

MATLAB EXPO JAPAN

2024年5月30日 | 東京

3Dシミュレーションの民主化： 自動運転・電動化時代の開発・検証最前線

Nobuaki Fukuchi, MathWorks Japan



3Dシミュレーション環境活用のメリット



実車試験の課題

- 実車がないと試験できない
- シナリオは安全なもの、かつ、データ数が限られる
- 再現性の確保、課題発見時の解析が困難



3Dシミュレーション環境活用の利点

- 実車がなくても試験ができる
- 危険なシナリオやバリエーションを振った試験の実行
- 真値を使った、正確な評価・比較
- Deep Learningの教師データ、アルゴリズム検証用の正解ラベルを自動生成

3Dシミュレーションを活用することで開発全体を効率化

3Dシミュレーション実行のワークフロー

3Dシーン作成

シナリオ生成

3Dシミュレーション



シミュレーション実行する
3Dシーンを準備 (道、街並み)



車両や歩行者などの
交通参加者の動きを定義



3Dシーン、シナリオを活用して
シミュレーションを実行

3Dシミュレーションを活用する上での課題

3Dシーン作成

シナリオ生成

3Dシミュレーション



シミュレーション実行する
3Dシーンを準備 (道、街並み)

道路やテストコースの3Dシーンは
どうやって用意する？

たくさん録った実データを上手く
シミュレーション化して、
次世代システムに活かしたい、、



車両や歩行者などの
交通参加者の動きを定義

車両の速度や加速度など動きを
厳密に定義したいけど、、

システム全体性能を見たいけど
担当領域外の技術がわからない、、



3Dシーン、シナリオを活用して
シミュレーションを実行

リアリスティックな描画や
センサデータを取得するシミュレータの
セットアップが大変、、

3Dシミュレーション実行のワークフロー



シミュレーション実行する
3Dシーンを準備 (道、街並み)

車両や歩行者などの
交通参加者の動きを定義

3Dシーン、シナリオを活用して
シミュレーションを実行

システム全体性能を見たいけど
担当領域外の技術がわからない、、
⇒ **豊富な例題をご用意**

リアリスティックな描画やセンサデータを
取得するシミュレータのセットアップが大変、、、
⇒ **セットアップなしで実行可能なシミュレーション環境**

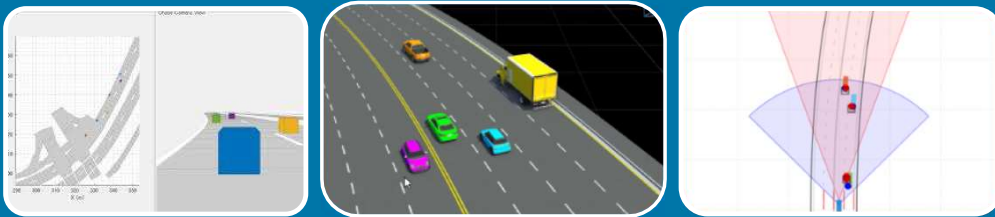
最新ソリューションをご紹介し、これらの課題を解決

目的に合わせた2つの3Dシミュレーション環境

Automated Driving Toolbox

直方体シナリオ シミュレーション

Driving Scenario / RoadRunner Scenario



- センサーフュージョン、判断・制御系アルゴリズムの検証
- センサ取付位置の検討
- 確率的センサモデル

描画モデル：簡易的
計算リソース：小

Unreal Engine シナリオ シミュレーション

Simulink-Unreal Engine 連携機能



- 認識系含むシステムレベルのシミュレーション
- 高い表現力による可視化
- 高忠実度センサモデル

描画モデル：高忠実
計算リソース：大

ご自身の開発対象や計算リソースに合わせて使い分け

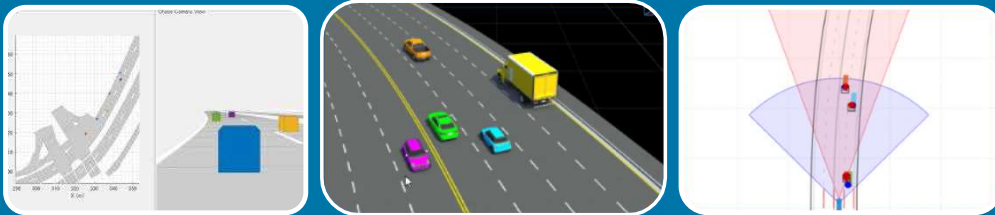
目的に合わせた2つの3Dシミュレーション環境

Automated Driving Toolbox

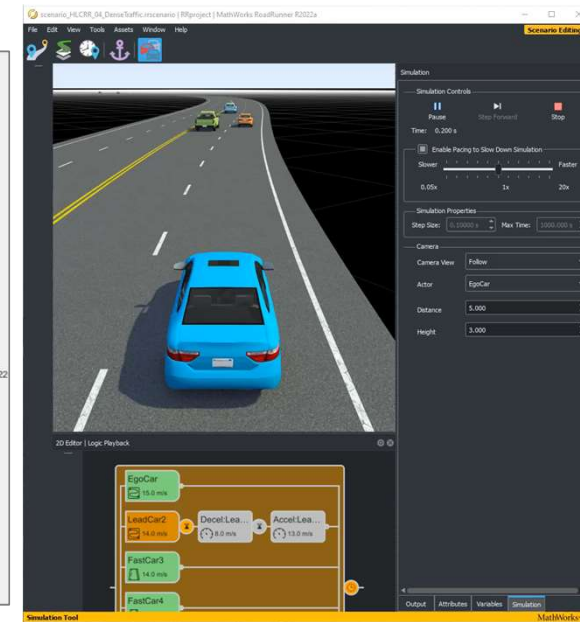
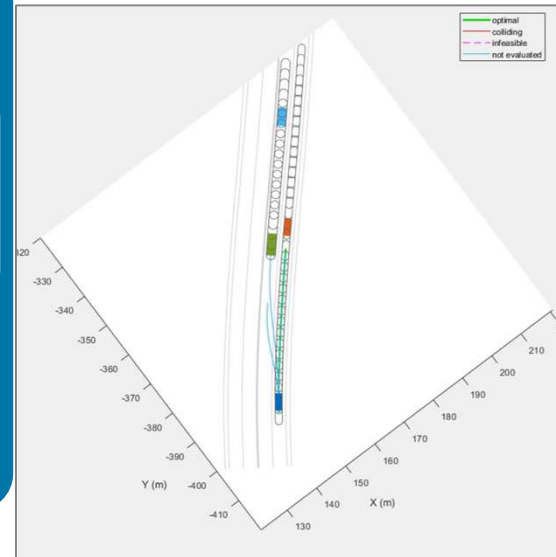
[Highway Lane Change Planner with RoadRunner Scenario](#)

直方体シナリオ シミュレーション

Driving Scenario / RoadRunner Scenario



- センサーフュージョン、判断・制御系アルゴリズムの検証
- センサ取付位置の検討
- 確率的センサモデル

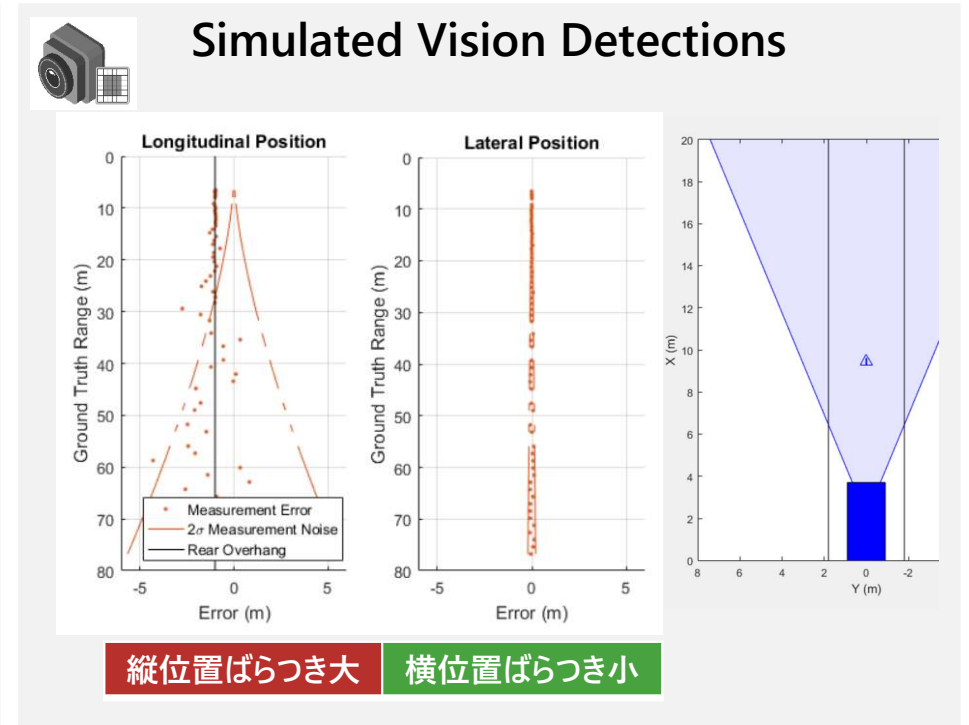
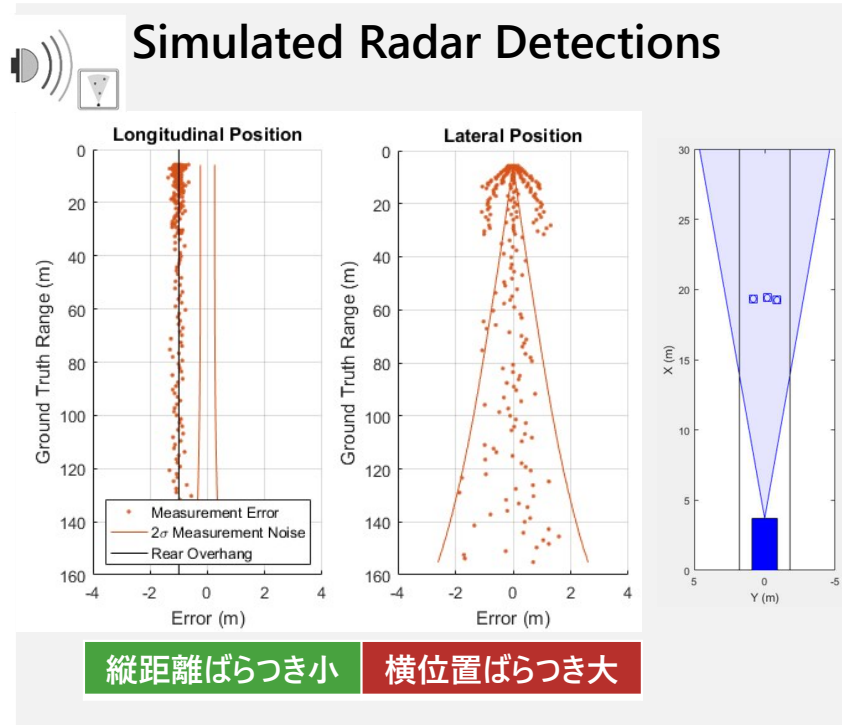


