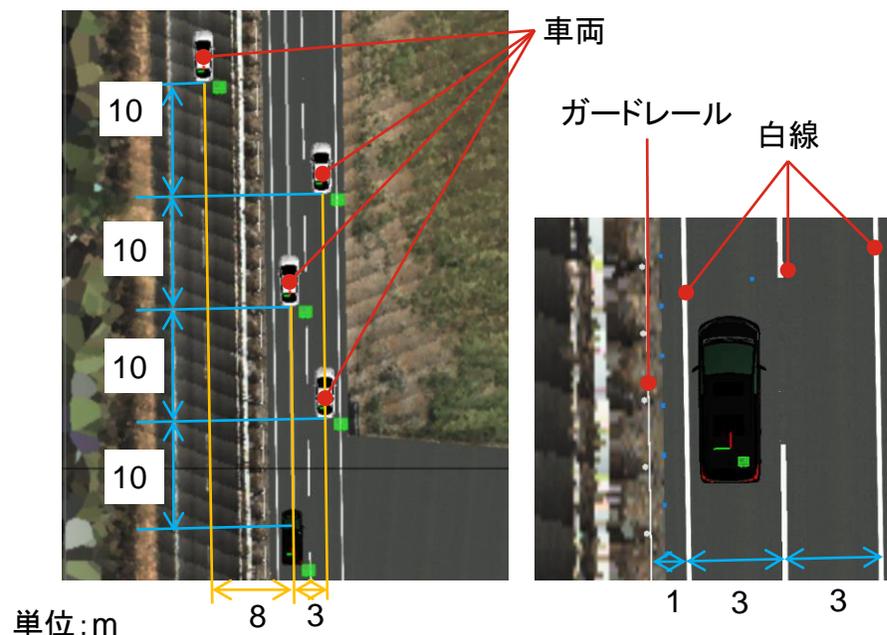
Stereo-camera HILSの機能要件定義は以下の通り

- システム方式・構成
 - 表示装置
 - 左右の視差画像を表示する画面を個別に提供できる。
 - シナリオで設定したカメラ位置、種類に基づいた視差映像を左右同じタイミングで表示できる。
 - ステレオカメラの分解能に対して十分な高解像度で映像を表示できる。
- ステレオカメラ
 - 表示装置の画面から両眼のカメラで個別に映像を取得できる。
 - 車載ステレオカメラをそのまま使用することができる。
- 同期装置
 - シャッタータイミングと映像表示装置の描画タイミングを同期できる(描画切替時などにシャッターを切らない)。

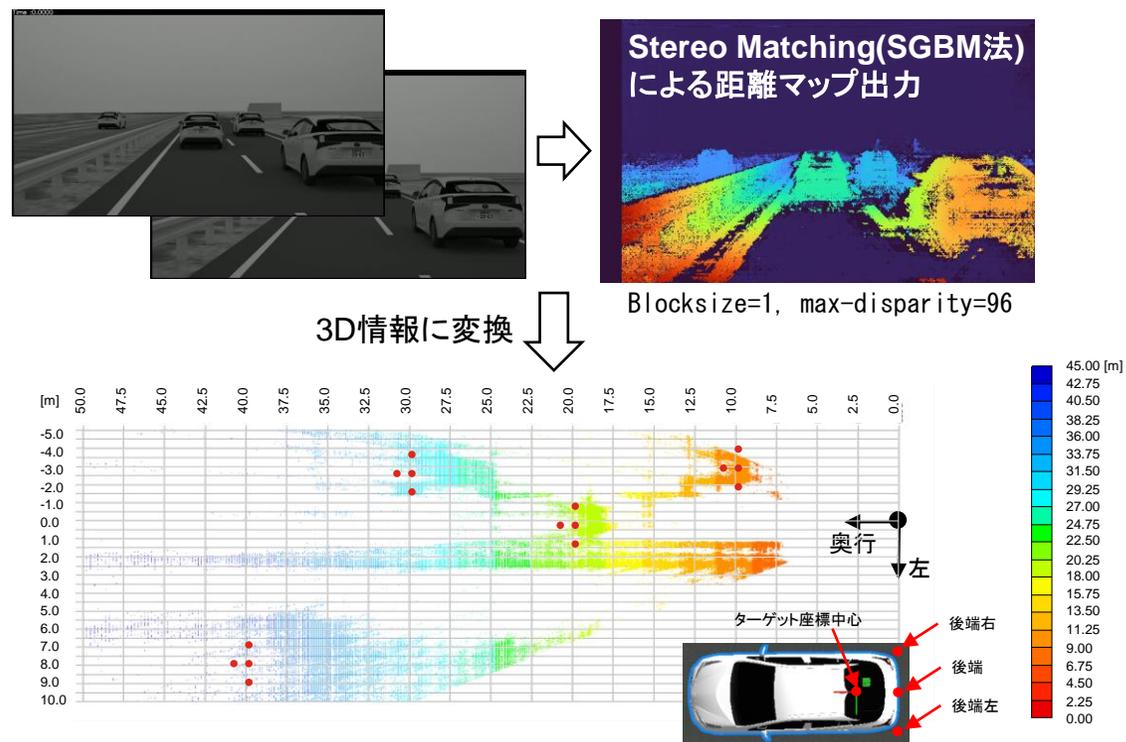
DIVP®のカメラ知覚結果からのStereo matchingと距離計測の確認

➤ 2. Stereo-camera HILS実装に向けた実現性検討

- 要件定義の内、DIVPのシミュレーション結果からステレオマッチングによる距離計測にたる左右の視差画像を表示する画面を個別に提供でき、表示装置の画面から両眼のカメラで個別に映像を取得できるか確認した。
 - 以下の様に物標、道路標示がセッティングされた3Dモデル空間を用意した。



(2).DIVPのセンサ物理シミュレーション結果を用いたステレオマッチングによる距離測定

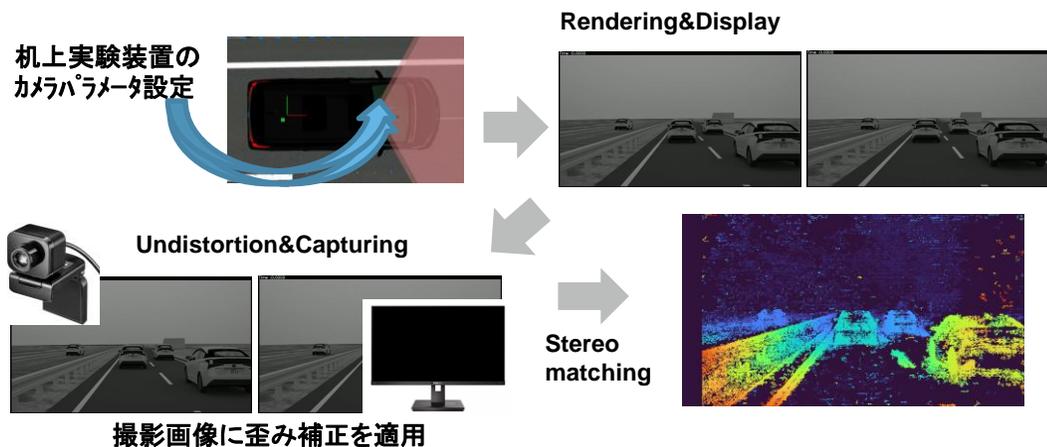


- 車両、白線、ガードレール位置などがDIVPのカメラ知覚出力結果からモデル配置通りに検出可能であることを確認できた。

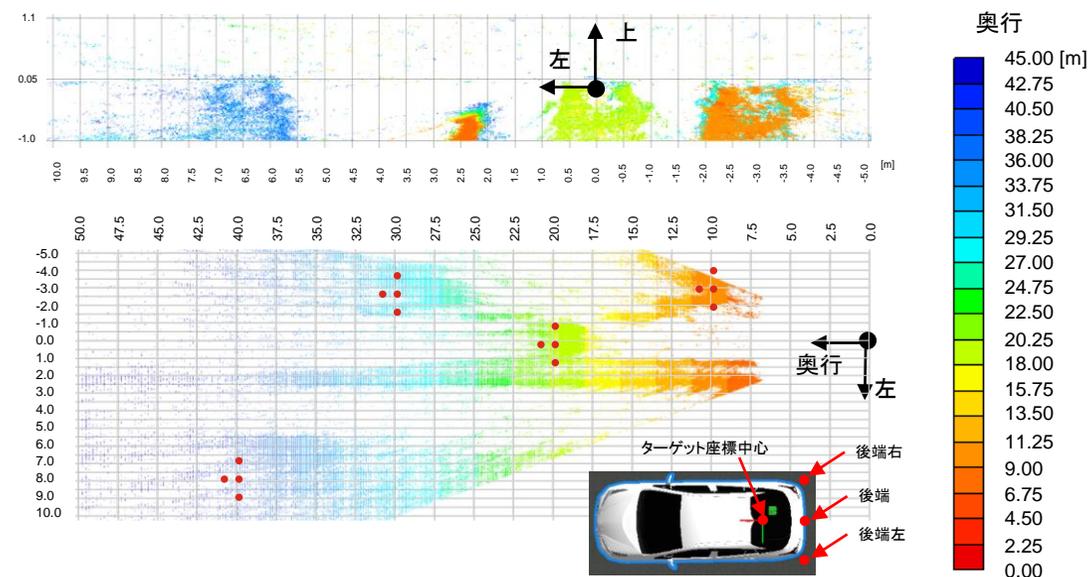
カメラ及び表示装置を介した際のStereo matching結果に関する評価

➤ 2. Stereo-camera HILS実装に向けた実現性検討

- DIVPのカメラ知覚結果として出力した左右の視差画像を表示装置とカメラを介して取得した際の、Stereo matchingと距離計測に与える影響について確認した。
 - カメラキャリブレーションで取得したカメラパラメータと、実際の撮影画像を利用したHomography変換による歪み補正を行った撮影画像から、Stereo matchingによる距離計測を実施。



• 距離計測結果



- 車両、白線、ガードレール位置などがDIVPのカメラ知覚出力結果からモデル配置通りに検出可能だったが、Targetとは無関係の地点に複数の小さなノイズが確認できる。
→実環境での追加検証などを今後の課題にしていく。

テーマ(1)-2.b モデル結合評価の継続・拡張

(1)-2.b. 外部技術との接続（HILS以外全て）

モデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動について

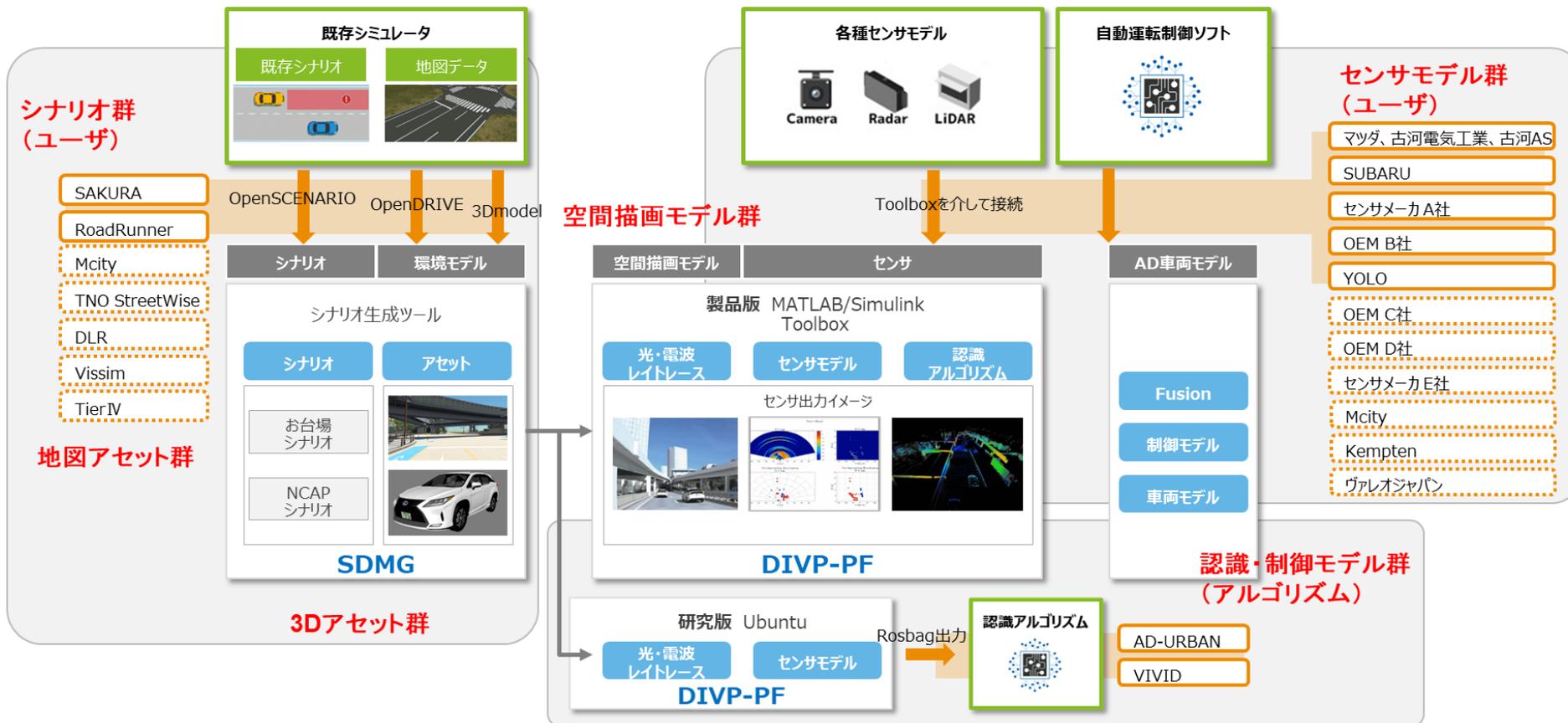
Virtual環境における自動運転の安全性評価のために、DIVPプラットフォーム上で、多数のユーザマップ・シナリオ & モデルとの接続を実施。並行して、モデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動状況をまとめ、研究内外でのDIVP利用促進に向けて必要なコンテンツの整備を実施。

項目	担当	
全体	BIP	・モデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動状況まとめ
実績	BIP	①研究内外でのDIVP利用促進のため、必要コンテンツの整備（サンプルシナリオ整備とマニュアル作成）
	古河AS	②自社レーダモデルの接続と、一致性検証に向けた実測実験
	KAIT	③再利用可能な公開サンプルの整備再利用可能な公開サンプルの整備
	SSS	④日独連携VIVIDプロジェクトでのJT3.1カメラモデル交換検証

ユーザ要望に基づき、多数のユーザマップ・シナリオ & モデルとの接続を拡張中。モデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動を実施。

モデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動状況まとめ

DIVPでは、ユーザの様々な要望に対して活動を実施中。ここではDIVPを中心にモデル流通、ツールチェーン、データ連携の活動状況のまとめを実施。整備したシナリオ、アセット（地図・物標）、モデルは、ユーザからの取り込みも含め、柔軟な組み合わせが可能。安全性評価のためのパッケージ群を構成する再利用・流用可能なデジタルコンテンツとして整備を実施。



安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化; データソース群

1	データソース	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ / モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
1.1	Rttl4ユースケース情報	○	Rttl4	情報	SO	○
1.2	死亡事故データ(下記の情報ベースよりシナリオ構築)	○	—	データ	Open	○
1.2.1	交通統計・交通事故発生状況	○	警察庁	データ	Open	○
1.2.2	判定タイムズ (交通事故 過失割合)	○		データ	Open	○
1.2.3	交通事故要因分析・対策立案に関する技術情報	○		データ	Open	○
1.2.4	Police Accident Reports(NHTSA)	○	NHTSA	データ	Open	○
1.3	JARI計測データベース	未	JARI	データ	不明	不明
1.4	センサ計測データ (実験室)	○	DIVP	データ	Open	◎
1.5	センサ計測データ (実車/テストコース)	○	DIVP	データ	Open	◎
1.6	センサ計測データ (実車/公道)	○	DIVP	データ	Open	◎
1.7	ヒヤリハットデータベース	未	農工大	データ	SO	△
1.8	保険会社データ (事故, ヒヤリハット等)	未	保険会社	データ	Close (SO?)	不明
1.9	OEMデータ	未	OEM	データ	Close	不明

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化;生成したコンクリートシナリオ群

2	生成コンクリートシナリオ (シナリオモデル, データセット)	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ / モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
2.1	SIP-adus時のパッケージシナリオ	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.1	首都高走行	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.2	お台場テレコムセンタ南	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.3	台場駅周辺	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.4	青海駅周辺	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.5	青海一丁目交差点	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.6	Euro-NCAP(31シナリオ)	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.7	NCAP者影飛出し	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.8	東京ビックサイト前交差点 (AD-URBANデータソース)	○	DIVP	准モデル	SO	◎
2.1.9	センサ特殊不具合, ライト・マテリアル設定	○	DIVP	准モデル	SO	◎



安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化;生成したコンクリートシナリオ群

2	データソース	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
2.2	RttL4ユースケース					
	2.2.1 テーマ2					
	a 磯坪交差点視界と対向車認識 (約5000シナリオを生成)	○	DIVP	准モデル	Open	◎
	b 泉が森バス停信号機西日認識 (予定)	(24FY予定)	DIVP	(准モデル)		(○)
	c 大沼小学校付近 複雑交差点 (予定)	(24FY予定)	DIVP	(准モデル)		(○)
	2.2.2 テーマ3					
	a 合流支援 (予定)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(◎)
	b 夜間・路肩停止大型車 (予定)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	c 二輪車すり抜け (予定)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	d 逆走車 (予定)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	e 先読み情報支援 (予定)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	f 東北自動車道 佐野SA 合流車視界不良	未定	(DIVP)	(准モデル)		(○)

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化;生成したコンクリートシナリオ群

2	データソース	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
2.2	RttL4ユースケース					
	2.2.3 テーマ4					
	a 認識性能向上(歩行者, 自転車等) & 学習用データ生成(先進モビ)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	b 樹木歩道走行自転車の認識(先進モビ)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	c マルチセンサ, 魚眼カメラ(先進モビ)	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	d 柏の葉駅~キャンパス間 無信号交差点視界	(24FY予定)	(DIVP)	(准モデル)		(○)
	e 路駐歩行者飛び出し	既存の反映	DIVP	(准モデル)		○
2.3	交通死亡事故データでの生成シナリオ (1.2参照)	○	DIVP	准モデル	Open	◎
2.4	SAKURA解析に基づくシナリオ					
	a カットイン/カットアウト	○	JARI/DIVP	准モデル	Open	○

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化; 3Dモデルアセット群(1000種以上)

3	マップ3Dモデルアセット (FBX)	→OpenDrive関連, 外部アセットも利用可		実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
Layer1	道路形状(ルート、レーン、勾配、道路表層)	(2.1参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
Layer2	交通路側物(信号、道路標識、カーブミラー、ガードレールなど)	(2.2参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	道路標示(規制標示、指示表示)	(2.3参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
Layer3	一般路側物 (トンネル、路側壁、歩道橋など)	(2.4参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	工事設備(パイロン、工事看板、交通誘導など)	(2.5参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	道路障害物 (駐車車両、タイヤ、段ボールなど)	(2.6参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
4	物標3Dモデルアセット (FBX)	→外部アセットも利用可		実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
Layer4	普通自動車、大型/中型自動車、大型/小型特殊自動車、特殊車両	(2.1参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	バイク、原動機付自転車、自転車	(2.2参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	歩行者	(2.3参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
〃	侵入物 (大型動物、小型動物、飛来物など)	(2.4参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	
		(2.5参照)	○	DIVP	モデル	SO	◎	

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化;変換&追加アセット、センサ弱点シナリオDB、反射物性ライブラリ群

5	各シミュレータ対応用 変換&追加アセット (リスト)	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ / モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
	UE4, Streetwize, Road runner, Garden, ...	◎	DIVP	ツールチェーン対応	SO	◎
6	センサ弱点シナリオDB	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ / モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
6.1	弱点事象情報 (FMEA解析による優先事象抽出)	○	DIVP	データ&解析	SO	○
6.2	各センサの計測データ (1.4, 1.5, 1.6のデータ)	○	DIVP	データ	SO	○
6.3	各センサの計測データ (1.4, 1.5, 1.6のデータ)	○	DIVP	データ	SO	○
7	反射物性ライブラリ (DIVP Material)	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ / モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
	3,4項のアセットモデルに対し反射物性結合が可能 (カメラ, LiDAR, Radar)	○	DIVP	データ	Open	◎
	(計643file, カメラ;301, LiDAR;319, Radar; 23)					

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化;空間描画モデル群

8	空間描画モデル (レイトレース関係, カメラ/LiDAR/Radar)			実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
8.1	太陽光源モデル (晴/曇/夜, 緯度経度・日時での太陽位置, 約36色相当のスペクトラム)			○	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.2	降雨モデル (粒径×速度×密度パラメータによる降雨量モデル)			○	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.3	フロントガラス面の雨付着&ワイパーモデル			○	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.4	霧モデル (過去知見に基づく原理モデル4種)			○	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.5	Radar雪付着→含水率による信号減衰モデル			○	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.6	降雪モデル			△	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.7	外付けカメラレンズ界面の雨滴付着除去デバイスの性能評価モデル			△	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎
8.8	水の跳ね上げモデル			未	DIVP	モデル	Software;Close 利用SO	◎

安全性評価シミュレーションP/Fにおけるデジタルコンテンツ(各Library)一覧

モデル/データLibraryの見える化; センサモデル、評価指標群

9	センサモデル	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
9.1	カメラIMX490モデル	○	SSS	モデル	Close	◎
9.2	カメラIMX728モデル	○	SSS	モデル	Close	◎
9.3	汎用カメラモデル	○	DIVP	モデル	SO	◎
9.4	128Line全周スキャン LiDARモデル	○	DIVP	モデル	SO	◎
9.5	Pioneer MEMS型LiDARモデル	○	DIVP	モデル	SO	◎
9.6	BlickFeld MEMS LiDARモデル	○	VIVALDI	モデル	SO	◎
9.7	TIベース 中距離 ミリ波センサモデル	○	DIVP	モデル	SO	◎
9.8	近距離 ミリ波レーダモデル(古河AS 24GHz)	○	DIVP	モデル	Close	◎
9.8	4DイメージングRadarモデル (referenceモデル)	△	DIVP	モデル	SO	◎

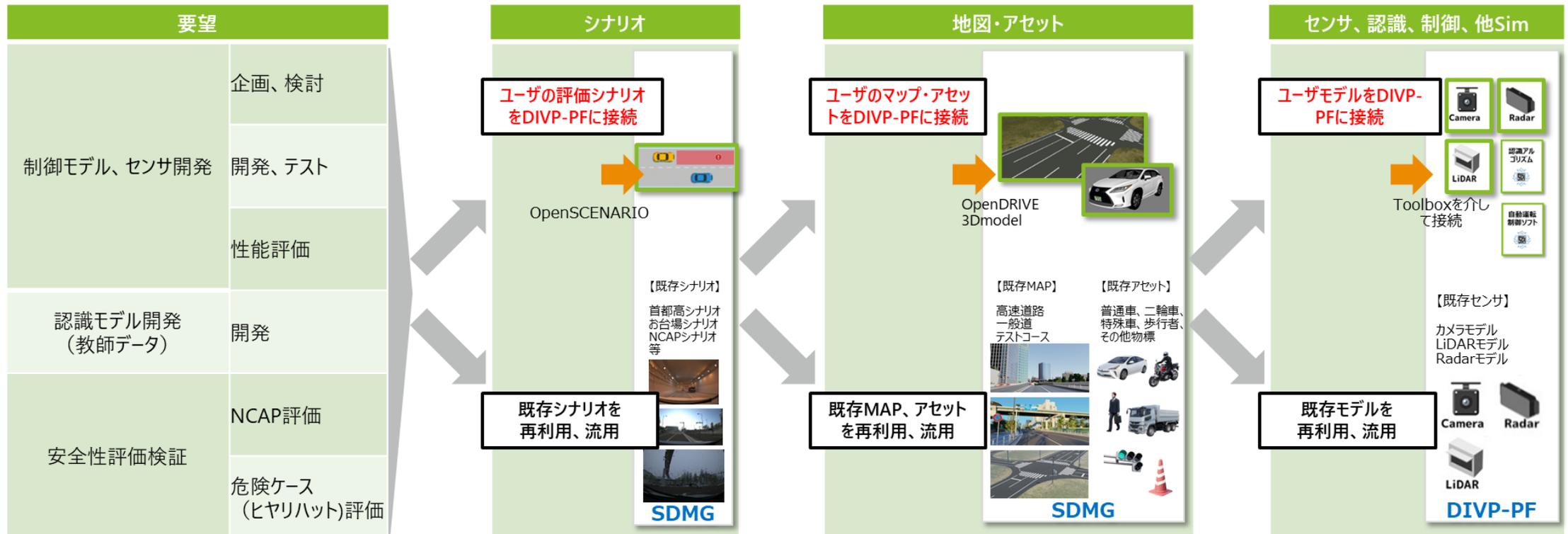
10	評価指標	実施済 or 予定	所有者	分類 (情報/データ/ モデル/ツール)	Open/Close /SemiOpen	再利用価値
10.1	認識性能指標 →認識性能モデル (測距/MoU/遮蔽率)	○	AD-SA	Metrics	Open	◎
10.2	安全リスク指標	△	AD-SA	Metrics	Open	◎



ユーザ要望とDIVPのデジタルコンテンツの組合せ

利用観点でのまとめ

ユーザ要望は様々なパターンが存在するが、ユーザが持つデジタルコンテンツの流用は要望を実現する上で前提となっている事が多い。シナリオや3Dモデルアセットは、OpenSCENARIOやOpenDriveによるデータ変換で接続し、センサモデルもMATLAB/SimulinkのToolboxを介して接続が可能になった。このようにユーザが保持しているデジタルコンテンツを再利用し、DIVPのデジタルコンテンツとの組み合わせを行う事で様々なユーザ要望の実現が可能になった。



①DIVPデジタルコンテンツの再利用、流用のため、研究活動で作成したシナリオを整備

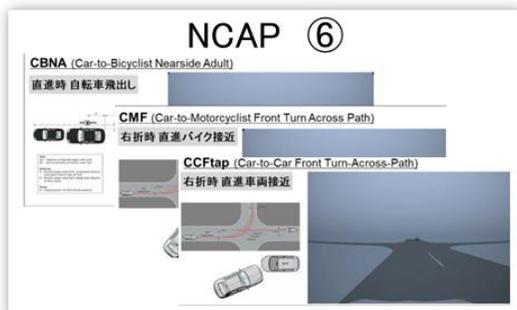
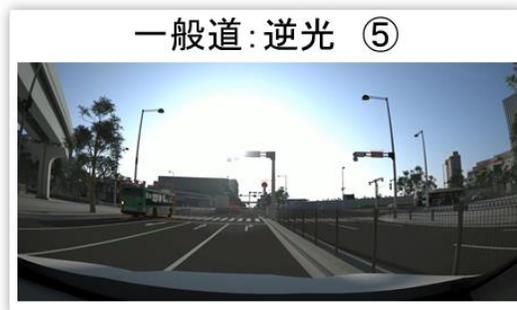
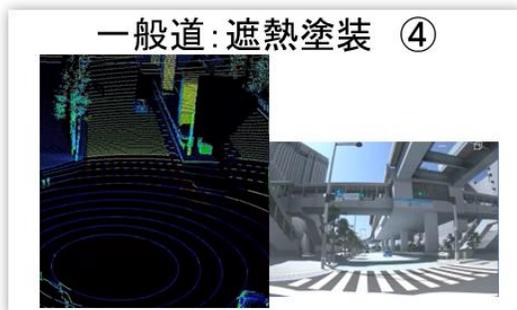
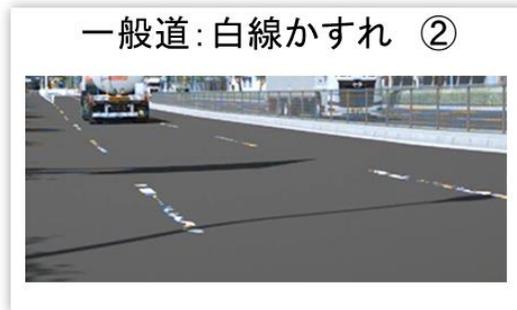
サンプルシナリオの一覧

DIVPデジタルコンテンツの再利用、流用のために、研究活動のために作成した既存シナリオの整備を実施。高速道、一般道におけるセンサ検証として利用可能なサンプルや、安全検証のために利用可能なNCAPシナリオ等がある。

#	シナリオ	概要	場所	主な対象センサ
①	01_c1_overtake_tunnel	首都高走行シーン	高速道路	【C】トンネル 【R】マルチパス
②	02_odaiba_aging_whiteline	お台場テレコムセンター南	一般道	【C】かすれ白線 【C】樹木影
③	02_odaiba_pedestrian_bridge	台場駅周辺	一般道	【R】上部構造物
④	02_odaiba_thermal_insulation	青海駅周辺	一般道	【L】遮熱塗装
⑤	02_odaiba_traffic_light_Sunny	青海一丁目交差点	一般道	【C】逆光 【C、R、L】雨 【C】夜
⑥	03_NCAP	NCAPシナリオ（31個）	Proving Ground	
⑦		NCAP車影飛出し	Proving Ground	
⑧	04_AD-URBAN	東京ビックサイト前交差点	一般道	【C、R、L】雨
⑨	99_test	センサ特殊不具合、ライト・マテリアル設定		【C】夜間ライト 【L】黒色

参考 サンプルシナリオのイメージ図

イメージ図

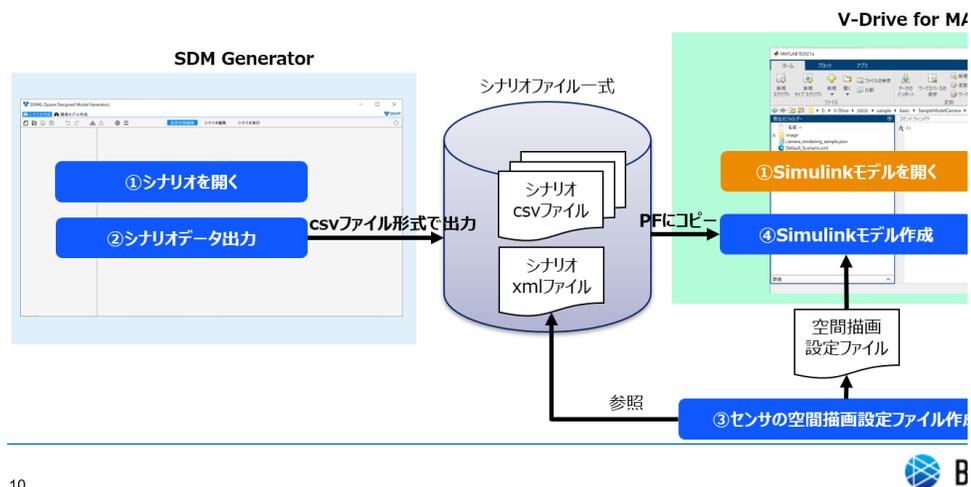


参考 マニュアルのイメージ

利用マニュアル一部抜粋

4. サンプルシナリオのシミュレーション

- サンプルシナリオ・パッケージのシナリオをシミュレーションする方法として、下記の2通りあります。
 1. Simulinkモデルを使用してシミュレーションする方法
サンプルシナリオ・パッケージに用意されているSimulinkモデルを使用してシミュレーションする手順（①～②）となります。
 2. SDMGのシナリオを使用してシミュレーションする方法
SDMGからシナリオファイル一式を出力し、Simulinkモデルを作成してシミュレーションする手順（①～⑤）となります。

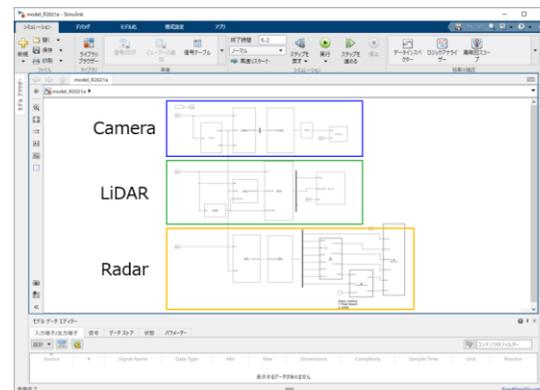


10

4.1. Simulinkモデルを使用したシミュレーション

- サンプルシナリオ・パッケージに用意されているSimulinkモデルを使用してシミュレーションする手順を説明します。

- ① パッケージに用意されているSimulinkモデルを開きます。
パッケージのSimulinkは、カメラ、LiDAR、ミリ波レーダーを一つのモデルに集約してシミュレーションします。



- ③ [実行] をクリックして、シミュレーションを実行します。

11

②レーダの概要

目的

Virtual環境における自動運転の安全性評価のためには、各種交通流シナリオとセンサ弱点シナリオの接続連携が必要。同時にセンサメーカーが保有する多種多様なモデル群の柔軟な接続が求められる。これらを実現するために、自社で開発済のレーダモデルを使用しDIVP-PFとの結合評価を行う。

実施内容

レーダの概要

車線変更支援などのアプリケーションを有する、車両の四隅に搭載する周辺監視レーダで、レーダの検証、顧客への提供を目的として開発したレーダモデルが存在する。このレーダモデルをDIVP-PFに接続し動作検証を行った。

MMR2外観



主要諸元

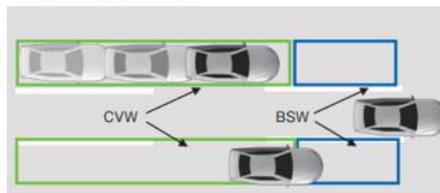
項目	仕様値(参考)
変調方式	パルスドップラ
測角方式	Digital Beam Forming
使用周波数	24.05 ~ 24.25 GHz
外形寸法	W131 × D129 × H23 mm
外部通信I/F	CAN-FD, HS-CAN

周辺監視レーダで実現するアプリケーション



- ①後側方アプリ(車線変更支援)
- ②出会い頭接近警報
- ③リア・クロス・トラフィック・アラート(RCTA)
- ④フリースペース検知

①車線変更支援



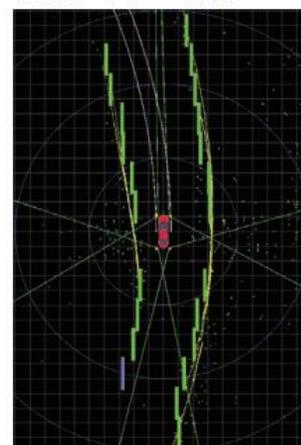
②FCTA



③ RCTA

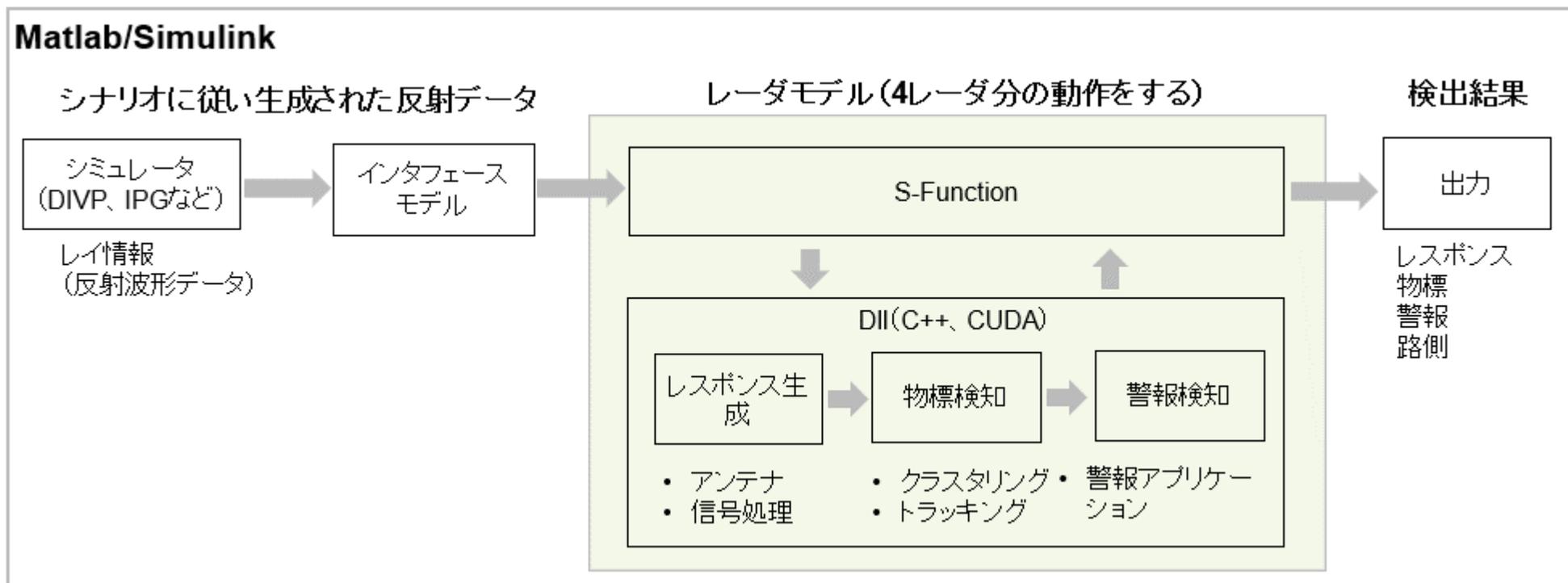


④フリースペース検知



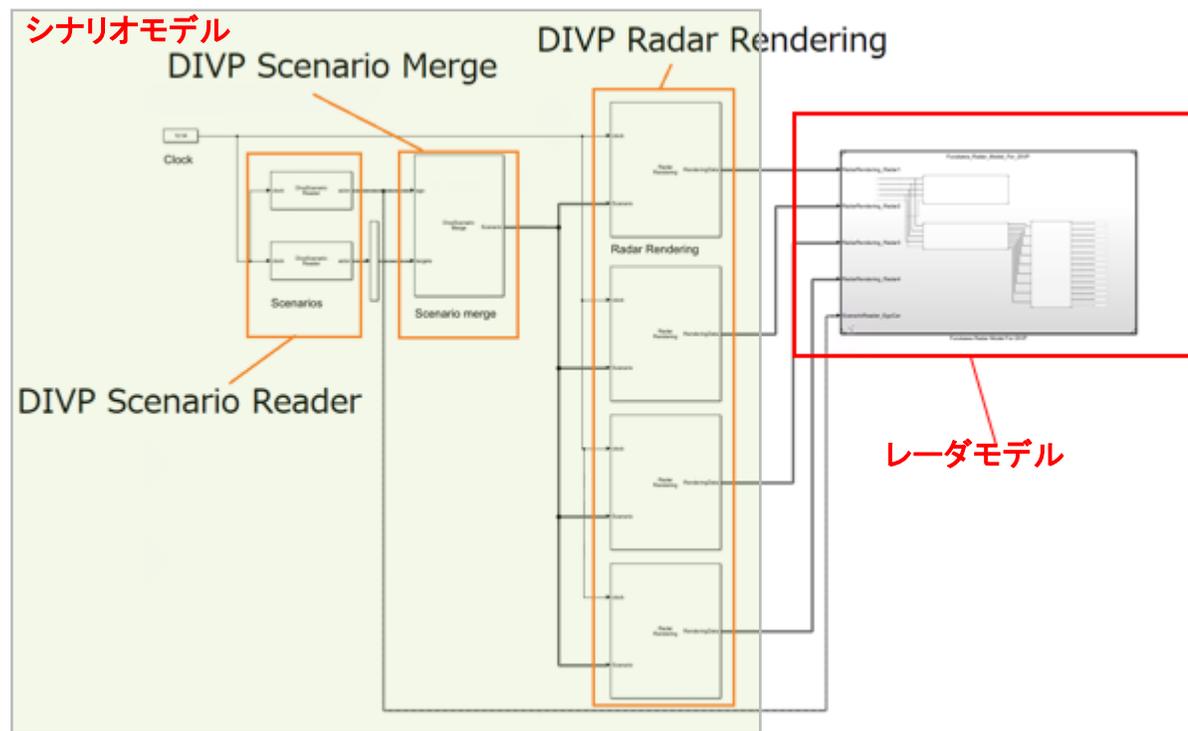
レーダモデルの概要

実機レーダがハードウェア、ソフトウェアにて行っている処理をモデル化している。前半はアンテナ、信号処理など主にハードウェアで処理しているレスポンスを生成する処理、後半は物標検知、警報検知などソフトウェアが実施している処理を実機レーダのプログラムを流用して実装している。

