

MATLAB EXPO 2021

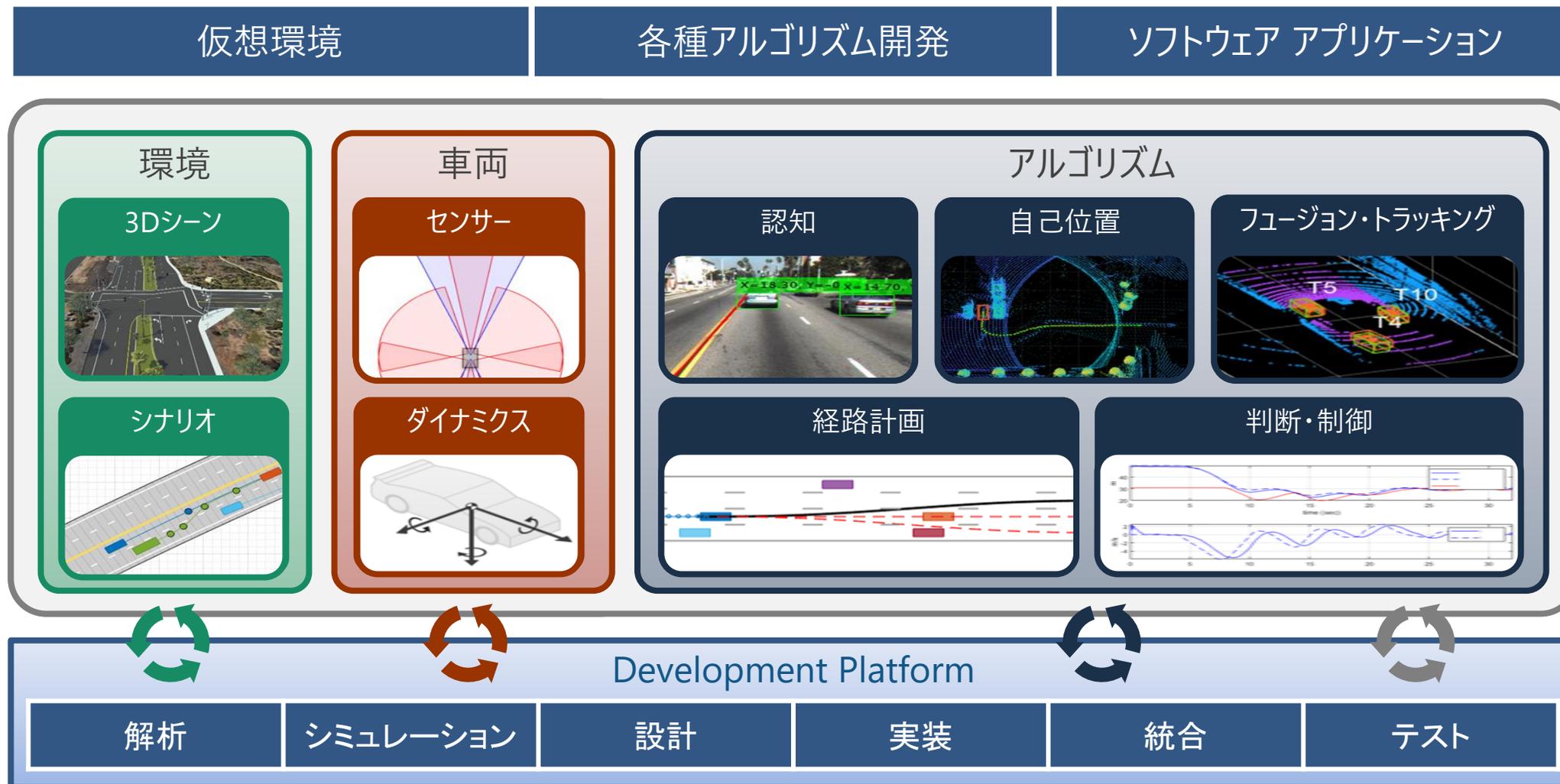
自動運転/ADAS開発向け
MATLAB/Simulink最新情報

大塚 慶太郎

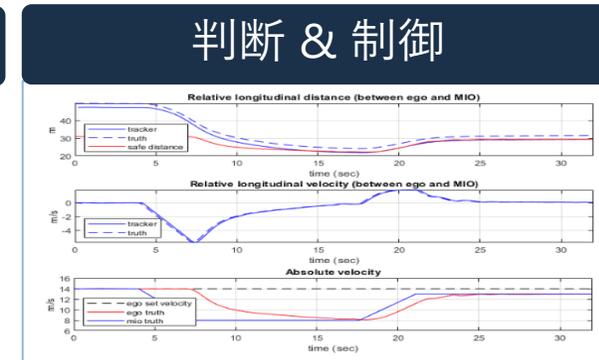
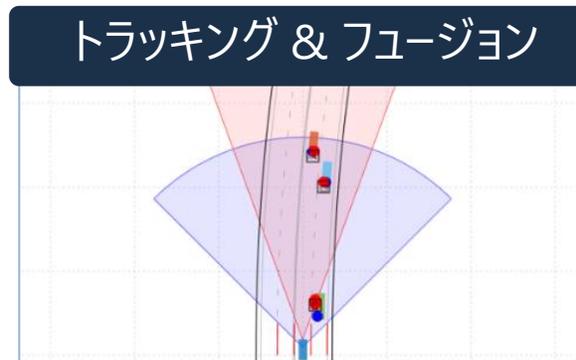
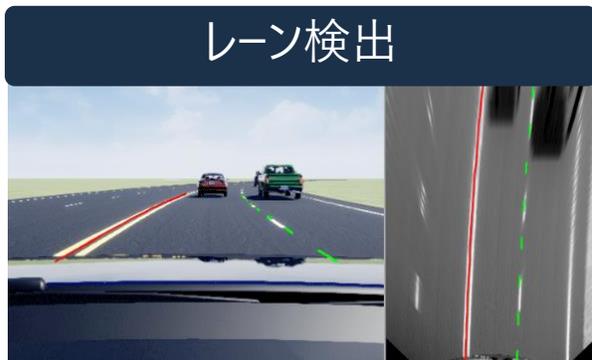


自動運転/ADASシステムの開発

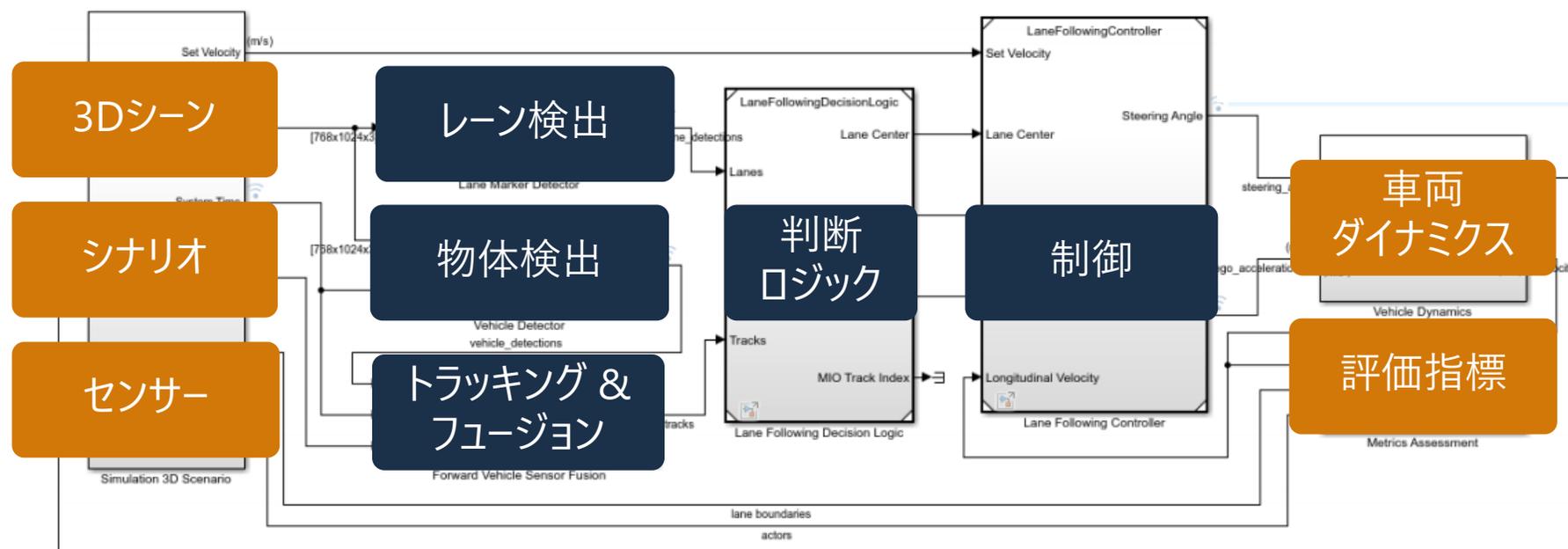
with MATLAB, Simulink, and RoadRunner



仮想環境を利用した自動運転システムのシミュレーション

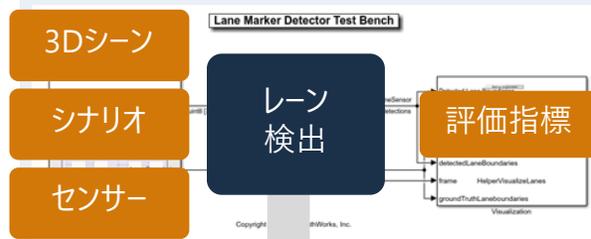
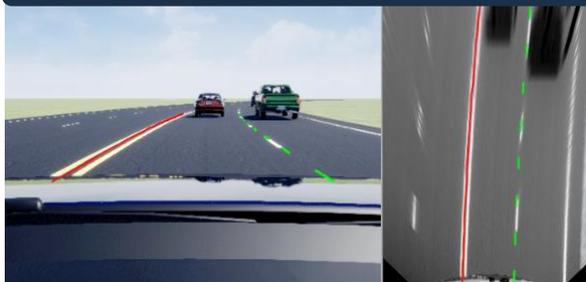


Highway Lane Following Test Bench



自動運転に関する各種アルゴリズムの開発

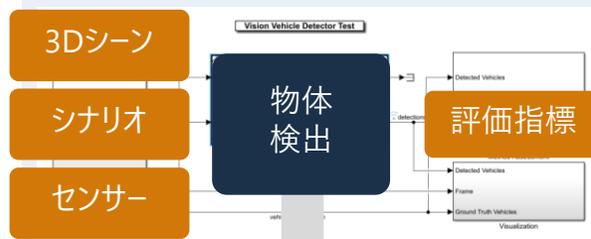
レーン検出



コード

[Lane Detector](#)

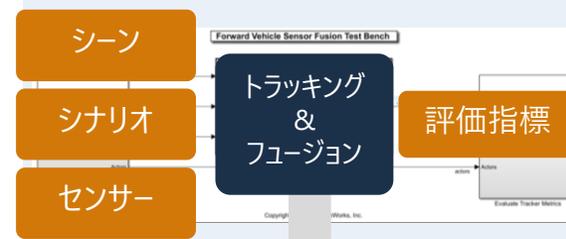
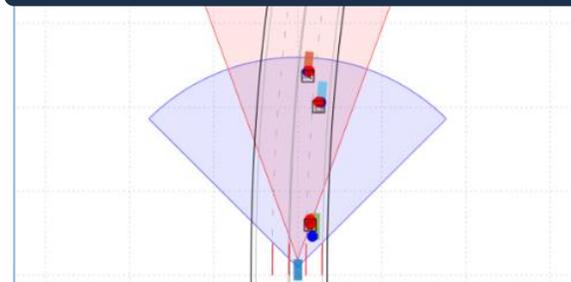
物体検出



コード

[Vehicle Detector](#)

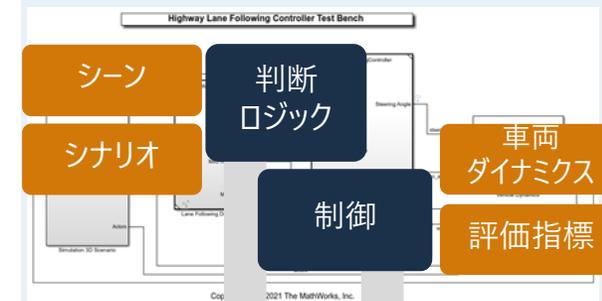
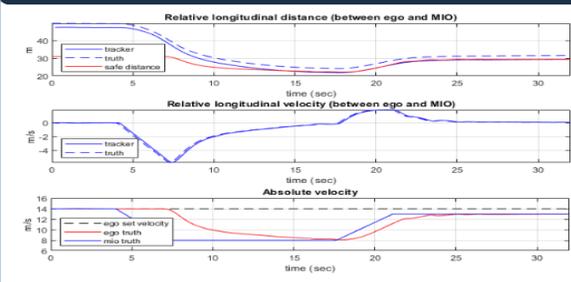
トラッキング & フュージョン



コード

[Vehicle Sensor Fusion](#)

判断 & 制御



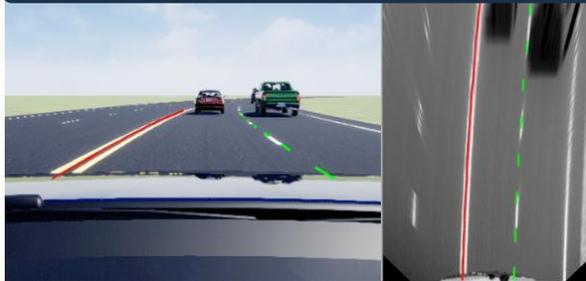
コード

コード

[Decision and Controls](#)

自動運転領域向け、ソフトウェアアプリケーションの開発

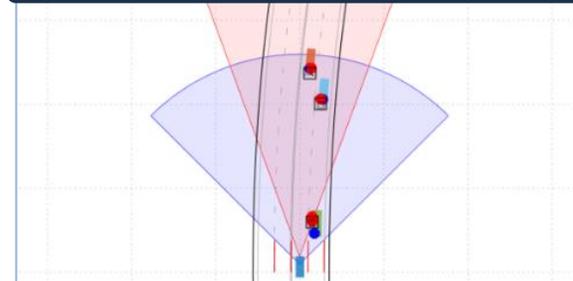
レーン検出



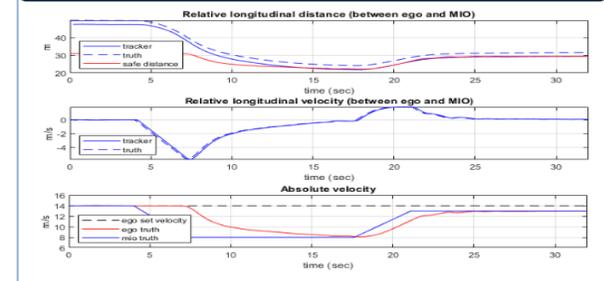
物体検出



トラッキング & フュージョン

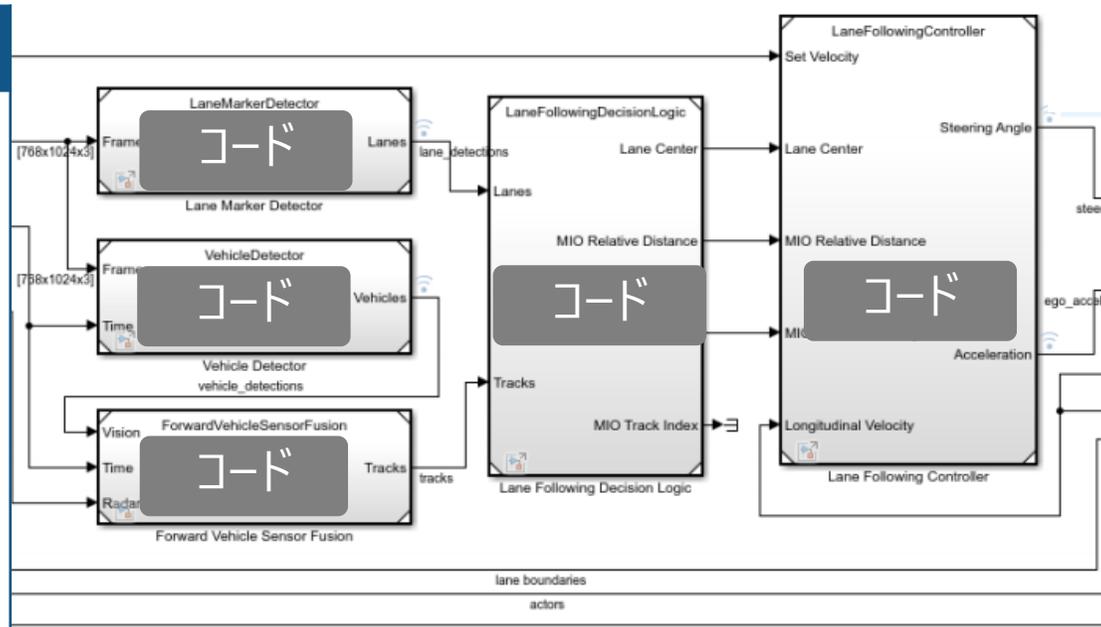
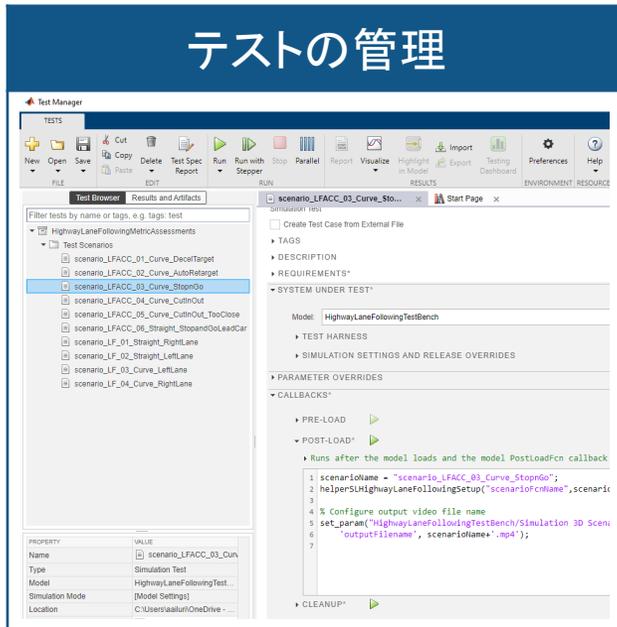


