

臨機応変に作業する スマートなロボット

慶應義塾大学 新川崎先端研究教育連携スクエア
特任教授 大西 公平

2025年2月13日

従来技術とその問題点

産業用ロボットは 位置決めが得意であり 先端効果器の軌跡の経路をダイレクトティーチングやペンダントで指定するが・・・

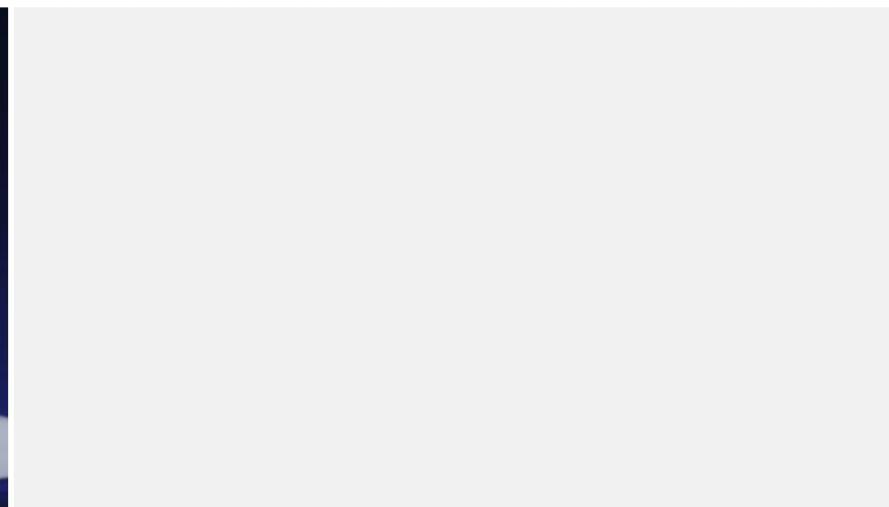
- ◆ 接触作業の教示は困難
- ◆ 作業者の持つ作業ノウハウ（＝スキル）を移植できない（＝活用できない）

