

DIVP Driving Intelligence Validation Platform

WP29要件に対する DIVPでの検証ドキュメント整備

安全性評価戦略SWG資料

2024. 12. 17.

Weather Forecast



AD safety Assurance*



For Validation & Verification Methodology

危険事象には、実車評価検証が困難な事象がある(視界不良, 逆光, 降雨等...). 一方, 実車試験可能領域では, 実現性のあるテスト条件の設定が必須(テスト条件が決まればシミュレーションも可).

シミュレーションの効果的使用領域

→シミュレーションの利活用は, A.実車模擬で効率化, B.再現困難な事象検証, 2つの領域に効果的.

実車実験では危険な検証



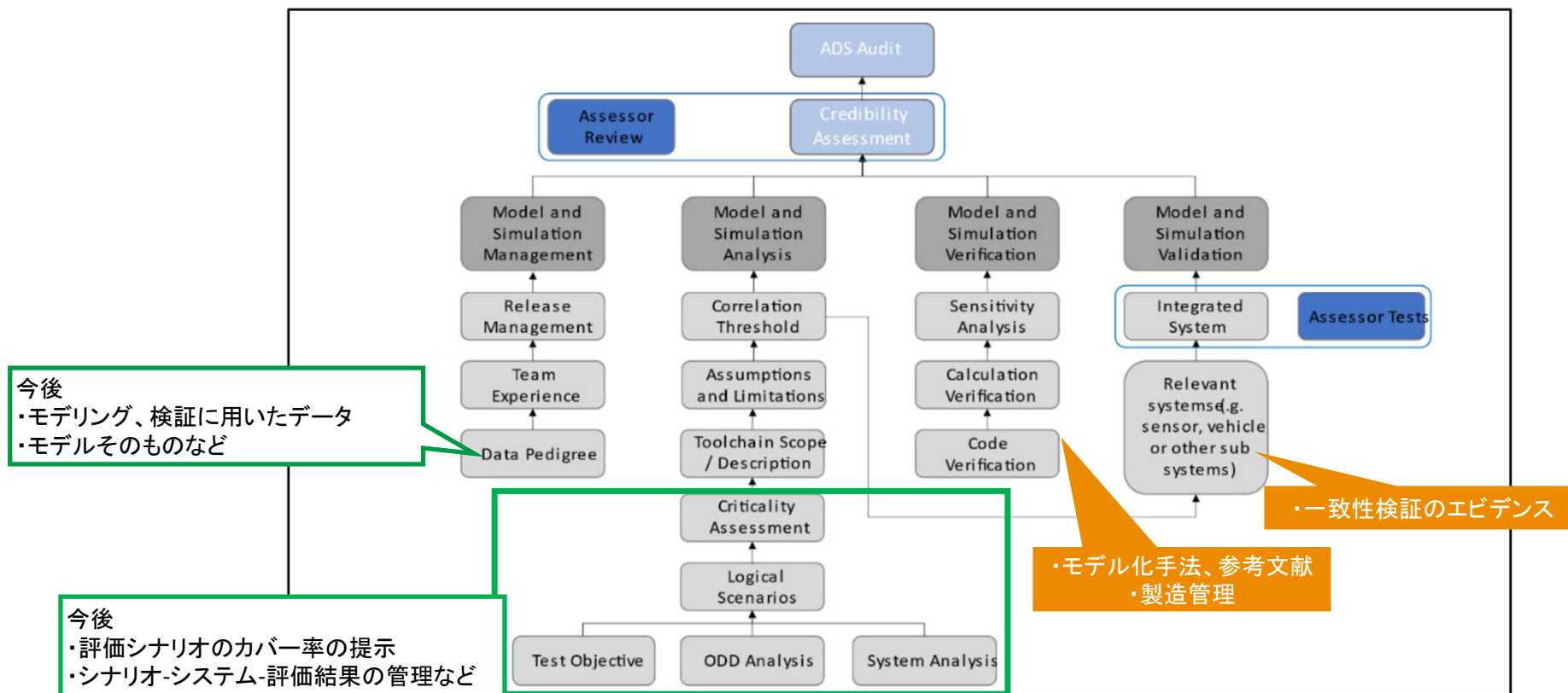
Source : 公開情報をもとに作成

WP29に沿って、DIVPの活動をエビデンスとして整備していく活動を開始

WP29

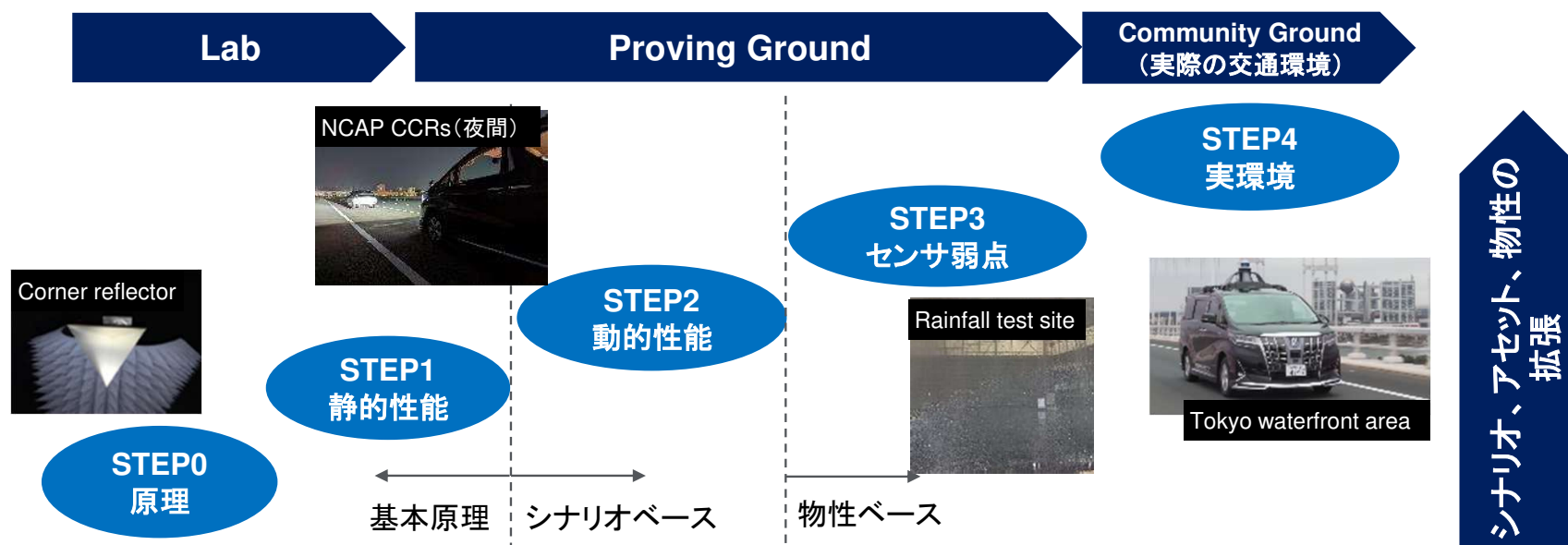
Figure 1

Graphical representation of the relationships between the components of the credibility assessment framework



開発プロセス及び実験・計測を整理し、DIVP®の標準として定義し、ドキュメント化

検証フレームワーク



・外乱の少ないLabから始め、最終的に外乱の多い実交通環境で実施

各ステップでの検証目的に合わせて、検証シナリオを決定

WP29に沿って、DIVPの活動をエビデンスとして整備していく活動を開始

DIVP構造とエビデンス

※一貫性検証
・検証方法
・実験機器一覧
・データ
・モデルバージョン
・分析結果

	準備者	AD開発者	DIVP			AD開発者	DIVP
	Sim構造	シナリオ (Sim実行条件)	環境モデル 3Dモデル 反射特性	光・電波伝搬 レンダリング 天候条件	センサ知覚	センサ認識～制御 車両運動	評価指標・結果
Verification	モデリング	シナリオ ・評価対象 ・ODD ・優先度根拠 行動モデル ・モデリング手法、文献 ・計測方法、データ	3Dモデル ・モデリング手法、文献 ・計測方法、データ 反射特性 ・BRDFモデル ・計測方法、データ ・近似関数	レンダリング ・理論式、文献 ・ 天候条件 ・理論式、文献 ・計測方法、データ	設計からモデリング ・内部構造、設計値 ・理論式、文献 ・キャリブレーション方法 実験からモデリング ・原理、計測データ ・理論式、文献 ・キャリブレーション方法	・実システムとの差分	評価指標 ・理論、 ・クライテリア