判断 & 制御



Highway Lane Following Test Bench

テストの管理



レポートの生成

Summary	Outcome
Name	
HighwayLaneFollowingMetricAssessments	100%
Test Scenarios	100%
scenario LFACC 01 Curve DecelTarget	✓
scenario LFACC 02 Curve AutoRetarget	✓
scenario LFACC 03 Curve StopnGo	✓
scenario LFACC 04 Curve CutInOut	✓
scenario LFACC 05 Curve CutInOut TooClo	✓
scenario LFACC 06 Straight StopandGoLea	✓
scenario LF 01 Straight RightLane	✓
scenario LF 02 Straight LeftLane	✓
scenario LF 03 Curve LeftLane	✓
scenario LF 04 Curve RightLane	✓

自動運転/ADASシステム開発・検証用の仮想環境の構築

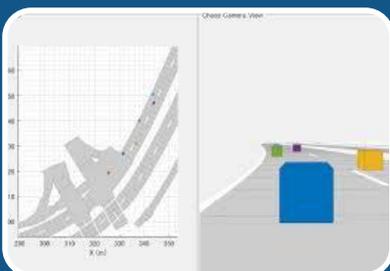


目的に応じた、適切な仮想環境の選択



2D Environment

- ルート毎燃費・消費エネルギー計算、航続距離取得
- 2D交通流シミュレーション
- センサモデル無し(不要)



Affordable 3D Environment

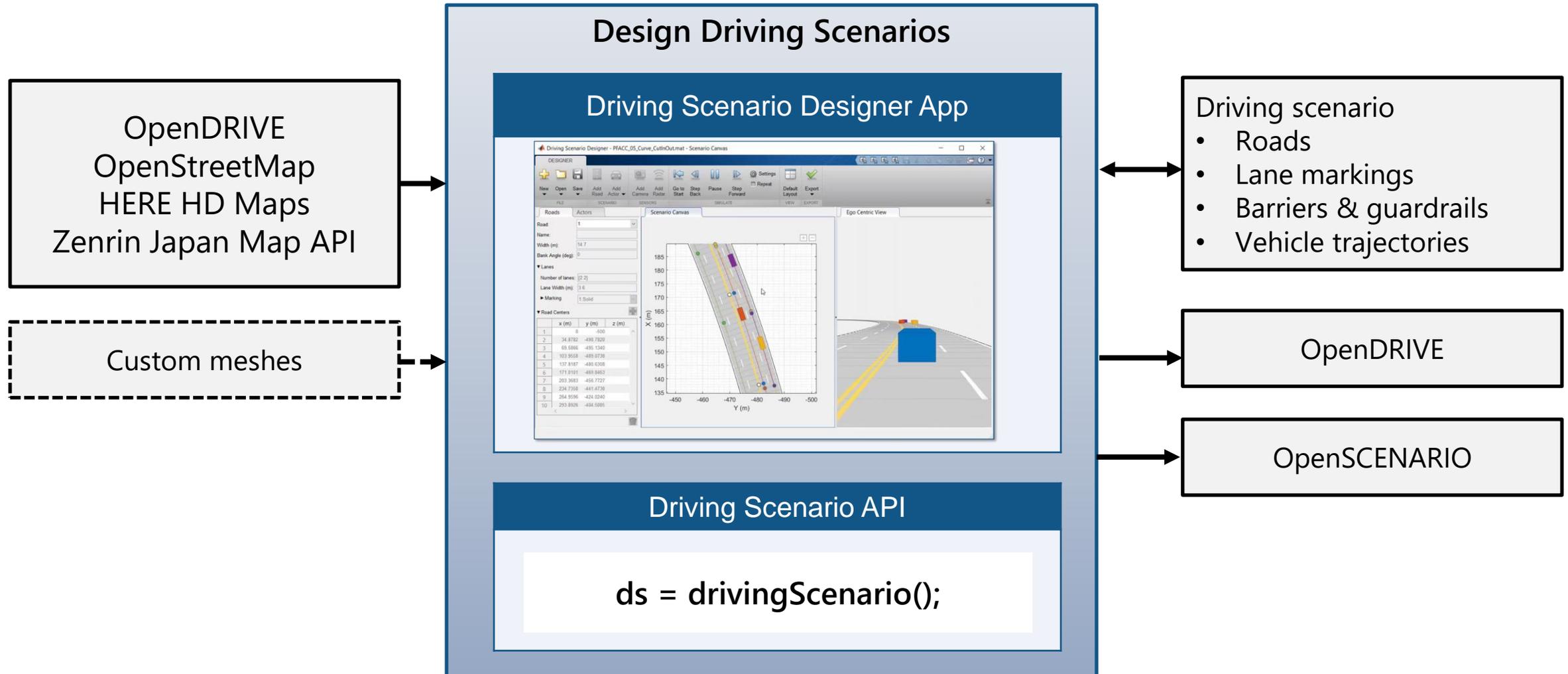
- センサーフュージョン、制御系アルゴリズム検証用シミュレーション
- センサ取付位置検討
- Probabilisticセンサモデル



High Fidelity 3D Environment

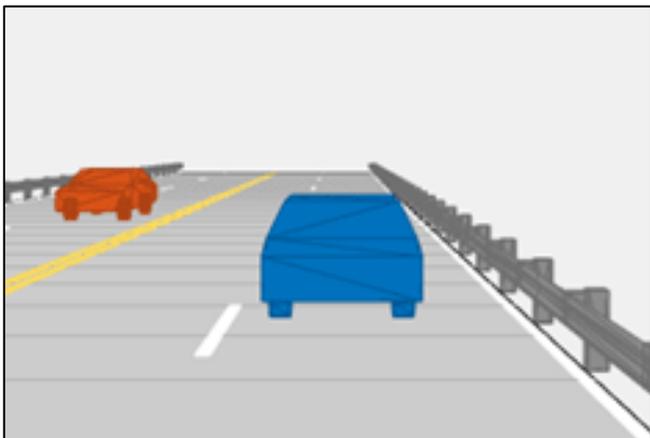
- 認識系含むシステムレベルシミュレーション
- 高忠実度センサモデル

シーンやシナリオの作成 – 自動運転アルゴリズム開発検証用途



シーンやシナリオの作成 – 新機能 (1 of 2)

ガードレールや障壁の追加

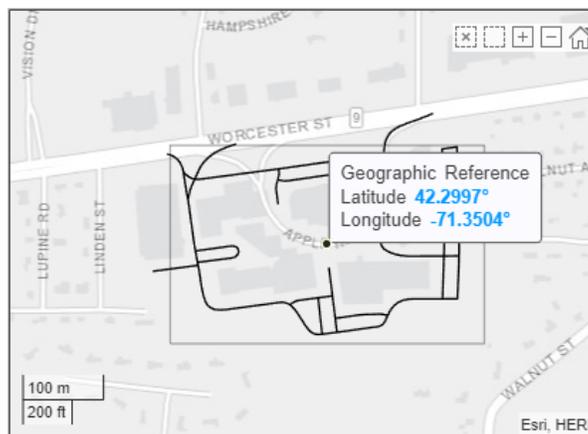


標準で準備されているアクターリストからガードレール・障壁を選択可能に

[Driving Scenario Designer](#)
Automated Driving Toolbox™

R2021a

OpenStreetMapからの道路情報インポート

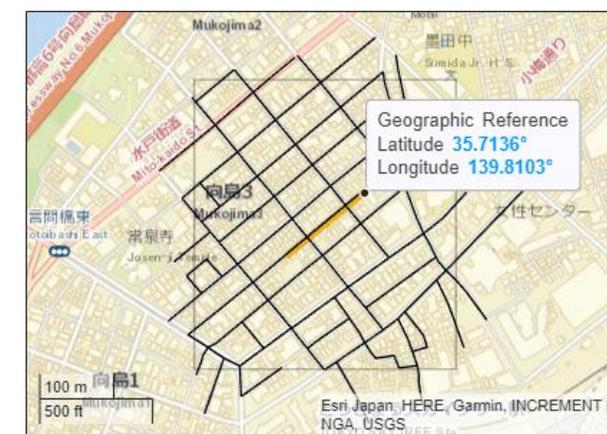


OpenStreetMapファイル(.osm, .xml)をDriving Scenarioに読み込み可能に

[Import OpenStreetMap Data into Driving Scenario](#)
Automated Driving Toolbox™

R2021a

ゼンリンデータコム いつもNAVI APIを経由した 道路情報のインポート



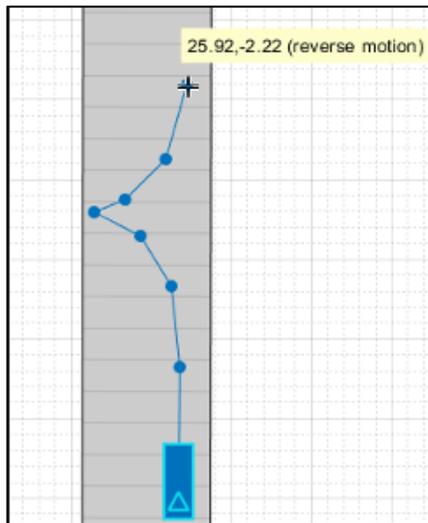
所望のエリアの緯度経度を指定するだけで道路ネットワークを構築

[Import Zenrin Japan Map API 3.0 \(Itsumo NAVI API 3.0\) into Driving Scenario](#)
Automated Driving Toolbox™

R2021a

シーンやシナリオの作成 – 新機能 (2 of 2)

後退(Reverse Motion)対応



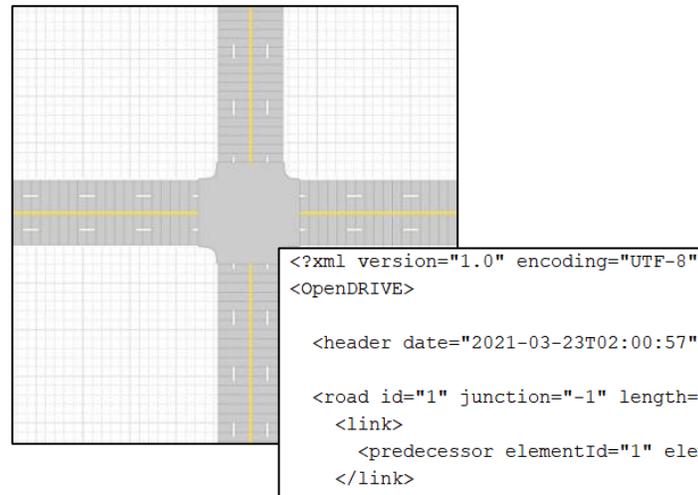
自動駐車のスナリオ等で必要な後退方向の waypoints 指定

[Create Reverse Motion Driving Scenarios Interactively](#)

Automated Driving Toolbox™

R2020b

OpenDRIVE® 1.4H フォーマット対応



OpenDRIVE形式のファイルの Import/Exportに対応

[Export Driving Scenario to OpenDRIVE File](#)
Automated Driving Toolbox™

R2020b

OpenSCENARIO® 1.0 でのエクスポート

Triggers

- Simulation time
- Actor absolute position

Actions

- Start routing/trajectory action
- Set target speed
- Change speed
- Add/remove actors

Driving ScenarioのOpenSCENARIO形式でのExport対応

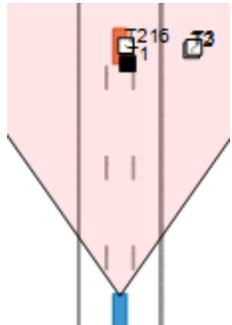
[Export driving scenario to OpenSCENARIO](#)
Automated Driving Toolbox™

R2021a

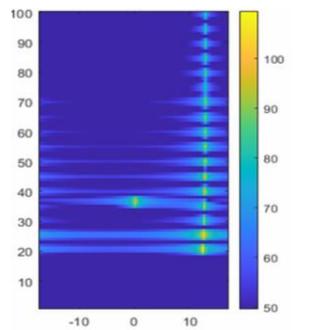
センサーのシミュレーション - 自動運転アプリケーション用途

Cuboid Sensors

Radar Tracks

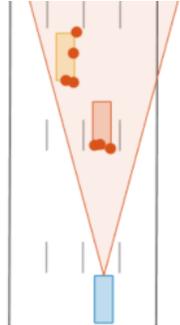


Radar IQ Signals

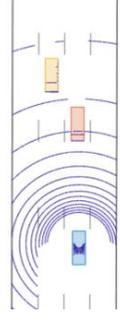


Cuboid & Unreal Engine

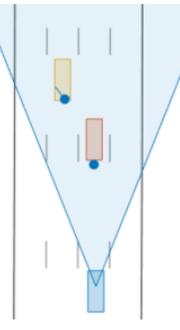
Radar Detections



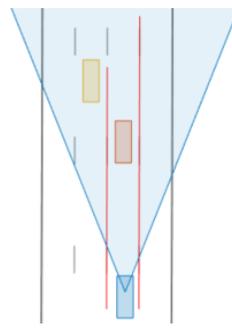
Lidar



Vision Detections



Lane Detections

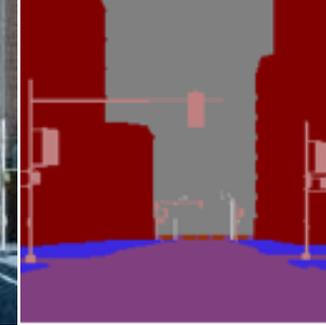


Unreal Engine Sensors

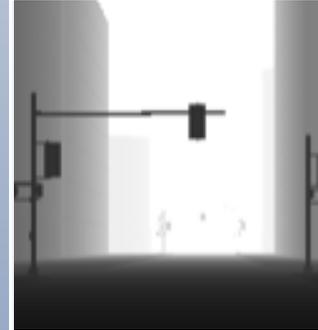
Monocular Camera



Semantic Segmentation



Depth



Fisheye Camera



Positional Sensors

Wheel Encoder

Global Positioning System (GPS)

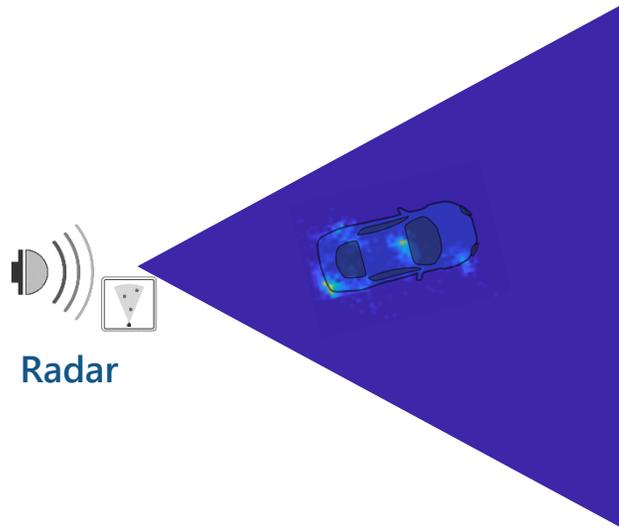
Inertial Measurement Unit (IMU)

Inertial Navigation System (INS)

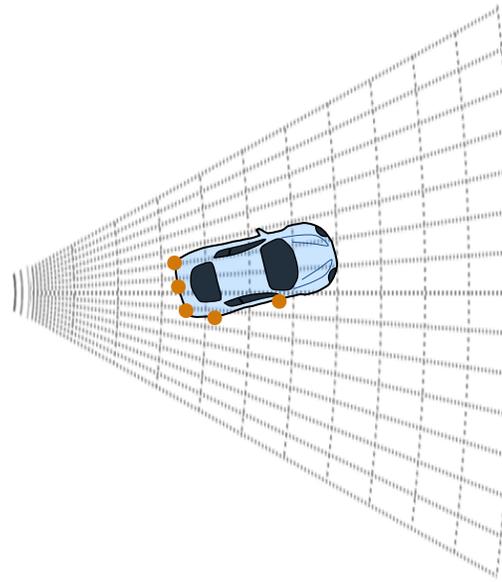
Commonly used tools: Automated Driving Toolbox™, Radar Toolbox, Navigation Toolbox™

