

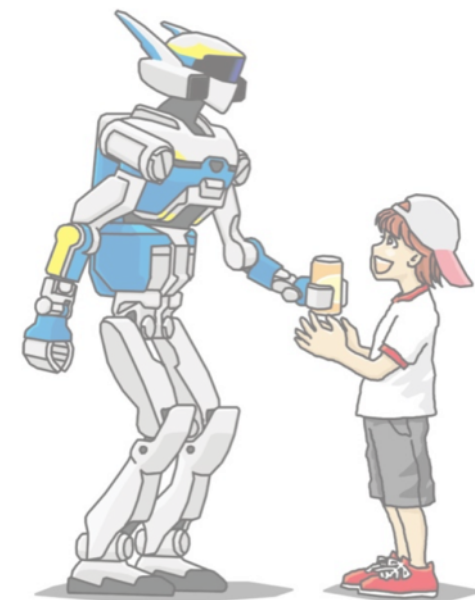
日本建設機械施工協会 機械部会 路盤・塗装機械技術委員会  
令和元年度第一回総会

# 人間と同じ重労働が可能な 人間型ロボット試作機 *HRP-5P* の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
知能システム研究部門 ヒューマノイド研究グループ  
主任研究員  
阪口 健

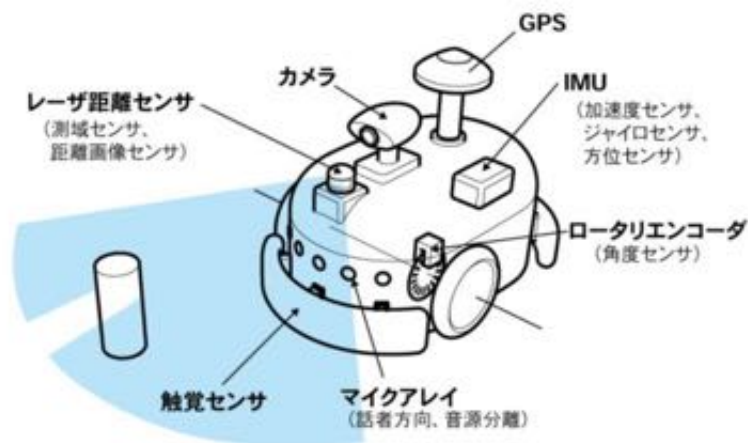
# ロボットの定義

ヒューマノイドロボットを語る前に



# ロボットとは

感覚器官：センサ  
 頭脳：コンピュータ  
 筋肉：アクチュエータ



「NEDOロボット白書」より

センサやコンピュータ、アクチュエータを  
 持ち、外界の変化に反応して何らかの動作  
 をする機械

## 鹿島

### A<sup>4</sup>CSEL (クワッドアクセル)



Automated  
Autonomous  
Advanced  
Accelerated  
Construction system for  
Safety,  
Efficiency, and  
Liability



[https://www.kajima.co.jp/tech/c\\_ict/automation/index.html](https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html)

## コマツ

### スマートコンストラクション

A collage of images illustrating smart construction technology from Komatsu. It includes:
 

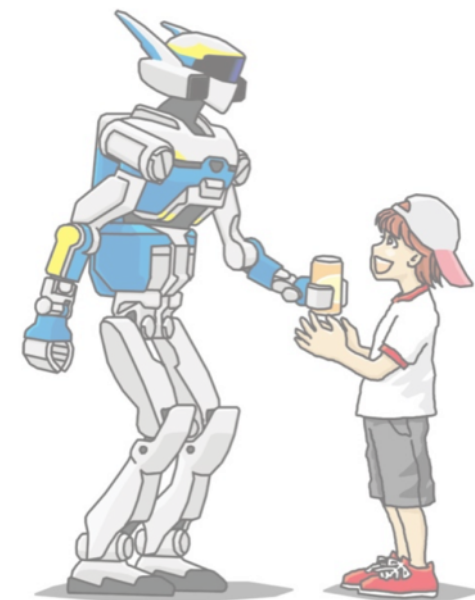
- Top left: A yellow bulldozer (D61PXI-23) working on a grid-patterned surface, labeled 'ICT搭載 D61PXI-23'.
- Top right: A yellow excavator (PC200i-10) working on a grid-patterned surface, labeled 'ICT搭載 PC200i-10'.
- Middle left: A screenshot of a 'KomuConnect' dashboard showing various data charts and a map, labeled 'コムコネクト ダッシュボード画面'.
- Middle right: A blue button with a white arrow pointing down and the text 'コムコネクトへダウンロード' (Download to KomuConnect).
- Bottom: A section titled '現場の安全につながる自動制御システム' (Automatic control system that leads to site safety). It includes text: '自動制御されることで、建機のそばに立ち、目で確かめながらオペレータに指示をする現場作業員が必要なくなり、現場の安全にもつながります。' (By being automatically controlled, the need for on-site workers who check with their eyes while giving instructions to the operator disappears, leading to site safety.) Below this text are two small images: '目標する作業員が必要だった従来の現場' (Traditional site where workers were needed for the target task) and 'ICT搭載を導入した現場' (Site after introducing ICT equipment).

