

「コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介」

発表者プロフィール



■ 竹田 和司

■ ktakeda@mpcnet.co.jp

当社は、フライトシミュレータと航法装置の設計・製造会社として1962年に発足。現在では、シミュレーションシステム、航空・宇宙機器、パーキングシステムの3事業を中心に社会に貢献

入社してから主にコンピュータグラフィックスにおけるアセットの作成から制御、表示などの研究に従事しております。当社の得意なアセットやツール開発にてDIVP®プロジェクトの研究を下支えしております。



経歴

- 2000年 三菱プレジジョン株式会社入社
主に訓練用シミュレータ向けの実時間コンピュータグラフィックスの研究に従事
- 2018年 DIVPプロジェクトに参画
アセット、シナリオ開発のリーダーを担当

背景 / 目的

- 公道での実車による実証実験では、全ての走行環境条件を意図的に設定することは非常に困難です。
- 自動運転技術の安全性評価に向け、さまざまな環境条件のシナリオを提供することに取り組んでいます。

骨子

「コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介」

- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後



DIVP

Driving Intelligence Validation Platform



- コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介 -

第1回_DIVIP技術セミナー

2024-4-22

Weather Forecast



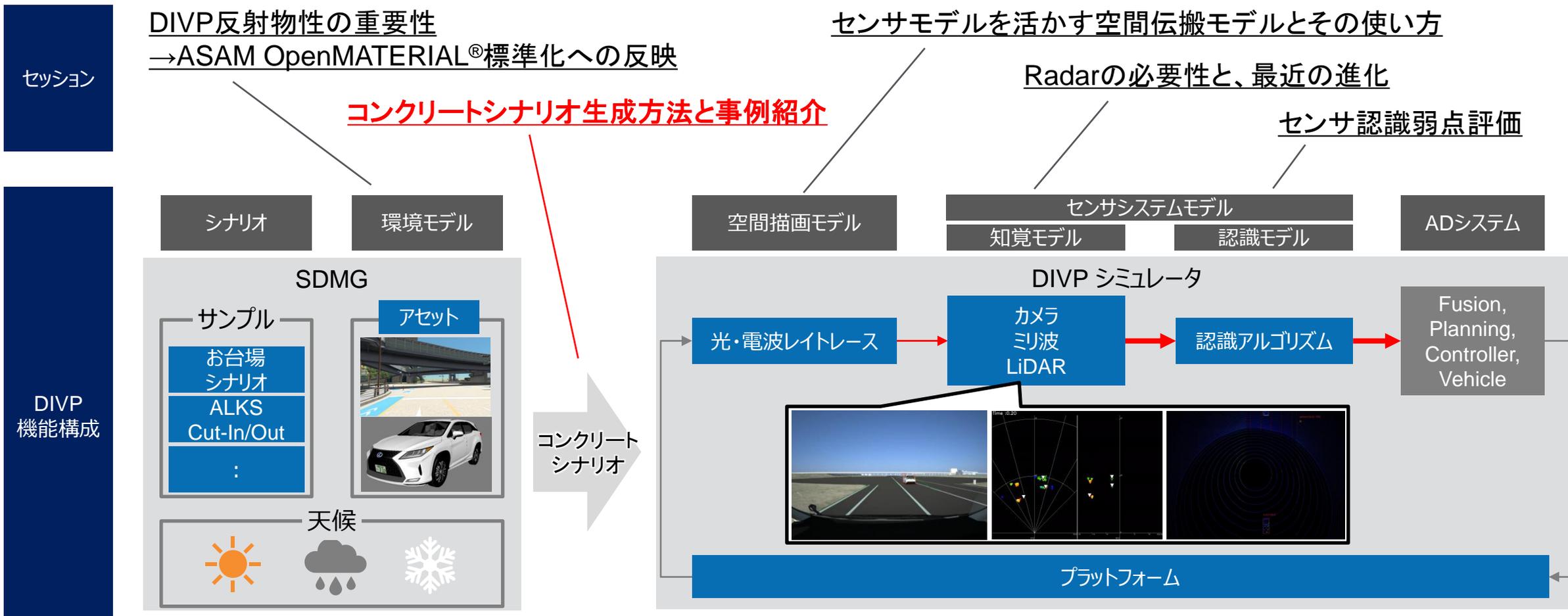
AD safety Assurance*



For Validation & Verification Methodology

「コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介」セッションの位置付け

DIVP機能構造と本セッションの位置づけ



コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

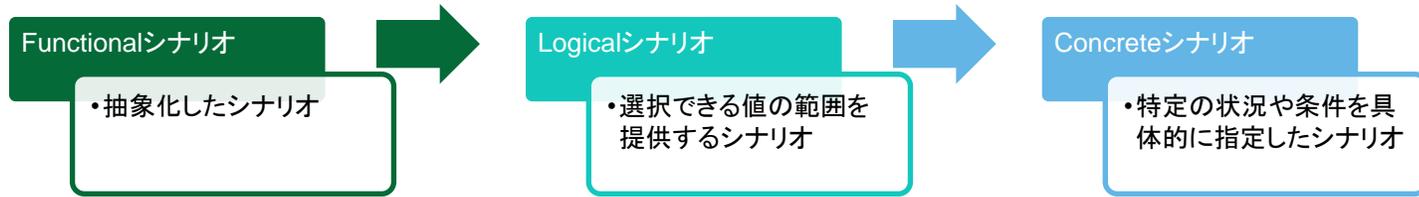
- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

シナリオについて

自動運転システムのテストと検証のためのシナリオ

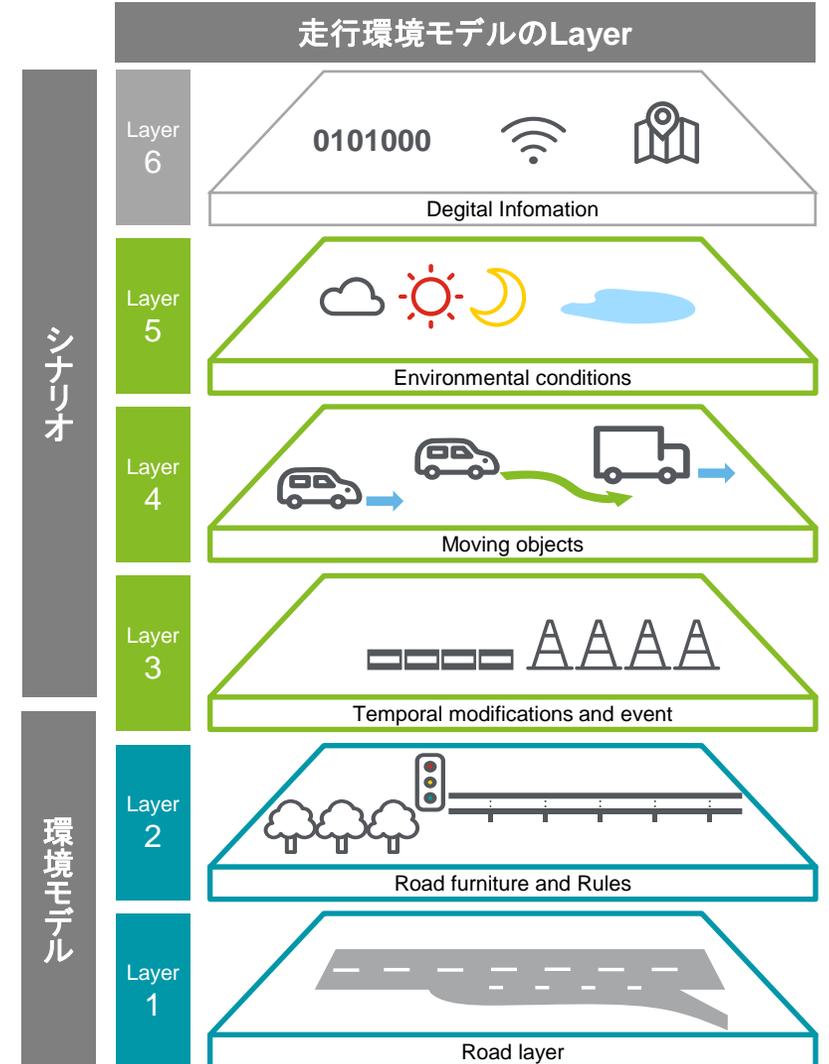
■シナリオベースのアプローチでは3つのレイヤー

- ✓ Functionalシナリオ
- ✓ Logicalシナリオ
- ✓ Concreteシナリオ



■特定の状況や条件を具体的に指定したシナリオ

- ✓ 道路環境 (Road environment)
- ✓ 標識、信号機 (Signs, traffic lights)
- ✓ 交通規制状況 (Traffic regulation status)
- ✓ 車両や歩行者などの動き (Movement of vehicles and pedestrians, etc.)
- ✓ 天候条件など (Weather conditions, etc.)

