

ディープラーニング・3Dシミュレーション を用いたAIロボット制御の遠隔教育

張山昌論（教授）

東北大学 情報科学研究科
知能集積システム学分野

講演内容

- **研究紹介・研究でのMATLAB活用**
- 授業「ロボット知能システム」でのMATLAB活用
- まとめ

本研究室の研究目的: 人にやさしい『計算』システム



外科手術支援システム

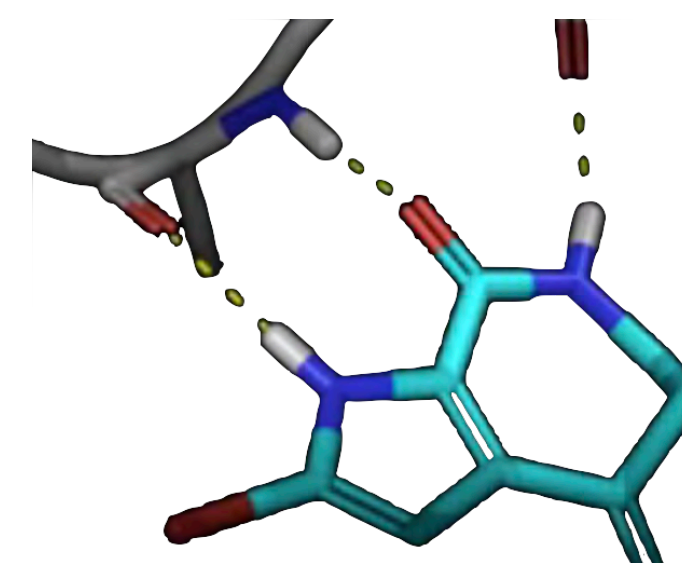
1. 知的処理を実現する
システム・ソフトウェア技術

+

2. 超高速・低消費電力な
ハードウェア技術



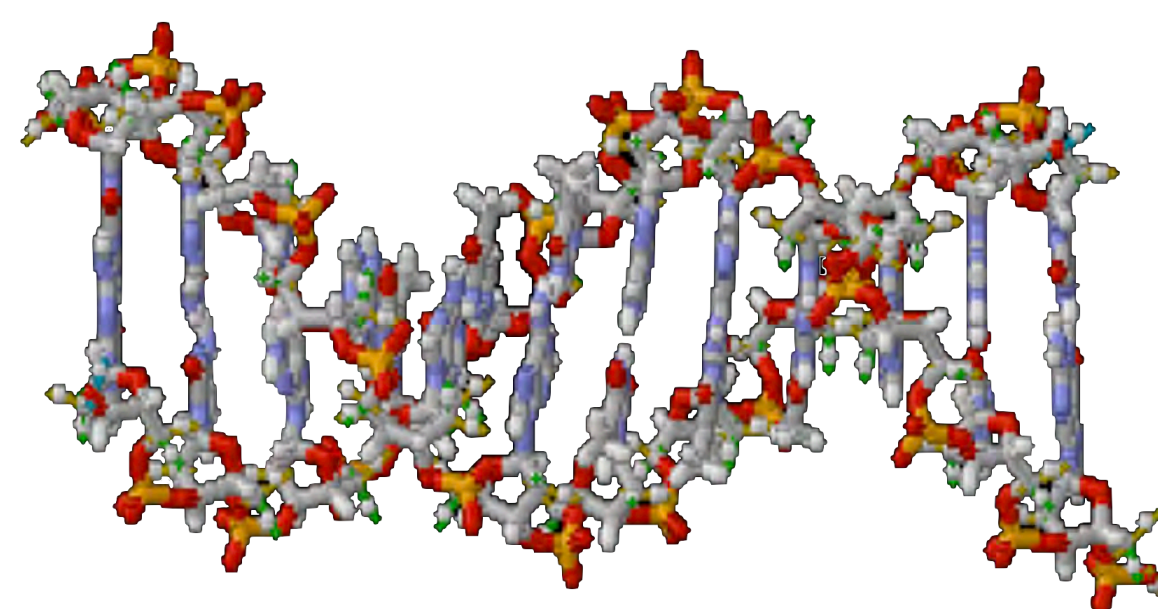
ホビーロボット



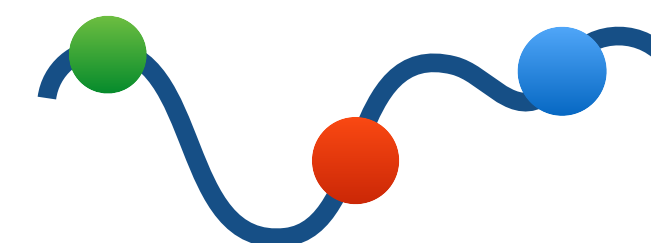
量子化学計算



高安全自動車



バイオインフォマティクス
のための高性能計算



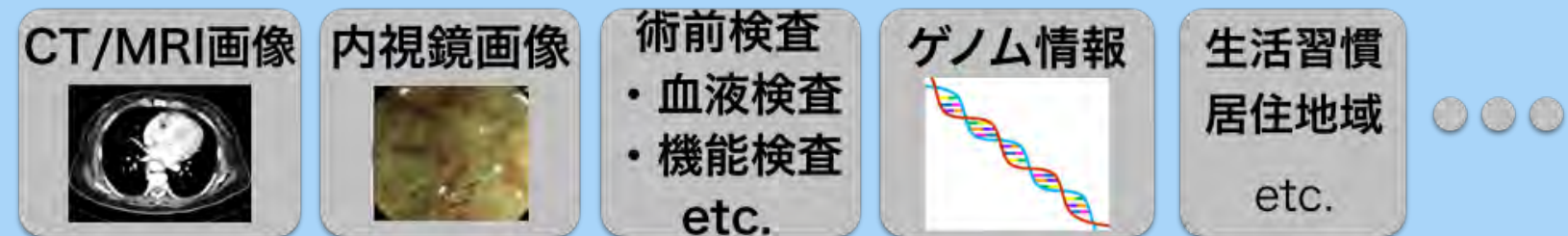
量子アニーリング
シミュレーションのための
高性能計算

テーマ1：知的システムの研究開発

- ・画像処理
- ・センサ信号処理
- ・人工知能
- ・ビッグデータ解析
- ・自然言語処理

医療情報処理

多種多様な患者「個人」に関する情報



収集・分析

知識DB
人工知能・最適化
大規模生体シミュレーション

収集・分析

論文/
インターネット

蓄積・
再学習

医師への提案

医師からの
フィードバック

医師・研究者からの
まとめられた情報

最適な手術

- ・術式は？
- ・切除領域は？

最適な治療

- ・抗ガン剤の種類
- ・投薬量, 頻度
- ・生活スタイル

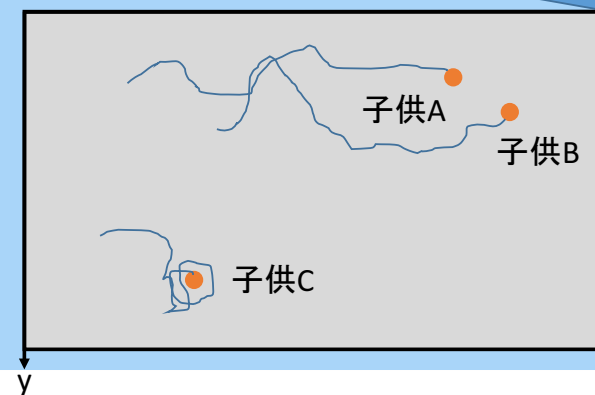
予防につながる
知識発見

子どもの発達の定量化システム

屋外・屋内のシームレスな計測システム



身体的・神経的・精神的発達の
可視化・定量化



- ・ウェアラブルセンサ (GPS高精度位置計, 動き, 心拍数, 温度, 湿度, 照度, 紫外線など)
- ・屋内用センサ (画像・Beaconによる高精度位置計)

例) 位置の軌跡の解析

- ⇒ 活動度,
- 集団のコミュニケーション度合い,
- 興味のある遊びの種類, etc.

マテリアルズインフォマティクス

人工知能が、触媒の効率の良い製造方法・新材料を提案する

論文/
インターネット

収集・
分析



作成・
学習

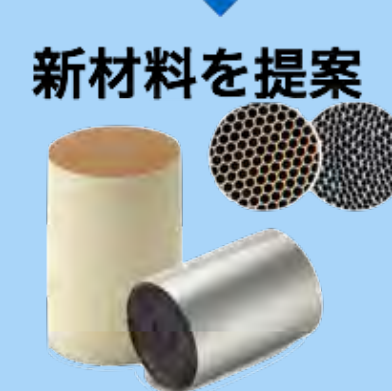


化学反応
データベース



人工知能

新材料を提案



・新触媒

→ 水素エネルギー,
環境浄化

- ・太陽光発電
- ・創薬

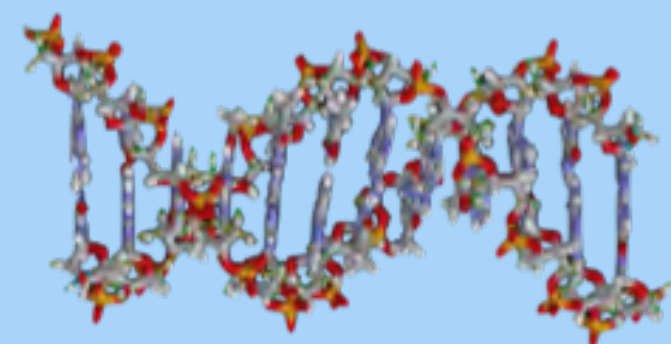
テーマ2： ビッグデータ/大規模計算のための専用コンピュータの開発

多種多様な人工知能応用, ビッグデータ処理応用

AI, 自然言語処理



バイオインフォマティクス



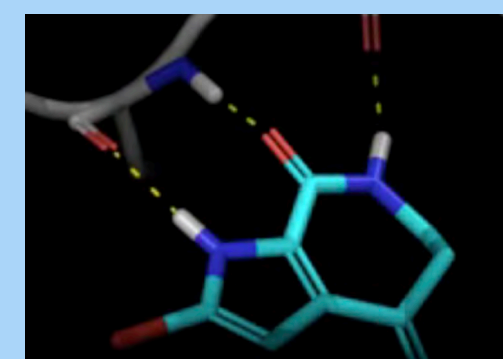
金融



行動解析

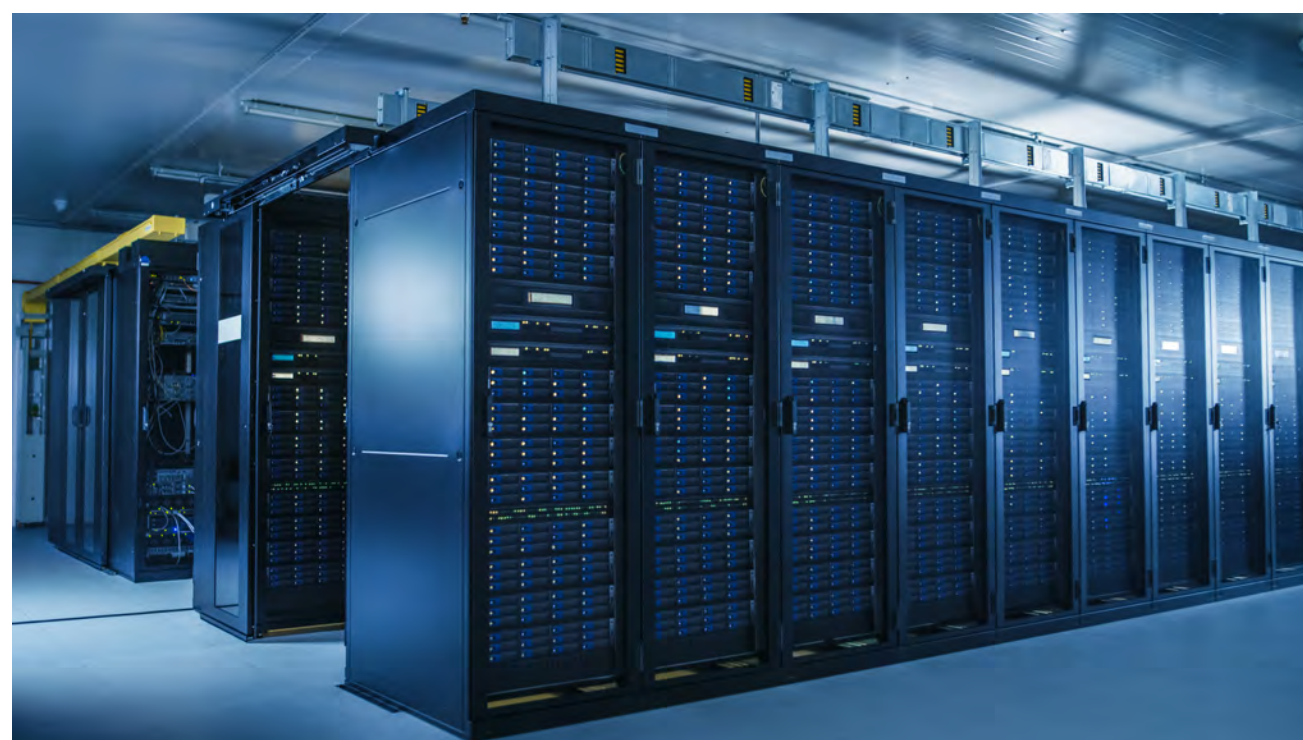


量子化学計算



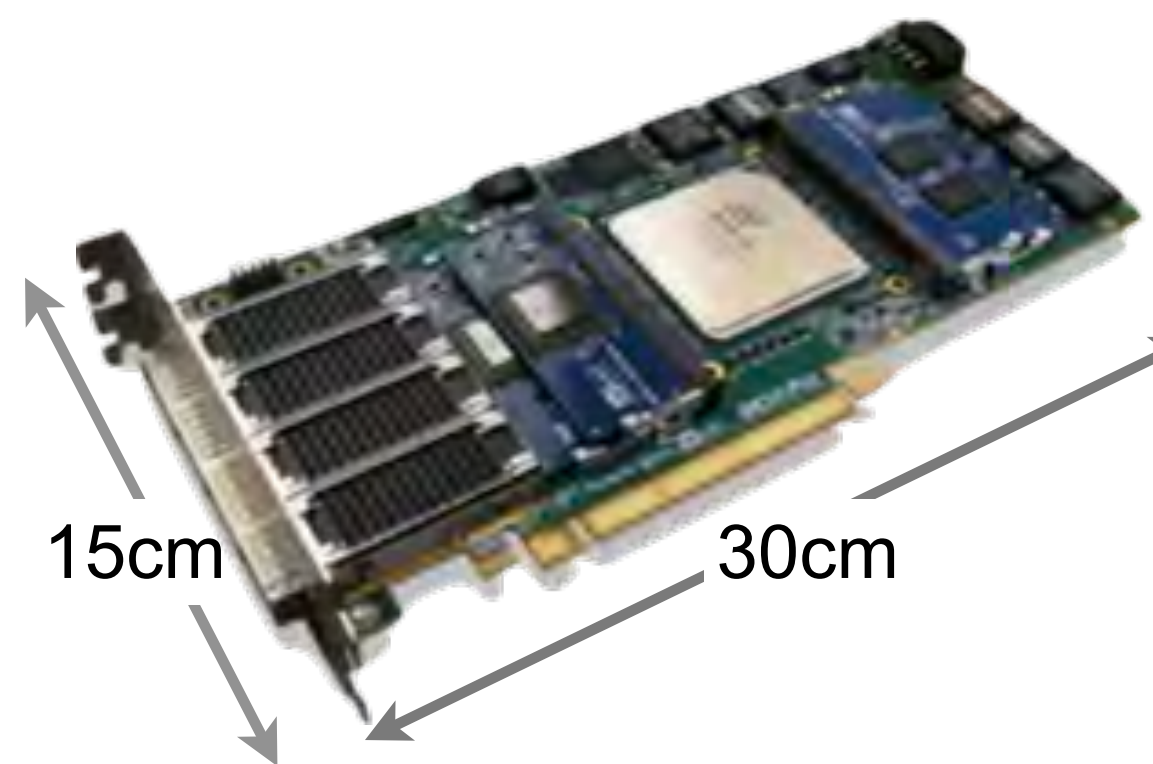
大規模計算 ⇒ 計算時間が膨大
(スパコンで数時間～数週間以上)