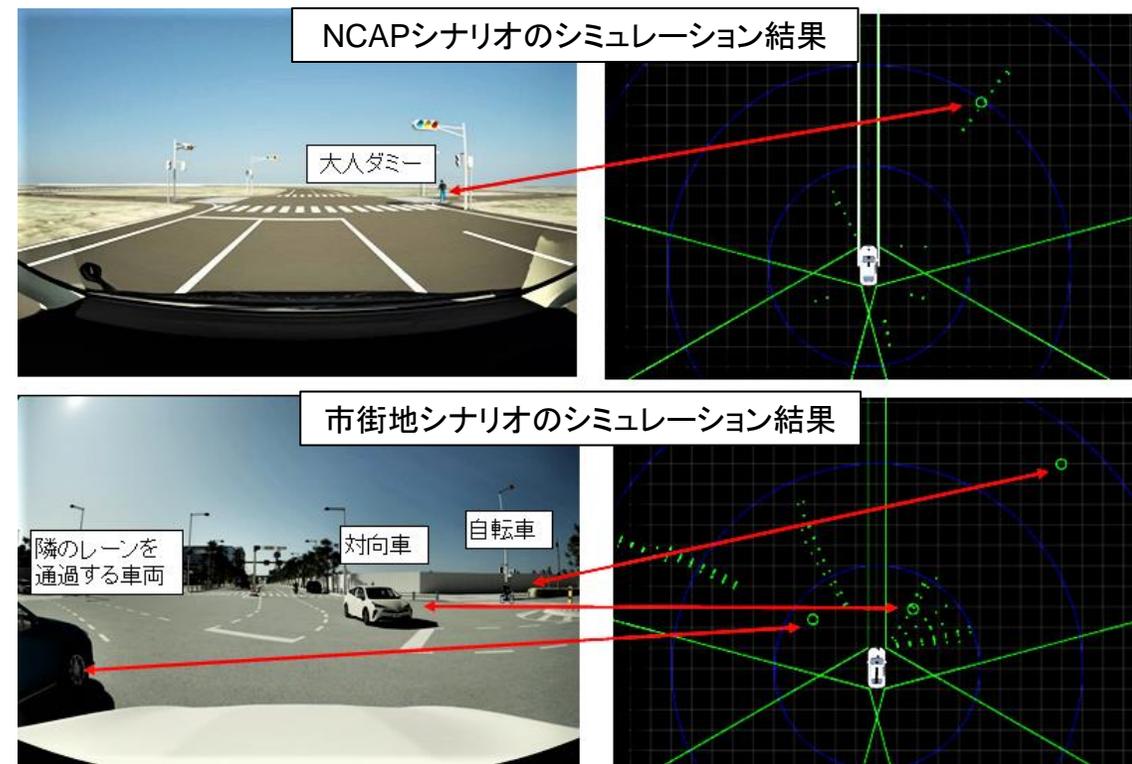


レーダモデルを接続

DIVPのシナリオモデルにレーダモデルを接続し動作検証を行った。レーダモデルの接続が容易に行えるよう、レーダモデルとシミュレータとのインタフェースモデル、必要なファイル群をパッケージ化し手順の簡略化を進めた。レーダの開発においては、レーダモデル内部の設計変更とシミュレーションを繰り返すことが多く、モデルの接続作業が容易であることが重要となる。パッケージ化によりレーダモデルの置き換えを短時間で行うことが可能になり、開発工程でDIVP-PFが安定して活用可能なことが確認できた。また、接続後のモデルでシミュレーションを実行し、その結果からダミーや車両などの移動物が検出されることを確認した。

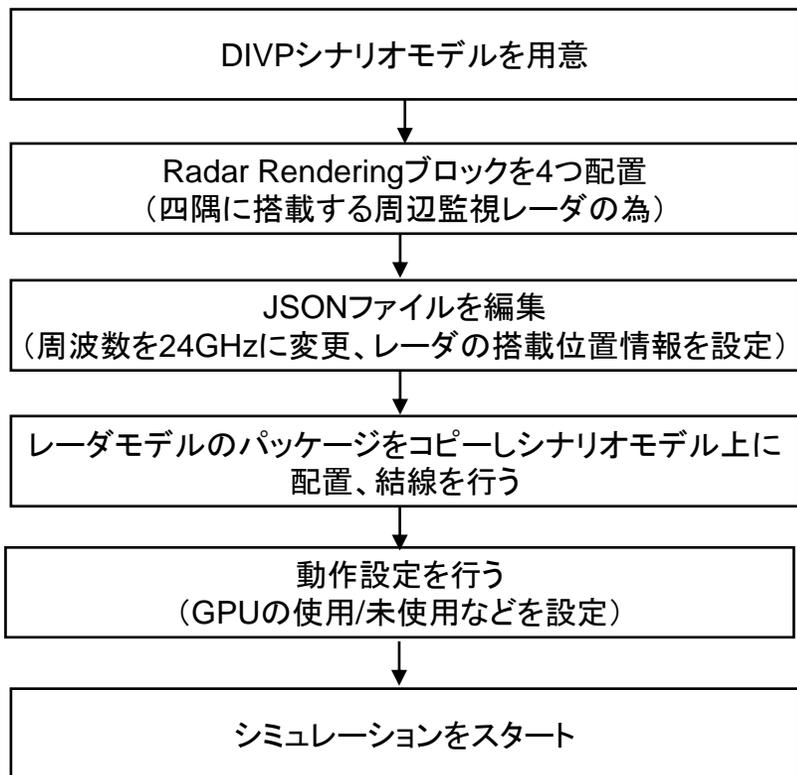


レーダモデルを接続したシナリオモデルの例



接続の手順

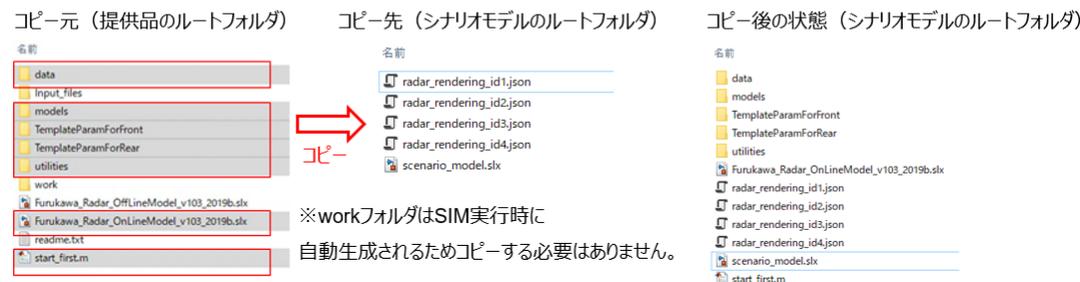
レーダモデルの接続について、前述の通りパッケージ化により簡略化を進めその手順をまとめた。周波数の設定変更など初回の編集時に必要な作業はあるが、レーダの開発中に繰り返すことになる設計変更後のレーダモデルを接続する作業は、レーダモデルのパッケージをコピー＆ペーストすれば良いところまで簡略化することができた。



2-1 オンラインレーダモデルを接続 1/3



①提供品のフォルダからシナリオモデルのルートフォルダに、赤枠内のファイル、フォルダをコピーしてください。



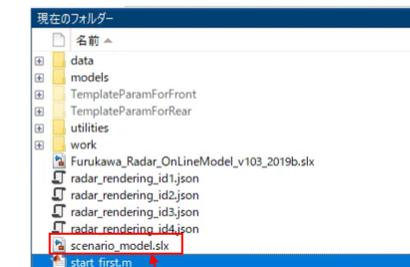
②MATLAB上でstart_first.mを実行してください。

パス設定、workフォルダの作成、パスの読み込み、環境変数の設定を行います。
カレントフォルダをシナリオフォルダのルートにした状態で実行してください。



③下図の状態になります。

必要なフォルダにパスが通った状態になります。

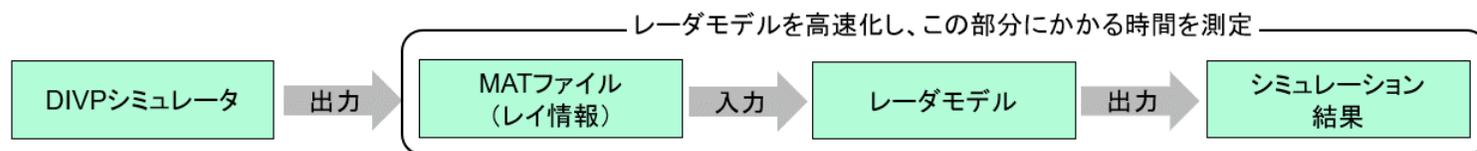


シナリオモデルの例です。

シミュレーション時間

シミュレータが出力する最大レイ数の設定 (max_recv_ray) を変化させるとシミュレーションに要する時間が大きく変化する。NCAPシナリオでターゲットを検出するのに必要なレイの数と、複雑な市街地のシナリオを再現するために必要なレイの数は異なるが、レーダモデルの高速化を実施し、多めのレイの設定でシミュレーションが実走行と比べ許容できる時間で終わることを確認した。

レーダの開発において、試験パターンとして繰り返し利用するシナリオはシミュレータを毎回動かすことはせず、シミュレータの動作結果であるレイの情報を保存しておき、これを利用することでシミュレーションにかかる時間を短縮している。この動作パターンでレイ数の設定を可変させ、レイ数が多い場合でもシミュレーション時間を10分以内とすることができた。センサフュージョンのシミュレーションなどで、レーダモデルにさらに高速な動作を要求されることも想定しており今後の課題と考えている。

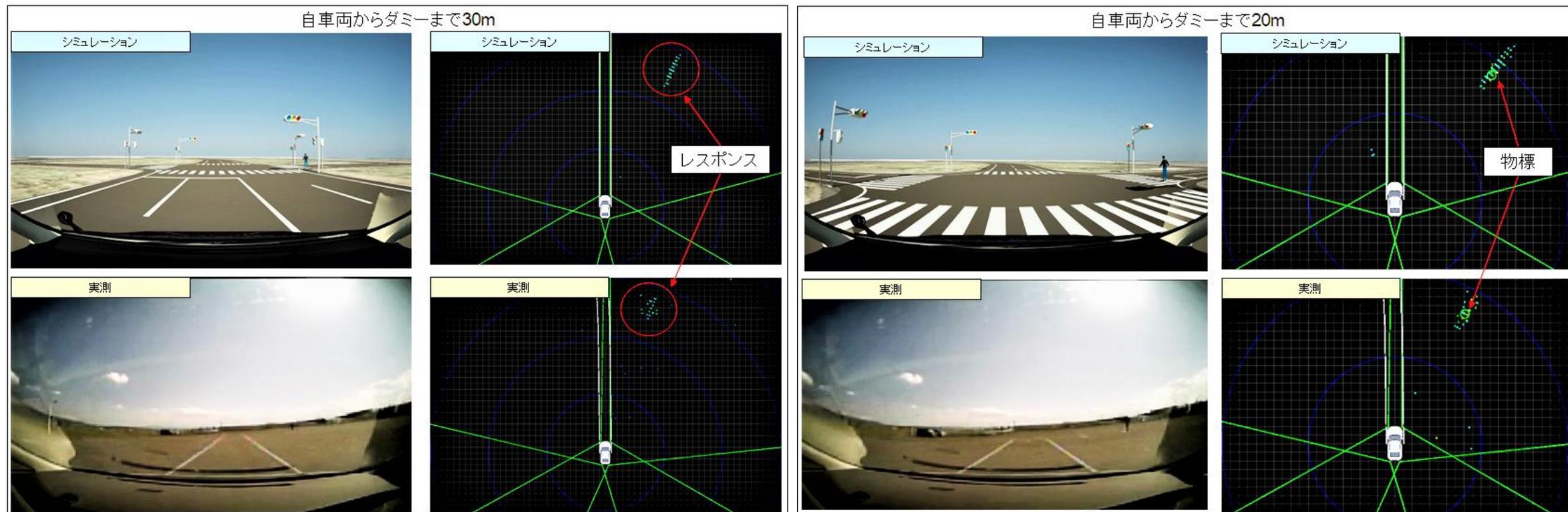


シナリオ	最大レイ数 (max_recv_ray)	シミュレーション時間(分)			
		レーダモデル (オリジナル)	左記を、 マルチスレッド化	左記に加えて、 レイを可変長で伝播	左記に加えて、 GPU使用
NCAPシナリオ (20秒)	600	7.5	1.5	1.5	1.1
	3000	9.1	2.3	1.4	1.2
	30000	22.5	11.3	1.7	1.5
市街地シナリオ (20秒)	600	47	6.3	6.6	3.4
	3000	81.5	16.1	16.2	6.8
	30000	95	25.0	16.7	7.2

動作検証 右折シナリオ 1/2

右折シナリオと市街地シナリオを用い、ダミーや車両、路側の検出結果について、シミュレーションと実測の比較を行った。

右折シナリオではシミュレーション、実測共に自車両が交差点に近づき、ダミーが動き出したタイミングでターゲットを検出し、同じタイミングで警報を検出しており、レスポンス、物標、警報の検出とレーダの一連の動作が再現されている。



動作検証 右折シナリオ 2/2

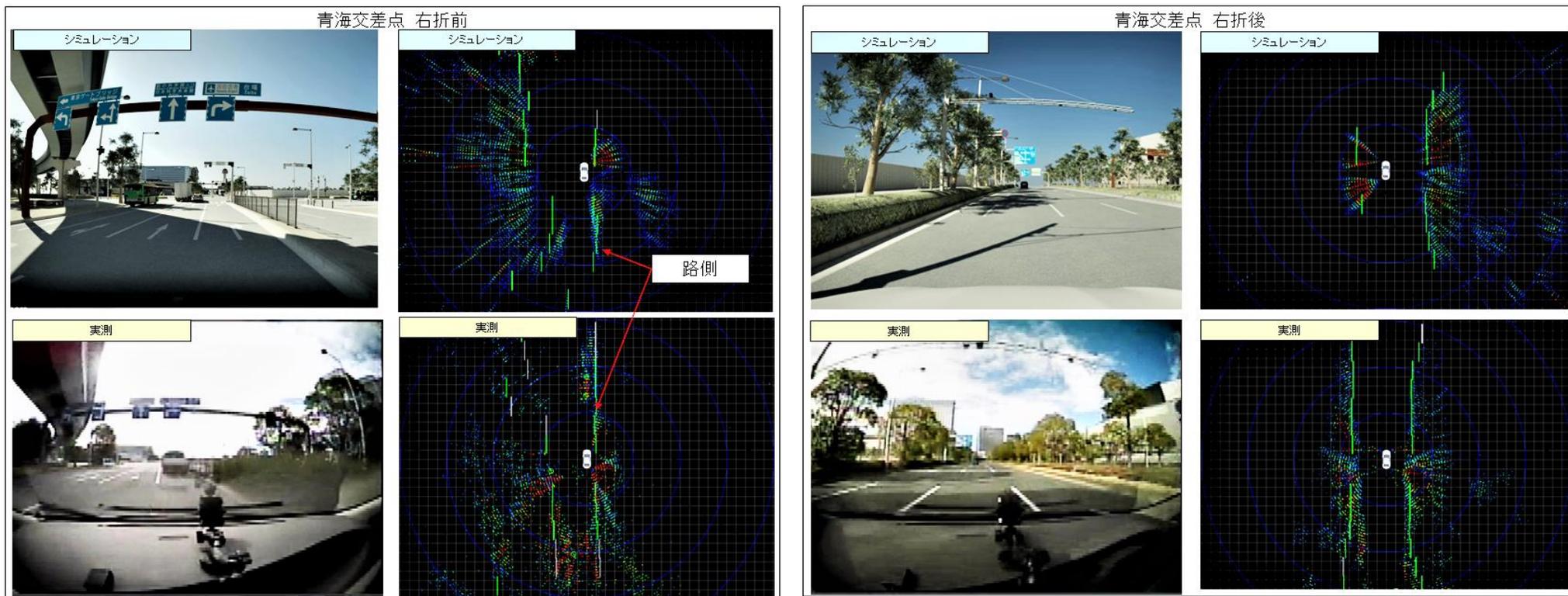
絶対値を重視した検証を行うには車種毎にバンパや振動の影響を考慮した上で、詳細な作りこみ、相関関係の把握を進める必要があるが、実測と組み合わせたシミュレーションの利用を考えた場合に下記の用途で活用が可能であることが確認できた。

- 試験条件を細かく変更するなど、実測で実施しきれない分をシミュレーションで実施し実測を補完する。
- 実測の事前確認をシミュレーションで実施し、実測へ実測の回数を減らす。



動作検証 市街地シナリオ

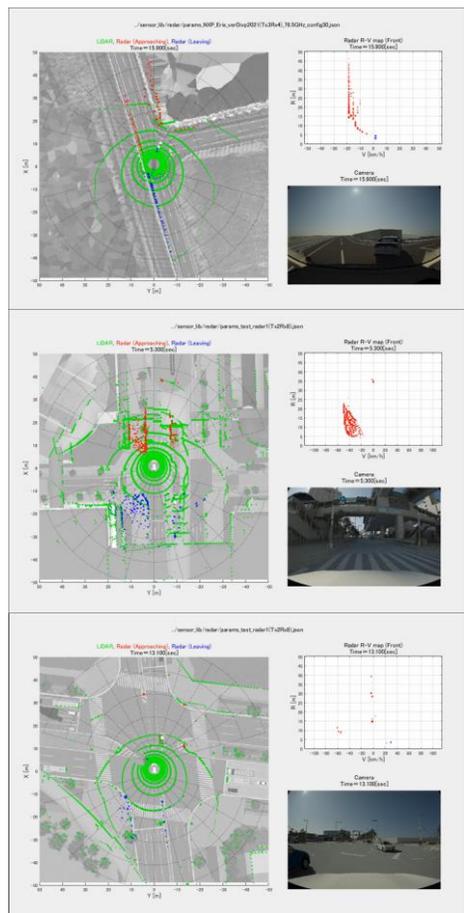
交差点右折前のシーンでは、中央分離帯、車両前方左側の広いスペースが実測と同様に検出されている。交差点を右折した後のシーンでは、シミュレーションと実測で走行しているレーンが異なるが、道路幅が同様に検出されている。両方のシーンで自車両に近い側の路側が実測よりも短く検出されており反射が弱いことが推測される。一部のシーンに限った検証であるが、車両、自転車、路側がシミュレーション上で再現されており、実走行ではレアな状況や苦手なシーンをシミュレーション上で検証するシミュレーションプラットフォームとして今後の活用を検討する。



③【派生成果：公開サンプル整備】

誰でもすぐ使えるサンプル群を整備し、広く公開した。

テーマ(1)-2.b 公開サンプル整備



×
組合せ

数種類のマップ上で、



霧



雨



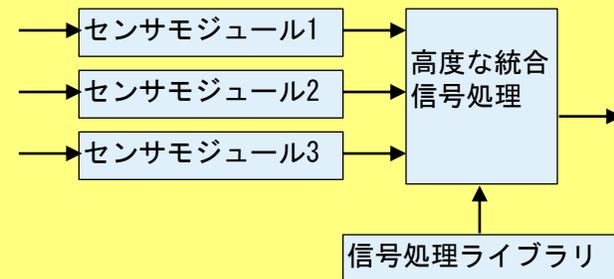
雪

(開発中)

様々な気象条件下で、

→ センサモジュール →

単純な単体センサー（↑）だけでなく、
より現実の自動運転車に近い複雑な
マルチ・センサー・システム（↓）の計算法も示す。



このマルチ・センサー・システムを
来期 テーマ(1)-1.c へ昇格予定。
以下今年度の達成状況を説明する。

【派生成果：公開サンプル整備】

公開サンプルの中でも、なぜ特にマルチ・センサー・システムを重視したか？

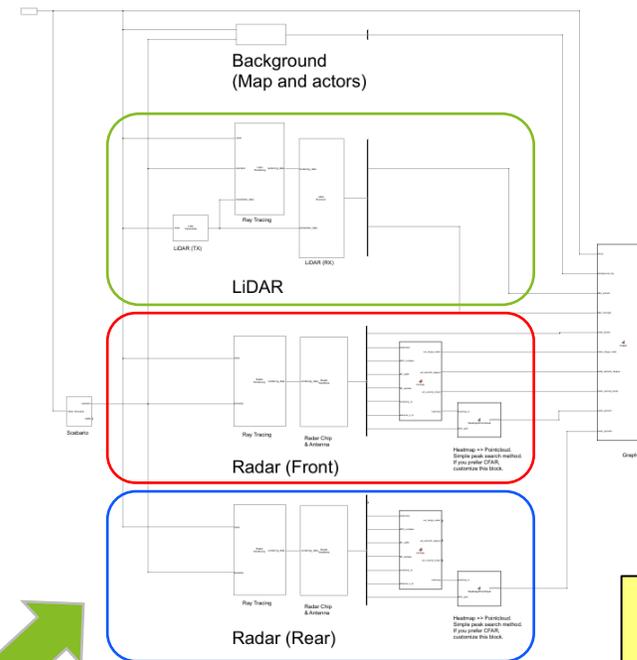
テーマ(1)-2.b 公開サンプル整備 (マルチ・センサー)



出典：産総研 https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20200710.html

理由1:

現実の自動運転車は、何らかの形でマルチ・センサー・システムになっている。



DIVE-PF 特徴①:

お絵描き感覚で、複雑な並列ブロック図を設計できる。

DIVE-PF 特徴②:

高度な信号処理ライブラリを使える。Matlab Toolbox群、OpenCV

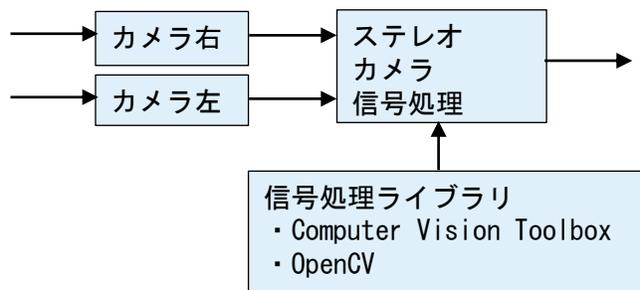
理由2:

左記にうまく適合できる仮想空間シミュレータが無い中、唯一純国産シミュレータのDIVE-PFだけが、上記特徴①②から、適合する唯一無二のシミュレータに発展できる可能性がある。

【派生成果：公開サンプル整備】

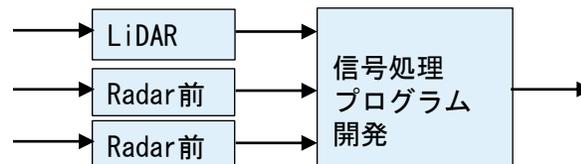
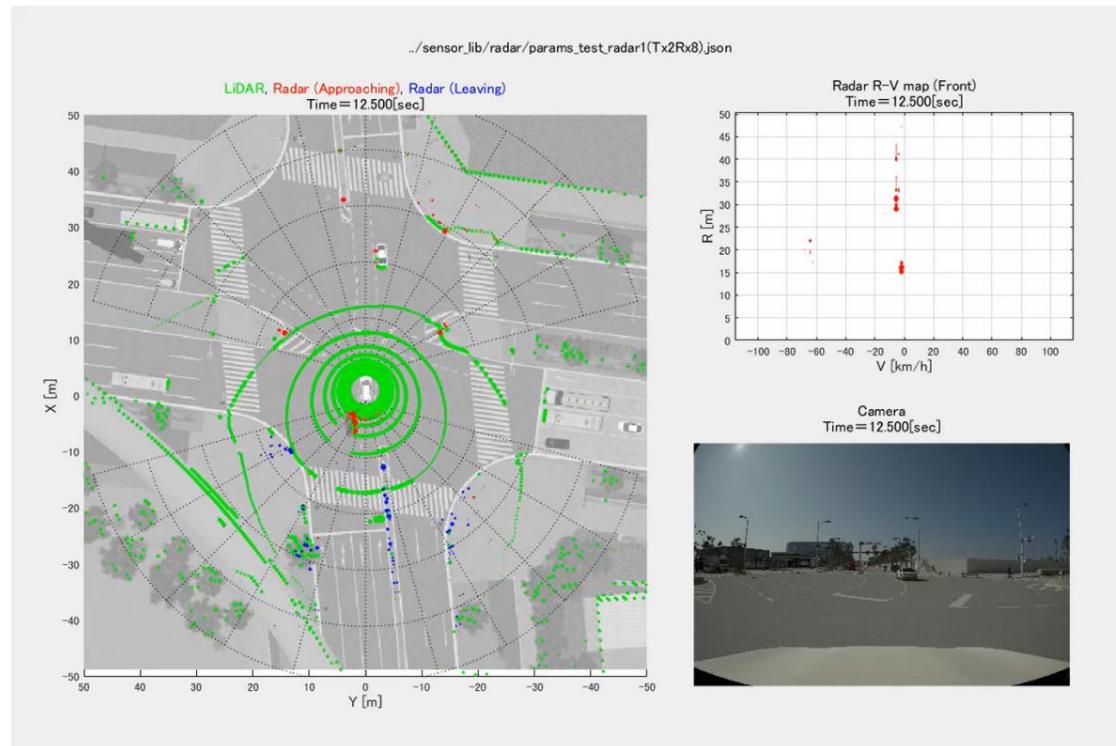
2023年度に開発した、マルチ・センサー・システムの例。(1/2)

テーマ(1)-2.b 公開サンプル整備 (マルチ・センサー)



① ステレオ・カメラ研究
のための雛型サンプル

この方向で、来期テーマ(1)-1cで発展させる。

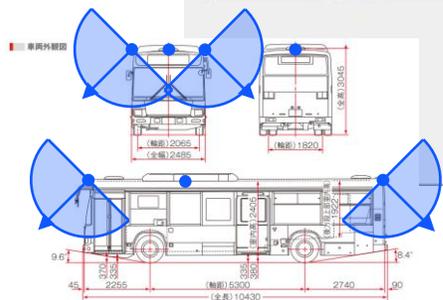
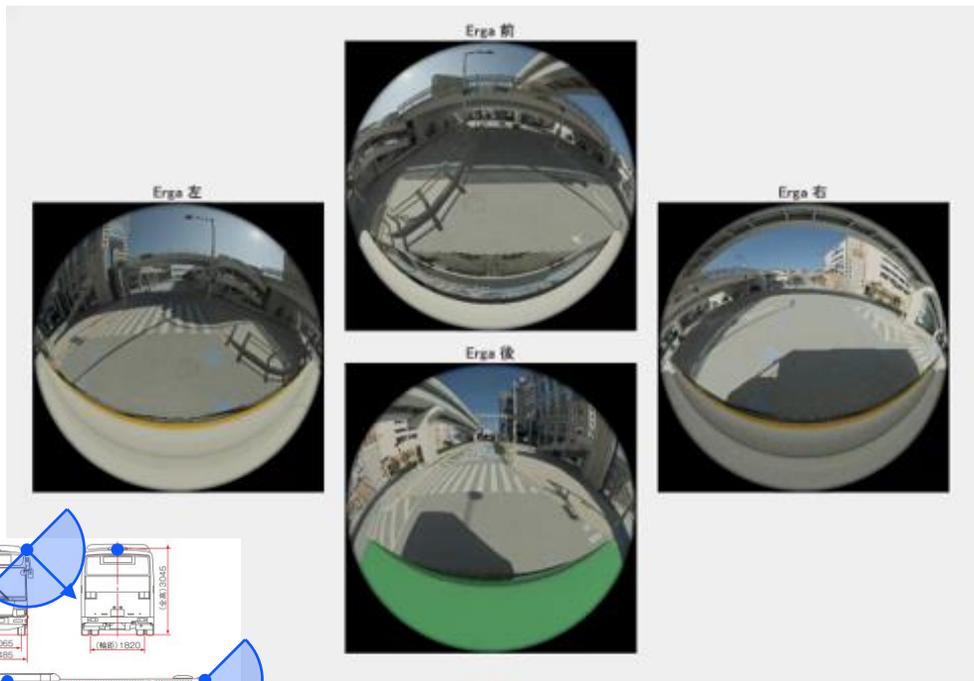


② センサー・フュージョン研究
のための雛型サンプル

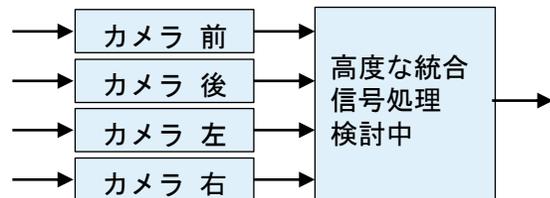
【派生成果：公開サンプル整備】

2023年度に開発した、マルチ・センサー・システムの例。(2/2)

テーマ(1)-2.b 公開サンプル整備 (マルチ・センサー)

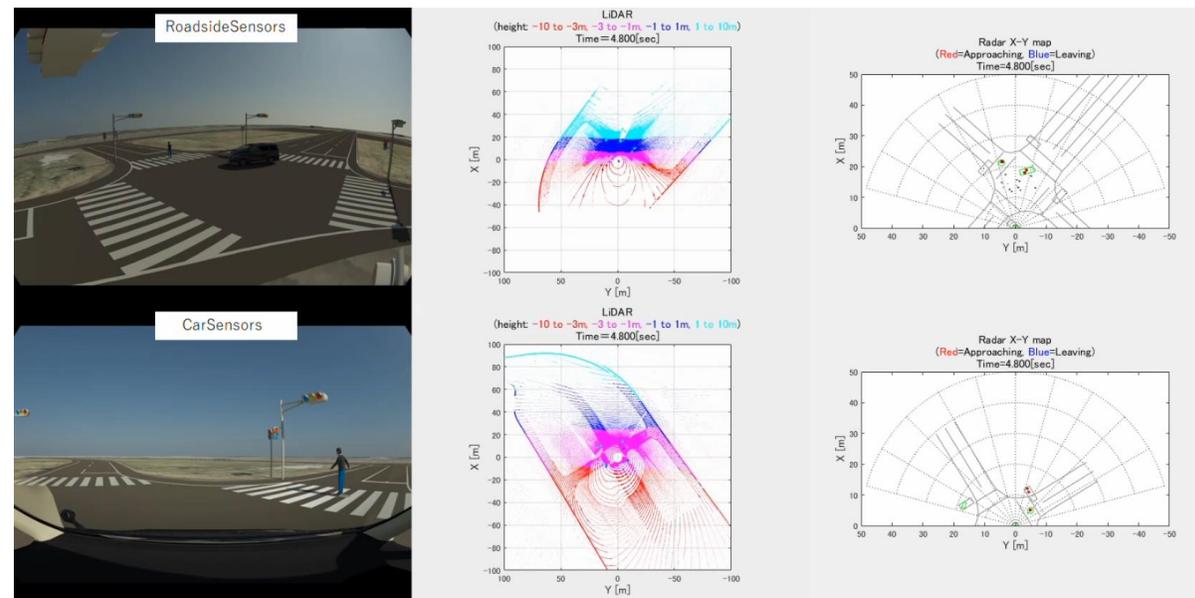


出典：いすゞ
<https://www.isuzu.co.jp/support/data/pdf/bus/01shogen.pdf>



③ 魚眼カメラ4台による大型バスの全周監視サンプル (開発中)

この方向で、来期テーマ(1)-1cで発展させる。



④ 路車協調システム研究のための雛型サンプル (開発中)

④FY'23 SSS(VIVID JT3.1) 成果報告書 概要版

ASAM-OSIIに基づくデータ交換活動により、相互のデータが交換可能であること、またデータ交換に基づく機能性検証が可能であること実証すると共に、活動により抽出された課題をASAM-OSIIに提起

JT3.1

Objectives/ Advantage	<ul style="list-style-type: none"> ■ DIVP-VIVALDI双方のSIM PF アーキテクチャの情報交換により、環境モデル、センサモデルの特徴、差異を互いに理解する ■ データ交換活動により、日独異なるアーキテクチャのPF間でデータ接続性を検証し、IF仕様のあるべき姿について相互理解を深める 	Members	Germany <ul style="list-style-type: none"> ■ Ph.Schneider ■ Sedlmayer ■ Drösser 	Japan <ul style="list-style-type: none"> ■ Inoue ■ Nakamura ■ Sugiyama
Outcomes	Commonalities		Complementarities	
Core as VIVID	<ul style="list-style-type: none"> ■ ASAM-OSIのIF規格に基づくデータ交換活動により、日独の異なるPFアーキテクチャ間で、データ交換できることを実証した ■ データ交換活動の拡張として、異なるPFアーキテクチャ間で、機能性検証(自己位置推定)が可能であることを実証した 		<ul style="list-style-type: none"> ■ DIVPにて、SIM出力データをRosbag形式からOSI-Traceファイルに変換しVIVALDIに提供 ■ VIVALDIにてデータ読み込みを行い、課題、問題点をDIVP側にフィードバック ■ 以上の活動を繰り返し、双方で課題を抽出、議論を行った 	
Open for Standard	<ul style="list-style-type: none"> ■ アセット配置の座標系、Ground Truthに関するOSIの解釈に差異があることがわかり、議論により相互理解に至った ■ データ交換活動による議論から、画像データの向きと配列順序に関わる仕様が、JT3.1メンバよりOSIIにissue提起された 		<ul style="list-style-type: none"> ■ データ提供ーフィードバックサイクルによる活動から、現状ASAM-OSI標準の課題を抽出 ■ OSIの現在と将来の動向に関する最新情報を双方で共有 	
Next steps	<ul style="list-style-type: none"> ■ 動的制御を含むシナリオへ向けたIF標準化の議論が望まれる 		Target Standard	<ul style="list-style-type: none"> ■ ASAM OSI

JT3.1 Camera 成果 1

データ交換による接続性検証により、カメラモデルに要求されるIF仕様、アーキテクチャを議論

成果 1:

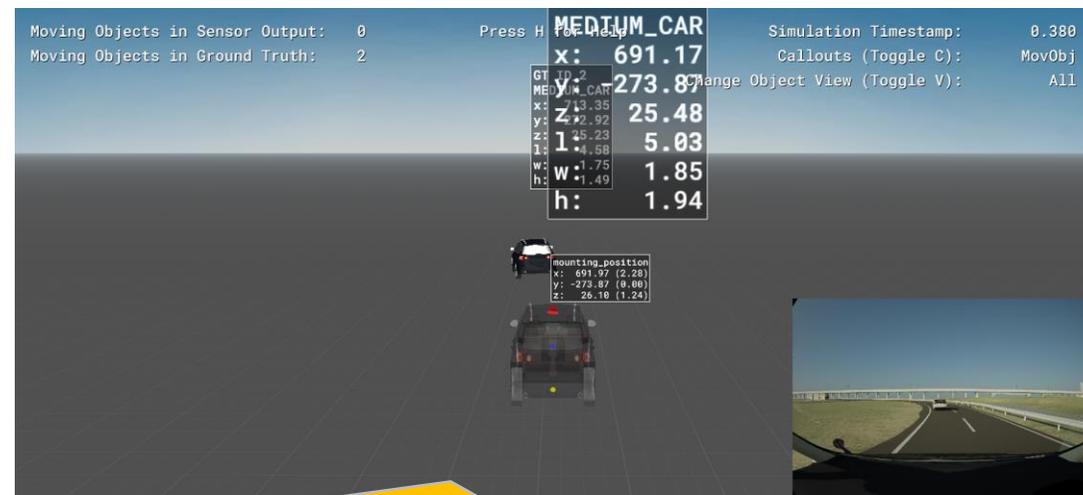
- センサ物理モデルを有するDIVPプラットフォームと、カメラビヘイビアモデルを有するVIVALDIプラットフォーム間で、ASAM-OSIに基づくデータ交換が可能であることを実証。



OSIトレースデータに変換されたDIVP
のレイトレーシングモデル出力



VIVALDI-PFによる接続性検証結果



JT3.1 Camera 成果 2

DIVPとVIVALDI間のデータ交換により、光学的手法による自己位置推定評価が可能であることを実証

成果 2:

- DIVPとVIVALDIプラットフォーム間で、自己位置推定アルゴリズムに基づく距離推定精度を評価。レンズ効果有無による誤差特性が両プラットフォーム間で一致することを確認



DIVPから提供された、道路標識側方走行シナリオに基づくOSITレースデータ

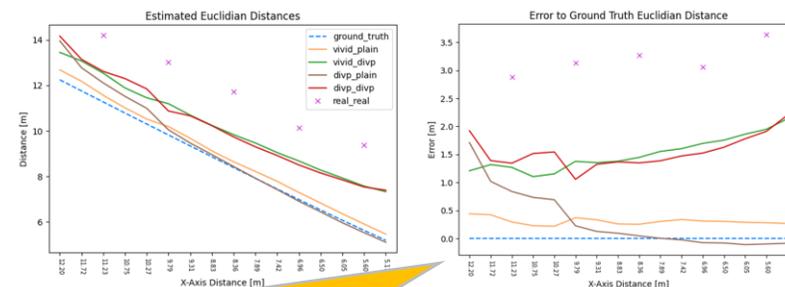
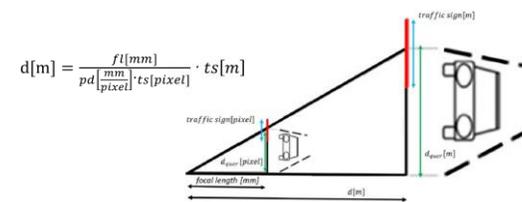


osi3::SensorView データ

```
global_ground_truth {
  traffic_sign {
    id {
      value: 2
    }
    main_sign {
      base {
        dimension {
          length: 0.005
          width: 0.6
          height: 0.6
        }
        position {
          x: 605.272246
          y: -223.186021
          z: 24.958939
        }
        orientation {
          roll: 0
          pitch: 0
          yaw: -3.1390758189952477
        }
      }
      classification {
        variability: VARIABILITY_FIXED
        type: TYPE_SPEED_LIMIT_BEGIN
      }
    }
  }
}
```



光学的手法による自己位置推定のアルゴリズムを用いた距離推定精度評価の検証



自己位置推定に基づく距離推定の誤差特性評価結果

JT3.1 Camera Group Activity

Data exchange activity for discussion of required IF formats and architectures of camera model

Outcome :

- The connectivity between DIVEP data based on the physical model architecture converted to OSI format and the VIVALDI platform based on the behavioral model architecture was verified.



DIVEP output data from ray-tracing block converted to OSI-trace file

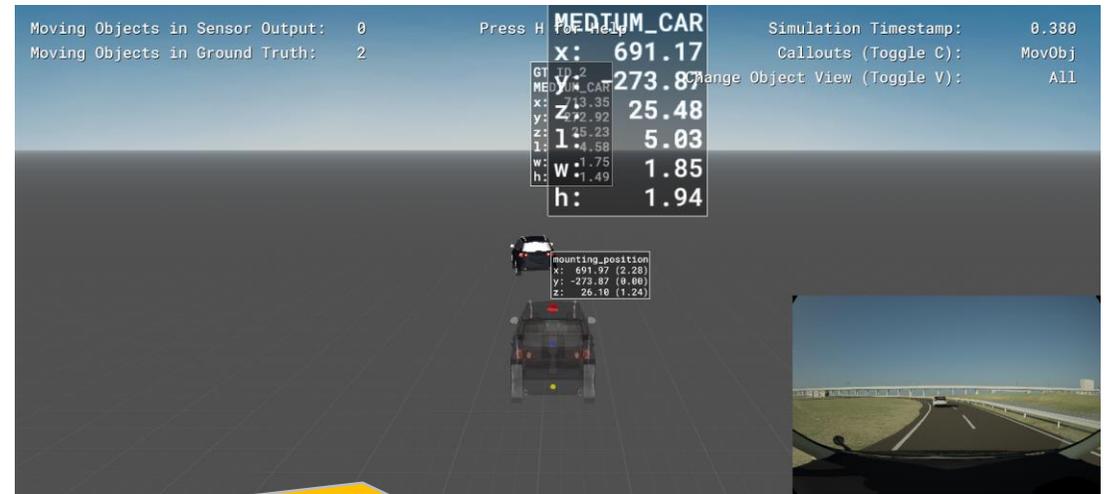


```
SensorView
- host_vehicle_data
  - location
  - dimension
  - position
  - orientation
- camera_sensor_view
  - image_data ← rgb 8bit
  - view_configuration
  - mounting_position
  - field_of_view_horizontal
  - field_of_view_vertical
  - channel_format ← CHANNEL_FORMAT_RGB_US_LIN
- global_ground_truth
  - time_stamp
  - moving_object ← Target Vehicle
  - base
  - dimension
  - position
  - orientation
```

osi3::SensorView data



Verification result of connectivity by VIVALDI platform



Ground truth and image data are reproduced bitwise correctly



JT3.1 Camera Group Activity

Evaluations of Localization through data exchange between DIVP and VIVALDI

Outcome 2:

- The accuracy of the distance estimation was evaluated with DIVP data in VIVALDI Plat-Form. The consistency of the error characteristics depended on w/wo lens effects were confirmed between two PF's.



