

「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期自動運転(システムとサービスの拡張)」のうち
「仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発」



DIVP™

Driving Intelligence Validation Platform

令和元年度成果報告

Weather Forecast



AD safety Assurance*



For Validation & Verification Methodology

Agenda

■ プロジェクト設計

■ 令和元年度の研究成果

■ 実用化を目指す検討

About the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP)

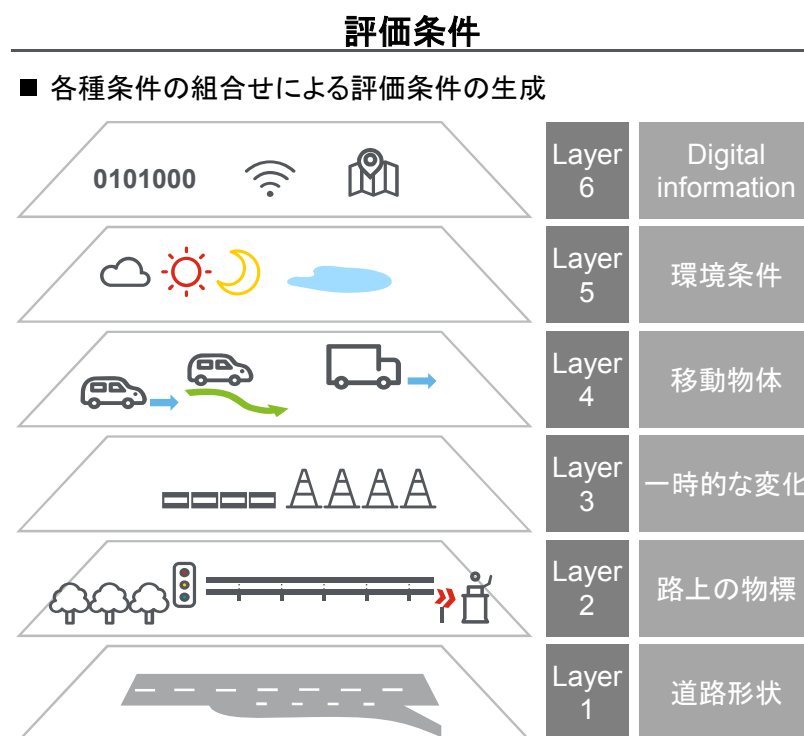
This is a program for achieving science, technology and innovation as a result of the Council for Science, Technology and Innovation exercising its headquarters function to accomplish its role in leading science, technology and innovation beyond the framework of government ministries and traditional disciplines.

The program strives to promote research and development in a seamless manner from the basic research stage to the final outcome by endeavoring to strengthen cooperation among industry, academia and government under the strong leadership of the Program Director (PD)

プロジェクト設計

多様な走行条件における安全性検証を、複数の実験評価手法の組合せにより評価するAD安全性評価手法の確立が、社会受容性の醸成を進める要諦に

AD安全性評価体系



評価試験の実用性を考慮すると、シミュレーション評価の精度向上とシーン拡大が、求められる

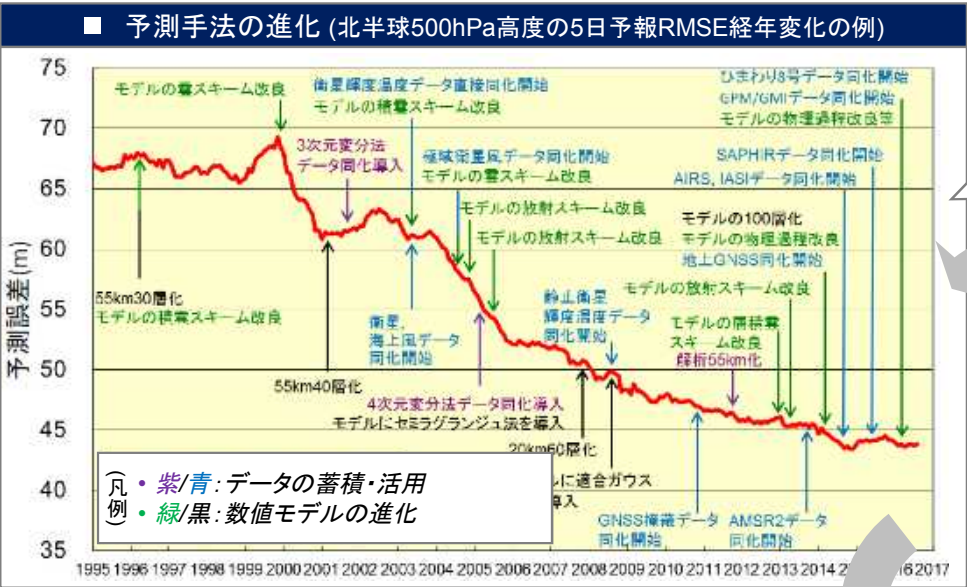
*VILS : Vehicle in the Loop

Source : Mitsubishi Precision Company, Limited, Kanagawa Institute of Technology

DIVP™ Consortium

シミュレーションを用いた現象予測の先行事例として天気予報を参考にすると、予測手法と、それを支える計算機の長期的な進化の積み重ねが欠かせない

天気予報の予測精度向上の歴史



予測手法は2要素、
■ データの蓄積と活用
■ 数値モデルの進化
これらの進化を繰り返し、
予測誤差は25年間で約30%向上

■ 計算負荷の増大に対応し計算機を
進化、演算性能は約50年で700億倍

■ 手法に対応した計算機の進化

	1959年	2015年	経年での進化
■ 主記憶用要	36KB	108TB	30億倍
■ 最大演算性能	12Kflops	847Tflops	700億倍
■ モデル	北半球モデル	全球モデル	
■ 水平解像度	381km	20km	約20倍
■ 鉛直層数	1層	100層	100倍
■ 予報頻度	1/day	4/day	

「データの蓄積と活用」と「数値モデルの進化」、これを支える「計算機の進化」、
三位一体の進化を長期的に継続していく取り組みが欠かせない

天気予報では、三位一体の取組みにより長期的な進化を遂げてきた

観測
(地上・気象・衛星観測など)

観測データの取得

観測データのクレンジング

観測データのマスへの割り当て

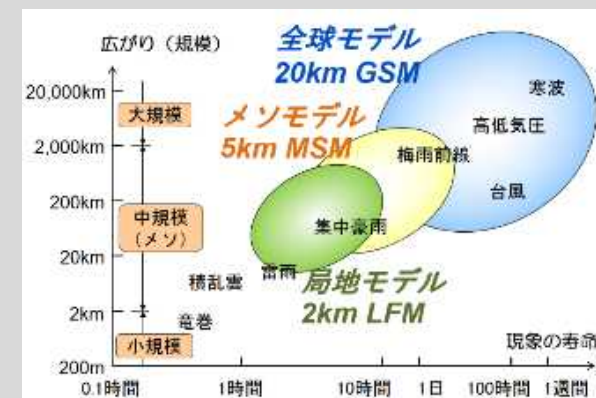
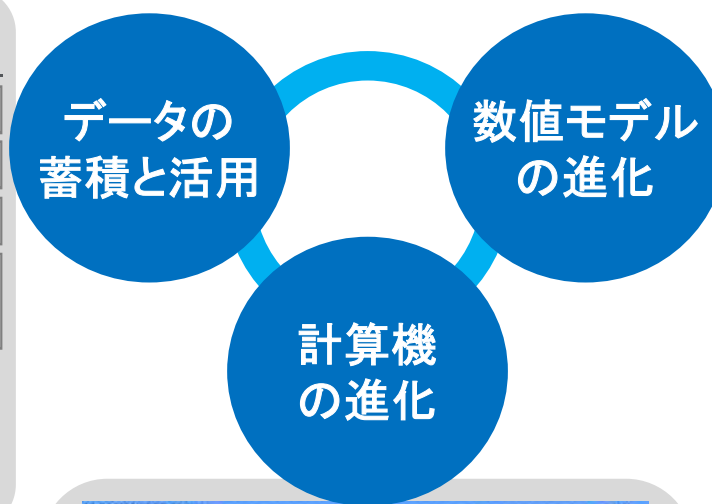
予測データの算出

予測データへの加工

天気予報
(人質による判断・修正)

■ 取得	■ データの計測
■ 処理	■ ノイズの除去等
■ 構造化	■ 活用・目的に応じたデータベース化
■ 活用	■ 目的に応じたデータ選出・加工

データバリューチェーン体系



目的に応じた多様なモデル体系



演算性能進化の歴史

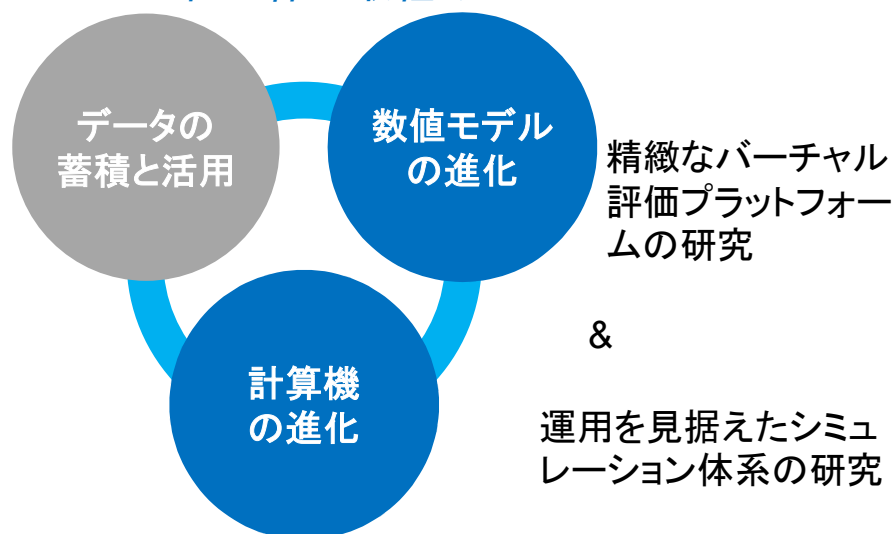
先行して人間の社会・生活行動に浸透している天気予報が数値計算による現象予測の好事例、この三位一体の取り組みを参考に、DIVP™では「数値モデルの進化」、「計算機の進化」に取り組む

DIVP™目指す姿



取り組みの範囲

三位一体の取り組み



目的

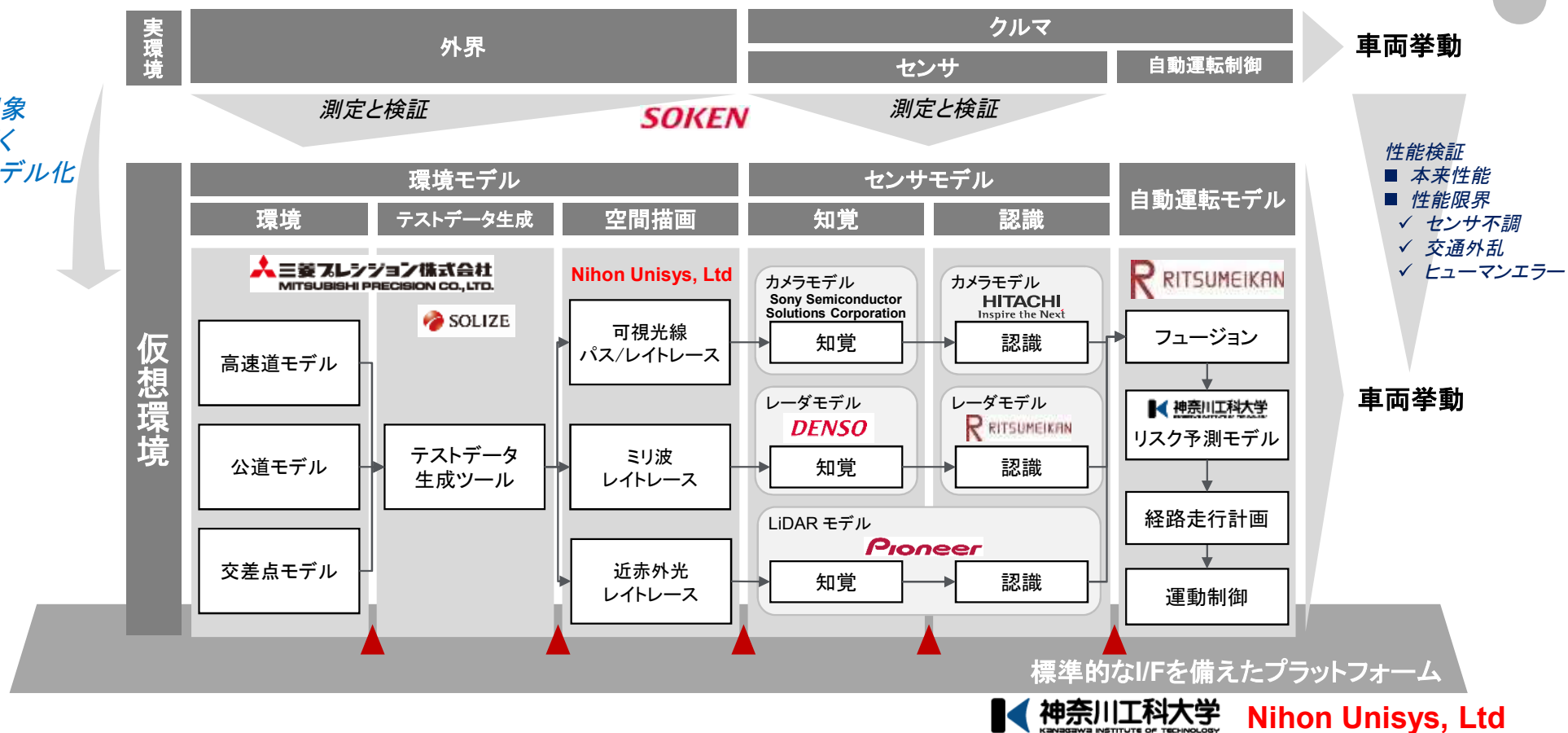
- 標準のオープンインターフェース
- 妥当性の有る一致性検証に基づく、標準的な評価プラットフォーム
- 環境とセンサのペアモデルに基づく、現実環境との一致性を高める取り組み

DIVP™は社会に受容される、消費者目線の自動運転の安全性評価を実現するため、シミュレーションを活用した安全性評価環境の構築を目指す

実環境の物理現象をバーチャル空間に再現すべく、シミュレーションプラットフォームを設計、エキスパート10団体によるDIVP™コンソーシアムを形成し研究開発を進める

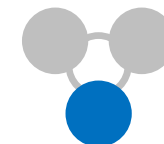
DIVP™ 設計

物理現象
に基づく
仮想モデル化

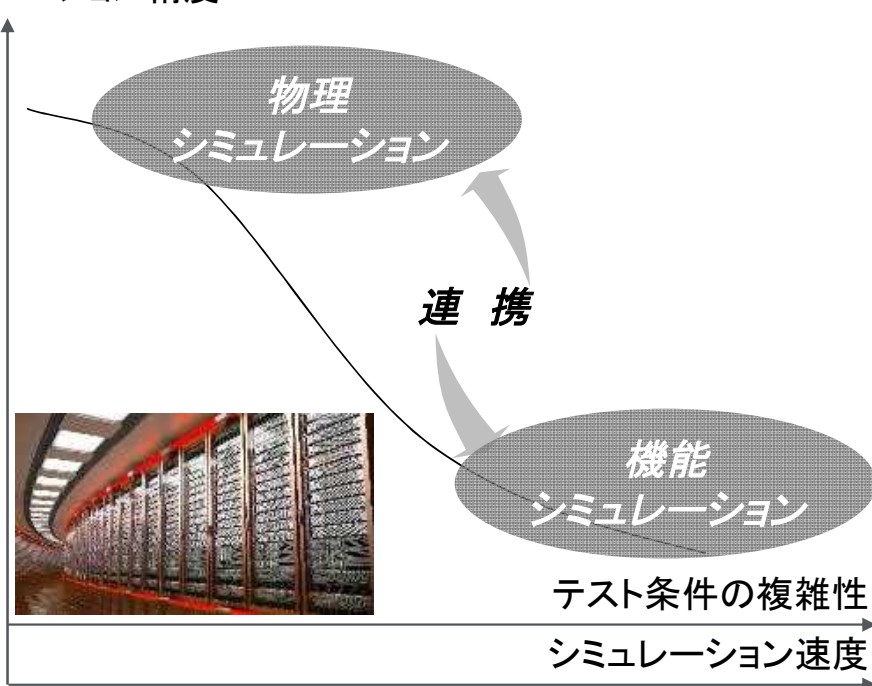


研究を進める精緻な物理シミュレーション、高速な機能シミュレーションの精度・速度をバランスし連携を図る体系を構築することにより、実運用で想定される多様なユーザーニーズへの対応を目指す

DIVP™ が目指すシミュレーション体系



シミュレーション精度



■物理シミュレーション
高精度に物理現象を再現する、精緻なシミュレーション

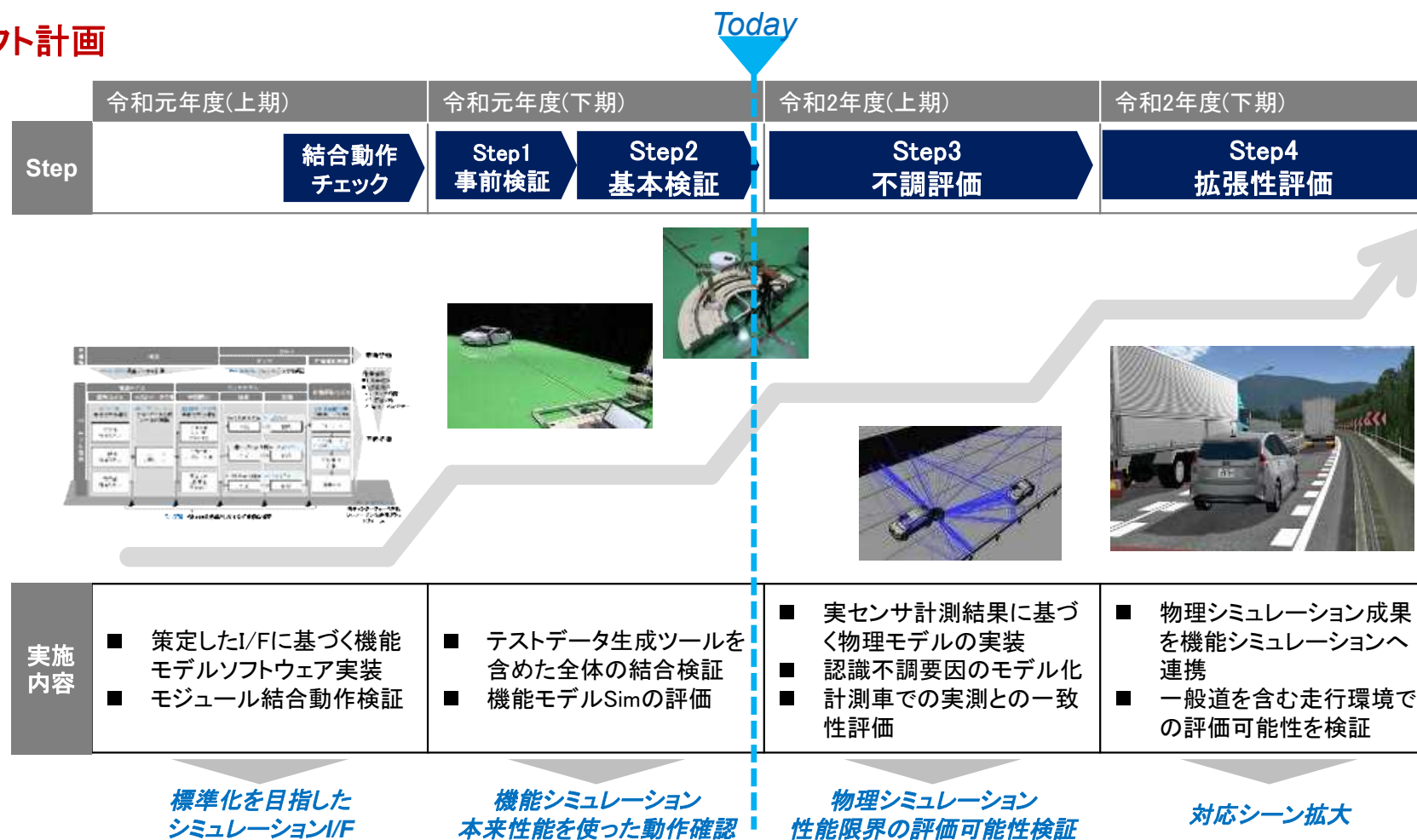
■両シミュレーションを連携し、精度と速度をバランス

■機能シミュレーション
リアルタイムにシステムを評価する、高速なシミュレーション

研究成果を蓄積・運用していくためのデータベースづくりの構想についても検討していく

物理現象の原理・原則に基づく精緻なシミュレーションを構築し、段階的な検証と拡張を行う

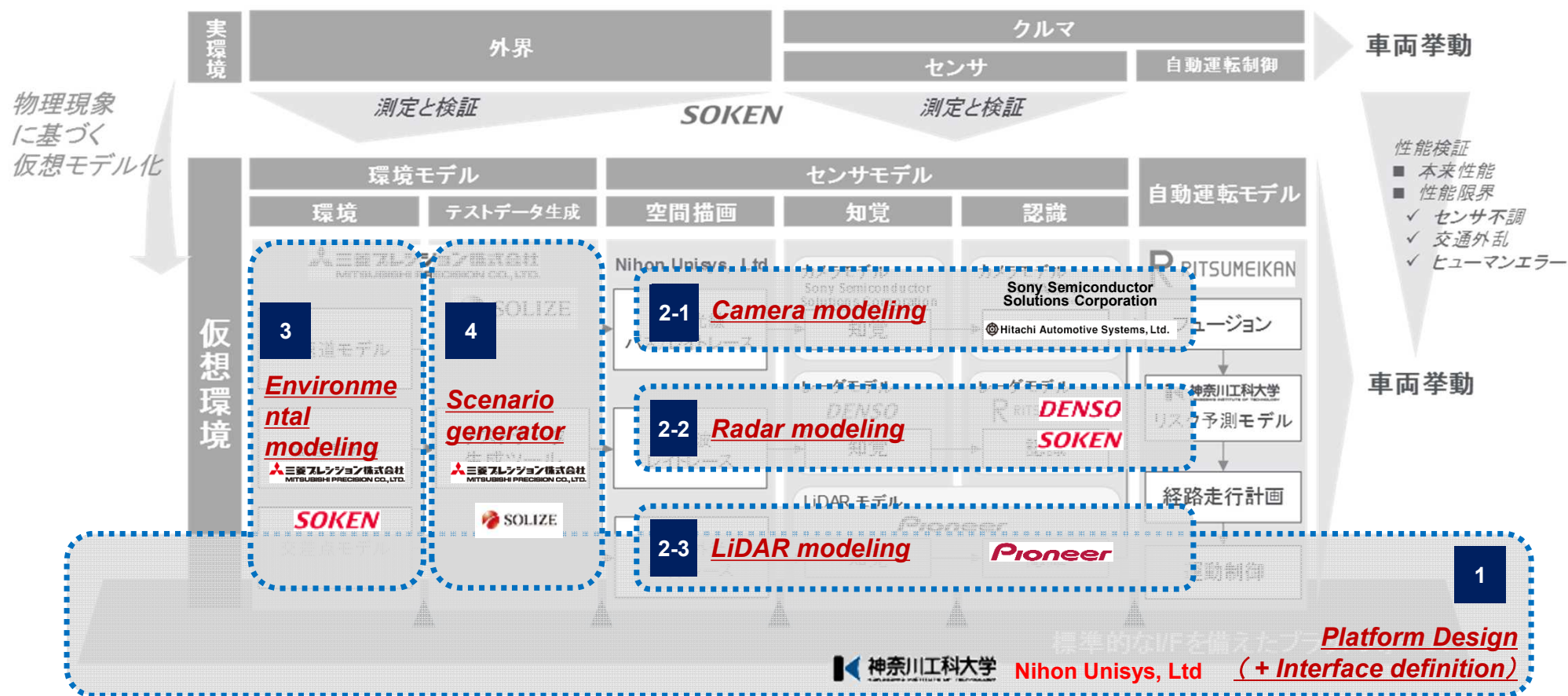
プロジェクト計画



令和元年度の成果

- 1 標準I/Fの設計、
- 2 各センサ原理に基づく環境とセンサのモデル化、
- 3 シミュレーション環境を構築するシナリオジェネレータ、それぞれについて研究成果を得た
- 4

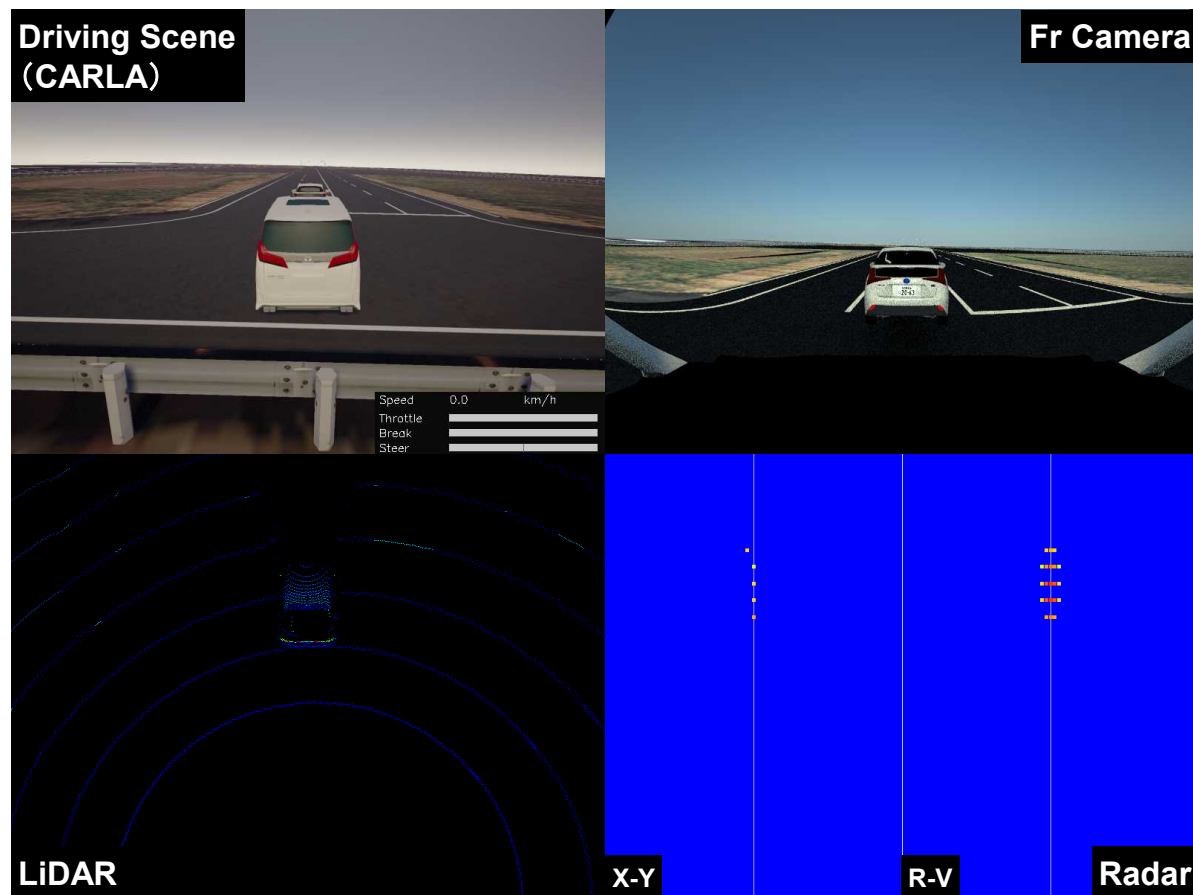
Outcome mapping



カメラ、Radar、LiDAR、3つのセンサに対応した環境モデル、空間モデル、センサモデルを実装した
DIVP™シミュレーションを結合・動作、実験結果との比較検証に供する

DIVP™ 各センサ知覚出力 Sample

Hitachi Automotive Systems, Ltd. **DENSO** **Pioneer**
神奈川工科大学 **Nihon Unisys, Ltd**

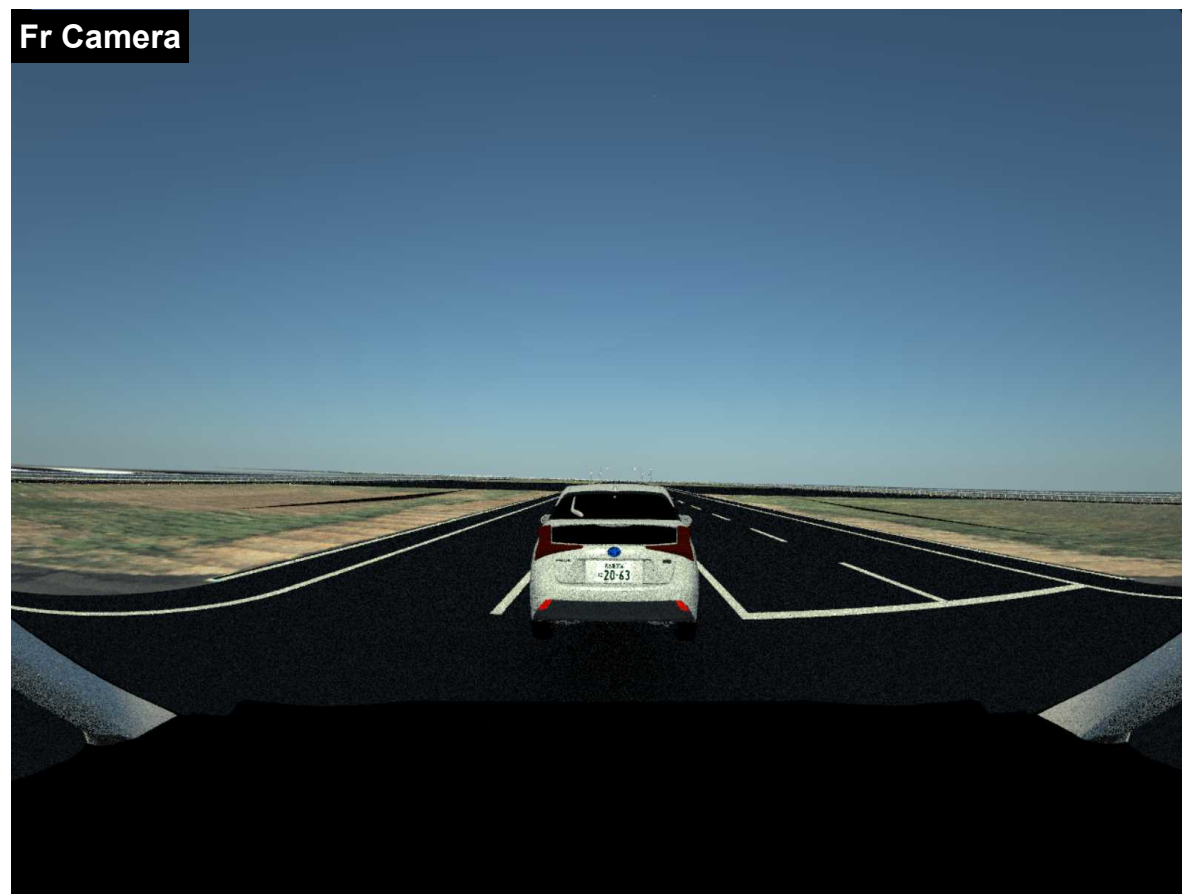


カメラ、Radar、LiDAR、3つのセンサに対応した環境モデル、空間モデル、センサモデルを実装した
DIVP™シミュレーションを結合・動作、実験結果との比較検証に供する

DIVP™ カメラ知覚出力 Sample

Hitachi Automotive Systems, Ltd. **DENSO** **Pioneer**

神奈川工科大学 **Nihon Unisys, Ltd**



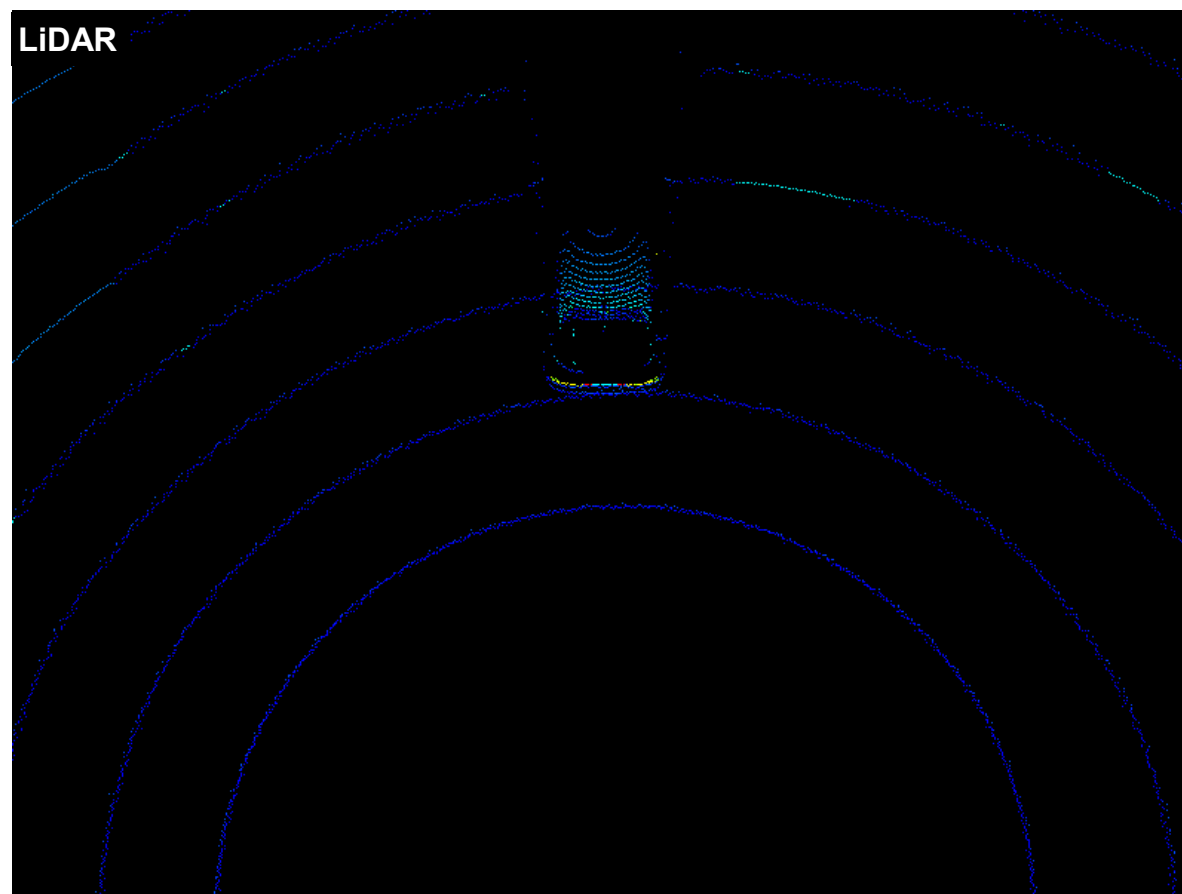
Source: Copyright © CARLA Team 2019.

