

「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」

平成30年度成果報告

＜プロジェクト参加者＞

学校法人幾徳学園 神奈川工科大学(代表)

学校法人立命館

株式会社OTSL

三菱プレシジョン株式会社

日本ユニシス株式会社

株式会社デンソー

日立オートモティブシステムズ株式会社

パイオニア株式会社

株式会社SOKEN

SOLIZE Engineering株式会社

平成31年3月29日

目次

プロジェクト概要	3
<hr/>	
平成30年度の成果	13
<hr/>	
プロジェクト総括	14
<hr/>	
① バーチャル評価プラットフォームの構築	17
<hr/>	
② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義	27
<hr/>	
③ 実環境測定系の構築	57
<hr/>	

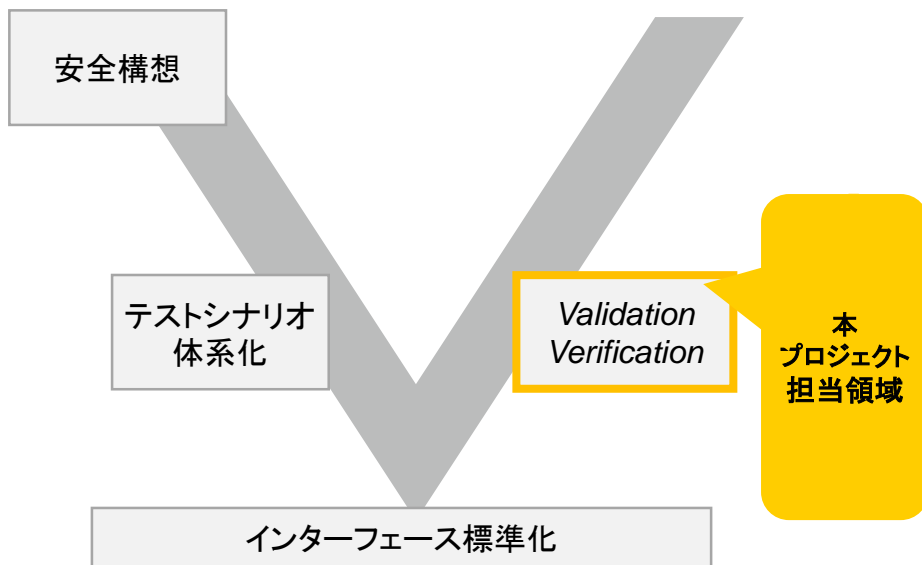
プロジェクト概要

センサ評価を可能とする Driving Intelligence Validation Platform : DIVP を構築し、そのインターフェース(I/F)を産業界への標準(案)として提案していく

本プロジェクトの位置付け

標準化された評価プラットフォーム

自動運転における安全性評価プロセス



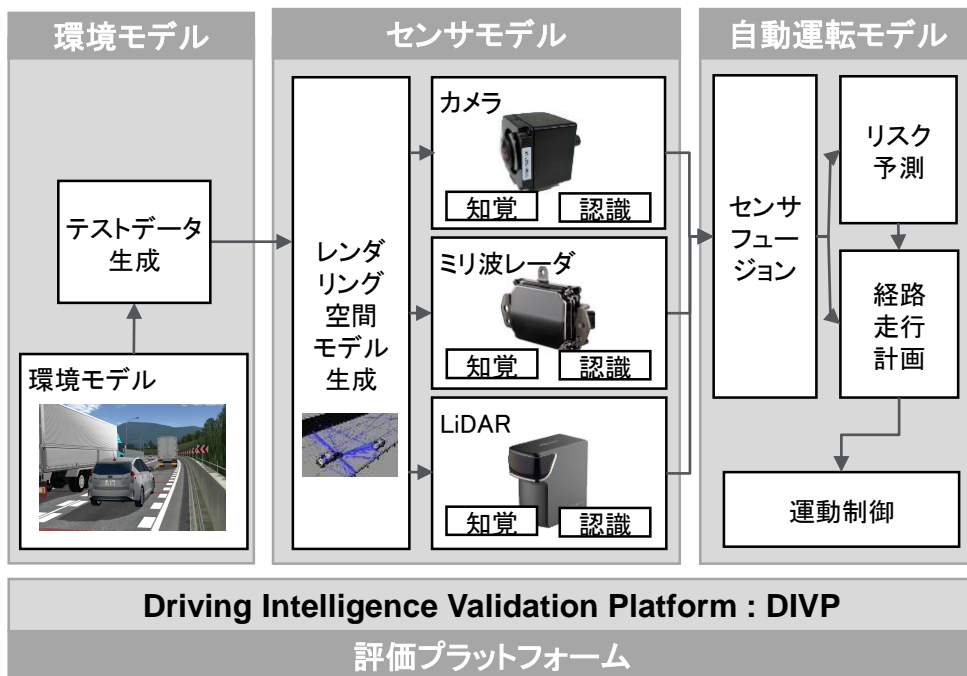
標準プラットフォームをオープンに公開することにより
国内ベンダー、サプライヤの競争力向上を目指す

出所: 三菱プレジジョン(株)、(株)SOKEN、日立AMS(株)、(株)デンソー、バイオニア(株)、提供参考図

構築を目指す評価プラットフォーム

センサ評価モデル

シナリオ JAMA殿より受領予定

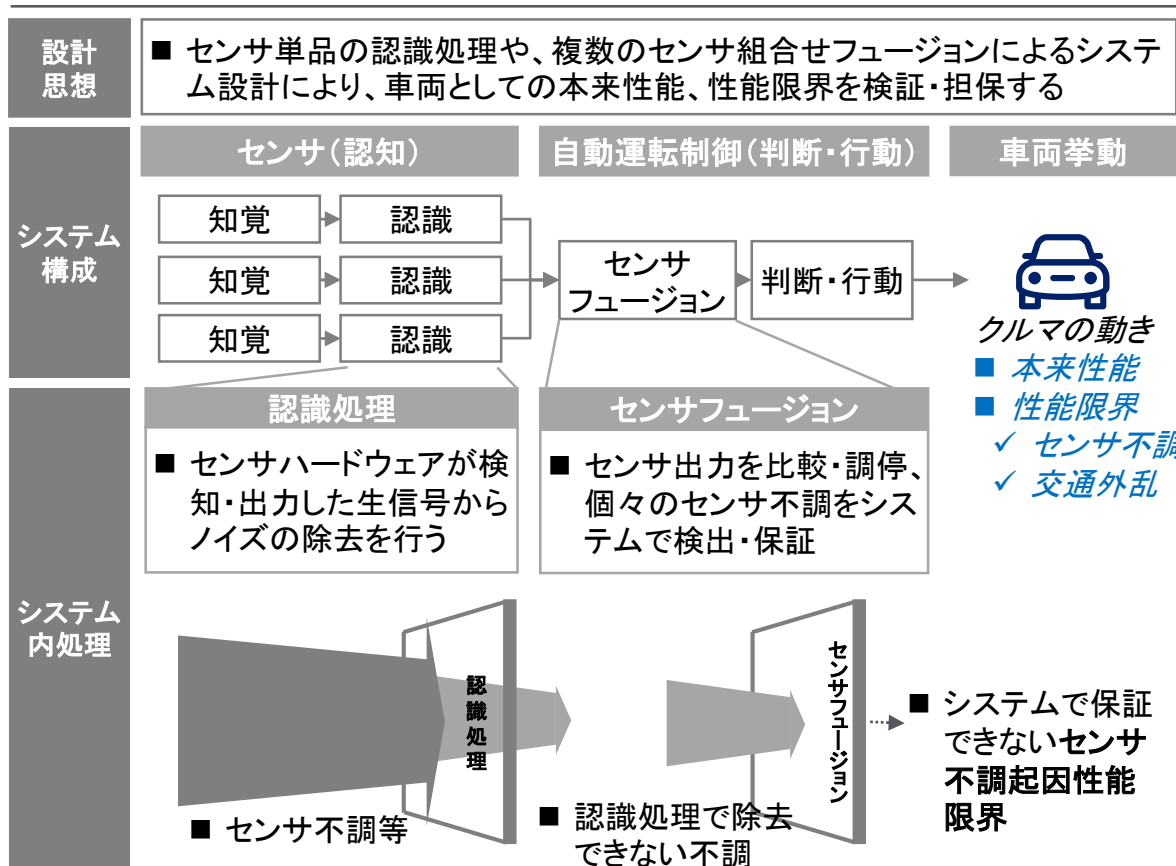


センサ評価が行える環境を構築することにより
自動運転システムの評価可能性の向上を目指し
自動車OEM等、自動車産業に貢献する

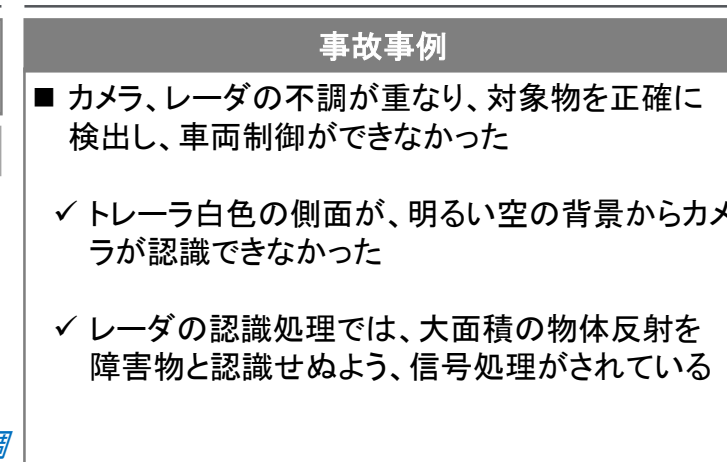
自動運転システムは、システムが複雑化するいっぽうで、 無数に存在する走行環境に対して高い安全性の確保が求められる

従来のシステム設計の限界

従来のシステム設計



従来設計の限界

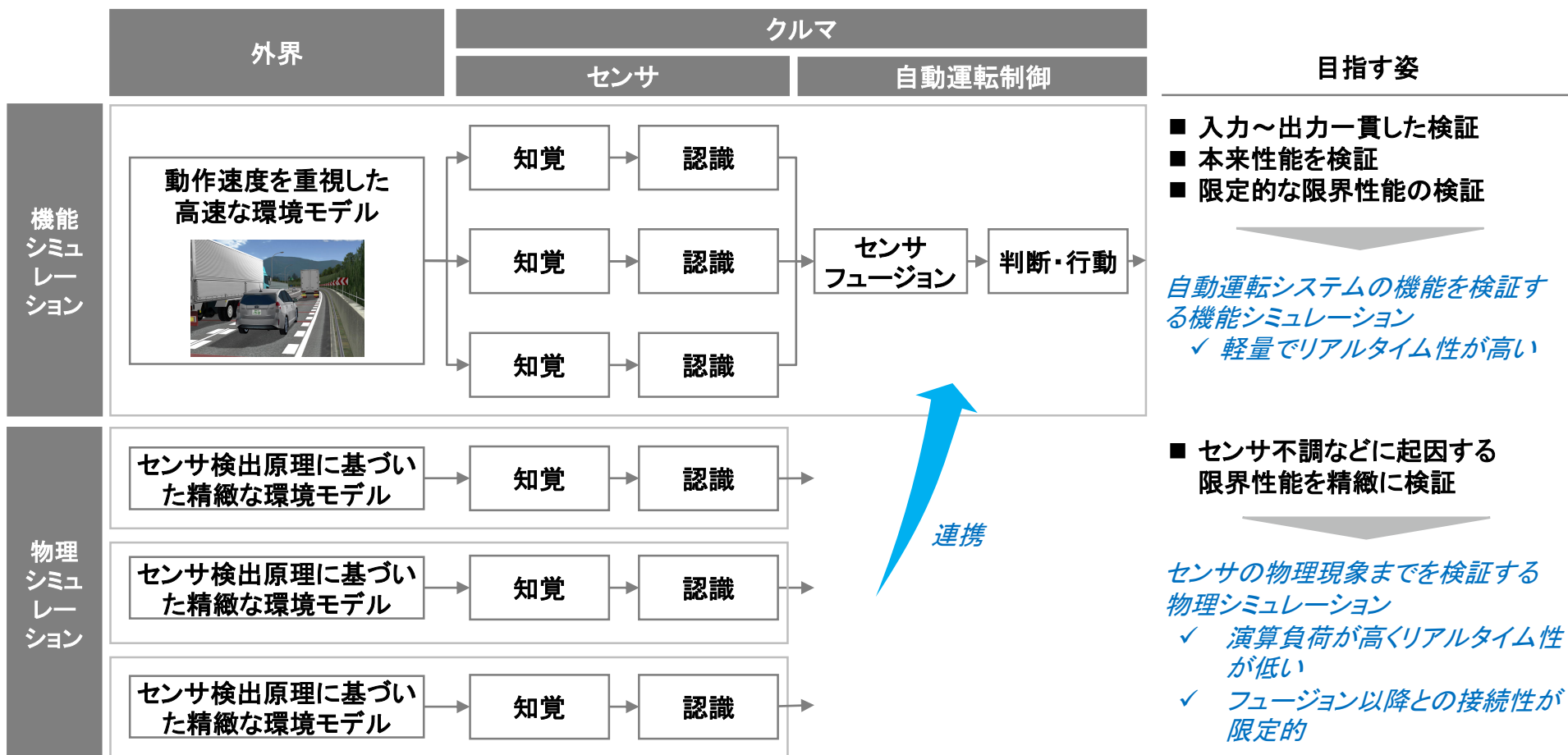


センサ不調がシステム後段で
検出 & 対処できない事象の検証が不十分

全てのセンサ不調等が検知・除去され、
車両挙動の安全性に影響を与えないシステムの構築と検証が必要

インターフェース(I/F)を定義・動作する機能シミュレーション、これを精密化し、性能限界の評価を目指す物理シミュレーションを構築する

自動運転評価のためのシミュレーション体系



精緻なセンサ物理現象の物理シミュレーションの結果を自動運転システムの評価が可能な機能シミュレーションへ連携させていく手法は研究課題

本事業では、センサ不調に起因する限界性能の評価と、評価結果に応じた各コンポーネント単位での検証を可能とする評価環境の構築を目指す

本事業の目指す姿と成果物

	目指す姿	アプローチ
基本機能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動運転の本来性能の仮想評価 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実環境での評価結果との一致性を検証する
差別化訴求点	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動運転の認識不調に起因する限界性能を仮想環境で評価できる 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 精緻な物理シミュレーションの結果を、リアルタイムな機能シミュレーションの結果に反映する手法を検討
	<ul style="list-style-type: none"> ■ センサ、認識、他のコンポーネント単位で出力検証ができる ■ 各コンポーネントの改善検証ができる 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nodeごとに標準インターフェース(I/F)を定義し、各モデルの抜き差しの可能なプラットフォームの構築

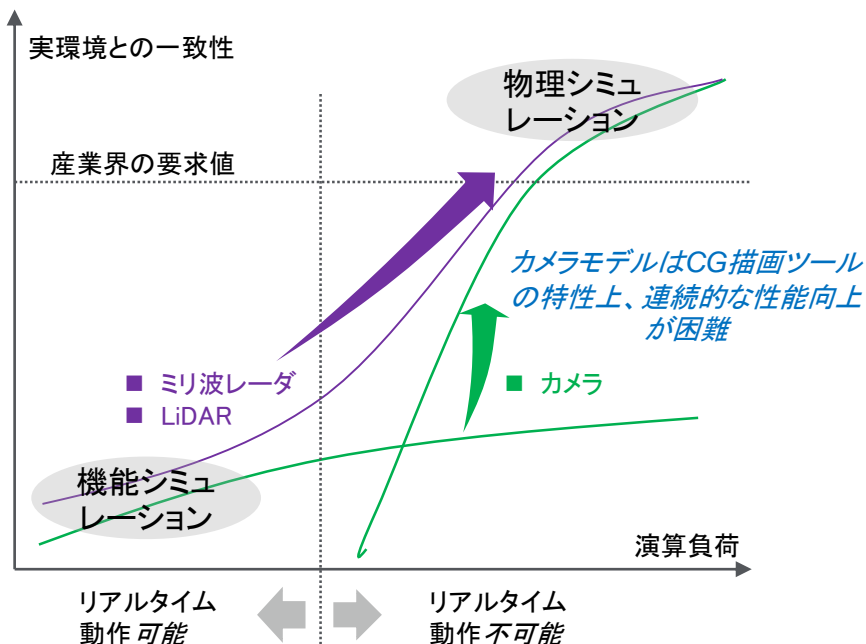
目指す姿を実現するための成果物

インターフェース(I/F)仕様書	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動運転評価環境の標準となり得るインターフェース(I/F)仕様 ■ 機能シミュレーション、物理シミュレーション環境を構築 	機能シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ■ リアルタイムでのシステム評価が可能 ■ 実環境との性能を唯一検証済 ■ 代表シーンのシミュレーションが可能 ■ 限界性能の挙動が実測と同一傾向を示す ■ コンポーネントごとに入れ替え、開発・検証が可能
		物理シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ■ 産業界の役に立つ、精緻にセンサの物理現象を再現 ■ 実環境との性能を唯一検証済 ■ コンポーネントごとに入れ替え、開発・検証が可能

最終成果目標はセンサ不調の評価を可能とする物理シミュレーション、 軽量な機能シミュレーションからの連続的な進化を計画する

シミュレーション進化の考え方

機能・物理シミュレーションの関係



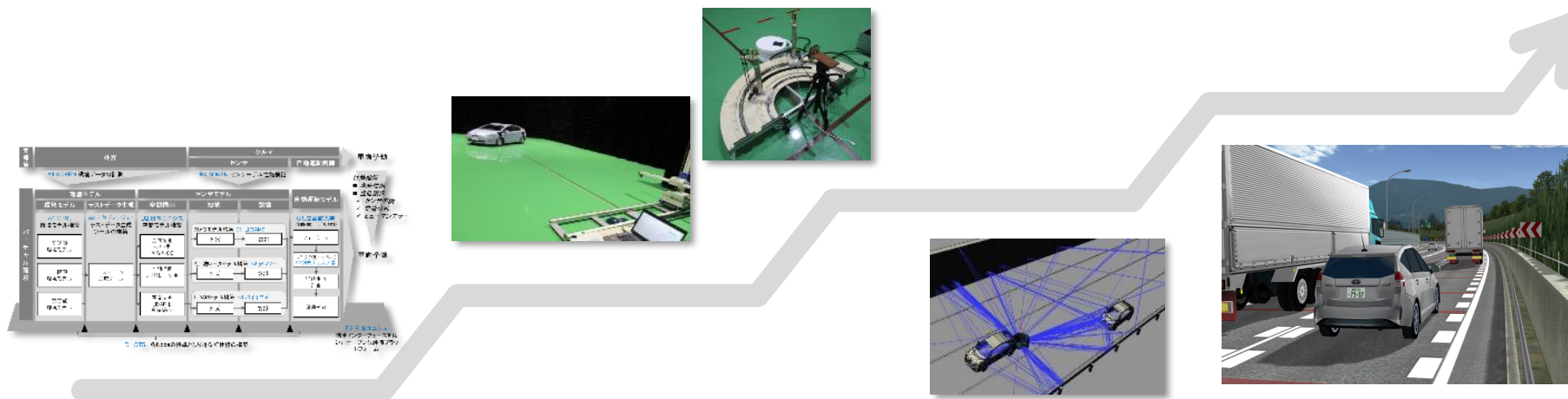
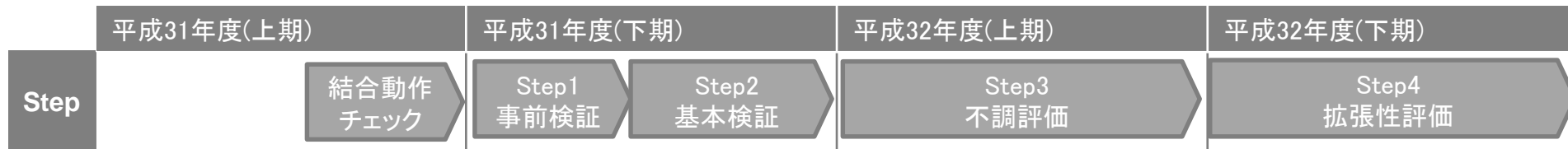
段階的な成果目標

