

# 作業スキルを継承できる 賢いロボット

慶應義塾大学 新川崎先端研究教育連携スクエア  
ハプティクス研究センター 特任教授 大西 公平

2022年5月20日

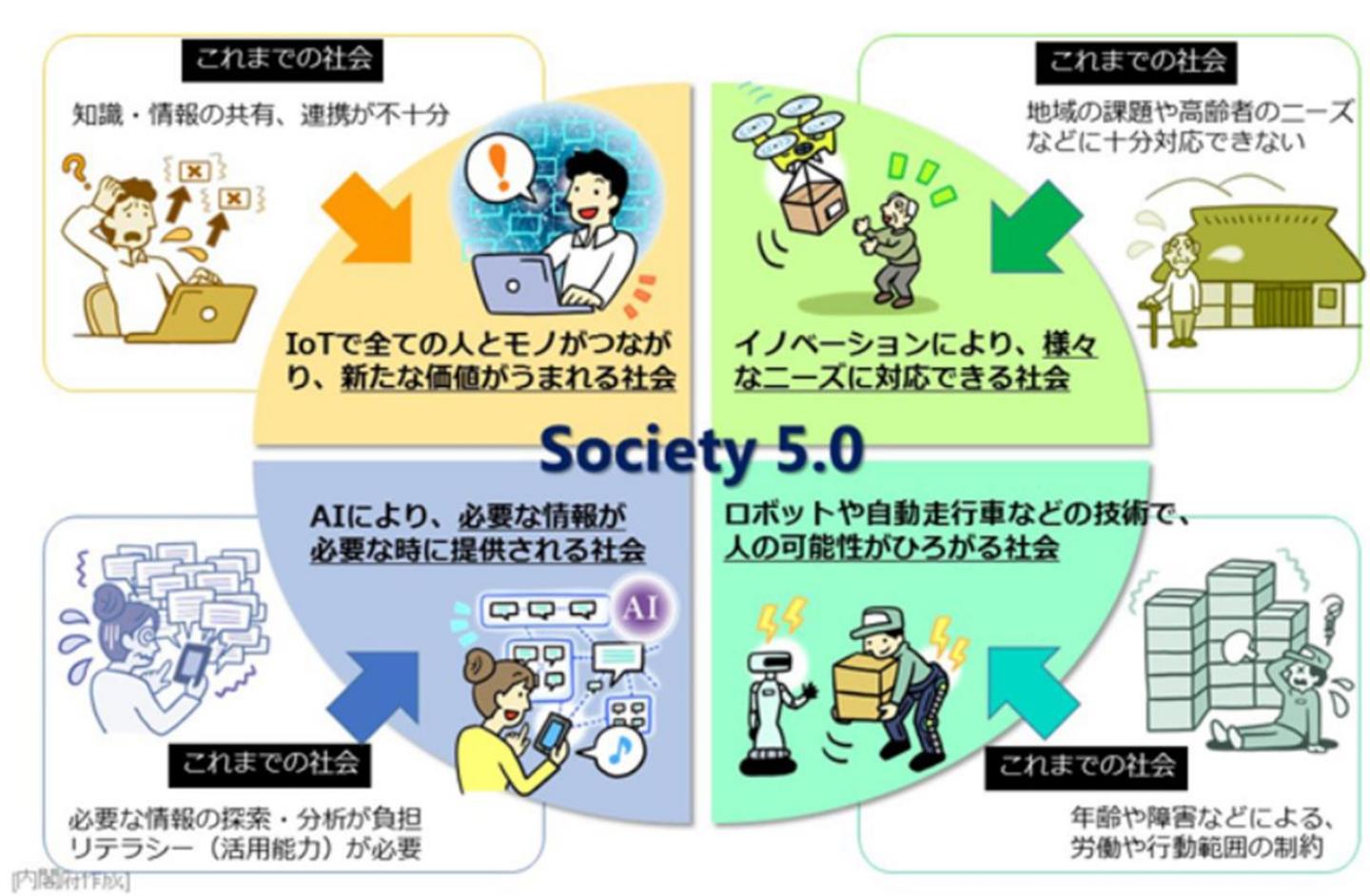
## ①従来技術とその問題点

産業用ロボットは 位置決めが得意であり 既に溶接 塗装 マテハン等の定型的な作業で実用化されており 先端効果器の軌跡の経路を指定するPTP教示法等で 運動を決定しているが...