DIVP™ Consortium

カメラ、Radar、LiDAR、3つのセンサに対応した環境モデル、空間モデル、センサモデルを実装した
DIVP™シミュレーションを結合・動作、実験結果との比較検証に供する

DIVP™ LiDAR知覚出力 Sample

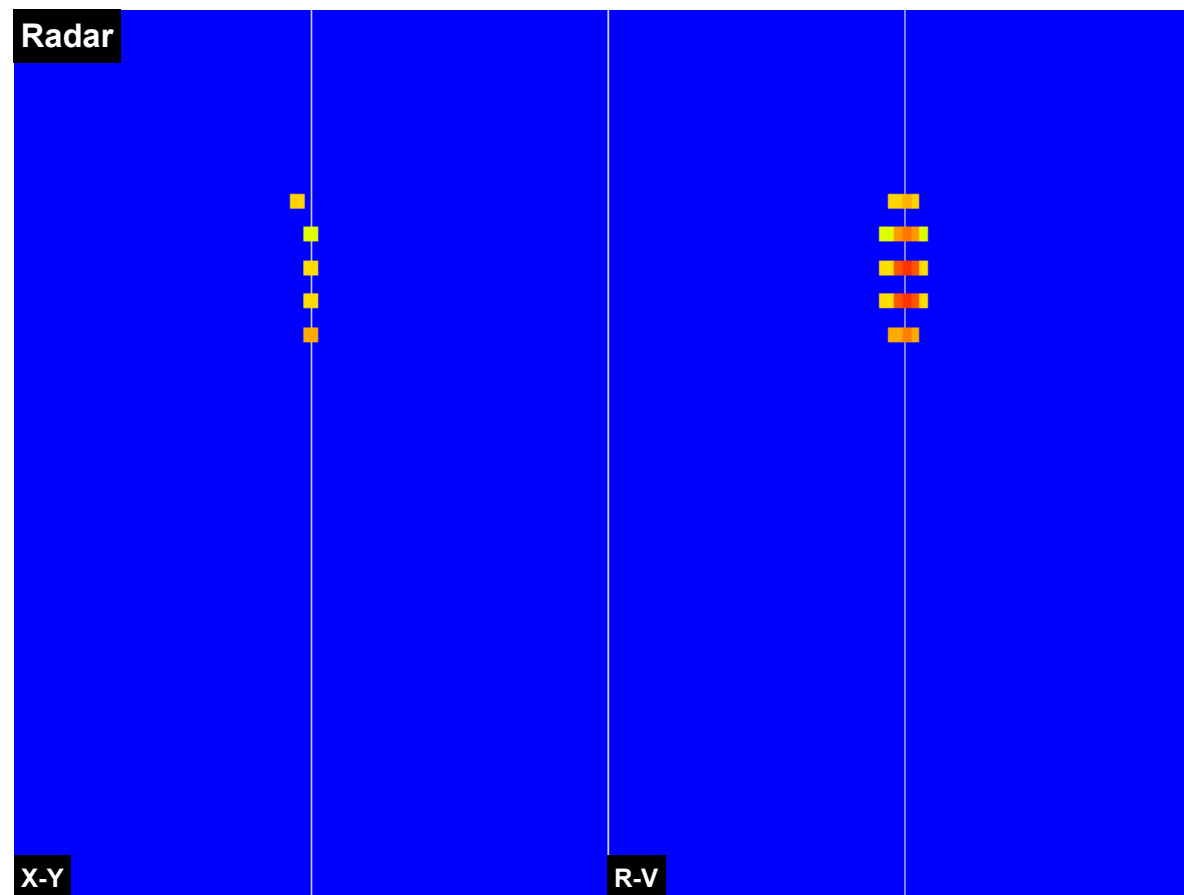
Hitachi Automotive Systems, Ltd. **DENSO** **Pioneer**
神奈川工科大学 **Nihon Unisys, Ltd**



カメラ、Radar、LiDAR、3つのセンサに対応した環境モデル、空間モデル、センサモデルを実装した
DIVP™シミュレーションを結合・動作、実験結果との比較検証に供する

DIVP™ Radar知覚出力 Sample

Hitachi Automotive Systems, Ltd. **DENSO** **Pioneer**
神奈川工科大学 **Nihon Unisys, Ltd**



実験計測に基づくReal/Virtualの一致検証のサイクルに基づき評価環境を拡大、 Proving ground上での静的な対象物を置いたデータ計測を実施し、シミュレータとの一致性を検証

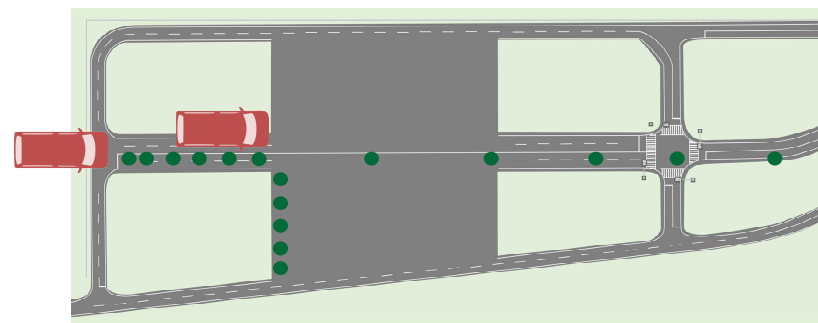
検証のロードマップ

SOKEN



静的実験

- Jtown多目的試験場にてターゲットに位置と姿勢を変化



Legend : 実験車:アルファード : ターゲット:プリウス、NCAPダミー人 / 自転車

計測の様子



ターゲット



各センサ特有の計測

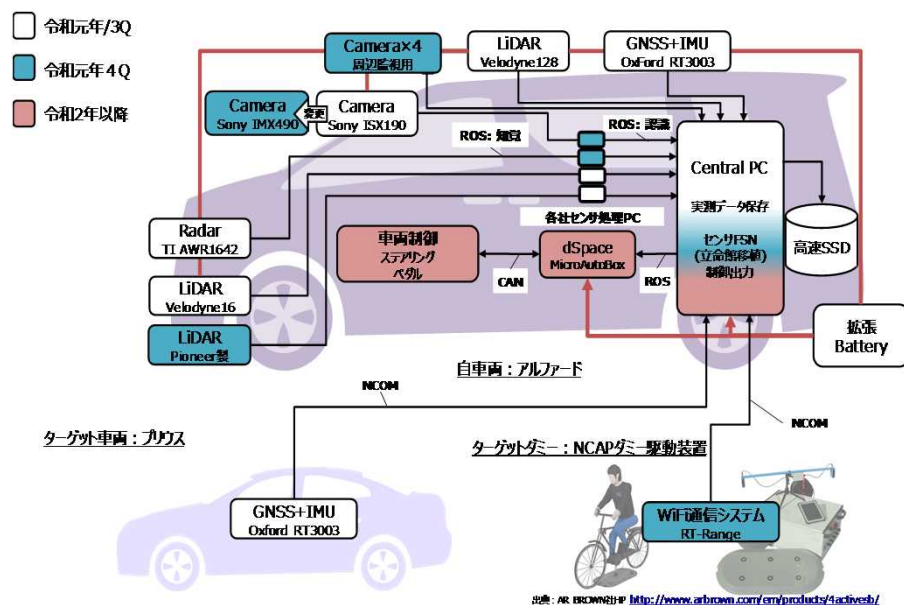


センサモデル検証に供するデータ計測のための計測車両を構築、 高精度GNSS/IMU及びWiFi通信システム搭載により、検証に必要な位置情報を高精度に測定可能

実験計測車両準備

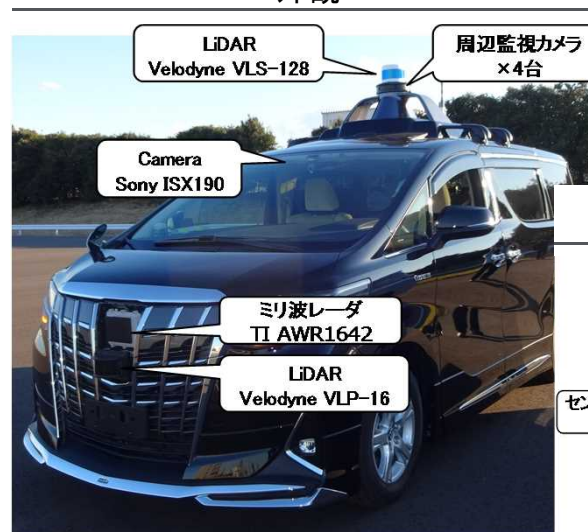
SOKEN

実験車両の構成概要及び構築計画

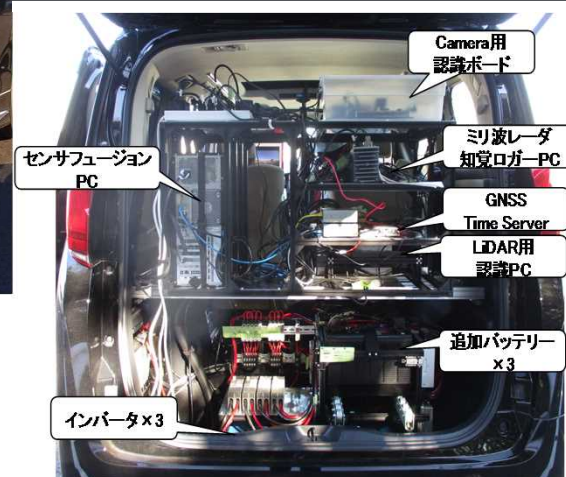


計測車両

外観



車室内架台

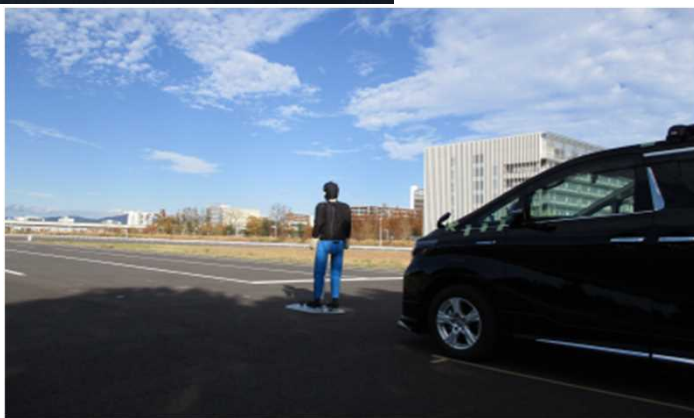


静止状態、移動状態でのセンサデータ計測を実施、
センサ各社におけるシミュレーション結果との一致性検証へ提供した

環境計測・データ検証

SOKEN

実車によるセンサデータ取得風景（静止試験）

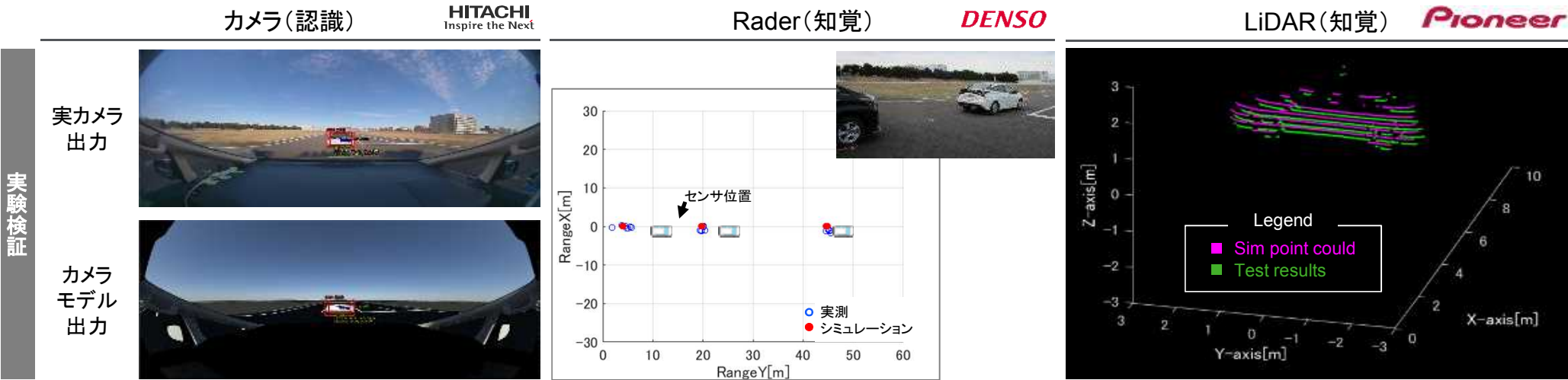


車によるセンサデータ取得風景（移動試験）



各センサ毎、シミュレーション vs 実験結果間の一致性検証を実施、
ある程度の一致性が確認された一方、ミリ波空間伝搬の近似計算精度向上を主要課題として確認

静的実験の結果



結果	カメラ(認識)		Rader(知覚)		LiDAR(知覚)	
	評価指標	検証結果	評価指標	検証結果	評価指標	検証結果
	物標サイズ	ほぼ一致	距離	ほぼ一致	最短距離	近距離では十分な一致性
	物標距離	ほぼ一致	方位	ほぼ一致	サイズ(幅)	近距離では十分な一致性
	物標種類	OK	強度	不一致	総点数	物標反射・透過特性に起因する誤差を確認

認識結果におけるある程度の一致性を確認、
一部未再現の環境による誤差が発生しており、
今後対応を進める

演算負荷については対応済、
ミリ波空間伝搬の近似計算精度
向上への取組みが必要

最短距離・サイズ(幅)で十分な一致性を検証
物標の反射特性埋込後に継続検証予定

既存のシミュレーションベンチマークからDIVP™の競争力を検証、 実測による検証に基づいた、精緻なセンサシミュレーションの可能性が競争力の源泉に

カメラシミュレーションのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP™	CarMaker 8.1.0	PreScan 2019.3	VIRES VTD 2.2.0
光源	一般光源(車両ランプなど)	◎	○	○	○
光源	太陽光の放射輝度	◎	○	○	○
光源	天空光の放射輝度	◎	×	△	○
光源	間接光	◎	○	×	×
光物性	物体表面での反射、拡散、透過	◎	△	△	△
光物性	物体表面の経年劣化の影響	◎(アスファルト)	×	○	△
光物性	付着物による影響(物標)	×	×	△	×
伝達	空間中での散乱(関与媒質)	○(霧)	×	×	×
センサ	車両挙動による影響	◎	△	△	△
センサ	温度特性による影響	×	×	×	×
センサ	センサの経年劣化の影響	×	×	×	×
センサ	レンズ歪み	○	○	○	○
センサ	フレア	×	×	×	×
センサ	ゴースト	×	×	×	×
センサ	付着物による影響(Frガラス)	○(雨粒)	△	×	×

◎:対応(実機検証あり)
○:対応(実機検証なし)
△:一部対応
×:非対応

①
②
③

DIVP™の優位性が示せる項目

- ① 実機で検証するのはDIVP™のみ
- ② CarMaker: 反射、透過に対応
Prescan: 反射のみに対応
VTD: 動的对象物(車両等)は非対応
- ③ 車両挙動に対応するのはDIVP™のみ

※DIVP™機能は頻度x致命度から優先付けし、2020年度内でやり切れる範囲に限定

既存のシミュレーションベンチマークからDIVP™の競争力を検証、 実測による検証に基づいた、精緻なセンサシミュレーションの可能性が競争力の源泉に

Raderシミュレーションのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP™	CarMaker 8.1.0	PreScan 2019.3	VIRES VTD 2.2.0
光源	他車両光源(干渉)	◎	×	×	×
光物性	物体表面での反射、散乱、透過	◎	△	△	△
光物性	物体表面の劣化の影響	○(アスファルト)	×	×	×
光物性	付着物による影響	◎(雨粒)	×	×	×
光物性	反射時の位相／偏波の変化	◎	×	×	×
光物性	回折	×	×	×	×
伝達	複数回反射、透過	◎	△	△	×
伝達	空間中での散乱(＝減衰)、干渉	◎	○	○	×
伝達	ドップラ	◎	○	○	×
伝達	マイクロドップラ	◎	×	○	×
センサ	自光源(変調方式の再現)	◎	○	○	×
センサ	車両挙動による影響	◎	△	△	△
センサ	温度特性による影響	×	×	×	×
センサ	センサの経年劣化の影響	×	×	×	×
センサ	付着物による影響	×	×	×	×
センサ	内部反射	×	×	×	×

◎:対応(実機検証あり)
○:対応(実機検証なし)
△:一部対応
×:非対応

DIVP™の優位性が示せる項目

- ① 実機で検証するのはDIVP™のみ
- ② 干渉に対応するのはDIVP™のみ
- ③ 反射、散乱、透過すべてに対応するのはDIVP™のみ
- ④ 付着物による影響、反射時の位相・偏波変化に対応するのはDIVP™のみ
- ⑤ 複数回反射・透過に対応するのはDIVP™のみ
- ⑥ 車両挙動に対応するのはDIVP™のみ

※DIVP™機能は頻度x致命度から優先付けし、2020年度内でやり切れる範囲に限定

既存のシミュレーションベンチマークからDIVP™の競争力を検証、 実測による検証に基づいた、精緻なセンサシミュレーションの可能性が競争力の源泉に

LiDARシミュレーションのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP™	CarMaker 8.1.0	PreScan 2019.3	VIRES VTD 2.2.0
光源	他車両光源(干渉)	×	×	×	×
光源	その他光源(ハロゲンランプ)	×	×	×	×
光源	太陽光の放射輝度	◎	×	×	×
光源	天空光の放射輝度	◎	×	×	×
光物性	物体表面での反射、散乱、透過	◎	△	△	△
光物性	物体表面の劣化の影響	◎(アスファルト)	×	×	×
光物性	付着物による影響	◎(雨粒)	×	×	×
伝達	複数回反射透過	◎	△	×	△
伝達	空間中での散乱(=減衰)	◎	×	○	×
センサ	自光源	◎	×	×	×
センサ	走査	◎	×	×	×
センサ	車両挙動による影響	◎	△	△	△
センサ	温度特性による影響	×	×	×	×
センサ	センサの経年劣化の影響	×	×	×	×
センサ	付着物による影響	◎(雨粒)	×	×	×

◎:対応(実機検証あり)
○:対応(実機検証なし)
△:一部対応
×:非対応

DIVP™の優位性が示せる項目

- ① 実機で検証するのはDIVP™のみ
- ② 太陽光の放射輝度、天空光の放射輝度、物体表面での反射・散乱・透過、劣化の影響、付着物、複数回反射・透過に対応するのはDIVP™のみ
- ③ 自光源、走査、車両挙動による影響に対応するのはDIVP™のみ
- ④ センサの付着物による影響に対応するのはDIVP™のみ

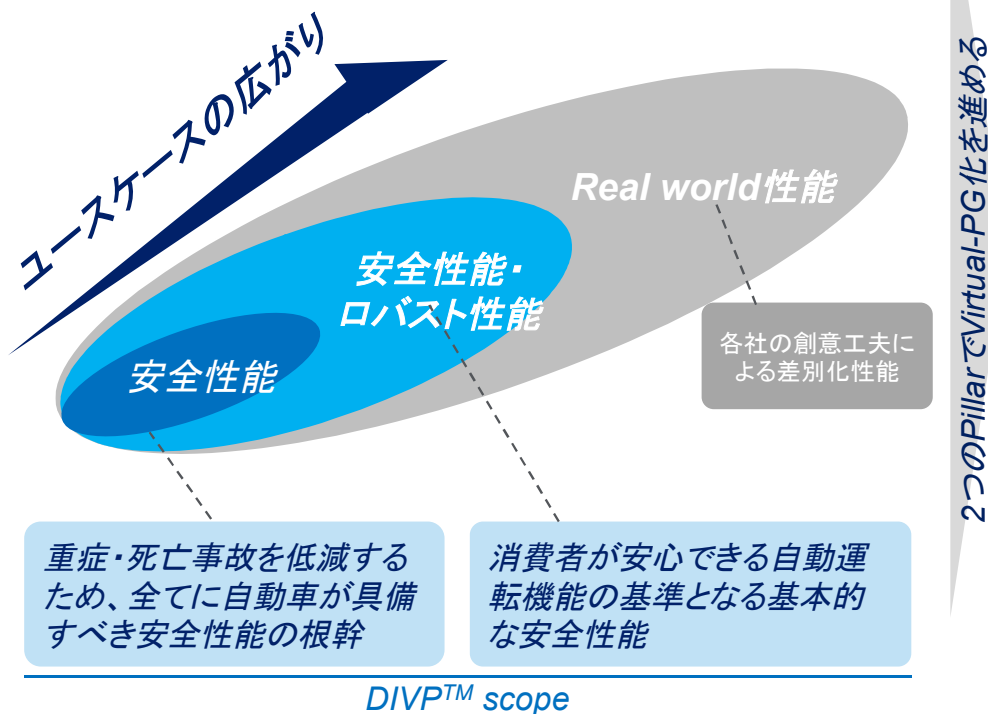
※DIVP™機能は頻度x致命度から優先付けし、2020年度内でやり切れる範囲に限定

FY2020では一致性検証に基づくシミュレーション精度の向上と併せて、 Virtual-PG(Proving ground)の整備を進め、NCAPの一部プロトコルのシミュレーションを再現する

Virtual-PG拡充の方針

ユースケースの広がりロードマップ

- 産業界のプレーヤ全員が共通して取り組む”安全”に関わる評価でプラットフォーム有効性の認知を広める



1

事故低減のための安全性検証

- 事故データに基づき試験プロトコルを再現、安全性評価シミュレーションを可能に
 - 事故分析(特に死傷者、一般道)に基づく生成
 - 高速道路(自動運転)走行状態データに基づく生成

事故データに基づき生成されるEur-NCAPプロコルの調査から優先順位を決定

2

安全性能・ロバスト性検証

- センサの不得意な入力条件を再現、Real worldにおけるロバスト性シミュレーションを可能に
 - 各センサ検出原理と使用電磁波帯域による不得意環境

DIVP™コンソーシアム参加のサプライヤ、及びOEMコミュニケーション内容から優先順位を決定

【1 事故低減のための安全性検証】

Eur-NCAP、将来のNCAP2025の情報に基づき必要アセットを整理、Virtual-PGに再現する

Eur-NCAPプロトコルに必要なアセットの整理

AEB*1

LSS*3

凡例

2020対象
NCAP2025予測
対象外

		Pedestrian	Cyclist	PTW	Car	白線	Car/PTW
評価目的		前方の歩行者横断、直進を検知して安全に停止 (夜間条件あり)	前方の自転車横断、直進を検知して安全に停止	-	前方の車両を検知して安全に停止 (追従、右左折時の直進車両)	各種白線での車線維持支援、車線逸脱時アラートの動作	対向車両、追越車両とのすれ違い時の車線維持支援の動作
NCAP2025拡張見込み		- 右左折時の歩行者横断 - 後退時の後方の歩行者 - AEB・AES*2協調制御	AEB・AES協調制御	- 右左折時のPTW直進 - 見通しの悪い道路での飛出しなど	- 正面衝突シーン - 見通しの悪い道路での飛出しなど	-	PTWの対向、追越シーン
概要							
必要なアセットの整理	5 環境条件	昼間 夜間	昼間 夜間	昼間 夜間	昼間 夜間	昼間 夜間	昼間 夜間
	4 移動物体	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド	大人 子供 自転車 自動車 バイク モペッド
	3 一時的な変化	停車車両	停車車両	停車車両	停車車両	停車車両	停車車両
	2 物標	区分線 横断歩道 信号機 路側壁	区分線 横断歩道 信号機 路側壁	区分線 横断歩道 信号機 路側壁	区分線 横断歩道 信号機 路側壁	区分線 横断歩道 信号機 路側壁	区分線 横断歩道 信号機 路側壁
	1 道路形状	直線 交差点 一三路	直線 交差点 一三路	直線 交差点 一三路	直線 交差点 一三路	直線 交差点 一三路	直線 交差点 一三路

*1 AEB : Automatic Emergency Braking, *2 AES : Automatic Emergency Steering, *3 LSS : Lane Support System / PTW : Powered Two Wheeler

DIVP™ Consortium

【2 安全性能・ロバスト性検証】

各センサの検出原理や使用電磁波帯域が不得意とする現象をモデル化、Virtual-PGに再現する

再現する環境因子の例

センサが検出しにくい対象物

黒革ジャケット



段ボール



群行動の複数対象



濡れた路面



伝搬に影響を与える環境

夜間



雨



ミリ波のマルチパス環境

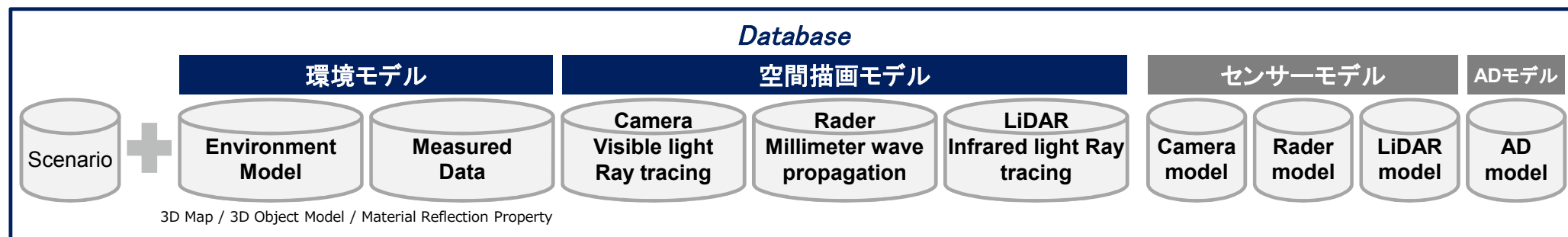


太陽光、逆光



Virtual-PG他、モデル群を流通させるデータベースと、これらを活用しシミュレーション実行を行うテストマネージャがDIVP™の社会実装のカギとなる

DIVP™が目指すエコシステム



評価シナリオに基づいた入力条件を生成



次年度では、DIVP™をコアとしたシミュレーションエコシステム構築を目指す

国内主要OEM5社のスペシャリストとのワークショップを開催、産業界ニーズとのマッチングを確認、引き続き精緻なシミュレーションとVirtual-PGの整備を進め、成果の社会実装に繋げる

国内主要OEMとのWork shop



Agenda

- DIVP™事業紹介、デモ
- センサーモデリング
(環境、空間、
カメラ、Rader、LiDAR)
- インターフェース
- 評価シーン
- シナリオジェネレータ
- DIVP™運用の想定
- HILS有効性

参加企業

国内主要5-OEM
各社より20名程度

トヨタ自動車(株)
(株)本田技術研究所
日産自動車(株)
いすゞ自動車(株)
マツダ(株)

いただいたご意見

- 皆様の現状やDIVP™への期待値等、忌憚の無いご意見をいただいた



- 一般に様々シミュレーションは様々に存在するが一貫性の検証されたものは無い

- 国内OEM所属のWork shop参加者



- 開発の中で、シミュレーション環境でセンサの評価ができておらず、困っている

- 国内OEM所属のWork shop参加者



- 無理にReal timeを追わず、原理原則に則った精緻な現象再現を第一に取り組んで欲しい

- 国内OEM所属のWork shop参加者



- 今のレベルでも十分競争力があると思う、早く使いたい

- 国内OEM所属のWork shop参加者



令和元年度の成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

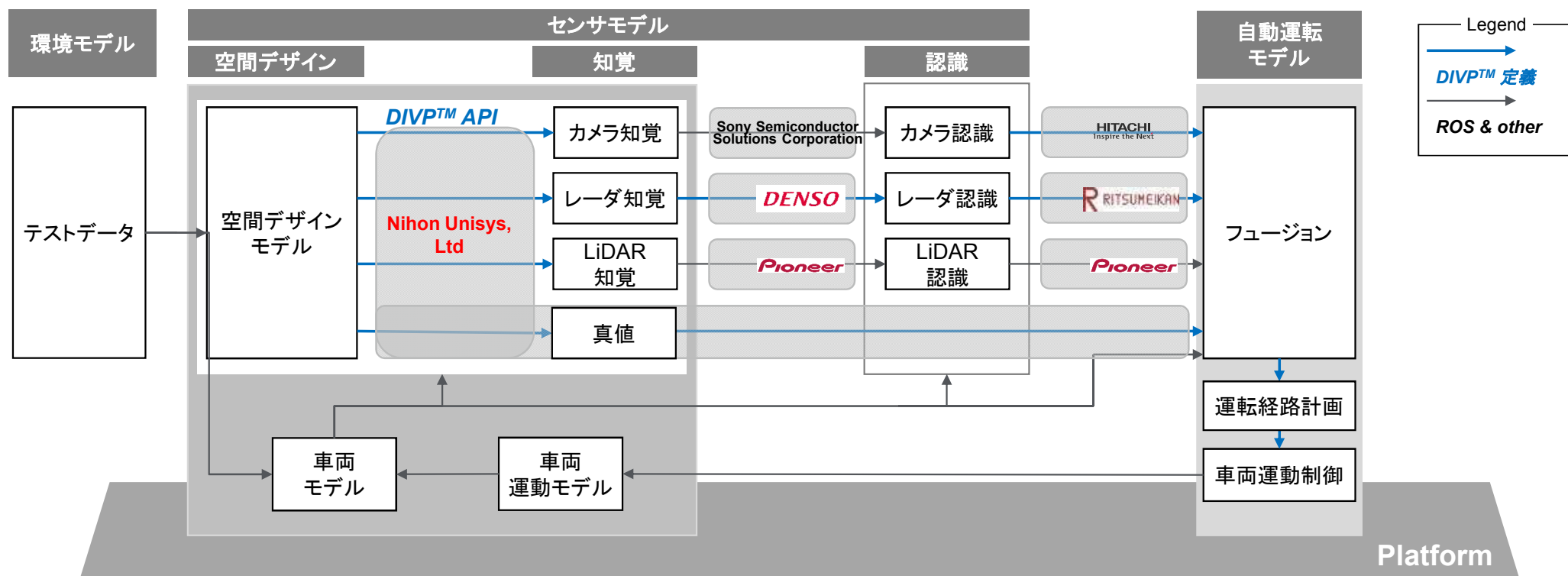
3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

環境から車両運動の出力までプラットフォームを分割し、5つのNodeにI/Fを設定、一般的なROS I/Fを活用した I/F specをリリースし運用評価を実施

DIVP™ IFの設計

Nihon Unisys, Ltd



実車とシミュレーション間でI/Fを合わせ、モデルのScalabilityを確保

実運用を想定し、シミュレーションプラットフォームに求められる要件を検討、 多様な検証評価環境間でのScalabilityを確保したI/Fを構築した

実運用で想定される既存のシミュレーション体系との連携

Nihon Unisys, Ltd



*1:API : Application Programing Interface.
Source : Mitsubishi Precision Company, Limited, SOKEN, INC
DIVP™ Consortium

シミュレーション体系ごとに想定されるシステム構成と求められるI/Fを検討、 モジュール/システム間の連携にはPFに依存しない標準化されたI/Fが必要に

シミュレーション体系

Nihon Unisys, Ltd



モジュール/システム連携に求められるI/F

■ PFに依存しないモジュール間I/Fが必要

- ✓ PFに依存せずにモジュール間のI/F (通信内容、通信方式)を定義する必要がある
- ✓ 他PFとの連携する場合、どちらのPFがシミュレーションを主導するか(初期化処理、起動/停止、時刻同期)と、それを取り決めるI/Fが必要

■ PF内のモジュールとECUを接続可能にするI/Fが必要

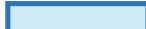
- ✓ シミュレーションをPFが主導するには、ECUの処理速度に追従可能なリアルタイムシミュレーション、通信速度が必要
- ✓ PFの通信内容をECUに合わせて変換できる仕組みが必要

■ 実車を起点としたシミュレーションを可能とするI/Fが必要

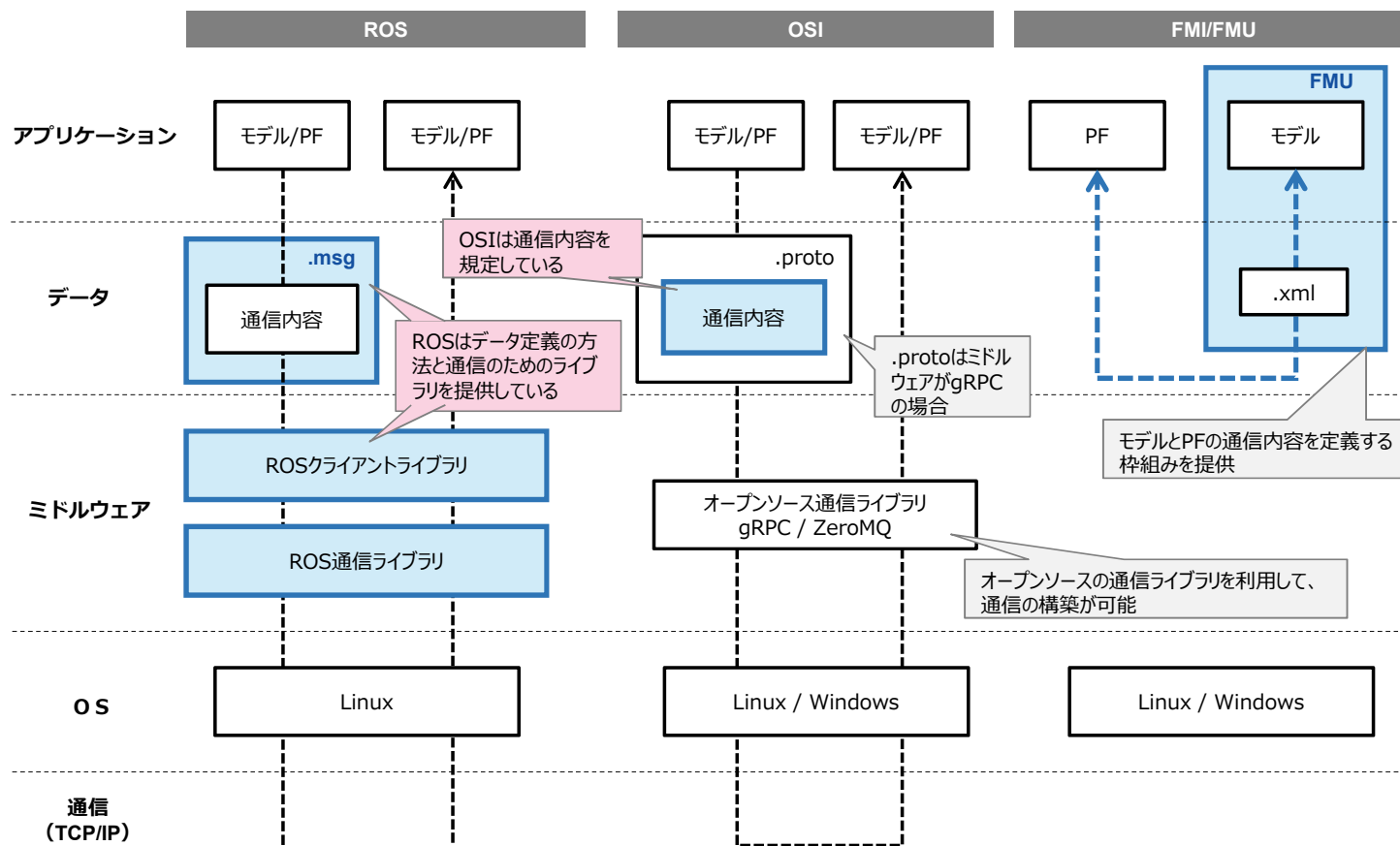
- ✓ シミュレーション開始・停止の通知、車両の初期位置・姿勢などを実車から受け取れる必要がある
- ✓ リアルタイムシミュレーションが必要
車両の挙動を実車から受け取り、空間描画などのシミュレーション結果を実車に返すまでをリアルタイムに処理する必要がある
- ✓ 異常発生時(安全装置が作動したなど)に、シミュレーションと実車の接続を安全に切断する仕組みが必要

今後の国際的な標準化を睨み、既存の標準I/Fを下敷きとしたI/F提案を志向、 出自や目的により機能と範囲が異なる標準I/Fから、DIVP™の目的に応じたベース仕様を選定

