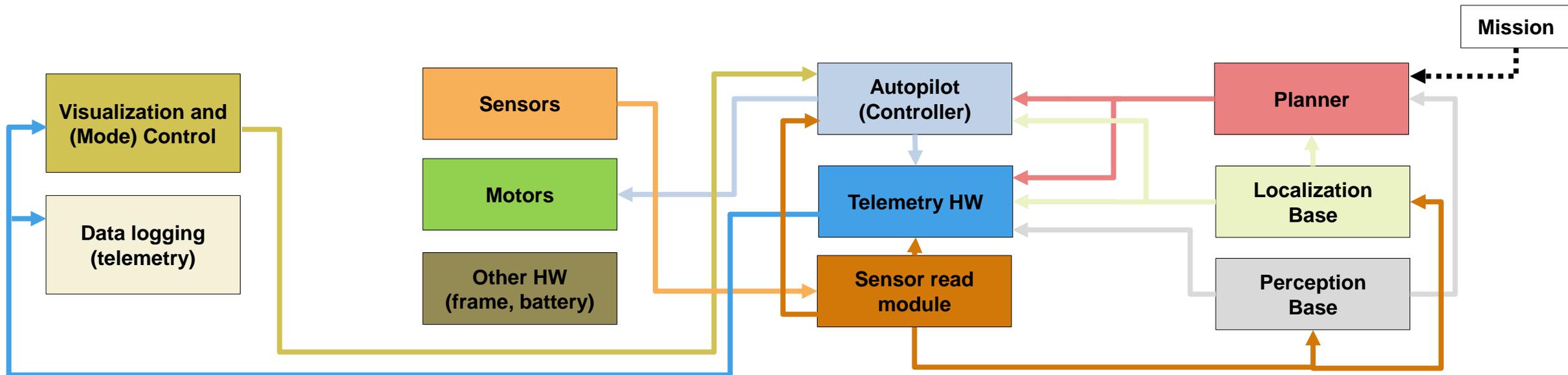
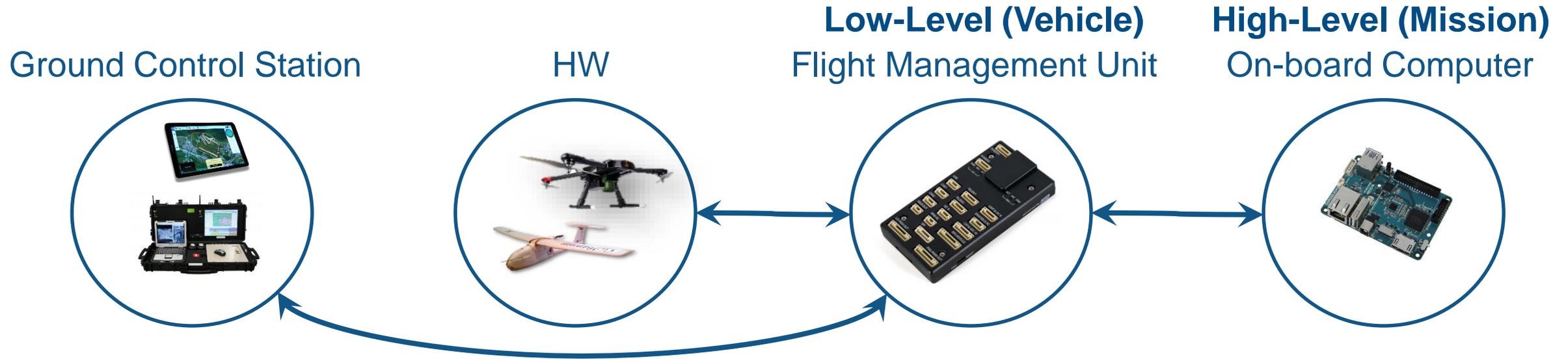


MATLABとSimulinkによる自律型無人航空機の開発

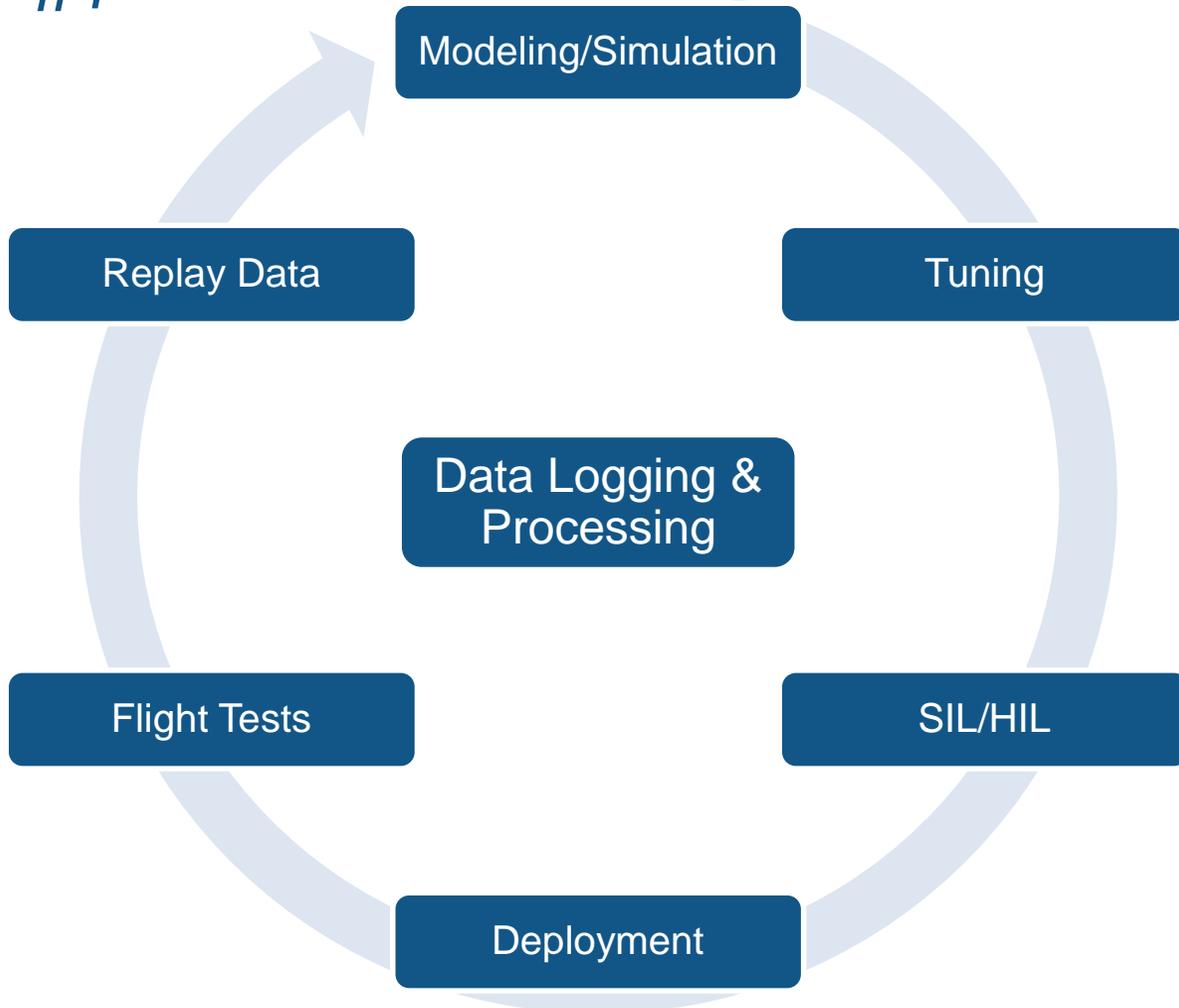
MathWorks Japan
インダストリーマネージャー
能戸フレッド・Fred Noto

自律型無人航空機 (UAV) システムアーキテクチャ

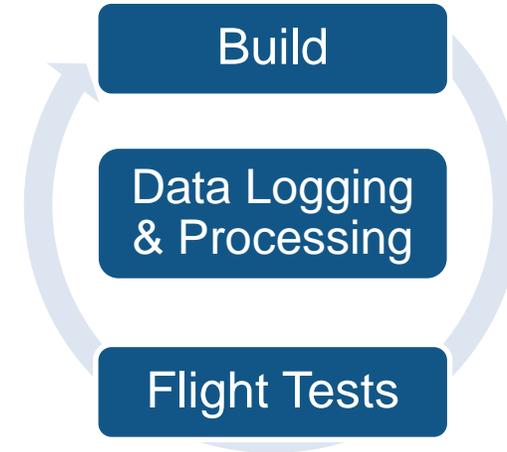


UAV開発ワークフロー

#1



#2



UAVのユーザ事例



Unmanned Aerial System for
Close-Range Filming with Model-
Based Design

Airnamics



Dynamic Simulation
Environment for Testing GNC
Algorithms for Multirotor UAVs

Intel



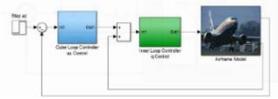
UAV Flight Control Software
Development and Verification
with Model-Based Design