DIVP output data based on the scenario of driving on the side of the traffic sign



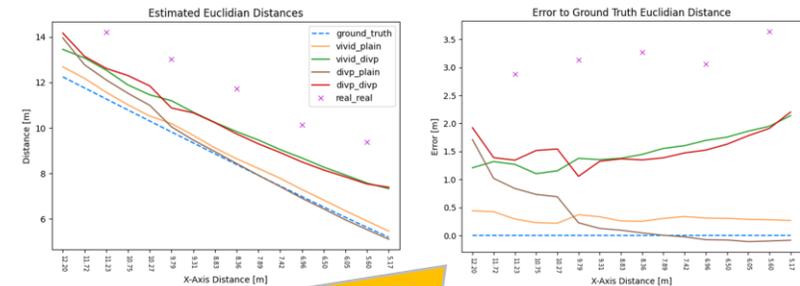
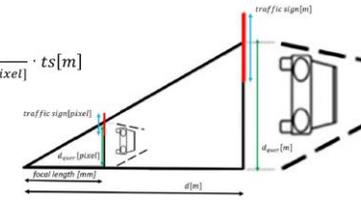
osi3::SensorView data

```
global_ground_truth {
  traffic_sign {
    id {
      value: 2
    }
    main_sign {
      base {
        dimension {
          length: 0.005
          width: 0.6
          height: 0.6
        }
        position {
          x: 605.272246
          y: -223.186021
          z: 24.958939
        }
        orientation {
          roll: 0
          pitch: 0
          yaw: -3.1390758189952477
        }
      }
      classification {
        variability: VARIABILITY_FIXED
        type: TYPE_SPEED_LIMIT_BEGIN
      }
    }
  }
}
```



Verification of the distance estimation using optical geometry

$$d[m] = \frac{f[mm]}{pd[\frac{mm}{pixel}]} \cdot ts[m]$$



Evaluation results of the error characteristics based on the distance estimation

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、認証・評価機関での完成品検査を想定した、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

(2)-1. ADシステムの仮想空間評価の確立(環境再現性テスト、認識限界評価)

		FY23	FY24	FY25	
<p>a. 2-stage評価体系と評価指標の確立*</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2-stage評価を物理センサSim.と真値Sim.の使い分けで構築 ✓ 1st-Stage評価を物理センサSim.で実施し、認識性能モデルを導出 ✓ 2nd-Stage評価を真値Sim.+認識性能モデルで実施する 		車両・歩行者シナリオ 部分的に機能化 1st-Stage構築	降雪・緊急車両シナリオ 自動化試行	妨害行為シナリオ 他プロジェクトへ 試行版展開	
	<p>b. 物理センサSim.を用いた認識アルゴリズム性能向上*</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Camera+LiDAR、Fusion認識性能 ✓ Radar認識性能: KAIT、豊工大 		Sim学習による認識 性能向上(単体)	Sim学習による認識 性能向上(Fusion) 認識アルゴ強化学習の自動化	Sim評価による 安全性向上 安全性向上の 自動化
	<p>c. 真値出力・指標算出機能の拡張</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 真値出力: 道路情報の出力、V2X・インフラセンサ情報の出力 ✓ 指標算出: センサ認識性能指標・自動運転安全性指標の算出 		道路情報拡張 基本指標の算出	V2X拡張 インフラセンサを含めた指標の算出	
	<p>d. Virtual Assessment 評価の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Virtual-NCAPの確立 ✓ IIHS、M-city連携によるVirtual-PG検討 		方針検討 方針検討	モデル開発 テストコース 実測/検証/構築	検証 高速、一般道 実測/検証/構築

(2)-2. ドライバ・歩行者行動モデルの研究

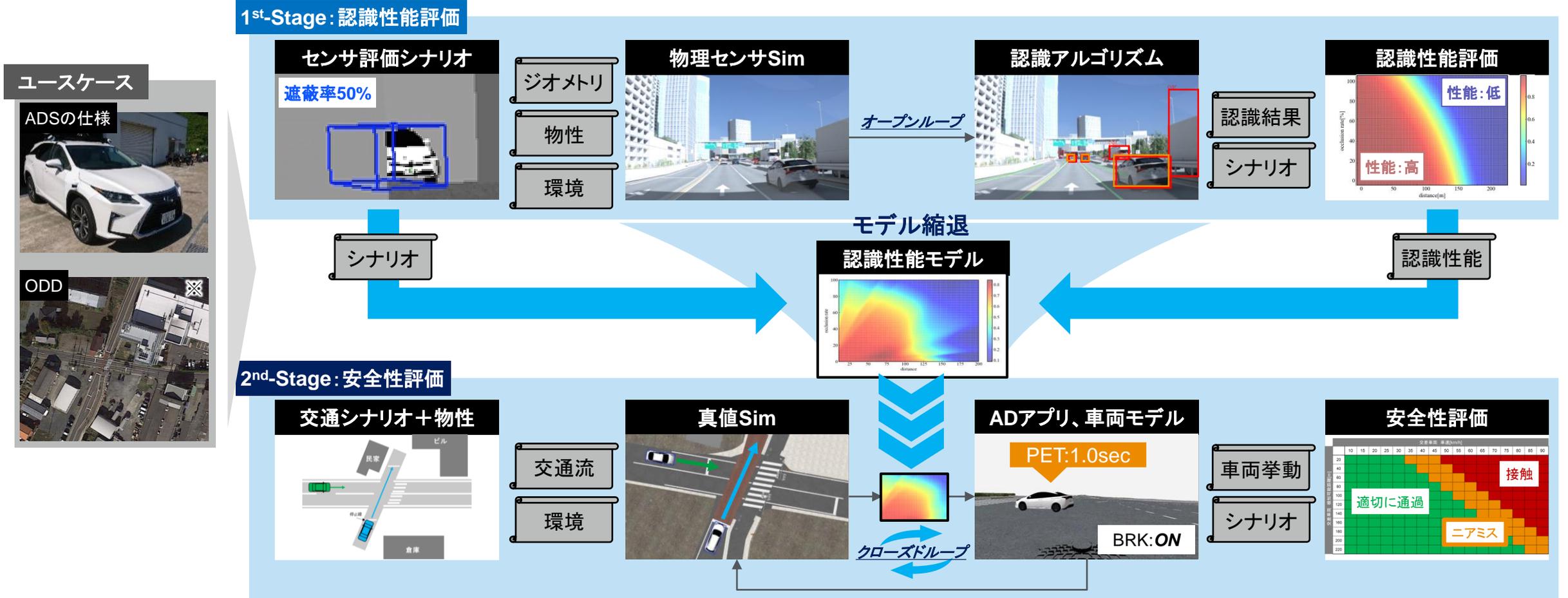
<p>a. 実測データに基づく車両、歩行者の行動モデルを構築し、ダイナミックな交通空間モデルを生成する研究</p>		行動モデル調査 他ツールベンチマーク	モデル化・検証	ビヘイビアモデル拡張
---	--	-----------------------	---------	------------

* AD-URBANプロジェクトとの連携部分が存在



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

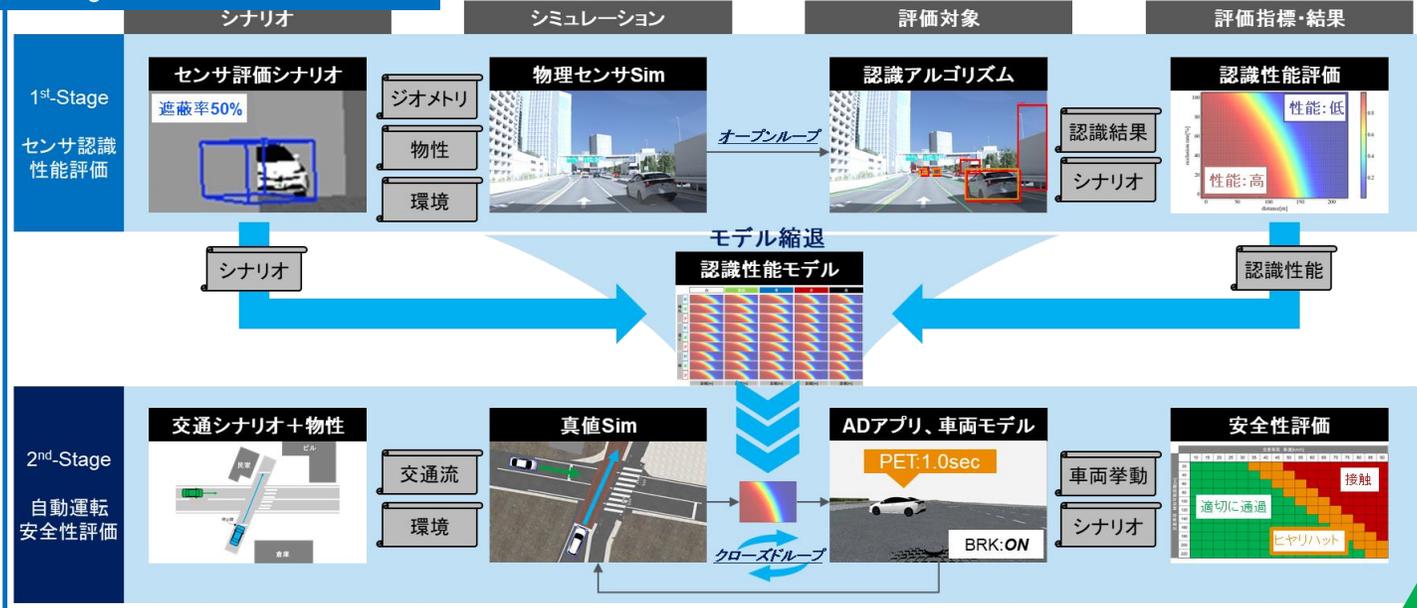
出所: トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト

※ Google Mapsより引用

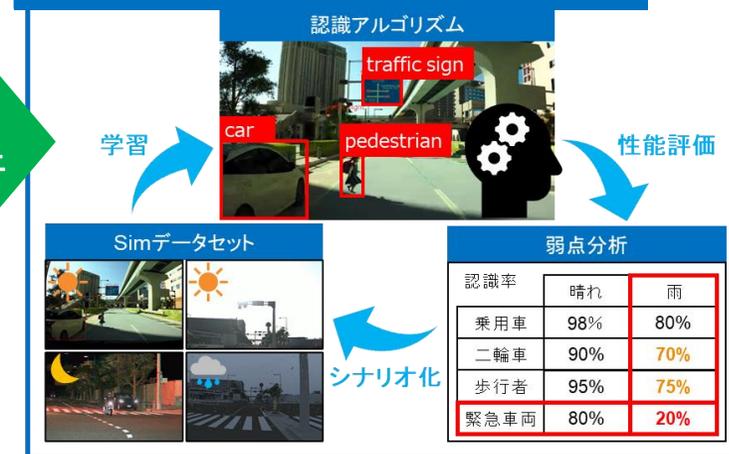
2-Stage評価体系の確立に向けて、c.ではシミュレーションの基盤機能と評価指標を構築し、 応用事例としてb.では認識アルゴリズムの性能向上、d.ではVirtual Assessmentの実現性を評価した

(2)-1.a.~d. 各小テーマの役割

a. 2-stage評価体系と評価指標の確立

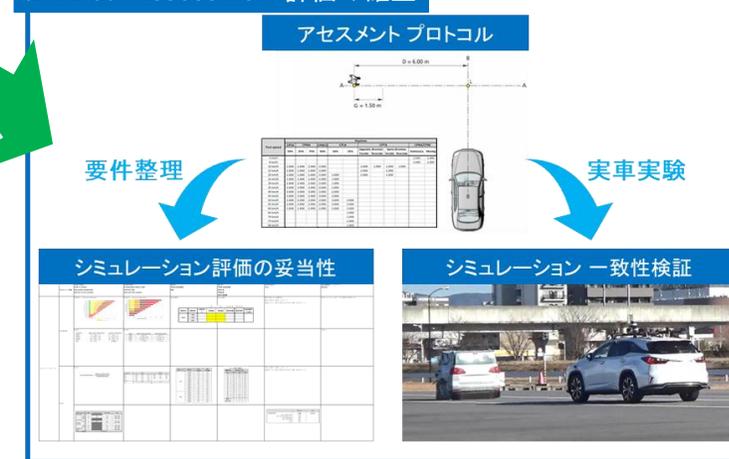


b. 物理センサSim.を用いた認識アルゴリズム性能向上



応用② アセスメント

d. Virtual Assessment 評価の確立

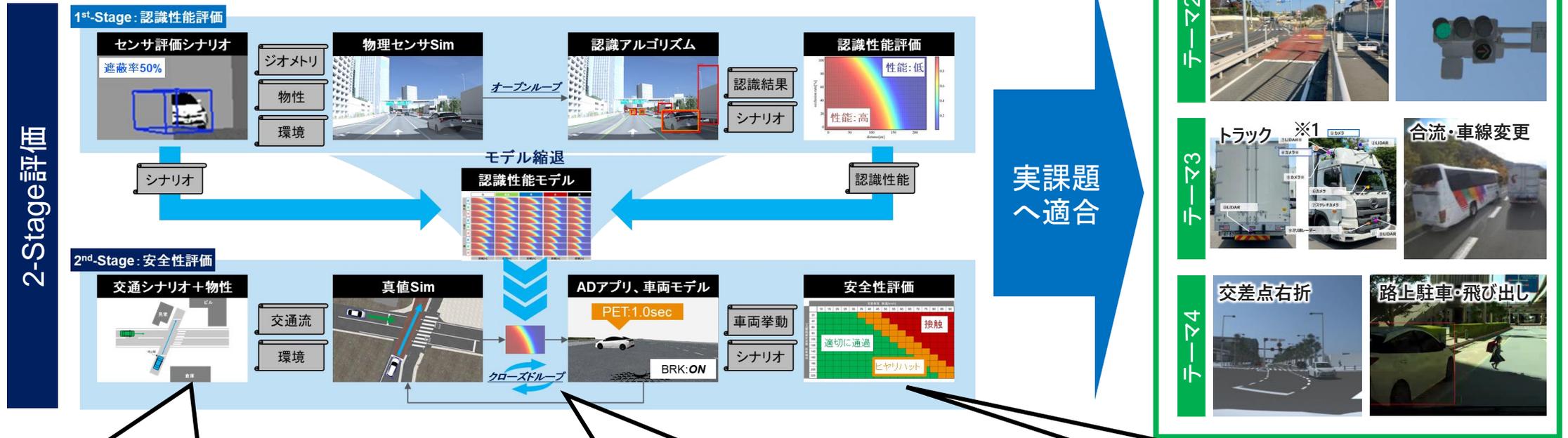


c. 真値出力・指標算出機能の拡張



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. 24年度計画:2-Stage評価の拡張と実課題への適合



2-Stage評価拡張

実課題のシナリオ・マップに拡張

大沼小学校交差点 ※2, 二輪車・自転車

自動運転バス評価、V2X対応への拡張

自動運転バスモデル, V2X真値/指標

評価指標の検証と拡張

PET, TTC

評価結果から安全基準を決定していく

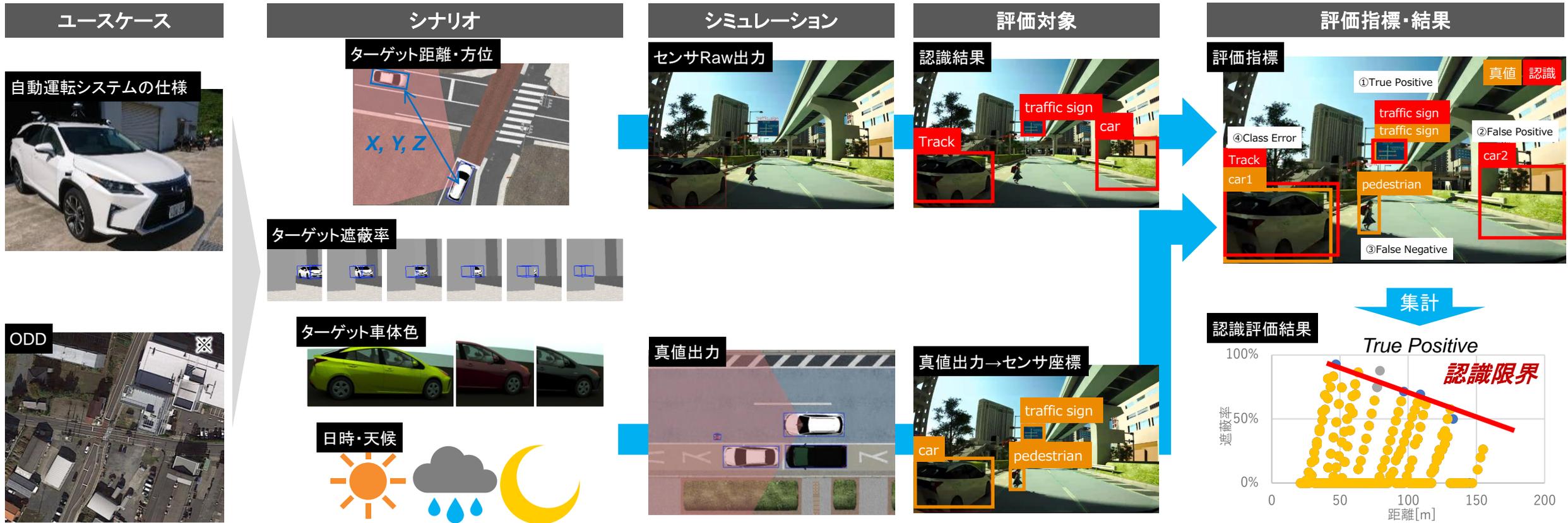
出所:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、AD-URBANプロジェクト

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

テーマ(2)-2.a. 2-stage評価体系と評価指標の確立

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

1st-Stage: 認識性能評価



センサを評価対象としたADシステム仕様とODDに基づく性能評価を実施

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

※ Google Mapsより引用

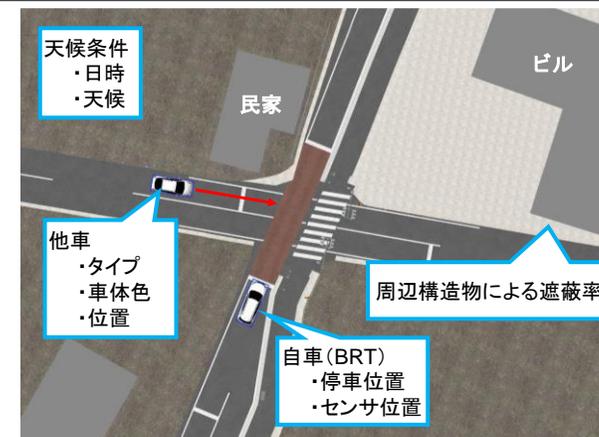
安全性評価基盤検討TF Team1/AD-URABANとの連携により、具体的なユースケース(ひたちBRT 磯坪交差点)とAD車センサ仕様に基づいた1st-Stage評価シナリオの検討、作成を実施

1st-Stage評価シナリオ

ひたちBRT ODD (Team1より受領)

AD-URBAN AD車両のセンサ仕様

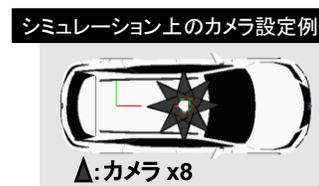
1st-Stage評価シナリオ



磯坪交差点における評価ポイント



モデル化



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

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

1st-Stage評価シナリオでYOLO v4を用いた物体認識評価を実施

シミュレーション結果例

真値 認識結果

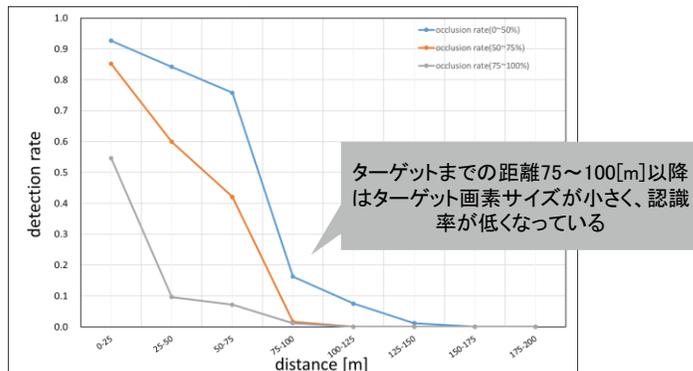


天候が晴れていてもターゲット車両が黒いクルマ&建物の影に入った場合は認識対象のコントラストが低下し、未検出となる事例を確認。また、カメラレンズに付着する雨粒影響による未検出の評価も可能。

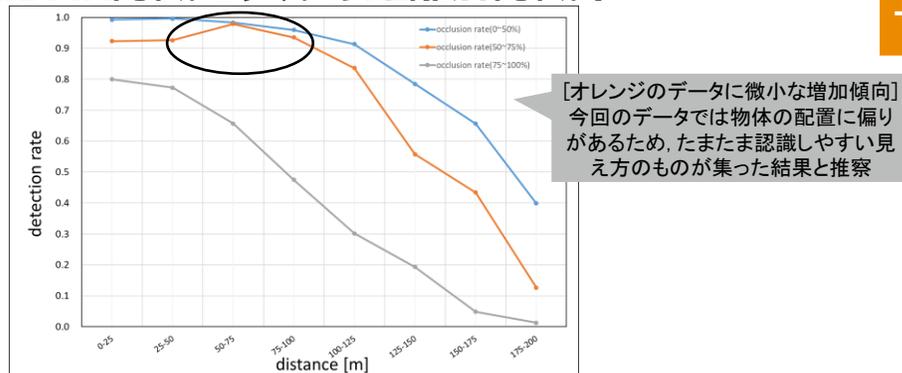
1st-Stage評価シナリオの条件において、カメラ及びLiDARセンサの認識性能評価を実施 距離と遮蔽率における認識性能など物理SIM & 真値情報から効率的な評価・解析が出来た

1st-Stage評価結果

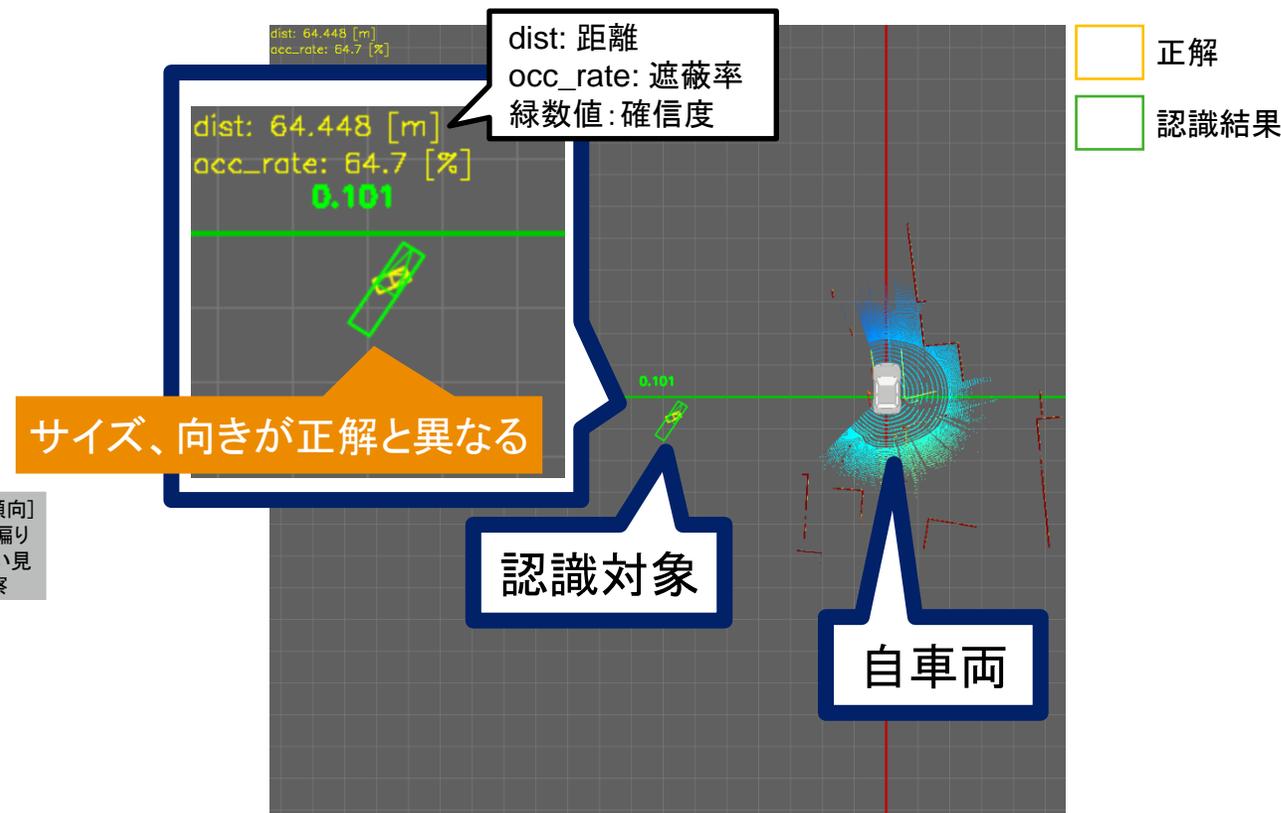
カメラ認識モデルの距離別認識率



LiDAR認識モデルの距離別認識率



LiDAR認識モデルの認識弱点例



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

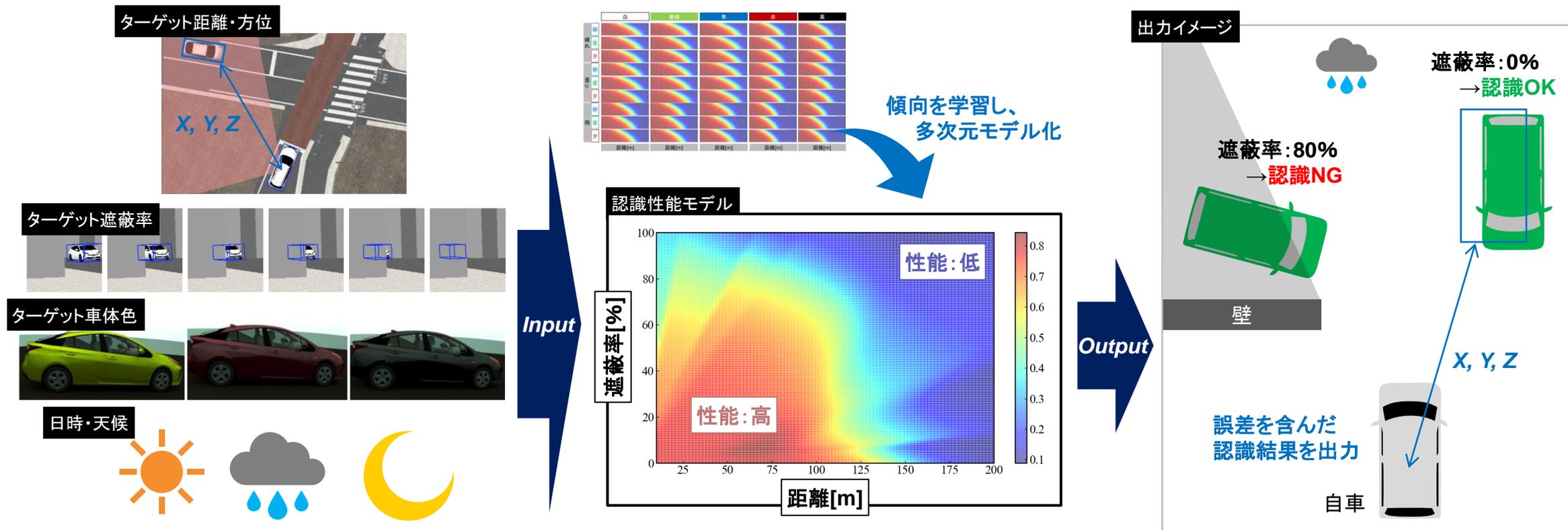
認識精度の傾向を学習することで認識性能モデルを開発 シナリオ条件を入力として、認識可否や認識誤差を含んだ認識結果を出力する

認識性能モデルの開発

Input: シナリオ条件

認識性能モデル

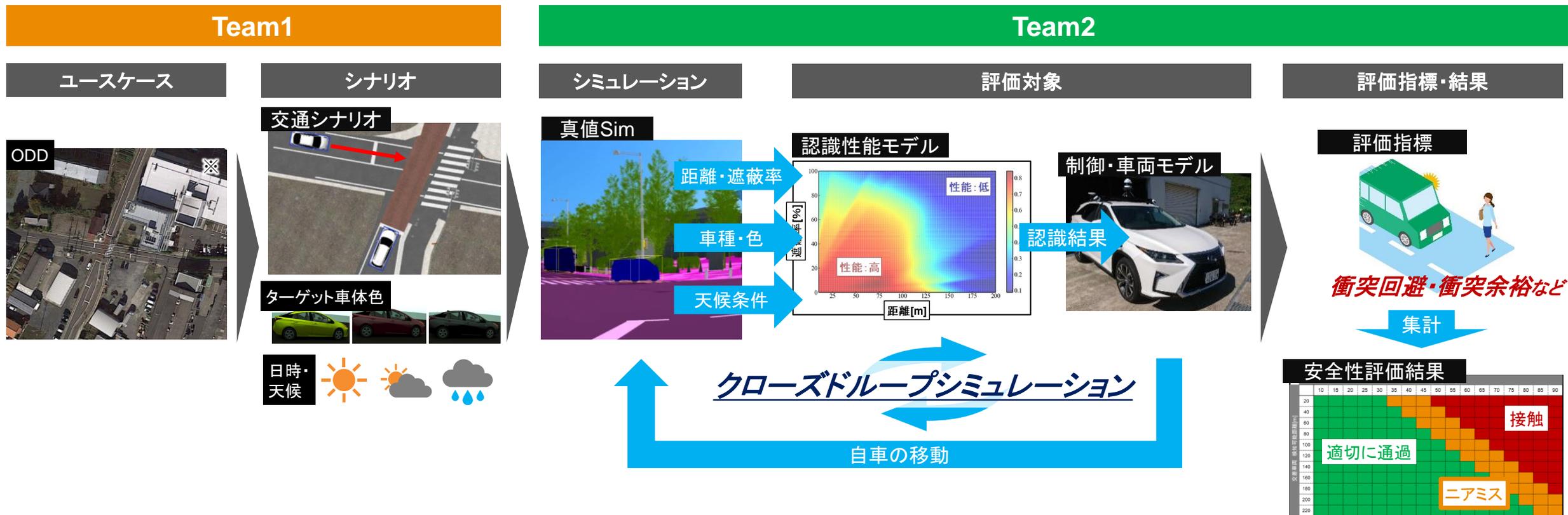
Output: 認識結果



認識可否を認識性能モデルに縮退することで高速に認識結果をシミュレート可能

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

2nd-Stage: 安全性評価

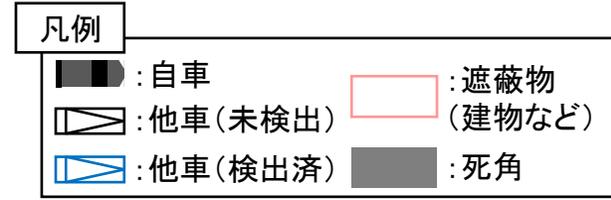


高速な認識性能モデルにより、認識性能を考慮したADシステムの安全性評価が実施できる

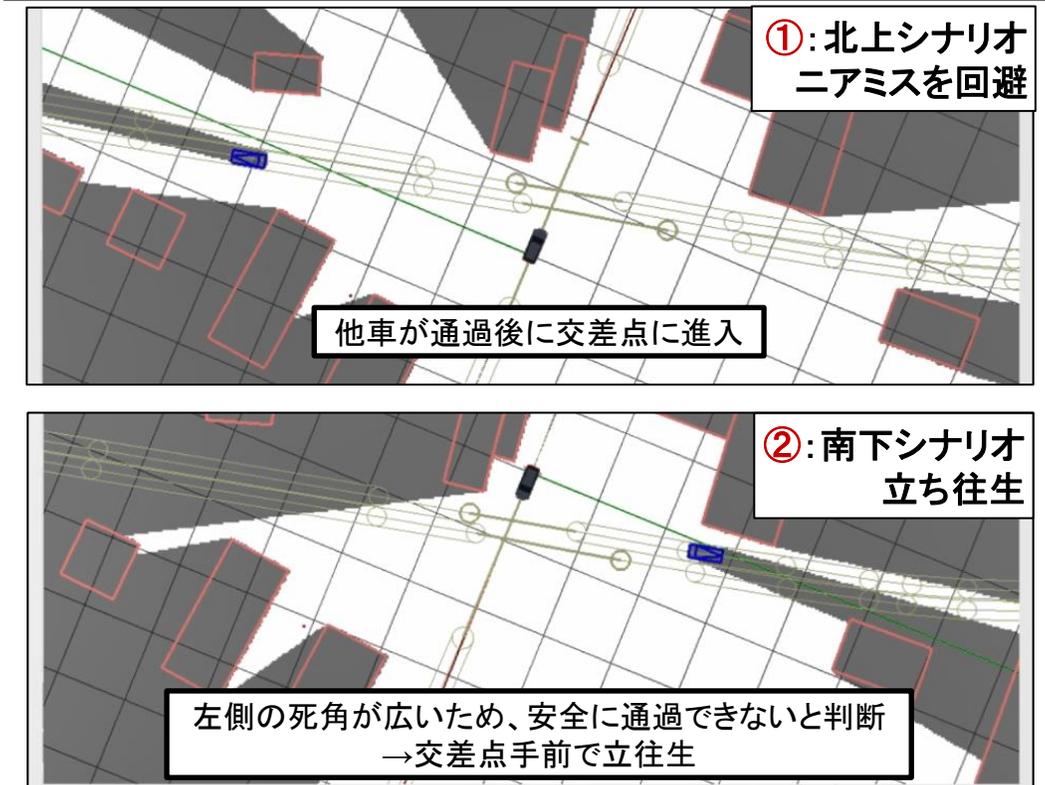
ADSによってニアミスと衝突発生を回避可能なことを確認 合わせて、改善が必要な交通・環境条件の解析によってADSの改良方針を立てることが可能となる

2nd-Stage: 評価結果

安全性評価の結果



走行軌跡の例



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

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

2-Stage評価結果

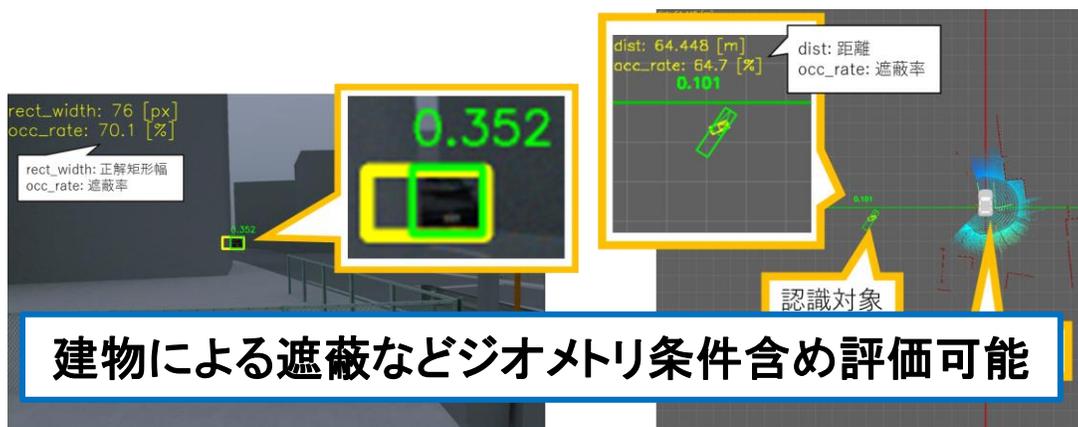
認識性能評価結果(1st-Stage評価)



天候条件含めた認識評価が可能

未検出

未検出

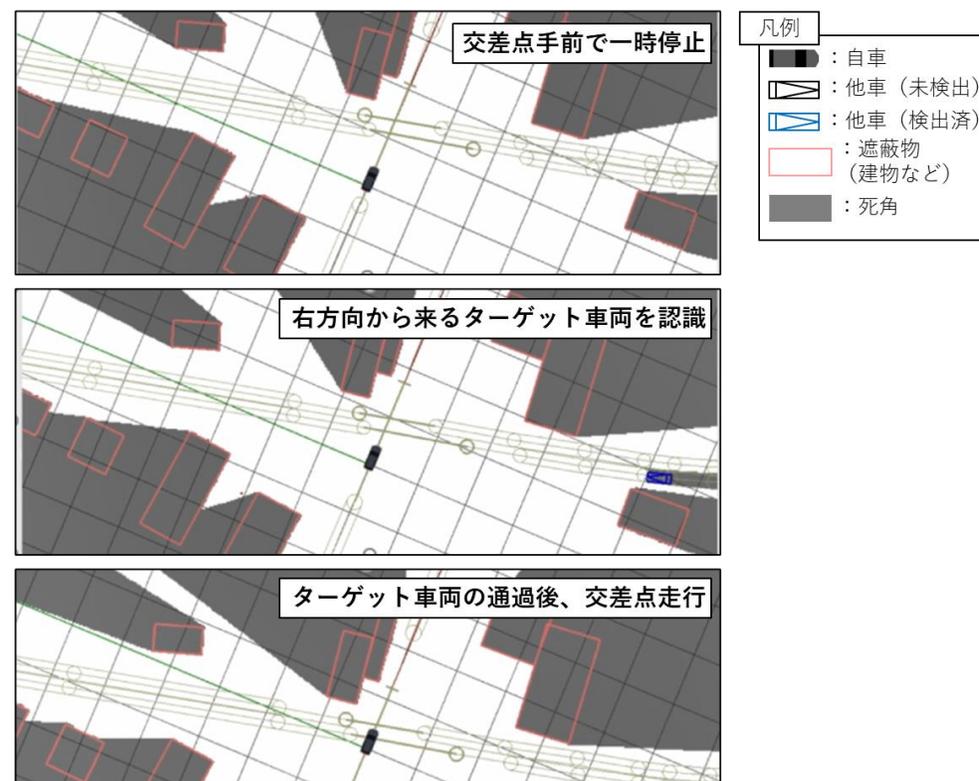


建物による遮蔽などジオメトリ条件含め評価可能

誤検出

誤検出

安全性評価結果(2nd-Stage評価)



認識含めたAD車両の安全性評価可能

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

AWSクラウドシミュレーション環境概要

■ DIVP成果物 ■ 評価対象(ユーザモデル)

シナリオ作成

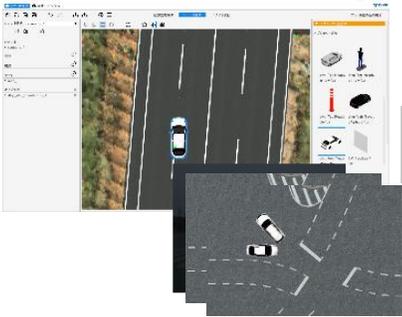
シナリオ登録・SIM自動実行管理

シミュレーション

SIM評価解析

機能構成

オンプレ環境
SDMG



シナリオ登録

aws クラウド環境

③連成SIMの自動実行

シナリオ登録
管理
SIM自動実行

SIM
実行

Closed Loop シミュレーション

DIVP

OUT CAR
モデル

②連成SIM

IN CAR
モデル

①同一環境での開発

結果
評価

SIM評価解析

ユーザ活用例

RoAD to the L4



※2 評価地域+ODD



シナリオアップロード



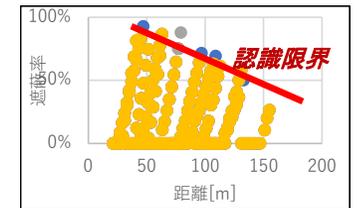
モデル入替



モデル構築

機能改良

認識性能結果



安全性評価結果

車速(km/h)	シナリオ定義PET [sec]																
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0
40	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
47	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
64	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

SIM実行結果の評価解析

優先シナリオの縛りこみ

出所:トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、三菱プレジジョン株式会社、AD-URBANプロジェクト

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

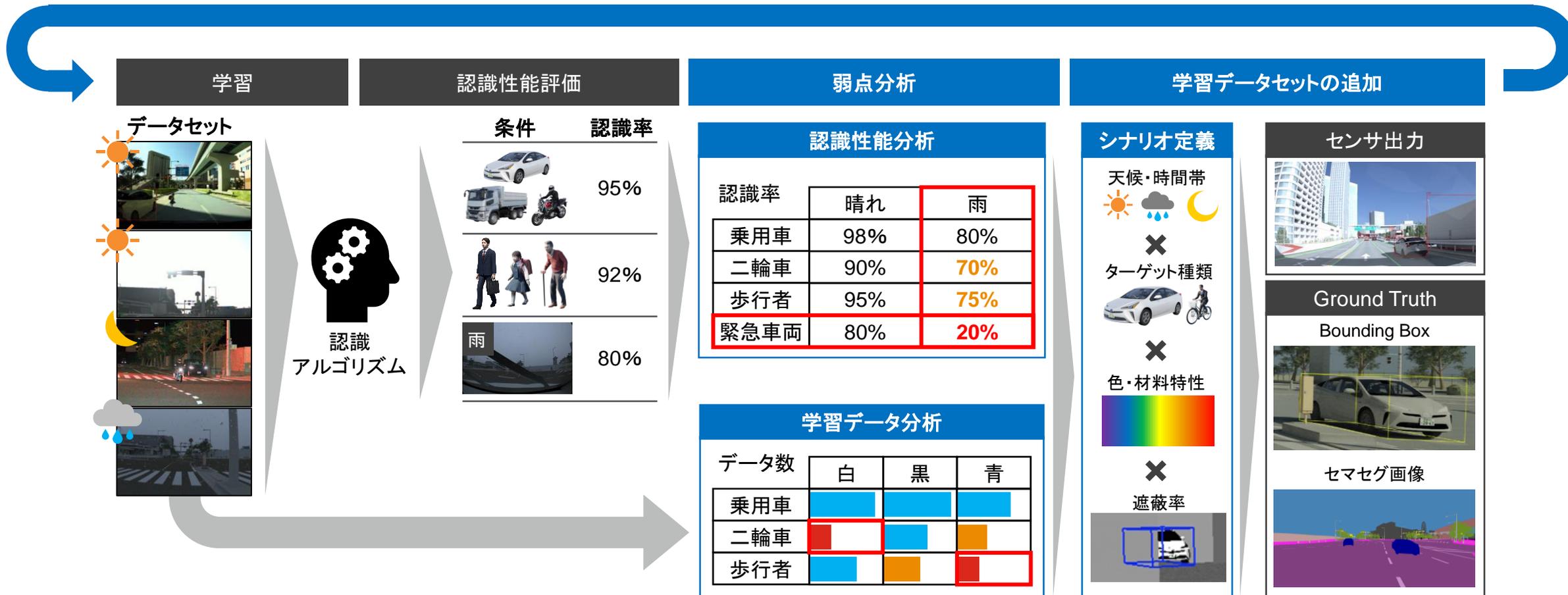


テーマ(2)-2.b.