- 教示点が増えて教示時間が膨大になる
- 接触作業の多い非定型作業が困難

といった問題があり 人手のかかる非定型作業に広く適用されるまでには至っていない

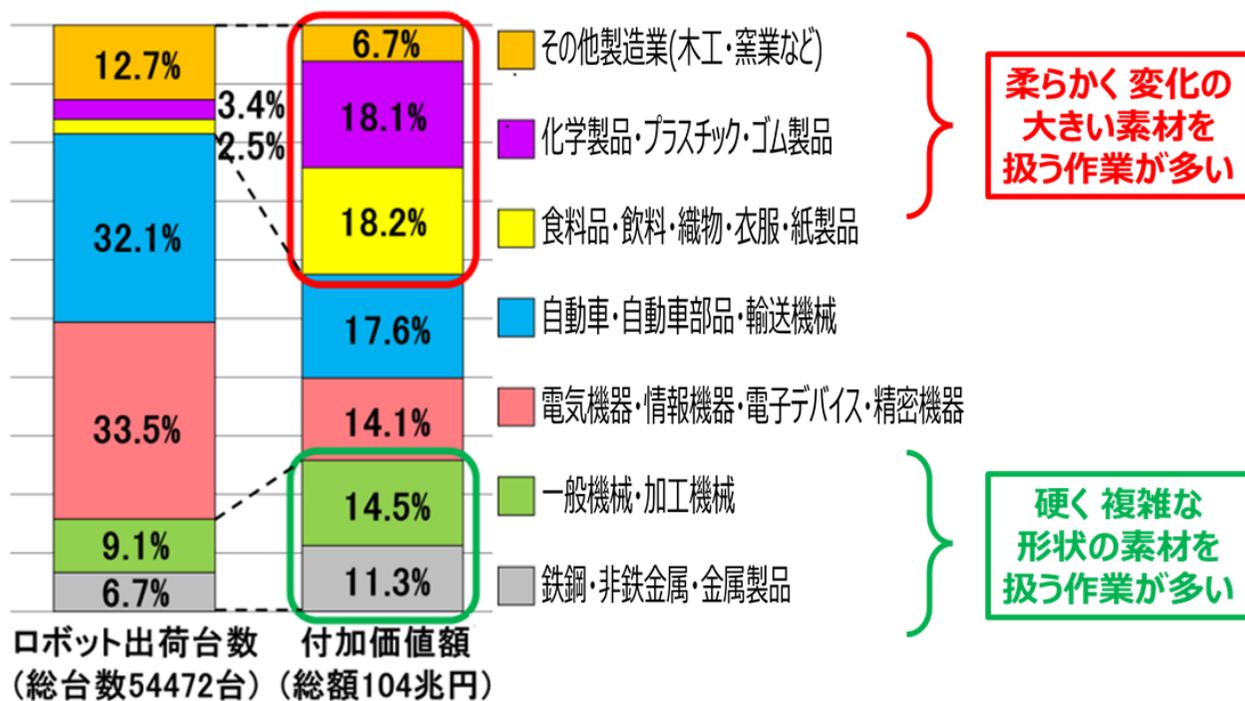
# 一方で人工機械を組み入れるSociety5.0が提唱されている



出典 内閣府ホームページから [https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)

# しかしながら全ての生産現場にロボットが普及している訳ではない

- 産業用ロボットは輸送機器と半導体の製造で活躍



- 付加価値を付けている製造業の中でロボットが導入されていない業種も数多くある

人による作業が前提の「非定型作業」が多い業種

## 製造業におけるロボット活用状況 (2018年度)

ロボット出荷台数：日本ロボット工業会および 付加価値額：経済産業省 調べ  
(三菱電機(株) 小平紀生機器事業部主席技監のご教示による)

## ②新技術の特徴・従来技術との比較

- 「人の作業スキルを学習し 非定型作業を自動化」することのできる 革命的なロボット
- 力触覚に相当する感覚機能 と 作業動作をAI に基いて指令する頭脳を持ち 作業スキルを習得/活用/進化させる驚異的な能力を持つ
- これまで困難であった 非定型作業の自動化により 生産性向上による製造コストの大幅な削減や スキルのデジタル継承が可能になる

# 人と違い ロボットには感覚が無い

- 人と異なり 産業用ロボットは作業対象を感じていない
  - それは 感覚が無いから・・・ (五感が無い)



Figure 4a. Lacking Human Sensing, Robot Snaps Door.