といった問題があり 人手のかかる非定型作業（その多くは接触作業を伴う）の自動化には適用困難

● ロボットを（できたら自動で）人のように動かしたい



力触覚のないロボット動作



力触覚のあるロボット動作

力触覚を持たないと 上手な作業ができない

● 力触覚さえ持てば良いわけではない

人は触った対象の感触に応じて 即座にその動作を変えて 対象に適応した作業を行う（臨機応変）

- ◆ ロボットが高度な適応性を持つための方法論がない
- ◆ 作業者の適応的な動作をロボットに教えるための方法論がない

といった根本的な問題があり ロボットによる非定型作業の自動化は 未解決のまま

● 基本的な課題が未解決

産業用ロボットは 位置決めが得意であり 先端効果器の軌跡の経路をダイレクトティーチングやペンダントで指定するが・・・

- ◆ 接触作業の教示は困難
- ◆ 作業者の持つ作業ノウハウ（＝スキル）を移植できない（＝活用できない）

といった問題があり 人手のかかる非定型作業（その多くは接触作業を伴う）の自動化には適用困難

● 力触覚と動作（刺激と反応）の関係の 明確化が必要

人は動作の始まる前には意識的に「何をするか」
（＝動作計画）を考えているが動作が始まるとほと
んど無意識的な（あるいは本能的な）動作を行う

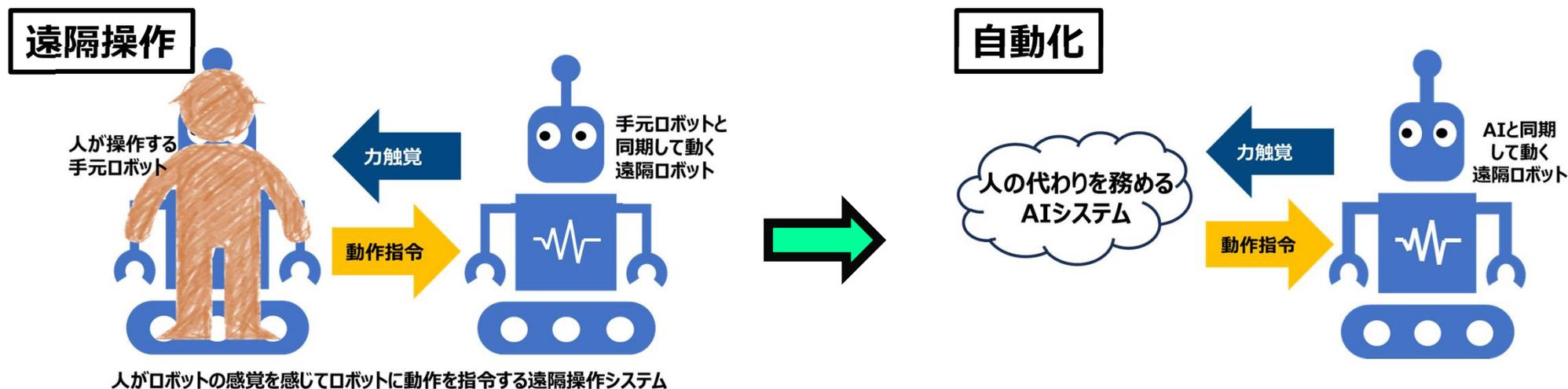
- ◆ 無意識的な人の動作をロボットでどう実現するか
- ◆ 動作計画と実際の動作をどう繋げるか

といった具体的な課題にたいする明確なソリューション
の提示が必要

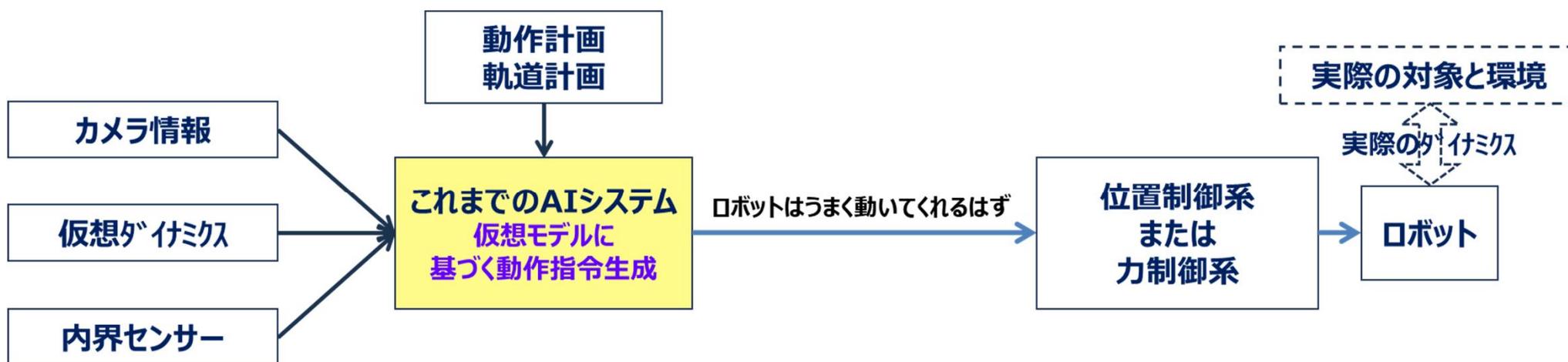
新技術の特徴・従来技術との比較

新技術 ロボットに**身体性**を持たせることで臨機応変な動作を可能にする

- ◆ 基本はマスタースレーブでマスター部をAIで置換することで身体性を確保



● 身体性を獲得するには従来のAIでは不十分



従来のAIは仮想モデルのデータにより「実際」を「モデル」に合わせようとして 対象や環境に適応できず 臨機応変な動作ができない
「AIが悪い」のではない 「AIに与えるデータに問題がある」