Step	実施内容	成果目標
Step1	■ 事前検証	■ 静止状態での一致性検証
Step2	■ 基本検証	■ 基本的な走行シーンでの一致性検証
Step3	■ 不調評価	■ 認識不調を組み込んだ条件での一致性検証
Step4	■ 拡張性評価	■ 一般道の各種シーンでの評価可能性の確認

同一の動作原理に基づくセンサモデルと、対応する環境モデル等を
機能・物理シミュレーションに関わらず用い、連続的に精度を向上させていく

本事業は段階的なプロジェクト推進を図り、実環境との検証を行った機能・物理シミュレーションの構築と、標準化を目指すシミュレーションI/F仕様の提案を行う

プロジェクト計画



実施内容	Step1 事前検証	Step2 基本検証	Step3 不調評価	Step4 拡張性評価
<ul style="list-style-type: none"> 策定したI/Fに基づく機能モデルソフトウェア実装 モジュール結合動作検証 	<ul style="list-style-type: none"> テストデータ生成ツールを含めた全体の結合検証 機能モデルSimの評価 	<ul style="list-style-type: none"> 実センサ計測結果に基づく物理モデルの実装 認識不調要因のモデル化 計測車での実測との一致性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 物理シミュレーション成果を機能シミュレーションへ連携 一般道を含む走行環境での評価可能性を検証 	

標準化を目指した
シミュレーションI/F

機能シミュレーション
本来性能を使った動作確認

物理シミュレーション
性能限界の評価可能性検証

対応シーン拡大

センサ検出原理に起因する不調要因を基に、実環境での計測可能性を考慮し、各プロジェクトステップにおける評価シーンを計画

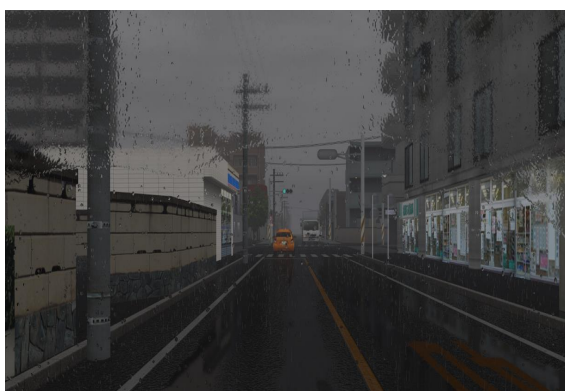
検討中の評価シーン

Step	名称	時期	目的	評価シーン	不調条件	実環境(候補)
1	事前検証	2019/10~	<ul style="list-style-type: none"> ■ 静止状態での一致性検証 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 静止物・静止状態 	<ul style="list-style-type: none"> ■ なし 	JARI Jtown
2	基本検証	2020/1~	<ul style="list-style-type: none"> ■ 基本的な走行シーンでの一致性検証 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 大型車併走等 ■ NCAP(歩行者・自転車) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ なし 	JARI Jtown
3	不調評価	2020/4~	<ul style="list-style-type: none"> ■ 認識不調条件を組み込んだ条件での一致性検証 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 大型車併走 ■ NCAP(歩行者・自転車) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 雨、霧 ■ 逆光 ■ 夜間 	JARI Jtown
4	拡張性評価	2020/10~	<ul style="list-style-type: none"> ■ 一般道の各種シーンでの評価可能性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 交差点 ■ 郊外一般道 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 雨、霧 ■ 逆光 ■ 夜間+α 	なし

大型車併走シーン



環境因子(降雨、霧)



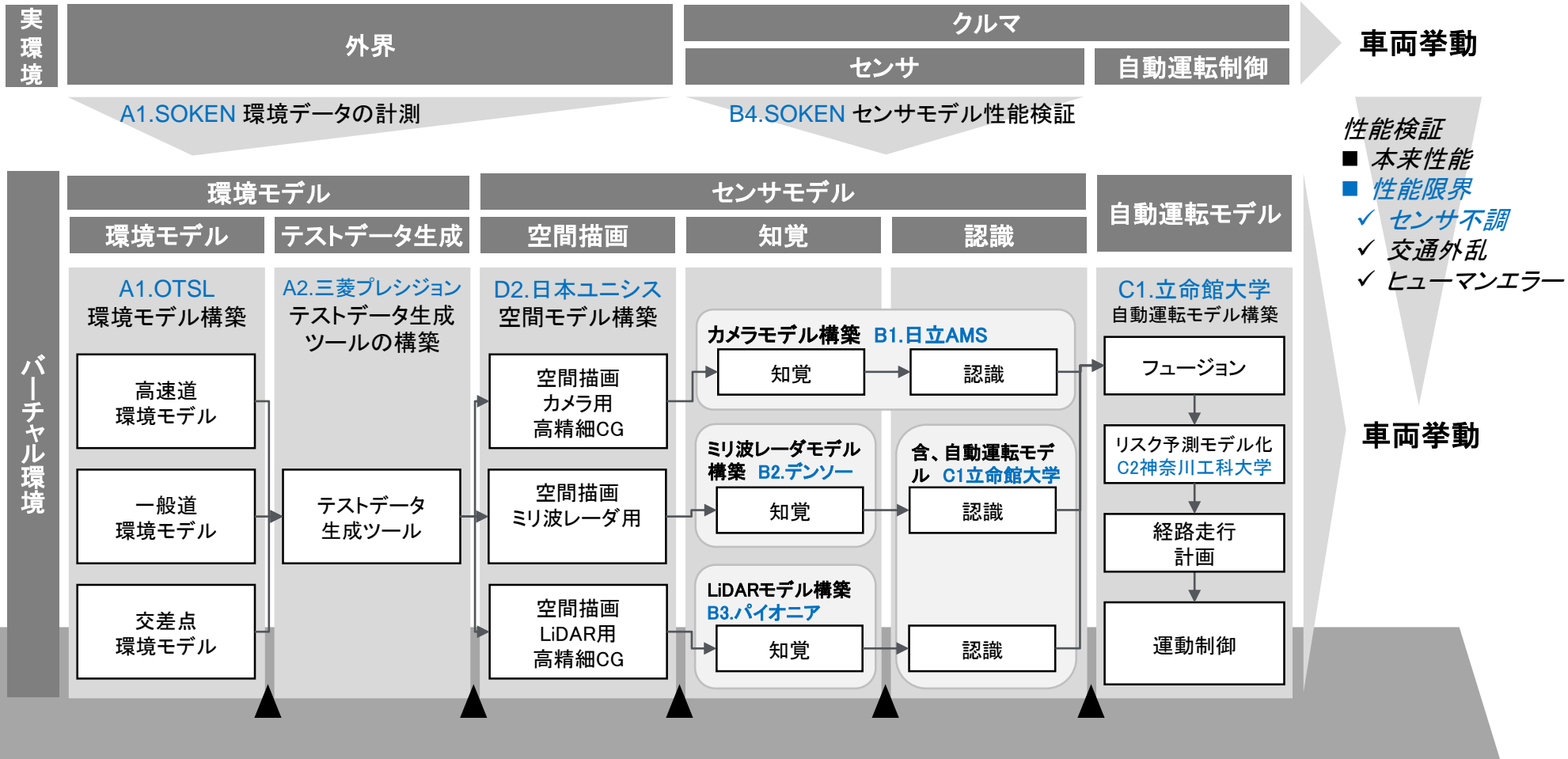
環境因子(逆光)



出所：三菱プレジジョン(株)提供参考図

シミュレーション環境構築のための「インターフェース(I/F)構築」、「モデル構築」、「実環境との検証」を、其々エキスパートが分担・連携し、成果の創出を目指す

研究分担体制



D2.日本ユニシス 標準インターフェース(I/F)を備えたオープンな評価プラットフォーム

各分野のエキスパートとなる2大学、8企業、 全10団体が参加するコンソーシアムを形成し、研究開発を推進する

コンソーシアム参加団体

参加団体		研究パート	
 学校法人幾徳学園 神奈川工科大学		B0	■ センサシミュレーションモデルの結合と評価
		C2	■ リスク予測のモデル化
 学校法人立命館		C1	■ 自動運転行動モデルの研究
 株式会社OTSL		A1	■ 環境モデルの構築
		D1	■ 評価環境の標準となり得るI/Fの検討
 株式会社SOKEN		A1	■ 環境モデル化に必要な実環境特性データの計測
		B4	■ センサモデル性能の評価に必要な実環境データの計測
 三菱プレジジョン株式会社		A2	■ 安全性評価テストデータ生成ツールの構築
 SOIZE Engineering株式会社		A2	■ 評価シナリオ記述方式等の検討
 日立オートモティブシステムズ株式会社		B1	■ カメラモデルの構築
 株式会社デンソー		B2	■ ミリ波レーダモデルの構築
 パイオニア株式会社		B3	■ LiDARモデルの構築
 日本ユニシス株式会社		D2	■ 評価プラットフォームの構築

平成30年度の成果

■ プロジェクト総括

① バーチャル評価プラットフォームの構築

② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義

③ 実環境測定系の構築

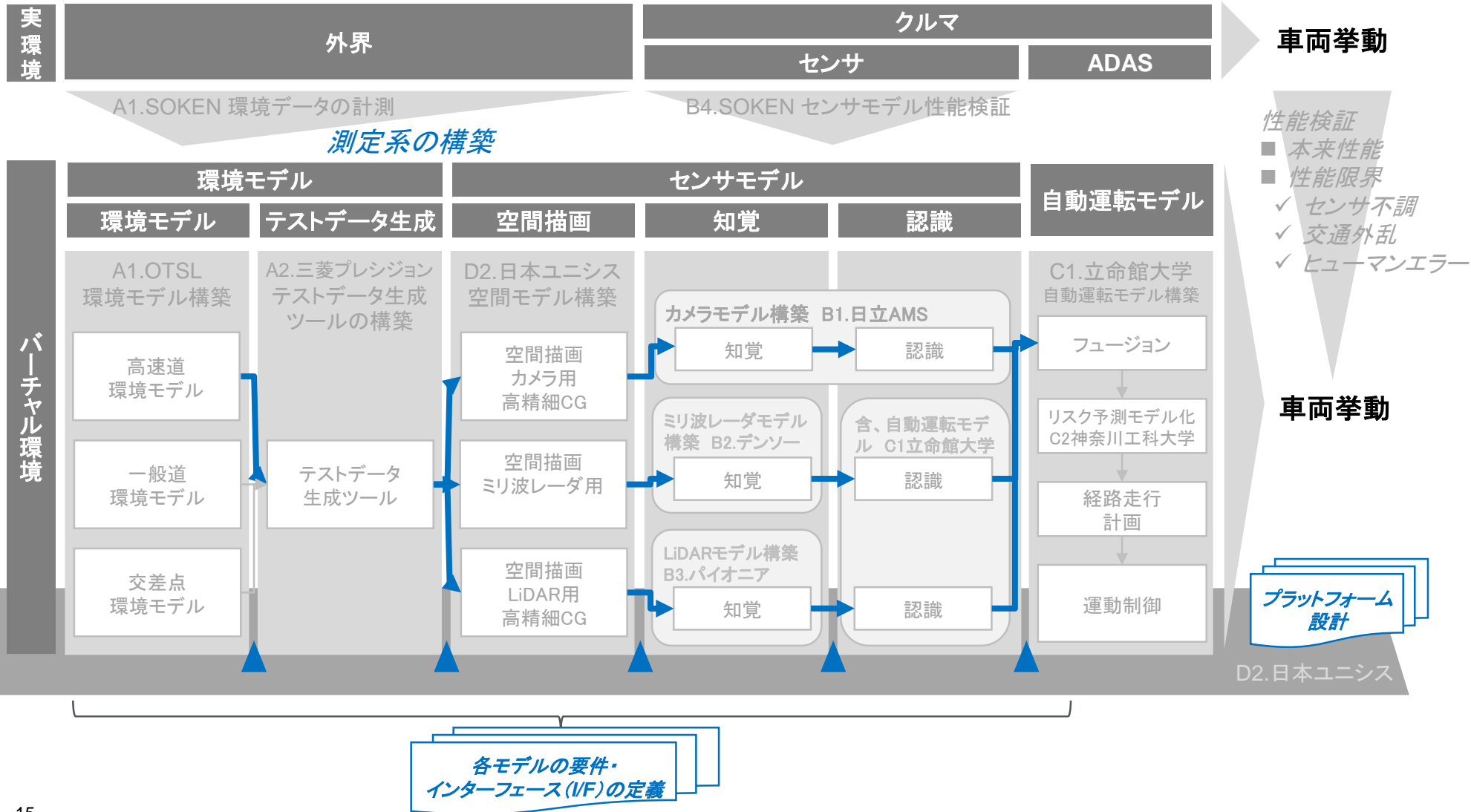
平成30年度の成果

■ プロジェクト総括

- ① バーチャル評価プラットフォームの構築
- ② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義
- ③ 実環境測定系の構築

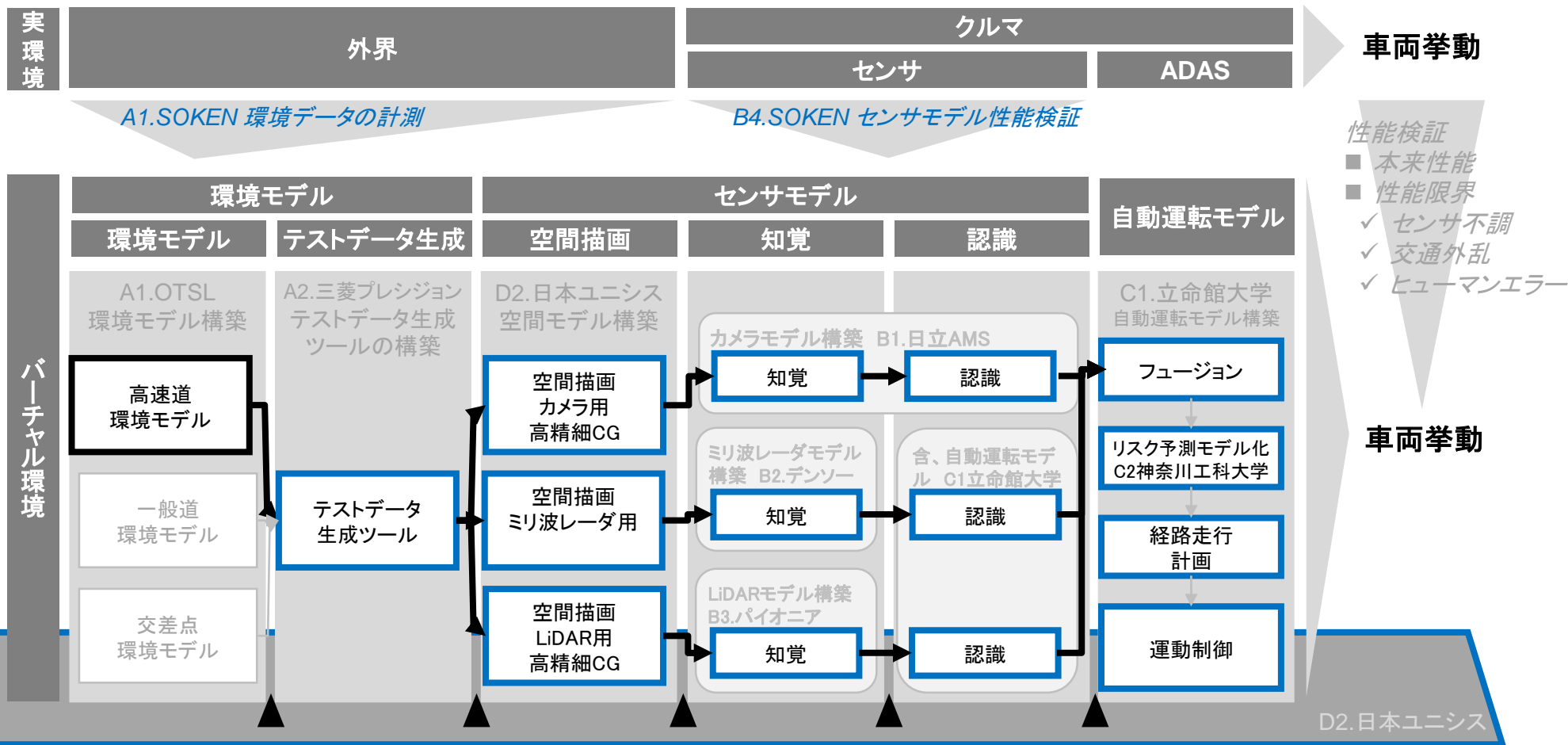
平成30年度の主要な成果は、次年度以降の評価環境構築のための枠組みとなる各モデル要件構築、プラットフォーム設計、実環境との一致性検証の準備を実施

平成30年度の成果



次年度は、平成30年度に構築した枠組みに沿って、各研究パートにてツール・モデルを構築、機能シミュレーションとして一連の動作確認を目指す

次年度の取組みと成果見通し



平成30年度の成果

■ プロジェクト総括

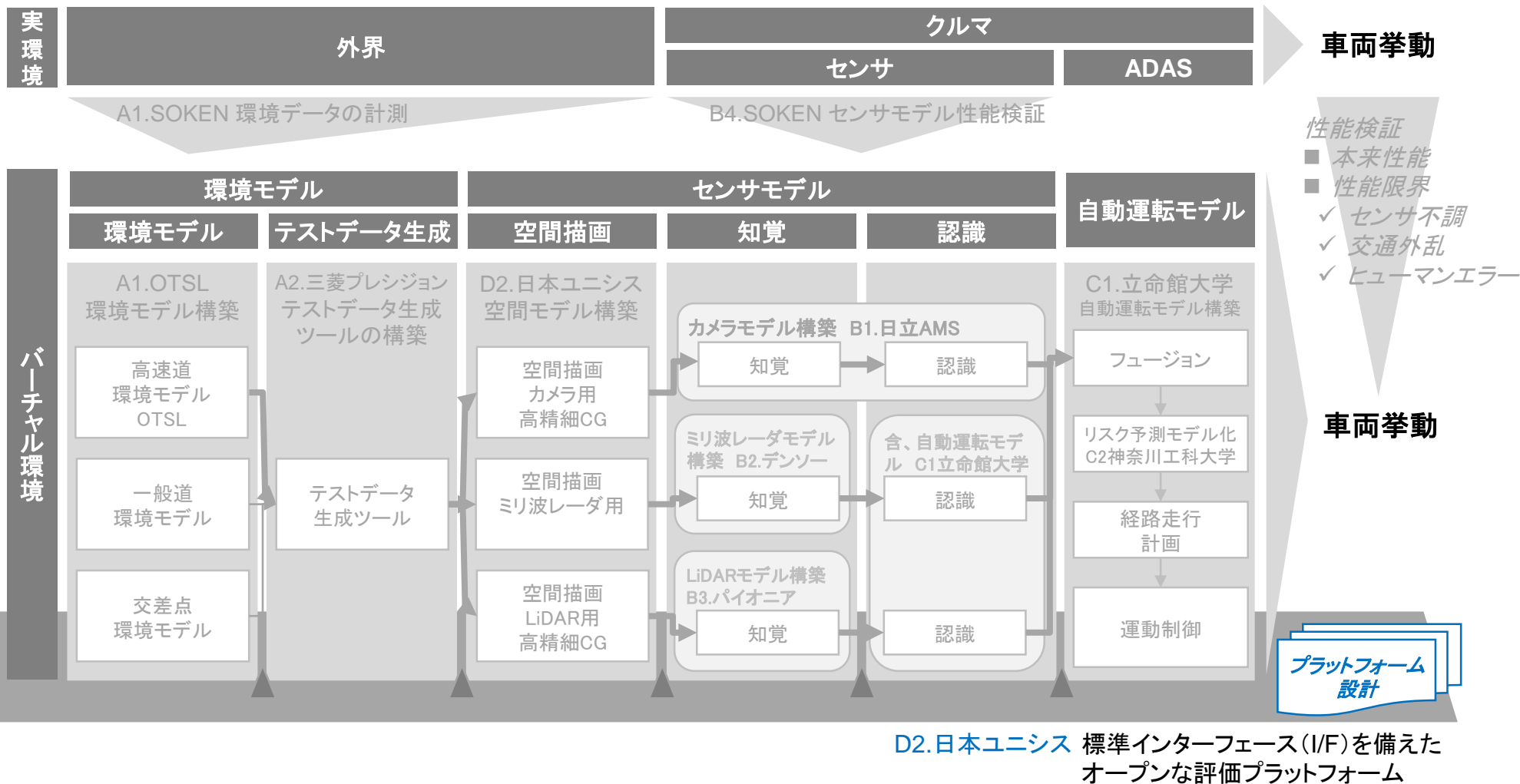
① バーチャル評価プラットフォームの構築

② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義

③ 実環境測定系の構築

リアルタイムに動作する機能シミュレーション、精緻な物理シミュレーションを構築して いくためのシミュレーションプラットフォームの設計を行った

平成30年度の成果



現有のオープンシミュレーションプラットフォームの調査から、 既存のCarla+UE4の組合せを活用することで効率的な研究が図れることがわかった

Carla vs AirSimの比較結果

評価指標	大分類	中分類	小分類	CARLA	AirSim	備考
開発環境	PF	Unreal Engine 4	-	4.21	4.18	
		Unity	-	×	Experimental	
	OS	Windows	-	△	○	
		Linux	-	○	○	
ライセンス	-	-	コード: MIT License アセット: CC-BY License	MIT License	CC: クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC-BY: 作品を複製、頒布、展示、実演を行うにあたり、著作者の表示を要求する	
走行環境モデル(Aパート)	APIs	シナリオ	-	○	×	
		天候	-	○	○	
センサモデル(Bパート)		カメラ	-	○	○	
		認知(センサ)	ミリ波	0.9.9予定	×	
			LiDAR(ground truth)	○	○	
自動運転モデル(Cパート)		判断	-	○	×	
		操作	-	○	×	
外部連携機能		ROSサポート	-	○	○	
		Autowareサポート	-	○	×	
空間モデル(D2パート)		演算処理機能	レイキャスト	-	○	○
走行環境モデル(Aパート)	アセット	自動車	-	○	△	AirSimのアセットはAirSim以外で利用できない形式で配布されているため△とした
		人間	-	○	△	
		ロードサイドオブジェクト	-	○	△	
		マップ	-	○	△	
開発環境	ターゲット	-	-	自動運転	ドローン、自動運転	