「もし感覚が無いなら  
こんなことになってしまう」  
1967年のR.モシャーの論文から

ここでいう感覚とは主に**力触覚**を指している

出典  
Handyman to Hardiman

Ralph S. Mosher  
Research and Development Center  
General Electric Company

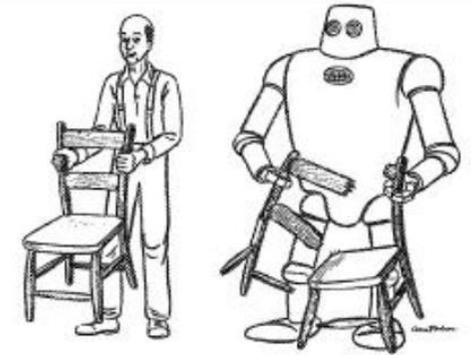


Figure 4b. Lacking Human Sensing, Robot Shatters Chair.

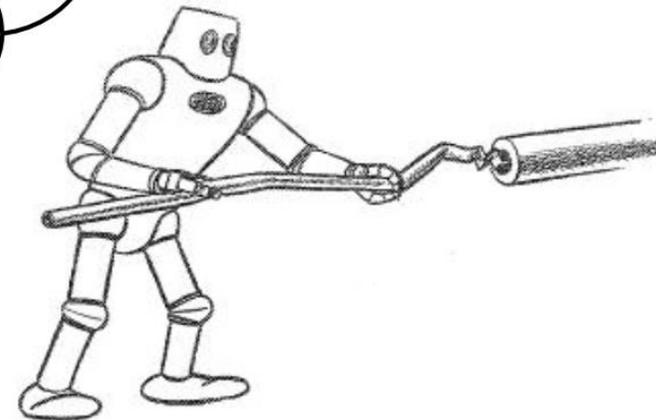
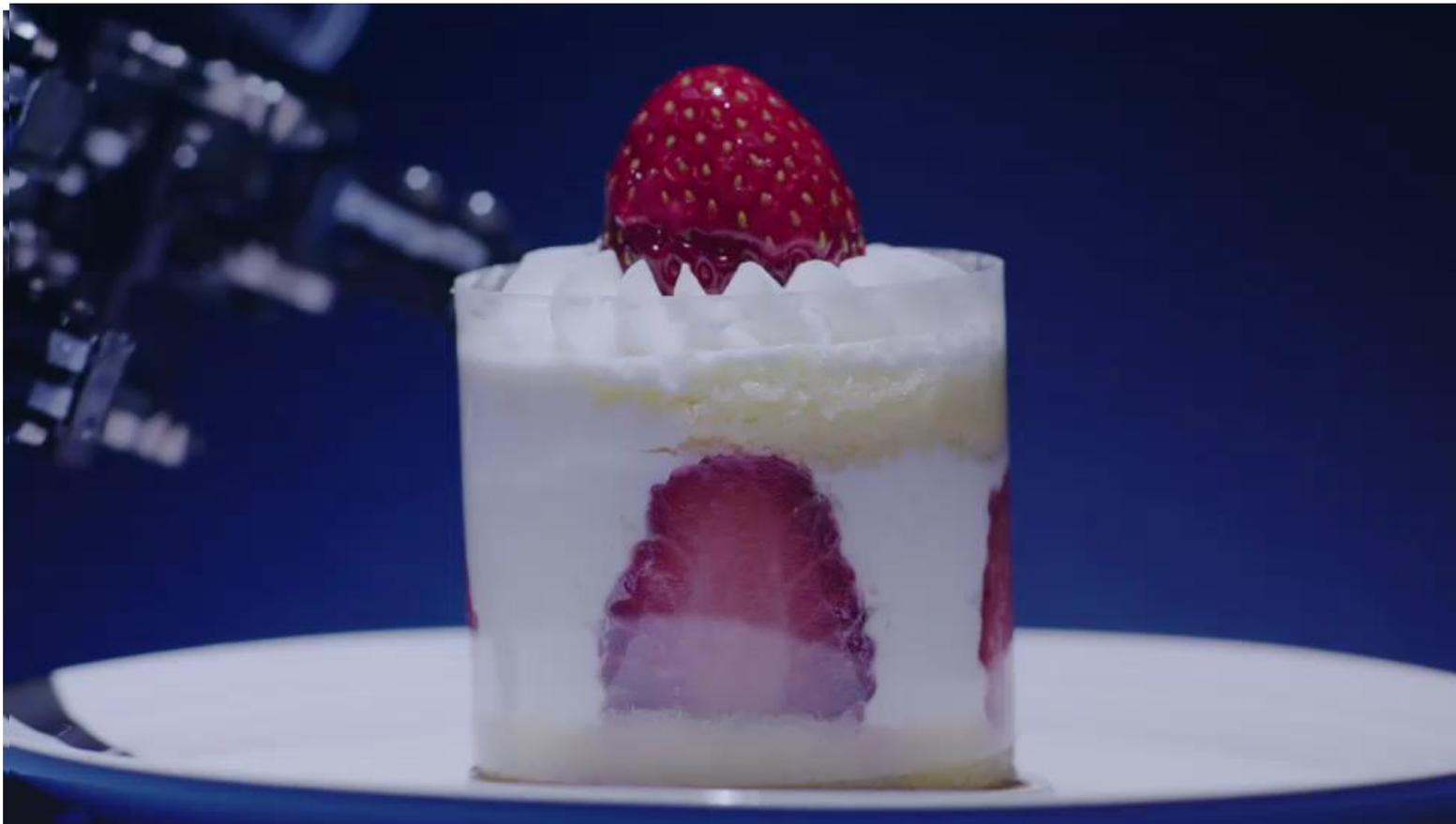