Validation	検証結果	シナリオ ・評価カバー率 行動モデル ・一貫性検証	3Dモデル ・一貫性検証 ・形状誤差 反射特性 ・一貫性検証 ・近似誤差	レンダリング ・一貫性検証 ※単体検証不可 天候条件 ・一貫性検証 ※単体検証不可	・一貫性検証		評価指標 ・効果検証結果
Management	管理	シナリオ ・シナリオデータ ・条件ファイル ・使用モデルバージョン ・評価結果 行動モデル ・バージョン ・計測データ	3Dモデル ・バージョン ・計測データ 反射特性 ・バージョン ・計測データ	レンダリング ・バージョン ・光源データ 天候条件 ・バージョン ・気象データ	・実機とモデルバージョン の対応 ・キャリブレーションデータ	・実機とモデルバージョン の対応	評価指標 ・効果検証結果

モデリングのエビデンス

一貫性検証のカタログ

各社(ベンター)整理済み

JAMA認識不調9原理に関するガイドラインブラッシュアップ完了。妥当性検証は8/9原理が検証完了。 また、ODDに基く認識シナリオ拡張も計画通り完了予定

2022年度活動資料より

活動成果

■ Sim妥当性検証に向けた取組

センサ	認識不調原理	3Q更新内容	
		ガイドラインのブラッシュアップ	Sim環境妥当性検証
LiDAR	1. 信号減衰 2. ノイズ	なし（2QでJAMA-DIVP合同レビュー実施済み）	- No.1はDIVPで類似検証済み - No.2について、実太陽光を用いた実験、及びSim妥当性検証を実施（★詳細後述）
Radar	3. 信号強度差大 4. 低D/U（路面マルチパス） 5. 低D/U（方位角変化） 6. 低S/N（車両の向き）	No.5について、DIVP側の実験結果をもとに検証条件の見直しを協議（★詳細後述）	- No.3について、Sim原理検証、及びトラック・バイクを用いた実験、現象解析を実施（★詳細後述） - No.4～6はDIVPで類似検証済み
Camera	7. 遮蔽（見切れ） 8. 空間周波数・コントラスト低下 9. 飽和（過多）、白飛び	検証に関する前提条件の詳細（キャリブレーション、継続誤差考慮等）に関する摺合せが完了	- No.7, 9はDIVPで類似検証済み - No.8は今後の課題として検討中（霧、雨・雪の巻上げに関するモデル化が必要）