各標準I/Fが提供する機能と範囲

 : 各標準が提供するもの

Nihon Unisys, Ltd



センサモデルの通信内容が規定されているOSIを軸に通信内容の検討を、 PF・実車での検証環境を迅速に構築できるようROSを軸に通信方式の検討を進める

センサモデルにおける各標準I/Fの比較

Nihon Unisys, Ltd

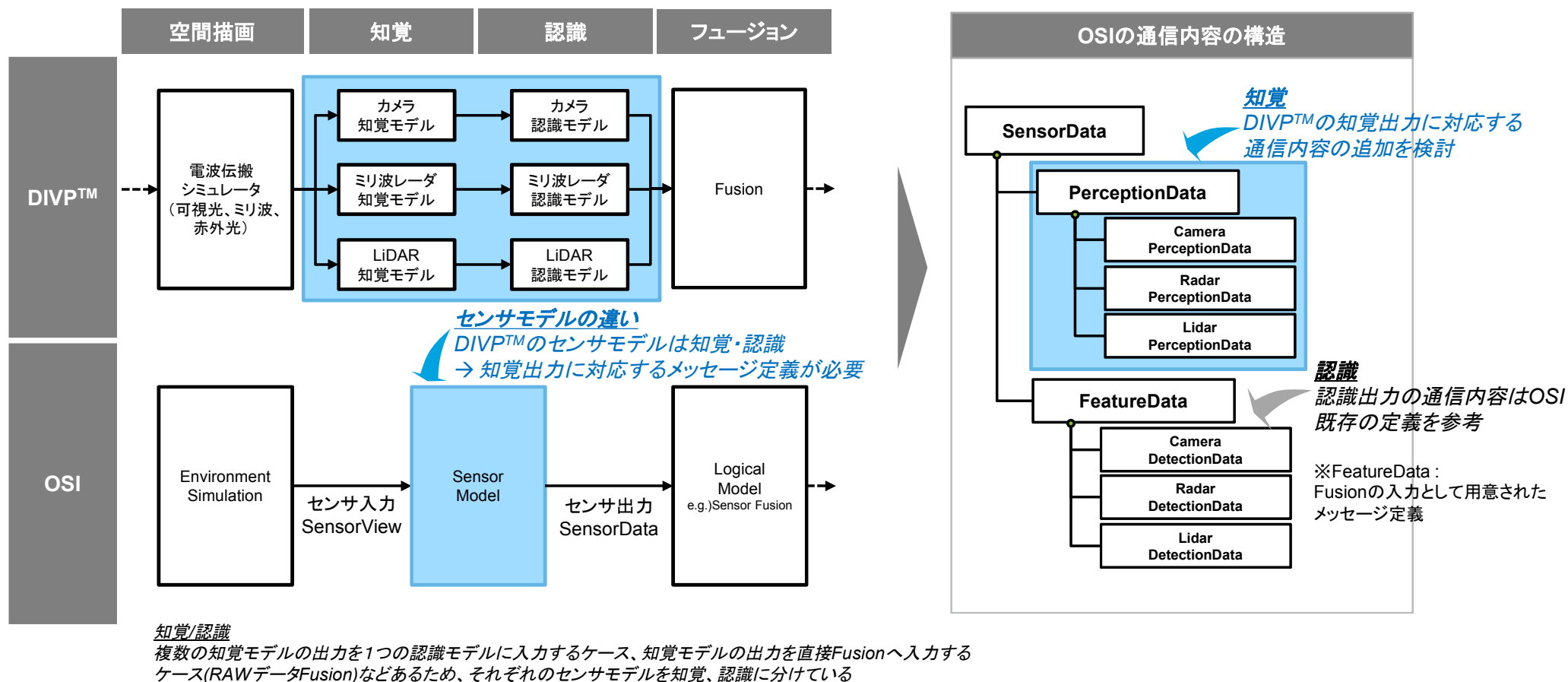
項目	ROS	OSI ^{*1}	FMI/FMU
通信内容 (センサ知覚、認識、 フュージョン)	△	○	×
	■ ADシステムのセンサについては不十分(元々ロボット向け)	■ センサモデル、フュージョンの通信内容が定義されている	■ 定義されていない
通信方法	○	×	○
	■ TCP/IPを利用した通信のためのミドルウェアを提供	■ 規定されていない。 ■ ZeroMQなどのオープンソースライブラリを用いて通信を行う。	■ ライブラリのAPI呼び出しを定義
動向	■ TierIV、Apex.AIが採用。 ■ 手軽に使える、様々な企業、大学で利用されている。	■ 独PegasusからASAMIに移管。 ■ 独のDIVP™に近い国プロで採用。	■ 複数モデルの連成シミュレーションで多く採用。 ■ CarMakerなども対応。

*1:OSI <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation/>

DIVP™とOSIのセンサモデルI/Fと比較、対応付けを確認し通信内容の追加を検討した

DIVP™とOSIのセンサモデルI/Fの比較

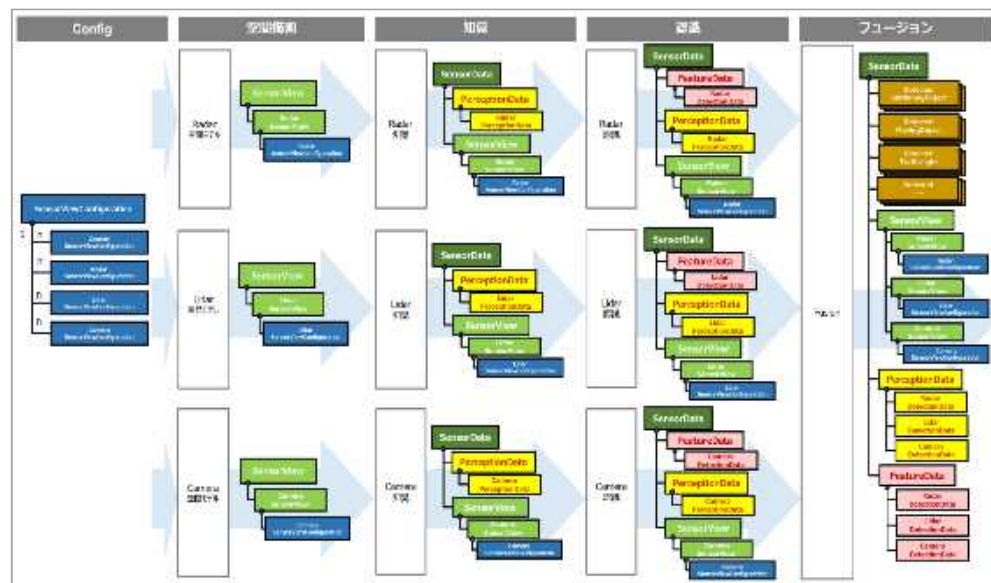
Nihon Unisys, Ltd



OSIを軸にした場合の空間描画、センサモデル、フュージョンの通信内容の関連付けを検討した

通信内容の関連付け

Nihon Unisys, Ltd



OSIの通信内容に対する検討項目

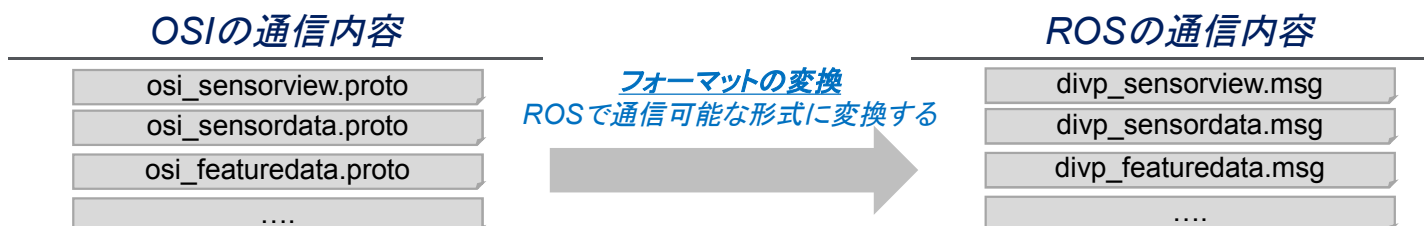
空間描画	■ 環境条件 ✓ 太陽光の追加 (センサ不調要因の逆光を再現) ■ カメラ ✓ レンズの特性、イメージセンサの特性に沿った入力を追加
知覚	■ DIVP™で検討している知覚出力の通信内容を追加
認識	■ OSI既存 + DIVP™で検討している認識出力の通信内容を追加
フュージョン	■ DIVP™で検討しているフュージョンについてはOSI既存の通信内容でカバーされている

ROSで通信可能にするため、通信内容をOSI形式からROS形式へ変換して利用する

通信内容の変換

Nihon Unisys, Ltd

- 標準化の観点から、通信内容はOSI形式で定義
DIVP™で利用する際にはROS形式の通信内容に変換する



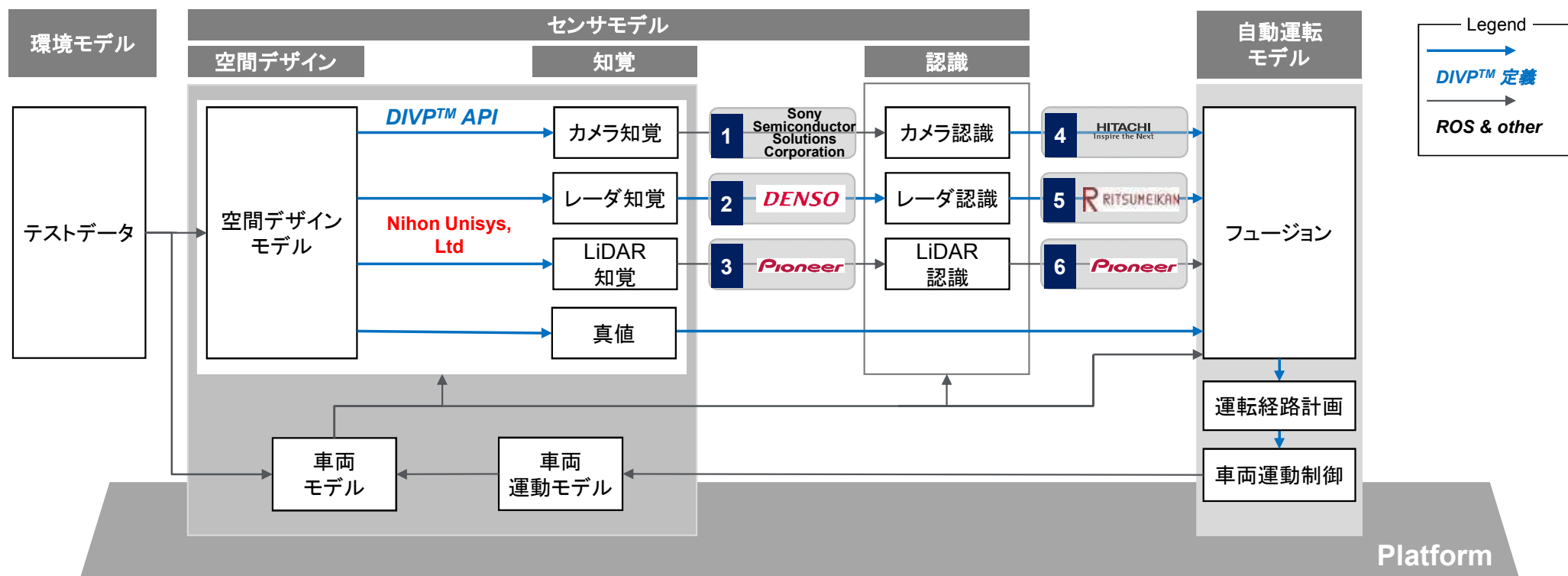
■精度、速度について

- OSIでは長さ、速さ、加速度などが倍精度(double型)で定義
→ 通信速度の低下、データ量の増加が発生 ※単精度(float型)と比較した場合
- 単精度で十分と考えられるものについては単精度(float型)で検討
→ フォーマットの変換時に倍精度から単精度への変換を行う

提案のI/Fについて、各センサスペシャリストによる妥当性検証を実施

DIVP™ IFの設計

Nihon Unisys, Ltd



1【カメラ知覚出力】 HDR・複数枚出力に対応

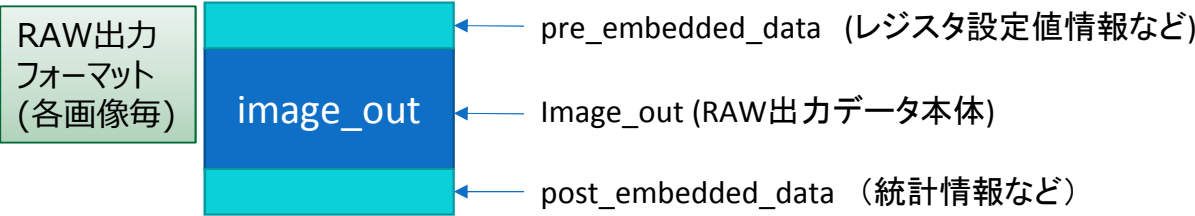
RAW出力のCMOSイメージセンサ

Sony Semiconductor
Solutions Corporation

複数枚同時出力のトレンドに対応(①~④の組み合わせを可能とする。画サイズは異なってもよい)

- ①HDR合成(圧縮・非圧縮) ※HDR圧縮時 12~16bit、HDR非圧縮時 16~24bit
- ②HDR合成無し
- ③HDR部分合成(圧縮・非圧縮)
- ④メタデータ出力

ROS message	Type	Description
image_out	float32[]	処理されたRAWデータ(1つのHDR出力、複数の露出画像など。画像サイズは画像によって異なる場合がある)
pre_embedded_data	byte[]	出力画像ごとのメタデータ1(ベンダー固有:image_outに適用されるレジスタ値など)
post_embedded_data	byte[]	出力画像ごとのメタデータ2(ベンダー固有:出力画像のヒストグラムなどの統計)



【ミリ波レーダ知覚入力】

業界動向を踏まえ、様々なミリ波レーダに対応したインターフェース仕様

ミリ波レーダ知覚入力

DENSO

周波数	24GHz	77GHz	79GHz
変調	FCM	FMCW	パルス

各国電波法で認可されている全ての帯域・変調方式に対応

【ミリ波レーダ知覚出力】

現状の車載レーダは、知覚出力を出していないが、Raw Data Fusionも見据え、知覚出力を仕様化

ミリ波レーダ知覚出力I/F

DENSO

出力	記号	単位	精度	決定理由
ターゲット数	target_num	—	uint32	■ 車載ミリ波レーダで取り扱うピーク数を取り扱える型を定義
距離	range	m	float32	■ 車載ミリ波レーダで取り扱う値を、 範囲: 0~数百m, 分解能: 1umとし、 それを取り扱える型を定義
速度	velocity	m/s	float32	■ 車載ミリ波レーダで取り扱う値を、 範囲: $\pm 0 \sim 83.3$ m/s (500km/h), 分解能: 0.01m/s (0.036km/h)とし、 それを取り扱える型を定義
方位角	theta	rad	float32	■ 車載ミリ波レーダで取り扱う値を、 範囲: $\pm 0 \sim 1.57$ rad (90deg), 分解能: 0.000175rad (0.01deg)とし、 それを取り扱える型を定義
仰角	phi	rad	float32	■ 同上
強度	power	dB	float32	■ 車載ミリ波レーダで扱うダイナミックレンジを取り扱える型を定義

【LiDAR知覚入力】

業界動向を踏まえ、様々なLiDARに対応したインターフェース仕様

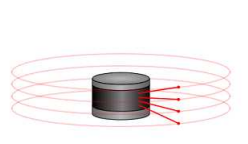
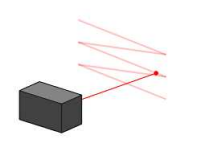
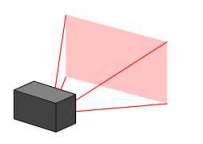
LiDAR知覚入力

Pioneer

LiDAR光学系の類型

対応LiDAR

LiDAR光学系を変調方式、レーザー波長、走査方式の観点で分類

変調方式	パルス変調方式	CW 変調方式	
レーザー波長	近赤外光		
走査方式	 モーター方式	 MEMS 方式	 フラッシュ方式

- 変調方式は、パルス変調方式に対応(CW方式には未対応)
- レーザー波長は、900nm帯、1500nm帯を問わず全ての近赤外光に対応
- 走査方式は、モーター方式、MEMS方式、フラッシュ方式に対応

【LiDAR知覚出力】

業界動向を踏まえ、様々なLiDARに対応したインターフェース仕様

LiDAR知覚出力



- 三次元点群を出力
各点の要素として、三次元直行座標系における位置・強度・タイムスタンプを規定（一般的なLiDAR出力パラメータである角度・距離を位置として表現）
- 各LiDAR固有のパラメータについては、オプションで追加することを想定
- 各出力パラメータのデータサイズについては、
解像度、レンジともに現存するLiDARの性能を表現するのに十分な領域を確保

	Type	解像度	最大値
X [meter]	Float	有効数字6桁 (1000メートル先の1mmが表現可能)	3.402823e+38
Y [meter]	Float	有効数字6桁	3.402823e+38
Z [meter]	Float	有効数字6桁	3.402823e+38
強度	Float	有効数字6桁	3.402823e+38
タイムスタンプ[nsec]	int64	1ナノ秒	約580年

【カメラ認識出力】 業界動向を踏まえたインターフェース仕様

カメラ認識出力

国際標準ISO/TC22 SC31 WG9 (Sensor data interface for automated driving functions)にて議論されているセンサーインターフェースを参考に構成を検討。また、市販Sim(Carmaker等)も参考に。

適用：可視光を検知対象とするカメラセンサ(IR,TOF等、物体より放射もしくは反射する成分を検知対象とするカメラセンサは対象外)

認識結果	単位	Type	解像度	備考
横方向画面上サイズ	pixel	uint16	1	
縦方向画面上サイズ	pixel	uint16	1	
横方向位置	m	float32	0.01	右手座標系
縦方向位置	m	float32	0.01	右手座標系
高さ方向位置	m	float32	0.01	右手座標系
横方向中心座標	pixel	uint16	1	
縦方向中心座標	pixel	uint16	1	
縦方向相対距離	m	float32	0.01	右手座標系
横方向相対距離	m	float32	0.01	右手座標系
種別	-	uint8	-	1:軽自動車/2:普通自動車/3:トラック/4:バス/5:自動二輪車(原付含)/6:自転車/ 7:自動車(配光)/8:自動二輪車(配光)/9:自転車(配光)/10:その他車両/ 101:大人/102:子供/103:その他歩行者/ 201:標識/202:道路構造物/203:動物等移動物体/204:その他物標
...	...		...	...

【ミリ波レーダ認識出力】

知覚出力のフィルタリング、クラスタリング処理の結果を出力

ミリ波レーダ認識出力

◇出力パラメータのデータサイズについては、解像度、レンジともに現存するレーダの性能を表現するのに十分な領域を確保

	Type	解像度	最大値
位置 [meter]	float32	知覚と同等	3.402823e+38
方位 [degree]	float32	知覚と同等	3.402823e+38
相対速度 [meter/second]	float32	知覚と同等	3.402823e+38
相対速度方位 [degree]	float32	知覚と同等	3.402823e+38
強度 [db]	float32	知覚と同等	3.402823e+38
幅 [meter]	float32	知覚と同等	3.402823e+38

【LiDAR認識出力】

業界動向を踏まえ、複数の表現方法によるインターフェース仕様

■ LiDAR認識出力



- 以下の2方式に対応。
 - 検出した物体をBounding Box(三次元の位置・方位・サイズ)とその属性ラベル(車、歩行者...)・スコアで表現する方法
 - 知覚出力の各点に対してラベルを付与する表現方法
- 出力パラメータのデータサイズについては、解像度、レンジともに現存するLiDARの性能を表現するのに十分な領域を確保

	Type	解像度	最大値
Bounding Box 位置 [meter]	Float[3]	有効数字6桁 (1000メートル先の1mmが表現可能)	3.402823e+38
Bounding Box 方位 [degree]	Float[4]	有効数字6桁	3.402823e+38
Bounding Box サイズ [meter]	Float[3]	有効数字6桁	3.402823e+38
ラベル	int32	—	—
スコア	Float	有効数字6桁	3.402823e+38

令和元年度の成果

1. I/Fの設計

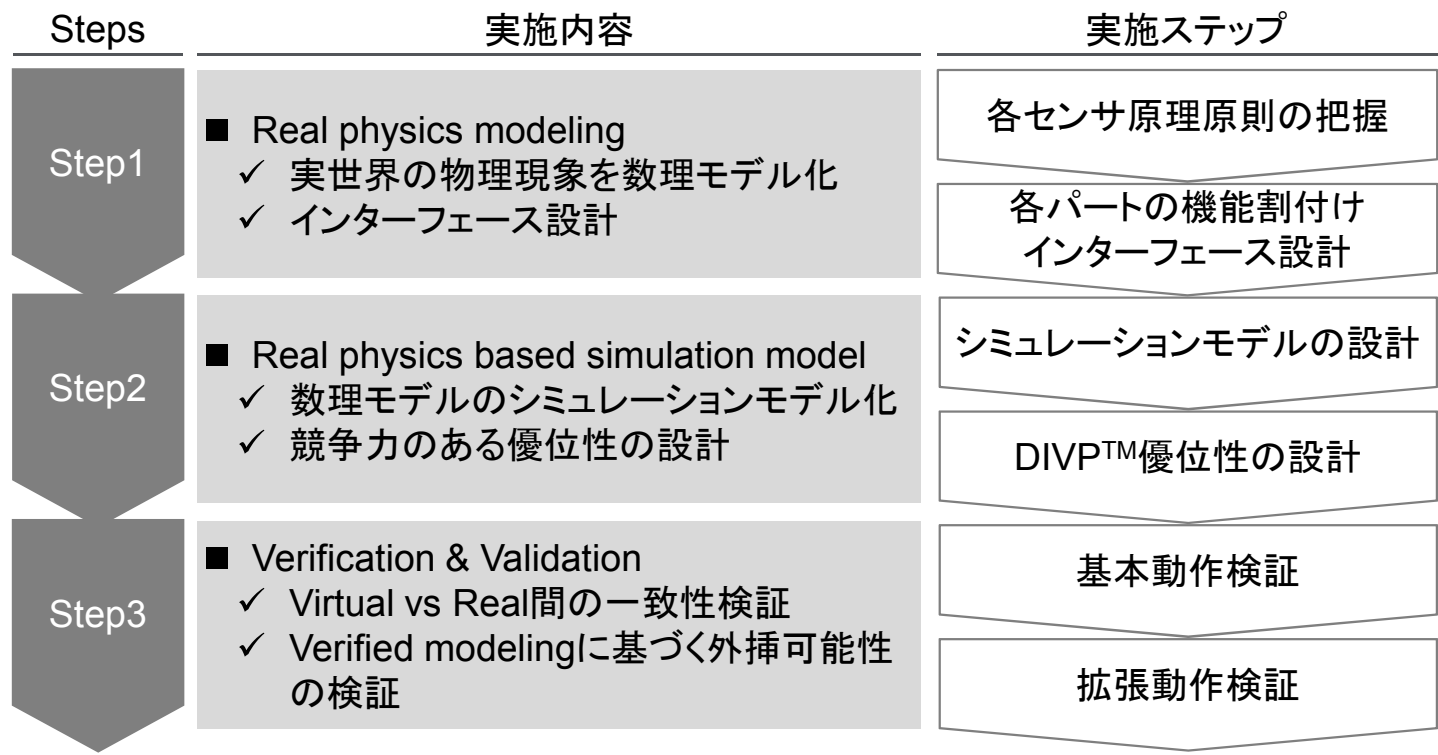
2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

原理原則に則った数理モデルに基づきシミュレーションモデル化、
センサ出力における実験とシミュレーション間の比較による一致性検証を実施

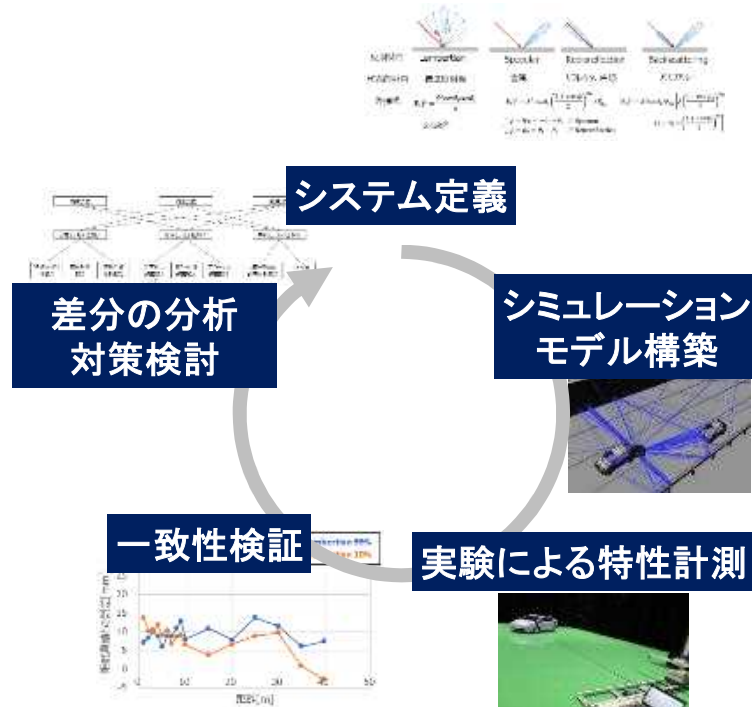
モデル化のアプローチ



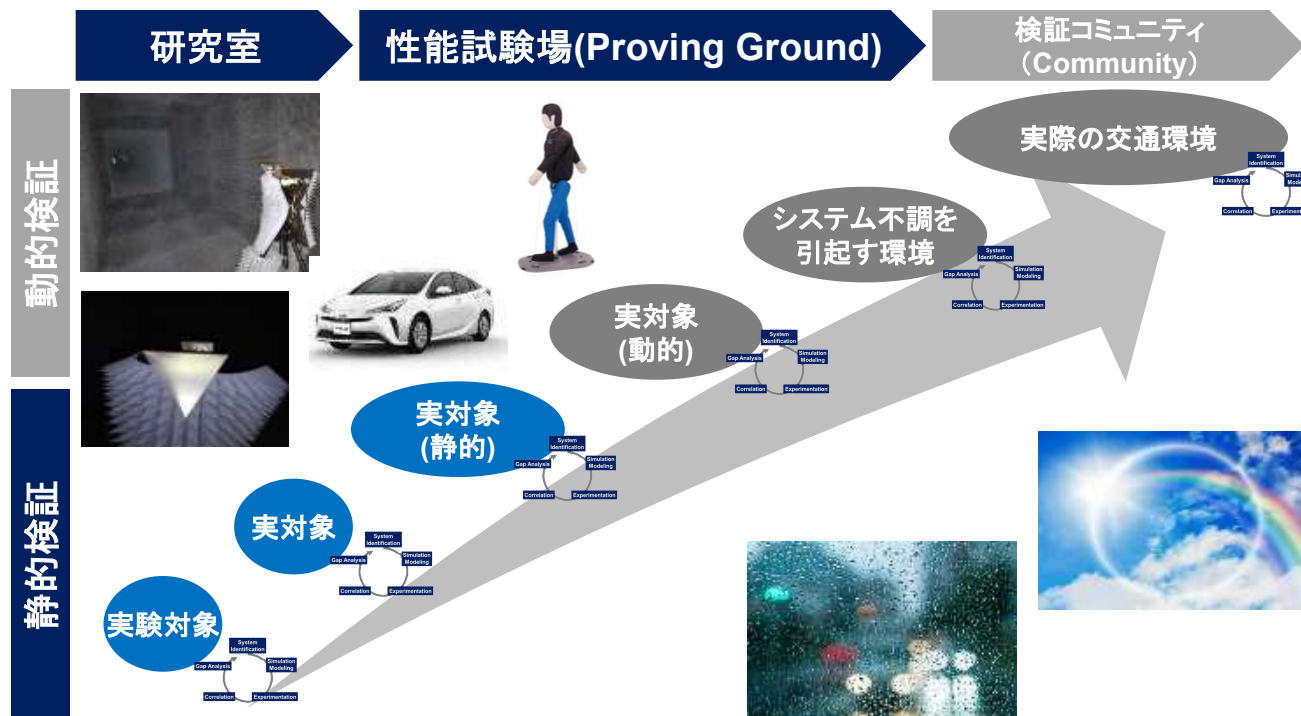
モデル化におけるPDCAのサイクルを回しつつ、 対象物標を静止物から動的物標へ、ラボからテストコース～一般道へ評価可能性を広げる

検証のフレームワーク

現実の物理現象ベースの取組み



拡張のロードマップ



令和元年度ではPG x 実対象(静的)までの検証が完了

センサ出力を精緻に再現するために、センサ検出原理、使用電磁波帯域における物理現象を、原理原則に基づきモデルモデリングし、実車試験結果との突合せによる一致性検証を実施

検証の取組み

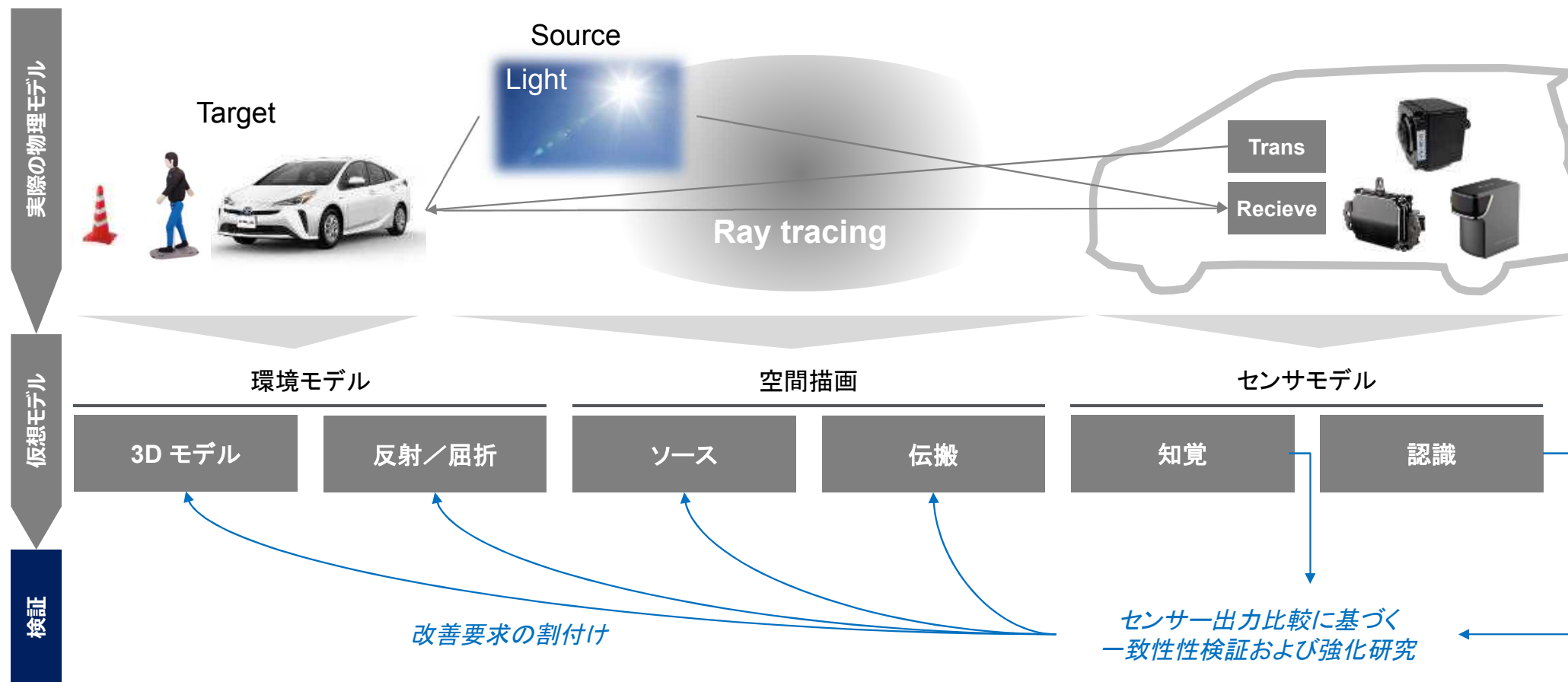
Sony Semiconductor
Solutions Corporation

HITACHI
Inspire the Next

DENSO

SOKEN

Pioneer



実測ベースで空間描画をシミュレーションすることにより不調シーンを精緻に再現、
次年度、再現した不調の一致性検証を進めていく

再現予定の不調と実装状況

Nihon Unisys, Ltd

		優先度（頻度×致命度）			備考	PF実装
No.	条件	カメラ	ミリ波	LiDAR		
1	逆光（先行車が太陽光に重なる）	高		高		済
2	雨	高	中	高		未
3	霧	高	中	高		未
4	夜間に暗色の服を着た歩行者が交差点を横断	高				未
5	ぬれたアスファルト	高		高		未
6	雨粒	中	中			未
7	マンホール（前方車両と誤認識）		中			済
8	ターゲット間の隣接, 集団行動		高		車両の裏からの飛出しシーン	済
9	路側壁のマルチパス		高		Jtownの見通しの悪い合流路が候補	済
10	段ボール（低反射物）		低			未
11	他車両搭載センサ起因の電波干渉		中			未
12	黒車両			高	黒プリウスレンタルで実施	済
13	黒革服歩行者			高	黒皮服をNCAPダミーに着せて実施	済
14	白線（かすれ白線 等）	中		中	テープの白線で実施できるか検討中	済

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

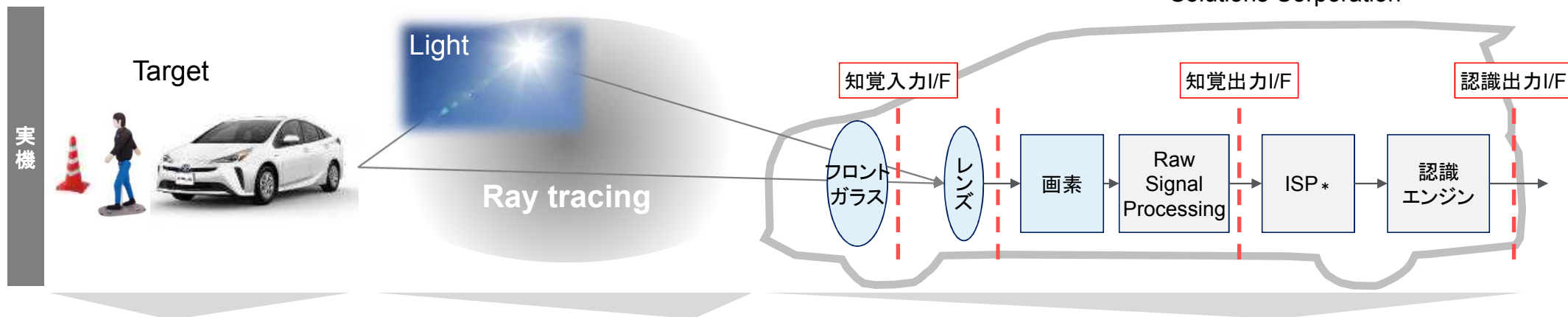
■ モデル化手法

■ 検証手法

【カメラモデル化】

光源～物標～レンズ間の可視光伝搬と反射の再現、センサ内部構造の部品ごとのモデル化に取り組む

Cameraモデル化の要諦



Sony Semiconductor Solutions Corporation **HITACHI** Inspire the Next

環境モデル

空間描画

センサモデル

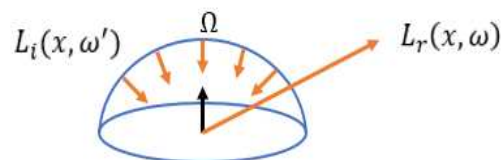
モデル化の要諦

- 物体形状の精密な再現
- 可視光の反射特性の再現

- 光源から伝搬、反射等を精緻に再現

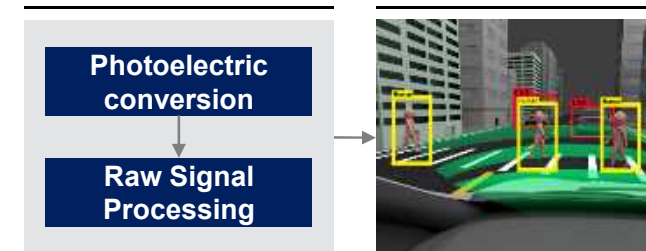
レンダリング方程式を用いて、反射波の計算を行う

$$L_r(x, \omega) = \int_{\Omega} f_r(x, \omega, \omega') L_i(x, \omega') (\omega', n) d\omega'$$