Radarセンサーのシミュレーション - 目的に応じて選択できるセンサモデル

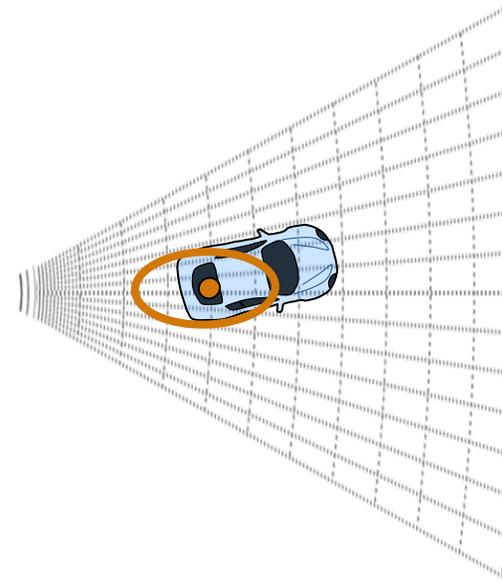
Raw IQ Signals



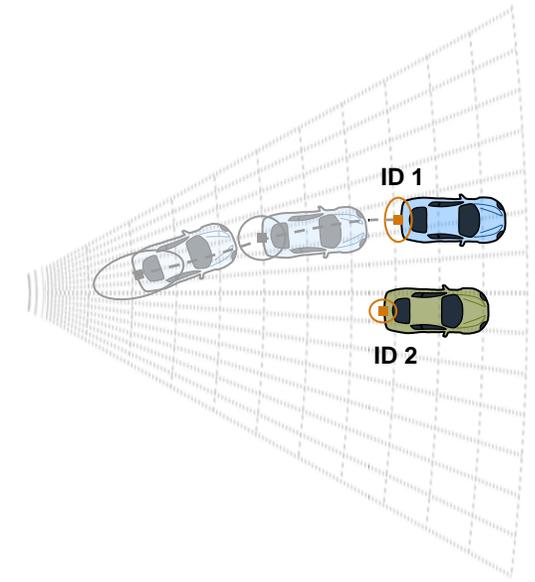
Detections



Clusters



Tracks



Waveform-level Model

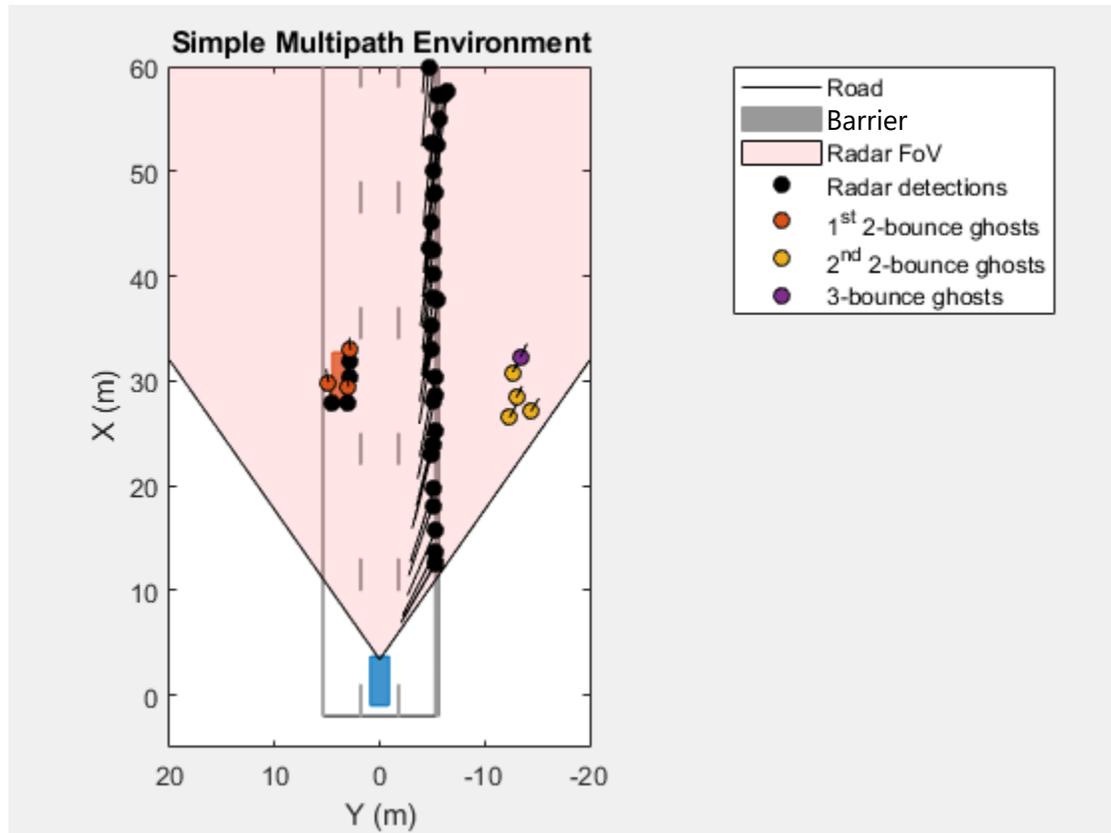
[Radar Transceiver](#)
Radar Toolbox

Measurement-level Model

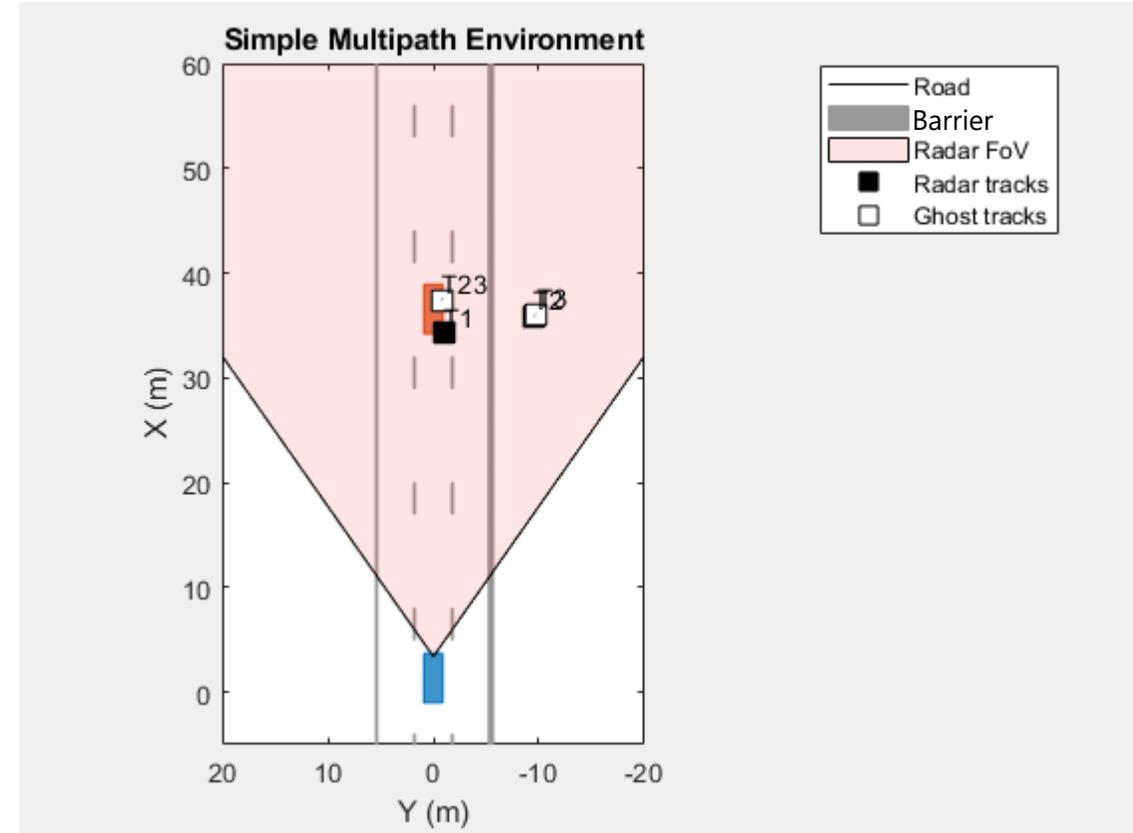
[Driving Radar Data Generator](#)
Automated Driving Toolbox™, Radar Toolbox

マルチパスの影響を考慮したシミュレーション

Radar Detection Sensor Model



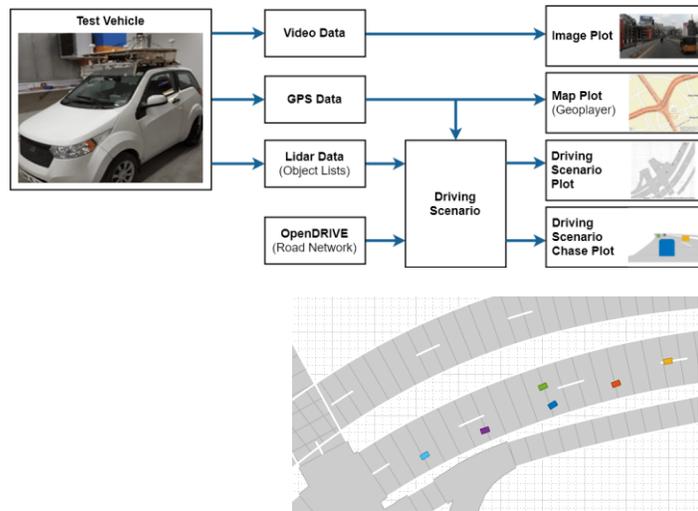
Radar Tracks Sensor Model



[Simulate Radar Ghosts due to Multipath Return](#)
Automated Driving Toolbox™, Radar Toolbox

シナリオの生成やバリエーションの付与 - 新例題

テスト車両からのデータによる シナリオ自動生成

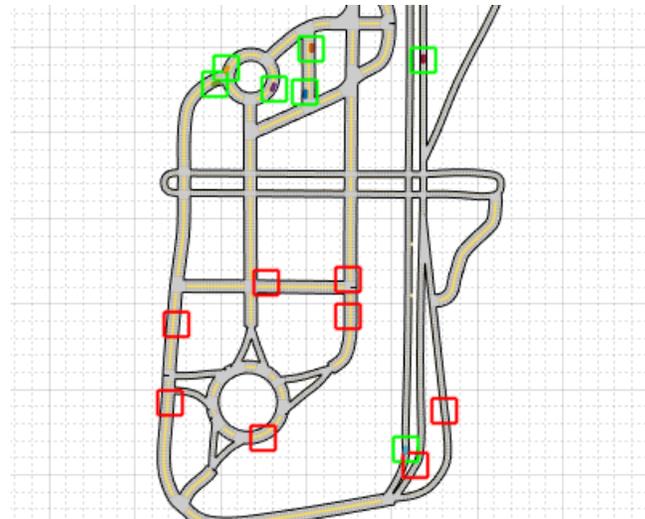


Lidar点群やGPSデータ等、テスト車両から取得したデータをもとに道路ネットワークとシナリオを自動生成

[Scenario Generation from Recorded Vehicle Data](#)
Automated Driving Toolbox™

R2019a

車両経路のバリエーション生成

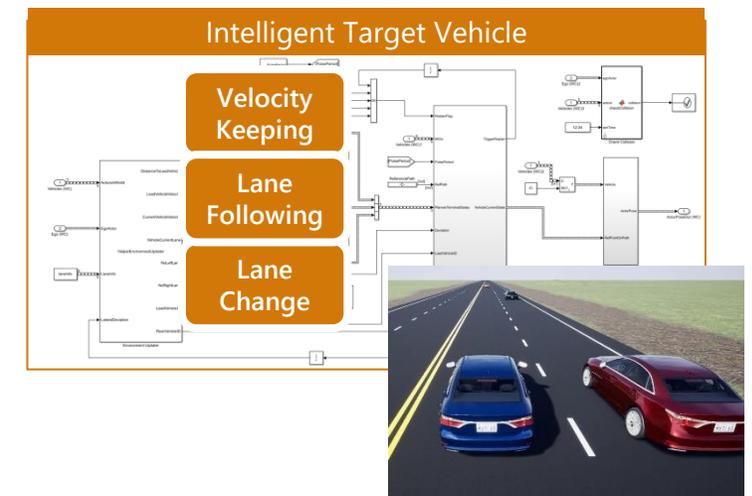


自車以外の交通参加者(アクター)の配置や行動軌跡を自動生成

[Automatic Scenario Generation](#)
Automated Driving Toolbox™

R2020b

車両モデルを活用した シミュレーション



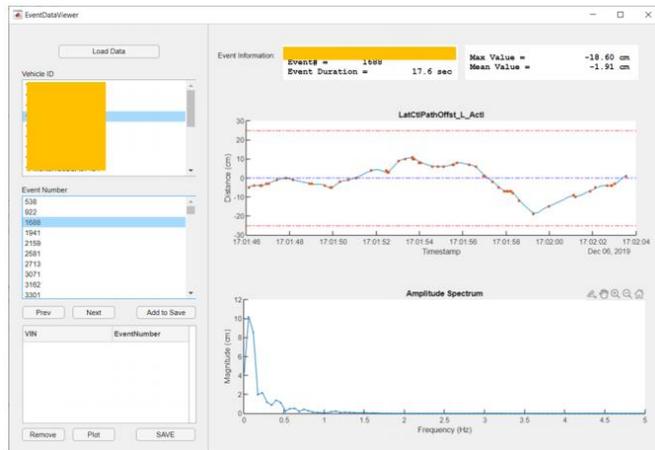
仮想環境(Unreal)と認知・判断・制御アルゴリズム、車両ダイナミクスの統合

[Highway Lane Following with Intelligent Vehicles](#)
Automated Driving Toolbox™, Navigation Toolbox™, Model Predictive Control Toolbox™

R2020b

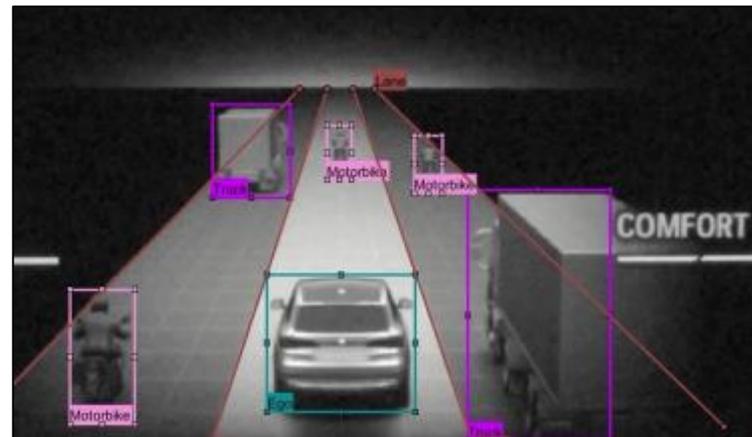
自動運転/ADASシステム開発における仮想環境の活用事例

Ford : 車両データからの ADAS機能パフォーマンス解析



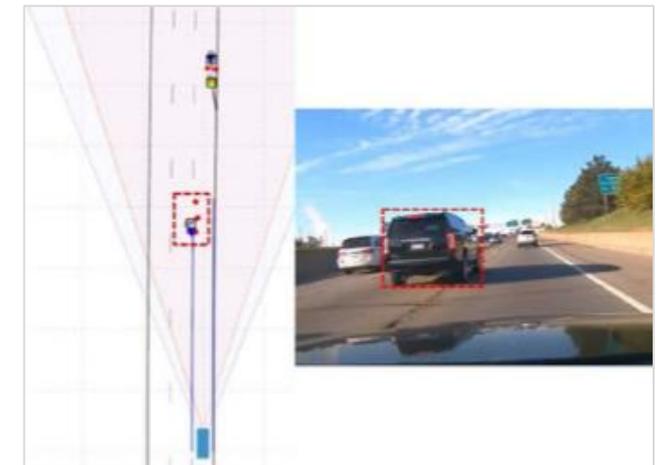
Lane Centeringアルゴリズム - 車線の中央をトラックできているかの解析とシナリオ生成

BMW : 車両ディスプレイ画像に 対するラベリングの自動化



車両のインフォテインメントシステムに表示されるオブジェクト(乗用車、トラック、バイク)が正しく表示されているか検証

GM : テスト車両からのデータによる シナリオの生成



テスト車両から取得したデータを基にしたシナリオ生成と、作成されたシナリオを活用したLane Centeringシステムの検証

[Using MATLAB on Apache Spark for ADAS Feature Usage Analysis and Scenario Generation](#)
MathWorks Automotive Engineer Conference 2020

[Automated Verification of Automotive Infotainment](#)
MathWorks Automotive Conference
2020 – Europe

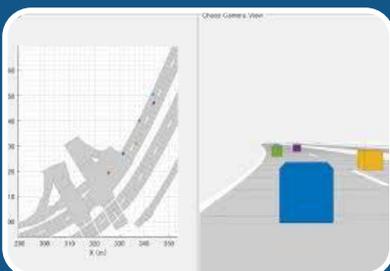
[Creating Driving Scenarios from Recorded Vehicle Data for Validating Lane Centering Systems](#)
MathWorks Automotive Conference
2020 – North America

目的に応じた、適切な仮想環境の選択



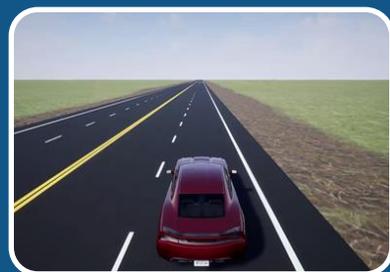
2D Environment

- ルート毎燃費・消費エネルギー計算、航続距離取得
- 2D交通流シミュレーション
- センサモデル無し(不要)