認識は簡易的なモデルを活用し、判断・制御ロジックを開発・検証！

確率的センサモデル

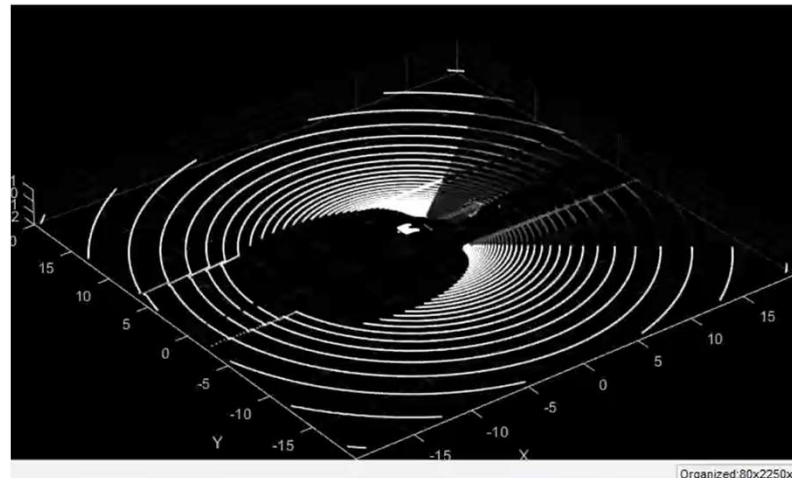
[Model Radar Sensor Detections - MATLAB & Simulink - MathWorks 日本](#)

[Model Vision Sensor Detections - MATLAB & Simulink - MathWorks 日本](#)