<http://smartconstruction.komatsu>

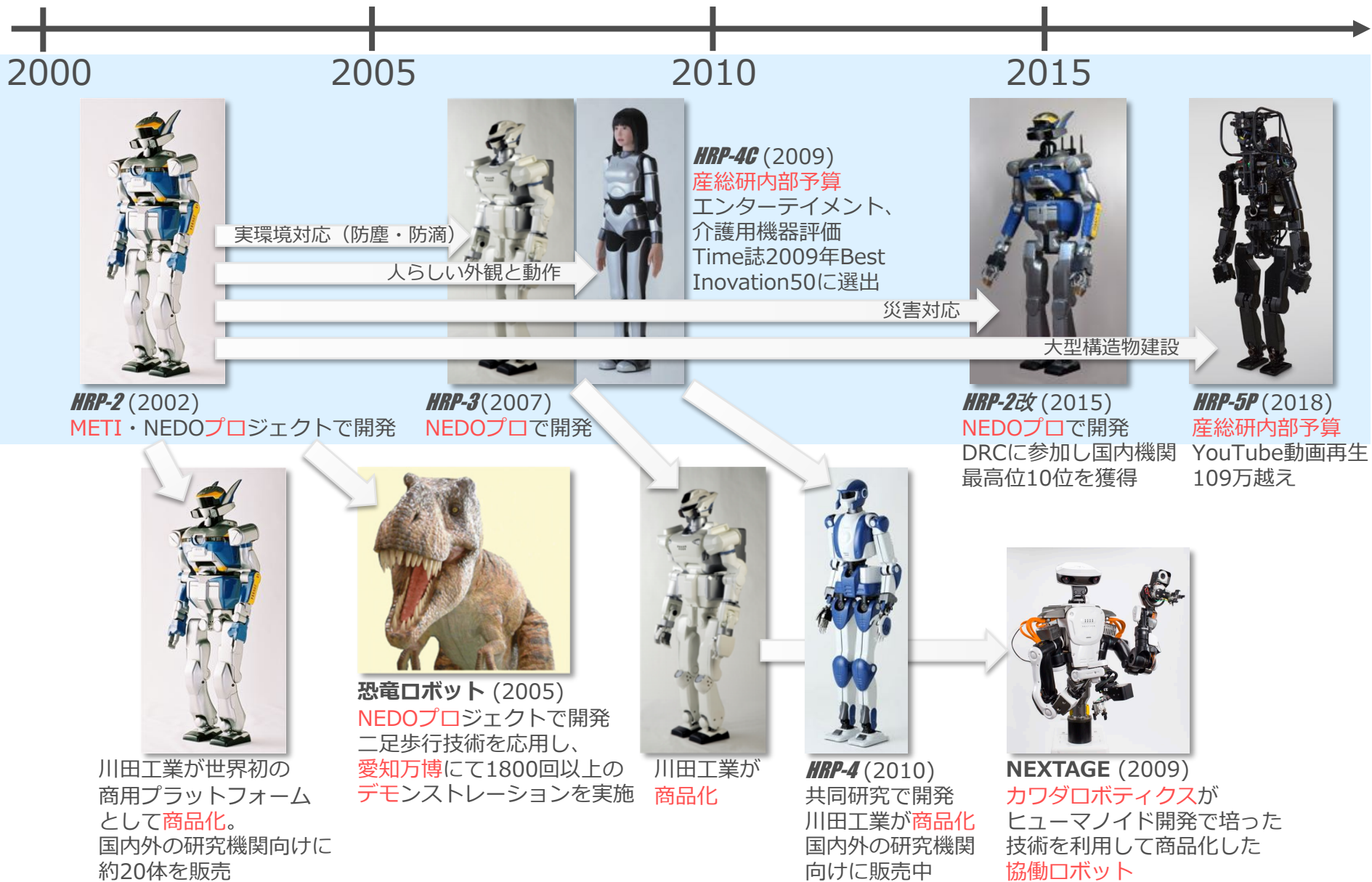


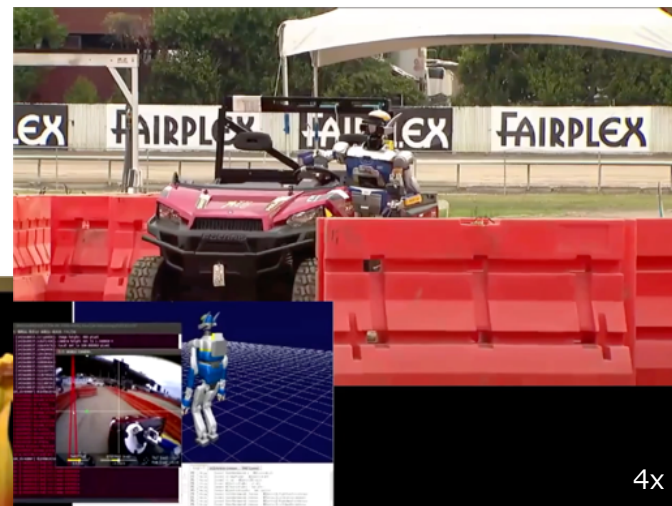
# 産総研におけるヒューマノイドロボット開発

**HRP**: Humanoid Robotics Platform



# 産総研におけるヒューマノイドロボット開発とその展開





災害対応 (2011~)

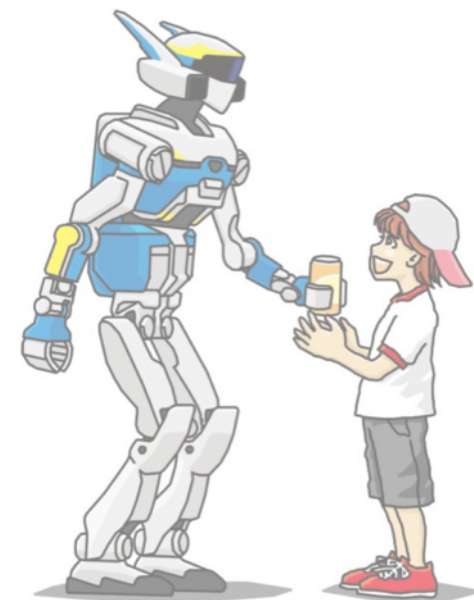


エンターテインメント (2009~)