Carlaを選定

- モデルやマップなどのアセット流用性
- 判断、操作、シナリオ機能のサポート

UE4 vs Unityの比較結果

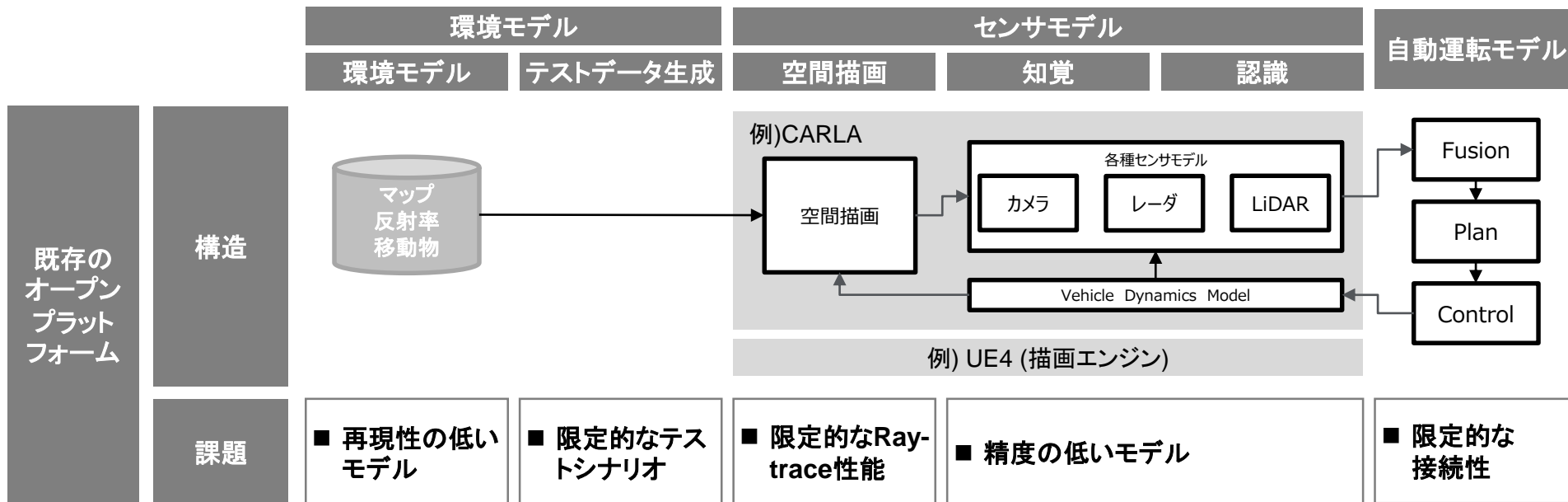
評価項目	Unity	Unreal Engine 4	備考
開発言語	C#, JavaScript	C++	
ブループリント	-	○	
ライセンス体系(料金)	Personal: 無料 (年間の売上が\$100,000を超えない場合のみ使用可能) Plus: \$25/月 Pro: \$125/月	基本無料 四半期ごとに粗収入のうち\$3000を超えた部分に対して5%のロイヤリティ	
参考書(amazon検索結果)	30000以上	71	
シェア	50%	25%	ただし、Unreal Engine4が増加傾向
OS	Windows, Mac, Linux	Windows, Mac, Linux	
アセットストア	○	○	
CARLA	×	○	

UE4を選定

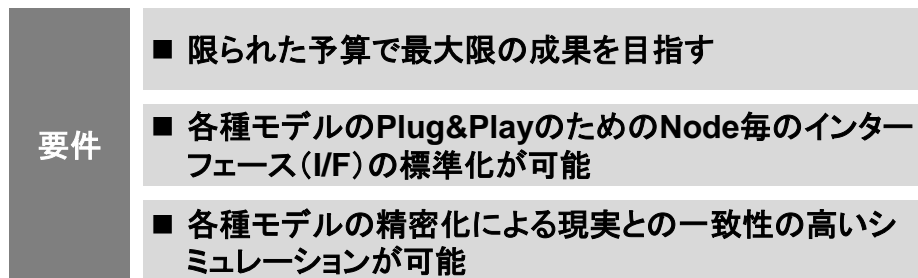
- ビジュアルスクリプティングシステムによる開発のし易さ

Carla+UE4を活用しインターフェース(I/F)を標準化、各モデルのPlug&Play化を実現、モデルを精密化し組込むことで、シミュレーション精度の向上を効率的に実現する

シミュレーションPFアーキテクチャ設計



これらを解決するためのプラットフォームを構想



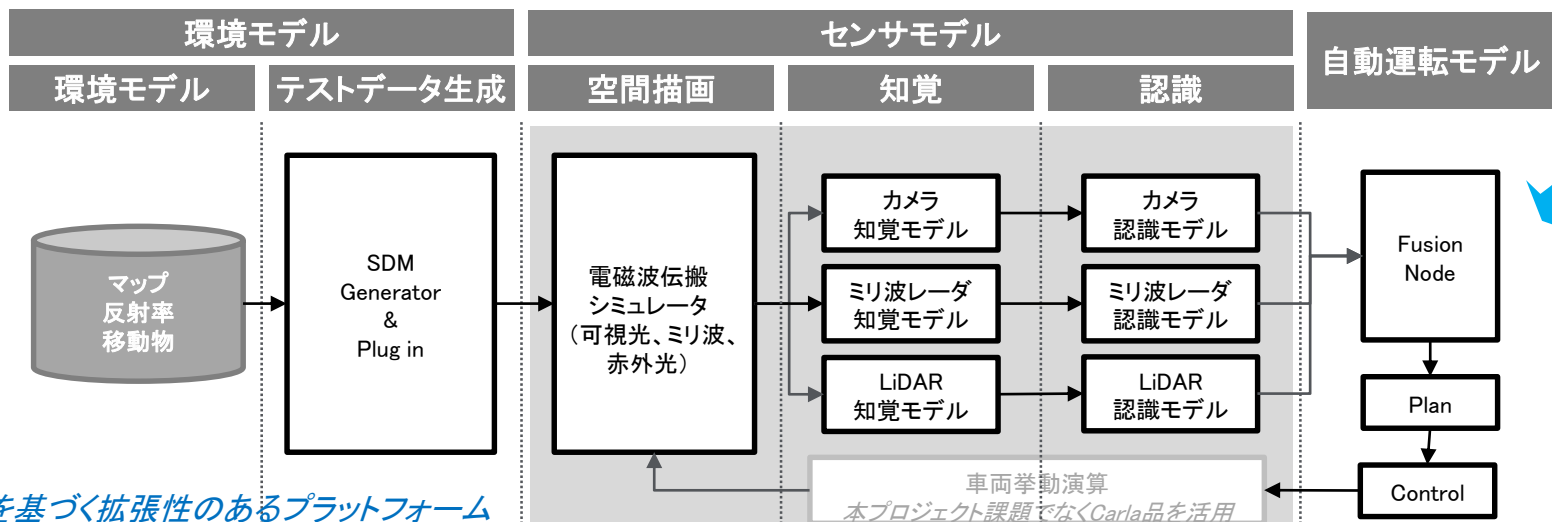
既存のオープンシミュレータを活用、本プロジェクトの主要課題に集中し効率的に成果を目指す

1. インターフェース(I/F)の標準化
2. センサの原理原則に基づいたモデルの精密化

プラットフォームの構成要素と標準化すべきインターフェース(I/F)Nodeを設計、これをDIVP(Driving Intelligence Validation Platform)と定義とする

DIVP(Driving Intelligence Validation Platform)設計

共通の枠組み
モデルを置き換え
高精度化を目指す



DIVP
既存ツールに基づく拡張性のあるプラットフォーム

インターフェース(I/F)標準化による拡張

Carla + UE4ベースを活用し、インターフェース(I/F)を標準化、モデルの改造を可能とする

ROS出力による連携

- 反射特性の再現性の高い環境モデルの接続が可能
- テストシナリオを拡充させるSDMジェネレータの接続が可能
- センサ要件に応じたRay-trace性能を持つ空間描画モデルへの置き換えが可能
- 精度の高いセンサモデルへの置き換えが可能
- 自動運転モデルへの置き換えが可能

インターフェース(I/F)の標準化による汎用性と、精密化されたモデルによる高い評価可能性を目指す

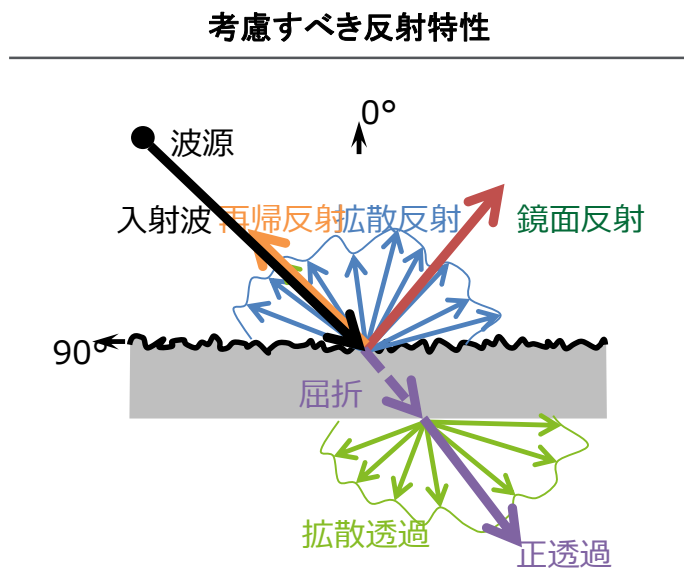
シミュレーションPF開発における空間描画について、共通のプラットフォームによる各センサモデルの精密化が可能なよう処理内容を検討した

シミュレーションPFアーキテクチャ設計

対応方針	シミュレーション種別	空間描画／知覚		
		カメラ	ミリ波レーダ	LiDAR
■ 機能シミュレーション	■ UE4程度の画像を知覚する簡便なモデル	■ マルチパス無のレイトレースに対応したモデル	■ フットプリントを考慮しないモデル	
■ 物理シミュレーション	■ パストレーシングに対応したモデル	■ マルチパスレイトレースに対応したモデル	■ フットプリントを考慮するモデル	

共通プラットフォームで連続的に精密化

空間描画処理原則



各センサが利用する電磁波

センサ	電磁波	波長	計算に用いる特性
カメラ	■ 可視光	■ 380nm～770nm	
ミリ波レーダ	■ ミリ波	■ 3mm～5mm	■ 材料の電気的特性 (誘電率)
LiDAR	■ 赤外光	■ 905nm	■ 材質の近赤外線反射特性

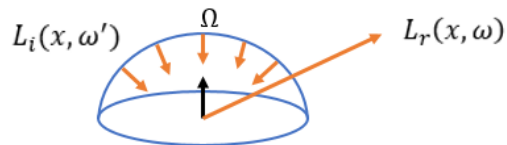
空間描画は、各センサの使用帯域の物理原理に基づいた処理を行う

各センサに対する空間描画手法

カメラ

レンダリング方程式を用いて、反射波の計算を行う

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



ミリ波レーダ

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

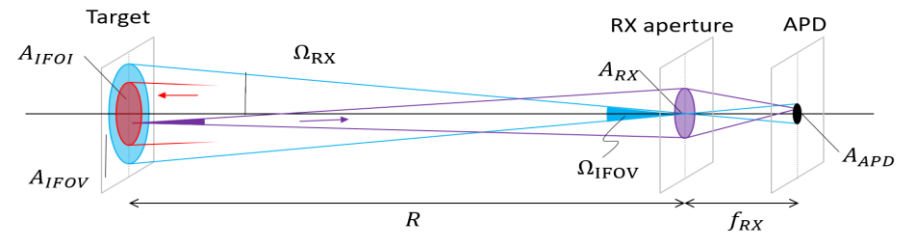
σ : RCS値

R: 物標とレーダとの距離

LiDAR

パルス波と物標の交点と反射波のパワーを求める。

$$P_r = \frac{\rho A_{RX}}{\pi R^2} P_t$$



A_X : area of X [m²]

Ω_X : solid angle of X [sr]

R : range [m]

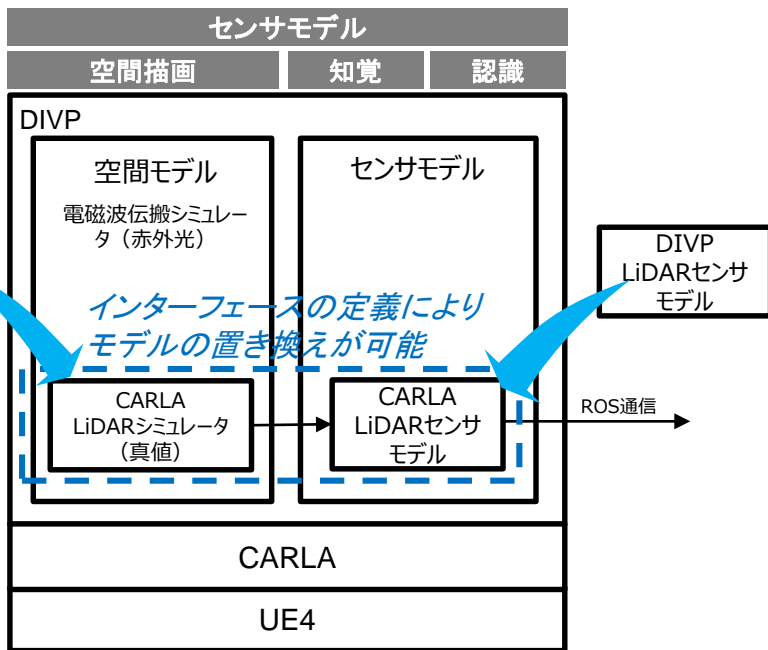
f_{RX} : focal length of RX optics [m]

機能モデルクローズドループPFの初期版を開発

PF初版

LiDARシミュレーション初版の空間モデルとセンサモデルを開発中

LiDARシミュレーション初版実行時のシーン



ベースPFに採用したCARLAで、評価シーンを作成

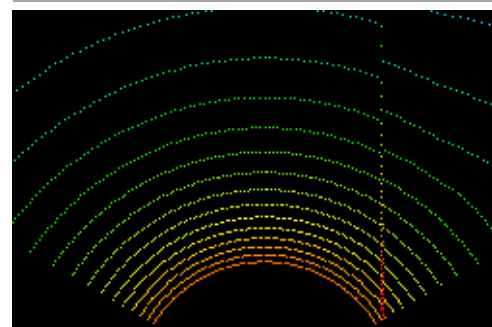
評価

LiDARシミュ (CARLA付属)



点群を出力

DIVP LiDARシミュ (反射率考慮)



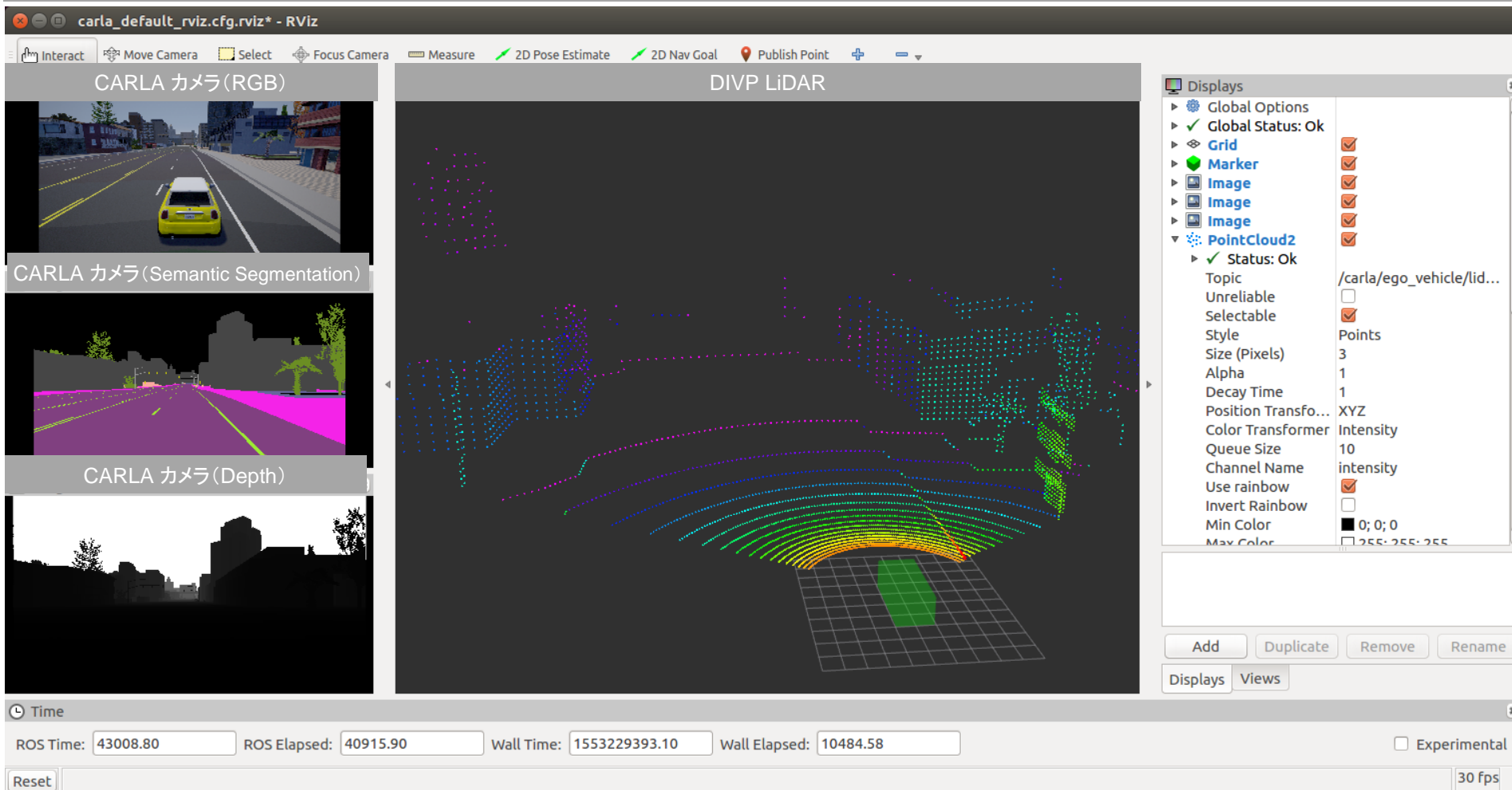
点群+反射強度を出力

- CARLA付属の空間モデル、センサモデルをDIVPモデルに差替え
- 今年度はLiDARシミュレーション初版を実装。
カメラ、ミリ波レーダについては、来年度実装予定

