



ROS と MATLAB® を活用した産業ロボット用 ピッキングシステムの導入検証

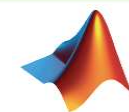
2019年5月28日

株式会社 安川電機

環境・社会システム事業部 開発部

森田 賢

© 2019 YASKAWA Electric Corporation



MATLAB/Simulink

出典 : <https://jp.mathworks.com/products/simulink.html>



出典 : <http://wiki.ros.org> 出典 : <http://gazebosim.org/>

MATLAB : The MathWorks, Inc. の商標

発表者自己紹介

業務内容

- プラント用監視制御装置の開発
- システムコントローラ開発課
- ソフトウェア開発を専門



社会人博士学生の活動

- ロボット工学を専門
- Qिताでのロボット技術解説記事を執筆
(ROS 関連記事のユーザランキング **1位**
@2019年3月現在)



拙著ROS本のご紹介

著書概要

- 西田, **森田**ら, 実用ロボット開発のためのROSプログラミング, 森北出版, 2018.
- コンピュータビジョン (**OpenCV**)、ポイントクラウド (**PCL**)、プラグイン開発 (**Pluginlib**)、テストコード (**rostest**)、CI 連携 (**industrial_ci**)等、**応用項目**を主担当として執筆



出典 : <https://opencv.org/>



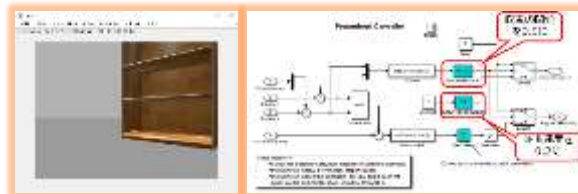
出典 : <http://pointclouds.org/>



Travis CI

出典 : <https://travis-ci.org/>

- **MATLAB連携**の章を担当



出典 : <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51joyPVM8tL.jpg>

拙著ROS本のご紹介

著書評判

- Amazon売れ筋ランキング
ロボット工学カテゴリ
ベストセラー1位 獲得
(2018年10月16日時点)
- 著名なROSデベロッパによる
ブログ・Twitter 等での
好評なレビュー!

ros.youtalk.jp @youtalk 氏:

→ <https://ros.youtalk.jp/2018/10/14/ros-programming-book.html>

MyEnigma @Atsusi 氏:

→ <https://myenigma.hatenablog.com/entry/2018/10/20/171512>

からあげ @karaage 氏:

→ <https://karaage.hatenadiary.jp/entry/2018/11/02/073000>



実用ロボット開発のためのROSプログラミング 単行本 - 2018/10/13
西田 健 (著), 森田 賢 (著), 岡田 浩之 * (著), 原 祥亮 (著), & 8 その他

ベストセラー1位 - カテゴリ: メカトロ・ロボット工学

単行本
¥ 4,536
¥ 4,536 より 1 新品

この画像を表示

登録情報
単行本: 304ページ
出版社: 森北出版 (2018/10/13)
言語: 日本語
ISBN-10: 462767581X
ISBN-13: 978-4627675810
発売日: 2018/10/13
おすすめ度: この商品の最初のレビューを書き込んでください。

Amazon 売れ筋ランキング: 本 - 7,772位 (本の売れ筋ランキングを見る)
1位 - 本 > 科学・テクノロジー > 工学 > メカトロ・ロボット工学

ROS x MATLABの解説がある唯一の和書！会場にて販売中！

アウトライン

1. モチベーション

Robotics System Toolbox™とは



ROS-Industrial について



ROS+MATLAB 導入のメリット

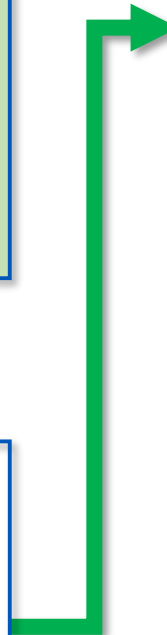


2. サンプルアプリ

ピック&プレースアプリ概要



各機能説明



3. ユーザとしての所感

良かった点

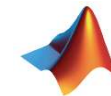


気になった点



要望

YASKAWA



MATLAB/Simulink



ROS



GAZEBO

YASKAWA

- 他社に優位がある社内独自の固有技術
- 新技術導入検証のリソースに限りあり

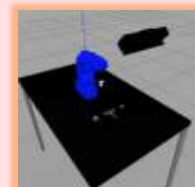


自社技術

オープンイノベーション

ROS

- 先端技術を容易に組み合わせ活用可能
- OSSゆえに利用できる機能にムラも有



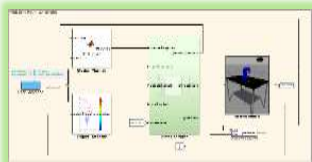
OSS

OSSのみでは不足する
先端機能 + 品質の拡充



MATLAB/Simulink

- OSSでは提供できない水準の品質を担保
- ROS単体では提供されない先端技術活用



商用ツール

自社技術 × OSS × 商用ツール
の統合による
イノベーションの可能性に期待！

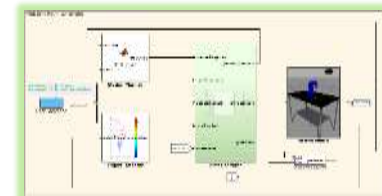
Robotics System Toolbox について

Windows : Microsoft Corporation の商標
Linux : Torvalds, Linus氏 の商標
Simulink : The MathWorks, Incの商標

Robotics System Toolboxとは？



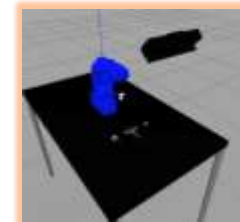
- ロボット開発に必須となる種々のアルゴリズムが含まれる
- MATLAB®・Simulink®とROSを連携するためのインターフェースを追加



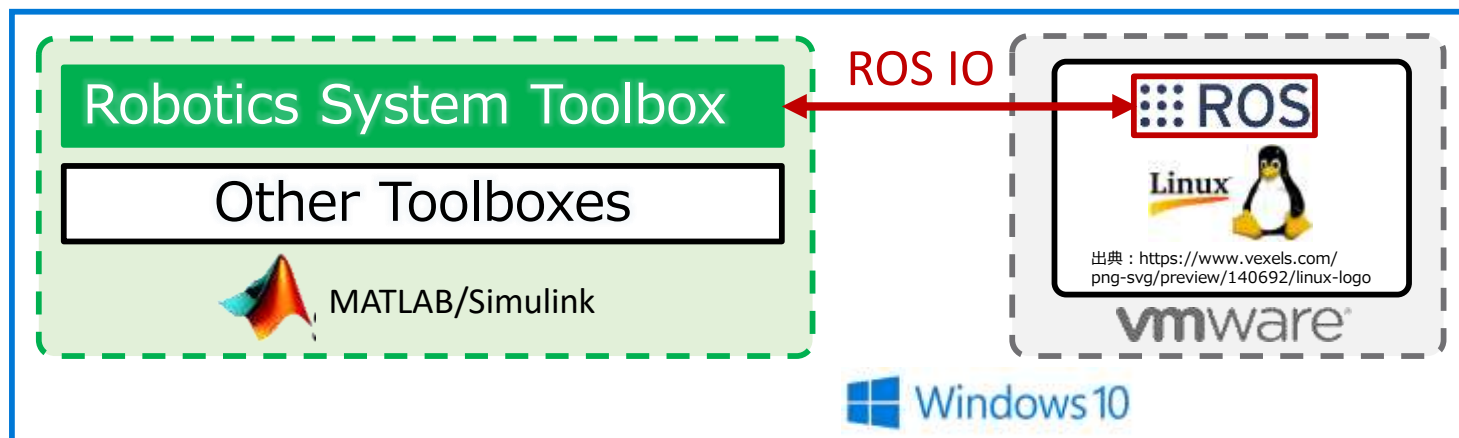
ROSとは？



- ロボット用ソフトウェアプラットフォーム
- 世界中のロボット研究・開発におけるデファクトスタンダード



使用イメージ



ROSの産業応用への展開

ROS-Industrial (ROS-I) とは？



画像出典：

<https://rosindustrial.org/ric/current-members>

- ROSの産業応用を推進するためのコンソーシアム
- メーカー・ユーザ・プラント等、60以上の世界的な企業が参画



弊社米国
支部が参画

ROS-I におけるMotomanの対応状況

Githubリポジトリで無償公開



- ドライバ、3DCADモデル、可視化ツール対応等

GP12/7/8



MH5/12/50



MotoMINI



SDA10F/10D



SIA5D/10D/20D

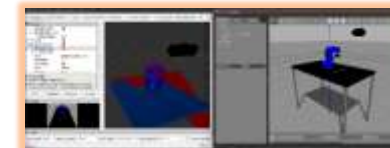


参考 : GitHub 画面

Package Name	Description	Last Commit
motoman	all: fix grouping of elements in manifests.	3 months ago
motoman_driver	driver: apt source list /TA node.	3 months ago
motoman_gp12_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_gp7_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_gp8_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_mh12_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_mh50_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_mh5_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_motomini_support	all: fix grouping of elements in manifests.	3 months ago
motoman_msgs	Order dependencies.	3 months ago
motoman_sda10f_moveit_config	Order dependencies.	3 months ago
motoman_sda10f_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_sia10d_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_sia10f_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_sia20d_moveit_config	Order dependencies.	3 months ago
motoman_sia20d_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago
motoman_sia5d_support	support: harmonise build scripts.	3 months ago

