

バイラテラル制御と模倣学習

筑波大学システム情報系
知能機能工学域
准教授 境野翔

講演者について

筑波大学システム情報系

准教授 境野 翔

sakaino@iit.tsukuba.ac.jp

029-853-5019

<https://mclab.iit.tsukuba.ac.jp/>

2011年3月慶應義塾大学大学院

後期博士課程修了 博士(工学)

2011年4月-2019年3月

埼玉大学工学部 助教

2019年4月より現職

未だにロボット化されていない肉体労働は多い



物体の配置・形状・剛性が毎回微妙に異なる

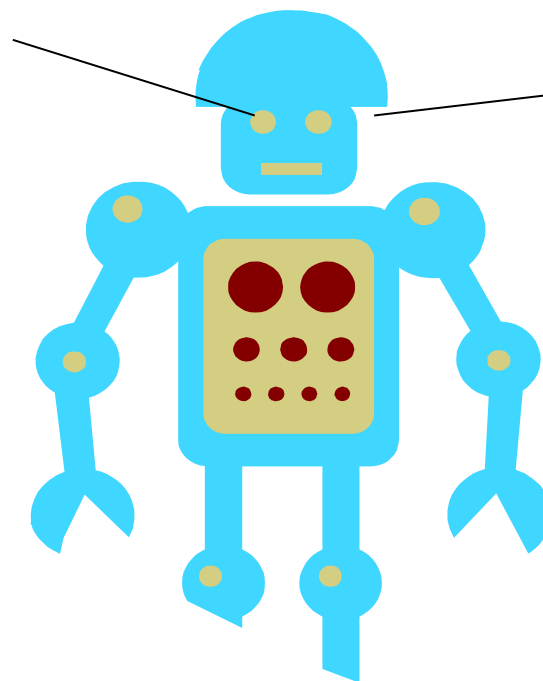
未知物体の操作の必要なタスク

ロボットの現状

賢い認識・判断はできるが触れない

画像認識

DLで大幅に向上



言語処理

DLで大幅に向上

動作計画

接触を含む動作計画は困難

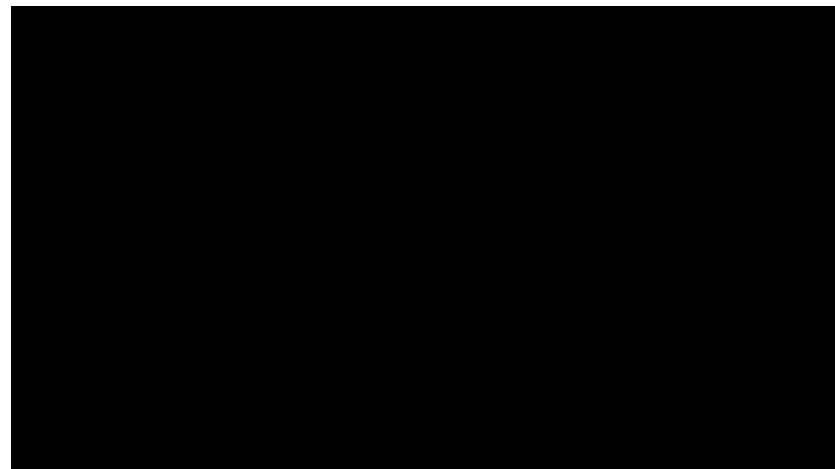
ラスト5cm問題

Cook Shrimp
(autonomous)



6x

Stanford University (2024)



