

特殊講義

クラウドロボティクス研究室

准教授 王忠奎

2022-06-09

クラウドロボティクス研究室

- 2022年4月に発足
- Society 5.0を支える柱であるクラウド、IoT、ビッグデータ、AIなどの技術を活用してロボットシステムの最適化と柔軟性を実現するための研究を幅広く推進し、様々な分野での実用化を目指しています。
- Society 5.0とは、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会

Agenda

第1部

- 外食・中食産業、農業選果場の自動化を推進するためのロボットシステムの開発
- システムインテグレーション

第2部

- クラウドロボティクスの概念とできること

第1部

外食・中食産業、農業選果場の自動化を推進するためのロボットシステムの開発

食産業、農業選果場の現状



自動化が進まない理由

複合的技術問題のため解決困難

- ① **認識問題**（多種多様な対象物と変動環境）
- ② **機構/制御問題**（確実/高速ハンドリング）
- ③ **実用化問題**（低価格/高信頼性/利用便利）

従来、個別の解決法は試行されてきたが、複合問題であるため未解決

例：コンビニ弁当製造

- ・ 毎日300万食程度 ・ 夜中に人が製造
- ・ 多様対象物（2時間程度で品替え）のハンドリングは困難
- ・ 脆弱対象物の高加減速運動は困難
- ・ 自動車製造等の現状自動化技術の転用では困難

内閣府SIP第2期プロジェクト（サブテーマIII）

センサリッチ柔軟エンドエフェクタシステムによるSociety5.0の実現

外食/中食産業，中小製造業，農林水産業など
労働力不足にロボットによる解決

機械的接触に柔軟性が有用

フィジカル空間には力情報は必須

サイバー空間 AI/ビッグデータ集約/活用

実世界で変形した，滑った，落としたなど知識の活用

フィジカル空間

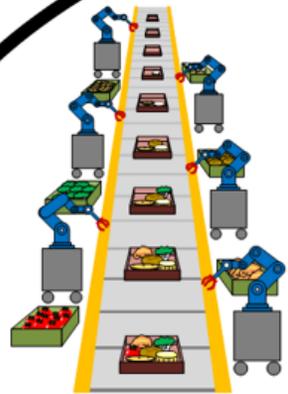


センサリッチ柔軟エンドエフェクタシステム

- ・力学的作業（ハンドリングなど）の実施
- ・多種多次元（分布）情報の獲得
- ・センシングためのアクチュエーション

触って分かる実世界

対象をやさしく包む



労働生産性の
低い産業に活用

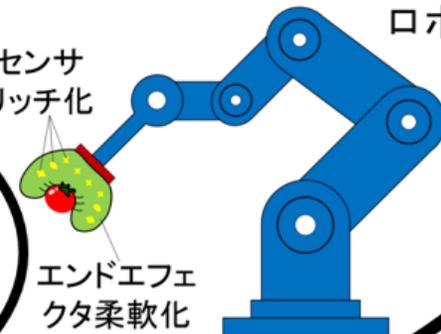
多様な対象物と多様な環境



センサ
リッチ化

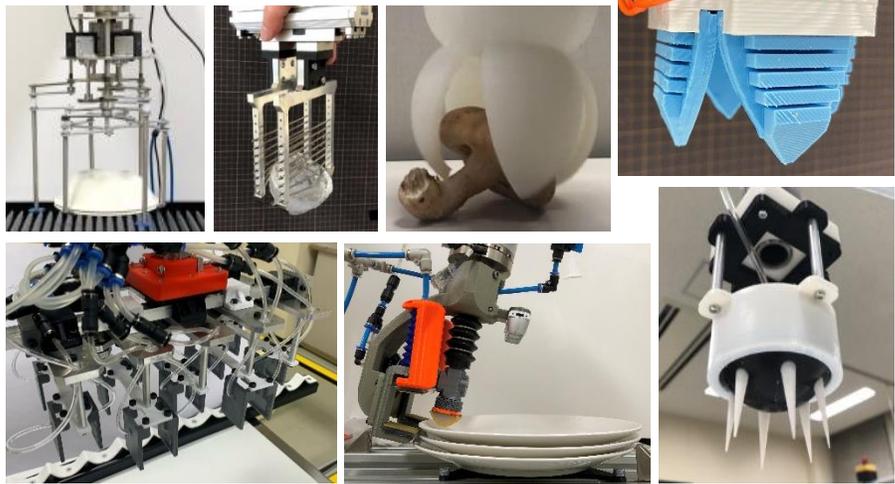
エンドエフェ
クタ柔軟化

ロボット



ロボット要素開発

ロボットエンドエフェクタ



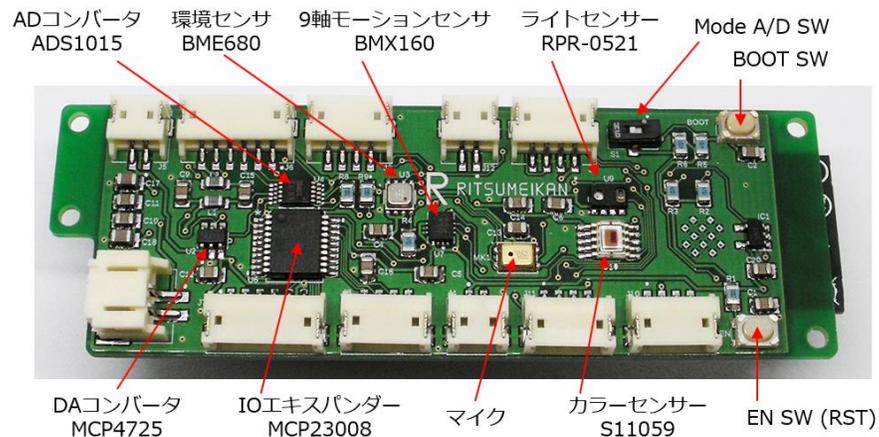
AIによる認識



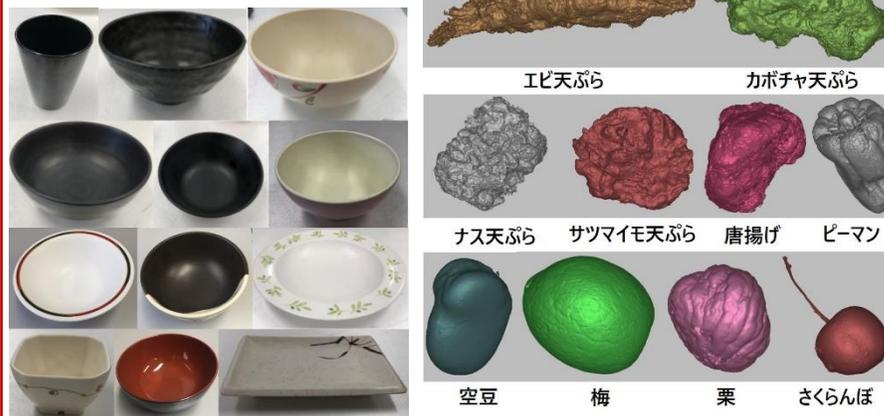
刻みネギの把持重量
推定と把持位置の提案

自動下膳作業のための
食器などの認識

マルチセンサモジュール (R-MSM)



物のデータベース



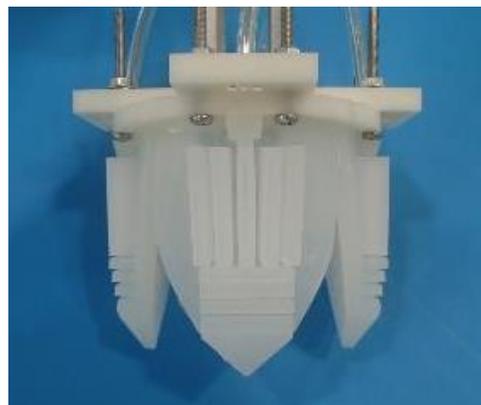
食器データベース

食品データベース

細断食品自動トッピングシステム



細断食品の例



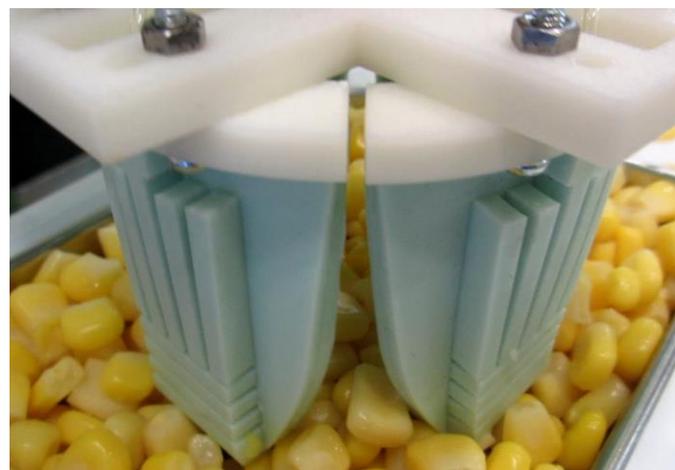
空気印加



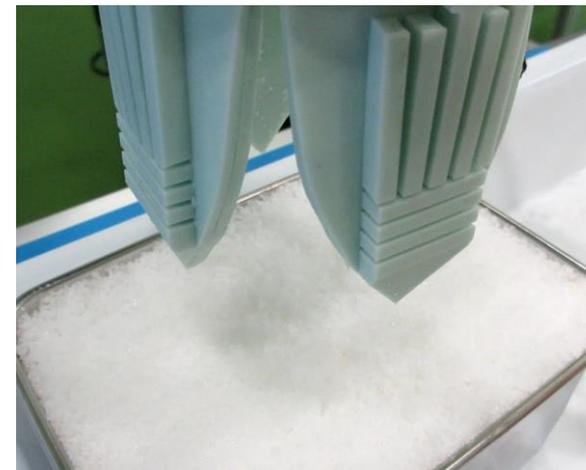
包みグリップ



青ねぎの把持実験



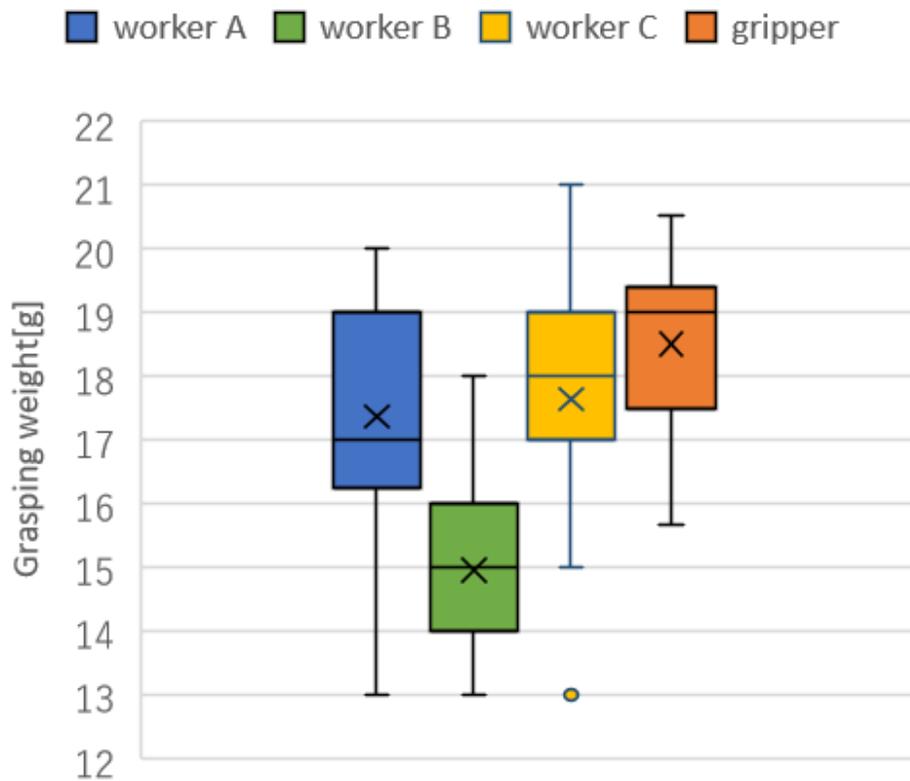
コーンの把持実験



塩の把持実験

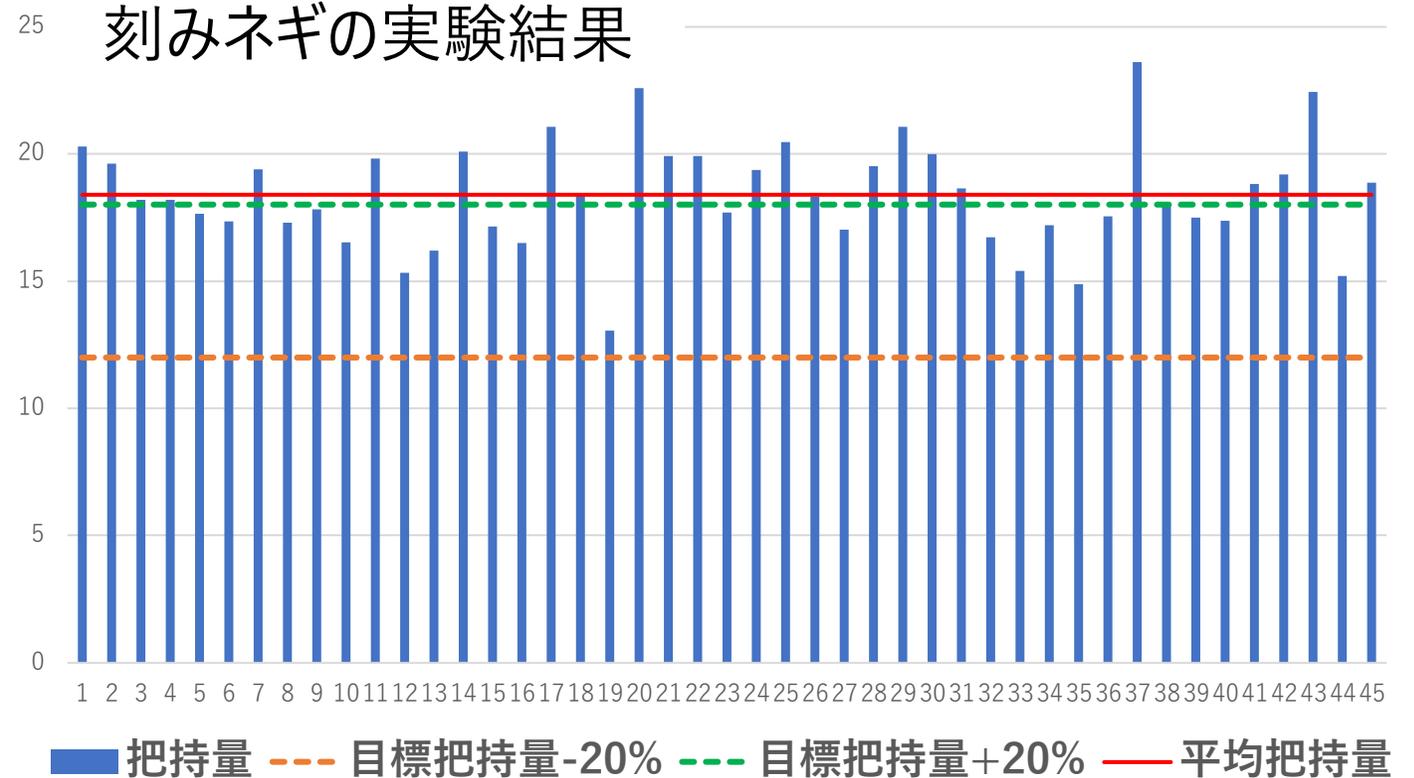
細断食品自動トッピングシステム—定量把持

柔軟指のサイズと食材への挿し込み量で把持重量を調整することが可能



人間作業者との比較 (コーン)

刻みネギの実験結果



平均重量	標準偏差 [g]	相対標準偏差
18.4 g	2.09 g	11.4%

細断食品自動トッピングシステム



天ぷら自動盛り付けシステム—問題設定



実際の盛り付け
(がんこフードサービス社のご提供)