出典 : <https://github.com/ros-industrial/motoman>

ROSの特長



- 通信ライブラリ → アプリケーション開発に注力可能
- 開発・操作ツール → グラフ、3次元ビューワ、シミュレータ、コンパイラ
- 高機能ライブラリ → 学術レベルの機能も
- エコシステム → アプリ共有・install が容易 (Apple Store 的)



ベンチマークが容易に

- ROSならオープンソースで先端的な技術を利用可能

組み合わせ検証が容易に

- ROS対応のセンサ・アクチュエータであれば容易に導入可能
- ROSのネットワークを利用することで簡便な設定で相互通信可能

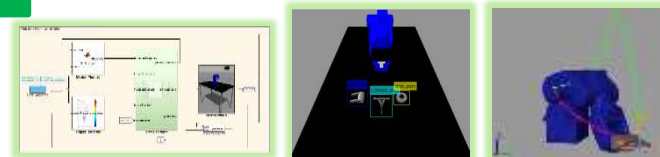
開発工数の削減 先端機能ベンチマークの効率化 等々

Robotics System Toolbox 導入のメリット

Robotics System Toolbox の特長



- 母体のMATLABがマルチプラットフォーム
- 他のツールボックス、スクリプトと連携可能



既存モデルとの組み合わせ検証が容易

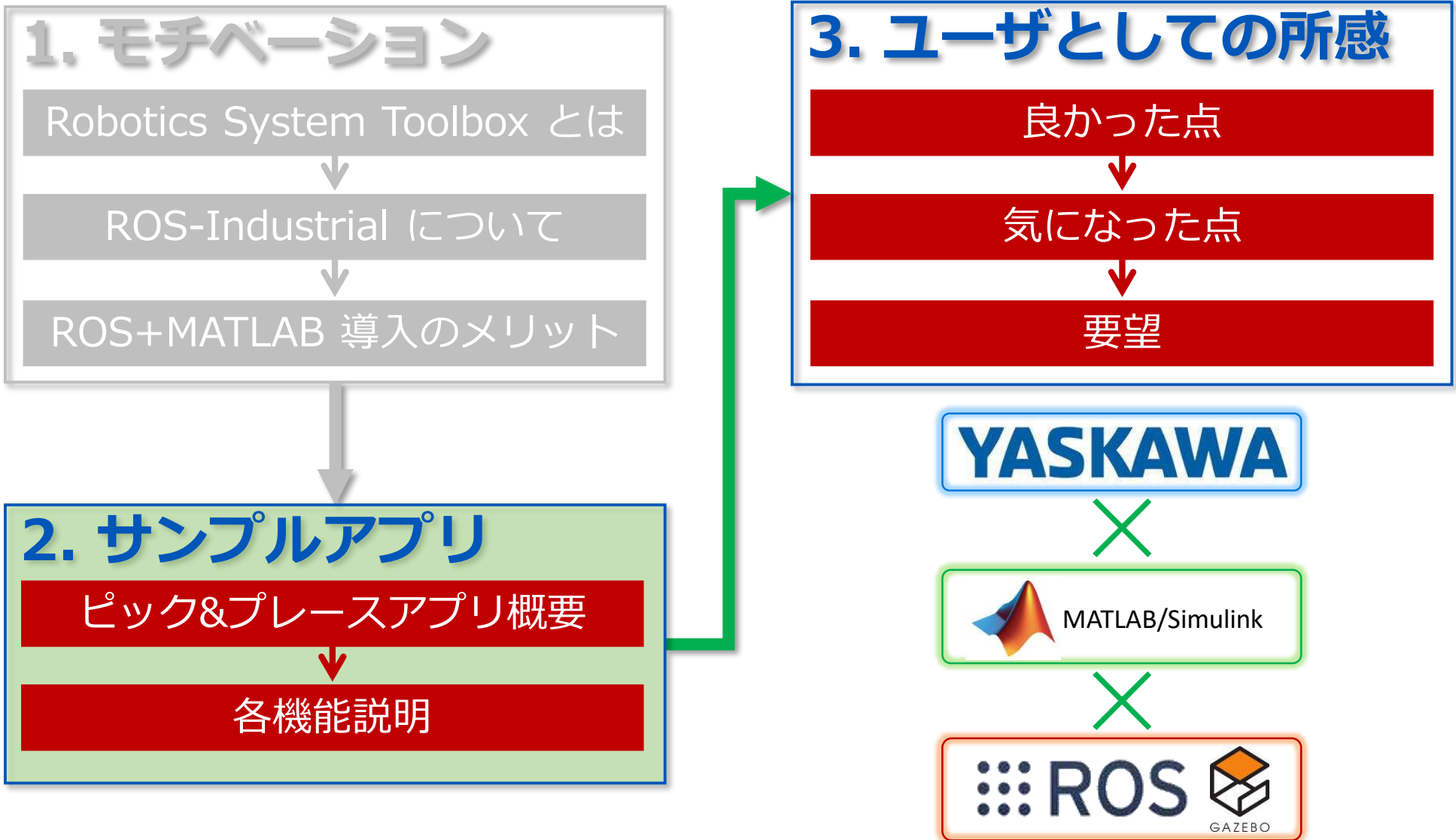
- 社内で蓄積したMATLAB・Simulinkの資産と連携可能
- メーカーにおける主流なOS：WindowsベースでROSの検証が可能

多様なアプリケーション構築が容易

- MATLABの種々のツールボックスを組み合わせることでROS単体では構築が困難な、高度な先端技術を搭載したアプリケーション開発が容易に

サンプルアプリでの検証を実施

アウトライン

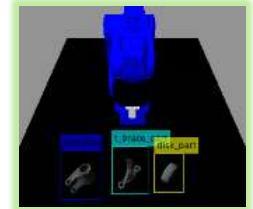


サンプルアプリ概要

物体認識 + 位置推定



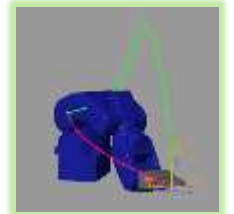
- RGBDセンサ情報をもとにディープラーニングにより物体認識
- 3次元認識した物体の位置を推定



軌道計画 + ピック&プレース



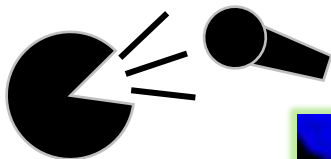
- ロボットの現在姿勢から、認識した物体位置までの軌道を計画
- 計画軌道に基づきロボットを制御し、ピック&プレースを実施



音声入力



- マイクで音声入力
- 指示に従いロボットを制御



MotoMINI のシミュレーション ROS

- ROS-Iで提供されるMotoMINIモデルを活用
- シミュレータ(Gazebo)を利用する

**MATLABの機能 + オープンソース
のみでサンプルアプリを構築**

サンプルアプリ動画

SVM: Support Vector Machine (機械学習の一手法)
YOLOv2: You Only Look Once ver. 2 (深層学習の一手法)