応用に応じて回路構造を
『進化』できる超並列FPGAプロセッサ



電気代 12億円以上/年
気軽に使えない

解決のために



消費電力
1/10

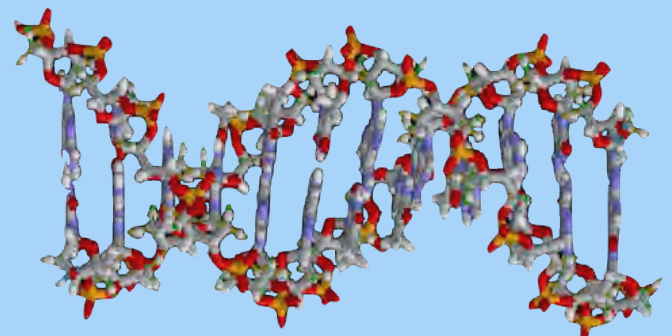
性能
100倍以上

スーパーコンピューティングを
誰でも手軽に使えるように！！

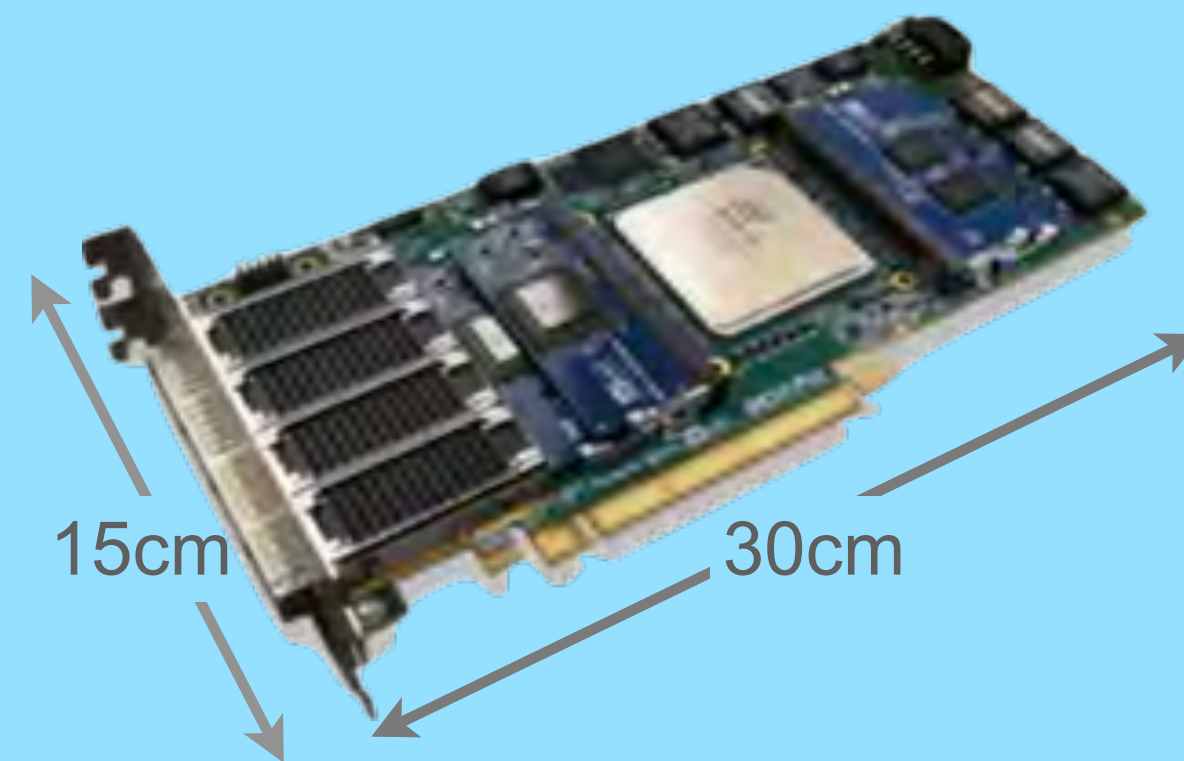
本研究室でのFPGAカスタムスーパーコンピューティング

人工知能, ビッグデータ, 大規模計算, 自動運転, etc,
性能・エネルギー効率が高い新概念スーパーコンピュータ

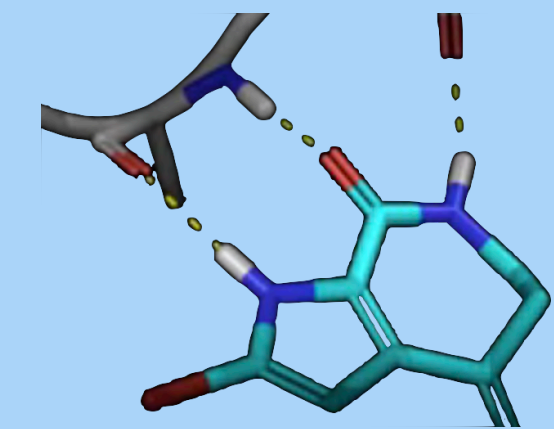
遺伝子解析



FPGA: 脳のように柔軟に構造を「進化」



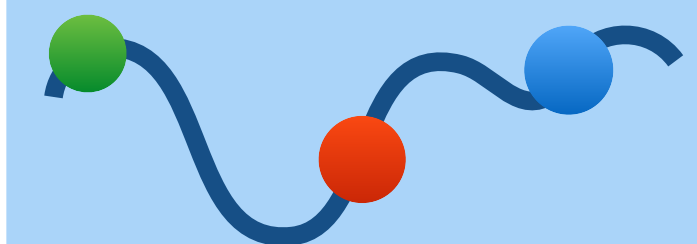
量子化学計算



画像処理・認識



量子アニーリングシミュレーション



人工知能
自然言語処理



金融・
マーケティング



数学の未解決問題
を解く



テキスト検索



グラフ・
ネットワーク解析



世界最高性能の超並列スーパーコンピュータを自分で開発!

研究におけるMATLAB活用事例

- 医療情報処理

- ▶ CNNベース超音波診断画像セグメンテーション
- ▶ 機械学習による病気診断確定のためのバイオマーカの特特定

- マテリアルインフォマティクス

- ▶ 分子動力学シミュレーションの分子パラメータ最適化

- 時系列センサー信号処理

- ▶ ウェアラブルセンサーによる幼児の行動解析

講演内容

- 研究紹介・研究でのMATLAB活用
- **授業「ロボット知能システム」でのMATLAB活用**
- 今後の展望

授業「知能ロボットシステム」の概要

- 東北大学工学部 電気・情報系の授業
- メカよりも 知能情報処理・制御
- 学部4年生が対象
 - ▶ 学生の単位はほぼ揃っている
 - 知識のみではなく **「体験」による深い理解**
 - ▶ 受講人数は20名程度 → **全員に実機は難しい**

授業の内容（張山担当分）

● ロボット制御

- ▶ 運動学・動力学
- ▶ 逆運動学・逆動力学
- ▶ 経路計画・障害物回避

● ロボットビジョン

- ▶ 画像処理・3次元計測
- ▶ AIを用いた画像認識
- ▶ AIを用いたロボット制御

知能情報処理・制御を重視!

AI関連の話題を導入!
(2018年~)

授業の内容（2019年度までの実施方法）

● ロボット制御

- ▶ 運動学・動力学
- ▶ 逆運動学・逆動力学
- ▶ 経路計画・障害物回避

python+jupyterでの数式処理

ロボットシミュレータ(Javaで作成)

● ロボットビジョン

- ▶ 画像処理・3次元計測
- ▶ AIを用いた画像認識
- ▶ AIを用いたロボット制御

ImageJによる画像処理

AI関連は座学にとどまっていた...

授業の内容（2020年度の実施方法）

● ロボット制御

- ▶ 運動学・動力学
- ▶ 逆運動学・逆動力学
- ▶ 経路計画・障害物回避

python+jupyterでの数式処理

ロボットシミュレータ(Javaで作成)

● ロボットビジョン

- ▶ 画像処理・3次元計測
- ▶ AIを用いた画像認識
- ▶ AIを用いたロボット制御

ImageJによる画像処理

AI関連は座学にとどまっていた...

MATLABで統一

AIも「体験」可能となった！

なぜMATLABにしたのか？

学生の利便性のため

- ツールを1種類にして学生のツール習得の負担を軽減
- 個人でのソフトウェア環境設定が楽
 - ▶ MATLABの場合
MATLABのみのインストールが良い
 - ▶ 例) PythonでAIの場合
Python, Tensorflow, Keras, cuDNN, CUDAなどのインストール, バージョン管理. . .

学生ごとに環境が異なるので、オンラインでのサポートが難しい. . .

なぜMATLABにできたのか？

大学の環境が整っていた

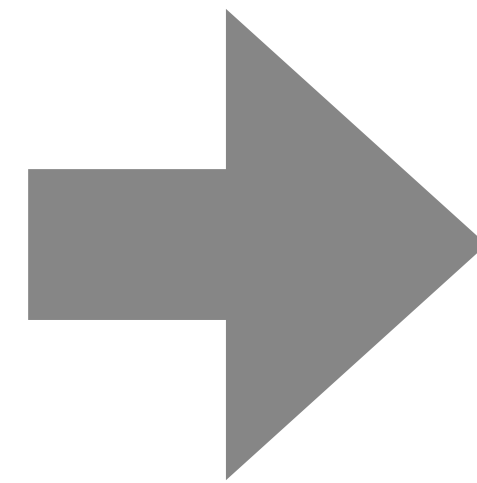
- 電気・情報系では3年時に「デジタル信号処理」でMATLABの使い方を習得済み
- 2020年度から全学ライセンスが導入された
東北大学の教員・学生はすべてのツールボックスを個人的な負担なく利用できるようになった！

オンライン授業の実施方法

教員

- スライド
- ビデオ/リアルタイムでの説明
- Matlabスクリプト

提供



学生

- MATLAB@自分のPC
- オンデマンド/リアルタイムで受講
- スクリプトを実行・改変・追加 → 「体験」

東北大学ではgoogle classroomで資料提供, google meetで授業

スクリプトはライブスクリプトで提供

説明・コード・実行結果を一つのファイルにわかりやすくまとめられる



The screenshot shows a MATLAB Live Editor window with the following content:

- Window title: ライブ エディター - /Users/hariyama/Dropbox/LAB/WORK_DB/2020/2020_授業/知能ロボット_2020_授業/04-202...
- Tab titles: filter_proc.mlx, median_filter.mlx, binarize_exp.mlx, stereoVisionDisparityCalcCostVer_hariyama.mlx
- Section title: ステレオビジョンにおける視差計算
- Section title: 初期化
- Code line 1: `clear;clc;close all;imtool close all`
- Section title: 画像の読込・表示
- Code lines 2-5:

```
2 I1 = imread('left.tif');
3 I2 = imread('right.tif');
4 figure;
5 montage(cat(4,I1,I2),'Size',[2 1]);
```
- Execution result: A grayscale image showing a street scene with cars and buildings, displayed in a 2x1 grid layout.

AI（深層学習）を用いたロボット制御

ロボットの知的情報処理の総合的なテーマ

画像処理 × 深層学習 × 制御

電気・情報系の学生が興味を持つ

リアルなロボット

テーマ：AIベースのライントレーサーを設定

オンラインライン授業ではリアルなロボットが使えない. . .



