

「革新的ロボット研究開発基盤構築事業」

事業原簿

公開

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI 部
-----	--

目次

概 要	1
プロジェクト用語集	5
1. 事業の位置付け・必要性について	8
1. 事業の背景・目的・位置づけ	8
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	12
2.1 NEDO が関与することの意義	12
2.2 実施の効果（費用対効果）	13
2. 研究開発マネジメントについて	14
1. 事業の目標	14
2. 事業の計画内容	15
2.1 研究開発の内容	15
2.2 研究開発の実施体制	16
2.3 研究開発の運営管理	18
2.4 研究開発成果の実用化・事業化 [*] に向けた マネジメントの妥当性	18
3. 情勢変化への対応	20
3. 研究開発成果について	22
1. 事業全体の成果	22
2. 研究開発項目毎の成果	26
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	103
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	103

(添付資料)

- ・ A : プロジェクト基本計画 ----- i
- ・ B : 事前評価 ----- xv
- ・ C : パブリックコメント ----- xvii
- ・ D : 特許論文等リスト ----- xviii

概要

		最終更新日	2022年 8月22日
プロジェクト名	革新的ロボット研究開発基盤構築事業	プロジェクト番号	P20016 P20018
担当推進部/ PMまたは担当者	ロボット・AI部 竹葉 宏、細谷 克己、江口 豊、鶴田 壮広、土井 浩史（2022年6月～現在） ロボット・AI部 竹葉 宏、神山 和人、細谷 克己、江口 豊、鶴田 壮広、土井 浩史（2022年5月） ロボット・AI部 竹葉 宏、神山 和人、細谷 克己、江口 豊（2022年4月～2022年5月） ロボット・AI部 竹葉 宏、神山 和人、細谷 克己（2022年2月～2022年3月） ロボット・AI部 竹葉 宏、神山 和人、細谷 克己（2021年10月～2022年1月） ロボット・AI部 和佐田健二、竹葉 宏（2021年9月） ロボット・AI部 和佐田健二、山口 芳文、竹葉 宏（2021年8月～2021年4月） ロボット・AI部 茂手木淳史、中元 善太、谷越 貞夫（2020年11月～2021年3月）		
0. 事業の概要	<p>産業用ロボットは日本の産業を発展させていく上でも欠かせない基盤技術であり、これまで日本が世界をリードしてきた市場であるが、近年欧州や中国の追い上げにより、厳しい競争環境に晒されている。</p> <p>本事業では、多品種少量生産現場をはじめとするロボット未活用領域においても対応可能な産業用ロボットの実現に向け、ロボティクスとは異なる分野も含めた幅広い大学研究者等との連携を図りつつ、産学が連携した研究体制を構築し、産業用ロボットにおいて重要な要素技術の開発を行う。</p> <p>また、自動走行ロボットが屋外環境を安全に走行するための遠隔監視・操作システムの開発、自動走行ロボットの自律移動機能開発を行い、安全・安心を示すエビデンスの収集、協調領域の整理を進め、自動配送ロボットによる配送サービスの実現を目指す。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性に ついて	<p>我が国のロボットの活用状況を見ると、1980年代以降、製造現場を中心にロボットが急速に普及してきた。特に産業用ロボットについて、現在に至るまで日本のロボット産業は世界で高いシェアを保ってきたものの、近年、中国等のロボットメーカーや欧州の大学発ベンチャー等の追い上げにより、1990年台後半から約20年で30%近く低下し、現在は60%弱となっている。</p> <p>そこで、これまで直接関わることの少なかった、ロボティクスとは異なる分野も含めた幅広い大学研究者等との連携を図りつつ、産学が連携した研究体制を構築し、産業界における協調領域について検討を進めながら研究開発を実施する必要があるが、これには、国の関与が不可欠である。中長期的にわたり、産業用ロボットにおける重要技術について世界をリードし続けていくことを目指し、既存技術の改良・改善のアプローチのみならず、サイエンスの領域に立ち返った技術開発や、異分野の技術シーズの取り込み等によるイノベーションの創出、延いては国際競争力の強化を狙いとする。</p> <p>さらに政府の成長戦略（2019年6月21日フォローアップ）において、自動走行ロボットの社会実装を目指した具体的な政策が掲げられている。2022年に入り、関連する動きが活発化しており、2月には民間主体による一般社団法人ロボットデリバリー協会が発足、4月には低速・小型の自動配送ロボットに関する制度化を含む「道路交通法の一部を改正する法律」が成立し、2023年までに施行される予定となっていることから、自動走行ロボットの早期の実用化を目指す本事業は政策的にも極めて重要な位置づけとなる。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>本事業では5つの研究開発項目（汎用動作計画技術、ハンドリング関連技術、遠隔制御技術、ロボット新素材技術、自動配送ロボット）を定め、検証・評価を行う。各研究開発項目において、多品種少量生産現場や配送事業をはじめとするロボット未活用領域においても対応可能なロボットの実現に向け、ロボットメーカー等が自社の製品開発に適用可能となる要素技術を8件以上確立することを目標とする。</p> <p>さらに、各研究開発項目で得られた成果を統合したロボット試作機を製作し、実現場を模した環境での実証試験を行い、いずれも従来のロボットと比較して、「自動化率 30%向上」、「システムインテグレーションコストの50%削減」を実現し、ロボットの更なる普及に資することを目標とする。</p> <p>また、本事業により得られた要素技術が活用されることで、ロボットの小型化・軽量化が進み、ロボット動作における消費電力削減を実現することを目標とする。また、最適なロボット動作計画を用いることで、無駄な動</p>		