Figure 4c. Lacking Human Sensing, Robot Jams and Bends Pipe.

# 力触覚が無いと本当はどうなるのか実験してみる



## 力触覚があると人のような動作が可能になる

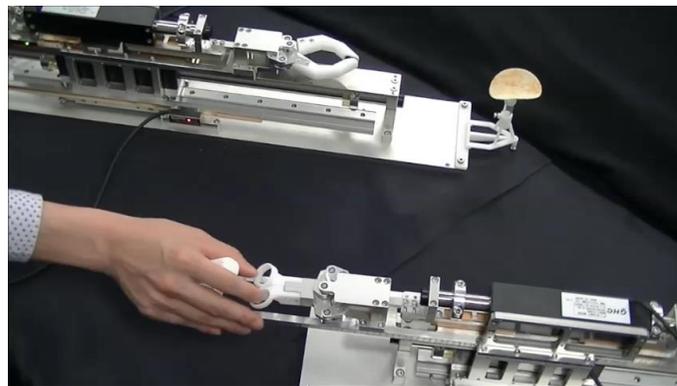
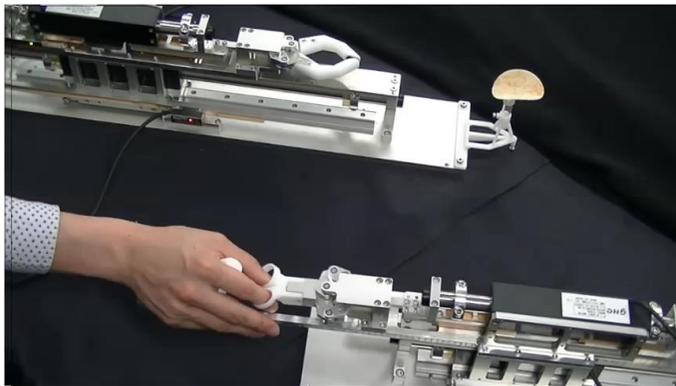
- 作業対象の性質を高速AIで定量化し 作業の適応性を高めている



