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2年度　報告書

令和3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 株式会社
日立 Astemo 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

目　次

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ー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、センサーモデル、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。

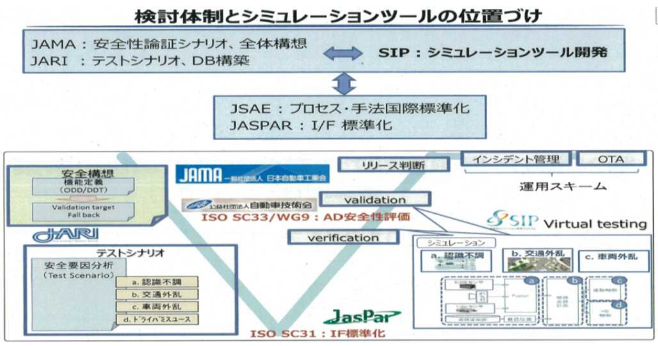


Figure 1 周辺事業との分担

	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 2 METI 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ー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、センサー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、精緻なセンサー不調を再現する「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	■ センサー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、評価したいセンサー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ー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「センサーモデル」を中心に、これに入力される外界を模した「環境モデル」、センサー以降のセンサー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。

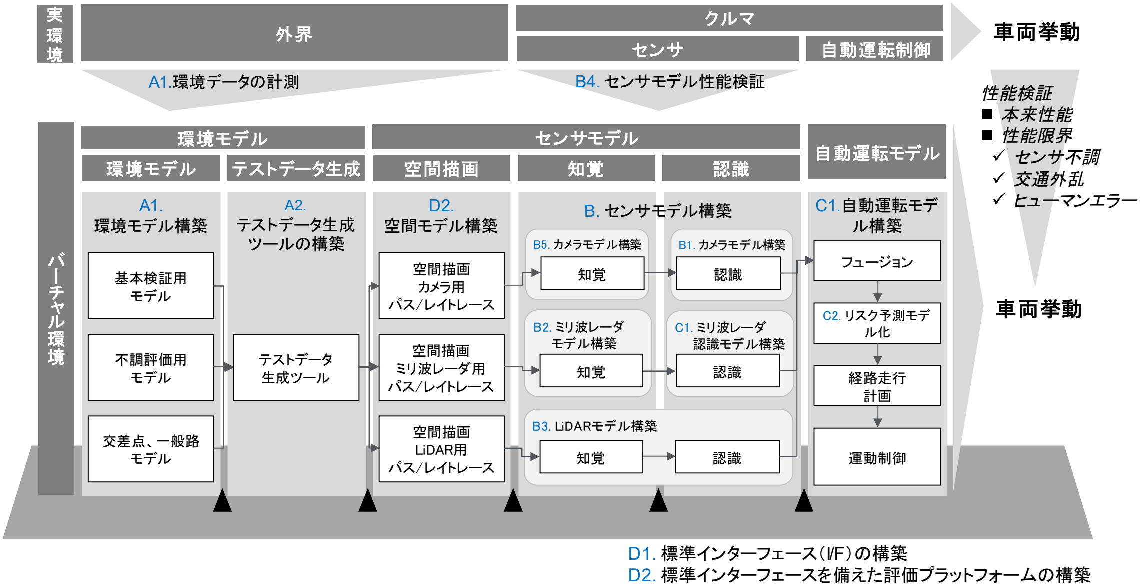


Figure 3 評価プラットフォーム構築のための研究開発課題設計

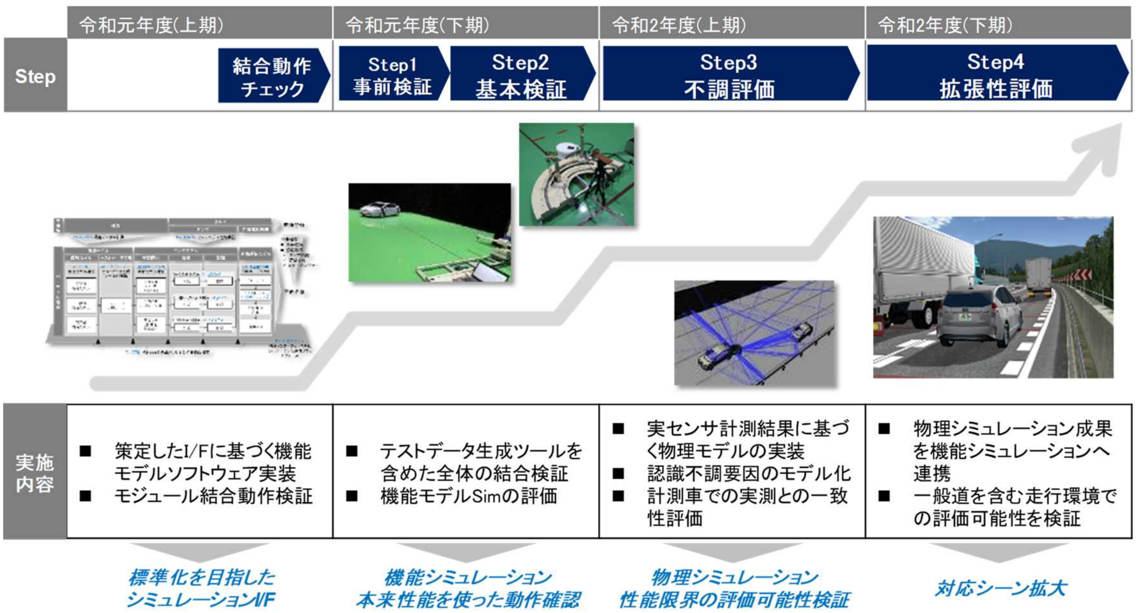
Table 2 DIVP®コンソーシアム体制

参加団体		研究パート	
神奈川工科大学	学校法人幾徳学園 神奈川工科大学	B0	■ センサシミュレーションモデルの結合と評価
		C2	■ リスク予測のモデル化
立命館大学	学校法人立命館	C1	■ 自動運転行動モデルの研究
SOKEN	株式会社SOKEN	A1	■ 環境モデル化に必要な実環境特性データの計測
		B4	■ センサモデル性能の評価に必要な実環境データの計測
三菱プレシジョン株式会社	三菱プレシジョン株式会社	A1	■ 環境モデルの構築
		A2	■ 安全性評価テストデータ生成ツールの構築
SOLIZE	SOIZE 株式会社	A2	■ 評価シナリオ記述方式等の検討
Sony Semiconductor Solutions Corporation	ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社	B1	■ カメラ知覚モデルの構築
HITACHI Inspire the Next	日立Astemo株式会社	B1	■ カメラ認識モデルの評価
DENSO	株式会社デンソー	B2	■ ミリ波レーダモデルの構築
Pioneer	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	B3	■ LiDARモデルの構築
UNISYS	日本ユニシス株式会社	D1	■ 評価環境の標準となり得るI/Fの検討
		D2	■ 評価プラットフォームの構築

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,三菱プレシジョン(株)提供画像

Figure 4 プロジェクト研究計画

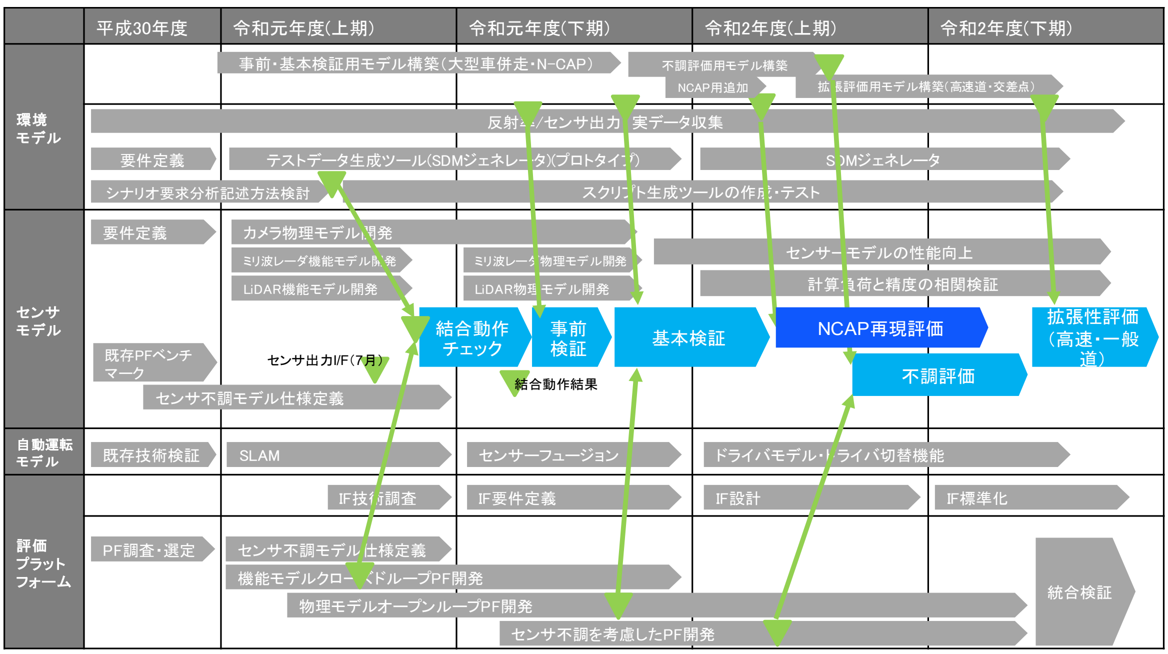


Figure 5 プロジェクト全期間の研究開発計画

4. 1 令和2年度の成果

標準 I/F の設計、各センサー原理に基づく環境とセンサーのモデル化、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。

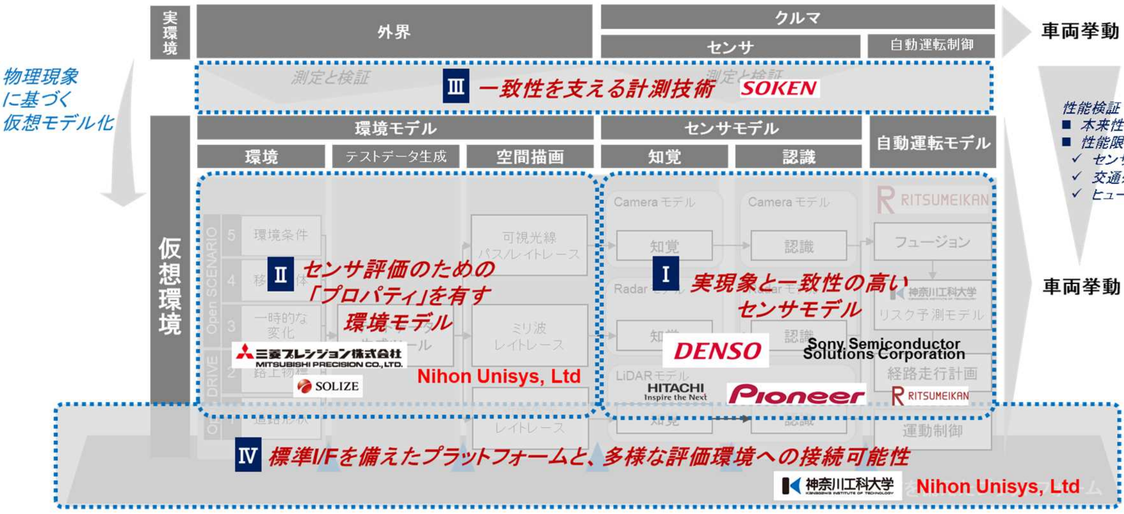


Figure 6 プロジェクト成果の関係

今年度、シミュレーション環境としてカメラ、Rader、LiDAR、3 つのセンサーに対応した環境モデル、空間モデル、センサーモデルの実装・結合・動作を確認、実験結果との比較検証を行い一定の成果を得た。

さらに、Virtual-PG(Proving ground)として NCAP 試験プロコルの実行環境、Vierual-CG(Community ground)として首都高 C1 やお台場の走行環境モデル化を実施した。

出所：(株)SOKEN

Figure 7 検証のフレームワーク

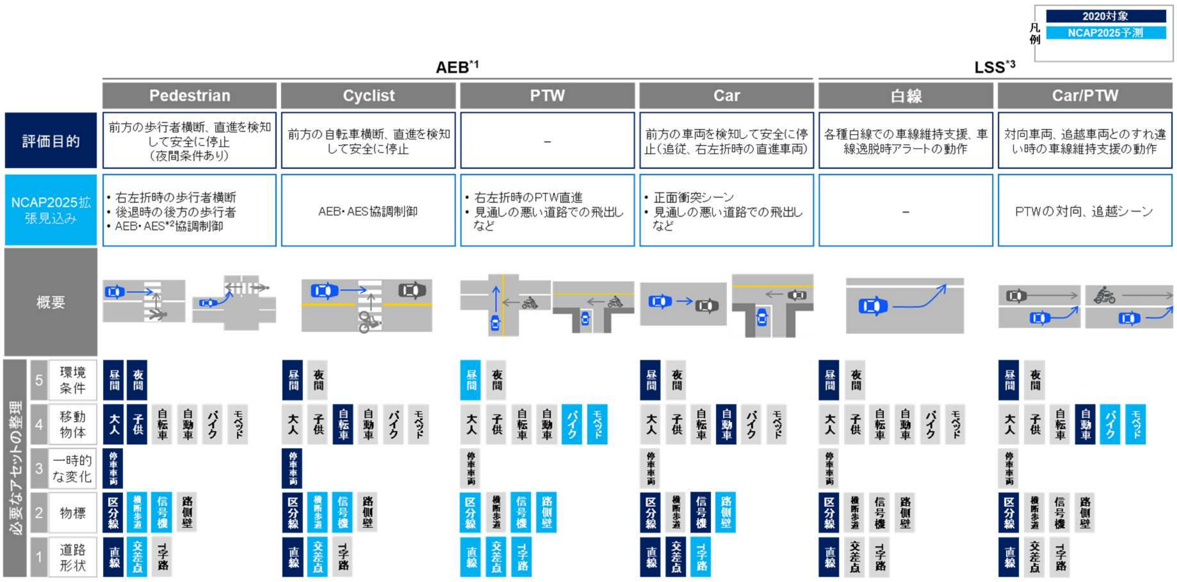


Figure 8 整備した NCAP 試験環境

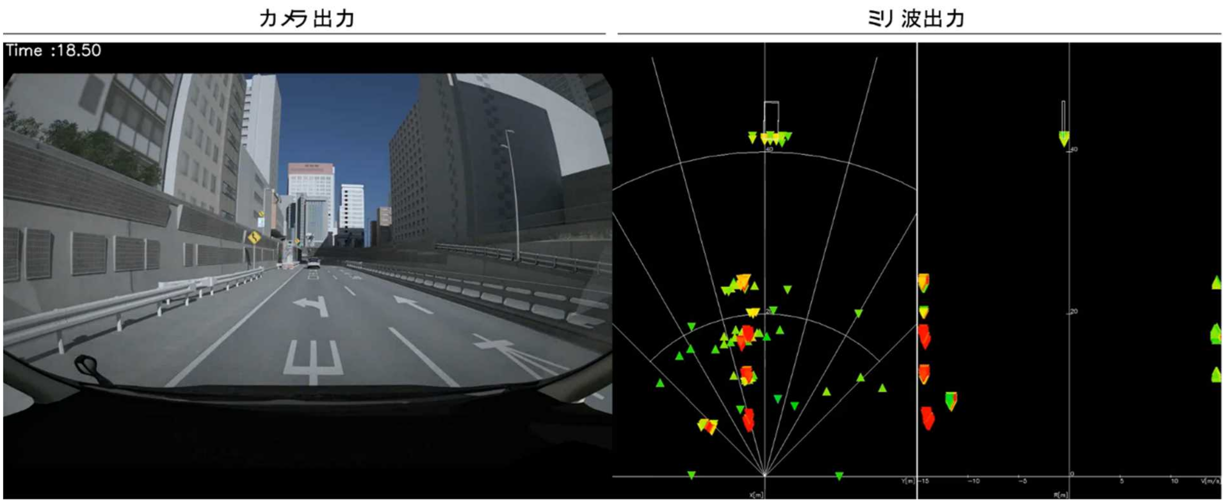


Figure 9 C1 内回り 浜崎橋 JCT→江戸橋 JCT でのシミュレーション

以下令和2年度成果物 Table 3 には今年度に構築、結合確認したモデルや機能をまとめる。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2年度成果物

分類		モデル・機能	備考
環境モデル	マップ 3D ポリゴンモデル	テストコース	Jtown や大型降雨施設
		自専道(首都高 C1)	
		一般道(お台場)	
	物標 3D ポリゴンモデル	実車両(セダン)	ポリゴン精度違い 2 つ
		実車両(ミニバン)	ポリゴン精度違い 5 つ
		N-CAP ダミー人形	ポリゴン精度違い 3 つ
		N-CAP ダミー自転車	ポリゴン精度違い 3 つ
		N-CAP ダミー車両	
		N-CAP バルーン車両	
		三角コーン	
		ロードポール	
		フロントワイパー	
	材料反射率	路面材料	
		路面塗装	
		路側物材料	
		道路標識用反射材	
		N-CAP ダミー人形・自転車	
		N-CAP ダミー車両	
		N-CAP バルーン車両	
		実車両(セダン)	
		実車両(ミニバン)	
		車両塗装バリエーション	
		低反射物(段ボール	
	光源	アルファードヘッドランプ	
		プリウステールランプ	
		街灯	N-CAP 夜間試験用、公道用
		天空光	
空間モデル	カメラ	35 バンド分光パストレース	
		計測反射率対応＋鏡面反射対応	
		BSDF(外挿モデル)対応	
空間モデル	カメラ	測定配光データ対応	
		降雨時フロントガラス再現	
	ミリ波	光学近似レイトレース	
		レイトレースによる電波伝搬再現	
		PO 近似	
		計測反射率対応	
		位相回転の考慮	
		偏波の考慮	
		マイクロドップラー再現	
	LiDAR	フットプリントなしレイトレース	
		フットプリントありレイトレース	
		計測反射率対応	
		背景光の考慮	
		降雨時減衰再現	
センサーモデル	カメラ	実機カメラモデル	
		簡易カメラモデル	
	ミリ波	実機ミリ波モデル	
	LiDAR	実機 LiDAR モデル	3 種
認識モデル	カメラ	レファレンスカメラ認識	2 種

分類		モデル・機能	備考
	ミリ波	レファレンスミリ波レーダー認識	
	LiDAR	レファレンス LiDAR 認識	
フュージョンモデル		レファレンスフュージョン	カメラ＋ミリ波、カメラ＋LiDAR
車両モデル	制御	レーンキープ	
		緊急ブレーキ	
	ダイナミクス	ミニバン車両ダイナミクスモデル	
HILS/VILS		カメラインジェクション装置	
		カメラ OTA 装置	
Sim PF	Sim 実行	ROS 通信	
		高速計算空間モデル（Optix）	
		時間リセット機能	
		右手座標系対応	
		シナリオ選択、実行機能	
	IF・外部モデル連携	外部ツール連携 IF	
	Viewer	知覚・認識・真値表示	
		再生・一時停止・コマ送り	
走行環境生成	3D 走行環境生成	マップ＋物標選択	
		センサーモデル設定	
		シナリオ読み込み、設定	
		簡易 Run	
		機能シナリオ→具体シナリオ展開	
		マップ組み立て	
	シナリオ生成	構文管理	
		オントロジー利用	
		自然文シナリオ作成支援	
		機能−論理シナリオ展開	
		シナリオオントロジーサンプル	
		実験シナリオ生成ツール	
シナリオ	実験シナリオ	事前検証シナリオ	静止状態
		基本検証シナリオ	動作状態
		NCAP 検証シナリオ	
		不調検証シナリオ	
		拡張検証シナリオ	首都高 C1、お台場

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」（三菱プレシジョン株式会社）

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。

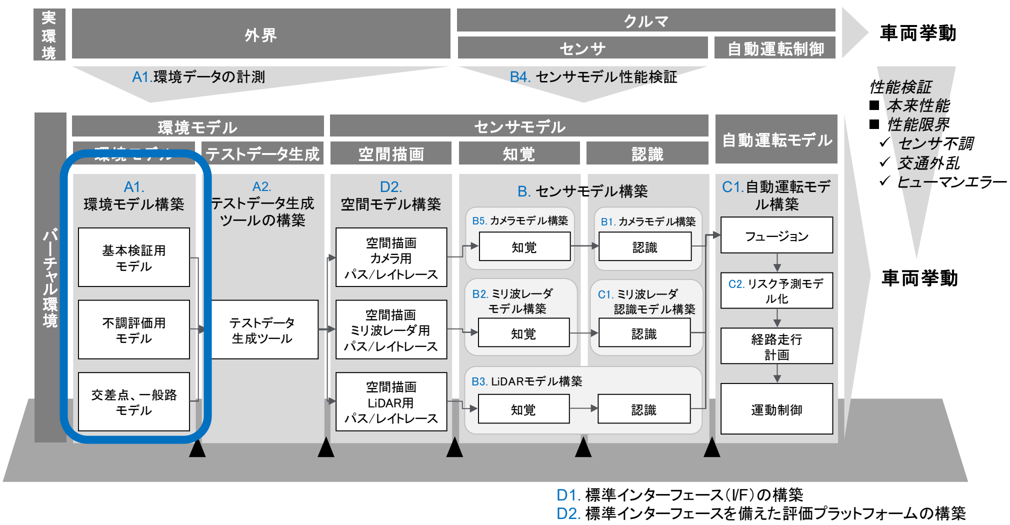


Figure 10　本研究の位置付け

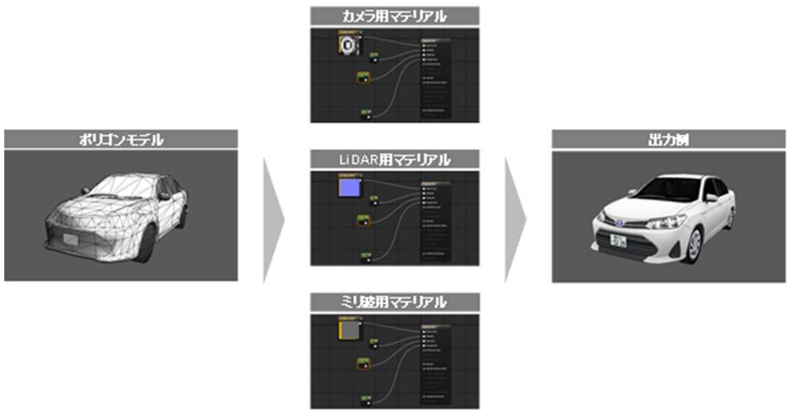
■ 事業目的

カメラ、ミリ波レーダー、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：三菱プレシジョン（株）

Figure 11 走行環境モデル構築例

■ 実施計画

事業項目　　Ａ１パート		2018 年度		2019 年度				2019 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 3
①	事前検証用走行環境データ実測										
	㋑ 検証用走行環境データ調査										
	㋺ 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)										
	㋑ 物標モデル(アセット)作成										
	㋺ 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)										
	㋑ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成										
	㋺ 基本検証用走行シナリオ作成										
④	不調条件データ実測										
	㋑ 検証用走行環境データ調査										
	㋺ 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										
	㋑ 不調評価用(アセット)作成										
	㋺ 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										
	㋑ 検証用走行環境データ調査										
	㋺ 検証用走行環境データ実測										
	㋩ 地図モデル(アセット)作成										
	㊁ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成										
	㋭ 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										
	㋑ 検証用走行環境データ調査										
	㋺ 検証用走行環境データ実測										
	㋩ 地図モデル(アセット)作成										
	㊁ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)作成										
	㋭ 交差点・一般道シナリオ作成										

(1)令和2年度の成果(まとめ)

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ 各センサにおいて検証用となる環境モデルを実物から測定し構築 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ 精緻モデルの提供
成果を支えた要諦	■ MMSや高精度点群取得装置を用いた精緻モデルの作成フローの確立 ■ 光学系測定手法を用いた簡易モデル作成の効率化
評価	■ 精緻モデル作成進捗遅延

成果の価値	
成果の価値評価	■ 現実との一致性が検証されたセンサモデルの構築は非常に意義が高い。 以下の視点から ➢ DIVP®の成果から、ASAM、ISOなど国際標準化活動のリード、提案ができる ➢ 海外でのDIVP®成果の評価がいただける
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 自社の自動車シミュレーター事業の拡大につながる ■ モデル販売事業の拡大
残課題・今後への期待値	■ Community Groundの開発 ■ センサ毎におけるモデルの自動最適化

Figure 12 研究開発の成果

検証用となる環境モデルについて、実物を測定し作成した。2020 年度に作成した環境モデル(地図モデル、物標モデル)について Table 4 に示す。

Table 4 2020 年度に作成した環境モデル一覧

	2020 年度
地図モデル	■ 大型降雨実験施設 ■ 首都高都心環状線 ■ 臨海副都心
物標モデル	■ NCAP ダミー自動車 ■ NCAP ダミーバルーンカー ■ 段ボール ■ マンホール ■ 照明設備

(2)令和2年度の成果

① 事前検証用走行環境の実測

事前検証用走行環境の実測として、モービルマッピングシステム（以下、MMS）車両やレーダー測定器を用いて防災科学研究所様が保有する大型降雨実験施設、首都高都心環状線、臨海副都心や NCAP ダミー自動車を実測した。実測した事前検証用走行環境を Table 5 に示す。

Table 5 実測した事前検証用走行環境

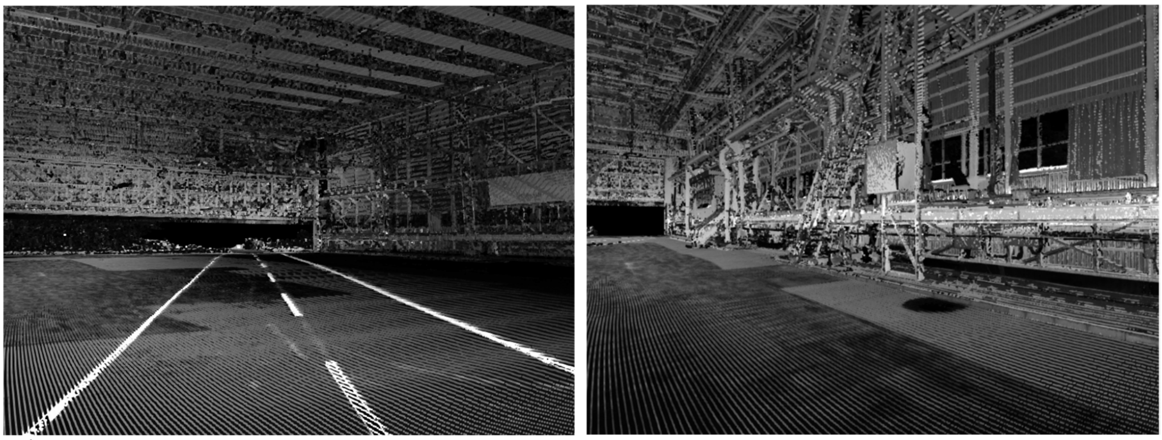
	2020 年度
MMS 車両実測	■ 大型降雨試験場 ■ 高速道：首都高都心環状線 ■ 一般道：臨海副都心
レーダー測定器実測	■ NCAP ダミー自動車

高精度環境モデルを構築するため、Figure 13 に示す高密度レーザーを取り付けた MMS 車両にてデータを実測した。

出所：三菱プレシジョン（株）

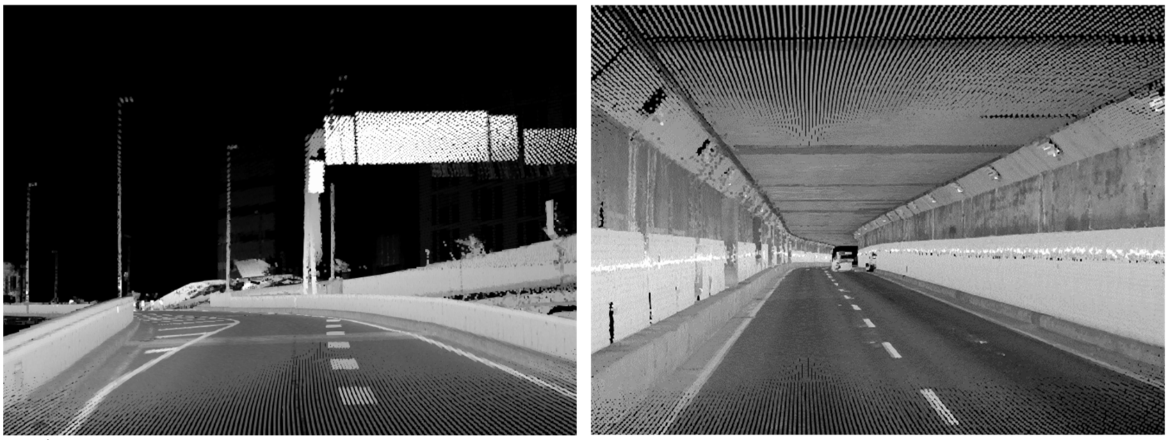
Figure 13 高密度レーザーを取り付けた MMS 車両での実測

実測した大型降雨実験施設の点群データを Figure 14、首都高都心環状線の点群データを Figure 15、臨海副都心の点群データを Figure 16 に示す。いずれも高密度の点群データが取得できており、細かな形状まで実測できている。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 14　実測した点群データ（大型降雨実験施設）



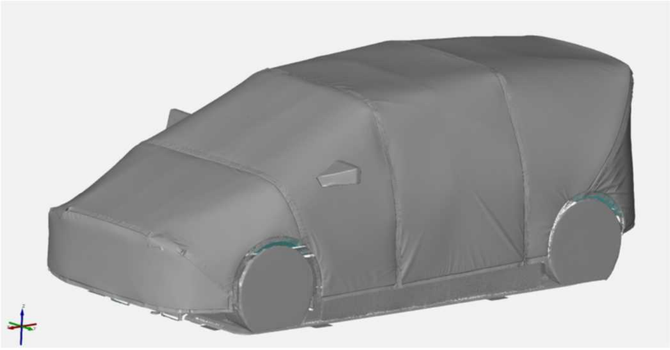
出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 15　実測した首都高都心環状線の点群データ（左：神田橋付近、右：千代田トンネル内）

出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 16　実測した臨海副都心の点群データ（左：お台場海浜公園付近、右：東京国際交流館付近）

実計測に基づく精細なモデルを作成するため NCAP ダミー自動車に対してレーザー測定を行った。レーザー測定で取得したデータを Figure 17 に示す。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 17 実測した NCAP ダミー自動車データ

② 事前検証・基本検証用走行環境モデル構築(地図モデル、物標モデル)

①で実施した実測を基に地図モデルとして大型降雨実験施設、物標モデルとして、NCAP ダミー自動車を作成した。作成した事前検証・基本検証用走行環境モデルを Table 6 に示す。作成した地図モデルを Figure 18 に、物標モデルを Figure 19 に示す。

Table 6 作成した事前検証・基本検証用走行環境モデル

	2020 年度
地図モデル	■ 大型降雨実験施設
物標モデル	■ NCAP ダミー自動車

出所:三菱プレシジョン(株)

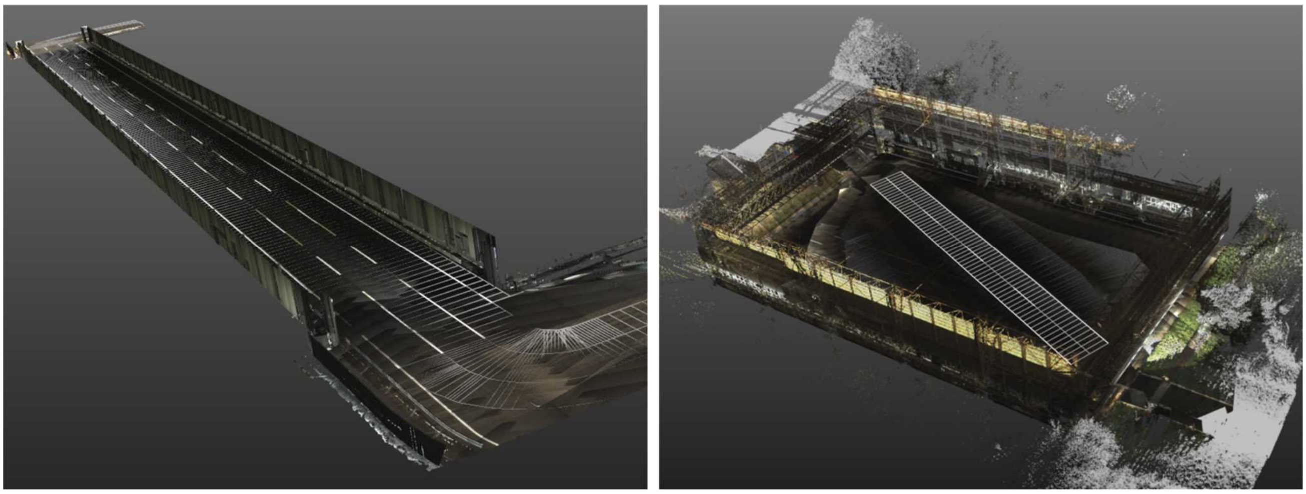
Figure 18 地図モデル(大型降雨実験施設)

出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 19 物標モデル(NCAP ダミー自動車)

③ 基本検証用走行環境モデル構築(シナリオ込み)

①で作成した事前検証・基本検証用走行環境モデルにおける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 20 に示す。



出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 20 事前検証・基本検証用走行環境モデルにおける道路ネットワーク

(左:特異環境試験場、右:大型降雨実験施設)

④ 不調条件データ実測

不調条件評価用として NCAP ダミーバルーンカー、段ボール、マンホール及び照明設備を実測した。

⑤ 不調評価用走行環境モデル構築

④で実施した実測を基に環境モデルを作成した。作成した不調評価用走行環境モデルを Table 7 に示す。

Table 7 作成した不調評価用走行環境モデル

	2020 年度
物標モデル	■ NCAP ダミーバルーンカー ■ 段ボール ■ マンホール ■ 照明設備

Figure 21 物標モデル（左:NCAP ダミーバルーンカー、右:段ボール）

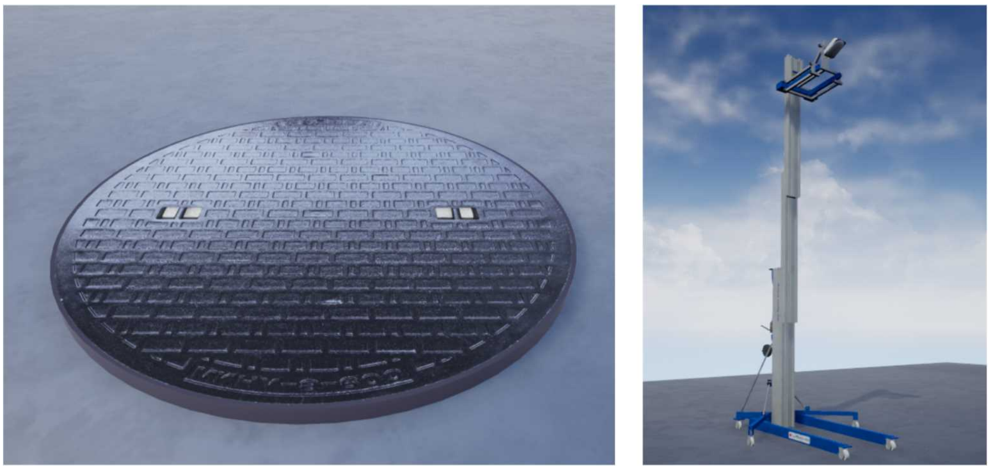
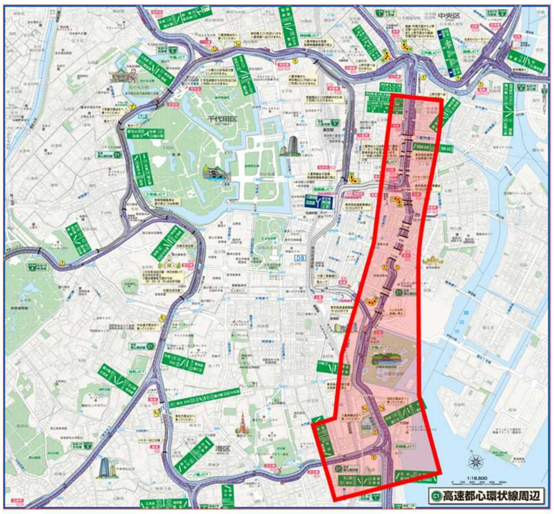


Figure 22 物標モデル（左:マンホール、右:照明設備）

⑥ 高速道路 環境モデル＋シナリオ

①で実施した実測を基に高速道路である首都高都心環状線の芝公園料金所付近から宝町料金所付近までの内回り、外回りの地図モデルを作成した。



出典元：首都高速道路株式会社

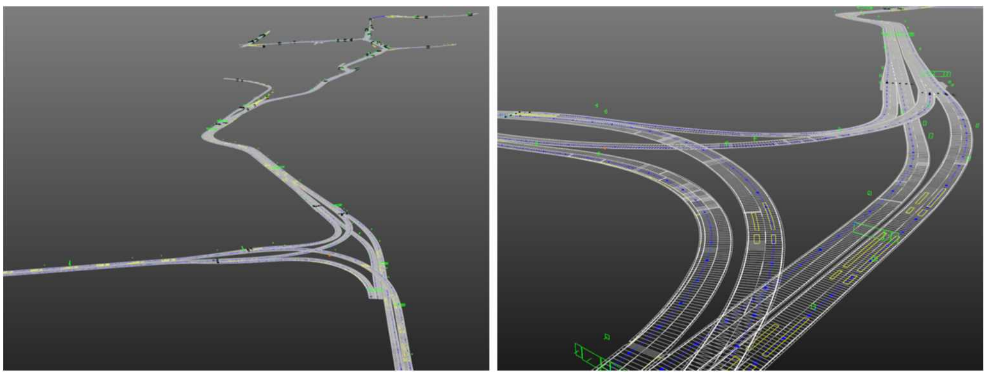
Figure 23 首都高都心環状線の地図モデル作成エリア

作成した首都高都心環状線の地図モデルを Figure 24 に示す。

出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 24 首都高都心環状線の環境モデル（左：采女橋付近、右：宝町ランプ付近）

また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 25に示す。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 25 首都高都心環状線の道路ネットワーク（浜崎橋 JCT 付近）

⑦ 交差点・一般道 環境モデル＋シナリオ

(ア)で実施したデータ実測を交差点・一般道として示す臨海副都心の台場地区、青海地区について地図モデルを作成した。作成した地図モデルのエリアを Figure 26 に示す。

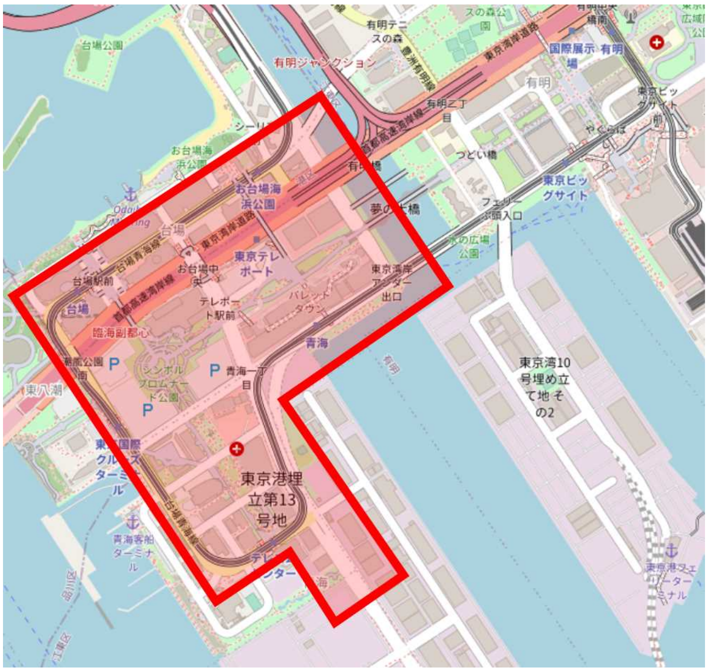


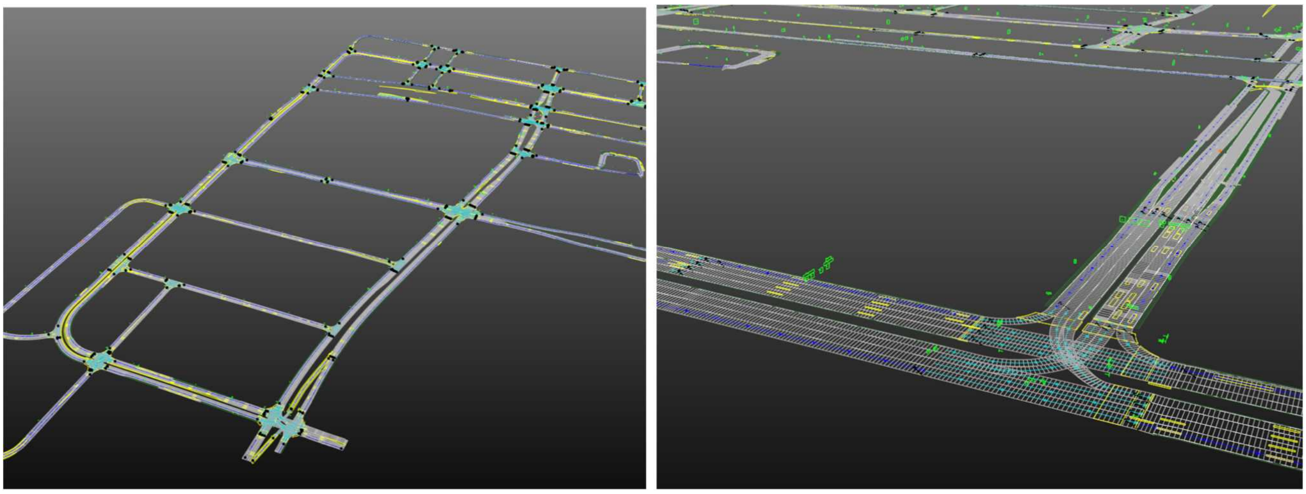
Figure 26 臨海副都心の環境モデル作成エリア

作成した首都高都心環状線の地図モデルを Figure 27 に示す。

出所：三菱プレシジョン(株)

Figure 27 臨海副都心の地図モデル(左：テレコム駅付近、右：東京湾岸警察署付近)

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 28 に示す。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 28 臨海副都心の道路ネットワーク

(3)次年度以降の計画

⑧ 不調条件拡張のための環境モデル

期間:2021 年 3 月 ～ 2021 年 9 月

内容:センサー認識不調の要因となる環境モデル(大型車両、特殊車両、歩行者、濡れた路面など)を作成する。

⑨ Virtual-CG 構築のための環境モデル

期間:2021 年 3 月 ～ 2021 年 9 月

内容:お台場の Virtual-CG 化に向けた環境モデル(臨海副都心、信号、普通車両、バスなどの交通参加者等)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、センサーシミュレーション精度向上するための、反射特性データベースを構築する。

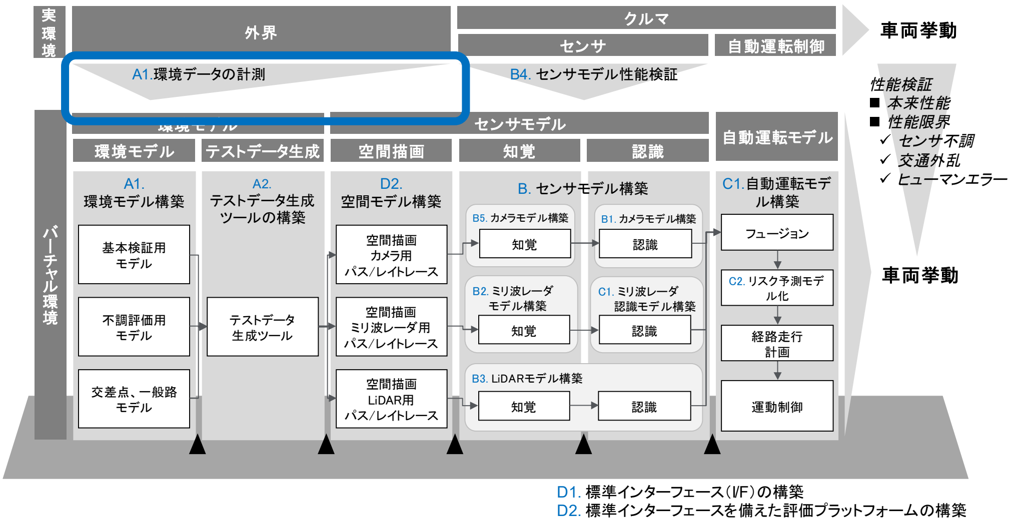


Figure 29　本研究の位置付け

■ 事業目的

センサー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、センサー物理モデル評価用の物体データベースを構築し、センサー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

各センサー（ミリ波レーダー/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、各センサー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	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 物体要件定義			→	▽各センサー評価項目 ★評価材料項目リスト(主要項目)	★評価材料項目リスト							
② 実データ収集			評価系構築 試料作製	→	評価、検証	→	★評価材料 DB（主要項目）	→	→	評価材料 DB★		

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ ミリ波、可視光、赤外光の反射特性の測定系を構築 ➢ 各センサの認識物標の反射特性を計測し、シミュレーションの3Dモデルに反映できるように数理モデル化 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ ミリ波レーダ/カメラ/LiDARを搭載した計測車両を構築 ➢ 評価路及び実路において、センサデータを計測し、開発シミュレータの精度検証用データを提供
成果を支えた要諦	■ センサを物理シミュレーションするための反射特性要件を、専門知識を保有するセンサメーカとの協議によって定義できた ■ 計測車両構築において、各センサ実機・計測系を各社・大学で分散開発し、提供頂くことで短期間に構築できた
評価	■ 計画通り進捗

成果の価値	
成果の価値評価	■ インターフェースの標準化によって、既存のシミュレーションとの連携や、社内資産が活用できるようになる ■ JAMA,VIVID等の連携により、ユーザの評価ニーズに合致した機能が優先的に実装されている
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 次世代センサ、自動運転システムの開発に活用予定 ■ 製品性能評価の試験工数削減 ■ 既存の量産センサ評価も可能
残課題・今後への期待値	■ 実測範囲外を再現可能な、外挿モデルの作成 ■ ユーザビリティ向上と、対応シナリオの拡張 ■ アセット、アセット生成の標準化検討(接続性、I/F)

Figure 30 研究開発の成果

令和元年度までに、センサー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、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、ミリ波レーダー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。

本年度は、構築した測定系によってミリ波レーダー/カメラ/LiDAR の各センサーのシミュレーションに必要となる認識物標の反射特性を計測した。また、3DCG モデルのパーツに対して計測した反射特性を割り当てて、シミュレーション結果に反射特性が反映されるようにした。

次年度は、センサー弱点となるシナリオや認識対象の評価に必要となる材料を関係者と協議してリストアップ、計測を行い、反射特性データベースの拡充を行う。

(2)令和2年度の成果

② 実データ収集

・ミリ波レーダー

昨年度までに、ミリ波レーダーの実測結果とシミュレーション結果の比較より、受信信号強度の差異が生じることが分かった。関係各社との協議により、偏波を考慮した反射特性の採用、レイトレース法と PO (Physical Optics)法を組み合わせた解析手法で実装することとなった。

PO 法の採用に伴い、物標を反射体と散乱体に区別することとした。反射体は、昨年度までに測定してきた反射率の角度特性を用いてレイトレース解析するが、散乱体は、材質の電気特性(誘電率、透磁率)を用いて、PO 法により RCS(Radar Cross Section:散乱断面積)を求めた後に、レイトレース解析をすることとした。

偏波を考慮した反射特性を測定するため、反射率測定装置の送受信アンテナの直下に 90 度ツイスト導波管を挿入し、電波を 90 度回転させることで、垂直偏波と水平偏波を測定できるようにした。

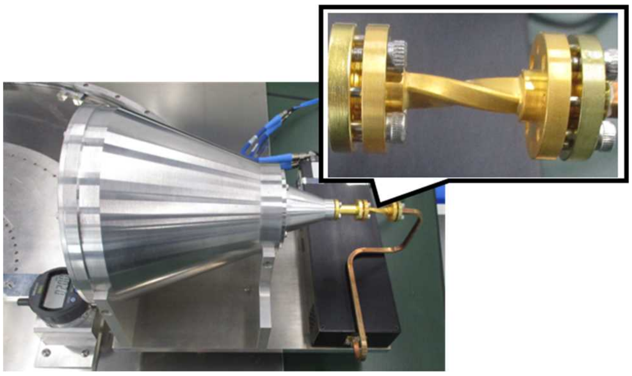


Figure 31 ミリ波反射率計測装置の偏波切り替え

また、測定した垂直偏波と水平偏波の反射特性から材質の電気特性を導出する方法として、電気特性と厚みから理論的に反射率を算出することができる TM (Transfer Matrix)法を選定した。TM 法によって算出した反射率を、実測にした反射率にフィッティングすることで電気特性を推定することとした。

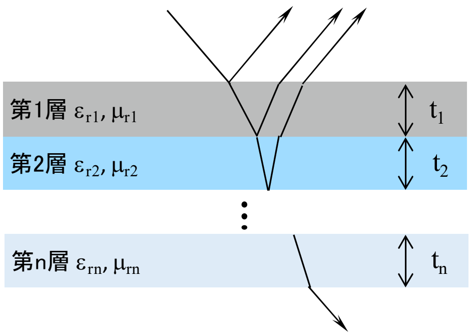


Figure 32 TM 法の反射モデル

下図は、自動車用の 3 層フロントガラスの電気特性を導出するために、ガラスの反射率の角度特性の実測結果に TM 法による反射特性をフィッティングした例である。

ミリ波帯においては、上記手法を用いて、反射体向けの反射率の角度/偏波特性、散乱体向けの電気特性(誘電率、透磁率)を計測し、シミュレーションプラットフォームに提供した。尚、計測した物標に関しては、下記の測定物標一覧の項に記載した。

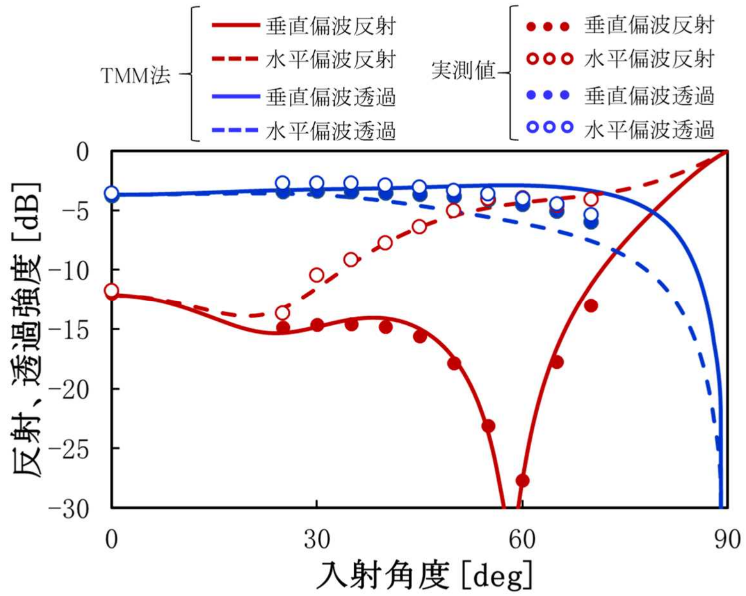


Figure 33 TM 法によるフィッティング例

・可視光/赤外光

下図に昨年度構築した可視光/赤外光の反射特性の測定器を示す。本装置は、360 度全角度に光源と受光部を移動可能であるが、試料面と水平になる角度に近づくほど、余弦関数に比例してビームスポット径が楕円上に大きくなってしまう影響で測定精度が悪化する。そのため、試料面に対して垂直方向を 0 度とした場合、80 度以上となるの角度の反射特性については外挿補間を行っている。但し、単純な外挿補間を行うと不連続点が生じやすく、不連続点は可視光のシミュレーションによってレンダリングを行うとノイズとなり目視確認できてしまう。そこで反射モデルを用いて、不連続点なきように低仰角の補間を行った。

Figure 34 可視光/赤外光の反射特性測定器

反射モデルについては様々な研究がおこなわれているが、今回は既存の代表的な反射モデルから、実測結果に最も差異なくフィッティングでき、且つパラメータ数・演算量の少ない Brady モデル(下式)を反射モデルとして選定した。

$$BSDF = p_d\frac{1}{\pi} + p_s\frac{Fresnel}{4(L\cdot H)}exp\left(-\left(\frac{\tan\theta_{hs}}{{\beta_s}^2}\right)^{\alpha_s}\right)$$

但し、Brady の反射モデルでは再帰反射成分が含まれていないため、下式に示すように再帰反射成分の項を追加するように拡張を行った。

$$BSDF = p_d\frac{1}{\pi} + \max\left\{\underbrace{p_s\frac{Fresnel}{4(L\cdot H)}exp\left(-\left(\frac{\tan\theta_{hs}}{{\beta_s}^2}\right)^{\alpha_s}\right)}_{\text{鏡面反射成分}}, \underbrace{p_r exp\left(-\left(\frac{\tan\theta_{hr}}{{\beta_r}^2}\right)^{\alpha_r}\right)}_{\text{再帰反射成分}}\right\}$$

上記反射モデルを基に作成した反射特性の例を下図に示す。評価した試料は、視線誘導標に用いられているリフレクタであり、再帰反射特性を有している。左図は−40 度の入射角度における角度特性である。40 度方向には鏡面反射成分のピークが得られており、−40 方向には再帰反射成分のピークが得られている。右図はー85 度入射角における角度特性であり、Brady モデルによって外挿補間を行っている。ー45 度入射角と同傾向の特性が得られており、不連続性点のない角度特性が得られている。このように反射特性を入射角度 1 度毎に±90 度範囲で作成した反射特性を、シミュレーションプラットフォームに提供した。

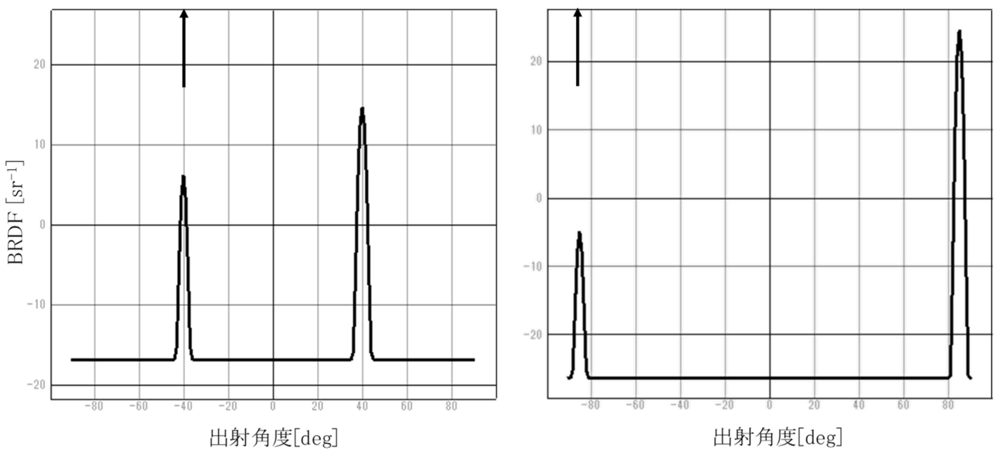
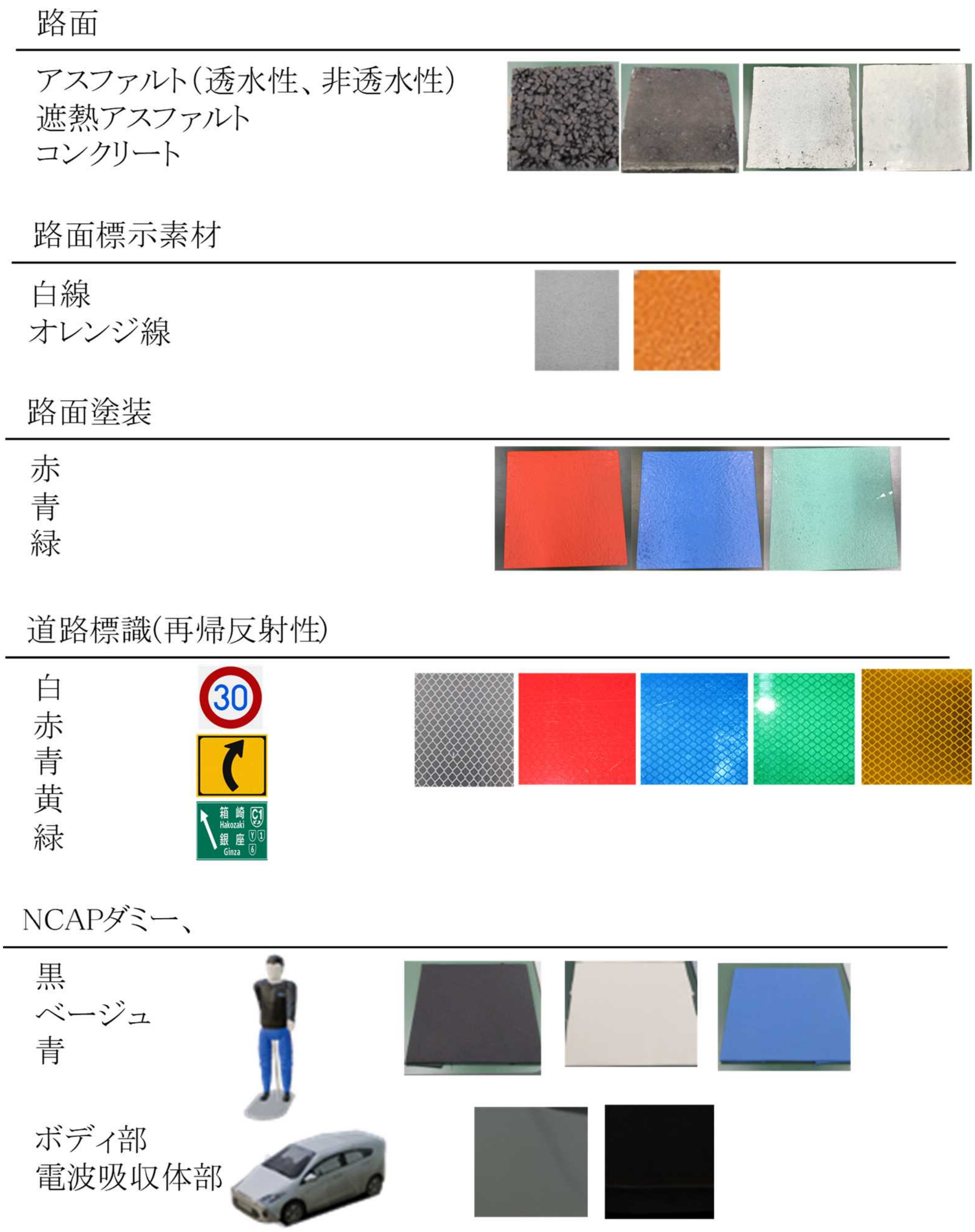


Figure 35 反射特性例

・測定物標一覧

下図に、反射特性及びミリ波帯の電気特性を計測した試料を示す。



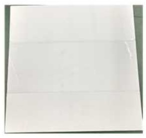
ロードポール

赤色部
リフレクタ

カラーコーン(リフレクタ付)

赤色部
リフレクタ部

視線誘導標(デリニエータ)

リフレクタ白
リフレクタ橙

車両

ボディ塗装(代表色)
ガラス

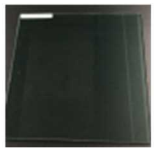
 

Figure 36 測定物標一覧

(3)次年度以降の計画

・ 実データ計測

環境や経年変化における反射特性の変化に対応するために、材質の基本反射特性に加えて、表面形状が異なる場合、表面に水や物質付着した場合、水膜が形成されて材質表面が鏡面状になった場合の計測を実施する。

・ ミリ波レーダーのモデル定義

ミリ波レーダーはこれまで実施してきた反射モデルだけでは再現が困難であり、認識物標のどの箇所でミリ波の電波が反射したかを把握する必要性がある。そこで、ミリ波の物標での反射点を可視化する方法を構築し、代表的な認識物標となる自動車や歩行者(人形)を実測して反射点を可視化する。

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」(三菱プレシジョン株式会社)

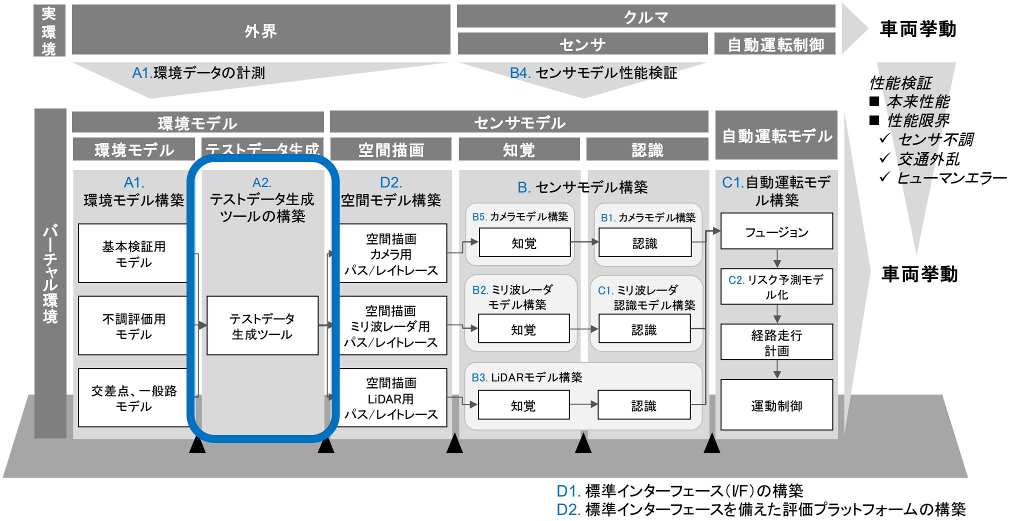


Figure 37　本研究の位置付け

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。

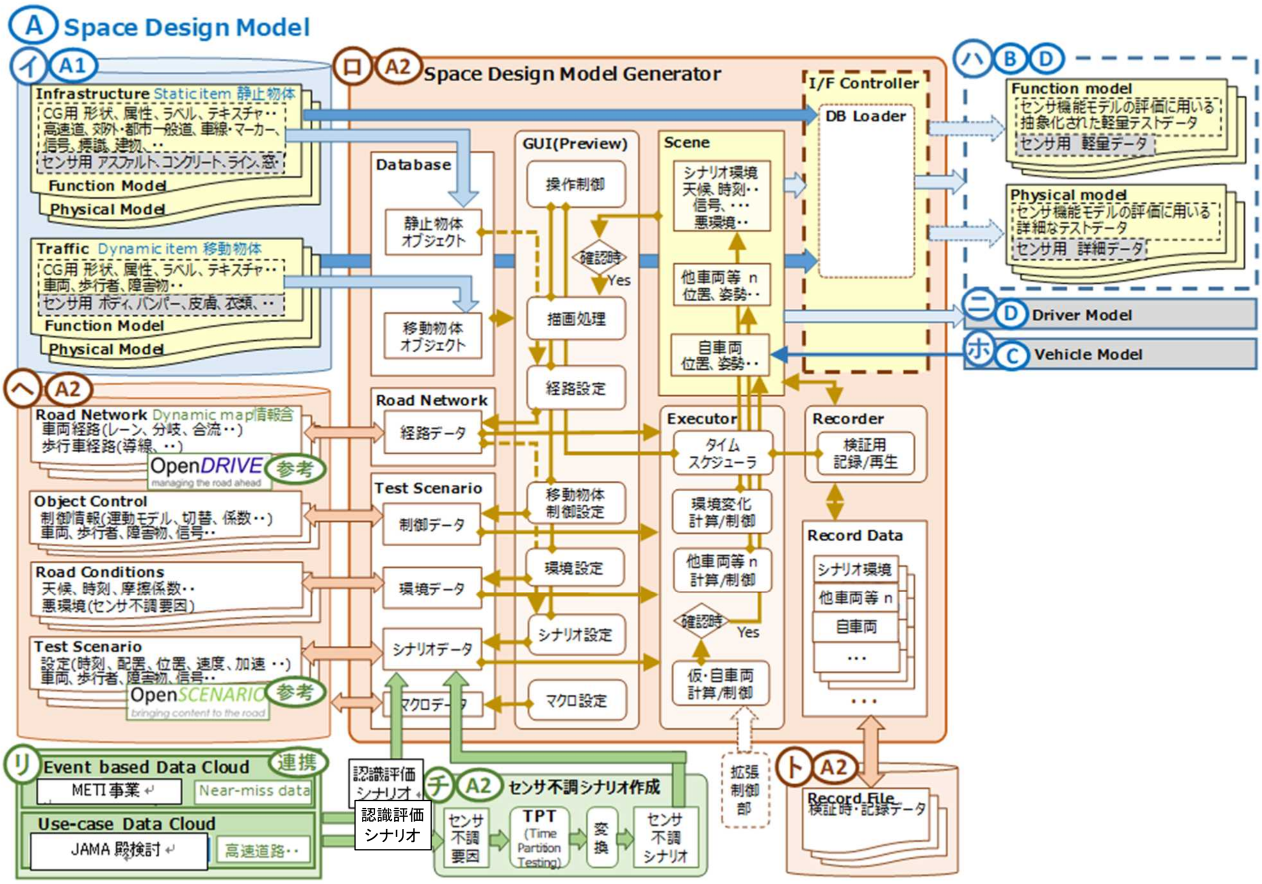
■ 事業目的

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

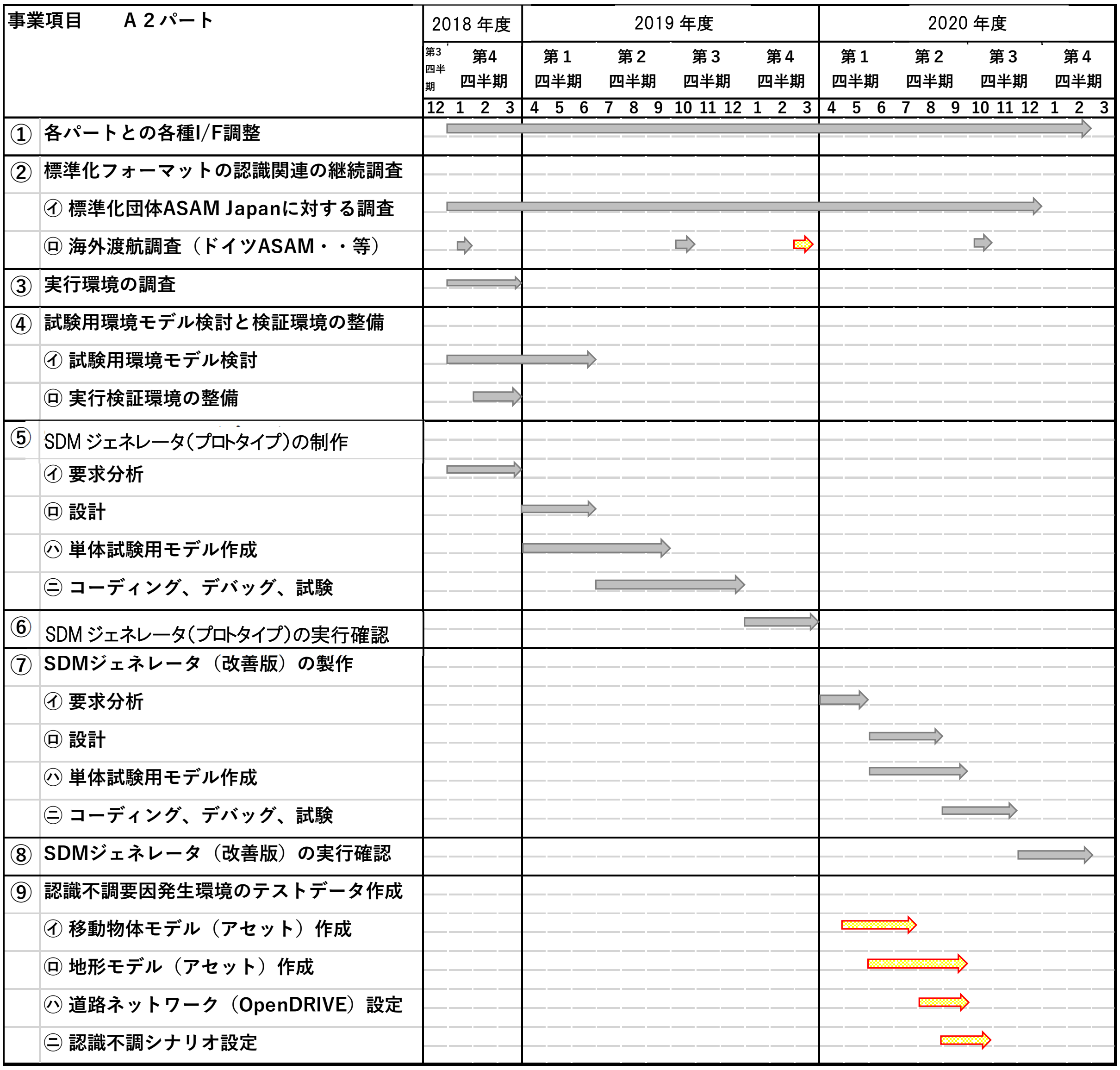
Figure 38 に示す、A.走行環境モデルの構築(Space Design Model)を実施する。



出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 38 Space Design Model の想定ブロック図

■ 実施計画



事業項目　Ａ２パート
2018 年度
2019 年度
2020 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 3
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
㋑ 標準化団体ASAM Japanに対する調査
㋺ 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
㋑ 試験用環境モデル検討
㋺ 実行検証環境の整備
⑤ SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の制作
㋑ 要求分析
㋺ 設計
㋩ 単体試験用モデル作成
㊁ コーディング、デバッグ、試験
⑥ SDM ジェネレータ(プロトタイプ)の実行確認
⑦ SDMジェネレータ（改善版）の製作
㋑ 要求分析
㋺ 設計
㋩ 単体試験用モデル作成
㊁ 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
㋑ 移動物体モデル（アセット）作成
㋺ 地形モデル（アセット）作成
㋩ 道路ネットワーク（OpenDRIVE）設定
㊁ 認識不調シナリオ設定

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ 環境データを基に評価用シナリオデータの生成ツールを開発 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ シナリオ作成、確認の効率化
成果を支えた要諦	■ 環境モデルの必要精度を保証した効率的なアセット作成方法
評価	■ コロナの影響で遅延が発生したが概ね計画通り

成果の価値

成果の価値評価	■ 現実との一致性が検証されたセンサモデルの構築は非常に意義が高い。 以下の視点から ➢ DIVP®の成果から、ASAM、ISOなど国際標準化活動のリード、提案ができる ➢ 海外でのDIVP®成果の評価がいただける
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 自社の自動車シミュレーター事業の拡大につながる ■ モデル販売事業の拡大
残課題・今後への期待値	■ センサ毎におけるモデルの自動最適化 ■ シナリオから必要な環境モデルの自動生成

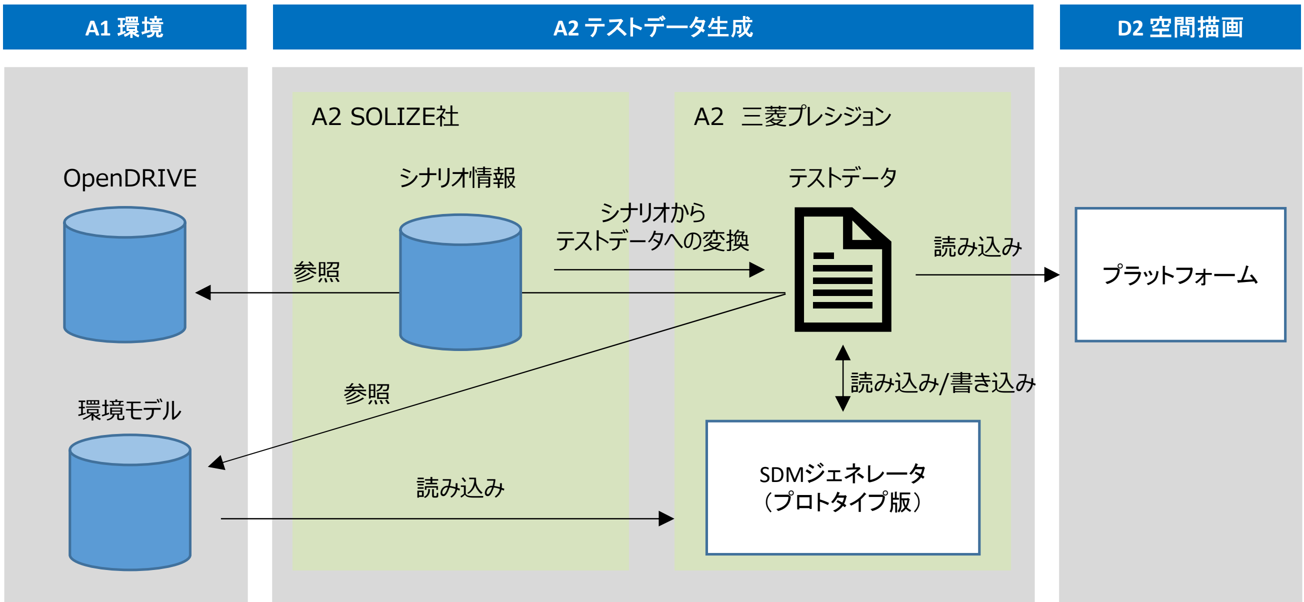
Figure 39 研究開発の成果

昨年度から引き続き、各種 I/F 調整、及び、標準化フォーマットの継続調査を実施した。SDM ジェネレータのプロトタイプ版、及び、改善版の作成を完了した。認識不調要因発生環境のテストデータ作成では、自動車のフロントガラスの雨滴払拭環境のためのワイパーメッシュの構築やエンドユーザーが自由に不調要因となる地形モデルを作成可能とする機能を組み込んでいる。

(2)令和2年度の成果

① 各パートとの各種 I/F 調整(継続実施)

A1 パート、A2 パート(SOLIZE 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 40 となり、Table 8 の内容の調整を行った。



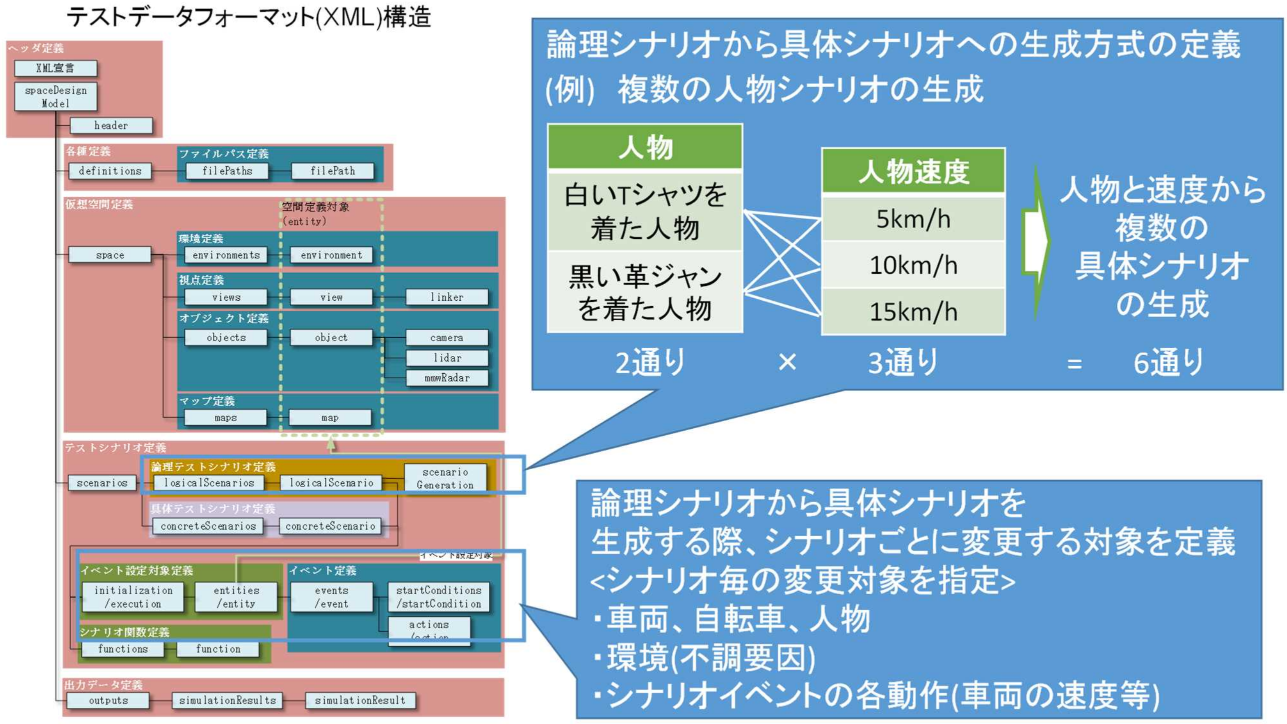
出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 40 各パートとの I/F

Table 8 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。道路ネットワーク情報については OpenDRIVE 形式とした。
2	A2 パート (SOLIZE 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、策定中の OpenSCENARIO のコンセプトを参考にし、XML 形式のオリジナルのフォーマットで作成した。論理シナリオの構造を XML に持たせるため、複数パラメータを定義できるように拡張した。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 41　論理シナリオに対応したテストデータのデータ構造

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、センサー認識関連と設計可能レベルの詳細内容を継続的に調査する。

㋑ 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 2.0 Concept Project へ参加し、動向を探ると共に、本プロジェクトで必要となる標識などの標準化とマテリアルを指定する機能をコンセプトに盛り込んだ。

㋺ 海外渡航調査（ドイツの ASAM のカンファレンス等）

本年度の独 ASAM における OpenDRIVE の全体会議は全てオンラインで実施された。参加回数は、全体会議に 2 回、最終的な OpenDRIVE Concept の承認会議に1回参加した。

⑦　SDM ジェネレータ（改善版）の製作

㋑　要求分析

　実現が求められるシナリオから SDM ジェネレータに追加が必要な機能や入出力データの洗い出しを行った。必要な機能として、論理シナリオとシミュレーション実行に有用なものが挙げられた。論理シナリオはパラメータの集合を持つシナリオである。論理シナリオから各パラメータを選択し、組み合わせた多数の具体シナリオを生成することで、多数のシナリオを容易に作成することが可能となる。

㋺　設計

　昨年度の SDM ジェネレータ(プロトタイプ)では、具体シナリオを定義したテストデータの編集/確認/出力を製作対象とした。SDM ジェネレータ(改善版)では主に、テストデータへの論理シナリオ付加を行い、Table 9 の機能を製作対象とした。

Table 9　SDM ジェネレータ(改善版)の機能

番号	機能	内容
1	論理シナリオデータの作成/編集/保存	論理シナリオを付加したテストデータの、2D/3D 画面上での編集が可能
2	具体シナリオの生成	編集した論理シナリオから、多数の具体シナリオを生成
3	機能改善	PF での動作に有用な機能の付加や、GUI の操作性の改善等

㋩　単体試験用モデル作成

　SDM ジェネレータ(改善版)の動作確認時に、Table 10 のアセットモデルを使用した。

Table 10　動作確認時に使用したアセットモデル

番号	分類	モデル
1	地図モデル	Jtown 多目的市街地、特異環境試験場、臨海副都心
2	物標モデル	アルファード、プリウス、カラーコーン、マンホール、NCAP 車両、NCAP 人形等

㋥　コーディング、デバッグ・試験

　SDM ジェネレータ(改善版)のコーディング、デバッグ・試験を実施した。

⑧　SDM ジェネレータ（改善版）の実行確認

　製作した SDM ジェネレータ(改善版)の実行確認を行った。

Figure 42 の左図はテストデータの編集画面、右図は編集したテストデータのプレビュー表示を示している。

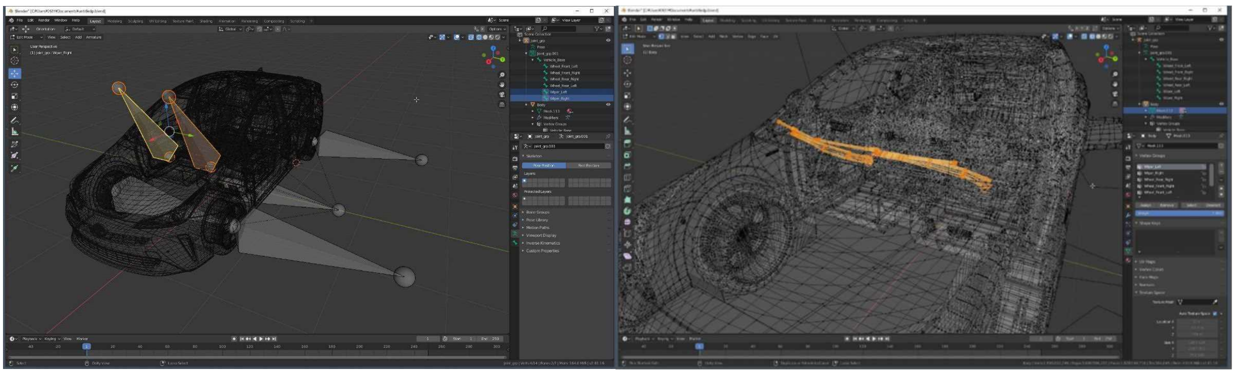
出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 42　SDM ジェネレータの表示例

⑨　認識不調要因発生環境のテストデータ作成

㋑　移動物体モデル（アセット）作成

不調要因となる雨粒払拭模擬の検証用としてワイパーアセットを作成した。ワイパーを1メッシュ化し、頂点単位でウェイトを設定した。UE4 上で、アニメーションブループリントを作成し、角度指定で制御可能なことを確認した。作成したアセットを Figure 43 示す。



出所：三菱プレシジョン（株）

Figure 43　雨粒払拭模擬検証用のワイパーアセット

⑪ 地形モデル(アセット)作成

A1 パートで作成する道路を含む地形モデルは実測データから詳細にモデル化されるものであるが、仮想の道路・地形においても認識不調テストを行いたいというニーズがある。またこの場合、道路や地形の地物を容易に変更できることが求められる。そこで、エンドユーザーが自由に地形モデルを設計・作成できるアプリケーションを開発した。

このアプリケーションは、⑦で述べられている SDM ジェネレータの機能として組み込んだ。これは将来的にシナリオから地形モデルを自動生成するなど、シナリオ生成機能と連携しやすくすることを考慮したためである。

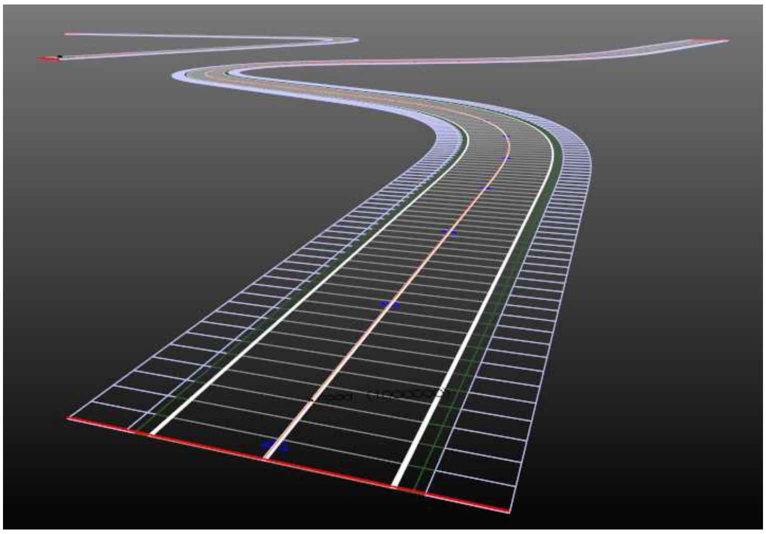
今年度は、アプリケーションの基本機能(GUI、内部インターフェース、シンプルな道路形状の生成)の実装を行った。

出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 44 SDM ジェネレータに組み込まれた地形モデル生成機能

㋩ 道路ネットワーク(OpenDRIVE)設定

道路ネットワークにおいても、上記㋺で述べたアプリケーションにて、エンドユーザーが作成した地形モデルと合致した OpenDRIVE データを自動出力する機能を実装した。

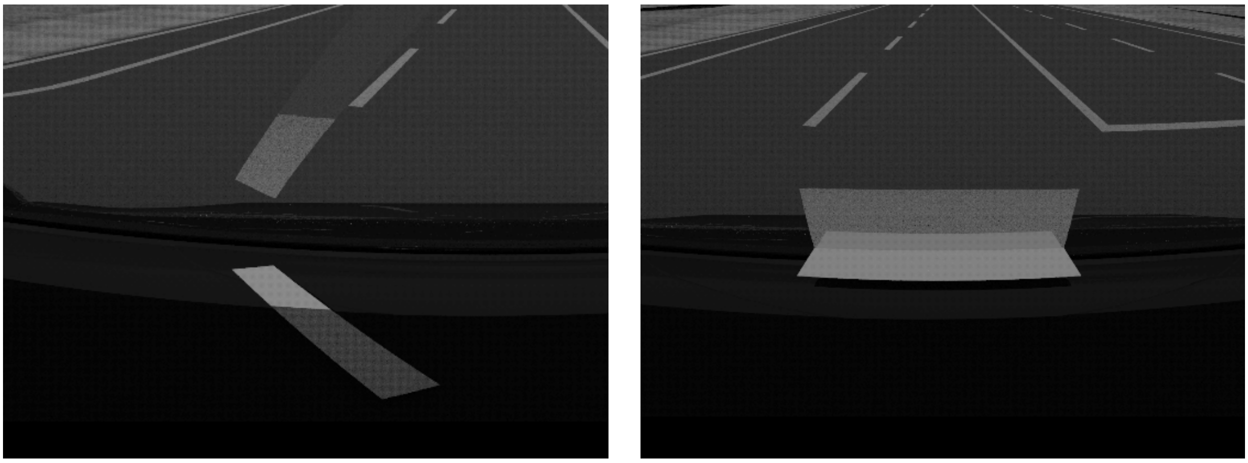


出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 45 SDM ジェネレータの地形モデル生成機能から出力された OpenDRIVE データ

㋥ 認識不調シナリオ設定

カメラ認識不調となる白線の認識性能評価用のシナリオを作成した。ダッシュボード上に配置した白色のカバーモデルがフロントガラスに反射し、カメラ認識において白線とみなされることでカメラ認識不調となるシナリオを作成した。白色のカバーモデルの位置を微調整できるようにスクリプトも用意した。



出所:三菱プレシジョン(株)

Figure 46 カメラ認識不調性能評価用シナリオ

(3)次年度以降の計画

⑩ SDM ジェネレータ(拡張版)の製作

㋑ 要求分析

㋺ 設計

㋩ 単体試験用モデル作成

㊁ コーディング、デバッグ、試験

⑪ SDM ジェネレータ(交通モデル対応版)の製作

㋑ 要求分析

㋺ 設計

㋩ 単体試験用モデル作成

㊁ コーディング、デバッグ、試験

⑫ 安全性評価のためのテストデータの検討

㋑ 安全性評価指標検討

㋺ テストデータ I/F 検討

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 株式会社(三菱プレシジョン株式会社より再委託))