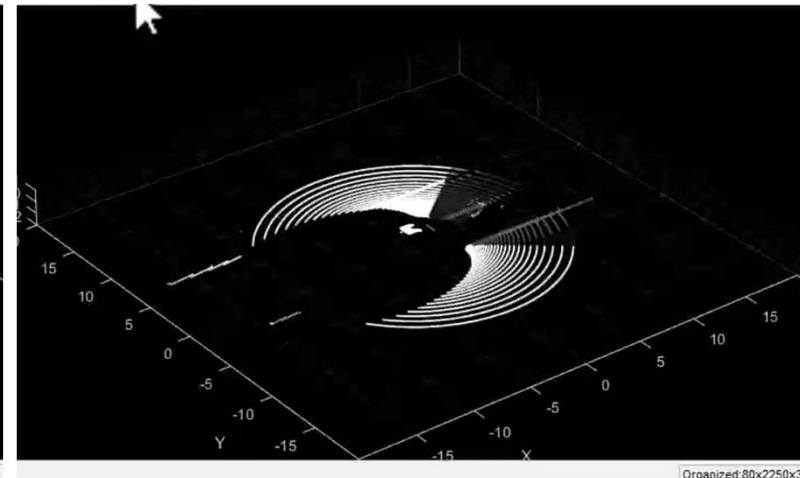


真値 + 各センサ特性を考慮した誤差 のセンサモデルを提供

LiDARセンサ: 雨・霧を考慮した点群取得



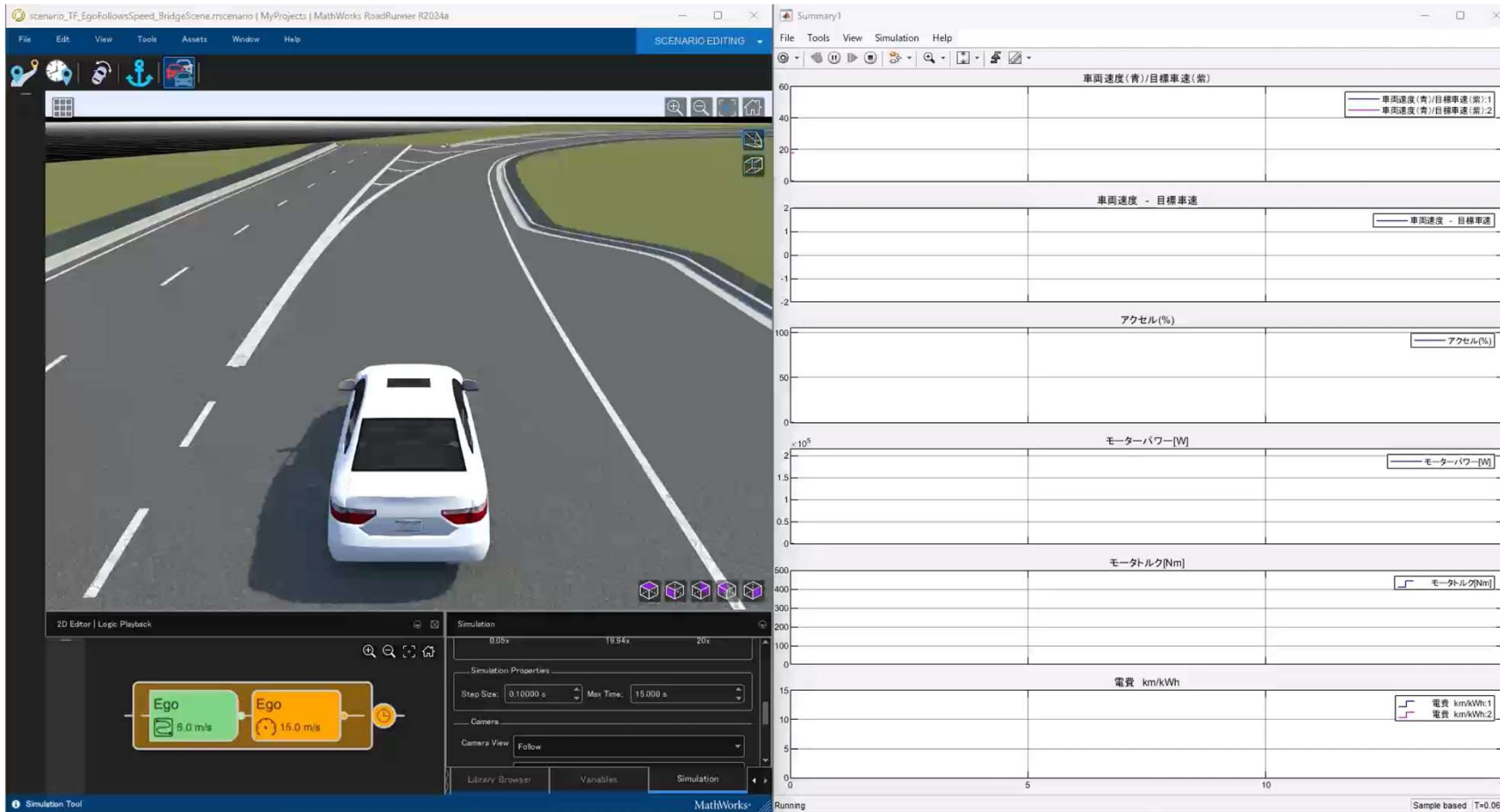
降水量 0 mm/h



降水量 5 mm/h

雨、霧による反射強度の減衰とそれに伴う計測点減少を再現可能

3Dシミュレーション環境におけるEV車両のモータ出力・電費計算



- 実車速
- 目標車速
- 車速誤差
- アクセル
- モータ出力
- モータトルク
- 平均電費
- 瞬間電費

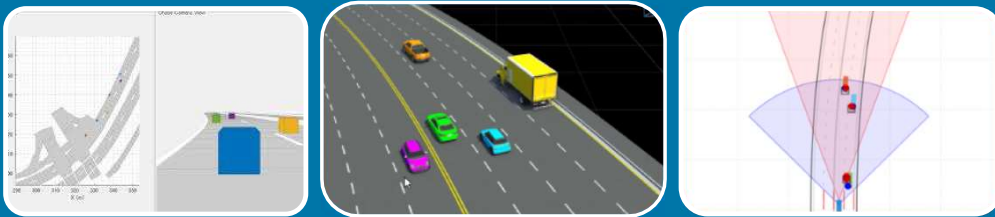
シーン（路面勾配や車速制限など）を考慮した車両シミュレーションが可能

目的に合わせた2つの3Dシミュレーション環境

Automated Driving Toolbox

直方体シナリオ シミュレーション

Driving Scenario / RoadRunner Scenario



- センサーフュージョン、判断・制御系アルゴリズムの検証
- センサ取付位置の検討
- Probabilisticセンサモデル

Unreal Engine シナリオ シミュレーション

Simulink-Unreal Engine 連携機能



- 認識系含むシステムレベルのシミュレーション
- 高い表現力による可視化
- 高忠実度センサモデル

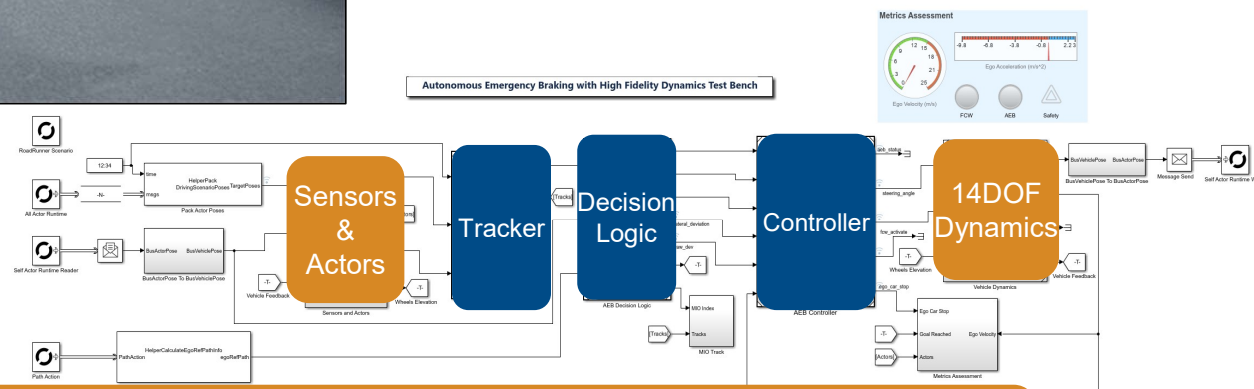
ご自身の開発対象や計算リソースに合わせて使い分け

Unreal Engineによる認識・判断・制御の統合シミュレーション



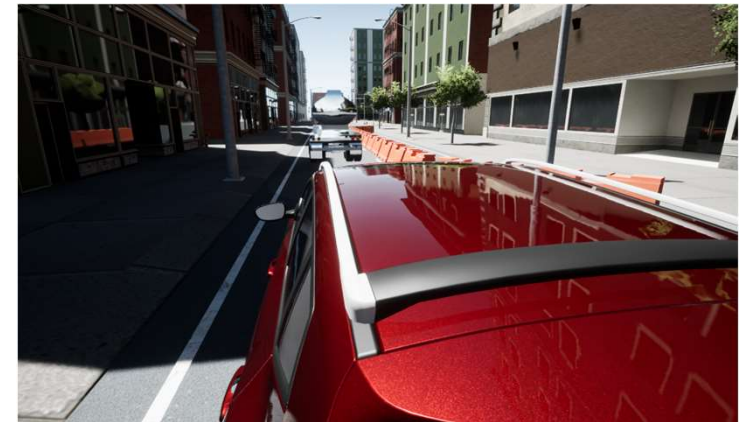
- 14自由度 (=ボデー 6 + 各タイヤ2*4) のフルビークルダイナミクスモデルを使用
- カメラとレーダーセンサーが物体を検知し、地形センサーが3Dシミュレーション環境で路面の高さを検知

[Autonomous Emergency Braking with High-Fidelity Vehicle Dynamics](#)



センサや車両ダイナミクスまで含めたフルシミュレーションを実施可能

Unreal Engine5対応



Unreal Engine5の新機能を活用可能

Unreal Engine環境の作成



% worldの作成

>> world = sim3d.World();

% シーン内にアクターを作成

>> sphere1 = sim3d.Actor('ActorName', 'sphere');

>> sphere1.createShape("sphere");

>> world.add(sphere1);

% アニメーションの実行

>> world.run()



worldの作成

シーン内にアクターを作成

インストールなどの環境設定や3Dシミュレーションの知識なしで容易に実行可能！

HOME PLOTS APPS LIVE EDITOR INSERT VIEW Try the New Desktop Search Documentation Fukuchiさん

New Script New Live Script New Open Compare Import Data Clean Data Variable Save Workspace Favorites Analyze Code Run and Time Clear Commands SIMULINK Layout Set Path Add-Ons Help Community Request Support Learn MATLAB

FILE VARIABLE CODE SIMULINK ENVIRONMENT RESOURCES

E:\work\nobuakif\MATLAB\sim3d\simple_Test

Current Folder Live Editor - E:\work\nobuakif\MATLAB\sim3d\simple_Test\sim3d_example.mlx Workspace

Name Git

- sim3d_example.mlx ○
- wholeTruck.fbx ○

maskLoss.m networkGradients.m augmentMasksWithResize.m sparseinst_test_for_rosbags.m fullfile.m createHeightMap.mlx trainSparseInst.mlx sim3d_example.mlx

1

Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started](#).

`fx >>`

Simulinkを開く

Unreal Engine連携用センサーモデルの提供

Automated Driving Toolbox

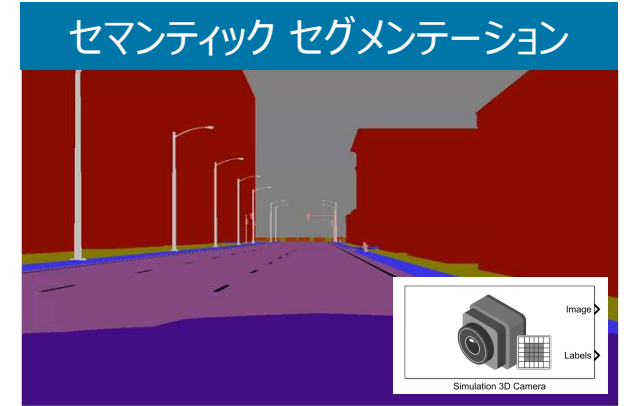
理想のピンホールカメラ



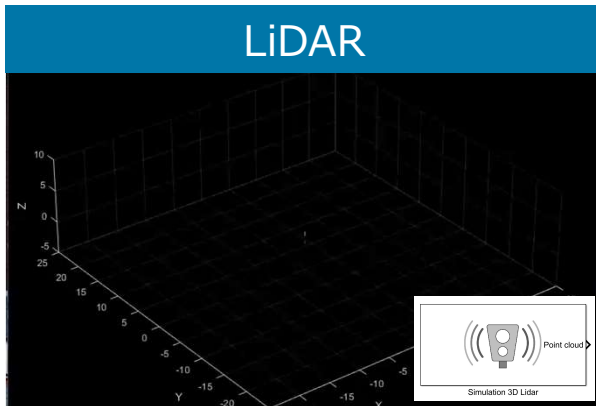
depthカメラ



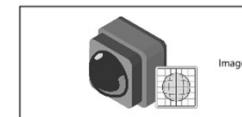
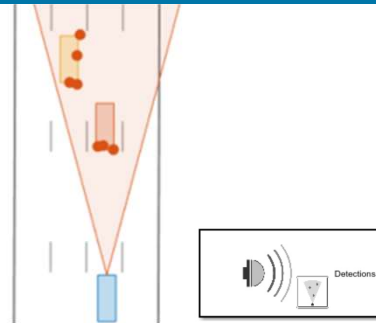
セマンティック セグメンテーション



LiDAR



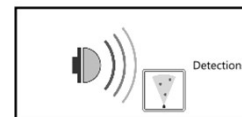
ミリ波レーダー



魚眼カメラ



超音波センサ



ミリ波レーダー



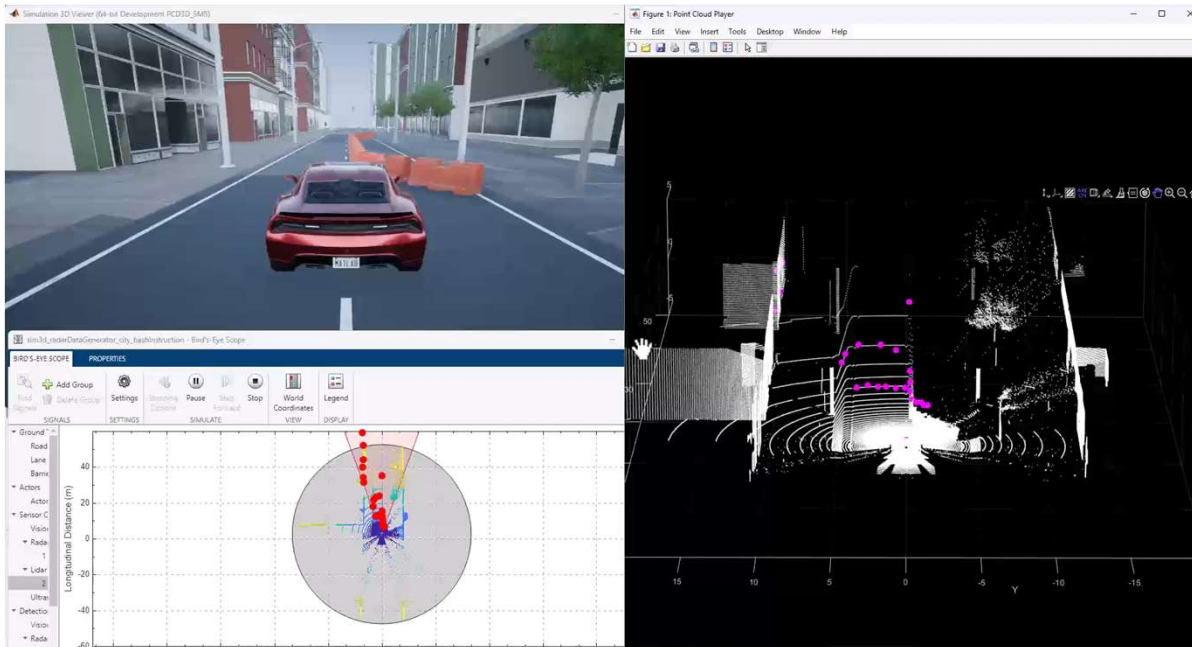
超音波センサ

(確率的検出点) (確率的検出点)

