

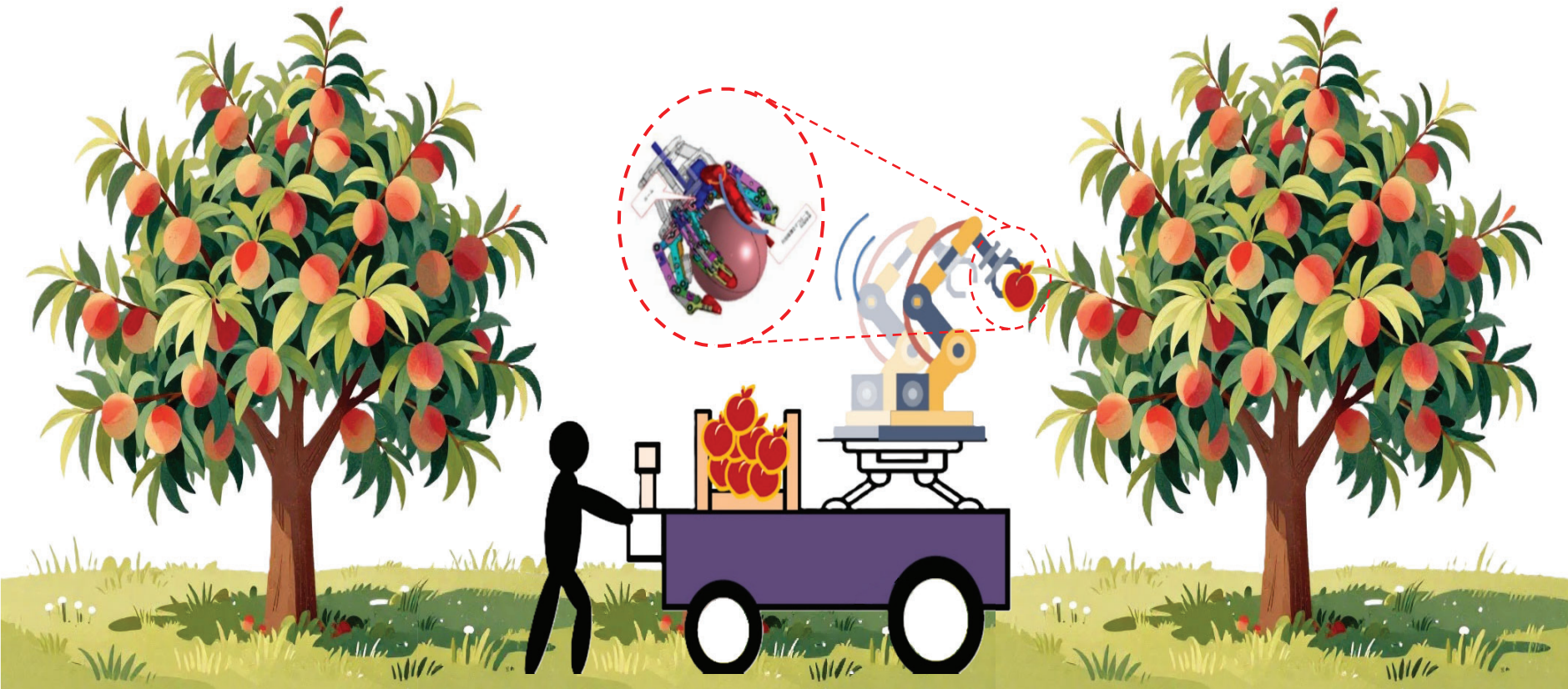
# モモの収穫ロボットの開発

福島国際研究教育機構(F-REI)

ロボット分野 遠隔操作研究

ユニット ユニットサブリーダー

大石 潔



# 遠隔操作研究ユニット

## ユニット目標の概要

- ① **遠隔操作ロボットの開発**：過酷環境下で人のような視覚と力触覚の感覚機能を持ち、人のように器用に動作することが可能な**双方向型遠隔操作ロボット**を開発します。
- ② **自動化ロボットの開発**：屋外あるいは屋内で**果実等を収穫する自動ロボット**を開発します。
- ③ **中小企業における非定型作業の自動化技術の開発**：①と②の結果を、**機械学習**を用いて統合することで、人手のかかる**非定型作業の自動化**を目指し、拡張された感覚機能を備える**モジュール型汎用ロボットのプロトタイプを開発**します。

## ユニットから生み出される成果技術

- 技術 1**：過酷環境において指令通りに安定に動作するロボットの機構設計技術
- 技術 2**：過酷環境や劣悪環境においてもアクチュエータの動作が計測でき、環境情報も取得でき新しいセンサー技術およびその信号処理技術
- 技術 3**：動作スキルの移植されたロボットによる臨機応変な作業を可能にする指令生成技術
- 技術 4**：自動で農作物等を栽培し収穫する屋外作業ロボット技術
- 技術 5**：過酷環境や工場および農作業環境において障害物等があっても環境の物理的な性質を同定して3D地図を作りながら技術1のロボットを移動させる同定技術や移動制御技術

- ・ 柔らかく取り扱いが難しい（傷みやすい）桃などの果実の収穫動作等を、人の動作をもとにしてロボットに構築する。
- ・ 果実を含む農作物は形や重量などがすべて異なるので、ある決められた動作のみでは、対応できません。そこで、**ユニットの持つ力触覚の制御と検出の技術に加え、AI・機械学習などを独自に応用・発展させ、ものを識別して収穫する「農作業の手」**を確立する。
- ・ この「**農作業の手**」に、種々の果実に合わせた収穫動作の力触覚と画像などの独自のデータベースから、果実収穫ロボットは動作する。
- ・ 「**農作業の手**」を持つ果実収穫ロボットは屋外で移動するので、パワーアシストとアンチスリップの両制御を備えた高機能電動台車に搭載します。
- ・ ①ロボットハンド、②6自由度以上の自由度を持つロボットアーム本体、③高機能電動台車の3要素で構成される果実収穫ロボットシステムを統一的に制御する手法を開発する。
- ・ 他の農作物への適用や農業のスマート化などについても可能性を探ります。

