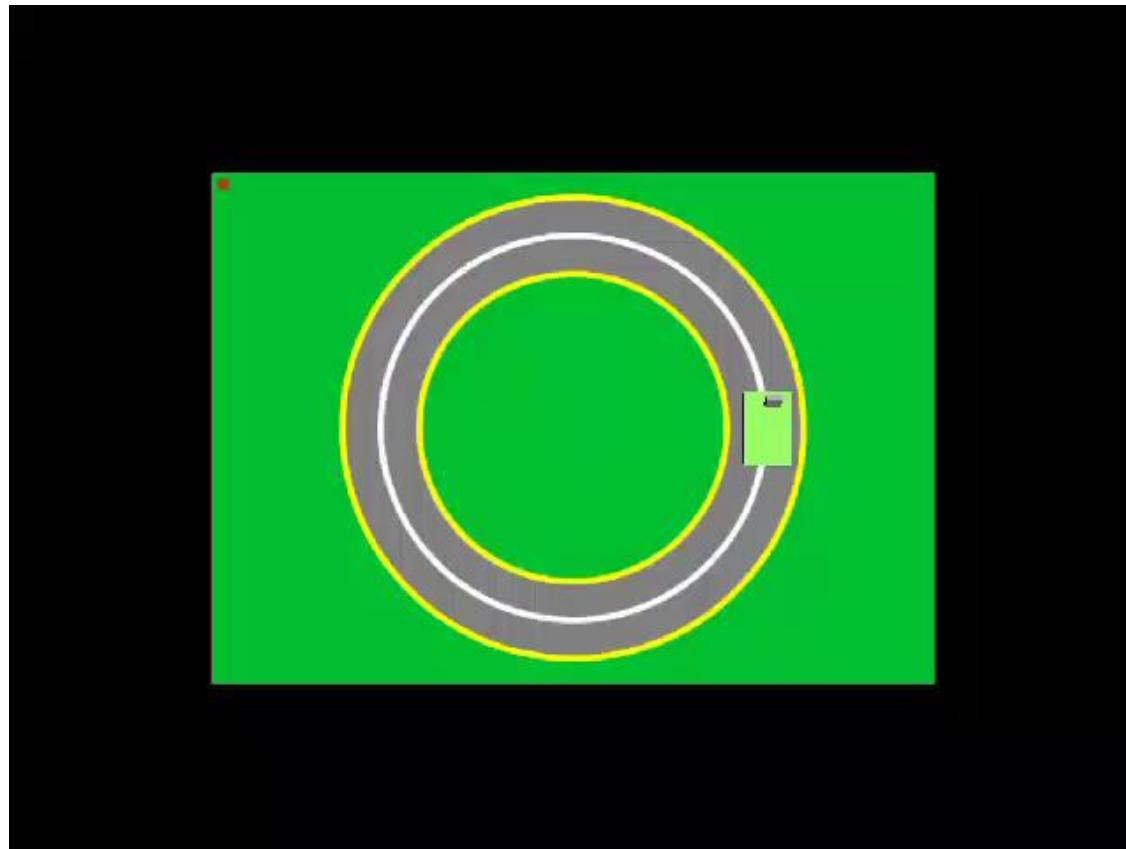


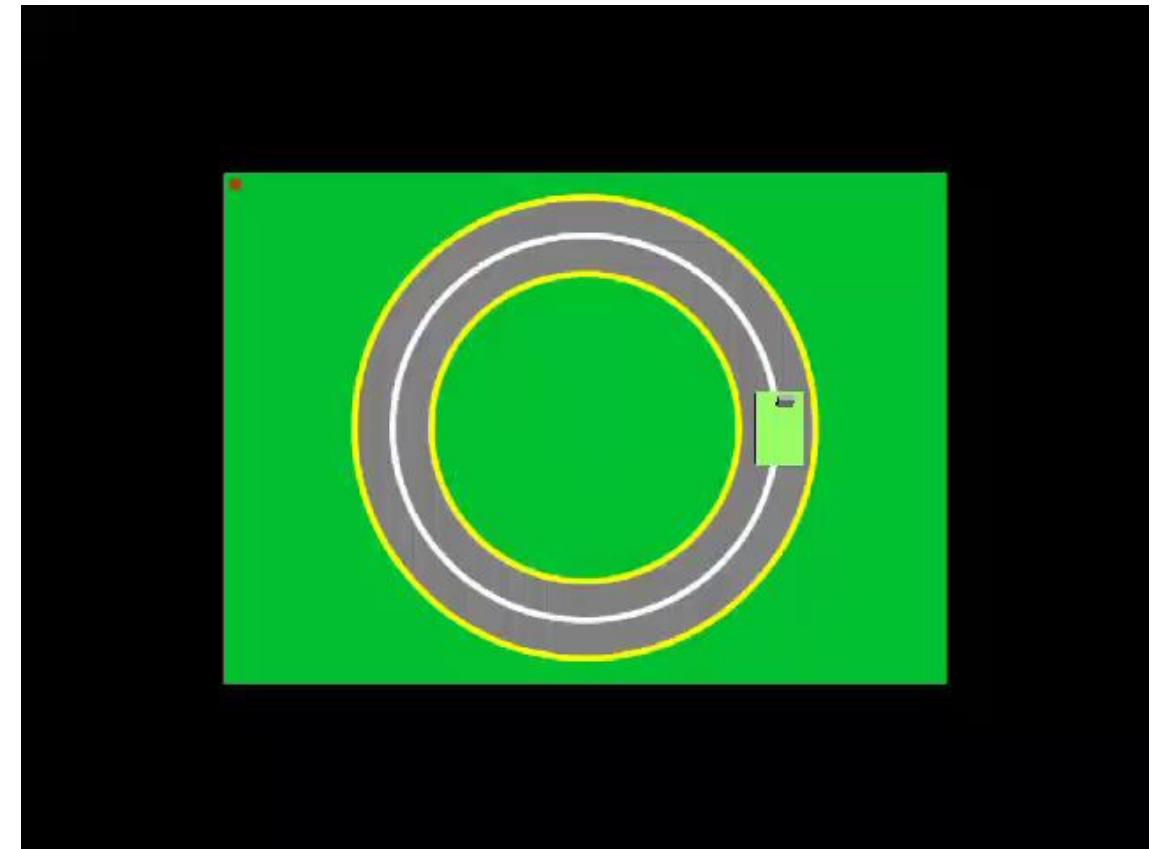
MATLAB®によるAIロボティクスワークショップ ～ディープラーニングによるライントレースロボット～

MathWorks

ライントレースロボットのデモ



失敗例
(脱線してしまう)



成功例
(ラインに沿って移動)

カメラ画像でライントレースロボットを実現しよう

目的：ライントレースロボット開発を通じて知能ロボットシステムの概念や勘所を習得する

- ライントレースとは？

- ロボットが床面に描かれたラインをセンサで読み取り、ラインに沿って走行すること

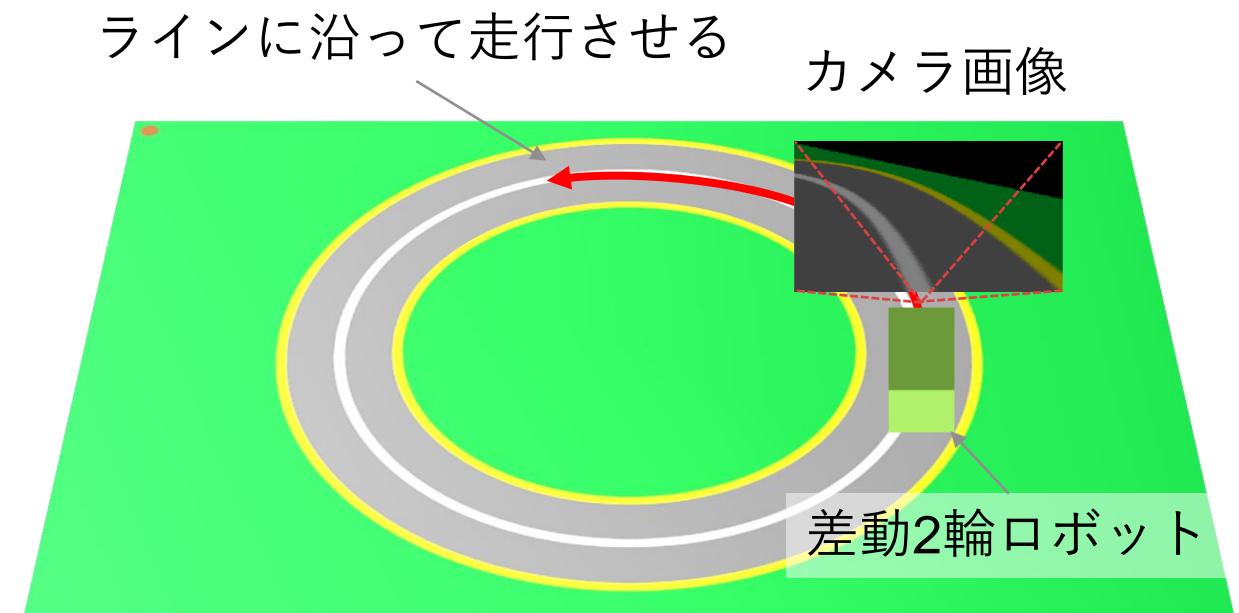
ライントレース

- ライントレースのチャレンジ

- ルールベースの画像処理アルゴリズムでは明るさなど環境変化に対してロバストなライン検出が難しい

- ディープラーニングによる
ライントレースの特徴

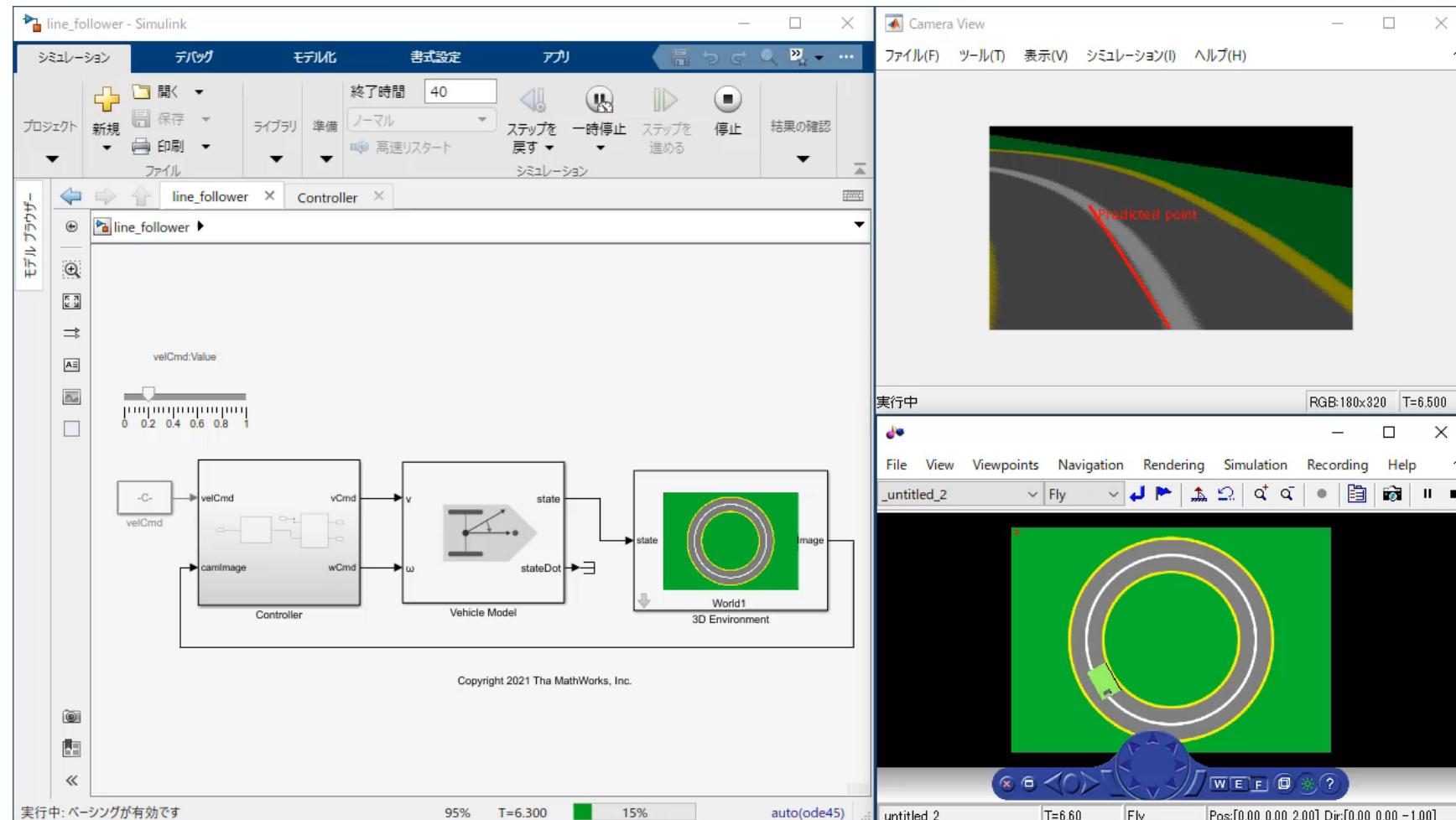
- 環境変化に対して柔軟にライン検出が可能
 - 一方、学習画像の収集やアノテーション、学習パラメータの最適化が必要



タスクの概要

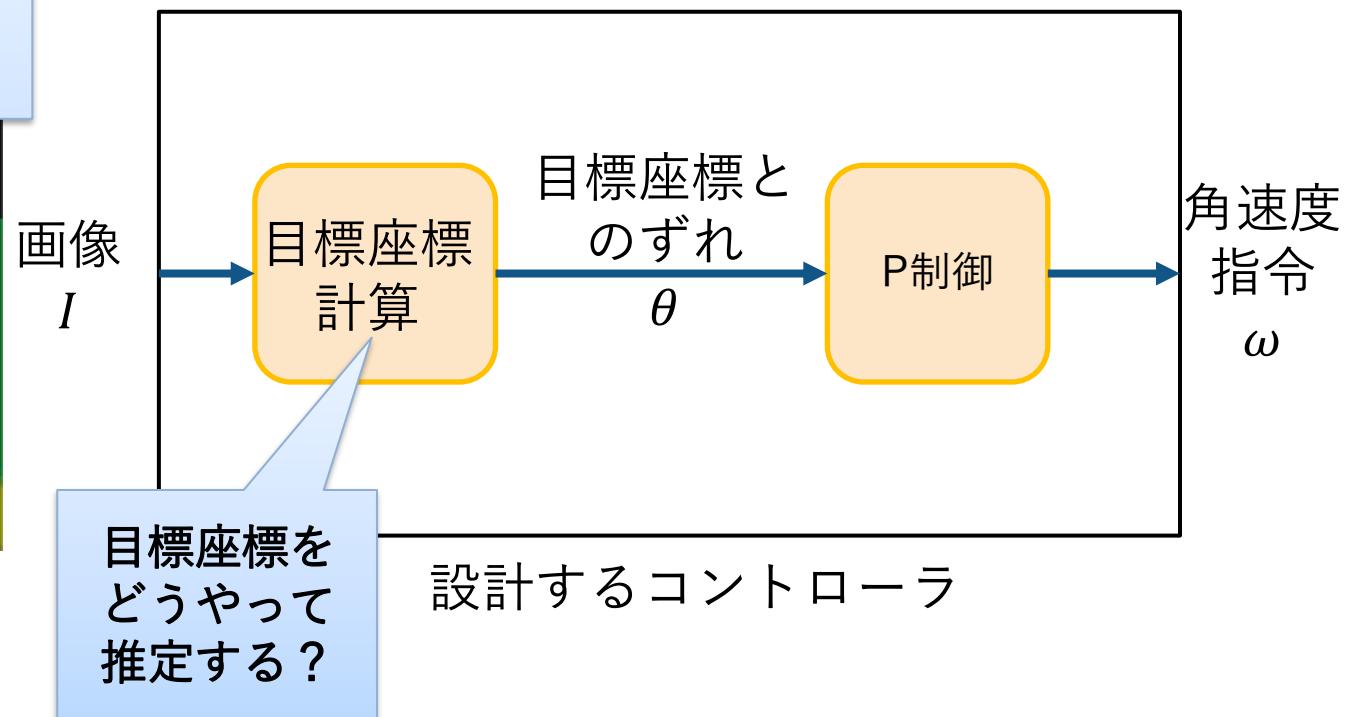
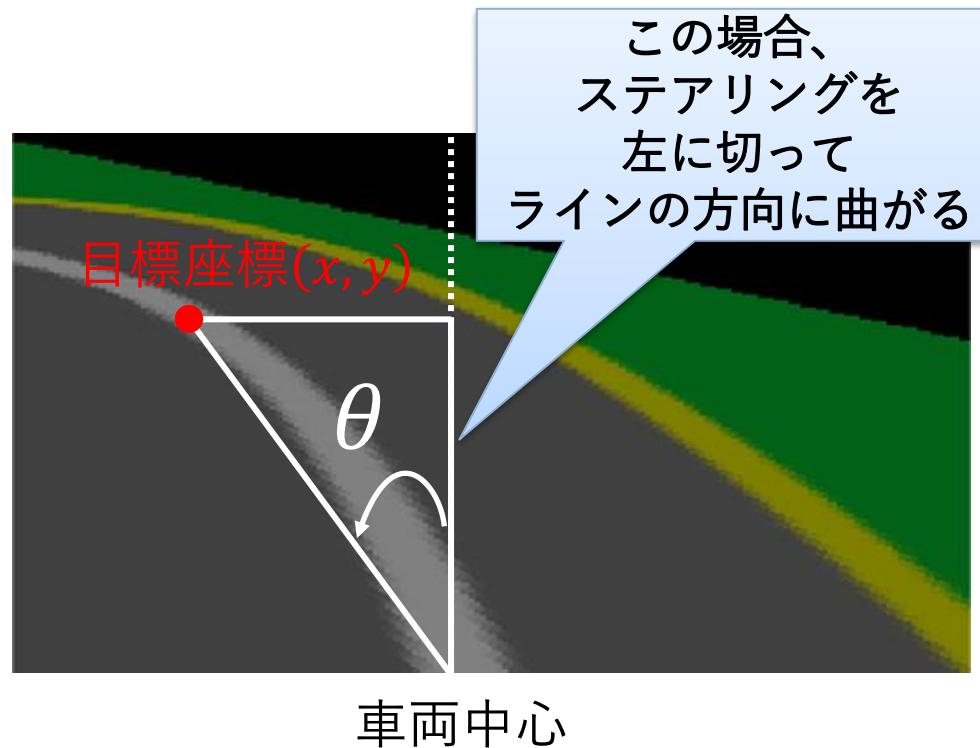
ディープラーニングによるライントレースの実現例

ゴール：カメラ画像のみを用いてライントレースを実現する

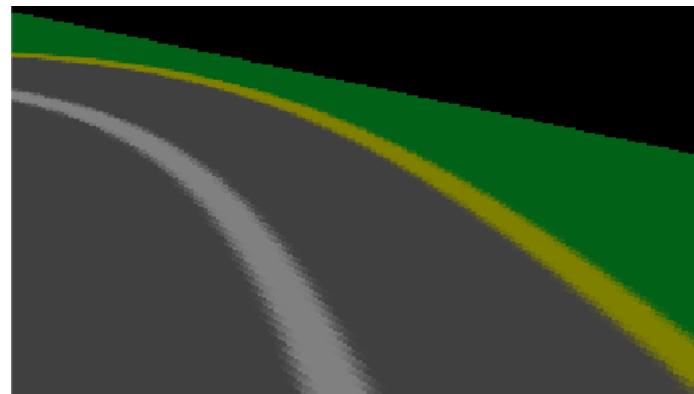


画像によるライントレースの考え方

- 車両中心とライン上の目標座標のずれ量 θ を検出
- ずれ量 θ がゼロになるようにステアリングを切る



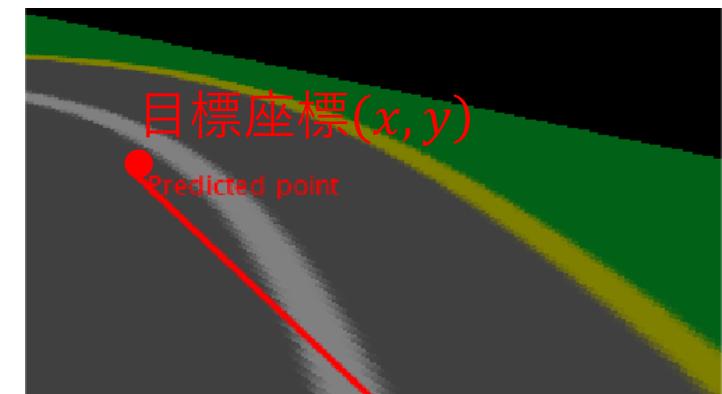
ディープラーニングによって目標座標を予測



カメラからの画像データ
($180 \times 320 \times 3$)



ディープラーニング



目標座標(x, y)
(1×2)