● ロボットが身体性を得るため 新たにAIに 次の2種類のデータを与える

1. 柔軟性と適応性のある人の作業データ

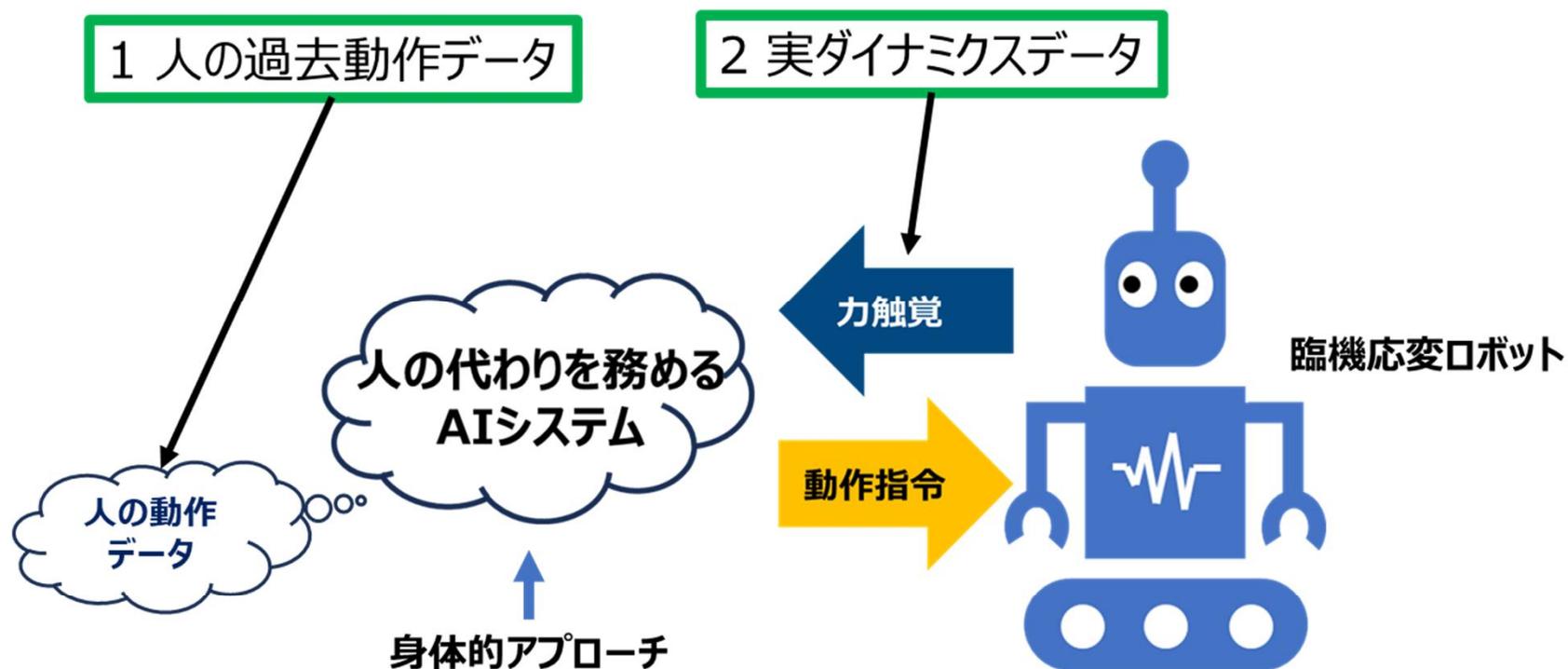
過去の経験（マスタースレーブで獲得する動作情報）

2. 実モデル（=実ダイナミクス）データ

現状の環境データ（高速で獲得する環境情報）

◆ ロボットは 1. と 2. を併せ持つことで身体性を
獲得する

● 臨機応変ロボットに与える2種類のデータ

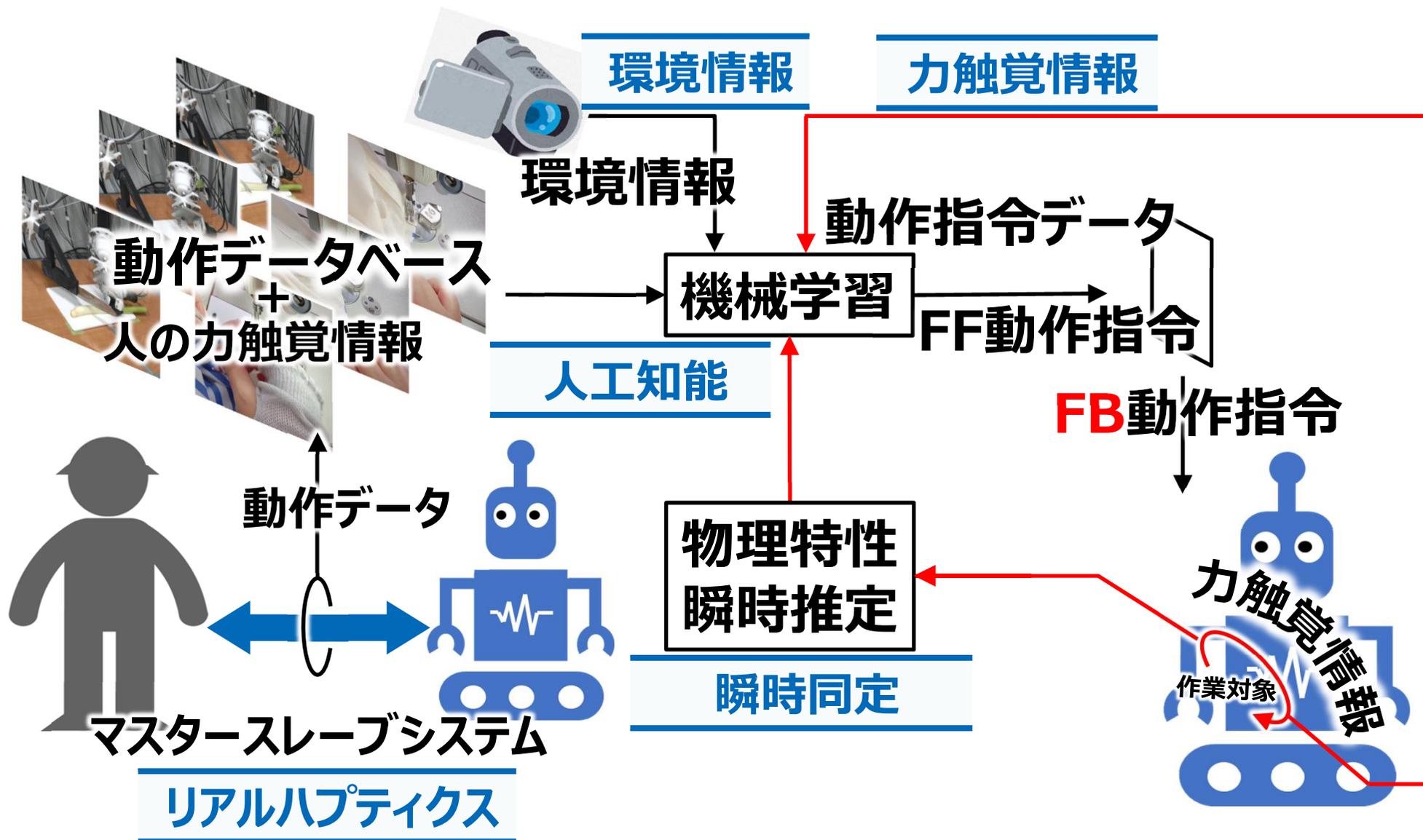


人のスキルの入った動作データを用いて
あたかも「人」が直接操作しているかの
ような動作指令をAIで生成

● 具体的にどうすればよいか

1. 人の“良質な”動作データをマスタースレーブロボットで収集
2. 事前情報（仮想モデル）に基づいた動作計画を立てて動作開始時の動作指令をAI等を用いて生成（フィードフォワード）
3. 力触覚（実ダイナミクスデータ）に基づき1サイクルにおける修正動作指令をAI等を用いて生成（フィードバック）
4. 次のサイクルに遷移