Korean Air

自律UAVシステム開発を加速化するオプションツール



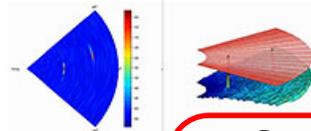
Control System
Toolbox™



HW Support
Packages



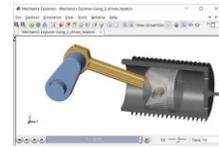
Phased Array System
Toolbox™



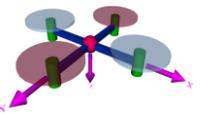
Data Acquisition
Toolbox™



Simscape™



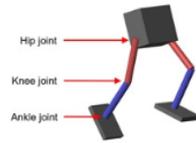
Aerospace
Blockset™



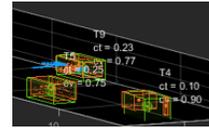
Computer Vision
Toolbox™



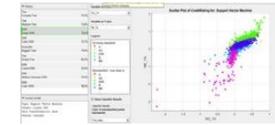
Reinforcement
Learning Toolbox™



Sensor Fusion
and Tracking Toolbox™



Statistics and Machine
Learning Toolbox™



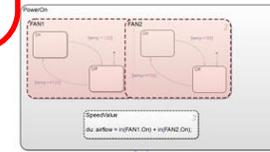
Deep Learning
Toolbox™



Automated Driving
Toolbox™



Stateflow®



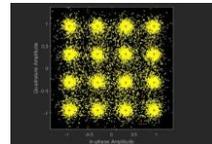
Model Predictive
Control Toolbox™



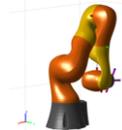
Communications
Toolbox™



WLAN Toolbox™



Robotics System
Toolbox™



Navigation Toolbox™

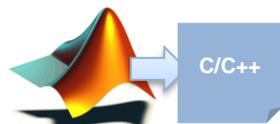


ROS Toolbox
ROS
2

Simulink Real-
Time™



MATLAB Coder™



Simulink Coder™



Embedded Coder™



HDL Coder™



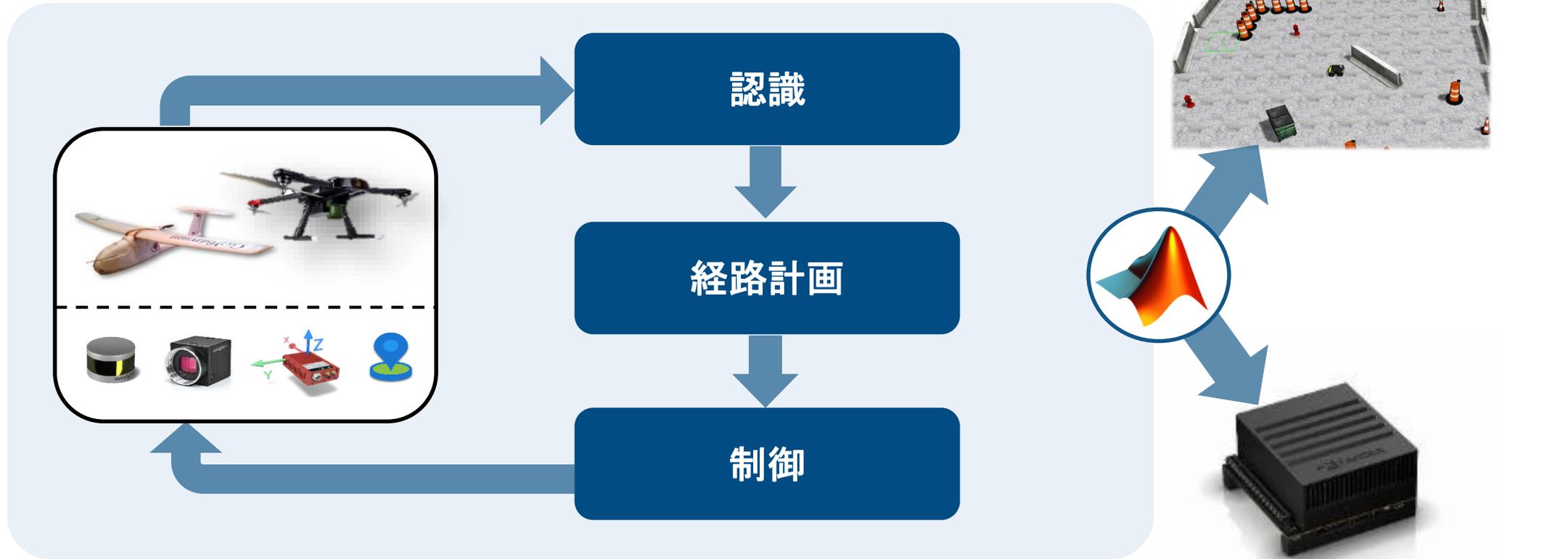
PLC Coder™



GPU Coder™



自律UAVシステムの開発

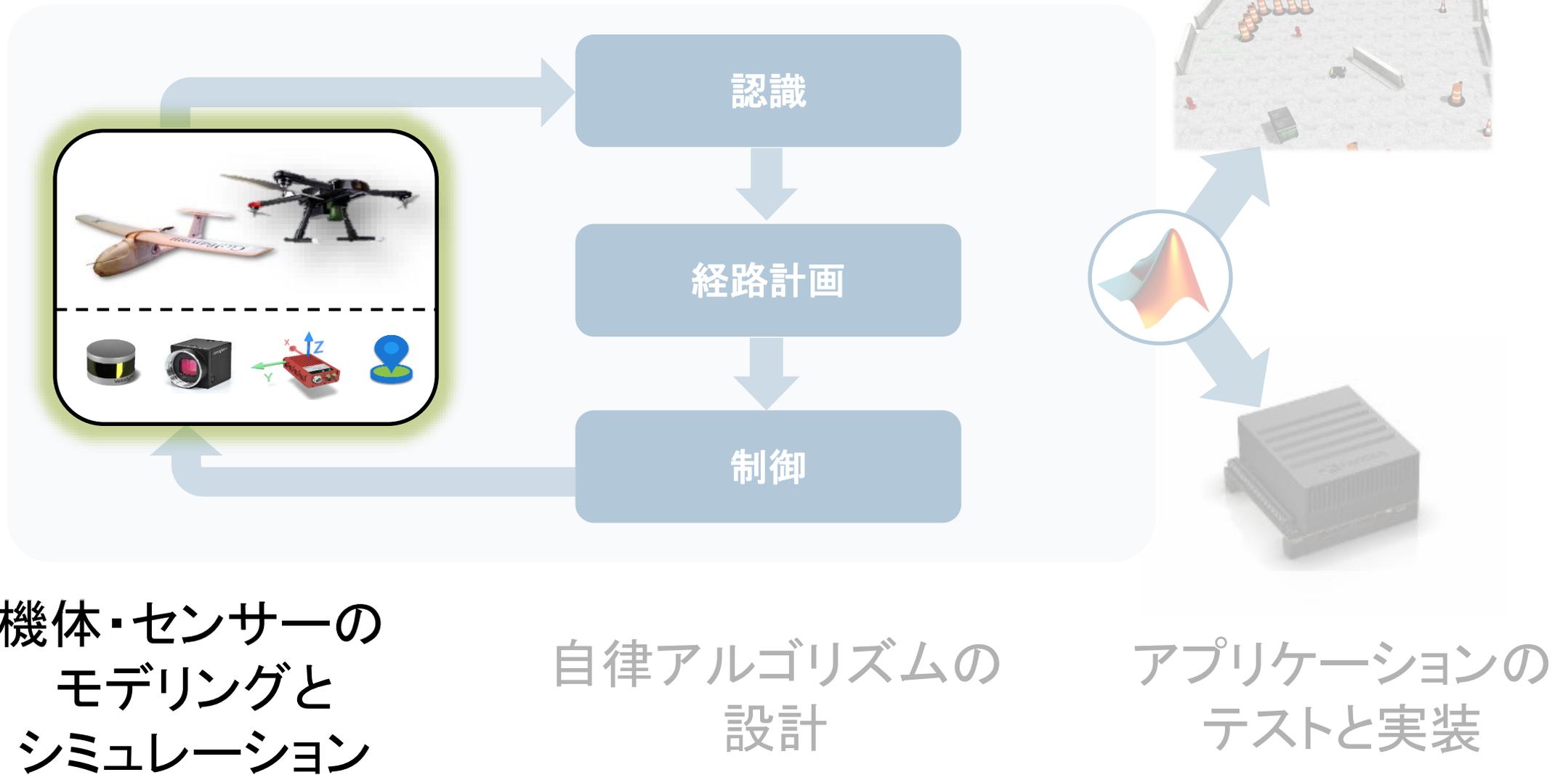


機体・センサーの
モデリングと
シミュレーション

自律アルゴリズムの
設計

アプリケーションの
テストと実装

機体・センサーのモデリングとシミュレーション



機体・センサーのモデリングとシミュレーション

機体モデリング手法

高精度モデル

抽象モデル

外部モデル

タスクに適切な
手法を選択

センサーモデリング手法

センサーデータ取込

センサーシミュレ-
ーションモデル

外部センサーモデル

開ループ・
閉ループワーク
フローを実現

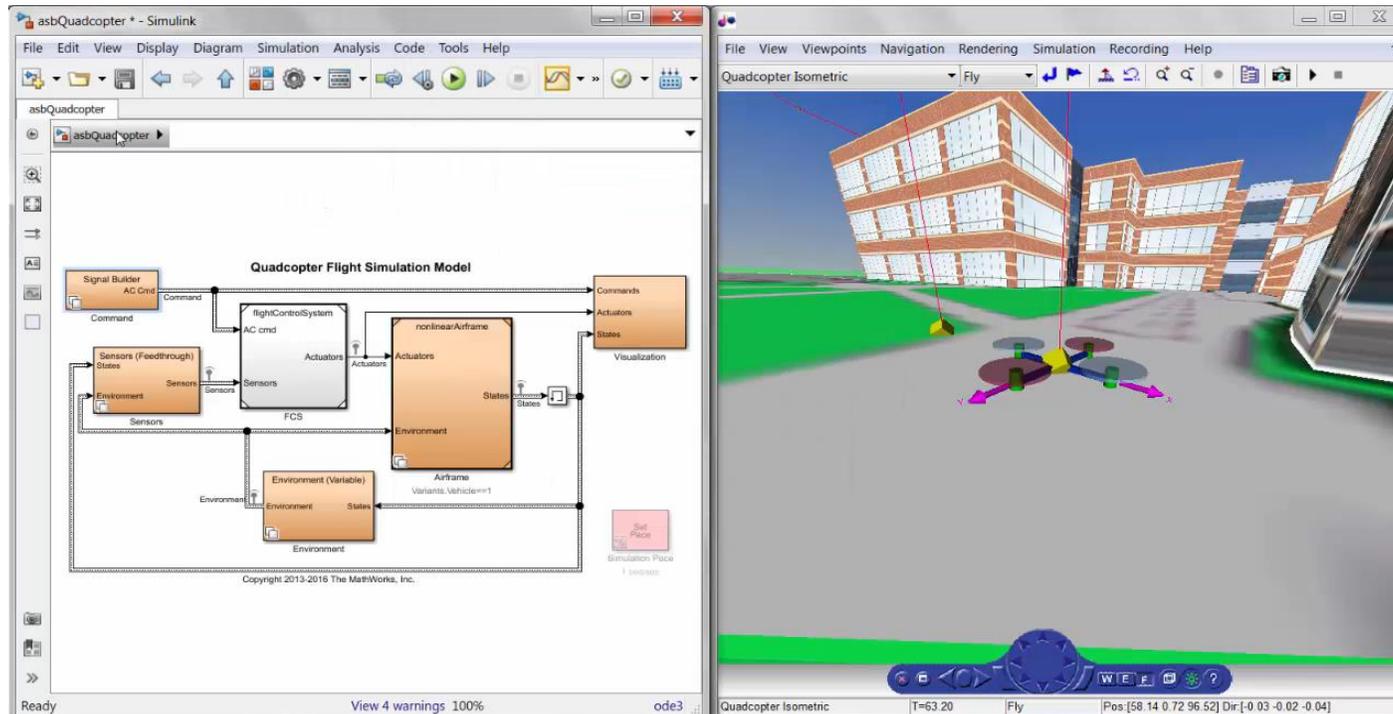
UAVモデリングとシミュレーション

機体モデル

飛行制御

環境モデル

シミュレーション



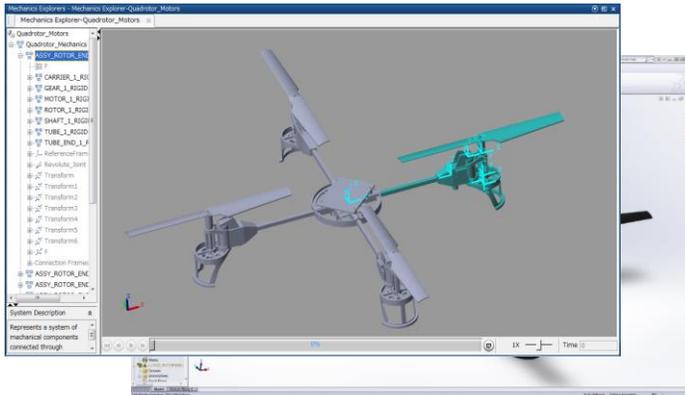
- 6DOF運動方程式モデル
- IMU、カメラ、ソナー使用
- 大気・重力を考慮した環境モデリング
- Simulink®内での可視化

[Quadcopter Project](#)
Aerospace Blockset™
Optimization Toolbox™
Simulink Control Design™
Signal Processing Toolbox™
Computer Vision Toolbox™
Simulink 3D Animation™

R2017a Update

機体モデリング手法

物理モデリング

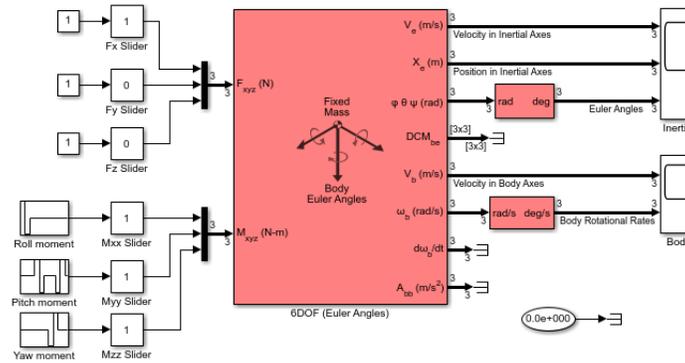


CADモデルのインポート
Simscape Multibody™
Simscape Electrical™
Aerospace Blockset™

(File Exchange)

運動方程式モデル

Six Degree of Freedom Motion Platform

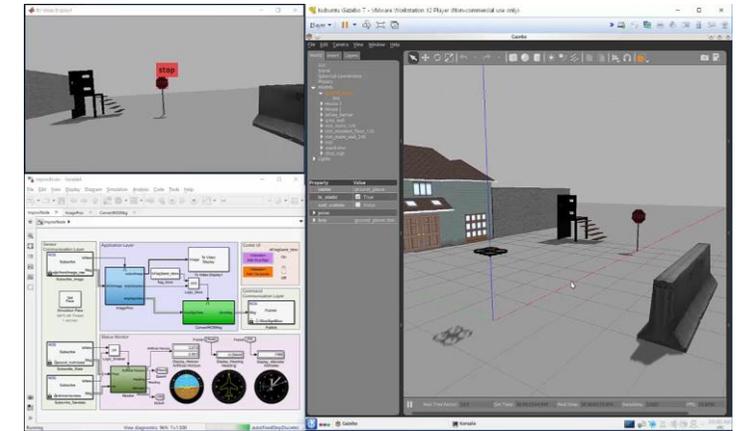


Copyright 1990-2019 The MathWorks, Inc.

Six Degree of Freedom Motion Platform
Aerospace Blockset™

R2019a

Gazeboモデル

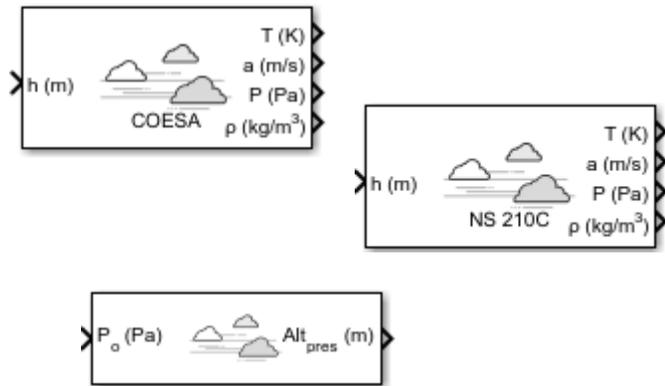


Simulink を使用した Gazebo とのCo-simulation
Robotics System Toolbox™
ROS Toolbox

R2019b

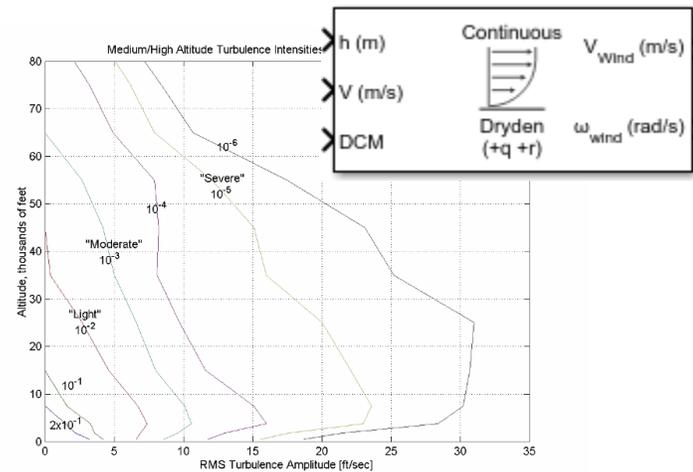
環境モデリング

大気モデル



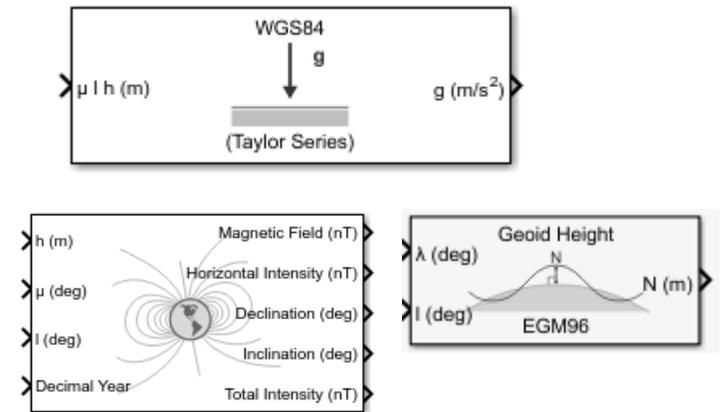
Implement Generic Atmosphere Profiles
Aerospace Blockset™

風モデル



Turbulence, Gust, Shear, Horizontal Wind
Aerospace Blockset™

重力モデル



Gravity and Magnetic Fields
Aerospace Blockset™

機体・センサーのモデリングとシミュレーション

機体モデリング手法

高精度モデル

抽象モデル

外部モデル

タスクに適切な
手法を選択

センサーモデリング手法

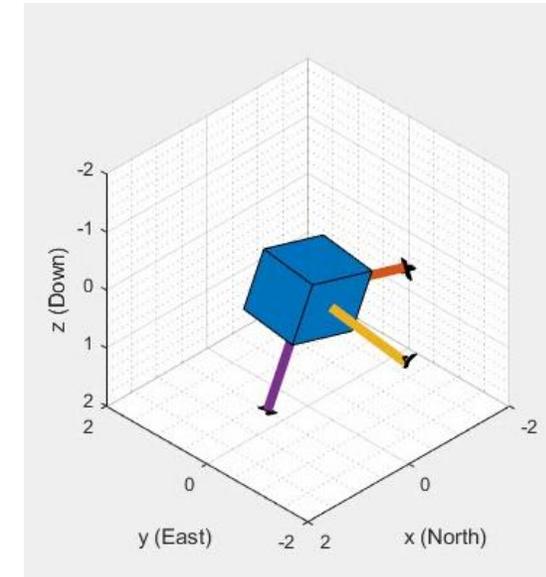
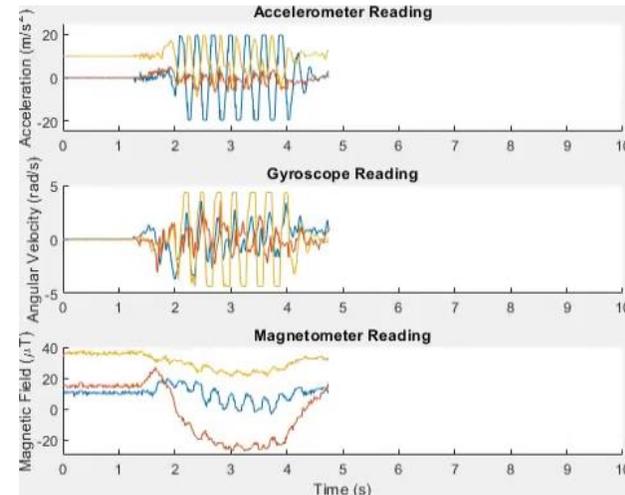
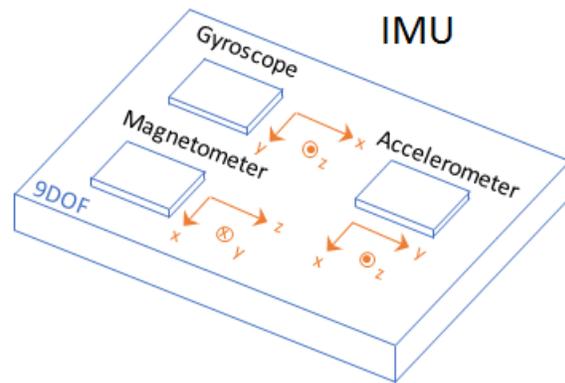
センサーデータ取込