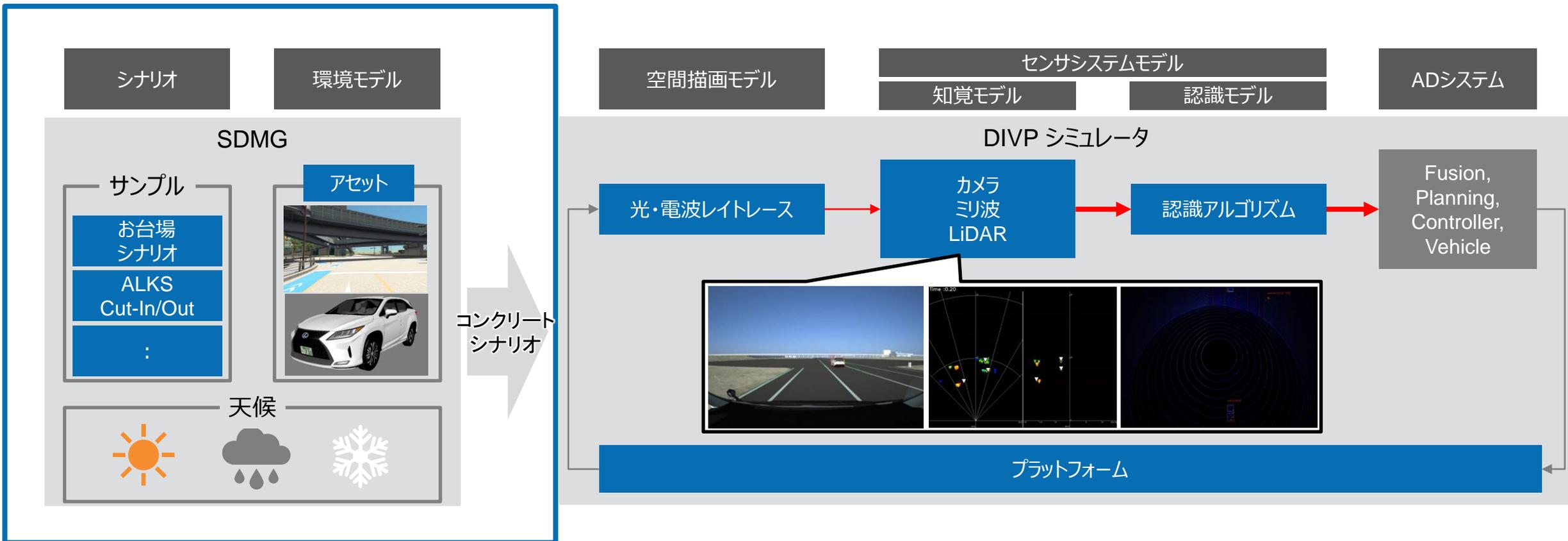


コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

- シナリオについて
- **DIVPとSDMGの基本説明**
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

精緻なセンサシミュレーションを実行するDIVPのプラットフォームに必要な環境モデルやシナリオを作成、生成するツールとして、SDMG(Space Designed Model Generator)を開発

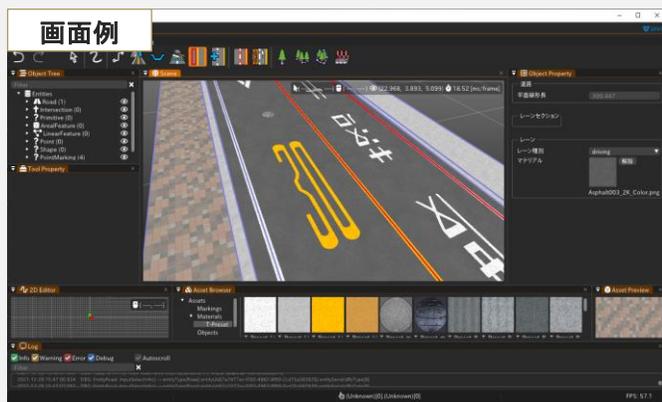
DIVPにおけるSDMGの位置付け



SDMGは、道路環境や標識、信号機などの環境モデルを作成し、その空間に車両や物標を配置するDIVPのシナリオ作成ツール

SDMGの主な機能

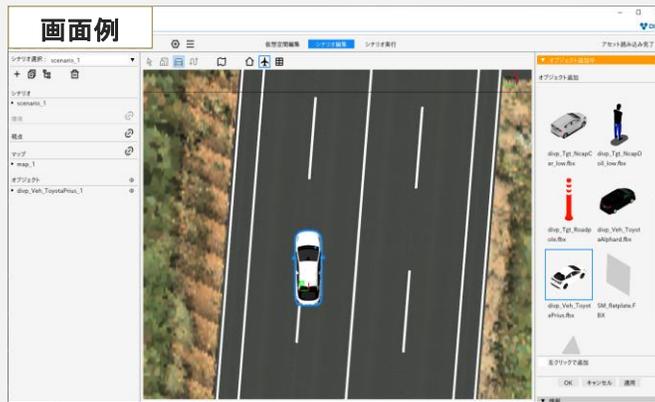
環境モデル作成機能



主な機能

- 任意の道路作成
- 路面標示、道路標識、建造物等の配置、かすれ白線の設定
- 国際標準のOpenDRIVE®データのインポート及びエクスポート

シナリオ作成機能



主な機能

- 自車両、他車両、人物等の配置、センサーの配置
- 各種イベント/条件判定に関する制御設定
- 国際標準のOpenSCENARIO®データのインポート及びエクスポート
- GPSやIMUによる走行データのインポート

アセット編集機能



主な機能

- アセットへのマテリアル（反射物性値）の割り当て
- アセット制御情報の確認
- アセットの秘匿化

仮想空間上の環境モデルに車両や物標の3Dアセットを配置し、コンクリートシナリオを作成

車両、交通弱者などの物標や地図などの多種多様な3Dアセットを提供

物標アセットと地図アセット

乗用車



大型車両（牽引含む）



二輪車・特殊車両



NCAPダミー一類



歩行者と所持物



障害物・動物



信号機



交通標識・工事器具



東京臨海副都心（台場・青海）



東京臨海副都心（有明）



首都高速道路C1



ユーザー様所有の様々なデータを活用できることを念頭に、入出力は国際的な標準フォーマットをサポート

SDMG接続性

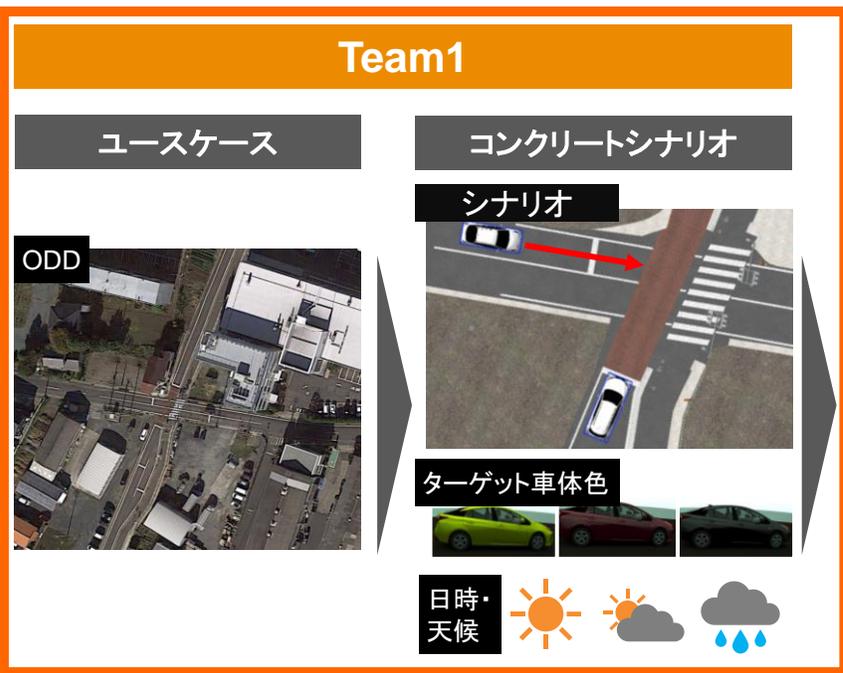


コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

安全性評価基盤構築TF Team1では、実事例をユースケースとしたシナリオの特定と安全性評価指標を策定 Team2で実施する2-Stage評価による自動運転安全性評価環境の評価条件として提供

