

食産業ロボットシステムの未来を考える

～SIPプロジェクト事例紹介とレストラン実証実験～

立命館大学 理工学部 教授 川村 貞夫

SIP第2期フィジカル空間デジタル信号処理基盤

CPS構築のための センサリッチ柔軟エンドエフェクタシステム開発と実用化

立命館大学 山形大学 (株)人機一体 (株)チトセロボティクス

2018年度～2022年度

研究代表者 立命館大学/チトセロボティクス 川村 貞夫

1. 対象分野

接触作業を伴う低労働生産性の産業分野が数多く存在



食品製造業

農林水産業 服飾産業 中小製造業など

多様な形状, 柔軟物, 多様な環境での
物体ハンドリングは困難

ICTのみでは解決できない作業が残る
労働力不足問題

現状ロボットの課題

- ・現状の産業用ロボットは接触作業は苦手
- ・重量, 摩擦, 変形など力学のモデルとデータ不足
- ・剛体ハンド 特定の対象物のみハンドリング可能

認識, 機構/制御, 実用化の複合問題

一つの技術開発では解決できない

本プロジェクトの複合的問題解決アプローチ

認識問題

(多種多様な対象物と変動環境)

センサ, AI, クラウド

機構/制御問題

(確実/高速ハンドリング)

ソフト材料, 制御

実用化問題

(低価格/高信頼性/利用便利)

3Dプリンタ, プリンティドエレ, ビジネスモデル

材料, センサ, アクチュエータ, 機構, 制御, 画像処理, AI, システム, IoT, クラウド, ビジネス, ルール作り

山形大学, 明治大学, 金沢大学, 立命館大学, 奈良先端大学院大学, 関西大学, 大阪工業大学, 九州大学, iRoobo

異分野結集チームによるSI (システムインテグレーション) 研究開発

C空間とP空間を繋ぐSSES

現状のエンドエフェクタ

- ・低機能
- ・高重量
- ・触覚などセンサなし
- ・IoT化されず
- ・高剛性
- ・高価格
- ・安全基準なし

力学基盤作業にはCPギャップ存在
GAFA 視聴覚情報PF化
力学基盤作業 日本の優位性



現状



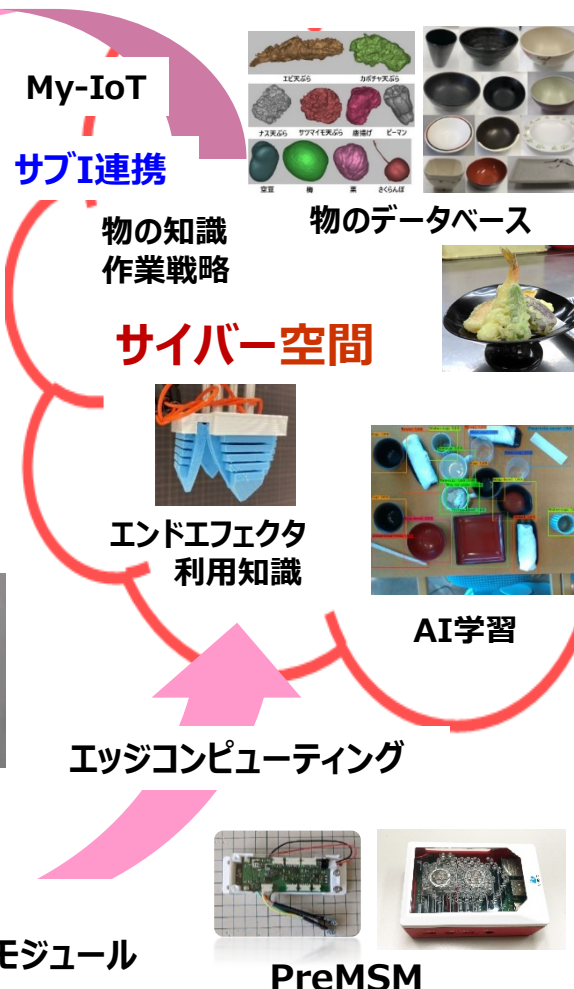
食産業 農林水産業
中小製造業など

ハンドリング作業
労働集約型産業

労働者不足

ロボット接触技術未成熟
IoT化遅れ

SIP目標



SSES-PF/接触基盤ロボット技術開発

食産業 農林水産業 保守点検 30程度の事業化例達成
(SSES:MSMおよびMy-IoTを含めた全体のハンドリングシステム)

2023年3月

SSES成果
活用事業

30程度実現

SI（システムインテグレーション）？

- ・既存要素を繋げばよいか？ → 繋ぎ方に時間/費用大きく発生
- ・最適化された要素の組み合わせは？ → システム最適化が必要
- ・既存要素がシステムによって有用か？ → システムのための要素開発が必要

例 野球チーム

9人のメンバーに年俸の高い選手ばかりを集めたチームが強いか？
組み合わせ（システム化）の方策が成績に重要

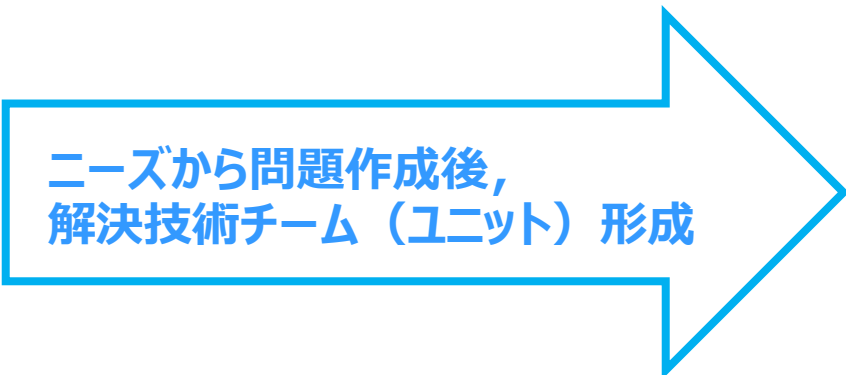
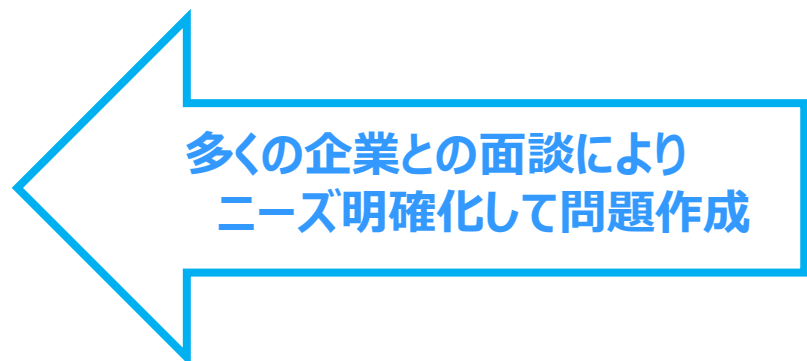
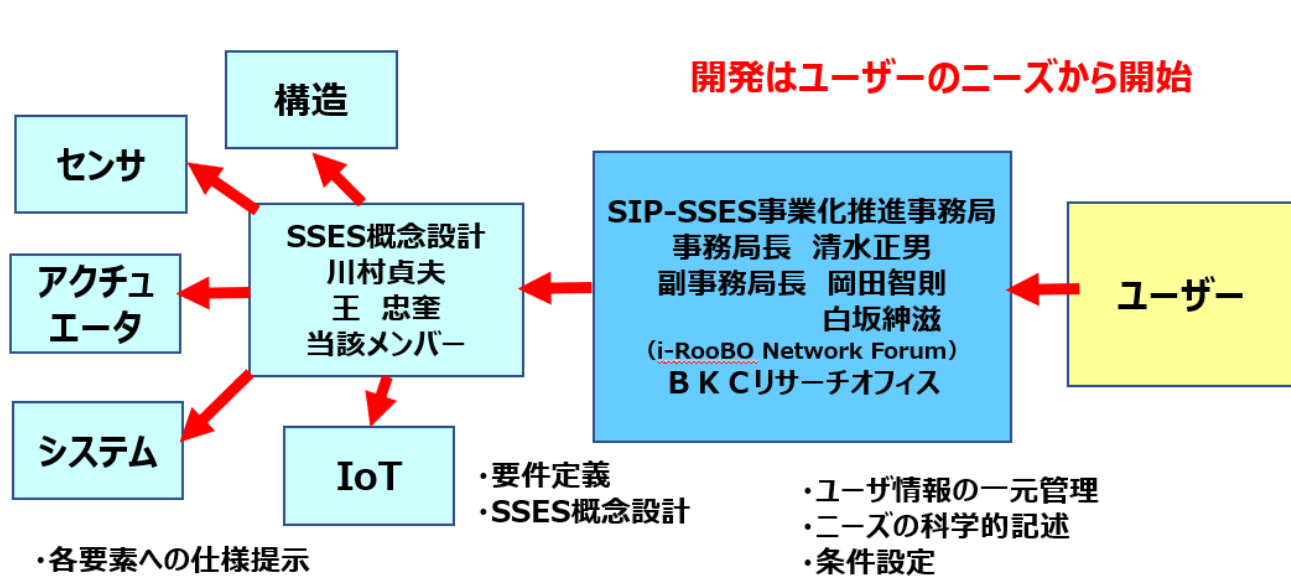
本プロジェクト方針