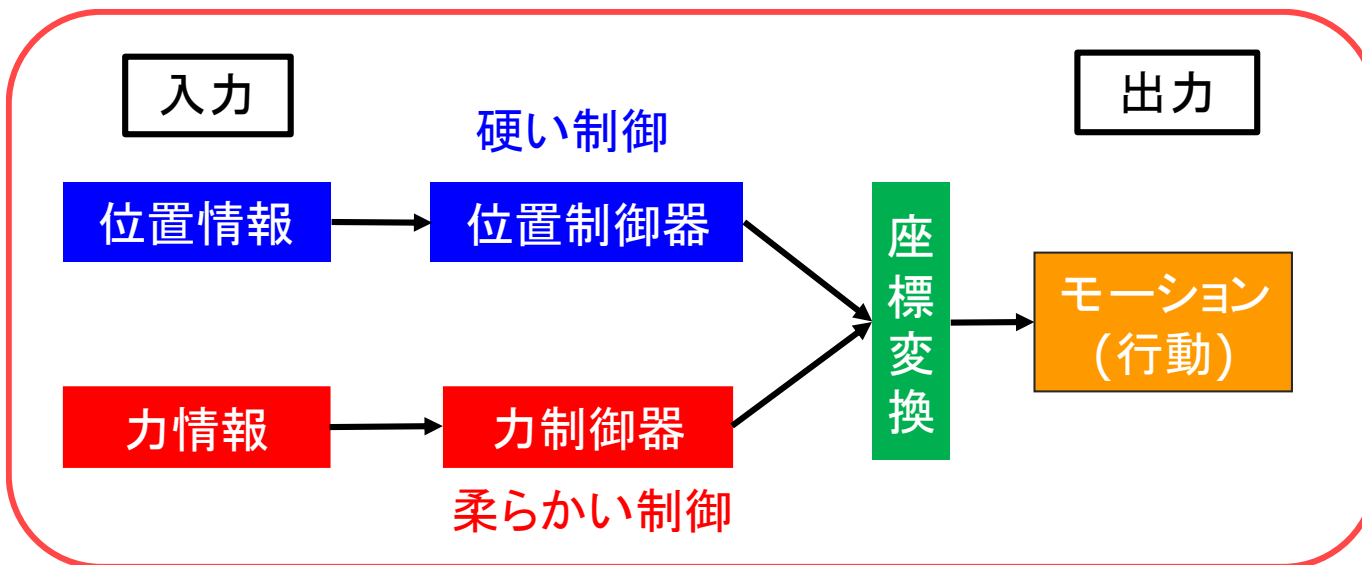
TESLA (2023)



TOYOTA (2023)

AIで適応能力は獲得したが、
動作があまりに遅い

任意のモーションは座標変換によって抽象化可能*, **, ***



力制御が物体操作の鍵

[*] **Sho Sakaino**, Tomoya Sato, Kouhei Ohnishi: "A Novel Motion Equation for General Task Description and Analysis of Mobile-Hapto," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No. 7, pp. 2673-2680, 2013.

[**] **境野翔**, "斜交座標制御を用いた高度なハイブリッド制御の実現" 電気学会産業応用部門論文賞, 電気学会, 9月7日, 2011年.

[***] 大西公平, **境野翔**, 野崎貴裕, "位置・力制御装置、位置・力制御方法及びプログラム,"

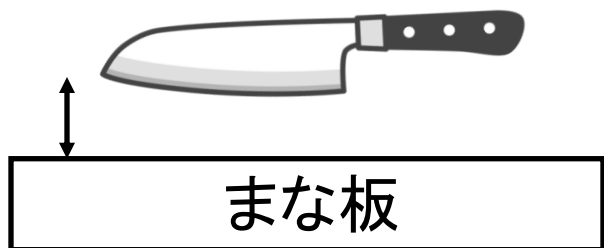
出願番号:2015-537631、PCT/JP2014/073083、出願日：2013年9月19日、国際出願日2014年9月2日、登録日2018年8月10日