リアルハプティクスは位置制御と力制御を統合することで力加減を可能とし、器用な動きを実現します

## スキルの入った動作を記録して再現する

- グリッパでポテトチップを掴んで運ぶという作業を記録して再現



親機（マスター装置）を操作することで子機（スレーブ装置）があたかも相互につながっているかのように力触覚を伝えながら作動する

親機を動かしているときに動作情報（人の力と速度）を記録しているので子機はそのデータを用いて忠実に元の動作を再現することができる

元々の動作が優しければ対象が突然変わっても記録された動作は柔軟性があり異なった対象の把持も可能

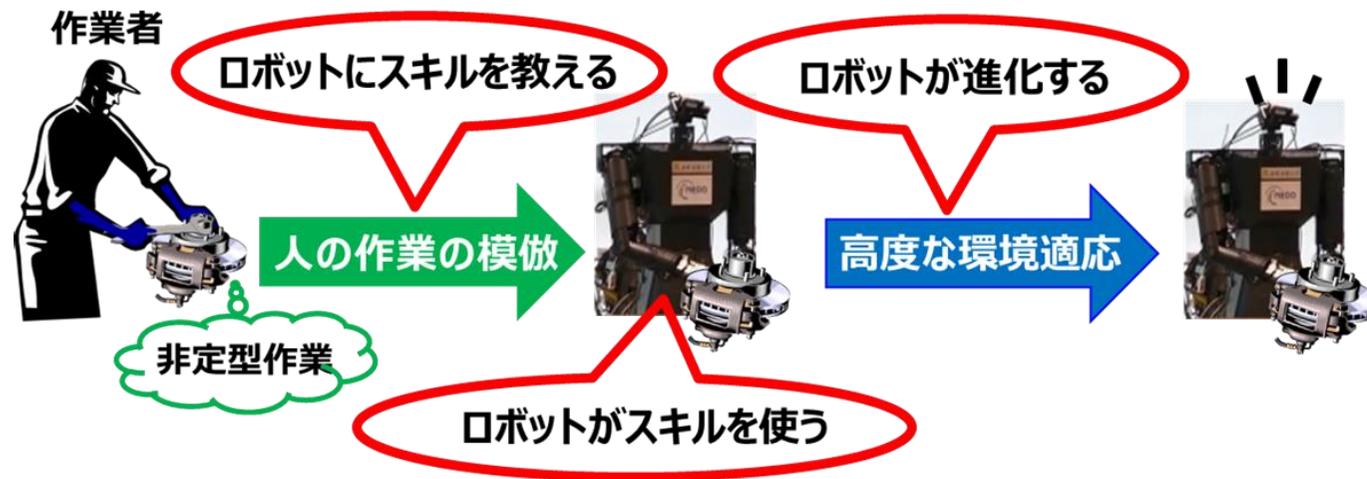
- スキルの入った動作をロボットに移植できることは確認済み

## ③想定される用途

- 本技術は 人手のかかる非定型作業が多い製造業の生産現場に適用することで 作業の均質性 や 生産性の向上に大きな寄与がある
- 減少している熟練作業者の高度なスキルをデジタル保存して 再利用することも期待される
- 手作業が自動化できる点に着目すると 農林水産業 や 看護介護を含むサービス業 といった分野や用途に展開することも可能である

# 人の動作スキルを持つ AI ロボットが製造業を革新する

- 伝送・記録・再現がすべて可能
  - 非定型作業をロボットに代替させる道が拓かれる（中小企業にも**ロボットが入る**）
  - 熟練者や匠の技（スキル）も記録して再現できる道が拓かれる（生産現場で**ロボットが要る**）



