



身体性相互作用の秩序による智能創発ロボティクス基盤

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 准教授 野崎貴裕



野崎 貴裕



所属 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 准教授

略歴

2012年	慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了 正代表
2014年	慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了 早期修了
2014年-2015年	横浜国立大学大学院工学研究院 研究教員
2015年-2018年	慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 助教
2018年-2022年	慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 専任講師
2019年-2021年	マサチューセッツ工科大学 客員研究員
2022年-2023年	慶應義塾大学大学院医学研究科形成外科学 研究生
2022年-現在	慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 准教授
2023年-現在	神奈川歯科大学 特任准教授
2024年-2025年	JST 科学技術政策フェロー
2024年-2025年	文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発戦略課 科学技術・学術行政調査員

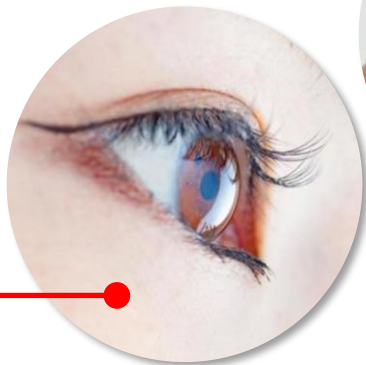
専門 ロボット工学、制御工学、電力工学



動作

第三の感覚技術
今後の実用化が期待

実用化



実用化



触覚だけが状況を変え得る



視覚・聴覚は受動的：状況は変わらない



触覚は能動的：状況を変える

**皮膚感覚
(振動や錯覚を利用)**



ゲームなどに応用先が限られる

**力触覚
(力を利用)**



物理的な相互作用

The essence of movement

Force Control

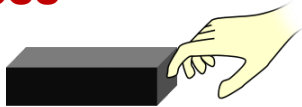
$$0 \leftarrow \kappa = \frac{\partial f}{\partial x} \rightarrow \infty$$

Position Control

Duality between position (velocity) and force.

Force Control

Low Stiffness



Force control is important in contact.

Position Control

High Stiffness

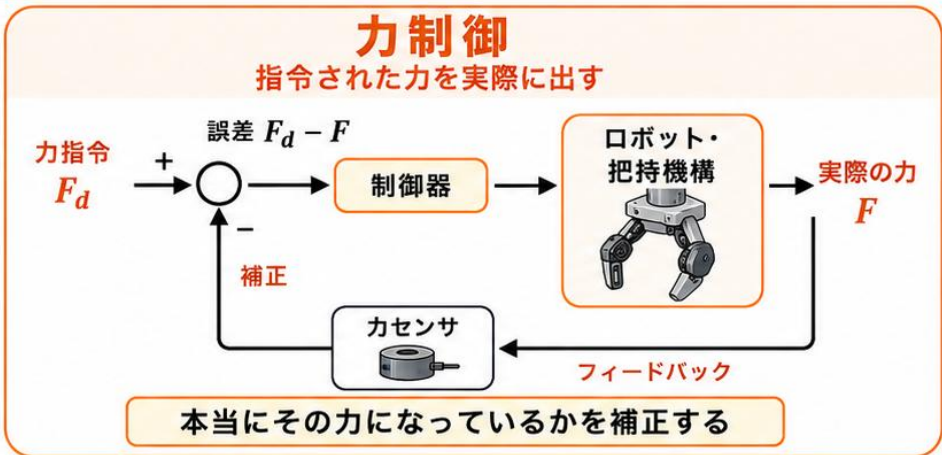
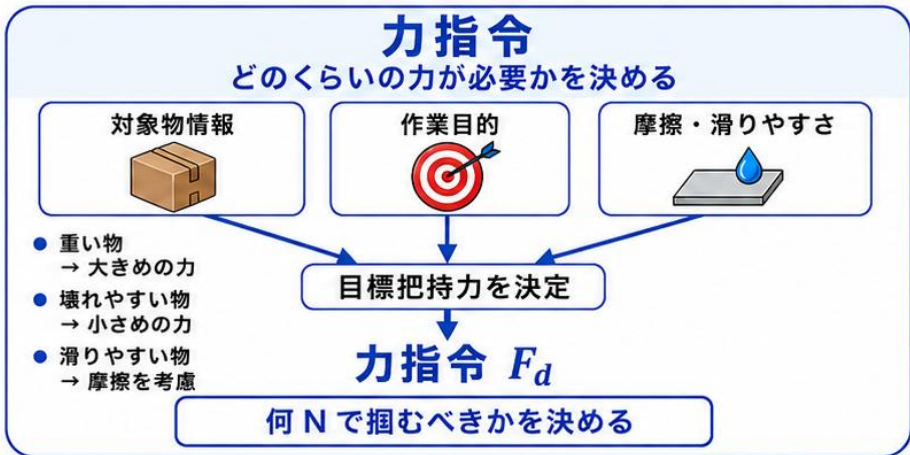


Low Adaptability

力指令と力制御の違い

「何 N で掴むか」と「その力を実現するか」は違う

力指令は“目標を決める”層、力制御は“目標を実現する”層



例：コップを掴む



落とさない、でも強く握りすぎない

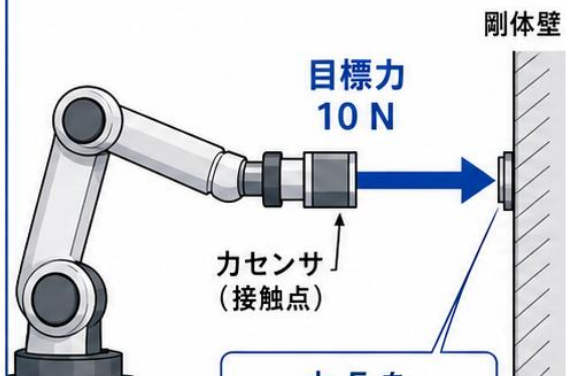
段階	役割	問い
力指令	目標把持力を定める	何 N で掴むべきか？
力制御	実際の把持力を合わせる	本当にその力で掴めているか？