Example ベースのシステム構築

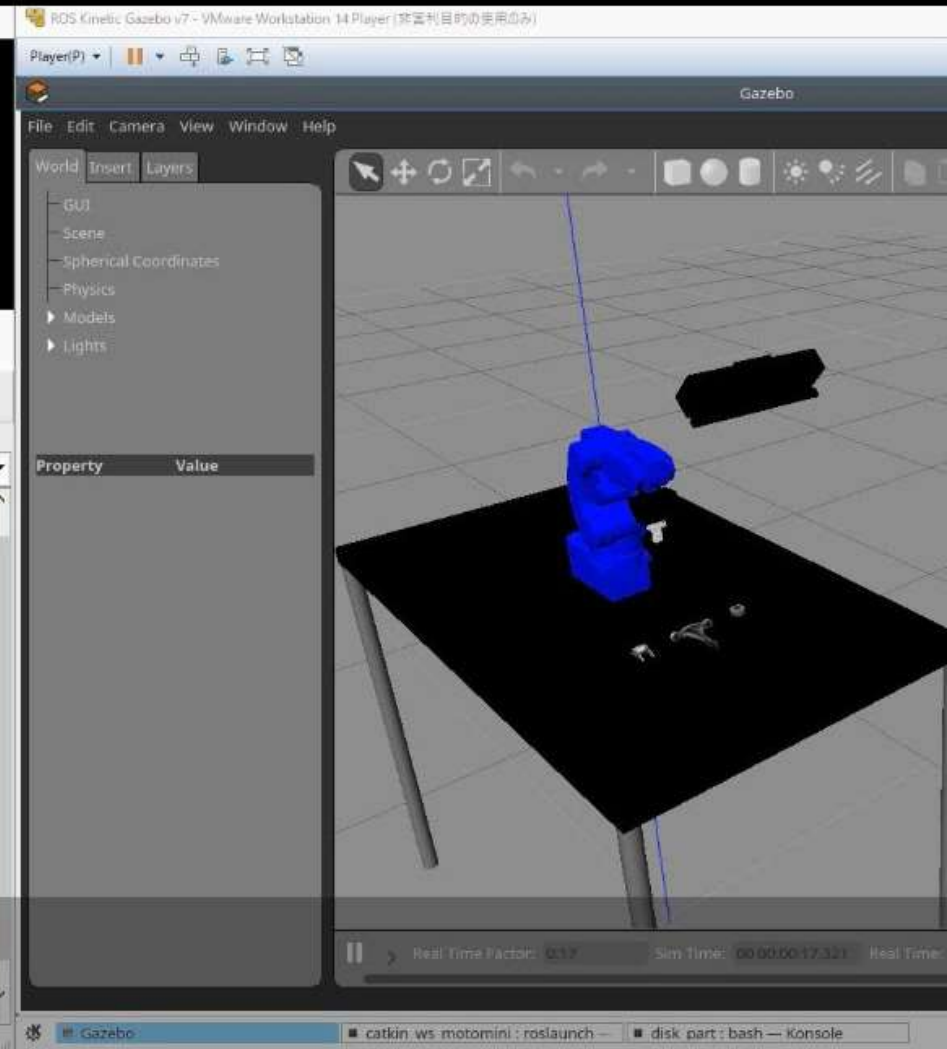
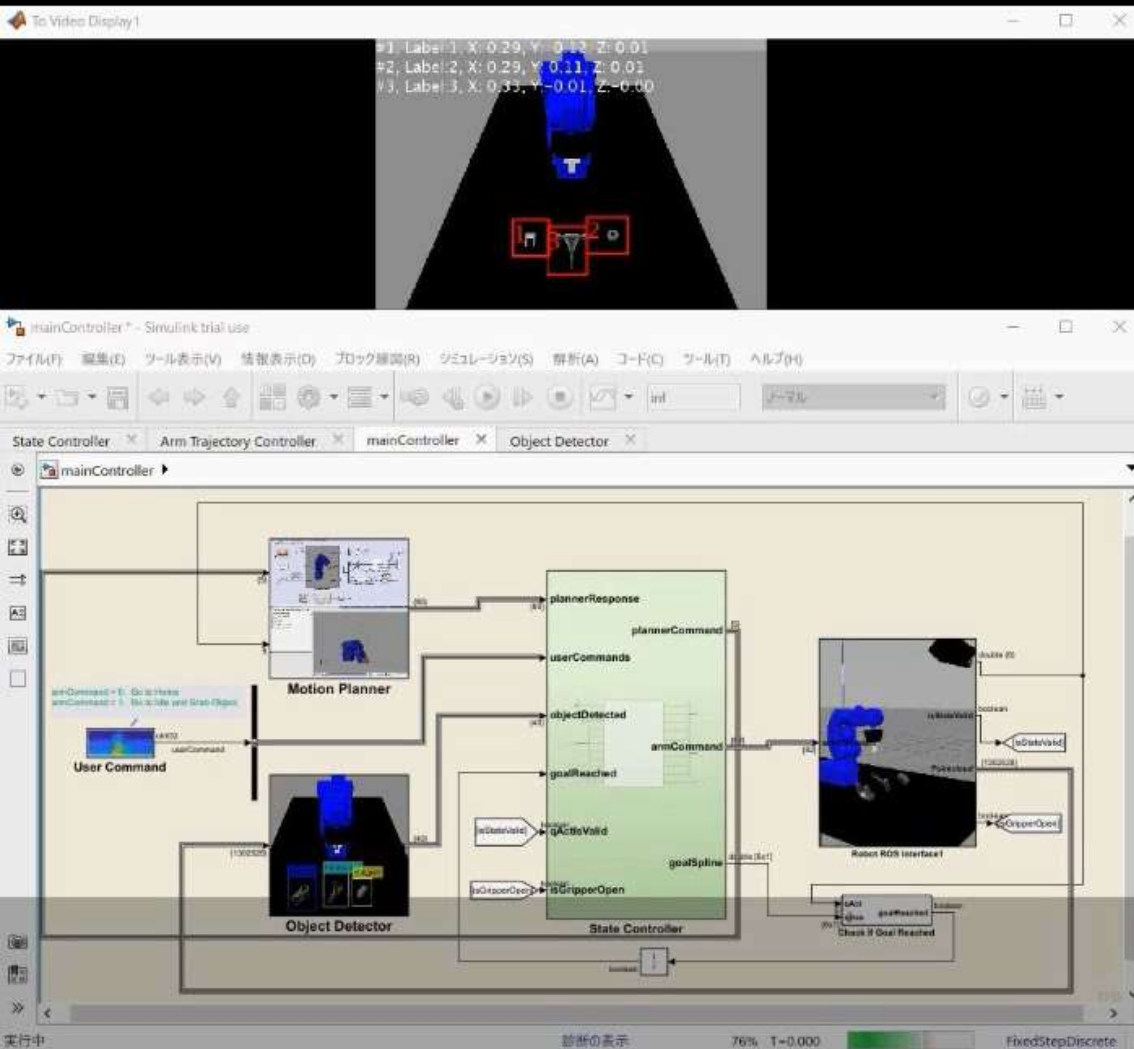


- Mathworks 社ご提供の Example をベースにシステムを構築
- 変更例 : KUKA社 youBot → 弊社 MotoMINI, SVM → YOLOv2(深層学習)

The image displays the MATLAB Simulink environment. The top window shows a 3D simulation of a blue robot arm on a black table with red bounding boxes around objects, labeled "物体認識結果" (Object Recognition Results). The bottom window shows a Simulink block diagram titled "State Controller" with components like "Motion Planner", "Object Detector", and "State Controller". A green box highlights the diagram with the text "状態制御ブロック図" (State Control Block Diagram).

The image shows the ROS Gazebo simulation environment. A blue robot arm is positioned on a black table. A red box highlights the simulation area with the text "シミュレータ" (Simulator). The ROS logo and GAZEBO logo are visible in the top right corner.

デモ・ビデオ



サンプルアプリ全体像

説明の流れ

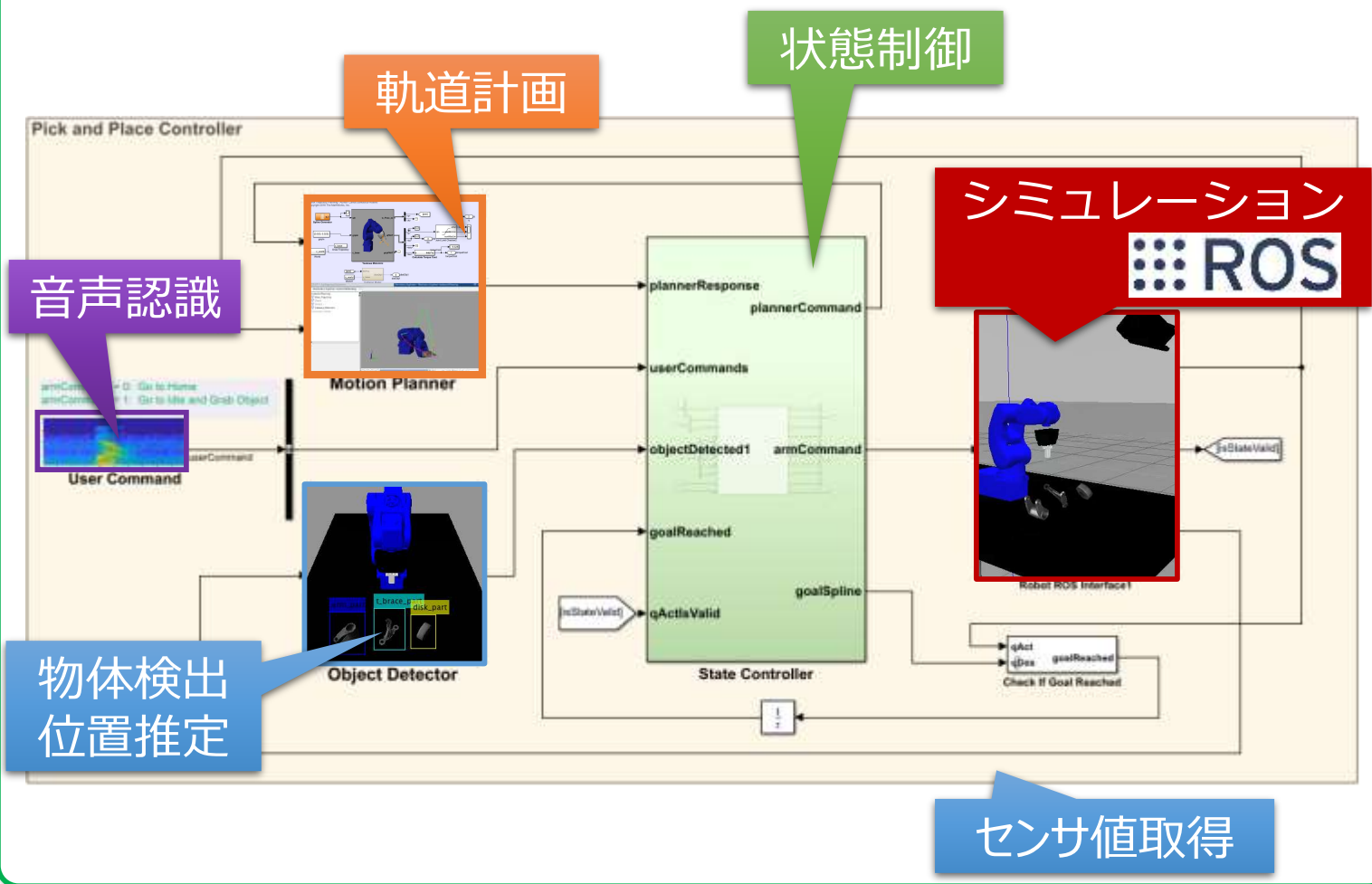
1. 物体検出
位置推定

2. 軌道計画

3. 音声認識

4. 状態制御

ブロック図 (Simulink モデル参照)