Team1はユースケースを基にシナリオを作成



クローズドループシミュレーション

自車の移動

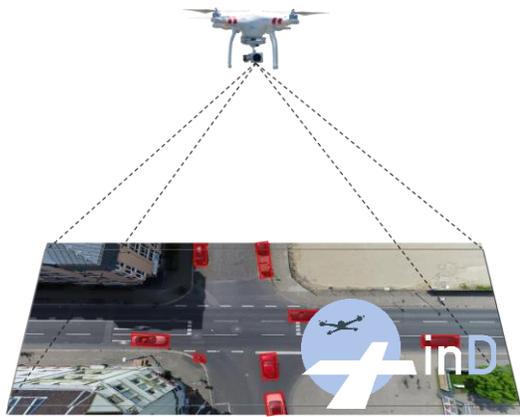
交差点評価用シナリオを具体化するため、海外既存データや計測データを分析し、 交差車のふるまいについて定量的な範囲を定義

交差点を非優先側から安全に通過する性能評価

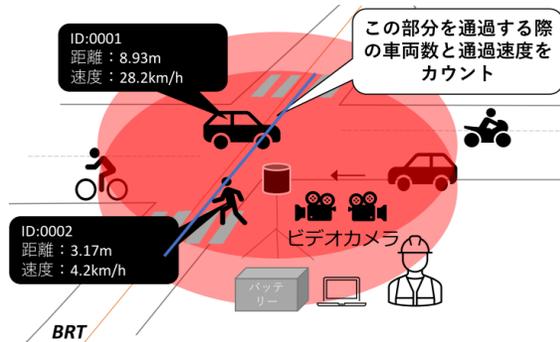
交差車のふるまいの定義

実交通流データ分析に基づいて定義

独ドローン計測データ



ひたちBRT計測データ※1※2



- 法定速度/実勢速度の両面の考慮が必要
- 85%ile値や最高速度の観点で範囲を検討

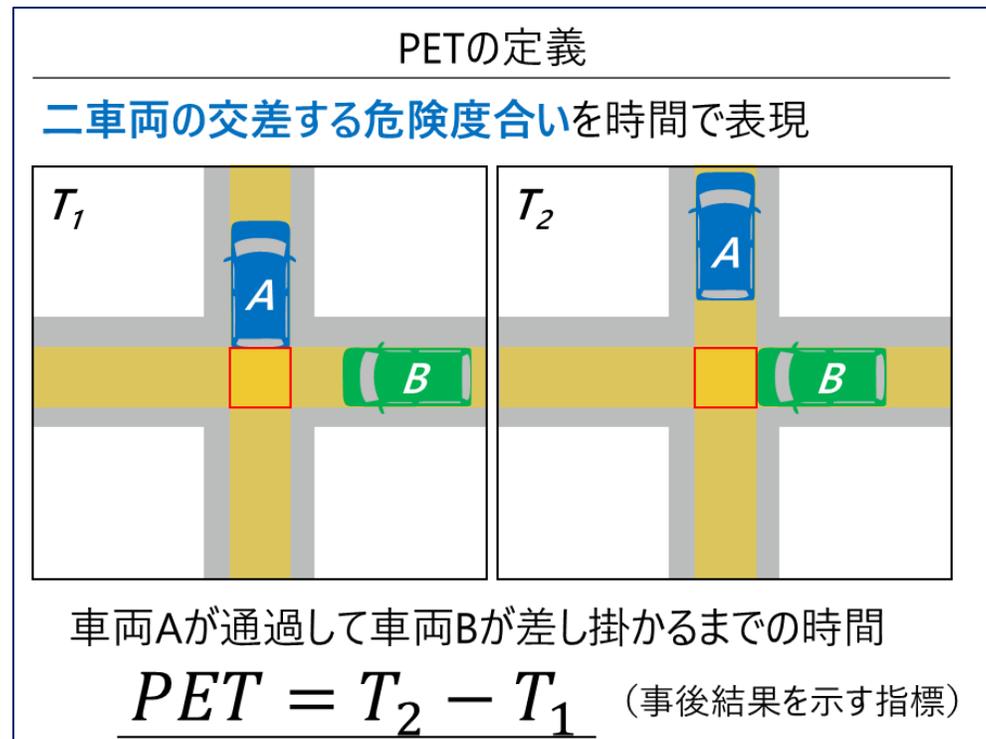
安全性評価用シナリオの範囲

自転車・交差車のふるまいの組み合わせ

分類	項目	値	設定数
自転車	進行方向	北上、南下	2
	速度[km/h]	0(停車) → 10	1
他車	進行方向	自転車基準で左から、右から	2
	速度[km/h]	40, 47, 64	3
	距離[m]	PETによって決定	-
	PET[s]	6.0 ~ -2.0 (0.5刻み)	17
	色	白、黒、青、黄緑、赤	5
環境	日時	12月 10:30、13:00、15:40	3
	天候	晴れ、曇り、雨	3

Team1において交差点評価シナリオを具体化し、Team2のシミュレーションによって評価される自動運転システムの安全性評価の前提条件を設定

衝突地点通過の安全性評価に関する前提条件



※妨害の定量的な定義・判断基準は確定していないため、今回の評価では交差車のドライバが妨害と感じやすい水準を暫定的に設定。

Team1において定義した交差点評価シナリオをTeam2に提供するため、コンクリートシナリオを作成

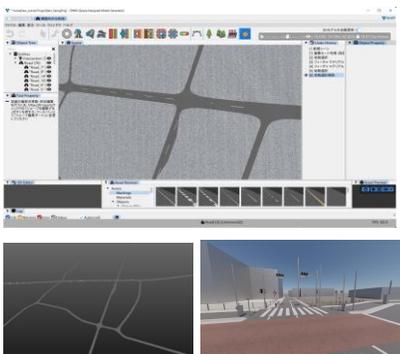
SDMGを用いたコンクリートシナリオ作成手順

Team1成果の具現化

SDMG

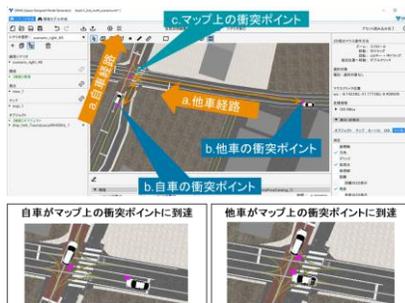
1

環境モデルの作成



2

衝突地点通過
タイミングシナリオの作成



3

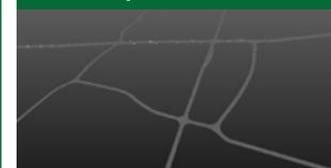
パラメータ設定

分類	項目	値	設定数
自車	進行方向	北上、南下	2
	速度 [km/h]	0(停車) → 10	1
	他車	進行方向	自車基準で左から、右から
他車	速度 [km/h]	40, 47, 64	3
	距離[m]	PETによって決定	-
	衝突地点通過値[s]	6.0 ~ -2.0 (0.5刻み)	17
	色	白、黒、青、黄緑、赤	5
環境	日時	12月 10:30、13:00、15:40	3
	天候	晴れ、曇り、雨	3