位置制御と力制御による接触

包丁をまな板におしつけるには・・・？

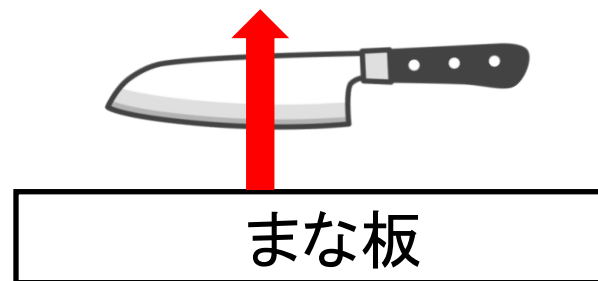
位置制御

正確な位置決めが必要



力制御

反力の大小は重要でない



力制御による接触の要求仕様緩和

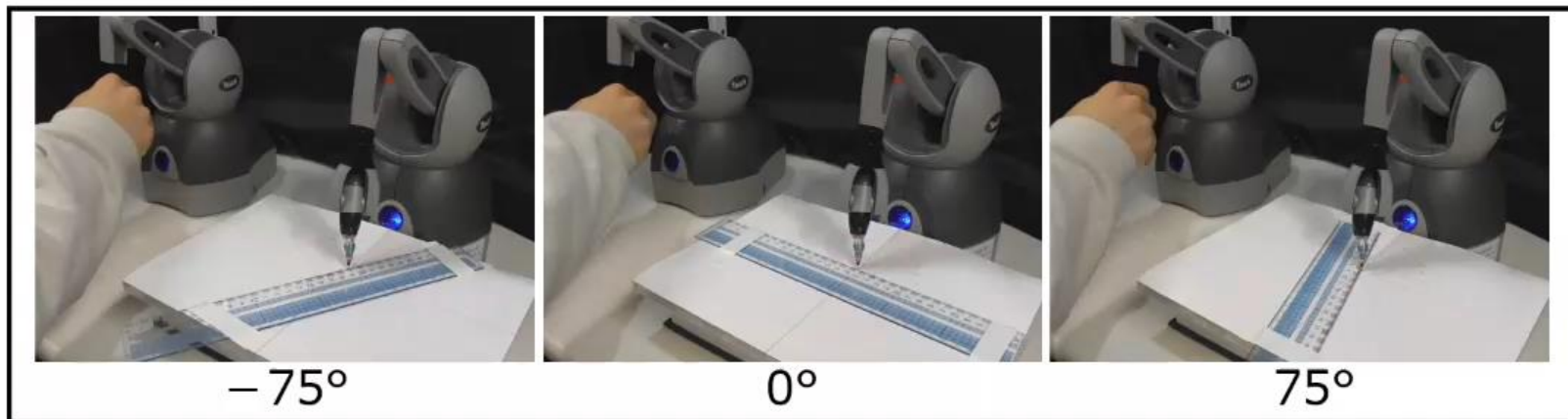
バイラテラル制御で力加減を教示

教示動作を模倣する技能を
深層学習で獲得

Step1. 複数の異なる定規の傾きで線を引く動作を学習

学習する定規の傾き：15°間隔で-75°~75°（計11種類）

例



遠隔操作技術のバイラテラル制御を用いてデータを取得・保存

力加減を教示可能

1次元的教师データから
2次元の動作を獲得

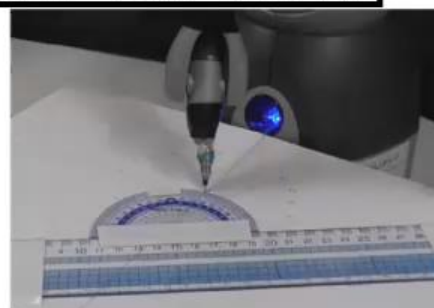
人間並みの高速動作

Step2. 学習モデルに従い自律動作を実行

未学習の傾き: -40°



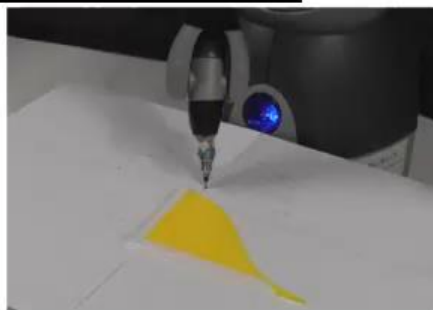
分度器→定規 (未学習)



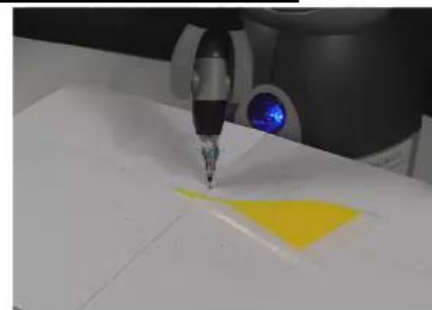
未学習の傾き: 20°



曲線1 (未学習)