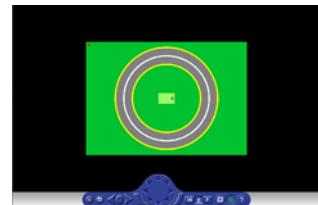
目標座標をディープラーニングモデルを使用して予測

なぜディープラーニングを使うか？

高次元の画像データから低次元の目標座標を出力するため
ディープラーニングによるモデル化が最適

アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー

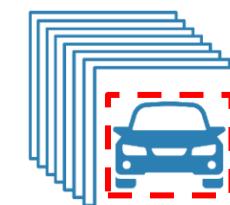
カメラのシミュレーション
で学習画像生成



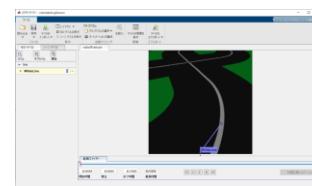
データセットの
準備



ラベリング

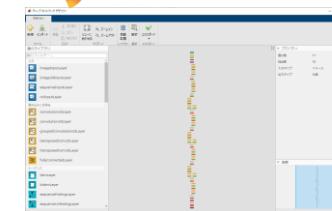


目標位置と
学習用画像



ビデオラベラー

回帰ネットワークモデル

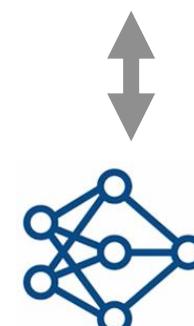


ネットワークの設計

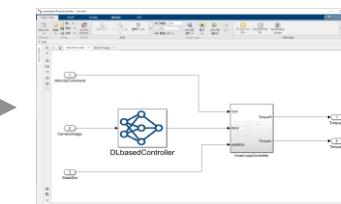


学習

学習済モデル



統合



システム
シミュレーション



実機実行

ワークショップの準備

1. "MATLAB R2021a" を起動



2. デモファイルのあるフォルダに移動

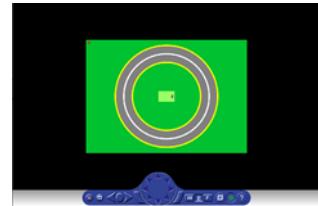
```
>> cd c:\ai-robotics-workshop
```

3. プロジェクトファイルを開く

```
>> ai_robotics_workshop.prj
```

アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー

カメラのシミュレーション
で学習画像生成



データセットの
準備

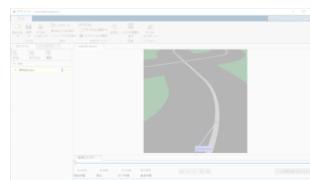


ラベリング

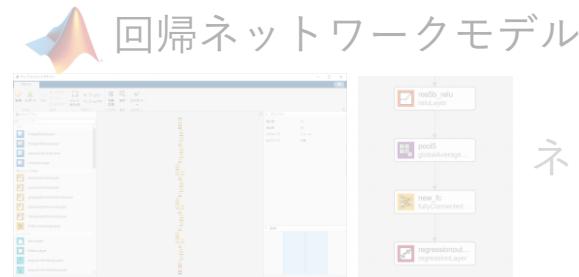


学習

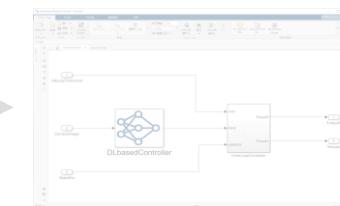
目標位置と
学習用画像



ビデオラベラー



学習済モデル



統合



実装

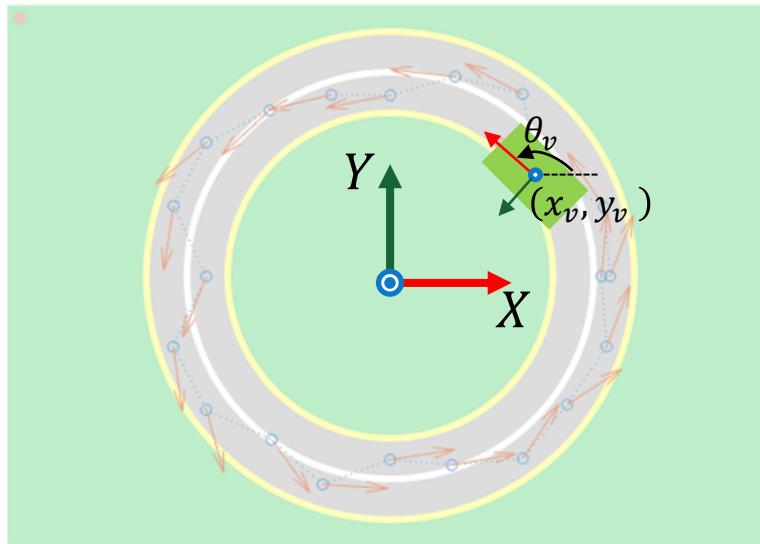


実機実行

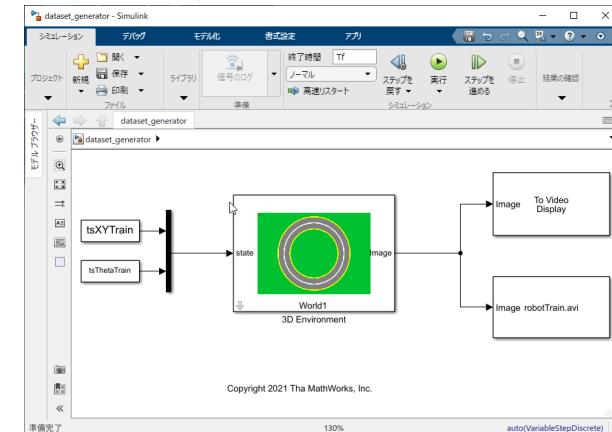
学習用の動画を生成

- ディープラーニングの学習には様々な角度で撮影した画像が大量に必要
- 車両位置や姿勢をランダムに生成し、学習用の動画ファイルを作る

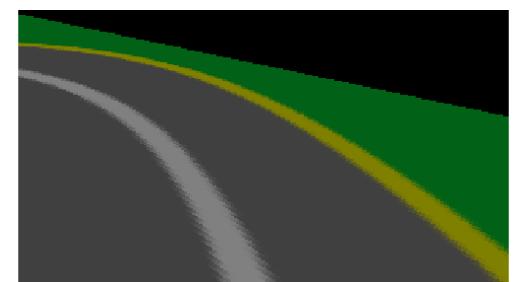
車両位置・姿勢 (x_v, y_v, θ_v) を
ランダムに生成



それぞれの位置で
カメラ画像を
シミュレーション



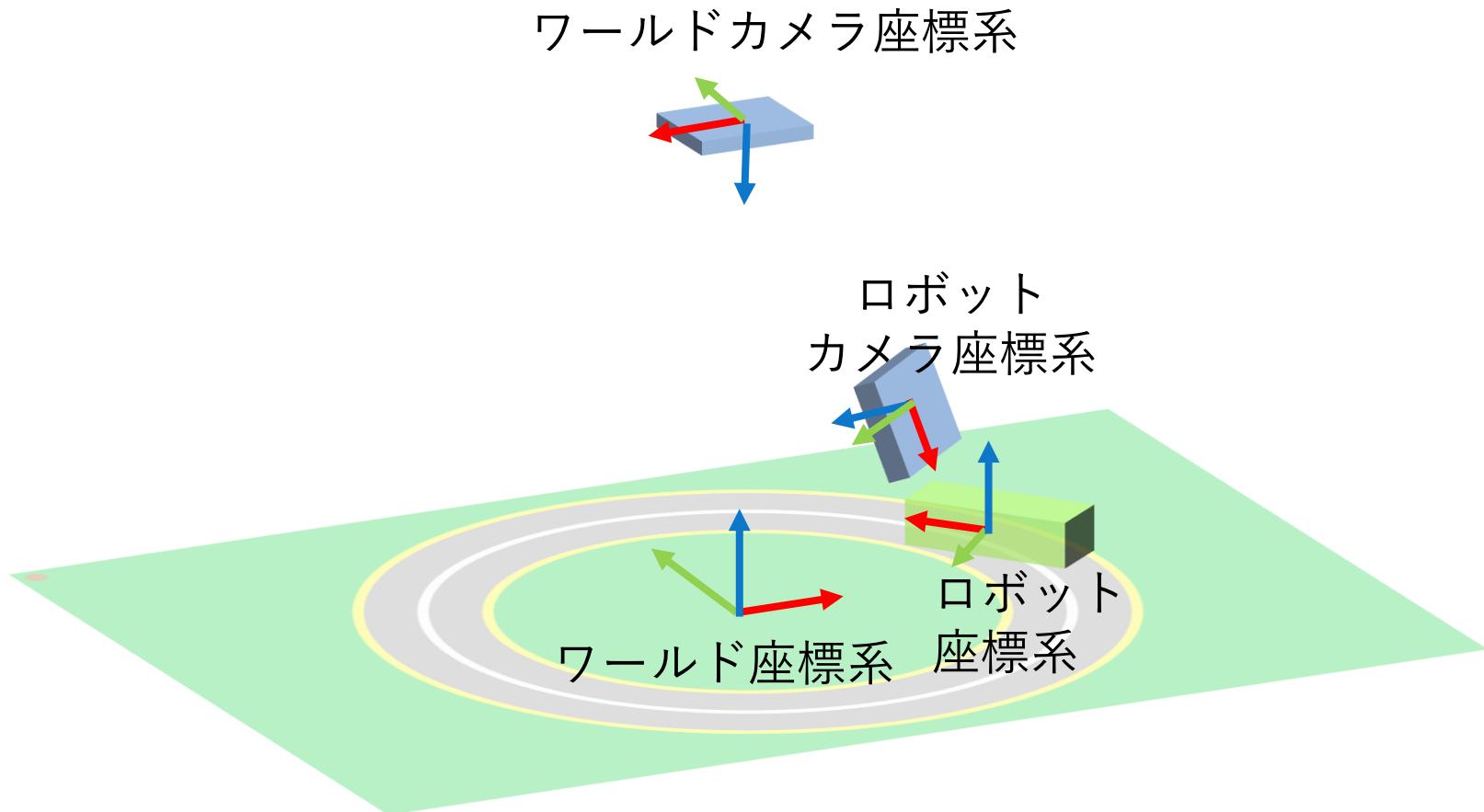
動画ファイルとして生成



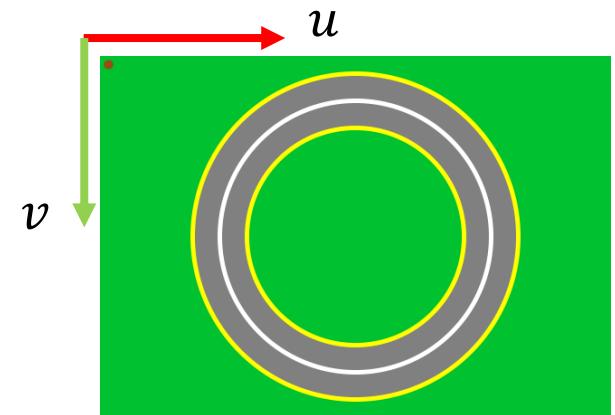
robotTrain.avi

補足：座標系

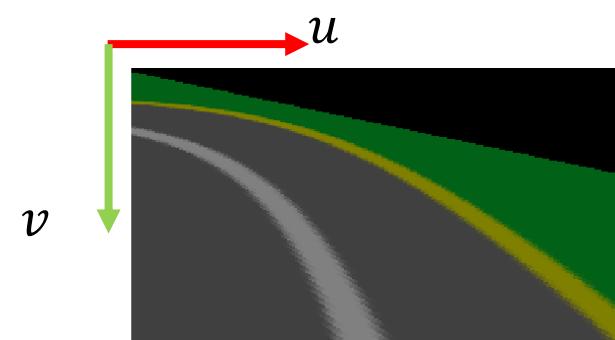
3次元座標系



画像座標系



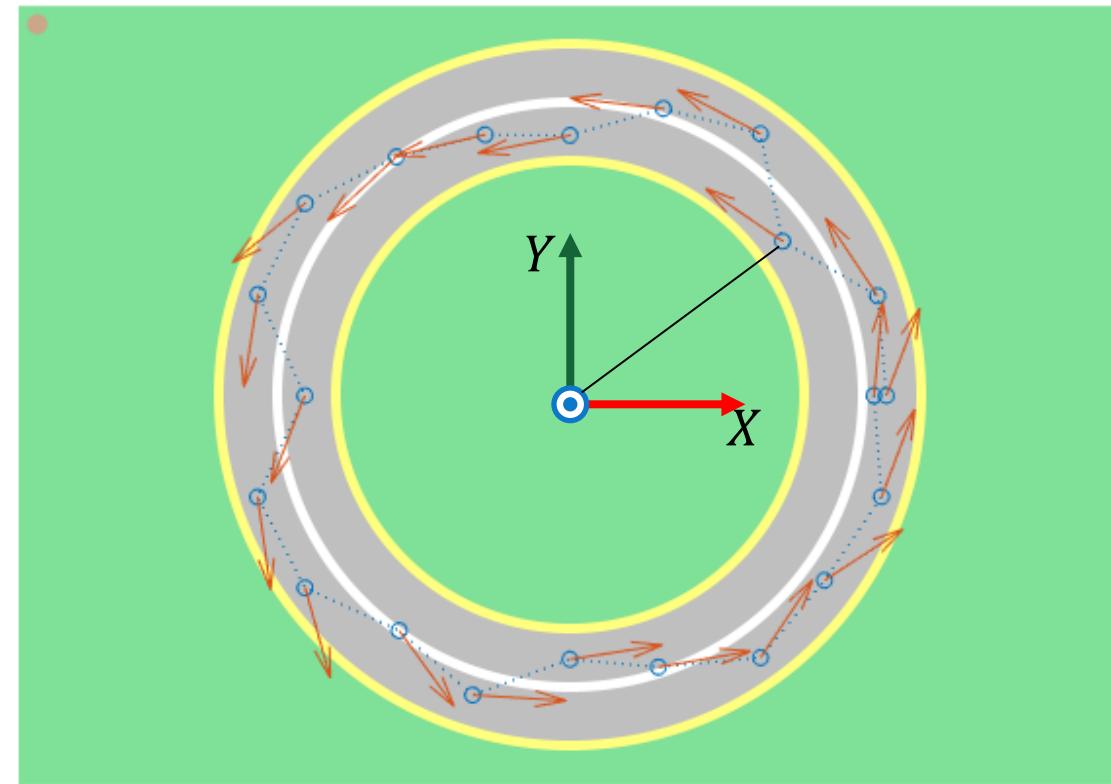
ワールドカメラ
画像座標系



ロボットカメラ
画像座標系

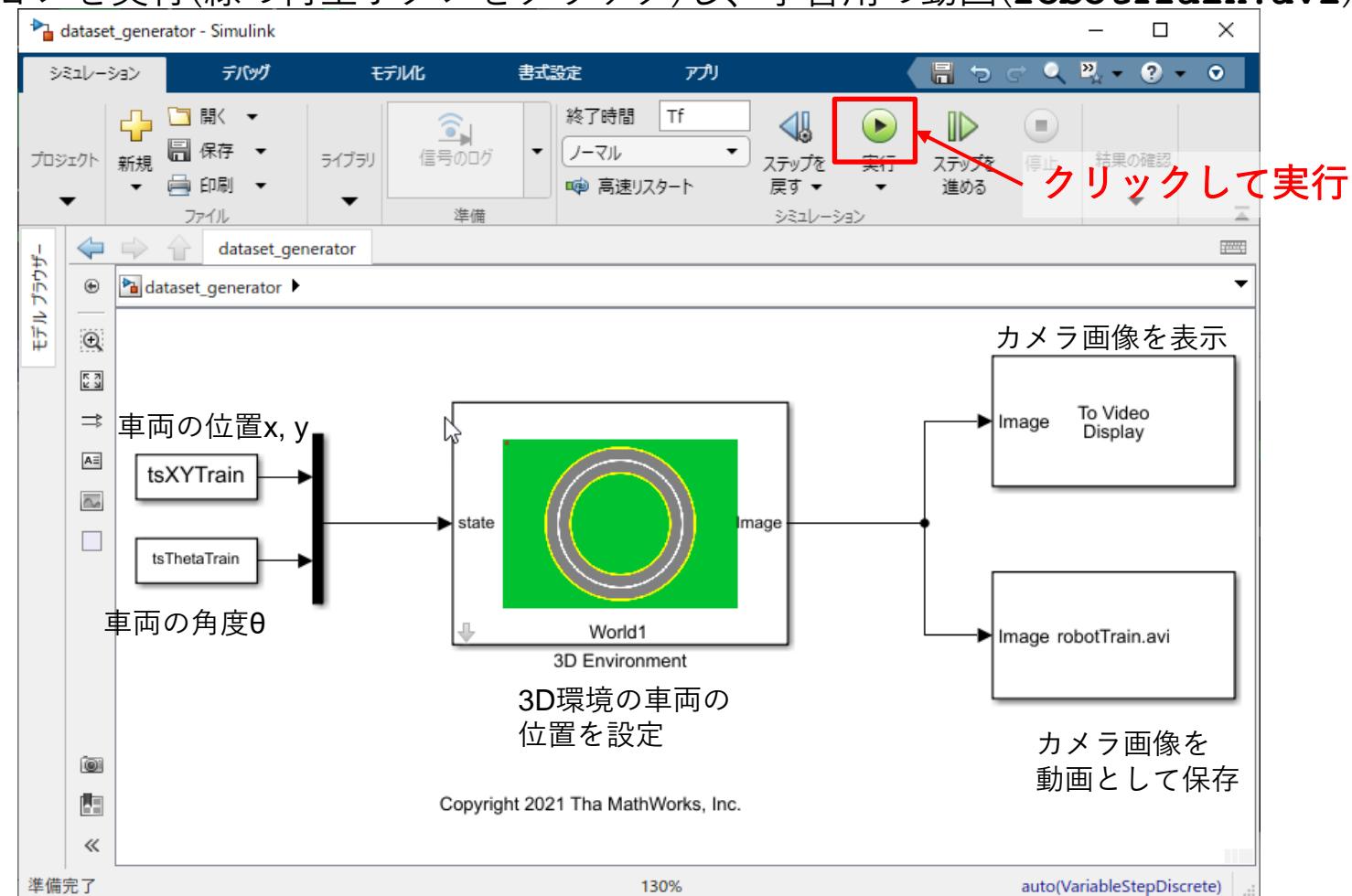
演習1. 学習用の動画を生成

1. MATLABコードを開いて実行し、ランダムに車両の位置や姿勢を生成する
`>> edit genCourseTraj_jp.mlx`



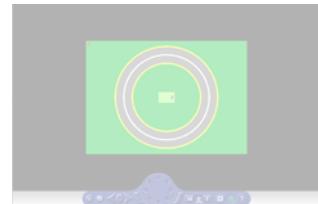
演習1. 学習用の動画を生成

1. 生成した位置や姿勢でカメラ画像をシミュレーションするモデルを開く
`>> dataset_generator.slx`
2. シミュレーションを実行(緑の再生ボタンをクリック)し、学習用の動画(`robotTrain.avi`)を生成



アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー

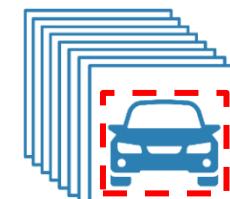
カメラのシミュレーション
で学習画像生成



データセットの
準備



ラベリング

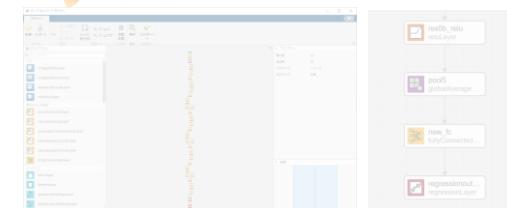


目標位置と
学習用画像



ビデオラベラー

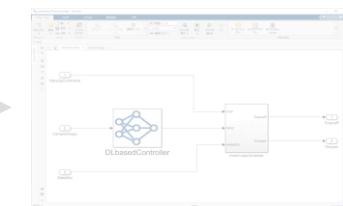
回帰ネットワークモデル



ネットワークの設計



学習済モデル



統合

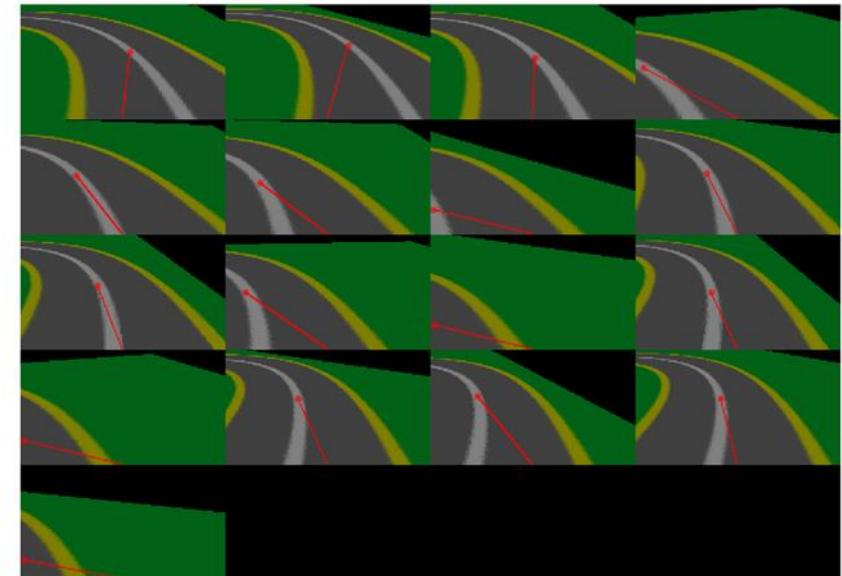
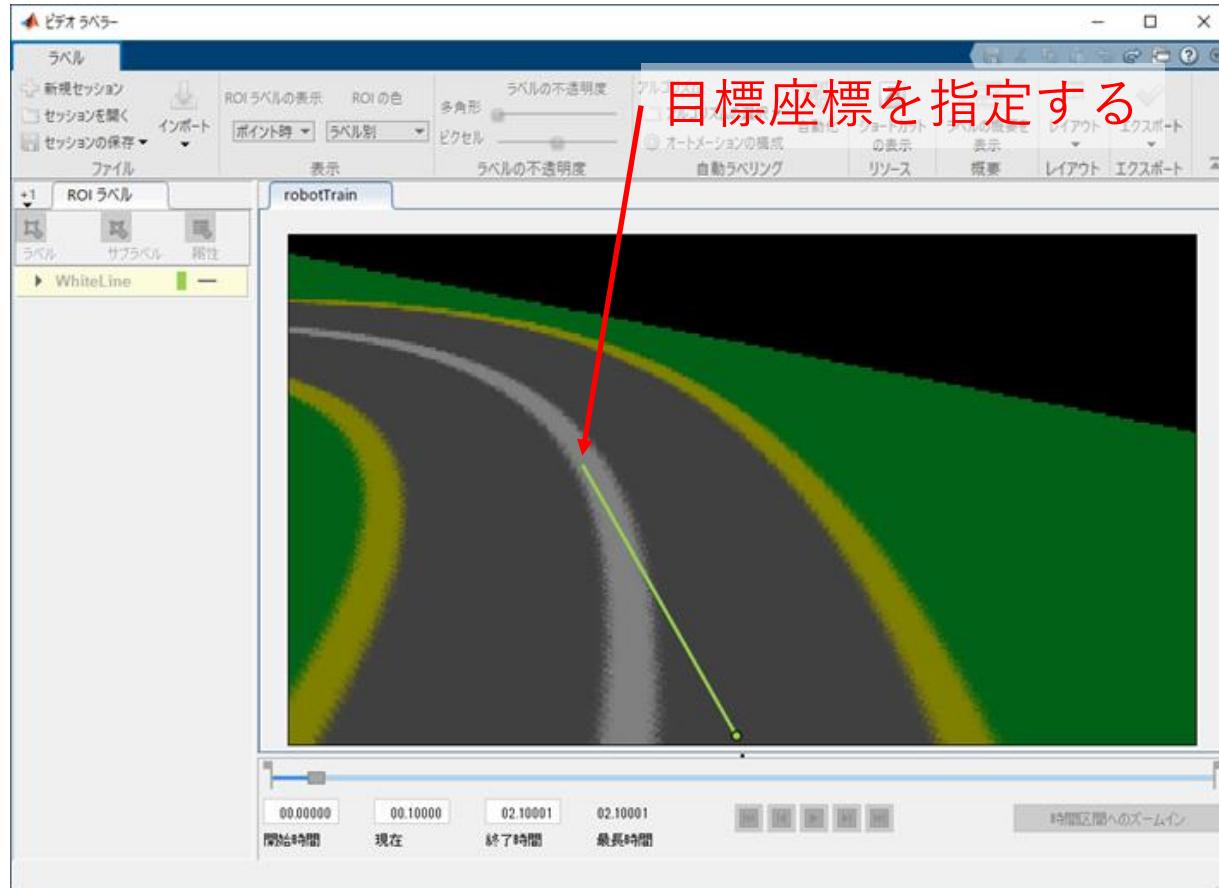
システム
シミュレーション



実機実行

動画のラベリング(アノテーション)

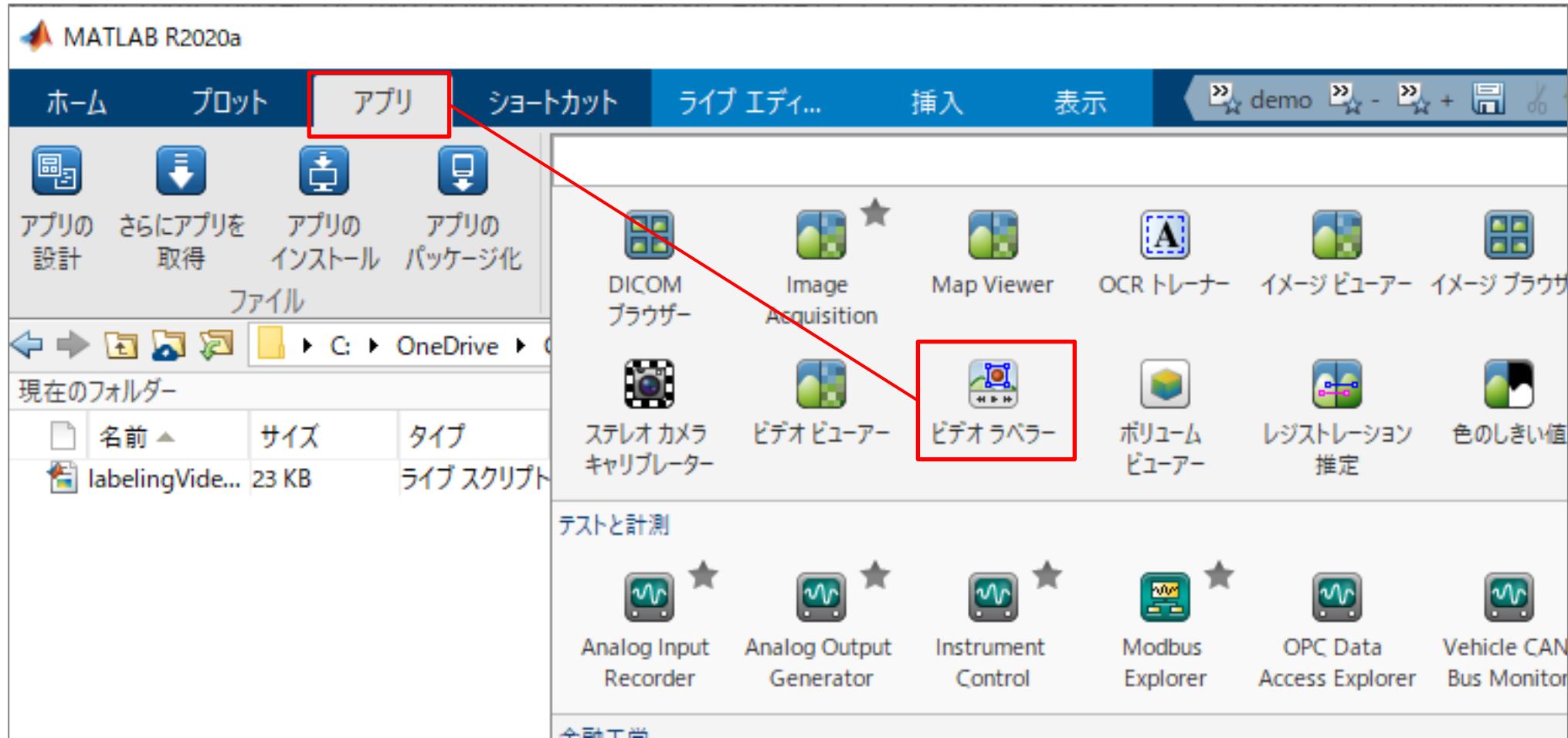
- ビデオラベラーで各フレームごとに「目標座標」のラベル付けし
学習用のデータセット(教師データ)を作成する



学習用のデータセット
(画像と座標がセットになったもの)

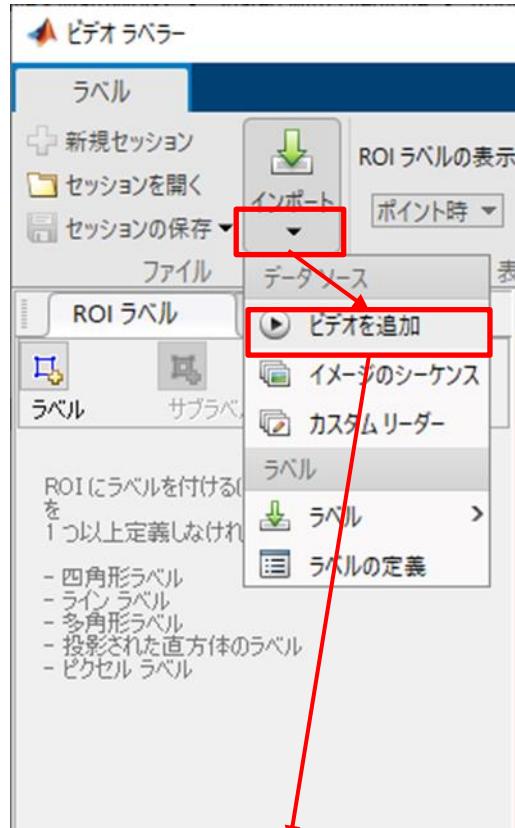
演習2. ビデオラベラーを使ってラベリング

1. ビデオラベラーを起動する



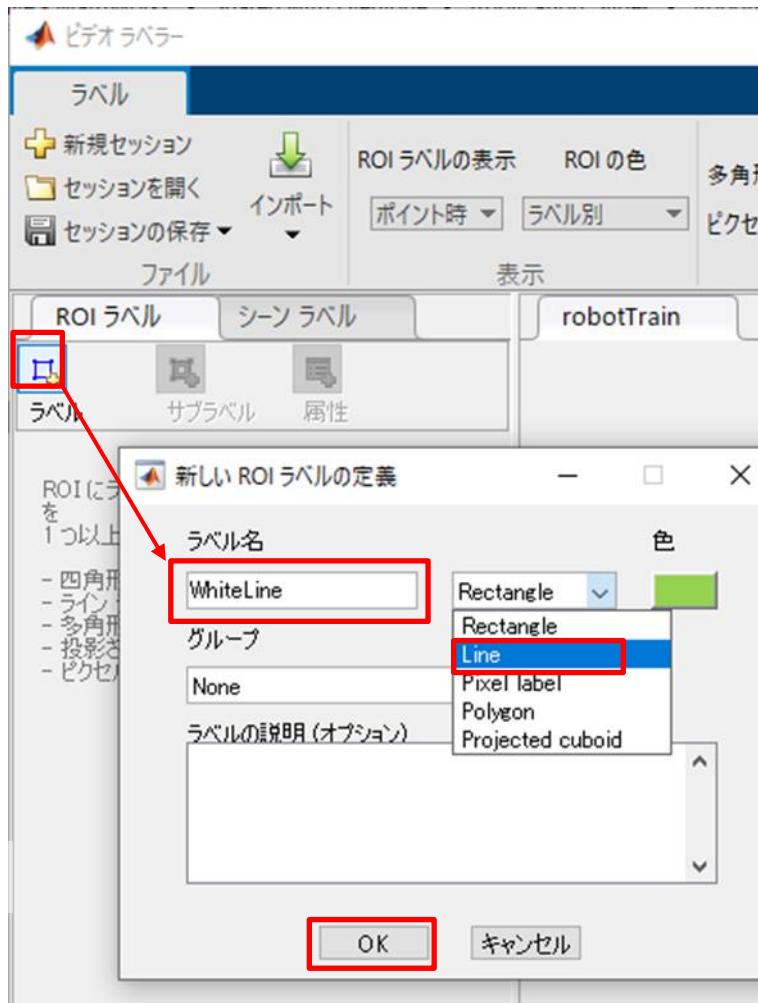
演習2. ビデオラベラーを使ってラベリング

2. 動画を読み込む



robotTrain.aviを開く

3. ラベルを定義する



4. 画像下から上に向かって目標位置の を20枚程度ラベリングする

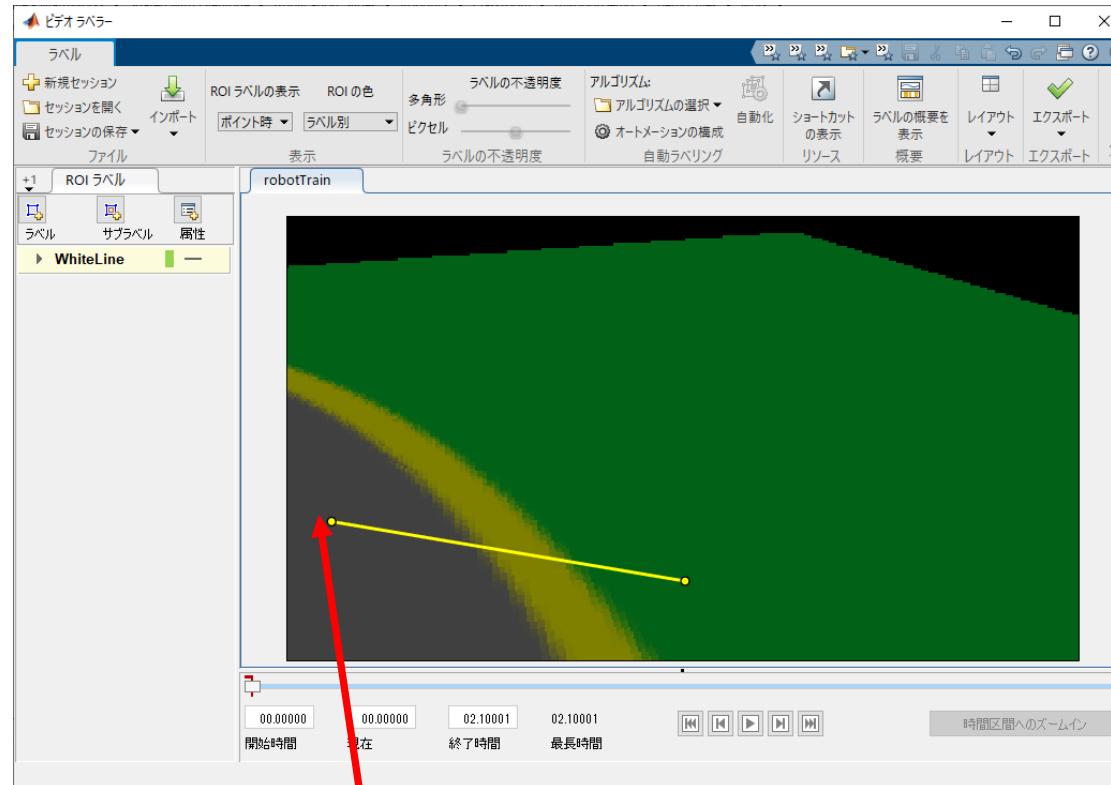


1. 画像の下側の左右中心付近をクリック
(注意：この座標は学習では使用されないが、
ラインのアノテーションという都合上必要)

3点以上の折れ線になった場合は
右クリックして削除して作り直す

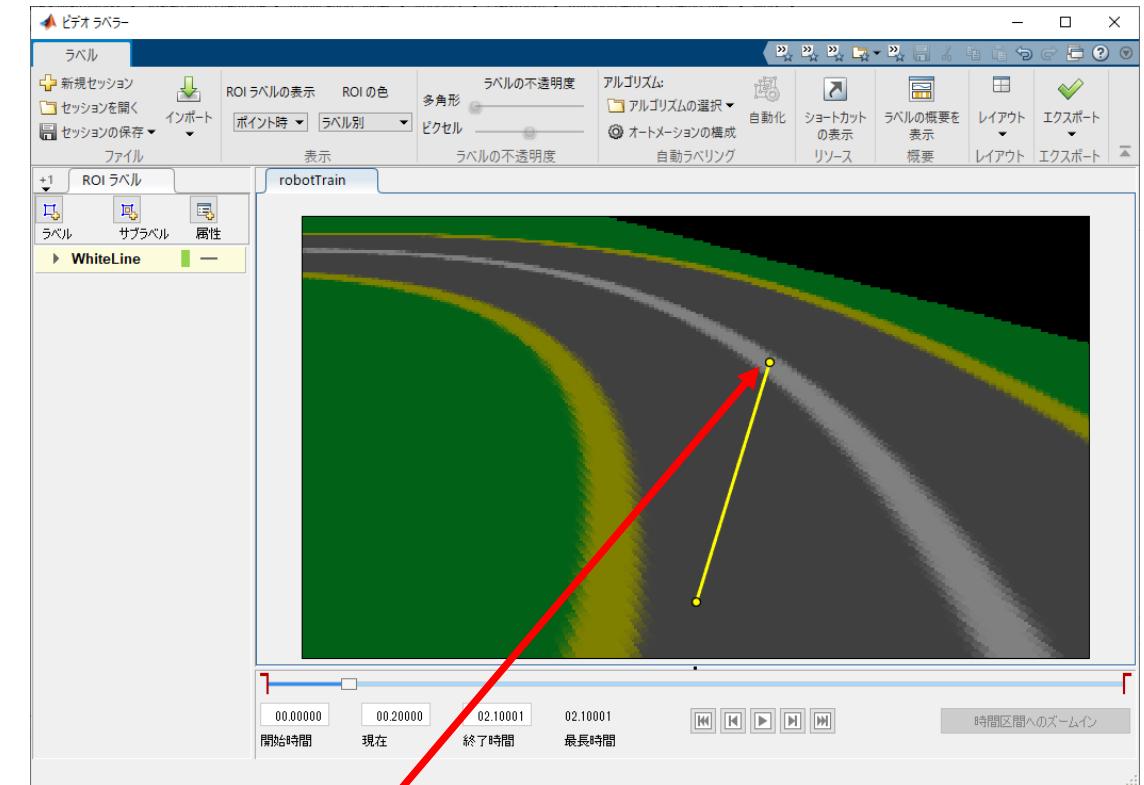
演習2. ビデオラベラーを使ってラベリング

ラベリング例1



白線が映っていないが、
車両が向かってほしい点をクリック
(白線が映ってなくても白線の方向に戻れる)