Concreteシナリオ



OpenDRIVE



地形アセット



車両アセット



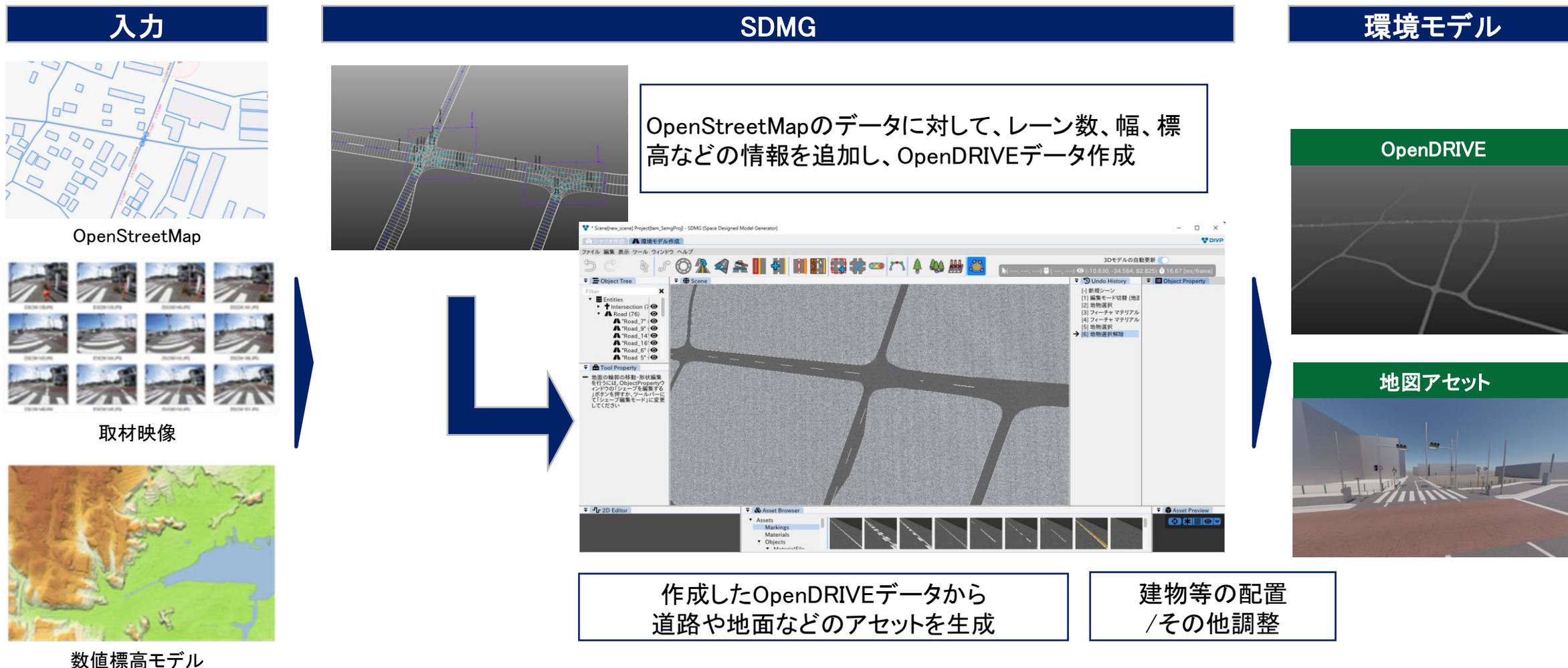
Team2

DIVPシミュレータ

シミュレーションによる
自動運転システムの
安全性評価

安全性評価を実施する仮想空間環境の環境モデルとしてOpenDRIVE、地図アセットを作成

①環境モデルの作成



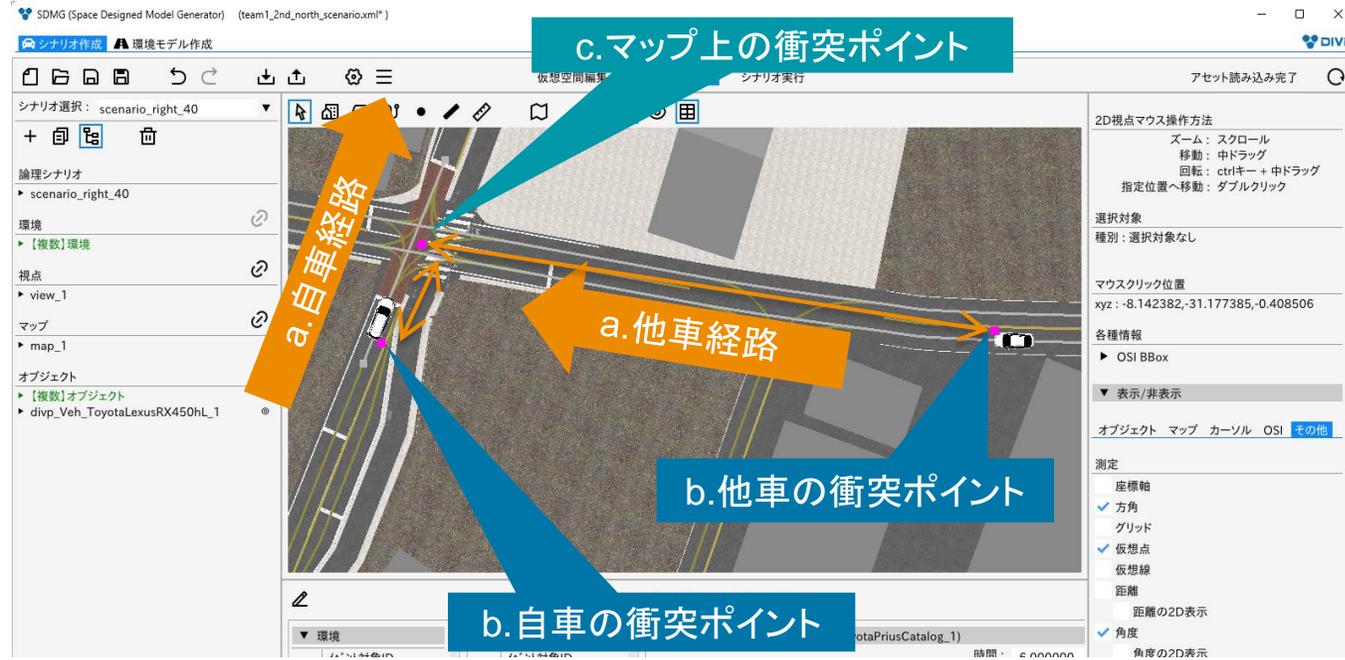
自車や他車が一定時間後にマップ上の衝突ポイントを通過するように設定することにより、衝突地点通過タイミングシナリオを具現化

②衝突地点通過タイミングシナリオの作成

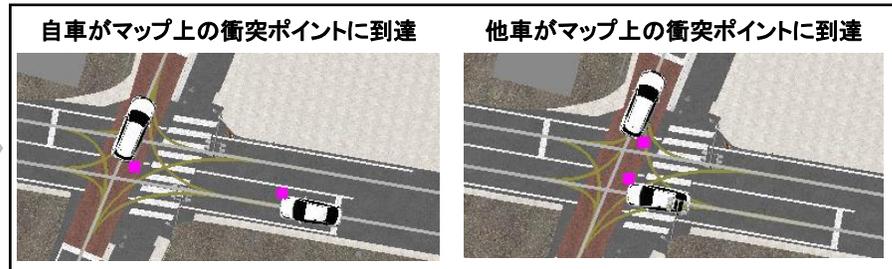
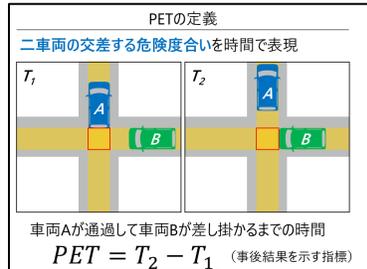
入力