センサーシミュレ-
ーションモデル

外部センサーモデル

開ループ・
閉ループワーク
フローを実現

自己位置推定のための センサーシミュレーション (IMU / GPS / 高度計 / 2D-LiDAR)



6-DOF (3軸加速度、3軸ジャイロ)

9-DOF (3軸加速度、3軸ジャイロ、3軸磁力)

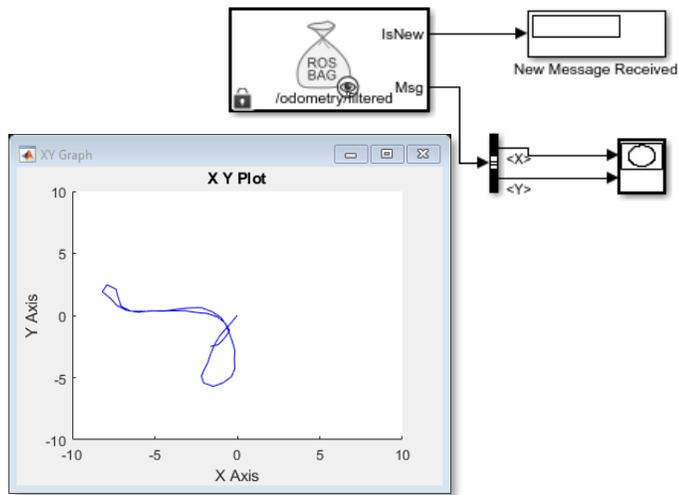
10-DOF (3軸加速度 + 3軸ジャイロ + 3軸磁力 + 気圧計)

センサーフュージョン
による姿勢推定

altimeterSensor	高度計のシミュレーションモデル
gpsSensor	GPSレシーバーのシミュレーションモデル
imuSensor	IMU(加速度/ジャイロ/地磁気)のシミュレーションモデル
rangeSensor	レンジセンサー(2D LiDAR)のシミュレーションモデル

センサーモデリング手法

センサーデータインポート

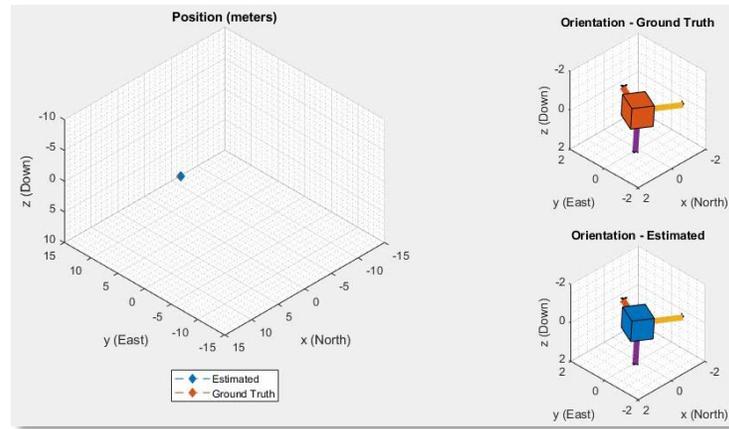


[Play Back Data from Jackal rosbag Logfile in Simulink](#)

ROS Toolbox

R2020a

シミュレーション用モデル

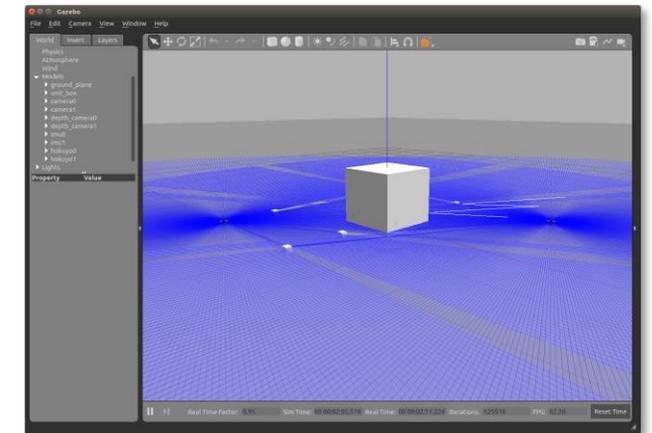


[IMU and GPS Fusion for Inertial Navigation](#)

Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

R2018b

Gazeboセンサーモデル



[Simulink と Gazebo 間のコシミュレーションの実行](#)

Robotics System Toolbox™

ROS Toolbox

R2019b

機体・センサーのモデリングとシミュレーション

機体モデリング手法

高精度モデル

抽象モデル

外部モデル

タスクに適切な
手法を選択

センサーモデリング手法

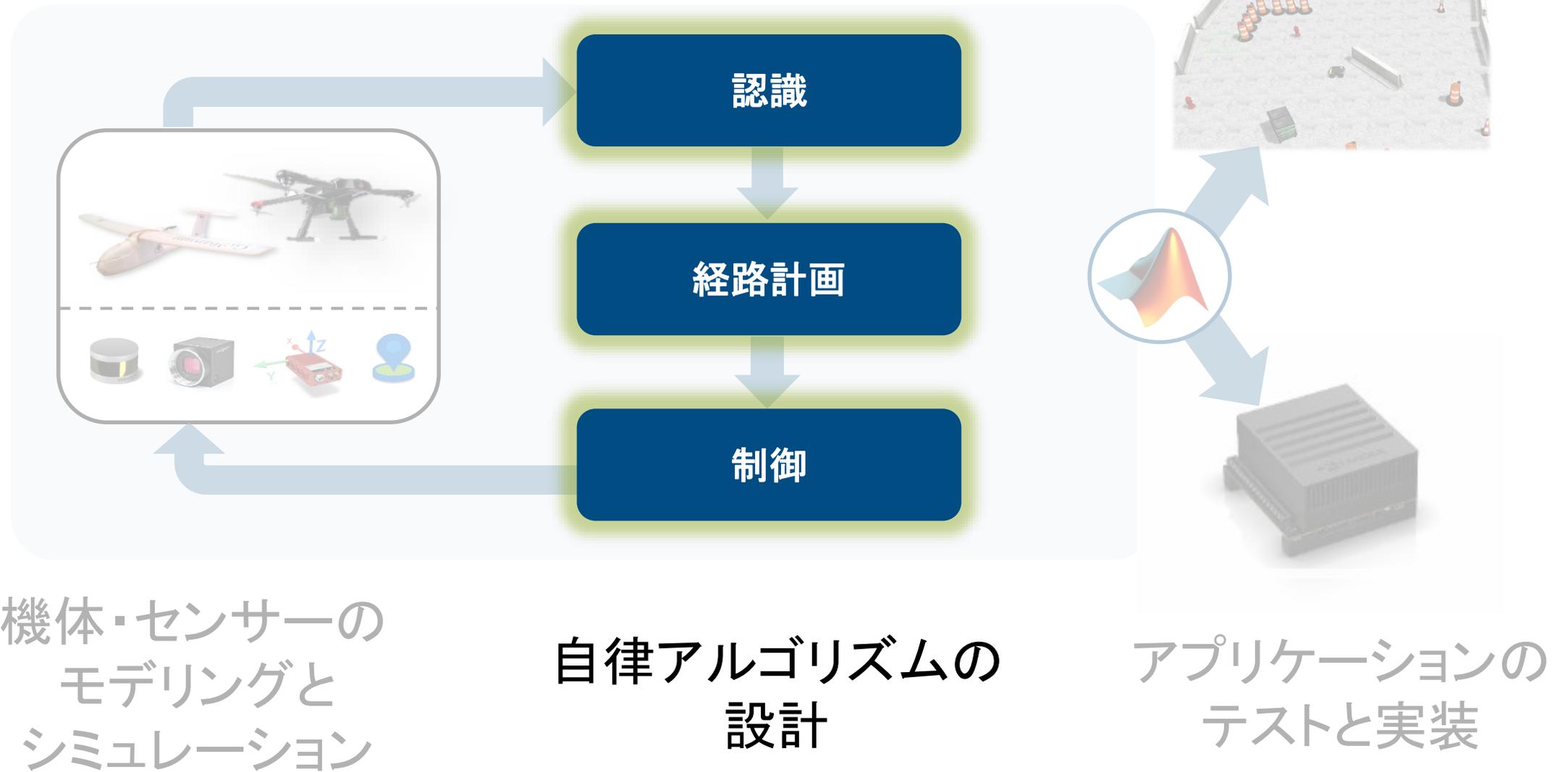
センサーデータ取込

センサーシミュレ-
ーションモデル

外部センサーモデル

開ループ・
閉ループワーク
フローを実現

自律UAVシステムの開発



自律アルゴリズムの設計

認識ワークフロー

データ収集

環境認知

自己位置推定

マッピング
SLAM

経路計画・制御ワークフロー

意思決定ロジック

モーション
プランニング

パス追従

アドバンス制御

データ収集 & 環境認知

データ読込

同期

キャリブレーション

ラベリング

トレーニング



- SSD (Single Shot Detector) ネットワークの作成
- データの拡張と前処理
- SSDのトレーニングと評価
- 自動コード生成

[Object Detection Using SSD Deep Learning](#)

Computer Vision Toolbox™

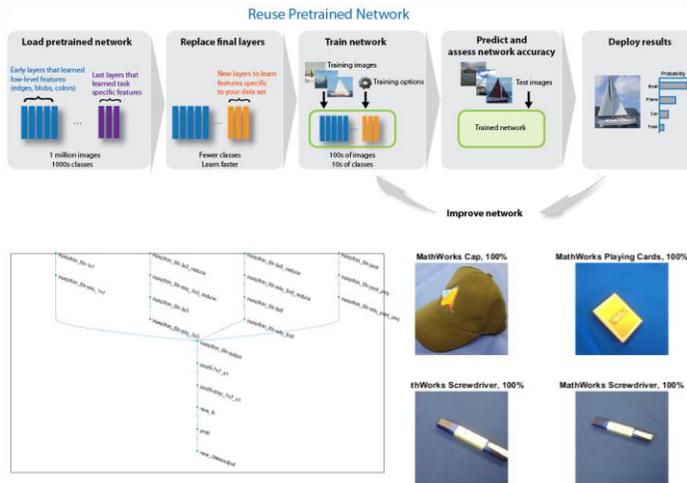
Deep Learning Toolbox™

Parallel Computing Toolbox™

R2019b

画像処理とディープラーニング

画像分類

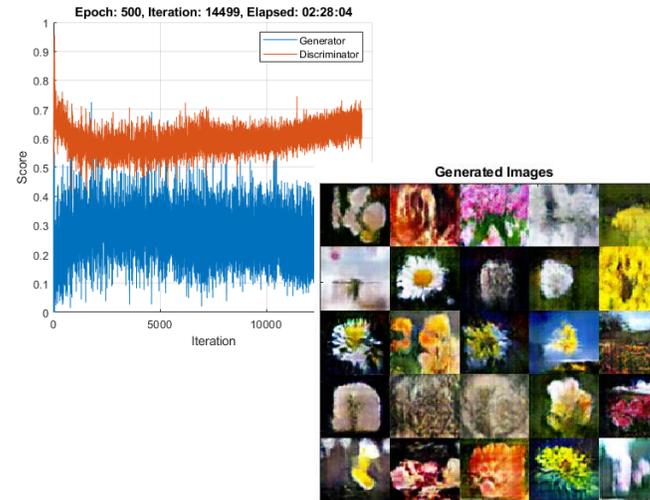


新しいイメージを分類するための
の深層学習ネットワークの学習

Deep Learning Toolbox™

R2018b

GAN

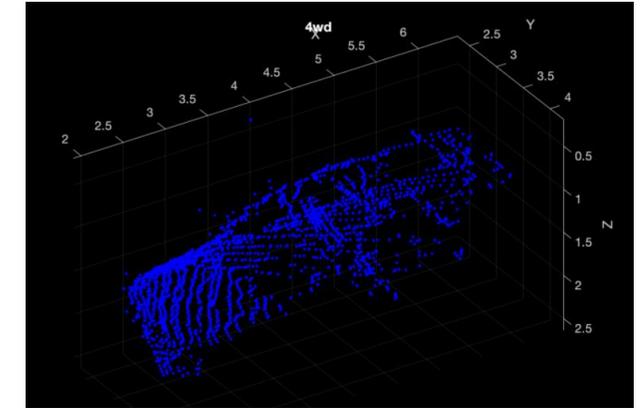


Train Generative Adversarial
Network (GAN)

*Deep Learning Toolbox™
Parallel Computing Toolbox™*

R2019b

PointNet



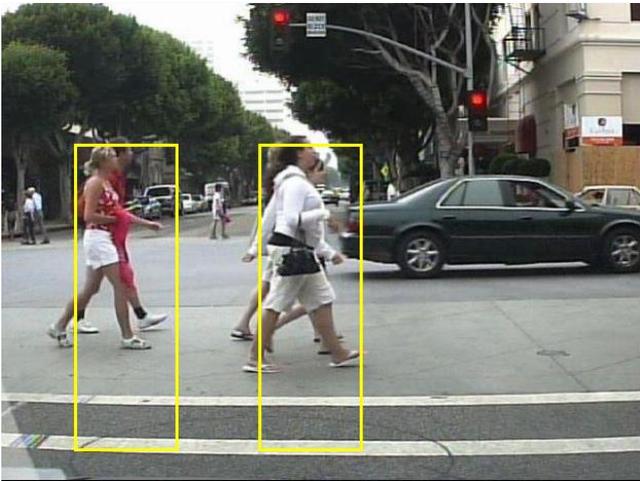
Point Cloud Classification
Using PointNet Deep Learning

