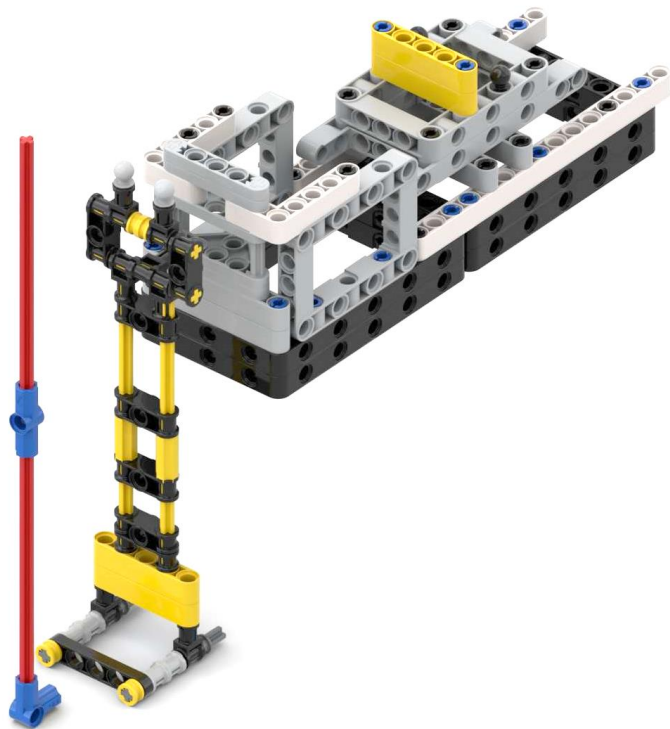


# 制御工学を実践的に学ぶことができる LEGO 倒立振子の開発



かーたー  
@carter\_control

- 研究背景と目的
- アーム型 LEGO 倒立振子の製作
- LEGO アームの PID 制御
- アーム型 LEGO クレーンの振れ止め制御
- アーム型 LEGO 倒立振子の目標値追従制御
- まとめ

- 研究背景と目的
- アーム型 LEGO 倒立振子の製作
- LEGO アームの PID 制御
- アーム型 LEGO クレーンの振れ止め制御
- アーム型 LEGO 倒立振子の目標値追従制御
- まとめ

# 「制御工学」を 実践的に学ぶための教材



お金ないし...

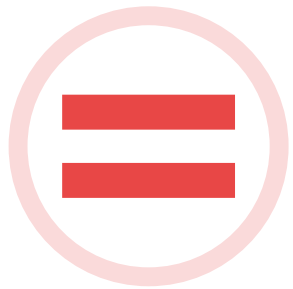
機械加工できないし...

プログラムとかわからんし...