SDMG



シナリオ



要件定義した自車・交差車のふるまいの組み合わせを満たす多数のパラメータ設定を行うことで、様々なコンクリートシナリオを生成

③パラメータ設定

入力



自車・交差車のふるまいの組み合わせ

分類	項目	値	設定数
自車	進行方向	北上、南下	2
	速度 [km/h]	0(停車) → 10	1
他車	進行方向	自車基準で左から、右から	2
	速度 [km/h]	40, 47, 64	3
	距離[m]	PETによって決定	-
	衝突地点通過値[s]	6.0 ~ -2.0 (0.5刻み)	17
	色	白、黒、青、黄緑、赤	5
環境	日時	12月 10:30、13:00、15:40	3
	天候	晴れ、曇り、雨	3

SDMG



各値を入力

自車・交差車のふるまいの組み合わせをベースとしたLogicalシナリオより、衝突地点通過値・速度・車両の色・環境等の異なる、計9180シーンを生成

出力

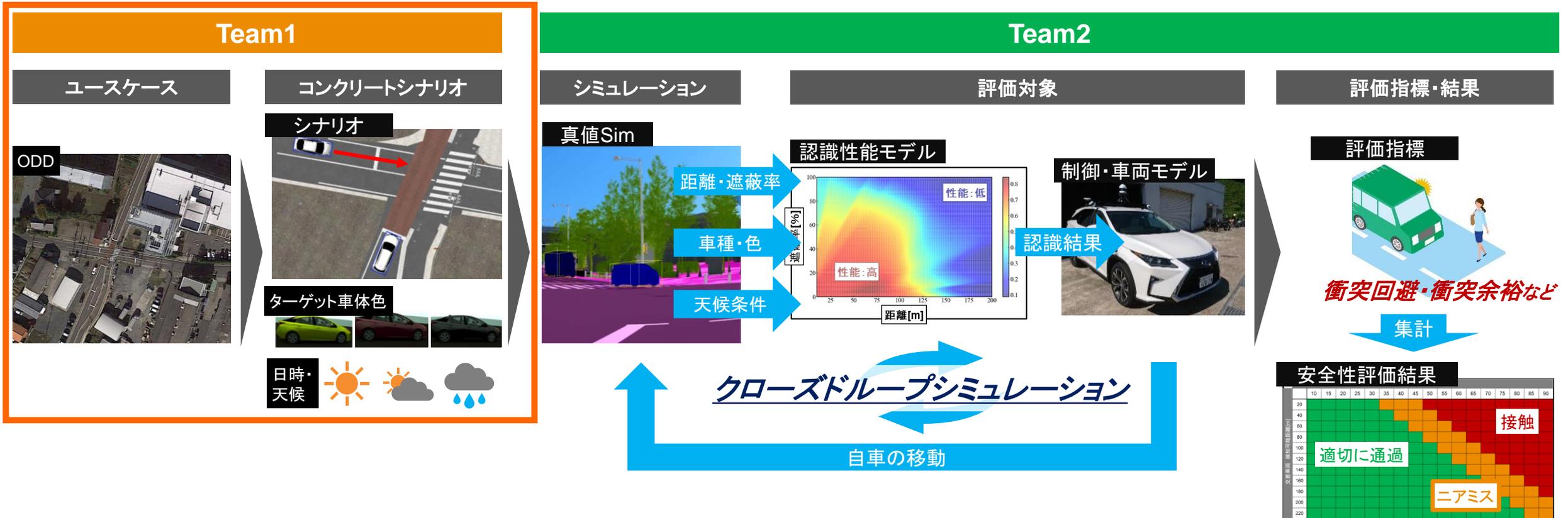


計：9180シーン



実事例をユースケースとしたシナリオの特定と安全性評価指標の策定 Team2で実施するシミュレーションによる自動運転安全性評価環境の評価条件として提供

コンクリートシナリオを生成し、Team2へ提供



コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

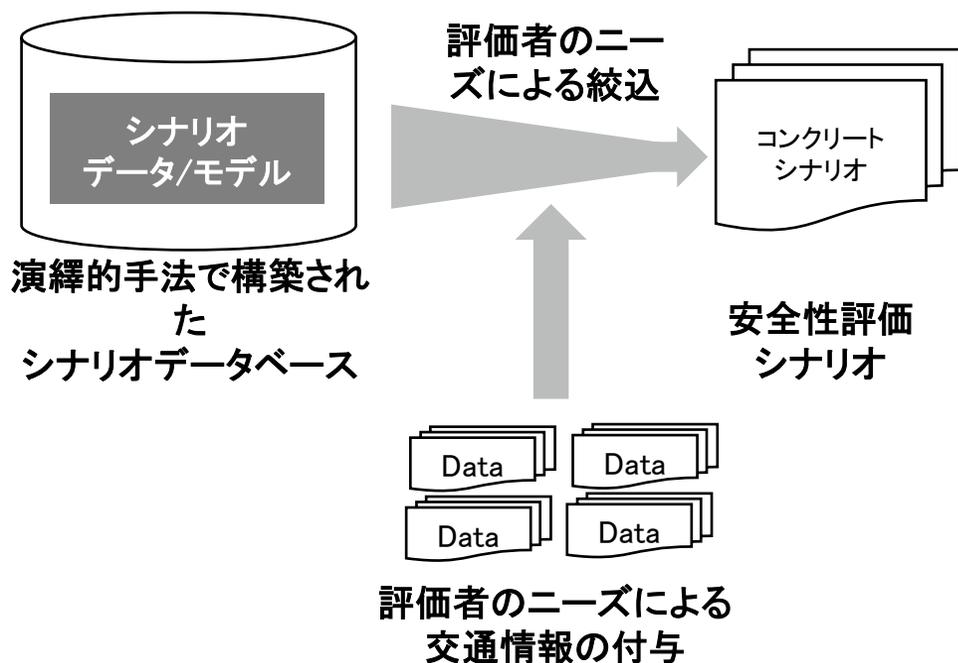
- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

将来の多様な開発・評価ニーズに応えるため、演繹的・帰納的なアプローチで評価シナリオを準備 それぞれで作成したシナリオを相互に参照することで安全性評価条件を充実

演繹的・帰納的なアプローチによる評価シナリオの準備

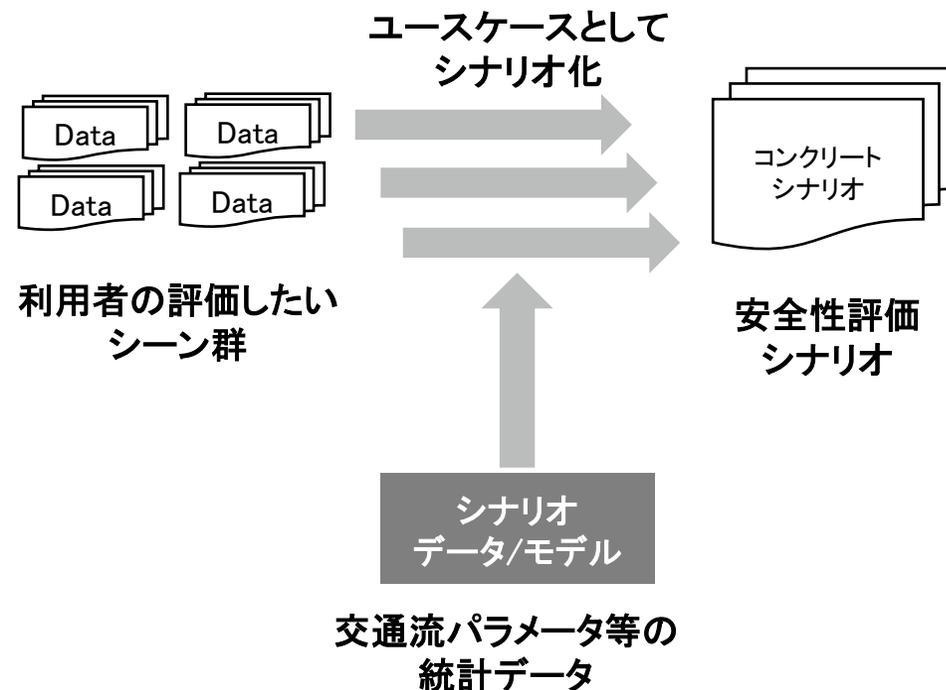
論証(Argumentation)目的のプロセス

- ・演繹的アプローチによるシナリオ生成
- ・各パラメータの組み合わせでコンクリートシナリオを生成



開発(Development)目的のプロセス

- ・帰納的アプローチによるシナリオ生成
- ・発生した危険事例からコンクリートシナリオを生成



帰納的なアプローチとして、死亡事故の多さ、自車の過失割合などの観点から重要パターンを抽出

重大事故の特徴に基づくシナリオ検討

交通統計・交通事故発生状況
(警視庁)