機能モデルクローズドループPFの初期版を開発

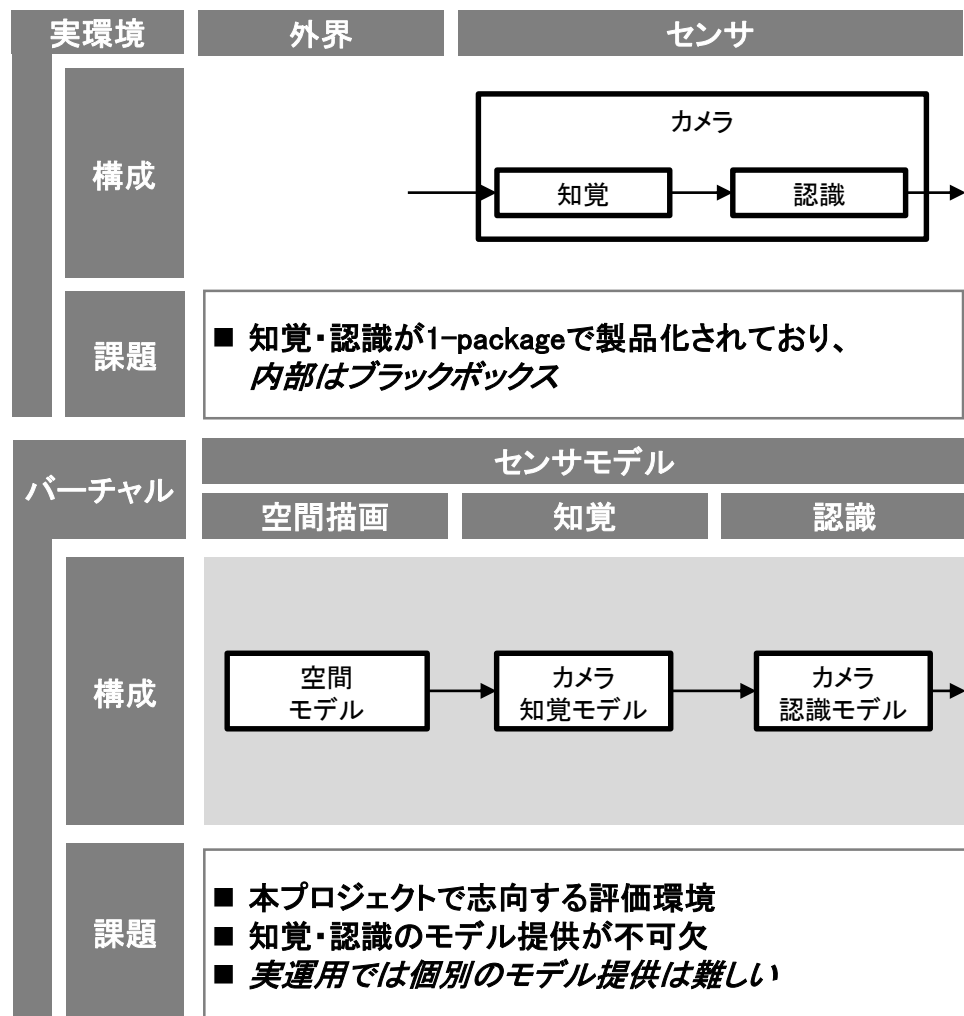
PF初版

PFからROS出力した結果を、rviz(ROS可視化ツール)で表示

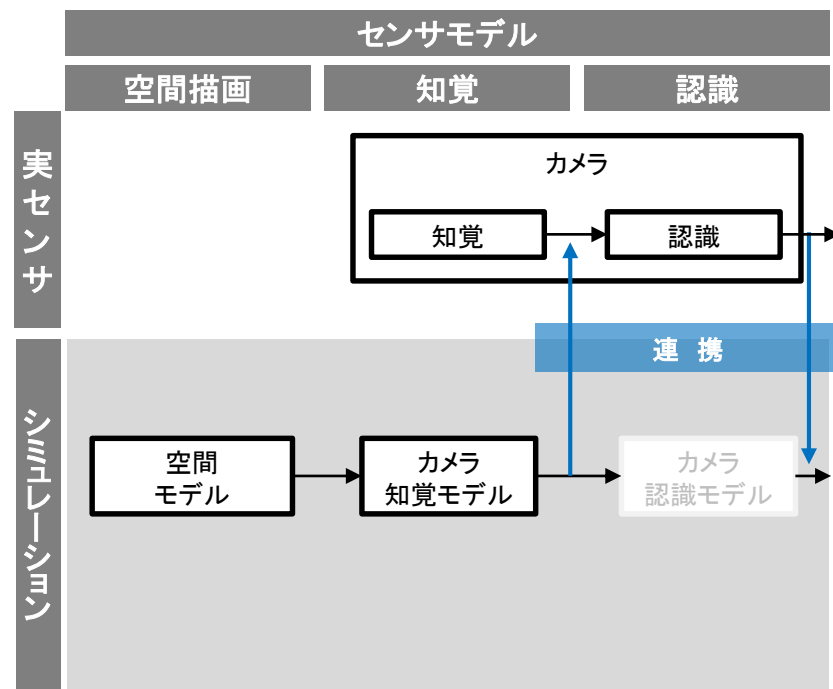


カメラを題材にインジェクション技術を用いたHILSによる評価可能性を検討する

インジェクション評価環境へのチャレンジ



くみあわせ



- バーチャル環境の空間モデル～知覚結果を、実センサの知覚後にインジェクションすることで、ブラックボックスのカメラでも評価を可能とする

平成30年度の成果

■ プロジェクト総括

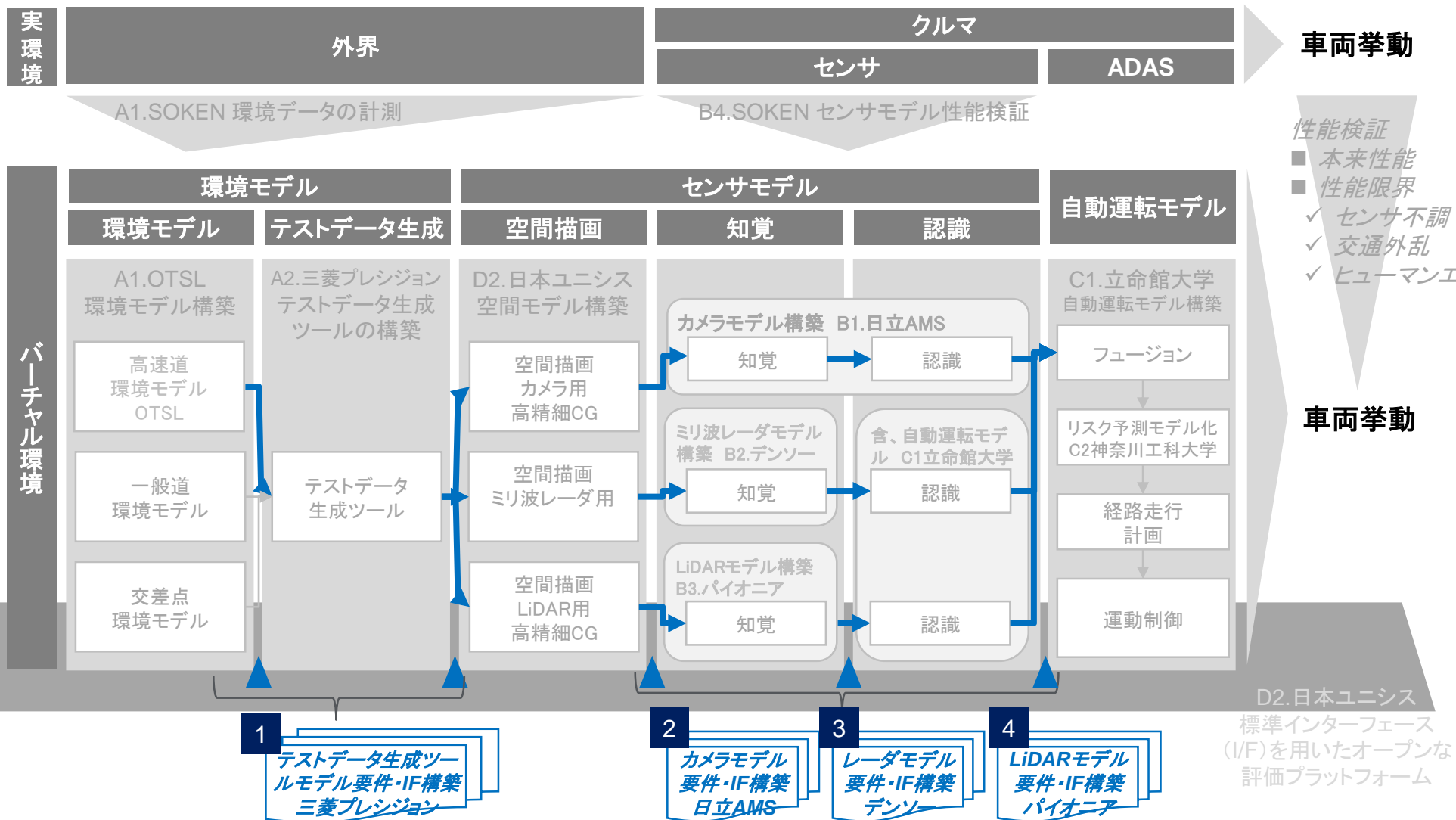
① バーチャル評価プラットフォームの構築

② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義

③ 実環境測定系の構築

プラットフォーム構築における枠組みとして、各パート、バーチャルモデル化における要件を検討、モデル間のインターフェース(I/F)や評価指標の構築を行った

平成30年度の成果



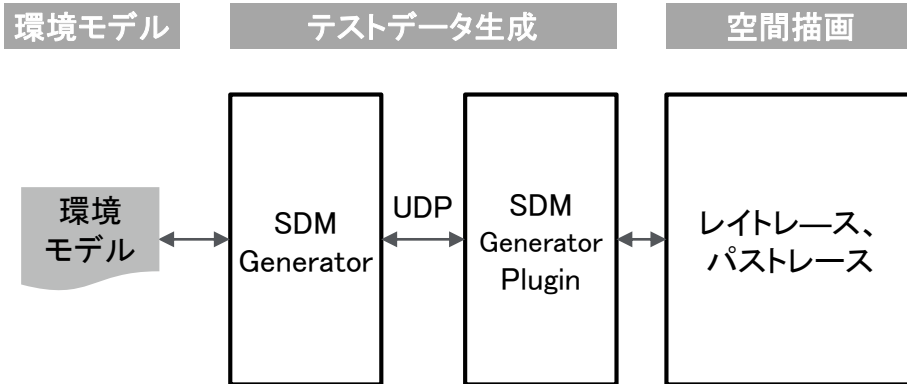
1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】

テストデータ生成ツール(SDM generator*1)に係るインターフェース(I/F)を定義した

SDMジェネレータインターフェース(I/F)の検討

検討に用いたプラットフォーム構造

- ツール・インターフェースを検討するにあたり、テストデータ生成ツールの構成を定義



本構造による優位性

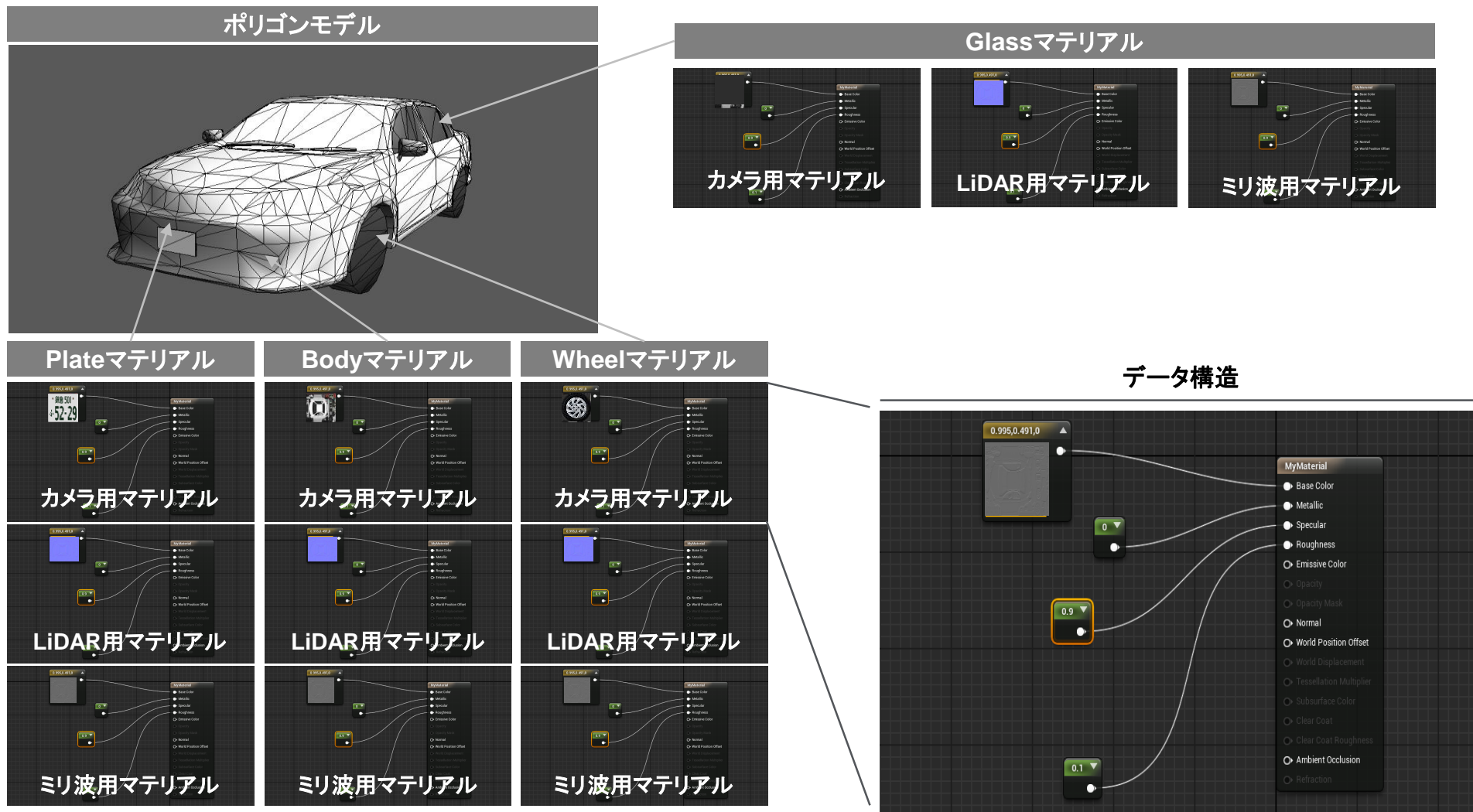
- OSの違いを吸収できる
- 分散処理により、計算機パワーを別々に使え、
- パイプライン化した処理によりスループットを向上可能

I/F名	内容	形式	詳細
モデル 関連	モデル (アセット)	umap	<ul style="list-style-type: none"> ■ fbxをumap形式に変換 ■ マテリアルは参照形式
	マテリアル	csv	<ul style="list-style-type: none"> ■ マテリアル情報は別途CSVファイルとして用意
	道路ネット ワーク	Open DRIVE	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cパートが道路ネットワークを必要とする場合、OpenDRIVEフォーマットの情報を出力
通信I/F	通信	UDP	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dパート、Cパートとの情報の基本は、UDPによるパケット通信 ■ 実際の各パート間通信は、UE4ペースのSDM Generator プラグインモジュールのAPIを通じて実行

*1 SDM Generator : Space Design Model Generator

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 環境モデルに、各センサの使用電磁波帯域ごとの反射特性を具備したポリゴンモデルを用いる

環境モデルのデータ構成例

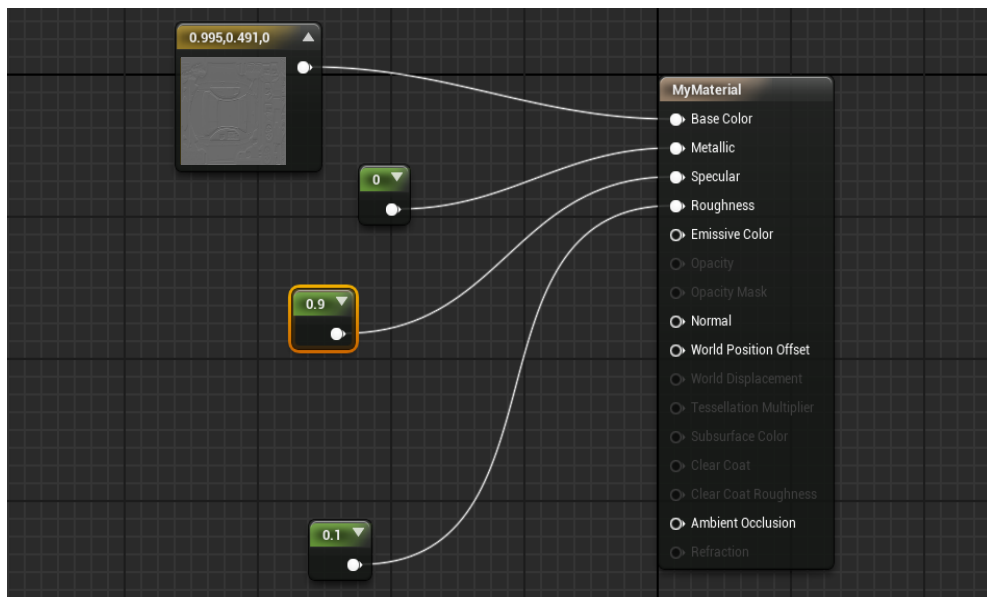


出所：三菱プレジジョン提供参考イメージ

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 一般的なマテリアルデータ構造に対し、対象物の実測値を用いることで実環境との一致性の高い精緻な仮想環境の再現を目指す