サンプルアプリ全体像：1. 物体検出・位置推定

説明の流れ

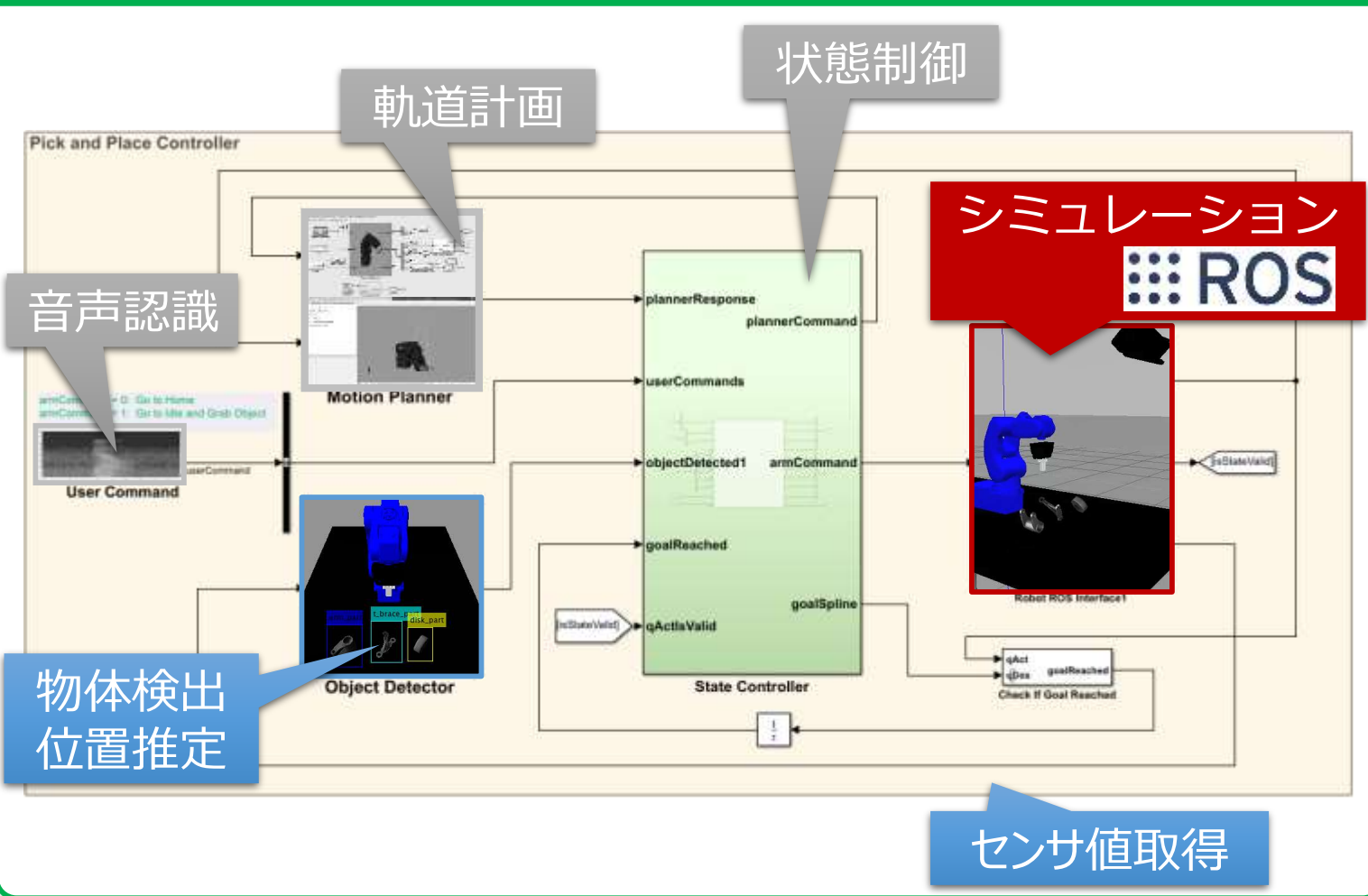
1. 物体検出
位置推定

2. 軌道計画

3. 音声認識

4. 状態制御

ブロック図 (Simulink モデル参照)