- ・システム化に不足する要素は新たに開発（エンドエフェクタなど）
- ・システム最適化の技術開発（要素を容易に繋げる方法など）
- ・システム設計からの異分野結集チーム運営

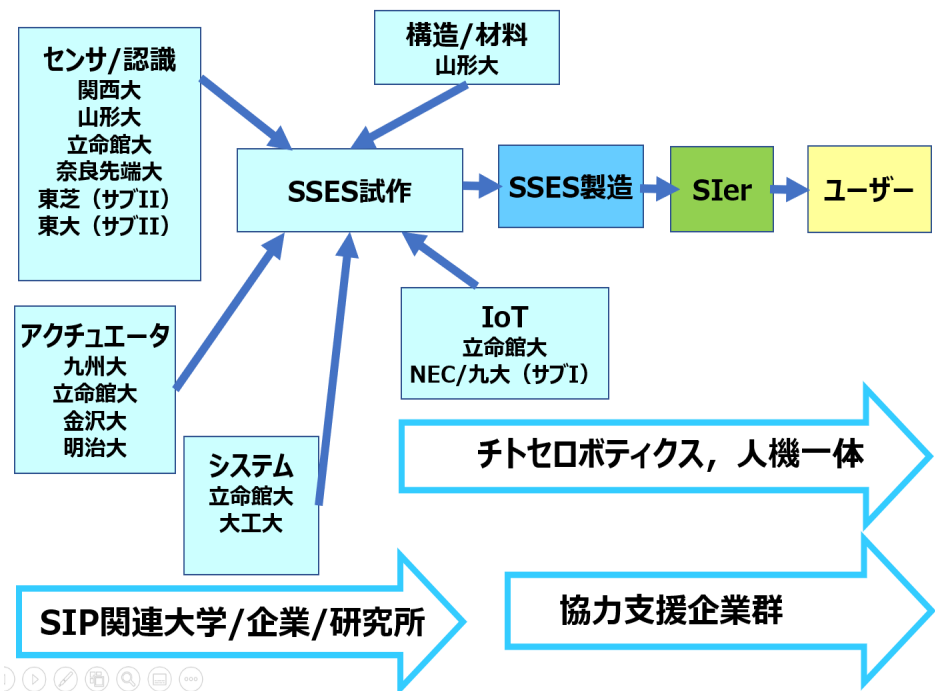
2. 推進体制

ニーズ駆動問題作成

現場ニーズから共通問題を作成し実用化



研究開発ユニット



2021年度から試作システムを重点化

試作システムから事業化へ

情報発信/収集機能強化

オープン/クローズド戦略

技術移転方法検討

成果拡大協力企業 (2021年度から開始)

SIコーディネート作業



アドバント株式会社
代表取締役社長 岡田智則



Robots Town株式会社
代表取締役社長 白坂紳滋

本事業にご協力頂ける企業/法人などは事務局にご連絡ください。

協力支援企業/法人 140社程度

役割 ・情報提供 ・材料提供 ・機器提供 ・技術者協力・実証実験フィールド提供



推進協力企業/法人 (2021年度から開始)

役割 ・PrePF実証実験を企業が主体的に実施 ・発展的な共同研究を実施 ・成果PFの製造/販売 ・成果知財の活用

地方中小企業へのSIP成果の急速な拡大

- ・成果普及の情報発信
- ・PFに対する多様なニーズのフィードバック
- ・MSM試験運用 SSES-PF試験運用

連携拠点

北海道 山形 滋賀 和歌山 広島 福岡 沖縄
今後、四国 九州に予定

産官学連携で 人手不足を解決し労働生産性を向上させませんか?

製造業を中心にロボットは幅広く利用されています。しかし、ロボットの作業環境を標準化した量に同一製品を製造する場合や対象物が剛体で定形物に限定される場合がほとんどです。このような条件に合致せず、ロボットによる自動化が困難な現場も多く存在します。その結果、労働生産性の低い産業設備となっており、今後の我が国の労働人口減少が深刻な問題を発生すると予想されます。

ICT(情報通信技術)のみでは解決できない産業課題

ハンドリングを伴う低労働生産性の産業分野	多様な形状、柔軟物などはハンドリング困難	外中食産業、製造業、農林水産業など
----------------------	----------------------	-------------------

日本の科学技術優位性を確保するため、内閣府が主導となり、府県・分野の枠を超え、産官学が連携し、基礎研究から実用化・事業化までを支援した施設が「**自動的イノベーション推進プログラム(SIP)**」と一緒に産業課題を解決していきます!!

SSESプロジェクト

CPS構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステム開発と実用化が不可欠!

CPS(Cyber Physical System)とは?
 現実(フィジカル)の要素とサイバー空間を有機的に統合し、その情報をセンサ・アクチュエータ(サイバー)に繋ぎ込み、コンピュータネットワークによる分析を行った上で、結果をフィジカルにフィードバックし、フィジカル空間に真正な結果を帰還させるようなシステム。

本プロジェクトでは、**エンドエフェクタ**に注目

サイバー空間(C空間) 現実空間(P空間)

AI/ビッグデータ活用 従来のデータ系

センサリッチ柔軟エンドエフェクタシステム(SSES)

知覚を備えた柔軟なセンシング 知覚・力覚情報を集めたクラウドデータ構築 知覚・力覚情報を統合したクラウドデータ構築

クラウドプラットフォーム エッジコンピューティング

カメラ マイクロフォン 力覚・触覚センサー 圧力センサー 位置センサー センサプラットフォーム

知覚から実行まで、フィジカル空間(P空間) 知覚から実行まで、サイバー空間(C空間)

ロボットによる自動化が困難だった現場もSIPプロジェクトにより解決を目指す

配布用パンフ作成 (6ページ)