環境モデルのデータ構造例

データ構造



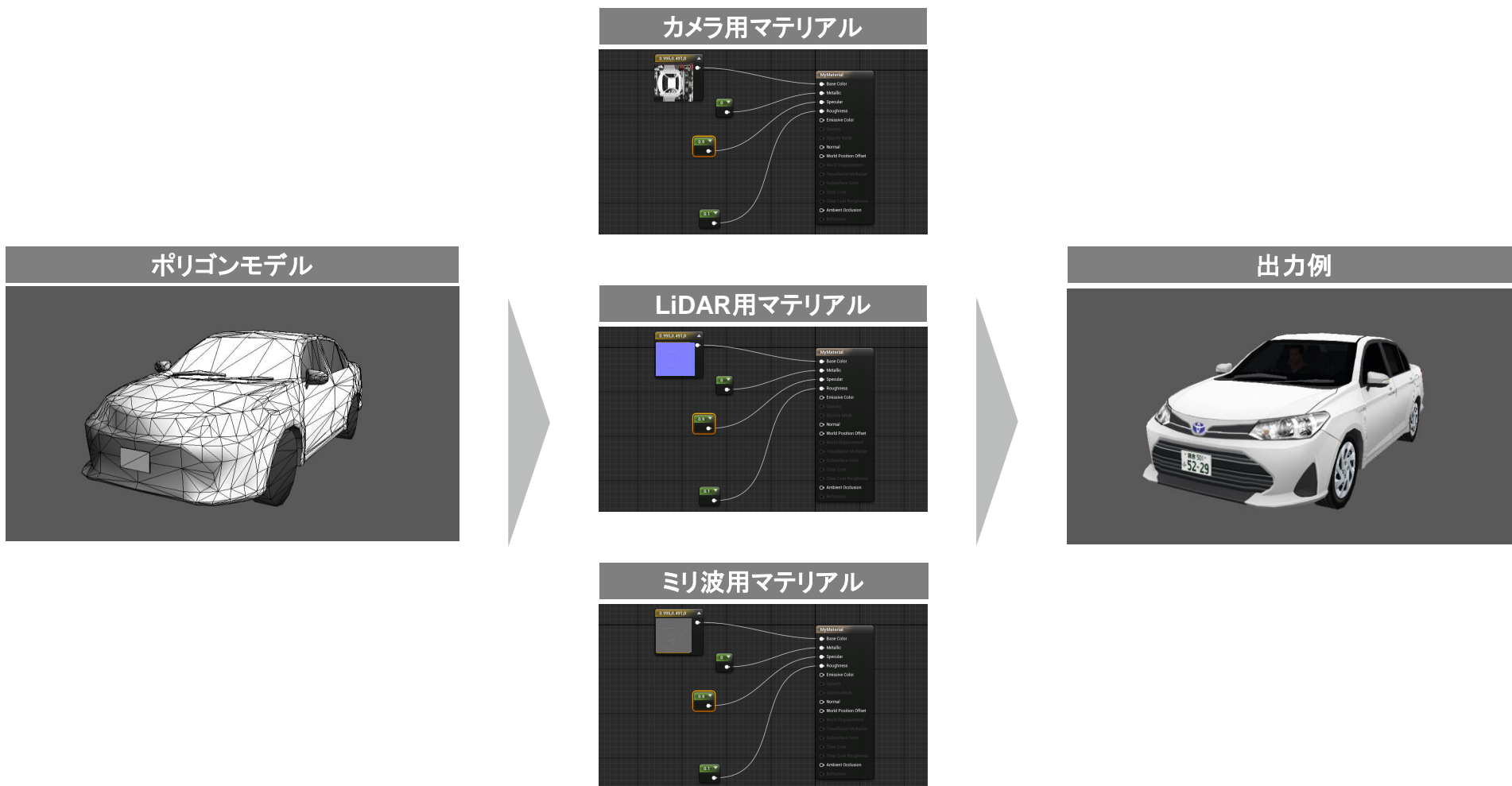
格納されるデータ

Base Color	■ 素材自体の色味を定義
Metallic	■ 金属か非金属を示すパラメータ
Specular	■ 鏡面反射度
Roughness	■ 物質表面の粗さを示すパラメータ
Emissive Color	■ 自己発行色を定義
Normal	■ 表面の法線
Ambient Occlusion	■ 環境光の減衰を定義
BRDF	■ 双方向における反射率の分布を定義
BTDF	■ 双方向における透過率の分布を定義

※パラメータは調整中

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 テストデータ生成には、ポリゴン形状に各詳細情報を参照、精緻な評価環境を構築する

テストデータ生成の例



1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 SDM Generatorによるテストデータの例

SDM Generator出力の例(大型車並走シーン)



※SDM Generator は、図例に示すような各種アセットとシナリオに基づき、位置・姿勢情報等を含むシーン毎のテストデータを生成

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 SDM Generatorによるテストデータの例

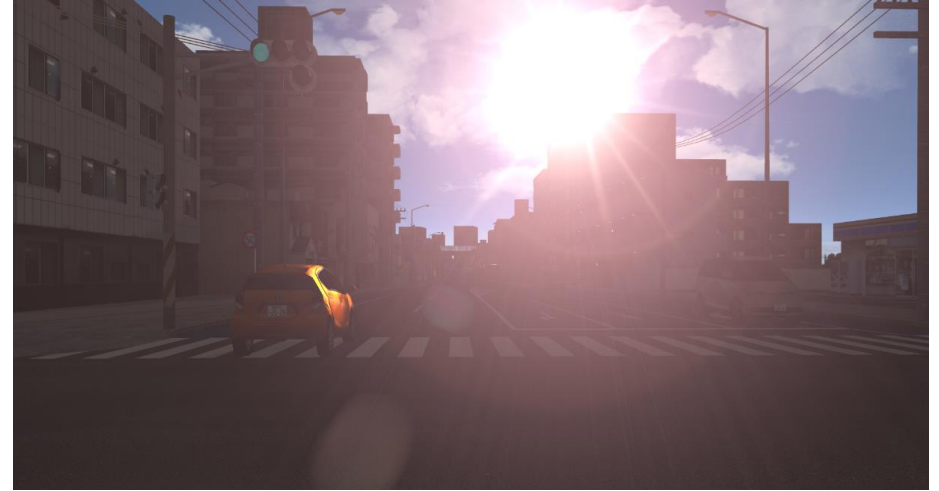
SDM Generator出力の例(雨、霧)



※SDM Generator は、図例に示すような各種アセットとシナリオに基づき、位置・姿勢情報等を含むシーン毎のテストデータを生成

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 SDM Generatorによるテストデータの例

SDM Generator出力の例(逆光)



※SDM Generator は、図例に示すような各種アセットとシナリオに基づき、位置・姿勢情報等を含むシーン毎のテストデータを生成

1 【テストデータ生成ツールモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 自動運転認識の評価に必要なテストデータフォーマットの調査を実施した

OpenDRIVE/OpenSCENARIO 標準化フォーマットの認識関連調査結果

国外での調査	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1月15日から4日間、ドイツのASAMでOpenDRIVE/OpenSCENARIO Workshopに参加 ■ 現状のOpenDRIVE/OpenSCENARIOでの自動運転における認識に関連する機能は未完成 ■ OpenDRIVEのセンサシミュレーションに重要な材料特性は、他規格の定義を参照する見込み ■ OpenSCENARIOで、カメラなどのセンサ取り付け位置の情報付加について提案あり ■ OpenSCENARIOで、センサへ影響を及ぼす降水量、霧、風、照明、など環境条件を追加する動きあり
--------	---

国内での調査	<ul style="list-style-type: none"> ■ 日本仕様のOpenDRIVE/OpenSCENARIO標準化への働きかけとして、ASAM Japanを中心に活動 ■ OpenDRIVEの次バージョンとなる2.0のコンセプトプロジェクトへ参加 ■ OpenDRIVEに日本仕様の組み込みやセンサシミュレーションに重要な材料特性の実現を行う
--------	--

結論

OpenDRIVEは、DIVPで活用可能であるが、日本独自の仕様や道路や設備の材料特性の追加は必要である。

→ ASAM Japanと協力し、次バージョンとなるOpenDRIVE2.0へDIVPにおける仕様を盛り込む

現状のOpenSCENARIOは、DIVPで活用は困難、かつ次バージョンの策定期間も現時点では不明である。

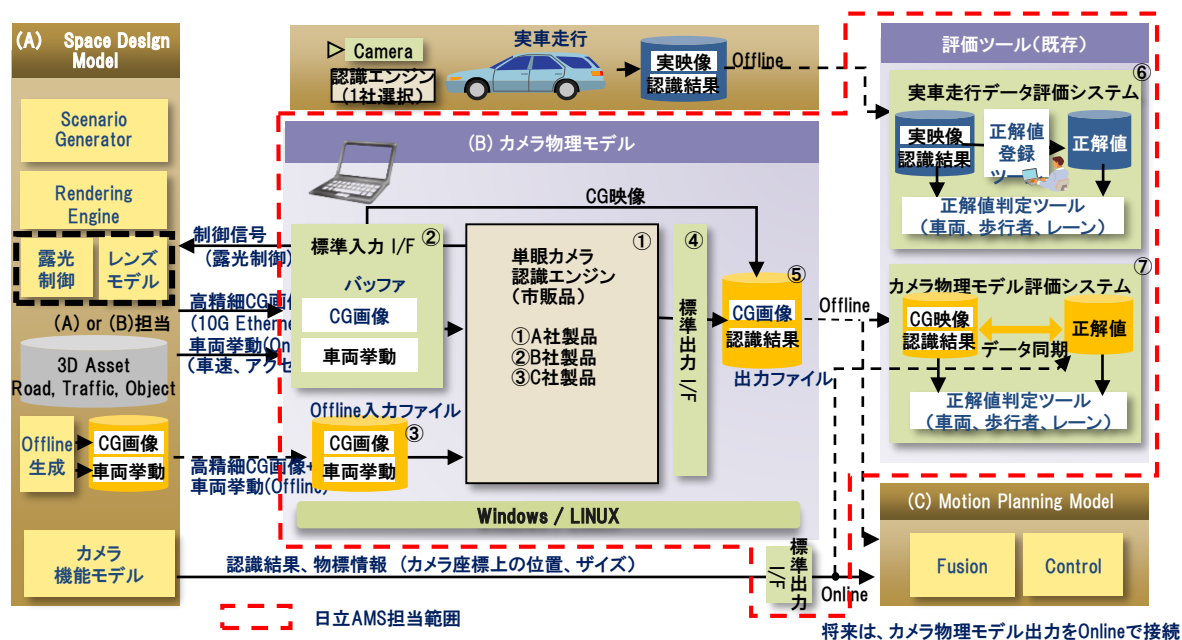
→ 現行のOpenSCENARIOを参考にし、DIVPシナリオフォーマット仕様を策定する

プロジェクト名称	時期	参加	目的
OpenDRIVE Transfer Project	2019/4~2019/9	×	現行のバージョン1.4を更新し標準化へ移行するプロジェクト
OpenDRIVE Concept Project	2019/4~2020/8	○	次バージョンとなる2.0のコンセプトプロジェクト
OpenSCENARIO Transfer Project	2019/4~2019/12	×	現行のバージョン0.91を更新し標準化へ移行するプロジェクト
OpenSCENARIO Concept Project	未定	○	次バージョンとなる2.0のコンセプトプロジェクト

2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラシミュレーション時にモデル化すべき要件を検討した

カメラモデル及び関連する周辺機能の構成

カメラモデルの構成



構成要素

No	機能	概要
①	カメラ認識エンジン	高精密CGを入力として、車両や歩行者等の認識処理を行うカメラセンサ機能(市販認識エンジン)
②	標準入力 I/F	露光制御信号、高精密CGデータ、車両挙動データの受渡し、バッファリング等を行う
③	Offline入力ファイル	環境モデルからファイルで受取るデータ 高精密CG、車両挙動データを含む
④	標準出力 I/F	認識立体物の位置情報等を含む 位置情報等の座標軸を規定
⑤	出力ファイル	カメラ認識結果出力データ、カメラ認識エンジンが受け取る高精密CGを含む
⑥	実車走行データ評価システム	実走で収集のカメラ実機認識結果を正解値*1と比較、認識性能を評価 (*1 収集した実映像から人手で作成)
⑦	物理モデル評価システム	カメラ認識エンジンで認識した結果と環境モデルの真値を比較して認識性能を評価

2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラモデルの入カインターフェース(I/F)を定義した

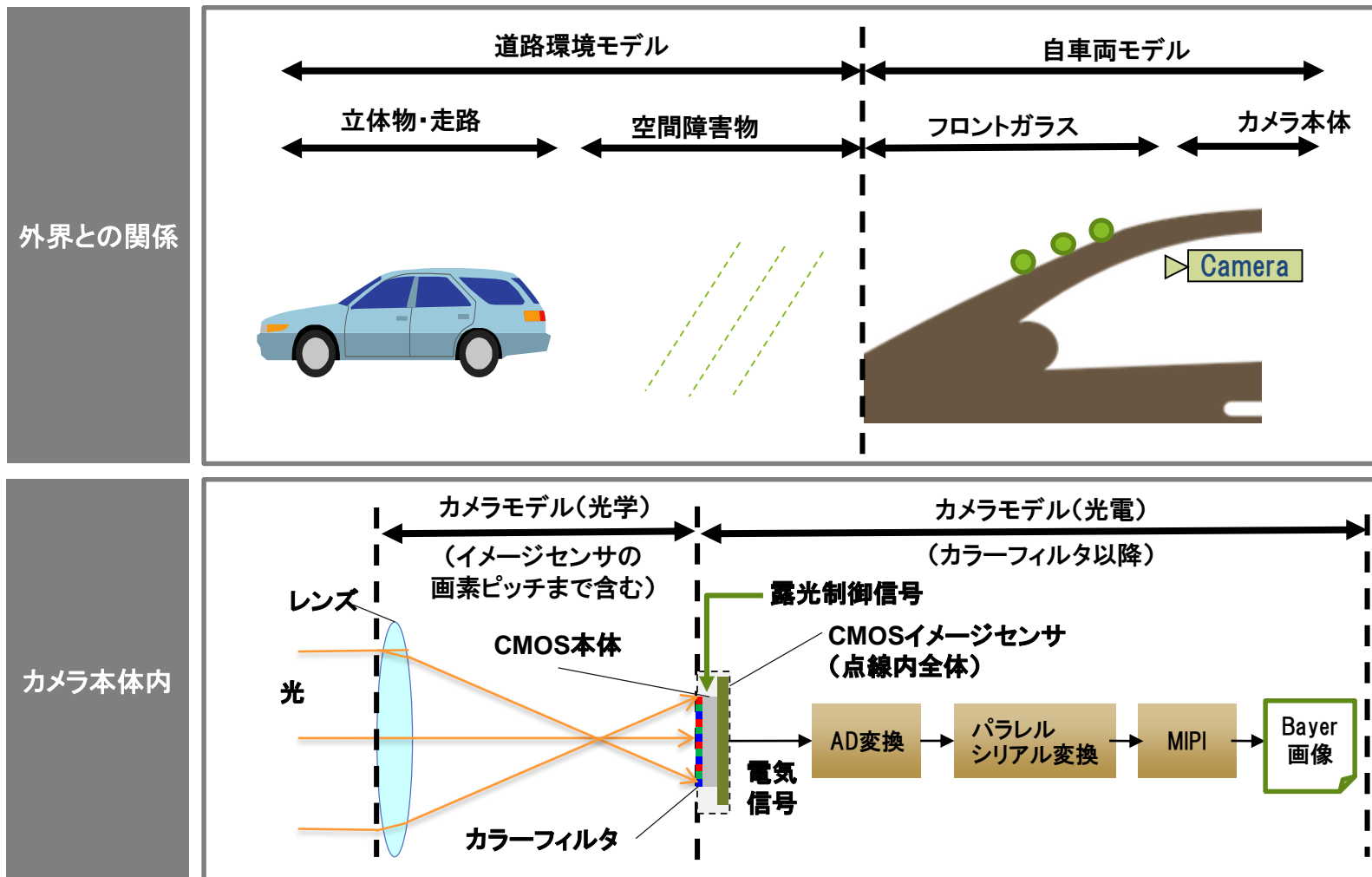
カメラモデル入カインターフェース(I/F)

No	通信	種別	送信	受信	■ 概要
1	Online	高精細CGデータ	高精細CG ツール	カメラ モデル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1フレーム分のCGデータ ■ Bayer画像、タイムスタンプデータを含む
2		車両挙動データ			<ul style="list-style-type: none"> ■ 自車両(仮想空間内)の挙動データ ■ 車速、舵角、アクセル開度、ブレーキ圧、ギア位置、エンジン回転数等、タイムスタンプデータを含む
3	高精細CGデータ ファイル	Offline			<ul style="list-style-type: none"> ■ 連続した複数のフレームで構成される高精細CGデータ ■ フレーム毎にBMPファイルに格納され、ファイル名にタイムスタンプ情報を含む
4	車両挙動データ ファイル				<ul style="list-style-type: none"> ■ 自車両(仮想空間内)の挙動データ ■ 車速、舵角、アクセル開度、ブレーキ圧、ギア位置、エンジン回転数等 ■ フレーム毎に1つのファイルに格納され、タイムスタンプ情報を含む
5		カメラ機能モデル 認識結果		評価 ツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ カメラ機能モデルの認識結果 ■ 立体物(車両・歩行者)の位置情報・種別や、白線の位置情報・種別等を示す
6	Offline	実走行映像データ	実車	評価 ツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実車走行で取得したカメラ映像データ
7	実走行データ	認識結果ファイル			<ul style="list-style-type: none"> ■ 実車走行で、カメラ実機が認識した立体物(車両・歩行者)及び白線の位置情報・種別等、複数の立体物を同時出力

高精度CGの要件については
さらに詳細を検討

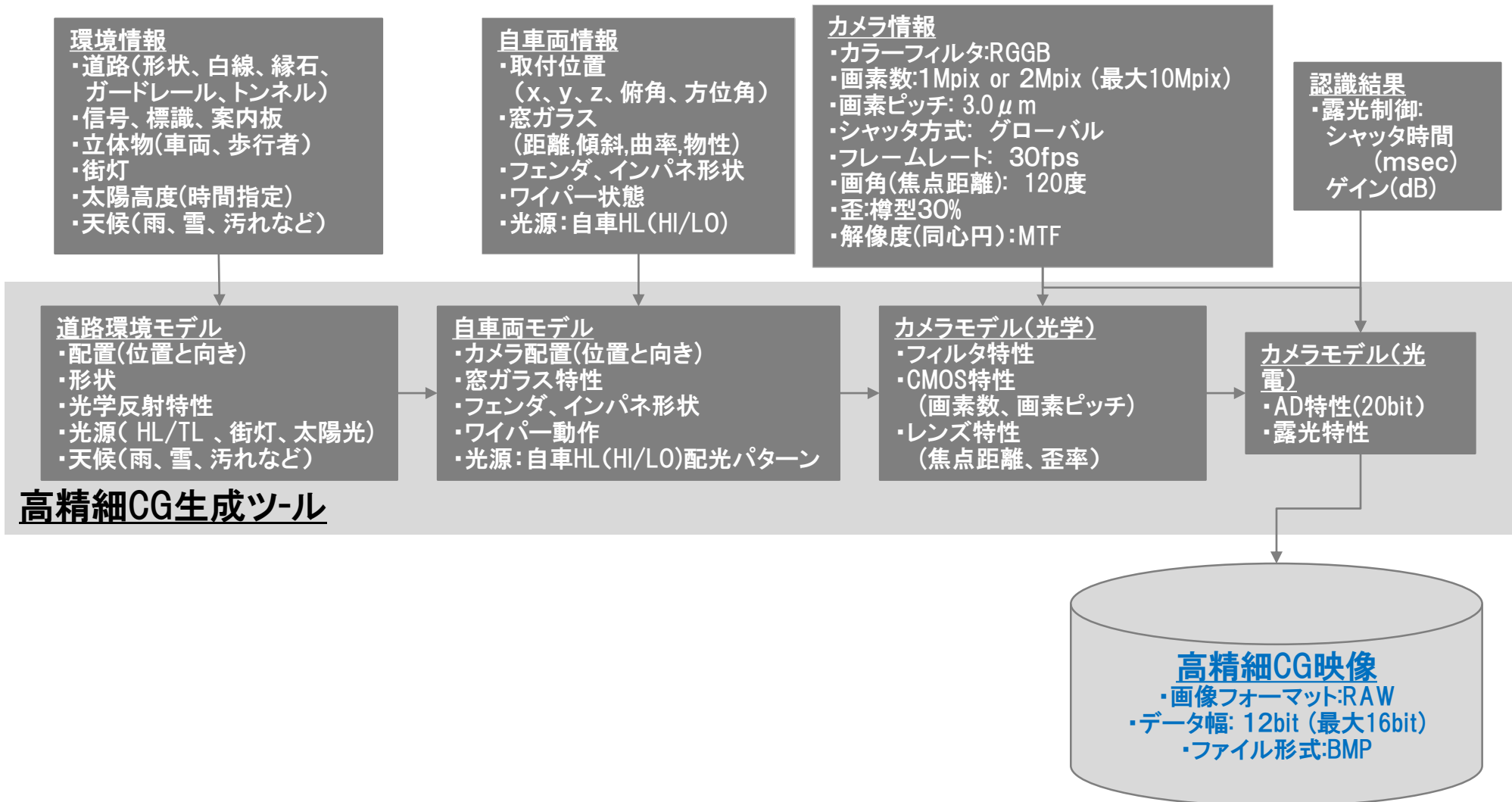
2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 高精度CGの要件定義を実施、全体構成の定義を行った