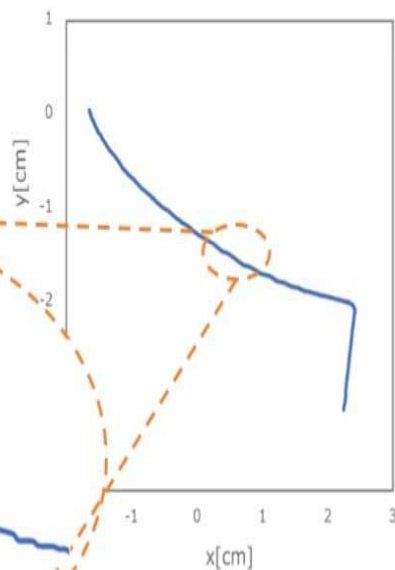


曲線2 (未学習)

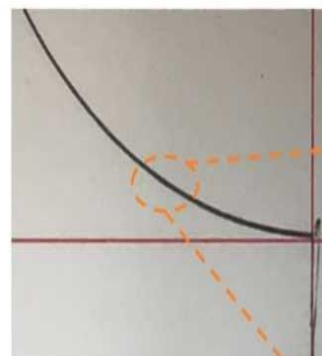


道具と力制御を使うとロボットの位置制御性能を超越可能

Q 拡大表示



ロボットの応答値
(角度センサから取得)