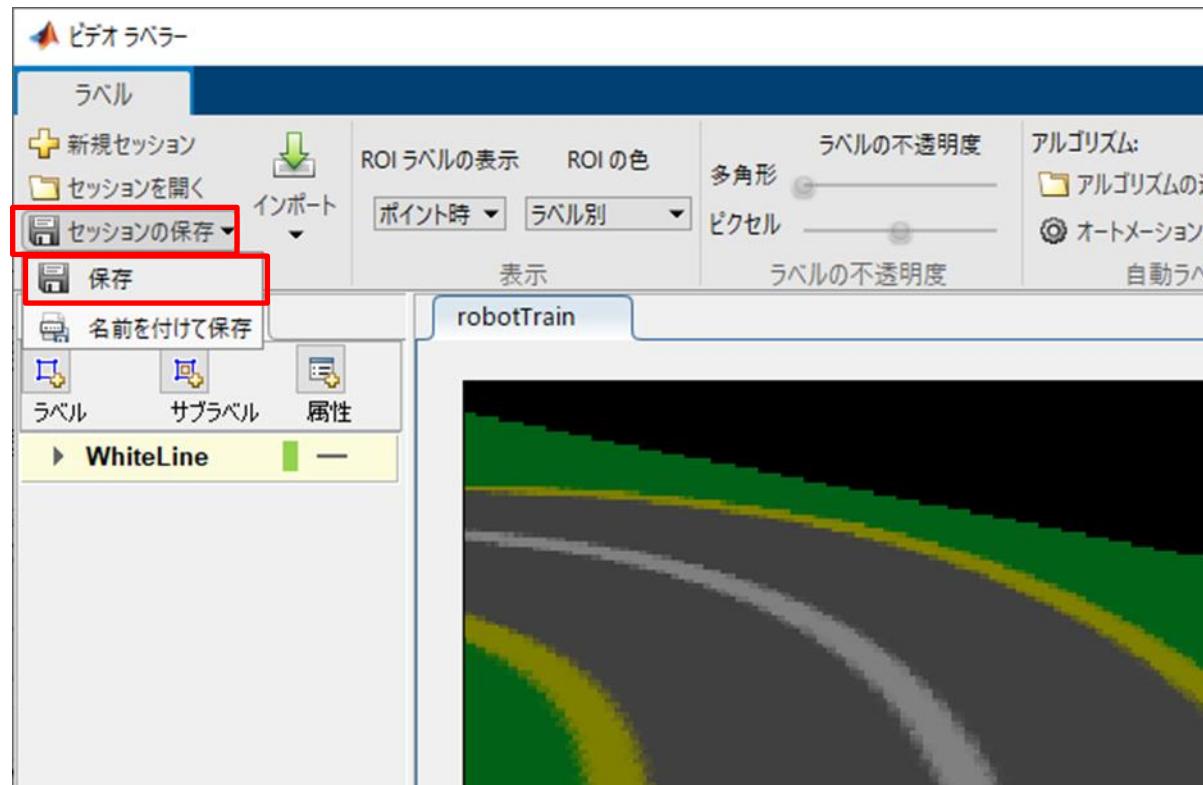
ラベリング例2



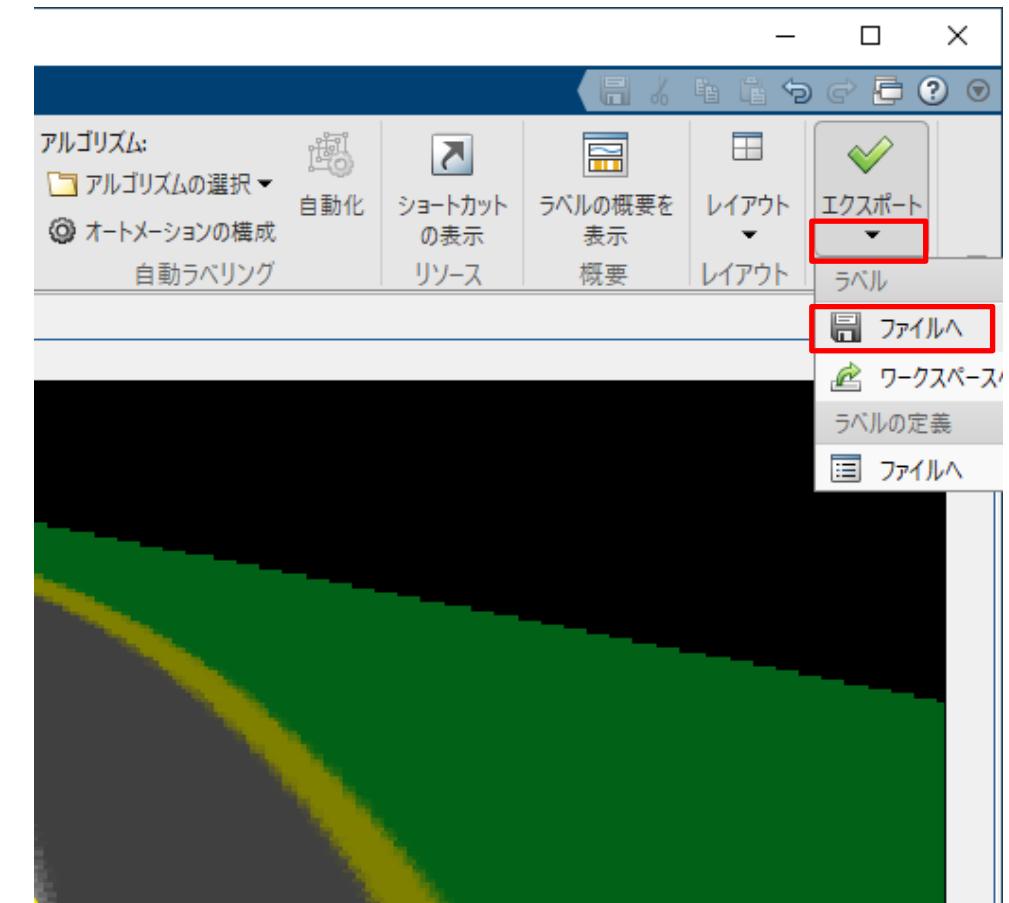
車線より左側にいるので、
右側に戻るように白線位置を指定

演習2. ビデオラベラーを使ってラベリング

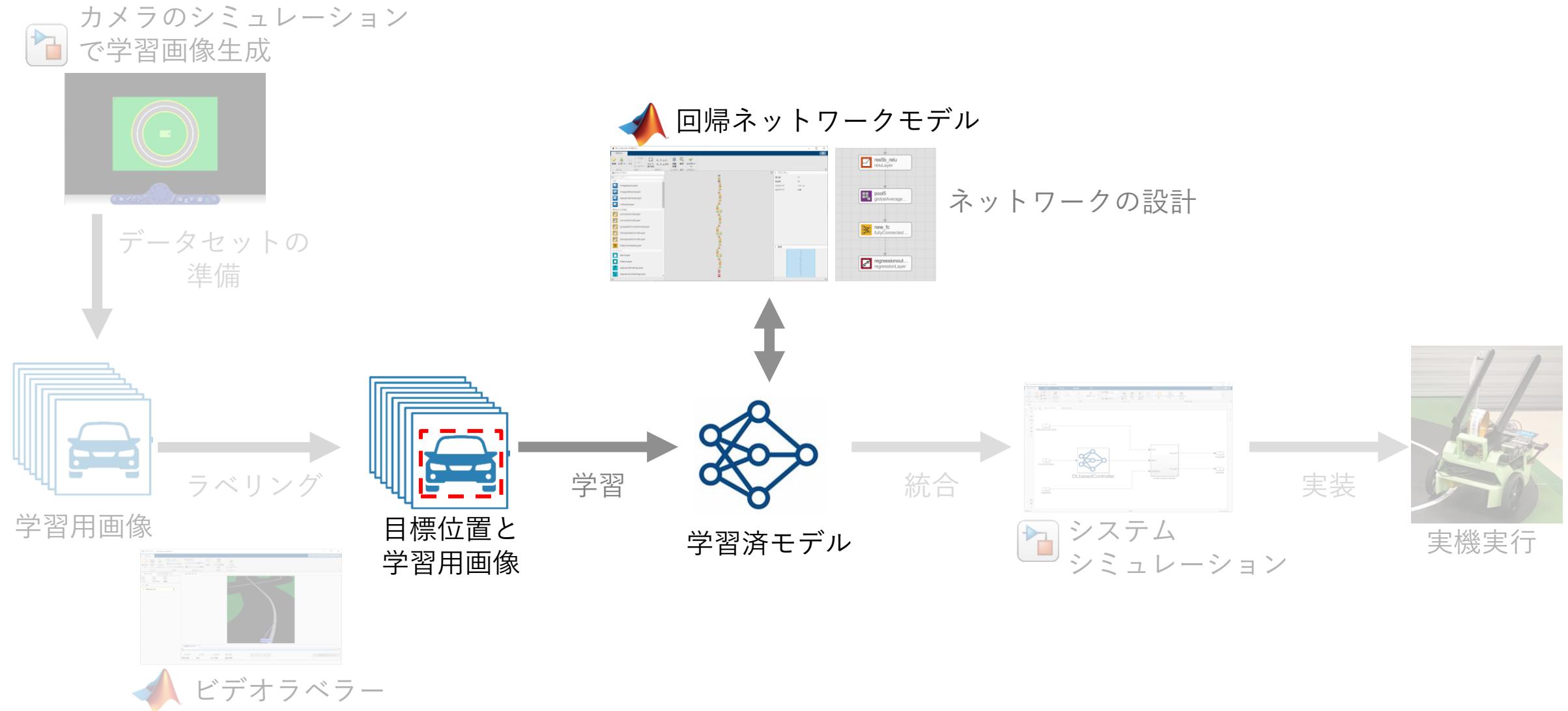
5. 適宜ラベリング結果をセッションとして保存する
(ファイル名はデフォルトで構わない)



6. ラベルを「`exportedLabels.mat`」
として保存する



アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー



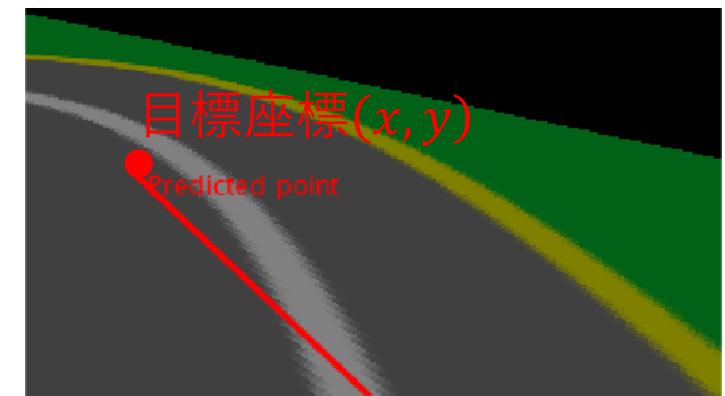
ディープラーニングによって目標座標を予測



カメラからの画像データ
($180 \times 320 \times 3$)



ディープラーニング
(重回帰)



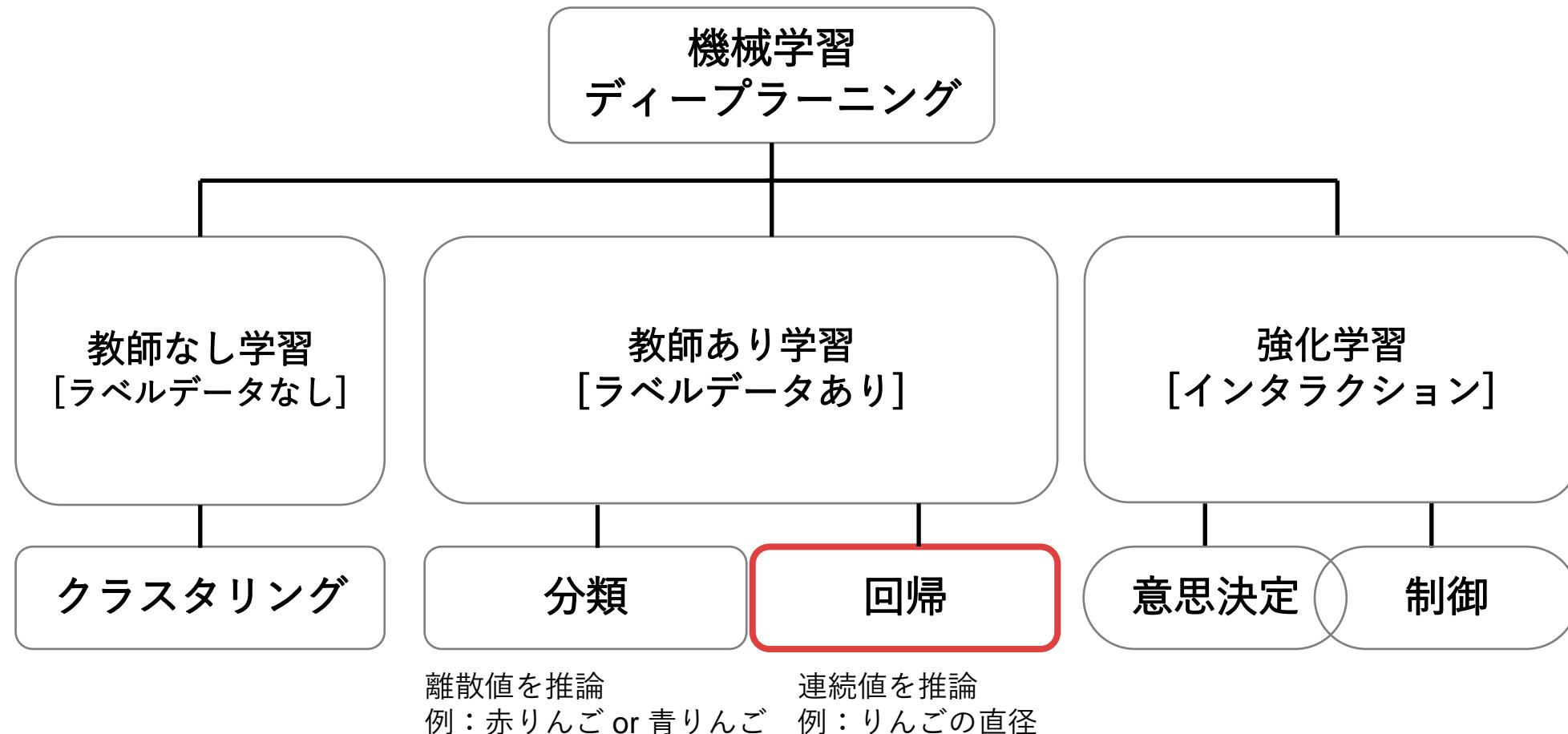
目標座標(x, y)
(1×2)

目標座標をディープラーニングモデルを使用して予測

なぜディープラーニングを使うか？

高次元の画像データから低次元の目標座標を出力するため
ディープラーニングによるモデル化が最適

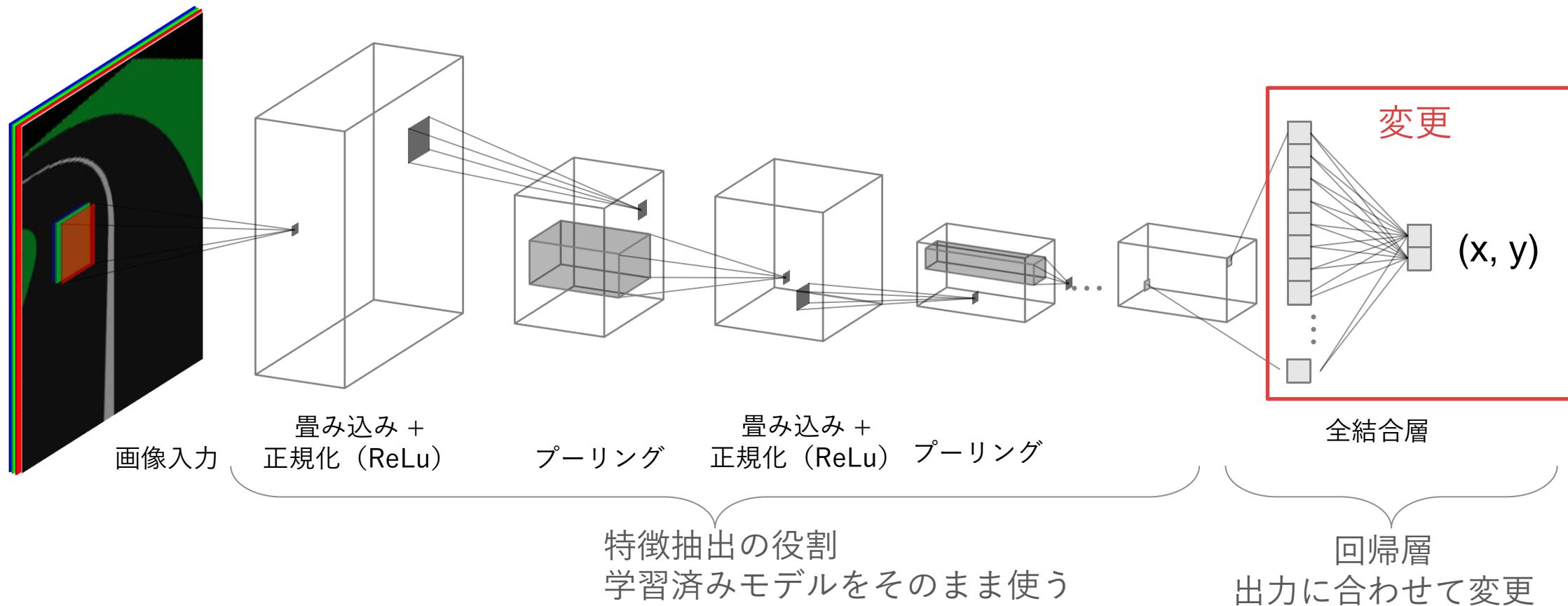
補足：機械学習の分類



今回は画像から目標座標を推論する
説明変数($180 \times 320 \times 3$)で目的変数 $x, y(2)$ の重回帰

転移学習によるディープラーニングの回帰

学習済みの画像分類のネットワークをベースとし、
後段の分類層を回帰層に変更して学習する（転移学習）



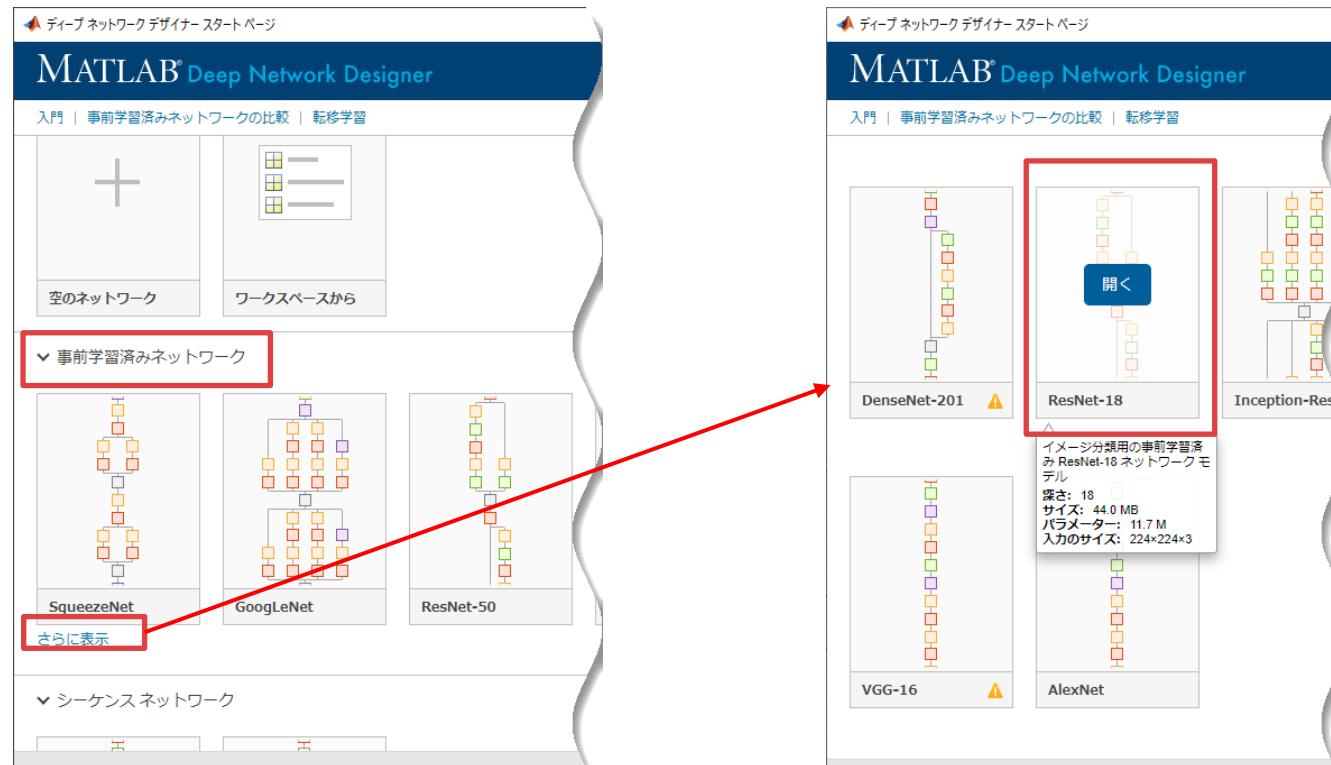
分類ネットワークの回帰ネットワークへの学習

<https://jp.mathworks.com/help/deeplearning/examples/convert-classification-network-into-regression-network.html>

演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

学習済みの画像分類のネットワークをベースとし、
後段の分類層を回帰層に変更して学習する（転移学習）

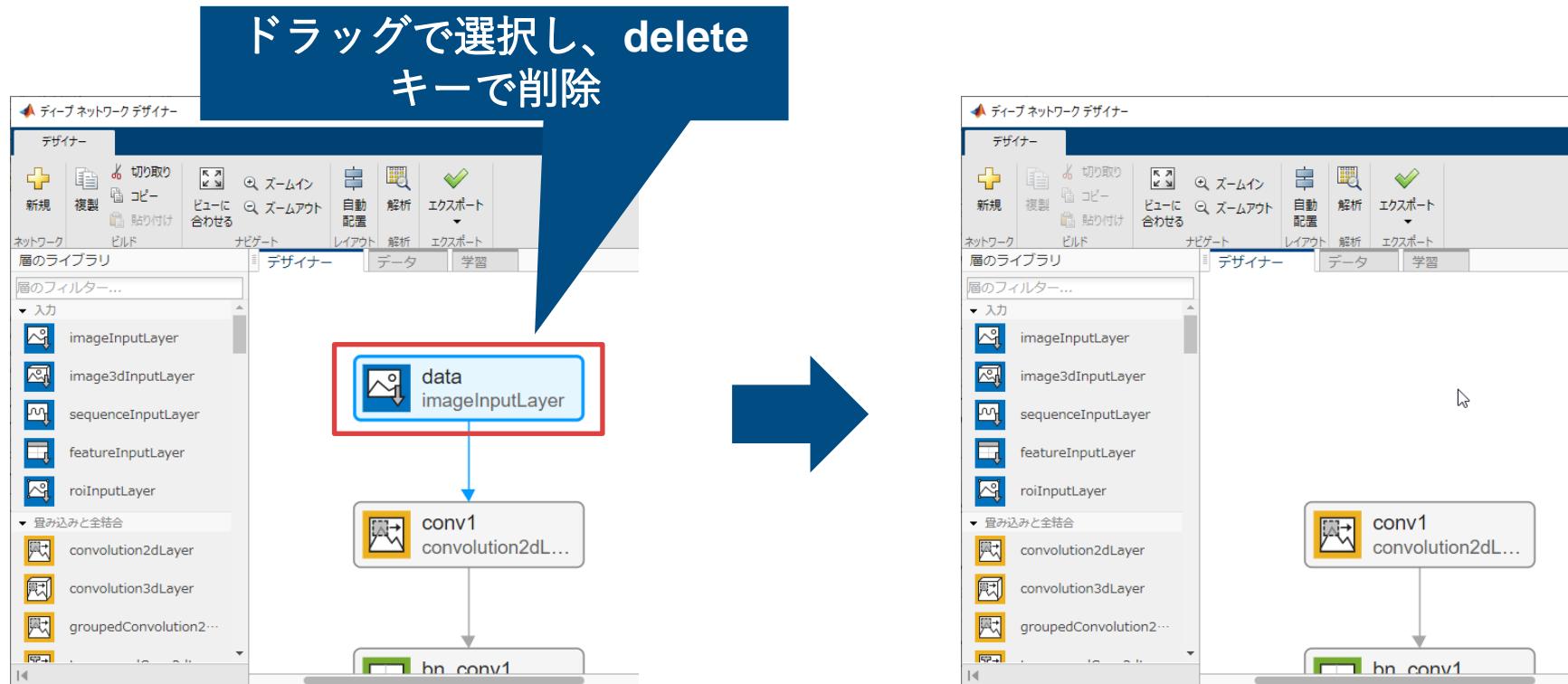
1. ライブスクリプトを開く
`>> edit trainWhiteLine_jp.mlx`
2. 「ライブエディター」タブの「実行して次へ進む」をクリックし、71行目まで実行する
3. 72行目を実行し、ディープネットワークデザイナーを開き、「ResNet-18」を開く



演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

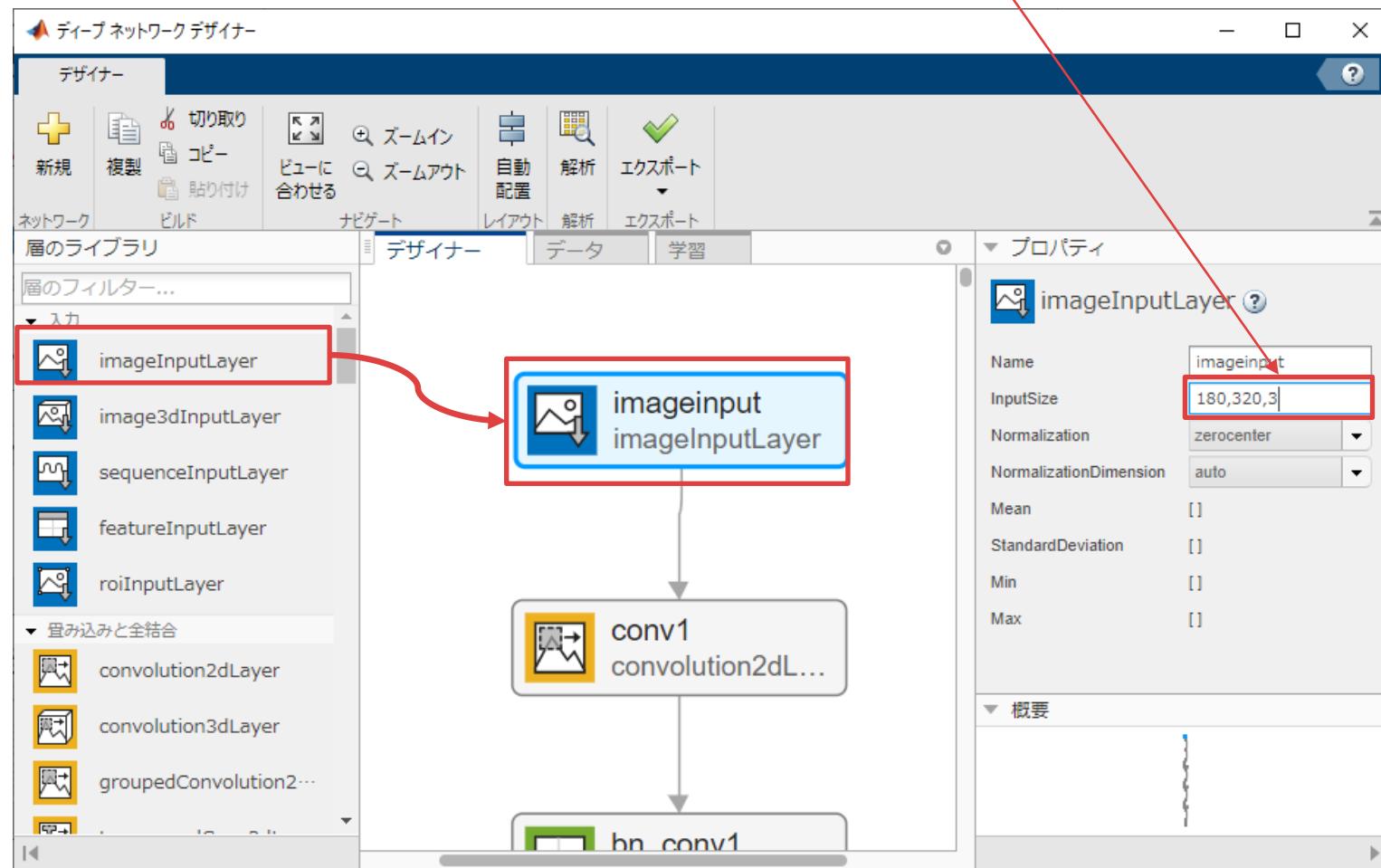
4. 入力の「**data**」レイヤーをドラッグで選択し、**delete**キーで削除

(学習済みの ResNet18 は $224 \times 224 \times 3$ だが学習画像は $180 \times 320 \times 3$ のため
入力層を置き換える必要がある)



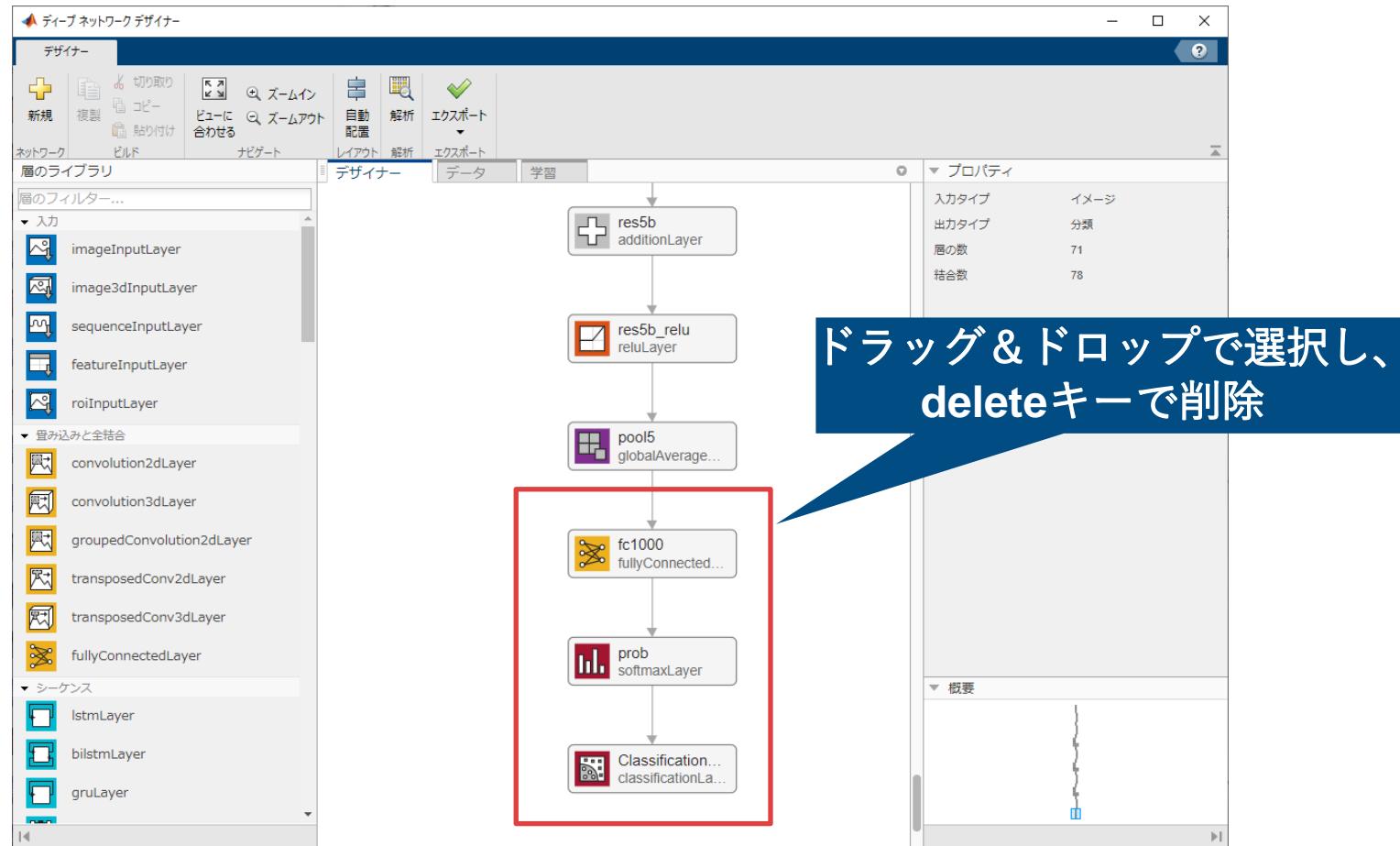
演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

5. 「層のライブラリ」の「入力」グループから「**imageInputLayer**」をドラッグ&ドロップで追加
ドラッグ&ドロップで線を引き出し「conv1」と接続
imageinputのプロパティの「**InputSize**」を「**180,320,3**」に設定