Affordable 3D Environment

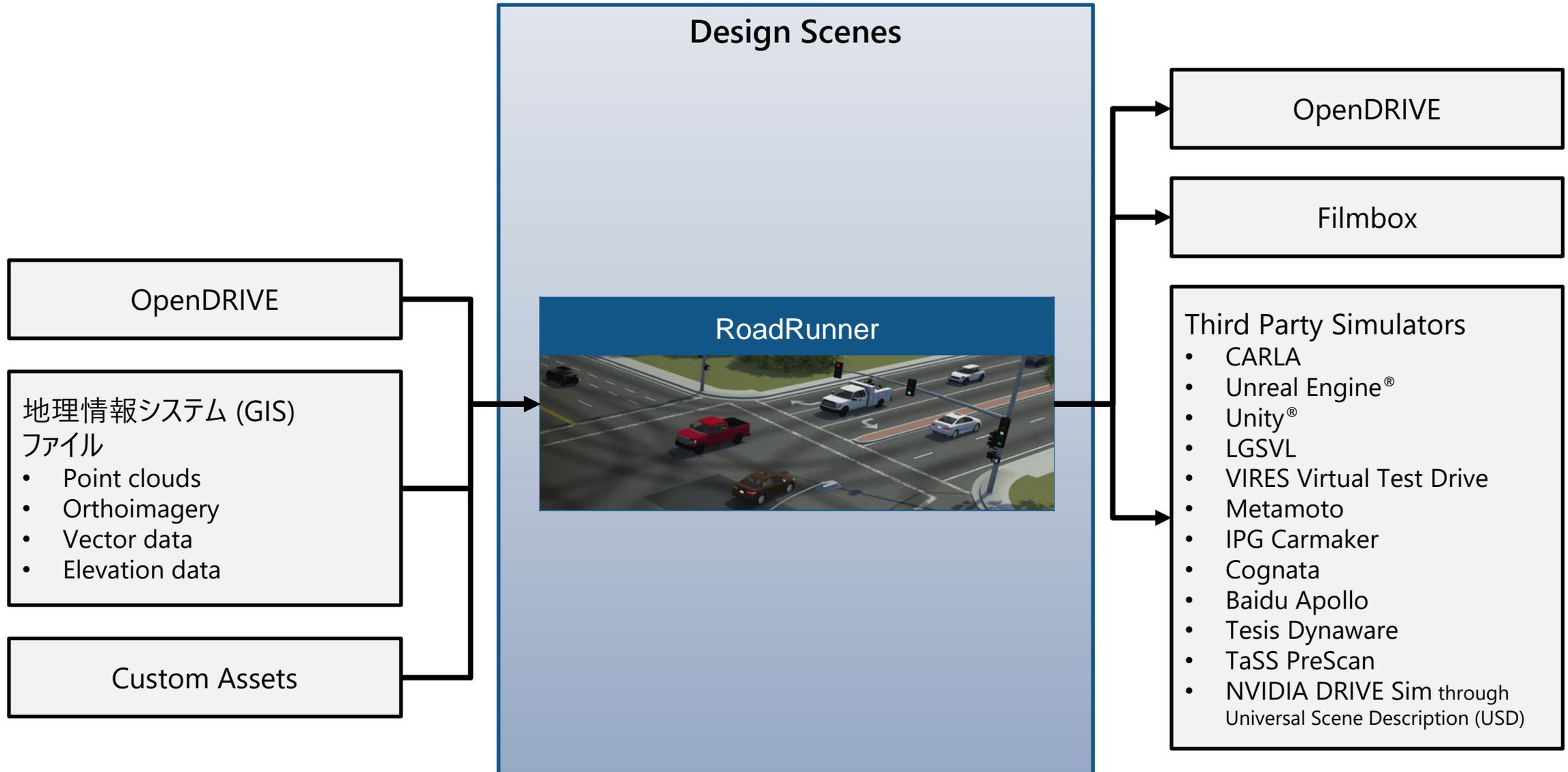
- センサーフュージョン、制御系アルゴリズム検証用シミュレーション
- センサ取付位置検討
- Probabilisticセンサモデル



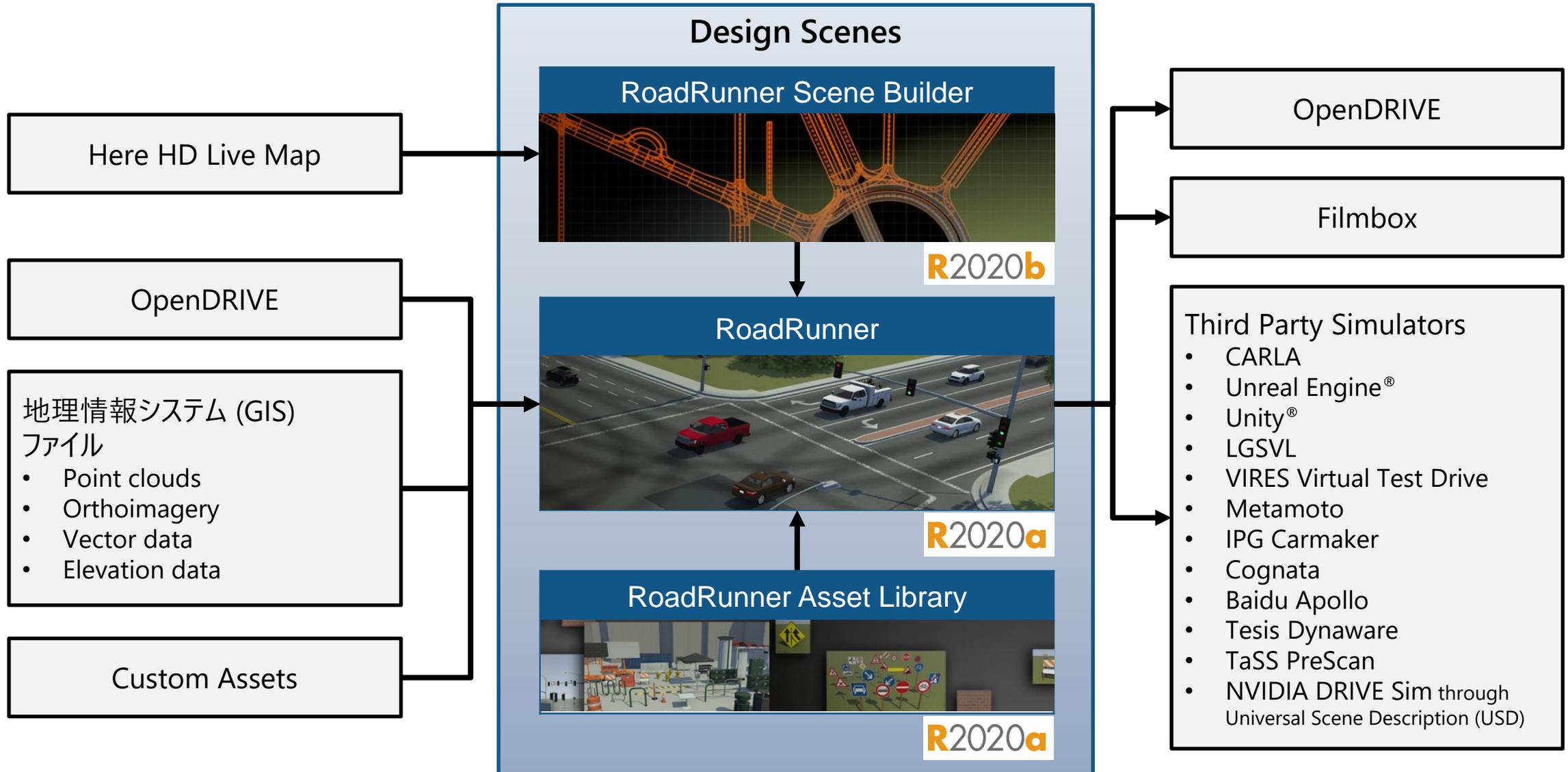
High Fidelity 3D Environment

- 認識系含むシステムレベルシミュレーション
- 高忠実度センサモデル

3Dシーンの作成 - 自動運転アプリケーション用途

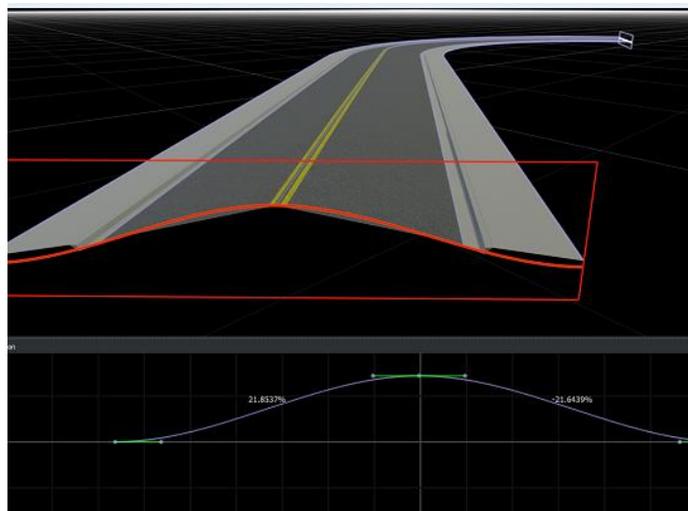


3Dシーンの作成 - 自動運転アプリケーション用途



3Dシーンの作成 - 新機能

道路側面のプロファイル設定

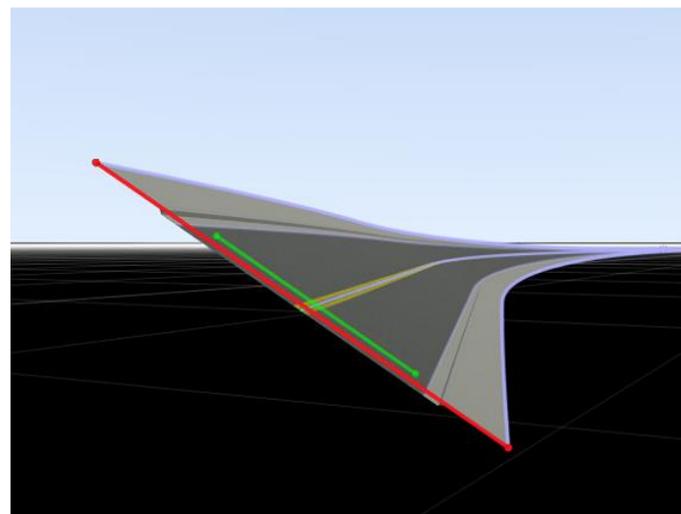


道路の横方向のプロファイル(傾き、非対称性、歪み等)を専用ウィンドウで指定

[Cross Section Tool](#)
RoadRunner

R2021a

片勾配の設定用ツール

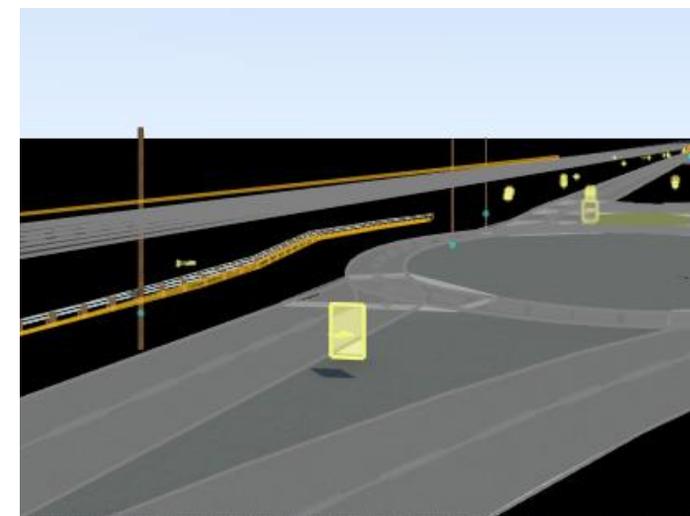


道路要素に対する片勾配を一括指定

[Road Superelevation Tool](#)
RoadRunner

R2021a

標識、ポールや障壁のインポート



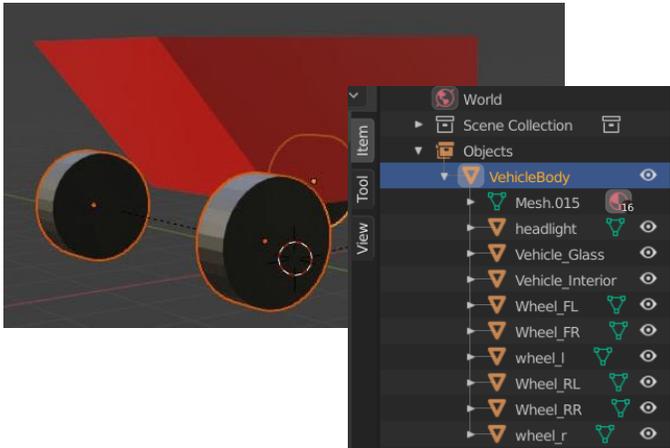
HERE HD Live Mapから標識等のオブジェクト情報も読み込み、シーンに反映

[Configure Assets to Use for Imported HERE HD Live Map Data](#)
RoadRunner Scene Builder

R2021a

Unreal連携シミュレーション – 新機能

カスタムメッシュのサポート



任意の車両形状を設定可能

[Prepare Custom Vehicle Mesh for the Unreal Editor](#)

Automated Driving Toolbox™

R2021a

車両のライト・方向指示器制御



3D Vehicleブロックでヘッドライト等の色・強度や向き等が設定可能

[Simulation 3D Vehicle with Ground Following](#)

Automated Driving Toolbox™

R2021a

天候や太陽の位置等制御



3D Scene Configurationブロックで太陽の照度や位置、雨・霧の強弱が指定可能

[Simulation 3D Scene Configuration](#)

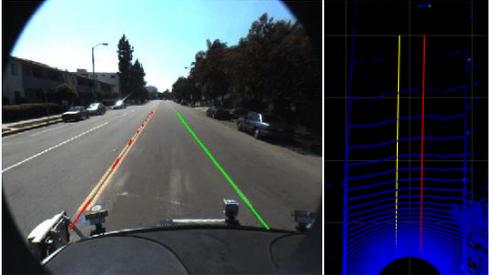
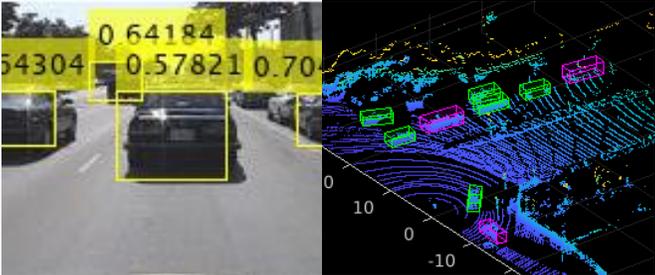
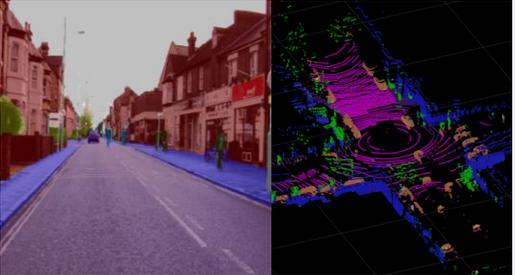
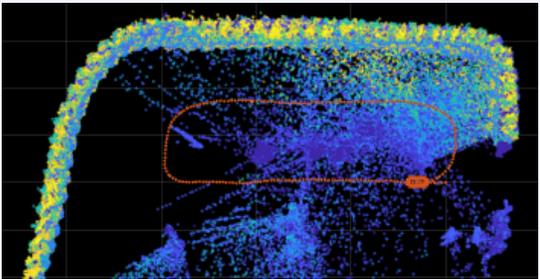
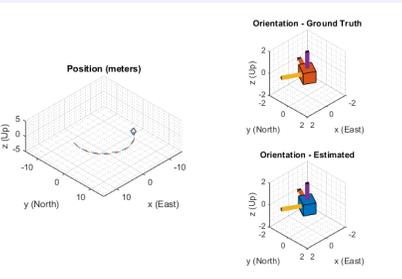
Automated Driving Toolbox™

R2021a

自動運転/ADASに関する各種アルゴリズムの開発



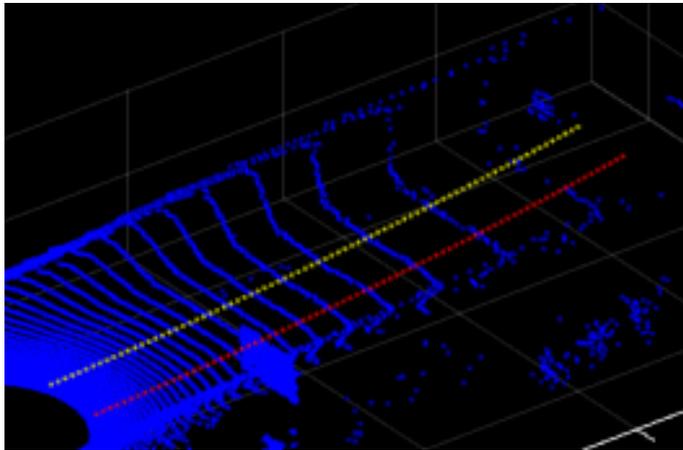
認識・自己位置推定関連アルゴリズムの開発

レーン	物体	Semantic Segmentation
		
SLAM	地図データ	Inertial Fusion
		

Commonly used tools: Automated Driving Toolbox™, Computer Vision Toolbox™, Lidar Toolbox™, Radar Toolbox, Deep Learning Toolbox™, Navigation Toolbox™

Lidar点群データ処理関連アルゴリズムの開発 – 新例題

レーン検出

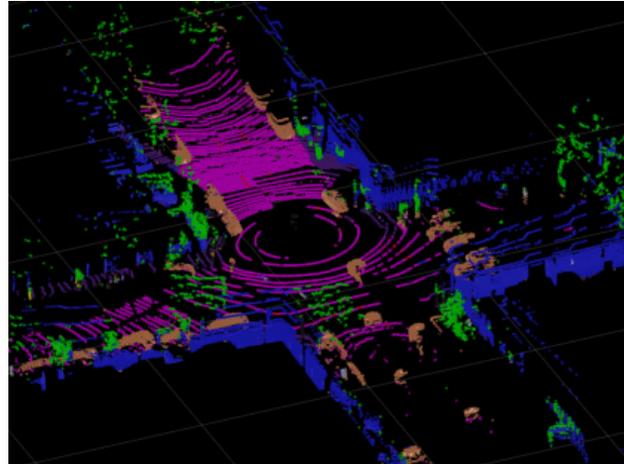


点群データに対するノイズ除去等の前処理とレーン情報の抽出

[Lane Detection in 3-D Lidar Point Cloud](#)
Lidar Toolbox™

R2021a

Semantic segmentation

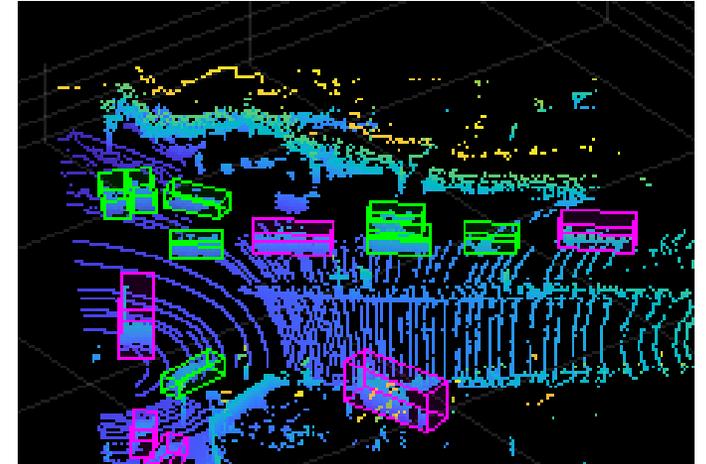


Semantic Segmentation用 SqueezeSegV2ネットワークの定義と学習、学習済ネットワークの評価

[Lidar Point Cloud Semantic Segmentation Using SqueezeSegV2 Deep Learning Network](#)
Lidar Toolbox™
Deep Learning Toolbox™

