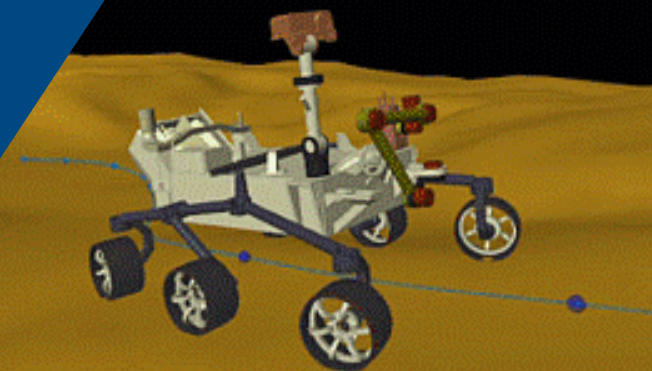




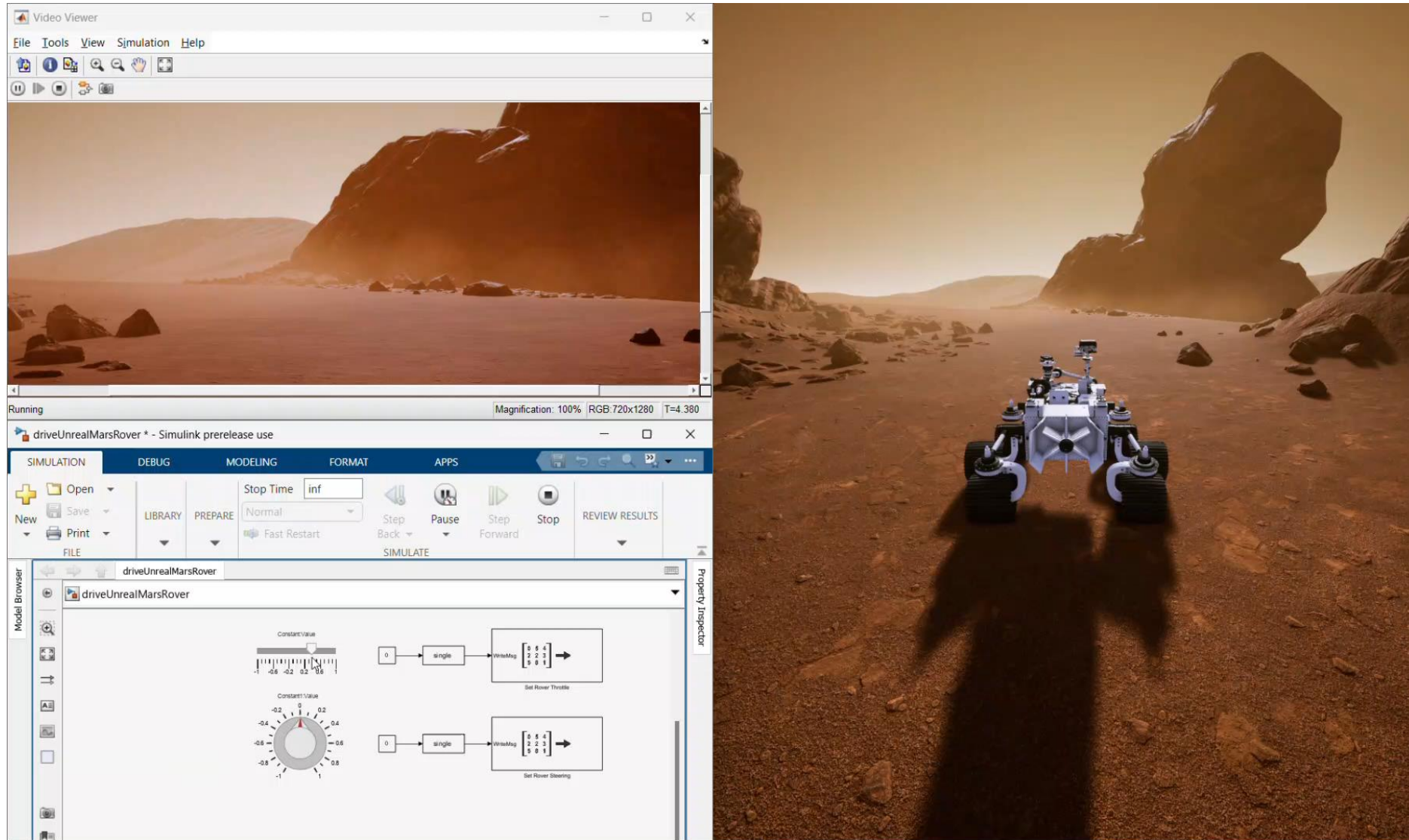
月面探査ローバーの自律アルゴリズム開発と 3Dシミュレーション

MathWorks Japan
アプリケーションエンジニアリング部
木川田 亘

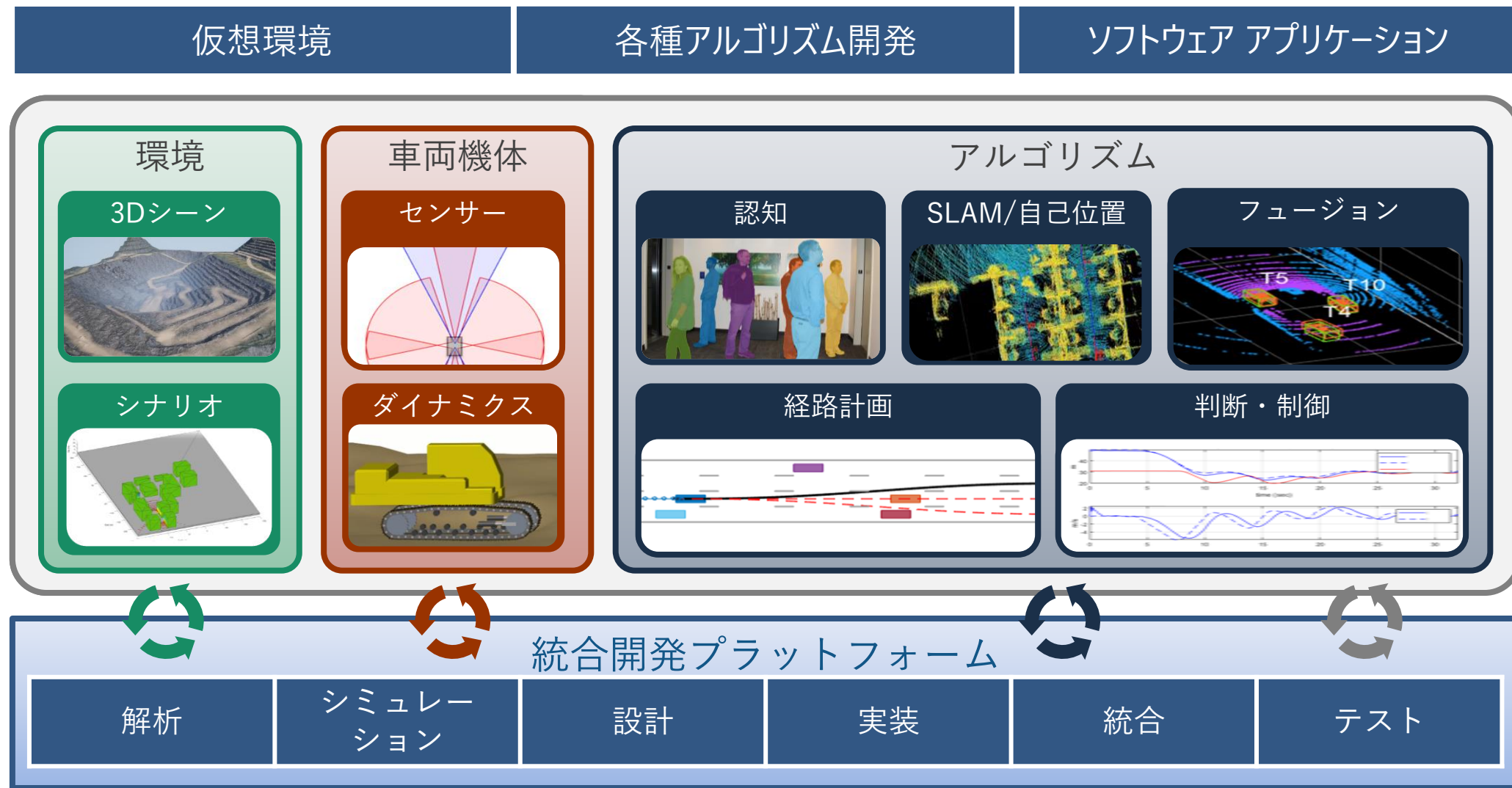


無人探査ローバーのシミュレーション例

自律アルゴリズム設計、車両モデリング、3Dシミュレーション、実機検証の多岐に渡る開発



MATLAB および Simulink による自律システム開発

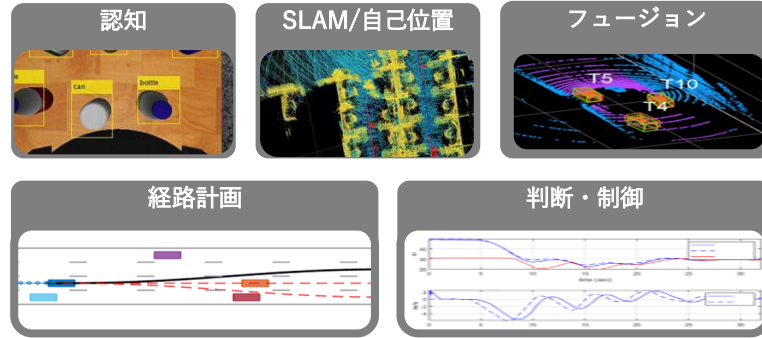


無人探査ローバー開発のワークフロー

シミュレーション

MATLAB / Simulink

①SLAM
自律アルゴリズム



自律・制御アルゴリズム開発

②起伏を考慮した
車両モデリング



ダイナミクス

③Unreal
Engine連携

Unreal Engine®



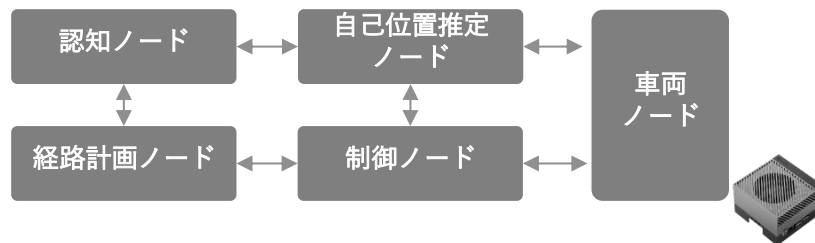
センサーシミュレーション

実機検証

自動コード生成

④ROS
自動コード生成

ROS



実機 (車両/センサー)