カメラ知覚モデル

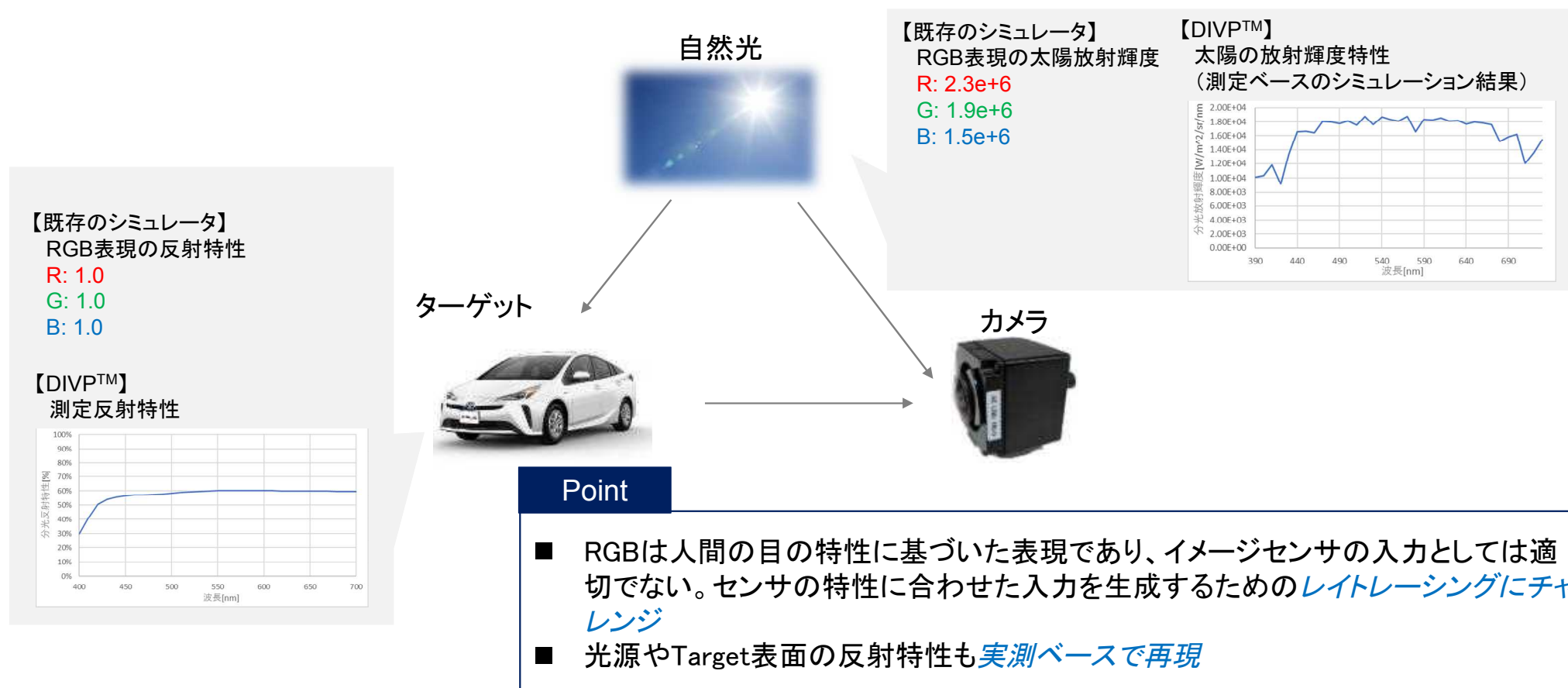
認識モデル



【空間描画モデル】 センサ特性に合わせた入力を生成するために、光源やターゲット表面の反射特性を実測ベースで再現。測定値を利用したレイトレーシングにチャレンジ。

空間描画の構築

Nihon Unisys, Ltd



【空間描画モデル】

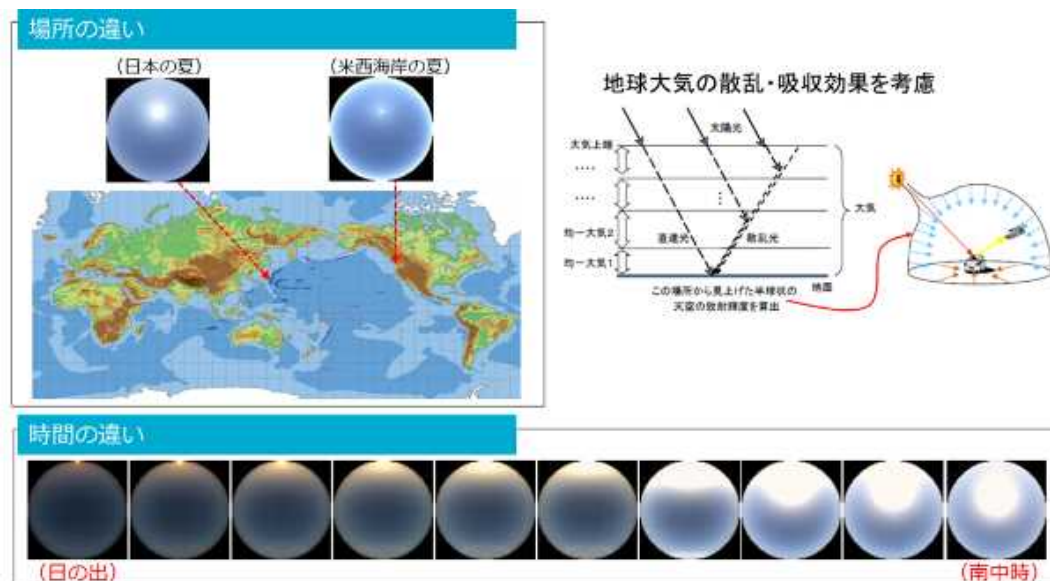
光源については実測ベースの天空光輝度特性、ヘッドランプの配光特性を利用

空間描画の構築

Nihon Unisys, Ltd

太陽光・天空光シミュレーション

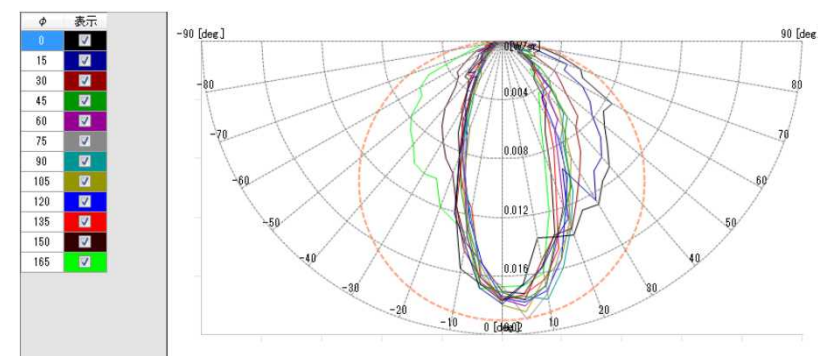
任意の場所、時間の太陽の可視光・赤外光の輝度を表現
(実測を基にした精緻なシミュレーション)



ランプ特性の計測

車両のヘッドランプやテールランプの配光特性を測定

プリウステールランプの配光特性データ



【空間描画モデル】 RGB3原色に基づく空間描画を行う一般的な従来シミュレータに対し、可視光の反射率や、太陽光の輝度を精緻に再現し、実環境に近いカメラ知覚出力を再現

DIVP™の空間描画

DIVP™

太陽光や物標反射率による精緻な環境再現



SOKEN Nihon Unisys, Ltd

一般的なシミュレータ(CARLA)

限定的(RGB3原色)の反射による非現実的な空間描画



【空間描画モデル】

実測ベースで空間描画をシミュレーションすることにより、不調シーンを精緻に再現

不調シーンの再現例

Nihon Unisys, Ltd

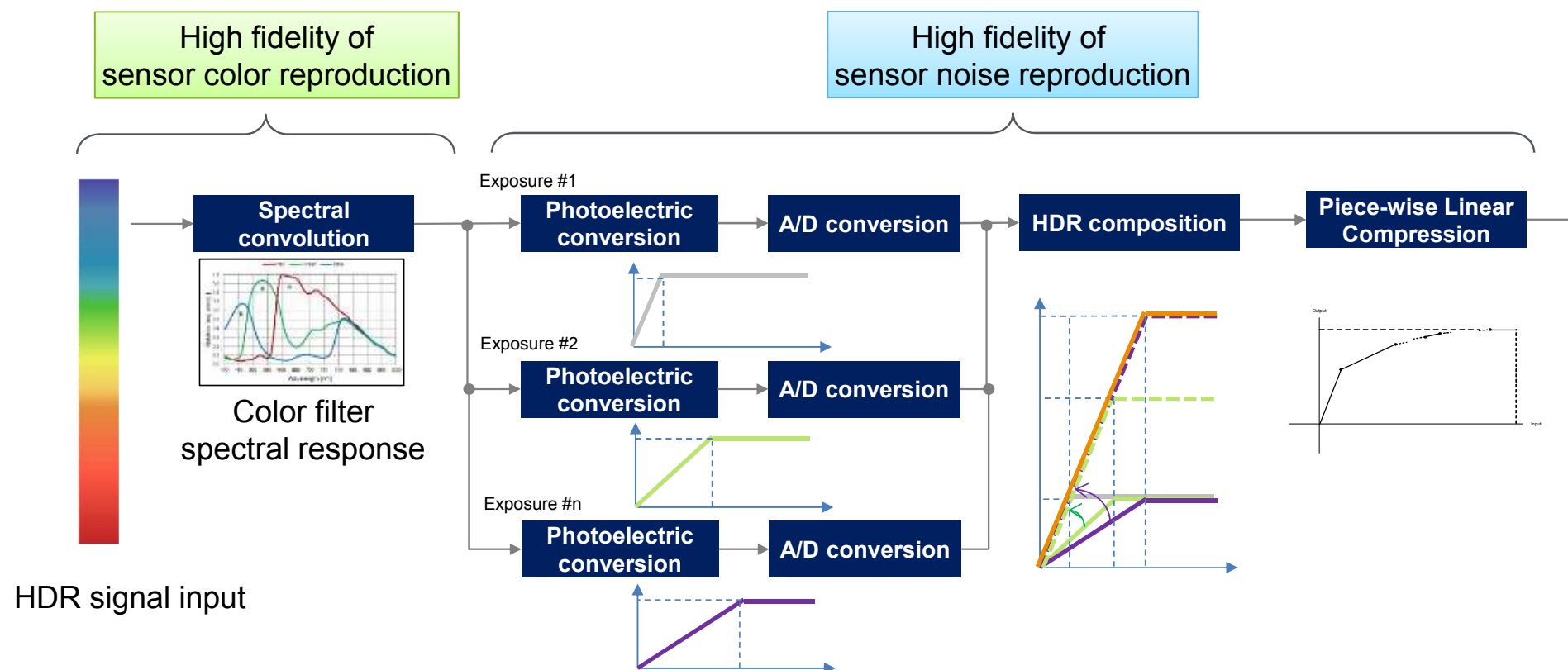
西日の再現



【カメラモデル化】 カメラセンサは実機のCMOS素子、回路を再現、光ショットノイズ(明部)、フロアノイズ(暗部)を精緻に再現可能に

Camera知覚のモデル化

Sony Semiconductor
Solutions Corporation



【カメラモデル化】

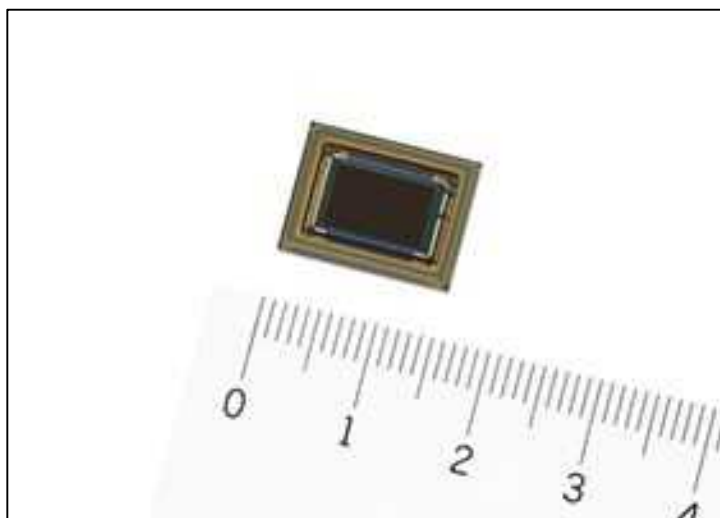
カメラ知覚出力を用いた一貫性検証にむけてIMX490を準備

検証に用いるカメラ実機

Sony Semiconductor
Solutions Corporation

IMX490

■事前検証および基本検証ではIMX490を使用して撮影。



評価に供するカメラ実機仕様

	ISX019	IMX490
画素数	1.2Mpix 1280(H)x960(V)	5.4Mpix 2880(H)x1860(V)
画サイズ	1/3.8型	1/1.55型
画素サイズ	2.9um × 2.9um	3.0um × 3.0um
シャッタ方式	ローリングシャッタ	ローリングシャッタ
HDR方式	Digital Overlap (DOL) 方式 (複数枚合成)	Sub-pixel方式 (2pix同時露光)
フリッカ抑制機能	無し	有り
出力	YCbCr	RAW (RGGB)
センサ構成	System On Chip (SOC) (センサ+ISP)	センサ単体 (センサ+RAW Signal processing)
備考	ISP内容: ・HDR合成 ・階調補正 ・AE、AWB制御 ・デモザイク ・YC変換 等	RAW Signal processing 内容: ・HDR合成 ・階調圧縮機能 (PWL) ・シェーディング補正 等

【カメラモデル化】

不調要因再現のためには、空間描画・レンズモデル・センサモデルの更なる進化が必要

再現計画中のカメラ不調事象

Sony Semiconductor
Solutions Corporation

項目	不調要因	再現(FY2020/2Q)
Dynamic range	■ 長シャッタ時の高輝度被写体の飽和	○
	■ HDR被写体の階調圧縮による階調ロス	○
Resolution	■ 広角レンズ使用時の解像度低下	○
Texture	■ 低照度ノイズ・暗部ノイズ	○
Motion blur	■ 長シャッタ時のブラー	-
	■ HDR合成アーチファクト	-
	■ ローリングシャッタ	-
LED Flicker	■ 短シャッタ時のLED光源の消灯	-
	■ 画面全体のBanding artifact	-
Stray light	■ コントラスト低下、ゴースト	× (レンズ仕様入手困難)

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

■ モデル化手法

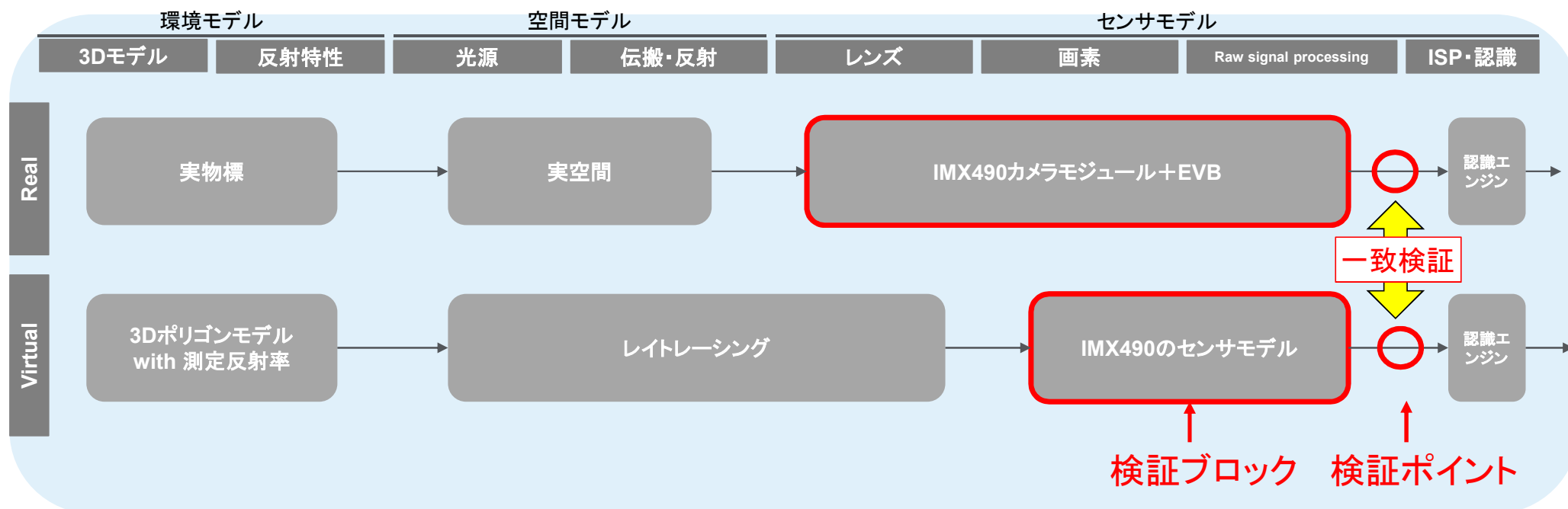
■ 検証手法

【カメラ一貫性検証】 カメラ知覚出力の比較検証により、差が発生するシーンと発生箇所を特定、要因を明らかにすることで一貫性検証～改善のサイクルを回す

一貫性検証概要

Sony Semiconductor
Solutions Corporation

- IMX490センサを用いて、センサモデル出力結果と実機撮影データを比較する
- データの比較により、差が発生するシーンと発生箇所、それらの要因を明らかにする

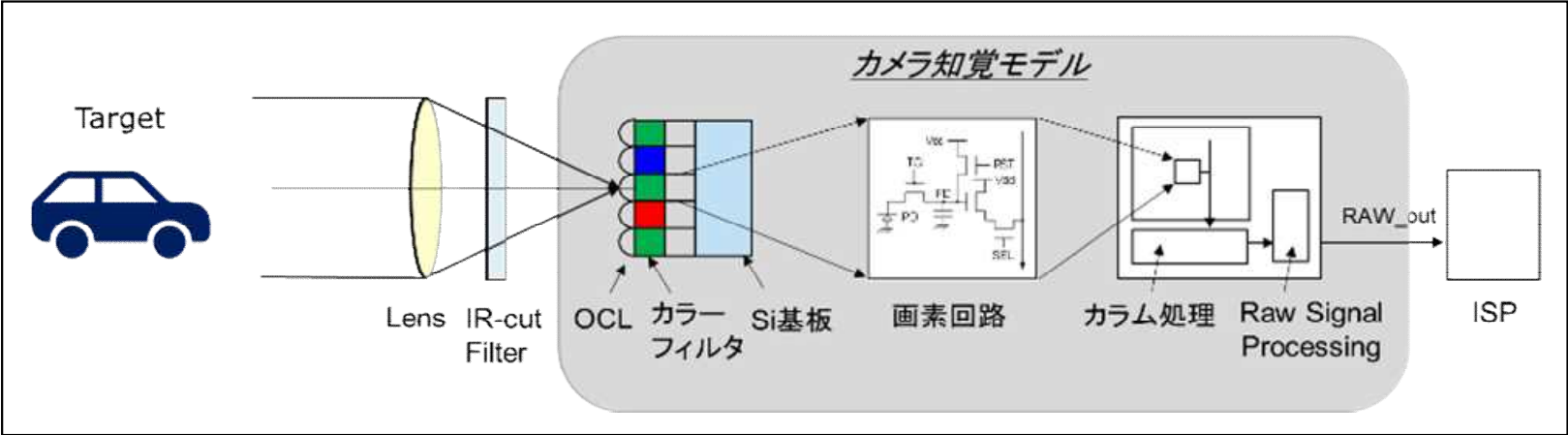


【カメラ一致性検証】

一致性検証にあたり、要因となる因子を抽出、これらに基づき一致性検証を進める

カメラ知覚モデルの構成と誤差要因

Sony Semiconductor Solutions Corporation



	Input	OCL (On Chip Lens)	カラー フィルタ	Si基板	画素回路	カラム処理	RAW Signal Processing
誤差要因	■ 照度 ■ 射影データ ■ シェーディング	■ 集光率	■ 分光特性	■ 量子効率 ■ 光ショットノイズ ■ フロアノイズ	■ 画素内回路	■ アナログゲイン	■ HDR合成 ■ PWL圧縮
誤差影響箇所	■ 色再現 ■ 画素位置ずれ ■ 明るさ分布	■ 明るさ	■ 色再現	■ 明るさ ■ ノイズレベル	■ シグナルレベル	■ シグナルレベル	■ 諧調表現
誤差影響度	大	小	大	大	小	小	大

Source: Sony Semiconductor Solutions Corporation
DIVP™ Consortium

【カメラ一致性検証】

既知の対象物を起点に、ヒストグラムの比較を行う検証手法を構想

Sony Semiconductor
Solutions Corporation

一致性検証手順

■ 検証プロセス

- ① 屋内（スタジオ）評価
 - ・ 白板による検証
 - ・ 面内均一レベル被写体による確認
 - ・ グレイチャート、カラーチャートによる検証
 - ・ コントラスト、色再現性の確認
- ② 屋外評価
 - ・ 実環境シーン、不調要因シーン

■ 検証方法

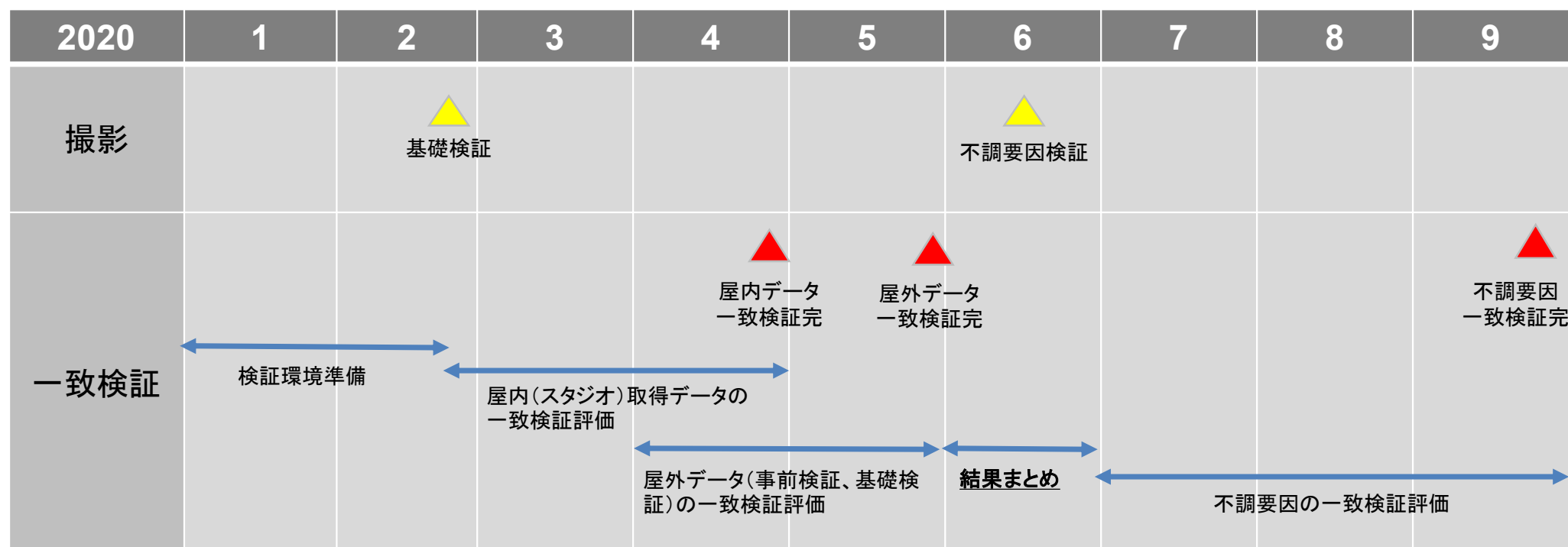
- ヒストグラム比較
 - ・ 全画面または領域ごと（像高、色、距離、被写体毎）に抽出
 - ・ 平均値（Signal）、ばらつき（Noise）、分布形状を比較
- 差の大きい領域から要因解析、フィードバックを行う

【カメラ一致性検証の実施予定】

屋内データと屋外データの一一致検証を並行して実施。6月末頃に検証結果をまとめる予定

一一致検証の想定スケジュール

Sony Semiconductor
Solutions Corporation



【カメラ一致性検証】 知覚出力比較によるモデルの一致性検証を行うにあたり、被写体領域ごとにヒストグラムを比較、シーン中の領域ごとに画素出力のヒストグラムを作成し、平均値と分散の一致性を評価

知覚出力比較による一致性検証手法(ヒストグラム取得の一例)

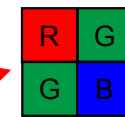
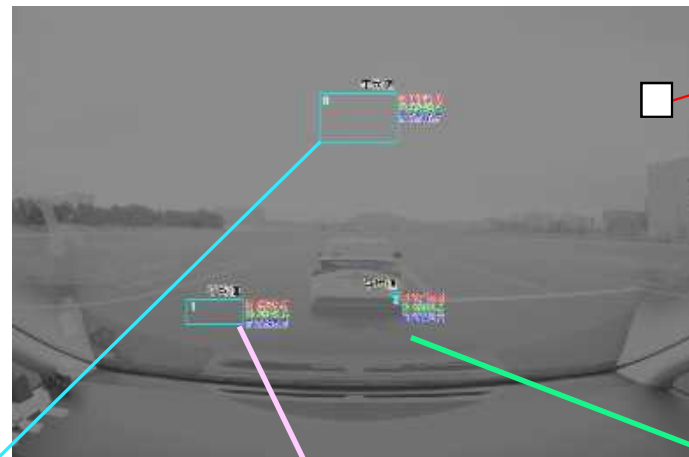
Sony Semiconductor
Solutions Corporation

参考: IMX490: カラー画像(簡易現像)



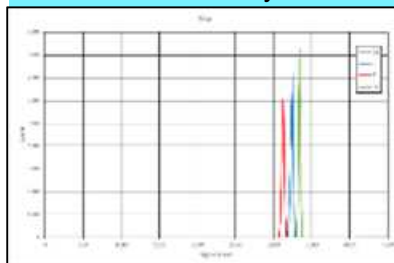
IMX490:
・画素数: 5.4Mpix (2896 × 1876)
・画素サイズ: 3.0μm × 3.0μm

IMX490: RAWデータ(12bit中8bitをモノクロ表示)

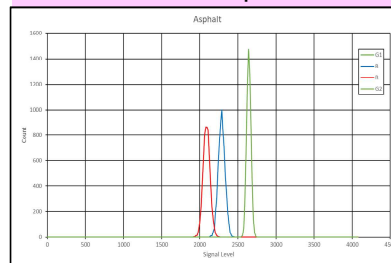


カラーフィルタ配列
(ベイア配列)

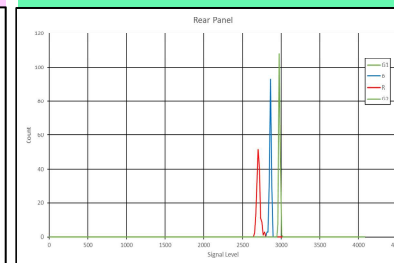
Area 0: Sky



Area 1: Asphalt



Area 2: Rear Panel



SIM結果との比較

領域ごとに比較を行う

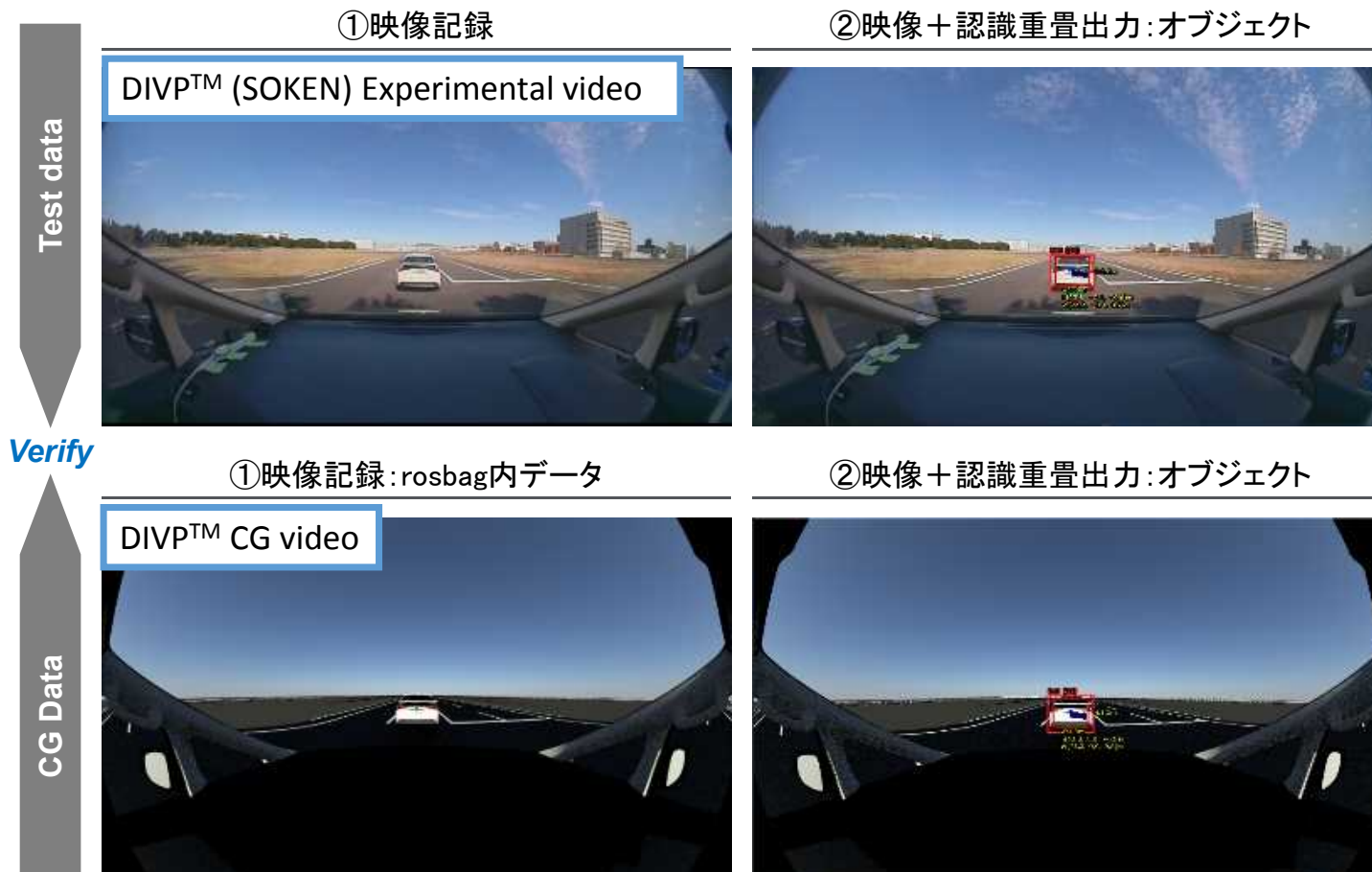
- 平均値の比較
 - シグナルレベルの差異
- 分散の比較
 - ノイズ、テクスチャの差異

【カメラ一致性検証】

実機とシミュレーションの認識結果の一致性検証が可能なことを確認した

カメラ一致性検証

HITACHI
Inspire the Next



実験風景



© Hitachi Automotive Systems, Ltd.

※カメラセンサーはISX019を活用

ISX019:

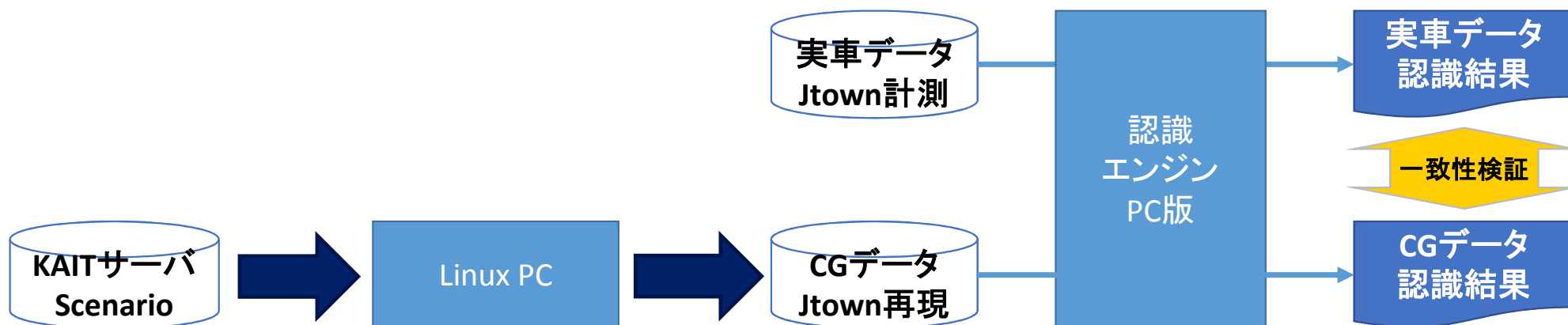
- ・画素数: 1.2Mpix (1280 × 960)
- ・画素サイズ: 2.9um × 2.9um

【カメラ一致性検証】

実機とシミュレーションの認識結果の一致性検証が可能なことを確認した

認識出力比較による一致性検証手法

HITACHI
Inspire the Next



- 認識出力I/Fの項目ごとに実車データとCGデータの認識結果の差分を検証する。
- 同じ認識エンジンを使用しているため、入力データが同じ場合、静止状態では認識結果が完全一致することを想定。

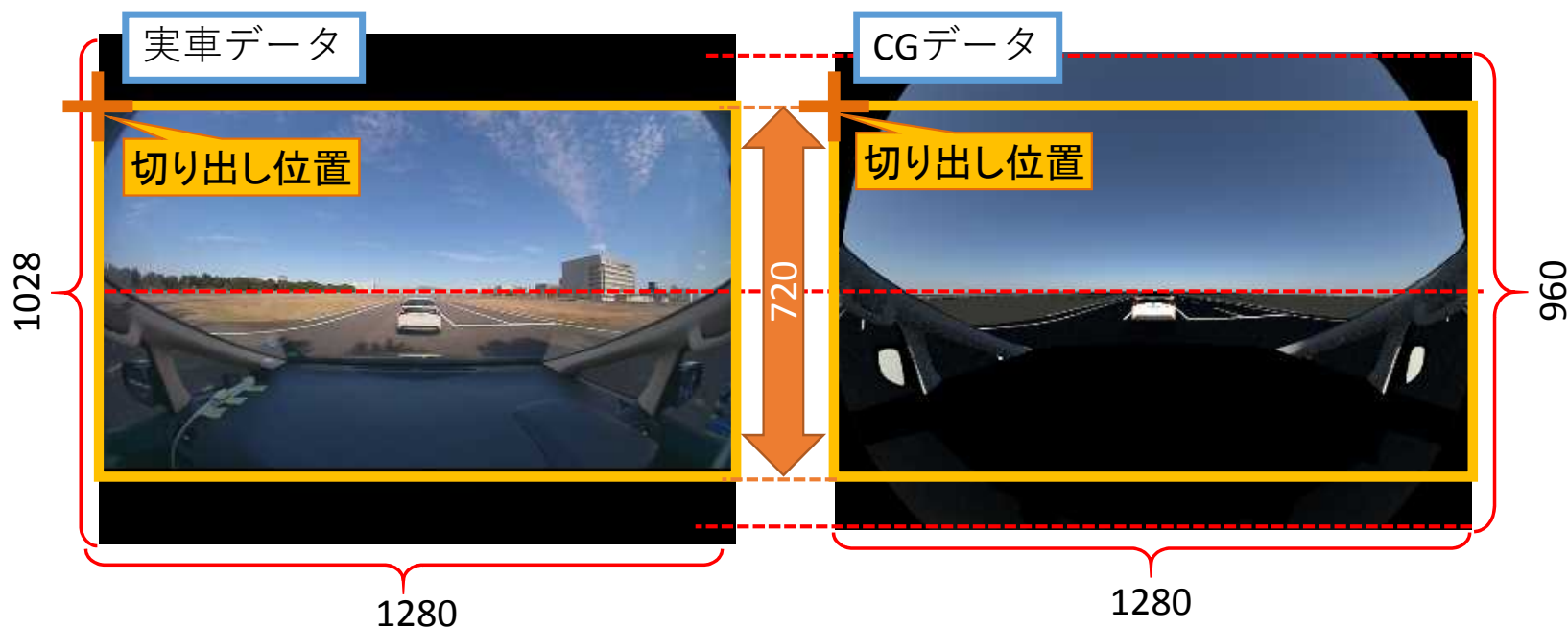
【カメラ一致性検証】

実機とシミュレーションの認識結果の一致性検証が可能なことを確認した

[入力映像]実車データとCGデータの差分

JTown1-1-1:設定距離10m

HITACHI
Inspire the Next



■入力映像の差分(今後の作りこみ)