- 介護・看護・医療・福祉分野や民生における対人間等への優しい動作も可能になる（私たちの身の回りに**ロボットが居る**）

# 未来社会へのインパクト

- 力触覚とAIの獲得でロボットは劇的に進化する

- 力触覚 + 視覚 ⇒ 対象と環境の理解
- 人工知能 ⇒ 判断能力の獲得



第一世代ロボット 体が動く  
 第二世代ロボット 感覚が生じる  
 第三世代ロボット 知能が宿る

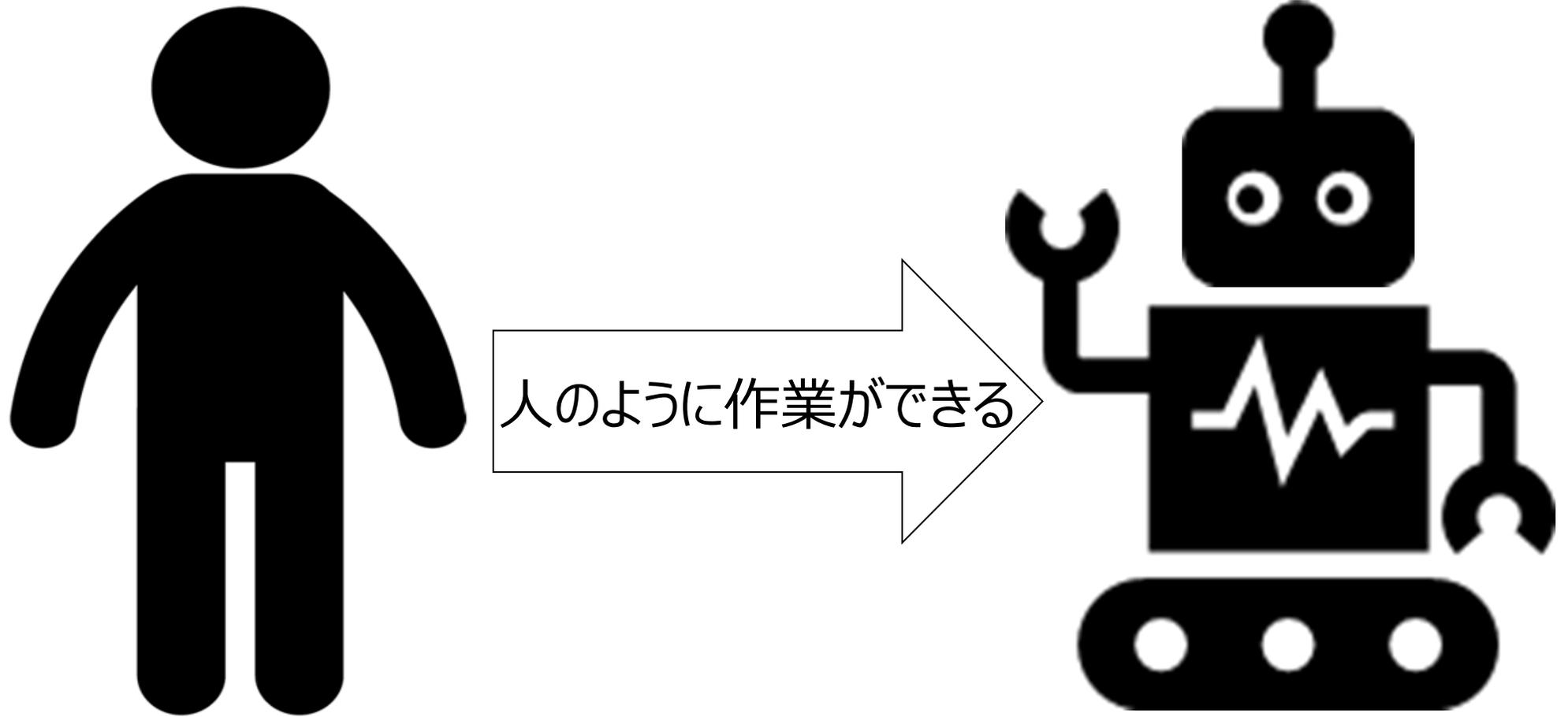
- ロボットの進化を予想する

種類 \ 特徴	対象に対する 適応性	適用可能な運動場と 発現できる作業	運動の指令合成	ロボットに必要な機能	上市
第一世代ロボット (産業用ロボット)	適応性なし	定常環境(構造環境)に おける定型作業	位置教示	サーボ機能 (機構の運動キネマティクス)	1980年代~
第二世代ロボット (ハプティクスロボット)	受動的に適応	準定常環境における 準定型作業	記録されたヒトの運動を 受動的に再現(人まね)	ハプティクス機能 (機能を実現する運動ダイナミクス)	2020年代後半~
第三世代ロボット (スマートなロボット)	能動的に適応	非構造環境における 非定型作業	判断を伴う能動的な 運動の発現	AI機能 (判断と運動の統合)	2040年代後半~

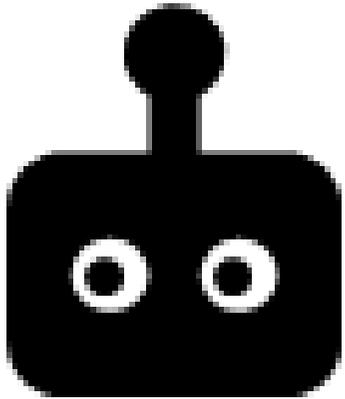
## ④実用化に向けた課題

- 現在 人の力触覚機能のロボットへの実装が可能なところまで開発済み 頭脳に相当するAIによる作業動作決定は開発中
- 今後 サイバー空間における動作指令生成についての様々な実験データを取得し 生産現場に適用する場合の条件設定を行っていく
- 人のスキル作業データに加えて 作業環境情報を動作指令に反映させる技術も開発中