● 実現の例

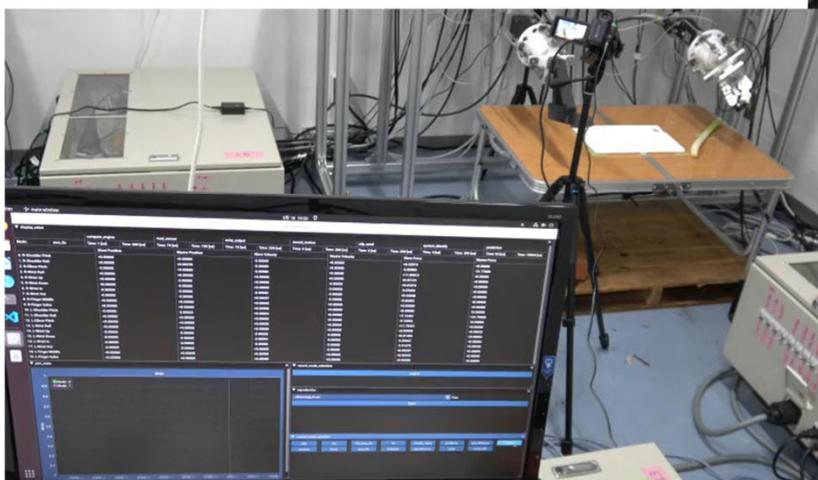
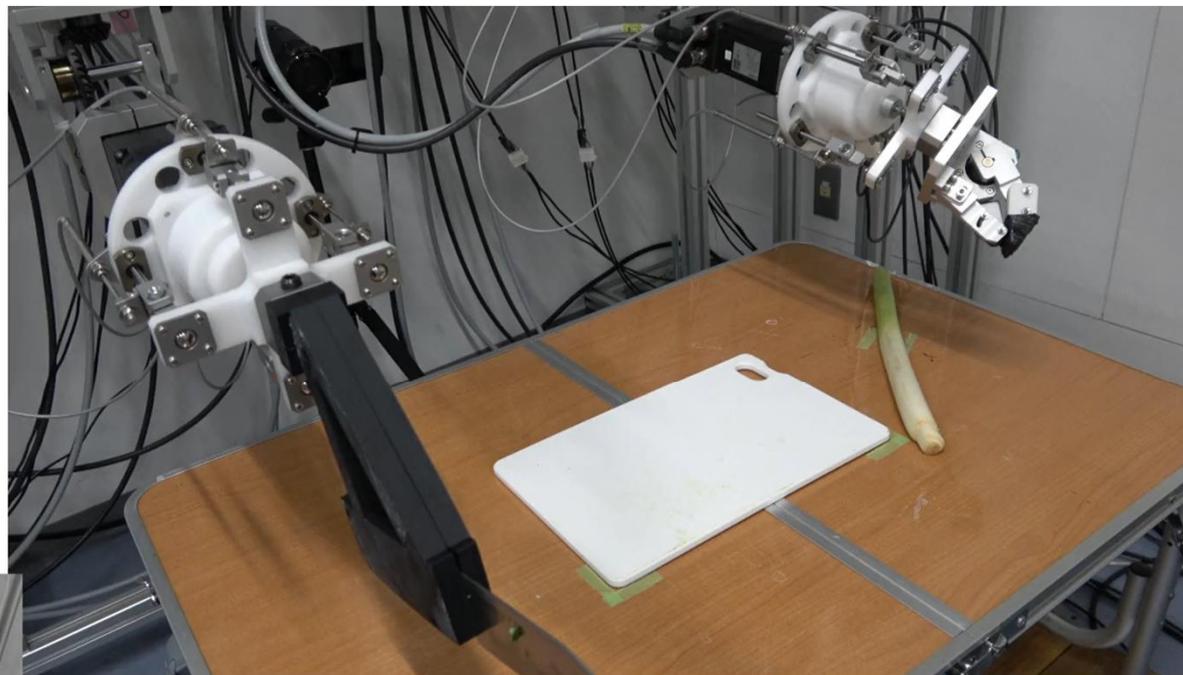