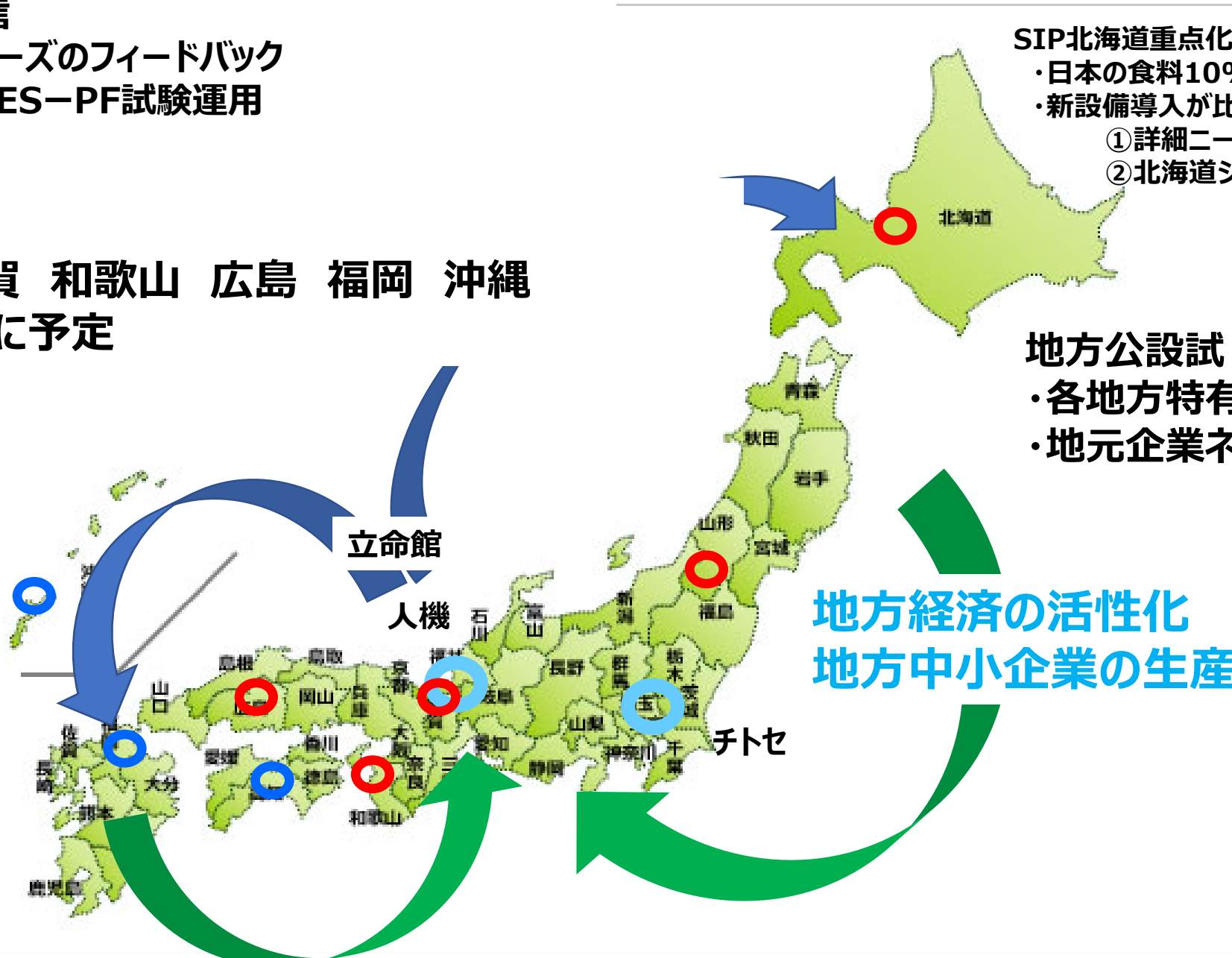
SIP北海道重点化政策

- ・日本の食料10%が北海道産
- ・新設備導入が比較的可能な状況
- ① 詳細ニーズ調査
- ② 北海道シンポジウム (予定)