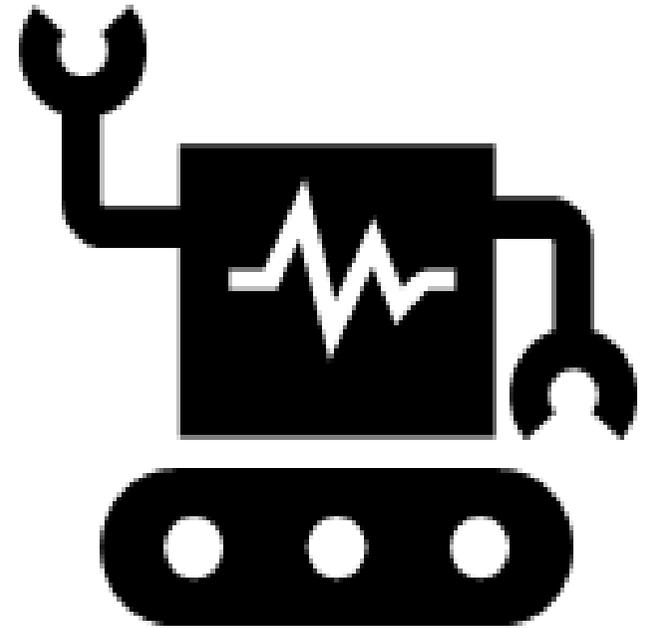
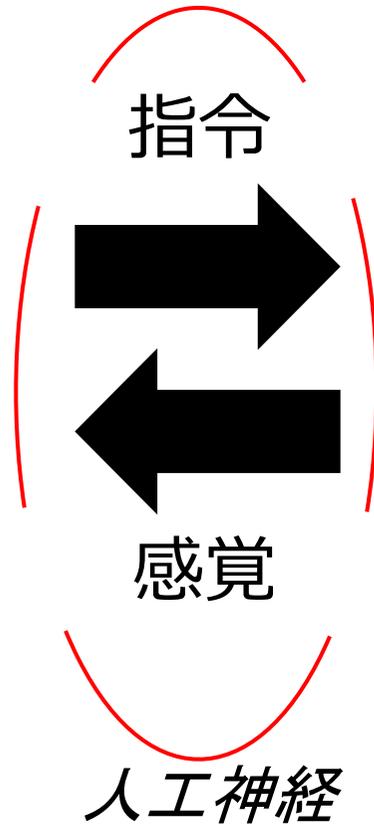
- 開発中のロボットは人から継承したスキルを使って作業できる



- ご提供できる開発中の賢いロボットのイメージ



人工知能が人の  
スキルを習得して  
具体的な  
作業を指令



ロボット本体が  
作業対象に適応  
しながら高度な  
作業を実現

## ⑤企業への期待

- 解決中の技術課題は シミュレーションや予備実験の結果から克服可能と考えている
- 手作業の多い生産プロセスの自動化を具体的に考えている企業との共同研究を希望する
- また 農林水産業の自動化や機械化を開発中の企業 看護・介護・福祉分野への展開を考えている企業は 本技術の導入が有効であろう

## ⑥本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 位置・力制御装置 他
- 特許番号 : 特許 第4696307号  
第6382203号  
第6598401号
- 出願人 : 慶應義塾大学
- 発明者 : 大西公平 他

## ⑦産学連携の経歴

- 2016年-現在 約80社と共同研究実施中
- 2018年-2020年 JST未来社会創造事業探索研究に採択
- 2016年 大学発ベンチャー 「モーシヨンリブ株式会社」※ 創業株主
- 2021年-現在 JST未来社会創造事業本格研究に採択 「製造業に革新をもたらすスマートロボット技術の開発」

## ⑧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**

**F A X 044-580-1570**

**e-mail [k2-res@adst.keio.ac.jp](mailto:k2-res@adst.keio.ac.jp)**