

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） 仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発

令和元年度 報告書

令和2年 3月 31日

学校法人幾徳学園 神奈川工科大学

学校法人立命館

三菱プレシジョン株式会社

SOLIZE Engineering 株式会社

日立オートモティブシステムズ株式会社

株式会社デンソー

株式会社 SOKEN

パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社

日本ユニシス株式会社

ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務として、学校法人幾徳学園 神奈川工科大学、学校法人立命館、三菱プレシジョン株式会社、SOLIZE Engineering 株式会社、日立オートモティブシステムズ株式会社、株式会社デンソー、株式会社 SOKEN、パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社、日本ユニシス株式会社、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社が実施した「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)仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発」の令和元年度成果を取りまとめたものです。従って、本報告書の著作権は、NEDO に帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、NEDO の承認手続きが必要です。

目 次

1. 事業の目的	1
2. 事業の位置付け	1
3. 事業内容	2
4. 事業計画	4
4. 1 令和元年度の成果	5
4. 2 次年度の目標	8
5. 各パートごとの成果	10
5. 1 「A1. 走行環境モデルの構築」のための研究開発	10
5. 1. 1 「A1. 走行環境モデル構築」(三菱プレジジョン株式会社)	10
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	12
(2) 令和元年度の成果	14
(3) 次年度以降の計画	18
5. 1. 2 「A1. 走行環境モデル定義」(株式会社 SOKEN)	19
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	21
(2) 令和元年度の成果	22
(3) 次年度以降の計画	29
5. 1. 3 「A2. テストシナリオ及びテストデータ生成ツール構築」(三菱プレジジョン株式会社)	30
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	33
(2) 令和元年度の成果	34
(3) 次年度以降の計画	39
5. 1. 3. 2 「A2. テストシナリオ及びテストデータ生成ツール構築」(SOLIZE Engineering 株式会社(三菱プレジジョン株式会社より再委託))	40
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	42
(2) 令和元年度の成果	43
(3) 次年度以降の計画	44
5. 2 「B.センサリファレンスモデル構築と評価ツールの構築」のための研究開発	45
5. 2. 1 「B0. プロジェクト推進・シミュレーション PF 評価」(学校法人幾徳学園神奈川工科大学)	45
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	49
(2) 令和元年度の成果	50
(3) 次年度以降の計画	72
5. 2. 1. 1 「B5. カメラ知覚モデルの構築」(ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(学校法人幾徳学園神奈川工科大学より再委託))	73
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	76
(2) 令和元年度の成果	77
(3) 次年度以降の計画	81

5. 2. 2 「B1.カメラリファレンスモデルの構築」(日立オートモティブシステムズ株式会社)	82
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	84
(2) 令和元年度の成果	85
(3) 次年度以降の計画	126
5. 2. 3 「B2. ミリ波レーダ リファレンスモデル構築」(株式会社デンソー)	127
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	129
(2) 令和元年度の成果	129
(3) 次年度以降の計画	134
5. 2. 4 「B3. LiDAR リファレンスモデル構築」(パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社)	135
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	138
(2) 令和元年度の成果	139
(3) 次年度以降の計画	165
5. 2. 5 「B4. センサモデル構築のためのデータ取得」(株式会社 SOKEN)	166
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	168
(2) 令和元年度の成果	169
(3) 次年度以降の計画	173
5. 3 「C.自動運転モデルの構築」のための研究開発	174
5. 3. 1 「C1.基本走行モデル構築」(学校法人立命館)	174
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	176
(2) 令和元年度の成果	176
(3) 次年度以降の計画	178
5. 3. 2 「C2. リスク予測モデルのインテグレーション」(学校法人幾徳学園神奈川工科大学)	179
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	180
(2) 令和元年の成果	181
(3) 次年度以降の計画	182
5. 4 「D.自動運転バリテーションプラットフォームのアーキテクチャ構築」のための研究開発	183
5. 4. 1 「D1.モジュール間 I/F の標準化」(日本ユニシス株式会社)	183
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	185
(2) 令和元年度の成果	186
(3) 次年度以降の計画	199
5. 4. 2 「D2.シミュレーションプラットフォームの研究開発」(日本ユニシス株式会社)	200
(1) 令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)	202
(2) 令和元年度の成果	203
(3) 次年度以降の計画	213

1. 事業の目的

本事業では、自動運転システムの安全性の評価を仮想空間上で効率的に実施するための、標準化された評価プラットフォームの構築を行い、これらの標準を国内関係プレーヤ間で公開することにより、自動車産業界における自動運転システムの評価可能性の向上への貢献及び国内ベンダーの競争力向上を目指すことを目的とする。

2. 事業の位置付け

本事業は以下 Figure 1、Figure 2 に示す通り、日本自動車工業会(以下、JAMA)が検討する安全性評価のためのシナリオ体系を元に、センサーによる交通環境認識の評価を主目的として、仮想空間での自動運転の安全性評価プラットフォームの構築を行う。また、経済産業省(以下、METI)が実施する「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業(自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト)」(以下、METI 事業)から提供される交通流シナリオも本事業で構築するプラットフォームで評価可能にする。

METI 事業は交通流のテストシナリオの作成を担い、本事業では認識評価用のテストシナリオ作成を担当するため、METI 事業で実施される内容との重複はない。また、本事業においては仮想空間での評価を可能にするための環境モデル、テストデータ生成ツール、センサモデル、走行計画モデルを具備した評価プラットフォーム(DIVP™: Driving Intelligence Validation Platform)を構築することを主目的としており、この点においても METI 事業で実施される内容との重複は無い。

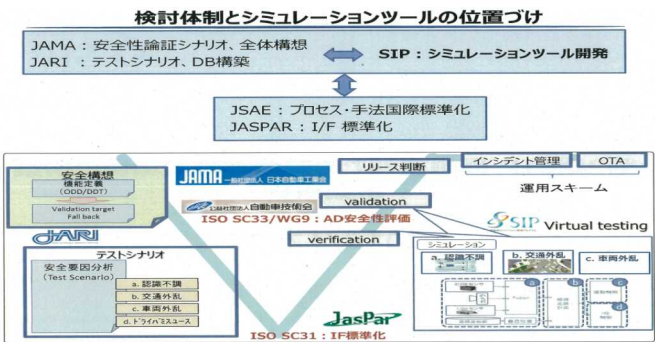


Figure 1. 周辺事業との分担

	概念	データ				構造・I/F
	シナリオ体系	走行データ計測	シナリオ作成	物標データ作成	テストデータ生成ツール	シミュレーションPF
交通流	JAMA	METI（高速） ※交差点、一般道も対応 予定	METI（高速） ※交差点、一般道も対応 予定	SIP	SIP	SIP ②車両性能評価
認識性能・ 認識不調	JAMA	SIP	SIP			SIP ①センサー認識評価 ②車両性能評価

Figure 2METI 事業とのデマケーション

3. 事業内容

本研究においてはセンサ不調等に起因する自動運転システムの性能限界の評価が可能な評価環境を目指すが、知覚から車両挙動までの一連の自動運転システムを精緻に仮想空間上に再現することは、演算負荷等の観点から現実的ではない。

そのため本研究では、現実的な演算負荷で一連のシステム評価を行うシミュレーションを構築した上で、センサごとに物理現象を再現可能な程度に精密化したシミュレーションを構築していく。これらをリアルタイム性の高い「機能シミュレーション」と、精緻なセンサ不調を再現する「物理シミュレーション」と定義する。

Table 1. 目指すシミュレーションの定義

■ 機能シミュレーション	■ 入力～出力一貫したシステム評価を可能とする、軽量でリアルタイム性が高いシミュレーション
■ 物理シミュレーション	■ センサ不調などに起因する限界性能の精緻な評価が可能だが、演算負荷が高くリアルタイム性が低い、自動運転システムとの接続性が限定的なシミュレーション

一方で、自動運転を仮想環境で行うシミュレーション環境は国内外の複数のベンダーより提供されているが、現実との一致性検証に基づく評価可能性が不明確で活用範囲の判断が困難、評価したいセンサ等の置き換えができず開発における運用効率性が低い、等の課題がある。

そこで本研究では、前述のシミュレーション体系を構築し、このインターフェースを標準案として提案することを成果目標とし、自動車産業やベンダの開発力向上への貢献を目指す。

尚、本研究開発に当たり、海外の代表的なツールや現在進行中の各種標準化の議論もベンチマークし親和性を考慮する。

研究の実施にあたっては「センサモデル」を中心に、これに輸入される外界を模した「環境モデル」、センサ以降のセンサフュージョン等の自動運転機能を模した「自動運転モデル」、これらを動作させる「評価プラットフォーム」の研究テーマを設定、それぞれのエキスパートの参加によるコンソーシアム形式で研究を実施し成果の創出を目指す。

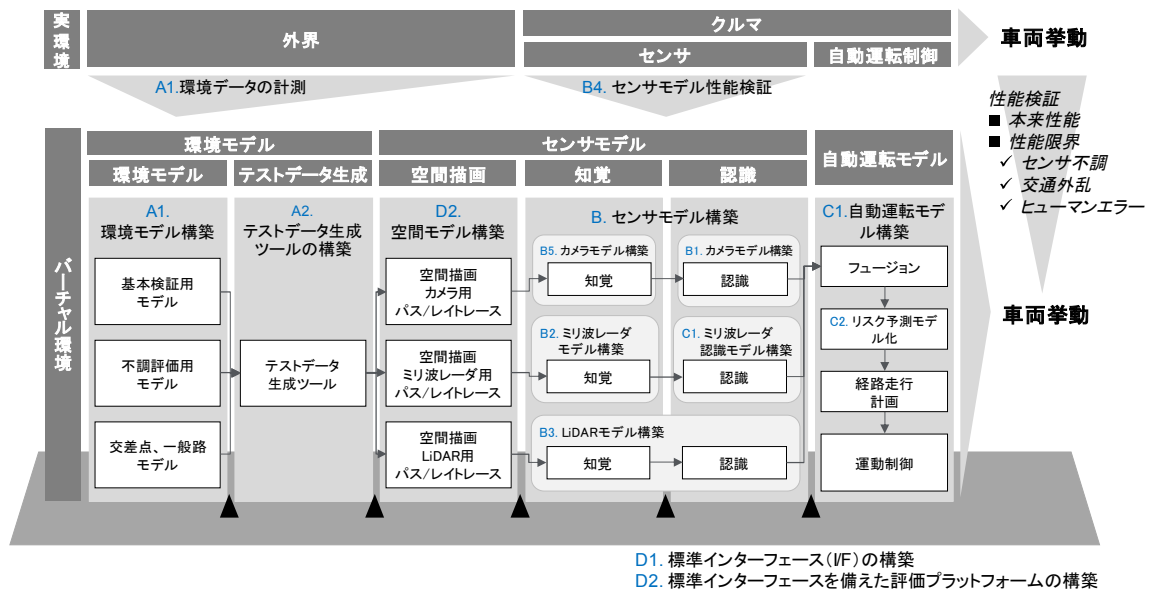


Figure 3. 評価プラットフォーム構築のための研究開発課題設計

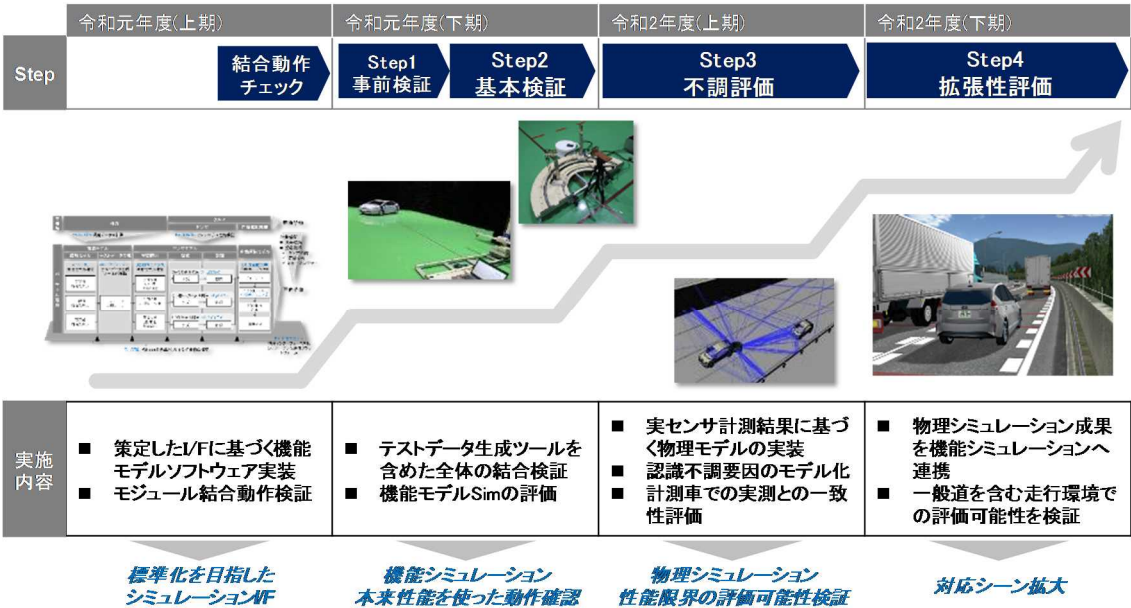
Table 2 DIVP™ コンソーシアム体制

参加団体		研究パート
 神奈川工科大学  立命館大学	学校法人幾徳学園 神奈川工科大学 学校法人立命館	■ センサシミュレーションモデルの結合と評価 ■ リスク予測のモデル化
		■ 自動運転行動モデルの研究
 SOKEN	株式会社SOKEN	■ 環境モデル化に必要な実環境特性データの計測 ■ センサモデル性能の評価に必要な実環境データの計測
		■ 環境モデルの構築 ■ 安全性評価テストデータ生成ツールの構築
 SOLIZE  Sony Semiconductor Solutions Corporation	SOLIZE Engineering株式会社 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社	■ 評価シナリオ記述方式等の検討 ■ カメラ知覚モデルの構築
		■ カメラ認識モデルの評価
 HITACHI  DENSO	日立オートモティブシステムズ株式会社 株式会社デンソー	■ ミリ波レーダモデルの構築 ■ LiDARモデルの構築
		■ 評価環境の標準となり得るI/Fの検討 ■ 評価プラットフォームの構築
 Pioneer  UNISYS	パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社 日本ユニシス株式会社	

4. 事業計画

本事業は 4 段階での評価環境構築を目指す。

- ◇ Dec -2018 事前検証
- ◇ Sept-2019 Step1 結合動作チェック 標準化を目指したシミュレーション I/F の設計
- ◇ Apr -2020 Step2 基本検証 本来性能による機能シミュレーションの動作確認
- ◇ Sept-2020 Step3 不調評価 物理シミュレーションによる性能限界の評価可能性検証
- ◇ Mar -2021 Step4 拡張性検証 評価シーンの拡大検討



出所：(株)SOKEN,三菱プレジジョン(株)提供画像

Figure 4. プロジェクト研究計画

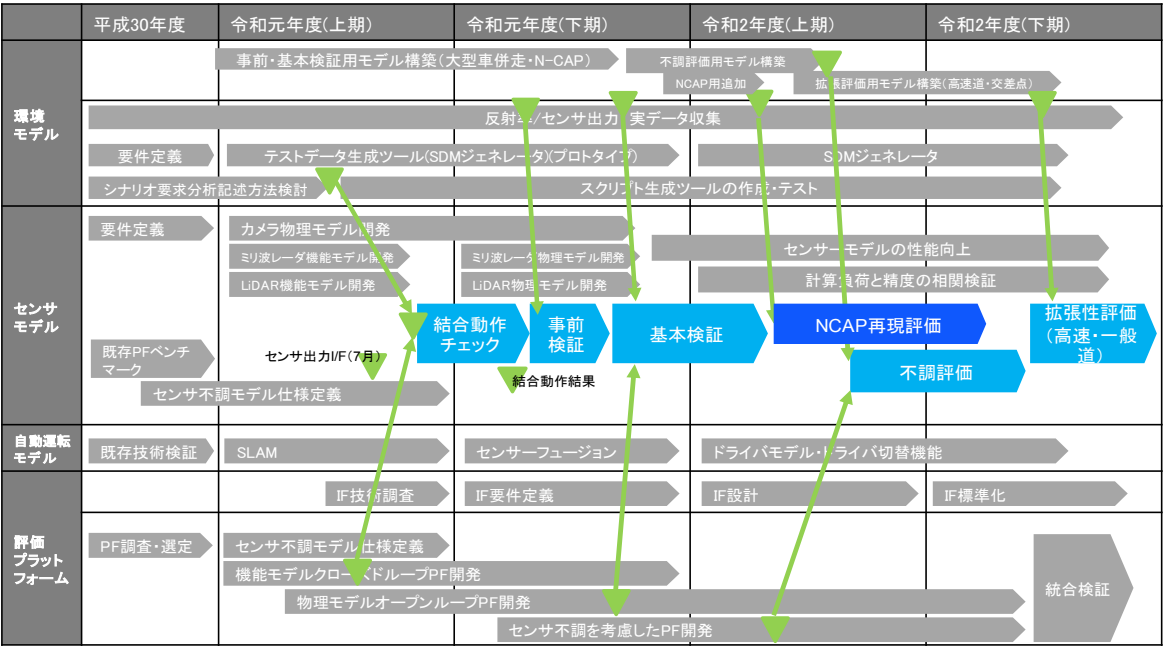


Figure 5 プロジェクト全期間の研究開発計画

4. 1 令和元年度の成果

標準 I/F の設計、各センサ原理に基づく環境とセンサのモデル化、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開発を実施、成果を得た。

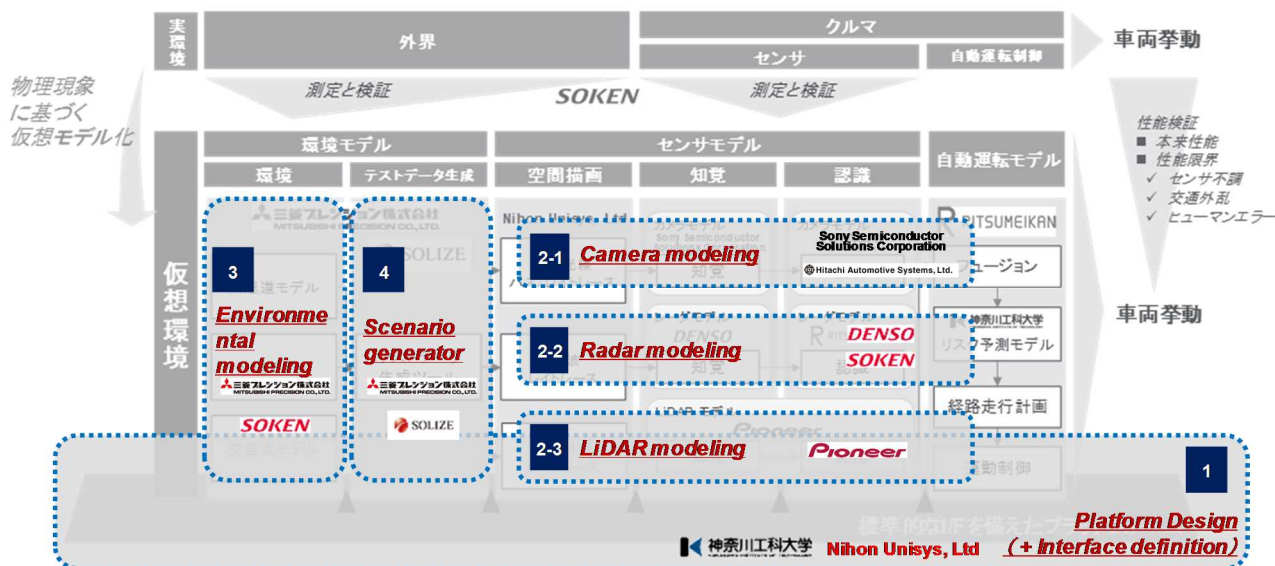


Figure 6 プロジェクト成果の関係

今年度、シミュレーション環境としてカメラ、Rader、LiDAR、3つのセンサに対応した環境モデル、空間モデル、センサモデルの実装・結合・動作を確認、実験結果との比較検証を行った。

比較検証は静的条件から動的な条件へ、研究室から PG(Proving ground)、一般道(Community ground)への拡張を計画しており、今年度は主に Jtown を使った PG 上での静的条件による実験検証までを実施した。



出所: (株) SOKEN

Figure 7 検証の進化

以下令和元年度成果物 Table 3 には今年度の成果物をまとめる、これらの成果を基にシミュレーションの結合・動作を実施した。

Table 3 令和元年度成果物

	環境モデル			センサモデル		自動運転モデル
	3D ポリゴンモデル	反射率特性	空間描画	知覚	認識	
カメラ	■ マップ(MMS 計測情報を元にした簡易マップ)Jtown 多目的市街地(直線、白線、交差点) ■ 物標(メッシュ 精度:最小 1mm) ➢ 他車両 ➢ 自車両 ➢ ロードポール ➢ 三角コーン	■ アスファルト ■ 白線 ■ 車両外板塗装(白)	■ レイトレーシング 3 回 ■ 実測の太陽光データ、空の散乱データの利用 ■ 計測反射率による反射計算、理論反射率考慮	■ 簡易レンズモデル ■ 簡易イメージセンサモデル	■ 市販認識エンジン	■ ACC /AEB ■ LKA /LDP
ミリ波レーダー		■ アスファルト ■ 車両金属部、樹脂部(バンパ) ■ ガードレール	■ レイトレーシング 3 回 ■ 光学反射、相対速度、位相回転 ■ 計測反射率による反射計算	■ テキサスインスツルメンツ製レーダー ■ フーリエ変換(距離、速度推定) ■ DBF(方位推定) ■ 閾値処理	■ 簡易的な認識アルゴリズム	
LIDAR		■ 簡易測定値	■ レイトレーシング 1 回 ■ ランバート反射、計測反射率による反射計算 ■ 背景光考慮	■ 走査モデル ■ 受信光量に応じた強度計算、光学伝搬計算	■ Autoware の認識モデル	

各センサ毎のシミュレーションの結合動作結果と実験による計測結果の間の一致性検証を実施、ある程度の
 一致性が確認されたと共に、ミリ波空間伝搬の近似計算精度向上への取組みが必要なことを確認した。



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
 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

出所: (株)SOKEN、パイオニアスマートセンシングイノベーションズ(株)

Figure 8 静的実験の結果

4.2 次年度の目標

次年度 FY2020 では一貫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)の整備を進める。ここでは、構築した PF の有効性を示す題材として NCAP の一部プロトコルのシミュレーションを再現する。

ここでは DIVP™ の Scope を致命度が高く安全性評価の必要な領域に定める。

さらに発生頻度による領域を定義し、頻度の高い領域では「事故低減のための安全性検証」が、頻度の低い領域では「Real world におけるロバスト性検証」が必要であり、これら2ピラーを拡充の方向性とする。

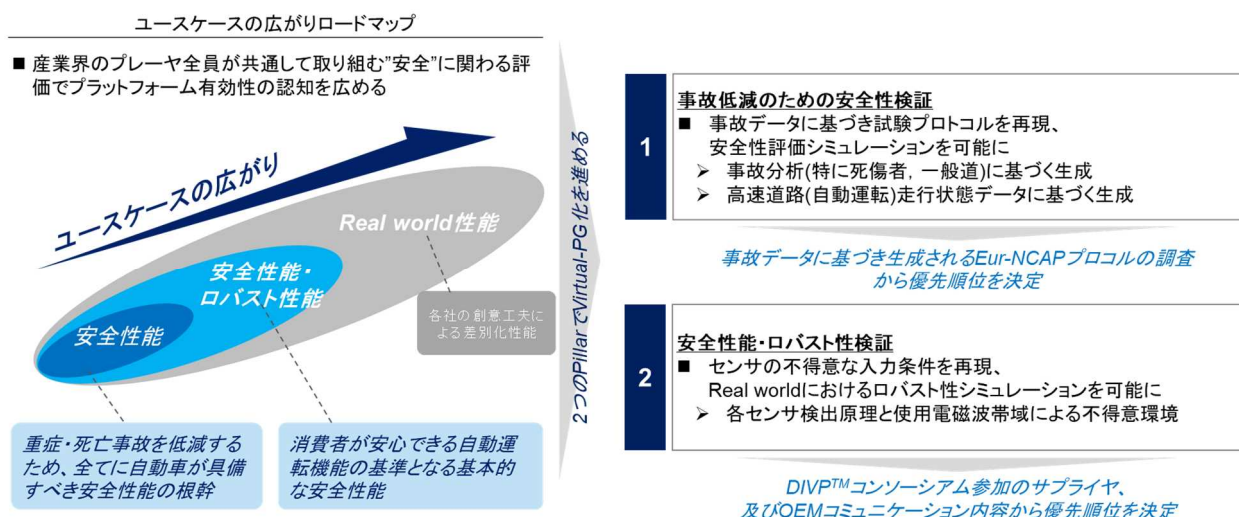


Figure 9 Virtual-PG 拡充の方針

■ 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

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--

Figure 10 Eur-NCAP プロトコル

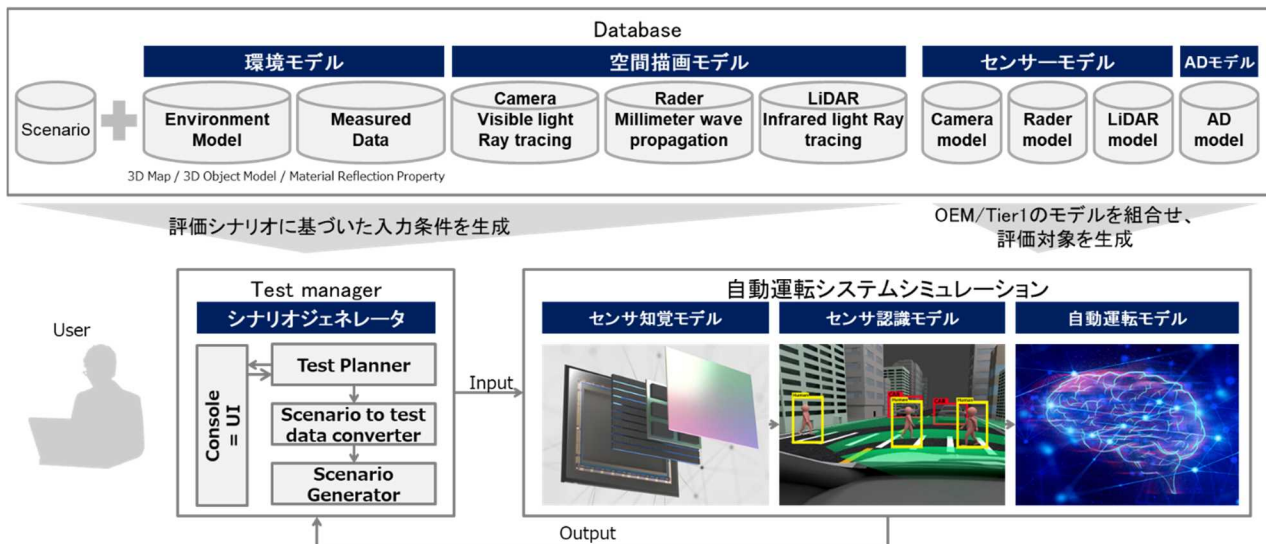
■ Real world におけるロバスト性検証

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



Figure 11 再現する環境因子の例

Virtual-PG 他、モデル群を流通させるデータベースに支えられた精緻なシミュレーション環境が DIVP™ の目指すエコシステム、最終年度ではエコシステムの体系化を目指す。



出所: Sony Semiconductor Solutions Corporation

Figure 12 DIVP™ 目指すエコシステム

5. 各パートごとの成果

5. 1 「A1. 走行環境モデルの構築」のための研究開発

5. 1. 1 「A1. 走行環境モデル構築」（三菱プレジジョン株式会社）

本研究では、仮想環境における自動運転システムの安全性を評価するための検証用走行環境モデルを構築する。

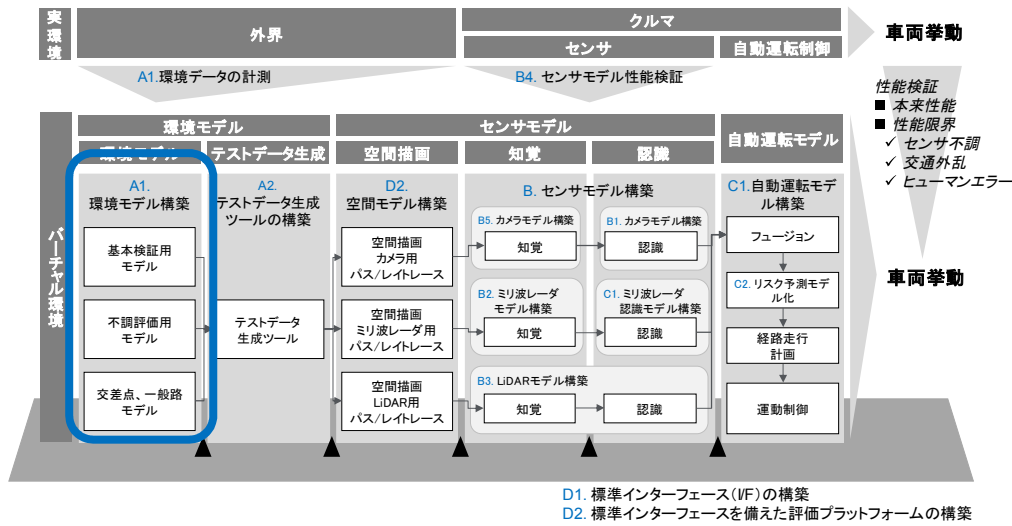


Figure 13 本研究の位置付け

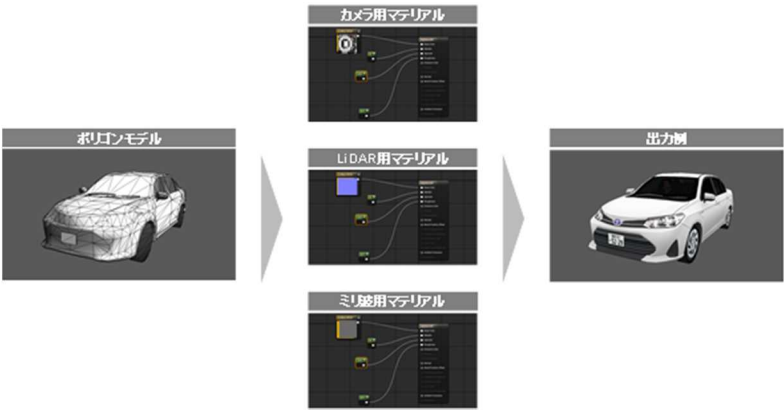
■ 事業目的

カメラ、ミリ波レーダ、LiDAR において検証用となる走行環境モデルを作成する。

■ 事業概要

検証用となる環境モデルについて、以下の実物を測定し作成する。

- ・ Jtown (特異環境試験場、多目的市街地)
- ・ 高速道路
- ・ 一般道路
- ・ 物標 (自車、他車、他車 (8tトラック)、自転車、ダミー人形)



出所: 三菱プレジジョン(株)

Figure 14 走行環境モデル構築例

■ 実施計画

事業項目	A 1 パート	平成30年度			令和元年度												令和2年度												
		第3 四半 期	第4 四半期			第1 四半期			第2 四半期			第3 四半期			第4 四半期			第1 四半期			第2 四半期			第3 四半期			第4 四半期		
			12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
①	事前検証用走行環境データ実測																												
	㊦ 検証用走行環境データ調査																												
	㊧ 検証用走行環境データ実測																												
②	事前検証・基本検証用走行環境モデル構築(物標、地図)																												
	㊦ 物標モデル(アセット)作成																												
	㊧ 地図モデル(アセット)作成																												
③	基本検証用走行環境モデル構築(シナリオ込み)																												
	㊦ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成																												
	㊧ 基本検証用走行シナリオ作成																												
④	不調条件データ実測																												
	㊦ 検証用走行環境データ調査																												
	㊧ 検証用走行環境データ実測																												
⑤	不調評価用走行環境モデル構築																												
	㊦ 不調評価用(アセット)作成																												
	㊧ 不調評価用シナリオ作成																												
⑥	高速道路 環境モデル+シナリオ																												
	㊦ 検証用走行環境データ調査																												
	㊧ 検証用走行環境データ実測																												
	㊨ 地図モデル(アセット)作成																												
	㊩ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成																												
	㊪ 高速道路シナリオ作成																												
⑦	交差点・一般道 環境モデル+シナリオ																												
	㊦ 検証用走行環境データ調査																												
	㊧ 検証用走行環境データ実測																												
	㊨ 地図モデル(アセット)作成																												
	㊩ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成																												
	㊪ 交差点・一般道シナリオ作成																												

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

■ 令和元年度の成果(まとめ)

モバイルマッピングシステム（以下、MMS）車両やレーダ測定器を用いて Table 4 に示す環境データを実測した。

Table 4 実測した環境データ

	2019 年度
MMS 車両 実測	■ Jtown 多目的市街地 ■ Jtown 特異環境試験場 ■ 臨海副都心地域(お台場) ■ 首都高速都心環状線(C1)
レーダ測定器 実測	■ 自車:アルファード ■ 他車:プリウス ■ 自転車:NCAP ダミー自転車 ■ ダミー人形:NCAP ダミー人形(大人) ■ その他:ロードポール、カラーコーン

実測したデータを基に Table 5 に示す環境(地図、物標)モデルを構築した。

Table 5 環境(地図、物標)モデル

	2019 年度
地図モデル	■ Jtown 多目的市街地 ■ Jtown 特異環境試験場
物標モデル	■ 自車:アルファード ■ 他車:プリウス ■ 自転車:NCAP ダミー自転車 ■ ダミー人形:NCAP ダミー人形(大人) ■ その他:ロードポール、カラーコーン

■次年度以降の計画(まとめ)

Table 6 に示す環境(地図、物標)データの実測を計画している。

Table 6 実測する環境データ

	2020 年度
MMS 車両 実測	■ 大型降雨試験場 ■ 高速道路、一般道など
レーダ測定器 実測	■ NCAP ダミー自動車 ■ NCAP ダミー人形(子供) ■ NCAP ダミー自動二輪車 ■ NCAP ダミー動物

Table 7 に示す環境(地図、物標)モデルの構築を計画している。

Table 7 環境(地図、物標)モデルの構築

	2020 年度
地図モデル	■ 臨海副都心地域(お台場) ■ 首都高速都心環状線(C1) ■ 大型降雨実験施設 ■ 高速道路、一般道など
物標モデル	■ NCAP ダミー自動車 ■ NCAP ダミー人形(子供) ■ NCAP ダミー自動二輪車 ■ NCAP ダミー動物

(2)令和元年度の成果

① 事前検証用走行環境の実測

Figure 15 に示すモバイルマッピングシステム（以下、MMS）車両を用いて日本自動車研究所が保有する自動運転評価拠点である Jtown を実測した。高精度環境モデルを構築するため、高密度レーザーを取り付けた MMS 車両にて、Table 8 に示すデータを実測した。高密度レーザーを取り付けた MMS 車両にて取得した点群密度の違いを Figure 16 に示す。

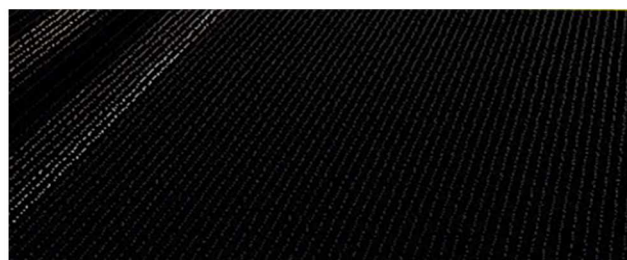
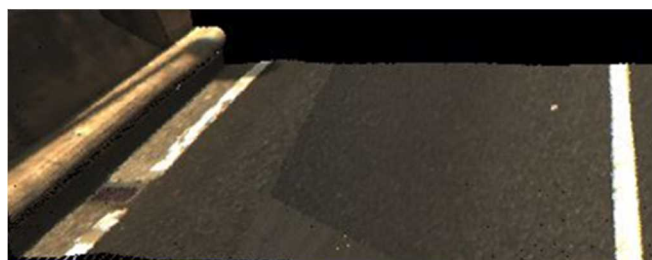


出所：(株)SOKEN

Figure 15 高密度レーザーを取り付けた MMS 車両

Table 8 DIVP™ で取得した実測データ

	項目	DIVPの実測データ	SIP一期の実測データ
3次元点群座標データ (解析後の点群データ)	反射輝度情報	○	○
	色情報	○	○
	分解能	○ (水平1cm)	× (水平6cm)
カメラ画像データ	解像度	○ 2400x2000x3@24bits	○ 2400x2000x3@24bits
	台数、及び位置	○ カメラ3台(前方3台?)	○ カメラ3台(前方2台、側方1台)
	撮影位置姿勢	○ 撮影時位置情報あり	× 撮影時位置情報なし



出所：三菱プレジジョン(株)

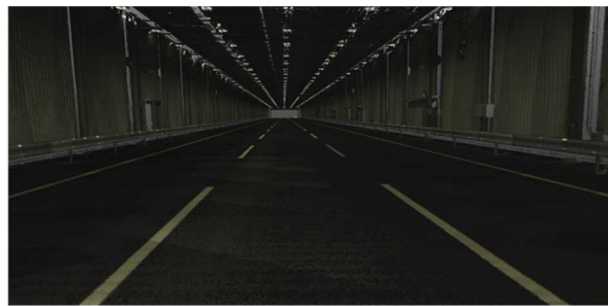
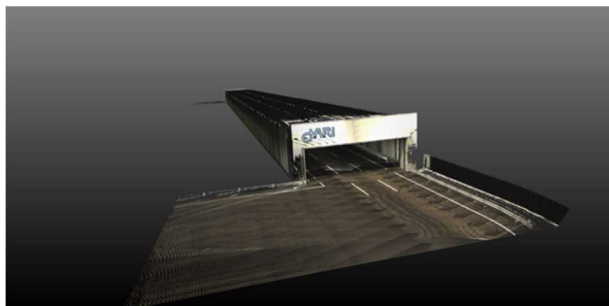
Figure 16 点群データの密度 SIP 一期で取得した点群データの密度

実測した Jtown の点群データを Figure 17、及び Figure 18 に示す。



出所: 三菱プレジジョン(株)

Figure 17 実測した点群データ(多目的市街地)



出所: 三菱プレジジョン(株)

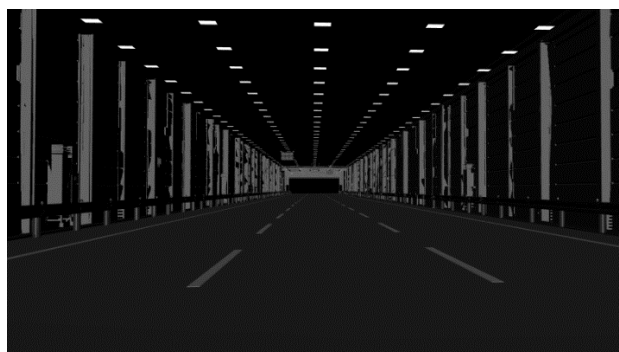
Figure 18 実測した点群データ(特異環境試験場)

② 事前検証・基本検証用走行環境モデル構築(地図データ、物標)

①で実施したデータ実測を基に Jtown の多目的市街地と特異環境試験場の地図モデルを作成した。地図モデルは、実測における分解能を基に詳細度を決め作成した。構築したモデルを Table 9 に示す。物標モデルにおいては、自車としてアルファード、他車としてプリウスを作成した。自車については必要となる内装を主に作成した。自転車と人物については、NCAP ダミーを作成した。その他、事前検証用途としてロードポールとカラーコーンを作成した。作成したモデルを Figure 19、及び Figure 20 に示す。

Table 9 事前検証・基本検証用走行環境モデル構築

2019 年度	
地図モデル	■ Jtown 多目的市街地 ■ Jtown 特異環境試験場
物標モデル	■ 自車:アルファード ■ 他車:プリウス ■ 自転車:NCAP ダミー自転車 ■ 人物:NCAP ダミー人形(大人) ■ その他:ロードポール、カラーコーン



出所: 三菱プレシジョン(株)

Figure 19 地図モデル(右:Jtown 多目的市街地、左:Jtown 特異環境試験場)

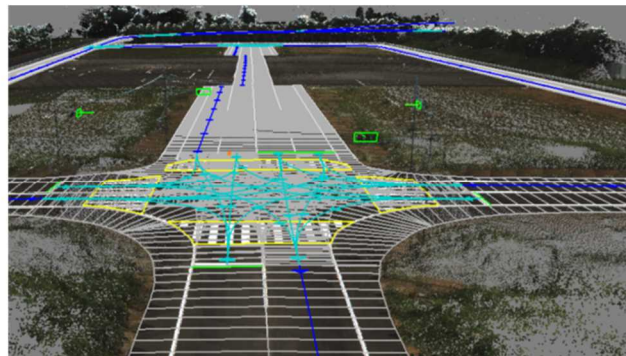


出所:三菱プレジジョン(株)

Figure 20 物標モデル(右:プリウス、左:NCAP ダミー自転車)

③ 基本検証用走行環境モデル構築(シナリオ込み)

作成した地図モデルに対して道路ネットワークを作成した。作成した道路ネットワークを Figure 21 に示す。また、Jtown で実測したデータを基に基本検証用のシナリオ形式として変換し、出力する機能を作成した。



出所:三菱プレジジョン(株)

Figure 21 Jtown 多目的市街地における道路ネットワーク

(3)次年度以降の計画

① 事前検証用走行環境の実測

期間:2019 年 4 月 ～ 2020 年 6 月

内容:検証用走行環境として防災科学研究所様が保有する大型降雨実験施設を実測する。大型降雨実験施設のアスファルトの区画である A 区画について MMS 車両などを用いて実測を行う。

② 事前検証・基本検証用走行環境モデル構築(地図データ、物標)

期間:2019 年 9 月 ～ 2020 年 8 月

内容:①で実施したデータ実測を基に地図データを作成する。地図データは、実測における分解能を基に詳細度を決め作成する。物標においては、NCAP ダミーである自動車、自動二輪車、人形等を作成する。

③ 基本検証用走行環境モデル構築(シナリオ込み)

期間:2019 年 12 月 ～ 2020 年 9 月

内容:②で作成した事前検証・基本検証用走行環境モデルを基に評価シーンに対応した環境モデルをシナリオと道路ネットワークを含め作成する。

④ 不調条件データ実測

期間:2020 年 4 月 ～ 2020 年 7 月

内容:Jtown の特異環境試験場等において、不調条件となる逆光、降雨や霧を計測する。逆光における太陽を模擬したライトである日照試験設備も併せて計測する。

⑤ 不調評価用走行環境モデル構築

期間:2020 年 6 月 ～ 2020 年 9 月

内容:④の不調条件を実測したデータを基に、②で作成した Jtown の特異環境試験場等に不調条件となる環境モデルを設定する。また、物標として光源となる日照試験設備を作成する。

⑥ 高速道路 環境モデル+シナリオ

期間:2020 年 5 月 ～ 2020 年 10 月

内容:指定した高速道路のモデルを作成する。併せてシナリオと道路ネットワークも作成する。

⑦ 交差点・一般道 環境モデル+シナリオ

期間:2020 年 6 月 ～ 2020 年 11 月

内容:指定した交差点・一般道のモデルを作成する。併せてシナリオと道路ネットワークも作成する。

5. 1. 2 「A1. 走行環境モデル定義」（株式会社 SOKEN）

本研究では、センサシミュレーション精度向上のための、反射特性データベースを構築する。

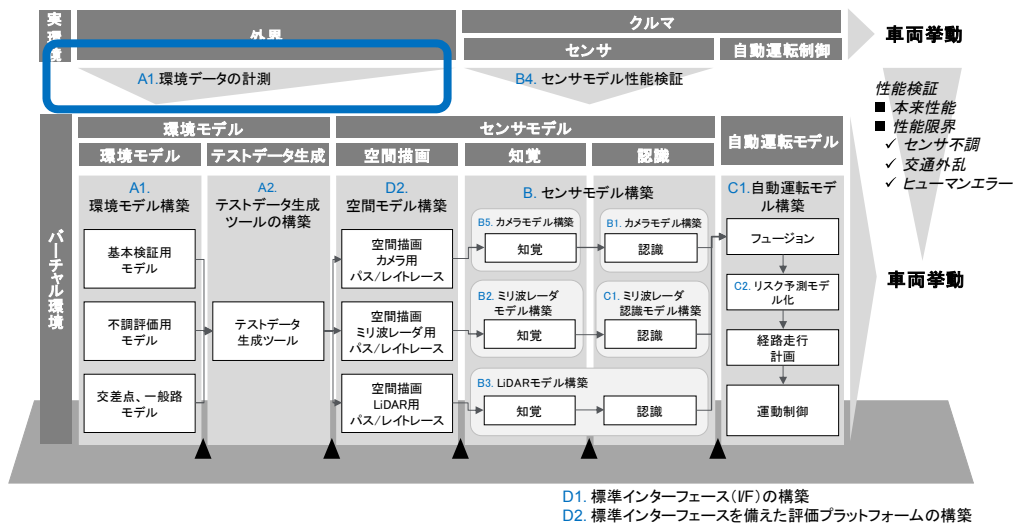


Figure 22 本研究の位置付け

■ 事業目的

センサの仮想環境で自動運転システムの安全性を評価するために、センサ物理モデル評価用の物体データベースを構築し、センサシミュレーション精度を向上することを目的とする。

■ 事業概要

各センサ(ミリ波レーダ/カメラ/LiDAR)の電磁波波長における空間伝搬、物体での反射特性を実測評価し、シミュレーション精度を向上可能な物体の特性データベースを構築する。

特性データベースを反映して、各センサの電磁波波長の物理特性を再現可能な環境モデルを作成し、シミュレーション結果と実測結果を比較検証する。

■ 実施計画

事業項目	平成 30 年度				令和元年度				令和 2 年度			
	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期
① 物体要件定義				▽各センサ評価項目								
② 実データ収集				→								
				★評価材料項目リスト(主要項目)								
				★評価材料項目リスト								
			評価系構築 試料作製	→								
				→								
								★評価材料 DB(主要項目)				
											評価材料 DB★	→

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

平成 30 年度までに、前記実施項目①物体材料定義において、センサ物理モデルシミュレーション精度向上に必要となる評価材料及び反射特性の測定項目を定義した。

本年度は、定義した反射特性項目を測定可能な測定系の設計及び、実機構築を行った。

また、評価材料の試料制作を行い、構築した測定系で測定を実施した。ミリ波レーダ用の測定系では理論値に対して $\pm 0.5\text{dB}$ 精度、可視光/赤外光の拡散反射では $\pm 5\%$ の精度測定できていることを検証した。

可視光/赤外光の反射特性の測定項目の一つである、赤外光の再帰性反射の測定精度が当初予定していた $\pm 5\%$ の精度を未達となり、光学レンズの再設計を行ったため、測定系の構築完了が遅れた。

ミリ波レーダの性能検証に必要となる主要な反射物標については、反射特性の測定を実施し、開発したシミュレーションプラットフォームに提供した。

前記可視光/赤外光測定系の構築完了遅れのため、可視光/赤外光は精緻な反射特性の測定が完了しておらず、簡易測定機による反射特性をシミュレーションプラットフォームに提供した。

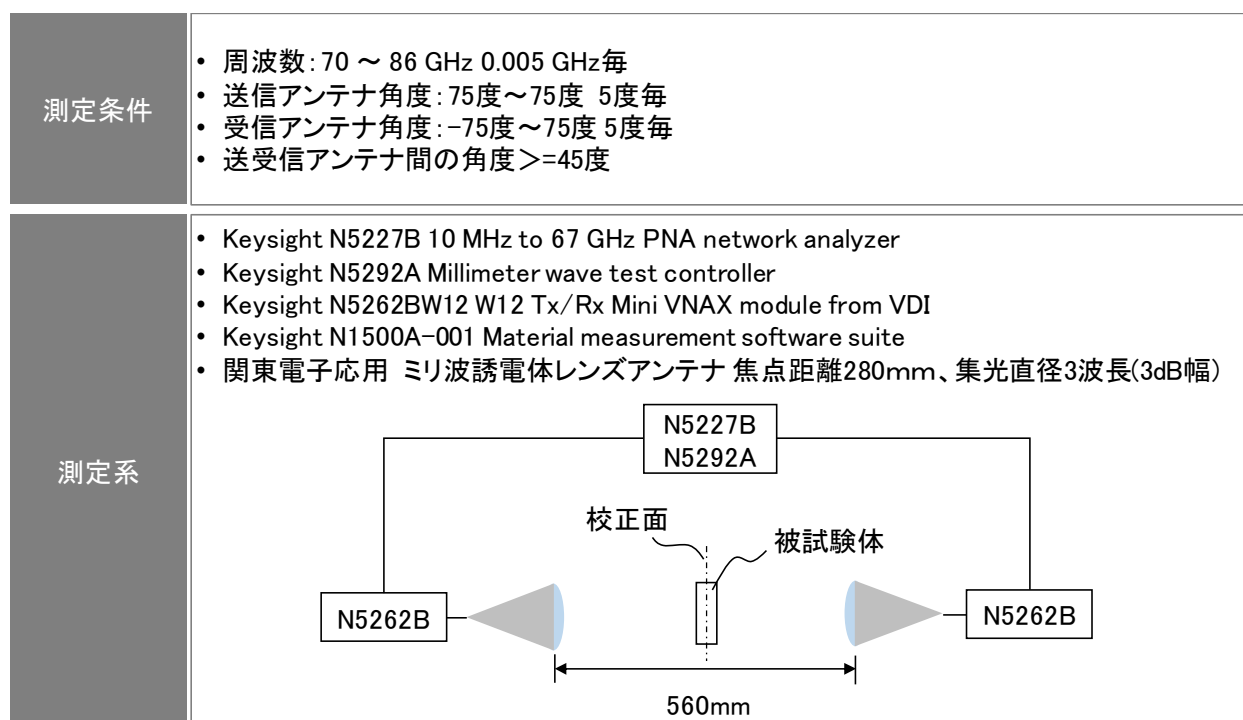
次年度は、可視光/赤外光の反射特性の精緻測定を実施する。また、センサ不調/一般道での評価に必要な材料を関係者と協議してリストアップを行い、反射特性の計測と検証を行い、材料 DB の拡充を行う。

(2)令和元年度の成果

② 実データ収集

・ミリ波レーダ用反射特性の測定系構築

レーダ用のミリ波測定では、2ポートベクトルシグナルアナライザを用い、Sパラメータの周波数特性を測定することとしている。アンテナは送信/受信を兼用できるため、1ポートでの入射波/反射波比(S11)から再帰反射、1ポートから入射して2ポートで受信するS21で拡散反射及び拡散透過特性を測定する。アンテナにはレンズアンテナを採用し、焦点距離を280mm、焦点直径を約3波長(約11mm)にすることで、測定系(アンテナ間距離と被試験体のサイズ)の小型化する設計としている。



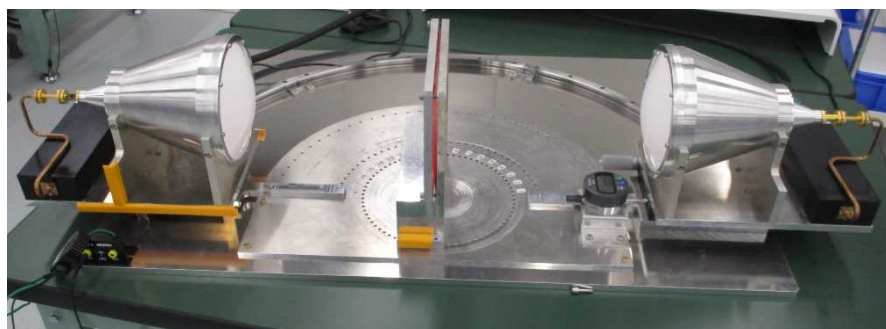
出所: (株)SOKEN

Figure 23 ミリ波反射測定系の測定条件および構成

下図に、実際に構築したミリ波反射特性の測定系を示す。

レンズアンテナと同一台座に周波数コンバータ(N5262B)を配置し、導波管で接続する構成としている。

レンズアンテナと周波数コンバータ間にはミリ波帯域の信号が伝送するため、ミリ波帯域の伝送線路を短く、且つ固定することで、伝送損失低減するとともにアンテナ角度変更による配線変化の影響が影響が少なくなるようにしている。また、導波管には 90 度ツイスト導波管を挿入できる構成としてあり、偏波特性を考慮したシミュレーションに対応できるように、垂直偏波と水平偏波を切り替えて反射特性を測定できるようにしてある。



出所: (株) SOKEN

Figure 24 構築したミリ波反射特性の測定系

下図に、被測定試料に対する入射角度を変えた場合の正規反射方向での反射係数の関係をまとめたグラフである。比較としてフレネルの反射式の値を赤線で示しており、実測値との差は 0.5dB 以下となっている。ミリ波レーダモデル化の目標性能 ± 5 dB に対して十分な精度が得られている。

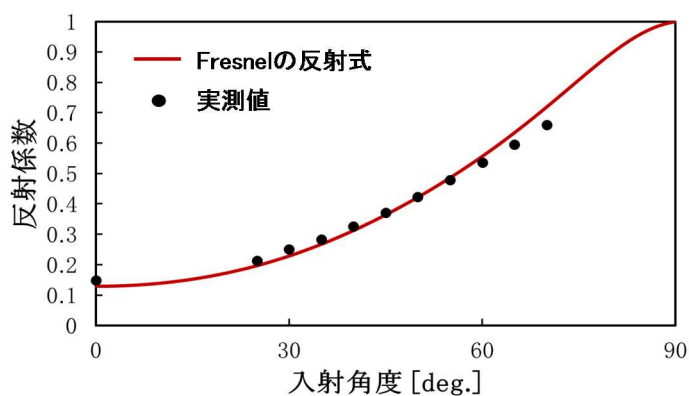


Figure 25 ミリ波レーダ測定系の測定結果

期間: 2019 年 4 月から 2020 年 7 月

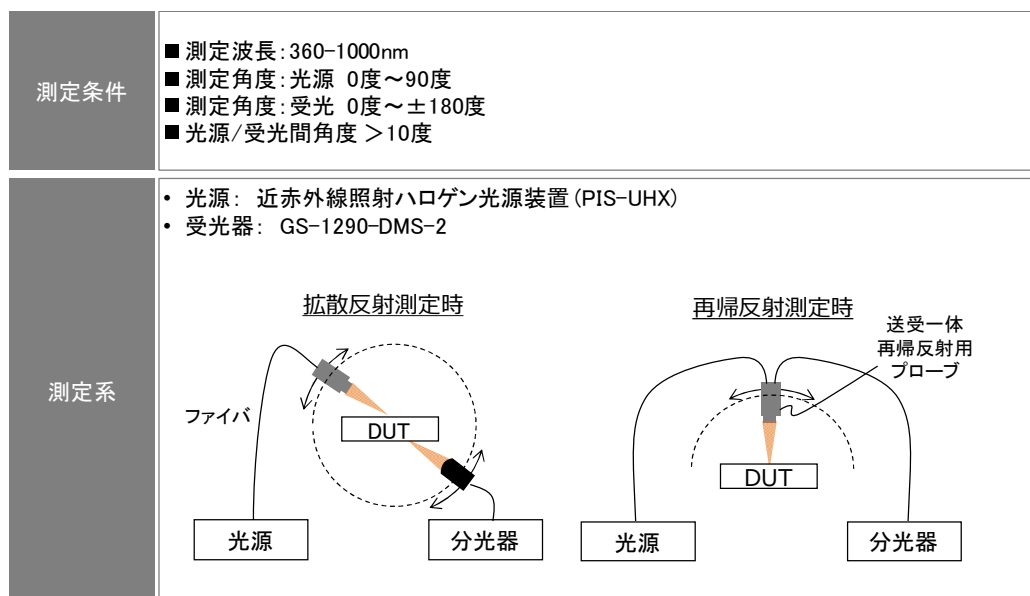
アウトプット: ミリ波レーダ反射特性測定系

・可視光/赤外光用反射特性の測定系構築

LiDAR 用の赤外光測定では、ミリ波と異なり送信と受信で別デバイスが必要となる。同一軸上に送信用の光源と受信用の受光部を配置した場合、光源が受光部（又は受光部が光源）の影になり再帰反射の測定ができない。

一般的には、再帰反射角度の周辺角度の反射強度から補間を行うことで、再帰反射特性を推定する方法が考えられる。角度依存性の少ない反射特性を持つランバート反射板であれば、補間による再帰反射特性の推定は可能である。しかし、自動車のリフレクタや、再帰反射シートが貼られた道路標識に代表される再帰反射方向に反射強度のピークを持つ材料の再帰反射特性を周辺角度からの補間で推定することは困難である。そこで、光源と受光の送受一体とした再帰反射測定用プローブを設計した。

受光用の CCD ディテクタは可視光領域に比べ、赤外線領域になると感度が低下してくるため、近赤外線領域にピークを持ったファイバ光源を使用している。また、可視光シミュレーション精度向上に必要なダイナミックレンジの広い受光器を選定している。



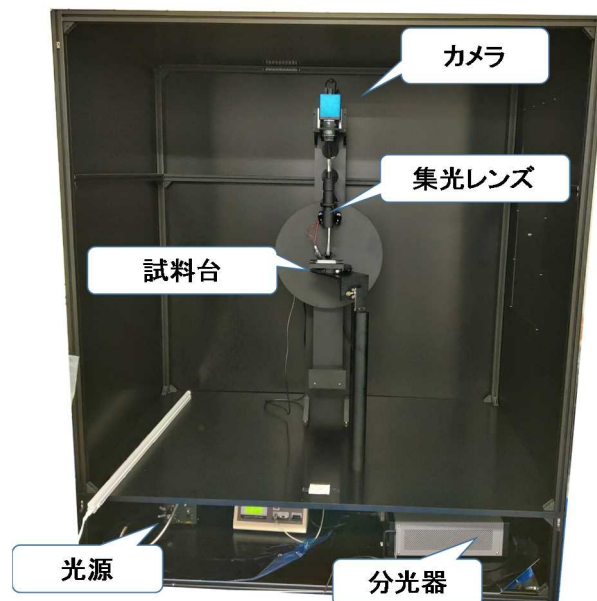
出所: (株)SOKEN

Figure 26 可視光/赤外光測定系の測定条件および構成

下図に、実際に構築した可視光/赤外光の反射特性の測定系を示す。

測定対象として、アスファルトやコンクリートのような重量物、ガラスのような透過性材質、水や砂のような非固形物を測定対象として定義している。そのため、試料台は地面と平行に中空に浮かせる構造とし、耐荷重は 5kg max としている。

再帰性反射の測定時には、集光レンズを再帰性反射用プローブに交換することで再帰性反射特性を測定できるようにしている。



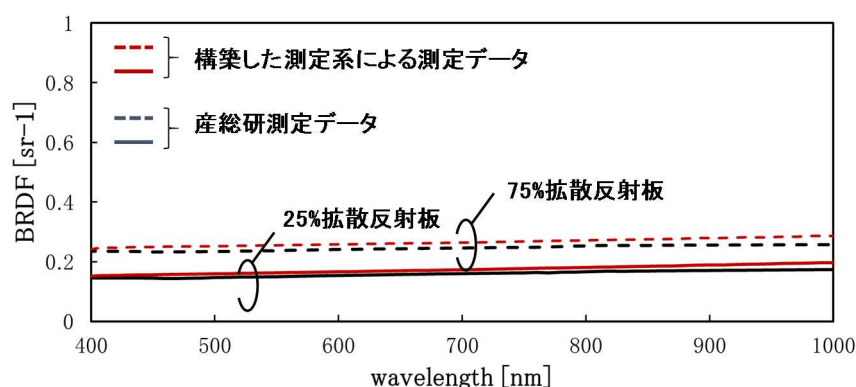
出所: (株)SOKEN

Figure 27 構築した可視光/赤外光反射特性の測定系

下図に、構築した測定系による反射特性の測定結果例である。赤外光領域では反射率が既知である基準反射体がないため、可視光用の基準拡散反射板を国立研究開発法人産業技術総合研究所(以降、産総研)の測定機によりBRDFを高精度に測定した結果を基準値としている。

拡散反射(0 度入射/45 度受光)においては、構築した測定器による測定データと産総研のデータの差異は±5%以下となっており、LiDAR のセンサモデル化に必要となる反射率の精度目標±5%が得られている。

但し、再帰反射特性において目標精度を未達となり、光学レンズの再設計を行ったため、測定系の構築完了が遅れた。



出所: (株) SOKEN

Figure 28 可視光/赤外光測定系の測定結果(0 度入射/45 度受光)

期間: 2019 年 4 月から 2020 年 3 月

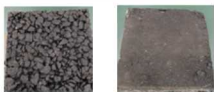
アウトプット: 可視光/赤外光反射特性測定系

・試料作成/評価/検証

下図に、作成した試料及び反射特性の測定状況を示す。

本年度、シミュレーションで実測結果との比較検証を行う、JARI Jtow 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について作成を行った。

ミリ波レーダ用の反射特性データの測定を行いシミュレーションプラットフォームに提供を行い、反射特性が反映されていることを確認した。可視光/赤外光については前述の理由により、測定系の構築遅れにより、測定が完了していないため、来年度測定を実施する。

測定項目		制作試料	反射率計測		
			ミリ波	赤外	可視
路面	アスファルト (浸水/非浸水)		○	簡易データ提供*1	
	白線		*2	簡易データ提供*1	
プリウス	金属部		○	*3	*3
	樹脂部(ABS)		○	*3	*3
	外板塗装(白)		*2	簡易データ提供*1	
	外板塗装(黒)		*2	×	×
	ガラス		○	簡易データ提供*1	
ZOOM カメラ	服(色:薄橙、黒、青)		*2	×	×
	本体(発泡材)		○	*3	*3
路側物	ガードレール		*2	×	×
	ロードポール		○	×	×

*1:簡易測定機による測定データ。赤外光は可視光特性からの外挿値

*2:ミリ波での影響軽微なため、背面材質の反射特性で代替

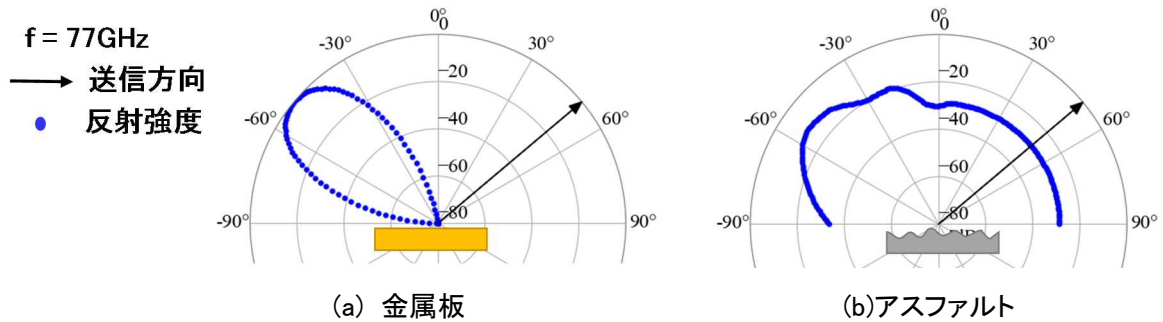
*3: 可視光/赤外光の非透過材の背面材質のため測定不要

出所:(株)SOKEN

Figure 29 制作した試料及び反射特性測定状況

下図に、シミュレーションプラットフォームに提供した反射特性の一例である。

金属板では鏡面反射が主体であり、アスファルトでは表面の凹凸の影響により、鏡面反射方向以外にも高い反射強度が得られている。特に再帰反射成分は金属板の-80dB 以下から-30dB 程度まで増加している。本反射データをシミュレーションに組み込むことにより、ミリ波レーダにおける路面クラッタの再現に有用であると考ええる。



