

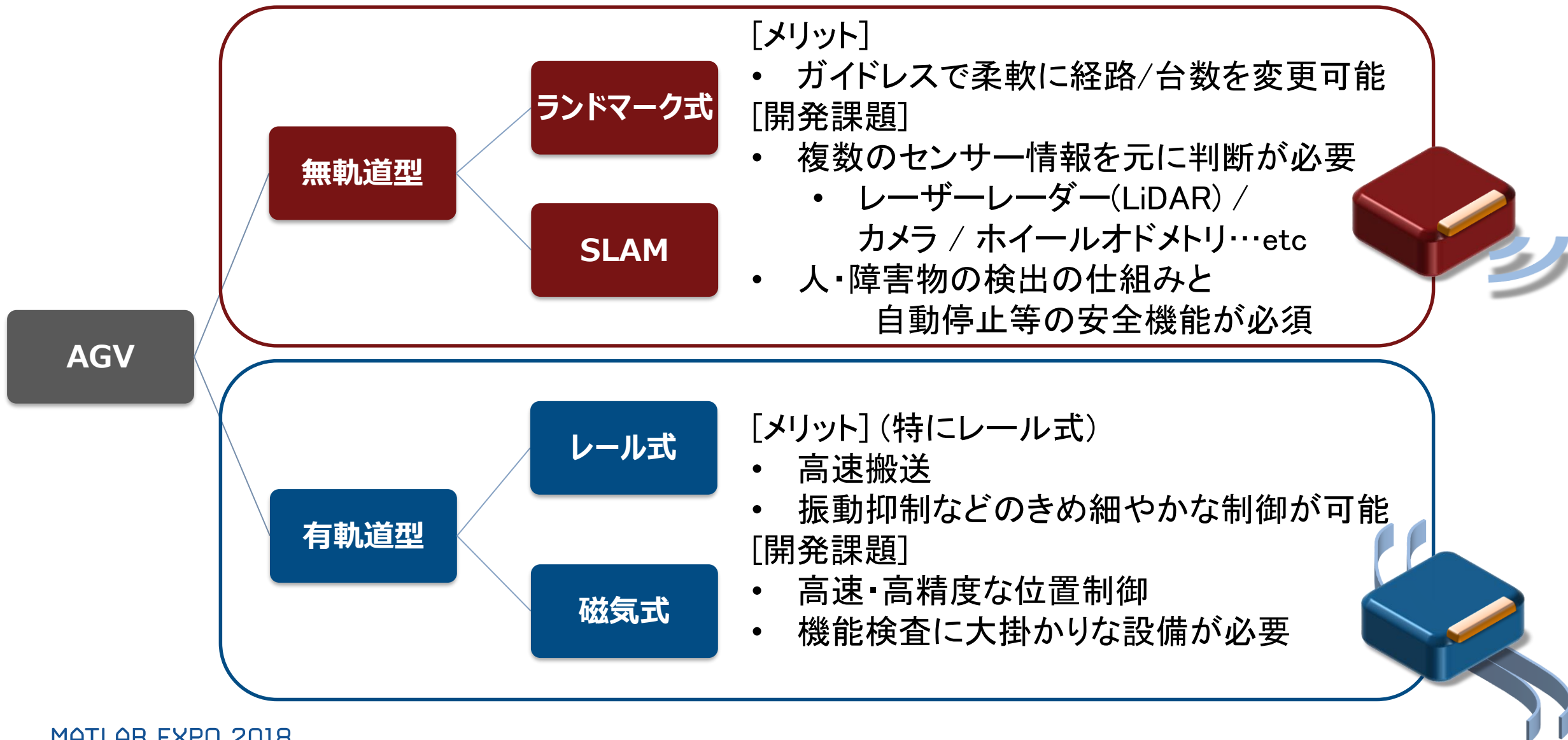
MATLAB EXPO 2018

モデルを活用した
自律移動ロボット・自動搬送システムの開発

MathWorks Japan
アプリケーションエンジニアリング部（制御）
新井 克明



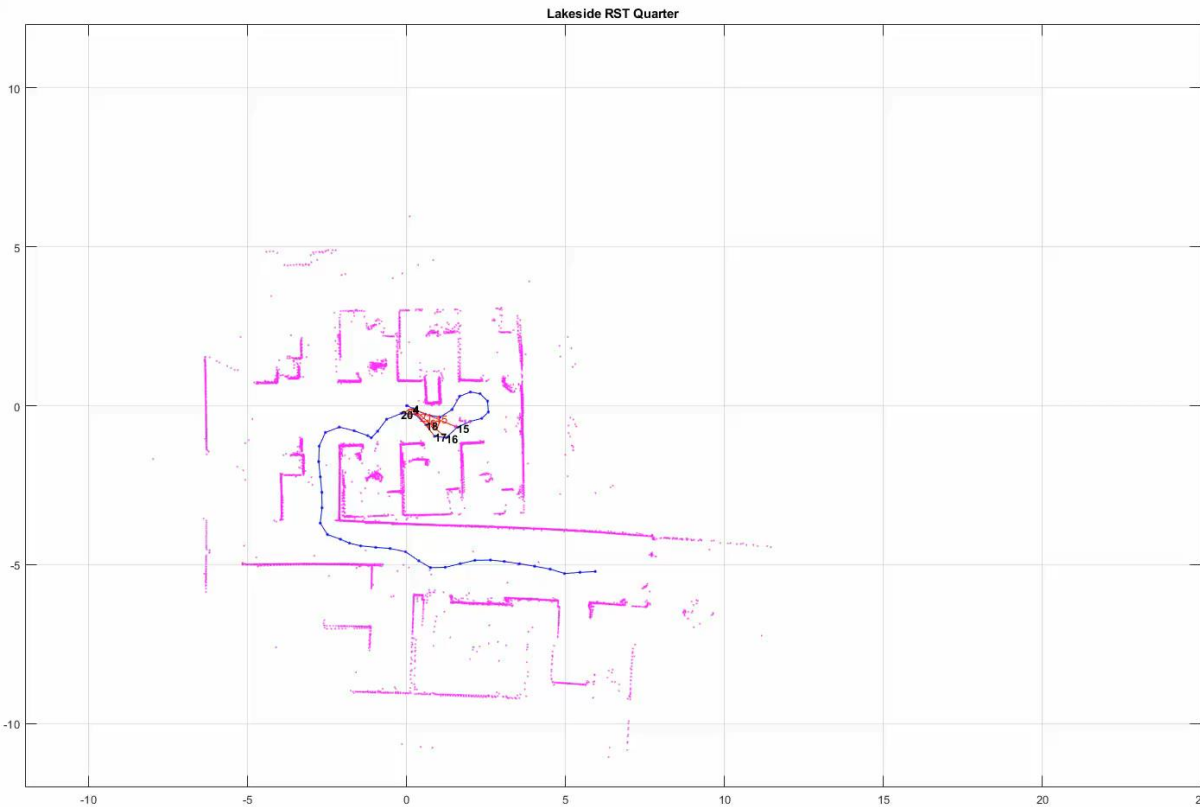
自律移動ロボット/自動搬送システムの分類と特徴



「移動する」ことが要求されるロボット・搬送システムの開発課題

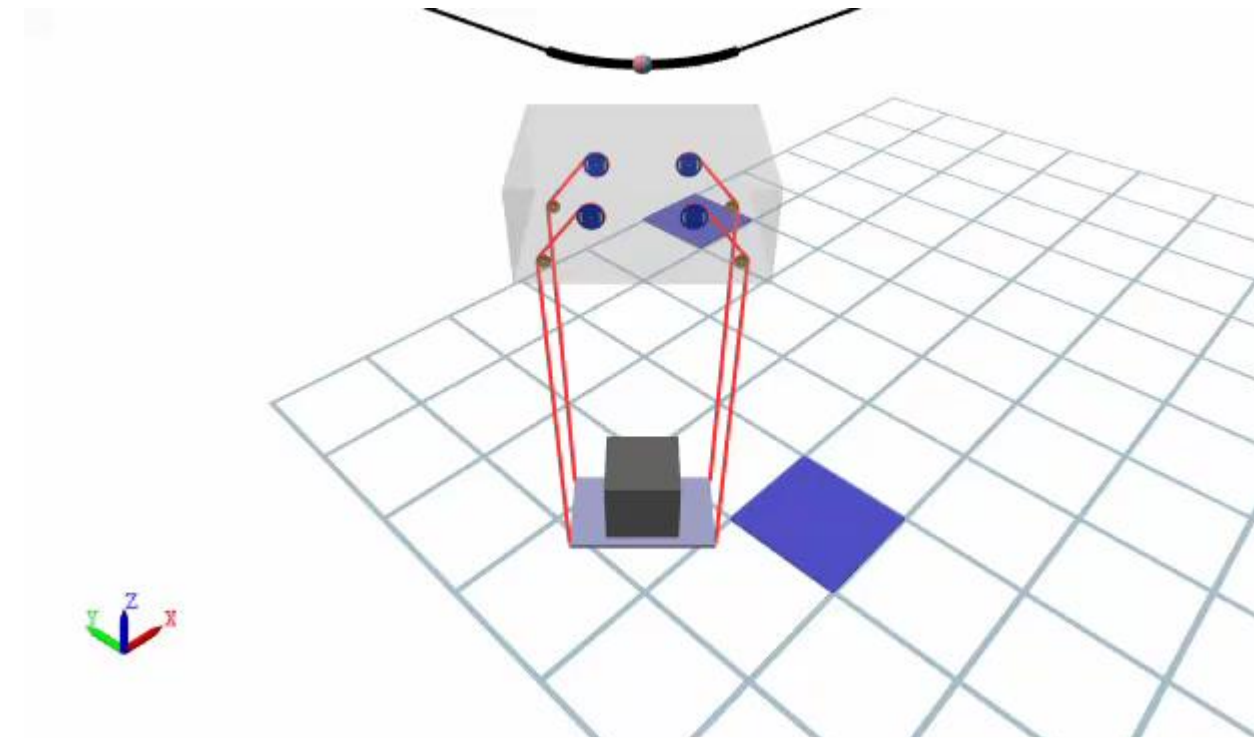
無軌道型

- ✓ どう地図を作成するか？
- ✓ 自己位置をどのように推定するか？
- ✓ どの経路を通過するか？

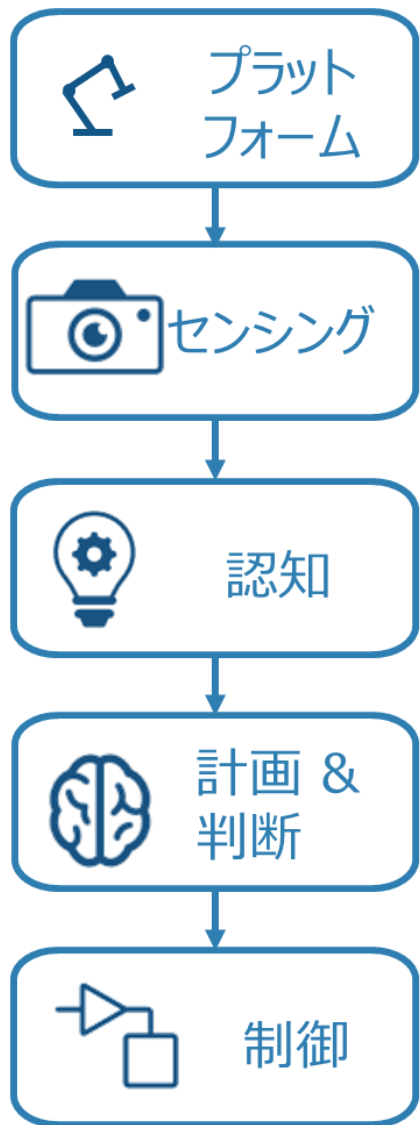


有軌道型

- ✓ 3次元的に効率よくどう搬送するか？
- ✓ 求められる搬送性能を実現するSW/HWは？
- ✓ 設備がないと試せない機能検証をどう行うか？

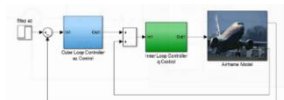


自律移動システム開発を加速化するオプションツール



MATLAB EXPO 2018

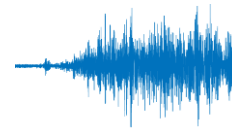
Control System
Toolbox™



HW Support
Packages



Data Acquisition
Toolbox™



Simscape™



Deep Learning



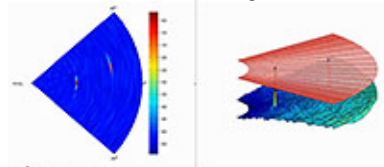
Computer
Vision



Automated
Driving



Phased Array



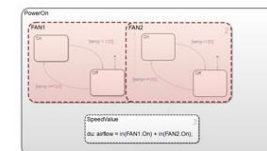
Statistics and Machine
Learning™



Robotics System
Toolbox™



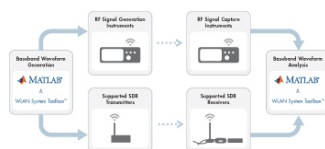
Stateflow®



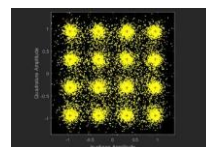
Model Predictive
Control Toolbox



Communications



WLAN

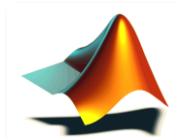


Robotics System
Toolbox
ROS

Simulink®
Real-Time™



MATLAB® Coder™



Simulink Coder™



HDL Coder™



GPU Coder™



事例: Clearpath Roboticsが産業用ロボットのアルゴリズム開発を加速

課題

産業用ロボットのレーザーベースの認識、コンピュータビジョン、走行管理、制御アルゴリズムを短期間で開発する

解決策

MATLABを、ROSデータの可視化と解析、プロトタイピング、最新のロボット研究のアルゴリズムの適用に活用

結果

- データ解析時間が最大50%短縮
- 顧客とのコミュニケーションを効率化
- 最新の自動運転アルゴリズムを素早く組み込み



An OTTO self-driving vehicle from Clearpath Robotics.