物理センサSim.を用いた認識アルゴリズム性能向上

カメラ認識の認識性能弱点を可視化し、不足している条件のシナリオを生成、DIVP®のシナリオ実行結果を教師データとすることで認識性能を向上させる取り組みを実施

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



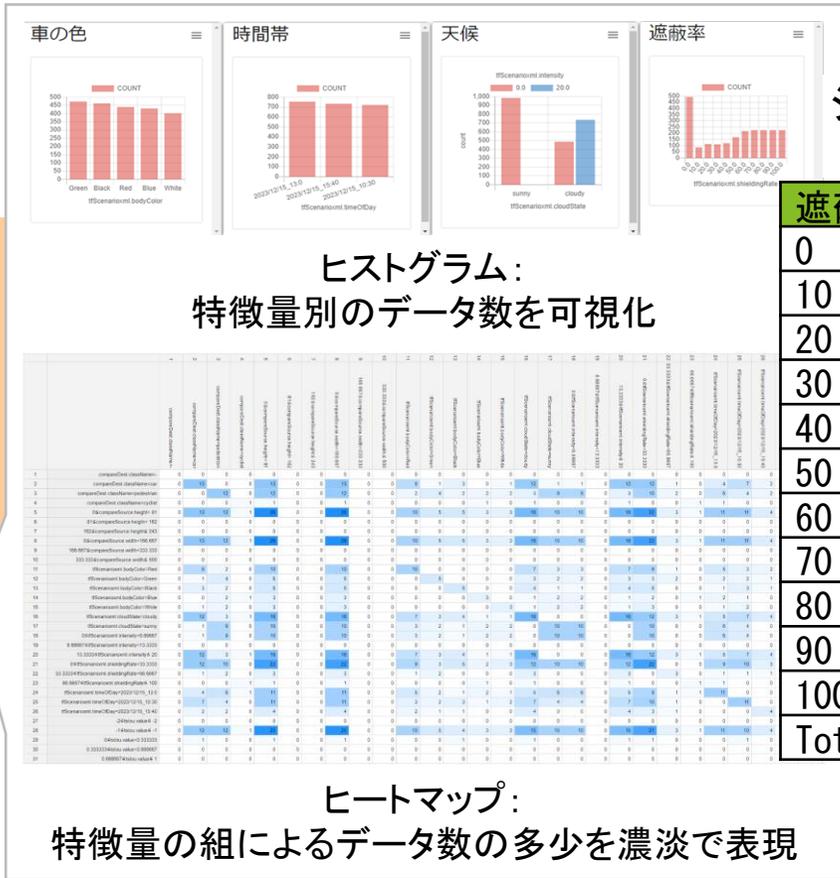
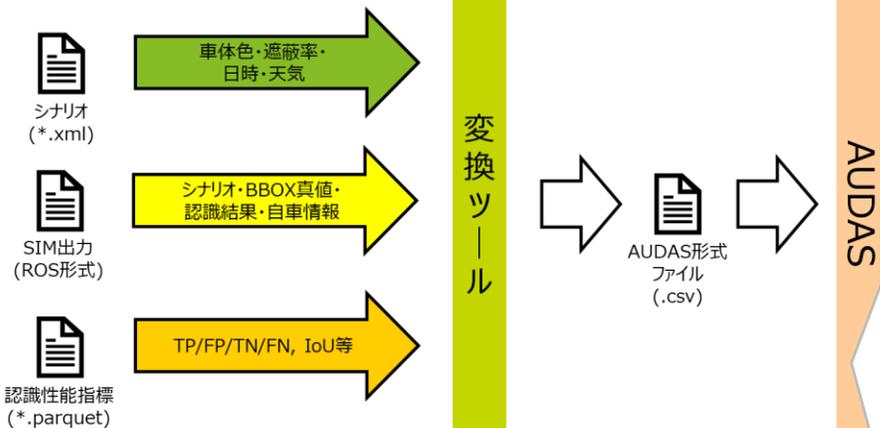
各工程をつなぐことによりカメラ認識における性能向上のスパイラルアップを実現可能

弱点分析: シナリオ情報、Sim結果、認識性能目標から認識性能に影響する特徴量を算出する変換ツールを作成し、データ分析&可視化ツールAUDAS*で取り込みカメラ認識が性能低下する条件を特定

データ分析&可視化ツールへの入力とその結果

処理方法

実行結果



シナリオ495件(画像データ5,000件超)のFN(未検出)の割合

遮蔽率[%]	曇り	雨	晴れ	Total
0	0.018	0.357	0.356	0.243
10	0.067	0.08	1	0.382
20	0.227	0.28	1	0.502
30	0.2	0.32	0.947	0.489
40	0.307	0.32	0.973	0.533
50	0.6	0.64	1	0.747
60	0.947	0.96	1	0.969
70	1	1	1	1
80				1
90		1	1	1
100			1	1
Total	0.342	0.516	0.691	0.516

【カメラ認識の弱点要因】
 ・晴天
 ・遮蔽率10-50[%]

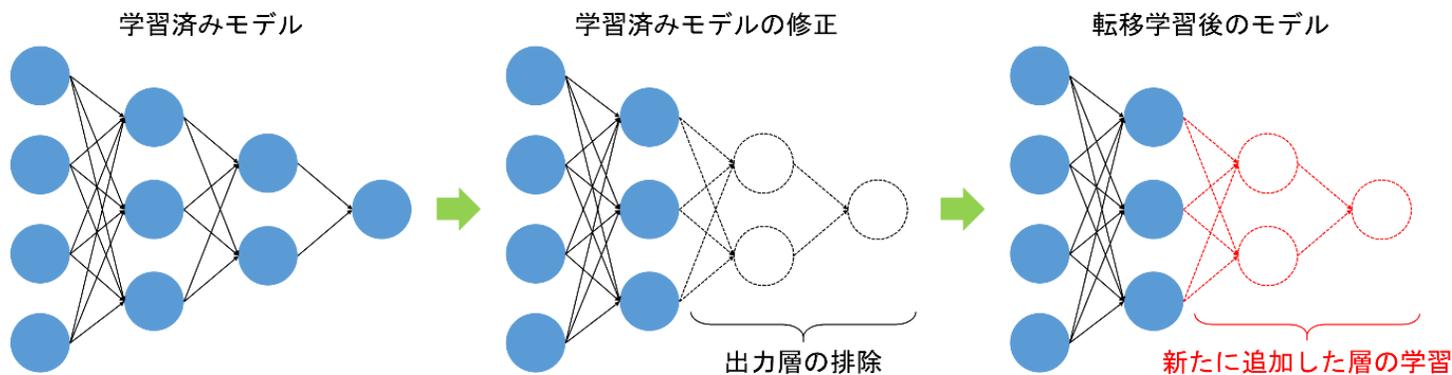
DIVP®データをAUDAS*に自動で取り込む処理を開発し、カメラ認識の弱点要因を効率的に特定



学習 & 認識性能評価: DIVP®データを教師データ(約100件)としてカメラ認識モデルの転移学習を1回行い、ひたちBRT磯坪交差点*におけるカメラ認識の性能向上と本手法の効果を検証

転移学習1回あたりのカメラ認識の性能改善と期間短縮度合いの試算

カメラ認識モデルの転移学習イメージ



カメラ認識の検出モレ低減(転移学習1回)

	追加学習前	追加学習後**
正解率	0.56	0.75
適合率	0.99	0.99
再現率	0.56	0.75
F値	0.36	0.43

転移学習後に検出が可能となった例(車の色:青, 天候: 晴れ, 遮蔽率: 30%)



70%程度の期間短縮見込み***

タスク	実機[d]	本手法[d]
弱点分析	5	0.5
実験計画、準備	10	1
実験	30	12
教師データ作成	42	0.5
転移学習	0.5	0.5
改善効果の確認	1	0.5
計	88.5	15

真値を持つDIVP®データを転移学習の教師とすることによりカメラ認識の性能向上を短期で実現可能

テーマ(2)-2.c. 真値出力・指標算出機能の拡張

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

真値出力・指標算出機能の拡張((2)-1.c.)

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

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

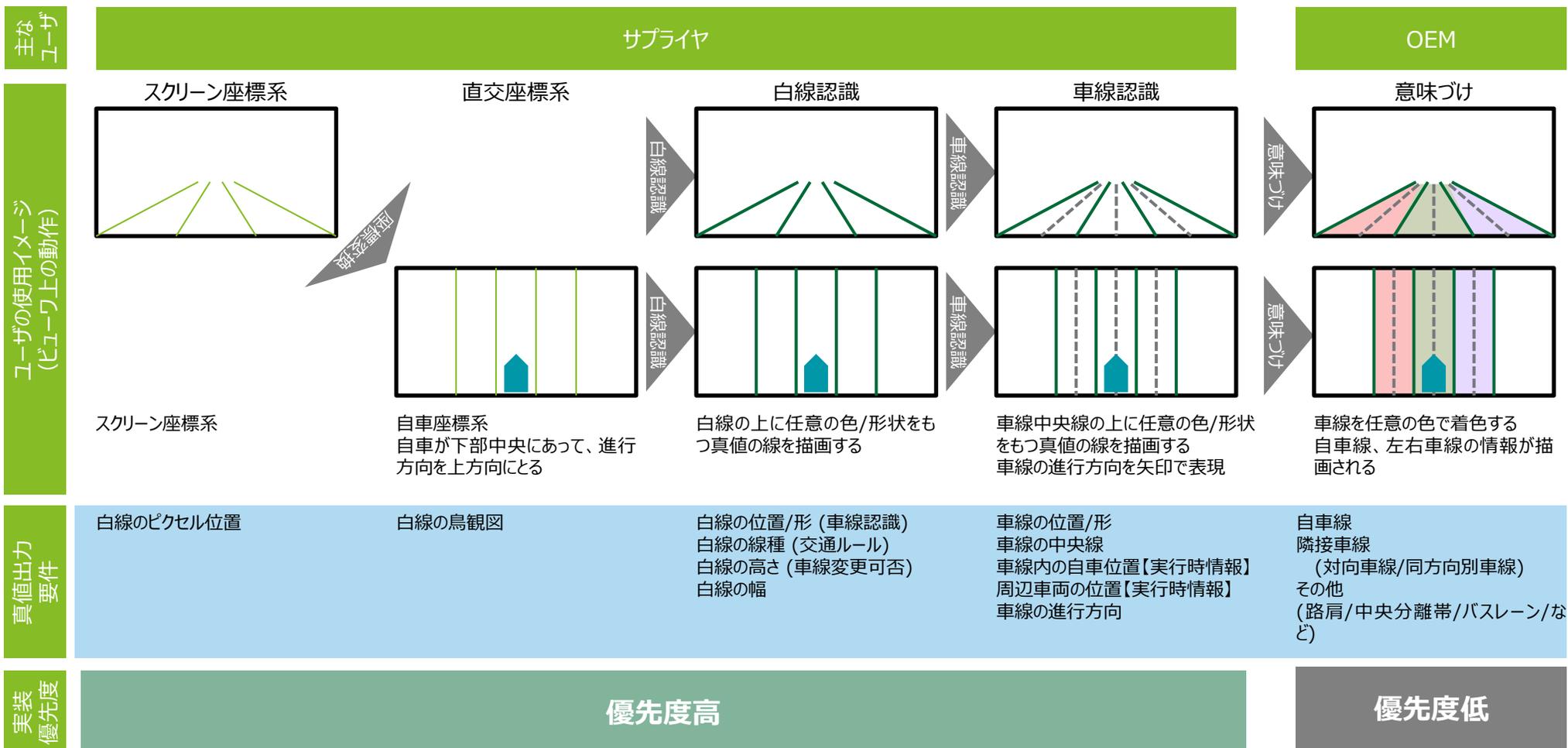
真値と指標について

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

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

車線・白線の真値出力要件

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

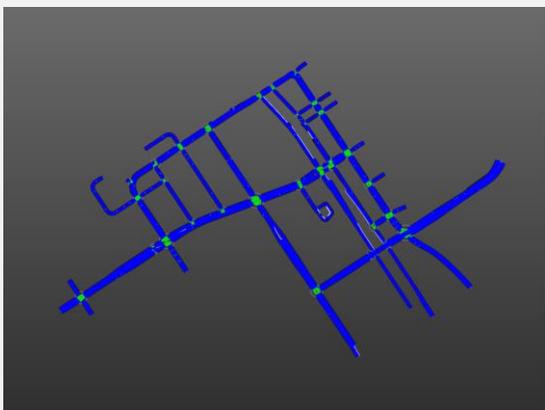


OpenDRIVEデータを解析し、車線と白線情報を変換することで、真値出力機能を実現

(2)-1.c. 真値出力・指標算出機能の拡張

SDMGへの車線・白線真値実装

OpenDRIVEから車線・白線真値(OSI)変換



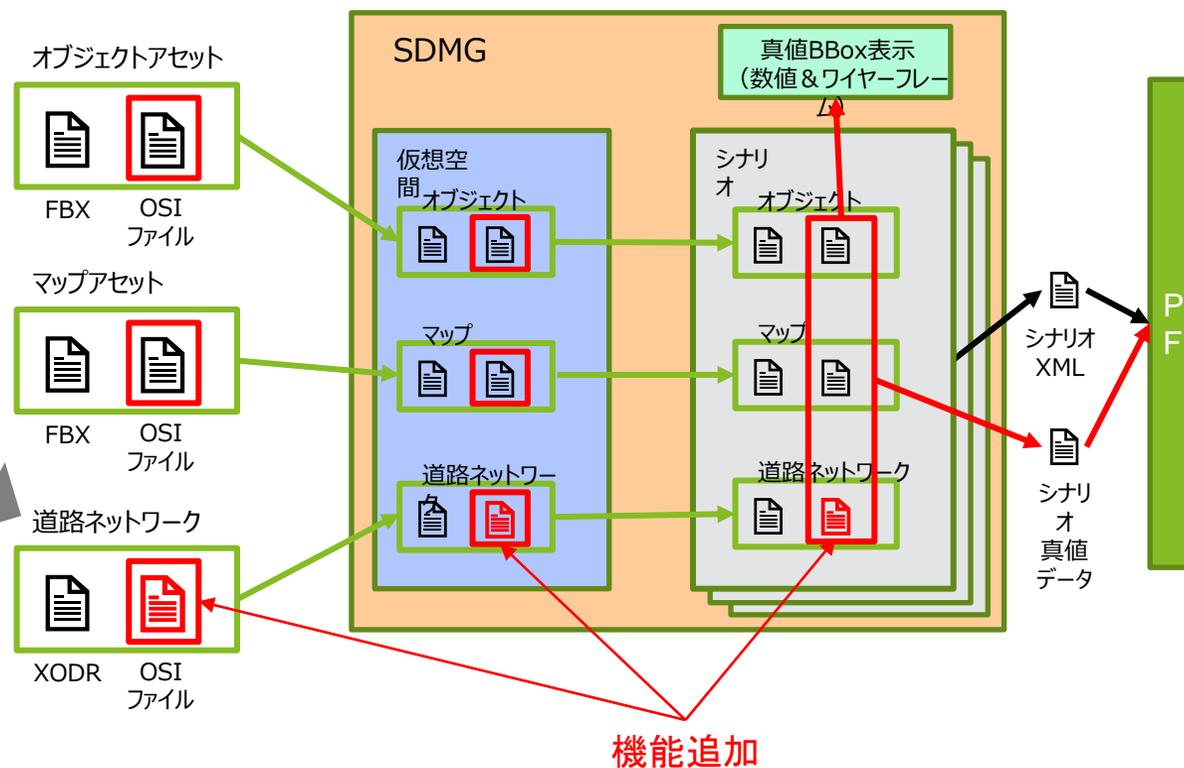
臨海副都心台場の
OpenDRIVEを
車線・白線真値(OSI)へ
変換(全景)



車線・白線真値(OSI)と
アセットの重畳表示例

車線・白線真値

SDMGへの車線・白線真値入出力機能の追加



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

V2Xユースケースに対する時系列および対象物標による層別

来年度以降のV2XのDIVPへの実装に向けて、本年度はV2Xの調査とユースケースの整理を実施した。横軸に時間軸(右ほど緊急性の高い状況)、縦軸に交通参加者にて分類した。DIVPへの実装優先度としては、緊急性の高い、つまり安全上重要度の高い、前方車両の挙動や飛び出し情報、合流や車線変更先の道路状況といった情報を優先的に実装すべきものと考える。次年度は、こちらの実装にむけて真値要求定義を順次検討する。

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

L4テーマ1 (永平寺町)

L4テーマ4 (柏の葉)

デジタル全総

NCAP

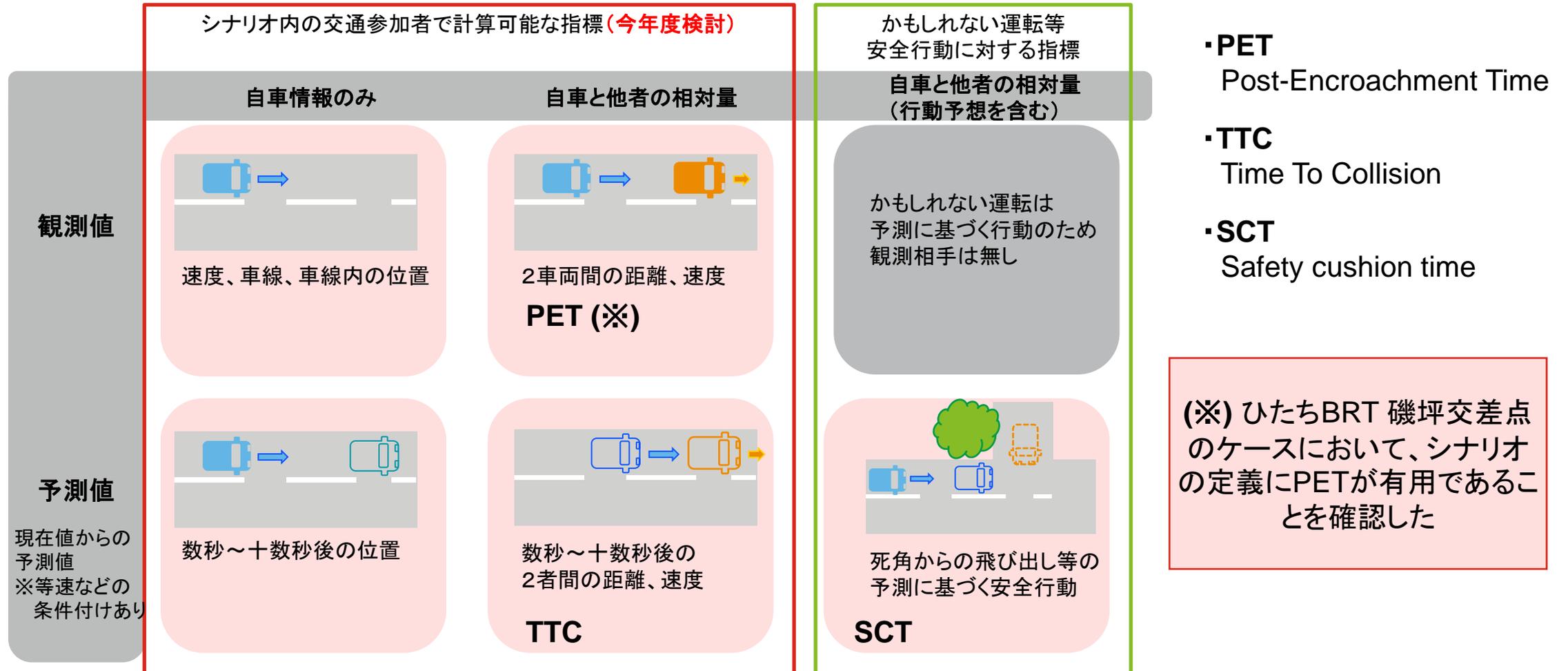
SIP

■ : 一般道
◆ : 高速道

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

安全性評価指標の種別と今年度検討内容の範囲

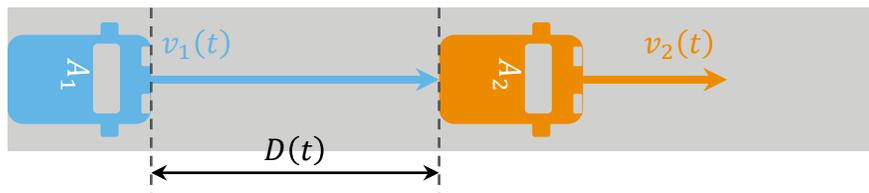
安全性評価指標を、横軸に情報、縦軸に観測値か予測値によって分類。実際に交通参加者が存在する中、PETとTTCを優先して実装することとなった。議論の中、かもしれない運転への拡張も考えた場合、SCT等も必要となるため、来年度以降に検討を継続する。



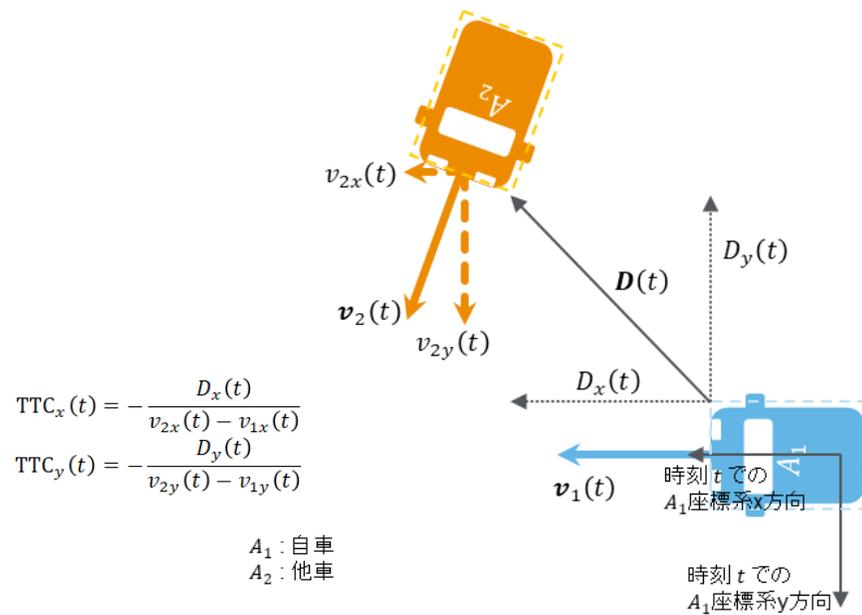
安全性評価指標算出の拡張) DIVPにおけるPETおよびTTCの算出設定に関する定義を行った

TTC算出の概念図

自車と他車から車間距離、相対速度から計算



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



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

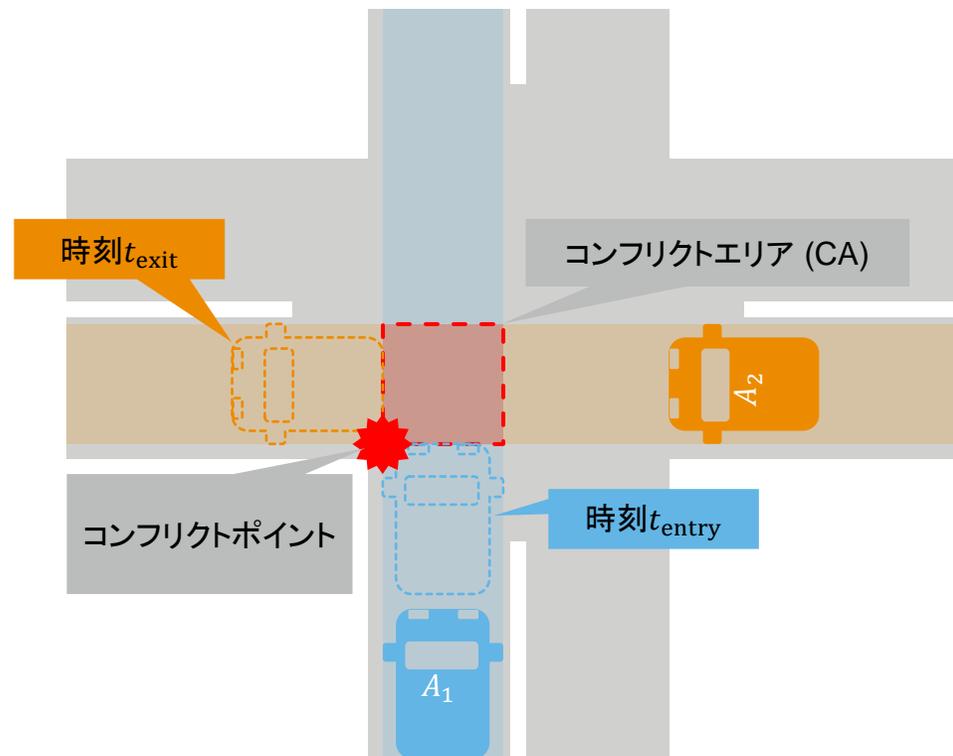
$$TTC_y(t) = -\frac{D_y(t)}{v_{2y}(t) - v_{1y}(t)}$$

A₁: 自車
A₂: 他車

A₁ と A₂ の TTC 算出方法のイメージ

PET算出の概念図

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



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

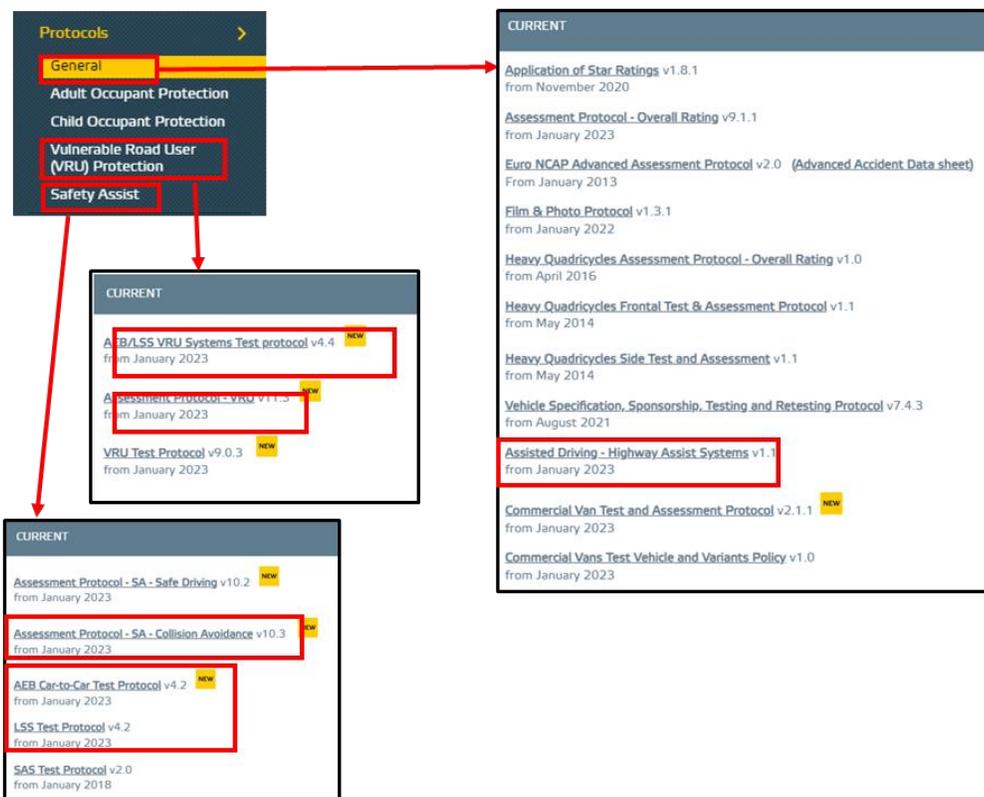
テーマ(2)-2.d. Virtual Assessment 評価の確立

アセスメント評価のバーチャル環境構築に向けたアセスメントの調査

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

EURO NCAP及びJNCAPに関して、シナリオベースでのプロトコルを持つアセスメントの調査を実施した。

EURO NCAP



JNCAP

試験方法のダウンロード
衝突安全性性能試験 <ul style="list-style-type: none"> フルラップ前面衝突安全性性能試験方法 【改定：2023年4月25日】 オフセット前面衝突安全性性能試験方法 【改定：2023年4月25日】 側面衝突安全性性能試験方法 【改定：2023年4月25日】 電気自動車等の衝突試験時における感電保護性能試験方法 【改定：2018年3月20日】 後面衝突頭部保護性能試験方法 【改定：2023年4月25日】
歩行者保護性能試験 <ul style="list-style-type: none"> 歩行者頭部保護性能試験方法 【改定：2023年4月25日】 歩行者脚部保護性能試験方法 【改定：2023年4月25日】
後席シートベルト使用性評価試験（2017年度まで） <ul style="list-style-type: none"> 後席シートベルト使用性試験方法
座席ベルトの非装着時監視装置評価試験 <ul style="list-style-type: none"> 座席ベルト非着用時監視装置性能試験方法 【改定：2023年4月25日】
予防安全性性能試験 <ul style="list-style-type: none"> 衝突被害軽減性能（対車両）試験方法 【改定：2023年4月25日】 衝突被害軽減性能（対歩行者：昼間）試験方法 【改定：2023年4月25日】 衝突被害軽減性能（対歩行者：夜間）試験方法 【改定：2023年4月25日】 衝突被害軽減性能（対自転車）試験方法 【改定：2023年4月25日】 車線逸脱抑制装置性能試験方法 【改定：2022年3月23日】 後方視界情報提供装置性能試験方法 【改定：2022年3月23日】（2022年度まで） ペダル踏み間違い時加速抑制装置性能試験方法 【改定：2023年4月25日】 高機能前照灯装置確認方法 【改定：2022年3月23日】
事故自動緊急通報装置整備確認試験 <ul style="list-style-type: none"> 事故自動緊急通報装置整備確認・評価方法 【改定：2020年3月31日】
チャイルドシートアセスメント試験 <ul style="list-style-type: none"> チャイルドシート前面衝突安全性性能試験方法 【改定：2018年7月3日】 チャイルドシート使用性評価試験方法 【改定：2018年3月20日】

赤く囲ったものが該当するアセスメントである

EURO NCAP

- Assessment Program - VRU
- Assessment Program - SA - Collision Avoidance
- Assisted Driving – Highway Assist System

JNCAP

- 衝突被害軽減性能 4種
- 車線逸脱抑制装置性能 1種

アセスメント評価のバーチャル環境構築に向けたアセスメントプロトコルの調査

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

アセスメント調査で該当したアセスメントの試験プロトコルを精査し一覧としてまとめた。

要素	EURO NCAP	JNCAP
A評価指標と評価基準	評価基準: 衝突速度、衝突回避もしくは低減速度 衝突判定: プロファイルラインとバーチャルボックスの接触	評価基準: 速度減減率 衝突判定: 近似バンパーラインとターゲット干渉領域の接触
B採点	各シナリオの各車速条件における評価結果から、シナリオの点を算出 各シナリオの点から、アセスメントの点を算出	各シナリオの各車速条件における評価結果から、シナリオの点を算出 各シナリオの点から、アセスメントの点を算出
C評価シナリオ	衝突ポイント、VUT・ターゲット軌跡、VUT・ターゲット速度、許容値	衝突ポイント、VUT・ターゲット軌跡、VUT・ターゲット速度、許容値
Dテストコンディション	路面: 舗装、傾斜、摩擦係数 マーキング 環境: 気温、視程、風速、照度、太陽向き 障害物の有無	路面: 舗装、傾斜、摩擦係数 マーキング 環境: 気温、視程、風速、照度、太陽向き 障害物の有無
Eパラメータと計測	パラメータ: 時間、速度、位置、ヨー速度、縦加速度、ハンドル速度 測定精度: 速度、位置、方位、ヨー速度、加速度、ハンドル速度 サンプリングレート、フィルター条件、測定開始条件	パラメータ: 時間、速度、位置、ヨー速度、縦加速度、ハンドル速度、ペダル踏込み量、アクセル操作量、制動前ブレーキ温度 測定精度: 速度、位置、方位、ヨー速度、加速度、ハンドル速度、ペダル踏込み量、アクセル操作量、温度サンプリングレート フィルター条件、測定開始条件
Fターゲットなど	ターゲット: ISO19206-3 障害物: 車両(サイズ指定あり)	ターゲット: ISO19206-3 空気圧 ナンバープレート部JNCAPロゴ指定 障害物: 専用(サイズ、反射特性指定あり)
G評価車両・システム	重量 ガソリン量 タイヤ指定、タイヤ圧 搭載物指定 前後荷重 事前キャリブレーション走行 テスト前走行 ハンドル・ペダルロボット使用可否 ギアレンジ指定 システム設定指定 特定機能オフ指定 システムチェック回数制限	重量 ガソリン量 タイヤ指定、タイヤ圧 搭載物指定 前後荷重 事前キャリブレーション走行 テスト前走行 ハンドル・ペダルロボット使用可否 ギアレンジ指定 システム設定指定 特定機能オフ指定 駆動軸指定

アセスメントプロトコルの調査を整理し、アセスメントをバーチャル環境で行うための要件を定義した

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

バーチャル環境要件

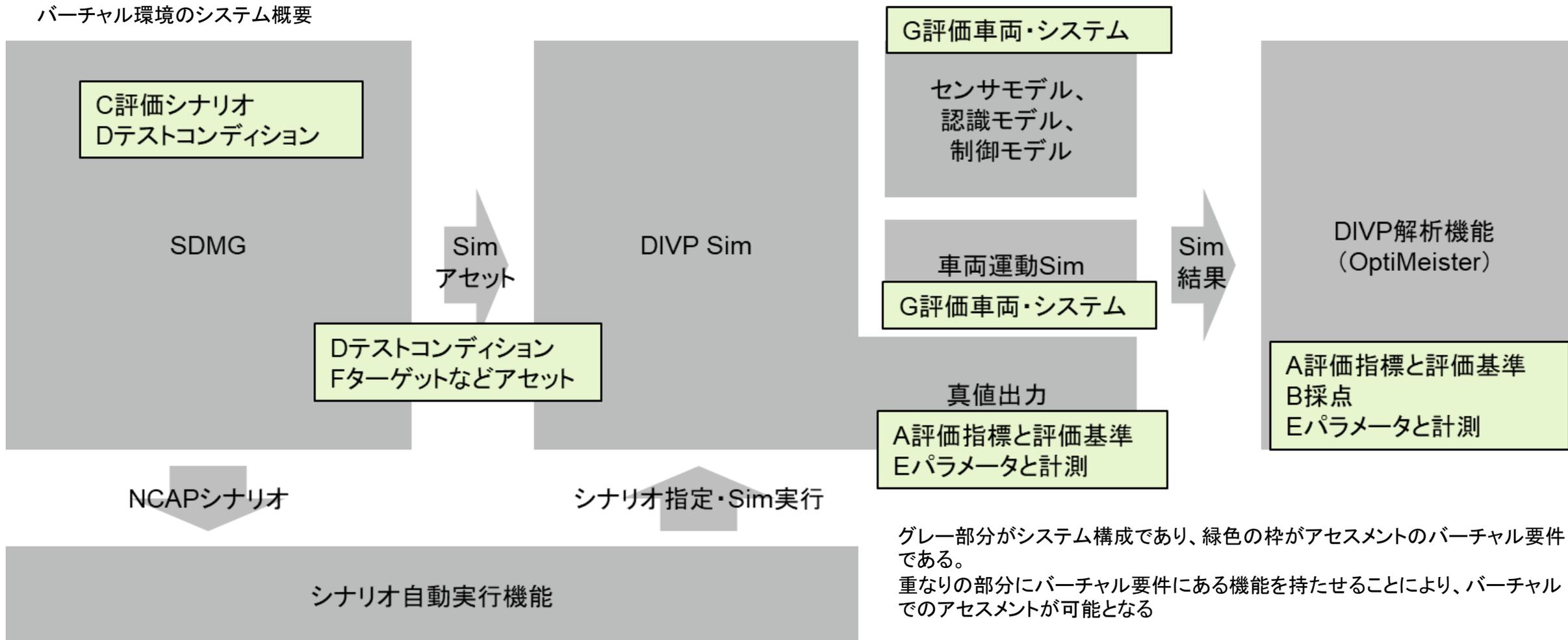
機能区分	要件
A評価指標と評価基準に関する機能	評価車両やターゲット情報(位置や速度)から評価指標の値を算出する 評価車両やターゲット情報から衝突の判定をする 評価指標の値を評価基準に照らし合わせて、評価を行う
B採点機能	各シナリオの各車速条件における評価結果から、シナリオの点を算出する 各シナリオの点から、アセスメントの点を算出する
C評価シナリオに関する機能	車両やターゲットの動きをシナリオに合わせて設定する 許容値範囲でシナリオを設定できる
Dテストコンディションに関する機能	路面条件を再現できる: 舗装、傾斜、摩擦係数 白線等のマーキングが作成できる 環境条件を満たすことができる: 気温、視程、風速、照度、太陽向き 障害物の有無を設定できる 照明設備の設置でき夜間試験の照度条件を満たすことができる
Eパラメータと計測に関する機能	パラメータを指定された座標系で出力できる 100Hz以上で出力できる 評価指標を算出の数値を出力できる(衝突判定に使用するプロファイルラインなど) 要求される計測精度以内でパラメータ値を出力できる(通常は誤差0)
Fターゲットなどアセットに関する機能	ダミーはISO19206-3の規格をみたしている 障害物で使用できる車両アセットがある 障害物アセットがある アセットはセンサモデルに適切に作用する
G評価車両・システムに関する機能	実車同等のADAS・ADシステムモデルがある システムモデルは実車同等に機能の選択、オンオフや効果レベルの変更できる すり合わせ運転後の運動性能を動作する車両モデルがある