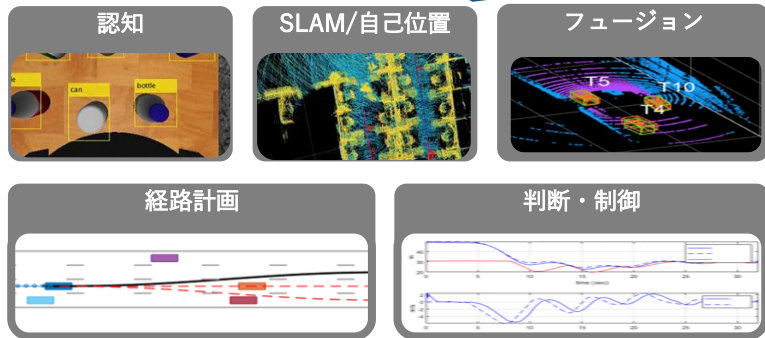


無人探査ローバー開発のワークフロー

シミュレーション

MATLAB / Simulink

①SLAM
自律アルゴリズム



②起伏を考慮した
車両モデリング



ダイナミクス

③Unreal
Engine連携

Unreal Engine®



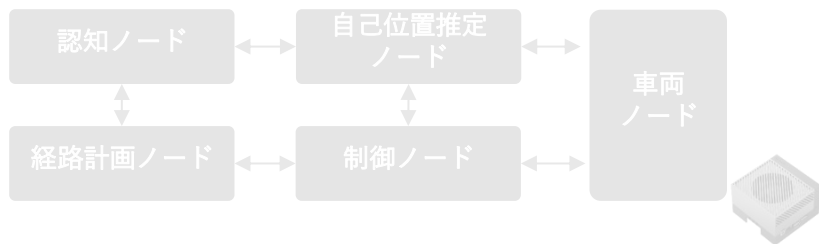
センサーシミュレーション

実機検証

自動コード生成

④ROS
自動コード生成

ROS



実機 (車両/センサー)



LiDARによるSLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

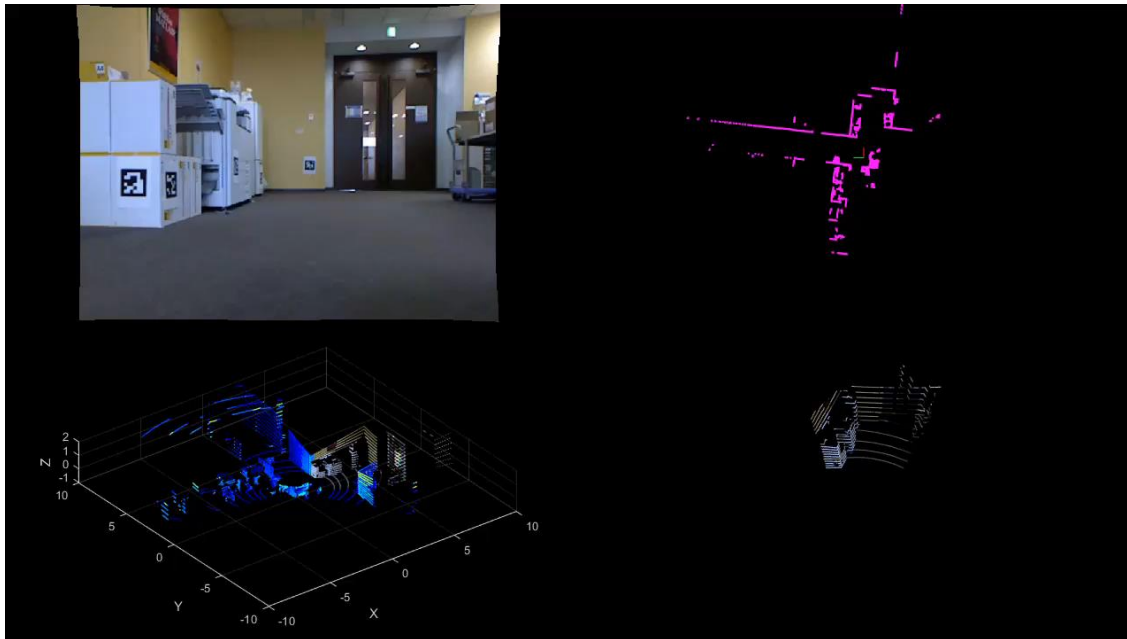
データの
読み込み

マッチング

ポーズグラ
フの生成

ポーズグラ
フ最適化

障害物マッ
プの作成



- ループ閉じ込みの検出
- ポーズグラフの最適化による軌跡推定と改善
- 3D障害物マップの作成と可視化

[Build a Map with Lidar Odometry and Mapping \(LOAM\) Using Unreal Engine Simulation](#)

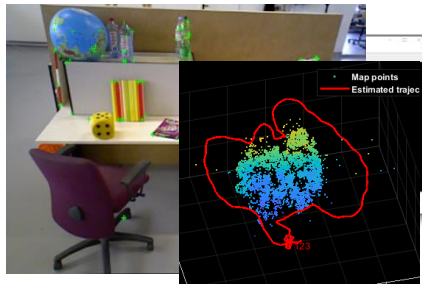
Lidar Toolbox™

Automated Driving Toolbox™

R2019b

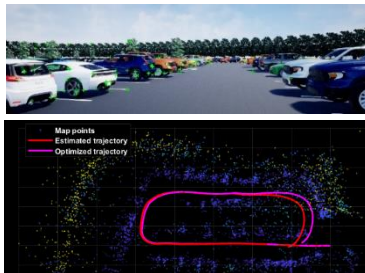
Visual SLAM / 自己位置推定

単眼カメラVisual SLAM (ORB-SLAM)



実データ

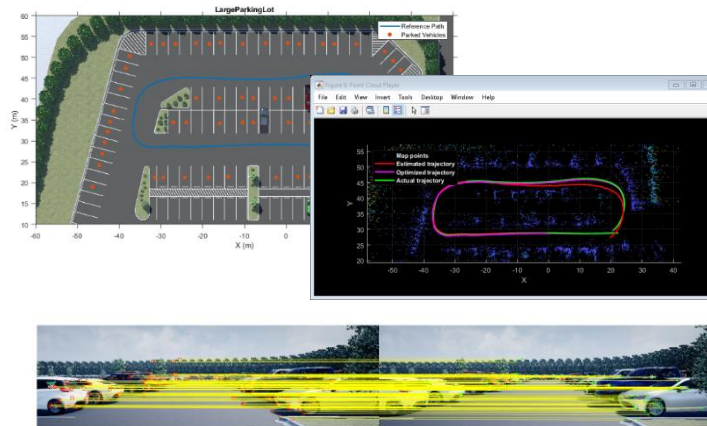
合成データ



Automated Driving Toolbox™
Computer Vision Toolbox™
Navigation Toolbox™

R2020b

ステレオ Visual SLAM

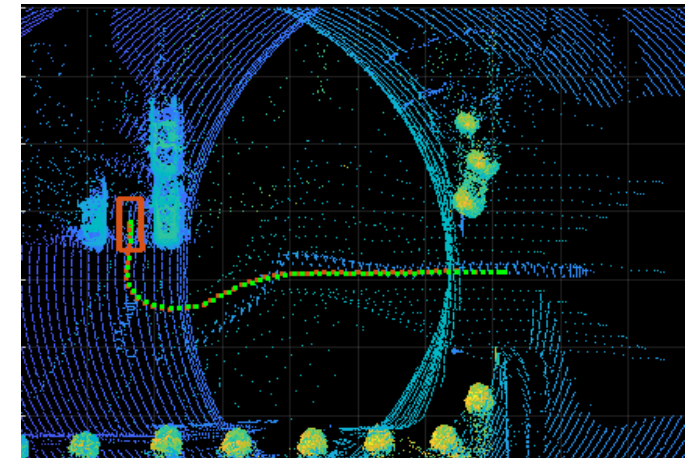


Develop Visual SLAM Algorithm Using Unreal Engine Simulation

Automated Driving Toolbox™
Navigation Toolbox™
Computer Vision Toolbox™

R2021a

スキャンマッチング (3D Lidar合成データ)