簡単に作れないかなあ



# 「制御工学」を 実践的に学ぶための教材



**MINDSTORMS**  
EV3



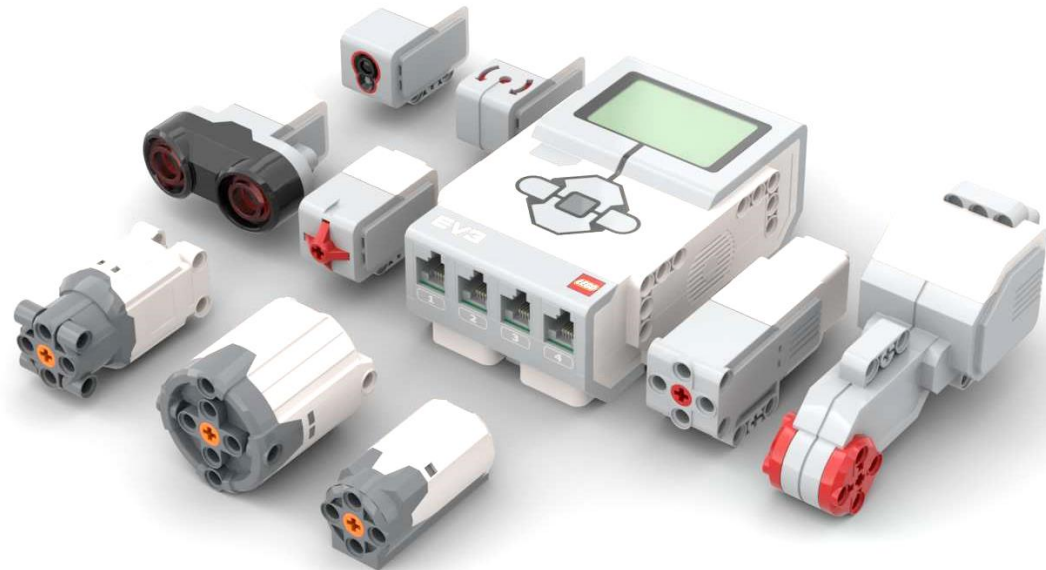
**MATLAB**®  
& **SIMULINK**®



# LEGO なので …

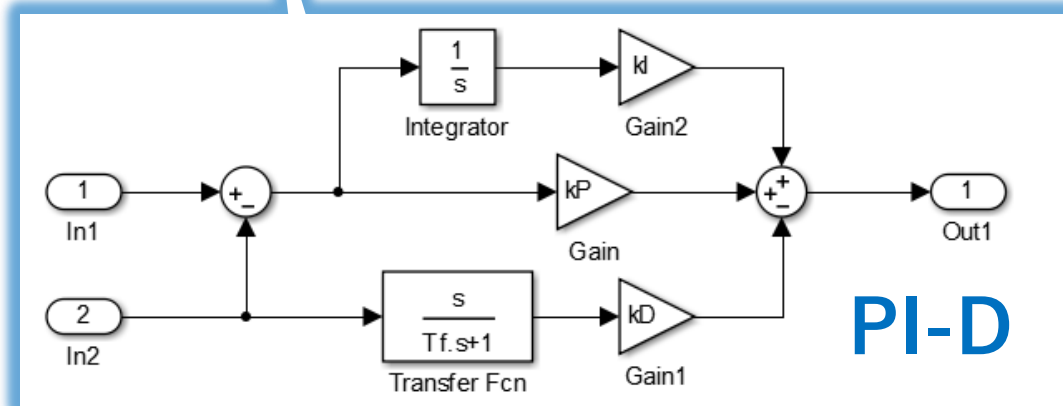
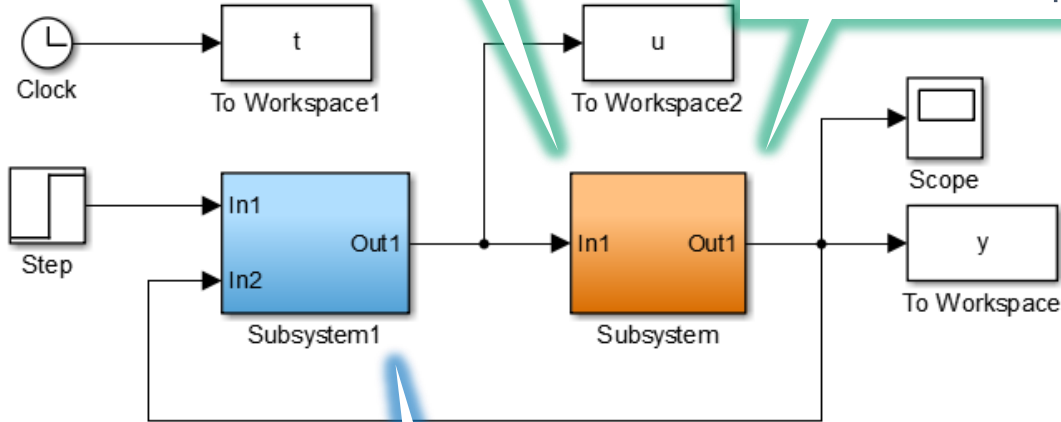
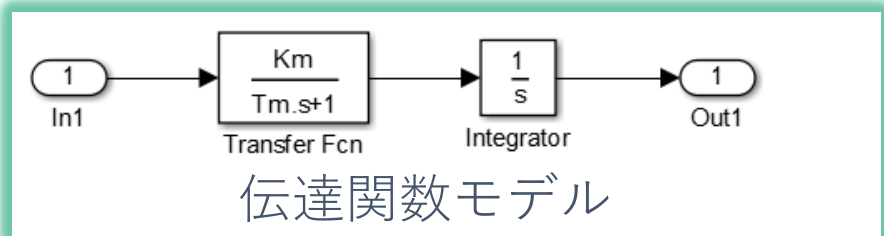
- 組み立てが**簡単**！
- 暴走しても**ケガの心配がない**！
- 市販の教育用実験装置と比べると**安価**！