盛り付け目標

問題設定

5種類天ぷら盛り付け

天ぷらに負担を最小化

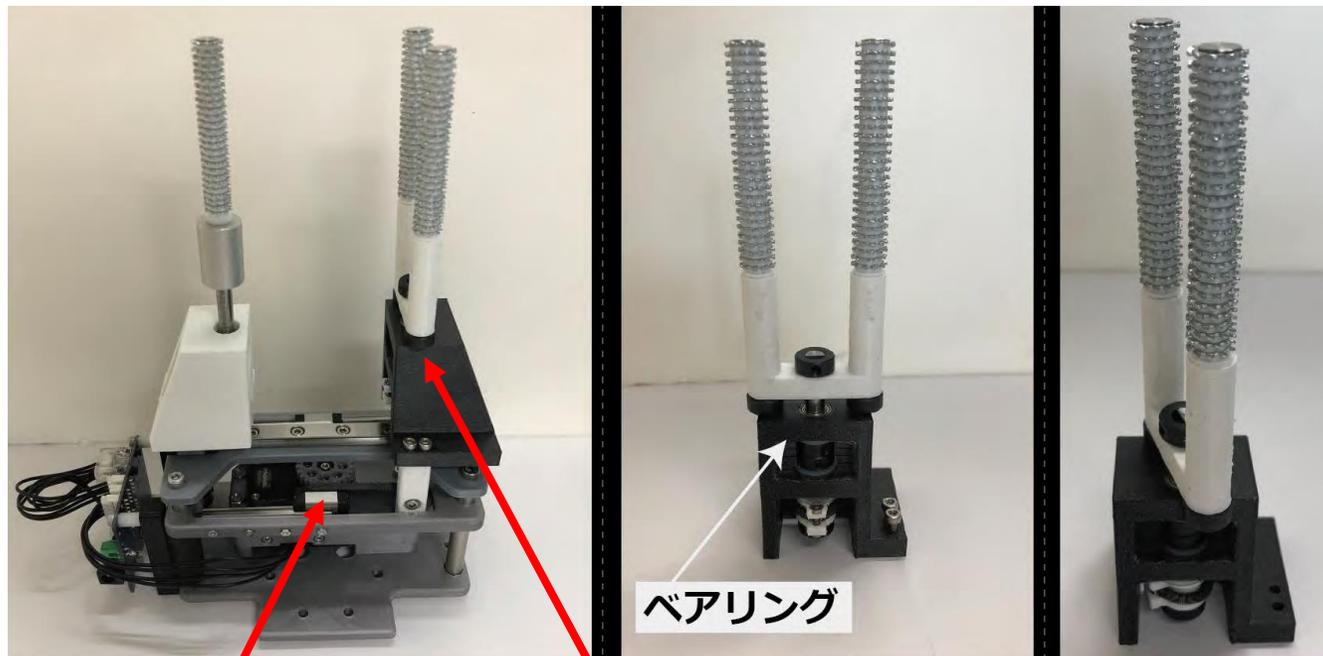
エビの尻尾が上向く

立体的に盛り上げる

作業の高速化

天ぷらの配置が連結なし

天ぷら自動盛り付けシステム—エンドエフェクタ 1

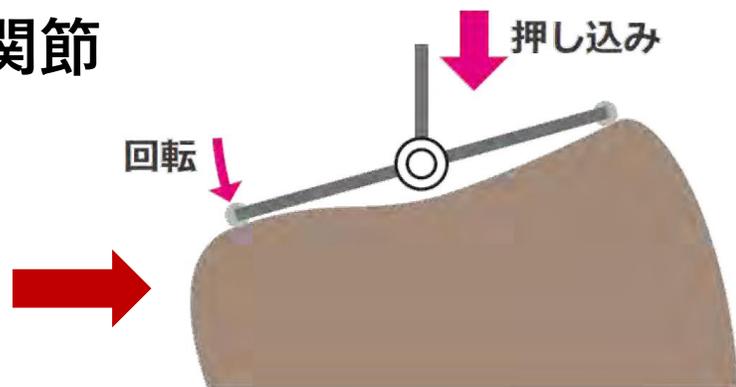


サーボモータ
ラック&ピニオン

受動関節

ベアリング

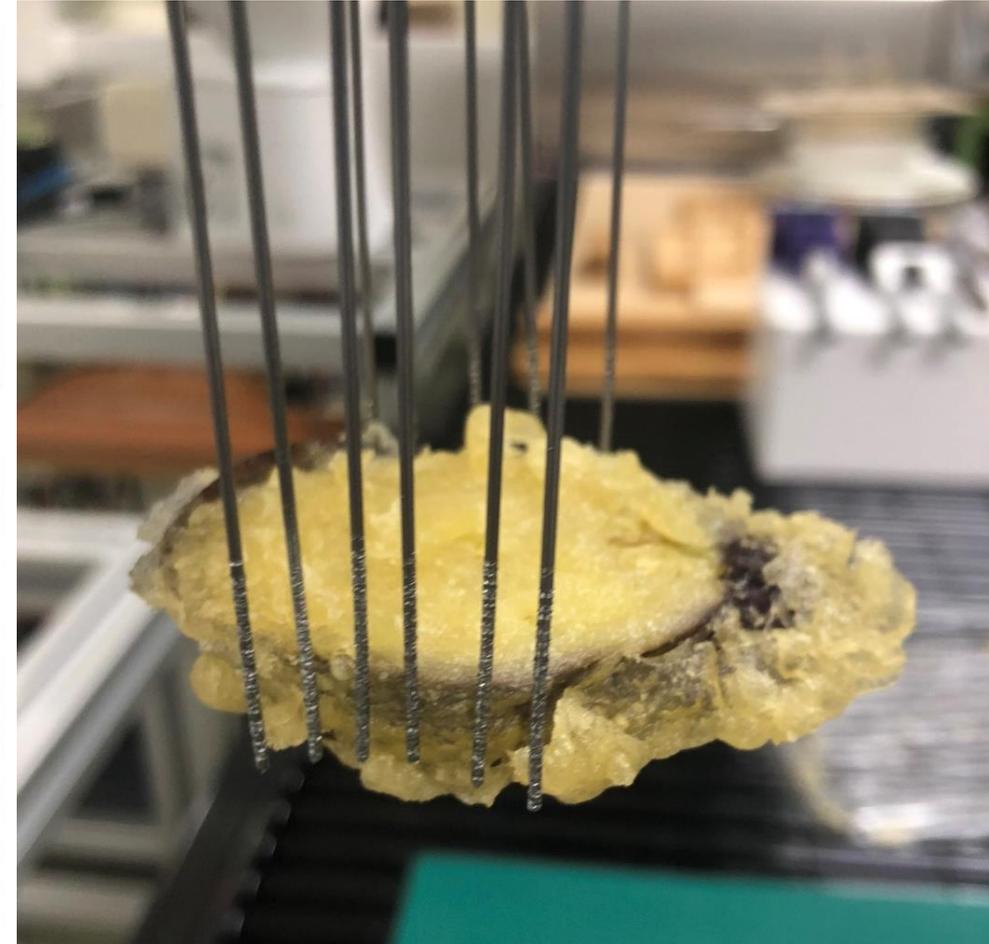
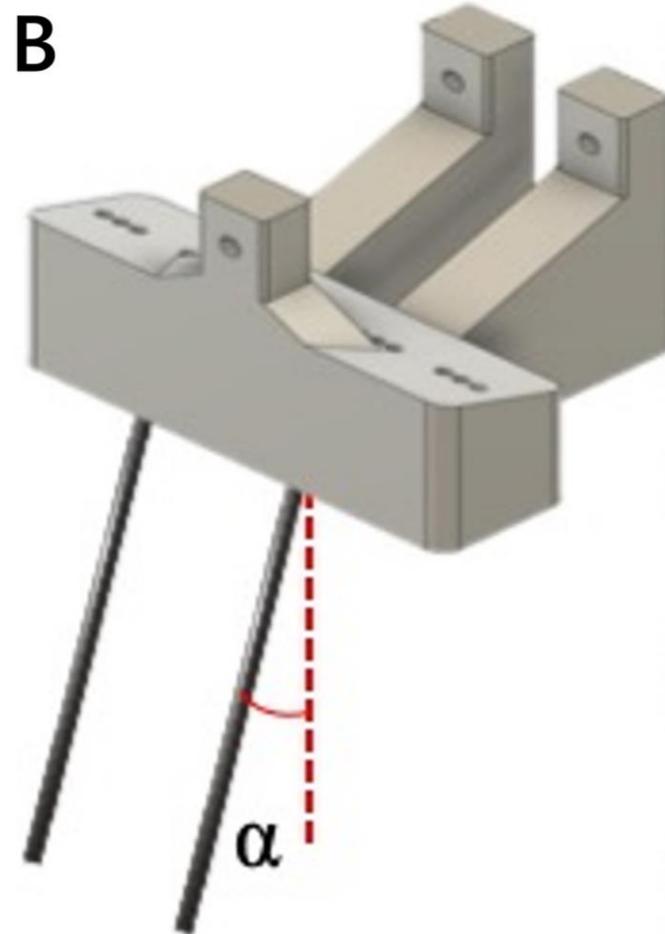
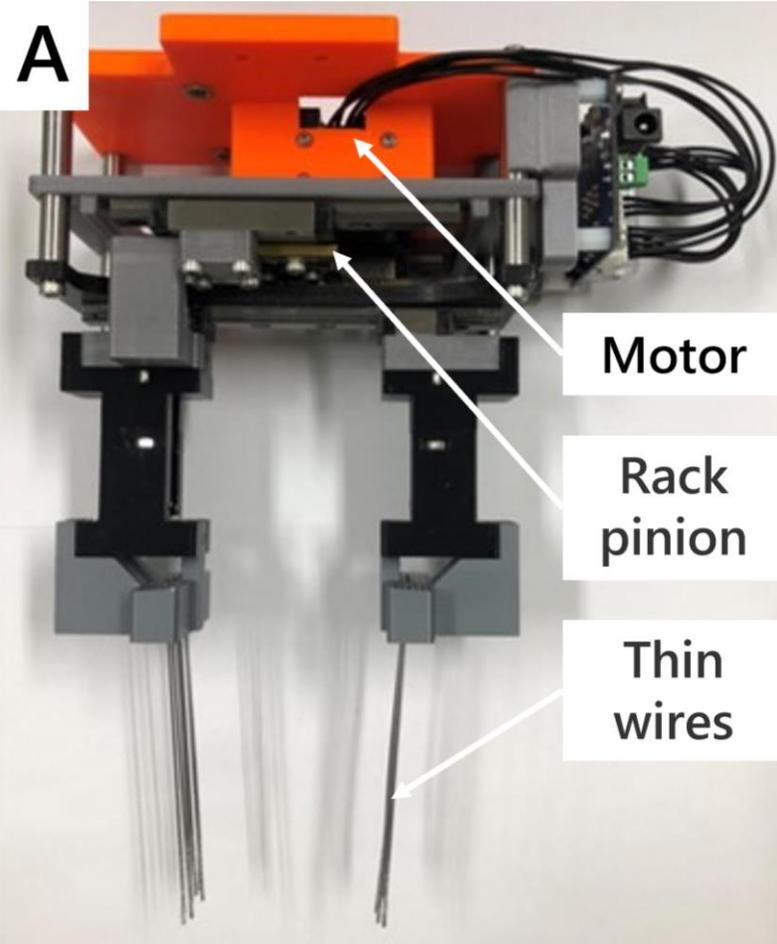
低い把持力でも3点
接触を確保できる



エビ天ぷらの把持

有田輝ら, 日本ロボット学会学術講演会, 2021

天ぷら自動盛り付けシステム—エンドエフェクタ 2



エンドエフェクタ構造

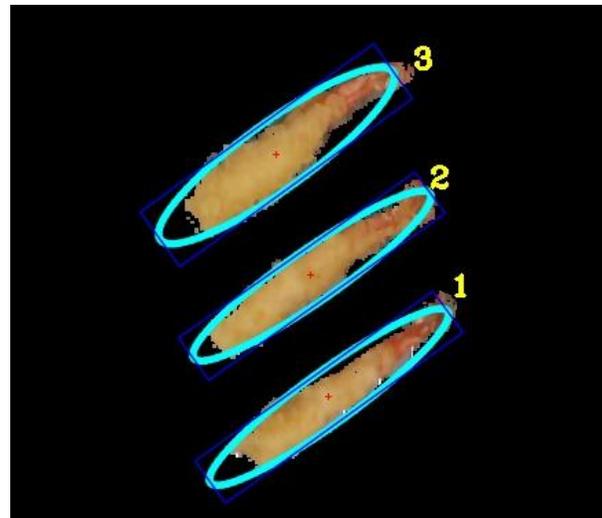
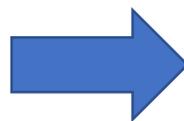
把持様子

天ぷら自動盛り付けシステム—認識

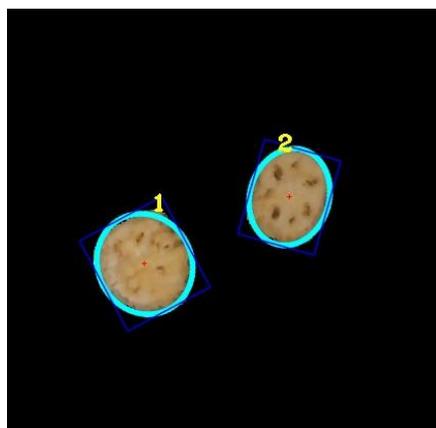


写真撮影

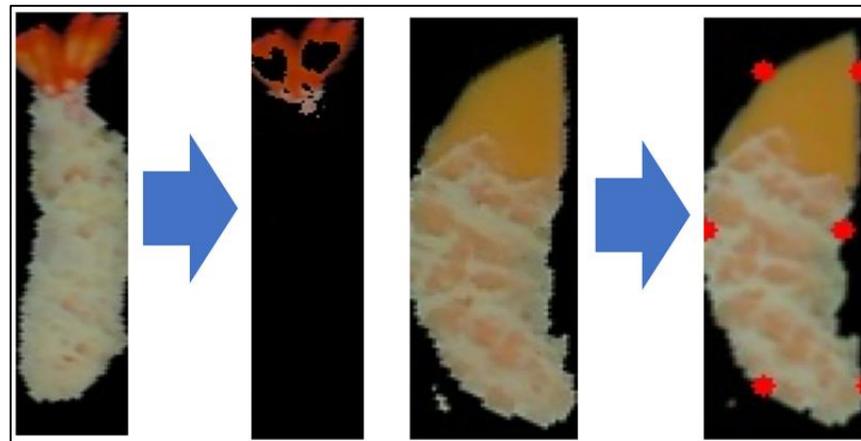
デプス情報を用いて背景を除く



天ぷらの抽出と楕円近似



レンコンとシシトウの認識



エビの尻尾とカボチャ向きの認識

天ぷら自動盛り付けシステム—実験動画 1



天ぷら自動盛り付けシステム—実験動画 2



実験動画

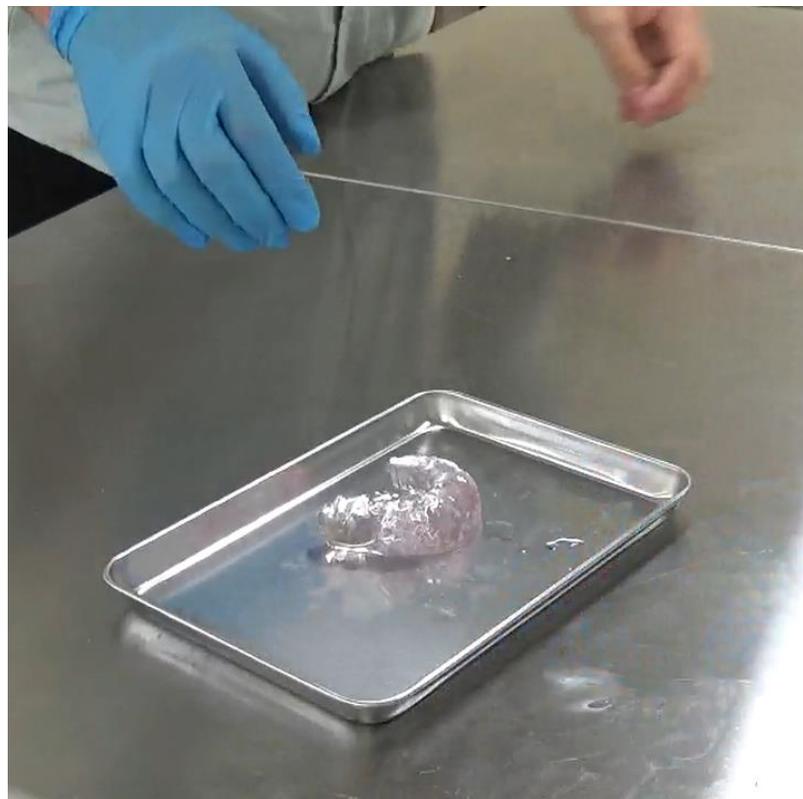


目標盛り付けイメージ

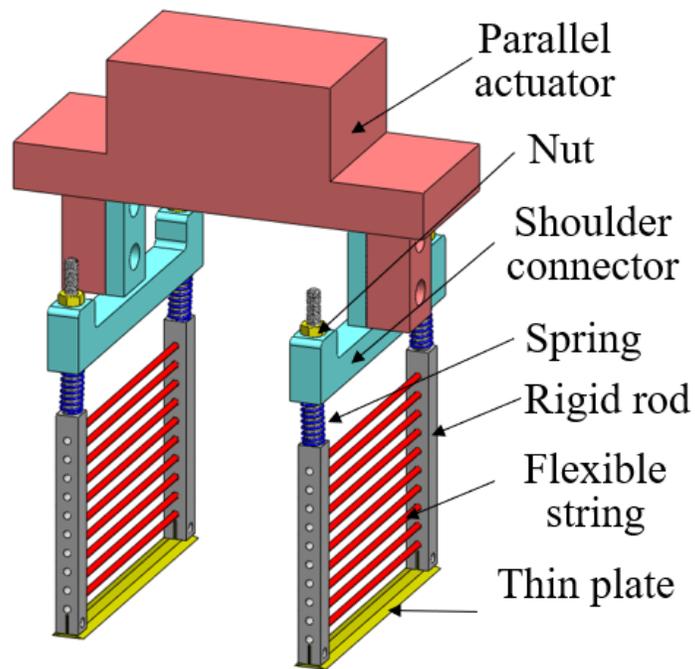


実際の盛り付け結果
盛り付け時間：約1分

滑りやすい食品用掬い込みハンド

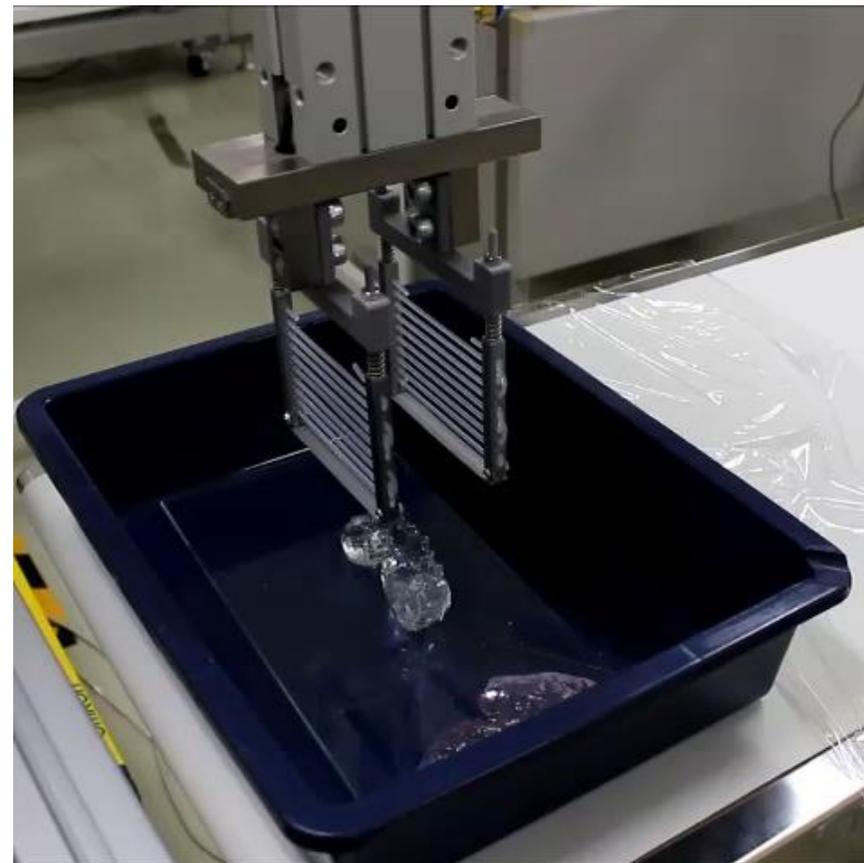


ゲルサンプル(タコの足)の把持
(サンプルは山形大学古川研のご提供)



Gripper design

掬い込みハンド



掬い込みハンドでの把持

ゲルクラゲの把持実験



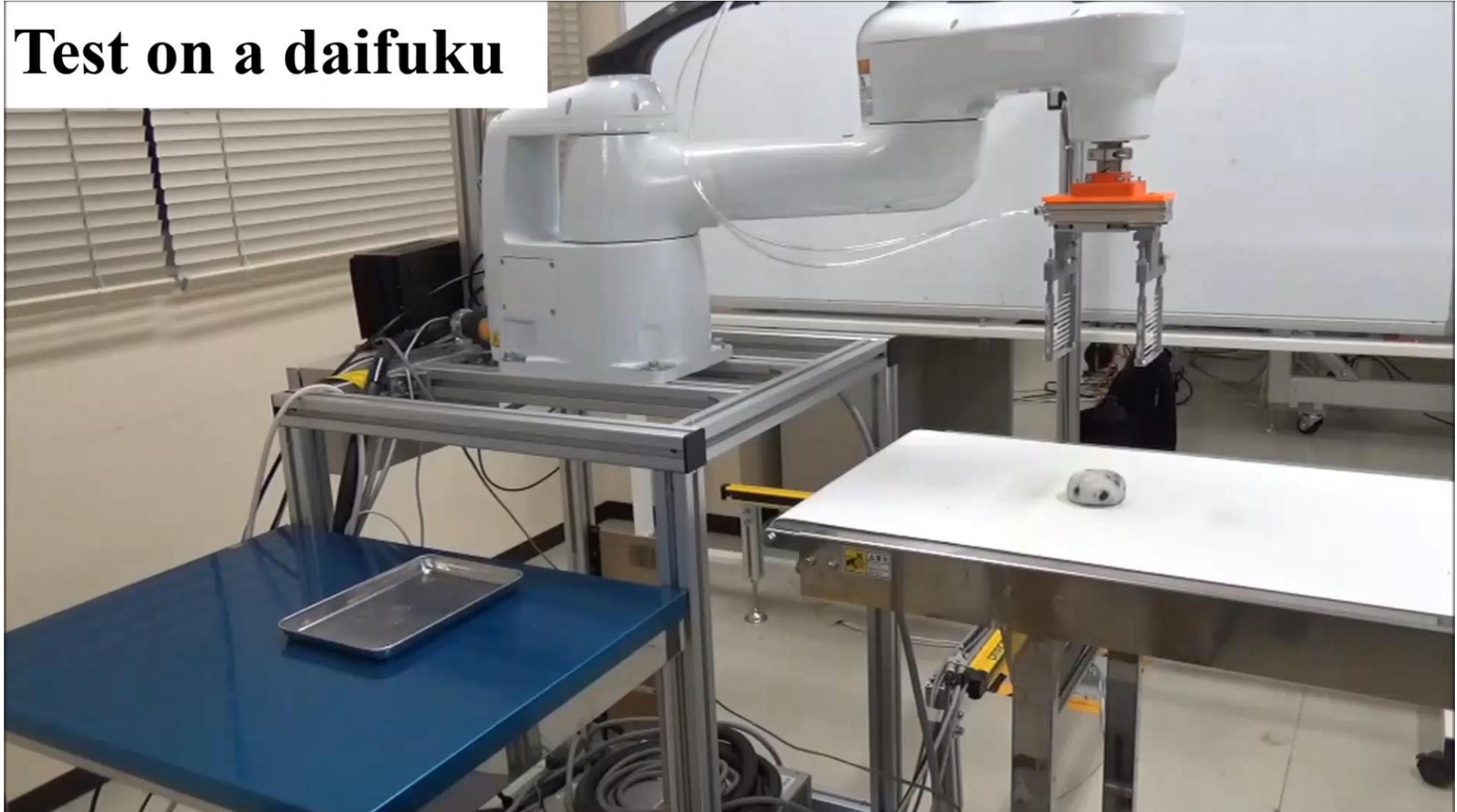
ゲルクラゲ

(サンプルは山形大学古川研のご提供)