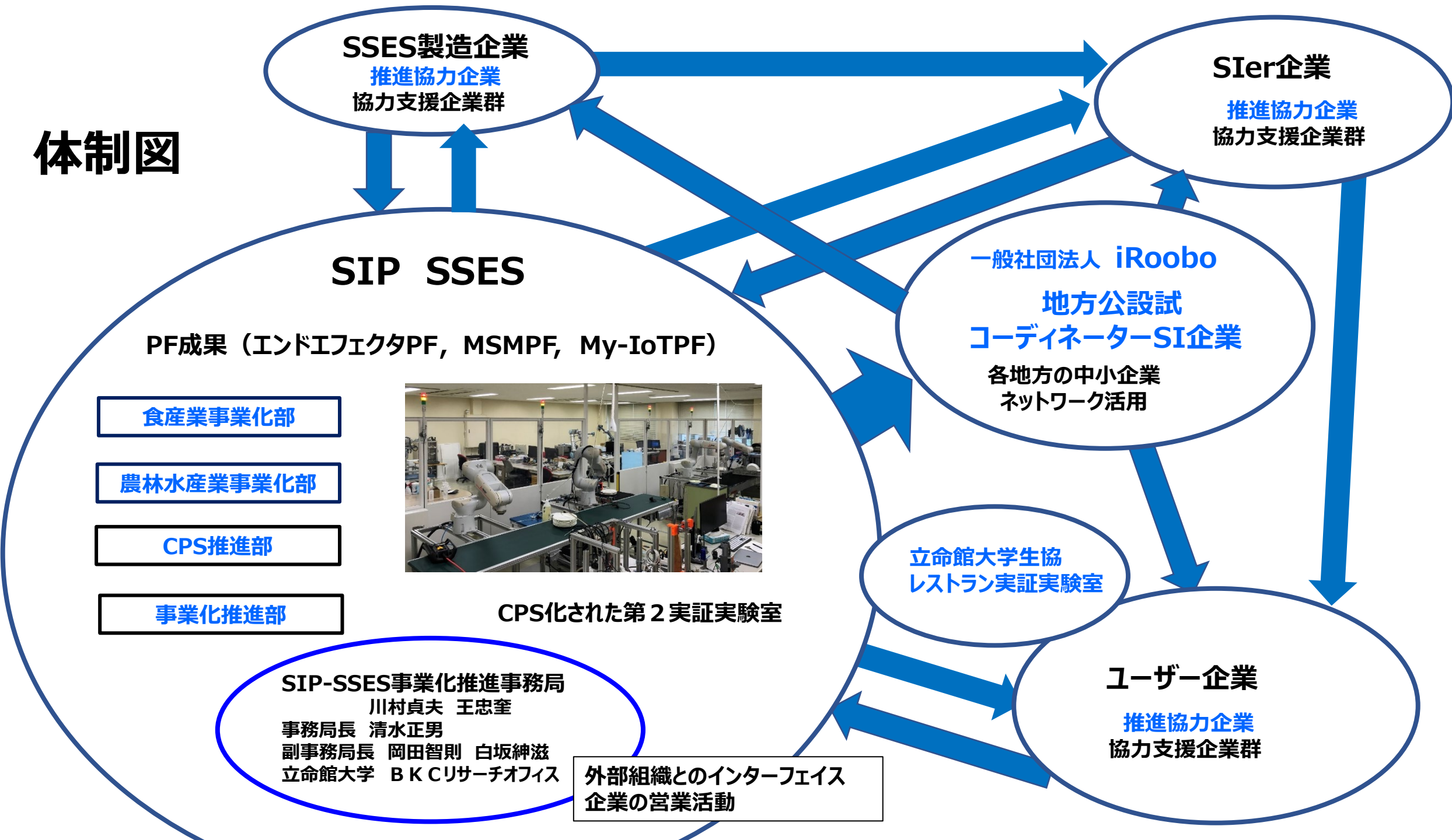
地方公設試

- ・各地方特有のニーズ
- ・地元企業ネットワーク

地方経済の活性化
地方中小企業の生産性向上

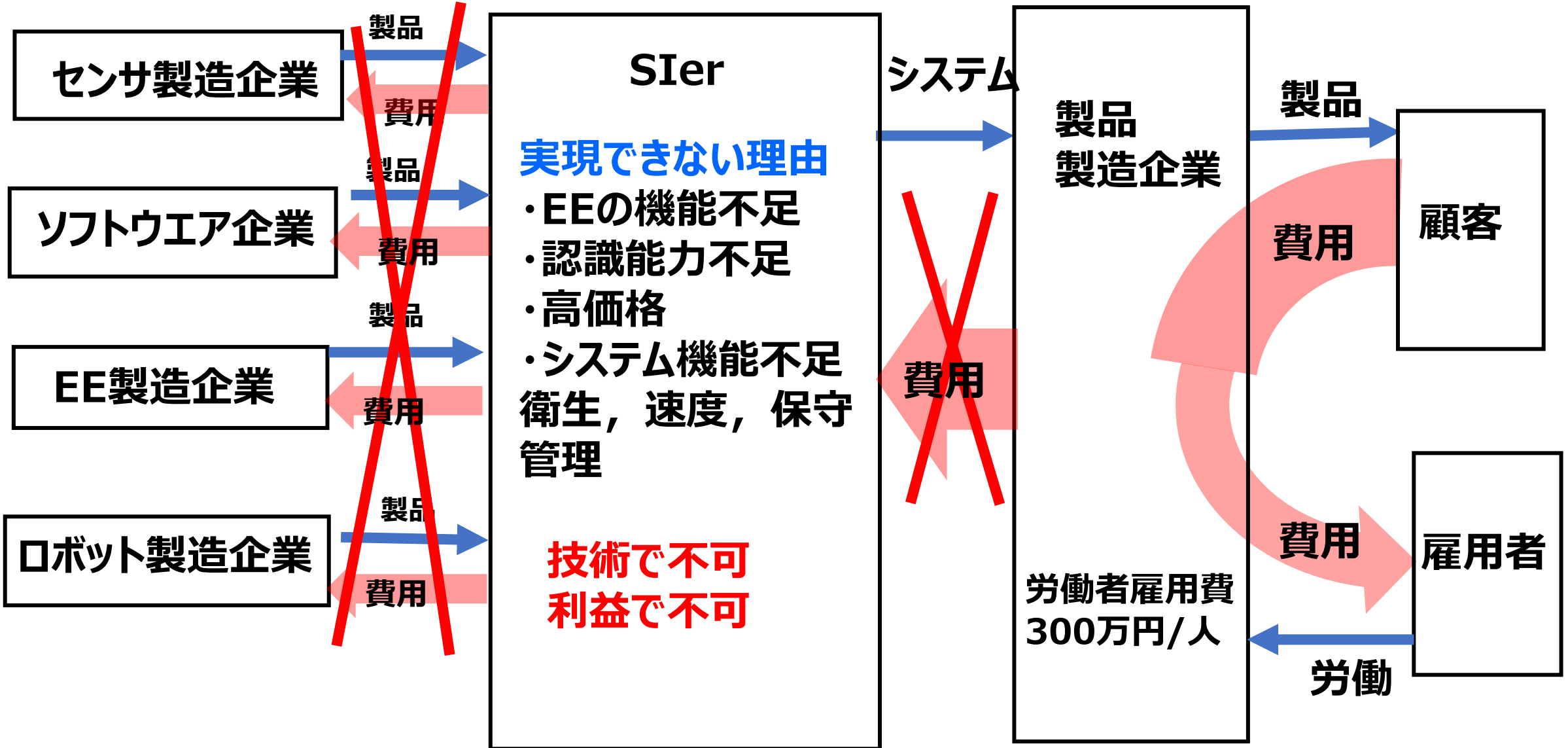


体制図

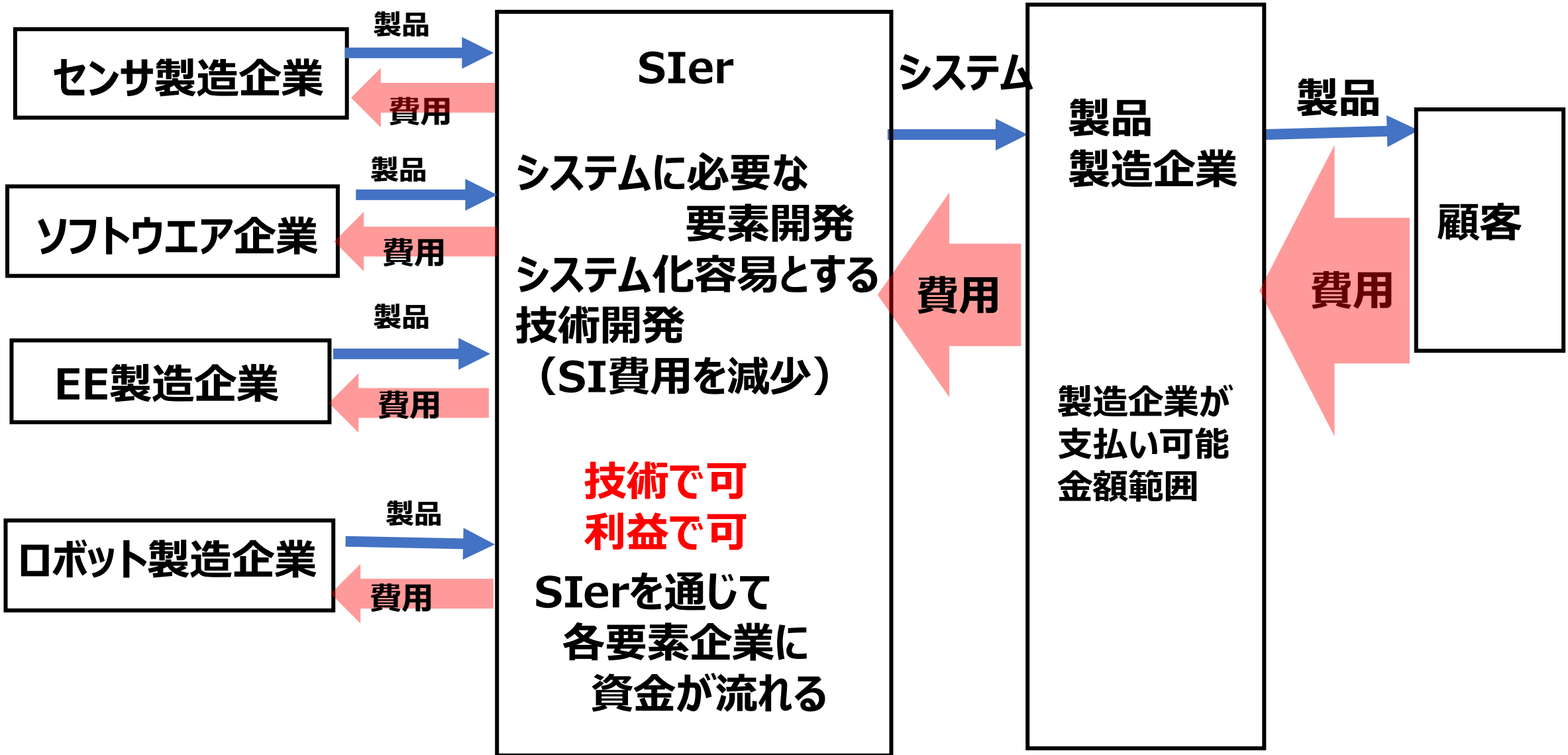


3. 問題整理

ロボット普及困難状況



SIPプロジェクト目標



SIP事業化成功 =

EE

([SIP-EE] + [既存EE]) X [製造企業]

X

SC

[SIP-SC] X [製造企業]

X

SI

[SIer] + [ユーザ]

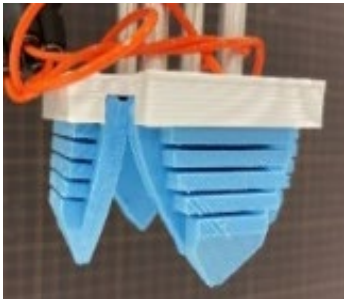
EE (エンドエフェクタ)
困難なハンドリング実現

SC(システムコンポネント)
SIの負担低減 低価格化

SIerの利益増大
自動化導入数増
新SIer参入
ユーザ直接利用

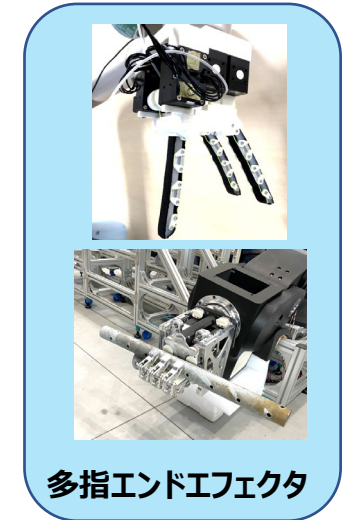
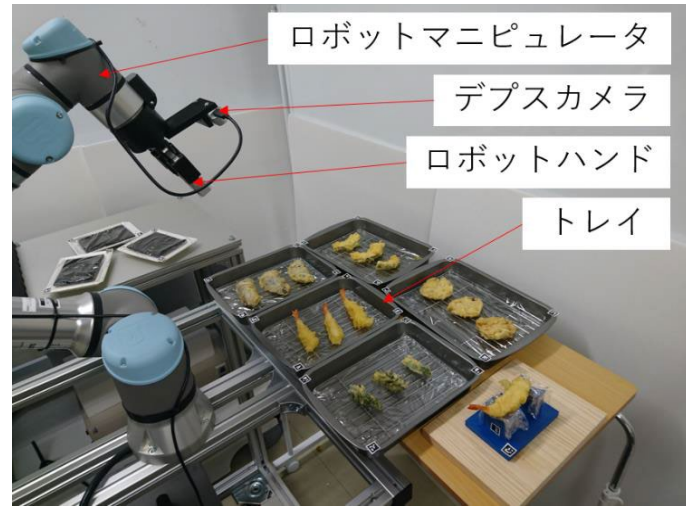
SC例