*Computer Vision Toolbox™
Deep Learning Toolbox™*

R2020a

その他の認識アルゴリズム

人間検出

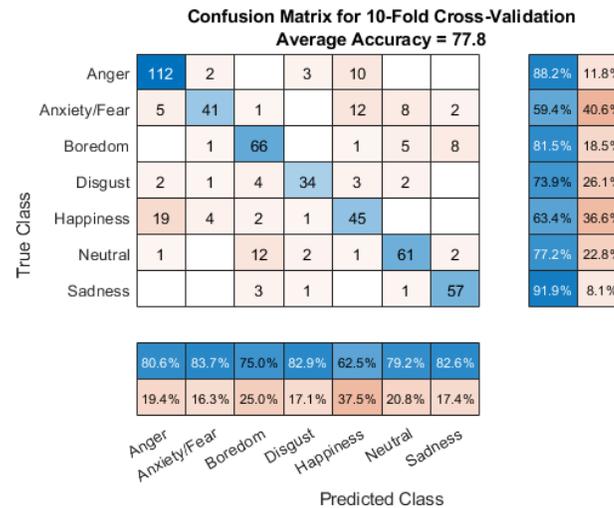


歩行者の検出

Computer Vision Toolbox™
 Deep Learning Toolbox™
 GPU Coder™

R2018b

音声による感情認識

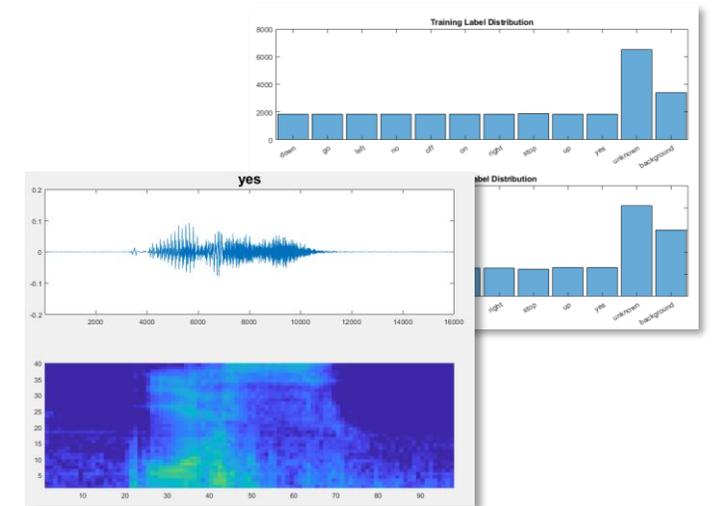


Speech Emotion Recognition

Audio Toolbox™
 Deep Learning Toolbox™

R2020a

音声コマンド認識



Speech Command Recognition Using Deep Learning

Audio Toolbox™
 Deep Learning Toolbox™

R2018b

自己位置推定 & マッピング・SLAM

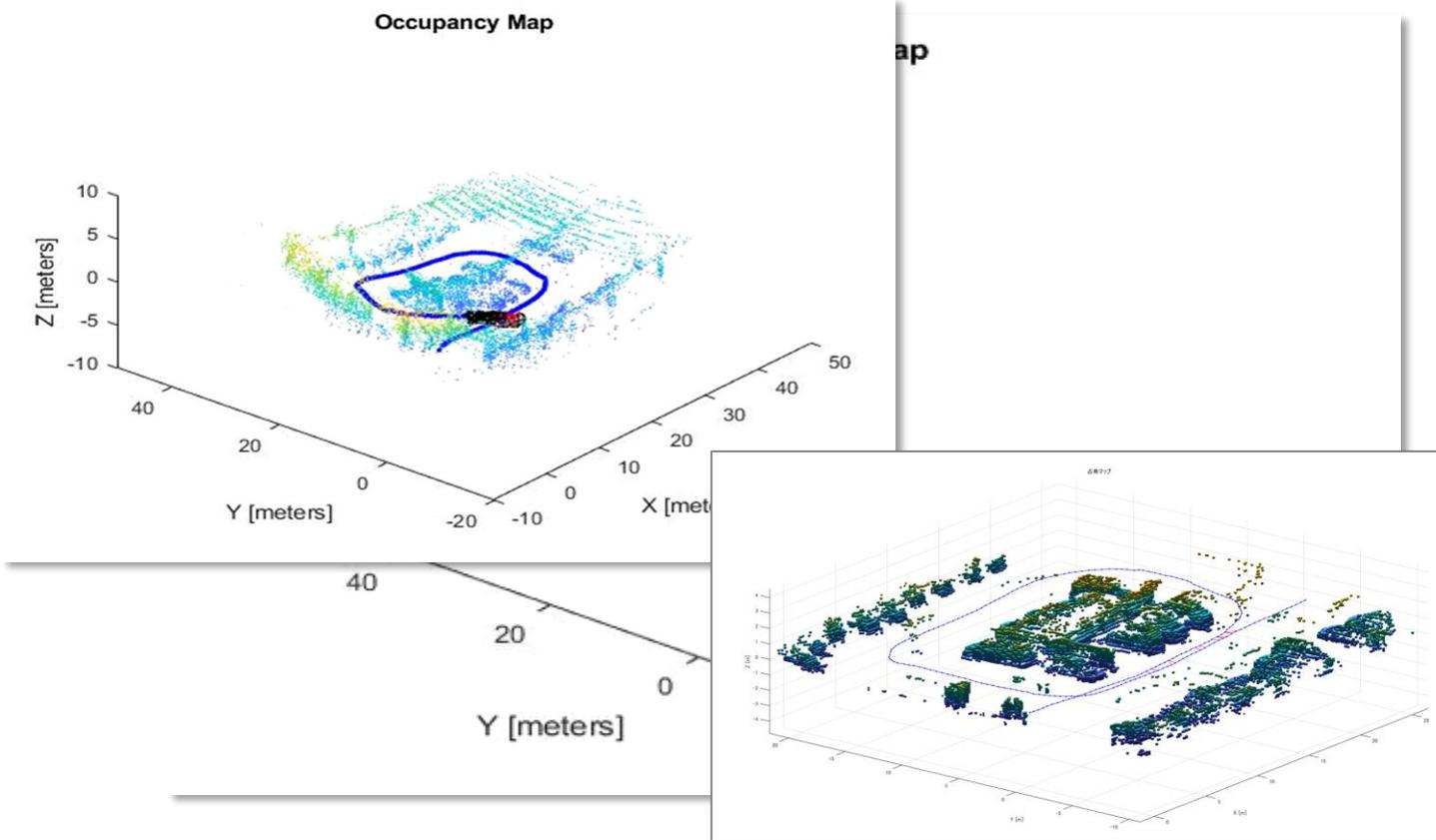
データ読込

同期

オフライン地
図作成

SLAM
自己位置推定

障害物回避



- ループ閉じ込みの推定
- ポーズグラフの最適化による軌道推定と改良
- 3次元占有マップの作成と視覚化

[Perform SLAM Using 3-D Lidar Point Clouds](#)

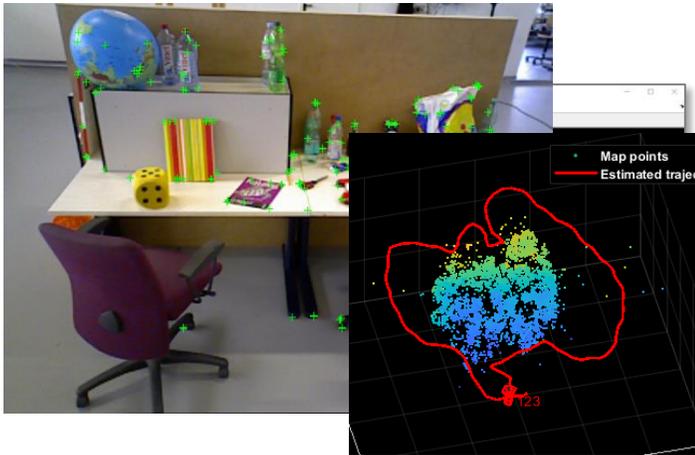
Navigation Toolbox™

Computer Vision Toolbox™

R2019b

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) アルゴリズム設計

単眼カメラ Visual SLAM (ORB-SLAM)

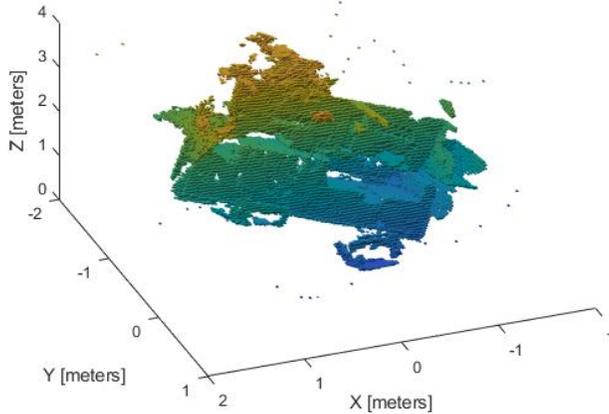


Monocular Visual Simultaneous Localization and Mapping

Computer Vision Toolbox™

R2020a

Lidar (実データ)

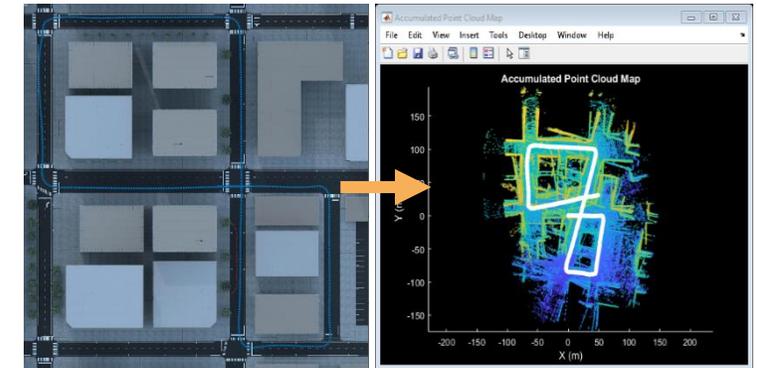


Build Occupancy Map from Depth Images Using Visual Odometry and Optimized Pose Graph

Navigation Toolbox™

R2020a

Lidar (合成データ)



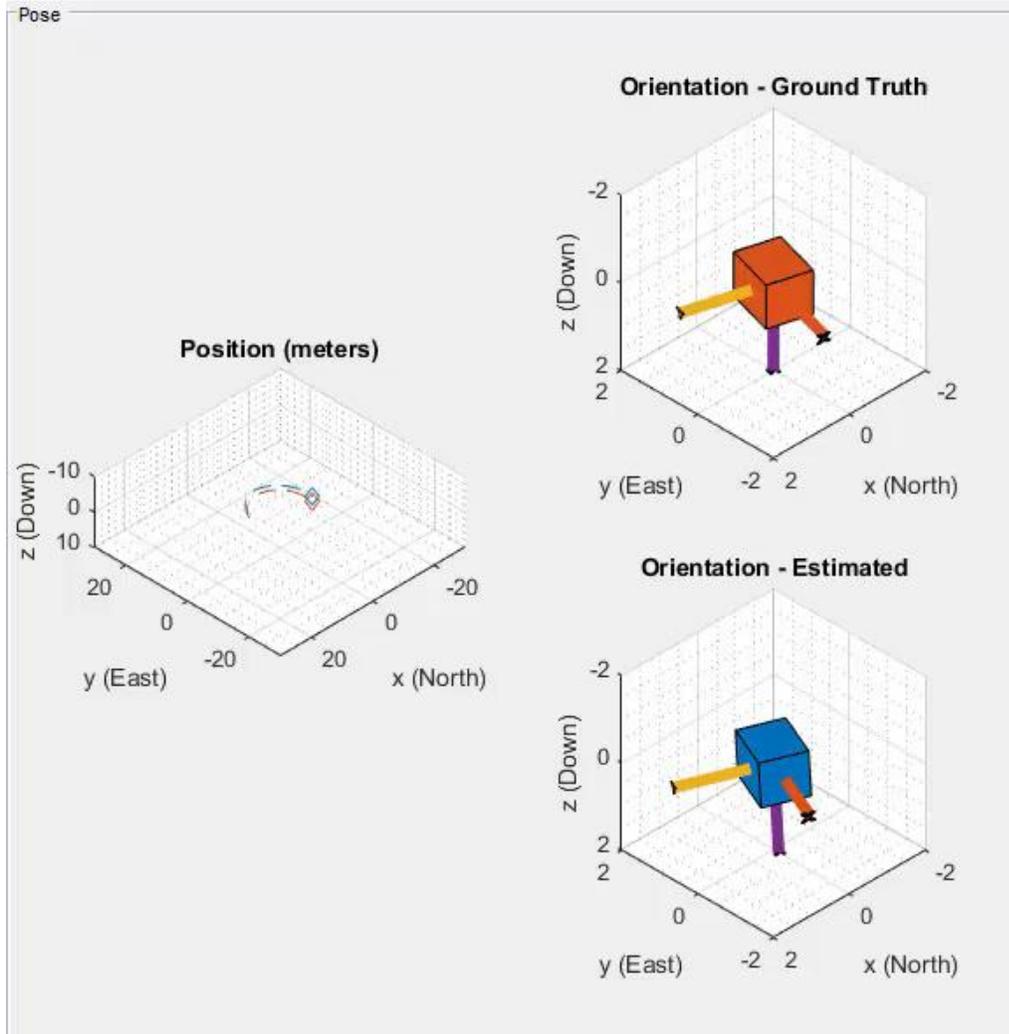
Design Lidar SLAM Algorithm using 3D Simulation Environment