力指令 = 目標設定


力制御 = 目標実現

ロボットの接触制御の違い

純粋な力制御



力 F を
目標値に合わせる

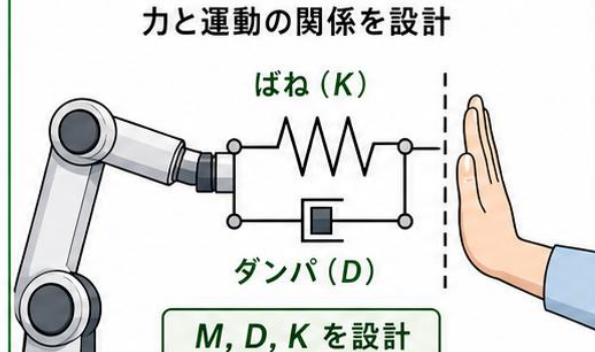
例：一定の力で押す

純粋な力制御：『10 Nで押せ』



主対象：力

インピーダンス制御



ばね・ダンパのように
振る舞う

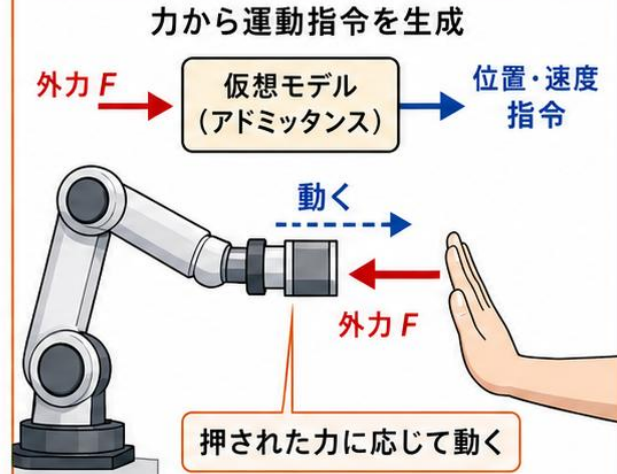
外力が加わると、
その力に応じて自然に動く

インピーダンス制御：『ばね・ダンパのように振る舞え』



主対象：力と運動の関係

アドミッタンス制御



位置制御型ロボットで
実装しやすい

アドミッタンス制御：『押された力に応じて動け』



主対象：力 → 運動指令

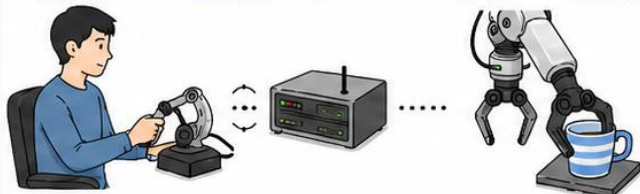
人の操作情報から力指令を生成する

遠隔操作 × 生成AI・多変量解析

力指令は、熟練者の動作情報と画像情報から「何Nが適切か」を推定・生成できる

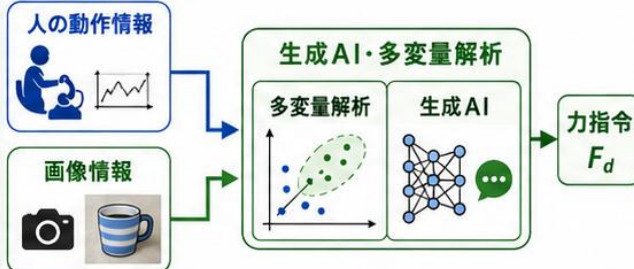
① 遠隔操作で人の情報を取得

操作者 → 遠隔操作システム → ロボット → 対象物



人の判断やコツをデータ化する

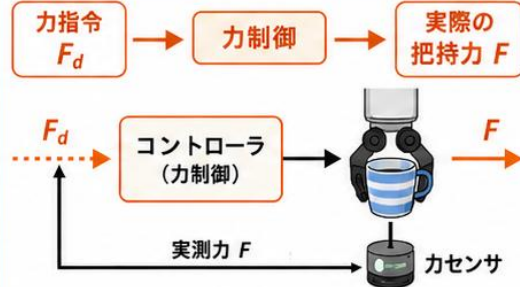
② 動作・画像情報から力指令を生成



- 画像情報：形状・大きさ・姿勢を取得
- 画像情報：材質・滑りやすさ・変形を推定
- 多変量解析：重要因子を抽出
- 生成AI：状況に応じた指令を生成
- 学習モデル：熟練者の力加減を再現

人の操作のコツと対象物の見え方から、状況に応じた「良い力指令」を推定する

③ ロボットの力制御へ渡す



- ✓ AIは目標力を決める
- ✓ 力制御はその力を実現する
- ✓ 役割を分けると安定性・説明性が高い

F_d を実際の力 F として安定に実現する

階層構造として整理

層	役割	例
① 人・AI層	良い力指令を決める	動作・画像情報から F_d を生成
② 制御層	指令力を実現する	$F_d - F$ を補正
③ 物理層	実際に対象物へ力を加える	把持・接触・摩擦