様々な食品の把持実験

Test on a daifuku



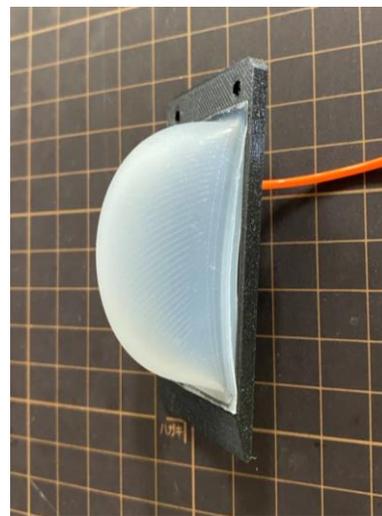
キュウリ自動箱詰めシステム



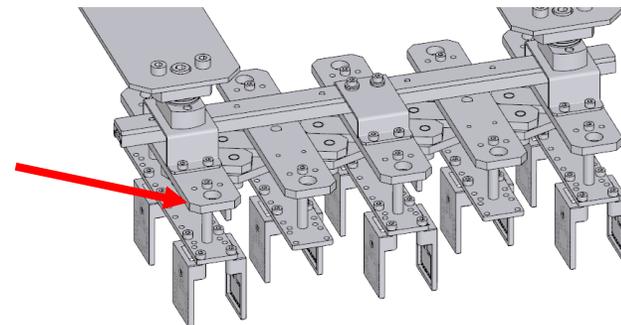
吸着の失敗例



試作したシエルグリッパ

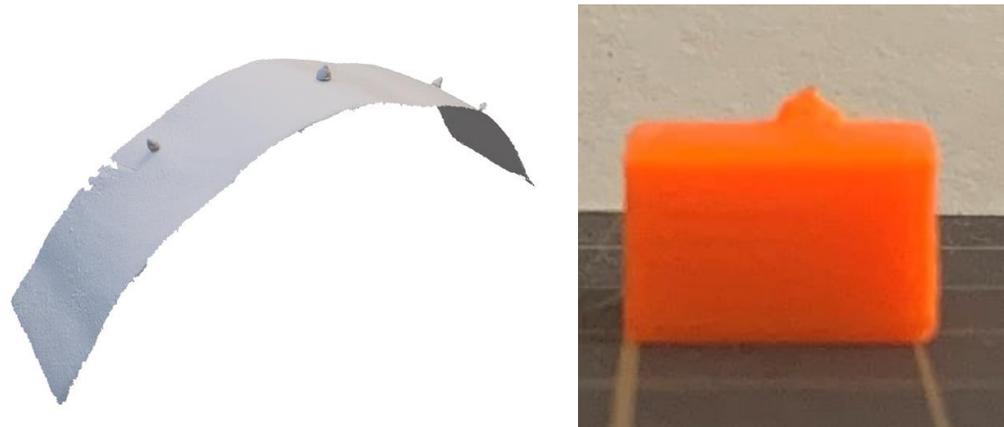


5本キュウリ
把持用ハンド

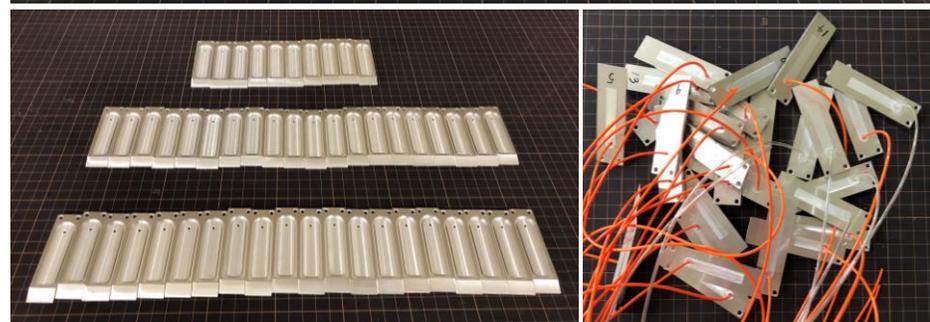
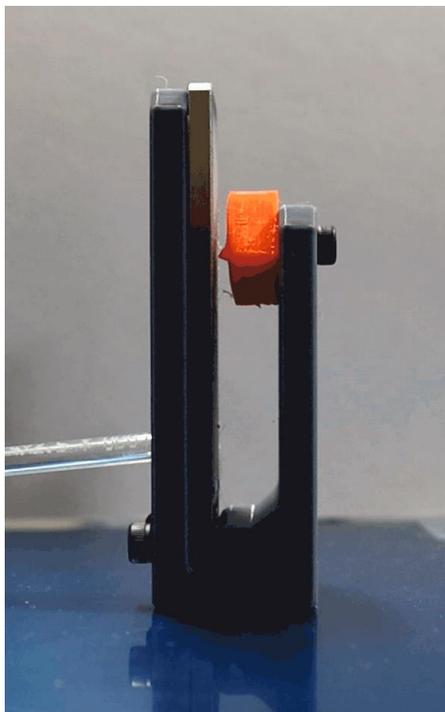


5本キュウリの把持実験

キュウリ自動箱詰めシステム—耐久試験



キュウリとげのサンプル



12本キュウリ箱詰め用ハンド

材質	SUS304		
印加圧力 [kPa]	18	16	14
ふくらみ量 (算出値) [mm]	9.75	8.77	7.78
耐用回数	15015	16779	10万回以上

キュウリ自動箱詰めシステム—実証実験

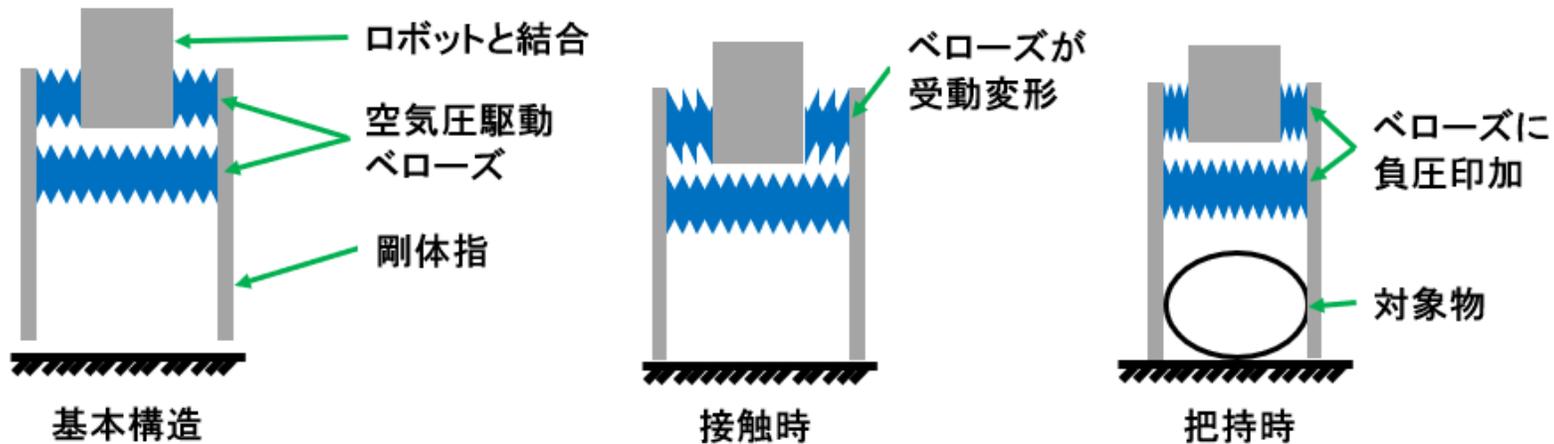


根菜類把持用ロボットシステム

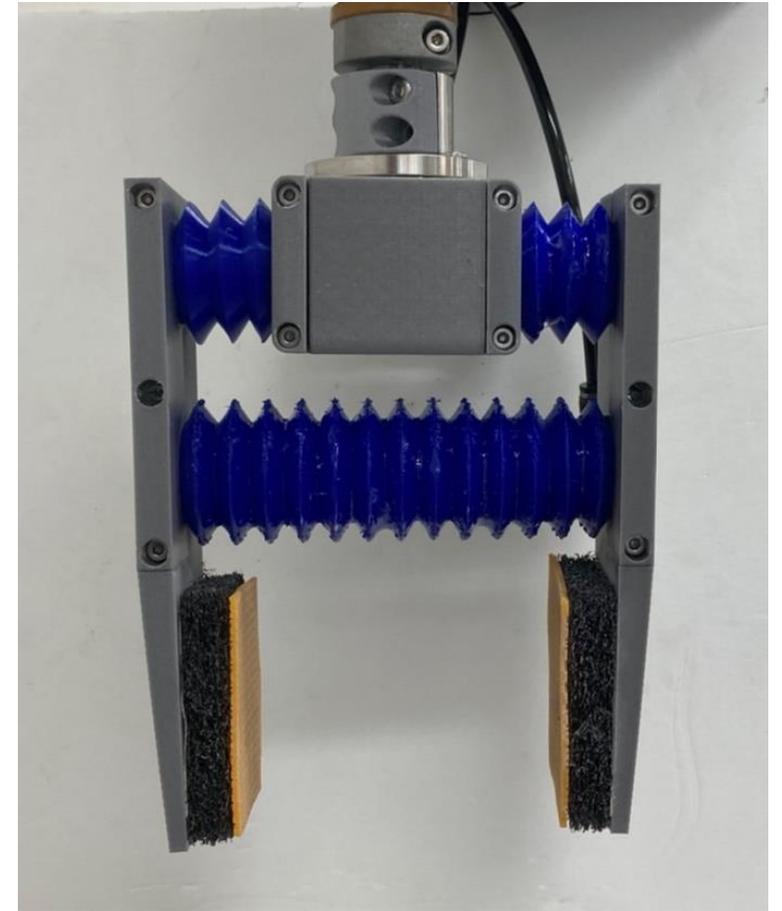
要求仕様

- (1) 防水加工が必要なく、水没可能
- (2) 接触時の衝撃力を低減可能
- (3) 可搬重量が2kg程度
- (4) 高速動作が可能
- (5) 軽量
- (6) 十分な把持力を発生可能