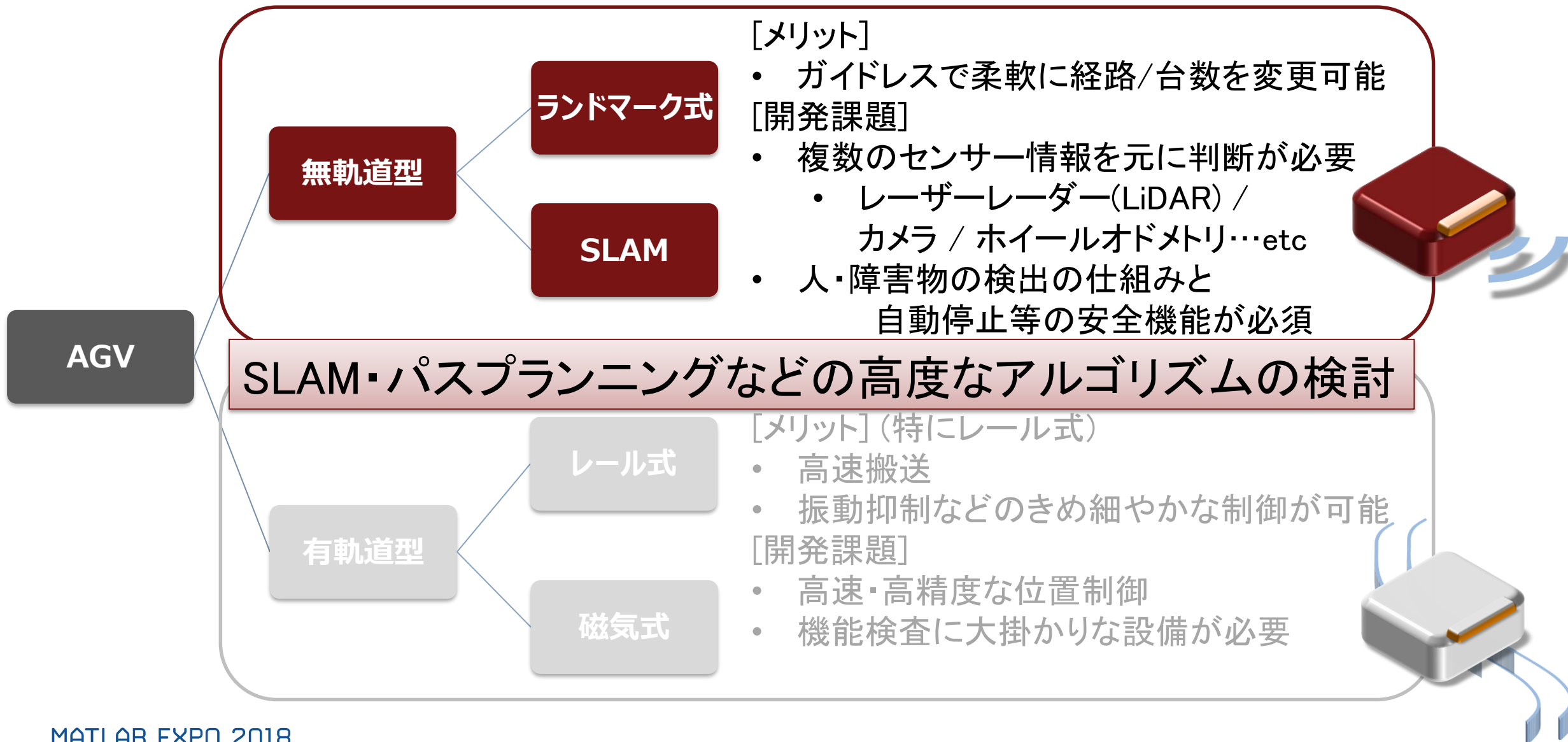
“ROS is good for robotics research and development, but not for data analysis. MATLAB, on the other hand, is not only a data analysis tool, it’s a data visualization and hardware interface tool as well, so it’s an excellent complement to ROS in many ways.”
- Ilia Baranov, Clearpath Robotics

[Link to user story](#)

アジェンダ – モデルを活用した自律移動ロボット・自動搬送システムの開発 –

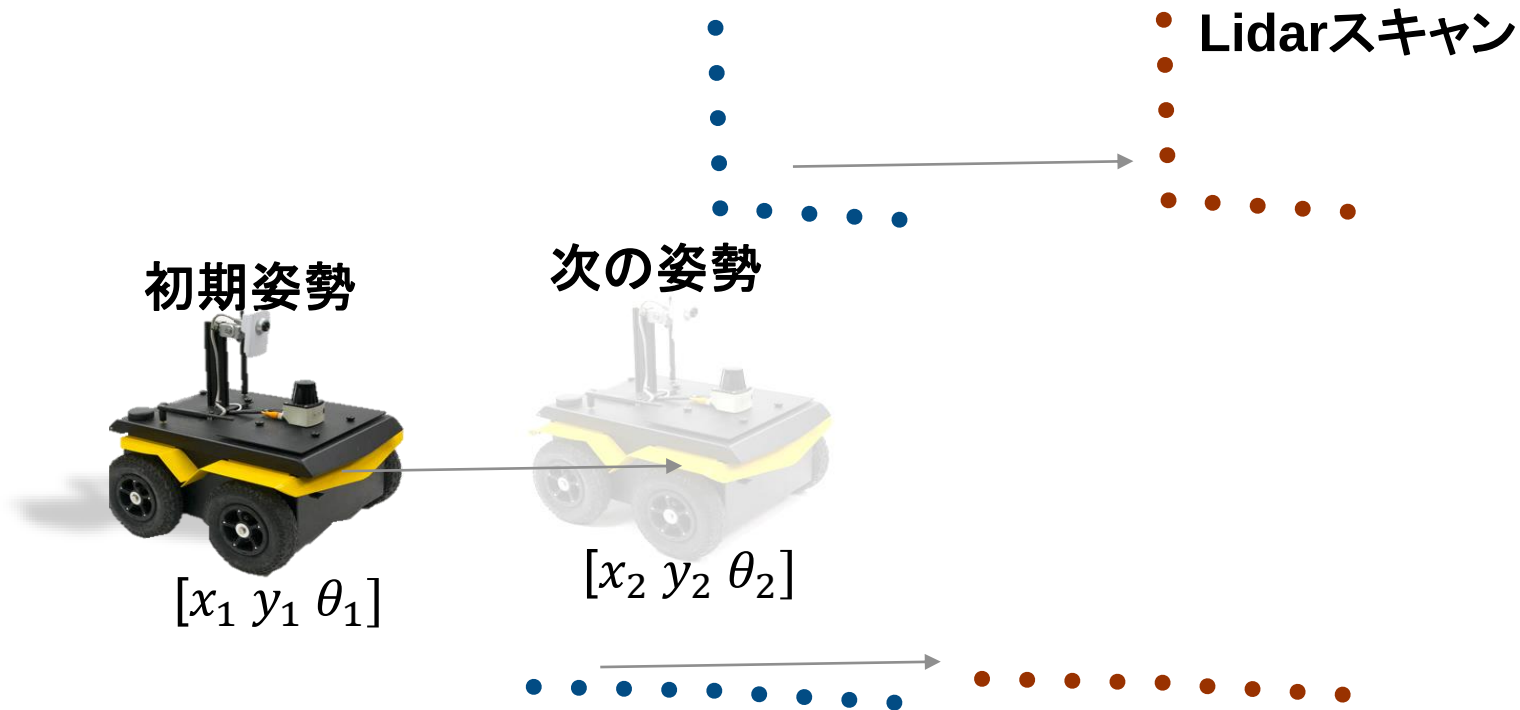
- 無軌道型自律移動ロボットの開発
 - 自己位置推定とパスプランニング
- 有軌道型自動搬送システムの開発
 - 車両ダイナミクスのデザインと制御設計
 - リアルタイムシミュレータでのテスト
- まとめ

自律移動ロボット/自動搬送システムの分類と特徴



SLAMによる地図構築

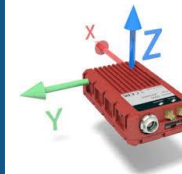
- SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)とは？
 - 自己位置推定と地図作成を同時に行う方法
 - LiDAR(レーザーセンサー)や複数のセンサーを統合して推定



使用するセンサー



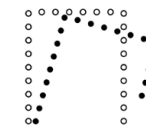
ホイールエンコーダー
(Odometry)



慣性計測装置
(IMU)