	<p>きを省いた効率的なロボットの動作を実現し、ロボット導入における省エネ化に寄与する。測定指標として、エネルギー効率について、現状（事業開始時）と比較して1.5倍とすることを目標とする。</p> <p>自動配送ロボットにおいては、開発成果を組み込んだ自動配送ロボットや遠隔制御システム等を用い、適切なリスクアセスメントを行った上で自動配送実証試験を行い、下記のうち2つ以上の目標を達成する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 10台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムの開発 月平均400km以上、あるいはのべ1600km以上の走行 実際にサービスインをする環境で、サービスとして実運用（プレ運用）し、事業としての運用可能性を検証するため、週3日以上、6か月以上継続した荷物の配送・受領に相当する作業を実施。以下は例示であり、特定の地域や用途において以下の条件を下回っても継続的な事業化が可能となる場合はこの限りではない。 <ol style="list-style-type: none"> ① 都市部の人口密集地域：月あたり300件～500件程度（2台同時運用、週3日稼働時） ② 郊外の低人口密度地域：月あたり150件～300件程度（2台同時運用、週3日稼働時） 					
事業の計画内容	主な実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
	汎用動作計画技術	データベース構造検討		動作/データベース構築		実証試験
	ハンドリング技術	把持対象物情報計測		データベースとの連携		実証試験
	遠隔制御技術	次世代通信技術を活用した遠隔制御技術の開発				実証試験
	ロボット新素材技術	軽量/複合材料検討		軽量/複合材料開発		実証試験
	自動配送ロボット	機体開発/開発機体での実証		遠隔監視システムの高度化		サービス実証
	成果取りまとめ					
事業費推移 (会計・勘定別にNEDOが負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円) (委託)・(助成)・(共同研究)のうち使用しない行は削除	会計・勘定	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
	一般会計	219	491	608	-	
	特別会計 (電源・需給の別)				-	
	開発成果促進財源				-	
	総NEDO負担額	219	491	608	-	
	(委託)	24	20	20	-	
	(助成) : 助成率△/□ (共同研究) : 負担率△/□	2/3	2/3	2/3、1/2	-	
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 ロボット政策室、 商務情報政策局 商務・サービスグループ 物流企画室				
	プロジェクトリーダー	-				
	プロジェクトマネージャー	ロボット・AI部 竹葉 宏 ロボット・AI部 鶴田 壮広				