提案構造：複数のベローズを介してロボットアームと接続されるエンドエフェクタ



上記のエンドエフェクタを開発し、根菜類運搬動作を行う。

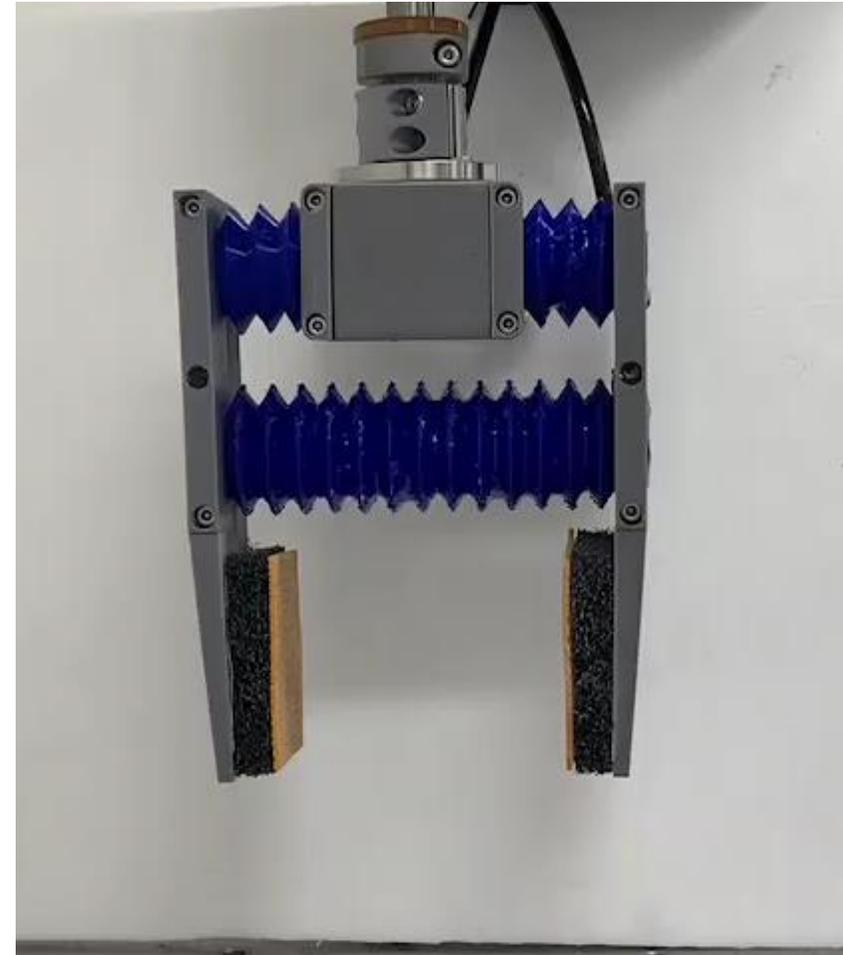


根菜類把持用ロボットシステム—動作特性

上部負圧，下部正圧印加



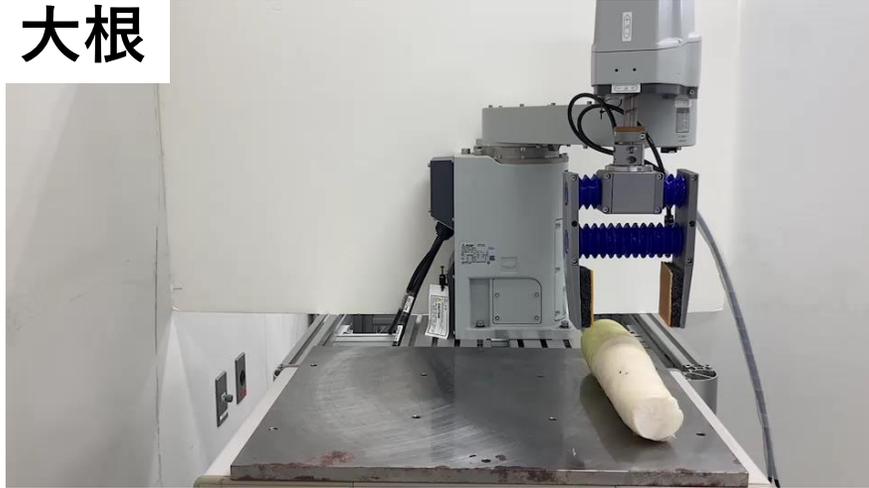
上部負圧，下部負圧印加



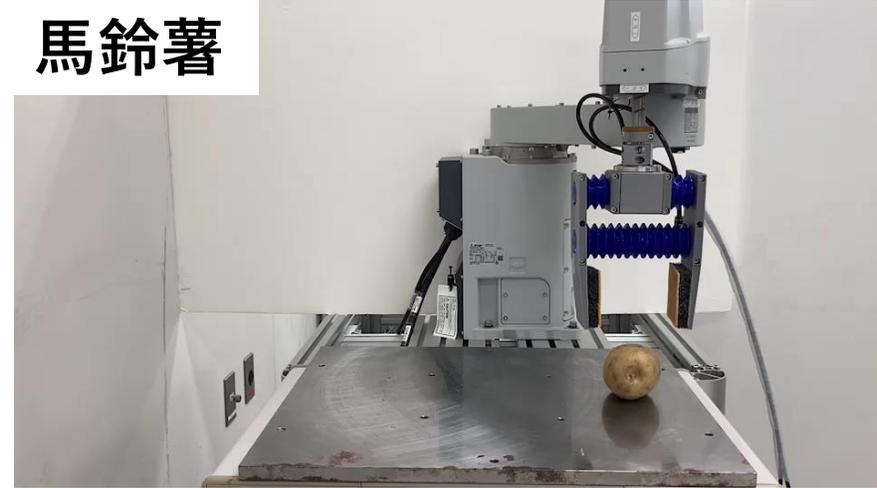
根菜類把持用ロボットシステム—把持実験

最大速度約1200mm/s

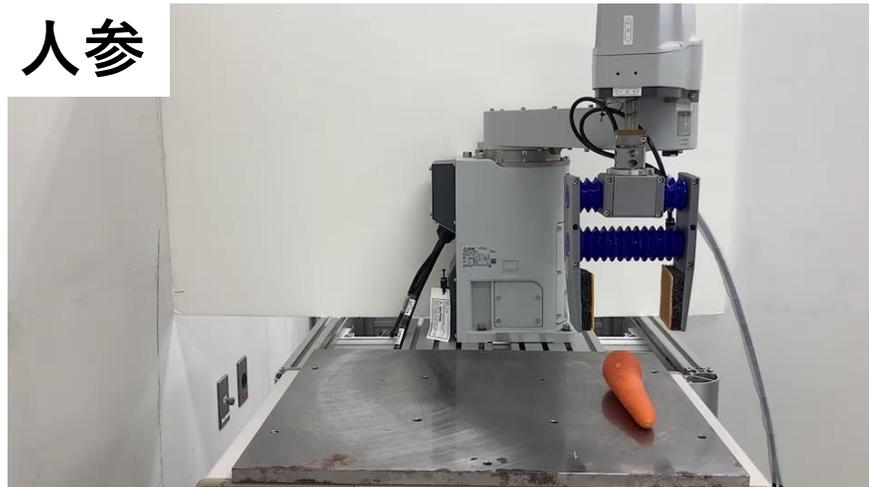
大根



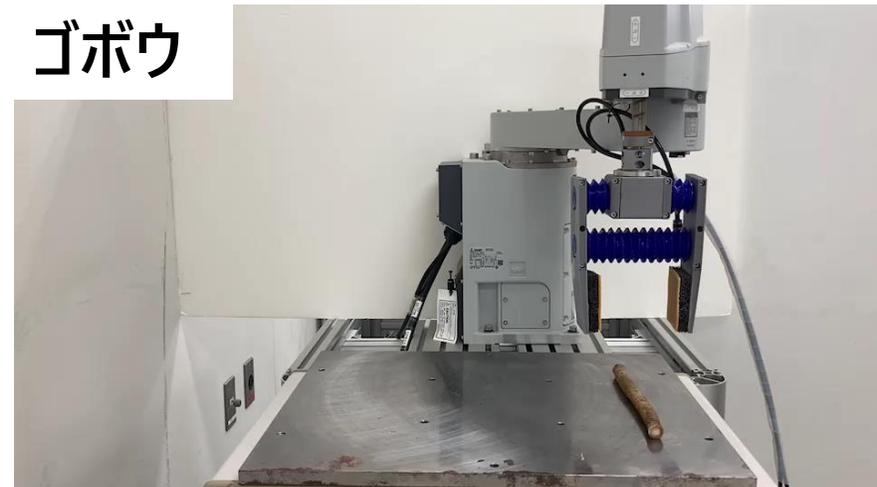
馬鈴薯



人参

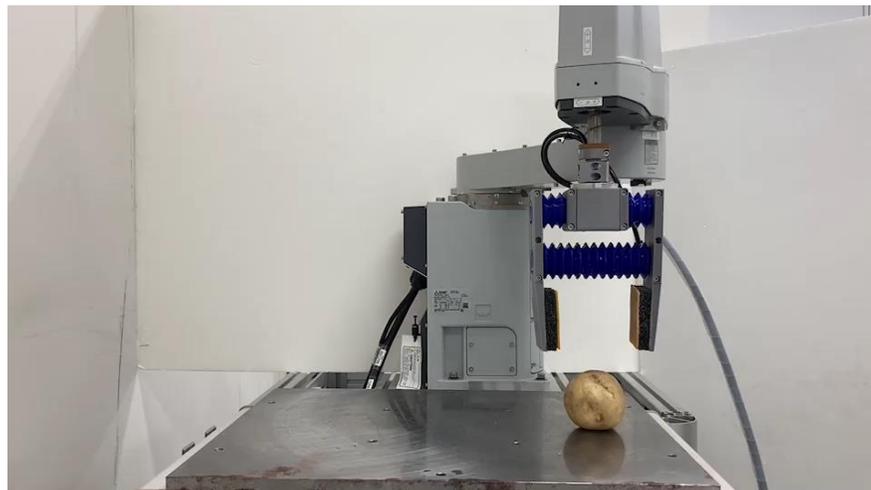


ゴボウ

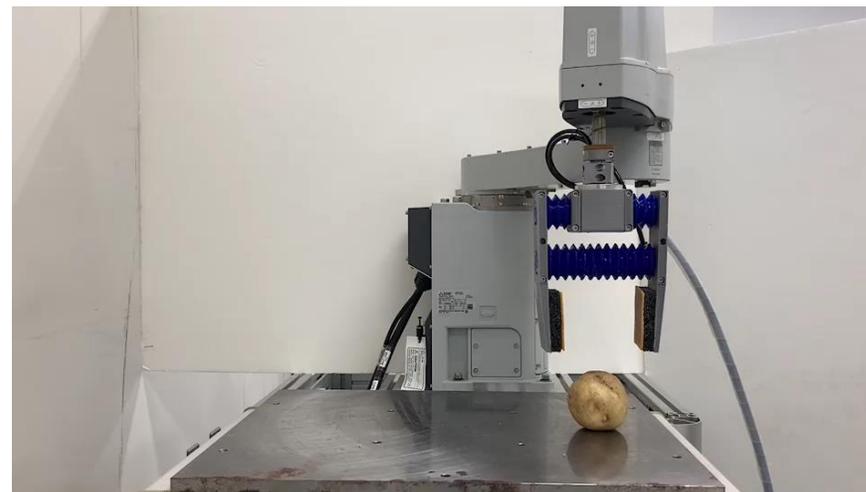


接触を伴う把持実験

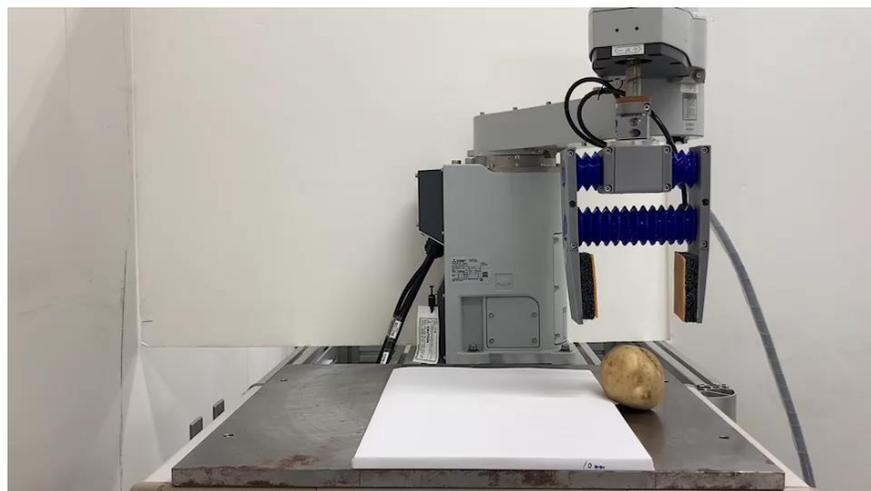
エンドエフェクタが鉄板に接触



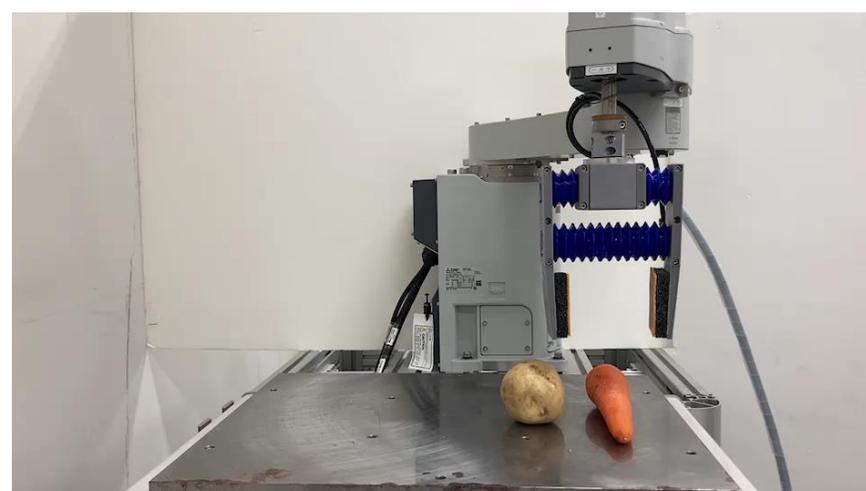
馬鈴薯が鉄板に接触



エンドエフェクタが段差(10mm)に接触

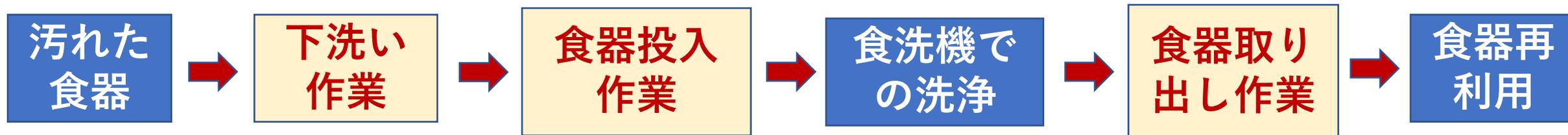


エンドエフェクタが馬鈴薯に接触



食洗作業自動化システム

食器洗浄作業の流れ:



大学生協食堂での作業様子:



食器下洗い作業

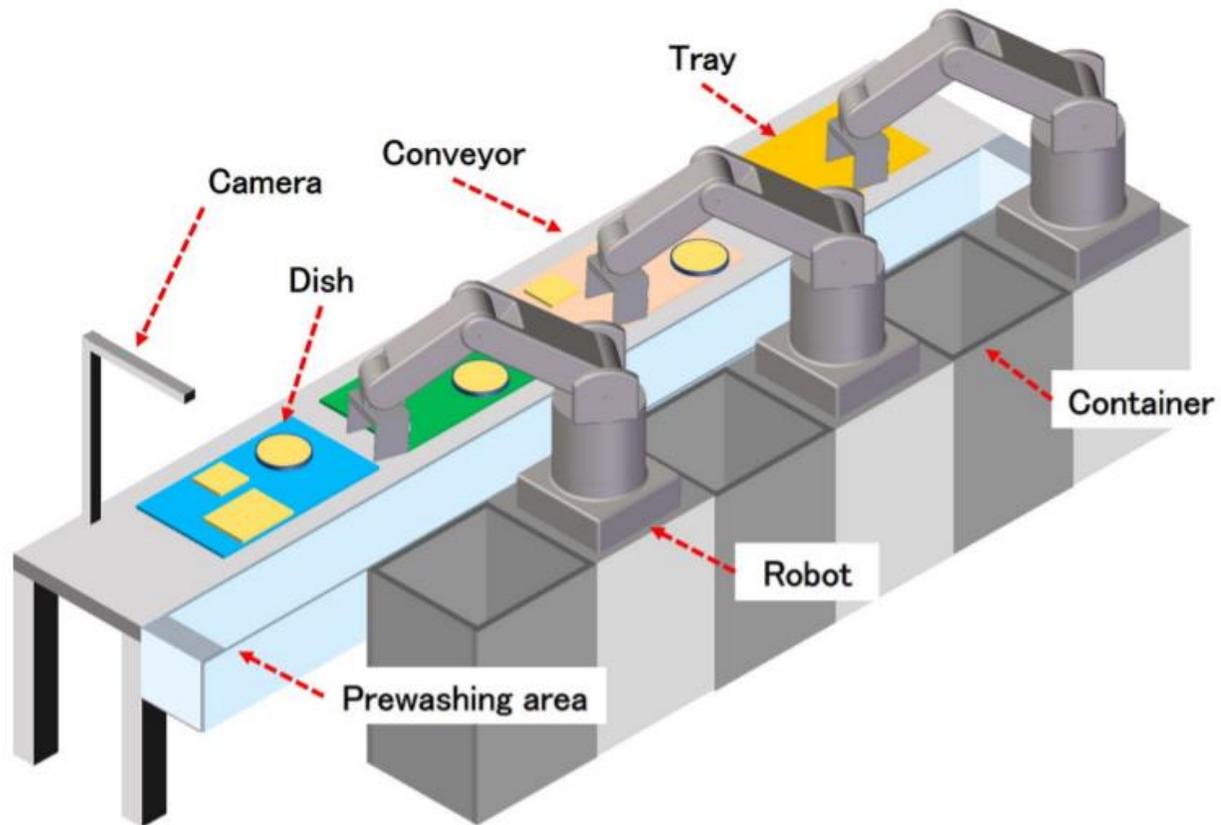


食器投入作業

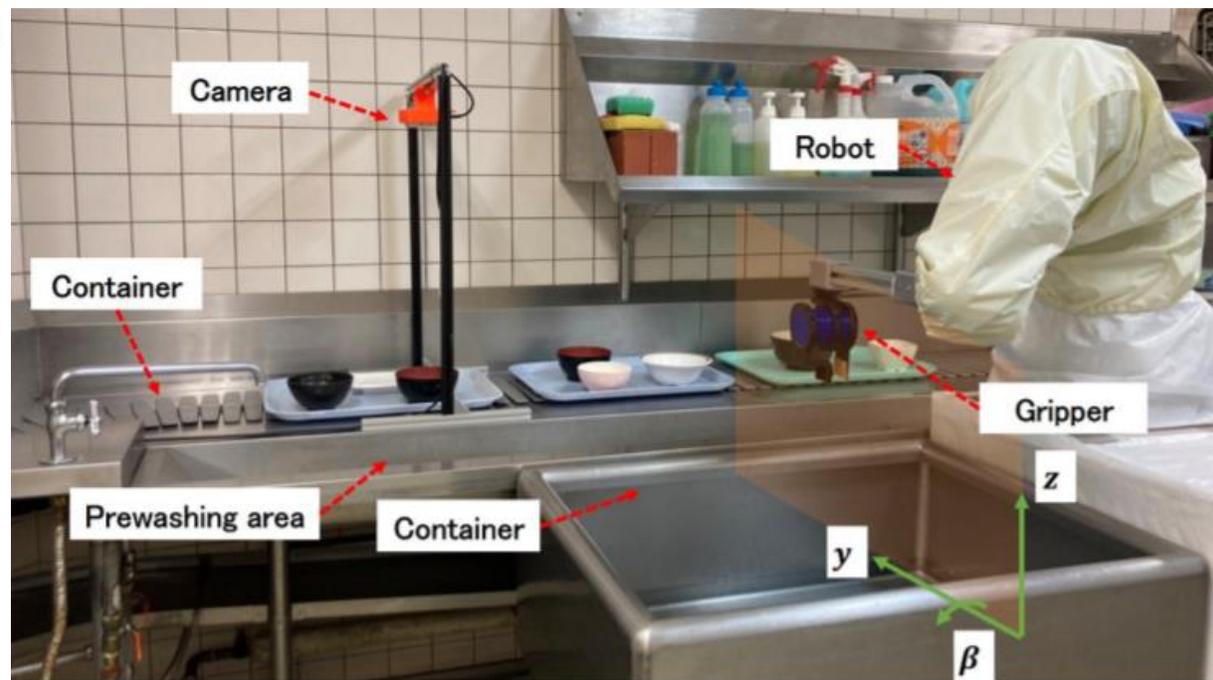
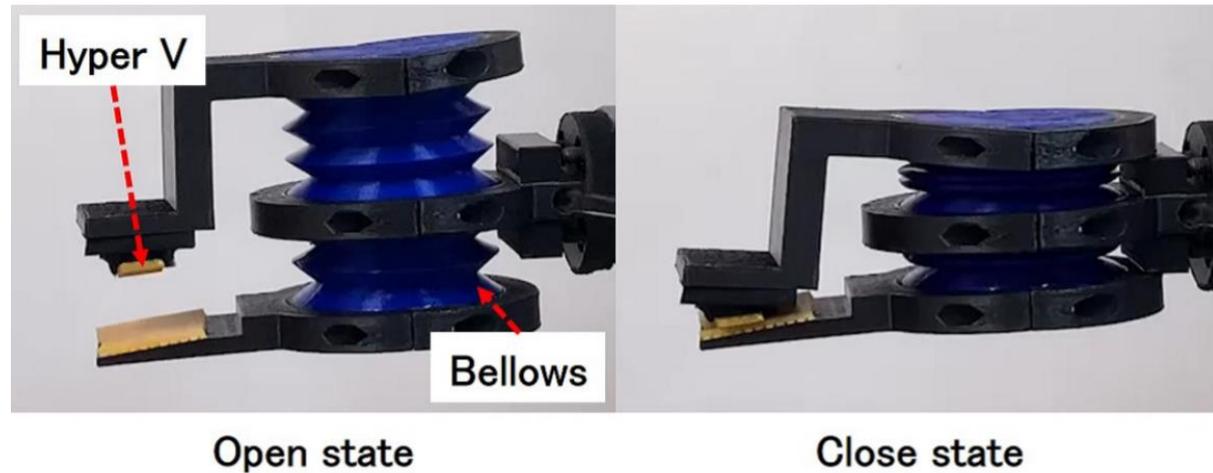


食器取り出し作業

食器下洗いシステム



下洗い作業自動化イメージ



大学生協食堂での実証実験



食器投入用エンドエフェクタ

動作の流れ：



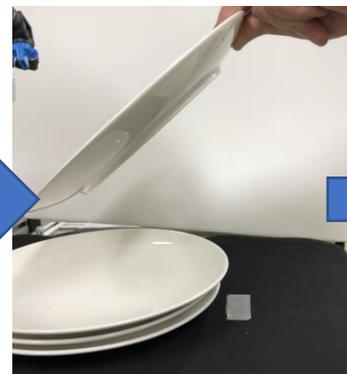
重なる食器



食器の引き出し



食器の把持

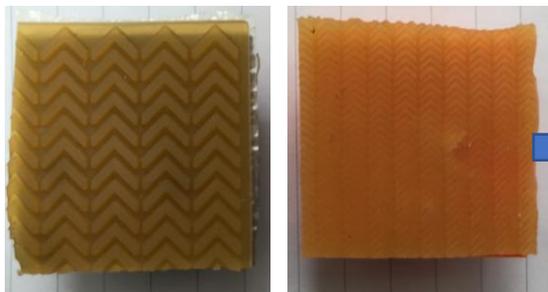


食器の運搬

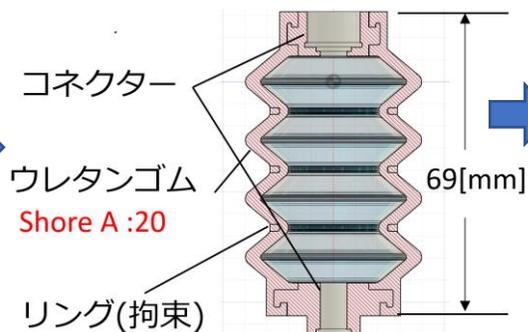


ラックに設置

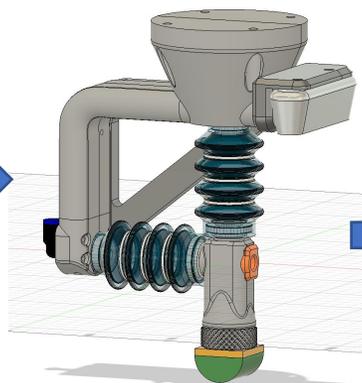
必要ロボット要素：



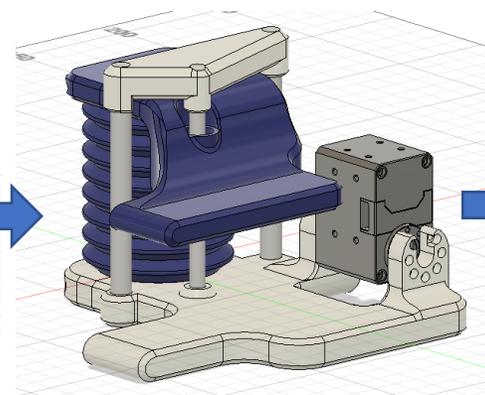
摩擦向上材



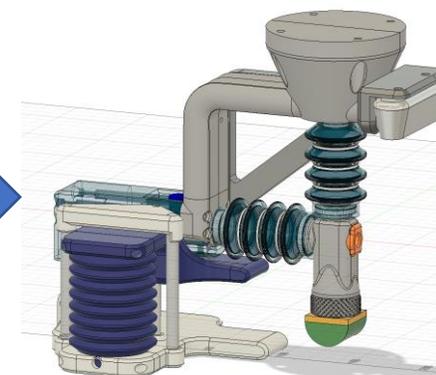
ベローズアクチュエータ



引き出し機構

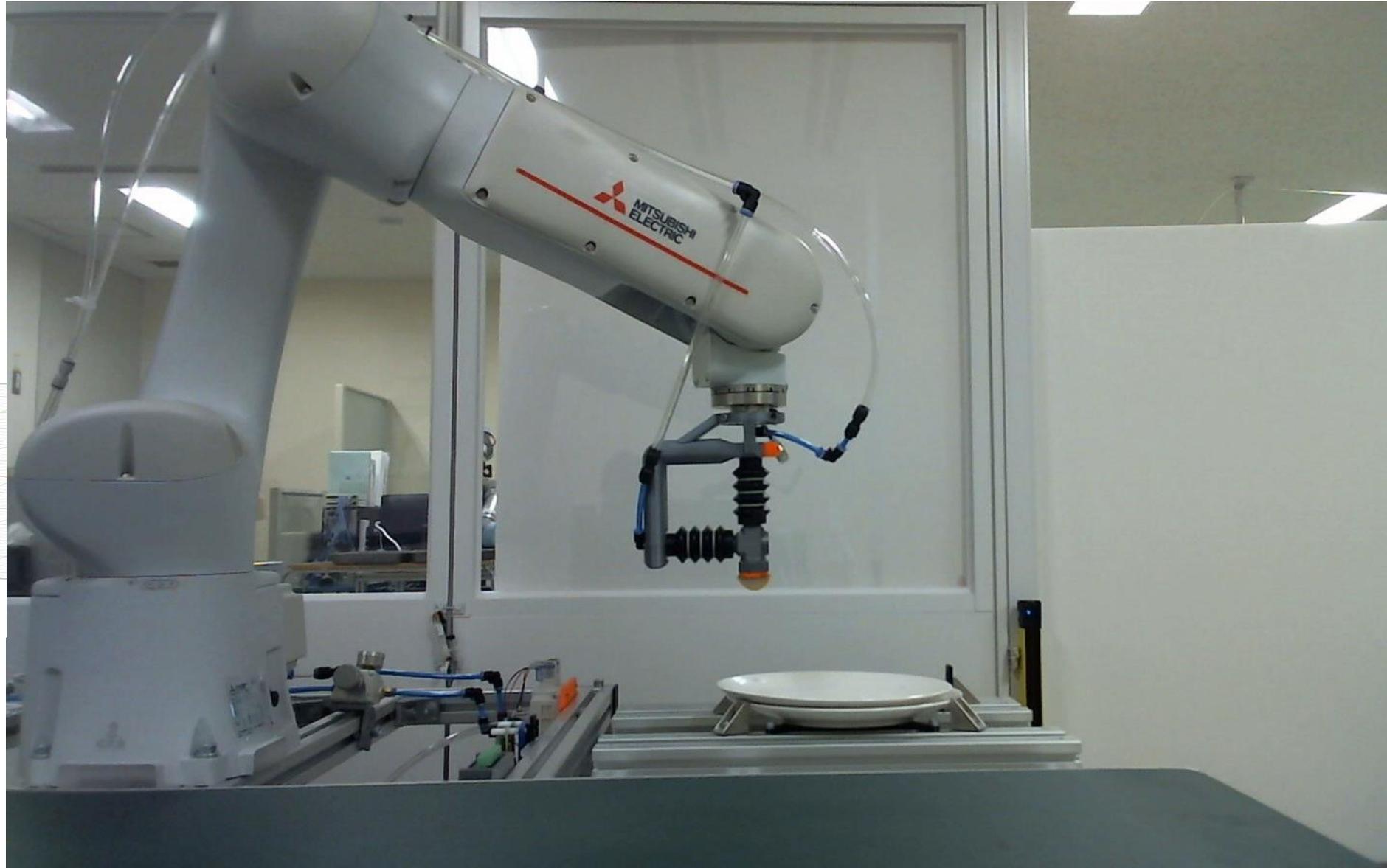
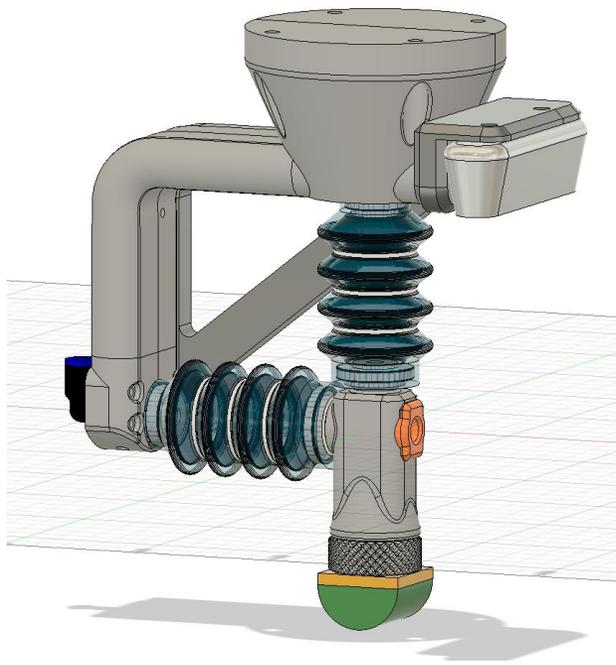