- | | | | |
|-------------|------------------|-------------|--------|
| ①フロントガラス | ①カメラ画角 | ②カメラの高さ(俯角) | ③roll角 |
| ④車両と白線の位置関係 | ⑤ダッシュボード(反射率/素材) | ⑥ピラーの反射 | |
| ⑦路面の色 | ⑧車両の影 | ⑨消失点 | |

【カメラ一致性検証】

実機とシミュレーションの認識結果の一致性検証が可能なことを確認した

【認識結果:オブジェクト】

HITACHI
Inspire the Next

CameraRecogInfo	単位	実車	CG	絶対誤差	備考
横方向画面上サイズ	pixel	90	93	3	
縦方向画面上サイズ	pixel	75	76	1	
横方向位置	m	0.00	0.00	0.00	
縦方向位置	m	1.76	1.86	0.10	
高さ方向位置	m	1.46	1.51	0.05	
横方向中心座標	pixel	642	639	3	
縦方向中心座標	pixel	413	395	18	
縦方向相対距離	m	22.94	23.25	0.31	
横方向相対距離	m	-0.04	0.01	0.05	
高さ方向相対距離	m	-0.56	-0.54	0.02	
種別	-	2	2	-	普通自動車
進行方向種別	-	1	1	-	先行車
進行方向角度	rad	0.00	0.00	0.00	
検出信頼度	%	99	99	0	

【認識結果の考察】

認識距離が実車データでは22.94mに対して
CGデータでは23.25mとなった。

同じ認識エンジンを用いているため、
静止物体且つ近距離の為
入力映像の差が、認識の差に表れたものとする

※CG、実車映像を用いた複数回の実験において
各々の認識結果は完全一致(時間を除く)

本年度活動では一致性検証を行う環境を構築し、課題を確認、
次年度前半の活動で、不調要因再現検証までに、課題の解決を図る。

一致性検証のまとめと課題

評価	対象物	項目			
		対象物種別	距離	サイズ	角度
事前検証	プリウス	一致	不一致	不一致	一致(正面)
基本検証	プリウス	一致	不一致	不一致	一致(正面)

以下をCGにて再現することにより、実車とCGの認識一致性向上を得ることが想定される。
但し演算時間とのトレードオフのため、認識結果にフィードバックをかけながら、不調要因再現に向けて、
最適値を導出していく。

①フロントガラス

③roll角

⑥ピラーの反射

⑨消失点

①カメラ画角

④車両と白線の位置関係

⑦路面の色

②カメラの高さ(俯角)

⑤ダッシュボード(反射率/素材)

⑧車両の影

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

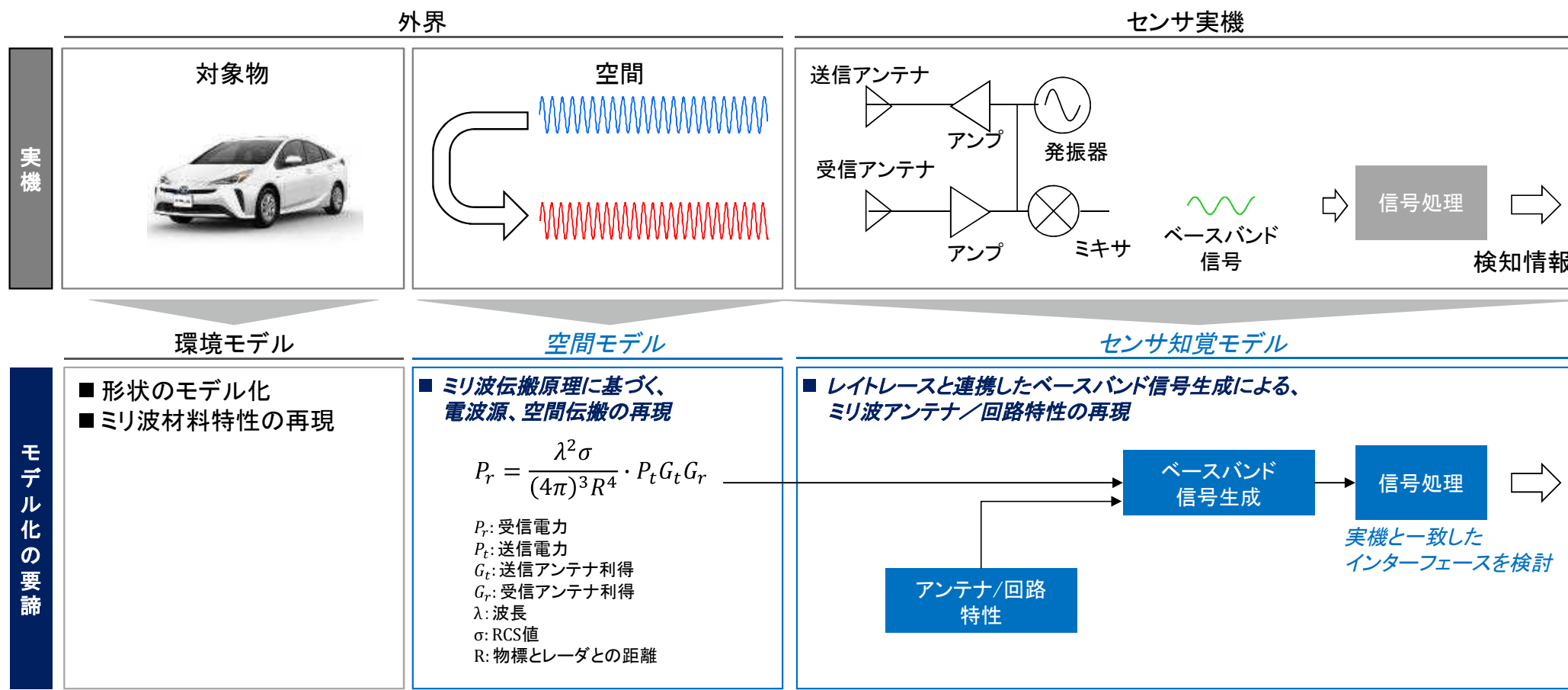
■ モデル化手法

■ 検証手法

【レーダモデル化】 センサのモデル化にあたり、外界モデルとの連携が必要、 精密な環境モデルとミリ波の反射・伝搬を再現する空間モデルが、レーダーモデル化の要諦

レーダのモデル化の要諦

DENSO

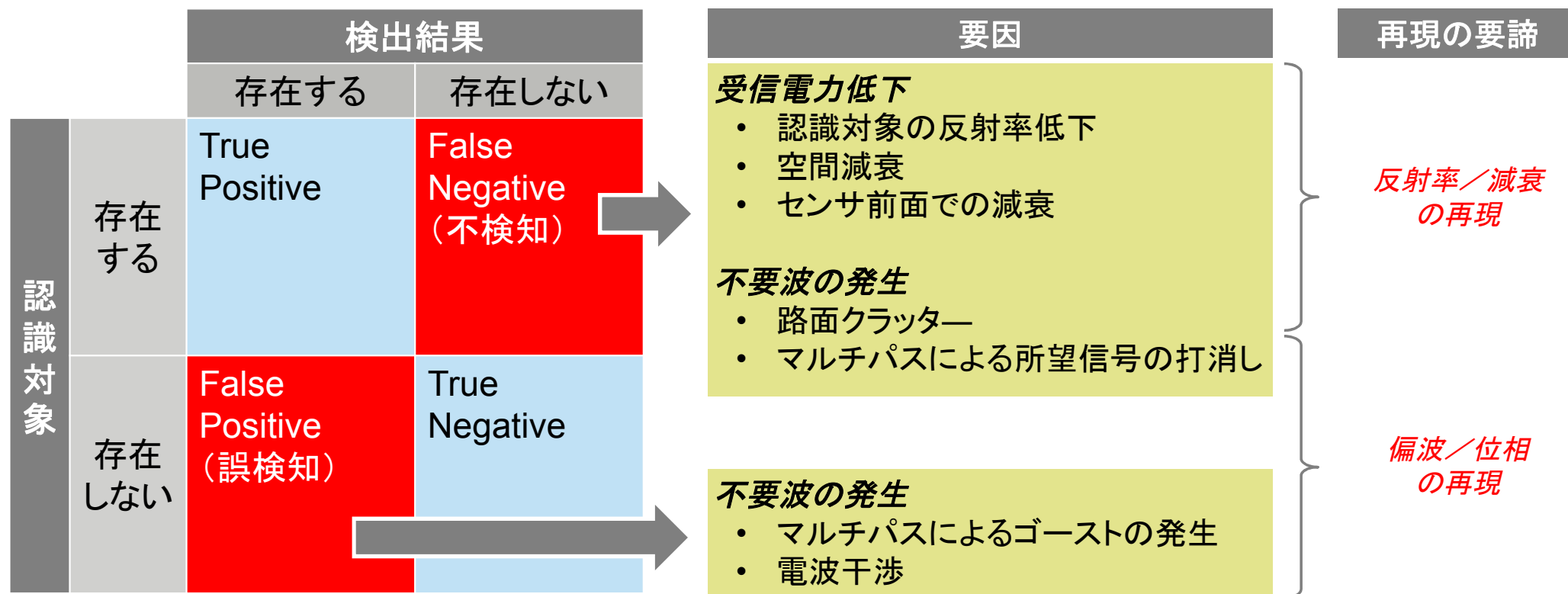


【レーダモデル化】

不調要因検証のためには、反射率／減衰、電波の偏波／位相の再現がポイント

不調要因検証のポイント

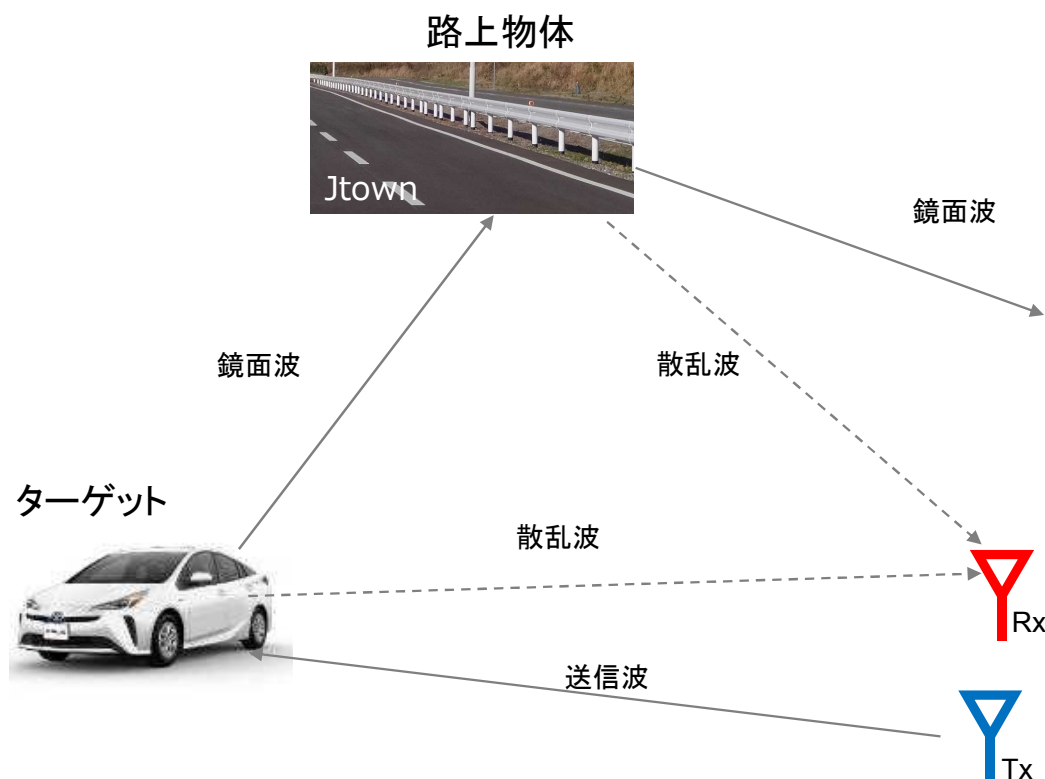
DENSO SOKEN



【空間描画】 レーダのモデル化にあたり、環境モデルとの連携が必要、 精密な環境モデルとミリ波の反射・伝搬を再現する空間モデルが、レーダーモデル化の要諦

レーダの空間伝搬モデル

DENSO Nihon Unisys, Ltd SOKEN



現状の空間・反射モデル 再現のポイント

- 他のセンサ同様にレイトレース法を用いて電波伝搬を再現する
- 計測した散乱と鏡面の反射率を利用することで強度を再現。位相回転、偏波回転も計測データを元に再現させる方針。
- 車両ホイールや歩行中の人などによるマイクロドップラーも再現させる方針。

- ミリ波の電波源、空間伝搬・対象物体上の反射の再現
- レーダ方程式を用いて、受信電力の計算を行う。

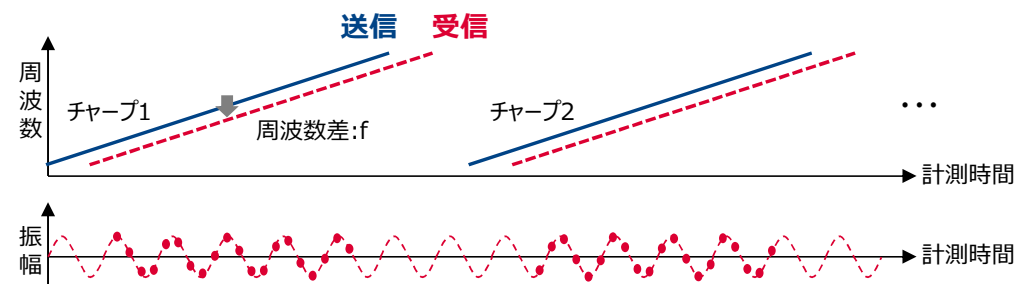
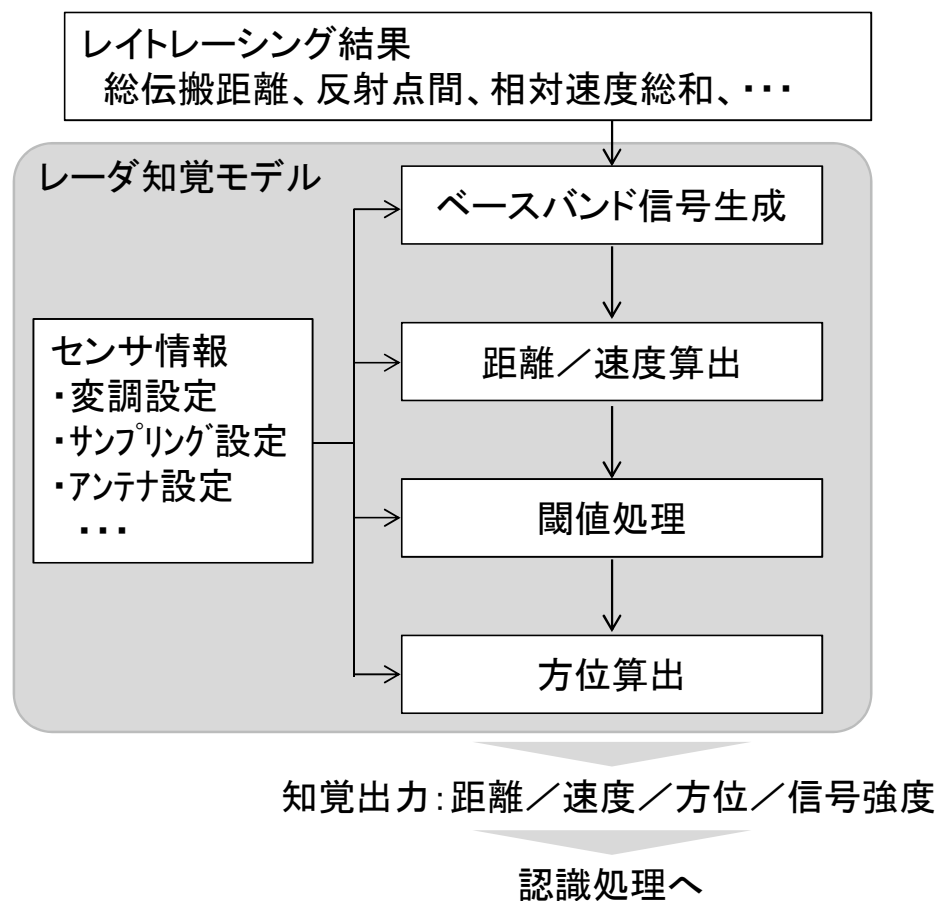
$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

P_r : 受信電力
 P_t : 送信電力
 G_t : 送信アンテナ利得
 G_r : 受信アンテナ利得
 λ : 波長
 σ : RCS値
 R : 物標とレーダとの距離

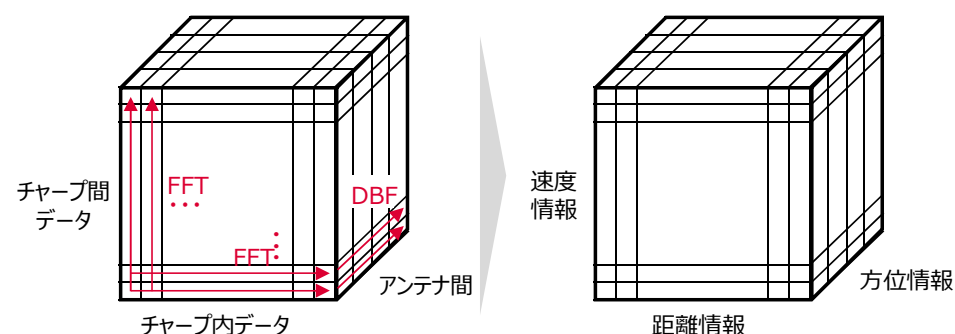
【レーダモデル化】 ベースバンド信号生成、距離／速度算出、閾値処理、方位推定からなるミリ波レーダ知覚モデルを開発

Nihon Unisys, Ltd **DENSO**

レーダ処理フロー



空間モデル出力からセンサモデル内で仕様に従ったチャープとベースバンド信号を生成



ベースバンド信号を元に、距離、速度、方位を算出

【レーダモデル化】 偏波を考慮した環境モデルと物体の大きさを考慮した空間モデルにより 反射率／減衰、電波の偏波／位相の再現性向上を図る

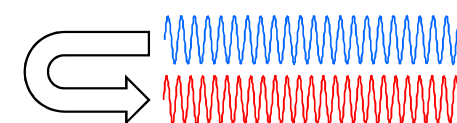
モデル化の方針

DENSO Nihon Unisys, Ltd SOKEN

検知対象物のモデル化

ミリ波伝搬空間のモデル化

実機



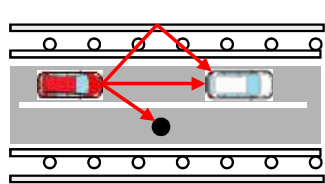
モデル化の方針

■ 演算速度を考慮した物体のモデル化 反射特性をDBとして保存

反射特性を事前
に求める



対象物の位置関
係、マルチパス経路
のみレイトレース



反射特性をレイトレースでリアルタイム計算

対象物を
ポリゴンで
表現



ポリゴンごとに反射近似式を適用

物理
光学
近似

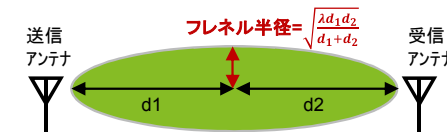
$$E_s(r, \theta, \phi) = -\frac{jkZ_0}{4\pi r} e^{-jkr} (J_x \hat{x} + J_y \hat{y}) \iint_A e^{jk(g+h)} ds_p$$

材料特性(偏波) 形状

■ 物体の大きさを考慮した伝搬特性の実現

■ フレネルゾーンより 小さい物体

$$P_r \propto \frac{1}{R^4}$$



■ フレネルゾーンより 大きい物体

$$P_r \propto \frac{1}{R^2}$$

■ フレネルゾーン 直進する電波の広がりを表す 領域

■ フレネル半径 31cm
(周波数: 77GHz, アンテナ間距離: 100m)

小 ← 計算量 → 大

対象物をポリゴンで表現し、レイトレースで位置・反射強度を計算。今後、物理光学近似で反射強度の一致性向上を図る。

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

■ モデル化手法

■ 検証手法

【レーダー致性検証】 誤差要因を段階的に検証していく

ミリ波レーダーの一致性誤差要因

DENSO

項目	確認内容	対象物	場所	検証誤差要因		
				対象物	空間	センサ
結合動作評価	- 動作検証 - 金属反射と空間伝搬の精度	コーナーリフレクタ	電波暗室	- 金属反射誤差 (振幅/位相) - 面積計算誤差	伝搬減衰誤差	増幅誤差
事前評価 (静止物)	- ポリゴン精度の影響 - ガラス／バンパ等誘電体の精度 - マルチパス精度	- プリウス - NCAP ダミー	Jtown	- 形状誤差 - 誘電体反射/透過誤差	- マルチパス経路探索誤差 - 路面反射誤差	- 雑音誤差 - アンテナ指向性誤差
基本評価 (移動物)	相対速度生成精度	- プリウス - NCAP ダミー	Jtown	- 同上 - マイクロドップラー誤差	同上	—
不調評価	各種不調要因による精度への影響	雨	降雨試験路	—	空間減衰モデル化誤差	—
		壁面	—	壁面反射誤差	—	—
		電波干渉	—	—	—	アンテナ偏波特性誤差

【レーダモデル化】

レーダ原理で検出可能な距離／速度／方位／信号強度を、一致性検証の指標とする

目標値

DENSO

項目	目標値 (実機との差)	根拠
距離	30cm	500MHzの距離分離能に相当
速度	0.3km/h	検証用実機の性能
方位角	10deg	検証用実機の性能
強度	±5dB	検証用実機の性能

【レーダー一致性検証】 コーナーリフレクタで距離／方位／強度を評価、強度が理論・実測と不一致
強度計算のモデル改善と並行して、距離／方位の事前検証を実施中

Rader一致性検証 DENSO

結合動作チェック(実験室)			事前検証(Jtown)	
Test environment	コーナーリフレクタ	電波暗室	ミリ波レーダー	
				
Results	距離	OK		
	方位	OK		
	強度	NG		

Test environment		
Results	距離	検証実施中
	方位	検証実施中
	強度	モデル改善実施中

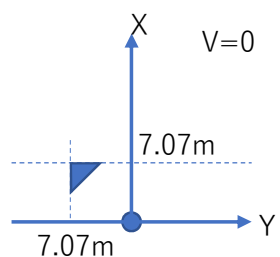
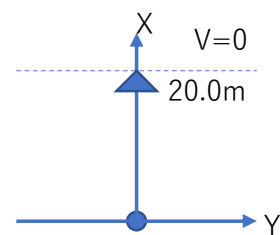
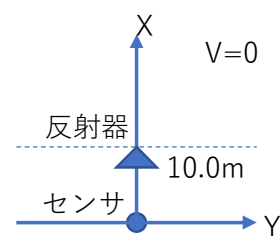
【レーダー一致性検証】

コーナリフレクタを用いた基礎的な条件においては、距離、角度の一致性を確認した

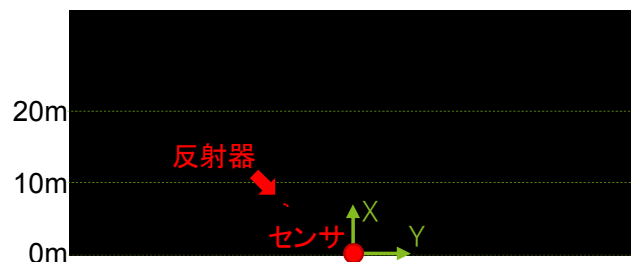
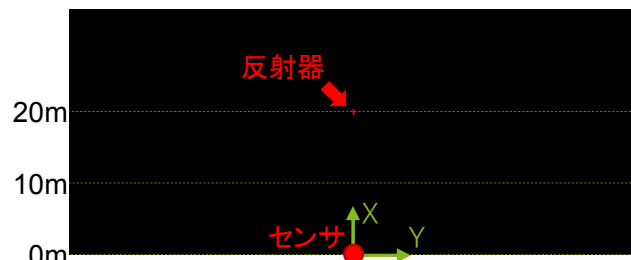
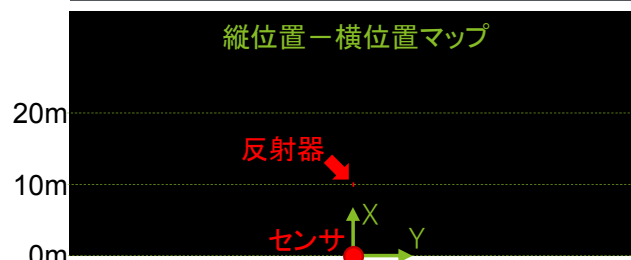
コーナリフレクタを用いた結合検証結果

DENSO

コーナリフレクタ位置



シミュレーション結果



結果判定

	設定値	知覚出力	差	目標値	合否
距離	10.00 m	10.08 m	0.08 m	0.30 m	合
角度	0.0 deg	1.8e-15 deg	1.8e-15 deg	10 deg	合

	設定値	知覚出力	差	目標値	合否
距離	20.00 m	20.01 m	0.01 m	0.30 m	合
角度	0.0 deg	1.8e-15 deg	1.8e-15 deg	10 deg	合

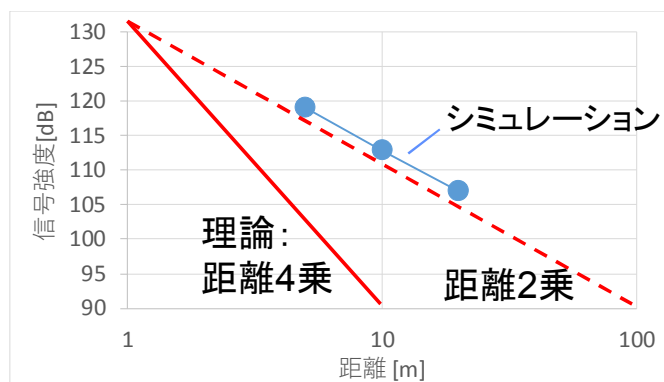
	設定値	知覚出力	差	目標値	合否
距離	10.00 m	10.08 m	0.01 m	0.30 m	合
角度	45.0 deg	45.0 deg	0 deg	10 deg	合

【レーダー致性検証】

強度は反射に寄与する面積の取得と距離減衰の考慮が課題

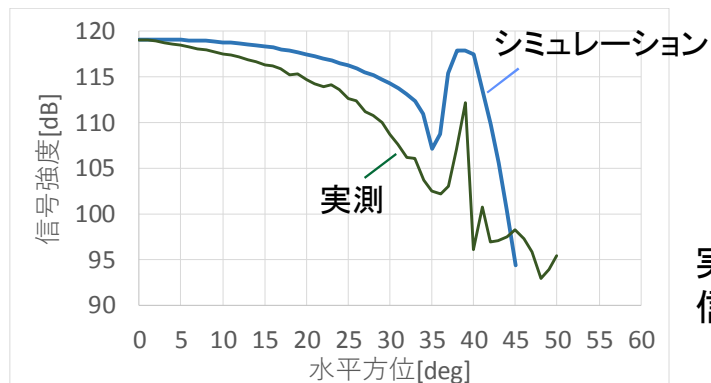
反射強度の一致性

■信号強度の距離依存性



理論値と異なる
距離減衰

■信号強度のコーナーリフレクタの向き依存性



実測と異なる
信号強度

■考察

受信電力

理論

$$\propto (\text{面積})^2_{※}$$

$$\propto (\text{距離})^4$$

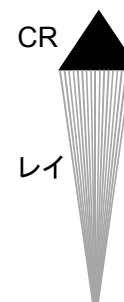
現状

$$\propto (\text{面積})^1$$

$$\propto (\text{距離})^2$$

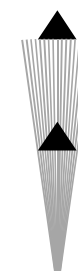
※ コーナーリフレクタの場合

(面積)¹ に比例する原因



反射レイの本数で物標面積を判別
→ 反射電力が(面積)¹に比例

(距離)² に比例する原因



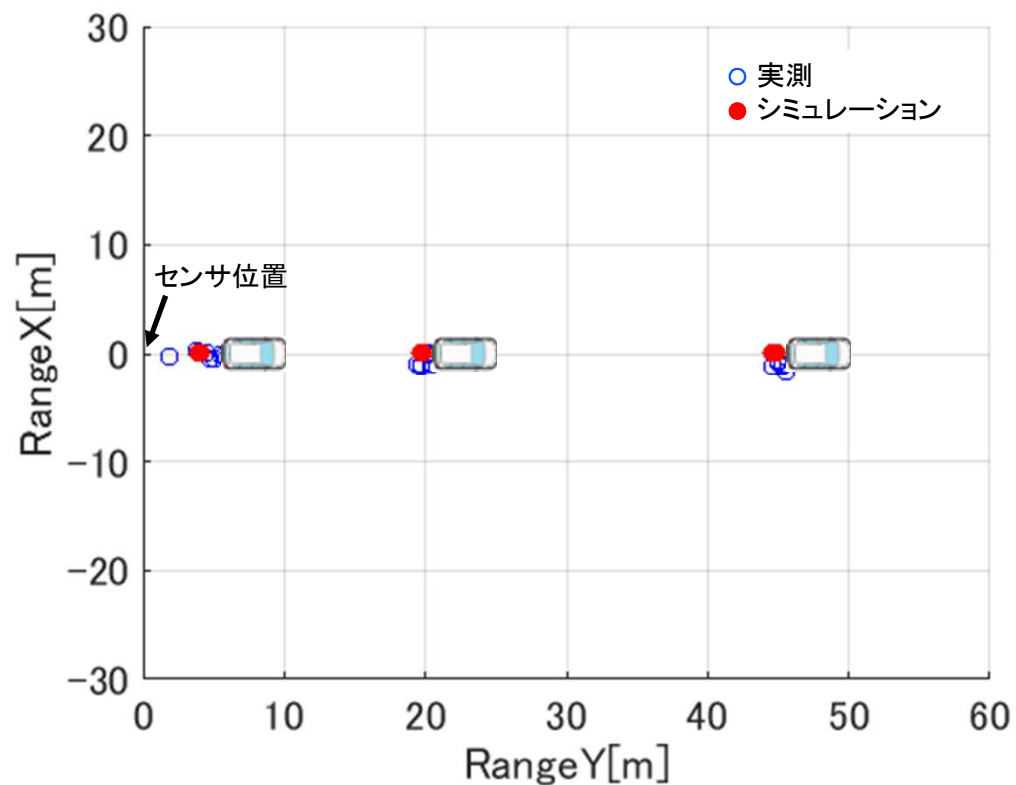
往路のみ(距離)²に比例
→ 復路の距離減衰が考慮されていない

DENSO

【レーダー一致性検証】 Jtownでのプリウスに対して、一致性を検証中。概ね距離／方位／速度(0km/h)が一致することを確認した。信号強度も含めて詳細に一致性を検証する。

事前検証(静止物)

DENSO



実験



シミュレーション



本年度活動では距離・速度・方位の一致性を確認
信号強度の不一致を、物理光学近似の適用など空間モデルの精緻化で改善予定

一致性検証のまとめと課題

DENSO

評価	対象物	項目			
		距離	方位	速度	信号強度
結合動作評価	コーナリフレクタ	一致	一致	一致(0km/h)	不一致
事前評価(※)	プリウス	概ね一致	概ね一致	概ね一致	—

※ 基本検証では、設置による計測誤差の影響を定量化し、検証精度を向上する

信号強度の一致性向上には、

- ・ 対象物の形状を考慮した反射特性
- ・ マルチパスの計算精度の向上

が必要と考えられる。

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

■ モデル化手法

■ 検証手法

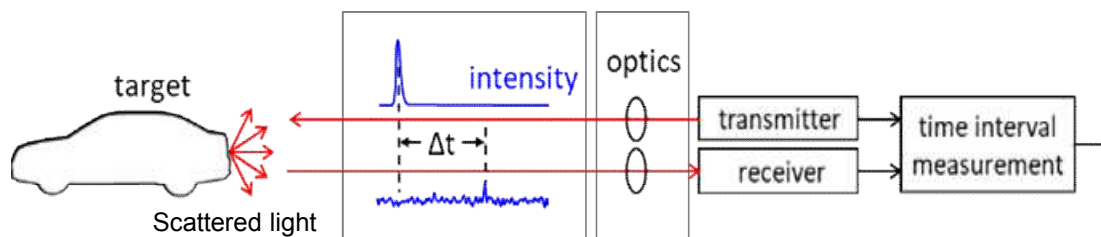
【LiDARモデル化】 LiDARシミュレーション時にモデル化すべき要件を検討、信号伝搬モデル、走査モデル、測距モデルの再現が要諦

LiDARモデル化の要諦

Pioneer

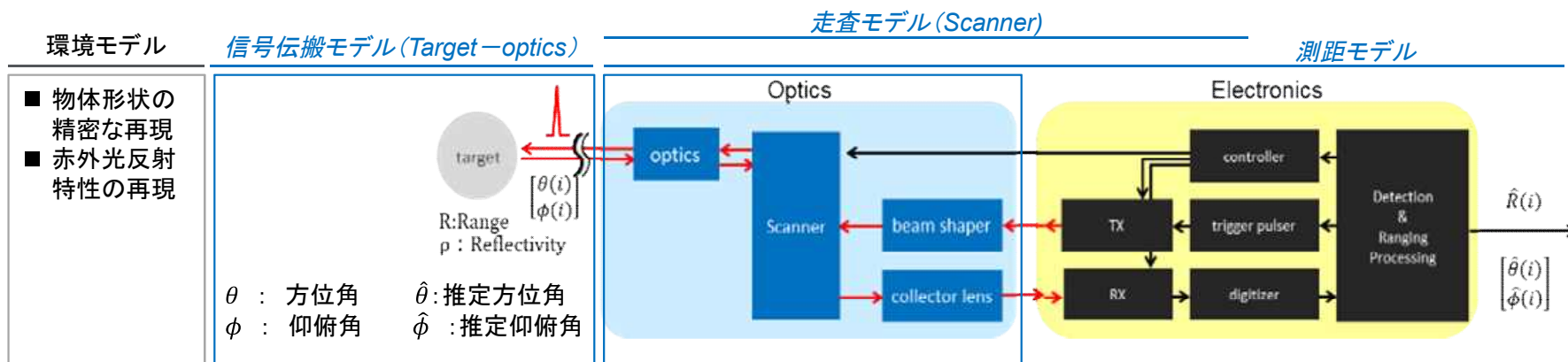
センサ構造・検出原理

- LiDARとは、光を送信する時間と、その光が物標面で反射され、受信する時間差から物標面までの距離Rを算出するセンサ
- LiDARを構成する機能ブロックごとにモデル化



Target	■ 物標
Scattered light	■ 散乱光(反射光)
Transmitter	■ 送信機
Receiver	■ 受信機
Time interval measurement	■ 時間間隔測定

モデル化の要諦



* TOF: TimeOfFlight

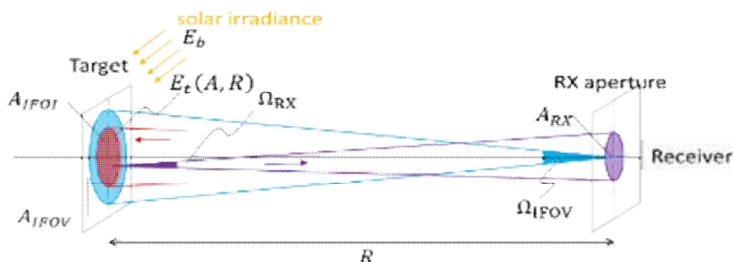
Source : PIONEER SMART SENSING INNOVATIONS CORPORATION

DIVP™ Consortium

【LiDARモデル化】

信号伝搬モデル(光学モデル)を検討、モデル化すべき因子を明確化した

信号伝搬モデル(光学モデル)



A_{IFOI}	送信光が照射される面積・フットプリント[m ²]
A_{IFOV}	受信視野に入る物標の面積・瞬時視野[m ²]
Ω_{RX}	受信レンズの受光角（立体角）[sr]
Ω_{IFOV}	受信視野角（立体角）[sr]
A_{RX}	受信開口面積 [m ²]
R	物標面への距離 [m]
$E_t(A, R)$	物標面上での照度[W/m ²]

$$Pr(R) = \frac{\rho}{\pi} \int_{A_{IFOV}(R)} \int_{\Omega_{RX}(R)} E_t(A, R) dA d\Omega = \frac{\rho}{\pi} \frac{A_{RX}}{R^2} P_t$$