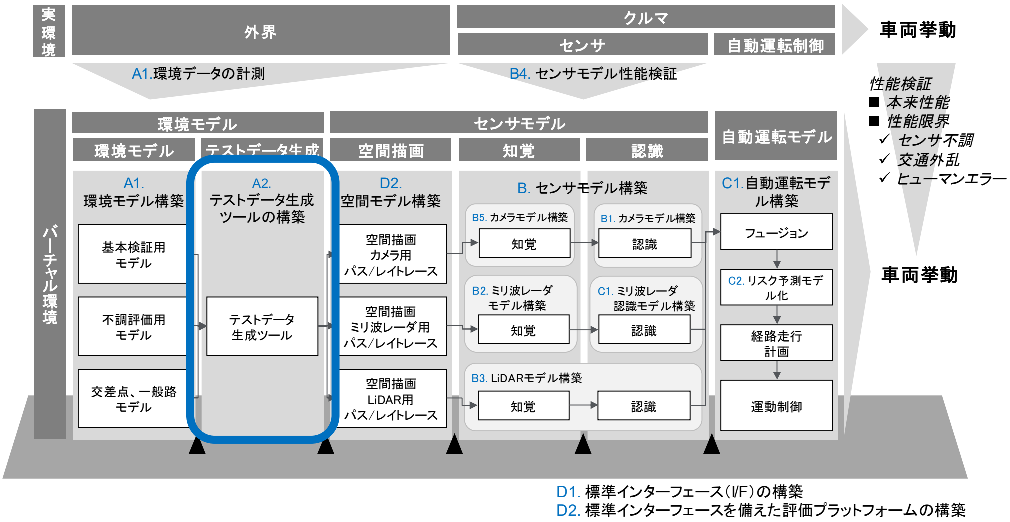


Figure 47 本研究の位置付け

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

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	2018年度		2019年度				2020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2年度の成果(まとめ)

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ プロジェクトにおける実測データのシナリオ化を行った ➢ 不調に関わるシナリオの記述について検討し、不調の分類についてまとめた ➢ 不調シナリオを網羅的に検討・実行する手法を検討、プロトタイプ実装を行った ■ DIVP®成果への貢献 ➢ 実測データのシナリオ化、および、それに必要な補正の検討を行い、検証が円滑に進むようにした
成果を支えた要諦	■ 実測からシミュレータ開発までを含むプロジェクト体制だったため、様々な意見を得て、正しい方向にすすめることが出来た ■ シナリオ周辺に関しては、関係各者で情報を交換しながら、さまざまな検討をしながら進めることが出来た
評価	■ シナリオの担当プロジェクトが曖昧になり、初動が遅れた。実装はごく一部にとどまった

成果の価値	
成果の価値評価	■ 不調までを一致させようとする取り組みは、自動運転に限らず価値が高いと考える ■ 標準化を最初から見据えているところも価値が高い ■ シナリオ周辺は、今後様々な手法が開発されると思われるが、そのプラットフォームとしての価値も高いと考える
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 直接的には、弊社が扱っている(DIVP®プロジェクトの開発でも利用している)ソフトウェア製品の顧客価値の訴求が可能になる ■ 自社の自動運転関連事業の販促につながる ■ 自社自動運転シナリオ関連技術の進化・深化
残課題・今後への期待値	■ 不調の整理、シナリオ化、データベース化、などはまだまだ一部にとどまるため、その開発を進めたい ■ 不調シナリオの再現実装には、交通流に関する実装は必須。その部分の連携に期待。

Figure 48 研究開発の成果

プロジェクト期間中に測定した実測データをプラットフォームで実行できるようにシナリオ化を行った。またセンサー不調の要因の洗い出しを行いシナリオ記述方法の検討を行った。また、EURO NCAP の一部シナリオについて、記述が有効であることを確認するためのプロトタイプ実装を行った。

(2)令和2年度の成果

② センサー不調の記述方法の検討

センサー不調をシミュレーションするためのシナリオでは、車両や交通参加者の挙動から、天候や周辺環境の情報に至るまで、多種多様な情報を適切に表現した上で、その意図を正確に実行可能なシナリオに変換することが重要である。

まず、多種多様な情報を多くの関係者が共通に理解できる用語を用いてわかりやすく表現することと、コンピュータ自然言語処理によるシナリオ変換を実現するため、オントロジーの整理を行った。オントロジーを整理することで、共通に理解しやすい用語集を作成し、用語の関係に明確な定義を与えることができる。本プロジェクトでは、独 PEGASUS プロジェクトの階層化の考え方、JAMA 殿がまとめた「自動運転の安全性評価フレームワーク」その議論に沿った形で、センサー不調に係わるオントロジーがどのように構成されるべきかを検討した。

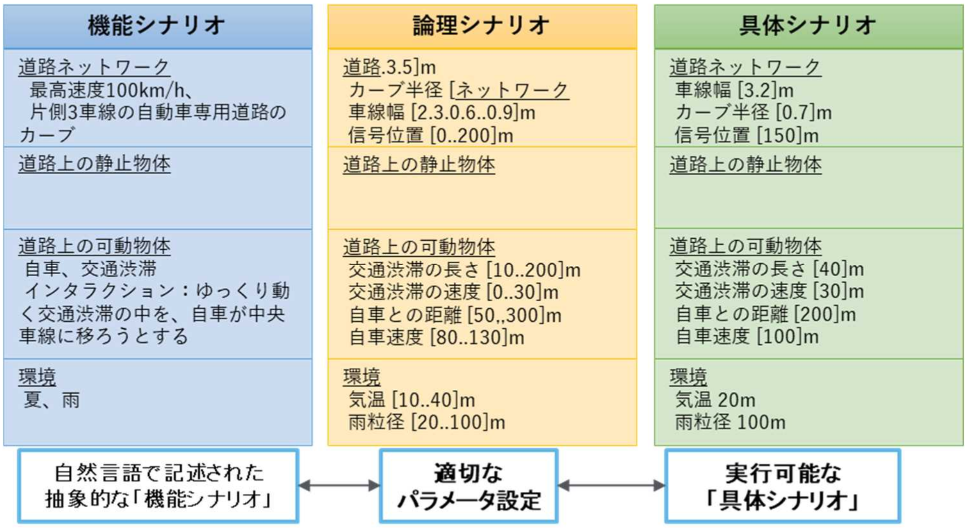


Figure 49 PEGASUS のシナリオ体系概念図

PEGASUS のシナリオ体系は、シナリオをその抽象度に応じて 3 つの階層に分けて考える。もっとも抽象度の高い機能シナリオは、主に自然言語で記述することが想定されており、多くの関係者が理解できることとその後のより抽象度の低いシナリオへの展開を容易にすることが期待される。論理シナリオは、中間的な抽象度を持つシナリオであり、機能シナリオで記述された内容をパラメータ表現したものである。もっとも抽象度の低いシナリオが具体シナリオである。これは、シミュレーション環境で実行可能なレベルの詳細度（低い抽象度）を持つシナリオである。

この PEGASUS の体系は主に走行条件に関するシナリオ、すなわち交通状況を表現するシナリオを表現することを想定しているものと考えられ、センサー不調に関するオントロジーをどのように構築するかについて新たに検討する必要があった。その方法として、センサー不調を表現するために現れる用語を分類した上で、走行条件シナリオに整合性をもってオントロジーとして構造化することを試みた。

	Functional				Logical	
Layer 1	道路	レイアウト	片側一車線道路		幅	[3.25m,3.5m]
			片側二車線道路		幅	
			片側一車線×片側一車線交差点		幅	
					なす角	
					半径	
		形状	直線		長さ	
			カーブ		曲線半径	
			平坦		勾配	[0%,1%]
			上り坂			
			下り坂			
		表面	アスファルト	均一		
				ひび割れ		
				穴（くぼみ）		
			コンクリート	均一		
				ひび割れ		
				穴（くぼみ）		
			実線		幅	
					色	
					残面積	

					時刻	
		服装	上半身	黒革	表面積	
			下半身	ジーンズ	表面積	
	vs他車	動作	先行			
			追従			
			追い越し			
Layer 5	環境	天候と時間帯	日中	晴れ	照度	[2000lux,∞)
					太陽高度	
					太陽方位角	
				曇り	照度	
				雨	降水量	(0mm,20mm)
				雪		
			夜間	晴れ	照度	
				曇り	照度	
				雨	降水量	(0mm,20mm)
				雪		
		気候	温暖		気温	[5℃,40℃]
		風	無風		風速	[0m/s,10m/s)
			強風		風速	
		光源				

Figure 50 シナリオ記述のためのオントロジーの例

センサー不調シナリオの表現は、その原因となる事象が他の不調事象に影響を与えたり、何らかの関係性を持っていたりするものがある。例えば、LiDAR のセンサー不調の原因になる「黒い服を着た歩行者」であれば、その表現は歩行者の属性を追加するような用語を一つ追加すれば十分であろう。一方で、雨の場合、センサー不調シナリオの表現としては「雨が降っている」ことそのものに加えて、その程度が表現されることになると思われる。一方シミュレーションでは、雨という情報により、他の多くの不調に係わる事象、例えば、水たまり、水しぶき、センサー前面への水の付着などが再現されることが期待されているはずであり、それらの設定を雨に連動して設定できるような仕組みが必要ということになる。同時に起きるセンサー不調の現象は一つに限定されているわけではないので、同時に起こりうるセンサー不調の現象の組み合わせに対しても同様に連動して起こりうる事象との関係性を把握した上で、オントロジーとして登録しておくべきであろう。が、実際には、このような他の事象に影響されて発生するセンサー不調事象をすべて正しく把握した上で、オントロジーの中で管理するということは困難である。特にセンサー不調現象の組み合わせに対して関係性を持ち込むことは一般的なオントロジーの仕組みでは困難を伴う。そのため複雑なセンサー不調を取り込んだ形でのオントロジーの構築は断念せざるを得なかった。

そのため、簡易な具体例として、走行環境を EURO NCAP のいくつかの走行状況に限定し、不調に係わる要素を本プロジェクトで実装を検討している情報（時間帯ごとの明るさ、雨など）に限定して、センサー不調を実現するシナリオを記述するためのオントロジーの形について検討した。

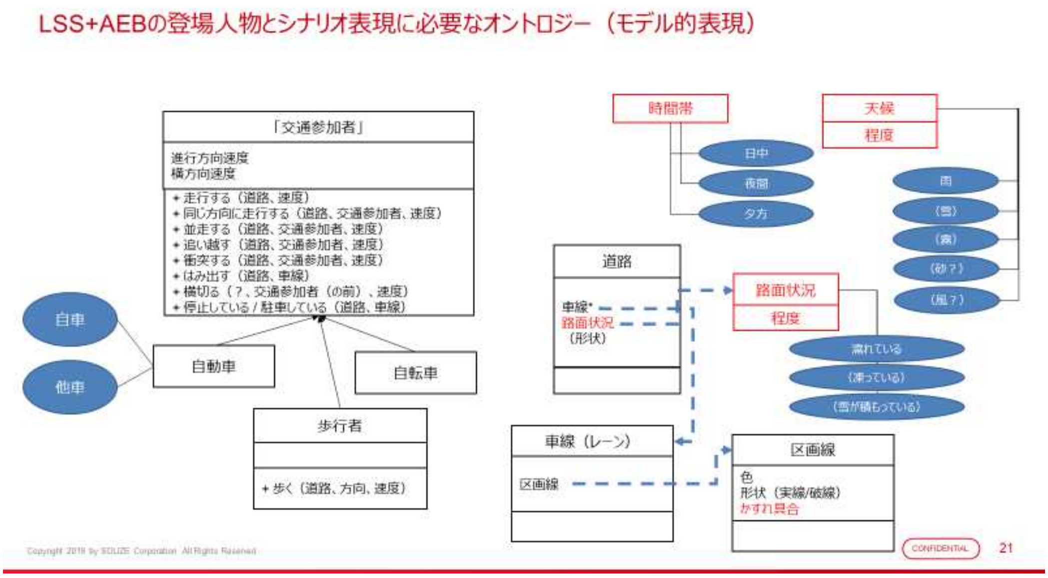


Figure 51　EURO NCAP を例としたシナリオオントロジーの例

機能シナリオを論理シナリオ、さらには、実行可能なシナリオに変換するためには、構文パターンを利用する。構文パターンとは、文章の書き方のテンプレートとして機能するもので、オントロジーで定義した用語を使って構文パターン通りに記述すれば、自然言語処理によってシナリオに記述された内容を適切に抽出することを実現するためのものである。

センサ不調要因	からのアプローチ例							
雨・急な上り坂・アスファルトのシナリオを作成したい場合								
Layer 5	Layer 1	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4
雨の	片側一車線道路を	定速60km/hで	道なりに走る	他車を	定速55km/hで	道なりに走る	自車が	追従する。
	上り坂							
	アスファルト							
	均一							
指定されたセンサ不調要因について、単体で発生するものを加え、属性として発生するものを付与して作成								
センサ不調原理	からのアプローチ例							
マルチパスのシナリオを作成したい場合								
Layer 2	Layer 1	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4
路側壁のある	片側一車線道路を	定速60km/hで	道なりに走る	他車を	定速55km/hで	道なりに走る	自車が	追従する。
Layer 1	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	
片側一車線道路を	定速60km/hで	道なりに走る	他車を	定速55km/hで	道なりに走る	自車が	追従する。	
平坦								
アスファルト								
均一								
マルチパスを発生させるセンサ不調要因（単体/属性）をシナリオに加えて作成								
センサ不調名称	からのアプローチ例							
未検知のシナリオを作成したい場合								
未検知を発生させるセンサ不調要因（単体/属性）をシナリオに加えて作成								
逆光も同様								
センサ不調要因	からのアプローチ							
Layer 5	Layer 1	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4	Layer 4
日中・晴れ・逆光の	片側一車線道路を	定速60km/hで	道なりに走る	他車を	定速55km/hで	道なりに走る	自車が	追従する。
用語集・シナリオに登場する用語はすべて数値化される必要がある。								
「逆光」はどのように数値化されるかが争点。								
逆光になるタイミング（太陽の方位＋自車の経路）と高度で定まる？								

Figure 52 シナリオ記述のための構文パターンの例

次に、このオントロジーと構文パターンを用いて、シナリオに記述された情報を適切に抽出することができるかどうかの確認も行った。この確認には、自然言語処理ツールとして SE Suite を活用している。SE Suite には、オントロジーと構文パターンを用いて記述された文章からそこに記述された内容を自然言語処理により抽出する機能を持つ。この確認により、記述形式を限定することで、多くの人が理解することと自然言語の表

現力を両立させる「形式化された自然言語」を用いてシナリオを記述し、さらに形態素解析を活用することで、シナリオに記述された情報を抽出し、実行可能シナリオの生成に必要な情報を得ることができることを確認した。

たとえば、EURO NCAP のシナリオに環境情報などセンサー不調のであれば、「夕方、雨の中を、ライトを点灯させて走行する自車の前を横切る歩行者に衝突しそうになる」のような記述が考えられる。この記述から、「自車」と「歩行者」の位置関係を取得するために、記述の形式とそこから得られる情報を規定する。下図では、上部で表現された構文パターンから下部で設定された情報(ここでは、2 つの交通参加者の進行方向と位置関係)を抽出することを示している。

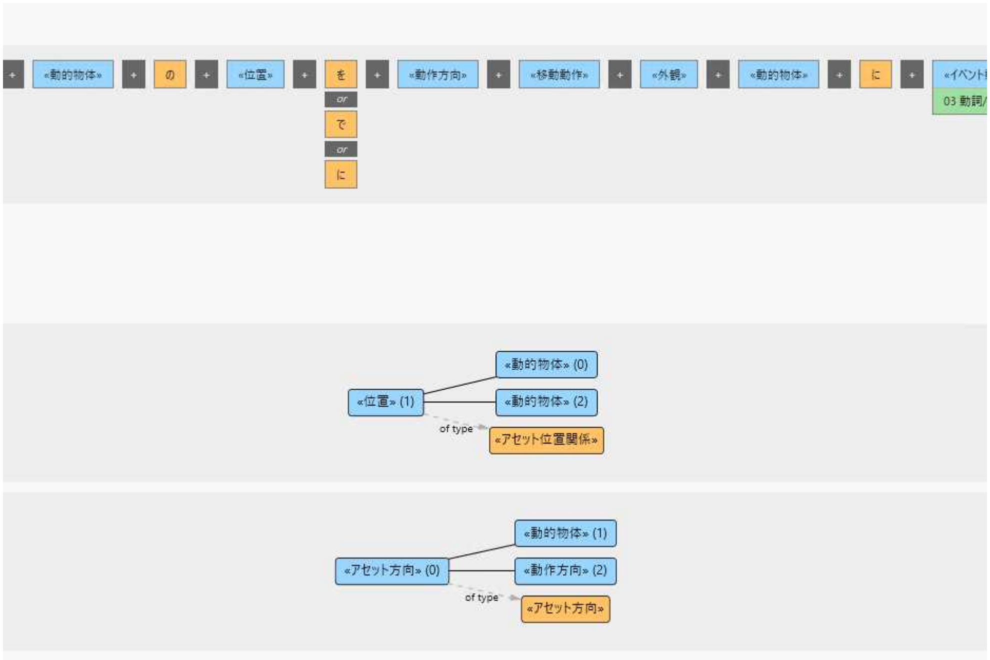


Figure 53 SE Suite で実装された構文パターンの例

このオントロジー、記述形式、および、そこから抽出する情報を定めることで、前述のシナリオ記述例に対してこのアルゴリズムを実行することで、シナリオに記述された内容が正しく得られていることを確認できた。(下図)

Figure 54 抽出されたシナリオの内容

結果として、センサー不調シナリオを抽象度に応じて展開し実行可能なシナリオに変換する仕組みとして、オントロジーを活用することには、困難を伴うことが理解できた。今後、まったく異なる方法論を含めていかにセンサー不調シナリオを自然な形で実行につなげるかは課題である。

④ 不調スクリプトの生成ツールの作成 2

今期プロジェクトでは、不調検証、拡張性検証など、様々な検証実験が行われた。それに加えて、昨期に行われた検証データや、他プロジェクト連携で得られたデータなど数多くの計測データを DIVP®プラットフォームで実行できるようにするための変換処理を開発、実行した。

この中で様々な工夫を実施したが、特に GNSS データが正しく得られないときの対応に関しては、走行経路に対応する OpenDRIVE 情報に対して、走行実験データをあわせ込むことで、GNSS のデータのずれを解消する方策を検討し、実施した。

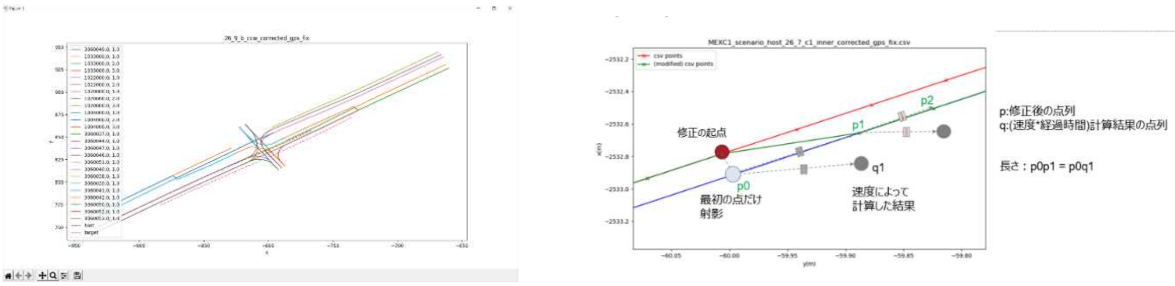


Figure 55 走行データ（破線）とレーン（実線）のずれと修正の例

その課程で、OpenDRIVE データの生成方法や OpenDRIVE データからの点列生成方法によっては OpenDRIVE データそのものにも問題が起こりうることや、OpenDRIVE に厳密にあわせてしまうことで、LiDAR やミリ波レーダーなどセンサー計測データとの不整合が出る可能性があることも把握できており、今後は OpenDRIVE、マップ、センサー計測データなどとできる限り整合をとる手法の開発が必要になると思われる。

⑤ 不調シナリオの実行

上記②および④で生成したシナリオについて、SDM ジェネレータおよびプラットフォームで実行することができるようなソフトウエアプログラムの開発を実施し、それぞれ実行した。

まず④で生成した走行データを変換したシナリオの実行に関しては、シナリオそのものがプラットフォームでそのまま実行できるように生成されており、プラットフォームに読み込ませることで実行することが可能であった。プロジェクトにおいて行われた検証の走行データについては原則すべて実行して確認を行った。

また、②で検討した内容についても、その確認として、シミュレーション環境で実行できることを確認する必要があった。②での検討は主にシナリオをオントロジーを利用してどのように表現できるか、ということに焦点を置いていたため、交通流そのものの詳細な再現については、事前に準備した簡易的な走行データを活用することで、様々な条件が記述にあわせて変更できるかについて検証した。また、実際にはプラットフォームは開発中であるためインターフェースが安定していなかったこともあり、インターフェースが安定していた SDM ジェネレータによって、実行の確認を行った。

⑶次年度以降の計画

来年度以降は、プラットフォームが対応する不調が拡張されていくのに対応して、記述の方式を拡張していく。また、データベースに係わるインターフェースの要件定義およびアーキテクチャ設計を実施し、プラットフォームとの連携も検討していく。

5. 2 「B.センサー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)

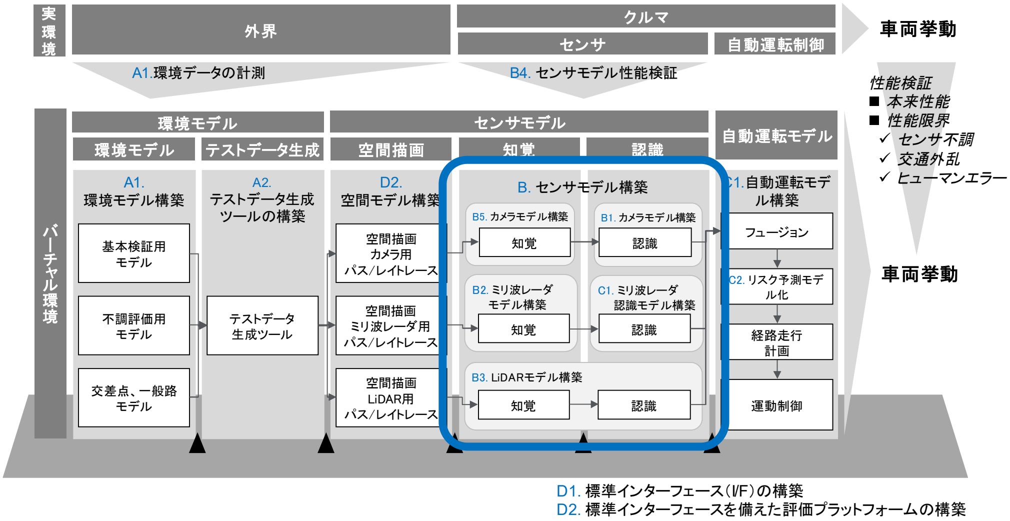


Figure 56 本研究の位置付け

■ 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。

併せてコンソーシアムの代表機関として、成果を取りまとめ国際連携を推進する。

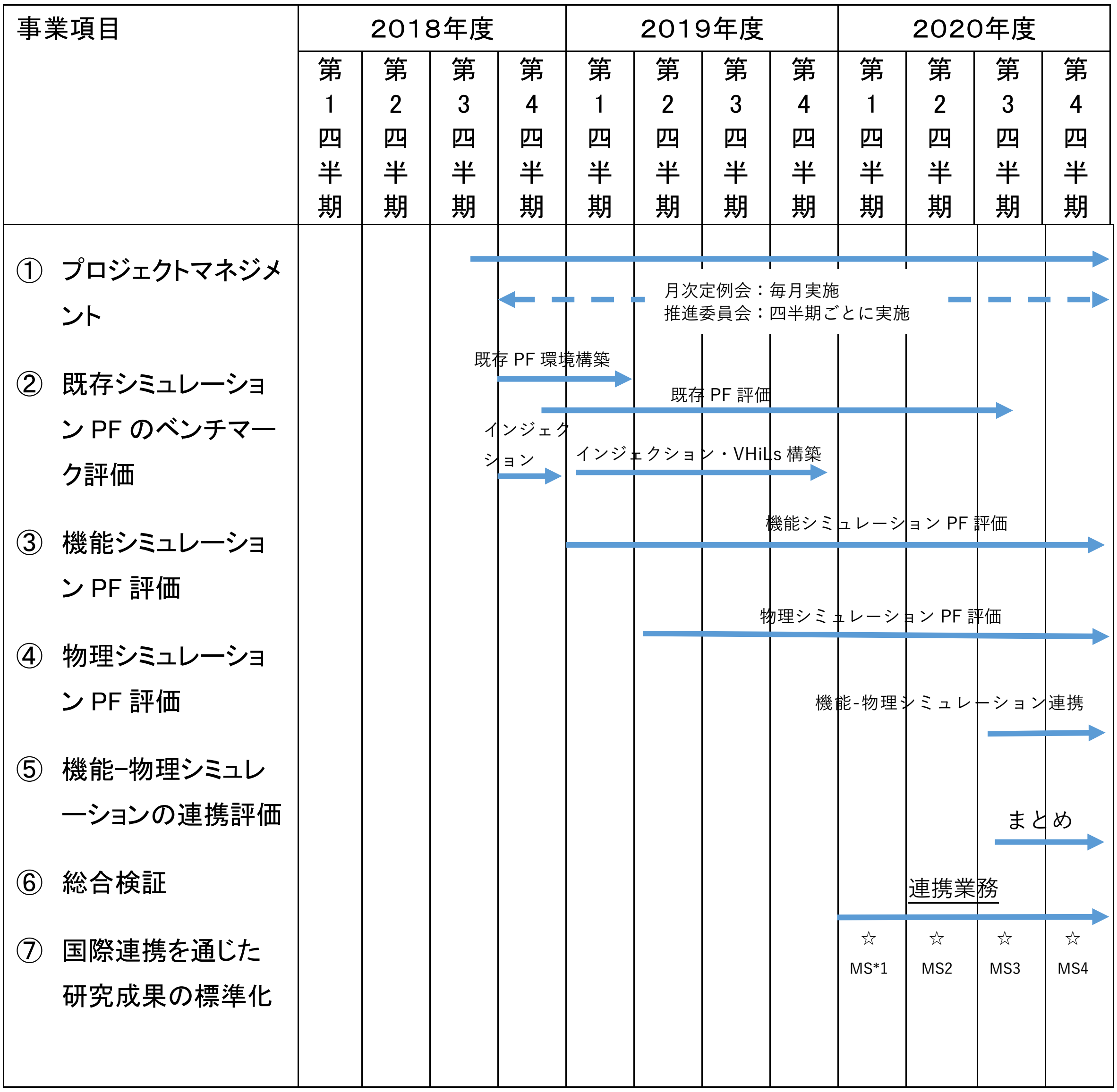
■ 事業概要

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、ミリ波レーダー、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。

本研究開発の成果について、日独間の連携プロジェクト VIVID(German Japan Joint Virtual Validation Methodology for Intelligent Driving Systems)へ参加し、DIVP®を国際的に競争力のある評価環境とすべく国際的な標準化を目指す。

■ 実施計画



*MS:Mile stone

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ プロジェクト全体の取りまとめ、円滑な運営を支援 ➢ PF結合検証を中心に開発成果の整理(Gitサーバ等) ➢ Open/Closed Loop Simの検証し、自動運転向けセンサシミュレーション評価を可能としたカメラHiLSの環境構築
成果を支えた要諦	■ 各パートの専門企業/専門家を集めたことにより、課題解決が円滑に行える ■ 設備導入に十分な予算があり、実験・検証が効果的・効率的に実施できた高性能PC、ダミー車両など ■ ベンチマークにも重点を置き、研究開発の方向性決定や優位性評価が客観的にできた
評価	■ コロナ影響により一時的な遅延があったが、優先度の調整などにより計画通りの成果が示せた

成果の価値

成果の価値評価	■ 世界的に見て優位のある一致性検証がされたセンサSim PFでありかつ、OEM・センサメーカといった具体的な想定ユーザの意見も取り入れた有効性の高い技術開発ができている。 ■ 特許性がある実機カメラ評価環境を構築出来た
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 開発環境を構築してシミュレーション動作を可能に、関係各社によるシミュレーション評価を可能にした。今後はサービスに向けた実装をユニシスと進める
残課題・今後への期待値	■ センサ不調条件の拡張 ■ 評価手法の標準化 ■ ユーザのPF活用に向けた不足分の研究開発他Sim連携、評価シナリオDBの整備・接続

Figure 57 研究開発の成果

令和元年度までに、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、国際連携を通じて決定した。また、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。これにより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。その他、DIVP®の活用先であるカメラセンサーにおける HiLS(Hardware-in-the-loop Simulation)の検討を進めてきた。

本年度は、前年度に引き続き OEM やセンサーメーカとの定期的な意見交換を通じて、有効性の高い技術開発ができた。また、物理シミュレーション PF ではセンサー不調条件や実路環境での評価を通じて知見およびデータを蓄積できた。その他、HiLS に関しては、特許性のある実機カメラ評価環境を構築した。

次年度は、ユーザーの PF 活用に向けた不足分の研究開発、他 Sim との連携、評価シナリオ DB の整備、評価手法の標準化を目指す。

(2)令和2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ージメントとして、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）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。

令和 2 年度中における各種会議体への研究報告資料の作成、ピアレビュー及び年度末における成果報告の作成を行った。

2020 年 2 月で 2018 年からの研究開発が一旦終了してしまうため、これまでの成果の振り返りを基に劣後していた DB 構築等の事業を追加した継続の研究計画を提案、2021 年 9 月迄の事業期間延長の実施計画書を作成した。

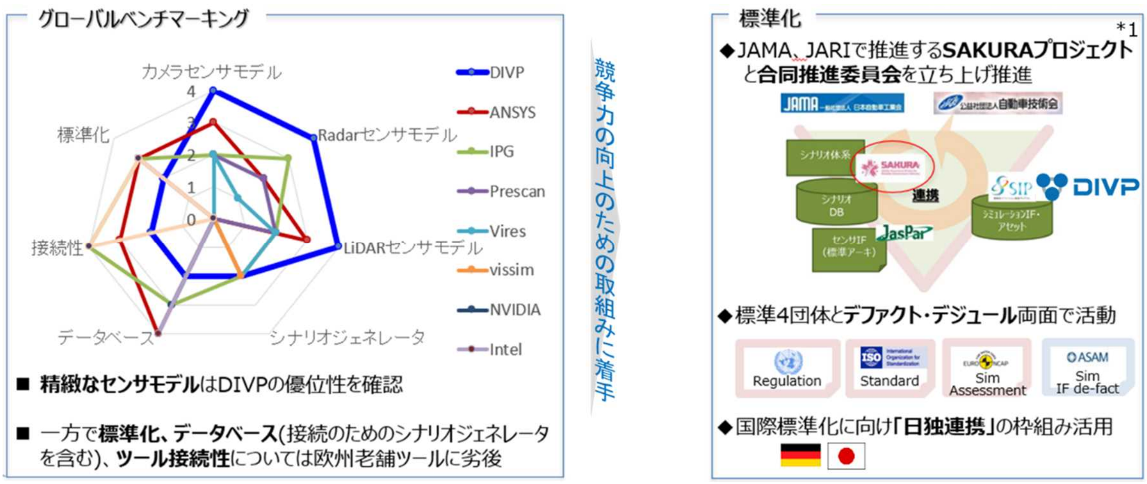


Figure 58 グローバルベンチマーク結果

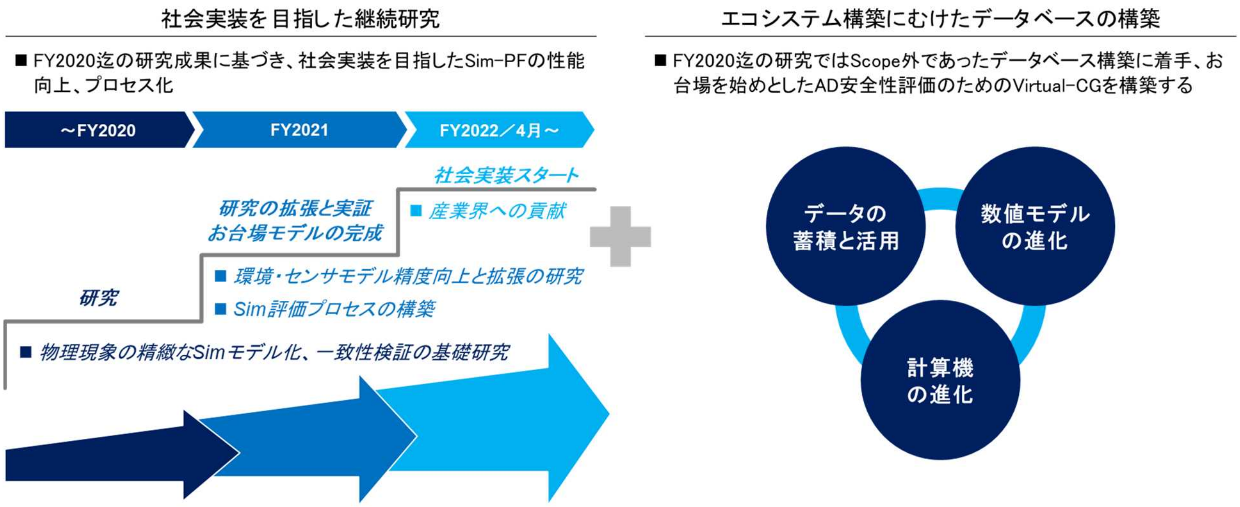


Figure 59 2021 年以降の研究計画

② 既存シミュレーション PF のベンチマーク評価

■ベンチマーク対象とする既存シミュレーション PF

Table 11 にベンチマーク対象とする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 11 ベンチマーク対象とする既存シミュレーション PF

メーカー	シミュレータ名称/バージョン	調査対象	選定理由
IPG Automotive	CarMaker/9.0	センサーモデル 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 /2020.1	センサーモデル	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	センサーモデル	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
ANSYS	VRXPERIENCE /2020 R2	センサーモデル	カメラモデルを中心に物理モデルに注力している

■ ベンチマーク結果

➢ センサーモデルのベンチマーク結果

センサーモデルの調査対象として、DIVP®で構築するカメラモデル、LiDAR モデル、ミリ波レーダー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 12 に、LiDAR モデルについての結果を Table 13 に、ミリ波レーダーモデルについての結果を Table 14 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ー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、表での結果は調査の時点で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「×」、調査中のものを「※」として評価している。ここで、VIRES Virtual Test Drive(VTD)の LiDAR モデル、レーダーモデルはサンプルモデルを用いた結果を示している。

Table 12 カメラモデルのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP®	CarMaker 9.0	PreScan 2020.1	VIRES VTD 2.2.0	ANSYS VRX 2020 R2
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)	○	×	×	△	○
センサー	車両挙動による影響	○	△	△	△	△
センサー	温度特性による影響	×	×	×	×	○
センサー	センサーの経年劣化の影響	×	×	×	×	×
センサー	レンズ歪み	○	○	○	○	○
センサー	フレア	×	×	×	×	×
センサー	ゴースト	×	×	×	×	×
センサー	付着物による影響	○	△	×	×	×

Table 13 LiDAR モデルのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP®	CarMaker 9.0	PreScan 2020.1	VIRES VTD 2.2.0	ANSYS VRX 2020 R2
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	ビームの広がり	○	○	※	※	×
伝達	空間中での散乱(＝減衰)	○	×	○	×	△
センサー	自光源	○	×	×	×	○
センサー	レンズ歪み	○	○	○	○	○
センサー	フレア	×	×	×	×	×
センサー	ゴースト	×	×	×	×	×
センサー	付着物による影響	○	△	×	×	×

Table 14 ミリ波レーダーモデルのベンチマーク結果

現象区分	現象	DIVP®	CarMaker 9.0	PreScan 2020.1	VIRES VTD 2.2.0	ANSYS VRX 2020 R2
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	ドップラー	○	○	○	×	○
伝達	マイクロドップラー	○	×	○	×	※
センサー	自光源(変調方式の再現)	○	○	○	×	○
センサー	車両挙動による影響	○	△	△	△	△
センサー	温度特性による影響	×	×	×	×	×
センサー	センサーの経年劣化の影響	×	×	×	×	×
センサー	付着物による影響	×	×	×	×	×
センサー	内部反射	×	×	×	×	×

➢　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 15 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、センサー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 15 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 9.0	VRX 2020 R2
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	CL
制御対象（オープン）				
	自車	M C L	M C L	CL
	他車	M C L	M C L	CL
	歩行者	C	C	C
	自転車	C	C	C
	NCAP ダミー	検討中	×	C
	その他（動物等）	C	C	C
制御対象（クローズ）				
	自車	M C L	C L	CL
	他車	M C L	C L	CL
	歩行者	C	×	×
	自転車	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®のセンサーモデル全般に対して、既存シミュレータと異なる点は、Table 14 を見てわかるように、多数の項目でセンサーモデルに関わる現象の影響に対応していること、また、それらの現象に対して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 12 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、物体表面の経年劣化の影響、Fr ガラスへの付着物による影響（雨粒）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。

LiDAR モデルについて、Table 13 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。光の反射特性など物標の物性値を実測検証によりモデル化し実装していることも DIVP®の優位性であると考えられる。

ミリ波レーダーモデルについて、Table 14 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。

➢ 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について、Table 15 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 で対応している。

③ 機能シミュレーション PF 評価

昨年度構築したクローズドループが可能なシミュレーション PF 環境が真値センサーを用いた車両制御システムであったのに対し、各センサー認識のフュージョン出力を用いた車両制御システムが評価できるクローズドループとするために以下のモデルの変更/追加を実施した。(Figure 60)

■ B パート カメラ知覚モデルを実機をモデル化した知覚モデルに変更
■ B パート カメラ認識モデルを知覚モデルに対応した認識モデルを追加
■ C パート フュージョンモデルをカメラ＋LiDAR、カメラ＋ミリ波の 2 種センサー出力を用いたセンサーフュージョンが可能なモデルに変更
■ C パート 運動制御モデルを市販の車両挙動 Sim(CarMaker)との Co-Simulation 連携に変更

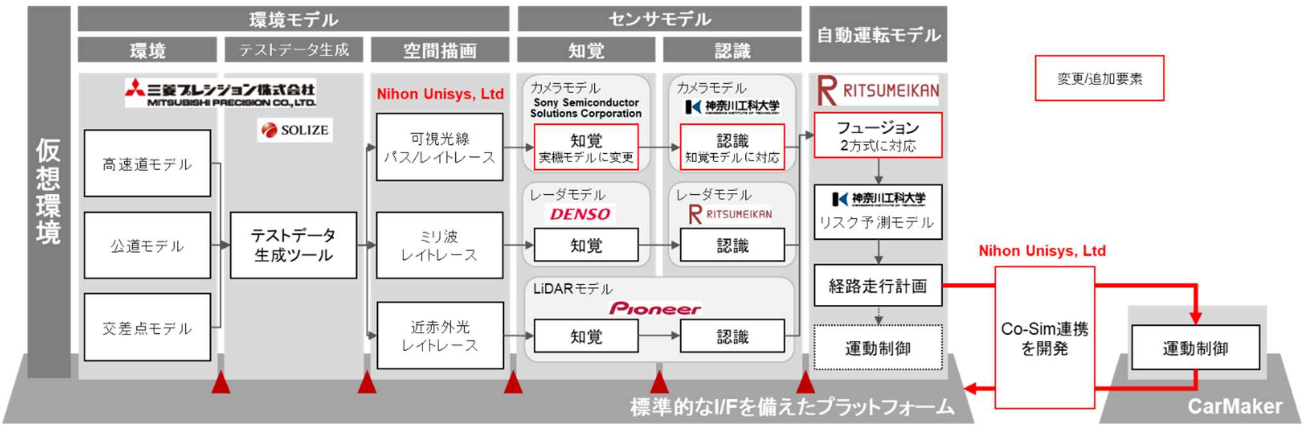


Figure 60 クローズドループ環境の変更点

構築したクローズドループ環境において NCAP 歩行者飛出しシナリオの動作を確認した。本検証結果は⑤機能-物理シミュレーションの連携評価にて報告する。

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 の評価を実施した。

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、MAP やアセットに対するセンサーモデルの知覚/認識出力の結果を確認。

センサー固有の認識不調をシミュレーションで再現可能かを検証し、再現困難な場合は各担当へフィードバックし修正・改善を行った。

また、物理シミュレーション PF(DIVP®)の機能拡張内容を Table 16 へ示す。

Table 16 物理シミュレーション PF(DIVP®)機能拡張対応表

Ver	リリース内容	環境モデル	センサモデル	自動運転モデル
V0.1	結合評価用PF（初版）	•MAP　Jtown再現	•全センサ（Camera,Radar,LiDAR）ベースモデルを結合	ー
V0.2	事前検証用PF	•アセット追加 •アルファード	•RadarセンサモデルのCUDA化（距離・速度FFT）	•正解値センサによるリファレンス自動運転モデル構築
V0.3	基本検証用PF	•MAP　Jtown（10cm刻み）再現 •天空光　曇天、薄曇りを再現 •アセット追加 •NCAP歩行者・自転車ダミー •アルファード内装にパーツ追加（フロントガラス、ミラー等）	•機能追加 •Camera空間描画をIMX490相当へ変更 •LiDAR空間描画のOptixライブラリモデルの追加 •Radar空間描画をPO近似モデルに変更	•Camera/Radar/LiDARの認識モデルを結合
V0.4	ー	•シナリオ座標系を右手系に統一	•LiDAR空間描画の更新（車両位置補間など）	•外部車両モデル連携機能追加（CarMaker連携）
V0.5	NCAP, ALKS検証用PF	•JARI特異環境試験場 再現 •天空光　2020年9月12日　晴れ、薄曇り、曇り　追加 •アセット追加 •GST(NCAPダミー車両）、 •NCAPダミー車両バルーン •アルファード黒　（ターゲット、障害物用）	•Sony製カメラ　IMX490モデルが動作可能（SSS様からモデル提供の必要あり）	•認識モデル含めた自動運転モデル環境構築
V0.6	センサ不調評価用リリース	•アセット追加 •アルファード（光源） •プリウス（光源、黒） •NCAPダミー人形（黒革） •マンホール、段ボール •夜間NCAP用街灯	•PSSI製LiDARモデルが動作可能（PSSI様からモデル提供の必要あり）	ー
V0.7	首都高C1/お台場拡張性評価用リリース	•MAP　首都高C1/お台場　再現 •天空光　2020年11月25日　晴れ、薄曇り、曇り 追加 2020年12月23日　晴れ、薄曇り、曇り　追加	•LiDAR反射率に鏡面反射成分を追加	ー

以下に物理シミュレーション PF(DIVP®)の各 Version 毎における実施内容を示す。

<V0.1/V0.2>

結合評価用 PF/事前検証用 PF(一致性検証用シナリオ)の評価

※詳細は令和元年度「SIP 年度末報告書」を参照。

〈V0.3/V0.4〉

基本検証用 PF の評価

10cm 刻みの高精度 Jtown マップ、天空光に薄曇り・曇りを追加、NCAP 歩行者ダミー/NCAP 自転車ダミー、アルファード内装パーツ（フロントガラス、ミラー）のアセットを追加し、センサー不調の再現シーン拡大に向け機能拡張を実施した。

基本検証として、Camera/Radar/LiDAR の知覚モデルと認識モデルを接続し、結合評価を行える環境を構築した。結合システムの機能イメージは Figure 61 を参照。

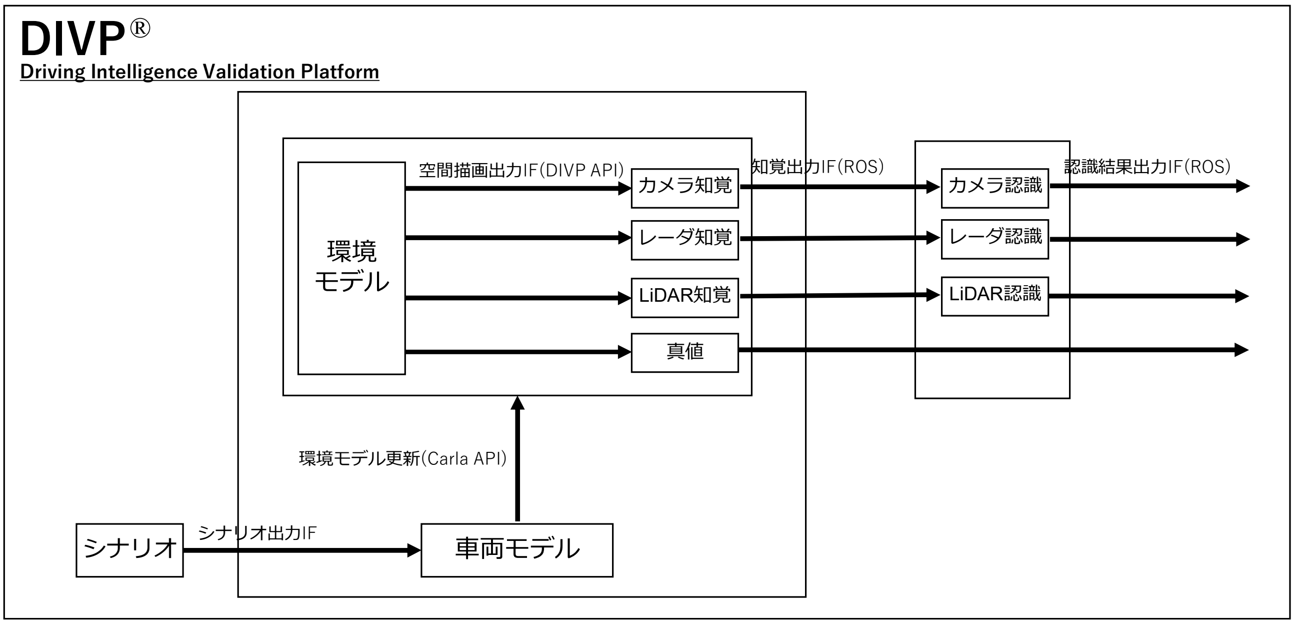


Figure 61 認識モデル結合環境機能構成図

また、IPG 社の CarMaker とシミュレーション PF（DIVP®）の連携シミュレーション可能な機能を追加し、結合評価を行える環境を構築した。結合システムの機能イメージは Figure 62 を参照。

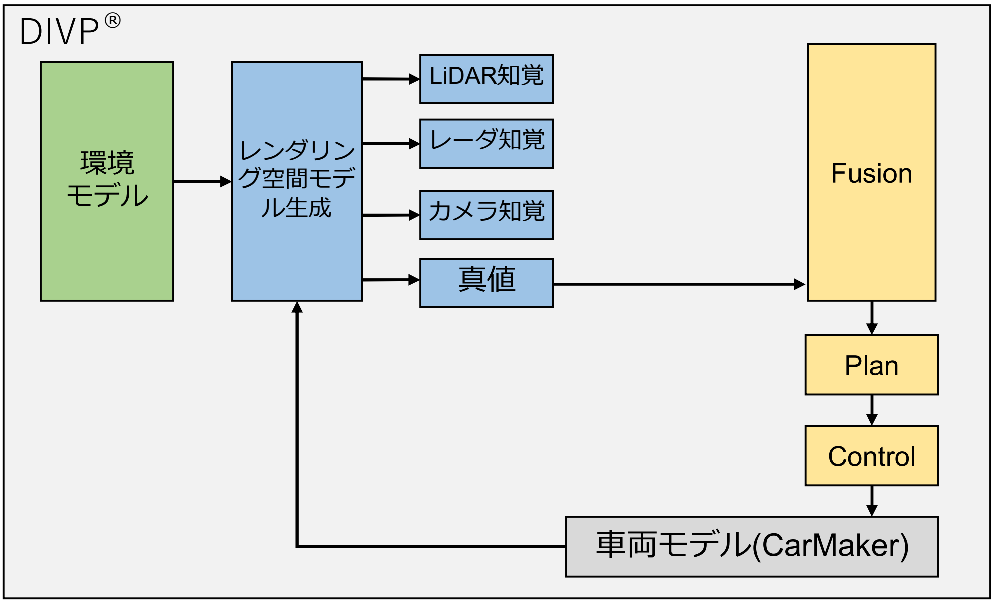


Figure 62 クローズドループシミュレーションの機能構成イメージ

センサーモデル機能としては以下の機能を追加。

・Camera 空間描画を Sony 製カメラ IMX490 相当へ変更し、カメラモデル拡充対応を実施。

・LiDAR 空間描画機能を Optix 化し、シミュレーションの高速化（13.8 倍）を可能とした。

・RADAR 空間描画を PO 近似モデルに変更し、ミリ波モデルのシミュレーション精度向上を可能とした。

UnrealEngine4 の座標系が特殊な座標系(X/Y/Z:左手系、Roll/Pitch:右手系、Yaw:左手系)であり、実測データからのシナリオ作成や他シミュレーションとの連携において、課題となってくるため、座標系を右手系に統一した。

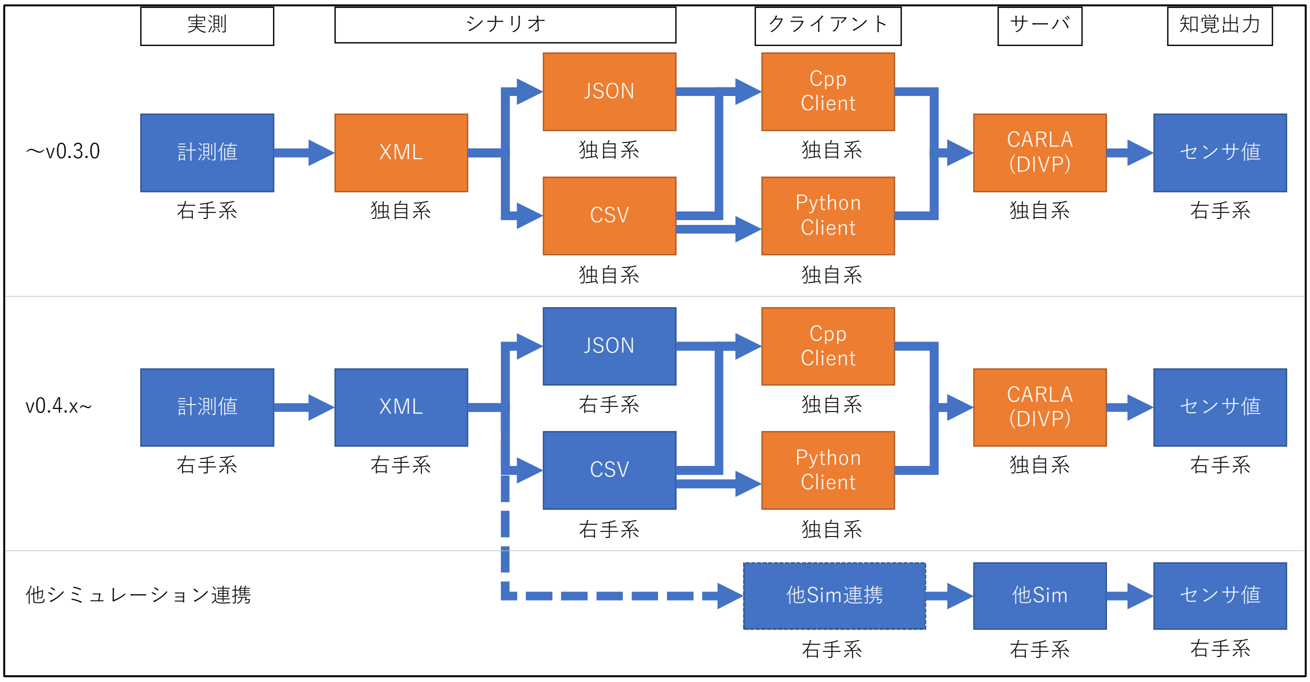


Figure 63 シナリオ座標系

<V0.5>

NCAP, ALKS 検証用 PF

日本自動車研究所(JARI)の特異環境試験場の MAP を追加、併せて 2020/9/12 の晴れ、薄曇り、曇りの天空光を機能追加した。

NCAP、及び ALSK の検証用に NCAP ダミー車両と NCAP ダミー車両バルーン、ターゲット車両/障害物としてアルファード(黒色)のアセットを追加。

また、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社より提供頂いた Sony 製カメラ IMX490 をセンサーモデルとして追加した。

(Sony 製カメラ IMX490 モデルを使用する場合は別途ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社様より提供頂く必要有り)

更に自動運転モデルとして、各センサー(Camera, Radar, LiDAR)の認識モデルを含めた自動運転モデルを構築した。結合システムの機能イメージは Figure 64 を参照。

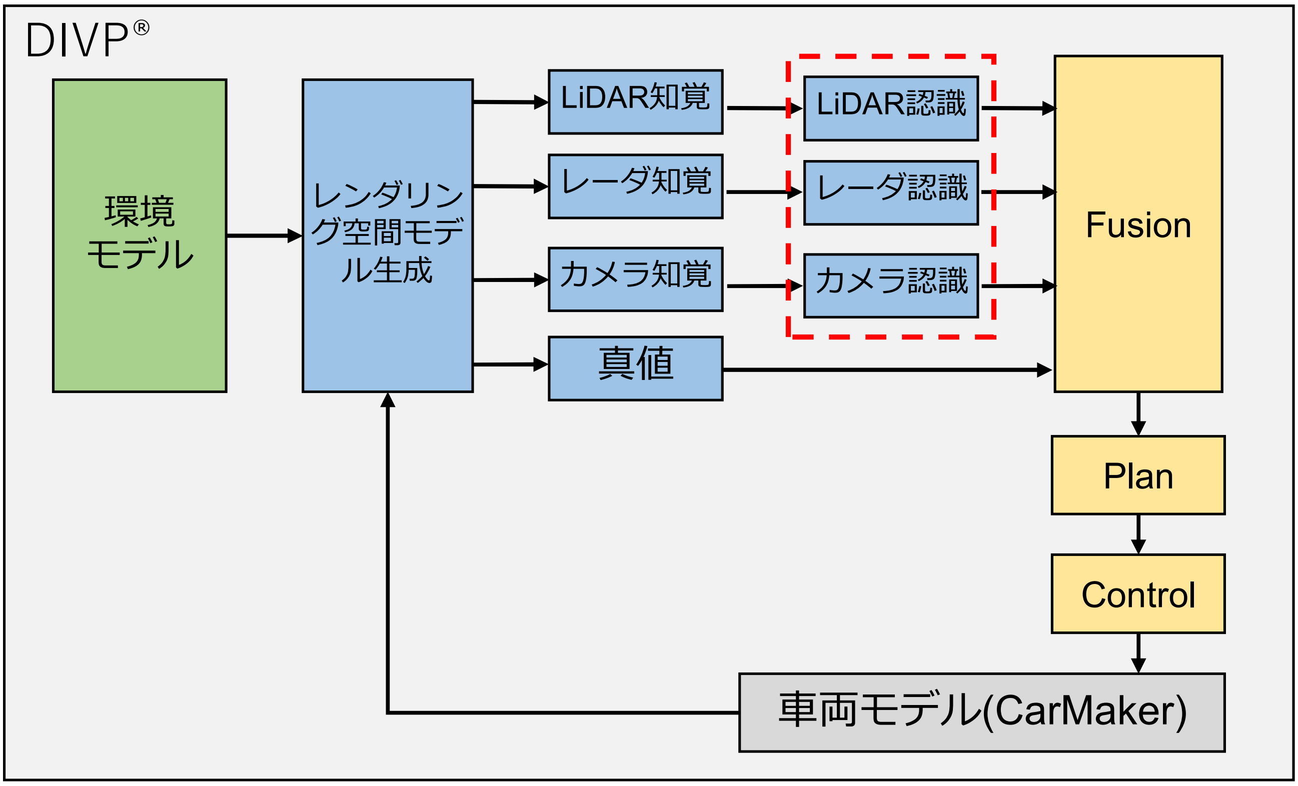


Figure 64 各センサー（Camera, Radar, LiDAR）の認識モデル含めた

クローズドループシミュレーションの機能構成イメージ

<V0.6>

センサー不調評価用 PF

各センサー（Camera, Radar, LiDAR）の不調評価向けに、アルファード（フロントライト追加） 、黒プリウスとプリウスにリアライト機能追加、NCAP ダミー人形（黒革）、マンホール、段ボール、夜間 NCAP 用街灯のアセットを追加した。

また、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様より提供頂いた PSSI 製 LiDAR モデルをセンサーモデルとして追加した。

（PSSI 製 LiDAR モデルを使用する場合は別途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様より提供頂く必要有り）

センサー不調評価用 PF の結合評価環境の構築を実施。アルファードのヘッドライト明るさが実機よりも暗い現象が判明した為、ヘッドライトの強度を 20 倍にしたシミュレーション結果（Figure 65 参照）の確認、Low ビーム時と High ビーム時で路面への照射位置に差が無い現象（Figure 66）を確認した。

アルファードのヘッドライトの明るさや High/Low ビームの照射位置の課題については、配光特性が正しく計測出来ていない可能性があり、令和 3 年度以降に再測定し、改善を目指す計画である。

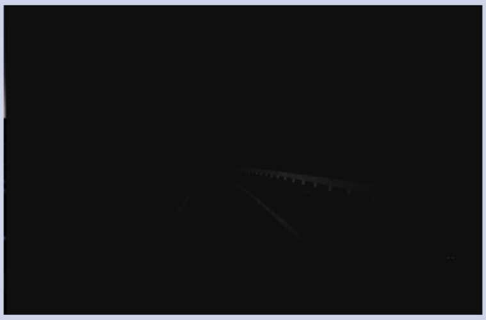
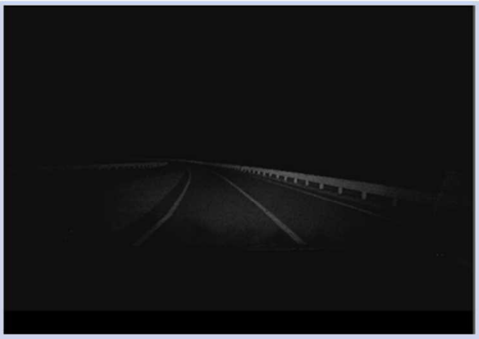
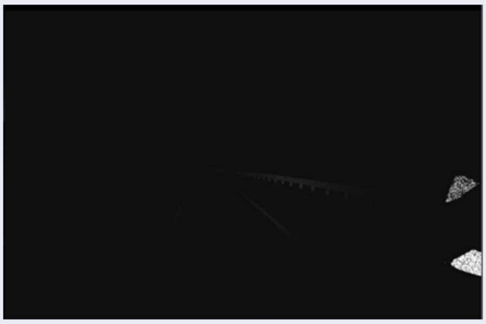
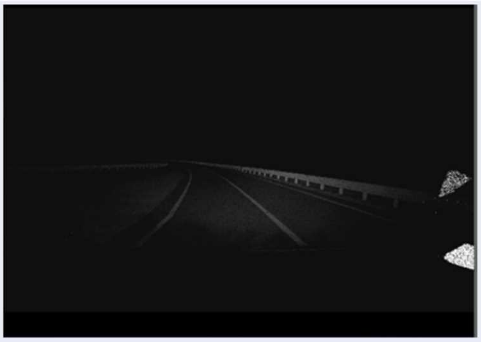
	ヘッドライト明るさ（通常）	ヘッドライト明るさ（20倍）
Low ビーム		
High ビーム		

Figure 65 ヘッドライトの強度を 20 倍にしたシミュレーション結果

	PRIUS　20cm前	PRIUS　1m前
Low ビーム		
High ビーム		

Figure 66　High ビームと Low ビームのシミュレーション結果

<V0.7>

首都高 C1/お台場拡張性評価用 PF

首都高 C1/東京臨海副都心台場（南/北）の MAP モデル、及び 2020/11/25(11:00～17:00,19:00,20:00)と 2020/12/23(7:00～16:00)の晴れ/薄曇り/曇りの天空光機能追加した。

また、LiDAR 反射率に鏡面反射成分を追加し、LiDAR モデルの機能追加を実施した。

首都高 C1/東京臨海副都心台場（南/北）での各センサー（Camera, Radar, LiDAR）結合評価環境の構築を行った。結合評価環境構築において、東京臨海副都心台場　北エリアのシミュレーションでは GPU メモリが 30GB 以上消費されるため、物理シミュレーション検証用高速計算機に RTX8000（GPU メモリ：48GB）を用いた。

物理シミュレーション検証用高速計算機の環境情報を以下に示す。

Table 17 物理シミュレーション検証用高速計算機　環境情報

環境	物理シミュレーション検証用高速計算機
OS	Ubuntu 18.04
UnrealEngine	UnrealEngine 4.21
CARLA	0.9.5
CARLA(ros-bridge)	0.9.5.1
ROS	ROS Melodic Morenia
CPU	Intel Core i9-10900K CPU @3.70GHz　×　20
メモリ	62.7 GiB
GPU	GeForce RTX 8000 GPU メモリ：48GB
GPU Driver	440.95.01
CUDA	10.2

首都高 C1/お台場拡張性評価用 PF の結合評価の一例を Figure 67、Figure 68、Figure 69 に示す。

■首都高 C1　内回り　浜崎橋 JCT から江戸橋 JCT へ走行しているシーン

■カメラモデル：SONY 製 IMX490 モデル　ミリ波モデル：T 社モデル

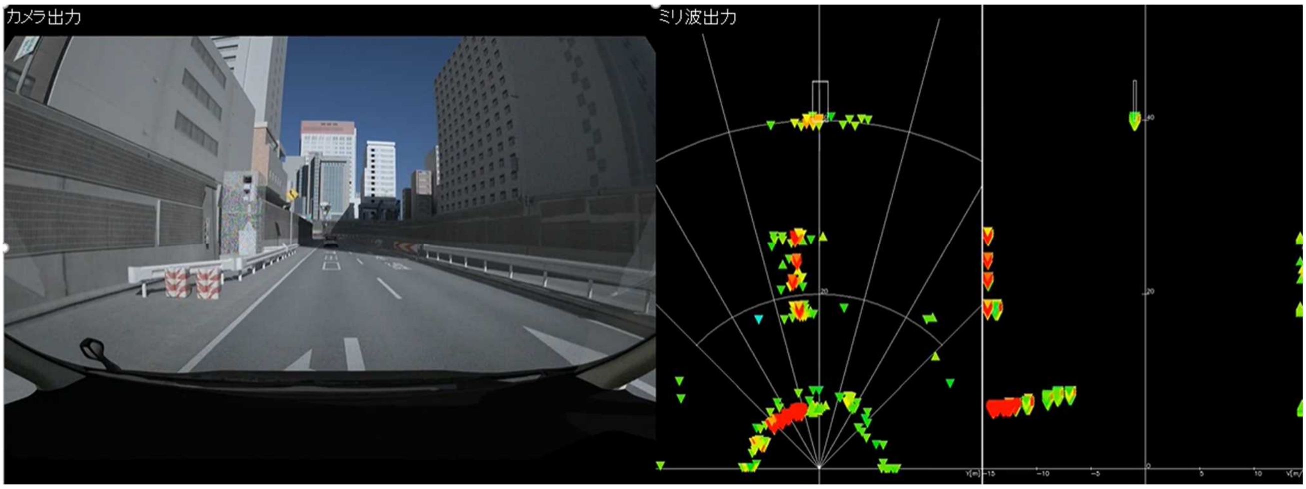


Figure 67　首都高 C1 のカメラ/ミリ波出力結果

■首都高 C1　内回り　浜崎橋 JCT から江戸橋 JCT へ走行しているシーン

■LiDAR モデル：V 社モデル

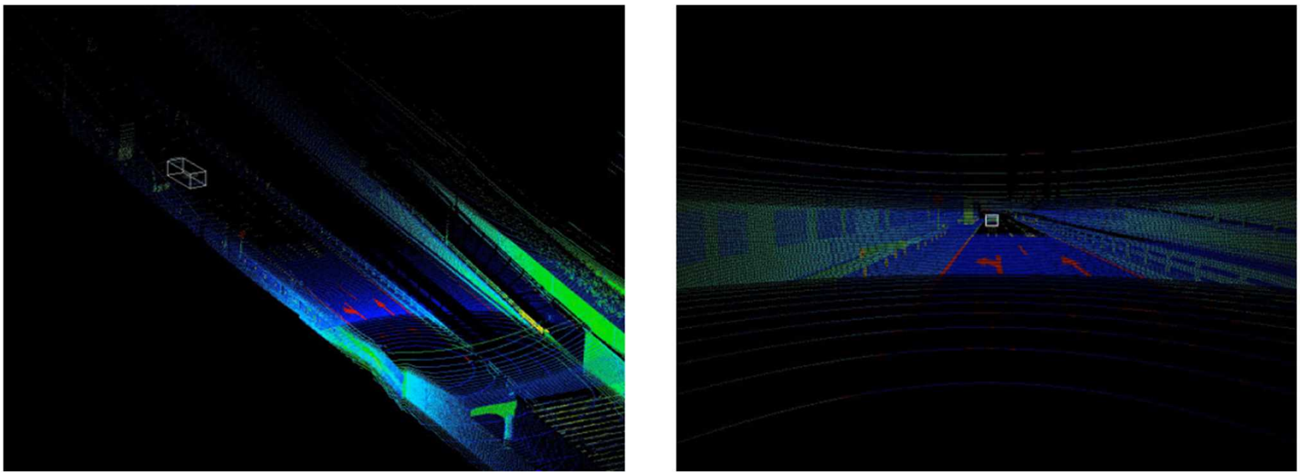


Figure 68 首都高 C1 の LiDAR 出力結果

■東京臨海副都心台場　南エリア　青海縦貫道をテレコムセンター方向へ北上走行しているシーン

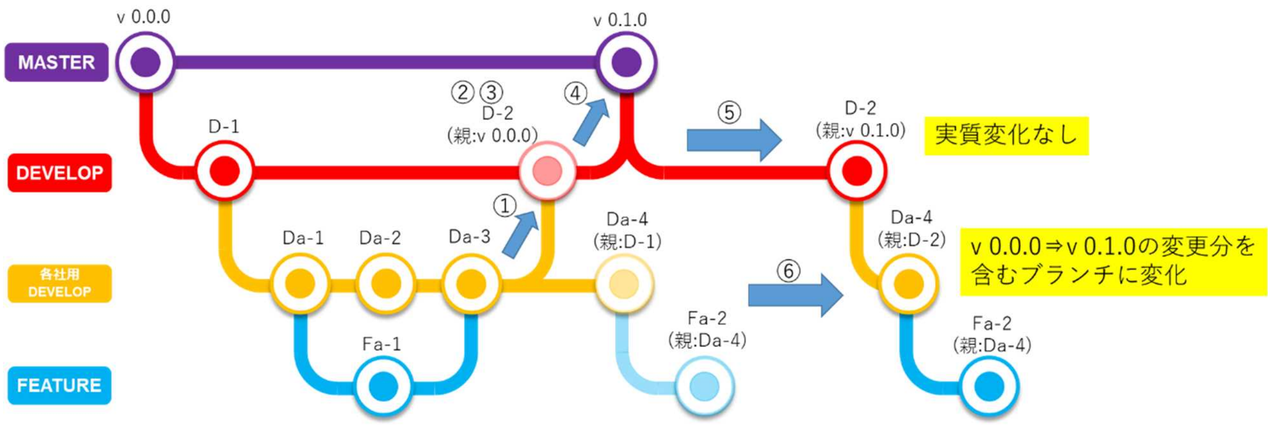
■カメラモデル：SONY 製 IMX490 モデル

Figure 69 東京臨海副都心台場 南エリアのカメラ出力結果

■ プラットフォーム開発を効率的に進めるため、2020 年度より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。(Figure 70) 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、効率的なプラットフォーム開発を推進した。(Figure 71)

出所：神奈川工科大学

Figure 70 KAIT ファイルサーバ



手順	担当	内容	期日
①	各社	各社用DEVELOPをDEVELOPへマージ	④予定日の2週間前
②	日本ユニシス	DEVELOPのコンパイル確認	-
③	KAIT	DEVELOPの動作確認	-
④	KAIT	MASTERの更新（DEVELOPをMASTERへマージ）	-
⑤	KAIT	DEVELOPのブランチし直し	-
⑥	各社	各社DEVELOPを新DEVELOPでリベース or 新DEVELOPから各社DEVELOPのブランチし直し	⑤完了後すみやかに

Figure 71 ソースコード管理フロー

■カメラ HiLS システム構築

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 72 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 HiLS(Hardware-in-the-loop Simulation)も必要であると考えている。HiLS の一環として、センサーモデルの中の「カメラ知覚」および「カメラ認識」を対象に、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®の知覚情報の一致性を検証した。ここでは、仮想世界の DIVP®から出力されるカメラ用パス／レイトレース情報を、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 72 カメラ HiLS 構成

本 HiLS のスクリーンおよびプロジェクタ架台の構成表を Table 18 に示す。また、スクリーンの設計図を Figure 73 に示す。評価用カメラの撮影範囲をカバーし、かつ、車両の出し入れがしやすい構造にした。

Table 18 HiLS 構成表

品名	項目名	項目内容
スクリーン	素材	FRP（繊維強化プラスチック）
	表面	ホワイトマット
	曲率	SR1500ｍｍ
プロジェクタ架台	素材	アルミトラス

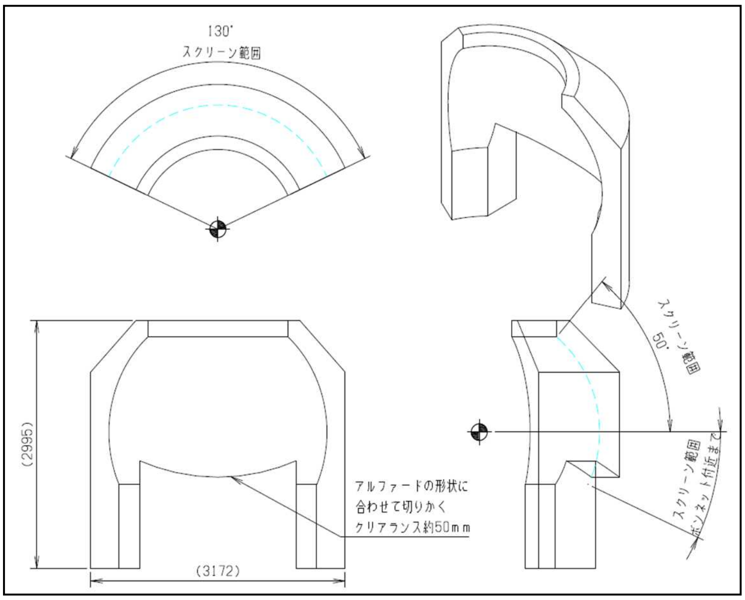


Figure 73 スクリーン設計

次に、プロジェクタ架台の設計図を Figure 74 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ようになっている。

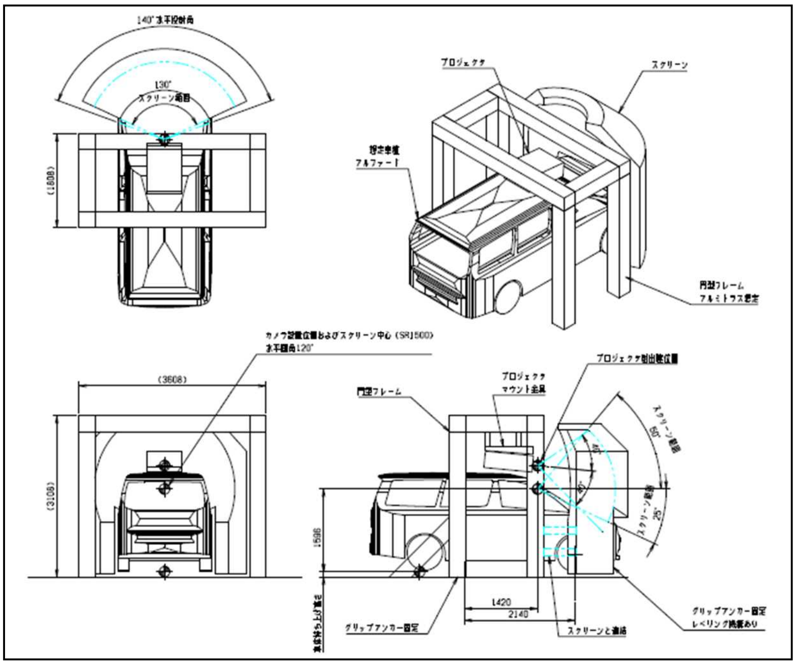


Figure 74 プロジェクタ架台設計

上記設計に基づく、スクリーンおよびプロジェクタ架台の完成形をそれぞれ Figure 75 と Figure 76 に示す。

Figure 75 スクリーン

Figure 76 プロジェクタ架台

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®の知覚情報の一致性の検証フローを Figure 77 に示す。まず、評価用のシナリオを作成し、DIVP®のシミュレーションを実行する。シミュレーションでの知覚出力結果と、実際にスクリーンに投影して撮影したカメラ実機での知覚出力結果を比較する。

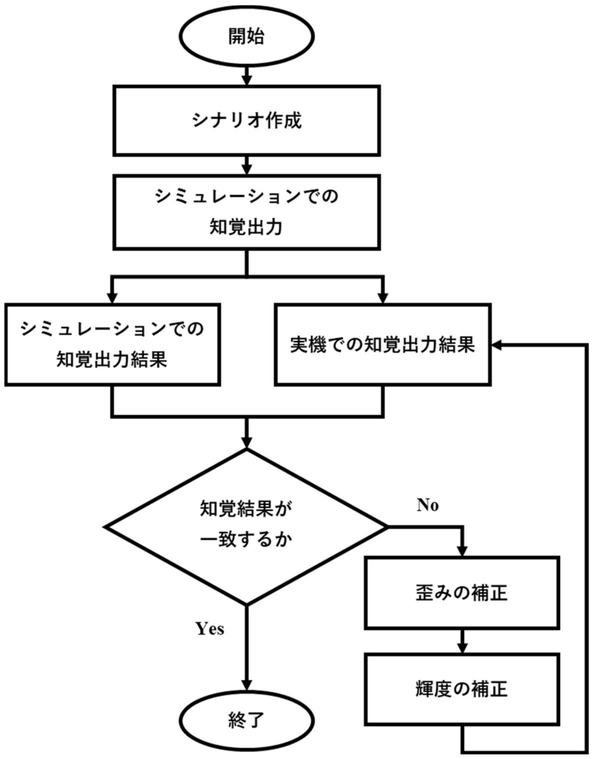


Figure 77 知覚検証フロー

■歪み補正

シミュレーションでの知覚出力結果と現実世界の車両に搭載されたカメラ実機で撮影した映像の間には歪み誤差が生じる。そのため、歪み補正を行う必要がある。歪み補正の作業工程を Table 19 に示す。

Table 19 歪み補正の作業工程

Phase	概要
1	画像データ(クロスハッチ)から交点情報を検出
2	交点情報から誤検出箇所を削除
3	交点情報に上下左右の隣接点情報を付加
4	交点情報に上下左右の歯抜け情報を付加
5	交点情報を読み込み歪み補正(射影変換)
6	歪み補正後の画像データから交点情報を検出
7	歪み補正の一致性を検証

歪み補正を行うためにあたって、1° 単位のクロスハッチを準備した。Figure 78 の左側がカメラ実機で撮影した補正前、Phase1、Phase5 それぞれの出力結果で、右側がシミュレーション上での補正前、Phase1、Phase5 それぞれの出力結果である。

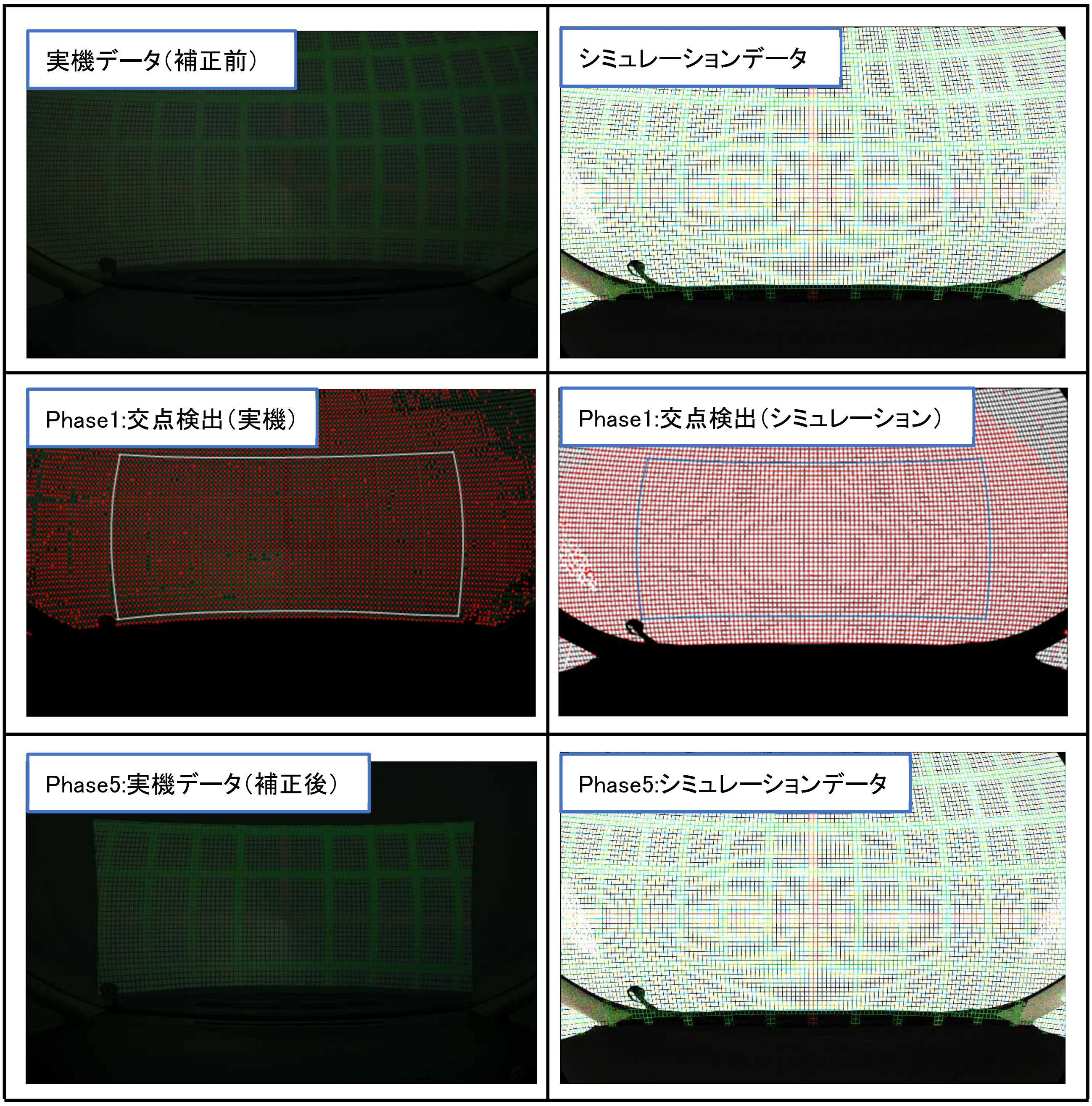


Figure 78 歪み補正

オープンソース画像処理ライブラリ OpenCV の library 機能である cv2.cornerHarris を使用して交点情報を取得。誤検出交点箇所の削除や、上下左右の隣接点、歯抜け情報を付加した後、cv.findHomography を使用して射影変換を実行。射影変換後に撮影した実機データとシミュレーションデータにおいて、四隅と中心の特徴点について誤差を評価。なお、cv.findHomography を使用した射影変換では、以下の 3 手法が指定可能であり、各手法での誤差を評価した。

・NORMAL：点の組をすべて利用する通常の手法

・RANSAC：RANSAC アルゴリズムに基づくロバストな手法

・LEMDS：LMedS 推定(Least-Median)によるロバストな手法

以上の 3 手法それぞれの出力結果・実機データとシミュレーションデータについて、誤差を評価した特徴点をFigure 79 に示す。

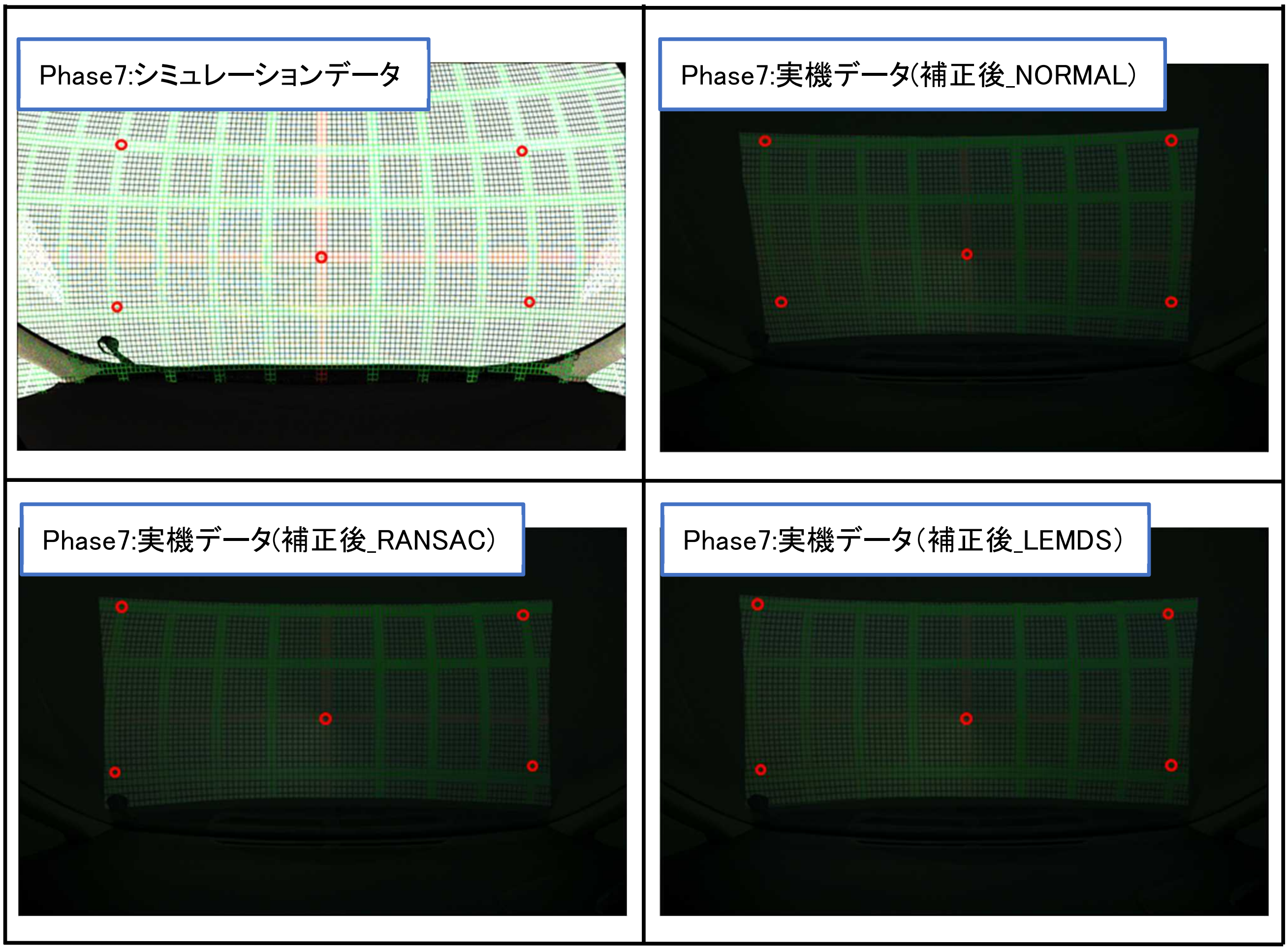


Figure 79 歪み補正後の出力結果と比較箇所

各手法における誤差を Table 20 に示す。RANSAC のロバスト推定のアルゴリズムを用いた補正が最もシミュレーションに近い結果となった。

Table 20 歪み補正結果

位置	補正前	補正後(NORMAL)	補正後(RANSAC)	補正後(LEMDS)
左上	37	41	22	26
左下	41	17	16	113
中心	52	24	24	25
右上	46	20	9	61
右下	35	15	10	10

（単位:ピクセル）

■輝度補正

シミュレーションでの知覚出力結果と現実世界の車両に搭載されたカメラ実機で撮影した映像の間には輝度差が生じる。そのため、輝度補正を行う必要がある。輝度補正の作業工程を Table 21 に示す。

Table 21 輝度補正の作業工程

Phase	概要
1	画像データからピクセル単位の RGB 情報を取得
2	グラフ化によりゲイン誤差とオフセット誤差を算出
3	ゲイン誤差とオフセット誤差より輝度補正
4	輝度補正後の画像データからピクセル単位の RGB 情報を取得
5	輝度補正の一致性を検証

RBG それぞれの輝度の比較結果を Figure 80 に示す。横軸がシミュレーションの輝度および bit 深度で、縦軸がカメラ実機で撮影した映像の輝度および bit 深度である。本 HiLS 装置は全体的に暗くなる傾向にあるため、約 2^3 倍の輝度補正が必要となる。

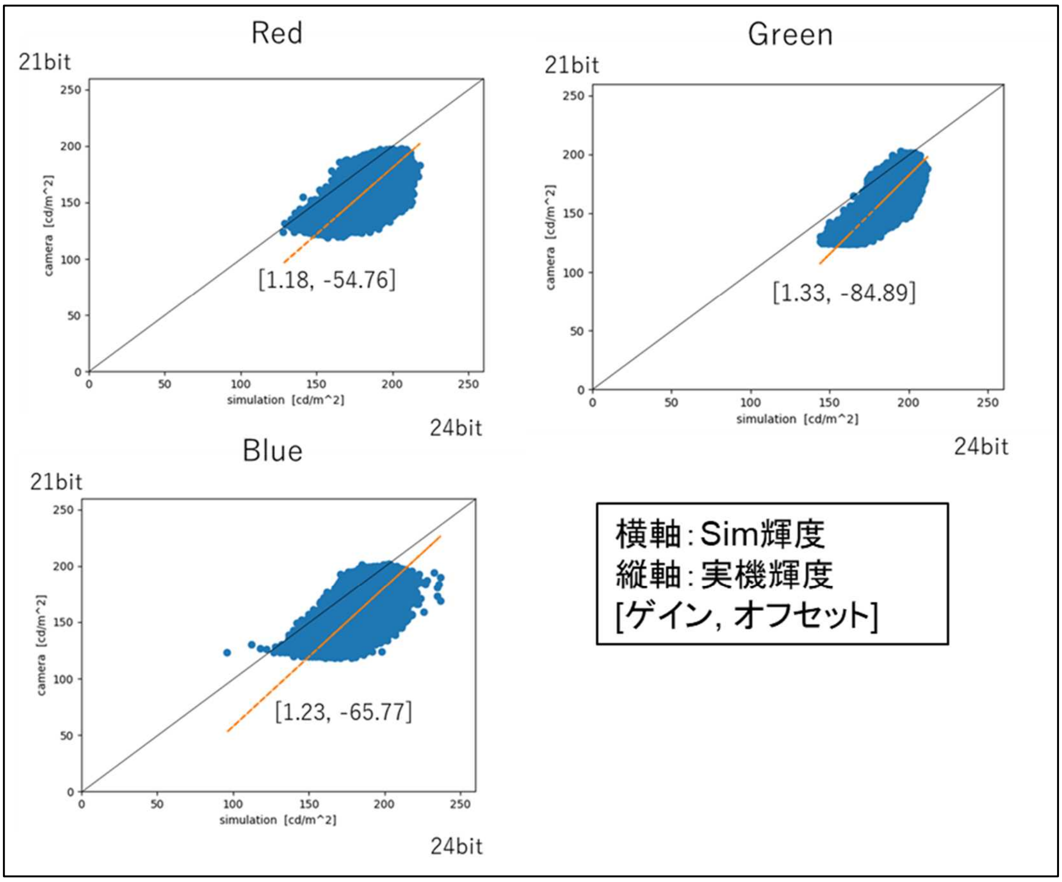


Figure 80 輝度比較

具体的にはスクリーン投影用映像の各ピクセルの RGB に対して、以下の補正式を適用した。

・Red：(入力値) $* 2^3$ / 1.17748 + 30

・Green：(入力値) $* 2^3$ / 1.33405 + 30

・Blue：(入力値) $* 2^3$ / 1.23260 + 30

輝度補正後の出力結果を Figure 81 に示す。

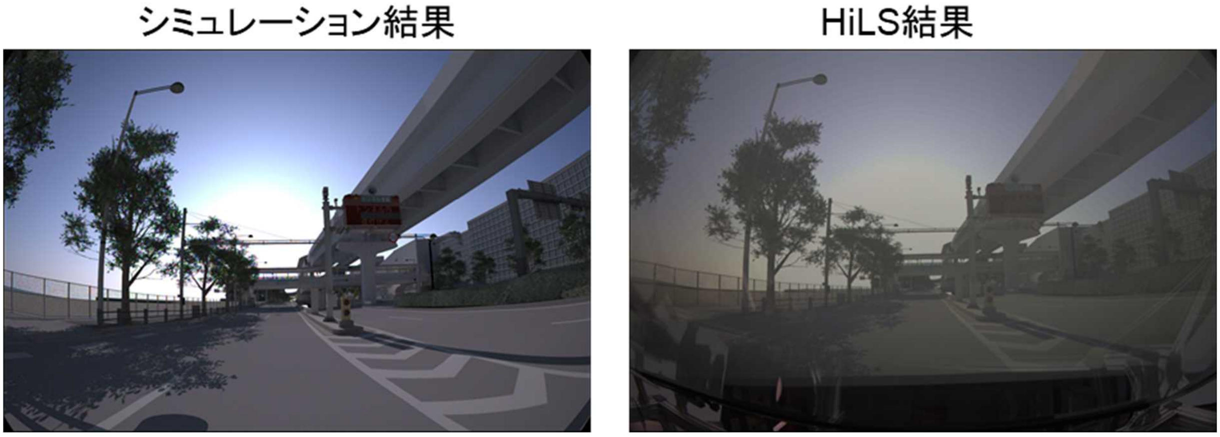


Figure 81 輝度補正後の画像比較

本 HiLS では DIVP®のシミュレーション結果を、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、その映像をカメラで撮影する流れとなっており、歪み誤差や輝度誤差が生じる。そのため今後 HiLS を用いた認識検証等を行う際、前述の RANSAC のロバスト推定のアルゴリズムを用いた歪み補正および、ゲイン誤差とオフセット誤差の輝度補正を事前に適用する。