# 桃収穫ロボットの開発

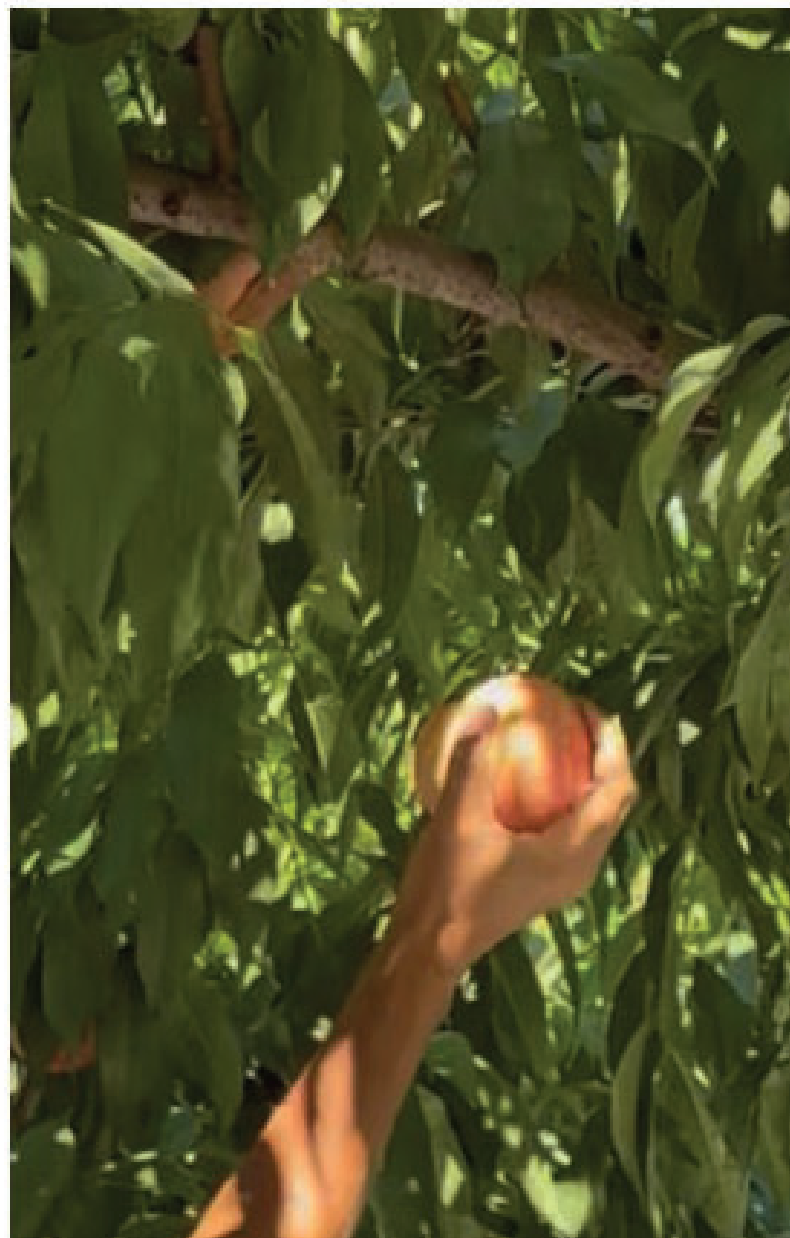
桃収穫ロボットプロジェクト担当

**ユニットサブリーダー 大石 潔**

研究員 Juan Padron、川合 勇輔、大場 譲

2025年8月21日(木)

---

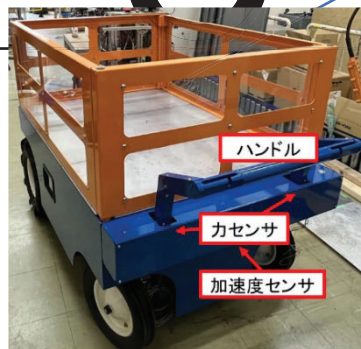


# 桃収穫ロボットシステムの最終形態予想

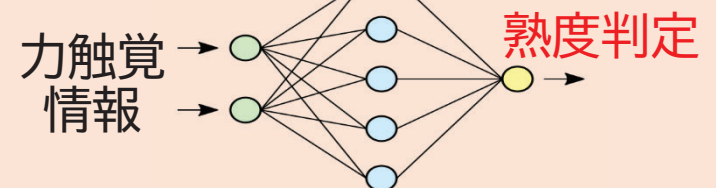
## 桃収穫双腕ロボット

桃熟度判定も  
桃収穫ロボット  
で実施

\* 熟度判定 & 収穫用ハンド

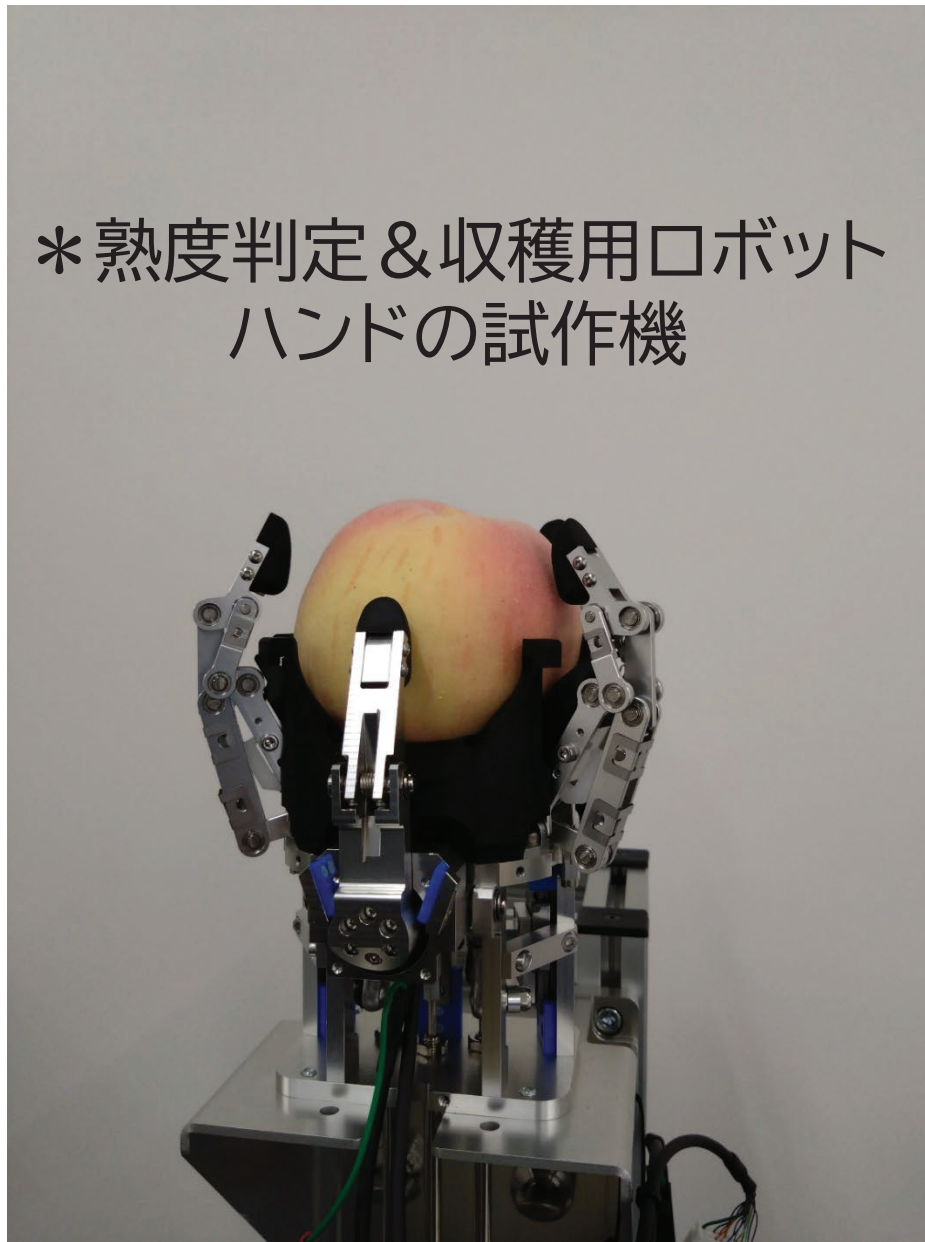


\* パワーアシスト電動運搬車(可搬重量100kg)  
(収穫した桃とロボットを運搬)