要件を満たすことにより、バーチャル環境でアセスメント評価が可能となる。

定義したアセスメントのバーチャル要件に従って、DIVPを使用したバーチャル環境を構築した

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

バーチャル環境のシステム概要



バーチャル環境検証のための実車試験

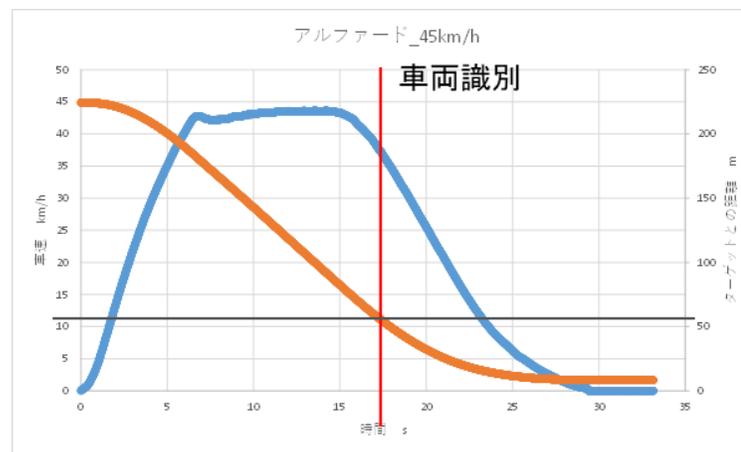
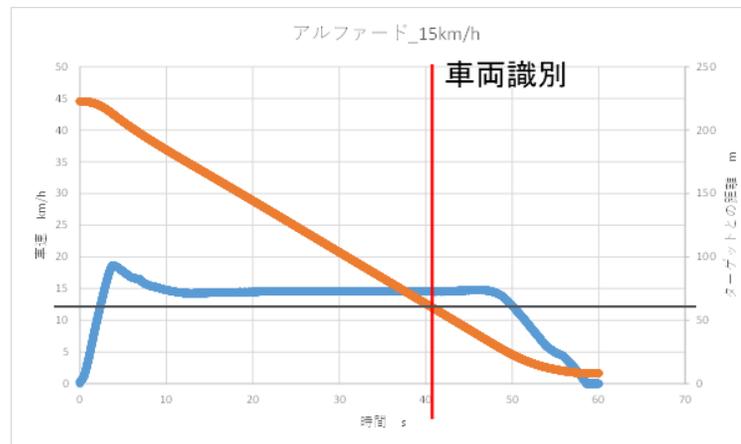
(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

実車試験風景

JARI JTOWNにて、プロジェクト連携をしているAD-URBAN車両を使用して実車試験を実施した。
試験条件は、NCAPにあるCCRsと呼ばれる停止車両の後方から評価車両が接近するシナリオで実施した。



実測データ



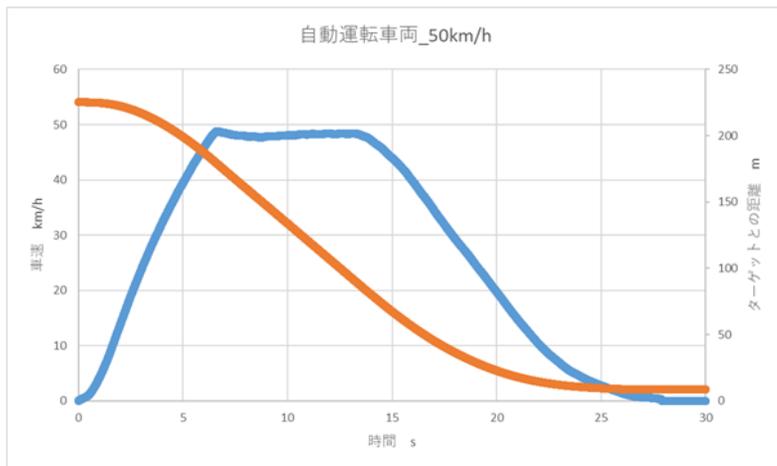
AD-URBANの車両は、車線上に停止車両を認識し、人の運転のように早めに減速を始めて、スムーズに停止した。

今度、同じシナリオにてバーチャル評価を実施し、実測とバーチャルでの物体認識のタイミングなどの比較検証を行う。

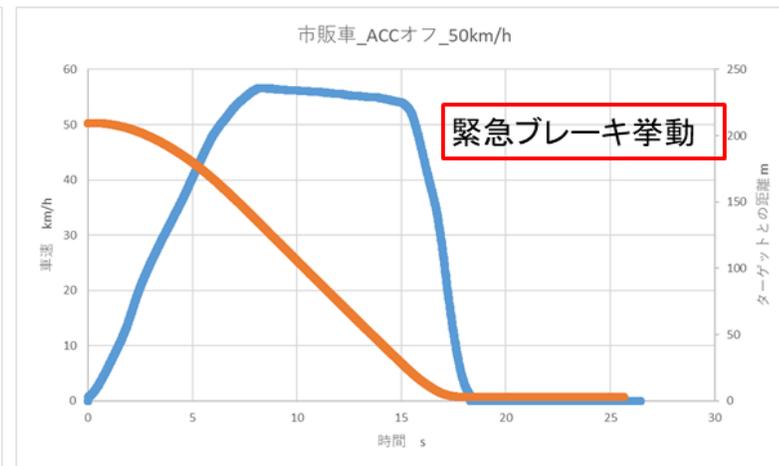
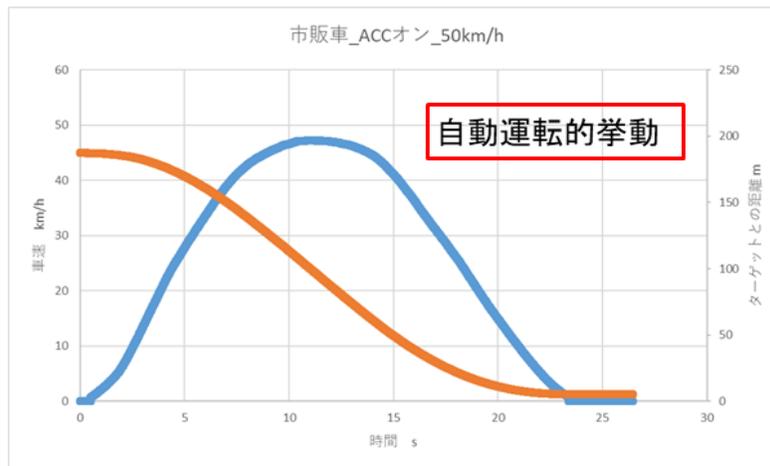
実車試験において自動運転車両と市販車両の比較により、自動運転車両の安全性評価に関する考察を行った

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

自動運転車両



市販車両



- ・市販車両では、ACC機能オンオフにより、ACC機能、緊急ブレーキ機能の双方を評価可能である
- ・自動運転車両では、急に物体を認識した場合のような挙動をとるか評価できていない

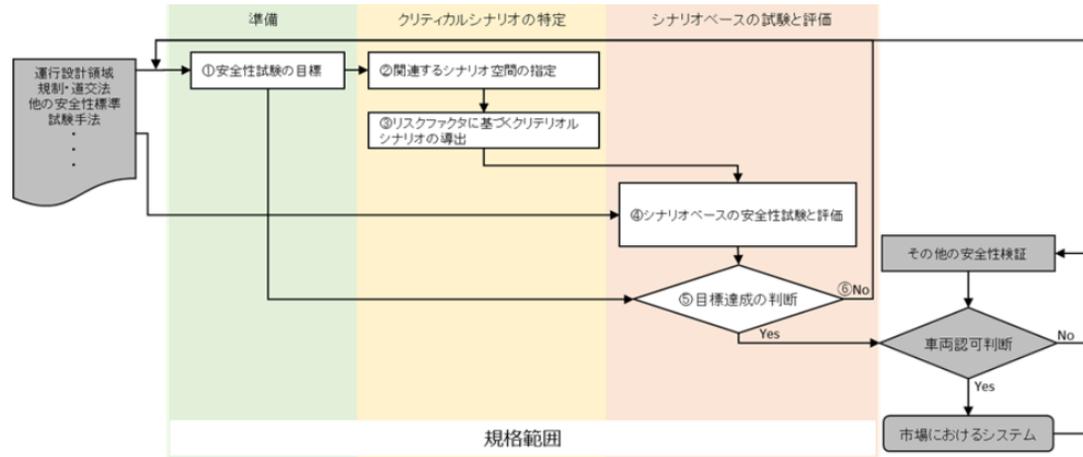


自動運転車両の安全性評価では、緊急挙動も評価できるテストプロトコルが必要である

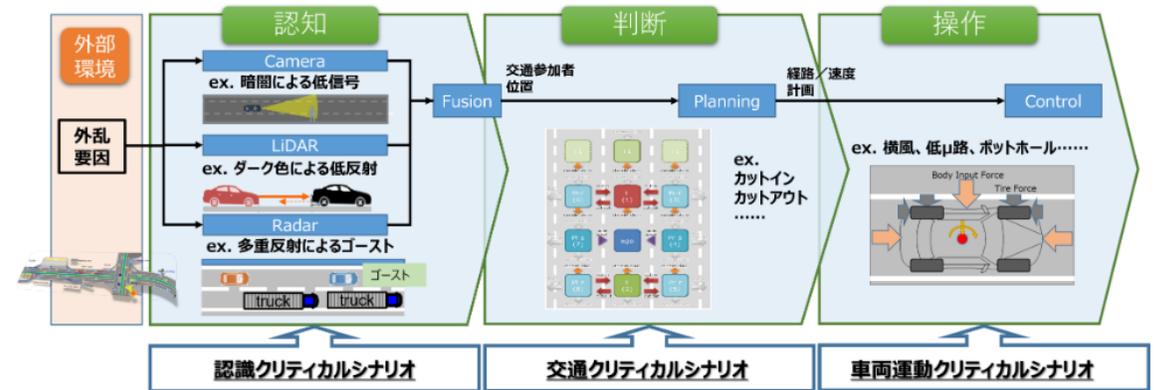
自動運転車両の安全性評価に関する国際規格の現状調査として、ISO34502の調査を実施した

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

ISO34502の安全性評価の概要



ISO34502のクリティカルシナリオ導出の概要

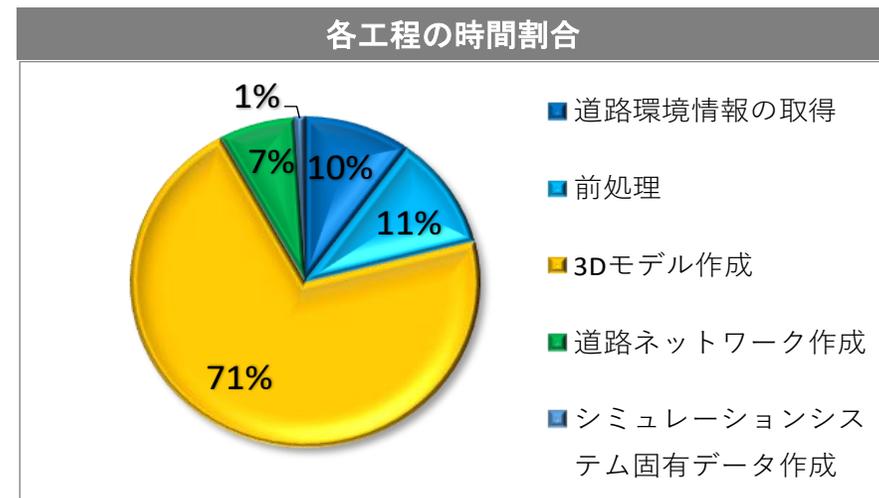
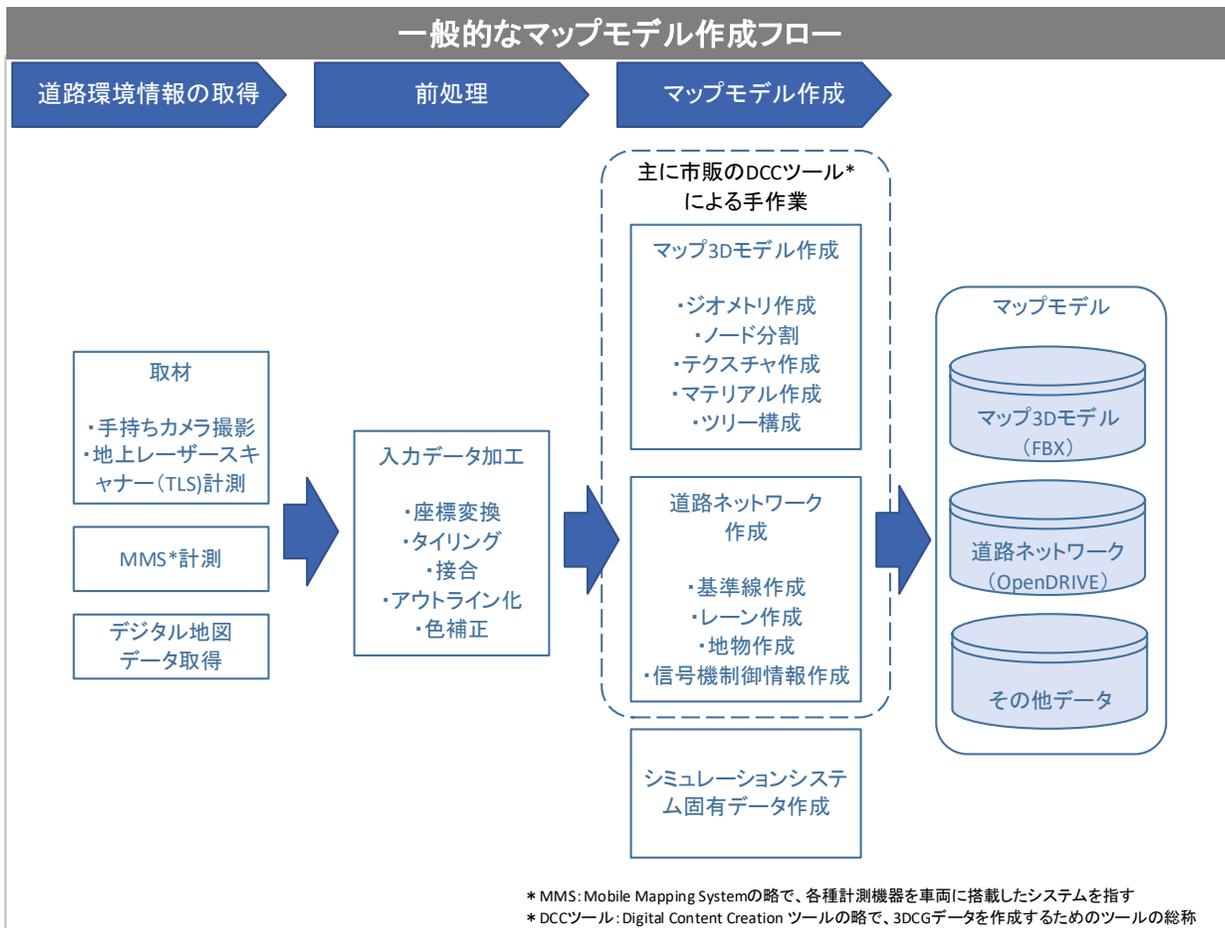


現状のISO34502の規格では、抽象的なプロセスにとどまっており、そのまま安全性評価に使用することは難しい

ISO34502に従って規定されたコンクリートシナリオの整備がの望まれる

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「(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張」をサポート

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立



- フォトグラメトリによるマップ3Dモデル作成効率化
- 既存地図データ活用によるマップ3Dモデル作成効率化

計測機器やオープンデータを活用した道路環境情報取得の効率化を実施

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

フォトグラメトリによるマップ3Dモデル作成効率化 ～ 地上レーザースキャナ(TLS)やフォトグラメトリによるマップモデル開発手法の検証

TLS点群 → **メッシュデータ(マテリアルなし)** → **メッシュデータ(マテリアルあり)** → **自動車教習所コースでの検証**

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

カメラ撮影とレーザースキャナでの計測を実施

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

外部作成のOpenDRIVEデータを入手/調査

OpenStreetMap (OSM) から OpenDRIVE へ変換するツールを整備
レーン数/幅/標高など不足情報を容易に付与可能とし、効率化を実現

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

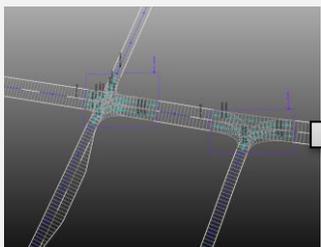
地図データを基にした3Dモデル、シミュレーション用データの自動生成の仕組みを整備し、「(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張」をサポート

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

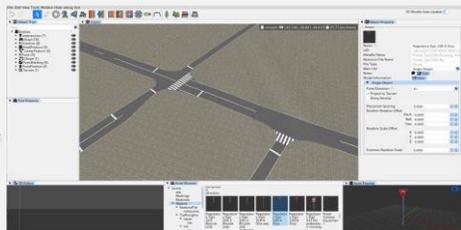
既存地図データ活用によるマップ3Dモデル作成効率化 ～ 地図データを基にしたマップモデルの自動生成

独自ツールにて道路部分のマップ3Dモデルを自動生成

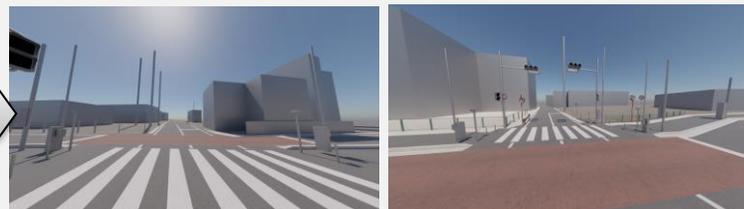
OpenDRIVE地物データから地物モデルの自動配置も可能



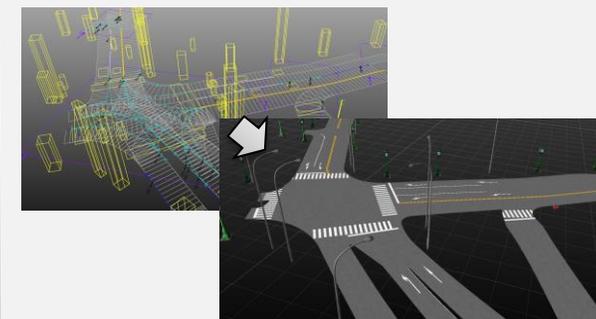
OpenStreetMapから変換した
OpenDRIVE



道路部分のマップ3Dモデル
を自動生成



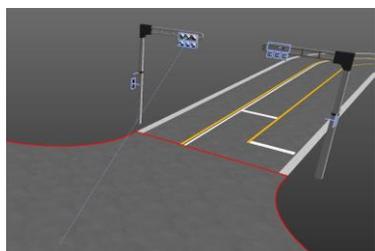
詳細部分を追加し、マップ3Dモデルとして完成



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

信号機の制御情報設定機能

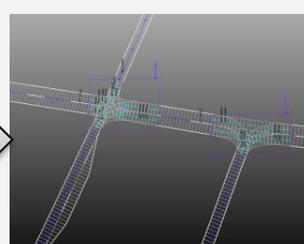
ライト情報出力機能



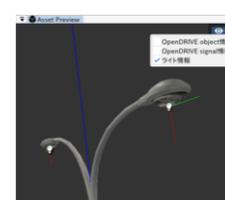
信号機と交差点の対応づけ



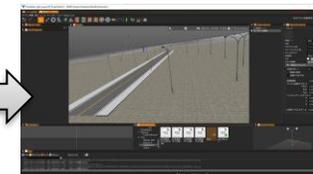
現示パターン編集



信号機制御が可能な
OpenDRIVE、FBX
データを生成



3Dモデルアセットへの
ライト情報の埋め込み



ツール上で街灯などのア
セットを配置してエクスポート



光源のシミュレ
ーション用データを
自動生成

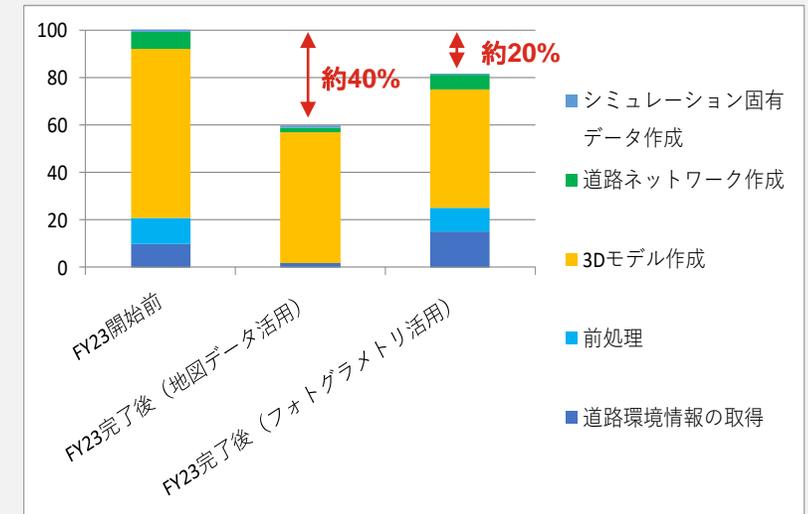
地図データ活用の手法では約40%低減を達成、更なる効率化を行う。

(2)-1.d. Virtual Assessment 評価の確立

作成時間の低減結果

- 下表の項目を実施し、地図データ活用の手法では約40%低減を達成
- フォトグラメトリ活用の手法では約20%低減したものの、さらなる効率化を実施する

実施項目	成果内容	今後の課題
フォトグラメトリやTLSの活用	<ul style="list-style-type: none"> • フォトグラメトリと地上レーザースキャナ(TLS)を用いて、緻密なマップモデルを、MMS点群による従来手法と比較して短時間で作成可能なことを検証した 	<ul style="list-style-type: none"> • 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」の効率化が課題 • TLSを設置できない環境での対策
オープンな地図データや外部地図データの活用	<ul style="list-style-type: none"> • 安価で素早く入手できる地図データを基にマップモデルを短時間で作成する仕組みを構築した 	<ul style="list-style-type: none"> • 修正が必要な作成元固有の仕様への対応 • 不足情報の効率的な補完手法
地図データを基にした3Dモデルの自動生成	<ul style="list-style-type: none"> • 地図データから変換したOpenDRIVEを基に3Dモデルを自動生成するツールを開発した 	<ul style="list-style-type: none"> • OpenDRIVEから3Dモデル化可能な対象の拡充
シミュレーションシステム固有用データの生成	<ul style="list-style-type: none"> • 3Dモデルの作成と同時にシミュレーション用データも自動生成するツールを開発した 	<ul style="list-style-type: none"> • サポートするシミュレーション用データの拡充



テーマ(2)-2.a.

実測データに基づく車両、歩行者の行動モデルを構築し、
ダイナミックな交通空間モデルを生成する研究

実測データに基づいて交通参加者の行動モデルを構築し、シナリオにおける移動物体の制御を行動モデルによって実行することで、シナリオの信ぴょう性を確保することができる

2-2.実測データに基づく行動モデルの構築

行動モデルからの評価シーン生成

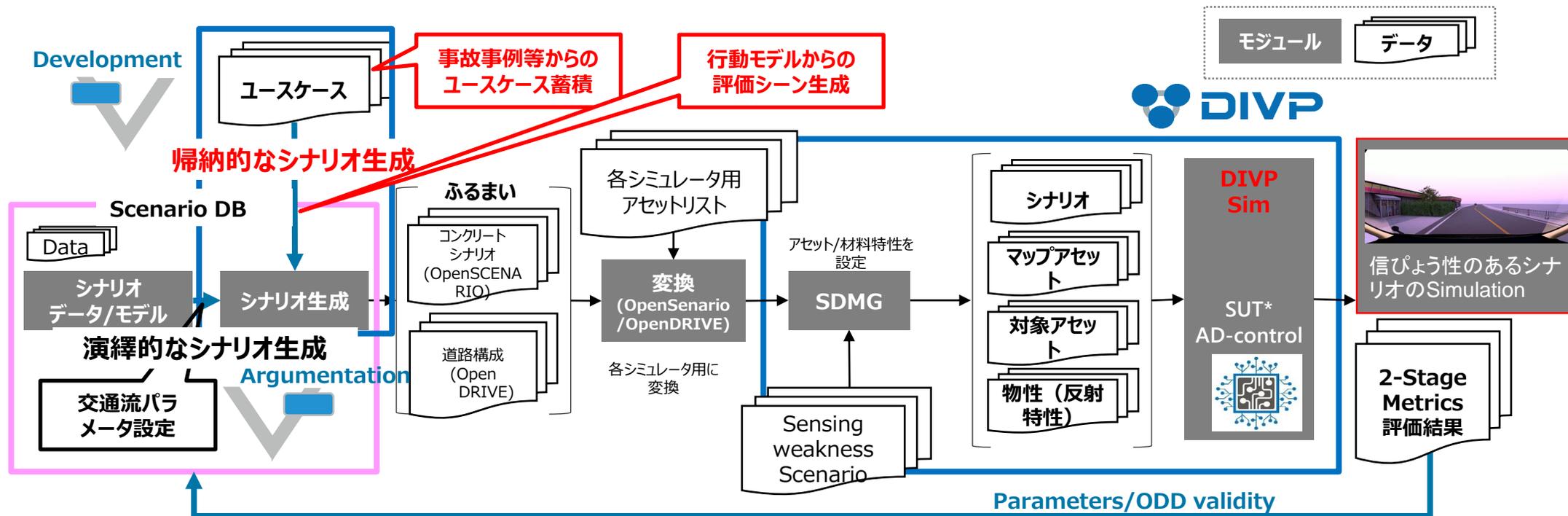
1. 評価目的に合わせて構築できる。
2. 交通参加者の潜在リスクとしての行動を信ぴょう性高く再現できる。
3. 複数のユースケースに接続できる再利用性の高いモデルとなる。



歩行者及び自転車行動軌跡パターン

事故事例等からのユースケース生成

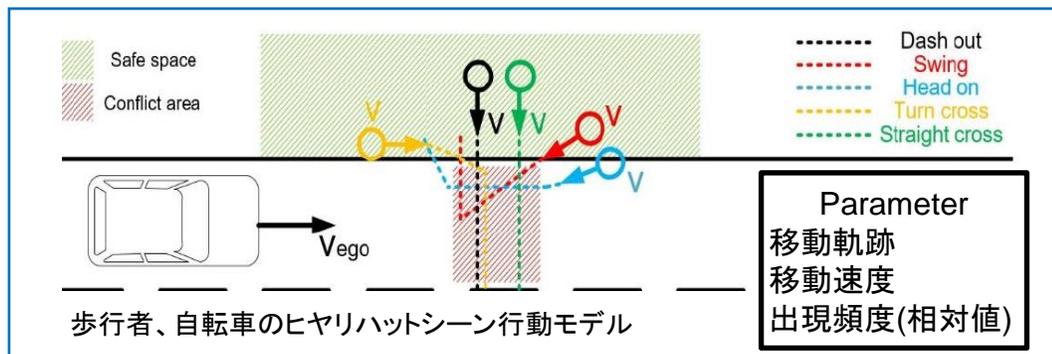
- 実際の事故データ等から安全性評価シナリオのベースとなるユースケースを構築する。



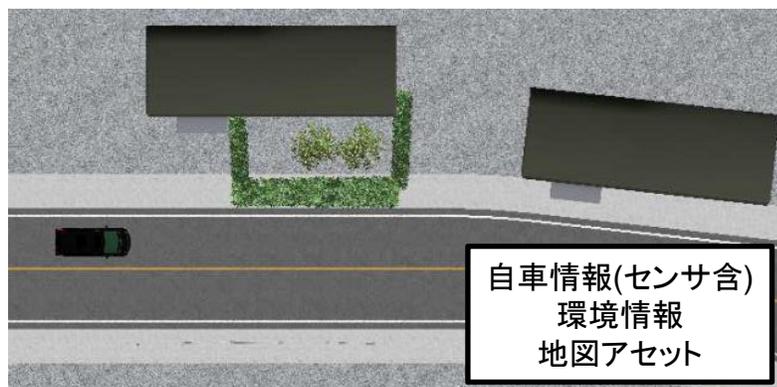
ヒヤリハットデータベースから行動モデルを構築し、行動モデルからヒヤリハットシーンを生成し、安全性評価シナリオの生成を行う

行動モデルとDIVP®の連携システム構築

- 歩行者及び自転車行動モデルの開発

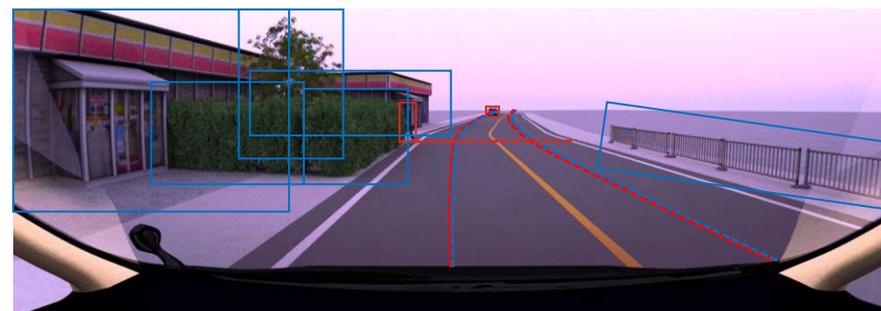
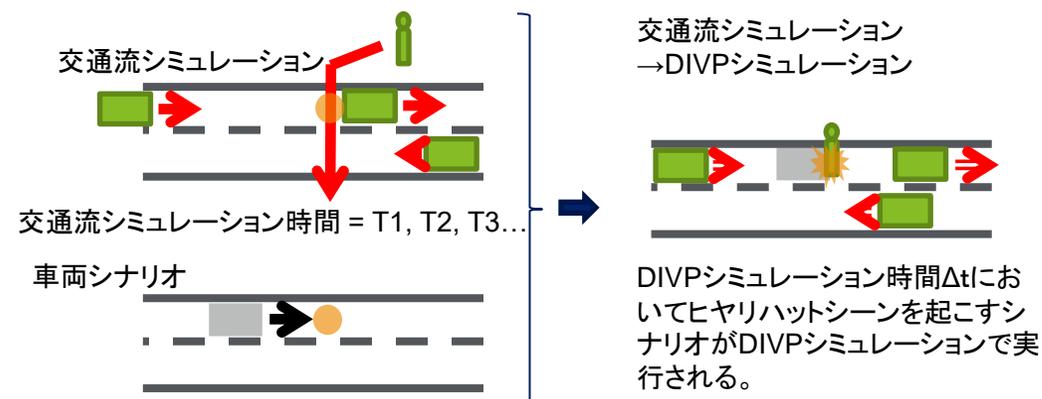


- DIVP®で自車シナリオと環境の設定



ユーザー設定の安全性評価シナリオ

- DIVP®と行動モデルの連携結果

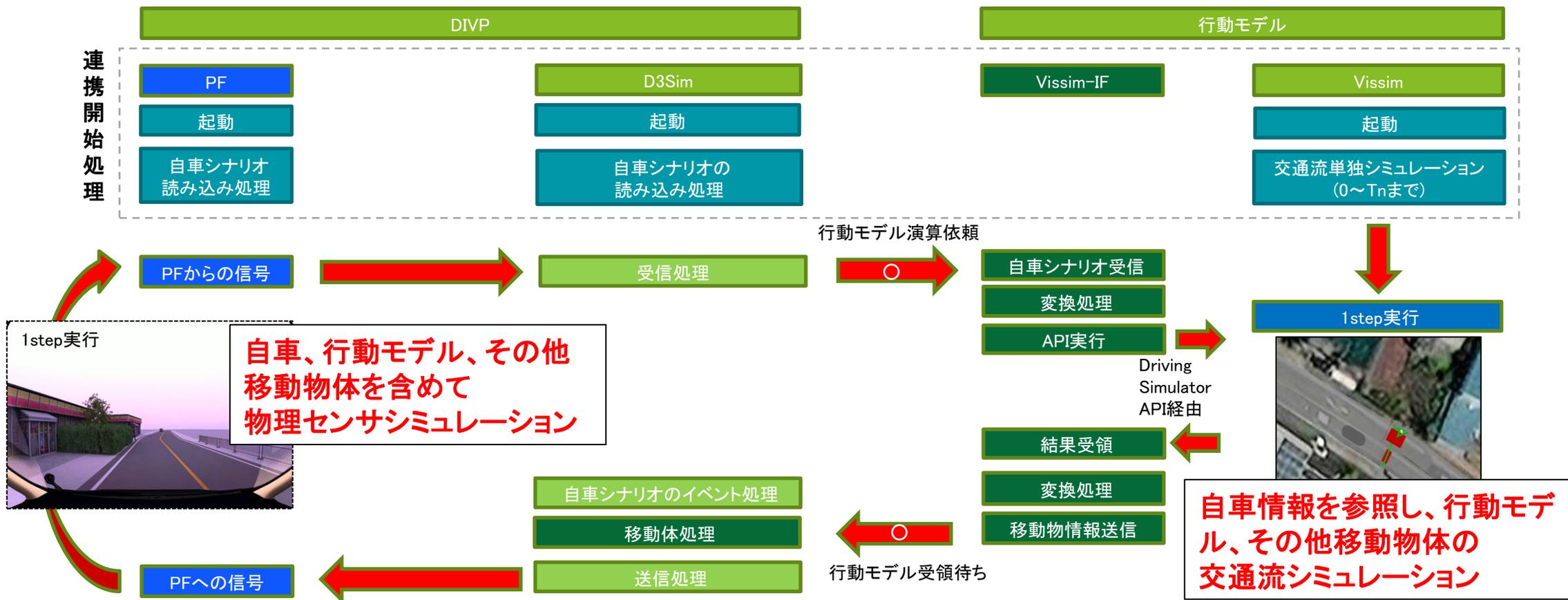


- 交通流制御オブジェクト (Traffic flow control object)
- 交通流用ネットワーク (Traffic flow network)
- ユーザー設定オブジェクト (User-defined object)
- ユーザー設定道路ネットワーク (User-defined road network)

ヒヤリハットデータベースから行動モデルを構築し、行動モデルからヒヤリハットシーンを生成し、安全性評価シナリオの生成を行う

行動モデルとDIVP®の連携システム構築

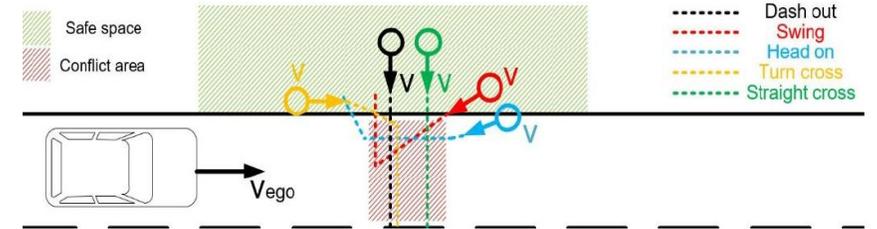
- 行動モデルとDIVP®の連携シミュレーション時のシステムフロー



DIVPと行動モデルについて、実際の飛び出し行動ヒヤリハットシーンから構築した行動モデルを実道路環境を模した飛び出しが危険な道路環境を走行する自転車シナリオと連携させる

連携結果の評価と検証

- DIVPと行動モデルの連携結果



歩行者/直線道路/ Head on



歩行者/交差点/Straight cross

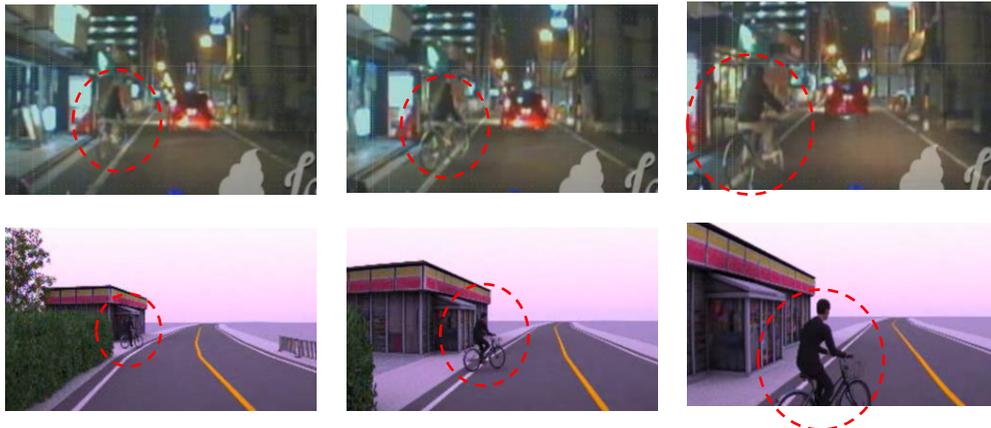


自転車/直線/Turn cross



自転車/交差点/Dash out

- ヒヤリハット実側データと行動モデルの動作の比較 (自転車行動パターン：Swing)



- 交通弱者が起こすヒヤリハットシーンの安全性評価を行うことができることを実証できた。
- DIVP®で制御する自転車の行動条件や、道路の環境モデルを変更することで、シナリオの種類の変更や質の評価を行うことができることを確認した。

行動モデル等を接続するベースのシナリオとして、事故データ等から安全性評価のために優先度の高いユースケースを抽出し、シナリオとしてカタログ化する計画を実行している。

今後の計画 - 行動モデルを連携するベースとなるシナリオについて、より再利用性の高いものを作成する。

- 死亡事故が多く、自車の過失割合が高い事故パターンを基にしたユースケース

参考事故データ ITARDA INFORMATION No.125 ⑤事故事例の紹介

認識不良要因

- 自転車進路変更の未認識

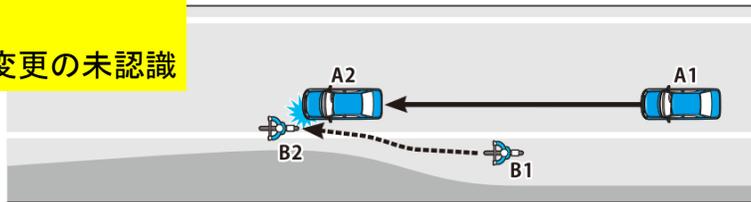
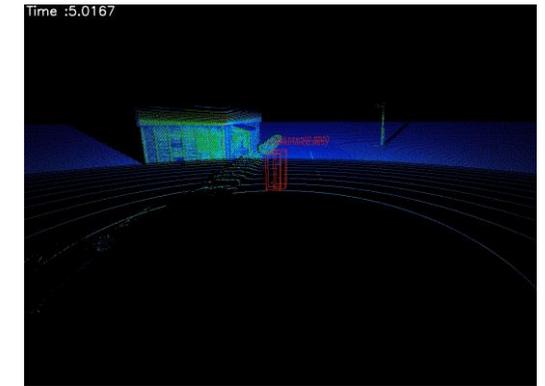