安価

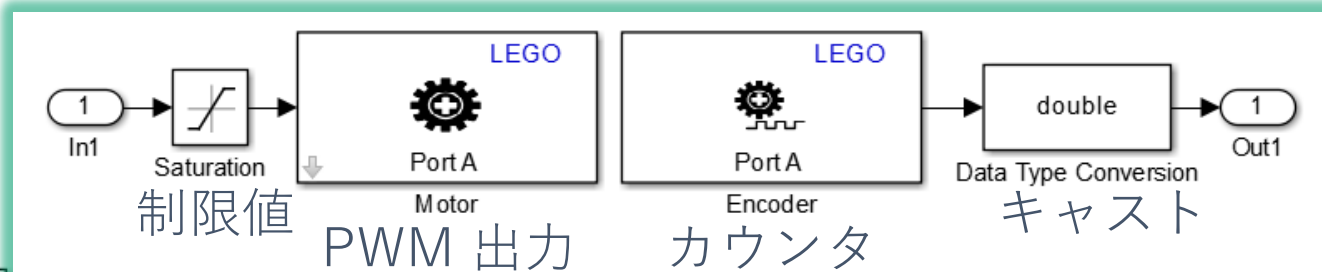


# Simulink なので ...

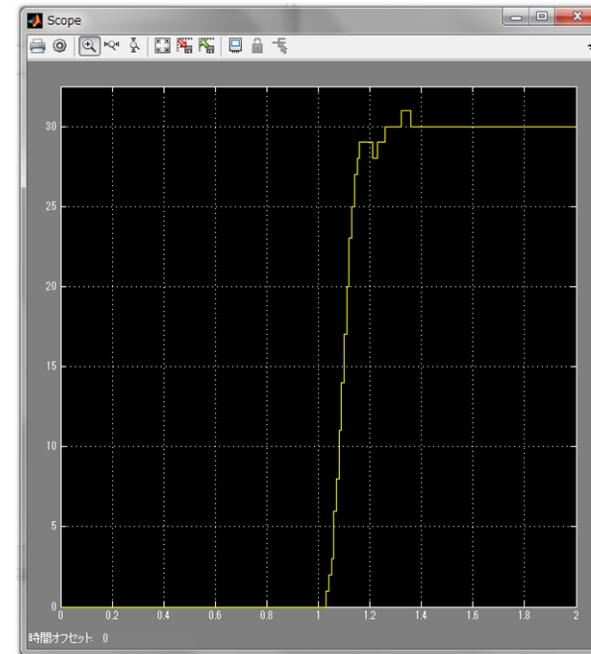
シミュレーション (数値実験)



実機実験



リアルタイムで表示/保存







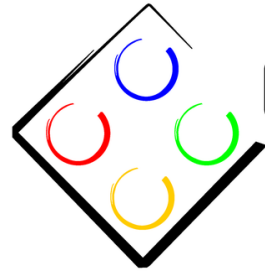
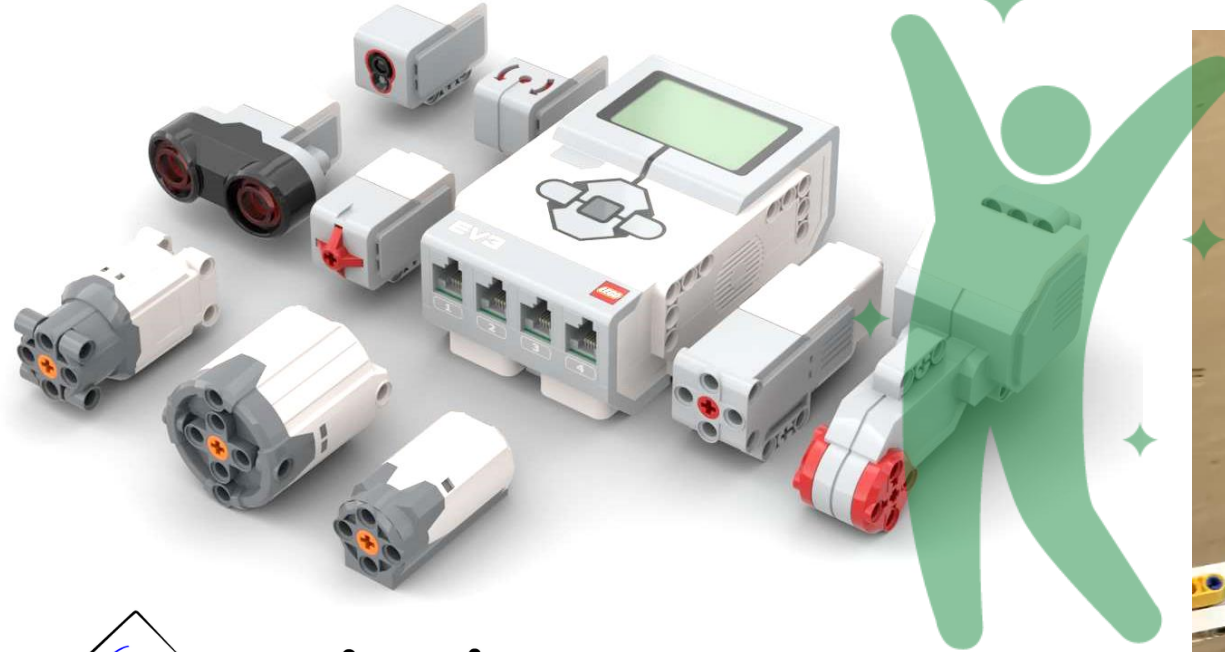
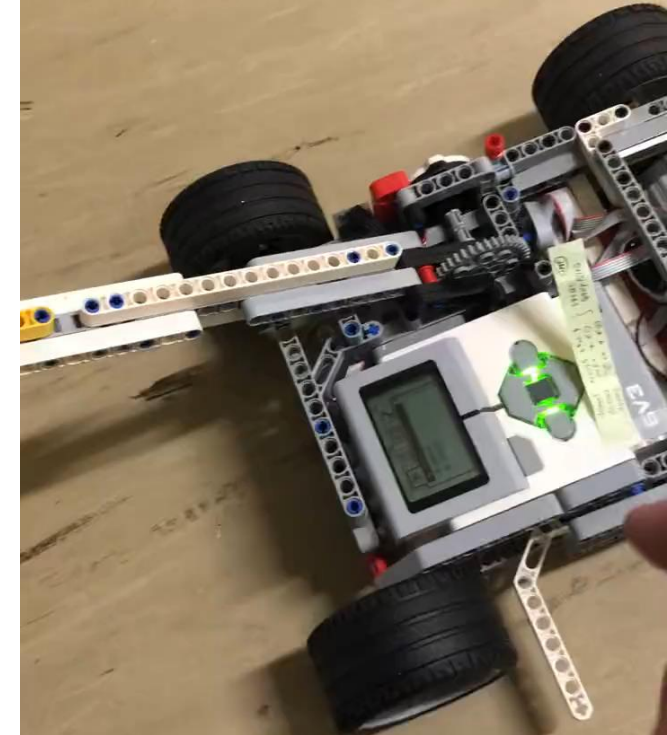
# MINDSTORMS<sup>®</sup>