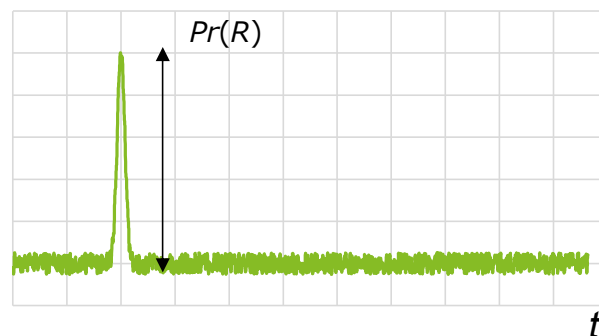
$$P_b = \frac{\rho}{\pi} \int_{A_{IFOV}(R)} \int_{\Omega_{RX}(R)} E_b dA d\Omega = \frac{\rho}{\pi} A_{RX} \Omega_{IFOV} E_b$$

P : 物標射率 ただし、反射特性はLambertian反射体とする

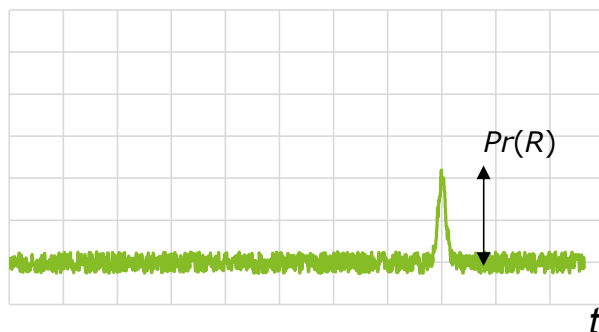
P_t : 送信光パワー

E_b : 太陽からの放射照度

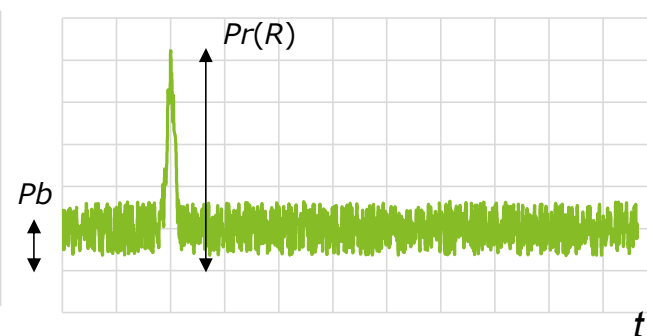
- ターゲットが近距離時の受信波形
背景光無



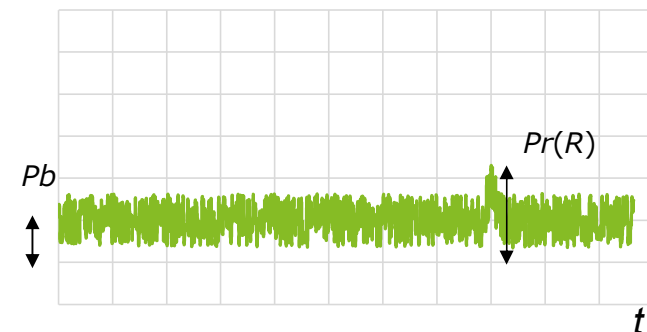
- ターゲットが遠距離時の受信波形
背景光無



背景光有



背景光有



LiDARモデルにはPr、Pbに影響する物標反射特性、伝搬減衰、背景光パワーのモデル化が必須となる

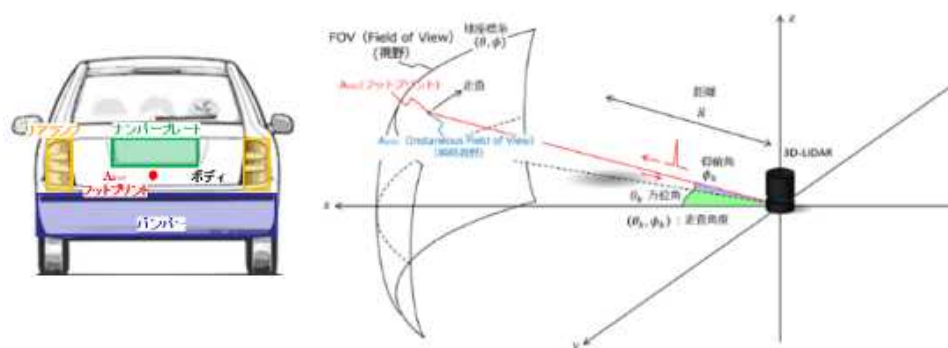
【LiDARモデル化】

走査モデルの高速化はフットプリントの扱い(点～面)により調整可能

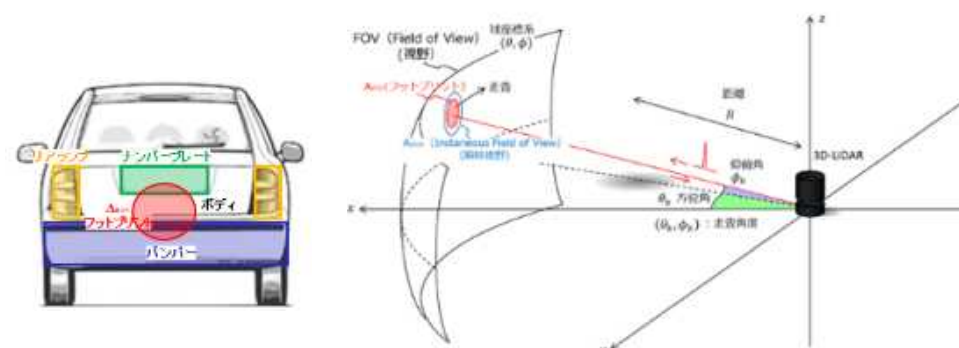
走査モデル

Pioneer

光線を点とし、拡散を考慮しない



実環境を精緻に再現、光線の拡散と反射を考慮する



- フットプリントは、点～面（ビームダイバージェンスを複数の光線で表現、入射角も考慮）
- ビームダイバージェンスを表現しているので、ビームが複数物標に照射されるケースも対応可能
- 解像度の高いBeam出射タイミング(nsecレベル)を表現

【LiDARモデル化】

LiDAR向け環境モデルは、LiDAR信号波長に対する物標の反射特性を定量化

環境モデル

Pioneer



拡散反射特性	計測した物標反射特性を再現
透過特性	
鏡面反射特性	
再帰性反射特性	
多重反射特性	計測した物標反射特性を再現 ※再現すべきシーンがあれば
伝搬減衰	各照射ビーム毎に考慮する
背景光	各走査点の瞬時視野を考慮する

【LiDARモデル化】

測距モデルは、設計ベースまたは解析ベースでモデル化

■ 設計ベース

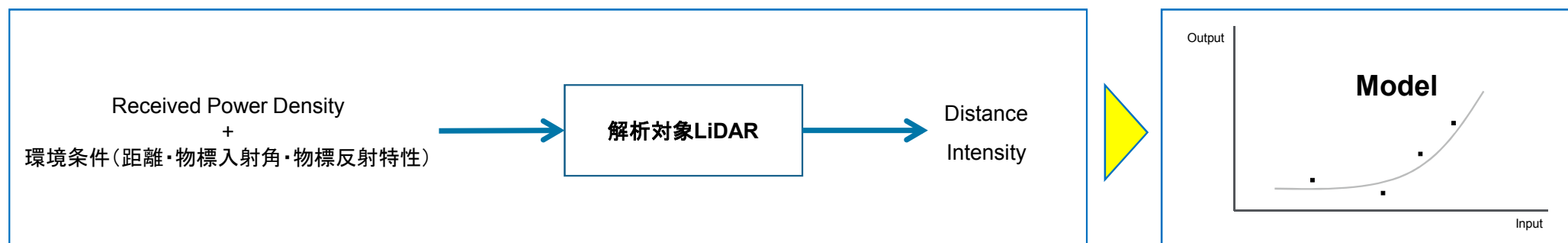
- 設計値が明らかな場合 ⇒ 設計値からモデル化



各要素を設計値に基づきモデル化

■ 解析ベース

- 設計値が未知の場合 ⇒ 計測値からモデル化(解析ベース)。



既知の入力(環境条件)に対する出力を計測し、その関係をモデル化

【LiDARモデル化】

環境、空間伝搬に起因するLiDAR不調要因を優先的に検討

再現する不調

Pioneer

LiDARから見えにくい物体

反射特性を実測して再現

黒革ジャケット



濡れたアスファルト



雨、霧での光学伝搬特性

雨、霧状態での伝搬特性を計測して再現

雨



霧



太陽光による影響の評価

背景光を加味して再現

太陽光、逆光、etc



【LiDARモデル化】

白線検出困難なシーンとして、都内(お台場)で見られる遮熱性塗装の再現に取り組む予定

LiDAR不調事象の再現(白線検出)

Pioneer

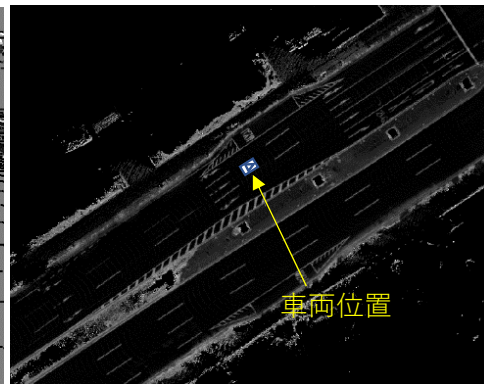
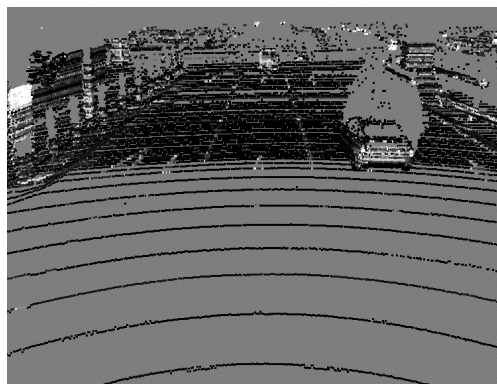
通常のアスファルト(ビッグサイト付近)

- アスファルトと白線の反射率に違いがあるため、白線検出可能



LiDAR点群

LiDARオルソ地図



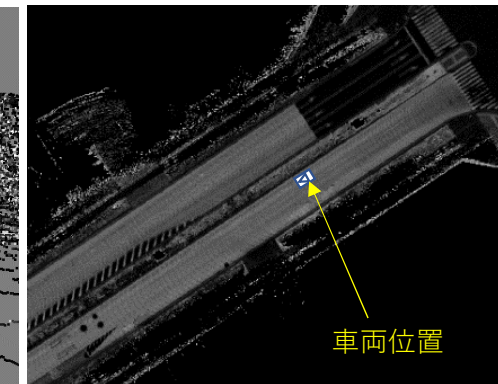
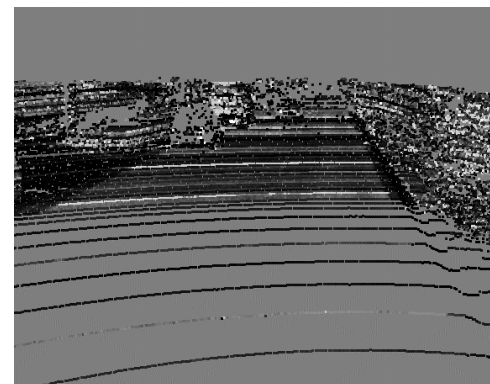
遮熱性塗装(テレコムセンター前)

- アスファルトと白線の反射率が同等で白線検出困難



LiDAR点群

LiDARオルソ地図

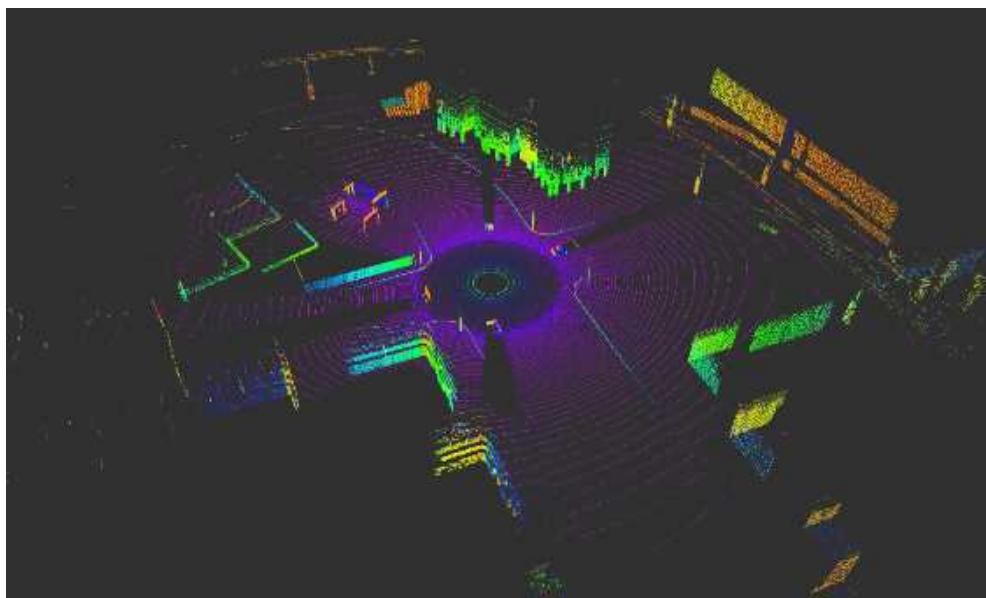


【LiDARモデル化】 LiDARモデルを活用した評価について

LiDARモデルの活用

空間描画のパフォーマンス改善

- Optix化による改善の検討、3000倍程度の高速化を確認



処理	レイ本数	処理時間[msec]	レイ 1 本あたりの処理時間[μsec]
従来	240,152	1004.458	4.1826
Optix版	1,080,000	1.4	0.0013

Nihon Unisys, Ltd *Pioneer*

センサモデリング状況

- 空間解像度が異なる2機種をモデル化、一致性検証中
- 物標の反射特性計測と環境モデルへの反映が終了すれば、実測に近い点群がシミュレート可能
(要物標モデル、反射特性データ、シナリオ)

ex) 前ページの路面と白線と区別がつかないという現象も路面の反射特性を反映したシミュレーションが可能であるため再現可能。

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ カメラ

■ レーダ

■ LiDAR

■ モデル化手法

■ 検証手法

【LiDARモデル化】

各ステップで評価対象以外の誤差要因を極力排除することで効果的な一貫性検証を実施



一貫性検証（結合動作チェック、事前検証）

Step	検証の目的	評価パラメータ	評価指標
結合動作 チェック(IT)	■ 環境モデル、空間伝搬モデル、シナリオに 起因する誤差をできるだけ排除することで、 LiDAR知覚モデル(走査モデル・測距モデ ル)の一貫性を評価	■ 角度 ■ 距離 ■ 強度	■ 垂直解像度(隣接ライン間仰角) ■ 水平解像度(水平方向隣接点間方位角)の一貫性 ■ 形状・反射特性が既知である物標の各距離における 精度、確度の一貫性
事前検証 (PV)	■ 空間伝搬モデル、シナリオに起因する誤差 をできるだけ排除することで、環境モデル、 LiDAR知覚モデル(走査モデル・測距モデ ル)の一貫性を評価	■ 被計測物(プリウス)まで の最短距離 ■ 物標点群の点数(物体に 当たり検出された点数) ■ 物体サイズ(幅) ■ 物標点群の強度分布 ■ 認識モデル出力結果	■ 距離の精度、確度の一貫性 ■ 点数の精度、確度の一貫性 ■ 物体サイズ(幅)の精度、確度の一貫性 ■ 強度分布の一貫性 ■ 認識モデル出力結果の一貫性
不調再現 検証	今後継続した検証の実施		
拡張性検証			

【LiDAR一致性検証(結合動作チェック)】 結合動作チェックにおける誤差要因と評価対象モデル

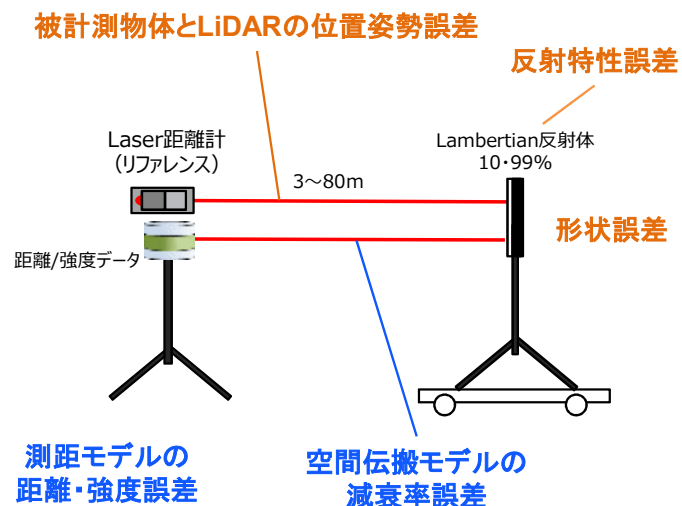
■ 一致性検証(結合動作チェック)

Pioneer

環境モデル、空間伝搬モデル、シナリオに起因する誤差をできるだけ排除することで、LiDAR知覚モデル(走査モデル・測距モデル)の一致性を評価

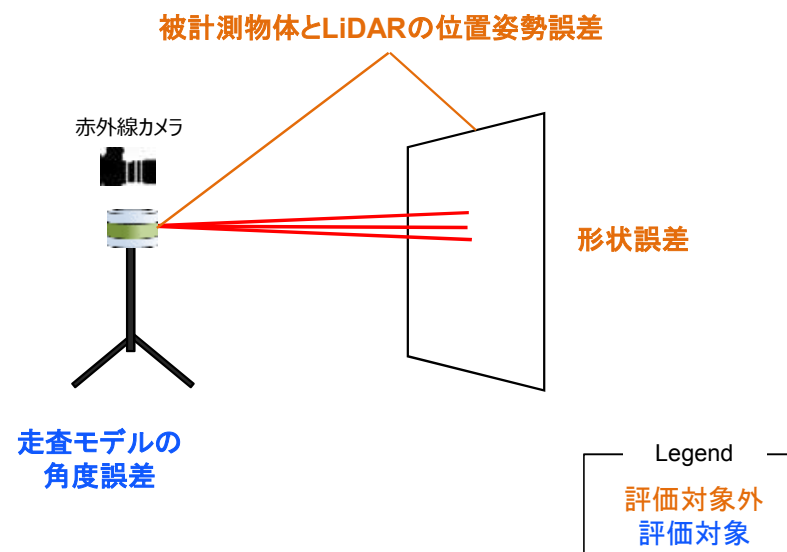
距離/強度計測

- LiDARとLambertian反射体の距離を変えて計測



角度計測

- 平面にビームを投影させて赤外線カメラで解像度を計測



【LiDAR一致性検証(事前検証)】

事前検証における誤差要因と評価対象モデル

■ 一致性検証(事前検証)

Pioneer

LiDAR搭載位置姿勢、計測車両位置姿勢、被計測車両位置姿勢に起因する誤差はできるだけ排除し、
LiDAR知覚モデル(走査モデル・測距モデル)と環境モデル(被計測物体の形状・反射特性)を合わせて評価

被計測物(プリウス)までの最短距離、物標点群の点数(物体に当たり検出された点数)、物体サイズ(幅)、
物標点群の強度分布、認識モデルの出力結果



Legend

評価対象外
評価対象

【LiDAR一致性検証】結合動作チェックにおいては、距離・角度について十分な一致性を検証、事前検証においては、最短距離・サイズ(幅)で十分な一致性を検証

LiDAR 一致性検証



結合動作チェック(実験室)

Test in Labo

Reference Reflector

Sample LiDAR

Results	Distance	十分な一致性を確認
	Angle	十分な一致性を確認
	Intensity	距離変化によるインテンシティの不規則な変動を確認 (モデル化未対応)

事前検証(Jtown)

Test in Jtown

LiDAR Output

Legend

マゼンタ: Sim点群

緑: 実測点群

Results	最短距離	近距離では十分な一致性
	サイズ(幅)	近距離では十分な一致性
	総点数	物標反射・透過特性に起因する誤差を確認

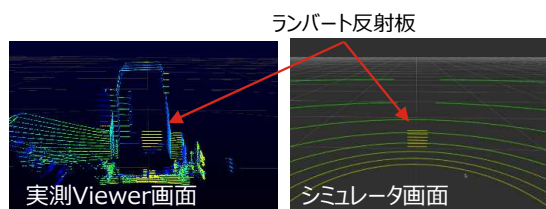
※物標反射特性埋込後に継続検証予定

【LiDAR一致性検証(結合動作チェック)】

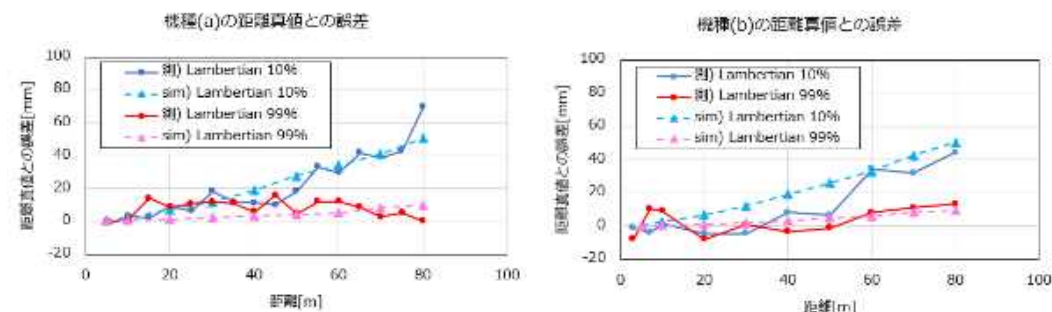
距離・強度の精度・確度の一定程度の一致性を確認、角度については十分な一致性を確認

Labo検証結果

距離/強度計測風景

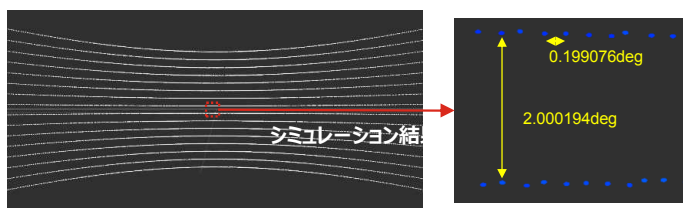


●距離データ 一致性検証結果



距離データについて、実機計測と測距モデルの距離出力の十分な一致性を確認

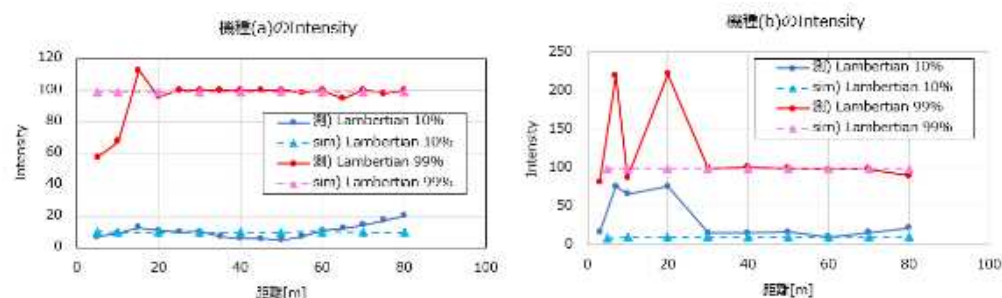
●角度一致性検証結果



角度データ(水平・垂直解像度)について、走査モデル出力の十分な一致性を確認

	計測結果	Sim結果
水平解像度	0.20deg	0.20deg
垂直解像度	2.01deg	2.00deg

●強度データ 一致性検証結果



強度データについて、実機計測と測距モデルで50m以上で十分な一致性を確認

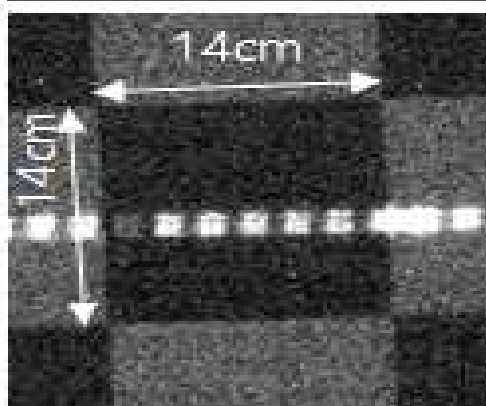
Laboにおける結合動作チェックでは4つの課題を確認、引続き対策検討を進める

結合動作チェックで顕在化した課題(1/2)

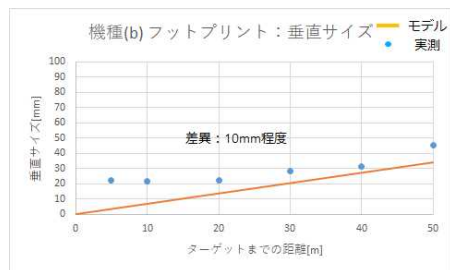
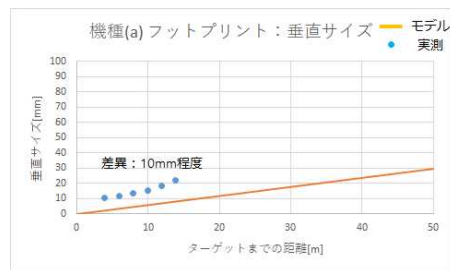
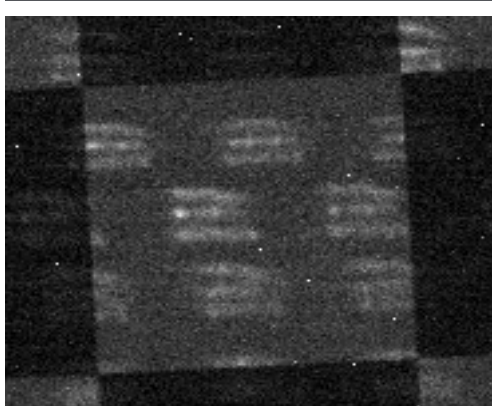
レンズの影響による垂直方向のビーム広がり角の不一致

- 走査モデルがレンズの影響を考慮していないため垂直方向に10mm程度の誤差が発生

機種(a) のフットプリント赤外線画像



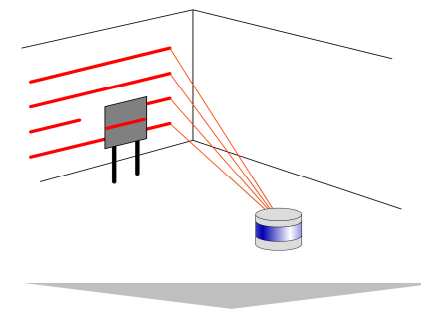
機種(b) のフットプリント赤外線画像



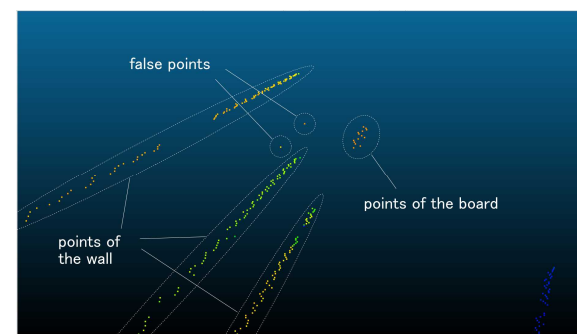
Pioneer

隣接物体間に発生するノイズ(偽点)

- 隣接する2物体が前後に存在する場合、物体間に偽点が発生



例えば、壁と板が隣接している場合、偽点が発生

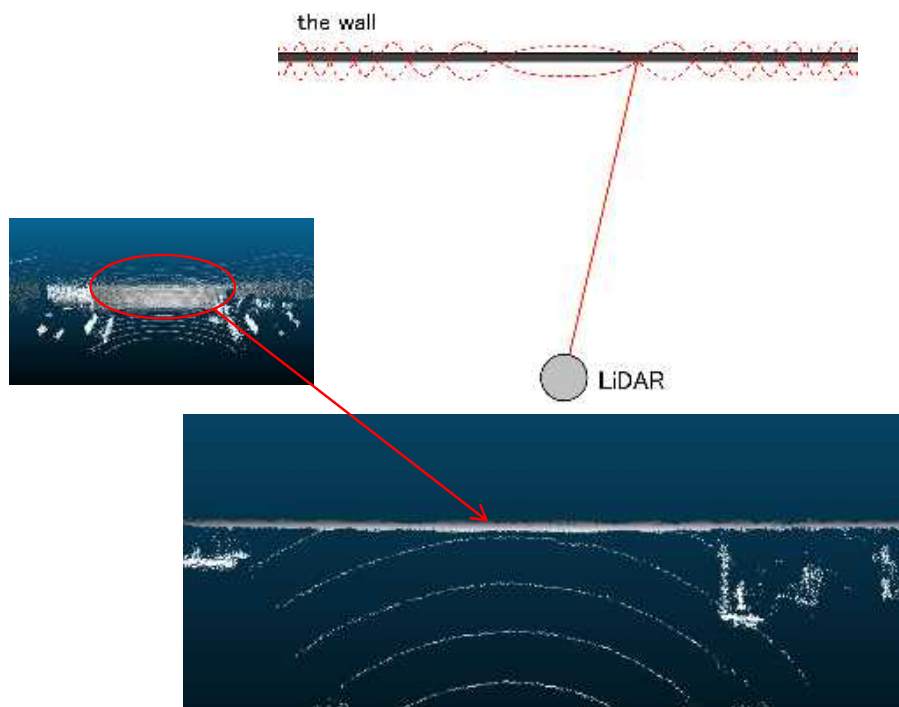


Laboにおける結合動作チェックでは4つの課題を確認、引続き対策検討を進める

結合動作チェックで顕在化した課題(2/2)

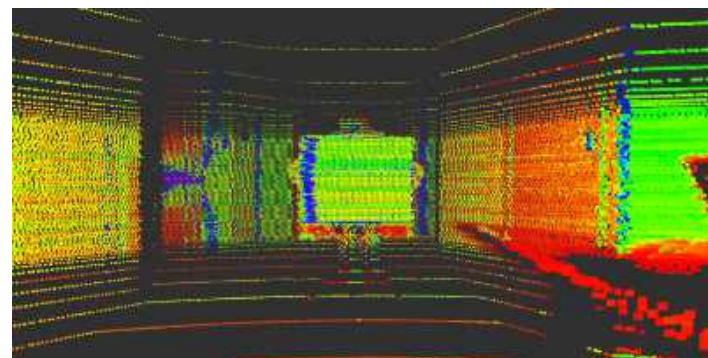
平面が歪む現象

- 計測された距離によって誤差が変わるため、平面が歪んで観測される

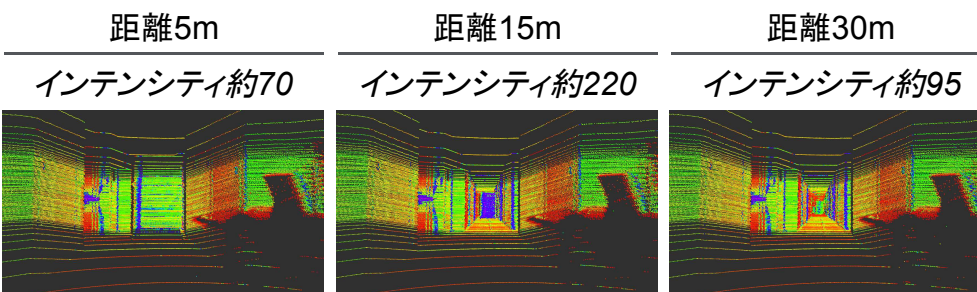


同一材質の物体上でインテンシティが異なる現象例

- 同一材質の平面にもかかわらず、インテンシティのバラつきが観測される(左端の青い帯、水平ライン毎のバラつき)



- さらに、距離の変化によってインテンシティの不規則な変動が観測される



【LiDAR一致性検証(事前検証)】Joint test with Jtown data

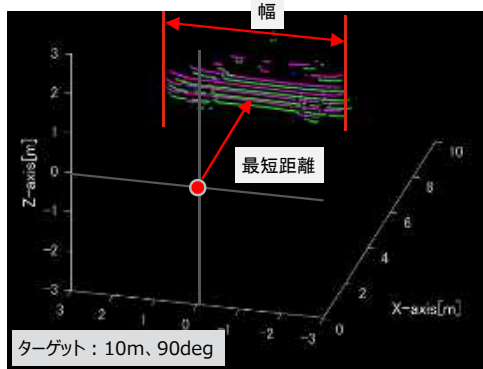
遠距離ではLiDARモデル以外に起因する誤差はあるものの、最短距離、サイズ(幅)評価ともにLiDARモデルとして十分な一致性を確認

■ Jtown検証結果:

Jtown 計測風景



点群比較



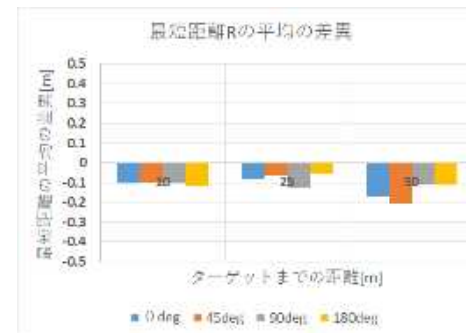
シミュレーション点群

実測点群

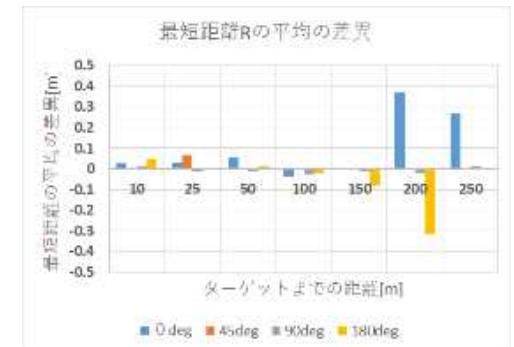
・最短距離評価

- ★近距離: 十分な一致性
- ※機種(a)はLiDAR取付位置に起因する系統誤差あり(評価対象外)
- ★遠距離: 物体の位置姿勢に起因する誤差、物標反射特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差あり

機種(a)



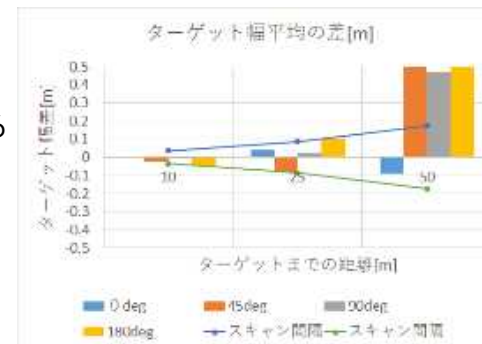
機種(b)



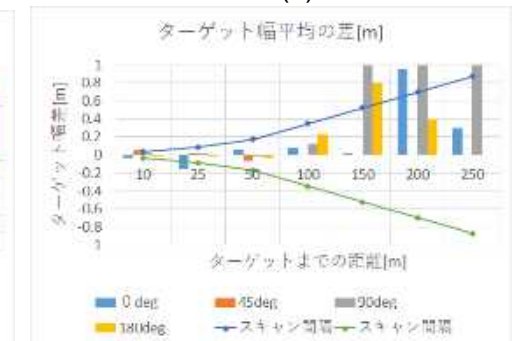
・サイズ(幅)評価

- ★近距離: 十分な一致性
- ★遠距離: 物体の位置姿勢に起因する誤差、物標反射特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差あり

機種(a)



機種(b)



【LiDAR一致性検証(事前検証)】 Joint test with Jtown data

総点数評価で物標反射・透過特性に起因する誤差を確認

Jtown検証結果

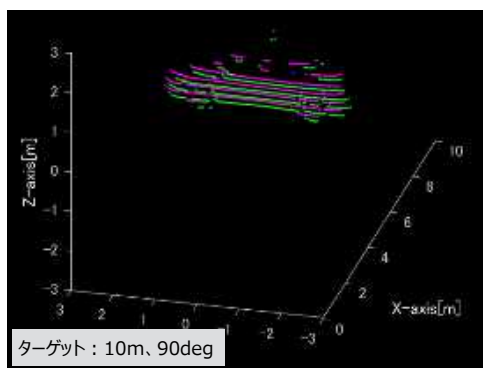
Jtown 計測風景



・総点数評価

- ★近距離: 物標反射・透過特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差あり
- ★遠距離: 物体の位置姿勢に起因する誤差、物標反射特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差あり