Updated R2021a

PointPillars



3D物体検出用PointPillarsネットワークの定義と学習、学習済ネットワークの評価

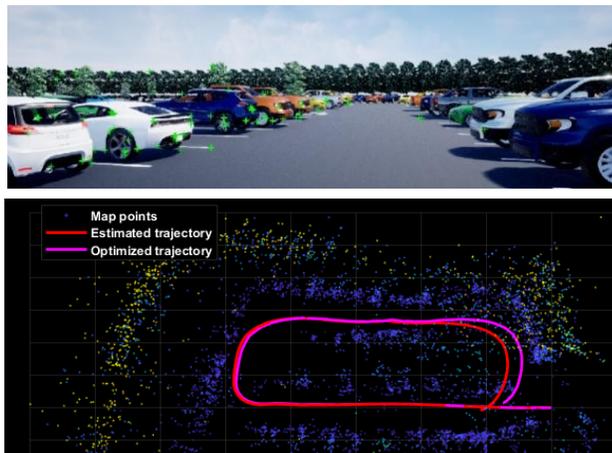
[Lidar 3-D Object Detection Using PointPillars Deep Learning](#)
Lidar Toolbox™
Deep Learning Toolbox™

Updated R2021a

SLAMアルゴリズムの開発 – 新例題

SLAM = Simultaneous Localization and Mapping

単眼カメラ



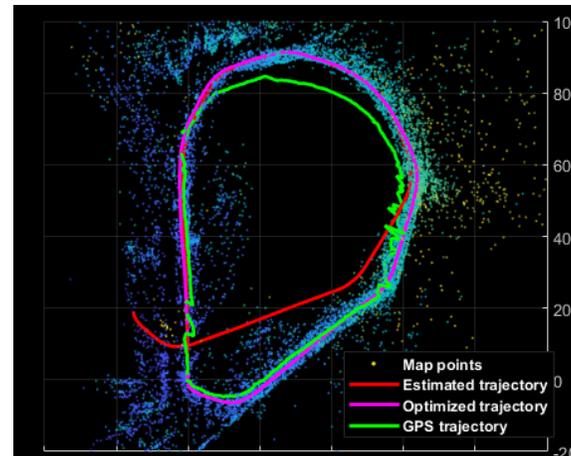
仮想環境(Unreal)を活用した単眼カメラによるVisual SLAM(ORB-SLAM)の検討

[Develop Visual SLAM Algorithm Using Unreal Engine Simulation](#)

Automated Driving Toolbox™
Computer Vision Toolbox™
Navigation Toolbox™

R2020b

ステレオカメラ



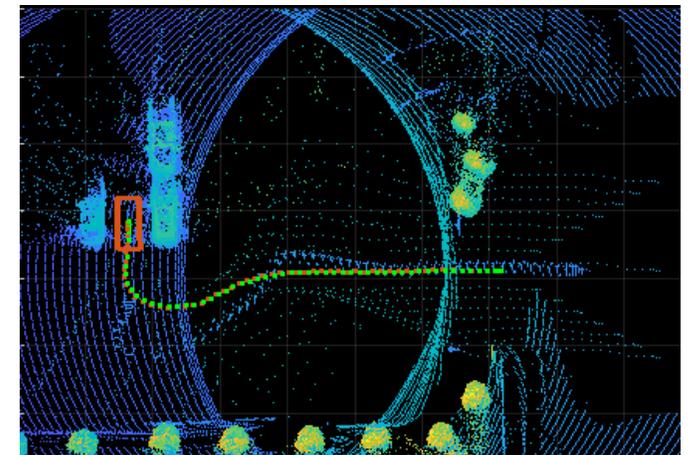
ステレオカメラによるVisual SLAM(ORB-SLAM2)の検討

[Stereo Visual Simultaneous Localization and Mapping](#)

Computer Vision Toolbox™

R2021a

Lidar



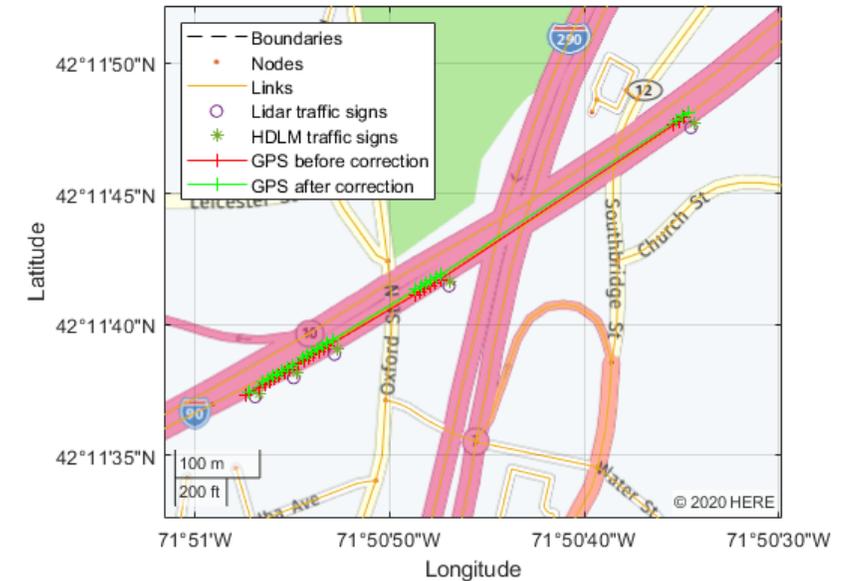
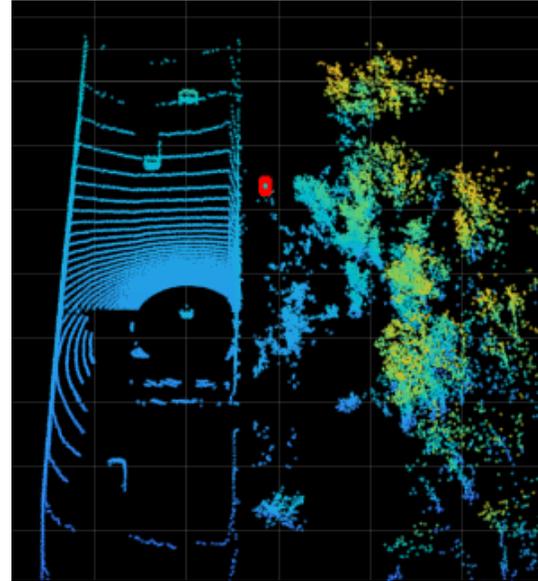
仮想環境(Unreal)とLidarセンサモデルの出力を活用したLidar SLAMアルゴリズムの検討

[Design Lidar SLAM Algorithm using Unreal Engine Simulation Environment](#)

Automated Driving Toolbox™
Computer Vision Toolbox™
Navigation Toolbox™

R2020b

HD Mapを利用した自己位置推定アルゴリズムの開発

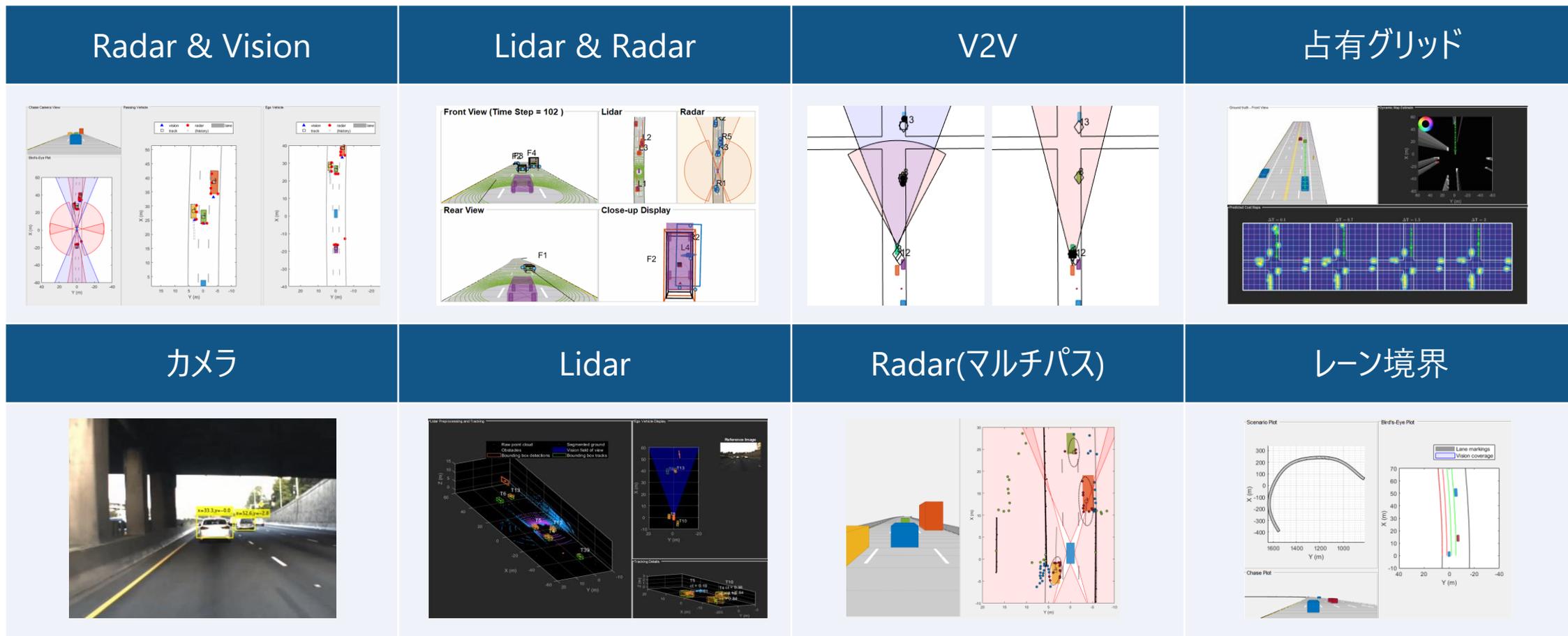


- HERE HD Live Map から交通標識情報を取得
- 車両に搭載されたセンサから取得した標識の位置情報と地図上の標識位置をマッチング
- GPSデータと地図データ双方を利用し、自己位置の精度を改善

[Localization Correction Using Traffic Sign Data from HERE HD Maps](#)

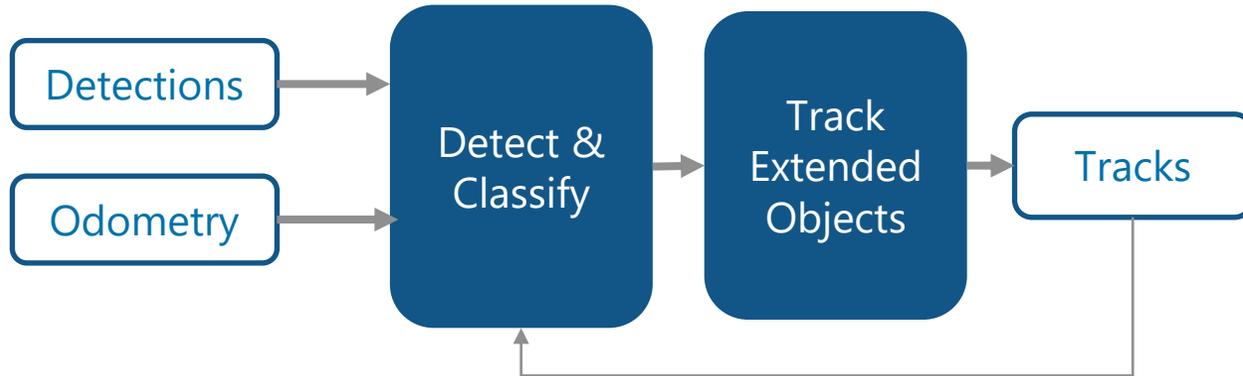
Automated Driving Toolbox™

フュージョン & トラッキングアルゴリズムの開発



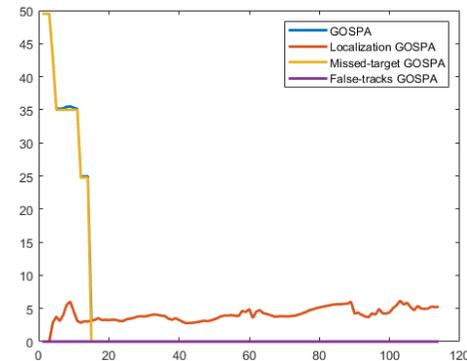
Commonly used tools: Automated Driving Toolbox™, Sensor Fusion and Tracking Toolbox™, Radar Toolbox

マルチパス環境下における周辺車両のトラッキング

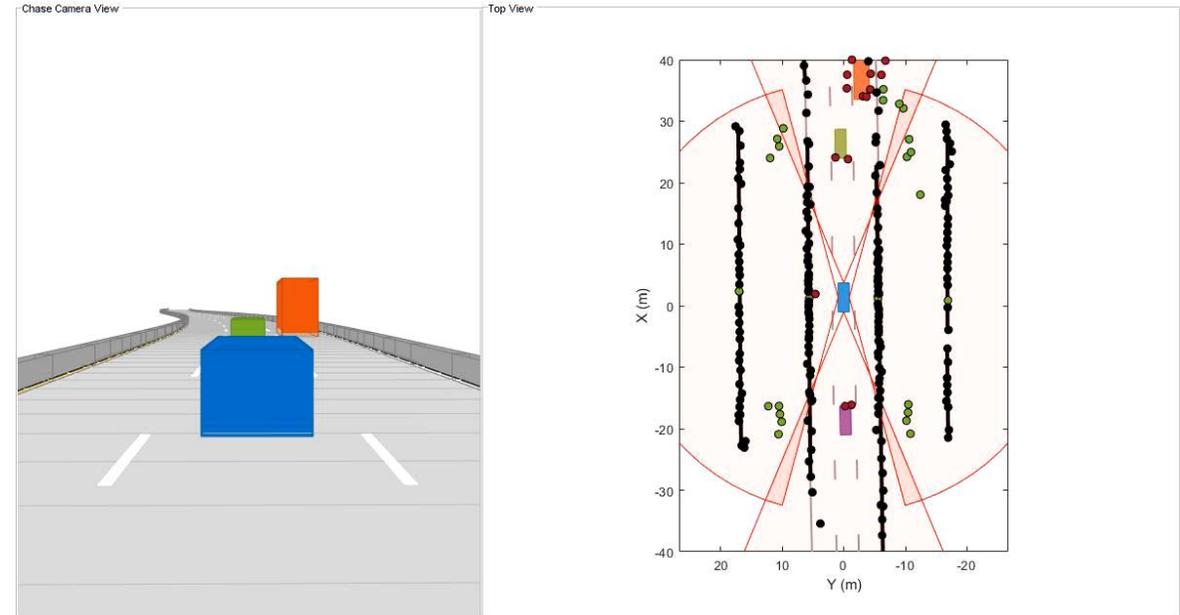


True Class	Clutter	Ghosts (D)	Ghosts (S)	Static	Targets
Clutter		20.0%	62.0%	1.3%	16.7%
Ghosts (D)		64.9%			35.1%
Ghosts (S)		15.0%	75.6%	0.4%	9.0%
Static		2.6%	3.1%	93.4%	0.9%
Targets		4.4%	1.1%	0.5%	94.1%

Classification metrics



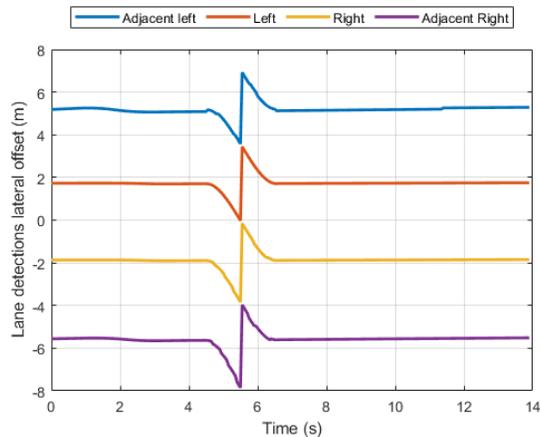
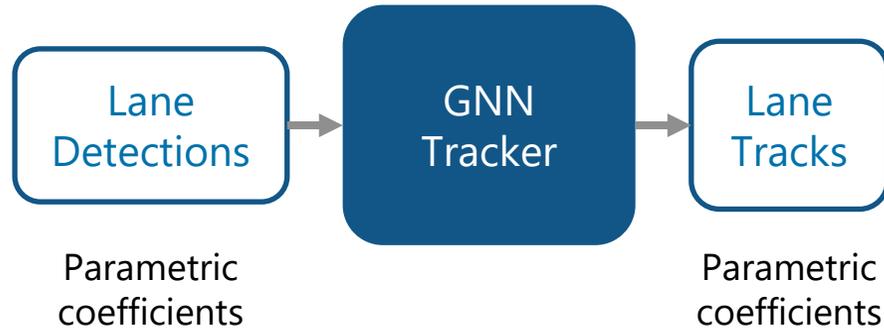
Tracker metrics