把持機構

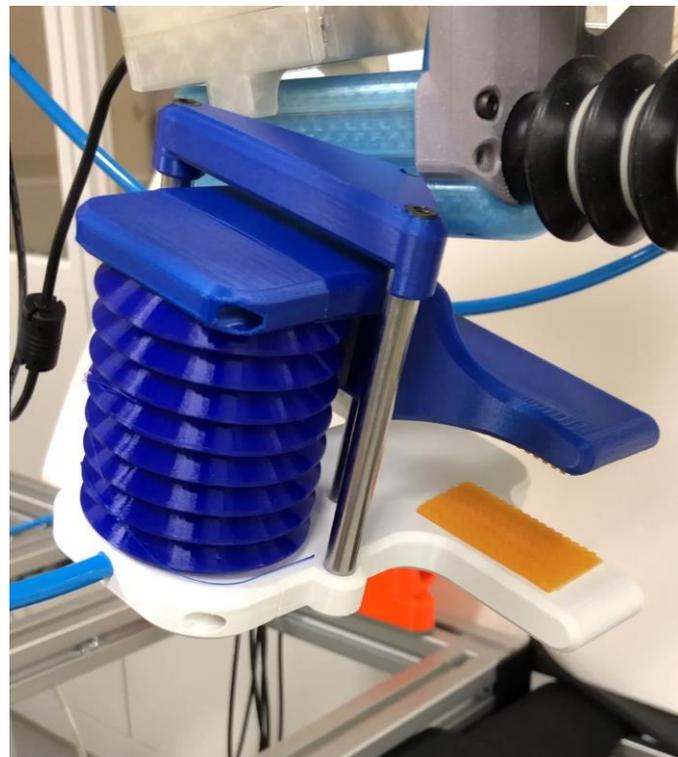
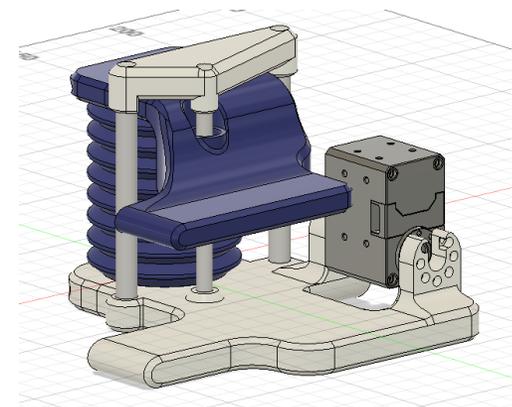


ロボットハンド

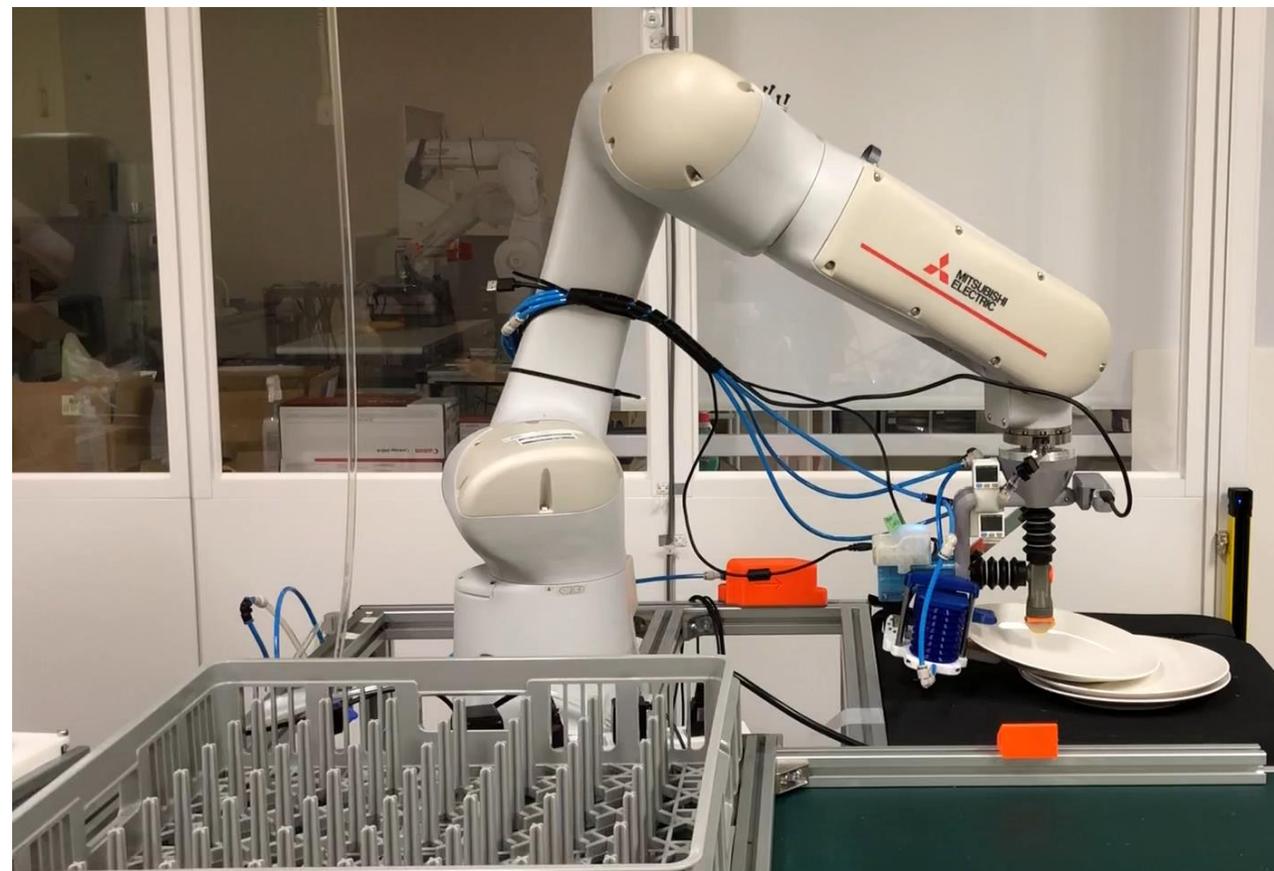
引き出し機構



把持機構

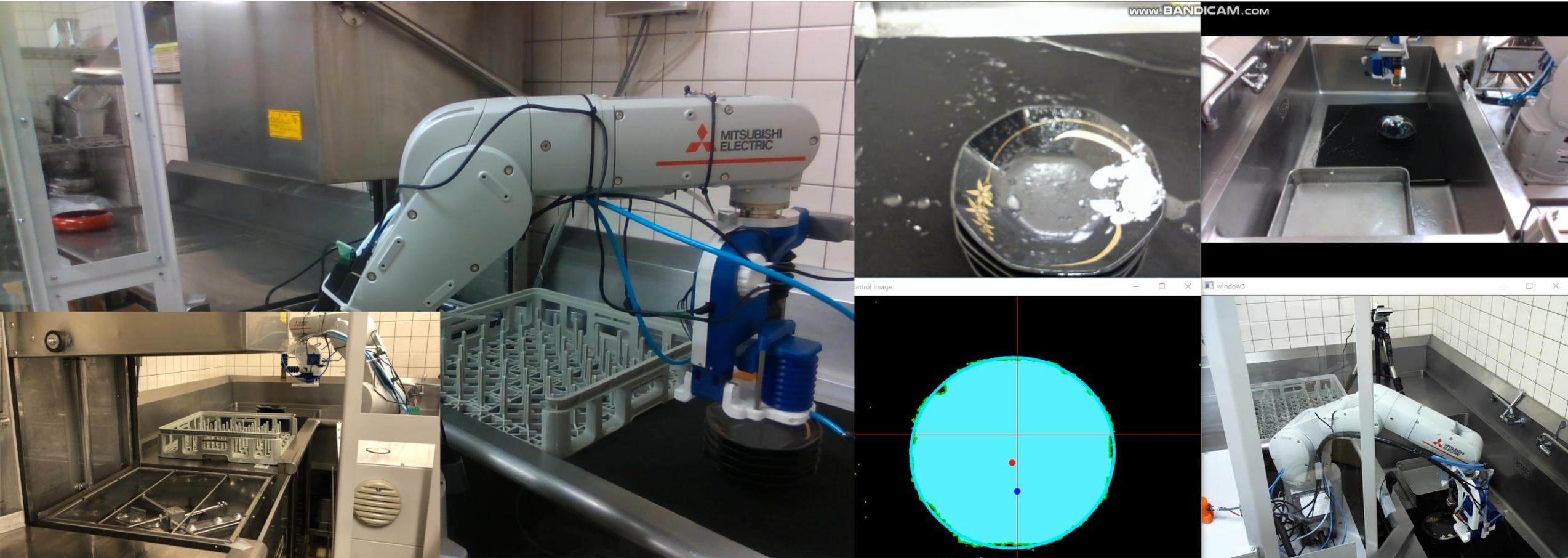


把持動作



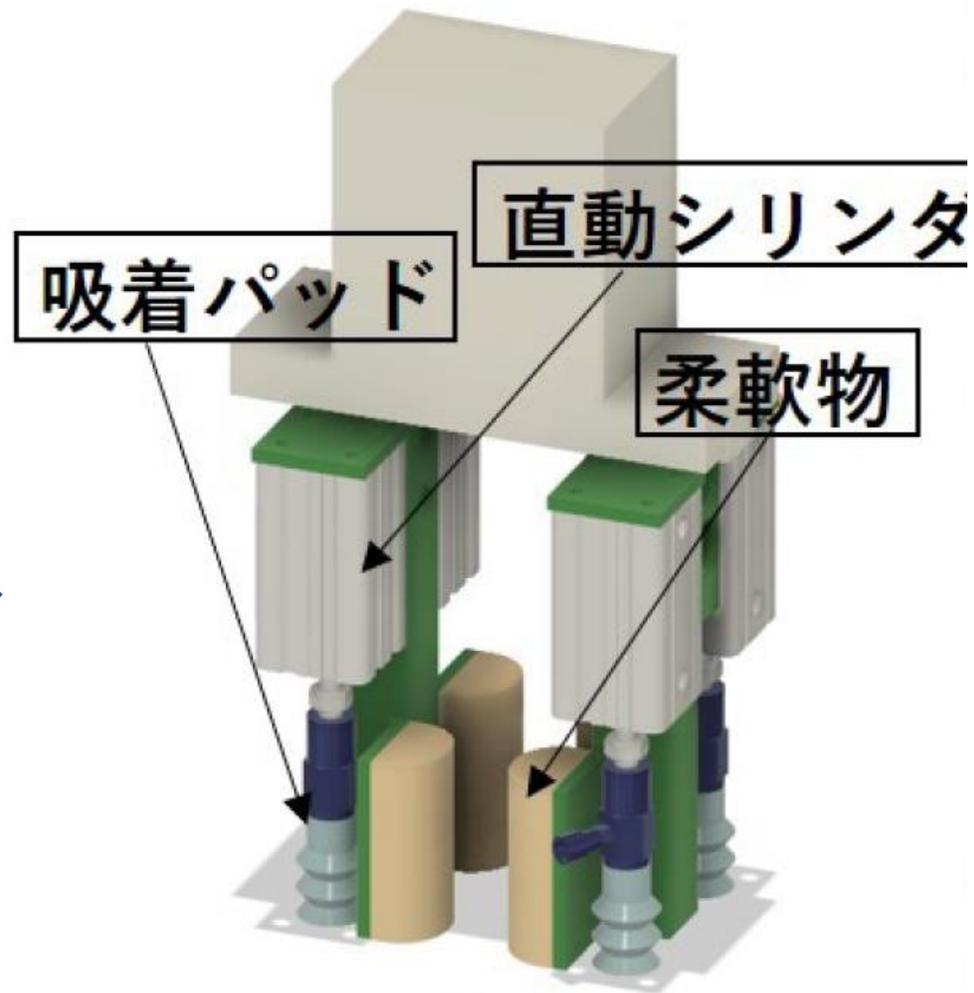
引き出し後の縦置き実験

生協食堂での実証実験



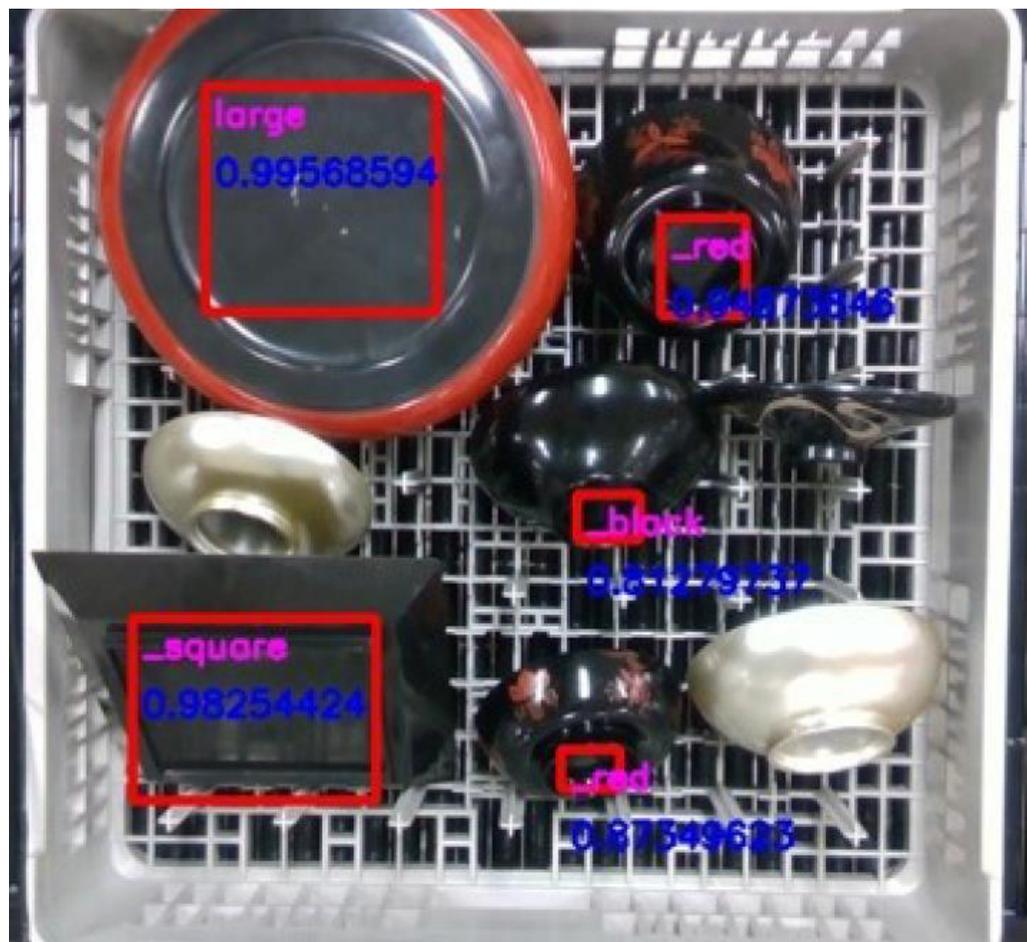
食器取り出し用ロボットシステム

レストランでの
食器洗浄後
の様子



吸着と掴む両機能を持つロ
ボットハンド

食器認識

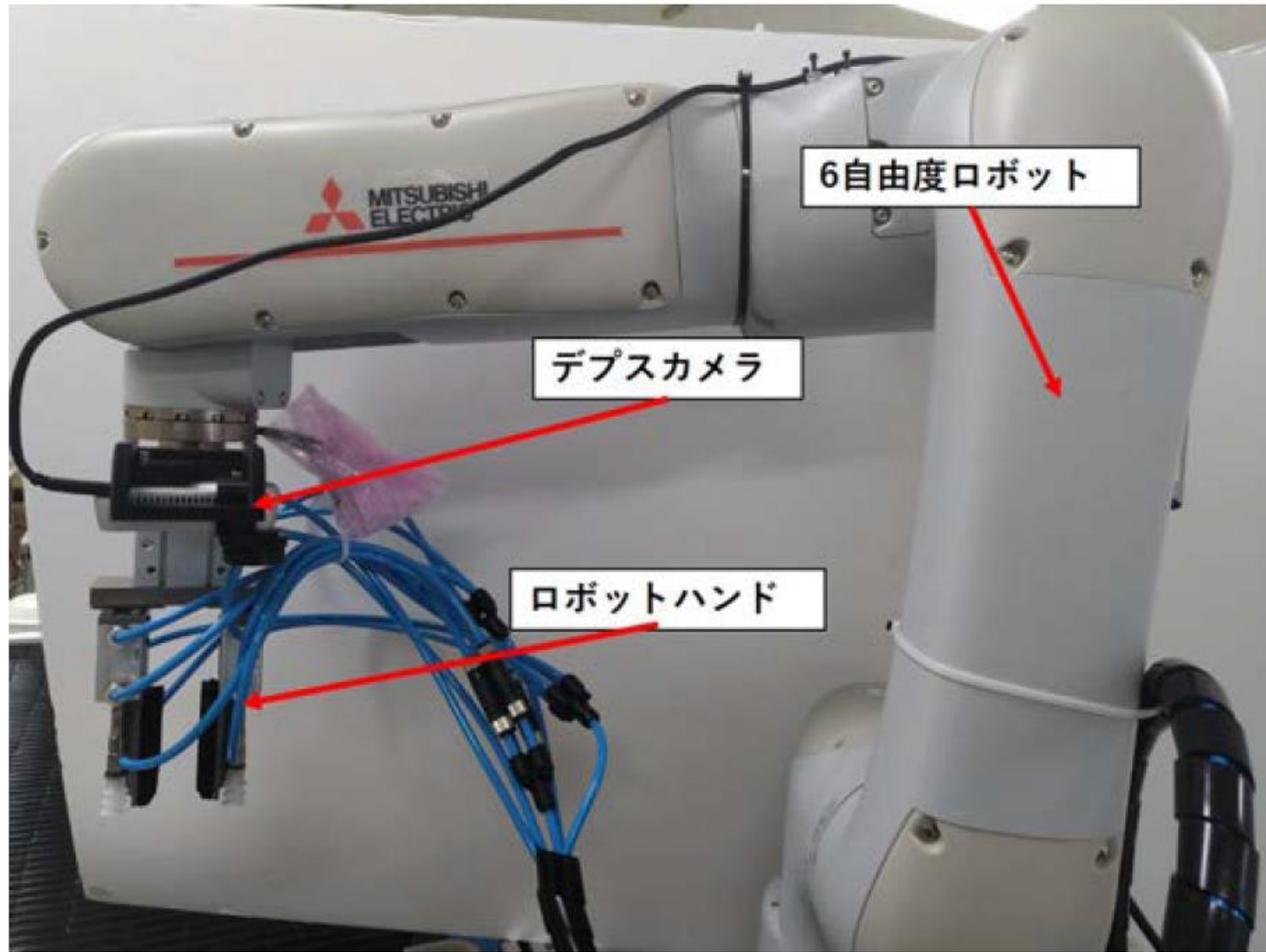


食器識別

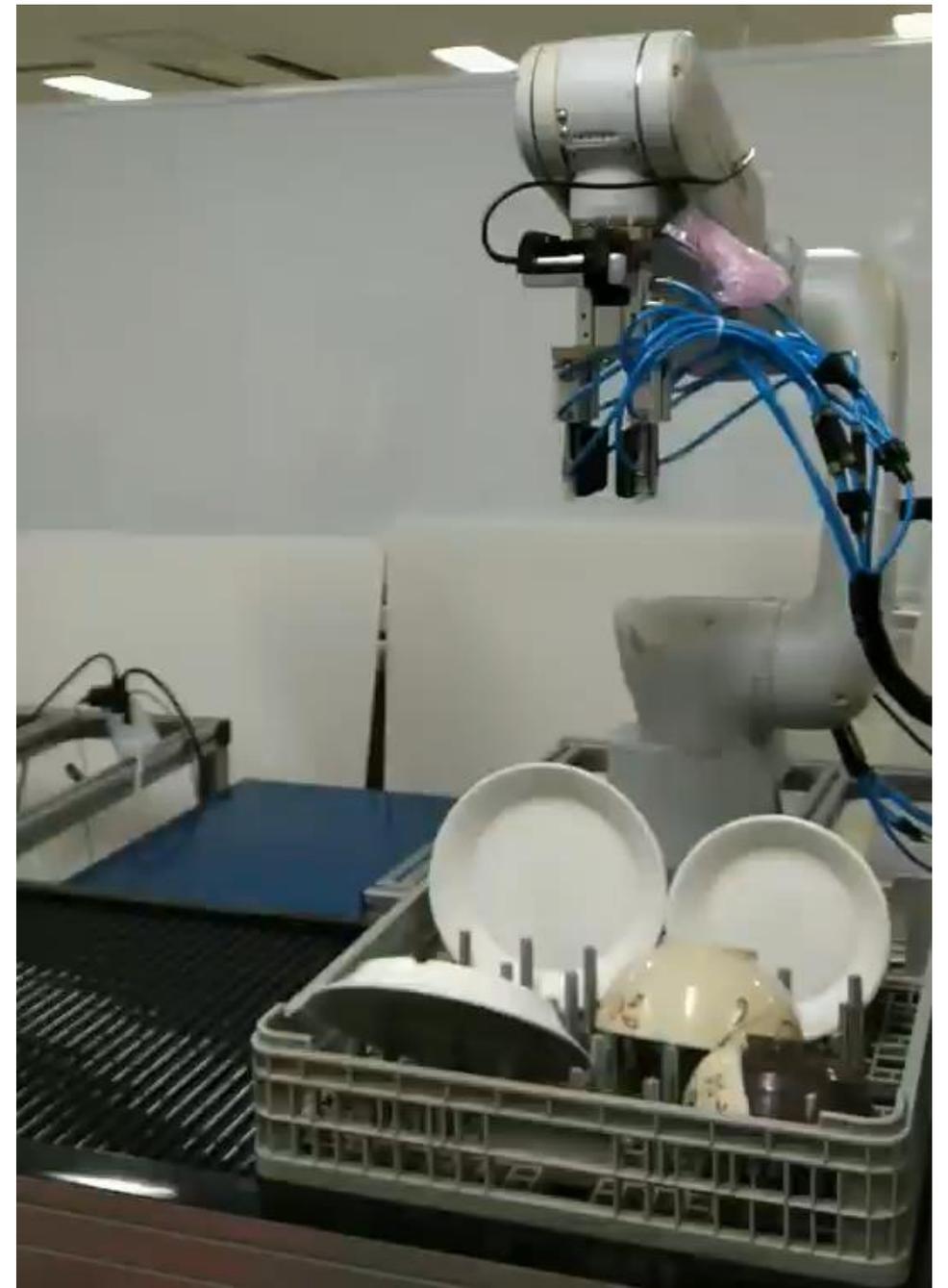


把持位置と姿勢の推定

食器取り出し実験



ロボットシステム



第1部

ロボットシステムインテグレーション (複数要素技術の統合)