⑤ 機能−物理シミュレーションの連携評価

③機能シミュレーション PF 評価にて構築したクローズドループ環境に対し、NCAP 歩行者飛出しシナリオを用いて車両安全性の評価を実施した。実機とシミュレーションでの安全性評価指標について一致性検証を実施し、シミュレーションでの車両安全性評価の可能性について評価した。

■ 評価シナリオ

NCAP AEB 評価シナリオの一つ CPNC-50 に基づいた実験を JARI J-Town にて評価車両を用いて実施し、それと同条件のシナリオをクローズドループ環境にて比較検証を実施した。シナリオイメージを Figure 82 に示す。

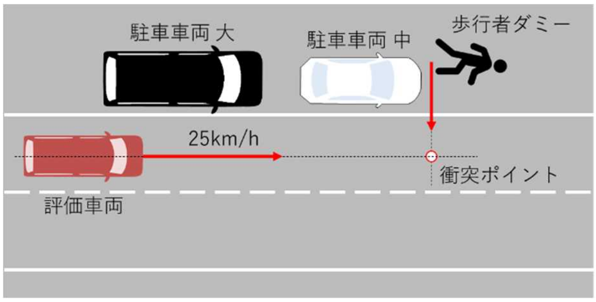


Figure 82 歩行者飛出しシナリオ

車両安全性の指標として以下に示す項目の実機 － シミュレーションの一致性を評価する

- ✧ 歩行者ダミーへの衝突有無
- ✧ 停車位置と衝突ポイントとの距離

※上記以外の車両性能指標(最大 G など)の検証は 5. 3. 1 「C1.基本走行モデル構築」(学校法人立命館)にて報告する。

■　車両安全性指標の評価

車両運動モデルを同定し、システム遅延を考慮したクローズドループモデルを使用して車両安全性指標の評価を行ったときのカメラ知覚と認識出力を示す（Figure 83）。実測結果とシミュレーション結果に対し、ダミー人形との接触有無、車両停車位置と衝突ポイントとの距離を求めた。どちらもダミー人形との衝突はなく、距離は実機：7.10[m]　Sim：7.57[m]となり差は 0.47[m](6%)と小さく、NCAP 評価をシミュレーションで代替えできる可能性を示した。

	実車	シミュレーション
衝突有無	無	無
衝突ポイントとの距離[m]	7.10	7.57(+6%)

Figure 83　実機データとシミュレーション結果比較

⑥ 総合検証

実測データとシミュレーションの一致性、シミュレーション計算速度を基に DIVP®の有効性を評価した。

■ 実測データとシミュレーションの一致性

各パートで検証を行った一致性検証の概要を以下に示す。

モデル	条件		使用可能性	評価項目	一致性	課題、原因
カメラ	通常	車両 屋外晴天時	○	各アセット明るさ	20%誤差 （実機ばらつき程度）	-
	不調	雨による拡散	○	フロントガラスへの付着	モデル化完了	自然の降雨分布データ入手
		夜間	× （協力必要）	各アセット明るさ	15倍以上の差	ヘッドランプ配光特性の計測不良
LiDAR	通常	背景光無し	○	反射点数、強度、認識結果	認識限界誤差 2.5m以下（35m）	-
	不調	雨による減衰	○	反射強度	モデル化完了	自然の降雨分布データ入手
		背景光有り	△	波形形状	不一致	実験方法の見直し
		黒革歩行者	△	認識限界距離	約10mの差	材料特性の鏡面反射見直し
ミリ波	通常	車両	○	反射強度、距離減衰	平均±5dB	平面形状、反射点数に課題あり
	不調	壁面マルチパス	△	ゴースト再現 壁面反射強度	確認済み 不一致	 表面凹凸の反射特性再現
車両制御	通常	NCAP CPNC-50	○	接触有無 停車位置と衝突ポイント距離	一致 0.47m(6%差)	- -

通常条件（センサー不調が発生しない条件）では各センサーモデルはセンサー性能の評価に使用可能な程度の一致性があることを確認できた。また、車両の安全性評価対象である車両制御モデルの評価項目においても一致性を示せており、シミュレーションの有効性を確認した。

不調条件では降雨現象の一部をモデル化したが LiDAR の疑点発生やミリ波に関する現象など残件を残す。カメラの夜間不調についてはヘッドランプ配光特性の計測方法の課題を把握し、現在はヘッドランプメーカにご協力いただき、メーカーが計測したヘッドランプ配光特性を用いた一致性検証を進めている。LiDAR 黒革歩行者やミリ波壁面反射強度の不一致については、ともに反射特性の再現方法について検討を進め改善を目指す。

■　シミュレーション計算速度

計算速度を検証した条件と結果を以下に示す。

項目	条件
計算機性能	CPU：Intel Xeon Gold 6154 (3.0GHz 18コア) x 2 Memory: DDR4 96GB GPU:NVIDIA Quadro RTX6000 x2
評価シナリオ	NCAP AEB CPNC-50 (走行速度 25km/h) 2020/12/23 10:00の天空光
アセット使用数	マップ：J-town x1 車両：アルファード x2 プリウス x1 歩行者：ダミー人形 x1
知覚モデル使用数	カメラ x1 LiDAR x2 ミリ波 x1
認識モデル使用数	カメラ x1 LiDAR x1
自動運転モデル使用数	Fusion x1 AEB制御 x1 レーンキープ制御 x1 車両運動モデル x1
シミュレーション周期	10[fps]

シミュレーション計算速度	13.7 [sec/frame] (665[frame], 9094[sec])

NCAP CPNC-50 1回の試験は約 15[sec]（150[frame]）のため、DIVP®でのシミュレーション時間は約 34[min]となり、1 日当たり 42 回の試験を計算できる。

一方、本研究にて実際に NCAP CPNC-50 を 1 回行うのに要した時間は短いときで約 3[min]（車両の初期位置移動、ダミーの初期位置移動など含む）であった。これを一般的な業務時間に NCAP の日照条件に適応できる日中として 10:00～16:00（360 分）に休みなく実施したと仮定した場合、計 120 回の試験が可能である。実施時間は前後の実験機器の準備/片付けの時間を考慮している。

以上より、実車実験よりの多くの試験をシミュレーションで行うことを目標とした場合は、現状の約 3 倍の計算速度が必要となり改善が必要だと考えられる。

だが実車実験を行う場合、試験場への評価車両運搬（往復 2～4 日）、評価車両への試験装置設置/撤去（1 日）を要したり、天候条件が合わず試験が行えない場合がある等の考慮が必要であり、現状でも試験準備の効率性、試験条件の再現性などではシミュレーションが有効だと判断できる。

⑦ 国際連携を通じた研究成果の標準化

AD 技術に対する消費者の信任を得て社会実装を進めていくことを目指す場合、評価体系と技術は国際的な標準であるべきとの考えの元、研究成果に基づくシミュレーション評価技術の国際標準化を目指している。

- AD safety assurance に関する国際的な標準化動向の調査
- 日独連携プロジェクトの発足
  - 独にて同様の研究開発を行う VIVALDI プロジェクトとの協調研究コンソーシアム VIVID を発足し、マイルストーン mtg を通じた双方の成果の紹介を実施、今後は I/F や評価プロセス等の個別課題を設定し検討を進める。
- 独標準化団体加盟を通じた I/F 他の標準化
  - コンソーシアムから 4 団体が独 ASAM へ参加し DIVP®成果の標準化作成への反映を行っている。
- 欧 Headstart との連携可能性協議への参加
  - JAMA・SAKURA-project と合同で欧 Headstart との連携協議に参加中。

(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、センサーメーカ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
- ■ 安全性評価同号推進 TF
- ■ VIVID（日独連携）

② 既存シミュレーション PF のベンチマーク評価

センサーモデル、シナリオツールともに、以下の 3 つの観点で引き続きベンチマーク調査を実施する。

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。

機能ベンチマーク

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。

I/F ベンチマーク

I/F の通信内容、通信方法について調査を進め、他シミュレーションとの連携方法をまとめる。

性能ベンチマーク

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、不調評価しなりをもちいて実施する。

③ 機能シミュレーション PF 評価

2021 年度で完了

④ 物理シミュレーション PF 評価

結合評価

以下例を挙げる各社が予定しているモデル追加、アセット追加に向けて引き続き結合管理と評価を進める

・お台場 3D モデル（東側）

・普通車、大型車両などの交通参加者 3D モデル

・センサー不調モデル

カメラ：水の巻き上げ、霧、雪

LiDAR：水の巻き上げ、雨/霧/雪による疑点

ミリ波：豪雨による減衰、マルチチャンネル

・ミリ波認識モデル（物標追従）

カメラ HiLS

HiLS に関しては、今年度はスクリーンの中心領域をターゲットに歪みおよび輝度補正を行ったが、次年度以降は周辺領域についても歪みおよび輝度補正を行う予定である。

⑤ 機能-物理シミュレーションの連携評価

シナリオ条件を拡張し、引き続きクローズドループ環境での検証を進める。

⑥ 統合評価

次年度以降のモデル改善や対応不調条件の追加に対し、同様の評価を進める。

⑦ 国際連携を通じた研究成果の標準化

FY21 以降も継続して VIVID, ASAM 等を通じた I/F やシミュレーションを用いた安全性評価体系に関する国際協調と標準化を推し進める。

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))

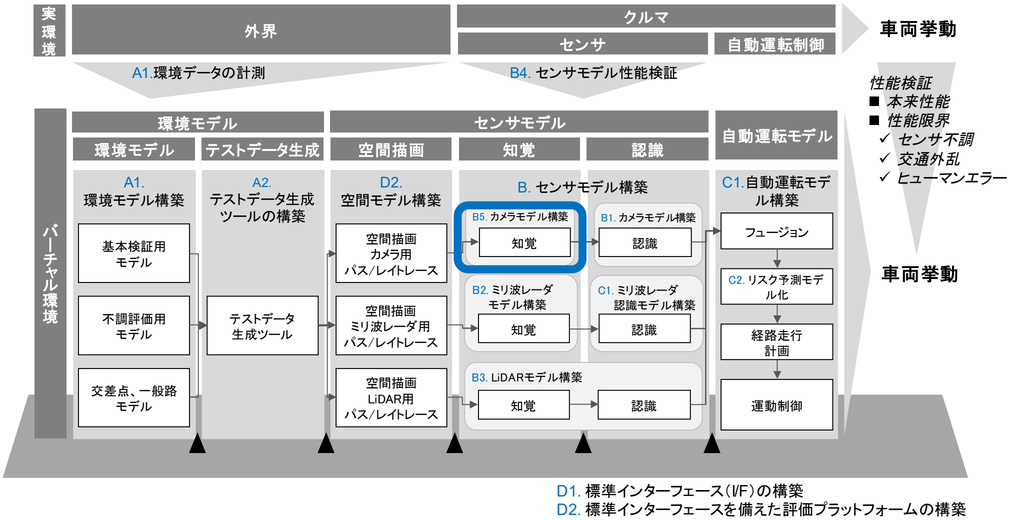


Figure 84 本研究の位置付け

■ 事業目的

カメラセンサー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ー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ーをモデル化し、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ミュレーションモデルである。

■ 事業概要

カメラセンサーモデルの構成図および本事業の範囲を Figure 85 に示す。

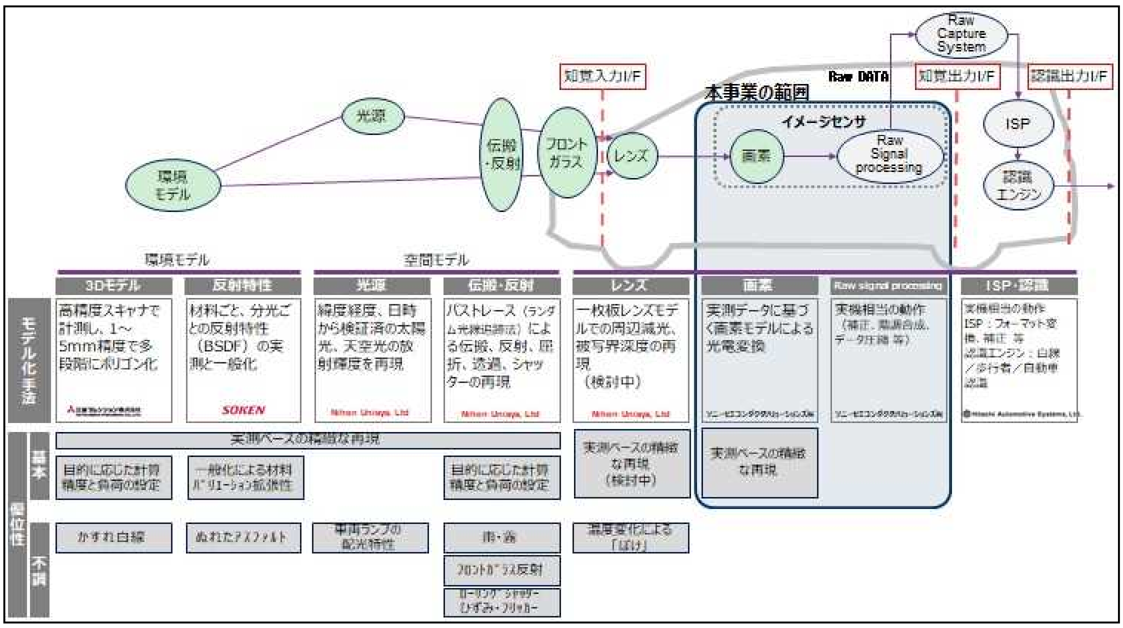


Figure 85 カメラセンサーモデル構成図

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ースを提案する。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―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、インターフェースの妥当性を検討する。

なお、インターフェー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ーおよび専用のセンサー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ースは、他のイメージセンサー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	3.0μm
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	シャッタ方式	グローバルシャッタ換算 (ローリングシャッタ)
6	ダイナミックレンジ	120dB
7	フリッカ抑制	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ミュレーション									■	■		
⑨不調要因評価と一致検証										■		
⑩最終報告書作成											■	
⑩　プロジェクト運営会議への出席							■	■	■	■	■	■

(1)令和2年度の成果(まとめ)

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ カメラ知覚モデルのI/Fの提案 ➢ 知覚出力結果の一致性検証手法の確立 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ リファレンスとしてIMX490のモデルを提供 ➢ NVIDIA製 Xavierへ接続するためのドライバ提供 ➢ 各検証における一致性検証を通じた、環境モデルに対するフィードバック
成果を支えた要諦	■ 屋内/屋外の2段階ステップでの一致性検証により、解析作業を効率化 ■ センサモデル内はブラックブックスという共通認識を持ちながら、各社・各大学が事業推進のために協調すべき領域については専門的な知見を出し合って事業を推進できたこと
評価	■ コロナの影響で遅延が生じたが概ね計画通り

成果の価値	
成果の価値評価	■ 自社イメージセンサモデルとカメラ実機との一致性を評価する環境 ■ ASAMに対するカメラ知覚モデルのインターフェイス提案 ■ SSS単独でできた成果、DIVP®として協調できたからこそできたこと、を記載いただきたい
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 自社開発のイメージセンサについて、実機との一致性を示す際に有効と考えられる
残課題・今後への期待値	■ IR(近赤外)領域への対応 ■ ノイズレベルの検証 ■ 高速現象(ブラ、ローリングシャッタ、フリッカ)対応

Figure 86 研究開発の成果

⑵令和2年度の成果

⑤ 基本検証結果の RAW データ生成

コロナウイルス感染予防対策および緊急事態宣言の発令等により、当初のスケジュールからの遅延が生じたが、リファレンスとして IMX490 のセンサーモデルを DIVP®のプラットフォームに接続できる状態で提供した。

また、センサーモデルの提供前までの暫定措置として、基本検証結果の環境モデルから RAW データを出力し、カメラ認識パートに提供した。

⑥ 事前・基本検証結果の一致検証

事前検証結果の一致性を検証するにあたり、屋内（スタジオ）においてカメラ実機の撮影データとカメラモデルから出力したデータの比較を行った。その結果、カメラ実機とカメラモデル間の差異は約 20%以内であることを確認した。これにより、以後の一致性検証ついてはこの 20%を環境モデルの再現性に対する指標として、評価を行った。

次に、事前検証の一致性検証結果を以下に示す。事前検証では「10m 手前プリウス」のシナリオを用いた。また、シミュレーションでは晴れ、薄曇り、曇りの各天候データを用いて一致性検証を行った。結果を以下に示す。

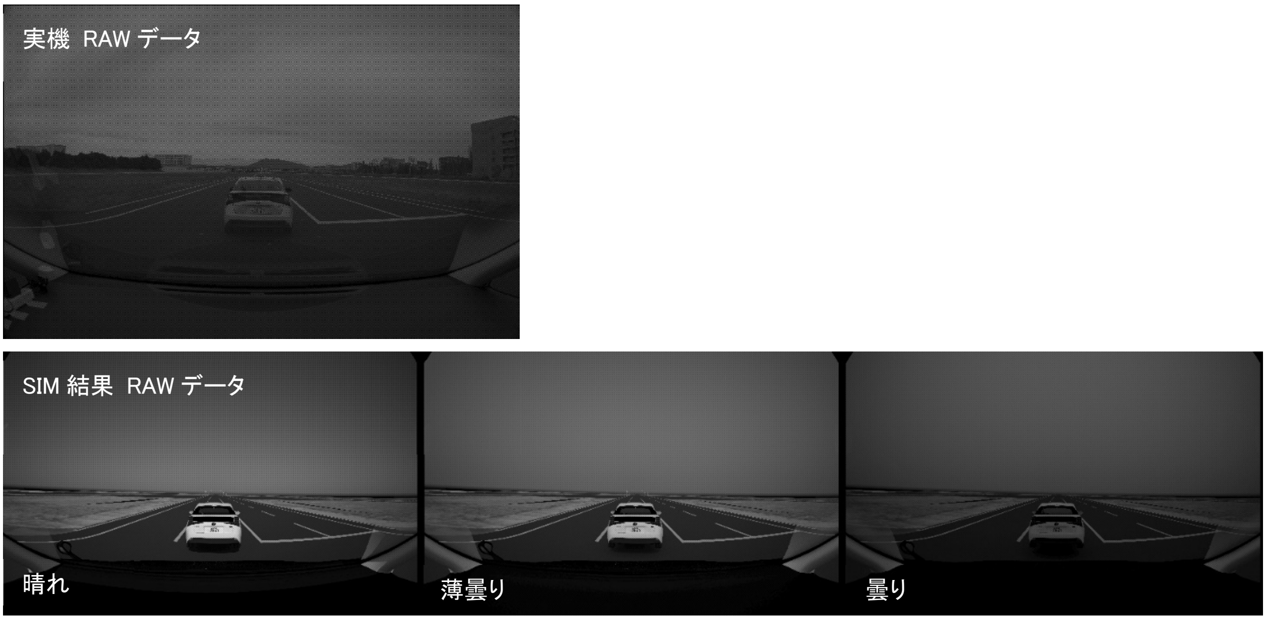


Figure 87 一致性検証の実機撮影データと SIM 結果

検証の結果、事前検証の撮影データに関しては「薄曇り」の天候データが最も一致性が高かったが、アスファルト面、白線、プリウスの背面でそれぞれ一致の精度が異なることから、これらの原因は環境モデルに起因すると考えられたため、環境モデルパートに報告した。

次に基本検証の一致性検証結果を示す。なお、基本検証では、実機撮影データとシミュレーション結果の同

期がとられていないことから、目視で近似のコマを抽出して比較を行った。また、同一シーンついて PFv0.4.1、v0.5.0、c0.6.0 の 3 回行うことにより、一致性の改善点について確認を行った。

Figure 88 基本検証の実機撮影データと SIM 結果

検証の結果、実機撮影結果と PFv 0.4.1 と PF v0.5.0 では、車両天板の太陽光反射率の改善および後面の鏡面反射の再現、路面に反射していた車像の消失、ガードレールの太陽光反射率の改善などが改善できていることが確認できた。また、PF v0.6.0 ではプリウスのモデルがより精緻に再現れていることを確認した。

⑦不調評価モデルでのシミュレーション

カメラのセンサー原理に起因する不調を評価するため、不調検証シナリオの中から以下のシナリオを選定し、シミュレーションを実行した。

実験 1-1 夜間歩行者横断_街灯のみ
実験 1-2 夜間歩行者横断_自車ヘッドライトのみ
実験 1-3 夜間歩行者横断_街灯+自車ヘッドライト
実験 1-4 夜間歩行者横断_自車ヘッドライト+革ジャケット
実験 1-5 夜間歩行者横断_対向車ライト有り

不調検証シナリオのカメラ実機撮影データと、シミュレーション結果の簡易現像結果を以下に示す。なお、実機撮影データとシミュレーション結果では、歩行者の横方向位置や自動車と歩行者間の距離が一致しないこと

から、歩行者の車線間の位置がおおよそ一致するコマを目視で抽出し、比較評価を行った。

Figure 89 実験 1-1 夜間歩行者横断 街灯のみ

⑧不調要因評価と一致検証

選定した各シナリオについて、実機撮影データとシミュレーション結果について、信号レベルでの一致検証を行った。

全体としてカメラ実機とシミュレーションの間で、自車両や NCAP doll の移動タイミングや相対位置が合っていないことがわかり、信号レベルで比較した際に原因の切り分けが困難だったが、アスファルト路面や白線については実機撮影データと比較してシミュレーション結果の方が信号レベルが低い現象が確認された。これらは、環境モデルにおける街灯の照明特性の誤差やヘッドライトの光量もしくは光軸の再現性に起因すると考えられることから、環境パートに対してフィードバックを行った。その結果、実験 1-1 街灯のみシナリオについては環境モデルの再現性も概ね妥当であることが確認され、ヘッドライトの再現性については現在も継続して調査中である。

⑶次年度以降の計画

　次年度は首都高 C1 およびお台場においてカメラセンサーが不得意とするシーンを抽出し、カメラ実機で撮影したデータと同地域の環境モデルをカメラモデルにインプットして出力されるデータとの一致検証を行う。検証結果はコンソーシアム内に共有し、また著しい差異が認めらえた場合には環境パートに対して見直しの提言を行う。

また、一致性をより向上させるために、カメラの原理に起因するセンサーの不調要因の再現可能性について環境パートと共同で検討する。またその際に必要なセンサーモデルのインターフェースについても併せて検討を行う。

本プロジェクト成果の事業化を見据えて、ユーザーが評価するにあたりリファレンスとなるような汎用的なカメラモデル開発についても、可能性を検討する。

　さらに、2020 年から開始した独コンソーシアムとの共同プロジェクト・VIVID に、日本側のカメラ知覚担当企業として参画し、プロジェクトの推進に貢献する。

5. 2. 2 「B1.カメラリファレンスモデルの構築」（日立 Astemo 株式会社）

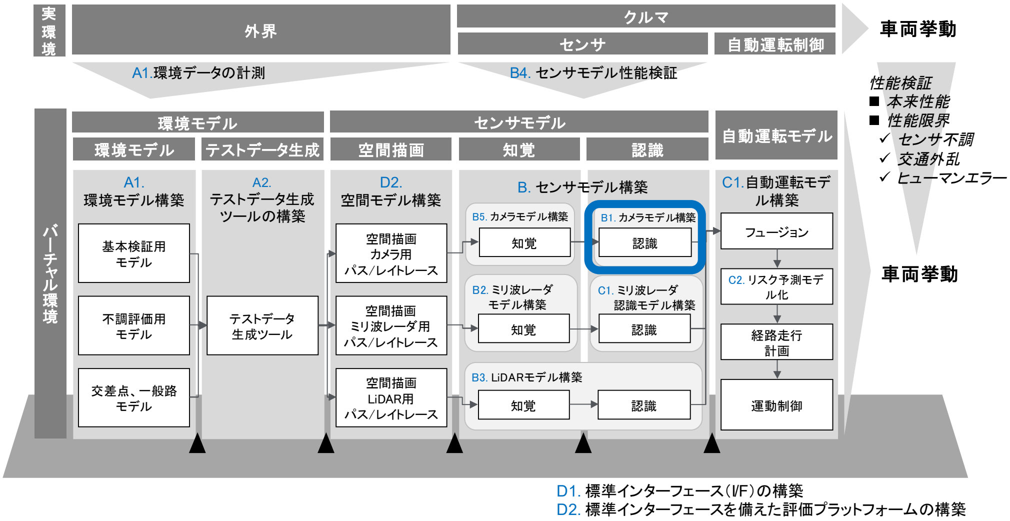


Figure 90 本研究の位置付け

■ 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				2021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	第1四半期	第2四半期
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					→	→								
⑦物理モデルの開発					Phase1 →	→	Phase2 →							
⑧基本機能評価						→	→	→	→	→	→			
⑨不調要因評価(映り込み)											→			
⑩カメラリファレンスモデル中間報告書作成												→		
⑪不調要因評価(雨)													→	→
⑫高精細CGツール評価													→	→

♦ 必要情報

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

2019 年度:高精細 CG データ、外界モデル、
「B5. 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:「B5. 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

2021 年度:不調要因を反映した高精細 CG データ

♦ 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

2021 年度:不調要因評価仕様書等一式、高精細ツール評価報告書

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ 標準化を前提としたカメラ入出力I/Fの定義。 ⇒カメラ認識評価環境を実現するためCG要件定義 ➢ JAMAとの連携による、センサ不調原理の整理体系化。 ➢ カメラ認識評価環境の構築。 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ 認識エンジン組み換えを容易化するツールの開発。 ➢ カメラ(可視光)評価観点での改善点提案。
成果を支えた要諦	■ SIPの枠組みにて、JAMAとの連携による不調原理の ■ 整理を体系的に実施することが出来た。 ■ 多種多様な企業の技術集結により、個社では実現 ■ 出来ない環境を構築することが出来た。
評価	■ カメラ認識モデルの評価環境を構築。

成果の価値

成果の価値評価	■ 入出力I/Fの標準化による各社のセンサモデル導入の容易化。 ■ 実世界との一致性
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 以下により、製品開発の加速、効率化を期待 ➢ 危険や再現性の困難な試験の実現による実車試験の代替。 ➢ 実世界との一致性による、OEMへの動作保証ツール。
残課題・今後への期待値	■ 不調要因を含むアセットの拡充。 ■ 早期の事業化。

検証及び、認識エンジンの搭載容易化を実現することを目的に、正解値判定ツール及び、標準 I/F 簡易変換ツールを開発。またこれらツールを活用し、環境モデルとして再現された認識不調シーン(映り込み)の映像による一致性検証を行い、CG としての改善点を抽出した。

実施計画書に記載の、以下 10 項目に関する検討、開発及び、評価を実施した。詳細は、(2)にて記載する。

当初スケジュールでは、令和2年度にて活動終了の予定であったため、本報告では活動期間全てにおける成果を記載した。令和2年度の単年度成果は、⑧基本検証　カ)正解値判定ツール、キ)I/F　簡易変換ツール、⑨不調検証(映り込み)、⑩カメラリファレンスモデル中間報告書作成である。

①基本設計書の検討

基本設計書の検討は、④高精細 CG 要件定義書の作成、⑤基本設計書の作成を含めて報告する。

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。

②カメラ出力インターフェースの検討

カメラ出力インターフェースの検討は、⑥カメラ出力インターフェース仕様書の作成を含めて報告する。

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

③物理モデル事前評価

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、認識対象が露光制御値(画像の明るさ)、立体物(車両、歩行者)、車線(白線)であるもの、カメラの取付位置やスペック(画素数、画角、など)などを調整できるも

の、などを要求項目として定め、複数のカメラ認識エンジンを選択する。評価については、基本的な走行パターン（例えば、接近、離間、等）を高精細 CG データと実車で認識した結果が比較可能である事を確認する。さらに、不調要因（例えば、雨、逆光、等）の適応有無を確認する。

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を選定。接続可能なカメラセンサーであるソニー製 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評価を下記手順にて実施。

（ア） カメラ検証ステップ
（イ） 検証ステップごとの評価シーン
（ウ） 検証ステップごとの評価内容
（エ） 検証結果
（オ） 考察
（カ） 正解値判定ツールの開発
（キ） 標準 I/F 簡易変換ツールの開発

⑨不調要因評価(映り込み)

A/D パートが開発した高精細 CG ツールにおいて映り込みの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。下記手順にて実施する。

(ア)試験環境
(イ) ISP 処理
(ウ)シナリオ調整
(エ)基本検証
(オ)JAMA 連携
(カ)不調検証
(キ)サンプリング回数
(ク)考察

⑩カメラリファレンスモデル中間報告書作成

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、評価の中間結果を精査、資料としてまとめる。

(2)令和2年度の成果

①基本設計書の検討

④高精細 CG 要件定義書の作成、⑤基本設計書の作成を含む

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ーを対象に、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 91 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。

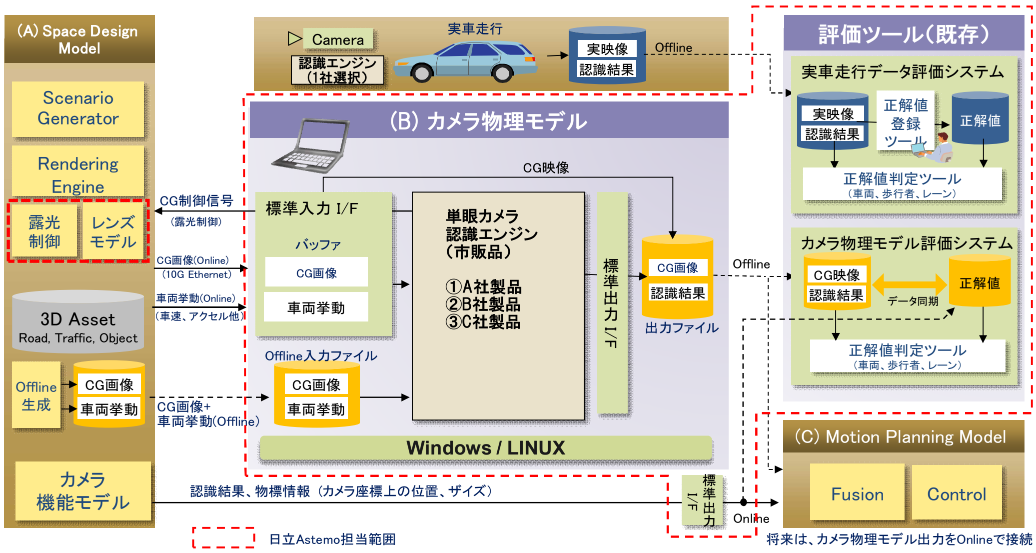


Figure 91 カメラモデル評価環境

(b) 機能一覧

カメラモデル評価環境の有する機能を Table 22 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 22 機能一覧

項番	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(1)~(8)に示す。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 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。

(8) 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(1)～(7)に示す。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 立体物、車線の認識結果は、画像上の位置、センサー座標系、車両座標系での3つの方式で定義する。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 認識結果の座標軸は、レーダー/LiDAR との共通化を検討する。

(7) 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 Astemo の内部確認用である。

1. 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(真値センサー)の出力データを比較することにより、正解値を判定する。

2. 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。

3. 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 23 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 23 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
2	画素数	最大10Mpix (3648x2736)	= 4.8 Gbit/s
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 24 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 24 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
2	画素数	最大10Mpix (3648x2736)	(3648x2736)x16bit x 30フレーム= 4.8 Gbit/s
3	データ幅	最大16bit	●60秒間のファイルサイズ
4	フレームレート	30 fps	4.8Gbit x 60秒 = 288Gbit (36 GByte)
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 25 に示す。

Table 25 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I/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I/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	
11	評価用実車走行データ収集及び評価	「A1.走行環境モデルの構築」 「B0.シミュレーションPF評価」

（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 26 に示す。詳細は高精細 CG 要件定義書を参照すること。

Table 26 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) 標準出力インターフェース信号

標準出力インターフェース信号の概要を Table 27 に示す。詳細は出力インターフェース検討書参照すること。

Table 27 標準出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	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 92 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。

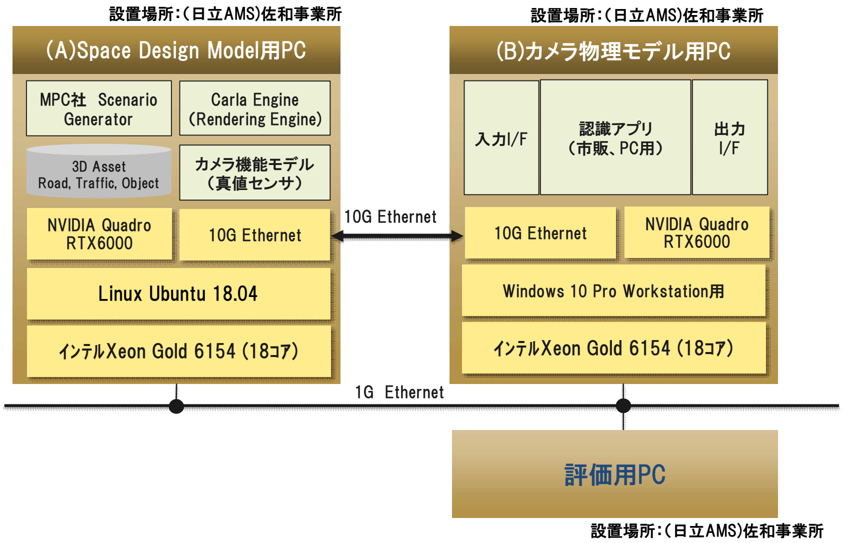


Figure 92 全体構成図

（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 28 および Table 29 に示す。

Table 28 Space Design Model 用 PC 仕様

構成	機種	仕様	数量
WS 本体 (GFXレス)	Dell Precison Tower 7920	・Precision 7920 ﾀﾜｰｼｬｰｼ(BC_PCIe) ・CPU：ｲﾝﾃﾙXeon Gold 6154 (18ｺｱ,25MB ｷｬｯｼｭ, ﾍﾞｰｽ駆動周波数3.0GHz/ ﾀｰﾎﾞﾌﾞｰｽﾄ最大周波数3.7GHz)×2CPU構成 ・メモリ：96GB (8GBx12) 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：Dell UP2716D 27インチモニタ(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 29 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_PCIe) ・CPU :ｲﾝﾃﾙXeon Gold 6132 (14ｺｱ,19.25MB ｷｬｯｼｭ, ﾍﾞｰｽ駆動周波数2.6GHz/ﾀｰﾎﾞﾌﾞｰｽﾄ最大周波数3.7GHz)×2CPU構成 ・メモリ:768GB (32GBx24) 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 93 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。

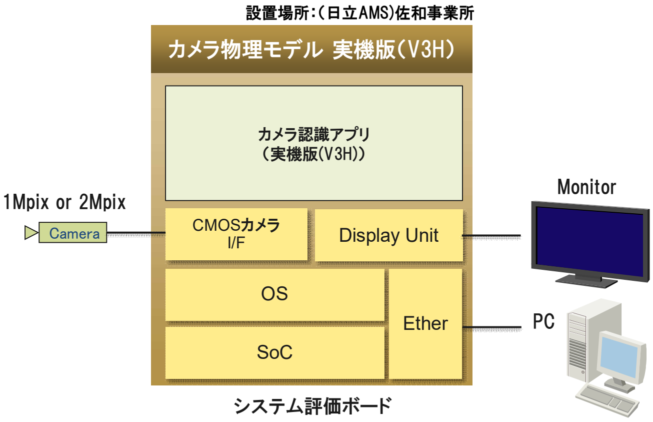


Figure 93 組込用カメラ評価ボード構成図

(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表を Figure 94 に示す。カメラ標準入力インターフェースへの要件出し及び、カメラ標準出力インターフェースの明確化を行う。

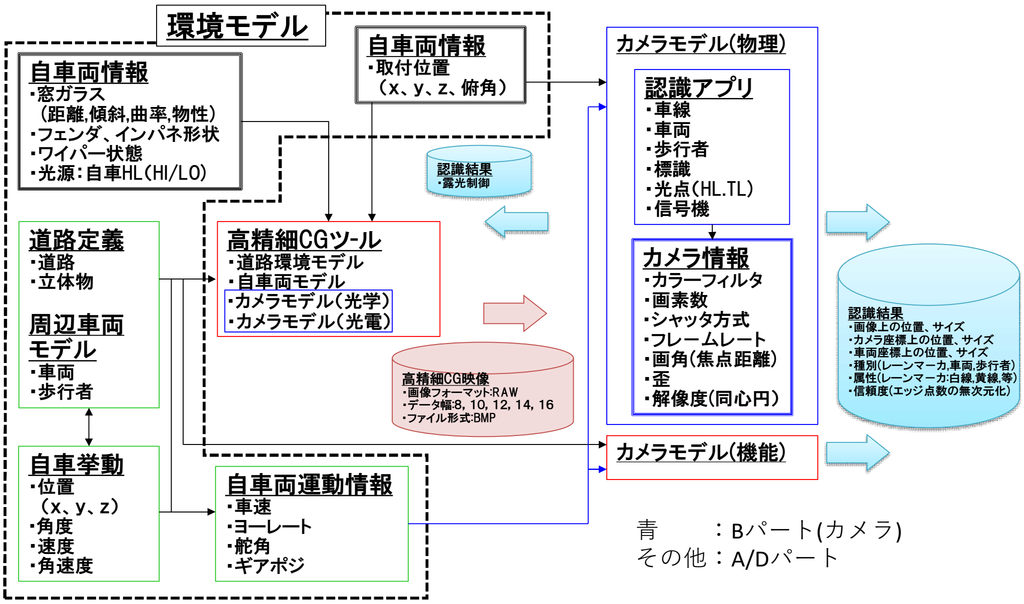


Figure 94 カメラ物理モデル全体ブロック図

(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。

① 露光制御(画像の明るさ)機能があるもの。

② 認識対象が、立体物(車両、歩行者)、車線(白線)であるもの。

③ 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、他センサー)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 30 に示す。

Table 30 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。

（1） 非圧縮形式を用い、カラーパレットは用いない。
（2） 情報ヘッダ形式は INFO タイプ(40 バイト)を用いる。
（3） 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。
（4） 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。)
（5） 圧縮タイプは 3 (Win32 SDK 環境における BI_BITFIELDS)を用いる。
（6） 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取り扱われる設定)

（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。

(1) 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。
(2) 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。
(3) 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。
(4) 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 95 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。

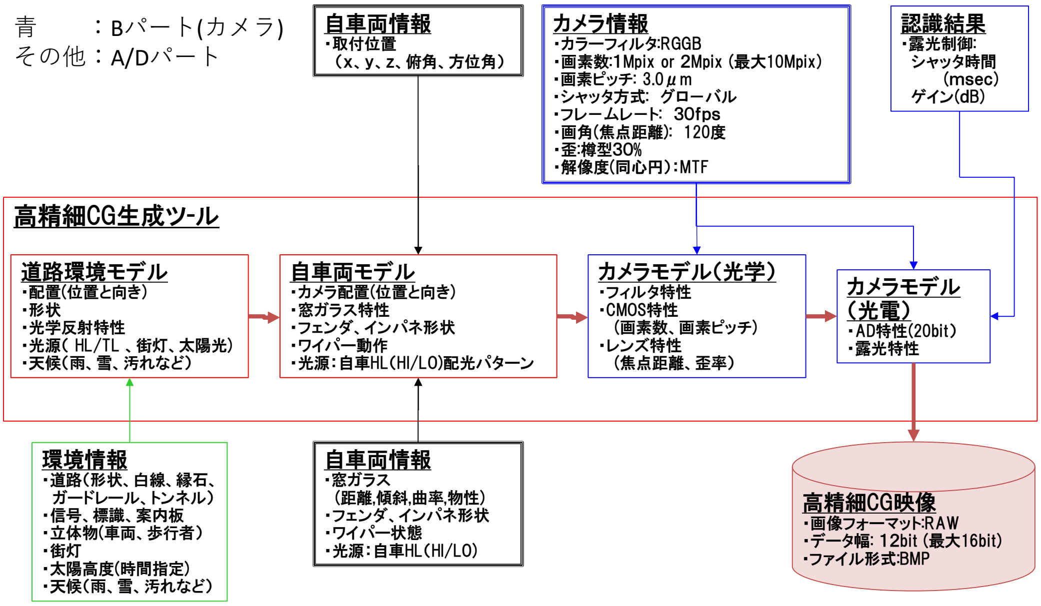


Figure 95 高精細 CG 生成ツール要件

(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 96 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 96 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。

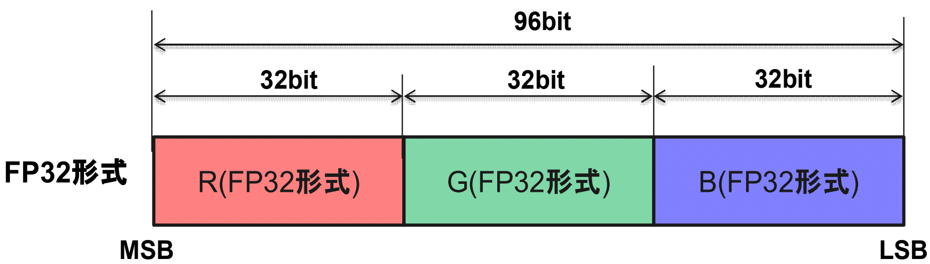


Figure 96 HDR 画像のピクセルデータフォーマット

(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。Modifed 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。

(1) 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。

(2) 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 31 に示す。

Table 31 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	自車両モデル	カメラ配置(位置と向き)	自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	自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	自車両のフェンダ、インパネ形状を考慮してCGを生成する。
9		ワイパー動作	自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		光源:自車HL(HI/LO)配光パターン	自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	カメラモデル(光学)	カラーフィルタ	カラーフィルターに基づいてCGを生成する。フィルターとしては、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:シャッタ方式	指定されたシャッタ方式に基づいて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		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	カメラモデル(光電)	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。

(1) 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。

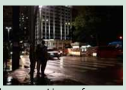
(2) 高精細CG評価シナリオ方針

- 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 32 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 32 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) ・直線及びカーブ
2		基本シナリオ ・先行車離間		・先行車から離れる ・直線及びカーブ
3	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) ・雨天時にワイパーを作動。 ・ワイパーによる映像乱れで認識不調発生
4		中間障害物 (雨天＆ワイパ) ・先行車離間		・同上で先行車離間
5		光源障害 (逆光) ・先行車接近	 Pxhere.com: License free	・停止中の先行車に接近(E-NCAP2018 CCRs相当) ・西日に向かって走行中に、白飛びが発生し、前方を走行しているターゲット車両を見失う。
6		光源障害 (逆光) ・先行車離間		・同上で先行車離間
7		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。 (E-NCAP2018 CPAF相当 ＋ 夜間)
8		認識不調拡張 (JAMA要件と調整して決定)		夜間走行、対向車ハイビーム、段差、トンネル出口、濡れた路面、信号機、落下物、工事車線の減少 他

② カメラ出力インターフェースの検討

⑥カメラ出力インターフェース仕様書の作成を含む

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。

■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、センサー仕様、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 33 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 33 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 34 に高精細 CG 生成に関わり、必要なカメラ情報を示す。

Table 34 カメラ情報インターフェース

分類	名称	説明	単位
センサー仕様	横画素数	センサーの横画素数を出力	pixel
	縦画素数	センサーの縦画素数を出力	pixel
	画素ピッチ	センサーの画素ピッチを出力	m
	ビット幅	センサーデータのビット幅を出力	bit
	カラーフィルタ	センサーのカラーフィルタを出力	–
	シャッタ方式	センサー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	–
認識仕様	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 35 および Table 36 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 35 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	センサー種別	センサー種別を出力	–
	センサーID	センサー固有の 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
	センサー座標(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
	センサー座標(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 36 認識結果インターフェース（車線）

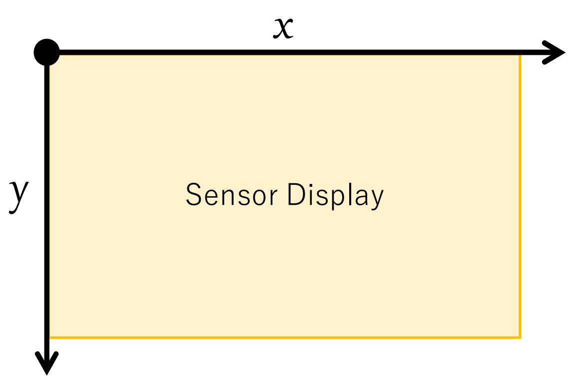
分類	名称	説明	単位
時間情報	撮像時間	カメラの撮像時間を出力	s
	認識時間	カメラの認識時間を出力	s
固有情報	センサー種別	センサー種別を出力	–
	センサーID	センサー固有の ID を出力	–
車線 ID	車線 ID	車線の ID を出力	–
	車線認識総数	車線の認識総数を出力	–
車線位置情報	画面座標(X,Y)	自車両中心位置から 1～100m 先の車線を出力	pixel
	センサー座標	自車両中心位置から 1～100m 先の車線を出力	m
	センサー座標(近似式)	センサー座標系における近似係数を出力	–
車線種別情報	自車両側車線	車線の種別を出力	–
	二重車線外側	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。

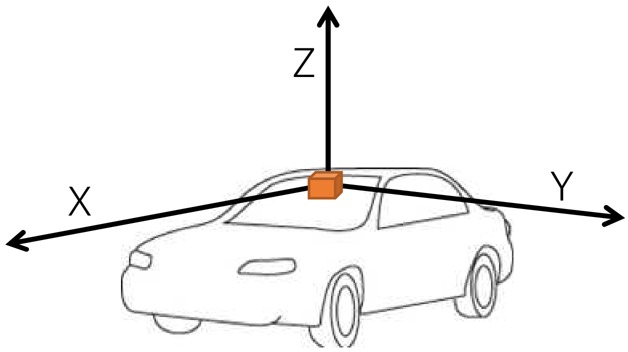
(a) 画面座標系

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。



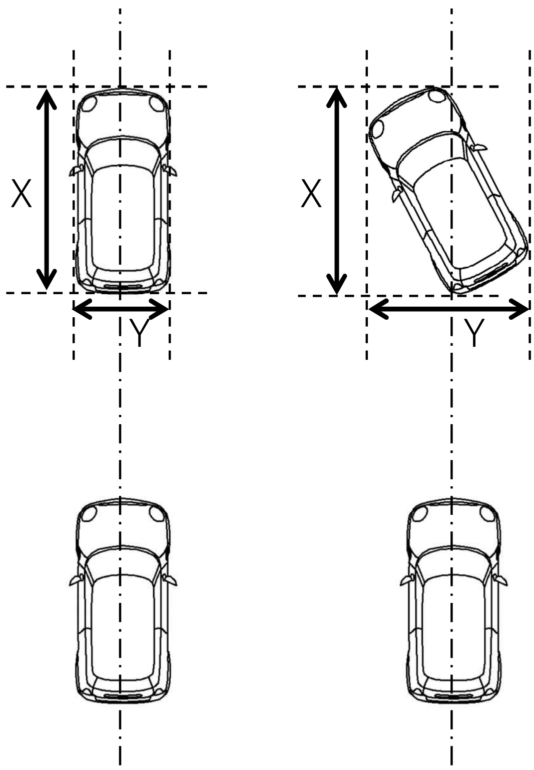
(b) 物標座標系(センサー基準)

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。



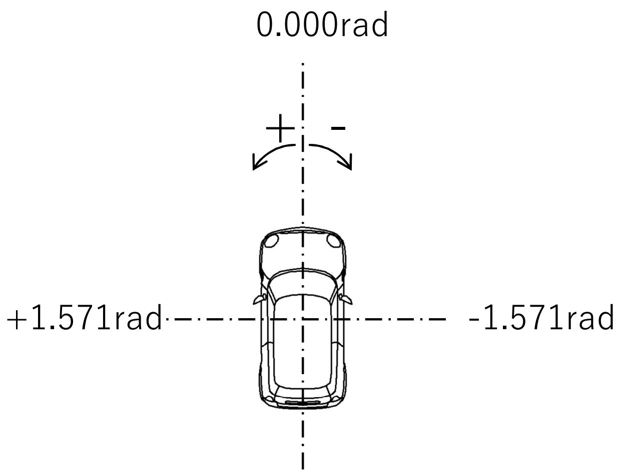
(c) 物標情報(サイズ)

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。



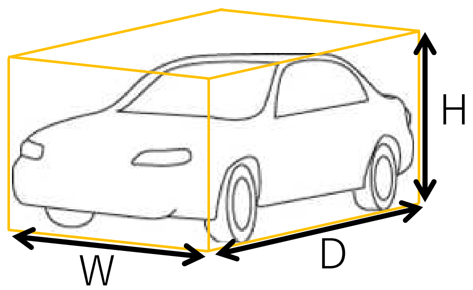
(d)　物標角度

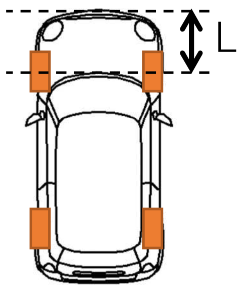
軸方向をゼロ度とし、左回転を正とする。



(e)　車両規格

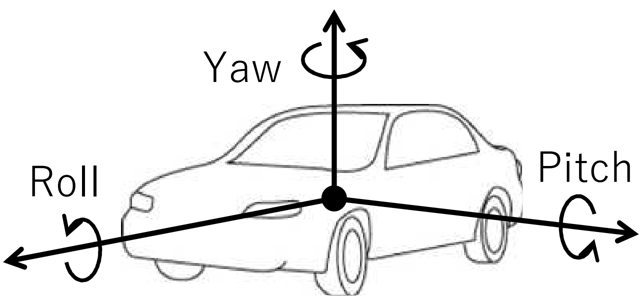
車両幅(W)、車両長(L)、車両高さ(H)、前輪車軸中心からバンパーまでの長さ(L)を規定する。

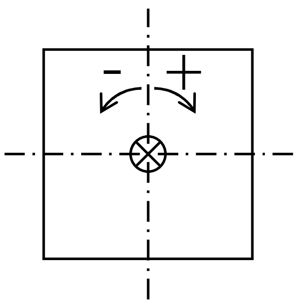




(f)　角度規定

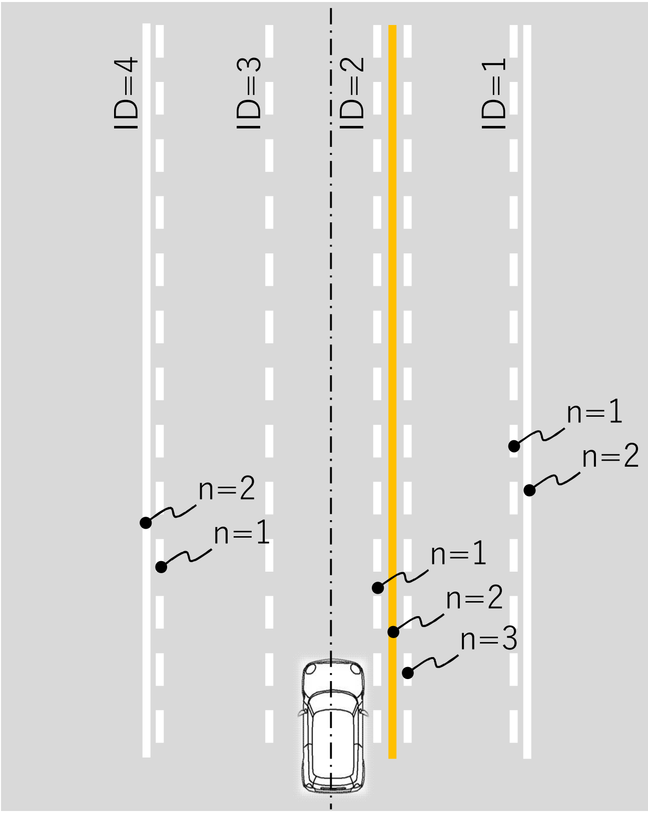
ヨー、ロール、ピッチをそれぞれ右回転とし規定する。





(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。



③物理モデル事前評価

カメラ認識エンジンとして、PC 上と実機上で動作するもの、認識対象が露光制御値(画像の明るさ)、立体物(車両、歩行者)、車線(白線)であるもの、カメラの取付け位置やスペック(画素数、画角、など)などを調整できるもの、などを要求項目として定め、複数(2,3)のカメラ認識エンジンの比較を実施した。

※成果物:評価報告書(事前)

■カメラ認識エンジンの要求項目

カメラ認識エンジンの要求項目を以下のように、定めた。

(a) PC と実機の両方の環境で動作すること。

(b) 認識対象

(i) 立体物(車両、歩行者)

(ii) 車線(白線)

(c) '18 年、19 年(FY)内に入手可能なこと。

Table 37 認識エンジン分析表(サマリ)

決定分析				
決定目的の明確化	決定ステートメント	仮想環境におけるカメラモデル構築のため、採用する認識エンジンを決定する。		
候補案の作成	候補案の評価	Must による絞り込み *Want* による比較評価		
目標の設定	Must 評価項目	立体物(車両、歩行者) 車線(白線)が認識可能なこと	PC と実機の両方の環境で動作可能なこと	'18 年、19 年(FY)内に入手可能なこと
候補案 1 : Stradvision	評価結果 [OK/NG]	OK	OK	(OK)
	評価詳細	可能。	PC 版、評価ボード版の 2 種類がある。	Yes(PC 版) 。 評価ボード版は、カメラモジュールとの調整次第。
候補案 2 : HELLA Aglaia	評価結果 [OK/NG]	OK	(OK)	OK
	評価詳細	可能。 但し、人と自転車を区別しない。	評価ボード版はある。 PC 版は、内部評価用で提供可否を調整中。	ソフトリリース 2018 年 Q4。 FoV＝100 度版)
候補案 3 Xilinx	評価結果 [OK/NG]	OK	(OK)	NG
	評価詳細	可能。 但し、人と自転車を区別しない。	評価ボード版はある。 PC 版は内部評価用で、提供可否を調整中。	19 年末以降の提供。
候補案 4 : Ambarella	評価結果 [OK/NG]	(OK)	NG	NG
	評価詳細	車両、歩行者、二輪車をCNN ベースで認識可能。 白線は、9/初頭に準備可能。 (CNN ではない [サンプルレベル])	評価ボード版はある。 PC 版は内部評価用で、提供出来ない。	認識結果が公表される事で辞退の意向。
候補案 5 : KPIT	評価結果 [OK/NG]	OK	NG	OK
	評価詳細	可能。 自転車は不明。	PC 版のみ。	白線・車両 : 製品化済み。 歩行者 : ES 品有り ※但し、画角は 60 度

まずは、18 年度は分析結果が最も高い、候補案 1 の認識エンジン(Stradvision)を採用し、事前評価を行った。

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ーであるソニー製 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、カメラセンサーを搭載した実機版(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。

(ア)　システム構成

(a)　PC 版システム構成

Figure 97 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、他のセンサーモデル(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基づき、出力データ変換処理を実施後、評価ツール等に出力する。

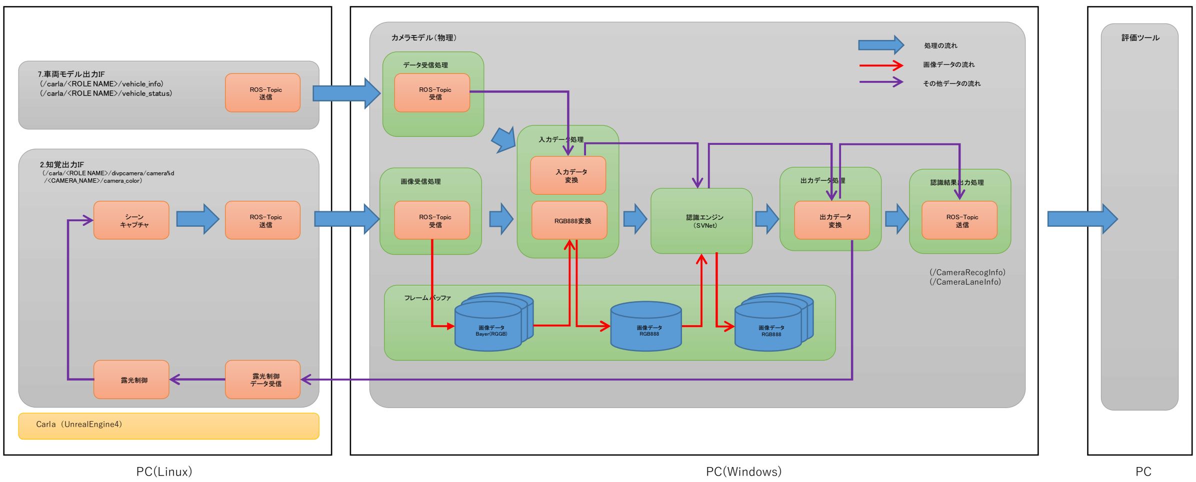


Figure 97　PC 版システム構成図

(b) PC 版環境モデル

Figure 98 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。

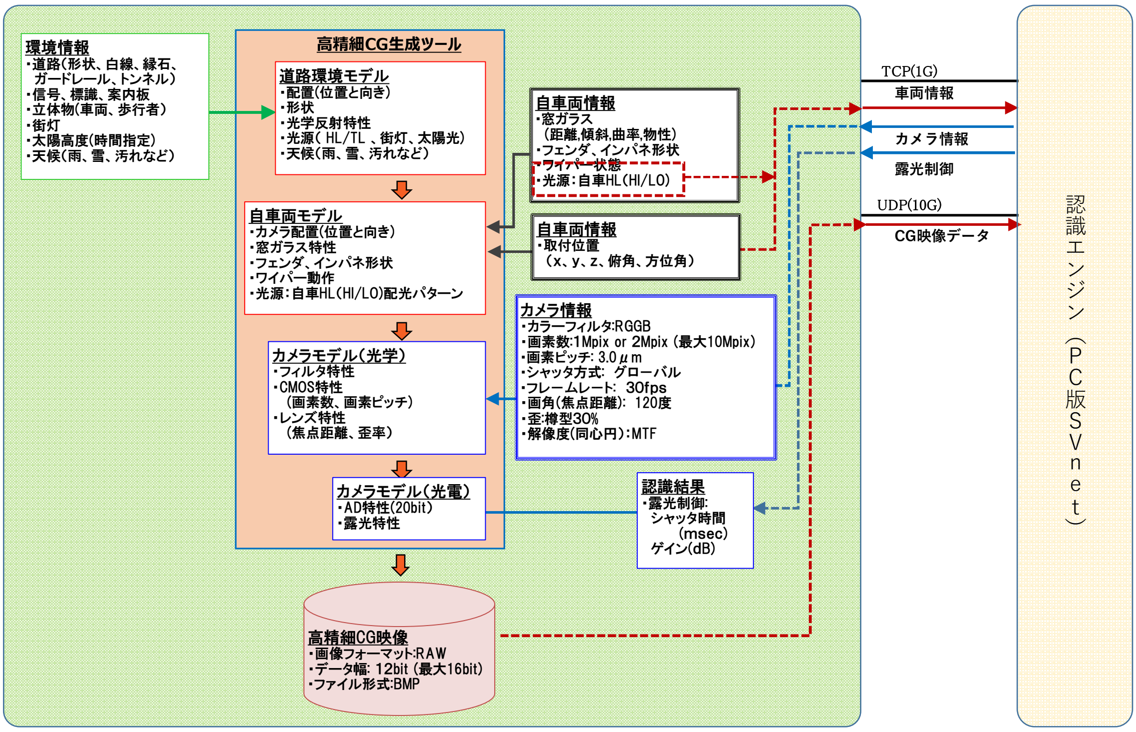


Figure 98 PC 版環境モデル

(c)　PC 版認識エンジン

Figure 99 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。

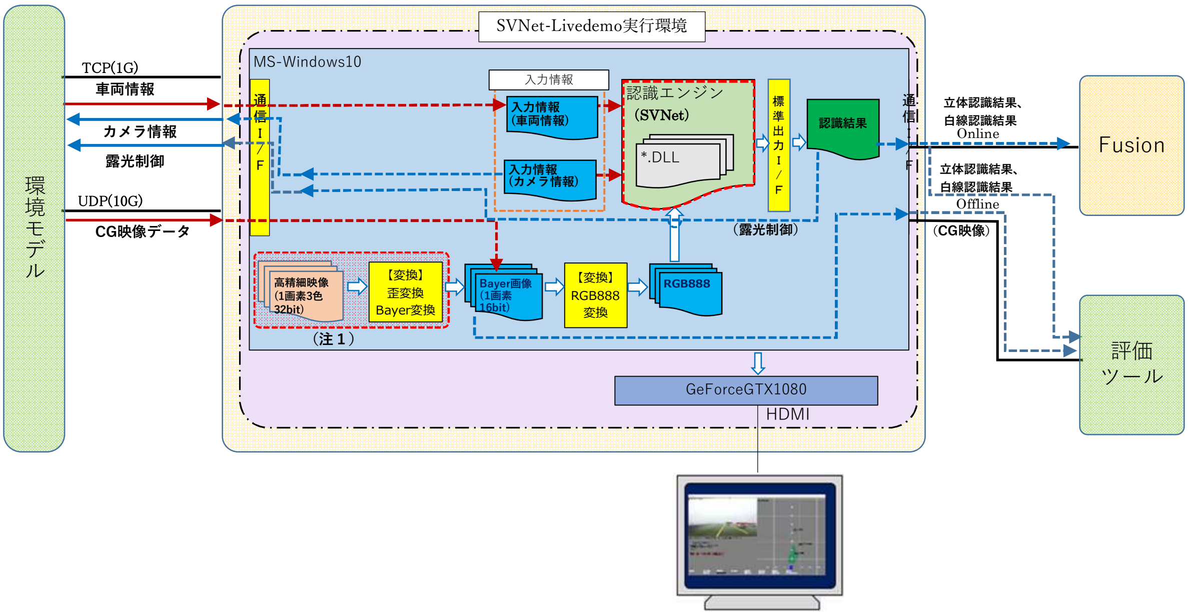


Figure 99　PC 版認識エンジン構成図

(d) V3H 版システム構成

Figure 100 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(ISX019)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。

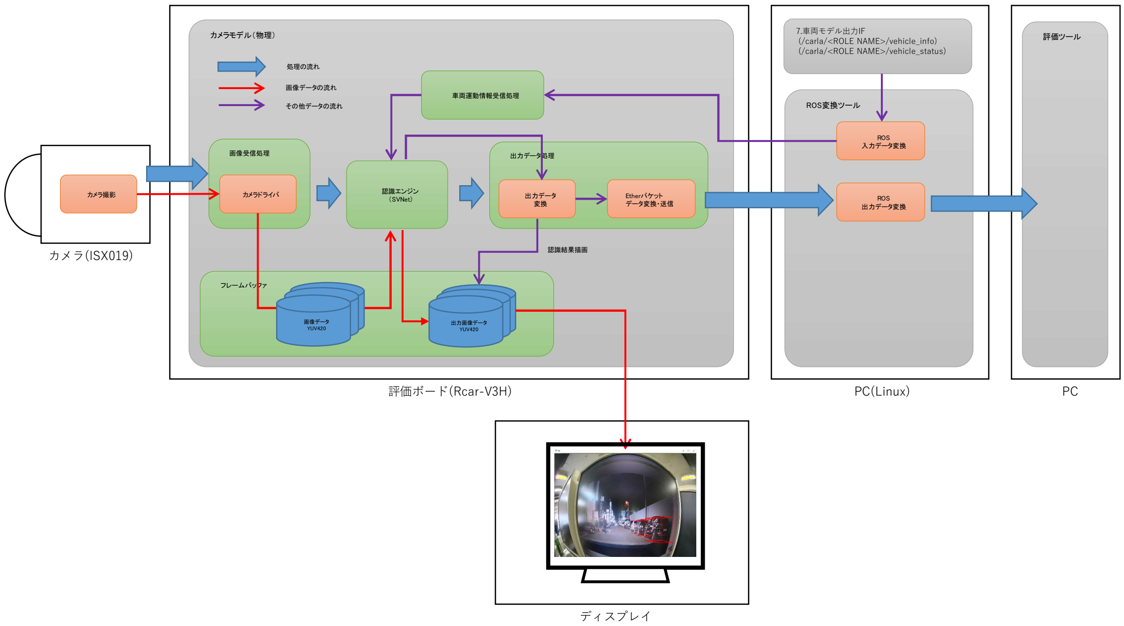


Figure 100 V3H 版システム構成図

(e)　V3H 版認識エンジン

Figure 101 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。

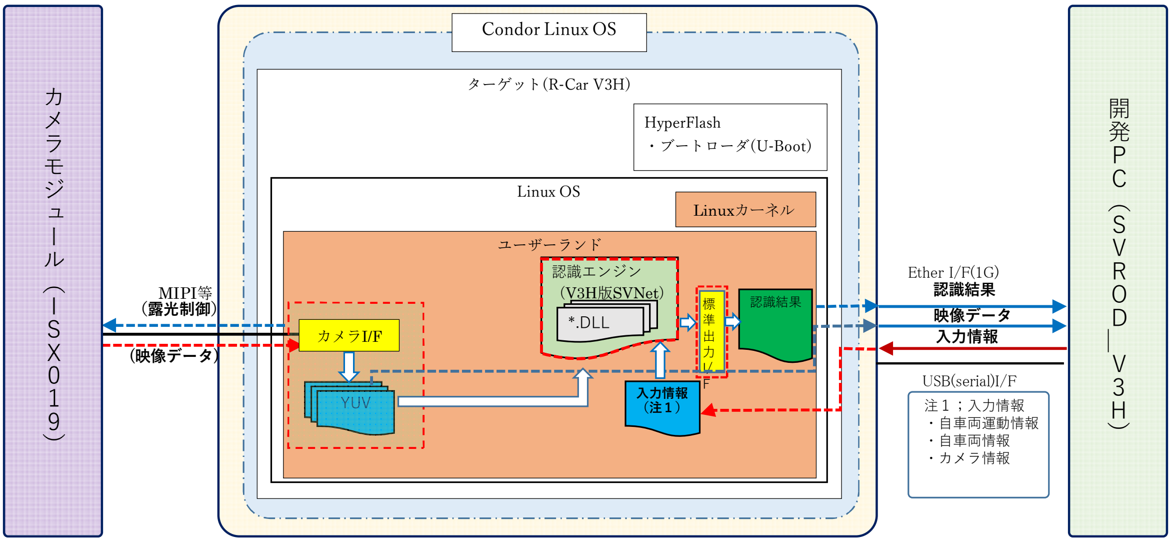


Figure 101　V3H 版認識エンジン構成図

(f)　V3H 版 PC 開発環境

Figure 102 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。

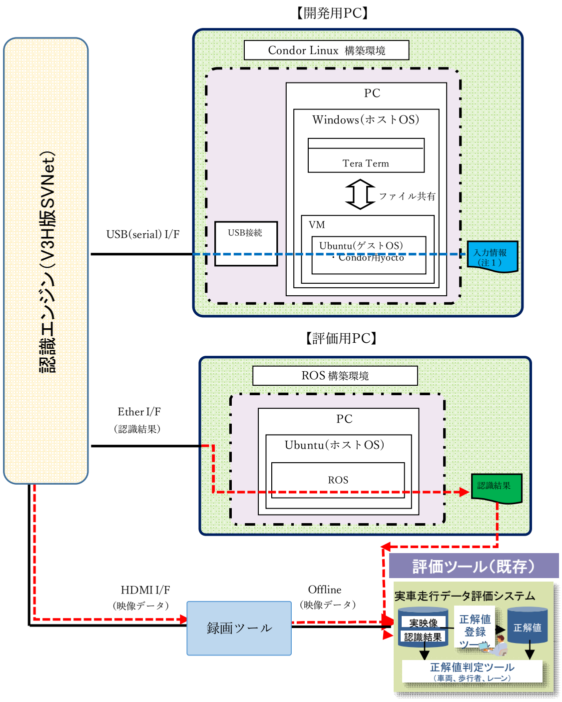


Figure 102　V3H 版開発用 PC の構成図

(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(RGGB)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。

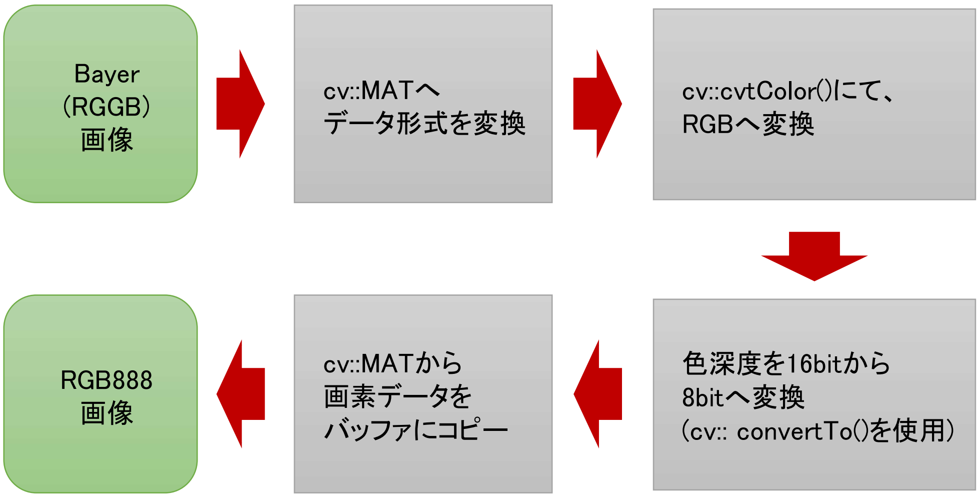


Figure 103　画像変換処理

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。

(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 104 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

　①環境確認

　②フォーマット確認

　③CG 作りこみ確認

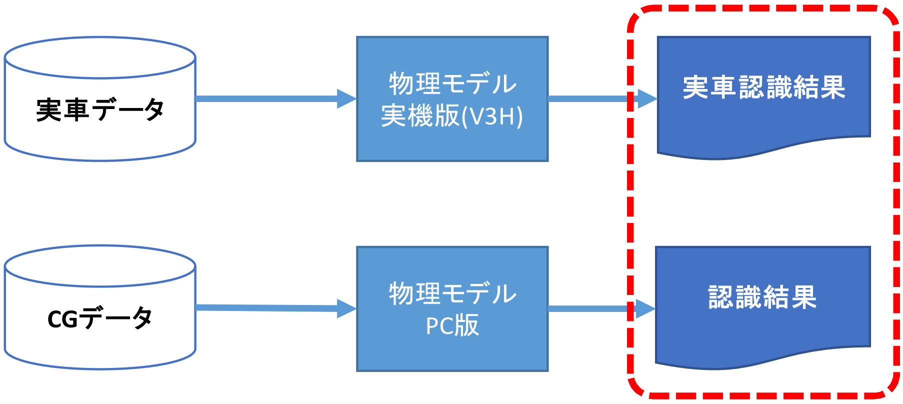


Figure 104 動作結合チェック構成図

(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 105 に事前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

①CG 映像作りこみ確認

②実機版(V3H)と PC 版の相互評価

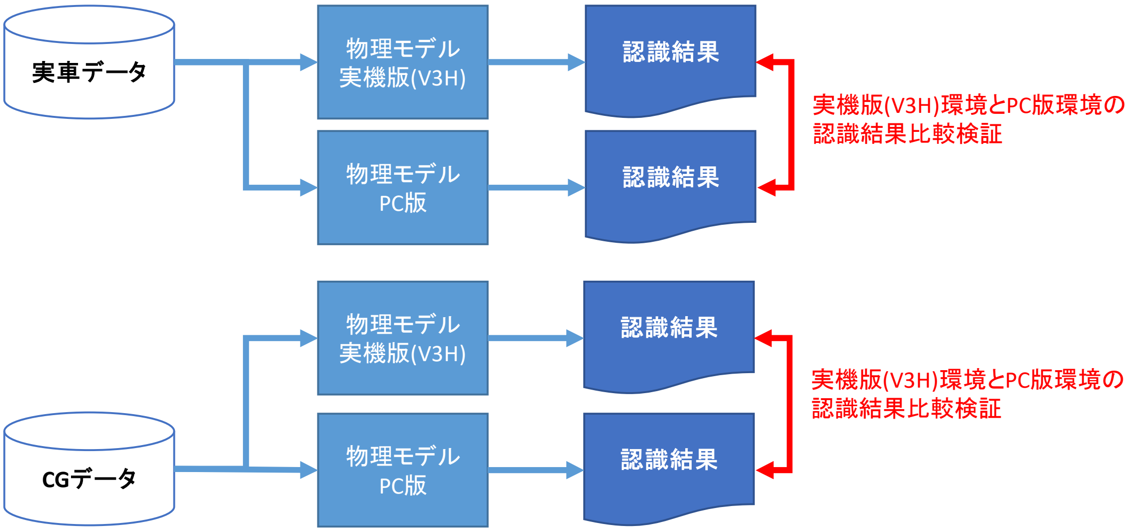


Figure 105 事前検証構成図

(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 106 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

①実機版(V3H)認識結果と実車正解値との比較検証

②PC 版認識結果と CG 正解値との比較検証

③実機版(V3H)と PC 版の相互評価

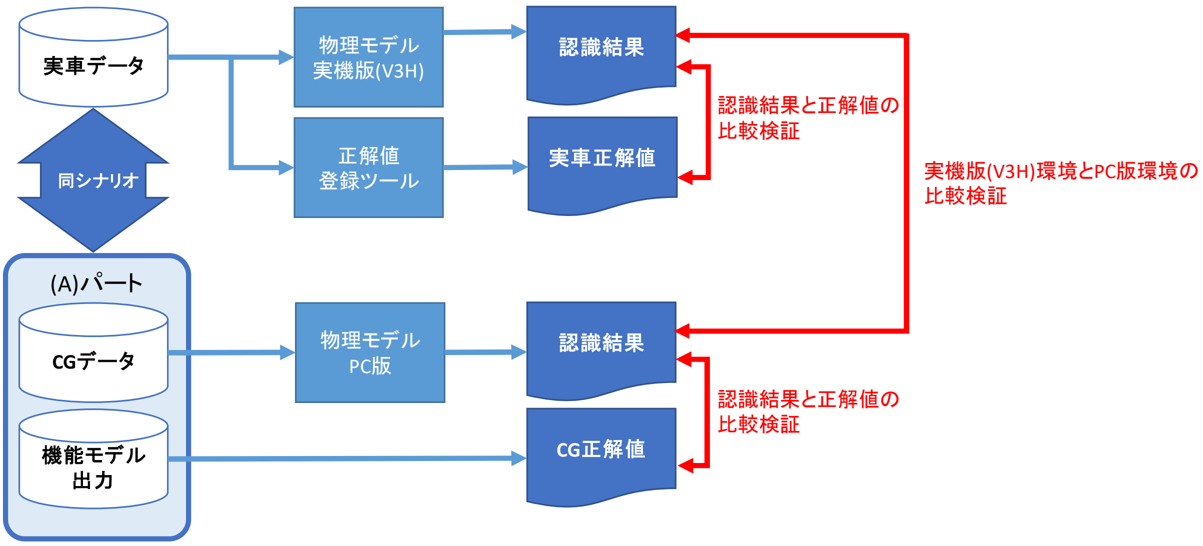


Figure 106　基本検証構成図

(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 107 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

　①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

　②PC 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

　③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

　④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

　⑤PC 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

　⑥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

　◆不調要因有りと無しの比較

　⑦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

　⑧PC 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

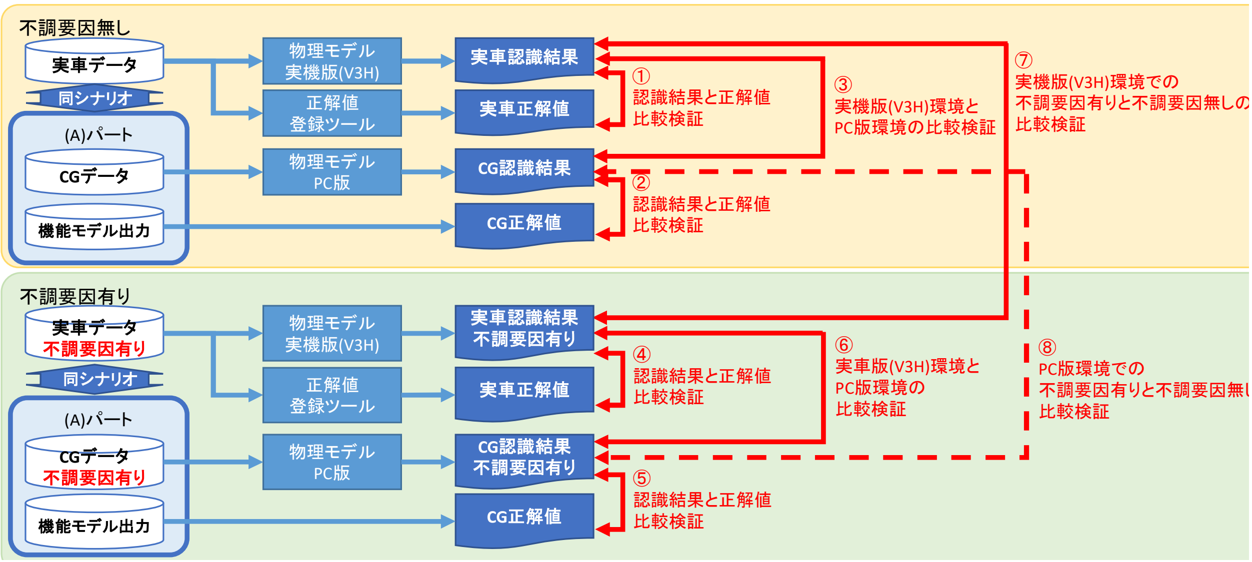


Figure 107　不調検証構成図

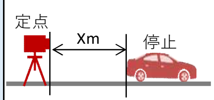
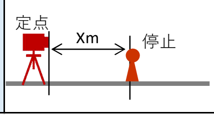
(イ) 検証ステップごとの評価シーン

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 38 に動作結合チェックでの評価シーンを示す。

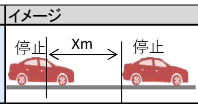
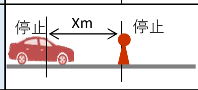
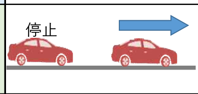
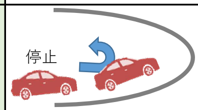
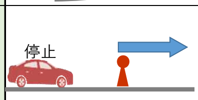
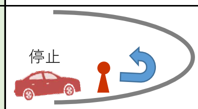
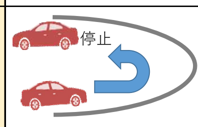
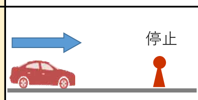
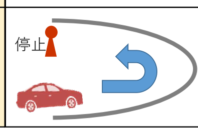
Table 38 動作結合チェック評価シーン

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 39 に事前検証での評価シーンを示す。

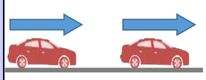
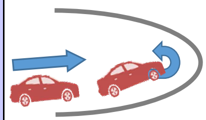
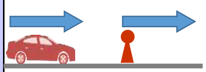
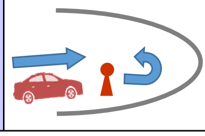
Table 39 事前検証での評価シーン

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 40 に基本検証での評価シーンを示す。

Table 40 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 41 に不調検証の評価シーンを示す。

Table 41 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 42 に示す。

Table 42 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	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PCにてROS形式で取得されているか確認
	4					ログ記録	高	ログPC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						高	ログPC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PC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PCにてROS形式で取得されているか確認
	11					ログ記録	高	ログPC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						高	ログPC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PC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 画面歪みの有り無しにより参考とする	認識性評価：物標	物標ID	物標ID	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	22					物標認識総数	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	23				物標サイズ	画面座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	24					センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	25				物標位置情報	画面座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	26					センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	27					ワールド座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	28				速度	速度	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	29				種別情報	詳細種別	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	30					進行方向種別	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	31				付加情報	標識種別	ー	CGと実車で同じ値をとるっているか
	32					速度標識	ー	CGと実車で同じ値をとるっているか
	33				信頼度	規格化	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	34					検出数	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	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るっているか
	36					車線認識総数	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	37				車線位置情報	画面座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	38					センサ座標	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	39					(近似式)	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	40				車線種別情報	自車両側車線(1本含む)	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	41					二重車線外側(三重車線中央)	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	42					三重車線外側	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	43				信頼度	規格化	低	CGと実車で同じ値をとるっているか
	44					検出数	低	CGと実車で同じ値をとるっているか

(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 43 に事前検証の検証項目を示す。

Table 43 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	ー	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	ー	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 44 に基本検証での検証項目を示す。

Table 44 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
	2					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
	3				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
	4					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
	5				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
	6					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
	7					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
	8				速度	速度	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
	9				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
	10					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
	11				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
	12					速度標識	—	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
	13				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
	14					検出数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
	15			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
	16					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
	17				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
	18					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
	19					(近似式)	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
	20				車線種別情報	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
	21					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
	22					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
	23				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
	24					検出数	高	実車認識結果と、実車正解値の誤差を検証する
	25		PC版認識結果とCG正解値との比較検証	認識性評価:物標	物標ID	物標ID	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	26					物標認識総数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	27				物標サイズ	画面座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	28					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	29				物標位置情報	画面座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	30					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	31					ワールド座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	32				速度	速度	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	33				種別情報	詳細種別	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	34					進行方向種別	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	35				付加情報	標識種別	—	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	36					速度標識	—	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	37				信頼度	規格化	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	38					検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	39			認識性評価:白線	車線ID	車線ID	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	40					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
	41				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
	42					センサ座標	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	43					(近似式)	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	44				車線種別情報	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
	45					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
	46					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
	47				信頼度	規格化	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	48					検出数	高	CG認識結果と、CG正解値の誤差を検証する
	49		実機版(V3H)認識結果とPC版認識結果との比較検証	認識性評価:物標	物標ID	物標ID	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	50					物標認識総数	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	51				物標サイズ	画面座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	52					センサ座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	53				物標位置情報	画面座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	54					センサ座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	55					ワールド座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	56				速度	速度	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	57				種別情報	詳細種別	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	58					進行方向種別	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	59				付加情報	標識種別	—	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	60					速度標識	—	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	61				信頼度	規格化	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	62					検出数	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	63			認識性評価:白線	車線ID	車線ID	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	64					車線認識総数	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	65				車線位置情報	画面座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	66					センサ座標	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	67					(近似式)	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	68				車線種別情報	自車両側車線(1本含む)	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	69					二重車線外側(三重車線中央)	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	70					三重車線外側	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	71				信頼度	規格化	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する
	72					検出数	高	実車認識結果と、CG認識結果の誤差を検証する

(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 45 に不調検証の検証項目を示す。

Table 45 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	不調検証	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	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				物標サイズ	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				物標位置情報	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	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				種別情報	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				付加情報	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	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
	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			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				車線位置情報	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				車線種別情報	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					二重車線外側 (三重車線中央)	高	実車認識結果(不調無し)と、実車正解値(不調無し)の誤差を検証する
	22					三重車線外側	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
	23				信頼度	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
	24					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
	25		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	物標ID	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
	26					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
	27				物標サイズ	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
	28					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
	29				物標位置情報	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
	30					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
	31					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
	32				速度	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
	33				種別情報	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
	34					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
	35				付加情報	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
	36					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
	37				信頼度	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
	38					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
	39			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正解値(不調無し)の誤差を検証する
	40					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
	41				車線位置情報	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
	42					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
	43					(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
	44				車線種別情報	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
	45					二重車線外側 (三重車線中央)	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
	46					三重車線外側	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
	47				信頼度	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
	48					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
	49		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	物標ID	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
	50					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
	51				物標サイズ	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
	52					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
	53				物標位置情報	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					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
	56				速度	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
	57				種別情報	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
	58					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
	59				付加情報	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
	60					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
	61				信頼度	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
	62					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
	63			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、CG認識結果(不調無し)の誤差を検証する
	64					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
	65				車線位置情報	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
	66					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
	67					(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
	68				車線種別情報	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
	69					二重車線外側 (三重車線中央)	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
	70					三重車線外側	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
	71				信頼度	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
	72					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

73	実機版(V3H)認識結果(不調あり)と実車正解値(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(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
74				物標認識総数	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
75			物標サイズ	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
76				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
77			物標位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
78				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
79				ワールド座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
80			速度	速度	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
81			種別情報	詳細種別	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
82				進行方向種別	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
83			付加情報	標識種別	—	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
84				速度標識	—	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
85			信頼度	規格化	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
86				検出数	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
87		認識性評価：白線	車線ID	車線ID	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
88				車線認識総数	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
89			車線位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
90				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
91				(近似式)	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
92			車線種別情報	自車両側車線(1本含む)	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
93				二重車線外側(三重車線中央)	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
94				三重車線外側	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
95			信頼度	規格化	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
96				検出数	高	実車認識結果(不調あり)と、実車正解値(不調あり)の誤差を検証する
97	PC版認識結果(不調あり)とCG正解値(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(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
98				物標認識総数	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
99			物標サイズ	画面座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
100				センサ座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
101			物標位置情報	画面座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
102				センサ座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
103				ワールド座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
104			速度	速度	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
105			種別情報	詳細種別	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
106				進行方向種別	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
107			付加情報	標識種別	—	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
108				速度標識	—	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
109			信頼度	規格化	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
110				検出数	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
111		認識性評価：白線	車線ID	車線ID	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
112				車線認識総数	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
113			車線位置情報	画面座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
114				センサ座標	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
115				(近似式)	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
116			車線種別情報	自車両側車線(1本含む)	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
117				二重車線外側(三重車線中央)	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
118				三重車線外側	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
119			信頼度	規格化	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
120				検出数	高	CG認識結果(不調あり)と、CG正解値(不調あり)の誤差を検証する
121	実機版(V3H)認識結果(不調あり)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	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
122				物標認識総数	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
123			物標サイズ	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
124				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
125			物標位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
126				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
127				ワールド座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
128			速度	速度	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
129			種別情報	詳細種別	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
130				進行方向種別	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
131			付加情報	標識種別	—	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
132				速度標識	—	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
133			信頼度	規格化	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
134				検出数	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
135		認識性評価：白線	車線ID	車線ID	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
136				車線認識総数	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
137			車線位置情報	画面座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
138				センサ座標	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
139				(近似式)	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
140			車線種別情報	自車両側車線(1本含む)	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
141				二重車線外側(三重車線中央)	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
142				三重車線外側	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
143			信頼度	規格化	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する
144				検出数	高	実車認識結果(不調あり)と、CG認識結果(不調あり)の誤差を検証する

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	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					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	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	―	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	―	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					(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				車線種別情報	自車両側車線(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				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
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	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					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	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	―	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	―	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					(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				車線種別情報	自車両側車線(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				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
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 108 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。