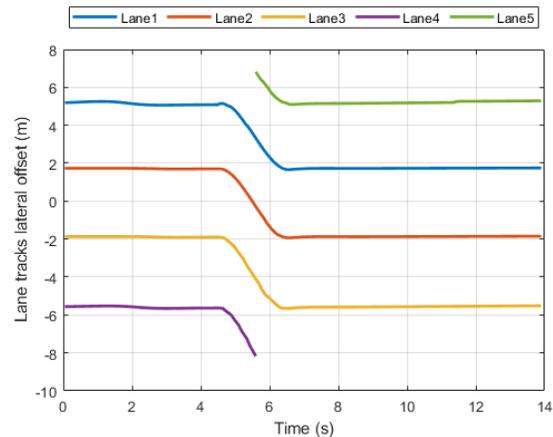
[Highway Vehicle Tracking with Multipath Radar Reflections](#)

Automated Driving Toolbox™, Sensor Fusion and Tracking Toolbox™, Radar Toolbox

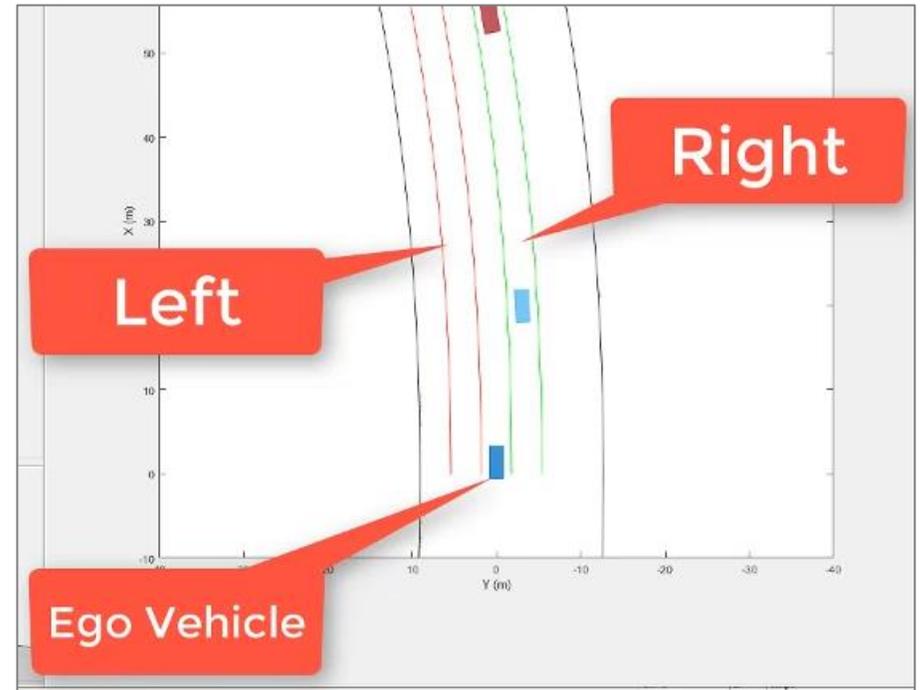
複数のレーン境界線情報のトラッキング



Lane Detections

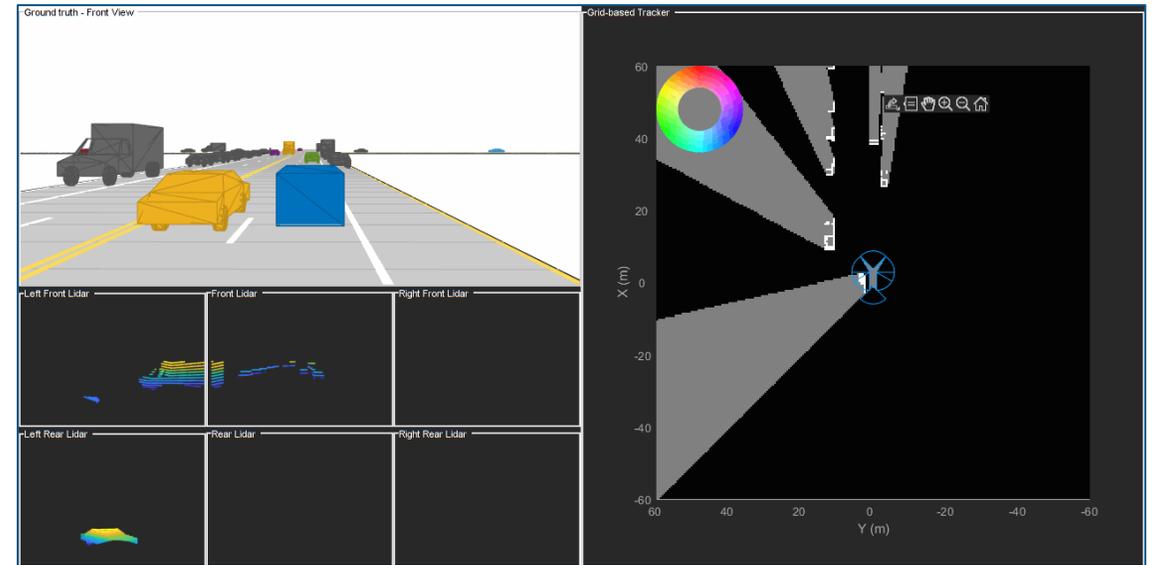
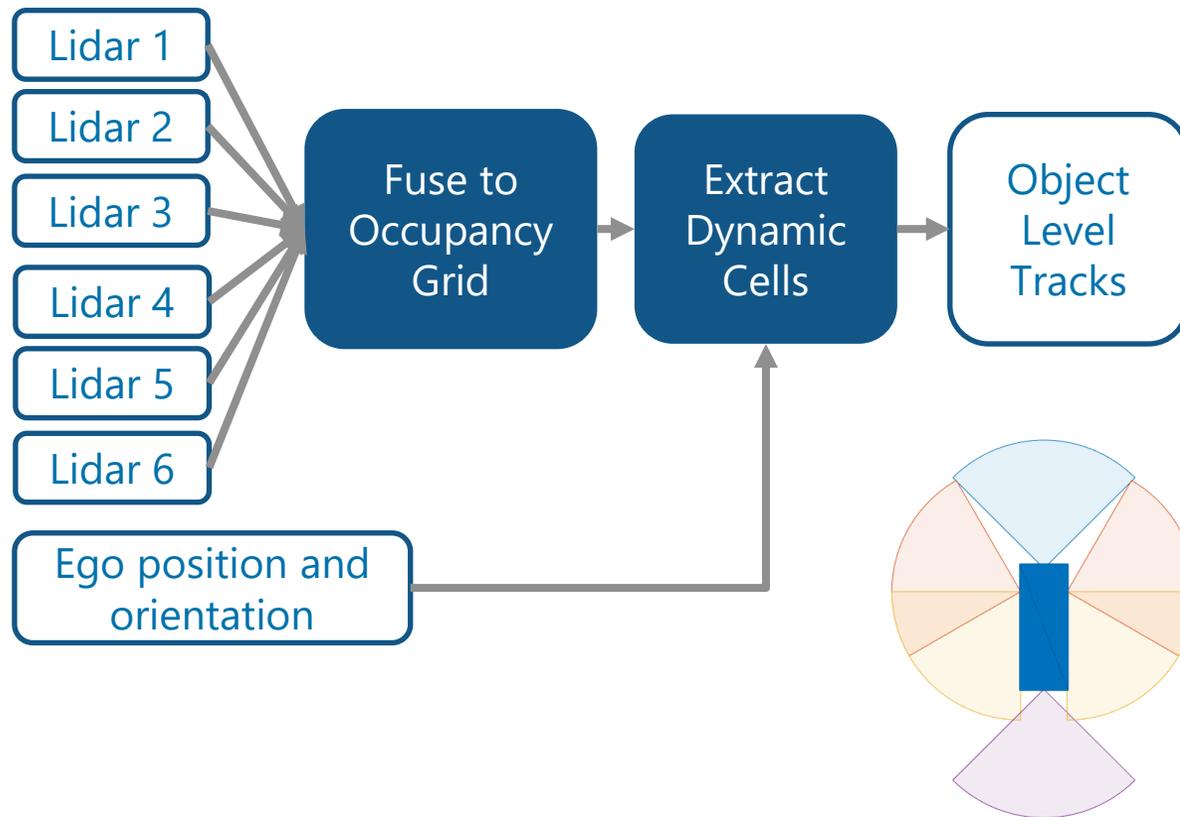


Lane Tracks



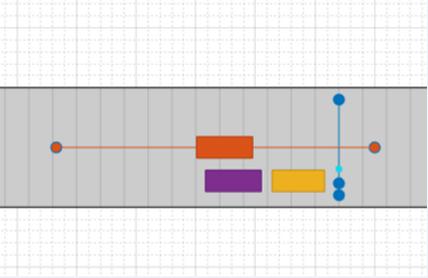
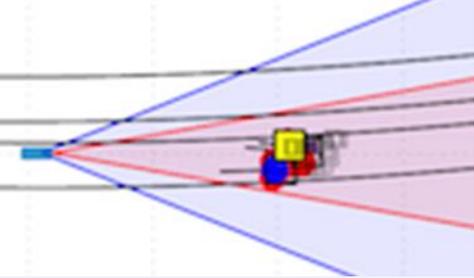
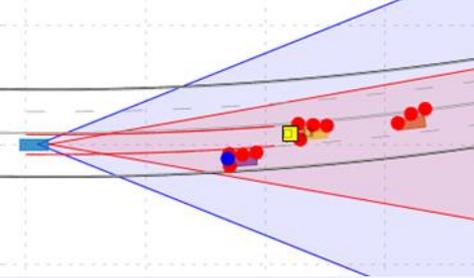
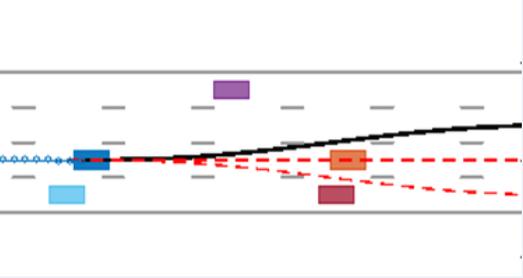
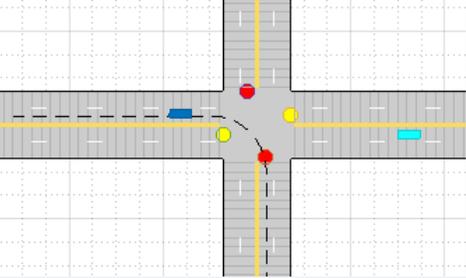
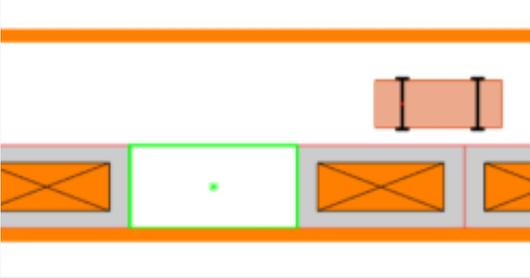
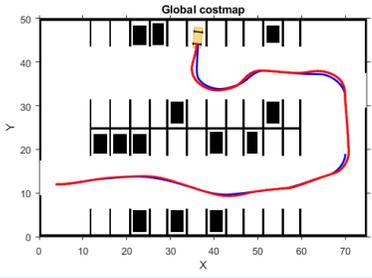
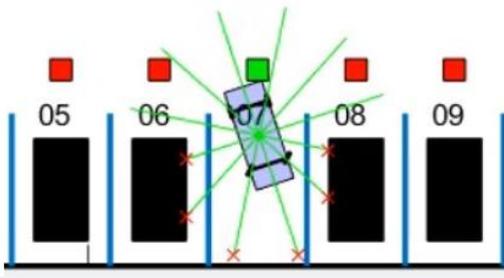
[Track Multiple Lane Boundaries with a Global Nearest Neighbor Tracker](#)
Automated Driving Toolbox™, Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

市街地環境下における物体のトラッキング(グリッドベース)



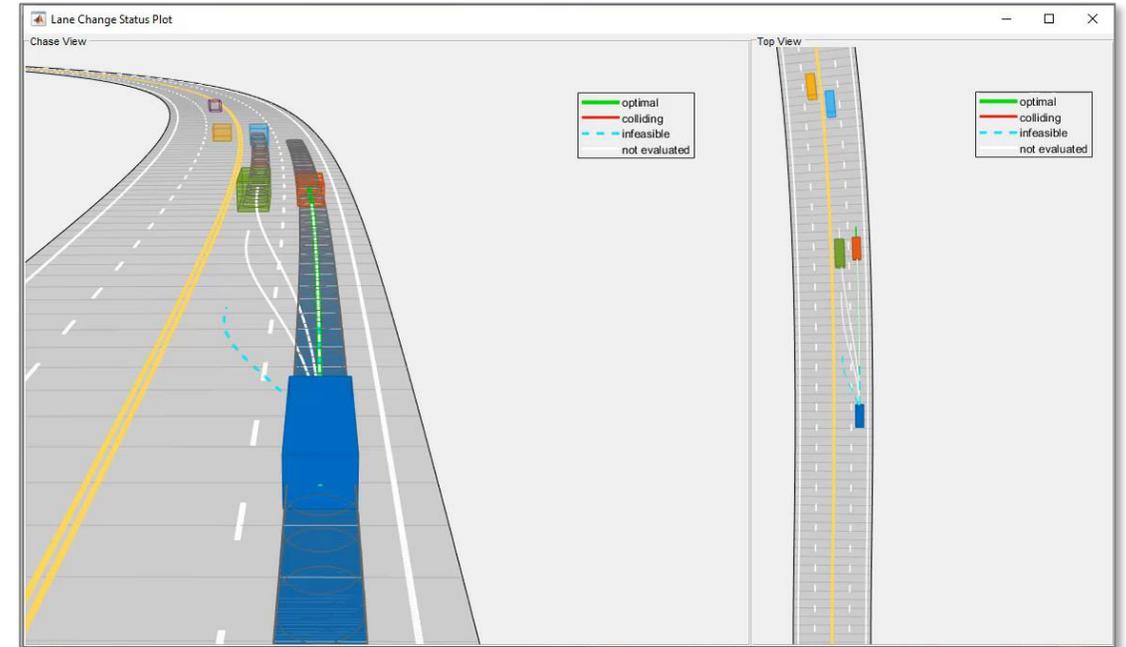
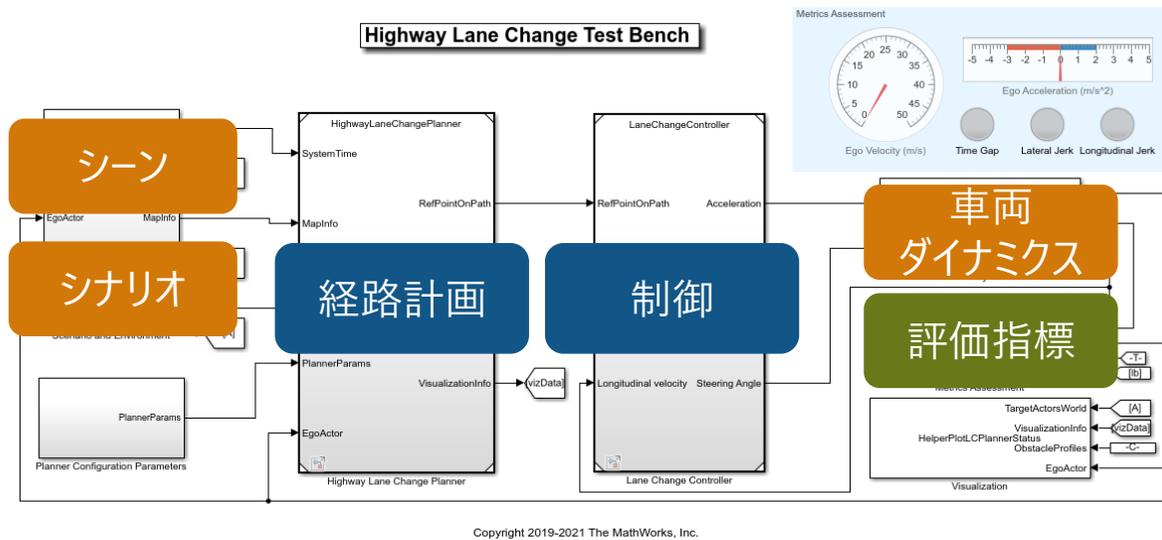
[Grid-based Tracking in Urban Environments Using Multiple Lidars](#)
Automated Driving Toolbox™, Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

経路計画・制御系アルゴリズムの開発

<p>AEB (衝突被害軽減ブレーキ)</p>	<p>ACC (車間距離制御)</p>	<p>LKA (レーンキープ)</p>	<p>レーン変更</p>
			
<p>外界認識・制御 (信号機等)</p>	<p>(自動)縦列駐車</p>	<p>自動駐車</p>	<p>強化学習</p>
			

Commonly used tools: Automated Driving Toolbox™, Model Predictive Control Toolbox™, Stateflow®,
Navigation Toolbox™, Reinforcement Learning Toolbox™, Robotics System Toolbox™

経路計画及び制御(高速道レーン変更)



- フレネ座標系での最適軌跡の生成
- 周辺の交通状況に応じたマヌーバの実装
- 動的なカプセル形状ベースの衝突判定

[Highway Lane Change](#)