高精度CGで再現すべき要素



2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 高精度CGの要件定義を実施、全体構成の定義を行った

高精度CG全体構成と要件



2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラモデルの出カインターフェース(I/F)を定義した

カメラモデル出カインターフェース(I/F)

No	通信型	種別	送信	受信	概要
1	Online	露光制御	カメラモデル	高精細CGツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高精細CGツールへの露光制御を指示する信号 ■ 露光制御には、シャッタ時間(msec)、ゲイン(dB)を含む。高精細CGツールは本信号に基づいて生成するCGデータの露光(明るさ)を決定
2		カメラ情報	カメラモデル	高精細CGツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ カメラモデルの情報 ■ カラーフィルタ、画素数、画素ピッチ、シャッタ方式、フレームレート、画角(焦点距離、歪、解像度(同心円)等の情報を含む
3		認識結果	カメラモデル	Fusion	<ul style="list-style-type: none"> ■ カメラモデルが認識した立体物(車両・歩行者)及び白線の位置情報・種別等 ■ 複数の立体物を同時に出力する。信頼度情報も含む。
4	Offline	認識結果ファイル	カメラモデル	評価ツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ カメラモデルが認識した立体物(車両・歩行者)及び白線の位置情報・種別等 ■ 複数の立体物を同時に出力する。信頼度情報も含む
5		高精細CGデータファイル	カメラモデル	評価ツール	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高精細CGツールで生成されたCGデータ ■ 連続した複数のフレームで構成され、一つのフレームは一つのBMPファイルに格納される。ファイル名にタイムスタンプ情報を含む

Onlineインターフェース(I/F)については
さらに詳細を検討

2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラモデルの出力インターフェース(I/F)を定義した

露光制御インターフェース(I/F)

最適な認識性能を実現するために、高精細CG画像の明るさの補正が必要

高精細CG生成ツールに対し、画像の明るさ補正のための露光制御情報を定義

分類	名称	説明	単位
露光制御	露光時間	■ 1ライン当たりの露光時間を出力	μsec
	ゲイン情報	■ カメラ出力のゲイン値を出力	-
信頼度	検出信頼度	■ 物標の検出信頼度を出力	%

カメラ情報インターフェース(I/F)

最適な認識性能を実現するために、モデルに基づく光学補正処理が必要

カメラ機能/物理モデルの仕様を、カメラ情報インターフェース(I/F)として定義

分類	名称	説明	単位
センサ仕様	横画素数	■ センサの横画素数を出力	pixel
	縦画素数	■ センサの縦画素数を出力	pixel
	画素ピッチ	■ センサの画素ピッチを出力	Um
	ビット幅	■ センサデータのビット幅を出力	Bit
	カラーフィルタ	■ センサのカラーフィルタを出力	-
	シャッタ方式	■ センサのシャッタ方式を出力	-
レンズ仕様	焦点距離	■ レンズ焦点距離を出力	mm
	偏光フィルタ	■ 偏光フィルタの有無を出力	-
認識仕様	認識遅延量	■ 撮像フレーム、認識フレームの遅延量を出力	frame
	認識最長距離	■ 認識可能な最長距離を出力	m
	認識最短距離	■ 認識可能な最短距離を出力	m
	認識最大角度(左右)	■ 認識可能な左右最大角度を出力	deg
	認識最大角度(上下)	■ 認識可能な上下最大角度を出力	deg

2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラモデルの出力インターフェース(I/F)を定義した

認識結果インターフェース(I/F)

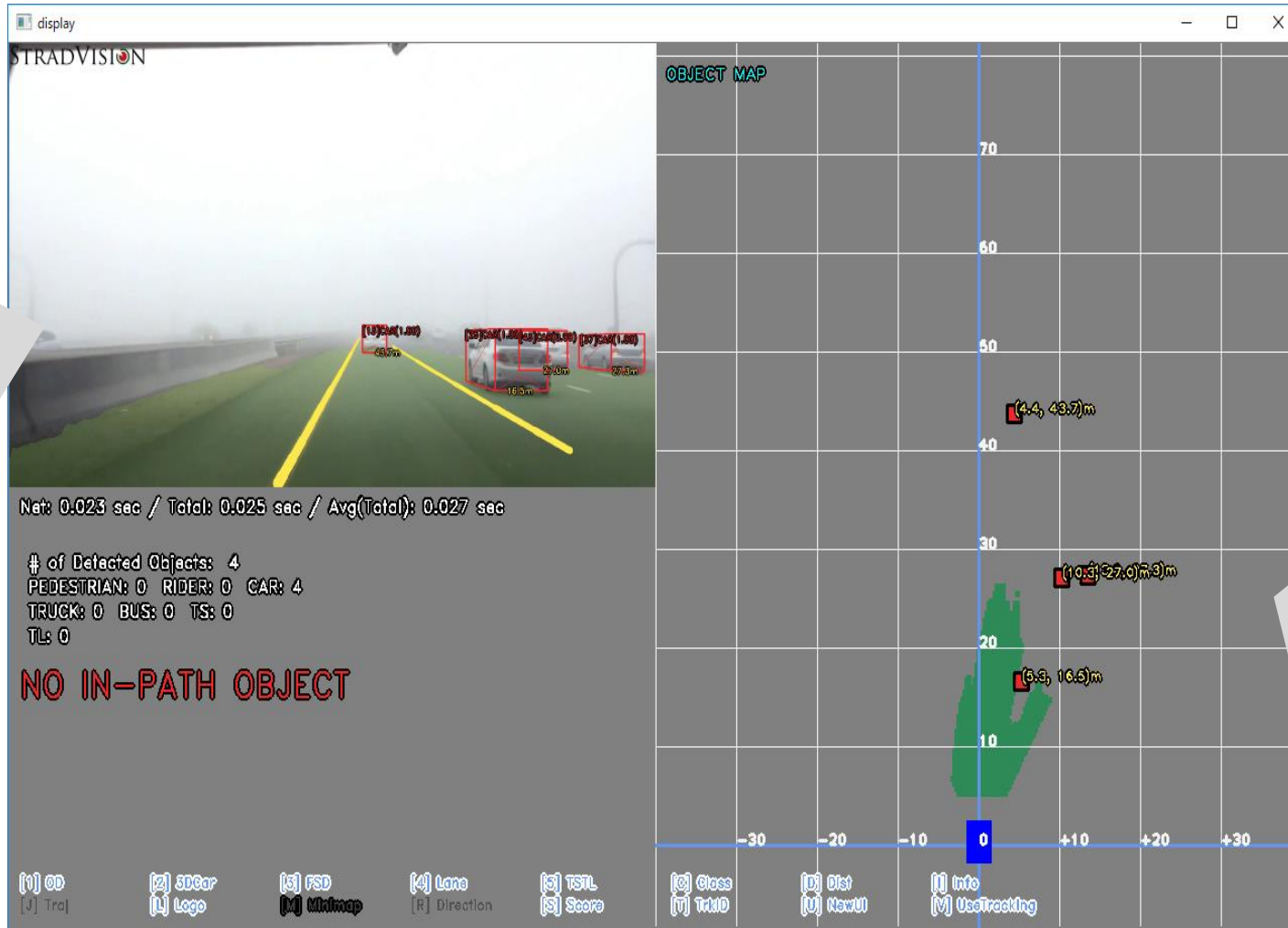
分類	名称	説明	単位
時間情報	撮像時間	カメラの撮像時間を出力	μsec
	認識時間	カメラの認識時間を出力	μsec
診断情報	HALT情報	カメラが正常動作しているかを出力	-
露光制御	露光時間	1ライン当たりの露光時間を出力	μsec
	ゲイン情報	カメラ出力のゲイン値を出力	-
物標情報 (センサ基準)	画面座標(X,Y)	カメラ画像上の物標中心座標を出力	pixel
	世界座標(X,Y,Z)	レンズ焦点位置を基準とした物標中心・正対面中心座標を出力	m
	サイズ(X,Y,Z)	物標のサイズを出力	m
	速度(X,Y,Z)	物標の移動速度を出力	km/h
物標情報 (車両規準)	世界座標(X,Y)	前輪車軸中心を基準とした物標中心・正対面中心座標を出力	m
	世界座標(Z)	接地面を基準とした物標座標を出力	m
	サイズ(X,Y,Z)	物標のサイズを出力	m
	速度(X,Y,Z)	物標の移動速度を出力	km/h
物標識別情報	車両認識数	車両対象物の認識数を出力	-
	歩行者認識数	歩行者対象物の認識数を出力	-
	その他物標認識数	その他対象物の認識数を出力	-
	車両、車種種別	認識対象の車両種別を出力	-
	車両角度	認識対象の車両とのなす角を出力	deg
	歩行者向き	歩行者の正面の方向を出力	-
	歩行者種別	認識対象の歩行者種別を出力	-
	その他種別	その他認識対象の物体種別を出力	-

分類	名称	説明	単位
自車線情報	自車線認識情報	白線の認識状態を出力	-
	左右車線@10,20,30m	自車両中心位置から10,20,30m先の左右車線の横距離を出力	m
	左右車線の道路半径	左車線の道路半径を出力	m
	左右車線に対するヨ一角	左車線に対する自車両のヨ一角を出力	deg
	左右車線との距離	左車線と自車両中心との間隔を出力	m
自車線種別情報	左右車線種別	左車線の種別を出力	-
隣車線情報	隣車線認識情報	白線の認識状態を出力	-
	左右隣車線@10,20,30m	自車両中心位置から10,20,30m先の左右車線の横距離を出力	m
	左右隣車線の道路半径	左車線の道路半径を出力	m
	左右隣車線に対するヨ一角	左車線に対する自車両のヨ一角を出力	deg
	左右隣車線との距離	左車線と自車両中心との間隔を出力	m
隣車線種別情報	左右隣車線種別	左隣車線の種別を出力	-
信頼度	物標検知信頼度	物標の検出信頼度を出力	%
	白線検知信頼度	白線の検出信頼度を出力	%

2 【カメラモデル要件・インターフェース (I/F) の構築】 カメラモデルの評価エンジンにストラドビジョンを選定

ストラドビジョンによる環境構築

ツール付属
サンプル画像



カメラモデル
が認識できて
いることを確
認

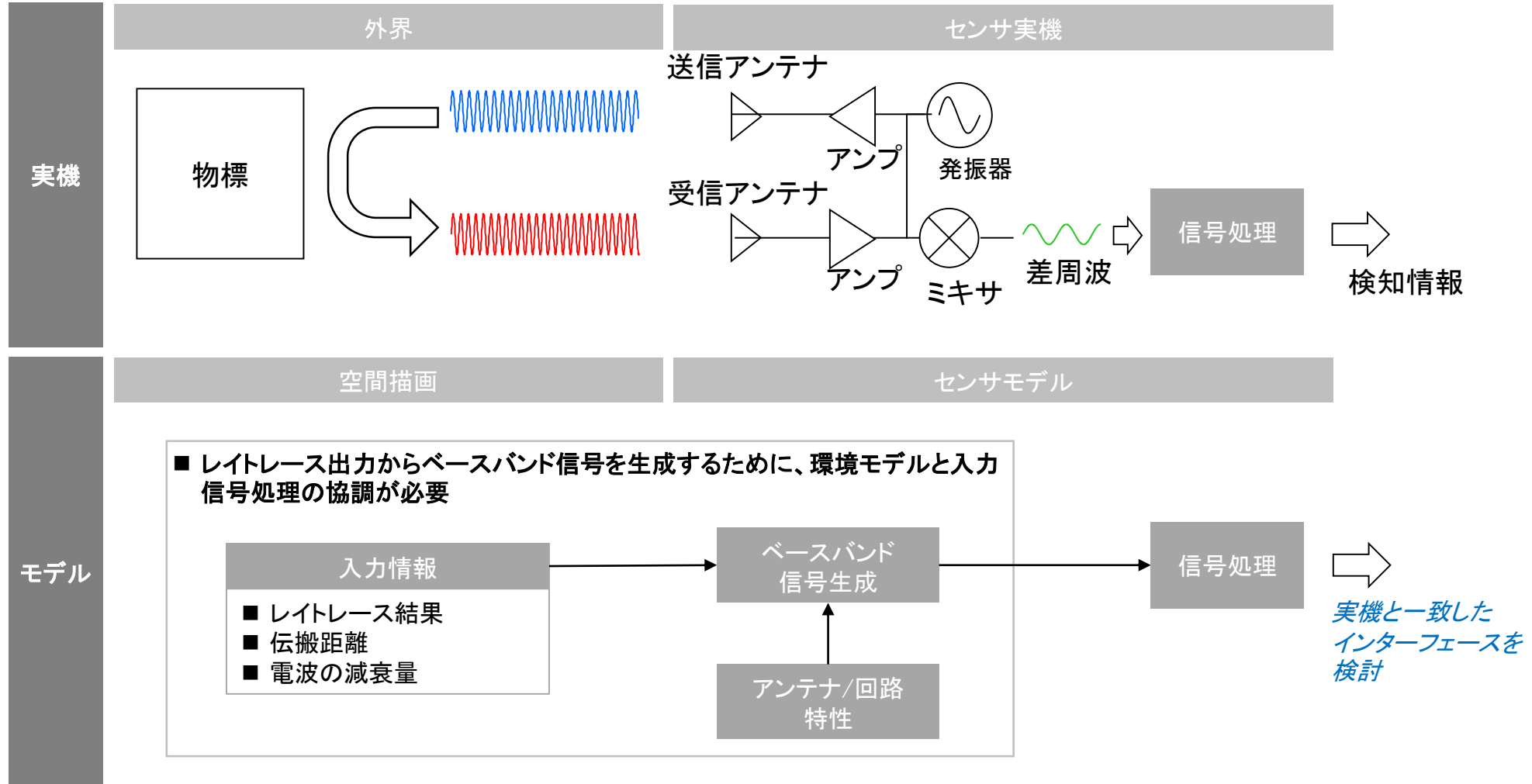
2 【カメラモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 カメラモデル検証のための評価シナリオを検討した

カメラモデル評価シナリオ例

No	実施時期	項目	イメージ	概要
1	2019年 前半	■ 基本シナリオ 先行車接近		■ 停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当) ■ 直線及びカーブ
2		■ 基本シナリオ 先行車離間		■ 先行車から離れる ■ 直線及びカーブ
3	2019年 後半	■ 中間障害物(雨天&ワイパ) 先行車接近		■ 停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当) ■ 雨天時にワイパーを作動。 ■ ワイパーによる映像乱れで認識不調発生
4		■ 中間障害物(雨天&ワイパ) 先行車離間		■ 同上で先行車離間
5		■ 光源障害(逆光) 先行車接近		■ 停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当) ■ 西日に向かって走行中に、白飛びが発生し、前方を走行しているターゲット車両を見失う。
6		■ 光源障害(逆光) 先行車離間		■ 同上で先行車離間
7	2020年	■ 路上障害物 夜間・歩行者		■ 夜間、黒っぽい服を来た人が歩道を横断 (E-NCAP2018 CPAF相当 + 夜間)
8		■ 認識不調拡張 (JAMA要件と調整して決定)		■ 夜間走行、対向車ハイビーム、段差、トンネル出口、濡れた路面、 信号機、落下物、工事車線の減少 他

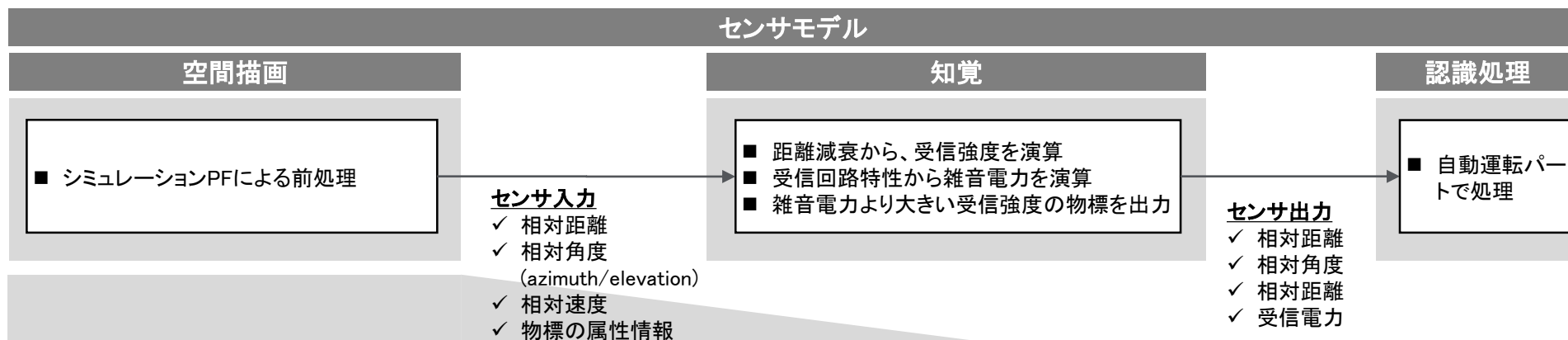
3 【ミリ波レーダモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 センサのモデル化にあたり、環境モデルとの連携が必要

ミリ波レーダのモデル化要件



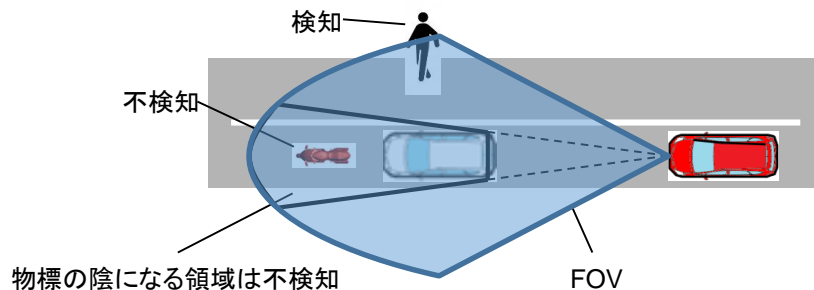
3 【ミリ波レーダモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 入力前処理により、実機と一致性の高いモデル化が可能

ミリ波レーダモデルの入出力IF

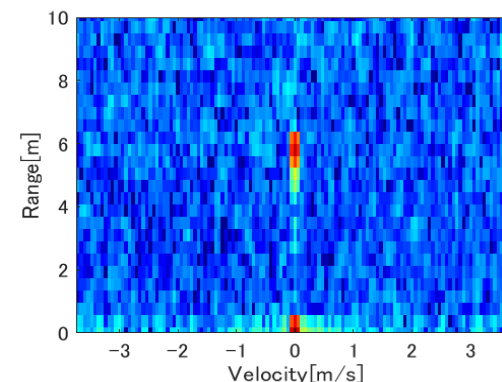


入力前処理

- プラットフォームにFOV*情報を送り、FOV外の物標や陰になる物標はセンサモデルへ入力しないよう、プラットフォームでの前処理を実施



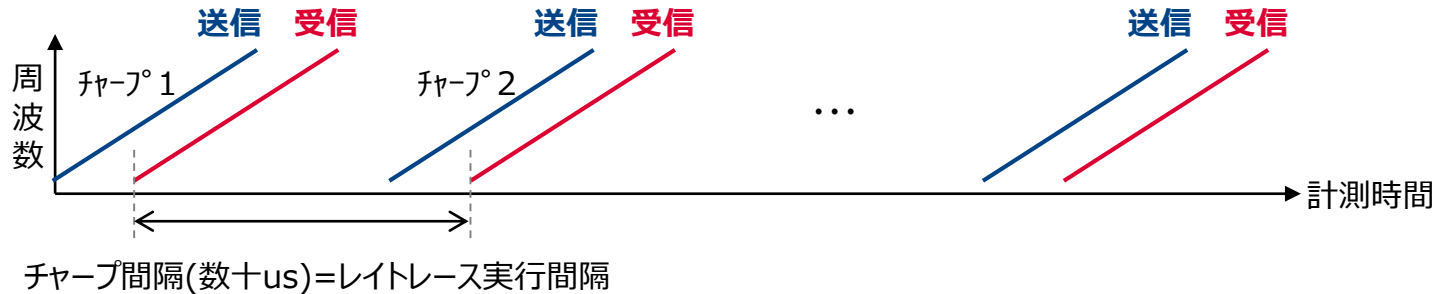
センサ出力の例



* FOV Field of View

3 【ミリ波レーダモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 モデル化にあたり、相対速度信号の生成には研究課題が存在