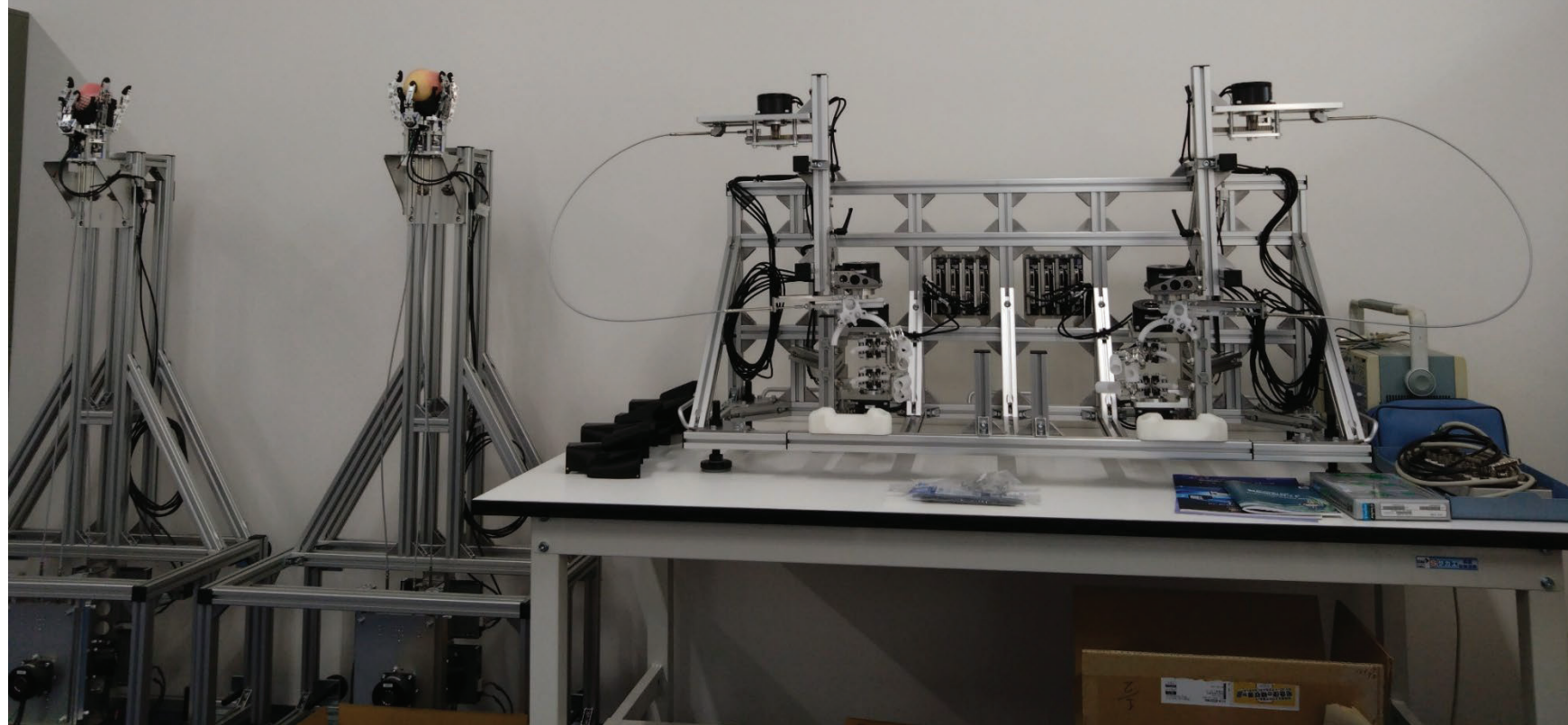


\* 熟練者技術の把持操りのデータ  
ベースに基づく桃の熟度判定

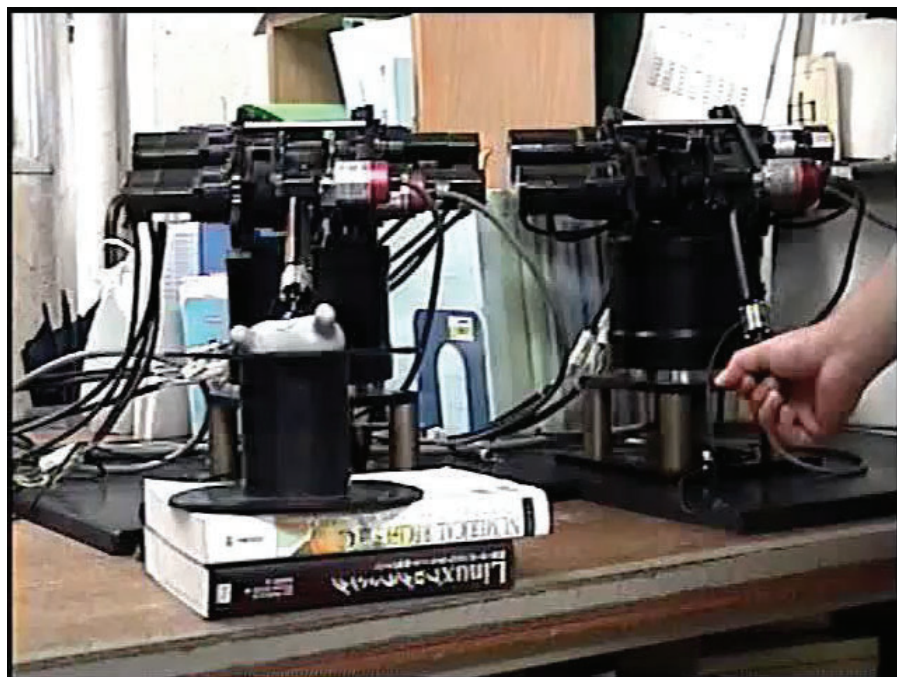
\* 熟度判定 & 収穫用ロボット  
ハンドの試作機



# 桃収穫ロボットのハンド機構の試作1号機



# マスター・スレーブロボットの動作



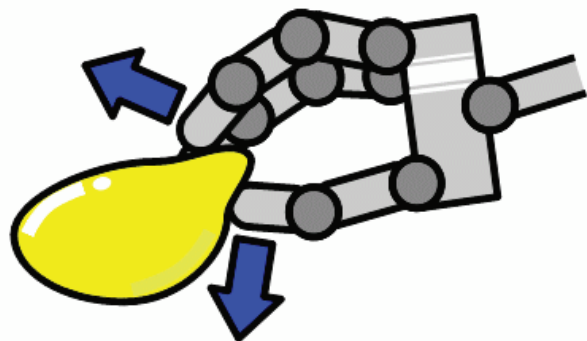
力のフィードバック無し



力のフィードバック有り

# 触覚・力覚情報の伝送

スレーブ

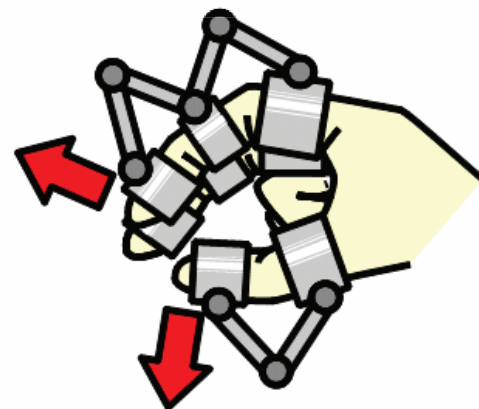