出所: (株) SOKEN

Figure 30 ミリ波レーダ反射特性結果例(角度特性)

期間: 2019 年 8 月から 2020 年 3 月

アウトプット: ミリ波、可視光/赤外光の反射特性データ

(3)次年度以降の計画

② 実データ収集

内容： 測定器の構築遅れによって未計測となっている、可視光/赤外光の反射特性の精緻測定を実施し、シミュレーションでの動作検証を実施する(2020 年 5 月)。

センサ不調評価/一般道での公道評価に向けて、現地調査によって評価材料のリストアップを行う。リストアップした内容を関係者と協議し、センサモデルの精度検証に必要となる材料を定義する。定義した材料の反射特性の計測を行い、シミュレーションでの動作検証を実施する(四半期毎又は実車測定毎)。

期間:2020 年 4 月から 2021 年 2 月

アウトプット: センサデータの実環境計測結果

5. 1. 3 「A2. テストシナリオ及びテストデータ生成ツール構築」(三菱プレジジョン株式会社)

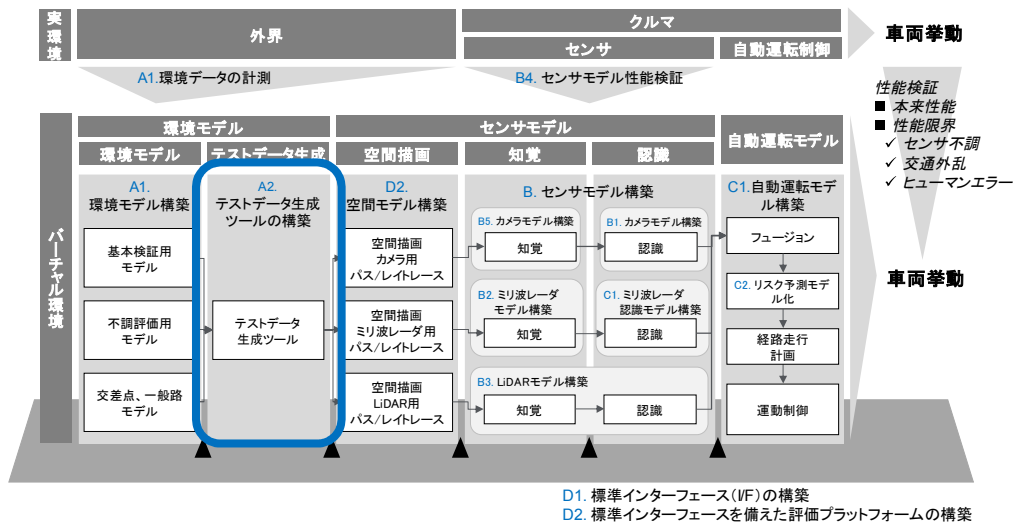


Figure 31 本研究の位置付け

走行環境のデータベースから、評価で使用するテストシナリオに適合したテストデータを生成するためのツールとして、SDM ジェネレータ(Space Design Model Generator)を開発する。

■ 事業目的

本事業としては、自動運転システムの評価可能性の向上及び国内ベンダーの競争力向上を目指す目的で、自動運転システムの安全性の評価を仮想空間上で効率的に実施するための、標準化された評価プラットフォームの構築を行う。

その中で、A パートは、走行安全性をシミュレーションで評価するための、走行環境モデルの構築を行うが、A2 パートは、走行環境のデータベースから、評価で使用するテストシナリオに適合したテストデータを生成するためのツールとして、SDM ジェネレータを開発する。

■ 事業概要

Figure 32 に示す、A.走行環境モデルの構築(Space Design Model)を実施する。

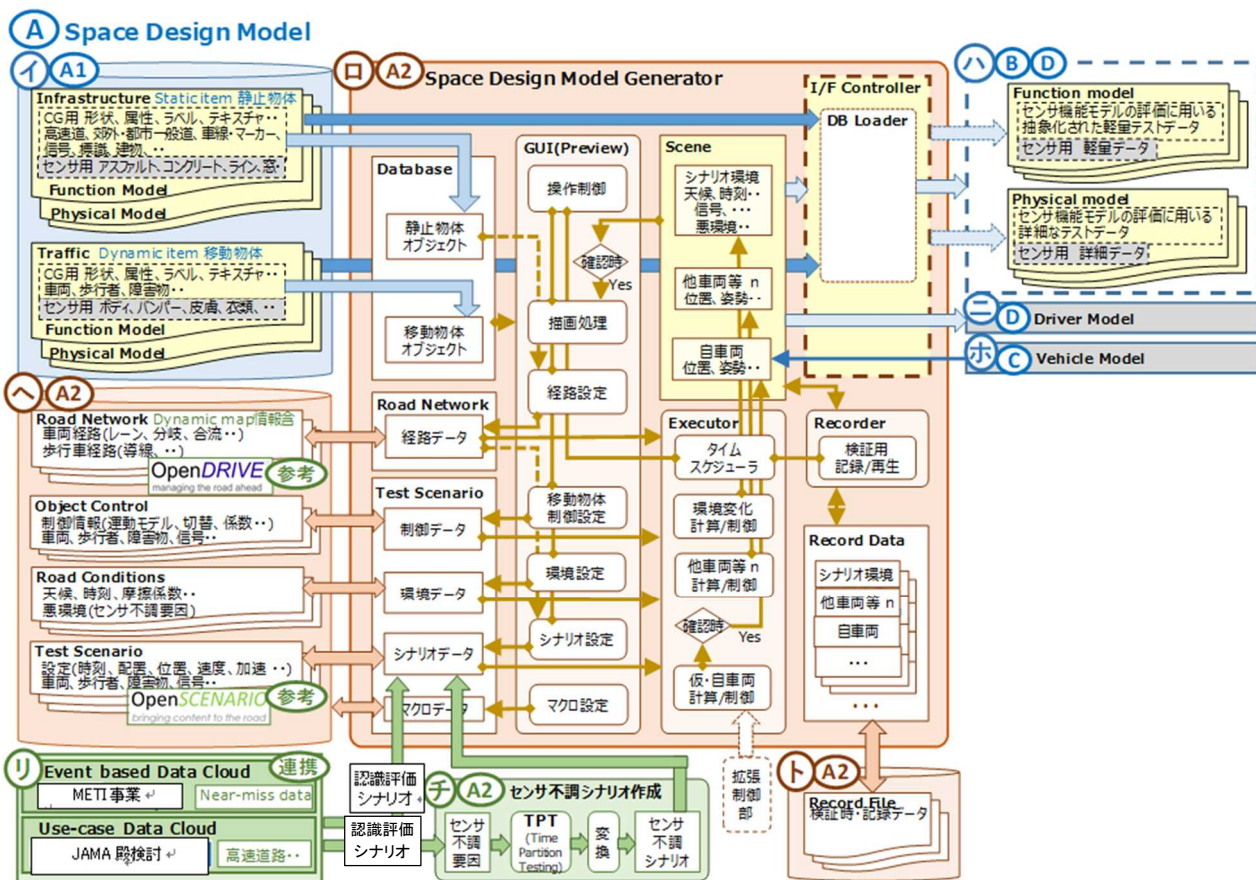


Figure 32 Space Design Model の想定ブロック図

■ 実施計画

事業項目	A 2 パート	平成30年度			令和元年度												令和2年度												
		第3 四半期	第4 四半期			第1 四半期			第2 四半期			第3 四半期			第4 四半期			第1 四半期			第2 四半期			第3 四半期			第4 四半期		
			12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
①	各パートとの各種I/F調整																												
②	標準化フォーマットの認識関連の継続調査																												
	① 標準化団体ASAM Japanに対する調査																												
	② 海外渡航調査（ドイツASAM・・・等）																												
③	実行環境の調査																												
④	試験用環境モデル検討と検証環境の整備																												
	① 試験用環境モデル検討																												
	② 実行検証環境の整備																												
⑤	SDMジェネレータ（プロト）の製作																												
	① 要求分析																												
	② 設計																												
	③ 単体試験用モデル作成																												
	④ コーディング、デバッグ、試験																												
⑥	SDMジェネレータ（プロト）の実行確認																												
⑦	SDMジェネレータ（改善版）の製作																												
	① 要求分析																												
	② 設計																												
	③ 単体試験用モデル作成																												
	④ コーディング、デバッグ、試験																												
⑧	SDMジェネレータ（改善版）の実行確認																												
⑨	認識不調要因発生環境のテストデータ作成																												
	① 移動物体モデル（アセット）作成																												
	② 地形モデル（アセット）作成																												
	③ 道路ネットワーク（OpenDRIVE）設定																												
	④ 認識不調シナリオ設定																												

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

■令和元年度の成果(まとめ)

各種 I/F として、各パートとの調整を行い、基本検証にて各パート間で I/F が正常に動作することを確認した。テストデータについては、DIVP™ の開発のタイミングに、現在 ASAM で取りまとめている OpenSCENARIO フォーマット策定が間に合わないことが判明しているため、策定中の OpenSCENARIO のコンセプトや、他の独自フォーマット等を参考にしたフォーマットで対応した。

SDM ジェネレータ(プロトタイプ)では、テストデータの読み込み/表示、テストデータの作成/編集、テストデータの事前実行確認、テストデータの出力機能を作成した。また、テストデータにおいてモデル、センサー、環境設定、イベントを表示や編集を可能とした。

■次年度以降の計画(まとめ)

次年度も引き続き各パートとの各種 I/F 調整、標準化フォーマットの認識関連の継続調査を実施する。また、SDM ジェネレータ(改善版)はレビューや他パートからの要望を反映した要求について分析を行い、機能を作成する。

認識不調要因発生環境のテストデータについては、本コンソーシアムで優先度を決めた環境モデルのアセットを制作する

(2)令和元年度の成果

① 各パートとの各種 I/F 調整

直接的につながる、A1 パート、A2 パート(SOLIZE Engineering 社)、D2 パートとの I/F 調整を行った。他パートとの I/F の概観は Figure 33 となり、Table 10 の内容の調整を行った。

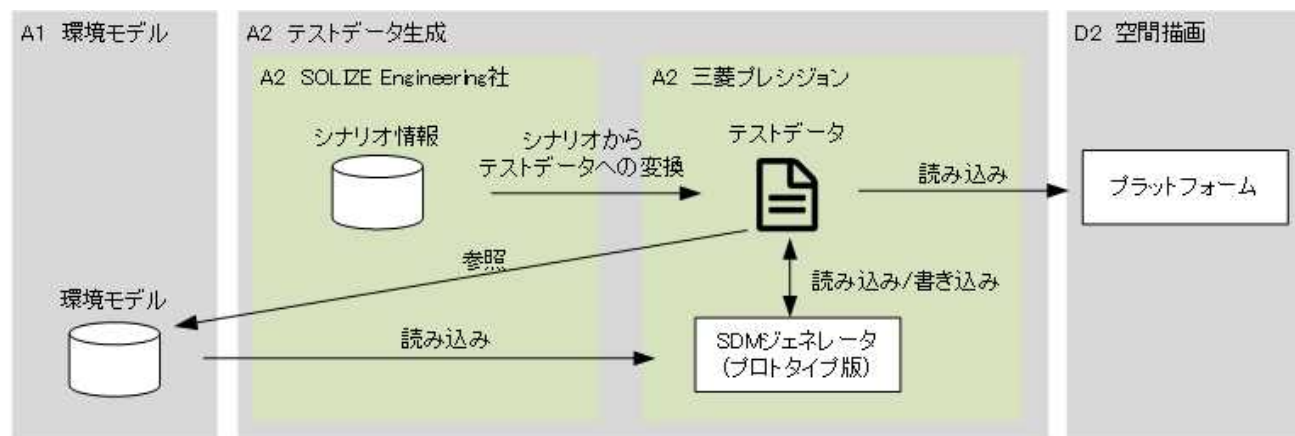


Figure 33 各パートとの I/F

Table 10 各パートとの調整状況

番号	各パート	調整状況
1	A1 パート	SDM ジェネレータ上で読み込み/表示する環境モデルは、FBX ファイルフォーマットとした。シミュレーションに用いる環境モデルは、テストデータに記述された内容を基に必要なモデルを呼び出す形式とした。
2	A2 パート (SOLIZE Engineering 社)	シナリオ情報から独自フォーマットのテストデータへ変換することとした。
3	D2 パート	SDM ジェネレータ(A2 パート)より初期化情報、シナリオにおける環境情報、時間毎の動的オブジェクト(自車両、他車両、人物)情報を UDP にて送信する想定であったが、時間毎の動的オブジェクト制御は D パート内で行うため、テストデータを D パートに渡す形式となった。

テストデータについては、OpenSCENARIO フォーマットを用いることを検討していたが、DIVP™で実施するプログラミングのタイミングで、OpenSCENARIO のフォーマット策定は間に合わないことが判明している。そのため、策定中の OpenSCENARIO のコンセプトや、他の独自フォーマット等を参考にし、OpenSCENARIO と同じ XML 形式のオリジナルのフォーマットで作成した。

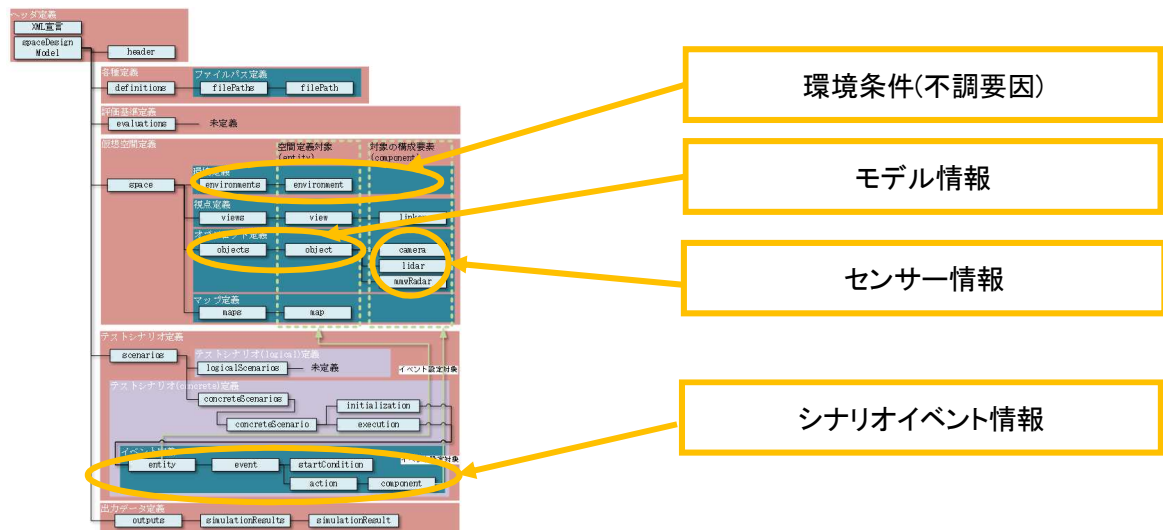


Figure 34 テストデータのデータ構造

OpenSCENARIO については今後の動向を見据えながら、対応について検討していく。

② 標準化フォーマットの認識関連の継続調査

ドイツ PEGASUS プロジェクトで採用の標準化フォーマット OpenDRIVE、OpenSCENARIO 等について、センサ認識関連と設計可能レベルの詳細内容を、バージョンアップに沿って継続的に調査する。

① 標準化団体 ASAM Japan に関する調査

次バージョン制定に関わる OpenDRIVE Concept Project へ参加し、動向を探ると共に、本プロジェクトで必要な機能を提案する活動を実施している。

② 海外渡航調査(ドイツの ASAM のカンファレンス等)

10 月 8 日から 2 日間、ドイツの Daimler AG での OpenDRIVE Concept Member Meeting に参加し、次期 OpenDRIVE の標準化について調査した。参加者は 20 社約 30 人と多く、参加国はヨーロッパ以外では、アメリカと日本からの参加であった。その中で自動運転における標識や標示認識に関する機能付加について提案を行った。

④ 試験用環境モデル検討と検証環境の整備

① 試験用環境モデル検討(部分的実装確認含む)

各センサーモデルの評価に使用する基本モデルによるシーン、およびシナリオデータの要求仕様、および実現方法を検討した。

⑤ SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の製作

㊦ 設計

SDM ジェネレータ(プロトタイプ)では、直接シミュレーション動作に関係するテストデータ生成を扱う。使用用途は、「外部で作成したテストデータの確認/編集」「テストデータの新規作成」とした。必要となる Table 11 の機能を作成対象とした。

Table 11 SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の機能

番号	機能	内容
1	テストデータの読み込み/表示	外部で作成したテストデータを読み込み、テストデータの内容を視覚的に確認できるよう、2D/3DCG 画面上に表示する。
2	テストデータの作成/編集	テストデータを 2D/3DCG 画面にて編集可能とする。
3	テストデータの事前実行確認	テストデータの編集結果確認のため、実際のシミュレーションを行う前に、テストデータのシミュレーションを簡易的に実行する。
4	テストデータの出力	編集したテストデータを XML 形式で出力する。

SDM ジェネレータ(プロトタイプ)で表示/編集可能なテストデータの内容を Table 12 に示す。

Table 12 表示/編集対象のテストデータ内容

番号	編集対象	内容
1	モデル	シミュレーションに使用するモデル(町、車両、人物等)の登録。
2	センサー	車両へのセンサー(カメラ、LiDAR、ミリ波レーダー)の設置へ検知範囲の設定。
3	環境設定	逆光や雨、霧、路面状況等、センサーの不調要因に関係する時刻、天候の設定。
4	イベント	車両の初期位置、速度、走行経路等の設定。

㊧ 単体試験用モデル作成

SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の単体試験用モデルとして、Table 13 のモデルを使用した。

Table 13 単体試験用モデル

番号	分類	モデル
1	地図モデル	Jtown 多目的市街地
2	物標モデル	アルファード、プリウス、ロードポール、カラーコーン

㊨ コーディング、デバッグ・試験

SDM ジェネレータ(プロトタイプ)のコーディング、デバッグ・試験を実施した

⑥ SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の実行確認

製作した SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の実行確認を行った。Figure 35 の流れでテストデータの作成や編集を行う。



出所: 三菱プレジジョン(株)

Figure 35 SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の実行確認

(3)次年度以降の計画

① 各パートとの各種 I/F 調整(継続実施)

期間:2020 年 4 月～2021 年 2 月

内容:A1 パート、B パート、C パート、D パートとの外部 I/F、A2 パートの内部 I/F、テストデータの内容と流れなどを確立するための調整作業を行う。令和元年度に引き続き、作業を実施する。

② 標準化フォーマットの認識関連の継続調査

期間:2020 年 4 月～2021 年 12 月

内容:ドイツ PEGASUS プロジェクトで採用の標準化フォーマット OpenDRIVE、OpenSCENARIO 等の認識関連と設計可能レベルの詳細内容を、バージョンアップに沿って継続的に調査する。

① 標準化団体 ASAM Japan に関する調査

② 海外渡航調査(ドイツの ASAM のカンファレンス等)

⑥ SDM ジェネレータ(改善版)の製作

期間:2020 年 4 月～11 月

内容:評価で使用するテストシナリオに適合したテストデータを生成するためのツールとして、SDM ジェネレータ(Space Design Model Generator)を開発する。前年度作成した SDM ジェネレータ(プロトタイプ)に対する改善や他パートからの要望も反映し、機能開発を行う。

① 要求分析

② 設計

③ 単体試験用モデル作成

④ コーディング、デバッグ・試験

⑦ SDM ジェネレータ(改善版)の実行確認

期間:2020 年 12 月～2021 年 2 月

内容:SDM ジェネレータ(改善版)に対して、テストシナリオを入力し、実行確認する。

⑨ 認識不調要因発生環境のテストデータ作成

期間:2020 年 4 月～2020 年 10 月

内容:本コンソーシアムで検討中のアセットライブラリに対して優先度を決め、優先度の高い環境モデルのアセットから制作する。

① 移動物体モデル(アセット)作成

② 地形モデル(アセット)作成

③ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)設定

④ 認識不調シナリオ設定

5. 1. 3. 2「A2. テストシナリオ及びテストデータ生成ツール構築」(SOLIZE Engineering 株式会社(三菱プレシジョン株式会社より再委託))

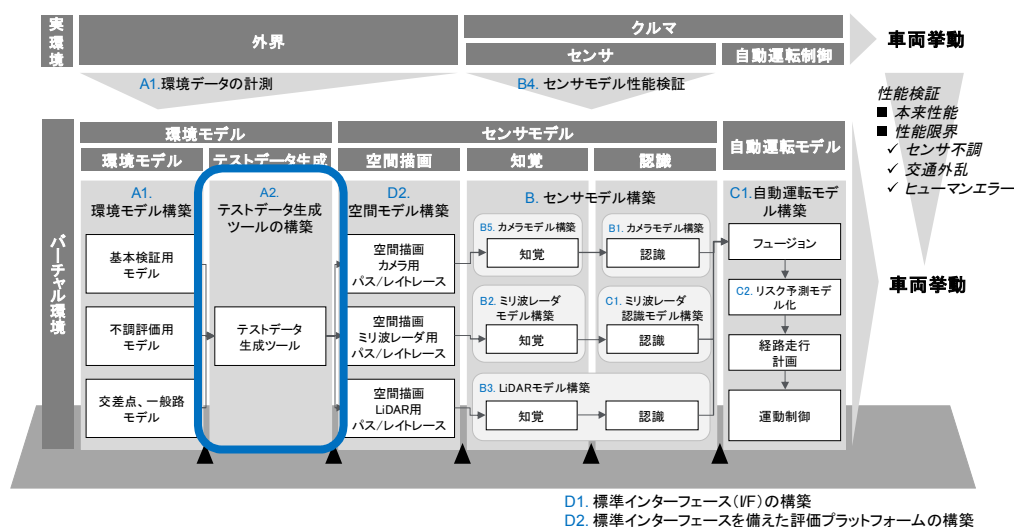


Figure 36 本研究の位置付け

A2 パートで構築する SDM ジェネレータ(Space Design Model Generator)の開発のうちセンサー不調に関するテストスクリプトを生成する環境を構築する。

■ 事業目的

本事業としては、自動運転システムの評価可能性の向上及び国内ベンダーの競争力向上を目指す目的で、自動運転システムの安全性の評価を仮想空間上で効率的に実施するための、標準化された評価プラットフォームの構築を行う。

その中で、A パートは、走行安全性をシミュレーションで評価するための、走行環境モデルの構築を行うが、A2 パートは、走行環境のデータベースから、評価で使用するテストシナリオに適合したテストデータを生成するためのツールとして開発される SDM ジェネレータの入力として、センサー不調に関するテストシナリオを生成する環境を構築する。

■ 事業概要

SDM ジェネレータの入力となるセンサーの不調シナリオについて、記述方法の検討と記述されたシナリオからシミュレーターで実施可能なフォーマットでのテストシナリオの自動生成を環境を構築する。

■ 実施計画

事業項目	平成 30 年度		令和元年度				令和 2 年度			
	第 3 四半 期	第 4 四半 期	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期
① センサー不調シナリオの要求分析		→								
② センサー不調の記述方法の検討		→	→	→		→	→			
③ 不調スクリプトの生成ツールの作成 1				→	→	→	→			
④ 不調スクリプトの生成ツールの作成 2								→	→	→
⑤ 不調シナリオの実行						→			→	→

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

■令和元年度の成果(まとめ)

PEGASUS プロジェクトのデータ階層モデルをベースに、シナリオに現れる物体、条件などを洗い出し、整理した。また、PEGASUS プロジェクトのシナリオ階層モデルをベースに、抽象的な機能シナリオを、論理シナリオに変換する方法を検討した。

並行して、実測データをテストスクリプトに変換してシナリオジェネレータに渡すためのソフトウェアのプロトタイプを実装し、時間変化のないシナリオについて、生成したテストスクリプトで正確にシナリオジェネレータ、およびプラットフォームが実行できることを確認した。

■次年度以降の計画(まとめ)

次年度は、対象範囲を広げて、機能シナリオから論理シナリオに変換する方法を検討し、プロトタイプ実装を行う。

並行して、実測データをテストスクリプトに変換できるソフトウェアのプロトタイプについても、変換できる対象を拡張して実装する。

(2)令和元年度の成果

① センサー不調シナリオの要求分析

センサー不調には、環境に不調の要因が存在する場合が数多く考えられる。天候、気象などの自然条件、対向車、人、周辺の建物や障害物の形状、および、それらの色、反射などの物理特性にも不調の要因がある場合があり、また、それらの組み合わせによるものもある。

そのため、まずその基礎として、日本の道路環境に現れうる要素、条件を洗い出す作業を行った。ドイツの PEGASUS プロジェクトによるデータ階層モデルにおける第 6 層以外の要素を洗い出し、「環境要素分解」として整理した。(第 1 層:道路層、第 2 層:該当設置物および規則層、第 3 層:一時的変更およびイベント層、第 4 層:移動物体層、第 5 層:環境条件層、第 6 層:デジタル情報層)

また、この環境要素分解をベースにして、OEM 各社と DIVP™ プラットフォームのユースケースについて議論し、シナリオの要求を整理した。



出所: SOLIZE Engineering (株)

Figure 37 環境要素分解

② センサー不調の記述方法の検討

シナリオの記述方式としては、こちらも PEGASUS プロジェクトで検討が行われている、3 階層モデルをベースに検討した。第 1 層機能シナリオ、第 2 層論理シナリオ、第 3 層具体シナリオのうち、主に機能シナリオから論理シナリオをいかに生成するか、の部分を中心に検討を行った。不調シナリオの機能シナリオを記述するのに必要なオントロジー(語彙と語彙間の関係性を定義したデータベース)および構文パターン(文の記述方法を規定する仕組み)をもとにシナリオを記述し、それをもとに機械的に論理シナリオに変換する仕組みとして検討した。今期は NCAP シナリオの一部を例として、実際に機能シナリオを論理シナリオに展開する例を作成し、その可能性を探った。

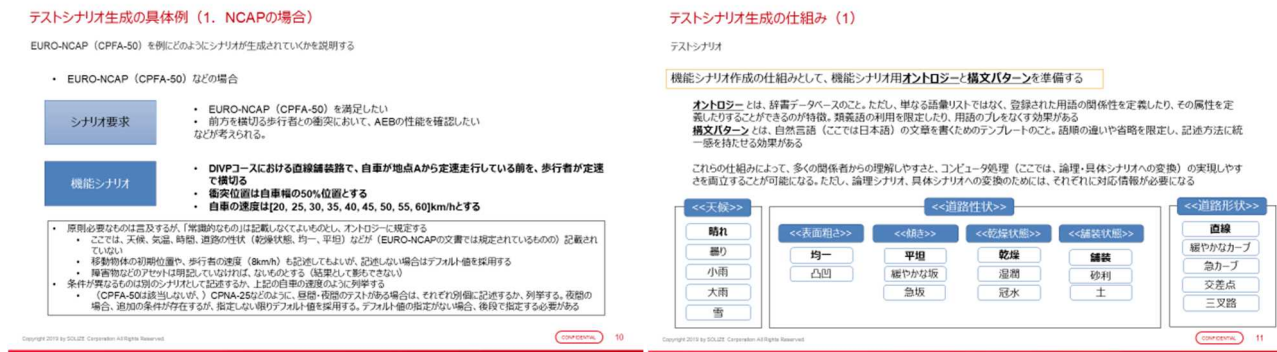


Figure 38 シナリオ不調記述方式の検討

③ 不調スクリプトの生成ツールの作成 1

プロジェクトの検証フェーズにあわせて、計測されたデータからシナリオジェネレータに入力するためのシナリオを作成するソフトウェアのプロトタイプを作成した。シナリオとして検証する対象が、静的な物体に関するシナリオであったため、静的なシナリオについての検証を行った。今年度中にシンプルな動的シナリオについても実装完了予定である。

また、並行して機能シナリオの記述の整合性を時相論理を活用して検証するソフトウェアモジュールも作成中である。こちらについては来年度中盤(2020 年 10 月頃)完成を目処に開発中である。

④ 不調シナリオの実行

上記で実装した生成ツールの実行を行い、途中様々な問題はあったものの正しくシナリオが生成され最終的にプラットフォーム側で実行できることが確認できた。

(3)次年度以降の計画

② センサー不調の記述方法の検討

期間:2020 年 4 月～6 月

今年度検討した記述方法をもとに、記述方法の拡充を行う。NCAP に加えて、プロジェクトで実施する予定の拡張シナリオや不調シナリオについても記述方法の検討を行い、実装につなげる。

④ 不調スクリプトの生成ツールの作成 2

期間:2020 年 7 月～12 月

上記で検討したセンサー不調のシナリオを、不調スクリプトとしてソフトウェアとしてのプロトタイプ実装を行い、また時相論理を用いた整合性確認についても取り入れる。

⑤ 不調シナリオの実行

期間:2020 年 12 月～2021 年 3 月

上記で作成したプロトタイプ実装を活用して、不調シナリオをプラットフォーム上で実行する不調スクリプトを作成し、プラットフォームで正常に動くことを確認する。

5. 2 「B.センサリファレンスモデル構築と評価ツールの構築」のための研究開発

5. 2. 1 「B0. プロジェクト推進・シミュレーション PF 評価」(学校法人幾徳学園神奈川工科大学)

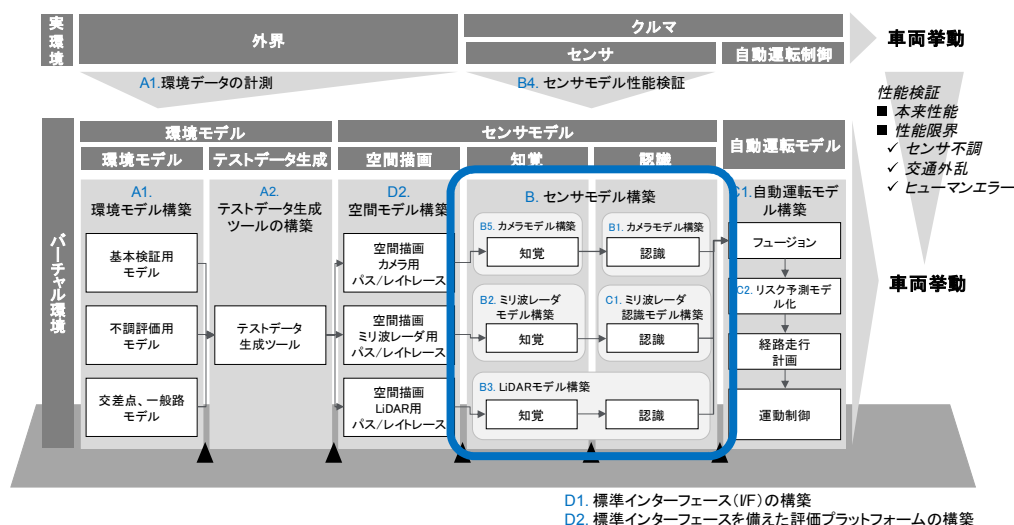


Figure 39 本研究の位置付け

■ 事業目的

A～D パートを統括したプロジェクト全体の進捗、予算、課題、成果物の各管理を行い、より優れた活動成果を得られるようにする。また、A～D パートで構築したテストケース、モデル、ツールを結合評価し、実機測定の結果との比較等を通してシミュレーションの性能を確認する。

■ 事業概要

活動全体のマネージメントとして、全体の進捗、予算、課題、成果物の各管理を継続的に実施する。また月次で全体ミーティングを開催し、成果を確実なものとする。

カメラ、ミリ波レーダ、LiDAR の各センサーを用いた機能モデルシミュレーション(行動計画まで含めた AD システム評価を可能にする Closed Loop シミュレーション)、および物理モデルシミュレーション(センサー単体の高精度な評価を可能にする Open Loop シミュレーション)について、A～D の各パートで構築するテストデータ、センサーモデル、行動計画モデル、シミュレーション PF を結合してシミュレーションを実施し、シミュレーションの性能を確認する。

■ 事業内容

① プロジェクトマネジメント

A～D パート全体に渡る本プロジェクトのプロジェクト管理を行う。各団体の進捗、予算、課題、成果物を管理し、遅滞なくプロジェクトが進行するよう適宜指示する。各団体とのデータ共有やメール等での確認、月次で開催するミーティングをプロジェクト管理の機会とする。

また、SIP のシステム実用化 WG や NEDO への活動報告資料作成を担う。また、推進委員会は METI 事業との共同開催を検討し、当該プロジェクトとの協調・活動内容の棲み分けを図る。

当活動は、学校法人幾徳学園神奈川工科大学から、デロイトトーマツコンサルティング合同会社及び SOLIZE 株式会社への業務委託(外注)により実施する。

研究開発成果をわかりやすく外部に発信するために動画を制作する。このための費用として「動画制作費」を計上する。

② 既存シミュレーション PF のベンチマーク評価

機能モデルシミュレーション、および物理モデルシミュレーションについて、市販もしくは公開されているシミュレータを使用し、ベンチマーク評価を実施する。

悪天候やトンネル出口などの様々な環境条件、モデルを組み込み、各種条件下でのセンサモデル～FOV モデル等の繋がり方、また3D 点群データ出力、FOV 認識出力などのセンサー出力の内容を確認する。また、学校法人幾徳学園神奈川工科大学の保有車両に dSPACE 社製のキットを用いて VILS (Vehicle In the Loop Simulation) 環境を構築し、センサーによる認識を模擬した車両での挙動を確認し、センサー認識シミュレーションの有効性を検証する。

これらのシミュレーション実行環境として「機能シミュレーション実行用高速計算機、大型ディスプレイ」を購入する。競合するシミュレータをベンチマーク評価するためのツールとして「ベンチマーク評価対象ツール①～③」を購入し、評価するシミュレータを使用するための「シミュレータライセンス費」を支払う。センサー認識シミュレーションとして「Lider認識ソフトウェアライセンス費」を支払いその有効性を検証する。

③ 機能シミュレーション PF 評価

A～D パートの成果物を結合し、機能シミュレーション PF の評価を実施する。

機能シミュレーションとしては、安全性評価が必要なシナリオに対する様々なセンサー構成での AD システム全体の評価、またセンサー不調要因を取り込んだシナリオでの AD システム全体の評価が実施可能なことを確認する。

評価に際しては同等のセンサーを搭載した実車でのセンサー計測、車両制御の結果と照らし合わせ、シミュレーション結果と実際の一致具合を測る(株式会社 SOKEN と連携)。

④ 物理シミュレーション PF 評価

A,B,D パートの成果物を結合し、物理シミュレーション PF の評価を実施する。

物理シミュレーションでは、主に各センサー固有の認識不調に至る事象を組み込んだテストシナリオに対して、センサーモデルの知覚の出力、認識の出力を確認する。これをセンサー実機での計測結果と照らし合わせてシミュレーションの有用性を評価する。

また、シミュレーションによる知覚の既存の認識ロジックを組合わせた検証として、インジェクション技術の有用性を確認する。

物理シミュレーションを検証するシステムを開発するため「物理シミュレーション検証用開発システム（モニタ、PC）」を購入する。開発したシステムを高速で実行するために「物理シミュレーション検証用高速計算機（RTX8000×8を2台）」を購入する。膨大な実測データを用いて物理シミュレーションを検証する。膨大な実測データ格納用として「物理シミュレーション検証用ストレージ」を購入する。インジェクション技術の有効性の検証のため、「センサインジェクション設計・構築作業（外注）」を支払い、「センサインジェクション実行環境（センサベンチ）」を購入する。

⑤ 機能-物理シミュレーションの連携評価

物理シミュレーションの結果を反映した機能シミュレーションを実施し、モデルを縮退することで失われる性能について、各種不調要因ごとに評価を実施する。

又、3D 点群データ出力、FOV 認識出力などの評価指標を明確にしていく。

⑥ 総合検証

構築するシミュレーション PF が自動車工業会をはじめとした産業界の期待に適合したものであるか、将来的な安全性評価が必要なシナリオ、環境条件でのシステム評価の拡充を見据えて有用であるか総合的な視点で評価する。

また、OEM 等の競争領域となっている認識処理部分の評価をどのようなツール環境にしたら可能かを研究課題として、実機やオブジェクト形式ソフト、シミュレータ PF を組み合わせて、JAMA ニーズと連携して詰めていく。活動全体のマネジメントとして、全体の進捗、予算、課題、成果物の各管理を継続的に実施する。また月次で全体ミーティングを開催し、成果を確実なものとする。

■ 実施計画

事業項目	平成 30 年度				令和元年度				令和 2 年度			
	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期
① プロジェクトマネジメ ント												
② 既存シミュレーション PF ベンチマーク												
③ 機能シミュレーショ ン PF 評価												
④ 物理シミュレーショ ン PF 評価												
⑤ 機能-物理シミュレ ーションの連携												
⑥ 総合検証												

月次定例会：毎月実施
推進委員会：四半期ごとに実施

既存 PF 環境構築

既存 PF 評価

インジェクション
実施決定

インジェクション・VHILs 構築

機能シミュレーション PF 評価

物理シミュレーション PF 評価

機能-物理シミュレーション連携

まとめ

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

プロジェクトで研究開発の対象とするシミュレーション機能/アセットの優先順位を既存プラットフォームのベンチマーク、国内 OEM との意見交換(次項:DIVP™ ワークショップ参照)、国際連携を通じて決定した。

複数の企業で並行開発した各モデルを一元的にバージョン管理できる環境を構築し、システムとして結合テストを可能にした。その結果、目標とする機能シミュレーション PF を用いたクローズドループの動作検証を行い、開発プロセスを決定できた。

物理シミュレーション PF で使用する検証用シナリオの評価を行った。また、DIVP™ の活用先として考えられるカメラセンサにおける HILS(Hardware-in-the-loop Simulation)/VILS(Vehicle-in-the-loop Simulation)の検討と開発を進め、インジェクションタイプ、VILS タイプの 2 種の環境構築が進展した。

次年度も引き続き、ユーザとなる OEM との定期的意見交換により精度と完成度を上げていく。また、既存シミュレーションのベンチマークを続け、標準的な I/F を持ったシミュレーション PF とする。DIVP™ の有用性が客観的指標で示せるように、物理シミュレーション PF ではセンサ不調条件や実路環境での評価、HILS/VILS での検証を進め、知見及びデータを蓄積していく。

(2)令和元年度の成果

① プロジェクトマネジメント

プロジェクト内のマネジメントとして、A～D パート全体に渡るプロジェクト管理を行った。各団体の進捗確認、課題管理、成果物構築を推進した。結果、各社が計画に沿った研究開発を推進でき、全体の成果として創出することができた。SIP システム実用化 WG での報告、SIP-adus ワークショップ（国際連携も含む）、国内主要 OEM との意見交換を行う DIVP™ ワークショップの開催等を通じて、広く本プロジェクトの重要性や有用性を理解してもらうことができた。

- 日本自動車工業会との協議を通じて、プロジェクトで優先して実現/検証する評価シーンの選定を実施した。また、独 PEGASUS プロジェクトが提唱しているシナリオ表現方法により整理し、優先する環境モデルを明確化した。（Figure 40）

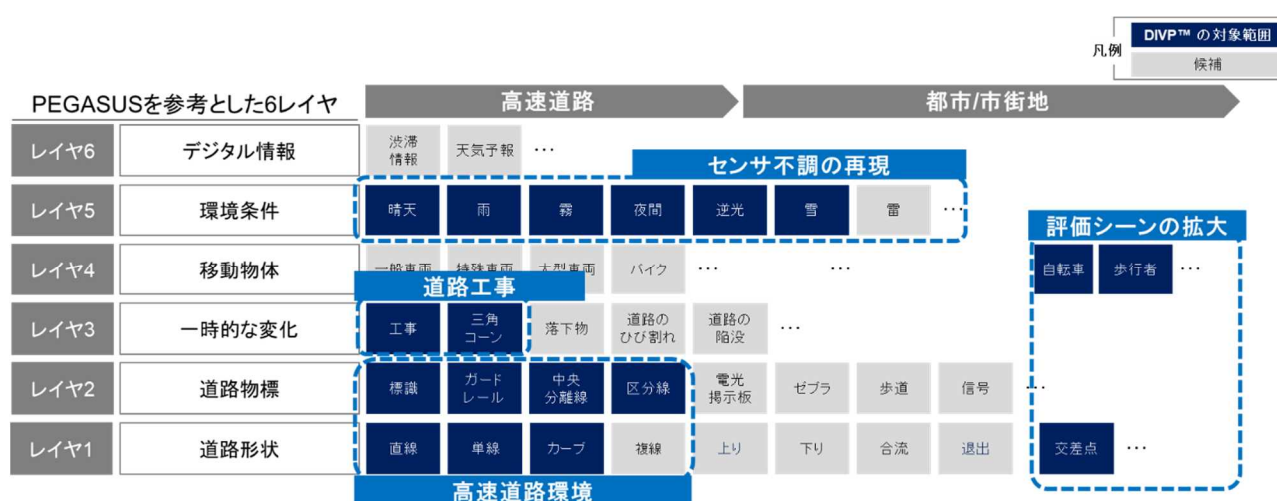


Figure 40 本プロジェクトで優先するシーン(抜粋)

- 上記評価シーンで重要かつ再現性が高い実験が難しい雨と雪の検証に対し、防災科学技術研究所が所有している大型降雨実験施設、雪氷環境実験棟(Figure 41)を借用する計画を立てている。

本実験施設は日本唯一の検証が可能な施設となっている。大型降雨実験施設ではゲリラ豪雨相当(300mm/h)の雨量を2時間以上再現することが可能であり、崖崩れなどの災害発生メカニズムの解明研究などに活用されている。雪氷環境実験棟は自然界の雪の結晶(樹状結晶)の降雪が可能であり、人工降雪機などの小さな氷の粒とは異なっている。また、実験条件の設計や実験当日の補助などの支援もいただく予定である。



出所: 神奈川工科大学

Figure 41 大型降雨実験施設(左)、雪氷環境実験棟(右)

- プラットフォーム開発を効率的に進めるため、コンソーシアム参加団体のみがアクセスできるファイルサーバを神奈川工科大学内に設置した。(Figure 42) 実験データの管理を行うファイルシステムとプラットフォームのソースコードを共有/管理するための GIT システムを導入した。(Figure 43)



出所: 神奈川工科大学

Figure 42 KAIT ファイルサーバ

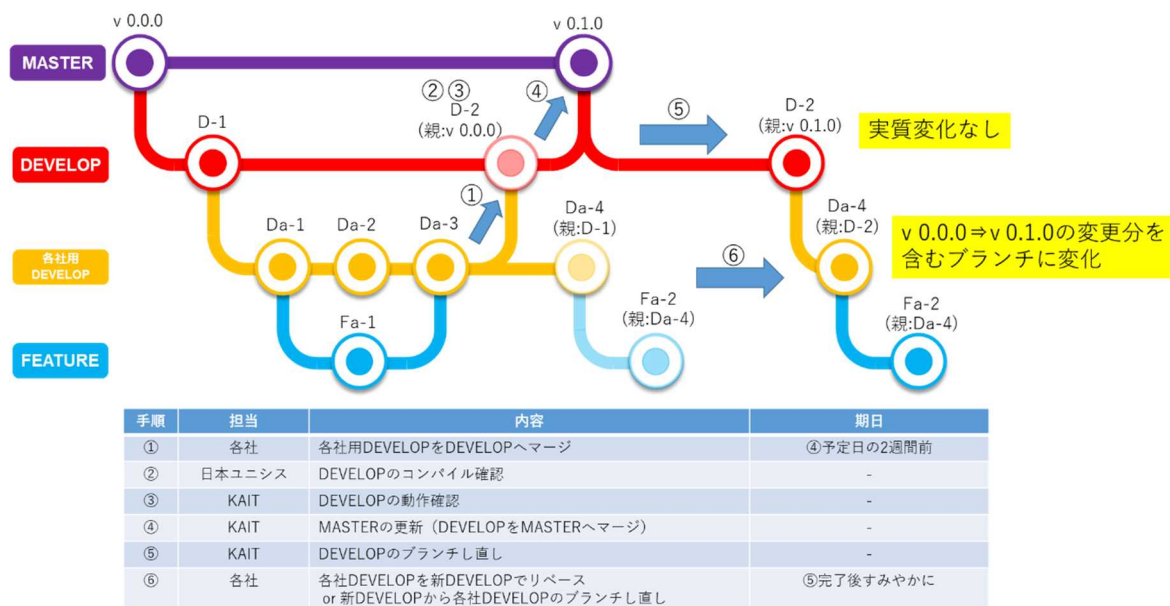


Figure 43 ソースコード管理フロー

■ 月次で全団体参加のミーティング開催し課題進捗を測った。

- DIVP™ 推進委員会
- 各団体の進捗・研究結果・課題を共有の上、随時課題解決を行った。各団体の進捗は KPI を用いて見える化すると同時に、研究結果は図表を用いて共有した。
- 知財運営委員会
- 各者研究成果、知財にまつわる協議協議の実施。
- 「DIVP™ 独占禁止法遵守のための誓約事項」
- 月次ミーティング開始時に、毎回各団体持ち回りで誓約、独禁法の周知徹底を行った。

■ また、プロジェクトに関連する各種会議体、組織との連携活動を行った。

- SIP のシステム実用化 WG： 当プロジェクトの概要紹介を行った。
- METI が所管する Sakura プロジェクトと共同の推進委員会を開催を検討し、当該プロジェクトとの協調・活動内容の棲み分けを図った。
(令和元年 6 月 18 日、令和元年 9 月 4 日、令和元年 12 月 4 日、令和 2 年 2 月 20 日)
- 日本自動車工業会：「仮想空間での自動走行評価」に関して議論を行い、「認識」部分の出力インタフェース標準化の重要性を共有した。

■ 外部発表と連携

- SIP-adus work shop： 令和元年 11 月 12 日～14 日、SIP 自動運転のワークショップにて講演、ポスター展示、Safety Assurance の国際会議に参加し、DIVP™ の国内外にプロジェクトの位置づけを示し、意見交換を行った。国内外の一部参加者との国内・国際連携を進めていくことを合意、引き続きの活動とした。
- DIVP™ ワークショップ： 令和 2 年 1 月 23 日～24 日、日本自動車工業会を通して国内 OEM 5 社

(いすゞ自動車、トヨタ自動車、日産自動車、本田技研工業、マツダ自動車)から計 20 名参加いただき、(Figure 44)DIVP™ の紹介と研究開発に関する意見交換をした。(Figure 45)本意見を踏まえて今後の計画の優先順位検討などを実施している。今後も 1 回/月程度で意見交換を積極的に実施予定している。以下、意見の一例。

- ✓ 一般に様々シミュレーションは様々に存在するが一致性の検証されたものは無い
- ✓ 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
- ✓ 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
- ✓ 今のレベルでも十分競争力があると考え、早く使いたい



出所: 神奈川工科大学

Figure 44 DIVP™ ワークショップ参加者 集合写真



出所: 神奈川工科大学

Figure 45 DIVP™ ワークショップの様子

② 既存シミュレーション PF のベンチマーク評価

既存シミュレーション PF のベンチマーク評価として、市販されているシミュレータのセンサモデルとシナリオ生成ツールのそれぞれのベンチマークを実施した。

■ ベンチマーク対象とする既存シミュレータ PF

Table 14 に具体的な既存シミュレーション PF とそれぞれの選定理由を示す。

Table 14_ベンチマーク対象とするシミュレータ

メーカー	シミュレータ名/バージョン	調査対象	選定理由
IPG Automotive	CarMaker / 8.0、8.1.0	センサモデル、シナリオ生成	運転シミュレータとして実績が多く、他ツールとの連携機能が豊富
Siemens	PreScan / 8.6.0、2019.1、2019.2、2019.3	センサモデル	物理ミリ波モデルの機能拡張に注力している
MSC ソフトウェア	VIRES Virtual Test Drive / 2.2.0	センサモデル	レイトレースを用いた物理カメラモデルに注力している
PTV	Vissim / 2020	シナリオ生成	交通流シミュレータとして実績が多い

■ ベンチマーク結果

➤ センサモデルのベンチマーク結果

センサモデルとして、DIVP™で構築するカメラモデル、LiDAR モデル、ミリ波レーダモデルを調査対象とした。カメラモデルについての結果を Table 15 に、ミリ波レーダモデルについての結果を

Table 16 に、LiDAR モデルについての結果を

Table 17 に、それぞれ示す。ここでのベンチマーク項目は、DIVP™で再現予定のものを中心に各センサモデルで考えられる現象から構成されている。ベンチマークとして、製品のバージョンアップでの対応状況確認も行っているが、表での結果は最新バージョンのものを用いている。対応しているものを「○」、一部対応しているものを「△」、非対応のものを「×」として評価している。ここで、VIRES Virtual Test Drive (VTD) の LiDAR モデル、レーダモデルはサンプルモデルを用いた結果を示している。

Table 15 カメラモデル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	○	×	○	△

光物性	付着物による影響	×	○	×	×
伝達	空間中での散乱(関与媒質)	○	×	×	△
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	○	△	×	×

Table 16 ミリ波モデル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	○	×	×	×
光物性	付着物による影響	○	×	×	×
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	×	×	×	×

Table 17 LiDAR モデル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	○	×	×	×
光物性	付着物による影響	○	×	×	×
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	○	×	×	×

➤ シナリオ生成ツールのベンチマーク結果

シナリオ生成ツールのベンチマーク結果を Table 18 に示す。ここでのベンチマーク項目は、SDM ジェネレータで機能対応するものを中心に各機能に対して、対象項目の詳細から構成されている。環境モデルとオープンループの制御対象の機能に対しては、ベンチマークとして以下の評価軸で調査を実施した。

- 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能
- L: 論理シナリオで記述可能
- C: 具体シナリオで記述可能
- △: 一部対応
- ×: 非対応

また、それ以外の機能に対しては、センサモデルのベンチマークと同様に、対応しているものを「○」、一部対応しているものを「△」、非対応のものを「×」として評価している。

Table 18 シナリオ生成ツールのベンチマーク結果

機能	設定	SDM-G (2020 年度)	CarMaker 8.1.0	Vissim 2020
環境モデル				
	道路・路側物 (Layer 1)	C L	C	C
	標識・信号・ガードレール・建物 (Layer 2)	C L	C	C
	工事・交通規制 (Layer 3)	C L	C	C△
	天候・気温・湿度・路面状況・逆光 (Layer 5)	C L	C L	×

制御対象（オープン）				
	自車	M C L	M C L	C
	他車	M C L	M C L	C
	歩行者	C	C	C
	自転車	C	C	C
	NCAP ダミー	検討中	×	×
	その他（動物等）	C	C	×
制御対象（クローズ）				
	自車	M C L	C L	C
	他車	M C L	C L	C
	歩行者	C	×	C
	自転車	C	×	C
	NCAP	検討中	×	×
	その他（動物等）	C	×	×
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	×	×

■ ベンチマークから示される DIVP™ および SDM ジェネレータの特徴考察

➤ DIVP™ の特徴

DIVP™ のセンサモデル全般に対して、既存シミュレータと異なる点は、実機との検証があることである。また、カメラモデルについて、Table 15 から物体表面での透過、空間中での散乱、車両挙動による影響、に完全に対応しており、既存のものと比較して優位性があると考えられる。

ミリ波レーダモデルについて、

Table 16 から既存シミュレータと比較して、他車両光源(干渉)、物体表面での透過、物体表面の劣化、付着物、反射時の位相・偏波変化、複数回透過、車両挙動のそれぞれの影響に完全に対応していることがわかる。

LiDAR モデルについても

Table 17 から、既存シミュレータと比較して、太陽光の放射輝度、天空光の放射輝度、物体表面での透過、物体表面の劣化、付着物、複数回透過、自光源、走査、車両挙動のそれぞれの影響に完全に対応している点が挙げられる。

➤ SDM ジェネレータの特徴

シナリオ生成ツールのベンチマーク Table 18 から、既存のものと比較して、環境モデルの道路・路側物、標識・信号・ガードレール・建物、工事・交通規制、クローズドループの制御対象の動物、他ツール連携の OpenDrive のインポート、エクスポートのそれぞれの機能に完全に対応していることがわかる。

ただし、2020 年度では、対応していないテスト評価の自動化・記録の機能はすでに IPG CarMaker で対応しており、機能実装の優先順位が高いと考えられる。

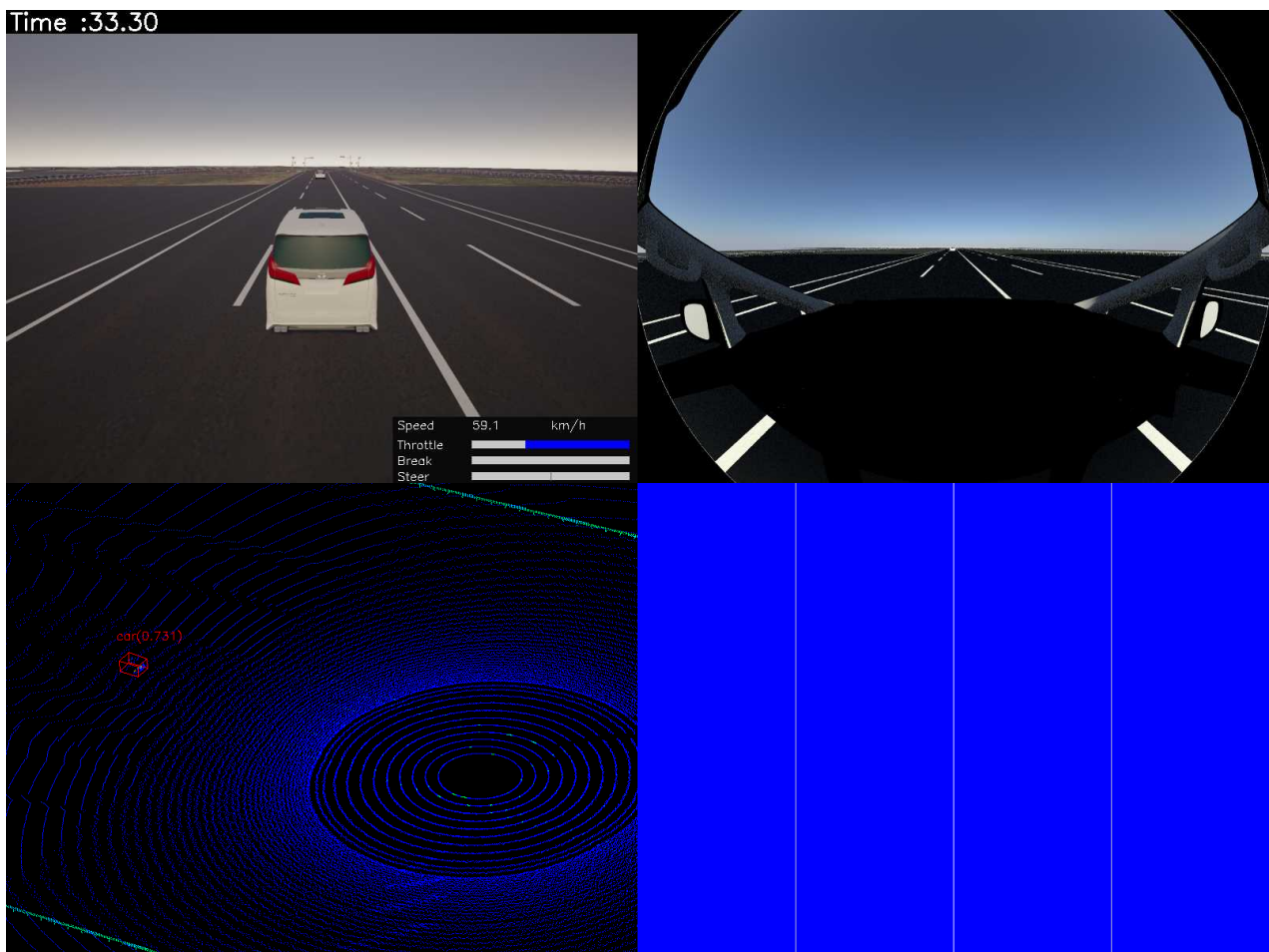
現状、シナリオの記述方法、データベース構造などは実用的かつ一般的に定まったものが存在しておらず、国際連携を通じて協議が必要だと考える。

③ 機能シミュレーション PF 評価

A～D パートで開発した単体の機能シミュレーションモデルを結合し、クローズドループが可能なシミュレーション PF 環境をクローズドループ検証用ワークステーションに構築した。各モデルの出力が D パートで定義した I/F となっているか検査し、NCAP 相当のシナリオによってクローズドループでシミュレート可能なことを確認した。機能シミュレーション PF の概要を以下に示す。

- 入力:シナリオ、 出力:各モデルの出力、車両挙動
- A パートで開発したマップ、アセットを使用
マップ:J-town、 自車両:アルファード、 認識対象:プリウス
- B パートで開発したカメラセンサ、LiDAR センサ、ミリ波センサと真値センサを同時にシミュレート
- C パートで開発したレーントレース、先行車追従/自動ブレーキ制御モデルがセンサ出力で動作
- 各モデルの出力は D パートで定義した I/F を使用
- センサで認識する他車両や自転車の挙動もシナリオで設定可能

PF を用いてレーントレースと先行車追従シナリオをシミュレートしている様子を示す。(Figure 46)



出所: 神奈川工科大学

Figure 46 センサモデル出力(左上:車両制御値、右上:カメラ、左下:LiDAR、右下:ミリ波レーダ)

④ 物理シミュレーション PF 評価

a) 一致性検証用シナリオ(事前検証)の評価

A パートで製作した測位計測器(GPS、IMU)の計測結果に基づく検証用シナリオとマップ、アセットに対し、位置姿勢の再現性検証を実施した。測位計測として精度が高い RTK-GNSS、IMU を使用している(詳細については SOKEN 資料を参照)。実機結果とシナリオによるシミュレーション結果を比較し、ズレが大きい場合は誤差要因を判定し、シナリオやマップ、アセットの修正を実施した。最終的に各要素に含まれるであろう誤差量を推定しまとめた。本検証により、以下の項目の修正を行いシナリオの一致性を向上させた。今後の検証ではセンサ搭載による誤差を軽減させるため、各センサの設置位置キャリブレーション工程を追加した。

- 計測座標系 → シナリオ座標系への変換方法の修正
- 計測姿勢 → シナリオ姿勢への変換方法の修正
- 真北 → 方眼北への変換を追加
- 計測器搭載による車両姿勢変化の考慮

主にカメラセンサの出力に対して実機結果とシミュレーション結果との差異を Figure 47 のフローで評価し、誤差要因を推定、各パートでの修正/確認を行った。

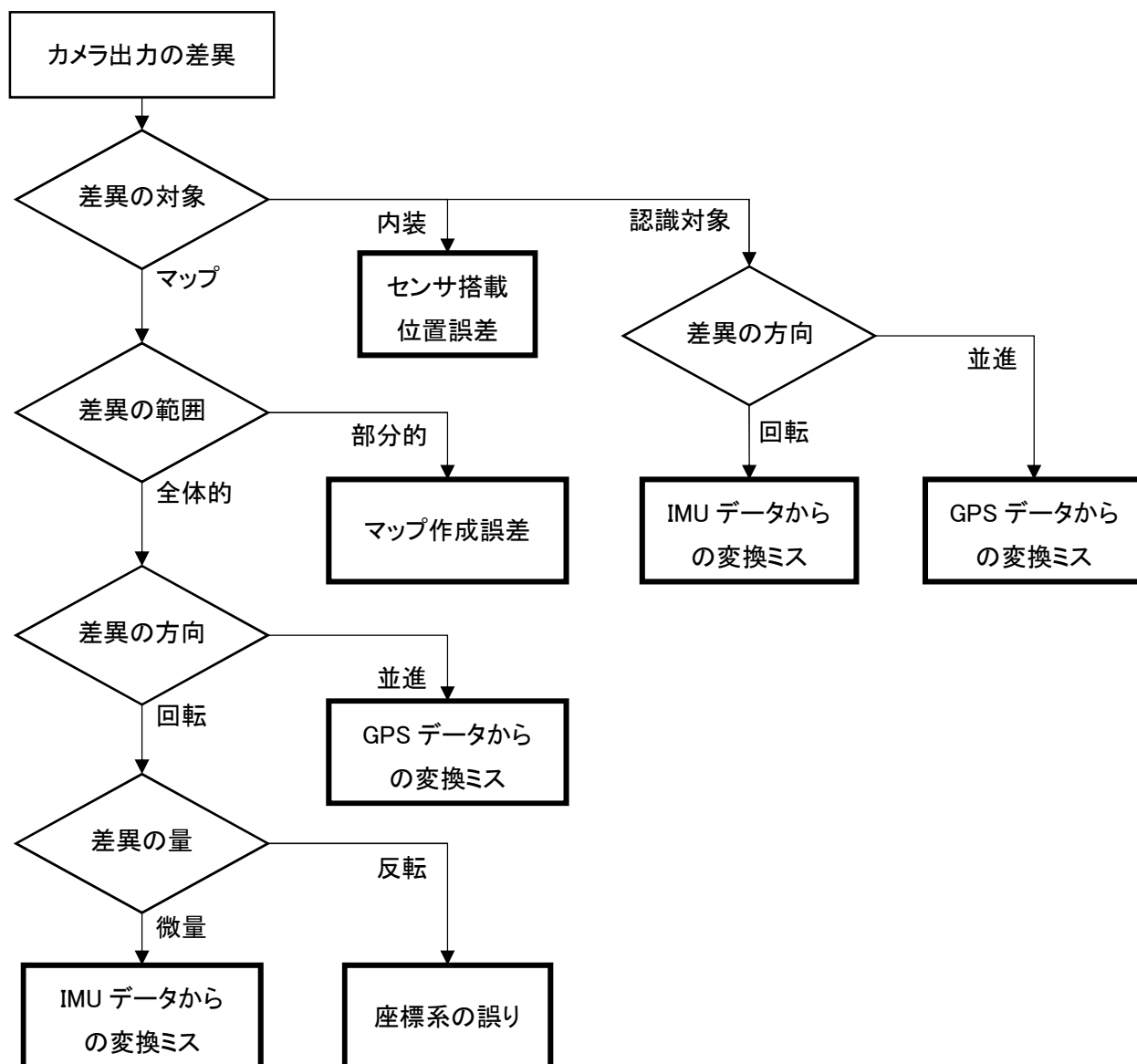


Figure 47 誤差要因の推定フロー

上記フローでシナリオ確度を向上させたが使用した GNSS、IMU には計測誤差、設置誤差が含まれる。各計測器の仕様から誤差量をまとめ、実機結果とシミュレーション結果の差が Table 19 にまとめる範囲内である場合は一致していると判断する。