Safety-critical Event
抽出

事故類型
道路形状

車種別	車種	道路形状	事故発生状況	過失割合	死亡人数	負傷人数	損害額
乗用車	乗用車	直進	前方直進車との衝突	80:20	10	20	1000
	乗用車	右折	前方直進車との衝突	80:20	15	30	1500
	乗用車	左折	前方直進車との衝突	80:20	12	25	1200
	乗用車	直進	前方直進車との衝突	80:20	8	15	800
	乗用車	右折	前方直進車との衝突	80:20	18	35	1800
	乗用車	左折	前方直進車との衝突	80:20	14	28	1400
	乗用車	直進	前方直進車との衝突	80:20	9	18	900
	乗用車	右折	前方直進車との衝突	80:20	16	32	1600
	乗用車	左折	前方直進車との衝突	80:20	13	26	1300
	乗用車	直進	前方直進車との衝突	80:20	7	14	700
トラック	トラック	直進	前方直進車との衝突	80:20	20	40	2000
	トラック	右折	前方直進車との衝突	80:20	25	50	2500
	トラック	左折	前方直進車との衝突	80:20	22	44	2200
	トラック	直進	前方直進車との衝突	80:20	15	30	1500
	トラック	右折	前方直進車との衝突	80:20	30	60	3000
	トラック	左折	前方直進車との衝突	80:20	28	56	2800
	トラック	直進	前方直進車との衝突	80:20	18	36	1800
	トラック	右折	前方直進車との衝突	80:20	35	70	3500
	トラック	左折	前方直進車との衝突	80:20	32	64	3200
	トラック	直進	前方直進車との衝突	80:20	22	44	2200

重要パターン
を抽出

交通事故の要因分析・対策立案に関する技術資料

Police Accident Reports (NHTSA)

パラメータ設定・周囲情報付与

第1当事者ふるまい
第2当事者ふるまい
道路形状
歩道形状

第1当事者ふるまい
第2当事者ふるまい
道路形状
歩道形状
静的オブジェクト
環境情報
当事者以外交通参加者

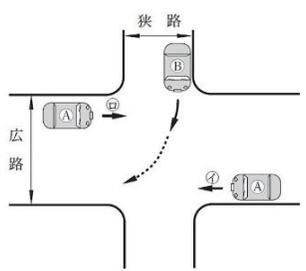


当事者以外の情報

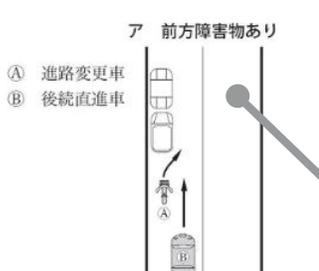
Concreteシナリオ

Event 絞込・細分化

交通事故過失割合
(判例タイムズ)



狭路から右折:広路を直進=80:20



車両後続直進:自転車障害物あり進路変更=90:10

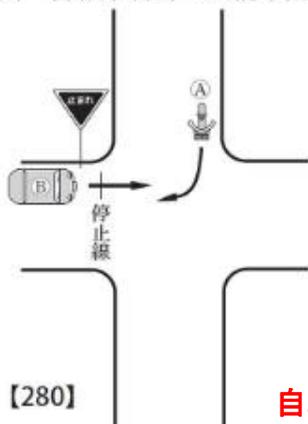
詳細パラメータ追加

交通流データ

交通事故の判例タイムズに掲載されている車両相互事故から重要パターンを選定

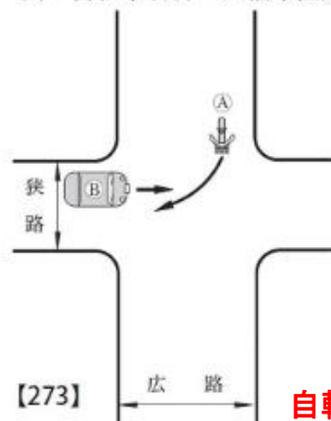
自転車対車両

(b) 自転車右折・四輪車直進



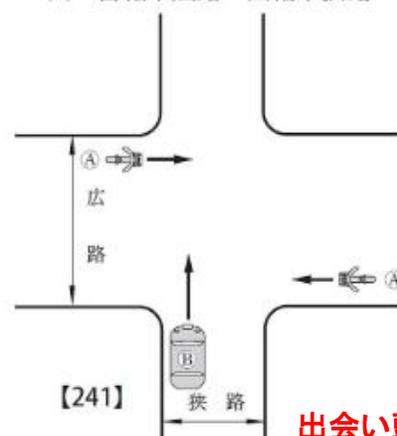
自転車右折・車両直進

(a) 自転車右折・四輪車直進

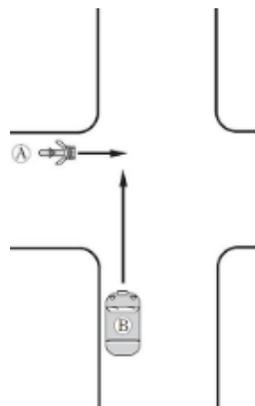


自転車右折・車両直進

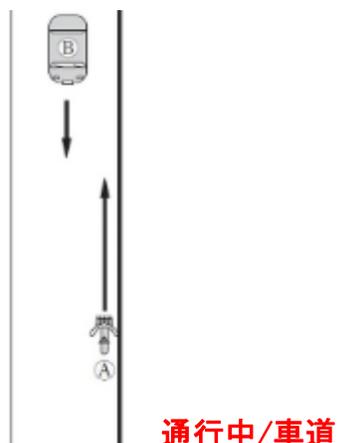
(ア) 自転車広路・四輪車狭路



出会い頭



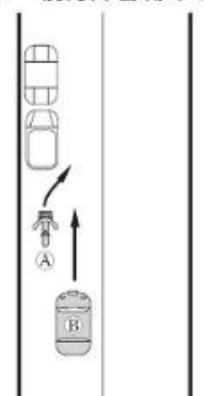
出会い頭



通行中/車道

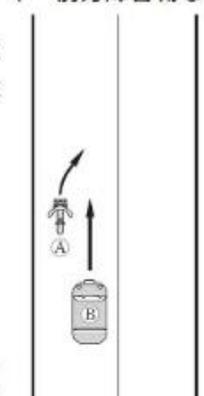
- Ⓐ 進路変更車
- Ⓑ 後続直進車

ア 前方障害物あり



通行中/車道

イ 前方障害物なし

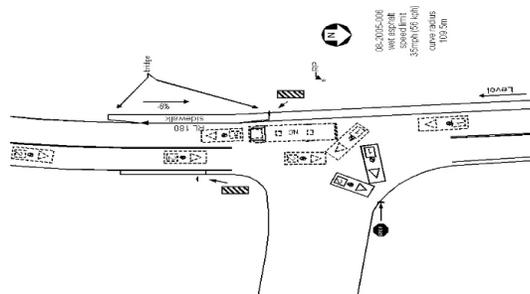


通行中/車道

(引用元:判例タイムズ)

事故報告書等のデータベースより、任意の事故パターンと一致する事故報告書を抽出しシナリオ化

NHTSA Crash ViewerのDBから抽出する場合 - 車両相互事故



事故概要図



Image ID: 23402271



Image ID: 23402272

現場写真

NMVCCS Case Viewer - CaseID:2005008586081 (dot.gov)