図16 自転車の進路変更に対応できずに発生した追突事故

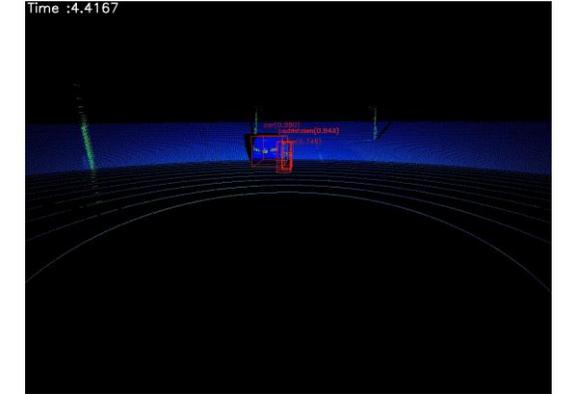
シナリオ化



DIVP-PFでのシナリオ実行・LiDAR認識結果



事故要因の解析結果から別の要因を付与
→進路変更の要因が駐車車両の場合



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

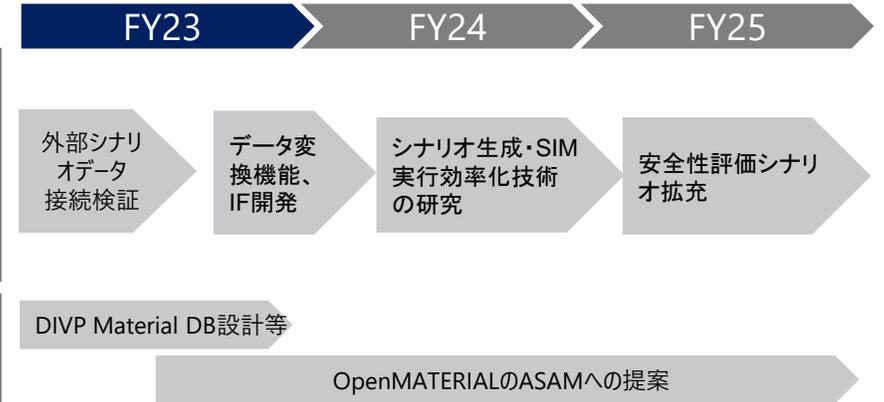
テーマ(3)では、多様な事業者が有するFOTデータの活用効率化のためのDB研究を実施、
 テーマ(4)では、これらの研究成果の国際標準化を進めるための各種調査研究や、国際連携の推進を実施

(3). センサ弱点事象の特定と事象の拡張

- (3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張
- 外部シナリオDB（外部FOTデータ、SAKURA等）にセンサ弱点シナリオモデルを接続し、交通流シナリオをセンサ弱点シナリオに拡張する
 - 他のシミュレーションベンダーとのモニタ評価を通じて、AD安全性向上の有効性と効率化を検証評価する



- (3)-2. 外部マテリアル連携によるセンサ弱点事象の拡張
- 物理特性データの構造化(Open material関連)

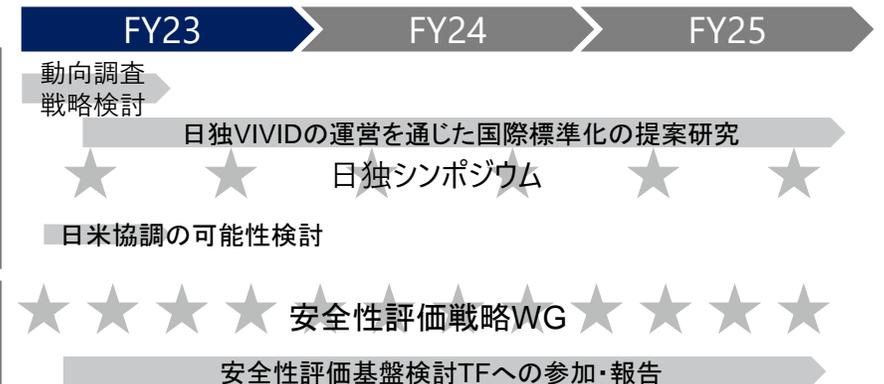


(4). 国際協調・標準化活動及び海外動向調査 (5). プロジェクト推進のための運営体制の構築

- (4). 国際連携の推進
- 国内外イベントへの参画等を通じた、米中キーマンとの関係構築(日独VIVID、米SAE、等)
 - 独ASAM等への参画を通じた国際標準化に向けた戦略立案
 - 米SAE等との連携や標準化にむけた協調可能性検討



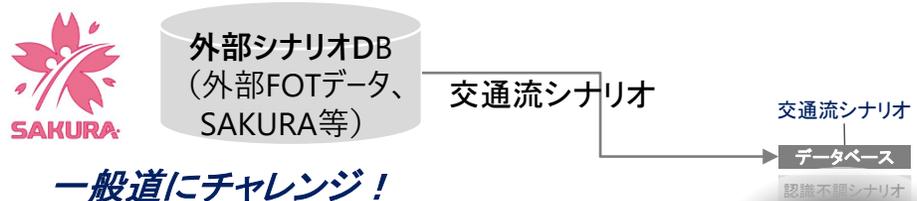
- (5). プロジェクト推進のための運営体制の構築
- 安全性評価基盤検討TF：1回／1～2月程度
 - 安全性評価戦略WG：4回/年程度



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). センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張

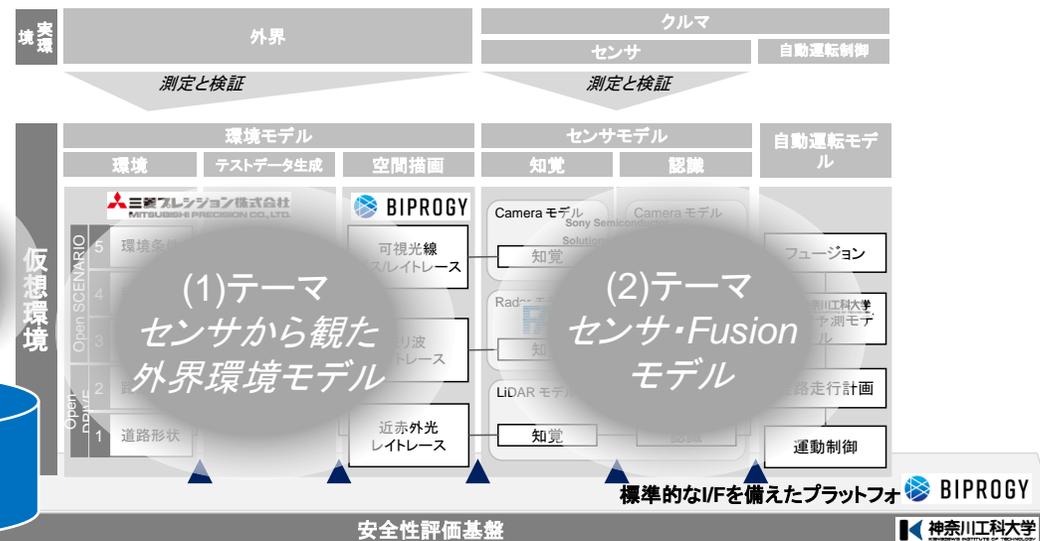
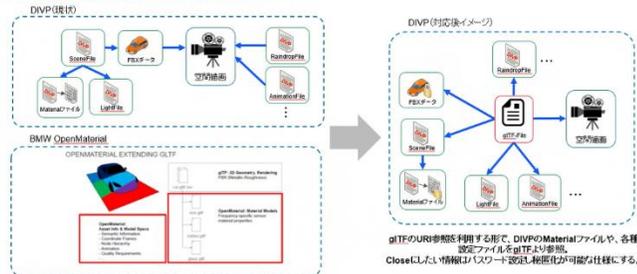


(3)-2. 外部マテリアル連携によるセンサ弱点事象の拡張



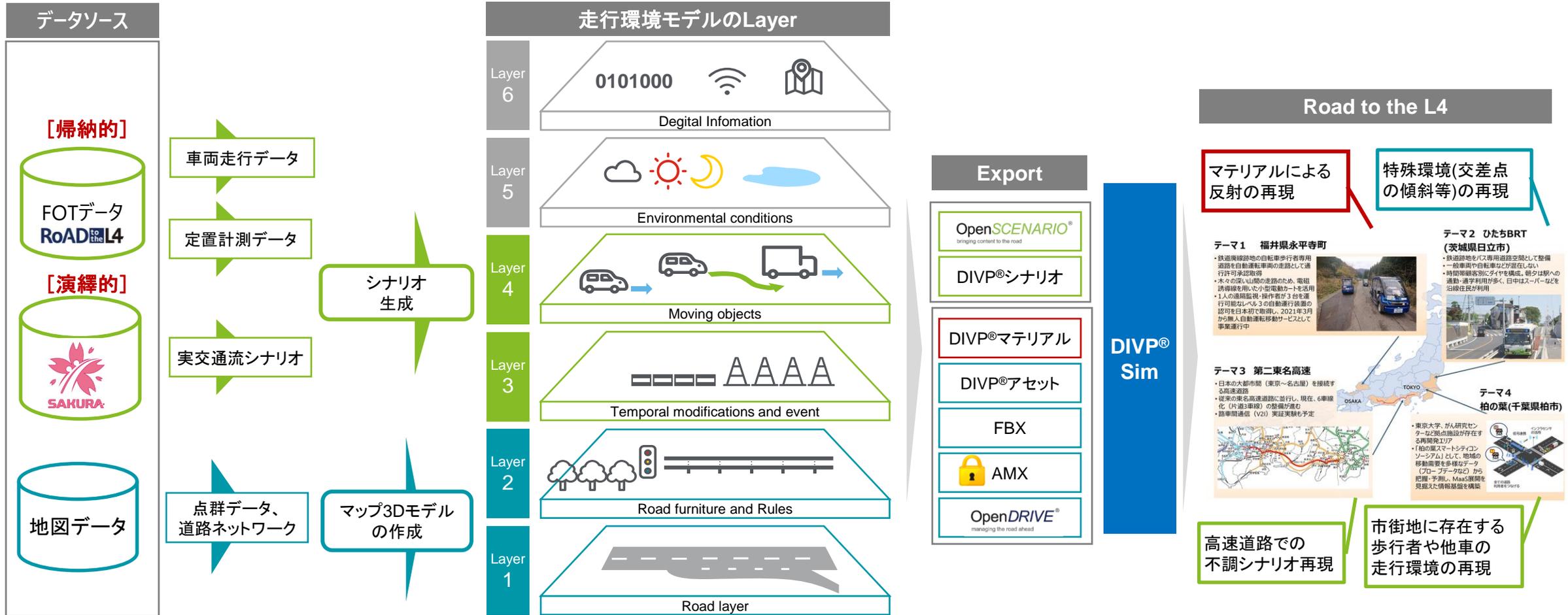
OpenMATERIALとしてのデータ流通の仕組み

DIVPもglTF対応を実施し、BMWと標準化協業



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

データ活用効率化のため、シナリオや地図関連の様々な外部データソースと接続検証を実施

(3). センサ弱点事象の特定と事象の拡張

	データソースとの接続検証	接続データ	検証結果、得られた知見
(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張			
FOTデータ	GNSS-IMUで測定された車両走行データ(FOTデータ)のシナリオ化検証	CSV	データによって座標系が異なるため、それぞれに対応が必要
交通流シナリオ	SAKURAプロジェクト提供シナリオ	OpenDRIVE、OpenSCENARIO	接続に問題なく、センサーやアセット情報の付加が必要
	TNO社 StreetWise出力シナリオ	OpenDRIVE、OpenSCENARIO	接続に問題なく、センサーやアセット情報の付加が必要
	N社システムより出力されたシナリオ	OpenDRIVE、OpenSCENARIO	一部シナリオ設定に異なる解釈があり、読み込みに対応が必要

⇒ 検証より付加するデータ項目を抽出

車両走行データ(CSV)のシナリオ化



外部シナリオ接続によるシミュレーション実行例



交通流シナリオ (OpenSCENARIO)

```
<?xml version="1.0"?>
<OpenSCENARIO>
  <!DOCTYPE scenario SYSTEM "scenario.dtd" >
  <DataLocations>
    <DataLocation>
      <LoadFile filename="..500f_junction.scd"/>
    </DataLocation>
  </DataLocations>
  <!DOCTYPE scenario SYSTEM "scenario.dtd" >
  <ScenarioObject name="Ego_vehicle">
    <Vehicle name="toyotaPrius" vehicleCategory="car" model3d="div_veh_toyotaPrius">
      <ParameterDeclaration>
        <Parameter name="center">
          <center>
            <pos>
              <x>0.486711</x>
              <y>0.867567</y>
            </pos>
            <direction>
              <dir>1.8727</dir>
            </direction>
            <length>3.02645</length>
            <height>1.33519</height>
          </center>
        </Parameter>
      </ParameterDeclaration>
    </Vehicle>
  </ScenarioObject>
  <Performance maxSpeed="300.0" maxDeceleration="100.0" maxAcceleration="400.0">
    <Control>
      <FrontAxle maxSteering="0.0" wheelDiameter="0.0" trackWidth="0.0">
        <RearAxle maxSteering="0.0" wheelDiameter="0.0" trackWidth="0.0">
          <Properties>
            <!-- Properties -->
          </Properties>
        </RearAxle>
      </FrontAxle>
    </Control>
  </Performance>
</OpenSCENARIO>
```

道路ネットワーク (OpenDRIVE)



3D形状 (FBX)



(2)-1. d. Virtual Assessment 評価の確立			
地図データ	M-CITYデータ	OpenDRIVE、FBX	一部ジオメトリに歪みがあり手直しが必要
	A社評価用データ	OpenDRIVE	シナリオ走行は可能、一部修正が必要
	B社評価用データ	OpenDRIVE、FBX	シナリオ走行は可能、一部修正が必要
	C社評価用データ	OpenDRIVE	通行方向が通常とは異なる定義になっており、修正が必要
	ダイナミックマッププラットフォーム社評価用データ	独自形式	OpenDRIVEに変換することで、利用可能

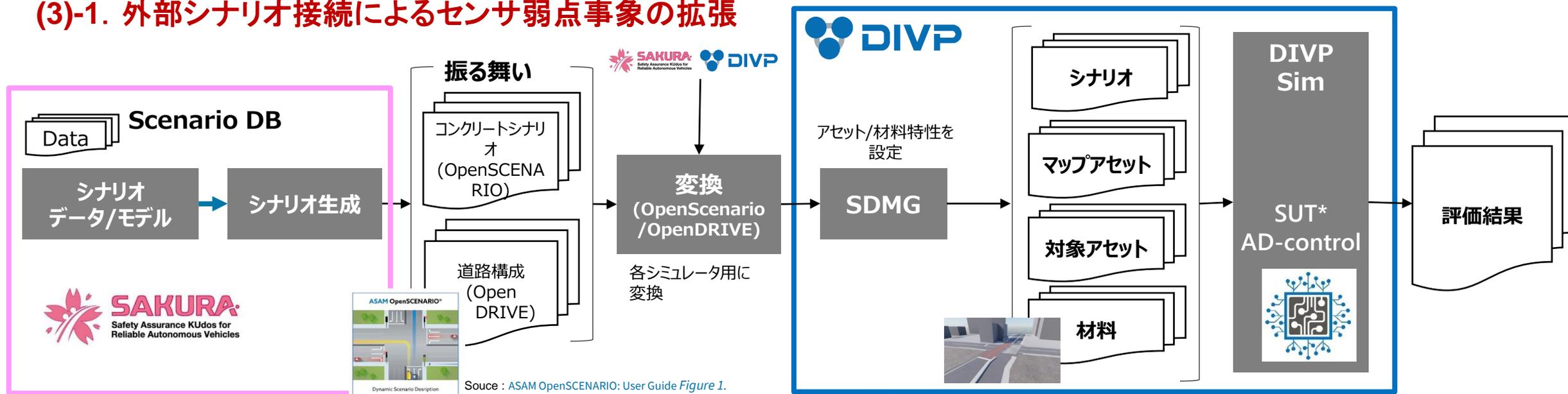
FOTデータ活用のため、シミュレーションツールで読み込み可能な形に変換する環境を構築

(3)-1. 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



交通流シナリオを効率的にシミュレーションを実行する環境構築を実施中

(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張



交差点通過の安全性評価範囲 / 基準案の具体化

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

自転車・交差車のふるまいの定量的な範囲定義

分類	項目	値	設定数
自転車	通行方向	北上、南下	2
	速度(km/h)	0(停車) ~ 10	1
他車	通行方向	自転車基準で左から、右から	2
	速度(km/h)	40, 47, 64	3
	距離(m)	PETCによって決定	-
	PET(m)	6.0 ~ 2.0 (0.5秒分)	17
色	白、黒、青、黄緑、赤		5
	日時	12月 10:30, 13:00, 15:40	3
天候	晴れ、曇り、雨		3

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

センサ配置情報の登録

センサー配置情報の編集/表示

センサー配置情報の車両への自動適用

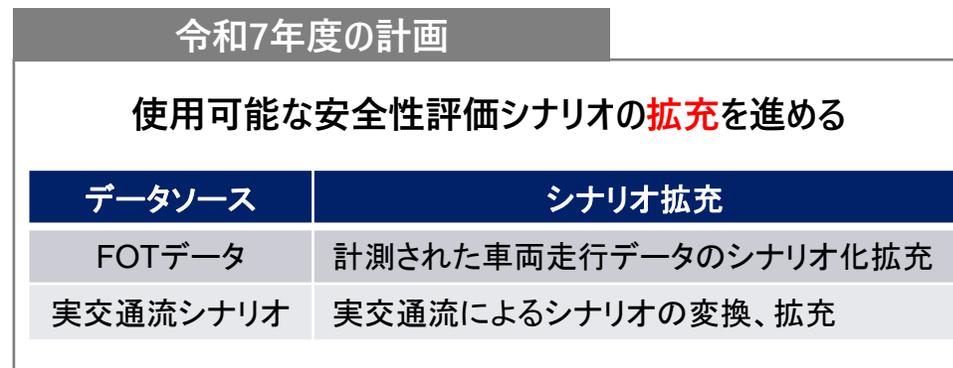
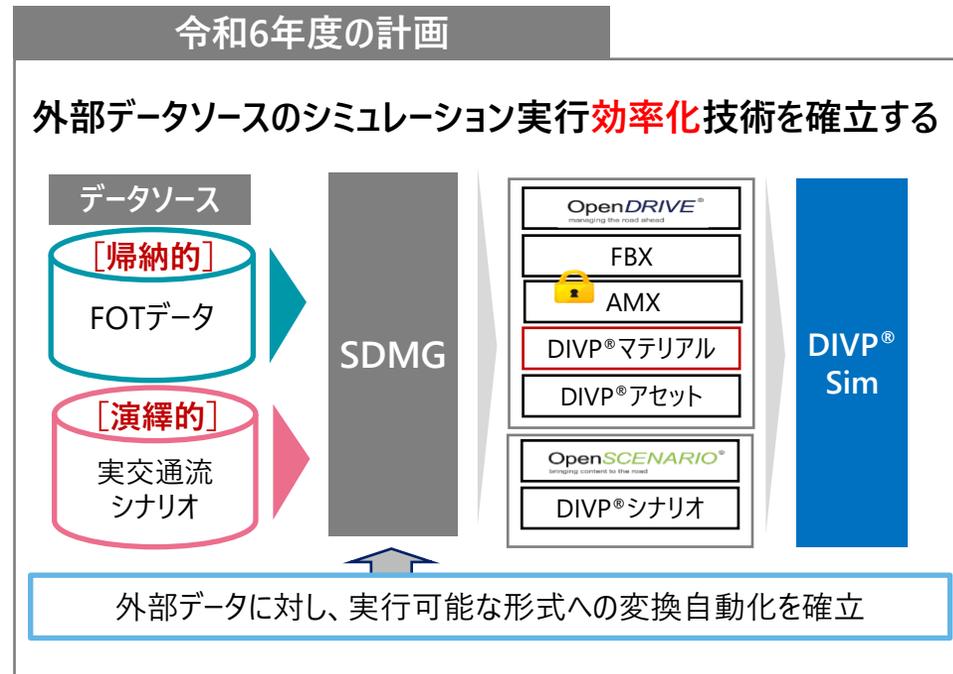
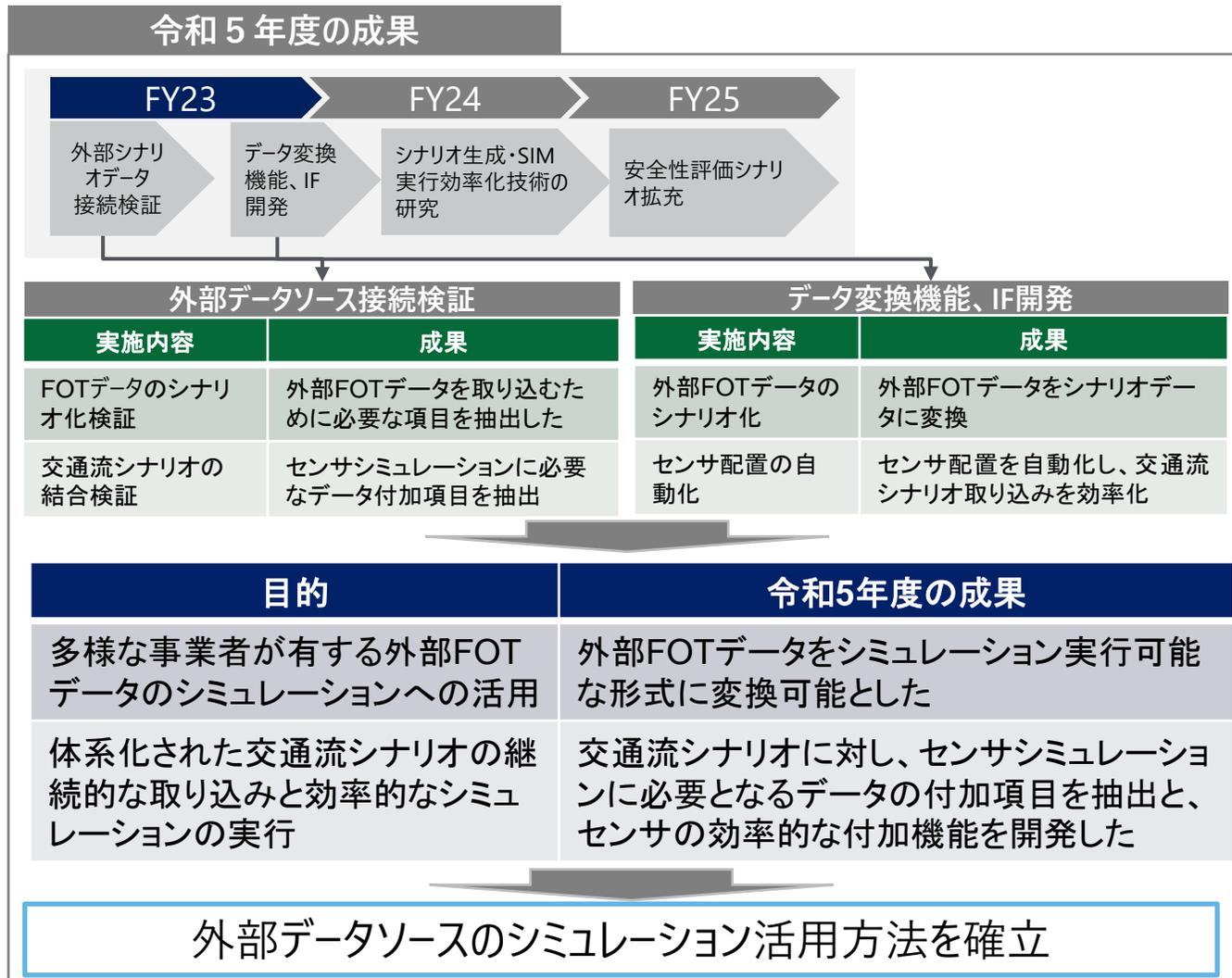
センサー情報の編集/表示

登録した情報のインポート/エクスポート

センサシミュレーションに欠かせないセンサ情報を、交通流シナリオに対し効率的に付加する仕組みを確立

ADS/ADASの安全性評価・検証に必要な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

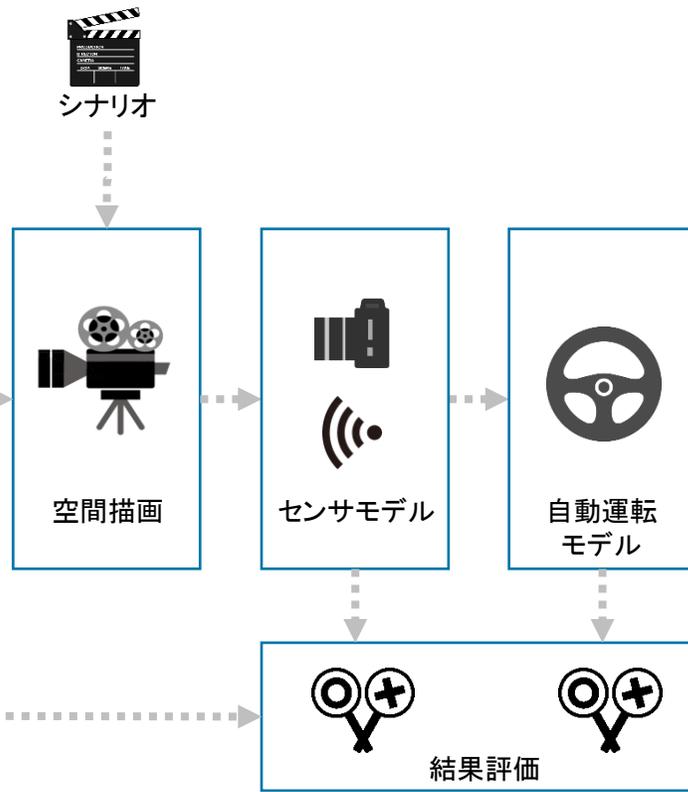
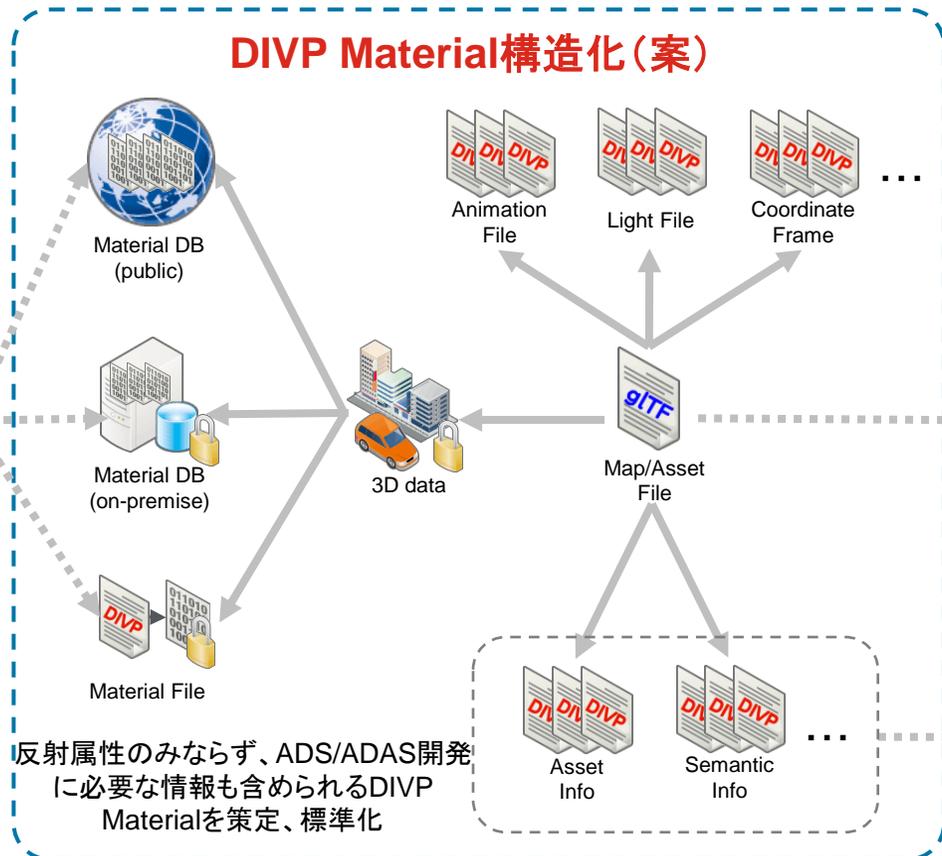
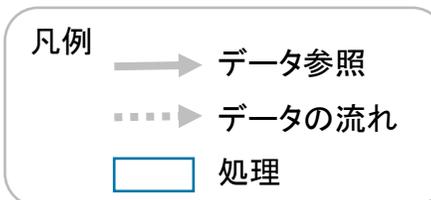
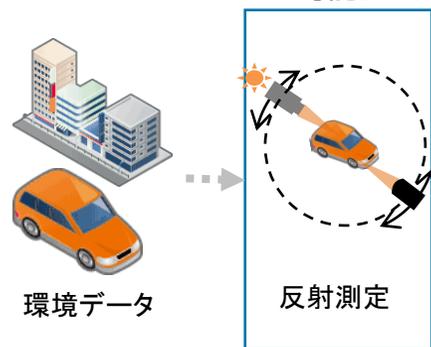
(3)-1. 外部シナリオ接続によるセンサ弱点事象の拡張



DIVPが蓄積してきた、モデル化のための空間の正しさを支える測定データ(DIVP Material)について、最適なデータ構造を構築する。

(3)-2. 外部マテリアル連携によるセンサ弱点事象の拡張

DIVPは、反射測定手法及び測定済データ保持で優位性を保持し、日本主導の標準化の獲得が可能。



DIVP Material 標準化により、データ交換・アセット流通の基盤構築が可能
 →自動運転開発者の開発・評価の効率化、スピードアップが望める。

DIVP Material 開発の背景

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 データ要件

DIVP Materialの仕様を検討するに際して、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。

#	データ要件
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。
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。
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。
4	FBX等の作成済3D形状データを利用可能な事。
5	測定材料特性データは、各センサー毎に保持できる事。
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。
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。
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。
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。
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。

DIVP Material 格納対象データ

DIVP Materialには、3D形状データや材料特性データのみならず、MAP/ASSETデータに関連するADS/ADAS開発に必要なデータも格納する※。

DIVP Material

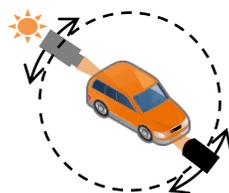
3Dアセットデータ

MAP及びASSETデータ内の、3D幾何形状データ、テクスチャ、アニメーションデータ等



材料特性データ

対象物質毎の反射属性等の材料特性データ



ADS/ADASデータ

データ内容説明情報

MAP/ASSETデータの内容を説明する項目群



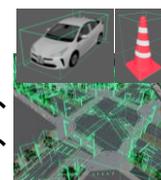
部位振舞い情報

MAP/ASSETデータの構成部位単位の振舞い情報。ワイパー動作速度等



部位真値情報

MAP/ASSETデータの構成部位単位の真値情報。部位種別、部位名称、部位位置、部位包含BOX等



環境モデル付加情報

ガラスの雨滴張り付き情報や、光源情報等。



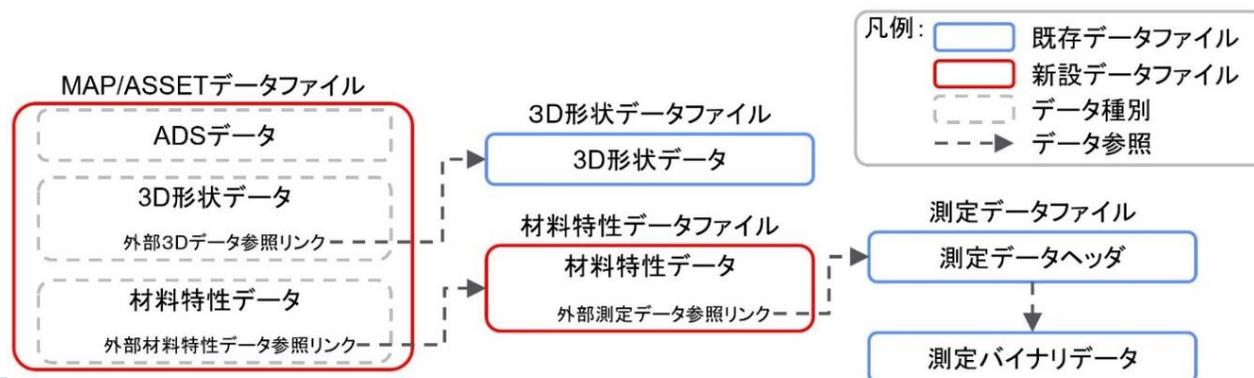
※ここでいう「格納」とは、本MAP/ASSETファイルから、他のファイルを参照するケースも含む

DIVP Material データ構造:ファイル構成

MAP/ASSETデータファイルのファイル構成

「3D形状データ」と「材料特性データ」は、サイズも大きくなりがちで、複数のMAP/ASSETデータ間で共有可能な物である。よって、DIVP Material では、MAP/ASSETデータと、これらデータを別ファイル構成とする事も可能にする。

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

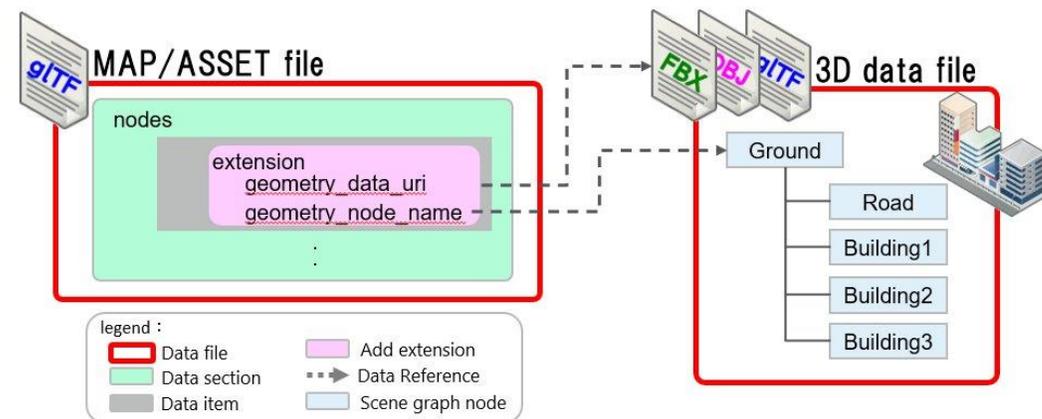


DIVP Material データ構造: 3Dデータ格納方法

外部ファイル参照を考慮した、3Dデータ格納方法

●基本参照方法

外部ファイル参照の形で格納される3D形状データは、MAP/ASSETデータファイルから外部の3D形状データファイルへの参照情報(データ参照パス)として格納される。参照先となる実際の3D形状データファイルは、FBXやOBJ等の一般CGフォーマットを利用可能とする。ただし、それらの内部構成は、DIVPのPFで規定する構造に沿った物でなくてはならない。MAP/ASSETデータファイルのベースとなるglTFフォーマットでは、node要素として形状階層を記述する。DIVP Materialでは、このnodeにextensionを介して外部参照情報を記載する。



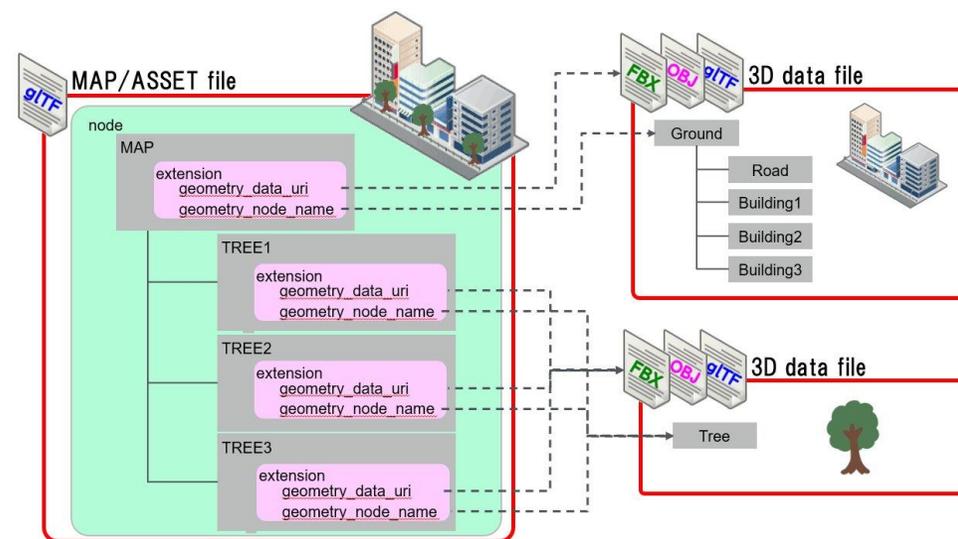
●参照保持情報

3D形状データ参照は、以下の2情報を保持する。

- geometry_data_uri データ参照ファイルパス
- geometry_node_name データ参照ノード名

3D形状データの外部参照は、指示された外部3Dデータファイル内の指示ノード以下全てノードに含まれるデータ及び、それに紐づくデータが読み込み対象となる。

MAPデータ上の標識や樹木等、同一データが複数存在する場合は、MAP/ASSETファイルのnode内に配置構造を作成する事で、同一データの複数配置構造を表現可能にする。



DIVP Material データ構造: 材料特性データ格納方法

材料特性データファイル単独でも流通可能なデータ構造

材料特性データファイルは、拡張性確保の為、MAP/ASSETデータファイルと同様にglTFファイル形式を採用。
材料特性データは、material項目にextensionを介して格納される。

材料特性データファイルは、材質毎に作成され、ファイル内部には各センサー(Camera/LiDAR/Radar)向けの全情報を保持可能とする。

格納される材料特性データには、対象物質固有の特性データの他に、シミュレーター処理効率向上の為の特別な情報も含まれる。
DIVP Materialでは、それら情報を分けて構造化し、前者は”physical_properties”以下に、後者を”user_preferences”に保存する。

user_preferences内には、以下のマイクロドップラー向けの部位情報が格納される。

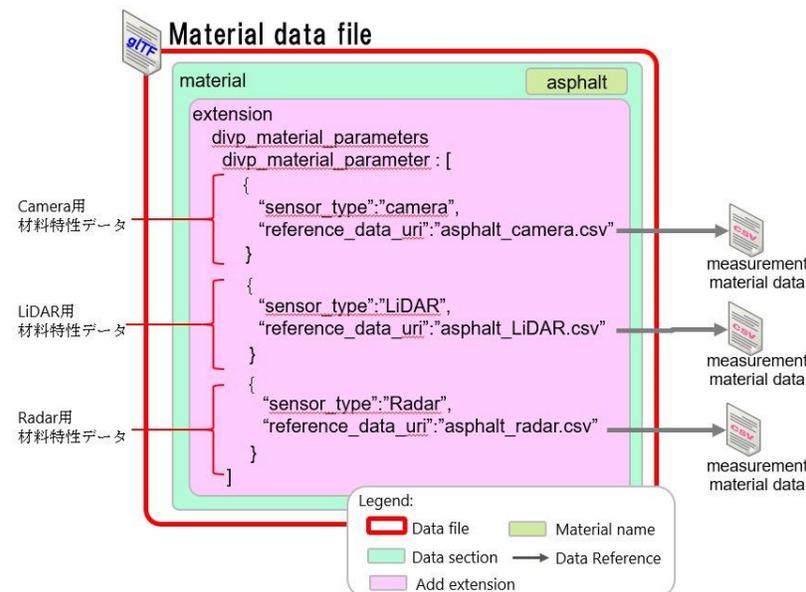
- user_preference

- motion_parameter

part_type パーツタイプ
(なし),1(車輪),2(左手),3(左足),4(右手),5(右足)

wheel_radius1	車輪半径R1
wheel_radius2	測定点半径
part_length1	手足(振り子)の長さL1
part_length2	測定点(振り子)の長さL2
swing_angle	振り角