すべて完了

8/9原理が検証完了

■ 認識評価シナリオ定義の記述範囲拡張

自工会ガイドラン認識不調9原理の検証を実施。
DIVPにて再現すべきモデル等検討し、90カタログを設定

一 致 性 検 証 カ タ ロ グ （ 90カ タ ロ グ ）

	カメラ	LiDAR	Radar	合計
センサ基本性能	12	6	10	28
センサ弱点	27	18	17	62

■ センサ基本性能 項目表

	カメラ基本性能	LiDAR基本性能	Radar基本性能
1	✓ パターンボックスを用いた検証	✓ 標準反射板による基本特性の検証	✓ センサ基本特性の検証
2	✓ カラーチャートによる検証	✓ 車両反射点の検証	✓ CRの自由空間での受信電力の検証
3	✓ グレースケールによる検証	✓ 歩行者(子供)ダミー反射点の検証	✓ CRの路面での受信電力の検証
4	✓ レンズ歪み、周辺減光の再現	✓ 静止車両への接近の検証	✓ 乗用車の反射点の検証
5	✓ 車両反射特性の検証	✓ カットインの検証	✓ トラックの反射点の検証
6	✓ 車両ジオメトリ精度の検証	✓ カットアウトの検証	✓ バイクの反射点の検証
7	✓ 歩行者反射特性の検証		✓ 歩行ダミーの反射点の検証
8	✓ 白線反射特性の検証		✓ 静止車両への接近の検証
9	✓ 白線ジオメトリ精度の検証		✓ カットインの検証
10	✓ 太陽光放射輝度の検証		✓ カットアウトの検証
11	✓ 昼間の路面反射特性の検証		
12	✓ カットインの検証		

■ センサ弱点 項目表

	カメラセンサ弱点	LiDARセンサ弱点	Radarセンサ弱点
1	✓ 街路樹影の再現検証	✓ 黒革による低反射の再現検証	✓ マンホールの反射の再現検証
2	✓ 信号機灯火特性の再現検証	✓ 黒色車の低反射の再現検証	✓ 壁面反射特性の再現検証
3	✓ フリッカ現象の再現検証	✓ 高反射路面の再現検証	✓ マルチパスゴーストの再現検証
4	✓ ランプ式信号機の再現検証	✓ ガラスの透過再現検証	✓ 上方構造物の反射再現検証
5	✓ かすれ白線の未認識再現	✓ 太陽光・背景光の影響検証	✓ ガードレールの反射再現検証
6	✓ NCAP向け街灯の再現検証	✓ 降雨減衰の再現検証	✓ 同一距離・速度の分離再現
7	✓ ヘッドライトの再現検証	✓ 降雨散乱の再現検証	✓ 歩行者マイクロドップラー
8	✓ 夜天候輝度の再現検証	✓ センサ面の雨滴の影響再現	✓ 車によるマイクロドップラー
9	✓ 夜間歩行者飛び出しの再現検証	✓ 水たまりの反射の再現検証	✓ 近距離ターゲットの反射点
10	✓ アドトラックの誤認識再現検証	✓ 濡れ路面の再現検証	✓ 降雨減衰の再現検証
11	✓ 低床トラックの誤認識再現検証	✓ 水巻き上げの認識弱点再現	✓ 降雨散乱の再現検証
12	✓ 映り込みによる誤認識再現検証	✓ 霧による偽点の再現検証	✓ センサ面の雪付着の再現検証
13	✓ ワイパーでの認識弱点再現	✓ 降雪減衰の再現検証	✓ 雪路面の再現検証
14	✓ 水巻き上げの認識弱点再現	✓ 降雪散乱の再現検証	✓ 雪壁の再現検証
15	✓ 水たまり反射の認識弱点再現	✓ 雪路面反射の再現検証	✓ 電波干渉の再現検証
16	✓ 降雨の再現検証	✓ 雪壁反射の再現検証	✓ 検出・追跡性能の検証
17	✓ 降雨による認識弱点の再現検証	✓ センサ面に付着する雪の検証	✓ 物体識別性能の検証
18	✓ 霧の再現検証	✓ 雪巻き上げの認識弱点再現	
19	✓ 霧による認識弱点再現検証		
20	✓ 雪路面の再現検証		
21	✓ 雪壁の再現検証		
22	✓ センサ面への雪付着の再現検証		
23	✓ 降雪による認識弱点の再現検証		
24	✓ 雪巻き上げの認識弱点再現		
25	✓ 物標への雪付着の再現検証		
26	✓ モーションブラーの再現検証		
27	✓ 近赤外領域の再現検証		