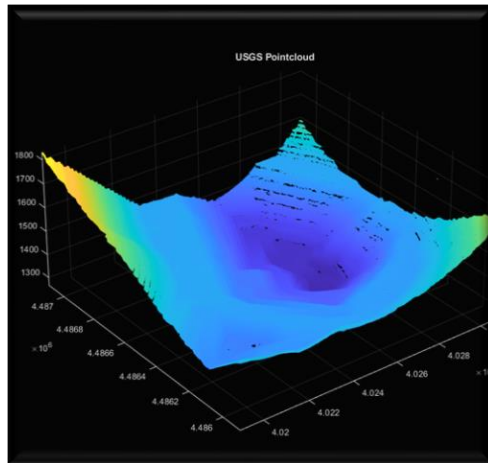


Design Lidar SLAM Algorithm using 3D Simulation Environment

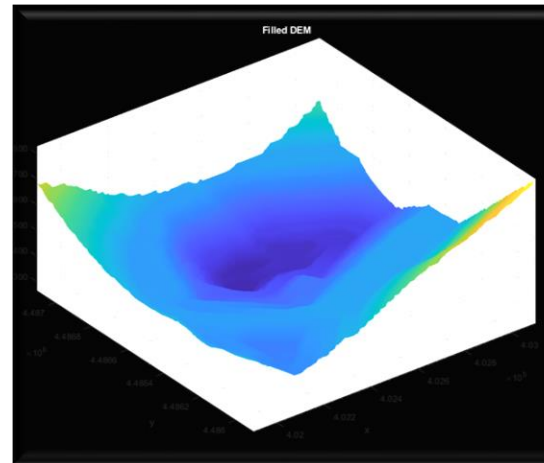
Automated Driving Toolbox™
Computer Vision Toolbox™
Navigation Toolbox™

R2020b

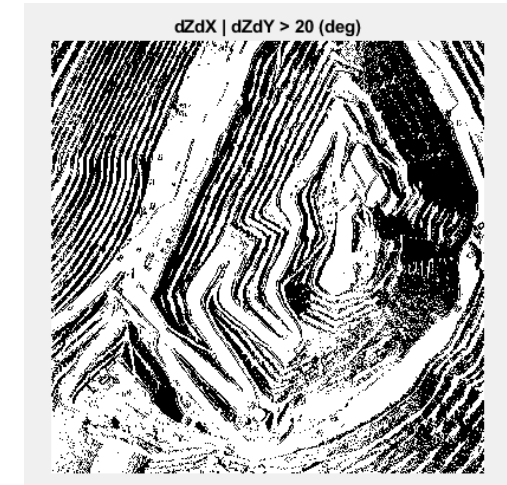
オフロード車両の経路計画 - 計測点群から道路を抽出



-
- 点群をエレベーションマップに変換
 - 面の穴埋め



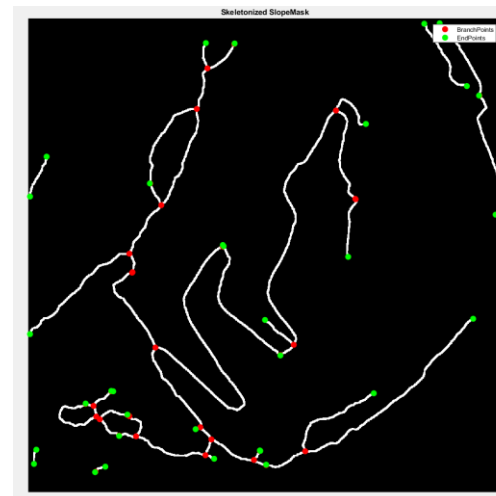
-
- 勾配計算
 - フラットな面の抽出



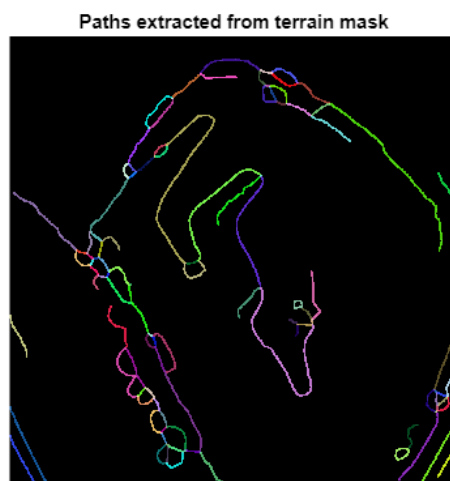
- ↓
- 障害物を膨らませて、マージン確保
 - ノイズ除去



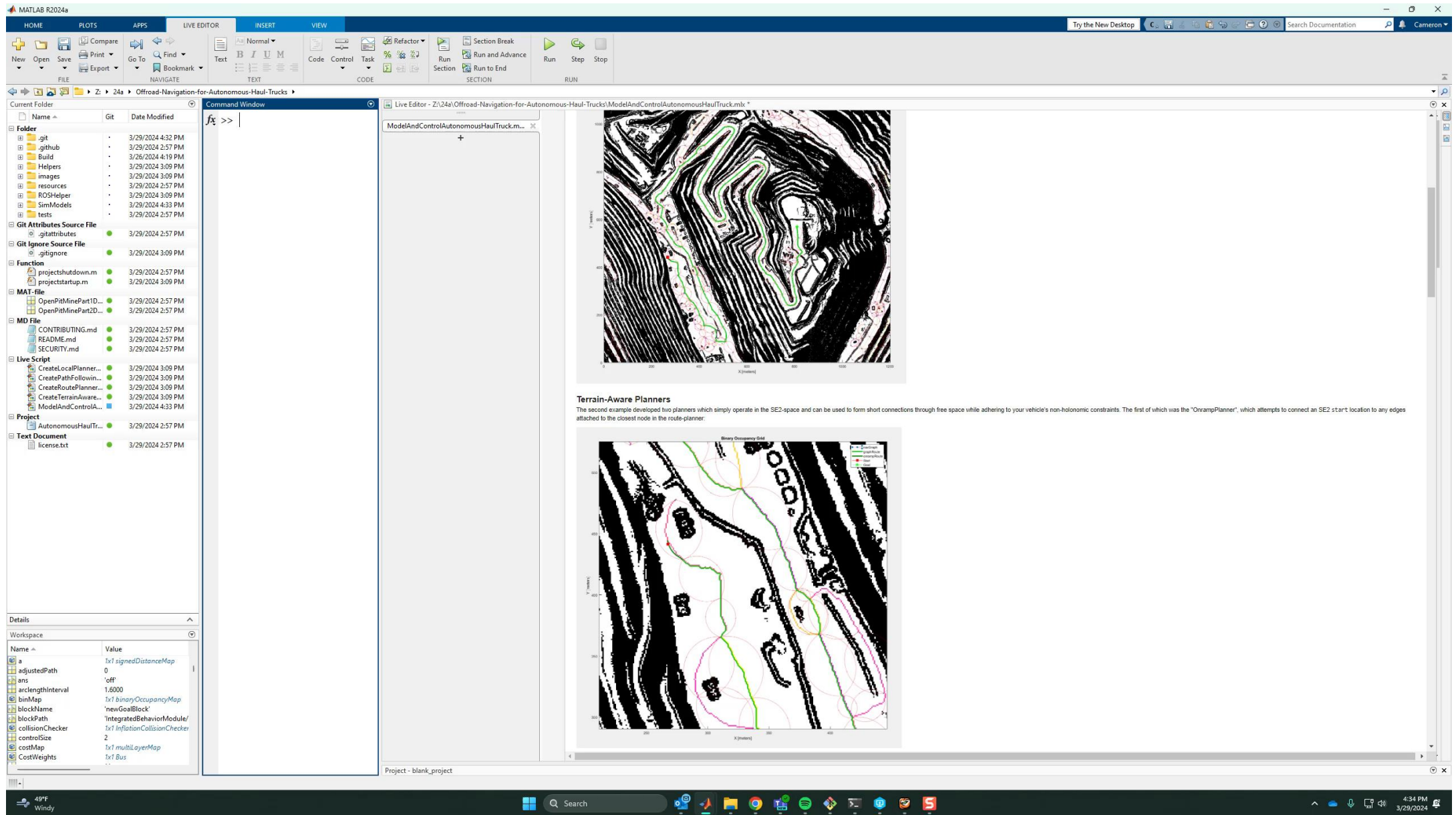
- ←
- フリースペース中心を特定
 - 分岐点と終点を抽出



- ←
- 画像からエッジ抽出



オフロード車両の経路計画 – 閉ループシミュレーション

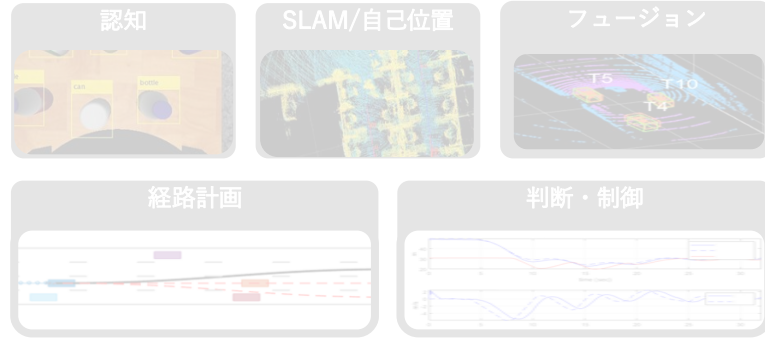


無人探査ローバー開発のワークフロー

シミュレーション

MATLAB / Simulink

①SLAM
自律アルゴリズム



②起伏を考慮した
車両モデリング



ダイナミクス

Unreal Engine®

③Unreal
Engine連携

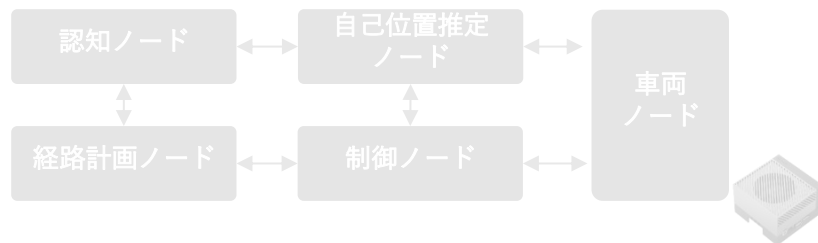


センサーシミュレーション

実機検証

自動コード生成

ROS



④ROS
自動コード生成

実機 (車両/センサー)