建設現場 (1998~)

産総研のヒューマノイドロボット戦略による  
**HRP-5P**の開発（2016～）



## 産総研ロボット戦略

ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

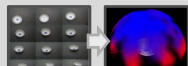
多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

### 環境に応じた作業システム

#### ②ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

#### ③プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

#### ①ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



#### ④サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

### 設計プラットフォーム

### サービスプラットフォーム

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

サービス  
実施企業

産総研

他機関

## 産総研ロボット戦略

ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

#### ②ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

### 環境に応じた作業システム

#### ③プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

### 設計プラットフォーム

#### ①ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



### サービスプラットフォーム

#### ④サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

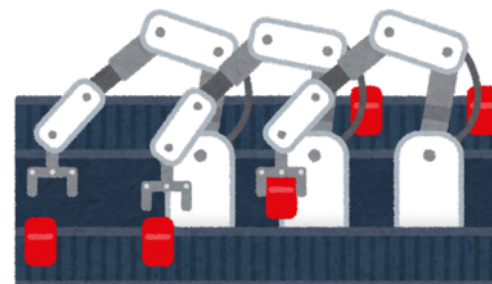
サービス  
実施企業

産総研

他機関

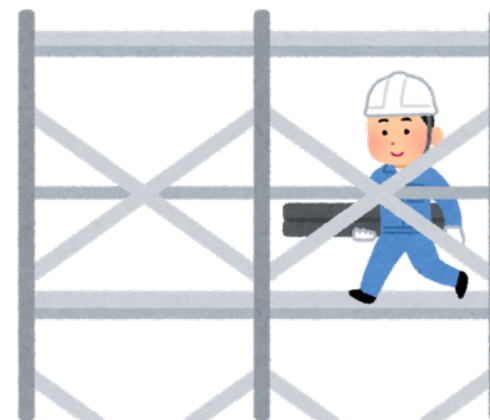
## 従来の組立作業現場

- 固定ロボットに合わせて**作業対象物が移動**
- ロボットに合わせて**作業環境を整備**



## 大型構造物組立作業現場

- 作業対象物の内部を  
**ロボットが動きまわる必要がある**
- 作業環境は組立途中の  
**非整備環境で車輪での移動は困難**
- 作業対象物の見え方、  
照明・背景条件が**一定でない**



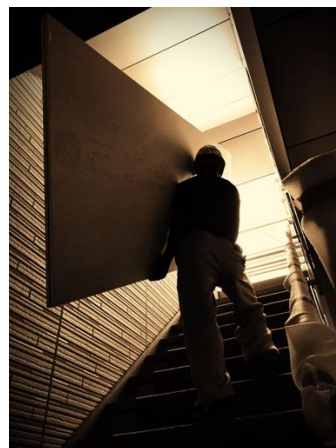
## 現場の課題

- **狭隘な空間での困難な姿勢での作業**や単純繰り返し作業、重負荷作業、危険作業
- **作業員不足**（建築業就業者数は平成9年のピーク時から約28%減）



# 石膏ボード壁面施工では

- 重量物（11kg～）搬送
  - 重労働作業
- 多数のビス打ち
  - 単純繰り返し作業
- 上向き作業
  - 高負荷作業
- 脚立昇降
  - 危険作業



有限会社フロントライン“作業風景”より「石膏ボード搬入」  
 (<http://blog.frontline1993.co.jp>)



YouTube “石膏ボード(プラスターボード)の天井張り”より  
 (<https://www.youtube.com/watch?v=1L-RMMXMqNM>)