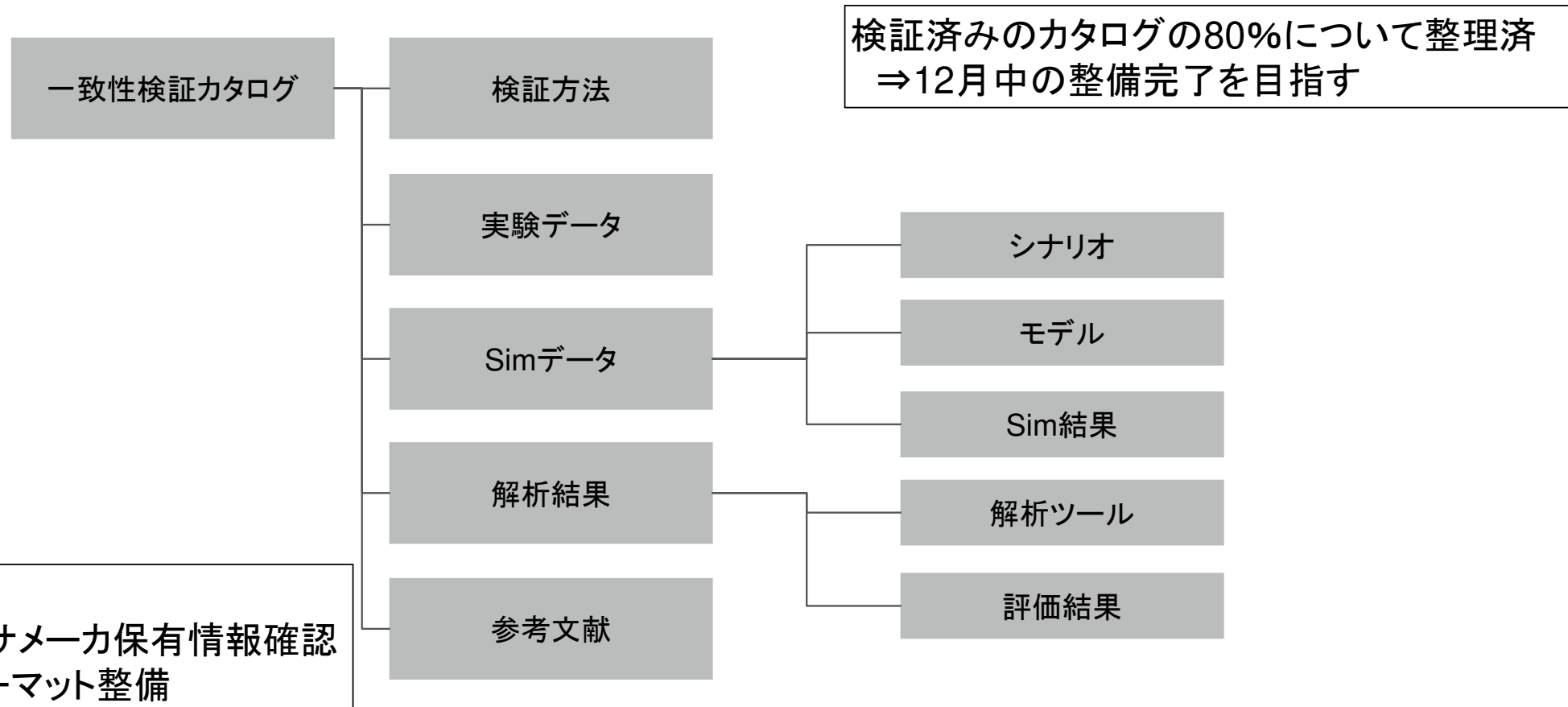


一 致 性 検 証 項 目 リ ス ト


DIVP

DIVPで実施してきた一貫性検証エビデンスを整備

エビデンス整理



LiDARセンサ弱点 No.05: 検証済 太陽光・背景光の影響検証

対象: 地図 物標 材料 配光 空間 センサ
 物標: リファレンス 一般車 歩行者 特殊車 路面 信号・標識 その他 材料: 路面 ターゲット その他 空間: 晴れ 降雨 霧 雪

検証結果(知覚)

検証方法

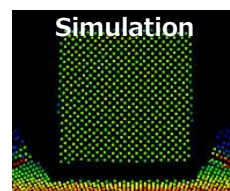
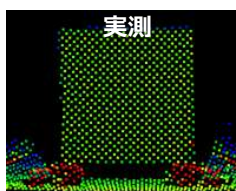
評価LiDAR : PSSI Medium

実験日時	2022-10-04 昼、夜	天候	晴れ時々曇り
マップ	道路条件	周辺建造物・特色	
Jtown	直線	なし	
走行条件	アセット	走行・設置条件	
Ego	アルファード	10mステップ毎に停車	
Target	ランバート反射体 (反射率 10%)	静止・ほぼ南向き(185度(北0度, 時計回り)) 車載したLiDARに対して正対	



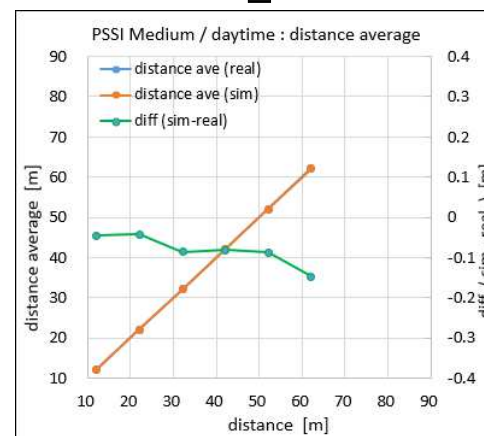
- Target までの距離: 12m~82m間10mステップ毎に停車、2分データ収録
- Target の中心に当たるビーム1本を用いて評価(評価項目の平均値)
- Target までの測定距離を実測とSimで比較
- 昼(11時:背景光あり)と夜(18時:背景光なし)の条件違いを比較