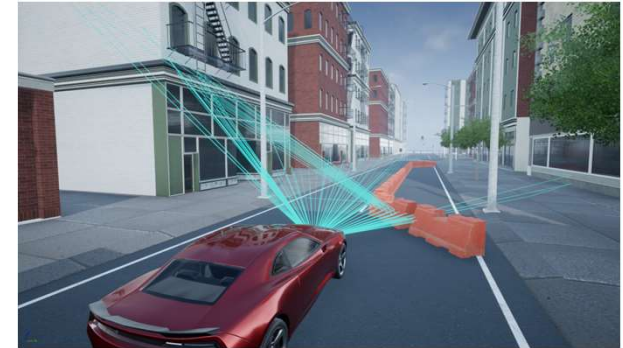
カメラ、LiDAR、ミリ波、超音波センサのセンサモデルブロックを用意

Simulation 3D Radar Data Generator

● レーダ検出点



[Generate radar sensor detections and tracks - Simulink - MathWorks 日本](#)



設定可能パラメータ

| Resolution Settings | Detector Settings |
|----------------------------------|---|
| Azimuthal resolution (deg): 4 | Total angular field of view [AZ, EL] (deg): [20, 5] |
| Elevation resolution (deg): 5 | Range limits [MIN, MAX] (m): [0, 150] |
| Range resolution (m): 2.5 | Range rate limits [MIN, MAX] (m/s): [-100, 100] |
| Range rate resolution (m/s): 0.5 | Detection probability: 0.9 |
| Bias Settings | False alarm rate: 1e-06 |
| Azimuth bias fraction: 0.1 | Reference target range (m): 100 |
| Elevation bias fraction: 0.1 | Reference target RCS (dBsm): 0 |
| Range bias fraction: 0.05 | Center frequency (Hz): 77e9 |
| Range rate bias fraction: 0.05 | |

レイトレースをベースにしたレーダモデルが追加（出力は検出点レベル）

Simulation 3D Light

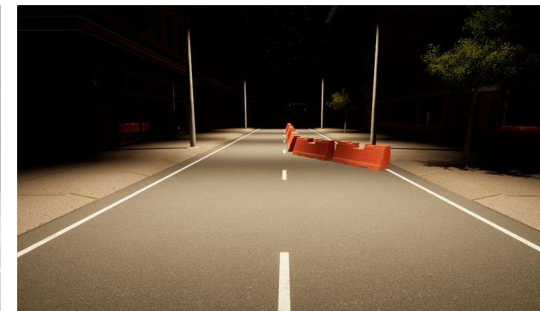
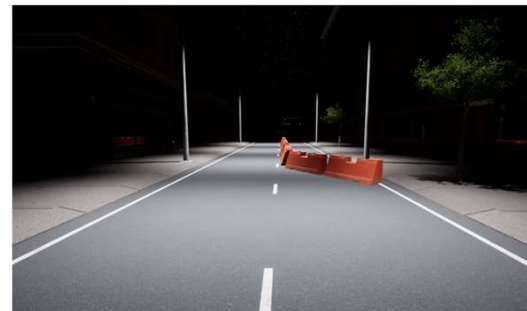


IESプロファイル設定、車両への配置が可能

[Create light actor - MATLAB - MathWorks 日本](#)



光の色や範囲を設定可能



さまざまな光源のシーンを作成

点光源、スポット光源を設定し、検証したい環境を自由に設計

3Dシミュレーション実行のワークフロー

3Dシーン作成

シナリオ生成

3Dシミュレーション



シミュレーション実行する
3Dシーンを準備 (道、街並み)



車両や歩行者などの
交通参加者の動きを定義



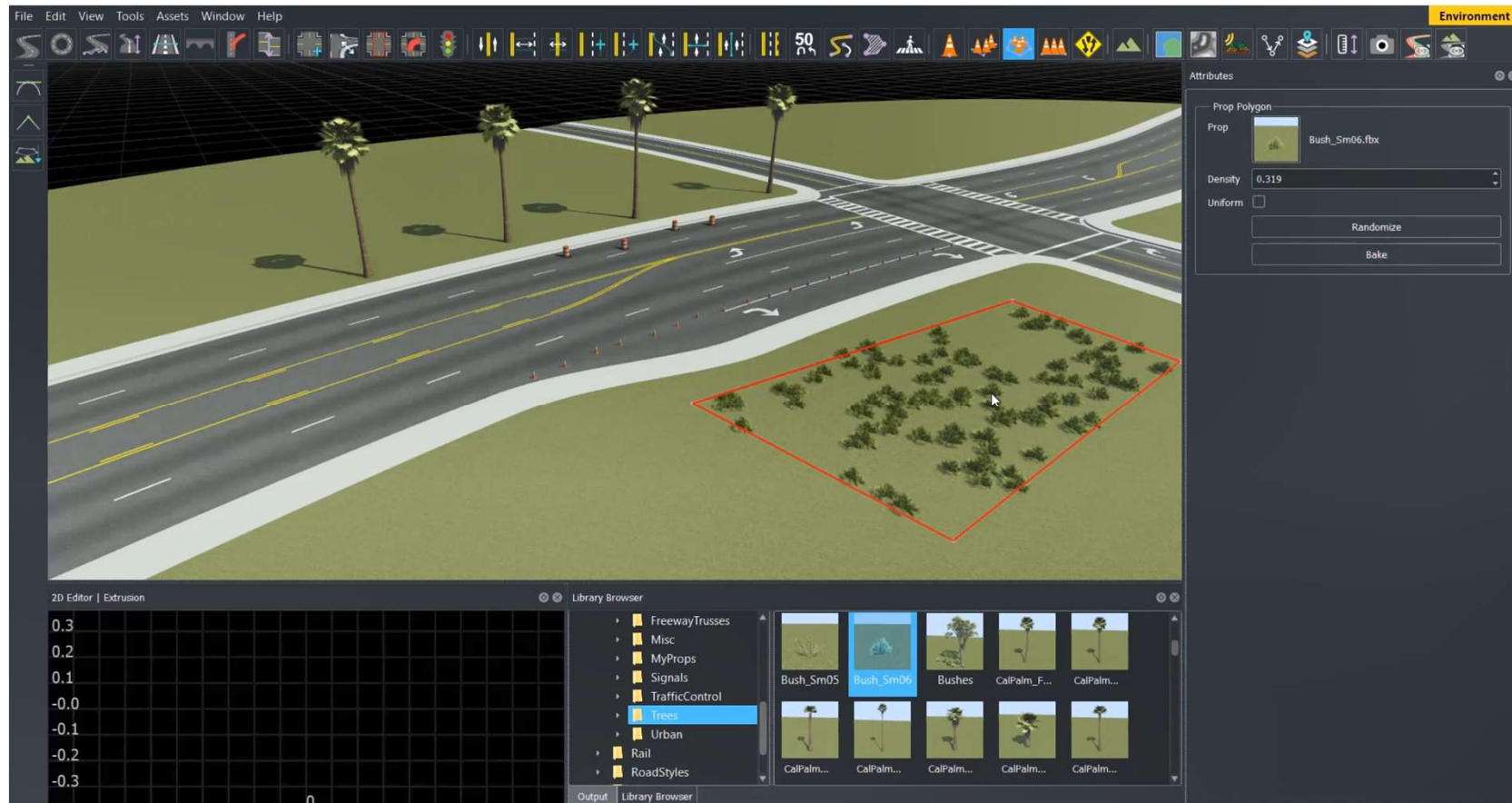
3Dシーン、シナリオを活用して
シミュレーションを実行

道路やテストコースの3Dシーンは
どうやって用意する？
⇒ **直感的な3Dシーン作成ツール**

車両の速度や加速度など動きを
厳密に定義したいけど、
⇒ **イベントベースでシナリオを作成**

RoadRunnerによる直観的なシーン設計

- 道路と交差点の作成
- ASAM OpenDRIVE®のインポートとエクスポート
- ZENRINいつもNAVIやHDマップのインポート
- 空中写真や標高データのインポート
- 様々なシミュレーション環境へエクスポート
- 左車線シーンも作成可能



RoadRunner, RoadRunner Asset Library, RoadRunner Scene Builder

RoadRunner Scenarioによる対話的なシナリオ設計

- 様々な車両を追加
- 道路ネットワークに追従
- 車速変更アクション
- 車線変更アクション
- 横オフセット変更アクション

SpeedBump Actions.rscenario | 22a Project | MathWorks RoadRunner R2022a

Simulation

Simulation Controls

Pause Step Forward Stop

Time: 1.640 s

Enable Facing to Slow Down Simulation

Slower 0.05x 1x 20x Faster

Simulation Properties

Step Size: 0.02000 s Max Time: 1000.000

Camera

Camera View: Follow

Actor: Car

Distance: 5.000

Height: 3.000

| Name | |
|-------------------------------|-----------|
| 1 Hatchback_InitialSpeed | 14 |
| 2 Car_NumLanesToChange | 2 |
| 3 Car_LaneChangeDirection | LeftOf |
| 4 Car_DistanceBehindSpeedBump | -17.98385 |

Simulation Tool

[Scenario Edit Tool](#)
RoadRunner Scenario

R2022a

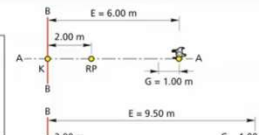
車両アクターの軌跡を設計

- 車線に追従した軌跡
- フリーフォームによる軌跡
 - 3次の曲線(Cubic)
 - クロソイド曲線(Clothoid)
 - クロソイドと円弧 (Clothoid Spline Trun)
- NCAPの軌跡を簡単に表現可



Scenario Edit Tool | Right click to create new routes or insert nodes into existing routes.