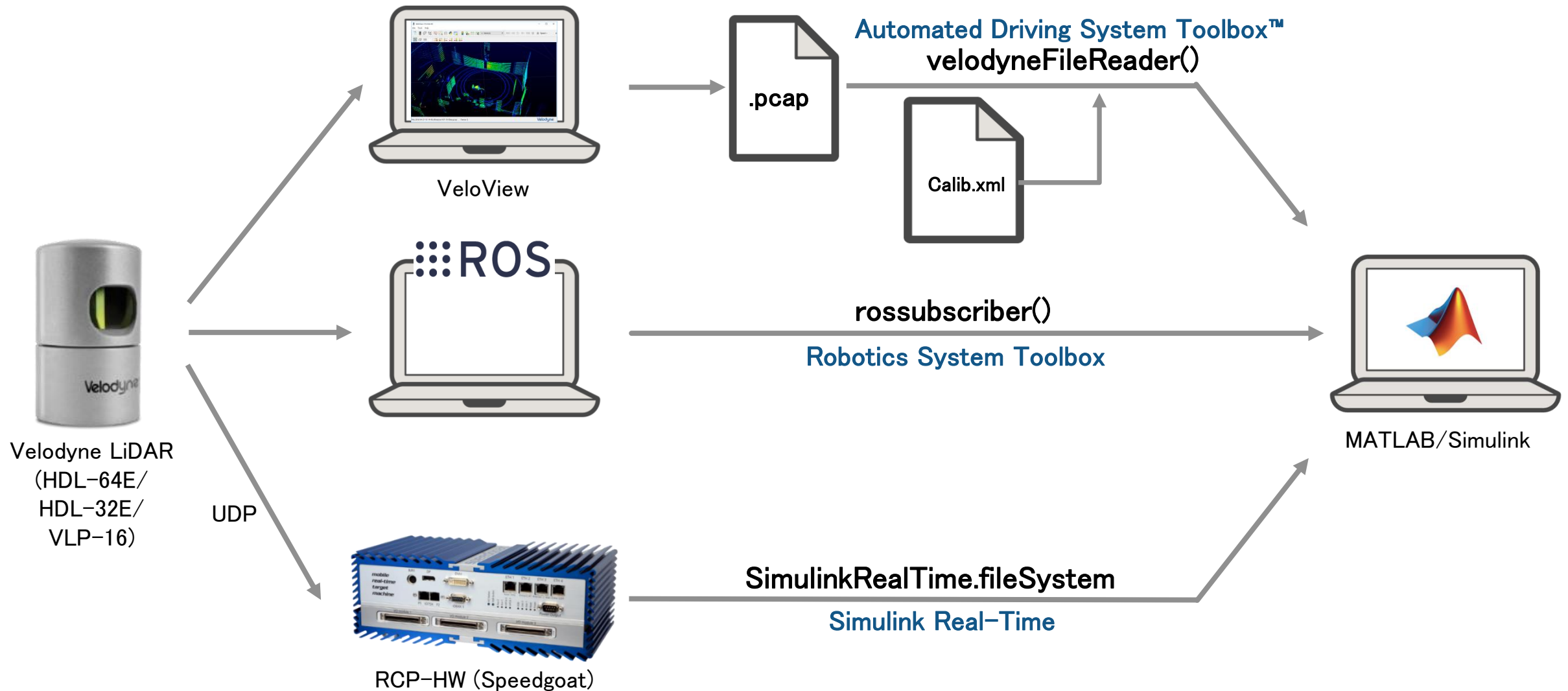


GPS



スキャンマッチング

LiDARの点群データの読み込み

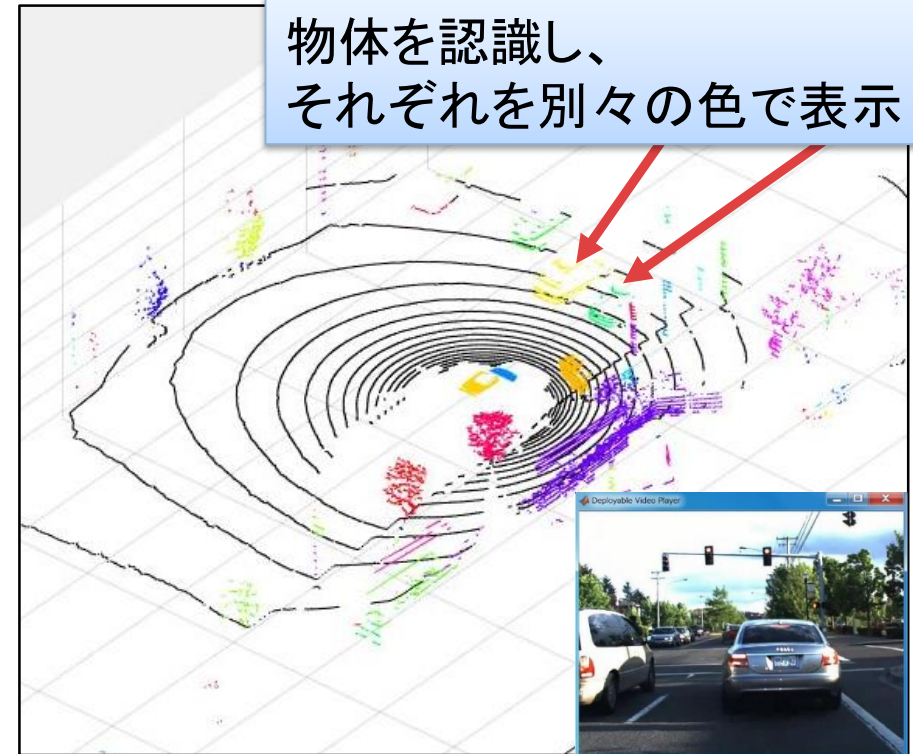


LiDARの点群データの処理

- ノイズ除去
- 点群データの間引き
- 幾何学形状(面等)へのフィッティング
- 一定の距離に含まれる点のみの抽出
- 複数のデータの位置あわせ(ICP、NDT)
- 複数のデータのマージ
- クラスタリング

Automated Driving System Toolbox

物体を認識し、
それぞれを別々の色で表示



%% LiDARデータの変形(回転・平行移動 etc.)

```
ptCloudT = pctransform(ptCloud, tform);
```

%% 2つのLiDARデータの、マージ

```
ptCloudM = pcmerge(ptCloud1, ptCloud2, mergeSize);
```

%% 道路面を検出

```
model1 = pcfitplane(ptCloud, maxDistance);
```

LiDARの点群データの位置合わせ

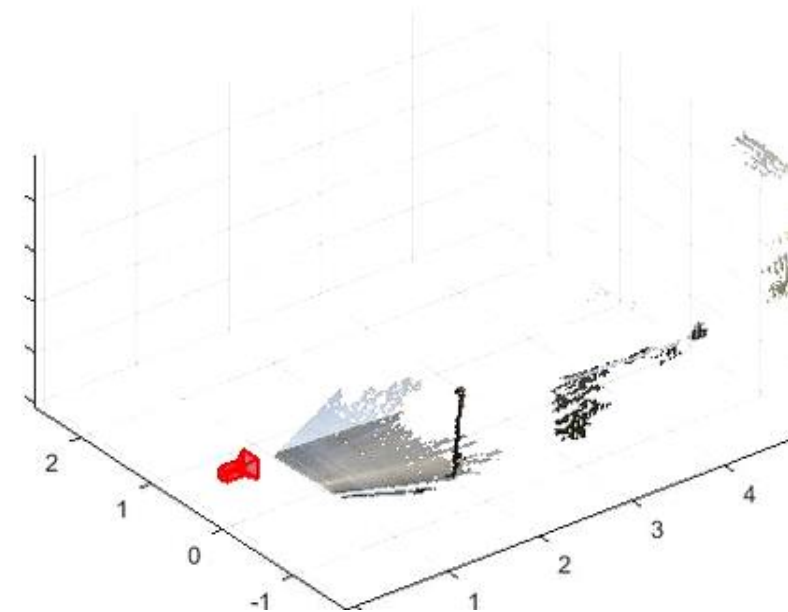
Robotics System Toolbox

- 2Dのスキャンマッチング
 - [matchScans](#) (R2017a)
 - [matchScansGrid](#) (R2018a)



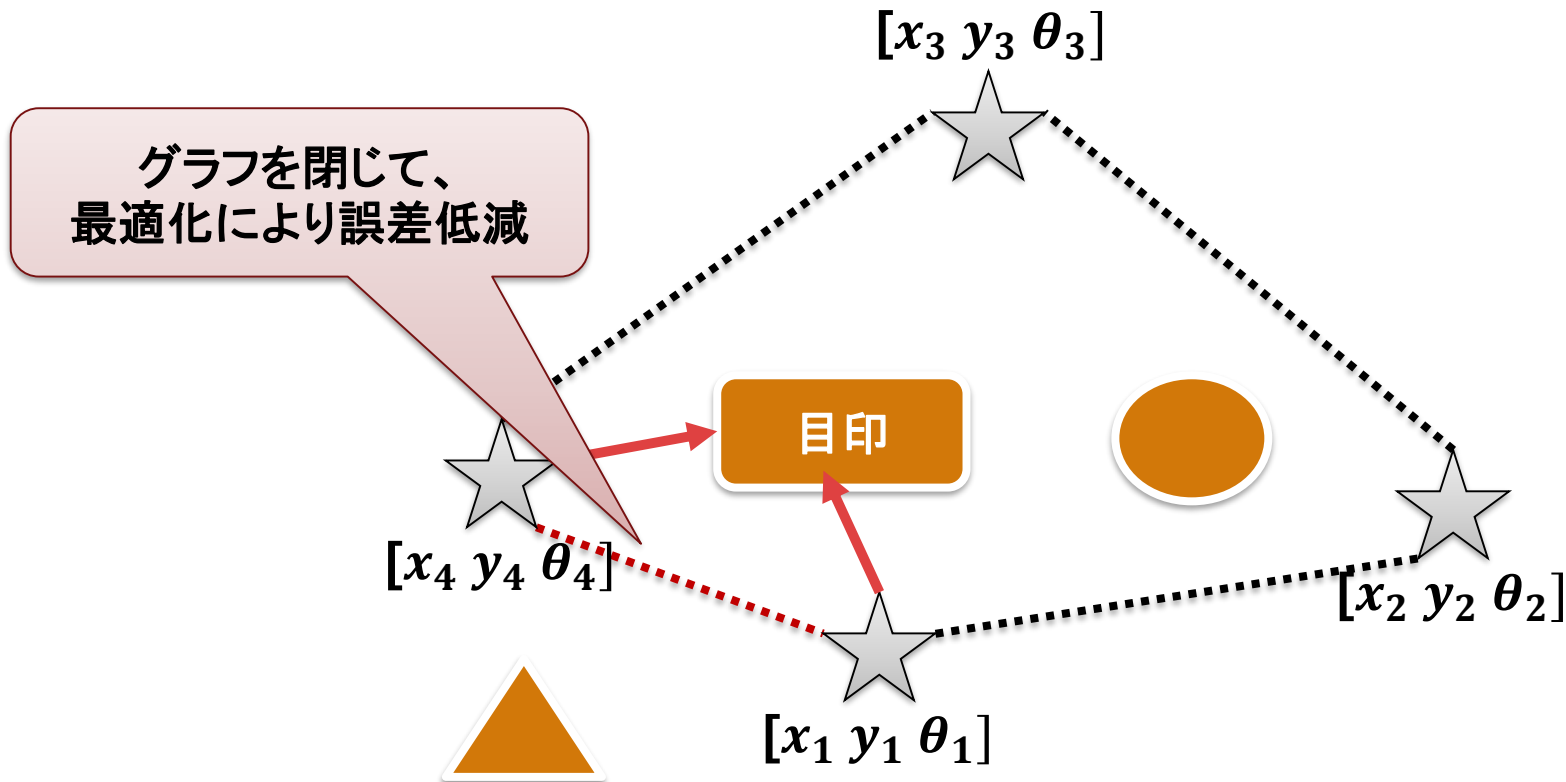
Computer Vision System Toolbox

- 3Dのスキャンマッチング
 - [pcregrigid](#)
 - [pcregistericp](#) (R2018a)
 - [pcregisterndt](#) (R2018a)