点群サンプル
距離 12m

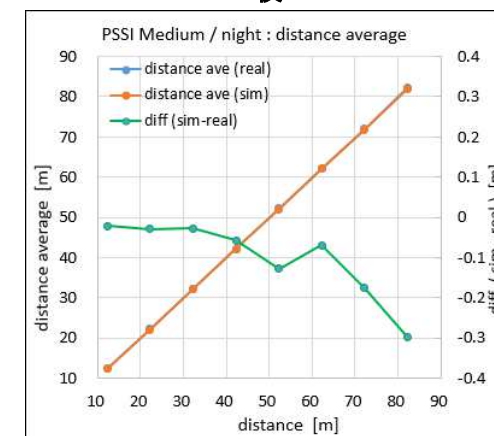


対象	測定距離(真値距離±1m以内) 測距限界	指標	Sim結果-実測 測距限界距離
結果	■測定距離(Sim-実測)Max : 昼 -14.7cm@62m、-29.7cm@82m ■測距限界: 昼 60m、夜 80m それぞれSimと実測が一致		
判定:理由	一致	昼夜ともに、12m、22mは検出距離の製品仕様(2.6m~25mで精度10cm)範囲内を満足 32m以上は実測とSimの差 ±0.5%以内を満足	

昼



夜



- 昼の差異Max: -14.7cm@62m → -0.24%
- 夜の差異Max: -29.7cm@82m → -0.36%

→ 実測との差 ±0.5%以内を満足 ∴ 一致と判断する

一貫性検証カタログ: 例

検証ドキュメント整備

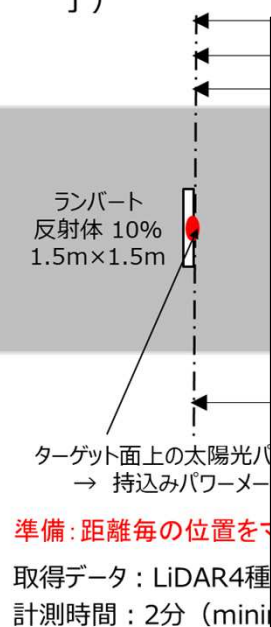


検証方法: LiDARセンサ弱点 No.05: 太陽光・背景光の影響検証

JARI実験場にて検証実験実施

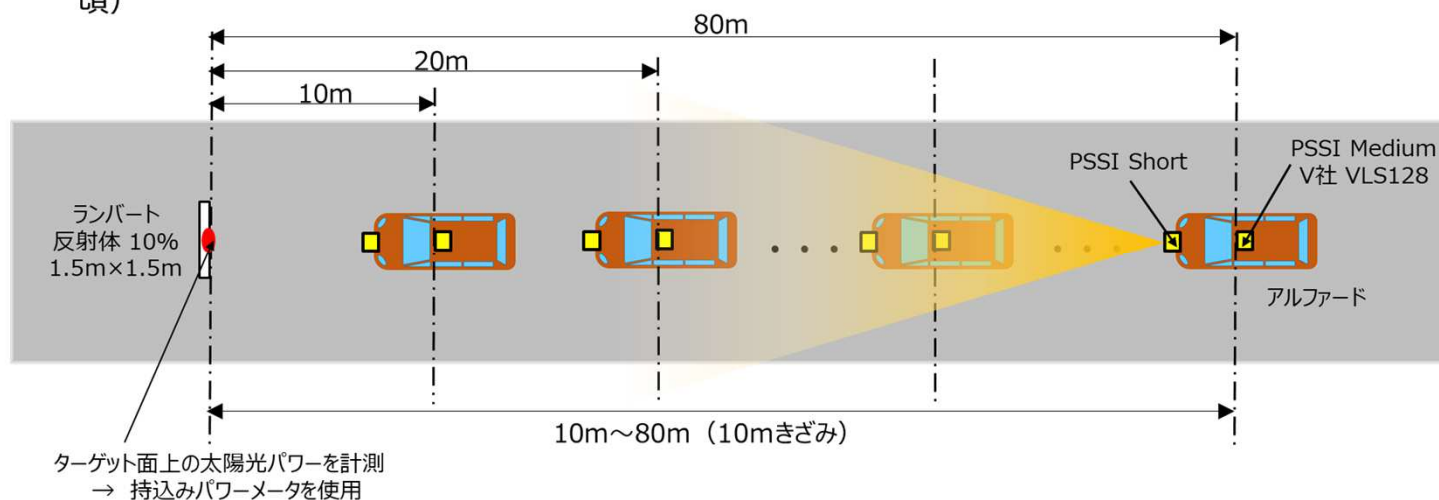
太陽光影響検証用データ取得（昼）

- 希望時間帯詳細 ⇒ 10時30分～12時30分（この2時間の中で完了）



太陽光影響検証用データ取得（夜）

- 夜間: 日没後（トワイライト不可） ※①と比較のため、背景光なしの状態でのデータ取得（18時頃）



取得データ: LiDAR4種 (ROS bagfile, pcapファイル)、GNSS

計測時間: 2分 (minimum. max 3分) 各距離での試行回数 N: 3回 (minimum)

※3回データ取得後次の距離へ移動

実験データエビデンス等：LiDARセンサ弱点 No.05:太陽光・背景光の影響検証

LiDAR センサ弱点_No05_太陽光・背景光の影響検証(完) > 02_実験データ >

並べ替え 表示 ...