IoT, クラウド, ROS 2, NodeRed,
MSM, DB, アクチュエータユニット,
ビジュアルフィードバックなど



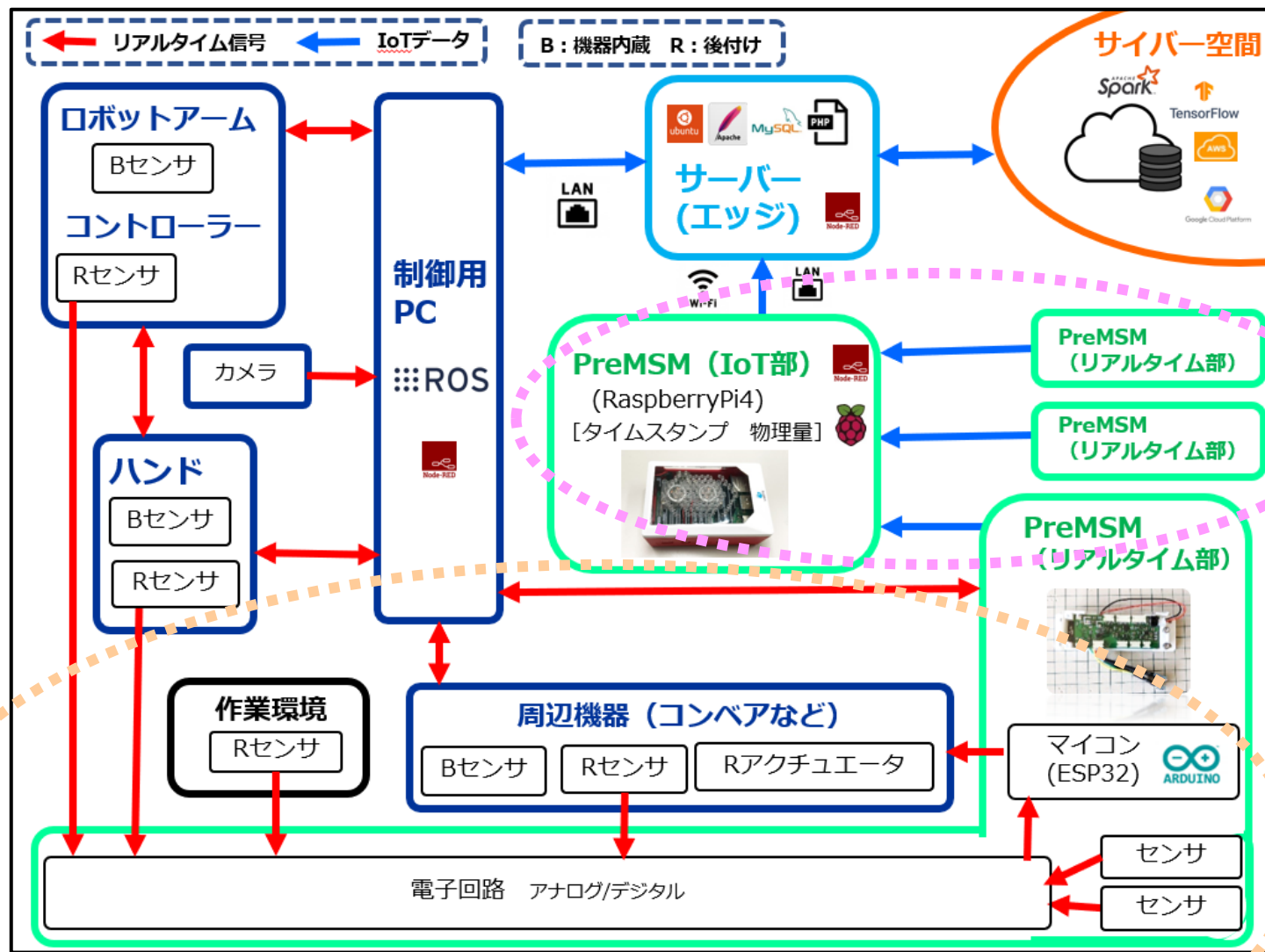
4. 開発例

EE センサ利用技術/エンドエフェクタ開発



3DプリンティングによるSSE試作
実利用柔軟エンドエフェクタの製造に3Dプリンタの有用性確認

SC MSM (マルチセンサモジュール)



<https://sip-sse.net/>

外部サーバー利用HP立ち上げ完了

各種センサ情報を簡単にクラウドへつなぐ
フィジカル空間データを簡単にサイバー空間へ

HPから利用者が必要情報をダウンロード
・ハード情報 ・アプリケーション

PreMSM実証実験開始中
(ご興味ある方はご連絡下さい。)

機械的接触, 変形, 摩擦などの
情報が重要

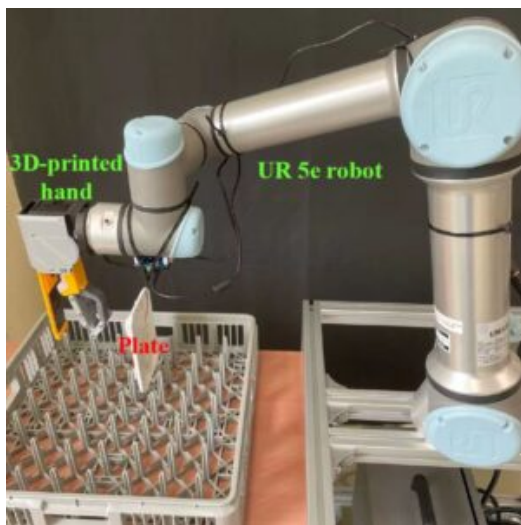
各種既存センサ 新センサなど活用

従来よりもセンサ種類, センサ数を増やして, ビッグデータから見えなかった物, 状況を見える化

SC ROS2/NodeRed オープンソフトウェア

センサ数多い センサ種類多い アクチュエータ数多い 関連機器多い
システム化のためのプログラム開発負担大きい

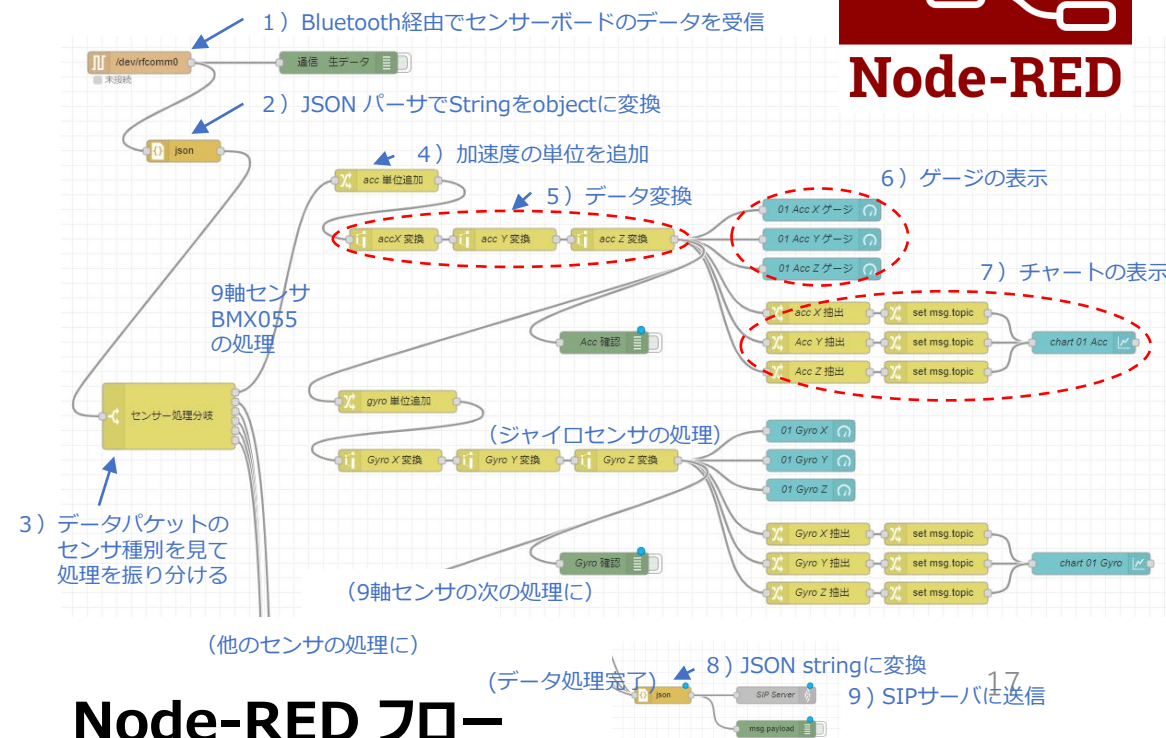
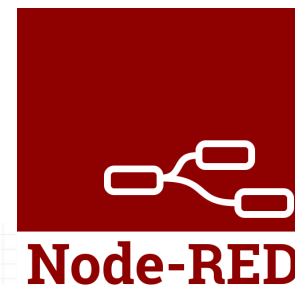
オープン化されたミドルウェア 本プロジェクト ROS2 NodeRed