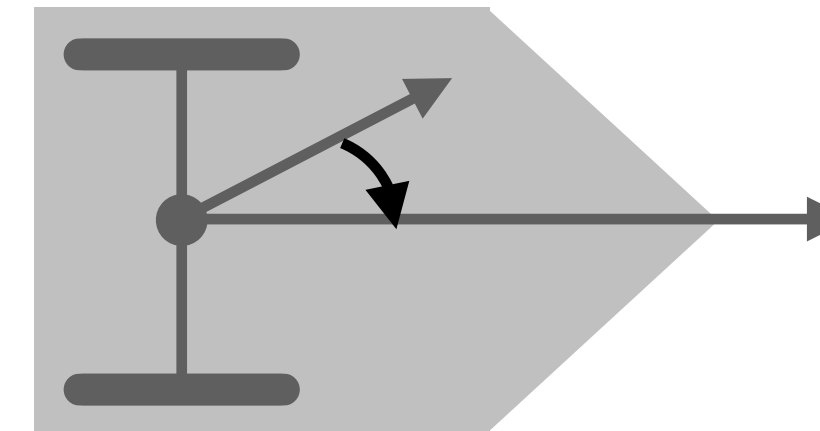
MATLAB上でのロボットのシミュレーション

MATLAB上での3Dロボットシミュレーター

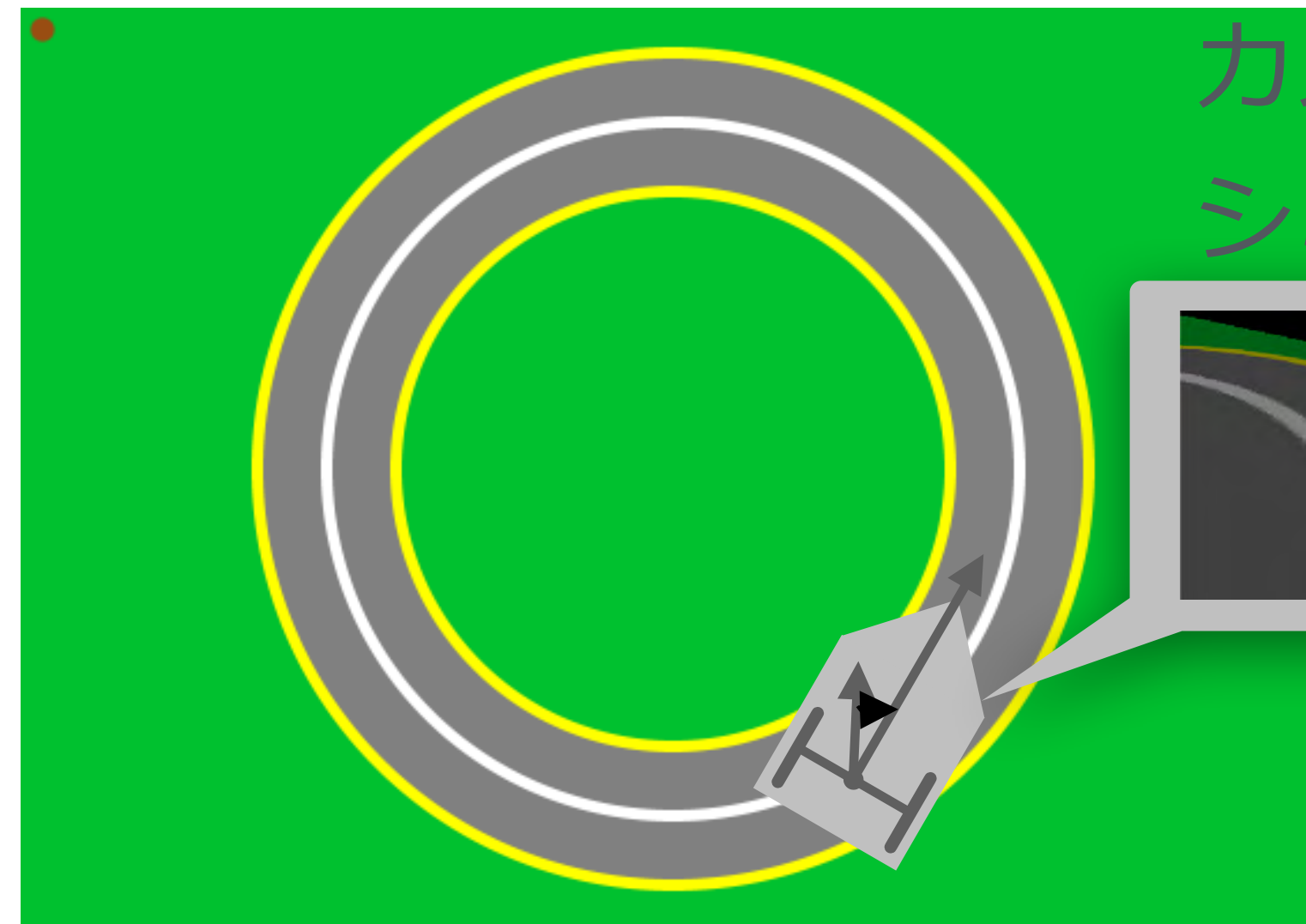
ロボットの制御モデル



差動2輪ロボット



仮想空間での走行コース



カメラから見える画像も
シミュレーションで作成



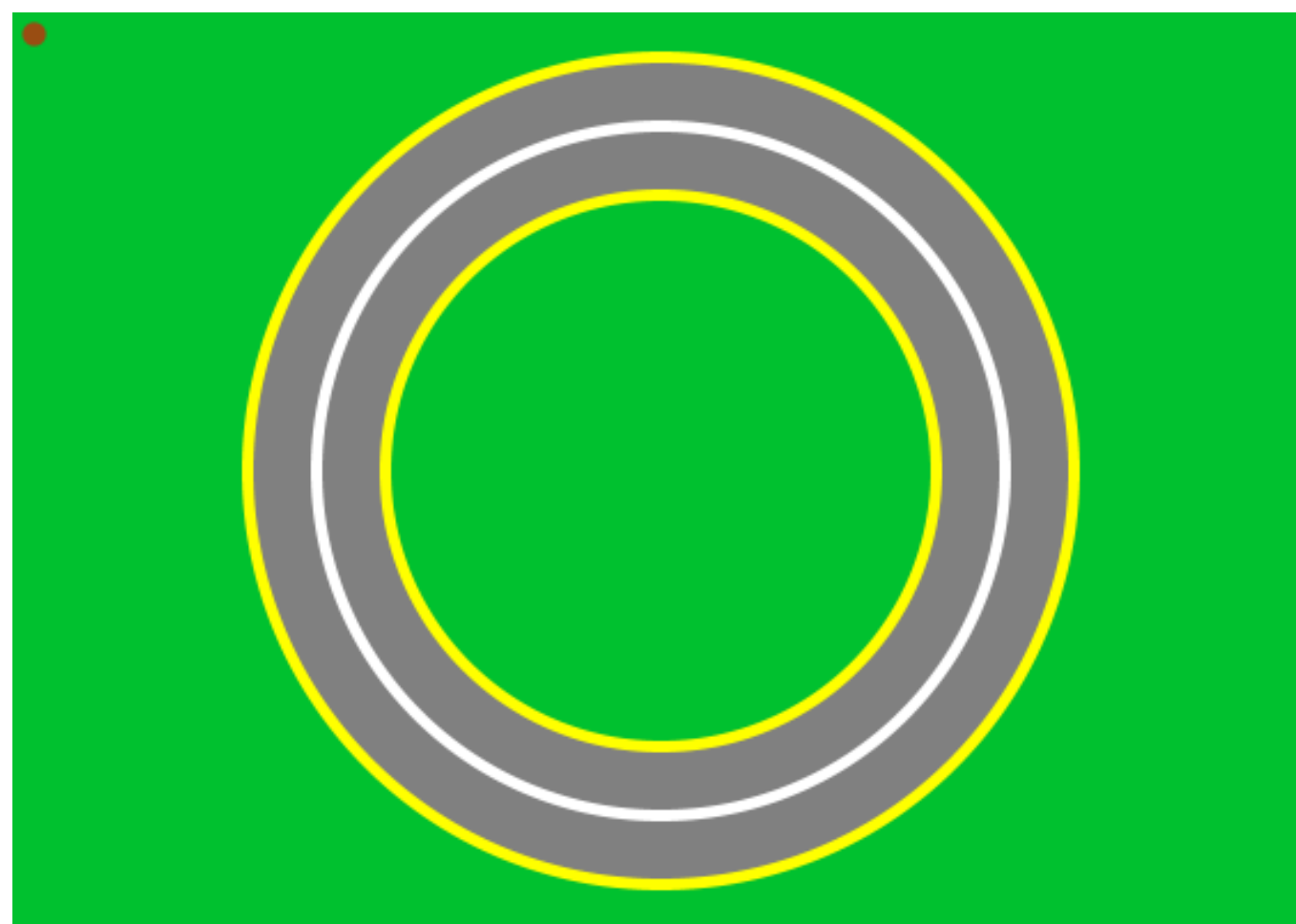
深層学習の教師データとして利用

深層学習の体験を授業に取り入れる際の注意点

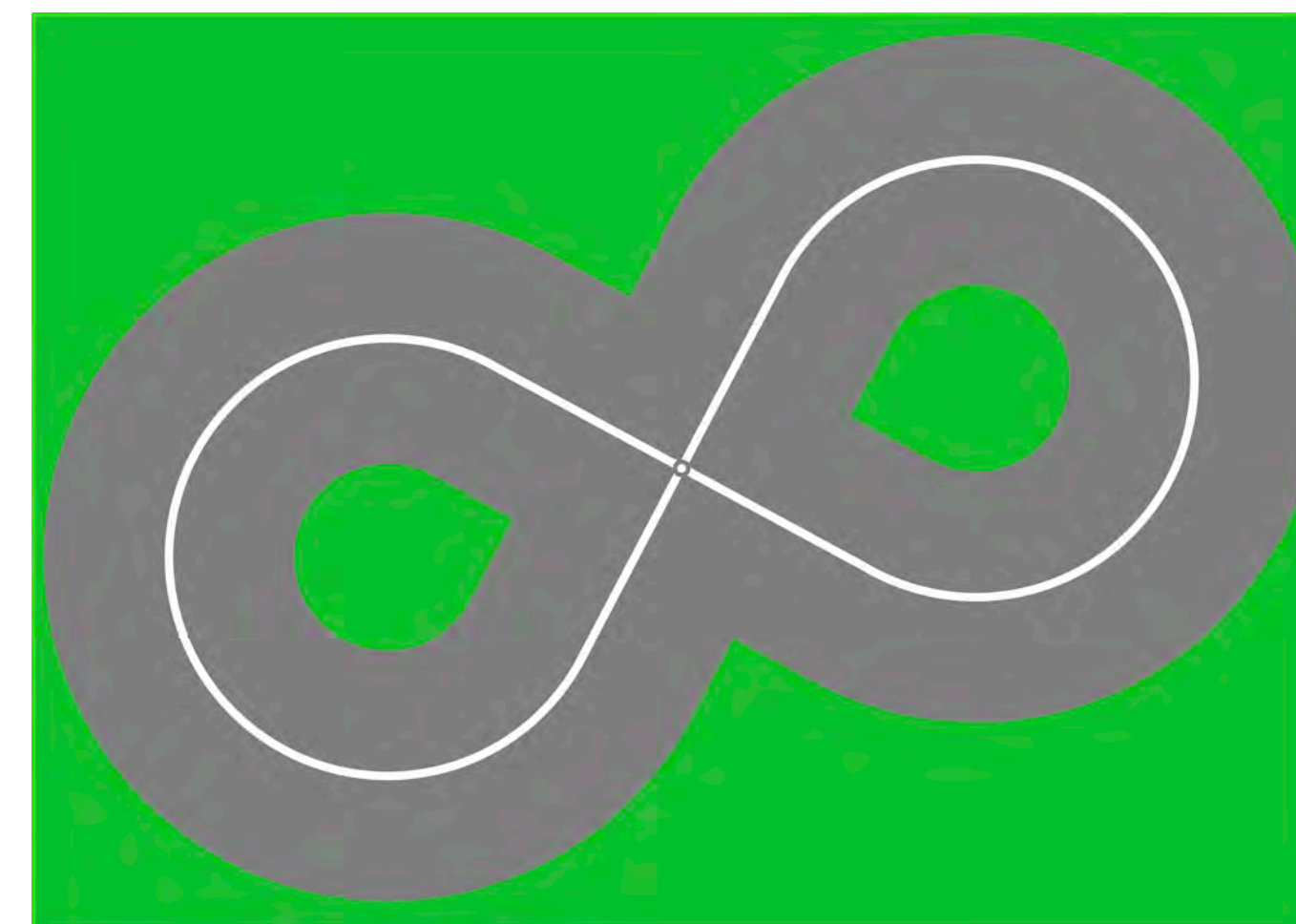
学習の計算時間

学生のPCの環境は様々：GPUの有無

CPUでも学習が現実的な時間で終わるように配慮する！



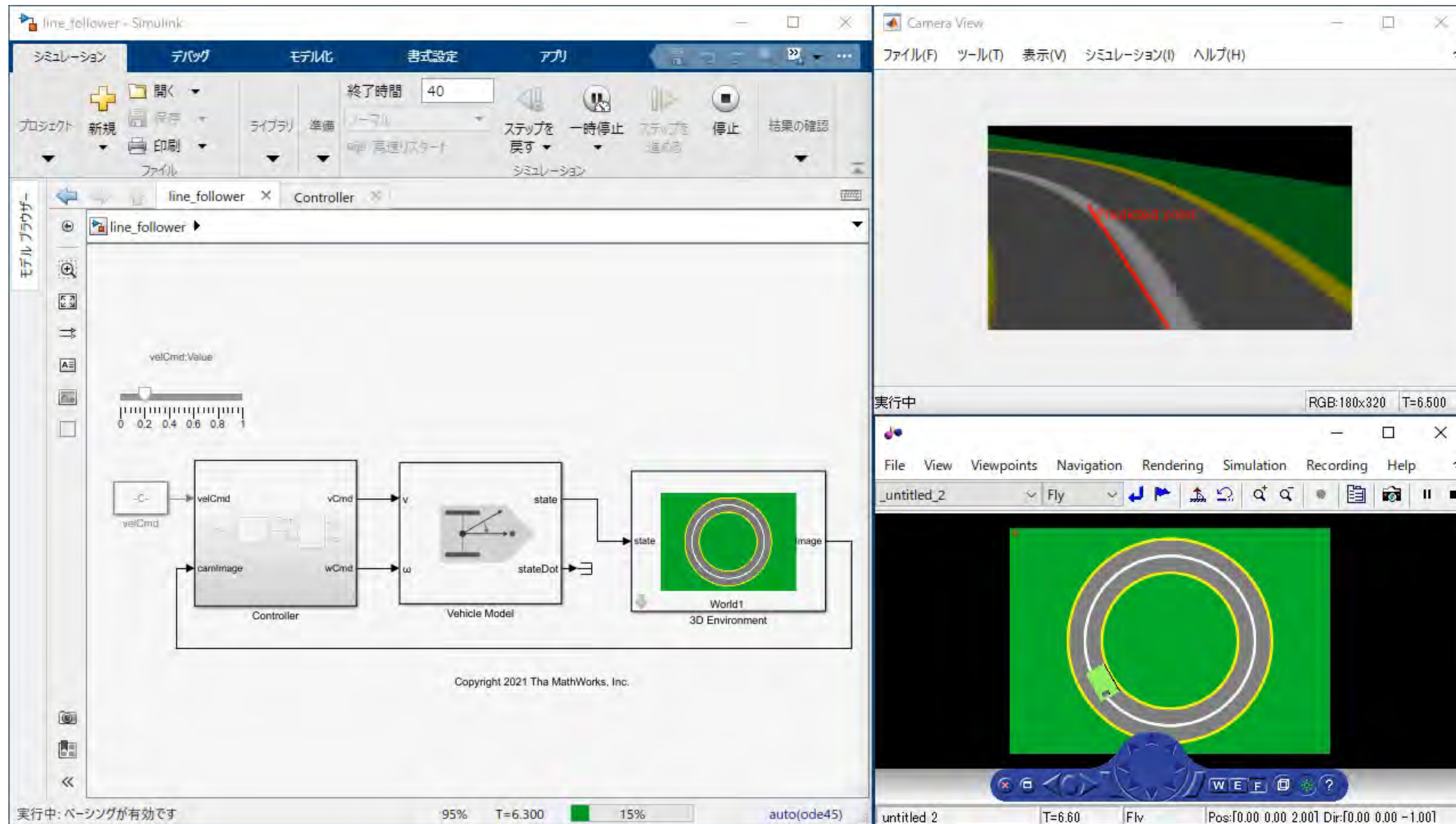
画像枚数 20枚
学習時間 5分(CPU)



画像枚数 100枚
学習時間 25分(CPU)

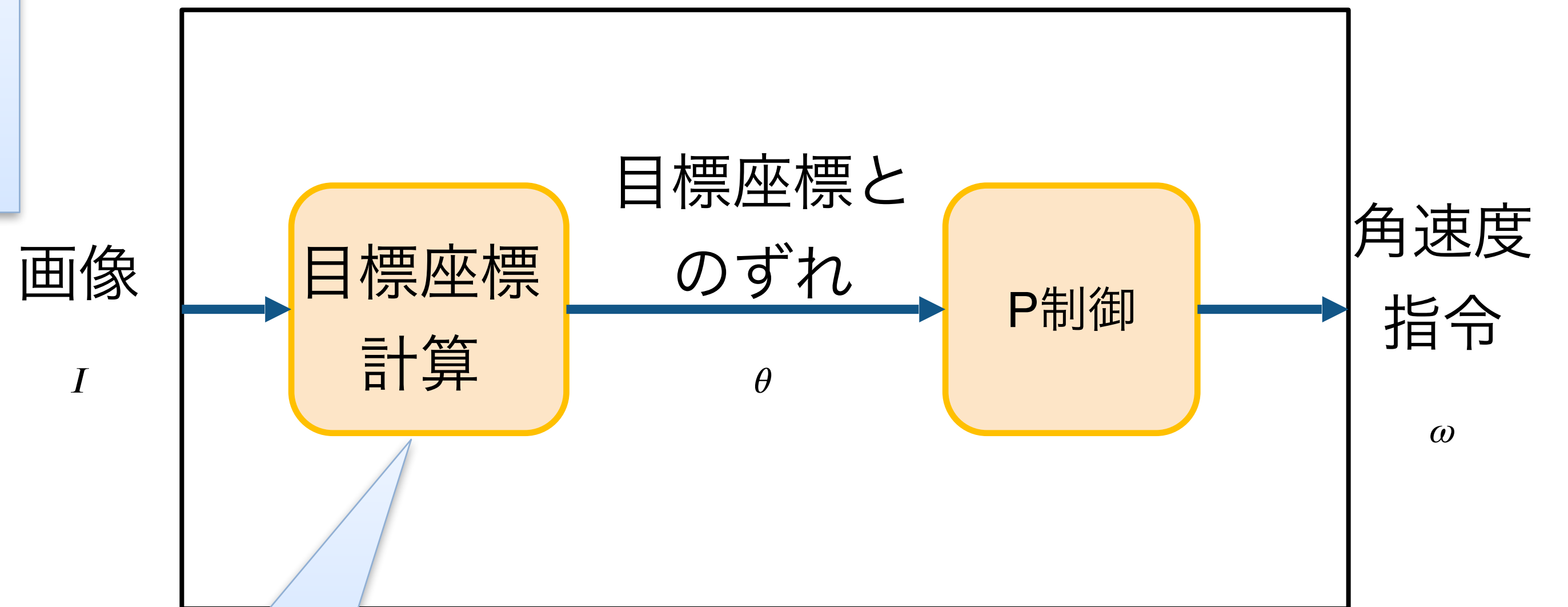
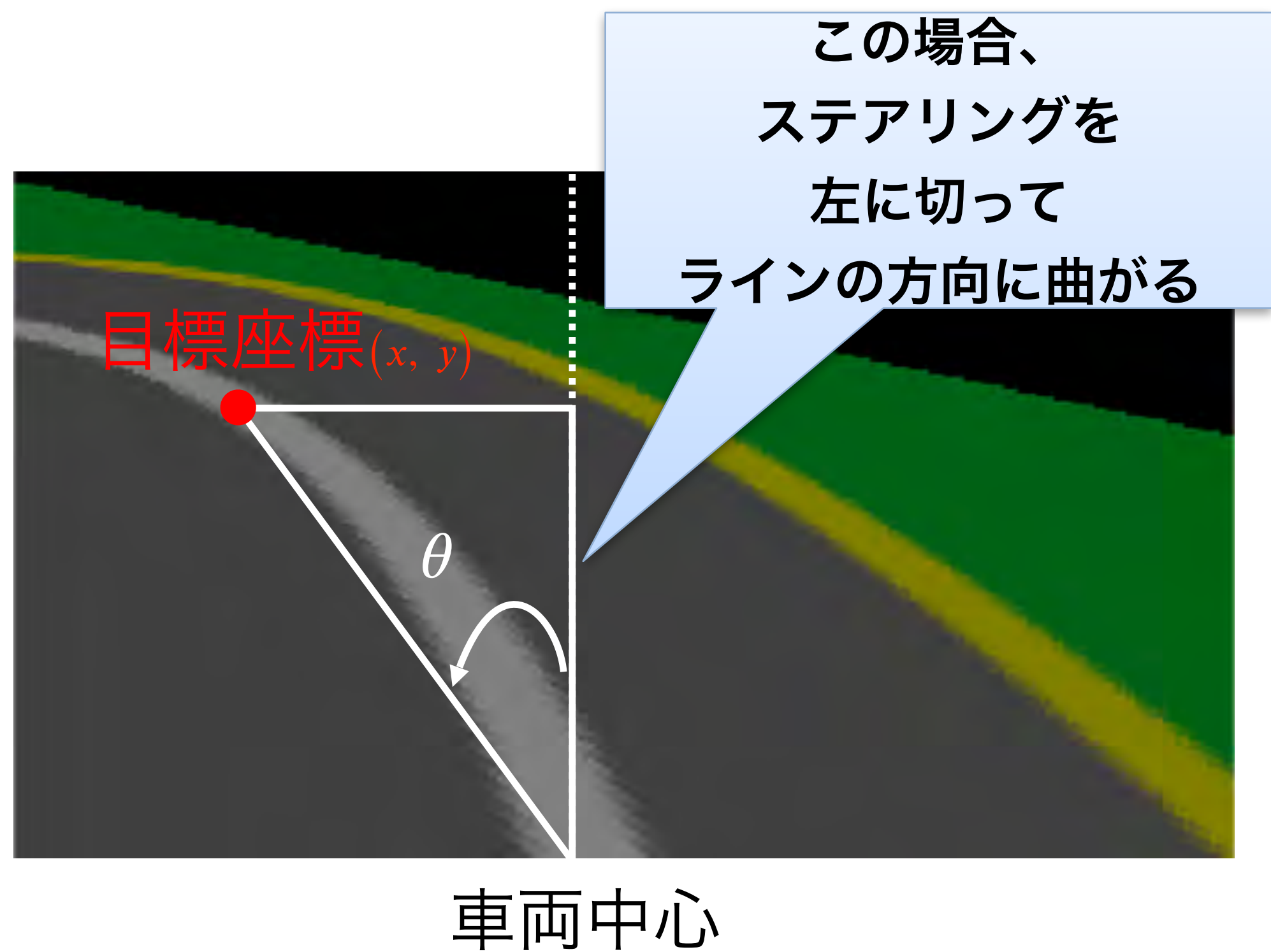
深層学習によるライントレースの実現例