火星探査ローバーのモデリングと制御

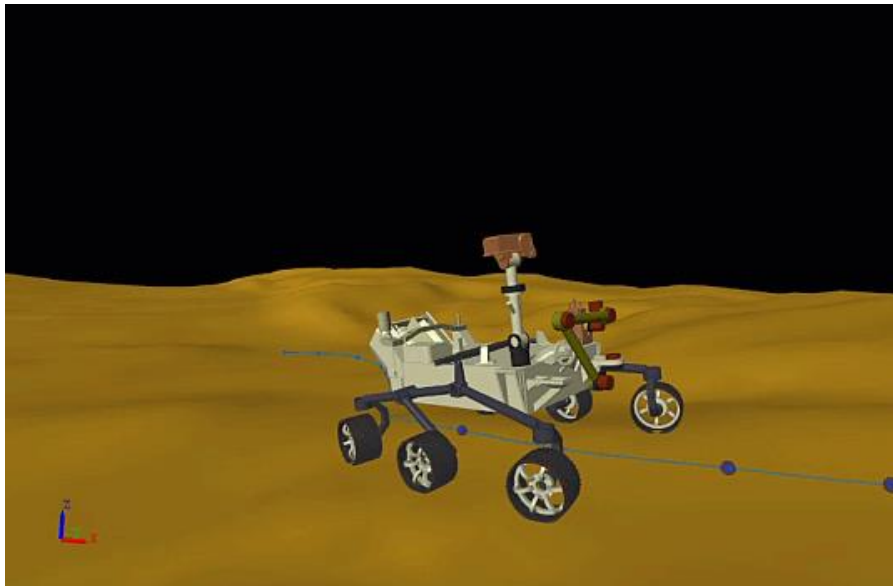
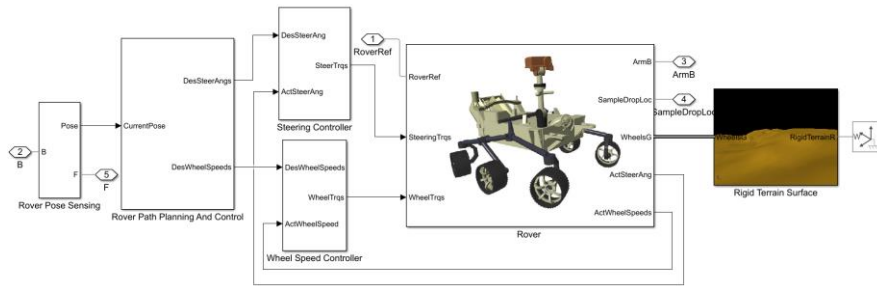
ローバーの
モデリング

地形の
モデリング

接触力
モデリング

パス
追従制御

エンドエフェ
クタ制御

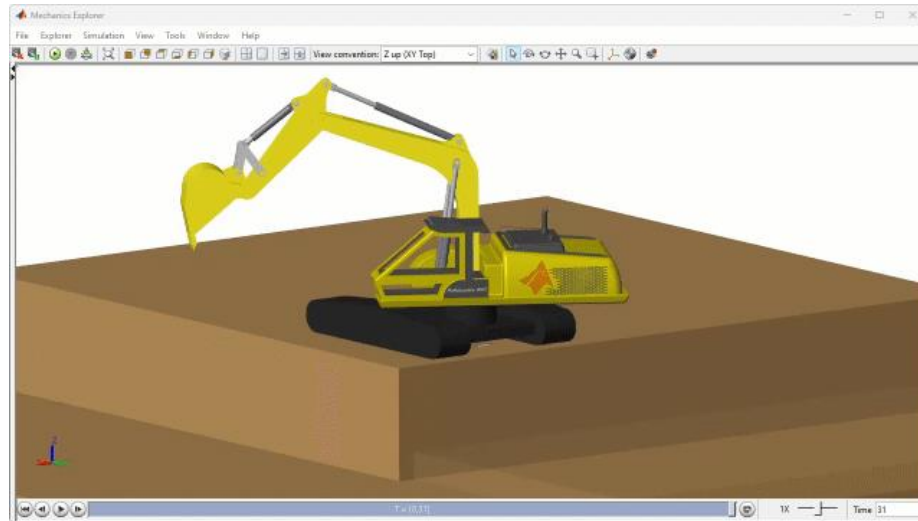


- [Grid Surface](#) : 地表面のような剛体のモデリング
- [Point Cloud](#) ・ [Spatial Contact Force](#) : ローバーのタイヤと剛体表面間の接触モデリング
- [Pure Pursuit](#) : ローバーのパス追従制御
- [KinematicsSolver](#) ・ [Trapezoidal Velocity Profile Trajectory](#) : ローバーのアームの関節空間軌道プランニングと制御
- Joint Mode Configuration : エンドエフェクタとオブジェクト間のインタラクションをモデリング

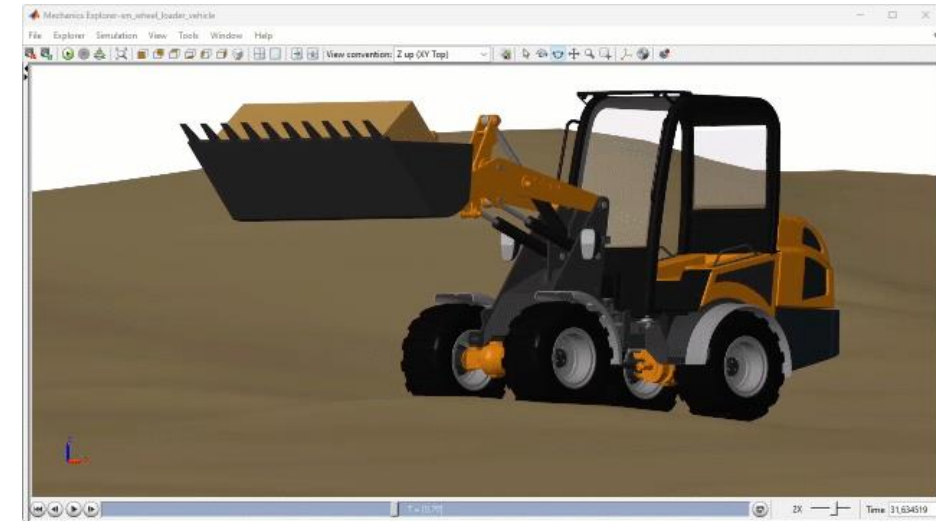
*Simscape Multibody
Robotics System Toolbox*