力情報



位置情報

マスタ



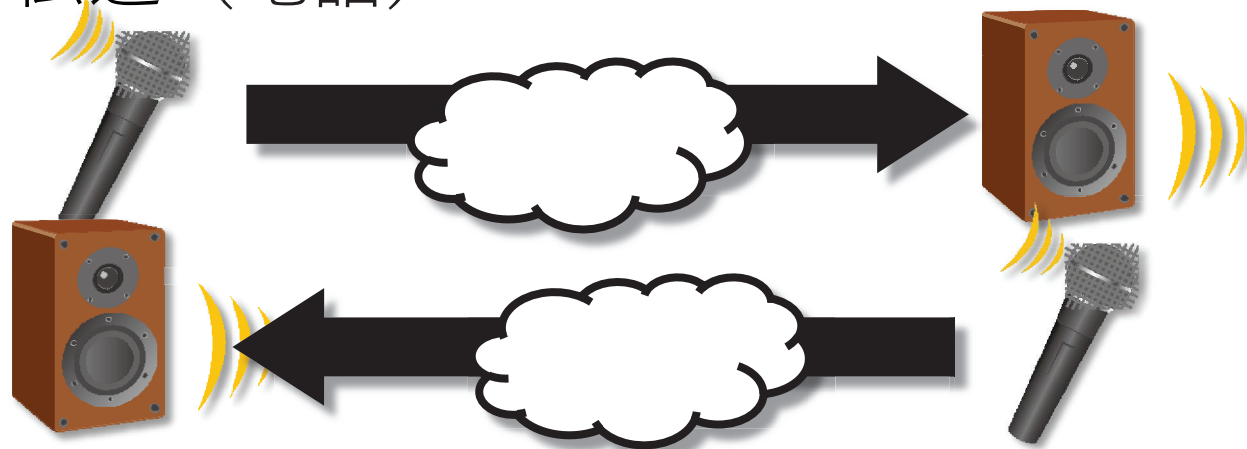
作用力・反作用力の生成

モータ位置の同期



触覚・力覚情報（感触）の伝送が可能に

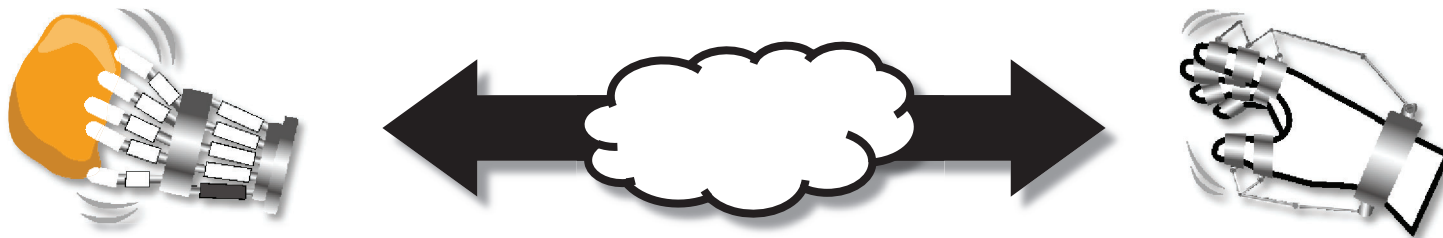
- 聴覚情報の伝送（電話）



- 視覚情報の伝送（テレビ）



- 触覚・力覚情報の伝送するには？



作用力と反作用力は同一線上に

力は、作用と反作用が同時に起こることで、発生する。

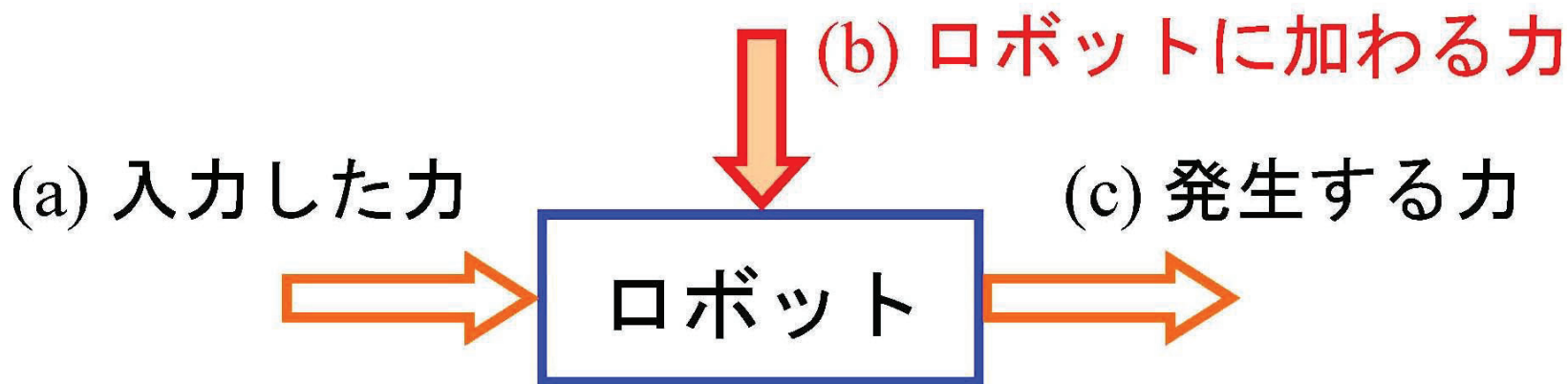