物体検出+位置推定のフロー

ROS→MATLAB変換

物体検出結果

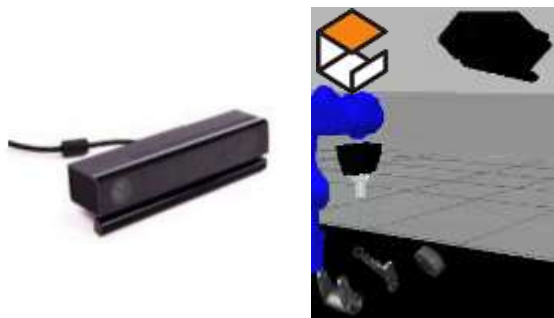
物体位置

軌道計画へ

センサ情報

ROS

● 実機 or シミュレータ

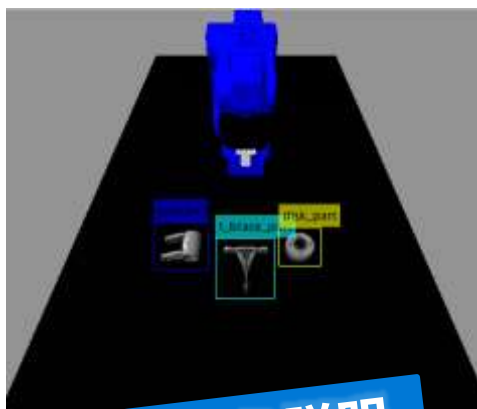


Robotics System Toolbox™

物体検出

MATLAB
Simulink

- RGB画像を使用
- YOLOv2による検出



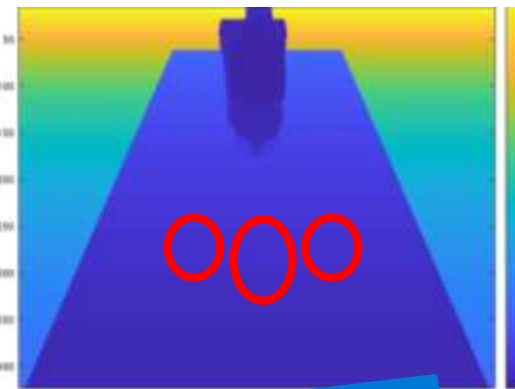
今から説明

Deep Learning Toolbox™
Computer Vision Toolbox™

位置推定

MATLAB
Simulink

- 深度画像を使用
- 三次元位置を取得



今から説明

Image Processing Toolbox™
Computer Vision Toolbox™

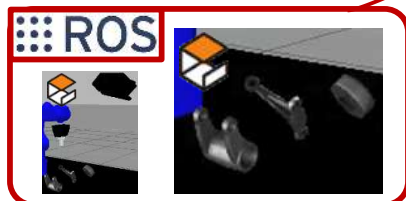
物体認識 ディープラーニング(YOLOv2)の活用

YOLOv2 による物体認識のフロー



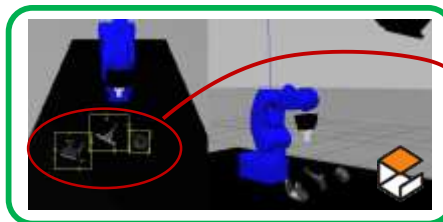
● 学習時

学習画像の取得



Robotics System Toolbox™
Image Processing Toolbox™

ラベリング

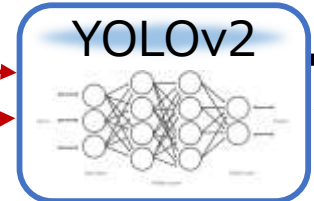


Robotics System Toolbox™

入力
画像

特徴抽出 + 学習

アンカ



Deep Learning
Toolbox™

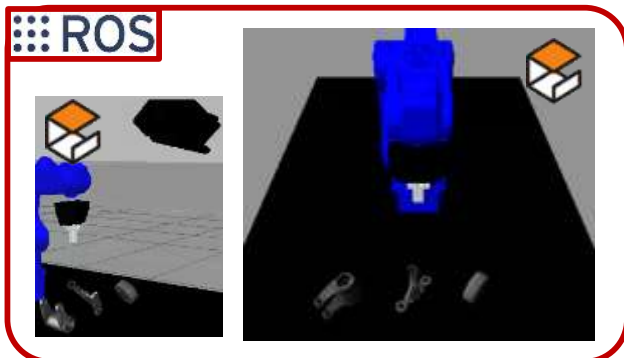
学習済
モデル

ラベル

認識で利用

● 認識時

画像取得



Robotics System Toolbox™