EV3

回転型倒立振り子



台車型倒立振り子



[mindsensors.com](http://mindsensors.com)

Think • Create • Learn • Educate



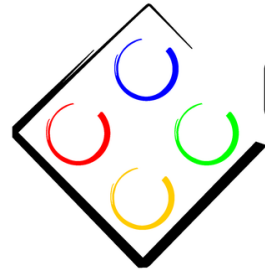
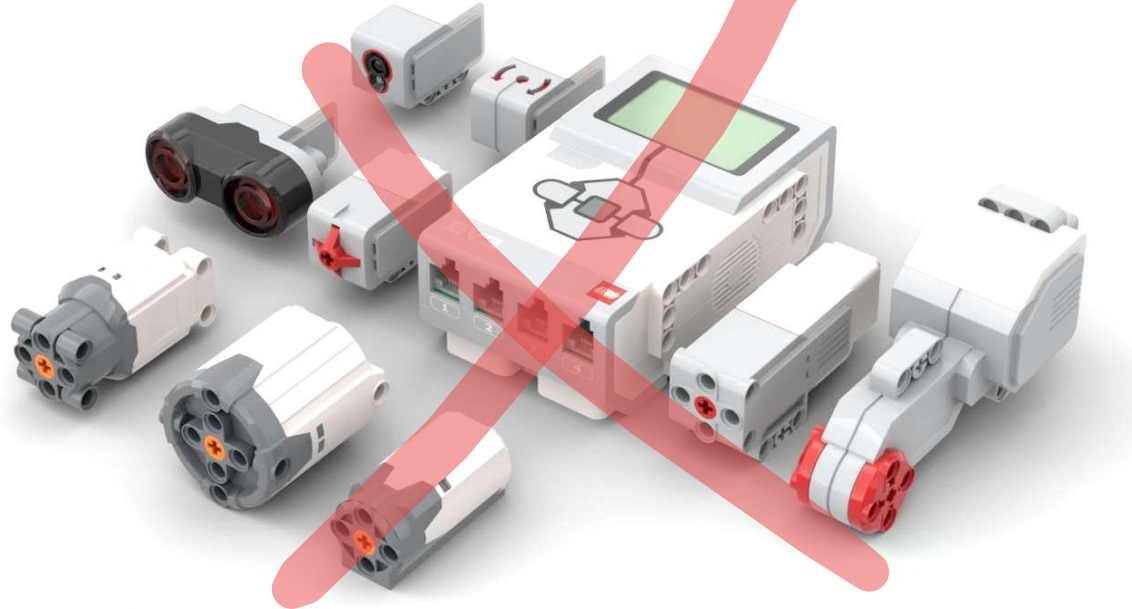
エンコーダ





しかし...

製造終了



[mindsensors.com](http://mindsensors.com)