システムインテグレーション

ロボットシステムの構築或いはシステムインテグレーション（SI）とは

ロボットと様々なFA機材（専用機械、電子部品、製造装置など）を統合し、1つのシステムとして仕上げさせ、エンドユーザの望む自動化を実現することである。

FA = Factory Automation SI = System Integration

SIを行う人たちや事業者は、

「システムインテグレータ（Sler）」と呼ぶ

Sler = System Integrator



F A ・ ロボットシステムインテグレータ協会

(Japan Factory Automation & Robot System Integrator Association)

平成30年7月創設
登録会員：201

なぜSlerが必要？

ロボット・関連機器のメーカー

各種ロボットの提供
各種デバイスやオプションの提供
システム構築用機能の提供



要素

500万

+

システムインテグレータ (Sler)

エンドユーザの要望を実現する
システムの提供

ベストフィットソリューション実現の
ために、メーカーの供給するマルチ
ソリューションを組み合わせ、
最適なシステムを構築する

500万

=

エンドユーザ

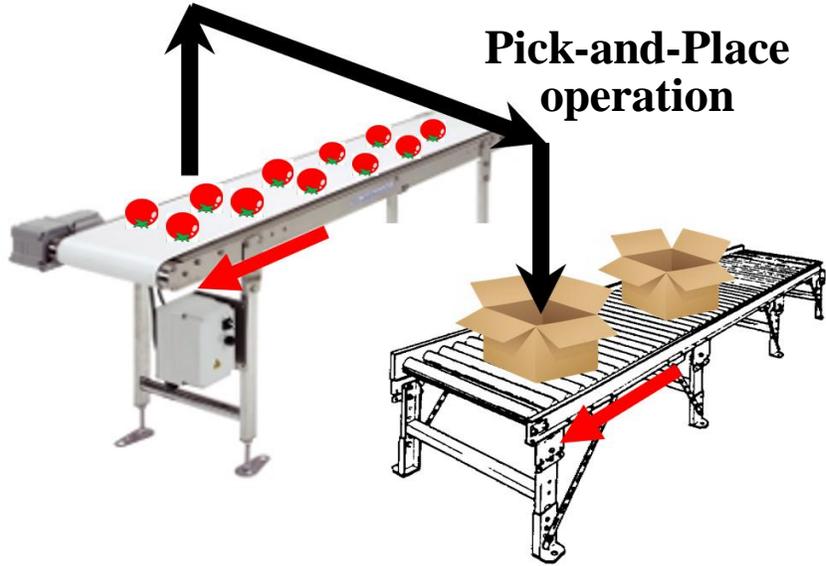
様々な目的でシステムを
利用する



システム

1000万 + α

実装例紹介（食品自動箱詰めシステム）



食品自動箱詰め作業イメージ

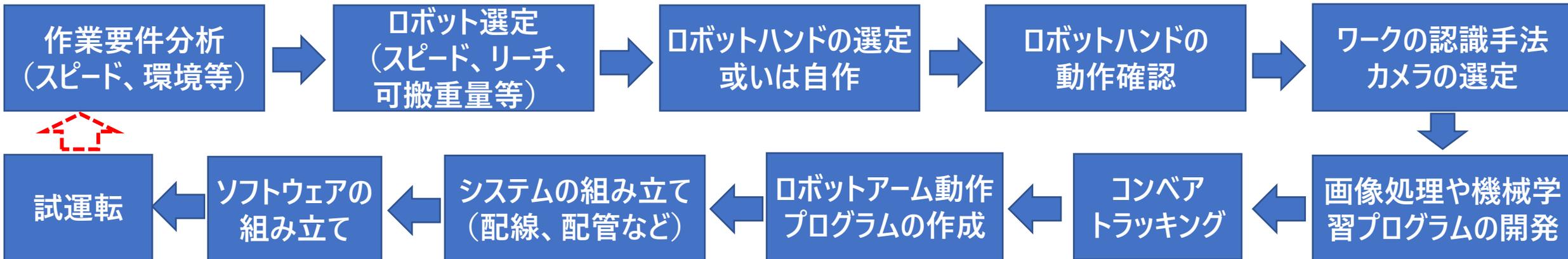
作業要件

- ・対象物：トマト
- ・生産能力：3000個/時間
- ・コンベアで整列される
- ・スペース：3m×3m
- ・予算：1000万円

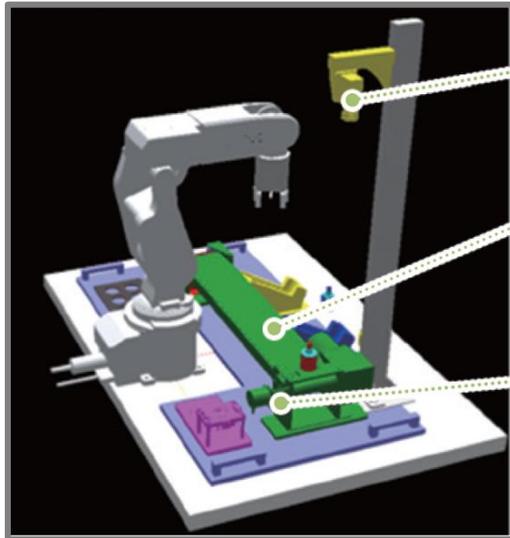
作業分析

- ・ロボットハンドを工夫する
- ・タクトタイム：約1.2秒
- ・認識：2D画像処理
- ・ロボット1台？

システム構築の流れ



コンベアトラッキング

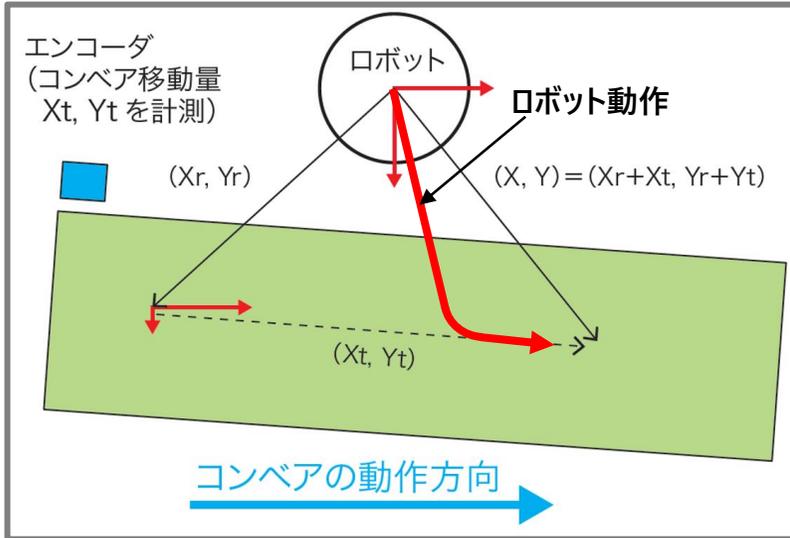


ビジョンカメラ

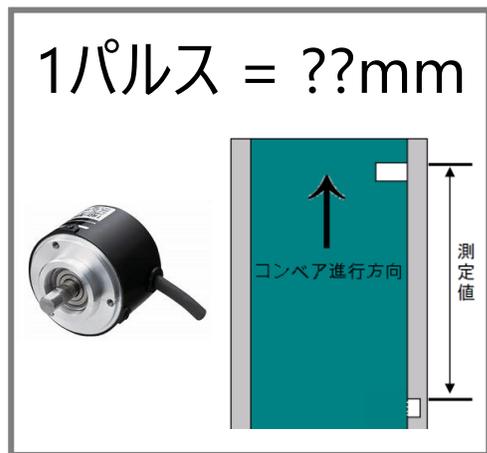
コンベア

エンコーダ

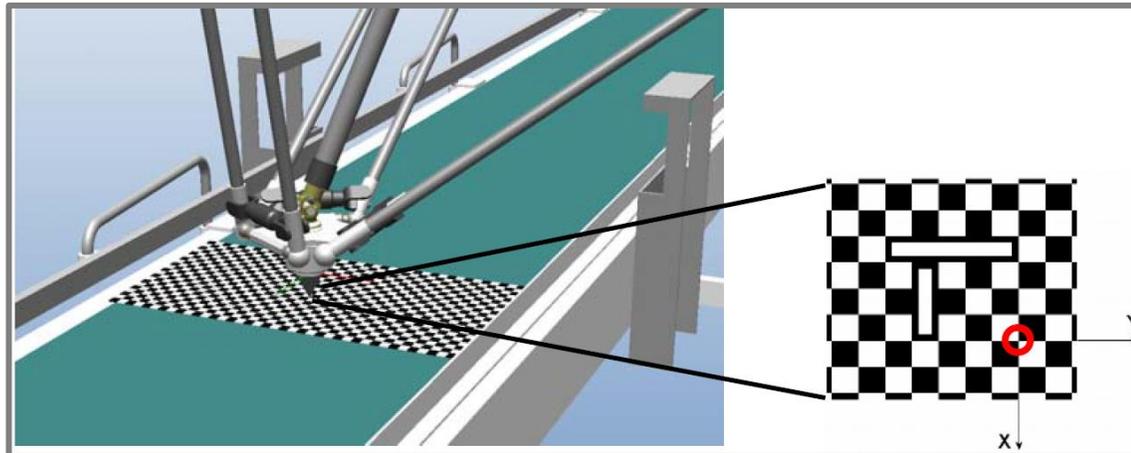
ビジョントラッキング



コンベア動作の補正



エンコーダのキャリブレーション



カメラのキャリブレーション

必要機器



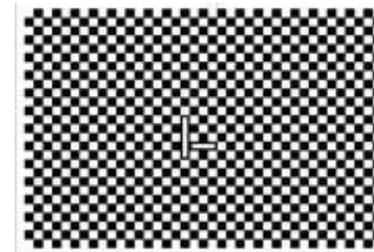
ベルトコンベア



エンコーダ



カメラ



チェッカーボード



治具

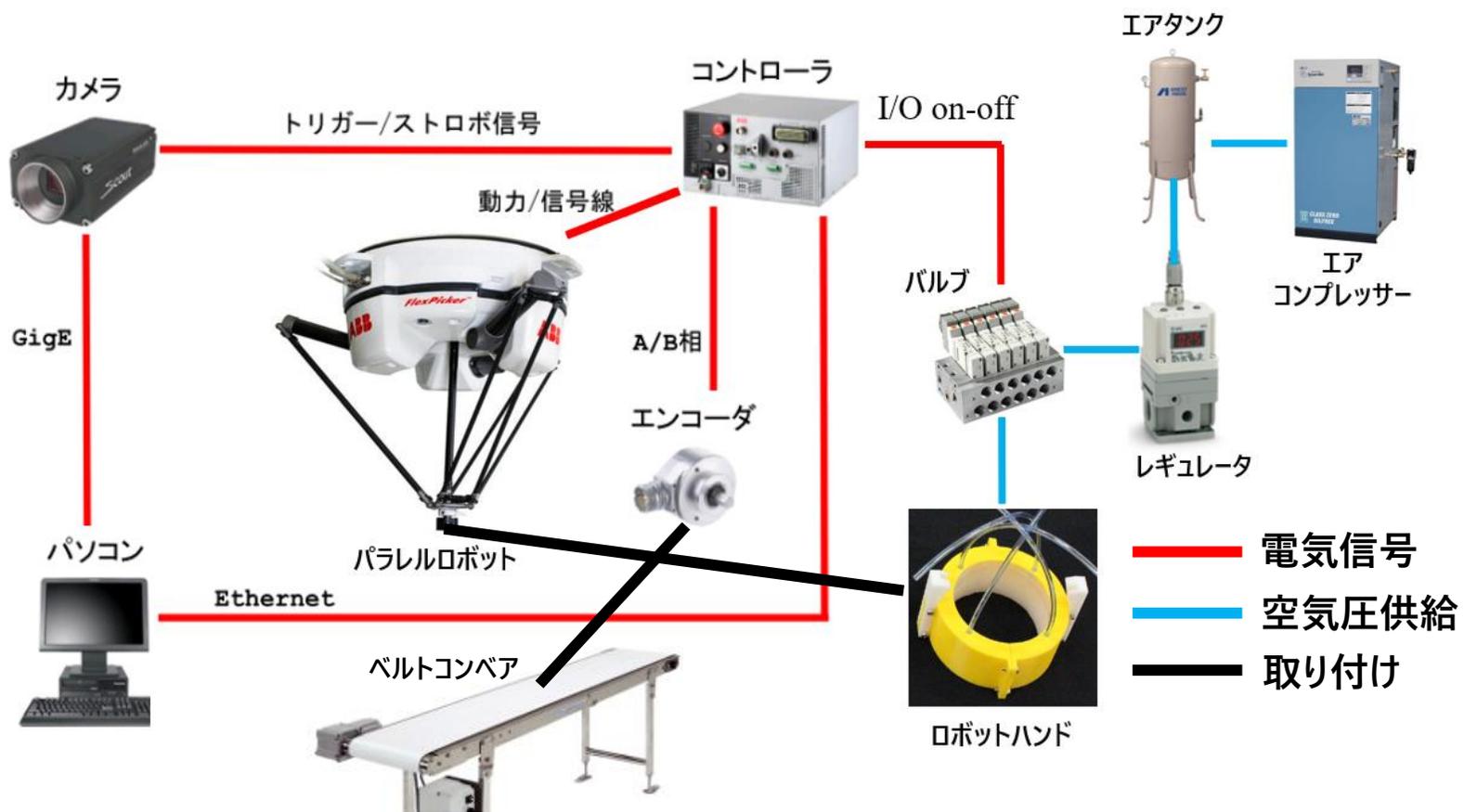


メジャー



テープ

システム構成



システム要素の接続図



実際のロボットシステム

実験動画



実用化問題の解決－コストダウン＋利用便利



要素が安く
なっている

これから

- システムインテグレーションのコスト（人件費）
- 計算パワーのコスト
- ソフトの費用
- 利用の便利さ

第2部

クラウドロボティクスの概念とできること

Society 5.0

新たな社会
“Society 5.0”

5.0



1.0
Society 1.0 狩猟



2.0
Society 2.0 農耕



3.0
Society 3.0 工業



4.0

Society 4.0 情報



3.0

Society 5.0とは、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）。

[内閣府作成]

Society 5.0の特徴

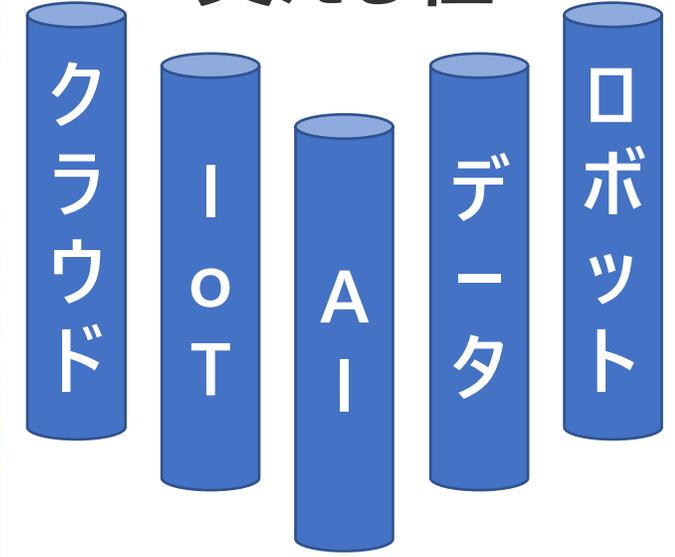
これまでの情報社会(4.0)



Society 5.0



Society 5.0を支える柱



[内閣府作成]

クラウドロボティクスの定義

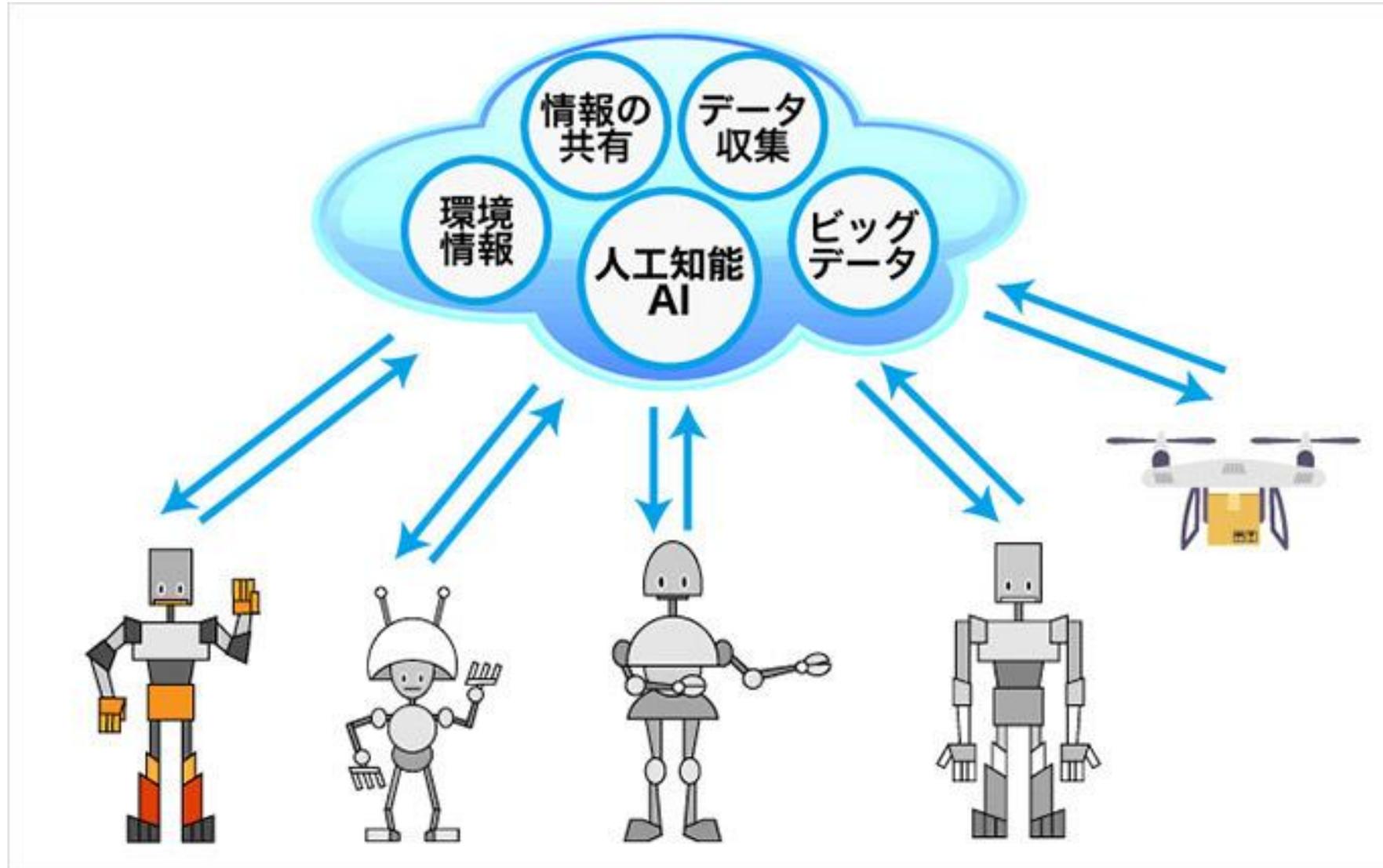


Cloud robotics is a field of [robotics](#) that attempts to invoke cloud technologies such as [cloud computing](#), [cloud storage](#), and other [Internet technologies](#) centered on the benefits of converged infrastructure and shared services for [robotics](#).