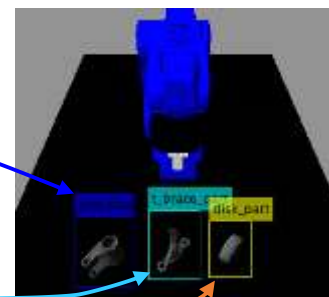
入力
画像

End to End Network
領域推定 + 特徴抽出 + 分類



Deep Learning
Toolbox™

バウンディング
ボックスの推定



ワークを抽出

位置推定へ

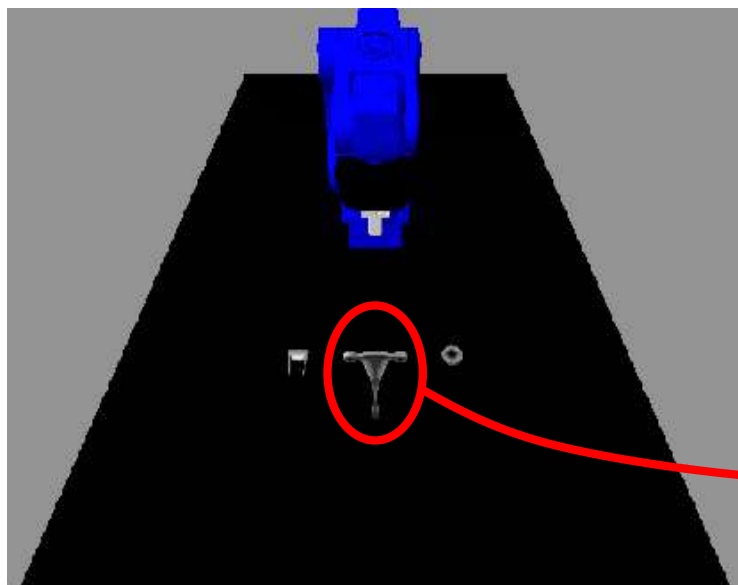
位置推定 点群(ポイントクラウド)の活用

点群による位置推定

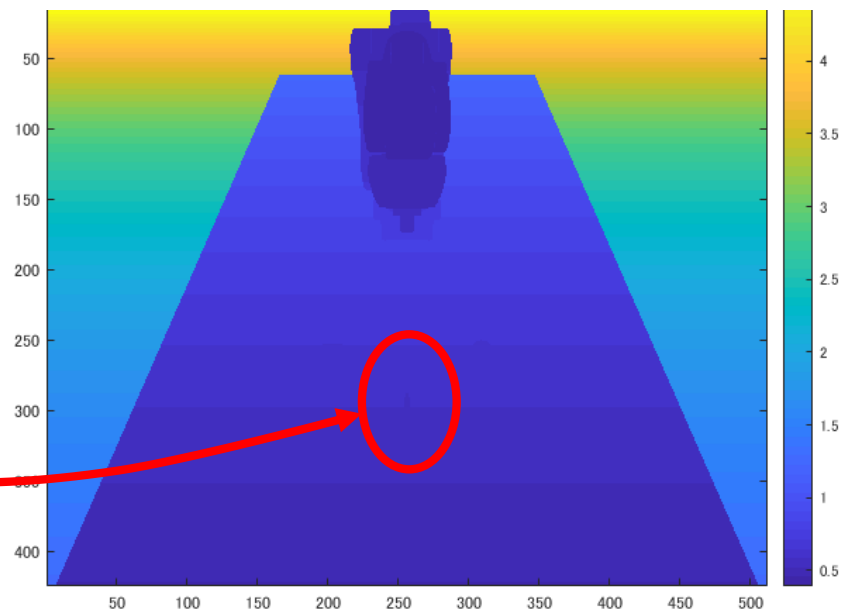


Computer Vision Toolbox™

- RGBDセンサによる、RGB画像と深度画像の両データを活用



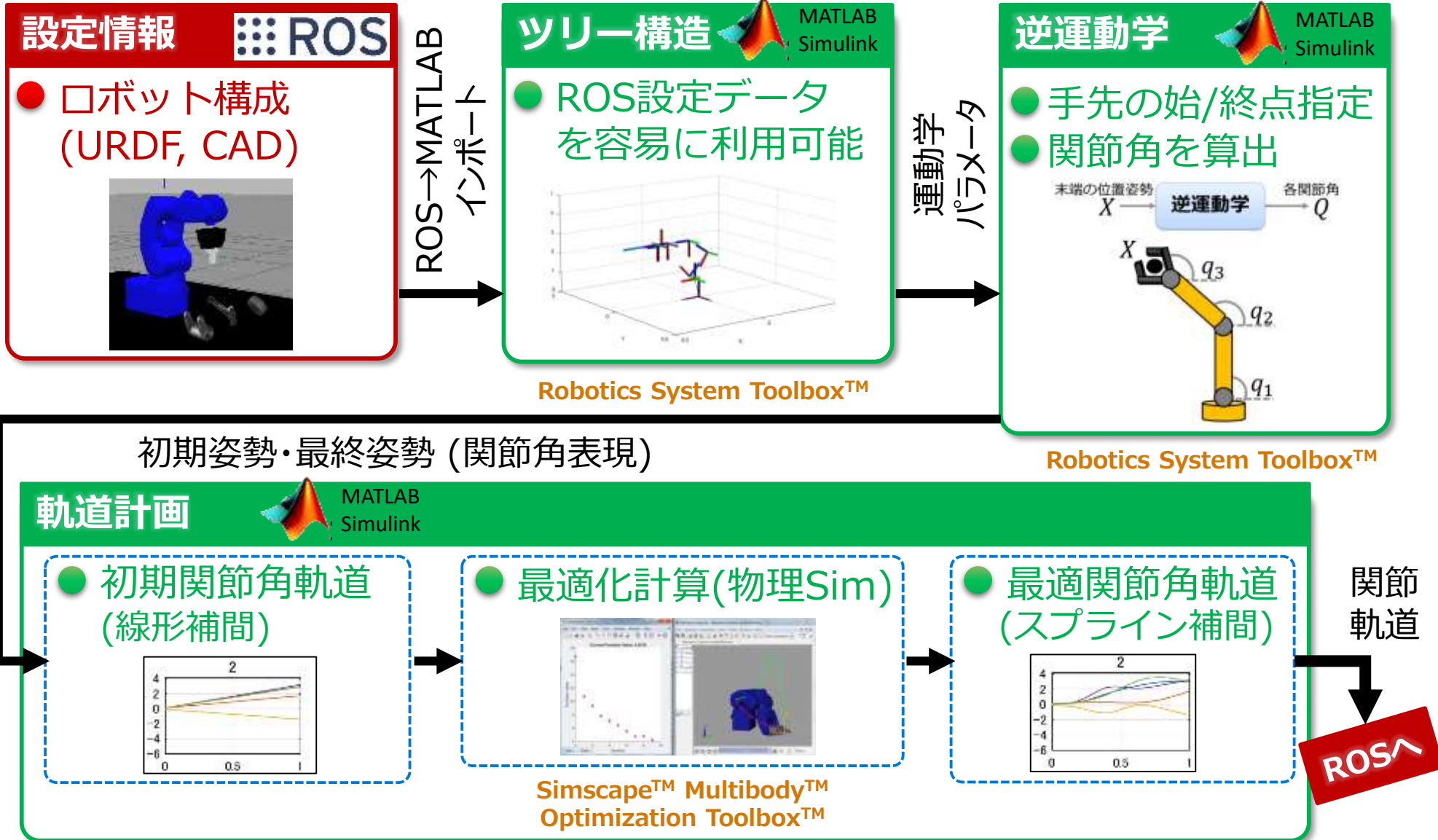
RGB画像で
物体検出



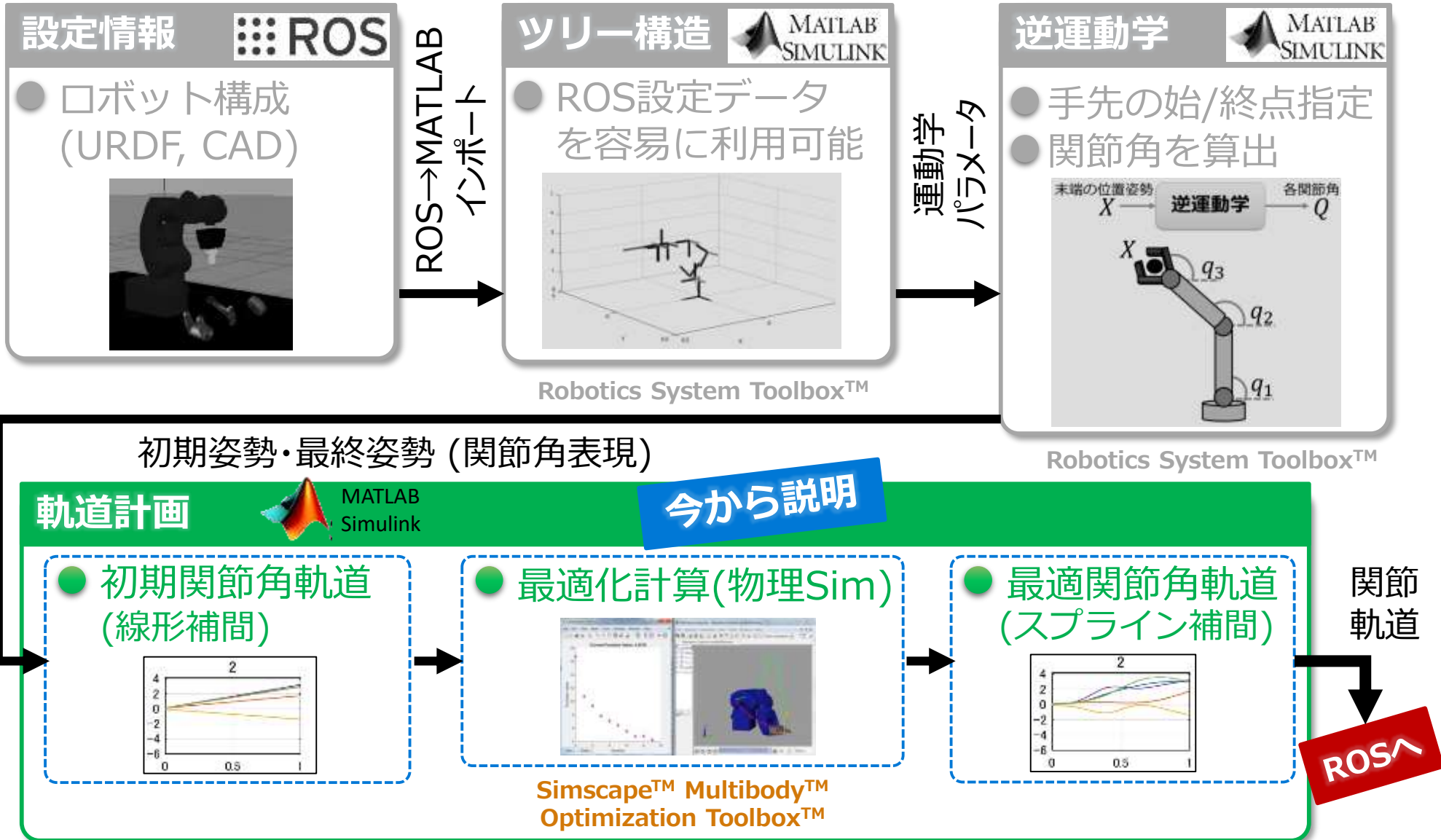
深度画像で
対応する位置の奥行きを取得

軌道計画のフロー

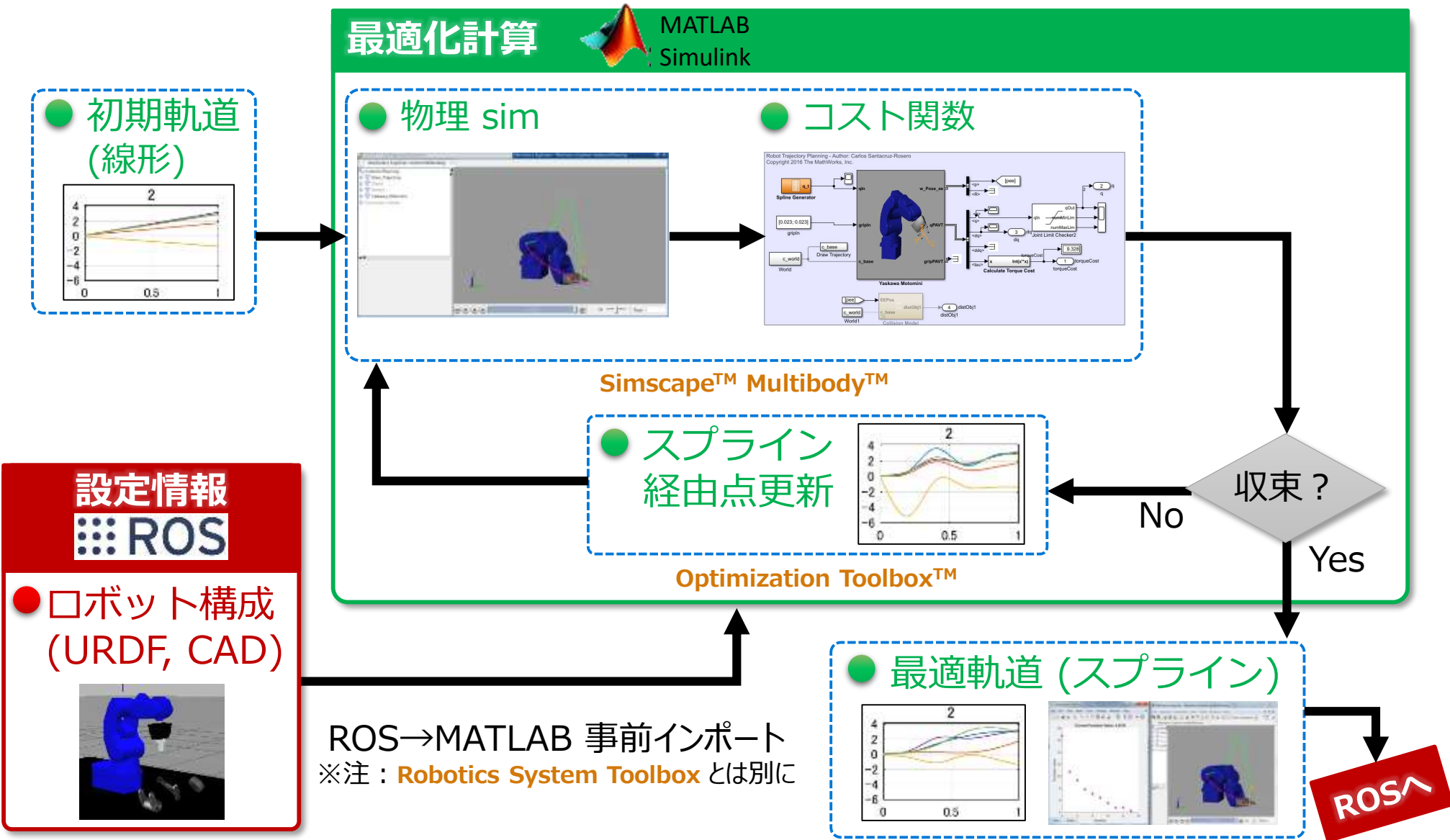
URDF: ロボットモデル記述フォーマット



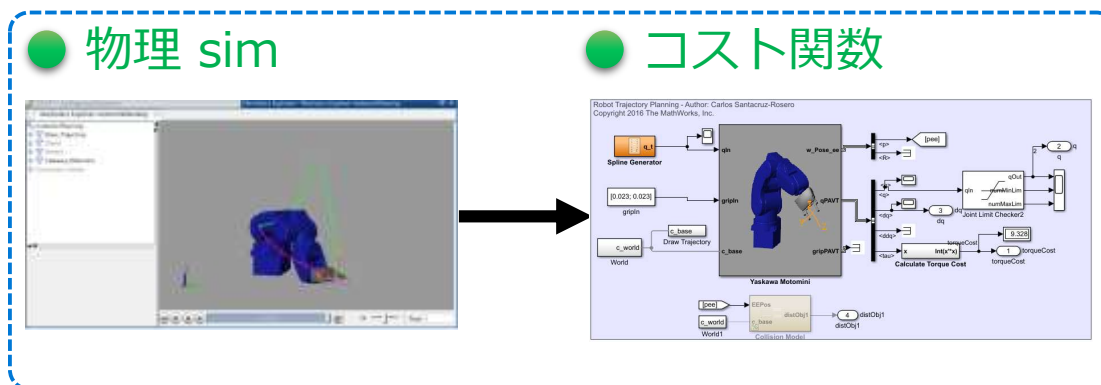
軌道計画のフロー：本日説明する内容



最適化部のフロー



最適化部のフロー：主要ポイントの説明



設定情報

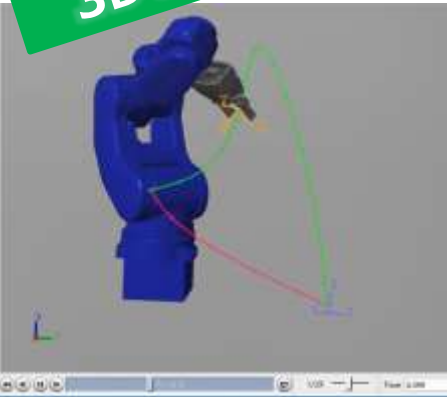
ROS

- ロボット構成 (URDF, CAD)

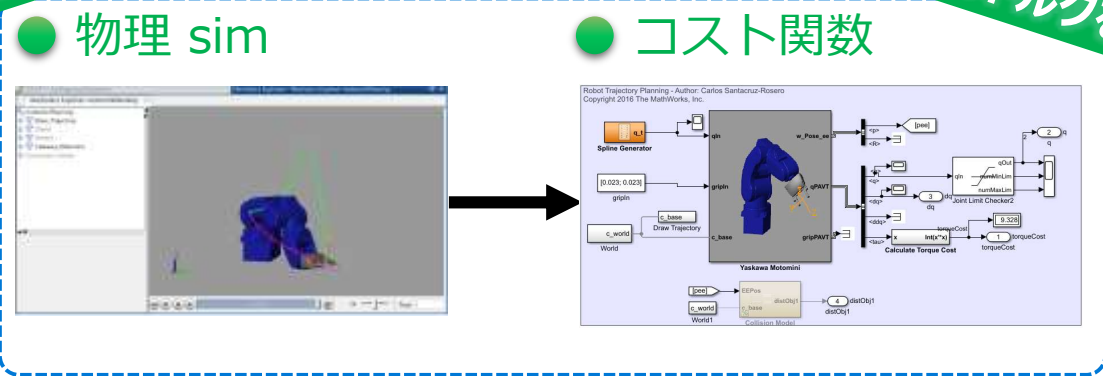
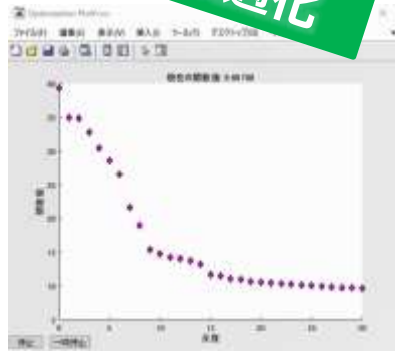


最適化部のフロー：主要ポイントの説明

逆動力学シミュレーション
3Dモーションの可視化



シミュレーションでトルク算出
総トルクをコストとし最適化



設定情報
ROS

● ロボット構成 (URDF, CAD)