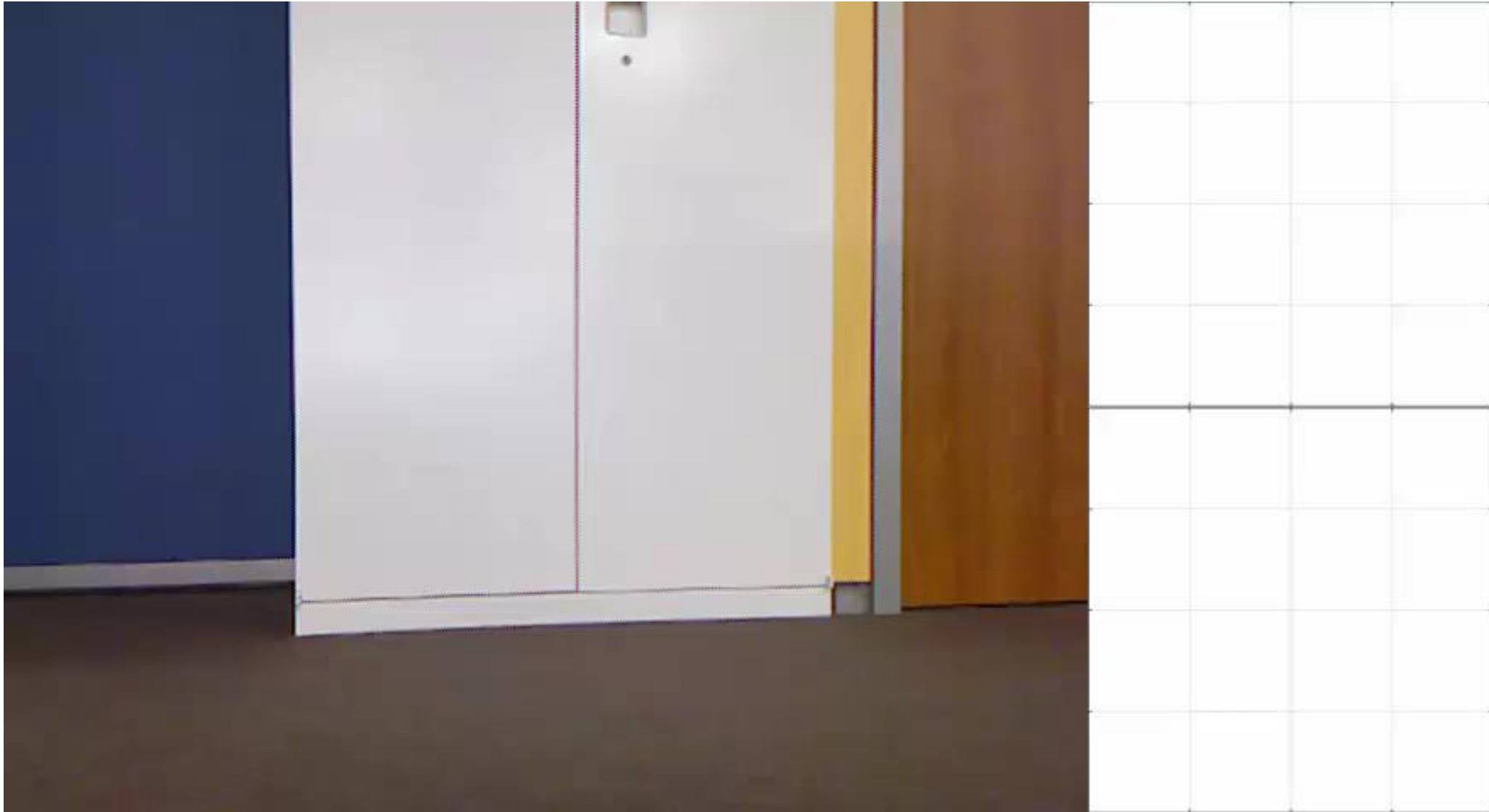
SLAMの閉ループ問題

- 自己位置を逐次推定するため誤差が蓄積
- ロボットが経由した場所を目印として保持⇒ポーズグラフ(姿勢グラフ)
- 最適化で誤差の蓄積を抑える



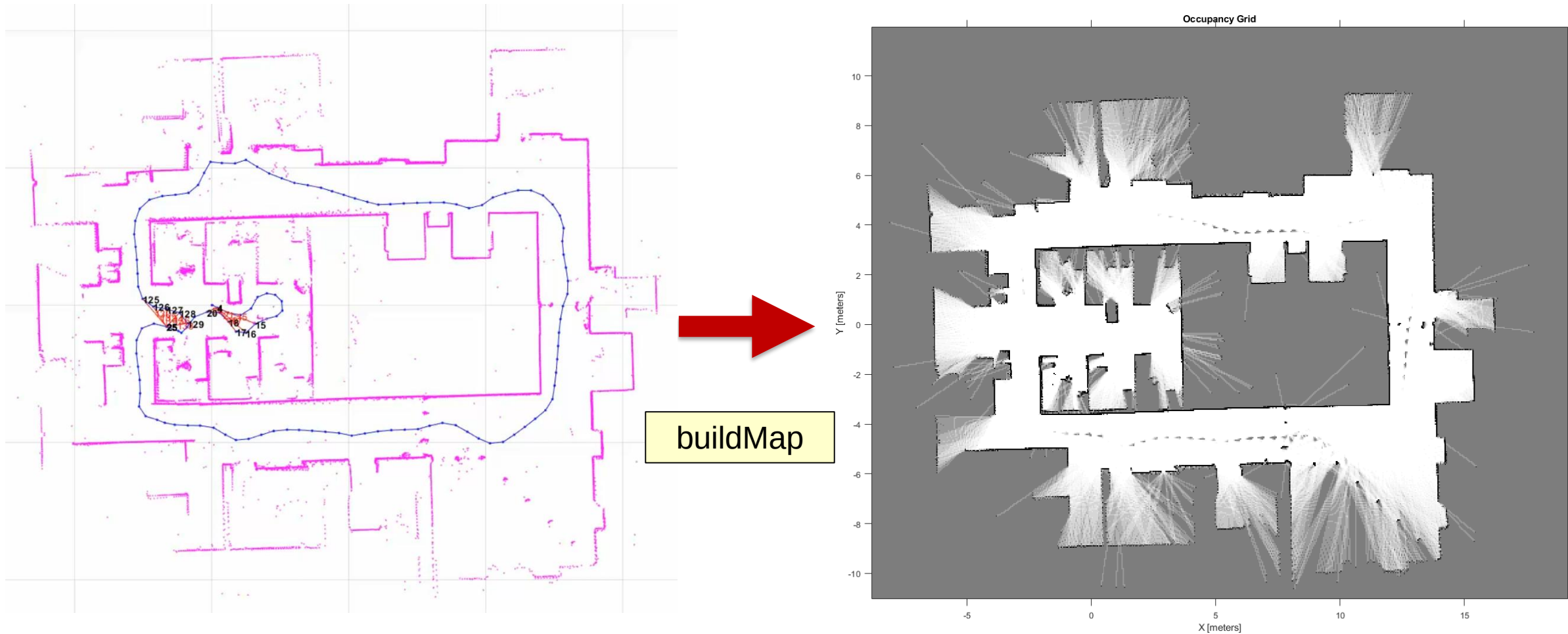
2D LiDAR SLAMの実行例

Robotics System Toolbox
Computer Vision System Toolbox

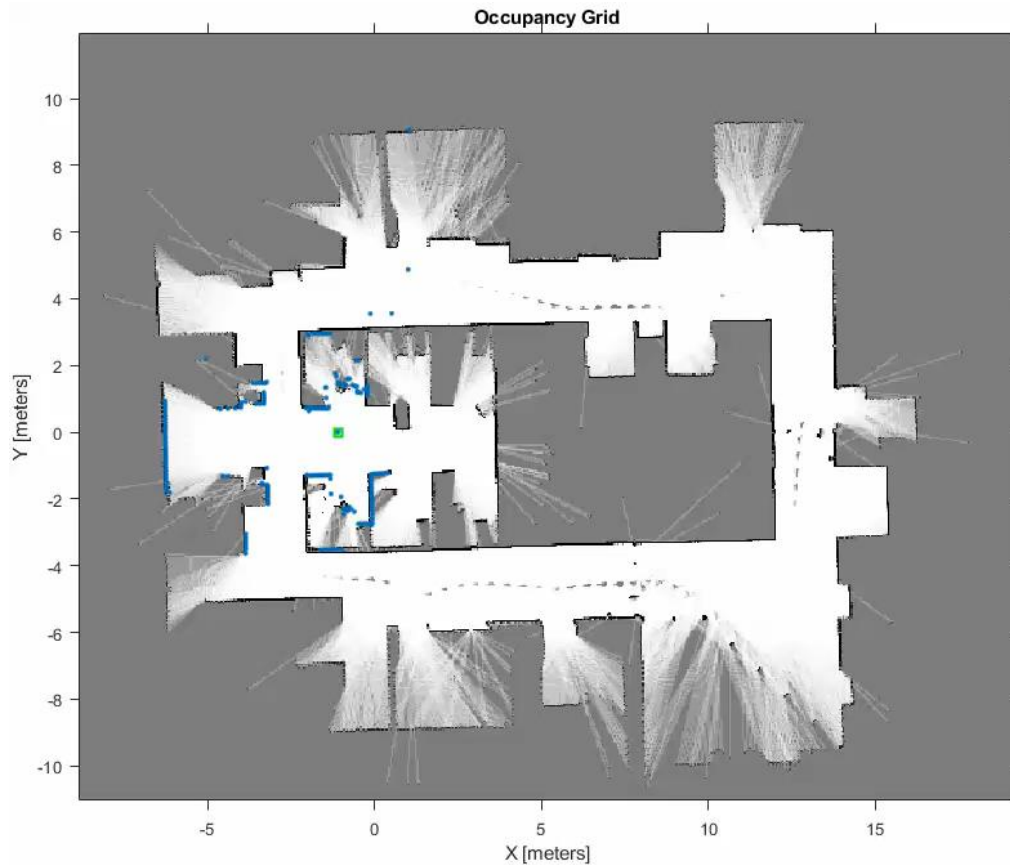


地図データの生成: スキャンデータをグリッドマップ化

Robotics System Toolbox R2018a



自己位置推定のアルゴリズム

`matchScansGrid`**R2018a**

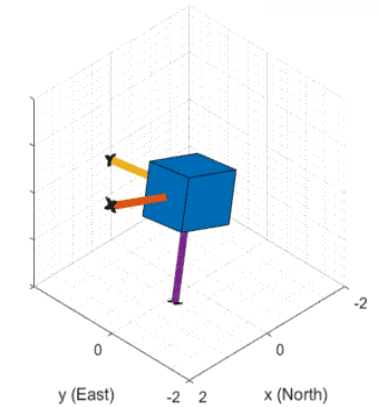
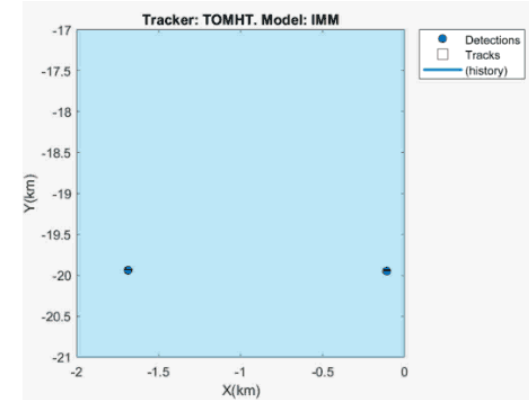
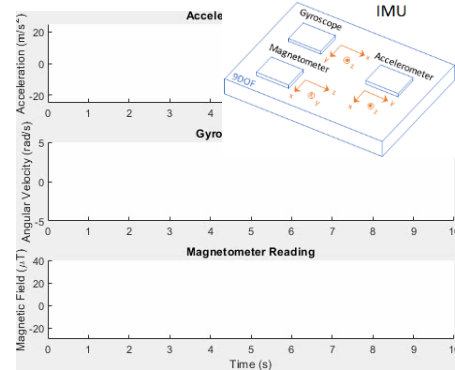
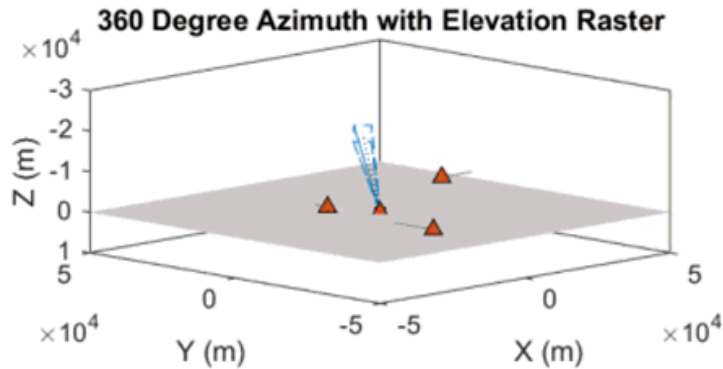
スキャンマッチングによる位置推定

MATLAB EXPO 2018

`robotics.MonteCarloLocalization`

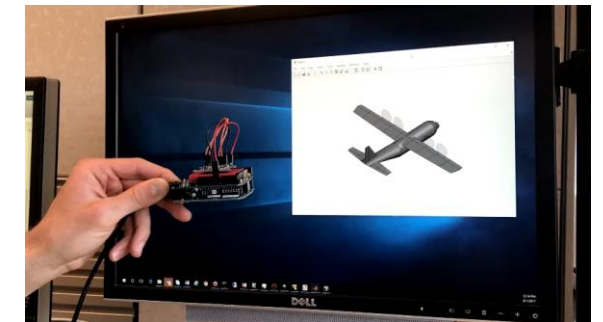
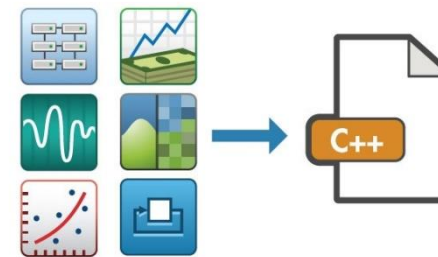
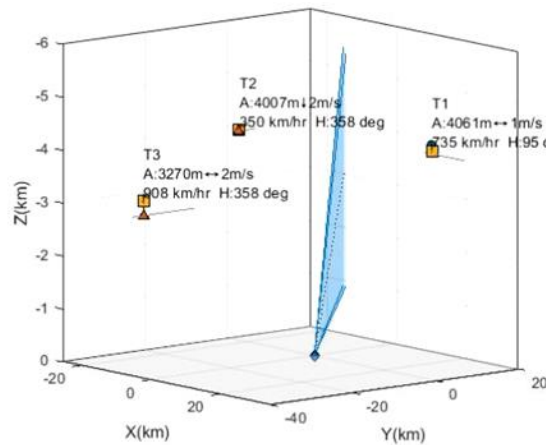
パーティクルフィルタによる位置推定