● ご提供する新技術

1. 高品質な人の動作データの取得システム*
2. 実際の環境の物理情報（＝数値化された力触覚データ）を超高速でオンライン同定するシステム*
3. ロボットの各関節の高性能ハイブリッド制御システム
4. 非定型作業のためのAIシステムとその組み込み
5. 人が簡単に臨機応変ロボットを操作できるデジタルコクピット

● 実験例

実験：ロボットはキュウリ（左下画面が緑）
という前提で押し切りによる動作計画
を立てていたが、接触した瞬間に対象
がネギであることを識別し（左下画面
が赤紫に変化）直ちに動作を引き切り
に変更した（臨機応変動作）



結果：ロボットが力触覚情報（強度と周波数特性）を
瞬時に獲得できれば、人の持つ本能的な（または
反射的な）動作を、ロボットでも実現できることが
示唆されている

想定される用途

- ◆ 「人では簡単にできる」 のに 「ロボットではなかなかできない」 非定型作業を主体とした製造分野における自動化
- ◆ 上記以外に介護看護といった医療福祉分野あるいは 農林水産分野や建設土木分野などにける自動化
- ◆ また 達成された自動化に着目すると トレーニングや教育分野に展開も可能と思われる

実用化に向けた課題

- ◆ 現在、臨機応変ロボットについて 人のスキルの入った動作を抽出することは開発済み
しかし その数値的な評価に改良の余地
- ◆ 今後各種作業において AIの報酬関数に組み入れられるように実験データを取得し サイバー空間に反映
- ◆ 実用化に向けて SIerを養成し 人手で行わざるを得なかった単純繰り返し作業の自動化を中小企業に拡大

企業への期待

- ◆ 「人では簡単にできる」 のに 「ロボットではなかなかできない」 非定型作業の自動化を希望する製造業分野の企業を募集
- ◆ この技術を中小企業に展開したいSIerの参加を歓迎
- ◆ また 食品製造 農林水産 建設・土木 医療・福祉・介護 などの分野 あるいは 過酷環境下における自動化 などへの展開を考えている 企業/商社/研究開発機関の参加も歓迎

企業への貢献、PRポイント

ご提供する成果物

1. 本PJで解決した5つのソリューションの技術移転
2. 協働して実装しながら課題解決するための技術支援
3. 社内の横展開や他社への技術供与の支援
4. 上記に関連する様々な課題解決に向けた共同R&D

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ツインマスターシステム
自立制御装置
- 出願番号 : 特願2024-221220
特願2024-221177
- 出願人 : 慶應義塾大学
- 発明者 : 大西公平 斉藤佑貴 浅井洋

産学連携の経歴

- ◆ 2014年-現在 ・ 慶應義塾大学 新川崎先端研究教育連携スクエア にハプティクス技術協会を設置し これまで100社を超える企業と共同研究活動を続けている
2024年11月から 臨機応変ロボットプロジェクトを開始し 新たに参加企業を公募
- ◆ 2014年 ・ 大学発ベンチャー モーションリブ株式会社の創立に株主として参加
- ◆ 2018年-現在 ・ JST未来社会創造事業に採択され 「製造業に革新をもたらすスマートロボット技術の開発」 を実施中

お問い合わせ先

慶應義塾大学

新川崎先端研究教育連携スクエア

産官学連携コーディネーター 浅野 早苗

T E L 044-580-1580

e-mail k2-res@adst.keio.ac.jp