CADインポート MATLAB Simulink

URDFインポート MATLAB Simulink

ROS情報のインポート機能により連携が容易

サンプルアプリ全体像：3. 音声認識

説明の流れ

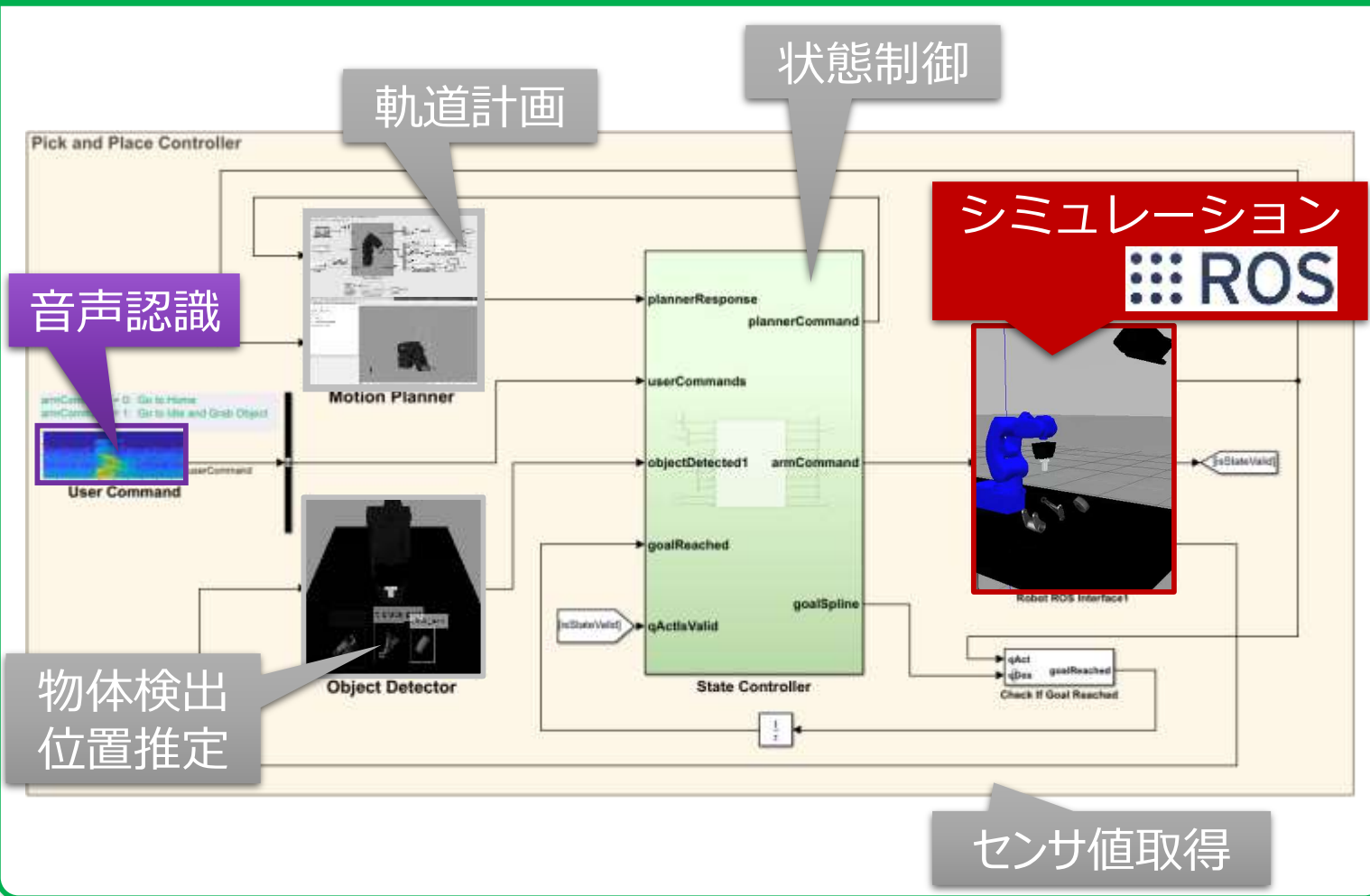
1. 物体検出
位置推定

2. 軌道計画

3. 音声認識

4. 状態制御

ブロック図 (Simulink モデル参照)



音声認識のフロー

CNN: Convolutional Neural Network (深層学習の一手法)

スペクトログラム変換

単語認識結果

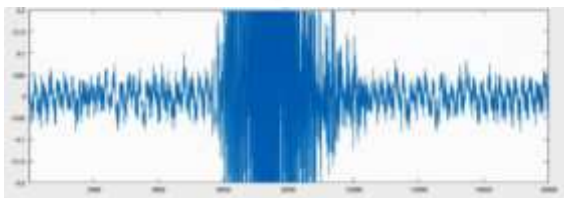
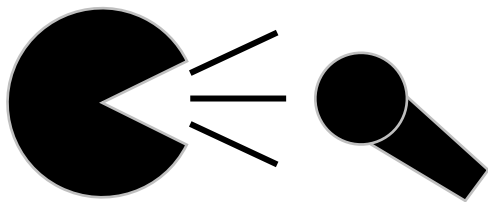
動作指示

状態制御へ

音声入力



- マイクで音声入力
- 音声信号を取得

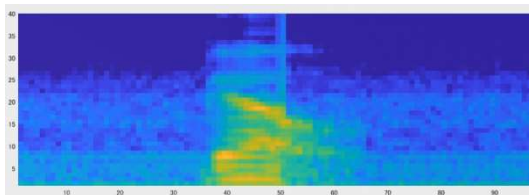


Audio Toolbox™

音声認識



- スペクトログラム画像
- CNN での単語認識



"go" "right" ...