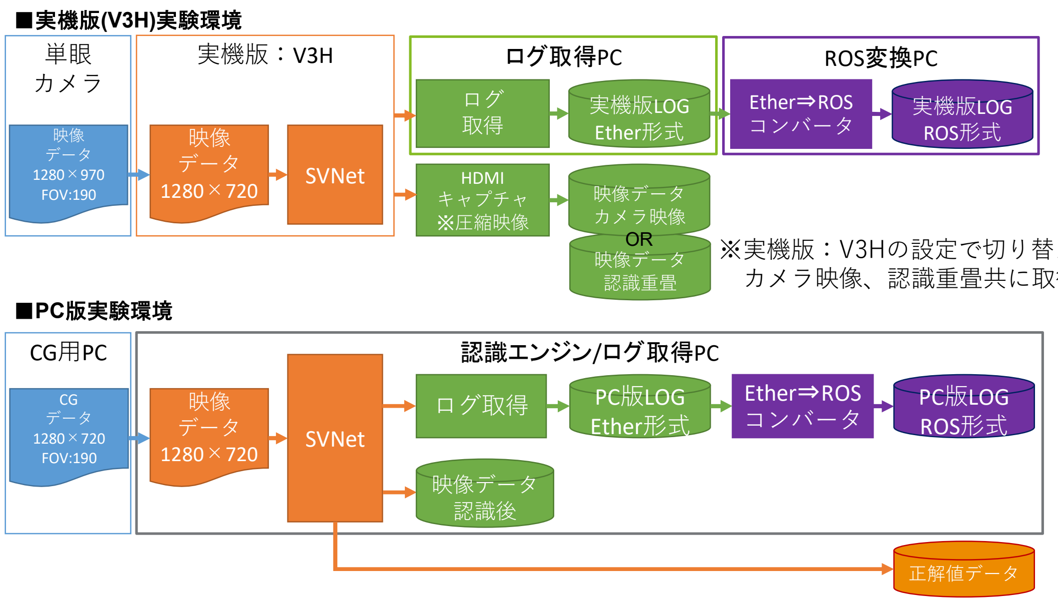


Figure 108 動作結合チェック実験環境

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 109 に示す。

■環境の違い

	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

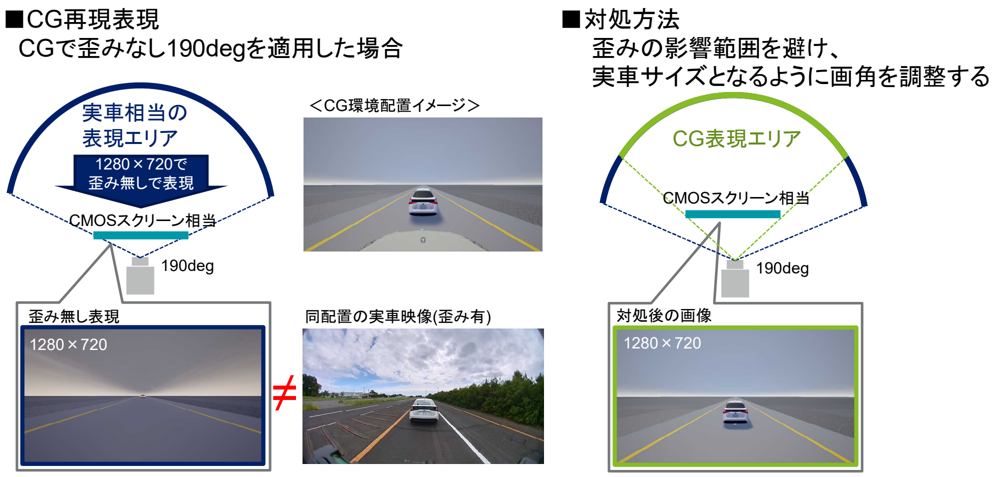


Figure 109　モデルキャリブレーション

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。以下に、実車実験風景と取得映像 Figure 110 に、PC 版のシミュレーション結果 Figure 111 に示す。

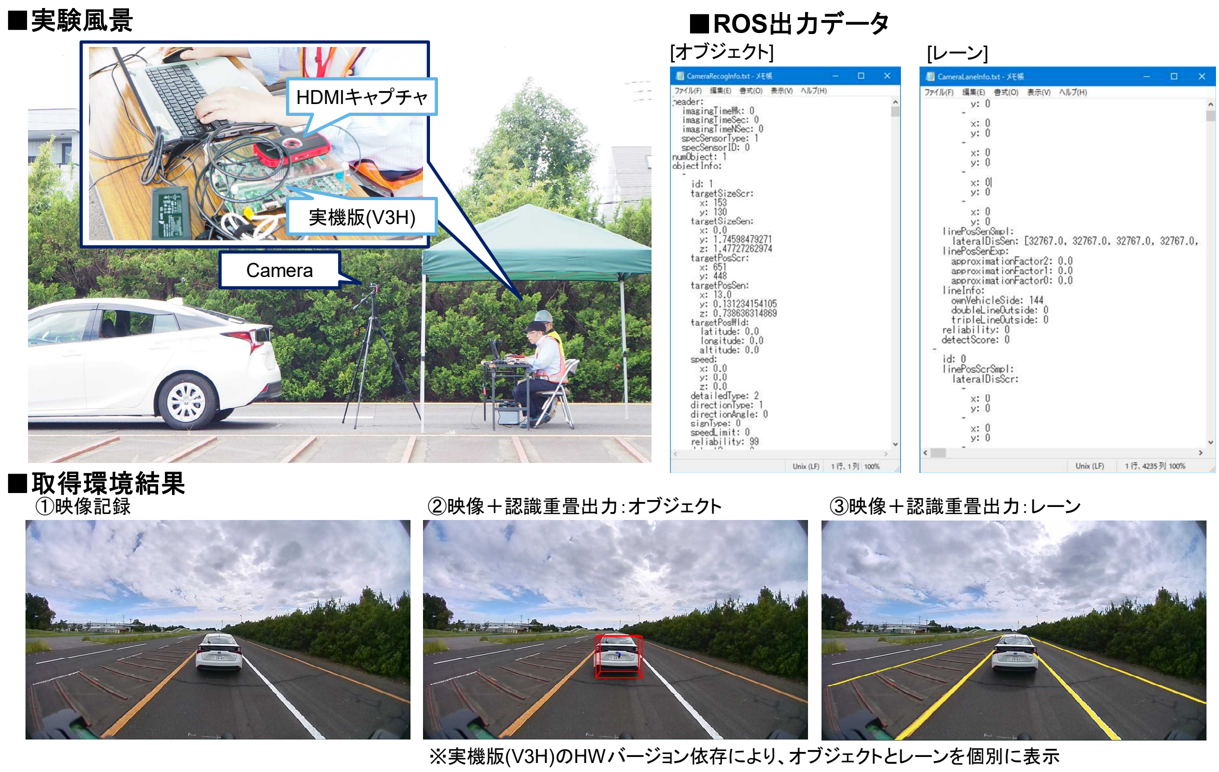


Figure 110　実車実験風景および取得環境結果

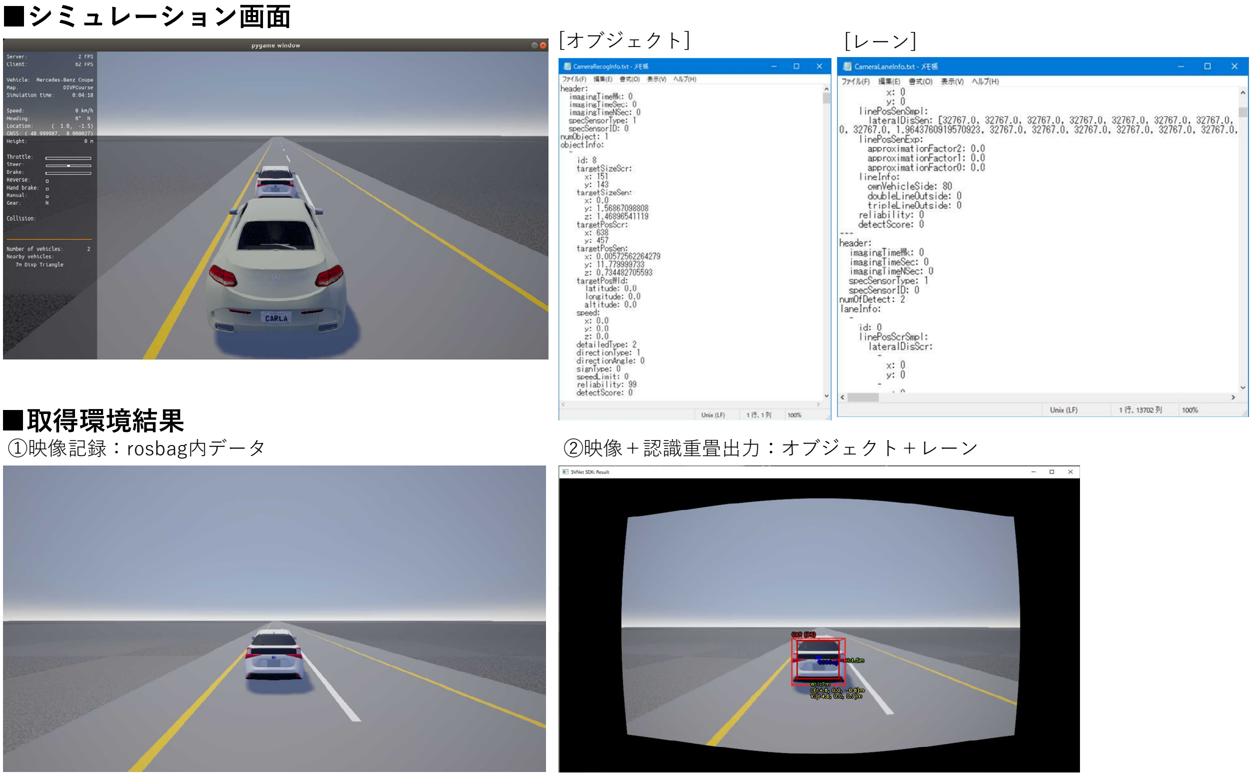


Figure 111 シミュレーション結果と取得環境結果

実機版及び PC 版で評価した結合動作チェック結果を Table 46 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 のフォーマットの確認を実施し、出力内容を確認した。

Table 46 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	※今回は重畳結果をHDMIキャプチャ(圧縮)で確認
				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	※今回は重畳結果をHDMIキャプチャ(圧縮)で確認
				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 112 に示すようにカメラを実車に備え付け、一定距離を離し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。

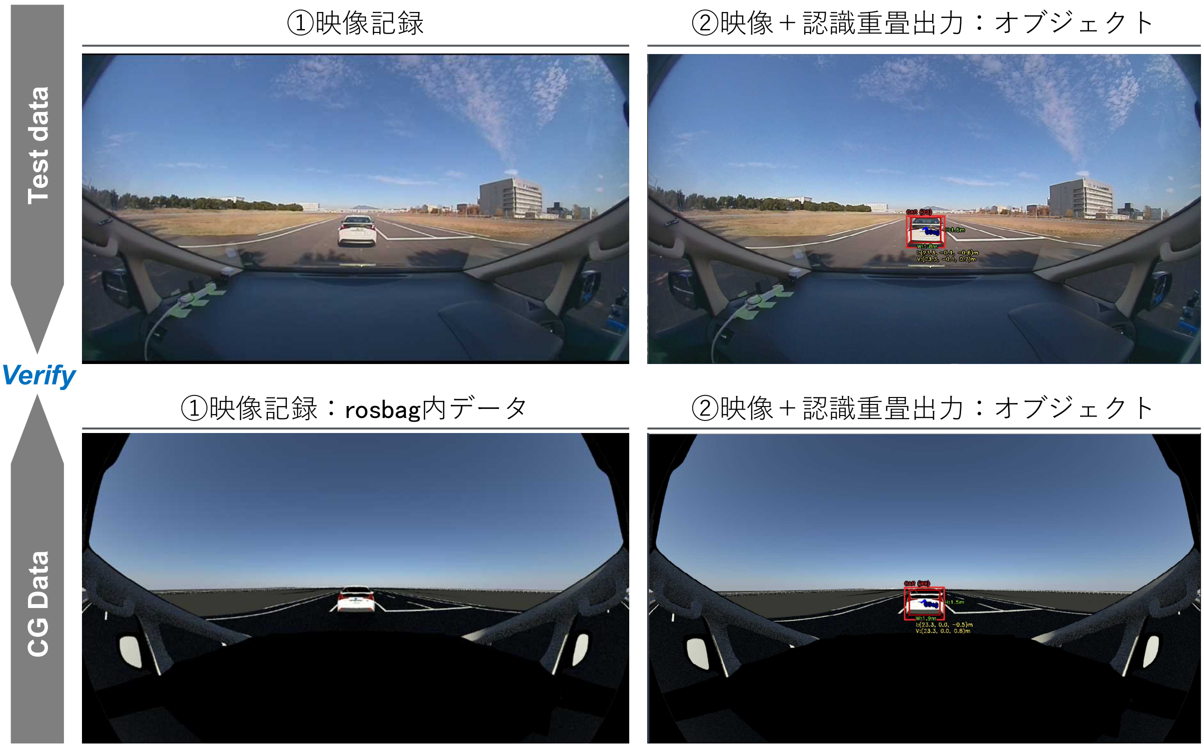


Figure 112　カメラ一致性検証

Figure 113 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。

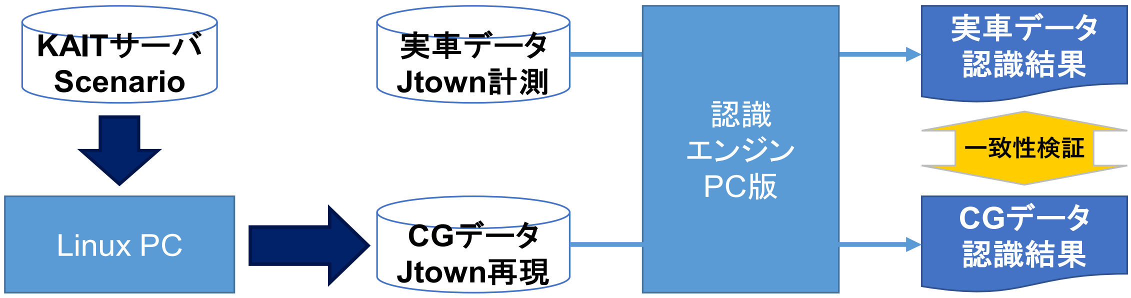


Figure 113　認識出力比較による一致性検証手法

以下、Table 47 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 47 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 47 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 114 に示す。Figure 114 より、映像の差分は以下の 10 点が考えられる。

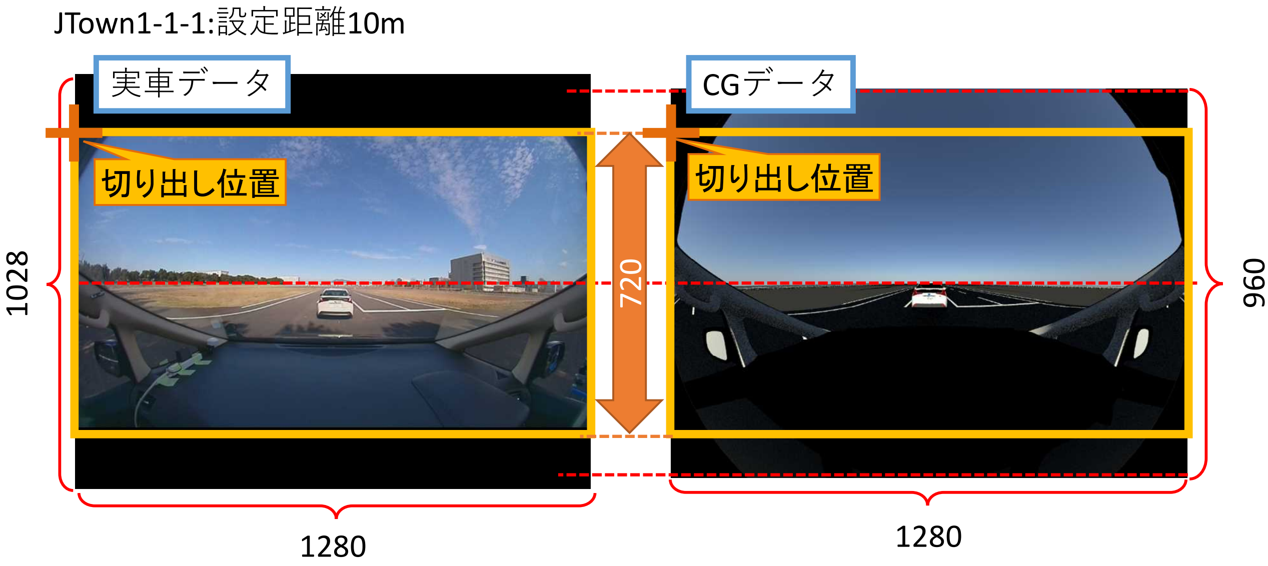


Figure 114 実車データと CG データの差分検証

■入力映像の差分

① フロントガラスの有無(歪み)
② カメラ画角
③ カメラの高さ(俯角)
④ Roll 角
⑤ 車両と白線の位置関係

⑥　ダッシュボードの反射率など(素材)
⑦　ピラーの反射
⑧　路面の色
⑨　車両の影
⑩　消失点

　また、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 115 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 48 に示す。

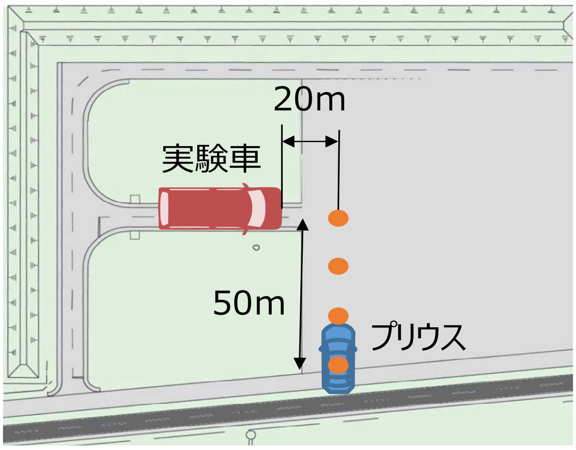


Figure 115　横位置による認識試験環境

Table 48 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
１０ｍ	20	-10	63.139	-10.087	73.23	-11.468
２０ｍ	20	-20	76.97	-19.287	88.599	-21.427
３０ｍ	20	-30	84.349	-26.181	認識せず	
４０ｍ	20	-40	98.5	-34.185	118.3	-39.616
５０ｍ	20	-50	118.3	-44.236	認識せず	

　また、Table 48 の結果を Figure 116 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。

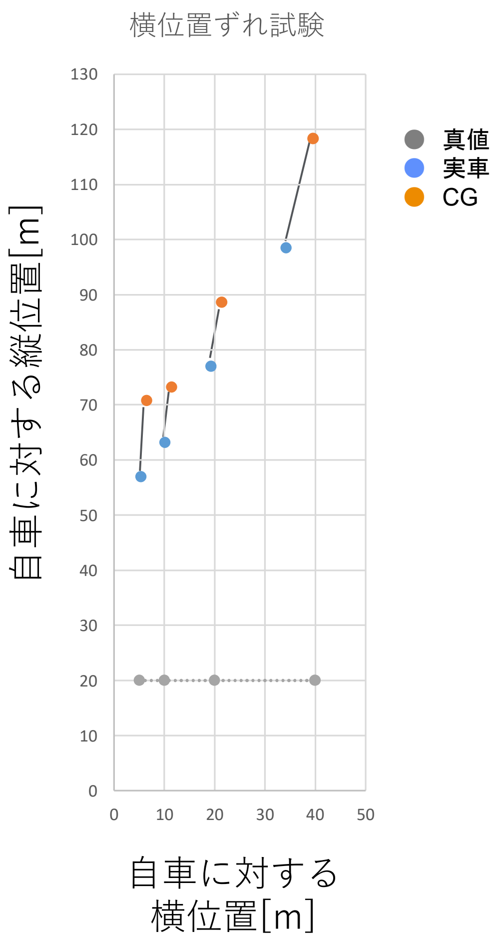


Figure 116 横位置ずれにおける真値と実車と CG の違い

(オ)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。

以下、認識エンジンの搭載や認識性評価を簡易にするためのツールを開発したので紹介する。開発したツールは⑧不調要因評価(映り込み)の基本検証および不調検証で活用する。

(カ)正解値判定ツールの開発

本ツールは、rosbag データ上に含まれる認識結果のデータを簡易に比較するツールである。2つの rosbag データを標準出力 I/F で定義した変数同士で比較を実施するツールである。以下に、データフローとツールに必要な入出力情報を示す。

（a） データフロー

Figure 117 に本比較ツールのデータフロー図を示す。本ツールは、VisualStudio2019 で作成する。入力は rosbag となるため、入力部となる[Rosbag 取込みモジュール]で、Rosbag の入力データの中から、時間、物標認識結果、車線認識結果を取り出し、内部メモリ（構造体）に展開する。

[判定処理]では、物標認識結果および車線認識結果を入力し、個々のデータを比較する。この比較処理をするときに Ini ファイルに書き込まれている許容誤差範囲を含め判定し、「OK」/「NG」を判断する。

[Excel 更新モジュール]は Excel の特定セルに書き込みを可能とする機能を有する。本書き込み機能を使用し、特定のフォーマットのセルに書き込みを実施し、書き込みが完了したファイルに名前を付けて保存する。ファイル名は、数字 8 桁とする。

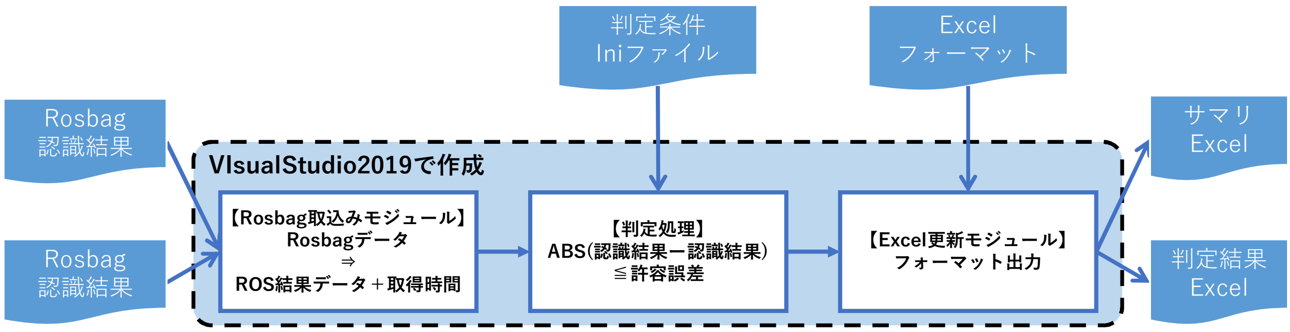


Figure 117　比較ツールのデータフロー図

(b)実行形式

ツールの実行形式としては、コンソールアプリケーションとします。実行形式としては、引数に「比較する ROSbag ファイル」、「比較結果格納先」を渡す形式とする。

実行プログラムは以下の形式にて実行するものとする。

DivpCompTool.exe△XXXX-XX-XX.bag△YYYY-YY-YY.bag△d:¥output¥(△10) [Enter]

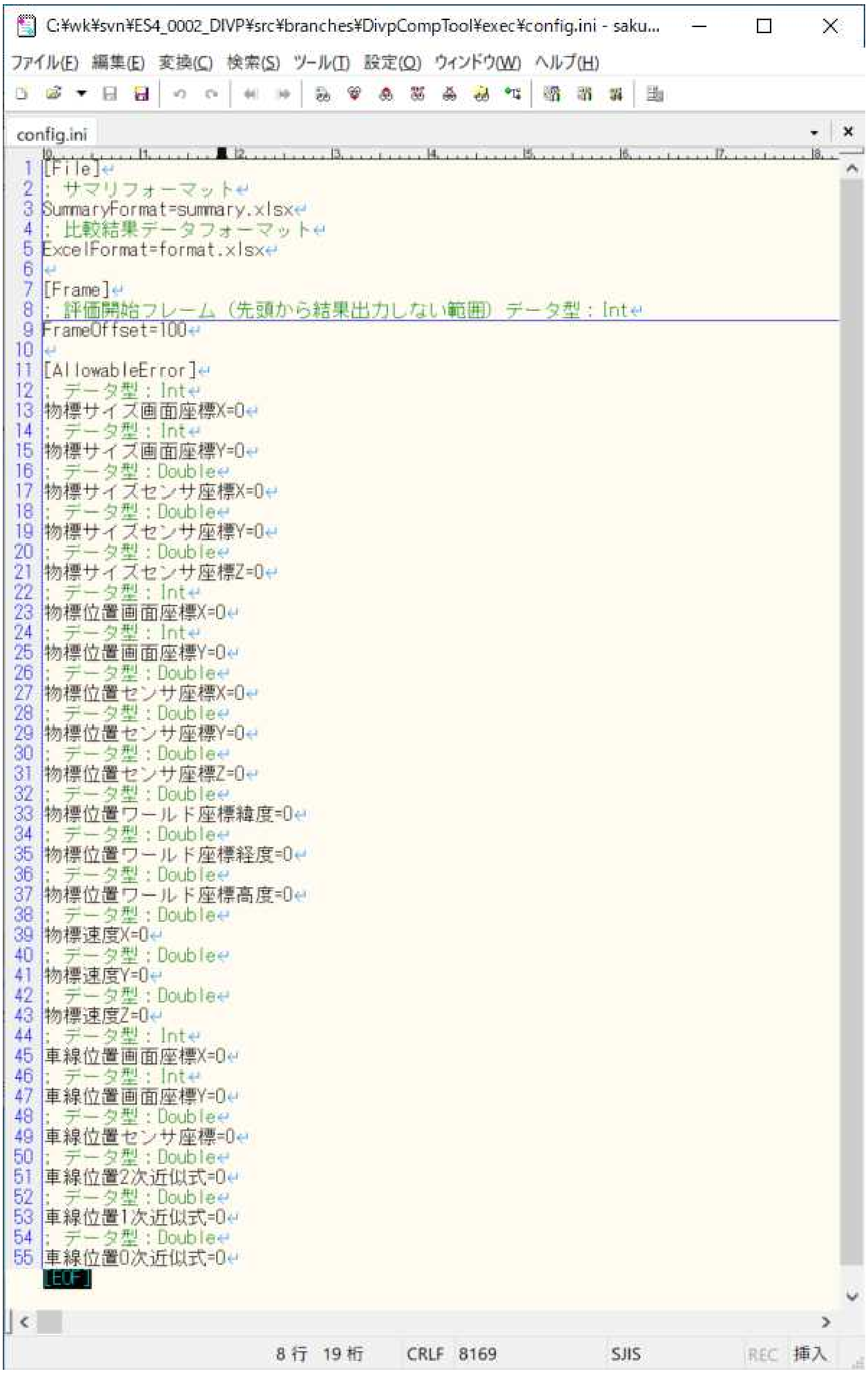
※　△はスペース　[Enter]は Enter キー

（△10）はオプションで、YYYY-YY-YY.bag に付けるオフセットフレーム数を示す。

(c)Ini ファイル仕様

実行時の設定情報を格納するファイルとして Ini ファイルを使用する。ファイル名は、「config.ini」とし、実行ファイルと同ディレクトリに格納する。設定情報としては、フォーマットファイルのファイル名、誤差許容範囲を対象とする。

実際の Ini ファイルの中身を Figure 118 に示す。許容誤差の設定に関しては、比較対象の差分範囲とするため、±で許容する値を格納すること。



C:¥wk¥svn¥ES4_0002_DIVP¥src¥branches¥DivpCompTool¥exec¥config.ini - saku...
ファイル(F) 編集(E) 変換(C) 検索(S) ツール(T) 設定(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
config.ini

```
[File]
; サマリフォーマット
SummaryFormat=summary.xlsx
; 比較結果データフォーマット
ExcelFormat=format.xlsx

[Frame]
; 評価開始フレーム（先頭から結果出力しない範囲） データ型：Int
FrameOffset=100

[AllowableError]
; データ型：Int
物標サイズ画面座標X=0
; データ型：Int
物標サイズ画面座標Y=0
; データ型：Double
物標サイズセンサ座標X=0
; データ型：Double
物標サイズセンサ座標Y=0
; データ型：Double
物標サイズセンサ座標Z=0
; データ型：Int
物標位置画面座標X=0
; データ型：Int
物標位置画面座標Y=0
; データ型：Double
物標位置センサ座標X=0
; データ型：Double
物標位置センサ座標Y=0
; データ型：Double
物標位置センサ座標Z=0
; データ型：Double
物標位置ワールド座標緯度=0
; データ型：Double
物標位置ワールド座標経度=0
; データ型：Double
物標位置ワールド座標高度=0
; データ型：Double
物標速度X=0
; データ型：Double
物標速度Y=0
; データ型：Double
物標速度Z=0
; データ型：Int
車線位置画面座標X=0
; データ型：Int
車線位置画面座標Y=0
; データ型：Double
車線位置センサ座標=0
; データ型：Double
車線位置2次近似式=0
; データ型：Double
車線位置1次近似式=0
; データ型：Double
車線位置0次近似式=0
[EOF]
```

8 行 19 桁 CRLF 8169 SJIS REC 挿入

Figure 118 Ini ファイルの中身

(d)出力ファイル

出力ファイルは、指定したディレクトリに比較されたフレーム結果をもとに、フレーム毎にファイル出力する。ここで、先頭から 100 フレーム目までは、認識結果の安定条件の期間として出力されない仕様としており、100 フレーム目以降、先頭から数えたフレーム番号をもったファイル名で出力される。

出力された比較結果が格納されたフォルダを Figure 119 に示す。

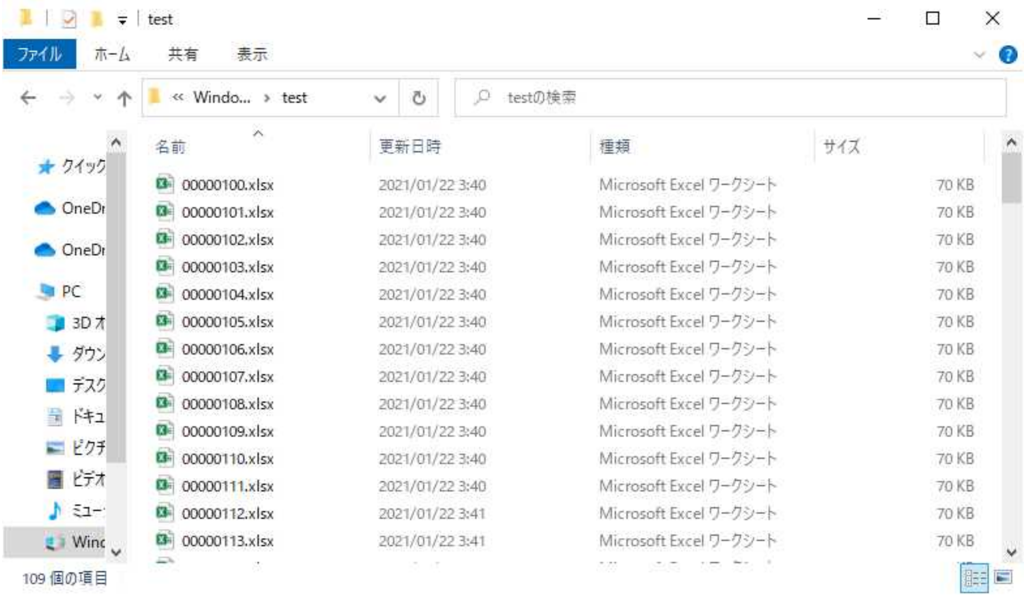


Figure 119　出力ファイル

(e)サマリーフォーマット

　比較結果のサマリの出力フォーマットを Figure 120 に示す。Result に比較結果に一つでも「NG」があった場合には、「NG」を出力する。

No.	FileName	Result
1	00000001.xlsx	OK
2	00000002.xlsx	OK
3	00000003.xlsx	OK
4	00000004.xlsx	OK
5	00000005.xlsx	OK
6	00000006.xlsx	NG
7	00000007.xlsx	NG
8	00000008.xlsx	NG
9	00000009.xlsx	NG
10	00000010.xlsx	NG
11	00000011.xlsx	NG
12	00000012.xlsx	OK
13	00000013.xlsx	OK
14	00000014.xlsx	OK
15	00000015.xlsx	OK
⋮	⋮	⋮

Figure 120　サマリの出力例

(f)比較結果フォーマット

物標の比較結果出力のフォーマットを Figure 121 に示す。また、車線の比較結果出力のフォーマットを Figure 122 に示す。それぞれの図中の A～C の範囲に結果を出力する。A と B に比較する Rosbag のデータを、C に A と B から ini ファイルで定義した許容誤差内に入っているかどうかの結果を示す。

設定	データ			データ１ A	データ２ B	判定結果 C	備考
ROS出力	時間情報	撮像時間	週単位	2658	2658	-	
			週秒	114021	114023	-	
			秒	186902000	185701800	-	
		認識時間	-	1.31E+07	1.31E+07	-	
	固有情報	センサ種別	-	1	1	OK	
		センサID	-	0	0	OK	
	物標ID	物標ID	-	1	1	OK	
		物標認識総数	-	1	1	OK	
	物標サイズ	画面座標	X	219	219	OK	
			Y	188	187	NG	
		センサ座標	X	0	0	OK	
			Y	2.079999924	2.089999914	NG	
			Z	1.779999971	1.779999971	OK	
	物標位置情報	画面座標	X	593	593	OK	
			Y	438	437	NG	
		センサ座標	X	10.81000042	10.81000042	OK	
			Y	0.439999998	0.439999998	OK	
			Z	-0.709999979	-0.709999979	OK	
		ワールド座標	緯度	2147483648	2147483648	OK	
			経度	2147483648	2147483648	OK	
			高度	0.889999986	0.889999986	OK	
	速度	速度	X	32767	32767	OK	
			Y	32767	32767	OK	
			Z	32767	32767	OK	
	種別情報	詳細種別	-	2	2	OK	
		進行方向種別	進行方向種別	1	1	OK	
			進行方向角度	6	6	OK	
	付加情報	標識種別	-	0	0	OK	
		速度標識	-	255	255	OK	
	信頼度	規格化	-	99	99	-	
		検出数	-	251	251	-	

Figure 121　物標の比較結果例

設定	PF			データ１	データ２	判定結果	備考
ROS出力	時間情報	撮像時間	週単位	2658	2658	-	
			週秒	114021	114023	-	
			秒	186902100	185701900	-	
		認識時間	-	1.3119E+07	1.3144E+07	-	
	固有情報	センサ種別	-	1	1	OK	
		センサID	-	0	0	OK	
	車線ID	車線認識総数	-	4	4	OK	
		車線ID	-	1	1	OK	
	物標位置情報	画面座標(サンプリング)	X(1m)	931	931	OK	
			Y(1m)	651	651	OK	
			X(2m)	819	819	OK	
			Y(2m)	538	538	OK	
			X(3m)	759	759	OK	
			Y(3m)	477	477	OK	
			X(4m)	723	723	OK	
			Y(4m)	441	441	OK	
			X(5m)	701	701	OK	
			Y(5m)	417	417	OK	
			⋮	⋮	⋮	⋮	
			X(99m)	65535	65535	OK	
			Y(99m)	65535	65535	OK	
			X(100m)	65535	65535	OK	
			Y(100m)	65535	65535	OK	
		センサ座標(サンプリング)	車線の横距離(1m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(2m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(3m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(4m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(5m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(6m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(7m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(8m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(9m)	32767.00	32767.00	OK	
			車線の横距離(10m)	-1.53	-1.53	OK	
			⋮	⋮	⋮	⋮	
			車線の横距離(20m)	-1.59	-1.59	OK	
			⋮	⋮	⋮	⋮	
			車線の横距離(30m)	-1.80	-1.80	OK	
			⋮	⋮	⋮	⋮	
			車線の横距離(100m)	32767.00	32767.00	OK	
		センサ座標(近似式)	車線の2次近似式係数	-1751.94641	-1751.94641	OK	
			車線の1次近似式係数	8349.68	8349.68	OK	
			車線の0次近似式係数	-1433094.50	-1433094.50	OK	
		自車両側車線	-	144	144	OK	
	車線種別情報	二重車線外側	-	0	0	OK	
		三重車線外側	-	0	0	OK	
		規格化	-	95	95	-	
	信頼度	検出数	-	242	242	-	

Figure 122　車線の比較結果例

(キ)標準 I/F 簡易変換ツールの開発

標準 I/F 簡易変換ツールとは、カメラモデルに認識エンジンを組み込む際に I/F の載せ替えをサポートするツールである。DIVP®では Figure 91 のような認識エンジン評価環境を構築している。本プロジェクトで標準出力 I/F を定義しており、新規認識エンジンの接続、認識エンジンの置き換えを実施する場合は DIVP®の標準 I/F と認識エンジンの入出力 I/F の合わせこみが必要となる。

(a)ツール実行環境

ツールの実行環境は以下の通りである。

PC： Microsoft Windows 10 64bit
インタープリタ：Python 3.8.1
使用ライブラリ：openpyxl 3.0.4
その他：Excel 2010 以降
※Windows 10 はバージョン 1909(OS ビルド) 18363.1082）で動作確認済

(b)ツールの構成と適用範囲

ツールは入力ファイル「Divp_cam_RecEng_Spe.xlsx」を基にソースファイル「divp_if_convert.cpp」、ヘッダファイル「divp_if_convert.h」を出力する。

「Divp_cam_RecEng_Spe.xlsx」にはユーザーが、標準入出力 I/F と認識エンジン I/F との繋がりと認識エンジン I/F の仕様を記載する。

「divp_if_convert.cpp」にはツールにより、標準入出力 I/F と認識エンジン I/F の間で行う関数が定義される。また、「divp_if_convert.h」には定義した関数の extern 宣言が記載される。

ツールから出力されたファイルはカメラモデルに適用する。カメラモデル内に「Wrapper」、「divp_cam_fw」のフォルダを配置する。ツールから出力されたファイルは「Wrapper」内に配置する。

配置後はソースコードに以下の変更が必要になる。

①認識エンジンファイルのインクルード
②認識結果・物標情報および車線情報の毎の変換処理
③認識エンジン I/F への入力時の変換処理
④認識エンジン I/F からの認識結果出力時の変換処理（②の実行）

「Wrapper」内においては
「divp_if_convert.cpp」は①を、「wrapper.cpp」は①②を変更する必要がある。

また、認識エンジンを実行する API をコールする必要がある。コールするファイル（ストラトビジョン製「SVNet V3H v1.3.x」においては「MainBaza.cpp」）においては③④を変更する。

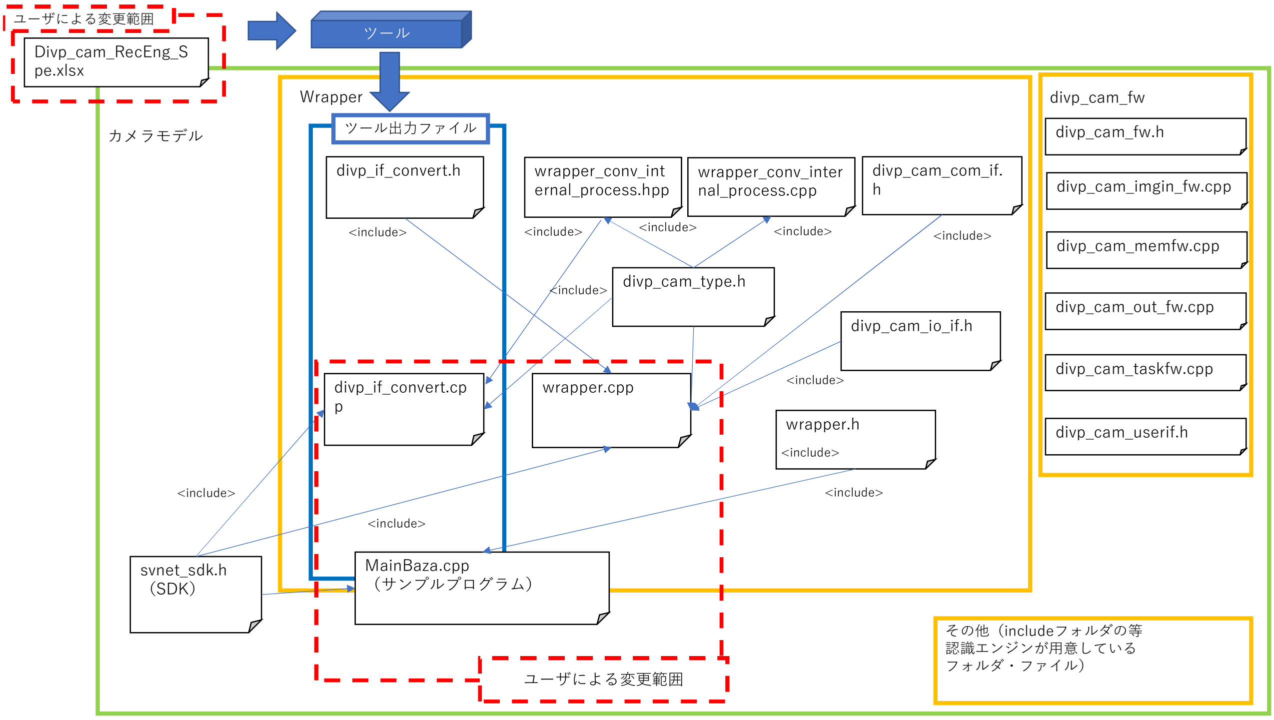


Figure 123 ツールの適用範囲（ストラトビジョン製「SVNet V3H v1.3.x」の場合）

(c)入力ファイルの構成

ツールの入力ファイルである「Divp_cam_RecEng_Spe.xlsx」にはカメラモデルの I/F（標準入出力 I/F）と認識エンジン I/F 間の接続方法と認識エンジン I/F の仕様が記載される。

以下に示す 12 のシートから構成されている。

●Sheet"STDIN_CON"

標準入力 I/F 毎の接続方法を指定するシート。

●Sheet"STDOUT_CON"

標準出力 I/F 毎の接続方法を指定するシート。

●Sheet"ENG_SPE"

接続パターン毎に認識エンジン I/F の仕様（単位、データ型、分解能）を示すシート。

●Sheet"IMG_FORM"

画像変換方式方法を指定するシート。

●Sheet" POSITION_SPE"

認識エンジン I/F における座標系の I/F 仕様（座標原点や軸方向等）を指定するシート。

●Sheet"ENGIN_FLAG"

標準入力 I/F（ライト SW、ADAS SW）に対する認識エンジン I/F の設定値を指定するシート。

●Sheet"ENGOUT_FLAG"

標準出力 I/F（物標情報標識種別、車線情報車線種別）に対する認識エンジン I/F の設定値を指定するシート。

●Sheet"ENGIN_CFG"

標準入力 I/F（シフトレバー、ワイパー情報、カラーフィルタ、シャッタ方式、変更不フィルタ）に対する認

識エンジン I/F の設定値を指定するシート。

●Sheet"ENGOUT_CFG"

標準出力 I/F(物標情報詳細情報、物標情報進行方向種別)に対する認識エンジン I/F の設定値を指定するシート。

●Sheet"DEF_CP_CFG"

ユーザー変更不可。接続パターンの定義シート。

●Sheet"DEF_PROC_CFG"

ユーザー変更不可。出力される関数内で行われる変更処理の定義シート。

●Sheet"LIST"

ユーザー変更不可。他のシート単位等の選択肢を定義しているシート。

⑨不調要因評価(映り込み)

本章では、不調要因評価に関して説明する。ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社殿が⑧基本機能評価実施中に DIVP®に参入されたことで、使用しているカメラが ISX019 から IMX490 に変更になった。そこで、IMX490 環境での試験環境の構築を実施し、不調検証シーンとしてフロントガラスの映り込みの比較結果を示す。なお、IMX490 は V3H と接続不可の為、実車/CG 共にオフライン環境で検証を行うこととした。

(ア)試験環境

Figure 124 にソニーセミコンダクタソリューションズ殿のカメラ IMX490 を用いたカメラ認識性評価環境を示す。ISX019 からの変更点として、カメラ映像が RGB(8bit)から STB ファイル形式で保存される仕様に変更となった。そこで、STB ファイルを読み取り ISP 処理、認識エンジンに出力することでカメラ認識結果を取得する環境を構築した。

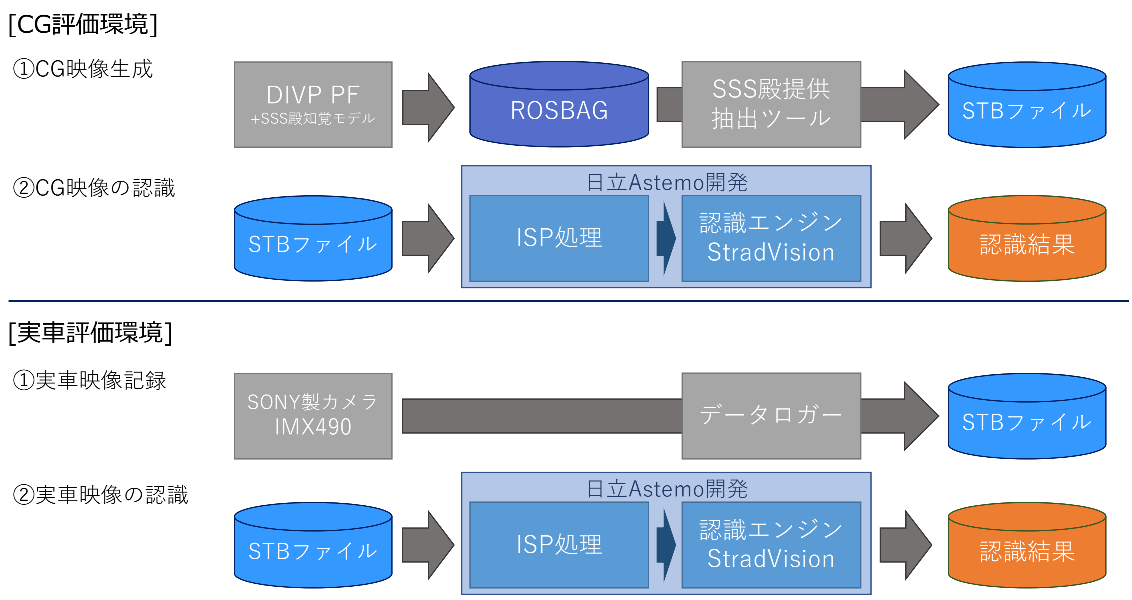


Figure 124 IMX490 を用いたカメラ認識性評価環境

(イ)ISP(ImageSignalProcessing)処理

Rosbag ファイルから抽出した STB ファイルや実車で取得した STB ファイルは RAW データの為、認識エンジンに入力する為に色調整や画面切り出しなどの ISP 処理を実施する。ISP 処理の内容を Figure 125 に記載する。また、入力情報である STB ファイルの映像と、ISP 処理を実施した映像を Figure 126 に示す。

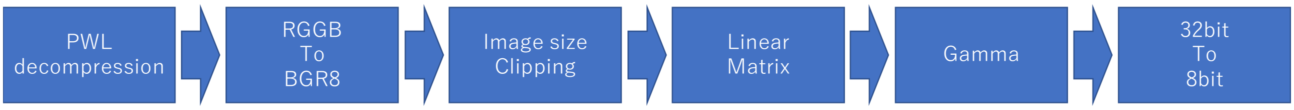


Figure 125 ISP 処理内容

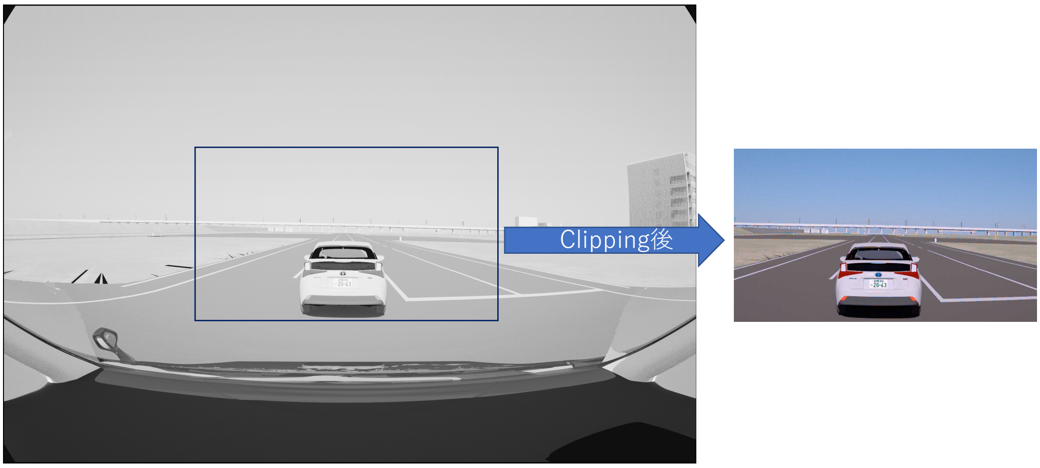


Figure 126 ISP 処理前後比較

(ウ)シナリオ調整

本プロジェクトでは実車環境で地図情報、自車情報(位置、姿勢)、先行車情報(位置、姿勢)を測定し、シナリオ化し CG 再現する。CG 描画にした際、実車映像と再現した CG の位置や姿勢の一致が取れないという問題が発生している。これは、シナリオが GPS 情報を単純変換して作成され、カメラの取り付け位置や姿勢が考慮されていないことが要因と考える。

カメラ認識の比較には実車と CG の一致が必須の為、以下シナリオの調整を行った。

今回、対象とするシナリオは、基本検証 1-1-1 とした。Figure 127 に実車および CG の比較を示す。

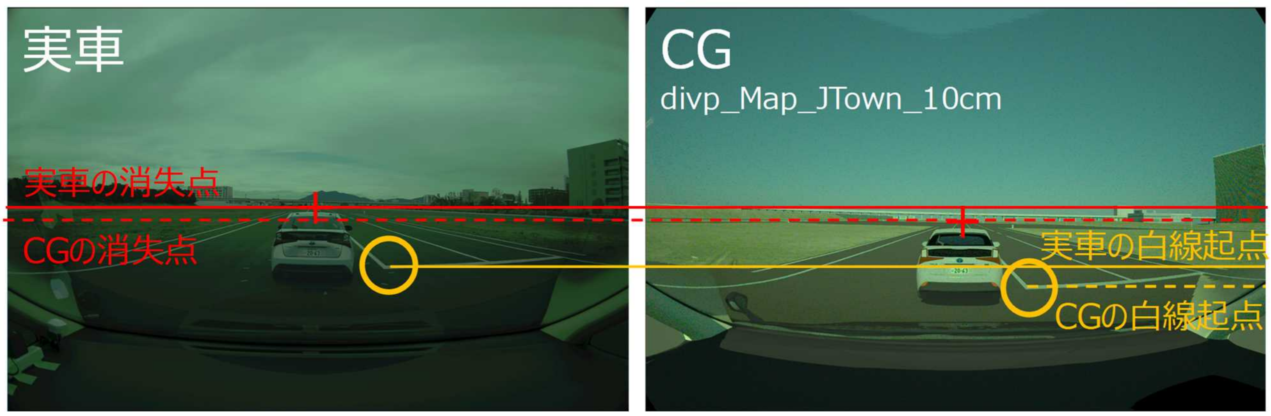


Figure 127 実車および CG 比較

本シナリオで大きく2つの差分が見えている。

(a) 消失点位置

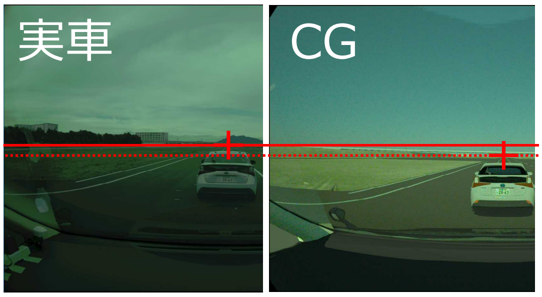
(b) 白線起点位置

これら2つは自車の位置と姿勢で調整が可能である。以下に、調整結果を示す。

(a) 消失点位置の調整

本節では消失点位置の調整を行う。実車と CG を比較するとカメラの消失点位置(＝水平線)が異なることが見て取れる。実車が高く、CG が低いことからカメラが実車に比べて上向きに取り付けられていると推定される。そこで、車両のピッチ角を下向きに調整することで合わせこみを実施した。

[合わせこみ前]



[変更内容]

	pitch[deg]
調整前	-2.08459
調整後	0.21541

[合わせこみ後]

(b) 白線起点位置の調整

本節では白線起点位置の調整を行う。特徴的な白線の角を実車と CG を比較するとズレが生じていることが分かる。自車よりも CG の方が手前にある為、自車が特徴点に近い位置にあると想定される。

そこで、自車両の座標を下げることで調整した

[合わせこみ前]

[変更内容]

	Pos_x[m]
調整前	424.02715
調整後	423.12715

[合わせこみ後]

上記 2 点の修正によって、実車と CG の消失点と白線の起点位置を調整することができた。しかし、起点位置以外の白線が一致していないなど、実車と CG の完全一致までは調整することが出来ていない。この修正には地図情報自体の修正が必要であり、作業調整に膨大な時間を要する為断念した。

(エ)基本検証

前節で、シナリオ調整が完了したので認識エンジンを入力した結果を示す。

Figure 128 に認識結果の重畳画面を、Table 49 に車両情報の認識結果、Table 50 に白線情報の認識結果を示す。

認識結果より、自車から先行車までの相対距離が実車では 4.94m に対して、CG では 5.32m と約 0.4m の誤差がある。これは、重畳画像から先行車のサイズが実車と CG で異なるなど合わせこみが十分でないことが要因として上げられる。また、白線については実車では自車線右側白線が自車両上まで認識するという誤認識が発生しているが、CG では発生していない。

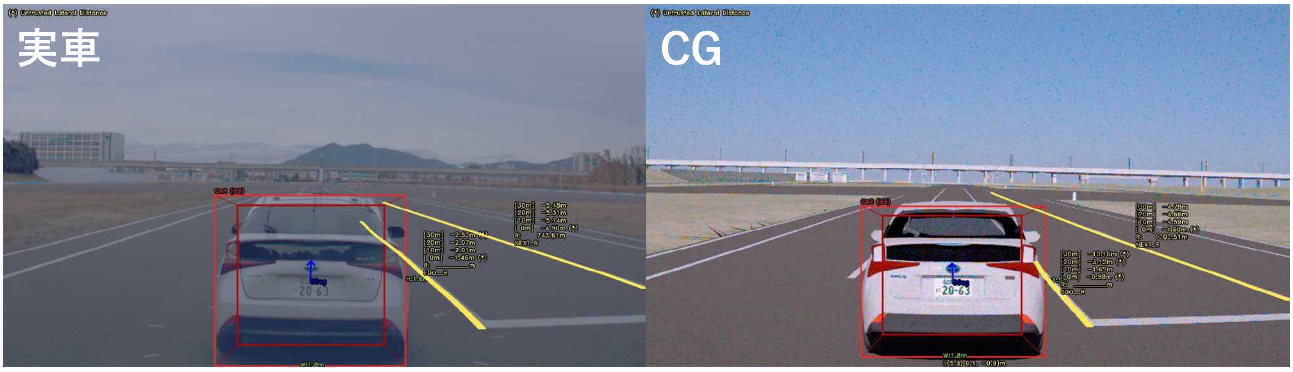


Figure 128　基本検証：認識重畳結果

Table 49 認識結果:車両情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	435872	4294967295	—
		秒	558180100	4294967295	—
	認識時間	-	13465500	14300000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
物標 ID	物標 ID	-	1	1	0
	物標認識総数	-	1	1	0
物標サイズ	画面座標	X	380	366	14
		Y	339	301	38
	センサー座標	X	0	0	0
		Y	1.75	1.8	0.05
		Z	1.55	1.47	0.08
物標位置情報	画面座標	X	610	610	0
		Y	547	548	1
	センサー座標	X	4.94	5.32	0.38
		Y	0.13	0.15	0.02
		Z	-0.82	-0.86	0.04
	ワールド座標	緯度	2147483648	2147483648	0
		経度	2147483648	2147483648	0
		高度	0.78	0.74	0.04
速度	速度	X	32767	32767	—
		Y	32767	32767	—
		Z	32767	32767	—
種別情報	詳細種別	-	2	2	—
	進行方向種別	進行方向種別	1	1	0
		進行方向角度	0	0	0
付加情報	標識種別	-	0	0	—
	速度標識	-	255	255	—
信頼度	規格化	-	99	99	—
	検出数	-	251	251	—

Table 50　認識結果：白線情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	435872	4294967295	—
		秒	558180200	4294967295	—
	認識時間	-	13500000	14300000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
車線 ID	車線認識総数	-	2	2	0
	車線 ID	-	1	1	0
物標位置情報	画面座標（サンプリング）	X(1m)	65535	65535	0
		Y(1m)	65535	65535	0
		X(2m)	882	821	61
		Y(2m)	574	569	5
		X(3m)	811	65535	64724
		Y(3m)	513	65535	65022
		X(4m)	767	65535	64768
		Y(4m)	477	65535	65058
		X(5m)	736	65535	64799
		Y(5m)	453	65535	65082
		X(6m)	719	65535	64816
		Y(6m)	437	65535	65098
		X(7m)	65535	65535	0
		Y(7m)	65535	65535	0
		X(8m)	65535	65535	0
		Y(8m)	65535	65535	0
		X(9m)	65535	65535	0
		Y(9m)	65535	65535	0
		X(10m)	65535	65535	0
		Y(10m)	65535	65535	0
		X(11m)	65535	65535	0
		Y(11m)	65535	65535	0
		X(12m)	65535	65535	0
		Y(12m)	65535	65535	0
		X(13m)	65535	65535	0
		Y(13m)	65535	65535	0
		X(14m)	−5.14	−1.59	3.55
		Y(14m)	−5.31	32767	32772.31
		X(15m)	−5.48	32767	32772.48
		Y(15m)	616.3632813	23.6753	592.6879813
		X(16m)	−2177	0.42	2177.42
		Y(16m)	384857.125	−442054.09	826911.215
		X(17m)	144	132	12
		Y(17m)	0	0	0
		X(18m)	0	0	0
		Y(18m)	91	97	6
		X(19m)	233	247	14
		Y(19m)	65535	373	65162
		車線の横距離(10m)	−5.14	−4.49	0.65
		車線の横距離(20m)	−5.31	−4.44	0.87
		車線の横距離(30m)	−5.48	−4.47	1.01
	センサー座標（近似式）	車線の 2 次近似式係数	616.3632813	−	2456.192141
		車線の 1 次近似式係数	−2177	1316.33	3493.33
		車線の 0 次近似式係数	384857.125	16546.75	368310.375
	自車両側車線	-	144	144	0
車線種別情報	二重車線外側	-	0	0	0
	三重車線外側	-	0	0	0
	規格化	-	91	93	—
信頼度	検出数	-	233	236	—

(オ)JAMA 連携

DIVP®では、JAMA でとりまとめている AD 安全性評価のための不調要因シナリオ体系と連携し、これまでバラバラだった各社要求を一元化、再現すべきセンサー不調原理の優先度を整理、モデル化を実施した。

Figure 129 に、DIVP®で再現すべき不調原理を整理した概念図を示す。

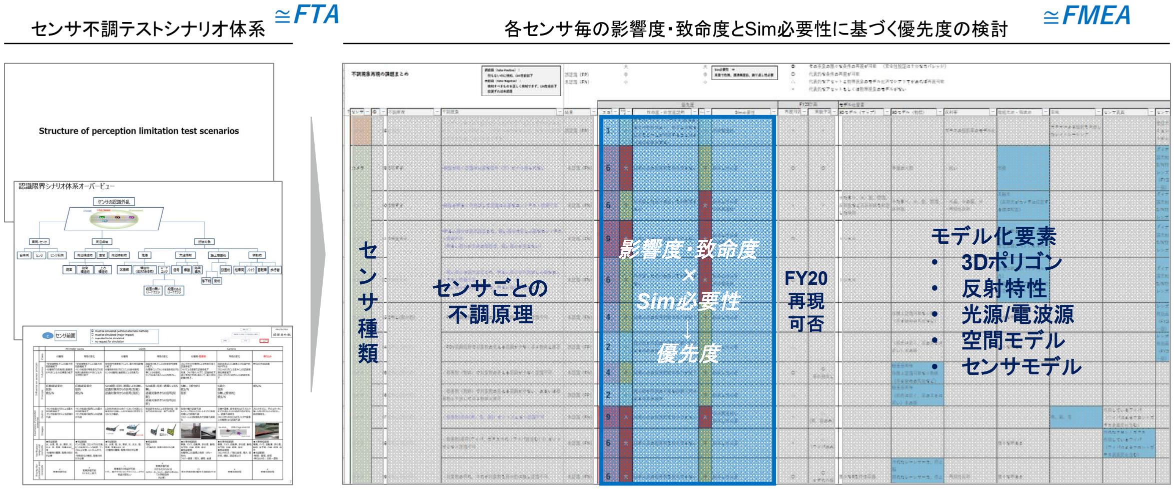


Figure 129　DIVP®で再現すべき不調原理の整理

(カ)不調検証

(a) 映り込みの合わせこみ

JAMA 連携でも検討している映り込みについて本節で検証を行う。

不調検証を行う前に、映り込みシナリオの調整を実施する。

調整する対象として、自車および先行車の位置、姿勢に加え、映り込み要因の位置調整を実施した。

Figure 130 に調整前の実車と CG の映像を示す。また、Figure 131 に実車と CG を重畳させた映像を示す。

Figure 130　不調検証(映り込み):シナリオ調整前　実車と CG

Figure 131　不調検証(映り込み)：シナリオ調整前　実車と CG 重畳

先のシナリオ調整を基に同様の調整を実施した。調整したパラメータの一部を Figure 132 に示す。また、適用結果を Figure 133、実車と CG を重畳させた結果を Figure 134 に示す。

自車シナリオ調整

	X座標	Y座標	Z座標	yaw	roll	pitch
調整前	471.7656	-215.523	24.8845	-5.37641	0.056895	-0.7936
調整後	471.7802	-215.122	24.885	-5.27474	0.053572	0.804391

他車シナリオ調整

	X座標	Y座標	Z座標	yaw	roll	pitch
調整前	485.8689	-216.618	24.90386	-5.23912	-1.56979	0.145646
調整後	485.8702	-216.107	24.904	-5.23918	-1.56973	0.145359

映り込みシナリオ調整

	X座標	Y座標	Z座標	yaw	roll	pitch
調整前	471.7656	-215.523	24.8845	-5.37641	0.056895	-0.7936
調整後	471.7602	-215.102	24.895	-5.27474	0.053572	0.804391

Figure 132　調整パラメーター覧(抜粋)

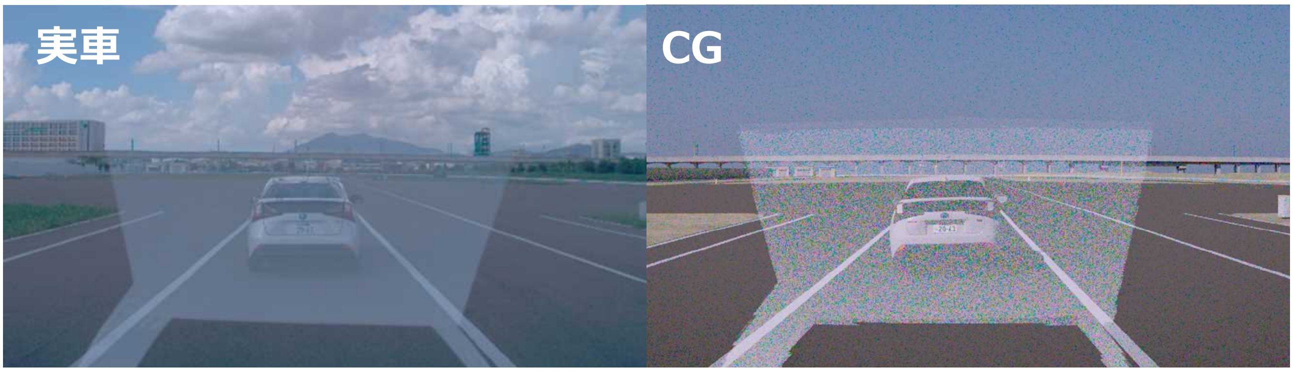


Figure 133　不調検証(映り込み)：シナリオ調整後　実車と CG

Figure 134　不調検証(映り込み)：シナリオ調整後　実車と CG 重畳

(b) 認識性評価

前節で、シナリオ調整を実施したので調整後の映像を認識エンジンに入力した結果を示す。Figure 135 に、認識結果を重畳した実車と CG 映像を、Table 51 に車両情報の認識結果を、Table 52 に白線情報の認識結果を示す。本原因として、映り込みのノイズが大きく影響するものと考える。

ノイズの解決方法としてサンプリング回数の設定を変更することで解消可能である。DIVP®の CG はパストレース形式で描画しており、その際のパストレースの回数を定義しているのがサンプリング回数である。よって、サンプリング回数を大きくすることで 1 ピクセル単位で描画を詳細にすることが可能となる。

次節では、サンプリング回数と認識の影響を分析する。

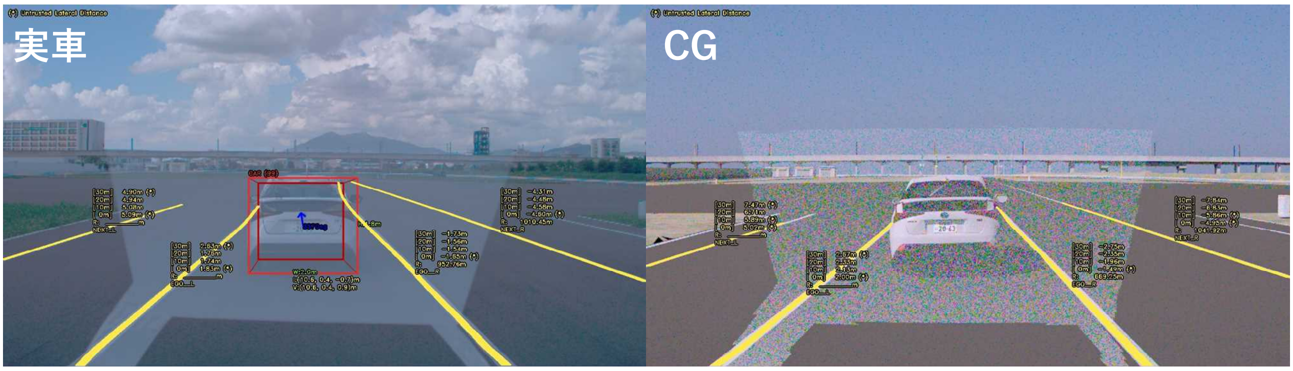


Figure 135 不調検証(映り込み):認識重畳実車および CG

Table 51 不調検証(映り込み)：車両情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	373808	4294967295	—
		秒	222103100	4294967295	—
	認識時間	-	14100000	14300000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	CG では車両未検出の為比較できず
	センサーID	-	0	0	CG では車両未検出の為比較できず
物標 ID	物標 ID	-	1	-	CG では車両未検出の為比較できず
	物標認識総数	-	1	0	CG では車両未検出の為比較できず
物標サイズ	画面座標	X	217	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Y	191	-	CG では車両未検出の為比較できず
	センサー座標	X	0	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Y	2.04	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Z	1.79	-	CG では車両未検出の為比較できず
物標位置情報	画面座標	X	595	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Y	439	-	CG では車両未検出の為比較できず
	センサー座標	X	10.63	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Y	0.42	-	CG では車両未検出の為比較できず
		Z	-0.7	-	CG では車両未検出の為比較できず
	ワールド座標	緯度	2147483648	-	CG では車両未検出の為比較できず
		経度	2147483648	-	CG では車両未検出の為比較できず
		高度	0.9	-	CG では車両未検出の為比較できず
速度	速度	X	32767	-	—
		Y	32767	-	—
		Z	32767	-	—
種別情報	詳細種別	-	2	-	—
	進行方向種別	進行方向種別	1	-	CG では車両未検出の為比較できず
		進行方向角度	6	-	CG では車両未検出の為比較できず
付加情報	標識種別	-	0	-	—
	速度標識	-	255	-	—
信頼度	規格化	-	99	-	—
	検出数	-	251	-	—

Table 52 不調検証(映り込み)：白線情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	373808	4294967295	—
		秒	222103200	4294967295	—
	認識時間	-	14100000	14268000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
車線 ID	車線認識総数	-	4	4	0
	車線 ID	-	1	1	0
物標位置情報	画面座標 (サンプリング)	X(1m)	932	974	42
		Y(1m)	651	694	43
		X(2m)	822	867	45
		Y(2m)	538	581	43
		X(3m)	761	810	49
		Y(3m)	477	520	43
		X(4m)	724	776	52
		Y(4m)	441	484	43
		X(5m)	701	750	49
		Y(5m)	417	460	43
		X(6m)	687	733	46
		Y(6m)	401	444	43
		X(7m)	678	721	43
		Y(7m)	389	432	43
		X(8m)	673	714	41
		Y(8m)	380	423	43
		X(9m)	671	709	38
		Y(9m)	373	416	43
		X(10m)	669	705	36
		Y(10m)	367	410	43
		X(11m)	668	701	33
		Y(11m)	362	405	43
		X(12m)	667	−1.94	668.94
		Y(12m)	358	−2.32	360.32
		X(13m)	666	−2.71	668.71
		Y(13m)	355	−416.73712	771.73712
		X(14m)	−1.54	1578.96	1580.5
		Y(14m)	−1.56	−245244.19	245242.63
		X(15m)	−1.73	144	145.73
		Y(15m)	−1178.46802	0	1178.46802
		X(16m)	716.14	0	716.14
		Y(16m)	17977.38	96	17881.38
		X(17m)	144	245	101
		Y(17m)	0	65535	65535
		X(18m)	0	65535	65535
		Y(18m)	96	65535	65439
		X(19m)	244	32767	32523
		Y(19m)	−4.48	−6.76	2.28
		車線の横距離(10m)	−4.31	−7.73	3.42
		車線の横距離(20m)	−86.02935	−468.62875	382.5994
		車線の横距離(30m)	868.26	2640.84	1772.58
	センサー座標 (近似式)	車線の 2 次近似式係数	−301200.5	−696267.06	395066.56
		車線の 1 次近似式係数	144	144	0
		車線の 0 次近似式係数	0	0	0
	自車両側車線	-	0	0	0
車線種別情報	二重車線外側	-	93	90	3
	三重車線外側	-	236	230	6
	規格化	-	91	93	—
信頼度	検出数	-	233	236	—

(キ)サンプリング回数の影響

(a) 基本検証

サンプリング回数による CG の精細度が認識に与える影響を確認する為、デフォルトであるサンプリング回数：10 に加え、100、200、300 と設定変更し確認した。基本検証で確認した結果を Figure 136 に示す。

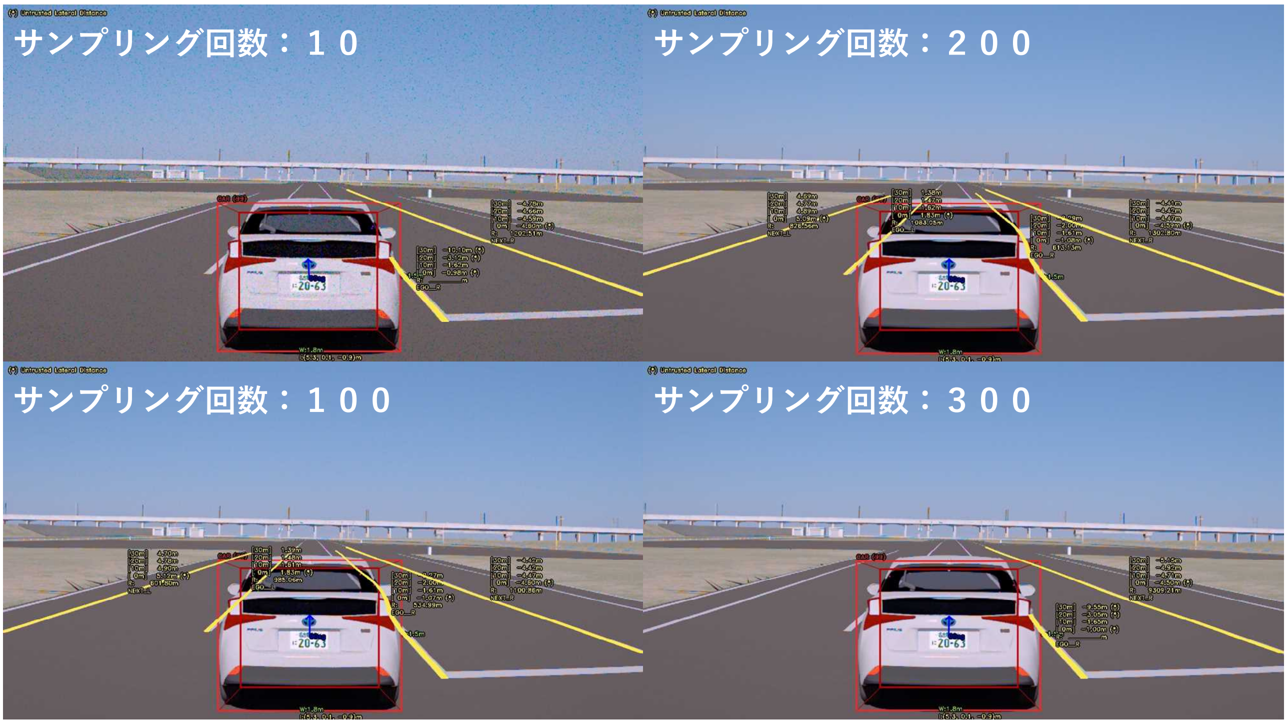


Figure 136　基本検証：サンプリング回数

サンプリング回数を変更したことで画面全体のノイズがなくなり、より高精細な映像となっていることがわかる。また、サンプリング回数 100、200 は左側の白線を検知するようになった。また、右白線でピラーの誤検知をする現象も発生しているが実車とは異なる現象となっている。300 の設定ではデフォルトのサンプリング回数：10 と同じ認識結果となっている。実車と比較するとサンプリング回数 10 と 300 が近いため、より高精細である 300 にて検討する。

Figure 137　基本検証：サンプリング回数300

Table 53 基本検証:車両情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	435872	4294967295	—
		秒	558180100	4294967295	—
	認識時間	-	13465500	14100000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
物標 ID	物標 ID	-	1	1	0
	物標認識総数	-	1	1	0
物標サイズ	画面座標	X	380	369	11
		Y	339	301	38
	センサー座標	X	0	0	0
		Y	1.75	1.81	0.06
		Z	1.55	1.48	0.07
物標位置情報	画面座標	X	610	609	1
		Y	547	551	4
	センサー座標	X	4.94	5.32	0.38
		Y	0.13	0.15	0.02
		Z	-0.82	-0.86	0.04
	ワールド座標	緯度	2147483648	2147483648	0
		経度	2147483648	2147483648	0
		高度	0.78	0.74	0.04
速度	速度	X	32767	32767	—
		Y	32767	32767	—
		Z	32767	32767	—
種別情報	詳細種別	-	2	2	—
	進行方向種別	進行方向種別	1	1	0
		進行方向角度	0	0	0
付加情報	標識種別	-	0	0	—
	速度標識	-	255	255	—
信頼度	規格化	-	99	99	—
	検出数	-	251	251	—

Table 54 基本検証：白線情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	435872	4294967295	—
		秒	558180200	4294967295	—
	認識時間	-	13500000	14100000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
車線 ID	車線認識総数	-	2	2	0
	車線 ID	-	1	1	0
物標位置情報	画面座標 (サンプリング)	X(1m)	65535	65535	0
		Y(1m)	65535	65535	0
		X(2m)	882	826	56
		Y(2m)	574	575	1
		X(3m)	811	777	34
		Y(3m)	513	514	1
		X(4m)	767	65535	64768
		Y(4m)	477	65535	65058
		X(5m)	736	65535	64799
		Y(5m)	453	65535	65082
		X(6m)	719	65535	64816
		Y(6m)	437	65535	65098
		X(7m)	65535	65535	0
		Y(7m)	65535	65535	0
		X(8m)	65535	65535	0
		Y(8m)	65535	65535	0
		X(9m)	65535	65535	0
		Y(9m)	65535	65535	0
		X(10m)	65535	65535	0
		Y(10m)	65535	65535	0
		X(11m)	65535	65535	0
		Y(11m)	65535	65535	0
		X(12m)	65535	65535	0
		Y(12m)	65535	65535	0
		X(13m)	65535	65535	0
		Y(13m)	65535	65535	0
		X(14m)	-5.14	-1.63	3.51
		Y(14m)	-5.31	32767	32772.31
		X(15m)	-5.48	32767	32772.48
		Y(15m)	616.3632813	19.38637	596.9769113
		X(16m)	-2177	22.16	2199.16
		Y(16m)	384857.125	-412881.97	797739.095
		X(17m)	144	132	12
		Y(17m)	0	0	0
		X(18m)	0	0	0
		Y(18m)	91	97	6
		X(19m)	233	246	13
		Y(19m)	65535	373	65162
		車線の横距離(10m)	-5.14	-4.49	0.65
		車線の横距離(20m)	-5.31	-4.44	0.87
		車線の横距離(30m)	-5.48	-4.47	1.01
	センサー座標 (近似式)	車線の 2 次近似式係数	616.3632813	-	2456.192141
		車線の 1 次近似式係数	-2177	1316.33	3493.33
		車線の 0 次近似式係数	384857.125	16546.75	368310.375
	自車両側車線	-	144	144	0
車線種別情報	二重車線外側	-	0	0	0
	三重車線外側	-	0	0	0
	規格化	-	91	93	—
信頼度	検出数	-	233	236	—

(b) 不調検証

　不調検証に置けるサンプリング回数の影響を確認する。Figure 138 にサンプリング回数を 10、100、200、300 に設定した際の認識重畳結果を示す。

先行車の検知は、サンプリング回数 100 以上の設定であれば実車同様に認識することが分かった。

基本検証での確認で、サンプリング回数 300 で検証すると決定した為、300 設定での認識重畳結果を Figure 139 に、車両情報を Table 55 に、白線情報を Table 56 に示す。

　今回、サンプリング回数を 300 に設定することで先行車に対するピラーを白線と誤認識する現象が、CG では発生しないものの実車と CG で近似した結果を得ることが出来た。

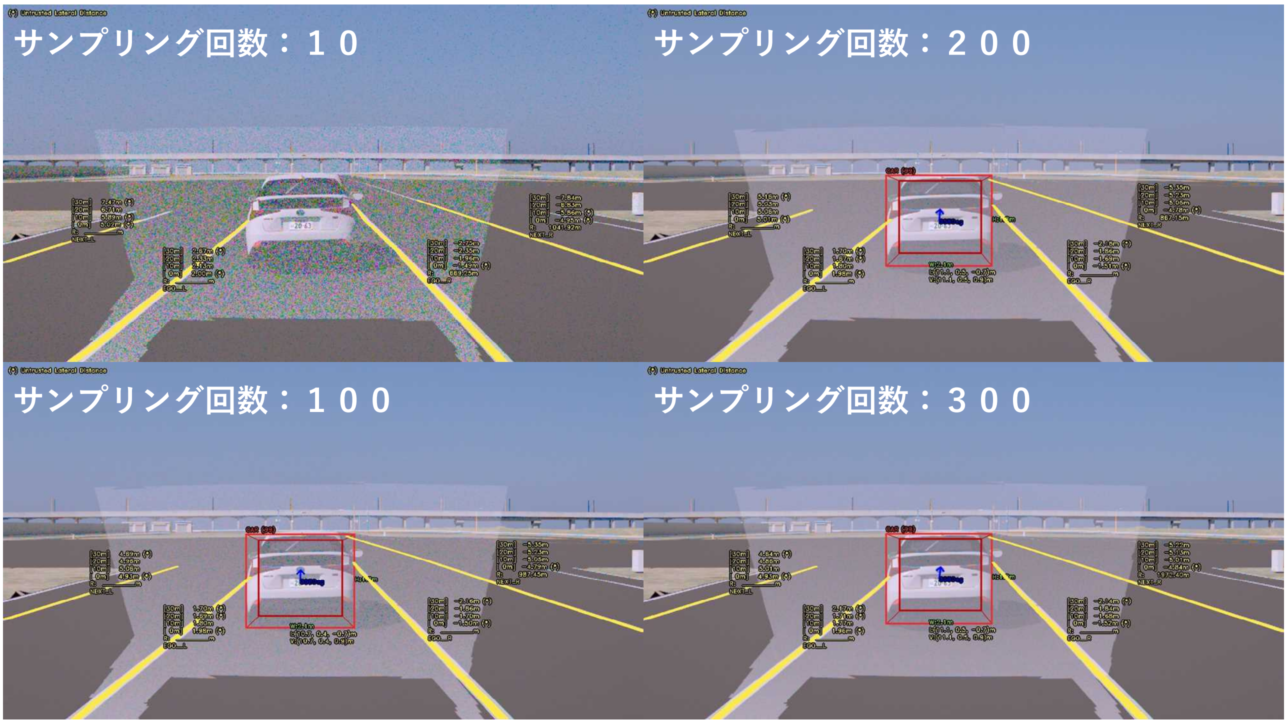


Figure 138　不調検証(映り込み)：サンプリング回数

Figure 139　実車との比較

Table 55 不調検証(映り込み):車両情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	373808	4294967295	—
		秒	222103100	4294967295	—
	認識時間	-	14100000	15400000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
物標 ID	物標 ID	-	1	1	0
	物標認識総数	-	1	1	0
物標サイズ	画面座標	X	217	212	5
		Y	191	183	8
	センサー座標	X	0	0	0
		Y	2.04	2.07	0.03
		Z	1.79	1.78	0.01
物標位置情報	画面座標	X	595	590	5
		Y	439	436	3
	センサー座標	X	10.63	11.05	0.42
		Y	0.42	0.48	0.06
		Z	-0.7	-0.71	0.01
	ワールド座標	緯度	2147483648	2147483648	0
		経度	2147483648	2147483648	0
		高度	0.9	0.89	0.01
速度	速度	X	32767	32767	—
		Y	32767	32767	—
		Z	32767	32767	—
種別情報	詳細種別	-	2	2	—
	進行方向種別	進行方向種別	1	1	0
		進行方向角度	6	6	0
付加情報	標識種別	-	0	0	—
	速度標識	-	255	255	—
信頼度	規格化	-	99	99	—
	検出数	-	251	251	—

Table 56 不調検証(映り込み)：白線情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	―
		週秒	373808	4294967295	―
		秒	222103200	4294967295	―
	認識時間	-	14100000	15400000	―
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
車線 ID	車線認識総数	-	4	4	0
	車線 ID	-	1	1	0
物標位置情報	画面座標 (サンプリング)	X(1m)	932	938	6
		Y(1m)	651	656	5
		X(2m)	822	831	9
		Y(2m)	538	543	5
		X(3m)	761	771	10
		Y(3m)	477	482	5
		X(4m)	724	737	13
		Y(4m)	441	446	5
		X(5m)	701	715	14
		Y(5m)	417	422	5
		X(6m)	687	701	14
		Y(6m)	401	406	5
		X(7m)	678	65535	64857
		Y(7m)	389	65535	65146
		X(8m)	673	65535	64862
		Y(8m)	380	65535	65155
		X(9m)	671	65535	64864
		Y(9m)	373	65535	65162
		X(10m)	669	65535	64866
		Y(10m)	367	65535	65168
		X(11m)	668	65535	64867
		Y(11m)	362	65535	65173
		X(12m)	667	65535	64868
		Y(12m)	358	65535	65177
		X(13m)	666	65535	64869
		Y(13m)	355	65535	65180
		X(14m)	−1.54	−1.63	0.09
		Y(14m)	−1.56	−1.75	0.19
		X(15m)	−1.73	32767	32768.73
		Y(15m)	−1178.46802	21.77978	1200.2478
		X(16m)	716.14	379.59	336.55
		Y(16m)	17977.38	−443796.47	461773.85
		X(17m)	144	144	0
		Y(17m)	0	0	0
		X(18m)	0	0	0
		Y(18m)	96	98	2
		X(19m)	244	249	5
		Y(19m)	−4.48	−6.76	2.28
		車線の横距離(10m)	−4.31	−7.73	3.42
		車線の横距離(20m)	−86.02935	−468.62875	382.5994
		車線の横距離(30m)	868.26	2640.84	1772.58
	センサー座標 (近似式)	車線の 2 次近似式係数	−301200.5	−696267.06	395066.56
		車線の 1 次近似式係数	144	144	0
		車線の 0 次近似式係数	0	0	0
	自車両側車線	-	0	0	0
車線種別情報	二重車線外側	-	93	90	3
	三重車線外側	-	236	230	6
	規格化	-	91	93	―
信頼度	検出数	-	233	236	―

（c）不調検証2

前節で、不調検証で実車と CG が近似する環境が作成できたため、異なるパターンの映り込み試験も比較検討した。今回の映り込みパターンは、自車を覆いつくすような映り込みではなく、自車と同サイズの映り込みがあり、且つ自車の横にはみ出すように設置した。自車のサイズを誤認識することを狙った試験となっている。300 設定での認識重畳結果を Figure 140 に、車両情報を Table 57 に、白線情報を Table 58 に示す。

認識重畳結果より、車両の横幅は実車では正検知しているが、CG では映り込みを含めており誤検知が発生している。また、右白線に関して実車では映り込みの白線を誤検知しているのに対し、CG は正検知をしている。ただし、左白線に関しては CG が窓ガラスの先に映った白線を含めて1つの白線とするという誤検知が発生した。右白線に関しては、右白線が CG 表現する際、ガタガタになる現象が発生しており、これが誤検知しない要因と考える。これらの誤差は、CG が精緻に表現しすぎること、実車との再現不一致が要因であると考える。

Figure 140 不調検証(映り込み)：認識重畳

Table 57 不調検証(映り込み):車両情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	374375	4294967295	—
		秒	274733000	4294967295	—
	認識時間	-	14200000	14900000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
物標 ID	物標 ID	-	1	1	0
	物標認識総数	-	1	1	0
物標サイズ	画面座標	X	222	237	15
		Y	187	186	1
	センサー座標	X	0	0	0
		Y	2.11	2.28	0.17
		Z	1.77	1.78	0.01
物標位置情報	画面座標	X	594	608	14
		Y	436	441	5
	センサー座標	X	10.75	10.87	0.12
		Y	0.43	0.3	0.13
		Z	-0.71	-0.71	0
	ワールド座標	緯度	2147483648	2147483648	0
		経度	2147483648	2147483648	0
		高度	0.89	0.89	0
速度	速度	X	32767	32767	—
		Y	32767	32767	—
		Z	32767	32767	—
種別情報	詳細種別	-	2	2	—
	進行方向種別	進行方向種別	1	1	0
		進行方向角度	6	6	0
付加情報	標識種別	-	0	0	—
	速度標識	-	255	255	—
信頼度	規格化	-	99	99	—
	検出数	-	251	251	—

Table 58 不調検証(映り込み):白線情報

データ			実車	CG	差分
時間情報	撮像時間	週単位	2659	4294967295	—
		週秒	374375	4294967295	—
		秒	274733100	4294967295	—
	認識時間	-	14200000	14900000	—
固有情報	センサー種別	-	1	1	0
	センサーID	-	0	0	0
車線 ID	車線認識総数	-	4	4	0
	車線 ID	-	1	1	0
物標位置情報	画面座標	X(1m)	898	940	42
	(サンプリング)	Y(1m)	666	658	8
		X(2m)	795	832	37
		Y(2m)	553	545	8
		X(3m)	65535	776	64759
		Y(3m)	65535	484	65051
		X(4m)	65535	740	64795
		Y(4m)	65535	448	65087
		X(5m)	65535	715	64820
		Y(5m)	65535	424	65111
		X(6m)	65535	703	64832
		Y(6m)	65535	408	65127
		車線の横距離(10m)	32767	-1.64	32768.64
		車線の横距離(20m)	32767	-1.76	32768.76
		車線の横距離(30m)	32767	32767	0
	センサー座標	車線の 2 次近似式係数	15.351	20.6155	5.2645
	(近似式)	車線の 1 次近似式係数	18.07	191	172.93
		車線の 0 次近似式係数	-491879.41	-358889	132990.41
	自車両側車線	-	144	144	0
車線種別情報	二重車線外側	-	0	0	0
	三重車線外側	-	0	0	0
	規格化	-	90	97	—
信頼度	検出数	-	230	247	—