Table 19 シナリオ作成で含まれるであろう誤差量

大項目	小項目	要因	実データに対する差
車両配置	X, Y, Z	GNSS 精度	$\pm 10 \text{ mm}$ (1 σ)
	Roll, Pitch, Yaw	GNSS 精度	Roll, Pitch $\pm 0.03 \text{ deg}$ (1 σ) Yaw $\pm 0.15 \text{ deg}$ (1 σ)@40km/h
センサ配置	X, Y, Z	取付精度	$\pm 25 \text{ mm}$ (暫定)
	Roll, Pitch, Yaw	取付精度	$\pm 0.5 \text{ deg}$ (暫定)
	Yaw(LiDAR)	取付精度	$\pm \text{数 deg}$ (実験後補正)
マップ	水勾配	マップ化精度	Z 方向+0.03~0.12m ほど
カメラ	FOV	レンズ取付精度(推測)	水平画角+8%ほど

b)カメラ HILS に向けたセンサインジェクションシステムの開発

本プロジェクトでは DIVP™ 活用の一つとして、各センサの結果をもとに物標を認識する車載コンピュータ（以下、センサ ECU）をブラックボックス評価できるシステムが必要であると考えている。そのテストケースとしてカメラセンサに注目した HILS (Hardware-in-the-loop Simulation) を検討を実施した。

本 HILS の構成を Figure 48 に示す。DIVP™ 内の環境モデル～センサ知覚モデルを用いてセンサ ECU に入力する画像データを作成し、インジェクション技術を用いてカメラ ECU に画像を入力し、認識結果を DIVP™ に戻しクロズドループを構成する。ここで示すインジェクション技術とは、電子的な画像データを電気信号へ変換し ECU へ入力する、シミュレータとハードウェアを通信させる技術を指す。

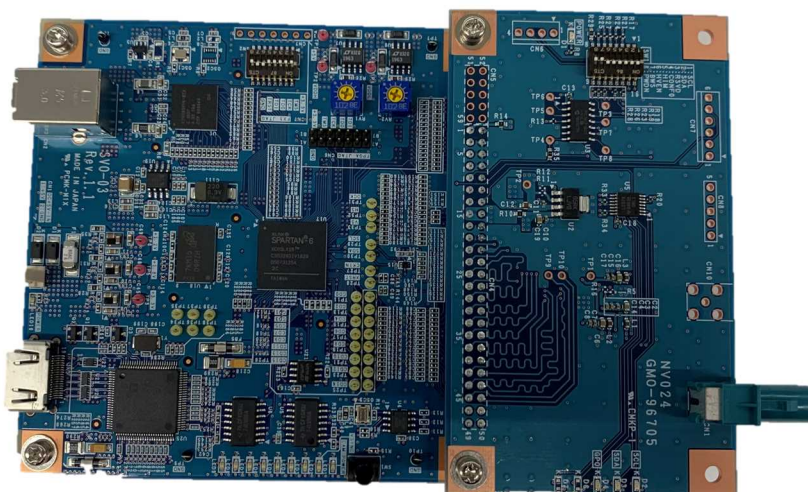


Figure 48 カメラ HILS 構成

本 HILS で評価するカメラ ECU は日立オートモティブシステムズがカメラ認識モデル評価で使用する実機カメラ認識とする。カメラモデルはソニーセミコンダクタソリューションズ製 ISX019(FOV180)に相当する簡易モデルを使用する。

カメラ HILS 全体のシステム検討、インジェクション技術を用いて DIVP™からのカメラ知覚出力を ECU へ入力する装置(以下、インジェクション装置)の仕様検討を行い、インジェクション装置を開発した。(Figure 49)DIVP™- インジェクション装置 - カメラ ECU のブロック図を Figure 50 に、インジェクション装置の主な仕様を Table 20 に示す。また、本システムでの機器構成を Figure 51 に示す。

インジェクション装置とカメラ ECU の接続は GMSL を使用している。これは、カメラから出力される大容量データを通信するための高速シリアル通信であり、近年多くのカメラで通信手段として使用されている。本インジェクション装置でも GMSL を採用することで、標準的な I/F の検証も合わせて実施する。



出所: 神奈川工科大学

Figure 49 インジェクション装置

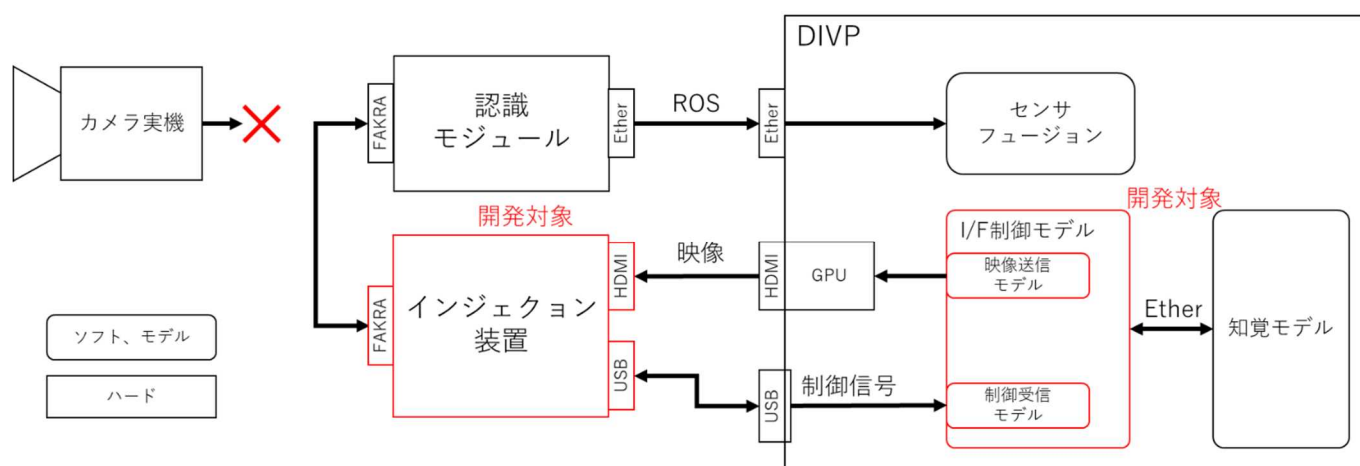
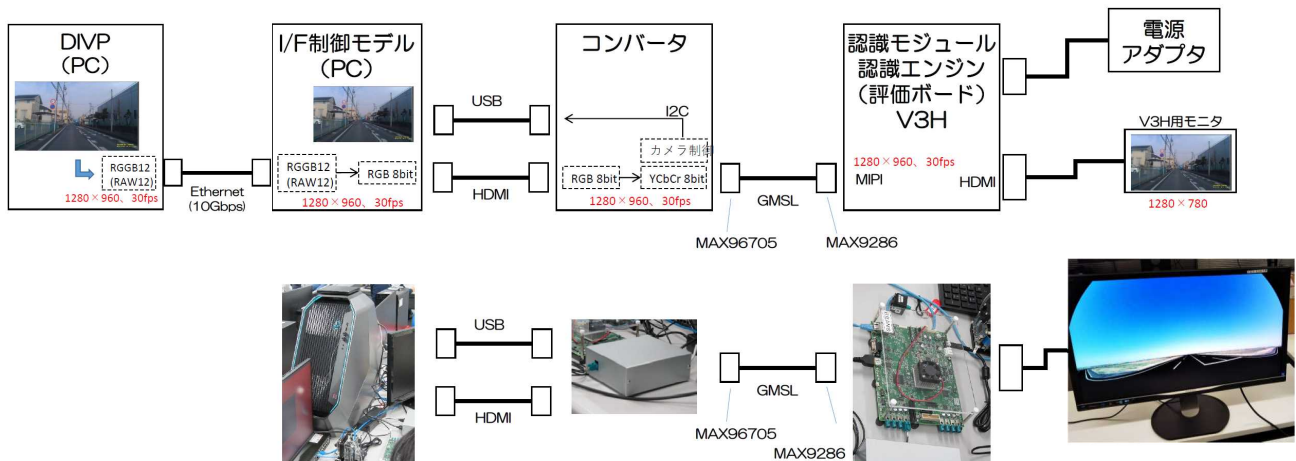


Figure 50 カメラ HILS システム ブロック図

Table 20 インジェクション装置の仕様

項目		仕様	備考
想定カメラ		ISX019	ソニーセミコンダクタソリューションズ製
入力	解像度	1280x960	
	フォーマット	RGGB、RGB	ROS sensor_msgs/Image に従う
	フレームレート	30FPS	最大値
出力	解像度	1280x960	ISX019 仕様に従う
	フォーマット	YCbCr 8bit	ISX019 仕様に従う
	フレームレート	30FPS	固定
	コネクタ	GMSL	
	シリアルライザ	MAX96705	



出所: 神奈川工科大学

Figure 51 インジェクション機器構成

c) センサインジェクション (VILS)

■ VILS のシステム構成検討

本プロジェクトでは現実世界と仮想世界を構成する自動運転システムの各種コンポーネントをテストする方法として、Figure 52 に示す現実世界の車両を仮想世界に結合した状態でテストを実施する VILS (Vehicle-in-the-loop Simulation) も必要であると考えている。そこで、VILS の一環として、センサモデルの

中の「カメラ知覚」および「カメラ認識」を対象に、1) 現実世界の車両に搭載されたカメラの知覚情報と、仮想世界の DIVP™ の知覚情報の一貫性検証、2) 現実世界と仮想世界の知覚情報の誤差要因の分析を検討した。



Figure 52 VILS 構成

本システムの構成を Figure 53Figure 53 に示す Figure 53。仮想世界の DIVP™ から出力されるカメラ用パス／レイレース情報を、現実世界のプロジェクタを通じて映像として専用スクリーンに投影し、その映像をカメラが検知し、認識結果を再び仮想世界の DIVP™ に戻す流れを想定している。

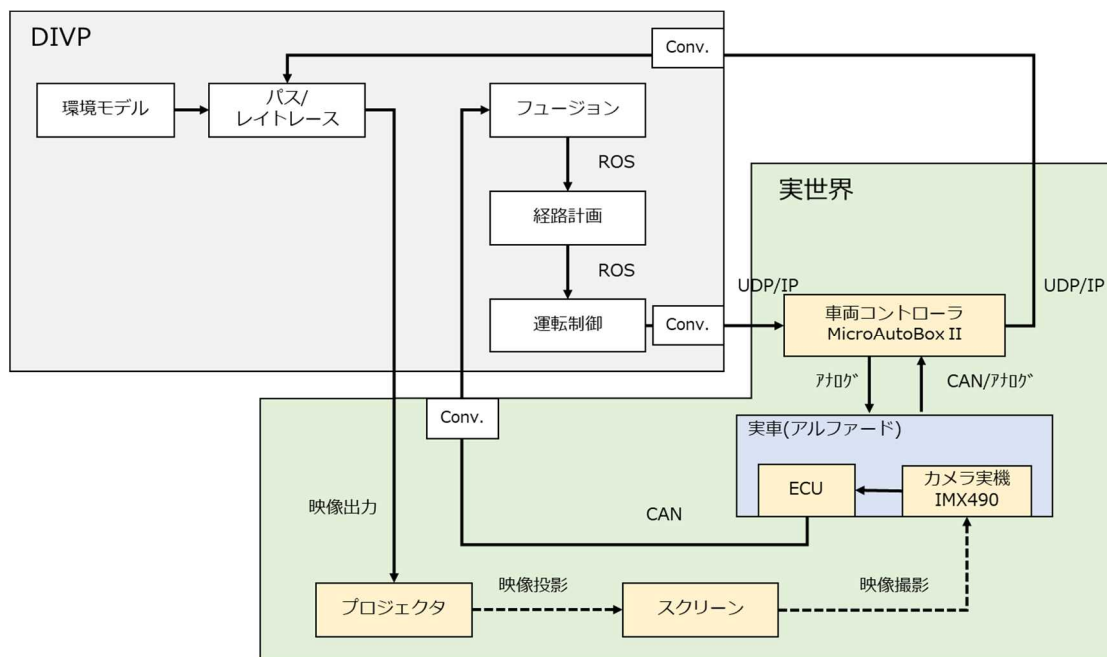


Figure 53 システム構成

本 VILS 評価に用いるカメラ仕様を Table 21 に示す。ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社がモデル化しているカメラと同じものを使用する。

Table 21 カメラ仕様

項目名	項目内容
型名	IMX490
FOV	H 120deg、V73deg、D 約150deg (max Image Circle Φ10mm)
有効画素数	2896 (H) × 1876 (V) 約540万画素
イメージサイズ	対角10.36mm (1/1.55型)
ユニットセルサイズ	3.0 μm (H) × 3.0 μm (V)
フレームレート (全画素)	AD10bit 40fps、AD12bit 30fps
感度 (標準値 F5.6、1/30秒蓄積)	2,280mV (Green Pixel)
ダイナミックレンジ	120dB (ダイナミックレンジ優先時：140dB)
パッケージサイズ	15.35mm x 11.68mm

次に、カメラを搭載する車両の仕様を Table 22、車両外観を Figure 54 に示す。また、カメラ設置位置を Figure 55 に示す。設置位置は、後輪車軸から水平距離 2,280mm、地上からの垂直距離 1,596mm である。

Table 22 車両仕様

項目名	項目内容
車両名	トヨタ アルファード ハイブリッド
グレード	X
型式	AYH30W-PFXGB
年式	'17モデル



Figure 54 車両外観

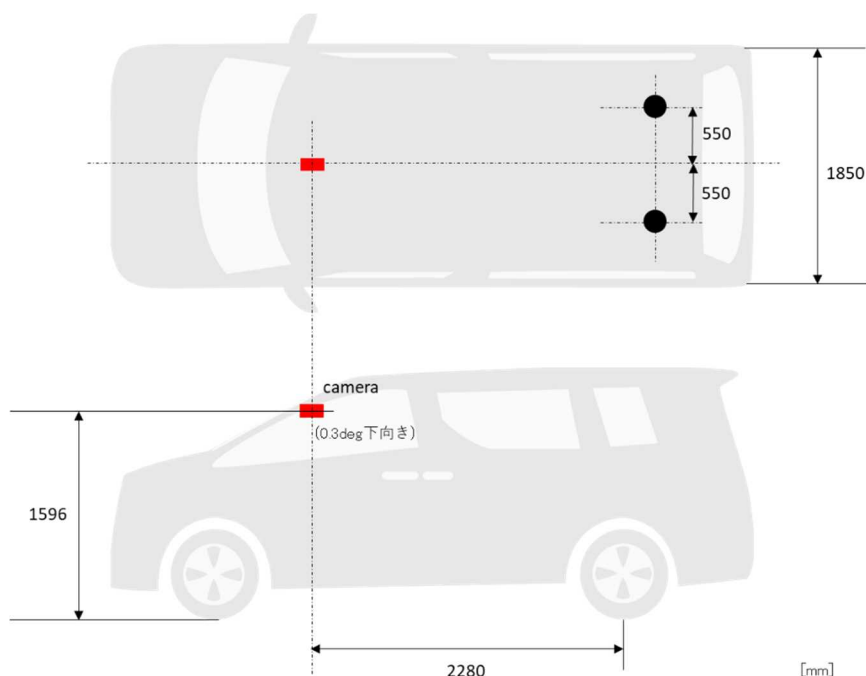


Figure 55 カメラ設置位置

本 VILS では、現時点で揃えられる高精度・高分解能の表示装置（プロジェクタおよびスクリーン）を用いて、1) 仮想世界で作成した知覚情報と、それを投影・撮影した知覚情報を比較して、水平 FOV120° の広角カメラの認識精度にどのような影響を及ぼすかを評価し、2) 現実世界の環境要因（スクリーンの設置精度等）がカメラの知覚精度にどのような影響を及ぼすかを評価する。

■環境構築スケジュールおよび評価スケジュール検討

本 VILS の全体スケジュールを Figure 56 に示す。本 VILS の成果は、令和 2 年 9 月 14 日～18 日の日程で開催予定の先進自動車制御国際シンポジウム（AVEC' 20）にて発表予定である。当該シンポジウムに向けた論文提出期限が令和 2 年 6 月 1 日のため、それまでに評価を実施予定である。なお、令和 2 年 1 月下旬にプロジェクタ選定のためのデモを実施した。

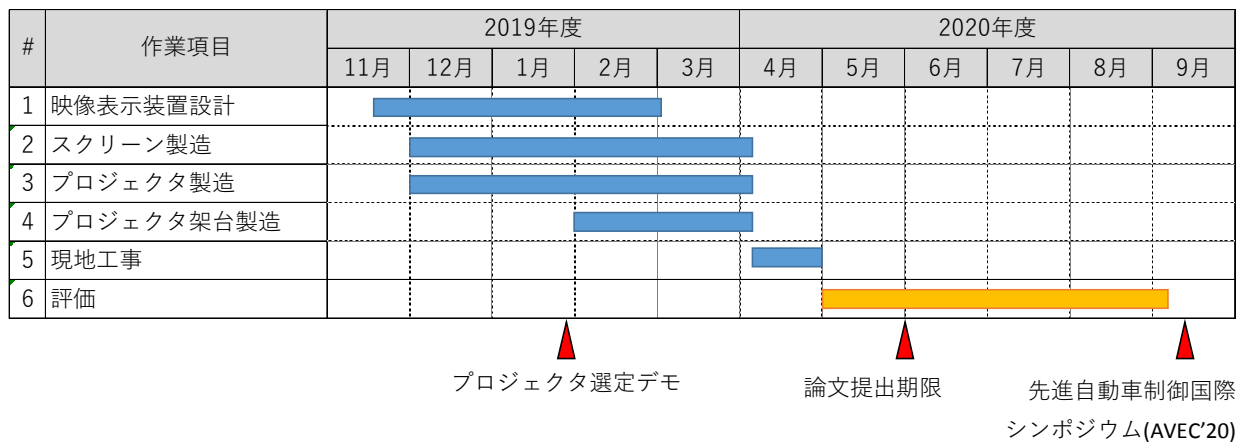


Figure 57 スクリーン設計

次に、プロジェクタ架台の設計図を Figure 58 に示す。門型フレームを組み立て、マウント金具を用いて、プロジェクタを固定する。スクリーンと門型フレームを連結することで、車体振動(エンジン)による映像揺れの影響を低減する。

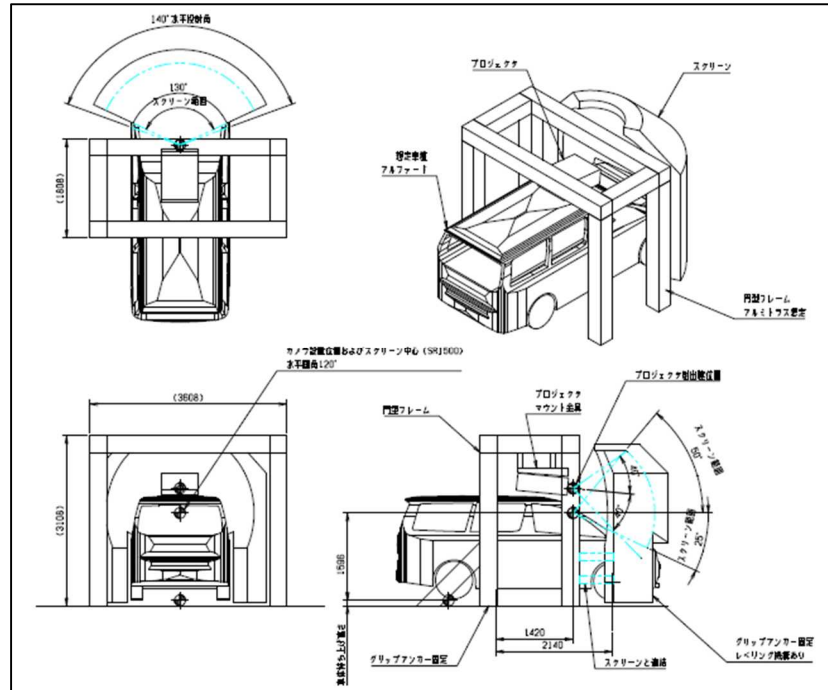


Figure 58 プロジェクタ架台設計

■プロジェクトの評価状況

本 VILS に用いるプロジェクトの評価項目を Table 24 に示す。項番 1 は、カメラ撮影時にノイズやチラツキ、モアレが発生しにくいと考えられる反射型液晶方式あるいは 3 チップ DLP 方式に関する評価項目である。項番 2 は、解像度に関する評価項目である。項番 3 は、コントラスト比に関する評価項目である。項番 4 は、明るさに関する評価項目である。項番 5 は、広視野に対応した専用設計の魚眼レンズの工期に関する評価項目であり、既存品がない場合はレンズ製作に半年から 1 年ほどかかるため、既存品があるものを採用する。

Table 24 プロジェクト評価項目

評価項番	評価項目	評価基準
1	投影方式	反射型液晶方式 or 3 チップ DLP 方式
2	解像度[ピクセル]	車載カメラ解像度2896×1876ピクセル以上
3	ネイティブコントラスト比	コントラスト比が2000:1以上
4	明るさ[ルーメン]	明るさが5000ルーメン以上
5	専用レンズ入手性	専用設計の魚眼レンズの工期

現状のプロジェクトの評価結果を Table 25 に示す。全ての評価項目において、評価結果が「○」となった 2 機種(JVC DLA-VS4010、パナソニック PT-RQ13KJ)に絞った。

Table 25 プロジェクト評価

評価 項番	JVC DLA-VS4010		パナソニック PT-RQ13KJ		キヤノン 4K6021Z		バルコ F70-4K6	
	スペック	結果	スペック	結果	スペック	結果	スペック	結果
1	反射型液晶方式	○	3チップDLP方式	○	反射型液晶方式	○	1チップDLP方式	×
2	素子4096×2400	○	素子2560×1600 5120×3200対応	○	素子4096×2160	○	素子2560×1600 3840×2400対応	○
3	10000 : 1	○	不明 (想定2000 : 1程度)	○	不明 (想定2000 : 1程度)	○	1800 : 1	×
4	6000	○	10000	○	6000	○	5000	○
5	既存品有り	○	既存品有り	○	既存品無し	×	既存品有り	○

次に、前述の 2 機種を用いて、実際に球状スクリーンに映像を投影し、カメラ撮影して評価デモを実施した。評価内容を Table 24Table 26 に示す。映像出力装置の複数ポートから映像を出力するので、出力同期性や、カメラ不調の要因になり得るモアレ、解像度、輝度、色味について評価した。

Table 26 デモ評価内容

デモ評価項番	デモ評価項目	評価内容
1	出力同期ずれ (縦方向の一致性)	複数ポートから連続した数字画像をスクリーン上の4区画に投影して、 上下の数字の一致性を評価
2	出力同期ずれ (横方向の一致性)	複数ポートから連続した数字画像をスクリーン上の4区画に投影して、 左右の数字の一致性を評価
3	モアレ	格子画像をスクリーンに投影して、まだら模様の発生有無を評価
4	解像度	DIVPからの出力映像をスクリーンに投影して、精細度を評価
5	輝度	DIVPからの出力映像をスクリーンに投影して、明るさを評価
6	色味	DIVPからの出力映像をスクリーンに投影して、色彩を評価

デモ評価結果を Table 27 に示す。評価項目に対して、「○」が多かった JVC DLA-VS4010 を選定した。

Table 27 デモ評価結果

デモ評価項番	デモ評価項目	JVC DLA-VS4010	パナソニック PT-RQ13KJ
1	出力同期ずれ (縦方向の一致性)	×	×
2	出力同期ずれ (横方向の一致性)	○	×
3	モアレ	×	○
4	解像度	○	×
5	輝度	○	×
6	色味	○	×

(3)次年度以降の計画

① プロジェクトマネジメント

引き続き月次の進捗管理を枠組みに、成果の創出をはかる。

以下に例を挙げる会議にて DIVP™ の報告、意見交換を積極的に行い研究開発の方向性を見定めていく。また、本プロジェクト成果のメインユーザと想定できる OEM、センサメーカーとの意見交換の場を月 1 回程度設けて出口戦略に活かす。合わせて、インターフェースの標準化を考慮した国際連携を推進し、国際標準に向けた取り組みを具体化していく。

- METI 合同推進委員会
- SIP システム実用化 WG
- SIP-adus ワークショップ

② 既存シミュレーション PF のベンチマーク評価

センサモデル、シナリオツールともに、引き続きベンチマーク調査を実施する。特に、DIVP™、および SDM ジェネレータの開発の優先順位の参考のために、各シミュレータに対して、バージョンアップでの拡充機能に注目して評価を行う。具体的には、Siemens Prescan のミリ波レーダモデルや IPG CarMaker のシナリオ生成機能（OpenDRIVE 対応等）を重点的に調査予定である。また、Applied Intuition、精緻な描画機能に対応している rFpro、ミリ波レーダモデルで用いられている Unique Sec は OEM で用いられているシミュレータであるため、ベンチマーク対象として検討している。

機能ベンチマークに合わせて、DIVP™ とのシミュレーション精度の比較評価を基本検証シナリオ、不調評価シナリオをもちいて実施する。

その評価結果は、今年度と同様にベンチマーク表としてまとめる。

③ 機能シミュレーション PF 評価

クローズドループ検証として、J-NCAP 及び、Euro-NCAP に準じたシナリオを用いた車両性能評価の可能性について検証を進める。

④ 物理シミュレーション PF 評価

a) 一致性検証用シナリオ（事前検証）の評価

基本検証以降もシナリオ評価を続け、物理シミュレーション PF の一致性評価を行う。

b) カメラ HILS に向けたセンサインジェクションシステムの開発

令和元年度に開発した HILS システムを用いてリアルタイム性などの実用性評価を行う。また、カメラセンサ以外にもインジェクションが可能か検討を進める。

c) センサインジェクション（VILS）

環境構築が令和 2 年度 4 月に完了予定である。その後、評価を実施し、令和 2 年 9 月 14 日～18 日の日程で開催予定の先進自動車制御国際シンポジウム（AVEC' 20）にて本 VILS 成果を発表予定である。当該シンポジウムに向けた論文提出期限が令和 2 年 6 月 1 日であるが、その後も継続して評価を実施する。

5. 2. 1. 1「B5. カメラ知覚モデルの構築」(ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(学校法人幾徳学園神奈川工科大学より再委託))

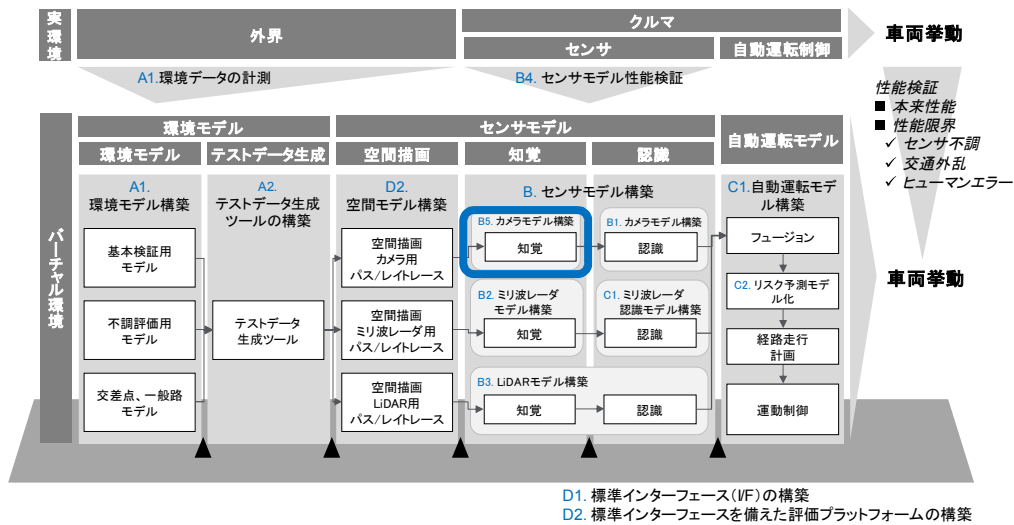


Figure 59 本研究の位置付け

■ 事業目的

カメラセンサの評価を行うことが可能な知覚モデルに対するインターフェイスを提言することを目的とする。物理知覚モデルとは、実際のイメージセンサをモデル化し、実環境を CG モデリングした入力情報を光電変換、Raw Signal Processing することを意図したシュミレーションモデルである。

■ 事業概要

カメラセンサモデルの構成図および本事業の範囲を Figure 60 に示す。

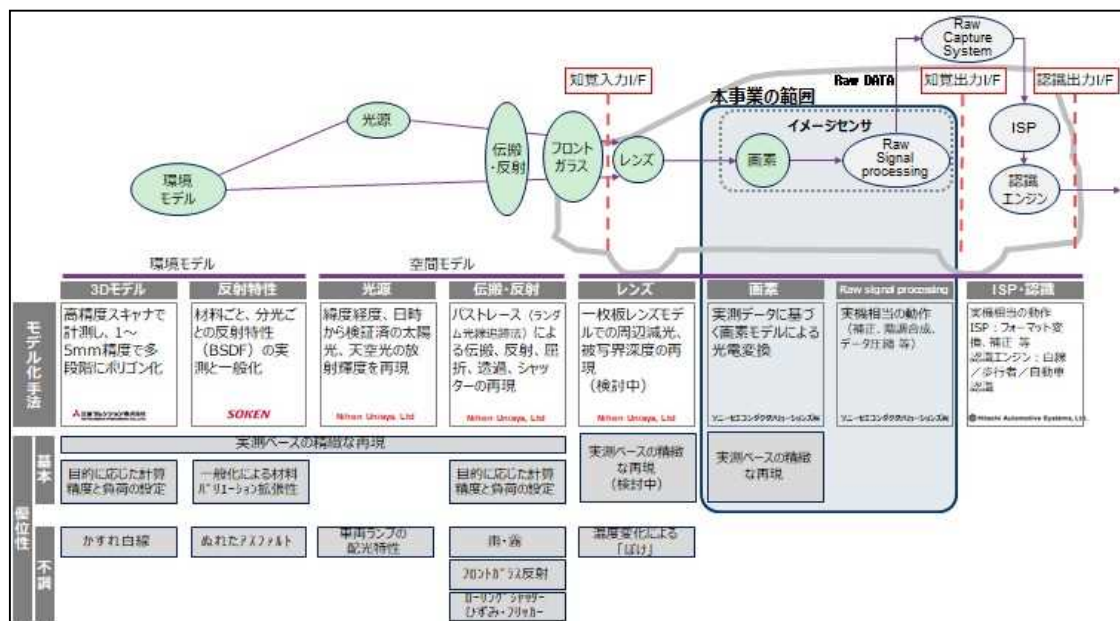


Figure 60 カメラセンサモデル構成図

本事業では、レンズを通して出力される環境モデルおよび空間モデルのデータを受けて、光電変換処理と前段画像信号処理を行うためのインターフェイスを提案する。その際、光電変換においては、認識モデルに影響するダイナミックレンジ、色再現性、S/N 比、ブラー、LED のフリッカー抑制を考慮する。

また、知覚モデルシミュレーション結果として出力される RAW データと、実際の走行環境においてカメラ実機で撮影された RAW データとの間で一致検証を行い、モデル精度の高さを追求することにより、インターフェイスの妥当性を検討する。

なお、インターフェイスの検討にあたっては、以下の要件に合致するイメージセンサおよび専用のセンサモデルをリファレンスとして用いるが、提案するインターフェイスは、他のイメージセンサにも適用可能になるように考慮する。

No.	項目	要件
1	画素ピッチ	3.0 μm
2	画素数	5.4Mpix
3	フレームレート	30fps
4	カラーフィルタ	RGGB
5	シャッター方式	グローバルシャッター換算 (ローリングシャッター)
6	ダイナミックレンジ	120dB
7	フリッカー抑制	90Hz 以上 (11ms サイクル以下)

■ 実施計画

事業項目	2018 年度				2019 年度				2020 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①比較検証方法の検討												
②評価環境整備												
③カメラモデル入力 IF の検討												
事前検証(データ取得)												
④事前検証結果の RAW データ生成												
基本検証(データ取得)												
⑤基本検証結果の RAW データ生成												
⑥事前・基本検証結果の一致性検証												
⑦2019 年度事業報告書の作成												
不調評価(データ取得)												
⑧不調評価モデルでのシュミレーション												
⑨不調要因評価と一致検証												
⑩最終報告書作成												
⑪プロジェクト運営管理への出席												

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

■令和元年度の成果(まとめ)

① 比較検証方法の検討

カメラ物理知覚モデルによるシミュレーション結果とカメラ実機による撮影データ間で、差が生ずると思われる誤差要因の抽出と、検証を行うための実施手法、プロセスについて検討を行った。

② 評価環境整備

カメラ物理モデルとカメラ実機環境での撮影データ間で一致検証を行うために、カメラ実機撮影の評価環境の準備を行った。

③ カメラモデル入力インターフェースの検討

リファレンスとする自社が保有するイメージセンサおよびカメラ知覚モデルを用いて、レンズを通して出力される環境モデルおよび空間モデルのデータの光電変換処理や、HDR 合成等の前段画像信号処理を行うための入力インターフェースの検討を行った。

④ 事前検証結果の RAW Date 生成

Jtown の多目的市街路で実施した事前検証の環境モデルから生成した画像を入力として、イメージセンサ出力(RAW データ)を生成し、カメラ認識パートに提供した。なお、生成にあたっては、弊社が所有するイメージセンサモデルを使用した。

⑤ 基本検証結果の RAW データ生成

J 計画通り 2020 年 3 月から作業を開始した。RAW データの生成は令和二年度になる予定。

⑥ 事前・基本検証結果の一致性検証

検討した一致検証フローに従い、本年度は 1st ステップである屋内シーンの一致性評価のために、各種評価機材の準備を行った。また、比較データのモデルへの入力方法を検討し、評価手法として妥当であるかの確認を開始した。

■次年度以降の計画(まとめ)

次年度は、計画通りに基本検証結果の RAW データ生成および事前・基本検証の一致性検証を継続するとともに、不調環境におけるデータの取得、RAW date の生成、一致性検証を行う。

(2)令和元年度の成果

① 比較検証方法の検討

目的

リファレンスとするカメラ実機 IMX490 評価ボードで撮影した RAW データと、シミュレーション上で構築した同環境をインプットとした IMX490 のセンサモデルから出力した RAW データを比較することにより、差異が発生するシーンと発生箇所を特定し、それらの要因を明らかにすることを目的とする。

成果

Figure 61 にカメラパートの構成図と一致性検証の対象ブロックおよび検証ポイントを示す。

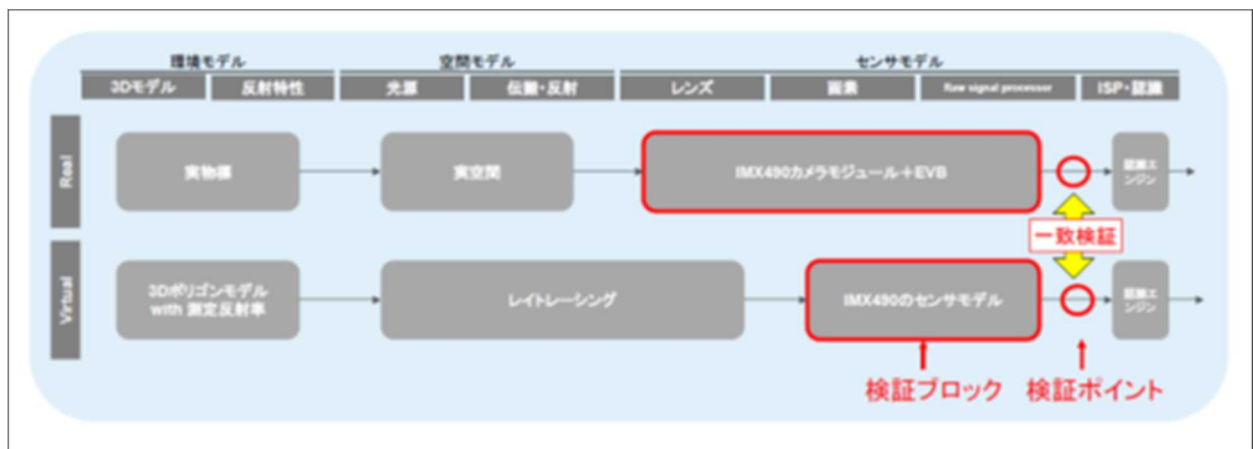


Figure 61 カメラの構成図と一致性の検証ポイント

Figure 61 に示す通り、検証の対象となるのは IMX490 カメラモジュール + EVB から出力される RAW データおよび IMX490 のセンサモデルから出力される RAW データである。次に、Figure 62 にカメラ知覚モデルの構成図を示す。

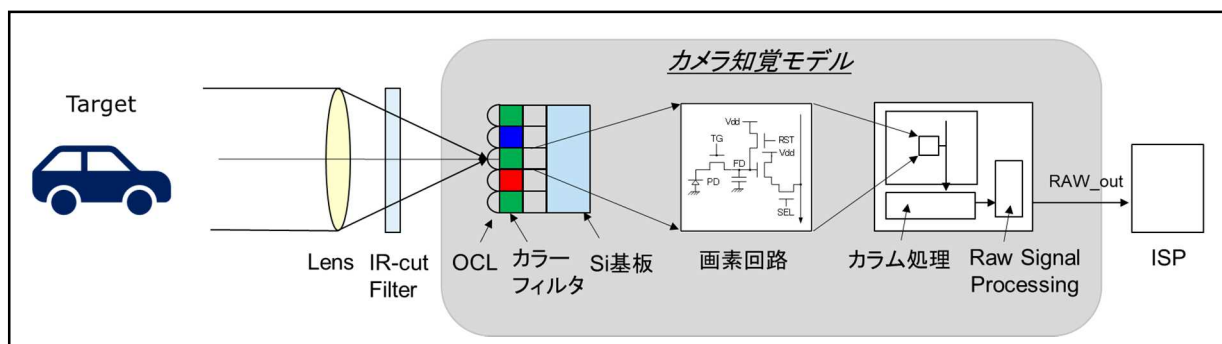


Figure 62 カメラ知覚モデルの構成図

Figure 62.における Target 環境の構築と Lens のモデリングまでは、本パートの検証対象外となる。よって、それ以降のカメラ知覚ブロックを構成する各プロセスについて、実機データとシミュレーション結果の一致度に影響を及ぼすと考えられる誤差要因を検討した。Figure 55.に各画像処理プロセスにおける誤差要因となりうる要素の検討結果を示す。

	Input	OCL (On Chip Lens)	カラー フィルタ	Si基板	画素回路	コラム処理	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

Figure 63 誤差要因となりうる要素の検討結果

また、カメラ実機とカメラモデルの差異を検証する手順として、事前検証の前に、屋内(スタジオ)評価を実施することとした。これは理想的な環境を構築できるスタジオにおいて白板、グレイチャート、カラーチャート等を被写体として用いることにより、各誤差要因による影響を分離、解析できるようにすることを目的とする。

また、データの比較手法として、実機とカメラモデルから出力されるそれぞれの画像(RAW データ)について、像高、色、距離等の異なる領域ごとにヒストグラム分析を行い、平均値、ばらつき度合いから、信号レベルとノイズレベルの一致度を検証する。

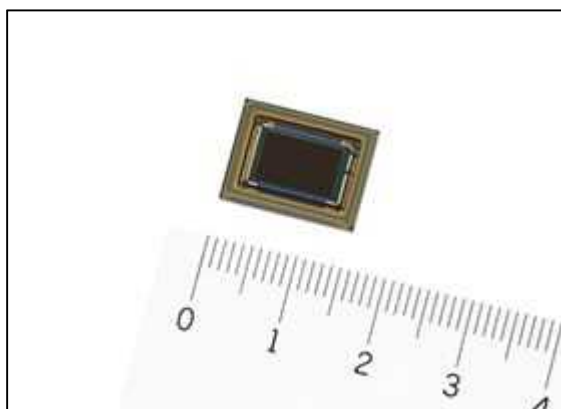
以上の解析を事前検証、基礎検証、不調要因検証データに対し行い、差の大きい領域、要因解析結果をセンサモデルにフィードバックする。

② カメラ実機による評価環境の整備

カメラ実機による評価環境構築として、今回リファレンスカメラとして用いる IMX490 カメラモジュールと画像キャプチャボード(EVB)を用意した。IM490 センサーの仕様と、これまでリファレンスカメラとして使用されていた ISX019 センサーの仕様との比較を Table 28 に示す。ISX019 に比べ、高解像度、フリッカ除去機能の搭載、RAW データ出力等の違いがある。また IMX 490 の概観を Figure 67 に示す。

Table 28 カメラ実機の仕様

	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
シャッター方式	ローリングシャッター	ローリングシャッター
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



出所: ソニーセミコンダクタソリューションズ(株)

Figure 64 IMX490 の概観

事前検証では IMX019 および IMX490、また基本検証では IMX490 によってカメラ実機の撮影が行われた。また、カメラレンズのモデルを構築するパート担当者に、レンズの特性データを提供した。

③ カメラ知覚モデルへの入力インターフェイス検討

Figure 65 にカメラ知覚モデルの概要を示す。

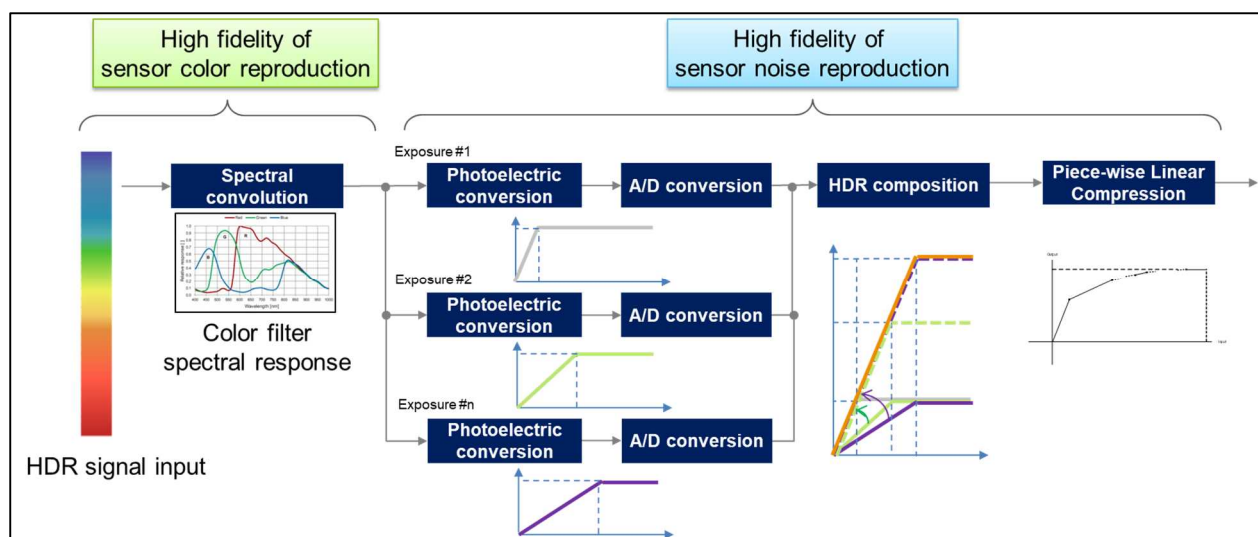


Figure 65 カメラ知覚モデルの概要

カメラ知覚モデルへの入力インターフェイス

RGB によるインターフェイスが計画されていたが、イメージセンサのノイズや色を正確に再現することができないと考えられた。そこで、それらより正確に再現するため、イメージセンサモデルとしては一般的に使用されており、センサの特性を考慮することが可能となる入力インターフェイスを提案した。これらは環境モデルのレンダリング仕様に反映している。

カメラ知覚モデルからの出力インターフェイス

本事業で構築する評価プラットフォームは、OSI を軸として整理した後に、ROS へ変換して運用する計画であるが、OSI には、各センサにおける知覚と認識間のインターフェイスは定義されていない。そこで、カメラ知覚モデルからの出力インターフェイスを提案を行った。具体的には、昨今のセンシング用途 RAW 出力イメージセンサのトレンドから HDR(High Dynamic Range)出力や複数フレーム出力が可能なインターフェイスとした。

④ 事前検証の RAW データ生成と提供

事前検証として Jtown の多目的市街路の環境モデルを入力として、イメージセンサ出力(RAW データ)を生成し、カメラ認識パートに提供した。生成にあたっては、DIVP™プラットフォーム環境(Linux)に実装可能なモデルではなく、弊社が所有するイメージセンサモデルを使用した。

⑤ 基本検証結果の RAW データ生成

計画通り 2020 年 3 月から作業を開始した。「④事前検証の RAW データ生成」と同様に、基本検証を基に環境パートが作成した環境モデルを入力として、令和二年度には RAW データの生成を行う予定である。

⑥ 事前・基本検証結果の一致検証

「①比較検証方法の検討」で提示した一致検証フローに従い、実施計画通りに検証作業を開始した。本年度は、1st ステップである屋内シーンの一致性評価のために、各種評価機材の準備を行った。また、モデル出力データの生成のために、比較データのモデルへの入力方法を検討し、評価手法として妥当であるかの確認を開始した。

(3)次年度以降の計画

今年度の成果を踏まえて、次年度も計画通りに事業を実施する。

⑤基本検証結果の RAW データ生成については、継続してインプットとなる環境パートやカメラ認識パートと協議を行い、必要に応じて RAW データの生成を行なう。

⑥事前・基本結果の一致性検証については、今後、事前・基本検証結果について具体的な一致検証作業を進めていく予定である。

令和二年度から開始予定の⑧不調評価モデルでのシュミレーションおよび⑨不調要因評価と一致検証については、現時点で計画変更の予定はない。

5. 2. 2 「B1.カメラリファレンスモデルの構築」（日立オートモティブシステムズ株式会社）

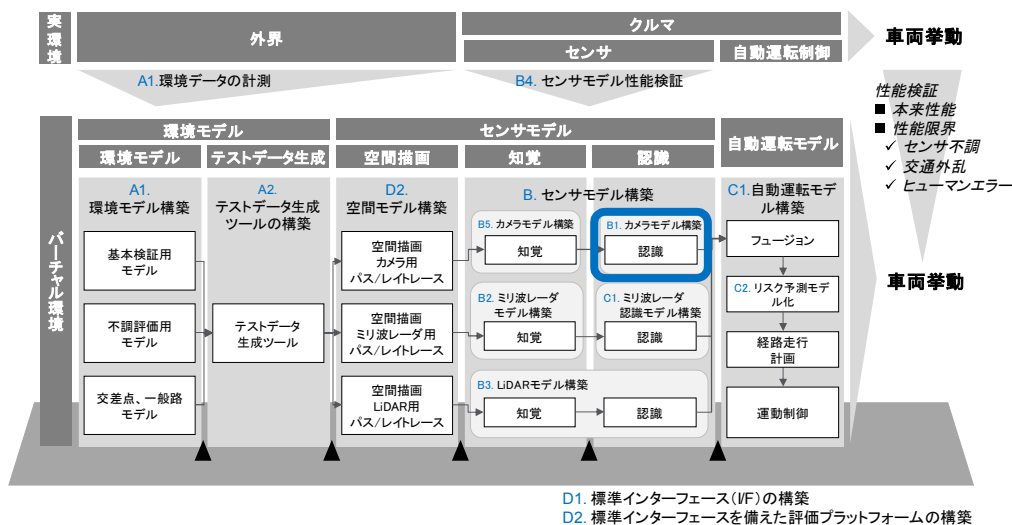


Figure 66 本研究の位置付け

■ 事業目的

カメラセンサーのリファレンスとして産業界で活用可能なモデルを構築。モデルは”抽象化された機能モデル”、”詳細な物理モデル”を構築する。機能モデルとは、車両としての性能評価を目的とした実時間に近いクローズドループシミュレーションに用い、物理モデルとは、センサーの精緻なモデルであり、必ずしも実時間での稼働を意図せず、個別のセンサーの評価を行うことが可能な環境の構築を目的とする。

■ 事業概要

本事業では、標準化を見据えた、カメラ出力インターフェースを定義する。定義に当たっては、センサーの置き換えが容易に実現可能なことを念頭に、カメラモデル評価環境の構築及び、カメラ物理モデルの実装を通して、標準となる出力インターフェースの作成を推進する。

■ 実施計画

事業項目	2018年度				2019年度				2020年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①基本設計の検討			→									
②カメラ出カインターフェースの検討			→									
③物理モデル事前評価			→									
④高精細 CG 要件定義書の作成			→									
⑤基本設計書の作成				→								
⑥カメラ出カインターフェース仕様書の作成					Phase1	Phase2						
⑦物理モデルの開発					→	→						
⑧基本機能評価												
⑨不調要因評価											→	
⑩カメラリファレンスモデル最終報告書作成												→

◆ 必要情報

2018 年度: 外界モデル/高精細 CG 情報、Fusion/他センサ情報

2019 年度: 高精細 CG データ、高精細 CG コンテンツ、外界モデル、「B1. カメラ知覚モデルの構築」にて開発されたカメラモデル(光電)により生成された Raw data

2020 年度: 「B1. カメラ知覚モデルの構築」にて開発されたカメラモデル(光電)、不調要因を反映した高精細 CG データ、高精細 CG コンテンツ

◆ 成果物

2018 年度: 基本検討書、IF 検討書、物理モデル事前評価報告、高精細 CG 要件

2019 年度: カメラモデル評価基本仕様書、I/F 仕様書、物理モデル設計書等一式、カメラモデル(光電)を用いた事前評価結果

2020 年度: 基本機能評価仕様書等一式、不調要因評価仕様書等一式、カメラリファレンスモデル最終報告書一式

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

実施計画書に記載の、以下 4 項目に関する検討、開発及び、評価を実施。

詳細は、(2)にて記載する。

(①から④に関しては、2018 年度に実施済みの項目である)

また、ソニーセミコンダクターソリューションズがコンソーシアムに加入したことにより、カメラリファレンスモデルの開発範囲を知覚と認識に分割した。今後計画の変更が見込まれているおり、詳細決定次第、速やかに実施計画書の見直しを行う。

⑤基本設計書の作成

カメラ物理モデル評価のための全体システム構成及び外部とのインターフェース概要に基づいて、基本仕様書として作成。

基本仕様書には、カメラ物理モデル評価の目的、全体システム構成、開発項目、高精細 CG データによるカメラ機能/物理モデルの出力インターフェースの評価手法等を含む。

⑥カメラ出力インターフェース仕様書の作成

カメラ出力インターフェースの対象情報について検討し、以下 3 点の出力情報を定義。

- ・露光制御インターフェース
- ・カメラ情報インターフェース
- ・認識結果インターフェース

⑦物理モデルの開発

要件に基づく決定分析表から、ストラドビジョン製のカメラ認識エンジンを選定。

接続可能なカメラセンサであるソニー製 ISX019 における入力(画像、車両情報)、出力(露光制御値、立体物・車線の認識結果)の形態を考慮し、入出力変換機能を含む仮想環境におけるカメラモデル構築を実施。

⑧基本機能評価

高精細 CG を用いて、カメラ物理モデルの認識性能評価を下記手順にて実施。

- (i) 評価仕様書作成
- (ii) 正解値判定ツールの準備
- (iii) 評価の実施

(2)令和元年度の成果

⑤ 基本設計書の作成

高精細CGを用いたカメラモデル評価の為の基本設計書を作成した。

※成果物:カメラモデル評価基本仕様書

カメラモデル構築の目的は、自動走行に必要なカメラセンサを対象に、カメラ機能/物理モデルを定義し、産業界で活用可能なモデルを構築することである。

本目的を達成するために、3項目を開発する。

- 高精細 CG を用いたカメラモデル評価環境の構築
- カメラモデル(物理モデル)の開発
- 標準化を視野に入れた、カメラモデル標準出力インターフェース仕様定義および開発

また、これらの開発を18年度、19年度、20年度に下記開発を行う。

- 18年度:基本設計/インターフェースの事前検討、高精細CG要件定義書、物理モデル事前評価
- 19年度:カメラモデル評価基本仕様書、インターフェース仕様書、物理モデル開発、基本機能評価
- 20年度:不調要因評価、カメラ部最終報告書作成

(ア) カメラモデル評価環境

(a) カメラ評価環境

カメラモデル評価環境を Figure 67 に示す。開発するカメラモデル評価環境は、高精細 CG を入力とし、単眼カメラ認識エンジン(市販品)を用いて認識不調シーンを評価する。また、実車走行で取得した実映像の正解値判定結果と、CG 映像による正解値判定結果を比較する。

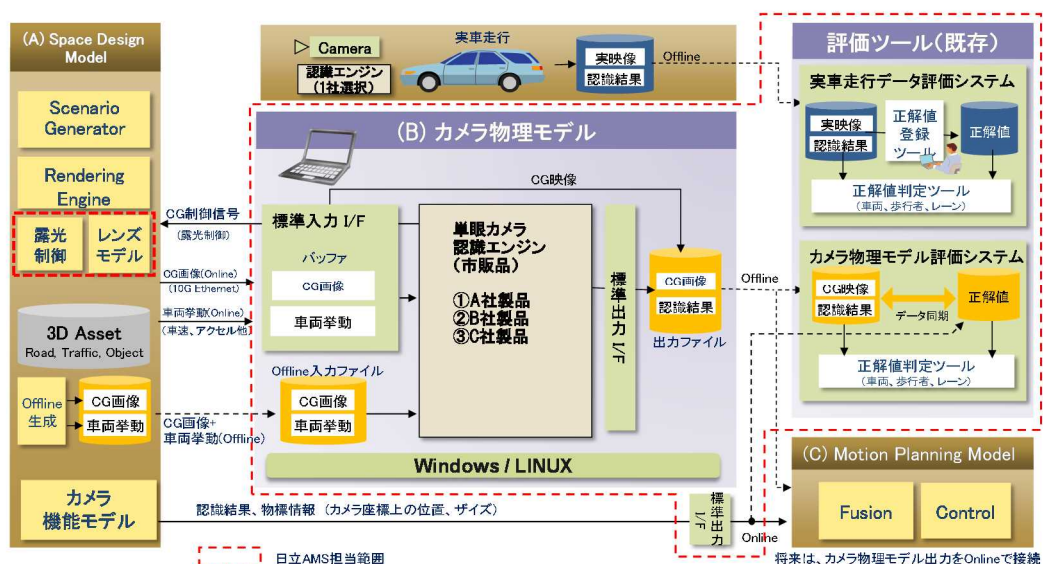


Figure 67 カメラモデル評価環境

(b) 機能一覧

カメラモデル評価環境の有する機能を Table 29 に示す。カメラモデルの認識エンジンや評価システムの構築に加え A パート『Space Design Model』や C パート『Motion Planning Model』との I/F である標準入出力 I/F を開発する。

Table 29 機能一覧

項目	機能	概要	備考
1	単眼カメラ認識エンジン	高精細CG映像を入力として、車両や歩行者等の認識処理を行うカメラセンサ機能。市販の単眼カメラ認識エンジンを導入する。	
2	標準入力I/F	Aパート Space Design Modelとの標準入力インターフェース機能。主に露光制御信号や、高精細CGデータ、車両挙動データの受渡し及びバッファリングを行う。	
3	Offline 入力ファイル	Aパート Space Design Modelからファイルで受取るデータ。高精細CG及び車両共同データが含まれる。	
4	標準出力I/F	単眼カメラ認識エンジンの標準出力インターフェース。認識立体物の位置情報などが含まれる。位置情報等の座標軸を規定する。標準出力I/Fには、Aパート Space Design Modelのカメラ機能モデルの出力仕様も含まれる。	
5	出力ファイル	単眼カメラ認識エンジンの認識結果出力データ及び、単眼カメラ認識エンジンが受け取った高精細CG情報が含まれる。	
6	実車走行データ評価システム	実車走行で収集したカメラ実機認識結果を正解値と比較して認識性能評価を行う。正解値は、収集した実映像から人手による正解値登録ツールで作成する。	日立AMS所有の既存ツール流用
7	カメラ物理モデル評価システム	高精細CGを用いて単眼カメラ認識エンジンで認識した結果と正解値を比較して認識性能を評価する。正解値は、Aパート Space Design Modelのカメラ機能モデル(真値センサ)の出力から作成する。	日立AMS所有の既存ツール流用

(c) 標準入力インターフェース部

高精細 CG ツールとカメラ物理モデル間の標準入力インターフェース部について以下(i)~(viii)に示す。

- (i) CG フレーム単位に受渡しを行う Online I/F と、
CG フレームを記録したファイルを受け渡す Offline I/F がある。
- (ii) Online I/F では、高精細 CG ツールは、決められたフレームレート(例:30fps) で
CG を生成する。但し、フレームレートは、シミュレーション時間でのフレームレートであり、
実時間ではない。
- (iii) 高精細 CG ツールは、CG 提供と同時に車両挙動情報(車速、加減速など)を提供する。
- (iv) カメラ物理モデルは、各フレーム単位で、事前に露光制御情報を高精細 CG ツールに提供する。
高精細 CG ツールは、露光情報に基づいて CG フレームを生成する。
- (v) カメラ物理モデルから露光制御情報が来ない場合は、高精細 CG ツールはシミュレーションを
停止し、露光制御情報が来るまで待つ。
- (vi) 高精細CGツールとカメラ物理モデルとの通信手段は、高精細 CG データは 10G Ethernet
(UDP/IP)、その他のデータ(車両挙動データ、制御信号含む)は1G Ethernet(TCP/IP)を
用いて行うものとする。
- (vii) Offline I/F では、高精細 CG ツールは、決められたフレームレート(例: シミュレーション
時間で 30fps) で CG を生成する。但し、フレームレートは、シミュレーション時間での
フレームレートであり、実時間ではない。生成した CG データはファイルに記録される。
- (viii) Offline I/F でも、CG 提供と同時に車両挙動情報(車速、加減速など)をファイルに記録する。

(d) 標準出力インターフェース部

カメラ機能/物理モデルの標準出力インターフェース部について、以下(i)～(vii)に示す。

- (i) 単眼カメラ認識エンジンの認識結果を、Cパート『Motion Planning Model』に提供するインターフェースを規定する。
- (ii) 出力情報は、露光制御値(画像の明るさ)、立体物(車両、歩行者)、車線(白線)を認識した結果となる。
- (iii) 立体物、車線の認識結果は、画像上の位置、センサ座標系、車両座標系での3つの方式で定義する。
- (iv) 露光制御値は、高精細 CG ツールへの入力として提供され、CG の明るさを規定する。要求する高精細 CG の1フレーム周期前に露光制御値が提供され、受け渡される CG に反映される。
- (v) 立体物と車線は、Cパート『Motion Planning Model』で開発される FUSION で使用される。
- (vi) 認識結果の座標軸は、レーダー/LiDAR との共通化を検討する。
- (vii) カメラ機能モデルでは、考慮が必要な各種の遅延等を定義する。

(e) 評価ツール

実車走行データやカメラ物理モデルからの出力結果、正解値を評価するツールとしてカメラ物理モデル評価システムと実車走行データ評価システムを持つ。それぞれの機能について以下に示す。

本ツールは、日立オートモティブシステムズの内部確認用である。

(i) カメラ物理モデル評価システム(既存ツール流用)

- 高精細 CG をカメラ物理モデルに入力して、認識性能の評価を行う。
- 正解値判定ツールは、カメラ物理モデルの認識結果と、Aパートから取得した認識立体物のカメラ機能モデル(真値センサ)の出力データを比較することにより、正解値を判定する。

(ii) 実車走行データ評価システム(既存ツール流用)

- 実車走行で取得したカメラ実機の映像、及び認識結果を用いて、認識性能の評価を行う。
- 実映像の正解値判定では、走行データ(高精度 GPS 含む)から正解値を生成するツール(既存)を準備し、カメラ物理モデル(車載用)の認識結果と比較することで正解値判定を行う。

(iii) 高精細 CG の通信容量及びファイルサイズ評価

高精細 CG データの Online 型と Offline 型それぞれについて示す。

- 高精細 CG データ(Online 型)のデータ通信容量
高精細 CG データ(Online 型)のデータ通信容量を、Table 30 に示す。
また、高精細 CG の最大スループットは 4.8Gbit/s とし、10Gbit Ethernet で対応可能とする。

Table 30 高精細 CG データ (Online 型) のデータ通信容量

No	項目	条件	最大スループット
1	画像フォーマット	RAW (bayer画像)	(3648x2736)x16bit x 30フレーム = 4.8 Gbit/s
2	画素数	最大10Mpix (3648x2736)	
3	データ幅	最大16bit	
4	フレームレート	30 fps	

■ 高精細 CG データ(Offline 型) のファイルサイズ

高精細 CG データ(Offline 型)のファイルサイズを、Table 31 に示す。

また、Offline での高精細 CG データファイルのサイズは、60 秒のシナリオで約 36 GByte となる。

Table 31 高精細 CG データ(Offline 型)のファイルサイズ

No	項目	条件	最大スループット
1	画像フォーマット	RAW (bayer画像)	●1秒間のファイルサイズ (3648x2736)x16bit x 30フレーム = 4.8 Gbit/s ●60秒間のファイルサイズ 4.8Gbit x 60秒 = 288Gbit (36 GByte)
2	画素数	最大10Mpix (3648x2736)	
3	データ幅	最大16bit	
4	フレームレート	30 fps	
5	ファイル形式	BMP	
6	シナリオの長さ	60秒	

(f) 各パートとの役割分担

カメラモデル評価環境の周辺パートとの役割分担を Table 32 に示す。

Table 32 役割分担

項番	項目	担当チーム
1	走行環境モデル構築	「A1.走行環境モデルの構築」 「D.自動車バリデーションプラットフォームのアーキテクチャ構築」
2	高精細CGツール構築	
3	高精細CGコンテンツ作成評価	
4	カメラ機能モデルの作成評価	
5	カメラ物理モデル入力/F仕様策定	
6	カメラ物理モデル開発	「B1. カメラ リファレンスモデル構築」
7	カメラ機能/物理モデル出力/F仕様策定	
8	カメラ機能/物理モデルの出力インターフェース評価	
9	高精細CGツールへの要件出し	
10	カメラ物理モデルの評価	「A1.走行環境モデルの構築」 「B0.シミュレーションPF評価」
11	評価用実車走行データ収集及び評価	

(イ) 標準入力・出力インターフェース信号

本章では、カメラ物理モデル部に対する標準入出力インターフェース信号について示す。

(a) 標準入力インターフェース信号

標準入力インターフェース信号の概要を Table 33 に示す。詳細は高精細 CG 要件定義書を参照すること。

Table 33 標準入力インターフェース信号一覧

No	通信型	信号名	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	高精細CGツールで生成された1フレーム分のCGデータ。Bayer画像で受渡しされる。タイムスタンプデータを含む
2		車両挙動データ	高精細CGツール	カメラモデル	高精細CGデータを生成した時の、自車両(仮想空間内)の挙動データ。車速、舵角、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	Offline	高精細CGデータファイル	高精細CGツール	カメラモデル	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る。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。
4		車両挙動データファイル	高精細CGツール	カメラモデル	高精細CGデータを生成した時の、自車両(仮想空間内)の挙動データ。車速、舵角、ギア位置、エンジン回転数等。高精細CGデータの各フレームに対応して、1つの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。
5		カメラ機能モデル認識結果	高精細CGツール	評価ツール	高精細CGツール内に構築された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	実車走行映像データ	実車	評価ツール	実車走行で取得したカメラ映像データ。
7	走行	立体物認識結果ファイル	実車	評価ツール	実車走行で、カメラ実機が認識した立体物(車両・歩行者)の位置情報・種別等を示す。複数の立体物を同時に出力する。
8		白線認識結果ファイル	実車	評価ツール	実車走行で、カメラ実機が認識した白線の位置情報・種別等を示す。