ミリ波レーダのモデル化要件における課題



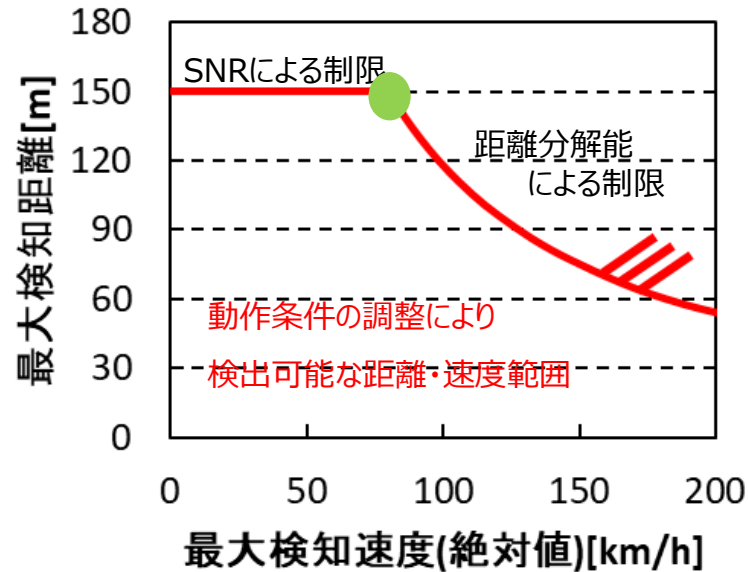
高速なチャープを繰り返す方式を再現する場合、チャープごとにレイトレースを実行する必要があり、演算量が膨大になる
物標の相対速度をシステムから受け取りドップラー信号を生成する
マルチパスに対しては複数の反射点間の相対速度から算出する方法の検討が必要

3 【ミリ波レーダモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 実測による検知距離と速度の算出から、センサ実機仕様を選定

ミリ波レーダ実施の仕様検討

最大検知距離を、最も大きく確保できる条件を選定

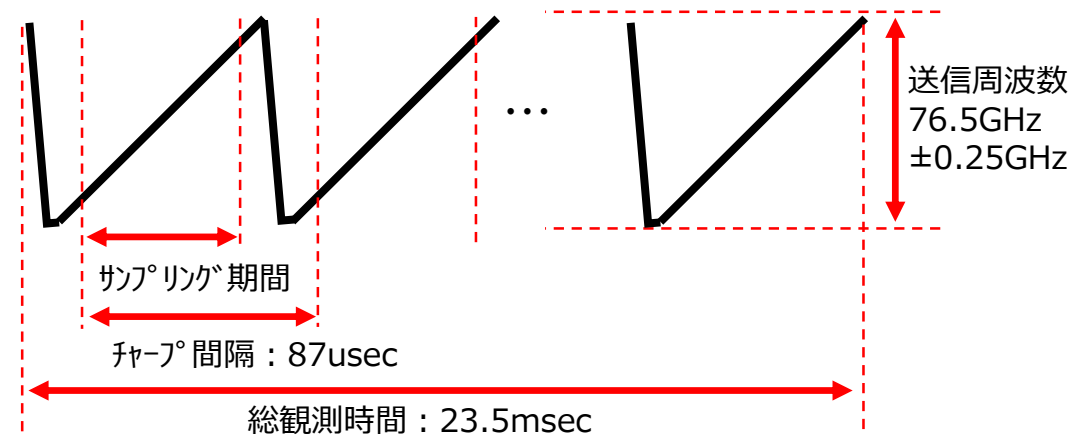
- 変調条件による制限
- SNRによる制限



選定後のセンサ仕様

最大検知距離	: 150m	距離分解能	: 30cm
最大検知速度	: ±80km/h	速度分解能	: 0.3km/h

変調波形



* SNR: Signal to Noise Ratio

3 【ミリ波レーダモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】

ミリ波レーダモデル検証のための評価シナリオを検討した

ミリ波レーダモデルの評価シナリオ例

■ 評価対象の抽出

ミリ波レーダのセンシングにおいて課題となる状況を基に優先的に評価すべき要因を抽出

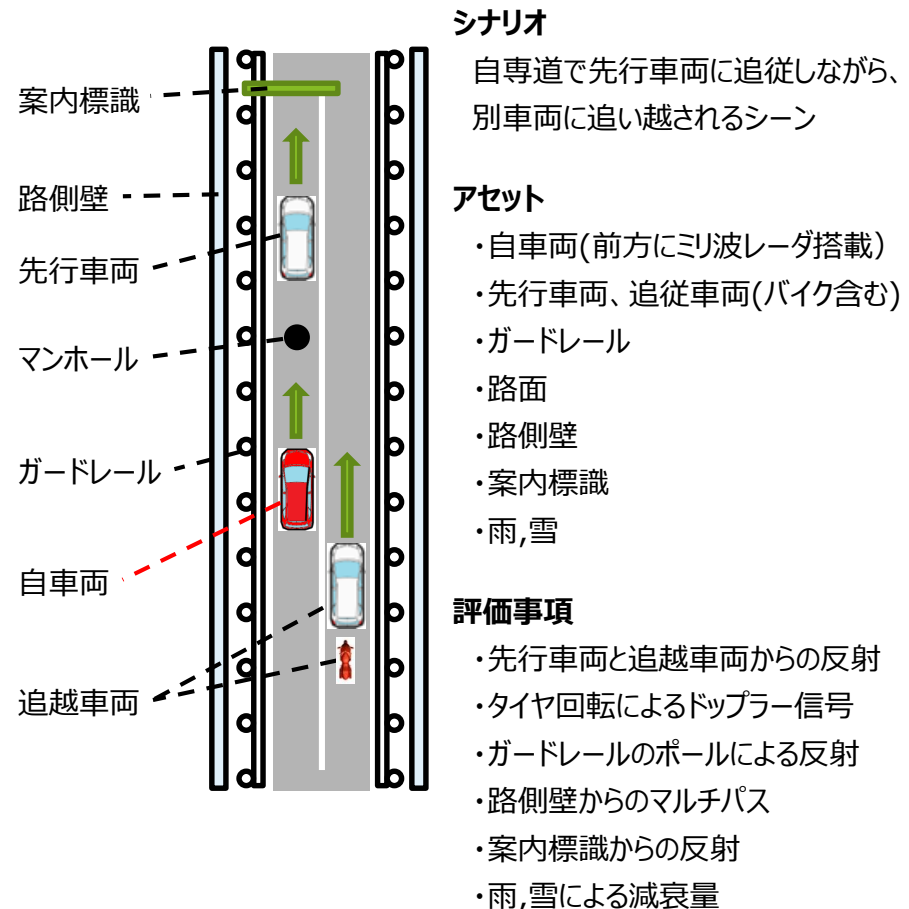
課題となる状況	選定した不調要因
■ 受信強度が低い対象物、 ■ または低下する状況	バイク、 雨、雪
■ マルチパスによりゴーストが発生する状況[1]	路側壁
■ 分解能が低いために誤認識が起こる状況[2]	案内標識、 マンホール
■ ドップラー信号の検出誤りが起こる状況[3]	タイヤ

[1] US Patent, US 6,661,370

[2] <https://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor36/06.pdf>

[3] Victor C. Chen et al., "Radar Micro-Doppler Signature," The Institute of Engineering and Technology

■ サンプル評価シーンの検討

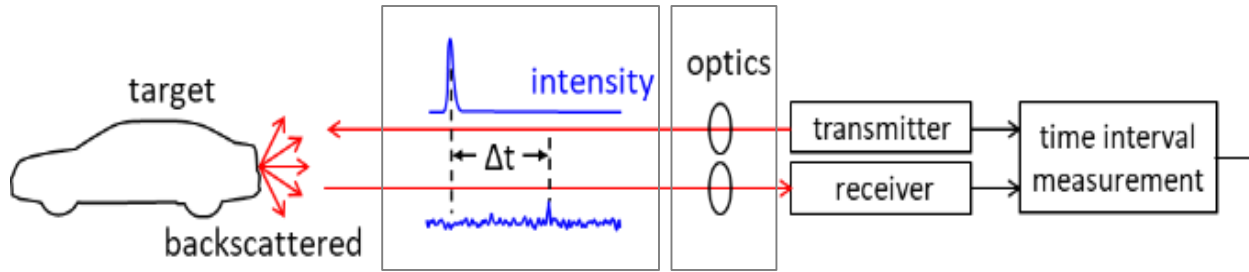


4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 LiDARシミュレーション時にモデル化すべき要件を検討した

モデル化

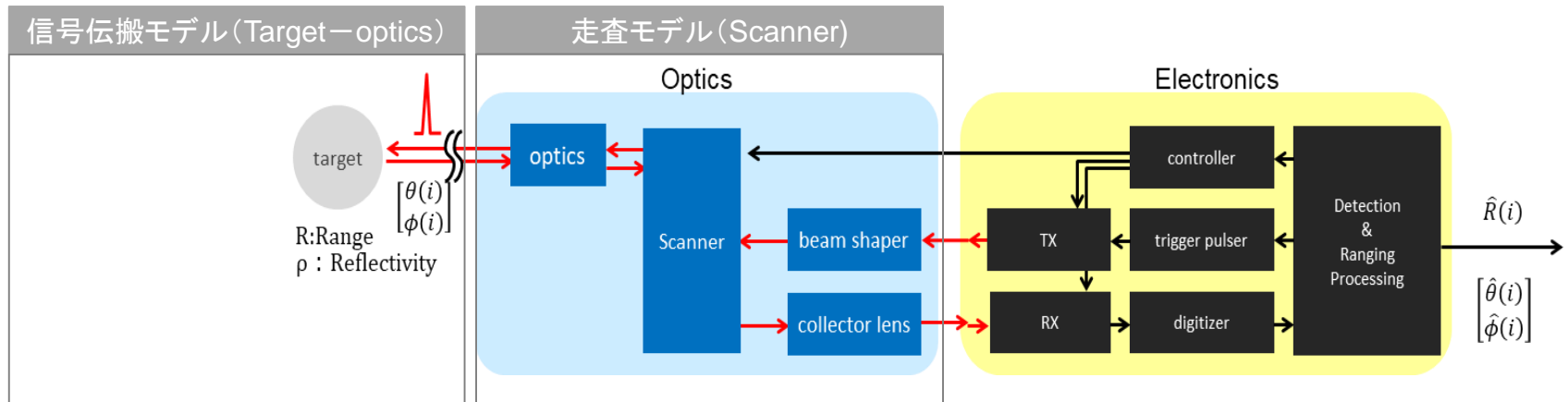
センサ
構造
・
検出原理

- 物標の検出位置を光が送信される走査角度(θ_k, ϕ_k)とその光受信時間差から算出される距離Rにより求め出力するセンサ



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

モデル
化要件

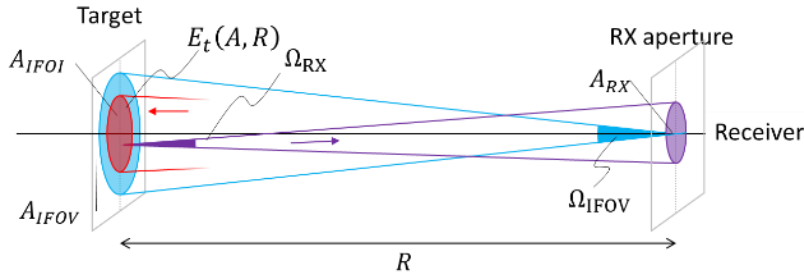


θ : 方位角 $\hat{\theta}$: 推定方位角
 ϕ : 仰俯角 $\hat{\phi}$: 推定仰俯角

4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 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)

光学モデル



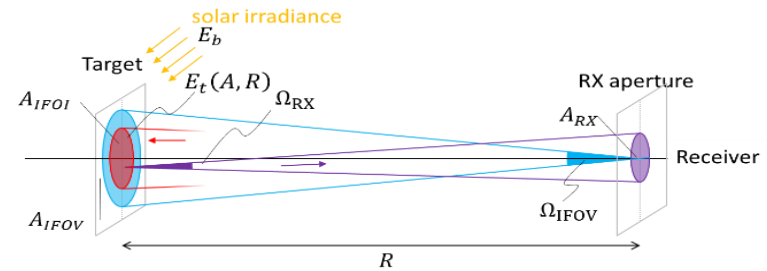
A_{IFOI}	送信光が照射される面積・フットプリント[m ²]
A_{IFOV}	受信視野に入る物標の面積・瞬時視野[m ²]
Ω_{RX}	受信レンズの受光角(立体角)[sr]
Ω_{IFOV}	受信視野角(立体角)[sr]
A_{RX}	受信開口面積[m ²]
R	物標面への距離[m]
$E_t(A, R)$	物標面上での照度[W/m ²]

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

$$= \frac{\rho A_{RX}}{\pi R^2} P_t$$

ρ 物標射率 ただし、反射特性はRambert反射体とする
 P_t 送信光パワー

太陽光を考慮した場合



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

$$= \frac{\rho A_{RX}}{\pi R^2} R^2 \Omega_{IFOV} E_b$$

$$= \frac{\rho}{\pi} A_{RX} \Omega_{IFOV} E_b$$

E_b 太陽からの放射照度

$$S/N \propto \frac{P_r^2}{P_b}$$

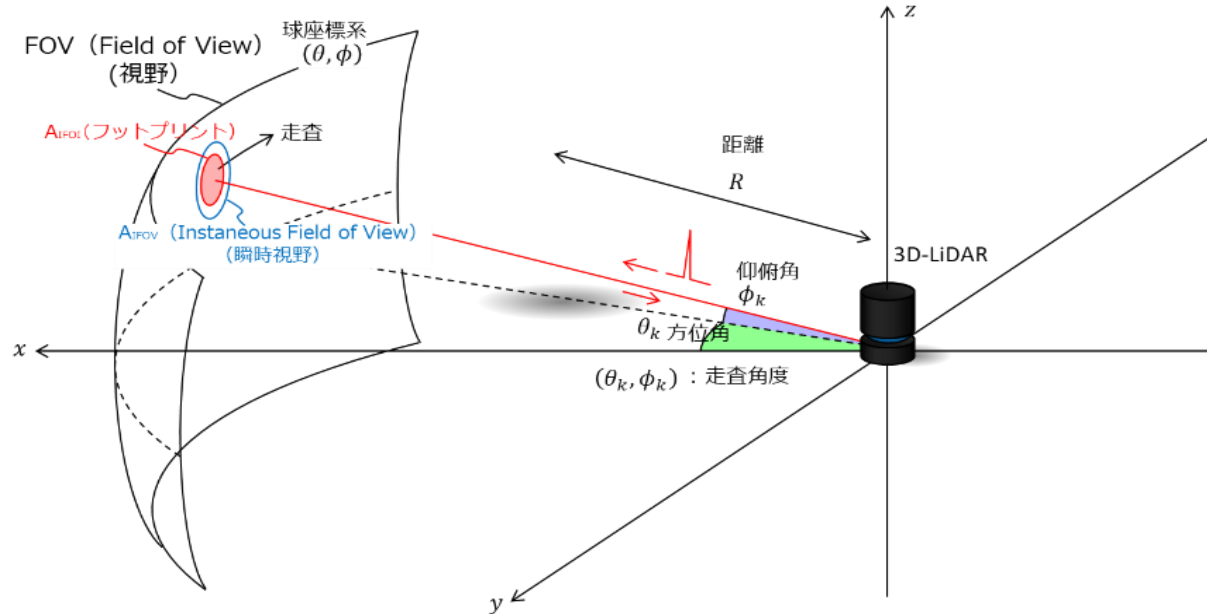
LiDAR性能はS/Nが高い程良化する。
 S/Nは信号成分である物標からの
 反射光受光パワーPrと
 主たるノイズ成分である太陽光の
 背景光パワーPbと左記の関係がある

LiDARモデルにはPb、Pr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

4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 走査モデルの要件を検討、モデル化すべき因子を明確化した

走査モデル

モデル
イメージ



モデル化
要件

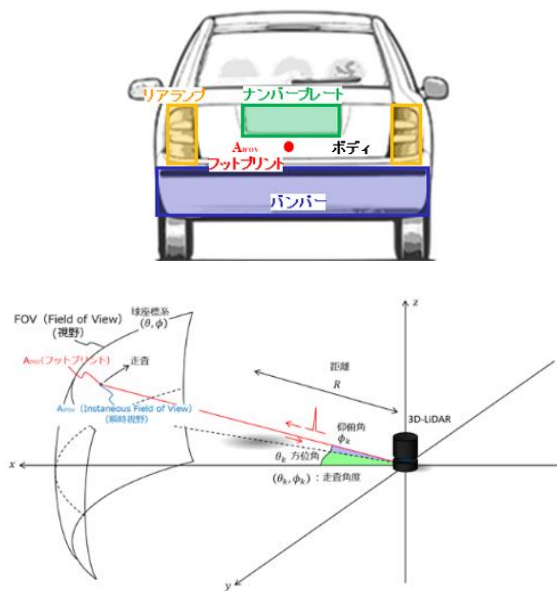
- 走査角(θ_k, ϕ_k)で光送信、受信する光学モデル
- 送信光は光学モデルに示したように立体角で広がるため、物標に当たる面を考慮しモデル化される
- 光の広がりにはレイトレーシングの概念を基本
- 検出率、測距精度に関与するパラメータは物標反射率、距離、受光立体角、および太陽に代表される他光源からの反射光量(背景光)

4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 走査モデルの高速化はフットプリントの扱いにより調整可能

走査モデル

機能モデル

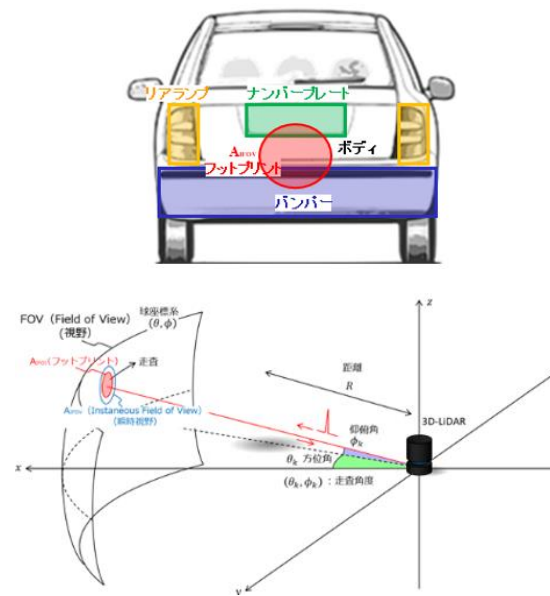
- 機能モデルは光線を点とし、拡散を考慮せずフットプリントを扱わない



AIFOV (フットプリント)	点
反射面積	点(フットプリント)反射率
透過特性	全透過とし屈折は考慮しない
鏡面反射	入射角がゼロのときのみ扱う
多重反射	考慮しない
伝搬減衰	フレーム内の全ての照射ビームが同一の影響を受ける
背景光	フレーム内は均一の影響を受ける