ROS

ROS 2 によるロボット/ハンド制御

ROS2 : 企業ニーズに合うロボットソフトウェア
ROSよりもリアルタイム性, セキュリティなどで優れている



Node-RED フロー

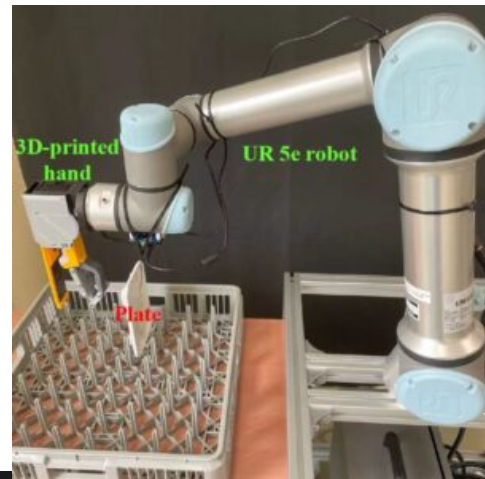
ROS2 クラウド上プログラムのオープン化

①URロボットと自作EE（Robotis社モータユニット）をROS2で制御 食器のハンドリングと実現

（9月日本ロボット学会で発表）

A ROS 2-Based Robotic System for Picking-and-Placing Tasks

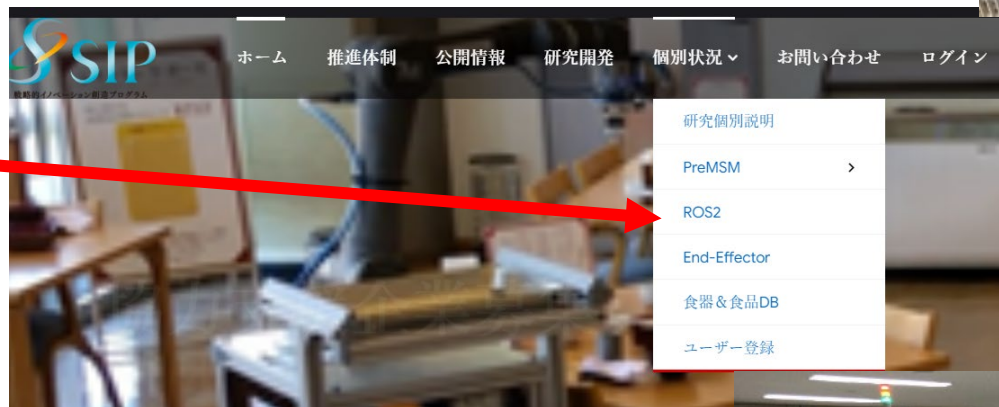
*Zhe QIU (Ritsumeikan Univ.), Kaito YAMAMOTO (Meiji Univ.), Hiroaki ARAKI (Meiji Univ.), Zhongkui WANG (Ritsumeikan Univ.), Ryuta OZAWA (Meiji Univ.), Sadao KAWAMURA (Ritsumeikan Univ.)