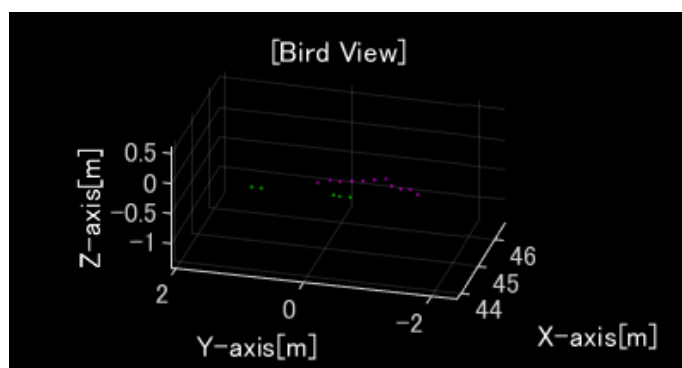
点群比較 (10m)



シミュレーション点群 : マゼンタ

実測点群(緑)

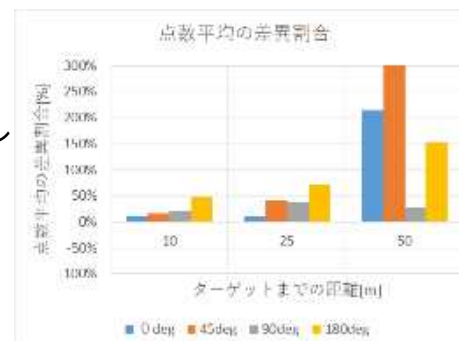
点群比較 (50m)



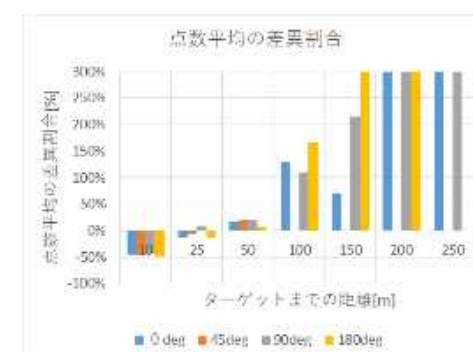
シミュレーション点群 : マゼンタ

実測点群(緑)

機種(a)



機種(b)



本年度活動では一定の一致性ととも課題を確認、
次年度活動で課題の解決を図る

一 致 性 検 証 の ま と め と 課 題



結合動作チェックにおける一 致 性 検 証 の 結 果

モデル	評価パラメータ	一 致 性 検 証 結 果
走査モデル	■ 角度(水平・垂直解像度)	■ 十分な一 致 性 を 確 認
	■ フットプリント	■ 垂直方向のサイズについて、レンズモデル化ができていないため誤差が残存。水平方向は十分な一 致 性 を 確 認
測距モデル	■ 距離	■ 十分な一 致 性 を 確 認
	■ 強度	■ 近距離で不規則に変動する現象を確認。遠距離においては十分な一 致 性 を 確 認

事前検証における一 致 性 検 証 の 結 果

評価項目	近距離における一 致 性	遠距離における一 致 性
物体サイズ(幅)	■ 十分な一 致 性 を 確 認	■ 物体の位置姿勢に起因する誤差、 ■ 物標反射特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差
被計測物までの最短距離	■ 十分な一 致 性 を 確 認	
物標点群の点数	■ 物標反射・透過特性とLiDAR測距モデルに起因する誤差	

物標の反射特性が埋め込まれ次第、残存課題を再評価予定。
再評価後に、モデル化した機種に関しては、自動運転シミュレータとして評価可能なレベルになる

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

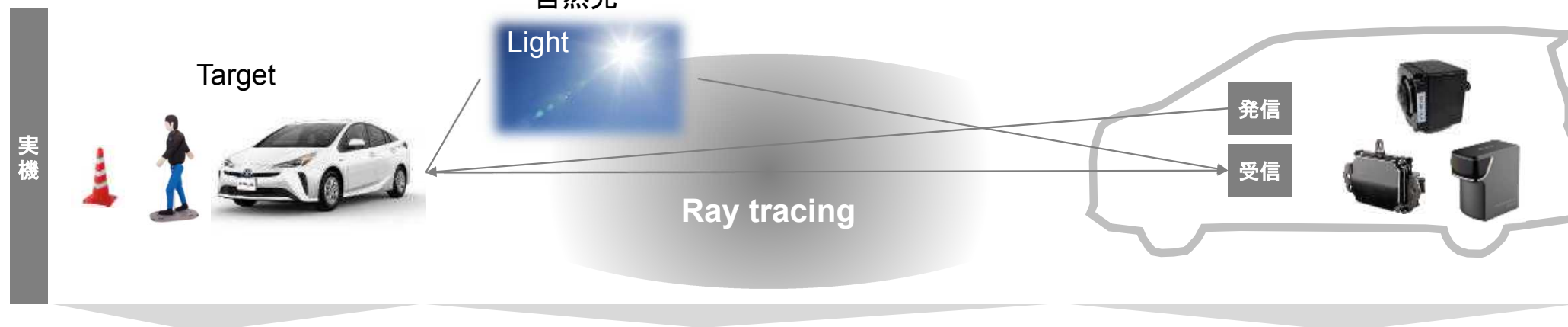
■ モデル化手法

■ 検証手法

【環境モデル・空間描画】

センサ評価に耐える外界の精緻なモデル化がシミュレーションによるセンサ評価可能性の要諦

環境モデル・空間描画



環境モデル

空間描画

センサモデル(カメラの例)

モデル化の要諦

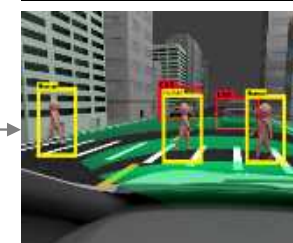
- 物体形状の精密な再現
- 各センサで利用する電磁波の反射特性の再現

- 各センサで利用する電磁波の特性に基づき、光源・電波源から伝搬、減衰、反射等をレイトレース法を用いて再現

カメラ知覚モデル

Photoelectric conversion
↓
Raw Signal Processing

認識モデル



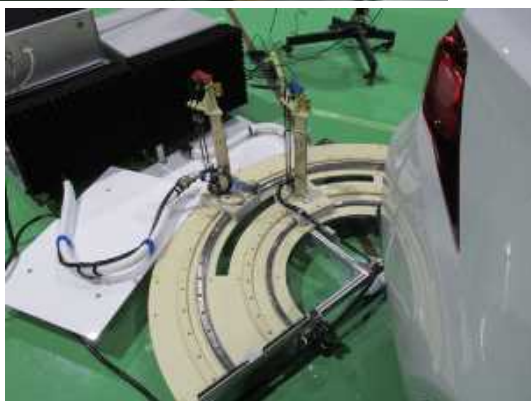
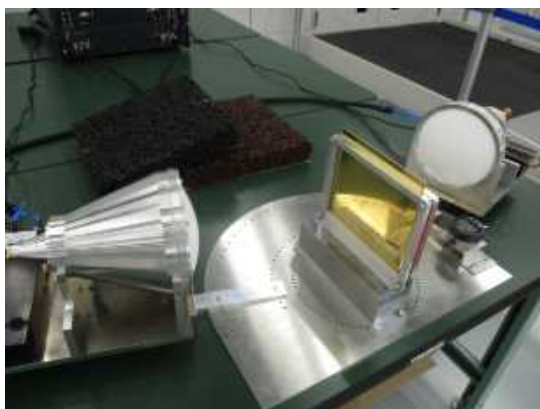
【Virtual-PGの生成】

センサの検出原理に基づくアセットの計測とモデル化を実施

計測事例

SOKEN 三菱プレジジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

反射測定装置



アセットカタログ

自動車



NCAP ダミー



道路物標



【Virtual-PGの生成】

MMSを活用した Real-PGの計測を実施、センサシミュレーションに供するVirtual-PG作りを進める

測定事例

SOKEN 三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

特異環境試験場



雨



道路工事



多目的市街地



逆光



高架橋下



見通しの悪い合流路



雪



* MMS : MitsubishiMobilMapSystem

Source : JARI home page, SOKEN, INC, MitsubishiPrecision Co.,LTD.

DIVP™ Consortium

【Virtual-PGの生成】

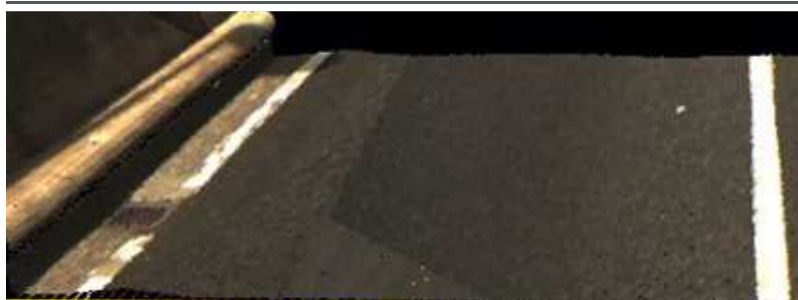
実測を元に、1cm精度の環境モデル(マップ)を構築する

シミュレーションに必要なマップ精度

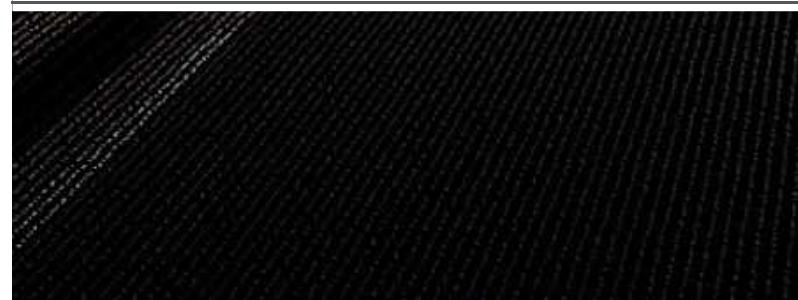
三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

	項目	DIVP™ 要求		既存のSIP計測データ
3D点群データ	反射強度情報	○		○
	色情報	○		○
	解像度	水平1cm	>	水平6cm
カメラ画像	解像度	2400x2000x3@24bits		2400x2000x3@24bits
	搭載数	3-cameras		3-cameras
	搭載情報	含む	>	なし

DIVP™ で計測したデータ



既存のSIP計測データ



【環境モデルの構築】 シミュレーション精度向上を目指すため、 特性の異なる素材毎に分割した、高精細な環境モデルの構築が必要不可欠

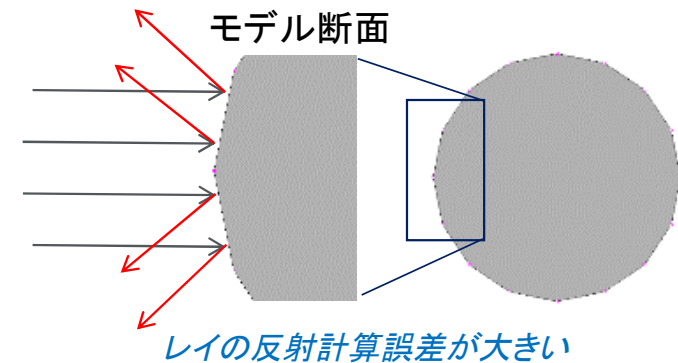
環境モデルの精細度の評価精度の関係

素材毎に環境モデルを分割

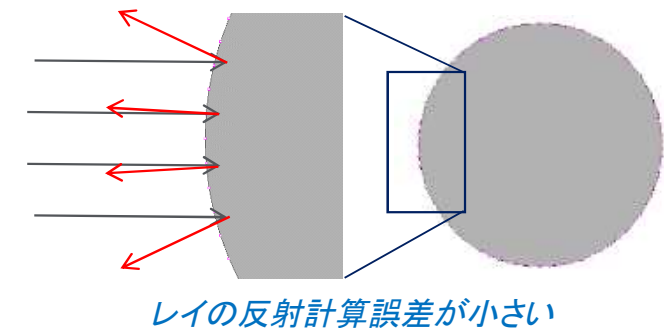


環境モデル断面における光線の反射

精細度が低い



精細度が高い



【環境モデル構築】

センサ出力精度への影響を検証するために、LOD(Level of Detail)の異なるポリゴンモデルを作成する

高精度ポリゴンの作成(物標)

三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

レーザー測定

1mm以下の精度で計測

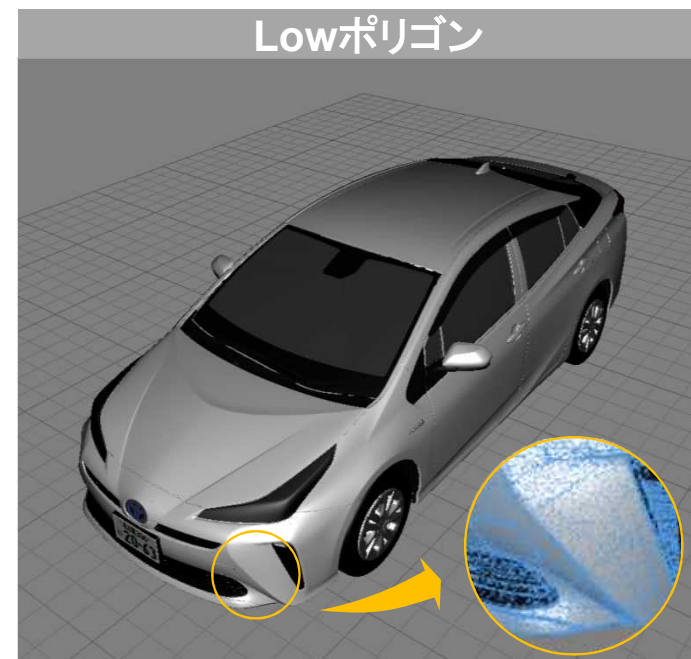
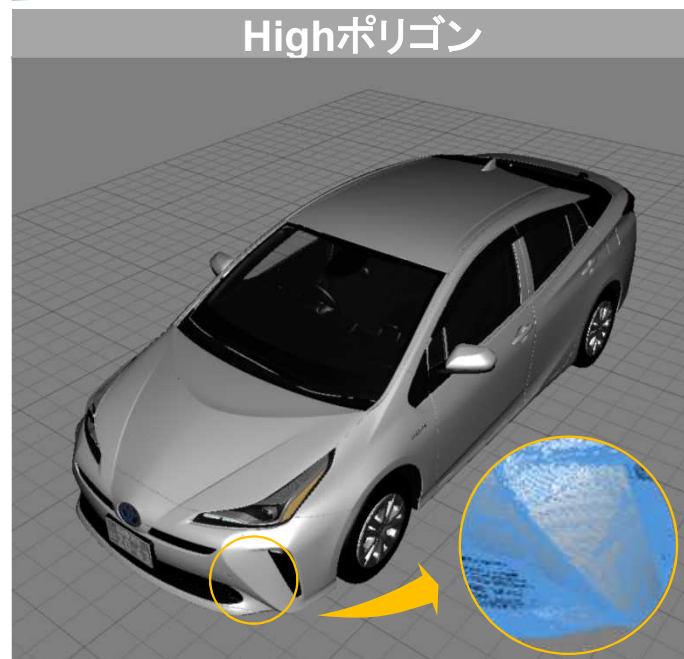


ポリゴンモデル化

LODの異なるモデルの作成

High

Low

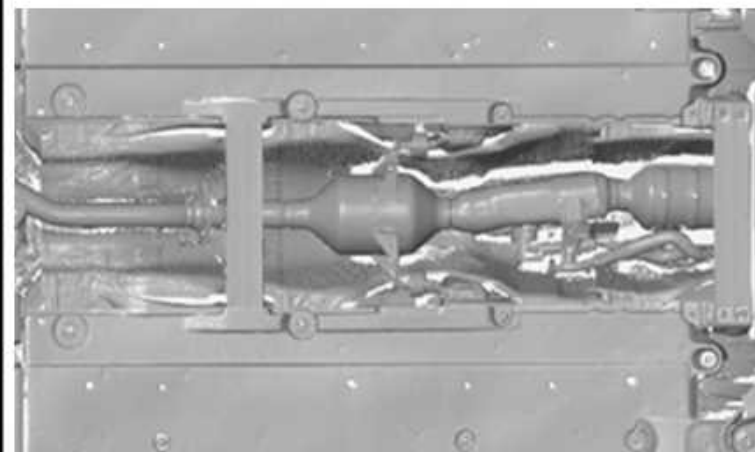


【環境モデル構築】

ミリ波のマルチパスの再現を目指して、底面まで精緻にモデルを作成

高精度ポリゴンの作成(物標)

三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.



Source : Mitsubishi Precision Company, Limited

DIVP™ Consortium

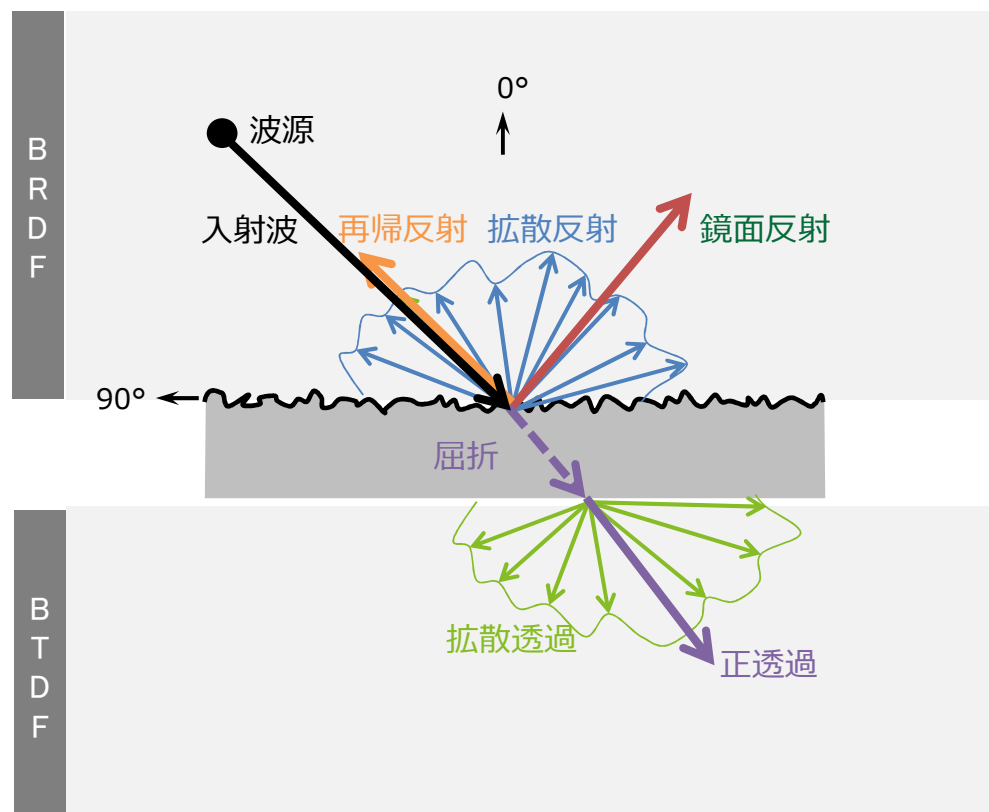
【環境モデル構築・空間描画構築】

各センサ機能において重要な反射・透過特性を実測し、アセットモデルに組み込む

空間描画の要諦

Nihon Unisys, Ltd **SOKEN**

計測対象の反射特性



進化のステップ

計測に基づく
モデル化

- 各センサ機能において重要な反射・透過特性を、材料ごとに実測しシミュレータに反映

外挿による拡張

- モデルを一般化させ、未計測の材料を再現

各センサごとの重要特性

カメラ	■ 可視光の反射率
レーダ	■ ミリ波帯の拡散反射率
LiDAR	■ 近赤外光の再帰性反射率

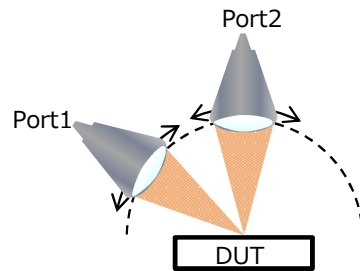
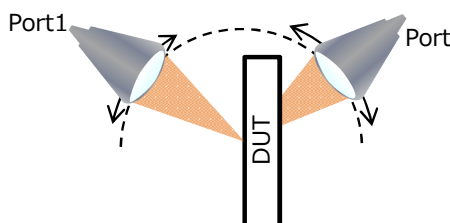
* BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function、BTDF: Bidirectional Transmittance Distribution Function

【環境モデル構築】

測定系を設計・試作し計測を実施、センサー致性検証に十分な測定精度を達成

ミリ波の測定系

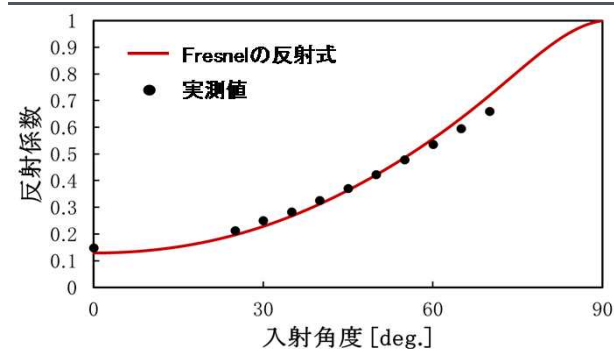
SOKEN

測定条件		■ 測定周波数: 75~82GHz 0.1GHz Step ■ 測定角度: 送信アンテナ 0度~75度 5度分解能 ■ 受信アンテナ 0度~±75度 5度分解能 ■ アンテナ間角度>=45度
測定手法	再帰反射	■ ポート1での入射波/反射波比から再帰反射を計測 
	拡散反射 拡散透過	■ ポート1から入射し、ポート2で受信することで拡散反射及び拡散透過特性を計測 

測定系



測定結果



理論式(フレネル反射式)と
実測値との差は
0.5dB以下

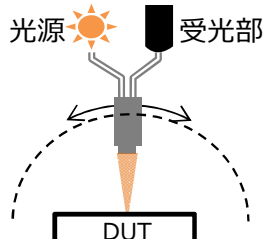
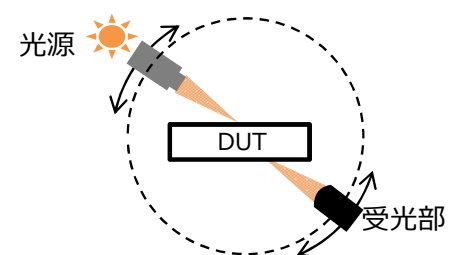
レーダ目標値±5dB
に対して十分な精度を達成

【環境モデル構築】

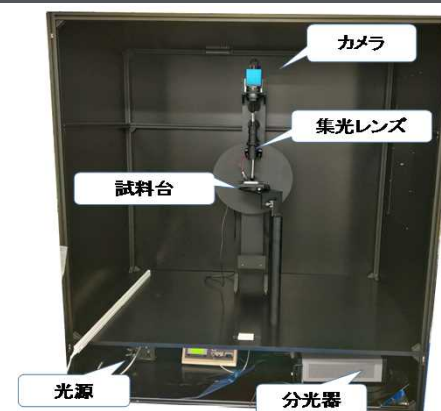
測定系を設計・試作し計測を実施、センサー一致性検証に十分な測定精度を達成

可視光・赤外光の測定系

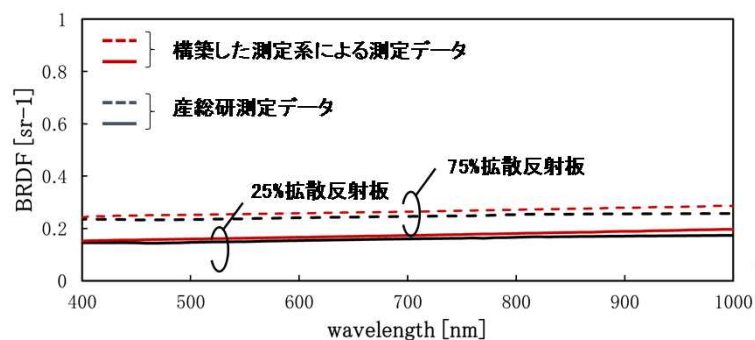
SOKEN

測定条件		■ 測定波長: 360-1000nm ■ 測定角度: 光源 0度~90度 ■ 受光 0度~±180度 ■ 光源/受光間角度 > 10度
測定手法	再帰反射	■ 光源/受光一体型の光プローブで再帰反射を直接計測 
	拡散反射 拡散透過	■ 光源及び受光部を回転させて拡散反射/透過を計測 

測定系



測定結果



基準データとの
誤差±5%以下

反射特性への
LiDAR要求測定精度
±5%以下を達成

シミュレーションと実測結果との比較検証を行うために、
JARI Jtownの多目的市街地テストコースを評価するのに必要な試料を制作した

制作試料及び反射特性測定状況

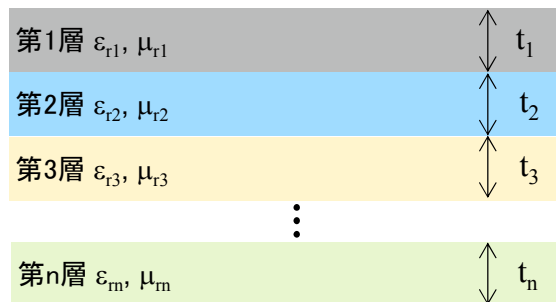
Legend		
✓ Measured	✓ Measured(low accuracy)	✗ Not yet measured

		Road surface		Vehicle					NCAP Dummy		Roadside Objects	
		Asphalt (Roughness different)	White Line	Metal	ABS	Body color		Windshield glass	Close	Body	Guardrail	Road pole
Picture												
BRDF	Radar	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓
	LiDAR	✓	✓	-	-	✓	✗	✓	✗	-	✗	✗
	Camera			-	-		✗		✗	-	✗	✗

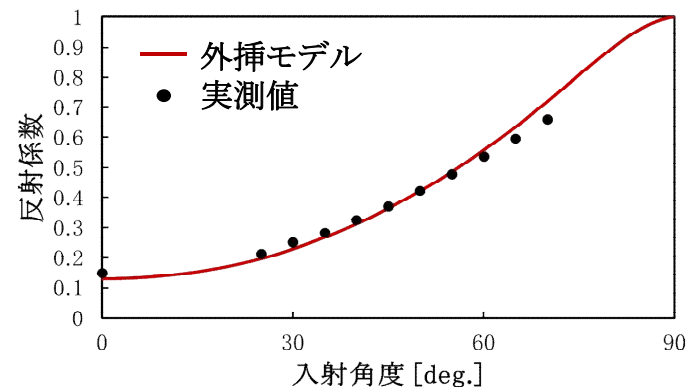
【環境モデル構築】 未計測の材質も再現できるよう外挿式を設計中、表面の滑らかな物標については相関が確認できており、引き続き表面の粗い物標についての研究を進めている

多層モデル(滑らかな表面物標)

- 材質の厚み、複素誘電率から反射特性を再現



- 外挿モデルと実測値の一致性を検証



表面粗さモデル

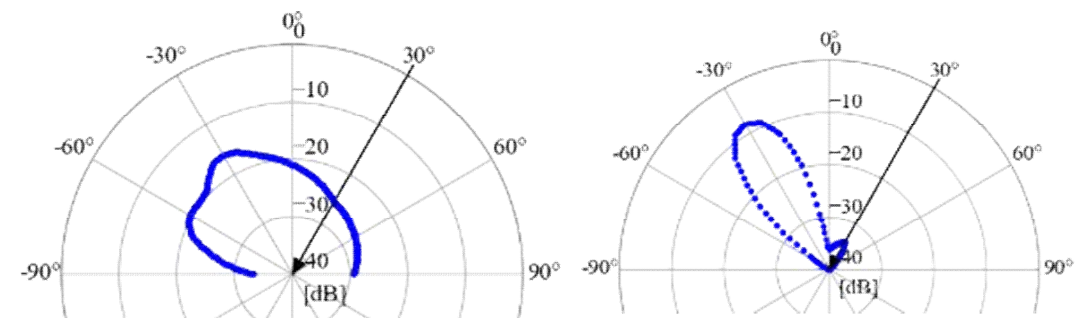
SOKEN

- 表面の粗い材質(ex. アスファルト路面)の外挿モデルを検討中
- 表面粗さの異なるサンプルの実測結果から理論式を構築を計画

透水性H型
(高速道路用)



非透水性II型
(一般路用)



粗さの異なるアスファルト路面の実測結果

【Virtual-PGの生成】 雨、雪については試験場での実験から、空間減衰と表面付着による反射特性変化をモデル化予定、日本特有の実験施設を活用しモデル化に必要なデータ計測、検証を実施

実測に基づくセンサ不調事象の計測

大型降雨実験施設



世界最大級

- 広い範囲に長時間ゲリラ豪雨(300mm/h)が可能 [参考動画](#)
- 建屋幅が広く、ミリ波のマルチパスが起きにくい

雪氷防災実験棟



世界唯一

- 天然雪の結晶に近い樹枝状結晶を再現
- 豪雪地帯の平均値以上の降雪量(～3.0cm/h)

【Virtual-PGの生成】

センサの一致性の評価を目的に、高解像度1cm精度の3Dデータを実装

JARI Jtown MMS 測定結果

SOKEN 三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

多目的市街地



特異環境試験場



多目的市街地



V2X 試験場



【Virtual-PGの生成】

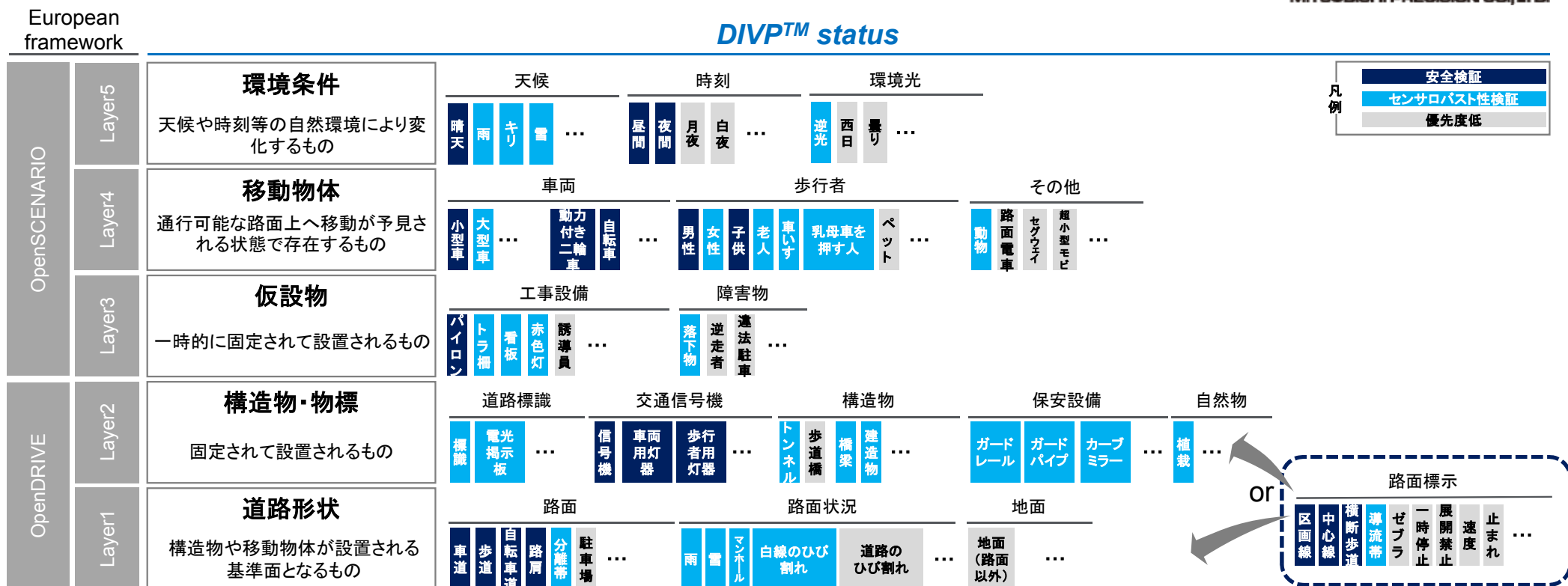
制作するモデルの優先度を検討、2020年度末でNCAP試験の再現を目指す

環境モデルロードマップの案

環境モデル		
	2019年度	2020年度
地図モデル	■ Jtown 多目的市街地 	■ お台場 ■ 首都高C1 ■ 城里テストセンター 
物標モデル	■ 他車両:プリウス ■ 自車両:アルファード ■ ロードポール、カラーコーン ■ NCAPダミー人形 ■ NCAPダミー自転車	■ NCAPダミー自動車 ■ NCAPダミー自動二輪車 ■ NCAPダミー子供 ■ NCAPダミー動物

【Virtual-PGの生成】 シミュレーションに必要なアセットの検討と並行してライブラリの構造化を検討、国際連携を進めながら標準化を目指す

Data base strutting study



令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

■ モデル化手法

■ 検証手法

【環境モデル構築】

データ容量の課題により、計測データを用いた高精度環境モデル作成において課題が発生

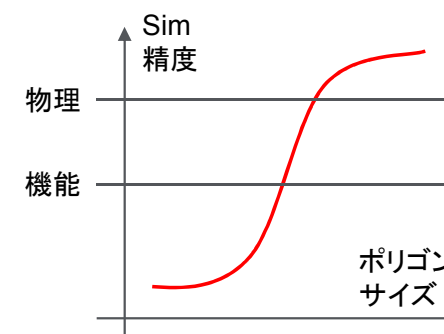
高精度ポリゴンの作成



項目	目標仕様・性能	現状	今後の取組
物標 (プリウス)	■ レーザスキャナの計測データを元にメッシュサイズ1mm精度で作成 ■ 5段階のLOD (Level of Detail)に展開	■ 1mm精度モデルをOptixで利用。ただし内装は除去したモデル。 ■ UE4の読み込みのためにリダクションしたモデルを作成	■ LowLODモデル作成時の隙間除去手法の改善 ■ メッシュ精度とシミュレーション精度の定量的評価
マップ(Jtown多目的市街地)	■ MMSの計測データを元に、メッシュサイズ 1cmで作成	■ 多目的市街地を10m四方で区切って製作中 ■ 2cm精度なども製作したがPFで動作不可 ■ 現在提供のマップは簡易マップ	■ 広領域におけるモデル化 ■ メッシュとテクスチャ表現における精度評価

今の方式でアセット精度がセンサーの一致性に与える影響を解析
⇒ センサごとに環境モデルの要件を明確にしてい

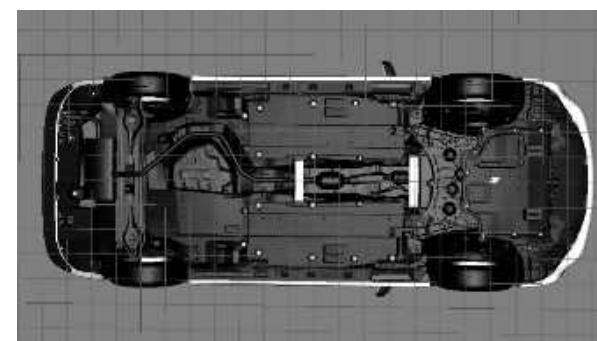
※ Workstation級のGPU(メモリ24GB)で2cm精度のマップは読み込み不可



【環境モデル構築】 高精度モデルにおいてデータが重く、メッシュ化以降の編集やマテリアル付加作業の効率が低下したため、パーツに分割しメッシュ化する作業フローに変更

高精度ポリゴンの作成(物標)

三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.