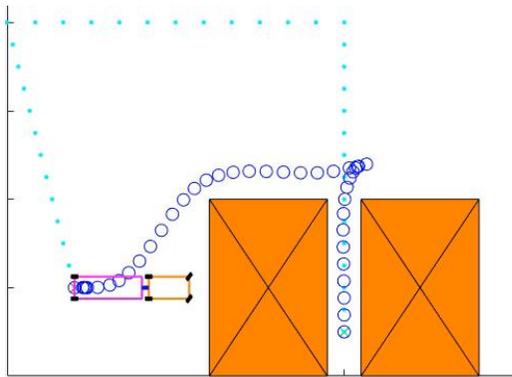
Navigation Toolbox™, Model Predictive Control Toolbox™, Automated Driving Toolbox™

Updated

R2021a

経路計画及び制御アルゴリズムの開発 – 新例題

Planning for truck parking

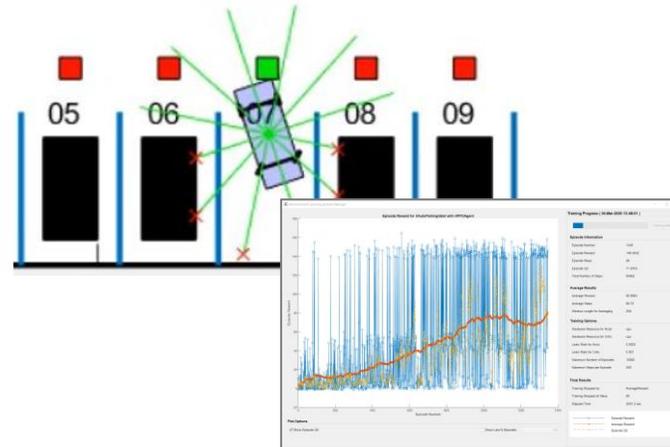


大型車両(トラック)の自動駐車向けパスプランニングと非線形MPCによる制御

[Truck and Trailer Automatic Parking Using Multistage Nonlinear MPC](#)
Model Predictive Control Toolbox™
Robotics System Toolbox™

R2021a

Parking with reinforcement learning

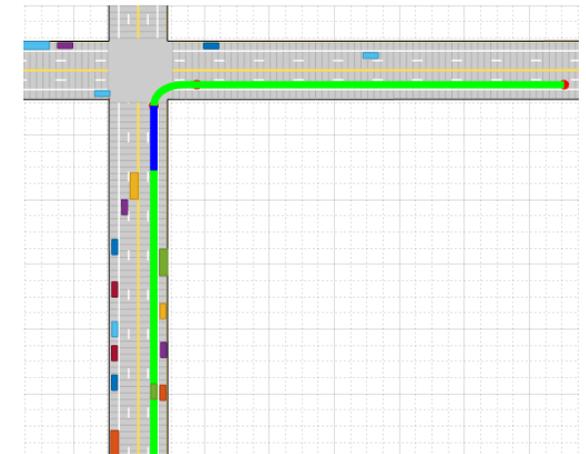


MPC + 強化学習による自動駐車向けハイブリッドコントローラー

[Train PPO Agent for Automatic Parking Valet](#)
Reinforcement Learning Toolbox™
Model Predictive Control Toolbox™

R2020b

Planning for urban

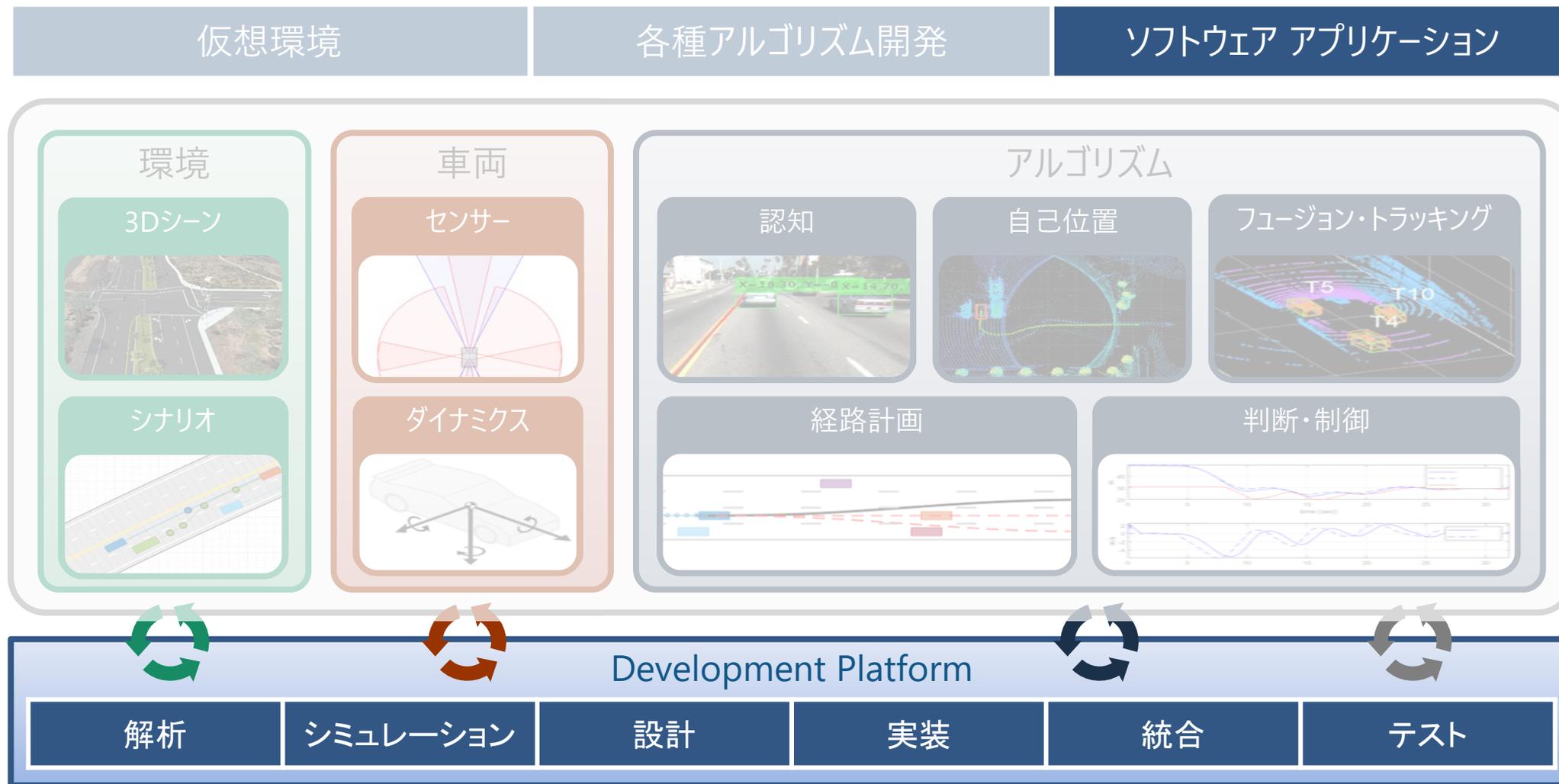


都市部を意識した自遊空間(コストマップ)の認識とローカル・パスプランニング

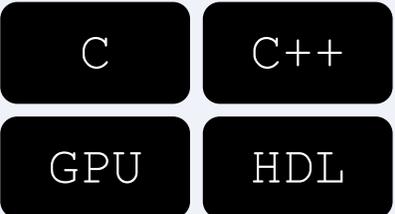
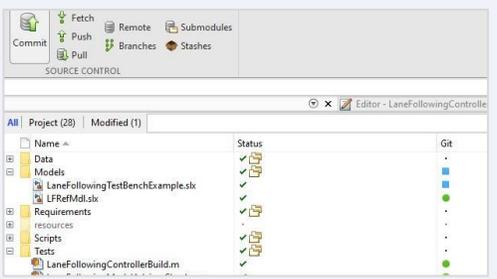
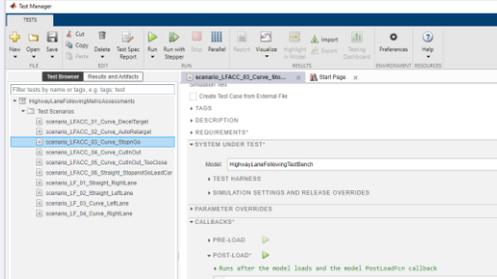
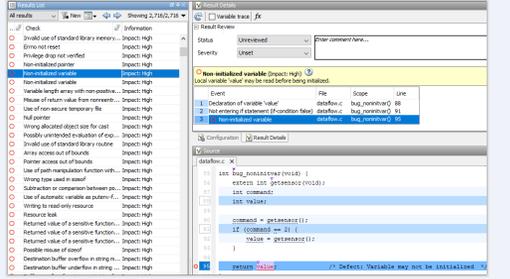
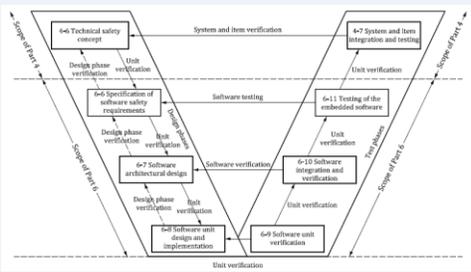
[Motion Planning in Urban Environments Using Dynamic Occupancy Grid Map](#)
Automated Driving Toolbox™
Navigation Toolbox™
Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

R2021a

自動運転/ADAS領域向け、ソフトウェアアプリケーションの開発

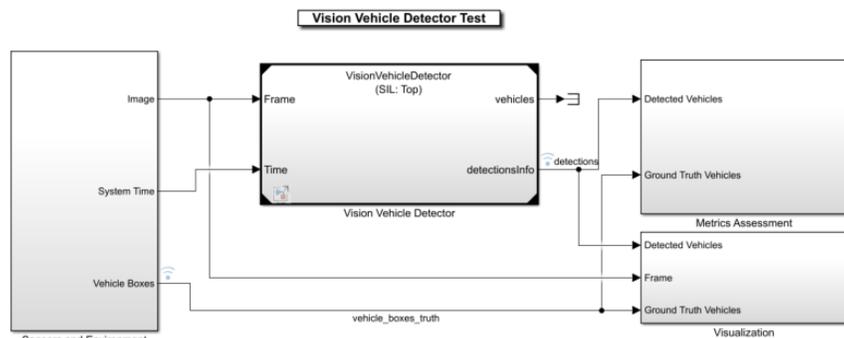


自動運転/ADAS領域向け、ソフトウェアアプリケーションの開発

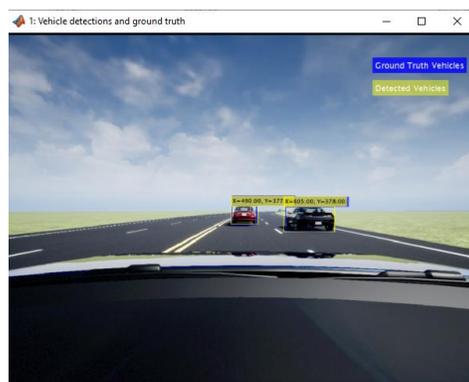
Code	ROS / ROS 2.0	AUTOSAR	DDS
			
Continuous Integration	テストの自動化	コード解析	ISO 26262
			

Commonly used tools: MATLAB Coder™, Embedded Coder®, GPU Coder™, HDL Coder™, ROS Toolbox, AUTOSAR Blockset, DDS Blockset, Simulink Test™, Simulink Coverage™, Polyspace®, IEC Certification Kit

Simulink上での画像認識アルゴリズムのモデリングと CUDA C/C++コード生成



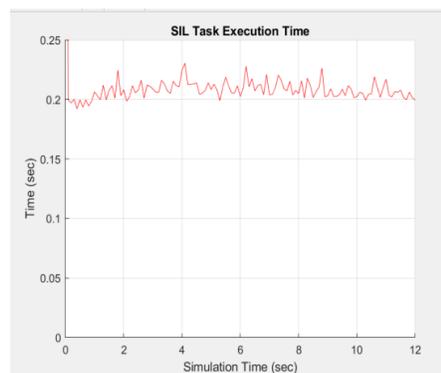
Copyright 2020 The MathWorks, Inc.



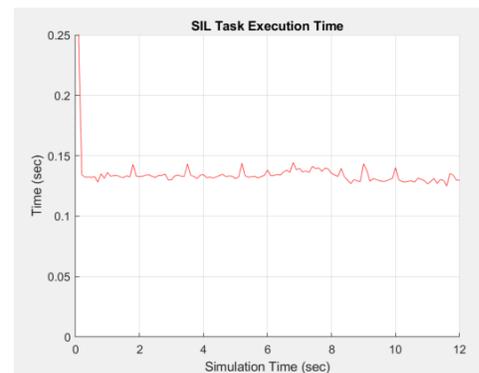
- コード生成、機能検証、Software-In-the Loop(SIL)による
実行時間の計測

CPU: Intel® Xeon® @ 3.60GHz, GPU: Quadro K620

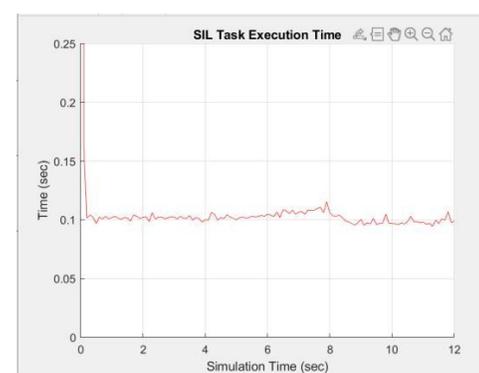
YOLOv2
CPU - MKLDNN



YOLOv2
GPU - cuDNN



YOLOv2
GPU - tensorRT

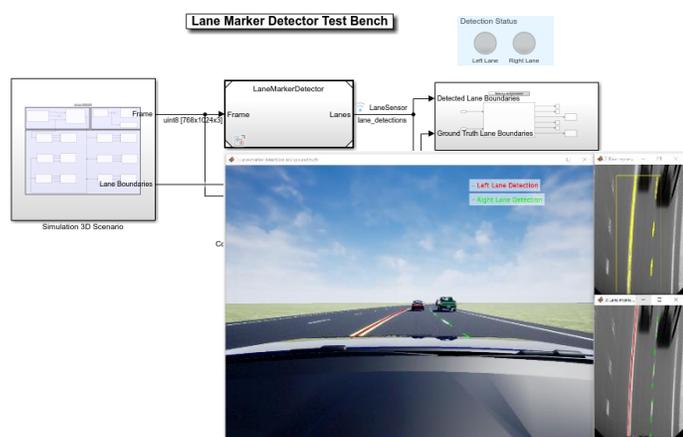


[Generate Code for Vision Vehicle Detector](#)

Automated Driving Toolbox™, Embedded Coder®, Computer Vision Toolbox™

C/C++コード生成 – 新例題

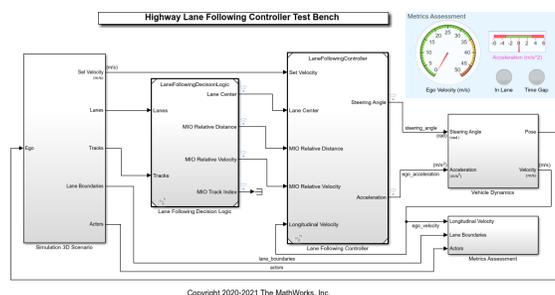
画像認識 (C/C++コード生成)



リッジフィルタによるレーンマーカー検出

[Generate Code for Lane Marker Detector](#)
Automated Driving Toolbox™
Embedded Coder®

コントローラー (C/C++コード生成)



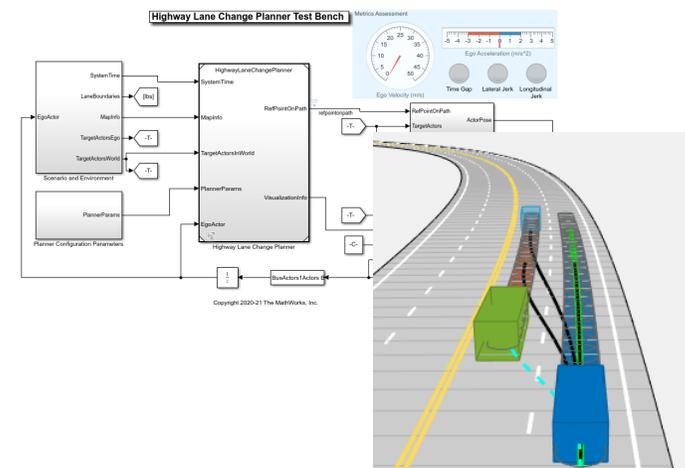
Summary

File/Complexity	Test 1				
	Decision	Statement	Function	Function call	Relational Boundary
TOTAL COVERAGE	200 81%	90%	85%	94%	11%
1... LaneFollowingController.cpp	43 41%	54%	75%	67%	4%
2... LaneFollowingControllerAPV_PathFollowingControlSystem.cpp	152 90%	96%	100%	95%	21%
3... LaneFollowingController_cpui.cpp	5 --	95%	80%	100%	--

レーンキープ用制御(Adaptive MPC)
コントローラー

[Generate Code for Highway Lane Following Controller](#)
Automated Driving Toolbox™
Model Predictive Control Toolbox™
Embedded Coder®

パスプランニング (C/C++コード生成)



フレネ-セレ座標系を利用した参照経路の
算出(ローカル・パスプランニング)

[Generate Code for Highway Lane Change Planner](#)
Automated Driving Toolbox™
Navigation Toolbox™
Embedded Coder®