遠隔操作で「人のコツ」と「画像情報」を集め、AI・解析で F_d を作り、力制御で実際の力 F として実現する



人の操作情報から力指令を生成する

遠隔操作 × 生成AI・多変量解析

力指令は、熟練者の動作情報と画像情報から「何Nが適切か」を推定・生成できる

① 遠隔操作で人の情報を取得

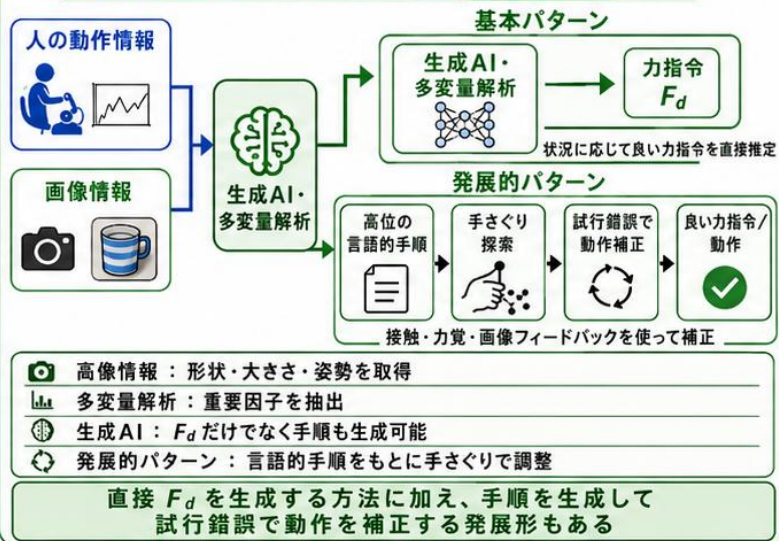
操作者 → 遠隔操作システム → ロボット → 対象物



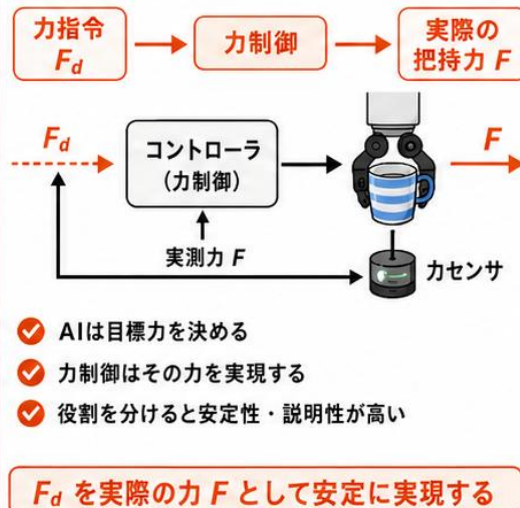
- 取得データ (例)
- 手の位置
 - 操作力・速度
 - 把持幅・把持速度
 - 対象物の状態
 - 成功/失敗ラベル

人の判断やコツをデータ化する

② 動作・画像情報から力指令・手順を生成



③ ロボットの力制御へ渡す



	層	役割	例
①	人・AI層	良い力指令または言語的手順を生成する	動作・画像情報から F_d または言語的手順を生成
②	制御層	指令力を実現する	$F_d - F$ を補正
③	物理層	実際に対象物へ力を加える	把持・接触・摩擦