自己位置推定のためのセンサーフュージョン検討



センサーシミュレーションとシナリオ生成

トラッキングと位置推定のアルゴリズム



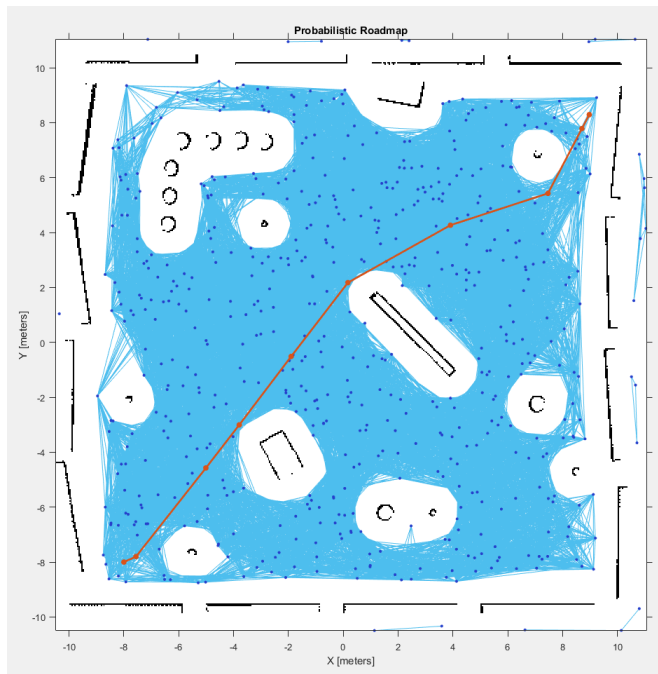
可視化と精度指標

コード生成とハードウェア接続¹

パスプランニング

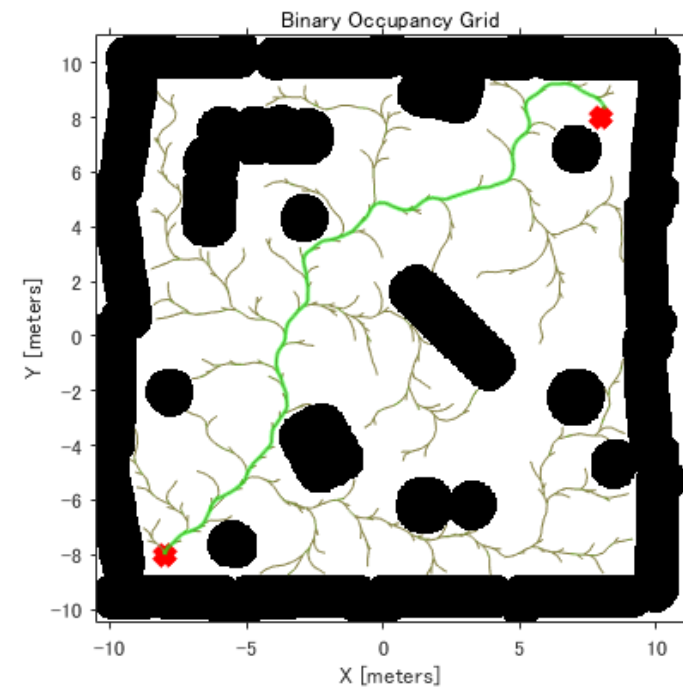
Toolbox内蔵のパスプランニングアルゴリズムを活用してすばやく開発できます

- PRM(Probabilistic Roadmap)
- RRT*(Rapidly exploring Random Trees)



```
planner = robotics.PRM;
```

Robotics System Toolbox

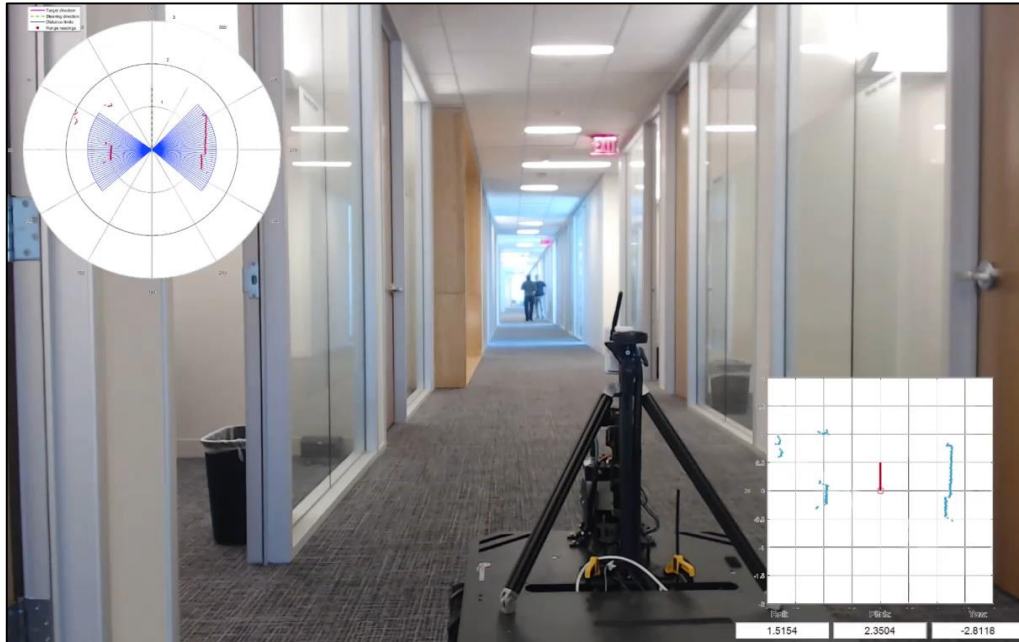
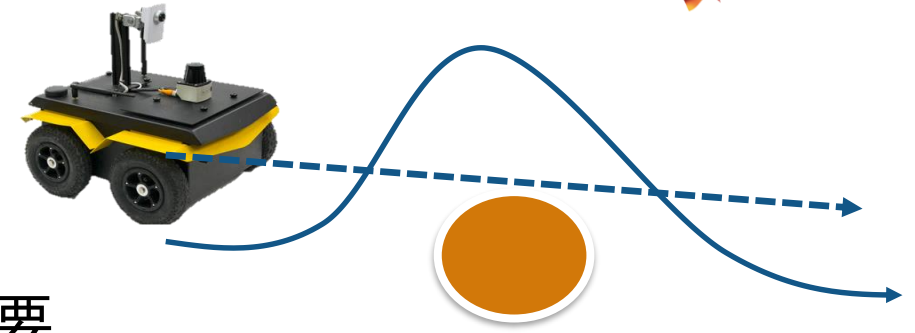


```
planner = pathPlannerRRT;
```

Automated Driving System Toolbox R2018a

障害物を動的に検知: センサーフュージョン

- 走行経路上に人や荷物
→地図上に存在しないため適宜、停止や回避が必要
- 動体の場合には動きの予測が必要



歩行者の回避



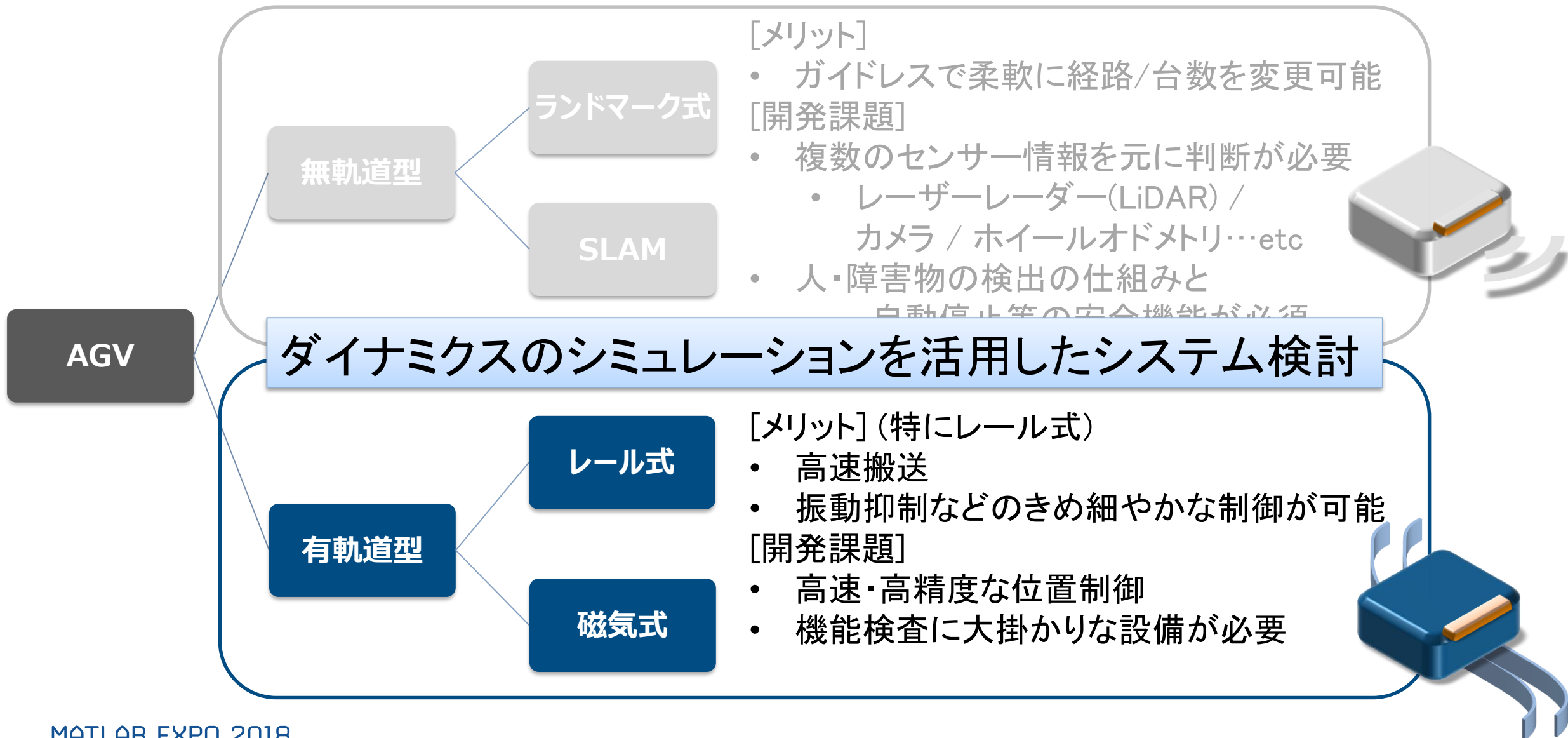
歩行者のトラッキング

Computer Vision System Toolbox, Robotics System Toolbox, Automated Driving System Toolbox™

アジェンダ – モデルを活用した自律移動ロボット・自動搬送システムの開発 –

- 無軌道型自律移動ロボットの開発
 - 自己位置推定とパスプランニング
- 有軌道型自動搬送システムの開発
 - 車両ダイナミクス与设计と制御設計
 - リアルタイムシミュレータでのテスト
- まとめ

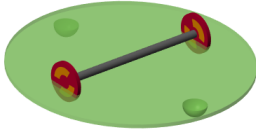
自律移動ロボット/自動搬送システムの分類と特徴



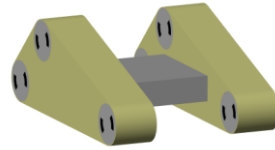
移動ロボット/搬送システムのモデリング



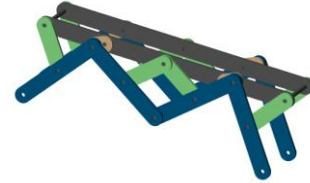
車両



2輪車両



クローラー



脚型ロボット



ドローン



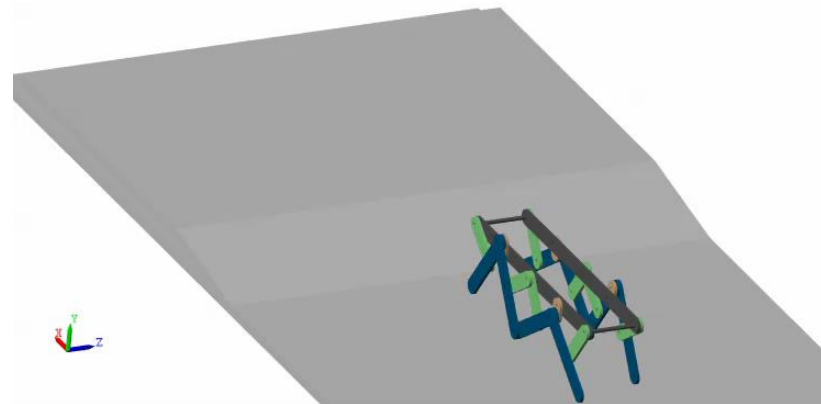
ロボットアーム



人型ロボット

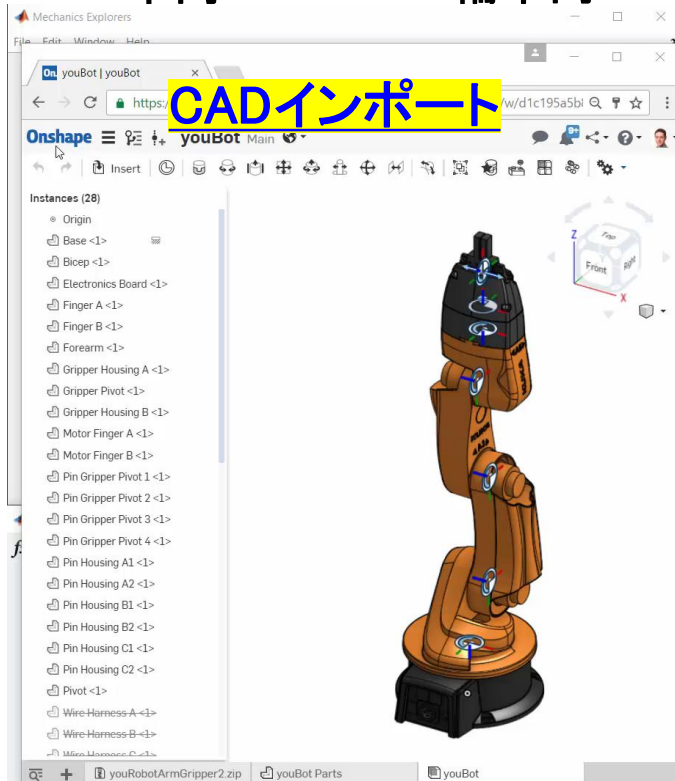
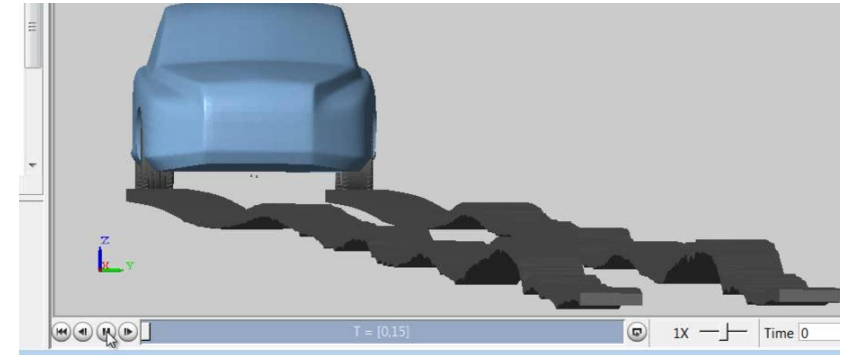
接触・摩擦