Navigation Toolbox™
Automated Driving Toolbox™
Computer Vision Toolbox™

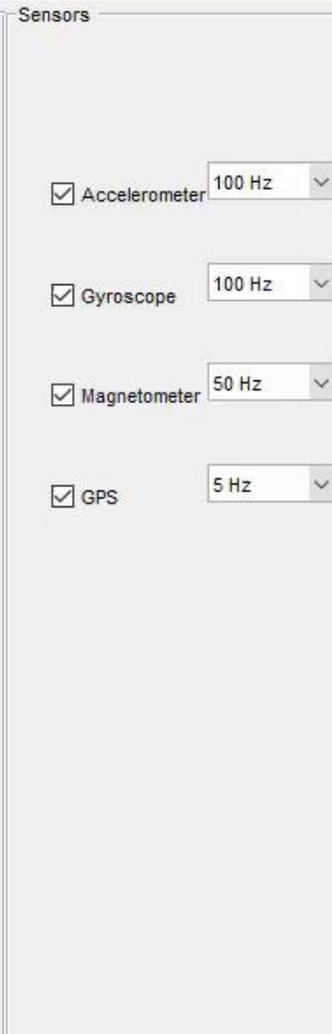
R2020a

センサーフュージョンアルゴリズムの探索

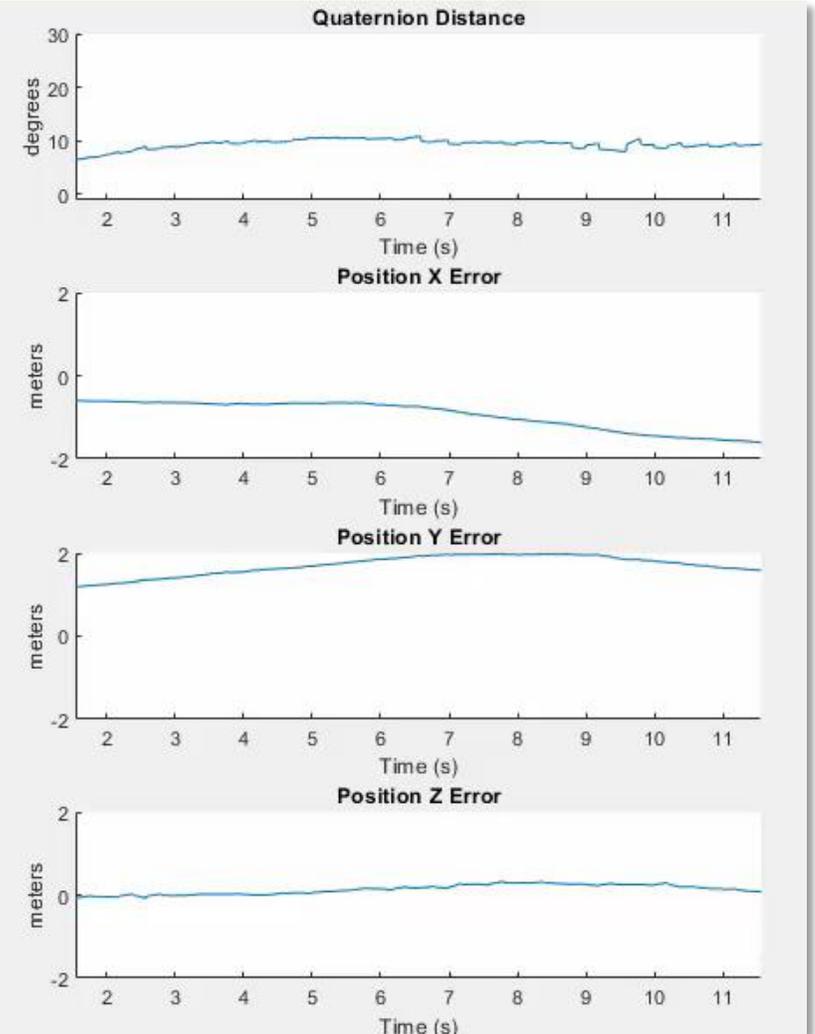
Ground truth vs. Estimate



センサー

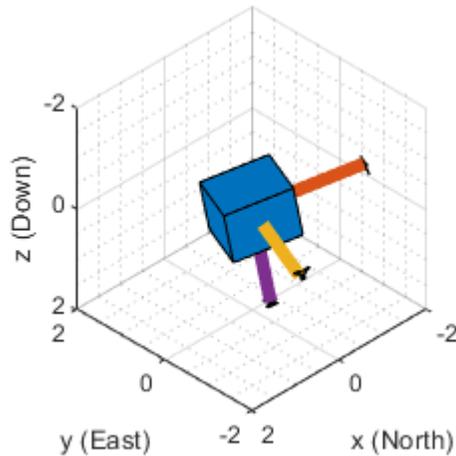


エラー測定



センサーフュージョンによる位置・姿勢推定

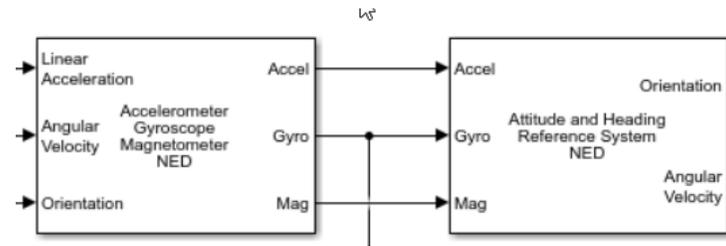
IMU (with MATLAB®)



[Estimate Orientation through Inertial Sensor Fusion](#)
Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

R2018b

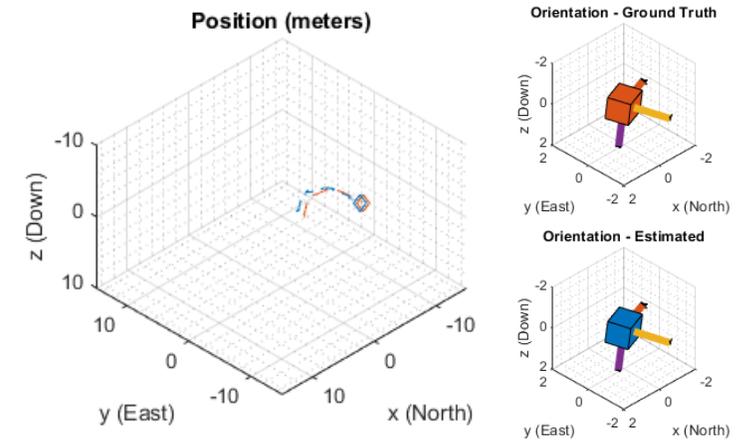
IMU (with Simulink)



[IMU Sensor Fusion with Simulink](#)
Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

R2020a

IMU + GPS



[IMU and GPS Fusion for Inertial Navigation](#)
Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

R2018b

行動計画・制御ワークフロー

認識ワークフロー

データ収集

環境認知

自己位置推定

マッピング
SLAM

行動計画・制御ワークフロー

意思決定ロジック

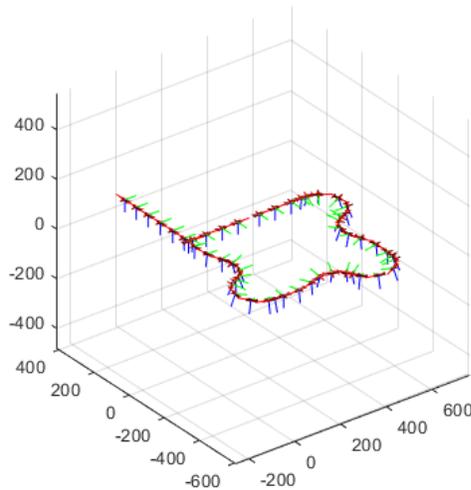
モーション
プランニング

パス追従

アドバンス制御

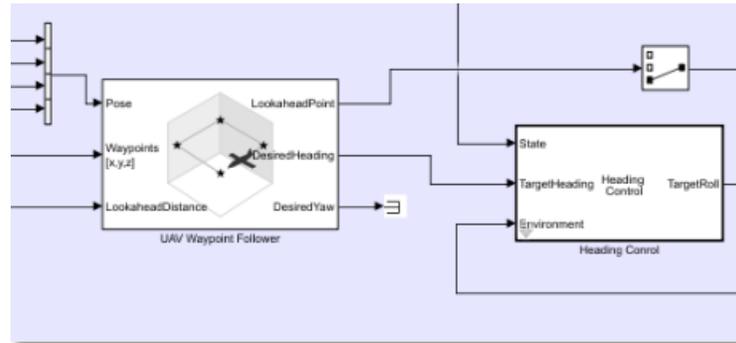
モーションプランニング

ガイダンスモデル



[Approximate High-Fidelity UAV model with UAV Guidance Model block](#)
Robotics System Toolbox™
Aerospace Blockset™
Control System Toolbox™
R2018b

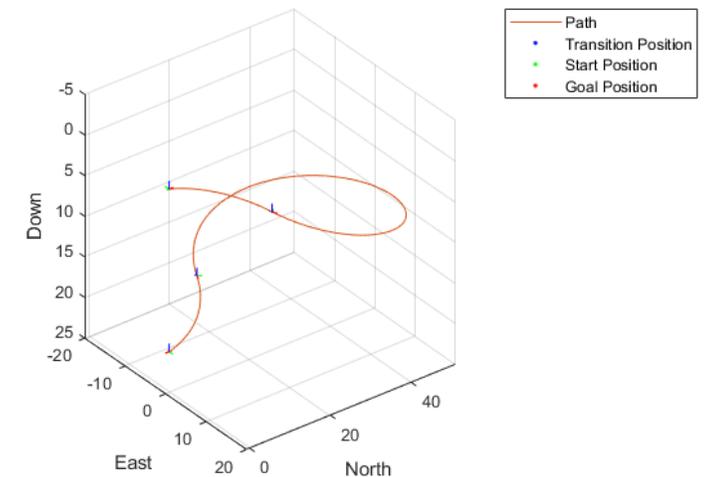
ダイナミック経路計画



[Tuning Waypoint Follower for Fixed-Wing UAV](#)
Robotics System Toolbox™
(UAV Library)

R2018b

Dubins Path

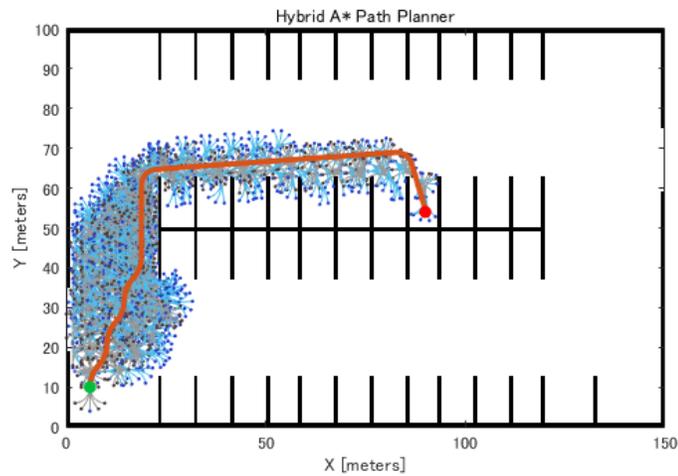


[Dubins Path Connection](#)
[Dubins Path Segment](#)
Robotics System Toolbox™
(UAV Library)

R2019b

モーションプランニング

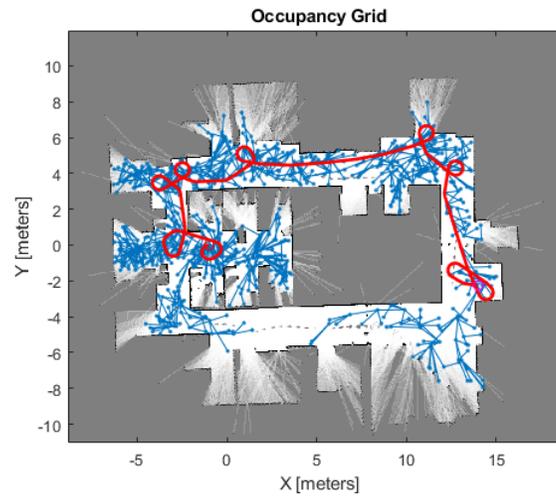
Hybrid A*



[plannerHybridAStar](#)
Navigation Toolbox™

R2019b

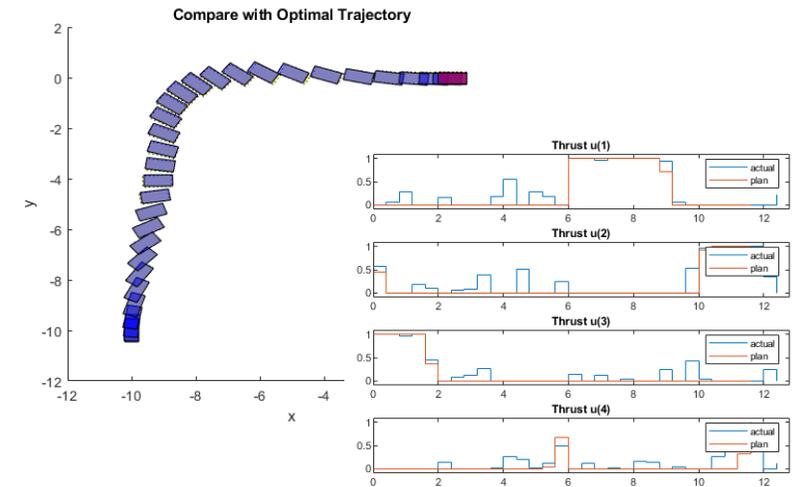
RRT, RRT*



[Plan Mobile-Robot Paths using RRT](#)
Navigation Toolbox™

R2019b

非線形MPC



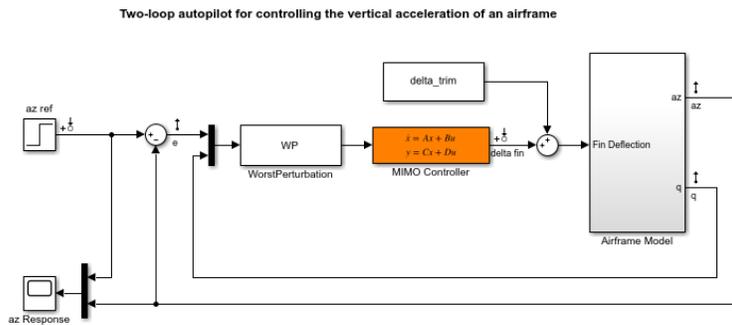
[Trajectory Optimization and Control of Flying Robot Using Nonlinear MPC](#)

Model Predictive Control Toolbox™
Optimization Toolbox™

R2018b

パス追跡と制御

ロバスト制御

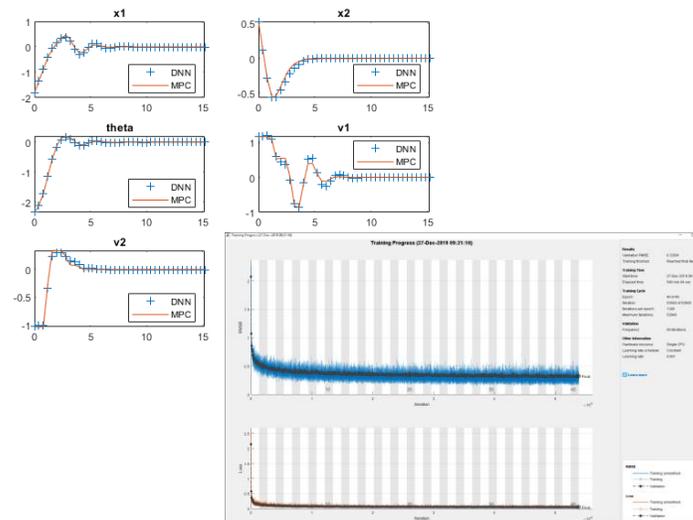


Robust MIMO Controller for Two-Loop Autopilot

Robust Control Toolbox™
Simulink Control Design™

R2020a

非線形MPC+強化学習

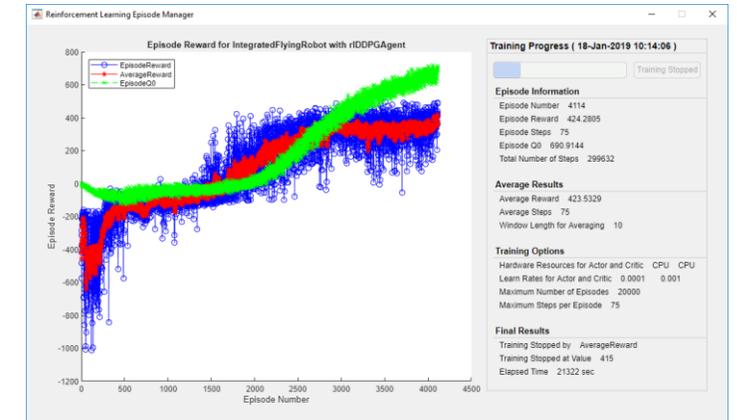


Imitate Nonlinear MPC Controller for Flying Robot

Reinforcement Learning Toolbox™
Model Predictive Control Toolbox™
Deep Learning Toolbox™