様々なオフロード車両のモデリング例

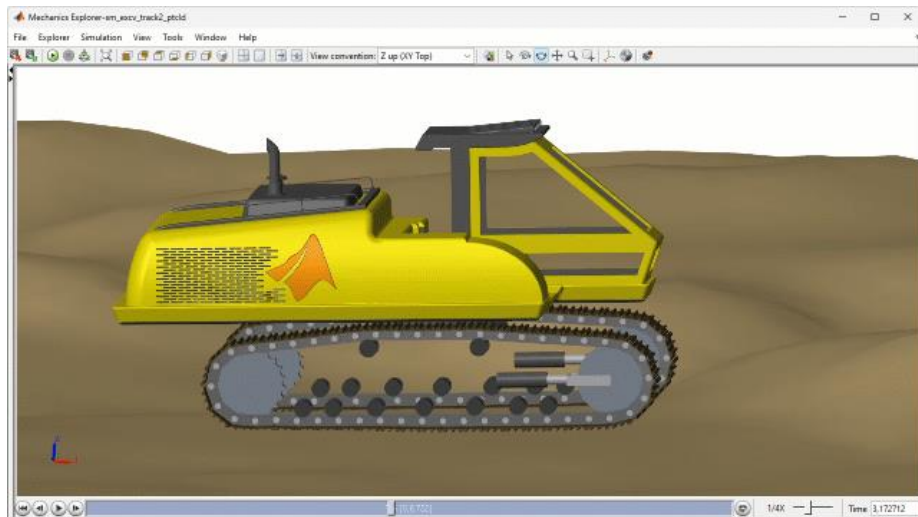
Excavator



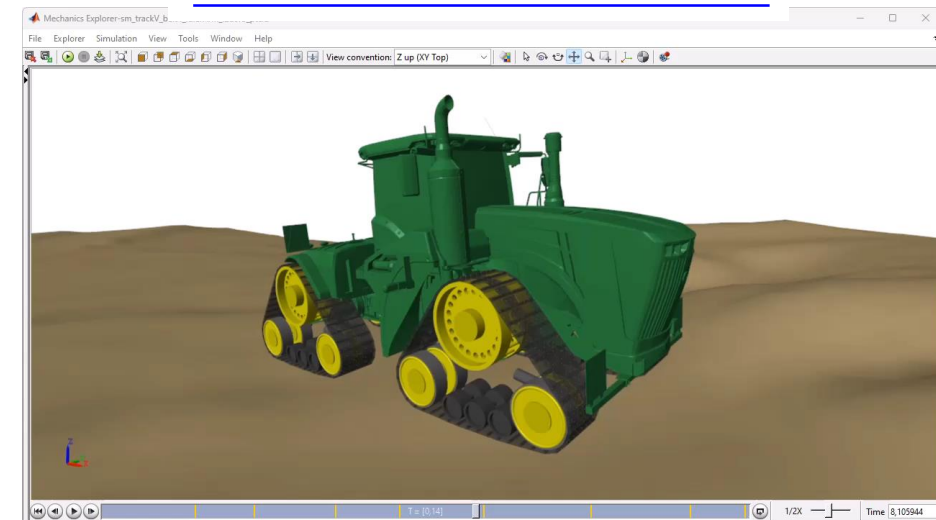
Wheel Loader



Tracked Vehicle

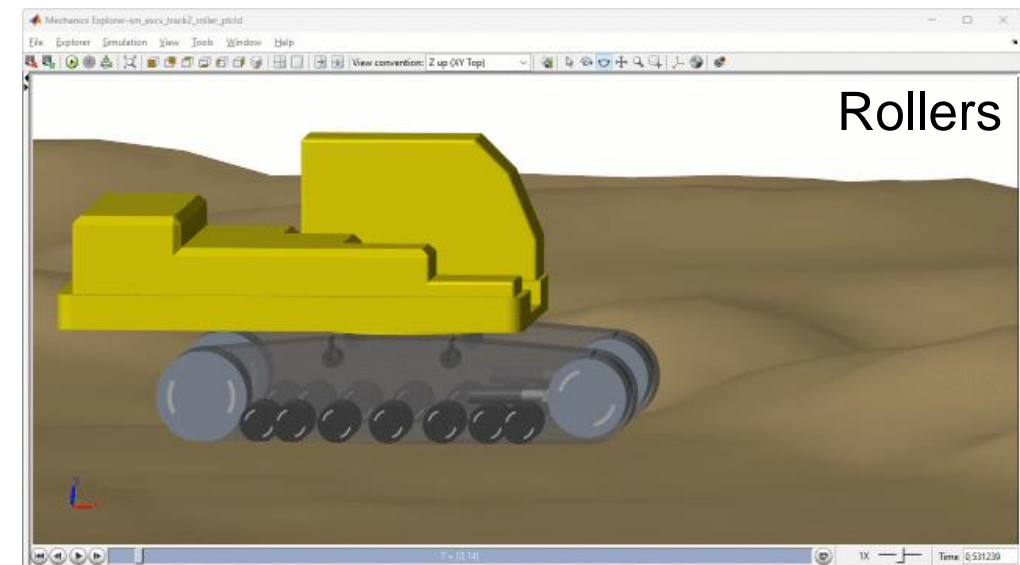
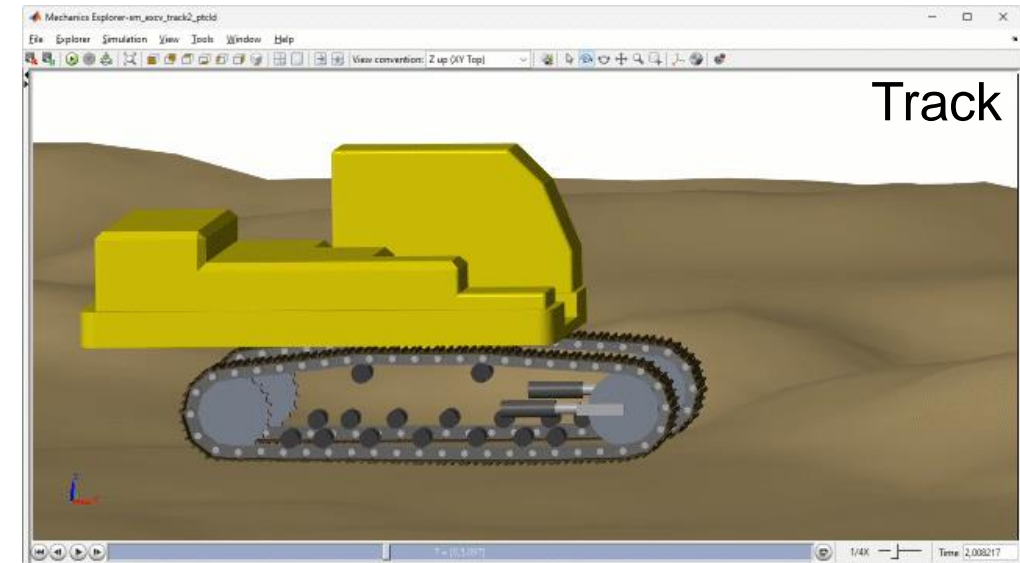
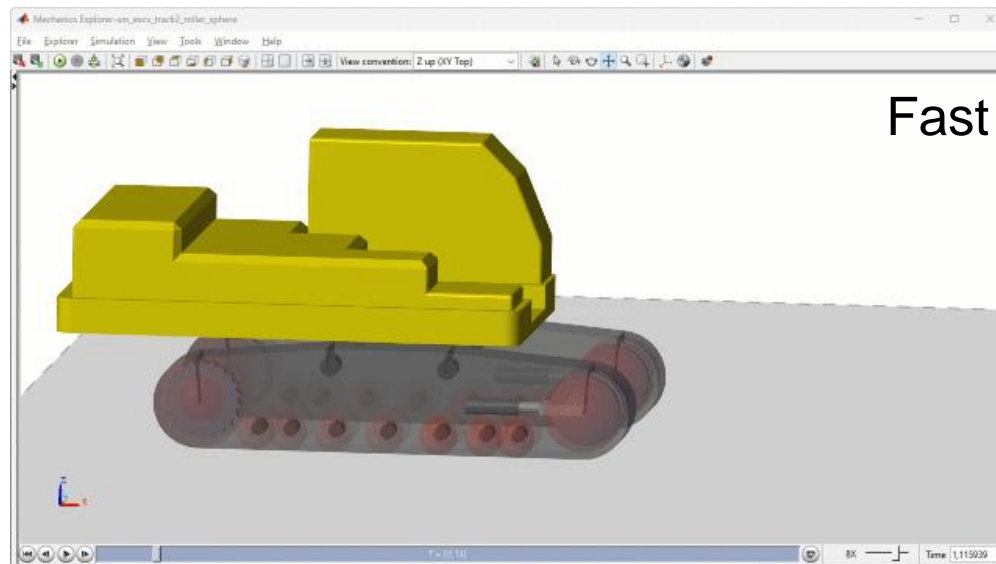


Steered Tracked Vehicle



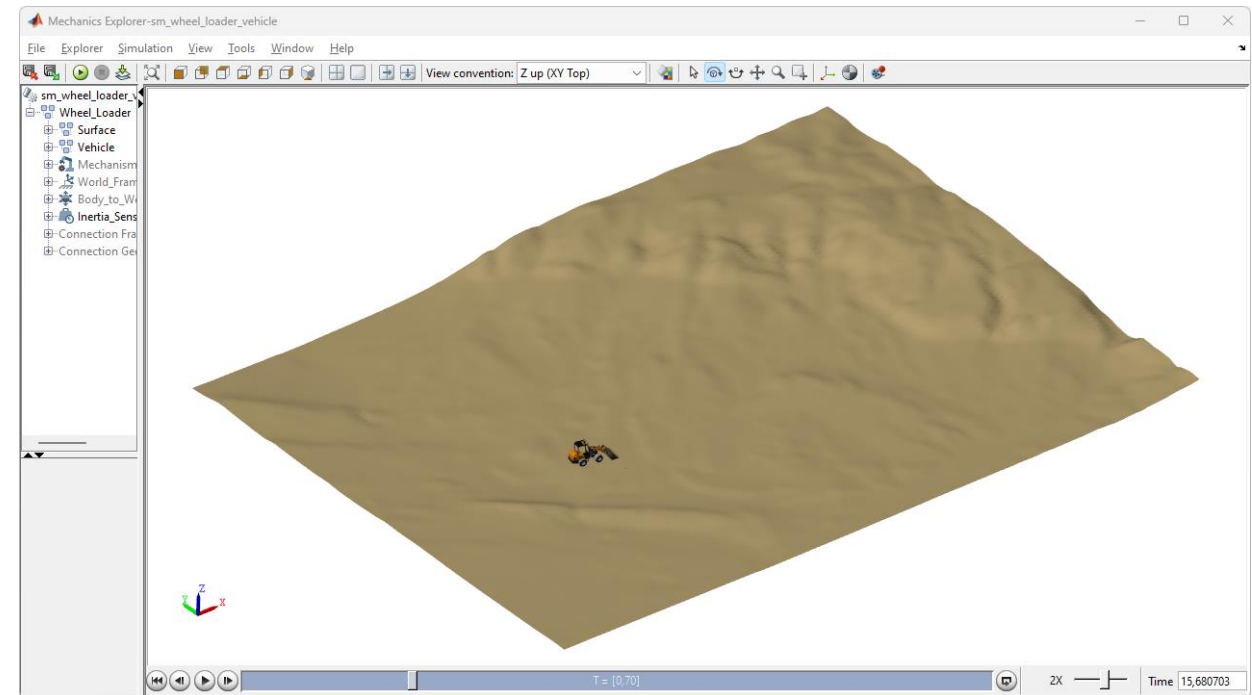
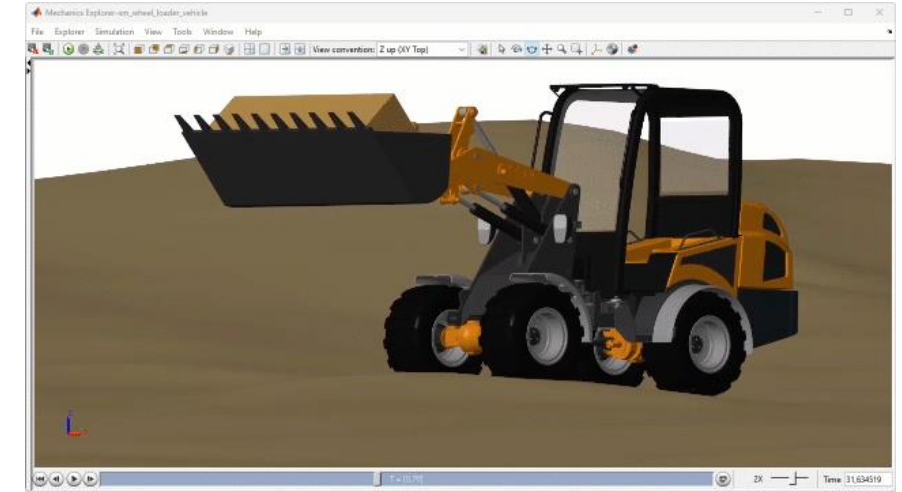
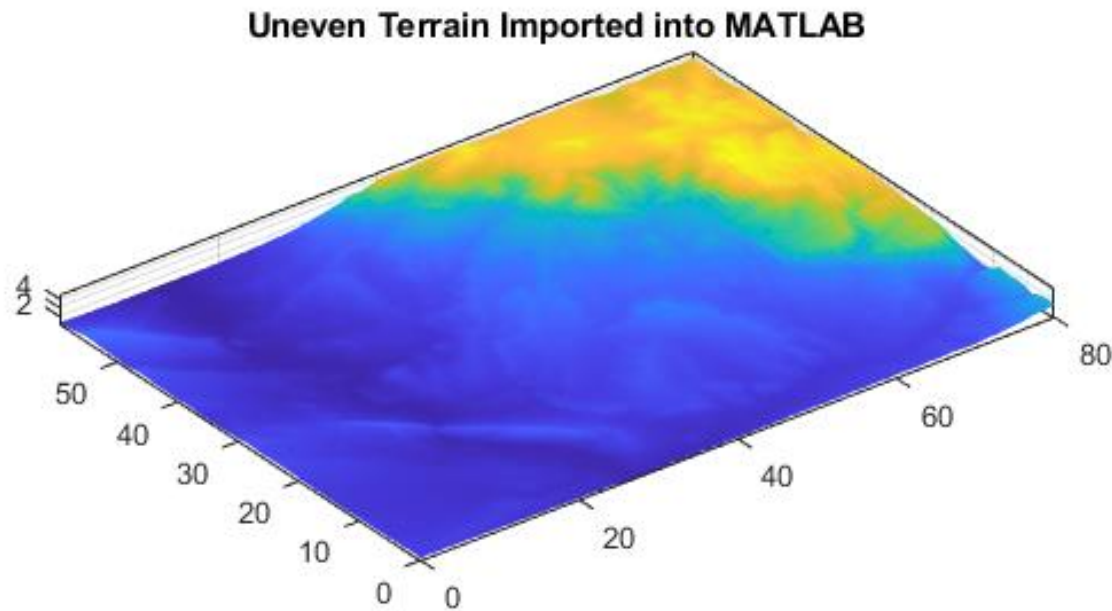
接触モデルを活用した異なる忠実度のシミュレーション