[Contact Forces Library](#)
(File Exchangeより無料で入手可能)



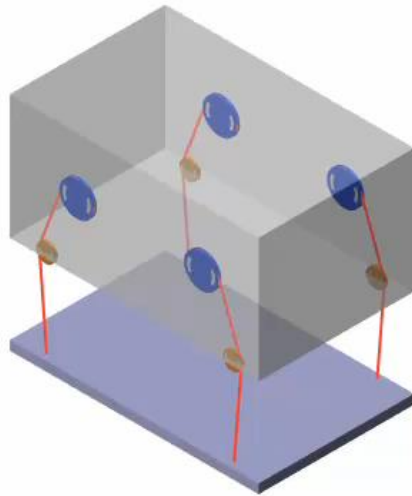
悪路走行

詳細タイヤモデル: [Delft-Tyre](#)
(TASS International株式会社様が提供)

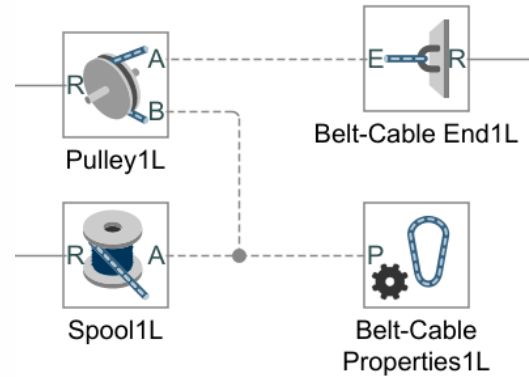


有軌道搬送システムで利用できるライブラリ

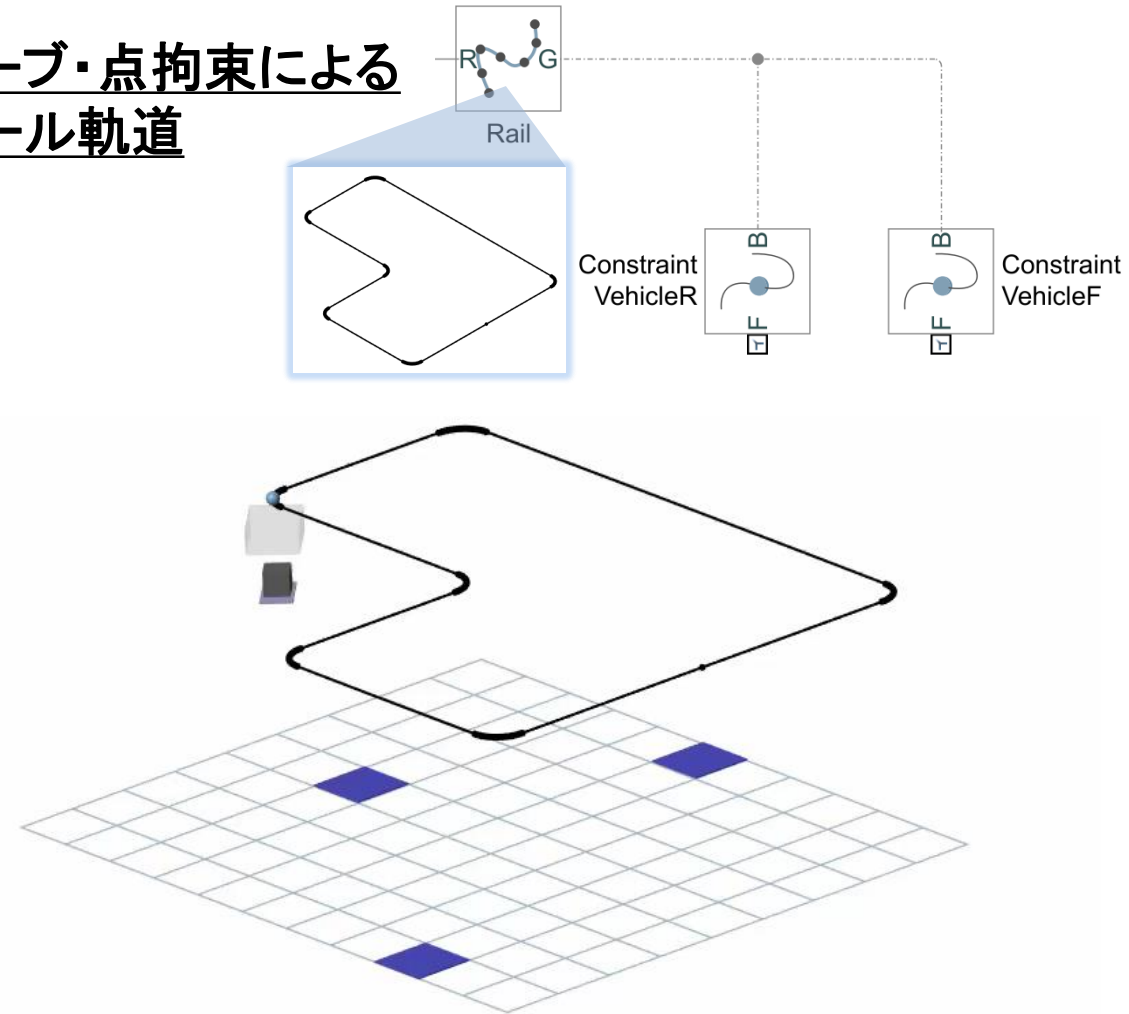
ベルト駆動による昇降



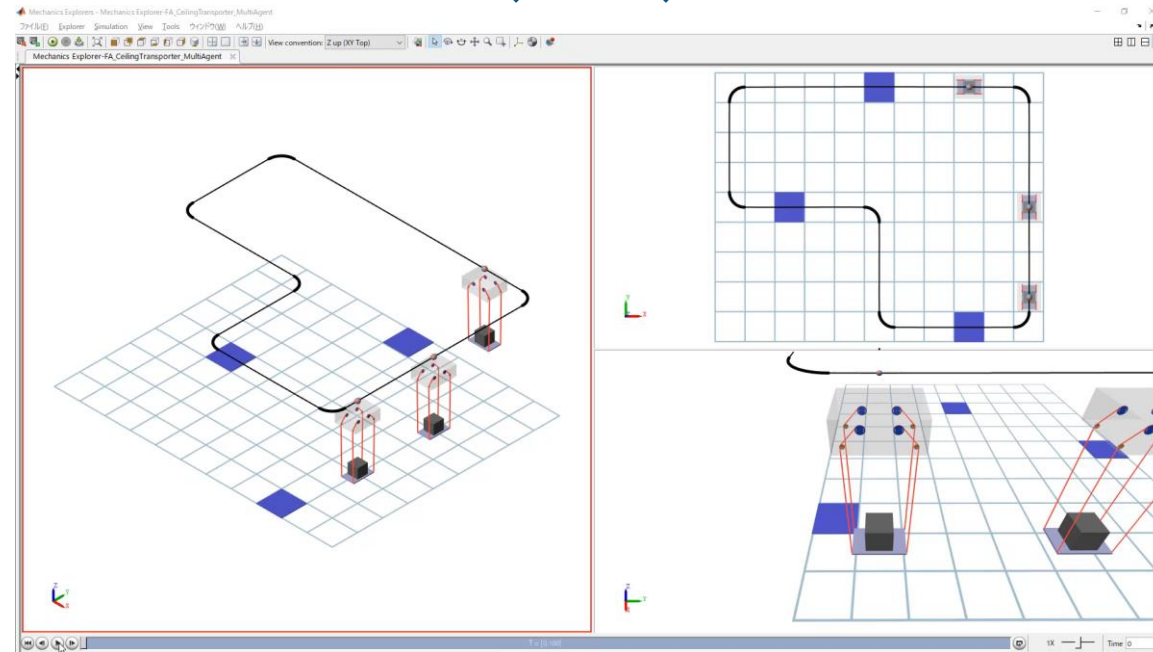
Belts and Cables ライブラリ
R2018a/R2018b



カーブ・点拘束による レール軌道



- ## 制御アルゴリズム



Simscape Multibodyでのモデリングの流れ

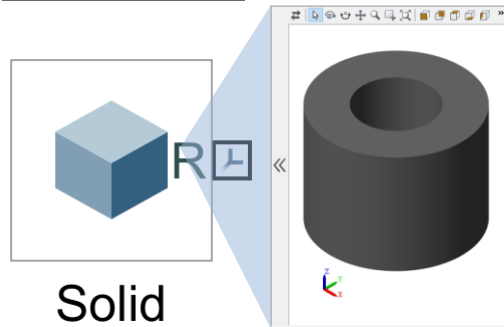
剛体部品
の定義

位置・角度
の定義

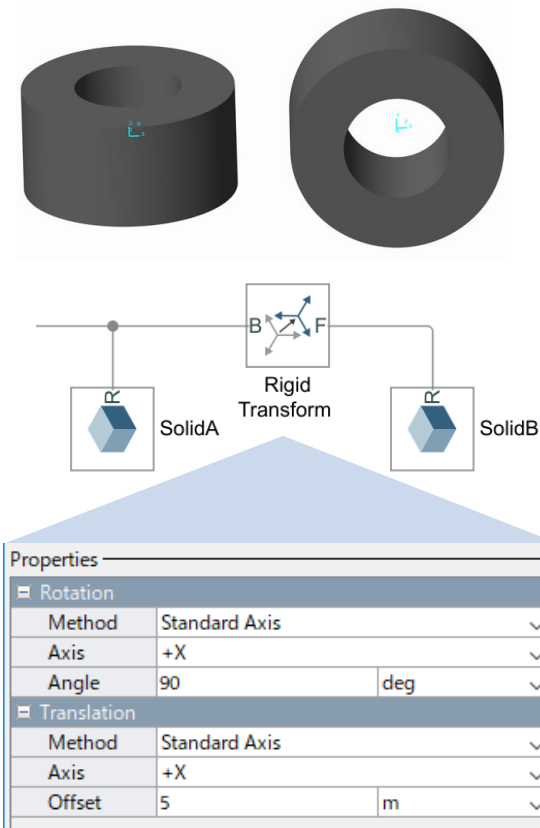
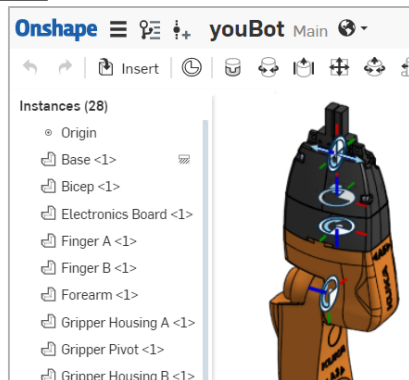
自由度・拘束
の設定

シミュレーション

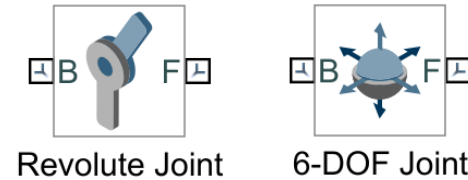
マニュアル



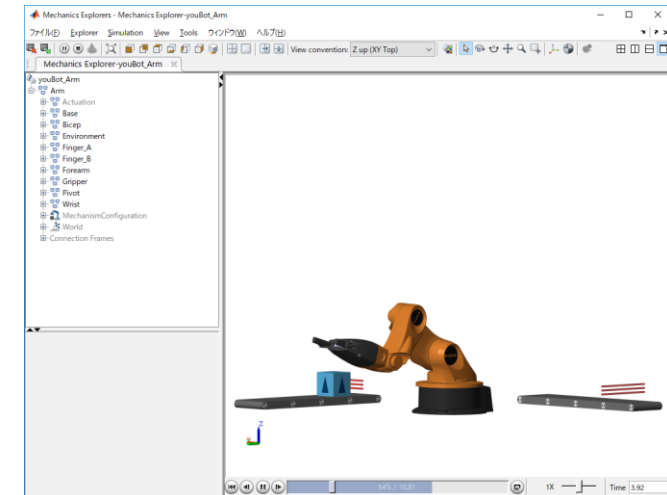
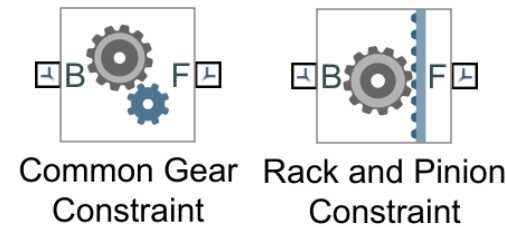
CAD