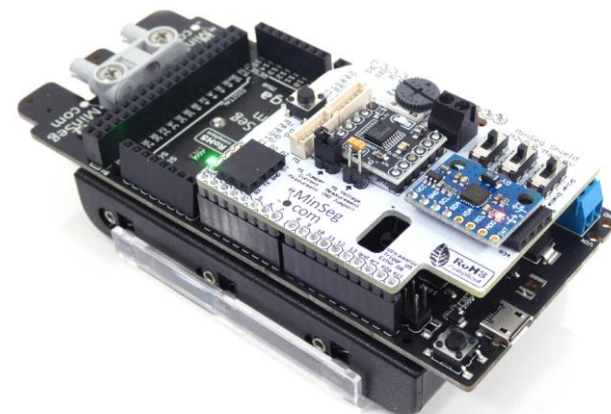
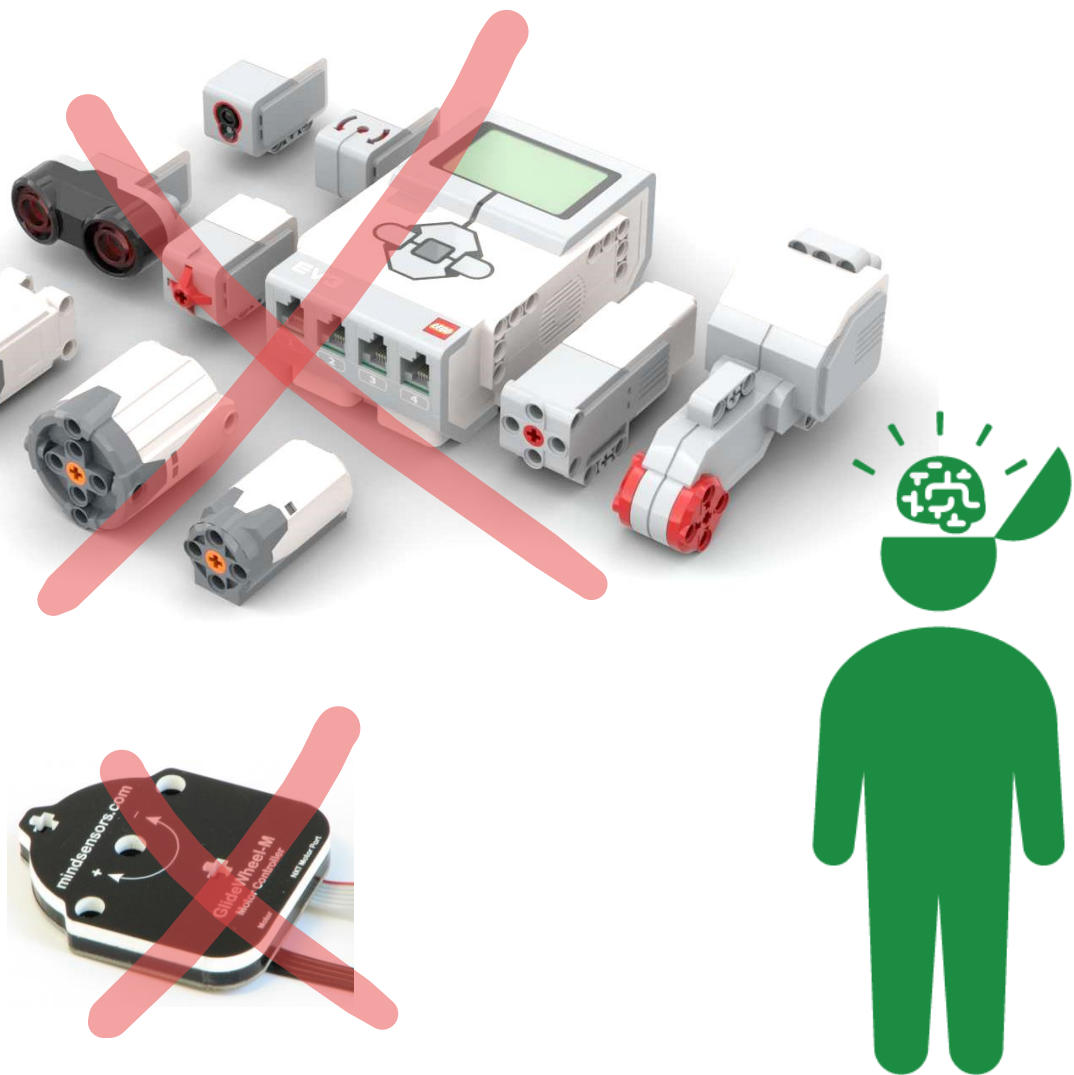
Think • Create • Learn • Educate



エンコーダ

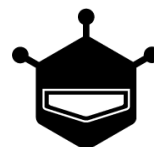


そこで...



MinSeg  
com

Arduino MEGA 互換ボード  
+ MinSegShield  
(モータドライバ、6 軸センサ)



DFROBOT  
DRIVE THE FUTURE

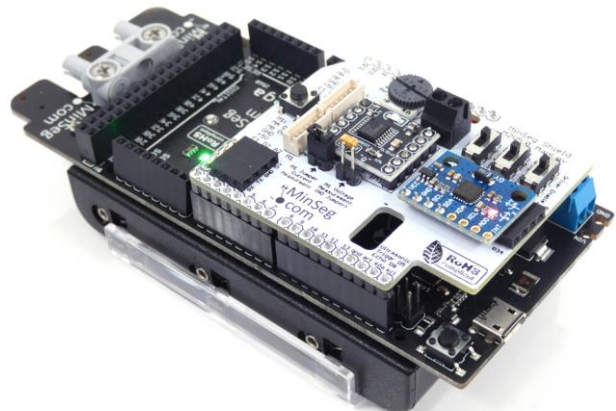


モータ

Autonics



エンコーダ



MinSeg  
com

Arduino MEGA 互換ボード  
+ MinSegShield  
(モータドライバ、6 軸センサ)