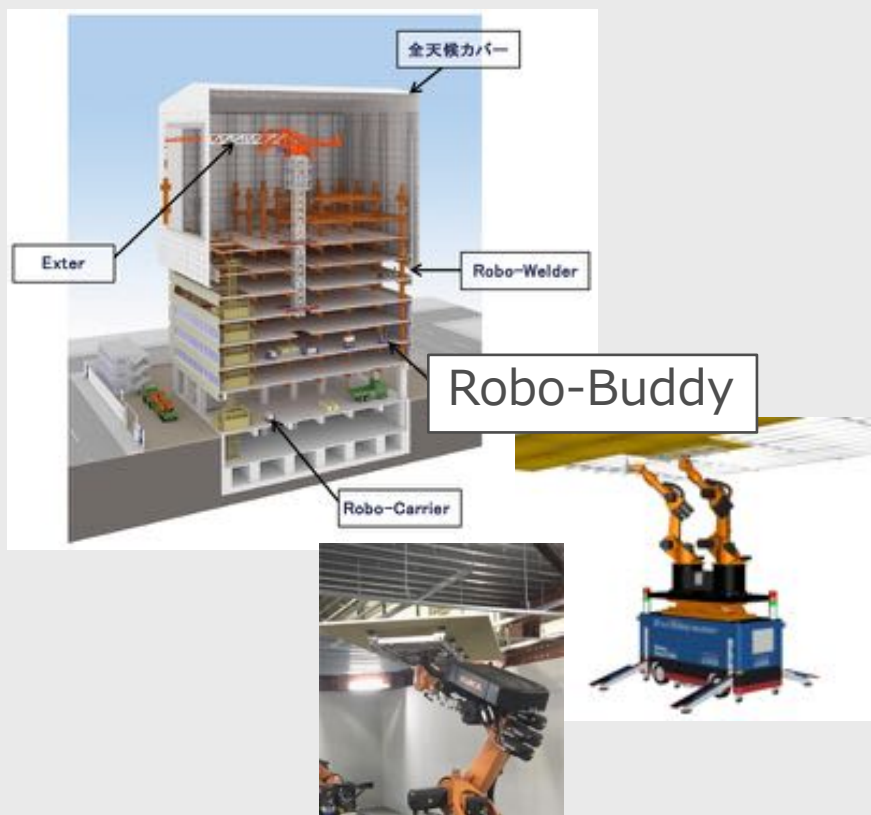


PC Watch “積水ハウスら、建築施工ロボットと上向き作業用アシスト  
 スーツをデモ”より「通常の天井石膏ボード張り作業の様子」  
 (<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1127408.html>)



## 清水建設

シミズスマート サイト



<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2017/2017011.html>

## 積水ハウス

天井石こうボード施工ロボット



ビス固定ロボット  
Shot

運搬・持ち上げロボット  
Carry



[https://www.sekisuihouse.co.jp/company/topics/detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2018/05/16/20180516\\_2.pdf](https://www.sekisuihouse.co.jp/company/topics/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/16/20180516_2.pdf)

## 大東建託株式会社

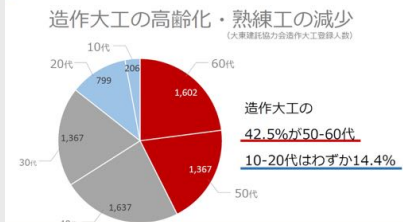
### 人と協働する軽量・小型ビス留めロボット「D-AVIS (デービス)」



#### コンセプト

- D** Dismantle 分解できて、運搬運び可能
- A** Assemble 現場で容易に組立可能
- V** Variety 先端部品が付け替え式で多様な作業が可能
- I** Innovation 今までになく革新的で人手不足を解消
- S** Smart どの現場にも適したロボット

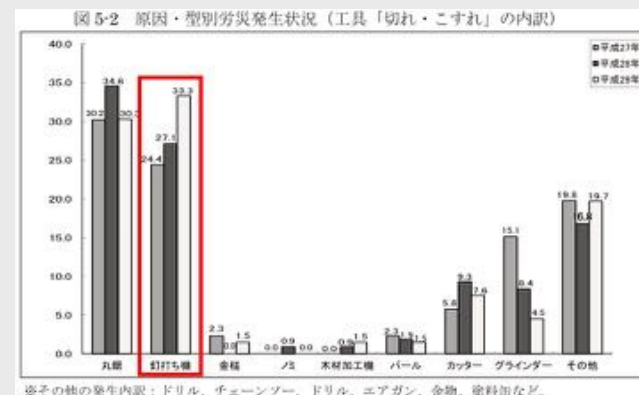
#### 開発の背景・経緯



#### 今後の予定



- ① トップ画面から「D-AVIS操作」を選びます
- ② 一覧から建物の商品名を選択します
- ③ 図面から「D-AVIS」が作業する部屋を選択します
- ④ 図面によって「D-AVIS」を配置します
- ⑤ 床に障害物となるものが置かれていないか確認後、「起動」を押します
- ⑥ 「D-AVIS」がビス留めを開始します



## 産総研ロボット戦略

ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

#### ②ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

### 環境に応じた作業システム

#### ③プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

### 設計プラットフォーム

#### ①ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



### サービスプラットフォーム

#### ④サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

サービス  
実施企業

産総研

他機関

- オープンソースのロボット用統合GUIソフトウェア
- 動力学ロボットシミュレータ (図1)
- 高い拡張性を持ち、遠隔操作UI (図2)、  
動作振り付けソフトウェア (図3) としての利用も可能
- 公式サイト : [www.choreonoid.org](http://www.choreonoid.org)
- ライセンス : MITライセンス (商用利用可)