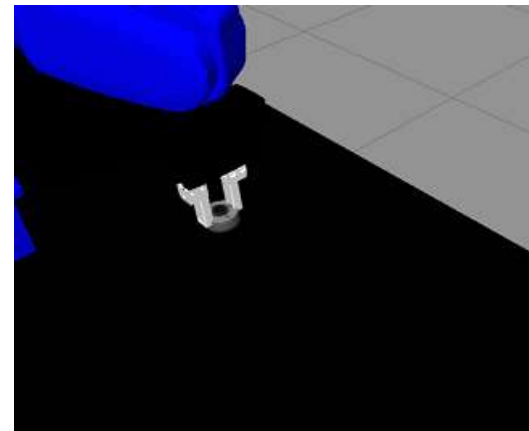
今から説明

Deep Learning Toolbox™
Audio Toolbox™

動作指令



- 指定されたワークを把持するよう動作指示生成



Robotics System Toolbox™

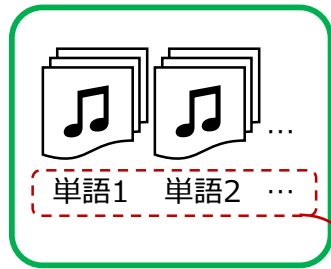
音声認識 ディープラーニング(CNN)の活用

CNN による音声認識のフロー



● 学習時

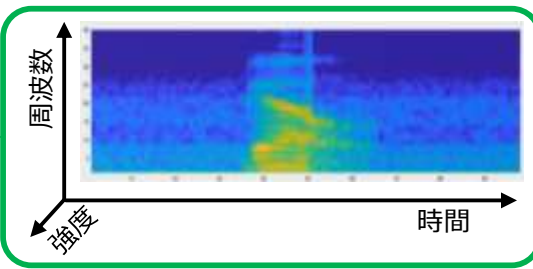
音声データの取得



Audio Toolbox™

変換

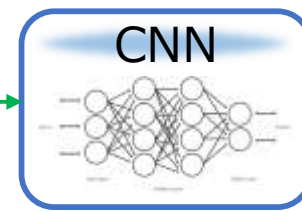
スペクトログラム画像



Audio Toolbox™

入力画像

特徴抽出 + 学習



Deep Learning Toolbox™

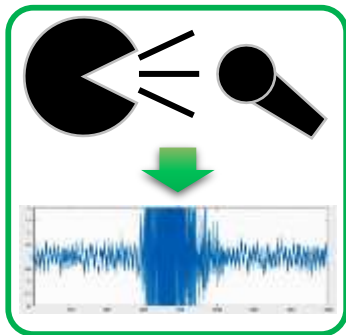
ラベル

学習済モデル

認識で利用

● 認識時

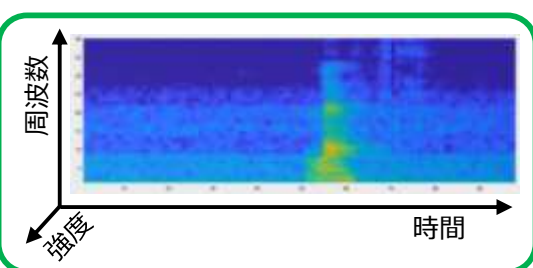
音声の入力



Audio Toolbox™

変換

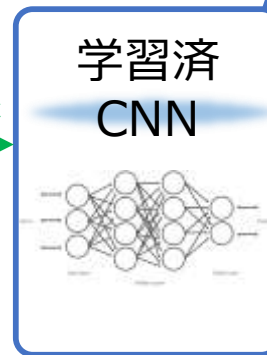
スペクトログラム画像



Audio Toolbox™

入力画像

特徴抽出 + 分類



Deep Learning Toolbox™

単語認識

動作指令: 開始、停止
ワーク指定: 左、中央、右

動作指示生成



状態制御へ

サンプルアプリ全体像：4. 状態制御

説明の流れ

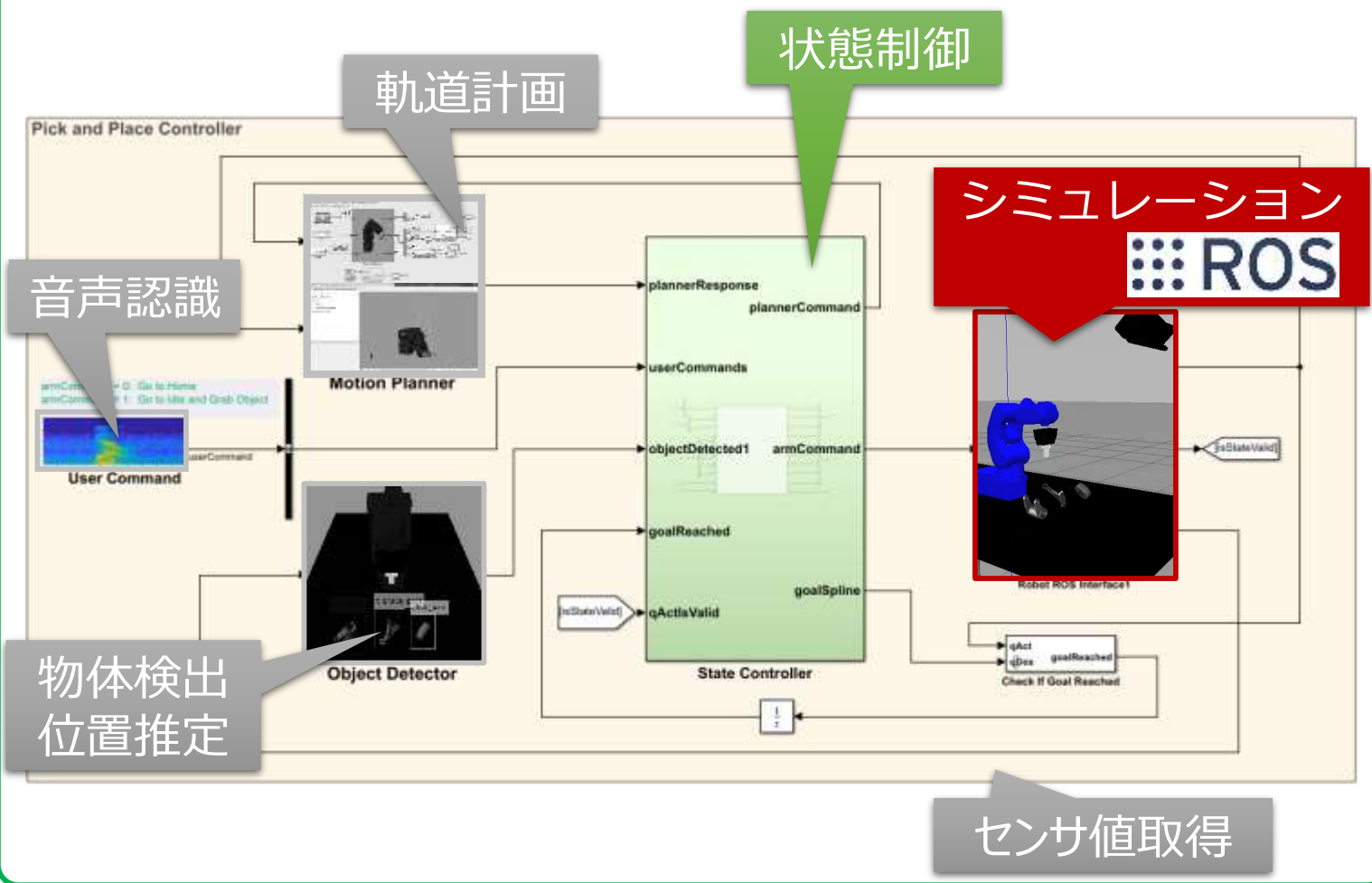
1. 物体検出
位置推定

2. 軌道計画

3. 音声認識

4. 状態制御

ブロック図 (Simulink モデル参照)



状態遷移

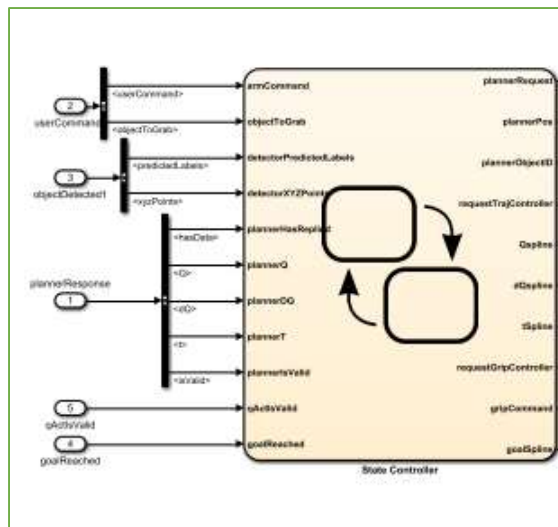
状態遷移による各コンポーネントの制御



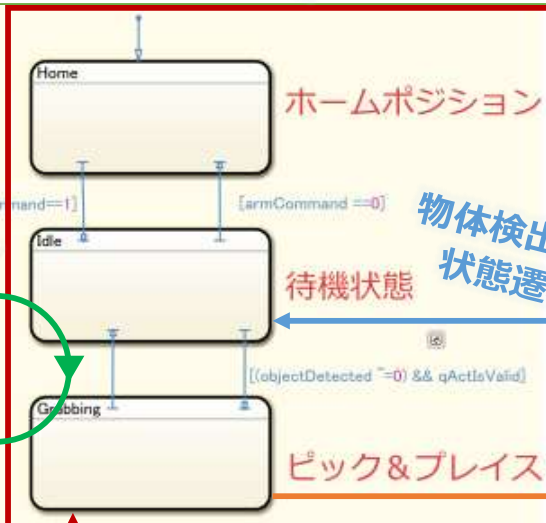
Stateflow®

● 自律制御アームロボットの状態管理

画像情報 :: ROS

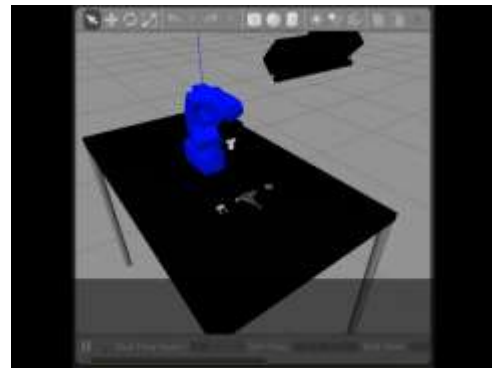


物体検出 & ピック&プレースのループ

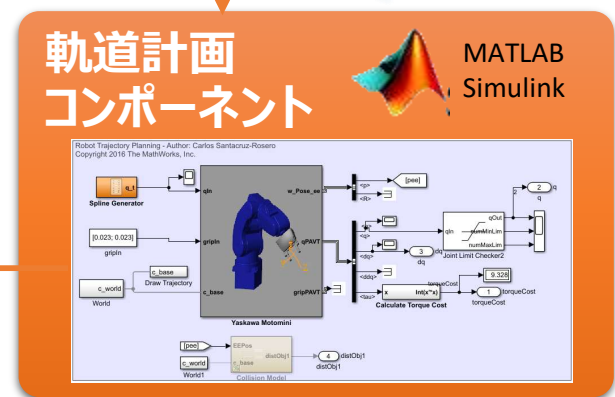


物体検出時に状態遷移

物体位置を基に軌道計画



ROS
ピック&プレース完了通知



関節角軌道開閉コマンド :: ROS

アウトライン

1. モチベーション

Robotics System Toolbox とは



ROS-Industrial について



ROS+MATLAB 導入のメリット



2. サンプルアプリ

ピック&プレースアプリ概要



各機能説明

3. ユーザとしての所感

良かった点

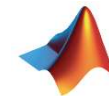


気になった点



要望

YASKAWA



MATLAB/Simulink



ROS



GAZEBO

良かった点

- 高度な画像認識や音声認識等高度な機能との連携が容易
→ ROS 単体では MATLAB ほど容易には扱えない
- URDF, TF 等周辺ツールのIOにも対応しておりROSとの親和性が高い
- シーケンサやブロック化のGUIは StateFlow や Simulink 等に軍配
- Example ベースでの開発ができたのでプロトタイプの早期立上げを実現

気になった点

- 処理に時間がかかる → Coder による高速化も可
- ロボットを変更した際にチューニングを要する箇所が分散している
→ ROS MoveIt! なら Setup Assistant ツールで一括設定が可能
- 機能によってはツールボックス別にロボットモデルを読み込む必要あり

こんなことができれば嬉しい

- MATLAB のモータ等のモデルを Gazebo プラグインとしてインポート
- Windows 対応版 ROS と MATLAB が連携する事例を見たい
→ 現状は ROS が VM 上の Linux で動作する場合のチュートリアルのみ
- ROS 2、V-REP にも対応を！

YASKAWA



MATLAB/Simulink



ROS



GAZEBO

以下、参考資料

YOLOv2 ラベル+バウンディングボックスの学習

学習データの準備



- MATLAB からワーク位置をランダム配置
- 様々な姿勢ワーク画像を自動取得
- バウンディングボックス+ラベルも自動作成

ROS シミュレータ



- MATLAB の指示に従いワーク再配置
- 画像を取得して MATLAB に送信