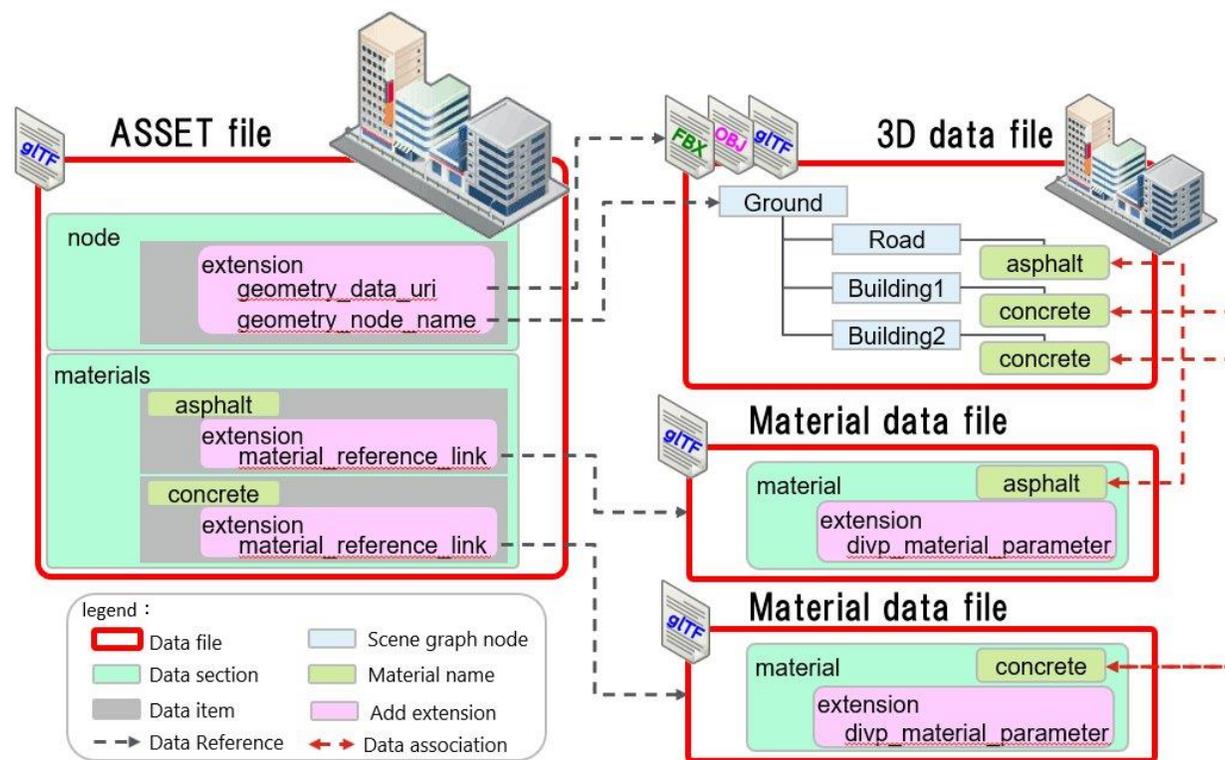
”physical_properties”以下の材料特性情報は、“divp_material_parameters”下にセンサー毎の配列構造で保存される。



DIVP Material データ構造：3D形状データと材料特性データの紐づけ

材料特性データが格納される材料特性データファイルは、拡張性確保の為、MAP/ASSETデータファイルと同様に glTFファイル形式となる。

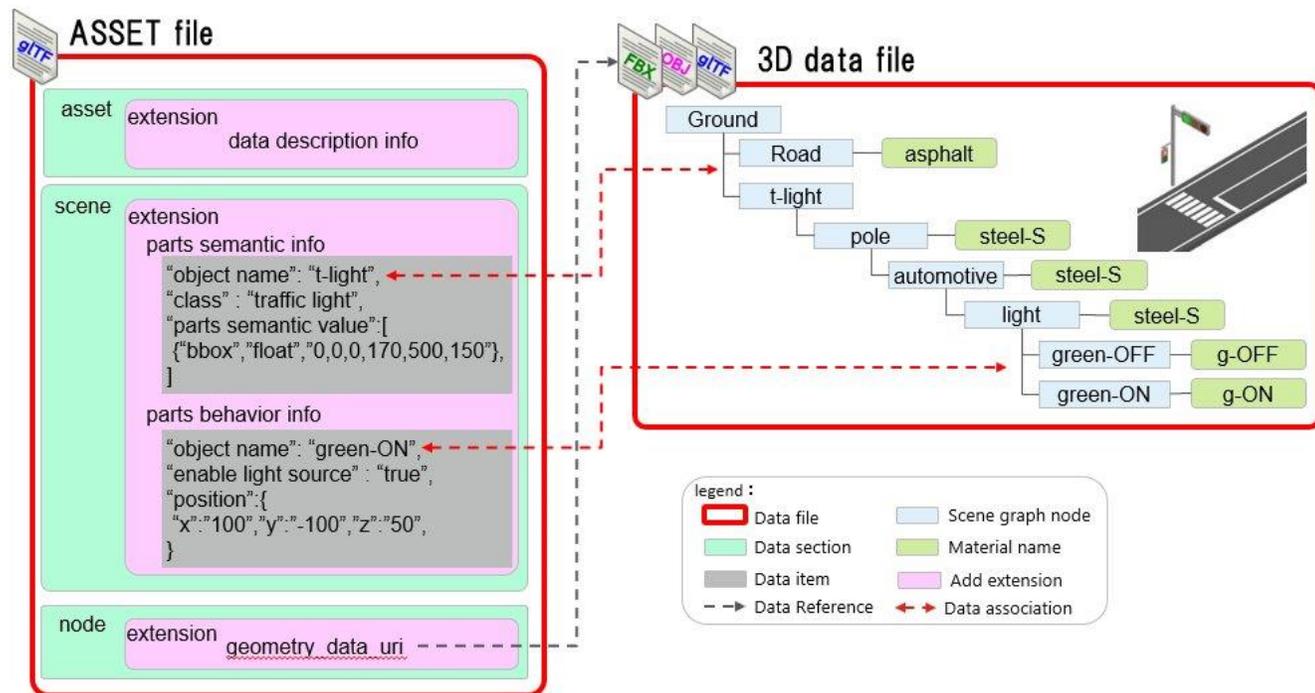
一方で3D形状データは、FBX等の一般CGフォーマットとなる為、3D形状と材料特性データを紐づけは、汎用的な方法となり、設定材料名が同一の物を紐づける。



DIVP Material データ構造: ADS/ADASデータ格納方法

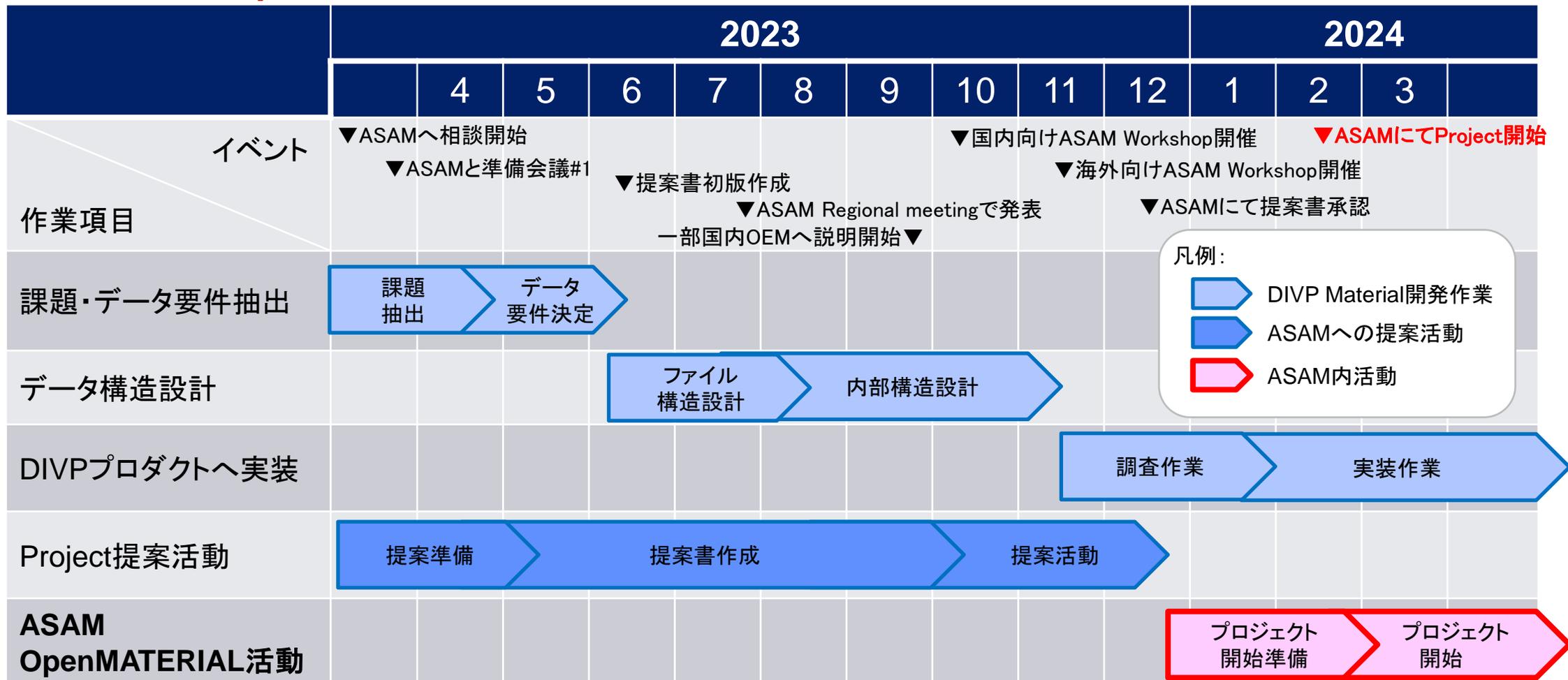
ADS/ADAS向けデータは、各データの紐づき先毎に以下に分けて保存される。

- ◆ ファイル全体に関する情報
「データ内容説明情報」
これは、ファイル内のデータ内容に関する情報なので、asset項目の中にextensionを介してメタデータとして格納される。
- ◆ 3D形状データに紐づく情報
「部位真値情報」、「部位振舞い情報」、「環境モデル付加情報(一部情報除く)」
これらは、3D形状内のノードに紐づく情報だが、3D形状データは外部データ参照となる為、MAP/ASSETデータファイル内にはノードが存在しない。よって、これらの情報はscene項目内にextensionを介し、紐づき先のノード名と各情報をメタデータとして保持する。
- ◆ 材料特性データに紐づく情報
「環境モデル付加情報(一部情報)」
環境モデル付加情報の中の光源色や配光情報等は、材料特性の一部として扱う。よって、MAP/ASSETデータファイル内にはmaterial項目の中に材料名毎にextensionを介して保存される。



DIVP Materialの成果を国際標準へ展開

DIVP Materialを基に、ASAMへMAP/ASSETデータ標準化プロジェクトを提案。
2023年2月より、OpenMATERIALプロジェクトが開始された。DIVPプロダクトへの実装も進める。



研究成果

(1) 環境・空画描画・センサモデルを用いたツールチェーンへの拡張

(2) 評価指標・体系の確立

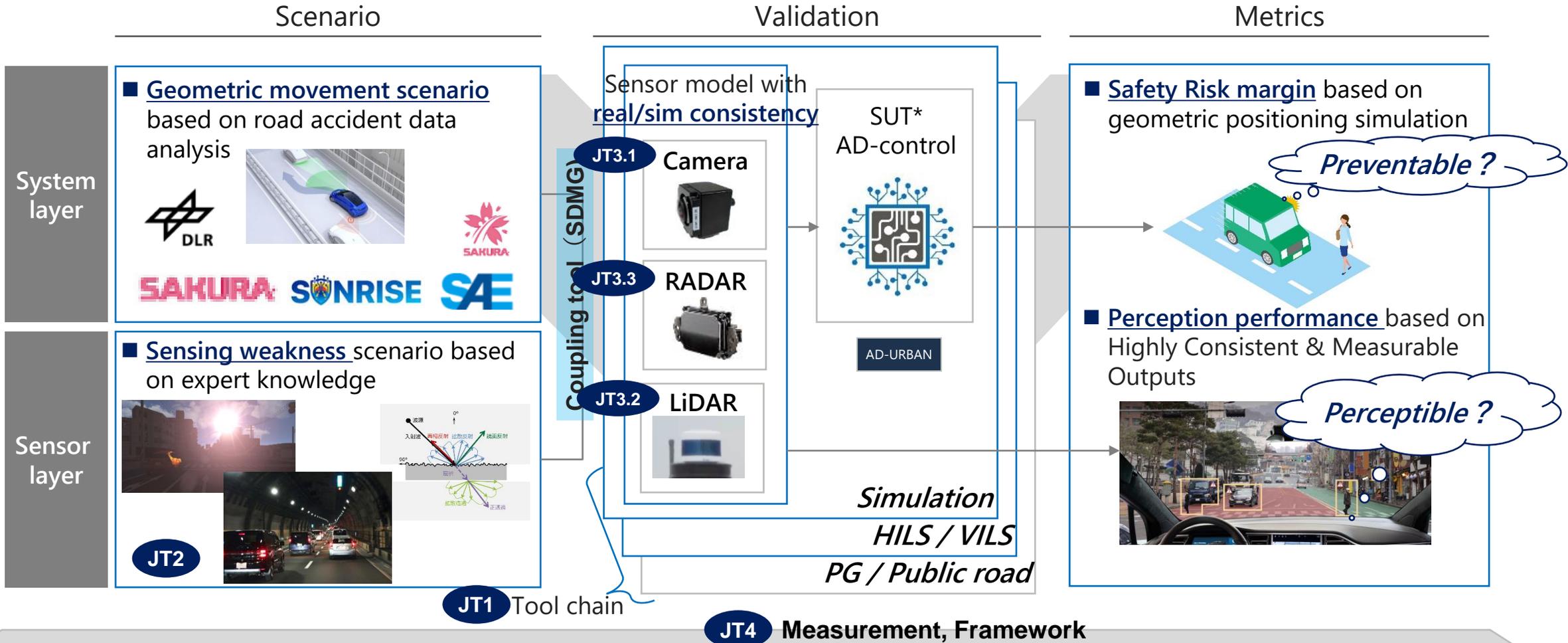
(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(4) 国際協調・標準化活動及び海外動向調査

(5) プロジェクト推進のための運営体制の構築

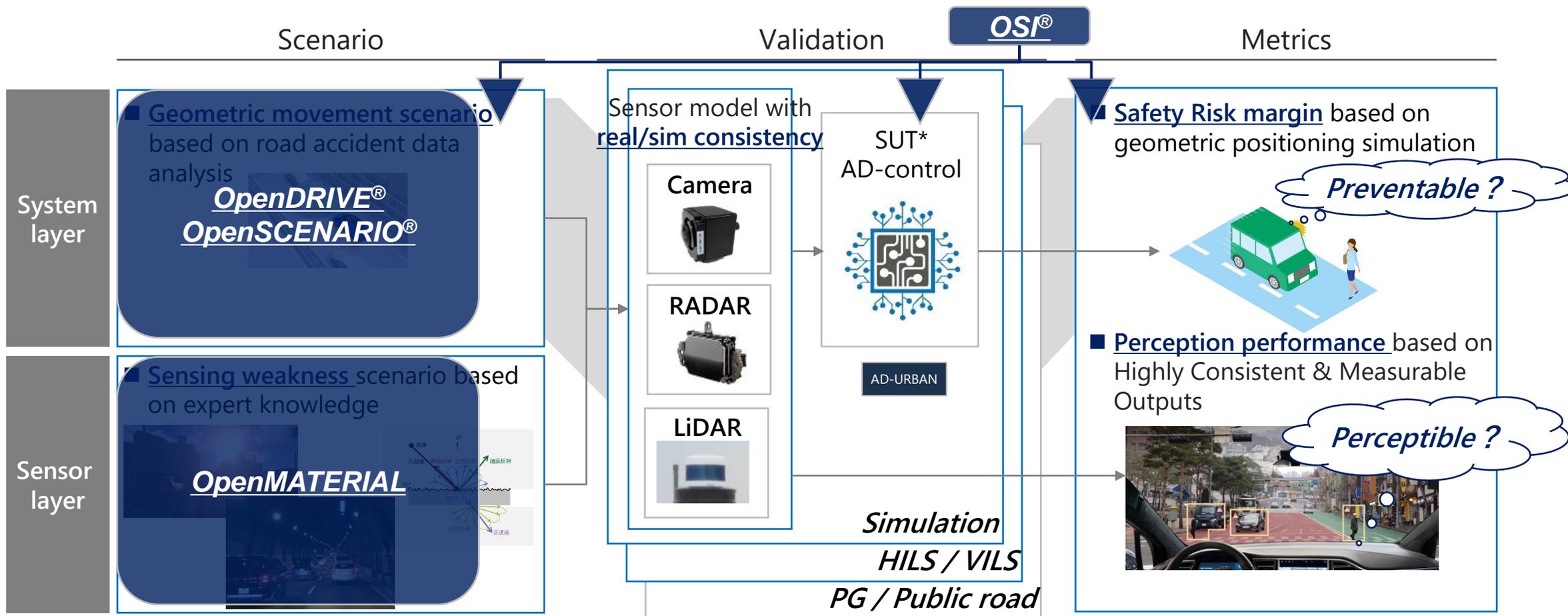
for AD safety assurance, Geometrical input for system layer & Physical materials input for sensor layer are needed as total validation framework

International formation toward AD-safety assurance



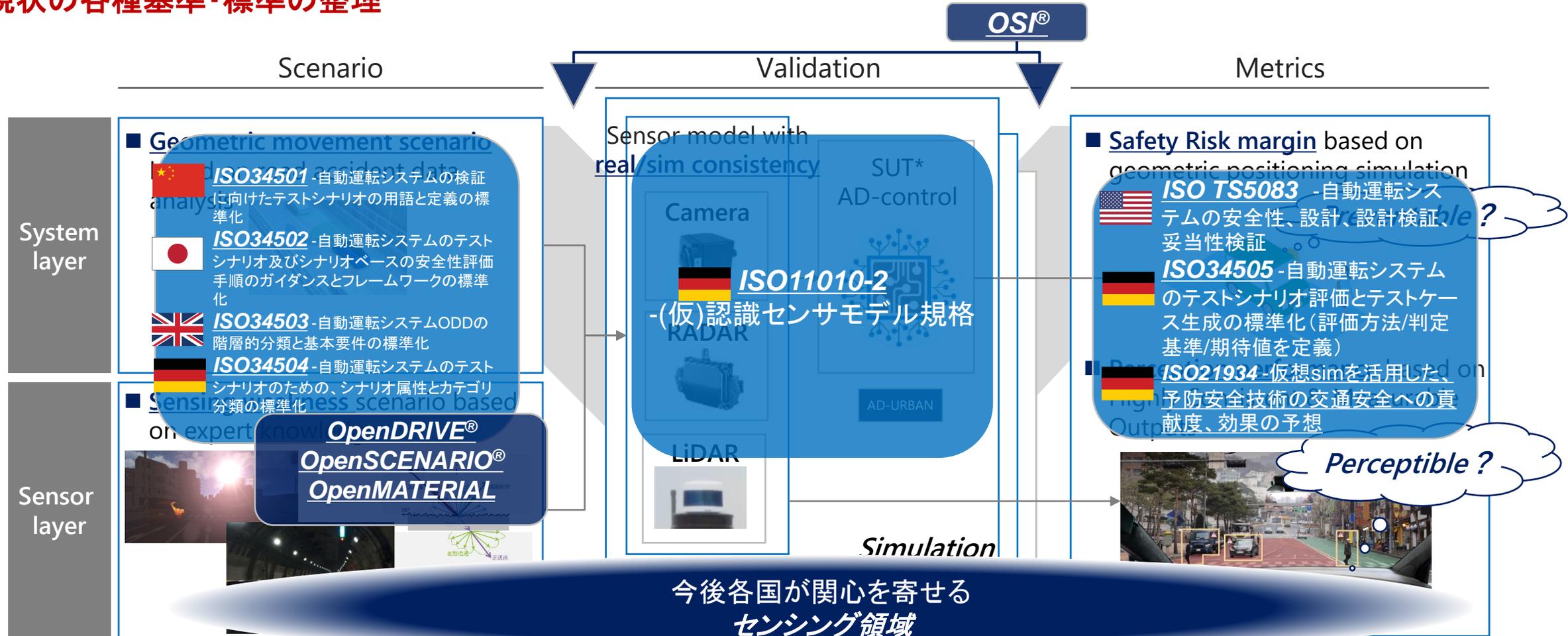
ASAMでは、OpenDRIVE、OpenSCENARIO、OSI、に加えOpenMATERIALの標準化議論が進んでいる

ASAM OpenX活動の整理



ISOではこれまで、シナリオやMetricsに関する標準提案が多数であったが、直近で、独からセンサモデルに関する標準の提案もあり、センサモデル活用へ舵を切っている印象

現状の各種基準・標準の整理



ISOではこれまで、シナリオやMetricsに関する標準提案が多数であったが、直近で、独からセンサモデルに関する標準の提案もあり、センサモデル活用へ舵を切っている印象

現状の各種基準・標準の整理

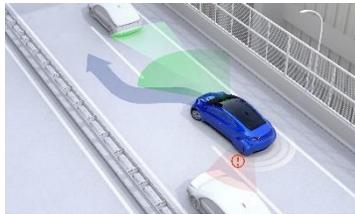
評価シナリオ(Scenario)

評価ツール(Validation)

評価指標(Metrics)

“ぶつからないか”
の評価

- 事故データ等の分析に基づくジオメトリックな交通流シナリオ



“見えてるか”
の評価

- Expナレッジに基づくセンサ弱点シナリオ



SILSに向けたセンサモデル

Camera



Radar



LiDAR



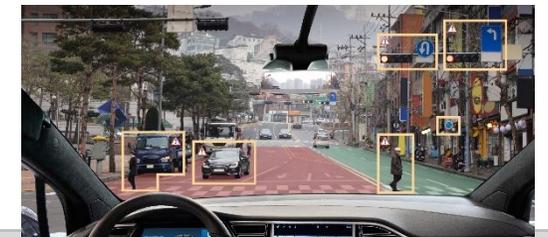
自動運転
制御モデル



- 車両位置の正確な予測による事故に対する余裕度判定



- 計測可能な知覚出力の一致性モデルに基づく認識性能のバーチャル評価



内容によりフレームワークの可能性も

フレームワーク

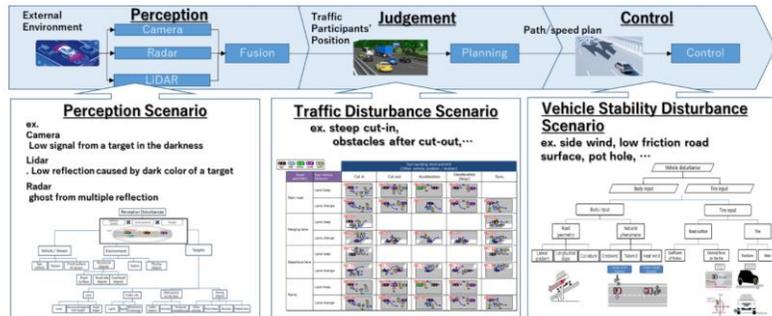
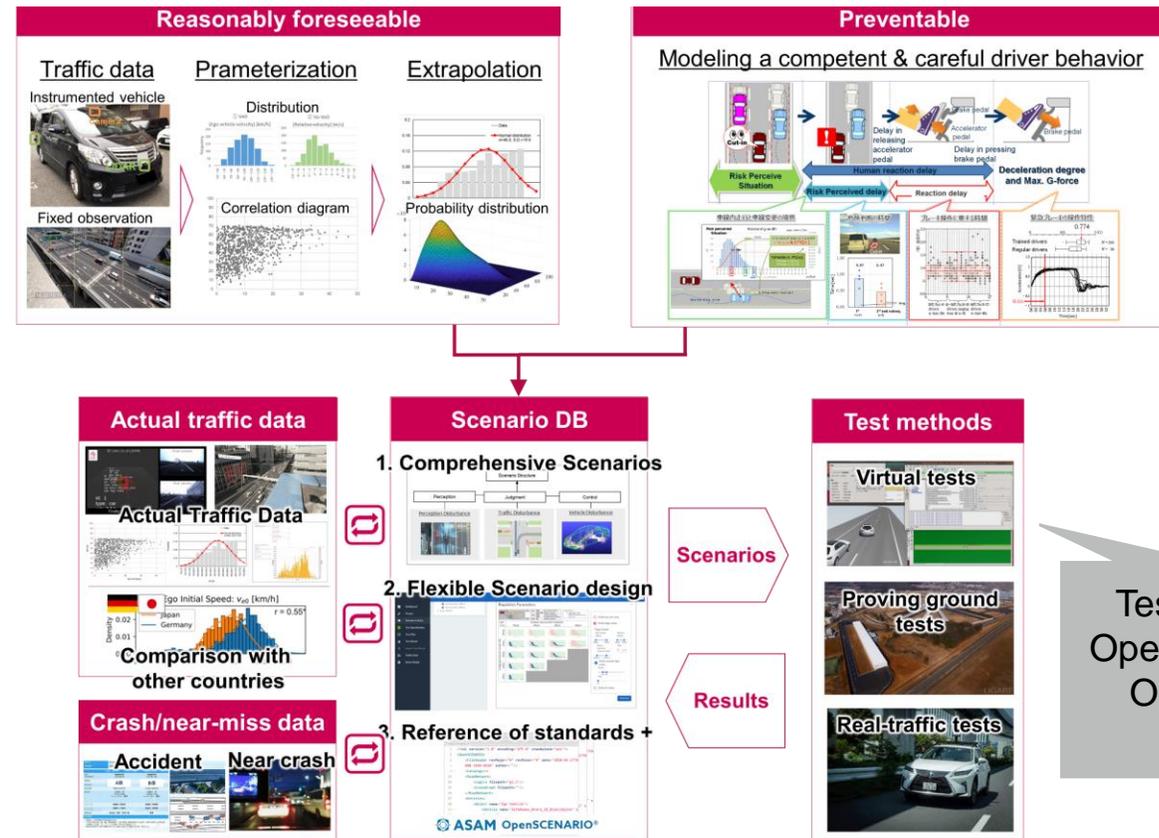
Complex real traffic based reasonably foreseeable and preventable test scenario would be provided as SAKURA-DB with open scenario format

SAKURA Project overview



AD safety evaluation framework

SAKURA database



Test case with OpenSCENARIO OpenDRIVE format



Continuously communicating with global experts for development of safety assurance framework and led ISO34502 publication

Sakura outcome as Global standardization



SC33 “Vehicle dynamics and chassis components”

WG9 “Test scenarios of automated driving systems”

ISO3450X: Road vehicles

— Test scenarios for automated driving systems —

ISO No	Title	Current Status	Leader (Sub)
ISO34501	Vocabulary	IS published ('22 Oct.)	China
ISO34502	Scenario based safety evaluation framework	IS published ('22 Nov.)	Japan (Germany)
ISO34503	Taxonomy for operational design domain	IS published ('23 Aug.)	UK (Japan)
ISO34504	Scenario categorization	FDIS	Netherlands (Germany)
ISO34505	Scenario evaluation and test case generation	WD	Germany China



Harmonization image by Stefan



SUNRISE-VVM-SAKURA
 '22 Oct. @Kyoto
 '23 May @Lisbon
 '23 Jul. @San Francisco



VTTI-JAMA-SAKURA
 '22 Dec. @Tokyo
 '23 Jan. @ Washington DC
 '23 Jul. @ San Francisco ...

日独共同のVIVID研究成果はWhite paperとして発行した https://www.safecad-vivid.net/news/white_paper/

White paper

White paper

VIVID - German Japan Joint Virtual Validation Methodology for Intelligent Driving Systems



December 27, 2023

Authors: Philip Aust, Yoshihisa Amano, Atsushi Araki, Lukas Elster, Lukas Haas, Arsalan Haider, Matthias A. Hein, Norihito Hiruma, Hasan Iqbal, Takashi Kaneshiro, Aidar Khakimov, Michael Köhler, Viktor Lizenberg, Masashi Mizukoshi, Wataru Nakamura, Masami Nerio, David Nickel, Mario Pauli, Michael Schardt, Stefan-Alexander Schneider, Toshinobu Sugiyama, Thomas Zeh

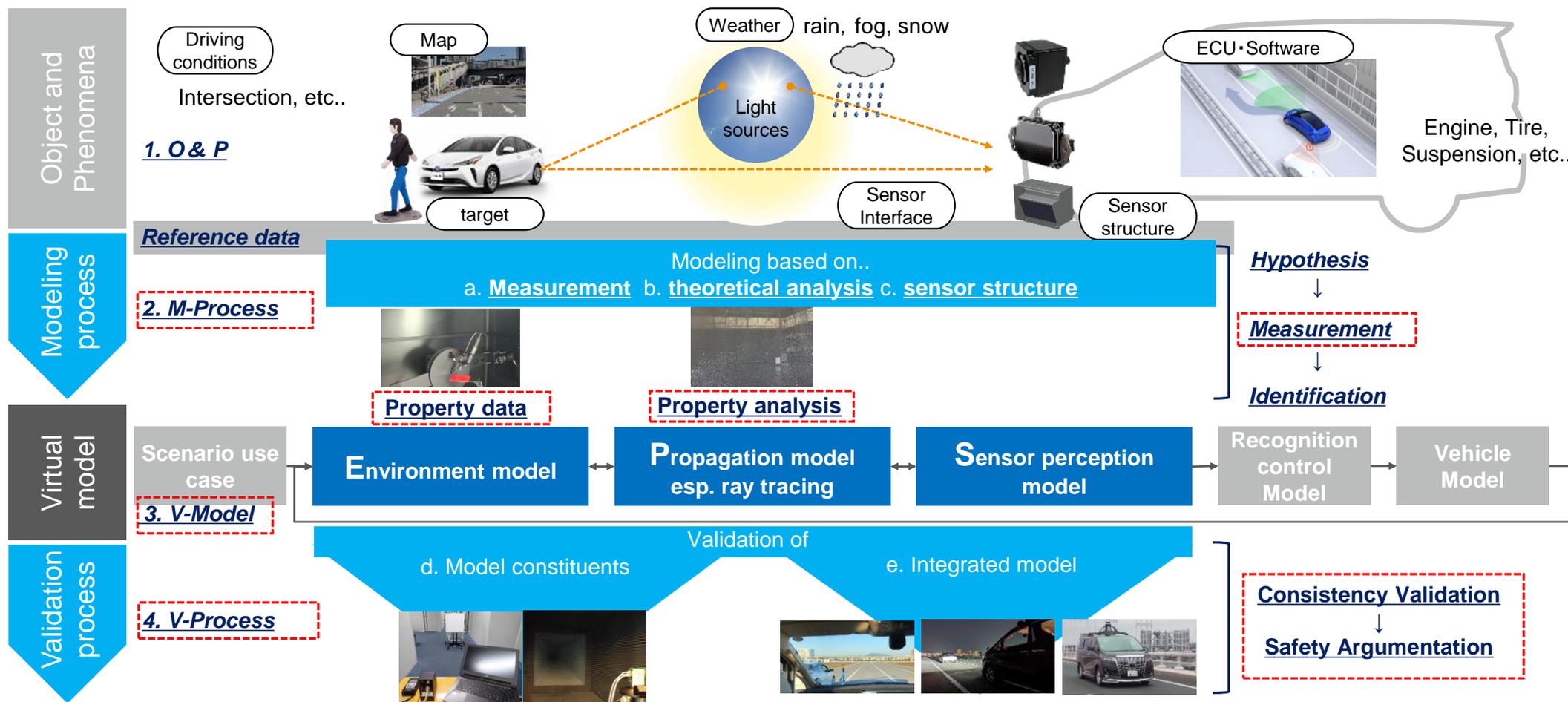
Editors: Kazuhiko Hanaya, Ken Mori, Riki Sawamura, Matthias A. Hein, and Hideo Inoue

Content

1. Introduction	1
1.1. Motivation and outline	1
1.2. Objectives and Approaches	1
2. Project overview	2
2.1. Overview across all JT	2
2.2. X-Model	4
2.3. Safety assurance framework	6
3. Modeling outline	7
3.1. A structure and study process for physical sensor modeling	7
3.2. Segmentation with decomposition applied in DIVP® and VIVALDI	9
3.3. Extracting requirements from sensor perception effects	10
4. Modeling process and results	12
4.1. Environment modeling	12
4.2. Propagation modeling	14
4.3. Sensor modeling	16
4.4. Model/data exchange and interfaces for standardization	21
5. Validation process	23
5.1. Validation of model constituents (Laboratory)	24
5.2. Validation of integrated model (installed performance on a real vehicle)	26
5.3. Validation of consistency and safety argumentation	29
6. Summary of key results and conclusions	32
6.1. Summary of key results	32
6.2. Conclusion	32

独VIVALDIとの共同研究で取り扱った、モデル化と検証手法にかかる研究成果を記載

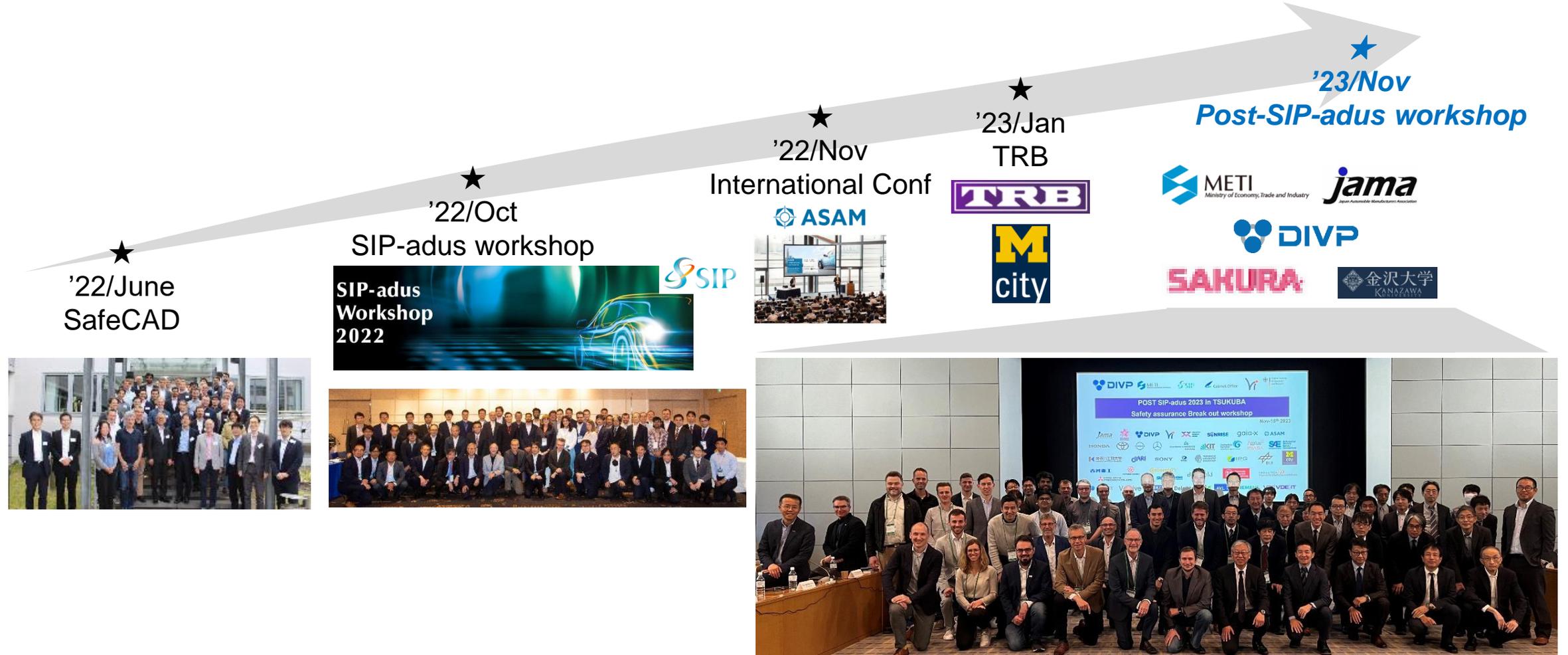
White paperの骨子



Post SIP-adus Safety assurance symposium will be conducted thru the partnership with mobility innovation alliance Japan

11/15_Background of Post SIP-adus 2023

Global Standardization toward AD-technology social implementation



11/15のBreak outには、欧州独・西、米、日から、合わせて65名に参加いただきました

11/15_Background of Post SIP-adus 2023



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

11/15_Break out workshop – Key note

Key note1 JP Research approach towards AD-safety assurance



Prof. Hideo Inoue



- VIVIDの協力を通じて、DIVPの精密な環境データ入力
はVIVALDIのセンサーモデルの連携に成功し、さらなる
I/Fなどの標準化の基盤とする

Key note2 Final results of the PEGASUS family projects and future perspectives



Dr. Henning Mosebach



- VMMはグローバルとシナリオの開発と運営、リスクマネジ
メント、安全論証、4つの要素から成り立ち、ほかのプ
ロジェクトとの継続的な連携を今後の展望とする

Key note3 VIVID : The role of sensor and environmental modeling in the virtual validation tool chain for controlling risks of automated and connected driving



Prof. Matthias Heiß



- 自動運転のリスクを制御するためには、各センサモダ
リティの検証が必要

Key note4 An approach for continuous validation services based on distributed data- and service ecosystems



Prof. Frank Köster



- シミュレーションはシステム開発やテストだけでなく、多くの
タスクに関連する
- モビリティと自動車セクター領域において、Gaia Xは今
後連携の基盤として機能する

Key note5 Mcity Safety Assessment Program for Autonomous Vehicles



Dr. Henry Liu



- 自動運転の安全性検証を行う場合、膨大なシナリオ
におけるリスクを評価・優先付けし、効果的な検証手
法の確立が肝要

Key note6 Sunrise Status report



Mr. Stefan de Vries



- 自動車のさまざまなステークホルダーのニーズを満たす、ス
ケーラブルなCCAM安全保証フレームワークを開発するこ
とを目標に、欧州の企業・研究所と引き続き連携を行
う

Key note7 North American Regulation and SAE or some other standardization status for Safety assurance



Dr. Edward Straub



- 業界全体の基準創りに関連する情報を提供し、ADS
の安全な開発、配備、運用を促進するため、一貫した
フレームワークを作成している

Key note8 Achieving interoperability with ASAM standards



Dr. Ben Engel



- データチェーン構築を目指し、様々な標準の提案が乱立
している状況
- 標準化を目指すため、オープンシナリオなど現在9つの
プロジェクトが稼働する

VIVALDI & DIVP has accelerated joint research as VIVID, today each JT leaders will share the progress and overall outcome thru co-research

11/15_ Break out workshop – VIVID



	2 - Scenario -	3.x - Sensor Model -	1 - Toolchain -	4 - Framework & metrics-
	 	 		 
	 	 		
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> Exchanged sensing weakness scenario Agreed standard for Open-material 	<ul style="list-style-type: none"> Succeed mutual data exchange between DIVP environmental model and VIVALDI sensor model Ready for I/F standardization joint study 	<ul style="list-style-type: none"> Established VILS with DIVP environmental model-data injection into VIVALDI Radar stimulator thru OTA Ready for joint study of data format & I/F standardization 	<ul style="list-style-type: none"> Compared & reached mutually understand of process & methodology Next step is to define & uniform the AD-Safety assurance standard as "VIVID"

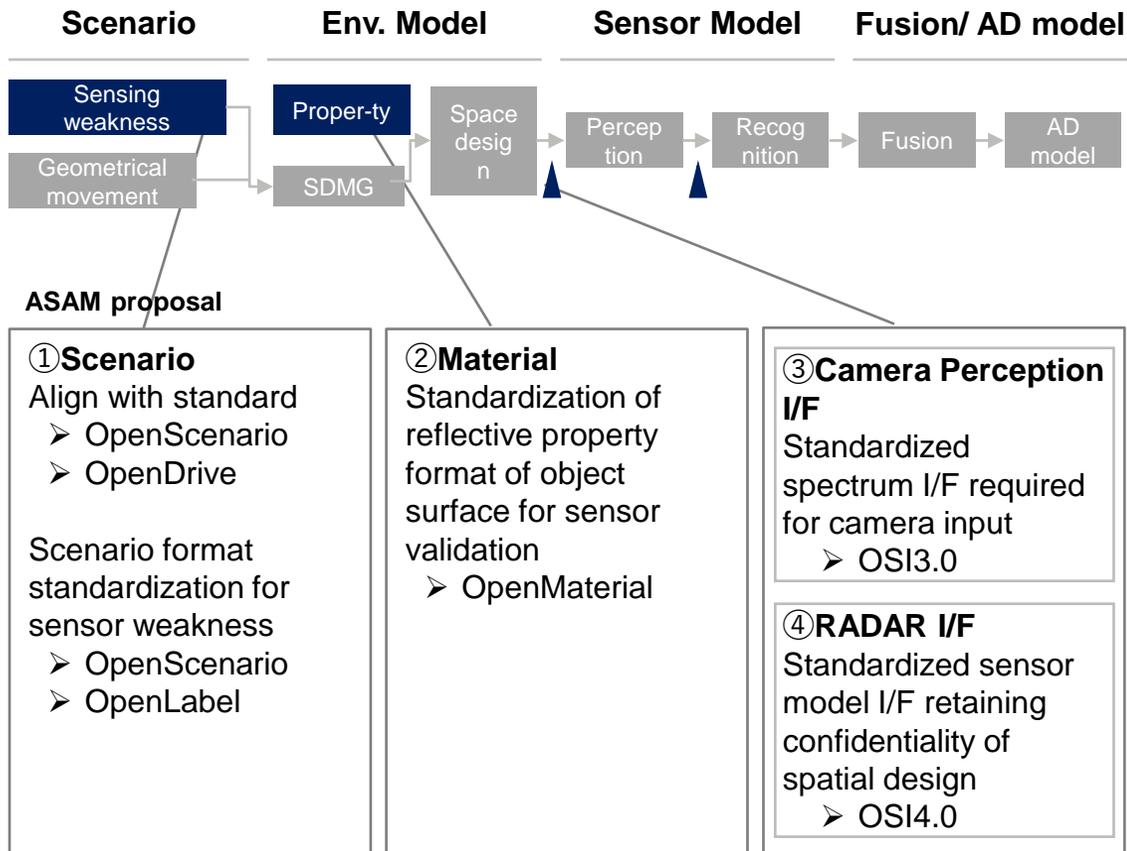
VIVID joint research outcome is targeting to Global standardization I/Fs, model formats are now under working thru ASAM initiatives