遠隔操作で「人のコツ」と「画像情報」を集め、AI・解析で F_d または言語的手順を作り、必要に応じて手さぐりで補正し、力制御で実際の力 F として実現する



力触覚の必要性

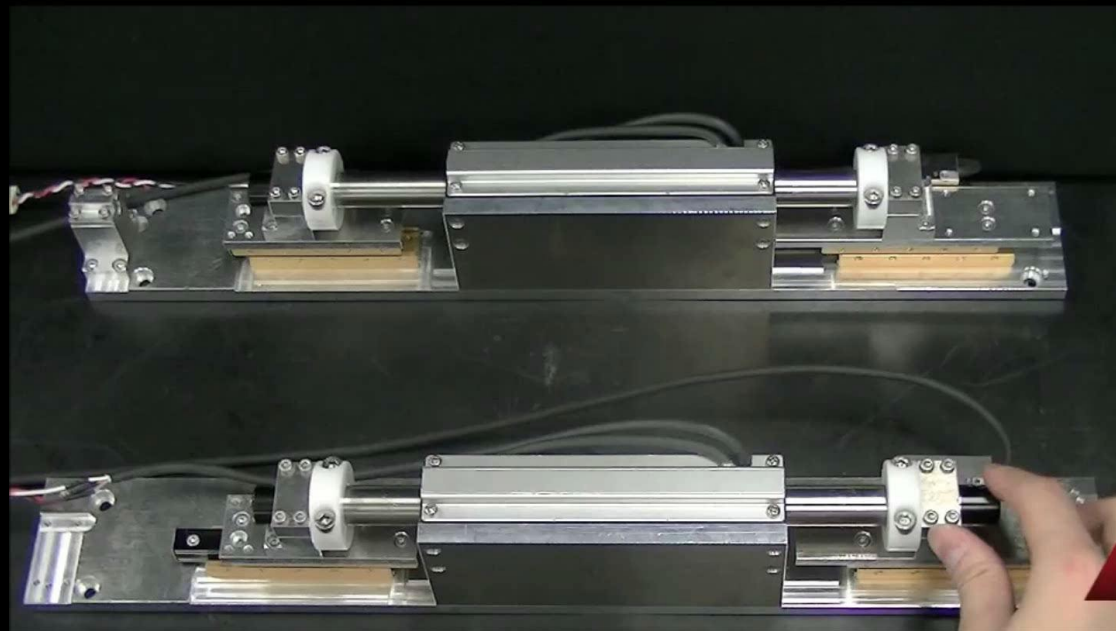
力触覚なし

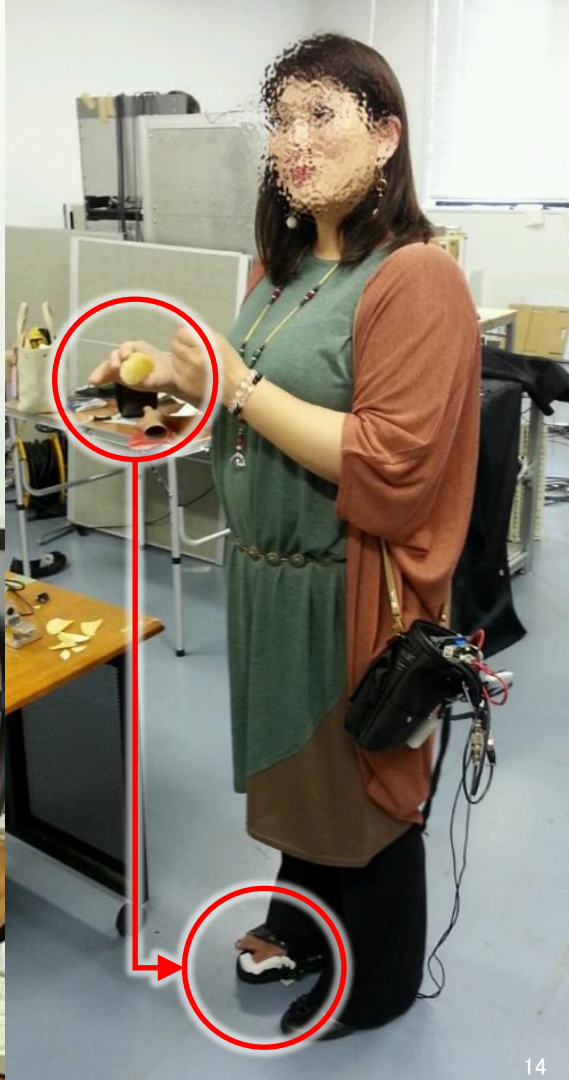


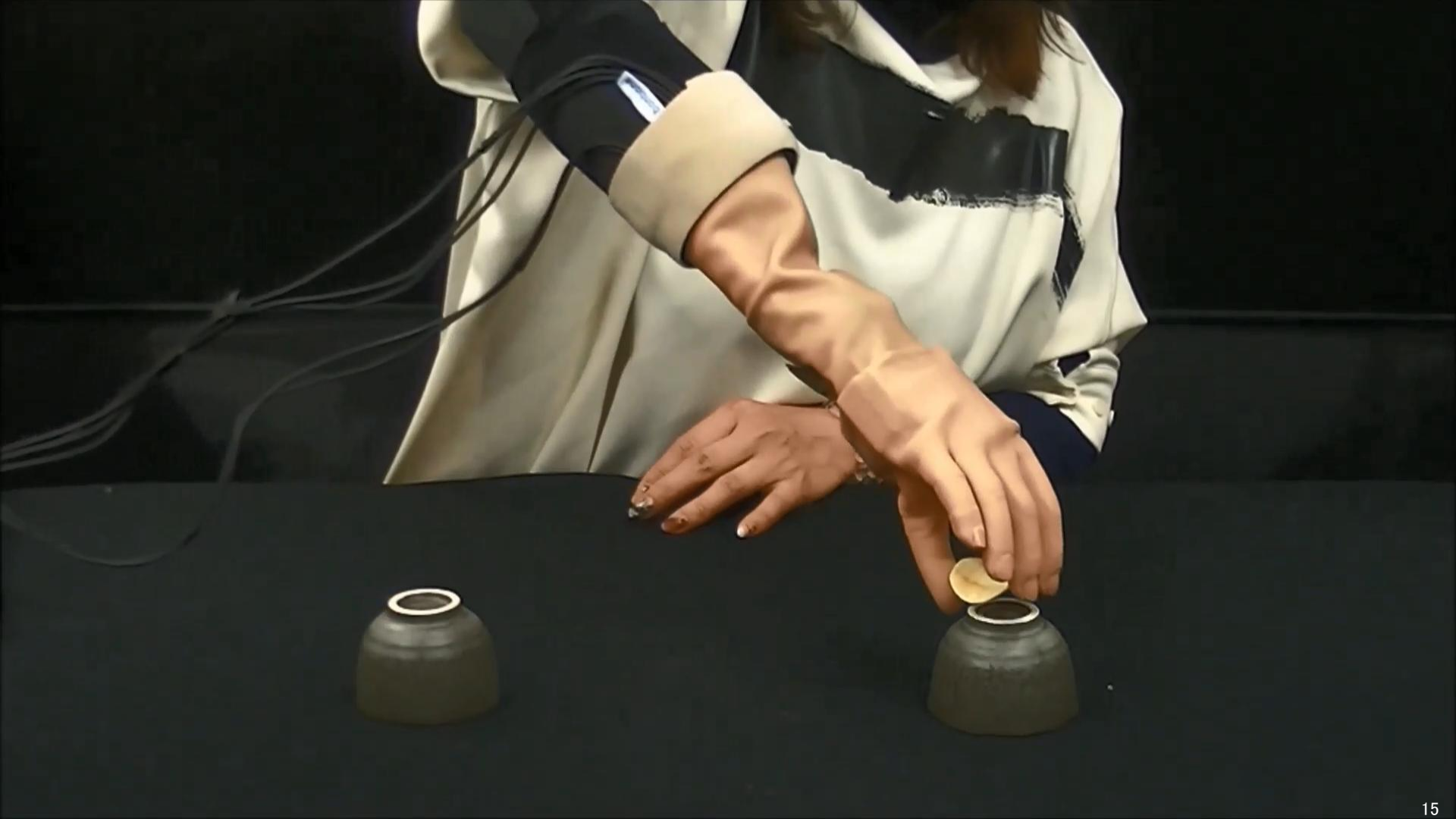
力触覚あり



リアルハプティクスによる力触覚伝達



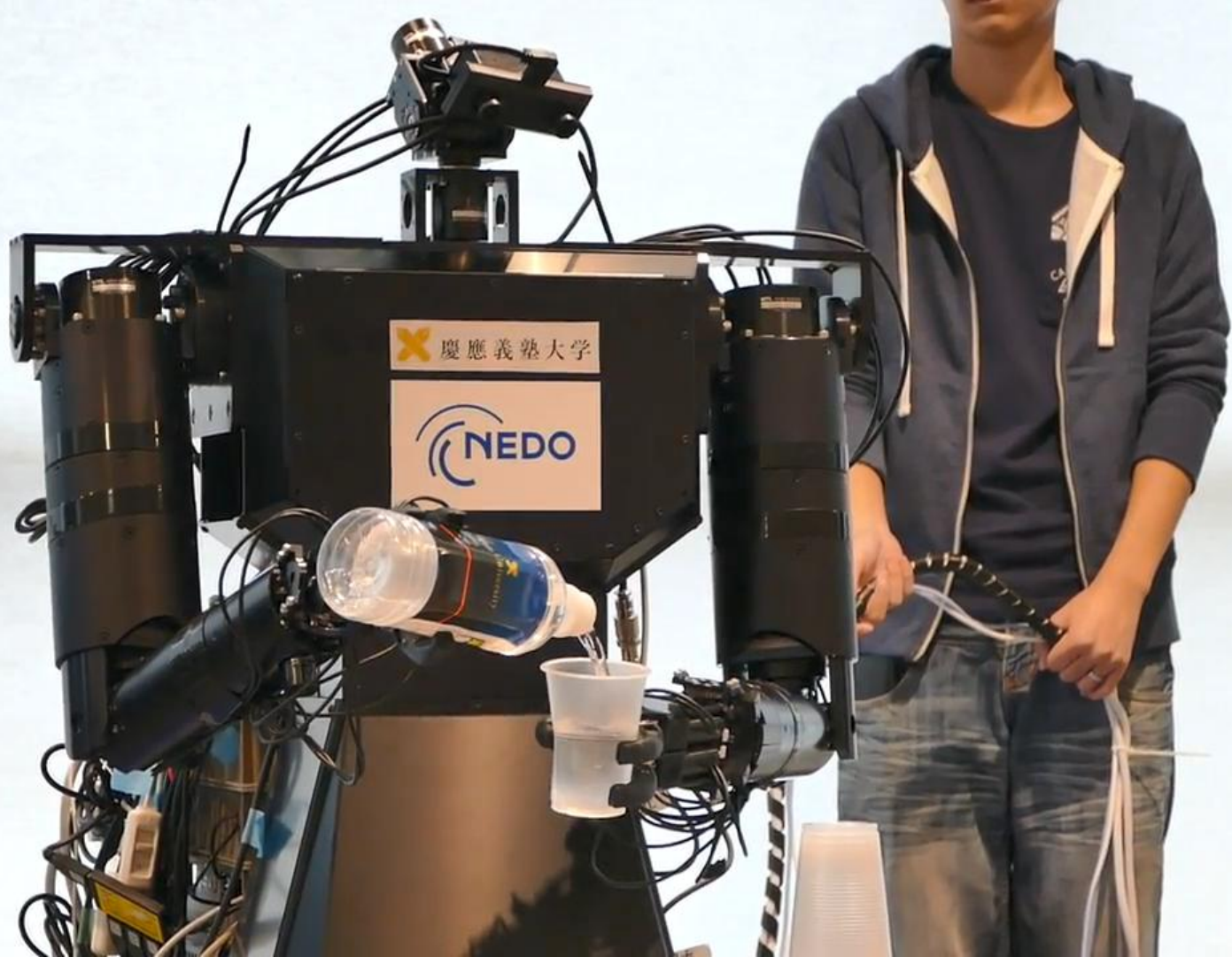








慶應義塾大学
NEDO

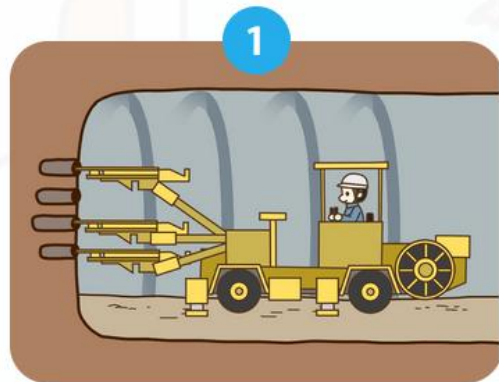


慶應義塾大学

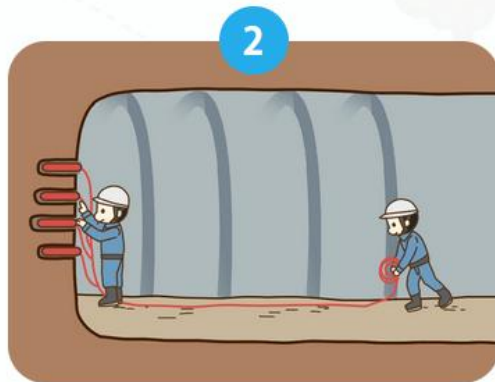
NEDO