	<p>委託先 (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)</p>	<p>2020 年度～現在助成先 技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構 (ROBOCIP) (参加 9 社 : (株)ダイヘン、(株)デンソー、ファナック(株)、川崎重工(株)、三菱電機(株)、(株)不二越、パナソニックホールディングス(株)、セイコーエプソン(株)、(株)安川電機) 共同研究先 (武蔵野大学、(国研)産総研、東京大学、大阪大学、岡山大学、筑波大学、名古屋大学、神戸大学、東京工業大学、広島大学、東京都立大学、千葉工業大学) ヤンマーホールディングス(株) 共同研究先 (千葉工業大学) パナソニックホールディングス(株)、東北大学 共同研究先 (パナソニックコネク(株)、中央大学) 2020 年度助成先 京セラコミュニケーションシステム(株)、ソフトバンク(株)、佐川急便(株)、(株)本田技術研究所、楽天(株)、(株)NTT ドコモ、(株)東芝、アイシン精機(株)、(株)QBIT Robotics、日本郵便(株)、TIS(株)、パナソニック (株) 再委託先 (国研)産総研、千葉大学、(株)テクノバ 2022 年度～現在助成先 京セラコミュニケーションシステム(株)、LOMBY(株)、(株)ZMP、パナソニックホールディングス(株) 再委託先 北海道大学、(株)日本総合研究所 2020 年度委託先 (財)製造科学技術センター 2021 年度委託先 (財)製造科学技術センター 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング(株)、アーサー・ディ・リトル・ジャパン(株) 2022 年度委託先 (株)三菱ケミカルリサーチ</p>
情勢変化への対応	調査事業による市場動向の把握と反映、研究開発が計画より進んでいるものは加速予算付与でさらなる高度化を推進している。	
中間評価結果への対応	(中間評価を実施した事業のみ)	
評価に関する事項	事前評価	2020 年度実施 担当部 ロボット・AI 部
	中間評価	2022 年度 中間評価実施予定 担当部 ロボット・AI 部
	事後評価	2025 年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<p>要素技術開発では、2020 年から 2021 年で各研究開発項目の基盤構築を実施、2022 年度からは具体的な試作や検証のフェーズに移行しており、中間評価目標は達成する見込みである。</p> <p>2020-21 年度の予算事業で、自動配送ロボット単体の機能開発、開発機体を用いた実証、社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討を実施。実証は屋内外において想定されるユースケースを重なりなく実施した。2022-24 年度の事業では 1:N 遠隔監視制御と実用化へ向けて、所定の距離の走行及び自動配送の実証が可能な案件のみを採択しており、2022 年度末に中間目標の達成を見込んでいる。</p>	
	投稿論文	「査読付き」、「その他」

	特 許	「出願済」22 件、（うち国際出願 3 件） 特記事項：
	その他の外部発表 （プレス発表等）	2022 年国際ロボット展（iREX2022）に出展、他
4. 成果の実用化・ 事業化に向けた 取組及び見通 しについて	<p>開発成果(要素技術)活用による製品・サービス事業強化を支援し、ロボットサービスプラットフォーム提供と継続したエンハンスによるイノベーション創出支援により製造業・サービス業の生産性向上、産業用ロボットの国際競争力強化を図っていく。また、ハンドリング技術に関しては商品開発までを前提に研究開発を進めており、研究開発項目の範囲外である実業化を視野に取組みを進めている。</p> <p>配送ロボ事業は、ロボットの製造販売だけでなく、下記のように 3 つの領域にまたがった事業化が考えられる。得意な領域のみを専業とする企業もあれば、3 つの領域をパッケージとして提供可能な企業も出現することが予想され、事業の裾野は極めて大きく、業種の異なる様々な企業が事業化の検討を進めている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ハード：ラストワンマイル搬送を行うための屋内外を走行可能なロボット ・ システム：複数の搬送ロボットを管理するためのマネジメントシステム。 ・ サービス：顧客に応じてハード、システムを活用した搬送サービスのオペレーション事業 	
5. 基本計画に 関する事項	作成時期	2020 年 6 月 作成
	変更履歴	2021 年 11 月 改訂 プロジェクトマネージャーの変更 2022 年 2 月 改訂 研究開発項目⑤として「自動走行ロボットを活用した新たな 配送サービス実現に向けた技術開発事業（P20018）」を統合 2022 年 9 月 改定 プロジェクトマネージャーの変更