→ Trajectory of pedestrian dummy H-point
 - Axis of centerline of Vehicle under Test
 - lances
 Dummy H-point, start to 50%-impact
 Dummy acceleration distance (walking)



| Test speed | Part 1 (clothoid) | | | Part 2 (constant radius) | | | Part 3 (clothoid) | | |
|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| | Start Radius R1 [m] | End Radius R2 [m] | Angle α [deg] | Start Radius R2 [m] | End Radius R2 [m] | Angle β [deg] | Start Radius R2 [m] | End Radius R1 [m] | Angle α [deg] |
| 10 km/h to Farside | 1500 | 9.00 | 20.62 | 9.00 | 9.00 | 48.76 | 9.00 | 1500 | 20.62 |
| 15 km/h to Farside | 1500 | 11.75 | 20.93 | 11.75 | 11.75 | 48.14 | 11.75 | 1500 | 20.93 |
| 20 km/h to Farside | 1500 | 14.75 | 21.79 | 14.75 | 14.75 | 46.42 | 14.75 | 1500 | 21.79 |
| 10 km/h to Nearside | 1500 | 8.00 | 22.85 | 8.00 | 8.00 | 44.30 | 8.00 | 1500 | 22.85 |

3Dシミュレーション実行のワークフロー

3Dシーン作成

シナリオ生成

3Dシミュレーション



シミュレーション実行する
3Dシーンを準備（道、街並み）



車両や歩行者などの
交通参加者の動きを定義



3Dシーン、シナリオを活用して
シミュレーションを実行

たくさん録った実データを上手く
シミュレーション化して、
次世代システムに活かしたい、、
⇒ **実データからのシーン・シナリオ生成**

走行ログデータからのシナリオ作成



Sensor data



RoadRunner Scenario

再構成に使用されるセンサーデータ

- レーン：車載カメラ
- 車両：車載カメラ、LiDAR
- 静的オブジェクト(木、建物等)：LiDARラベルデータ

走行ログデータからシナリオ再構成するメリットと課題

■ メリット

- より現実的なシナリオで検証できる
- 過去に問題が生じた走行を再現し検証できる
- 派生シナリオの作成が容易
- 異なるシミュレーション環境でシナリオを再利用できる

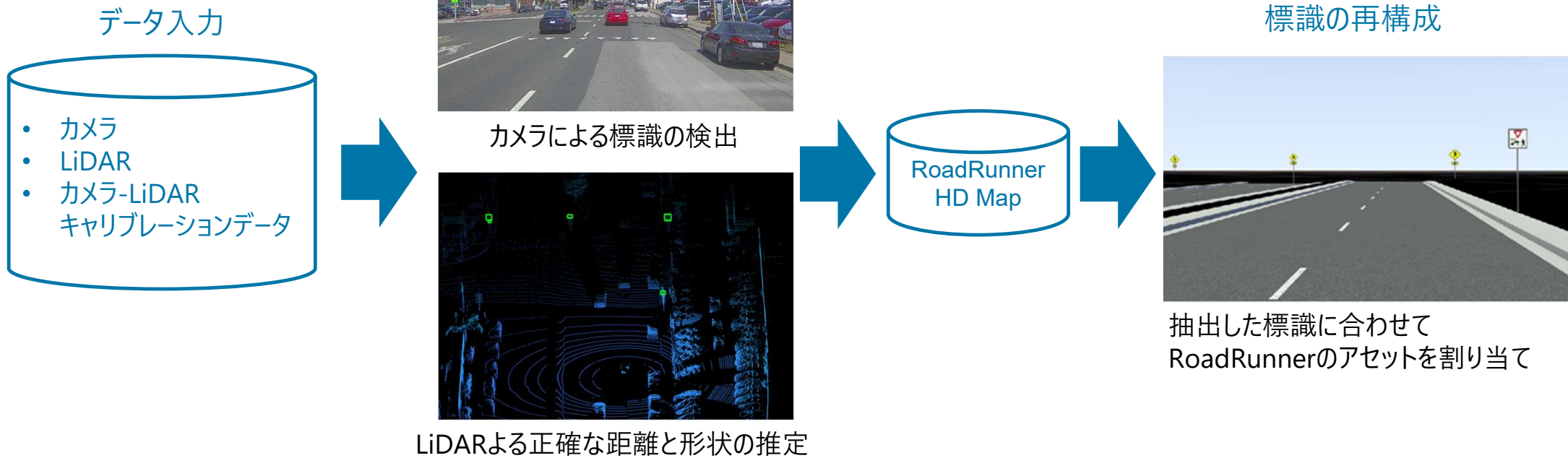
■ 課題

- 手作業では時間とコストもかかり限度がある
- センサデータの組み合わせが様々
 - 例：カメラのみ、カメラ+LiDAR
- 持っているデータの粒度や精度も異なる
 - 生データ、アノテーション済みのデータ、地図データの有無・精度



カメラとLiDARデータから標識を抽出

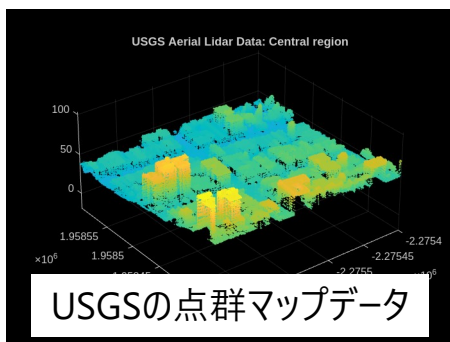
[Generate RoadRunner Scene with Traffic Signs Using Recorded Sensor Data](#)



各国の標識をアセットとして準備済み！カメラとLiDARから標識を自動生成

USGSの点群マップデータからシーンを再構成

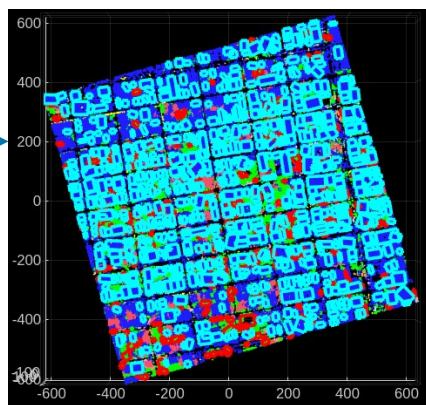
データ入力



[USGSデータのダウンロード](#)



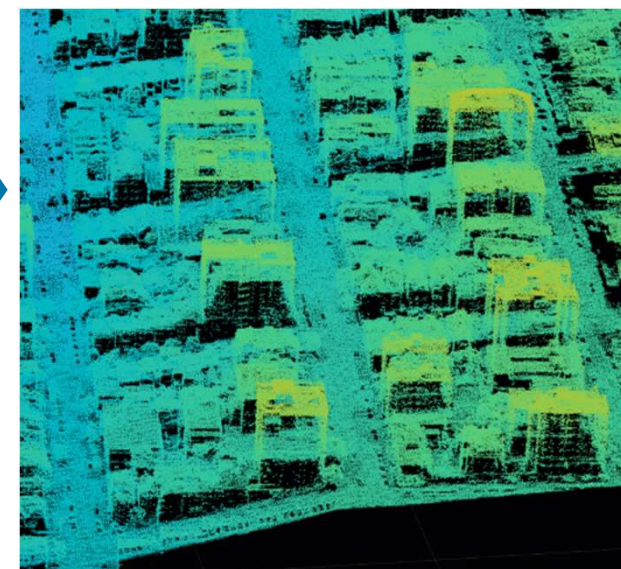
- RandLANetによる分類
- 座標変換、ビルと樹木の抽出



点群データを使い、
不足する道路高さを補正



ビルや樹木の再構成

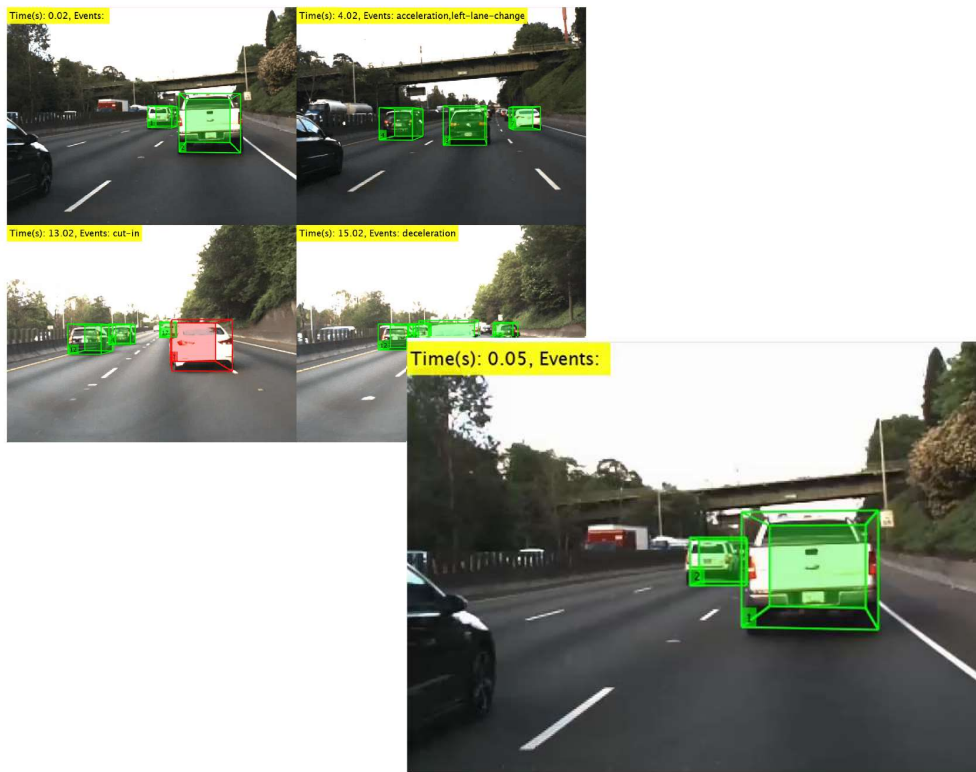


抽出した物標に合わせて
RoadRunnerのアセットを割り当て

[Generate RoadRunner Scene Using Aerial Lidar Data](#)