(b) 標準出カインターフェース信号

標準出カインターフェース信号の概要を Table 34 に示す。詳細は出カインターフェース検討書参照すること。

Table 34 標準出カインターフェース信号一覧

No	通信型	信号名	送信	受信	概要
1	Online	露光制御信号	カメラモデル	高精細CGツール	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)を決定する。
2		カメラ情報	カメラモデル	高精細CGツール	カメラモデルの情報。カラーフィルタ、画素数、画素ピッチ、フレームレート、シャッタ方式、画角(焦点距離、歪、解像度(同心円)等の情報を含む
3		カメラ取付位置情報	カメラモデル	高精細CGツール	自車両へのカメラ取付位置の情報。x座標、y座標、z座標、俯角、方位角等を含む
4		立体物認識結果	カメラモデル	Fusion	カメラモデルが認識した立体物(車両・歩行者)の位置情報・種別等を示す。複数の立体物を同時に出力する。信頼度情報も含む。
5		白線認識結果	カメラモデル	Fusion	カメラモデルが認識した白線の位置情報・種別等を示す。信頼度情報も含む。
6	Offline	立体物認識結果ファイル	カメラモデル	評価ツール	カメラモデルが認識した立体物(車両・歩行者)の位置情報・種別等を示す。複数の立体物を同時に出力する。信頼度情報も含む。
7		白線認識結果ファイル	カメラモデル	評価ツール	カメラモデルが認識した白線の位置情報・種別等を示す。信頼度情報も含む。
8		高精細CGデータファイル	カメラモデル	評価ツール	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る。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。

(ウ) ハードウェア・ソフトウェア構成

本章では、カメラ評価環境構築のためのハードウェア・ソフトウェア構成について示す。

(a) 全体構成

本環境の全体構成図を Figure 68 に示す。

高精細 CG を作成する Space Design Model 用 PC 及びカメラ物理モデル用 PC は 10G Ethernet で接続され、高精細 CG の受け渡しを行う。

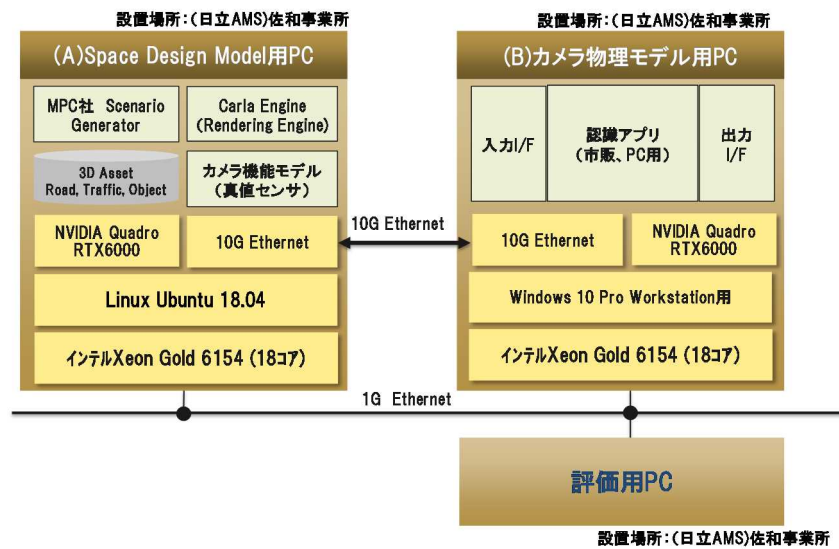


Figure 68 全体構成図

(b) 詳細仕様

全体構成図で示した Space Design Model 用 PC とカメラ物理モデル用 PC の詳細仕様を Table 35 および Table 36 に示す。

Table 35 Space Design Model 用 PC 仕様

構成	機種	仕様	数量
WS 本体 (GFXレス)	Dell Precision Tower 7920	・Precision 7920 タワーシャーシ(BC_PCl_e) ・CPU :インテルXeon Gold 6154 (18コア,25MB キャッシュ, ベース駆動周波数3.0GHz/ ターボブースト最大周波数3.7GHz)×2CPU構成 ・メモリ:96GB (8GB×12) 2666MHz DDR4 RDIMM ECC ・SSD:M.2 1TB PCIe NVMe Class50 SSD×2 ・HDD:3.5 インチ4TB SATA HDD(5,400rpm)×2 ・メディア:DVD-R/W ・モニター:Dell UP2716D 27インチモニター(2560×1440, アスペクト比16:9) ・OS :Ubuntu 18.04	1
GFX カード	NVIDIA Quadro RTX6000	・コア数: CUDAコア4,608、Tensorコア576、RTコア72 ・GPUメモリ:24GB GDDR6 ・出力コネクタ:DisplayPort 1.4 ×4、VirtualLink ×1	2

Table 36 カメラ物理モデル用 PC 仕様

構成	機種	仕様	数量
PC (GFXレス)	HP	・Precision 7920 タワーシャーシ(BC_PCl_e) ・CPU :インテルXeon Gold 6132 (14コア,19.25MB キャッシュ, ベース駆動周波数2.6GHz/ ターボブースト最大周波数3.7GHz)×2CPU構成 ・メモリ:768GB (32GB×24) 2666MHz DDR4 RDIMM ECC ・SSD:M.2 1TB PCIe NVMe Class50 SSD×2 ・HDD:3.5 インチ4TB SATA HDD(5,400rpm)×2 ・OS :Windows 10 Pro for Workstations Plus(64bit) (日本語版)	1
GFX カード	NVIDIA Quadro RTX6000	・コア数: CUDAコア4,608、Tensorコア576、RTコア72 ・GPUメモリ:24GB GDDR6 ・出力コネクタ:DisplayPort 1.4 ×4、VirtualLink ×1	2

(c) 組込用カメラ評価ボード

組込用カメラ評価ボードの構成を Figure 69 に示す。

本評価環境は、システム評価ボードに組込用カメラ物理モデルを構築して行う。

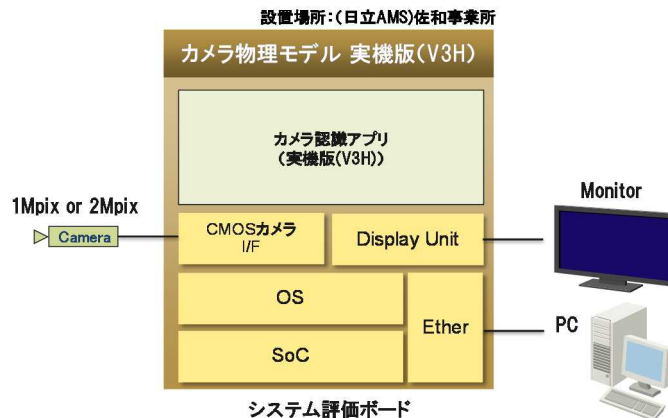


Figure 69 組込用カメラ評価ボード構成図

(エ) カメラ物理モデル

本章では、カメラ物理モデルについて示す。

(a) カメラモデルに係るブロック図

カメラモデルに係る全体ブロック図を Figure 70 に示す。

カメラ標準入カインターフェースへの要件出し及び、カメラ標準出カインターフェースの明確化を行う。

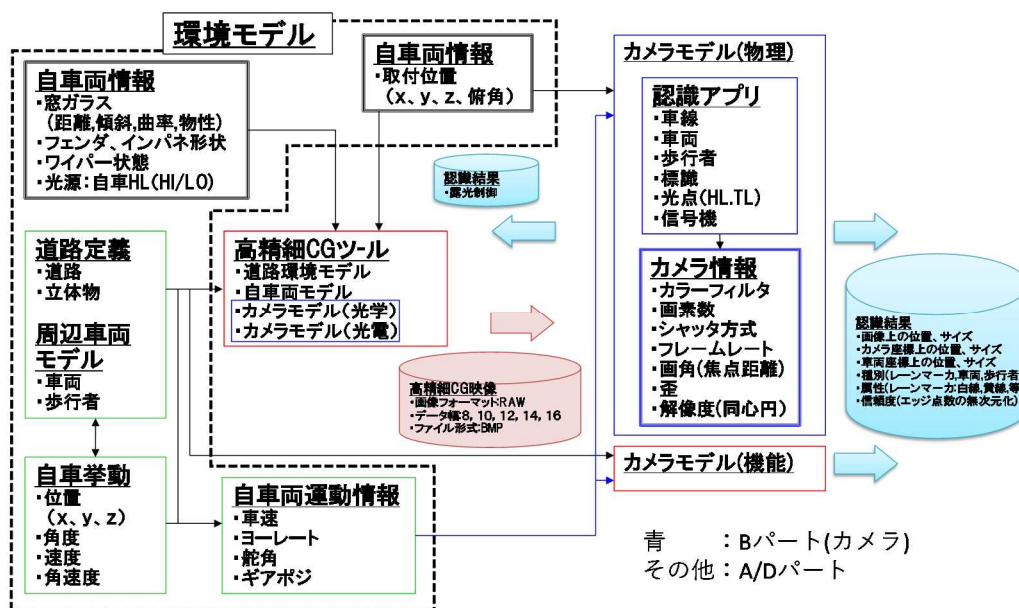


Figure 70 カメラ物理モデル全体ブロック図

(b) カメラ物理モデルの開発

カメラ物理モデルは、市販のカメラ認識エンジンをベースする。プラットフォームの互換性検証のために、複数のカメラ認識エンジンを評価対象とし、2018 年度に 1 社選定、2019 年度に 1~2 社選定する。

また、2018 年度は、カメラ認識エンジンとして、パソコン上と実機上で動作するものを導入する。下記要件を前提にカメラ認識エンジンを選定する。

- (i) 露光制御(画像の明るさ)機能があるもの。
- (ii) 認識対象が、立体物(車両、歩行者)、車線(白線)であるもの。
- (iii) カメラ取付位置やスペック(画素数、画角、など)等を調整できるもの。

既存のカメラ実機における入力(画像、車両情報)、出力(露光制御値、立体物・車線の認識結果)の形態を考慮しつつ、カメラ物理モデルの入出力の変換ソフトを物理モデル用のパソコン上で早期に構築する。関連するパート(カメラ機能モデル、高精細 CG ツール、FUSION、他センサ)とのフォーマットの共有や同期の取り方を明確にしつつ、構築を進める。

(c) カメラ物理モデルの光学・光電要件

カメラ物理モデルにおける光学および光電要件を Table 37 に示す。

Table 37 カメラ物理モデルの光学・光電要件

No	分類	項目	要件	備考
1	カメラ情報	カラーフィルター	RGGB	
		画素数	1Mpix or 2Mpix	(最大10Mpix)
		画素ピッチ	3.0um	
		シャッター方式	グローバル	
		フレームレート	30fps	
		画角(焦点距離)	120度	
		歪	樽型30%	
		解像度(同心円)	MTF	
2	CG映像	画像フォーマット	RAW (bayer画像)	
		データ幅	12bit	(最大16bit)
		ファイル形式	BMP	

BMP 形式は、Windows 標準ツールの対応状況に配慮し、以下に従うものとする。

- (i) 非圧縮形式を用い、カラーパレットは用いない。
- (ii) 情報ヘッダ形式は INFO タイプ(40 バイト)を用いる。
- (iii) ピクセルごとのビット数は 16bit とする。有効ビットは上位に詰めて使用する。
- (iv) 画面上から下にデータが並ぶ順序とする。(=高さは負の値で格納する。)
- (v) 圧縮タイプは 3 (Win32 SDK 環境における BI_BITFIELDS)を用いる。
- (vi) ビットフィールドは RGB 全て 0xffff とする。

(実質グレースケール画像として扱われる設定)

(オ) カメラ機能モデル要件

本章では、カメラ機能モデルへの要件を以下に示す。

(a) カメラ機能モデルは、高精細 CG ツールの内蔵機能として実現される。

(b) 指定された画角や認識距離に従って、カメラ機能モデルの認識範囲を決定する。

環境モデル内の周辺車両や白線が認識範囲に入ってきたときに、その認識結果を出力として提供する。

(c) カメラ機能モデルでは、考慮が必要な各種の遅延等を定義する。

(d) カメラ機能モデルの出力は、カメラ物理モデルの認識結果を評価する場合の正解値として利用される。

(カ) 高精細 CG 要件

本章では、高精細 CG 生成ツールへの要件を示す。

(a) 高精細 CG 生成ツールの要件

高精細 CG 生成ツールへの要件を Figure 71 に示す。道路環境モデル、自車両モデル、カメラモデル(光学)、カメラモデル(光電)に加え、高精細 CG 映像への要件概要を示す。

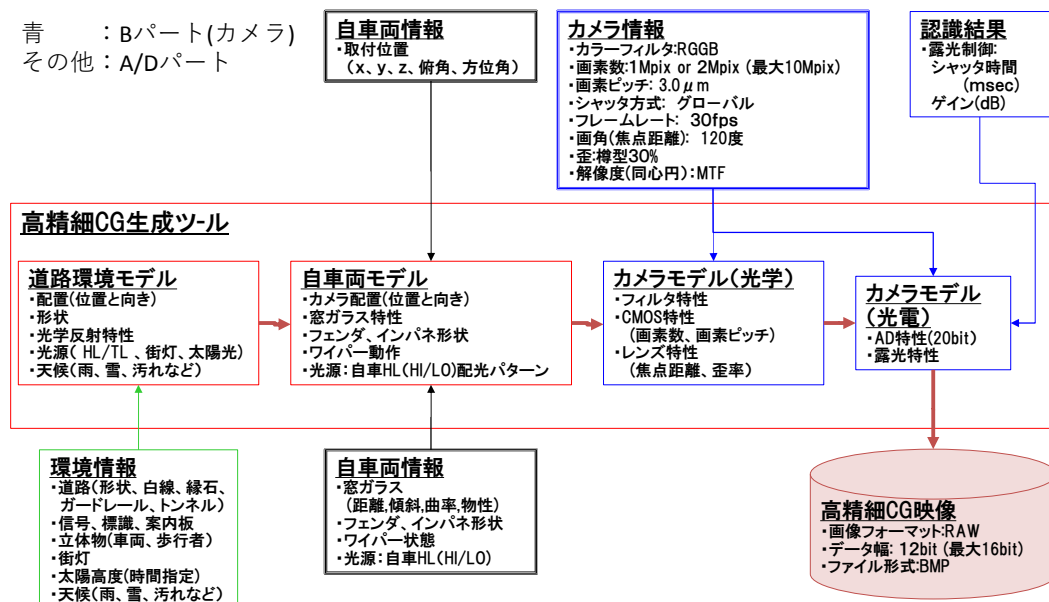


Figure 71 高精細 CG 生成ツール要件

(b) カメラモデル(光学&光電)モデル入力フォーマット(Online)

カメラ物理モデルからの指示に基づき Figure 72 に示すフォーマットのいずれかでピクセルデータを格納する。Figure 72 に示す形式(96bit/ピクセル(各コンポーネント FP32 形式(IEEE754-2008 で定義される 32bit 浮動小数点))は、各ピクセルを 96bit として入力が行われる。HDR 画像の型変換に伴いオーバーフローが生じた場合はそれぞれ+の∞として変換し、アンダーフローの場合は 0 として扱う。

また、画像は上から下(ビットマップファイルでヘッダに画像の高さを負数で格納する順序に相当)を基本とする。

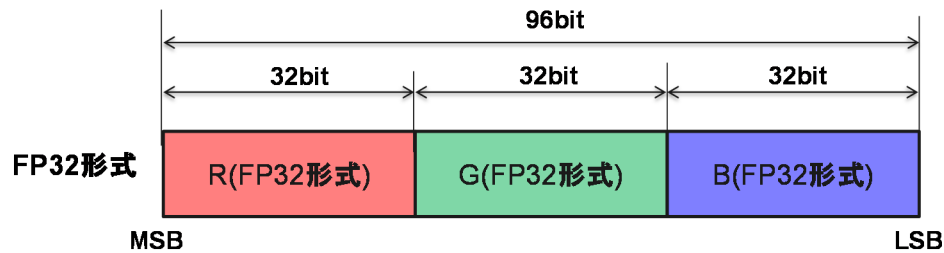


Figure 72 HDR 画像のピクセルデータフォーマット

(c) カメラモデル(光学&光電)モデル入力フォーマット(Offline)

HDR 画像は、可逆圧縮にも対応する OpenEXR 形式(<http://www.openexr.com/index.html> 参照)に対応するものとする。Modified BSD License の下、フリーで公開されているライブラリを利用して構わない。

OpenEXR 形式で出力する場合は、以下に従うものとする。

- (i) 圧縮機能 ON/OFF を選択可能にし、圧縮機能を用いる場合は必ず可逆圧縮を用いる。
- (ii) HDR 画像では OpenEXR で定義される FLOAT(FP32, IEEE754-2008 で定義される 32bit 浮動小数点)の設定により指定された形式で格納する。各ピクセルの各コンポーネントの値はオンラインシミュレーションにおける形式と同じとする。

(d) 高精細 CG 生成ツールの要件説明

前節で示した要件を項目ごとに説明した内容を Table 38 に示す。

Table 38 高精細 CG 生成ツールの要件一覧

項番	分類	項目	内容
1	道路環境モデル	配置(位置と向き)	道路環境内での周辺立体物(移動物/静止物)の位置/向きに基づいてCGを生成する。
2		形状	道路環境内での周辺立体物(移動物/静止物)の形状に基づいてCGを生成する。
3		光学反射特性	道路環境内での周辺立体物(移動物/静止物)の光学反射特性に基づいてCGを生成する。
4		光源(HL/TL、街灯、太陽光)	対向車のヘッドライト(ハイ/ロー)、街灯、太陽光をCGで表現する。 昼間・夜間をCGで表現する
5		天候(雨、雪、汚れなど)	天候(雨、雪、汚れなど)をCGで表現する。フロントガラスに付着する雨滴等も含む。
6	車両モデル	カメラ配置(位置と向き)	車両に設置されたカメラの位置及び向きに基づいてCGを生成する。 位置座標、俯角、方位角等。
7		窓ガラス特性	車両の窓ガラスの特性(歪み、傾き、曲率等)を考慮してCGを生成する。
8		フェンダ、インパネ形状	車両のフェンダ、インパネ形状を考慮してCGを生成する。
9		ワイパー動作	車両のワイパー動作をCGとして生成する。 ワイパー動作は、間欠/ハイ/ローなど速度を考慮する。 また、雨滴等の付着等を含めてCGを生成する。
10	カメラモデル (光学)	光源: 車HL(HL/LO)配光パターン	車両のヘッドライトの配光パターンを考慮してCGを生成する。 ヘッドライトは、ハイ/ローのケースを考慮する。
11		カラーフィルタ	カラーフィルタに基づいてCGを生成する。フィルタとしては、RGGBが指定される。
12		CMOS特性: 画素数	指定された画素数に基づいてCGを生成する。画素数は、1Mpix or 2Mpixが指定される。 最大10M pixまで指定可能とする
13		CMOS特性: 画素ピッチ	指定された画素ピッチに基づいてCGを生成する。画素ピッチは、3.0umが指定される。
14		CMOS特性: シャッター方式	指定されたシャッター方式に基づいてCGを生成する。グローバルシャッター方式が指定される。
15		CMOS特性: フレームレート	指定されたシャッター方式に基づいてCGを生成する。フレームレートは、30fpsが指定される。
16		レンズ特性: 画角(焦点距離)	指定された画角に基づいてCGを生成する。画角(焦点距離)は、120度が指定される。
17	カメラモデル (光電)	レンズ特性: 歪	指定された歪に基づいてCGを生成する。歪は、樽型30%の間で指定される。
18		AD特性(20bit)	カメラセンサのAD変換は、20bitのビット幅とする。
19		露光特性	露光制御信号に基づいてCGを生成する。 露光制御は、シャッター時間(msec)及びゲイン(dB)で指定される。
20	高精細CG映像	画像フォーマット	画像フォーマットはRAWデータとする。
21		データ幅	指定された1画素のデータ幅に合わせてCGを生成する。データ幅は、12bitが指定される。 最大16bitまで指定可能とする。
22		ファイル形式-BMP	ファイル形式はBMP形式とする。

(キ) 高精細 CG 評価シナリオ

本章では、高精細 CG 評価シナリオについて示す。

(a) 評価シナリオ方針

高精細 CG で評価するシナリオの目的と方針を定義する。

(i) 評価シナリオの目的

- カメラモデル評価環境において、高精細 CG データを用いて認識性能評価を行うシナリオを明確化する。
- 先行車への接近・離間等の基本的なシナリオに加えて、雨天、逆光、夜間等の認識不調の原因となるシナリオも対象とする。

(ii) 高精細CG評価シナリオ方針

- 2019 年前半:単純な基本シナリオで、実車と CG の認識性能比較を行う。
- 2019 年後半以降:基本シナリオに雨天、逆光の認識不調要因を加え、実車とCGの認識性能比較を行う。
- 2020 年以降:各種の認識不調シナリオの評価を拡張する。

(b) 評価対象となるシナリオまとめ

評価シナリオ概要を Table 39 に示す。詳細は、高精細 CG 評価シナリオ要件[RE-JPTD-1900021A]参照のこと。

Table 39 高精細 CG 評価シナリオ

No	実施時期	項目	イメージ	概要
1	2019年	基本シナリオ ・先行車接近	 Pxhere.com: License free	・停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当)
2		基本シナリオ ・先行車離間		・直線及びカーブ ・先行車から離れる ・直線及びカーブ
3	2020年	中間障害物 (雨天&ワイパ) ・先行車接近	 Pxhere.com: License free	・停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当)
4		中間障害物 (雨天&ワイパ) ・先行車離間		・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
5		光源障害 (逆光) ・先行車接近	 Pxhere.com: License free	・停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当)
6		光源障害 (逆光) ・先行車離間		・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。 ・同上で先行車離間
7		路上障害物 ・夜間・歩行者	 Pxhere.com: License free	・夜間、黒っぽい服を来た人が歩道を横断。
8		認識不調拡張 (JAMA要件と調整して決定)		(E-NCAP2018 CPAF相当 + 夜間) 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

⑥ カメラ出力インターフェース仕様書の作成

標準化を視野にカメラ出力インターフェースの対象情報について検討し、出力インターフェース仕様書として以下 3 点の出力情報を定義した。

※成果物: 出力インターフェース仕様書

■ 露光制御インターフェース

カメラ機能では、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となる。そのため、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した。

■ カメラ情報インターフェース

カメラ機能では、高精細 CG の生成画像に対し、モデルに基づく光学補正処理を実施する。そのため、カメラ機能仕様を、カメラ情報インターフェースとして定義する。カメラ情報インターフェースは、センサ仕様、レンズ仕様、認識仕様に大別し、定義した。カメラ情報インターフェースは物理的に固有のものとなるため、初期動作時のみの通信で構わない。

■ 認識結果インターフェース

カメラ機能では、入力画像に対して認識結果を出力する。カメラ機能間での認識結果の比較検討を行うために、認識結果を共通定義した。

(ア) 露光制御インターフェース

Table 40 にカメラ認識に関わり、認識結果に基づいた露光制御の情報を示す。

Table 40 露光制御インターフェース

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	s
	ゲイン情報	カメラ出力のゲイン値を出力	dB
	露光信頼度	露光時間の信頼度を出力	%
信頼度	検出信頼度	物標の検出信頼度を出力	%

(イ) カメラ情報インターフェース

Table 41 に高精細 CG 生成に関わり、必要なカメラ情報を示す。

Table 41 カメラ情報インターフェース

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	m
	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	m
	偏光フィルタ	偏光フィルタの有無を出力	—
	認識遅延量	撮像フレームと認識フレームの遅延量を出力	frame

認識仕様	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	rad
	認識最大角度(上下)	認識可能な上下最大角度を出力	rad

(ウ) 認識結果インターフェース

Table 42 および Table 43 にカメラ認識に関わる情報、及び撮像映像より得られた立体物、車線の情報を示す。

Table 42 認識結果インターフェース(立体物)

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	s
	認識時間	カメラの認識時間を出力	s
固有情報	センサ種別	センサ種別を出力	—
	センサ ID	センサ固有の ID を出力	—
物標 ID	物標 ID	物標の ID を出力	—
	物標認識総数	車両対象物の認識総数を出力	—
物標サイズ	画面座標(x,y)	カメラ画像上の物標中心座標を出力	pixel
	センサ座標(X,Y,Z)	物標のサイズを出力	m
物標位置情報	画面座標(x,y)	カメラ画像上の物標中心座標を出力	m
	センサ座標(X,Y,Z)	レンズ焦点位置を基準とした物標中心座標を出力	m
	世界座標(緯度,経度,高度)	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
速度	速度(X,Y,Z)	物標の移動速度を出力	km/h
種別情報	詳細種別	車両対象物の認識数を出力	—
	進行方向種別	先行車、対向車、右左、もしくは進行方向角度を出力	—, rad
付加情報	標識種別	標識の種別を出力	—
	速度標識	制限速度を出力	km/h
信頼度	信頼度	物標の検出信頼度を出力	%

Table 43 認識結果インターフェース(車線)

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	s
	認識時間	カメラの認識時間を出力	s
固有情報	センサ種別	センサ種別を出力	—
	センサ ID	センサ固有の ID を出力	—
車線 ID	車線 ID	車線の ID を出力	—
	車線認識総数	車線の認識総数を出力	—
車線位置情報	画面座標(X,Y)	自車両中心位置から 1～100m 先の車線を出力	pixel
	センサ座標	自車両中心位置から 1～100m 先の車線を出力	m
	センサ座標(近似式)	センサ座標系における近似係数を出力	—
車線種別情報	自車両側車線	車線の種別を出力	—
	二重車線外側	二重車線の種別を出力	—

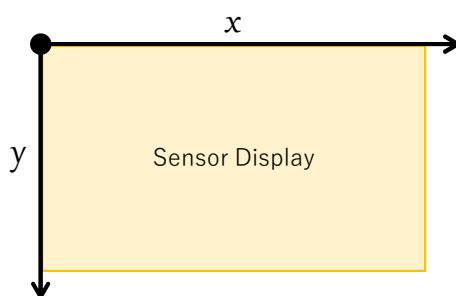
	三重車線外側	三重車線の種別を出力	—
信頼度	信頼度	物標の検出信頼度を出力	%

(エ) 座標系

各種座標系の定義は以下の通りである。

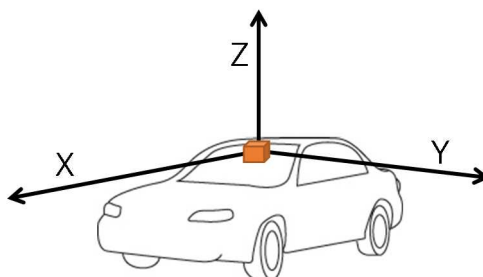
(a) 画面座標系

画面左上を原点とし、左右方向を x 軸、上下方向を y 軸とする。



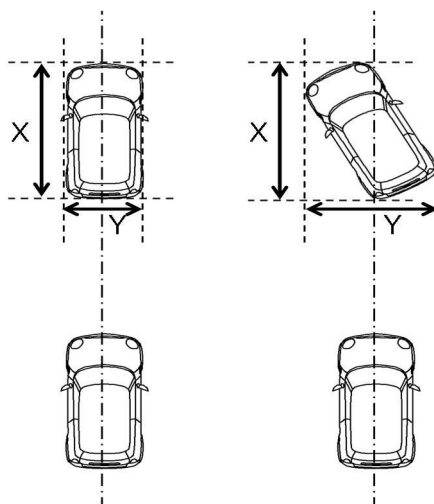
(b) 物標座標系(センサ基準)

レンズ焦点を原点とし、進行方向を X 軸、左右方向を Y 軸、上下方向を Z 軸とする。



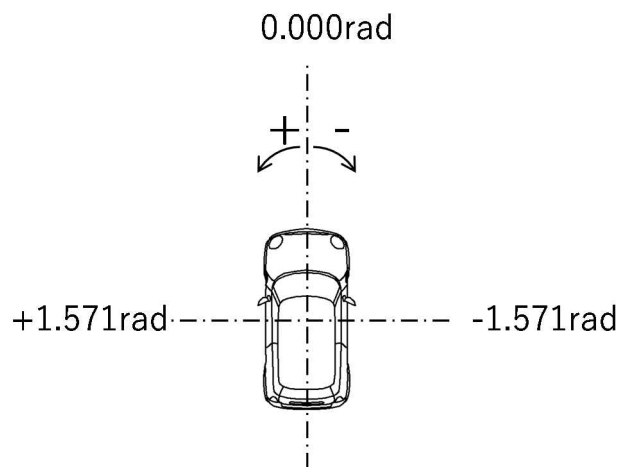
(c) 物標情報(サイズ)

レンズ焦点を原点とし、進行方向を X 軸、左右方向を Y 軸、上下方向を Z 軸とする。



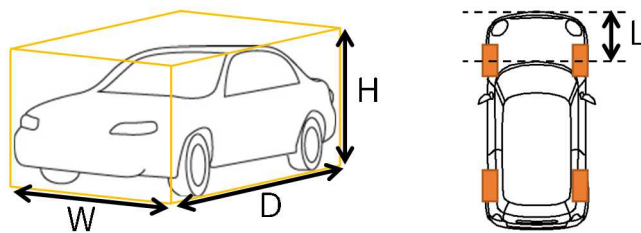
(d) 物標角度

軸方向をゼロ度とし、左回転を正とする。



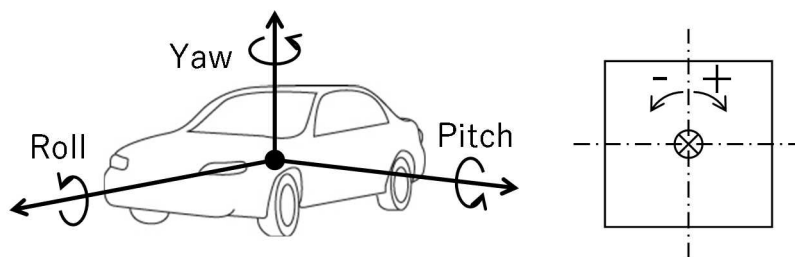
(e) 車両規格

車両幅(W)、車両長(L)、車両高さ(H)、前輪車軸中心からバンパーまでの長さ(L)を規定する。



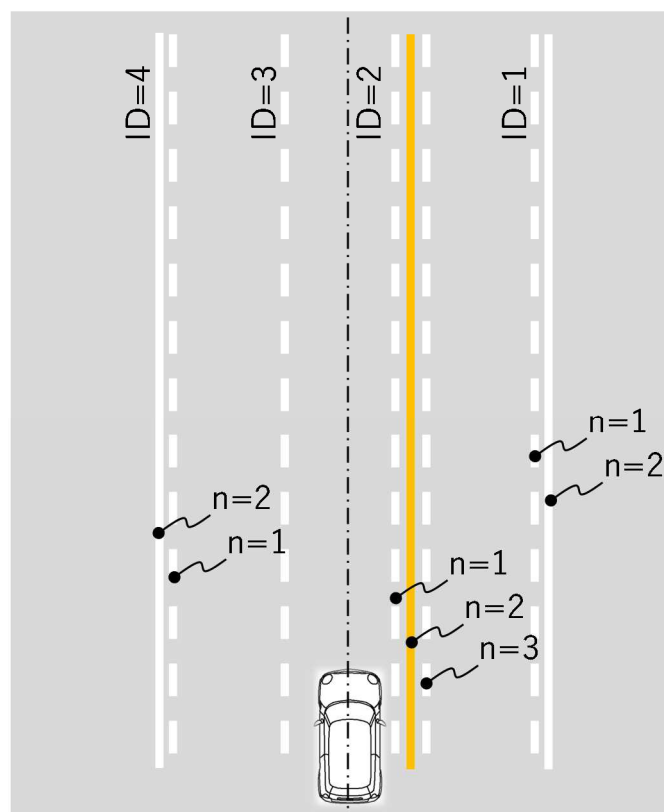
(f) 角度規定

ヨー、ロール、ピッチをそれぞれ右回転とし規定する。



(g) 車線

車線 ID は右から定義する。車線 ID ごとの複数車線は自車両側より定義する。



⑦ 物理モデルの開発

要件に基づく決定分析表から、ストラドビジョン製のカメラ認識エンジン(SVNet)を選定した。接続可能なカメラセンサであるソニー製 ISX019 を搭載し、仮想環境におけるカメラモデル構築を推進した。カメラモデル構築においては、カメラセンサを搭載した実機版(V3H 版)と、CG エンジンを入力とする PC 環境版(PC 版)をそれぞれ構築した。V3H 版は実車試験環境の比較評価用であり、シミュレータ環境である PC 版が本事業の最終形態となる。

※成果物:実機版(V3H)操作手順書、検証結果報告

(ア) システム構成

(a) PC 版システム構成

Figure 73 に PC 版システム構成図を示す。PC 版認識エンジンでは、環境モデルから高精細 CG 画像、車両情報を入力情報とし、認識処理を行う。またその結果は C パート、自動運転モデル及び評価ツールに出力する。C パートに出力するためのインターフェース仕様は、他のセンサモデル(ミリ波、LiDAR)と共通化する構成とする。

高精細 CG 画像には認識エンジンによる認識結果である露光制御をフィードバックする構成とする。プラットフォームとなるカメラモデル制御クラスでは、基の画像データから Bayer 変換を行い、Ethernet 経由にて画像を出力する。

認識アプリでは、車両挙動情報、及び高精細 CG 画像を標準インターフェース仕様にに基づき、適切な入力データ変換処理を行い、認識エンジンに入力する。認識エンジンの出力情報においても同様に、標準インターフェース仕様にに基づき、出力データ変換処理を実施後、評価ツール等へ出力する。

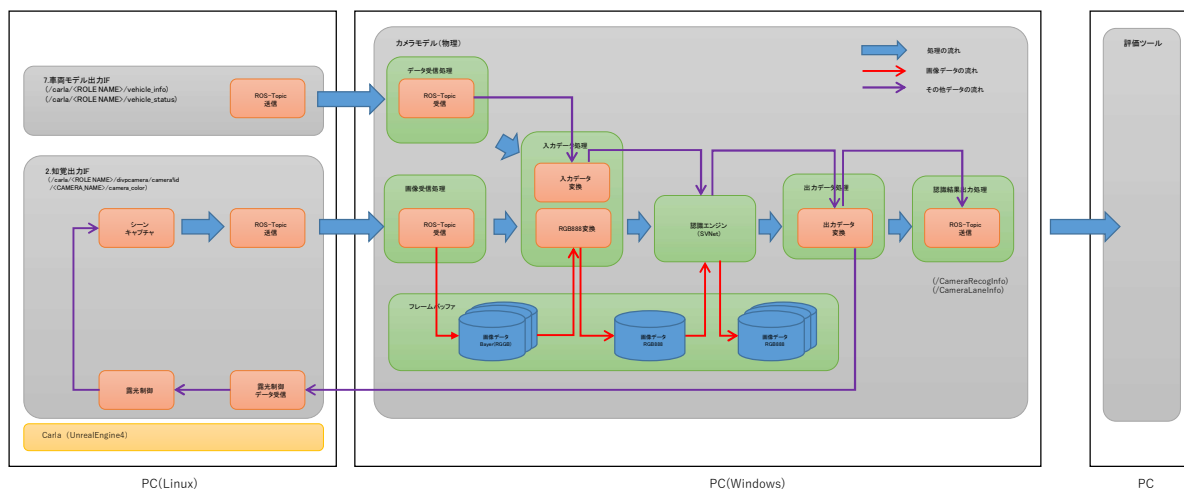


Figure 73 PC 版システム構成図

(b) PC 版環境モデル

Figure 74 に PC 版認識エンジンに、高精細 CG データを提供する環境モデルを示す。

環境モデルは、仮想環境における条件として、環境情報(道路、信号、周辺立体物、天候など)、自車両運動情報を定義する。また、認識エンジンからカメラ情報、露光制御情報を入力条件とし、それらの条件に基づく周辺環境の映像を高精細 CG データとして生成し、認識エンジンに提供する。

高精細 CG 画像の送信情報量から、10 ギガビットイーサネットにより UDP にて送信する。

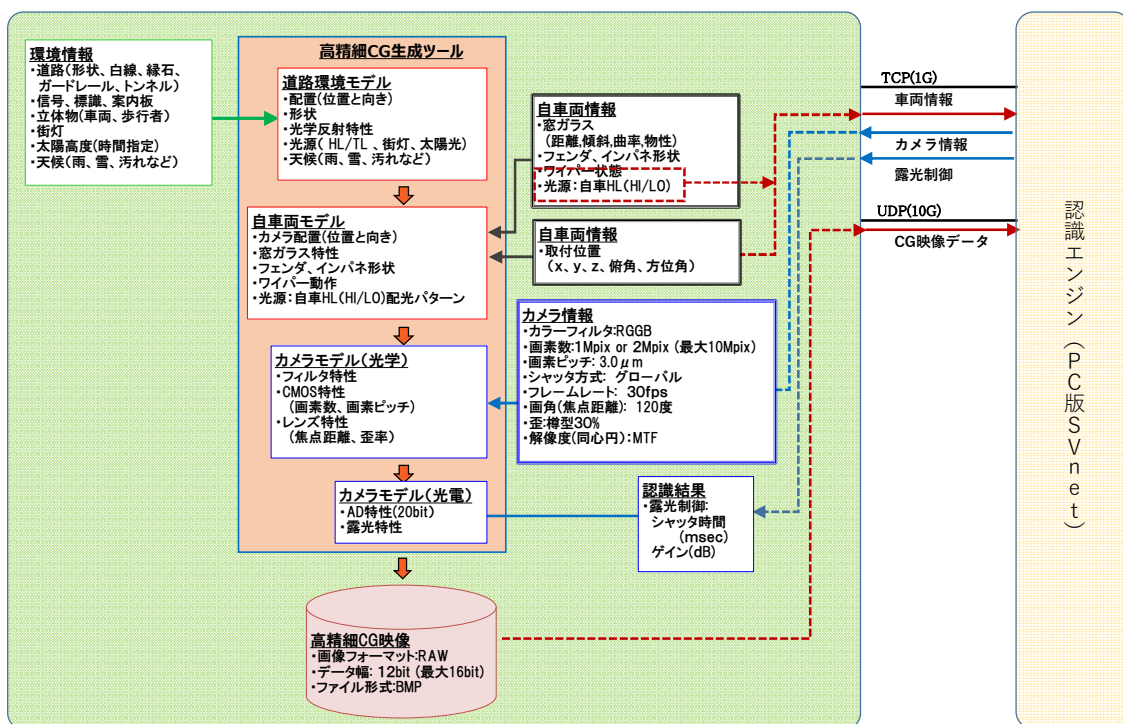


Figure 74 PC 版環境モデル

(c) PC 版認識エンジン

Figure 75 に PC 版認識エンジン構成図を示す。PC 版認識エンジンでは、環境モデルから車両情報（自車両運動情報）、高精細 CG データ入力情報とし、認識処理を行い、C パート及び評価ツールに出力する。なお、高精細 CG データは、標準フォーマットのひとつに規定する RGB888 に変換し、入力する。

認識結果は、立体物認識結果、車線認識結果を C パート及び評価ツールに出力し、カメラ情報、露光制御情報を環境モデルに出力する。なお、認識結果に露光制御情報が無い場合は、ソフト処理にて露光制御情報を簡易的に算出し、出力する。

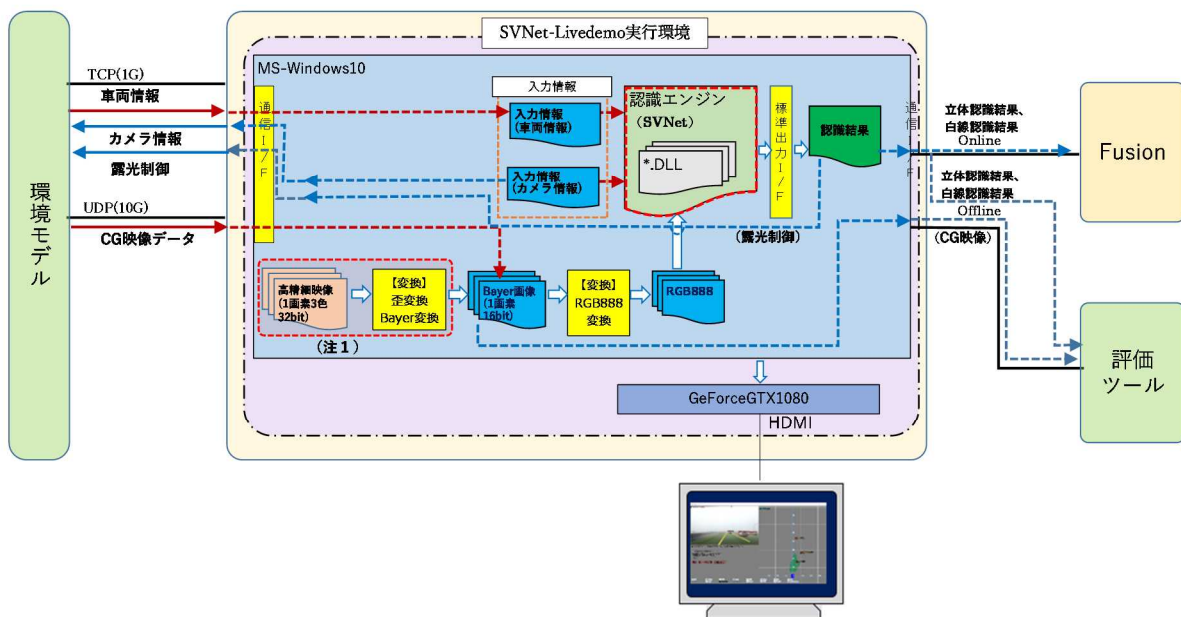


Figure 75 PC 版認識エンジン構成図

(d) V3H 版システム構成

Figure 76 に V3H 版システム構成図を示す。V3H 版システム構成では、実車走行での撮像映像をカメラモジュールから入力し、認識処理を行う。そして、その認識結果を映像データと共に評価ツールに出力する。評価ツールではこれらのデータを基に認識結果の評価を実施する。

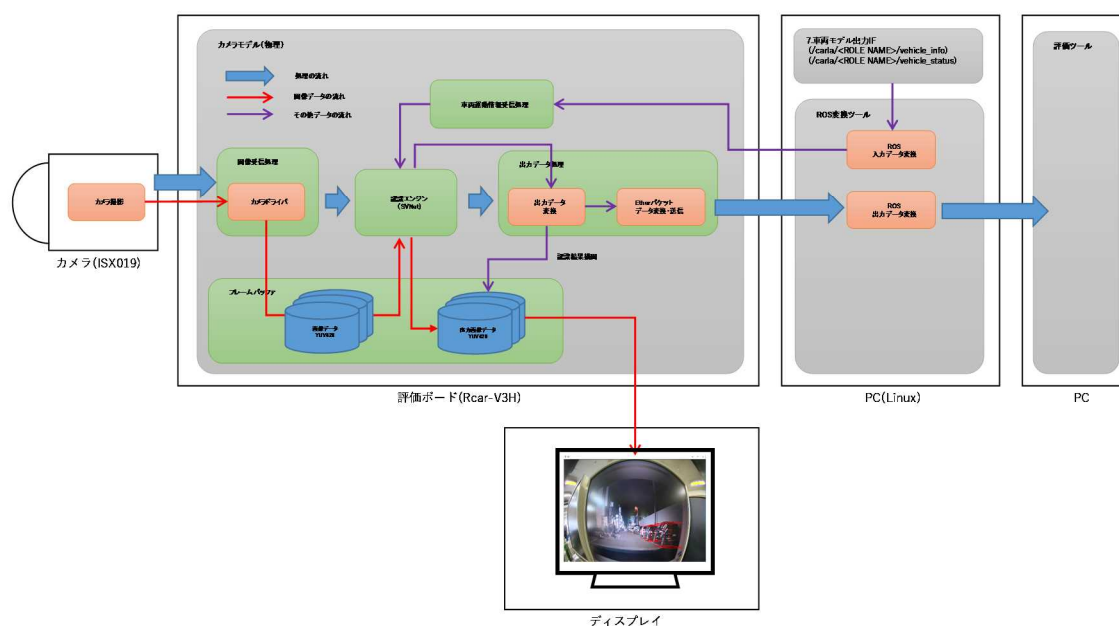


Figure 76 V3H 版システム構成図

(e) V3H 版認識エンジン

Figure 77 に V3H 版認識エンジン構成図を示す。V3H 版認識エンジンでは、カメラモジュールから映像データを入力し、開発 PC から自車両運動情報、自車両情報を入力し、認識処理を行う。なお、映像データは YUV フォーマットで入力される。また、開発 PC から入力される自車両運動情報、自車両情報は V3H 評価ボード内の不揮発性メモリに格納しておき、更新の必要に応じて書き換えを実施する。

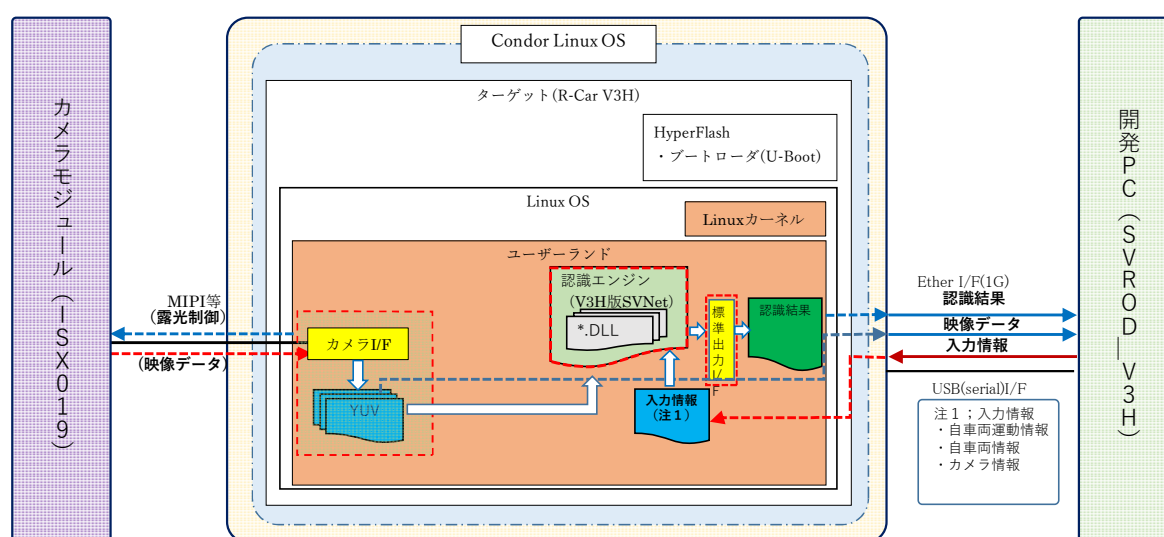


Figure 77 V3H 版認識エンジン構成図

(f) V3H 版 PC 開発環境

Figure 78 に V3H 版認識エンジンを動作させるための開発用 PC の構成図を示す。開発用 PC では、V3H 評価ボードの認識エンジンに関わるプログラム（インターフェース整合等）の構築、及び V3H 評価ボードから出力されるデータの収集を行う。V3H 評価ボードでは、開発 PC から自車両運動情報、自車両情報を V3H 版認識エンジンに入力する。そして、V3H 版認識エンジンから出力される認識結果（立体物認識結果、車線認識結果）と映像データを評価ツールに出力する。なお、認識結果はカメラ出力インターフェース仕様に基づき定義する。

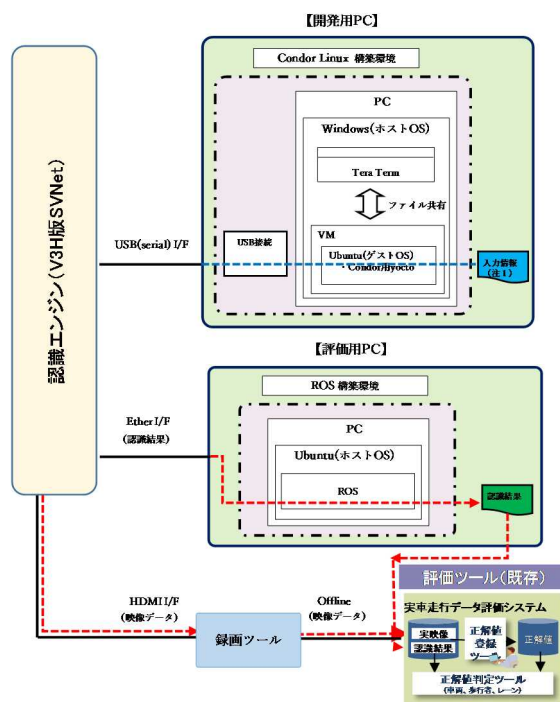


Figure 78 V3H 版開発用 PC の構成図

(イ) 画像変換処理

PC 版の環境モデル出力画像を認識エンジンに入力するための変換方式について示す。

環境モデルの出力画像フォーマットは Bayer(RGBG)であり、認識エンジンの入力仕様は RGB888 である。

そのため、OpenCV により提供される変換処理を利用し、RGB への変換を実施した。

また色深度についても 16bit から 8bit に変換する。

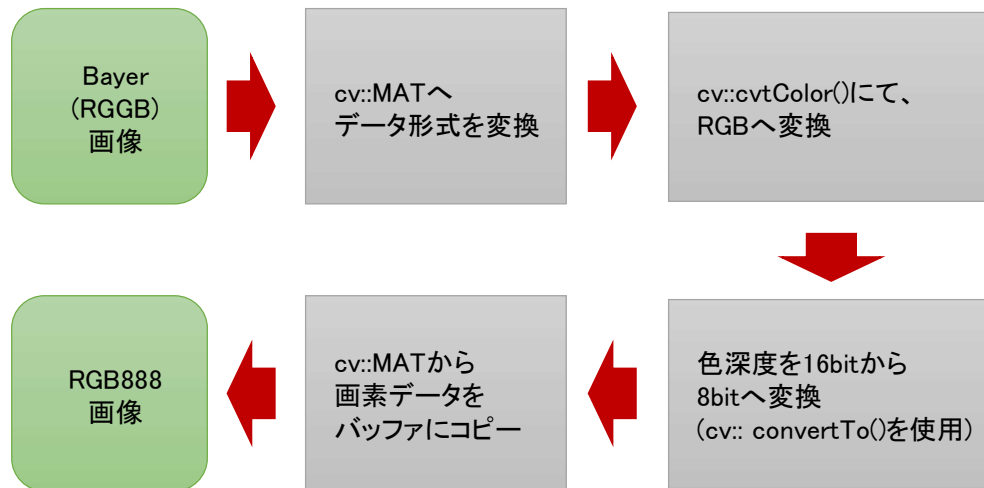


Figure 79 画像変換処理

⑧ 基本機能評価

本章では、このカメラモデルが正しく構築できているかを確認する為、実機版(V3H)と PC 版を用いて比較検証する方法を記載する。

※成果物: 基本機能評価仕様書、検証結果報告

(ア) カメラ検証ステップ

カメラモデル検証は、以下に示す大きく4つのステップで検証を実施する。

■ 動作結合チェック

カメラモデルに映像データが正しく入力されていること、認識結果が仕様通りに出力され、保存可能となる環境であることを確認する。

■ 事前検証

同一の映像入力(実車映像や CG 映像)を用いて実機版(V3H)と PC 版の認識結果を比較する。
これらの結果から実機版(V3H)と PC 版の認識エンジンの誤差を確認する。

■ 基本検証

実車映像を入力した実機版(V3H)から得られた認識結果と、実車と同一シナリオの CG 映像を入力した CG 版から得られた認識結果から、実機映像と CG 映像による認識結果の差分検証を行う。

■ 不調検証

基本検証環境と、基本検証環境に逆光や雨などの不調要因が含まれた環境それぞれの認識結果を比較することで、不調要因による認識率の低下や誤差要因を検証する。

それぞれのステップごとの評価方法と内容を以下に示す。

(a) 動作結合チェック

動作結合チェックでは、PC 版と実機版(V3H)に正しく映像データや認識結果が入出力されているかを確認するステップである。実車データを物理モデル:実機版(V3H)に入力し、実車認識結果を得る。また、PC 版も同様に CG データを物理モデル PC 版に入力し、CG 認識結果を得る。Figure 80 に動作結合チェックの構成図を示す。

この環境下で以下を検証する。

■評価内容

- (i) 環境確認
- (ii) フォーマット確認
- (iii) CG 作りこみ確認

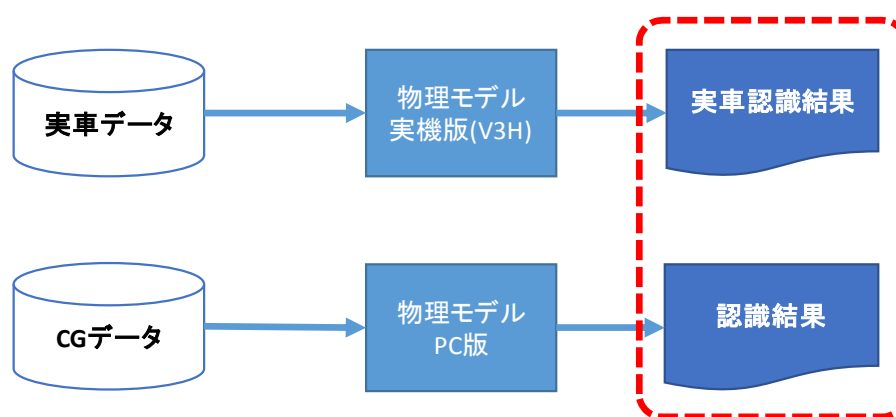


Figure 80 動作結合チェック構成図

(b) 事前検証

事前検証では、物理モデルの実機版(V3H)と PC 版の評価を行うステップである。物理モデルの実機版(V3H)と PC 版それぞれに同じ実車データを入力し、出力された認識結果を比較する。また、入力データを CG データとして同様の試験を行う。このようにして、物理モデルの実機版(V3H)と PC 版の性能を評価する。Figure 81 に事前検証の構成図を示す。この環境下で、以下の内容の評価する。

■評価内容

- (i) CG 映像作りこみ確認
- (ii) 実機版(V3H)と PC 版の相互評価

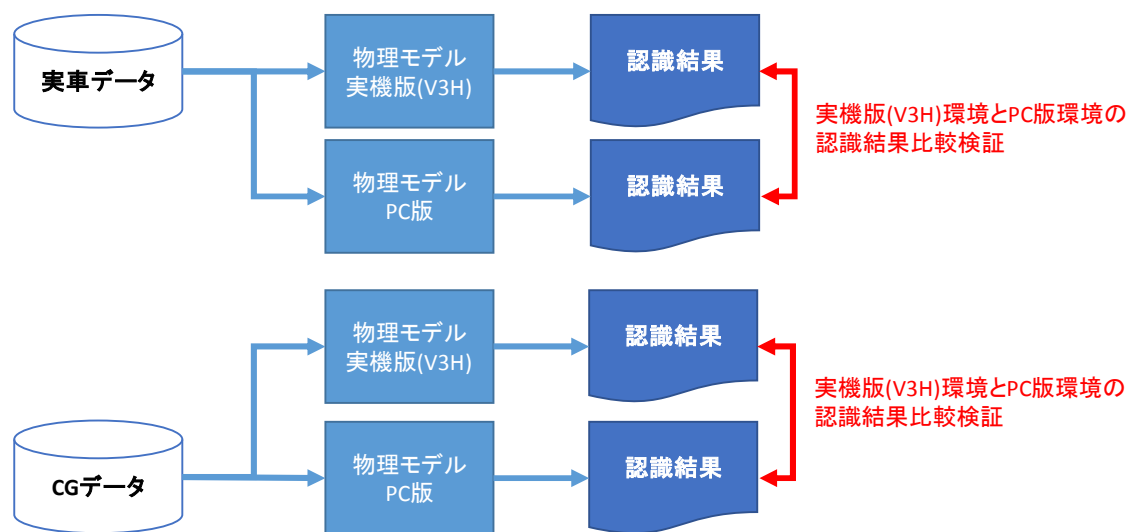


Figure 81 事前検証構成図

(c) 基本検証

基本検証では、事前検証で性能評価された物理モデルに対して、同じシナリオで作成された実車データとCG データそれぞれを物理モデルに入力し、評価結果を用いてカメラの機能を評価するステップである。また、本ステップより認識結果と正解値との比較も実施する。Figure 82 に基本検証の構成図を示す。

この環境下で、以下の内容を評価する。

■評価内容

- (i) 実機版(V3H)認識結果と実車正解値との比較検証
- (ii) PC 版認識結果とCG 正解値との比較検証
- (iii) 実機版(V3H)とPC 版の相互評価

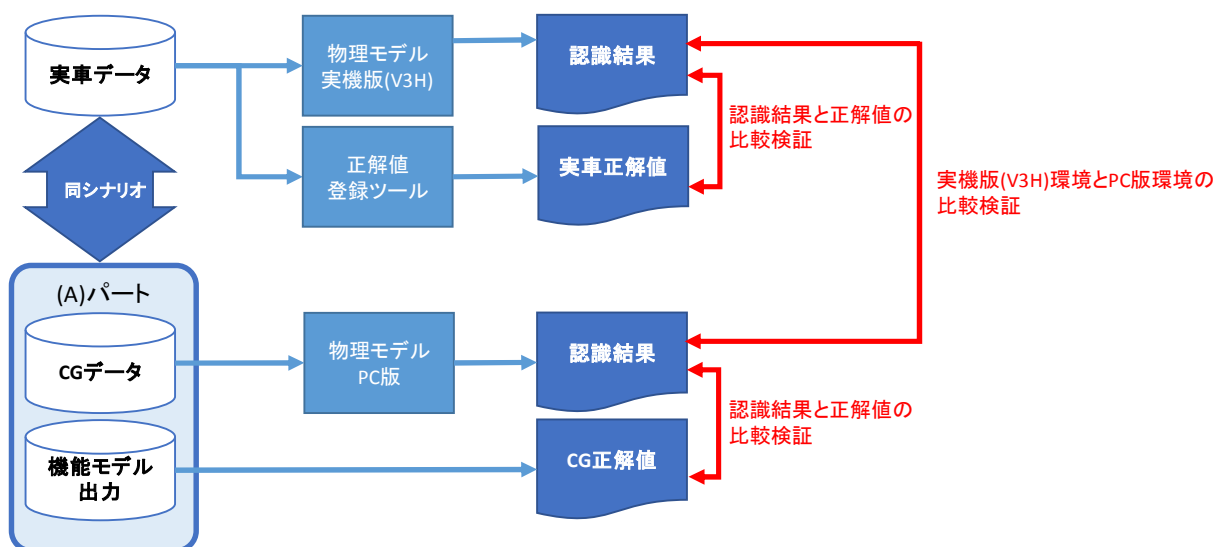


Figure 82 基本検証構成図

(d) 不調検証

不調検証では、基本検証で検証した不調要因無しのシーンに対して、不調要因を追加した実車データやCG データを使用して不調要因の影響を検証するステップである。基本検証の構成をそのままに不調要因を考慮した入力データを作成し、出力された実車データと CG データを比較する。また、不調要因無しのデータとの相互比較も実施する。Figure 83 に不調検証の構成図を示す。この環境下で下記内容を評価する。

■評価内容

◆不調要因無し同士の比較

- (i) 実機版(V3H)認識結果(不調要因無し)と実車正解値(不調要因無し)の比較検証
- (ii) PC 版認識結果(不調要因無し)と CG 正解値(不調要因無し)の比較検証
- (iii) 実機版(V3H)版認識結果(不調要因無し)と PC 版認識結果(不調要因無し)の比較検証

◆不調要因有り同士の比較

- (i) 実機版(V3H)認識結果(不調要因有り)と実車正解値(不調要因有り)の比較検証
- (ii) PC 版認識結果(不調要因有り)と CG 正解値(不調要因有り)の比較検証
- (iii) 実機版(V3H)認識結果(不調要因有り)と PC 版認識結果(不調要因有り)の比較検証

◆不調要因有りとなしとの比較

- (i) 実機版(V3H)認識結果(不調要因無し)と実機版(V3H)認識結果(不調要因有り)の比較検証
- (ii) PC 版認識結果(不調無し)と PC 版認識結果(不調有り)の比較検証

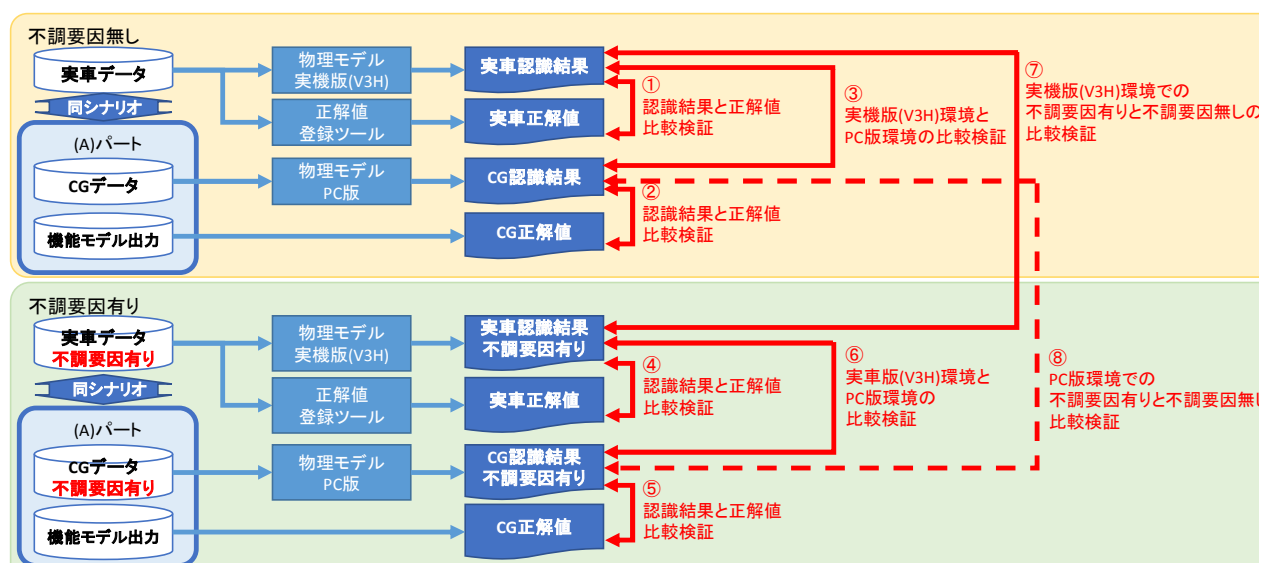


Figure 83 不調検証構成図

(イ) 検証ステップごとの評価シーン

本章では、前章で定めた検証ステップにおける評価シーンを記載する。

(a) 動作結合チェック

動作結合チェックでは、動的モデルの実機版(V3H)と PC 版の環境およびフォーマット確認の為、カメラを実車に非搭載の環境で試験を実施する。

三脚の上にカメラを備え付け、停止したターゲットに対して評価する。

Table 44 に動作結合チェックでの評価シーンを示す。

Table 44 動作結合チェック評価シーン

No.	Phase	優先度	目的	シチュエーション	ターゲット	道路	イメージ	試験概要	試験条件
1	動作結合チェック	高	フロントガラスの歪みが無い状態でのCG評価	定点測定	車両	直線路		Xm(5m、10m、...)位置に先行車を設定	距離: 5m、10m、20m、30m、40m、.....(ロストするまで)
2	動作結合チェック	高	フロントガラスの歪みが無い状態でのCG評価	定点測定	歩行者	直線路		Xm(5m、10m、...)位置に歩行者を設定	距離: 5m、10m、20m、30m、40m、.....(ロストするまで)