Pre-Crash Events		
Vehicle	Movement Prior to Critical Crash Envelope	Critical Pre-Crash Event
1	Going straight	This Vehicle Traveling-Turning left at intersection
2	Negotiating a curve	Other Vehicle Encroachment- From opposite direction - ov
Pre-Crash Details		
Vehicle	Attempted Avoidance Maneuvers	Stability of Vehicle
1	Braking with lock-up	Sliding longitudinally-rotation less than 30 degrees
2	Braking with lock-up	Sliding longitudinally-rotation less than 30 degrees
Vehicles		
Vehicle	Year	Make
1	2002	DODGE
2	2000	HONDA
Persons		
Vehicle	Occupant	Occupant's Role
1	1	Driver
2	1	Driver

事故ステータス

第1当事者ふるまい

第2当事者ふるまい

道路形状

歩道形状

静的オブジェクト

当事者以外交通参加者

環境情報

事故事例集、裁判判例等から抽出する場合 - 自転車対車両

[引用] ITARDA INFORMATION No.125

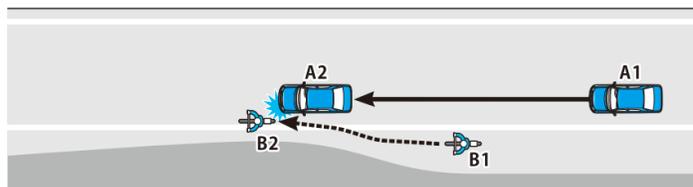


図16 自転車の進路変更に対応できず発生した追突事故

事故概要図

2件目の事故は、**自転車の進路変更に対応できず**に発生した追突事故です。この事故も夜間に発生した事故で、事故が発生した時刻は**22時を過ぎ**で、小雨が降っていました。20代の男性が運転する普通乗用車(以下、A)は、制限速度40km/hの**片側1車線の直線道路を約50km/h**で走行していました。Aは前方に60代の女性が乗った自転車(以下、B)を認知しましたが、Bが左側の歩道上を通行していたため、あまり気にせず走行していました。しばらくしてBは左側から私有地がせり出して、徐々に歩道がなくなったため、**道路線形に沿って進路を少しずつ右**に移したところ、AはBの進路変更に気付くのが遅れ、Bと衝突してしまいました。

事故ステータス

車両相互（車両対自転車）のユースケースシナリオ作成状況報告

作成シナリオ詳細

#	シナリオ名
1	単路-自転車対車両-通行中/車道

参考事故データ

ITARDA INFORMATION No.125 ⑤事件事例の紹介

認識不良要因

- 自転車進路変更の未認識

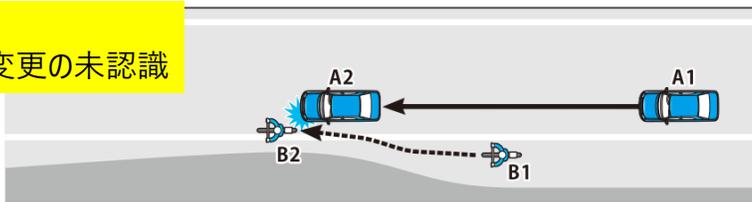
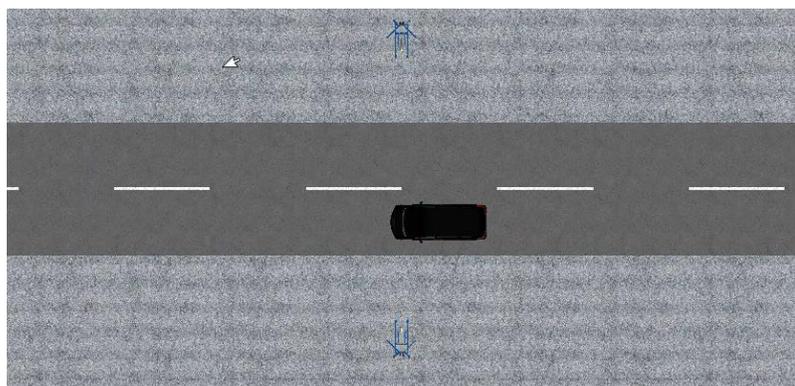
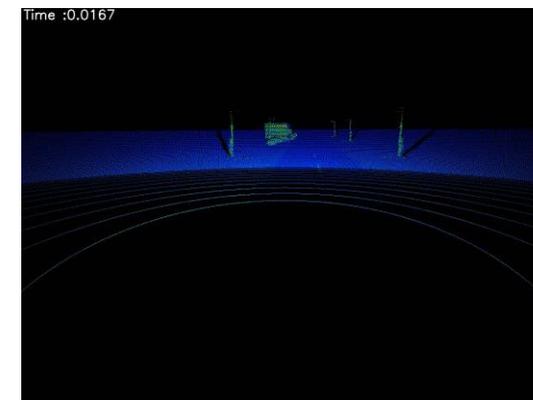