R2020a

強化学習



Train DDPG Agent to Control Flying Robot

Reinforcement Learning Toolbox™
Deep Learning Toolbox™

R2019a

自律アルゴリズムの設計

認識ワークフロー

データ収集

環境認知

自己位置推定

マッピング
SLAM

経路計画・制御ワークフロー

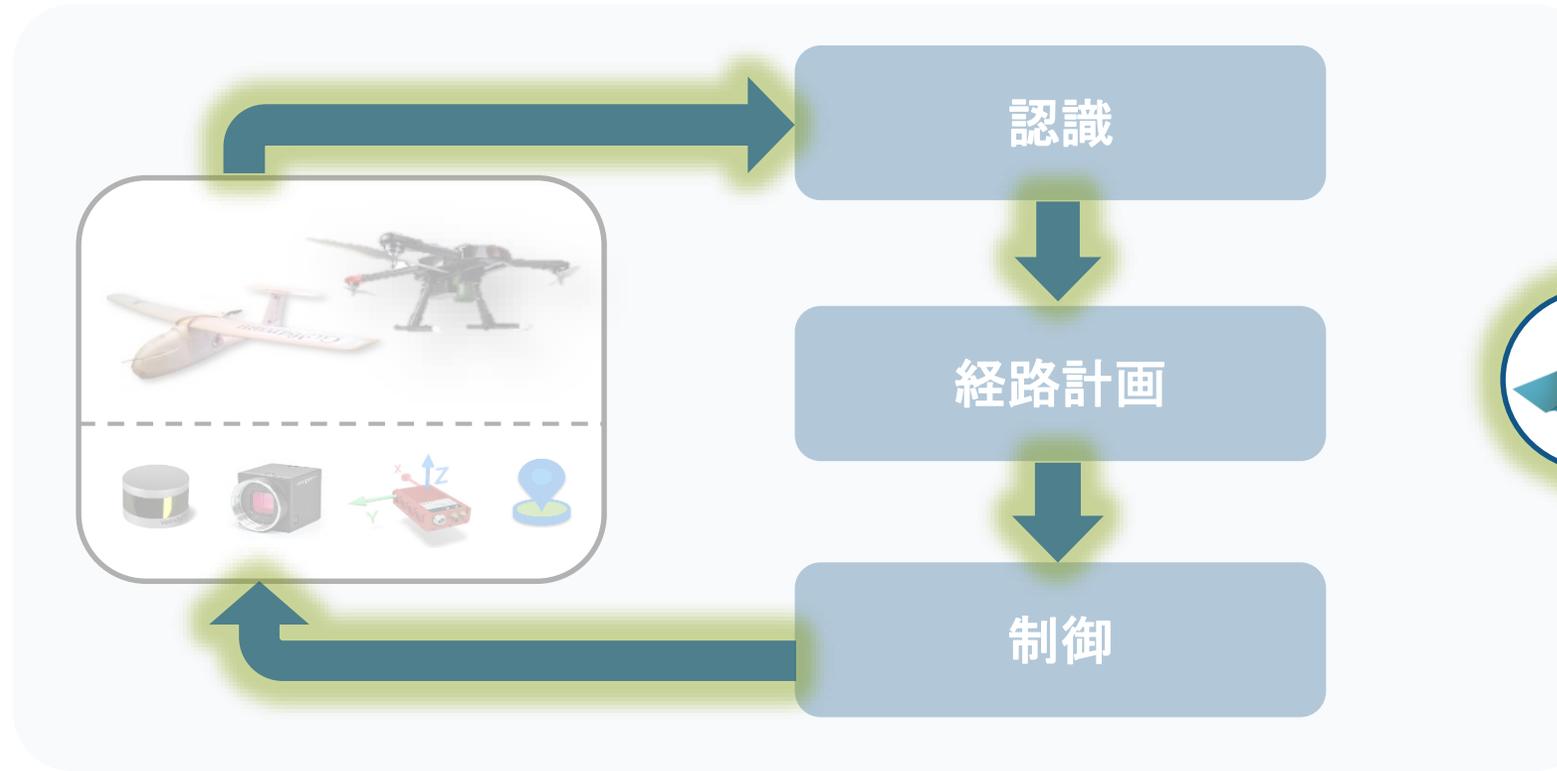
意思決定ロジック

モーション
プランニング

パス追従

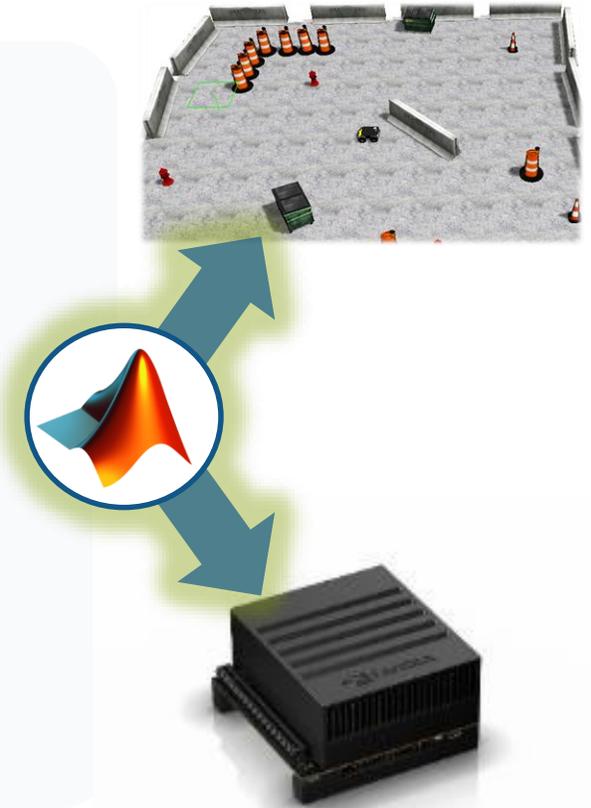
アドバンス制御

自律UAVシステムの開発



機体・センサーの
モデリングと
シミュレーション

自律アルゴリズムの
設計



アプリケーションの
テストと実装

アプリケーションのテストと実装

テスト手法

MATLAB
Simulink

外部物理
シミュレータ

検証タスクの
自動化

認証

実装手法

ROS/ROS2

MCU
DSP

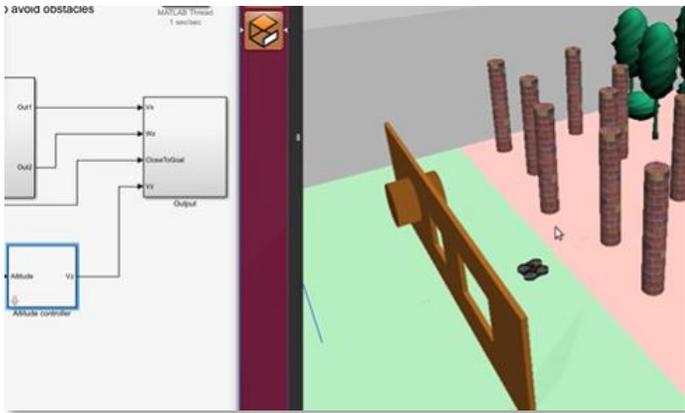
SoC

FPGA
ASIC

GPU

シミュレータ・ハードウェアテスト

Gazebo同期シミュレーション



Simulating Quadcopter Missions with Simulink and ROS

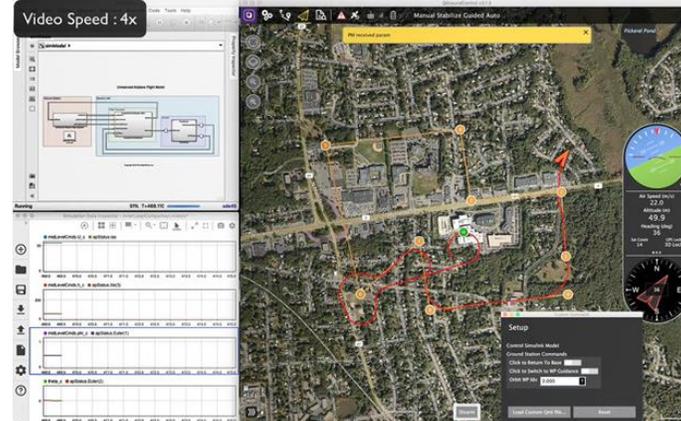
Robotics System Toolbox™

ROS Toolbox

Aerospace Blockset™

R2017a
File Exchange

MAVLink



Simulink Drone Reference Application

Robotics System Toolbox™

Aerospace Blockset™

Control System Toolbox™

R2017b
File Exchange

PX4 Autopilots



PX4 Autopilots Support from Embedded Coder

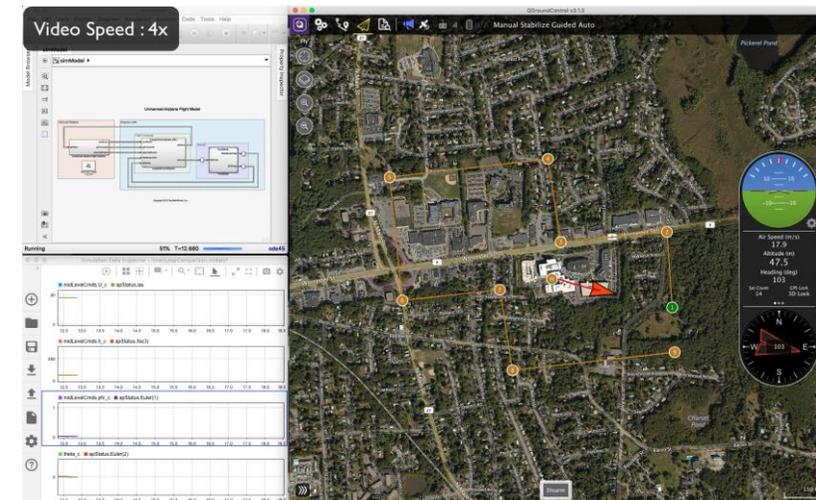
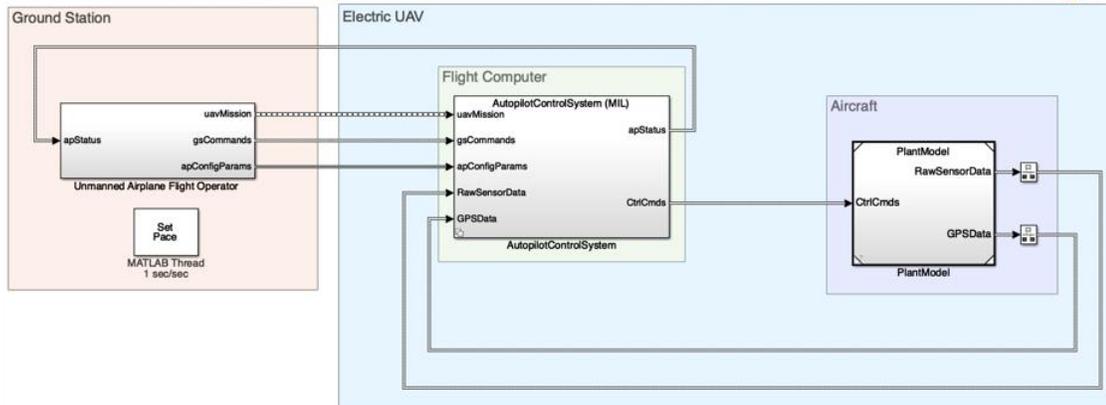
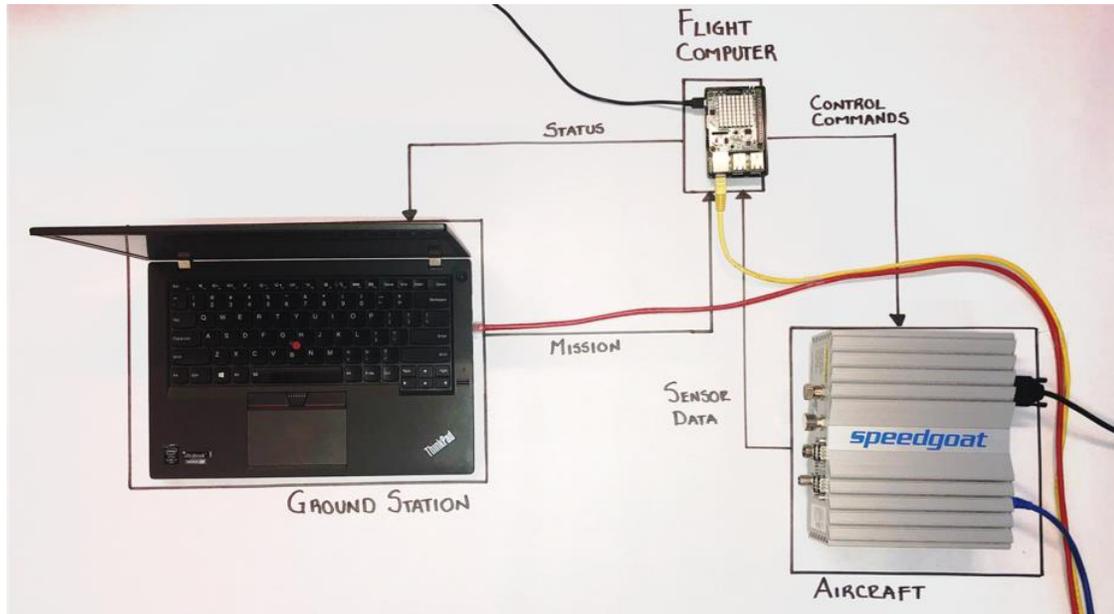
Embedded Coder™