(b) 事前検証

事前検証では、カメラを車両に搭載した状態で試験を実施する。

ただし、自車もしくは先行車(歩行者)のどちらか少なくとも1台は停止した状態での試験とする。

Table 45 に事前検証での評価シーンを示す。

Table 45 事前検証での評価シーン

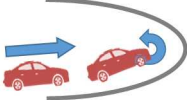
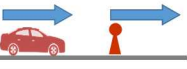
No.	Phase	優先度	目的	シチュエーション	ターゲット	道路	イメージ	試験概要	試験条件
3	事前検証	高	フロントガラスの歪みを含めた状態でのCG評価	定点測定	車両	直線路		Xm(5m、10m、...)位置に先行車を設定	距離: 5m、10m、20m、30m、40m、.....(ロストするまで)
4	事前検証	高	フロントガラスの歪みを含めた状態でのCG評価	定点測定	歩行者	直線路		Xm(5m、10m、...)位置に歩行者を設定	距離: 5m、10m、20m、30m、40m、.....(ロストするまで)
5	事前検証	中	低車速での離間による実車比較	離間	車両	直線路		自車: 停止 先行車: 車間0m停止状態 →一定速走行 道路: 直線路	車速: 5km/h
6	事前検証	低	低車速での離間による実車比較	離間	車両	カーブ路		自車: 停止 先行車: 車間0m停止状態 →一定速走行 道路: カーブ路	車速: 5km/h
7	事前検証	中	低車速での離間による実車比較	離間	歩行者	直線路		自車: 停止 歩行者: 車間0m停止状態 →一定速走行 道路: 直線路	歩行速度: 3km/h、5km/h
8	事前検証	低	低車速での離間による実車比較	離間	歩行者	カーブ路		自車: 停止 歩行者: 車間0m停止状態 →一定速走行 道路: カーブ路	歩行速度: 3km/h、5km/h
9	事前検証	中	低車速での接近による実車評価	接近	車両	直線路		自車: 車間300m停止状態 →一定速走行 先行車: 停止 道路: 直線路	車速: 5km/h
10	事前検証	低	低車速での接近による実車評価	接近	車両	カーブ路		自車: 車間300m停止状態 →一定速走行 先行車: 停止 道路: カーブ路	車速: 5km/h
11	事前検証	中	低車速での接近による実車評価	接近	歩行者	直線路		自車: 車間300m停止状態 →一定速走行 歩行者: 停止 道路: 直線路	車速: 5km/h
12	事前検証	低	低車速での接近による実車評価	接近	歩行者	カーブ路		自車: 車間0m停止状態 →一定速走行 歩行者: 停止 道路: カーブ路	車速: 5km/h

(c) 基本検証

基本検証では、自車および先行車(歩行者)が共に移動している最中の試験を実施する。

Table 46 に基本検証での評価シーンを示す。

Table 46 基本検証での評価シーン

No.	Phase	優先度	目的	シチュエーション	ターゲット	道路	イメージ	試験概要	試験条件
13	基本検証	高	相対速度が0km/hにおける実車評価	追従	車両	直線路		自車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 先行車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 道路: 直線路	車速: 5km/h 車間: 5m、10m、30m、50m
14	基本検証	中	相対速度が0km/hにおける実車評価	追従	車両	カーブ路		自車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 先行車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 道路: カーブ路	車速: 5km/h 車間: 5m、10m、30m、50m
15	基本検証	高	相対速度が0km/hにおける実車評価	追従	歩行者	直線路		自車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 歩行者: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 道路: 直線路	速度: 3km/h、5km/h 車間: 5m、10m、30m、50m
16	基本検証	中	相対速度が0km/hにおける実車評価	追従	歩行者	カーブ路		自車: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 歩行者: 車間Xm停止状態 ⇒一定速走行 道路: カーブ路	速度: 3km/h、5km/h 車間: 5m、10m、30m、50m

(d) 不調検証

不調検証では、基本検証で評価された環境に加えて以下の4件の不調要因を加えた試験を実施する。

カメラが誤認識や不認識を起こす要因である、逆光などの光の要因や夜間、フロントガラスへの付着物を考慮して設定した。Table 47 に不調検証の評価シーンを示す。

Table 47 不調検証の評価シーン

No.	名称	イメージ	特徴・条件	狙い(どんな不調再現のためか)	優先度	タイミング
1	逆光		カメラの光軸上に太陽があり 逆光状態で先行車などのターゲット車両を見失う	逆光で先行車が見えずに不検知	高	不調評価
2	夜間歩行者		夜間に暗色の服を着た歩行者が交差点を横断	周辺の色と同化し、不検知	高	不調評価
3	光の影響		・路面上の水たまり	路面への映り込みを誤認識	高	不調評価
4	フロントガラスの付着物		雨粒、雪、虫や鳥の糞、油膜、ガラス曇り	フロントガラスに雨粒などの付着によるターゲット不検知/誤検知	中	不調評価

(ウ) 検証ステップごとの評価内容

本章では、ステップごとの評価項目について示す。

(a) 動作結合チェック

動作結合チェックでは、PC 版と実機版(V3H)の入出力環境と、入出力 I/F におけるフォーマット確認、CG の作りこみを確認する。それぞれの詳細項目を Table 48 に示す。

Table 48 動作結合チェック検証項目

No	Step	評価目的	評価対象	評価項目	優先度	評価方法	
1	動作結合チェック	環境確認	PC版	入力	映像取り込み確認	高	入力されている映像がとりこめているか確認 ※バッファデータを確認
2					フォーマット確認 ※標準I/F	高	標準I/F情報が取り込まれていることを確認
3				出力	ログ出力	高	ログPGIにてROS形式で取得されているか確認
4					ログ記録	高	ログPGIにてROS形式で取得されているか確認
5					映像+認識重畳出力 ※FULL	高	ディスプレイで映像と認識結果が重畳して出力されていることを確認
6					映像記録 ※FULL	高	ログPGIにて映像+認識重畳結果を映像保存出ていることを確認
7					映像記録 ※FULL	高	ログPGIにて映像がフレーム落ちなく取得されていることを確認
8			実機版(V3H)	入力	映像取り込み確認	高	入力されている映像がとりこめているか確認 ※メモリ上確認
9					フォーマット確認 ※標準I/F	高	標準I/F情報が取り込まれていることを確認
10				出力	ログ出力	高	ログPGIにてROS形式で取得されているか確認
11					ログ記録	高	ログPGIにてROS形式で取得されているか確認
12					映像+認識重畳出力 ※コマ落ちあり	高	ディスプレイで映像と認識結果が重畳して出力されていることを確認
13					映像記録 ※FULL	高	ログPGIにて映像+認識重畳結果を映像保存出ていることを確認
14					映像記録 ※FULL	高	ログPGIにて映像がフレーム落ちなく取得されていることを確認
15		CGの作りこみ確認	CG再現性確認	ターゲットの高さ表現	-	高	画面サイズと車両の高さ、距離から理論値計算
16					-	高	同条件の実車映像との比較
17				ターゲットの幅表現	-	高	画面サイズと車両の高さ、距離から理論値計算
18					-	高	同条件の実車映像との比較
19				カメラ消失点設定	-	高	カメラの高さ設定が正しいか
20					-	高	カメラ取付姿勢(Yaw,Roll,Pitch)が実車と同様か
21		※参考	認識性評価:物標	物標ID	物標ID	低	CGと実車で同じ値をとっているか
22	画面歪みの有り無し			物標認識総数	物標認識総数	低	CGと実車で同じ値をとっているか
23	により参考とする			画面座標	画面座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
24				物標サイズ	センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
25					画面座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
26				物標位置情報	センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
27					ワールド座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
28				速度	速度	低	CGと実車で同じ値をとっているか
29				種別情報	詳細種別	低	CGと実車で同じ値をとっているか
30					進行方向種別	低	CGと実車で同じ値をとっているか
31				付加情報	標識種別	一	CGと実車で同じ値をとっているか
32					速度標識	一	CGと実車で同じ値をとっているか
33				信頼度	規格化	低	CGと実車で同じ値をとっているか
34					検出数	低	CGと実車で同じ値をとっているか
35			認識性評価:白線	車線ID	車線ID	低	CGと実車で同じ値をとっているか
36				車線認識総数	車線認識総数	低	CGと実車で同じ値をとっているか
37				画面座標	画面座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
38				センサ座標	センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとっているか
39				(近似式)	(近似式)	低	CGと実車で同じ値をとっているか
40				車線種別情報	自車側車線(1本含む)	低	CGと実車で同じ値をとっているか
41					二重車線外側(三重車線中央)	低	CGと実車で同じ値をとっているか
42					三重車線外側	低	CGと実車で同じ値をとっているか
43				信頼度	規格化	低	CGと実車で同じ値をとっているか
44					検出数	低	CGと実車で同じ値をとっているか

(b) 事前検証

事前検証では、車両にカメラを搭載した状態を考慮し、フロントガラスの歪みなどが含まれた CG の作りこみと、実機版(V3H)と PC 版の相互評価を実施する。

Table 49 に事前検証の検証項目を示す。

Table 49 事前検証 検証項目

No	Step	評価目的	評価対象	評価項目		優先度	評価方法
2	1	事前検証 CGの作りこみ確認	CG再現性確認	ターゲットの高さ表現	-	高	画面サイズと車両の高さ、距離から理論値計算
	2					高	同条件の実車映像との比較
	3			ターゲットの幅表現	-	高	画面サイズと車両の高さ、距離から理論値計算
	4					高	同条件の実車映像との比較
	5			カメラ消失点設定	-	高	カメラの高さ設定が正しいか
	6					高	カメラ取付姿勢(Yaw, Roll, Pitch)が実車と同様か
	7	実機版(V3H)とPC版 の相互評価	認識性評価: 物標	物標ID	物標ID	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	8				物標認識総数	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	9			物標サイズ	画面座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	10				センサ座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	11			物標位置情報	画面座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	12				センサ座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	13				ワールド座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	14			速度	速度	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	15			種別情報	詳細種別	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	16				進行方向種別	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	17			付加情報	標識種別	—	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	18				速度標識	—	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	19		信頼度	規格化	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。	
	20			検出数	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。	
	21		認識性評価: 白線	車線ID	車線ID	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	22				車線認識総数	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	23			車線位置情報	画面座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	24				センサ座標	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	25				(近似式)	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	26			車線種別情報	自車両側車線 (1本含む)	高	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	27				二重車線外側 (三重車線中央)	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	28				三重車線外側	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	29			信頼度	規格化	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。
	30				検出数	中	CGと実車の誤差を確認する。また、CGへのフィードバックを実施する。

(c) 基本検証

基本検証では、実機版(V3H)と PC 版に加え正解値との相互検証を実施する。

Table 50 に基本検証での検証項目を示す。

Table 50 基本検証 検証項目

No	Step	評価目的	評価対象	評価項目		優先度	評価方法
3	1 基本検証	実機版(V3H)認識結果と 実車正解値との 比較検証	認識性評価:物標	物標ID	物標ID	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					物標認識総数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				物標サイズ	画面座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				物標位置情報	画面座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					ワールド座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					速度	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				種別情報	詳細種別	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					進行方向種別	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				付加情報	標識種別	—	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					速度標識	—	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				信頼度	規格化	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					検出数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
			認識性評価:白線	車線ID	車線ID	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					車線認識総数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				車線位置情報	画面座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					(近似式)	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					自車両側車線(1本含む)	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				車線種別情報	二重車線外側(三重車線中央)	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					三重車線外側	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					規格化	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				信頼度	検出数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
					検出数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
				認識性評価:白線	車線ID	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					車線認識総数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線位置情報	画面座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					(近似式)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					自車両側車線(1本含む)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線種別情報	二重車線外側(三重車線中央)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					三重車線外側	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					規格化	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				信頼度	検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				認識性評価:白線	車線ID	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					車線認識総数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線位置情報	画面座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					(近似式)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					自車両側車線(1本含む)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線種別情報	二重車線外側(三重車線中央)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					三重車線外側	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					規格化	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				信頼度	検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				認識性評価:白線	車線ID	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					車線認識総数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線位置情報	画面座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					(近似式)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					自車両側車線(1本含む)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				車線種別情報	二重車線外側(三重車線中央)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					三重車線外側	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					規格化	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
				信頼度	検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
					検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する

(d) 不調検証

不調検証では、不調要因を含めた実車データや CG データを用いた検証を実施する。

Table 51 に不調検証の検証項目を示す。

Table 51 不調検証 検証項目

No	Step	評価目的	評価対象	評価項目	優先度	評価方法
4	1	実機版(V3H)認識結果(不調無し)と 実車正解値(不調無し)との 比較検証	認識性評価：物標	物標ID	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	2			物標認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	3			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	4			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	5			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	6			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	7			ワールド座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	8			速度	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	9			詳細種別	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	10			進行方向種別	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	11			標識種別	—	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	12			速度標識	—	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	13			信頼度	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	14			検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	15			車線ID	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	16			車線認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	17			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	18			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	19			(近似式)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	20			自車両側車線 (1本含む)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	21			車線種別情報	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	22	PC版認識結果(不調無し)と CG正解値(不調無し)との 比較検証	認識性評価：物標	三車線外側 (中央)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	23			三車線外側	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	24			規格化	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	25			検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	26			物標ID	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	27			物標認識総数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	28			画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	29			センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	30			画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	31			センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	32			ワールド座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	33			速度	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	34			詳細種別	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	35			進行方向種別	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	36			標識種別	—	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	37			速度標識	—	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	38			信頼度	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	39			検出数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	40			車線ID	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	41			車線認識総数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	42	実機版(V3H)認識結果(不調無し)と PC版認識結果(不調無し)との 比較検証	認識性評価：物標	画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	43			センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	44			(近似式)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	45			自車両側車線 (1本含む)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	46			車線種別情報	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	47			二重車線外側 (三車線中央)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	48			三車線外側	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	49			規格化	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	50			検出数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG正解値(不調無し)の誤差を検証する
	51			物標ID	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	52			物標認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	53			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	54			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	55			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	56			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	57			ワールド座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	58			速度	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	59			詳細種別	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	60			進行方向種別	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	61			標識種別	—	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	62			速度標識	—	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	63	認識性評価：白線	認識性評価：白線	信頼度	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	64			検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	65			車線ID	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	66			車線認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	67			画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	68			センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	69			(近似式)	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	70			自車両側車線 (1本含む)	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	71			車線種別情報	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	72			二重車線外側 (三車線中央)	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
				三車線外側	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
				規格化	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
				検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する

[illegible]

145	実機版(V3H)認識結果(不調無し)と 実機版(V3H)認識結果(不調あり)との 比較検証	認識性評価: 物標	物標ID	物標ID	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
146			物標認識総数	物標認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
147			物標サイズ	画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
148				センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
149			物標位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
150				センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
151			速度	ワールド座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
152				速度	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
153			種別情報	詳細種別	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
154				進行方向種別	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
155			付加情報	標識種別	一	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
156				速度標識	一	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
157			信頼度	規格化	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
158				検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
159		認識性評価: 白線	車線ID	車線ID	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
160				車線認識総数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
161			車線位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
162				センサ座標	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
163			車線種別情報	(近似式)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
164				自転車両側車線 (1本含む)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
165				二重車線外側 (三重車線中 央)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
166				三重車線外側	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
167				規格化	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
168				検出数	高	実車認識結果(不調無し)と、実車認識結果(不調あり)との誤差を検証する
169	PC版認識結果(不調無し)と PC版認識結果(不調あり)との 比較検証	認識性評価: 物標	物標ID	物標ID	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
170			物標認識総数	物標認識総数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
171			物標サイズ	画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
172				センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
173			物標位置情報	画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
174				センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
175			速度	ワールド座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
176				速度	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
177			種別情報	詳細種別	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
178				進行方向種別	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
179			付加情報	標識種別	一	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
180				速度標識	一	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
181			信頼度	規格化	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
182				検出数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
183		認識性評価: 白線	車線ID	車線ID	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
184				車線認識総数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
185			車線位置情報	画面座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
186				センサ座標	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
187			車線種別情報	(近似式)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
188				自転車両側車線 (1本含む)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
189				二重車線外側 (三重車線中 央)	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
190				三重車線外側	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
191				規格化	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する
192				検出数	高	CG認識結果(不調無し)と、CG認識結果(不調あり)との誤差を検証する

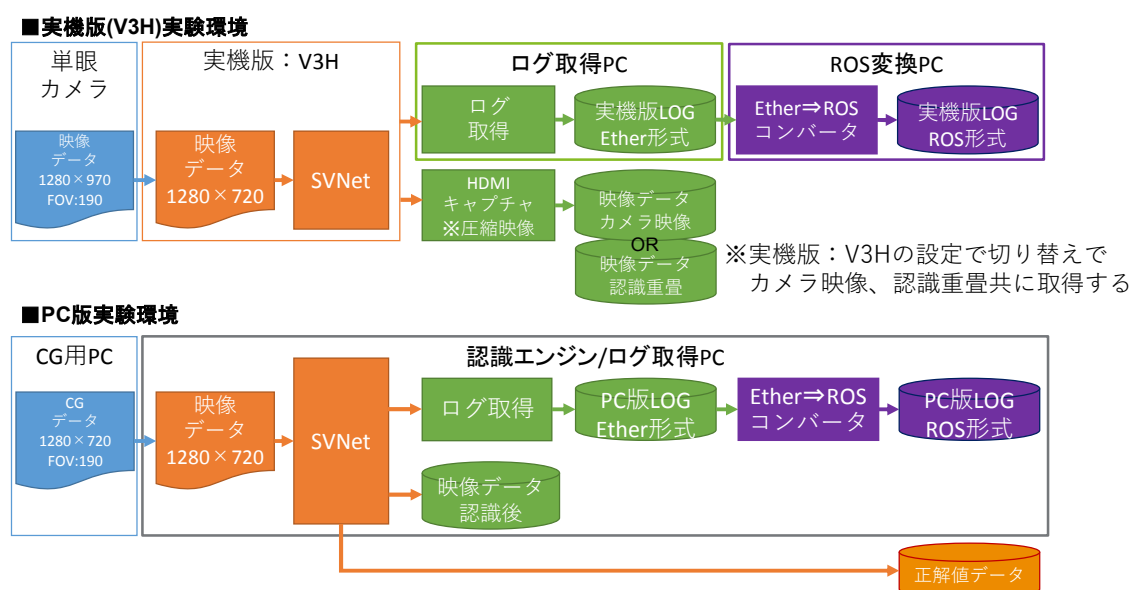
(エ) 検証結果

本章では、上記検証ステップの内、結合動作チェックと事前検証を行った結果を示す。

(a) 結合動作チェック

本節では、動作決チェック評価シーン No1 であるカメラを三脚に据えて、停止した先行車の実機(V3H)版とPC版それぞれの認識出力結果がI/Fと合致しているかを示す。

Figure 84 に実機版(V3H)とPC版それぞれの実験環境を示す。実機版(V3H)は、実機版(V3H)にある認識エンジン SVNet に単眼カメラで得られた映像を入力することで、認識結果を ROS 形式機にて保存する。PC版環境は実車相当の映像を作成し、PC版の認識エンジン SVNet に入力、認識結果を取得する。



1

Figure 84 動作結合チェック実験環境

この時、PC版で実カメラの画角である 190° 相当を入力すると魚眼の影響で実車とは異なる映像になるため、歪みの影響範囲を避け、実車サイズとなるように画角を調整した映像とした。

上記モデルキャリブレーションを Figure 85 に示す。

	画面サイズ	歪み	画角
実機版(V3H)	1280×720	あり	190deg
PC版	1280×720	なし	124deg

CGで歪みなし190degを適用した場合



歪みの影響範囲を避け、
実車サイズとなるように画角を調整する



モデルキャリブレーションにより、実機版(V3H)と PC 版が比較可能となった為、実車およびシミュレーション試験を行った。

以下、実車実験風景と取得映像を Figure 86 に、PC 版のシミュレーション結果を Figure 87 に示す。

HDMIキャプチャ

実機版(V3H)

Camera

```
[オブジェクト]
CamelAnalyticsInfo - 仕様
ファイル名 編集欄 参照ID 表示欄 ヘルプ欄
+
header:
  imagingTimeSec: 0
  imagingTimeSec: 0
  imagingTimeSec: 0
  specSensorType: 1
  specSensorID: 0
  numObject: 1
  objectInfo:
    id: 1
    targetSizeSec:
      x: 150
      y: 120
    targetSizeLen:
      x: 0.0
      y: 17.4584987271
    targetPosSec:
      x: 65
      y: 448
    targetPosLen:
      x: 13.0
      y: 0.131294541005
    targetPosMid:
      x: 0.726865314668
      longitude: 0.0
      altitude: 0.0
    speed:
      x: 0.0
      y: 0.0
    detailRefpe: 2
    directionVecs: 1
    directionVec: 0
    sianType: 0
    speedLimit: 0
    reliability: 99

[レーン]
CamelAnalyticsInfo - 仕様
ファイル名 編集欄 参照ID 表示欄 ヘルプ欄
+
x: 0
y: 0
x: 0
y: 0
x: 0
y: 0
x: 0
y: 0
x: 0
y: 0
x: 0
y: 0
laneIdSecOpt: [32767.0, 32767.0, 32767.0, 32767.0]
laneIdSecExp:
  approxInetFactor2: 0.0
  approxinertFactor1: 0.0
  approxinertFactor2: 0.0
lineInfo:
  ownVehicleSide: 144
  doubleLineInside: 0
  tripleLineInside: 0
  reliability: 0
  detectScore: 0
id: 0
lineOfScrmOpt:
  lateralIDSecOpt:
    x: 0
    y: 0
    x: 0
    y: 0
```

①映像記録



②映像+認識重畳出力:オブジェクト



③映像+認識重畳出力:レーン



※実機版(V3H)のHWバージョン依存により、オブジェクトとレーンを個別に表示

Figure 86 実車実験風景および取得環境結果

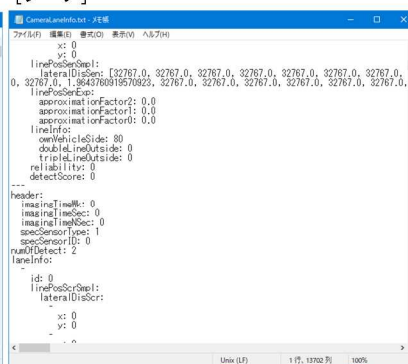
■シミュレーション画面



[オブジェクト]

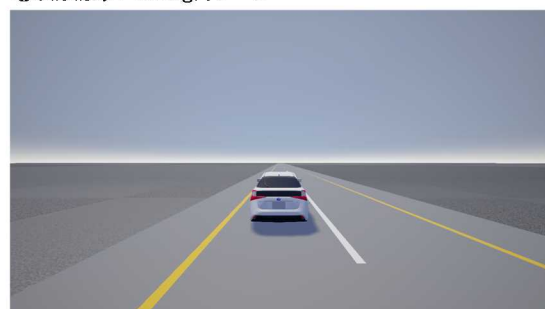


[レーン]



■取得環境結果

①映像記録：rosvbag内データ



②映像＋認識重畳出力：オブジェクト＋レーン

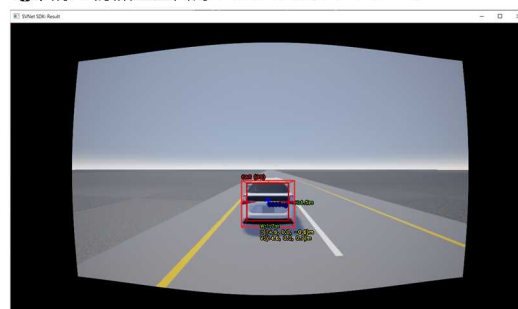


Figure 87 シミュレーション結果と取得環境結果

実機版、及び PC 版で評価した結合動作チェック結果を Table 52 に示す。

一部未実装により評価できない対象はあったが、取得環境の確認と出力 I/F のフォーマットを確認を実施し、出力内容の確認を実施した。

Table 52 結合動作チェック結果

Step	評価目的	評価対象	評価項目	判定	備考
動作結合試験	環境確認	PC版	入力	映像取り込み確認	OK
				フォーマット確認 ※標準I/F	OK
			出力	ログ出力	OK
				ログ記録	OK
				映像＋認識重畳出力 ※FULL	OK
				映像記録 ※FULL	OK
		実機版(V3H)	入力	映像取り込み確認	対象外
				フォーマット確認 ※標準I/F	対象外
			出力	ログ出力	OK
				ログ記録	OK
				映像＋認識重畳出力 ※コマ落ちあり	OK
				映像記録 ※FULL	OK

(b) 事前検証

本節では、事前検証として No.3 の試験を実施した結果を示す。

Figure 88 に示すようにカメラを実車に備え付け、一定距離を離れた先行車の認識結果を、実車映像と実車を再現した CG 映像それぞれの認識結果を比較する。

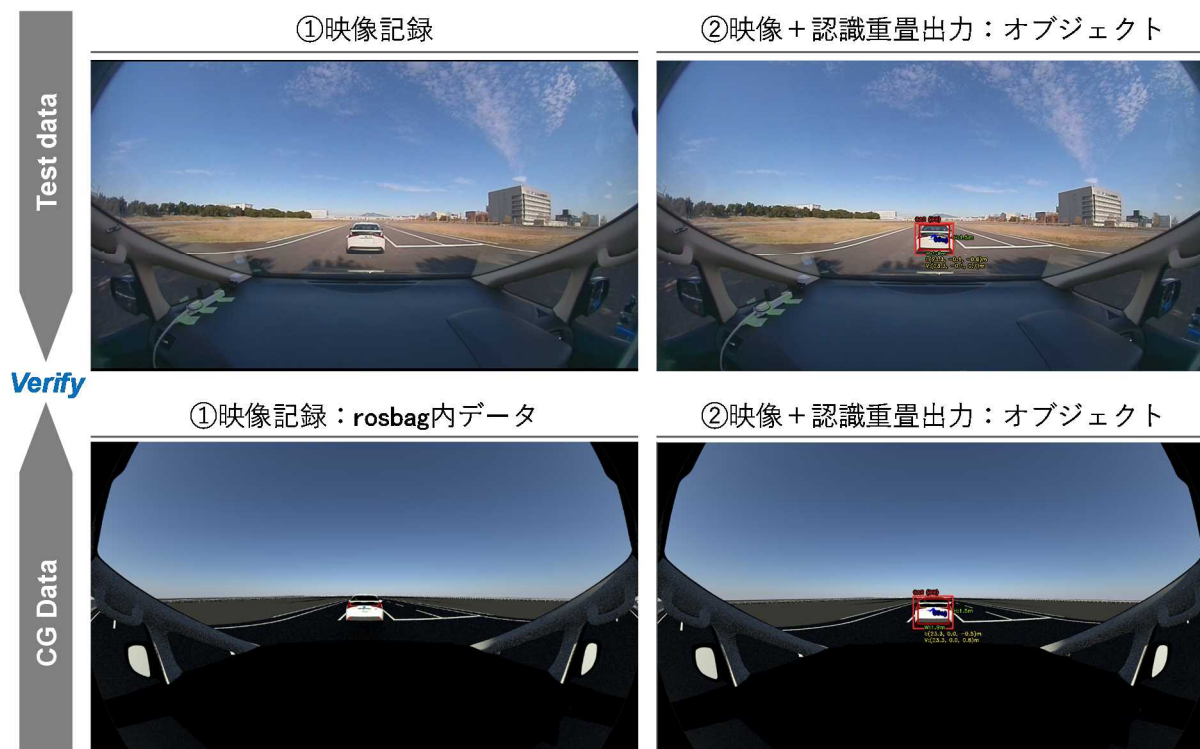


Figure 88 カメラ一致性検証

Figure 89 に認識出力比較による一致性検証手法を示す。

実車データと CG データを同じ認識エンジン(PC 版)に入力することで実車データと CG データそれぞれの認識結果を出力 I/F ごとに検証した。また、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(絶対誤差が 0)となることを想定した。

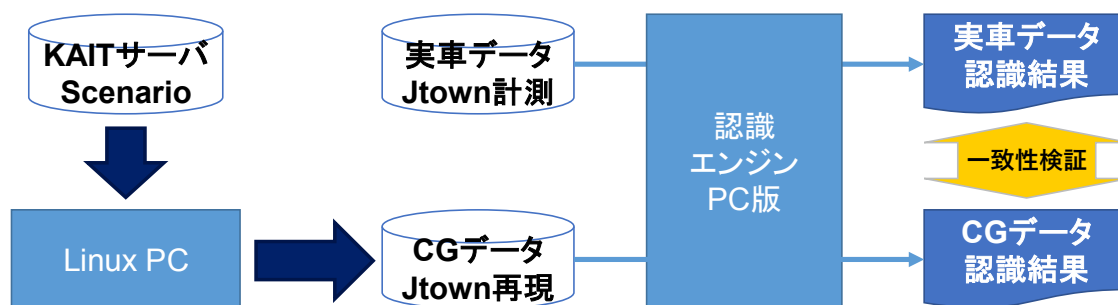


Figure 89 認識出力比較による一致性検証手法

以下、Table 53 に認識結果を示す。

前提条件として、本試験実施前に、CG、実車映像を用いた複数回の繰り返し試験において各々の認識結果は完全一致(時間を除く)を得ている。

Table 53 より、本来完全一致(絶対誤差が 0)となることを期待としたが、差が生じた結果となった。

同じ認識エンジンを用いており、同一映像を用いた複数回の繰り返し試験において一致確認していることより、静止物体且つ近距離では入力映像の差が、認識の差に表れたものと考える。

Table 53 事前検証結果

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	

上記、実車データと CG データの比較を、Figure 90 に示す。Figure 90 より、映像の差分は以下の 10 点が考えられる。

JTown1-1-1:設定距離10m

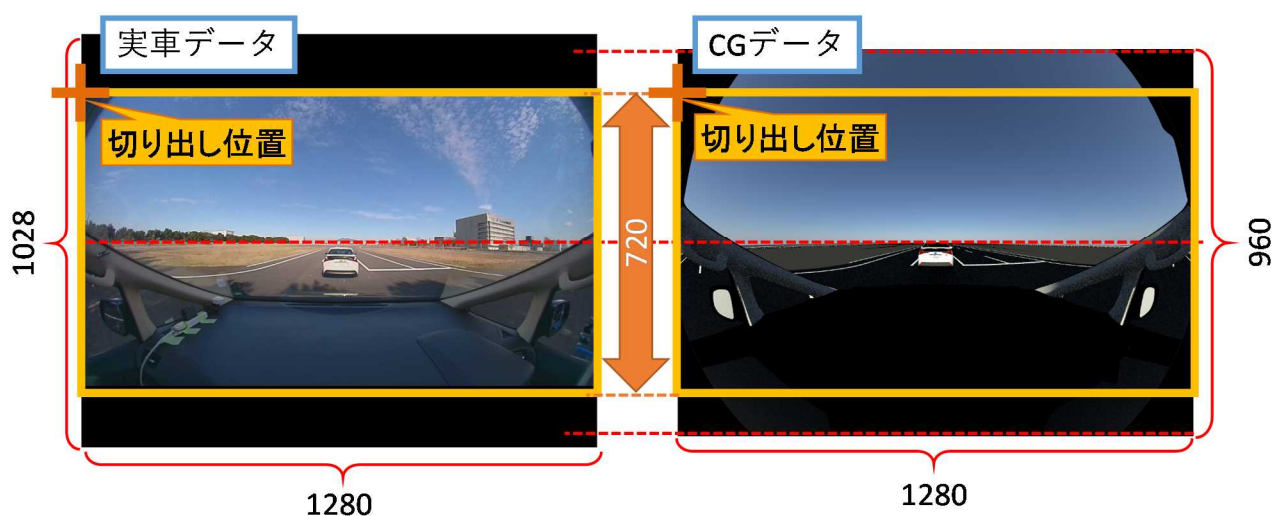


Figure 90 実車データと CG データの差分検証

■入力映像の差分

- (i) フロントガラスの有無(歪み)
- (ii) カメラ画角
- (iii) カメラの高さ(俯角)
- (iv) Roll 角
- (v) 車両と白線の位置関係
- (vi) ダッシュボードの反射率など(素材)
- (vii) ピラーの反射
- (viii) 路面の色
- (ix) 車両の影
- (x) 消失点

No.3 の派生として横位置に関する認識結果について示す。試験環境を Figure 91 に示す。
 車間距離を 20[m]に設定し、先行車の姿勢角を横向き 90 度として自車車線上から横に設定距離
 (5m,10m,20m,30m,40m,50m)移動させた際の認識結果を比較する試験を実施した。
 実車と CG の認識結果を Table 54 に示す。

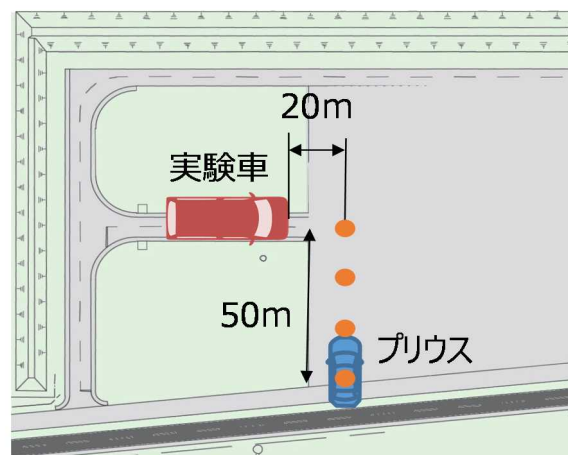


Figure 91 横位置による認識試験環境

Table 54 横位置による認識結果

	真値		実車		CG	
	X[m]	Y[m]	X[m]	Y[m]	X[m]	Y[m]
5 m	20	-5	56.979	-5.345	70.779	-6.477
1 0 m	20	-10	63.139	-10.087	73.23	-11.468
2 0 m	20	-20	76.97	-19.287	88.599	-21.427
3 0 m	20	-30	84.349	-26.181	認識せず	
4 0 m	20	-40	98.5	-34.185	118.3	-39.616
5 0 m	20	-50	118.3	-44.236	認識せず	

また、Table 54 の結果を Figure 92 に示す。

本図より、真値と実車、CG では横位置のずれに関しては、距離が離れれば離れるほど誤差が大きくなっていることがわかる。

誤差の要因として、CG 映像と実車の違いである前述 10 件の内、フロントガラスによる光の屈折が表現されていないことが大きいと考える。

縦距離に関しても、CG 映像と実車の違いである前述 10 件の影響が大きく、誤差要因の特定、検証を進める。

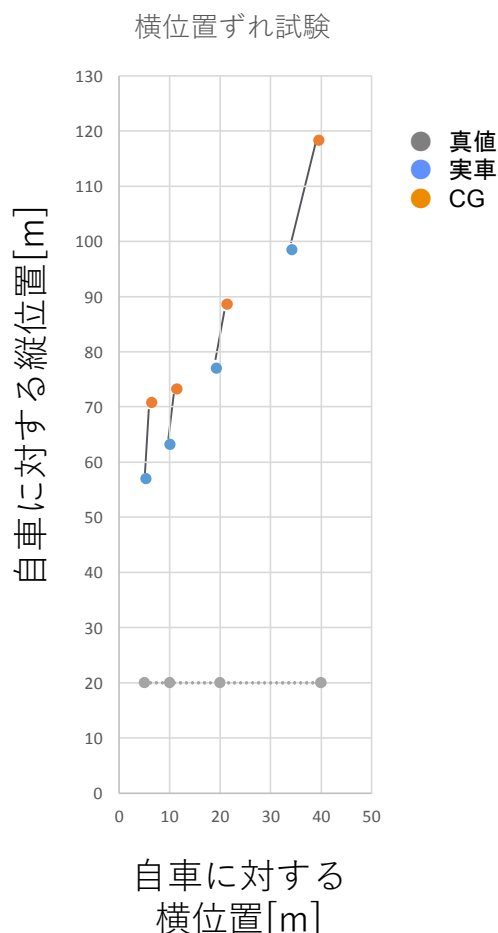


Figure 92 横位置ずれにおける真値と実車とCGの違い

(c) 考察

動作結合チェックや事前検証試験を通して、実車とCGの認識結果の誤差を確認している。上記、事前検証試験での検証より、CG映像が実車映像を完全に模擬できていないことが1つの要因と考えられる。

今回、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社殿の参入により、CG映像の知覚部分がより精緻になるため、CGの再現度が高まり、認識の一致性検証がより詳細に可能になると考えられる。

今後、動的な試験での一致性を検証する中で、認識誤差の許容値をOEM殿含めて検討していく。

(3)次年度以降の計画

実施計画書に則り、以下に関する検討及び、評価を推進する。

⑨ 不調要因評価

A/D パートが開発した高精細 CG ツールにおいて不調要因が付加された高精細 CG データをカメラ物理モデルで認識処理を行う。この認識結果と「A.走行環境モデルの構築」(A パート)から取得した認識対象物のカメラ機能モデルの出力データを比べ、不一致の映像において認識原理からアンマッチの要因分析を行う。さらには実車における不調要因の収集データを考慮しつつ、アンマッチの要因分析を行い、高精細 CG ツールへの修正依頼をまとめ、動作確認を繰り返し行い、報告書にまとめる。

- ・期間 : 2020 年 10 月～12 月
- ・主なアウトプット : 不調要因評価仕様書等一式

⑩ カメラリファレンスモデル最終報告書作成

仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発における、カメラリファレンスモデル構築に関する、設計、開発、評価の結果を精査、資料としてまとめる。

- ・期間 : 2021 年 1 月～2 月
- ・主なアウトプット : カメラリファレンスモデル最終報告書一式

5. 2. 3 「B2. ミリ波レーダ リファレンスモデル構築」(株式会社デンソー)

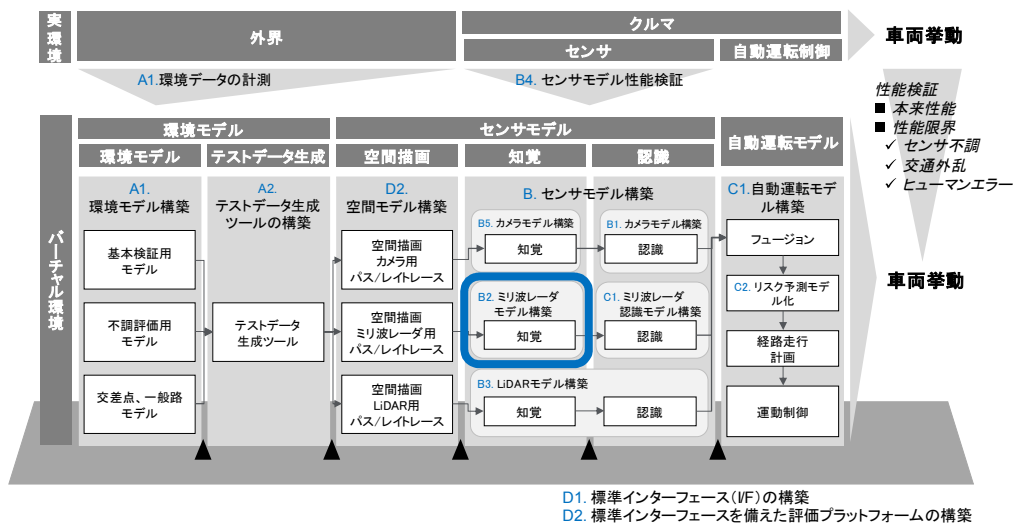


Figure 93 本研究の位置付け

ミリ波レーダモデルに必要な要件を定義し、その標準形であるリファレンスモデルを構築する。これにより、後段の認知・判断・操作まで含めた大規模な検討が仮想環境で行える可能性を高める。

■ 事業目的

ミリ波レーダモデルの要件を定義し、ミリ波レーダ仮想評価環境を開発する。これらのリファレンスモデルと比較するための実機を構築し、シミュレーション結果と実測結果を比較する。

■ 事業概要

本研究開発テーマでミリ波レーダのモデル化を進めていくにあたっては、以下の三点が主要課題であり、本事業ではこれらについての研究を実施する。

- 外界から受け取る情報の検討
- 使い方に応じたりファレンスモデルの抽象度の定義
- 様々なセンサーシステムを評価可能にするための I/F 標準化

■ 実施計画

事業項目	平成 30 年度				令和元年度				令和 2 年度			
	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期
① 機能・物理モデルの要件定義			入出力要件▽	★機能／物理モデルの要件								
② 今回モデル化するセンサの仕様作成		車載要件▽	★ミリ波レーダー仕様									
③ リファレンスセンサの設計・製作						★実機 1		★実機 2				
④ 一般的不調要因選定および組込対応						★レーダに影響を与える 一般的不調要因の組込対応						
⑤ リファレンスモデルの作成・動作検証				▽インターフェース情報				★リファレンスモデル				
				▽外界モデル(機能用)								
							▽外界モデル(物理用)					
⑥ 実測とリファレンスモデルの比較検討								▽実測環境				★比較検討結果

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

ミリ波レーダのリファレンスとなる実機とモデルを作成し、静止状態のコーナーリフレクタ／プリウスに対して一
致性を評価した。距離／方位については一致することを確認したが、信号強度については誤差が大きいことが
分かった。今後、物理光学近似の適用など、信号強度に関するモデルの精緻化を検討する。

また、移動物、不調要因の評価を進める。

(2)令和元年度の成果

③ リファレンスセンサの設計・製作 (担当:株式会社デンソー)

Figure 94 に製作したリファレンスセンサの構成を示す。平成 30 年度に実施した、②今回モデル化するセンサ
仕様作成で決めた仕様に基づき、ミリ波レーダボードにテキサスインスツルメンツ製AWR1642BOOSTを選定
した。AWR1642BOOSTでベースバンド信号を取得し、DCA1000EVMにより信号処理用 PC ヘデータを転
送する。信号処理用PCで信号処理を実施し、距離／速度／方位／信号強度の知覚出力を得る。この結果を
ROS で出力する構成とした。AWR1642BOOSTとDCA1000EVMは、防水加工を施したレドームと筐体に格
納され、レーダモジュールを構成している。

また、このモジュールに対して技術適合を取得した。

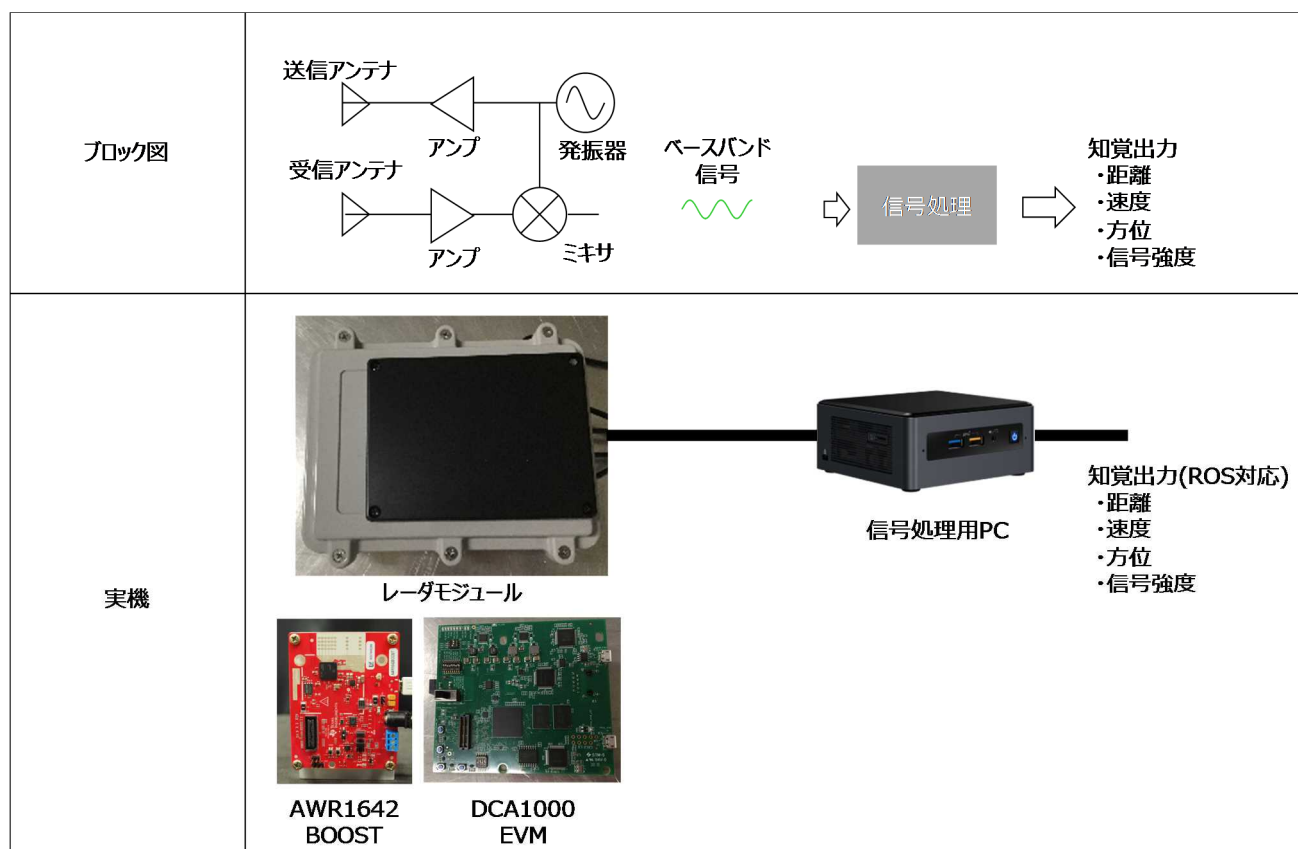


Figure 94 リファレンスセンサの構成

Figure 95 にレーダモジュールの送受アンテナ指向性を示す。3dBビーム幅が、方位角40°、仰角15°である
ことが分かる。

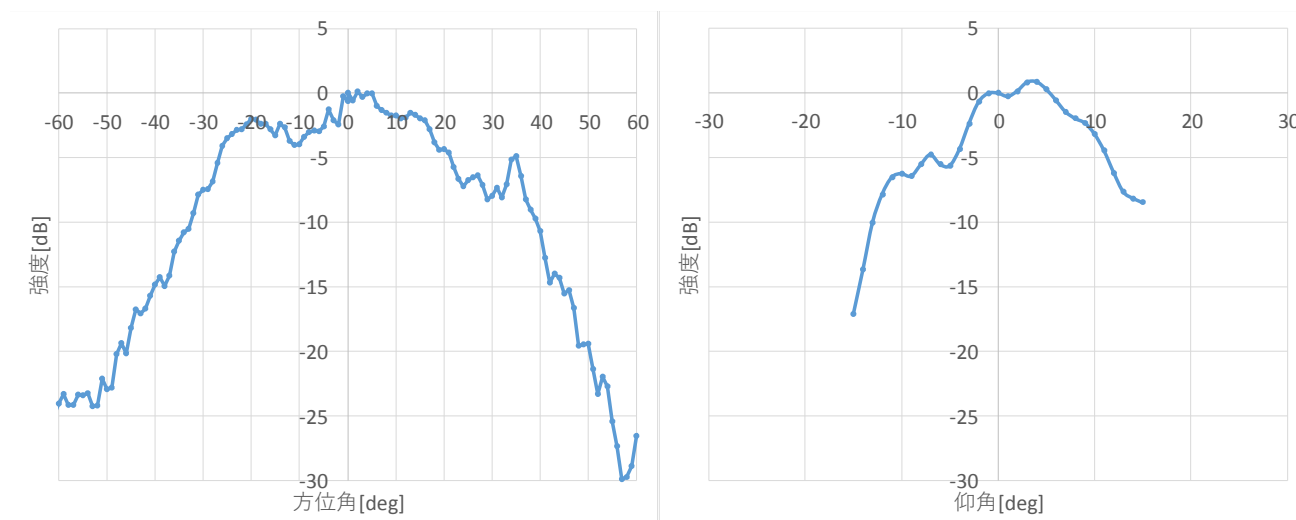


Figure 95 送受アンテナ指向性(方位角:センサから正面を見て左が正、仰角:センサから正面を見て上が正)

Table 55 にセンサ諸元をまとめる。

Table 55 ミリ波レーダ諸元

項目	値
最大検知距離	110m
距離分解能	32cm
最大検知速度	50km/h
速度分解能	0.3km/h
検知方位角	$\pm 20^\circ$
検知仰角	$-5^\circ \sim +10^\circ$

④ 一般的不調要因選定および組込対応（担当:株式会社デンソー）

文献等を元に、網羅的な評価や再現性の確保などの観点で実測評価が困難である不調要因を抽出した。Figure 96 に結果を示す。認識対象が存在するのにも拘わらず存在しないと判定してしまう、不検知につながる要因として、認識対象の反射率低下／空間減衰／センサ前面での減衰／路面クラッター／マルチパスによる所望信号の打消しを抽出した。また、認識対象が存在しないにも拘わらず存在すると判定してしまう、誤検知につながる要因として、マルチパスによるゴーストの発生／電波干渉を抽出した。これらを仮想評価環境で再現するために、反射率／減衰／偏波／位相のモデル化が重要であることが分かった。

参考文献

- [1] 小嶋, 小川, 遠野, 遠藤, 大村, “マツダの先進安全技術,” Motor Ring No.36 2013 自動車技術会
- [2] US Patent, US 6,661,370
- [3] B. Schick, G. Herz, R.Hettel, H. Meinel, “Sophisticated Sensor Model Framework Providing Realistic Radar Sensor Behavior in Virtual Environments”, Fahrerassistenz-systeme 2017

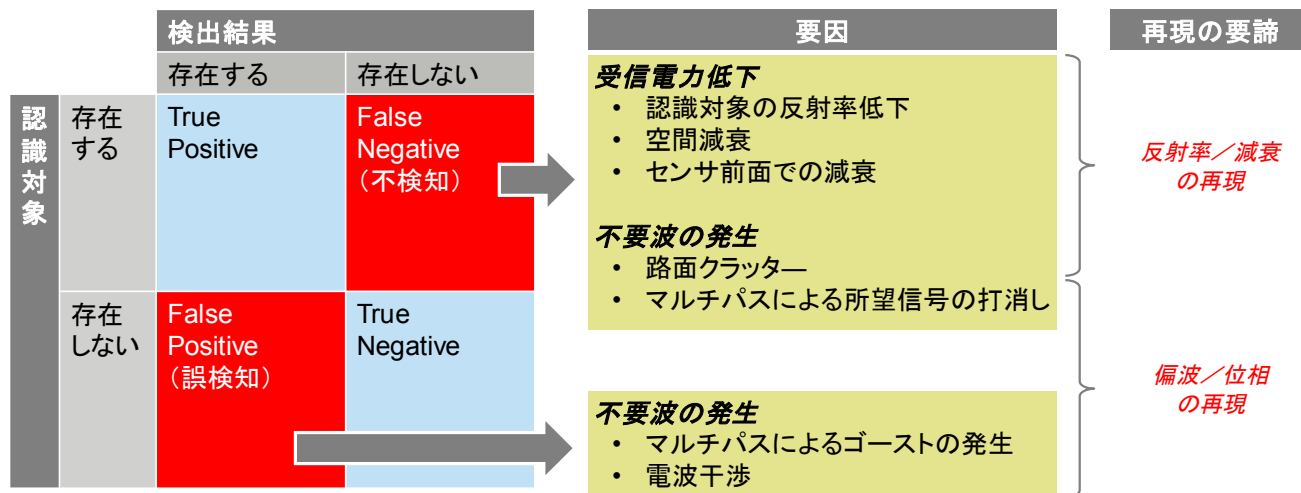


Figure 96 抽出した不調要因

空間減衰の要因である雨の評価施設の候補である、防災科学技術研究所の大型降雨試験場でミリ波レーダの評価を行った。降雨施設は建屋になっているため、不要波の影響で評価が困難になることが予想された。Figure 97 に大型降雨試験場での評価結果を示す。コーナーリフレクタを持った人物が遠方より徒歩で接近してくる状況の評価結果である。左図の距離-速度図から静止物と分離して、コーナーリフレクタを検出できていることが分かる。来年度、降雨条件下の移動物についてモデル化を進める。

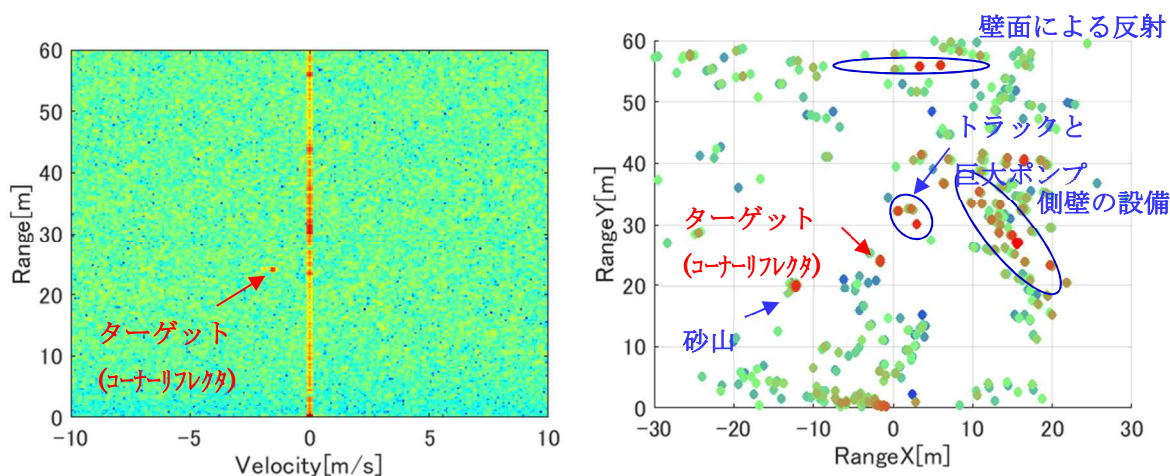


Figure 97 大型降雨試験場でのミリ波レーダ評価

⑤ リファレンスモデルの作成・動作検証 (担当:株式会社デンソー)

実機に対応した物理モデルを作成した。Figure 98 に全体構成を示す。空間モデルからレイトラシング結果として、総伝搬距離、反射点間相対速度総和などを受け取り、ベースバンド信号を生成する。これは、Figure 94 のレーダモジュール出力に相当する。Figure 99 に、ベースバンド信号のデータ構造を示す。今回モデル化する変調方式は、車載ミリ波レーダで近年主流のFast-Chirp-Modulationとした。本方式では、線形に周波数を変化させたチャープを繰り返し送信する。物標で反射し、遅延して戻ってきた受信信号との周波数差を取り、サ

ンプリングすることで、ベースバンド信号が生成される。ベースバンド信号の周波数／位相は、反射点の距離／速度／方位で決まるため、レイトレーシングのレイ毎にデータを生成し、全てのレイに対して加算することで、最終的なベースバンド信号とした。このデータに対して、実機と同様に、FFTを実行することで距離／速度を算出し、閾値処理したピークに対して方位算出をすることで、方位／信号強度を算出する。

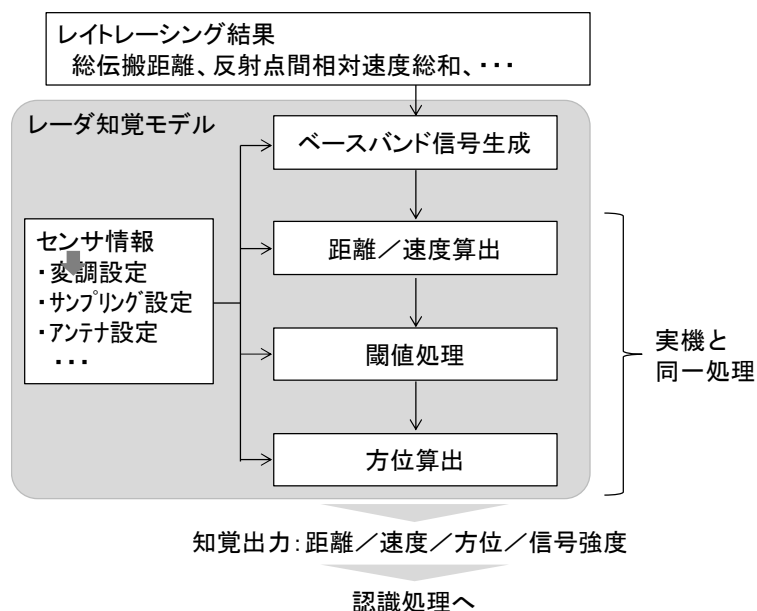


Figure 98 リファレンスモデルの全体構成

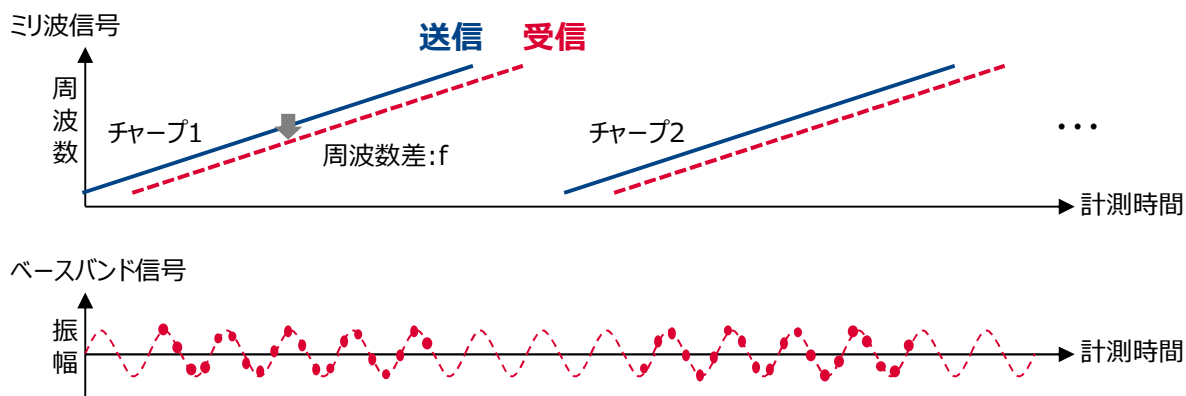


Figure 99 ベースバンド信号

このように作成した、リファレンスモデルを仮想評価環境に組み込み、評価した。Table 56 に評価の概要を示す。今年度は、結合動作評価と事前評価を実施した。Figure 100 に結合動作評価と事前評価の実施状況を示す。結合動作評価ではコーナーリフレクタ、事前評価ではプリウス／NCAPダミーを評価対象とした。

結合動作評価で、距離／方位は一致するが、信号強度については一致しないことが分かった。Figure 101 にコーナーリフレクタの向きを変えた場合の信号強度の変化を示す。実測に比べ、シミュレーションでは、変化率が小さくなっている。今後は、空間モデル開発と連携して、信号強度の合わせ込みに注力する。

Figure 102 に事前評価における、プリウスの評価状況を示す。位置については、概ね一致している。信号強度も含めて、精度評価を進める。

Table 56 評価計画概要

項目	確認内容	対象物	場所	評価誤差要因		
				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

結合動作評価(実験室)



事前評価 (Jtown)



Figure 100 評価実施状況

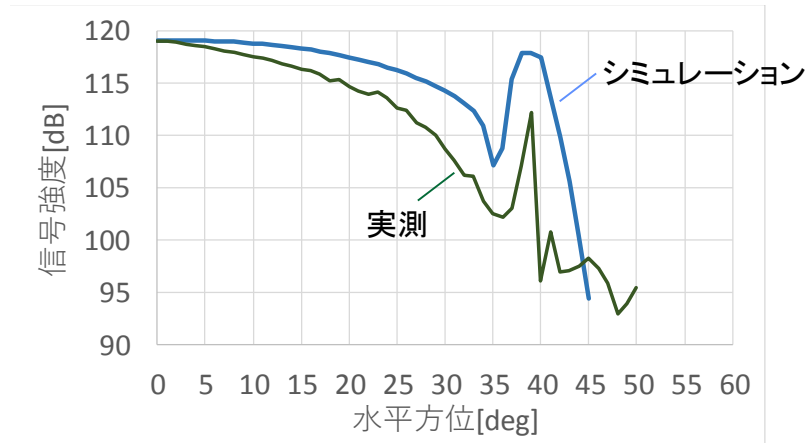


Figure 101 コーナーリフレクタの指向性

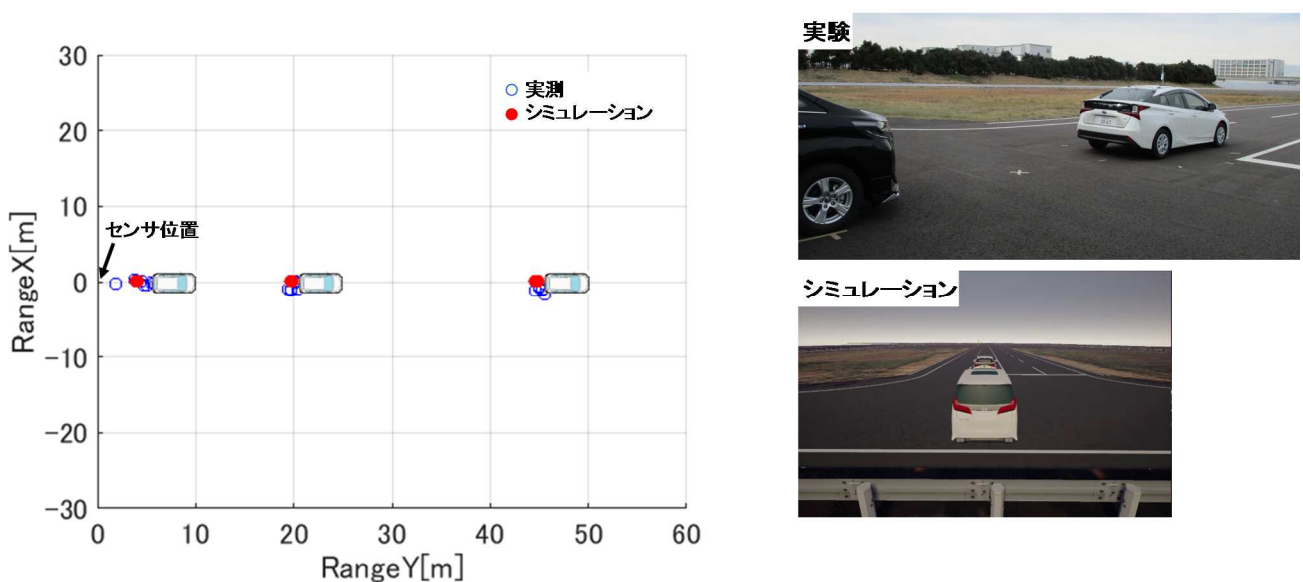


Figure 102 事前評価

(3)次年度以降の計画

移動物を対象とした基本評価、不調要因の評価、一般道等での評価を実施する。基本評価では、自車と目標物（プリウス、NCAPダミー）が移動するシナリオで評価し、相対速度のモデル精度を評価する。不調要因の評価では、Figure 96 にある不調要因に対して組込みを検討し、空間減衰については、大型降雨試験場での雨の影響評価を予定する。一般道等での評価のため、車検を取得できるように、実機をエンブレム内に格納できるように改造する。

また、信号強度に関するモデルの精緻化のために物理光学近似の導入を検討する。

5. 2. 4 「B3. LiDAR リファレンスモデル構築」(パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社)