作用力と反作用力は、双方向であって、同時に同じ場所で発生している。

力を制御するとき、力を計測するとき、力の制御と計測の同時性が大切になる。

# モータは、力を発生するときに、 同時に、力を計測できる。

## 外乱オブザーバによる力の計測



ロボットが発生する力

$$(c) = (a) - (b)$$

外乱オブザーバの原理

ロボットに加わる力

$$(b) = (a) - (c)$$

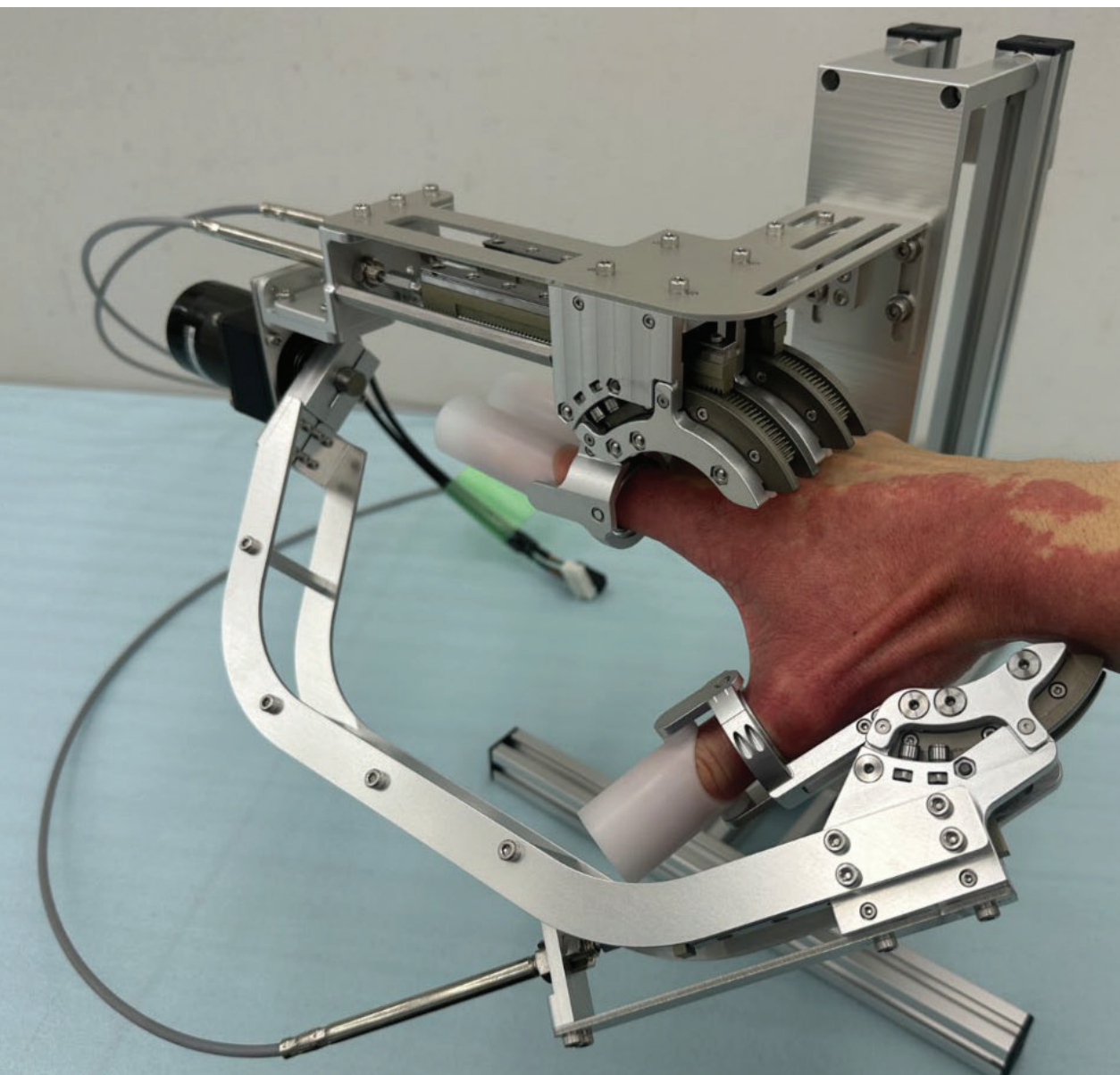
**力制御は、力を一定にすると、  
位置は決められない。**

力 = 質量 × 加速度