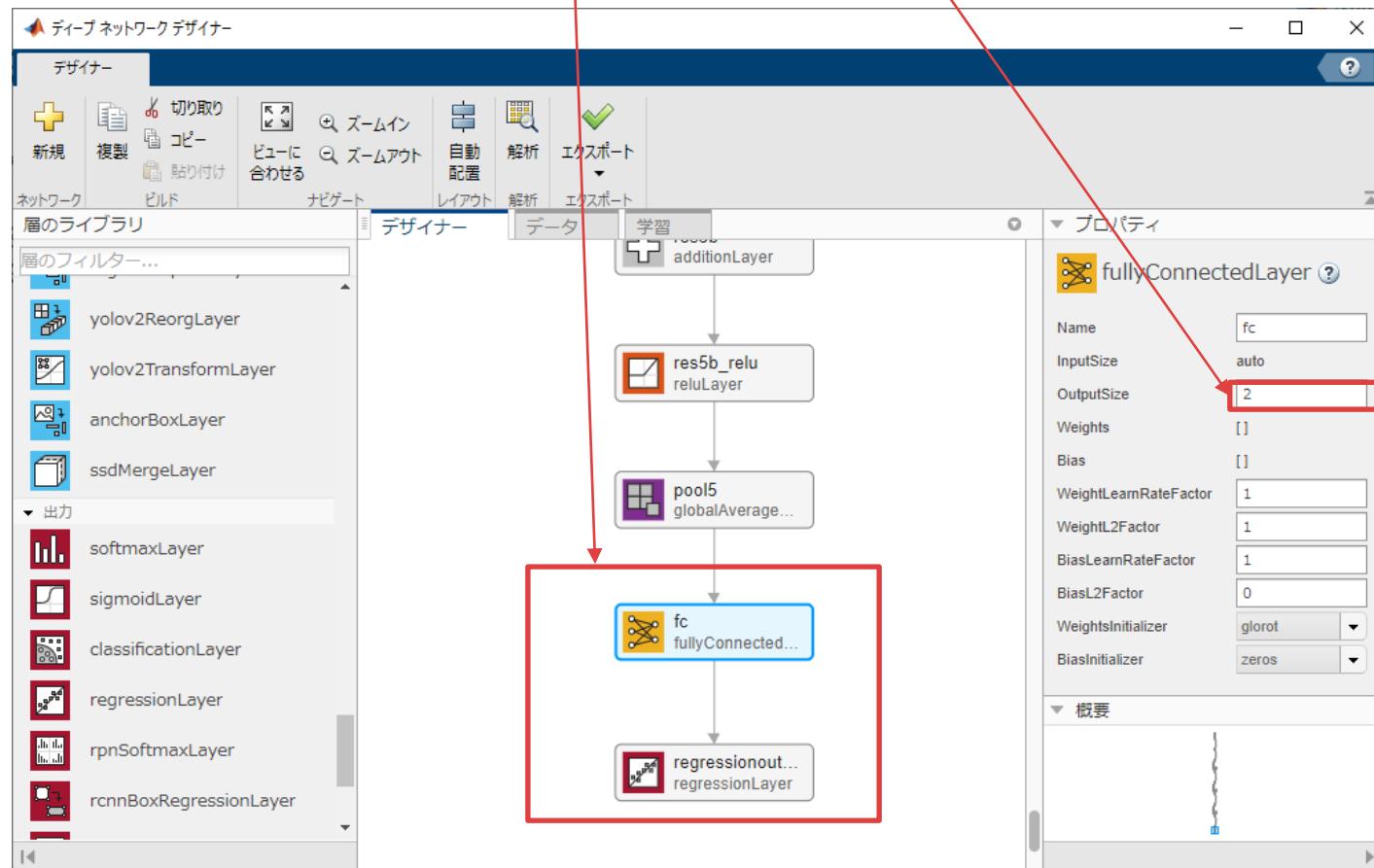
演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

6. `fc1000`以降のレイヤーをドラッグ&ドロップで選択し、`delete`キーで削除
(1000種類確率+softmaxによる分類から2種類の回帰に変更するため)



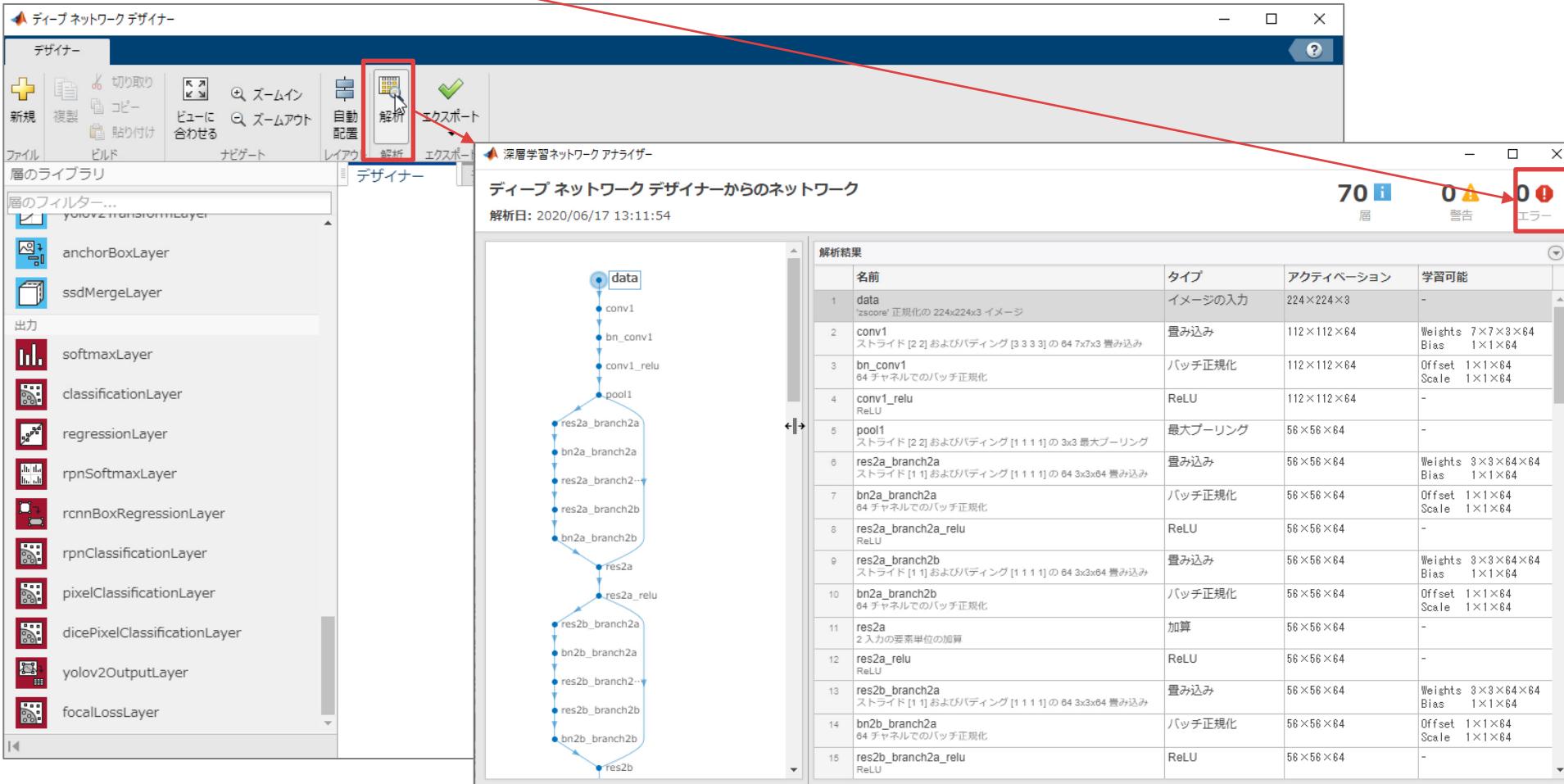
演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

7. 「層のライブラリ」の「畳み込みと全結合層」から「**fullyConnectedLayer**」と「出力」から「**regressionLayer**」を追加
8. **fc(fullyConnectedLayer)**の「**OutputSize**」を「2」に変更(目標座標x,yの2変数なので)
9. **pool5**と**fc**、**fc**と**regressionOutput**をそれぞれ接続



演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

8. 「解析」をクリックし、深層学習ネットワークアナライザーで整合性を確認
(エラーが0であればOK)



The screenshot shows two overlapping toolbars. The top toolbar is from the 'Deep Network Designer' and the bottom one is from the 'Deep Learning Network Analyzer'. Both toolbars have a 'Analysis' button highlighted with a red box. The 'Deep Learning Network Analyzer' toolbar also has an 'Export' button highlighted with a red box.

Deep Network Designer Toolbar (Top):

- File: 新規 (New), ピルド (Build), レイアウト (Layout), 解析 (Analysis), エクスポート (Export).
- View: 切り取り (Cut), コピー (Copy), 貼り付け (Paste), ピューに合わせる (Fit to View), ズームイン (Zoom In), ズームアウト (Zoom Out).
- Tools: 自動配置 (Auto Layout), 解析 (Analysis).

Deep Learning Network Analyzer Toolbar (Bottom):

- File: 新規 (New), ピルド (Build), レイアウト (Layout), 解析 (Analysis), エクスポート (Export).
- View: 切り取り (Cut), コピー (Copy), 貼り付け (Paste), ピューに合わせる (Fit to View), ズームイン (Zoom In), ズームアウト (Zoom Out).
- Tools: 自動配置 (Auto Layout), 解析 (Analysis), エクスポート (Export).

Deep Learning Network Analyzer Window:

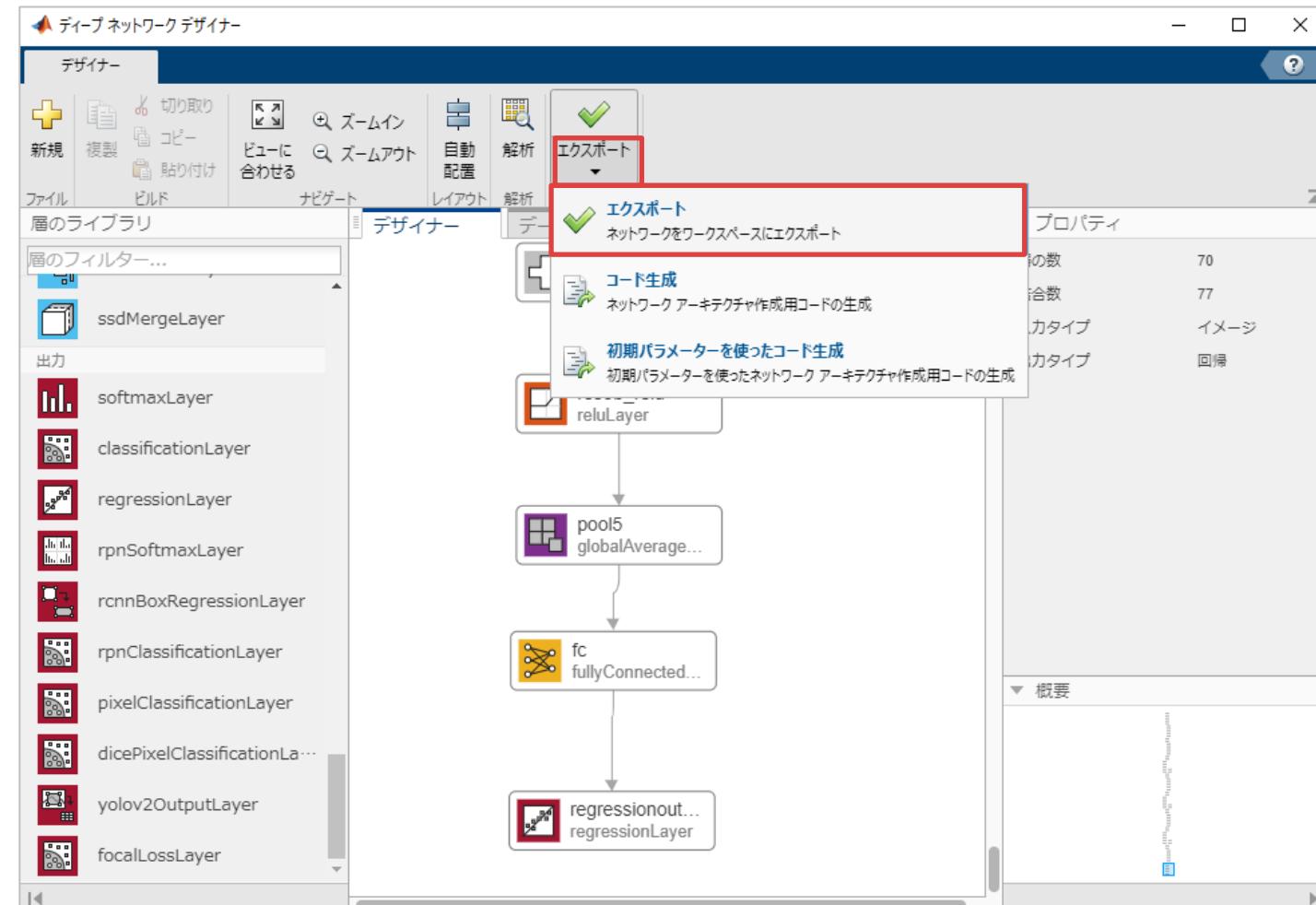
ディープネットワークデザイナーからのネットワーク
解析日: 2020/06/17 13:11:54

名前	タイプ	アクティベーション	学習可能
1 data	イメージの入力	224×224×3	-
2 conv1	畠み込み	112×112×64	Weights 7×7×3×64 Bias 1×1×64
3 bn_conv1	バッチ正規化	112×112×64	Offset 1×1×64 Scale 1×1×64
4 conv1_relu	ReLU	112×112×64	-
5 pool1	最大プーリング	56×56×64	-
6 res2a_branch2a	畠み込み	56×56×64	Weights 3×3×64×64 Bias 1×1×64
7 bn2a_branch2a	バッチ正規化	56×56×64	Offset 1×1×64 Scale 1×1×64
8 res2a_branch2a_relu	ReLU	56×56×64	-
9 res2a_branch2b	畠み込み	56×56×64	Weights 3×3×64×64 Bias 1×1×64
10 bn2a_branch2b	バッチ正規化	56×56×64	Offset 1×1×64 Scale 1×1×64
11 res2a	加算	56×56×64	-
12 res2a_relu	ReLU	56×56×64	-
13 res2b_branch2a	畠み込み	56×56×64	Weights 3×3×64×64 Bias 1×1×64
14 bn2b_branch2a	バッチ正規化	56×56×64	Offset 1×1×64 Scale 1×1×64
15 res2b_branch2a_relu	ReLU	56×56×64	-

70 エラー 0 ウィーラー 0 エラー

演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

9. 「エクスポート」 → 「エクスポート」をクリックしワークスペースに出力
(デフォルトで`lgraph_1`としてエクスポートされる)

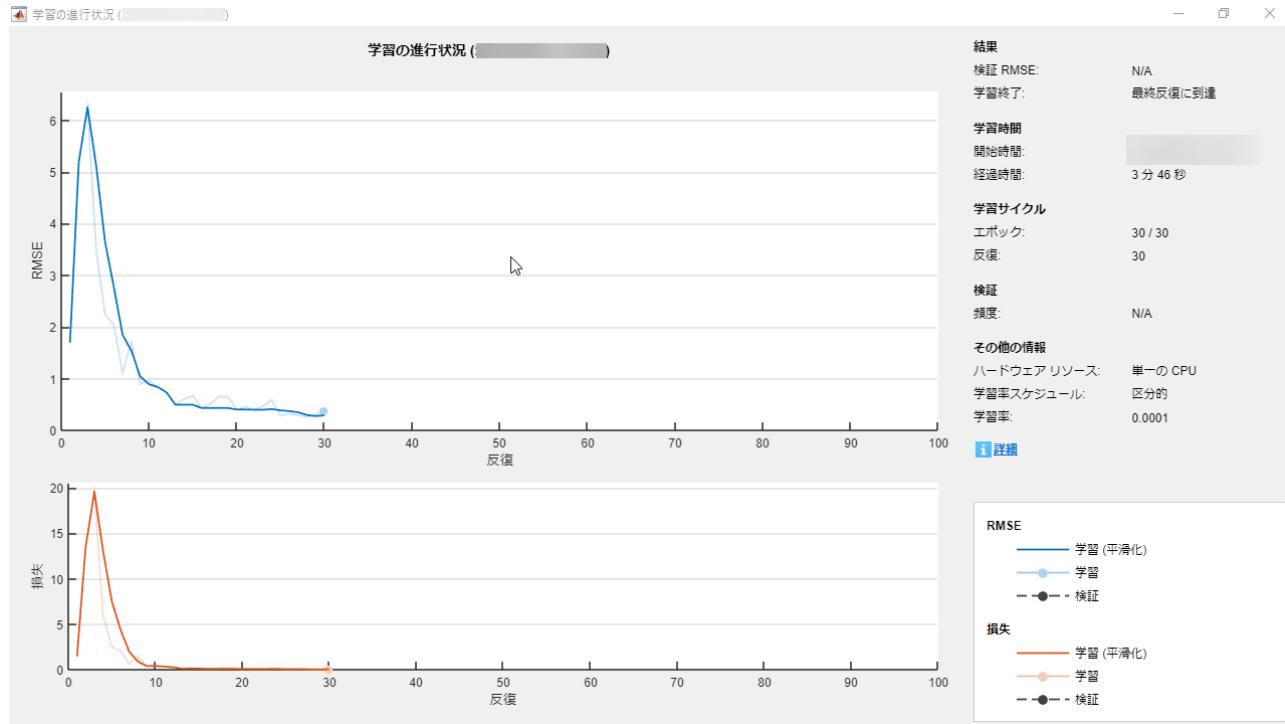


演習3. 回帰ネットワークの構築と学習

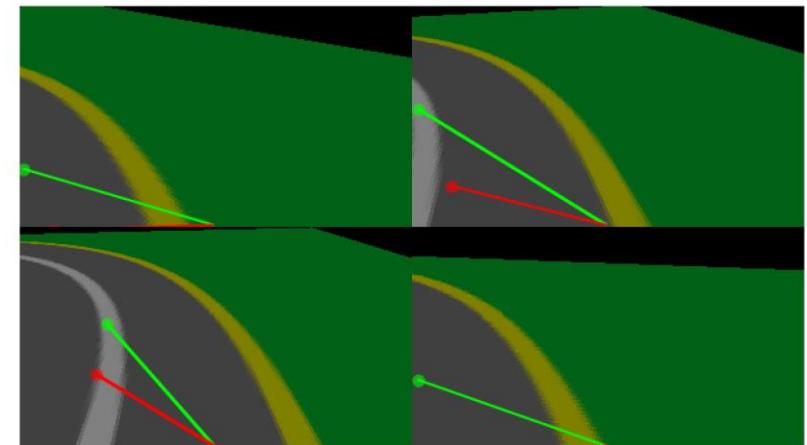
10. 残りのコードを実行する

学習が開始すると下記のような学習の進捗状況が表示される(CPUで5分ほどで完了)

11. 学習が完了すると **mynet_new.mat** がフォルダに作成される (次の演習で使用する)



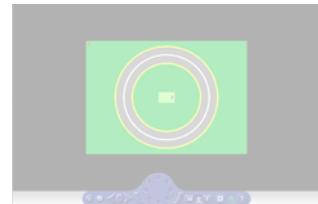
学習の様子



予測結果の例
(緑: 真値、赤: 予測)

アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー

カメラのシミュレーション
で学習画像生成



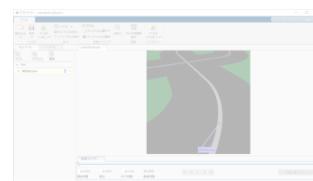
データセットの
準備



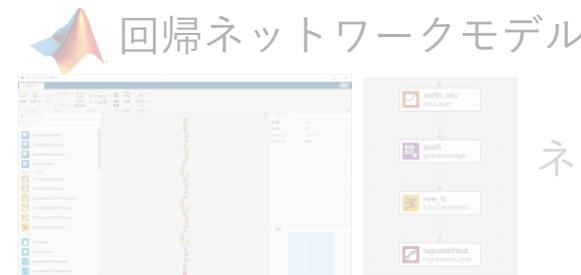
ラベリング



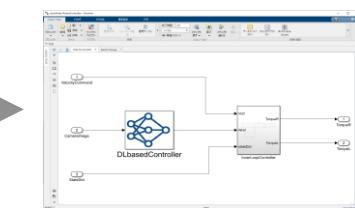
目標位置と
学習用画像



ビデオラベラー



ネットワークの設計



統合



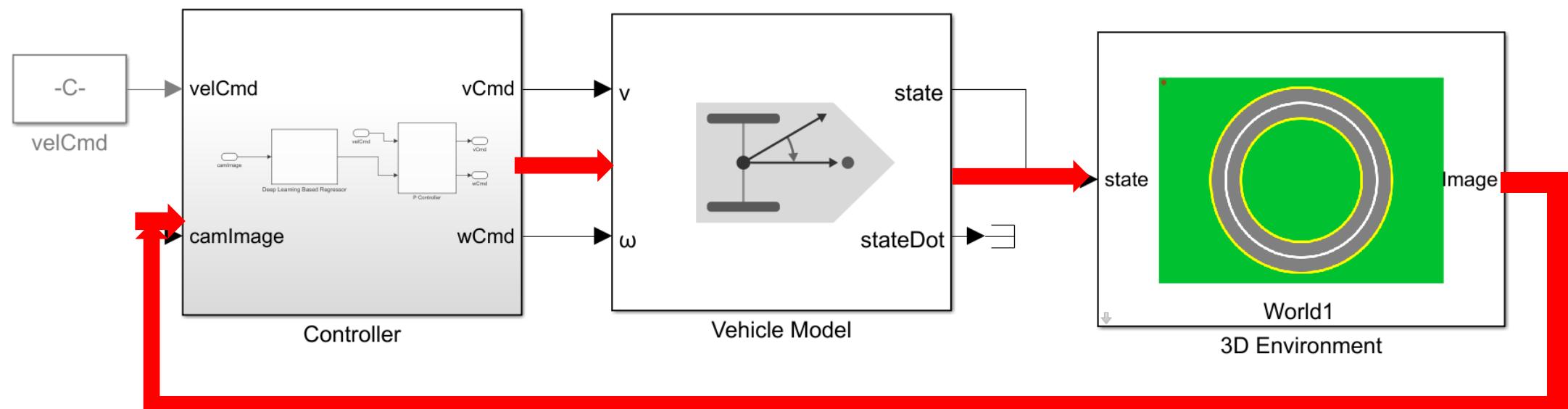
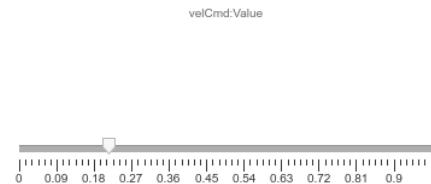
システム
シミュレーション



実装

実機実行

システムシミュレーションでライントレースの動作確認

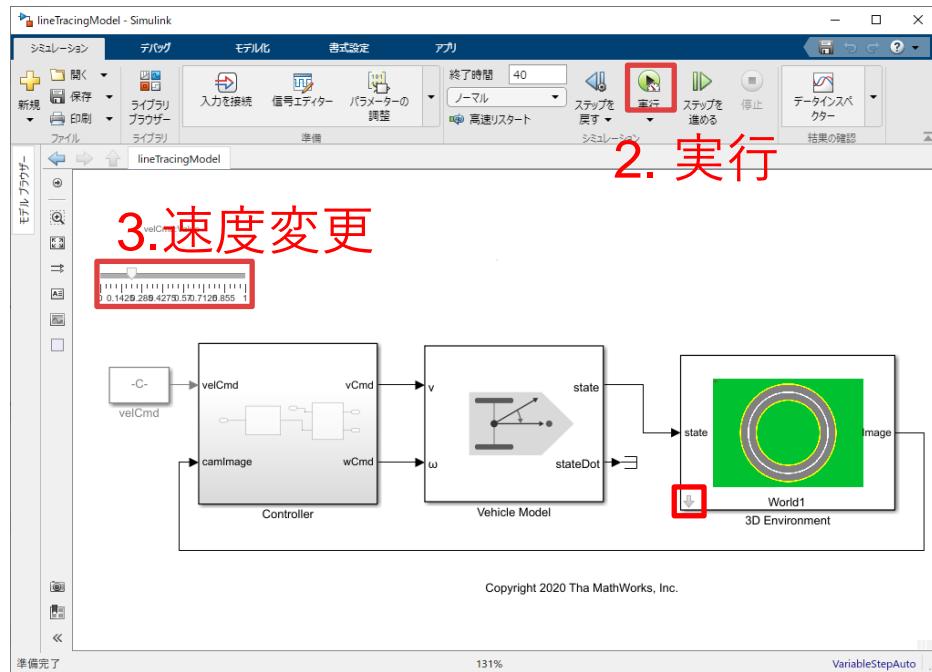


Copyright 2020 Tha MathWorks, Inc.

全体で大きなフィードバックループを形成している
システムレベルでの性能の確認やチューニングが不可欠

演習4. システムシミュレーションでライントレースの動作確認

1. `line_follower.slx` を開き、「シミュレーション」タブの実行ボタン(下図の緑色の再生ボタン)をクリックする。シミュレーションを停止する場合は四角の灰色ボタンをクリックする。
`>> line_follower.slx`
2. 速度(下図のバー)を変更しライントレースの様子がどう変わるか観察する。
3. 初期位置を変えたときに挙動がどうなるか観察する ([スライドp.35](#)参照)
4. Pゲインの値を変更し、追従性能がどう変わるか観察する ([スライドp.34](#)参照)
5. 3Dワールドの地図データ変更し、挙動がどうなるか観察する ([スライドp.36](#)参照)
6. 実行結果を動画に保存する ([スライド p.37](#)参照)