クラウドロボティクスはクラウドコンピューティング、クラウドストレージ、その他のインターネットテクノロジーなどを活用したロボティクス分野である。

クラウドロボティクスのイメージ

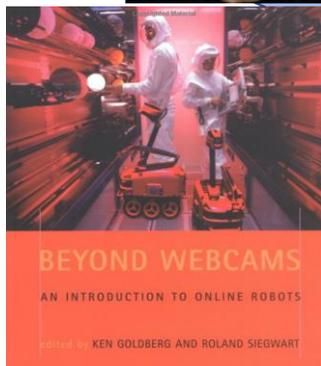


クラウドロボティクスのマイルストーン



M. Inaba, et. al, I. J. Robotic Res., 19(10): 933–954, 2000.

A Platform for Robotics Research Based on the **Remote-Brained Robot** Approach



Beyond Webcams: An Introduction to **Online Robots** Hardcover – November 21, 2001

K. Goldberg



K. Goldberg R. Siegwart



IEEE Society of Robotics and Automation's Technical Committee on: **Networked Robots** 2004

James Kuffner



“Cloud Enabled Robots”, IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robotics. 2010

初めて「クラウドロボティクス」を使った



2010-2014

Cloud-based robot grasping with the google object recognition engine. Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on

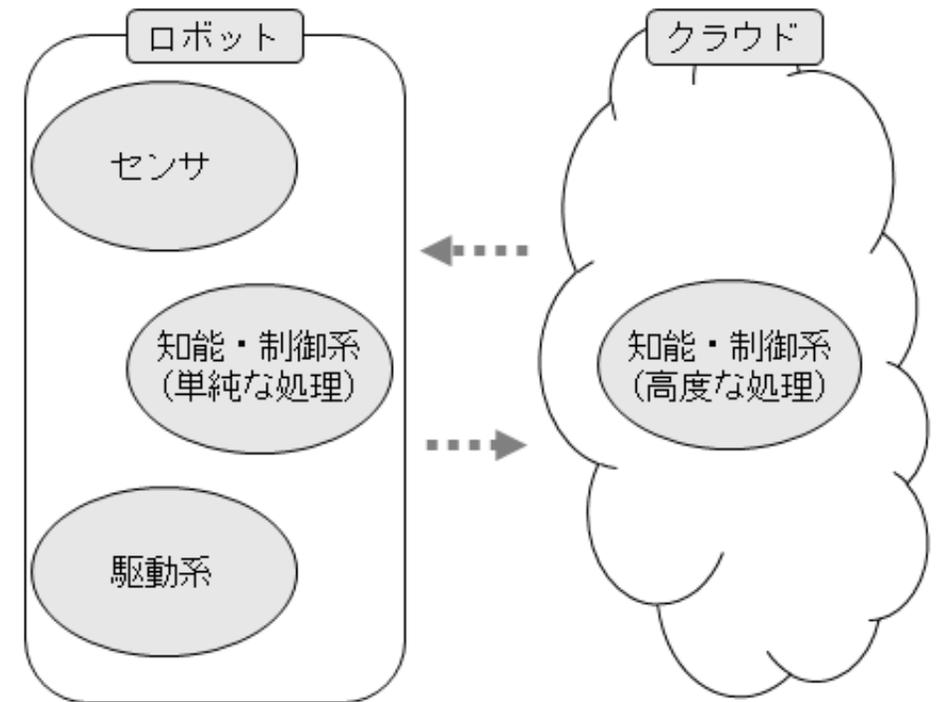
IROS 2013
Cloud Robotics Workshop

AWS RoboMaker

Google Cloud Platform

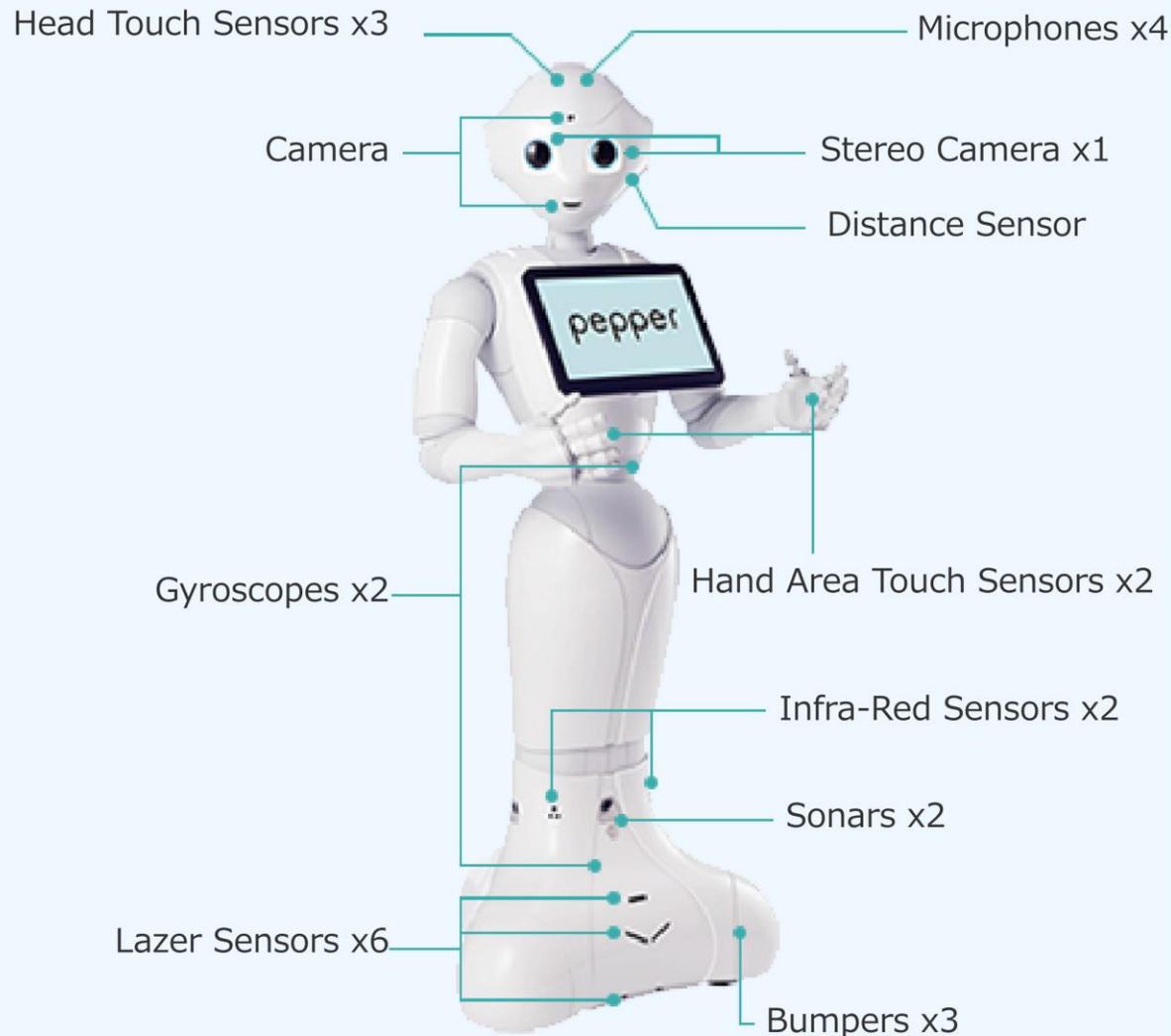
クラウドロボティクスのメリット

- クラウド内の強力な計算，ストレージ，および通信リソースの恩恵を受けることができる。
- さまざまなロボットの情報を処理および共有できる。
- 人間は，ネットワークを介してリモートでロボットにタスクを割り当てることもできる。
- ロボットシステムのコストを削減することができる。
- システムの小型化を実現することができる。



山本泰士， 穂西克弥， クラウドロボティクス， 知的システムデザイン研究室第169回月例発表会， 2016年

クラウドロボティクスの活用例 – Pepper



- ◆「感情エンジン」と「クラウドAI」を搭載している。
- ◆人とのコミュニケーションを通して学習したことを、クラウド上に蓄積し共有する。
- ◆「クラウドAI」によって、個々のPepperの学習データを集約する。
- ◆音声認識や画像認識などの処理をクラウド上でやっている。

クラウドロボティクスの活用例 – Kiva robot



- 商品の保管場所はクラウド上で管理している。
- Kivaが商品を探して、担当者のもとに運ぶ。
- ネットワークを介して全てのKivaがクラウドで制御されていることがある。
- クラウドでは、Kiva同士がぶつからない最適なルート作る。

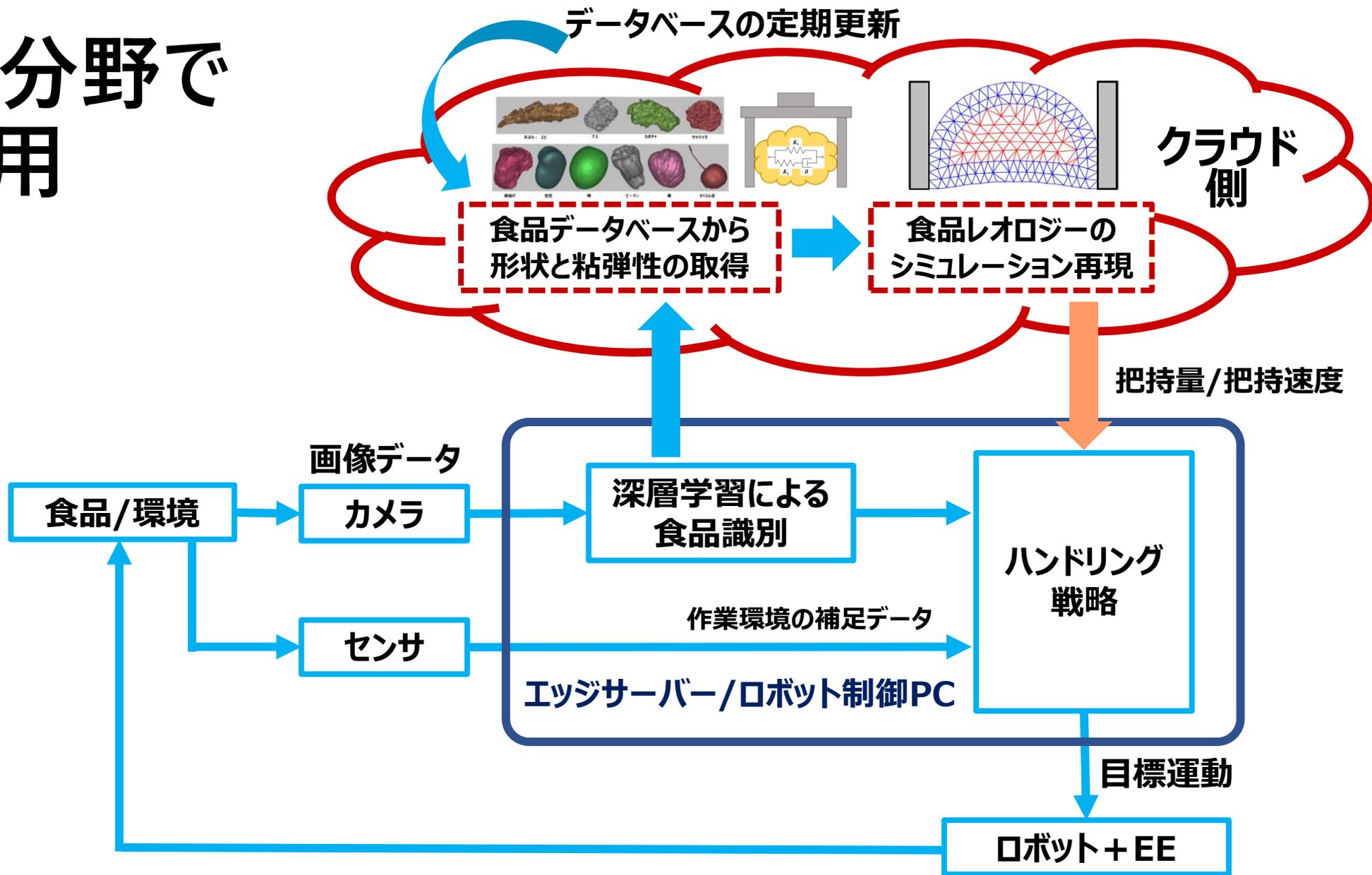
クラウドロボティクスの活用例 – スマート農業



ロボットトラクター

映像提供：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）

食品分野での活用



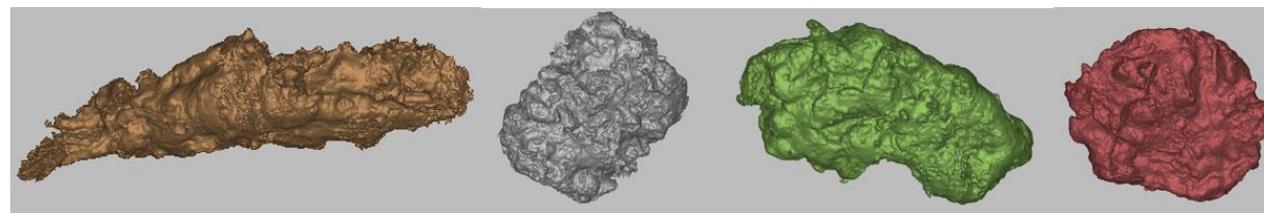
食品データベース



スキャナタイプ デスクトップ

3Dポイント正確度 0.01 mm

3D解像度 0.029 mm

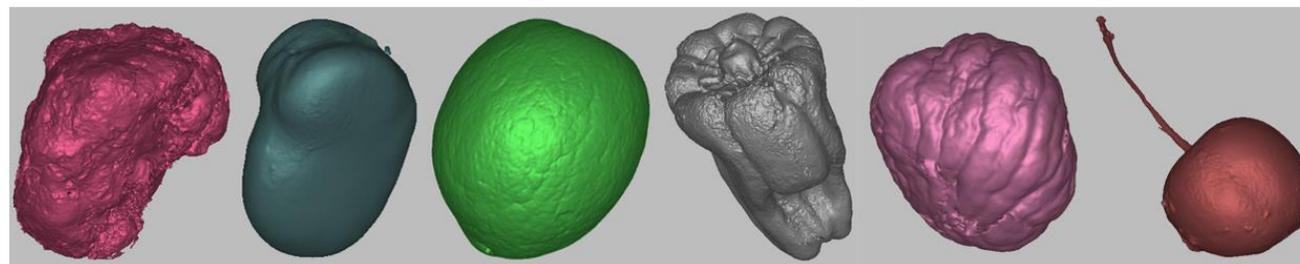


エビ天ぷら

ナス天ぷら

カボチャ天ぷら

サツマイモ天ぷら



唐揚げ

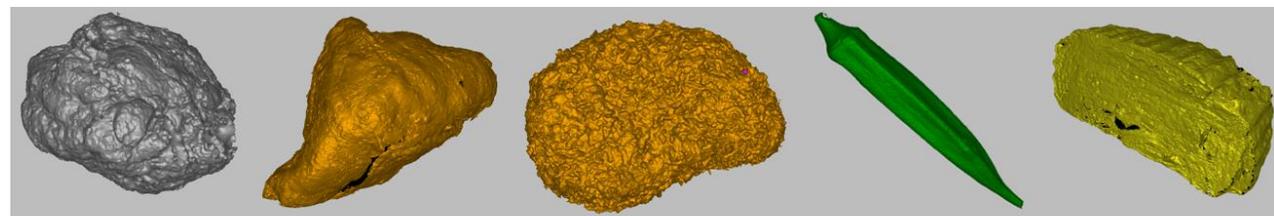
空豆

梅

ピーマン

栗

さくらんぼ



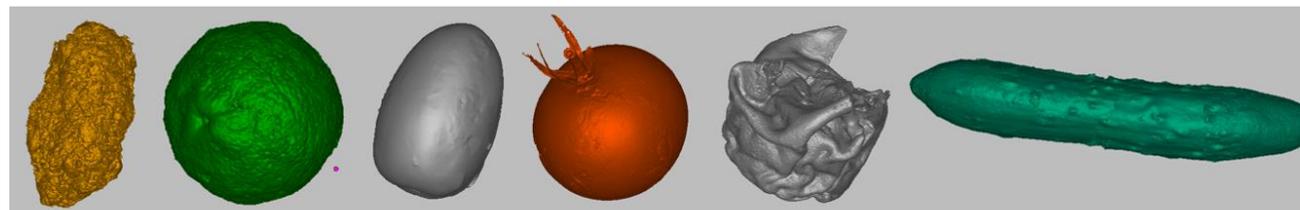
LAWSON唐揚

いなり寿司

エビ寄せフライ

オクラ

玉子巻き



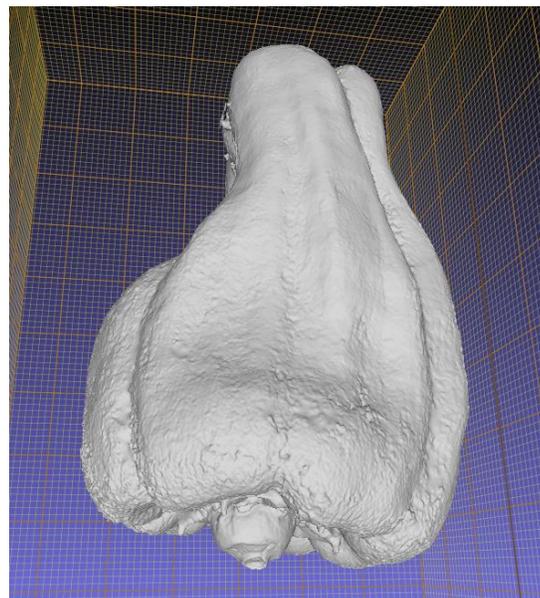
カキフライ

カボス

ミニトマト 2種類

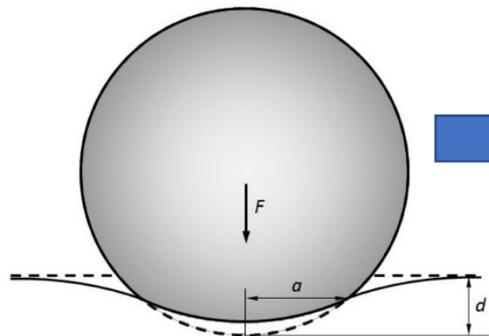
シュウマイ

キュウリ



食品弾性モデリングと計測

ヘルツの接触理論



$$F = \frac{4}{3} E^* R^{\frac{1}{2}} d^{\frac{3}{2}}$$

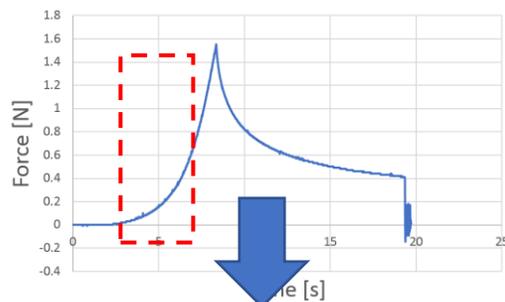
where

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$$

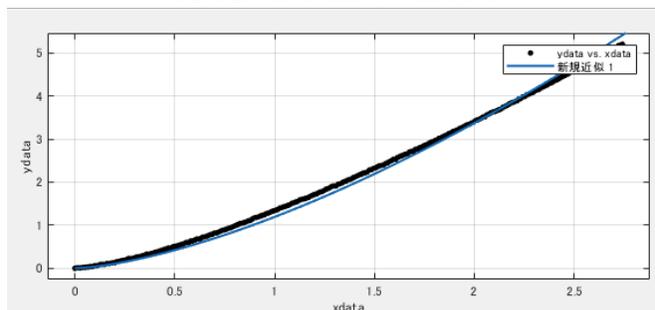
$$F = \frac{4}{3} \frac{E}{1 - \nu^2} R^{\frac{1}{2}} \delta^{\frac{3}{2}}$$