走行録画データだけでなく、点群マップをお持ちの方も使えるシーン生成機能が登場！

イベントの検出



- 車両の軌跡データからイベントを抽出
 - 右左折
 - 車線変更
 - 割り込み
 - 加減速

- 活用例
 - 特定のシナリオ部分の検索と抽出
 - イベント分類モデル学習の為にトレーニングデータ作成

[Extract Key Scenario Events from Recorded Sensor Data](#)

膨大な走行録画データから、気になるシーンだけを抽出・アノテーション

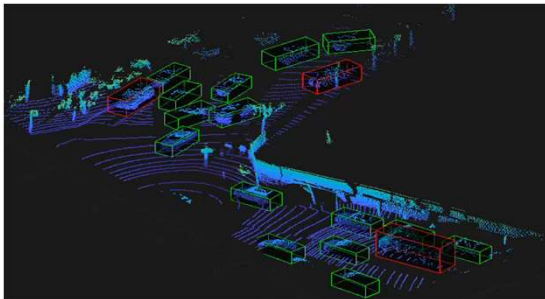
他車両軌跡の抽出

カメラとLiDARのフュージョンとトラッキング

カメラ画像による検出(YOLOv4)



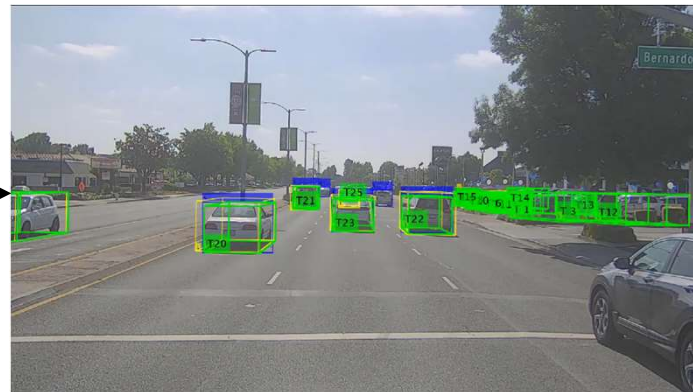
LiDAR点群による検出(PointPillars)



ポイント：リアルタイムで処理させる必要がない

- より精度を重視した認識モデルを利用できる
- ある時刻での状態推定に全時刻の検出データを活用できる

フュージョンとトラッキング(JIPDAスモーカー)



トラックリスト

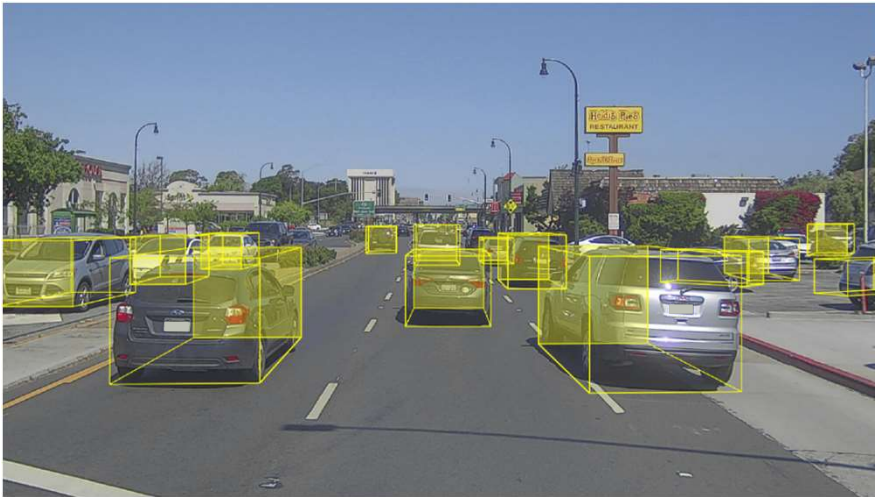
```

TimeStamp: [80x1 double]
TrackIDs: {80x1 cell}
ClassIDs: {80x1 cell}
Position: {80x1 cell}
Dimension: {80x1 cell}
Orientation: {80x1 cell}
Velocity: {80x1 cell}
Speed: {80x1 cell}
StartTime: 0
EndTime: 7.8995
NumSamples: 80
UniqueTrackIDs: [28x1 string]
    
```

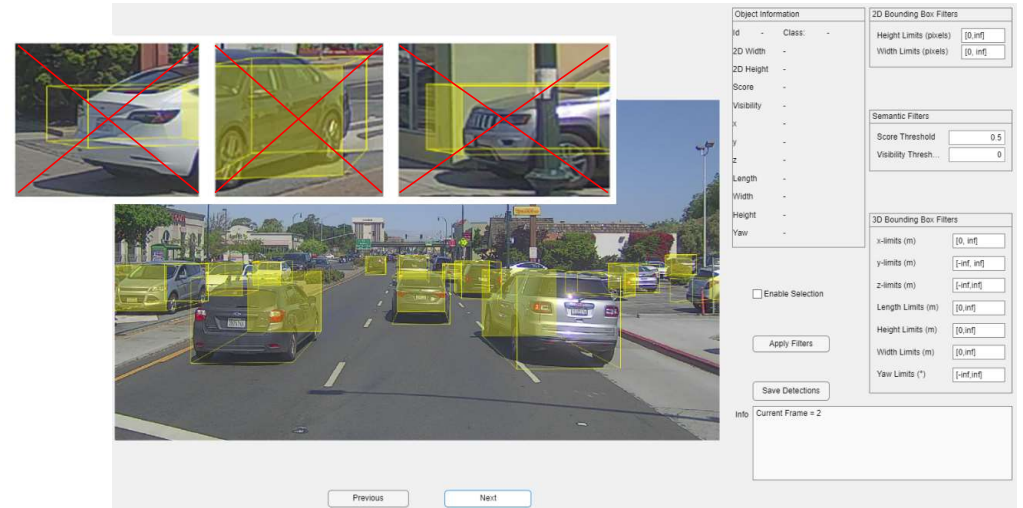
[Fuse Prerecorded Lidar and Camera Data to Generate Vehicle Track List for Scenario Generation](#)

Automated Driving Toolbox,
Sensor Fusion and Tracking Toolbox

単眼カメラ画像から3Dの車両情報を抽出



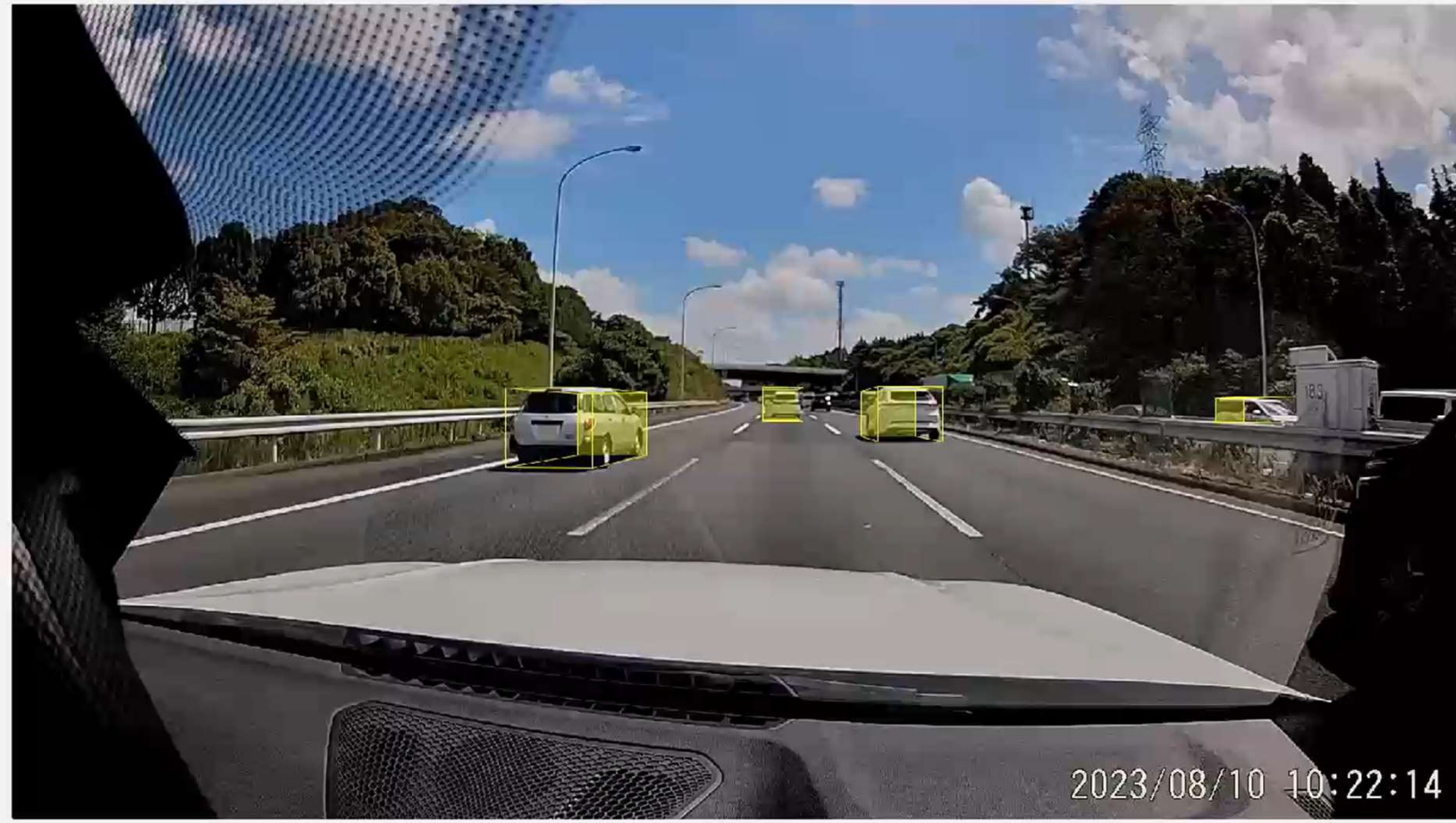
YOLOv4による車両の2D Bounding Box検出
 学習済みモデル(ONNX)による2D→3D Bounding Boxの推定



簡易的なGUIアプリで不正確な検出をフィルタリングし除去
 拡張カルマンフィルタによるトラッキング

[Extract 3D Vehicle Information from Recorded Monocular Camera Data for Scenario Generation](#)

*Automated Driving Toolbox, Deep Learning Toolbox
 Sensor Fusion and Tracking Toolbox*



| Object Information | | |
|--------------------|----------|------------|
| Id | 4 | Class: car |
| 2D Width | 108.9362 | |
| 2D Height | 39.2466 | |
| Score | 0.68202 | |
| Visibility | 1 | |
| x | 48.5768 | |
| y | -32.8098 | |
| z | 0.074633 | |
| Length | 4.7441 | |
| Width | 1.9045 | |
| Height | 1.6331 | |
| Yaw | 2.372 | |

2D Bounding Box Filters

Height Limits (pixels)

Width Limits (pixels)

Semantic Filters

Score Threshold

Visibility Thresh...