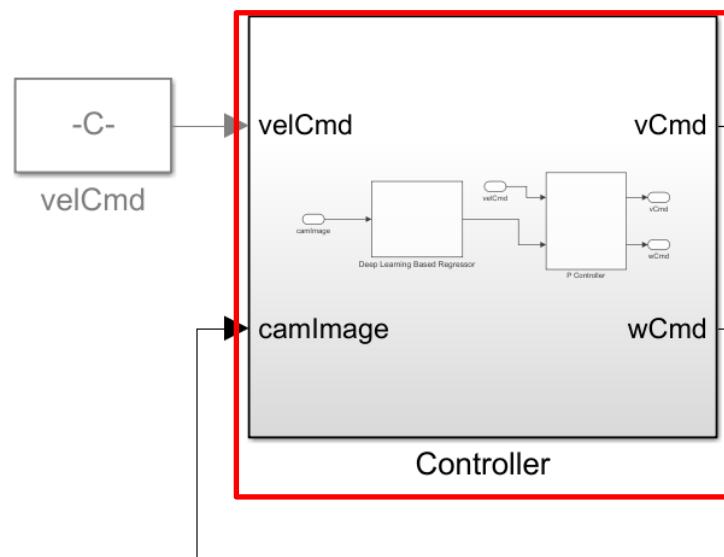


シミュレーションによる検証: モデルの解説

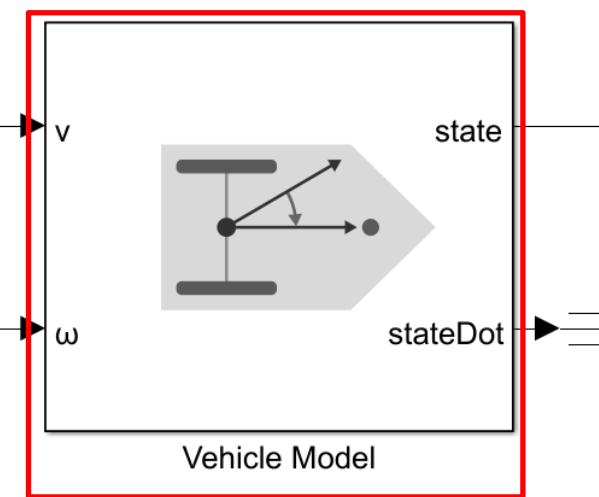
velCmd:Value



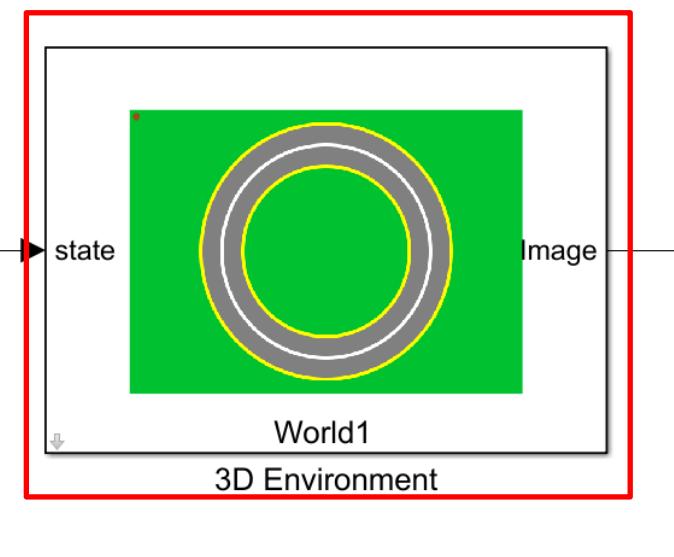
コントローラ



車両モデル

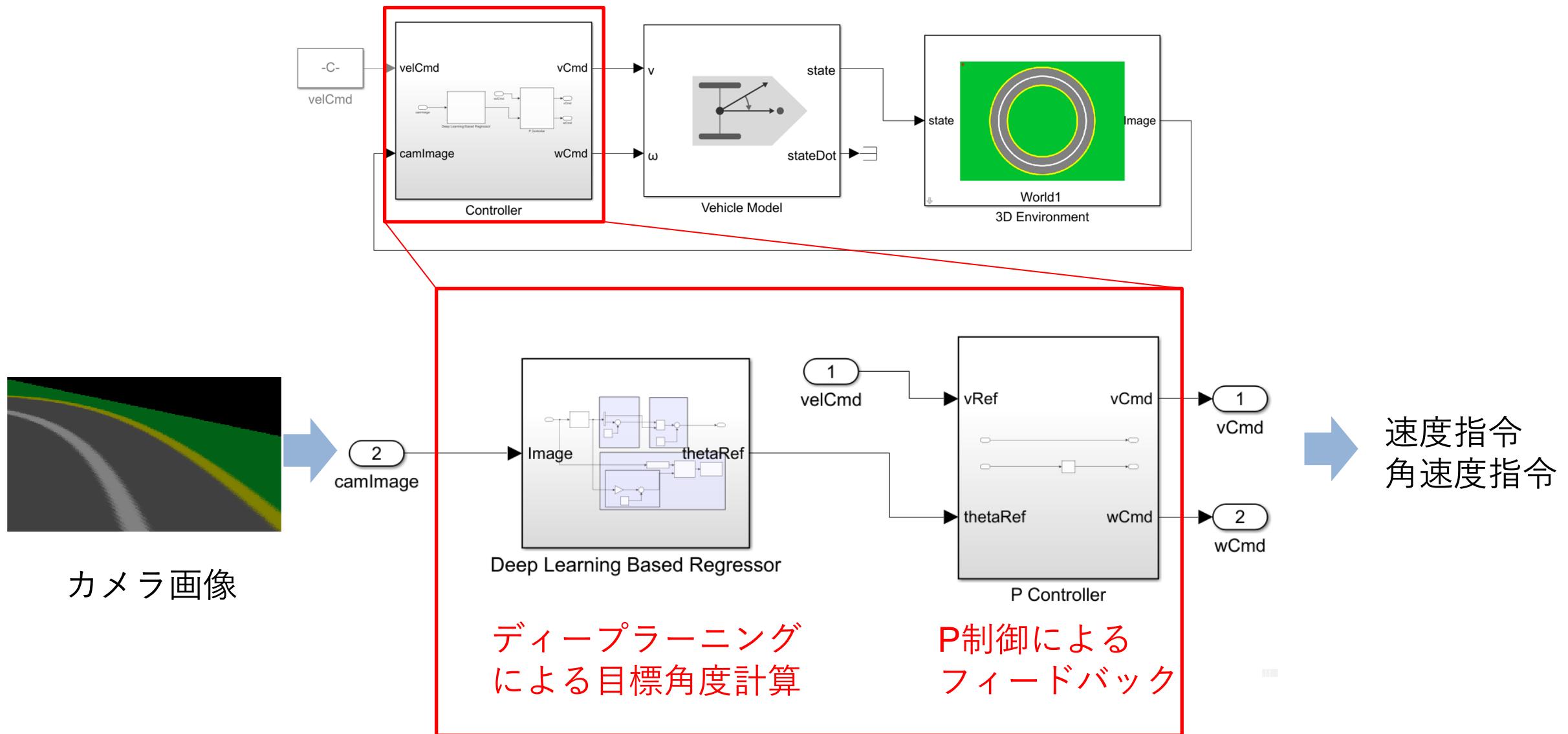


3Dワールド

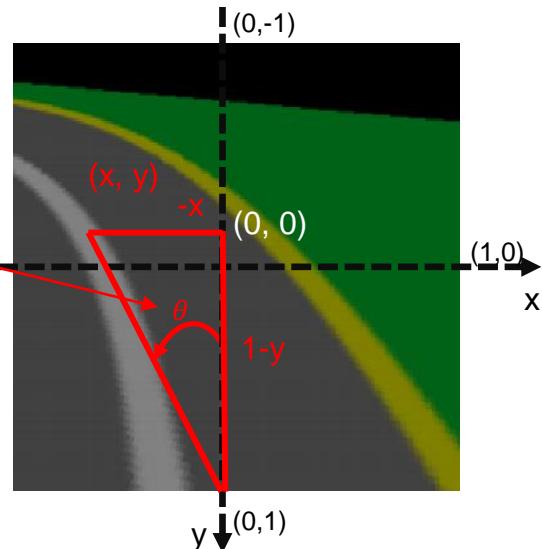
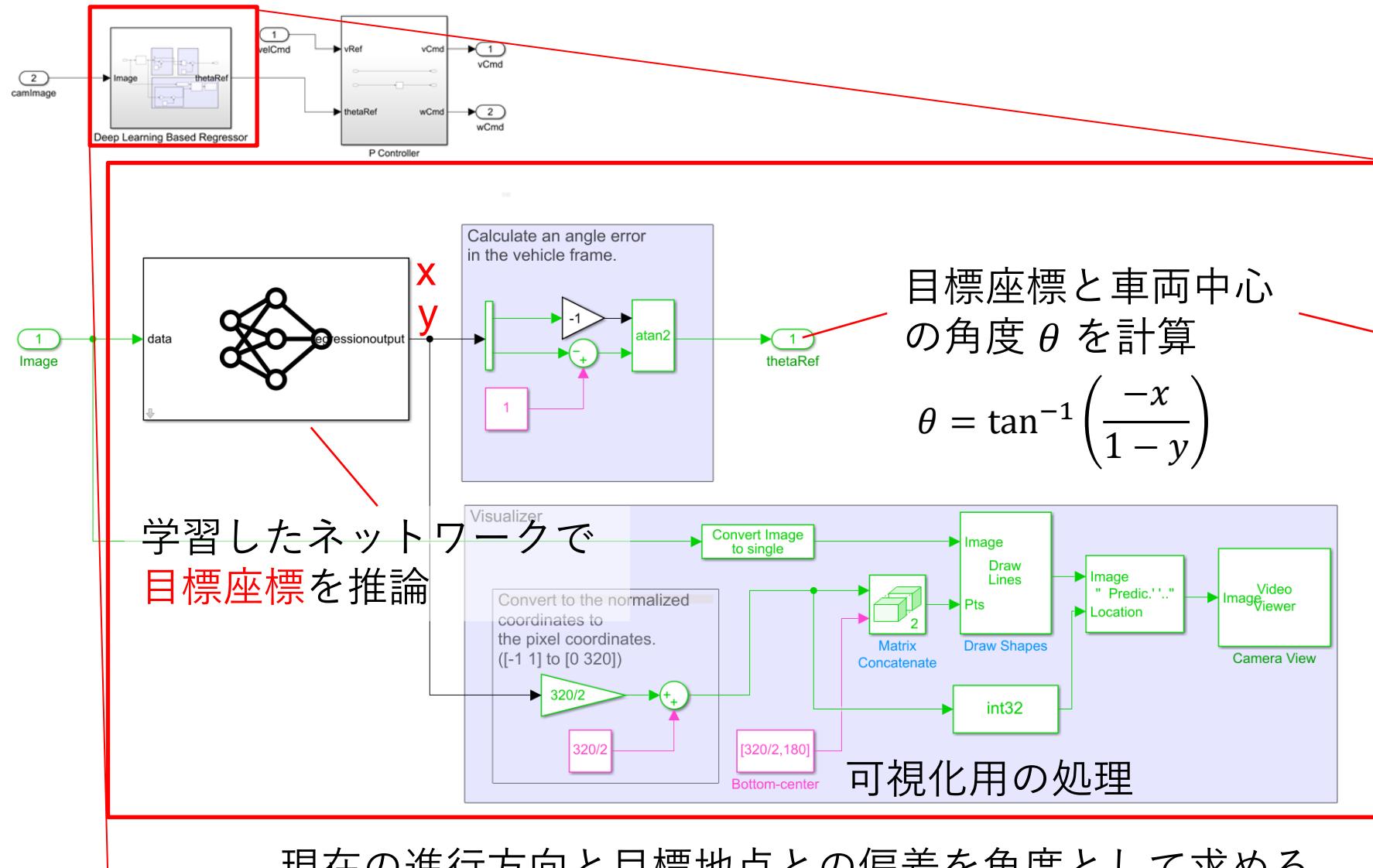


Copyright 2020 Tha MathWorks, Inc.

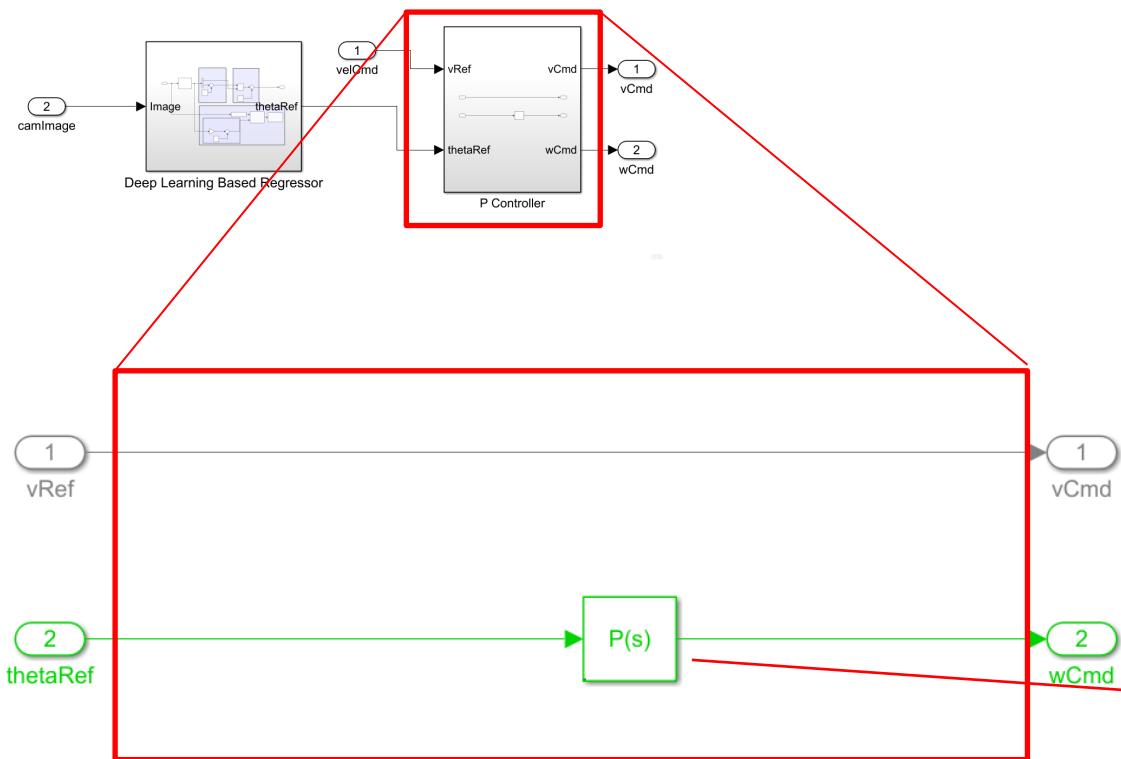
シミュレーションによる検証: コントローラ



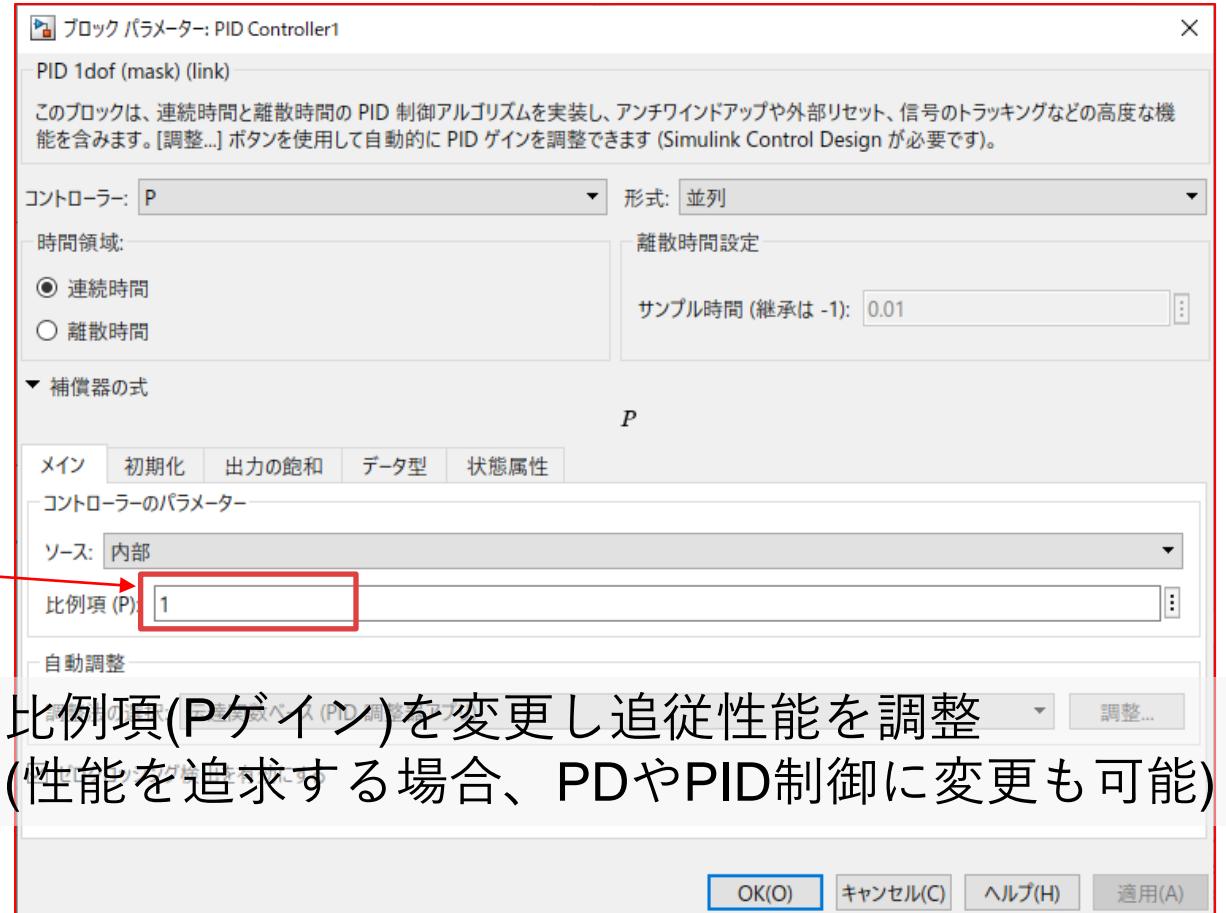
シミュレーションによる検証: ディープラーニングで角度偏差推定



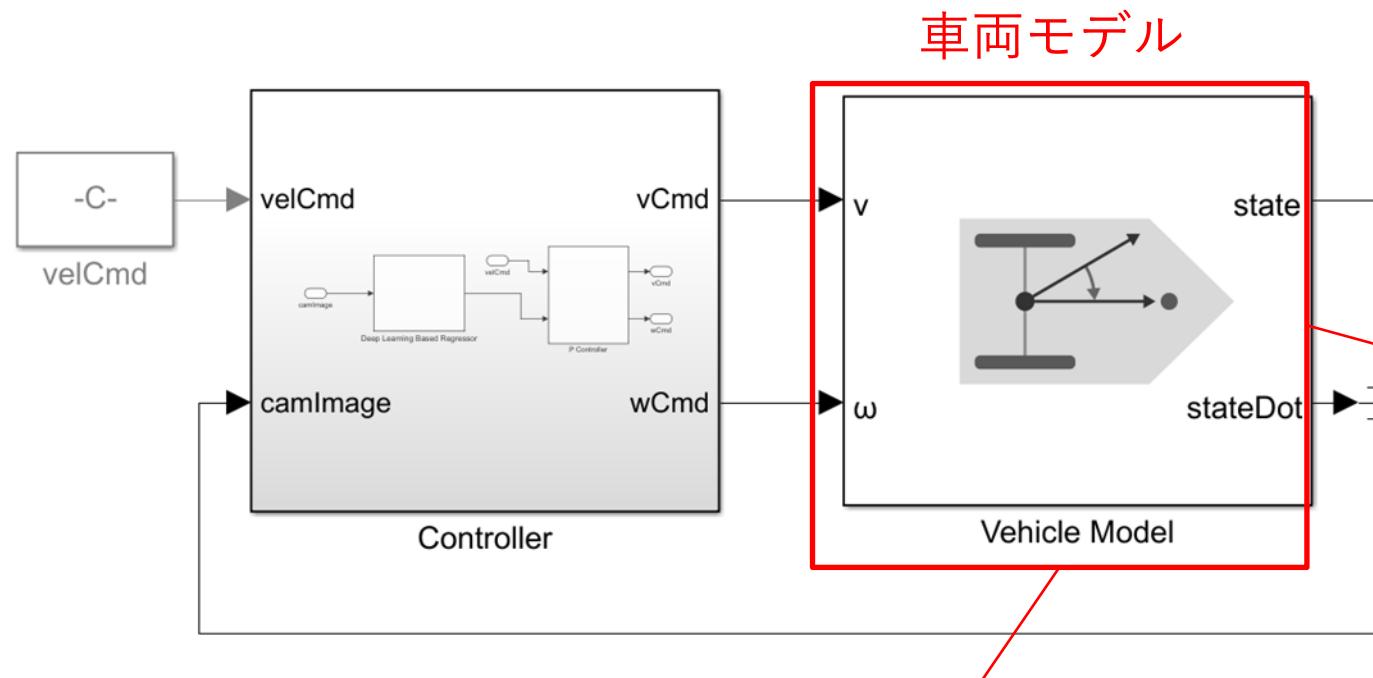
シミュレーションによる検証: フィードバック制御



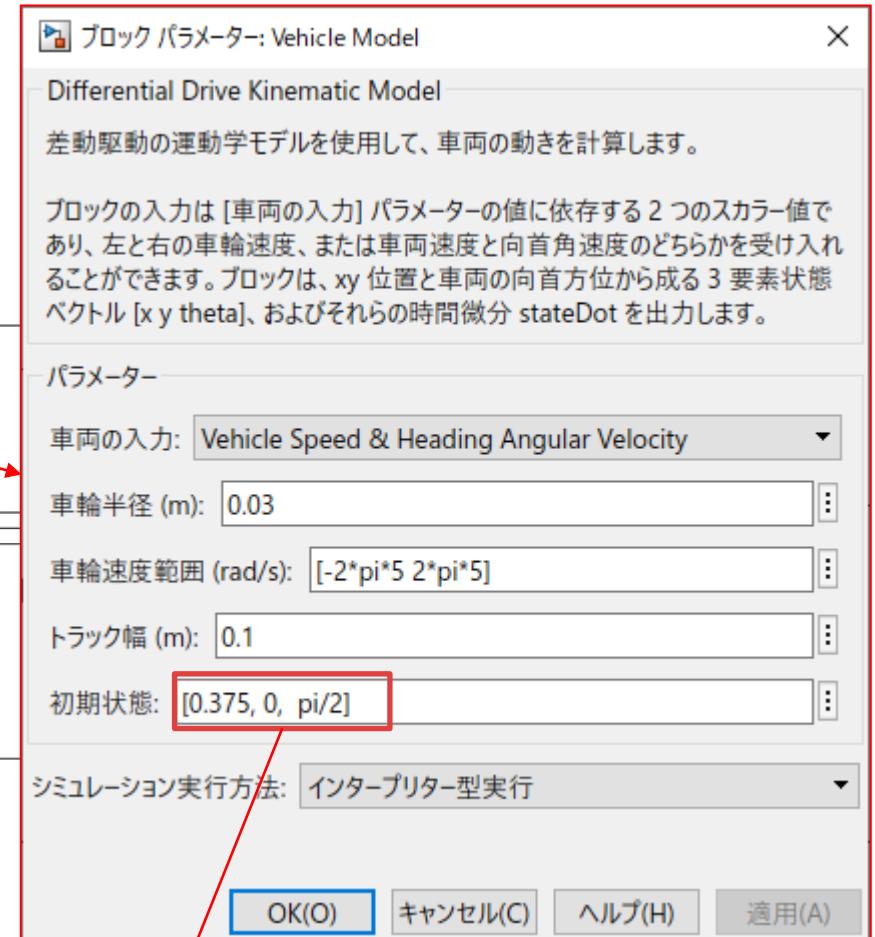
角度の偏差が0になるように
フィードバック制御(P制御)
ステアリングのみを制御
速度は一定



シミュレーションによる検証: 車両モデル

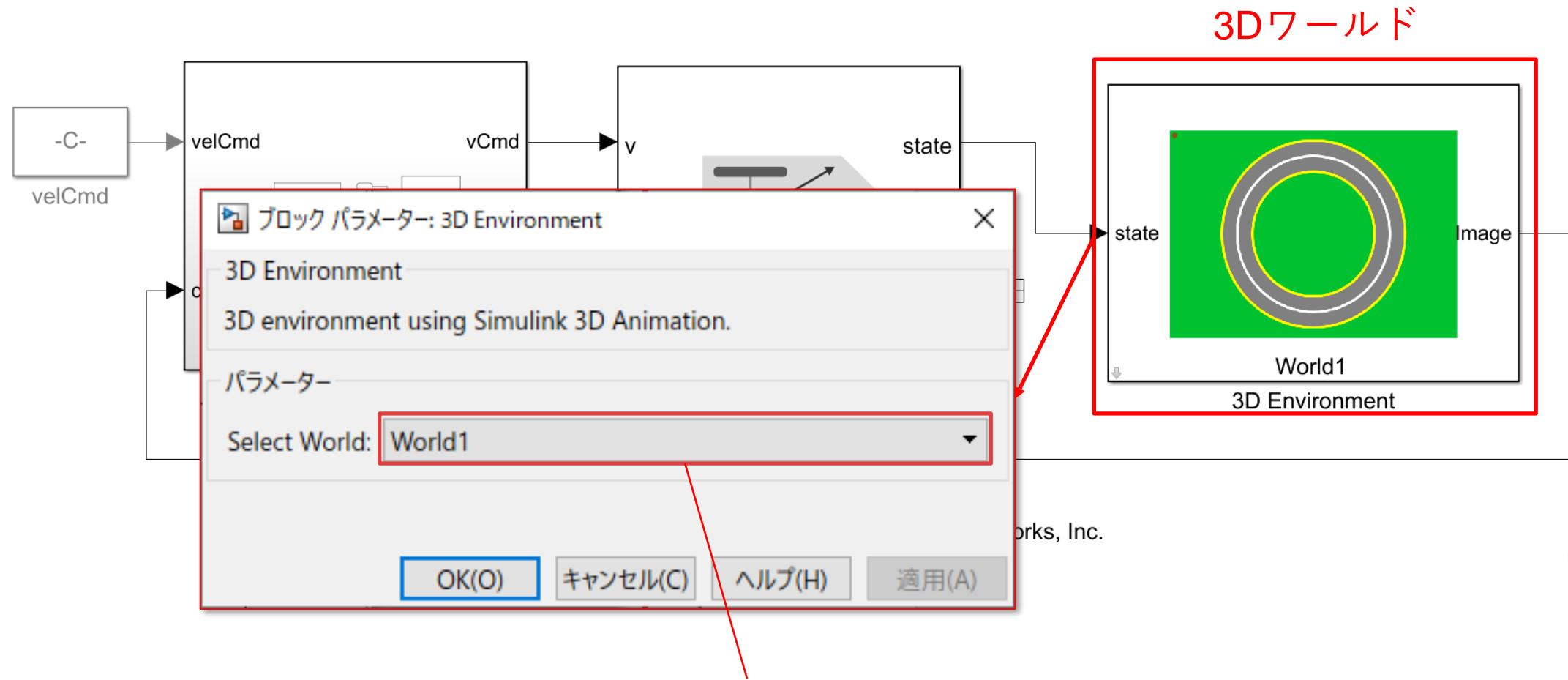


差動2輪の運動学モデルに
速度と角速度を入力し、
位置(x_v, y_v, θ_v)を得る

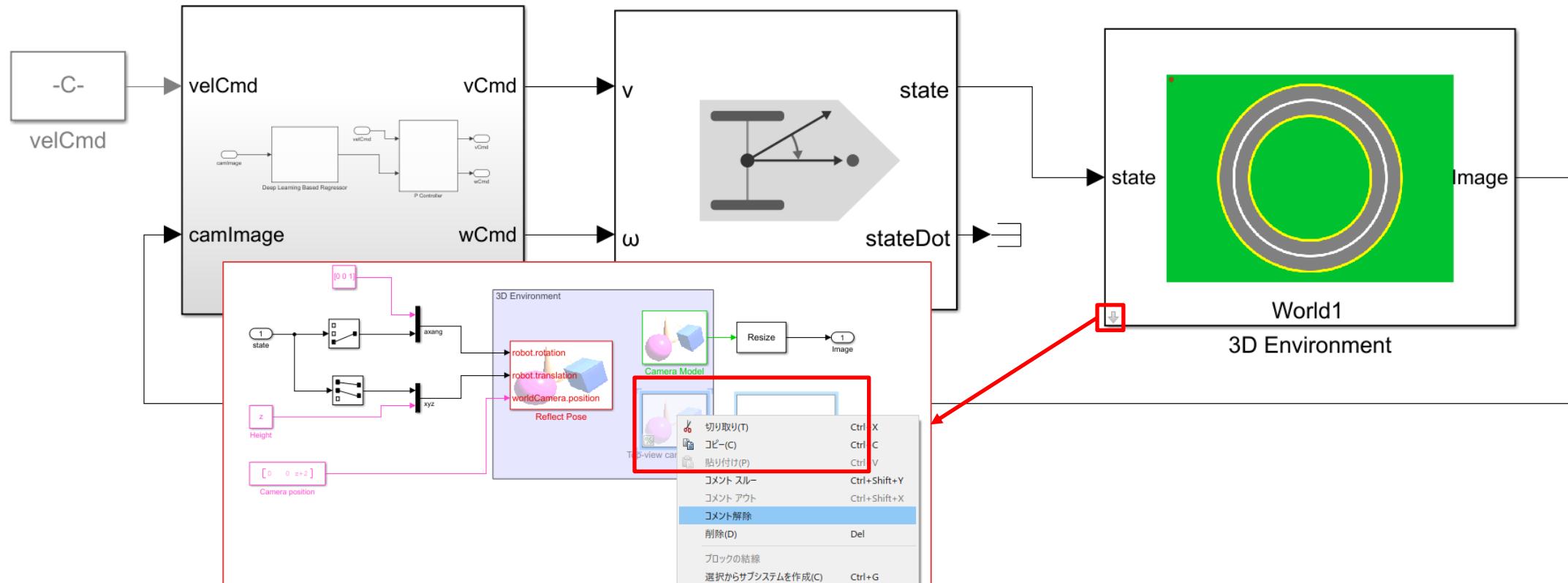


初期状態(x_v, y_v, θ_v)を変えたときに
ライントレースの挙動はどうなるか

シミュレーションによる検証: 3Dワールドの地図データ変更



シミュレーションによる検証: 3Dワールドの実行結果動画保存

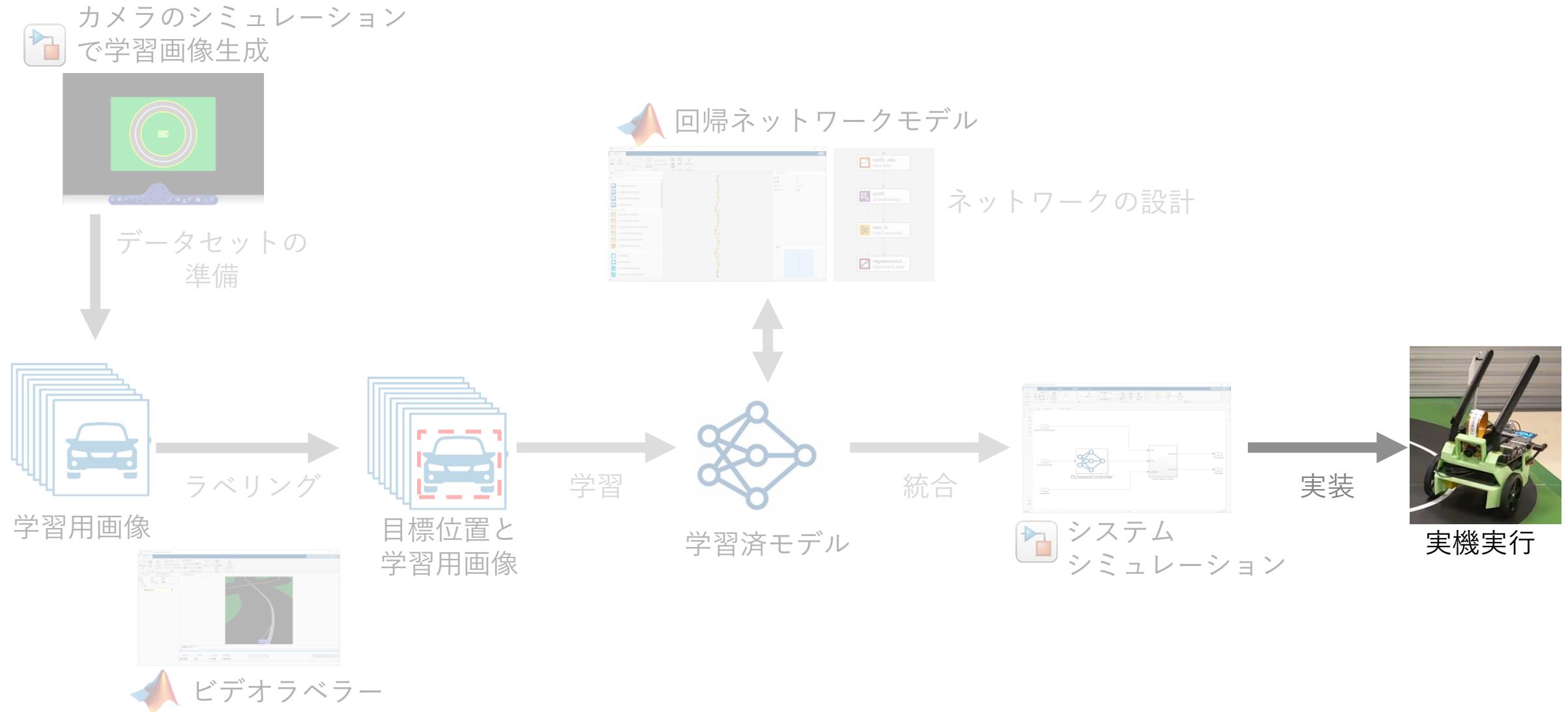


Top-view cameraとTo Multimedia Fileのコメントを
解除するとシミュレーション実行後に動画が生成される
(ただし、シミュレーションが遅くなるため最終結果を
保存するときのみコメント解除すること)