DFROBOT  
DRIVE THE FUTURE



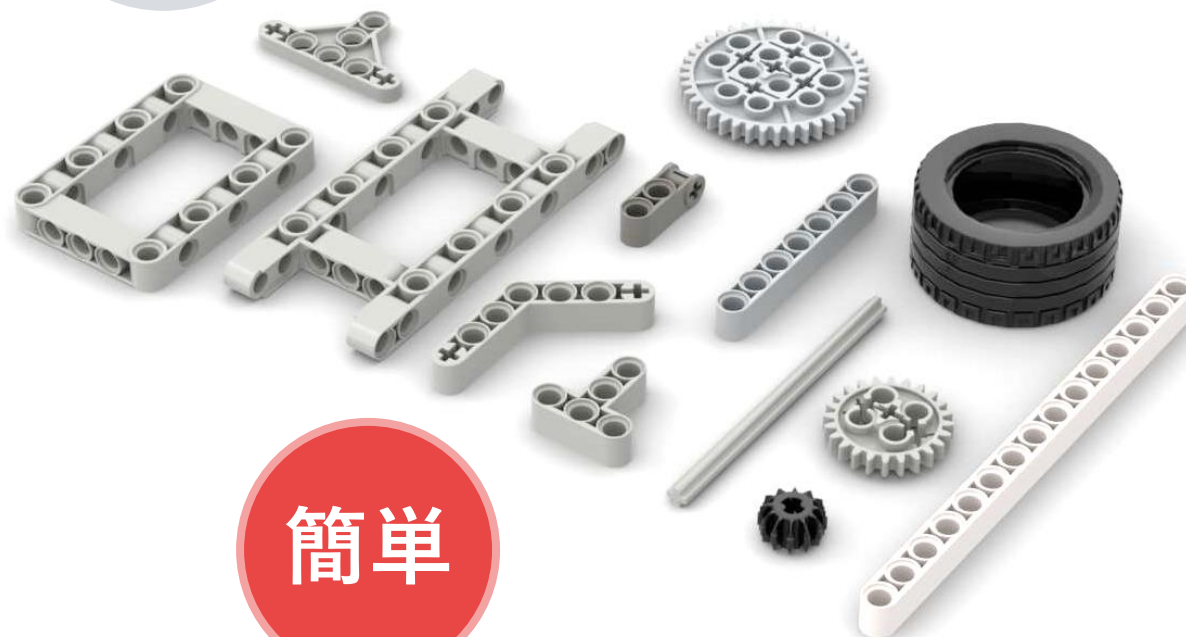
モータ

Autonics



エンコーダ

ただし、本体は  
**LEGO 部品**で製作！



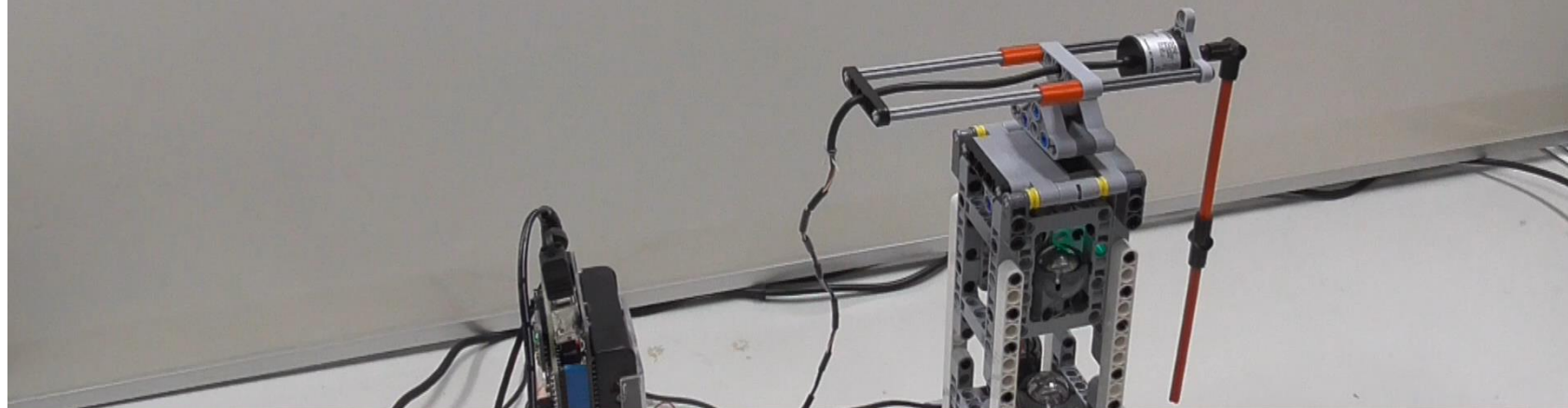
簡単





でレシピを公開！

## 回転型 LEGO 倒立振子の 振り上げ安定化制御



機械工作が得意ではない私が  
LEGO の部品を利用して  
「回転型倒立振子」を  
作ってみた話。

Qiita Ver.