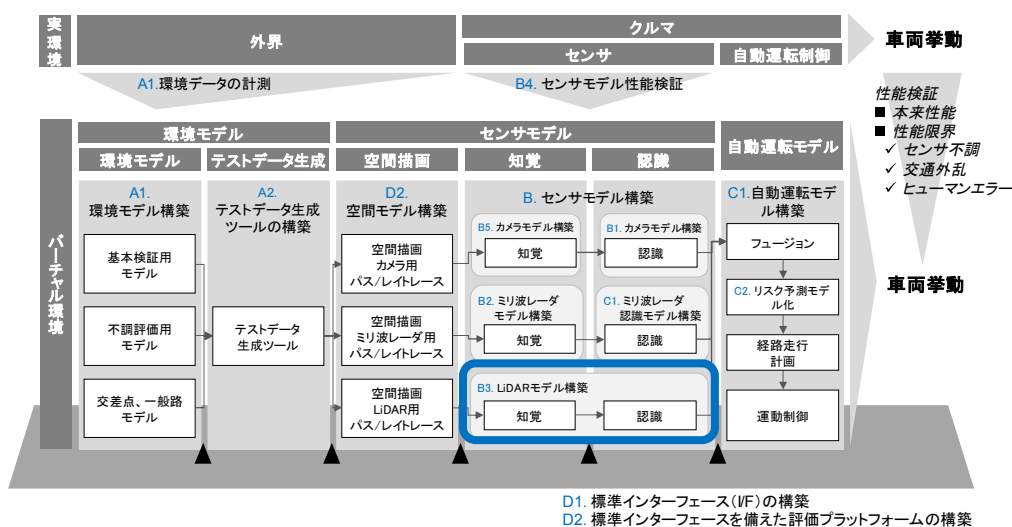


Figure 103 本研究の位置付け

従来から、MEMS ミラーによる走査、Pulse TOF 方式による測距を採用している LiDAR モデルの開発と、この LiDAR モデルにより仮想 3D 環境で点群データを生成する LiDAR シミュレータの開発を行っており、環境条件や物体の反射特性等によって実際の LiDAR から出力される点群データが大きく影響を受けることは確認しているが、これらの影響を考慮した現実に近いシミュレーション環境は構築できていない。

■ 事業目的

本研究開発では、LiDAR リファレンスモデル(機能/物理モデル)を構築するとともに、A パートテーマ関係者と協力し、実空間における環境特性を測定した現実に近いシミュレーション環境を構築する事での課題解決を目指す。また、LiDAR に求められる機能・役割についての明確化についても、LiDAR を利用する立場から C パートテーマを扱う大学と共同して定義していく。

LiDAR 機能モデルについては、自動運転システム全体の性能評価のためのクローズドループシミュレーションでの利用を目的とする。一方 LiDAR 物理モデルについては、シミュレーションの実時間性は求めないが、より現実に近いシミュレーションが可能とすることで、個別センサーの性能評価を目的とする。

■ 事業概要

本研究開発では、LiDAR リファレンスモデルを構築するため、Figure 104 に示す①～④の項目について、研究開発を行う。

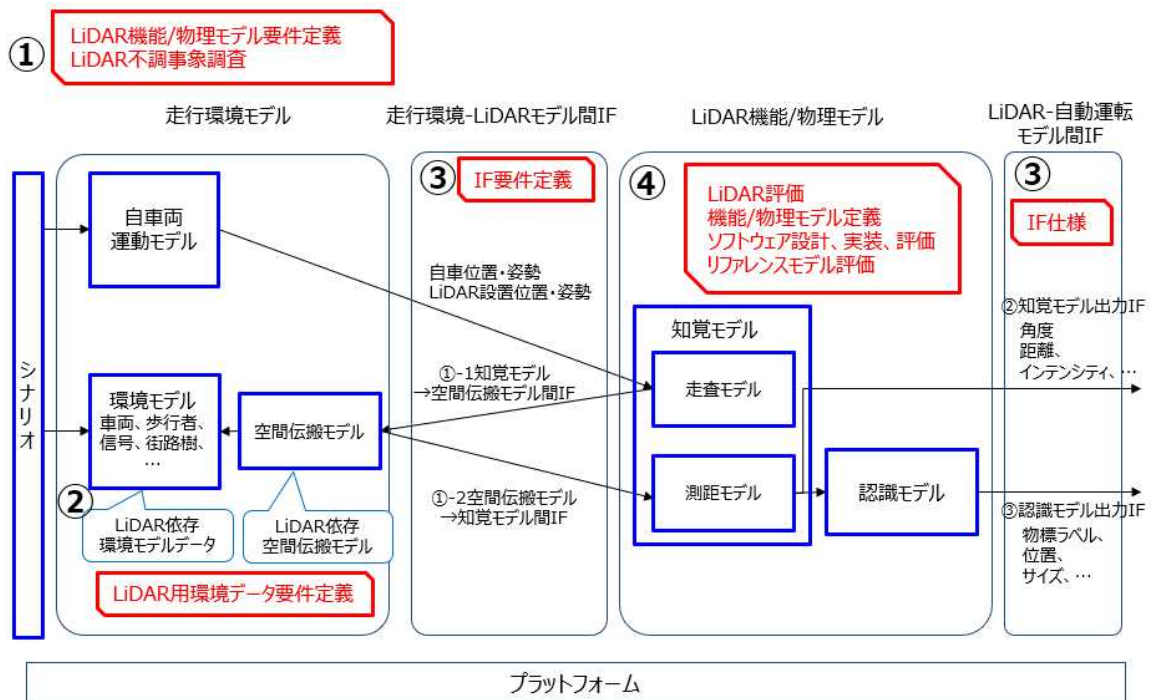
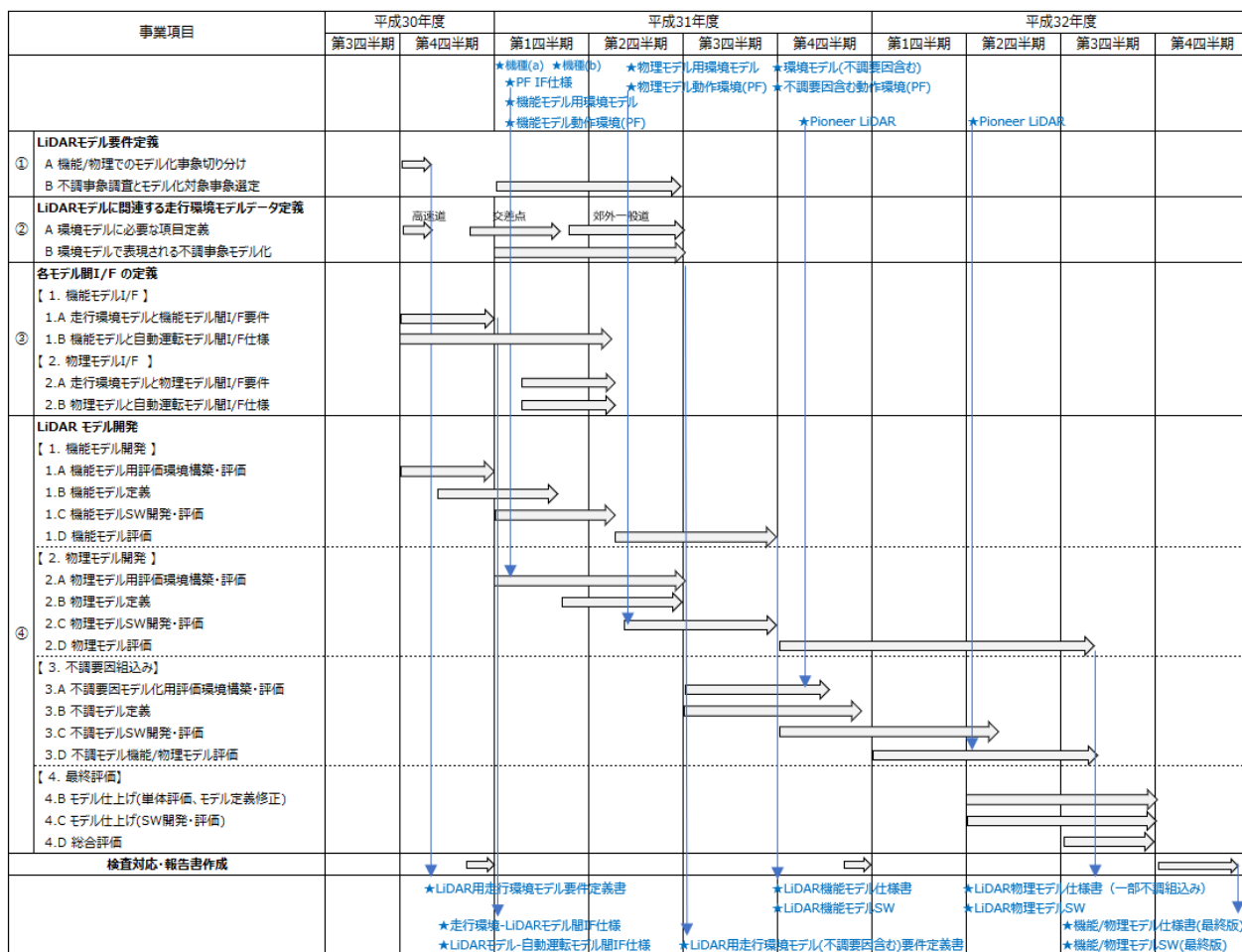


Figure 104. LiDAR リファレンスモデルを構成する研究開発要素とその関係

■ 実施計画



(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

本年度実施した項目は以下である。詳細を(2)で記載する。

① LiDAR モデル要件定義

LiDAR 不調を引き起こす事象の調査とモデル化すべき LiDAR 不調事象の選定など、LiDAR 機能/物理モデルにてモデル化すべき事象を定義する。

② LiDAR モデルに関連する走行環境モデルデータ定義

仮想空間において実際の LiDAR の特性を表現するにあたり、LiDAR 機能/物理モデルに必要とされる項目で、走行環境モデル側で表現すべき項目を定義する。

③ 各モデル間 I/F の定義

LiDAR モデルが備える I/F は以下 A)～C)の3種類(4項目)を定義した。

A) 空間伝搬モデルと LiDAR 知覚モデル間の I/F 要件定義

A) -1 LiDAR 知覚モデルから空間伝搬モデルへの I/F

A) -2 空間伝搬モデルから LiDAR 知覚モデルへの I/F

B) LiDAR 知覚モデル出力 I/F

C) LiDAR 認識モデル出力 I/F

④ LiDAR モデル開発

以下の項目を実施した。

A) LiDAR 知覚モデルを空間伝搬モデルと分離可能な I/F としたうえで、機能別に走査モデル・測距モデルに分離した

B) 上記に基づき機種(a)、機種(b)の知覚モデルを作成し、DIVP™プラットフォームに実装した

C) 機種(a)、機種(b)用の認識モデルを DIVP™プラットフォームに実装した

D) 結合動作チェックで、空間伝搬モデルと機種(a)、機種(b)の走査モデルと測距モデルの一致性検証を実施した。

E) 事前検証で、環境モデルと機種(a)、機種(b)の走査モデルと測距モデルの一致性検証を実施した。ただし、環境モデルについては反射特性が未計測のため物標形状のみの評価を実施した。

(2)令和元年度の成果

(ア) 実施項目

① LiDAR モデル要件定義

不調事象調査と対象選定を実施した。不調を起こり得る要因を物理現象をベースに分類し、その中から LiDAR が苦手とする以下の環境：①頻度高 ②危険で実測評価できないもの ③定量的に実測してモデリング可能な環境があること(技術的、コスト的) ④実測よりシミュレータ利用の方がコストが有利なものを考察した。

上記観点を踏まつつ、DIVP™ で実現可能な項目を優先的にピックアップしモデル化対象事象とした(Table 57)。

Table 57 モデル化対象事象

センサ不調要因となる物理現象		モデル	
雨	センサ前面に付着する雨滴の影響	LiDAR 知覚モデル	
	降雨による光量減衰の影響	空間伝搬モデル	
	物標に付着する雨滴の影響	環境モデル	車両(撥水)
	物標に浸透する雨水の影響		路面(親水)
霧	霧による光量減衰の影響	空間伝搬モデル	
太陽光(背景光)	太陽光(背景光)ノイズによる影響	LiDAR 知覚モデル	

雪についても、国立研究開発法人防災科学技術研究所の雪氷防災実験棟での計測を検討中。ただし、降雪時の空間伝搬モデル作成にあたっては長距離で定量的に減衰率を計測できる環境が必要であるが、先の実験棟ではできない事が分かっているため課題である。

② LiDAR モデルに関連する走行環境モデルデータ要件定義

走行環境モデルに要求する解像度としては、材質境界を表現できる解像度と形状に対する解像度の2種類である。材質境界を表現できる解像度が必要な理由は、物体の反射特性は材質によって異なるため、同一物体でも複数の材質から構成されている場合は、その境界が正確に表現されている必要があるためである。

A) 材質境界を表現できる解像度

物標を構成する材質境界を表現できる解像度は、少なくとも LiDAR の角度分解能、LiDAR ビームのフットプリントサイズもしくはビームを構成するサブビーム * の間隔に対して小さいことが望ましい。

Figure 105 に、今回のモデル化対象の中で最も解像度が高い機種種の測距距離によるフットプリントの大きさの違いを図示する。送信距離 10m で約 2cm、50m で約 10cm のフットプリントサイズとなっている。よって、物体の材質境界を表現できる解像度は～10m では 2cm 以下、～50m で 10cm 以下、～100m で 20cm 以下、～150m で 30cm 以下が望ましい。これは正対時で最小になるサイズあり、入射角が異なる場合もカバーできるため問題ないとする。

* サブビーム: Figure 112 参照

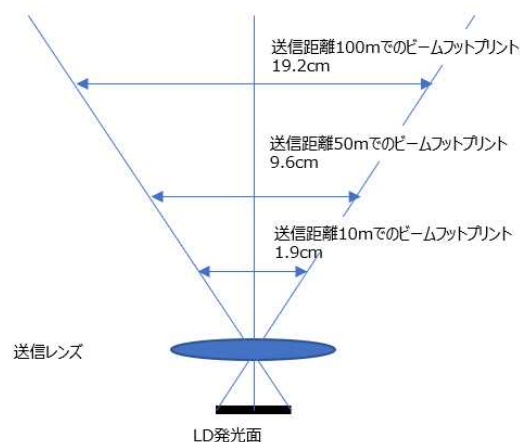


Figure 105 送信距離によるフットプリントサイズ

B) 物体形状の解像度

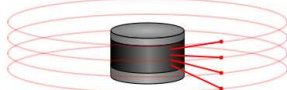
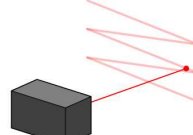
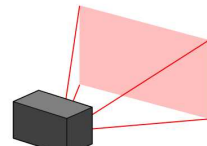
ビームの入射角によって物体の反射率は異なるので、物体形状はその差異に影響されない解像度で表現される必要がある(物体形状の解像度)。物体の反射率は、物標を構成する材質ごとに LiDAR のビーム波長における反射特性がモデリングされており(平成 30 年度報告書に記載)、当社はモデリングに対する要件定義を実施した。実際のモデリングは A パートが実施した。

平成 30 年度報告書では、反射特性の角度解像度について記述しているが、物体形状の解像度は反射特性の角度解像度に密接に関連して表現すべきと考える。物体形状の解像度の要件定義については、次年度の課題とする。

③ 各モデル間 I/F の定義

現在、変調方式、レーザー波長、走査方式などで様々なタイプの LiDAR がある (Table 58)。

Table 58 LiDAR の主なバリエーション

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

特に走査方式については、モーター方式、MEMS 方式、フラッシュ方式で走査軌跡が大きく異なるため、LiDAR 知覚モデルは LiDAR 機種毎につくる必要がある。I/F は個々の機種毎の差異を吸収するため、仕様や特性を抽象化し、汎用性を確保することを目指した。レーザー波長は近赤外光、走査方式については Table 58 の3つの方式に対応している。変調方式については、CW 変調方式の製品が市場にほとんど存在しないため検討対象外とし、パルス変調方式のみとした。

また、ビームが半透明物体に照射されたときに生じる透過現象では、一定の光が反射し、残りの光はうしろの物体で反射するため、両方を検出することは可能であるが、現状 I/F では表現できていないため、来期の課題である。

LiDAR モデルが備える I/F は以下 A)～C)の3種類に大別される (Figure 106)。

- A) 空間伝搬モデルと LiDAR 知覚モデル間の I/F 要件定義
 - A) -1 LiDAR 知覚モデルから空間伝搬モデルへの I/F
 - A) -2 空間伝搬モデルから LiDAR 知覚モデルへの I/F
- B) LiDAR 知覚モデル出力 I/F
- C) LiDAR 認識モデル出力 I/F

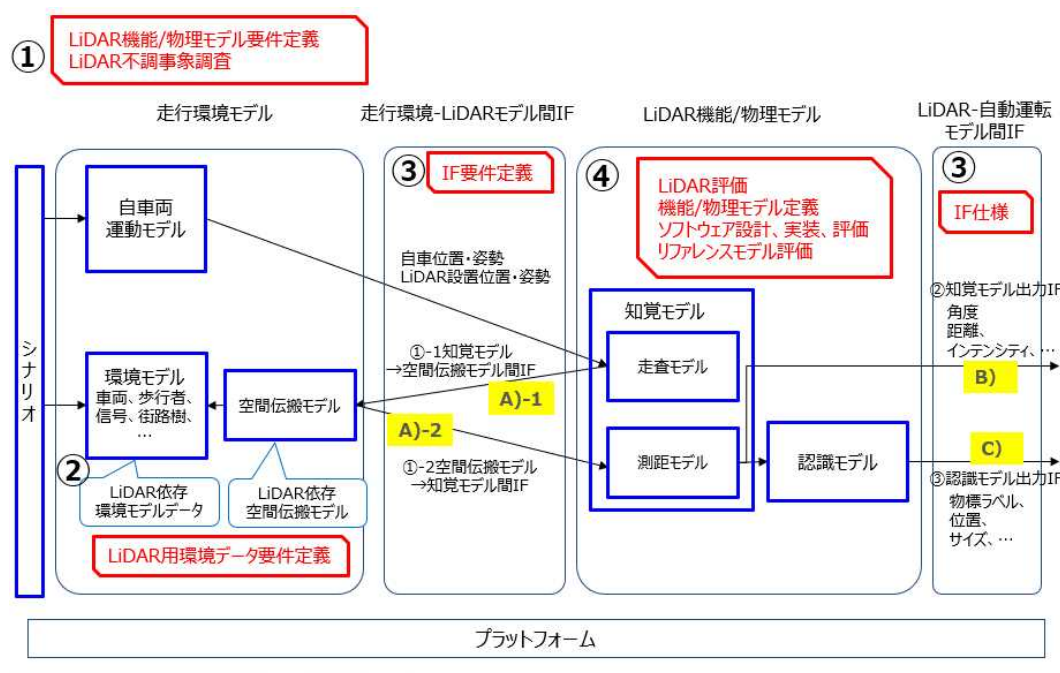


Figure 106. LiDAR モデルが備える I/F

A) 空間伝搬モデルと LiDAR 知覚モデル間の I/F 要件定義

A) -1 LiDAR 知覚モデルから空間伝搬モデルへの I/F

空間伝搬モデルへ LiDAR の情報を提供するために用いられる I/F である。本 I/F で扱うデータを Table 59 に示す。

Table 59 LiDAR 知覚モデルから空間伝搬モデルに出力されるデータ

項目	型	説明
最大距離	float	[m]。空間モデルの計算量削減を目的とする。
送信波長	float	850 / 900 / 1500 [nm]。
ビーム分割数(垂直方向)	int32	1～。機能モデルでは 1 に限定。
ビーム分割数(水平方向)	int32	1～。機能モデルでは 1 に限定。
ビーム広がり角(垂直方向)	float	> 0 [degree]。
ビーム広がり角(水平方向)	float	> 0 [degree]。
最小透過波長	float	[nm]。背景光密度算出の高速化での使用を想定。
最大透過波長	float	[nm]。背景光密度算出の高速化での使用を想定。
パルス幅	float	[ns]。分割したビームの合成に使用。
相対強度	float[]	0.0～1.0。ビーム内におけるサブビームの相対強度。配列のサイズは「ビーム分割数(垂直方向)」×「ビーム分割数(水平方向)」である。
ショット情報	ShotInfo[]	前回の時刻から現在の時刻までの時間に含まれる全ショットの情報。

測距のためにレーザーを照射することをショットと呼ぶ。Table 60 内の項目にショット情報の配列が存在している。また、ひとつのショットには Table 60 に示されるようにショット時刻、射出原点、射出方向の情報が含まれる。

Table 60 ShotInfo

項目	型	説明
シーケンス番号	int64	ショット識別用。
ショット時刻	int64	[ns]。
射出原点の座標	float[3]	X/Y/Z [m]。
射出方向	float[3]	単位ベクトル。

A) -2 空間伝搬モデルから LiDAR 知覚モデルへの I/F

空間伝搬モデルによってショット毎に算出された空間伝搬情報は、配列として LiDAR 知覚モデルへと入力される。空間伝搬情報の詳細を Table 61 に示す。

Table 61 空間伝搬モデルから LiDAR 知覚モデルへ入力される空間伝搬情報

項目	型	説明
ショット情報	ShotInfo	Table 60 参照。
ターゲットまでの距離	float	[m]。
返光率	float	[dB]。
背景光密度	float	[W/m ²]。
照射法線(交点)	float[3]	単位ベクトル。
オブジェクトクラス	int32	car / pedestrian など、物標の種類毎に紐づけられた ID。
インスタンス識別番号	int32	個々のインスタンスを識別するための ID。

B) LiDAR 知覚モデル出力 I/F

LiDAR 知覚モデルは、空間伝搬情報の配列を基に点群情報を生成し、後段のモデルへ出力する。点群情報は点情報の配列である。点情報の詳細を Table 62 に示す。

Table 62 LiDAR 知覚モデルから出力される点情報

項目	型	説明
位置	float[3]	X/Y/Z [m]。3 次元座標。
インテンシティ	float	受信強度に関連する値(LiDAR 知覚モデル毎異なる)。
ショット時刻	int64	[ns]。Table 60 の同名の項目と一致する値。
(オブジェクトクラス)	int32	オプション。Table 61 の同名項目と一致する値。
(インスタンス識別番号)	int32	オプション。Table 61 の同名項目と一致する値。
(リング番号)	uint8	オプション。一部の LiDAR 用。
(その他)	-	オプション。

位置として一般的な直交座標系の X/Y/Z 座標値を出力し、また、受信強度（インテンシティ）も合わせて出力する。ショット時刻はビームを照射するシミュレーションのタイムスタンプである。

さらに、点情報は特定の LiDAR 知覚モデルのみが出力する情報やシミュレーションの真値情報を含むことがある。これらはオプションであり、Table 62 の括弧で囲まれた項目が該当する。

C) LiDAR 認識モデル出力 I/F

LiDAR 認識モデルからの出力 I/F は、LiDAR 知覚モデル出力に加えて、検出されたオブジェクトの配列を出力する。Figure 107 に示すように、LiDAR 知覚モデルに含まれる点情報には、その点がどのオブジェクトに含まれるかのリンク情報が付与される。Table 63 に検出したオブジェクト情報を示す。

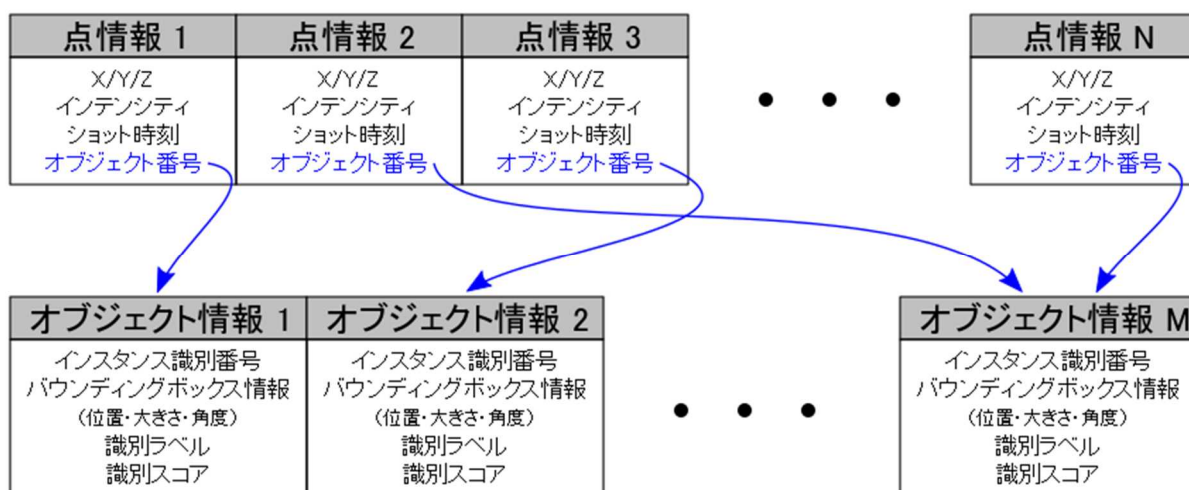


Figure 107 LiDAR 認識モデルの出力情報

Table 63 オブジェクト情報

項目	型	説明
インスタンス識別番号	int32	オブジェクト追跡用。時刻が異なっても、同じオブジェクトには同じ値が割り当てられる。
バウンディングボックス(位置)	float[3]	[m]。検出されたオブジェクトの中心位置の X/Y/Z 値。
バウンディングボックス(大きさ)	float[3]	[m]。検出されたオブジェクトの X/Y/Z サイズ。
バウンディングボックス(角度)	float[4]	四元数。検出されたオブジェクトの角度。
識別クラス	int32	検出されたオブジェクトの識別結果。
識別スコア	float	検出されたオブジェクトの識別結果のスコア。

● 型と精度について

本仕様で採用している型とその精度の妥当性について述べる。

座標値と距離は 1 メートルを単位とし、float で統一して表現している。float の有効数字は 10 進数で約 7 桁であり、これは 1,000 メートル離れた物体を 1 ミリメートル以下の解像度で表現する能力がある。現在の LiDAR のスペックに対して十分な精度を確保することができる。

次に、角度においては Table 59 の広がり角は度数表記、Table 63 のバウンディングボックス角度は四元数表記とし、統一していない。前者の広がり角は LiDAR 機種によっては、仕様として記載される場合があり、度数で表記されることが多い。よって直観的に分かりやすい度数表記を採用した。一方、後者のバウンディングボックス角度は、認識モデルによって出力される値であり、計算効率に優れる四元数を採用している。

広がり角とバウンディングボックス角度、いずれにおいても float 型を採用している。これは 1,000 メートル離れた物体であっても半径 1 ミリメートル未満の位置誤差に収まるような表現能力を持っており、十分な精度を確保することができる。

時刻は 1 ナノ秒を単位とし、int64 で統一している。LiDAR によっては、連続するショット間の時間が 2 マイクロ秒を下回り、1 マイクロ秒単位では表現力不足であるため、1 ナノ秒単位であることが望ましい。また、型が int64 であれば、1 ナノ秒単位であっても、約 290 年を表現することが可能であり、シミュレータで扱う時間に対して十分な長さの時間を表現することができる(int32 では約 2 秒間のシミュレーションまでしか対応できない)。

● データ量について

LiDAR の点群に含まれる点の数は非常に大きく、特に点数の多い LiDAR では 1 秒間あたり 240 万点にもなる。Table 62 に示した点情報のサイズは、オプション項目を除いて 1 点あたり 24 バイトであり、1 秒間あたり 240 万点の点数と仮定すると、約 60 メガバイト(480 [Mbps])となる。これは、ストレージ上に保存することや、ネットワーク上を伝送することを考えると非常に大きい。本 I/F は同一 PC 内でのシミュレーションの場合は問題にならないが、知覚モデル出力を通信または記録する場合はデータ削減やデータ圧縮の仕組みが必要となる。

④ LiDAR モデル開発

A) モデル化要素

LiDAR とは、物標の検出位置を光が送信される走査角度 (θ 、 ϕ) と、その光受信時間差から距離 R を算出するセンサである。LiDAR の構成を分解し、機能ブロックごとにモデル化する。

● LiDAR 測距原理

Figure 108 に LiDAR の測距原理を示す。送信機から出射されたレーザパルスは物標面で拡散反射して、その一部が受信機にて受光される。LiDAR は送信機が pulse を出射するタイミングと受信機で受光する時間間隔を計測することで物標までの距離を算出する計測器である。

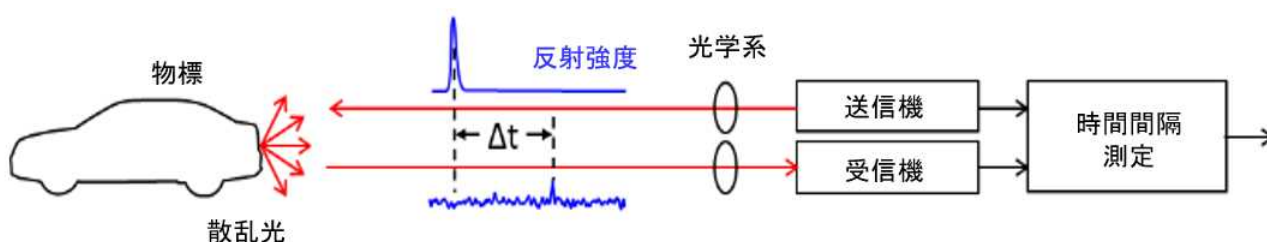


Figure 108 LiDAR 測距原理

A) -1 LiDAR 知覚モデル

Figure 109 で LiDAR の構成要素の一例を示す。LiDAR は光学系 (Optics) と電気回路 (Electronics) で構成される。モデル化においては、実際の物理的な構成ではなく機能単位でモデル化する必要がある。そこで今回は以下の機能要素ごとにモデル化する。

- I. 環境モデル: LiDAR の特性に応じた物標のモデル化 (「LiDAR モデルに関連する走行環境モデルデータ定義」に記載済)
- II. 信号伝搬モデル: LiDAR からビームが出射され物標に照射されるまでと、物標から反射したビームが LiDAR で受光されるまでの物理現象のモデル化 (平成 30 年度報告書に記載済)
- III. 走査モデル: ビームの出射方向とタイミングを制御する機能のモデル化
- IV. 測距モデル: 物標から反射した光を受光してから物標までの距離を算出する機能のモデル化

環境モデル、信号伝搬モデルは物標、物理現象をモデル化しているため LiDAR 機種依存性はない。走査モデル、測距モデルは、LiDAR の仕様に依存し LiDAR 機種が変わればモデルも変更する必要がある。走査モデル、測距モデルを合わせて知覚モデルと呼ぶ。

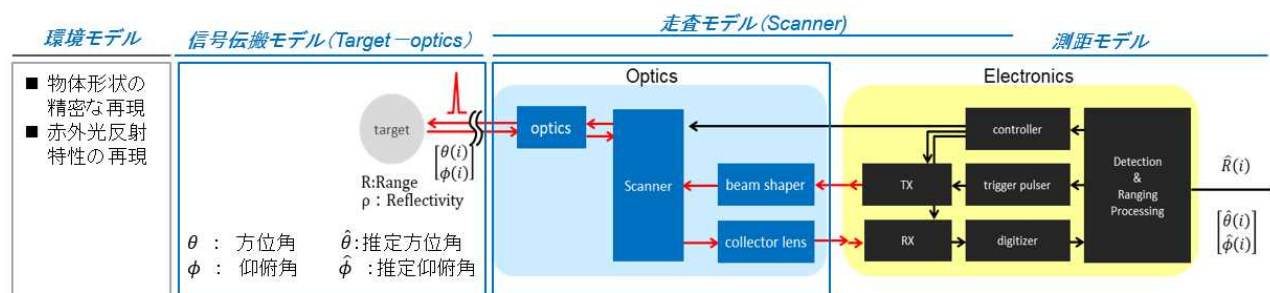


Figure 109 LiDAR モデル化対象

III. 走査モデル

走査モデルは、測距タイミングやレーザービームの放射等 LiDAR の走査部(スキャナ)をシミュレートするモデルである。モデリングは原則 LiDAR の設計仕様値に基づいて行われた。

測距タイミングは設計値を基に 1 ナノ秒単位で制御しており、モーター回転式の垂直1ラインの順次走査のタイミングについても設計値に基づき正確にモデリングすることで、垂直リングの違いによる微妙な角度の差異についても表現している。イメージを Figure 110 に示す。

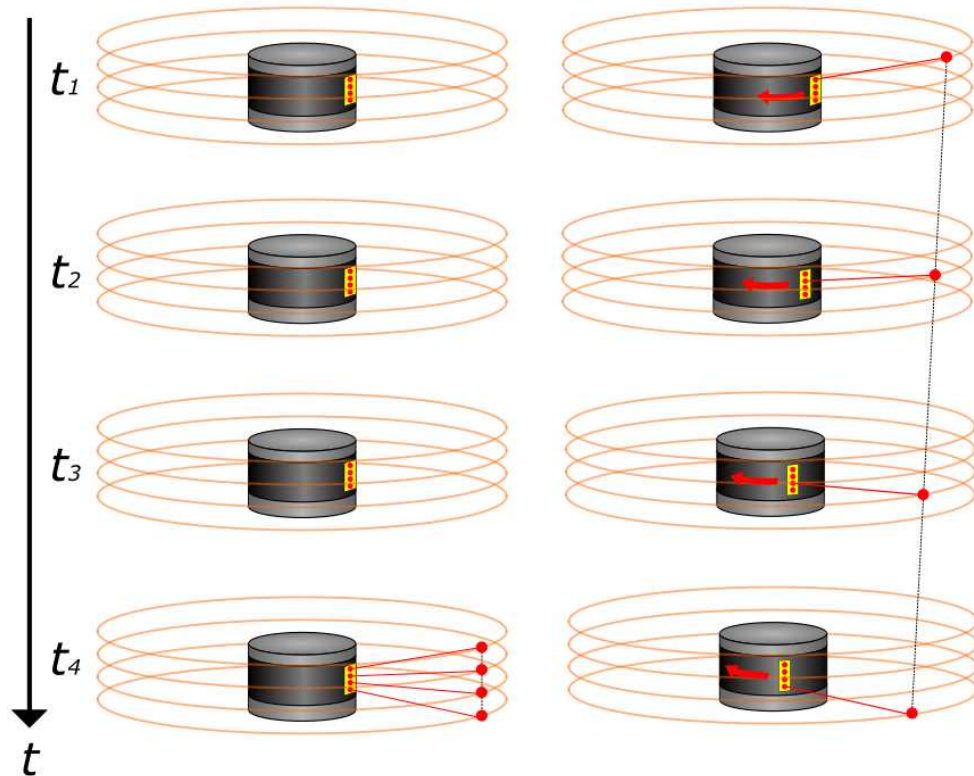


Figure 110 モーター回転式の LiDAR の垂直1ラインの走査タイミングを再現イメージ

(左)順次走査を反映していないモデル (右)順次走査を反映したモデル

レーザービームが照射する面(フットプリント)の面積は、飛翔距離の二乗に比例して増加する。すなわち、近距離での照射範囲は小さく、遠距離では大きくなる(Figure 111)。レーザービームの飛翔のシミュレーションはパストレースにて実装しているが、一般的にパストレースは面積を考慮せず、フットプリントを扱うことができないという問題がある。そこで、本プロジェクトでは、ひとつのレーザービーム照射を複数の疑似レーザービーム(サブビーム)で表現し、サブビーム間の照射角度に微小な差を設けることで、ビーム面を再現した(Figure 112)。

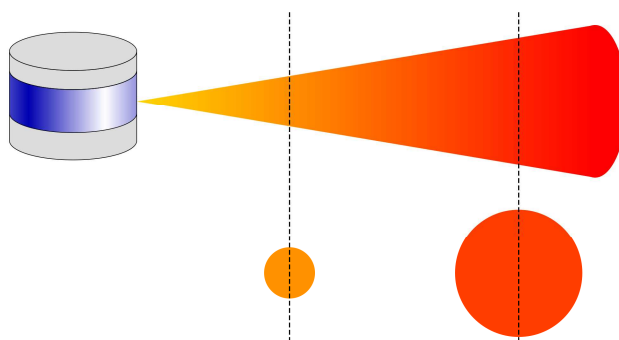


Figure 111 レーザービームの広がり

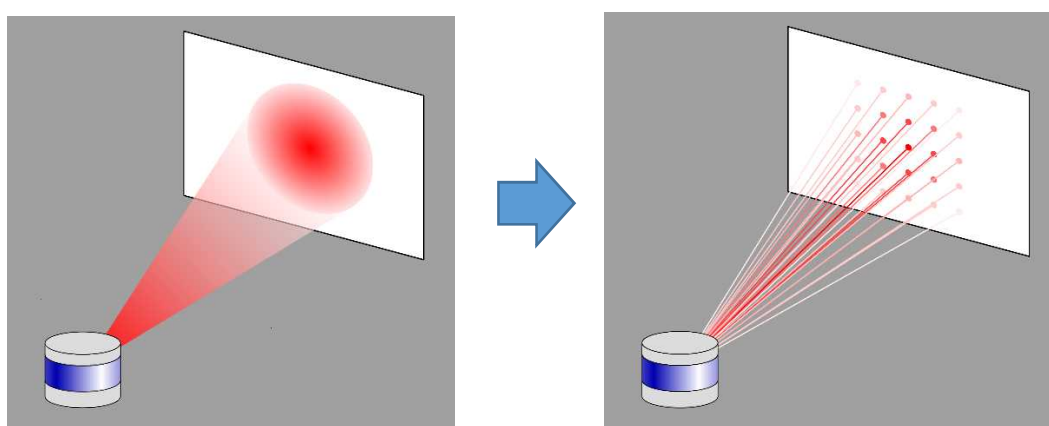


Figure 112 サブビームによるフットプリントが分割されるイメージ
(左) LiDAR 実機のイメージ (右) サブビームを用いた近似手法

当初は、機能モデルは1本のビーム、物理モデルは複数のビームで表現する予定であったが、プラットフォームの許容演算量に応じて1本～複数本まで柔軟に調整できるようにパラメータ化することでモデルの一本化を実現した。

IV. 測距モデル

測距モデルは、空間伝搬モデルから入力された空間伝搬情報を処理し、距離データとして出力する役割を担っている。具体的には、パストレースが出力した真の距離値に、実機相当のノイズを加える。また、同時にインテンシティなどの受信光量に基づく距離以外のデータも出力する。測距モデルは、LiDAR 受信部の光学系、電気系をシミュレートするモデルである。

LiDAR 受信部の光学系、電気系は、一般的に仕様非公開であり、設計値から測距モデルを設計することは困難である。そのため、LiDAR 受信部の光学系、電気系をブラックボックスとして扱い、コントロールされた環境下における観測結果からパラメータをモデルを構築した (Figure 113)。

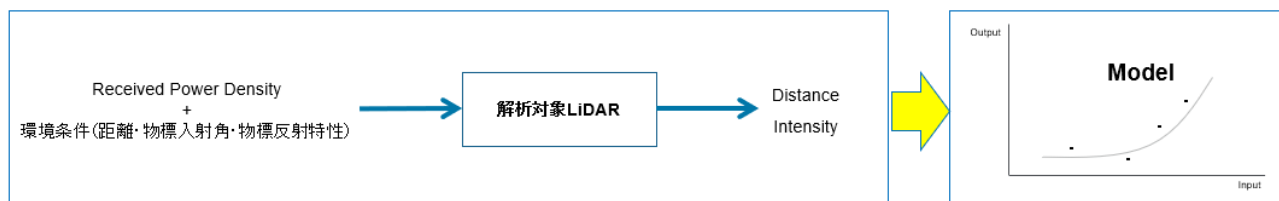


Figure 113 ブラックボックス解析によるモデリング

A) -2 LiDAR 認識モデル

認識モデルは、既存の認識アルゴリズムを用いており、LiDAR 実機の出力点群に対して適用される認識アルゴリズムと同じものを使用する。よって認識モデルに対する入力信号(LiDAR 知覚モデル出力点群)が実機の LiDAR 出力点群と完全に一致する場合は、認識モデル出力も完全に一致する。よって、認識モデル自体の一致性検証は実施しない。

一方で、知覚モデル出力点群と実機 LiDAR の出力点群の差分が認識モデル出力に与える影響については評価が必要である。これは、認識モデル出力の一致性検証をすることで、環境モデルと知覚モデルをどこまで実際の環境と実機に合わせ込めば良いかの判断基準の候補と考えているためである。

B) 一致性検証

● 一致性検証の考え方

Figure 114 に一致性検証の考え方を示す。各モデルが実機、物理原則と一致しているかを検証するには、モデル化対象要素1つ1つに対して独立に評価できる環境を作ることが重要である。

ただし、外部環境は何らかのセンシングを通じてのみ知覚可能であるため、環境モデル単体での一致性検証は不可能であるが、LiDAR 知覚モデルの LiDAR 実機との差分が分かっている状態で出力点群を比較することで、環境モデルの妥当性評価が可能である。

まず、LiDAR 実機と知覚モデルの一致性を検証するため、実測環境と環境モデルの差異をできるだけ減らす事が可能な実験室内に置いて知覚モデル単体の一致性を検証する。(結合動作チェック)

次に、外部環境+LiDAR 実機と、環境モデル+知覚モデルを合わせて検証することで、環境モデルの妥当性を静止環境にて検証する。(事前検証)

静止環境での一致性検証が完了後、動的環境での一致性検証を実施する。(基本検証)

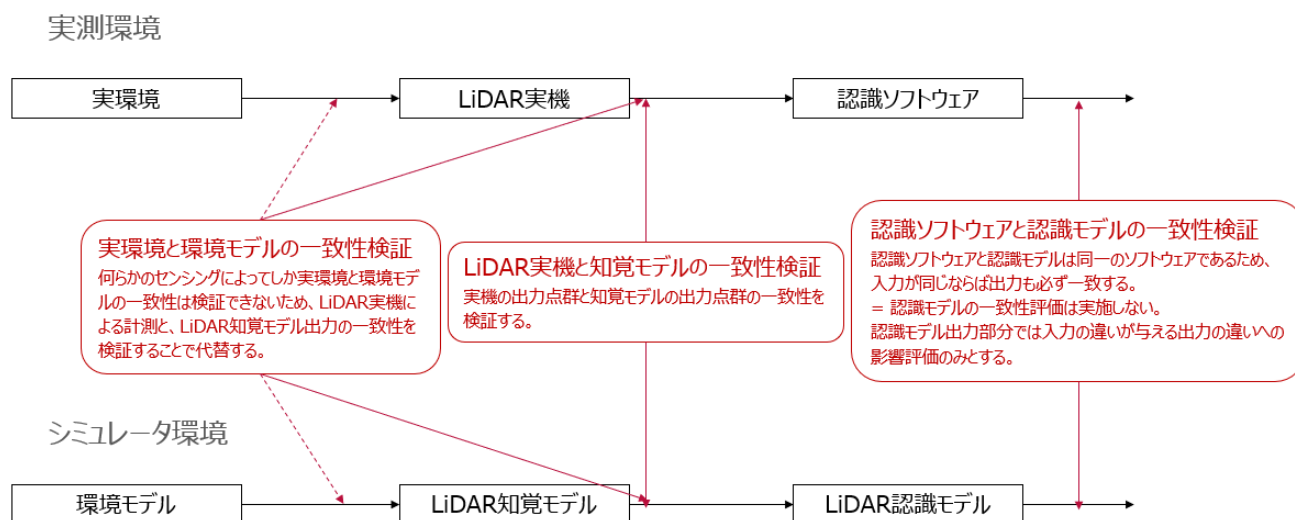


Figure 114 一致性検証の考え方

結合動作チェック・事前検証における評価パラメータ・評価指標は Figure 115 の通りである。

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、シナリオに起因する誤差をできるだけ排除することで、空間伝搬モデル・走査モデル・測距モデルの一致性を評価 ■ 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・空間伝搬モデル・走査モデル・測距モデルの一致性を評価	■ 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)の一致性 ■ 形状・反射特性が既知である物標の各距離における精度、確度の一致性
		■ 被計測物(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、確度の一致性 ■ 点数の精度、確度の一致性 ■ 物体サイズ(幅)の精度、確度の一致性 ■ 強度分布の一致性 ■ 認識モデル出力結果の一致性
事前検証 (PV)			

Figure 115 結合動作チェック・事前検証における評価パラメータ・評価指標

B)-1 結合動作チェック

● 検証対象モデル

本評価では、空間伝搬モデル・走査モデル・測距モデルの一致性を評価する。一致性評価のパラメータとしては、距離・強度・角度を用いる。実測値とモデル出力値の一致性評価にあたり、その誤差要因を以下に列挙する。

- ・被計測物体と LiDAR の位置姿勢誤差
- ・環境モデルの形状誤差
- ・環境モデルの反射特性誤差
- ・空間伝搬モデルの減衰率誤差
- ・測距モデルの距離・強度誤差

・走査モデルの角度誤差

このうち環境モデルに起因する誤差と位置・姿勢誤差をできるだけ排除するために、物標とLiDAR間の位置・姿勢誤差が載りにくい実験室内で評価し、また、物標は反射特性、形状が既知である物標（Lambertian特性を持つ平面）を用いる。Figure 116に評価環境と評価対象誤差、評価対象外誤差を示す。

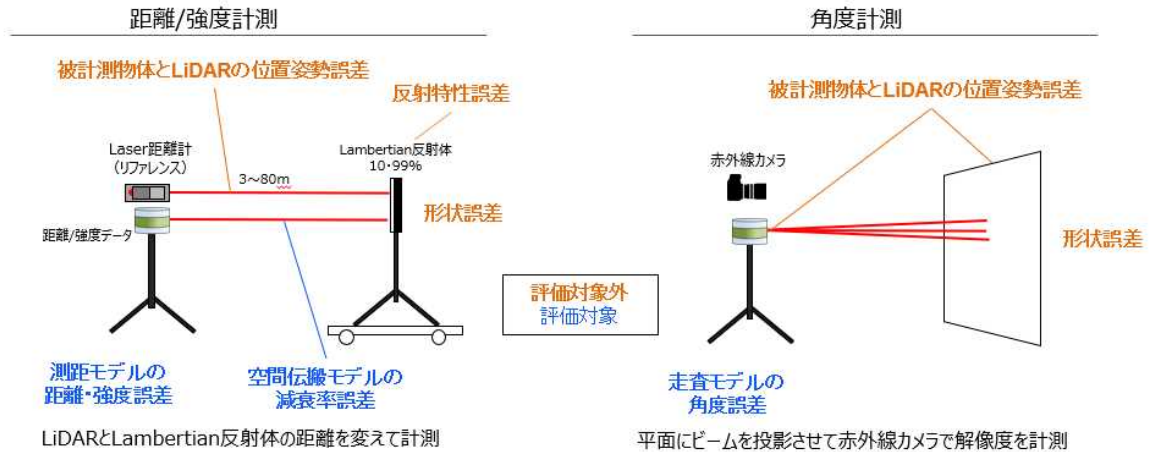


Figure 116 結合動作チェックにおける評価環境と評価対象誤差、評価対象外誤差

● 検証方法と検証結果

✓ 角度：

走査モデルの一致性検証を行う。評価項目は、水平・垂直解像度とビーム広がり角である。平面に投影されたLiDARビームを赤外線カメラで観測し、LiDARの水平・垂直解像度とビーム広がり角を算出した。この結果を、走査モデルの水平・垂直解像度とビーム広がり角と比較することで一致性を検証した。

水平・垂直解像度の一致性については、水平、垂直ともに誤差は僅少であることが確認できた（Figure 117）。

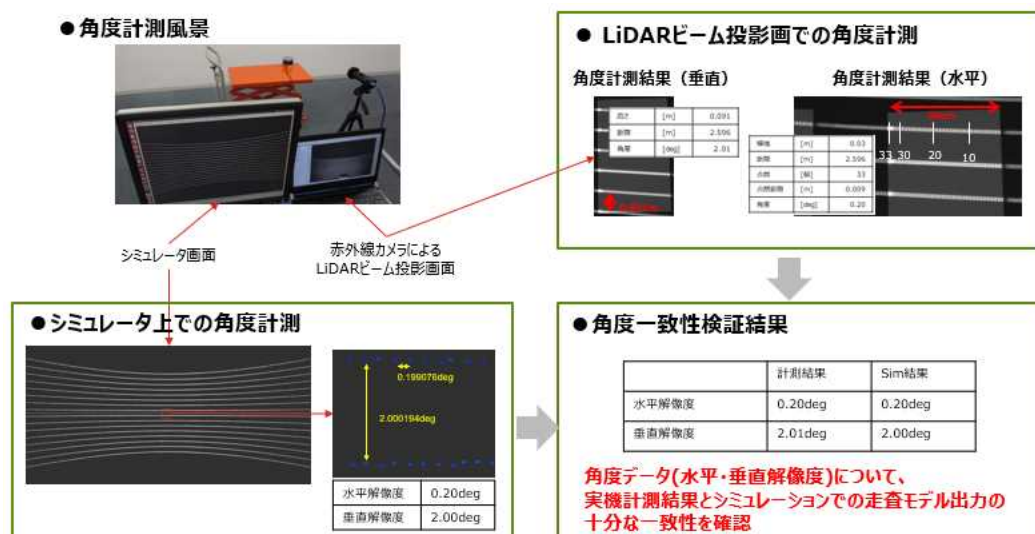


Figure 117 結合動作チェックにおける角度一致性評価

Figure 118 に、機種(a)、機種(b)のビームを投影させ赤外線カメラでそのフットプリントを撮影した画像を示す。撮影した画像からフットプリントの水平・垂直サイズを算出し、モデルのフットプリントサイズと比較した機種(a)の結果を Figure 119 に、機種(b)の結果を Figure 120 に示す。機種(a)、機種(b)共に、水平サイズはモデルと実測の値はほぼ一致している。しかし、垂直サイズに関しては、10mm 程度の差異が存在している。これは、走査モデルがレンズの影響を考慮していないためであり、来期の課題である。

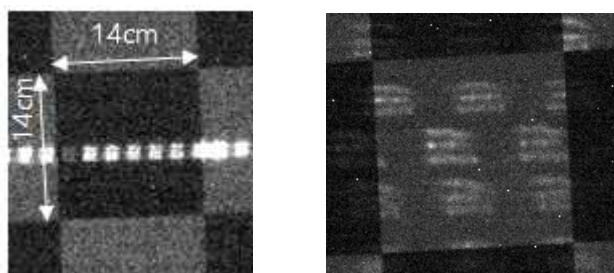


Figure 118 (左) 機種(a)のフットプリントの赤外線画像 (6m 先)
(右) 機種(b)のフットプリントの赤外線画像(20m 先)

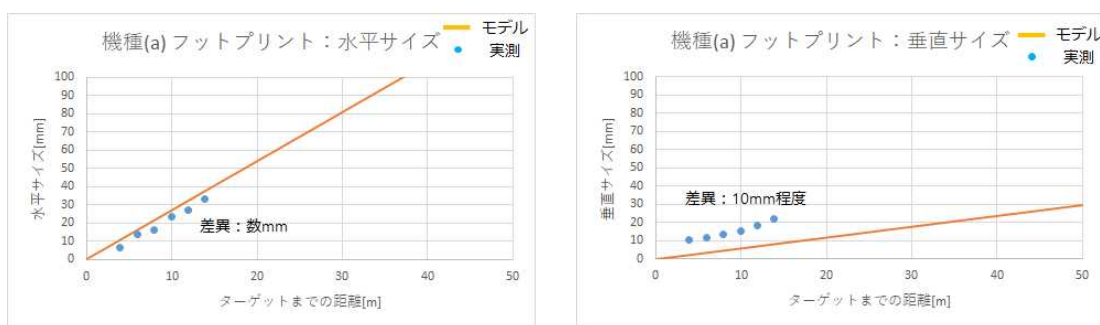


Figure 119 機種(a)のフットプリントサイズ比較(左:水平サイズ、右:垂直サイズ)

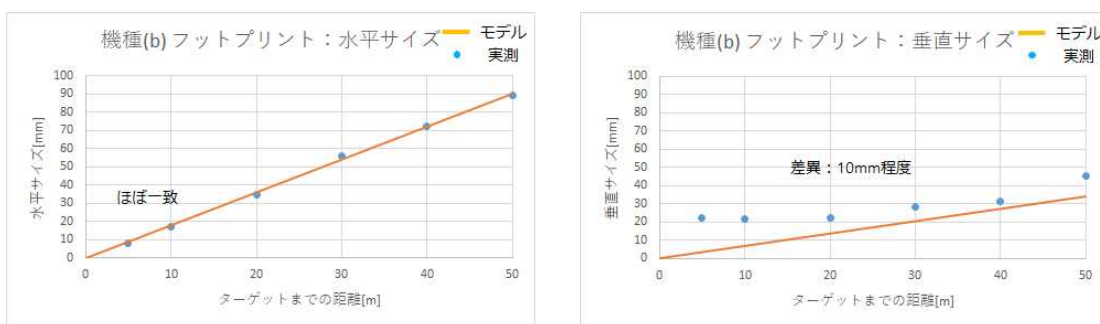


Figure 120 機種(b)のフットプリントサイズ比較(左:水平サイズ、右:垂直サイズ)

✓ 距離・強度:

検証方法は、LiDAR と Lambertian 反射体間の距離を変えて、その距離・強度を計測し、測距モデル出力(距離・強度)との一致性を検証する。(Figure 121)

検証結果は、強度については、機種(a)、機種(b)共に、長距離では計測値とモデル値の十分な一致性が確認できた。

ただし、近距離は、機種(a)、機種(b)共に、計測値とモデル値の一致性に課題がある。

原因として、機種(b)では、同一材質の物体上で強度が異なる現象(*)、距離によって強度が変動する現象(**)が

確認されており、これらが近距離の強度に対して特に顕著に影響している。

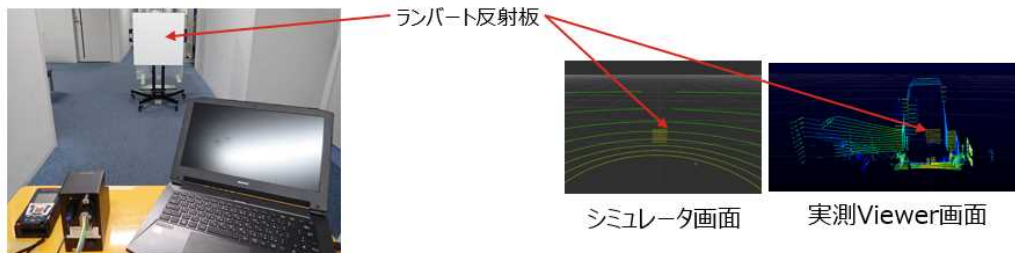
(*)同一材質の物体上で強度が異なる現象:Figure 126

(**)距離によって強度が変動する現象:Figure 127

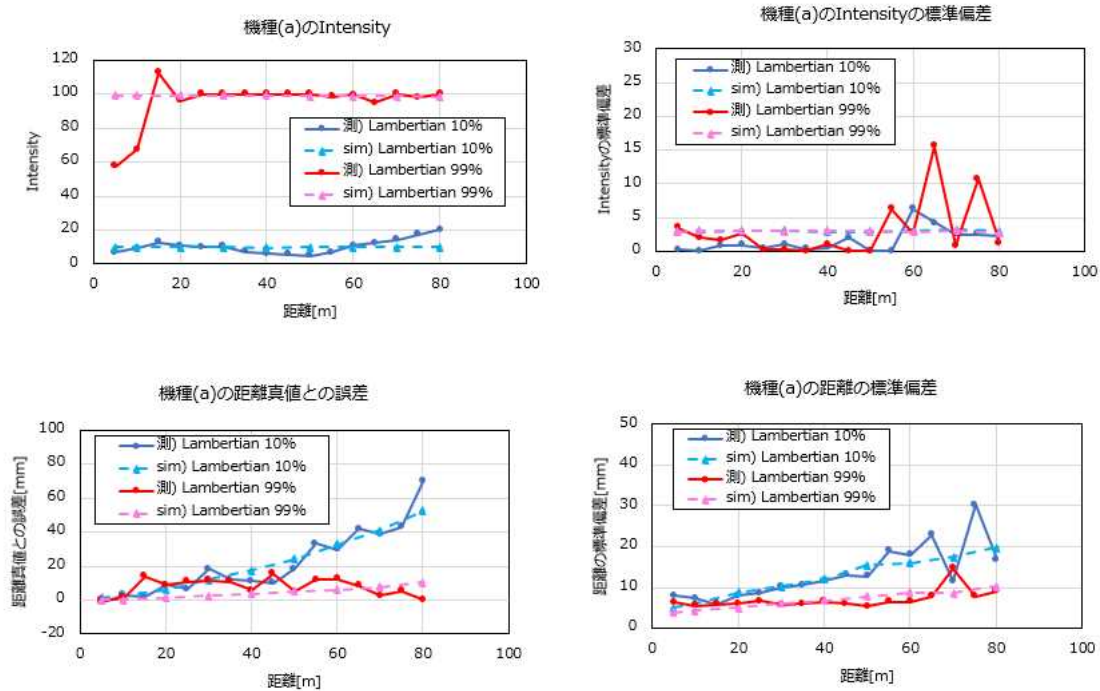
距離については、機種(a)では、系統誤差、統計誤差(標準偏差)とも計測値とモデル値がほぼ一致することが確認できた。

機種(b)についても概ね一致することが確認できたが、本測定では 80m までしか測定できておらず、仕様では 200m 程度測定可能なためもっと遠距離になった時の計測値とモデルがどの程度一致するのかは確認できていない。

● 距離/強度計測風景



●機種(a) データ比較



●機種(b) データ比較

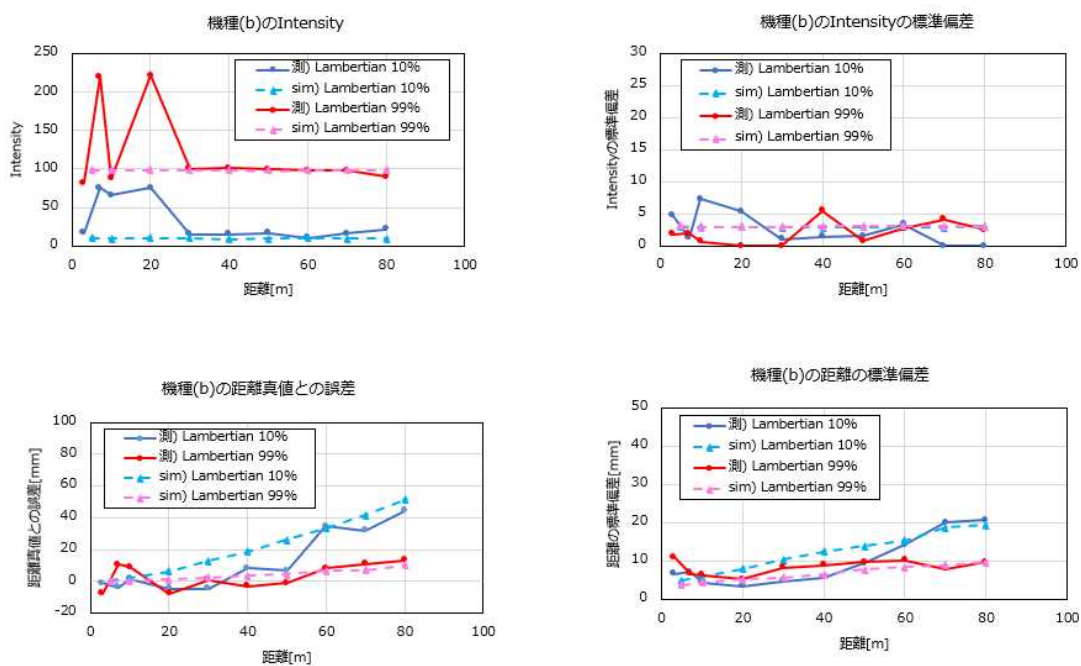


Figure 121 結合動作チェックにおける距離・強度一致性評価

● 結合動作チェックで顕在化した課題

走査モデル(水平・垂直解像度、ビーム広がり角の一致性)、測距モデル(距離・強度の一致性)ともにある程度の一致性が確認できたが、結合動作チェックを通じて、以下の課題が顕在化した。

- I. 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 (Figure 119、Figure 120)
- II. 隣接物体間に発生するノイズ(偽点)
- III. 平面が歪む現象
- IV. 同一材質の物体上でインテンシティが異なる現象例
- V. 距離によってインテンシティが変動する現象(機種(b))

以下に詳細を示す。

- I. 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

Figure 119、Figure 120 に示したとおりである。

- II. 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とき、間に偽点が発生する(機種(a)/機種(b))。例えば、Figure 122 のように、壁と板を同時にセンシングすると、Figure 123 のような偽点が観測される。

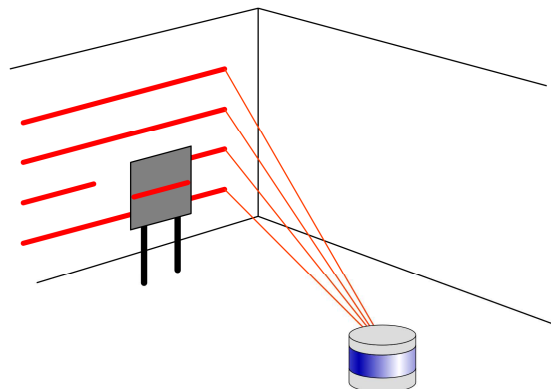


Figure 122 壁と板を同時にセンシングするシーン

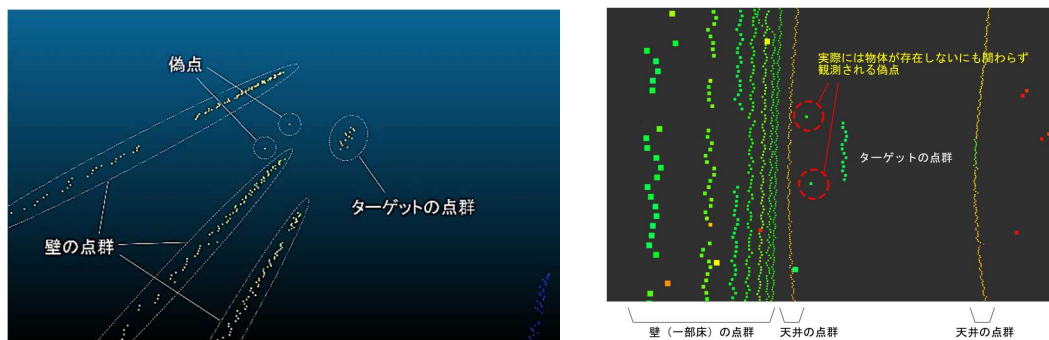


Figure 123 壁と板の間に発生する偽点(視点は床から天井を見上げる方向)

(左図:横から見た点群、右図:床から天井を見上げた点群)