②ROS2プログラムをHPで公開中

<https://sip-sse.net/>

2021.9. SIP専用HPを外部サーバーに開設



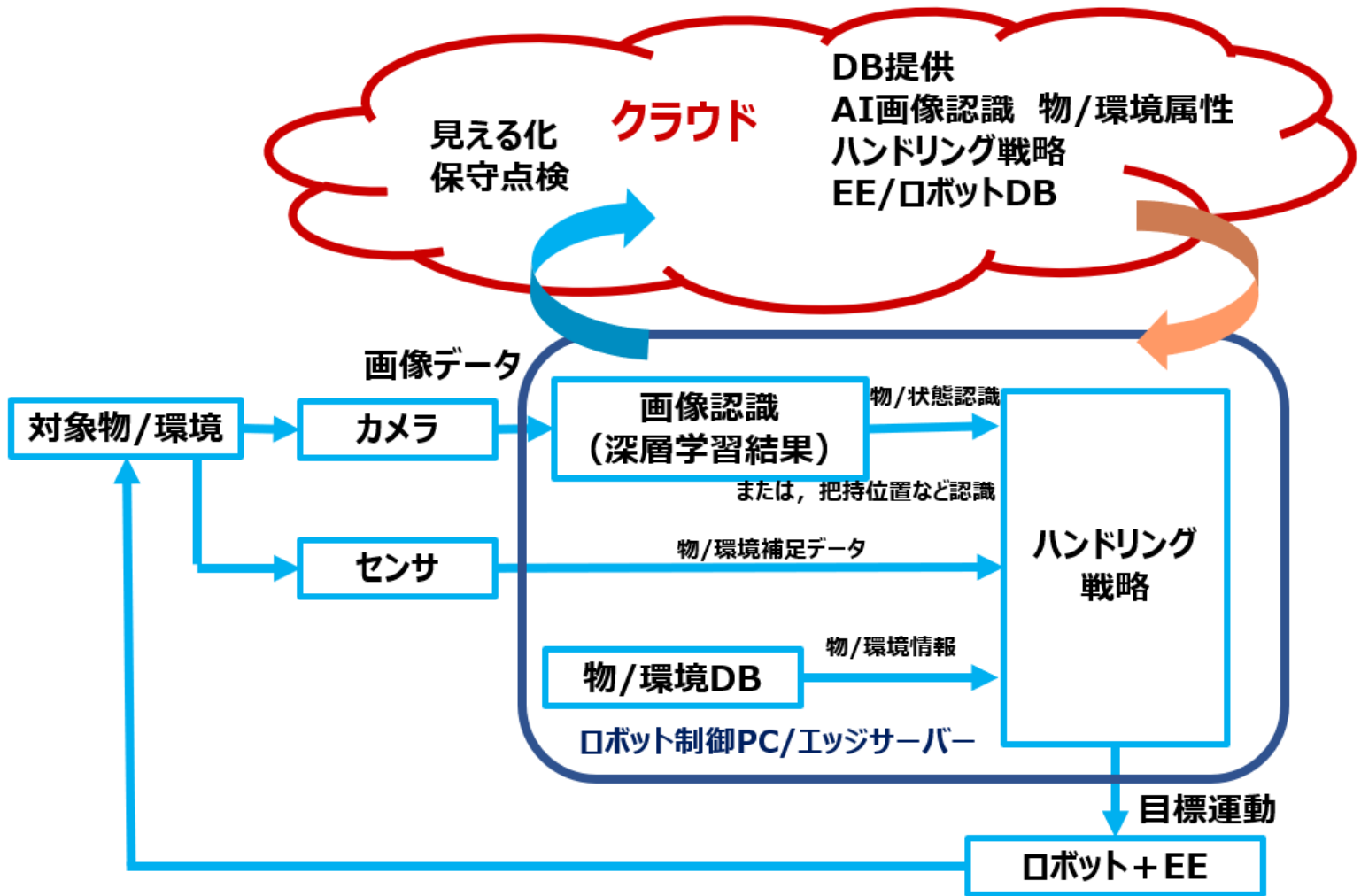
③ROS2利用による産業用ロボットの制御

- ・模擬弁当製造ライン（スカラロボット6台）のシステム化
- ・デンソーウェーブ社（推進協力企業）と共同作業中

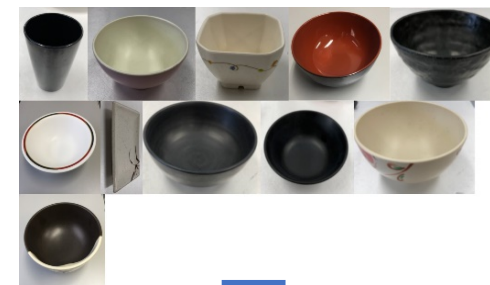
今後も様々な機器のプログラムをROS2で作成して公開予定



SC AI/データベース



AI食器認識
残飯, 食器以外物
接続, 重なり複雑
AIにより認識可能



食器DB利用
食器幾何情報
事前登録可能



ロボット運動制御
目標位置姿勢決定

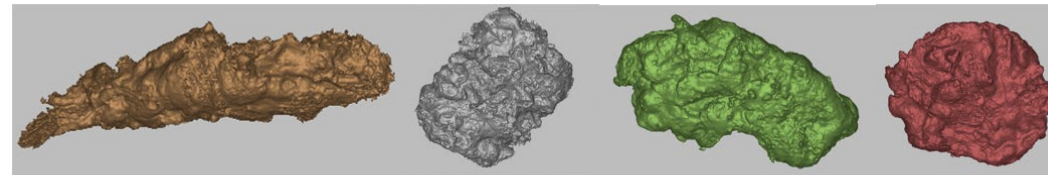
クラウド利用メリット

- ・計算機パワー
- ・遠隔情報処理
- ・データ収集
- ・データ維持管理

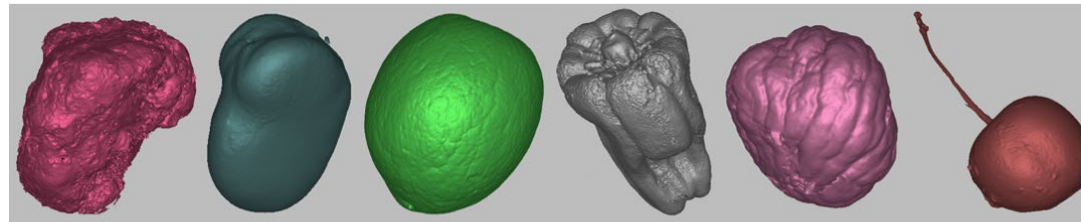
食器/食品/農林水産物の形状/重量/粘弾性/摩擦特性のDB化



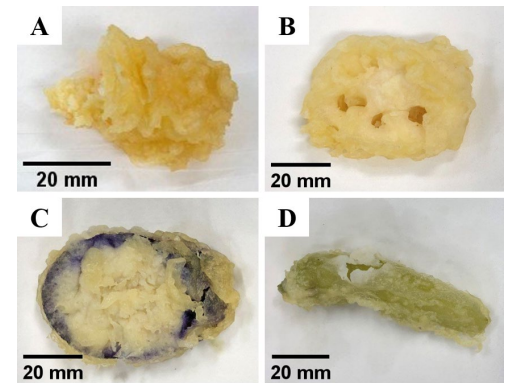
3次元形状計測 (ピーマン)



天ぷら: エビ ナス カボチャ サツマイモ



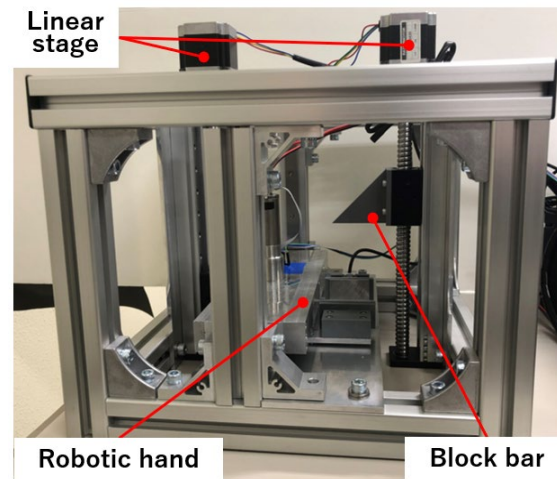
唐揚げ 空豆 梅 ピーマン 栗 さくらんぼ



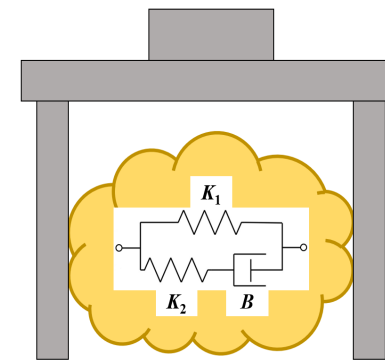
Z. Wang, et al.,
Journal of Food Engineering,
310:110707, Elsevier, 2021



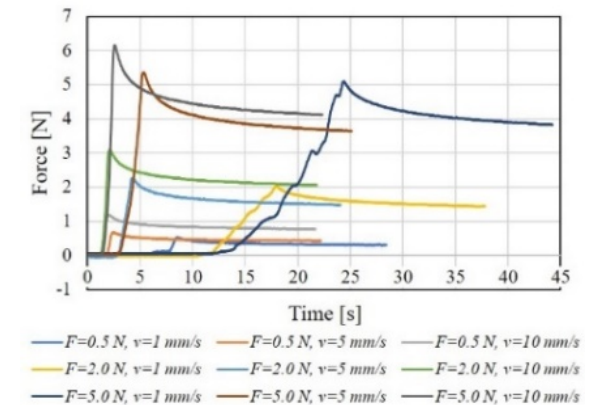
生牡蠣の弾性計測



独自開発粘弾性計測装置

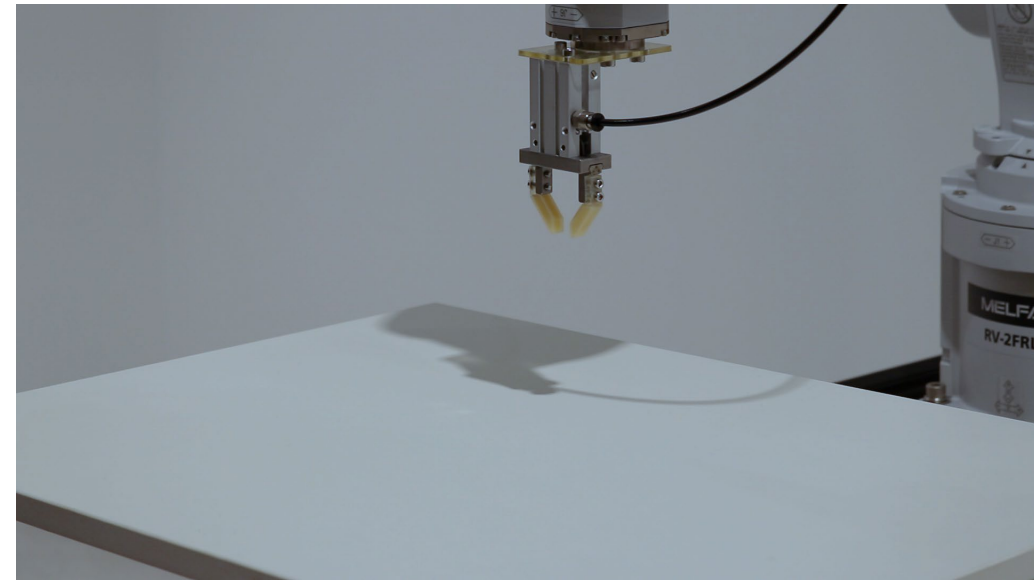


3要素粘弾性モデル



日本ロボット学会産学連携調査研究委員会
食品サンプル規格標準化WG 企画 参加

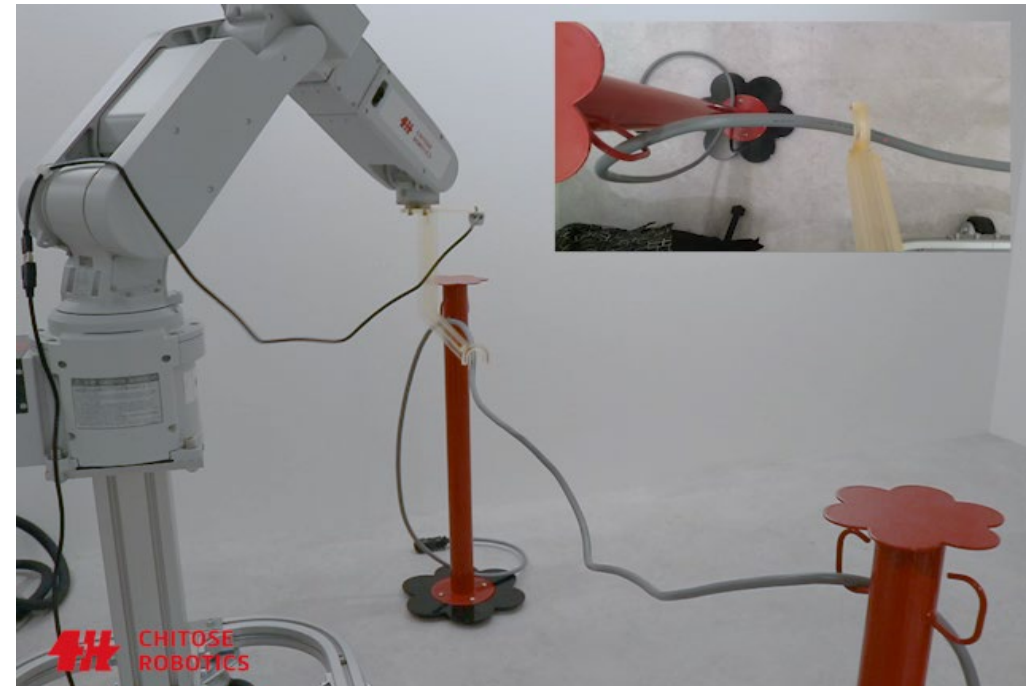
SC キャリブレーションレスビジュアルフィードバック(チトセロボティクス)