形状複雑な対象物の
ヤング率を推定可能

https://en.wikipedia.org/wiki/Contact_mechanics

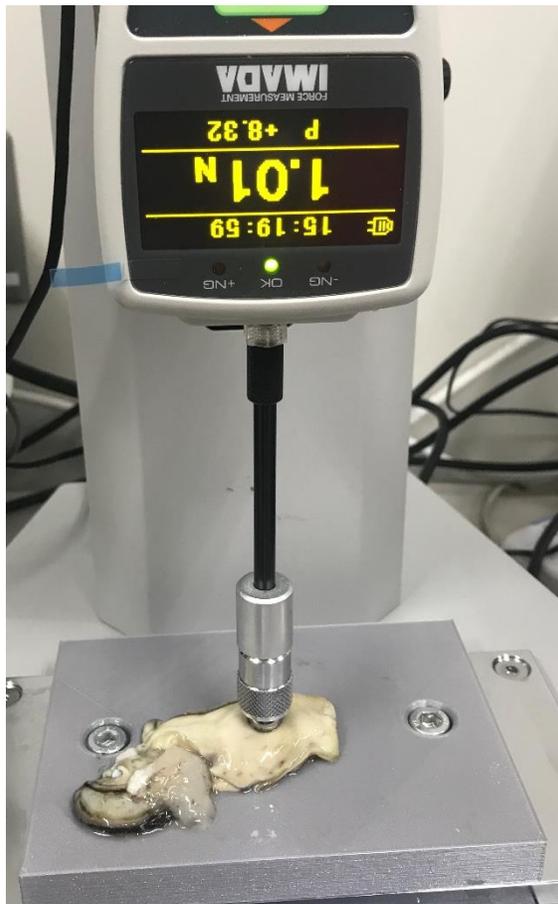


線形領域の近似



ヤング率
 $E = 10.66 \text{ kPa}$

参考： 木綿豆腐のヤング率 $E = 7.86 \text{ kPa}$
絹ごし豆腐のヤング率 $E = 4.08 \text{ kPa}$
出典： 堀川ら, 平成15年度電気関係学会東北支部連合大会



生牡蠣の弾性計測

計測結果の一部

きゅうり



かまぼこ



大福



ミニトマト



卵焼き



穴子寿司



ピーマン



ゆで卵



6Pチーズ



えび寄せフライ



ゆで卵半身



あじ



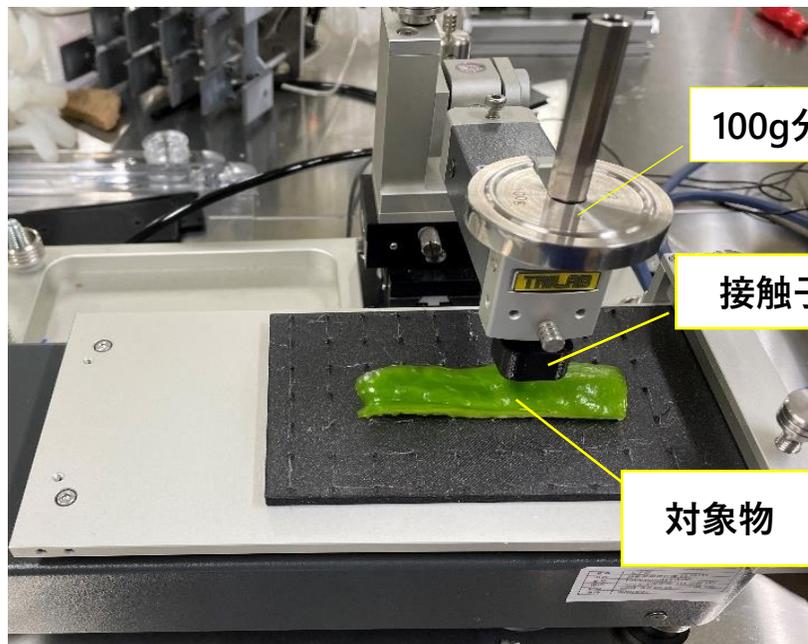
唐揚げ



食品名	ヤング率 [MPa]
大福	0.01
ゆで卵	0.05
ゆで卵半身	0.04
あじ	0.14
6Pチーズ	0.08
穴子寿司	0.01
エビ寄せフライ	0.38
かまぼこ	0.05
唐揚げ	0.02
きゅうり	0.99
ミニトマト	0.41
ピーマン	0.17
卵焼き	0.03

食品摩擦係数の計測

TL201Tt 静・動摩擦測定

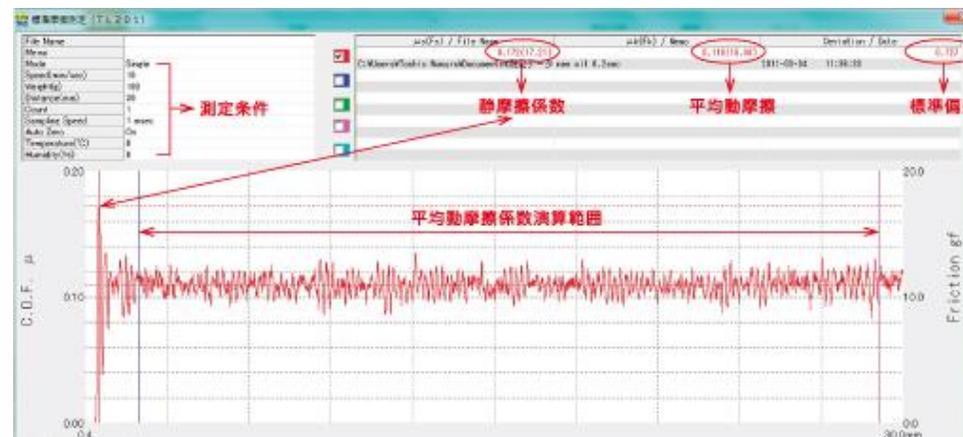


表面にステンレスを付けた接触子

食品計測の様子

計測設定

往復回数	SINGLE START
速度	10 [mm/sec]
移動距離	20 [mm]
分銅	100 [g]



食品の計測結果

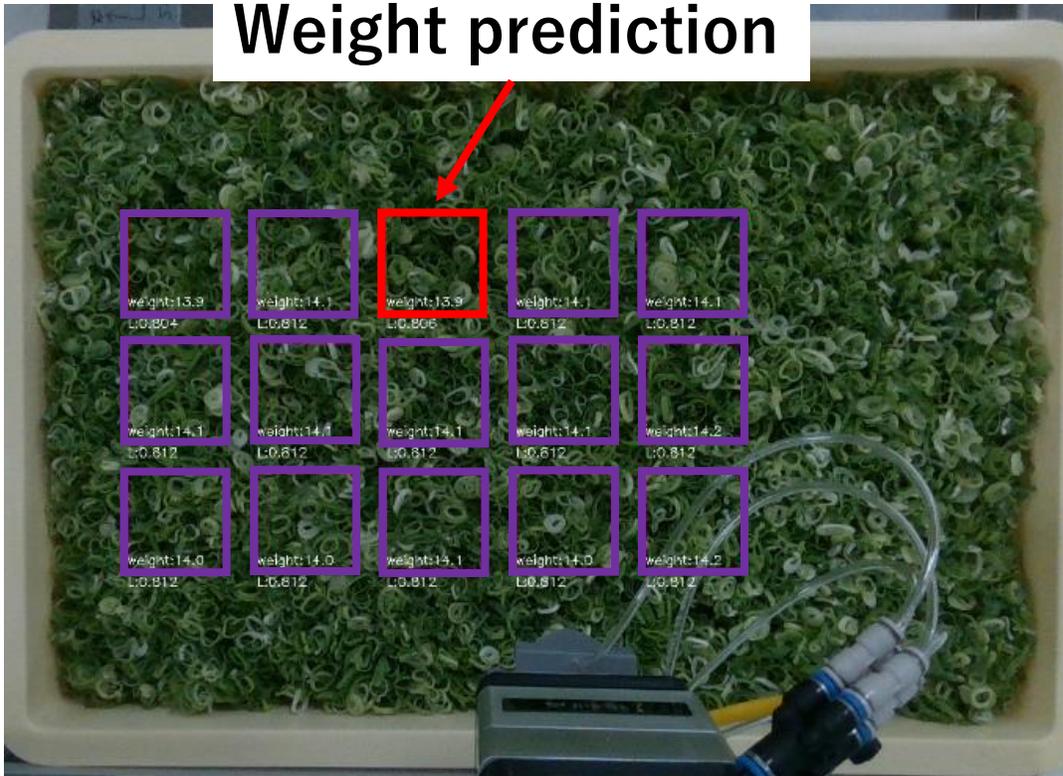
最大静摩擦係数, 動摩擦係数平均まとめ

※小数点第二位で四捨五入,

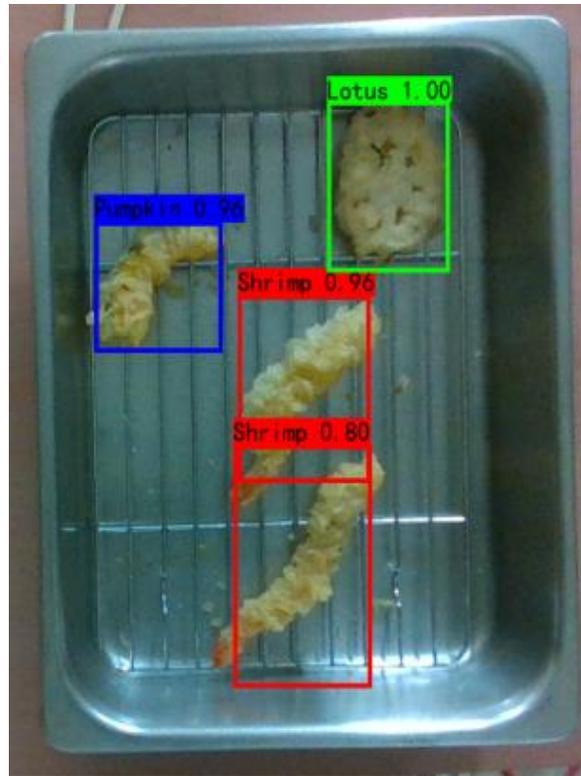
食品名	μ_s 最大静摩擦係数	μ_s の標準偏差	μ_k 動摩擦係数 (平均)	μ_k の標準偏差
ゆで卵・ゆで卵半身	0.45	0.061	0.31	0.035
卵焼き	0.48	0.066	0.29	0.018
唐揚げ	0.53	0.072	0.36	0.076
ミニトマト	0.54	0.069	0.34	0.077
エビ寄せフライ	0.58	0.085	0.30	0.066
あじ	0.66	0.042	0.48	0.064
きゅうり	1.01	0.075	0.81	0.057
穴子寿司	1.02	0.066	0.78	0.048
6Pチーズ	1.06	0.158	0.72	0.124
ピーマン	1.44	0.067	0.75	0.063
かまぼこ	1.56	0.095	1.15	0.059
大福	1.62	0.057	1.24	0.064

食品と食器の認識

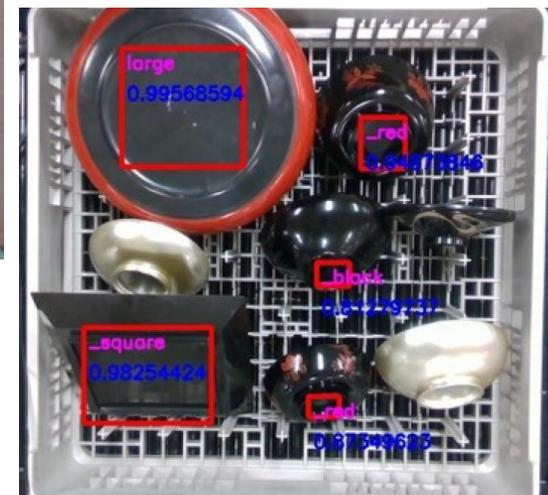
Weight prediction



Grasping weight prediction for grasping chopped green onions

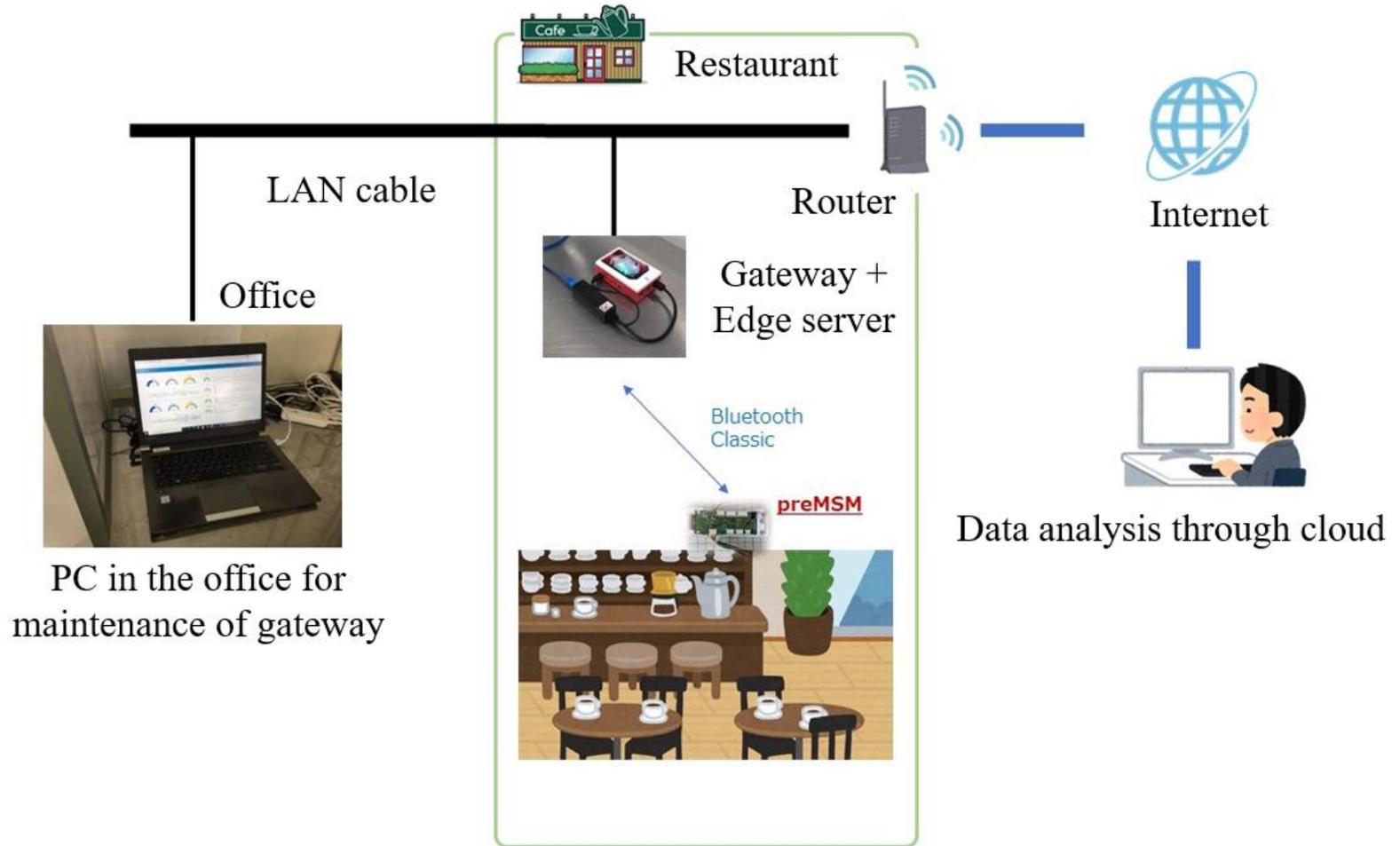
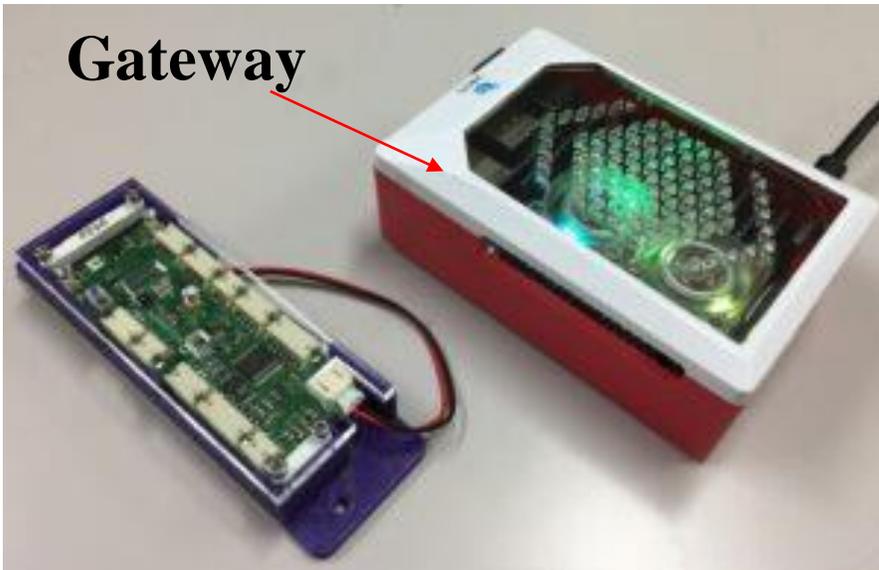
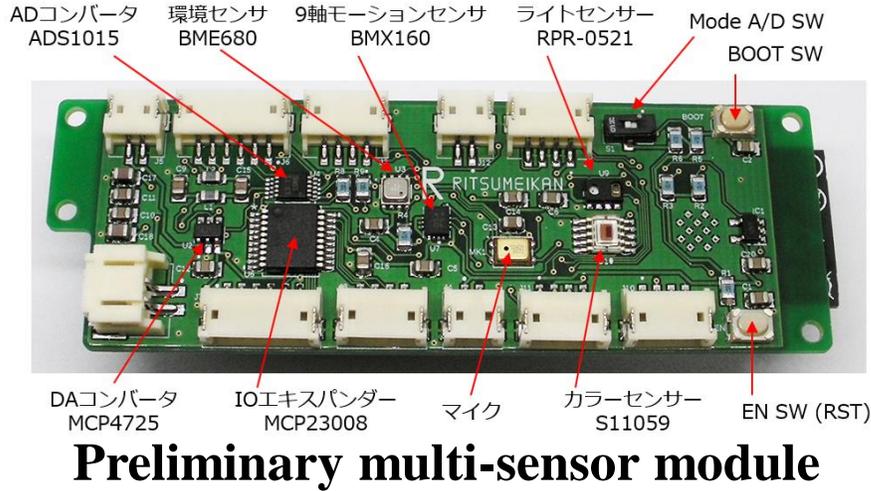


Tempura recognition using YOLOv4 for tempura arrangement automation



Tableware recognition for dishwashing automation

センサとIoTシステム



A typical use case

まとめ

- これからの時代はあらゆるものが繋がっていく
- 様々なデータが大事
- クラウドの利用はますます増える

レポート課題

- 一つのクラウドロボティクスやIoTの実例を考えてみよう
- 様々な分野の作業や生活を便利にする
- 利用できるIoTデバイスを探してみよう
- 利用できるクラウドサービスを探してみよう
- A4サイズ1枚（図を含め、名前_学籍.PDF）
- 提出締め切り：6月16日（木曜日）24時
manaba+Rで提出