(ク) 考察

ソニーセミコンダクタソリューションズ殿のカメラ IMX490 を用いた不調検証環境を実施した。
実車環境で測定した情報をシナリオ変換した際に誤差が大きく、認識比較実施前にシナリオ調整が重要となった。また、サンプリング回数の設定による認識結果への影響が大きく。実車に近い CG 映像作成には高サンプリングでの CG 生成が重要であることが明確となった。ただし、CG 映像を精緻にすると、窓ガラスの先の白線を検知するようになる現象が確認でき、より細かい部分での現実の模擬が重要であると考える。

⑩カメラリファレンスモデル中間報告書作成

本報告を以て『⑩カメラリファレンスモデル中間報告書作成』の成果とする。

(3)次年度以降の計画

実施計画書に則り、以下を推進する。

⑪　不調要因評価(雨)

A/D パートが開発した高精細 CG ツールにおいて雨による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真値データを比べ、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　:2021 年 3 月～9 月
・主なアウトプット　:不調要因評価仕様書等一式

⑫　高精細 CG ツール評価

市販化されている高精細 CG ツールを用い、実車映像からの空間再現性、不調要因の再現性・対応状況、アセットの対応状況、カメラモデルにおけるパラメータ自由度を確認する。確認においては、高精細 CG ツールでの不調要因の再現性・対応状況、アセットの対応状況、カメラモデルにおけるパラメータ自由度との比較により過不足を精査し、カメラモデルシステム観点にて PF としての適用要否を検討していく。

高精細 CG ツールの導入においては B0 パートでの確認状況も踏まえ、実車映像からの空間再現性、不調要因の再現性・対応状況、アセットの対応状況を要求項目として、複数社の中から選択を行う。

・期間　:2021 年 5 月～9 月
・主なアウトプット　:高精細ツール評価報告書

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

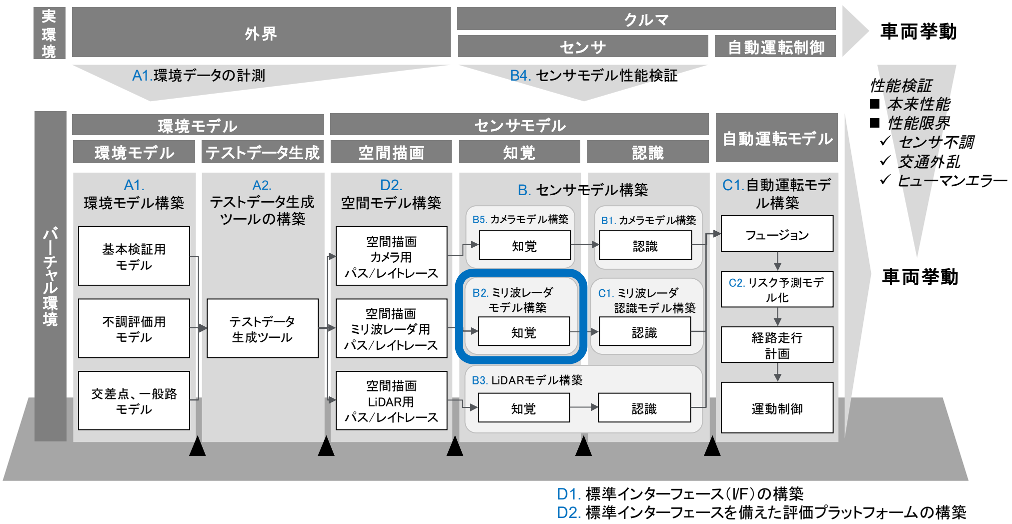


Figure 141 本研究の位置付け

ミリ波レーダー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

ミリ波レーダーモデルの要件を定義し、ミリ波レーダー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ー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。

(a) 外界から受け取る情報の検討

(b) 使い方に応じたリファレンスモデルの抽象度の定義

(c) 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	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 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ーの仕様作成			車載要件▽		★ミリ波レーダー仕様							
③ リファレンスセンサーの設計・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						★レーダー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 ▽外界モデル(機能用)		▽外界モデル(物理用)		★リファレンスモデル			
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2年度の成果(まとめ)

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ ミリ波レーダセンサモデルの入出力IFを提案 ➢ リファレンスとなるセンサ実機、センサモデルを開発 ➢ 実測とシミュレーションの一致性を確認し課題抽出 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ センサ実機およびセンサモデルの提供 ➢ 一致性確認による現状課題の抽出と環境モデルへのフィードバック
成果を支えた要諦	■ SIPの枠組みにより、自工会との協議が加速したことで、体系的なセンサ不調原理の組込みが可能となった ■ ソフトウェア企業とセンサメーカの連携により、活用しやすいインターフェースを定義できた ■ 専門性の高い大学・企業が集まることで、高精度な環境モデルの構築や実測が可能となり、一致性確認を加速できた
評価	■ ミリ波レーダセンサのリファレンスモデルを構築、遅延したが期間内に一致性確認を完了し課題を抽出した

成果の価値	
成果の価値評価	■ インターフェースが標準化されることにより、シミュレータやモデルの組換えが可能となり、多様な条件での検証が可能となる ■ ミリ波レーダの原理に基づいてセンサをモデル化し知覚レベルでの一致性を確認することで、認識処理の異なる多様なセンサでの解析や、任意のシナリオに対応した汎用性の高いシミュレーションが可能となる
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ ミリ波レーダの製品開発において、潜在的な不調の早期発見やパラメータ変更による傾向を確認でき、製品開発の効率化が期待できる。
残課題・今後への期待値	■ 物標および周辺環境の反射特性の再現精度向上 ■ 多様な環境に対応できるシミュレーションの構築

Figure 142 研究開発の成果

リファレンスとなるミリ波レーダーセンサーの実機およびシミュレーションモデルを開発し、B4 パートで実施した実測の結果と、A・B2・D パートで構築した仮想評価環境で再現したシミュレーションの結果を比較し一致性を確認した。Table 59 に、一致性確認結果と残課題を示す。

Table 59 一致性確認結果と残課題

確認特性	確認項目	一致性を確認できた内容	残課題
認識対象の反射特性	プリウス・歩行者・段ボール・マンホールに対する知覚出力	・距離・速度・方位は概ね一致 ・プリウス・歩行者・マンホールの信号強度はシーンにより概ね一致	・アセットの分割方法と反射特性の割当て方法 ・段ボールのような不規則な面からなる構造物のモデル化
周辺構造物の反射特性	トンネル・陸橋の知覚出力	―	・周辺構造物の反射再現
物体による遮蔽特性	車影飛出し・CUT OUTシナリオで影にある物標の見え始め時刻	・見え始めの時刻は概ね一致	・回折・透過の原理と照らした妥当性の確認
マルチパス特性	路上コーナーリフレクタ・プリウス信号強度の距離依存性	―	・路面マルチパス影響の再現
	トンネル壁でのゴースト発生	・ゴーストの発生を確認	・信号強度の再現確認
多重エコー特性	近接プリウスと自車間の多重エコーによる信号	・多重エコーによる信号発生を確認	・信号強度の再現確認
センサ搭載環境の影響	エンブレムによる方位推定誤差	・方位推定誤差は概ね一致	・搭載環境ごとのモデル化
マイクロドップラー	タイヤの回転・歩行者の足振りに対する知覚出力	・歩行者の足振りによるマイクロドップラーの発生	・アセット分割方法、レイ設定の最適化

(2)令和2年度の成果

③　リファレンスセンサーの設計・製作

お台場、首都高での計測に向けて、エンブレム内に搭載できるよう、ミリ波レーダー筐体サイズを変更した。Figure 143 に製作したミリ波レーダーを示す。TI 製レーダー基板 AWR1642BOOST, DCA1000EVM を内部に設置しており、今回製作したレドームで蓋をした構成になっている。レドームと筐体間にはガスケットを挟んでおり防水構造となっている。

Figure 143 レーダーモジュール

モデル化のため、本レーダーのアンテナ特性を測定した。Figure 144 に測定環境を示す。電波暗室内でコーナーリフレクターとレーダーを対向させ、レーダーの水平、垂直方位を変えて測定した。

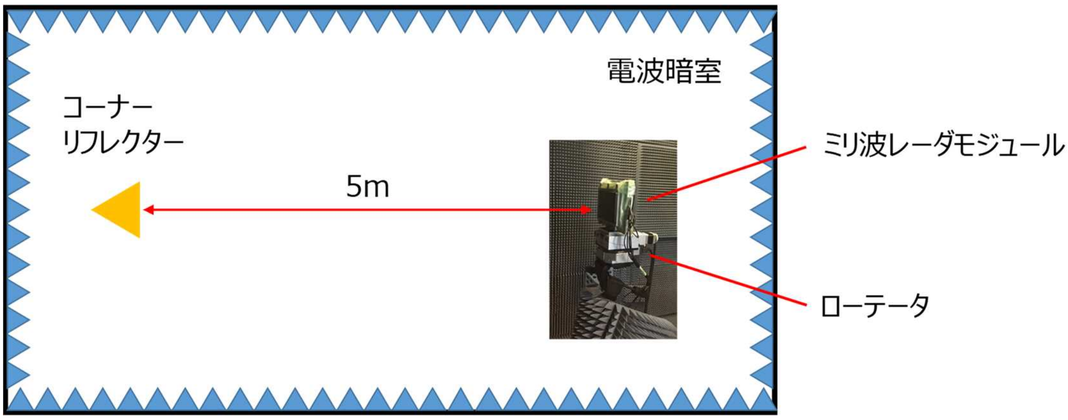


Figure 144 指向性測定環境

Figure 145 に送受アンテナの指向性利得を示す。本レーダーは、送信 1 チャネル、受信 4 チャネルであり、チャネルごとの特性を示している。利得が正面に対して 10dB 低下する水平角度は±約 40°となっている。Figure 146 に DBF (Digital Beamforming)による方位推定結果と真値との差(方位推定誤差)を示す。図中赤線は方位推定誤差 2° の範囲を示しており、水平±30° 、垂直±5° の範囲で方位推定精度 2° 以下となっている。この誤差には、設置の再現性誤差も含んでいる。

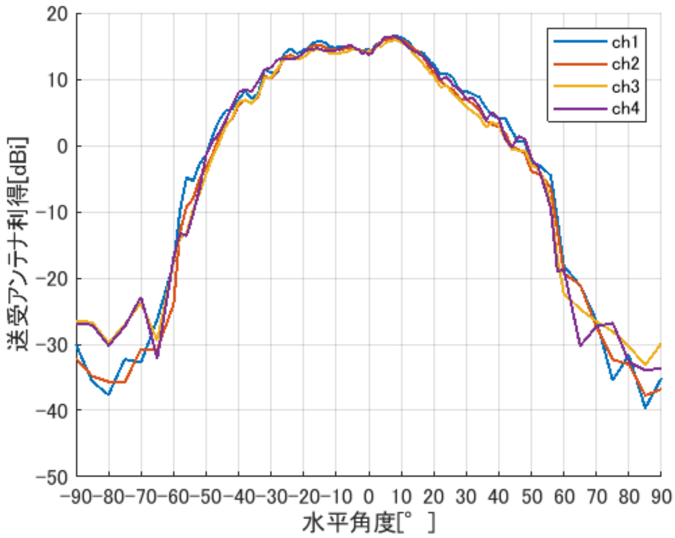


Figure 145 送受アンテナ利得

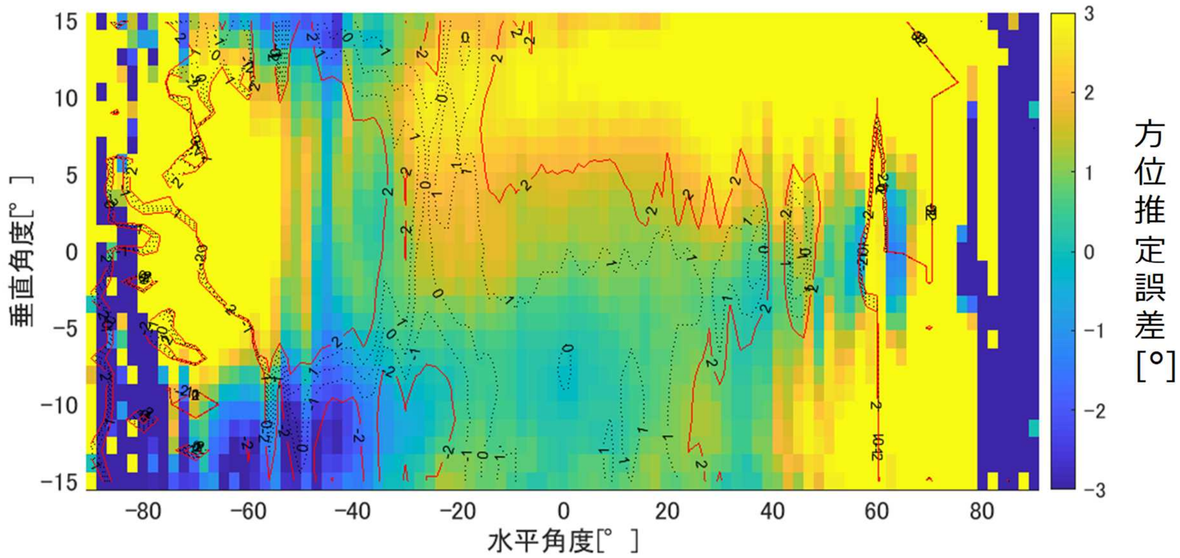


Figure 146 方位推定誤差

公道での計測では車検を取得する必要があり、レーダーはエンブレム内に搭載される。エンブレムによるレーダーの特性変化をモデル化するため、レーダー前面にエンブレムを設置した場合のアンテナ特性を測定した。Figure 147 に送受アンテナの指向性利得、Figure 148 に方位推定誤差を示す。正面方向でのエンブレムによる送受アンテナ利得の低下は約 0.5dB であり、水平±30° 垂直±5° の範囲での方位推定誤差の増加は 2° 以下である。計測に支障はないと考える。これらの特性をモデル化し、エンブレムによる誤差を含めて一致性を確認した。

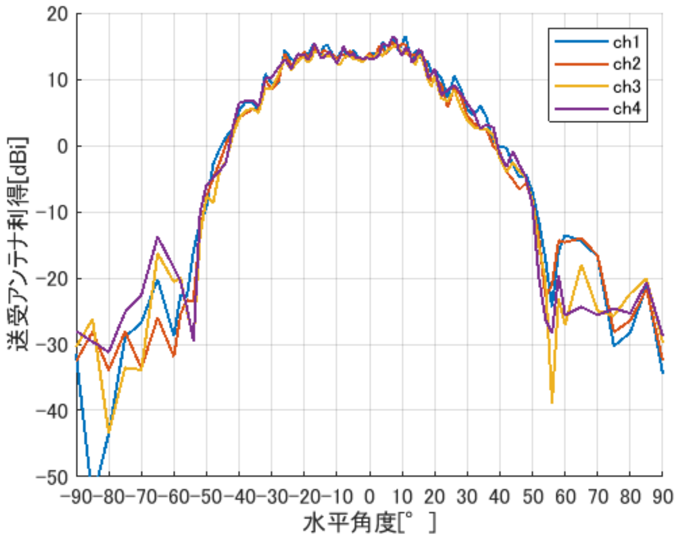


Figure 147 送受アンテナ利得（エンブレム有）

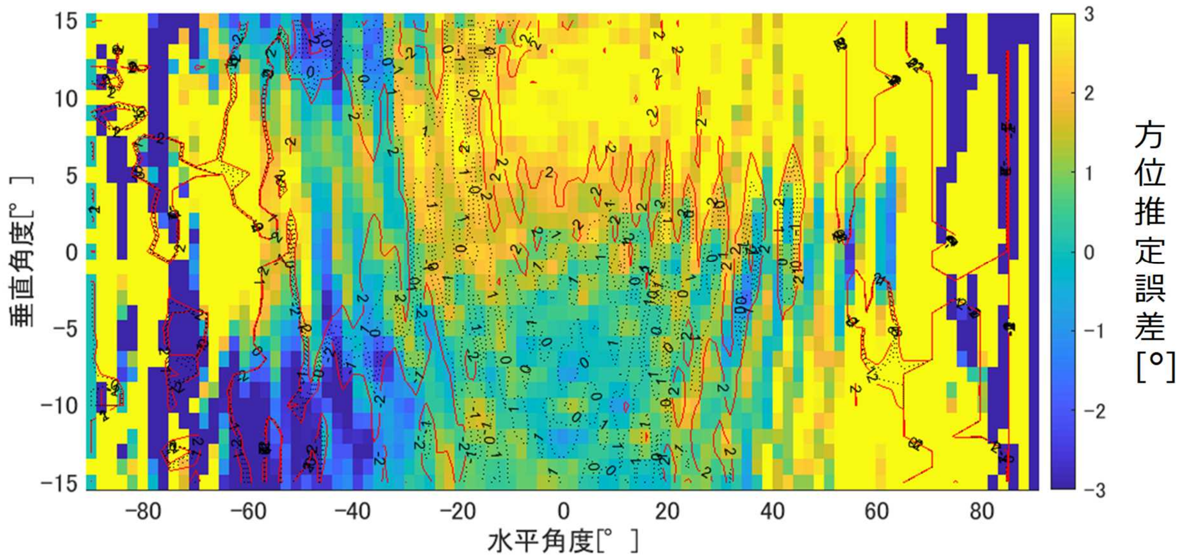


Figure 148 方位推定誤差（エンブレム有）

⑤ リファレンスモデルの作成・動作検証

昨年度、距離・速度・方位について、分解能の範囲でレイ情報と一致するリファレンスモデルを作成した。本年度は、信号強度の一致性を向上させるため、アンテナの偏波特性・指向性利得の組み込み、アナログ回路部の高域通過フィルタ(HPF:High pass filter)の特性の組み込みを実施した。また、エンブレム等による方位推定誤差を表現できるようアンテナ特性の組込み方法の見直しを行った。

Figure 149 にリファレンスモデルの構成を示す。ハードウェアに起因する誤差要因をより精緻に再現するために、実機と同等のベースバンド信号を生成し、信号処理を実施する構成とした。

アンテナの偏波特性は、レイトレーシング結果より空間減衰や反射率等による減衰量を水平偏波・垂直偏波ごとに受け取り、それぞれのアンテナ利得を乗算することで組み込んだ。レイトレーシング結果から受け取る減衰量は複素数で表現しており、反射などによる位相回転の情報を含んでいる。

アンテナ利得と方位推定誤差は、実測データをテーブルとして持ち、レイトレーシング結果より受け取る送受方位から線形補間で求めている。

ノイズについては、アナログ回路のフィルタによる周波数特性を表現しやすいよう、距離／速度算出においてフーリエ変換を実施した後に加算している。

距離／速度に対する信号強度分布を表す RV 図と方位算出後のピーク位置を表す XY 図を用いて一致性を確認した。

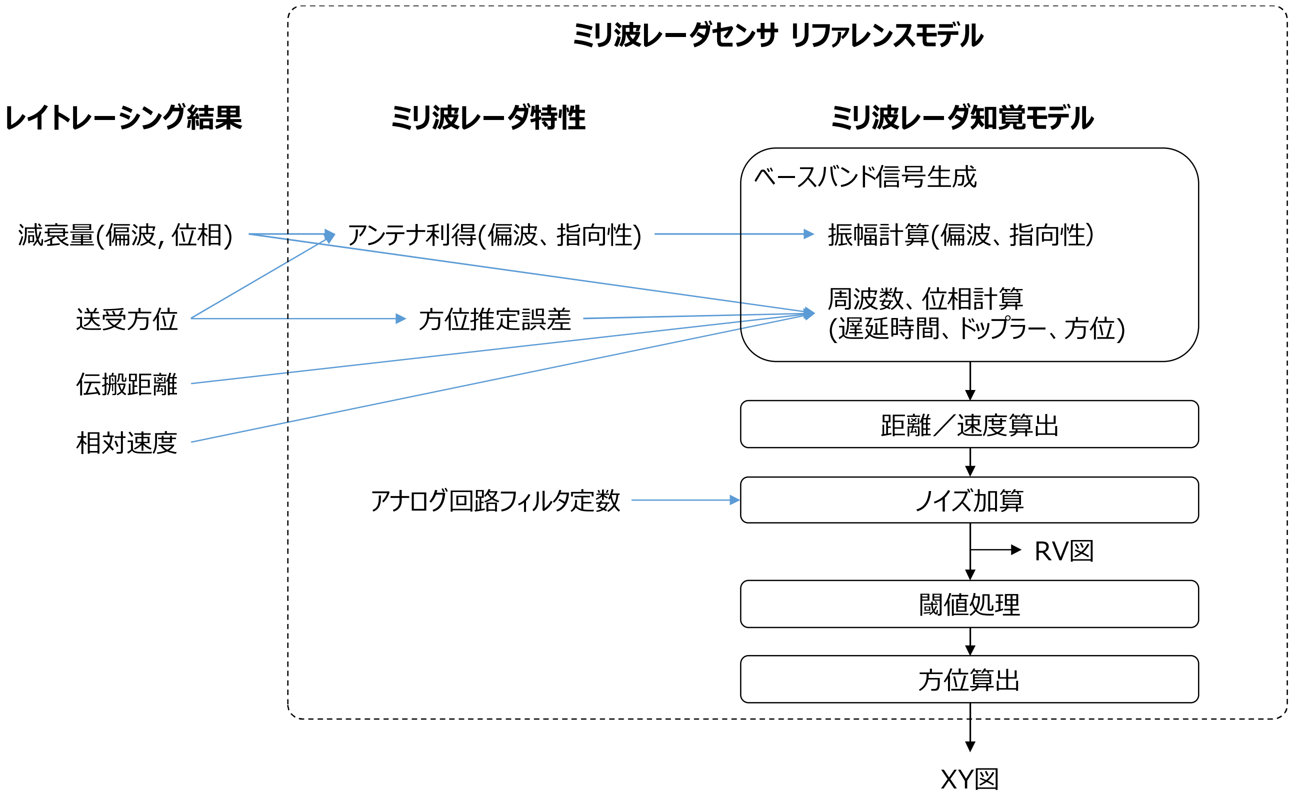


Figure 149 リファレンスモデルの構成

作成したセンサーモデルをシミュレーションプラットフォームに組み込み、動作検証を実施した。

Figure 144 の環境において 15dBsm の散乱体を計測した場合のセンサー受信強度と水平方位の

関係を Figure 150 に示す。シミュレーションと実測で良く一致した傾向が得られている。正面での信号強度の差は、実機での繰り返し測定ばらつきによるものである。尚、信号強度は実機の AD コンバータ出力に信号処理を行った後に dB 変換した値であり、受信電力に一定のオフセットを持った値となっている。

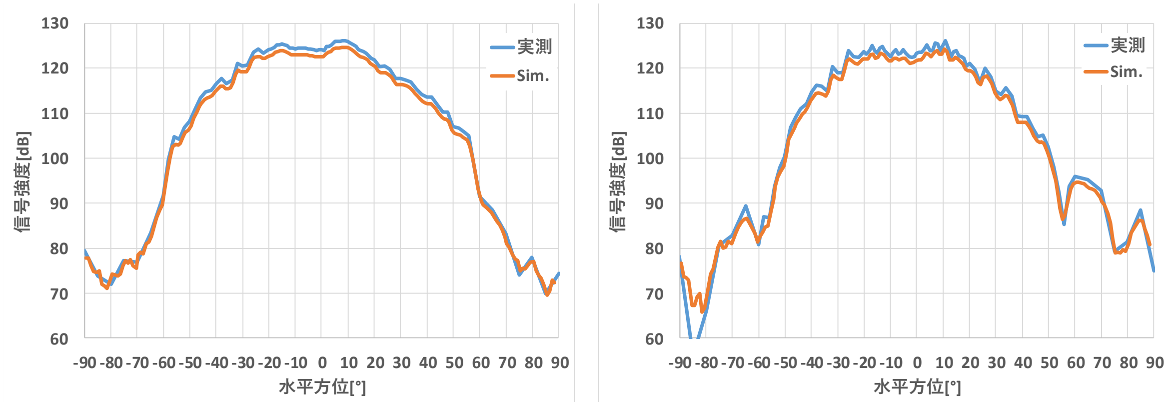


Figure 150 センサー受信信号強度の水平方位依存性（左図：エンブレムなし、右図：エンブレムあり）

Figure 151 に、方位推定誤差と水平方位の関係を示す。シミュレーションでは計算時間を考慮し、実測より粗い 1° の分解能で方位算出しているために差がみられるが、実測の方位誤差を良くモデル化できている。

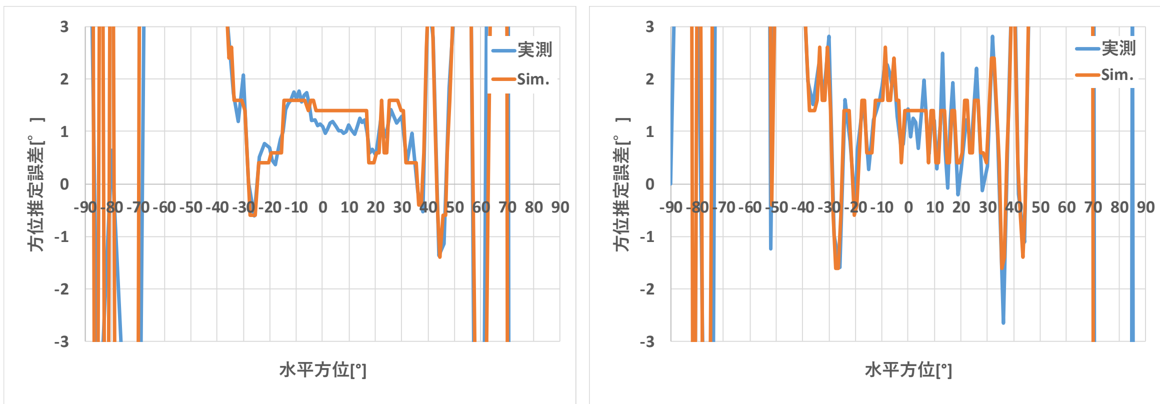


Figure 151 方位推定誤差の水平方位依存性（左図：エンブレムなし、右図：エンブレムあり）

Figure 152 に 15dBsm の散乱体が正面にある場合の RV 図と、この時の信号強度の確立密度分布を示す。 シミュレーションと実測のどちらの RV 図にも距離 5m, 速度 0m/s に散乱体による信号が確認でき、それ以外には熱雑音による電力が分布している。信号強度の確立密度は 60dB をピークとした同一の分布となっており、熱雑音を良くモデル化できていることがわかる。

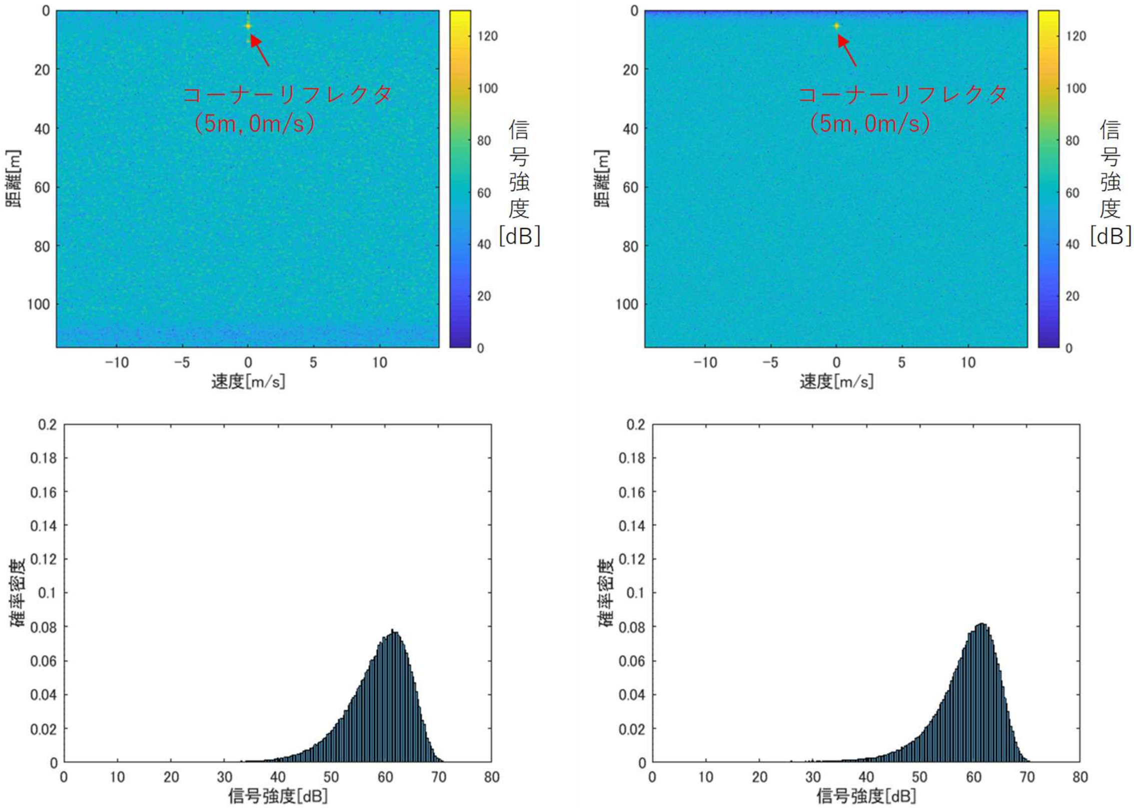


Figure 152 距離／速度算出後のデータ

上:RV 図, 下:信号強度の確立密度, 左:実測, 右:Sim

⑥ 実測とリファレンスモデルの比較検討

B4 パートで実施した実測の結果と、A・B2・D パートで構築した仮想評価環境で再現したシミュレーションの結果を比較し一致性を確認した。Table 60 に評価項目一覧を示す。事前評価、基本評価では、プリウス・NCAP ダミー人形・NCAP ダミー自転車を物標とし、知覚出力の位置、速度、信号強度について確認した。NCAP シナリオ評価、不調評価では、複合的な状況や実際の交通環境を想定した物標(マンホール・段ボール)について評価した。最後に、拡張性評価として、首都高 C1 とお台場の公道で、ミリ波レーダーが苦手とするシーンに着目して評価した。

Table 61 にシミュレーションに用いたレイ設定を示す。

Table 60 評価項目一覧

評価項目	物標	シナリオ
事前評価	コーナーリフレクタ プリウス NCAPダミー歩行者 NCAPダミー自転車	静止
基本評価	同上	物標・自車移動
不調評価	プリウス	車両間のすり抜け
	マンホール 段ボール	自車接近 物標移動
NCAPシナリオ評価	プリウス NCAPダミー歩行者 NCAPダミー自転車 NCAPダミーバルーン車両 NCAPダミー車両(GST)	歩行者横断 自転車追従 車影飛出し CUT IN CUT OUT
拡張性評価	首都高トンネル お台場上方構造物	先行車・追越車あり

Table 61 レイ設定

	狭角設定	広角設定
目的	正面、遠距離にある 物標の評価	横方向、近距離にある 物標の評価
水平走査範囲	15°	60°
水平走査ステップ	0.2°	0.5°
垂直走査範囲	15°	25°
垂直走査ステップ	0.5°	0.5°

(1) 事前評価、基本検証

コーナーリフレクタの距離依存性

Figure 153 にコーナーリフレクタの距離依存性の実測環境を示す。コーナーリフレクタを台車に設置し、センサーからの距離を変化させた。Figure 154 に信号強度の距離依存性を示す。実測は、コーナーリフレクタからの直達パスと路面を経由したマルチパスとの干渉でフェージングが生じているが、シミュレーションでは生じていない。

Figure 153　コーナーリフレクタの距離依存性実測

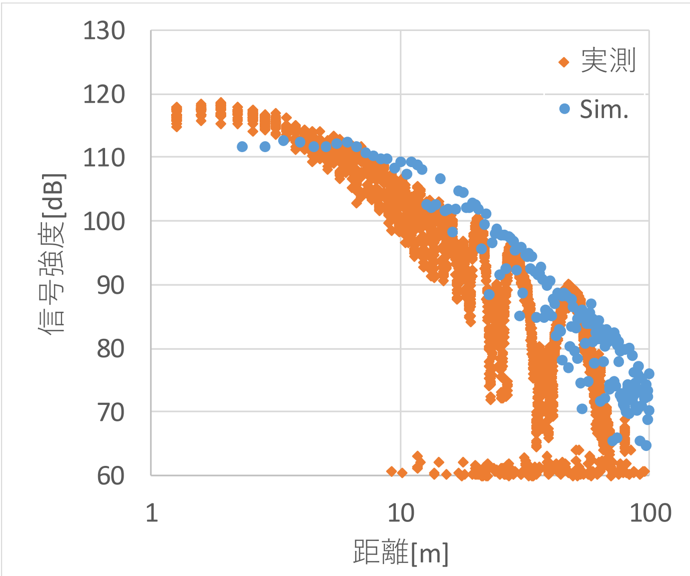


Figure 154　コーナーリフレクタ信号強度の距離依存性

静止プリウスの向き依存性

プリウスの向きを変化させ、知覚出力を比較する。Figure 155 に評価環境を示す。ミリ波レーダー搭載車の正面 10m の位置にプリウスを設置し、向きを 0°、45°、90°、180° と変化させた。Figure 156 に知覚出力(XY 図)を示す。図中の四角はプリウスのおよその位置を表している。シミュレーションの反射点位置に着目すると、0°、180° では Y 方向に分布するのに対し、45° では斜め方向に分布するなど、実測の傾向をとらえている。しかし、0°、180° において実測では反射点が連続的に分布するのに対し、シミュレーションでは 2 つのクラスターに分かれるという差がみられる。これは、シミュレーションでは、背面、サイドミラー、扉などのパーツ単位でプリウスの反射点を計算していることに起因していると考えられる。

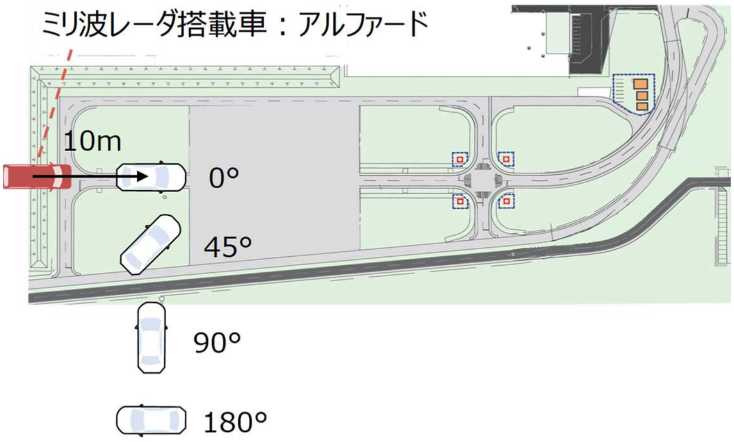


Figure 155 プリウス向き依存性評価環境

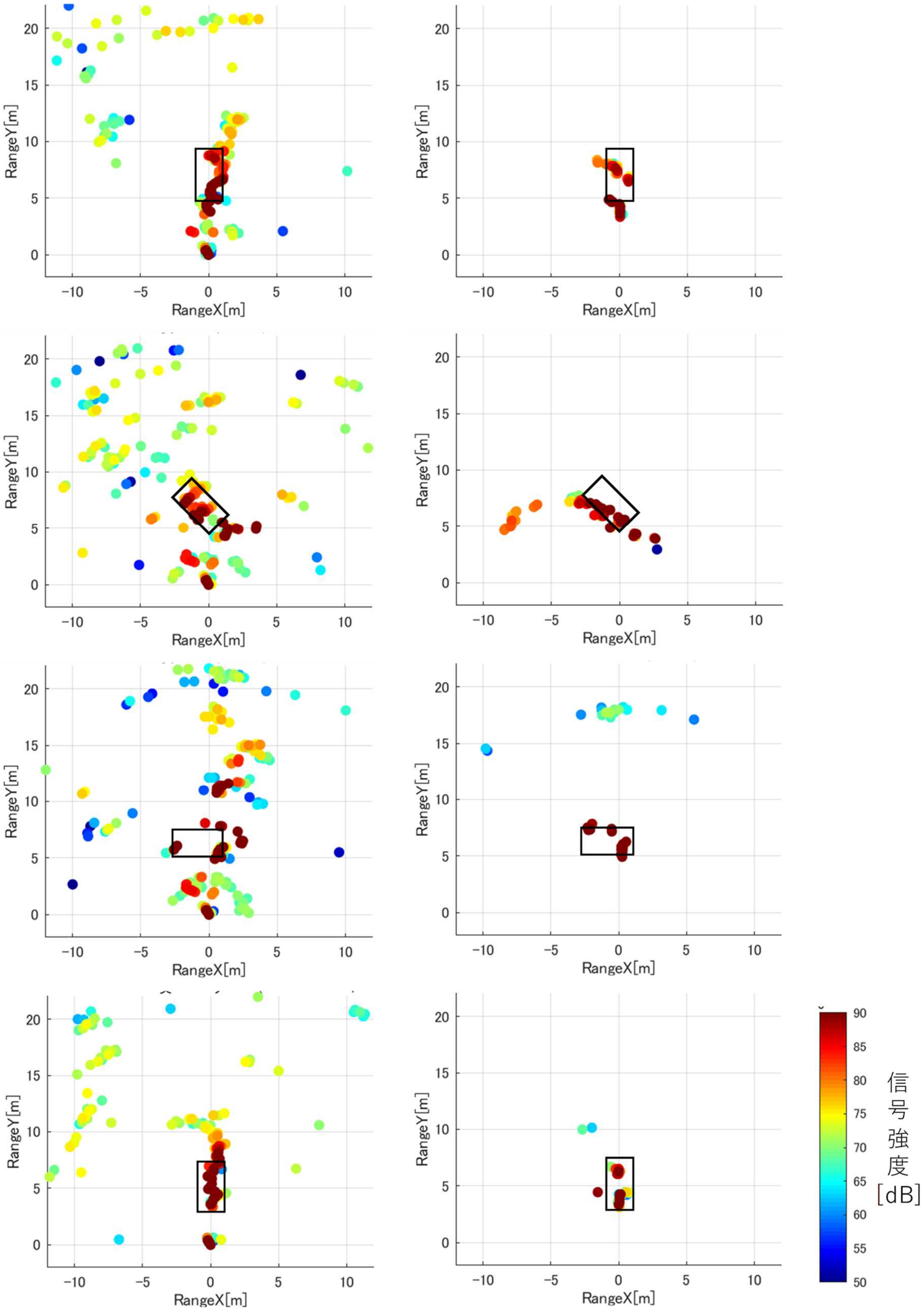


Figure 156　静止プリウスシナリオの知覚出力(XY 図)

左：実測、右：シミュレーション（狭角レイ設定）、上からプリウスの向き 0°，45°，90°，180°

プリウス直線離間シナリオ

Figure 157 に示すセンサー搭載車両からプリウスが一定速度で離間するシナリオにおいて、実測とシミュレーションの結果を比較する。

Figure 158 に RV 図、XY 図を示す。シミュレーションの主な反射点の位置、速度、信号強度は概ね実測と一致しているが、次の点で差異がみられた。第一は、多重反射による信号の有無である。RV 図において、実測では多重反射による偽像がみられているが、シミュレーションではみられていない。これは、現時点ではミリ波レーダー搭載車両による反射が伝搬計算に組み込まれていないことによる。Figure 159 に、簡易的にミリ波レーダー搭載車両による反射計算を入れた際の RV 図、XY 図を示す。多重反射による偽像が再現されており、今後の機能追加により改善される見込みを得た。第二は、プリウスのタイヤの回転に起因する速度方向への信号の広がり（マイクロドップラー）の差である。実測では広がりがみられているが、シミュレーションではみられていない。シミュレーションは、タイヤにレイが当たることでマイクロドップラー成分が信号に重畳される仕組みとなっているが、レイの照射密度の設定やシナリオによってタイヤにレイが当たらない場合などがある。第三は、実測では反射点が R 方向に連続的に分布するのに対して、シミュレーションでは二つに分かれる点である。これは、静止プリウスと同様に、背面、サイドミラー、扉などの単位でプリウスの反射点を計算していることに起因していると考えられる。

Figure 160 に反射強度が最も強い最大反射点を抽出した時系列データを示す。距離、速度、方位は、実測とよく一致する結果が得られた。信号強度は概ね一致しているが、実測では路面を経由したパスとの干渉で信号強度が変動するフェージングが生じているが、シミュレーションでは生じていない。

Figure 158 のシミュレーション結果では、路面などの反射体を終着点とするレイの計算（反射体計算）を除外しており、路面からの反射信号が得られていない。この路面からの反射計算を組み込んだ場合の RV 図、XY 図を Figure 161 に示す。RV 図の速度 0 の領域に路面からの反射信号が得られている。しかしながら、物標の信号が速度 0 方向へ広がっており、実測と異なっている。XY 図も同様に物標が大きく見え、信号強度の最大値も 10dB から 20dB 程度増加することが分かっている。

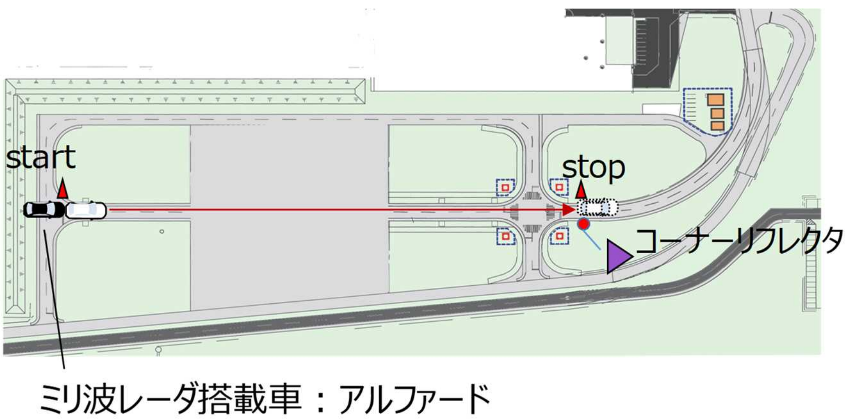


Figure 157 プリウス直線離間シナリオ

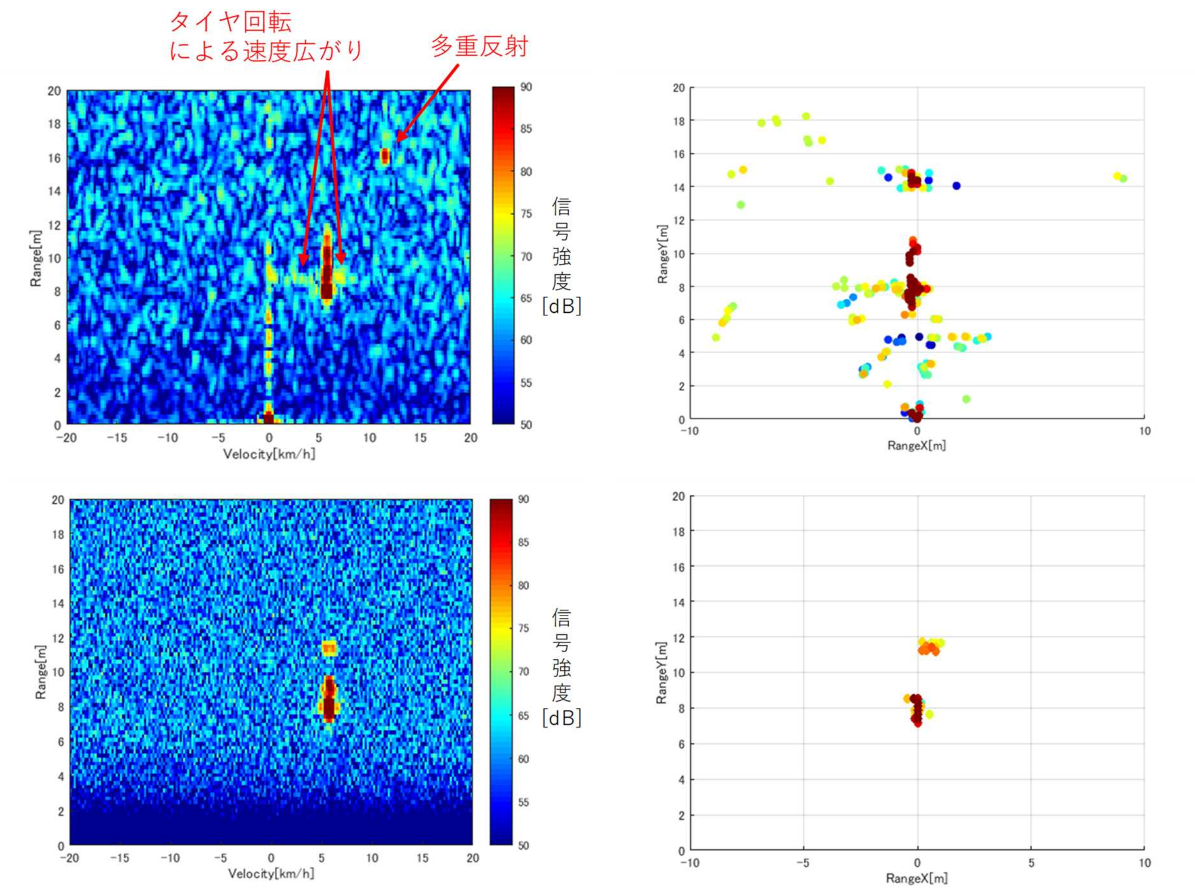


Figure 158 プリウス直線離間シナリオの知覚出力

左：RV 図、右：XY 図、上：実測、下：シミュレーション（狭角レイ設定）

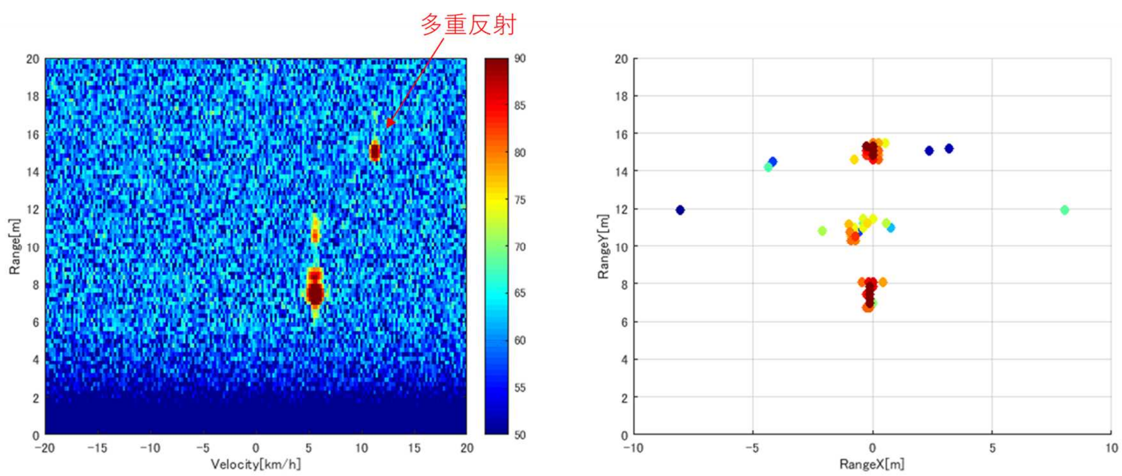


Figure 159 プリウス直線離間シナリオの知覚出力

ミリ波レーダー搭載車での反射を簡易シミュレーション、左：RV 図、右：XY 図

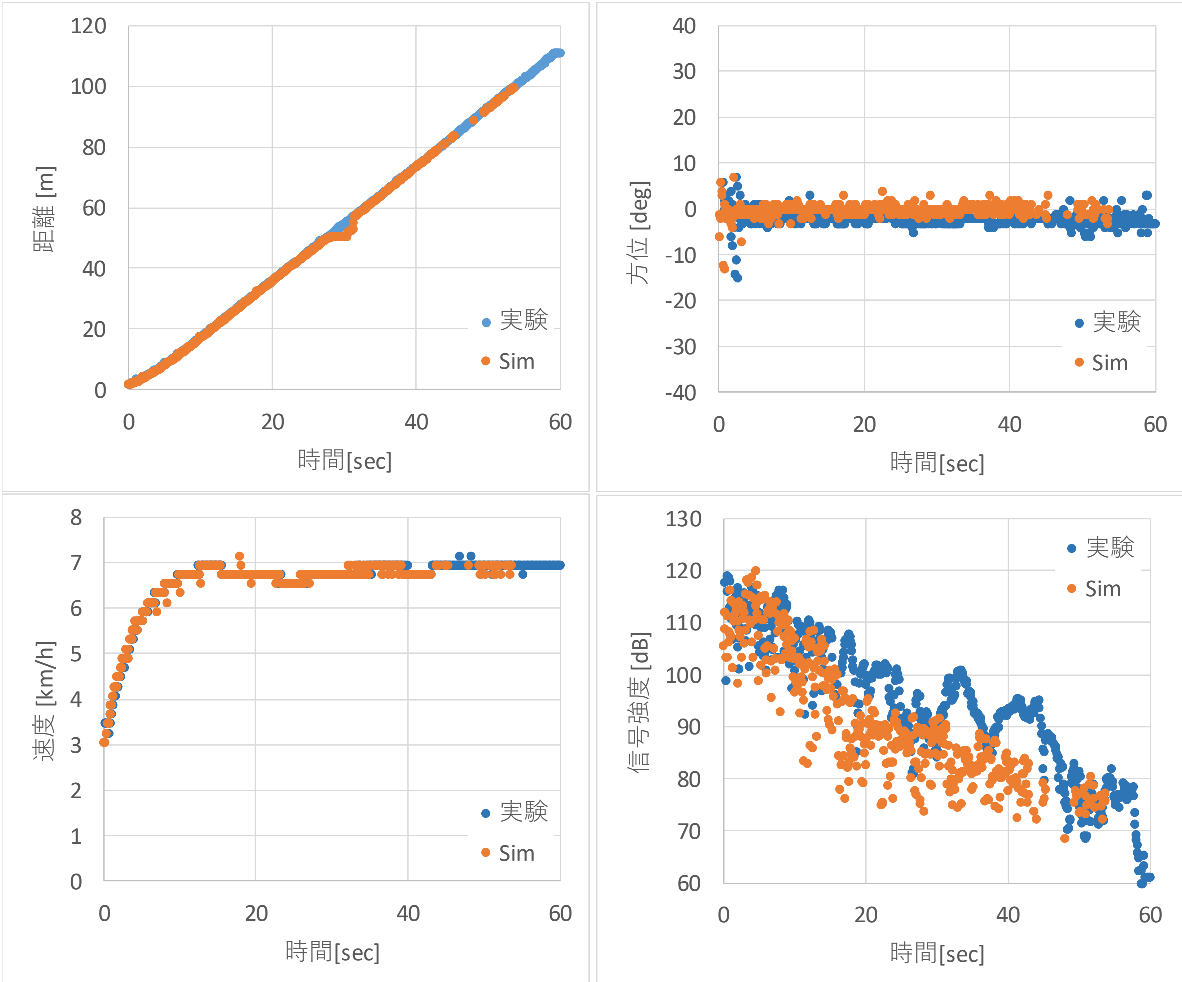


Figure 160 プリウス直線離間シナリオにおける最大反射点の時系列データ

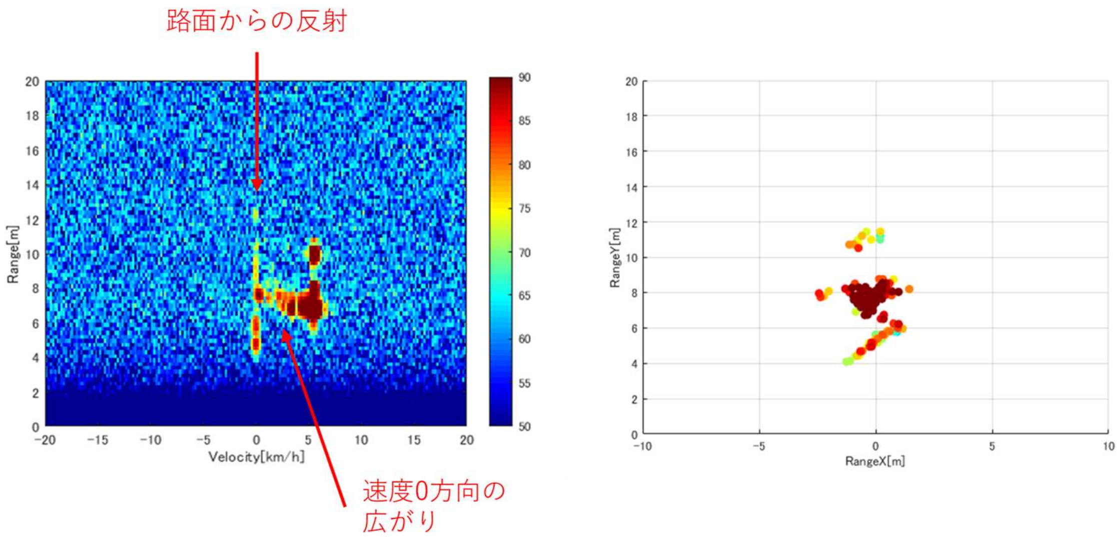


Figure 161 プリウス直線離間シナリオの知覚出力

反射体を終着点とするレイの計算機能追加、左:RV 図、右:XY 図

NCAP ダミー歩行者追従シナリオ

Figure 162 に NCAP ダミー歩行者追従シナリオの概要を示す。ダミー歩行者は足が前後に動く仕様となっている。Figure 163 に RV 図、XY 図を示す。シミュレーションは反射体計算を除外している。実測の RV 図では、歩行者胴体からの主信号を中心とし、足の動きによる速度方向への信号の広がり（マイクロドップラー）がみられる。シミュレーションにおいても胴体からの主信号と足からの速度の異なる信号が見られるが、実測より明瞭に分離している。これは、シミュレーションにおいて一つの反射点を構成する物体のサイズが大きすぎるためであり、プリウスと同様に反射点を計算するパーツ単位について、更なる検討が必要と考えられる。

Figure 164 に最大反射点の時系列データを示す。距離、方位、信号強度は概ね一致している。速度において、シミュレーションでは周期的な変動がみられる。これは実測では胴体からの反射強度が常に最も強く見られるのに対し、シミュレーションでは足からの信号強度が胴体より強くなっている場合があるためである。

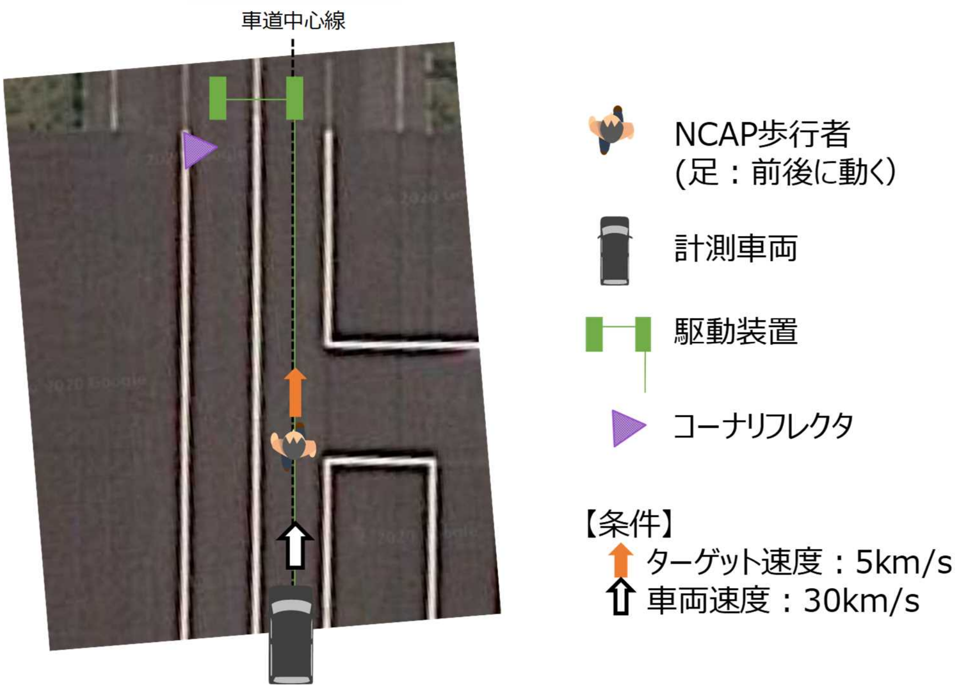


Figure 162 NCAP ダミー歩行者追従シナリオ

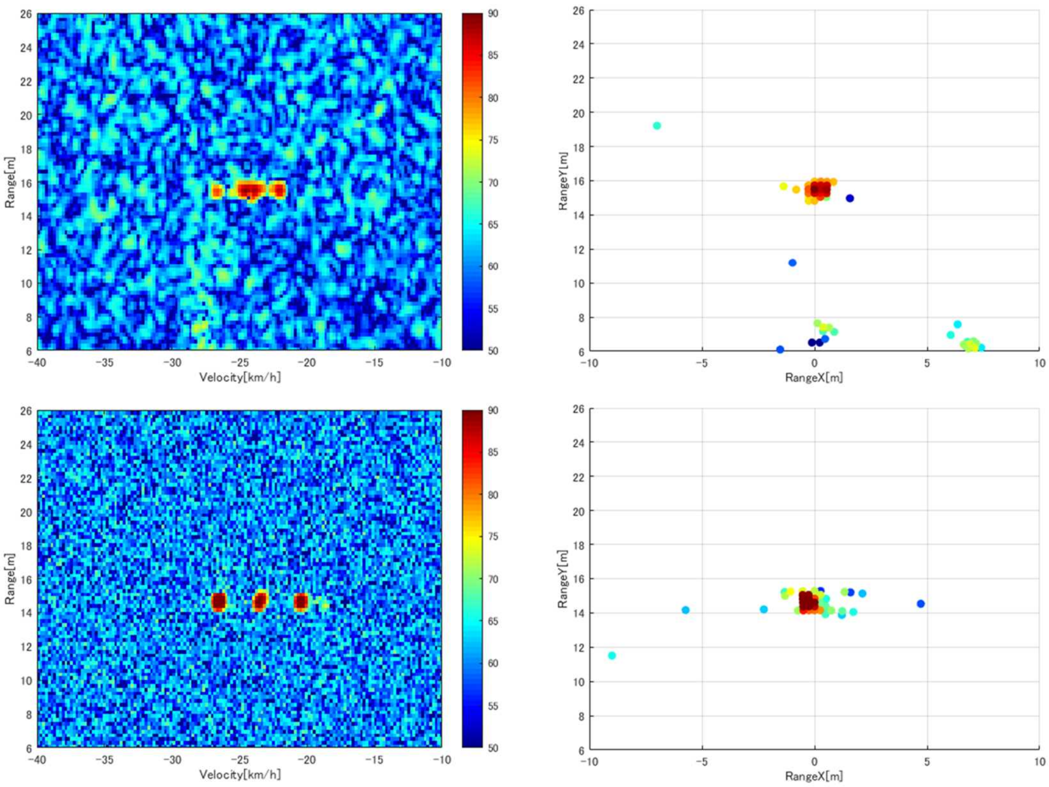


Figure 163 NCAP ダミー歩行者横断シナリオの知覚出力

左：RV 図、右：XY 図、上：実測、下：シミュレーション（狭角レイ設定）

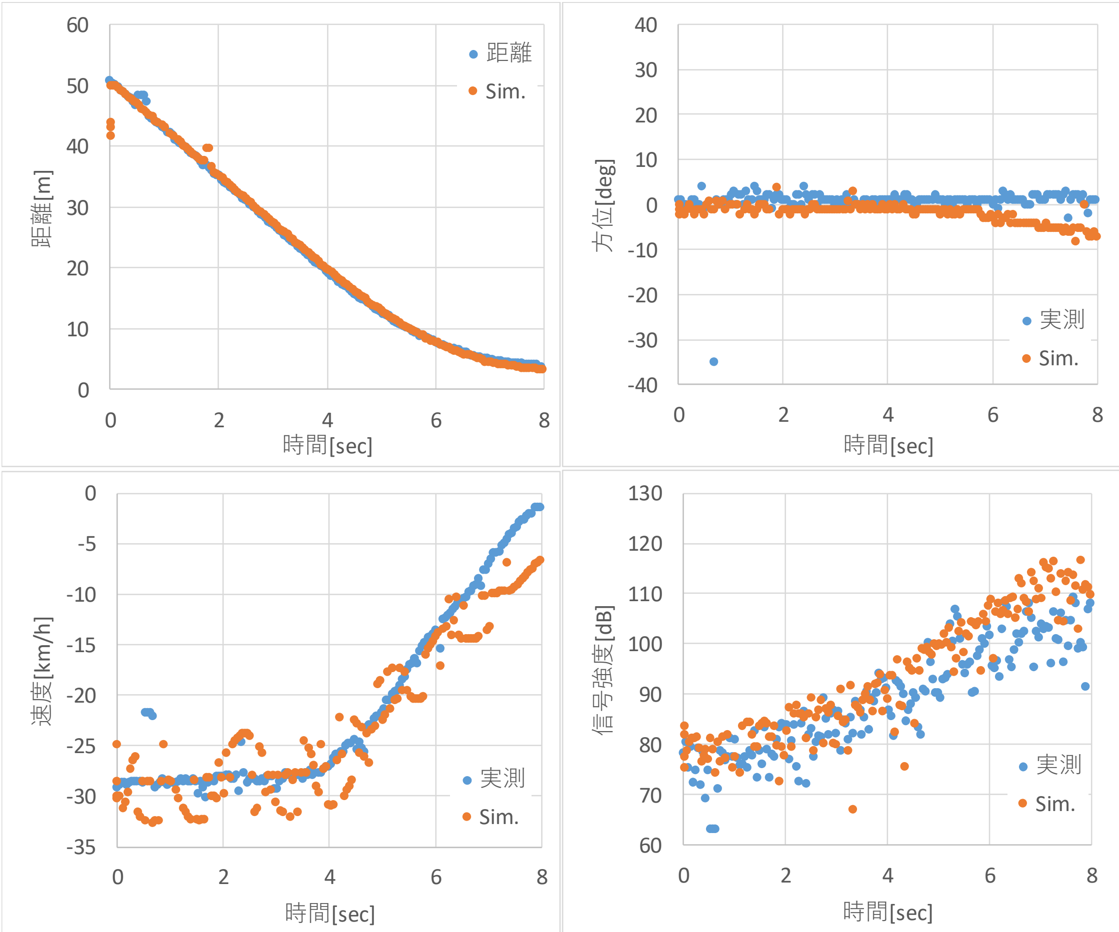


Figure 164　NCAP ダミー歩行者横断シナリオにおける最大反射点の時系列データ

（2）不調シナリオ

ここでは、ミリ波レーダーが苦手とするシーンの一例として、路上の段ボールの検出、2台の車両間のすり抜けシナリオにおける知覚出力の一致性について検証する。段ボールは、路上落下物の代表例である。車両間のすり抜けは、センサーの性能に応じて二台の方位検出精度が変わるため、センサー性能が現れやすいシナリオである。

段ボールへの接近シナリオ

Figure 165 シナリオを示す。段ボールを路面に置き、センサー搭載車両が接近する。段ボールは図中の二つの方向で設置した。Figure 166 に段ボールの信号強度と距離の関係を示す。基準線は0dBsm の物標に対する信号強度である。シミュレーションは反射体計算を除外している。マンホールは、0°では概ね一致しているが、254°ではシミュレーションの信号強度が非常に小さく、10m 以下でしか信号を検出できていない。シミュレーションにおいて段ボールは直方体でモデル化されており、センサーと正対する場合には大きな信号強度となるが、それ以外の方向では非常に小さくなる。実際の段ボールは、精密な平面ではなく、不規則な面でできているため、シミュレーションに比べて方向依存性が小さい傾向になると考えられる。

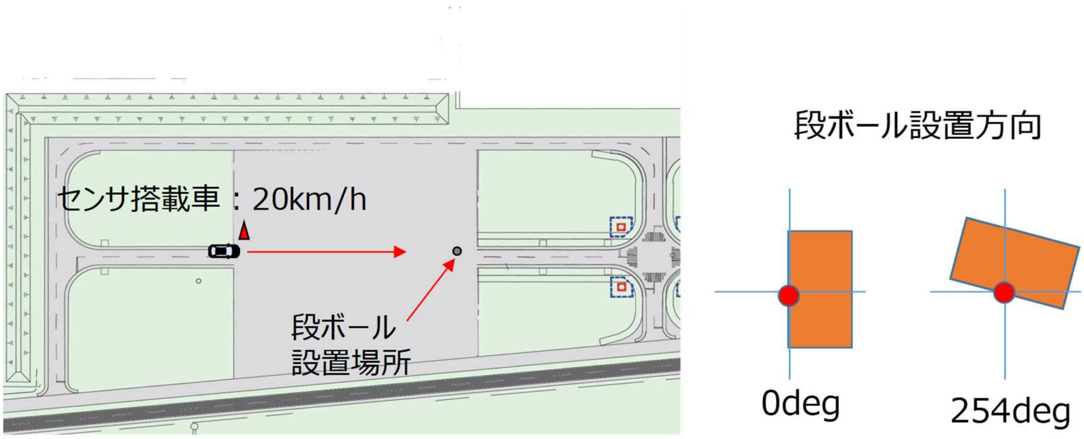


Figure 165 段ボールへの接近シナリオ

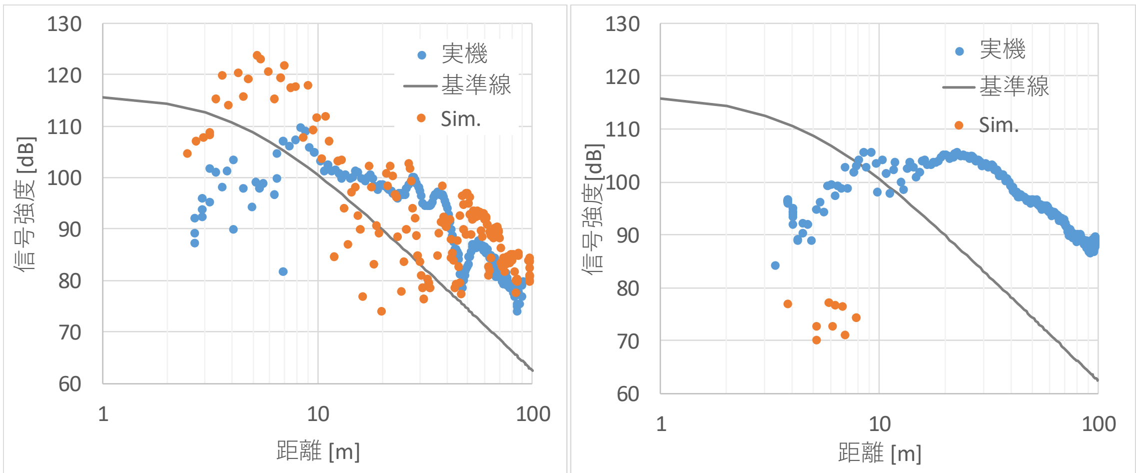


Figure 166 段ボールの信号強度 左:0° 、右:254° 、シミュレーションレイ設定:狭角

車両間のすり抜けシナリオ

Figure 167 にシナリオを示す。7mの間隔で静止したプリウスに接近し2台の間をすり抜ける。Figure 168 に最大反射点の時系列データを示す。シミュレーションは反射体計算を除外している。方位のデータより、物標のプリウスが遠い場合は、2台の車両の方位差が小さいため分離ができておらず正面付近に一つの物標だけが検出されている。物標が近づくと方位差が大きくなり、センサーの性能に応じて徐々に分離ができるようになる。シミュレーションの方位検出結果は実測の傾向と良く合っており、センサーの分離性能が正しくシミュレーションできていることがわかる。一方で、信号強度はプリウスの離間シナリオでは概ね一致していたが、すり抜けシナリオでは 10dB から 15dB ほど小さい結果となった。プリウスの方位によっては実測とシミュレーションで信号強度に差が生じていることがわかる。

Figure 167 車両間のすり抜けシナリオ

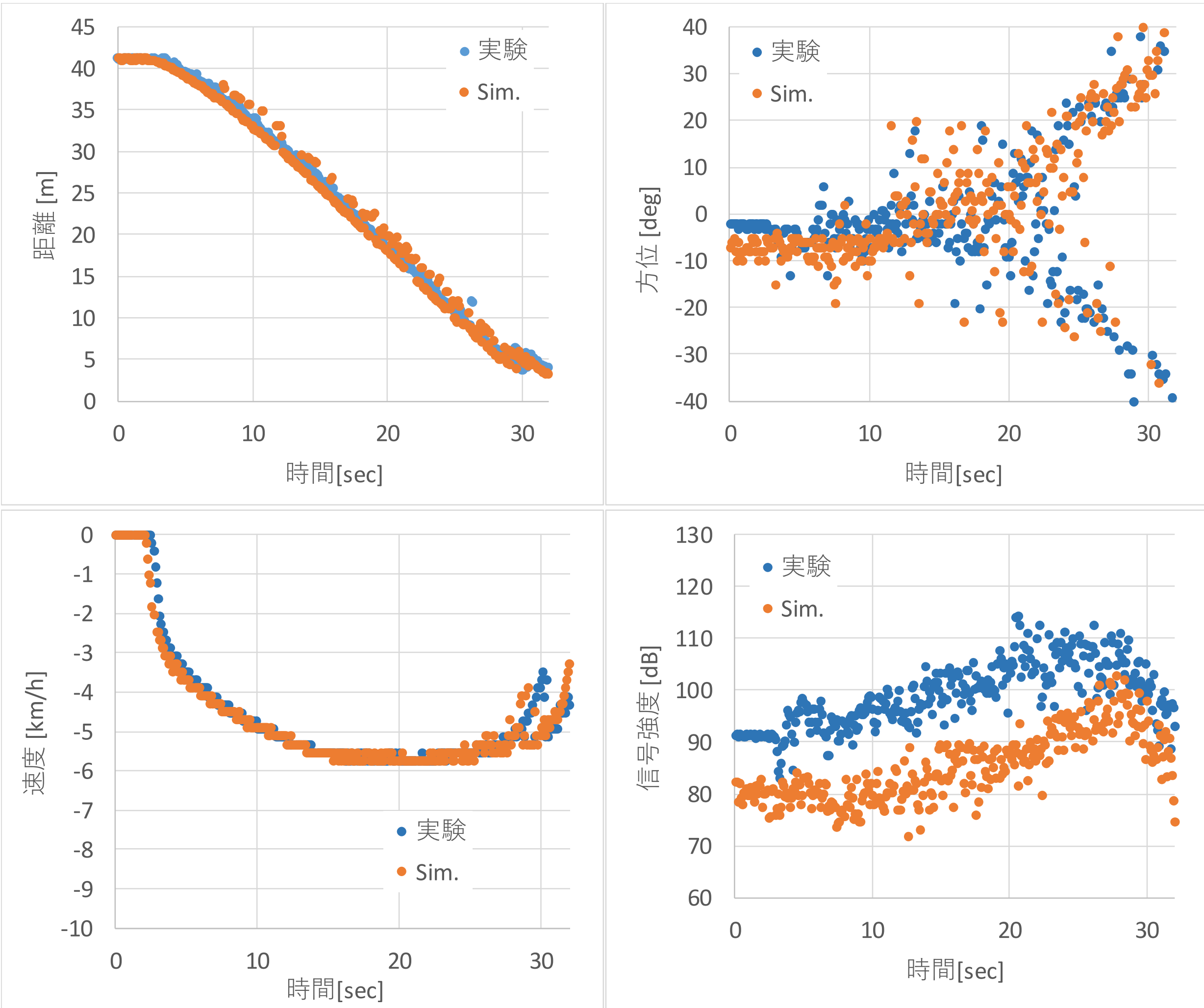


Figure 168 車両間のすり抜けシナリオおける最大反射点の時系列データ

シミュレーションレイ設定:広角

（3） NCAP シナリオ

ここでは、車影飛出しと CUT OUT シナリオの評価結果を示し、物影の物標の一致性について確認する。Figure 169 に NCAP シナリオの概要を示す。車影飛出しでは、プリウス・アルファードの影から NCAP ダミー人形が飛出す。CUT OUT シナリオでは、追従していた前方車両が車線変更し、その先に停止車両が現れる。

Figure 170 に車影飛出しシナリオの知覚出力を示す。XY 図より、実測・シミュレーションともに、プリウス、アルファードの影にある NCAP ダミー人形が検出できていることが分かる。Figure 171 に、シナリオ後半において NCAP ダミー人形の直前で停止する瞬間のシミュレーション結果を示す。本来、NCAP ダミー人形からの信号しか生じないはずであるが、NCAP ダミー人形より遠方に偽像が生じていることが分かる。これは、レイトレーシングにおける反射回数を 1 回とすることで発生しなくなることが分かっており、NCAP ダミー人形とプリウスあるいはアルファード間で複数回反射した信号が出力されていると推察され、物標間の多重反射の計算に課題があると考えられる。Figure 172 に NCAP ダミー人形からの反射点の時系列データを示す。NCAP ダミー人形が見え始める時刻は、シミュレーションの方が約 0.3 秒早く検出されている。距離にして約 3m 程度であり概ね一致していると言える。

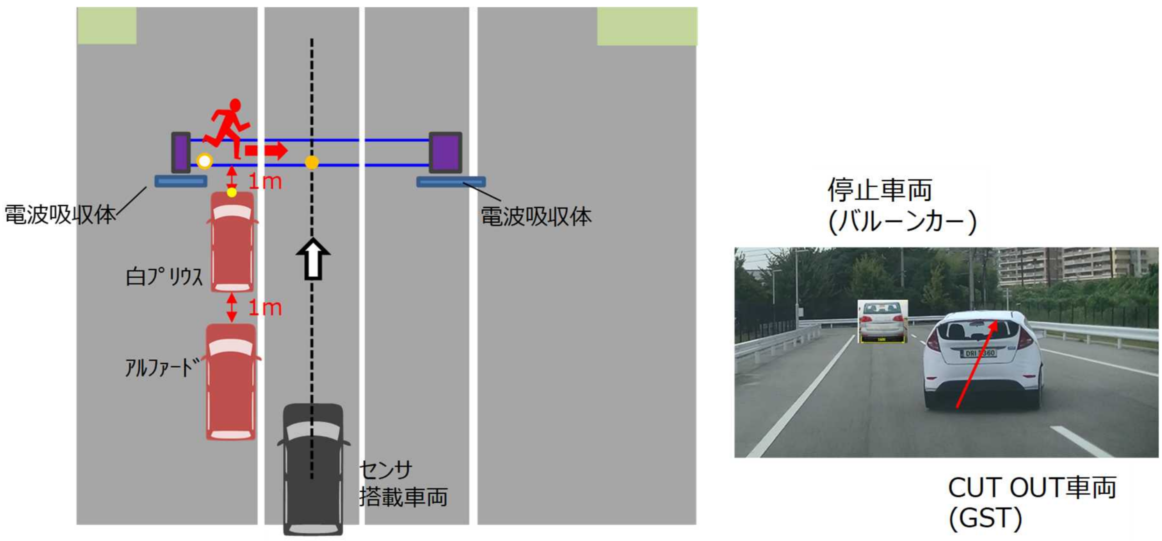


Figure 169 NCAP シナリオ　左：車影飛出し、右：CUT OUT

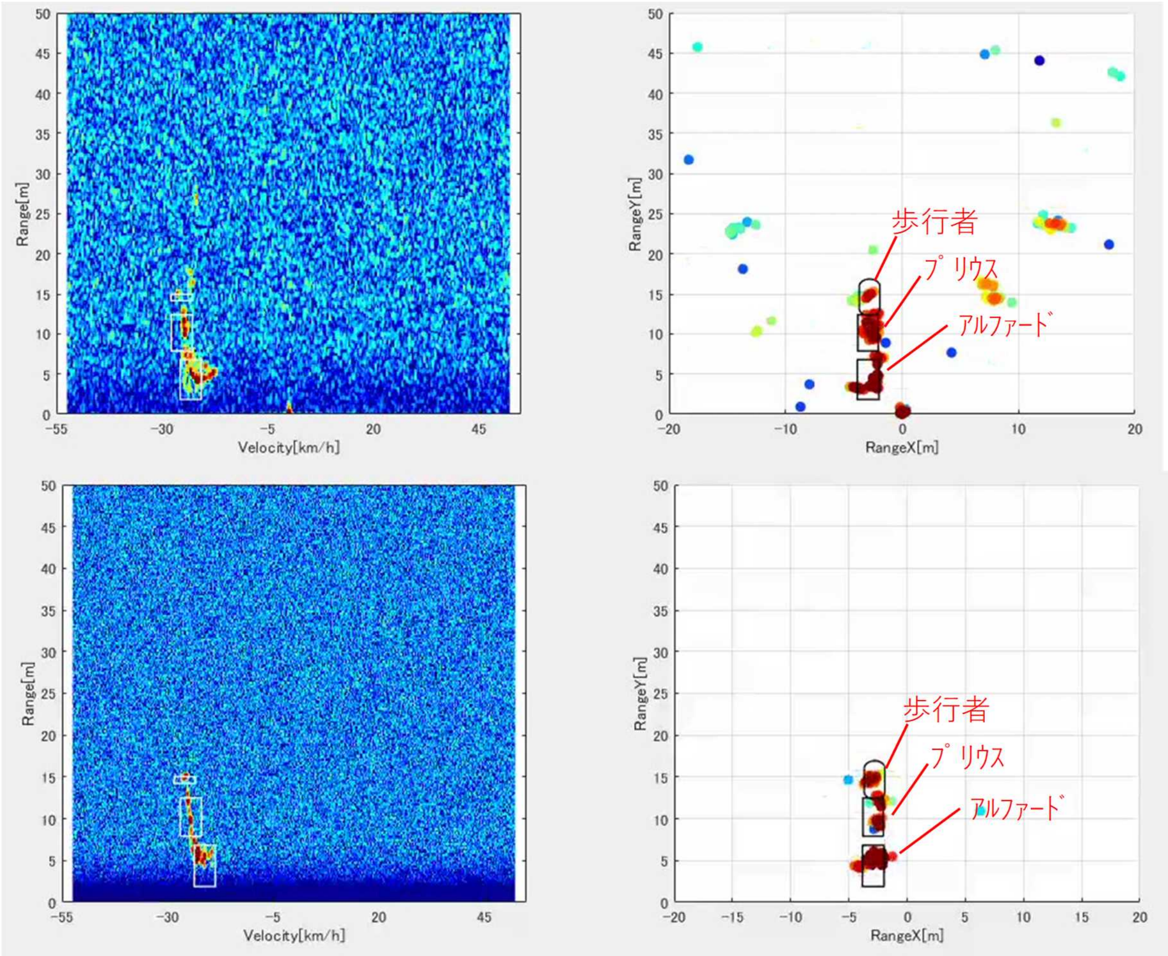


Figure 170 車影飛出しシナリオの知覚出力

左：RV 図、右：XY 図、上：実測、下：シミュレーション（広角レイ設定）

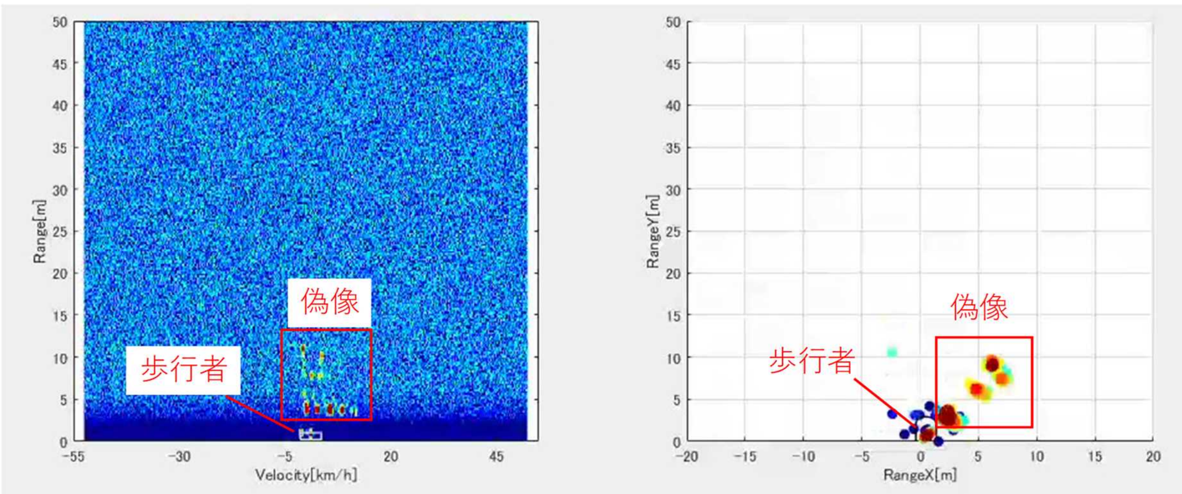


Figure 171 車影飛出しシナリオの知覚出力

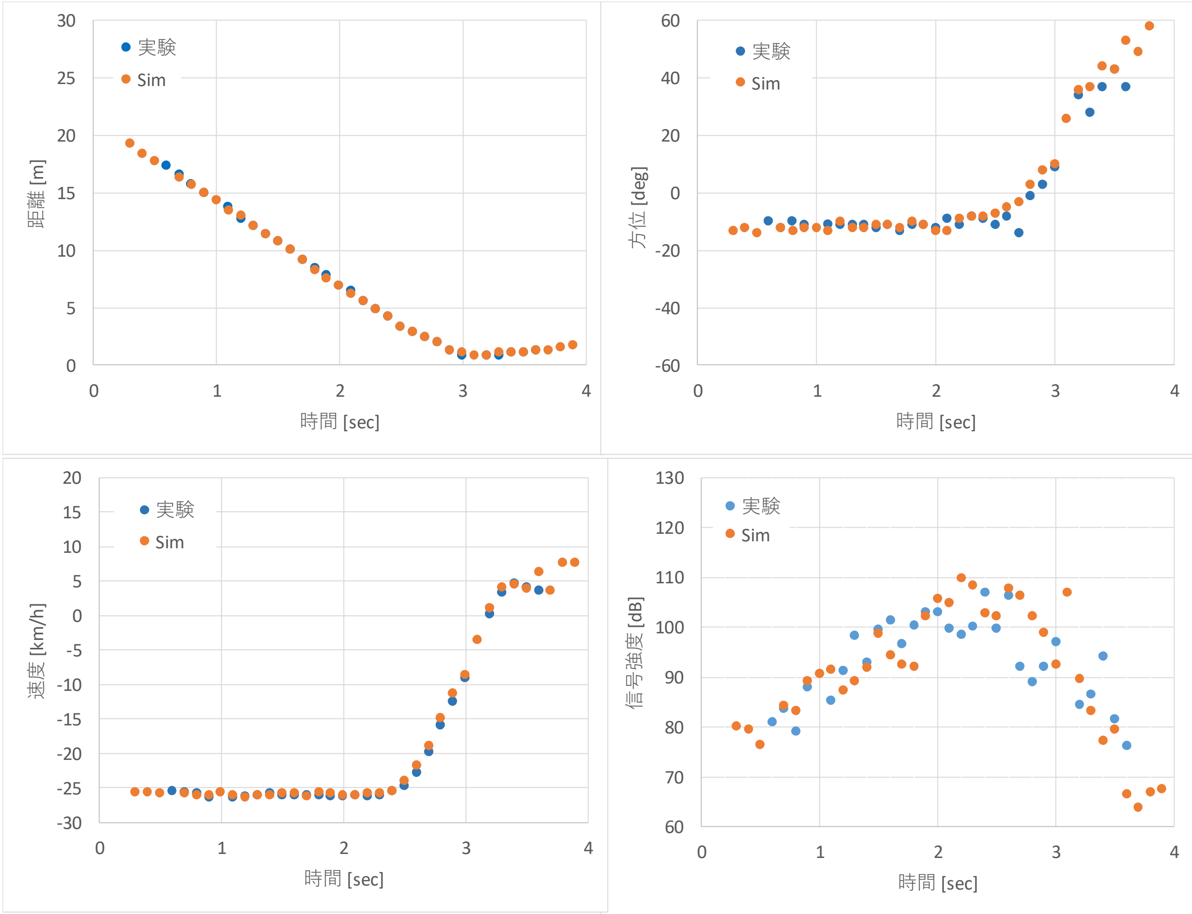


Figure 172 車影飛出しシナリオおける歩行者反射点の時系列データ

Figure 173 に CUT OUT シナリオの知覚出力を示す。シミュレーションは反射体計算を除外し、レイ反射回数を 1 回としている。CUT OUT 車両が車線変更する前であり、停止車両は CUT OUT 車両に遮蔽されている状況であるが、実測・シミュレーションともに停止車両を検出できている。Figure 174 に各車両の反射点の時系列データを示す。停止車両の信号強度に差があるものの、見え始め時刻はほぼ同等となっている。停止車両にはコーナーリフレクタが組み込まれており、その反射特性をモデル化している。信号強度の一致性を高めるためには、コーナーリフレクタ以外の部分の反射も考慮する必要があると考えられる。