生成されるコードのパフォーマンス : C/C++コード

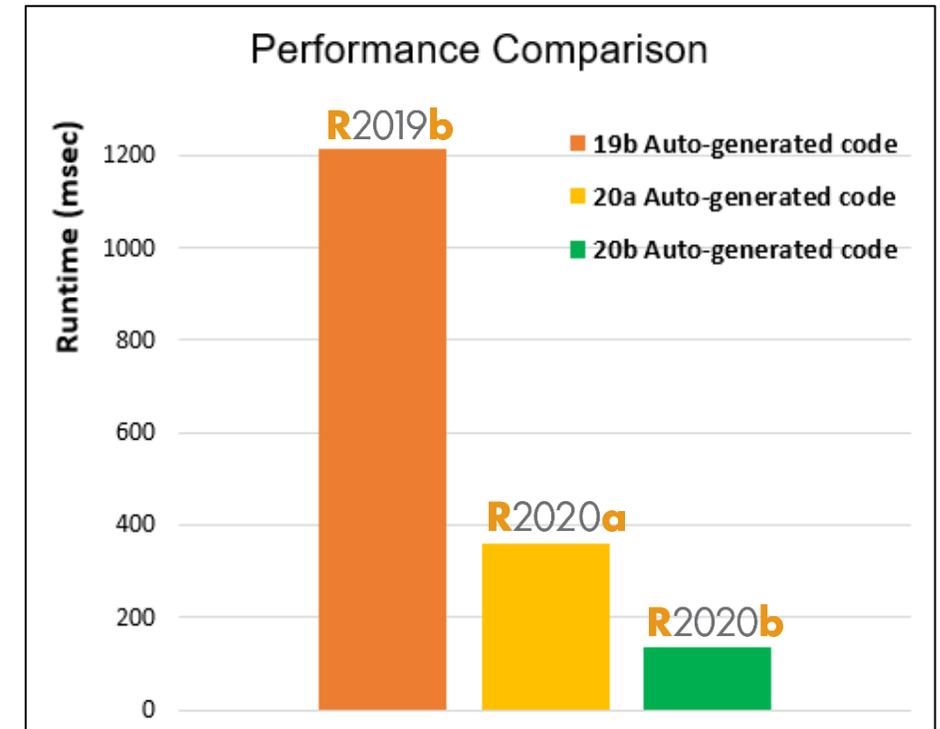
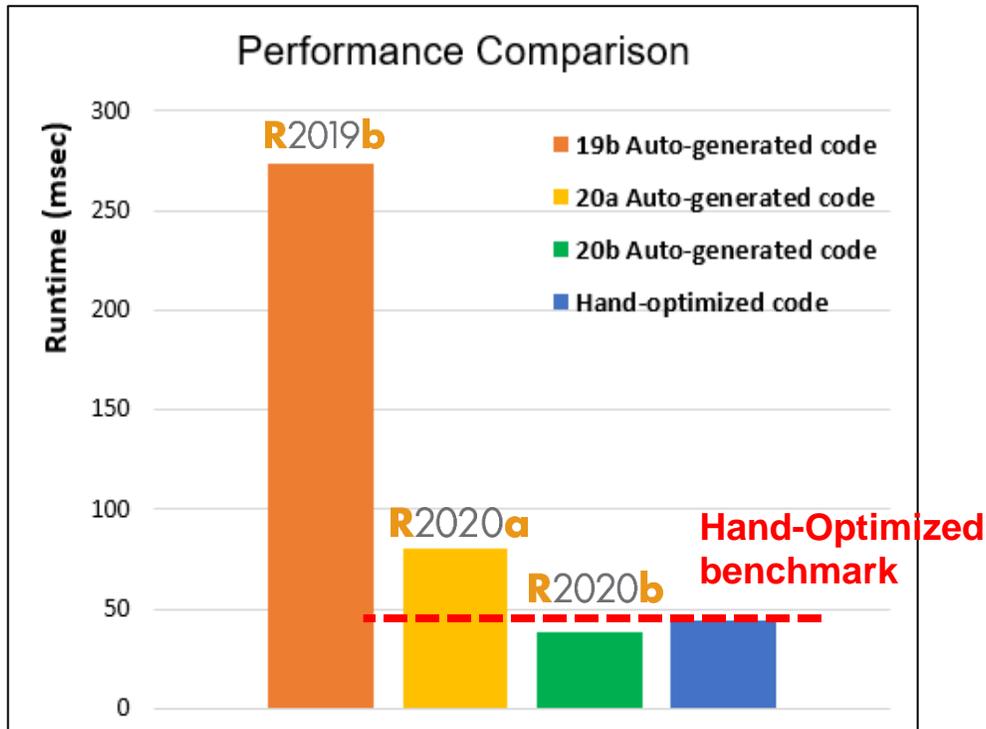
実践的な画像処理アルゴリズムでの比較

Image Cartoonizer



Intel CPU

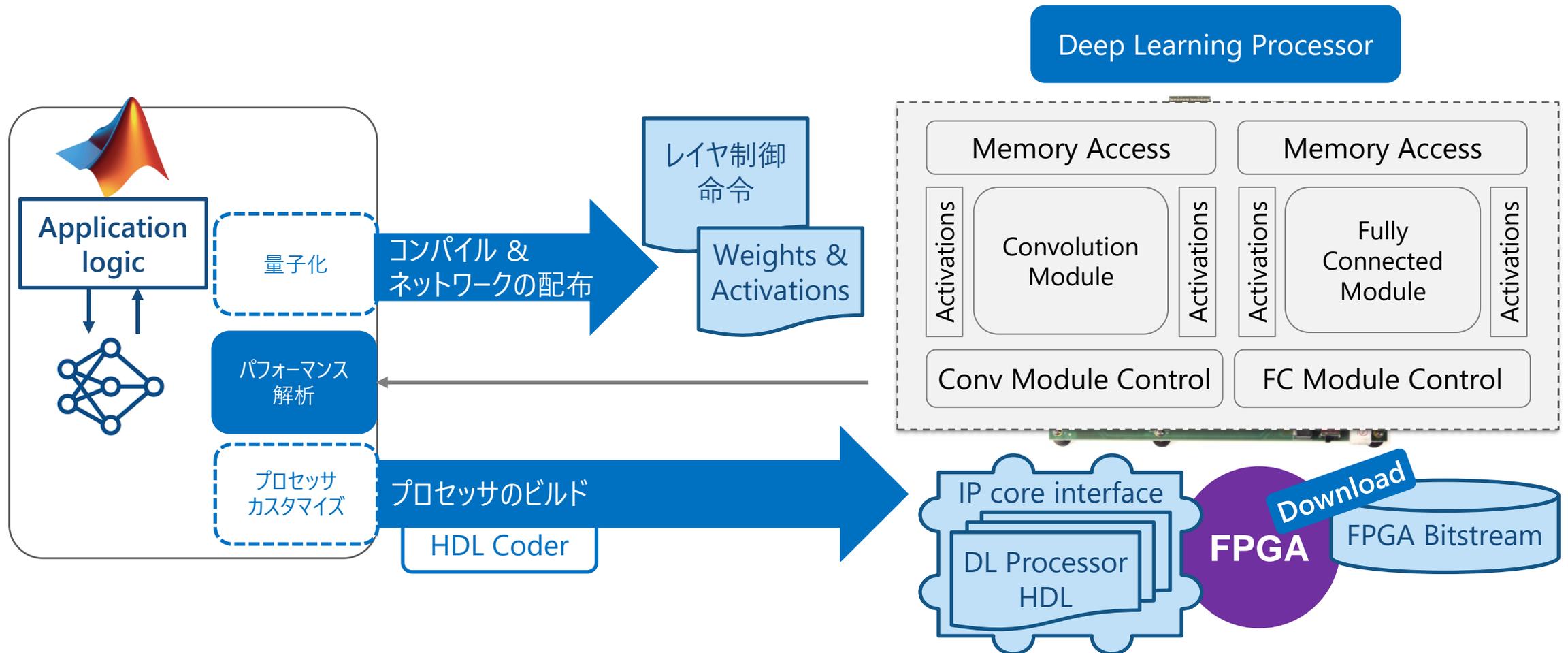
Raspberry Pi 4



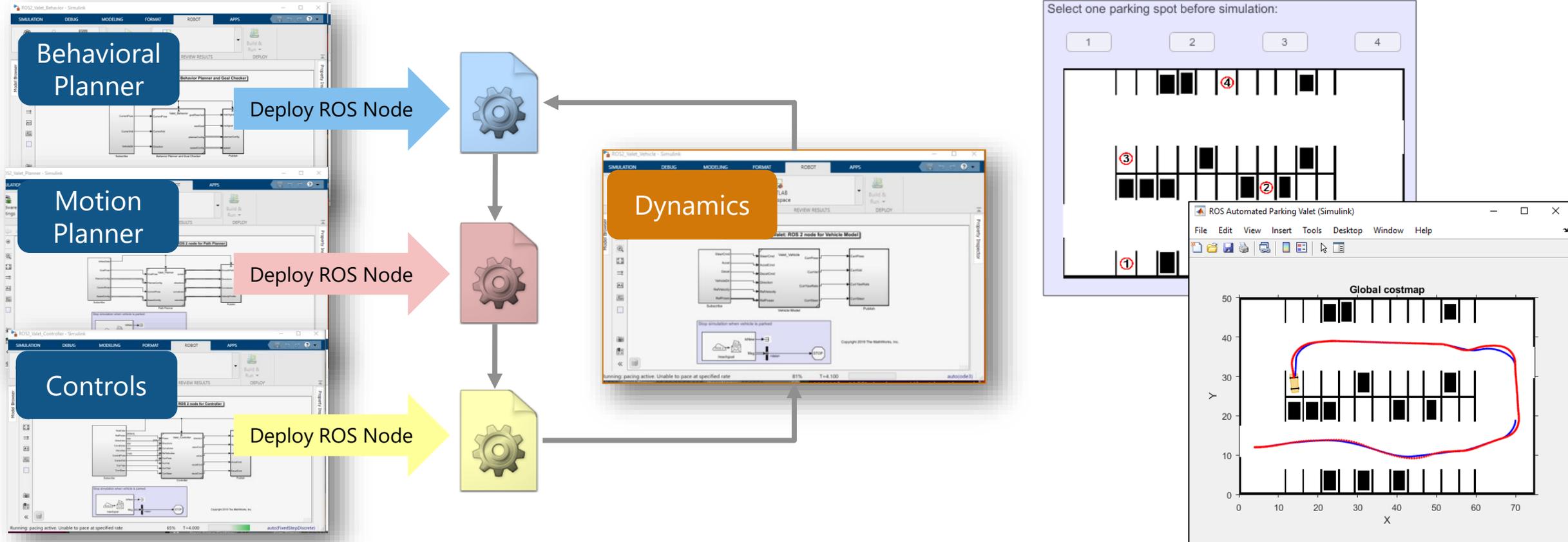
Deep Learning HDL Toolbox

Deep Neural Networkの量子化、FPGA実装における回路規模検討とプロトタイピング

R2020b



自動駐車のパランニング/コントローラーの実装(ROS / ROS 2.0)

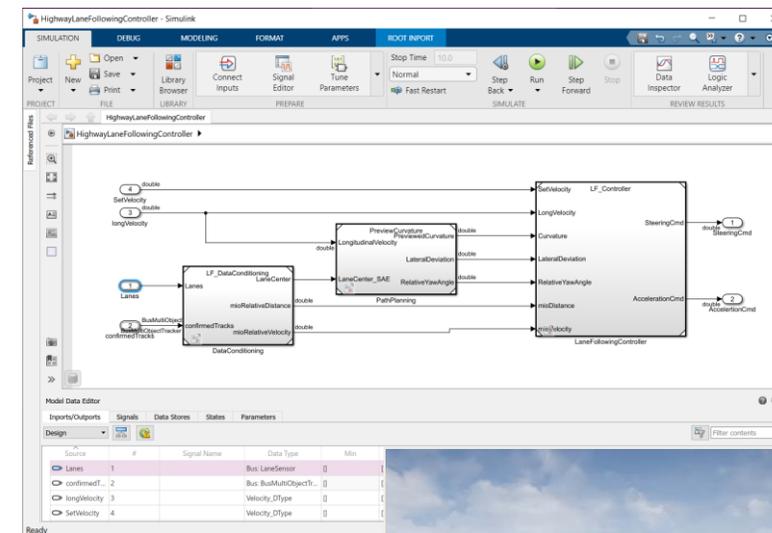
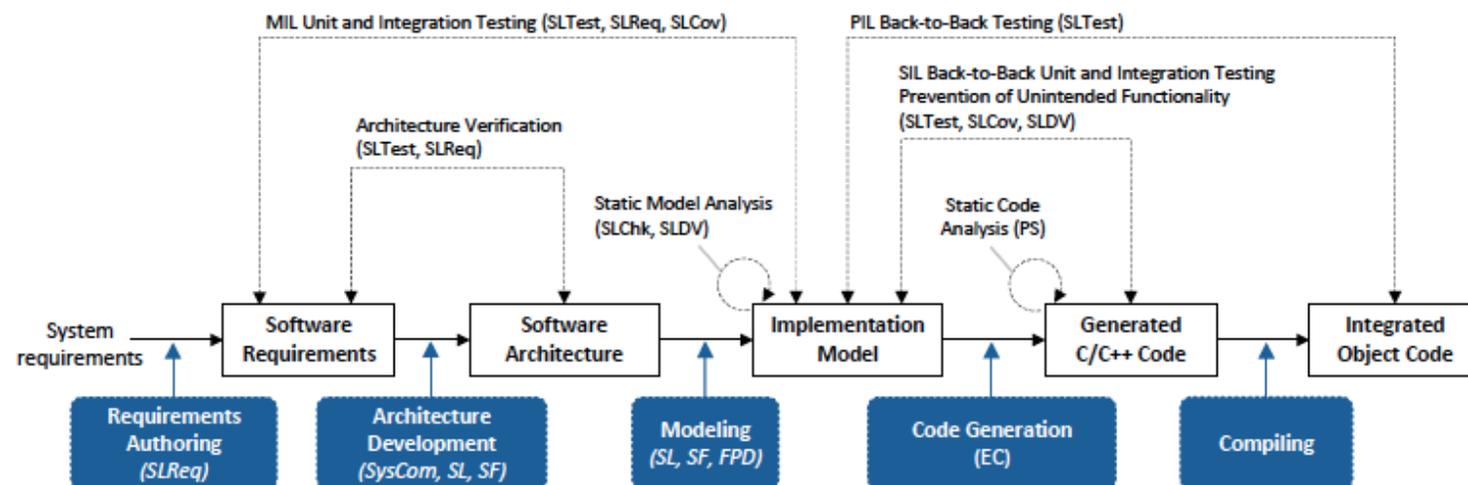


[Automated Parking Valet with ROS in Simulink](#)

[Automated Parking Valet with ROS 2 in Simulink](#)

ROS Toolbox, Embedded Coder®, Automated Driving Toolbox™, Model Predictive Control Toolbox™

認識・制御系アルゴリズムを含むモデルのISO26262対応



- システム・ソフトウェアの設計
- 要求仕様、アーキテクチャ、デザインや検証結果のトレース
- モデル及びコードレベルでの静的・動的検証の実行

[Highway Lane Following: A Model-Based Design Example for ISO 26262:2018](#)

*IEC Certification Kit, Automated Driving Toolbox™, System Composer™, Embedded Coder®
Simulink Requirements™, Simulink Coverage™, Simulink Test™, Polyspace Bug Finder™*

コード生成・実装まで含むワークフローの適用事例

Hitachi Automotive develops controls



“従来のアプローチでは、MPCのような複雑なコントローラーの開発には約1年を要したでしょう。モデルベースデザインでは、約6か月でプロトタイプの開発ができました”

ACC向けMPCアルゴリズムの開発と組み込みプロセッサへの実装

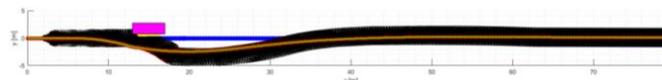
[Hitachi Automotive Systems Develops a Model Predictive Controller for Adaptive Cruise Control with Model-Based Design](#)
User Story – 2020

AVL develops planning & controls

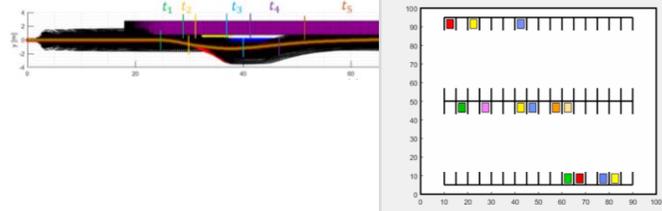
3. Co-simulate controller and system models

MIL Simulation Results

Static Vehicle Take Over



Dynamic Vehicle Trajectory Prediction and Take Over



パスプランニング&制御アルゴリズムの開発とC/C++コード生成

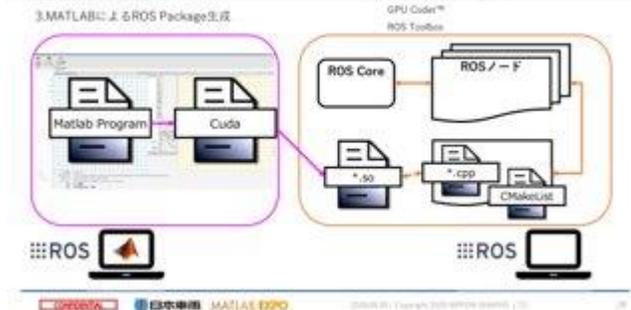
[Advantages of Level 2+ Advanced Driver Assistance Application Prototyping Using Model-Based Design](#)
MathWorks Automotive Conference 2020 – North America

Nippon Sharyo develops sensor fusion



日本車輻製造株式会社
開発・インフラ本部 小野田 剛
開発本部 松永 真志

早期開発に向けて



認識・センサーフュージョンアルゴリズムの開発とGPUへの実装(ROSノード)

[Sensor fusion development for large heavy-duty automatic transport vehicles](#)
MathWorks Expo 2020 – Japan

自動運転/ADASシステムの開発

with MATLAB, Simulink, and RoadRunner