III. 平面が歪む現象

Figure 124 のような波状の距離誤差が発生する。これは垂直方向・水平方向両方に発生し、波紋上に発生していることがわかる(Figure 125)。

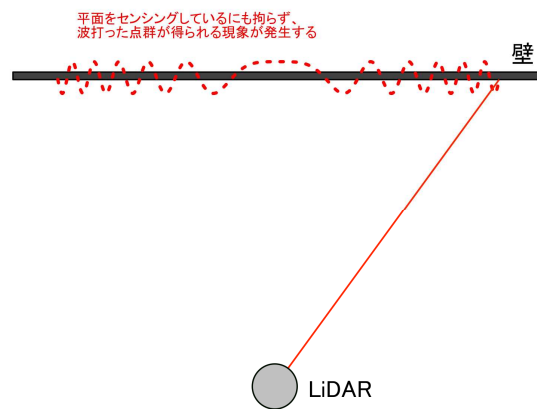


Figure 124 波状の距離誤差

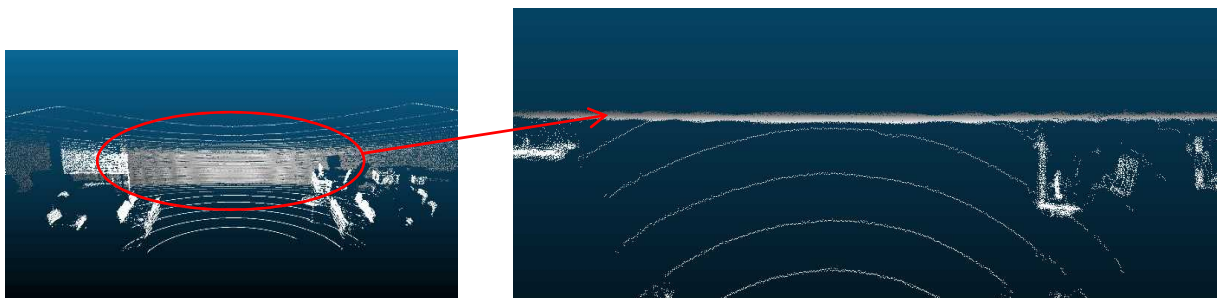


Figure 125 波紋状に広がる距離誤差(機種(b)実測点群)

IV. 同一材質の物体上でインテンシティが異なる現象例

同一材質の物体であっても、インテンシティが異なる現象(機種(b))。例えば、Figure 126 に示すように(色はインテンシティを表している)。画像中心にあるのは同一材質の一枚の板だが、①左端に青い帯、②水平ライン毎にバラつき、が観測される。

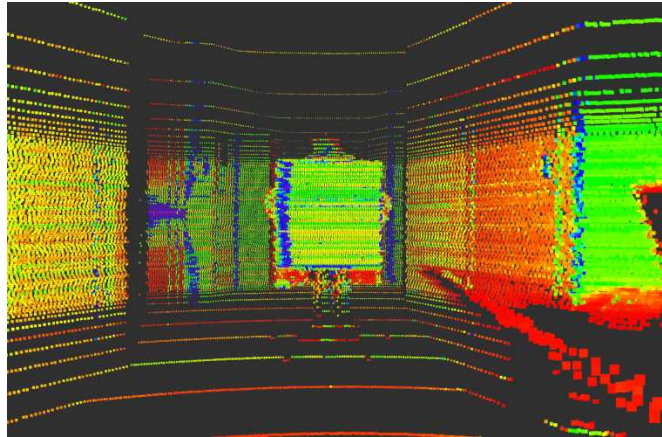


Figure 126 同一材質の物体上でインテンシティが異なる現象例(色はインテンシティを表している)

V. 距離によってインテンシティが変動する現象(機種(b))

同一材質の物体にも関わらず、距離を変化させるとインテンシティが不規則に変動するが(Figure 127)、距離とインテンシティの関連性が把握できていない。

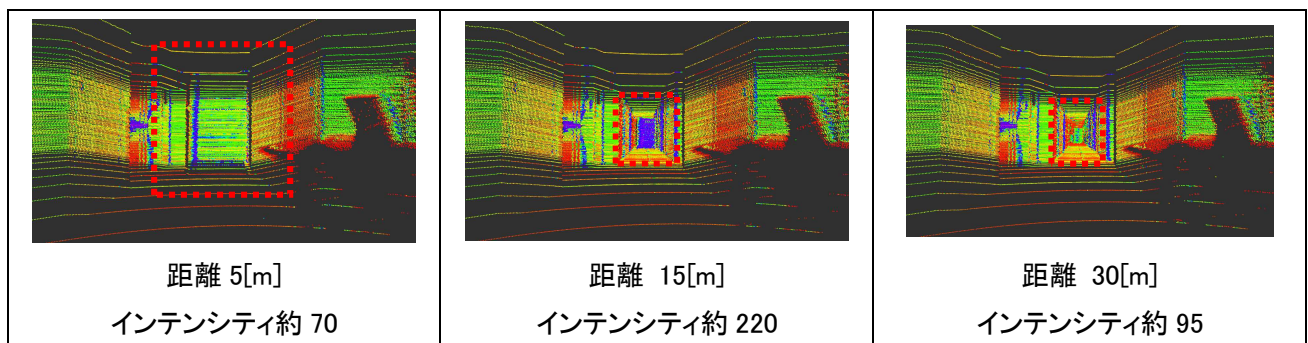


Figure 127 距離によるインテンシティの変化

事前検証

● 検証対象モデル

本評価では、環境モデル・空間伝搬モデル・走査モデル・測距モデルの4モデルを統合した一貫性を評価する。結合動作チェックにおいて、空間伝搬モデル・走査モデル・測距モデルについては、一定の一貫性とその誤差についても確認できているため、環境モデルを含めた一貫性検証が目的である。

評価パラメータについては、認識モデル出力に影響を与えると思われる項目として、以下を挙げる。

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

ただし、現時点では環境モデルに物標の反射特性が反映されていないため、物体サイズ(幅)・最短距離・点数については、遠距離において相当の誤差が発生すると考えられる。また、強度分布と認識モデル出力結果については反射特性反映後に評価対象とする。

● 検証方法

検証方法を Figure 128 に示す。

Figure 128 では、LiDAR から物標までの距離と LiDAR に対する物標の向きを変化させて、各距離・向きにおける最短距離・点数・物体サイズの一致性を評価する。ただし、現時点では環境モデルとしてはプリウスのみ検証を行い、NCAP ダミーは次年度に検証を行う。

【内容】

1. 実験車(アルファード)を停車する
2. ターゲットを下図指定位置 ● に設置する
3. 実験車でセンサデータを計測する
4. ターゲットを別の指定位置 ● に移動させる。以後 2 ～ 4 を繰り返す



実験車：アルファード



ターゲット：プリウス

NCAPダミー人

NCAPダミー自転車

【実験条件】

★プリウス

距離 = 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250m
設置角度 = 0, 90, 180度 (45度@50m以下)

★NCAPダミー

距離 = 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250m
設置角度 = 0, 90, 180度

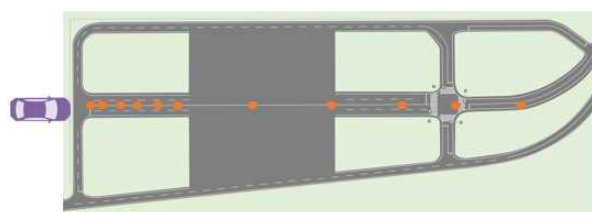


Figure 128 事前検証における最短距離・点数・物体サイズの一致性評価

- 検証結果

Figure 129、Figure 130 にシミュレーション点群と実測点群の比較を示す。Figure 129 は被計測物標(プリウス)を 10m 先に設置した時の機種(a)での取得点群の比較である。Figure 130 はプリウスを 10m 先に設置した時の機種(b)での取得点群の比較である。図の様に、取得点群の大まかな形状がシミュレーションと実測で一致している事が分かる。

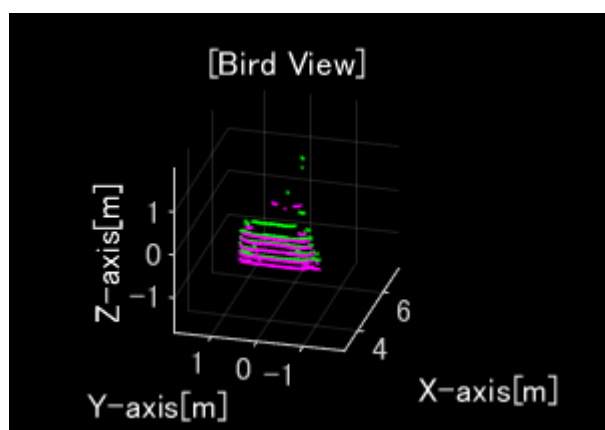


Figure 129 被計測物標点群比較:機種(a) (マゼンタ:シミュレーション点群、緑:実測点群)

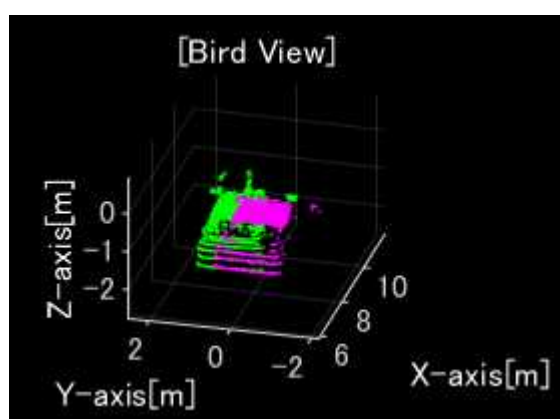


Figure 130 被計測物標点群比較:機種(b) (マゼンタ:シミュレーション点群、緑:実測点群)

- ✓ 物体サイズ(幅)

Figure 131 に機種(a)における物体サイズ(幅)の実測とモデル出力の差異を示す。Figure 131 は被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の被計測物標のサイズ(幅)のフレーム間平均の実測とモデル出力の差異である。100m 以上は点群が取得できていないため評価対象外としている。折れ線グラフは、各距離における機種(a)の水平方向の空間解像度である。差異が水平方向の空間解像度以下であれば一致していると考えられる。10m および 25m においては十分な一致性がみられた。しかし、50m において大きな差異がみられた。50m 先での実測とモデル出力点群の一例(45 度設置時)を Figure 132 に示す。図から分かるように、実測とモデル出力点群の形状の差異が大きく、ビームの当たっている位置も大きく異なっていることが分かる。これは、少しの LiDAR 位置・姿勢の不一致が 50m 先では大きな差異になることが主な原因

因である。他にも、被計測物標に反射特性が反映されておらず、主にビームが一部しか当たらない物標境界部において実測とモデル出力で差異が生じている可能性もある。

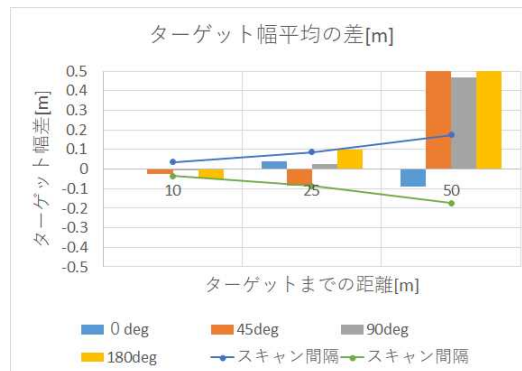


Figure 131 機種(a)物体サイズ(幅)の実測とモデル出力の平均値の差異

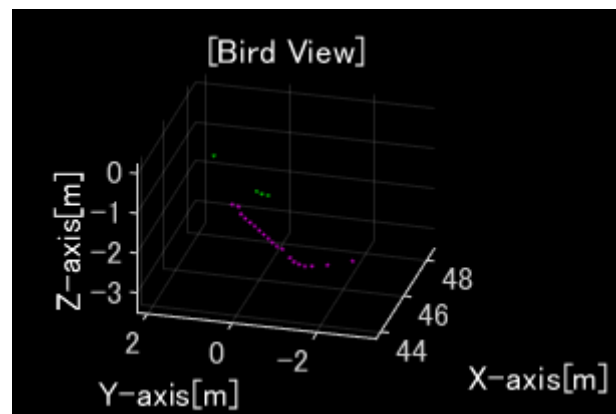


Figure 132 機種(a) (50m 先、45 度設置)におけるプリウスの点群
(マゼンタ:モデル出力点群、緑:実測点群)

Figure 133 に機種(b) における物体サイズ(幅)の実測とモデル出力の差異を示す。被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m・100m・150m・200m・250m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の被計測物標のサイズ(幅)のフレーム間平均の実測とモデル出力の差異である(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)。折れ線グラフは、各距離における機種(b)の水平方向の空間解像度である。平均値の差異が水平方向の空間解像度以下であれば一致していると考ええる。機種(b) における物体サイズ(幅)の実測とモデル出力点群の差異を Figure 134 示す。100m 以下では十分な一致性がみられた。しかし、150m 以上において大きな差異がみられた。機種(a)と同様に実測とモデル出力点群の形状の差異が大きく、ビームの当たっている位置も大きく異なっていることが分かる。これは、少しの LiDAR 位置・姿勢の不一致が 150m 先では大きな差異になること

が主な原因である。他にも、被計測物標に反射特性が反映されておらず、主にビームが一部しか当たらない物標境界部において実測とモデル出力で差異が生じている可能性もある。

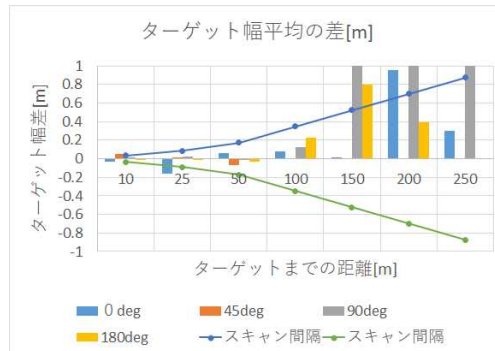


Figure 133 機種(b)物体サイズ(幅)の実測とモデル出力の平均値の差異
(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)

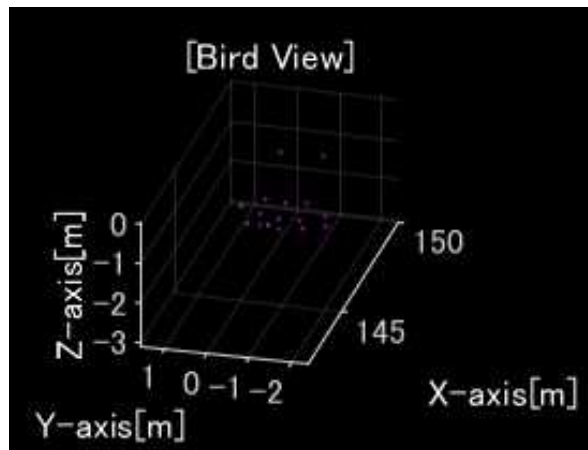


Figure 134 機種(b) 150m 先、180 度設置におけるプリウスの点群

✓ ターゲット物標までの最短距離

Figure 135 に機種(a)における被計測物標までの最短距離の実測とモデル出力の差異を示す。被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の実測とモデル出力の最短距離のフレーム間平均の差異である。

Figure 135 より、実測とモデル出力で最短距離に 10cm 程度の差異が存在している。この差異は、計測車両もしくは LiDAR の取付位置に起因する系統誤差によると考えられる。以降では、この系統誤差を補正した上で評価を実施する。

今回の実験において、計測車両および被計測車両の位置の計測精度、LiDAR の計測精度を考慮すると±5cm 程度の誤差は存在すると考えられる。被計測車両 25m 以下においては前記オフセットを除くと差異は 5cm 以下と十分な一致性がみられた。50m 以上では、LiDAR の設置位置・姿勢不一致の差異の影響により多少差異が大きくなっている。

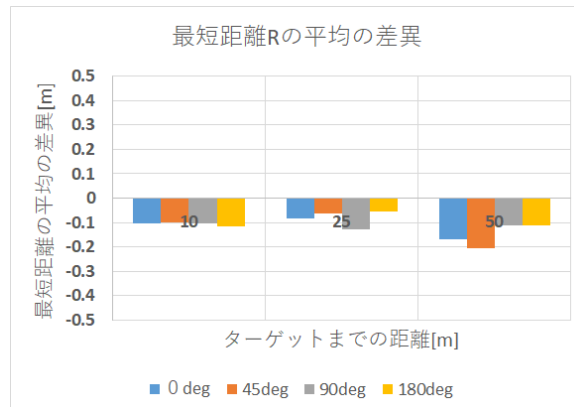


Figure 135 機種(a) ターゲット物標までの最短距離の実測とモデル出力の平均値の差異

Figure 136 に機種(b) における被計測物標までの最短距離の実測とモデル出力の差異を示す。被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m・100m・150m・200m・250m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の実測とモデル出力点群の最短距離の平均の差異である(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)。機種(b)では、計測車両および被計測車両の位置の計測精度、LiDAR の計測精度による誤差は±5cm ある。一方、「結合動作チェックで顕在化した課題: III.平面が歪む現象」による測定距離誤差が±6cm 以上発生していることを考慮すると、被計測車両 150m 以下においては、最短距離の平均値の差異は 7cm 以下となっており、十分一致性があると考えられる。それに対し、200m 以上においては大きな差異が発生している。200m 以上で、0 度と 180 度で大きな差異となっている理由としては、車両の形状により実際にビームの当たる最短距離が大きく異なることが考えられる。一方、90 度では車両のどこにビームが当たっても形状として最短距離が大きく変わることがないため、差異は小さい。他にも、被計測物標に反射特性が反映されておらず、主にビームが一部しか当たらない物標境界部において実測とモデル出力で差異が生じている可能性もある。

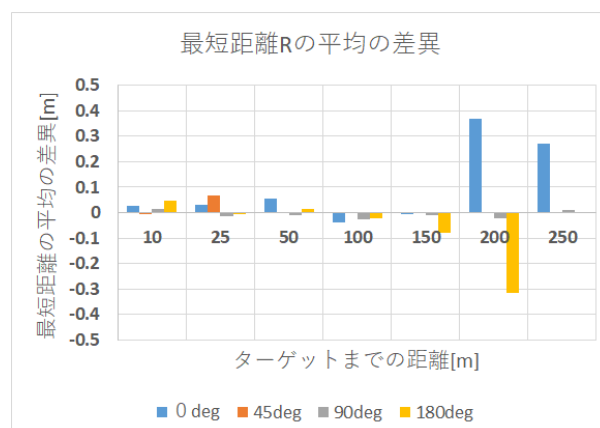


Figure 136 機種(b)被計測物までの最短距離の実測とモデル出力の平均値の差異
(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)

✓ 物標点群の点数(物標に当たり検出された点数)

Figure 137 に機種(a) における物標に当たる点数の実測とモデル出力の差異を示す。被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の物標に当たる点数の平均の差異割合※である。差異割合に関して、全体的に割合が正になっており、50m 以上で LiDAR の設置位置・姿勢不一致および反射率の差異の影響により著しく大きな値となっている。これは、少しの LiDAR 位置・姿勢の不一致が 50m 先では大きな差異になることが主な原因である。他にも、被計測物標に反射特性が反映されておらず、主にビームが一部しか当たらない物標境界部において実測とモデル出力で差異が生じている可能性もある。10m および 25m 付近での差異の要因としては、物標の反射率の低いパーツ(タイヤ等)において、実測で計測されていない部分がモデルでは出力される事が挙げられる。反射率の違いにより計測限界に差異が生じて点数の差異になっていると推測される。

※物標に当たる点数の平均の差異割合 =

$$\{(\text{シミュレーションの点数平均}) - (\text{実測の点数平均})\} / (\text{実測の点数平均})$$

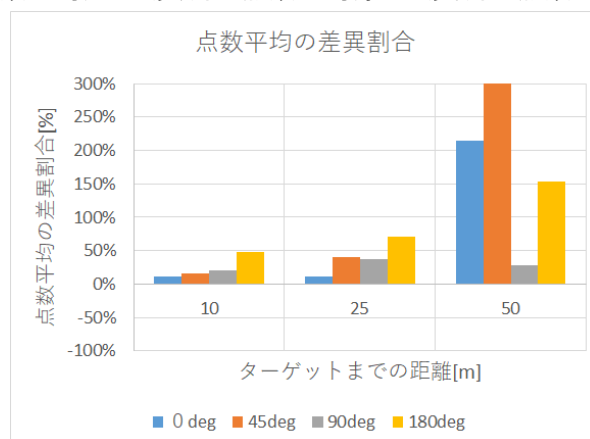


Figure 137 機種(a) 物標に当たる点数の実測とモデル出力の平均値の差異割合
(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)

Figure 138 に機種(b) における物標に当たる点数の実測とモデル出力の差異を示す。被計測物標(プリウス)までの距離を 10m・25m・50m・100m・150m・200m・250m に、角度を 0 度・45 度・90 度・180 度に変化させて設置した際の物標にあたる点数の平均の差異割合である(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)。差異割合に関して、50m 以上でモデル出力の点数が実測と比較してかなり大きくなっている。これは、被計測物標に設定されている反射特性が仮置きの高い値であるため、実測と比較してより多くの点数が検出されていると思われる。25m 以下では実測では、ガラス越しの車両内の点群が取得されているのに対し、シミュレーションでは計測されず、点数が実測の方が多くなり、割合が負になっている。そのため、25m 以下での点数の一致のためには、ガラスにおける透過モデルの実装が必要である。

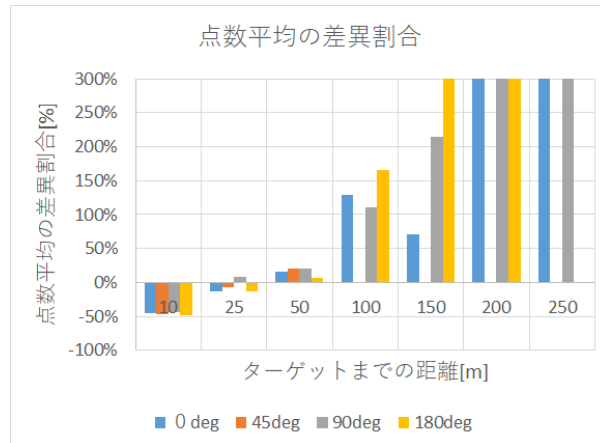


Figure 138 機種(b) 物標に当たる点数の実測とモデル出力の差異割合
(100m 以上は 45 度のデータは取得せず検証対象外)

B)-3 まとめ

事前検証における一致性検証の結果を以下の Table 64 に示す。

Table 64 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	

次年度に向け、物標に反射特性が反映された後に再度評価を実施する。再評価実施後には、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。

B)-4 課題

事前検証の評価対象は、環境モデル、空間伝搬モデル、LiDAR 知覚モデルであるため、遠距離における物体の位置姿勢に起因する誤差については、今後の取組課題とはしない。

物標反射特性と LiDAR 測距モデルに起因する誤差については、物標に反射特性が反映された後に再度評価を実施する。近距離における物体サイズ(幅)における物標透過特性に起因する誤差については、透過特性を扱うためには空間伝搬モデル・LiDAR 知覚モデル間 I/F を拡張する必要があるため、A パート企業と協議して検討していく。

(3)次年度以降の計画

(ア) 基本検証の一致性検証

今期2月にJARI多目的市街地にて取得したデータとモデル出力の一致性検証とその課題だしを実施する。(今期活動の継続)

(イ) 不調検証

- 事前検討(試験項目、評価手法)

今期選定した不調事象モデル化のための定量的なデータ取得のための試験項目と一致性評価手法を検討する。

- データ取得

上記試験項目につき、下記試験場にてAパートと協力してデータを取得する。

1. 雨(防災科研 大型降雨実験施設、JARI 特異環境試験場)
2. 霧(JARI 特異環境試験場)
3. 雪(防災科研雪氷防災実験棟)
4. 太陽光(JARI 特異環境試験場)

- モデル化・評価

上記で取得したデータを評価してモデルに反映する。また、一致性検証により課題を抽出する。

(ウ) 拡張性評価

予定されている拡張性評価について、以下の項目を実施する。

- 事前検討(試験項目、評価手法)

- データ取得

- モデル化・評価

データ評価、一致性検証

(エ) 報告書作成

5. 2. 5 「B4. センサモデル構築のためのデータ取得」(株式会社 SOKEN)

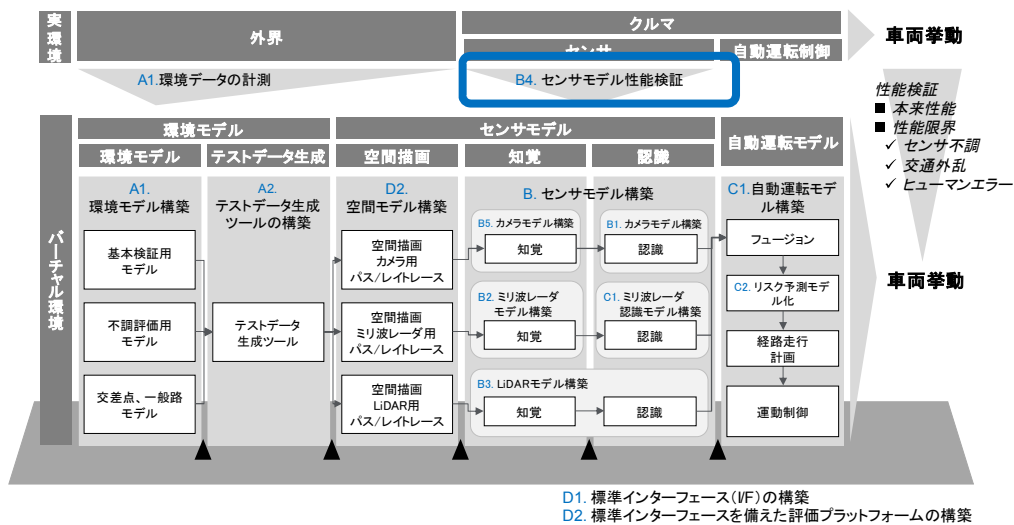


Figure 139 本研究の位置付け

本研究では、上記で構築したセンサモデルのシミュレーション精度を検証する。

■ 事業目的

各センサ(ミリ波レーダ/カメラ/LiDAR)の実データの取得環境構築、及びセンサモデルのシミュレーション結果と実測結果を比較検証することを目的とする。

■ 事業概要

各センサ(ミリ波レーダ/カメラ/LiDAR)を搭載した実験計測車両を構築する。

A パートにより定義した評価シーン・不調シナリオを再現可能な、試験環境を構築又は場所を選定し、実走してデータを取得する。実車走行した各センサ評価結果とセンサモデルのシミュレーション結果を比較検証し、A/B/D2 パートへのフィードバックを行う

■ 実施計画

▽インプット ★アウトプット（成果物）

[illegible]

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

自動走行の安全性評価において、シミュレーションと実機を比較検証する項目をセンサ(カメラ/LiDAR/ミリ波レーダ)モデル開発関係者と協議を行い、計測車両の要件(搭載センサ、計測項目)として定義した。

定義した内容に準じて車両設計及び車両の改造を行い、自車及びターゲット車両の位置情報及びセンサ(カメラ/LiDAR/ミリ波レーダ)知覚データを同時計測可能な実験車両を構築した。構築した実験車両を用いてJARI Jtownにてデータ計測を行い、関係者にデータ提供を行った。

次に自車及びターゲット(車両/NCAP ダミー)が移動する試験データを計測するため、NCAP ダミーの位置情報を同時計測可能とする実験車両、実験系を構築した。構築した実験系で、NCAP シナリオの実車計測試験を行い、関係者に試験データの提供を行った。

次年度は、センサ不調/一般道での評価において、シミュレーションと実機を比較検証する項目を関係者と協議してリストアップを行う。また、検証項目を測定可能なように実験車両の改造を行い、実車によるデータ計測を実施する。また、計測項目の一つであるセンサ認識データは、センサの機種変更及び計画変更により、実機センサが認識データ出力に対応しなかったため、次年度に計測を実施する。

(2)令和元年度の成果

① 計測車両の要件定義

自動走行の安全性評価においてシミュレーションと実機を比較検証する項目をセンサ(カメラ/LiDAR/ミリ波レーダ)モデル開発関係者と協議を行い計測車両の要件(搭載センサ、計測項目)として定義した。静止試験/走行試験/不調試験と段階的に車両改造、実車データ計測および検証を行っていくことで、実験車両の機能とシミュレーションの精度向上を図っていく計画とした。

	令和元年度/3Q 事前検証 (静止試験)	令和元年度/4Q 基本検証 (走行試験)	令和2年度/拡張性検証 (不調試験)
搭載センサ	- TI製ミリ波レーダ - Velodyne製LiDAR VLP-16 - Velodyne製LiDAR VLS-128 - SONY製カメラ ISX190	- TI製ミリ波レーダ - Velodyne製LiDAR VLP-16 - Velodyne製LiDAR VLS-128 - PSSI製 LiDAR1次試作品 - SONY製カメラ IMX490	- TI製ミリ波レーダ(小型防水仕様) - Velodyne製LiDAR VLP-16 - Velodyne製LiDAR VLS-128 - PSSI製 LiDAR2次試作品 - SONY製カメラ IMX490
データ保存機能	- 同期用時刻データ - センサ知覚データ - 自車/ターゲット車両位置情報		- 同期用時刻データ - センサ知覚/認識データ - 自車/ターゲット車両位置情報 - 車両制御信号

Figure 140 実験車両の要件定義

実験車両は各センサモデルの検証用の実機センサを搭載している。また、自車及びターゲット(車両/NCAP ダミー)の位置情報/挙動を精度良く計測できるように、高精度 GNSS/IMU 及び WiFi 通信システムを搭載し、ターゲットの位置情報を実験車両で測定できる構成とした。

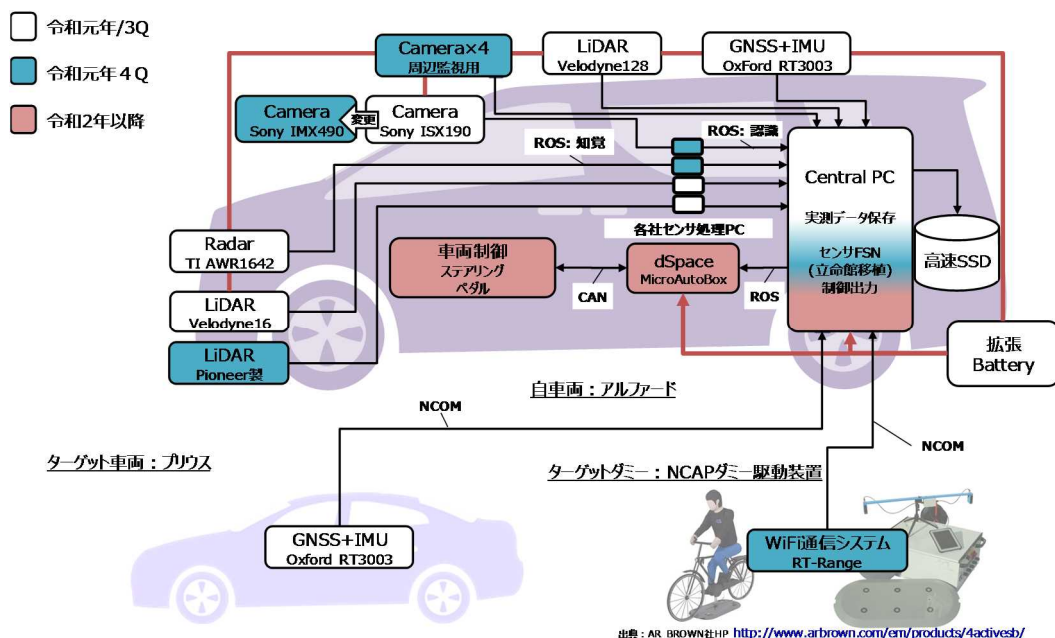


Figure 141 実験車両の構成概要及び構築計画

期間:2019 年 4 月から 2020 年 9 月

アウトプット:実験車両の配線図、車内ネットワーク構成図

② 計測車両の構築.

下図は実験車両の外観写真である。計測車両には開発しているセンサモデルの実機を搭載している。

車両フロントグリル内部には Velodyne 製 LiDAR VLP-16 を搭載し、赤外性透過樹脂にて保護してある。その上部にはミリ波レーダ TI 製 AWR1642 を搭載している。寸法の都合上、エンブレム内に収容できなかったため、エンブレムを取り外してレーダを露出させている。本状態のままではミリ波レーダの防水性能及び車検が取得できない。そのため、次年度に小型防水ケースを作成し、エンブレム内部への搭載を行う。

フロントガラスには SONY 製カメラ ISX190 を搭載している。カメラは Yaw と Pitch の2軸を調整可能な取り付け機構とし、取り付け角度の調整を行っている。

車両ルーフには Velodyne 製 LiDAR VLS-128 と周辺カメラ4台を搭載し、実験時の周囲状況を合わせて記録できるようにしている。

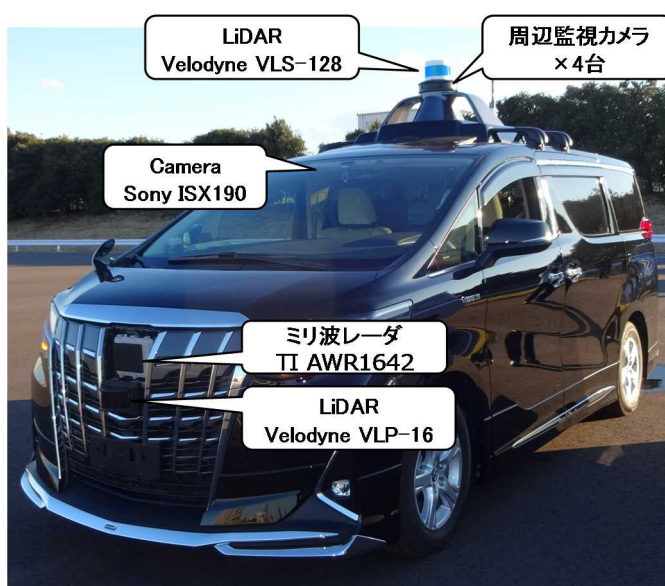


Figure 142 実験車両の外観写真

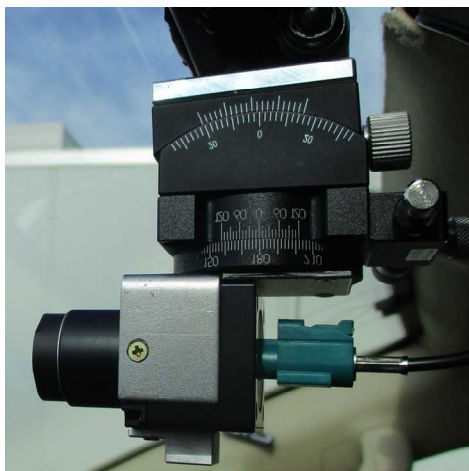


Figure 143 フロントガラス搭載カメラの取り付け機構

下図は実験車両のリア架台の写真である。

センサデータ認識処理用の演算器として大容量の電源の PC が使用されることが想定されるため、予備バッテリー及びインバーターを増設し、最大4000VA の同時使用が可能のように、電源系の拡張を行った。架台の上部には各センサのデータ処理用の PC と時刻同期用の GNSS NTP サーバを設置している。

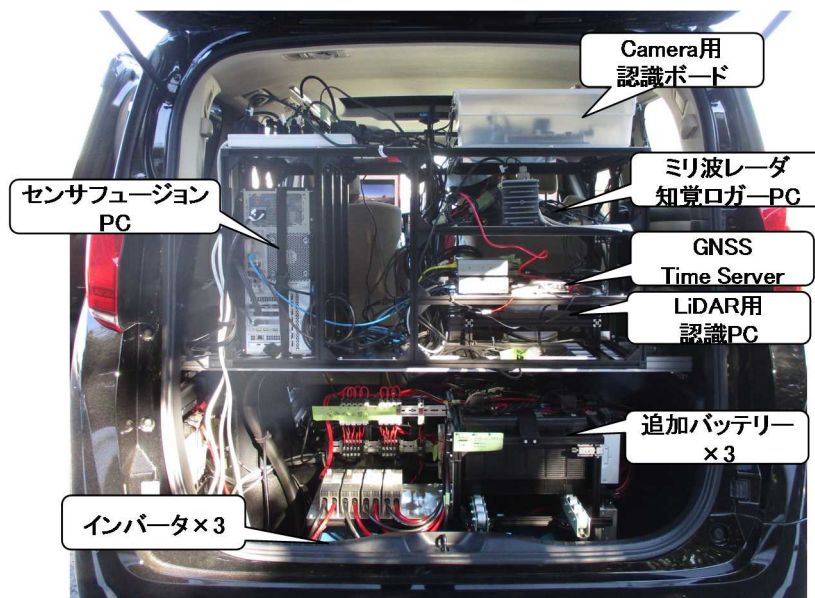


Figure 144 実験車両の架台写真

車両2列目には、車両の位置と挙動を計測するための、高精度 GNSS 及び IMU ユニットを搭載している。



Figure 145 GNSS/IMU の搭載写真

期間: 2019 年 10 月から 2020 年 12 月

アウトプット: 計測車両

③ 実車による実環境計測・データ検証

JARI Jtown の多目的市街において、自車及びターゲットを静止した状態でセンサデータを取得する静止試験と、自車及びターゲットが移動した状態でセンサデータを取得する走行試験を実施した。

実験において、取得したセンサデータ、車両位置／挙動情報、同期用の時刻データを合わせて、関係各社に提供し、共同でシミュレーションと実測との一致性の検証を行った。

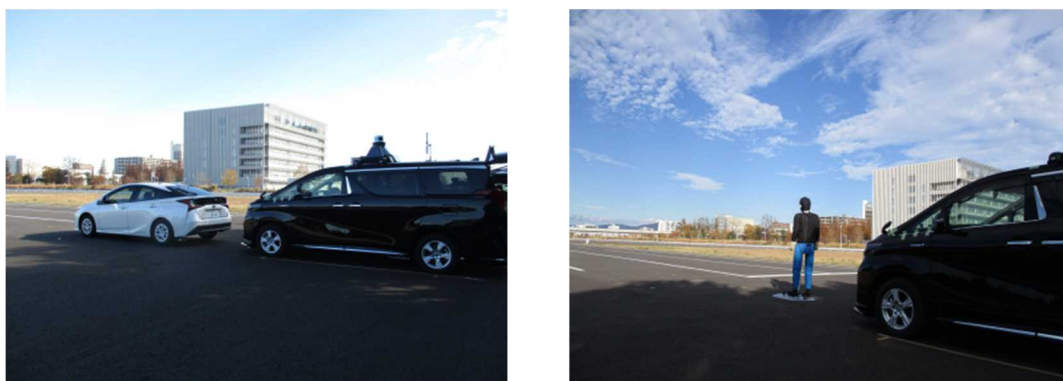


Figure 146 実車によるセンサデータ取得風景(静止試験)



Figure 147 実車によるセンサデータ取得風景(移動試験)

(3)次年度以降の計画

② 計測車両の構築

内容:Aパートで決定した評価シーン/不調シナリオの評価のために、各センサの追加・変更が計画の改造が必要となった場合には、関係各社と協議の上、車両及び計測システムを作成する。また、一般道路等を走行できるよう自動車検査登録を取得可能なように法規に準拠して車両改造し、自動車検査登録を行う(2020年9月)。

期間:2020年4月から2021年3月

アウトプット: センサデータの実環境計測結果

③ 実車による実環境計測・データ検証

内容: 実車による走行試験を実施し、走行時のセンサデータを取得、関係者と連携してセンサのシミュレーションモデルとの比較検証を行う。Aパートで決定した評価シーン/不調シナリオごとに、センサデータの実環境計測を行う。各センサのシミュレーションモデル関係者に実験データの提供を行い、シミュレーション結果との比較検証を実施する。

期間:2020年4月から2021年2月

アウトプット: センサデータの実環境計測結果

5. 3 「C.自動運転モデルの構築」のための研究開発

5. 3. 1 「C1.基本走行モデル構築」(学校法人立命館)

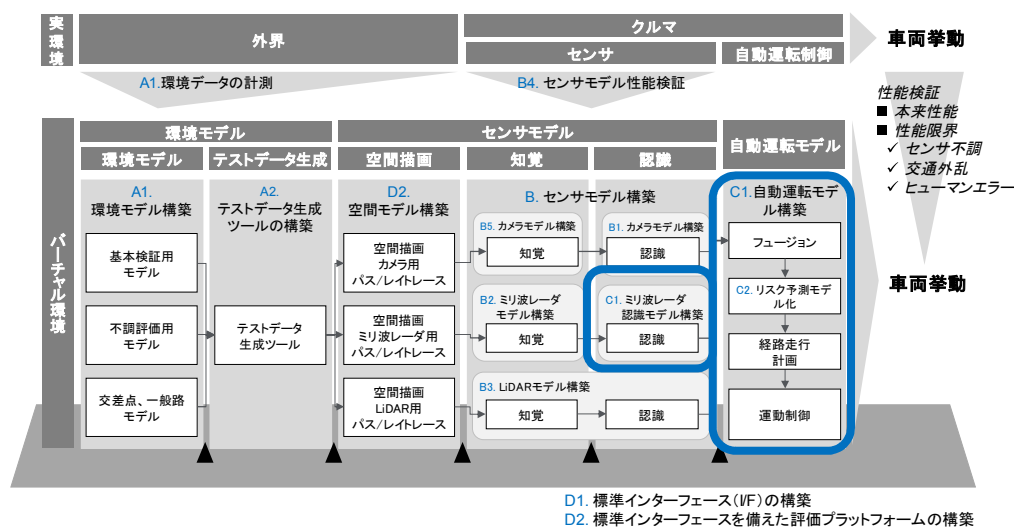


Figure 148 本研究の位置付け

■ 事業目的

仮想空間での自動走行評価に資する基本走行モデルの構築と各種 I/F の定義を目的とする。

■ 事業概要

自動運転システムを評価するためには、自動運転が可能となるドライバモデルが必要である。そこで、種々のセンサ特性を考慮し、基本走行が可能なモデルを構築する。

またシミュレータや実車への搭載を考慮した各種センサ類との I/F を定義する。

■ 実施計画

事業項目	平成 30 年度				令和元年度				令和 2 年度			
	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期
① 既存技術の検証と機能構造の明確化			●→									
② SLAM に関する機能や I/F の定義			●→									
③ 予測リスクに基づくドライバ切り替えに関する機能の明確化							●→					
④ センサ性能やセンサフュージョン機能の要件明確化				●→								
⑤ ミリ波センサ認識モデルの構築				●→								
⑥ 自動運転の走行モデルの海外調査					●→		●→		●→		●→	

★機能構造の明確化

★センサ I/F の定義

★センサフュージョンの機能要件

★ミリ波センサ I/F の定義

★米国 ★欧州 ★米国 ★欧州

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

令和元年度の成果として、センシング機能などの検証が可能なように開発された自動車シミュレータを用いて、自動運転モデルに関する検証を行い、単車線上での自動運転や緊急停止などを実現できることを確認した。

また、このシミュレータを用い、SLAMに関する機能や I/F の定義、センサフュージョン機能の要件の明確化なども併せて行った。さらに、計測・認識・センサフュージョンと従来の走行計画・車両制御に関する機能構造に対して、リスク予測に基づく走行計画を導入するための機能構造に関する検討を行い、安全にドライバモデルを切り替える手法を構築した。

次年度以降の計画としては、予測リスクに基づきドライバモデルを切り替える手法を実装し、開発された自動車シミュレータを用いて性能評価を行う。また、自動運転モデルの実車での検証を行う。

(2)令和元年度の成果

② SLAMに関する機能や I/F の定義

SLAM(自己位置推定)を行うためには、主にマルチラインの LiDAR が用いられており、Figure 149 のように SLAM が行われている。この SLAM に関する機能や I/F を定義し、④のセンサーフュージョンの成果に活かした。

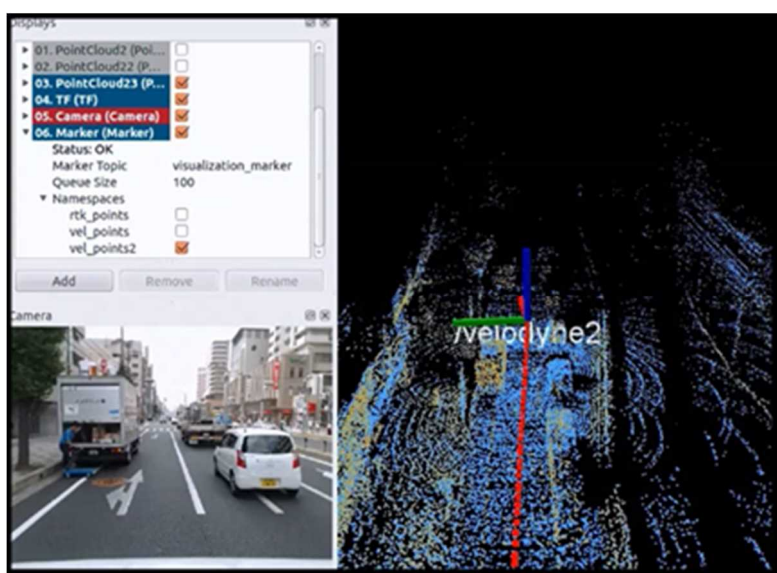


Figure 149 SLAM(自己位置推定)

③ 予測リスクに基づくドライバ切り替えに関する機能の明確化

レベル 3～5 の環境下では、不確実性が高い中、安全な自動運転を行わなければならない。そこで、安全性を評価する予測リスクを共同研究機関の神奈川工大が推定するが、その値に基づいたドライバ切り替え、つまり制動・駆動や操舵の切り替えを安全に行う方法について検討した。

その結果、制動・駆動や操舵が切り替え時に不連続にならず、また乗員に恐怖感を与えないように、前後方向の加速度・加加速度と回転方向の角速度・角加速度が最小限になるように切り替え制御を行うことを明らかにした。

④ センサ性能やセンサフュージョン機能の要件明確化

センサ性能やセンサフュージョン機能を自動車シミュレータ CARLA を用いてシミュレーションを行い、要件の明確化を行った。具体的には、各種センサ(カメラ, LiDAR, ミリ波レーダ)の値を ROS メッセージで受信し、センサフュージョンにより前方障害物等の情報により自動ブレーキ(被害軽減ブレーキ)のための制動アルゴリズムを ROS 上で実装し、Figure 150 のようにシミュレーションを行うことで、機能評価を行った。なお、制御アルゴリズムに関しては、緊急回避制御のような経路変更を伴う際の操舵制御アルゴリズムも実装した。

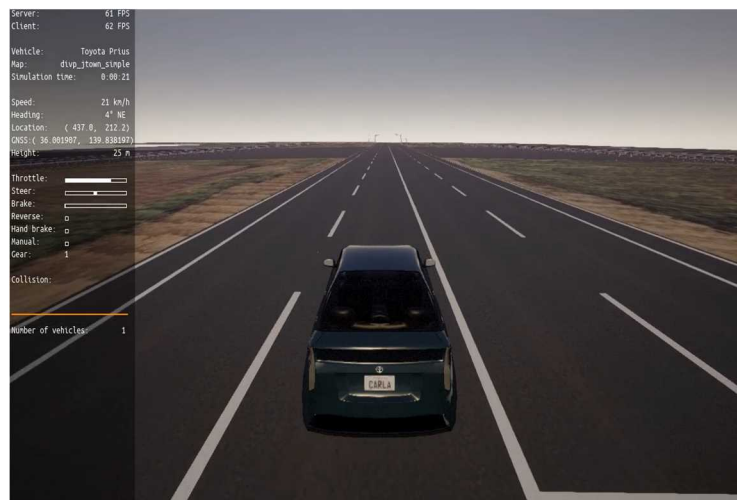


Figure 150 シミュレーション

⑤ ミリ波センサ認識モデルの構築

ノイズ除去フィルタと K-means 法によるセグメンテーション、拡張カルマンフィルタによる補正により、ミリ波センサの認識モデルを構築した。例として、Figure 151 のように実車により得られたデータを処理し、接近する2車両の認識を行うことが可能であった。

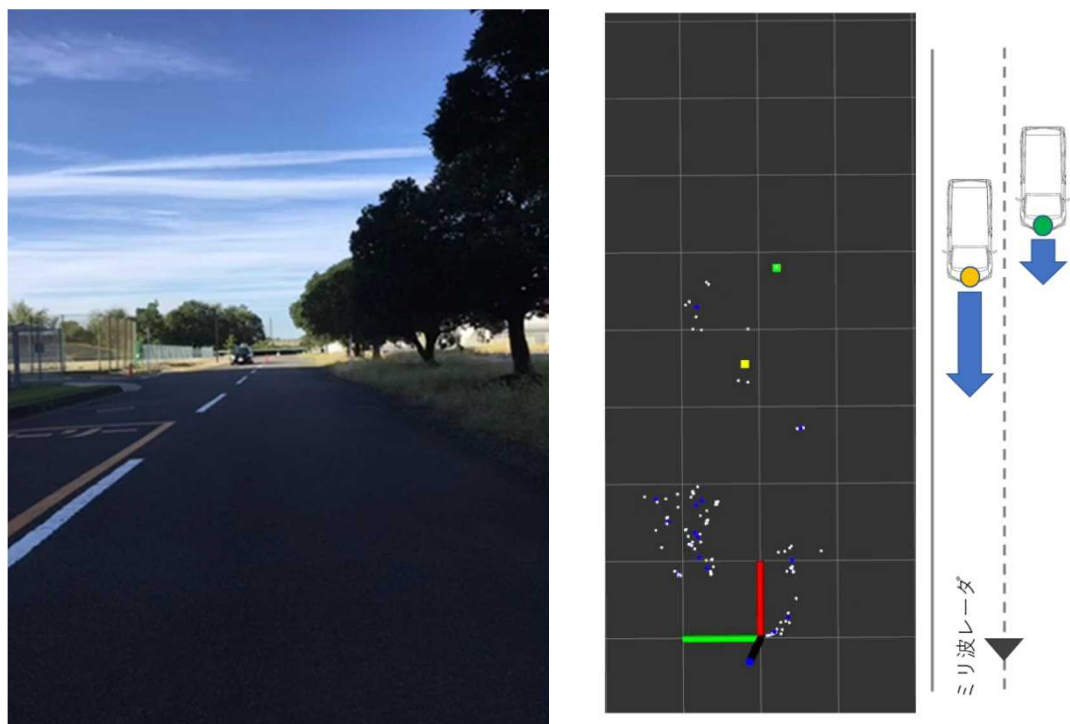


Figure 151 実験環境(左)とミリ波認識結果(右)

⑥ 自動運転の走行モデルの海外調査

計画変更により未実施。

(3)次年度以降の計画

③ 予測リスクに基づくドライバ切り替えに関する機能の明確化

共同研究機関の神奈川工大が推定する予測リスクに基づき、今年度検討したドライバ切り替え手法を導入し、シミュレーションにより機能の評価を行い、性能向上を行う。

5. 3. 2 「C2. リスク予測モデルのインテグレーション」(学校法人幾徳学園神奈川工科大学)

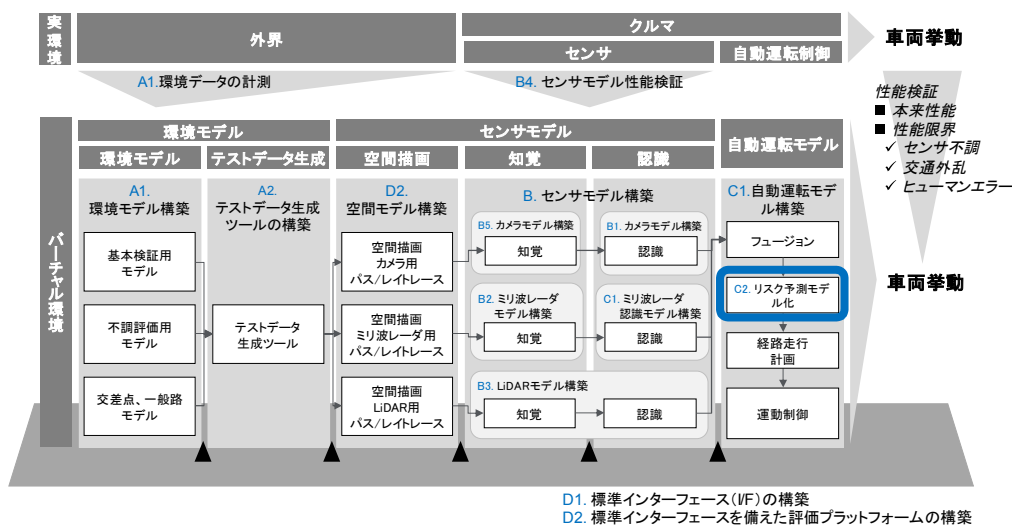


Figure 152 本研究の位置付け

■ 事業目的

仮想空間での車両性能評価のための「飛出しリスク予測」「自車位置推定」のセンサー認識シミュレーションプラットフォームへの組み込み

■ 事業概要

これまでの本学研究、及び、公開技術の応用で開発済の「飛出しリスク予測」「自車位置推定」を物理モデル化し、走行計画／車両制御に組み込む。これにより、センサーの認識シミュレーションとセットで車両性能を確認できるようにし、車両の安全性評価に貢献することを目的とする。

■ 事業内容

① 「飛出しリスク予測」のモデル化

歩行者や自転車などの飛出しリスク予測機能を物理モデル化し、走行計画／車両制御に組み込み、仮想空間でのセンサ機能からの車両性能の安全性シミュレーション評価を可能にする。

② 「自車位置推定」のモデル化

これまで本学で研究してきた「内界センサ (IMU、車輪速度) と GNSS ドップラ値による、リアルタイムな相対位置推定技術」のシミュレーションモデルを構築する。

これにより、カメラ、LiDAR、ミリ波レーダで構成される外界センサの認識不調の自車位置推定精度への影響と内界センサのフュージョンによるロバスト性へ効果、更には、それぞれのロバスト性への寄与度をシミュレーションを評価可能とする。

■ 実施計画

■ 事業項目	平成 30 年度				令和元年度				令和 2 年度			
	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期	第 1 四 半 期	第 2 四 半 期	第 3 四 半 期	第 4 四 半 期
①飛出しリスク予測の モデル化					モデル構築			モデル検証				
②自転車位置推定の モデル化					モデル構築			モデル検証				
③基本走行モデルへの 組込み									組込み		検証	

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

「飛出しリスク予想」モデルを構築し、既存シミュレーション上での単体検証を実施し、モデルの有無により自動車対歩行者・自転車のヒヤリハットを約 1/4 に、衝突事故を 1/50 に削減できることを示した。廉価な MEMS IMU、車輪速センサ、およびマルチ GNSS を用いた「自己位置推定」モデルを実車に搭載し、高精度 GNSS をリファレンスとした従来手法との比較において 3 倍以上の高精度を得られることを示した。

令和 2 年度はこれらのモデルを DIVP™ 上で動作するように、インターフェースの定義と実装を行い、物理センサモデルと併用することでセンサ不調時のシステム評価を DIVP™ で試みる。

(2)令和元年の成果

①「飛出しリスク予測」のモデル化

モデル構築

東京農工大学が管理、収集しているヒヤリハットデータ 14 万件を分析し、歩行者・自転車の飛出しリスク予測を行うアルゴリズムを構築した。飛出しリスク予測とは、走行交通環境の潜在リスクが高い場合、安全性確保のために環境適用速度を算出することである。

リスク算出には走行道路環境に起因するリスク(Risk Value)とドライバ運転行動に起因するリスク(LHP:Long-term Hazard Potential)を考慮しており、それぞれのリスクはヒヤリハットデータから定量化している。

モデル検証

既存の交通流シミュレーション(PTV Vissim)を用いて、歩行者／自転車が存在する走行道路環境において、飛出しリスク予想に基づいた制御車両と本制御の無い運転支援／自動運転車両によってヒヤリハットが確率的にどの程度減少するかの効果評価を実施した。歩行者／自転車の飛出しパターンや移動速度についてもヒヤリハットデータに基づきモデル化している。

評価指標はドライバが回避操作の実行に許された余裕時間とし、歩行者飛出し時の距離、自車速度、仮定した衝突回避減速度、システムの反応時間から求めた。

24 時間の時間的加速試験によって、飛出しリスク予想によりヒヤリハット件数を約 1/4 に、事故件数を約 1/50 に減らすこと示した。(Figure 153)

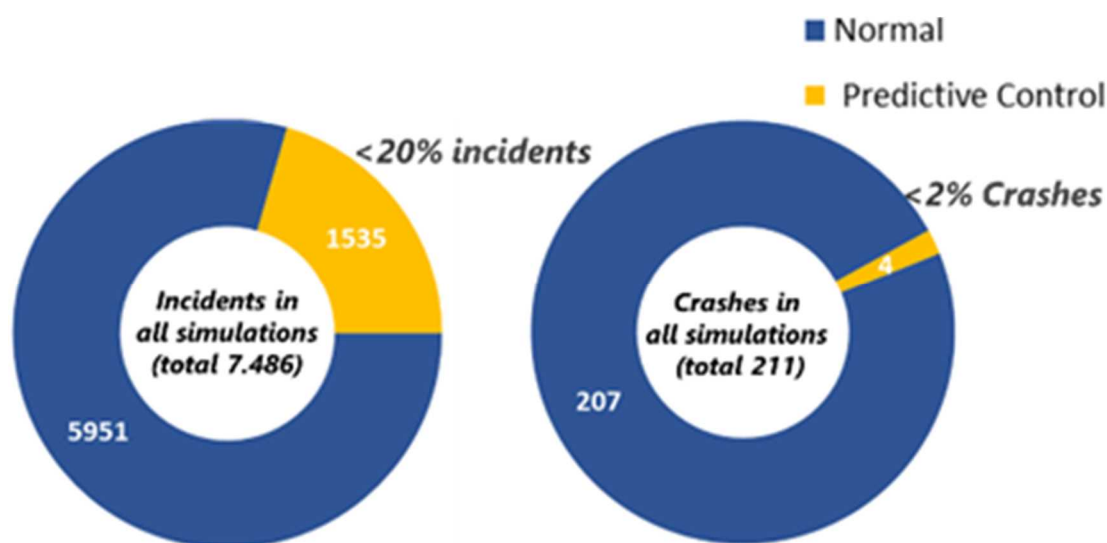


Figure 153 飛出しリスク予想の有効性 手法の有無によるヒヤリハット、事故件数の比較

②「自己位置推定」のモデル化(神奈川工科大学で開発済み技術を使用)

モデル構築

一般的な自動運転システムで用いられる高価で高精度な自己位置推定モデル(全方位スキャン LiDAR と高精度 3D 地図を用いたスキャンマッチングや、高精度 IMU と GNSS を用いた複合航法システム)とは異なる、廉価で汎用的な MEMS IMU, 車輪速センサ, およびマルチ GNSS 受信機を組み合わせたリアルタイム性の高い自己位置推定手法のモデル化を実施した。

受信状況が良好な環境で得られた GNSS ドップラを用いて、車輪速センサから得られた車速と MEMS IMU から得られた方位角を補正することで、廉価なセンサでも高精度な自己位置推定を行えることを確認した。

モデル検証

学校法人幾徳学園神奈川工科大学周辺道路にて高価で高精度な GNSS センサ(RTK-GNSS)をリファレンスとして、100m 走行後の軌跡誤差を本手法と一般的な手法で比較した。一般的に用いられる手法では 100m の走行で 2.0m 以内の自車位置推定を約 95%出来ていたが、本手法では 0.6m 以内の推定を約 95%行うことが出来た。(Figure 154)

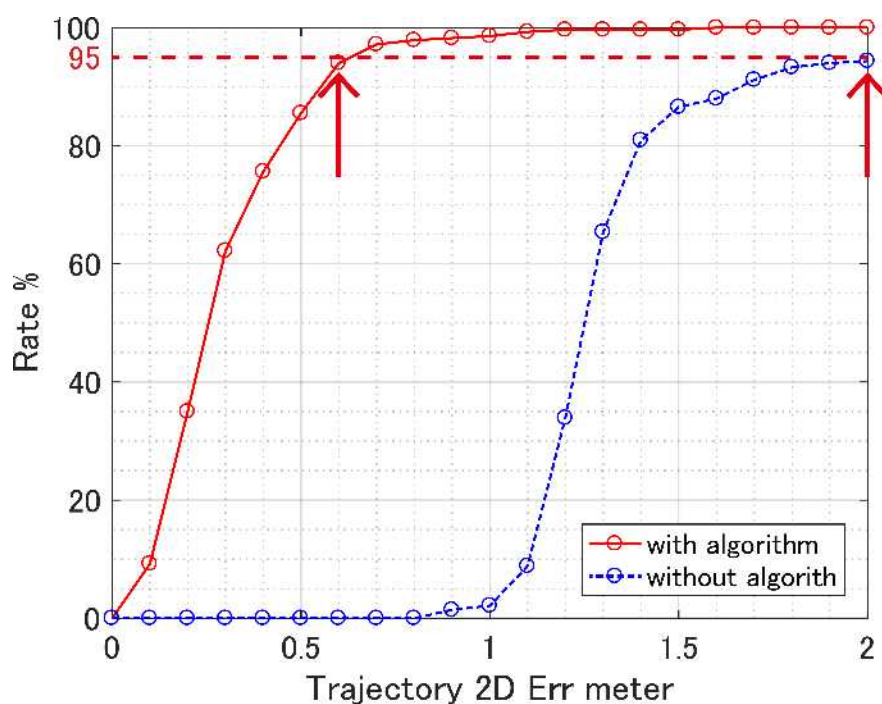


Figure 154 一般的な手法との自己位置推定精度の比較

(3)次年度以降の計画

既存のシミュレーションプラットフォームで構築していた飛出しリスク予想モデルと、実車に搭載した自己位置推定モデルを開発中の DIVP™ 上で動作するように、インターフェースの定義とその実装を行う。また、知覚出力が現実に近い物理モデルとした場合での各モデルの有効性について確認する。

5. 4 「D.自動運転バリテーションプラットフォームのアーキテクチャ構築」のための研究開発

本研究開発テーマでは、機能モデル、物理モデルの安全性評価シミュレーション環境を構築するために、「D1.モジュール間 I/F の標準化」と、「D2.シミュレーションプラットフォームの研究開発」の二つを課題として取り扱う。

5. 4. 1 「D1.モジュール間 I/F の標準化」(日本ユニシス株式会社)

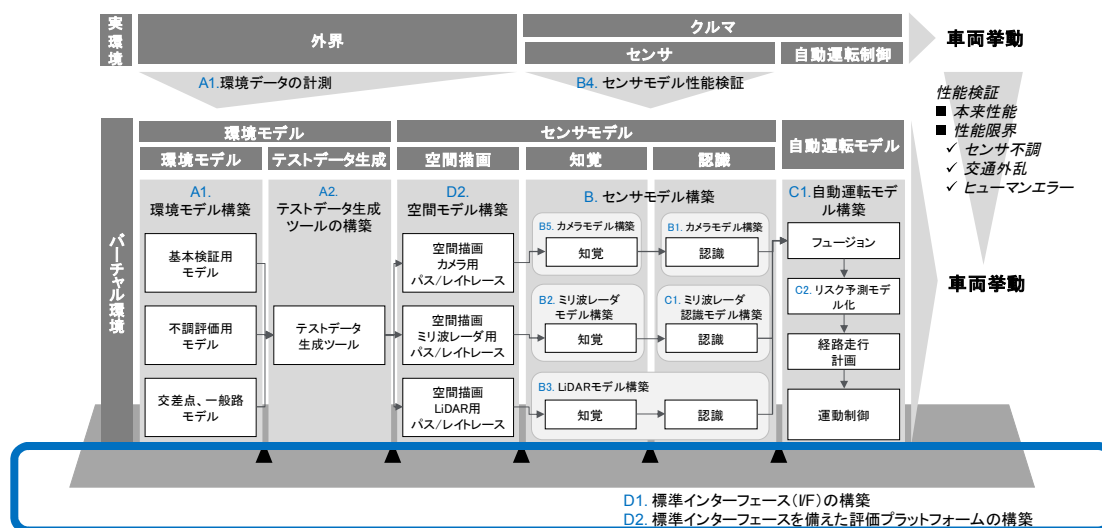


Figure 155 本研究の位置付け

本研究開発テーマでは仮想空間上でのシミュレーションを可能にするための I/F 技術を検討する。

■ 事業目的

現在の自動運転システムのためのシミュレーション環境は、自動運転システムの開発や評価(性能評価、安全性評価など)といった目的が多岐にわたるため、標準的な製品が存在していない。また、すべての機能を網羅して提供する製品も存在しないため、自動車メーカー各社では、それぞれに製品を組み合わせ、各社独自のシミュレーション環境を構築している。