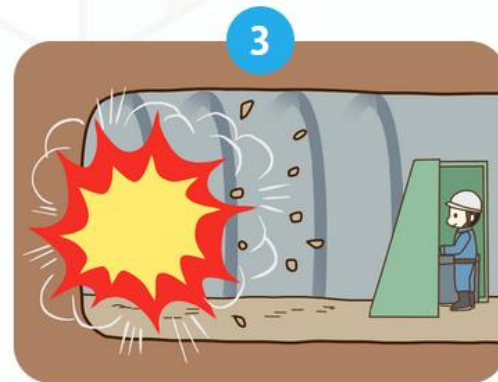
山岳トンネル掘削作業における自動火薬装填システムの開発



1
削孔（さっこう）



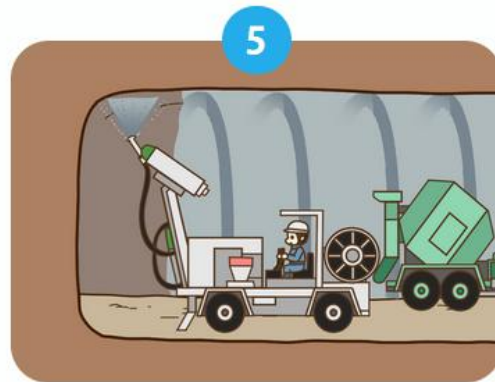
2
装薬（そうやく）



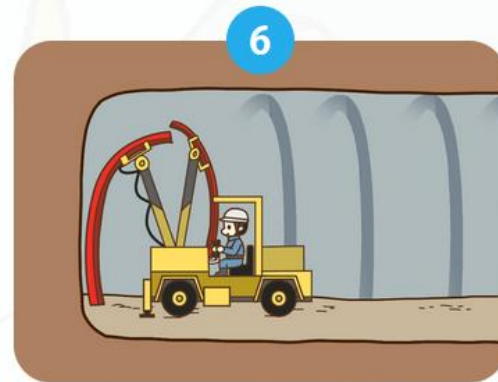
3
発破（はっぱ）



4
ずり処理

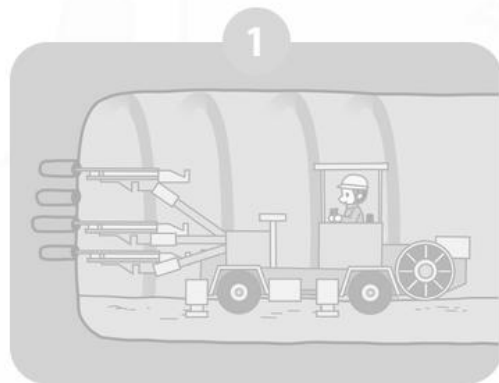


5
コンクリート吹付け

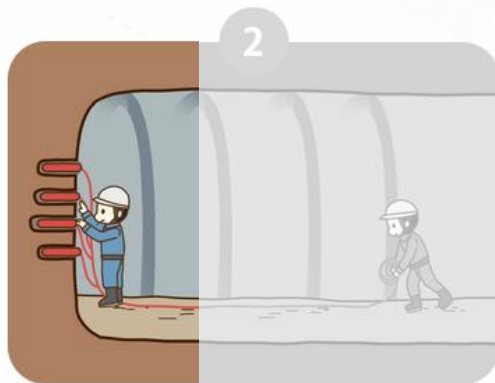


6
支保工（しほこう）設置

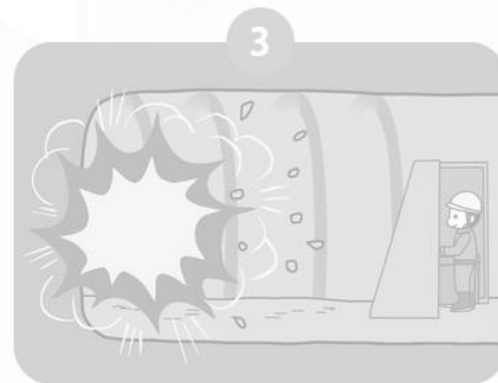
山岳トンネル掘削作業における自動火薬装填システムの開発



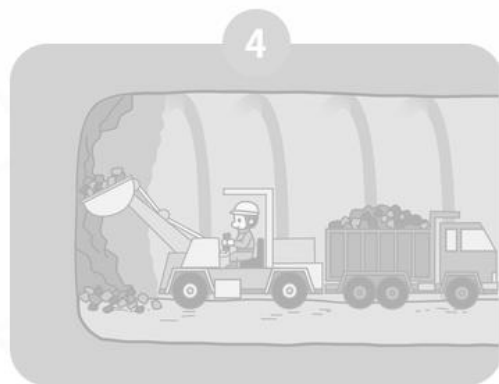