自由度



拘束条件

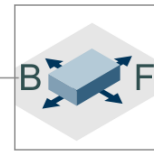
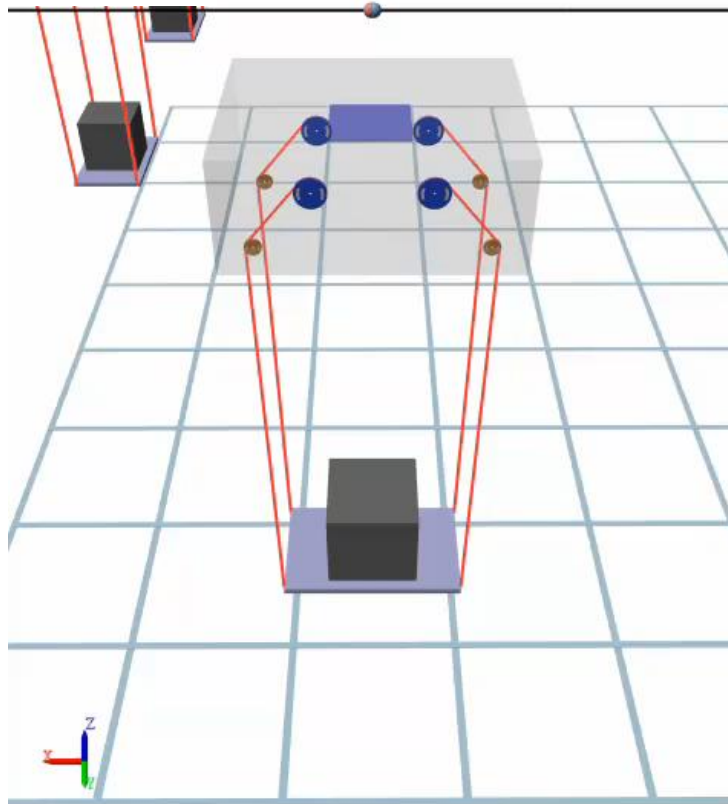


自由度を変えることで搬送システムで想定される「揺れ」を再現



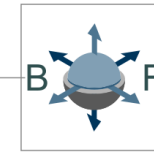
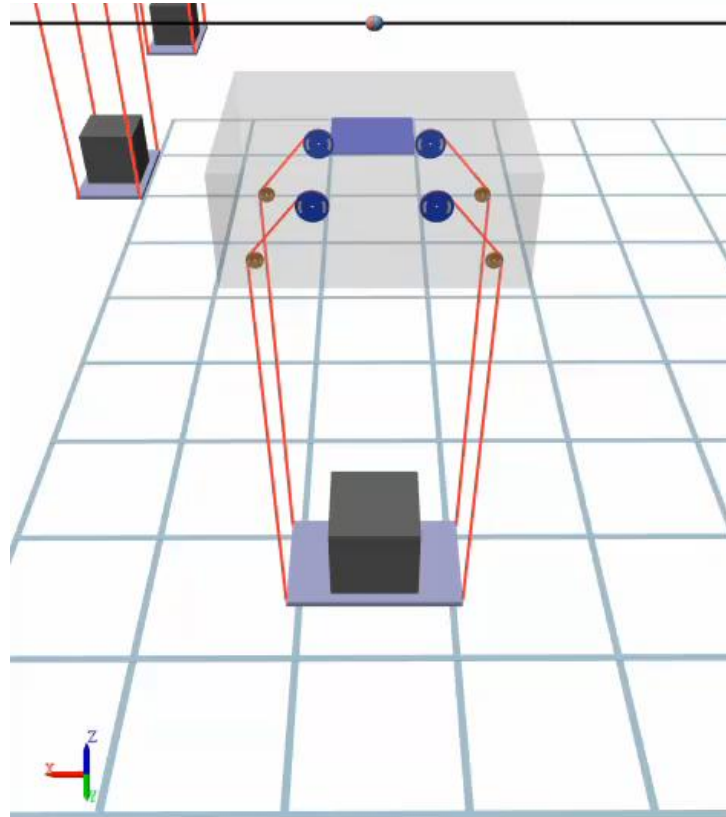
Prismatic
Joint

1自由度



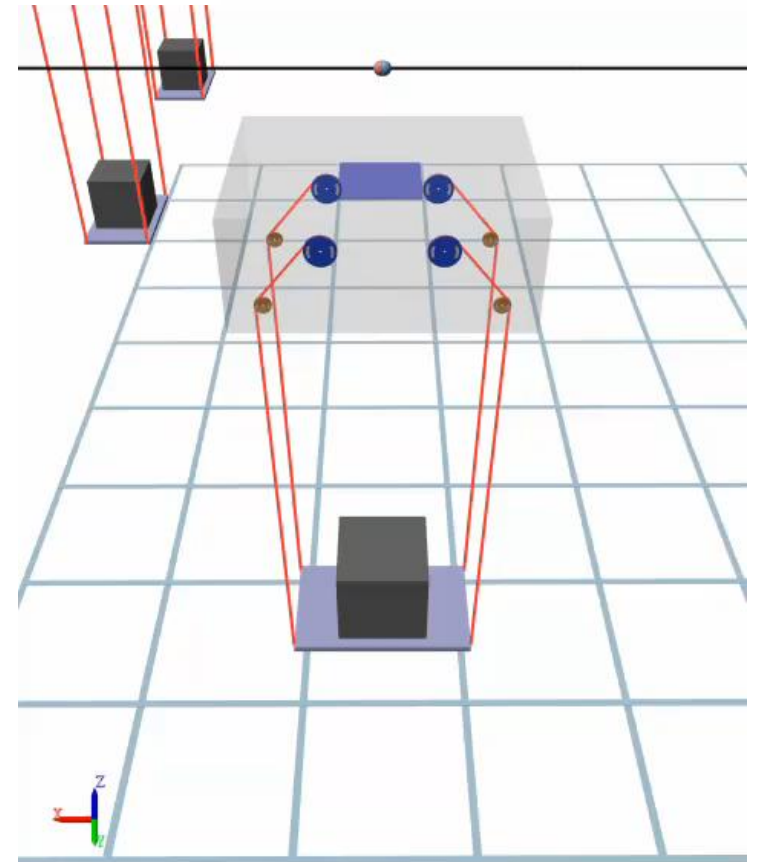
Rectangular
Joint

2自由度



6-DOF Joint

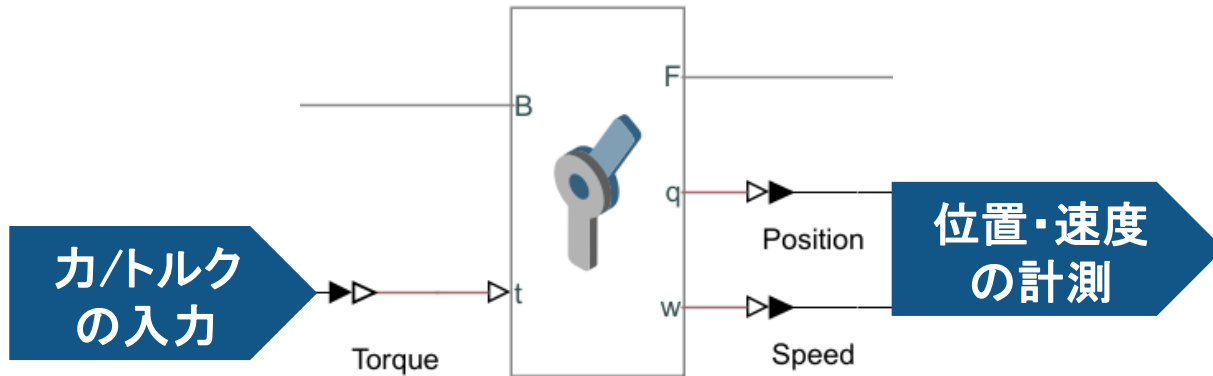
6自由度



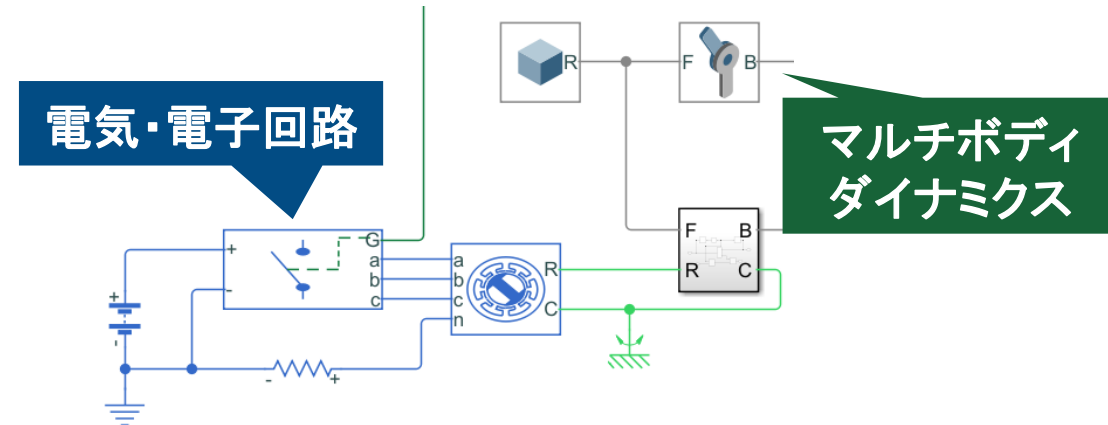
要求性能を実現するためのハードウェアスペックの検討

Simscape Multibody
*1 Simscape シリーズ

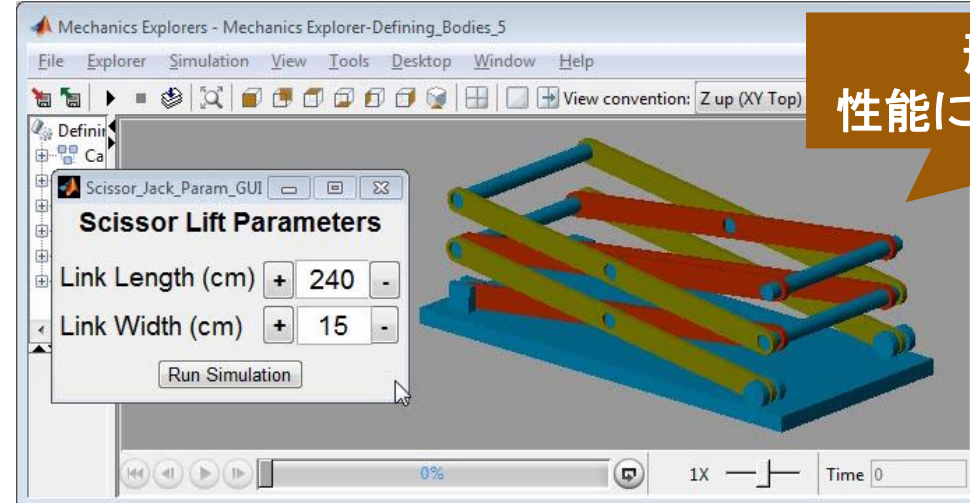
性能を実現するのに必要となる力・トルクの推定



他の物理ドメインを直接接続して性能検討 (*1)