R2018b

リアルタイムハードウェアによるHILSテスト

Simulink Real-Time Speedgoat

- システム統合テスト



UAV・ドローンハードウェアサポート

AR.Drone



[AR.Drone 2.0 Support from Embedded Coder](#)
Embedded Coder®

Parrot Minidrone



[Parrot Drone Support from MATLAB](#)
MATLAB®

R2019a

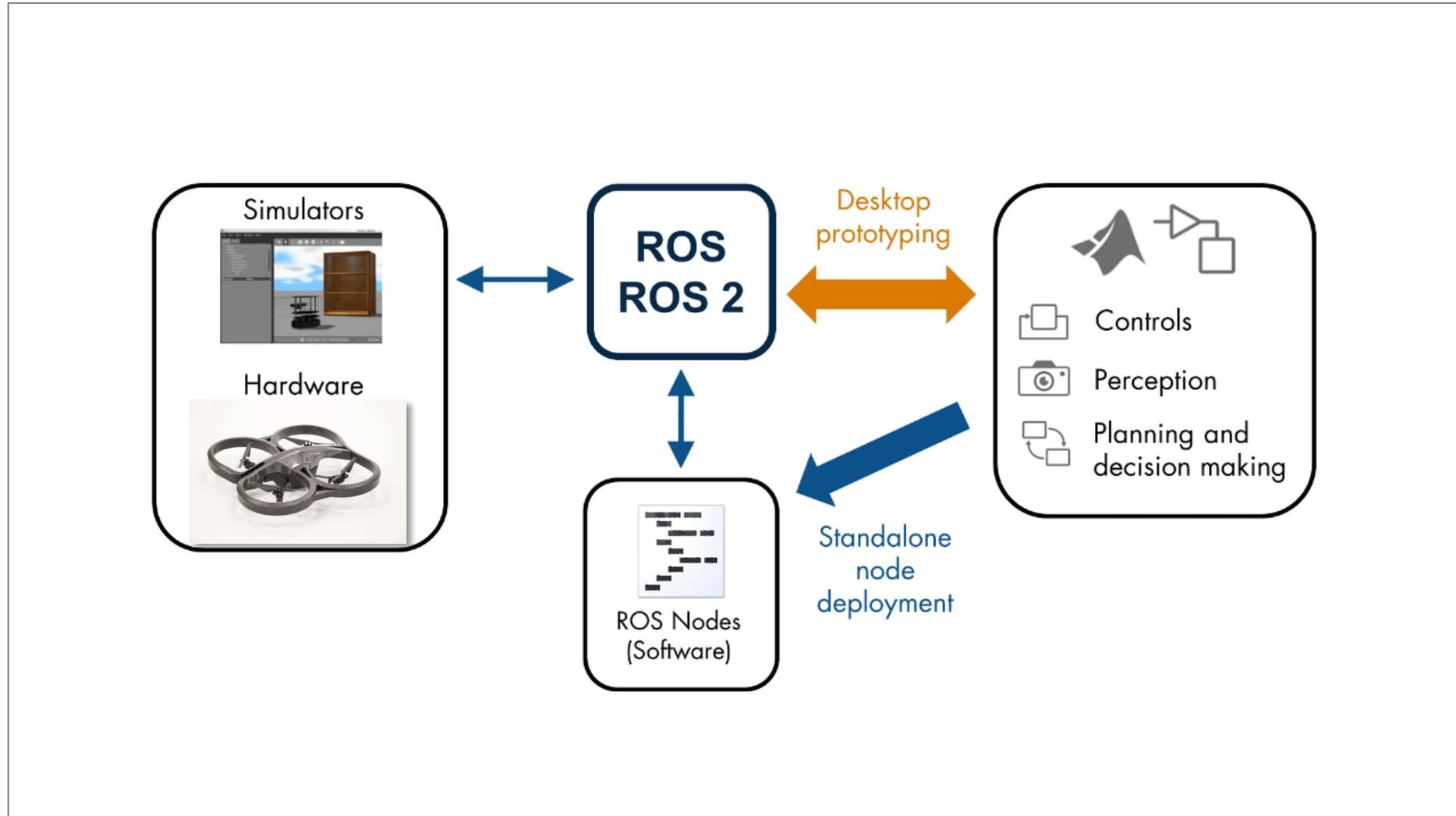
Ryze Tello



[Ryze Tello Drone Support from MATLAB](#)
MATLAB®

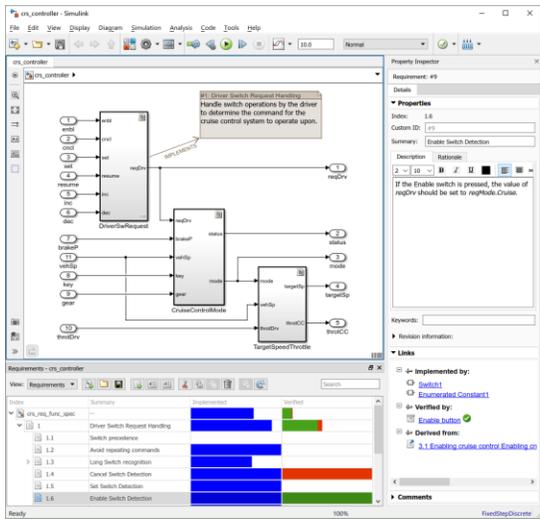
R2020a

MATLAB/SimulinkのROS・ROS2連携機能



検証タスク自動化と認証

要求トレーサビリティ

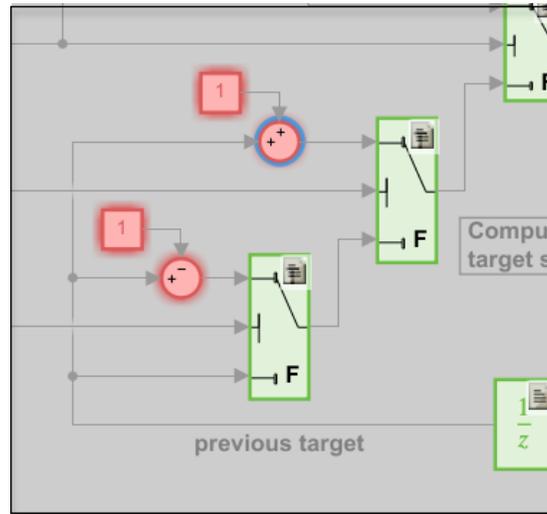


Requirements Driven MBD

Simulink Requirements™

R2017b

テスト自動化

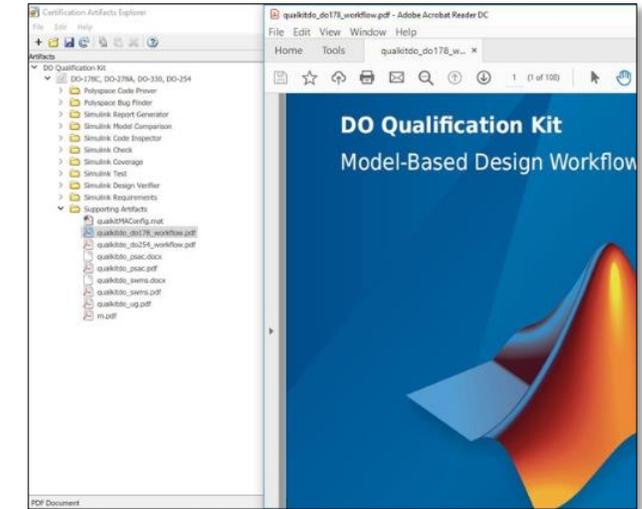


Test Coverage for Requirements-Based Testing

Simulink Test™
 Simulink Coverage™
 Simulink Requirements™

R2020a

認証サポート



IEC/ISO & DO 認証

IEC Certification Kit
 DO Qualification Kit

アプリケーションのテストと実装

テスト手法

MATLAB
Simulink

外部物理
シミュレータ

検証タスクの
自動化

認証

実装手法

ROS/ROS2

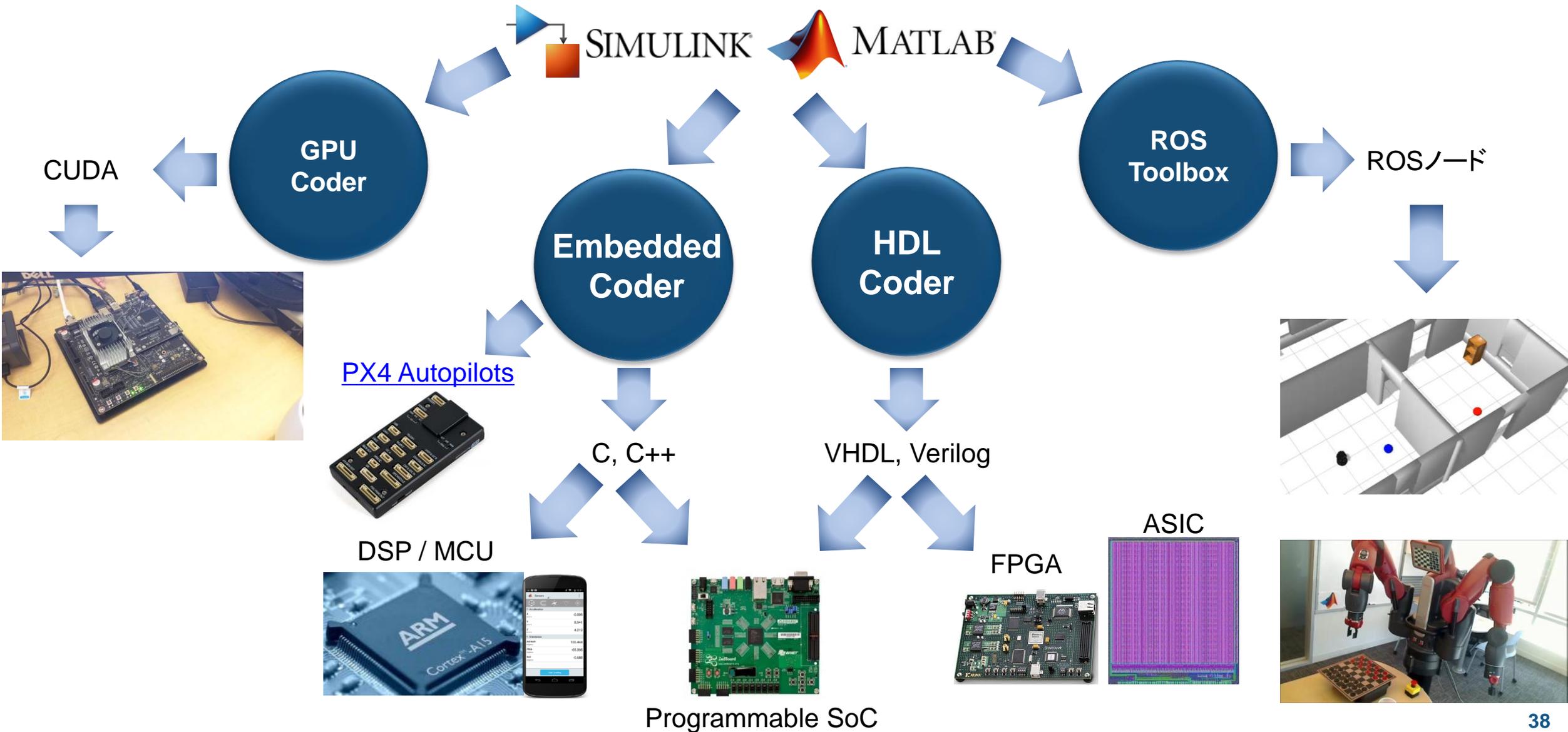
MCU
DSP

SoC

FPGA
ASIC

GPU

アルゴリズムのプロトタイピングと実装



アプリケーションのテストと実装

テスト手法

MATLAB
Simulink

外部物理
シミュレータ

検証タスクの
自動化

認証

実装手法

ROS/ROS2

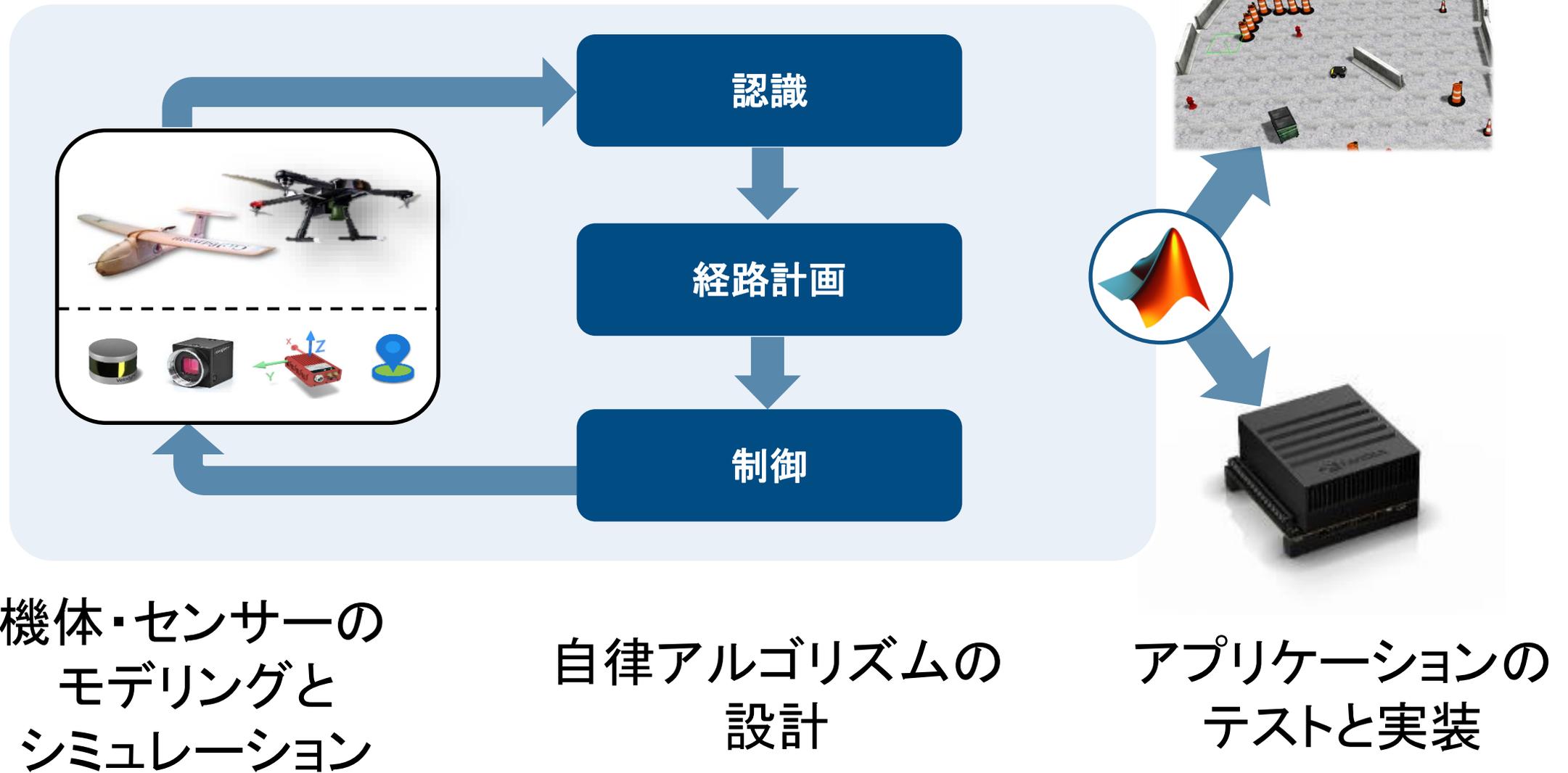
MCU
DSP

SoC

FPGA
ASIC

GPU

自律UAVシステムの開発



MATLAB/Simulinkでの自律ロボティクスシステム開発

検証

Simulink Test

Simulink Coverage

Polyspace

Certification Products

実装

Coder Products

ROS Toolbox

自律アルゴリズム

Sensor Fusion and Tracking Toolbox



Perceive



Plan & Decide

Navigation Toolbox

Deep Learning Toolbox

Computer Vision Toolbox



Sense

Robotics System Toolbox

Automated Driving Toolbox



Control

Stateflow

Reinforcement Learning Toolbox

Model Predictive Control Toolbox

システム

MATLAB

Simulink

Simscape

Aerospace Blockset

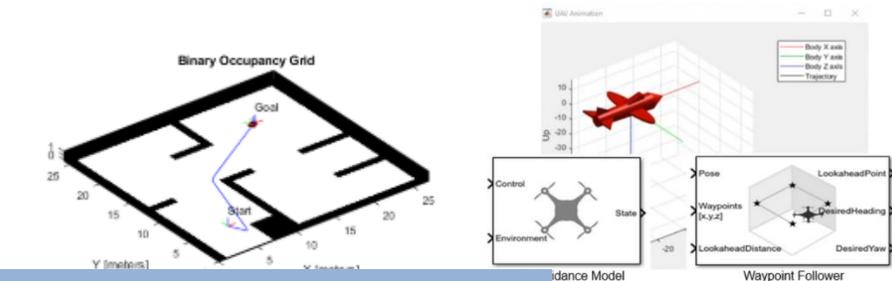
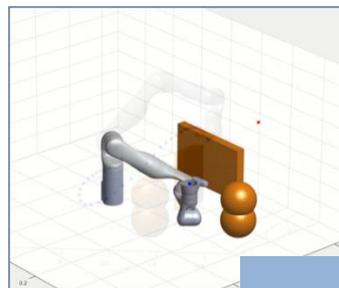


© 2020 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

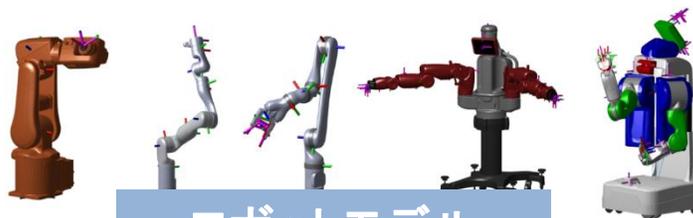
Robotics System Toolbox概要

ロボットアプリケーションの設計、シミュレーション、テスト