削孔（さっこう）



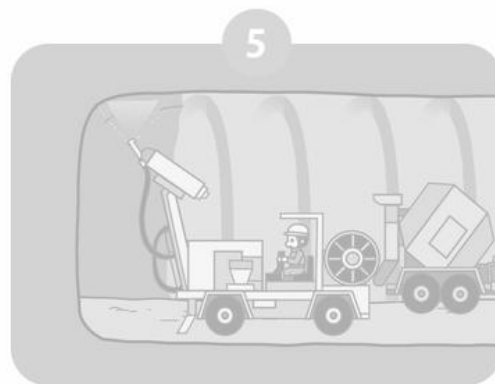
装薬（そうやく）



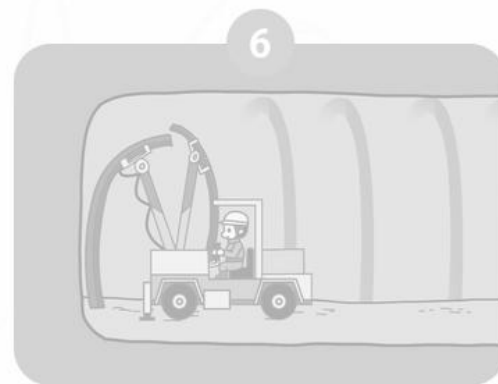
発破（はっぱ）



ずり処理



コンクリート吹付け



支保工（しほこう）設置





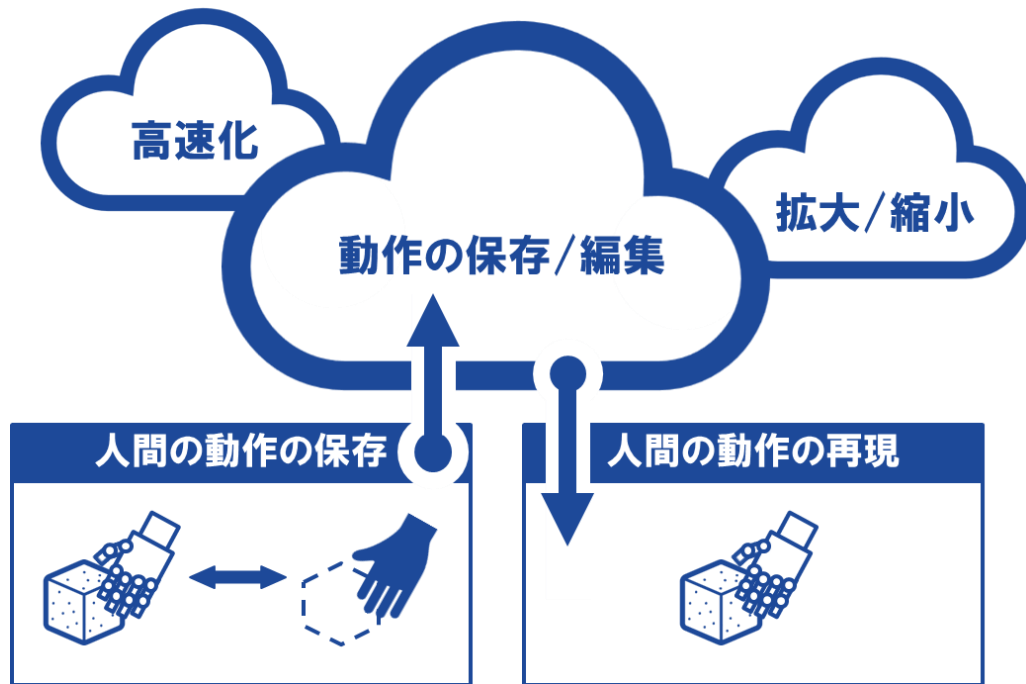


トンネル掘削工事の事故防止へ
“触覚”再現し火薬装填自動化

山岳トンネル掘削工事の発破(爆破)

作業員が繊細な力加減や指先の感覚で
火薬の装填そうてん → 土砂崩れなどの危険

AIによって技能を再現可能





ドル/円 159.18 ユーロ/円 186.80

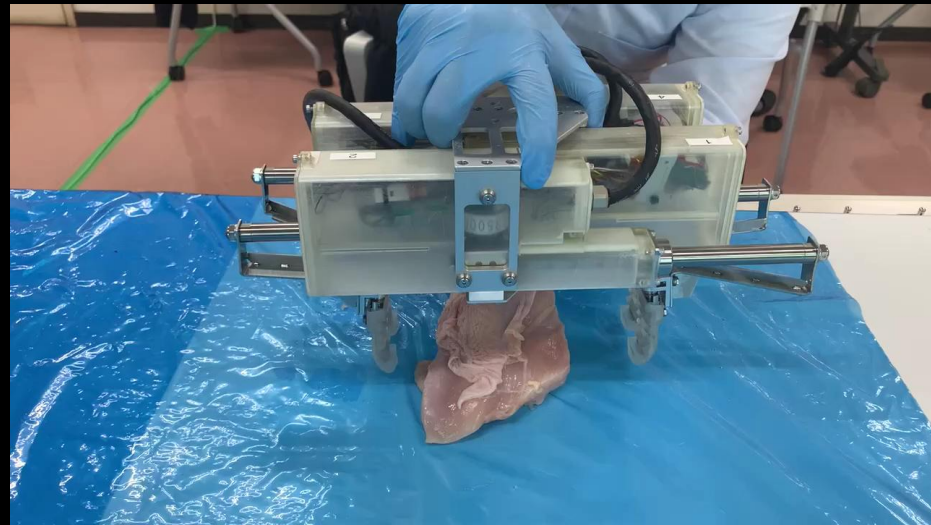
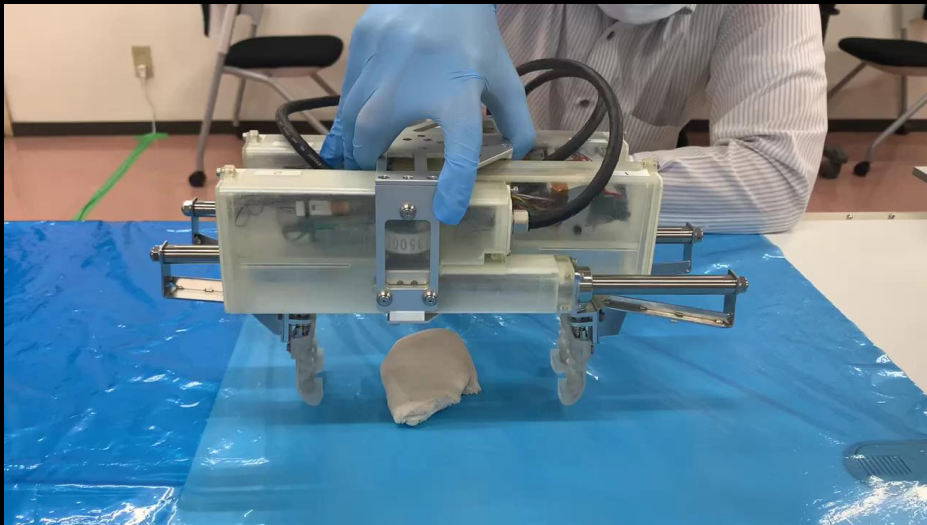
ヒトの「触覚」ロボで再現