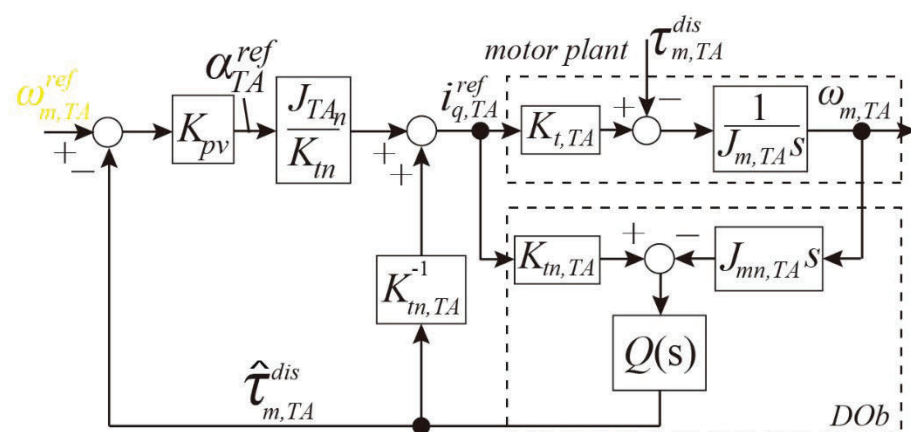
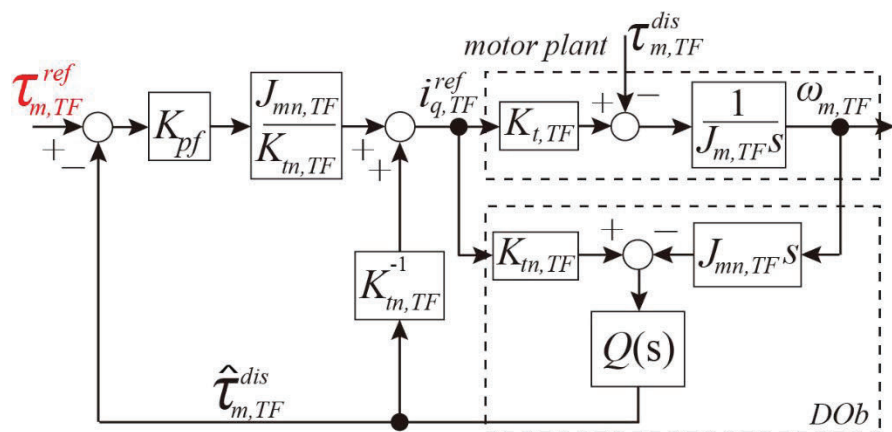
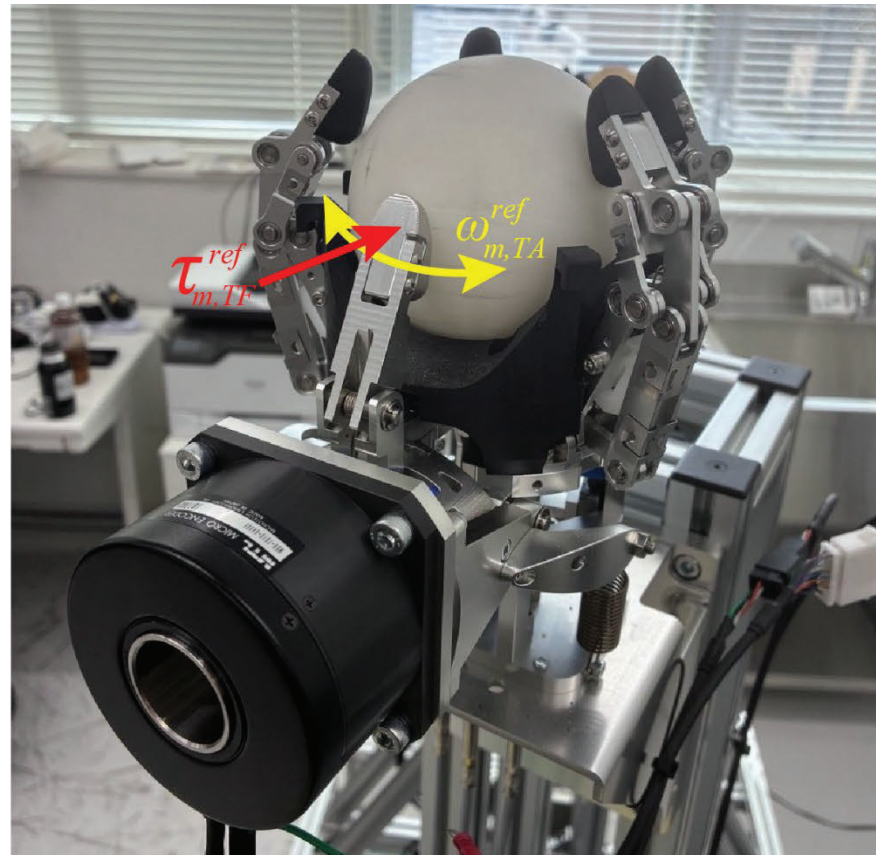
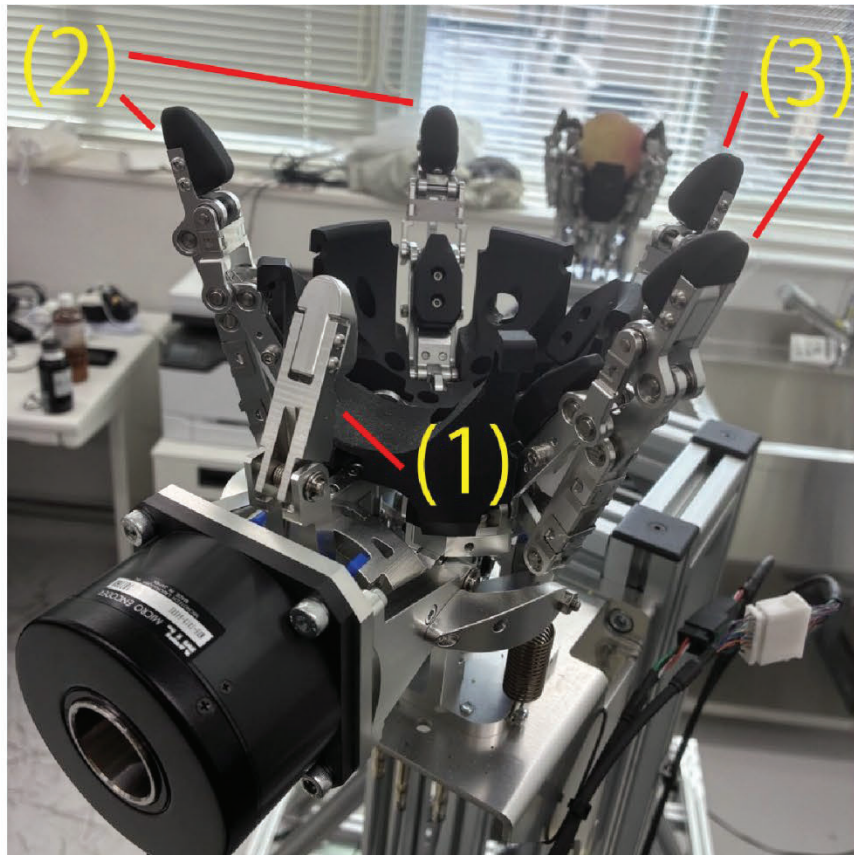
$$F = m \alpha$$

$$\alpha = \ddot{x} = \frac{d}{dt} \dot{x} \quad \Rightarrow \quad \dot{x} = \int \ddot{x} dt \quad \Rightarrow \quad x = \int \dot{x} dt$$