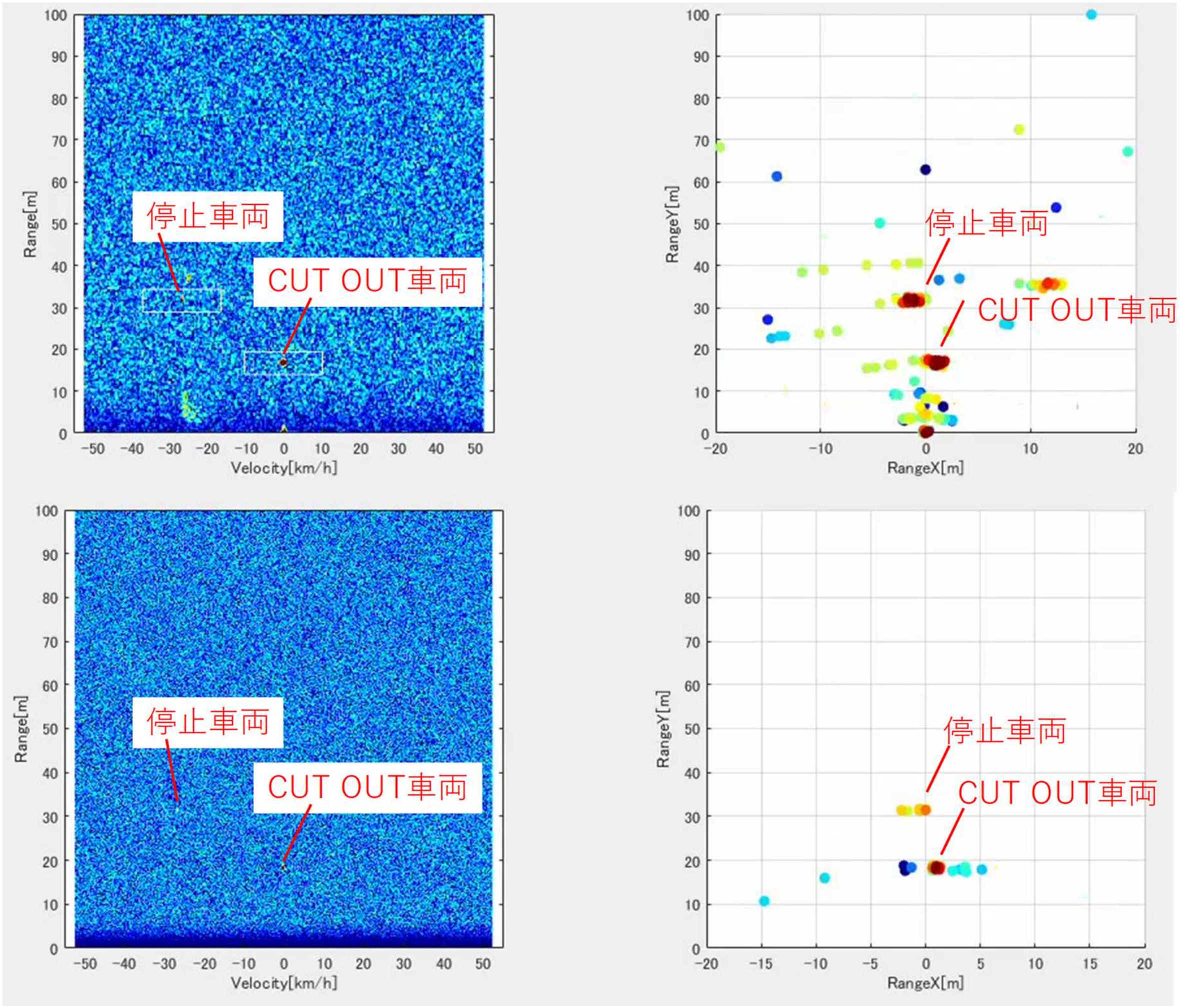


Figure 173　CUT OUT シナリオの知覚出力

左：RV 図、右：XY 図、上：実測、下：シミュレーション（狭角レイ設定）

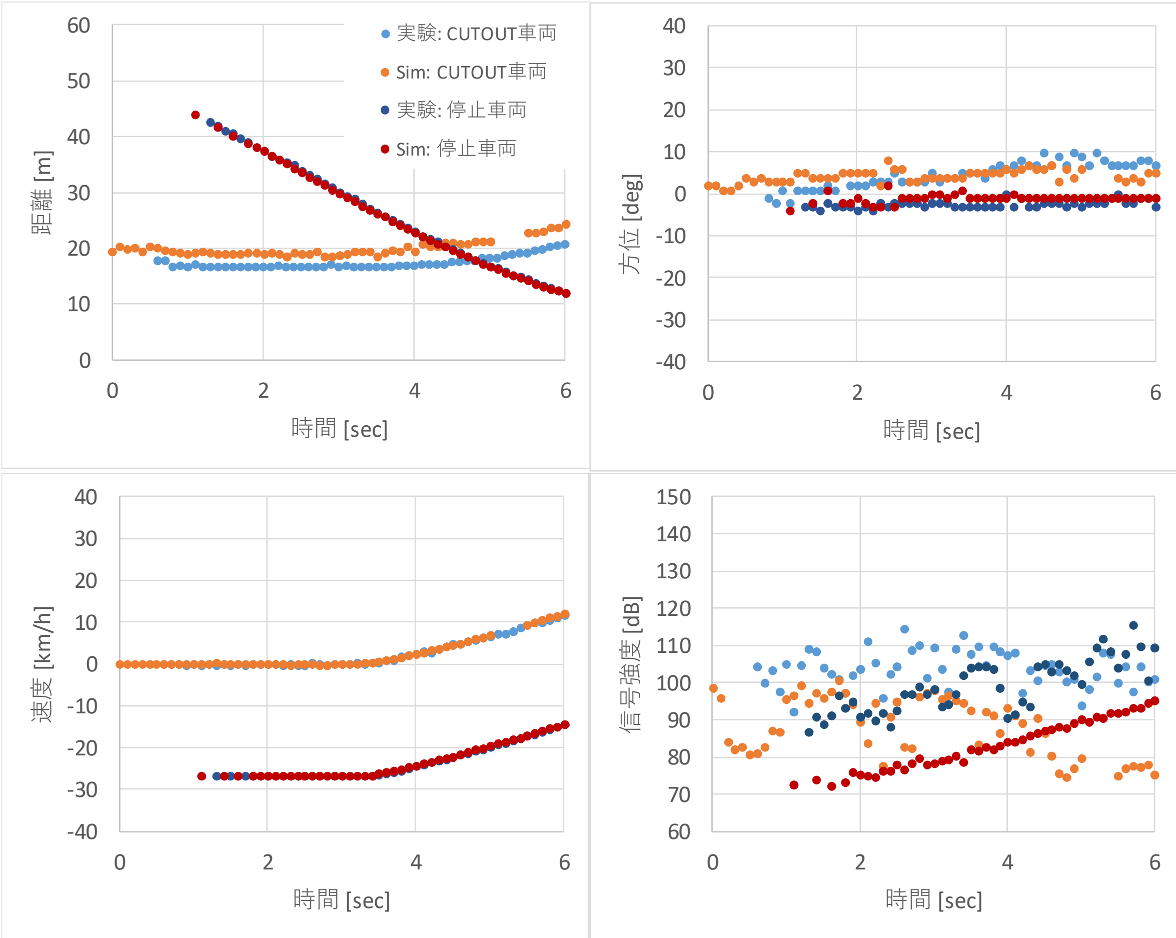


Figure 174 CUT OUT シナリオおける各車両反射点の時系列データ

(4) 首都高トンネル

ミリ波レーダーでは、壁などでの反射による虚像や位置計測精度の低下などの不調が生じるため、壁による反射の再現が重要である。また、壁を検出することで走路認識が可能であるため、壁による散乱の再現も重要となる。そこで、首都高 C1 のトンネルにて、虚像の発生状況や壁からの反射による信号を確認した。

Figure 175 にトンネルシナリオの内容を示す。自車の前方に先行車がおり、右側に追越車がいる状況である。Figure 176 に知覚出力を示す。壁、先行車、追越車からの信号が確認できる。また、XY 図において、実測・シミュレーションともに、壁に対して追越車と対称の位置に信号が存在し、虚像が発生していることがわかる。一方、壁による信号は、実測では近距離から遠距離まで分布しているのに対し、シミュレーションでは比較的近距離において強く生じることがわかる。これは、シミュレーションにおいて、実際より鏡面反射成分が強く、再起反射成分が弱くなっているためと考えられる。

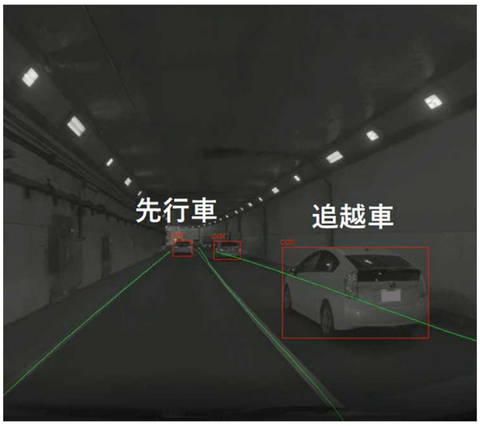


Figure 175　首都高 C1 トンネルシナリオ

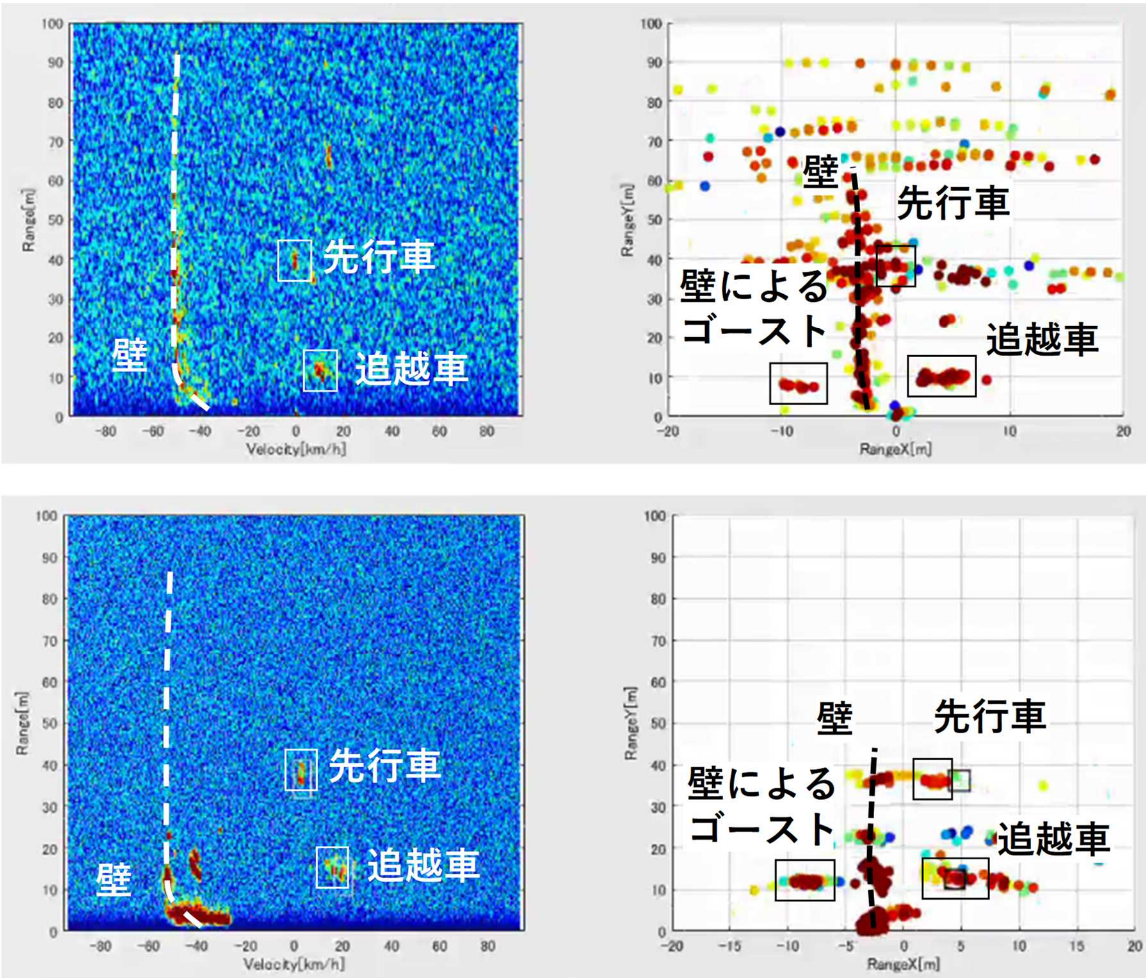


Figure 176 トンネルシナリオでの知覚出力

左：RV 図、右：XY 図、上：実測、下：シミュレーション（広角レイ設定）

(3)次年度以降の計画

⑦　リファレンスモデル仕様書の作成

内容：本年度成果⑤で作成したリファレンスモデルを参考に他社が独自のレーダーモデルを作成するときの参照要件として、リファレンスモデルの構造、インターフェース、動作を仕様書としてまとめる。仕様書には下記の内容説明を記載する。

- センサーモデル概要
- センサーモデル構造
- 入出力 I/F
- センサーモデル動作フロー
- 設定パラメータの解説(アンテナパターン/配置、変調パターン、ノイズ特性など)

期間：2021 年 3 月から 2021 年 6 月

アウトプット：リファレンスモデル仕様書

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)

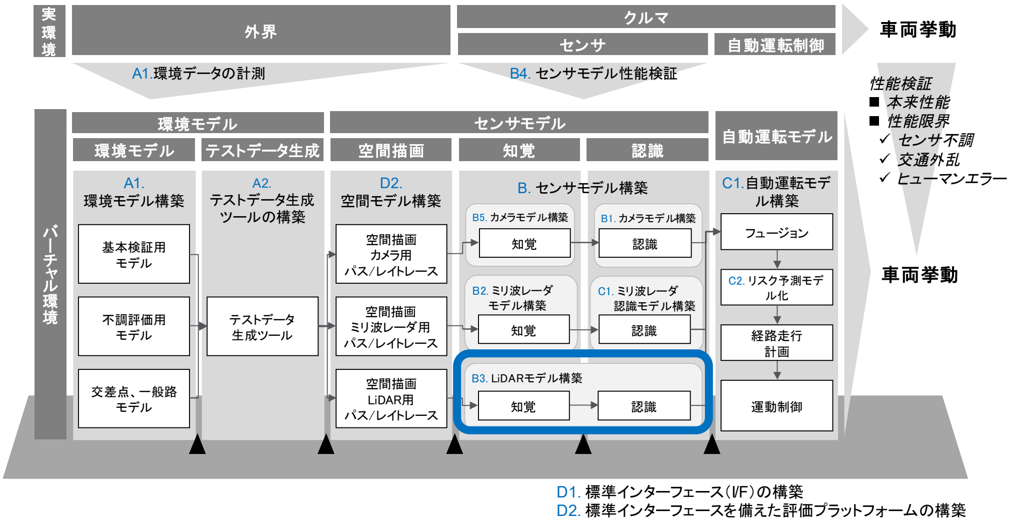


Figure 177 本研究の位置付け

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 178 に示す①～④の項目について、研究開発を行う。

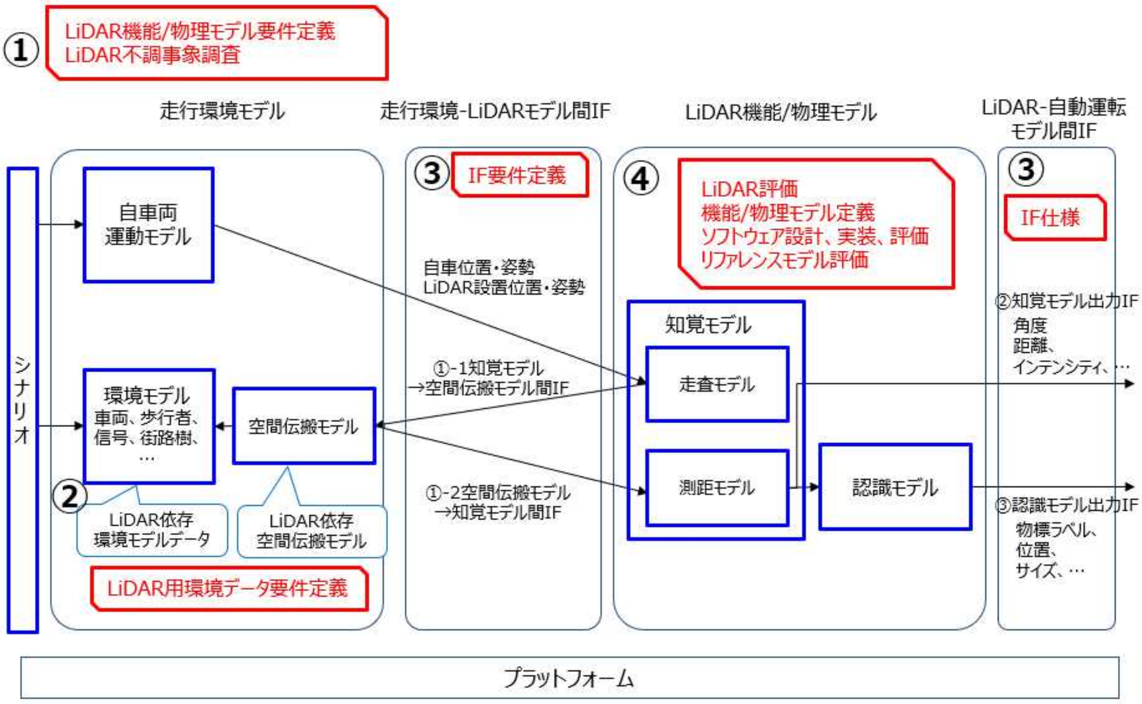
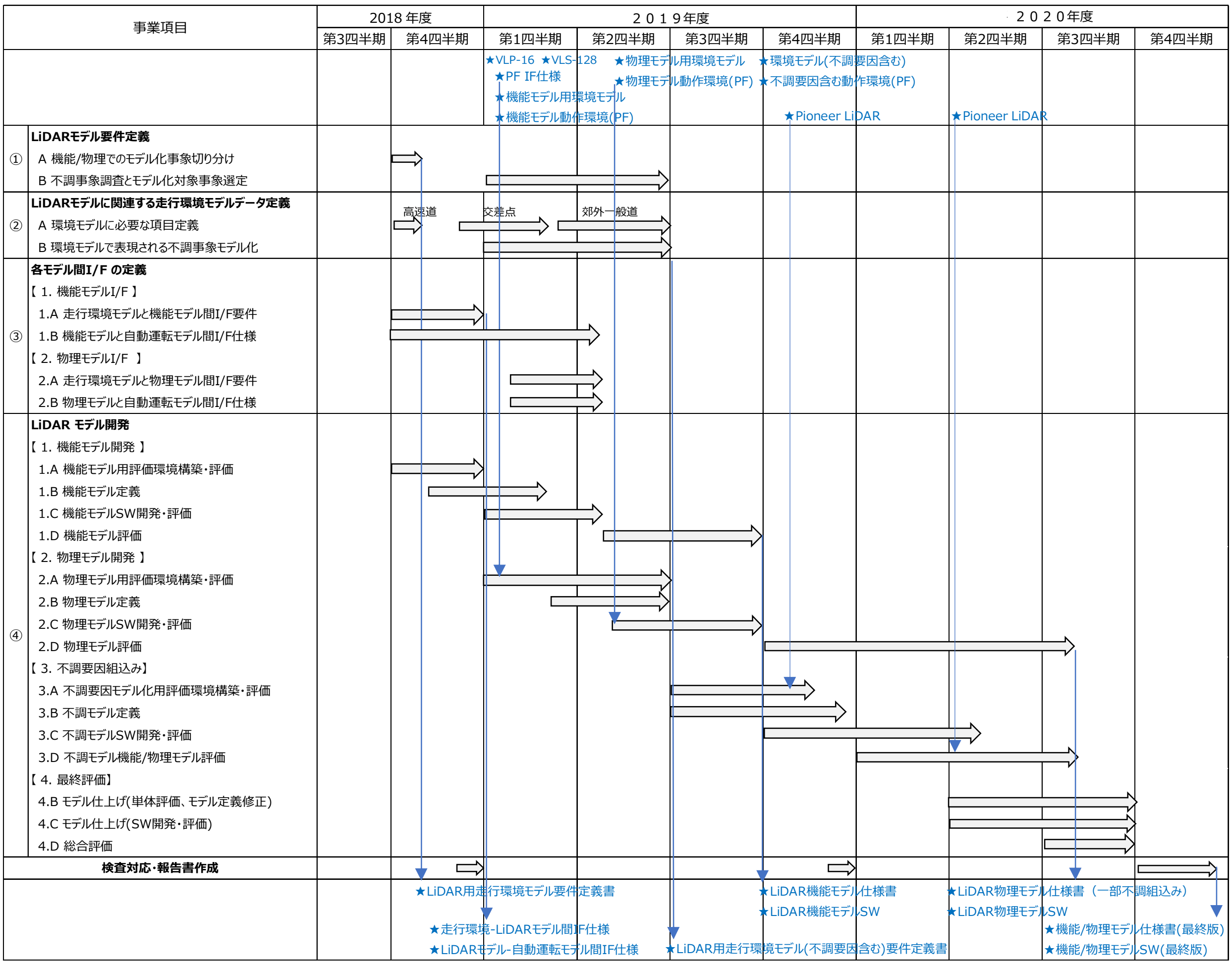


Figure 178. LiDAR リファレンスモデルを構成する研究開発要素とその関係

■ 実施計画



事業項目
2018 年度
２０１９年度
２０２０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
★VLP-16 ★VLS-128
★PF IF仕様
★機能モデル用環境モデル
★機能モデル動作環境(PF)
★物理モデル用環境モデル
★物理モデル動作環境(PF)
★環境モデル(不調要因含む)
★不調要因含む動作環境(PF)
★Pioneer LiDAR
★Pioneer LiDAR
①
LiDARモデル要件定義
A 機能/物理でのモデル化事象切り分け
B 不調事象調査とモデル化対象事象選定
②
LiDARモデルに関連する走行環境モデルデータ定義
A 環境モデルに必要な項目定義
B 環境モデルで表現される不調事象モデル化
高速道
交差点
郊外一般道
③
各モデル間I/F の定義
【 1. 機能モデルI/F 】
1.A 走行環境モデルと機能モデル間I/F要件
1.B 機能モデルと自動運転モデル間I/F仕様
【 2. 物理モデルI/F 】
2.A 走行環境モデルと物理モデル間I/F要件
2.B 物理モデルと自動運転モデル間I/F仕様
④
LiDAR モデル開発
【 1. 機能モデル開発 】
1.A 機能モデル用評価環境構築・評価
1.B 機能モデル定義
1.C 機能モデルSW開発・評価
1.D 機能モデル評価
【 2. 物理モデル開発 】
2.A 物理モデル用評価環境構築・評価
2.B 物理モデル定義
2.C 物理モデルSW開発・評価
2.D 物理モデル評価
【 3. 不調要因組込み】
3.A 不調要因モデル化用評価環境構築・評価
3.B 不調モデル定義
3.C 不調モデルSW開発・評価
3.D 不調モデル機能/物理モデル評価
【 4. 最終評価】
4.B モデル仕上げ(単体評価、モデル定義修正)
4.C モデル仕上げ(SW開発・評価)
4.D 総合評価
検査対応・報告書作成
★LiDAR用走行環境モデル要件定義書
★走行環境-LiDARモデル間IF仕様
★LiDARモデル-自動運転モデル間IF仕様
★LiDAR用走行環境モデル(不調要因含む)要件定義書
★LiDAR機能モデル仕様書
★LiDAR機能モデルSW
★LiDAR物理モデル仕様書（一部不調組込み）
★LiDAR物理モデルSW
★機能/物理モデル仕様書(最終版)
★機能/物理モデルSW(最終版)

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ LiDARモデルをシミュレートするにあたり必要となる環境、空間モデルの要件定義 ➢ 標準化のためのLiDARモデル入出力IFの定義 ➢ 一致性検証を通じたLiDARモデルの課題抽出 ➢ LiDARが不調となる事象の整理と一部不調現象把握 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ LiDARモデルの提供 ➢ 各検証における一致性検証を通じた、環境モデルに対するフィードバック
成果を支えた要諦	■ 自工会連携による効果的な不調事象の整理 ■ 理論、設計値をベースとしてモデル化以外に、外部測定の統計データをベースとしたモデル化への挑戦 ■ Aパート、Dパートの環境モデルと空間モデル担当企業との連携による研究開発の加速
評価	■ 異なる二つの走査方式のLiDARのモデル化を実現

成果の価値	
成果の価値評価	■ 実機との一致性を検証したシミュレータであること ■ IF標準化により、LiDARモデル入れ替えが可能な設計であること
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ センサ開発のためのツール ■ 認識SW開発のためのの学習データ生成ツール ■ 認識SW評価用の真値データ生成ツール ■ OEMへのセンサプロモーションツール
残課題・今後への期待値	■ センサ不調条件の拡充 ■ 物体認識観点でのLiDAR知覚モデル一致性レベルの見極めとそこに向けた一致性向上

Figure 179 研究開発の成果

令和 2 年度の成果を Figure 179 にまとめた。二つの異なる走査方式の LiDAR モデルをプラットフォームに実装し、一致勢検証を実施、ある程度の一致性を確認するとともに課題を抽出した。また、LiDAR 不調となる降雨による光の減衰についてもモデル化を実施した。

(2)令和2年度の成果

(ア) LiDAR 知覚モデル

Figure 180 に LiDAR 実機の機能構成ブロックの一例を示す。

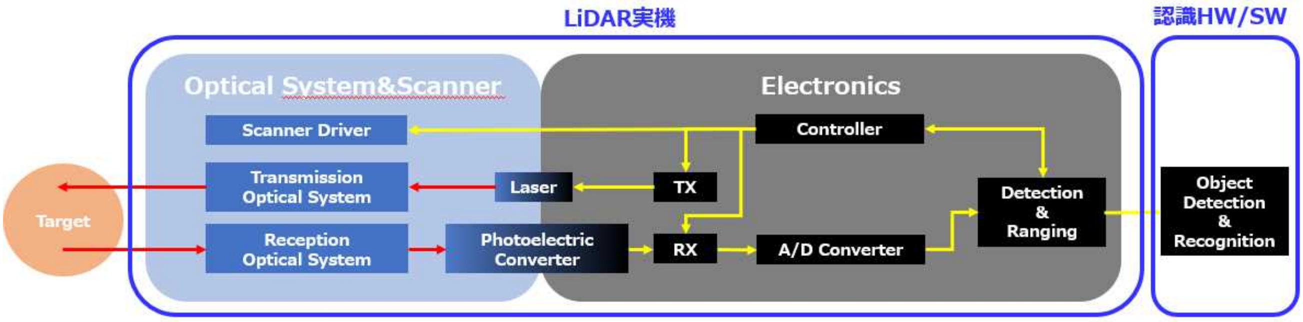


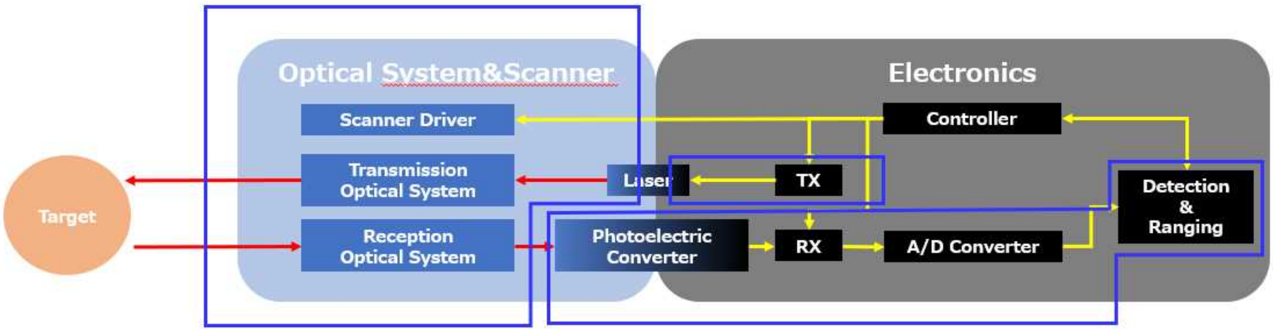
Figure 180 LiDAR 実機の機能構成ブロック

上図の「LiDAR 実機」を「LiDAR 知覚モデル」、「認識 HW/SW」を「LiDAR 認識モデル」としてモデル化する。LiDAR 実機部分のモデル化にあたっては、より細かい機能ブロックごとにモデル化を実施している。またモデル化の手法も、仕様により機能ブロックのロジックが分かる場合はその仕様を基にモデル化を実施。一方、機能ブロックのロジックが公開されてないなど分からない場合は、その入出力の観測より統計的にモデル化する。

■ V 社 LiDAR 知覚モデル

V 社 LiDAR のモデル化にあたっては、光学系(Optical System&Scanner)については、公開されている仕様からモデル化を実施している。一方、電気(Electronics)部分については、下図の各機能ブロックの入出力が観測できないため、LiDAR に入力される光量と出力される点群を観測することで Photoelectronic Converter から Detection＆Ranging までを測距モデルとしてひとつの統計モデルとして表現している。

Figure 181 にそれぞれのブロックの代表的なモデル化項目を示す。



光学系(Optical System&Scanner): モーターとタイミング(走査光学モデル)

Laser、TX: レーザーの強度・TOF 信号(TX モデル)

Photoelectric Converter、RX、A/D Converter、Detection & Ranging: 入力光量と出力強度の関係を統計モデル化(測距モデル)

Figure 181 V 社 LiDAR 知覚モデルブロック

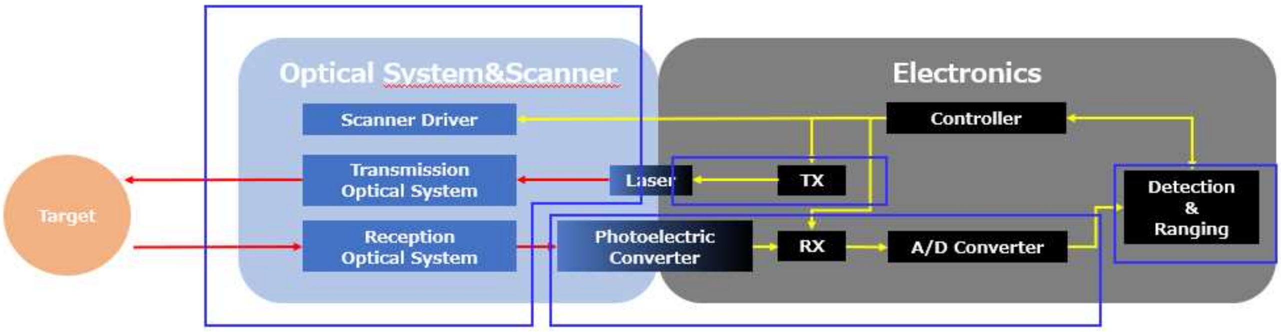
Photoelectric Converter から Detection & Ranging の機能部分はブラックボックスとして扱えるためメーカーしか知り得ない詳細な設計情報なしにモデル化できるというメリットがある一方、正確な一致性や不調事象の再現が難しい。

※V 社 LiDAR は機種(a)と機種(b)の 2 機種をモデル化した。ともにモーター方式であるが、垂直方向のライン数が、機種(a)は 16 ライン、機種(b)128 ラインである。

■ PSSI LiDAR 知覚モデル

PSSI LiDAR 知覚モデルは、LiDAR を構成する各ブロック毎に設計値に基づきモデル化される。これらのブロックは連結されて知覚モデルを形成し、LiDAR 実機と同じメカニズムで動作する。このような手法は、ブロック毎に計算を行なうため計算時間がかかるが、高い再現性を得られるメリットがある。

Figure 182 にそれぞれのブロックの代表的なモデル化項目を示す。



光学系(Optical System&Scanner): MEMS ミラーの角度とタイミング(走査光学モデル)
Laser、TX: レーザーの強度・TOF 信号(TX モデル)
Photoelectric Converter、RX、A/D Converter: 光検出器や回路の各種特性(RX モデル)
Detection & Ranging: 測距手法(測距モデル)

Figure 182 PSSI LiDAR 知覚モデルブロック

ほとんどの機能ブロックを詳細な設計情報に基づきモデル化しているため、信号波形における一致制検証を行なう事ができ、V 社 LiDAR 知覚モデルで採用した手法に比べて、再現性確保の観点では優れている。

(イ) LiDAR 認識モデル

LiDAR の認識モデルにはルールベースの手法と学習ベースの手法がある。学習ベースの手法では学習する入力データに性能が大きく依存し、認識性能自体も高い傾向がある反面、内部がブラックボックス化になるため結果の要因分析が困難である。ルールベースの手法の性能がルールを作成する技術者のスキルに依存して決まる反面、内部がホワイトボックスのため結果の要因分析が可能である。

今回は、その両方を扱うことで双方の性質を確認する。V 社モデルでは学習ベースである Autoware の認識モデルを採用し、認識モデルに入力する点群の差異が認識に与える影響を確認する。PSSI モデルでは、認識モデルの検知出力がルールベースであるモデルを採用し、検知出力での一致性を確認する。

■ V 社 LiDAR 認識モデル

Figure 183 に V 社 LiDAR 認識モデルの概要を示す。V 社 LiDAR 認識モデルとして、オープンソースの自動運転 OS である Autoware の CNN LiDAR Baidu Object Segmenter[1] を使用した。 また、ネットワークモデルは Baidu 社が提供する Apollo の学習済みモデル[2]を使用した。 ここでは、この手法について説明する。

本手法は、3D LiDAR の点群を入力とし、物標の位置・大きさ、物標の種類、検出・認識の信頼性の指標となるスコアなどを出力するものである。 入力点群は、Bird's Eye View (BEV) 投影を行ない、2D の方眼状のデータを作成する。この 2D の方眼状データが次段の深層学習ネットワークの入力となる。 2D の方眼状のデータ内の各格子は、次の情報を持つ。

格子内で最も高い点の高さ
格子内の点の平均の高さ
格子内の点数
格子内に点が存在するか否か

深層学習ネットワークは下図で示す Encoder–Decoder のモデルであり、入力データに対して畳み込みを繰り返して中間表現に変換し(Encode)、 逆畳み込みを繰り返し行うことで出力形式に変換する(Decode)ものである。

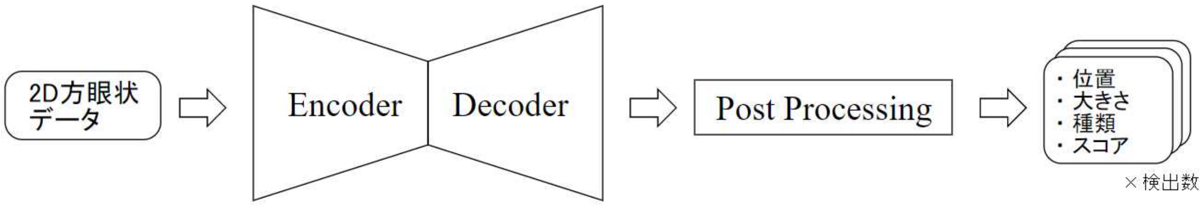


Figure 183 V 社 LiDAR 認識モデル

最後に、出力形式から検出数分の物標の位置・大きさ、種類、スコアといった情報を生成する。識別する物体の種類は以下である。

自動車
自転車
歩行者
不明

参考文献:

[1] https://github.com/Autoware-AI/core_perception/tree/1.14.0/lidar_apollo_cnn_seg_detect
[2]https://github.com/ApolloAuto/apollo/tree/r6.0.0/modules/perception/production/data/perception/lidar/models/cnnseg

■ PSSI LiDAR 認識モデル

PSSI LiDAR 認識モデルは、物体検出、物体識別、物体追跡の大きく三種類のモジュールで構成される。

物体検出：

LiDAR から出力された点群のどこにどのような大きさの物体が存在するかを抽出することが目的である。
LiDAR 点群の中には、ごく少数ではあるが物体に由来しないノイズ点が存在する。 また、自動運転用途においては、虫やチリなど無視すべき点が含まれることがある。 これらの点を除去した上で、点の集合がある程度の大きさ以上であるとき、物体が存在すると判定する。

物体識別：

前段の物体検出で検出された物体が、具体的には何であるかを明らかにすることが目的である。 学習済みニューラルネットワークを用いて次のいずれかに分類する。

自動車
自転車
歩行者
不明

物体追跡：

物体検出で検出された物体を、フレーム間で紐づけることが目的である。 物体追跡を利用することで、例えば、オクルージョンにより物体の一部が隠れ物体識別が困難な場合であっても以前のフレームの結果を継続的に使用できる。また、フレーム間で同一物体か別物体かという情報があれば、シーンに存在する物体の数を正確に把握することができる。
物体追跡には、物体の位置や速度といった情報から、次のフレーム時刻には物体がどこに移動するかという予測をする。 この予測と、実際に観測された物体の位置が一致すれば、同一物体と見なす。

(ウ) モデルの一致性検証

① 一致性検証の考え方

一致性検証の考え方を Figure 184 に示す。

第一段階として、LiDAR モデルと LiDAR 実機の一致性を見るために、実験室内で外部環境をコントロール可能な状態で一致性を評価する（LiDAR 知覚モデル一致性検証）。

LiDAR モデルと LiDAR 実機の一致性がある程度確認できたのち、第二段階として外部環境と環境モデルの一致性を LiDAR 実機・LiDAR モデルと合わせて評価する（環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証）。

環境モデル＋LiDAR 知覚モデルと外部環境＋LiDAR 実機の一致性がある程度確認できたのち、最後に認識モデルの入力差分（LiDAR 実機出力と知覚出力の差異）が出力に与える影響を評価する（認識モデル出力への影響評価）。

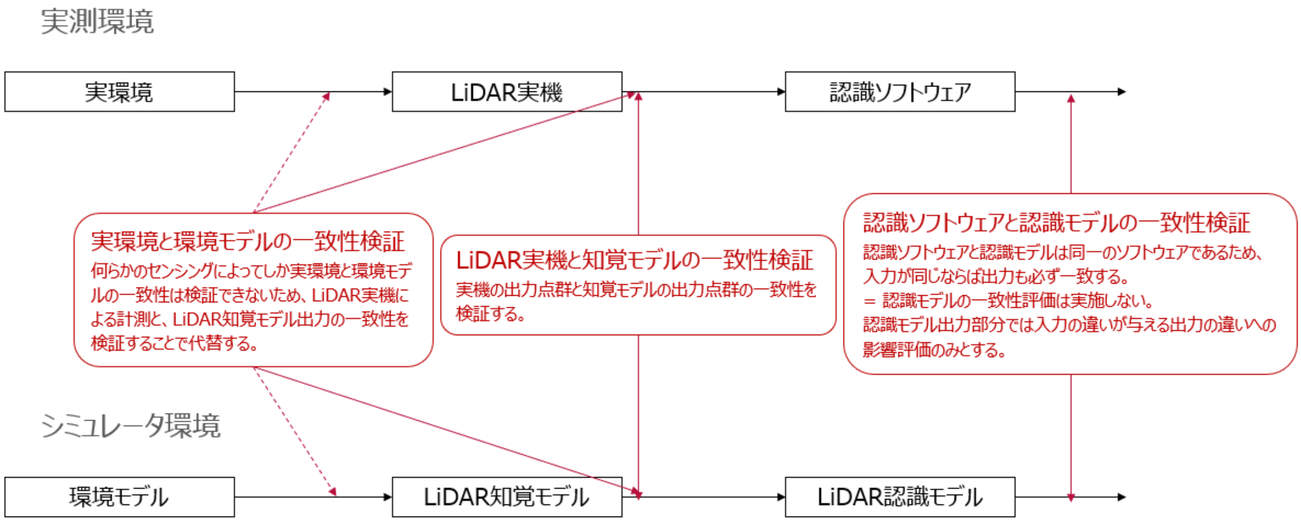


Figure 184 一致性検証の考え方

② 一致性検証の評価パラメータと評価指標

一致性検証の評価項目および評価指標を Table 62 に示す。

【LiDAR 知覚モデル一致性検証】

LiDAR 出力パラメータは距離・強度・角度であるため、まずはその3パラメータの一致性を評価する。

多くの物体認識手法は物体のサイズ・形状を特徴量として用いており、点群の状態でその特徴量が正確に表現されていることが重要である。LiDAR では、物体の位置・サイズ・形状は点群として表現され、点群としての特徴量は点数・点群サイズ・点群形状となる。LiDAR 出力の距離と角度の一致性は、物体の位置・サイズ・形状が点群として正確にとらえられるかどうかに影響するため、特にこの2つパラメータの一致性は重要である。

一方、強度については物体認識手法で利用する特徴量として使われる機会は少なく、現時点ではそこまで一致性を求める必要性はないと考える。

本一致性検証では、これら3パラメータについてはその精度・確度を評価している。

LiDAR 出力パラメータは上記3パラメータであるが、物体検出・認識の観点からどの程度の範囲検出可能であるかといった正検知についての評価が必要である。これとは逆にどの程度誤って物体を検出するのかといった誤検知についての評価も必要である。よって、LiDAR 知覚モデルの一致性検証としては、正検知として検出確率を、誤検知として誤検出確率を評価指標として加えている。

上記に加え、PSSI LiDAR については、A/D Converter 出力も観測可能である。よって、A/D Converter 出力波形(受信波形)の一致性を評価する。受信波形の一致性については、受信光の強度分布とノイズの強度分布の一致性を平均と分散といった指標で評価する。受信波形と LiDAR 出力パラメータの関係については以下である。

受信光の強度分布 ->強度、検出/誤検出確率

受信光のピーク位置 ->距離

ノイズの強度分布 ->検出/誤検出確率

【環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証】

自動運転における衝突防止のための物体検出/認識では、より遠方から物体（ターゲット）を検出/認識する事が重要である。その観点で、ターゲットまでの最短距離・ターゲットサイズ・ターゲットに当たる点数（ターゲットの遠方の検出限界に影響）の3パラメータを評価する。また、ターゲット点群の強度分布についてもターゲットの遠方検出限界に影響を与えると考えられるため評価対象とする。

【認識モデル出力への影響評価】

認識モデルの出力は認識したターゲットを取り囲むバウンディングボックスの位置・サイズとそのターゲットのラベルであるが、バウンディングボックスの位置・サイズについては、知覚モデル出力で評価したターゲットまでの距離・ターゲットサイズ・ターゲット点数がある程度一致していれば認識モデル出力に大きな影響を与えるとは考えにくい。

一方、自動運転での障害物検出の観点からは、如何に遠方からターゲットを検出できるかが非常に重要であり、ここでは、知覚モデル出力で評価したターゲットまでの距離、ターゲットサイズ、ターゲット点数、検出確率、誤検出確率が認識モデル出力の一評価指標であるターゲットの遠距離検出限界に与える影響を評価する。

認識モデルにはブラックボックス（推論器）が含まれる。推論器による物体検出/認識は推論器作成に用いた学習データに大きく依存し、入力差異が出力結果に与える影響を解析することは非常に困難である。よってターゲット検出限界の評価については、推論器前の物体検出結果を評価する事が適切である。しかし、V 社製 LiDAR で評価対象とした認識モデルは推論器入力前に物体の検出をしていないため、推論器の出力結果をターゲット検出限界の評価対象とする。

Table 62 評価項目および検証指標

Step	検証の目的	評価対象出力	評価パラメータ	評価指標
LiDARモデル一致性検証	■環境モデル、空間伝搬モデル、シナリオに起因する誤差をできるだけ排除することで、LiDAR知覚モデル（走査モデル・測距モデル）の一致性を評価	■RXモデル出力（PSSIのみ）	■受信信号の強度分布	■ 形状・反射特性が既知である物標の各距離における強度分布、平均、分散の一致性
			■ノイズの強度分布	■ 形状・反射特性が既知である物標の各距離におけるノイズの強度分布、平均、分散の一致性
		■知覚モデル出力	■角度	■ 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
			■距離 ■強度	■ 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
			■測距限界	■ 形状、反射特性が既知であるターゲットの検出確率の一致性
環境モデル＋LiDARモデル一致性検証	■空間伝搬モデル、シナリオに起因する誤差をできるだけ排除することで、環境モデル、LiDAR知覚モデル（走査モデル・測距モデル）の一致性を評価	■知覚モデル出力	■ターゲットまでの最短距離	■ 距離の精度、確度の一致性
			■ターゲットに当たる点数	■ 点数の精度、確度の一致性
			■ターゲットサイズ	■ 物体サイズの精度、確度の一致性
			■ターゲット点群の強度	■ 強度分布の一致性
認識モデル出力への影響評価	■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を評価	■認識モデル出力	■遠距離検出限界	■ ターゲットの検出確率
不調再現検証				
拡張性検証	*今後継続した検証の実施*			

■ PSSI-LiDARモデルのみで実施

③ 一致性検証

A)　　　V 社機種（b）の一致性検証

A)–1　LiDAR 知覚モデル一致性検証

LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ、評価指標は Table 63 の通りである。

Table 63　LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■ 角度	■ 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
■ 距離 ■ 強度	■ 形状・反射特性が既知であるターゲットの各距離における精度、確度の一致性
■ 遠距離測距限界	■ 形状、反射特性が既知であるターゲットの検出確率の一致性

V 社機種（b）における LiDAR 知覚モデル一致性評価については、角度と距離と強度について昨年度実施済みである。詳細は昨年度の報告書を参照。検出/確率については計測方法に課題があり、来期検討課題となっている。

A)–2　環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証

環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ、評価指標は Table 64 の通りである。

Table 64　環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■ ターゲットまでの最短距離	■ 距離の精度、確度の一致性
■ ターゲットに当たる点数	■ 点数の精度、確度の一致性
■ ターゲットサイズ	■ 物体サイズの精度、確度の一致性
■ ターゲット点群の強度	■ 強度分布の一致性

V 社機種（b）における環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証の評価パラメータの4つの内、ターゲットまでの最短距離および物体サイズは昨年度の実施済みである。詳細は昨年度の報告書を参照。

昨年度では、環境モデルの透過特性と反射特性が未実装の状態での評価であった。その為点数においては不一致の課題があった。今年度は、環境モデルの反射特性が実装されたため、点数の再評価に加え、強度分布の評価を実施する。一方、透過特性については未だ未実装であるため、評価対象ターゲットに透過特性を持たないものを対象とする。

また、LiDAR を車両に搭載した評価では、実測とシミュレーションの LiDAR の微妙な姿勢差異が一致性評価に大きく影響する。V 社機種(a)は、垂直方向の空間解像度が低いため、位置姿勢影響を大きく受けることが分かっている。環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証は、環境モデルの反射特性と形状、サイズを LiDAR 知覚モデルと合わせて評価することが主な目的であり、位置姿勢誤差の影響を極力なくすことが望ましい。よって、本評価では垂直方向の空間解像度の高い V 社機種(b)を評価対象とする。

環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証用のデータの計測条件を Figure 185 に示す。センサー搭載車両が静止したターゲットに近づくシナリオである。ターゲットは、NCAP 用ダミー人形(4activeSystems 社製)を用いる。実測データはセンサー搭載車両に設置した LiDAR で取得している。シミュレーション、実測データを基に作成したシナリオを用いて実施している。

一致性検証においては、ターゲットに対応する点群のみを対象とし、その点数と強度を評価する。

データ計測時に GNSS データが一部取得できていないため、シナリオにおいてセンサー搭載車両の各時刻における位置姿勢を正確に再現できていない。一方で、前年度報告より V 社機種(b)の距離精度・確度は十分な一致性がある。よって本評価では、時刻の影響する評価は対象外とし、各距離におけるターゲット点群の点数と強度の一致性を評価した。

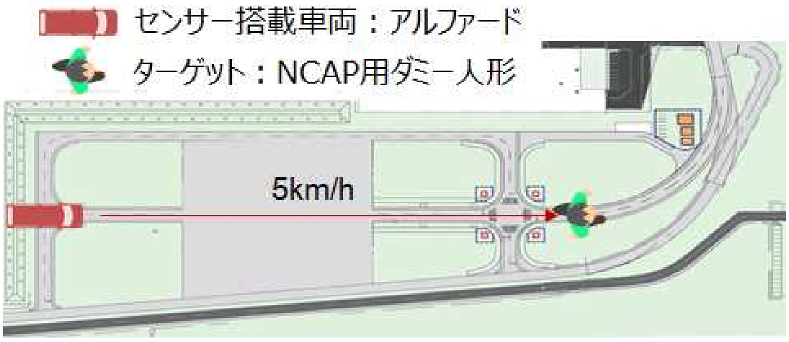


Figure 185 ターゲット点群の強度分布評価の評価データの計測条件

【ターゲット点群の強度分布】

各距離におけるターゲット点群の強度を Figure 186 に示す。図のオレンジ色がシミュレーション結果、青色が実測の結果である。また、図内の小さい点は、ターゲットに当たる点群の距離と強度の関係をプロットしている。(距離に対する強度分布)図内の大きい点は、5m毎の強度の平均値である。

実測の強度分布は 50mを境に大きく分布が変化している事が分かる。50m以下では強度が 0～80 まで広く分布しているのに対し、50m 以上では、分布が狭くなり、また強度値が離散的になっている。50m 以下での強度分布はシミュレーションと実測で大きく異なるが、以下の理由により評価の対象としない。

- 今回評価対象としている認識モデル/SW は強度を入力としていない。(強度の一致性は認識出力に対して影響を与えない)
- LiDAR の受信光量が少なくなることにより、遠方では特にターゲット点群の点数が少なくなることが予測される。受信光量は強度と密接な関係があり、遠方におけるターゲット点群の点数の一致性を評価するため、強度から受信光量を推測することは重要である。一方、近方においては受信光量が十分に大きい事からターゲット点群の点数は受信光量によらず、LiDAR の空間解像度で決まる(強度の一致性は近方のターゲット点

群の点数に影響を与えない）。よって、近方の強度の一致性に関しては評価対象外とする。

また、50m 以上機種（b）の内部処理をブラックボックスと扱っている以上不可能である。よって、ここでは強度の平均値の一致性を評価するにとどめる。平均強度は近距離では不一致ではあるが、遠方になるに従い近い値になっている。そのため、強度に関してはある程度の一致性が見られたと判断する。

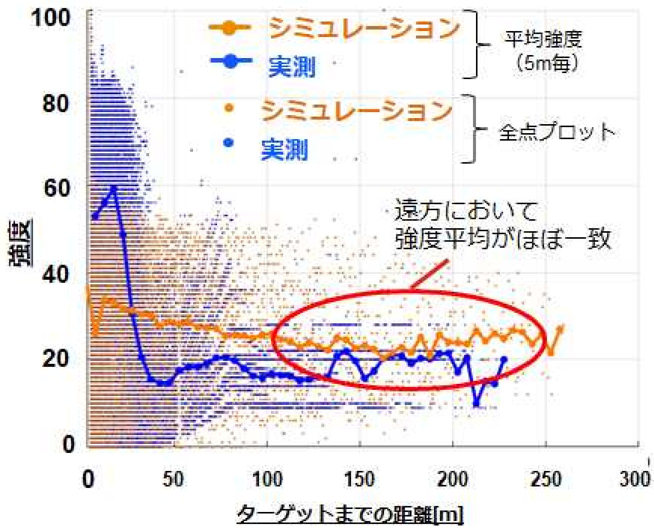


Figure 186 各距離に対する NCAP 人の強度平均値

【ターゲット点群の点数】

ターゲット点群の点数は、ターゲットまでの各距離での一致性を評価する。

V 社機種（b）の走査は、垂直上下端において垂直解像度が大きくなる仕様であり、垂直上下端のラインがターゲットに当たりやすい近方においては、少しの位置姿勢誤差がターゲット点群に対して大きな影響を与える。データ計測時、GNSS 精度が十分に出ていないこともあり、10m以下に関してはその影響を大きく受ける事から一致性検証の対象外とする。

Figure 187 に示すように、10mから 100m 範囲では実測（青線）とシミュレータ（オレンジ線）の結果がほぼ一致している。それに対し、100m 以上ではシミュレータの結果の方が点数が多くなっている。

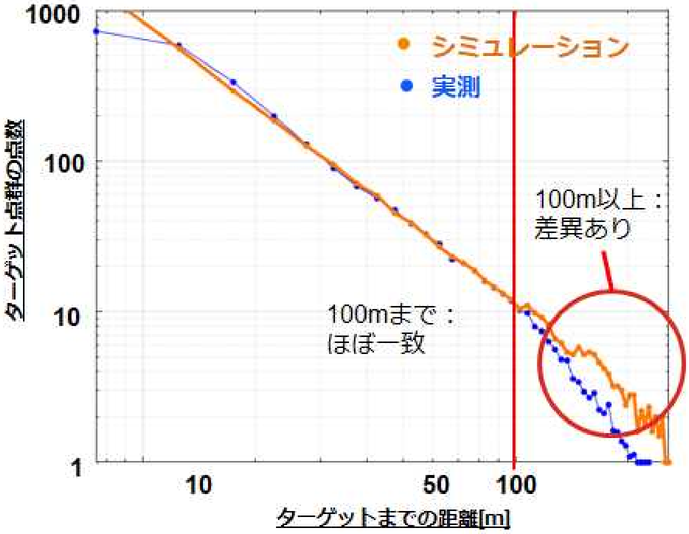


Figure 187 各距離に対するターゲット点群の点数平均

図より、100m 以下では点数が一致している。これは、ビームのフットプリント全体がターゲットに当たっている場合、NCAP 用ダミー人形の反射率が比較的高いため、100m 以下では受信光量が十分に高く、点として検出することができるためである。また、近距離では、ビームのフットプリントが小さいこともあり、ビームの大部分がターゲットに当たる確率が高く、受信光量不足により検出できない可能性は低い。そのため、100m 以下では、LiDAR モデルの距離、角度およびターゲットのモデル形状が一致していれば、ターゲット点群の点数はほぼ一致すると考えられる。

100m 以上での不一致の要因としては、LiDAR の測定距離限界が影響している可能性が考えられる。100m 以上では、ビームのフットプリントが大きくなることから、ターゲットの外周部などでビームのフットプリントが部分的にターゲットに照射されている割合が多くなっていると推測される。ビームのフットプリントが部分的にターゲットに照射される場合、LiDAR の受信光量がその割合に応じて減る。受信光量が減少する際、物体を検出できる限界の光量がどのくらいであるといったモデリングが必要となるが、この測定距離限界は仕様を基に決めている。仕様で規定されている限界と実機限界が異なっている可能性もあり、結果、シミュレーションと実測に差異があると思われる。同時に受信光量を正確に再現する必要があり、この再現には LiDAR のビーム拡がり角とターゲットの位置、形状、反射特性の一致性が必要不可欠である。遠方におけるターゲット点群の点数不一致の要因分析については、来期以降の課題としたい。

A)-3 LiDAR 認識モデル出力への影響評価

LiDAR 認識モデル出力への影響評価における評価パラメータ、評価指標は Table 65 の通りである。

Table 65 LiDAR 認識モデル出力への影響評価における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■ 遠距離検出限界	■ ターゲットの検出確率

今回モデル化したV社 LiDAR モデルは機種(a)および機種(b)がある。両モデルで認識性能を確認したところ、V 社機種(a)の認識性能が著しく悪く、影響調査が困難である事が分かった。それに対して、V 社機種(b)の実測での認識性能が良く、入力の差異による評価がしやすい事が分かった。そのため、V 社機種(b)を用いて LiDAR 認識モデル出力への影響評価を実施する。

LiDAR 認識モデル出力への影響評価用のデータ計測条件を Figure 188 に示す。走行中のセンサー搭載車両に対して NCAP 用ダミー人形が横断するシナリオである。シミュレーションは、センサー搭載車両およびターゲットの GNSS および IMU 情報から作成したシナリオにて実施している。

認識モデルは位置・大きさ・種類・スコアといった情報が出力される。しかし、種類、スコアといった出力値は学習データの依存性が高いため本評価の対象としていない。一方、位置については、LiDAR からターゲットまでの距離を 2.5m 間隔に分割し、分割された各区間における物体検知確率として評価する。これはターゲットが遠方どこから検出可能であるといった指標は物体検出/認識の観点から非常に重要であるためである。ここではこの指標をターゲットの遠距離検知限界として定義する。

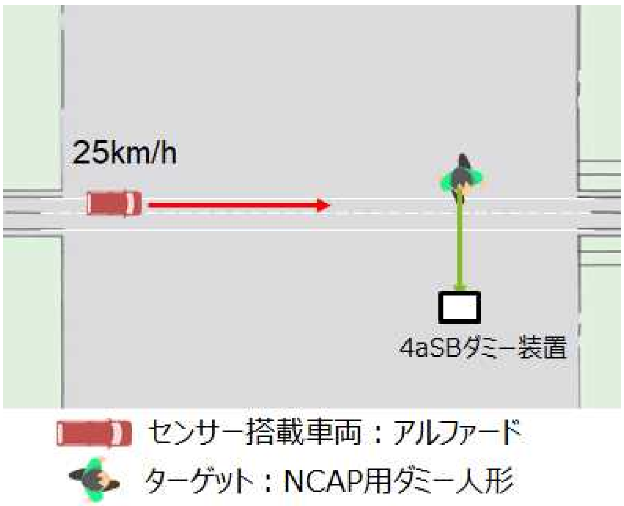


Figure 188 NCAP 歩行者横断シナリオ

【ターゲットの遠距離検知限界】

ターゲットまでの距離に対する検知確率の結果を Figure 189 に示す。図の様に実測とシミュレーションの遠距離ターゲット検知限界は 10m程の差異が発生している。

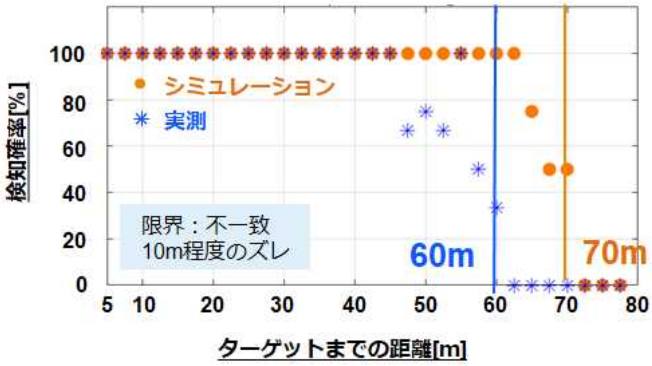


Figure 189 認識モデルの検知出力におけるターゲットまでの距離に対する検知確率

遠距離検知限界の差異要因をターゲット点群の差異とその周辺点群の差異の 2 つに分けて考察する。

<ターゲット点群の差異>

遠距離検知限界付近(65m)でのターゲット点群の比較を Figure 190 に示す。図の様に実測とシミュレーションでターゲット点群の形状に差異が発生している事が分かる。この点群形状の差異が遠距離ターゲット検知限界の差異に影響している可能性がある。

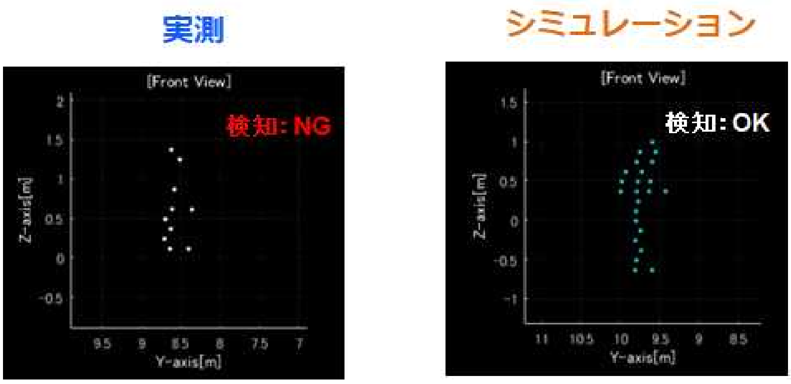


Figure 190 遠距離ターゲット検知限界付近(65m)におけるターゲット点群比較

<ターゲット周辺の点群の差異>

遠距離検知限界付近(65m)でのターゲット周辺点群の比較を Figure 191 に示す。V 社の認識モデルには深層学習ネットワークを使用しており、畳み込みの範囲は約 100m 四方である。図はターゲットを中心に 100m 四方の点群を上から見た図である。図の様に、認識モデルの出力に影響を与える可能性のあるターゲット周辺の点群に差異があることが分かる。

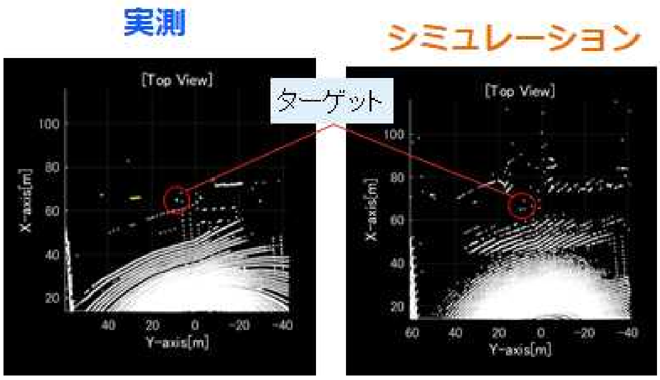


Figure 191　遠距離ターゲット検知限界付近(65m)における周囲点群比較

ターゲットの遠距離検知限界にターゲット周辺の点群が影響するかを確認するため、ターゲット点群は変えずにその周囲点群を変化させた場合に、ターゲットの遠距離検知限界に影響をあたえるかを確認した。ここでは、ターゲット周辺の点群のみを変化させるため、ターゲットの反射率を変えずに、地面モデルの反射率を意図的に低下させた。地面の反射率を大きく低下させた場合、その遠距離検知距離限界は近くなるため、ターゲット周辺の地面は見えなくなる事が想定される。この変更がターゲットの遠距離検知限界に影響するかを確認した。

ターゲット周辺の点群比較(本来の地面反射率でのシミュレーション結果と地面反射率を低下させた場合のシミュレーション結果)を Figure 192 に示す。図の様にターゲット周辺の点群が大きく変わっている事が分かる。また、ターゲット点群について差異はない。

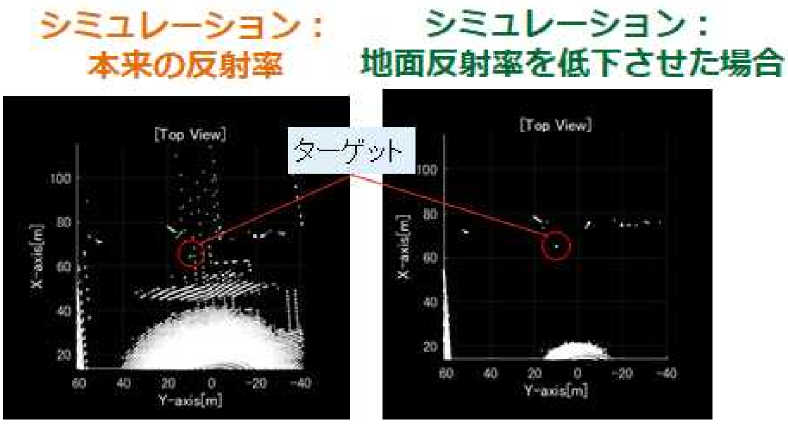


Figure 192　遠距離検知限界付近(65m)におけるターゲト周辺の点群比較

(左：本来の反射率でのシミュレーション結果、右：地面反射率を低下させた場合のシミュレーション結果)

各距離におけるターゲットの検知確率の比較(本来の反射率でのシミュレーション結果と地面反射率を低下させた場合のシミュレーション結果)を Figure 193 に示す。図の様に、ターゲット周辺の点群の変化によりターゲットの遠距離検知限界が 70mから 52.5m に大きく変化した。

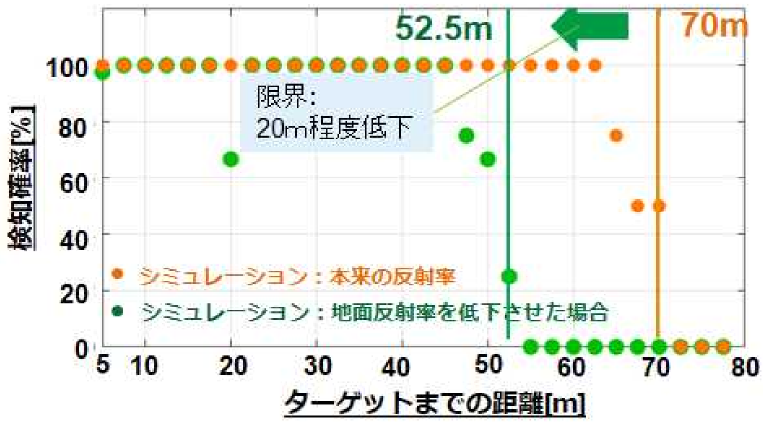


Figure 193 認識モデルの検知出力におけるターゲットまでの距離に対する検知確率

この結果から認識モデルのターゲットの遠距離検知限界は、ターゲット周辺の点群の影響を大きく受けることが分かった。

B) PSSI LiDAR の一致性検証

B)-1 LiDAR 知覚モデル一致性検証

■検証方法

まず、PSSI LiDAR 知覚モデルの一致性検証では、本来 LiDAR 実機から出力されない A/D Converter 後の受信波形と RX モデル出力波形の一致性を評価する。これは環境光などの外乱光が直接的に影響を及ぼす波形の一致性を見ることで不一致の要因分析がし易いためである。その後の、波形からモノまでの距離とその受信強度を検出する測距手法はデジタル回路で実装されるため、その入力（デジタル波形）がモデルと実機で一致していればその出力（検出された点の距離と強度）は必ず一致する。

上記で波形レベルでの差異を把握した上で、点群レベルで距離、強度及び測距限界の一致性を評価する。角度については、実機と同じ角度情報をシミュレーションで使用しており一致性検証の優先順位を落としている。

PSSI LiDAR の一致性検証における評価パラメータ、評価指標は Table 66 の通りである。

Table 66 PSSI LiDAR の一致性検証における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■受信信号の強度分布	■ 形状・反射特性が既知であるターゲットの各距離における強度分布、平均、分散の一致性
■ノイズの強度分布	■ 形状・反射特性が既知であるターゲットの各距離におけるノイズの強度分布、平均、分散の一致性
■角度	■ 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
■距離 ■強度	■ 形状・反射特性が既知であるターゲットの各距離における精度、確度の一致性
■遠距離測距限界	■ 形状、反射特性が既知であるターゲットの検出確率の一致性

本評価では、一致性の評価パラメータとして A/D Converter 後の受信波形、LiDAR 出力の距離、強度を用いる。実測値とモデル出力値の一致性評価にあたり、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、ターゲットと LiDAR の位置・姿勢誤差の影響を受けにくい実験室内で評価した。また、ターゲットは反射特性、形状が既知である Lanbertian 特性を持つ平面を用いる。また、背景光あり条件を実験室内で再現するため疑似太陽光としてハロゲンランプをターゲットに一様にあたるように配置した。背景光パワーは日中の太陽光パワーを光パワーメータで測定し、その測定パワーと同等な値となるようにハロゲンランプを調整した。Figure 194 に背景光あり・なしの評価環境を示す。

検証方法は、LiDAR と Lambertian 反射体間の距離を変えて、その受信波形・距離・強度を計測し、受信波形については RX モデル出力との、距離・強度については測距モデル出力との一致性を検証した。強度、距離については 1 分間の測定のうちターゲット中心の 1 点に対して、レーザー距離計によって測定したリファレンス距離から規定の距離の間で検出された点を評価対象として、各距離における精度と確度の一致性を評価した。測距限界については、ターゲット中心の 1 点に対して 1 分間の総点数とレーザー距離計によって測定したリファレンス距離から規定の距離の間で検出された点の個数の比によって算出し、その算出結果を検出確率として一致性を検証した。

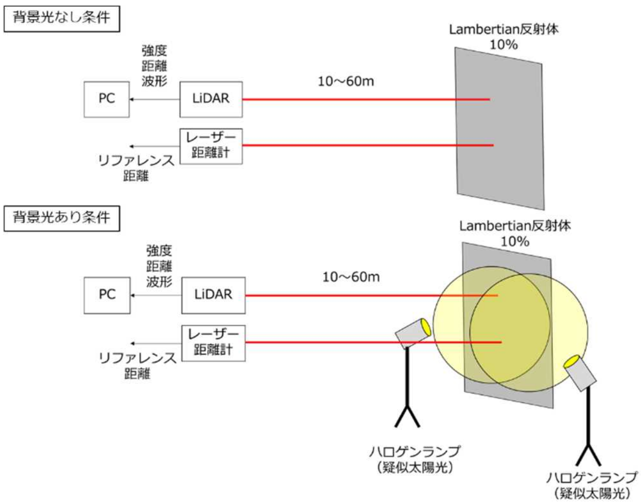


Figure 194 PSSI LiDAR 知覚モデルの一致性検証における評価環境

■検証結果

1. RX モデル出力（波形）評価

本検証では実測波形と2つの RX モデルの出力波形の一致性を評価した。これは RX モデル内の Photoelectronic Converter 部分でモデリングしている雑音モデルが背景光がある場合とない場合で異なるためである。受光素子に入るショット雑音は、受光した光子数が少ない場合（背景光がない場合）、平均値を中心とする分布はポアソン分布になり、受光した光子数が多くなると（背景光がある場合）正規分布に近付いていく。ここでは受光素子に入るこのショット雑音モデルをポアゾン分布 or 正規分布で近似する2つのモデルを評価した。フォトン1つ1つの入力に対する影響をポアソン分布で近似するモデリングは実測により近い性質を持つ半面、演

算量が多いといった課題がある。一方、ショット雑音全体を正規分布で近似するモデリングは、受光素子に入るフォトンの数が多い場合、実測に近づき更に演算量も軽量であるといった特長がある。本検証では演算量の観点も考慮しつつショット雑音モデルの違いによる受信波形の影響も評価する。

Figure 195 に RX モデルによって出力された受信波形の一例を示す。実測、モデル共にノイズの強度分布はターゲットからの受信信号の影響を受けない範囲を使用した（赤の範囲）。受信信号ピークの強度分布はリファレンス距離から規定の距離の間で最大となるピークを使用した。

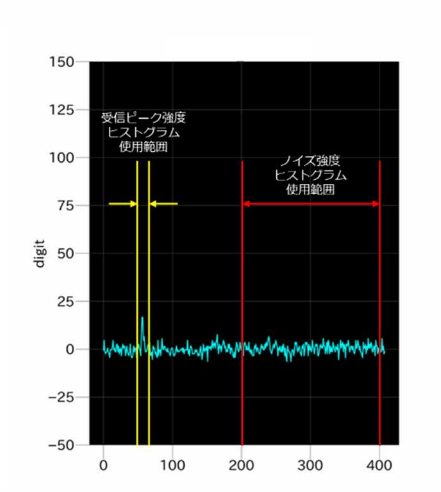


Figure 195 RX モデルから出力した受信波形（背景光なし）

＜背景光なし＞

背景光がない条件の A/D Converter 後の受信波形の一致性については、物標からの信号ピークの強度分布、ノイズの強度分布ともに概ね一致することが確認できた。またショット雑音モデルの違いによる大きな差は見られなかった。

Figure 196 にノイズの強度分布ヒストグラムを示す（n=200000、ビン幅=1digit）。ヒストグラムから実測、モデル共に 0digit をピークとして正規分布に近い強度分布となった。ノイズ強度の平均は実測、モデル共に 0 近傍となり誤差も僅少である。ノイズ強度の標準偏差は実測よりもモデル（正規分布、ポアソン分布ともに）の方が 0.7digit 程度大きくなった。

ノイズの強度分布の一致性は遠方のターゲットの検出確率に影響を与える。理由として、遠方のターゲットほど受光信号が小さくノイズに埋もれる確率が高くなり、ノイズの影響が無視できなくなるためである。

また、Figure 197 にターゲットまでの距離を変えた場合のノイズ強度の平均と標準偏差を示す。受信光を含まないノイズ部分のみの強度の平均と標準偏差であるためターゲットの距離に関係なく一定であることが見て取れる。

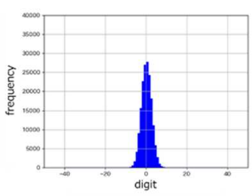
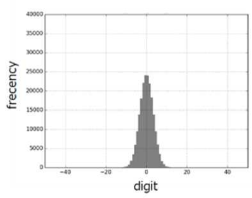
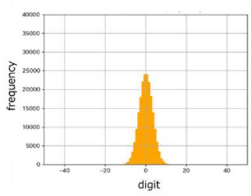
評価対象	実測	正規分布モデル	ポアソン分布モデル
評価データ数	200000	200000	200000
ビン幅	1digit	1digit	1digit
ノイズの強度分布ヒストグラム			

Figure 196 ノイズの強度分布ヒストグラム

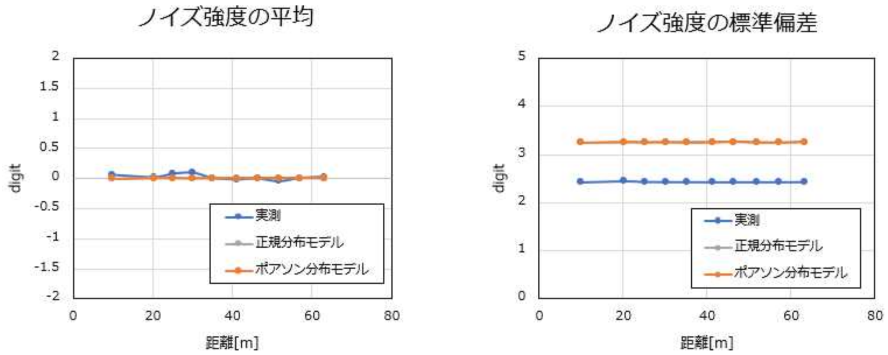


Figure 197 距離によるノイズ強度の平均と標準偏差のグラフ

Figure 198 にピークの強度分布ヒストグラムの一部を示す（n=1000、ビン幅=2digit）。Figure 199 にターゲットまでの距離を変えた場合の距離による受信信号波形強度の平均と標準偏差のグラフを示す。ヒストグラムから実測とモデルに顕著な差は見られなかった。ただし、正規分布モデルとポアソン分布モデルを比較するとより実測に近い分布を示したのはポアソン分布モデルとなった。正規分布モデルのピーク強度分布はほぼガウス分布なのに対して、実測、ポアソン分布モデルでは高い digit 値側に分散が大きくなる傾向がみられた。しかしながら、ピーク強度の平均及び標準偏差のグラフを見るとあらゆる距離で正規分布モデルとポアソン分布モデルともに実測との差は僅少であるため分布の差が与える影響は小さいと判断した。

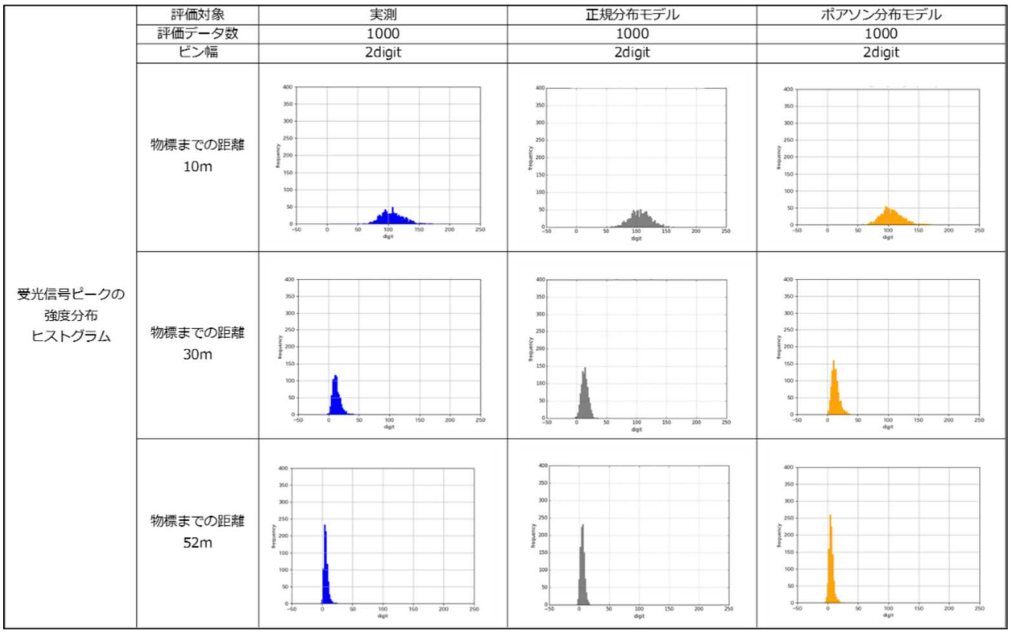


Figure 198　受信信号波形ピークの強度分布ヒストグラム

（左：実測　中央：正規分布モデル　右：ポアソン分布モデル）

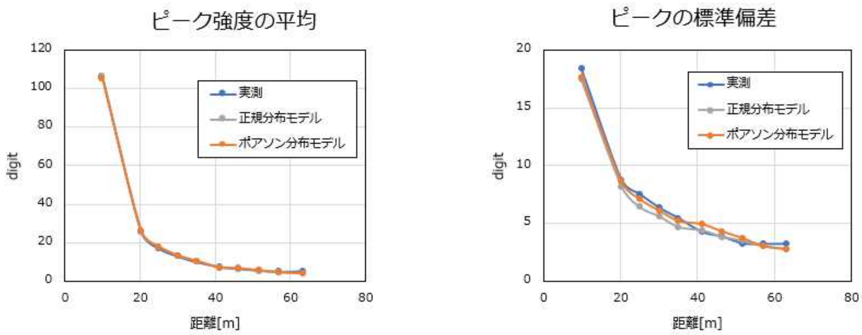


Figure 199　距離による受信信号波形強度の平均と標準偏差のグラフ

＜背景光あり＞

背景光あり条件における RX モデル後の受信波形の一致性については、ターゲットからの信号ピークの強度分布、ノイズの強度分布ともに課題が残る結果となった。背景光あり条件については今後不一致の要因解析を行っていく予定である。ここでは評価結果のみを述べる。

Figure 200 にノイズの強度分布ヒストグラムを示す（n=200000、ビン幅=1digit）。Figure 201 に各測定距離におけるノイズの強度の平均、標準偏差のグラフを示す。

ノイズの強度分布ヒストグラムから実測とポアソン分布モデルは高強度側に分散が大きくなるという同様な傾向が確認できた。正規分布モデルにおいては実測と分布の傾向が異なり、高強度側への分散が小さいことが見て取れた。このノイズ強度の分散の差は遠方で受信信号ピーク強度が小さくなった際の検出確率に影響すると考えられる。検出確率評価については後述する。

ノイズ強度の平均は実測値においてターゲットまでの距離が長くなるにつれてノイズ強度が小さくなる傾向が確認できた。これは、今回ハロゲンランプを使ってターゲットに当たる疑似太陽光を再現したが、遠方になるにつれターゲットに対する IFOV が大きくなり、ハロゲン光の当て方にムラが出てしまったことによるものだと推測する。

一方、モデルでは常にターゲットに対して一様に太陽光が当たるためノイズ強度の平均が距離によらず一様となり傾向に差が出たものと考える。標準偏差においても同様な傾向が確認できた。背景光あり条件の一致性評価には疑似太陽光の再現方法の再考が必要である。

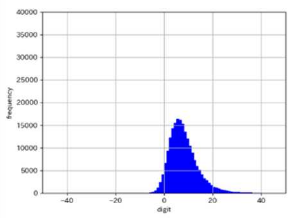
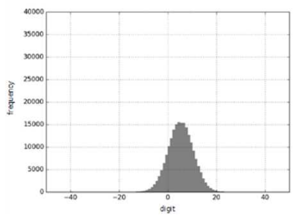
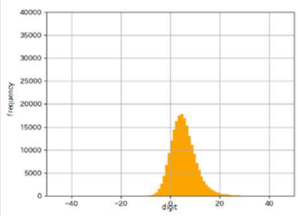
評価対象	実測	正規分布モデル	ポアソン分布モデル
評価データ数	200000	200000	200000
ビン幅	1digit	1digit	1digit
ノイズの強度分布ヒストグラム			

Figure 200　背景光あり条件におけるノイズの強度分布ヒストグラム

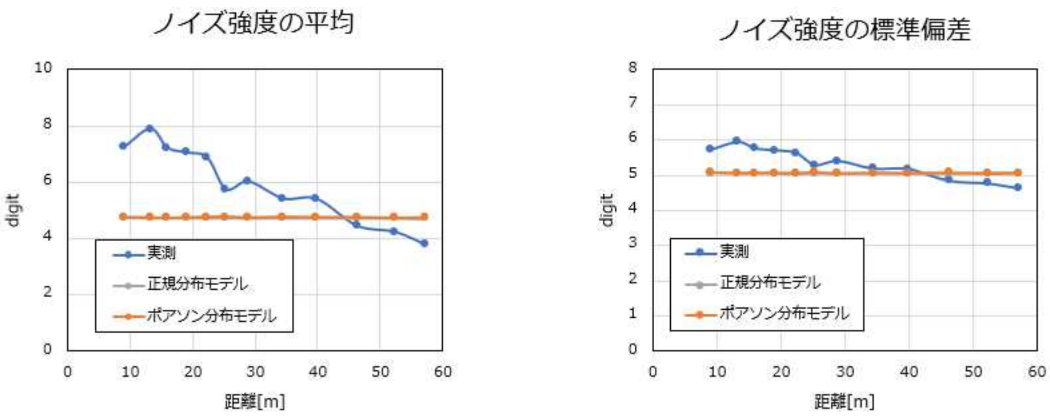


Figure 201　背景光あり条件における距離によるノイズ強度の平均と標準偏差のグラフ

Figure 202 にピークの強度分布ヒストグラムの一部を示す（n=1000、ビン幅=2digit）。Figure 203 に各測定距離における受信信号波形ピーク強度の平均、標準偏差のグラフを示す。

受信信号ピークの強度分布ヒストグラムから実測とポアソン分布モデルは高強度側に分散が大きくなるという同様な傾向が確認できた。正規分布モデルにおいては実測と分布の傾向が異なり、高強度側への分散が小さいことが見て取れた。

グラフから受信信号ピーク強度の平均は一定の一致性が確認できた。また、受信信号ピーク強度の標準偏差は正規分布モデルでは実測が全距離で 1.3 倍ほど大きい結果となり、ポアソン分布モデルでは近距離ほど乖離が大きくなる結果となった。

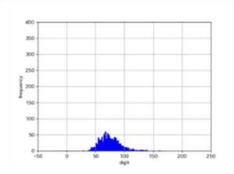
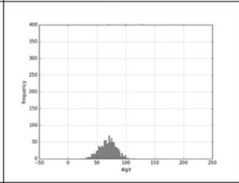
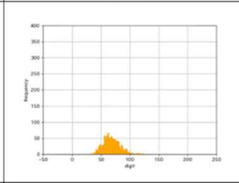
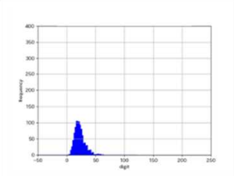
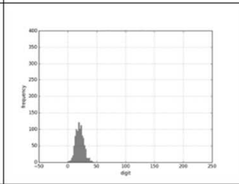
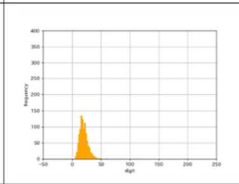
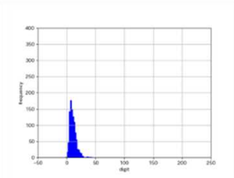
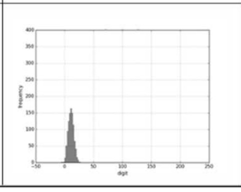
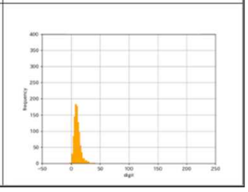
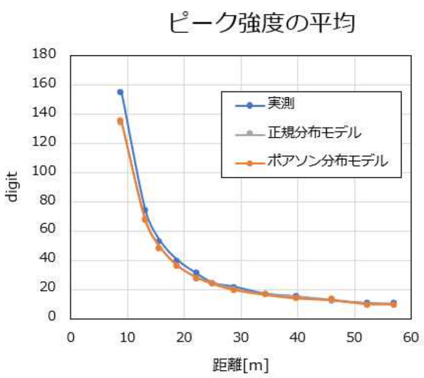
	評価対象	実測	正規分布モデル	ポアソン分布モデル
	評価データ数	1000	1000	1000
	ビン幅	2digit	2digit	2digit
受光信号ピークの強度分布ヒストグラム	物標までの距離 13m			
	物標までの距離 29m			
	物標までの距離 52m			

Figure 202 背景光あり条件における受信信号波形ピークの強度分布ヒストグラム

（左：実測　中央：正規分布モデル　右：ポアソン分布モデル）



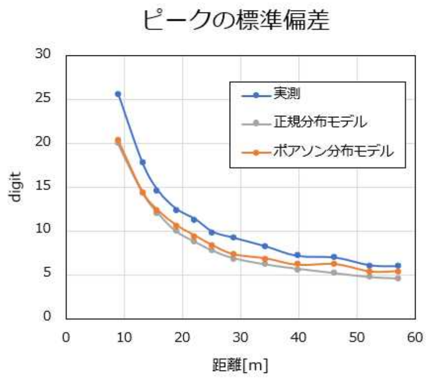


Figure 203 背景光あり条件における距離による受信信号波形強度の平均と標準偏差のグラフ

2. 測距モデル出力（点群）評価

2-1 検出確率

＜背景光なし＞

Figure 204 に背景光なし条件における検出確率グラフを示す。背景光がない場合の測距限界の一致性は、検出確率 50%となる距離を 1 つの指標とすると、実測とモデルの距離の差は 1 割以下となっており十分な一致性が確認できた。ショット雑音モデルの違いによる差も検出確率 50%となる距離ではどちらも実測との距離の差が 1 割以下となる。このことから背景光なしの条件下においてはシミュレーション時間短縮のため正規分布モデルを使用することによる顕著な影響がないと判断した。

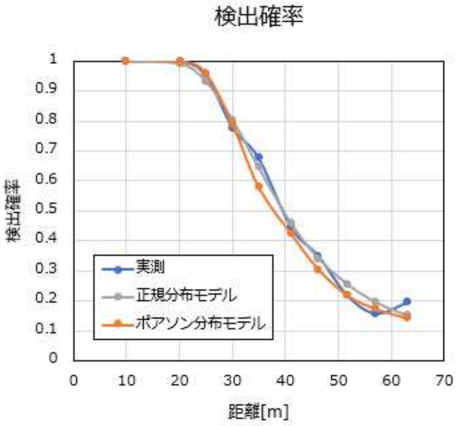


Figure 204　背景光なし条件における検出確率

＜背景光あり＞

Figure 205 に背景光あり条件における検出確率グラフを示す。前述の背景光あり条件における波形を用いて測距限界を評価した。ポアソン分布モデルと実測の検出確率は高い一致性を確認できた。ただし、実測の背景光の再現性及び波形の一致性が不十分であるため参考程度。

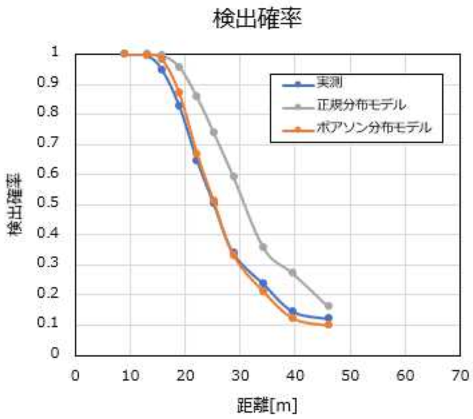


Figure 205　背景光あり条件における検出確率

2-2　距離・強度

＜背景光なし＞

点群レベルにおいて、距離・強度の一致性を評価した。評価モデルのショット雑音モデルには正規分布モデルを使用した。

Figure 206 に測定距離における距離・強度の精度及び確度のグラフを示す。測定距離の一致性は、ターゲットの各距離における精度、確度ともに誤差が 10 ㎝以下と僅少であることが確認できた。強度の一致性は、ターゲットの各距離における精度、確度ともに傾向があるような差がみられた。強度の平均は測定距離 20m 以上でモデルが 8digit 程度上方にオフセットしている結果となった。強度の標準偏差は測定距離全体で 3.5digit 程度下方にオフセットしている結果となった。原因については現在解析中である。

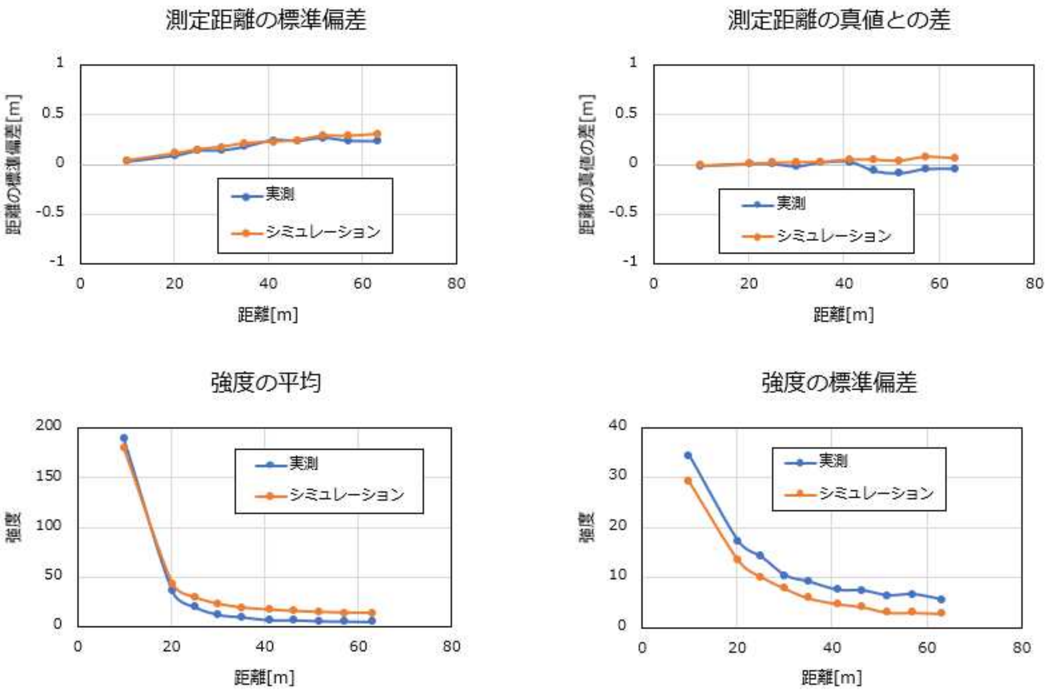


Figure 206 距離・強度の各距離における精度と確度

B)-2 環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証

環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ、評価指標は Table 67 の通りである。

Table 67 環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■ ターゲットまでの最短距離	■ 距離の精度、確度の一致性
■ ターゲットに当たる点数	■ 点数の精度、確度の一致性
■ ターゲットサイズ	■ 物体サイズの精度、確度の一致性
■ ターゲット点群の強度	■ 強度分布の一致性