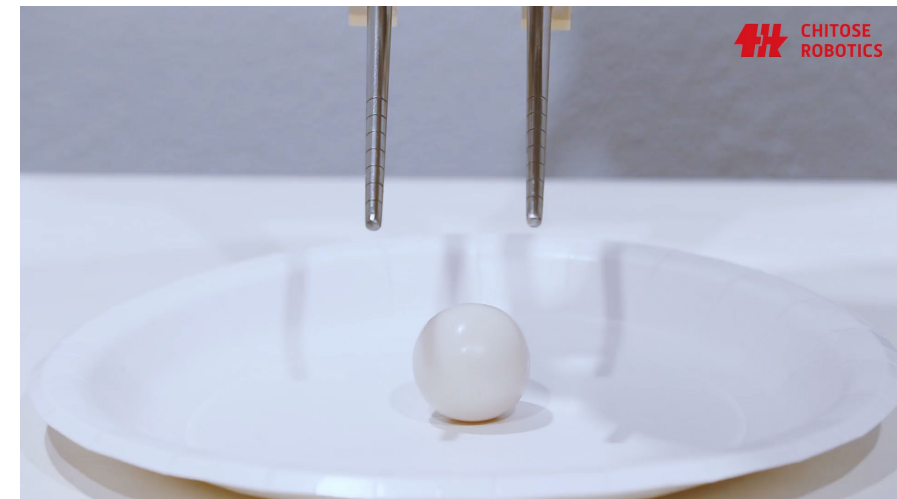
針穴糸通し作業
ビジュアルフィードバック制御
厳密キャリブレーション不要



食品用ハンドリングシステム (パン)
ビジュアルフィードバック制御によるハンドリング
フードテックジャパン展示 中西製作所 x チトセロボティクス



不定形ケーブルトラッキング作業
ビジュアルフィードバック制御
厳密キャリブレーション不要



箸ハンド
ビジュアルフィードバック制御
高精度食品ハンドリング

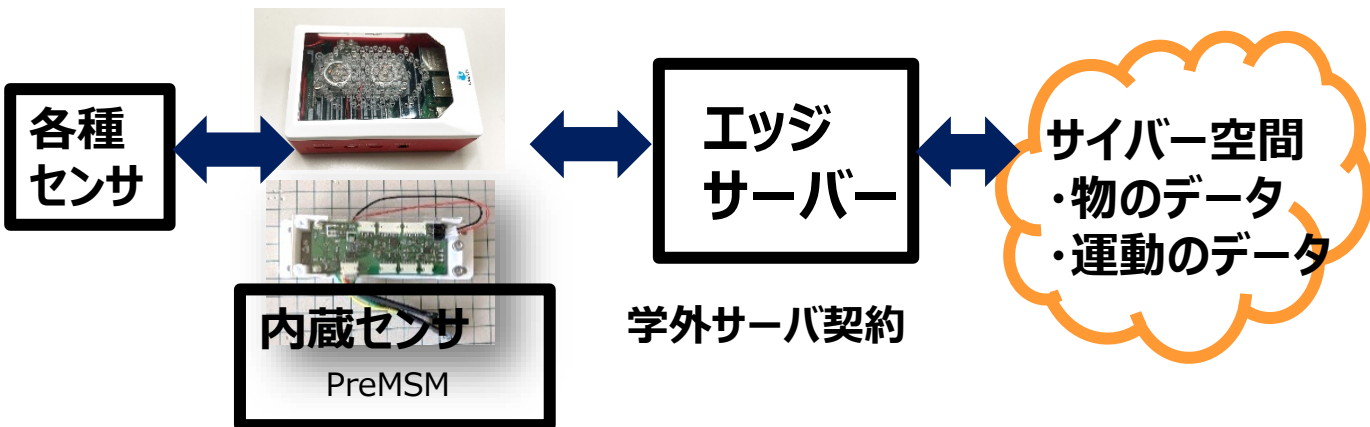
システム実証例 全実験室CPS化



生協食堂食器
返却コンベア



生協教職員用レストラン2021年から営業中止
第3実証実験室として常時利用可能



第1実証実験室 食品製造模擬ライン



第2実証実験室 食品盛り付けシステム



第3実証実験室



レストランホール
93㎡
客席40~50
厨房 25㎡
食洗場 25㎡

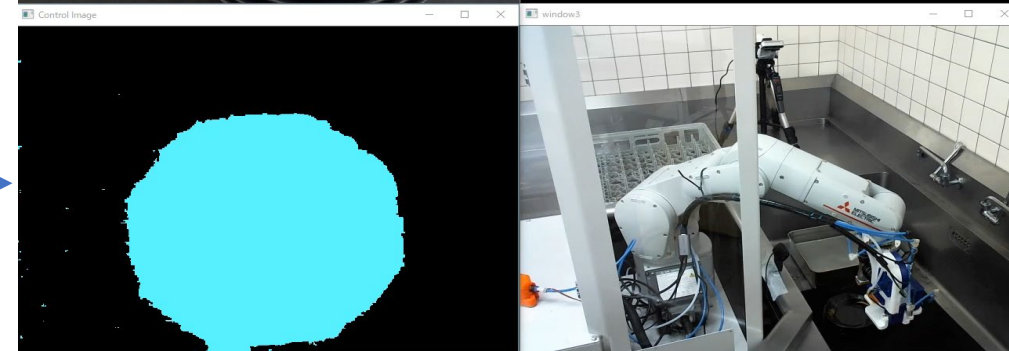
システム化 限定条件では7件程度が目標に到達



食品盛り付け実証例 モータ電流制御による柔軟性

高さ情報既知

今回
環境との接触は
想定せず
把持方向のみ柔軟



高さ情報未知

環境との接触を
想定して
把持方向と
他の方向に柔軟

食洗器への食器投入実証例

空気圧ベローズ平行構造による
全方向への柔軟性



宴会後の下膳作業自動化 空気圧圧力制御による柔軟性

5. おわりに

(1) 合目的エンドエフェクタ開発の重要性

- ・開閉グリップと人型ハンドの二極化 産：既存グリップ 学：人型ハンド
目的に合ったEEの多様性が必要
- ・ロボットなど定義のあいまい性，研究者の甘え，事業者の理解不足
制限の無い汎用機械は存在しない。
- ・問題づくりの重要性 ロボットで実現か？環境で実現か？
作業者の完全な代替をロボットで実現する必要はない
類似状況 車輪と道路
- ・半導体や自動車などロボットは異なり，要求機能が多様

(2) システムインテグレーションの価値を産官学が重視

官 SIの国家プロジェクト推進

- ・SIは日本の強み
- ・単独ベンチャーでは困難（欧米/中国に対応可能）

産 SIに十分な対価の支払い

- ・商習慣の改革 社会的認知向上
- ・SIに適した要素製造 世界的長期的には製造企業にメリット

学 学術としての評価 「設計科学」構築

- ・SIの科学が学術としてのロボティクスの基盤
 - ・実現するシステムの妥当性の説明
 - ・他の諸分野と異なる独立した学術分野であることの証明

ご連絡

[1] MSM利用 (オープン技術)

- ・HPでハード設計方法公開
- ・HPからソフトウェアダウンロード可能
- ・実証実験希望者募集中です。

[2] 協力支援企業/法人, 推進協力企業/法人など
ご興味ある方は事務局までご連絡ください。

sses@st.ritsumei.ac.jp

ご清聴に感謝申し上げます。

ご意見, ご質問など よろしくお願いいたします。