**位置制御は、位置をきちんと決めら  
れるけど、力は決められない。**

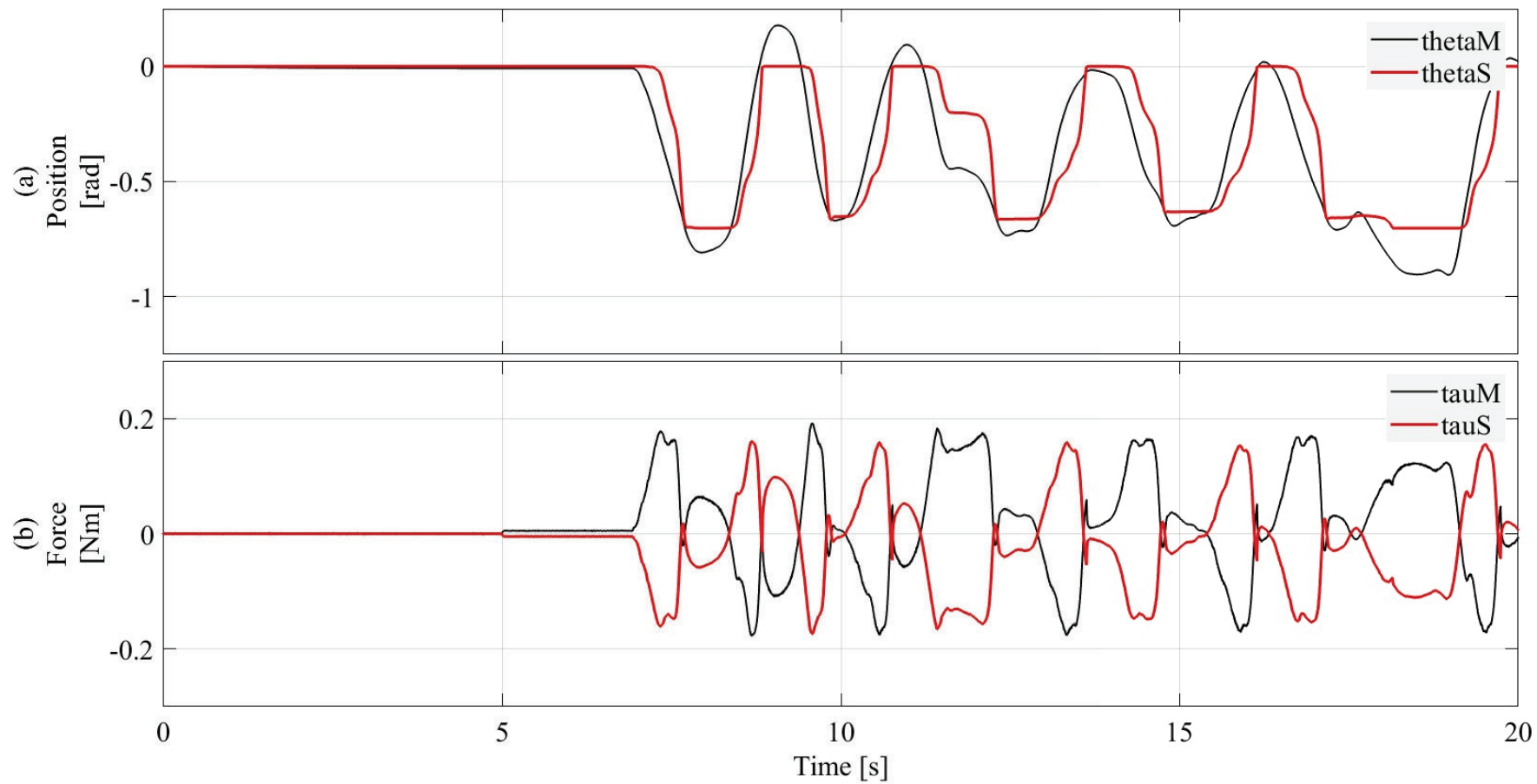


試作ロボットハンド  
(マスター側)の  
イメージ図  
アルミフレーム構成で卓上設置

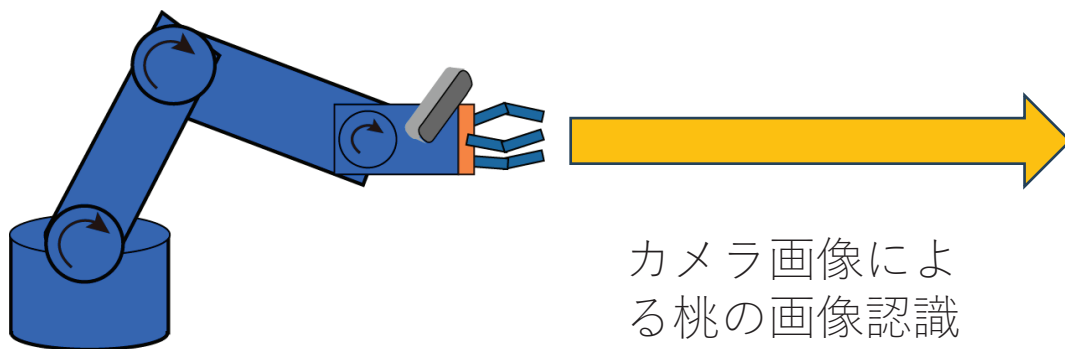


# 桃収穫ロボット開発試作機の親指回転方向 1 自由度のバイラテラル制御の動作確認実験\_2025\_06\_08



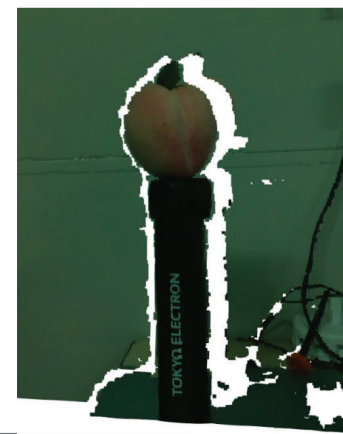
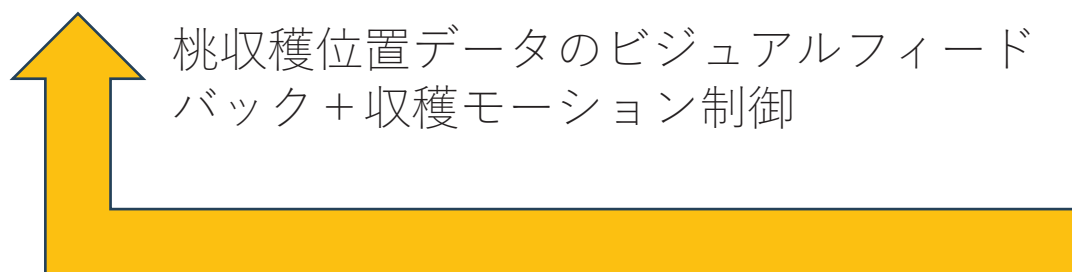