プロジェクト用語集

用語	説明
アクチュエータ	“エネルギー”を、直進移動や回転・曲げなど、何らかの“動作”に変換する装置。アクチュエータを使うことで、物を動かしたり、物の動きを制御したりできる。
アジャイル	柔軟で効率的なシステム開発によって、迅速なシステム提供を旨とするソフトウェア開発手法の総称。
アノテーション	「特定のデータに対して情報タグ（メタデータ）を付加する」という意味で用いる。AI（人工知能）の分野では、音声・画像・テキストなどのデータ（教師データ）に付加されるメタデータ（情報タグ）をアノテーションと呼ぶ。
エンドエフェクタ	ロボットアームの先端に取り付けられ、掴む、加工する、ネジを締める、塗装する、などの動作を行う機器。ロボットハンドとも呼ばれる。
エンハンス	高める、強める、促進する、強化する、向上させる、などの意味を持つ英単語。ITの分野では、製品やシステムの機能追加や性能向上のことを意味する場合が多い。
オクルージョン	手前にある物体が後ろにある物体を隠す状態のこと。
システムインテグレーション	さまざまなシステムの要件定義・設計・開発・運用などを行うサービスのこと。システムの企画・導入から運用まで一貫して担当するサービスのことを指すことが一般的。
システムインテグレータ	システムインテグレーションを実施する企業、および要員。
システムインテグレート	システムインテグレーションと同等の意味で捉えることが多い。主にサービスにおける工程などを示す場合がある。
ジッター	主にデジタル信号の「タイミングの揺らぎ」のこと。回路や通信経路の雑音、他の回路や外部機器の変動などさまざまな原因によって発生する。
ジャミング膜	エンドエフェクタ機構の一つ。 例：能動変形可能なジャミング膜グリッパ機構
スループット	機器や通信路などの性能を表す特性の一つで、単位時間あたりに処理できる量のこと。コンピュータシステムが単位時間に実行できる処理の件数や、通信回線の単位時間あたりの実効伝送量などを意味することが多い。
タスク	課せられた「仕事」、「課題」。 主に仕事を構成するための小さな単位の作業（仕事）を指す。
データベース	コンピュータ上で集積・整理された情報群のこと。決まった形式（データモデル）で整理されたデータの集まりのこと指す場合が多い。
ティーチングペンダント	ロボット動作のプログラムの作成やティーチング作業のための入力・操作装置。外部自動運転以外のすべての操作を行なえる。
デプスカメラ	物体の深度情報（奥行き）を測定する技術を備えたカメラ。
ディレイ	ネットワークの遅延のこと。「遅延」といっても遅延の種類は複数あり、「伝搬遅延」や「アプリケーション遅延」が代表的。
デッドロック	複数の実行中のプログラムなどが互いに他のプログラムの結果待ちとなり、待機状態に入ったまま動かなくなる現象を指す。
テレメトリ	観測対象に取り付けたセンサ等により測定を行い、そのパフォーマンスデータを観測対象から離れた地点において遠隔で送受信すること。