名前	更新日時	種類	サイズ
LiDAR	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
車両	2024/11/25 15:11	ファイル フォルダー	

02_実験データ > LiDAR >

並べ替え 表示 ...

名前	更新日時	種類	サイズ
day	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
night	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	

02_実験データ > LiDAR > day >

並べ替え 表示 ...

名前	更新日時	種類	サイズ
10m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
20m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
30m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
40m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
50m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
60m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
70m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	
80m	2024/11/25 15:10	ファイル フォルダー	

02_実験データ > LiDAR > day > 40m

並べ替え 表示 ...

名前	更新日時	種類	サイズ
pioneer_20221004_111544.pcap	2022/10/04 11:17	PCAP ファイル	2,191,141 KB
pioneer_20221004_111730.pcap	2022/10/04 11:19	PCAP ファイル	2,266,710 KB
pioneer_20221004_111916.pcap	2022/10/04 11:20	PCAP ファイル	2,249,476 KB
pioneer_20221004_112126.pcap	2022/10/04 11:22	PCAP ファイル	1,101,372 KB
pioneer_20221004_112328.pcap	2022/10/04 11:25	PCAP ファイル	2,293,543 KB
pssi_2022-10-04-11-15-47.bag	2022/10/04 11:17	BAG ファイル	8,211,593 KB
pssi_2022-10-04-11-17-32.bag	2022/10/04 11:19	BAG ファイル	8,493,216 KB
pssi_2022-10-04-11-19-18.bag	2022/10/04 11:20	BAG ファイル	8,393,630 KB
pssi_2022-10-04-11-21-28.bag	2022/10/04 11:22	BAG ファイル	7,055,781 KB
pssi_2022-10-04-11-23-32.bag	2022/10/04 11:25	BAG ファイル	8,357,212 KB

検証データとしての管理状況



解析結果例: LiDARセンサ弱点 No.05: 太陽光・背景光の影響検証

実測データ取得環境 ②

- ◆ ターゲット
 - ・ ランバート反射体
 - ・ 設置角度: 車線方向 = 反射面

- ◆ LiDAR
 - ・ PSSI Medium LiDAR
 - ・ 実験車両のルー



JAMAガイドライン Annex.F 記載の実験条件との照合確認

- ◆ 検証で使用了実験データ
 - ・ 10時55分~11時37分取得の6データ
 - ・ この時間帯における高度/方位変化:
 - 高度: 49.2~50.0~49.9度
 - 方位: 166.1~180.0~183.3度 (北が0度、時計回り)

- ◆ 実験データ取得時のLiDAR方位
 - ・ ターゲットのランバート反射体に正対しているので+5度
 - ・ LiDARの正面方向を0度とすると、太陽の方向は
 - 161.1~178.3度 (北0度、時計回り)
 - -161.1~-178.3度 (北0度、反時計回り)

※以上、
データ取得時の高度、方位は
ガイドラインAnnex.F記載の
パラメータ範囲を満たしている
ことを確認

外乱要因 パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
高度	20~90度	反射光となり得る太陽高度 全域
方位	-180~-150度 150~180度	LiDAR正面方向を0度とす 左記はLiDAR後方±30度



DIVPプラットフォーム: 太陽光シミュレーション条件

- ◆ 太陽光の設定
 - ・ BIPROGY様 天空ライブラリを使用
 - ・ データ取得時刻に合わせて計算
 - ・ 天候指定は「薄曇り」を選択

ターゲットにおける直達光+散乱光のパワーが
算出され、ターゲット面で反射してLiDARに
背景光 (background irradiance) として
入力されるパワーが求められる

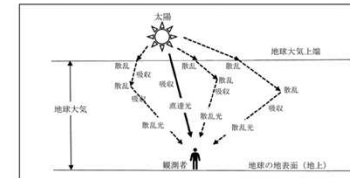


図1 地上に到達する太陽光線のイメージ

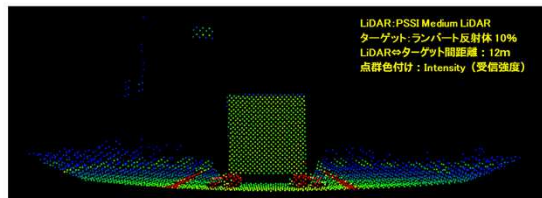
出典: https://pr.biprogy.com/tec_info/pdf/14502.pdf



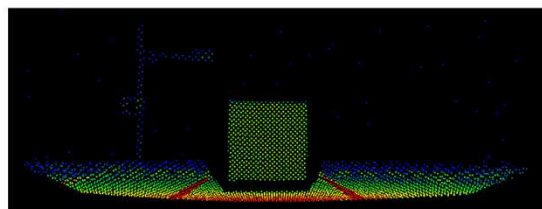
- ◆ ターゲット

実測データ・シミュレーション結果 点群確認

● 実測データ



● DIVP PF シミュレーション結果



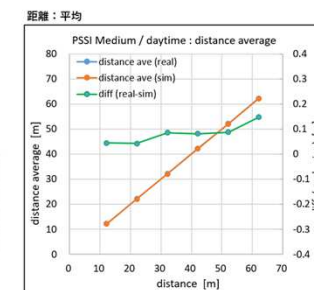
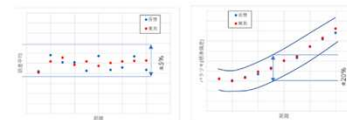
一貫性検証結果 ①