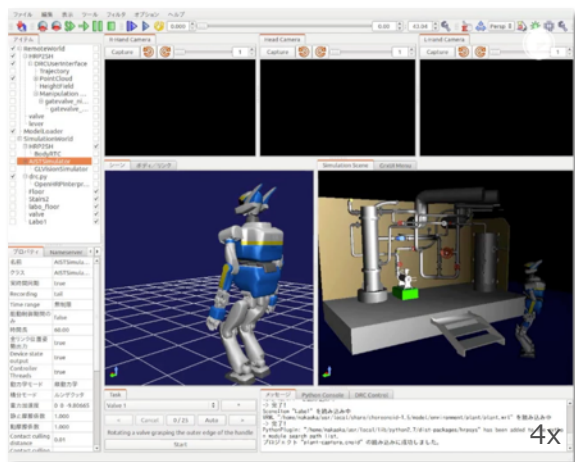


図1 : 動力学ロボットシミュレータ



図2 : 遠隔操作UI

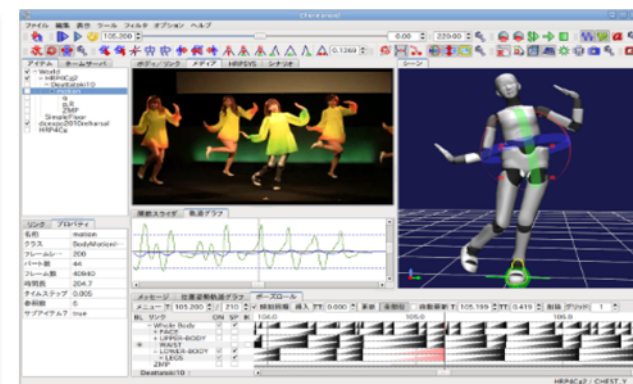
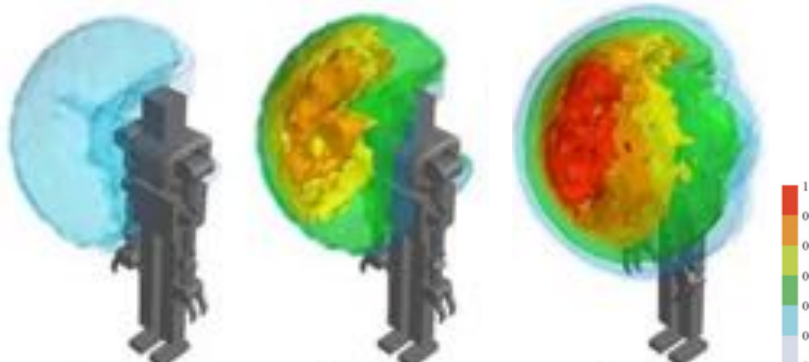


図3 : 動作振り付けソフトウェア

# Choreonoidを用いたロボット設計

## 腕部軸構成の検討

右手先の可到達度計算および可視化



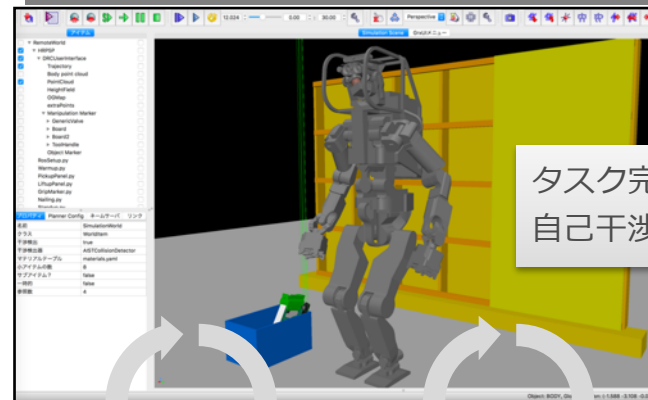
**HRP-2**  
(6自由度)

**HRP-2改**  
(7自由度)

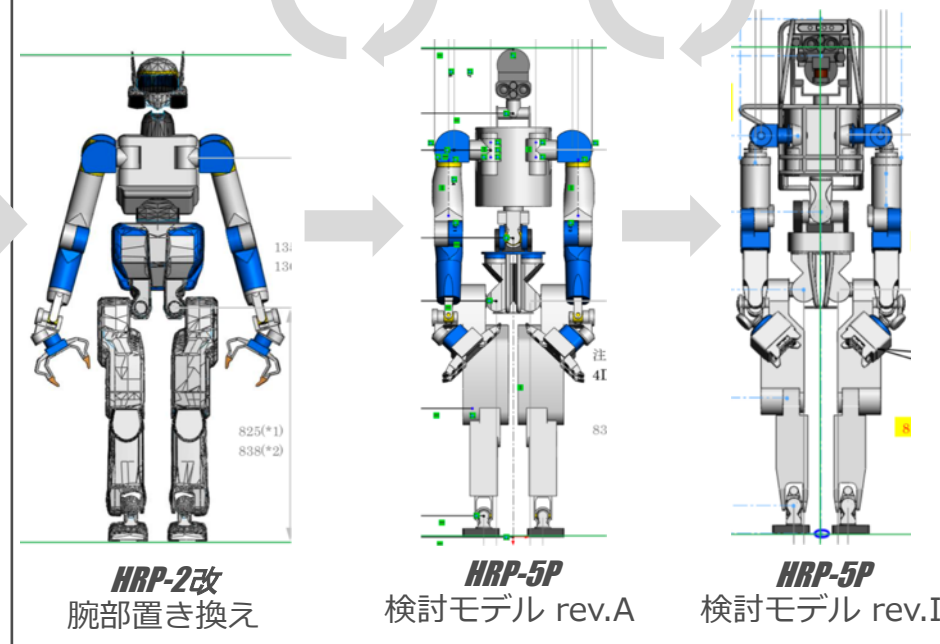
**HRP-5P**  
(9自由度)

搭載コンポーネントの検討、  
重量、  
ボリュームの試算、  
形状、  
可動範囲検討等

## Choreonoidを用いた性能検証



タスク完遂性  
自己干渉等



**HRP-2改**  
腕部置き換え

**HRP-5P**  
検討モデル rev.A

**HRP-5P**  
検討モデル rev.I

## 産総研ロボット戦略

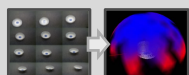
ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

#### ②ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

### 環境に応じた作業システム

#### ③プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

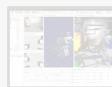
#### ①ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