物理モデル

- 実環境を精緻に再現、光線の拡散と反射によるフットプリントを扱う



AIFOV (フットプリント)	面
反射面積	フットプリント領域の面積と物標反射特性を考慮し算出
透過特性	物標モデルを反映
鏡面反射	物標モデルを反映
多重反射	考慮する
伝搬減衰	各照射ビーム毎に考慮する
背景光	各フットプリント毎に考慮する

4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】 LiDARモデルの入出カインターフェース(I/F)を検討した

LiDARインターフェース(I/F)

クラス名	メソッド名	入力引数	出力引数	戻り値	処理内容
Sensor Component	GetPosition	■ なし	■ 位置	■ なし	■ センサ搭載位置の取得
	GetOrientation	■ なし	■ 方向	■ なし	■ センサ搭載方向の取得
	AdjustPosition	■ 現在時刻	■ なし	■ なし	■ センサ位置の補正
	AdjustOrientation	■ 現在時刻	■ なし	■ なし	■ センサ向きへの補正
	Tick	■ 経過時間	■ なし	■ なし	■ センサ動作共通処理の実行
LiDAR Component	InitLiDAR	■ スペックファイル名	■ なし	■ なし	■ LiDARモデルの初期化
	OutputSensorData	■ 点群 ■ パワー	■ Nasi	■ なし	■ センサデータの出力
LiDAR Model	GetShootList	■ 現在シミュレータ時刻 ■ 1フレームあたりのシミュレータ時間	■ ショット番号 ■ タイムスタンプ ■ 射出方向	■ なし	■ 射出方向リストの取得
	SetReceiveInfo	■ ショット番号 ■ タイムスタンプ ■ 射出方向 ■ 距離 ■ 振り返率 ■ 背景光密度	■ なし	■ なし	■ 受光情報の設定
	DoSensorProc	■ なし	■ なし	■ なし	■ センサ内部計算の実行
	GetSensorData	■ なし	■ 点群 ■ パワー	■ なし	■ センサデータの取得
Time Keeper	GetSimTimePerFrame	■ なし	■ 1フレームあたりのシミュレータ時間	■ なし	■ 1フレーム分のシミュレータ時間の取得
	GetCurrentTime	■ なし	■ 現在シミュレータ時刻	■ なし	■ 現在シミュレータ時刻の取得
Env Model	CalcInfraredPropagation	■ 射出位置 ■ 射出方向	■ 距離 ■ 振り返率 ■ 背景光密度	■ なし	■ 赤外線伝搬計算

4 【LiDARモデル要件・インターフェース(I/F)の構築】

LiDARモデルの評価シーンにおける物標についての検討を行った

LiDAR視点から高速道路物標を定義

- 検討すべき高速道、交差点、郊外一般道、不調要因のうち、高速道における物標を定義する。
- 最低限必要な物標を優先とし選定した。これらの物標に対し先に記した測定をおこなうことを提案する。
- LiDARが検出、測距に有利な物標という視点からも選定を行なっている。
- 以下に選定の優先順位付けを記す
 1. 高速道路で最低限必要とされる物標
 2. 車(普通乗用車)
 3. 道路構造物(LiDARが検出・測距しやすい構造物)
 4. 大型車両・オートバイ

1. 高速道路で最低限必要とされる物標

優先順位	物標	備考
1	路面(アスファルト)	都市部
1	白線	本線
1		路肩
2		分離
2		案内(文字)
2		案内(矢印)
3	黄色線	追越禁止

2. 車(普通乗用車)

優先順位	色	備考
1	ホワイト	
2	シルバー	
2	ブルー	
2	レッド	
※	ブラック	不調要因(検出困難)

3. 道路構造物(LiDARが検出・測距しやすい構造物)

優先順位	物標	備考
1	縁石	
1	ガードレール	
1	デリニエータ	円形(ガードレール上部)
1	壁面	遮音壁など
2		再帰反射材面あり
1	分離ポスト	
2	分離コーン	
2	路面(アスファルト)	降雪地向けなど1で選定した以外
2	路面(コンクリート)	トンネル内
2	路面	赤色塗装
2	分離 dots botts	Cat'sEye(チャッターバー)
2	ガードレール	再帰反射材面あり
3	ガードワイヤー	不調要因となる可能性あり

4. 大型車両・オートバイ

優先順位	物標	備考
1	オートバイ	
1	トラック	流通量の多い4tをモデル化対象とする
	ダンプカー	
	トレーラー	
	車両運搬車両	
	タンクローリー	
1	バス	

平成30年度の成果

■ プロジェクト総括

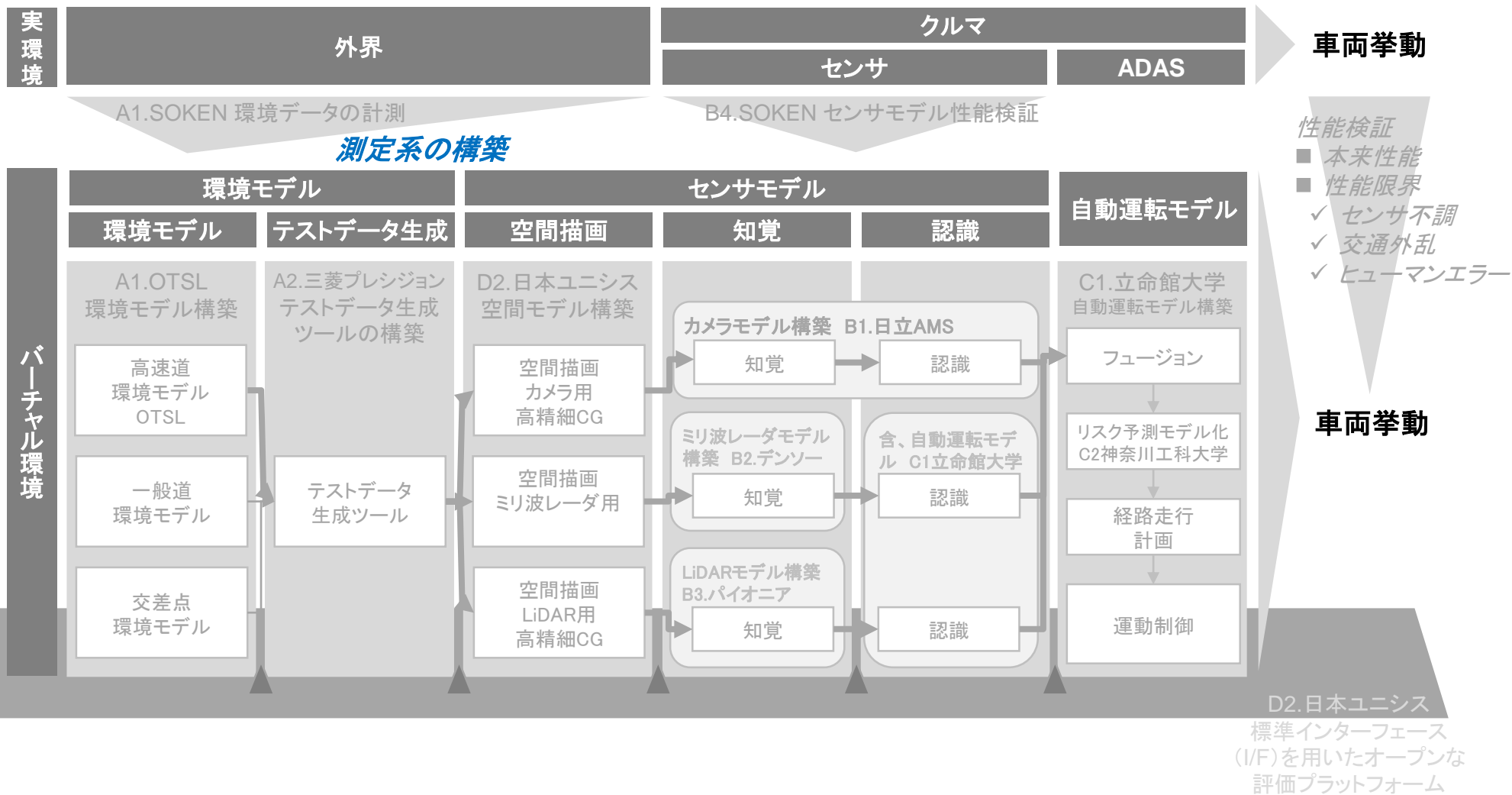
① バーチャル評価プラットフォームの構築

② 各モデルの要件・インターフェース(I/F)の定義

③ 実環境測定系の構築

実環境との一致性検証のため、環境モデル構築のための測定対象や、測定手法の検討を行った

平成30年度の成果



各センサ要件から、高速道の測定対象物を決定、双方向反射率分布関数(BRDF*)、双方向透過率分布関数(BTDF*)の測定によりシミュレーション精度向上を目指す

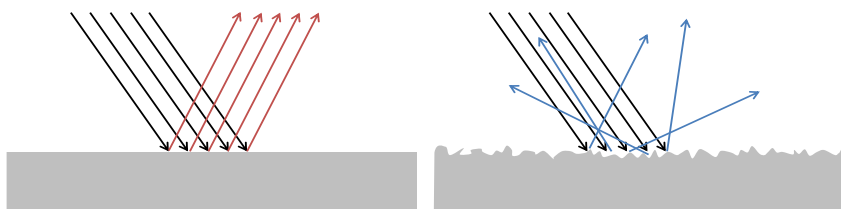
測定手法の妥当性

背景

- 計算機の演算速度等の観点から、実用的なセンサシミュレーションを行う場合レイトレーシング(光線追跡)法が一般的であり、本研究で扱う
- レイトレーシング法で精度向上を目指す場合、反射・屈折・透過の特性を精度良くモデル化する必要がある

表面粗さの影響

- 表面が均一でないため、現実にはセンサに理想的な反射が帰らない現象の再現が不可欠

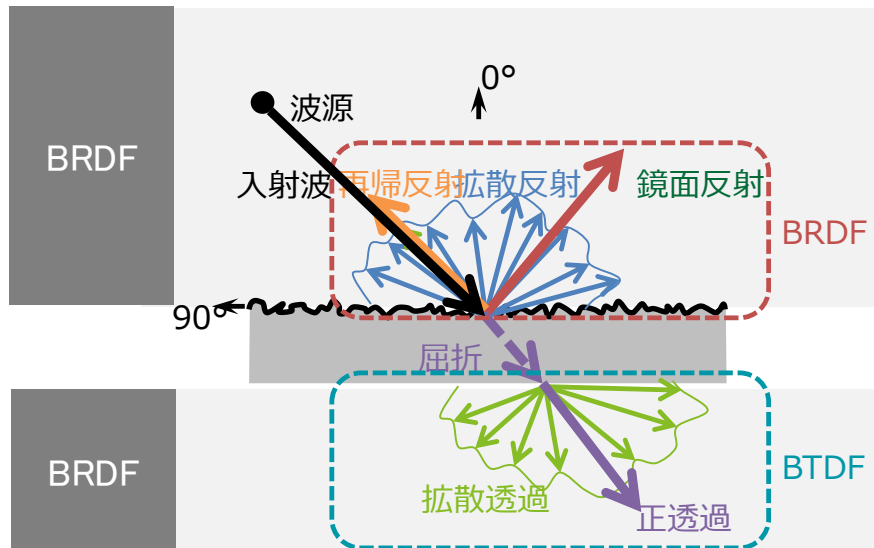


BRDF・BTDFによる測定が不可欠

- センサ認識対象物の表面粗さによる反射強度の変化を再現することにより材質や色の違いによるセンサの認識性能への影響を再現可能
- マルチパスや環境光といったセンサ不調要因の再現が可能

評価手法と計測対象

評価手法



評価手法

再帰反射	■ 物標との距離検出に用い、最も信号強度が強くなる傾向
鏡面反射	■ 鏡面反射した波が、別の物標で反射しマルチパス現象を起こすため、この再現に必要
拡散反射	■ ミリ波レーダではアスファルトのような凹凸の大きい表面で発生、路面推定等の不調要因となり得る ■ LiDARでは太陽光等の背景光量の再現に必要
拡散透過	■ ガラス、バンパ(ミリ波のみ)等、透過特性を持つ素材の再現に必要

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

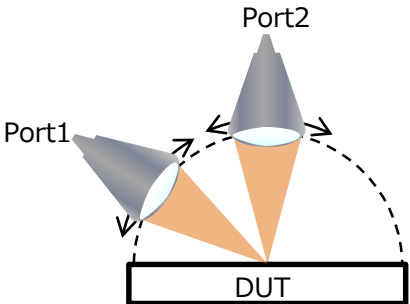
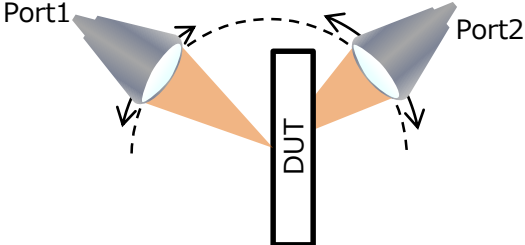
各センサ要件から、高速道の測定対象物を選定

評価項目

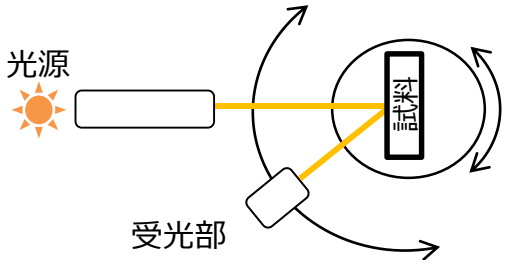
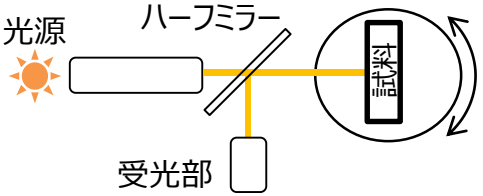
区分	対象物認識	備考	LiDAR	Radar
路面	アスファルト		○	○
	アスファルト(赤色)		○	
	コンクリート		○	○
	白線		○	
	黄色線		○	
路側物	側壁		○	○
	ガードレール	再帰反射材面 有/無	○	○
	ロードポール		○	
	縁石		○	
	ボツドツツ		○	
	デリニエーター		○	
	ガードワイヤー		○	
	標識			○
車両部品	ガラス		○	○
	バンパ		○	○
	タイヤ・ホイール		○	○
	ミラー		○	
	リフレクター		○	
	リア/フロントランプ		○	
	ナンバープレート		○	
	塗装	ホワイトパール、シルバー、ブルー、レッド、ブラック	○	
移動体	乗用車		○	○
	オートバイ		○	○
	トラック		○	
	ダンプカー		○	
	トレーラー		○	
	車両運搬車両		○	
	タンクローリー		○	
	バス		○	

定義した評価項目を計測するための測定条件を決定、測定系の設計を行った

ミリ波の測定系

測定条件	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測定周波数: 76~81GHz 0.1GHz Step ■ 測定角度: 送信アンテナ 0度~60度 5度分解能 ■ 受信アンテナ 0度~±60度 5度分解能 ■ アンテナ間角度 > 30度 	
測定手法	再帰反射	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 

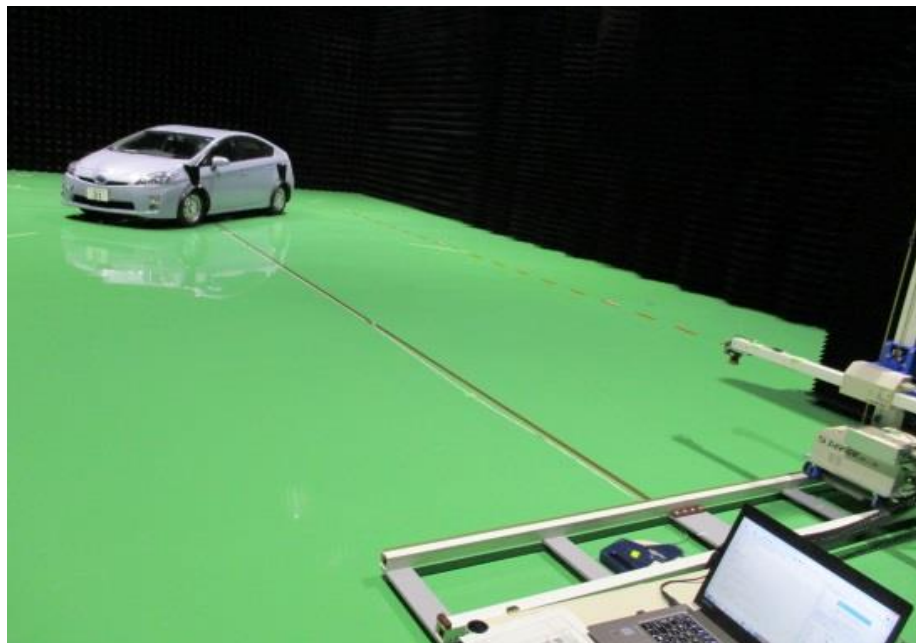
LiDARの測定系

測定条件	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測定波長: 905nm ■ 測定角度: 光源 0度~90度 ■ 受光 0度~±180度 ■ 光源/受光間角度: TBD <p>*測定角度分解能は、線形補間が優位となる分解能を検証し、センサメーカーと協議の上決定</p>	
測定手法	再帰反射	<ul style="list-style-type: none"> ■ ハーフミラー、スプリッタ等のデバイスで光の向きを変えて、再帰反射を計測 
	拡散反射 拡散透過	<ul style="list-style-type: none"> ■ 受光部及び試料を回転することとした。拡散反射/透過の計測を行う 

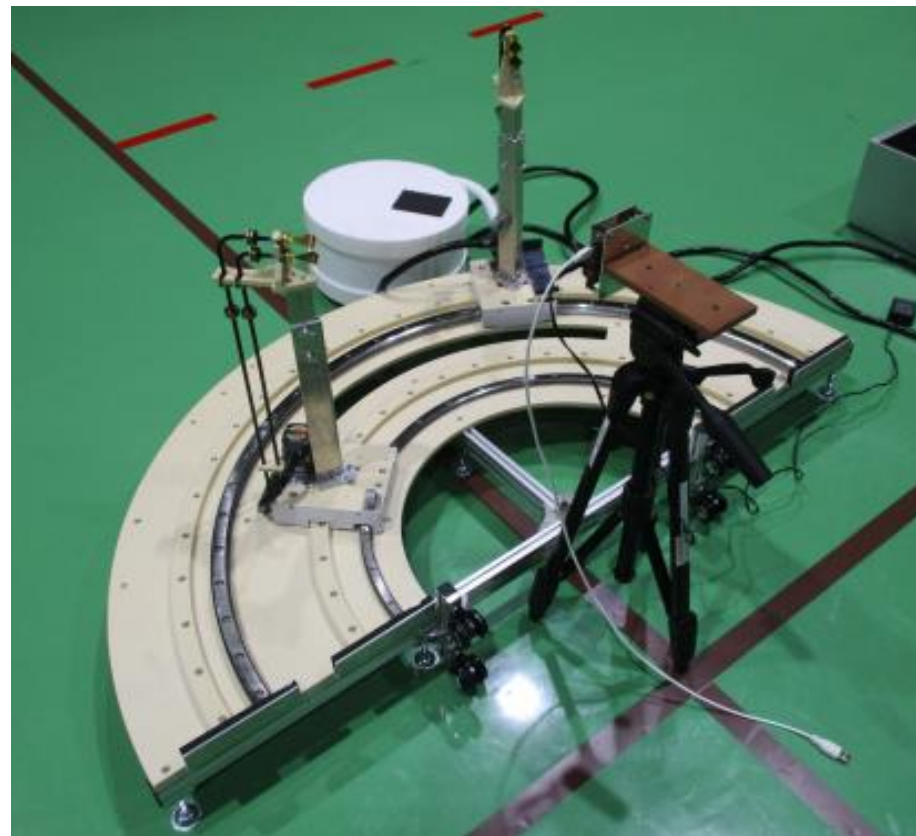
【参考】環境モデル特性取得に用いる計測環境

測定環境の例

ミリ波対応車両暗室



ミリ波用 測定レーン(反射率、拡散率測定用)



以上