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



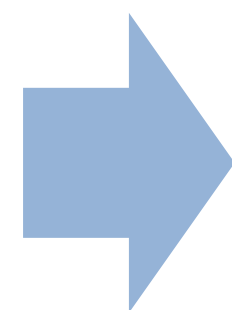
目標座標を
どうやって
推定する？

設計するコントローラ

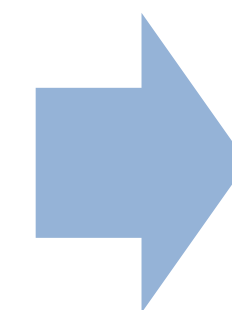
ディープラーニングによって目標座標を予測（回帰）



カメラからの画像データ
(180 x 320 x 3)



ディープラーニング



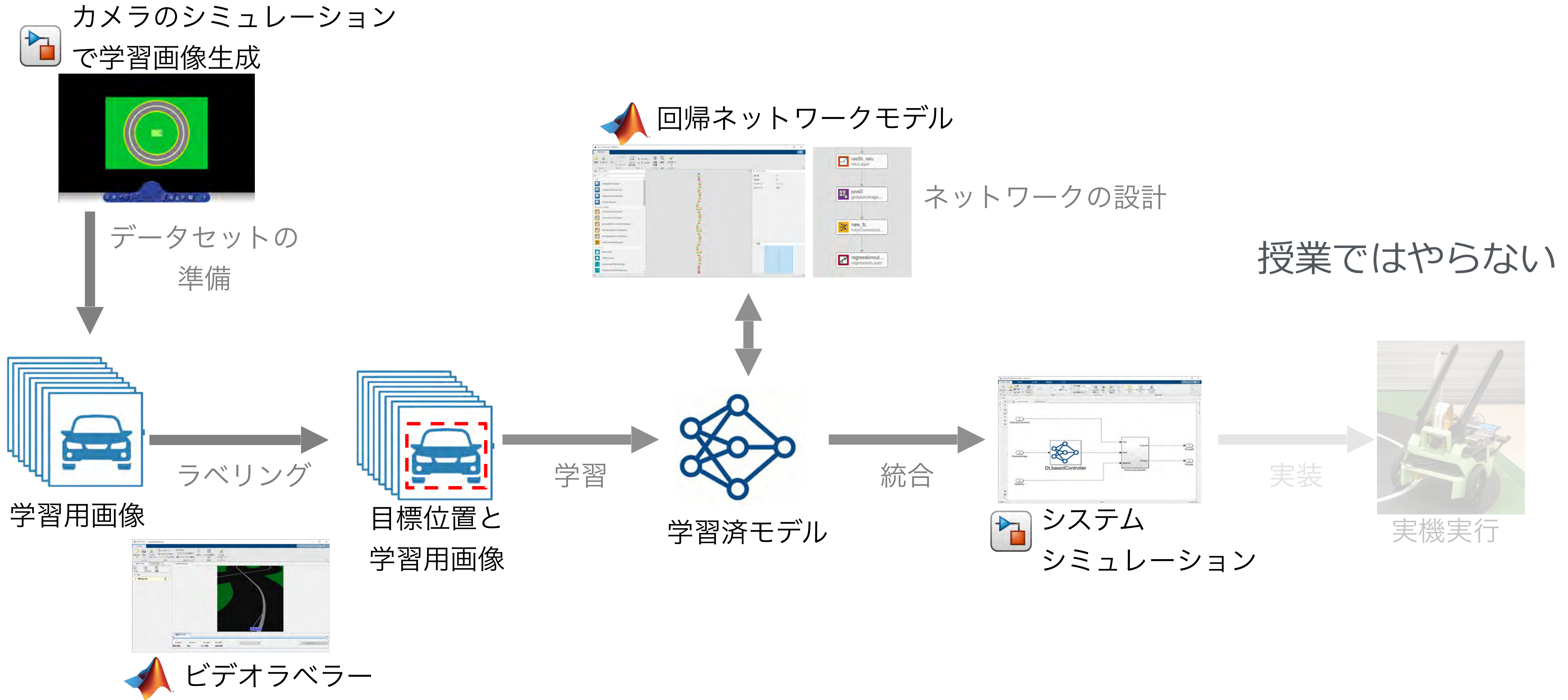
目標座標 (x, y)
(1 x 2)

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

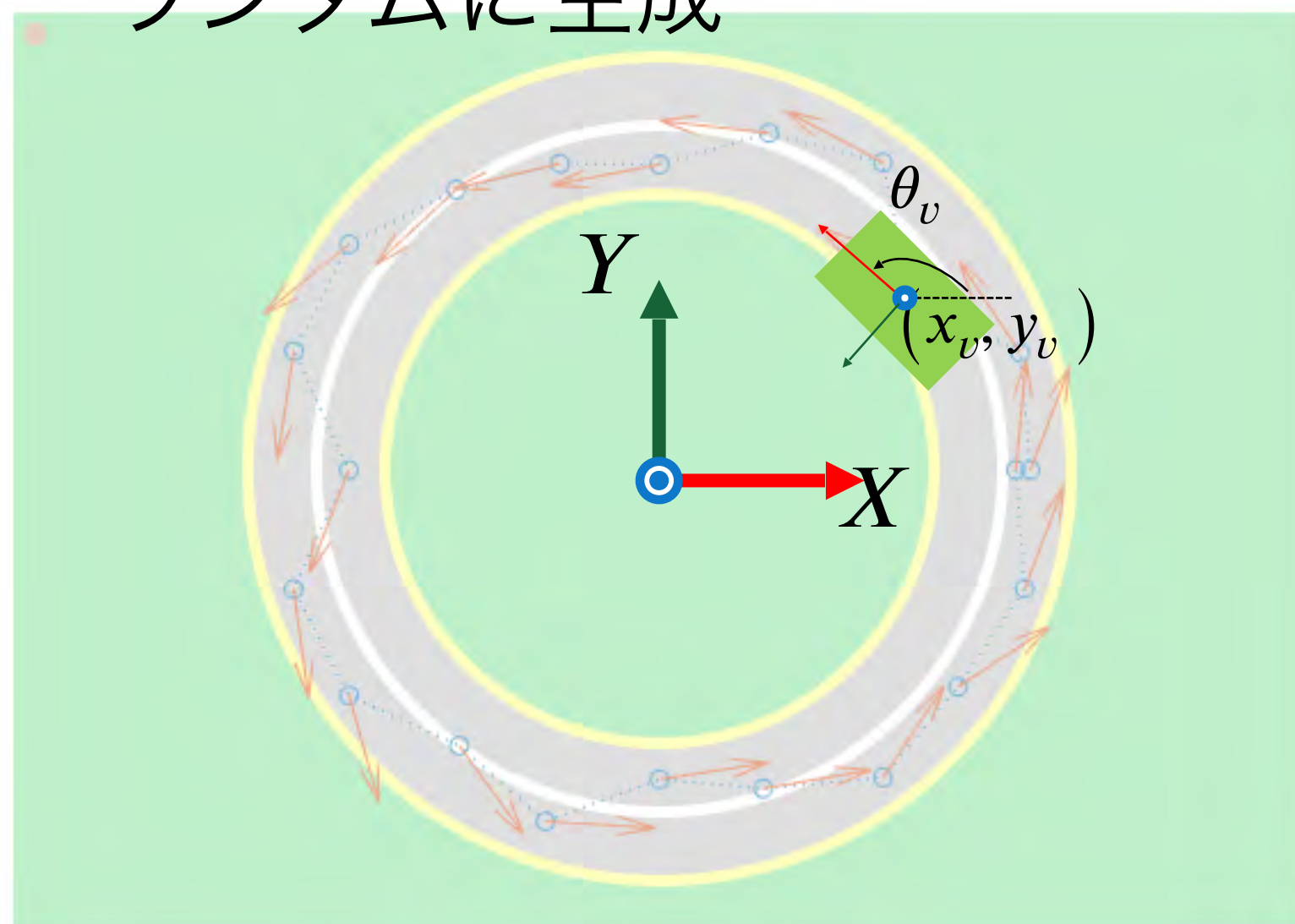
自律ロボットシステム開発ワークフロー



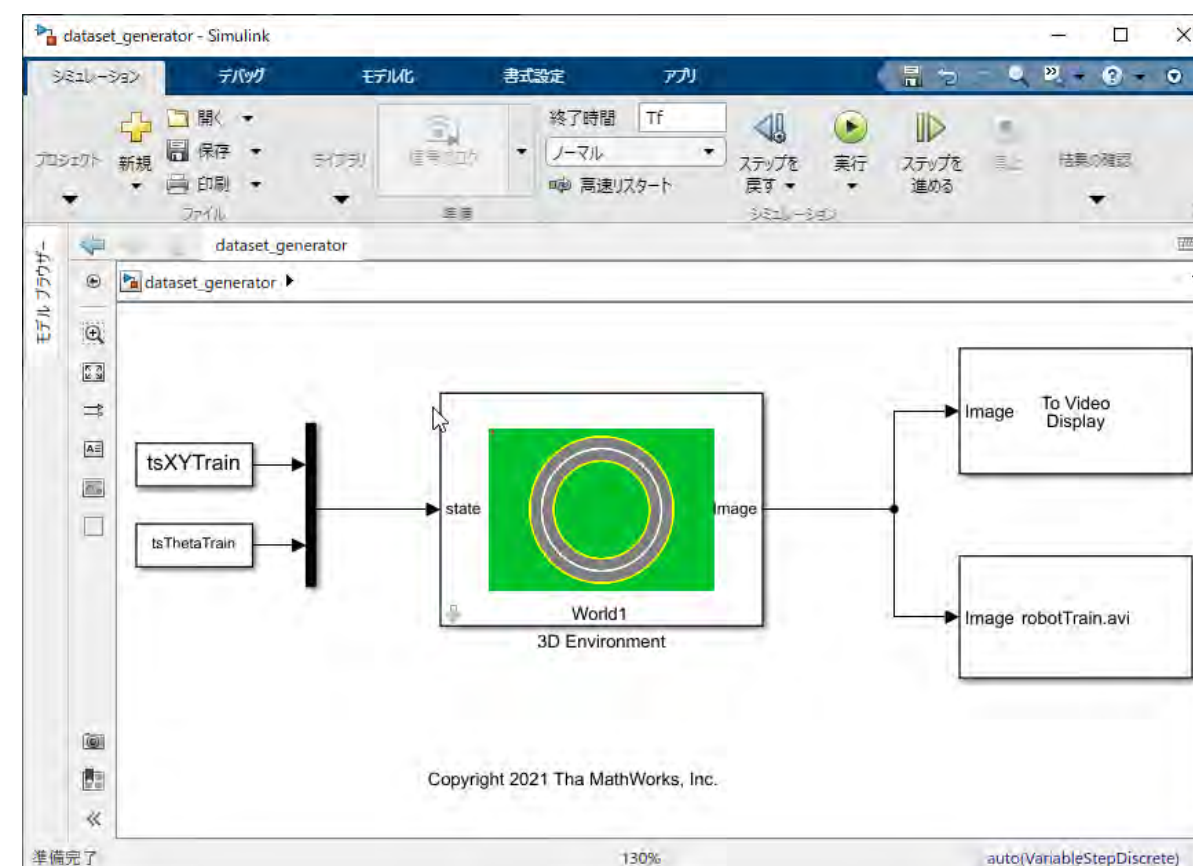
演習1. 学習用の動画を生成

- 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・撮影



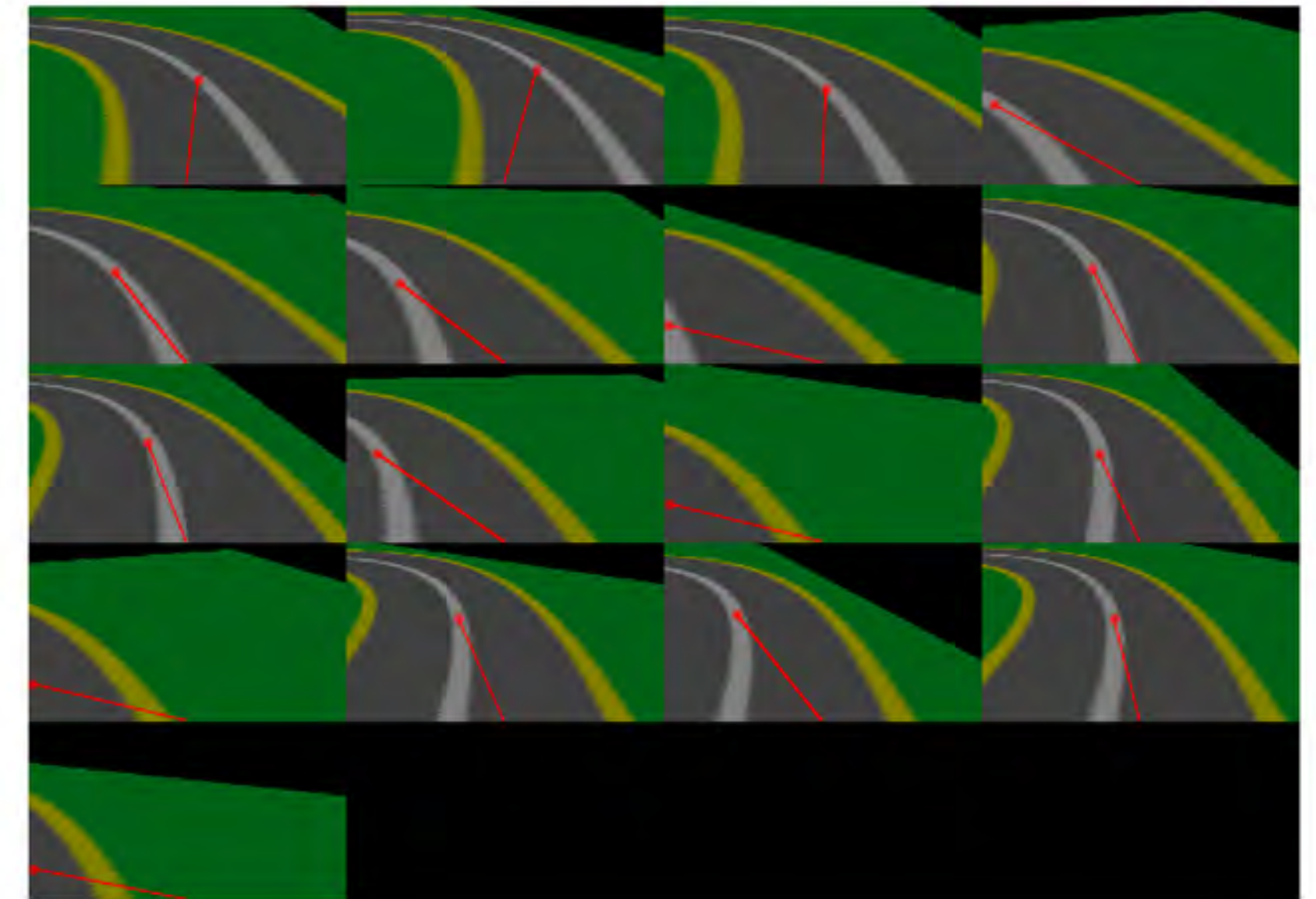
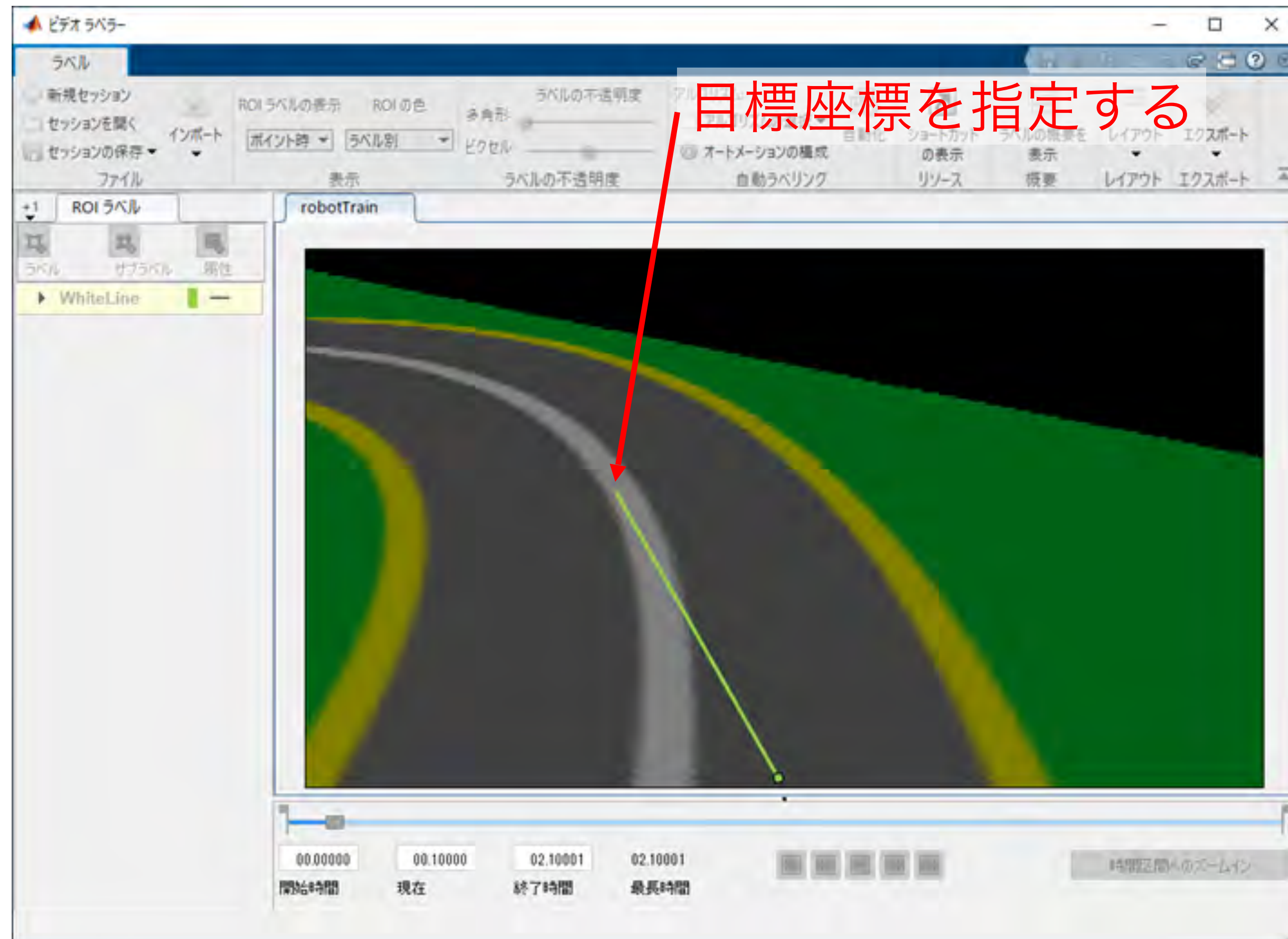
動画ファイルとして生成