改善するためのヒント

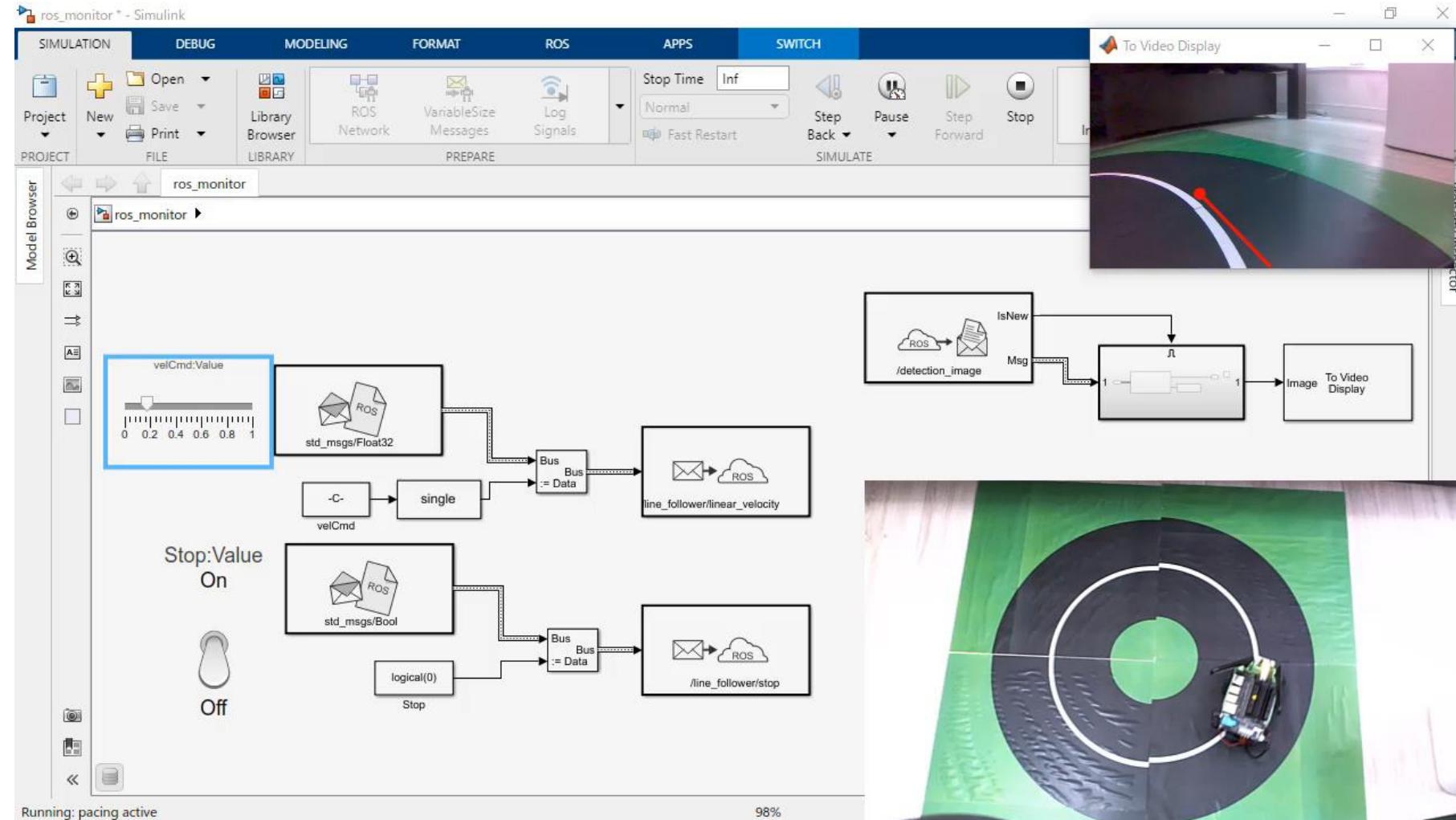
- 学習画像を増やす(演習1)
 - 様々な視点から見た学習画像を準備する
- 学習画像のアノテーション(ラベル付け)を工夫する(演習2)
 - 予測する点を遠くに設定する、もしくは、近くに設定する
- 学習のパラメーターを変更してみる(演習3)
 - エポック数を大きな値に変えてみる
 - 学習率を変えてみる
- P制御のゲインを調整してみる(演習4)
 - Controller/P Controllerブロックの中のPゲインを調整
 - 追従できない場合はゲインを上げてみる
 - 発振する場合にはゲインを下げてみる

アジェンダ：自律ロボットシステム開発ワークフロー

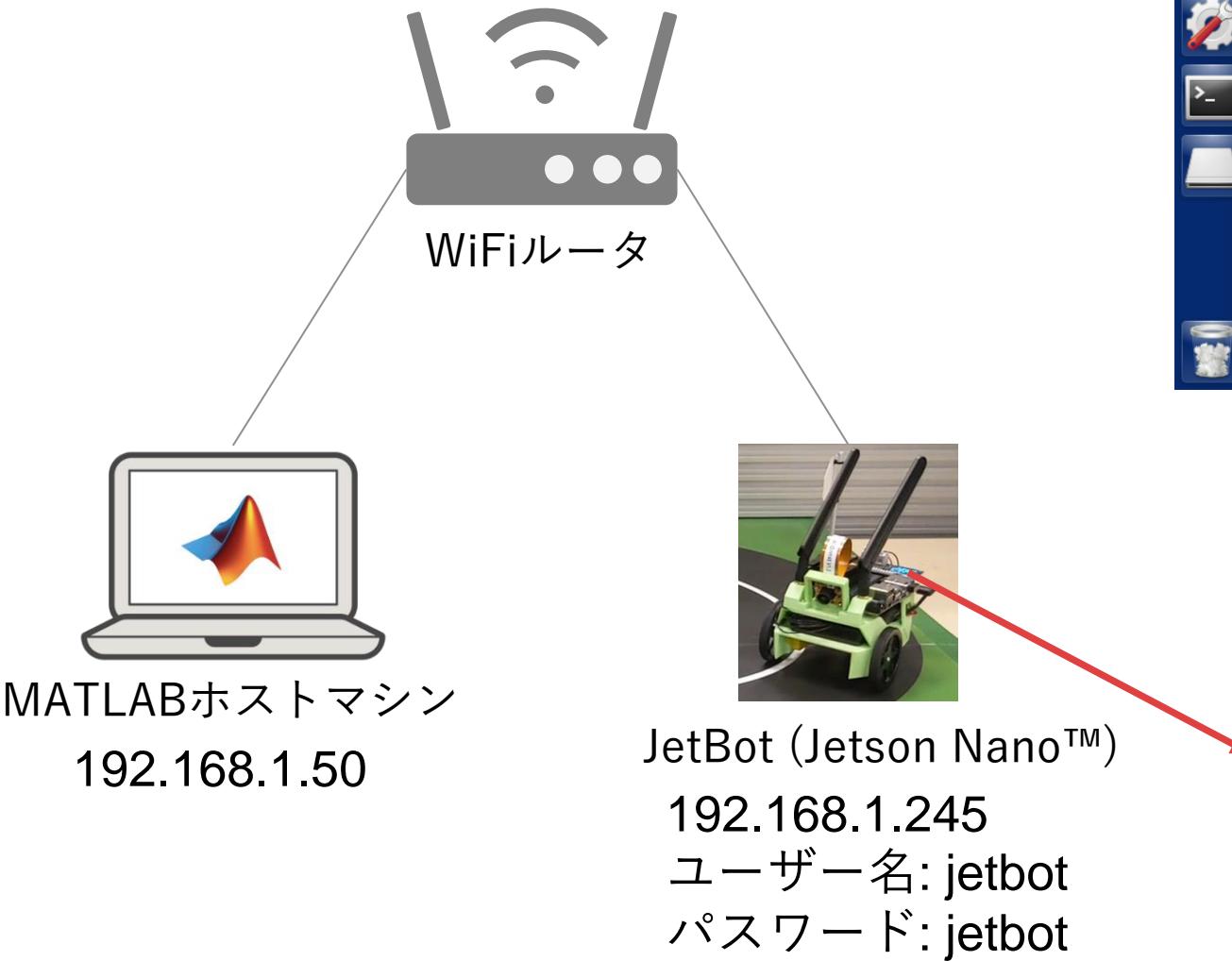


目標：ライントレースロボットの実機実装

ミドルウェアROSと連携し、ライントレースアルゴリズムを実機実装



MATLABとJetBot*を接続



*JetBotのセットアップは末尾の付録参照

NVIDIA® Jetson Nano™ および NVIDIA® JetBotとは？

- NVIDIA®の廉価な組み込みGPU
 - ARM® Cortex®-A57 + NVIDIA® Maxwell
 - GPIO、CSI等を含む様々なI/O
 - 5W/10Wモード, 5V DCin
 - Linux OS
 - NVIDIA® CUDA/cuDNN/TensorRT
- MATLAB Coder/GPU Coderのハードウェアサポートパッケージでサポート
- アプリケーション
 - 画像分類
 - 物体検出
 - セグメンテーション
 - 音声処理
- オープンロボットハードウェア
 - NVIDIA®のJetson Nano™をベースとしたAIロボットプラットフォーム
 - シンプルな単眼カメラセンサーとモーター駆動の差動二輪
 - 部品のリストがGitHubで公開されている
 - Jetson Nano™を購入し、3Dプリンターで部品を作れば作成可能
 - <https://jetbot.org/>
- アプリケーション
 - 衝突回避
 - 白線追尾
 - 物体認識



ROS とは?



- ROS = Robot Operating System
- 自律分散システムのためミドルウェア
 - 一般的なOSではない – ミドルウェアの一種
- メッセージング通信/分散コンピューティングのためのツール群
- アプリケーションのパッケージ化とビルドのための管理システム
- 活発なコミュニティ
 - ドライバー、シミュレーション、モーションプランニング、認知、etc.
- ROS 1を刷新したROS 2が近年リリース
 - コミュニティでもROS 2への移行が始まっている

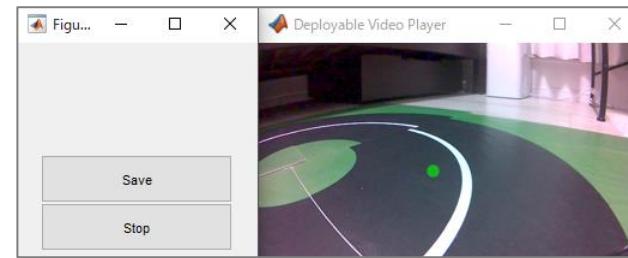
ROSを活用することで自律分散システムを効率的に開発可能

ROS Toolbox によるROS連携

ワークショップで使用する機能

	ROS	ROS2
MATLAB	<ul style="list-style-type: none">Topic – Publish / SubscribeService – Server / ClientAction – ClientParameter – Get / Setカスタムメッセージrosbag 読み込みROSノード生成 R2021a	<ul style="list-style-type: none">Topic – Publish / Subscribeカスタムメッセージros2bag 読み込み R2021a
Simulink	<ul style="list-style-type: none">Topic – Publish / SubscribeService – CallParameter – Get / SetROS Timerosbag playbackROSノード生成	<ul style="list-style-type: none">Topic – Publish / SubscribeROSノード生成
ROS Distro	<ul style="list-style-type: none">ROS Melodic R2020b	<ul style="list-style-type: none">ROS2 Dashing R2020a

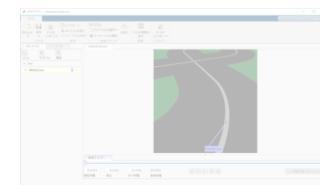
ステップ1: ROSの接続テストと学習画像収集



データセットの
準備



動画



ビデオラベラー

ラベリン
グ



ラベル済み
画像



回帰ネットワークモデル

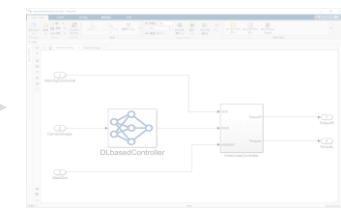
ネットワークの設計



学習

学習済モデル

統合



システム
シミュレーション

実装



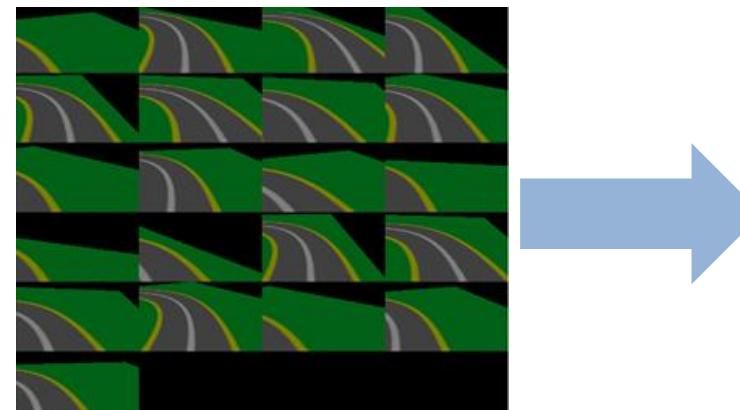
実機実行

シミュレーション環境と実機環境の差分

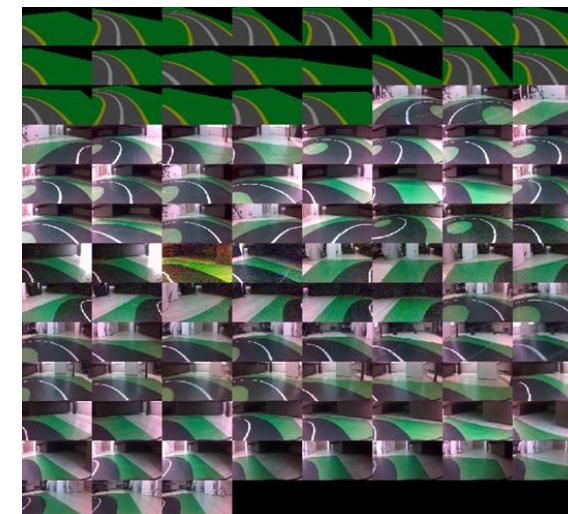
シミュレーション環境で学習した検出モデルでは実機環境に対応できない場合がある
例えば下記の差分が存在する*

- 周囲の障害物の有無
- 環境高の明るさや反射
- 画像センサーのノイズ

実環境からもデータを収集し、よりロバストな学習モデルを構築する



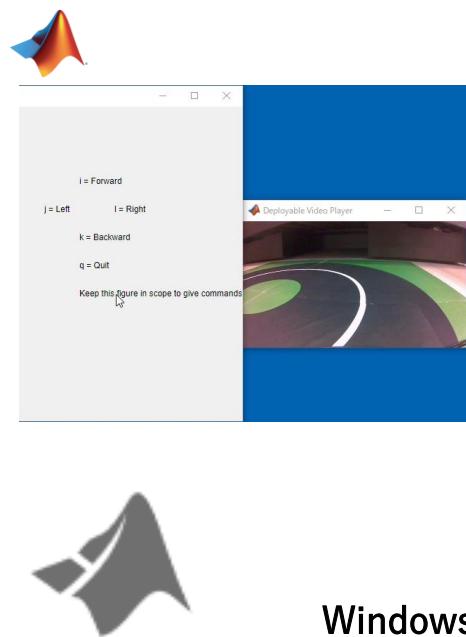
シミュレーション環境で
収集した画像



実機環境で収集した
画像を追加

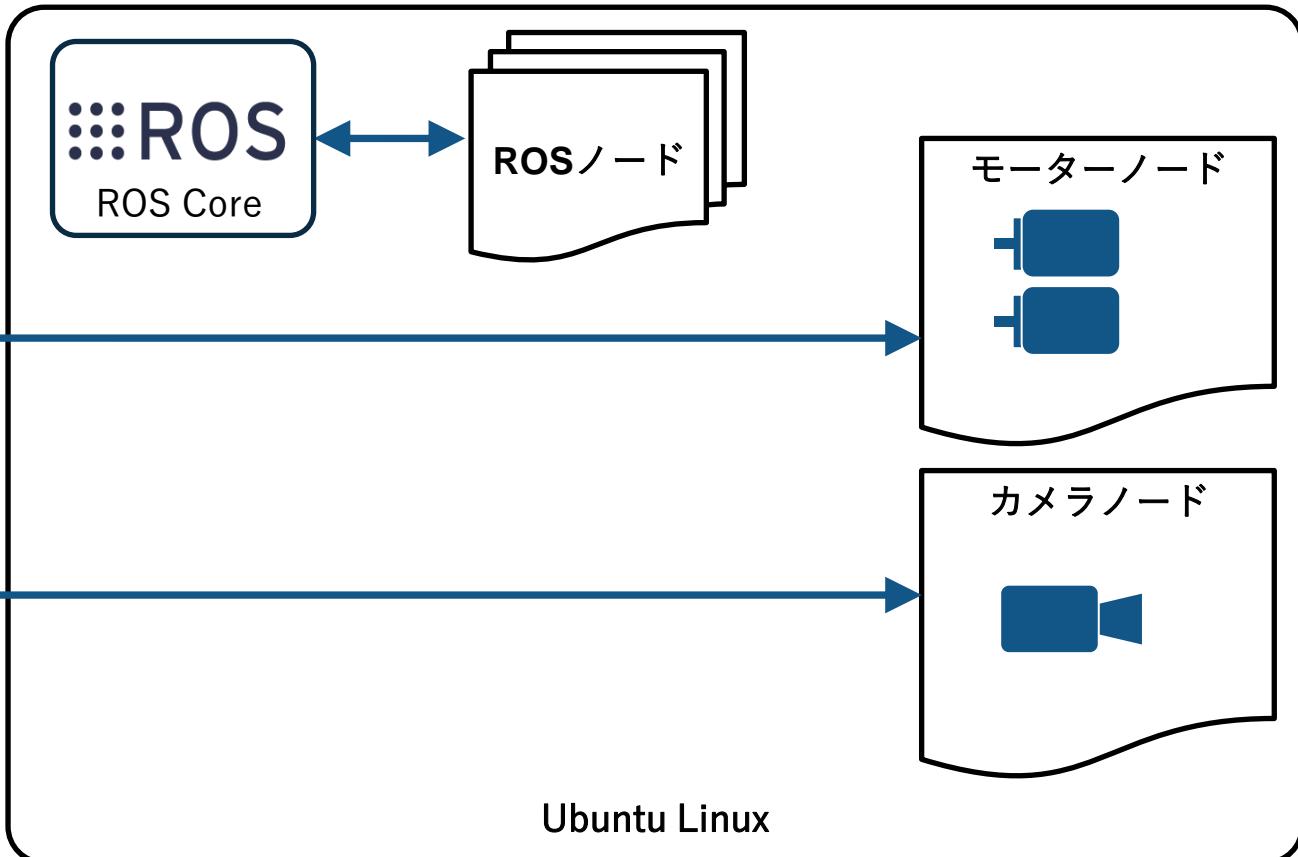
ROSの接続テストと学習画像収集

- ROS経由でMATLAB/SimulinkとJetBotを接続
- 両輪のモーターの指令値を送信
 - カメラ画像を受信し保存



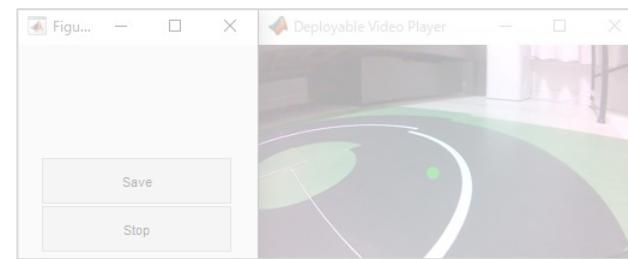
Development Machine

```
>> edit teleopTestJetBot_jp.mlx
```



JetBotをいろいろな
場所に設置する
or
走行させる

ステップ2: ライン検出器の改善



データセットの
準備

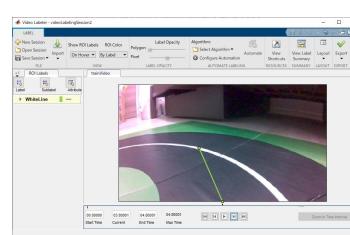


ラベリング



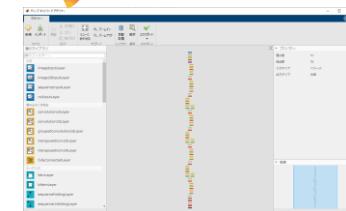
ラベル済み
画像

動画

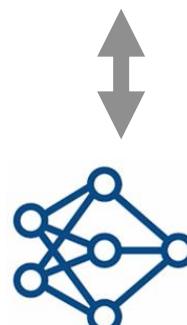


ビデオラベラー

回帰ネットワークモデル



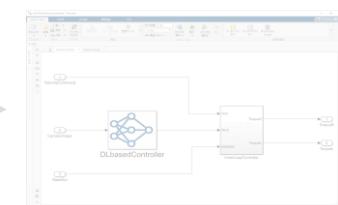
ネットワークの設計



学習

学習済モデル

統合



システム
シミュレーション

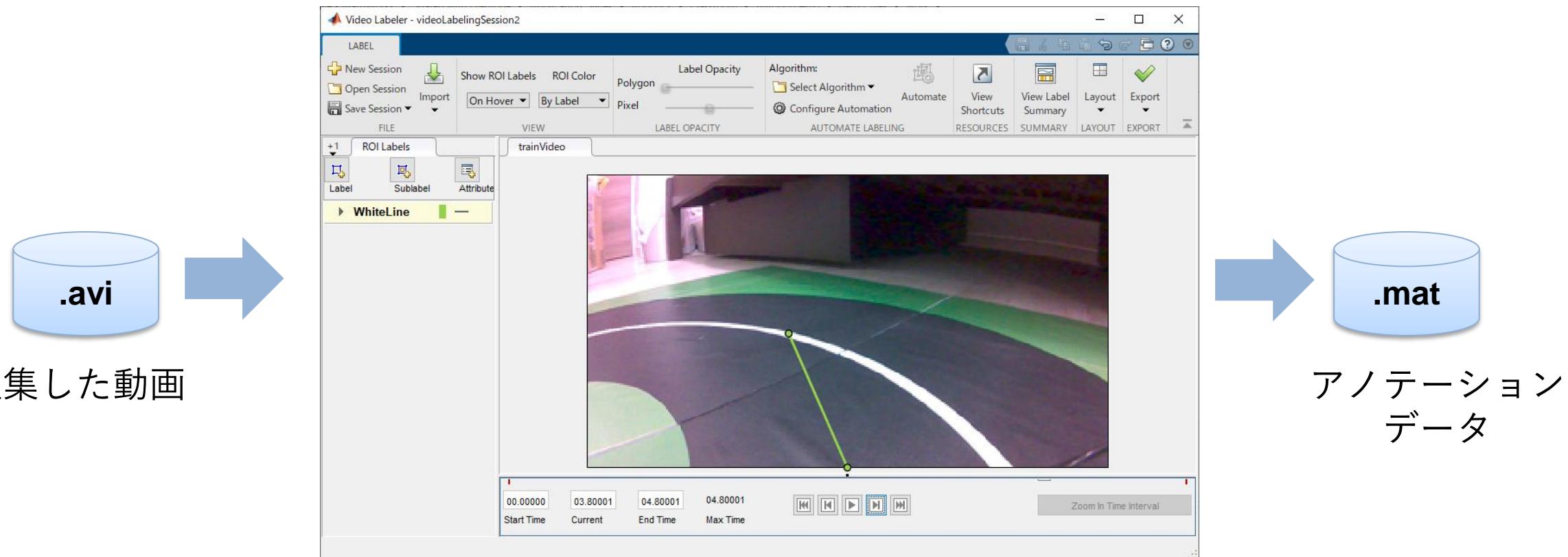


実装

実機実行

ラベリング

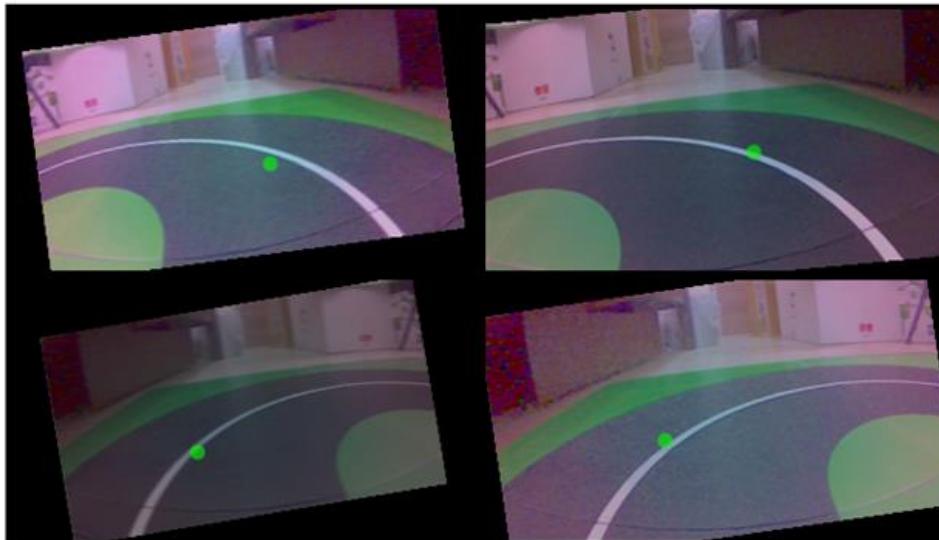
- 収集した画像データをシミュレーションデータ同様にラベリング



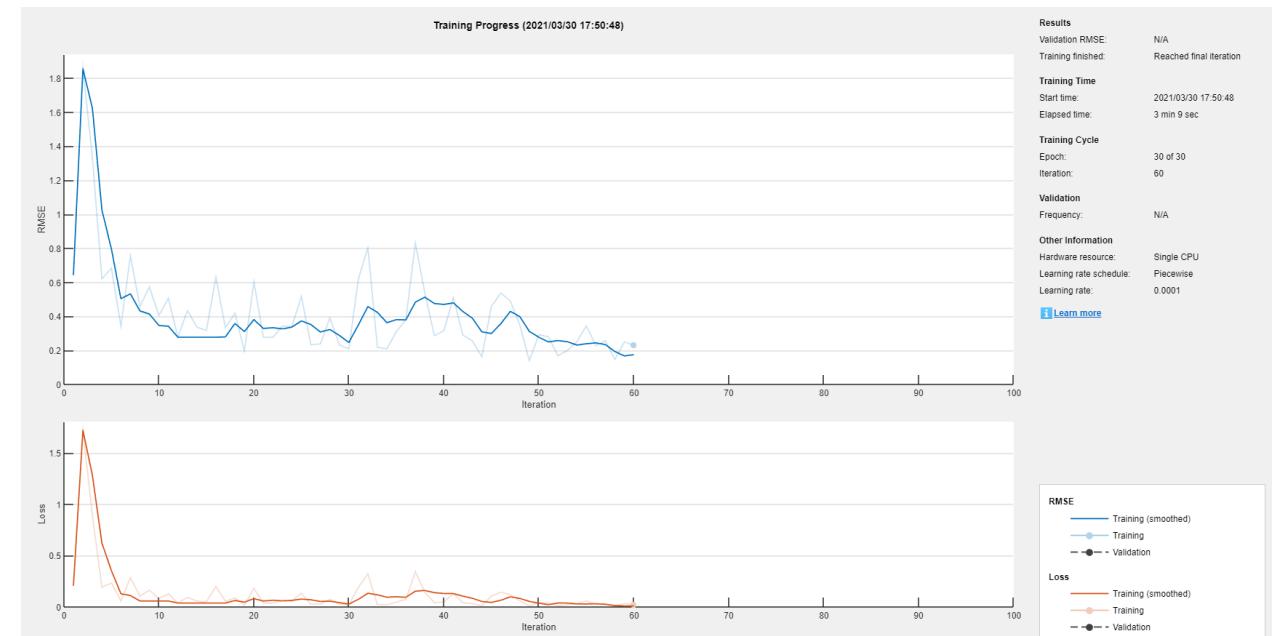
```
>> edit trainWhiteLineWithHardware_jp mlx
```

データの水増しと再学習

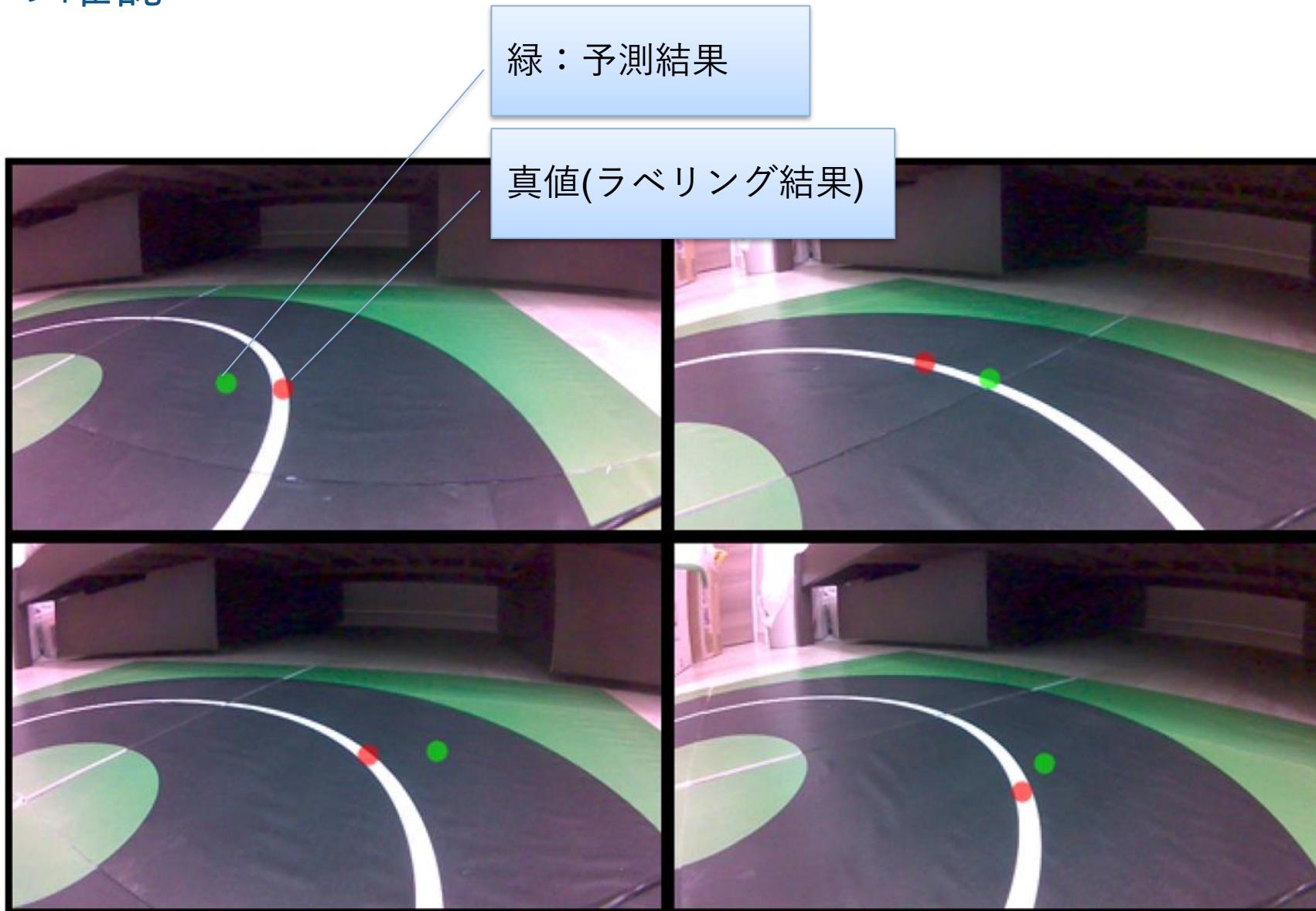
- シミュレーション時と同様に再学習
- 実機の複雑な環境変化を模擬するためオーグメンテーションとして画像を加工