### 設計プラットフォーム

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

### サービスプラットフォーム

#### ④サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

産総研

他機関

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

サービス  
実施企業



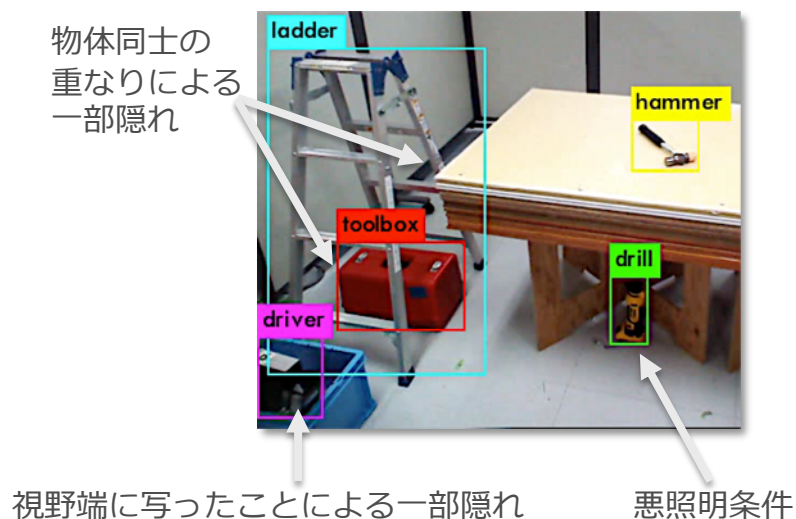
- ① 作業対象物を自律的に見つけられない
  - 深層学習による物体検出
  - 改良版ICPアルゴリズムによる位置姿勢同定
- ② 全身を活用できていない
  - オンライン多点接触全身動作生成アルゴリズムの開発
  - ハイパワー、多自由度、広い関節可動域を有する新機体の開発
- ③ 遠隔操作の適応性と自動実行の効率性を両立させられない
  - 想定されたエラーリカバリ導入による自律化（人介入の減少）
- ④ システムの信頼性が不十分
  - ロボットシステム高信頼化技術の開発
- ⑤ その他、常時計測用MultiSense SL（LIDAR）とSLAM技術の導入など

**LIDAR:** Laser Imaging Detection and Ranging、レーザー画像検出と測距

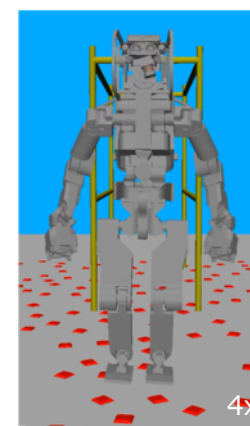
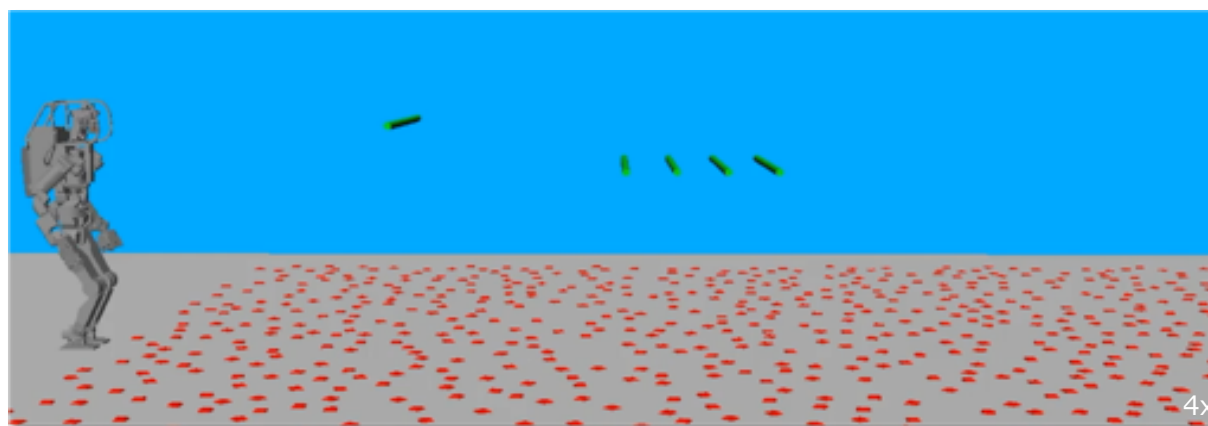
**LiDAR:** Light Detection and Ranging、光検出と測距

**SLAM:** Simultaneous Localization and Mapping、自己位置推定と環境地図作成を同時に行うこと

- ① 作業現場に適した画像DBを構築、深層学習を適用し  
90%以上の高精度で対象物体を認識



- ② 環境計測データに基づいたロボスト多点接触運動技術  
脚腕の区別のない任意のタスク空間（作業空間、関節空間）のロボストな接触遷移動作を実現





### ③ 視覚の再認識、把持判定による再把持など、各所にエラーリカバリーを導入

- **その結果、石膏ボード壁面施工デモでは完全自律化に成功**

- 認識失敗の排除・再認識

- Nan、想定値からかけ離れた場合など
- 指定回数を失敗したらオペレータに知らせる
- 認識後のパネル把持では、正しい把持姿勢をリファレンスとして利用し大きくかけ離れているときは戻って再認識

- 把持失敗の排除・再認識

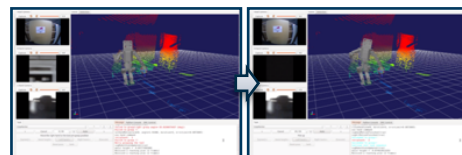
- カセンサ情報、把持角度情報から
- 指定回数失敗したらオペレータに知らせる

- 目標立ち位置のズレ修正

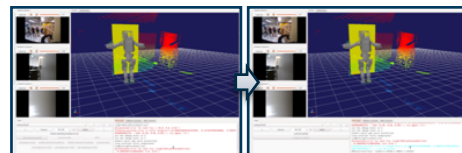
- 次の動作が可能なズレ範囲を閾値として設定
- そのズレ量を考慮した次の動作計画