robotTrain.avi

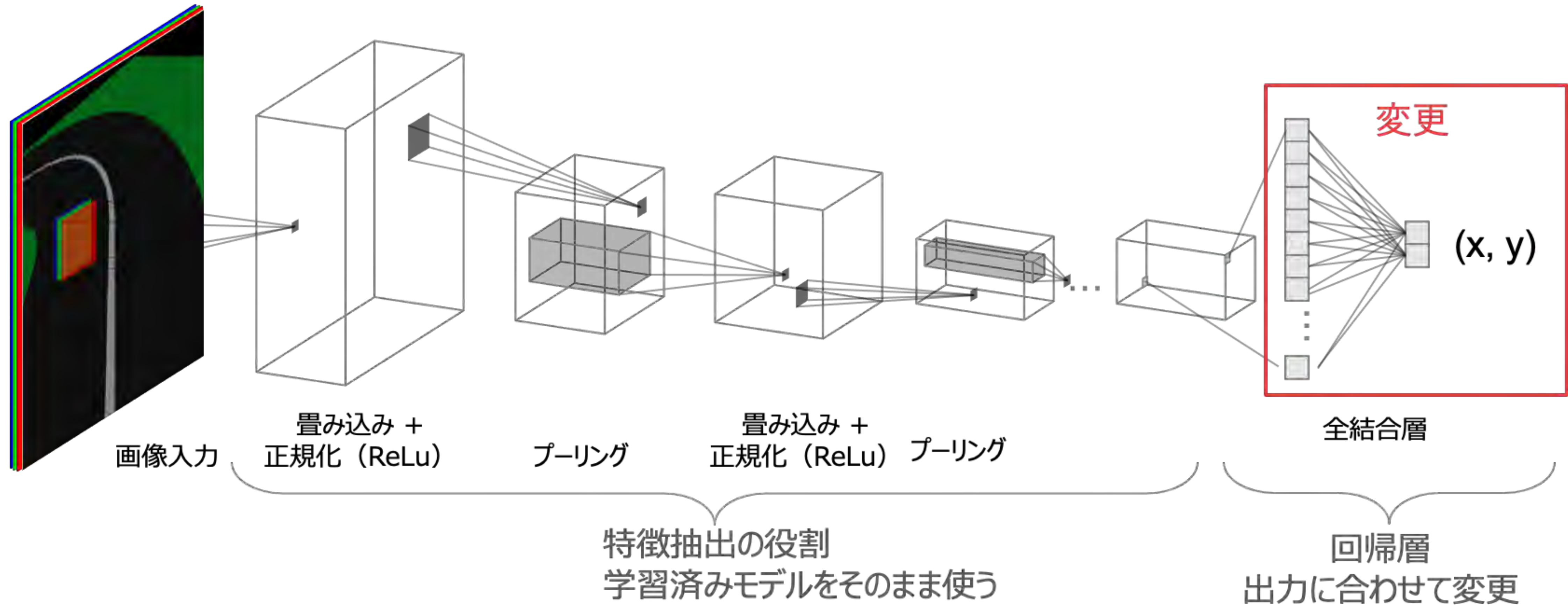
演習2. 動画のラベリング(アノテーション)

- 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)

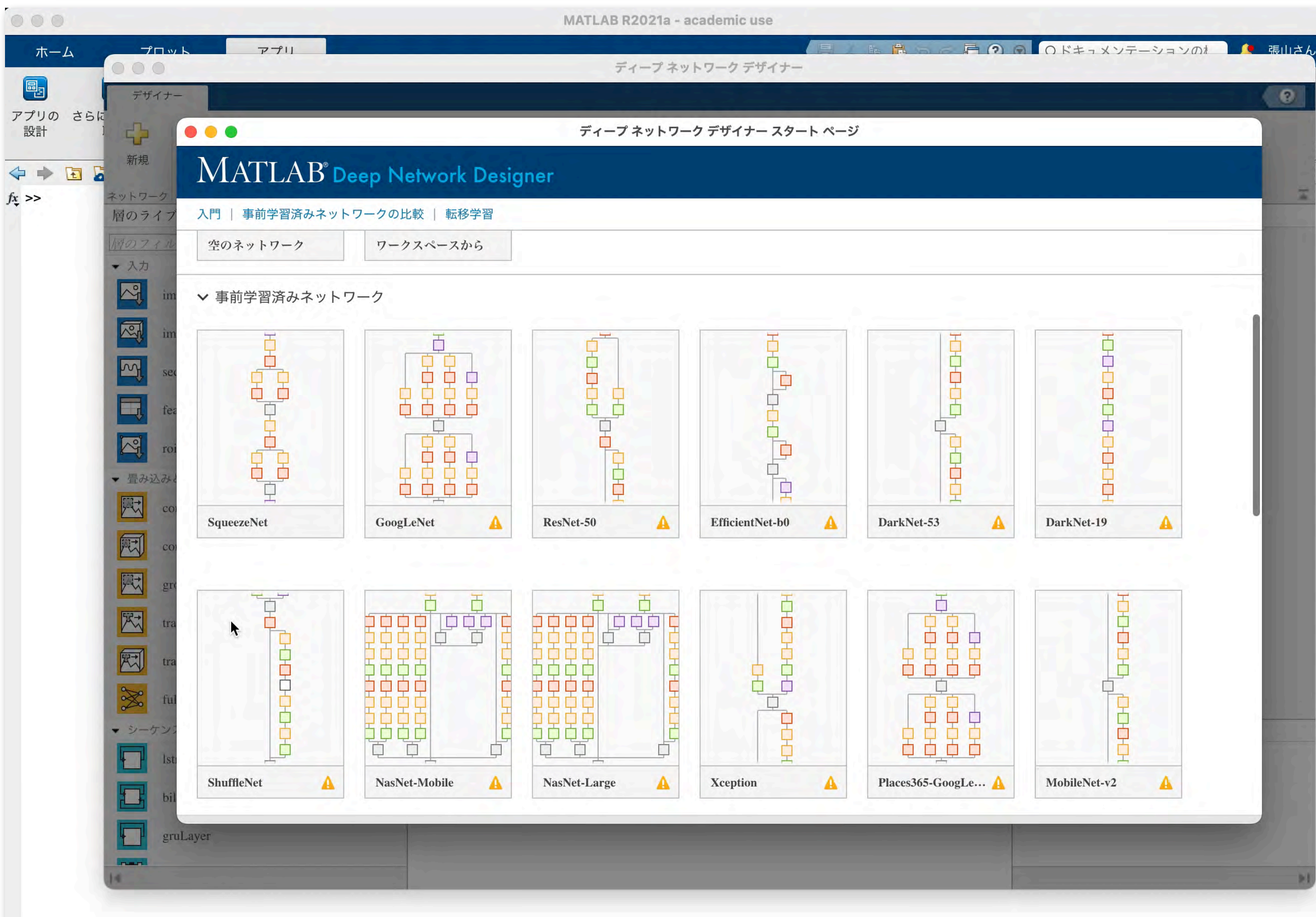
演習3. 回帰ネットワークの構築と学習



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>

ディープネットワークデザイナーの利用



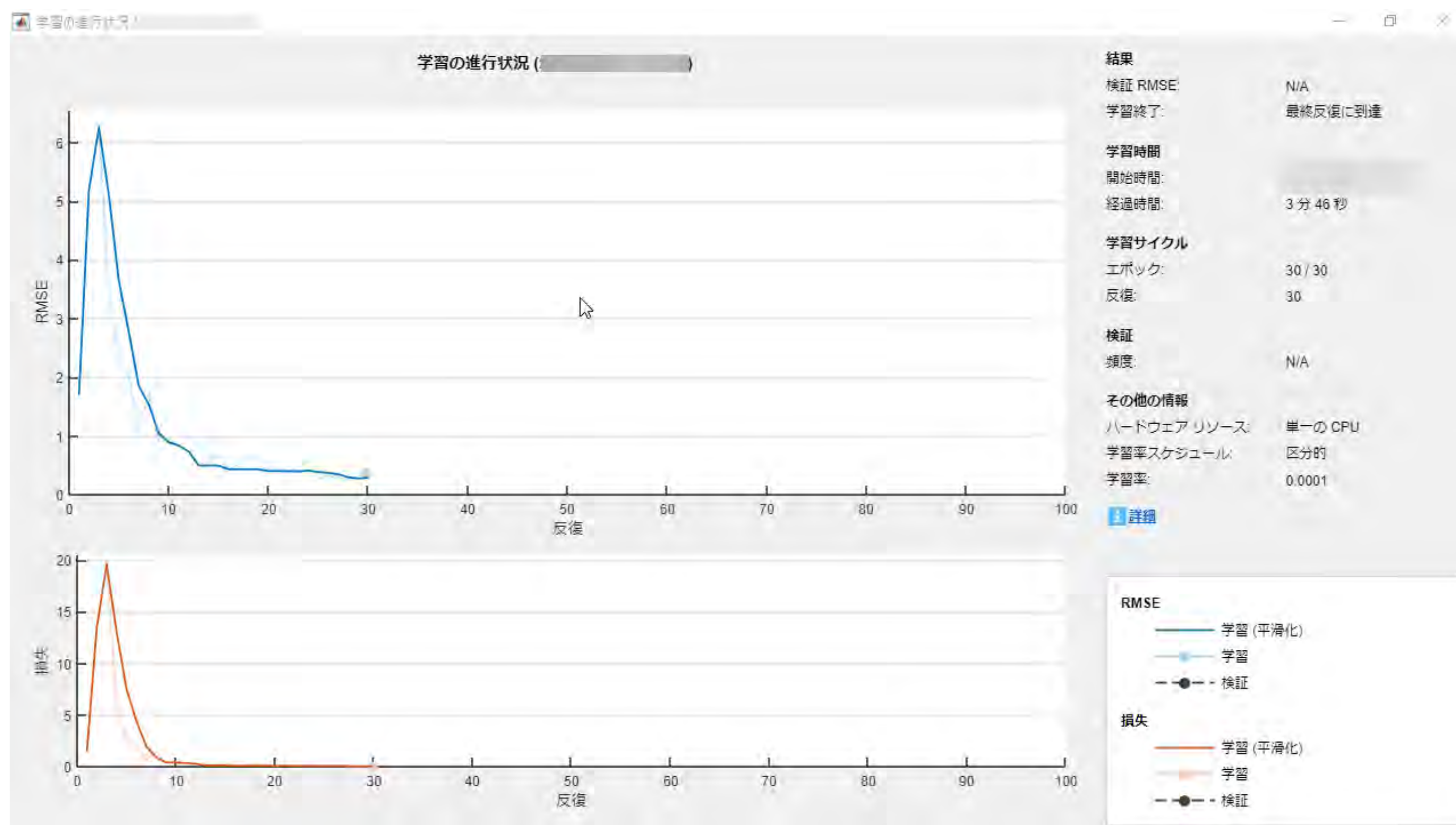
- ネットワークをGUIで設計
→ 構造の設計に集中できる！
- 典型的なネットワークが豊富に用意されている

演習では「ResNet-18」を用いて最後の回帰層のみ学習した

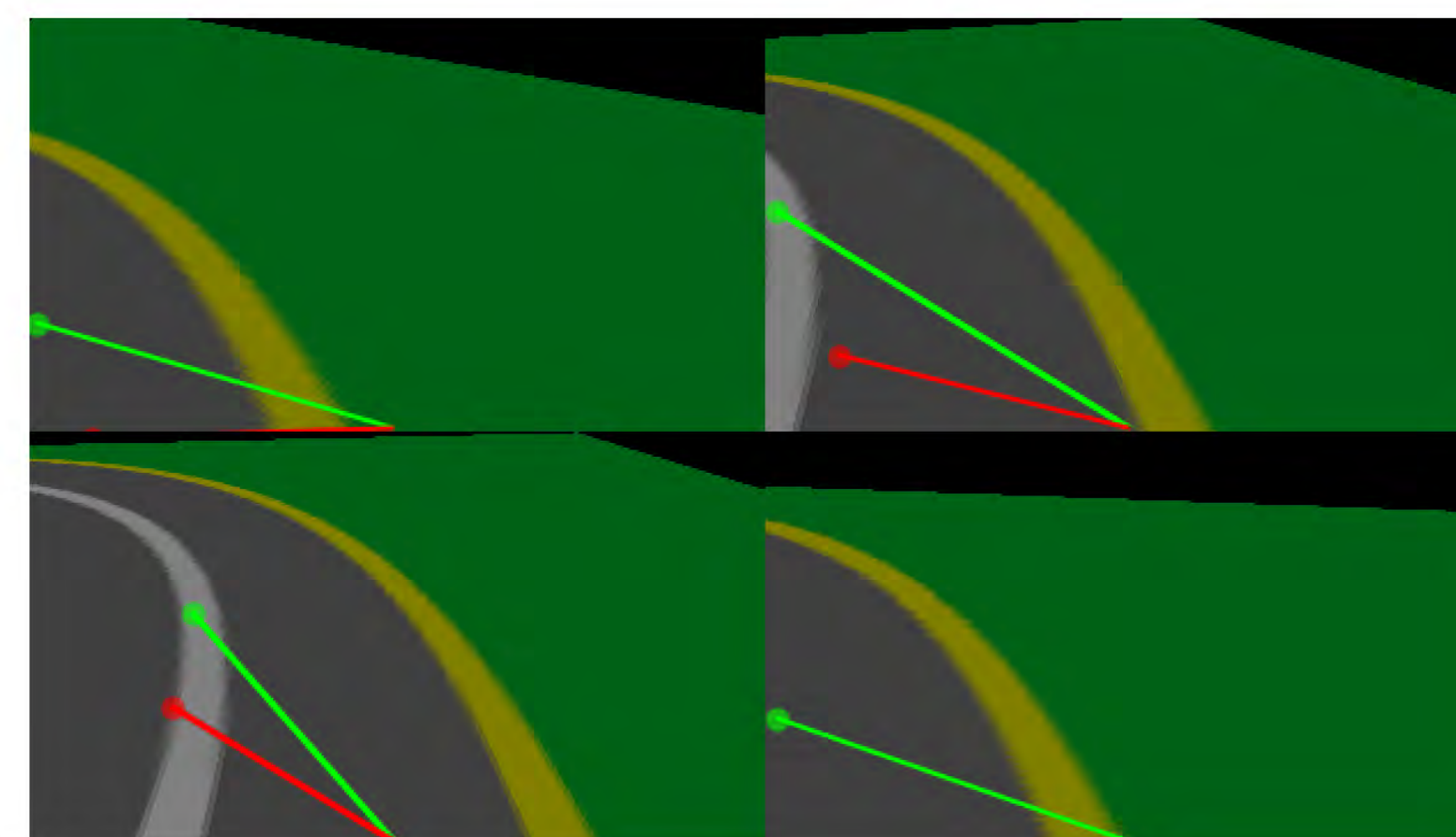
回帰ネットワークの学習

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)