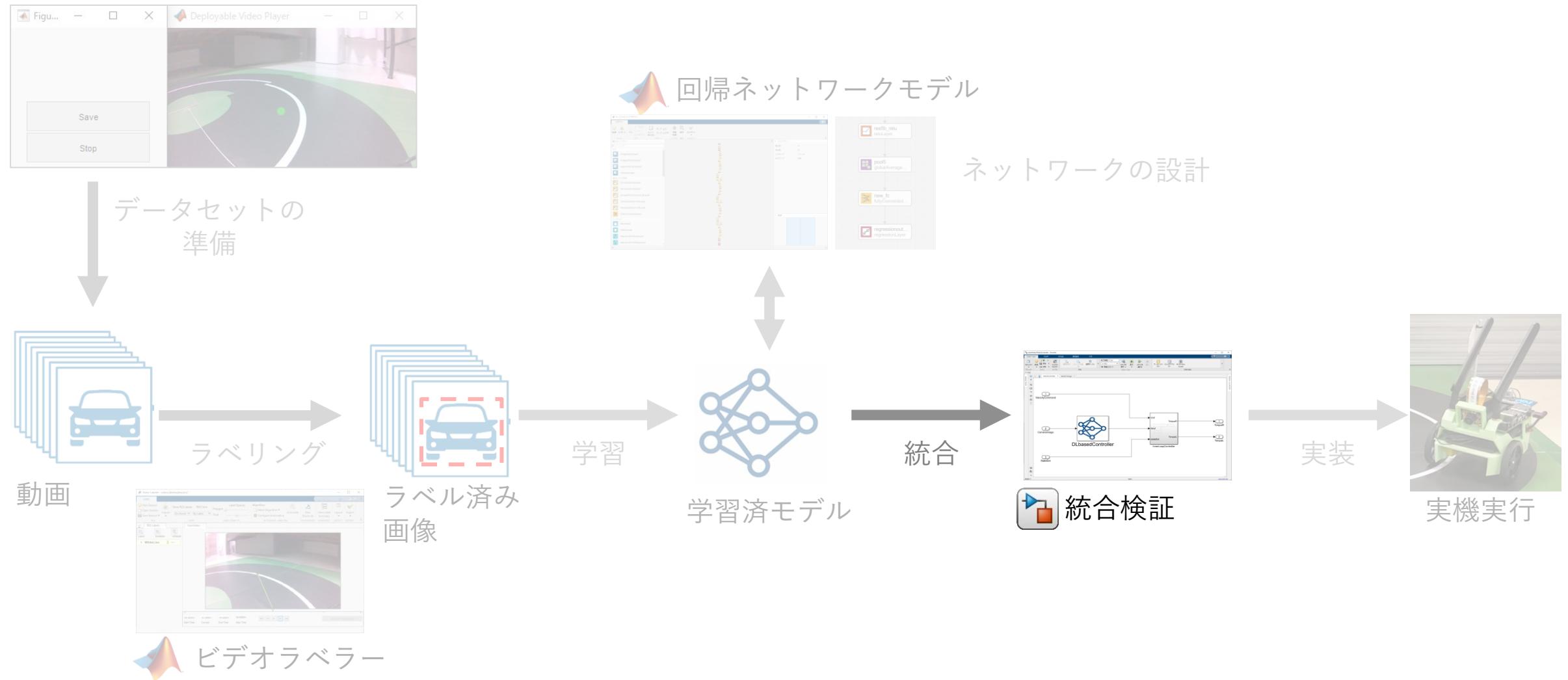
画像を加工し、環境変化を模擬



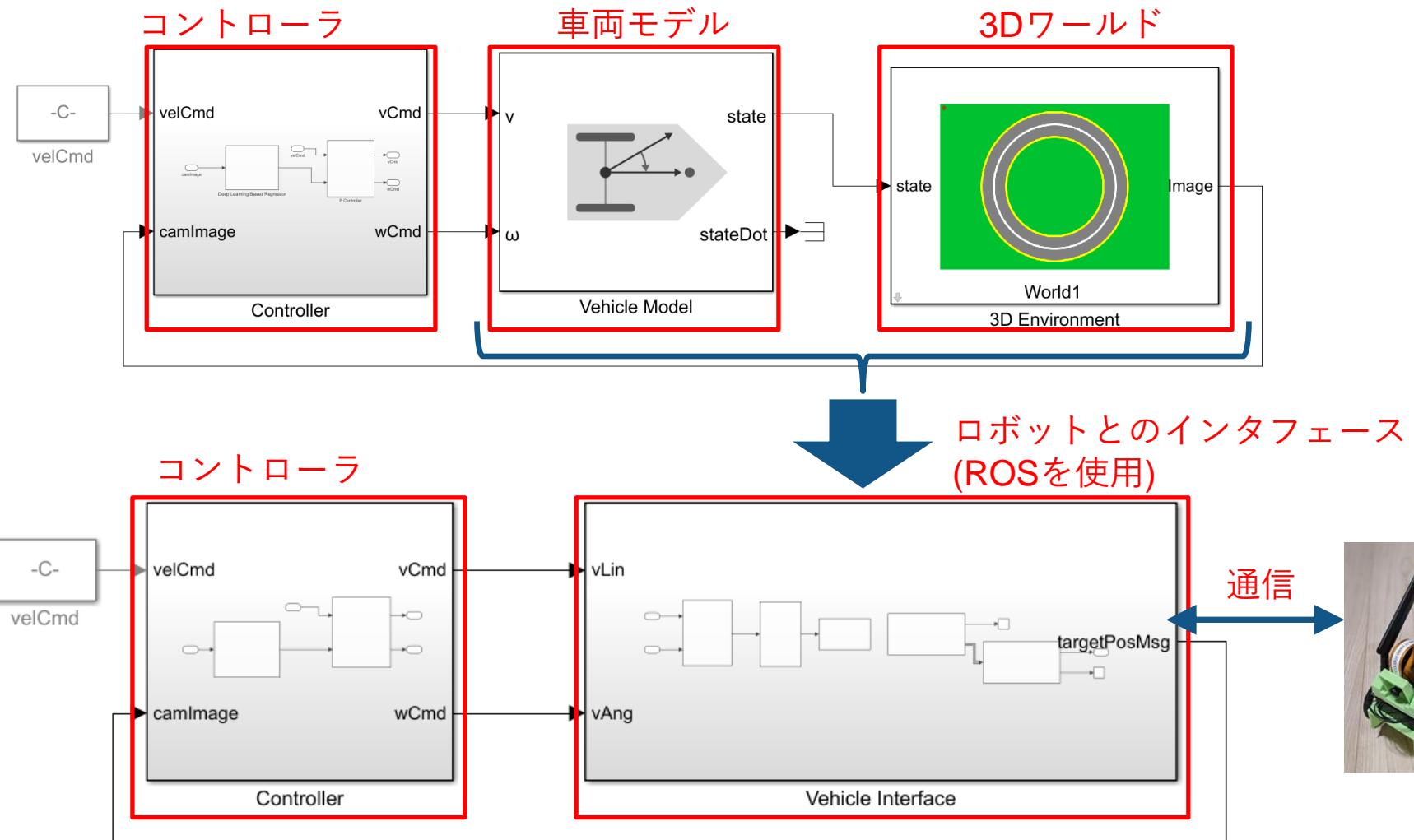
学習結果の確認



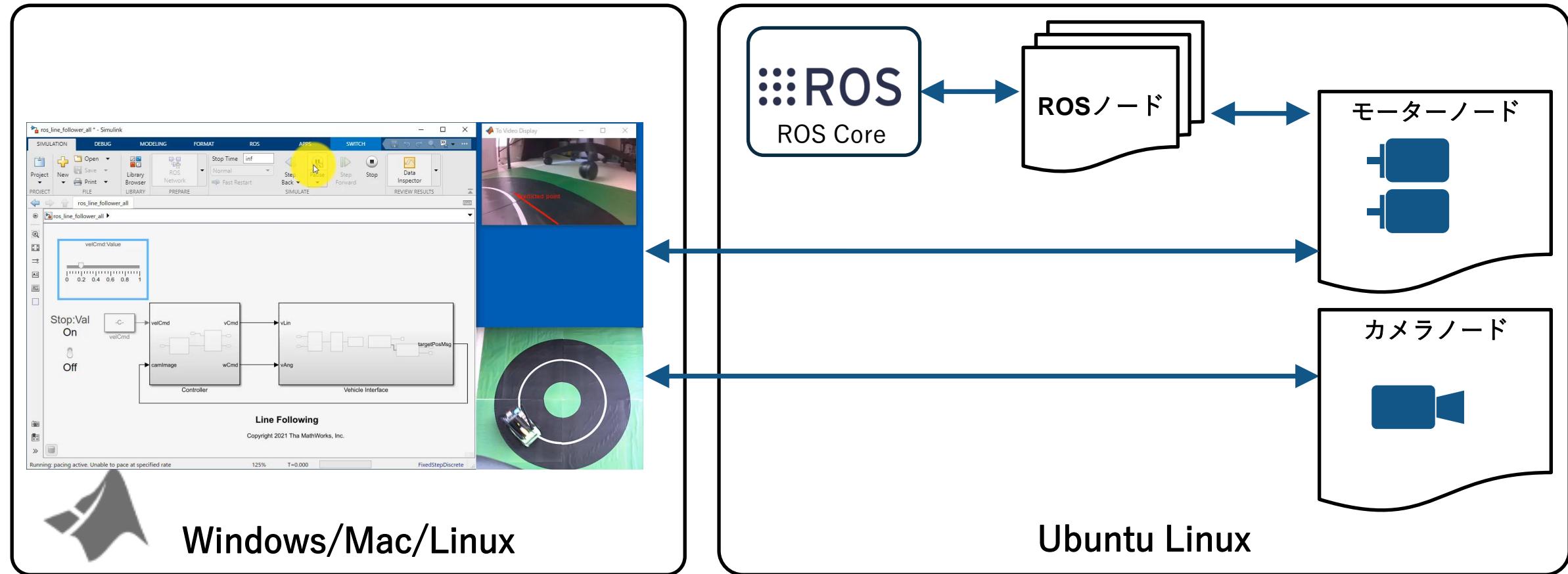
ステップ3: ライントレースアルゴリズムを実機テスト



インタフェースをROSに置き換え



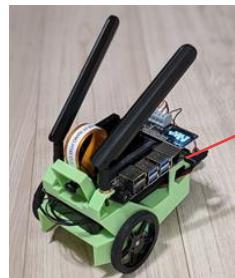
実機通信でアルゴリズムをテスト



Development Machine

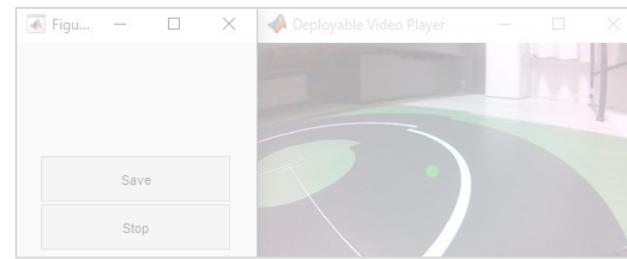
```
>> edit testLineFollowerWithROS_jp.mlx
```

ライン検出および追従制御は
ホストマシン上で実行
(通信遅延あり)



Jetson Nano™

ステップ4: コード生成による実機へのスタンドアローン実装



データセットの
準備

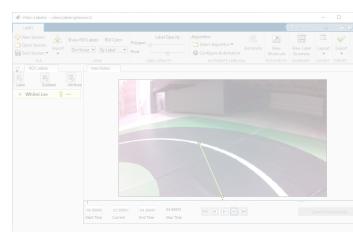


動画

ラベリング

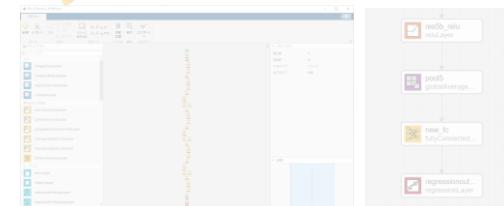


ラベル済み
画像



ビデオラベラー

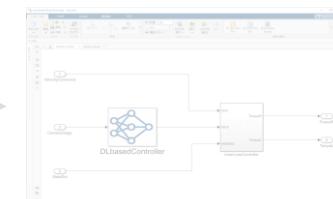
回帰ネットワークモデル



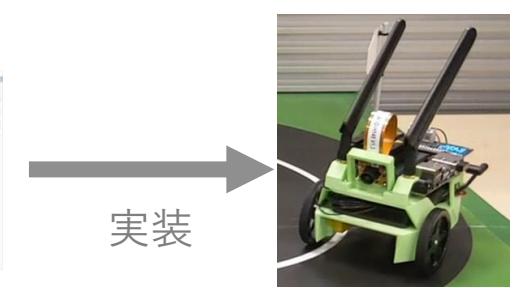
ネットワークの設
計



学習済モデル



統合検証

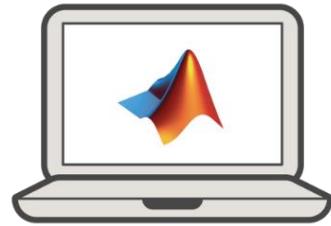
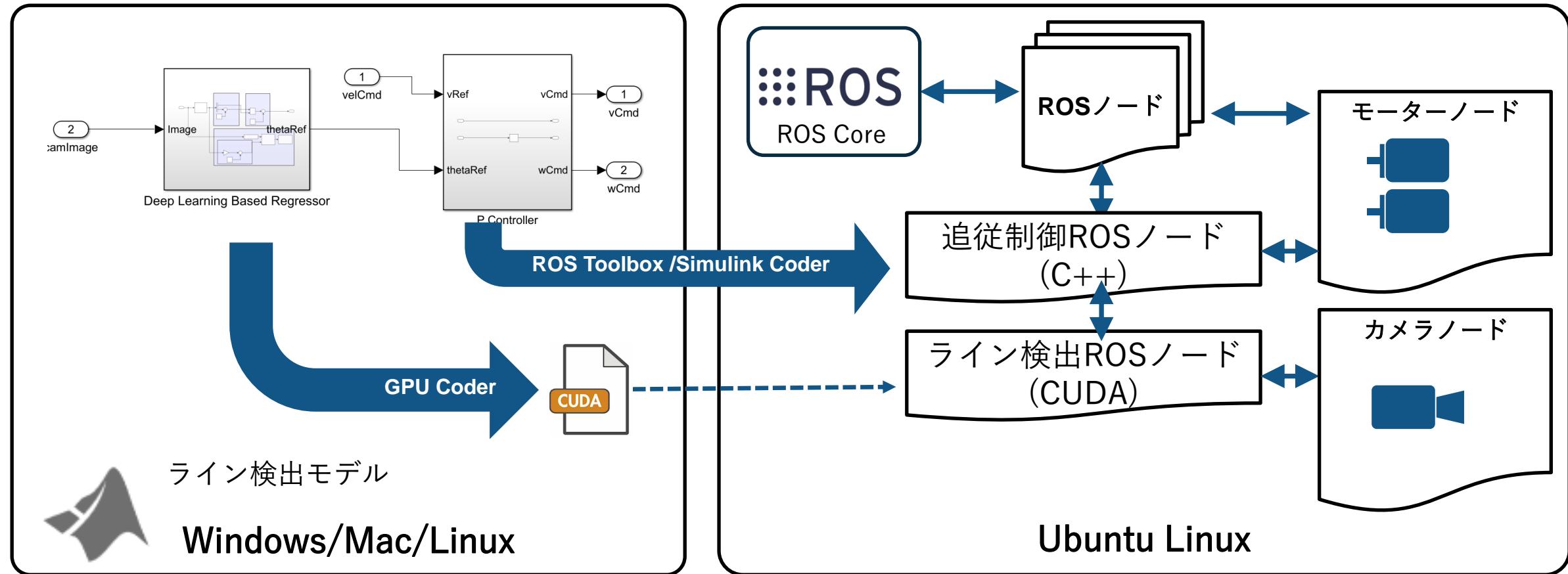


実装



実機実行

ROSノード化し、ターゲット上で動作



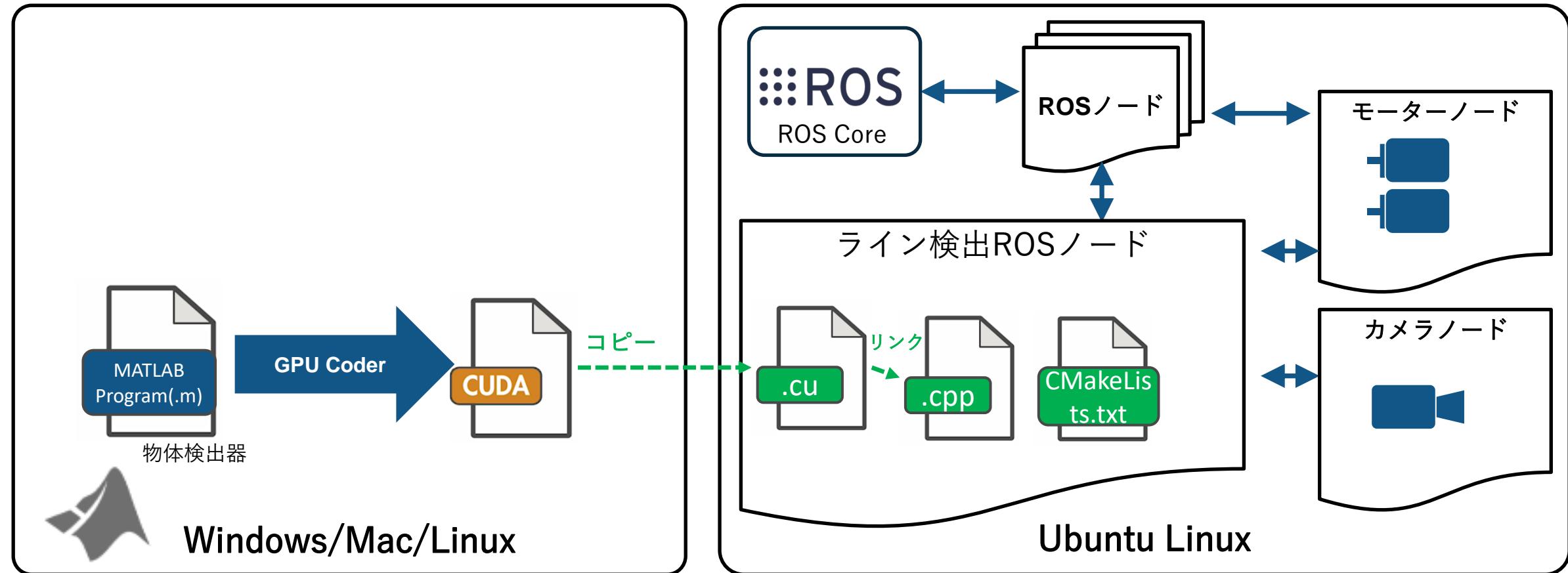
Development Machine

Simulinkで実現したモデルを
ライン検出と追従制御に分割し、そ
れぞれROSノード化
スタンドアローン実行可能にする



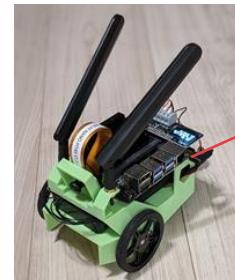
Jetson Nano™

CUDAコード生成とROSノード化



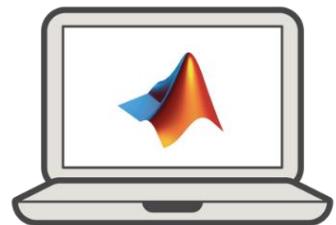
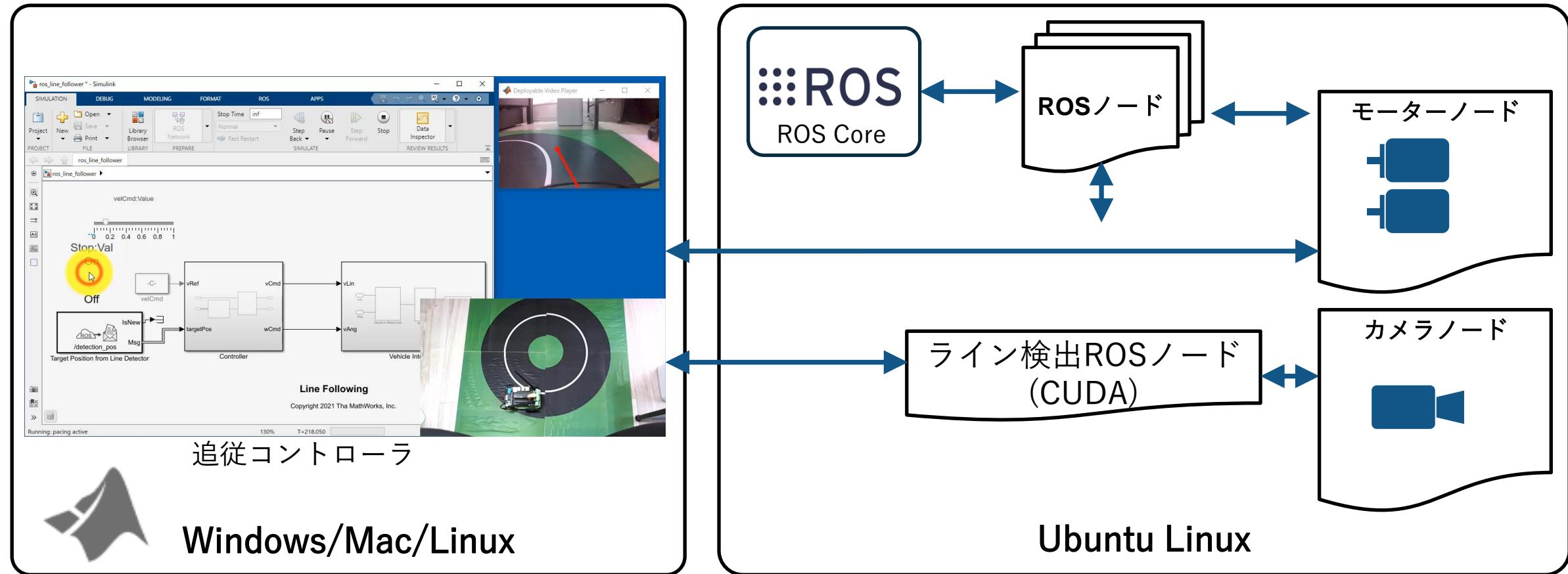
Development Machine

ライン検出モデルについては
GPU Coderを使いCUDAコード生成
その後、ROSノード化



Jetson Nano™

実装したライン検出器と追従コントローラの協調動作確認



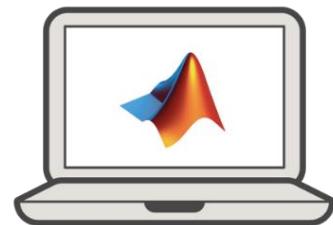
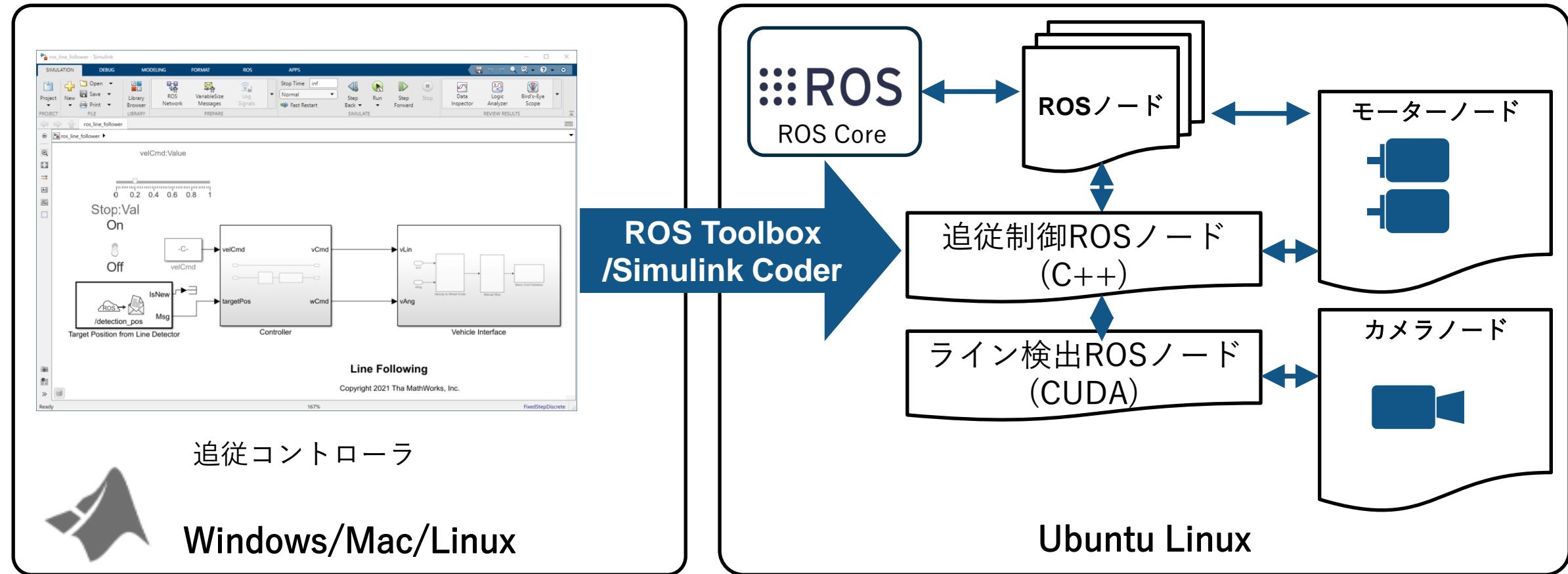
Development Machine

分割した追従コントローラと
実装したライン検出ROSノードの動作を確認



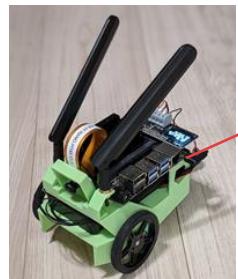
Jetson Nano™

追従コントローラのROSノード化



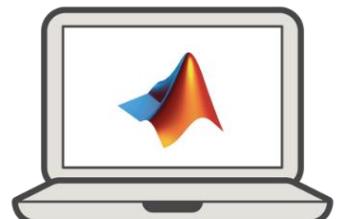
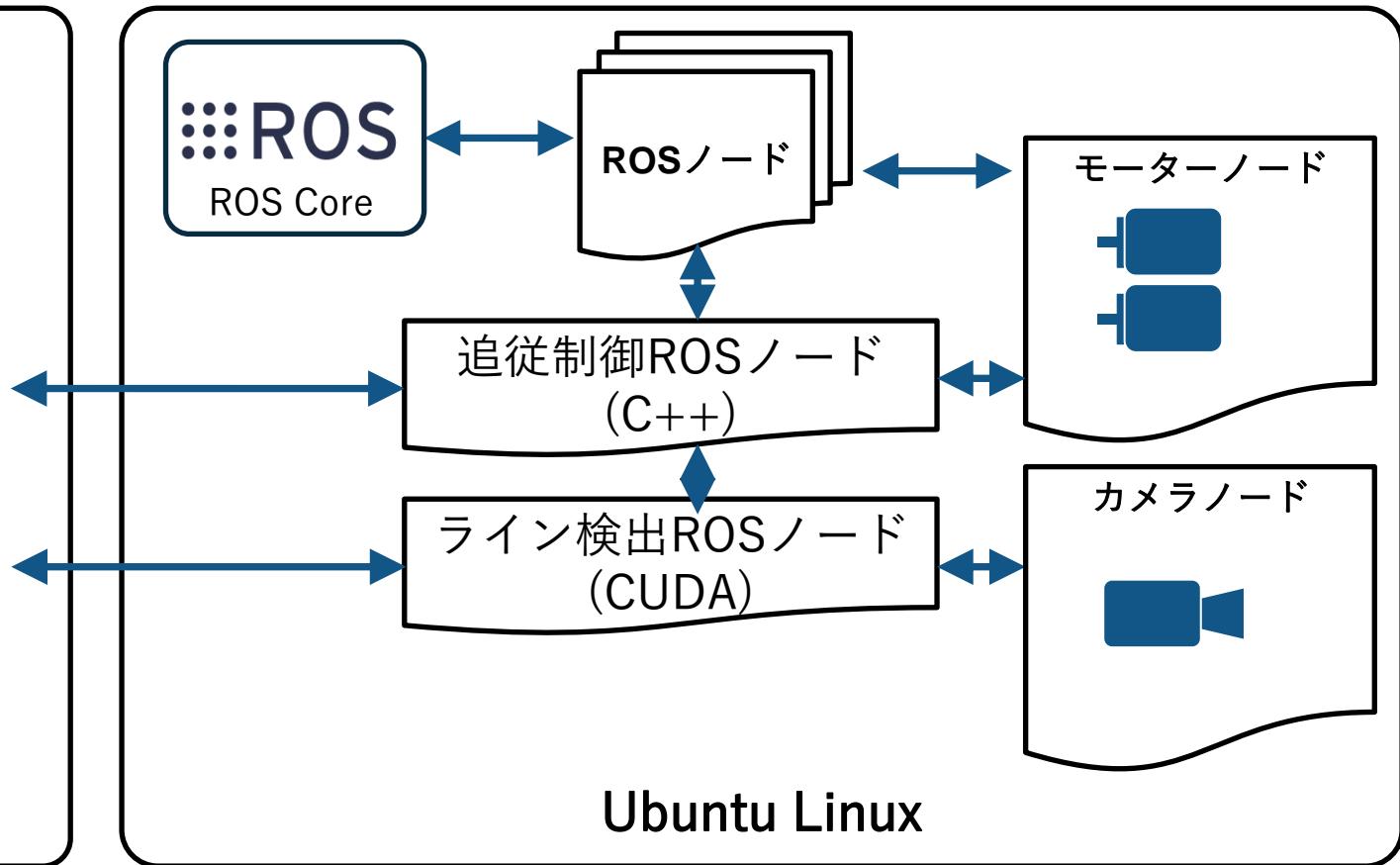
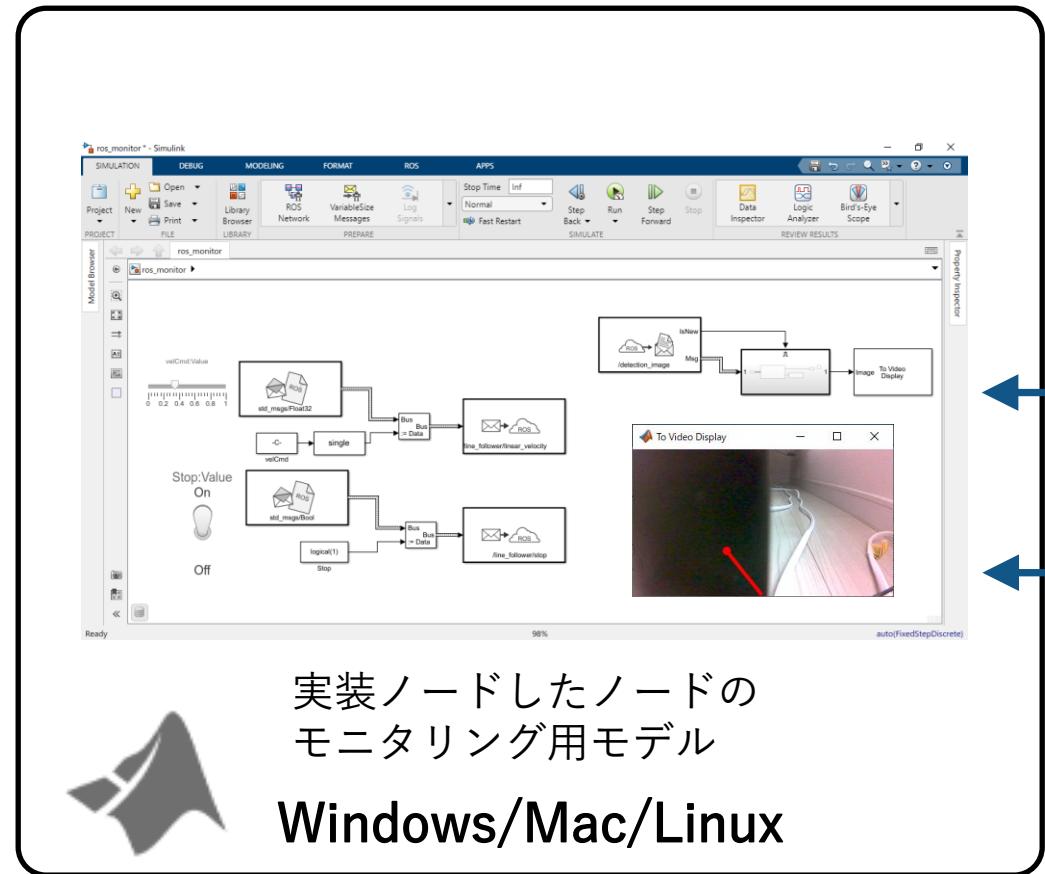
Development Machine