薄層プリプレグ	一方向に引き揃えられた炭素繊維／ガラス繊維に熱可塑樹脂を予め含浸させた中間材料のこと。
ピックアンドプレース	生産ラインなどでワーク（部品や部材）をある位置から別の位置に搬送する動作。ワークをピックアップして置く動作をすることからこの名前と呼ばれる。
ヒューマンファクタ	多くの人や装置が組み込まれたシステムにおいては、人の特性がさまざまな形でシステム全体の機能に影響する。こうしたシステムの中における人間の要因・特性を「ヒューマンファクター」と呼んでいる。
プリミティブタスク	モデリングに使われる基本形状。平面、円柱、円錐、球などの単純な数式で定義できる形状のことだが、平面の組み合わせである立方体もプリミティブとしている。
プロセスチャンバー	内部が真空になっており、実際にプロセスを行うチャンバーのこと。
プロセスマイニング	現行の情報システムから容易に活用できるイベントログを基に知識を抽出することで、実際のプロセスを発掘し、モニタリングし、改善するための分析手法のこと。
ペイロード	送受信されるデータの伝送単位（パケットやデータグラムなど）のうち、宛先などの制御情報を除いた、相手に送り届けようとしている正味のデータ本体のこと。
ペトリネット	離散事象システムをモデル化するためのツール。離散事象システムの特徴は、事象生起の並行性、非同期性、および非決定性にあり、これらの特徴をもったシステムを条件と事象を基本としてモデル化し、数学的解析を可能にしている。
ポリゴンモデル	物体の表面を、三角形または四角形、場合によっては五角形以上の多角形の集合で表したもの。
マルチエージェントシステム	自ら状況を認識し、それに基づいて判断・行動するエージェント（主体）が、複数存在するシステム。
マルチプレクサ	複数の信号を受け、それらを選択したりまとめたりして一つの信号として出力する装置や素子、機構などのこと。
マルチモーダル	複数種類のデータを、統合的に処理すること。人間の例では、「五感」に代表される視覚情報、嗅覚、触覚、味覚、聴覚など外部から入ってくる複数の感覚情報を組み合わせて処理すること。
無線 LAN マルチホップ方式	無線を搭載した各デバイスにデータの中継機能を持たせることで、バケツリレー式にデータの転送を繰り返し、広範囲におよぶ通信を可能とするネットワーク技術。
メタレベル	一段高いレベルという意味。
レンダリング	何らかの抽象的なデータ集合を元に、一定の処理や演算を行って画像や映像、音声などを生成すること。
ロボットフレンドリー	経産省にて推進している活動。ロボットの未活用領域にも導入を推進していくために、ロボット側の対応に期待するのではなく、導入側の環境やプロセスを見直すことで、ロボット導入を推進していくこと。
ワーク	加工や搬送などの対象物のこと。英語で加工対象物を指す「ワークピース」を省略した用語。
ADC	アナログ／デジタルの変換器
AI	人工知能のこと。 英語で人工知能を意味する（アーティフィシャル・インテリジェンス）の頭文字。
CAE	製品開発の初期段階から、コンピュータを用いた仮想試作・仮想試験を十分にを行い、高品質な製品開発を行うためのコンピュータを活用した設計技術。