- タスクに応じて忠実度を選択
 - モデルの活用を最大化
 - 異なるチームでも同じモデルが活用可能



不整地のシミュレーション

- MATLABで不整地を定義
- 地表のデータを外部からインポートすることも可能



無人探査ローバー開発のワークフロー

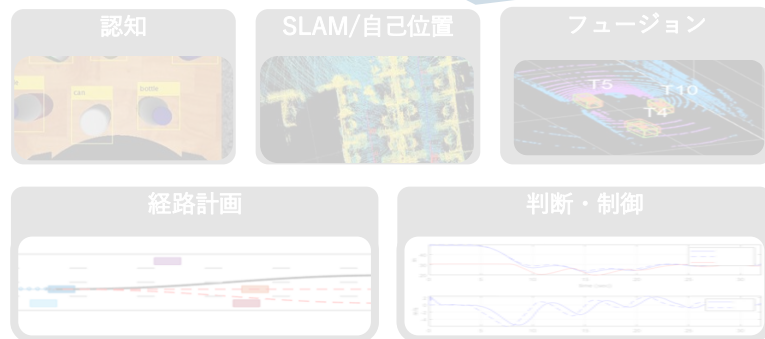
シミュレーション

MATLAB / Simulink

①SLAM
自律アルゴリズム

②起伏を考慮した
車両モデリング

③Unreal
Engine連携



自律・制御アルゴリズム開発



ダイナミクス

Unreal Engine®



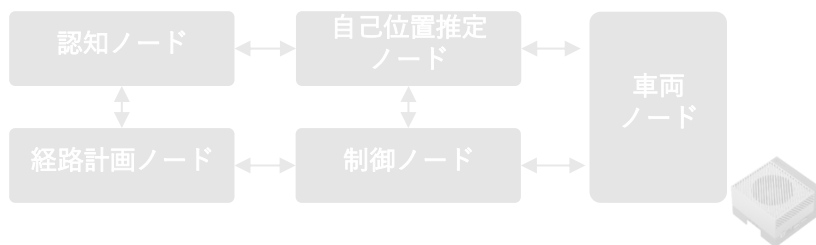
センサーシミュレーション

実機検証

自動コード生成

④ROS
自動コード生成

ROS

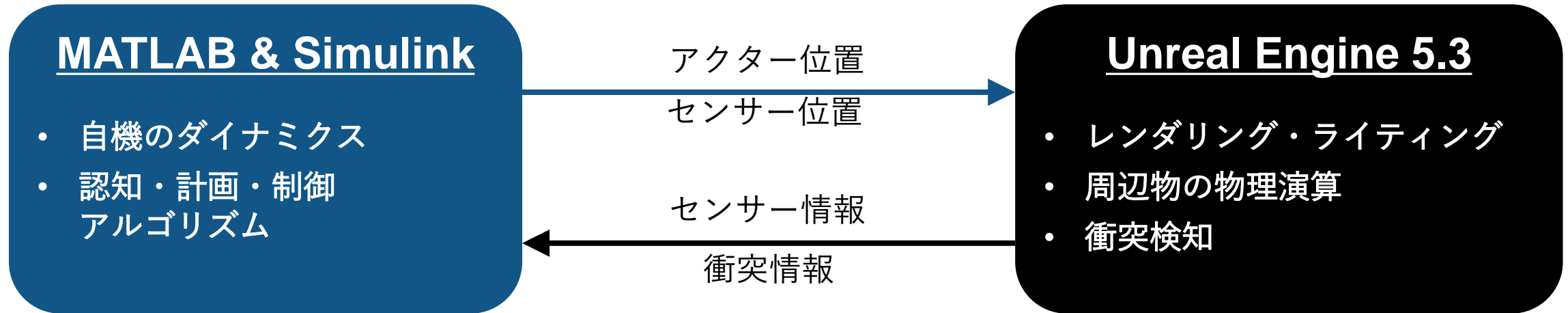


実機 (車両/センサー)



MATLAB と Unreal Engine 5.3 の連携

R2024b



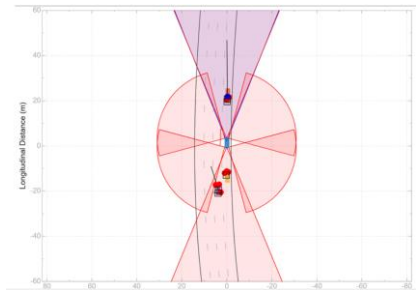
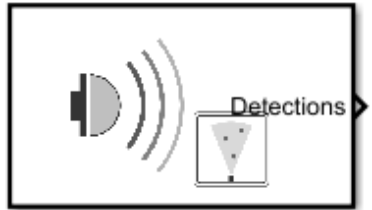
確定的なシミュレーションのための時間同期

- | | |
|---|--|
| 1. 高精度な運動シミュレーション
車両や機体運動の確定的な演算 | 1. フォトリアリスティックな環境再現
忠実度の高い可視化やセンサーの再現 |
| 2. AI・ロボットアルゴリズムを提供
ローコードによる高度な機能開発 | 2. 豊富な3Dアセット
道路、工場、建設現場、農場、etc. |
| 3. シームレスにハードウェア実装
自動コード生成によりRCPやHILS | 3. 大規模な物理演算
並列化による大規模な物理演算 |

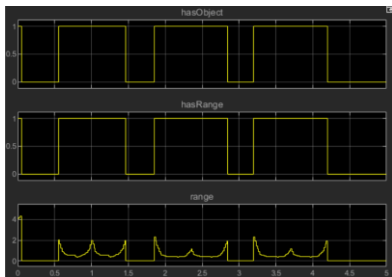


複数センサーモデルをサポート

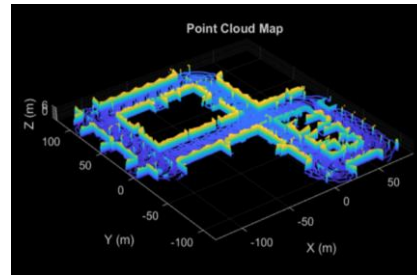
レーダー



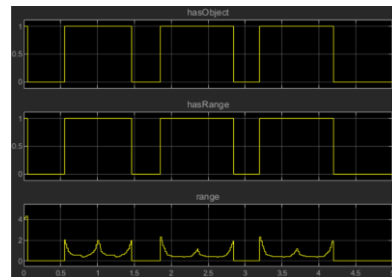
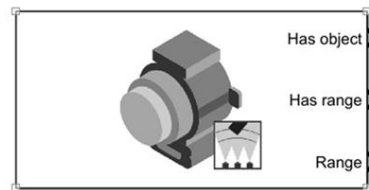
超音波



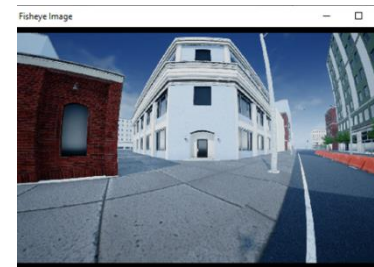
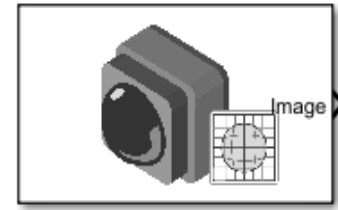
3D LiDAR



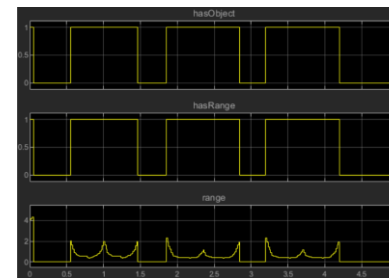
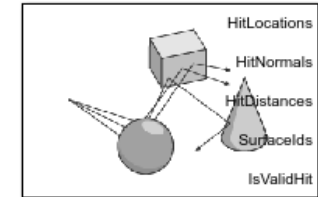
超音波アレイ