追従コントローラをROS Toolboxと
Simulink Coderを使ってROSノード化



Jetson Nano™

全ROSノードをスタンドアローン実行



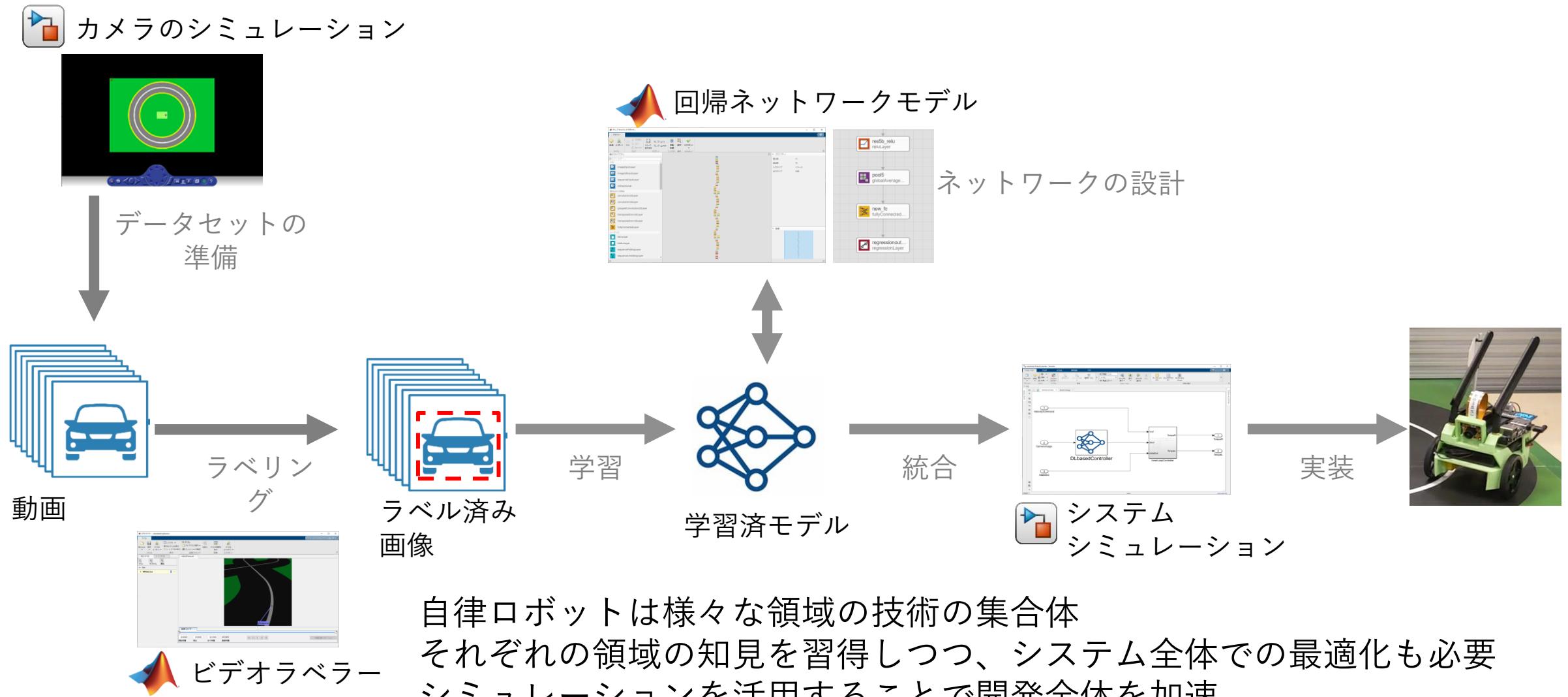
Development Machine

実機上でスタンドアローン実行
速度制御や進行停止などの指令は
別のSimulinkモデルを利用



Jetson Nano™

まとめ：自律ロボットシステム開発ワークフロー



付録A. ワークショップ環境準備

ワークショップ用PC

- システム要件
 - <https://jp.mathworks.com/support/requirements/matlab-system-requirements.html>
- 必要なソフトウェア
 - MATLAB R2021a 以降
 - Simulink
 - Image Processing Toolbox
 - Computer Vision Toolbox
 - Deep Learning Toolbox
 - Robotics System Toolbox
 - Simulink 3D Animation
 - Deep Learning Toolbox Model for ResNet-18 Network
 - 下記のようにMATLAB上でタイプいただきますとインストールのリンクが表示されます
 - `>> resnet18`
 - Parallel Computing Toolbox (NVIDIA® GPUが使える場合)

付録B. 実機実装 (JetBotのセットアップ)

開発環境：MathWorks製品

- シミュレーションに加えて以下のソフトウェアが必要
 - MATLAB Coder
 - GPU Coder
 - Simulink Coder
 - Embedded Coder
 - ROS Toolbox
- アドオン
 - MATLAB Coder Support Package for NVIDIA® Jetson™ and NVIDIA® DRIVE™ Platforms
 - インストール手順は下記参照
 - <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/nvidia/ug/install-support-for-nvidia-devices.html>
 - GPU Coder Interface for Deep Learning Libraries
 - 「ホーム」タブの「アドオン」→「アドオンの入手」をクリックし、GPU Coder Interfaceを検索



開発環境：ハードウェア関連

- ハードウェア
 - NVIDIA® JetBot ([FaBo製 JB-4GB-S-G](#)でテスト済)
 - Jetson Nano™ 4GB
- ソフトウェア
 - JetPack 4.3, JetBot 0.4.0 ([jetbot_image_v0p4p0.zip](#))
 - L4T R32.3.1 (K4.9)
 - Ubuntu 18.04 LTS aarch64
 - CUDA 10.0
 - cuDNN 7.6.3
 - TensorRT 6.0.1
 - OpenCV 4.1
 - JetBot ROSパッケージ
 - https://github.com/dusty-nv/jetbot_ros
 - リビジョン c7d0e611b037947a0df855293c9848a7c8bc6e90 にパッチをしてテスト
 - ROS Melodic + JetBot用のカメラ/モーターのROS ドライバノード
 - Jetson CSIカメラのROS nodeletパッケージ
 - https://github.com/sfalexrog/jetson_camera
 - リビジョン 7ec8e364880fcceb5bbe31800bd6224af2370ca1b でテスト

JetBotのセットアップ

- JetBotは予めベンダーのマニュアルに沿って組み立てておく
 - [FaBo製 JB-4GB-S-G](#)で動作確認済
 - 上記以外のJetBotについては各ベンダーのマニュアルを参照すること
- 下記に沿ってJetBotのソフトウェアをセットアップする
 - https://jetbot.org/v0.4.3/software_setup/sd_card.html
 - このときJetBotのイメージファイルとして
jetbot_image_v0p4p0.zip (7.3GB)を使用する

JetBotのセットアップ

- jetbot_image_v0p4p0.zip をダウンロード

Using SD Card Image

Platform	JetPack Version	JetBot Version	Download	MD5 Checksum
Jetson Nano 2GB	4.5	0.4.3	jetbot-043_nano-2gb-jp45.zip	e6dda4d13b1b1b31f648402b9b742152
Jetson Nano (4GB)	4.5	0.4.3	jetbot-043_nano-4gb-jp45.zip	760b1885646bfad8590633acca014289

Old releases

Platform	JetPack Version	JetBot Version	Download
Jetson Nano 2GB	4.4.1	0.4.2	jetbot-042_nano-2gb-jp441.zip
Jetson Nano (4GB)	4.4.1	0.4.2	jetbot-042_nano-4gb-jp441.zip
Jetson Nano 2GB	4.4.1	0.4.1	jetbot-041_nano-2gb-jp441.zip
Jetson Nano (4GB)	4.4.1	0.4.1	jetbot-041_nano-4gb-jp441.zip
Jetson Nano (4GB)	4.3	0.4.0	jetbot_image_v0p4p0.zip
Jetson Nano (4GB)	4.2	0.3.2	jetbot_image_v0p3p2.zip

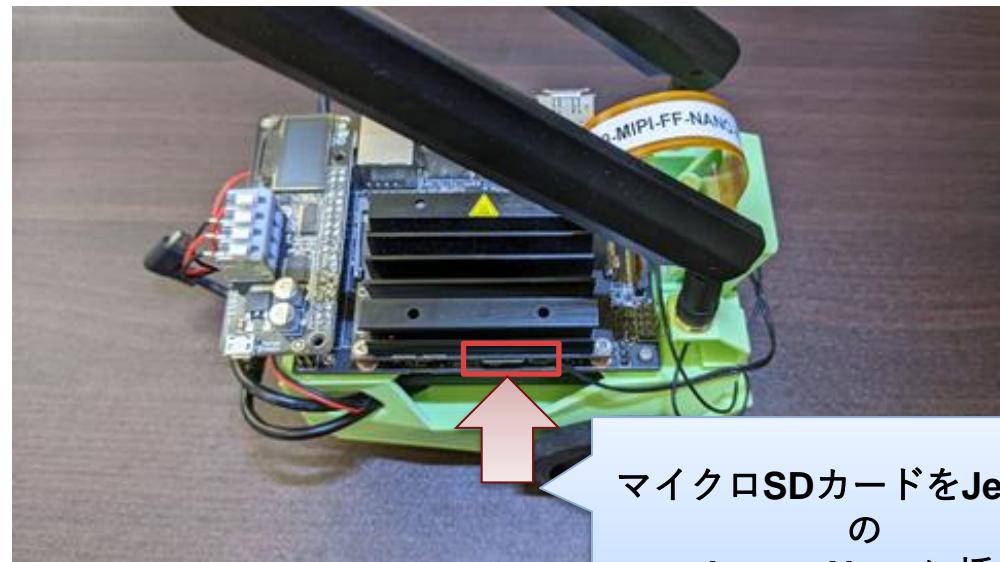
JetBotのセットアップ

- マイクロSDカードをSDカードアダプタに差す(マイクロSDカードの容量は32GB以上推奨)
- PCのSDカードリーダーに差す
- [Etcher](#)を使用して、ダウンロードしたイメージをSDカードに書き込む

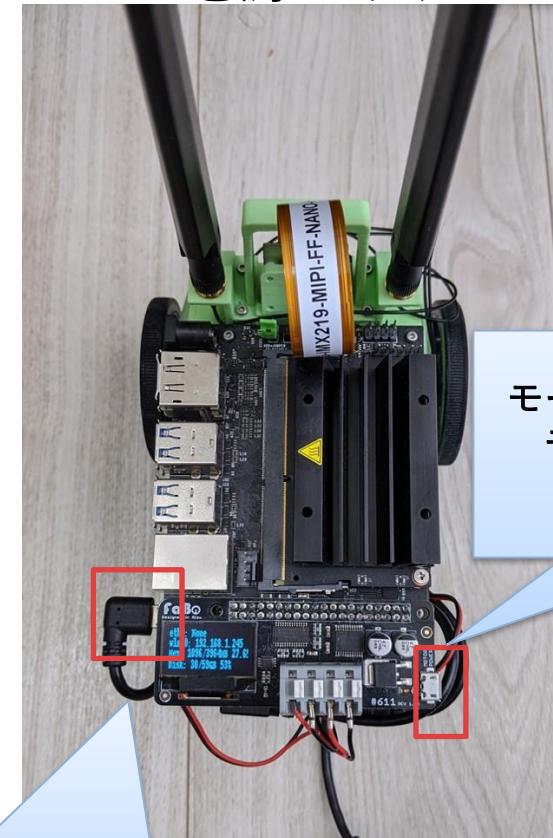


JetBotのセットアップ

- マイクロSDカードをJetBotのJetson Nanoに挿入



- JetBotの電源を入れる



Jetson Nano側の電源を投入

JetBotのセットアップ

- ROS Melodicのインストール
 - \$ sudo apt-add-repository universe
 - \$ sudo apt-add-repository multiverse
 - \$ sudo apt-add-repository restricted
 - \$ sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu \$(lsb_release -sc) main" > /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
 - \$ sudo apt-key adv --keyserver 'hkp://keyserver.ubuntu.com:80' --recv-key C1CF6E31E6BADE8868B172B4F42ED6FBAB17C654
 - \$ sudo apt-get update
 - \$ sudo apt-get install ros-melodic-ros-base
 - sudo sh -c 'echo "source /opt/ros/melodic/setup.bash" >> ~/.bashrc'

JetBotのセットアップ

- Adafruitのライブラリをインストール
 - # pip should be installed
 - \$ sudo apt-get install python-pip
 - # install Adafruit libraries
 - \$ pip install Adafruit-MotorHAT
 - \$ pip install Adafruit-SSD1306
 - \$ sudo usermod -aG i2c \$USER

JetBotのセットアップ

- catkin workspaceを作成

- # create the catkin workspace
 - \$ mkdir -p ~/workspace/catkin_ws/src
 - \$ cd ~/workspace/catkin_ws
 - \$ catkin_make

 - # add catkin_ws path to bashrc
 - \$ sudo sh -c 'echo "source ~/workspace/catkin_ws/devel/setup.bash" >> ~/.bashrc'

JetBotのセットアップ

- jetson-inferenceライブラリをビルド
 - # git and cmake should be installed
 - sudo apt-get install git cmake
 - # clone the repo and submodules
 - cd ~/workspace
 - git clone https://github.com/dusty-nv/jetson-inference
 - cd jetson-inference
 - git checkout 8498115a4ed8967c7e23f5ae27b5aa2fa1d1431b
 - git submodule update --init
 - # build from source
 - mkdir build
 - cd build
 - cmake ../
(ディープラーニングのモデルなどは不要なので全てチェックを外してよい)
 - make
 - # install libraries
 - sudo make install

JetBotのセットアップ

- ros_deep_learningをビルド
 - # install dependencies
 - sudo apt-get install ros-melodic-vision-msgs ros-melodic-image-transport ros-melodic-image-publisher
 - # clone the repo
 - cd ~/workspace/catkin_ws/src
 - git clone https://github.com/dusty-nv/ros_deep_learning
 - cd ros_deep_learning
 - git checkout ac40e93413f4b7cb911a18c0e4d5daac479234d4
 - # make ros_deep_learning
 - cd ../../ # cd ~/workspace/catkin_ws
 - catkin_make
 - # confirm that the package can be found
 - \$ rospack find ros_deep_learning
 - /home/nvidia/workspace/catkin_ws/src/ros_deep_learning

JetBotのセットアップ

- jetbot_rosをビルド

- \$ cd ~/workspace/catkin_ws/src
- \$ git clone https://github.com/dusty-nv/jetbot_ros
- \$ cd jetbot_ros/
- \$ git checkout c7d0e611b037947a0df855293c9848a7c8bc6e90
- \$ cd ~
- \$ git clone https://github.com/mathworks-robotics/ai-robotics-workshop.git
- \$ cd ~/workspace/catkin_ws/src/jetbot_ros
- \$ patch -p1 < ~/ai-robotics-workshop/setup/jetbot_ros_for_c7d0e61.patch
patching file CMakeLists.txt
patching file launch/jetbot_ros.launch
patching file package.xml
patching file scripts/jetbot_motors.py
patching file src/jetbot_camera.cpp
- \$ cd ~/workspace/catkin_ws
- \$ catkin_make

全てエラーなく
パッチが当たることを確認

ビルドでエラーが出なければ成功

jetbot_rosにパッチを当てる理由：

モーターの速度制御を実装(オリジナルのjetbot_rosではひな型はあるが実装されていない)

画像の解像度を下げる(オリジナルは解像度が高く、MATLABへの転送にかなりの遅延が発生する)

JetBotのセットアップ

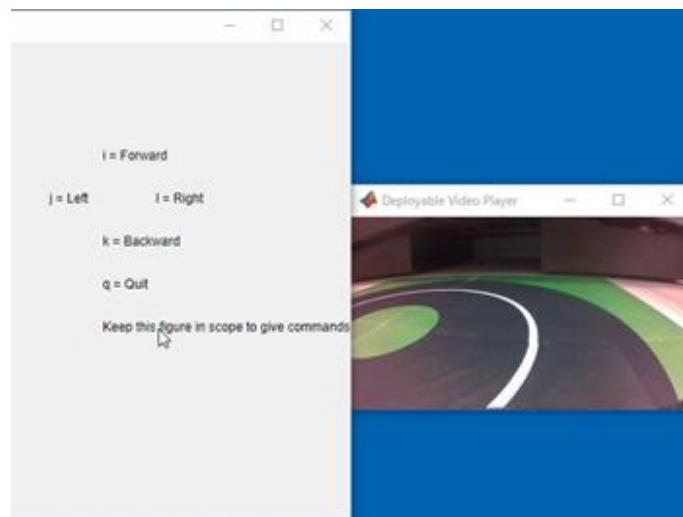
- Adafruit_MotorHATが見つからないというエラーが出た場合、明示的にpip2を指定してインストールしてみること
 - `$ pip2 install Adafruit-MotorHAT`
 - `$ pip2 install Adafruit-SSD1306`
- ROSの環境変数を`~/.bashrc`の最終行に追加
 - `$ gedit ~/.bashrc`
 - `export ROS_IP=$(hostname -I | awk '{print $1;}' | tr -d [:blank:])`
 - `export ROS_MASTER_URI=http://$ROS_IP:11311`
 - うまくIPアドレスが設定されない場合は固定のIPアドレスを振ってもよい

JetBotのセットアップ

- Jetson CSIカメラのROS nodeletパッケージをセットアップ（スタンドアローン実行時に必要）
 - \$ cd /home/jetbot/workspace/catkin_ws/src/
 - \$ git clone https://github.com/sfalexrog/jetson_camera.git
 - \$ cd /home/jetbot/workspace/catkin_ws
 - \$ catkin_make
- OpenCV3が見つからないというエラーが出る場合は下記の"3"を削除
(JetPack4.3のデフォルトがOpenCV4のため)
 - \$ gedit ~/workspace/catkin_ws/src/jetson_camera/CMakeLists.txt
 - find_package(OpenCV **3** REQUIRED)
- **/usr/include/opencv** が見つからないというエラーが出る場合は下記のようにopencv4へのシンボリックリンクを作成する
 - \$ cd /usr/include/
 - \$ sudo ln -s opencv4 opencv

JetBotのセットアップ

- MATLABからの接続確認 ([別のページ](#)も参照)
 - MATLAB R2021aを起動
 - `>> cd c:\ai-robotics-workshop`
 - `>> matlab_ai_robotics_workshop.prj`
 - `>> edit teleopTestJetBot_jp.mlx`
- JetBotが動き、画像が取得できれば動作確認完了



JetBotのセットアップ

タイヤの回転方向が逆だったり、タイヤの左右を入れ替わっている場合 (1/3)

1. `jetBotKeyboardControl.m`を開き、

114行目付近にある下記の部分のコメント(先頭の%)を必要に応じてはずす

```
>> edit jetBotKeyboardControl.m
```

```
% Change rotation direction forward/reverse (タイヤの回転方向を変える場合)
```

```
% wlCmd = -wlCmd;
```

```
% wrCmd = -wrCmd;
```

```
% Swap wheels side to side (タイヤの左右を入れ替える場合)
```

```
% tmp = wlCmd;
```

```
% wlCmd = wrCmd;
```

```
% wrCmd = tmp;
```

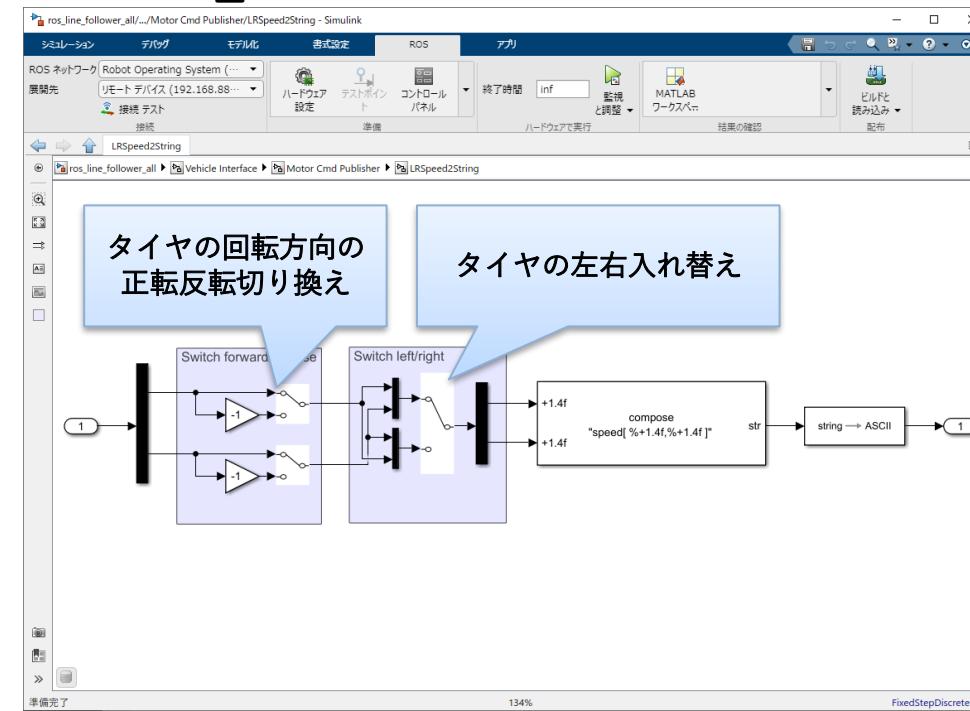
2. `teleopTestJetBot_jp mlx`を開いて順番に実行し、

`jetBotKeyboardControl`で前後左右の動きが正しいか確認する

JetBotのセットアップ

タイヤの回転方向が逆だったり、タイヤの左右が入れ替わっている場合 (2/3)

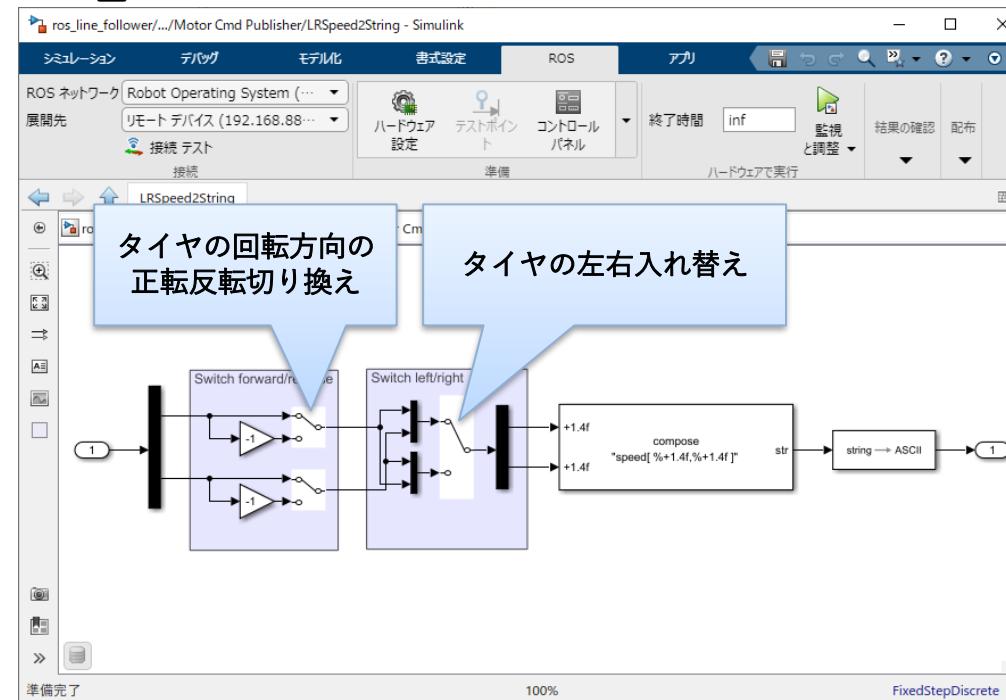
1. `ros_line_follower_all.slx`を開く
`>> open_system('ros_line_follower_all');`
2. 「Vehicle Interface」 → 「Motor Cmd Publisher」 → 「LRSpeed2String」とブロックをダブルクリックしながら移動する。
3. 下記に沿って各モーターの正転逆転と左右入れ替えのスイッチをダブルクリックで変更する
4. `testLineFollowerWithROS_jp mlx` にしたがって実行し、ライントレースすることを確認する



JetBotのセットアップ

タイヤの回転方向が逆だったり、タイヤの左右が入れ替わっている場合 (3/3)

1. `ros_line_follower.slx`を開く
`>> open_system('ros_line_follower');`
2. 「Vehicle Interface」 → 「Motor Cmd Publisher」 → 「LRSpeed2String」とブロックをダブルクリックしながら移動する。
3. 下記に沿って各モーターの正転逆転と左右入れ替えのスイッチをダブルクリックで変更する
4. `deployLineFollower_jp.mlx`にしたがって実行し、ライントレースすることを確認する



JetBotのセットアップ

カメラが上下入れ替わっている場合 (1/3)

1. **jetBotKeyboardControl.m**を開き、
79行目付近にある下記の部分のコメント(先頭の%)をはずす

```
>> edit jetBotKeyboardControl.m
```

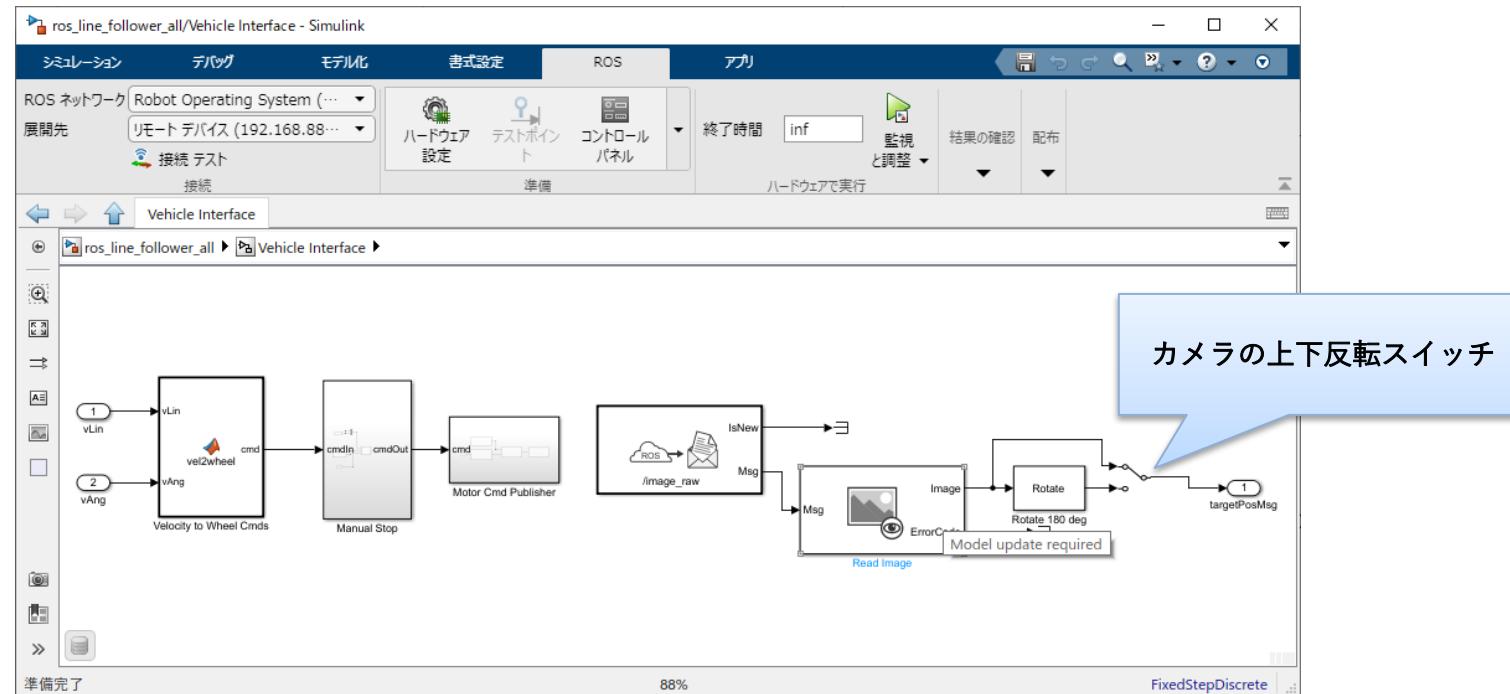
```
75  
76      % Subscribe image  
77 -    imMsg = receive(camSub);  
78 -    I = rosReadImage(imMsg);  
79      %I = imrotate(I,180);  
80
```

2. **teleopTestJetBot_jp mlx**を開いて順番に実行し、
jetBotKeyboardControlで画像が上下正しく出力されていることを確認

JetBotのセットアップ

カメラが上下入れ替わっている場合 (2/3)

1. `ros_line_follower_all.slx`を開く
`>> open_system('ros_line_follower_all');`
2. 「Vehicle Interface」ブロックをダブルクリックして移動する。
3. 下記に沿ってカメラの上下反転のスイッチをダブルクリックで変更する
4. `testLineFollowerWithROS_jp mlx`にしたがって実行し、ライントレースすることを確認する



JetBotのセットアップ

カメラが上下入れ替わっている場合 (3/3)

1. `line_detection.m`を開き、
15行目付近にある下記の部分のコメント(先頭の%)をはずす

`>> edit line_detection.m`

```
12 % Convert image data format OpenCV BGR
13 - img = ocv2mat(I);
14
15 %img = imrotate(img,180) [Red box]
16
17 - sz = size(img);
18 - sizeWH = sz([2 1]);
19
```

コード生成によるスタンドアローン化に必要な作業

- MATLAB Coder Support Package for NVIDIA Jetson and NVIDIA DRIVE Platformsのセットアップ
 - <https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/supportpkg/nvidia/ug/install-and-setup-prerequisites.html>
- SDLおよびV4L-utilsのインストール
 - `$ sudo apt-get install libsdl1.2-dev v4l-utils sox libsox-fmt-all libsox-dev`

コード生成によるスタンドアローン化に必要な作業

- Jetsonの環境変数を設定
 - リモートでnvcc等を発行できるように、.bashrcでパスを設定します

```
$ gedit ~/.bashrc
```

```
# If not running interactively, don't do anything
case $- in
  *i*) ;;
  *)
    export PATH=$PATH:/usr/local/cuda/bin
    export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/usr/local/cuda/lib64
    export LIBRARY_PATH=/usr/local/cuda/lib64
    return;;
esac
```

- 上記のようにnon-interactive shellでもパスが設定されるように記述すること

<https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/supportpkg/nvidia/ug/install-and-setup-prerequisites.html>