CFRP	FRP の一種で、炭素繊維（カーボンファイバー）を強化材として加えたもの。CFRP の特徴は「軽くて・強くて・腐食しない」こと。
CFRTP	炭素繊維（カーボンファイバー）を強化材とし、母材に熱硬化性樹脂ではなく、熱可塑性樹脂(Thermoplastic resin)を用いた繊維強化プラスチック。
DB	データベースのこと。
EU	欧州連合のこと。
EV	「Electric Vehicle」の略で、電気自動車のこと。
GAN	「Generative Adversarial Network」の略で、敵対的生成ネットワークのこと。生成モデルの一種であり、データから特徴を学習することで、実在しないデータを生成したり、存在するデータの特徴に沿って変換できる。
Human in the loop	データ収集と前処理～機械学習モデルの訓練～訓練済みモデルの運用監視～継続的なアップデートという一連の機械学習プロセス/ライフサイクル（ループ）の中に人間からのフィードバック（feedback）が含まれることを指す
LiDAR	Light Detection and Ranging の略称。レーザー光を使ったりリモートセンシング技術の 1 つで、対象物にレーザー光を照射し、物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測することで物体までの距離や方向、位置、形状などを測定する。
IPX3	IP〇〇という表記は、「IP（International Protection）」コードと呼ばれ、精密機器の水や固形物に対する保護性能を表す。IPX3 は垂直より左右 60°以内からの降雨によって有害な影響を受けない程度の保護等級である。
PDMS	シリコンエラストマーの一種で、加工しやすく、微細な流路構造の作製に適した樹脂素材のこと。
PM	プロジェクトマネージャー。NEDO 内での事業推進管理者を指す。
P&P	ピックアッププレースのこと。
QoS	ネットワーク上のサービスを安定して使えるようにするために、データを通す順番や量を調整する技術のこと。
RaaS	「Robot as a Service」、ロボットのサービス化ビジネスモデル。
RGB-D	カラー画像（RGB）だけでなく、対象までの距離（D）を取得できるセンサである。
ROS	「Robot Operating System」はソフトウェア開発者のロボット・アプリケーション作成を支援するライブラリとツールでオープンソースの一つ。
ROBOCIP	技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構 産業用ロボットの基礎技術研究分野において、ロボットメーカー各社が連携。
R&D	研究開発を意味する。
SI	システムインテグレーション、システムインテグレートのこと。
SIer	システムインテグレータのこと。
STL 形式	ラピッドプロトタイプング業界でのデータ伝送形式のデファクトスタンダード。
VPN	Virtual Private Network の略称。インターネット上に仮想の暗号化された専用線を設け、安全なルートを確保した上で重要な情報をやり取りすること。
WAN 接続	「Wide Area Network」の略で、遠く離れた場所とつながったネットワークのこと。
3K	「きつい、汚い、危険」の頭文字をとった言葉。3K の要素を持つ仕事は、仕事内容や労働条件が悪いというイメージが強い。

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

(1) 事業の背景

我が国における人手不足への対応に加えて、昨今の新型コロナウイルス感染症の拡大を契機にあらゆる産業分野で「遠隔」「非接触」「非対面」を実現することが求められている状況も踏まえて、幅広い産業分野へのロボットの導入を進めていくことが急務であり、具体的には、以下の取組みを実施する。

- ① 多品種少量生産にも対応可能な産業用ロボットの実現に向け、鍵となる、「汎用動作計画技術」、「ハンドリング関連技術」、「遠隔制御技術」、「ロボット新素材技術」、等の要素技術に係る基礎・応用研究について、産業界と大学等研究機関とが協調しつつ、研究を推進する。
- ② サービスロボットの社会実装に向けて、ユーザーの業務フローや施設環境の変革を含むロボットフレンドリーな環境の実現が必要である。このため、ユーザー、メーカー、システムインテグレーター等が連携し、当該環境の実現に向けて研究開発等を実施するが、この中で屋外環境での配送サービスを実現するための自動配送ロボットの研究開発を推進する。