◆ ノイズ: 計測距離の誤差平均とバラツキ

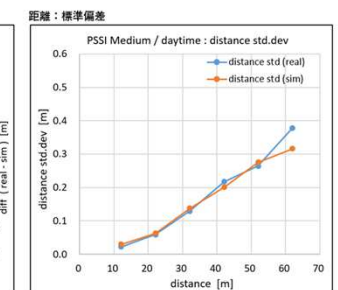
ガイドライン Annex.F
LiDAR (F.2.4.2.1)

検証方法
LiDARの正面に標準反射板を設置し、距離を変化させて計測距離の
誤差平均と分散を測定し、実測との差分が判定基準内である事。

判定基準
誤差平均: 対象までの距離の±5%以内
σ: ±20%以内



一貫性検証結果



- ・ 距離誤差(平均): 12mで0.045m(+0.38%), 32mで0.086m(+0.27%), 62mで0.147m(+0.24%)
- ・ バラツキ(標準偏差 σ): 12m~52mまでは誤差僅少。60mで-0.062m(-16.4%)

→ いずれも判定基準を満足している

【走行評価シナリオの共有】

AD-URBANとの連携により、システムから実車評価の課題を共有

臨海副都心エリア

検出地点



自己位置推定 (LiDAR)

① アスファルトと白線の反射率が同等で白線検出困難

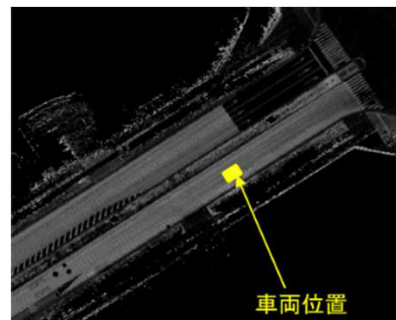


遮熱性塗装

LiDAR点群

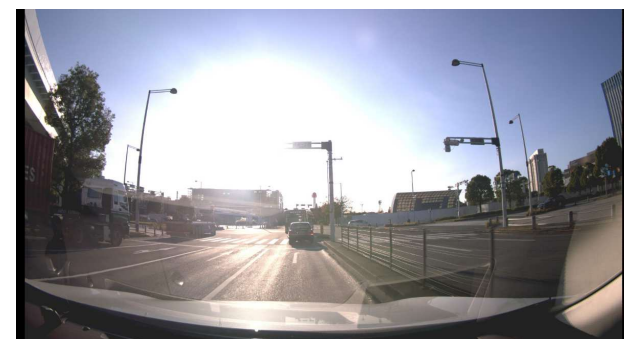


LiDARオルソ地図



信号機認識 (カメラ)

② 逆光による光の飽和で信号機検出困難



③ ビル反射で間接的に信号機検出困難

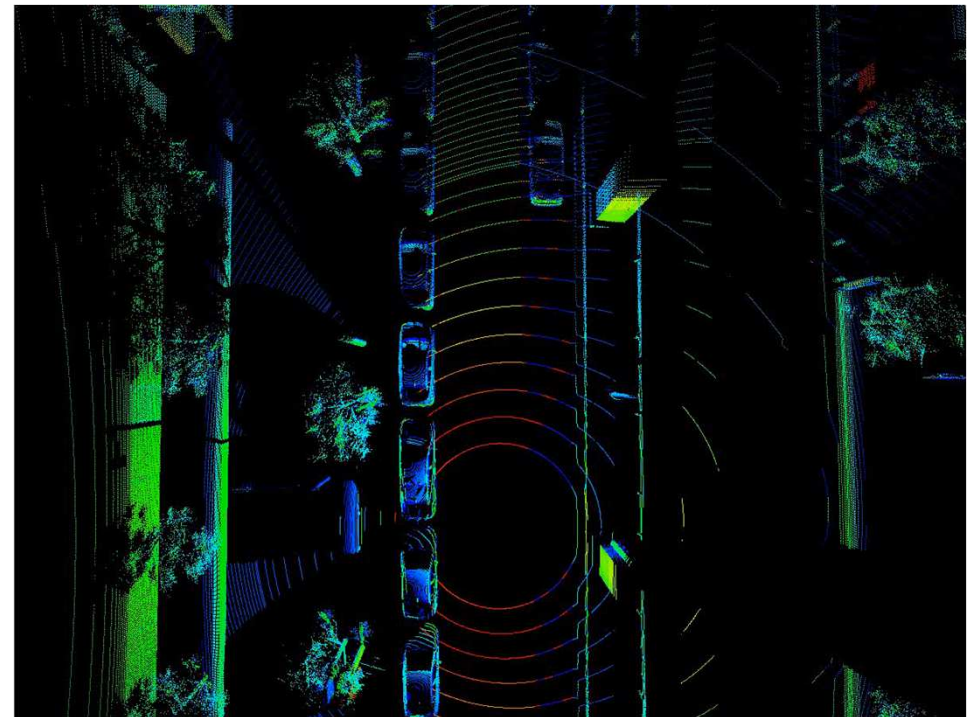


シミュレーションを用いた検証例(AD-URBAN・DIVP連携)