また、自動運転システムを構築構築する際に組み合わせる各種センサや自動運転アルゴリズムなど、自動車メーカーやサプライヤの独自の技術が盛り込まれているため、センサモデルや自動運転モデルをシミュレーション環境下で動作させる際に、各モデルの秘匿性を保ちながらモジュール同士が連携して動作することが求められている。一方、テストシナリオや環境モデルなど、自動車メーカー各社の競争領域外のモデルについては、各社共通で利用可能となることが望ましい。

本事業では、シミュレーション環境や各社の製品に依存せず、かつ、必要な情報を秘匿とすることが可能な I/F 技術の検討を目的とする。

■ 事業概要

現時点(2019 年 4 月)で公開されているオープンソースシミュレーション環境の I/F の調査を実施する。神奈川工科大学での市販シミュレータのベンチマーク結果や、METI 事業での基礎調査結果なども参考にしながら、本事業で構築するシミュレーション環境を実現するため、各モジュールが提供すべき機能とモジュール間でやり

取りをするデータの内容を定義し、仕様書としてまとめる。

また、シミュレーション環境構築で得られた知見をI/F仕様に反映し、より実用的なI/F仕様となるようにする。

■ 実施計画

事業項目		2019 年度				2020 年度			
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①シミュレーション I/F 技術調査	活動スケジュール								
	成果物			★I/F 調査報告書					
②シミュレーション I/F 要件定義	活動スケジュール								
	成果物				★I/F 要件定義書				
③シミュレーション I/F 設計	活動スケジュール								
	成果物						★I/F 設計書		
④シミュレーション I/F の精緻化と標準化の検討	活動スケジュール								
	成果物							プロトタイプ評価結果★	

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

■令和元年度の成果

実施計画書にて本年度実施予定の項目は以下である。

① シミュレーション I/F 技術調査

既存技術調査として、オープンソースソフトウェアとして公開されている自動運転シミュレータ(CARLA、AirSim、Udacity)のセンサモデル出力などのシミュレーション I/F の調査を行う。調査結果を「シミュレーション I/F 調査報告書」としてまとめる。

② シミュレーション I/F 要件定義

本事業が対象とする仮想空間上でのシミュレーション環境の各モジュールが提供すべき機能の要件を検討する。検討した結果を「シミュレーション I/F 要件定義書」としてまとめる。

- (a) モジュール間の通信方式
- (b) モジュール間の通信内容
- (c) 各モジュールの構成手法の検討

■次年度以降の計画

「シミュレーション I/F 要件定義」の結果をもとに、③「シミュレーション I/F の設計」、およびシミュレーション環境のプロトタイプを通じて④「シミュレーション I/F の精緻化と標準化の検討」を進めていく。

(2)令和元年度の成果

① シミュレーション I/F 技術調査

シミュレーション環境や各社の製品に依存せず、かつ、必要な情報を秘匿とすることが可能な I/F 技術の検討のため、既存技術調査として調査時点(2019 年 7 月)で公開されているオープンソースのシミュレーション環境(CARLA、AirSim、Udacity)、および商用のシミュレーション環境(CarMaker)の I/F 調査を実施した。本事業が特に注目しているセンサモデル(カメラ、LiDAR、ミリ波レーダ)が、各シミュレーション環境にどのように組み込まれているか、その入力・出力がどのような通信方式で行われているかを調査した。調査結果は「シミュレーション IF 調査報告書」としてまとめ、報告した。

以下に調査の概要と結果を示す。

(a) 調査概要

調査対象としたシミュレーション環境と、その選定理由を以下に示す。

Table 65 調査対象

シミュレーション環境	ライセンス	選定理由
CarMaker バージョン 8.0.1	商用ライセンス	・多くの OEM、サプライヤで採用されている ・また、商用ソフトウェアであり、シミュレーション環境として期待される機能が充実している ・FMI、ROS など業界標準となっている I/F をサポートしており、調査対象として必要十分な I/F を備えている
CARLA バージョン 0.9.5	オープンソース	・LiDAR、カメラのセンサモデルが用意されており、センサモデルの追加、設定値の変更も考慮されている ・オープンソース
AirSim バージョン 1.2.2	オープンソース	・LiDAR、カメラのセンサモデルが用意されており、センサモデルの追加、設定値の変更も考慮されている ・オープンソース
Udacity Self-Driving Car Simulator	オープンソース	・Udacity が提供する「自動運転オンライン教育」で使用されている教材であり、LiDAR、ミリ波レーダセンサモデルのシミュレーションが教材に含まれている ・オープンソース

ー オープンソースのシミュレーション環境

センサモデルをビルトインで用意しており、その実装方法をソースファイルから確認することができることから、オープンソースのシミュレーション環境として CARLA、AirSim、Udacity を選定した。

調査対象のシミュレーション環境に対して、以下の項目について調査を実施した。

➤ シミュレーション環境の概要

シミュレーションループの概要図を記述し、センサモデルがシミュレーションループのどこに組み込まれているか、センサモデルの入力・出力がシミュレーション本体、または外部プロセスとどのようにつながっているかを調査する。

➤ センサモデルの組み込み

シミュレーション環境がビルトインで用意しているセンサモデルに対する設定変更、利用者独自のロジックをセンサモデルに組み込む手法を調査する。

➤ センサモデルの通信方式

センサモデルの入力・出力がシミュレーション本体、または外部プロセスと通信する際に採用されている通信方式を調査する。

(b) 調査結果

調査結果を以下に示す。

Table 66 調査結果まとめ

	概要	センサモデルの組み込み	センサモデルの通信方式
CarMaker	・商用ライセンス	・FMU インポート ・OSMP FMU ・C API	・FMI ※FMU インポート ・ROS I/F ・C API
CARLA	・オープンソース ・UE4 ベース ・自動運転システムの開発、検証が目的	・UE4 コンポーネント	・ROS I/F
AirSim	・オープンソース ・UE4 ベース ・自動運転 AI の研究(ディープラーニング、コンピュータビジョン、学習アルゴリズム強化)が目的	・UE4 コンポーネント	・ROS I/F
Udacity	・オープンソース ・Unity ベース ・「自動運転オンライン教育コース」の教材 自動運転 AI のディープラーニングモデルの学習用データ生成が目的	・Unity スクリプト	・WebSocket ※センサデータ送信

ー センサモデルの組み込み、通信方式で特に有効と思われる技術要素を青字で表記した。

○センサモデルの組み込み

CARLA、AirSim は UE4 で仮想空間を描画しており、そのセンサモデルを UE4 コンポーネントとして作成することで UE4 の仮想空間を知覚する仕組みになっている。Udacity は Unity ベースであり、CARLA、AirSim と同様に Unity コンポーネントとしてセンサモデルを作成し、Unity の仮想空間を知覚する。仮想空間として、UE4 や Unity といったオープンソースの仮想空間を採用している場合は、空間モデルによる仮想空間の描画に開発者独自のロジックを組み込むことが可能になり、後段のセンサモデルの知覚処理で必要とするパラメータを空間モデルから出力することが可能になる。

CarMaker はその仮想空間を直接知覚するような自作のモデルを組み込むことはできないが、FMU インポートなど既存のモデルを組み込む仕組みが用意されている。また、CarMaker がビルトインで用意している各モデルを C API によって置き換える、または C API を介して新規にモデルを作成し、シミュレーションループのどこに組み込むのかを指定することができる。C API によるプログラミングと FMI/FMU を組み合わせることで、OSI¹を介したモデルの組み込み(OSMP FM²)に対応している。

○センサモデルの通信方式

CarMaker、CARLA、AriSim はそれぞれ ROS I/F に対応するためのライブラリ、またはラッパーを用意しており、ROS ノードとして振る舞うことができる。これにより、センサデータを ROS トピックとして出力することで、シミュレーション環境の外側にある他の ROS ノードとのデータ連携もできるようになっている。Udacity は WebSocket を介してセンサデータを送受信する仕組みになっているが、複数プロセスのデータ連携を目的としたものではなく、センサデータを Websocket で指定した特定のサーバに送信して、自動運転用のディープラーニングの学習データとして蓄積するためのものである。

○まとめ

センサモデルが各シミュレーション環境にどのように組み込まれているか、その入力・出力がどのような通信方式で行われているかに注目して調査した結果、プログラミングによるシミュレーション環境との密結合を避け、センサモデルの再利用、外部プロセスとの通信が行える通信方式として ROS などの通信ミドルウェアや FMI の利用が有効であることが分かった。また、通信内容をシミュレーション環境と切り離して定義する方法として、OSI が採用しているインターフェース定義言語 Protocol Buffers³がある。インターフェース定義言語を利用することで、特定のシミュレーション環境に依存しない通信内容を定義できる。

¹ OSI: Open Simulation Interface。参照) <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation/>

² OSMP FMU: OSI Sensor Model Packaging。参照) <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation/osi-sensor-model-packaging/README.html>

³ Google がオープンソースライセンスで提供しているインターフェース定義言語。

② シミュレーション I/F 要件定義

本事業が対象とする仮想空間上でのシミュレーション環境の各モジュールが提供すべき機能の要件を検討した。実運用を見据えた場合、OEM、センサーメーカ各社が既存で利用しているシミュレーション環境との連携が想定される。シミュレーション体系ごとにモジュール/システム構成が異なり、また求められる I/F も異なると想定されるため、以下の方針で検討を進めた。

- ・ 既存のシミュレーション体系との連携
実運用を見据えて既存のシミュレーション体系との連携を整理する。
- ・ 各シミュレーション体系で求められる I/F の検討
シミュレーション体系のシステム構成を想定し、求められる I/F を検討する。
- ・ 要件検討
求められる I/F に対し、機能要件、非機能要件を検討する。

本年度 2 月末時点までに検討した内容を以下に記述する。検討した要件は「シミュレーション I/F 要件定義書」としてまとめ、本年度 3 月に報告予定である。

○既存のシミュレーション体系との連携

仮想空間上でのシミュレーション環境と、既存のシミュレーション体系との連携を以下に示す。



Figure 156 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

車両開発の設計段階では MIL、SIL によりモジュールの仕様・機能の検証が行われる。検証対象のモジュールは ECU に書き込まれる前のソフトウェアであり、モジュール間の通信やシミュレーション時刻の同期は API を介してシミュレーション PF 上で制御可能である。

ECU 実機、試作車などハードウェアが作成された段階では、HIL、VIL によりハードウェアの検証が行われる。ハードウェアがシミュレーション PF に接続されるため、通信内容や時刻はハードウェアに合わせたシミュレーションが必要であり、シミュレーション PF にはリアルタイム処理が要求される。

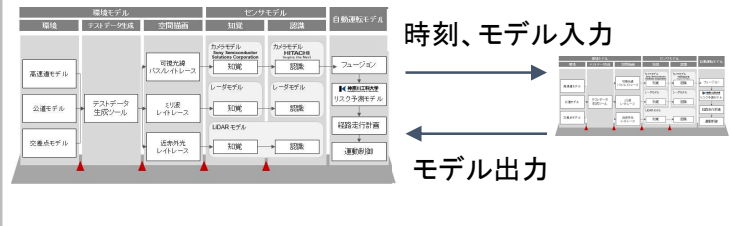
○各シミュレーション体系で求められる I/F

各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 の検討を行った。

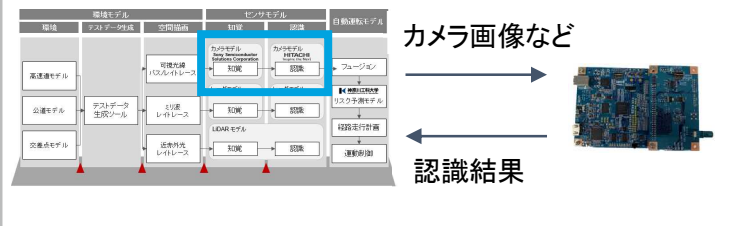
いずれのシミュレーション体系においても、モジュール/システム間の連携には「PF に依存しない標準化された I/F」が必要であること共通している。

検討した内容を以下に示す。

【MIL/SIL】

構成	*モデルの一部を他の PF のモデルと連携する例 
検討事項	■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 が必要である

【HIL】

構成	*カメラのインジェクション例 
検討事項	■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

【VIL】

構成	*実車の自動運転システムと接続する例 車速、位置、姿勢など 認識結果、車高など
検討事項	■ 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

○要件検討

「PF に依存しない標準化された I/F」を検討するため、以下の3つの観点で必要な技術要素、機能要件、非機能要件の検討を行った。

(a) モジュール間の通信方式

各モジュールを簡単に差し替え可能とするための要件を明らかにする。また、通信経路上のデータの秘匿性を保持するための要件を検討する。

(b) モジュール間の通信内容

センサモデルやプランニングモデルなどの入出力情報は、公開可能な情報と各企業で非公開としたい情報が含まれるが、このようなモジュールを情報の秘匿性を保持したままシミュレーション環境に組み込むための要件を検討する。

(c) 各モジュールの構成手法の検討

機能モデル／物理モデルを共通化して扱うための要件を検討する。

(a) モジュール間の通信方式

○検討対象とするモジュール構成の整理

各モジュールを簡単に差し替え可能とするための要件、通信経路上のデータの秘匿性を保持するための要件を検討するにあたり、各モジュールとデータの入出力の関係を整理した。D2 パートで構築しているシミュレーション環境、およびシミュレーション I/F 技術調査で対象としてシミュレーション環境をもとに、モジュール構成を以下のように整理した。

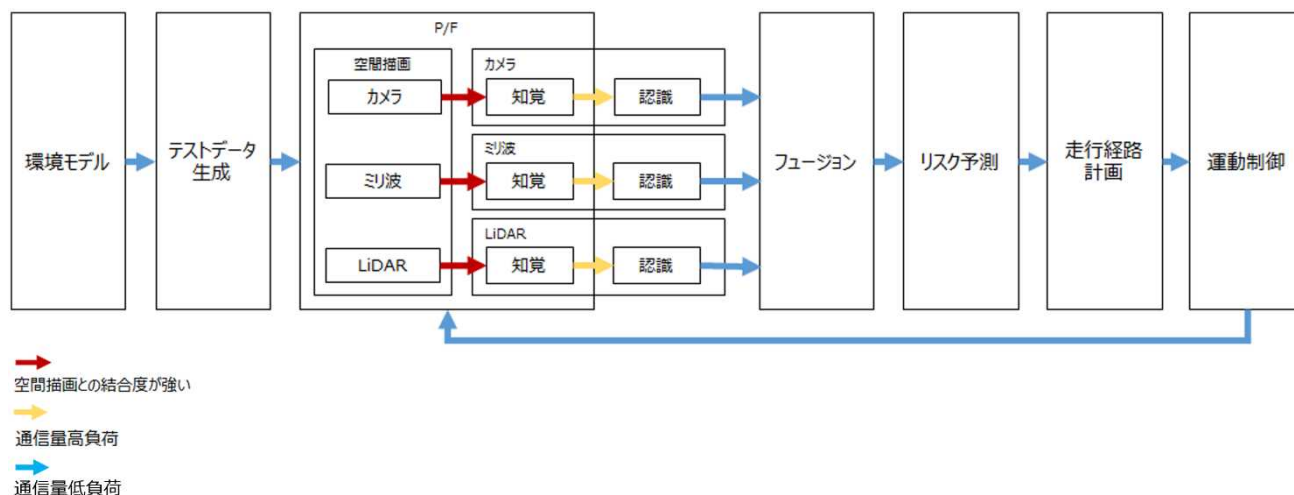


Figure 157 モジュール構成

○通信方式の要件検討

各モジュールとデータの入出力の関係を以下のように分類し、それぞれ通信方式として求められる要件を検討した。

- ・ 空間描画との結合が強い通信
- ・ 通信量が高負荷な通信
- ・ 通信量が低負荷な通信

各分類の概要と、検討した要件を以下に示す。

・ 空間描画との結合が強い通信

概要	<pre> graph LR subgraph P_F [P/F] direction TB subgraph Row1 S1[空間描画] --> P1[知覚] end subgraph Row2 S2[カメラ] --> P2[知覚] end subgraph Row3 S3[ミリ波] --> P3[知覚] end subgraph Row4 S4[LIDAR] --> P4[知覚] end end P1 --> R1[認識] P2 --> R2[認識] P3 --> R3[認識] P4 --> R4[認識] </pre> ・ 電波伝搬の計算など空間描画が提供する API⁴との結合度が強い。 ・ リアルタイム性が要求される場合、インメモリまたはプロセス間通信など、空間描画との高速な通信が必要。
機能要件	・ 空間描画の API(C/C++API など)を介して各センサモデルが電波伝搬の計算結果を取得できること。 ・ センサモデルの知覚処理をプラグイン(C/C++, FMU など)形式で P/F にインポートできること。
非機能要件	・ プラグインとしてインポートしたセンサモデルは、P/F や他のセンサモデルとは別のプロセスで稼働すること。 ・ ※セキュリティの観点から他のモデルが稼働しているプロセス/メモリへの直接のアクセスを制限し、他のモデルの通信内容/パラメータの変更などができないようにすること。

⁴ API: Application Programming Interface。ソフトウェアコンポーネントが相互にやりとりするのに使用するインターフェース仕様。

■ 通信量が高負荷な通信

概要	・ カメラの高精細 CG のイメージを転送する場合、4.8Gbit/s のスループットが要求される。 ・ 空間描画で行う処理(電波伝搬の計算、アセット読み込みなど)は高負荷であり、負荷分散のため知覚以降の後段処理は P/F とは別のマシン上で稼働できることが望ましい。
機能要件	・ 空間描画の API(C/C++API など)を介して各センサモデルが電波伝搬の計算結果を取得できること。 ・ センサモデルの知覚処理をプラグイン(C/C++、FMU など)形式で P/F にインポートできること。
非機能要件	・ 知覚出力の RAW データが転送可能(4.8Gbit/s 以上のスループット)であること。 ・ 通信内容を暗号化(HTTPS 利用など)するか、平文で転送するかを設定できること。 ※ネットワーク上のモジュールがすべて既知で安全であることが判明している場合に、暗号化と暗号化解除処理によるスループット低下を防ぐため、平文による転送も可能にする。

■ 通信量が低負荷な通信

概要	<pre> graph LR subgraph Camera [P/F カメラ] direction TB C_P["知覚"] C_R["認識"] C_P --> C_R end subgraph MillimeterWave [ミリ波] direction TB M_P["知覚"] M_R["認識"] M_P --> M_R end subgraph LIDAR [LIDAR] direction TB L_P["知覚"] L_R["認識"] L_P --> L_R end C_R --> Fusion["フュージョン"] M_R --> Fusion L_R --> Fusion </pre> ・ センサモデルの RAW データを含まず、主に数値パラメータを転送する低負荷な通信。 ・ 負荷分散、およびモジュールを柔軟に構成できるように、各モジュールが別マシン上で稼働できることが望ましい。
機能要件	・ 各モジュールの出力をネットワーク通信(TCP/IP、UDP)で転送でき、各モジュールを別のマシン上で稼働できること。 ・ 送信元(URL、ポート番号)を受信側から特定できること。
非機能要件	・ 通信内容を暗号化(HTTPS など)するか、平文で転送するかを設定できること。 ※ネットワーク上のモジュールがすべて既知で安全であることが判明している場合に、暗号化と暗号化解除処理によるスループット低下を防ぐため、平文による転送も可能にする。

(b) モジュール間の通信内容

○通信内容の要件検討

通信内容の検討にあたり、公開可能な通信内容、各企業で非公開としたい通信内容それぞれに対して検討を行った。

■ 公開可能な通信内容

機能要件	・ 空間描画の API(C/C++API など)を介して各センサモデルが電波伝搬の計算結果を取得できること。 ・ センサモデルの知覚処理をプラグイン(C/C++、FMU など)形式で P/F にインポートできること。
非機能要件	・ 知覚出力の RAW データが転送可能(4.8Gbit/s 以上のスループット)であること。 ・ 通信内容を暗号化(HTTPS 利用など)するか、平文で転送するかを設定できること。 ※ネットワーク上のモジュールがすべて既知で安全であることが判明している場合に、暗号化と暗号化解除処理によるスループット低下を防ぐため、平文による転送も可能にする。

■ 非公開としたい通信内容

機能要件	・ 通信内容のうち、秘匿したいパラメータ群を 1 つのバイナリデータとして送信し、送信側・受信側の双方で取り決めた変換手順でのみ内容を復元できるようにして、第三者からは通信内容を把握できないようにするなどが考えられる ・
非機能要件	・ 知覚出力の RAW データが転送可能(4.8Gbit/s 以上のスループット)であること。 ・ 通信内容を暗号化(HTTPS 利用など)するか、平文で転送するかを設定できること。 ※ネットワーク上のモジュールがすべて既知で安全であることが判明している場合に、暗号化と暗号化解除処理によるスループット低下を防ぐため、平文による転送も可能にする。

○軸となる標準 I/F の選定

D2 パートでは DIVP™ のシミュレーション環境を ROS I/F を中心に構築している。モジュール間の通信内容、特にセンサモデル(空間描画、知覚、認識)の通信内容を整理するにあたり、今後の標準化をにらみ主要なシミュレーション I/F の調査・比較を実施し、通信内容を検討していく上で軸となるアーキテクチャを選定した。

シミュレーション I/F 技術調査の結果から、標準 I/F として ROS、OSI、FMI/FMU を選定し、調査・比較を実施した。以下に各標準 I/F が提供する機能と範囲を示す。

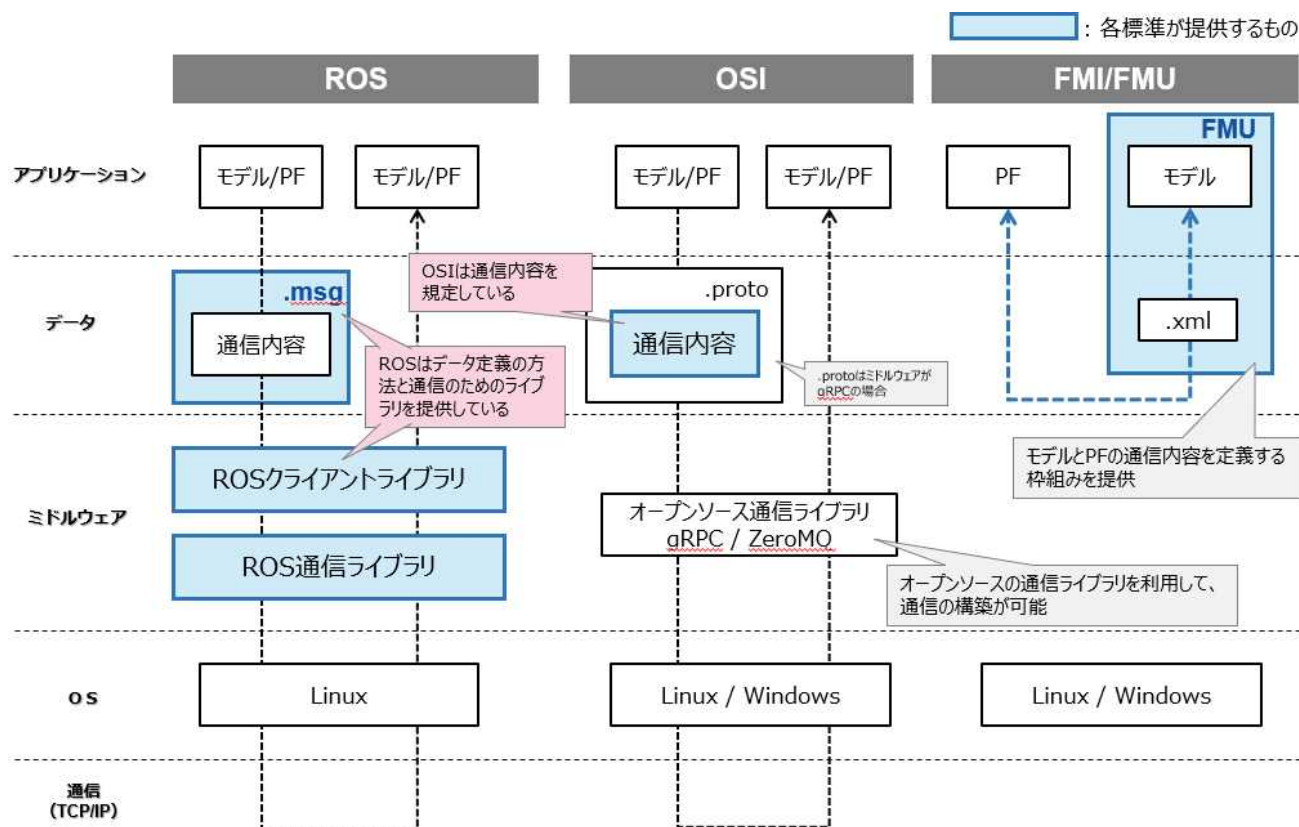


Figure 158 各標準 I/F が提供する機能と範囲

以下に調査・比較結果のまとめを示す。

Table 67 センサモデルにおける各標準 I/F の比較

項目	ROS	OSI	FMI/FMU
通信内容	△	○	×
※センサ知覚、認識、フュージョンのみ	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
動向	TierIV、Apex.AI が採用。手軽に使い、様々な企業、大学で利用されている。	独 Pegasus から ASAM に移管。独の DIVP™ に近い国プロで採用。	複数のモデルの錬成シミュレーションで多く採用。CarMaker なども対応。

各標準 I/F の調査・比較を実施した結果、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進めることとした。

○通信内容の整理

OSI を軸に通信内容を整理・検討するにあたり、OSI で定義されている空間描画、センサ(カメラ、ミリ波、LiDAR)、フュージョンの各モデルの通信内容を確認し、DIVP™ で検討している通信内容との関連付けを行った。

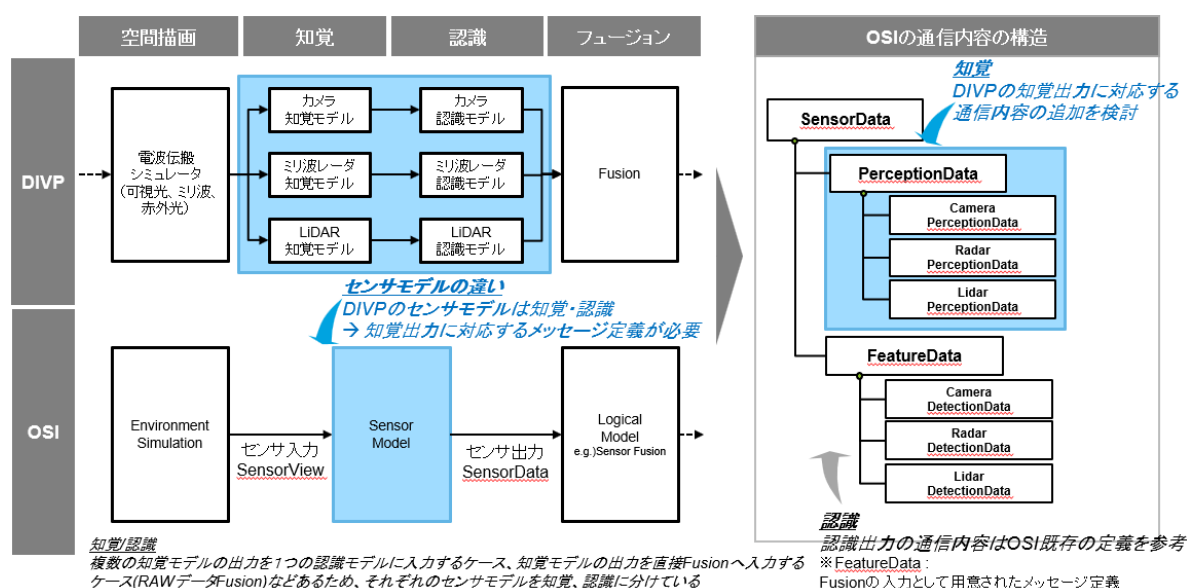
OSI の各モデルの通信内容に対して、DIVP™ が必要とする項目の追加を検討した。検討した項目は以下のとおり。

➤ 空間描画

- ・ 環境条件として、太陽光を追加(センサ不調要因の逆光を再現するため)した。
- ・ カメラのレンズ特性、および分光の概念を追加した。

➤ 知覚

- ・ OSI のセンサモデルは知覚・認識に分かれておらず、DIVP™ で検討している知覚出力の通信内容を追加した。



➤ 認識

- ・ OSI 既存の通信内容に、DIVP™ で検討している認識出力の通信内容を追加した。

➤ 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。

(c) 各モジュールの構成手法の検討

※検討結果を「シミュレーション I/F 要件定義書」に記載する。

(3)次年度以降の計画

① シミュレーション I/F 設計

- ・ 期間：2020 年 4 月～2020 年 9 月
- ・ 内容：「シミュレーション I/F 要件定義」の結果を基に、シミュレーション I/F の設計を行う。シミュレーション環境を構成する各モジュール間で入出力する通信内容や通信方式の詳細仕様を検討し、検討結果を「シミュレーション I/F 詳細設計書」としてまとめる。

② シミュレーション I/F の精緻化と標準化の検討

- ・ 期間：2020 年 7 月～2021 年 3 月
- ・ 内容：シミュレーション環境のプロトタイプを作成し、定義したシミュレーション I/F 仕様を適用する。実機での実験結果との比較評価をもとに I/F 仕様とプロトタイプの実装を改良し、実利用に適した仕様に精緻化する。

5. 4. 2 「D2.シミュレーションプラットフォームの研究開発」（日本ユニシス株式会社）

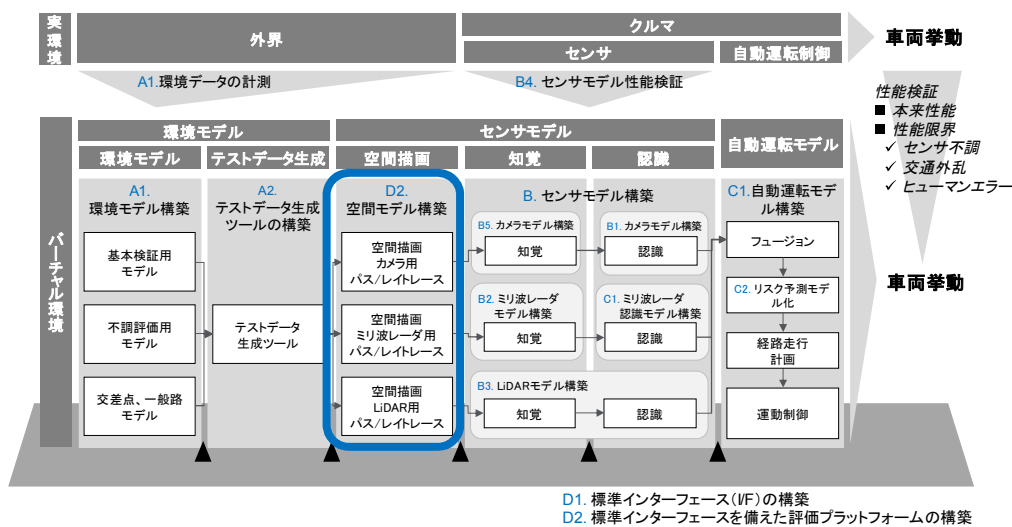


Figure 159 本研究の位置付け

本研究開発テーマでは、これら評価環境をオープンなプラットフォーム上で動作する仕組みを構築する。

■ 事業目的

センサ(カメラ、ミリ波レーダ、LiDAR)の仮想空間上での安全性評価を実施するために、センサの原理原則(物理法則)に基づいたシミュレーションプラットフォームを研究・構築し、国内関係プレイヤー間でオープンに公開することを目的とする。

■ 事業概要

- ① 電磁波(カメラ=380nm~770nmの波長(可視光領域)、ミリ波レーダ=1mm~10mmの波長、LiDAR=905nmの波長)が空間内を物理的に伝搬する状況をシミュレートすることで、実物のセンサ(カメラ、ミリ波レーダ、LiDAR)への入力を仮想空間内で正確に再現する環境モデルを構築する。
- ② A~Cの各パートで実装される自動運転シミュレーションシステムを構成する各モデルを結合し、自動運転システムの安全性を検証するためのプラットフォームを開発、その有効性を評価する。
- ③ 開発するPFは高性能GPUを搭載したワークステーションPC1台で動作する性能を目標とする。検証を通して、シミュレーションに必要なとなる計算機性能の見極めを行う。

想定 HW 構成

CPU: デュアルインテル Xeon Gold 6134 3.2G 24.75M キャッシュ

OS: Windows 10 Pro

メモリ: 192GB (12x16GB) 2666MHz DDR4 ECC RDIMM

GPU: デュアル NVLink NVIDIA Quadro RTX8000, 48GB

HDD: M.2 1TB PCIe NVMe Class 50 SSD

HDD: 3.5 インチ 2TB 7200 SATA HDD

■ 実施計画

事業項目		2018年度				2019年度				2020年度			
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
①既存シミュレーションPFの調査	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
②センサ不調モデル仕様の定義	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
③機能モデルクローズドループPFの開発	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
④機能モデルシミュレーションのテスト・評価	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
⑤物理モデルオープンループPFの開発	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
⑥物理モデルシミュレーションのテスト・評価	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
⑦センサ不調を考慮したPFの開発	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
⑧不調要因の物理シミュレーション・機能シミュレーションのテスト・評価	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												
⑨総合評価	必要なインプット												
	活動スケジュール												
	活動の成果物												

(1)令和元年度の成果と次年度以降の計画(まとめ)

実施計画書記載の令和元年度実施予定の項目は下記の項目である。

- ② センサ不調モデル仕様の定義
- ③ 機能モデルクローズドループPFの開発
- ④ 機能モデルシミュレーションのテスト・評価
- ⑤ 物理モデルオープンループPFの開発(令和2年度以降も継続)
- ⑥ 物理モデルシミュレーションのテスト・評価
- ⑦ センサ不調を考慮したPFの開発(令和2年度以降も継続)

本報告書では令和2年2月末時点において完了している以下の項目について報告する。

- ② センサ不調モデル仕様の定義
センサメーカー各社、Aパート、Dパート、神奈川工科大学と協議を行ったセンサ不調モデル
- ③ 機能モデルクローズドループPFの開発
クローズドPFとして実装した機能の内容
- ④ 機能モデルシミュレーションのテスト・評価
③で開発したPFのテスト内容
- ⑤ 物理モデルオープンループPFの開発(令和2年度以降も継続)
 - ・カメラ空間描画の実装
 - ・LiDAR空間描画の実装と課題
 - ・ミリ波空間描画の実装と課題
- ⑥ 物理モデルシミュレーションのテスト・評価
⑤で開発したPFのテスト内容
- ⑦ センサ不調を考慮したPFの開発(令和2年度以降も継続)
本年度実装した不調項目

令和2年度は、継続と記載した⑤、⑦、及び、「⑧不調要因の物理シミュレーション・機能シミュレーションのテスト・評価」、「⑨総合評価」を実施する計画である。

(2)令和元年度の成果

② センサ不調モデル仕様の定義

センサメーカー各社から、センサ原理に基づく苦手条件と、その再現優先度を提示して頂き、Aパート、Dパート、神奈川工科大学と再現可能性について協議を行い、本プロジェクトで再現を行うセンサ不調モデル仕様の定義を行った。再現予定のセンサ不調は下記の通りである。

Table 68 再現予定のセンサ不調条件

No.	条件	優先度（頻度×致命度）			備考
		カメラ	ミリ波	LiDAR	
1	逆光（先行車が太陽光に重なる）	高		高	
2	雨	高	中	高	
3	霧	高	中	高	
4	夜間に暗色の服を着た歩行者が交差点を横断	高			
5	ぬれたアスファルト	高		高	
6	雨粒	中	中		
7	マンホール（前方車両と誤認識）		中		
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
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
10	段ボール（低反射物）		低		
11	他車両搭載センサ起因の電波干渉		中		
12	黒車両			高	黒プリウスレンタルで実施
13	黒革服歩行者			高	黒皮服をNCAPダミーに着せて実施
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

本年度の活動で一部は再現済みであるが、2020 年度の「センサ不調を考慮したPFの開発」の活動を通じて、再現を行っていく予定である。

また、2020 年 1 月に実施した OEM ワークショップにおいて、センサ不調と関連する再現項目について、多数の要望を頂いた。各項目の再現優先度や再現難易度を分析し、今回のプロジェクトの範囲に盛り込んでいく内容を検討する。

③ 機能モデルクローズドループ PF の開発

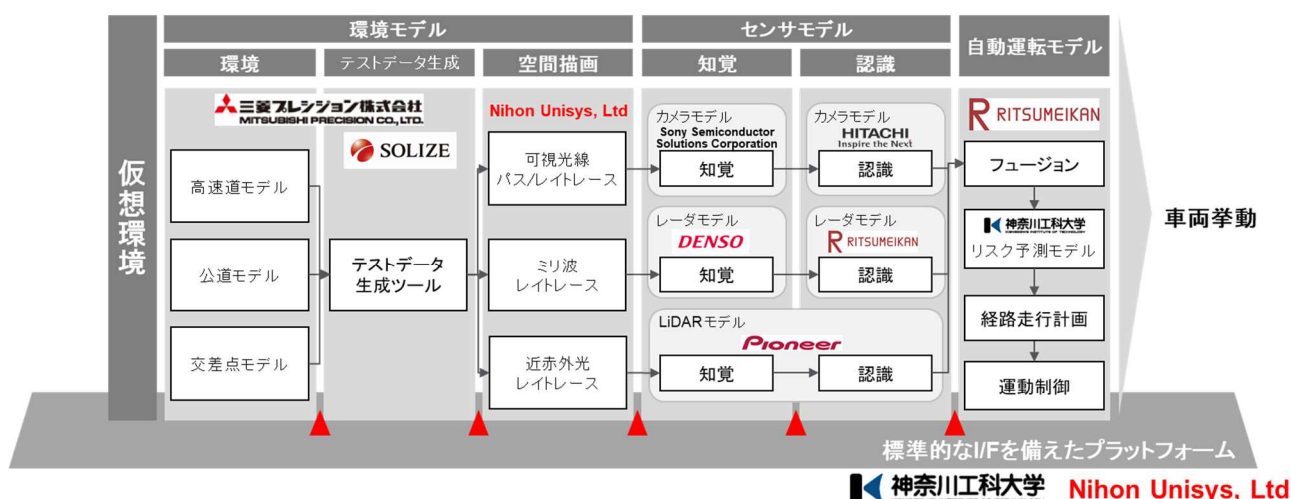


Figure 160 PF 全体図

機能モデルシミュレーションと物理モデルシミュレーションを設定によりシームレスに変化させる実装を目指して実装を行った。結果として、いくつかの課題が見えてきた。現状の実装状況は下記の通り。

Table 69 機能モデル実装状況

センサ種別	空間描画	知覚	認識	自動運転モデル
カメラ	UE4	UE4	市販 - Stradvision	立命館大学 - ACC/AEB - LKA/LDP
LiDAR	DIVP独自	DIVP独自	オープンソース - Autoware	
ミリ波レーダー	DIVP独自	DIVP独自	立命館大学 - 簡易認識モデル	
真値	DIVP独自	—	—	

カメラの空間描画は当初からの想定通りではあるが、物理モデルの計算量が大きく、機能モデルと物理モデルを分けて考える必要があり、機能モデル向けとして UE4 のカメラ実装を採用した。LiDAR については、市販 LiDAR をモデル化したセンサモデルは、LiDAR 単体でリアルタイム動作も可能であるが、一部の出力点数の多いモデルではパフォーマンスに問題が確認された。現状の実装は UE4 の API を用いており、これ以上のパフォーマンス改善は難しいため、Optix ライブラリを用いた実装を検討中である。ミリ波レーダーシミュレーションについては、機能／物理共に精度に問題が発生しており、より良い実装を検討中である。2020 年 1 月に東京工業大学の高田先生の研究室を訪問し、実装の方向性についてアドバイス頂いた。今年度の残りと来年度の前半にかけて、まずは物理モデルオープンループPF開発として、物理光学近似ベースの新たな実装を検討していく。

以上のようにパフォーマンスや精度面でいくつかの問題は明らかになったが、上記のモデルを組み合わせ、クローズドループを実現するPFを開発することができた。来年度以降は、課題点を解決し、より良いクローズドループPFにブラッシュアップしていく。

④ 機能モデルシミュレーションのテスト・評価

各機能開発ごとにシミュレーション環境のテストを実施した。

Table 70 機能モデルシミュレーションの機能とテスト内容

機能名	対象センサ	機能内容	確認項目
カメラ機能モデル空間描画	カメラ	UE4の描画APIを使用した空間描画機能	・出力画像を目視確認
LiDAR機能モデル空間描画	LiDAR	UE4のレイトレーシングAPIを使用して光線追跡を行い、Lambert反射モデルで物体表面での反射を計算する空間描画機能	・出力点群をビューワーで表示し、目視確認 ・反射強度が理論値に従うことを確認
ミリ波レーダー機能モデル空間描画	ミリ波レーダー	UE4のレイトレーシングAPIを使用して光線追跡を行い、Torrance-Sparrowモデルで物体表面での反射を計算する空間描画機能	・出力点群をビューワーで表示し、目視確認 ・反射強度が理論値に従うことを確認
真値出力	－	シナリオを元に空間内に物標を配置し、配置された物標までの距離などの真値を算出する機能	・シナリオを元に机上計算した結果と出力結果の一致を確認
センサ知覚ROS出力	カメラ/LiDAR／ミリ波レーダー	カメラ、LiDAR、ミリ波レーダーセンサモデルからの知覚出力結果をROSトピックとして出力する機能	・センサモデル出力のダンプ結果とROS出力結果の一致を確認
Pythonクライアント	－	主に自車両を制御するためのクライアント機能	・シナリオに従って車両が動作することを確認 ・シナリオに従ってセンサを搭載し動作することを確認
Cppクライアント	－	主に自車両を制御するためのクライアント機能	・シナリオに従って車両が動作することを確認 ・シナリオに従ってセンサを搭載し動作することを確認

また、DIVP™の各バージョンリリース時に、各機能のワンパス確認を実施した。

神奈川工科大学よりリリースされたDIVP™バージョンは下記の通りである。

Table 71 リリース済みDIVP™バージョン一覧

DIVPバージョン	リリース日	内容
V0.0.1	2019/08/27	開発環境提供
V0.1.0	2019/10/17	初版結合バージョン
V0.2.0	2019/12/26	基本検証用

⑤ 物理モデルオープンループ PF の開発

本プロジェクトの最大の特徴である精度の良いシミュレーション環境の開発に向けて、主に空間描画の高精度化の取り組みを行った。

◇ カメラ物理空間描画機能

【実装方針の検討】

カメラ物理空間描画(物理ベースレンダリング)の実装にあたって、PF として採用している CARLA/UE4 上で実装するか、外部ライブラリとして実装するかの比較を行った。

Table 72 カメラ物理空間描画実装方法比較

PF	実装内容	測定反射率利用	Real Time Raytracing (RTX利用)	物理現象の再現	拡張性	保守性	備考
UE4	アセット設定	×	△ (Windowsのみ)	○	×	○	
UE4	LineTrace APIで実装	○	×	◎	○	△	
UE4	ポストプロセス	×	△ (Windowsのみ)	○	×	○	
UE4	エンジン修正	○	△ (Windowsのみ)	◎	○	×	
Optix	Optixで実装	○	○	◎	○	△	

今回の目的に合致する実装方法は、「UE4 のエンジン修正」か「Optix ライブラリを用いた実装」であるが、今後の拡張や保守を考えた場合、後者のほうが優れていると考え、Optix ライブラリを採用することにした。

【実装内容】

一般的なレンダリング処理では、人間の目の特性に基づいたRGB表現の輝度計算を行うが、イメージセンサへの入力としては適切とは言えない。カメラの CCD/CMOS イメージセンサはセンサ表面に入射する光の放射照度から、人間の目の特性に沿ったRGB画像を生成する機構であり、RGB 表現のデータの入力はセンサの機能のテストに適さない。そのため、今回のレンダリング処理はイメージセンサの特性に沿ったレイトレーシングの実装を行った。

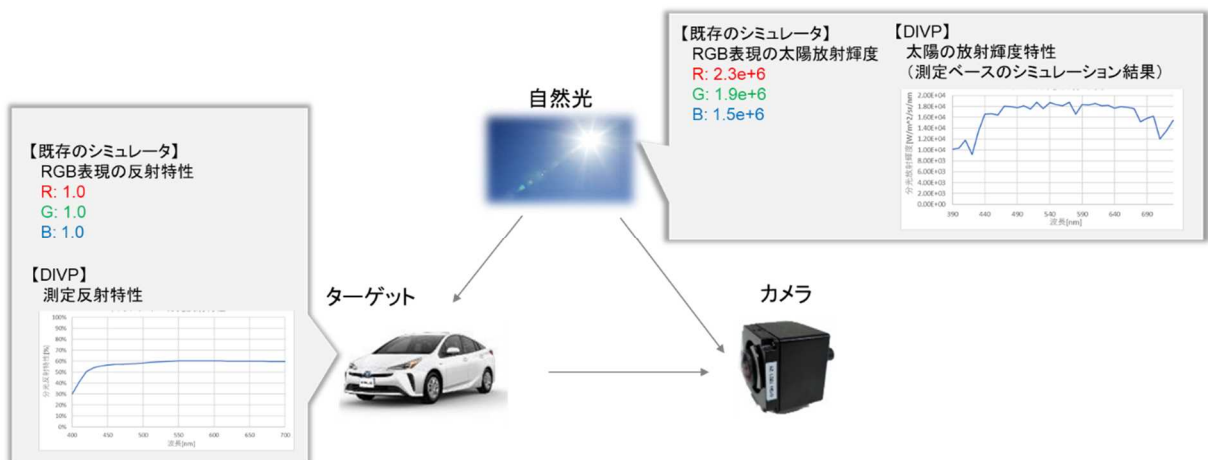


Figure 161 レイトレーシング実装概念図

光源やターゲット表面の反射特性を実測ベースで再現することにより、実際の物理現象に沿ったレンダリング結果が得られる。

【レンダリング結果例】

以下は、実装したレンダリングライブラリで、レンダリング処理を行った結果例である。



Figure 162 レンダリング結果例

◇ LiDAR 物理空間描画機能

昨年度末の時点で Lambert モデルを反射モデルとする赤外光の空間描画処理の実装は済んでいたが、今年度は以下の機能拡張を行った。

1. 背景光計算機能

背景光の計算には、日本ユニシスにて特許出願中の天空光計算ソフトウェア(可視光線・赤外線・紫外線の輝度をシミュレーションするソフトウェア)の計算結果ファイルを入力して、天空の各方向から入射する赤外線の輝度値を算出する機能を実装した。

2. 測定反射率データ参照機能

物標表面での反射計算時に理論モデルである Lambert 反射ではなく、Aパート測定の反射率データを参照して、反射率計算を行う機能を実装した。

以下は、空間描画結果を B パートで開発したセンサモデルで処理を行った結果例である。

【結果例】

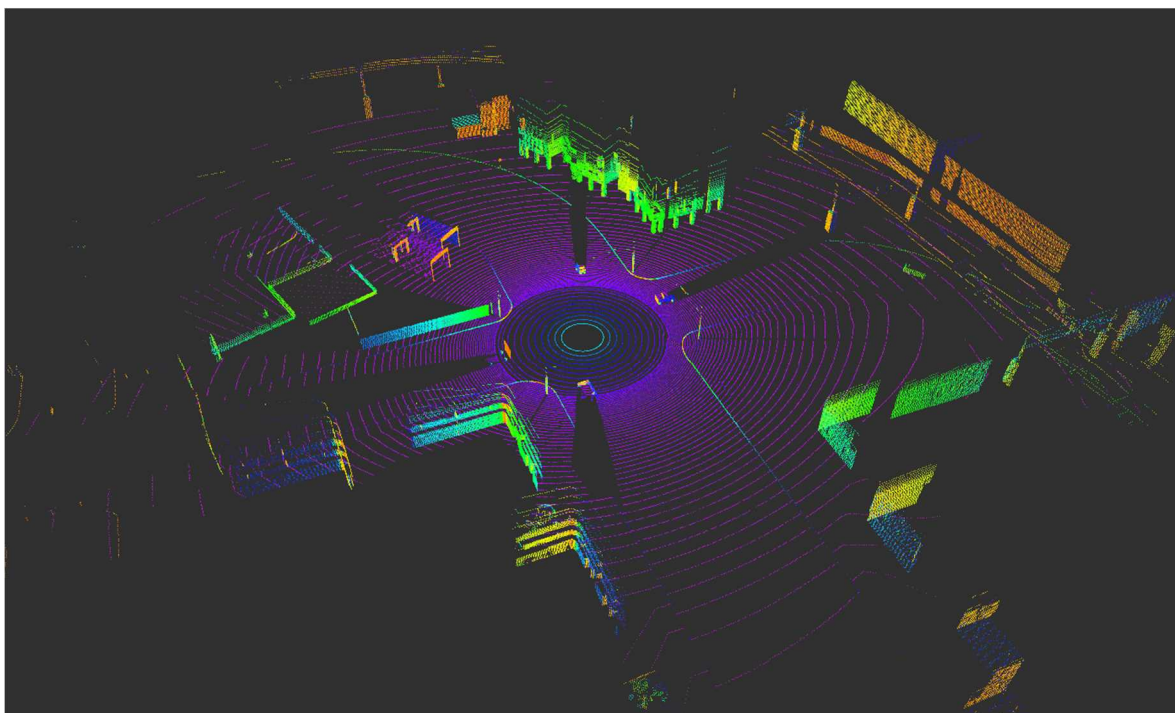


Figure 163 空間描画結果例

3. 空間描画のパフォーマンス改善

Bパートでセンサモデルを実装したところ、空間描画のパフォーマンスに課題があることがわかり、Optix を用いた改善の検討を実施した。基礎検証では有効な結果を得られたため、今後本格実装を行っていく予定である。

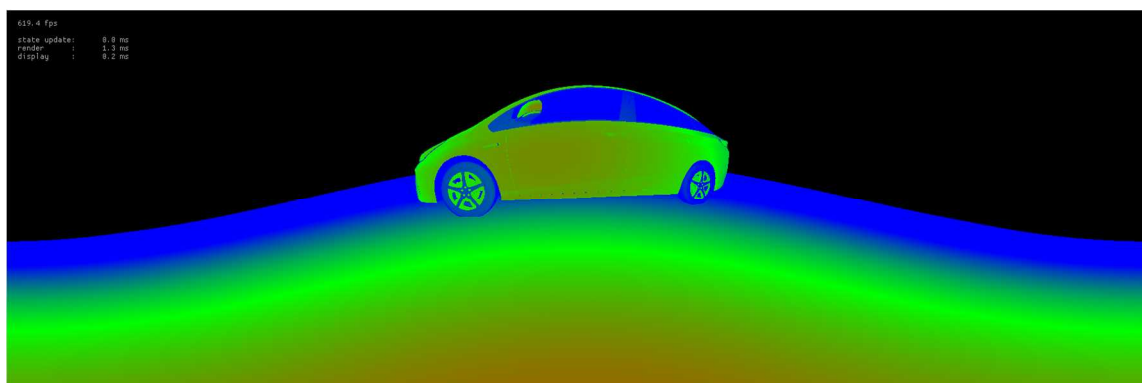
【処理時間比較結果】

3000 倍程度高速に計算できることを確認した。

Table 73 処理時間比較結果

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

【検証用プログラムで空間描画を行った結果例】



注) 水平方向 360[deg]、垂直方向 120[deg]の範囲を平面に描画しているため歪んで見える

Figure 164 検証用プログラムで空間描画を行った結果例

◇ ミリ波レーダー物理空間描画機能

1. ミリ波空間描画の実装

ミリ波の空間描画はレイトレース法を用いて電波伝搬を再現する計算を実装した。物体表面での反射計算は計測した散乱と鏡面の反射率を利用し、計測データが存在しない物体の場合は Torrance-Sparrow モデルを用いて反射率を計算する。

【レイトレース経路】

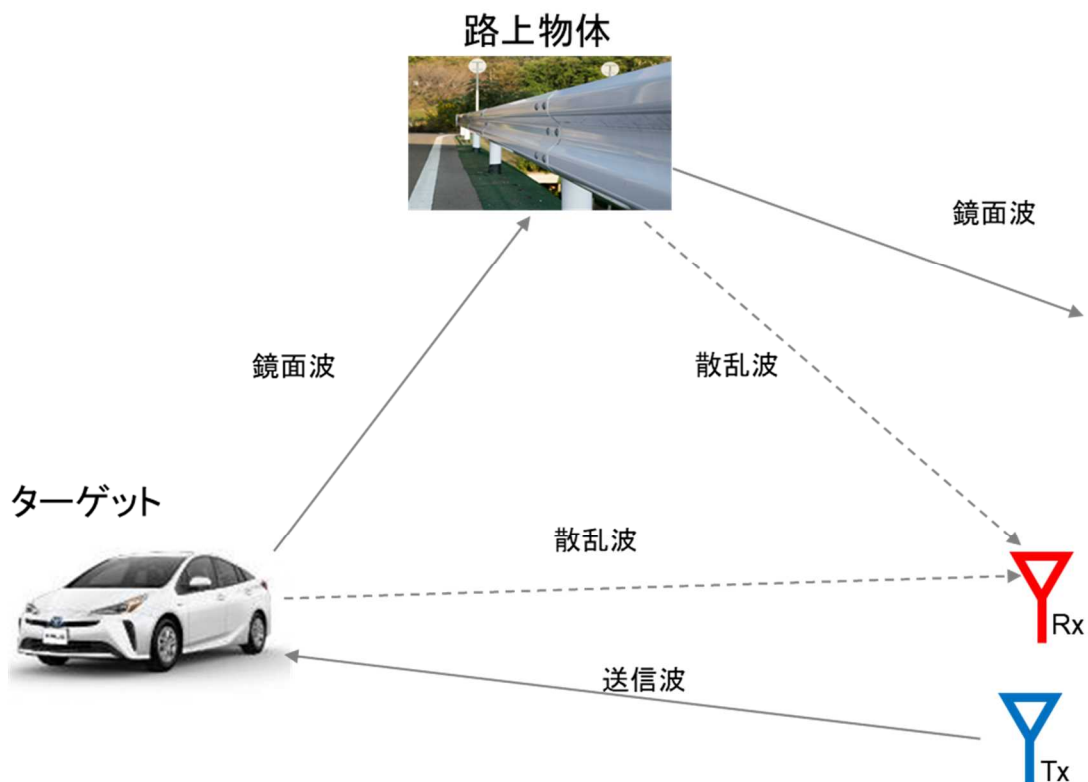


Figure 165 ミリ波レイトレース経路

現状は、位相回転は金属板での反射を仮定しており、偏波回転は考慮していない。今後、計測データをもとに再現を検討していく方針である。また、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の再現も検討していく。

2. 空間描画改善の検討

デンソー殿での一致検証の結果、受信電波の信号強度の一致性に課題があることが解った。

電波は物体表面での干渉により、物体の形状に依存して反射強度が変化する物理的な性質があるが、現状の空間描画ではこれが考慮されていないことが原因と考えられる。東京工業大学の高田先生を訪問しアドバイスを頂き、レイトレース法にPO近似を組み合わせる手法の実装の検討を開始した。今後、デンソー殿と協力して、一致性の検証を行っていく計画である。

【実装中の評価プログラムの実行例】

赤で表示されている物体が散乱体、青で表示されている物体が反射体を表している。

```
116.6 fps
state update: 0.1 ms
render       : 0.2 ms
display      : 0.1 ms
frame count : 897
```

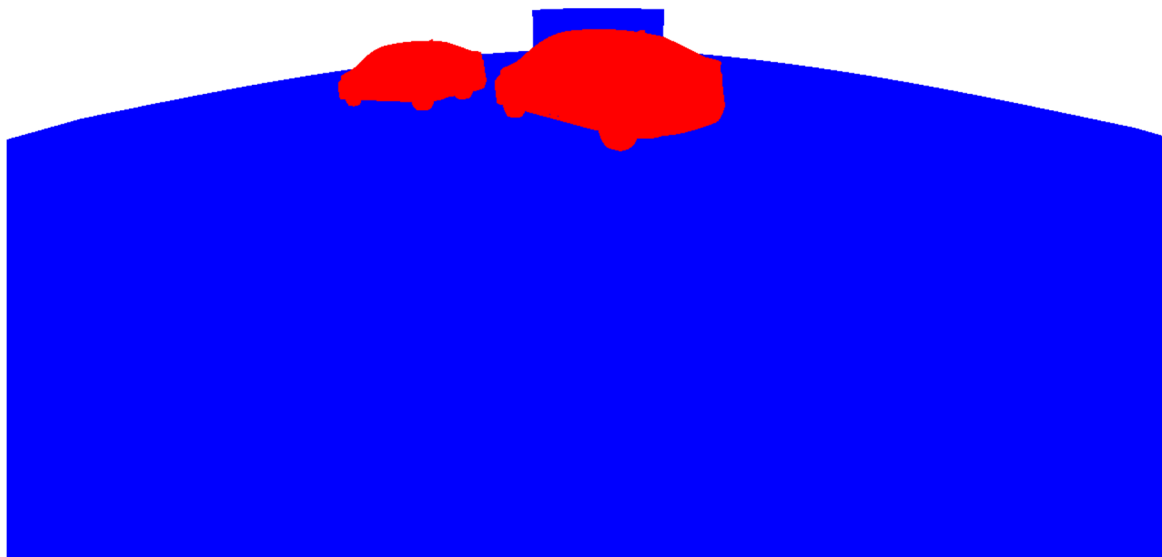


Figure 166 実装中の評価プログラムの実行例

【平板の反射強度の方位依存性計算結果例】

電波のシミュレーションでは方位依存性の一致が重要となる。

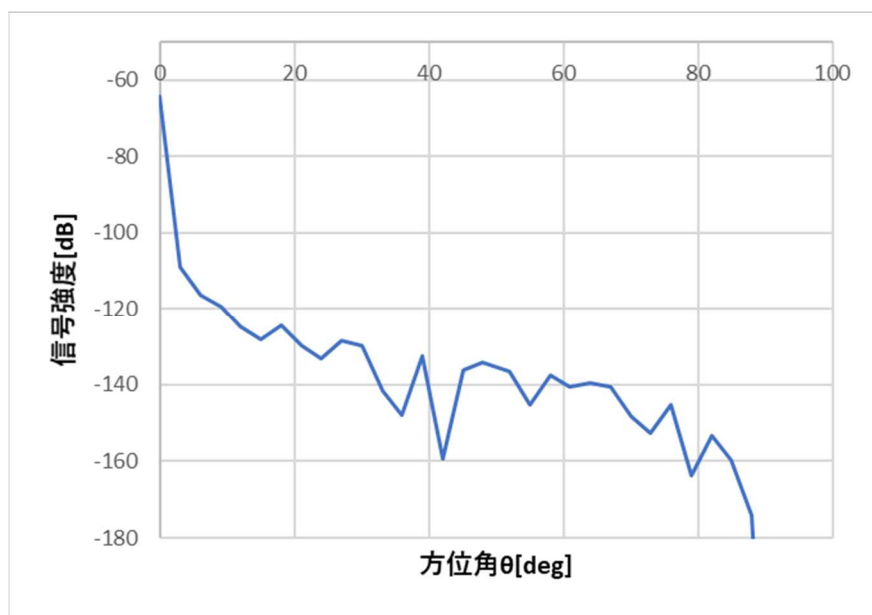


Figure 167 平板の反射強度の方位依存性計算結果例

⑥ 物理モデルシミュレーションのテスト・評価

各機能ごとに空間描画結果のテストを実施した。

Table 74 物理モデルシミュレーションの機能とテスト内容

機能名	対象センサ	機能内容	確認項目
カメラ物理モデル空間描画	カメラ	Optixの描画APIを使用した空間描画機能	・出力画像を目視確認
LiDAR物理モデル空間描画	LiDAR	UE4のレイトレーシングAPIを使用して光線追跡を行い、測定反射データで物体表面での反射を計算する空間描画機能	・出力点群をビューワーで表示し、目視確認 ・反射強度が理論値に従うことを確認
ミリ波レーダー物理モデル空間描画	ミリ波レーダー	UE4のレイトレーシングAPIを使用して光線追跡を行い、測定反射データで物体表面での反射を計算する空間描画機能	・出力点群をビューワーで表示し、目視確認 ・反射強度が理論値に従うことを確認

実機センサとの一致性検証については、センサメーカー各社にて実施した（結果は各社報告に記載のため割愛）。一致性に課題がある部分については、今後もセンサメーカーと協力の上、改善を検討していく。

⑦ センサ不調を考慮した PF の開発

「逆光(No.1)」と「物体表面の反射率(No.7,8,9,12,13,14)」に依存する不調については、現状で実装が完了し評価可能な状態(※)である。「物体表面の反射率」に依存するものでも、現状の仕組みでは再現しきれない可能性もあるため、今後の評価結果をもとに分析を行っていく。

※測定データの準備が完了次第、評価可能。

Table 75 センサ不調再現状況

No.	条件	優先度 (頻度×致命度)			備考	PF実装
		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

【西日による逆光の再現例】



Figure 168 西日による逆光の再現例

(3)次年度以降の計画

⑤ 物理モデルオープンループPFの開発

引き続き、精度向上の取り組みを実施する。特に信号強度に課題の残るミリ波の電波伝搬シミュレーション研究を継続し、マルチパスなどのミリ波レーダー特有の不調の再現を行えるようにしていく。また、赤外線伝搬シミュレーション、ミリ波伝搬シミュレーション共に、パフォーマンス面が課題となっているため、Optixライブラリを用いた処理の高速化を実現する計画である。

⑦ センサ不調を考慮したPFの開発

今年度開発した項目以外の残項目の開発を、引き続き行っていく計画である。PFへ反映する不調については、より必要性の高いものから優先度をつけて実装を行う。

⑧ 不調要因の物理シミュレーション・機能シミュレーションのテスト・評価

⑦で実装したPFにおいて、物理シミュレーションによるセンサ不調の再現度を、センサメーカーと協力して評価を実施する。また、機能シミュレーションで同様の条件でテストを実施した場合に、物理シミュレーション結果との差異の評価も実施する。

⑨ 総合評価

全パートの成果物をつなぎ合わせ、自動走行評価環境として正しく動作するかの評価を行う。全テストシナリオを実行し、結果の妥当性とテスト実行時間を測定する。

以上

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)
仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発

令和元年度 報告書

令和2年3月31日

学校法人幾徳学園 神奈川工科大学
学校法人立命館
三菱プレシジョン株式会社
SOLIZE Engineering 株式会社
日立オートモティブシステムズ株式会社
株式会社デンソー
株式会社 SOKEN
パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社
日本ユニシス株式会社
ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社