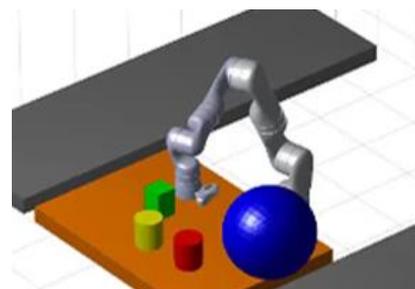
- **ロボットアルゴリズム**
 - ロボットアーム (逆運動学/軌道生成/衝突検知)
 - 移動ロボット (2D地図生成/自己位置推定)
 - UAV/ドローン (ガイダンス/経路追従/MavLink)
- **高抽象度ロボットモデル**
 - 移動ロボット(運動学)
 - ロボットアーム(運動学/動力学)
- **Gazebo時刻同期 協調シミュレーション**
- **ロボットモデル**
 - 剛体ボディツリーモデル (RBT)
 - 商用ロボットのモデルライブラリ
 - モデル取り込み(URDF、DHパラメータ Simscape Multibody)
- **ロボットアプリケーションのリファレンスサンプル**
 - ロボットアームによるピック&プレイス
 - 倉庫内の複数台自律搬送



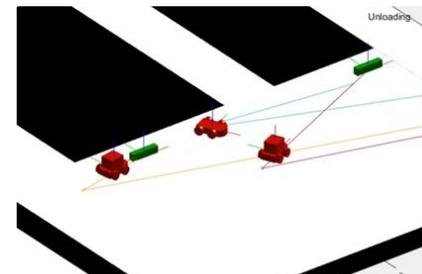
ロボットアルゴリズム



ロボットモデル



ピック&プレイス

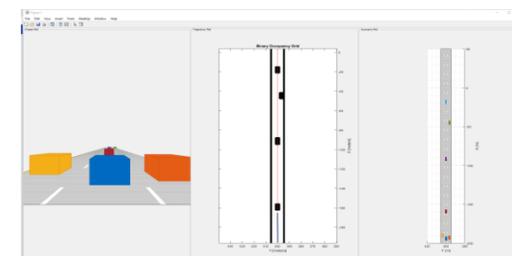
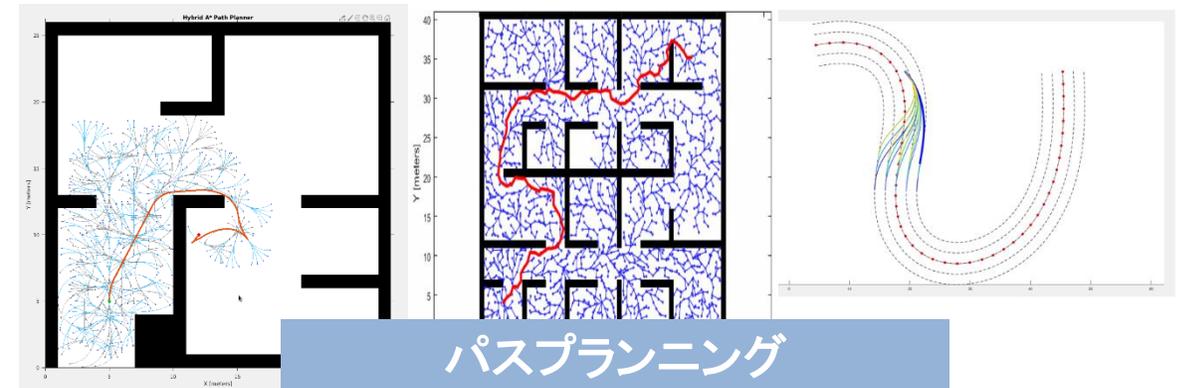
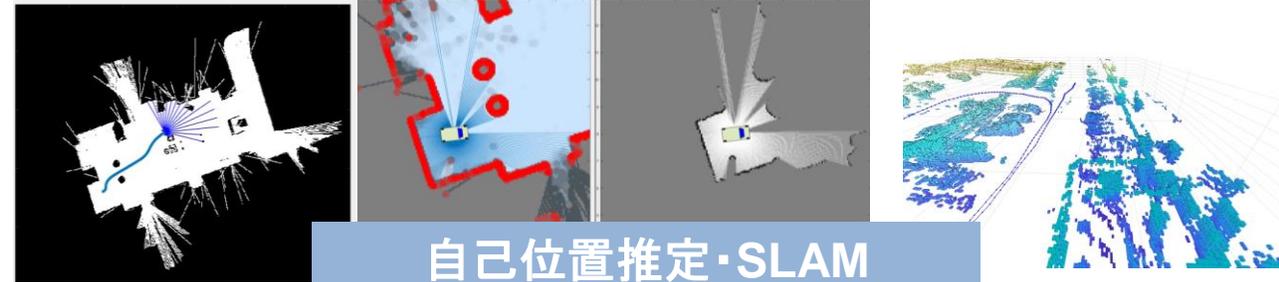


複数台自動搬送

Navigation Toolbox概要

パスプランニング、自己位置推定、SLAMの設計、シミュレーションおよび実装

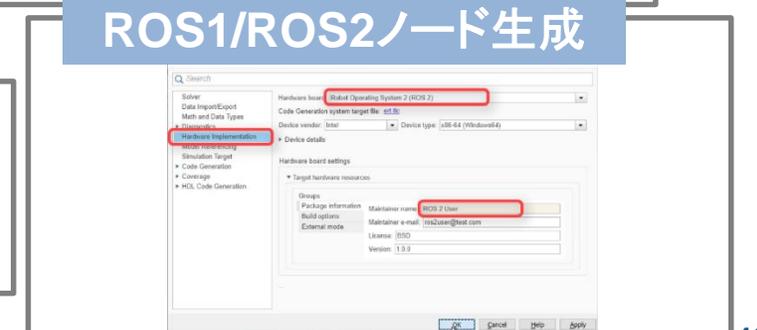
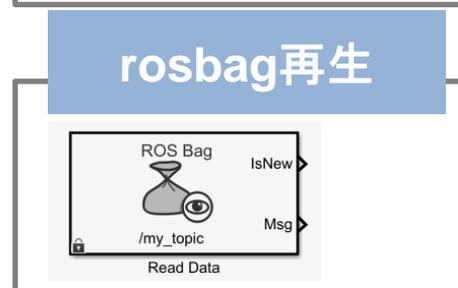
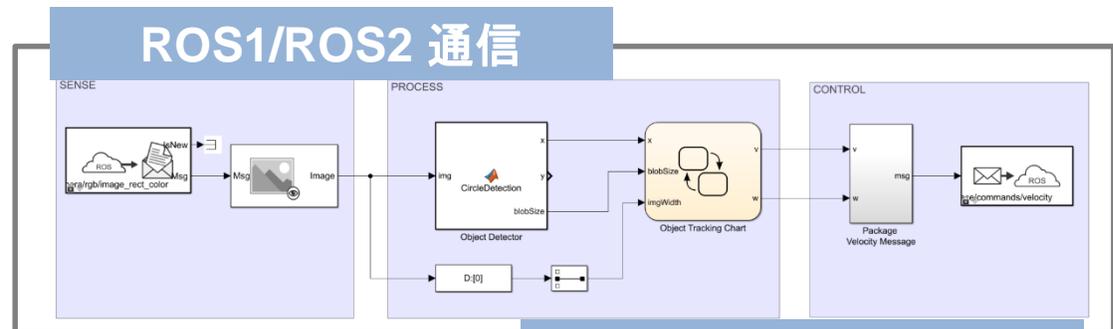
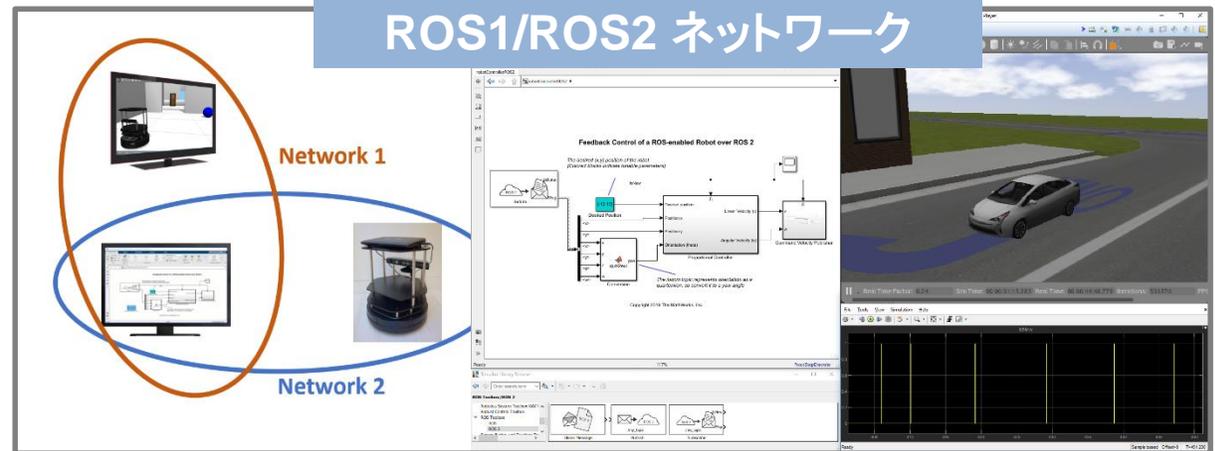
- 自己位置・姿勢推定と環境地図生成(SLAM)
 - 2D/3D占有マップ表現
 - 2D/3D LiDAR SLAMアルゴリズム
- 2D LiDAR SLAMマップビルダーアプリ
 - ループ閉じこみを対話的に
- センサーモデル
 - IMU/GPSセンサーモデル
 - 2D LiDARセンサーモデル
- 位置・姿勢推定(ローカリゼーション)
 - IMU/GNSSによる位置姿勢推定
 - モンテカルロローカリゼーション
- パスプランニング
 - Hybrid A*
 - RRT/RRT*(カスタマイズ可能)
- パスプランニングメトリクス
 - メトリクスを使用してパスプランナーの出力した経路を評価
- 軌跡と経路点追従アルゴリズム
 - 軌跡を追従するためのロボットの制御コマンド生成
- 他のToolboxとの連携サンプル
 - ドライビングシナリオ連携
(Automated Driving Toolbox)



ROS Toolbox概要

ROS1/ROS2ベースのアプリケーションのデザイン、シミュレーションおよび実装

- MATLABとSimulinkをROS1およびROS2に直接接続
 - MATLAB/Simulinkの資産をROS接続
 - MATLAB/SimulinkをROSノード化
- rosbagの読み込みおよびプレイバックをサポート
 - オフラインで解析やテストが可能
- SimulinkからのROS1/ROS2ノード生成に対応
 - C++でROSのコーディング不要
 - catkin/colconでのビルドに必要なファイルも自動生成



センサーフュージョンによる自己位置推定と複数物体トラッキング

Sensor Fusion and Tracking Toolbox™

- 自己位置推定(Localization)
 - IMU, GPSセンサーのシミュレーションモデル
 - 姿勢推定アルゴリズム (IMU 加速度、ジャイロ + 地磁気)
 - 位置姿勢推定アルゴリズム (IMU+GPS、IMU+単眼カメラVO)
- 複数物体追尾(Object Tracking)
 - レーダー、ソナーのセンサーモデル
 - 複数プラットフォームのセンサーフュージョン
 - パッシブセンサー処理
 - 拡張オブジェクトトラッカーによる複数物体追尾 (物体形状を考慮し、フュージョン)
- Closed-loopのレーダーシミュレーション