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

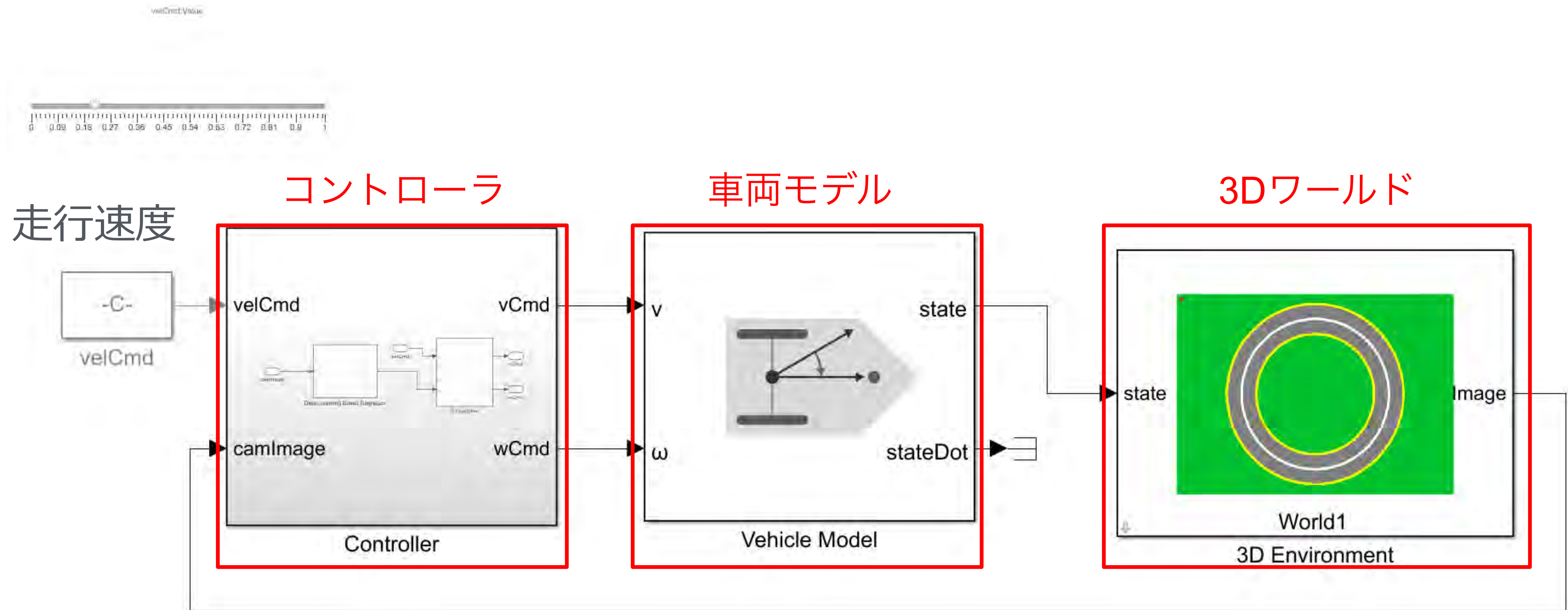


学習の様子

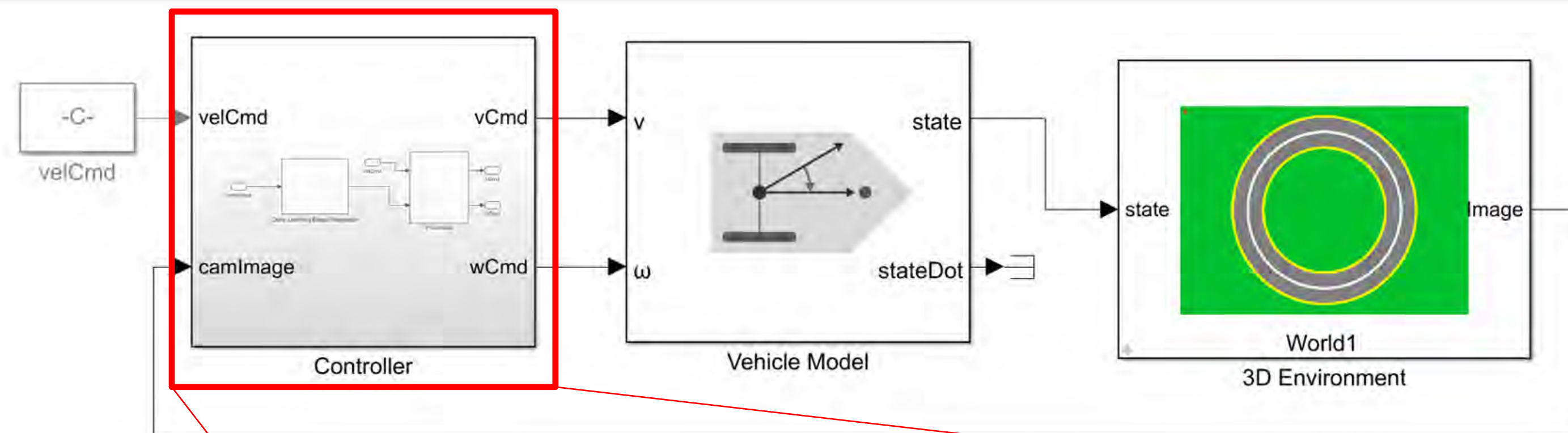


予測結果の例
(緑：真値、赤：予測)

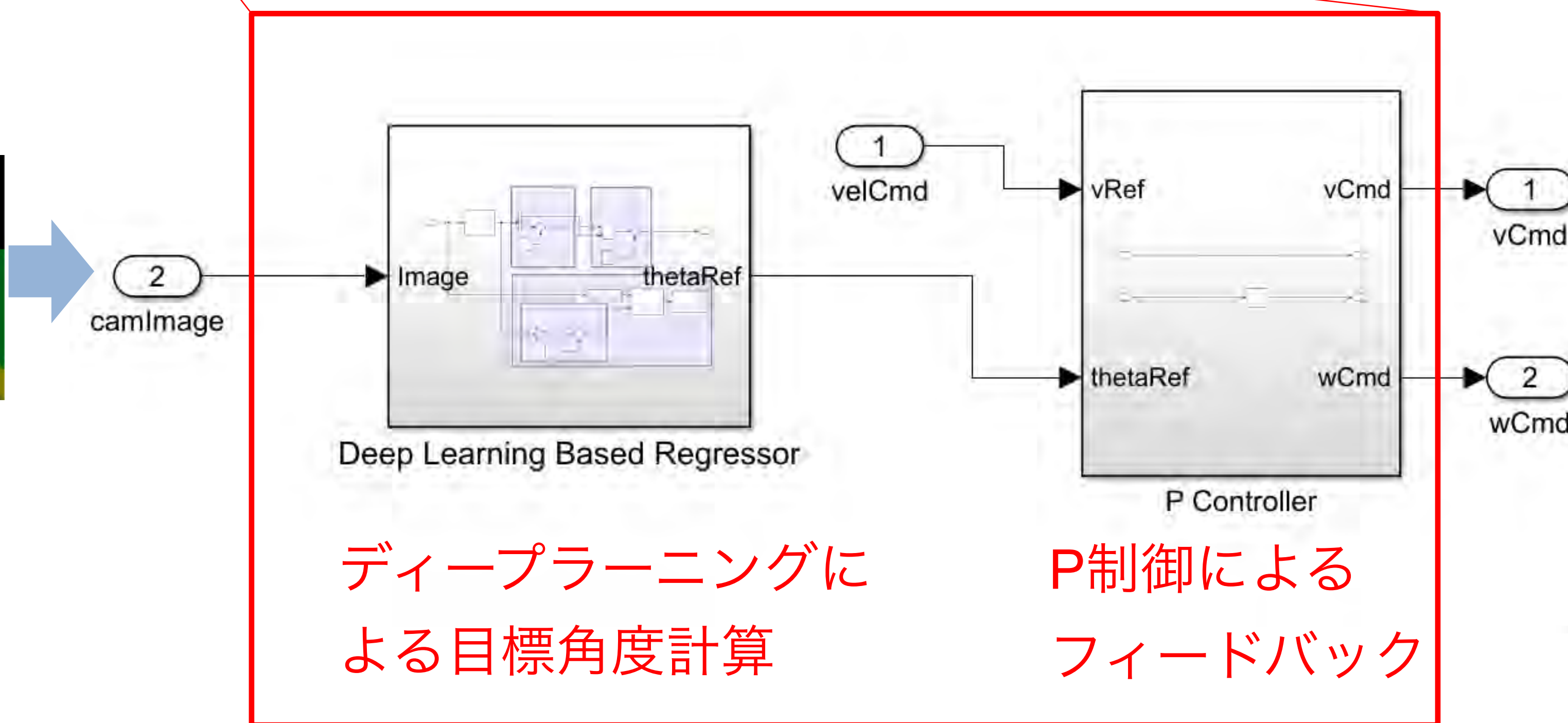
演習4. システムシミュレーションによる検証



コントローラ



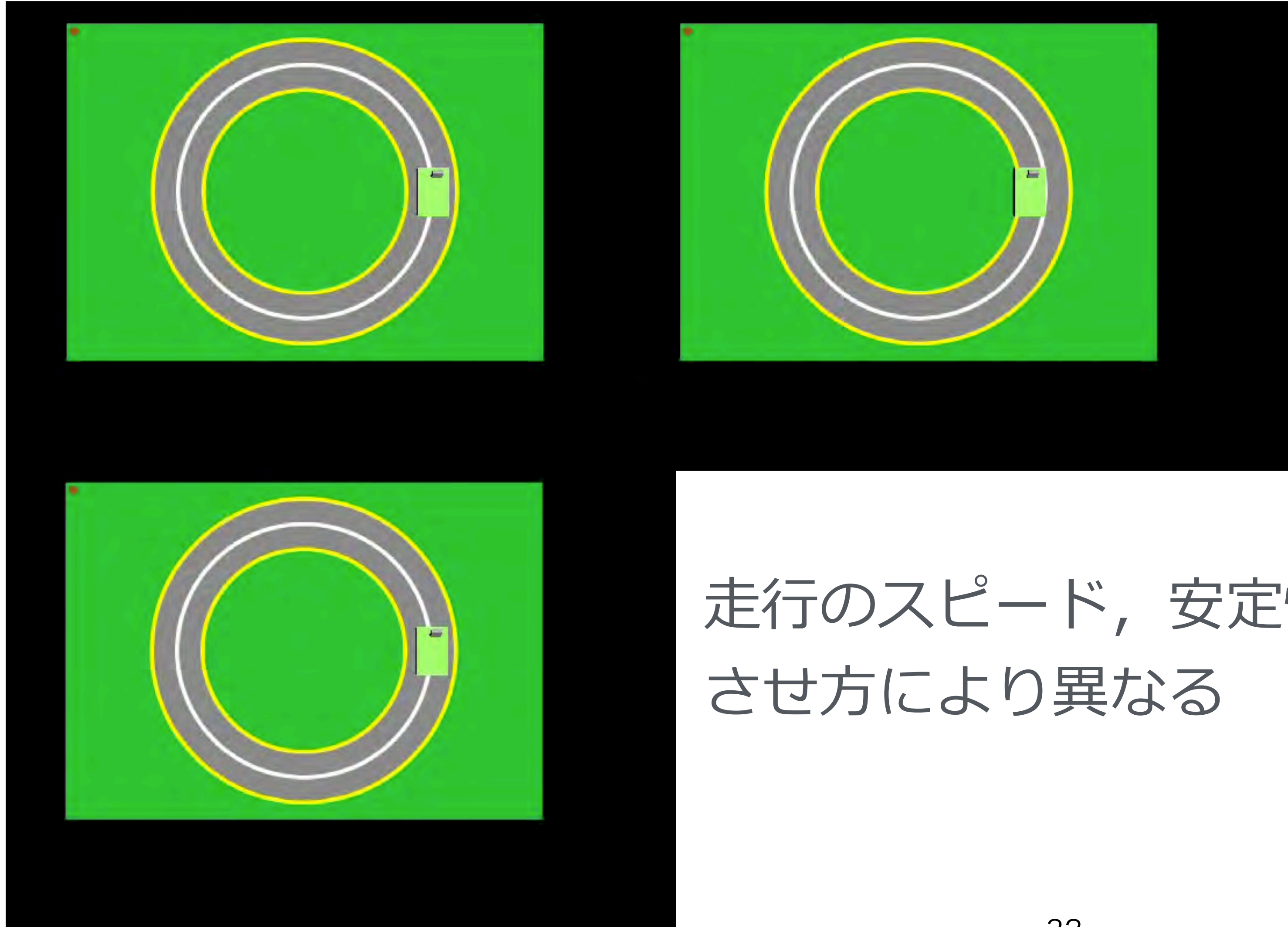
カメラ画像



速度指令
角速度指令

学生の結果の提出方法

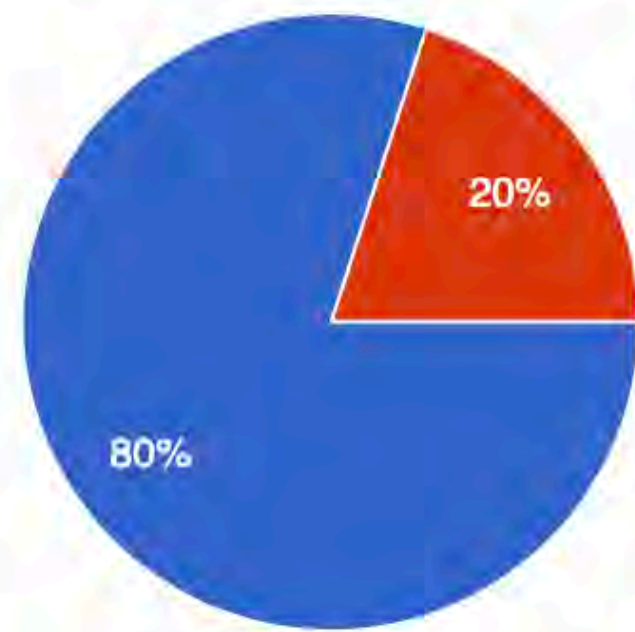
各学生のライントレースロボットの走行の様子を動画として提出



走行のスピード, 安定性は学生の学習の
させ方により異なる

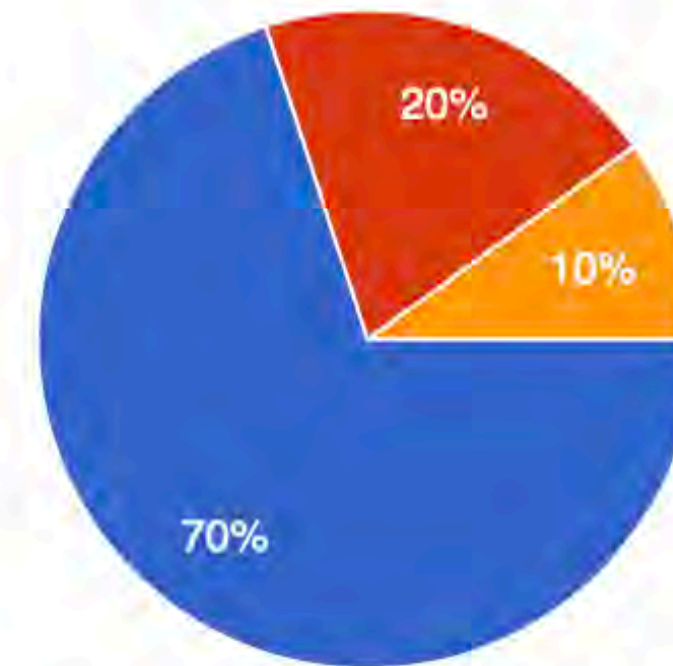
学生のアンケート結果（AIロボット制御）

ディープラーニングによるライントレースの課題は参考になりましたか？



- そう思う
- ややそう思う
- どちらとも言えない
- ややそう思わない
- そう思わない

AIを用いた制御がテーマでしたが、今回の課題を通じて理解は深まりましたか？



- そう思う
- ややそう思う
- どちらとも言えない
- ややそう思わない
- そう思わない

学生アンケート（自由記述）

スピードを速くすると外側に膨らんでどこかに行ってしまうので、白線の少し内側を攻めるようにアノテーションしましたが、今度は直線が苦手になり他のワールドではちゃんと走りませんでした・・・。シミュレーションを使って機械学習をする講義は他に無いと思うのでとてもいい機会になりました。とても良かったです。