図16 自転車の進路変更に対応できずに発生した追突事故



DIVP-PFでのシナリオ実行・認識結果



事故要因の解析結果から別の要因を付与
→進路変更の要因が駐車車両の場合



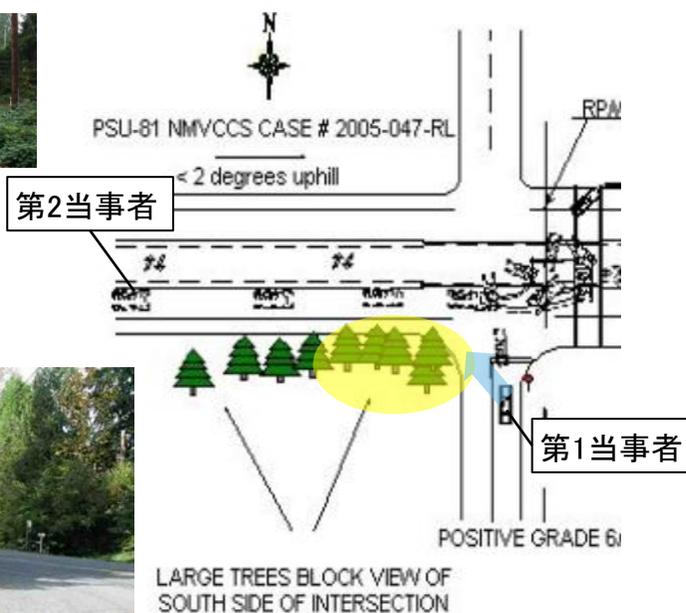
車両相互ユースケースシナリオ作成状況報告

作成シナリオ詳細

#	シナリオ名
1	交差点-車両相互-出会い頭

参考事故データ

NHTSA NMVCCS Case ID 2005081625801



認識不良要因

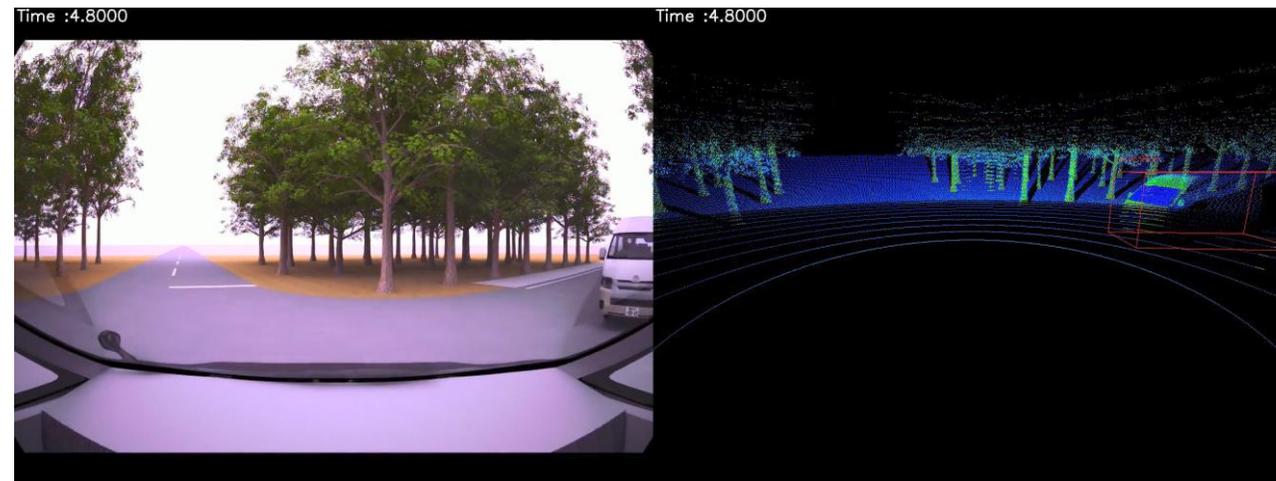
- 交差点角の植栽



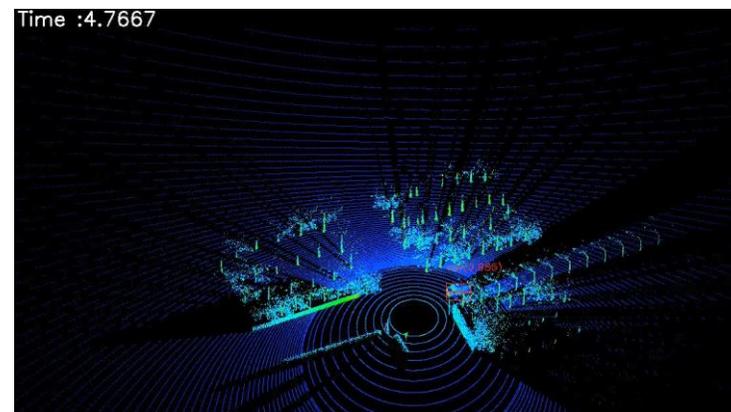
※アメリカ(右側通行)での事故事例

DIVP-PFでのシナリオ実行・認識結果

カメラ・LiDAR(自車視点)



LiDAR(俯瞰)



※日本(左側通行)想定ユースケースシナリオ

人対車両ユースケースシナリオ作成状況報告

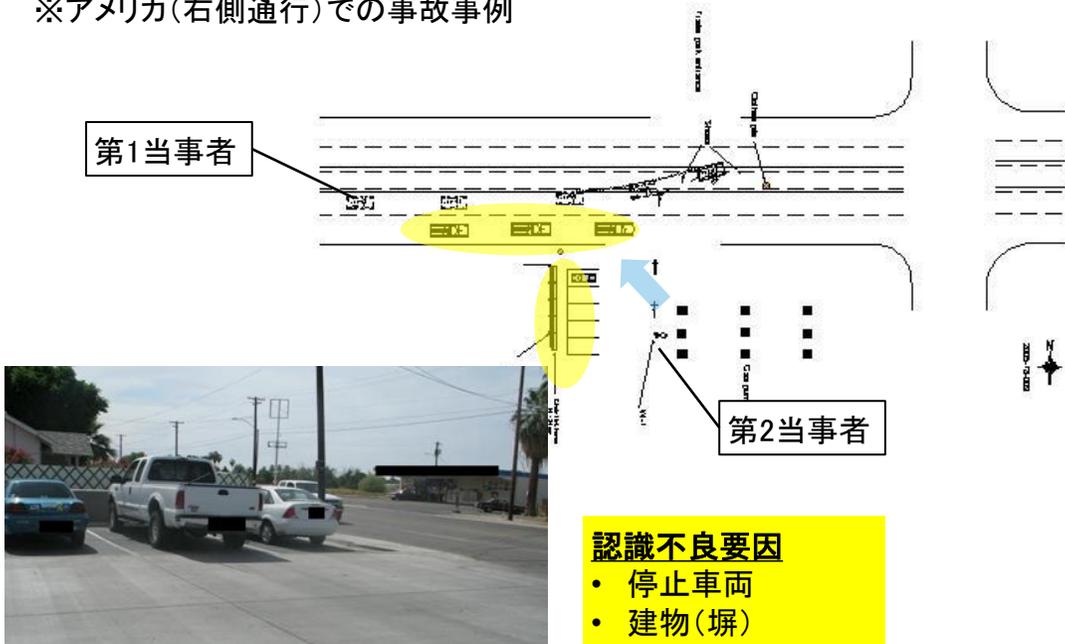
作成シナリオ詳細

#	シナリオ名
1	交差点-狭路-人対車両-横断中その他

参考事故データ

NHTSA NMVCCS Case ID 2005078436141

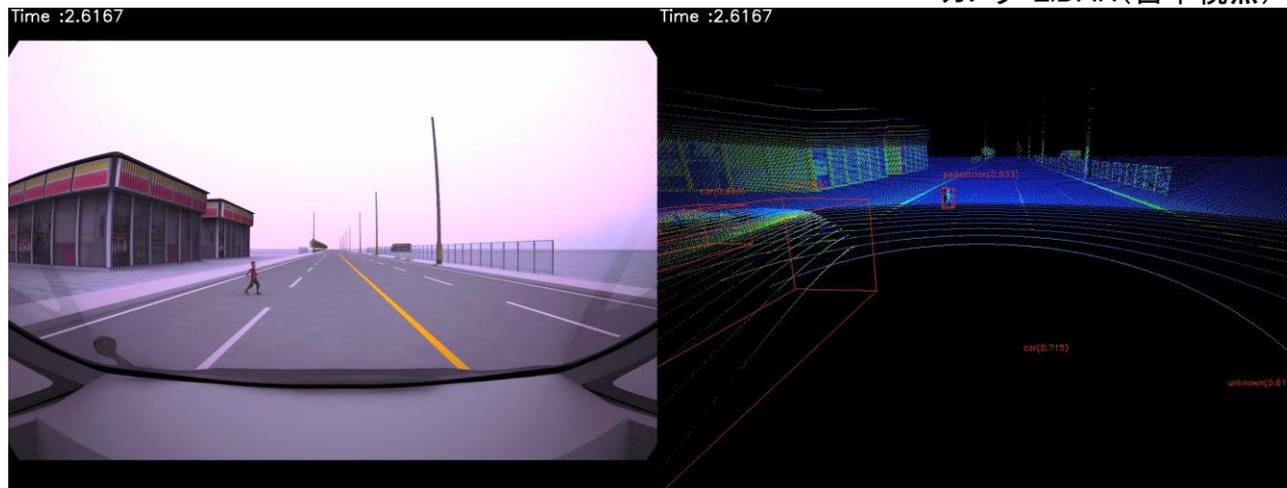
※アメリカ(右側通行)での事故事例



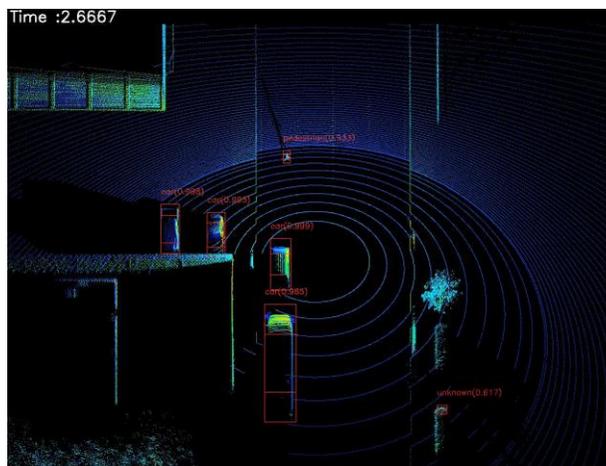
右図矢印位置の視界

DIVP-PFでのシナリオ実行・認識結果

カメラ・LiDAR(自車視点)



LiDAR(俯瞰)



※日本(左側通行)想定ユースケースシナリオ

コンクリートシナリオ生成方法と事例紹介

- シナリオについて
- DIVPとSDMGの基本説明
- Team1におけるコンクリートシナリオの生成方法
- 神奈川工科大学での事例紹介
- 今後

自動運転安全性評価環境の評価条件としてひたちBRTの具体的な交差点のコンクリートシナリオを作成 今後は他の国プロの実証実験で活用できるように評価環境シナリオ作成の整備を進めていく

ユースケース拡大スケジュール



24年度からは実証実験で活用できるように評価環境のシナリオ作成の整備を進める

※ RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

END

Tokyo Odaiba → Virtual Community Ground