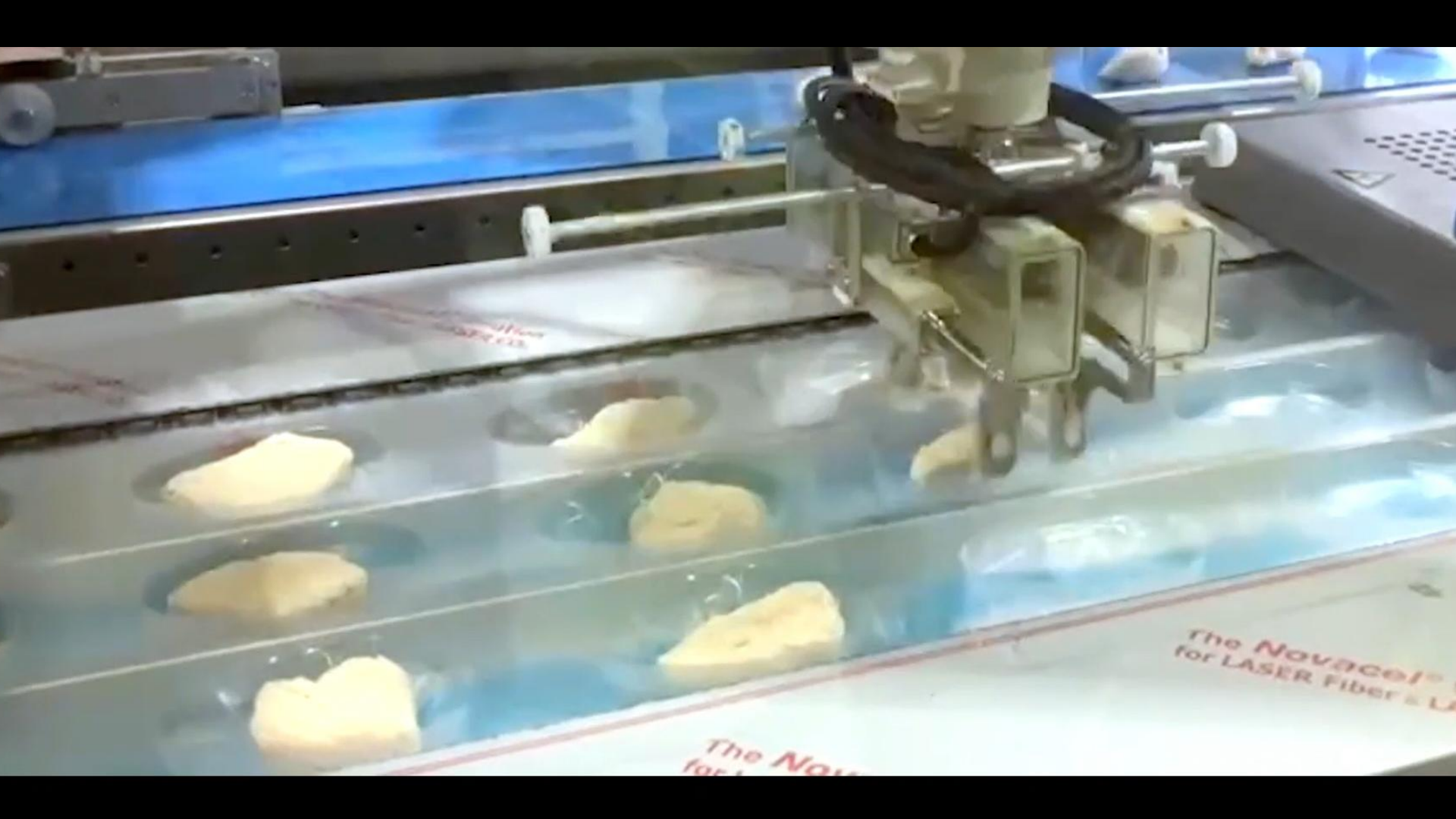
WBS NEXTテック

開発中のロボットハンド

重さや硬さを瞬時に判断
➡ つかむ力を調整







The Novacel
for

The Novacel
for LASER Fiber



農協における選果作業では高度な認知能力、知覚能力が求められる。







ムーンショット目標3

「2050年までに、AIとロボットの共進化により、
自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現」

後期プロジェクトマネージャー公募説明

2025年10月

國吉 康夫

(2025年12月1日 PD(プログラムディレクター)就任予定)

東京大学

次世代知能科学研究センター センター長

大学院情報理工学系研究科 教授

身体性相互作用の秩序に基づく知能創発ロボティクス基盤

身体が環境との相互作用の中で適応に必要な情報を抽出し、
外乱や不確実性のある実世界でも一連のタスクを完遂し、
人と安全に共生できる汎用自律ロボット基盤を実現する。