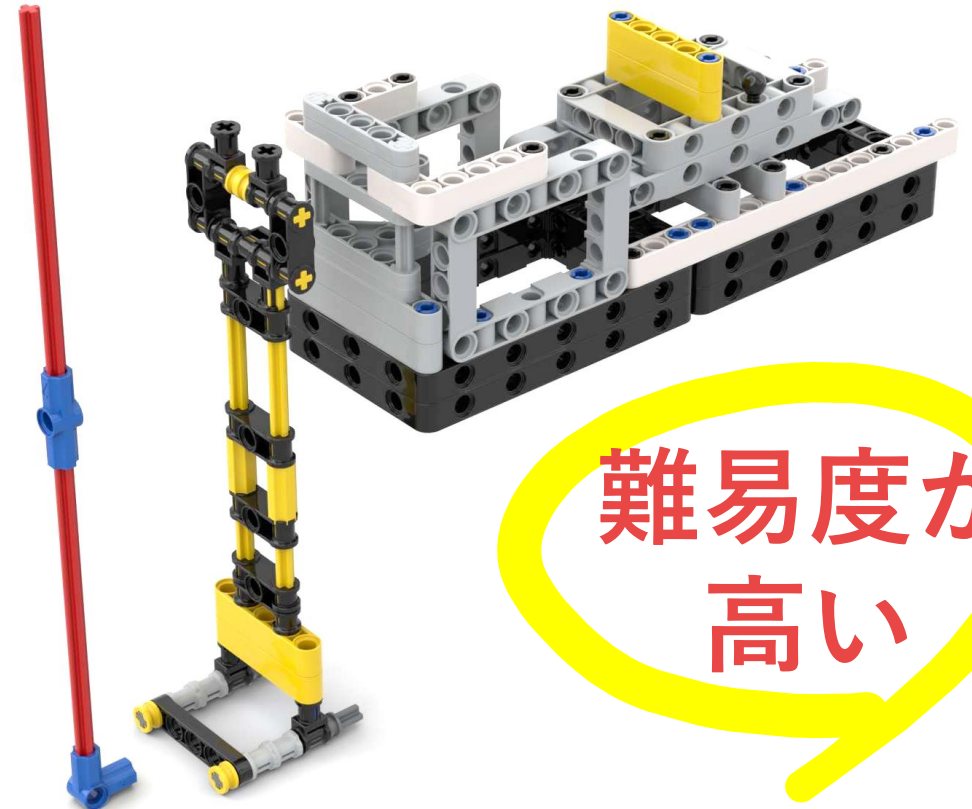
# 本発表では …

## 回転型 LEGO 倒立振子 (Furuta Pendulum)



## MSCS 2023

## アーム型 LEGO 倒立振子 (Pedubot)



難易度が  
高い



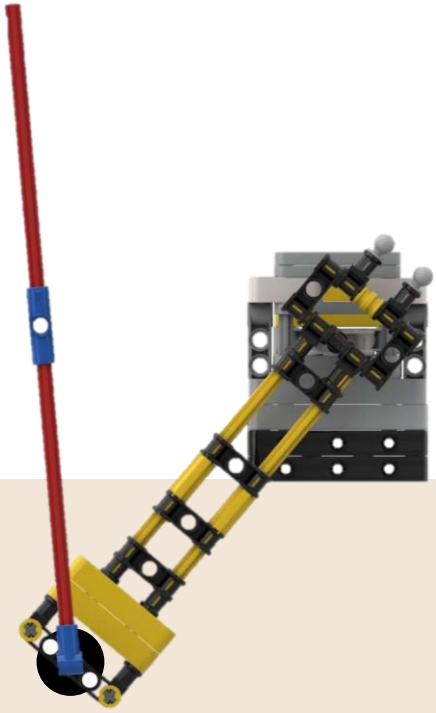
# アーム型 LEGO 倒立振り子



鉛直面を回転する  
アーム系



クレーン  
(down/down)



倒立振り子  
(down/up)