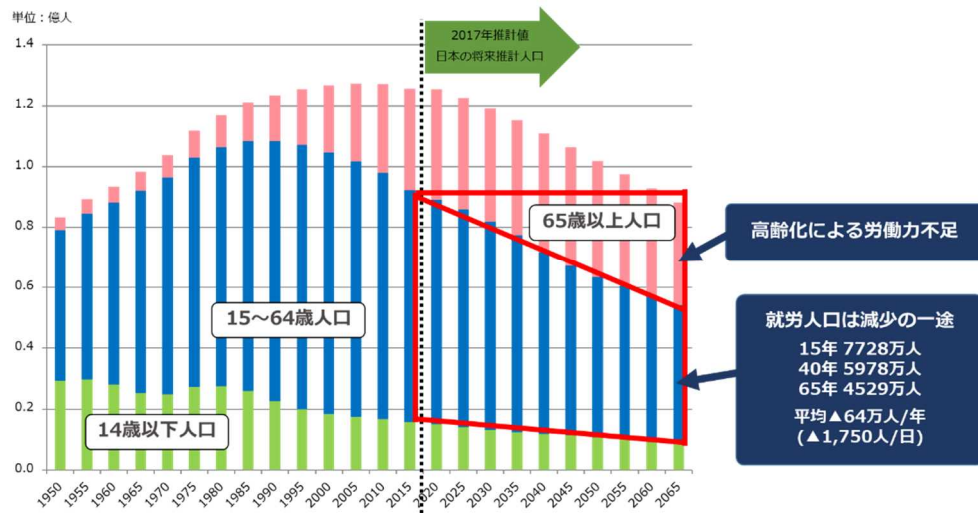


図 1-1. 日本の生産年齢人口の推移



図 1-2. 事業イメージ図

我が国のロボットの活用状況を見ると、1980年代以降、製造現場を中心にロボットが急速に普及してきた。特に産業用ロボットについて、現在に至るまで日本のロボット産業は世界で高いシェアを保ってきたものの、近年、中国等のロボットメーカーや欧州の大学発ベンチャー等の追い上げにより、1990年台後半から約20年で30%近く低下し、現在は60%弱となっている。また、導入先に着目すると、自動車産業が最大の導入先であり、近年は電気・エレクトロニクス産業でも同様の規模まで増加しているものの、食品、化粧品、医薬品といった、いわゆる三品産業等では導入があまり進んでいないといった点も大きな課題となっている。また、製造のみならず物流配送などのモビリティ関連や、警備ロボットやコミュニケーションといったサービス関連分野においても新たなプレイヤーの参入が拡大している。

ロボットの研究開発は多岐の分野にわたるとともに、世界における開発スピードも加速している中、厳しい競争環境に晒されている。このため、各社が単独で基礎・応用研究を実施していくのではなく、協調すべき領域では協調し、従来とは異なる分野の技術シーズなども取り込みつつ、研究開発を進めていくことが、今後もロボットの開発において日本が世界をリードするために不可欠である