2030年に、試験導入と民間投資判断が可能な統合プロトタイプを提示

本提案が目指すのは、一見もっともらしい手順指示を示すAIではなく、 実世界において実際に分岐を解き、最後までやり切るAIロボット基盤

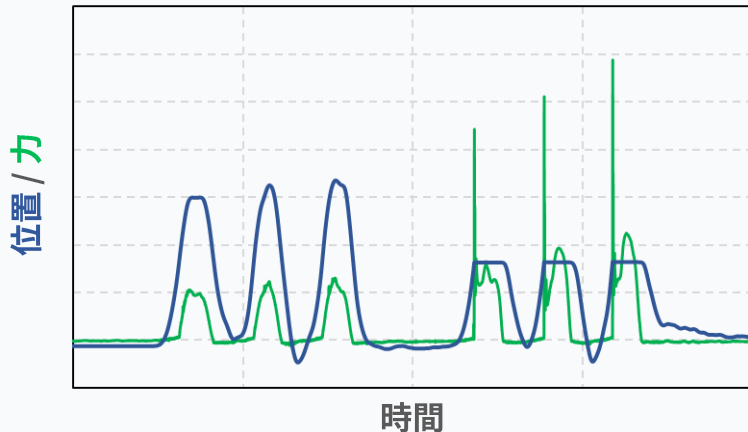


この見方を導入することで、接触は単なるセンサ入力ではなく、相互作用を源とした知能創発のための構造情報となる

従来的見方

位置と力の瞬時値だけでは
環境の構造やエネルギーの流れが見にくい

※自チーム接触実験データ

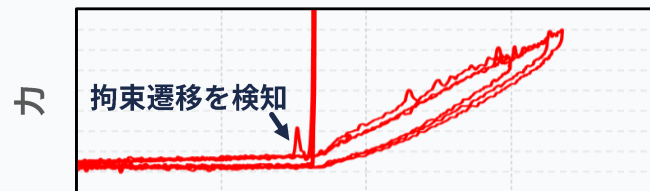


瞬時値だけでは環境の構造は見えにくい

本提案の見方



力学的パワーで見れば、
抵抗様式やエネルギーの授受が現れる



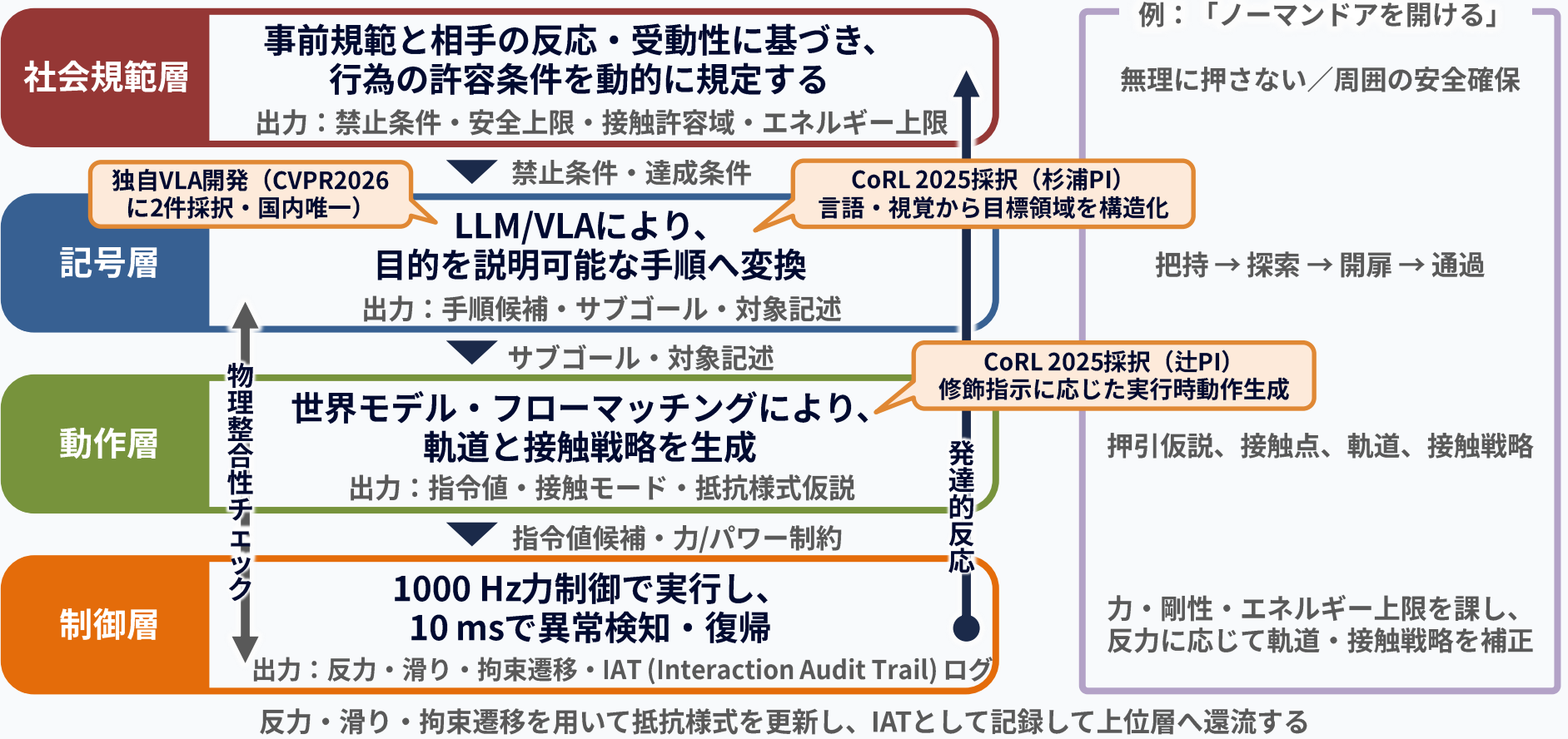
力-変位関係 = 抵抗様式が見える



力学的パワー
= エネルギーの流入・往復・危険性が見える

本提案は、力-変位関係と力学的パワーから抵抗様式を同定し、動作インピーダンスを更新してタスクを完遂する。

上位AIが下位身体を一方向的に命令するのではなく、 現実が上位の記号・規範・行為選択を更新し続け、相互作用を中心に閉ループ統合構造



- 研究室のご紹介
- 力指令と力制御
 - ✓ インピーダンス制御とアドミタンス制御
 - ✓ 力指令値の生成
- 人工の手
- 人工の身体
- 土木応用
- AI連携
- 「力」に着目した日本のAI戦略
- JSTムーンショット 目標3