PSSI LiDAR の環境モデル＋知覚モデル評価の一致性検証は、NCAP 歩行者横断のシナリオを用いて実施する（Figure 207）。また、背景光影響を除いた検証のため夜間データを用いる。
データ計測時の GNSS 精度の悪化により、シナリオにおいてセンサー搭載車両の各時刻における位置姿勢を正確に再現できていない。一方、LiDAR 知覚モデル一致性検証において距離精度・確度は十分な一致性がある。よって本評価では、時刻の影響するターゲットまでの最短距離の評価は対象外とし、各距離におけるターゲット

点群の点数と強度の一致性を評価した。さらに、計測対象の位置姿勢ズレは近距離の一致性では大きく影響を受ける。そのため、5m 以下は評価対象外とする。

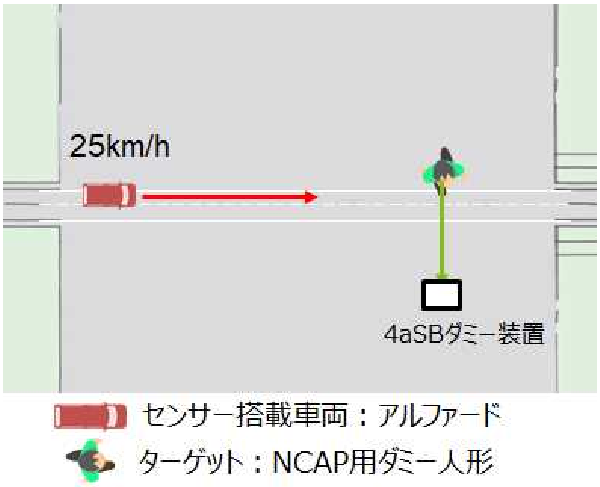


Figure 207 NCAP 歩行者横断シナリオ

【ターゲット点群の強度分布】

夜間 NCAP 歩行者横断シナリオを用いて、ターゲット点群の強度分布の一致性評価を実施する。ターゲットまでの距離に対するターゲット点群の強度平均の評価結果を Figure 208 に示す。これは、フレーム毎に抽出したターゲット点群に対して平均距離および平均強度を算出し、プロットしたものである。

図に見られる様に、強度の平均値にある程度の一致性がみられる。

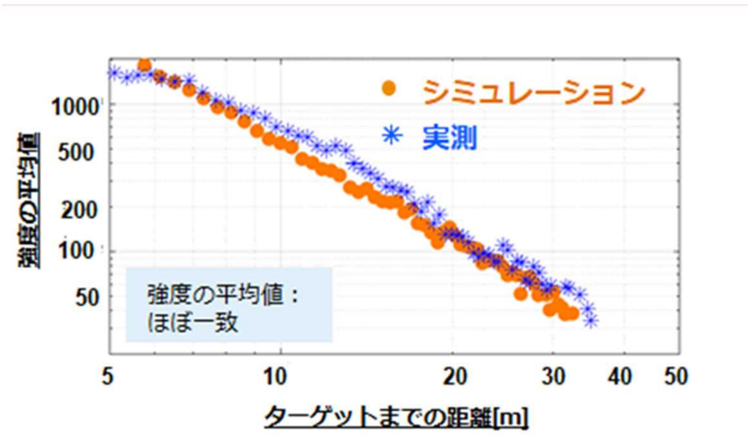


Figure 208 ターゲットまでの距離に対する強度平均（PSSI-LiDAR モデル）

【ターゲット点群の点数】

夜間 NCAP 歩行者横断シナリオを用いて、ターゲット点群の点数の一致性評価を実施する。ターゲットまでの距離に対するターゲット点群の点数の評価結果を Figure 209 に示す。これはフレーム毎に抽出したターゲット点群に対して平均距離および点数を算出し、プロットしたものである。

図に見られる様にある程度の一致性がみられる。

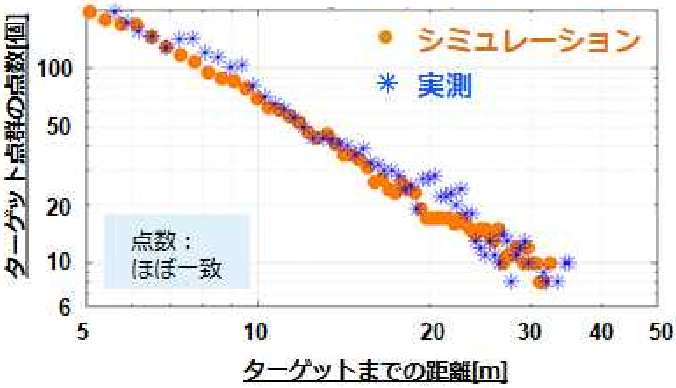


Figure 209 ターゲットまでの距離に対するターゲット点数（PSSI LiDAR モデル）

C） LiDAR 認識モデル出力への影響評価

LiDAR 認識モデル出力への影響評価における評価パラメータ、評価指標は Table 68 の通りである。

Table 68 LiDAR 認識モデル出力への影響評価における評価パラメータ・評価指標

評価パラメータ	評価指標
■ 遠距離検出限界	■ ターゲットの検出確率

一般的に物体検出・認識アルゴリズムはターゲットに当たる点数を特徴量として利用する事が多い。PSSI LiDAR 認識モデルにおいてもターゲット点数はターゲットの遠距離検知限界に影響をあたえる主要な特徴量の一つである。ターゲットに当たる点数は、ターゲットの位置における LiDAR の空間解像度と信号光がターゲットに当たり LiDAR で受信する光量（LiDAR の受信光量）で決まる。これは、受光量が十分にある場合、ターゲットにあたる点数は、幾何学的にターゲットの形状・サイズと LiDAR のターゲット位置における空間解像度で決まるためである。それに対し、受光量が不十分な場合は、ターゲットに LiDAR のビームが照射されているにも拘わらずその検出ができない。この場合は、ターゲット点群の点数はターゲットの形状・サイズとターゲット位置における LiDAR の空間解像度だけでなく、受光量に依存して決まる。LiDAR 認識モデルへの影響評価では、このふたつの要因により決まるターゲットの遠距離検知限界を評価するため、以下2つのターゲットの遠距離検知限界を評価する。

・NCAP 用ダミー人形（反射率高め）：空間解像度により決まるターゲットの遠距離検知限界の評価
・黒革ジャケット NCAP 用ダミー人形（反射率低め）：受信光量により決まるターゲットの遠距離検知限界の評価

PSSI LiDAR の LiDAR 認識モデル出力への影響評価用のデータの計測条件は、PSSI LiDAR の環境モデル＋LiDAR 知覚モデル一致性検証と同じく NCAP 歩行者横断シナリオを用いて実施する。また、背景光影響を除いた検証を実施するため夜間データを用いる。ターゲットとしては、上記の NCAP 用ダミー人形と黒革ジャケット NCAP 用ダミー人形を用いる。

LiDAR からターゲットまでの距離を 2.5m 間隔に分割し、分割された各区間における物体検知確率を評価する。ターゲットが遠方どこから検出可能であるといった指標は物体検出/認識の観点から非常に重要である。ここではこの指標をターゲットの遠距離検知限界として評価する。

【ターゲットの遠距離検知限界】

まずは、LiDAR の空間解像度により決まるターゲットの遠距離検知限界を評価するため、比較的反射率の高い通常の NCAP ダミー人形をターゲットとする。ターゲットまでの距離に対するターゲット点群の検知確率の評価結果を Figure 210 に示す。

5m 以下の近距離において、対象物の位置姿勢に起因するズレが見られるが一致性検証の対象外とする。検知率 100%である安定検知エリアは 7.5m 以上 27.5m以下と一致している。また、ターゲットの遠距離検知限界はシミュレーション 32.5m、実測が 35m とほぼ一致する事を確認した。

この結果から PSSI LiDAR の空間解像度により決まるターゲットの遠距離検知限界の一致性は確認できた。

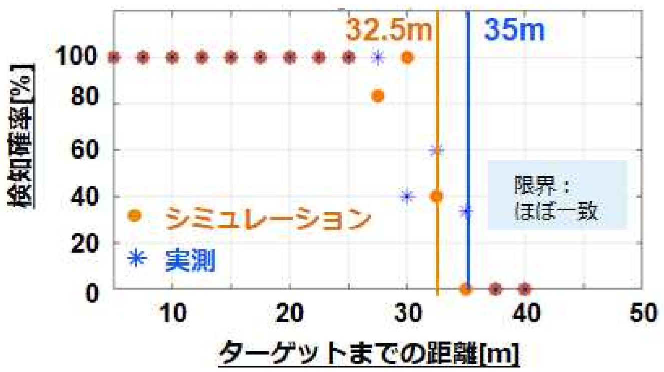


Figure 210 ターゲットまでの距離に対する検知確率

（PSSI LiDAR モデル：NCAP ダミー人形）

次に、LiDAR の受信光量により決まるターゲットの遠距離検知限界を評価するため、反射率の低い黒革ジャケット NCAP 用ダミー人形をターゲットとして評価を実施する。ターゲットまでの距離に対するターゲット点群の検知確率の評価結果を Figure 211 に示す。

黒革ジャケット NCAP 用ダミー人形におけるターゲットの遠距離検知限界が実測 35m、シミュレーション 22.5m と大きく異なることが分かる。

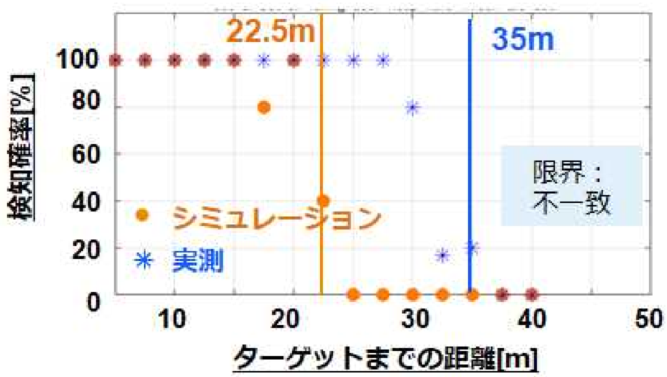


Figure 211　ターゲットまでの距離に対する検知確率

（PSSI LiDAR モデル：黒革ジャケット NCAP ダミー人形）

黒革ジャケット NCAP 用ダミー人形におけるターゲットの遠距離検知限界の差異要因としては、ターゲット点数に大きく影響する下記の3点が考えられる。

1）ターゲットの形状の差異

2）ターゲットの反射特性の差異

3）PSSI LiDAR 知覚モデルと実機の差異

以降、ターゲットの形状の差異およびターゲットの反射特性の差異について述べる。

<ターゲットの形状の差異>

NCAP 歩行者横断シナリオでは、実環境のターゲット形状とシミュレータのターゲットのモデル形状に差異がある。Figure 212 に PSSI LiDAR で取得した点群で差異を示す。実環境のターゲットである NCAP ダミー（人）は歩行を再現している。それに対し、シミュレータのモデル形状は足を揃えたままの状態で平行移動する。これにより図の様に実測の方が下半身の取得点数が多くなり、結果としてターゲットの遠距離検知限界がシミュレータの方が短くなっていると可能性がある。

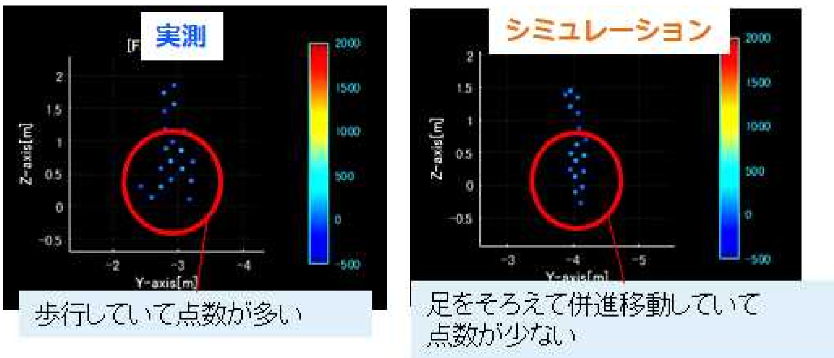


Figure 212　実測とシミュレーションのターゲット下部のターゲット形状差異

（NCAP 用ダミー人形）

<ターゲットの反射特性の差異>

シミュレーションでのターゲットの遠距離検知限界付近(22m)における実測とシミュレーションの点群を Figure 213 に示す。図で赤丸で囲ったエリアが黒革ジャケットを着用した上半身部である。図から分かる様に実測では数点取得されている上半身の点群がシミュレーションでは取得できていない。この点数差がターゲットの遠距離検知限界の差異となっていると推測される。

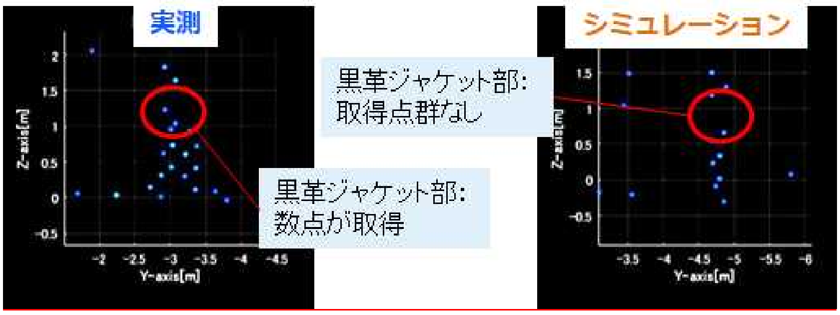


Figure 213 実測とシミュレーションのターゲット上部の点群形状差異

(NCAP 用ダミー人形)

またこの差異は、実環境における黒革ジャケットの部分的な反射率の差異によるものと推測される。両環境における反射特性の違いを見るため、近距離(8m)におけるターゲットの点群形状およびその時の各点の強度を Figure 214 に示す。図の様にシミュレーションでは上半身が一様な強度になっているのに対し、実測では部分的に強度が高くなっている事が分かる。

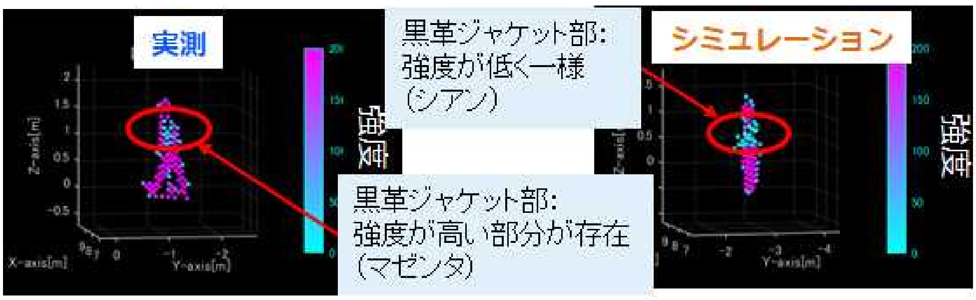


Figure 214 ターゲット点群の強度差異(ターゲットまでの距離 8m)

この実測とシミュレーションの強度の差異はターゲットの反射特性の不一致と推測される。シミュレータでの黒革ジャケットは反射率の低い拡散反射成分のみで作成されている。それに対し、実物の黒革ジャケットではジッパーなど別のマテリアルが存在する、もしくは鏡面反射成分の影響の可能性があると考える。

黒革ジャケットの鏡面反射成分を調査した。Figure 215 の様に黒革ジャケットおよび照明を設置し、カメラの位置を変えながら撮影を実施した。撮影結果を Figure 216 に示す。図より光源の入射角とカメラの位置によって黒

革ジャケットでの反射光の明るさが変化していること分かる。黒革ジャケットが Lambertian 拡散反射と仮定できるのであれば、カメラの位置によらず反射光の強さは一定である。しかし、カメラの位置により明るさが大きく変化している事から、黒革ジャケットに鏡面反射成分も含まれており、反射光に対して支配的な影響を与えていると考えられる。

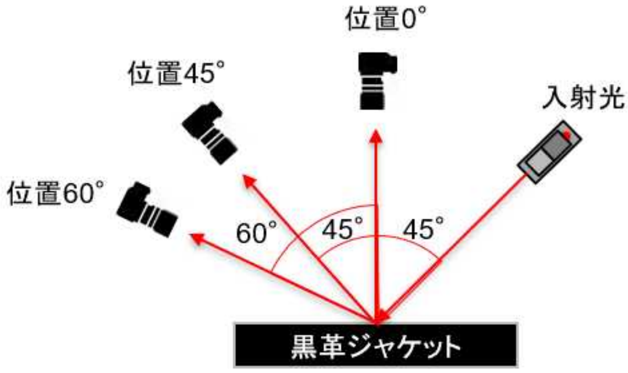


Figure 215 黒革ジャケット鏡面性確認における黒革ジャケットに対する光源の入射角とカメラの配置図

Figure 216 カメラ角度を変化させたときの黒革ジャケットの反射光強度の変化

（入射光は約 45 度、カメラの露出設定は一定）

この結果の様に、LiDAR では低い反射率であっても鏡面反射成分等の影響を受けることにより、受信光量が大きく変わることが想定される。それにより、ターゲットの遠距離検知限界が大きく変化してしまう可能性がある。そのためターゲットの反射特性は、拡散反射成分、鏡面反射成分、再帰性反射成分を正確に再現されている必要がある。

D)　一致性検証まとめ

以下に評価の状況を示す。

まずは不調のない条件下で両モデルの実機に対する一致性を確認した（Table 69）。表より LiDAR 知覚モデル単体と環境モデルと LiDAR 知覚モデルを組合せた評価において、一定の一致性を確認できる。一方、認識モデル出力に与える影響評価については、未だ一致性が得られていないが、不一致の要因となる分析を実施した、また、PSSI LiDAR に関しては、次ステップである背景光ありや NCAP ダミーなど低反射物体といった不調条件下での評価を実施し、課題の抽出ができた。

Table 69　一致検証まとめ

評価項目		V社 機種（b）	PSSI LiDAR
LiDAR知覚モデル一致性検証			
	受信光のピークレベル		○
	ノイズレベル		○　※1
	角度	○	未実施
	距離	○	○
	強度	△（近方で不一致）	○
	遠距離測距限界	未実施	○
環境モデル＋LiDAR知覚モデル一致性検証			
	ターゲットサイズ	○	未実施
	ターゲットまでの最短距離	○	未実施
	ターゲットに当たる点数	△（遠方で不一致）	○
	ターゲット点群の強度分布	△（近方で不一致）	○
認識モデル出力への影響評価			
	ターゲットの遠距離検出限界	×（周辺点群が影響を与えることを確認）	○　※2

※1　外乱光ありの不調条件下で計測手法に起因する課題があり

※2　不調条件となる黒革ジャケット NCAP では不一致。

E)　課題

今期の一致性検証で抽出された課題を以下に列挙する。

【V 社機種(b)の遠方におけるターゲット点群の点数不一致】

V 社機種（b）の遠方におけるターゲット点群の点数一致要因としては、大きく二つに分けられる。

ｉ）　受信光量の一致性

ii）　V 社機種（b）の測距限界モデルの一致性

受信光量の一致性に関しては以下４つの要素が影響する。

ｉ−1）LiDAR のビーム広がり角

ｉ−2）ターゲット位置

ｉ−3）ターゲット形状

ｉ−4）ターゲットの反射特性

以下ではこの4つの要素について今後の検討方針を記述する。

ｉ−1） LiDAR のビーム広がり角

V 社機種(b)のビーム拡がり角は前年度その一致性を確認済である。水平方向の拡がり角はほぼ一致している。一方、垂直方向の拡がり角に若干の差異はあるものの、垂直方向の差異は NCAP 用ダミー人形の様に縦に長いターゲットでは点数に大きな影響を与えないため、今回の不一致の要因とはなり得ない事から他の要素を優先して検証する。

ｉ−2） ターゲットの位置

V 社機種(b)の測定距離を基準にターゲット点群の点数を評価している。また、V 社機種(b)の距離の精度確度はある程度の一致性が確認されているため、ターゲット位置の差異によるターゲット点数評価への影響はほとんどないと考える。

ｉ−3） ターゲットの形状

ターゲットの形状の差異による影響も考えられるため、来期の検証では形状による差異の少ないターゲットでの評価を検討する。

ｉ−4） ターゲットの反射特性

A パートで計測したターゲットの反射特性と LiDAR 方程式で利用されているターゲットの反射特性の定義に差異が無いかを来期検証予定。

ⅱ） V 社機種（b）の測距限界モデルの一致性については、V 社機種（b）が物体を検出できる限界の光量についてのモデルを仕様ベースで作成している。その一致性については実測での計測方法を含め来期の課題とする。

【V 社機種(b)の認識モデル（Apollo）におけるターゲット周辺点群のターゲットの遠方検知限界に与える影響】

今期、V 社機種(b)用に使用している認識モデル（Apollo）の検知出力のターゲットの遠方検知限界が入力の周辺点群の影響を大きく受けることが分かった。今後は、認識モデルの入力特徴量に変化を与えた場合に出力にどれだけ影響を及ぼすかを評価する。

【黒革ジャケットの鏡面反射成分を含めた再評価】

今期利用した黒革ジャケットの反射特性は拡散反射成分のみで構成されている。それに対し、実際の黒革ジャケットは鏡面反射成分を有すると考えられる。よって、ターゲットの反射特性に鏡面反射特性を含めた上で再評価を実施する。

(エ)　不調検証

① 雨の LiDAR に与える影響

LiDAR における降雨による影響は以下ⅰ～ⅴの 5 種類に大別されると考える(Figure 217)。

①センサー前面に付着する雨滴の影響
②降雨による信号光の減衰
③ターゲット面での雨滴付着による光の反射特性変化
④雨滴での反射による虚像(偽点)の発生
⑤濡れた路面での鏡面反射による虚像(偽点)の発生

本報告ではⅱの降雨による信号光の減衰の現象確認及びモデル作成とⅳの雨滴での反射による虚像(偽点)の現象確認について報告する。

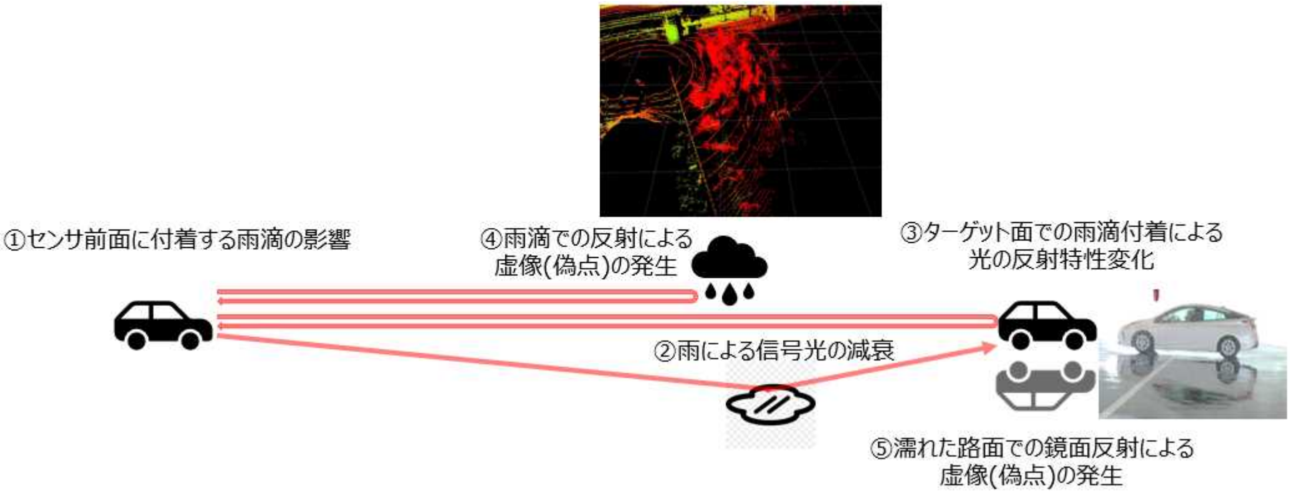


Figure 217　雨の LiDAR に与える影響

② 降雨による信号光の現象確認とモデル化

降雨による空間減衰モデルは、空間の雨滴を通過する際の散乱、吸収などによる受光量の減衰率をシミュレートするモデルである。モデルは、降雨条件(降水量)がコントロールされた環境下における観測結果から構築した。Figure 218 に評価環境を示す。

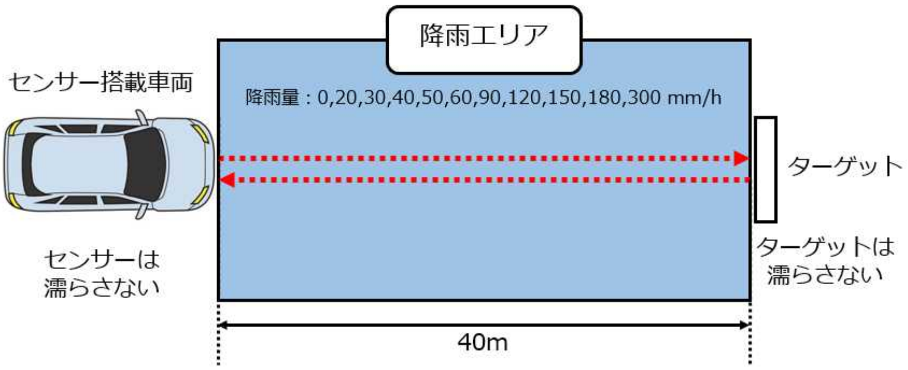


Figure 218 降雨による信号光の現象確認環境

＜降雨条件＞

・降雨量 0mm/h （リファレンス）

・降雨量 20、30、40mm/h （雨粒サイズ：小粒）

・降雨量 50、60、90、120、150mm/h （雨粒サイズ：中粒）

・降雨量 120、150mm/h （雨粒サイズ：大粒）

・降雨量 180、300mm/h （雨粒サイズ：小粒＋大粒）

＜測定条件＞

・LiDAR からターゲットまでの距離を 40m とする

・ターゲット及び LiDAR は降雨範囲外に配置し、降雨による信号減衰の影響のみを観測できるようにする

・実際の降雨量、粒径、粒速はディストロメータを使い別途測定する

【降雨量による信号減衰の観測結果】

Figure 219、Figure 220 に各降雨量において PSSI LiDAR、V 社機種(a)によって取得した点群を示す。40m 先にあるターゲットから反射して返ってくる信号光の受信強度をカラーマップで示している。雨滴サイズが小粒で降雨量が 40mm/h よりも、雨滴サイズが中粒で降雨量が 60 ㎜/h や、大粒で降雨量が 120mm/h の方がターゲットが検出できていることが図中の点群から分かる。

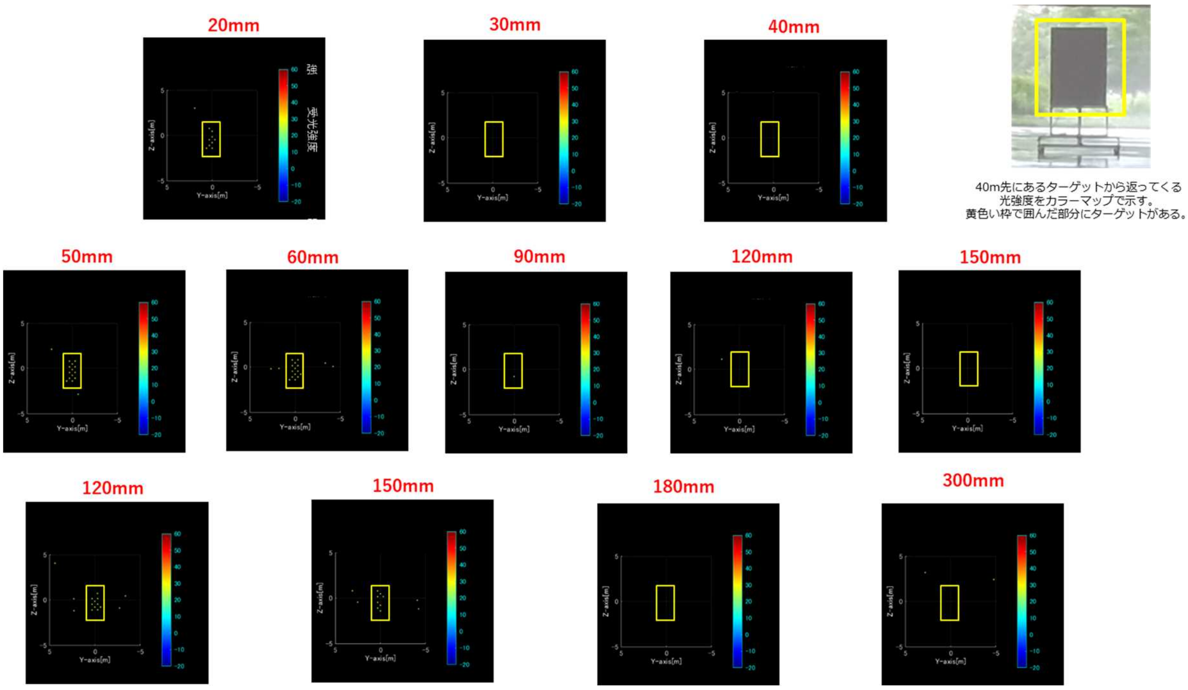


Figure 219　降雨量による PSSI LiDAR の点群（光強度によるカラーマップ）

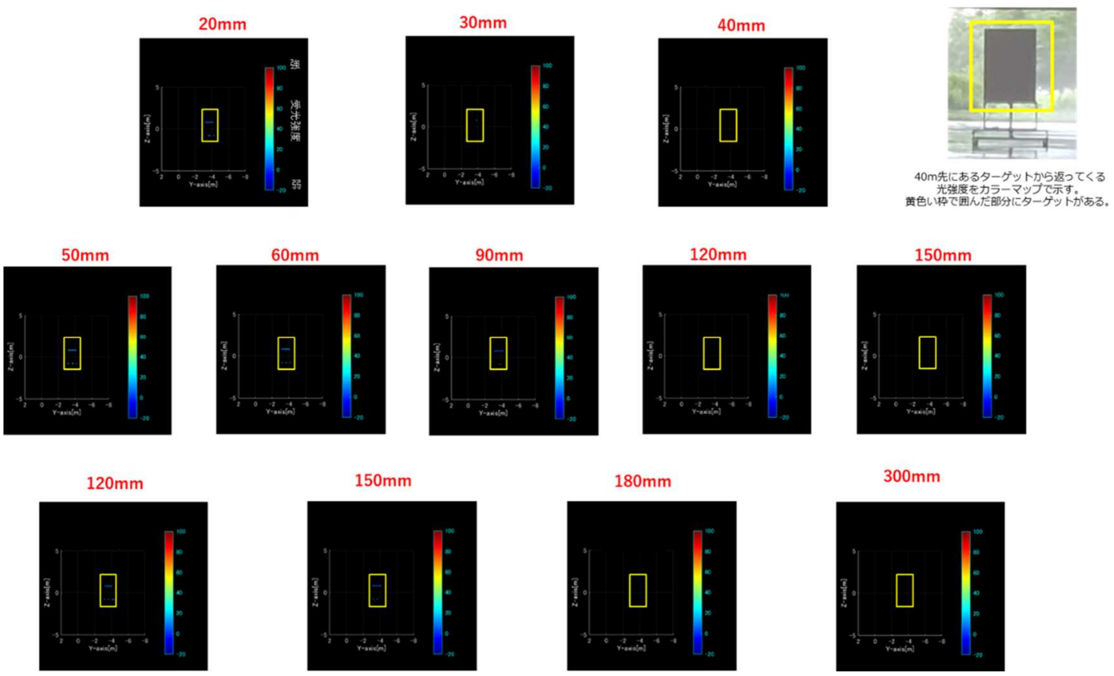


Figure 220　降雨量による V 社機種（a）の点群（光強度によるカラーマップ）

Figure 221 に PSSI LiDAR、V 社機種（a）の降雨量による空間透過率グラフを示す。グラフは各 LiDAR の空間透過率を雨滴サイズごとに色分けして示している。空間透過率は降雨量 0mm/h のときの強度（受信光量に基づく値）をリファレンスとして各降雨量での強度の比によって求めた。

降雨による光の空間透過率は LiDAR によらず同様な傾向がみられた。そのためモデル構築に使用する観

測データはより詳細な解析が可能なPSSI LiDARで行った。雨粒の大きさで透過率の傾向が異なることから降水量以外のパラメータが LiDAR の降雨による信号減衰に影響を与えていると考えられる。

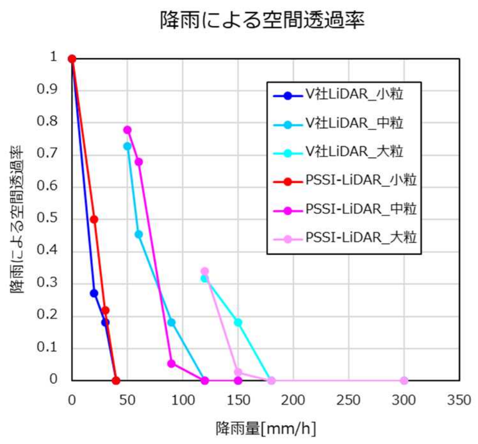


Figure 221 降雨による空間透過率グラフ

上記結果より、降水量だけでなく雨滴の粒径、粒数、粒速によって決まる「単位体積単位時間当たりの雨滴量（体積）」が LiDAR の降雨による信号減衰に影響を与えていると考えた。

雨滴の空気に対する落下速度（終端速度）は雨滴に働く重力と空気の抵抗力により決まり、粒径が小さいほど粒速は遅くなり、粒径が大きくなるほど粒速は早くなる。これは同じ降水量を観測したとき単位体積単位時間あたりに滞留する雨滴の量（体積）は粒径が小さいほど大きくなることを意味する。この単位体積単位時間あたりの雨滴の量（体積）の差が光の空間減衰に影響を与えると考え、単位体積単位時間当たりの雨滴の量（体積）と光の空間減衰の関係を確認した。Figure 222 にターゲットを 40m に配置したときの単位体積単位時間当たりの雨滴の量（体積）による空間透過率のグラフを示す。グラフから雨滴サイズの違いによらず単位体積単位時間当たりの雨滴の量（体積）が大きくなるにしたがって空間透過率が下がっていく傾向がみられた。この傾向を用いて降雨による光の空間減衰モデルを作成する。1m3 あたりの空間に含まれる雨滴体積が 12000mm3 以上となる場合、観測データが少なくデータの信頼性が低いと考え、モデル化に使用するデータからは除外した。

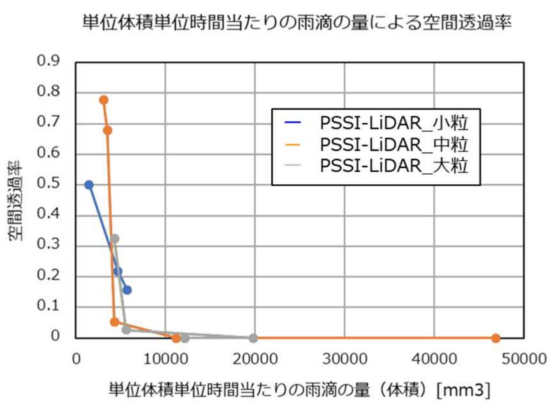


Figure 222 単位体積単位時間あたりの雨滴の量（体積）による空間透過率グラフ

Figure 223 に単位体積単位時間あたりの雨滴の量(体積)による空間透過率を対数表示に変換したグラフを示す。このグラフの実測点を最小 2 乗法を用いて近似し、y=-0.0012x という近似式を求めた。この近似式は距離 40m にターゲットがあるときの単位体積単位時間あたりの雨滴の量(体積)(x 軸)による光強度の減衰量(y 軸)を表す。ターゲットまでの空間内に存在する雨滴の疎密がないとき、単位体積単位時間あたりの雨滴の量(体積)による光強度の減衰量は距離に比例する。よって単位距離当たりの受光強度の減衰量(ターゲットを 1m に配置したとき)は近似式の x の係数を距離 40m で割った式によって求められる。これを用いて単位体積単位時間あたりの雨滴の量(体積)(D)とターゲットまでの距離(R)を入力として受光強度の降雨による空間減衰率(ρ)を出力する式が求まる。これを降雨による空間減衰モデル式とした(Figure 224)。

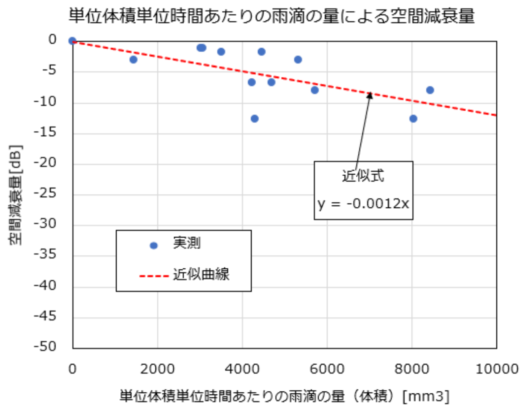


Figure 223 単位体積単位時間当たりの雨滴の量(体積)による空間減衰量グラフ

$$\rho = 10^{\left(\frac{-0.00003 * R * D}{10}\right)}$$

Figure 224 降雨による空間減衰モデル式(ρ:空間減衰量 R:物標距離 D:雨滴の量(体積))

③ 雨滴の反射による虚像(偽点)の発生

雨滴が原因となる虚像(偽点)は、LiDAR からの射出光が雨滴にあたり雨滴表面、雨滴内部で反射散乱した光を受光することで発生する。自動運転用途において雨滴は障害物ではないため、雨滴の検出は誤検出点である。雨滴による誤検出点が実測とシミュレーションの点群の一致性に影響しない程度に微小であれば検討の必要はない。しかしながら、降雨による空間減衰モデルの評価環境(Figure 218)と同じ環境で確認できた雨滴の反射による虚像(偽点)は誤検出点数も多く、検出範囲も数 m と広く、実測とシミュレーションの点群の一致性への影響が大きいと判断した。

ここでは、降雨による空間減衰モデルの評価環境(Figure 218)と同じ環境で確認できた雨滴の反射による虚像(偽点)の現象について述べる。モデル化及び一致性評価は今後検討予定である。

Figure 225 に V 社機種(b)における降雨ごとの雨滴の反射による虚像(偽点)現象を確認した点群を示す。降雨量 0mm/h と比較して、降雨時に画像中央付近(降雨エリア内)に赤いもやのように発生している点が雨滴を検出した誤検出点である。V 社機種(b)での雨滴の検出範囲は約 7m～15m だった。また、粒径が小さく降水量が

多い時ほど多く雨滴を検出する傾向がみられた。この傾向は V 社機種(b)だけでなく PSSI LiDAR でも同様な傾向がみられたことから、LiDAR ごとの構成、性能の違いではなく降雨条件によって決まるパラメータでモデル化できるのではないかと推定している。モデル化の方法等は今後検討していく。

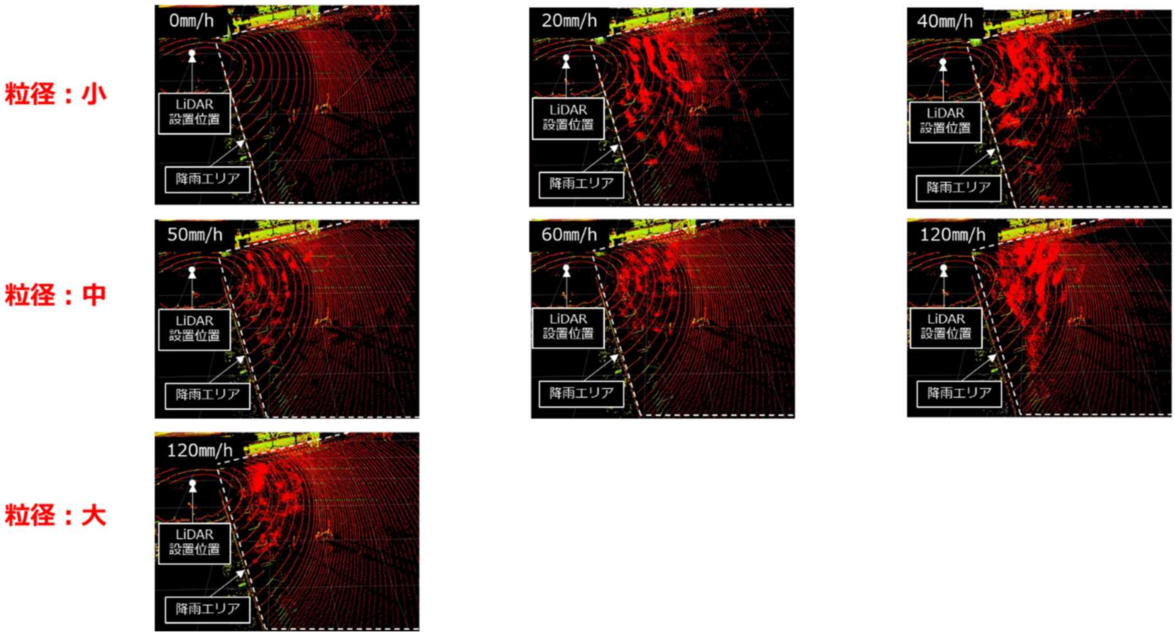
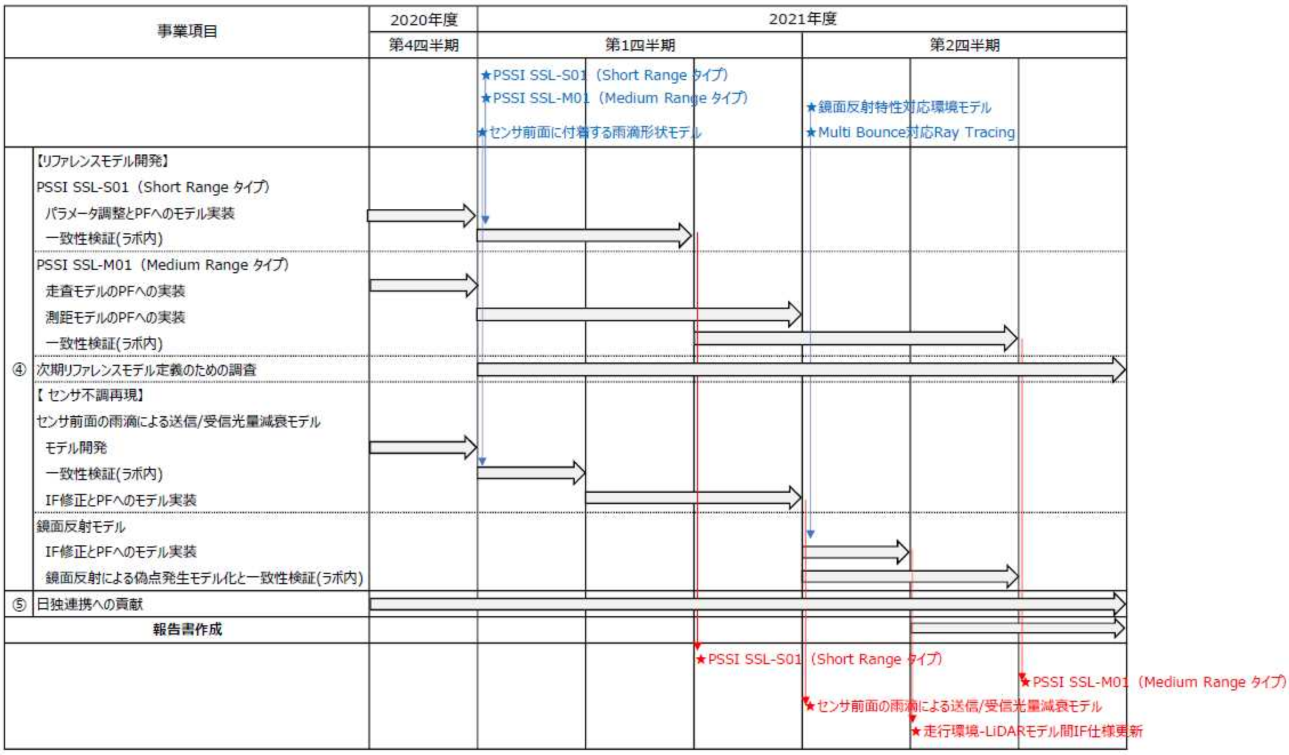


Figure 225　V 社機種(b)における降雨ごとの雨滴の反射による虚像(偽点)現象

(点群の色の違いは受光強度の大きさによる)

(3)次年度以降の計画



(ア)リファレンスモデル開発

内部構成も分かっている当社 LiDAR でモデル(Short　Range/Medium Range)のプラットフォームへの実装、一致性検証を実施し、一致性検証で得た知見を基にリファレンスモデルを検討する。

PSSI LiDAR(Short　Range):LiDAR 知覚モデル単体での一致性検証完了(2021/5/E)

PSSI LiDAR(Medium　Range):LiDAR 知覚モデル単体での一致性検証完了(2021/8/E)

リファレンスモデル定義、項目の調査、検討(2021/9/E)

(イ)センサー不調再現

センサー表面雨滴付着による送信/受光量減衰モデルの構築:LiDAR 知覚モデル単体での一致性検証完了(2021/6/E)

鏡面反射モデルの評価:LiDAR 知覚モデル単体での一致性検証完了(2021/8/E)

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

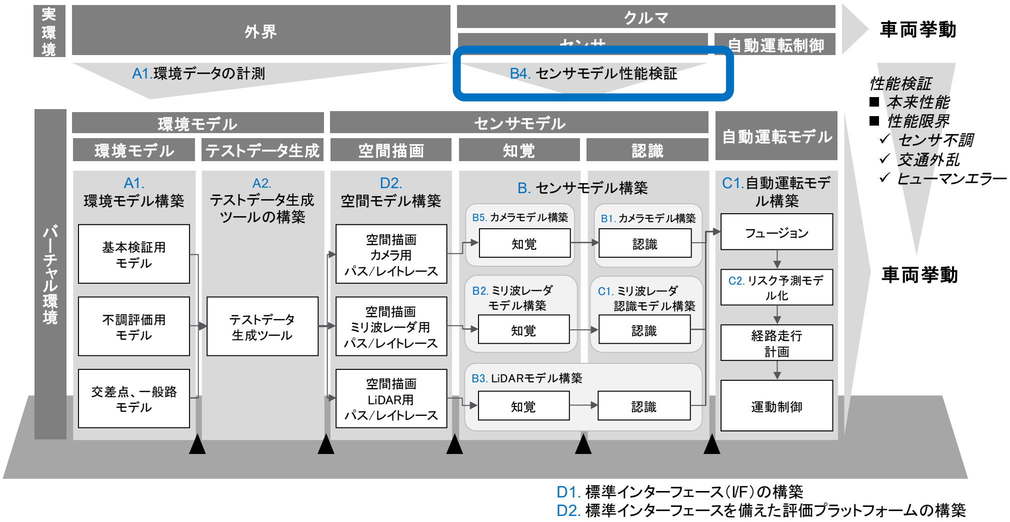


Figure 226　本研究の位置付け

本研究では、上記で構築したセンサーモデルのシミュレーション精度を検証する。

■ 事業目的

各センサー(ミリ波レーダー/カメラ/LiDAR)の実データの取得環境構築、及びセンサー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

各センサー(ミリ波レーダー/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ー評価結果とセンサー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）

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 計測車両の要件定義			▽搭載センサー情報 →	→	→	→ ★実験車両設計						
② 計測車両の構築					▽センサー現物 →	→	★実験車両					
③ 実車による実環境計測・データ検証							▽シミュレーション評価結果 →	→ ★評価結果	→	→ ★評価結果	→	→ ★評価結果

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ ミリ波、可視光、赤外光の反射特性の測定系を構築 ➢ 各センサの認識物標の反射特性を計測し、シミュレーションの3Dモデルに反映できるように数理モデル化 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ ミリ波レーダ/カメラ/LiDARを搭載した計測車両を構築 ➢ 評価路及び実路において、センサデータを計測し、開発シミュレータの精度検証用データを提供
成果を支えた要諦	■ センサを物理シミュレーションするための反射特性要件を、専門知識を保有するセンサメーカとの協議によって定義できた ■ 計測車両構築において、各センサ実機・計測系を各社・大学で分散開発し、提供頂くことで短期間に構築できた
評価	■ 計画通り進捗

成果の価値

成果の価値評価	■ インターフェースの標準化によって、既存のシミュレーションとの連携や、社内資産が活用できるようになる ■ JAMA,VIVID等の連携により、ユーザの評価ニーズに合致した機能が優先的に実装されている
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 次世代センサ、自動運転システムの開発に活用予定 ■ 製品性能評価の試験工数削減 ■ 既存の量産センサ評価も可能
残課題・今後への期待値	■ 実測範囲外を再現可能な、外挿モデルの作成 ■ ユーザビリティ向上と、対応シナリオの拡張 ■ アセット、アセット生成の標準化検討(接続性、I/F)

Figure 227 研究開発の成果

令和元年度までに、センサーデータ計測車両の要件定義及び計測車両の構築を行った。

本年度は、これまで構築してきた計測車両をベースとして、緊急自動ブレーキ試験のためのブレーキロボットの開発・搭載、公道評価試験のために必要となる車検取得のための車両改造を行った。また、NCAP シナリオ、センサー不調シナリオのセンサーデータ取得実験を実施した。

次年度は、不調シナリオデータベースの構築のために、不調シナリオ・行動での走行試験を行い、センサー不調となるデータを蓄積する。

(2)令和2年度の成果

② 計測車両の構築

・車両へのセンサー搭載

下図は実験車両の外観写真である。これまでに搭載済みの Velodyne 製 LiDAR、周辺監視カメラに加えて、パイオニアスマートセンシングイノベーションズ製の LiDAR をフロントグリルに新たに搭載している。また、ミリ波レーダーは小型化と防水対策を行いエンブレム内部に格納した。

フロントガラスのカメラは SONY 製カメラ ISX190 から IMX490 へと変更したカメラは 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。

センサー搭載を行ったのちに、構造等変更検査の車検を受け、公道を走行できるようにしている。

Figure 228 実験車両の外観写真

（a）外観　　　　（b） グリル内部

Figure 229 フロントグリルのセンサー搭載

Figure 230 フロントガラス搭載カメラの取り付け機構

車両2列目には、実験状況をリアルタイムに監視できるモニタシステムを設置している。また、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。今回、緊急自動ブレーキの実験を行うに伴い、高 G の減速に耐えられるように IMU ユニットは金属フレームで強固に固定した。

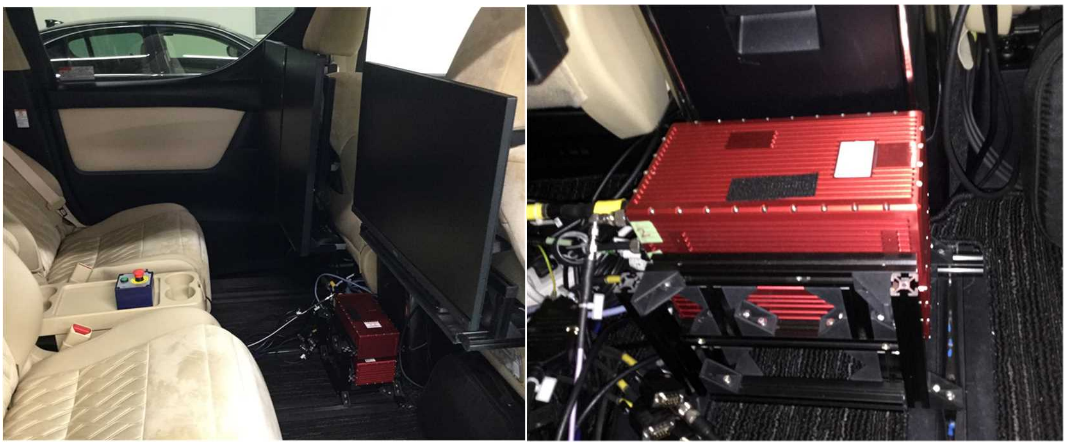


Figure 231 IMU 搭載状態

・ブレーキロボット

自動緊急ブレーキシステムについて、シミュレーションと実測の比較検証を行うため、センサー出力の結果を受けてブレーキをかけることが出来るブレーキロボットを作成した。

弊社シャーシダイナモにて、各走行速度におけるブレーキの踏み込み量と減速度の関係を計測し、ブレーキマップを作成し、制御システムを担当する立命館大学に提供した。

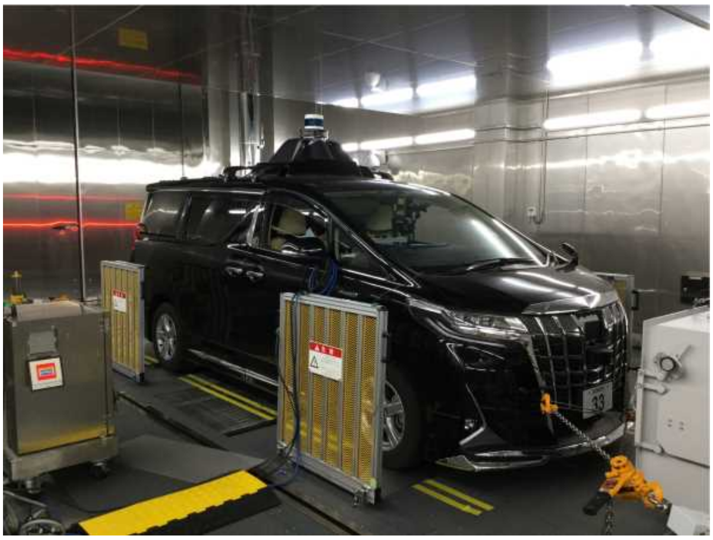


Figure 232 ブレーキ性能評価環境

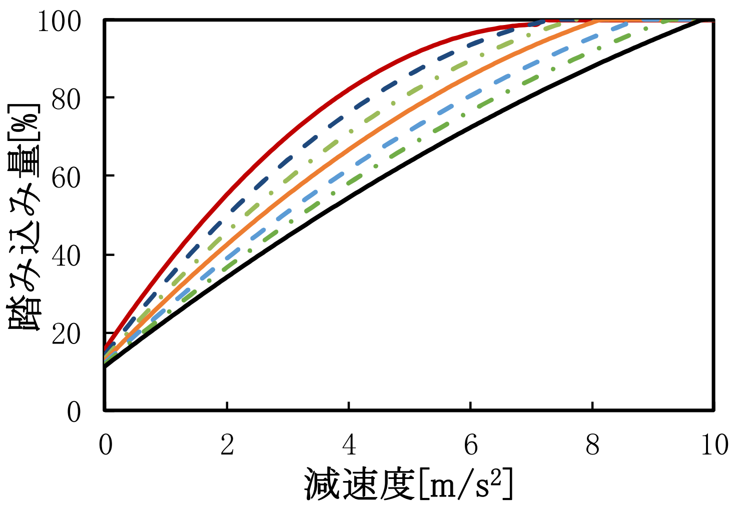


Figure 233 速度毎の踏み込み量と減速度の関係

下図は制作したブレーキロボットの写真である。人間と同等のブレーキ踏み込み速度、踏力を持つよう設計している。緊急ブレーキ 0.8G 相当の減速度が得られるように、前記のブレーキマップを基に設計し、実車にて性能確認を行った。

(a)通常時　(b) 踏み込み動作時

Figure 234　制作したブレーキロボット

・実車による実環境計測・データ検証

センサーメーカ各社との協議、JAMA との意見交換に基づき、実験項目を決定し、下記実験項目を関係各社と協力して実施した。

実験において、センサーデータ(知覚/認識)、車両位置／挙動情報、同期用の時刻データを合わせて保存し、保存データを関係各社に提供し、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。

・NCAP 試験

歩行者ダミー/自転車ダミーを用いた横断シナリオ、追従シナリオ、車影からの飛び出しシナリオにおいて、速度等のパラメータを変えて実験を行った。

歩行者横断

自転車追従

車影飛び出し

Figure 235 NCAP 試験実施風景 JARI Jtown 多目的市街地

・次期 NCAP 試験

今後、NCAP 試験に追加予定の Cut-in/Cut-out シナリオや、右直緊急ブレーキシナリオに関して実験を行った。

Cut-out シナリオ

右直シナリオ

Figure 236 次期 NCAP 試験実施風景 JARI Jtown 多目的市街地

・センサー弱点シナリオ

ミリ波レーダーが苦手する低反射物標の落下物（ダンボール、マンホール）の検出実験、カメラが苦手とする夜間 NCAP 試験、LiDAR が苦手とする低反射物標（黒革服歩行者）認識の実験を実施した。また、カメラが苦手とする逆光時/霧中での認識実験を JARI の特異環境試験場にて行った。

防災科研の大型降雨実験場においては、センサーの空間減衰、雨滴のガラス付着、雨滴の反射がセンサー認識にどの程度影響を及ぼすかを確認するための基礎実験を行った。

路上落下ダンボール検出実験　　夜間 NCAP 歩行者横断実験

Figure 237　センサー弱点シナリオ実施風景　JARI Jtown 多目的市街地

逆光環境試験　　霧発生時の認識試験

Figure 238　センサー弱点シナリオ実施風景　JARI Jtown 特異環境試験場

降雨量 20 mm　　降雨量 180 mm　　降雨量 300 mm

Figure 239　降雨実験実施風景　防災科研　大型降雨施設

⑶次年度以降の計画

評価可能なセンサー弱点シナリオの拡充を目指し、センサーメーカとの協議の上、優先的に評価するシナリオを決定。実験が可能なように車両及び計測システムの改造を行う。

不調シナリオデータベースの構築のために、不調シナリオ・行動での走行試験を行い、センサー不調となるデータを蓄積する。

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)

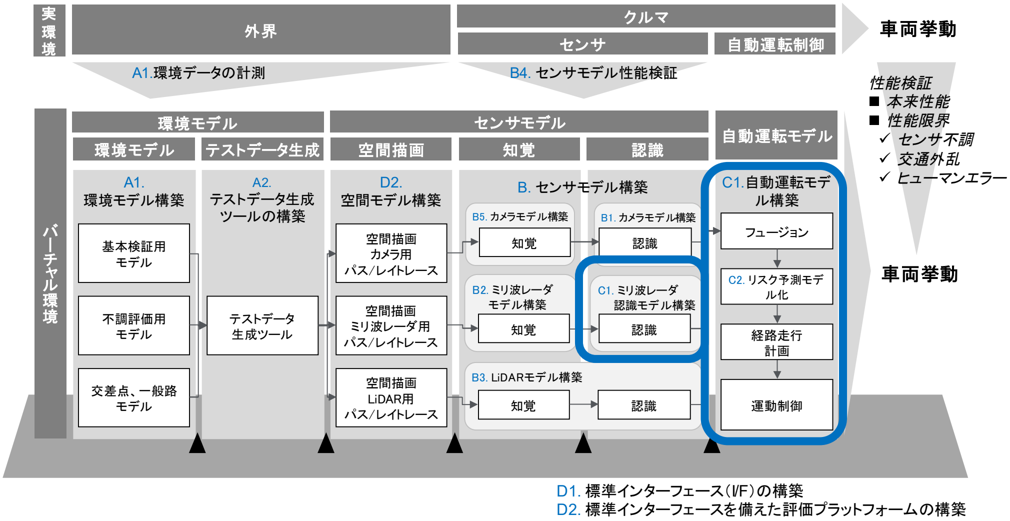


Figure 240 本研究の位置付け

■ 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、種々のセンサー特性を考慮し、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ー類との I/F を定義する。

■ 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 既存技術の検証と機能構造の明確化						★機能構造の明確化						
② SLAM に関する機能や I/F の定義								★センサー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 センサー性能やセンサーフュージョン機能の要件明確化										★センサーフュージョンの機能要件		
⑤ ミリ波センサー認識モデルの構築								★ミリ波センサーI/F の定義				
⑥ 自動運転の走行モデルの海外調査						★米国		★欧州		★米国		★欧州

★ドライバモデル

(1)令和2年度の成果(まとめ)

研究成果	
研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ ミリ波レーダにより得られたデータのクラスタリング等のデータ処理による物体までの距離計測 ➢ カメラ画像認識による方向とミリ波レーダデータ、またはLiDARデータのフュージョンによる距離計測のロバスト化 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ 制御含めてクローズドループでシミュレーション可能
成果を支えた要諦	■ コンソーシアムの他機関メンバーと連携し、シミュレータと実車の挙動を合わせるための実装方法に工夫を行った。 ■ デンソー様と連携し、ミリ波知覚モデルの開発進度に合わせてミリ波認識モデルの改良を繰り返し、認識精度の向上を図った。
評価	■ ミリ波レーダ認識とセンサフュージョン、車両制御の実装が完了した。

成果の価値	
成果の価値評価	■ 実機とシミュレータの一致性の検証 ■ センサ知覚として高い一致性が検証されているPF上で、クローズドループでシミュレーション可能
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	
残課題・今後への期待値	■ 「アセット、反射特性割り当て」の見直しによるミリ波知覚の一致性の向上

Figure 241 研究開発の成果

本年度の研究開発の成果は、主に以下に挙げる2点である。

・実車およびシミュレーションでのセンサーフュージョンモデル、車両制御モデルの構築

・実機およびシミュレーションでのミリ波認識モデルの構築、一致性の確認

以下に、それぞれの成果概要について記す。

センサーフュージョンモデル、車両制御モデルの構築

他社開発のカメラ、LiDAR の認識出力と立命館開発のミリ波認識出力の情報を統合したセンサーフュージョンモデルを構築した。開発したモデルを実車両に実装し、JARI 評価フィールドで NCAP AEB シナリオに沿って動作検証を行い、その有効性を確認した。また当該実験で得られたデータを基に車両挙動の合わせこみを行い、実車の車両挙動を Sim.上で高精度に再現した。これらの成果により、DIVP® Sim.でフュージョンモデル、車両制御モデルの開発および評価を高い一致性の下で行うことが可能であることを示した。

ミリ波認識モデルの構築、一致性の確認

ミリ波知覚出力を受け取り、ノイズ除去、クラスタリングなどを行った認識結果を出力するモデルを構築した。実機および Sim.上に開発モデルを実装し、一致性検証を行った。その結果、位置精度に関しては、「アセットの分割方法、反射強度の割当方法」の影響が大きく、現状では実機とSim.で出力に乖離があることが確認できた。相対速度出力に関しては、物標までの距離によらず概ね一致していることが確認できた。

(2)令和2年度の成果

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

　　本年度未実施

④ センサー性能やセンサーフュージョン機能の要件明確化

　カメラ画像、LiDAR から得られる点群、ミリ波レーダーから得られる点群を用いた物体認識結果を以下に示す(Figure 234)。

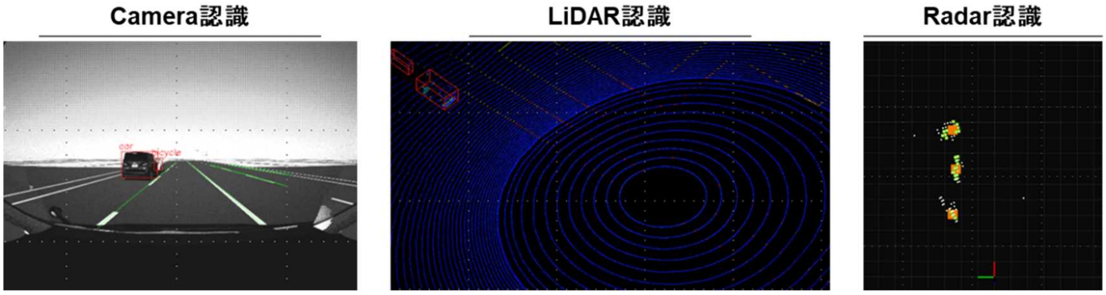


Figure 234 各センサーによる認識出力の特徴

各センサーによる認識の特徴を以下にまとめる。

Ⓐ カメラ:

物体認識力に優れており、物標識別まで可能である。一方で、物体までの距離計測（測距）という点では正確な値を得ることは難しい。NCAP AEB 実験のように距離精度が求められる場面においては信頼度が不十分である。

Ⓑ LiDAR:

測距の面で優れた性能を発揮するが、その点群が何の点群であるかの推定を実時間で行うのは工夫が必要である。本プロジェクトで用いた VLS128 のように全方位かつ高解像度を誇るセンサーは、膨大な数の点群を取得できるため認識精度の向上が期待できるが処理時間とはトレードオフの関係である。

Ⓒ ミリ波:

LiDAR には劣るが測距可能でかつ相対速度も計測可能である。そして、霧などの LiDAR の弱点となる一部の環境条件においても測距可能である。しかし、点群としてはノイズが多くまばらであるため、物標の識別は一般的に困難である。

上記のように、カメラの弱点を LiDAR･ミリ波で補完でき、LiDAR･ミリ波の弱点をカメラで補完できるという相補的な関係にある。したがって、それらのセンサーを組み合わせることによりロバストな距離計測が可能となる。

　本プロジェクトではカメラ＋LiDAR とカメラ＋ミリ波という2つのセンサーフュージョンモデルを実装し、NCAP AEB 実験によって評価を行った。センサーフュージョンモデルの概要と実験の様子を以下に示す（Figure 235）。実験の結果、それぞれのフュージョンパターンにおいて物標識別と測距を達成しており、最終的な車両挙動としても NCAP ダミー人形とわずかな間隔をもって停車することを確認した。

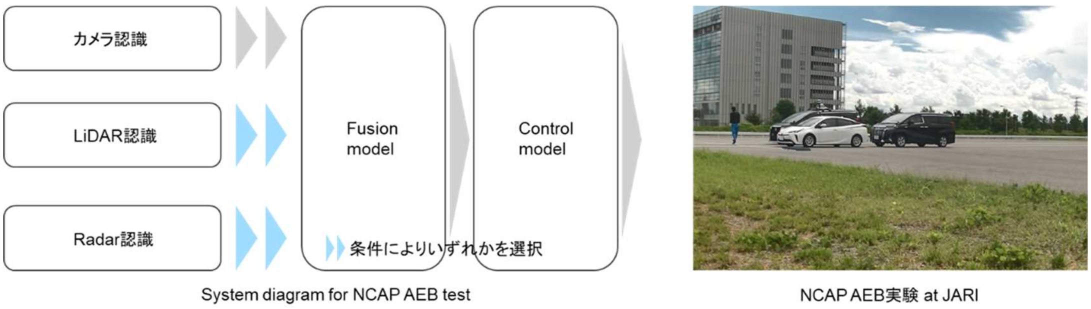


Figure 235 センサーフュージョンモデルの概要と実車実験の様子

続いて、同様の NCAP AEB 試験をシミュレーションで再現する取り組みを行った。ここで問題となったのが車両挙動の一致性である。以前のプラットフォームでは車両ダイナミクスを考慮できていなかったため、急制動時の車両挙動が現実と乖離していた。そこで、車両挙動に関する演算を CarMaker に担当させることでこの問題の解決を試みた。その中で、立命館は実車実験で得られたデータを基に CarMaker 上で車両パラメータの合わせこみを行うことで、車両挙動の一致性向上に貢献した。以下に CarMaker と連携した車両制御フローの概要図を示す（Figure 236）。

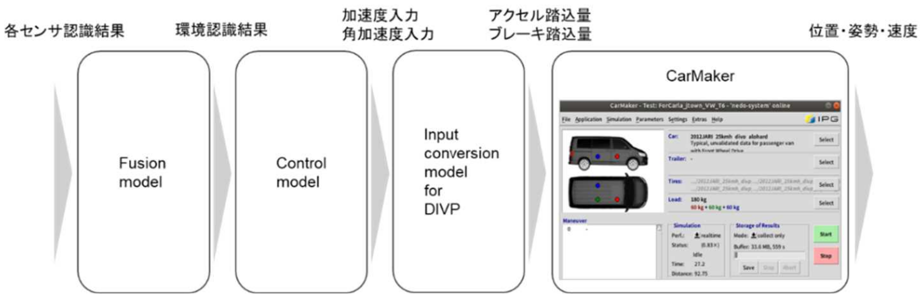


Figure 236　DIVP®における車両制御アルゴリズムの概要

車両挙動の合わせこみを行った結果、以下の図（Figure 237）に示すように車両挙動に関する一致性を確認できた。本図は、25km/h からの急制動における加速度、速度、ピッチ角の推移を実車とシミュレーションで比較したものである。青色の線がシミュレーション、赤色の線が実車での計測結果である。加速度、速度、ピッチ角のすべて概ね一致していることが確認できる。

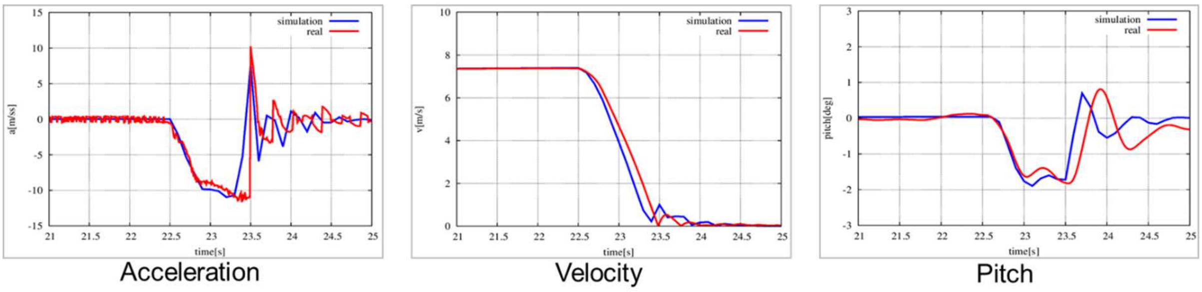
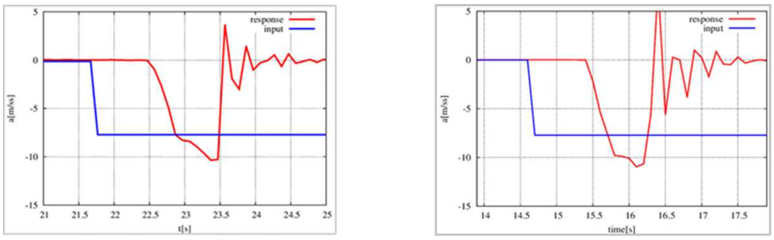


Figure 237 車両挙動合わせこみの結果

実車による NCAP AEB 実験を進める中で、ブレーキ入力の遅延が問題となる状況が発生した。ここで、ブレーキ入力の遅延とは、AEB 作動条件をセンサーフュージョンアルゴリズムが検出した瞬間から実際にブレーキが効き始める間の時間を指す。この遅延は、搭載した PC 間での通信、センサー系の認識処理、ブレーキロボットの応答性などが原因で発生する。Figure 238 に示すように実車ではおよそ 0.8 秒遅延することが確認できた。この遅延量をシミュレーションでも再現するため、車両への入力を蓄積し遅延させる ROS ノードを実装した。その結果、シミュレーションにおいても遅延量を再現できることを確認した。これにより、制動中だけでなく制動前の挙動も含め一致性を示した。



Input delay (Real)　Input delay (Sim.)

Figure 238 ブレーキ入力遅延の再現

以上より、NCAP AEB シナリオを例に、高い一致性の下で制御まで含めたクローズドループでシミュレーション可能であることを示した。

⑤ ミリ波センサー認識モデルの構築

ミリ波認識モデルの構築を行った。NCAP AEB 車影飛び出しシナリオを用いてミリ波認識モデルの一致性検証およびミリ波知覚へのフィードバックを行った。まず、位置精度の比較を下図に示す（Figure 239）。図中オレンジで示すのが認識出力点である。本図から、位置精度に関して課題の残る結果となったことが分かる。これはミリ波知覚段階での「アセットの分割方法、反射特性の割り当て方法」の影響が大きいと考えられる。知覚モデルが改良されれば認識モデルの一致性向上も期待できるため、第二期への期待として残しておく。

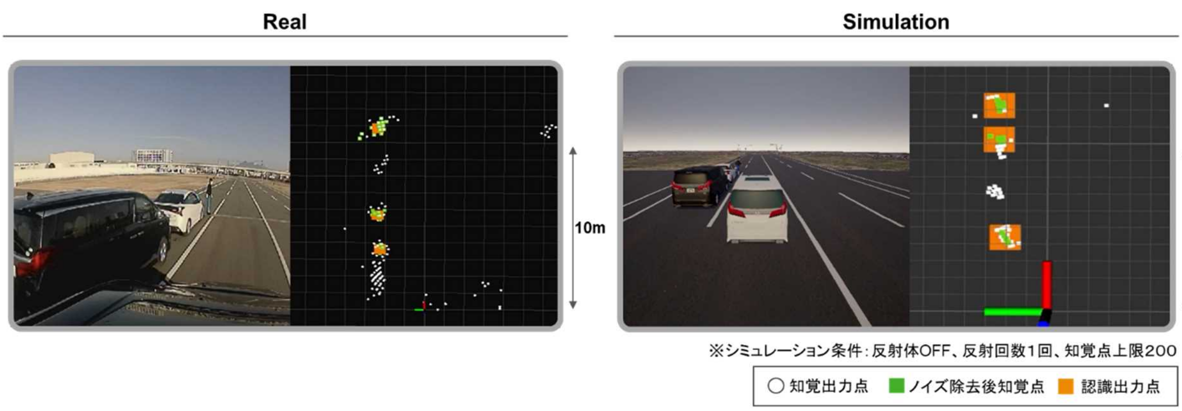
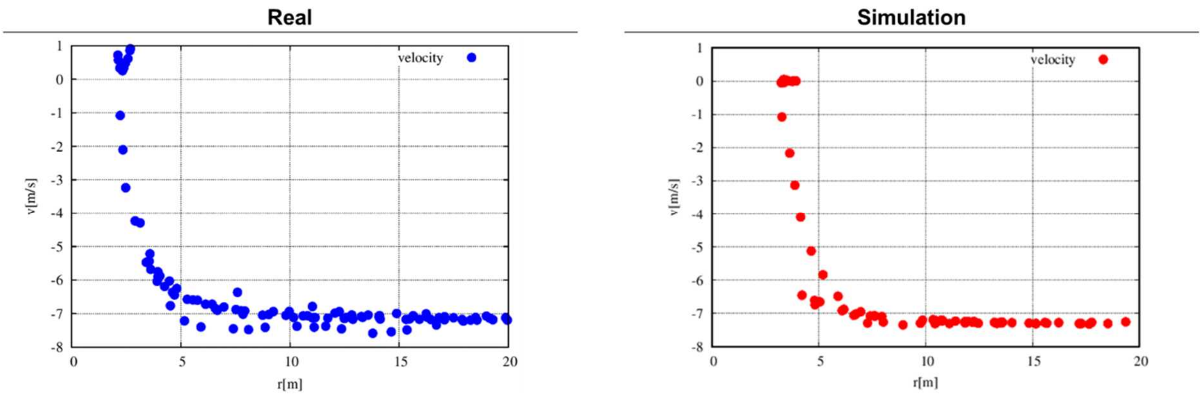


Figure 239 ミリ波認識出力位置精度の比較

次に、相対速度出力の一致性検証を行った。特に NCAP AEB シナリオにおいては、相対速度出力は TTC (Time to Collision) の算出に用いられ、AEB 作動タイミングに直結するため重要な一致性検証事項である。実車とシミュレーションの比較結果を以下に示す(Figure 240)。本図は、25km/h で走行中の車両に搭載されたミリ波センサーから取得できる知覚データを認識モデルに入力し、その出力結果から、物標までの距離に対する相対速度をプロットしたものである。本図より、相対速度出力に関しては物標までの距離に関わらず高い一致性が見て取れる。



物標までの距離に対する相対速度出力(実車)　　物標までの距離に対する相対速度出力(Sim.)