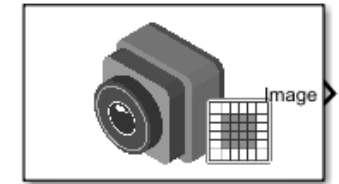
魚眼カメラ



レイトレース



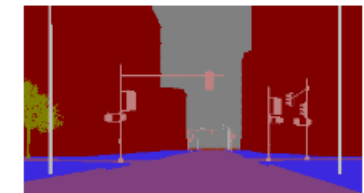
単眼カメラ



画像

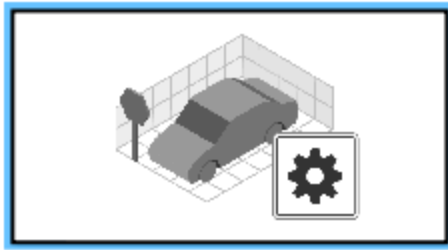


深度



セマンティックラベル

太陽・天候の制御



Simulation 3D Scene Configuration



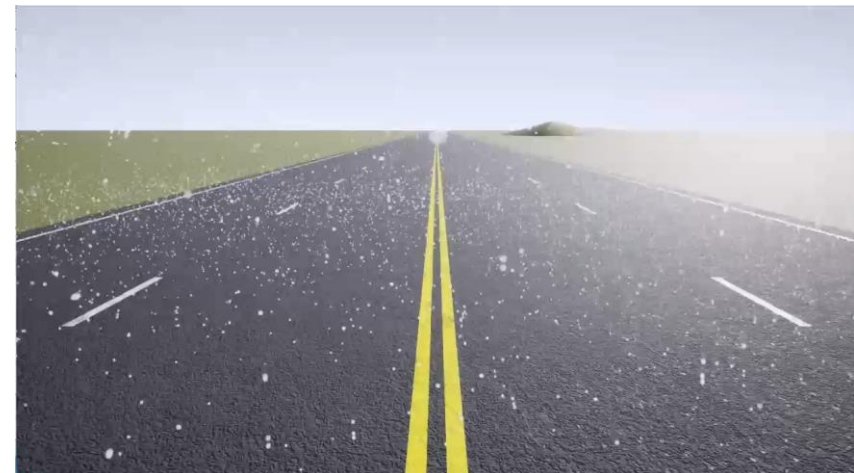
Scene Weather

☒ Override scene weather

Sun altitude ☀️ (deg): -90.0 90.0 40	Sun azimuth 🌅 (deg): 0.0 360.0 90
Cloud opacity ☁️ (%): 0.0 100.0 60.0	Cloud speed 🌬️ (%): -100.0 100.0 1
Fog density 🌫️ (%): 0.0 100.0 0	Rain density 🌧️ (%): 0.0 100.0 0



カメラレンズに雨滴



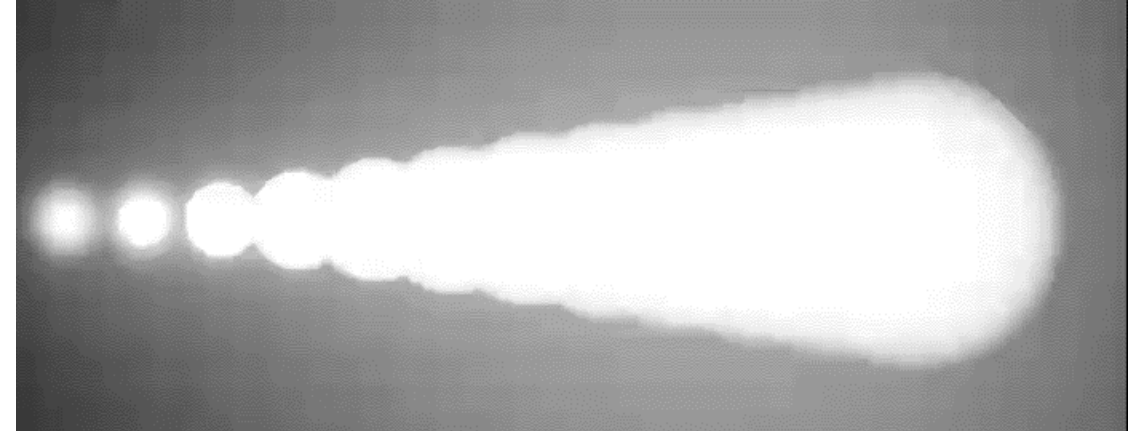
雪

照明制御

[Create light actor](#)



IESプロファイル設定
車両への配置が可能



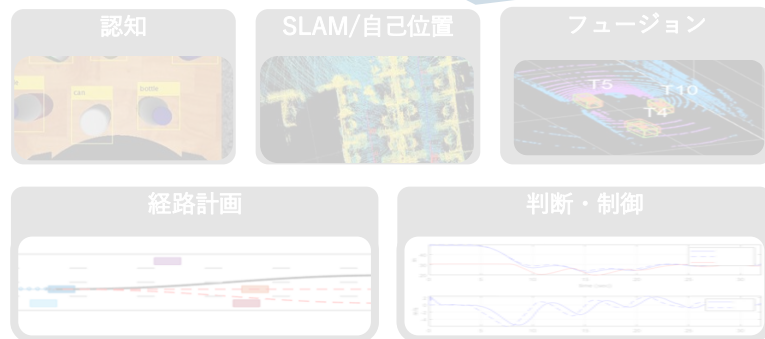
光の色や範囲を設定可能

無人探査ローバー開発のワークフロー

シミュレーション

MATLAB / Simulink

①SLAM
自律アルゴリズム



自律・制御アルゴリズム開発

②起伏を考慮した
車両モデリング



ダイナミクス

③Unreal
Engine連携

Unreal Engine®

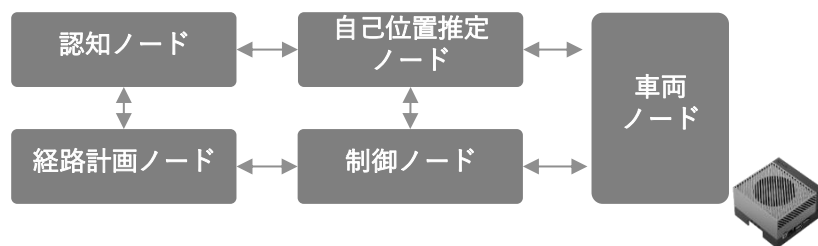


センサーシミュレーション

実機検証

自動コード生成

ROS

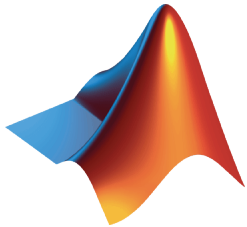
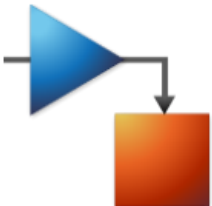


④ROS
自動コード生成

実機 (車両/センサー)



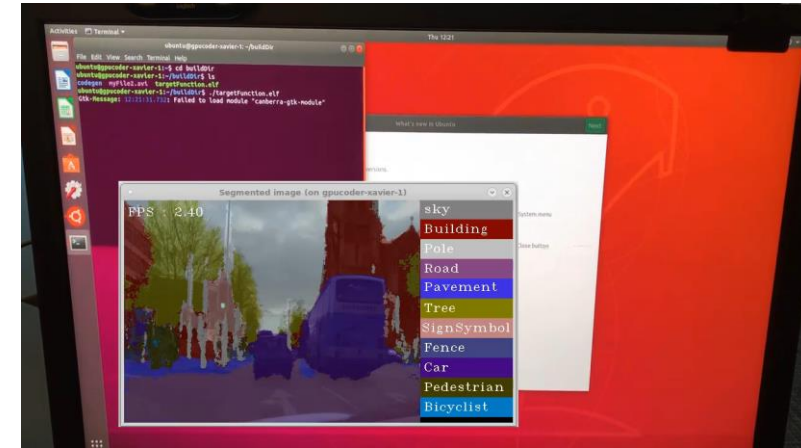
ROS Toolbox でサポートされている連携機能

	ROS	ROS 2
	<ul style="list-style-type: none"> • Topic – Publish / Subscribe • Service server, Service client • Action – Client / Server • Parameter – Get / Set • ROS TF • カスタムメッセージ • rosbag read, rosbagwriter • C++ ROSノード生成 • CUDA ROSノード生成 	<ul style="list-style-type: none"> • Topic – Publish / Subscribe • Service server, Service client • Action – Client / Server R2023b • Parameter – Get / Set • ROS2 TF • カスタムメッセージ • ros2bag read, ros2bagwriter • C++ ROS2ノード生成 • CUDA ROS2ノード生成
	<ul style="list-style-type: none"> • Topic – Publish / Subscribe • Service – Call • Parameter – Get / Set • ROS Time • rosbag playback / record • ROSノード生成 (Local/Remote) • CUDA ROSノード生成 	<ul style="list-style-type: none"> • Topic – Publish / Subscribe • Service – Call / Server R2024a • Action - Client R2024a • Parameter – Get • ROS2 Time • ros2bag playback / record • ROS2ノード生成(Local/Remote) • CUDA ROS2ノード生成
ROS ディストリビューション	<ul style="list-style-type: none"> • ROS Noetic 	<ul style="list-style-type: none"> • ROS2 Humble R2023b DDS切り換えサポート