形状・寸法・重さの変更による性能差の確認

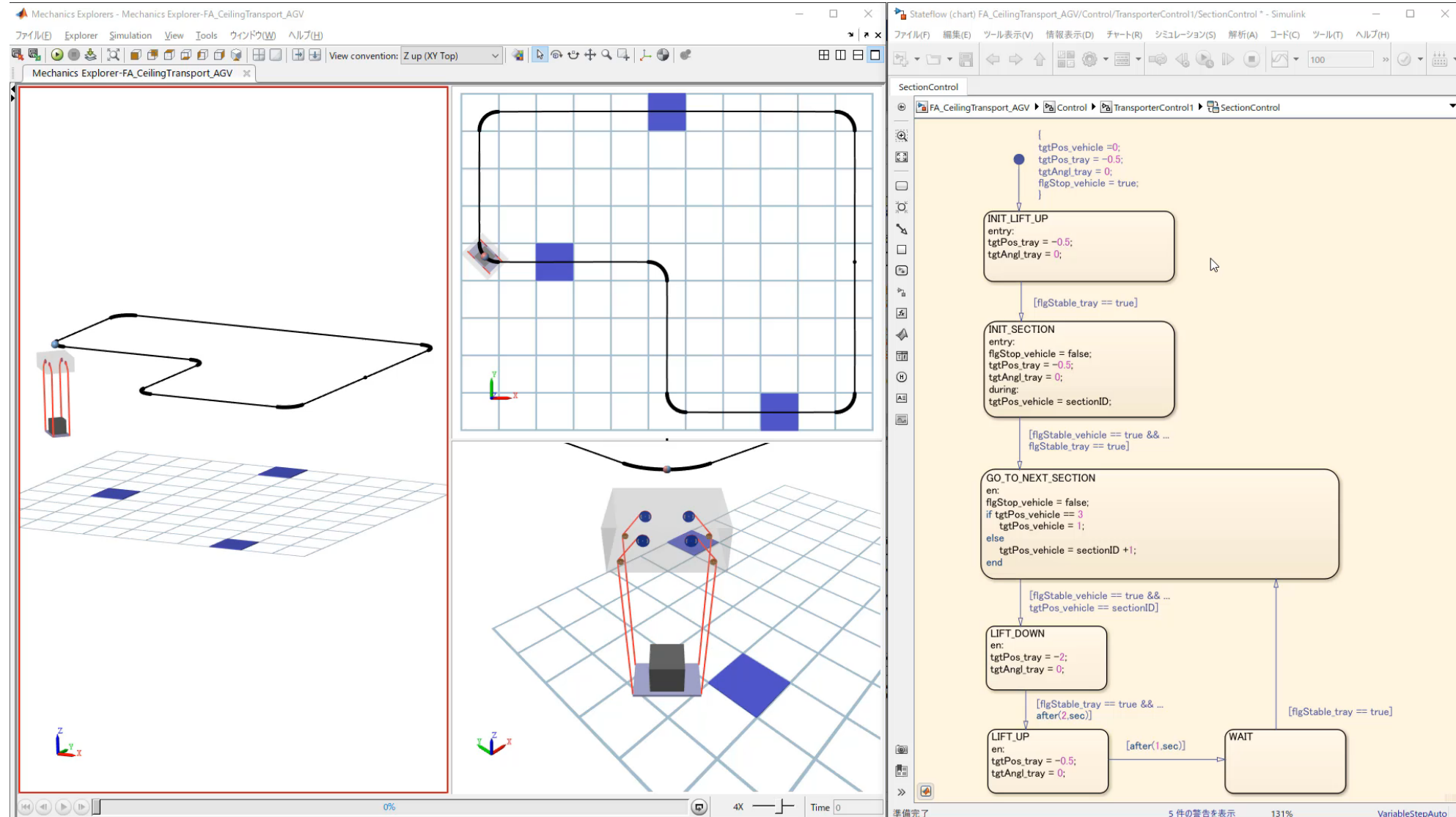


形状のパラメータ化で
性能に及ぼす影響を検討できます

制御目的に適した手法を用いてコントローラを設計できます

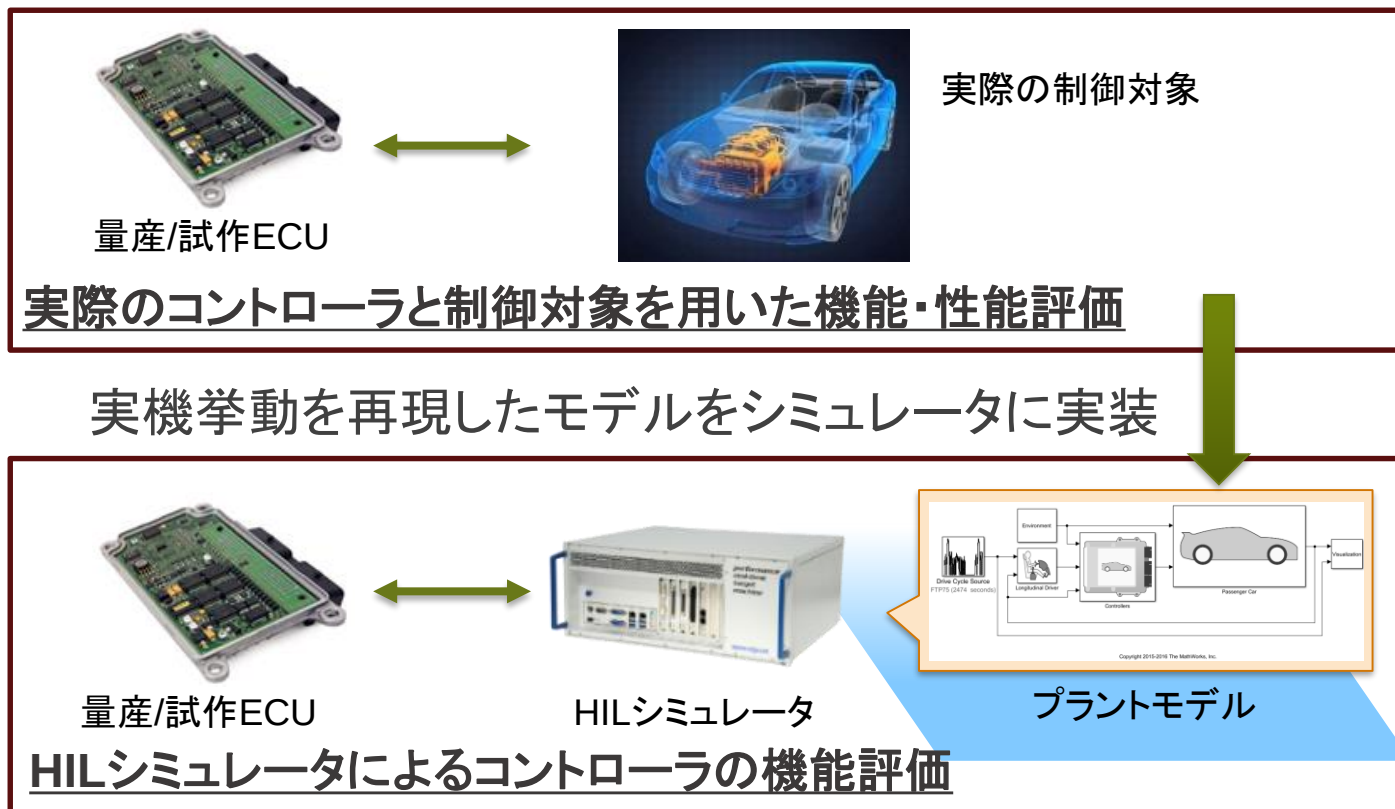
モーター制御のライブラリ	線形制御理論による補償器設計	最適化計算による自動チューニング	アドバンスな制御	ロジックベースの制御
フィードバック制御系の設計				シーケンス制御系の設計
座標変換 PWM発生器 フィルター デッドタイム	補償器 (PID、ノッチフィルタなど) 補償器設計のUI (時間応答、周波数応答)	制御パラメータ全般 パラメータ自動調整のUI (応答制約を満たすように最適化)	ゲインスケジューリング (各動作点で制御ゲインを切替) モデル予測制御 (プラントモデルで未来の挙動予測)	制御モードの切替 状態遷移図のUI (遷移動作を動画で確認)

搬送システムのモードロジック設計



リアルタイムシミュレータによるコントローラの機能検証

- HIL (Hardware-In-the-Loop) テストで実機を模擬したテスト環境を構築
 - 後手になりがちなソフトウェアデバッグを実機でのテストの前に実施



搬送システムコントローラに対するHILテストの適用

- 制御基板・コントローラの機能検証を実機レスで行えます
 - メリット
 - ✓ 実際の設備（レール・搬送装置）が不要
 - ✓ 実際のテスト環境に近い環境でデバッグが可能
 - ✓ 前倒し検証で実機テスト完了遅延リスクを低減

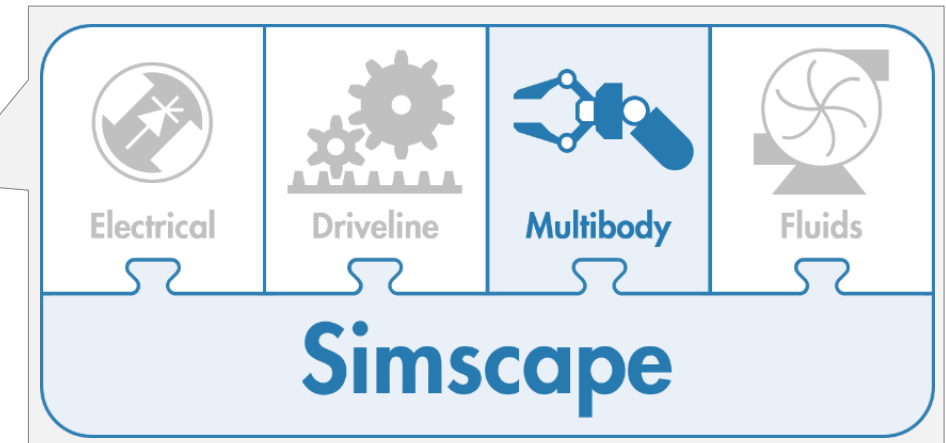


システム制御装置 /
搬送車両コントローラ



HILシミュレータ (Speedgoat)

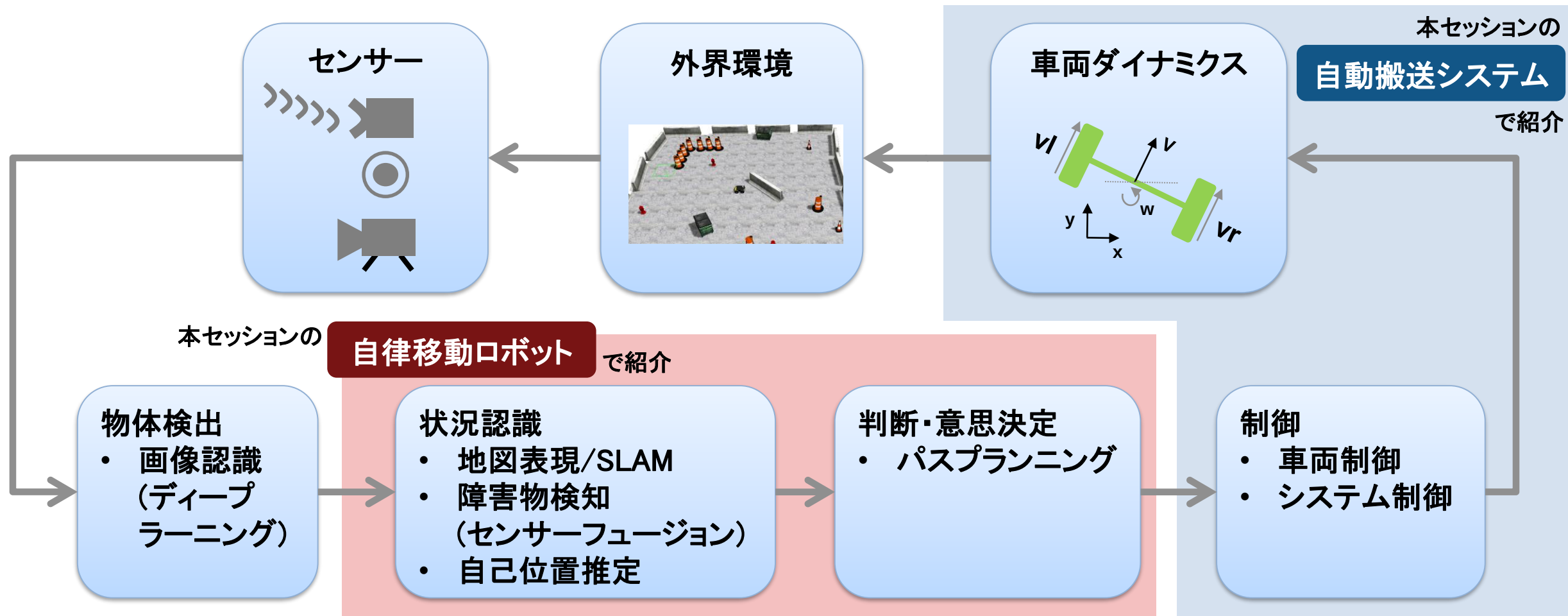
SimscapeのCコード生成機能で
搬送システムモデルをシミュレータへ実装



アジェンダ – モデルを活用した自律移動ロボット・自動搬送システムの開発 –

- 無軌道型自律移動ロボットの開発
 - 自己位置推定とパスプランニング
 - 有軌道型自動搬送システムの開発
 - 車両ダイナミクスのデザインと制御設計
 - リアルタイムシミュレータでのテスト
- まとめ

自律移動ロボット/自動搬送システムの開発を強力に支援します



MATLAB/Simulinkを自律システムのアルゴリズムの開発にお役立てください！



Accelerating the pace of engineering and science

© 2018 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.