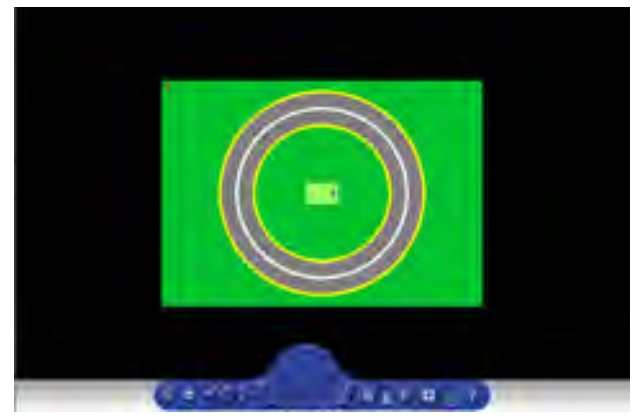
基礎的な内容とはいえ、実際にMATLABによるディープラーニングを体験できたことは良い経験になった。東北大学に入学した際に生協に勧められたMac book air を使用したが、挙動はほぼ問題なかった。

課題は理論ばかりを学び、実用を知らない私にとってとても有用なものだった。一度流れを知っておくだけでも今後のAIや制御の学習に生きると思う。

理論を習うだけで実践する機会はありませんので、深層学習等についてより理解が深まったと思います。時間ができたら、配布されたコード等をもっといじってみて、講義で習ったり調べたりした経路探索法等を実装してみたいなと思っています。

シミュレーションから実機実行へ

カメラのシミュレーション
で学習画像生成

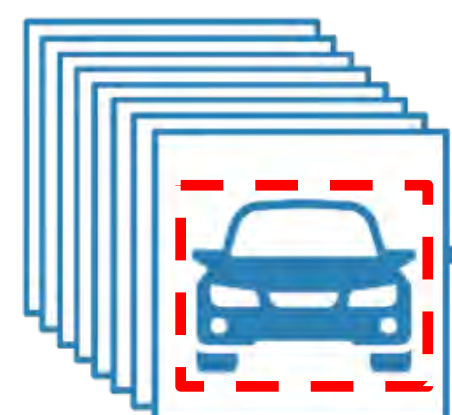


データセットの
準備

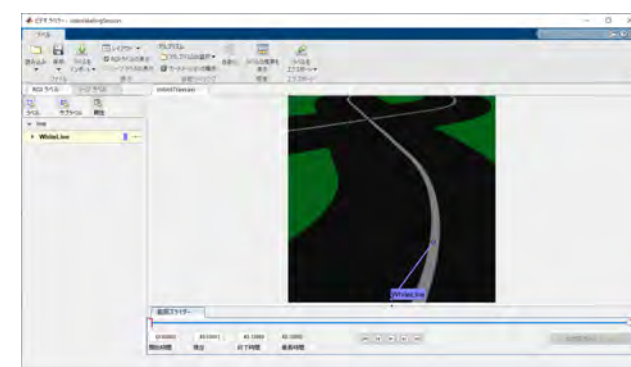


学習用画像

ラベリング

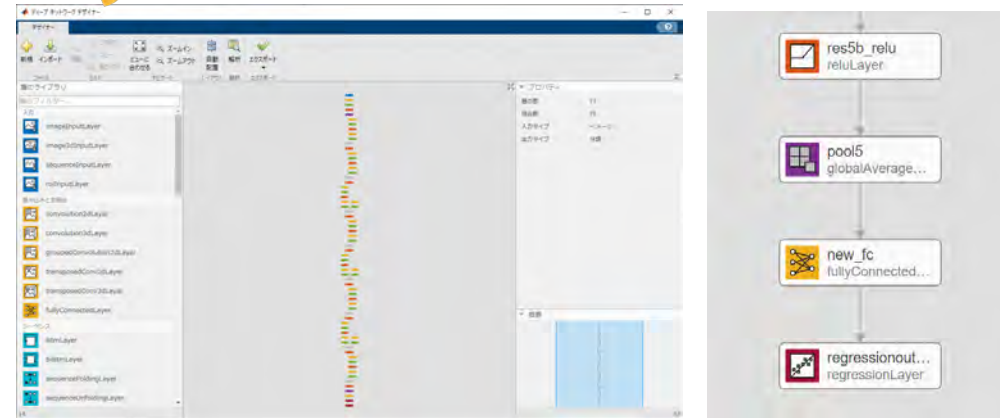


目標位置と
学習用画像



ビデオラベラー

回帰ネットワークモデル



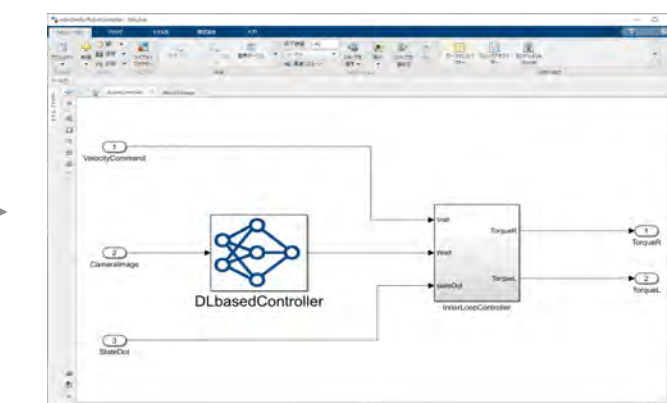
ネットワークの設計



学習済モデル

学習

統合



システム
シミュレーション

実装



実機実行

実機での動作を体験する必要性

シミュレーション環境で学習したモデル

→ 実機環境に対応できない場合がある

- 周囲の障害物の有無
- 環境光の明るさや反射
- 画像センサーのノイズ

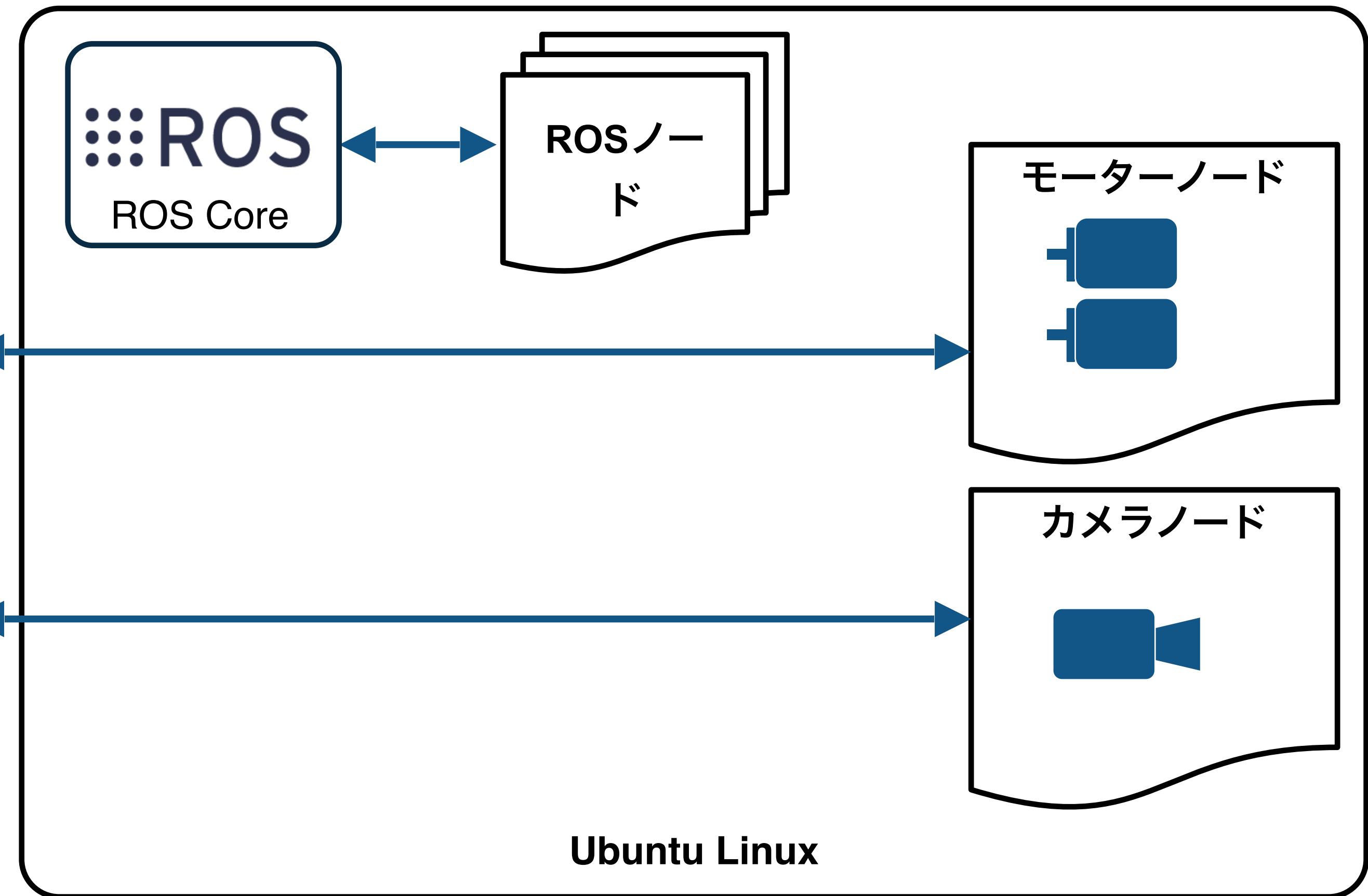
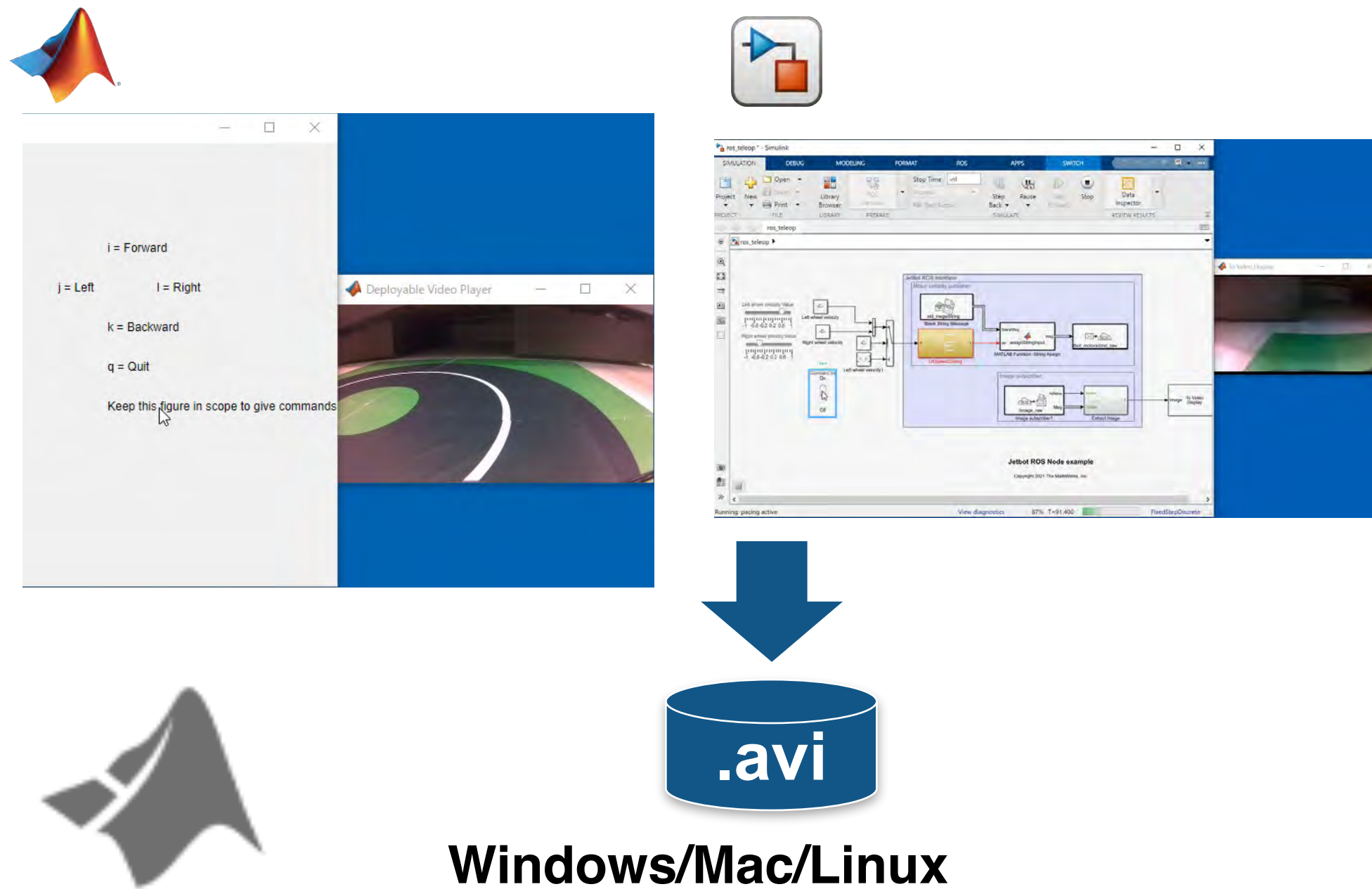
実環境からもデータを収集し、よりロバストな学習モデルを構築する