ハードウェアサポートパッケージによる Jetson への実装例



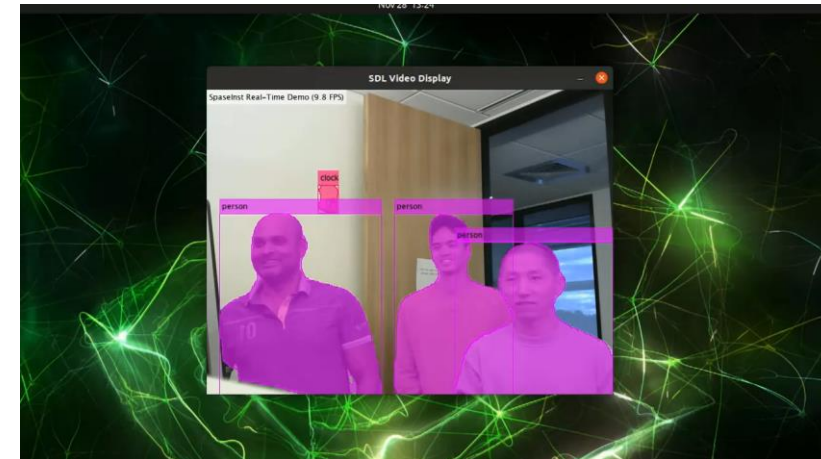
YOLO v2顔検出+表情分類



セマンティックセグメンテーション



人の姿勢推定

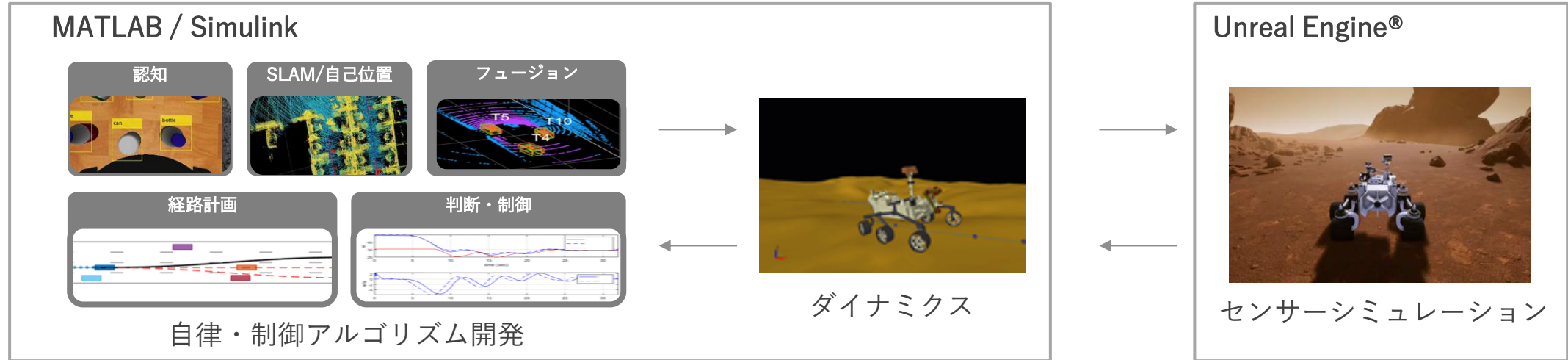


インスタンスセグメンテーション



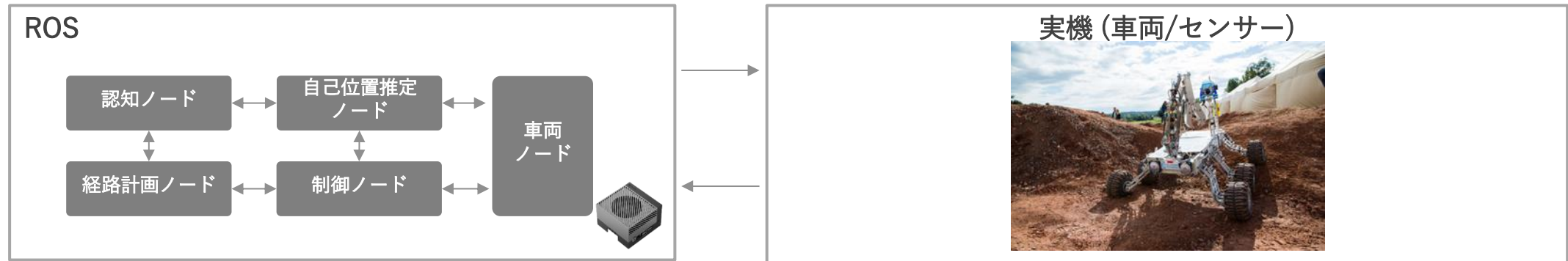
まとめ：無人探査ローバー開発を効率化

シミュレーション



実機検証

自動コード生成



新機能！ Offroad Autonomy Library*

R2024b

自律アルゴリズム設計や3Dシミュレーションの機能や例題を提供

Blocks

Simulation 3D Scene Configuration	Scene configuration for 3D simulation environment
Simulation 3D Physics Dump Truck	Dump truck physics model in 3D simulation environment (Since R2024a)
Simulation 3D Physics Backhoe	Backhoe physics model in 3D simulation environment (Since R2024b)
Simulation 3D Lidar	Lidar sensor model in 3D simulation environment (Since R2024a)
Simulation 3D Camera	Camera sensor model with lens in 3D simulation environment (Since R2024a)

Scenes

Offroad Pit Mining Scene	Offroad pit mining scene in Unreal Engine environment
Construction Site Scene	Construction site scene in Unreal Engine environment


Topics

Install Robotics System Toolbox Offroad Autonomy Library Support Package


Use Add-On for designing, simulating, and validating algorithms for offroad heavy machinery.

Motion Planning for Backhoe Using RRT


Plan an obstacle-free path for a backhoe using RRT and simulate the motion in Simscape™ Multibody™. (Since R2022b)




Simulate Earth Moving with Autonomous Excavator in Construction Site
Simulate ground excavation to create a depression and move spoil to dump truck and further relocate it to another site.
Since R2024b [Open Live Script](#)



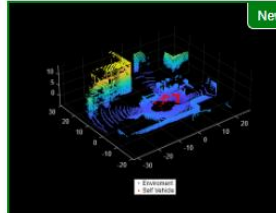
Offroad Navigation for Autonomous Haul Trucks in Open Pit Mine
Series shows how to create a set of planners to enable autonomous haul trucks in an Unreal Engine construction site scene.
Since R2024a



Simulate Construction Vehicles in Unreal Engine for Material Handling
Set up a simulation in which backhoe loads construction bricks into a dump truck in an Unreal Engine construction site scene.
Since R2024b [Open Live Script](#)



Survey Pit Mining Site with RTK GPS and Point Clouds
Generate a digital elevation model (DEM) of a site using real-time kinematic (RTK) GPS and aerial lidar data.
Since R2024b [Open Live Script](#)



Extract Scene From Lidar Data
Create map of environment using point cloud data from lidar sensors mounted on an excavator.
Since R2024b [Open Live Script](#)



Plan Collision-Free Path for Excavator Arm in MATLAB With Lidar Data
Plan path for excavator arm in environment generated from lidar data.
Since R2024b [Open Live Script](#)

関連ツールボックスのご案内 (1/2)

製品名	説明
1)基本構成	
MATLAB	全ての基本環境、テクニカルコンピューティング環境
Simulink	シミュレーションとモデルベースデザインの基本環境
Stateflow	ステートマシンおよび制御ロジックの設計およびシミュレーション
Robotics System Toolbox	マニピュレーター、モバイルロボット、向けツールとアルゴリズム
ROS Toolbox	ROS連携機能
UAV Toolbox	無人航空機開発のためのツールとアルゴリズム
Automated Driving Toolbox	自動運転システムの設計とテスト
2) +モーションプランニング (自己位置推定、マッピング、軌道計画)	
Navigation Toolbox	計画および運行向けアルゴリズム、解析ツール
Sensor Fusion and Tracking Toolbox	マルチセンサーのトラッキングとナビゲーションの設計とシミュレーション
3) +軌道追従、制御	
Control System Toolbox	制御システムの設計および解析
System Identification Toolbox	ブラックボックスモデリング (システム同定)、グレーボックスモデリング
Simulink Control Design	Simulink 環境上で制御システムを設計、解析
Motor Control Blockset	モーター制御アルゴリズムの設計と実装
Simulink Design Optimization	Simulink モデルパラメータの推定と最適化
Model Predictive Control Toolbox	モデル予測制御の設計とシミュレーション
Optimization Toolbox	標準的および大規模な最適化問題の解決
Reinforcement Learning Toolbox	強化学習アルゴリズムによるポリシーを学習するための機能とブロックを提供

関連ツールボックスのご案内 (2/2)

製品名	説明
4) +画像処理、物体認識	
Image Processing Toolbox	画像処理、解析、可視化、アルゴリズム開発
Computer Vision Toolbox	動画処理、画像処理システムの設計およびシミュレーション
Statistics and Machine Learning Toolbox	統計解析と機械学習のアルゴリズム開発
Deep Learning Toolbox	ディープニューラルネットワークの設計およびシミュレーション
Parallel Computing Toolbox	マルチコア、GPUおよびコンピュータクラスタ上での並列処理の実行
Lidar Toolbox	Lidar点群処理のアルゴリズム開発検証
Image Acquisition Toolbox	業界標準のハードウェアから、静止画像および動画像を取得
5) +詳細プラントモデリング（用途に合わせて）	
Simscape	マルチドメイン物理システムのモデリングおよびシミュレーション
Simscape Multibody	3次元メカニカルシステムのモデリングおよびシミュレーション
Simscape Electrical	電気回路、モータ、電力網のモデリングおよびシミュレーション
Aerospace Toolbox	航空・宇宙、環境モデルおよびダイナミクスパラメータのインポート
Aerospace Blockset	航空・宇宙機のモデリングとシミュレーション
6) +コード生成、実装、テスト	
MATLAB Coder	MATLAB コードからの C コードと C++ コードの生成
Simulink Coder	Simulink モデルと Stateflow モデルからの C コードと C++ コードの生成
Embedded Coder	組込みシステム用に最適化された C コードと C++ コードの生成
GPU Coder	NVIDIA GPU向けCudaコードの生成
Simulink Real-Time	RCPおよびHILシミュレーションの実行
DDS Blockset	DDSアプリケーションの設計とシミュレーション
RoadRunner	自動運転システムのシミュレーションとテストのための 3D シーンを設計



© 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.