Activities and approach towards ASAM global standardization



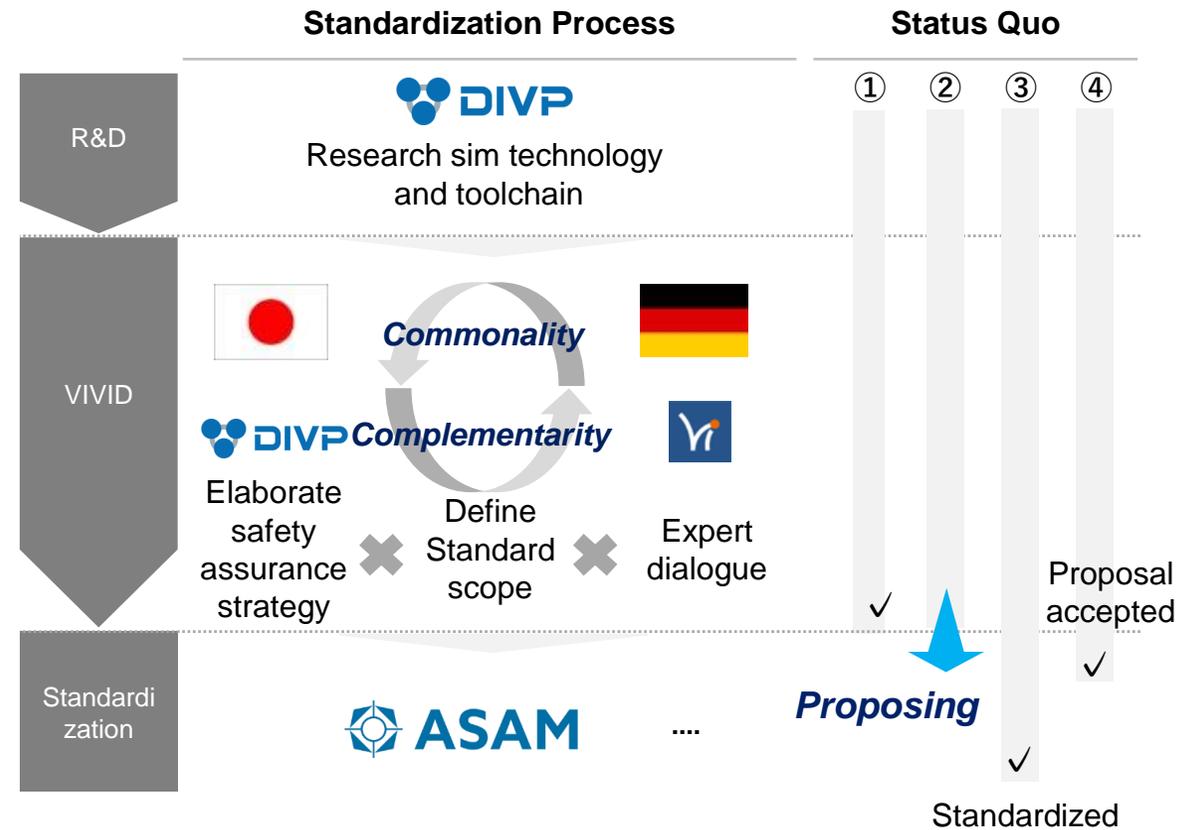
ASAM OSI/OpenX Scope of Standardization activities

- Discussing room for standardization regarding scenario/ material I/Fs



Approaches towards global standard

- Collectively working on global standardization via VIVID collaboration



海外有識者からは、Virtual simのデータエコシステムへの接続や、効率的な検証のためのシナリオアプローチ等が提案され、引き続きの国際連携の重要性が確認された

11/15_ Break out workshop – Panel discussion

- 安全性保障に統計的な推定が必要であり、すべてのセンサーが持つ不確実性を考慮しなければならない
- シナリオのモデルを構築するにあたり、プログラミング言語への変換が重要
- 今後はシナリオと評価環境を接続・連携した研究開発の推進が肝要
- 安全性保障のため、今後も日欧米間の国際連携を促進していく必要がある

- ✓ Dr. Sou Kitajima (SAKURA/JARI)
- ✓ Mr. Stefan de Vries (SUNRISE/IDIADA),
- ✓ Dr. Henning Mosebach (VVM/DLR), Dr.
- ✓ Edward Straub (SAE), Prof. Matthias
- ✓ Hein (VIVALDI/TU Ilmenau)
- ✓ Prof. Hideo Inoue (DIVP/KAIT)



日独mtgではBMWKからは引き続きに日独連携に期待感も示された、独が取り組む自動化モビリティのためのSafety assurance体系化や、データエコシステム構築にかかる取組み等が連携のポイントか

11/17_日独bi lateral meeting



Dr Moseback
PEGASUS,VVM
プロジェクトリーダー

日独シンポジウムコネクテッドカーと自動運転の安全保証における将来の可能性
 > 革新的なデータエコシステムの革新力と研究開発プロセスとの連携は、気候、社会、産業における欧州の最重要目標を達成するための成功要因である



Dr Damm
Project チェアマン

CONTROLプロジェクト概要
 > プロジェクトの目標は、車だけに留まらない高度に自動化された輸送システム全体を複雑なオープン環境での運用と、リスクコントロール
 > 車両の安全性を保障するプロセスの中で、センサーレイヤー、センサーフュージョンレイヤー、そして予測・決定レイヤーがあり、今後は予測・決定レイヤーに注力



Prof. Köster
GAIA-Xリーダー

安全性保障におけるAIと製品の統合方法
 > シミュレーションはシステム開発やテストだけでなく、多くのタスクに関連する
 > モビリティと自動車セクター領域において、Gaia Xは今後連携の基盤として機能、CatenaXやMobility data sapce等周辺プロジェクトとの連携が肝要
 > Catena-Xは自動車のバリューチェーン全体におけるエンド・ツー・エンドのデータチェーンの構築、運用、共同利用を目的とする



Prof. Inoue



Prof. Hein

安全性保障のためのデータドリブンセンサーおよび環境モデリングと検証
 > 異なるレーダーとライダーセンサーを用いた気象施設における降水研究をお互い行う一方で、VIVALDIは長期的な気象観測や散布実験を行い、DIVEでは雨滴計を使用して雨粒の直径や落下速度を研究する
 > DIVEの精密な環境データとVIVALDIのセンサーモデルを今後さらに連携させる必要がある



Stöckl-Pukall氏
(BMWK)

- 共同でデータの利用方法の枠組みを構築していかなければいけない。
- そのためにも日独間で標準化を共に推進していくことが必要



大口様
(MIAJ)

- 両国で議論を行うことで、お互い重要な情報を得られる
- 日本政府の協力を求めつつ、両国間の連携をSIP-adusが終わってからも続けていきたい



独DLR Prof.KosterよりGAIA-X活動内容のご紹介、シミュレーション x AIを活用したDigital twin構築の重要性と、社会実装にむけたユースケース開発が重要であることが強調された

Prof.KosterによるGAIA-Xのご紹介



背景

- 米中の後塵を拝した欧州のDXにおける危機感

【欧】自律分散型でデータを連携する

データ蓄積、処理、活用できる技術環境の整備が必要

概要

- 独仏の経済担当省がプロジェクトとして2019年に発表し、産学官のassociationで活動を開始した
- 目的は、ユーザーがデータの主導権を保持し、データの透明性、利用可能性、信頼性を向上させることにより、データとサービスのオープンで透明なデジタルエコシステムを構築すること

取組

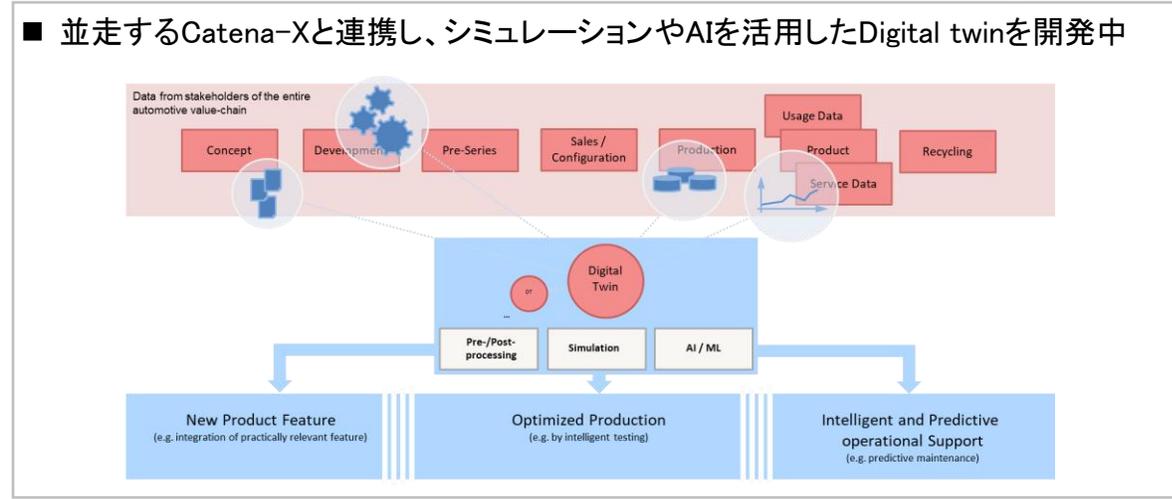
- データ活用におけるユースケース開発、リファレンス・アーキテクチャの整備
- IT、自動車、航空宇宙、エネルギー、ヘルスケア、金融サービス企業等、30ヶ国、377団体が参画中
- 自動車関連企業の他数社で始動された

Founding members

SIEMENS ...

Prof. Frank Köster
GAIA-Xコーディネータ

■ Digital twinを用いたIoTインフラの実装が肝要、グローバルでのデータ利活用を念頭にプロジェクトを進めており、日本との協業は是非検討したい



独SafeTRANSでは、様々な研究成果に基づく知能化モビリティのSafety assuranceの考え方を模索中、センサーシステムの専門家と協調した、高精度なデジタルツイン構築の重要性が示された

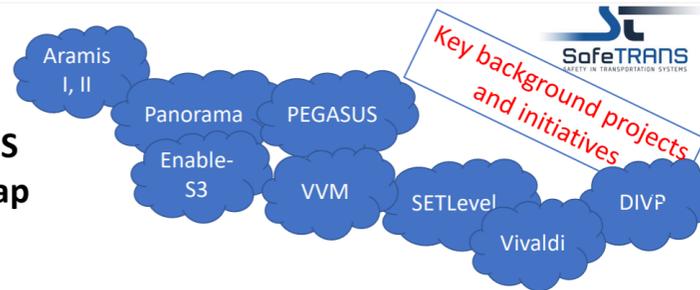
Dr.DammによるSafeTRANSのご紹介



背景

- PEGASUSやその後継プロジェクト等、様々な研究成果を束ねたaffordableなSafety assurance体系化が求められている

The SafeTRANS Closing The Gap Initiative



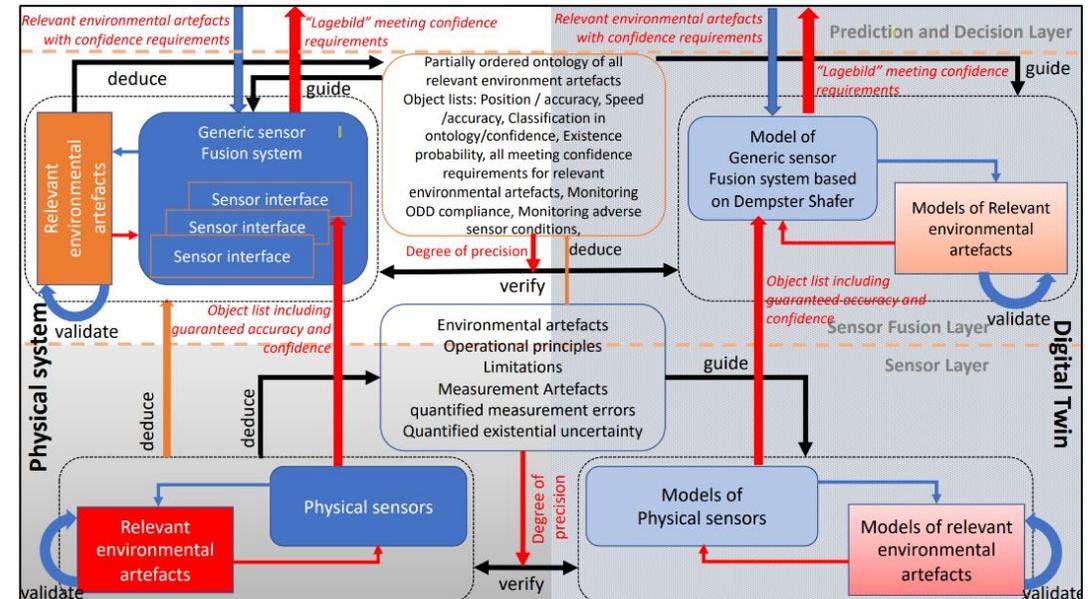
What is missing to achieve safety assurance cases for highly autonomous systems meeting standards such as ISO 26262 and ISO 21448 under affordability constraints?

概要

- SafeTransが運営するClosing The Gapイニシアチブは、ISO 26262、ISO 21448などの規格を満たし、自動運転の安全保障ケースを達成するために活動する
- このイニシアチブのひとつであるCONTROLプロジェクトは、車のみに留まらないレベル3、レベル4の高度な自動運転システム全体を複雑なオープン環境での運用と、リスクコントロールすることを目標とし、主にパーセプションチェーンの質に焦点をあてる
- 主要な参加者



- 車両の安全性を保障するプロセスの中で、センサーレイヤー、センサーフュージョンレイヤー、そして予測・決定レイヤーがあり、今後は予測・決定レイヤーを組み込まなければいけない
- 自動車業界が**高精度のデジタルモデル**を使った環境や知覚システムの運転により、テストフリーだけでなく、高度な自動運転に向けた学習曲線の大部分を達成することを可能にするが、このようなデジタルツインで高いレベルの精度を達成するには、業界と研究の協調した努力が必要であり、モデリングおよび検証と確認のトップ専門家を知覚チェーンのすべてのレベルで統合し、**センサーシステムの専門家と協力する必要がある**



11/16ではJARIテストコースにて、現物や実車を交えた日本のSA活動をご紹介、国内外からの参加者から多くのポジティブなご意見や、今後の継続に対する期待をいただいた

11/16 テクニカルツアー@JARI

内容

- 3プロジェクト連携でのSA推進のご紹介
- 各Projの活動内容を、パネル、動画、現物（計測車両、センサーなど）を使ってご紹介
- 多目的市街地での一般道評価シナリオデモ
- 全方位ドライビングシミュレータ見学

所感

- *Very impressive!、面白い!、参考になる!、コラボしたい(EU)、来年も期待している、等、多くの海外参加者からコメントを頂いた。*
- *国内参加者も含め、非常に興味を持って満足頂き、METI安全性評価プロジェクトの意義が伝わった良い機会であった*



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

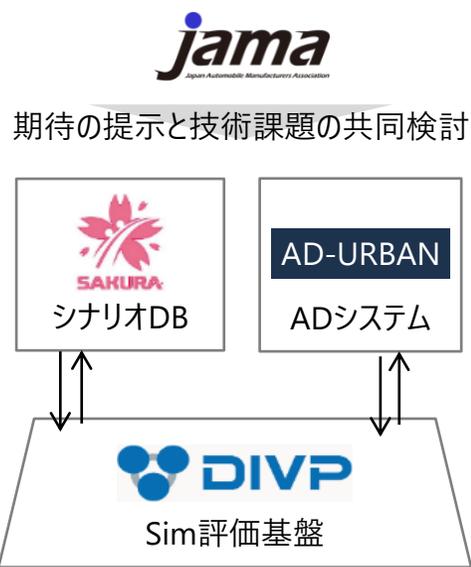
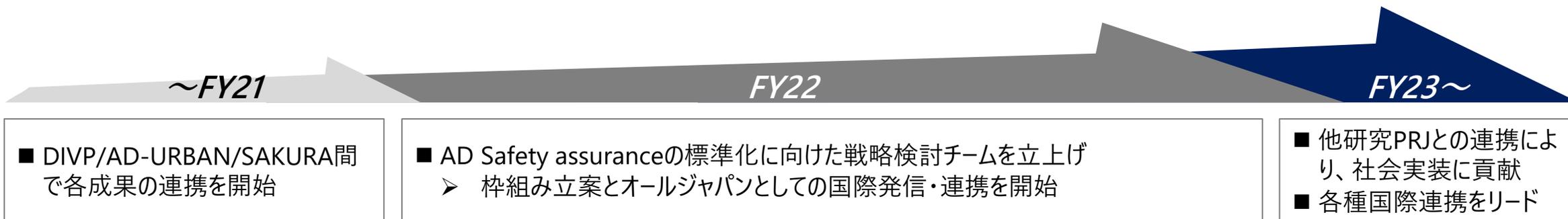
(3) センサ弱点事象の特定と事象の拡張

(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

FY21に3-PRJ間を接続、FY22ではSafety assuranceの枠組みを検討し国際的な賛同を得た、FY23からは具体的なSafety assuranceの評価体系や評価基準等の具体化を進める

FY23以降の活動方針

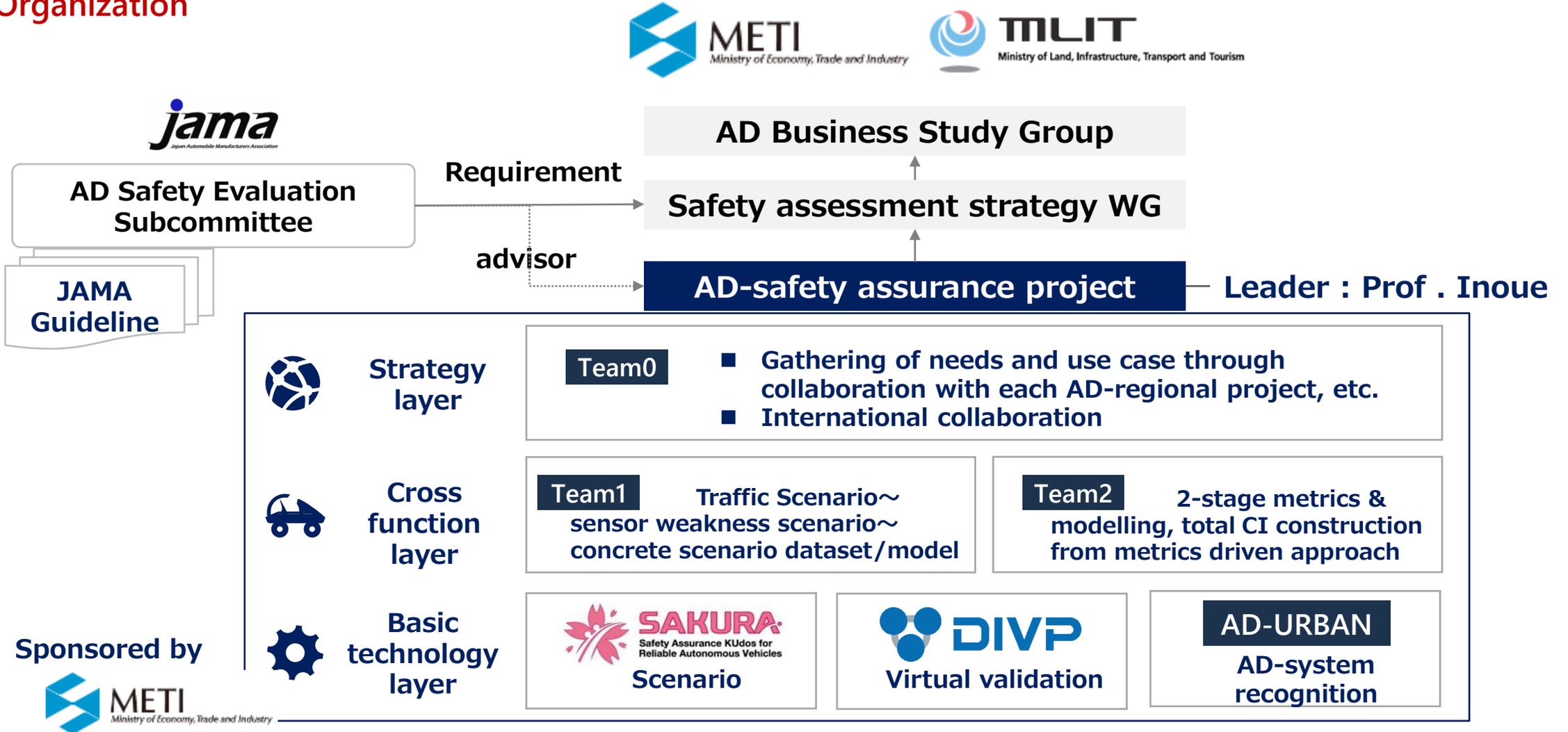


- ▶ 各地域実証への貢献
 - RoAD to the L4 ...
- ▶ 国際連携・国際標準化
 - YI, PEGASUS, VERIFICATION VALIDATION METHODS, SET Level, ASAM, ISO, SAE INTERNATIONAL, UL, IEEE ...



From FY23, commissioned by METI ,3 Projects (Sakura/DIVP/AD-URBAN) are working together to consider AD-SA platform

Organization



地域実装等の各種ニーズに基づく安全性評価基盤の構築と、それらを支える研究体制にて成果を目指す

安全性評価基盤TFの研究体制

目指す姿 ■ 自動運転技術導入に対する地域ニーズ ■ サービス向上にむけた一般道対応等のODD拡張 ■ オーナーカーの自動運転技術のレベルアップ



成果の発信

Team0

- 3PRJリーダー間での研究企画や成果の検証
- 各地域実証やOEMとの連携によるニーズ・UCの収集
- 研究成果に基づく地域実装者や技術開発者への発信

各PRJリーダー：井上教授、北島様、菅沼教授
(DIVP-PMが事務局運営)



プロジェクト間の連携を通じた 安全性評価基盤の構築

Team1

- UCに基づくシナリオと評価指標の検討

SAKURA

シナリオ・評価指標



シナリオモデル生成

Team2

- Virtual評価結果とシステムの結合による、2-stage評価の確立



Virtual評価結果

AD-URBAN

refシステム



基盤開発を支える 要素技術の開発

SAKURA

- AD開発動向に応じたシナリオDB更新や安全性評価体制構築



- 安全性評価Sim構築及び2ステージの安全性評価指標の構築

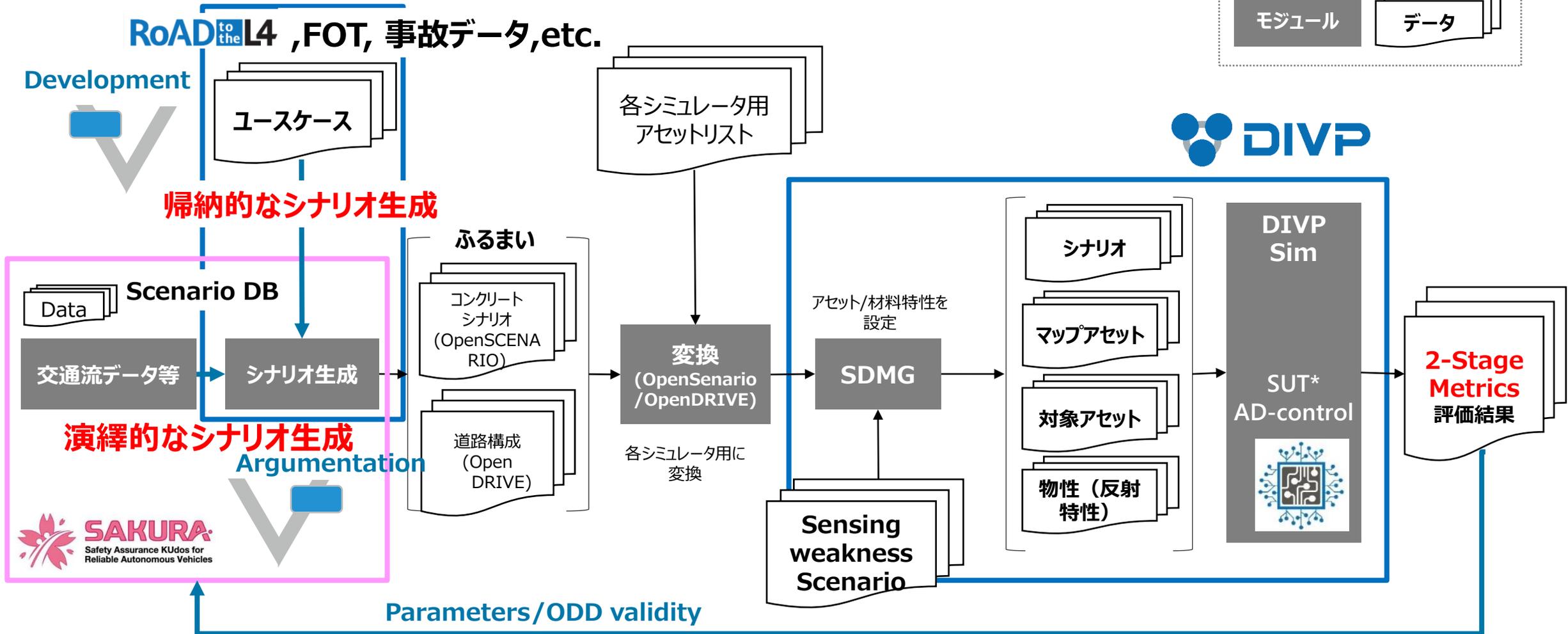
AD-URBAN

- 認識技術、システム制御の研究開発

一般道のシナリオ要因は多岐に亘るため、演繹的なアプローチに加え、安全観点からの帰納的なアプローチ (RttL4ユースケース, FOT, 死亡事故データ等) で、テスト条件生成 (C-scenario) を実施した。

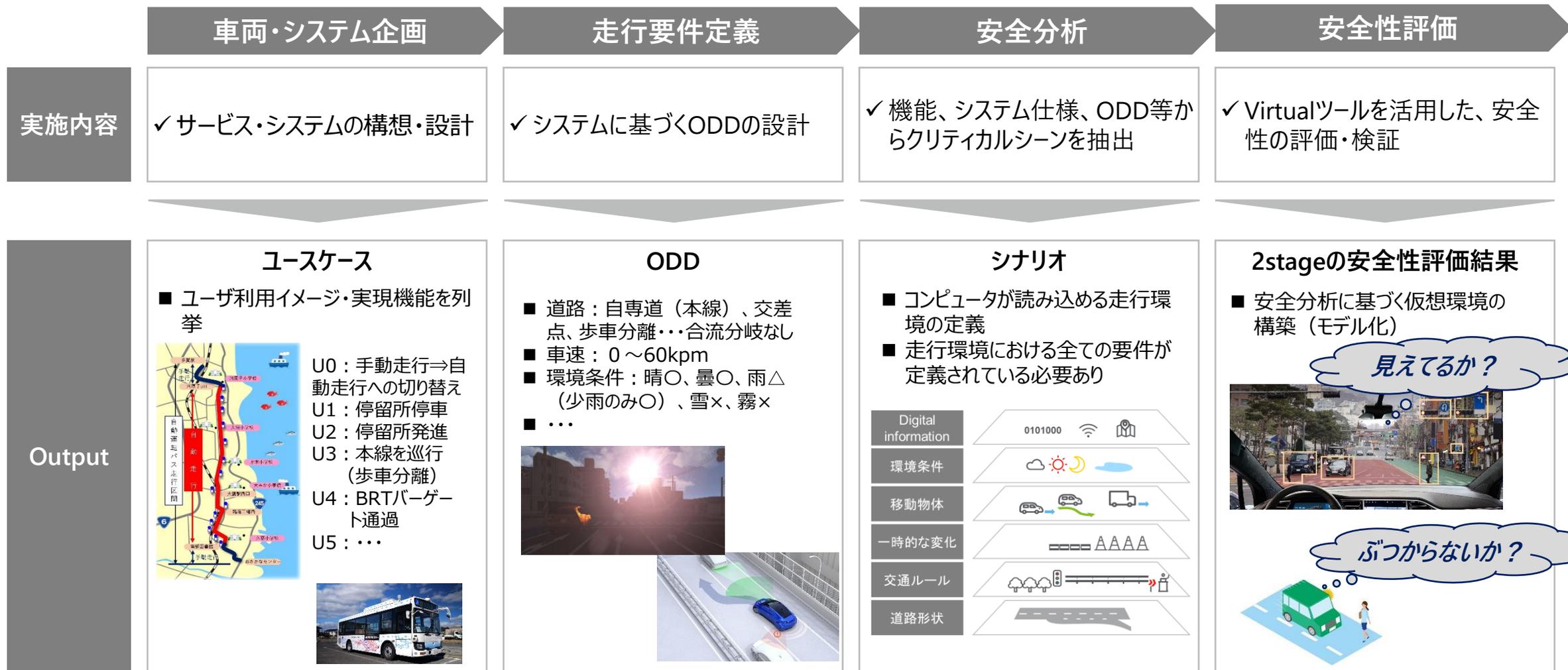
演繹的・帰納的なシナリオ生成

判例



システム企画から安全性評価まで、一貫したフレームワークの提供を目指す、 さしあたって2023年度は、日立BRT磯坪交差点を例題に、フレームワークの実装をトライ

安全性評価のフレームワーク



安全性評価を行う場合、時間や気象条件等、道路形状や自社・他社の位置関係以外にも、走行環境の全ての階層の関連要素の結合によりシナリオ生成、現場の困りごとをユースケースとして整理したい。

ユースケースとシナリオ

ユースケース

- 走行環境の情景/イメージ等，当事者経験・知識を人間言語で具現化
- いつ、なにが、どこを、どう、走るのか??等

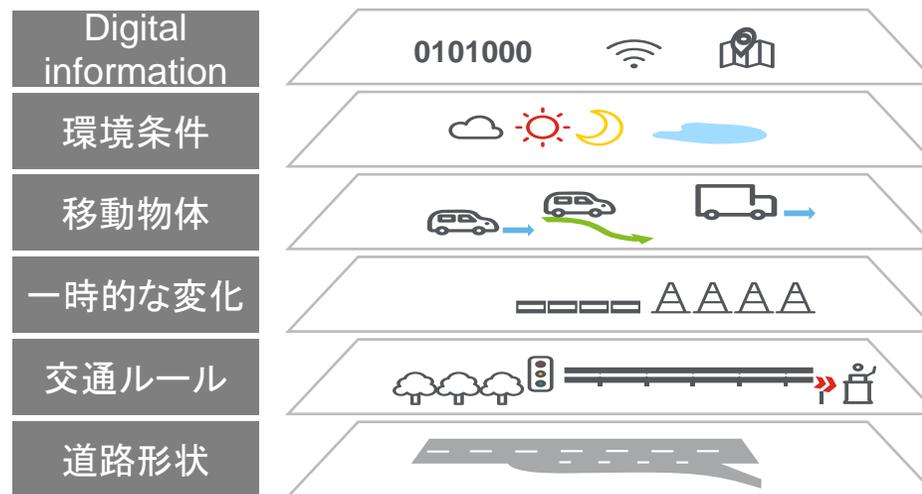


- U0 : 手動走行⇒自動走行への切り替え
- U1 : 停留所停車
- U2 : 停留所発進
- U3 : 本線を巡行 (歩車分離)
- U4 : BRTバースト通過
- U5 : …

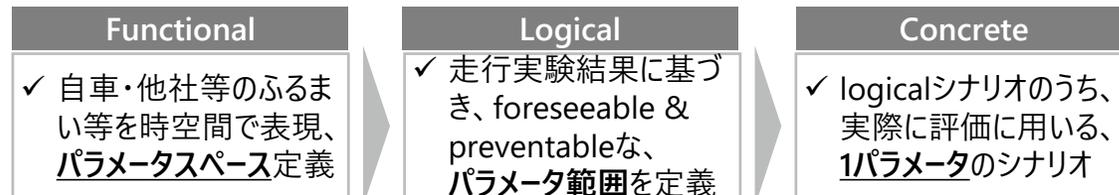


シナリオ

- 安全性評価を目的に、ユースケースにパラメータ要素等を付与し、コンピュータが読み込める入力データを生成していく



時間や気象条件等、走行環境の関連要素の結合により生成



外部発信

2023年度は 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	2024.3.22	GTC2024 Japan AI Day	半教師あり学習及び能動学習やドメイン適応を用いた深層学習によるミリ波レーダを用いた走行環境認識技術 Advanced driving environment recognition using millimeter-wave radar by deep neural networks applying semi-, active learning and domain adaptation	秋田時彦	豊田工業大学
2	2024.3.21	Autonomous Vehicles USA2024	Imaging Radar Applying Advanced Deep Neural Network Techniques	秋田時彦	豊田工業大学
3	2023.11.2	第13回豊田工業大学スマートビークル研究センターシンポジウム	ミリ波レーダを用いた走行環境の高精度な認識（イメージングレーダ）	秋田時彦	豊田工業大学
4	2023.10.23	ICVES 2023: 17. International Conference on Vehicular Electronics and Safety	Accuracy Improvement of Traffic Participant Classification Using Millimeter-Wave Radar by Leveraging Simulator Based on Domain Adaptation	秋田時彦, 三田誠一	豊田工業大学
5	2023.9.25	ScaleUp 360° Automotive AI Europe	Imaging Radar applying Advanced Deep Neural Network Techniques	秋田時彦	豊田工業大学
6	2023.9.22	Workshop “Virtual Validation of ADAS with Automotive Sensors” in 26 th edition of the European Microwave Week	Environment Recognition Using Deep Learning	秋田時彦	豊田工業大学
7	2023.7.28	ASAM Regional Meeting Japan	Suggestion for standardization: DIVP Material for ASAM OpenX standards.	屋間詔仁	BIPROGY

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

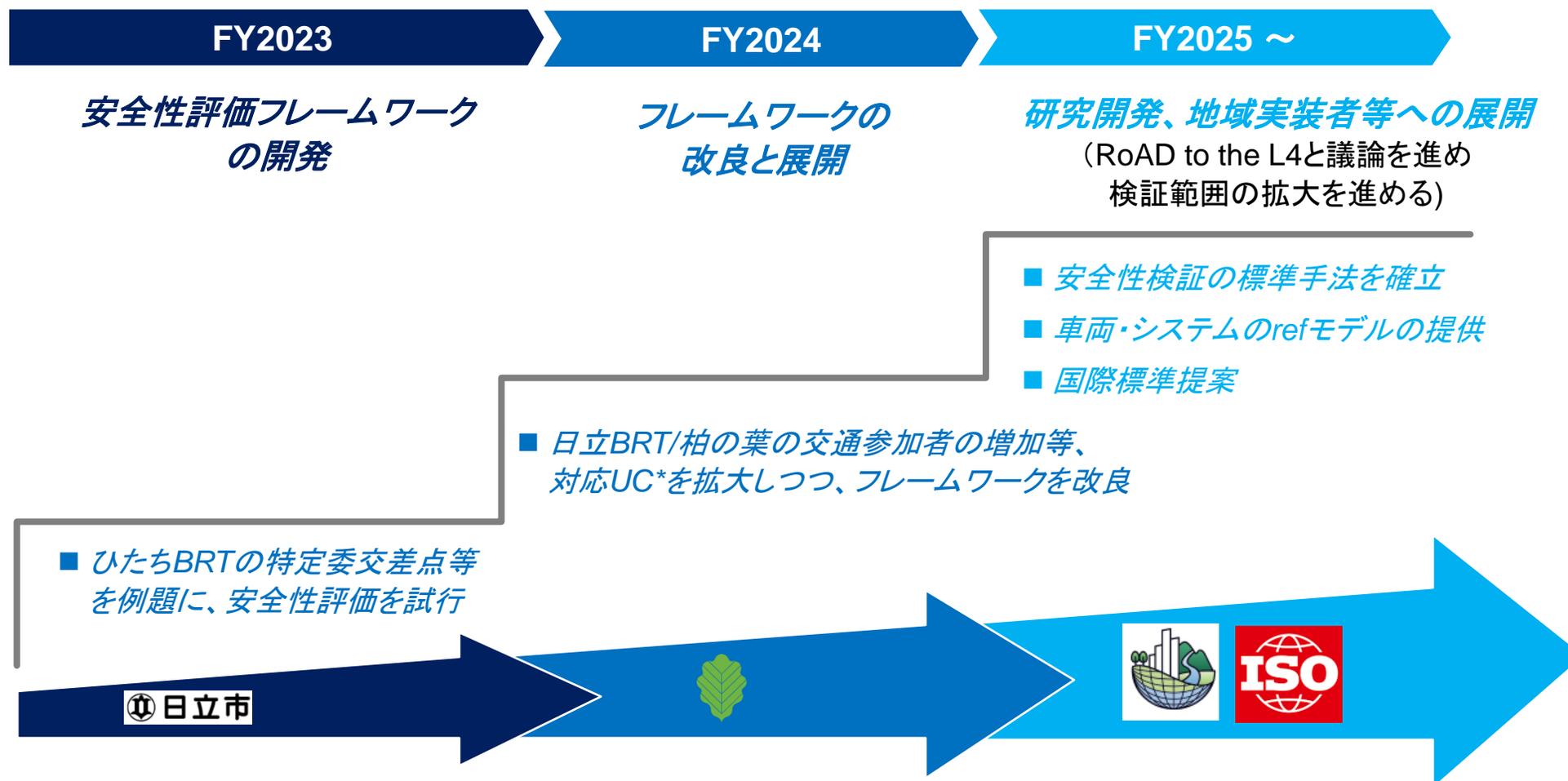


周辺プロジェクトとの連携検討における進捗状況

周辺プロジェクト	キーパーソン	ステータス
デジタル全総	葛巻様 (元SIP-2期PD)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/9/13 葛巻様よりデジ全Prj概要のご紹介をいただき、年内目途で、次年度以降のSafety assurance 3-prjにおける研究計画の更新案を検討する運び
Road to the L4 全体	横山様 (産総研招聘研究員/ 経産省プロジェクトコーディネータ)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/10/20 DIVPのテーマ内容を共有、各チームリーダーとの具体的な議論ののち連携をとることで合意、DIVP(デロイト)にて各チームリーダーとの個別議論の場を調整中
Road to the L4 テーマ1	加藤様 (産総研主席研究員/ テーマ1・2リーダー)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/11/24 12/8に加藤様と初回の個別議論の打ち合わせを予定
Road to the L4 テーマ2	加藤様 (産総研主席研究員/ テーマ1・2リーダー)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/11/24 12/8に加藤様と初回の個別議論の打ち合わせを予定
Road to the L4 テーマ3	小川様 (ネクスティ エレクトロニクス技監/ テーマ3リーダー)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/11/6 DIVPへのニーズがあるため、前向きに進めることで合意、OEM担当者も交えてユースケース等の具体的な実施事項を協議
Road to the L4 テーマ4	中野様 東京大学生産技術研究所 教授/ テーマ4リーダー)	<ul style="list-style-type: none"> ■ '23/11/24 一部DIVPへのニーズがあるため、次回は具体的なシーンに関する打ち合わせを日程調整中
SBIR	葛巻様 (元SIP-2期PD)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 23/11/28 公募開始、安全性検証の具体的な取組みについて11/29交通研様と検討予定

国内の自動運転の実証実験・サービス実装の促進を下支えすべく、各地の地域実証実験プロジェクト等と連携しながら試行・導入、L4実装を支えるVirtual安全性検証の標準手法の確立を目指す

社会実装を目指した研究の計画



* ユースケース