ンが提供

駐車車両多数時の路面隠れの影響評価シナリオ

→自己位置推定アルゴリズムのロバスト性評価が可能



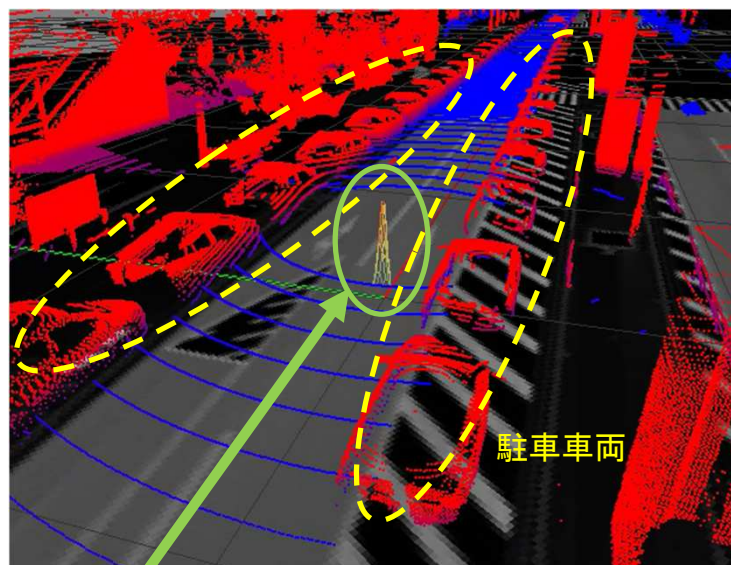
※LiDAR Simでは周辺構造物も含んでいる

シミュレータを用いた検証例

・駐車車両多数時の影響

- ・現実では存在しないシーン
- ・障害物の隠れが多く発生

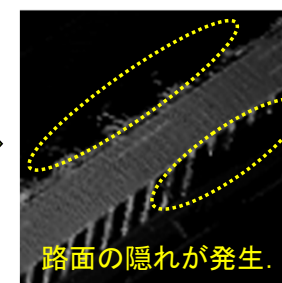
大きな影響がないことを確認



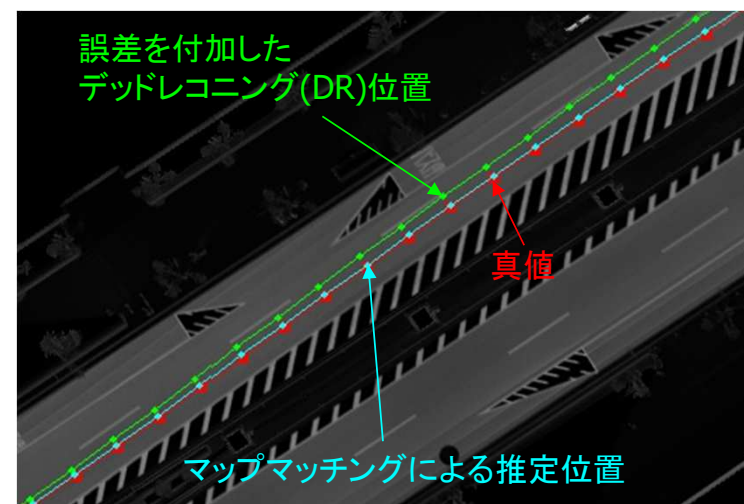
推定位置(事後確率密度分布)



駐車車両なし



駐車車両あり



雨などの様々な環境要因やDR誤差等を付加し安全性の検証を実施

全体を整備していくには⇒ADS事業者との協力が不可欠

- ※一貫性検証
 - ・検証方法
 - ・実験機器一覧
 - ・データ
 - ・モデルバージョン
 - ・分析結果

準備者	AD開発者		DIVP			AD開発者	DIVP	
Sim構造	シナリオ (Sim実行条件)	環境モデル		光・電波伝搬		センサ知覚	センサ認識～制御 車両運動	評価指標・結果
		3Dモデル	反射特性	レンダリング	天候条件			
モデリング	シナリオ ・評価 ・OD ・優	3Dモデル ・モデリング手法、文献 ・計測方法、データ	レンダリング ・理論式、文献 ・	天候条件 ・理論式、文献 ・計測方法、データ	設計からモデリング ・内部構造、設計値 ・理論式、文献 ・キャリブレーション方法 実験からモデリング ・原理、計測データ ・理論式、文献 ・キャリブレーション方法	・実システムとの差分	評価指標 ・理論 ・ク	
	行動 ・シ ・シ	反射特性 ・BRDFモデル ・計測方法、データ ・近似関数	天候条件 ・理論式、文献 ・計測方法、データ	・一致性検証 ※単体検証不可	・一致性検証	ADS事業者等 と協力して整備 していく必要あり	評	
検証結果	シ 行 ADS事業者 等と協力して 整備していく 必要あり	3Dモデル ・一致性検証 ・形状誤差 反射特性 ・一致性検証 ・近似誤差	レンダリング ・一致性検証 ※単体検証不可 天候条件 ・一致性検証 ※単体検証不可	・一致性検証	ADS事業者等 と協力して整備 していく必要あり	評		
管理	シ ・シ ・シ ・仮 ・評	3Dモデル ・バージョン ・計測データ 反射特性 ・バージョン ・計測データ	レンダリング ・バージョン ・光源データ 天候条件 ・バージョン ・気象データ	・実機とモデルバージョン の対応 ・キャリブレーションデータ	・シ	評		
	行動モ ・バー ・計測データ	各社(ベンダー)整理済み						