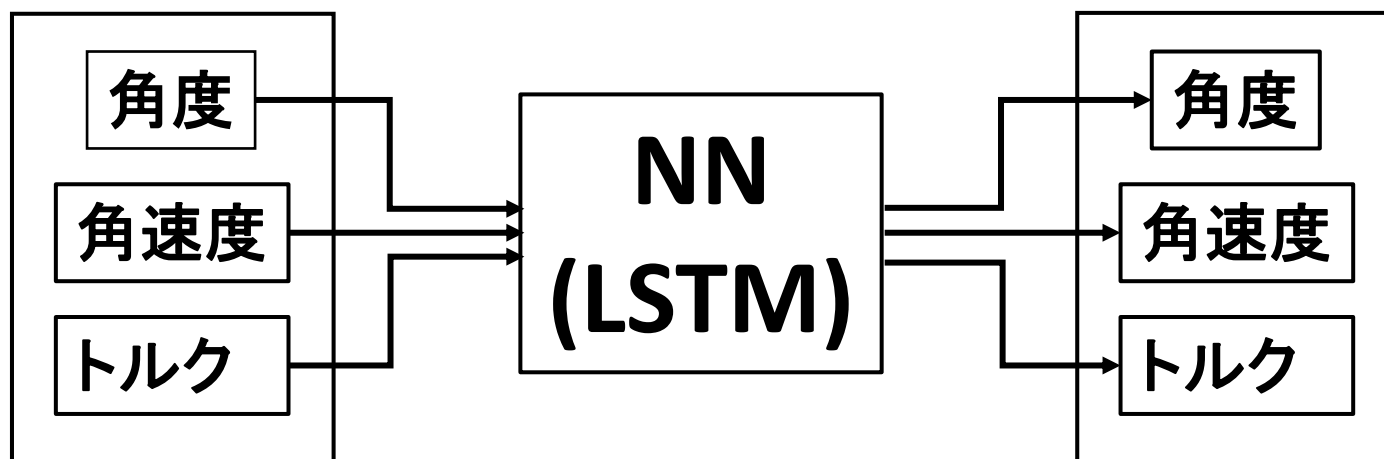


分度器に沿って引かれた線

具体的な実装方法

現在のフォロワ

次のリーダー



人間並に速くなめらかな動作と高い適応能力を両立



1x

人間との協調



1x

食品の操作



1x

環境への適応

- 人間並みに速くてなめらかな動作
- 力制御で未知環境へ適応
- 非常に少ない(せいぜい数十回程度)動作教示

教示動作を変更するだけで汎用的な技能を獲得

ハードウェアの変更は必要なし

トイレ掃除



1x

国際ロボット展2023でも安定動作！

ハンバーガー組立



1x

国際ロボット展2023でも安定動作！

イクラ丼盛り付け

Food Topping Challenge @ICRA2024で優勝！



- 良いデータがあれば高度なAIなど使わずとも高度なことが実現可能

位置応答値

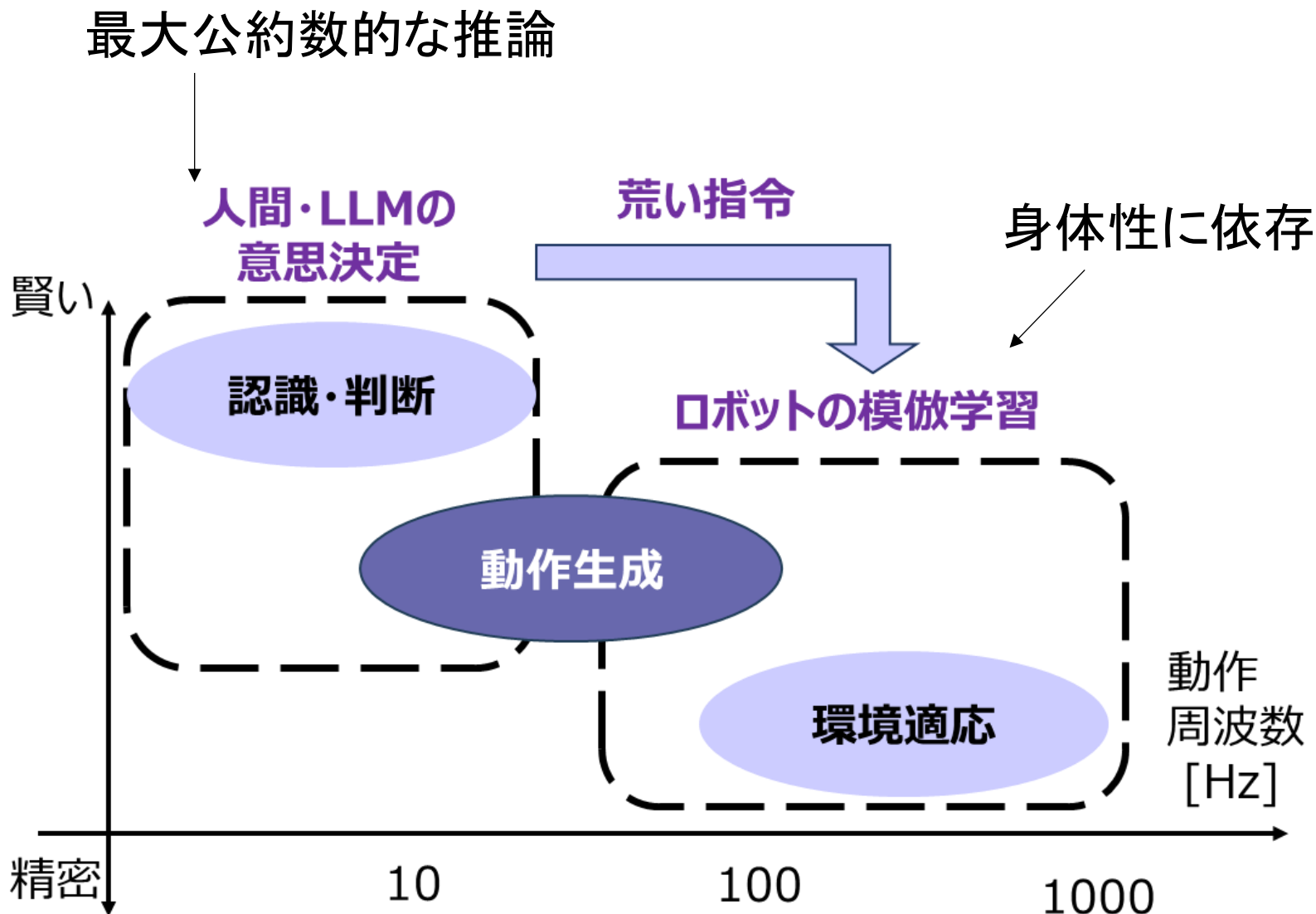
位置指令値

力応答値

力指令値

- 良いデータを集めるためのバイラテラル制御はモーションコントロール技術の集合
- 現在流行している大規模モデルと組み合わせれば、いよいよ賢い動作生成が確立されるようになるのでは？

今後の展望



バイラテラル制御



人間の物体操作を模倣するロボット ～Deep Learningを用いた位置と力の制御～

筑波大学 モーションコントロール研究室



<https://www.youtube.com/watch?v=-S9f0I-QvDU>