特徴点検出の失敗例

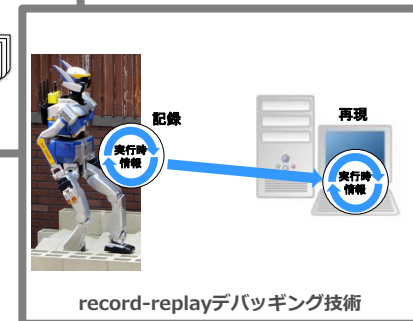
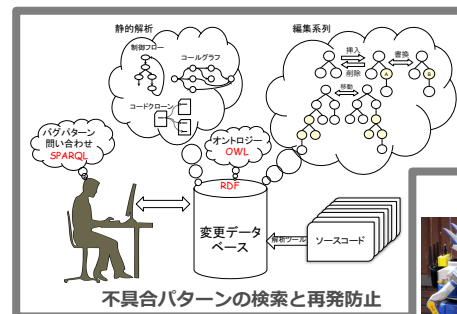
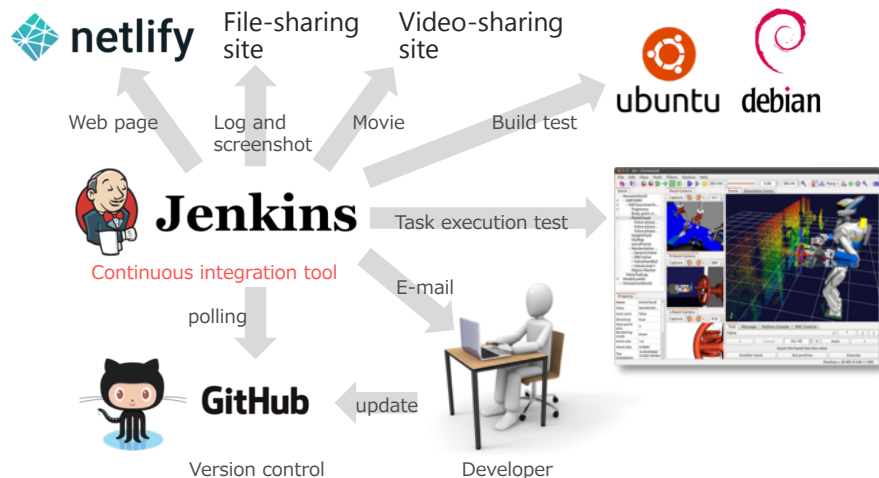


把持失敗を検出し、再実行して成功した例

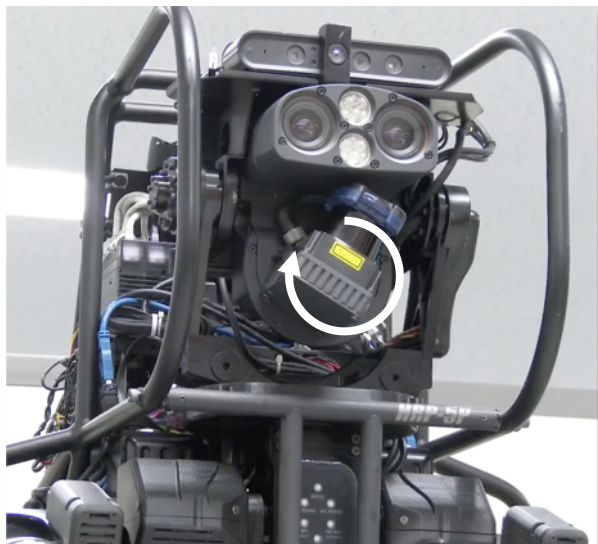


パネル搬送位置の閾値内に立てるように位置修正した例

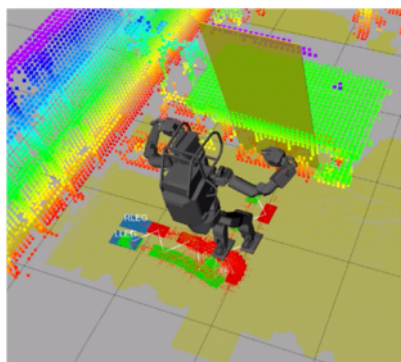
### ④ シミュレーションを用いた継続的統合(CI)環境



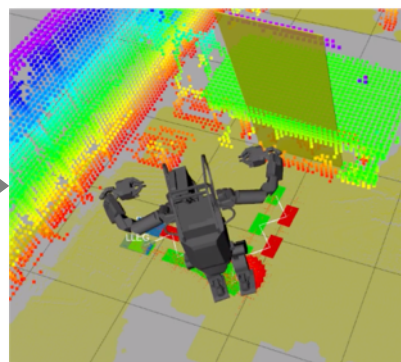
## ⑤ その他 SLAMの導入



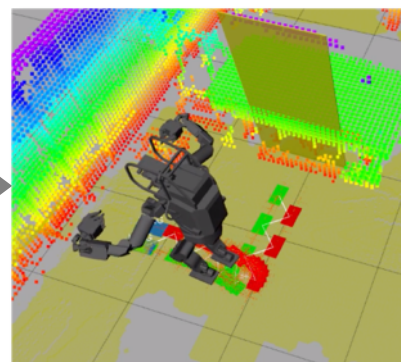
- 頭部センサにより常時計測、距離情報（3Dマップ）を0.3Hzで更新
- 最初に全体マップを作成
- 全体マップ上で予め経路計画を行い、障害物回避を実行しながら重量物搬送におけるスリップによるステップのズレを修正しつつ目標位置まで移動
- 畳大の搬送物により前方が覆い隠されるが、SLAM技術によりこれを補完