■ 課題	■ 内容
■ 高精度におけるモデル化	■ 高精度モデルにおいてデータが重く、メッシュ化以降の編集やマテリアル付加作業の効率が低下したため、パーツに分割しメッシュ化する作業フローに変更

【環境モデル構築】 リダクションを実施するとパーツ間に隙間が発生したため、パーツ間で共有している頂点を残したリダクションを実施

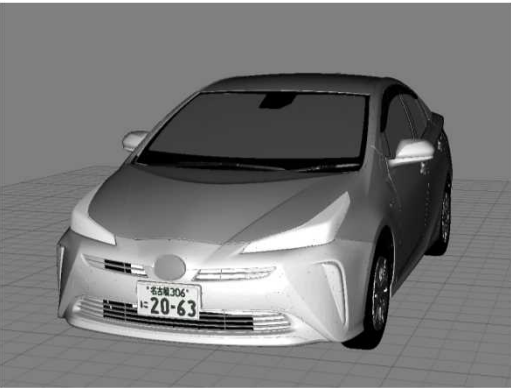
高精度ポリゴンの作成(物標)



HiLODプリウス

LowLODプリウス

他社モデル



ポリゴン数	48,570,890	4,874,194	35,774
ファイル サイズ	1,382MB(1.35 GB)	165MB	9.76 MB

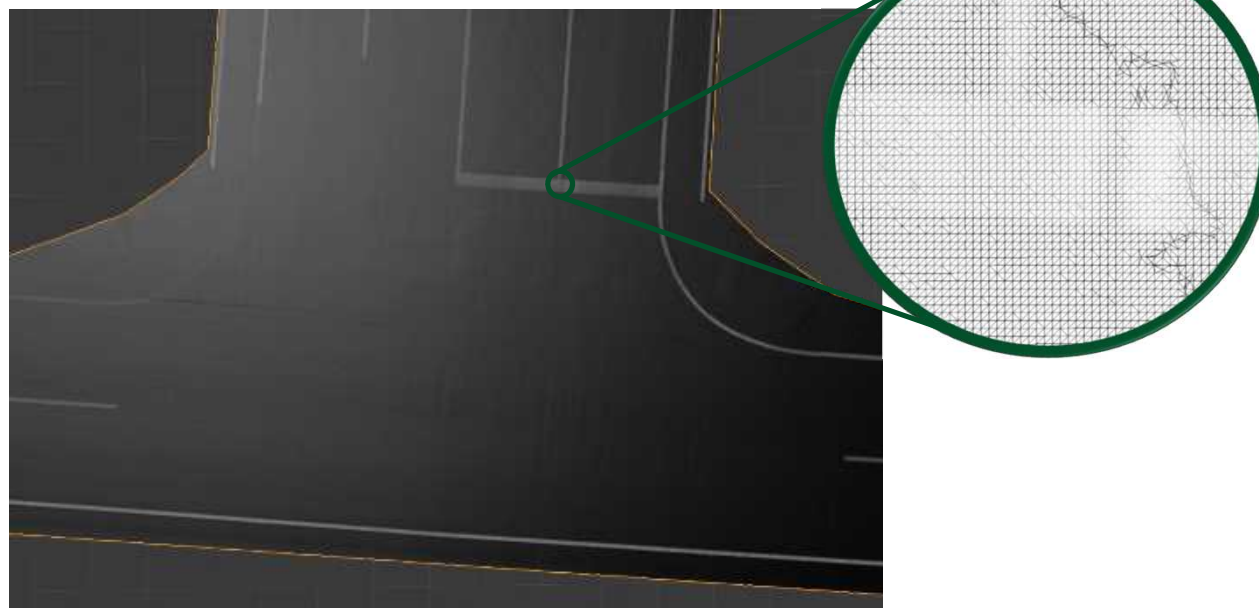
課題	内容
■ LODモデル作成時の隙間除去手法の改善	■ リダクションを実施するとパーツ間に隙間が発生したため、パーツ間で共有している頂点を残したリダクション手法実施

シミュレーション結果の精度に関して、モデルのメッシュ精度とシミュレーション精度のトレードオフを今後評価の計画

【環境モデル構築】 広い領域のためメッシュ化作業に想定以上の時間を要したため、領域をBlock単位に分割し、並列処理を行えるプロセスを検討

高精度ポリゴンの作成(マップ)

三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.



■ 課題	■ 内容
■ 広領域におけるモデル化	■ 広い領域のためメッシュ化作業に想定以上の時間を要したため、領域をBlock単位に分割し、並列処理を行えるプロセスを検討し、実施

メッシュ後のモデルの容量が大きくなるため、テクスチャやOpenCRGなどを活用したデータ作成手法を検討

令和元年度の研究成果

1. I/Fの設計

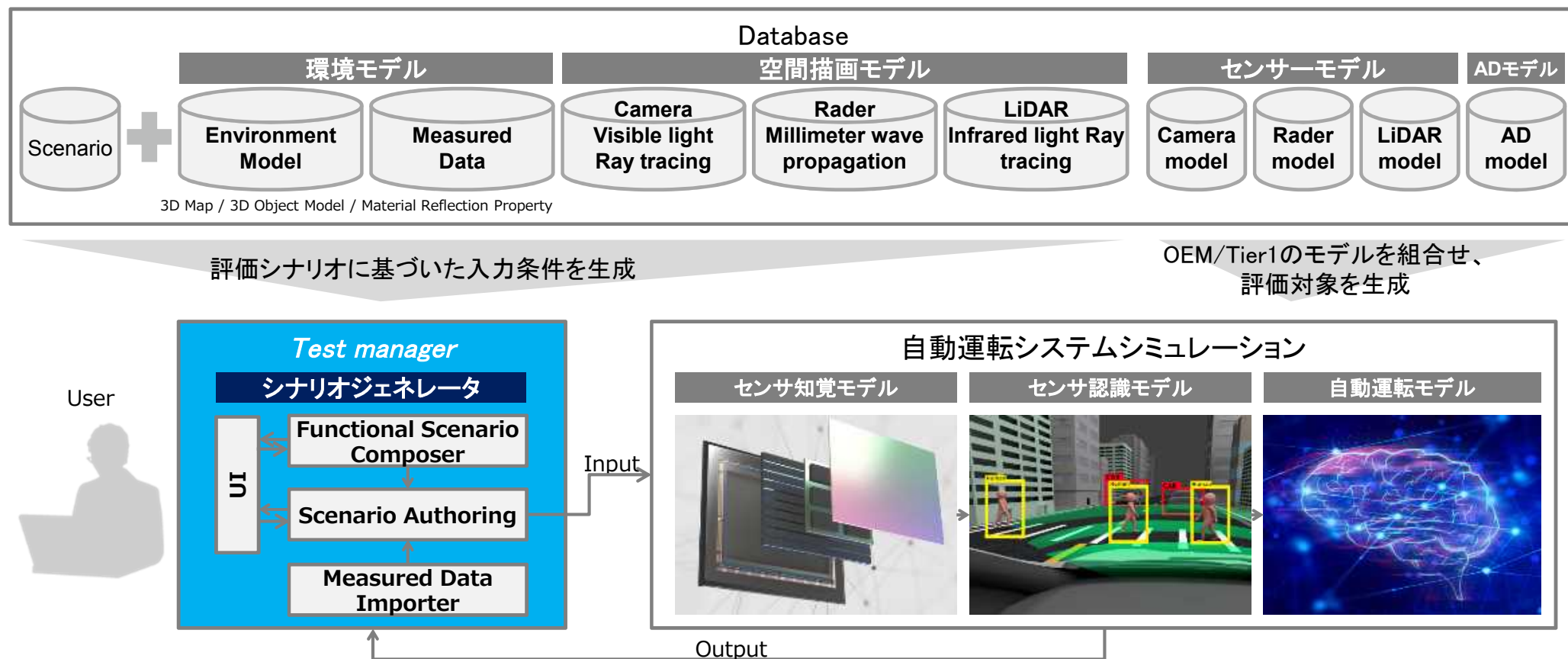
2. センサモデル構築

3. 環境モデル構築

4. シナリオの生成

各種アセットを蓄積するデータベースを参照し、シミュレーション実行への入力データを生成する「シナリオジェネレータ」が、DIVP™使い勝手の成否を握る

DIVP™が目指すエコシステム



DIVP™では容易にセンサ不調の条件設定が可能なシナリオジェネレータを開発、モジュールの独立性を確保し、拡張性のあるフレームワークとして作成した

シナリオジェネレータのコンセプト

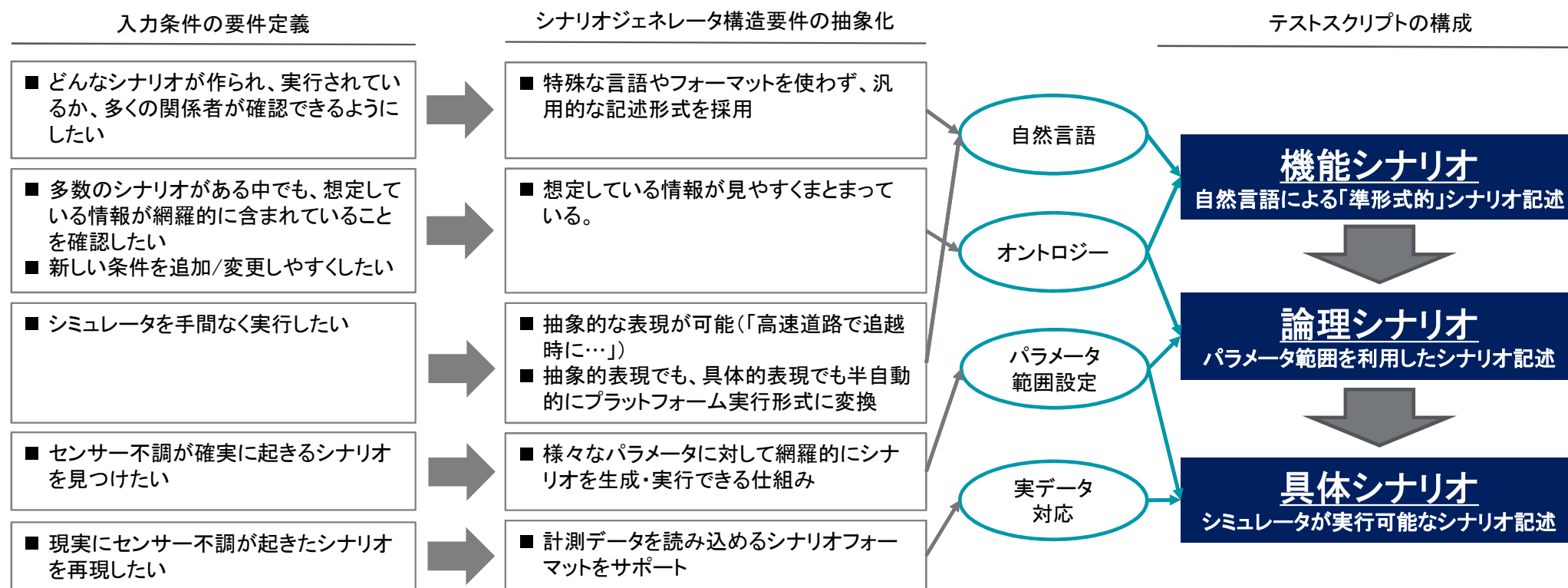


要件	内容	モジュール
■ 柔軟で理解しやすいシナリオ体系	■ 理解しやすさと処理効率化の容易性を両立できる、自然言語によるシナリオ体系 ■ PEGASUSのシナリオ体系に沿った機能シナリオから具体シナリオへの展開を実現 ■ 実測データの読み込みも対応	Functional Scenario Composer / Measured Data Importer
■ 操作性	■ シンプルでありながら、柔軟なシナリオ編集機能を持つUI ■ 3D空間上でデータ編集を可能とし、直観的にデータを作成/確認可能 - 視点情報の設定 - 実データの経路、姿勢情報の指定 - 搭載センサ情報の設定 - イベント、ユーザインタラクションの指定 ■ Undo,Redo操作によりユーザビリティを向上 ■ 並列処理が可能なソフトウェア構造として作成し、リアルタイム性を高める	UI/ Scenario Authoring Tool
■ 不調再現性	■ センサ不調要因の再現場面: センサと対象物の位置関係から逆光となる太陽位置の算出 ■ センサ不調要因となるアセットの表示/非表示可 ■ センサ不調要因となるアセットの変更可: ガードレールを路側壁に変更など ■ 不調に関わるイベントの詳細な条件が設定可: 時間条件、アセット近接条件	
■ 標準化	■ 標準化団体の動向を見据えたインターフェースの策定	

【 Functional Scenario Composer 】

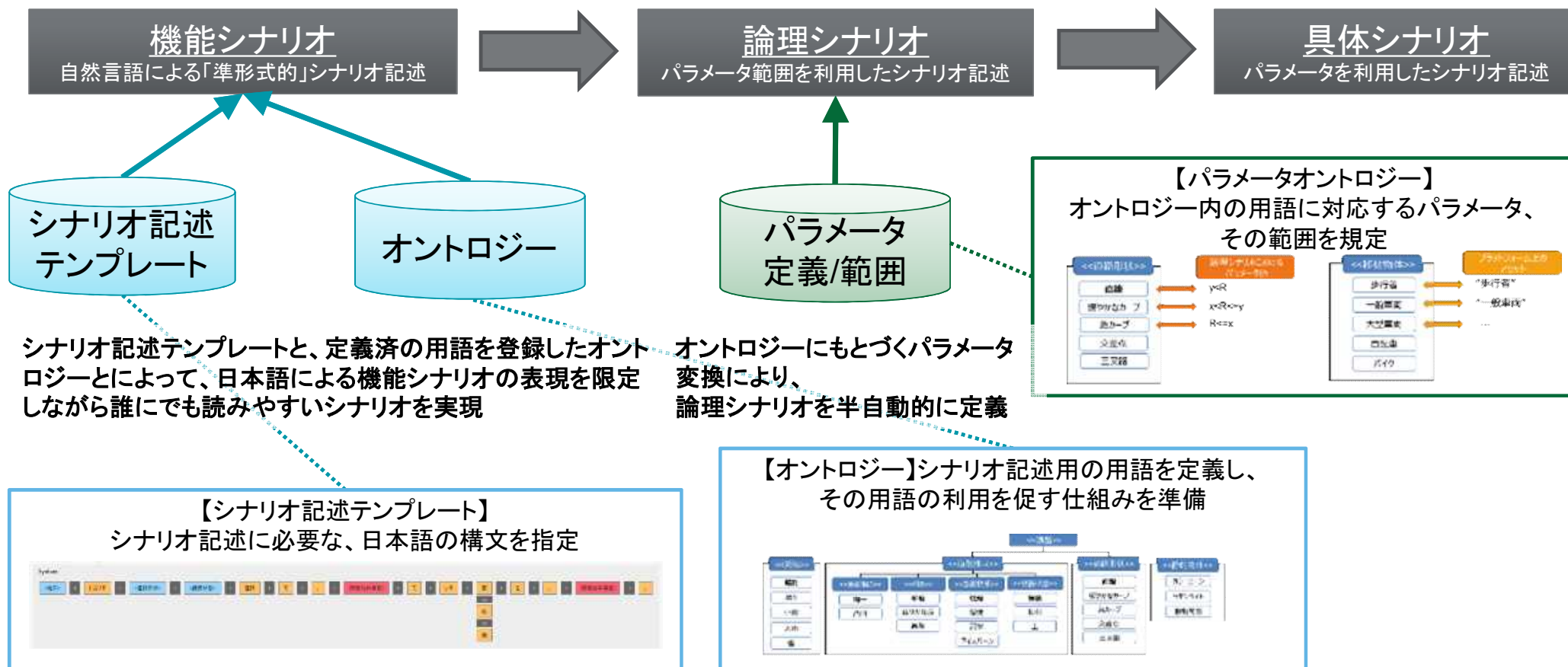
シナリオのわかりやすさと処理効率化を両立するための仕組みのあるべき姿を検討

シナリオ・入力条件・評価条件生成における要件定義



【Functional Scenario Composer】オントロジーと構文パターンを活用した機能シナリオ記述により、具体シナリオまでのスムーズな効率化を実現する方法を構想、今後開発を進める

段階的具體化の仕組みの概要



【UI/Scenario Authoring Tool】

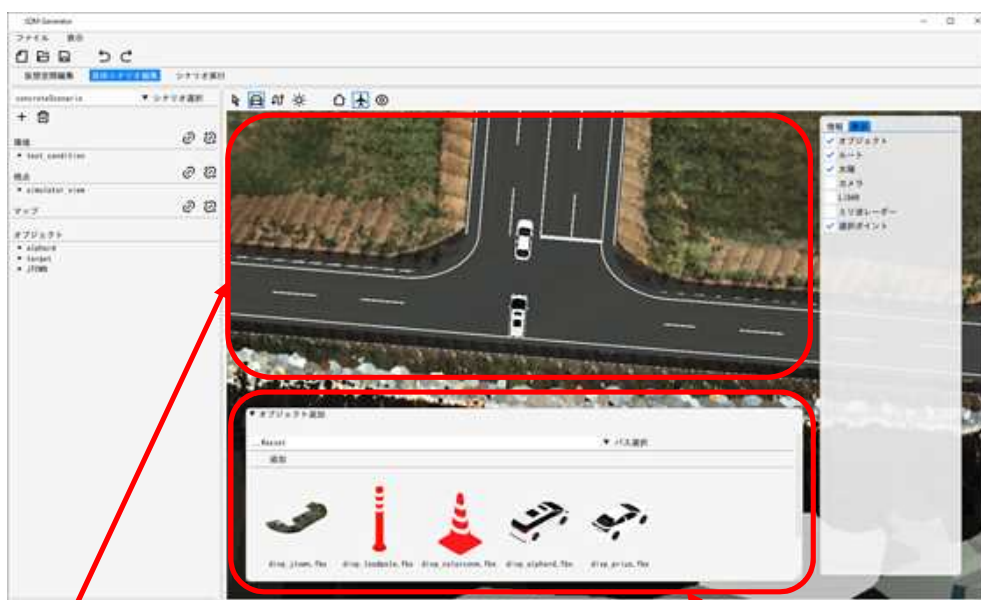
シンプルなUIで表示、編集の簡易なシナリオジェネレータ UI を構築

シナリオジェネレータを用いたテストデータ表示/編集例

三菱プレシジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.

各モデルの変更

■ アセットライブラリより、テストに必要なアセットの選択、配置

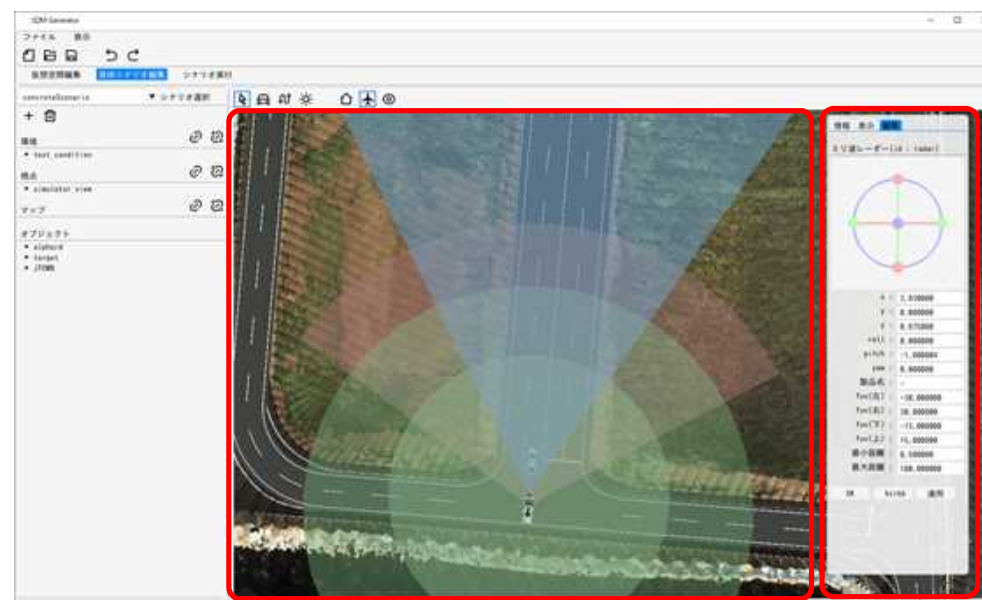


テスト編集状況の表示

アセットライブラリ

センサーモデル搭載の変更

■ 車両へのセンサーの設置、センサー範囲の変更



センサーの範囲表示

センサーの編集

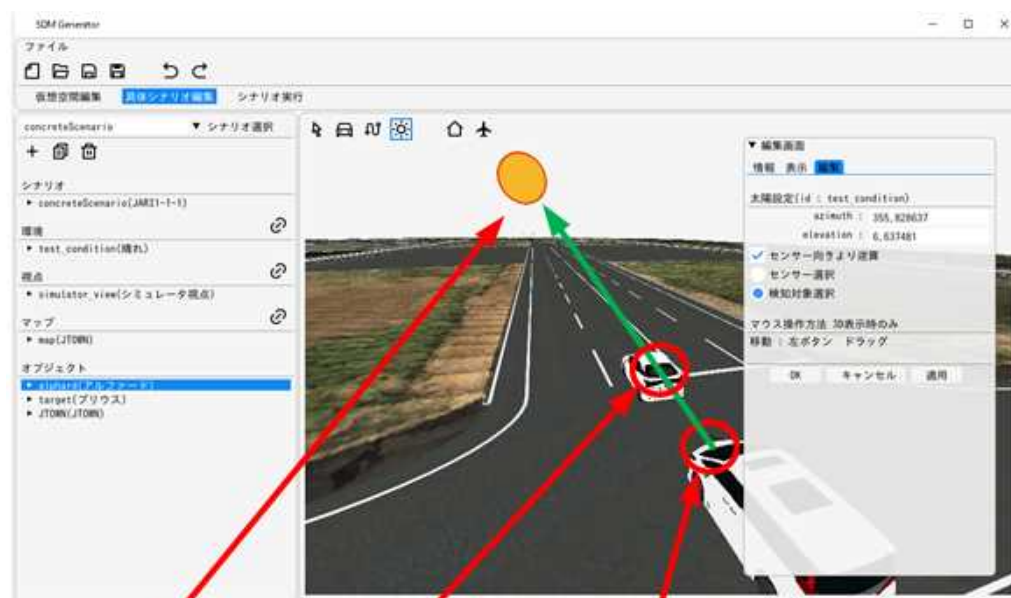
【UI/Scenario Authoring Tool】

センサ不調要因の再現場面シナリオを簡易に作成、設定可能

シナリオジェネレータを用いたセンサ不調要因の再現場面作成/編集例

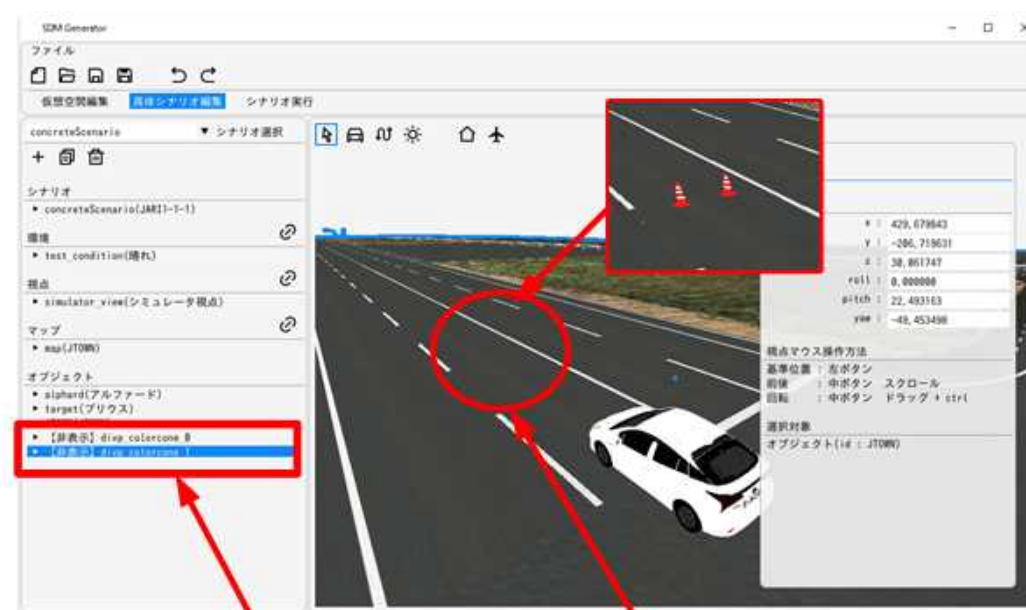
逆光となる太陽位置の算出

■ センサと対象物の位置関係から逆光となる太陽位置の算出



アセットの表示/非表示

■ センサ不調要因となるアセットの表示/非表示可

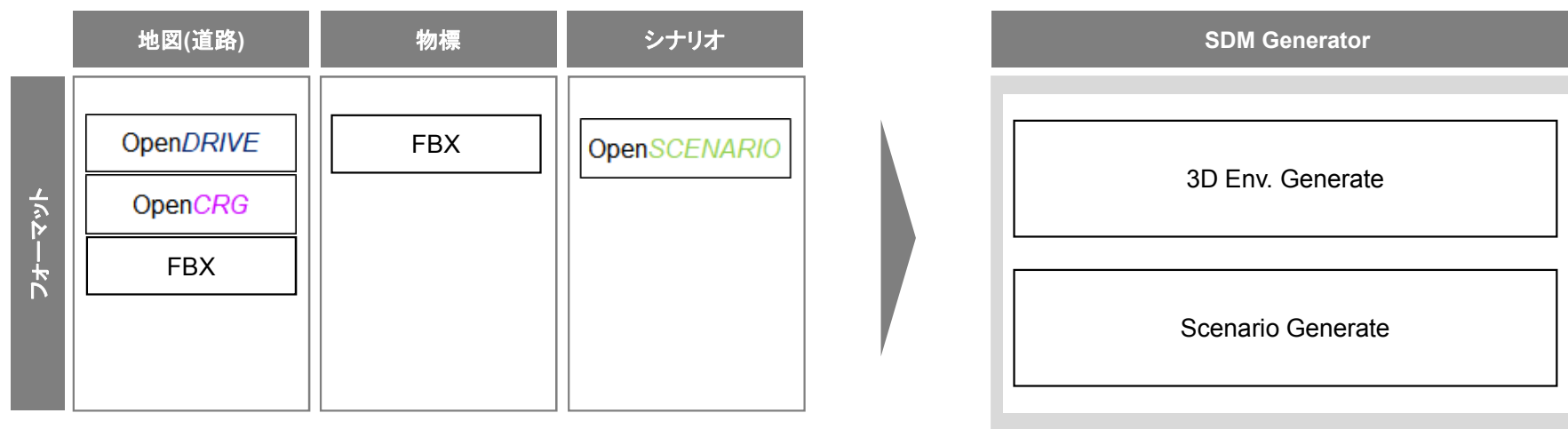


【Scenario Authoring Tool】

標準化への取り組みとして、OpenDRIVE、OpenSCENARIOにもとづくインターフェースを準備

入力データの標準化への対応

三菱プレジジョン株式会社
MITSUBISHI PRECISION CO., LTD.



■ フォーマット	■ 策定元	■ 内容
■ OpenDRIVE	■ ASAM	■ 運転シミュレータで使用する道路ネットワークとして採用が多く、他ツールと連携機能が見込まれる
■ OpenCRG	■ ASAM	■ 上記のOpenDRIVEと併用可能な道路形状データである
■ OpenSCENARIO	■ ASAM	■ テストシナリオに関するフォーマットであり、上記のOpenDRIVEと併用可能なため。現在、バージョンは0.93であるが、ASAMへ管理が移管され2.0を策定中である
■ FBX	■ Autodesk	■ デジタルコンテンツ作成アプリケーションにおいて業界標準であり、アプリケーション間の相互運用性が高い

【ベンチマーク】シナリオジェネレータと他社製S/Wとの比較により、
論理シナリオでの環境モデル設定にシナリオジェネレータの競争優位があることが確認できる

シナリオジェネレータベンチマーク結果

機能	設定	SDM-G (2020年度)	VTD 2.2.0	CarMaker 8.1	Vissim 2020
環境モデル	道路・路側物 (Layer 1)	C L	C	C	C
	標識・信号・ガードレール・建物 (Layer 2)	C L	C	C	C
	工事・交通規制 (Layer 3)	C L	C	C	C△
	天候・気温・湿度・路面状況・逆光 (Layer 5)	C L	C	C L	×
制御対象 (オープン)	自車	M C L	M C	M C L	C
	他車	M C L	M C	M C L	C
	歩行者	C	C	C	C
	自転車	C	C	C	C
	NCAPダミー	検討中	C	×	×
	その他 (動物等)	C	C	C	×
制御対象 (クローズ)	自車	M C L	C	C L	C
	他車	M C L	C	C L	C
	歩行者	C	C	×	C
	自転車	C	C	×	C
	NCAP	検討中	※	×	×
	その他 (動物等)	C	C	×	×

①

M	実測データから取得
D	データベースから取得
F	機能シナリオで記述可
L	論理シナリオで記述可
C	具体シナリオで記述可
○	対応
△	一部対応
×	非対応
※	調査中

シナリオジェネレータの優位性が示せる項目

① 環境モデルのLayer 1, 2, 3について論理シナリオで設定できるのはDIVP™のみ

【ベンチマーク】シナリオジェネレータと他社製S/Wとの比較により、 テスト評価とインポートした環境モデルの変更機能の実現により、競争優位性を保つ

シナリオジェネレータベンチマーク結果

機能	設定	SDM-G (2020年度)	VTD	CarMaker 8.1	Vissim 2020
他ツール連携	OpenDRIVE (インポート)	○	○	△	△
	OpenDRIVE (エクスポート)	○	○	×	×
	OpenCRG (インポート)	今後検討	○	×	×
	OpenCRG (エクスポート)	今後検討	※	×	×
	OpenSCENARIO (インポート)	今後検討	○	×	×
	ISO (インポート)	検討中	※	×	×
テスト評価	自動化	今後検討	※	○	×
	記録	今後検討	※	○	×
テストデータ生成評価ループ	評価結果による Logicalシナリオパラメータ再設定の自動化	今後検討	※	×	×
	実行状況の確認環境	今後検討	※	×	×
	実行内容の記録	×	※	×	×
簡易シミュレーション	実行	○	○	×	○
	記録・再生	○	○	×	×
インポートした環境モデルの 変更対象	道路・路側物	検討中	○	△	△
	標識・信号・ガードレール・建物	検討中	○	△	△
	工事・交通規制	検討中	※	×	×
	車両・歩行者・自転車・動物・NCAP	検討中	※	×	×
	天候・気温・湿度・路面状況・逆光	検討中	※	×	×

○	対応
△	一部対応
×	非対応
※	調査中

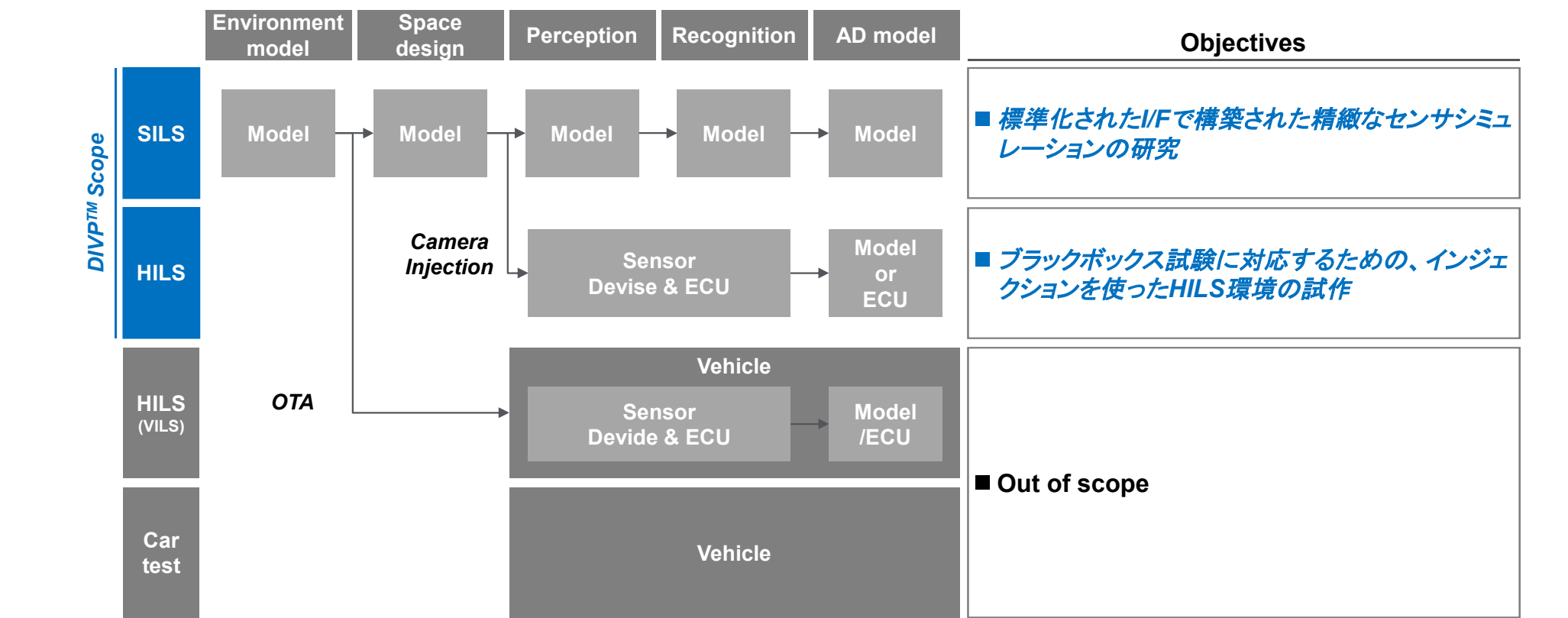
既存シミュレーションのみ 対応している項目

- ② テスト評価機能は、
CarMaker が対応済み
- ③ インポート後の設定変更機能は、他ツールがLayer 1,2
について一部対応済み
(VTDは対応済み)

実用化を目指す検討

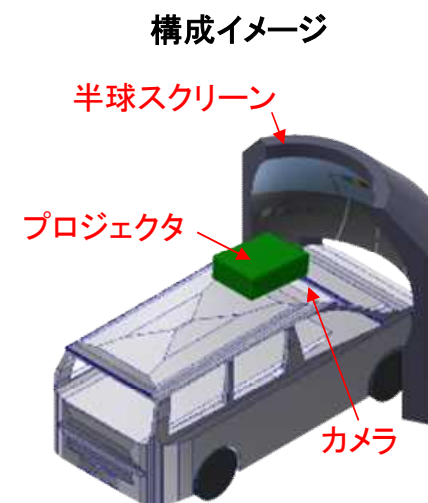
自動運転の安全性評価手法において、DIVP™ではセンサモデルをBlack boxな状態でも評価可能なHILS環境の構築についても検討を進めている

V&V total framework



【Camera HILS*】 将来のブラックボックス評価に備えインジェクション技術を用いたHILSを構築、評価可能性の検討を進める

インジェクション評価環境の構想



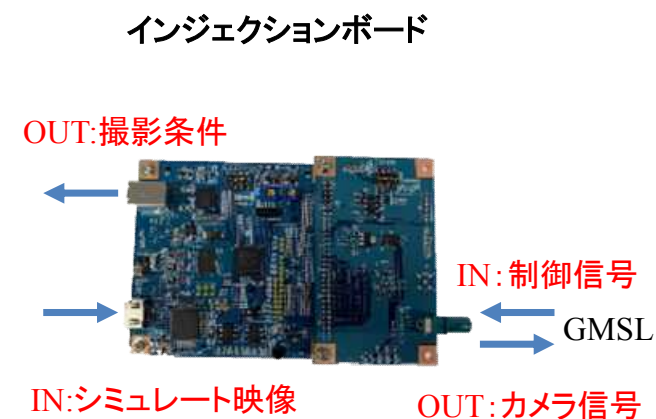
*HILS ; Hardware in the loop

Source : Kanagawa Institute of Technology, HitachiAutomotiveSystems, INC

DIVP™ Consortium

【Camera HILS*】 将来のブラックボックス評価に備えインジェクション技術を用いたHILSを構築、評価可能性の検討を進める

インジェクション評価環境の構想



*HILS ; Hardware in the loop

Source : Kanagawa Institute of Technology, HitachiAutomotiveSystems, INC

DIVP™ Consortium

END



Tokyo Odaiba FOT area → Virtual Community Ground