シミュレーションと実機の主な違い：画像取得，動作検証（ROSによる実機操作）

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

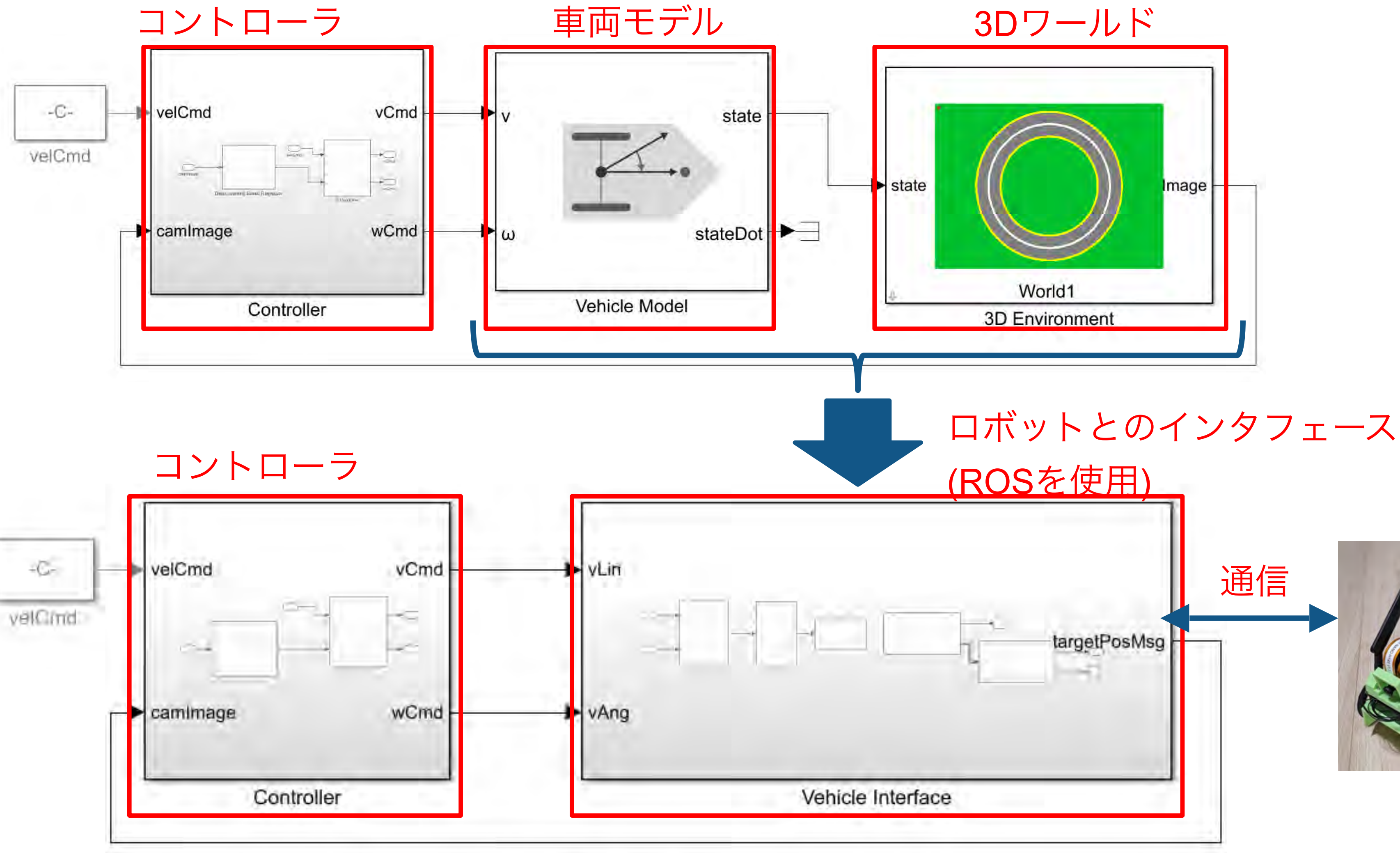



Development Machine



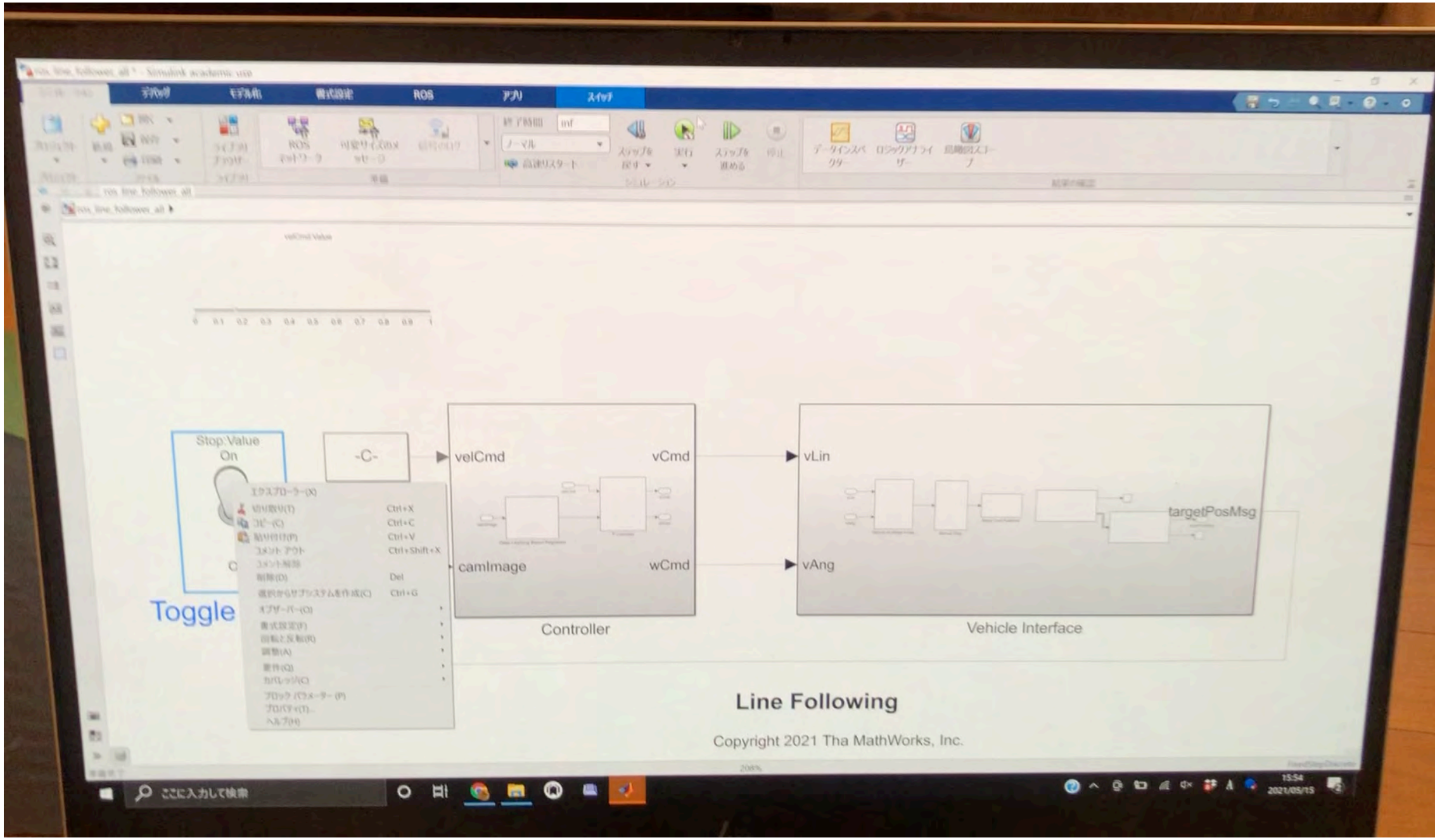
JetBotをいろいろな
場所に設置する
or
走行させる

インタフェースをROSに置き換え



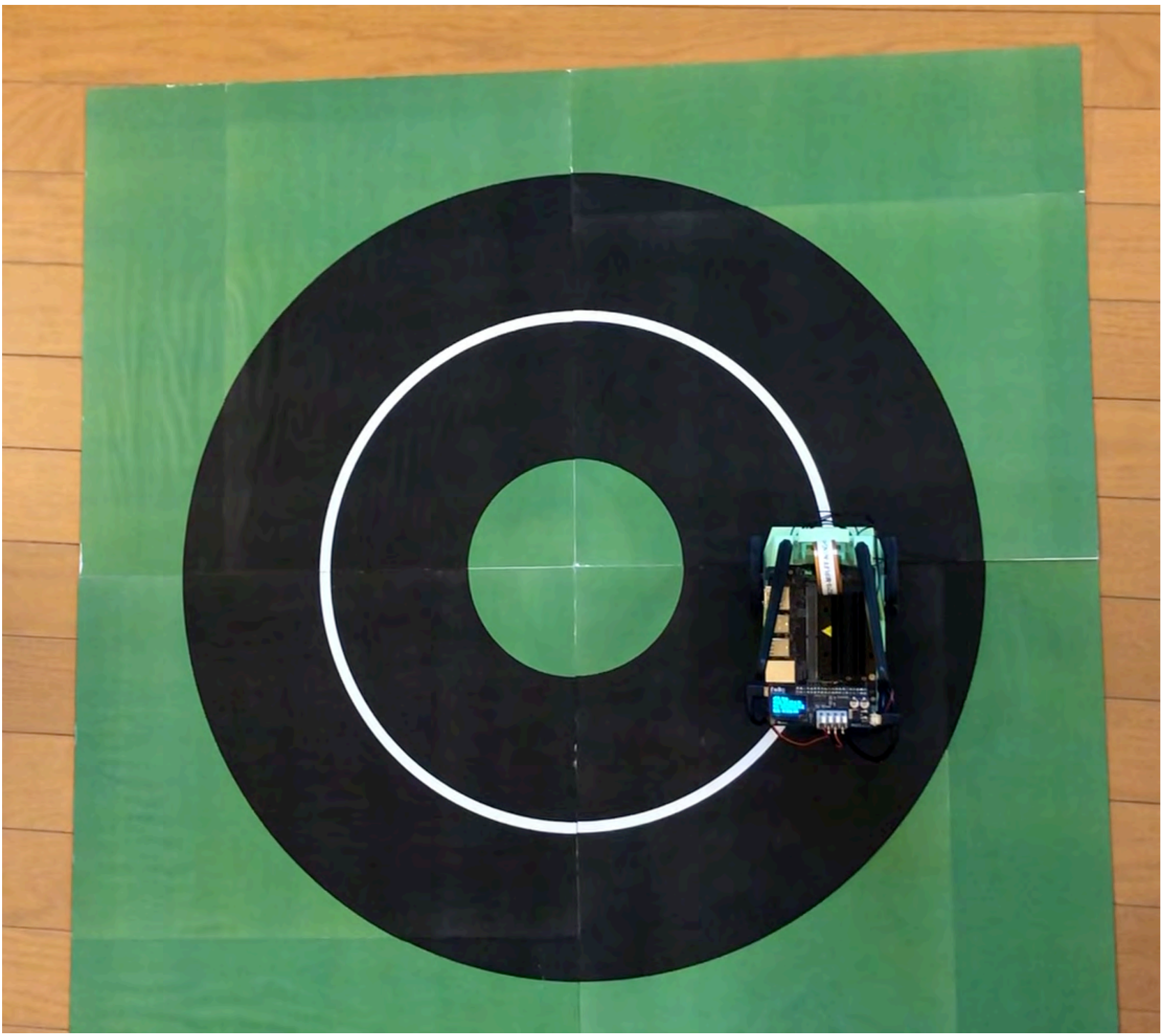
実機での動作の様子

実機での画像を追加して学習した場合



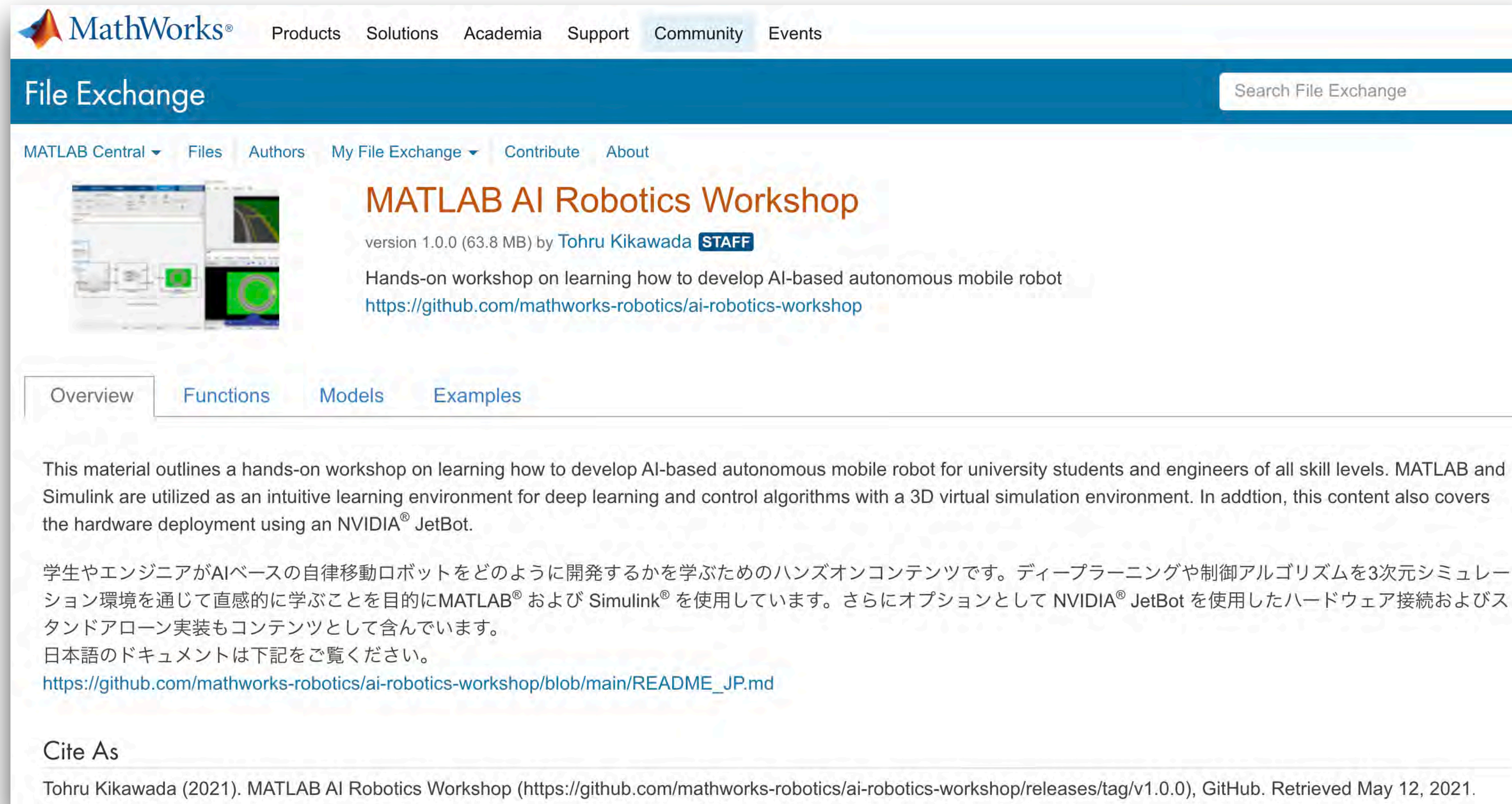
うまく追従している

シミュレーションのみで学習した場合



最初は追従しているが. . . .

AIロボット制御のコンテンツ



The screenshot shows the MathWorks File Exchange page for the MATLAB AI Robotics Workshop. The page features a navigation bar with the MathWorks logo and links to Products, Solutions, Academia, Support, Community, and Events. Below the navigation bar is a search bar and a secondary navigation menu with links to MATLAB Central, Files, Authors, My File Exchange, Contribute, and About. The main content area displays the workshop title, version information (1.0.0, 63.8 MB), and the author's name (Tohru Kikawada, STAFF). A description in English and Japanese is provided, along with a link to the GitHub repository. The page also includes a 'Cite As' section with a citation for the workshop.

MathWorks® Products Solutions Academia Support Community Events

File Exchange Search File Exchange

MATLAB Central Files Authors My File Exchange Contribute About

MATLAB AI Robotics Workshop

version 1.0.0 (63.8 MB) by Tohru Kikawada **STAFF**

Hands-on workshop on learning how to develop AI-based autonomous mobile robot
<https://github.com/mathworks-robotics/ai-robotics-workshop>

Overview Functions Models Examples

This material outlines a hands-on workshop on learning how to develop AI-based autonomous mobile robot for university students and engineers of all skill levels. MATLAB and Simulink are utilized as an intuitive learning environment for deep learning and control algorithms with a 3D virtual simulation environment. In addition, this content also covers the hardware deployment using an NVIDIA® JetBot.

学生やエンジニアがAIベースの自律移動ロボットをどのように開発するかを学ぶためのハンズオンコンテンツです。ディープラーニングや制御アルゴリズムを3次元シミュレーション環境を通じて直感的に学ぶことを目的にMATLAB® および Simulink® を使用しています。さらにオプションとして NVIDIA® JetBot を使用したハードウェア接続およびスタンドアロン実装もコンテンツとして含んでいます。
日本語のドキュメントは下記をご覧ください。
https://github.com/mathworks-robotics/ai-robotics-workshop/blob/main/README_JP.md

Cite As

Tohru Kikawada (2021). MATLAB AI Robotics Workshop (<https://github.com/mathworks-robotics/ai-robotics-workshop/releases/tag/v1.0.0>), GitHub. Retrieved May 12, 2021.

<https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/91980-matlab-ai-robotics-workshop>

まとめ

- MATLABを用いて、ロボットの授業を座学だけではなく体験的に学ぶことが可能となった
- 3Dシミュレータを用いることで、ロボットの実機がない場合でも、画像取得、学習、制御、動作検証が可能となった
- 授業アンケートにより「体験」により理解が深まっていることが示された
- 今後は、実機を用いた場合との教育効果の比較などを行う予定である

AIを用いたロボット制御で使用した製品

製品：

- MATLAB R2021a (授業ではR2020a)
- Simulink
- Image Processing Toolbox
- Computer Vision Toolbox
- Deep Learning Toolbox
- Robotics System Toolbox
- Simulink 3D Animation
- Parallel Computing Toolbox
- MATLAB Coder
- GPU Coder
- Simulink Coder
- ROS Toolbox

アドオン：

- Deep Learning Toolbox Model for ResNet-18 Network
- MATLAB Coder Support Package for NVIDIA Jetson and NVIDIA DRIVE Platforms
- GPU Coder Interface for Deep Learning Libraries

ご静聴有り難うございました。