# 桃と桃を把持する動作のビジュアルフィードバック制御系

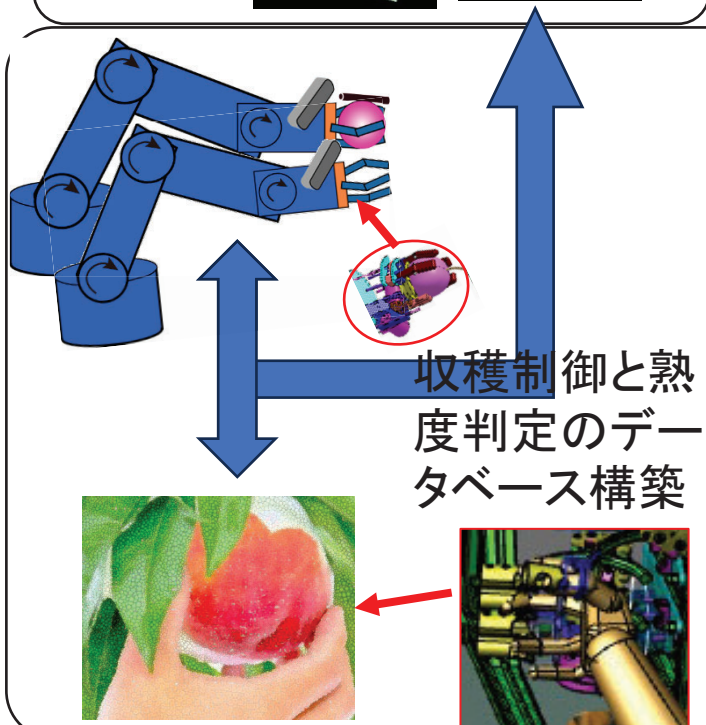


点群データ変換  
による桃収穫位  
置の算出

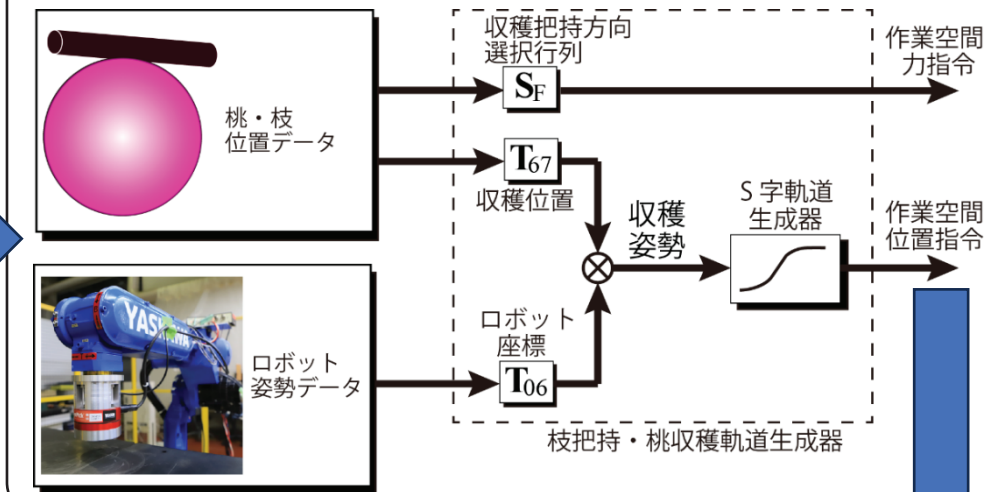
桃収穫ロボットの桃収穫モーション制御



## 収穫制御と熟度判定データベース



## 桃収穫軌道生成



視覚情報

位置/力覚情報

収穫動作

# パワーアシスト制御におけるスリップ

## パワーアシスト制御の課題

泥道や凍結路では駆動輪がスリップ

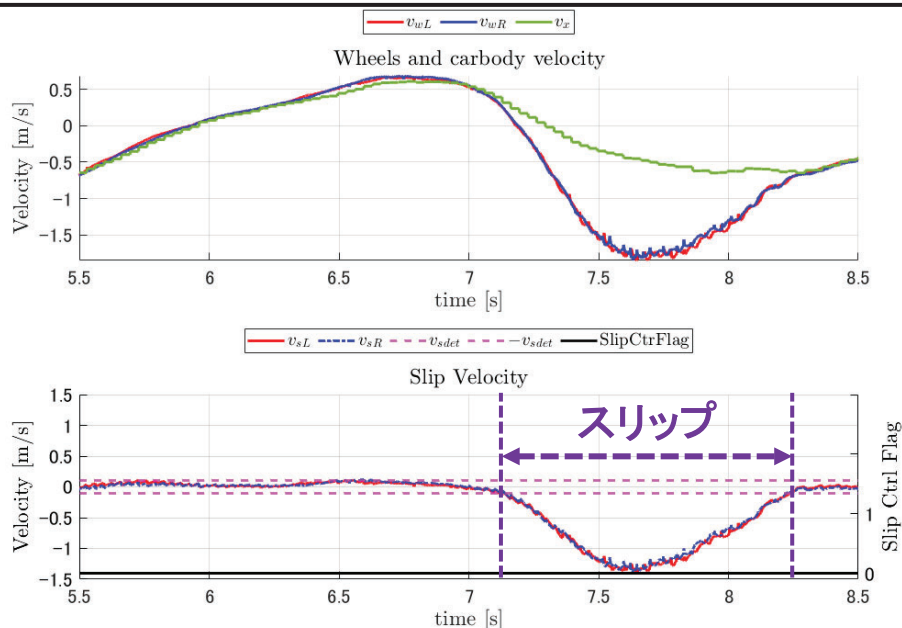


- 操作感の悪化
- 危険を及ぼす

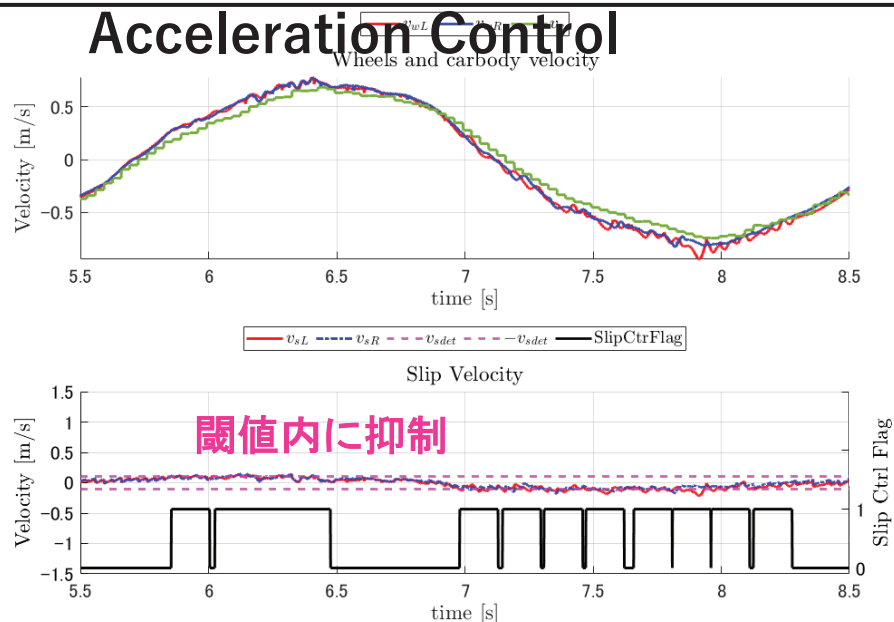


実験環境: シリコンスプレーを散布したブルーシート

## Only Power-Assist Control



## Power-Assist and Anti-Slip Control based on Slip Acceleration



2025年3月の国際会議ICM2025のF-REIスペシャルセッション発表済

今後の開発シナリオ。

今年(2026年)と来年(2027年)の2年間で、マスタースレーブ機構による桃を収穫するための基本要素技術の実現

1. バックドライバビリティの高いギアモータのロボットアクチュエータを用いた7自由度ロボットアームの開発。

(ロボットハンドと一体となって、桃収穫動作を行うため)

2. 桃収穫ロボットの協調制御を行える(桃収穫ロボットの外部軸機能を新たに追加させた)、電動運搬車の開発。

3. ロボットハンド、7自由度ロボットアーム、電動運搬車の3身一体で、桃の木から桃をもぎ取ることの実現。

---