3D Bounding Box Filters

x-limits (m)

y-limits (m)

z-limits (m)

Length Limits (m)

Height Limits (m)

Width Limits (m)

Yaw Limits (*)

Enable Selection

Info Current Frame = 181

表データに記述のパラメータよりシナリオバリエーションを生成

- シードシナリオを作成し、パラメータを抽出
- Excel®のスプレッドシートを使ってパラメータのバリエーションを定義
- Excelのデータを使用して、バリエーションオブジェクトを作成
- シナリオのバリエーションを生成し、可視化

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-----------|--------------|---------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | Ego_Speed | Target_Speed | Ego_Dimension | Target_Dimension | Target_Waypoints | CollisionConsistencyFlag | CollisionFraction |
| 2 | | 60 | 40 | | | | |
| 3 | | 80 | 40 | | | | [0.5 0.5] |
| 4 | | 90 | 20 | | | | [0.9 0.1] |
| 5 | | 70 | [6 4 3] | [2 4 3] | | No | |
| 6 | | 100 | 50 | | [-3.750 60 0; -3.616 58] | No | |
| 7 | | 80 | 35 | | [3.25 60 0; 3.116 58.00] | No | |



表データに記述のパラメータよりシナリオバリエーションを生成

The screenshot shows a MATLAB R2021b environment with a spreadsheet and a code editor. The spreadsheet contains the following data:

| | Ego_Speed | Target_Speed | Ego_Dimension | Target_Dimension | Target_Waypoints | CollisionConsistencyFlag | CollisionFraction |
|---|-----------|--------------|---------------|------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | 60 | 40 | | | | | [0.5 0.5] |
| 2 | 80 | 40 | | | | | [0.9 0.1] |
| 3 | 90 | 20 | | | | | |
| 4 | 70 | 30 | [6.4 3] | [2.4 3] | | No | |
| 5 | 100 | 50 | | | [-3.750 60 0; -3.616 58] | No | |
| 6 | 80 | 35 | | | [3.25 60 0; -3.116 58.00] | No | |

The code editor shows the following MATLAB code:

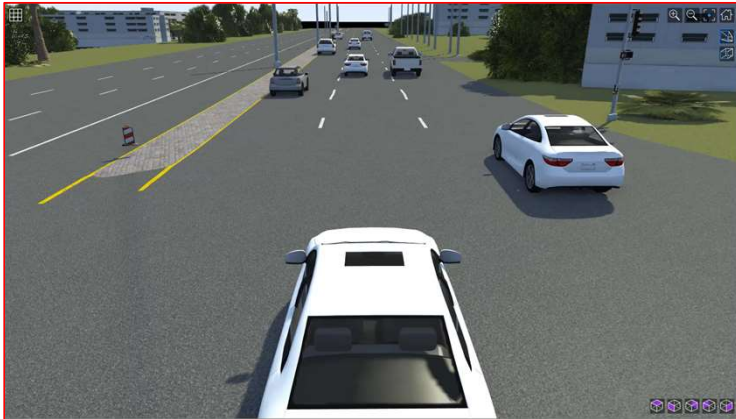
```

>> scenario = getScenario(variantDescriptors(2), Simulator=="RunRunner", SimulatorInstance=="zApp");
dot indexing is not supported for variables of this type.
Error in variantgenerator.internal.updateRoadRunnerScenario (line 4)
if ~isFolder(fileLocation.exportFiles)
Error in variantgenerator.internal.ScenarioDescriptor/constructRoadRunnerScenario (line 55)
variantScenario = variantgenerator.internal.updateRoadRunnerScenario( ...
  
```

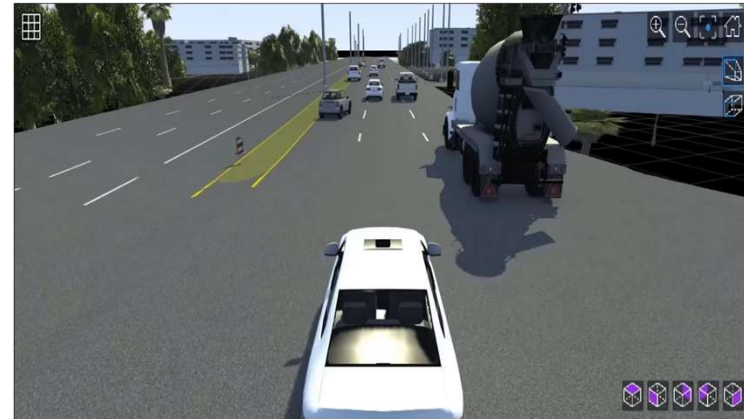
excelに変更したいパラメータリストを記述 (6行 = 6パターン生成)

ユーザは最小のプログラム記述でシナリオバリエーション生成が可能

実録画データからのシナリオバリエーション生成



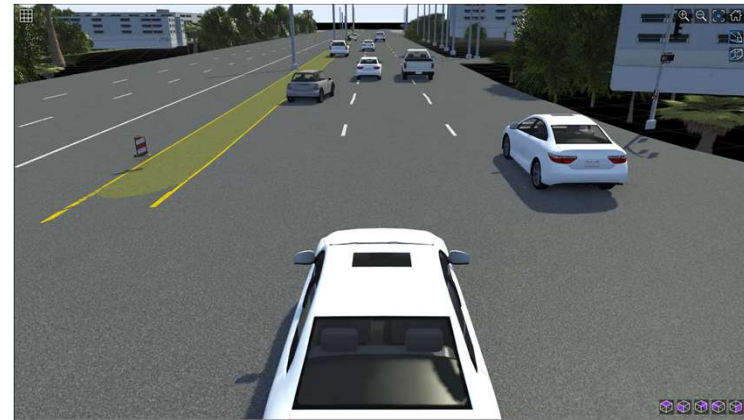
Seed Scenario (実録画データから生成)



CutIn_Left (右車両をトラックに変更)



CutIn_Right (左前方車両)



No Collision Rash Driving (右車両)

Unreal Engine環境でのシミュレーション実行



ドライブレコーダー動画/GPS



Unreal Engineでのシミュレーション実行
(木、ガードレールは手動配置)