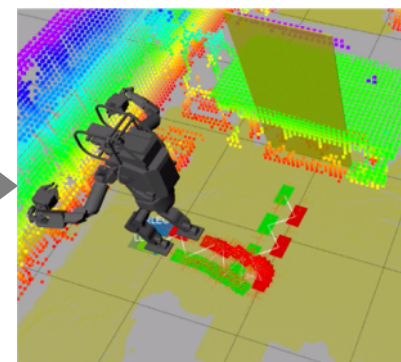
(a) 計画通りのステップ



(b) 旋回により大きくずれた所



(c) ズレを修正している所



(d) 計画経路上に戻った所

**LIDAR:** Laser Imaging Detection and Ranging、レーザー画像検出と測距

**SLAM:** Simultaneous Localization and Mapping、自己位置推定と環境地図作成を同時に行うこと

## 産総研ロボット戦略

ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

#### ② ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

### 環境に応じた作業システム

#### ③ プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

#### ① ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



#### ④ サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

### 設計プラットフォーム

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

### サービスプラットフォーム

産総研

他機関

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

サービス  
実施企業

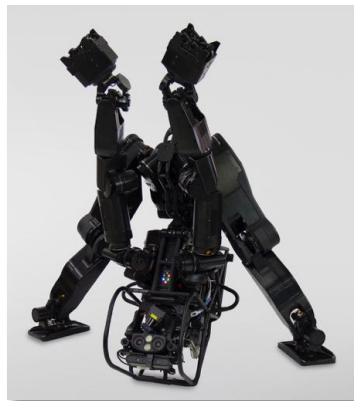


- 少子高齢化社会での深刻な人手不足に対して、危険で重労働を強いられる業種において  
人間の代わりに作業のできる人間型ロボットの試作機 **HRP-5P** を開発
- 建築現場や航空機・船舶など  
大型構造物組立での人間型ロボットの実用化に向けた研究開発を加速するための  
産学連携プラットフォーム
- ハイパワー、多自由度、広い関節可動範囲により、**HRP** シリーズ最高の身体能力を持ち、  
畳大の重量物をハンドリングできる身体

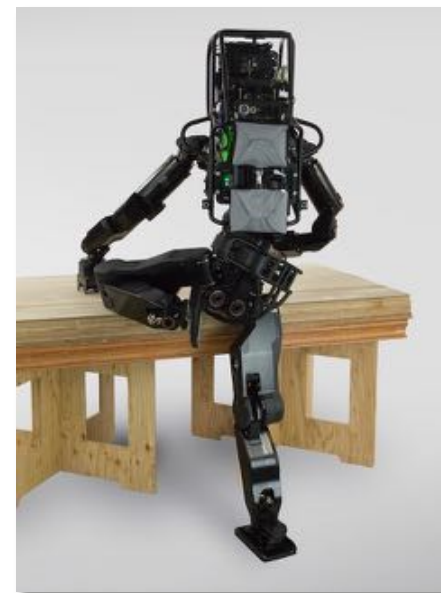
2018.9.27 プレスリリース



前後180度開脚



90度以上の前屈



腰高さ程度の台への乗り上げ



## 産総研ロボット戦略

ロボット技術で社会と産業界の課題を解決

多様な作業を実現するための技術・システム

### 要素技術

#### ②ロボット知能

空間計測・認識、  
動作計画・制御の高度化



尤度マップによる  
物体認識技術



多点接触状態  
動的遷移技術

### 環境に応じた作業システム

#### ③プラットフォーム

作業の高度化・実環境での実証



HRP-5P

HRPシリーズ開発ノウハウ

### 設計プラットフォーム

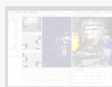
#### ①ロボット設計

ニーズに応じた最適設計

人体筋骨格  
シミュレータ



ロボット  
シミュレータ



### サービスプラットフォーム

#### ④サービス設計

適用範囲拡大

ロボット知能  
クラウド

人間中心製品・サービス設計のためのプラットフォーム

ユーザ企業

共同研究

ニーズ

過酷環境  
での作業

ロボット  
供給企業

新ロボット  
サービス

ロボットによる  
作業の実施

サービス  
実施企業

産総研

他機関



## 問題点

- ① 石膏ボードの引き出し（1枚だけ引っ張り出す）
  - 指がそれほど器用ではないので、人間のようにはいかない
- ② 石膏ボードの持ち替え
- ③ 運搬時の外界認識
- ④ 打ち付け前のボードを支えながらの工具取得
- ⑤ ビス打ち反力（ネジをしっかりとボードに埋め込む）

## 前提

ボードの運搬先におけるロボットの立ち位置は内壁左側のマーカ相対で決定

- 間柱や胴縁とのボードの位置関係も必然的に決まる

## 戦略

- ① ボードの引き出しは体全体を使う
  - 太腿を作業台に押し当てて腕をボードの向こうに伸ばす
- ② 体幹を活かしてパネルを横から縦に回転させる
  - 体幹：可動範囲拡大とパワーアップによる
- ③ ボードを左手で押さえながら  
右手内蔵のカメラで工具を認識・取得
  - 産総研開発の高精度ARマーカ使用
- ④ 把持判定により確実な把持を実現（やり直し含む）
- ⑤ Wi-Fi通信にて工具のスイッチをON/OFF
- ⑥ まず中段のネジを打ち込み、ボードを固定
- ⑦ 左手を離して胴縁を握りビス打ちの際の反動に備える

ご清聴、誠にありがとうございました