Figure 240 ミリ波認識相対速度出力の比較

以上より、現時点でのミリ波認識モデルの一致性として、相対速度出力に関しては高い一致性を確認できた。一方で、位置精度に関しては知覚段階の一致性向上に期待という結果となった。これらについて、知覚担当のデンソー様と情報共有を行った。

(3)次年度以降の計画

特記事項なし

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)

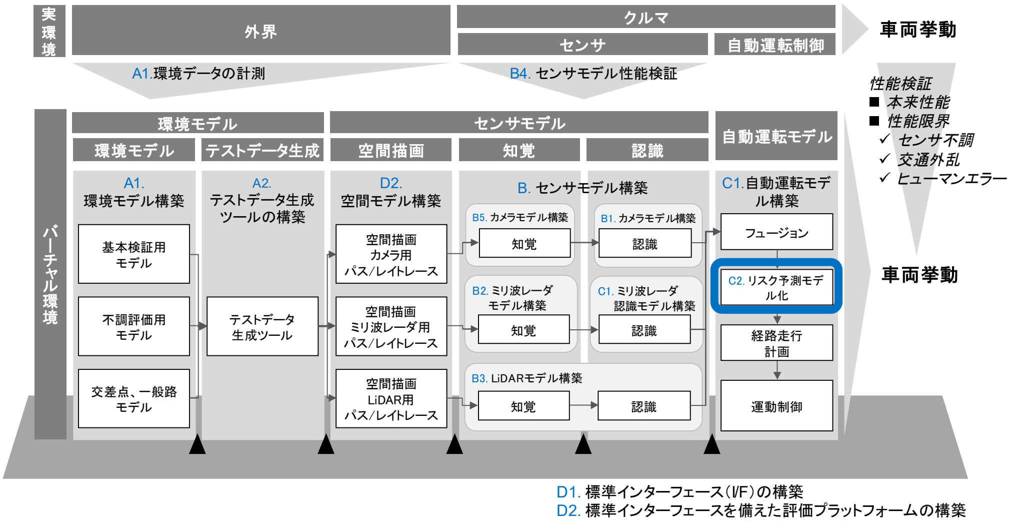


Figure 242 本研究の位置付け

■ 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/車両制御に組込み、仮想空間でのセンサー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「内界センサー(IMU、車輪速度)とGNSSドップラー値による、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、ミリ波レーダーで構成される外界センサーの認識不調の自車位置推定精度への影響と内界センサーのフュージョンによるロバスト性への効果、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で評価可能とする。

③　基本走行モデルへの組み込み

　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。

■ 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2年度の成果(まとめ)

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ DIVP®からヒヤリハットデータを使用できる環境の構築 ➢ 既存データのデータ詳細化・増強化を行うアルゴリズムの構築 ➢ 交通流シミュレータとDIVP®との連携I/Fの定義 ➢ SCTアプローチに基づいたリスク予測モデルの評価 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ 次年度実施計画であるセンシングウィークネスシナリオへの入力データセットの構築
成果を支えた要諦	■ 大学、企業や共同研究機関の知見、成果を提供いただくことで、様々な検討をしながら進めることができた ■ 設備導入のための十分な予算があり、機材不足による遅延が全く発生しなかった ■ コロナ禍による出社制限が掛かる中、ネットワーク環境が整備できたため、出社制限が理由である遅延が一切発生しなかった
評価	■ セーフティクッションタイムアプローチに基づいたリスク予測モデルの有効性を確認できた

成果の価値

成果の価値評価	■ 今年度までに蓄積した各種データは、次年度実施計画へ活用可能であり、価値が高いと考える。 ■ データ詳細化・増強化を行うアルゴリズムは、車載カメラのリアルタイムデータにも適用可能であり実用性が高いと考える。 ■ 交通流シミュレータ等のDIVP®以外のシミュレータとの連携シミュレーションI/Fを定義できたことは、DIVP®の機能強化につながる。
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 今年度までに蓄積した各種データを次年度以降の研究テーマへ活用
残課題・今後への期待値	■ 次年度実施計画であるセンシングウィークネスシナリオへの各種データの利用

Figure 243 研究開発の成果

ヒヤリハットデータの分析結果から注意深く経験豊富な運転者の運転行動を形式化し、リスク予測モデルを構築し、セーフティクッションタイムアプローチを基づいて構築したアルゴリズムで制御された車両モデルとそうではない車両モデルでインシデントの発生数を比較することにより評価を実施した。2 日間のシミュレーション評価により、セーフティクッションタイムアプローチを基づいて構築したアルゴリズムにより、インシデント発生数が 68%減少することを示した。

また、今年度までに蓄積したヒヤリハットデータを含む各種データは次年度以降の研究テーマへ活用可能である。

(2)令和2年の成果

① 「飛出しリスク予測」のモデル化

令和元年度に実施済み

② 「自車位置推定」のモデル化

令和元年度に実施済み

③　基本走行モデルへの組み込み

3-1. リスクデータの構築と構造化

リスクデータとは、交通道路環境に起因するリスク(Risk Value)、ドライバ運転行動に起因するリスク(LHP: Longterm Hazard Potential)等のリスク算出に必要なデータセットであり、リスク算出には東京農工大が管理、収集しているヒヤリハットデータからリスクデータを抽出し利用する。ヒヤリハットデータは、危険因子情報(アノテーション)、車載センサーデータ情報、車載カメラデータ情報から構成され、シミュレーションプラットフォーム上でリスク予測モデルを動作させるためには、シミュレーションプラットフォームからヒヤリハットデータを利用できることが必須である。そのため、ヒヤリハットデータをシミュレーションプラットフォームから利用可能な環境を構築した。

また、既存のヒヤリハットデータのデータ詳細化、データ増強化を目的として、公官庁 Web サイト、OpenWebService および車載カメラデータからリスク算出に必要なデータを認識するアルゴリズムを構築した。14 万件に及ぶ膨大なデータをプログラムとして処理することにより、既存の各種データの詳細化、既存のデータにはなかった新たなデータの追加(データ増強化)が可能となった(Table 70)。例として東京農工大ヒヤリハットデータに含まれる車載カメラデータ画像の認識結果を示す(Figure 244)。

車両と歩行者の認識例

歩行者の認識例

先行車両と駐車車両の認識例

駐車車両の認識例

横断歩道の認識例

車線の認識例

Figure 244　車載カメラデータ情報(画像)認識例

Table 70. 詳細化、増強化したデータ一覧

取得項目（認識項目）	取得元（取得方法）
車線数	車載カメラ画像認識
横断歩道(有無)	車載カメラ画像認識
駐車車両(有無)	車載カメラ画像認識
歩行者数	車載カメラ画像認識
交通量	車載カメラ画像認識
先行車両(有無)	車載カメラ画像認識
地域区分、通行区分	OpenStreetMap、国土地理院
天候	OpenWeatherMap、気象庁
時刻	GNSS センサー

3-2. リスク予測モデルの DIVP®インターフェースの定義

リスク予測モデルの評価を実施するに当たり、歩行者/自転車(Pedestrian/Bicycle)の交通流シミュレータとの連携シミュレーション動作が必須である。そのため、歩行者/自転車(Pedestrian/Bicycle)の交通流シミュレータと DIVP®との連携シミュレーションインターフェースと評価環境を定義した。なお、交通流シミュレータは独 PTV AG の Vissim を想定し、交通流シミュレータとの連携シミュレーションインターフェースは、独 IPG Automotive GmbH の Vissim Inteface for CarMaker を参考にして定義した。これは運転シミュレータである独 IPG Automotive の CarMaker と独 PTV Vissim との連携シミュレーションインターフェース実装であるが、独 PTV Vissim との連携シミュレーション可能な運転シミュレータとして多くの実績があるためである。

また、ヒヤリハットデータを基づいて交通道路環境に起因するリスク(Risk Value)、ドライバ運転行動に起因するリスク(LHP: Long-term Hazard Potential)等のリスク算出を行うリスク予測モデルを作成し、このモデルにより車両ドライバーの振る舞いを制御する。

リスク予測モデルの評価環境は、リスク算出を行うリスク予測モデル(Risk Prediction Model)、自動運転制御を行う ADAS/AV Algorithm モジュール、独 PTV Vissim および DIVP®(または独 IPG Automotive Carmaker)で構成した(Figure 245)。本パートの目的は、リスク予測モデルの評価であり、評価作業は独 IPG Automotive CarMaker で実施可能であることから、今期の作業としてはインターフェースの定義のみとし、実装は来期以降の課題としたい。

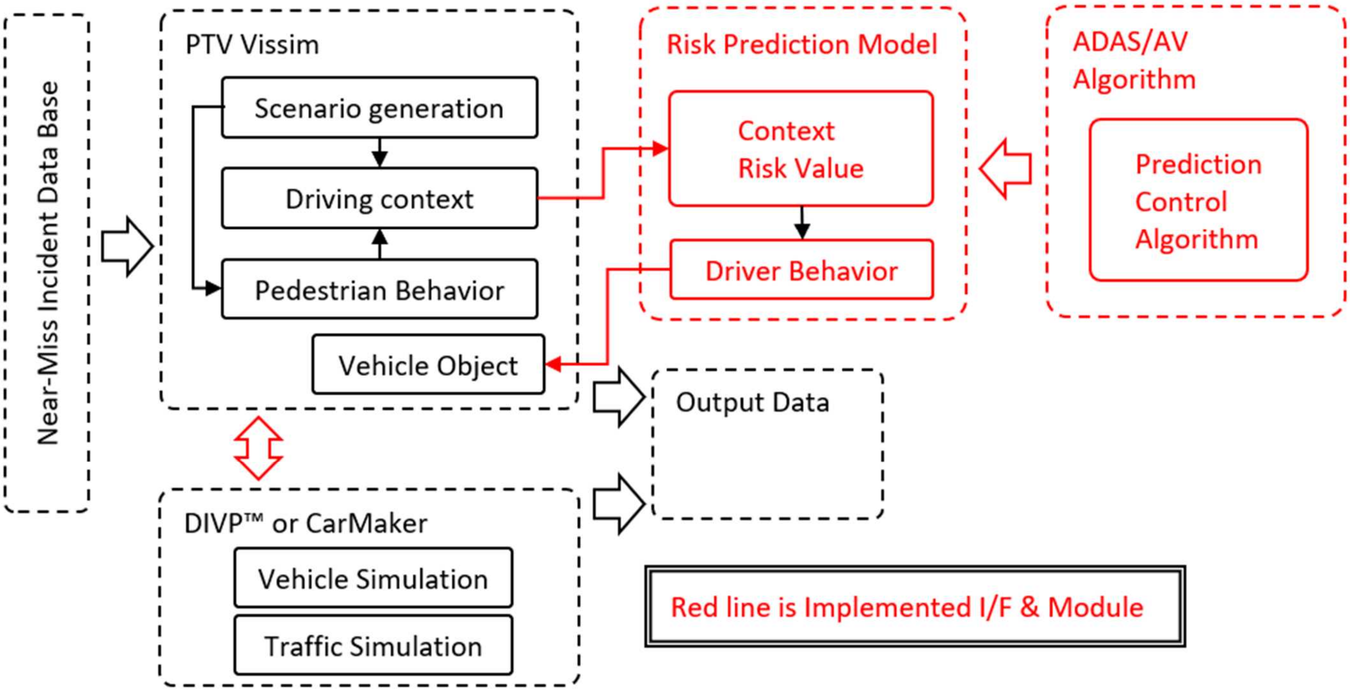


Figure 245 リスク予測モデルの評価環境の概要

3-3. リスクシミュレーション評価

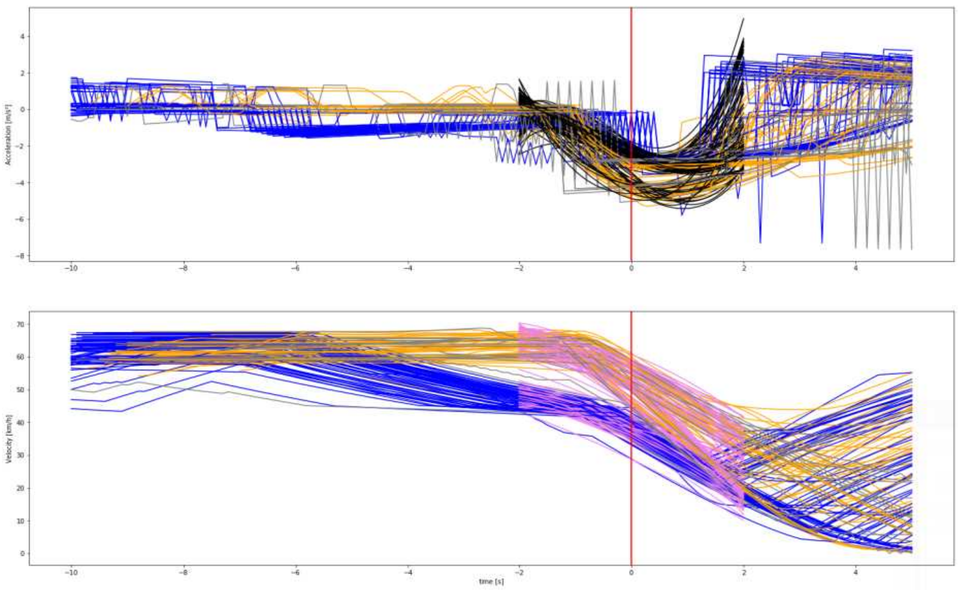
リスク予測モデルでは、セーフティクッションタイムアプローチによるリスク予測を行っている。セーフティクッションタイム(Sefety Cushion Time)とは運転状況に基づいた危険(リスク)を予測するための指標であり、実際には歩行者(自転車)と車両が接触するまでの時間である。運転者はこの時間内で回避行動を行うことができる。リスク予測モデルでは、ヒヤリハットデータに基づいたリスク予測を行い、車両の縦方向もしくは横方向の加速度を設定し、セーフティクッションタイム(Sefety Cushion Time)を最大化するように車両を制御する。なお、リスク予測モデルに基づいた車両の振る舞いおよび歩行者(自転車)の振る舞いについては独 PTV Vissim との連携シミュレーション評価環境にて評価した。

リスク予測モデルのアルゴリズムは、ヒヤリハットデータの分析結果から注意深く経験豊富な運転者(タクシードライバ)の運転行動を形式化し構築した。同様のインシデント時の運転者の行動をグループ化(クラスタリング化)し、アルゴリズムを構築する(Figure 246,Figure 247)。

評価は同じ評価条件を使用し(Table 71)、独 PTV Vissim の標準車両を用いた場合と、セーフティクッションタイムアプローチを基づいて構築したアルゴリズムで制御された車両でインシデントの発生数を比較することにより行った。2 日間のシミュレーションにより、セーフティクッションタイムアプローチを基づいて構築したアルゴリズムにより、インシデント発生数が 68%減少することを示した(Figure 248)。

Table 71. 評価条件

Item	Value
Scenario Type	Pedestrian Intersection
Simulated Days	2 days
Traffic Intensity	200 Vehicle/h
Vehicle Type	Passenger Vehicle



上図：加速度(黒線は近似曲線)　下図：速度

Figure 246 対歩行者インシデント発生時のクラスター分析に基づいた運転行動

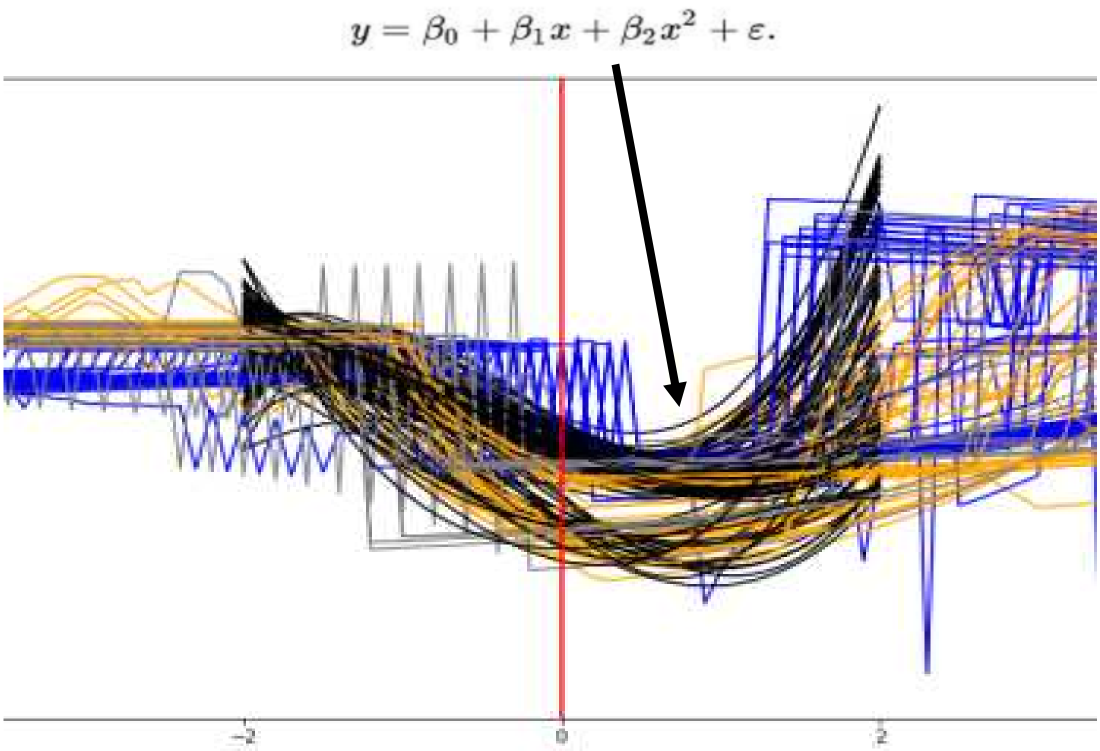


Figure 247 多項式関数による加速度の近似

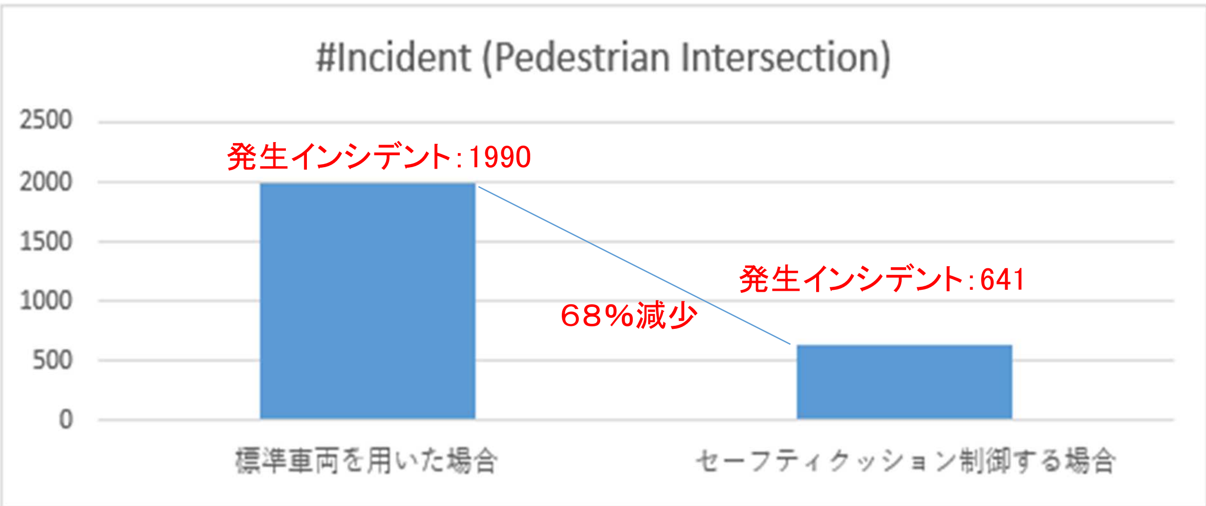


Figure 248 インシデント発生数の比較

(3)次年度以降の計画

次年度の実施項目の計画なし

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)

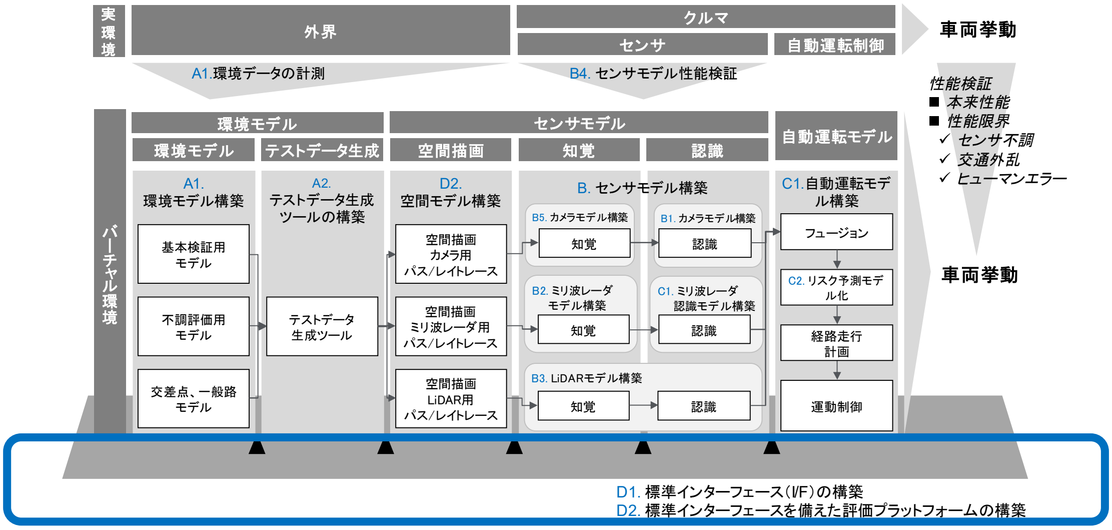


Figure 249 本研究の位置付け

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て、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する際に組み合わせる各種センサー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、センサー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							I/F 設計書★	

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ 国際協調の一環として、独ASAM OSIにインターフェース提案活動実施 ➢ オープンインターフェースを備えたモジュール間通信の実装に向けて、プロトタイプ開発をとおしてシステム構成、I/Fの設計を実施 ■ DIVP®成果への貢献 ➢ オープンインターフェースを備えたモジュール間通信のI/F設計
成果を支えた要諦	■ 国際協調の一環で独ASAMへの参画
評価	■ モジュール間通信の実装に向けたプロトタイプ開発を完了した。

成果の価値

成果の価値評価	■ ASAM活動や、モニター評価活動を通して、今後活動を進める上で主要な方々との関係を確立 ※国際協調、各OEMとの接続性第一歩を確立
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 弊社参加メンバーの自動運転領域の知見獲得により、自動運転領域へのビジネス参画に役立つ ■ ASAM活動や、モニター評価活動を通して、主要な方々とのつながりが、今後の自社ビジネスでも役立つ
残課題・今後への期待値	■ 国際協調、各OEM、センサーメーカとの更なる接続性

Figure 250 研究開発の成果

モジュール間 I/F の要件と基本方針をまとめ、プロトタイプ作成をとおしてモジュール間 I/F の設計を実施した。

(2)令和2年度の成果

③　シミュレーション I/F 設計

シミュレーション環境を構成する各モジュールで入出力する通信内容や通信方式の詳細仕様の設計を実施して、「シミュレーション I/F 設計書」としてまとめた。

I/F 設計の基本方針と、採用したアーキテクチャおよびライブラリについて以下に記述する。

(a) 基本方針

モジュール間 I/F として、将来の要素技術の進歩やシミュレーション PF の利用用途の拡大に対する互換性・拡張性を考慮する。また、仮想空間上で開発・検証を効率的に実施できるようにするためには、対象とするモデルが他システムから提供される場合であっても、利用者またはシミュレーション PF 上のモジュールからはモデルの提供元を意識せずにシミュレーションを実施できる I/F が必要である。

互換性・拡張性を考慮し、モジュール間 I/F を通信内容と通信方式に分けて定義する。モジュール間 I/F のイメージを以下に示す。

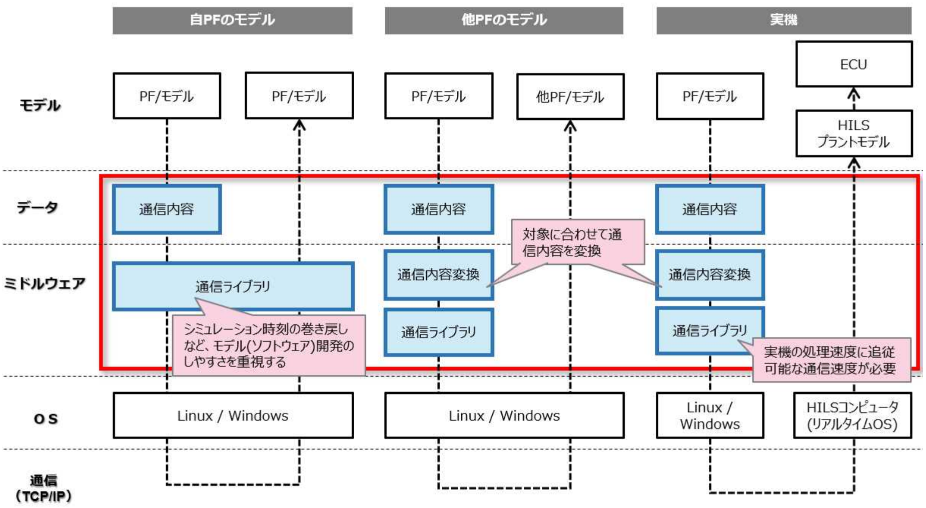


Figure 251 モジュール間 I/F のイメージ

上図の赤枠の範囲がモジュール間 I/F であり、モジュール間の通信内容、通信方式を提供する。シミュレーション PF 内の通信内容は通信方式に依存せずに定義できるようにし、他の計算機または他ステム上のモジュールとの接続は通信ライブラリを介して接続できるようにする。また、システム間の差異に応じて通信内容を変換する仕組みを提供する。

モジュール間 I/F の通信内容、通信方式は以下の方針に従うものとする。

■ 通信内容

✓ シミュレーション PF や通信方式に依存しない形式で入力/出力パラメータを定義できること。

✓ 秘匿するパラメータ、公開するパラメータを定義できること。

■ 通信方式

✓ ネットワークを介して複数の計算機に分散したモジュールや他システム上のモジュールと接続できること。

✓ 他システム上のモジュールと通信する際、シミュレーション PF 上のモジュールからはその差異を意識

せずに通信できること。

- ✓ 秘匿するパラメータは、他社のモジュールからは閲覧できないこと。
- ✓ 通信経路上のデータを秘匿できること。
- ✓ 将来の要素技術の進歩による通信速度の向上を制限しないこと。

■ モジュール間の接続

OEM、センサーメーカがシミュレーション PF 上の同じ実験環境でセンサーモデルを検証・比較できるようにするため、モデルを提供するモジュールとの接続が切り替え可能なモジュール間 I/F を提供する。

モジュール間 I/F として実現すべき要件を以下に示す。

- ✓ 空間描画の API を介して各センサーモデルが電波伝搬の計算結果を取得できること。
- ✓ モジュールをプラグイン(C/C++、FMU など)形式でシミュレーション PF にインポートできること。
- ✓ 各モジュールの稼働状況を管理(異常検知、死活監視、起動・停止)できること。
- ✓ 各モジュールとシミュレーション時刻を同期できること。
- ✓ センサーRAW データなど大きいデータを遅延なく通信できること。

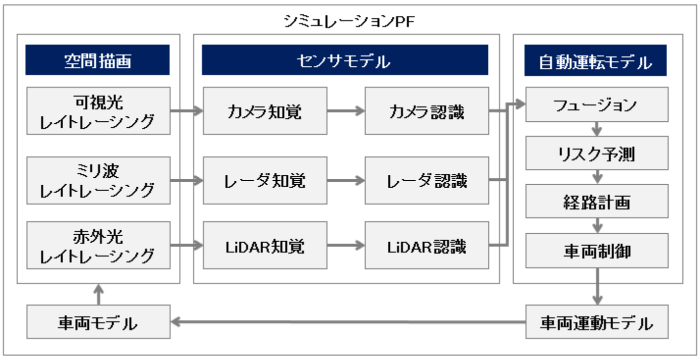


Figure 252 シミュレーション PF のモジュール構成

ネットワークを介したモジュール間接続の場合には、さらに以下の要件を満たす必要がある。

- ✓ ネットワークを介して複数の計算機に分散したモジュールや他システム上のモジュールと接続できること。

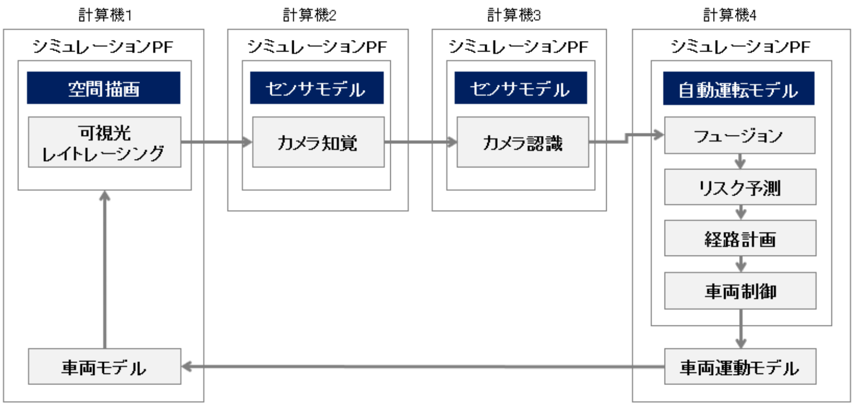


Figure 253 シミュレーション PF を複数の計算機に分散したイメージ

✓　通信内容を変換する仕組みを提供できること。
計算機に分散したモジュールや他システム上のモジュールと接続する際、シミュレーション PF 上のモジュールからはその差異を意識せずに通信できること。

■　拡張性を考慮したシステム構成

ECU、実車との接続では、リアルタイムシミュレーションが求められる。シミュレーション速度の向上に、仮想空間の実験環境を生成する空間描画の高速化が必要であるが、空間描画が行う電波伝搬の計算を計算機 1 台でまかなうには計算負荷が高すぎる。

現在の計算機負荷の解決、また今後の計算機性能の向上を見込んださらなる処理速度の改善を考慮し、シミュレーションを複数台の計算機で分散できるようにする。

モジュール間 I/F のシステム構成に関する要件を以下に示す。

✓　各モジュールを複数台の計算器に分散させて稼働可能なこと
✓　各モジュールの稼働状況を管理(異常検知、死活監視、起動・停止)できること
✓　各モジュールとシミュレーション時刻を同期できること

(b) I/F 設計

基本方針にもとに、I/Fに求められる各要件を満たすための I/F 設計を行った。とくにモジュール間の通信、およびセンサーモデルの差し替えにかかわる I/F の設計に注力して設計を行った。

後述の「②シミュレーション I/F の精緻化と標準化の検討」でのプロトタイプ作成とともに I/F 設計を進めるため、プロトタイプで採用するアーキテクチャ、およびライブラリの選定も行った。

Table 72 採用したアーキテクチャ、およびライブラリ

項目	アーキテクチャ/ライブラリ
モジュール間の接続	ROS、Protocol Buffers
センサーモデルの差し替え	FMI2.0(Co-Simulation)
モジュールの稼働状況管理	ROS

■　モジュール間の接続

シミュレーション PF と複数個のモジュールを接続して、負荷分散およびモジュールの差し替えを可能にするためには、シミュレーション PF とモジュール間の接続は TCP/IP をベースとした通信方式が望ましい。

プロトタイプのモジュール間の通信方式として、すでにシミュレーション PF で採用している ROS を採用した。また、今後 OSI[1]で定義された通信内容を後段のモジュールへ転送できるように、Protocol Buffers[2]によるモジュール間接続も採用した。

[1] OSI：Open Simulation Interface。 参照) https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation/
[2] 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。

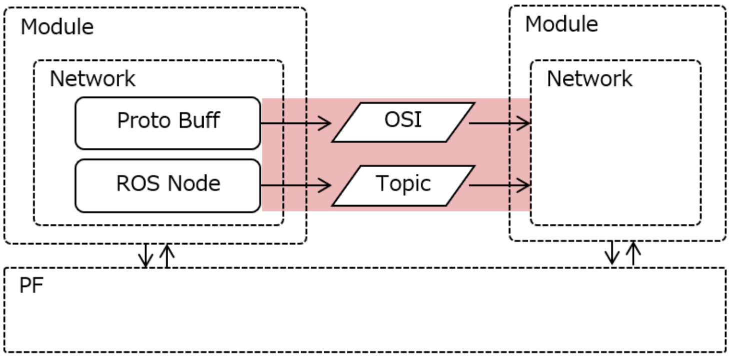


Figure 254 モジュール間接続のイメージ

■ センサーモデルの差し替え

センサーモデルとの接続では、入力/出力パラメータの通信頻度が多く TPC/IP による接続は適さない。センサーモデルを 1 つのモジュールに配置するようにして、センサーモデルとモジュール間の接続にFMI 2.0(Co-Simulation)を採用して、プロトタイプでFMIインポートの仕組みを検証できるようにした。

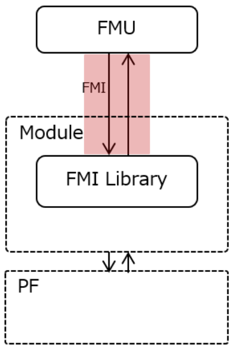


Figure 255 センサーモデルの差し替えイメージ

■ モジュールの稼働状態管理

TCP/IP を介して分散された複数個のモジュールの稼働状態を管理（初期化、起動、停止、死活監視）できるようにするためには、モジュール間の接続と同様に TCP/IP をベースとした通信方式が望ましい。

モジュールの稼働状態管理の通信方式として、ROS を採用した。

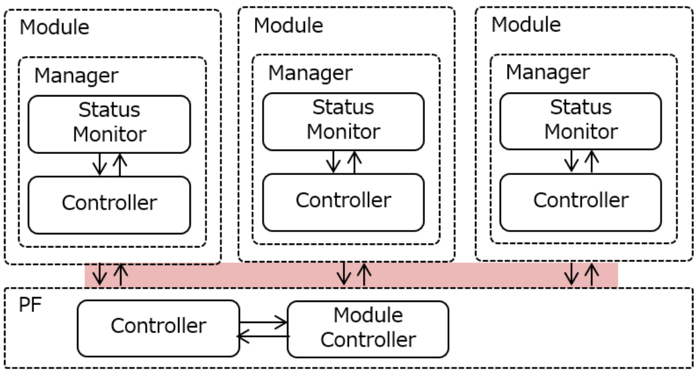


Figure 256 モジュールの稼働状態管理イメージ

④　シミュレーション I/F の精緻化と標準化の検討

今後のシミュレーション PF への実装に適した仕様への改良・精緻化を行うため、「シミュレーション I/F 設計」をもとにシミュレーション環境のプロトタイプを作成した。

プロトタイプ開発で採用した構成を以下に示す。

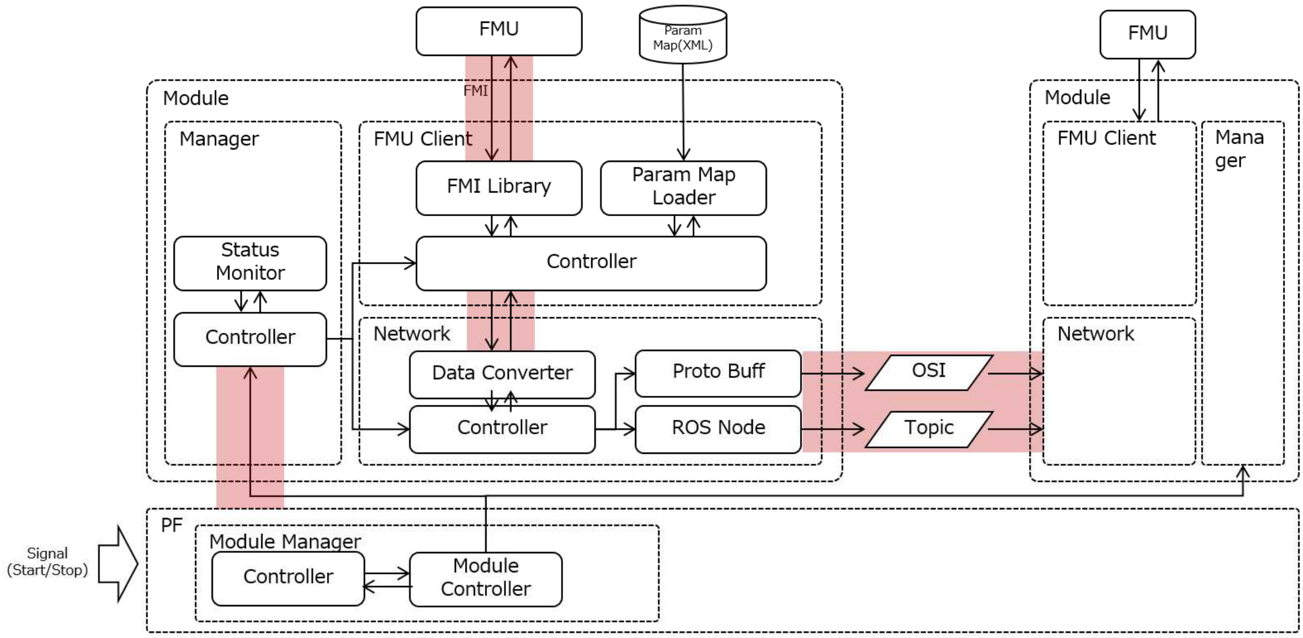


Figure 257 プロトタイプの構成

PF が複数個のモジュールを ROS 通信により管理し、モジュール間の通信処理はネットワーク用のライブラリとしてまとめ、ROS および Protocol Buffers で行う。センサーモデルとモジュール間で入力/出力パラメータの確認、パラメータの紐づけが確認ができるように、ダミーのセンサーモデルを FMU 形式(FMI2.0 Co-Simulation)で作成した。このため、実利用されるような計算不可の高いセンサーモデルを組み込んだ場合の通信速度などのパフォーマンス検証については今後の課題としたい。

プロトタイプ作成で得られた課題については「シミュレーション I/F 設計書」に反映した。

■　実利用に向けての検討課題

- ダミーのセンサーモデルを組み込んでプロトタイプ検証を行っているため、パフォーマンス検証については実利用されるような計算不可の高いセンサーモデルを FMU 形式にして取り込んで検証する必要がある。
- FMU形式で提供されるセンサーモデルとPFのパラメータの紐づけは、XMLファイルに記述して静的に行っている。実利用に向けてはFMU-PF 間のパラメータマッピングを行うためのGUIと、マッピングを管理する仕組みの検討が必要である。
- センサーモデルは FMI2.0(Co-Simulation)のFMU形式を前提としており、かつ FMU 内部のライブラリはソースコードではなく、実行可能なライブラリとしてコンパイル済みであることが前提となっている。汎用的なFMIインポートに対応するには、さらなる検討が必要である。

- ROS を利用するため、プロトタイプを Ubuntu18.04 上に作成している。Windows 版での利用検討を進めるにはモジュール間の通信を ROS 以外にする、または Windows をサポートしている ROS2 への切替などさらなる検討が必要である。

(3)次年度以降の計画

国際協調の一環として、独 ASAM OSI にインターフェースの提案活動を行う。

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）

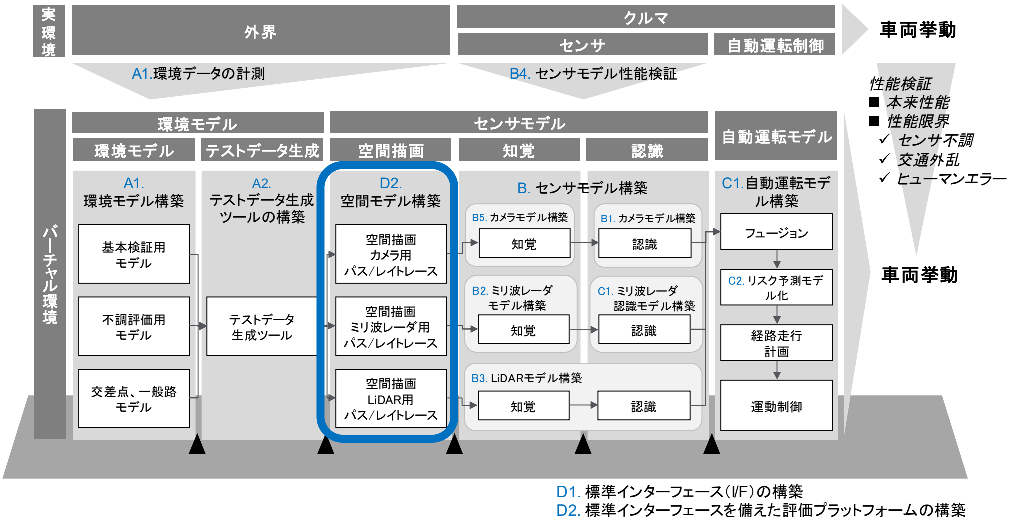


Figure 258　本研究の位置付け

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

センサー（カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR）の仮想空間上での安全性評価を実施するために、センサーの原理原則（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、国内関係プレー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）、ミリ波レーダー=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、実物のセンサー（カメラ、ミリ波レーダー、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				PF仮決め★								
	活動の成果物				調査結果報告書★								
②センサ不調モデル仕様の定義	必要なインプット					★認識不調要因一覧							
	活動スケジュール												
	活動の成果物						不調モデル仕様★						
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				★IF要件定義書								
	活動スケジュール					LiDAR向けサンプル版★							
	活動の成果物						19/2Q評価版★		最終版★				
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						★19/2Q評価版						
	活動スケジュール												
	活動の成果物						評価結果報告書★						
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					★IF要件定義書							
	活動スケジュール						LiDAR向けサンプル版★						
	活動の成果物							19/3Q評価版★				最終版★	
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								★19/3Q評価版				
	活動スケジュール												
	活動の成果物								評価結果報告書★				
⑦センサ不調を考慮したPFの開発	必要なインプット							★不調モデル仕様					
	活動スケジュール									LiDAR向けサンプル版★			
	活動の成果物									20/1Q評価版★		最終版★	
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										★20/1Q評価版		
	活動スケジュール												
	活動の成果物										評価結果報告書★		
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												最終結果報告書★

(1)令和2年度の成果（まとめ）

研究成果

研究成果	■ 3年間の事業における各団体における成果の概要 ➢ 標準的なオープンインターフェースの定義 ➢ 国際協調の一環として、独ASAM OSIにインターフェース提案活動実施 ➢ オープンインターフェースを備えた、一致性検証に基づく標準的な自動運転安全性評価プラットフォーム ➢ 一致度の高い環境モデル構築 ➢ モニター評価活動を通して、出力データの有効性と、今後のDIVP®改良に向けたOEM要望の確認実施
成果を支えた要諦	■ 作業推進のために各参加企業様との連携（コロナ禍でもweb会議等を利用し連携継続） ■ 国際協調の一環で独ASAMへの参画 ■ 出口戦略となる事業化検討を、弊社リソースでサポート
評価	■ 自動運転安全性評価プラットフォーム研究・開発は予定通り完了。

成果の価値

成果の価値評価	■ 精緻なシミュレーション技術は、世界的に類を見ない ■ OEM・Tier1と協創して日本の技術標準として確立 ■ ASAM活動や、モニター評価活動を通して、今後活動を進める上で主要な方々との関係を確立 ※国際協調、各OEMとの接続性第一歩を確立
自社ビジネスへの活用・貢献可能性	■ 弊社参加メンバーの自動運転領域の知見獲得により、自動運転領域へのビジネス参画に役立つ ■ ASAM活動や、モニター評価活動を通して、主要な方々とのつながりが、今後の自社ビジネスでも役立つ
残課題・今後への期待値	■ シミュレータ基盤となるPF開発 ■ ミリ波レーダーシミュレーションの精度向上 ■ センサーメーカのモニター評価活動 ■ 国際協調、各OEM、センサーメーカとの更なる接続性

Figure 259 研究開発の成果

自動運転システムを評価するための基本的なIFを備えたPFの構築が完了した。また、カメラ、LiDAR のセンサー評価を可能にする精緻なシミュレータの開発を行った。ミリ波レーダーについては、まだ課題が残るが、電波の基礎的な振る舞いは再現可能なレベルに到達することができた。

(2)令和2年度の成果

⑤ 物理モデルオープンループPFの開発

1. カメラ

－ 配光特性データの活用

ランプメーカーから入手できる配光データ、配光測定業者に測定依頼をした配光データを用いて、空間内に存在する光源を再現する仕組みを構築した。今回の研究では以下に示す配光データを用いてシミュレーションを構築した。

No	車種	測定対象	フォルダ名
1	アルファード	右ヘッドライト（ハイ）	Vehicles/Alphard/右ヘッド_ロー
2	アルファード	右ヘッドライト（ロー）	Vehicles/Alphard/右ヘッド_ハイ
3	アルファード	左ヘッドライト（ハイ）	Vehicles/Alphard/左ヘッド_ロー
4	アルファード	左ヘッドライト（ロー）	Vehicles/Alphard/左ヘッド_ハイ
5	アルファード	右フォグランプ	Vehicles/Alphard/右フォグ
6	プリウス	右リアサイド上部（ウインカー）	Vehicles/Prius/右リアサイド上部_ウィンカー
7	プリウス	右リアサイド上部（バックランプ）	Vehicles/Prius/右リアサイド上部_バック
8	プリウス	右リアサイド下部（テール）	Vehicles/Prius/右リアサイド下部_RR
9	プリウス	右リアサイド下部（ブレーキ）	Vehicles/Prius/右リアサイド下部_ASSY
10	プリウス	右リアサイド下部（テール＆ブレーキ）	Vehicles/Prius/右リアサイド下部_RR_ASSY
11	プリウス	右リアセンター	Vehicles/Prius/右リアサイドセンター
12	プリウス	ハイマウントストップ	Vehicles/Prius/ハイマウントストップ

Figure 260 車両の配光データ一覧

No	配光データ	フォルダ名
1	特異環境試験場天井ライト	Static/EHWP15003W-NSAZ9(特異環境試験場)
2	夜間 NCAP 試験用移動式ライト	Static/LEDK-70963W-LS9(夜間 NCAP 街灯)

Figure 261 その他の配光データ一覧

ある点にレイがヒットした際に、その位置での法線方向を天頂とする半球にて放射輝度値の積分を行うが、その際にレイがヒットした点から視線の通る（途中に障害物のない）ライトからの放射輝度値も積分の対象とする。ライトからの放射輝度値は、ライトからレイがヒットした点の方向への輝度値を配光データの放射照度から算出して求める。

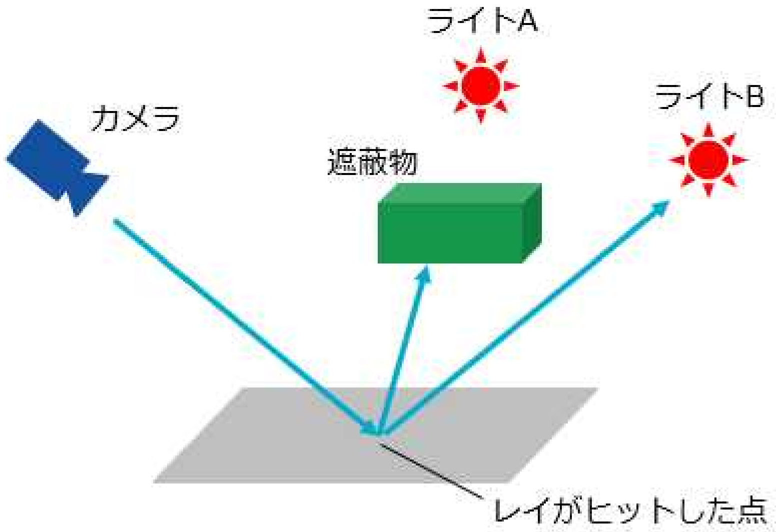


Figure 262 ライトへのレイトレーシング

Figure 263 夜間用ライトのレンダリング結果

– グレア

ライトなどの発光体をレンダリングする場合、グレア効果を適用しないと人間の感覚と齟齬が発生してしまうため、グレア効果の実装を行った。ただし、現象を厳密に再現すると、莫大な計算時間がかかってしまうため、物理的な正しさは犠牲にしたポスト効果として実装した。

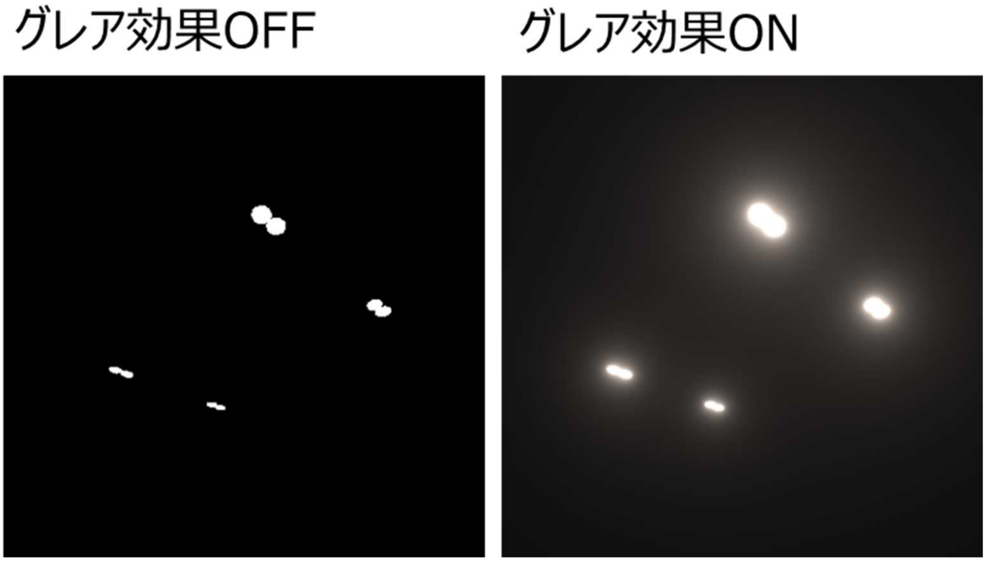


Figure 264 グレア効果 ON/OFF の比較

－ HDRI 画像対応

天空光データを参照する代わりに背景として HDRI 画像を用いる実装を行った。

[3]

Figure 265 背景として使用する HDRI 画像

[3] https://hdrihaven.com

Figure 266 レンダリングに適用した結果

また、Ricoh 社の Theta Z1 を用いて HDRI 画像を作成する検証を行った。

Figure 267 Theta Z1 の撮影画像から作成した HDRI 画像

Figure 268 レンダリングに適用した結果

Theta Z1 の撮影画像から作成した HDRI 画像は輝度値の相対値は合っているが、絶対値が合っていない。そのため、レンダリングした際に明るさが合っていない。分光放射輝度計を用いて、絶対値を合わせる取り組みを、次年度以降実施する予定である。

- 降雨の再現

　降雨の再現には、降雨、路面の変化、ガラス面に付着する雨滴の再現などが必要となるが、カメラセンサーへの入力という観点ではガラス面に付着する雨滴が最も影響があると考えられるため、まずは、その再現を取り組んだ。

　ガラス面に付着する雨滴の再現には、雨滴の粒の再現、雨滴の動きの再現、ワイパーの再現が必要となるが、その再現を行った。

Figure 269　雨滴と雨滴の動きの再現

Figure 270　ワイパーの動きの再現

2. ミリ波レーダー

– 物理光学近似

昨年度、実装した幾何光学近似では電波の信号強度に不一致が見られたため、物理光学近似による反射計算処理の実装を行った。物理光学近似の計算式は以下の通り。

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

物理光学近似の実装後、平板や球などの基本的な形状の RCS が電磁界 Sim の結果と一致することを確認。またプリウスの RCS が実測結果と同傾向であることを確認した。

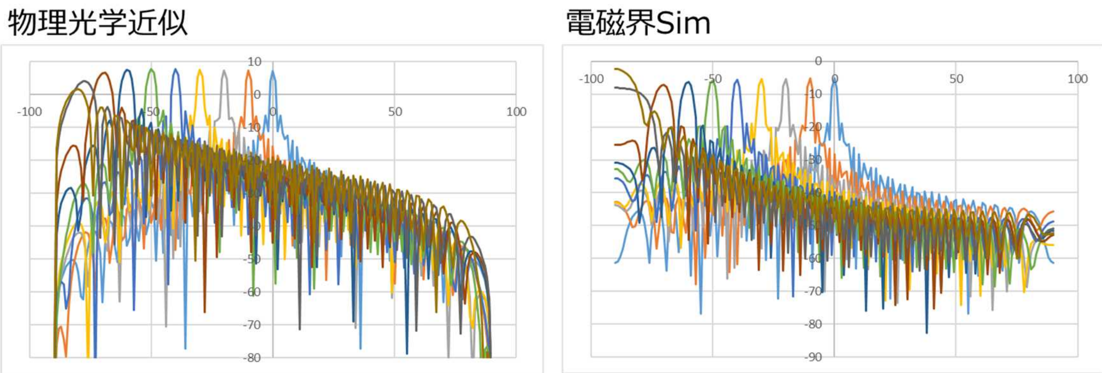


Figure 271 物理光学近似と電磁界 Sim の平板の RCS 比較結果

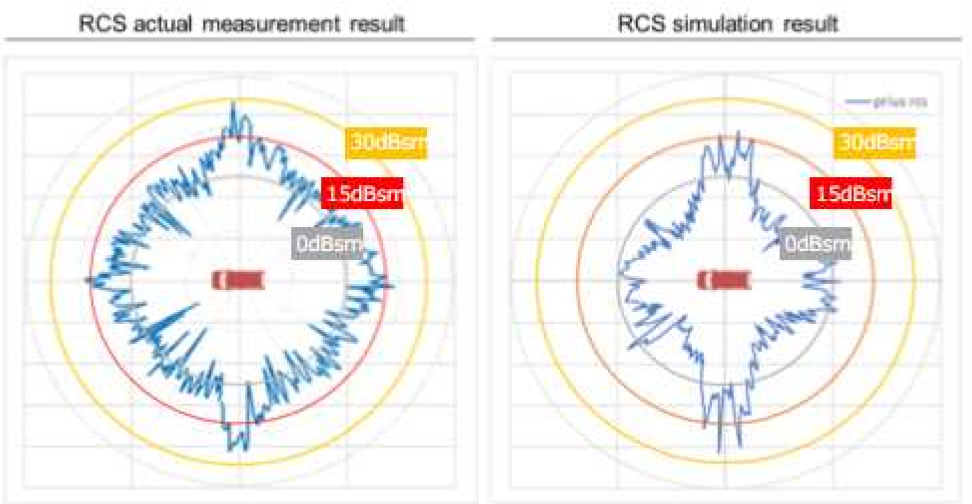


Figure 272 実機とシミュレーションのプリウス RCS 比較

– Nvidia Optix での実装

電波伝搬シミュレーション高速化のため、Nvidia の Optix ライブラリを利用したレイトレース処理の実装を行った。また、この実装に伴い、マルチパスのシミュレーションも再度実装を行い、実装後に大地反射の 2 波モデルが再現されているかの評価を行った。

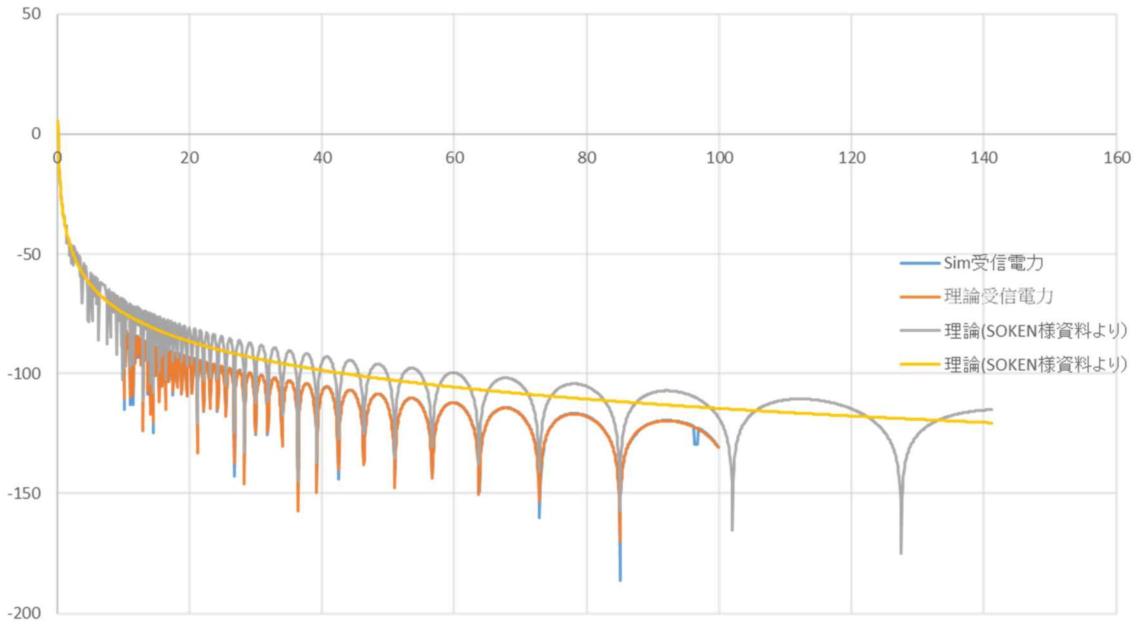


Figure 273 大地反射の 2 波モデルの確認

- マイクロドップラー

　自動車の車輪、自転車の車輪、人間の手足の動作に応じたマイクロドップラー効果の実装を行った。現状では追加している点は 2 点のみとなっており、点の数が少ない可能性が高いが、評価が未だ不十分なため、今後も検討を続けていく必要がある。

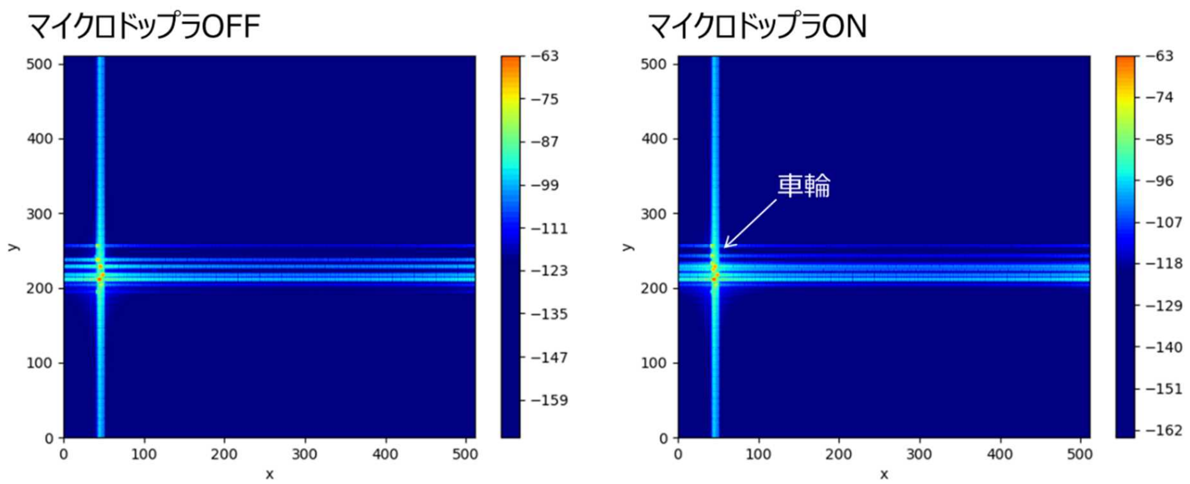


Figure 274 マイクロドップラーON/OFF の比較

3. LiDAR

- 車両位置補間対応

　昨年度末に実装した Optix 対応に伴い、実装が落ちていた車両位置補間処理を実装した。

－ 雨の減衰

PSSI 殿が検証された降雨による空間減衰モデルの実装を行った。

・空間減衰モデル

$$\rho = 10^{\left(\frac{-0.00003 * R * D}{10}\right)}$$

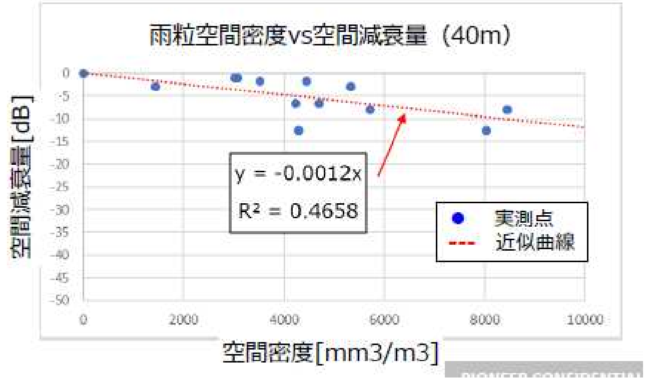


Figure 275 PSSI 殿が検討された降雨による空間減衰モデル

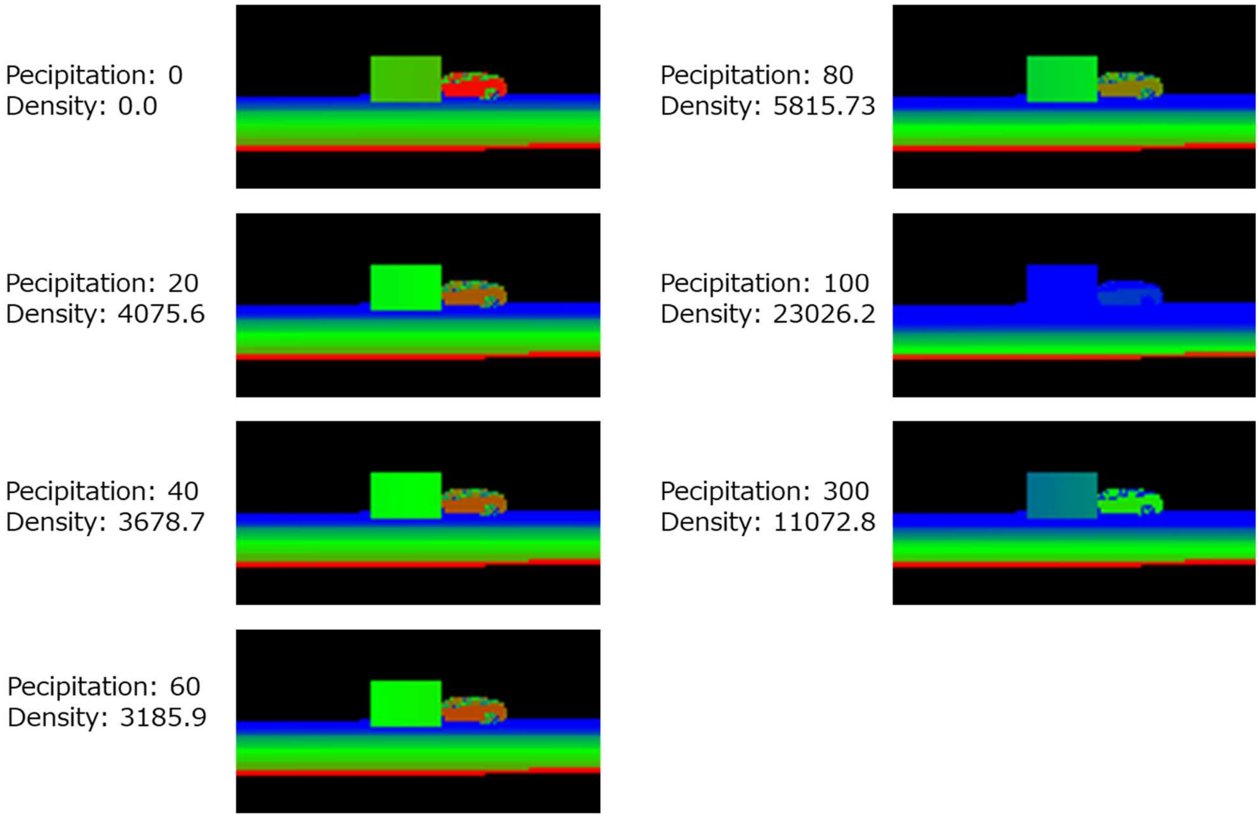


Figure 276 空間減衰モデルの実行例

⑦ センサー不調を考慮したPFの開発

本年度は、夜間の再現、雨天の再現、ミリ波レーダー不調の精度向上改善を実施した。雨天については、特異環境試験場の実験結果から、フロントガラスに付着する雨滴とワイパーの再現がセンサー不調として重要であるとの判断から、雨粒付着とワイパーの再現を主に実施した。実装の詳細については「⑤物理モデルオープンループPFの開発」に記載している。

		優先度（頻度×致命度）				PF	
No.	条件	カメラ	ミリ波	LiDAR	備考	2019	2020
1	逆光（先行車が太陽光に重なる）	高		高		済	済
2	雨	高	中	高		未	未
3	霧	高	中	高		未	未
4	夜間に暗色の服を着た歩行者が交差点を横断	高				未	済
5	ぬれたアスファルト	高		高	再現方法要検討	未	未
6	雨粒付着	中	中		再現方法要検討（ありもの欲しい）	未	済
	ワイパー				アセット	未	済
7	マンホール（前方車両と誤認識）		中		地面に円盤を置いて再現→マップを2つ？ → 実際の道路向け	済	改善
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	改善
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	改善
10	段ボール（低反射物）		低		中身の再現やる？→やらなくて良さそう	未	済
11	他車両搭載センサ起因の電波干渉		中			未	未
12	黒車両			高	黒プリウスレンタルで実施	済	済
13	黒革服歩行者			高	黒皮服をNCAPダミーに着せて実施	済	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	済
15	降っている雪					未	未
16	雪付着					未	未

Figure 277 センサー不調再現状況

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

実装した不調要因について、センサーメーカ殿にて実機による実験結果との比較評価を実施頂いた。物理モデルシミュレーションと機能モデルシミュレーションの比較を行う予定であったが、機能モデルと物理モデルは同等のものとするという方針となったため、比較は行わなかった。

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。また、シナリオを実行しテスト実行時間を測定する

評価項目

No	大項目	中項目	小項目	確認内容
1	1.DIVPサーバ	1-1.起動	既定の手順（操作方法シート）	既定の手順でDIVPサーバが起動する
2		1-2.起動オプション	計算周期[-fps]	指定した計算周期でDIVPサーバが動作する
3			画面非表示[DISPLAY=]	画面が非表示でDIVPサーバが起動する
4			マップ指定	指定したマップでDIVPサーバが起動する
5			画面サイズ（横）[-ResX]	指定した画面サイズ（横）で画面が表示する
6			画面サイズ（縦）[-ResY]	指定した画面サイズ（縦）で画面が表示する
7		1-3.終了	ターミナルで「Ctrl+C」キーを押下	ターミナルで「Ctrl+C」キーを押下すると、DIVPサーバ
8			画面右上の「×」ボタンを押下	画面右上の「×」ボタンを押下すると、DIVPサーバが終了
9		1-4.マップ	多目的市街地（簡易版） /Game/Carla/Maps/divp_Map_Jtown_simple	対象マップが読み込め、表示できる
10			多目的市街地(10cm精度、交差点付近のみ) /Game/Carla/Maps/divp_Map_Jtown_10cm_intersection	対象マップが読み込め、表示できる
11			多目的市街地(10cm精度) /Game/Carla/Maps/divp_Map_Jtown_10cm	対象マップが読み込め、表示できる
12			特異環境試験場 /Game/Carla/Maps/divp_Map_SpEnv	対象マップが読み込め、表示できる
13			特異環境試験場(10cm精度、道路のみ) /Game/Carla/Maps/divp_Map_SpEnv_10cm_road	対象マップが読み込め、表示できる
14			首都高C1 /Game/Carla/Maps/divp_Map_Shutoko_C1_road	対象マップが読み込め、表示できる
			臨海副都心台場地区(南側)	

Figure 278 テストケース

・評価結果

461 件の評価テストを実施し、OK 件数 457 件、NG 件数 4 件という結果となった。NG4 件の詳細は下に記載するが、2 件は改善済み、2 件は今後改善を行う予定である。

テスト実施総件数	461
OK件数	457
NG件数	4

Figure 279 テスト件数

NG詳細

– CarMaker 連携時に vehicle_other_control でライトが点灯しない（2 件）

– DIVPViewer で radar の認識結果が表示されない（2 件） 改善済

・パフォーマンス評価結果

多目的市街地マップでシナリオ 1 秒あたりのシミュレーション時間は 5 分という結果となった。1 分間のシナリオのシミュレーション時間が 5 時間程度となることを想定して開発を行ってきたため、概ね期待通りの結果が得られた。一方でより高速なシミュレーションが求められているため、来年度以降の研究開発の中でパフォーマンス改善に取り組んで行く計画である。

種別	シナリオ	マップ	シナリオ時間[sec]	シミュレーション時間[h]
性能	03_MV/車影飛び出し/soken_2020-09-10-11-11-08	多目的市街地	25	2.1
性能	04_EV/3_SSS	首都高C1	10	2.9
性能	03_MV/自転車追従_25kmh/soken_2020-09-14-16-10-56	多目的市街地	14	1.2
性能	03_MV/CUT OUT_条件3/soken_2020-09-16-11-42-31	多目的市街地	26.6	2.3
性能	03_MV/すり抜け_4.5m間隔/soken_2020-09-14-12-12-30	多目的市街地	45.5	3.7
性能	03_MV/夜間歩行者横断_街灯+自車ヘッドライト/soken_2020-09-14-20-13-57	多目的市街地	24.3	2.3
性能	03_MV/夜間歩行者横断_対向車ライト有り/soken_2020-09-14-19-53-21	多目的市街地	25.3	2.23
耐久	独自	多目的市街地	625	58

Figure 280 パフォーマンス評価結果

(3)次年度以降の計画

⑩ 不調再現

雨天に関連する不調の再現を実施する。降雨や降雨による減衰・散乱、センサー面への雨滴付着、水たまりの鏡面反射によって発生する映り込みの再現を行う。

不調再現範囲

・カメラ ワイパー対応

・カメラ 水たまり対応（水面の揺らぎは再現しない）

・LiDAR センサー面雨滴付着対応

・LiDAR 水たまり対応

⑪ 夜間天空再現

夜間において水平照度の観測を行い、そのデータを元に天空データ（一様な分布）の再現を行うことによって、夜間の明るさを適切に再現する開発を行う。

⑫ 交通モデル導入

自車両周辺の交通流や信号の制御など、三菱プレシジョンから提供される交通モデルを生成するソフトウェアとシミュレーションプラットフォームの結合を行う。

⑬ シミュレータ高速化

マルチGPU対応や、その他の処理高速化手法をプラットフォームに適用し、シミュレーション速度の高速化を実現する。

5. 4. 3 DIVP®開発の「走行環境～電波伝搬～センサーモデル」出力データのモニター企業における自動運転性能シミュレーションの有効性に関する研究 （日本ユニシス株式会社）

■ 事業目的

DIV シミュレーションモデルのユーザーでの有用性検証のため、国内自動車 OEM を対象にモニター企業を募り、研究成果物のプロトタイプ版を用いた有効性検証のためのモニター評価を実施し、一致性を高めた「環境～伝搬～センサーモデル」出力データの OEM ユーザーにおける有用性の確認ならびに今後のシミュレーションモデル改良のための OEM ユーザーからのフィードバックを目的とし、事業化への足掛かりとする。

■ 事業概要

① モニター企業における有用性の確認
 （ア） シミュレーションにて確認したい事象の再現性の確認
 （イ） センサーシミュレーション知覚出力の妥当性の確認
 （ウ） 既存の検証手段と比べた優位性の確認

② モニター企業からのフィードバック
 （エ） シミュレーション結果の評価
  ・ 実機検証結果とシミュレーション結果の比較評価
  ・ 知覚モデルのパラメータを変化させた場合の認識・車両挙動等への影響度評価
 （オ） 他システム連携についての課題
 （カ） シミュレーション実行、結果取得に関するシステム操作性についての課題

③ モニター評価実施規模
 （キ） モニター企業数：4社程度を募る
 （ク） シナリオ数：3 シナリオ／モニター企業
 （ケ） バリエーション数：3 バリエーション／シナリオ
 （コ） 上記合計 36 バリエーション程度のシミュレーションを実行

④ モニター評価方法
 （サ） Figure 281 に示すように、モニター企業がシミュレーションシナリオと、センサー仕様（DIVP®コンソーシアムが指定する範囲内でのパラメータ値指定）を貸与された PC（専用環境）にて作成。作成したシナリオとセンサー仕様は日本ユニシスが受け取り、準備したシミュレーション計算用 PC でシミュレーションを実行。結果をモニター企業へと返し確認頂く。

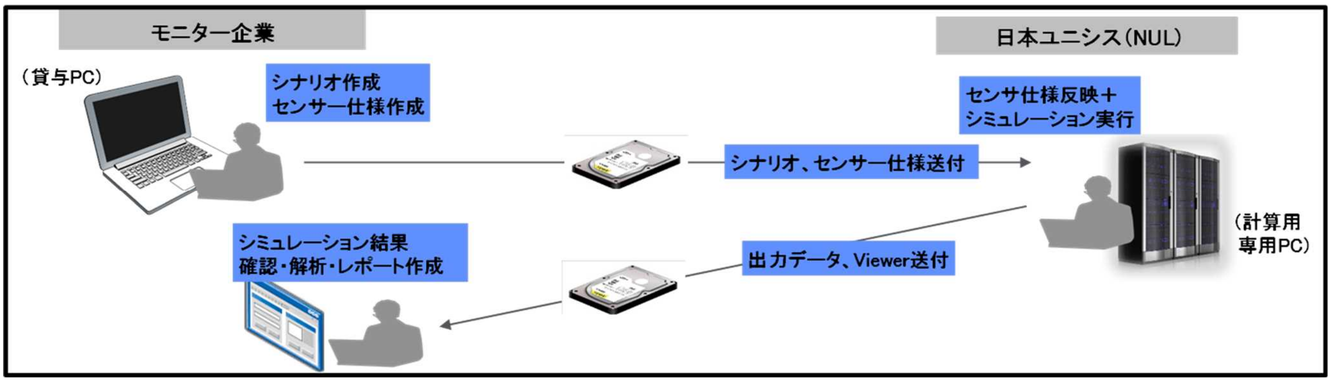


Figure 281. 評価検証のフロー

(3) 事業内容

① モニター評価用設備の調達・配備

1. 以下の事由により、評価検証専用のシミュレーション計算用PCを新規に手配し、日本ユニシスが下記理由により管理運用する。
   - モニター評価実施内容およびデータの秘匿のため
   - 現在進行中の DIVP®シミュレータ本体の研究開発への計算負荷影響を回避するため
2. 数十 GB 単位のデータ交換が想定されるため、日本ユニシスとモニター企業との間では、ポータブルHDDを利用したデータ交換形態とする。
3. 新規手配する設備

   以下の設備をレンタル手配する。
   - 貸与 PC ×6 台(モニター企業用 4 台および三菱プレシジョン、日本ユニシス参照用各 1 台)
   - シミュレーション計算用 PC ×2 台(本番用、バックアップ用各 1 台)
   - データ交換用ポータブル HDD ×6 台

     ※ モニター評価準備および評価期間終了後の追加検証、再計算等を考慮し、レンタル期間は 2020 年 10 月から 2021 年 2 月末までの 5 ケ月間とする。

② モニター評価準備

1. 評価検証実施のためのモニター企業– DIVP®コンソーシアム参加企業間契約書作成等の実施(契約書作成は弁護士に依頼する。)
2. モニター評価に必要な設備を調達し、ソフトウェアインストール等の環境構築する。

   ※ シナリオ作成環境のインストールについては、三菱プレシジョン様より情報提示頂く。
3. モニター企業向け日本語マニュアルの作成の実施

   ※ シナリオ作成操作の不明点は、MPC 様に確認予定。
4. モニター評価の動作確認のためのテスト実施

   ※ シミュレーションは動作の確認で、シミュレーション結果が正しいかの判断はセンサーメーカ様が実施する。

③ モニター評価運営

1. モニター評価実施中のモニター企業サポート
   - モニター企業へ要員を派遣しコミュニケーションを行う。
   - 必要に応じて操作指導、発生課題への対処を行う。
2. シミュレーション実行
   - 日本ユニシスはモニター企業へ貸与 PC 及び DIV シミュレータ(プロト版)の操作説明を実施し、モニター企業は本評価検証で実施するシミュレーション内容(シナリオ、バリエーション)を策定する。
   - モニター企業は策定したシミュレーション内容に基づき、貸与 PC 上の DIV シミュレータ(プロト版)を操作し、シナリオ、センサー仕様(DIVP®コンソーシアムが指定する範囲内でのパラメータ値指定)をシミュレータへ入力し、シミュレーション用データを生成する。(シナリオや設定値に問題がある場合は、調整し対応する。)シミュレーション用データはデータ交換用 HDD に保存し、日本ユニシスへ送付する。
   - 日本ユニシスはモニター企業より受領したシミュレーション用データを元に計算実行し生成したシミュレーション結果をデータ交換用 HDD に保存、返送する。(シミュレーション結果は、各センサーモデル作成メーカーに確認をしていただく。)
   - モニター企業は受領したシミュレーション結果の確認、解析、アンケート等への回答を行う。

④ モニター評価結果取り纏め

- 本評価検証のシミュレーション結果については、原則としてモニター企業が確認、解析、アンケート等の回答を作成するが、その支援を行う。(アンケート等のフォーマットを用意)
- モニター企業からの回答内容の確認、DIVP®コンソーシアムへの要望確認。

⑤ その他

全体の進め方調整(DIVP®コンソーシアム内、モニター企業)

- 評価検証を進める上での DIVP®内での調整及びモニター企業との調整を実施

■ 実施計画

事業項目		2020年度							工数概算
		8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
①モニター評価設備 の調達・配備 ②モニター評価準備	必要なインプット		★シナリオ作成環境インストール手順						4.5人月
	活動スケジュール								
	活動の成果物	貸与PC、シミュレーション用PC、マニュアル★							
③モニター評価運営	必要なインプット				★ユーザ候補				4.2人月
	活動スケジュール								
	活動の成果物				シミュレーション 実行結果★	シミュレーション 実行結果★			
④モニター評価結果取り纏め	必要なインプット					★シミュレーション実行結果			4.3人月
	活動スケジュール								
	活動の成果物					ユーザ確認結果、要望★			
⑤その他	必要なインプット								2.0人月
	活動スケジュール								
	活動の成果物				DIVPへの定期報告				

合計 15.0人月

(1)令和2年度の成果（まとめ）

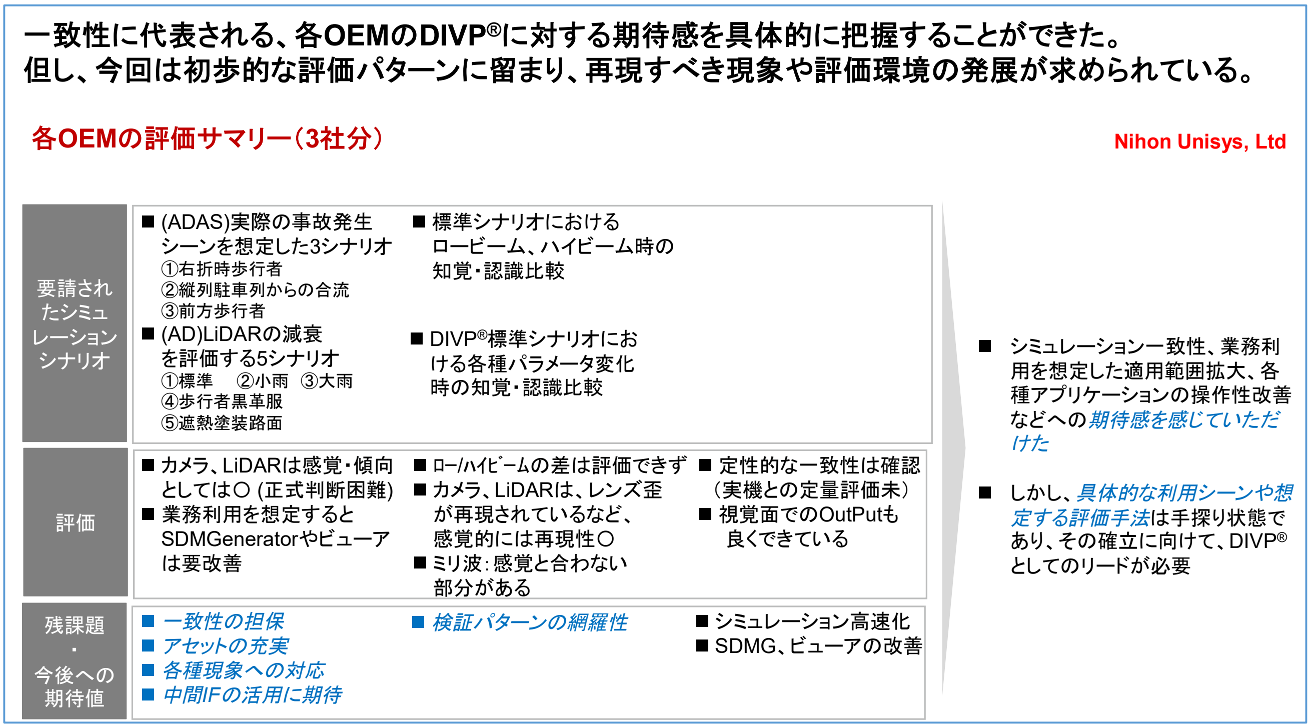


Figure 282 研究開発の成果

NEDO-HP にて、「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」に係る「『走行環境～電波伝搬～センサーモデル』出力データの自動運転性能シミュレーションにおける有効性に関するモニター検証」 として、10 月 9 日より 10 月 18 日まで募集。

トヨタ自動車様、本田技研工業様、マツダ様の 3 社より応募をいただきモニター評価を実施いただいた。

(2)令和2年度の成果

①モニター評価用設備の調達・配備

以下設備を、オリックスレンテック社からレンタル調達・配置した。

- 貸与 PC　×6 台（モニター企業用 4 台および三菱プレシジョン、日本ユニシス参照用各 1 台）
- シミュレーション計算用 PC　×2 台（本番用、バックアップ用各 1 台）
- データ交換用ポータブル HDD　×6 台

②モニター評価準備

評価に向けて以下の環境構築を行った。

- 貸与 PC
  - SDMGenerator の導入
  - ros ビューアの導入
- シミュレーション計算用 PC
  - DIVP®シミュレータ v0.6.0 の導入

SDMGenerator については、三菱プレシジョン様にご協力を頂き、モニター企業向けマニュアルを作成した。また、ros ビューアについても操作マニュアルを作成した。

モニター評価の動作確認のためのテストを実施した。

DIVP®の標準 3 シナリオ(EuroNcap 歩行者横断シナリオ、ミリ波不調シナリオ、カメラ・LiDAR 不調シナリオ)について、SDMGenerator でシナリオ作成、DIVP®シミュレータで rosbag ファイルを出力し、ros ビューアで結果確認を実施した。

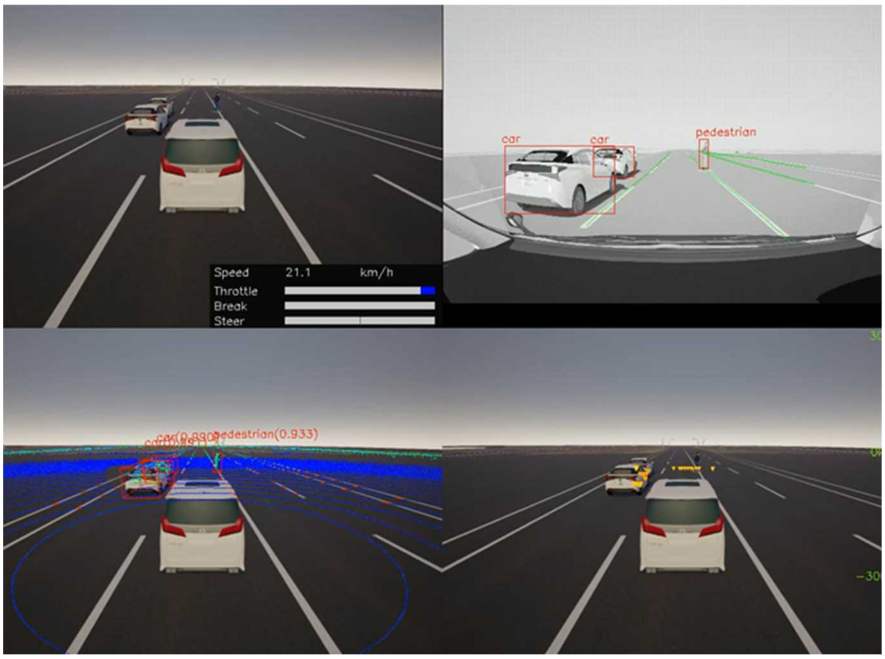


Figure 283 EuroNcap 歩行者横断シナリオ

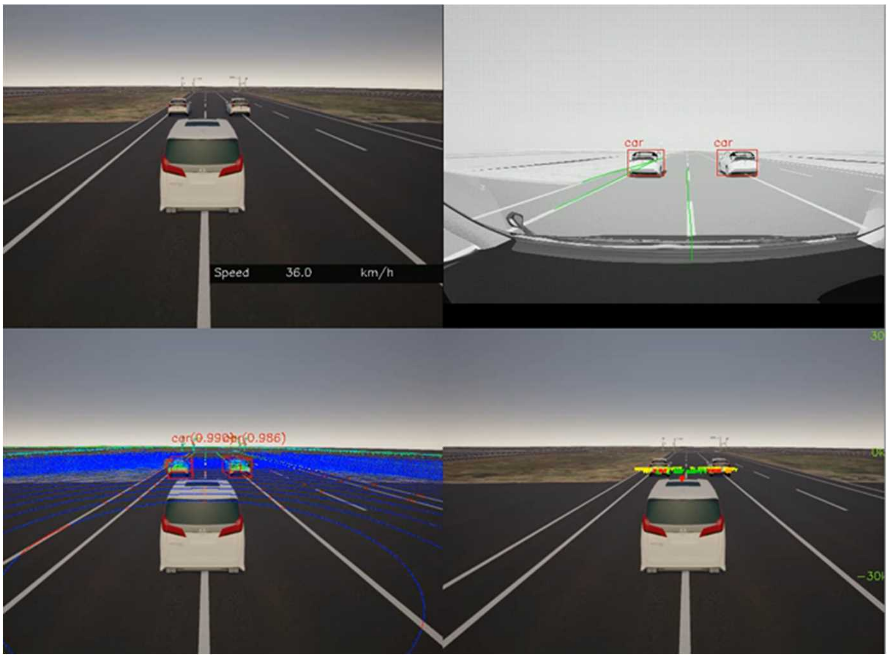


Figure 284 ミリ波不調シナリオ

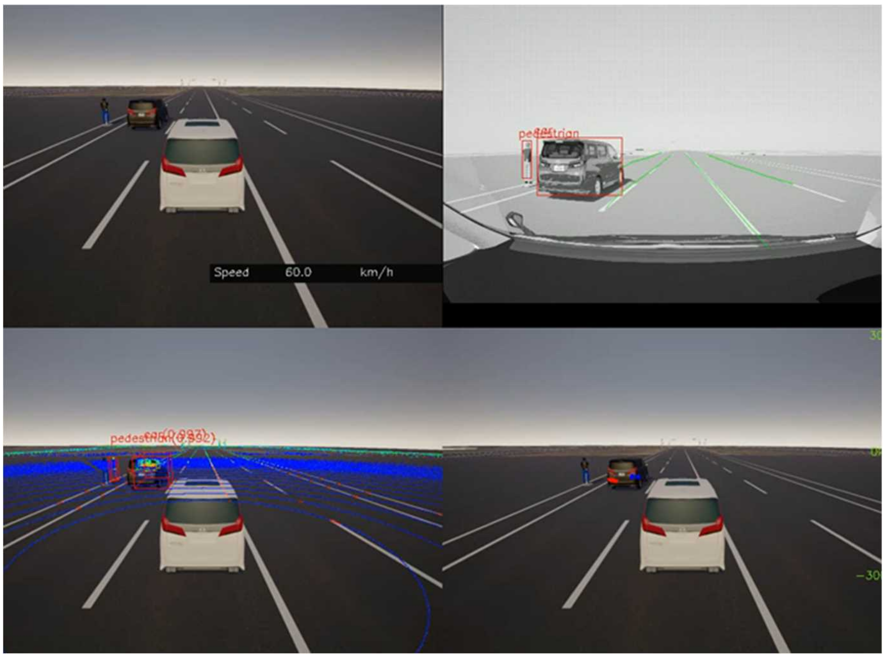


Figure 285 カメラ・LiDAR 不調シナリオ

③モニター評価運営

モニター評価を以下のような流れで実施した。

1. KickOff
   (ア) 評価計画の説明・調整
   (イ) 実施するシミュレーション内容（シナリオ、バリエーション）の調整
2. 評価の詳細説明・調整

（ア） SDMGenerator の操作説明

（イ） 実施するシミュレーション内容（シナリオ、バリエーション）の詳細調整・決定

3. シミュレーション実行

（ア） SDMGenerator を用いてシミュレーション用データ(シナリオ)の作成

（イ） パラメータ設定

（ウ） シミュレーション実行

4. 評価

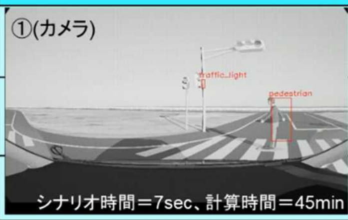
（ア） SDMGenerator の操作性評価

（イ） シミュレーションの妥当性評価

（ウ） その他全般の評価

モニター企業 3 社のリクエストでシミュレーションを実行し、評価結果を得た。

● 評価パターン1

#	概要	条件	結果	
①	右折車歩 (右折した先の横断歩道に歩行者)	晴／15時		
②	駐車車発進 (縦列駐車列から急に車が発進・合流)	同上		
③	歩行者群 (前方横断歩道に歩行者群)	同上		

➢ 再現性

項目	評価	コメント
現象有無	—	今回のシミュレーションでは判断困難
カメラ出力値	OK	現動画での判断は困難
ミリ波出力値	—	判断は困難。今回のシミュレーション結果には、ミリ波の点群・波形などの情報が未表示。
LiDAR 出力値	OK	現動画レベルでは判断は困難。
その他コメント		

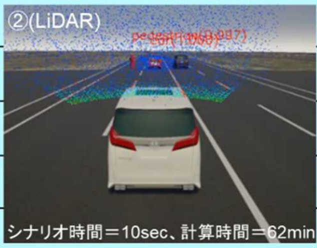
➢ 有用性

項目	評価	コメント
不可能だった試験の代替	Yes	多物標の試験など。 多物標は、物理的配置や物標間の同期などの課題があり、2 物標以上は現実問題として課題。 歩行者群などは、ADAS ダミー(レールなど)を配置できないと思われる。 また、他にもダミーを使用しても安全上・設備強度上実行不可能な試験は多数あり、シミュレーションは有用と思われる。
実車試験の代替可否	No	SDMGenerator は〇／ビューアは×／物理シミュレーション精度は？／認識・Fusion は対象外 です。 各センサーの正式な良否判断ができていない段階なので総合判定は困難。
その他課題		ADAS（PCS）視点ではレーダーが必須

➢ 期待する機能、シナリオ
- ■ レーダーはサプライヤ部品の依存度高。各社モデルとの結合性(Open Scenario INF など)が求められる。

➢ 自由意見
- ■ なし

● 評価パターン2

<table>
<tr><th>#</th><th>概要</th><th>条件</th><th>結果</th></tr>
<tr><td>①</td><td>基本</td><td>曇／12時</td><td rowspan="5">


</td></tr>
<tr><td>②</td><td>雨・霧による信号減衰</td><td>小雨20mm/h／12時</td></tr>
<tr><td>③</td><td>同上</td><td>大雨40mm/h／12時</td></tr>
<tr><td>④</td><td>黒革服による不調</td><td>曇／12時</td></tr>
<tr><td>⑤</td><td>遮熱塗装路面の白線知覚不調</td><td>同上</td></tr>
</table>

➢ 再現性

項目	評価	コメント
現象有無	—	
カメラ出力値	—	
ミリ波出力値	—	
LiDAR 出力値	OK	現時点での限られたシナリオにおいては塗板や雨などの減衰を再現できており傾向は出ている。
その他課題		具体的な不調シーンのバリエーションで確認できず。

➢ 有用性

項目	評価	コメント
不可能だった試験の代替	No	（今回のレベルでは）
実車試験の代替可否	No	（今回のレベルでは）
その他課題		具体的な不調シーンのバリエーションで確認できず。

➢ 期待する機能、シナリオ
- ■ 逆光、水跳ね、霧、対向車の Lidar(波長の同じビーム)など。

➢ 自由意見
- ■ なし

● 評価パターン3

#	概要	条件	結果	
①	自車直進、前方に車両と人	晴／17時／ﾛｰﾋﾞｰﾑ		
②	同上	晴／17時／ﾊｲﾋﾞｰﾑ		

➢ 再現性

項目	評価	コメント
現象有無	2（Poor～OK）	ヘッドライトの High/Low ビームの違いが再現されていない。路面の影響だと思うが、車体の振動が小さすぎる。フロントガラスの映り込みが再現されている点は Good。
カメラ出力値	4 （OK～Excellent）	レンズ歪みが綺麗に再現されており、カラーフィルタの効果もビューワで見て取れる。実データと未比較ではあるが、傾向はよく再現されているのではないか。
ミリ波出力値	1（Poor）	実データと比較しないと何とも言えないが、赤・青の±30kph の反射点が出ていて違和感。
LiDAR 出力値	3（OK）	形状はよく取れているのでは。路面による車両の傾きが再現されると現実的な（グラグラした）Lidar データが再現できるのでは。反射強度は少々疑問あり（路面は近場でも青？白線は遠くても赤？かなり遠くの緑は本当に取れる？）
その他コメント		Radar の再現性、路面形状の再現、ヘッドライト High/Low ビームの再現

➢ 有用性

項目	評価	コメント
不可能だった試験の代替	No	（今回のレベルでは）
実車試験の代替可否	No	（今回のレベルでは）
その他課題		具体的な不調シーンのバリエーションで確認できず。

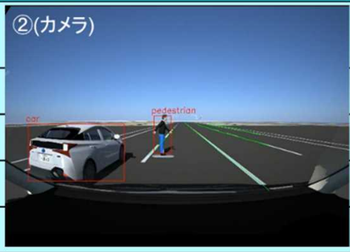
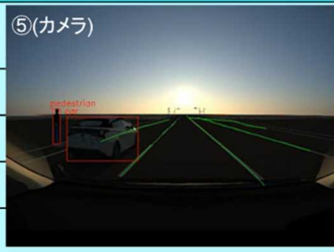
➢ 期待する機能、シナリオ

■ 雨・雪・霧などの気象条件とそれに付随する水溜まりや積雪の再現・制御

➢ 自由意見

■ Map を任意に変更できる機能が必要

● 評価パターン 4

#	概要	条件	結果
①	NCAP歩行者横断 (停止車両=黒)	晴／0時／ハイビーム	 
②	同上　(停止車両=白)	晴／12時	
③	ミリ波不調	晴／12時	
④	カメラ／LiDAR不調	晴／0時	
⑤	同上	晴／明け方	

④モニター評価結果取り纏め

モニター参加各社の要望・意見をまとめた。

- SDMGenerator
  - ➢ 機能
    - ■ 白線の真ん中などを指定したい。
    - ■ オブジェクトをアセットとして扱いたい。センサーを配置したオブジェクトを他のシナリオで再利用するなど。
    - ■ 車両軌跡の入力方法の充実(別の移動経路と平行、道路やオブジェクトと平行、クロソイド曲線、直線、数式、csv 取込など)
    - ■ イベント設定方法の充実(他のオブジェクトと連携する移動の設定。イベントトの移動をトリガとする、自車周辺の複数台の車両に対してイベント設定する、など)
  - ➢ ユーザビリティ
    - ■ 視点移動、デフォルト視点変更などを簡便に行いたい。プリセット視点、ユーザー設定視点のブックマーク、切替など。
    - ■ 右クリックの機能が、他の SW と異なり直感的ではない。
    - ■ センサーの位置指定時に、基準がわかりづらいため座標軸の表示などが必要。また複数センサー時には、画角の表示がある方が、画角同士の重なりがわかるため搭載位置を調整しやすい。
    - ■ ドラッグ &ドロップによるアセットの配置
  - ➢ アセット
    - ■ jtown 以外のマップ(トンネル、長い直線、日本各地や特に海外の道路)
    - ■ オブジェクト情報として車両カラーを入れたい
    - ■ アセットの充実(NCAP　子供、座っているモデル、寝ているモデル、信号、街頭、ガードレール、高速道路の防音壁、フェンス、縁石、電信柱、コンクリート壁、街路樹、工事現場、バイク、スポーツカー、特殊車両)
  - ➢ その他
    - ■ 周辺車両のウィンカー、信号機の信号移り変わり、横風等の外界環境設定

- シミュレーション性能
  - カメラ
    - 絶対値での精度評価はできなかったが、感覚値としては正しい。
    - レンズ歪曲などが再現されているなど再現性高い。
  - ミリ波レーダー
    - 絶対値での精度評価はできなかったが、感覚値としては正しい。
    - センサーメーカの領域であるため OEM では妥当性を判断できない。
  - LiDAR
    - 絶対値での精度評価はできなかったが、感覚値としては正しい。
    - 雨による減衰、雨量による差異、路面塗装による差異、車両色による差異が出ており、傾向としては正しい
  - その他
    - DIVP®としての知覚の一致性の提示が必要
    - 現実世界の様々な現象への対応(霧、雪、雪壁、先先行車、対向車ヘッドライトによる歩行者蒸発)

- ビューア
  - 機能
    - 一時停止･コマ送り機能／フレーム指定機能
    - 画面拡大機能(せめて各センサー毎に全画面表示要。また、カメラ解像度に合わせた表示機能。4k なら 4k)
    - 真値･認識値表示／比較(各センサーの認識距離･速度と真値との差異を見たい)
    - Fusion／個々のセンサーの認識の表示･非表示機能(群衆などカメラでは認識しきれない筈のシーンが、個々に物標表示。フュージョン表示では？)
    - 表示はセンサー視を主が希望。(センサーの FOV で何が見えるのかを確認したい(カメラは OK)。俯瞰視点は補足の意味合いしかない。)

- その他

本活動を遂行するにあたり、全体の進め方調整(DIVP®コンソーシアム内、モニター企業)を実施した。

⑶次年度以降の計画

本活動によって、OEM 各社では知覚についての設計・検証を充分に行えていないことが分かった。従って今後センサーメーカとも同様の評価を行う必要がある。但し、計画としては未定である。

以上

6. 他、令和2年度の活動成果

(1) 研究発表・講演(口頭発表も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2020.10.20	SIP第2期自動運転　研究拠点視察	研究成果報告	井上 秀雄
2020.11.10	SIP-adus Workshop 2020	成果報告	井上 秀雄
2020.11.13	Workshop for virtual simulation on VIVID	講演	井上 秀雄
2020.11.25	MotorFan illastareted Volime 171, 2021.1.28発行	取材:ぶつからないクルマ 進化論　記事 ・自動運転における未来 センサーシミュレーションシステム, p074-077 ・その ADAS/AD 技術はきちんと作動しているか 完成車における定量評価手法の確立とその意義, p078-081	井上 秀雄
2020.11.25	VIVID_expert workshop, 4th Bilateral expert workshop on connected and automated driving Virtual meeting, German-Japan joint virtual validation methodology for intelligent driving systems	-VIVID Virtual validation -Technological progress	井上 秀雄
2020.12.10	第8回自動車機能安全カンファレンス	講演:SIP第2期自動運転　仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発	井上 秀雄
2021.02.17	第6回オートモーティブ・ソフトウエア・フロンティア2021	SIP第2期自動運転「仮想空間での安全性評価手法の開発」について	長瀬 功児
2021.03.23	【自動車技術会】第14回自動車制御とモデル部門委員会	講演:SIP第2期自動運転 仮想空間における安全性評価環境の構築;DIVP® Proj.について	井上 秀雄

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2021.03.03	特願2021-033887	車載カメラ評価用ドライビングシミュレータ	三菱プレシジョン株式会社 学校法人幾徳学園
出願準備中	-	(仮)カメラ知覚モデルの一致性検証手法	ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社 杉山 寿伸

(3) 受賞実績

その他特記事項(当該年度分についてのみ記載)

(1) 成果普及の努力(プレス発表等)

(2) その他

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2年度　報告書

令和3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 株式会社
日立 Astemo 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