ドラレコ映像をUnreal Engine環境でシミュレーション

Unreal Engine環境でのSim実行



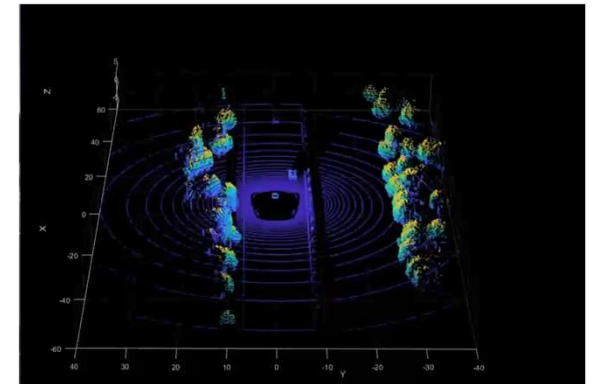
Unreal Engineでのベースシミュレーション



時間帯を夕方に変更



カメラ広角化

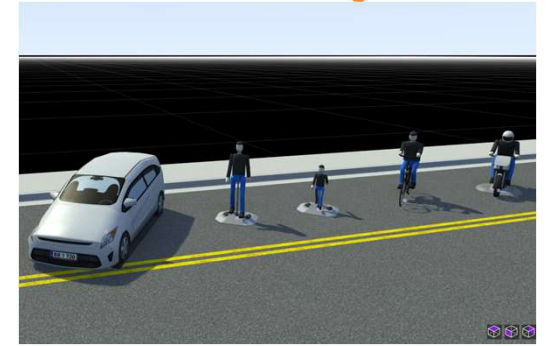


LiDARセンサでの点群計測

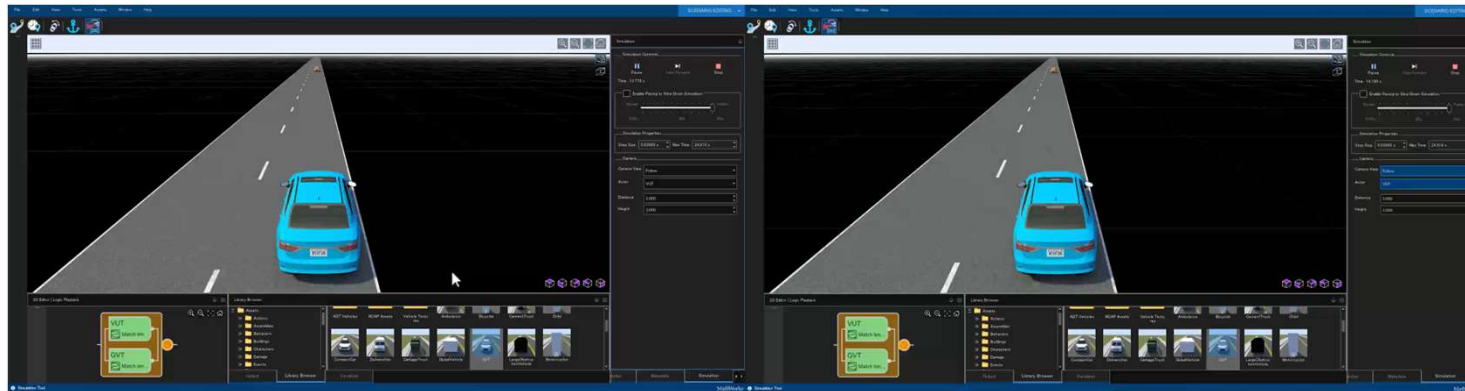
時間帯やセンサ諸元、センサ構成を変更しシミュレーション可能

AEB Test Bench for Euro NCAP Scenarios

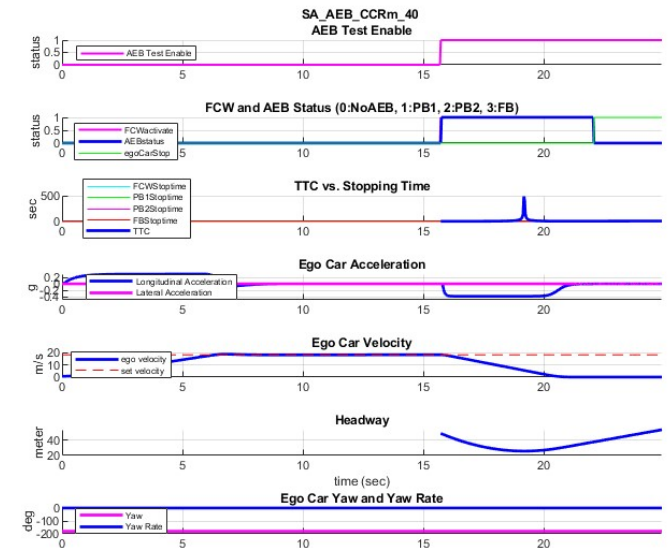
- CCRmシナリオを作成しシミュレーションを実行
- AEBシステム無効と有効での挙動を確認
- 判断・制御のフラグや状態の結果解析を可視化
- simpleな判断・制御モデルを試したい方におすすめ



各種アセットも使用可能
※RoadRunner Asset Libraryが必要



[AEB Test Bench for Euro NCAP Scenarios - MATLAB & Simulink - MathWork](#)



Euro NCAPシナリオについてClosed Loop Simulationを即実行可能！

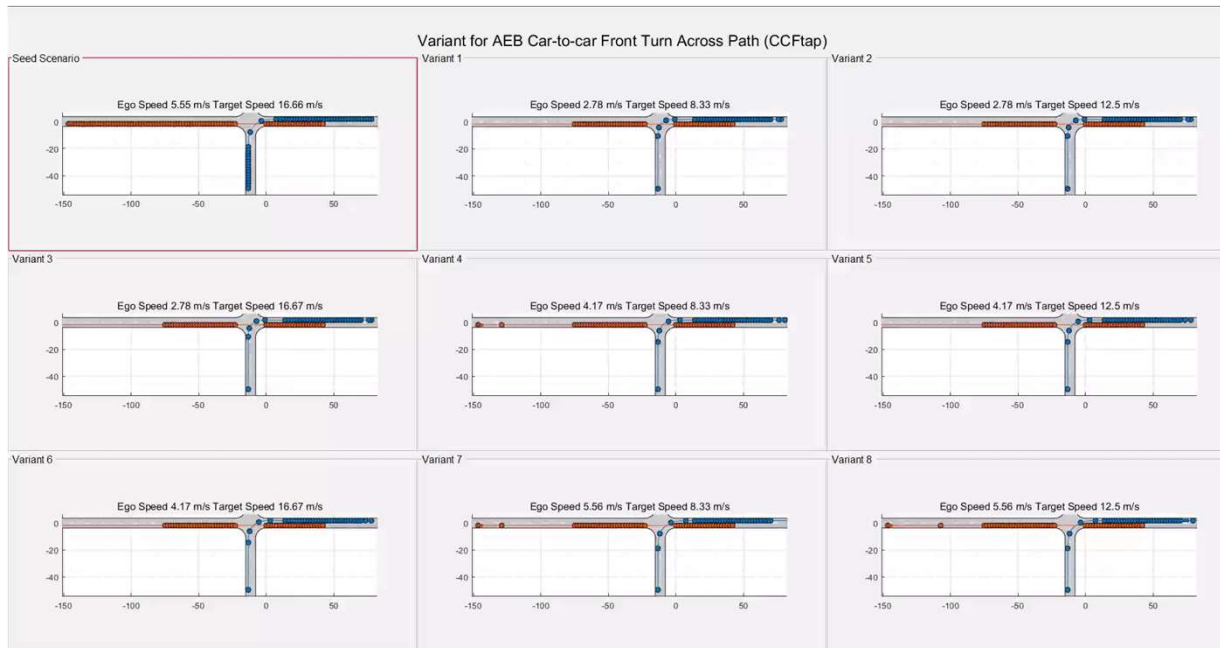
Generate Variants for Testing AEB Car-to-Car Scenarios

- シナリオ名を指定し、AEBシナリオを自動作成
- 作成したシナリオはASAM OpenSCENARIO®として出力
- シナリオのバリエーション生成におすすめ

作成可能なシナリオリスト

- "SA AEB CCRs"
- "SA AEB CCRm"
- "SA AEB CCRb"
- "SA AEB CCFtap"
- "SA AEB CCCscp"
- "SA AEB CCFhos"
- "SA AEB CCFhol"
- "VRU AEB Crossing CPFA"
- "VRU AEB Crossing CPNA"
- "VRU AEB Crossing CPNCO"
- "VRU AEB Longitudinal CPLA"
- "VRU AEB Turning CPTAfo"
- "VRU AEB Turning CPTAfs"
- "VRU AEB Turning CPTAno"
- "VRU AEB Turning CPTAns"

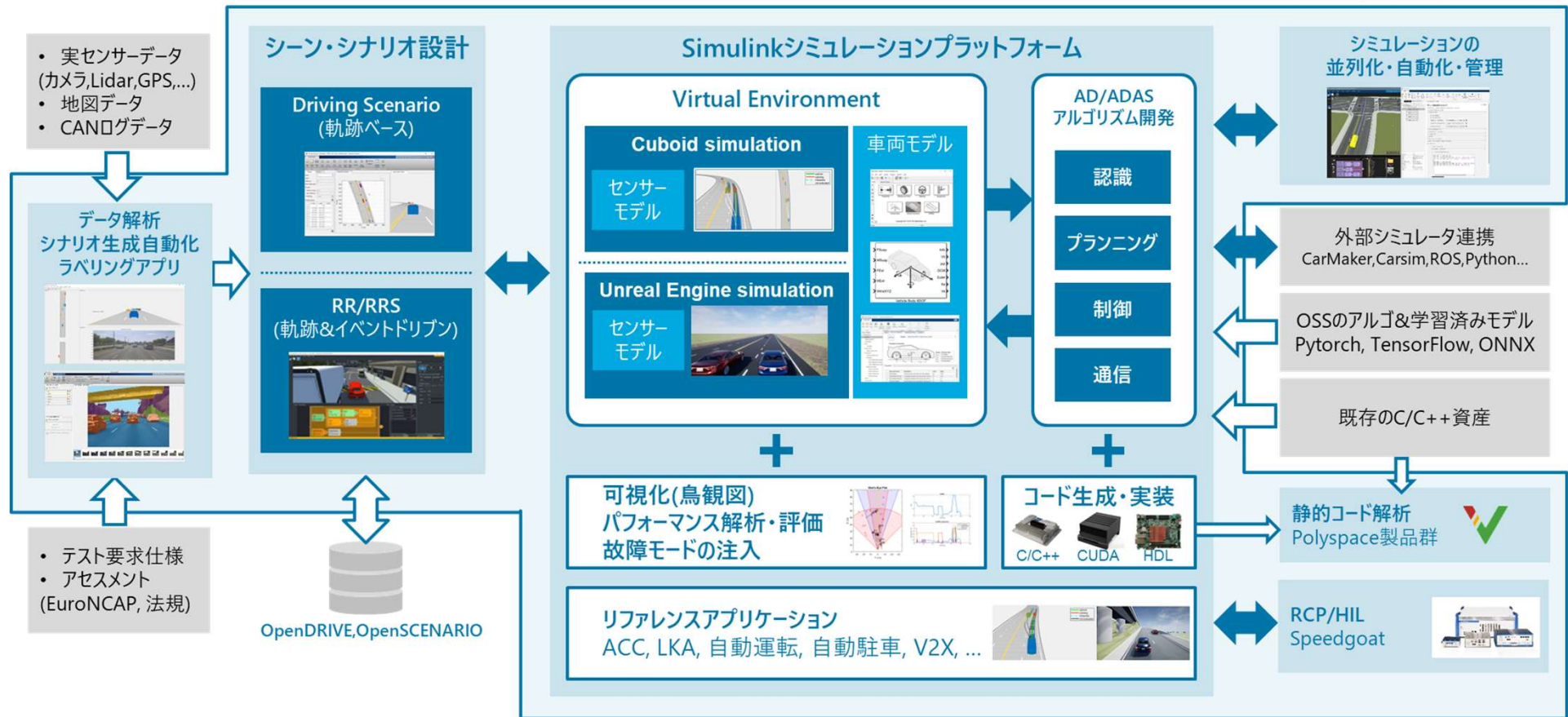
[Generate Variants for Testing AEB Car-to-Car Scenarios - MATLAB & Simulink - MathWorks 日本](#)



Euro NCAPの各種シナリオをつくることなく活用！

まとめ：Overview of MathWorks AD/ADAS Solutions

*RR: RoadRunner / RRS: RoadRunner Scenario



みなさまのシミュレーション活用を一気通貫でサポートします！



© 2024 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.