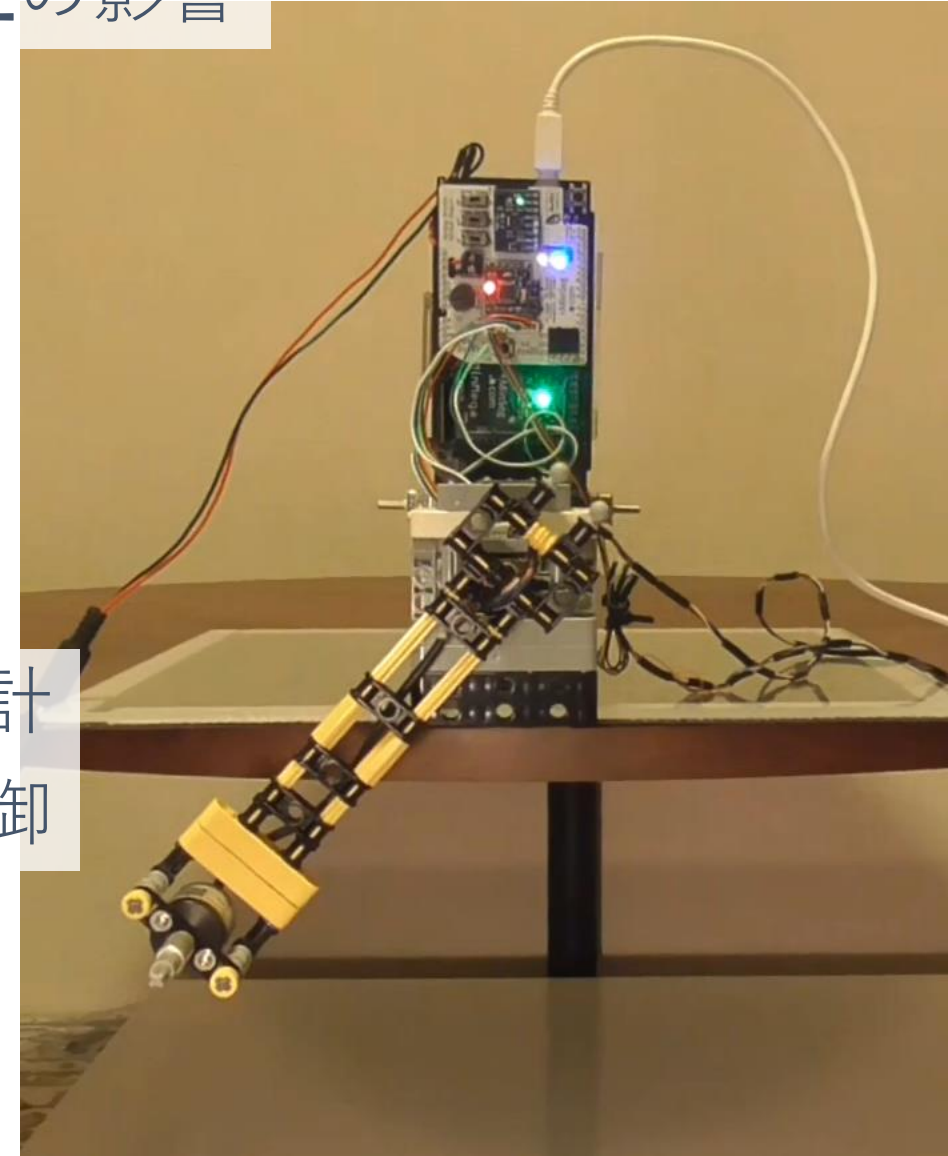
学習内容や  
レベルにより  
実験装置を変更

# LEGO アーム



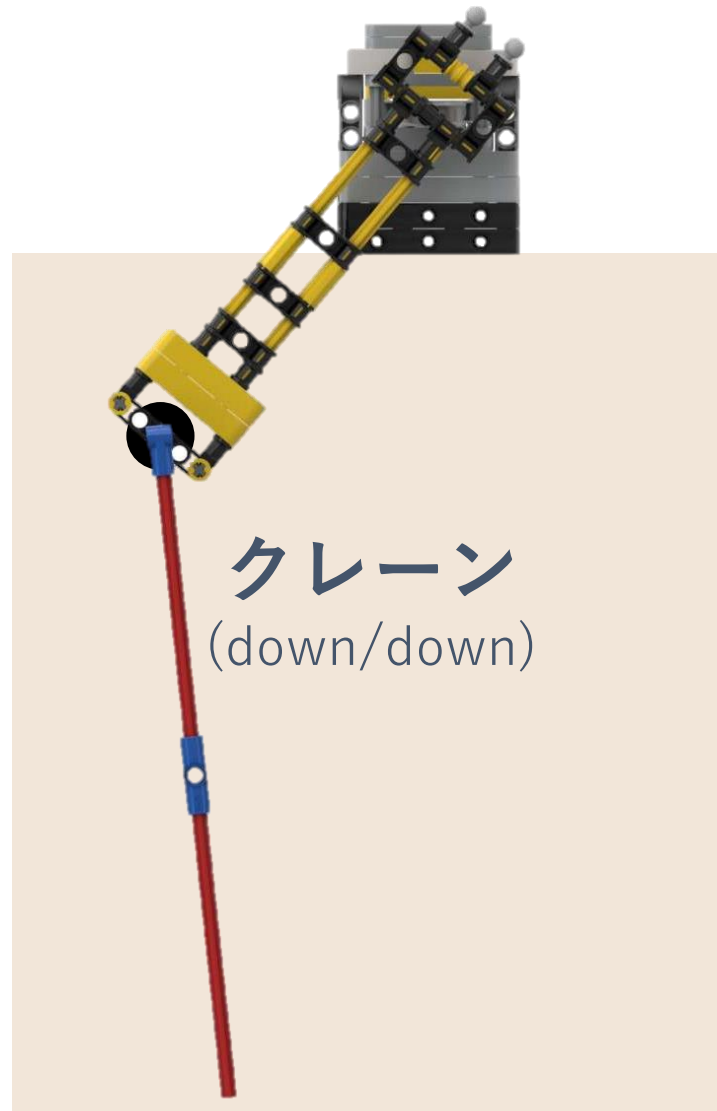
鉛直面を回転する  
アーム系

- 教科書によく出る 2 次遅れ系の例題
- 重力による非線形性の影響
- 線形化の学習
  - 近似線形化
  - 厳密線形化
- PID 制御の学習
  - 各動作の効果
  - モデルベース設計
  - データ駆動型制御



# アーム型 LEGO クレーン

いきなり、  
振子を倒立させる  
のではなく ...



- 安定なシステムなので  
難易度が低い
- 振子の振れ止め制御  
(現代制御の学習)
  - 極配置法
  - 最適レギュレータ
  - オブザーバetc



# アーム型 LEGO 倒立振子

- 不安定なシステムなので難易度が高い
- 振子の倒立安定化制御 (現代制御の学習)
  - 極配置法
  - 最適レギュレータ
  - オブザーバ
  - 目標値追従制御etc