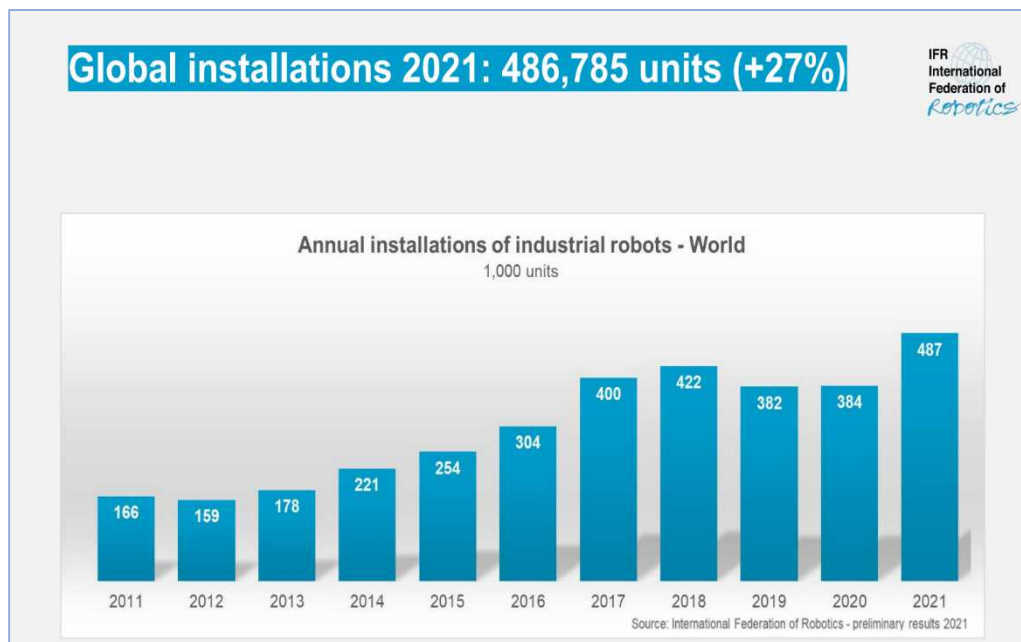


図 1-3. 世界の産業用ロボット年間出荷台数の推移

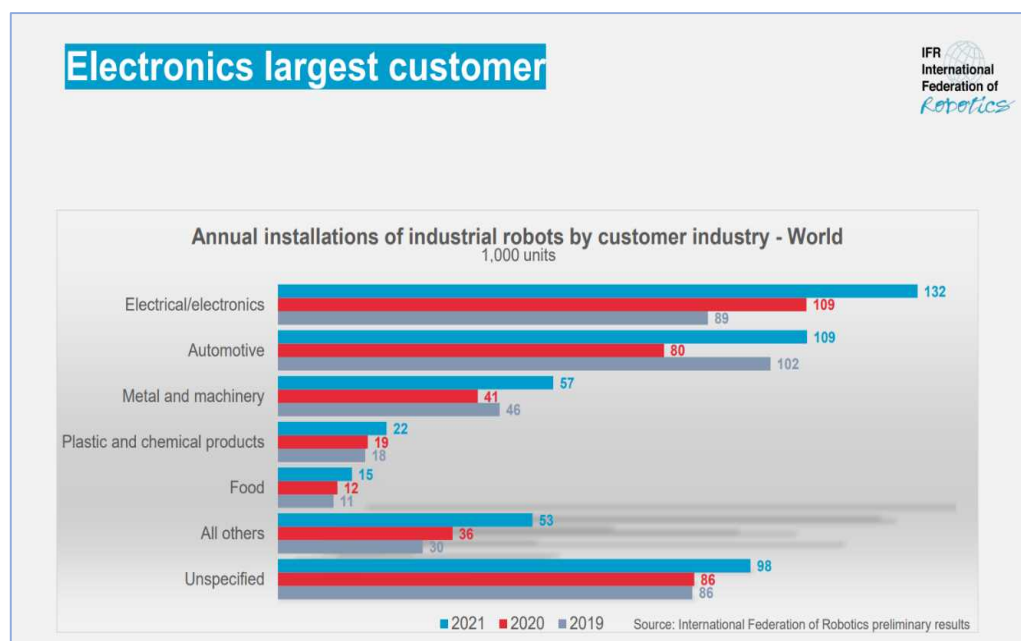


図 1-4. 世界の産業用ロボット推定販売台数（産業別）

(2) 事業の目的

産業用ロボットは、日本経済を牽引する自動車産業や電機・エレクトロニクス産業で数多く導入されており、その技術は日本の産業を発展させていく上でも欠かせない基盤技術である。また、近年では労働力不足を背景に、サービス分野・物流分野におけるロボットの活用についても着目されており、今後もロボットの市場は拡大が見込まれている。

他方で、欧州や中国の追い上げにより、日本のロボット産業は極めて厳しい競争環境に晒されており、中長期的視点に立った、企業が投資しづらいリスクの高い基礎・応用研究を支援する必要がある。また、現状、日本の産業用ロボットメーカーにロボットのみを手掛ける企業はなく、数多くあるセグメントの一つがロボット分野となっているに過ぎず、基礎・応用研究に割リソースは極めて限定的であるというのが実態である。そこで、これまで直接関わることの少なかった、ロボティクスとは異なる分野も含めた幅広い大学研究者等との連携を図りつつ、産学が連携した研究体制を構築し、産業界における協調領域について検討を進めながら研究開発を実施する必要があるが、これには、国の関与が不可欠である。

一方、非製造業ロボット（サービス関連・物流関連ロボット）の市場に関して、2026年には4兆円を超える規模となり、年平均25%以上の成長率での成長が見込まれている。特にラストワンマイル配送におけるドライバー不足解消や買い物弱者対策、ウィズコロナの中での利用者等の安全につながる非接触型の配送サービスとして、自動配送ロボットの早期の社会実装が期待されている。

本事業では、中長期にわたり、産業用ロボットにおける重要技術について世界をリードし続けていくことを目指し、既存技術の改良・改善のアプローチのみならず、サイエンスの領域に立ち返った技術開発や、異分野の技術シーズの取り込み等によるイノベーションの創出、延いては国際競争力の強化をねらいとするとともに、自動走行ロボットの実用化を早期に実現し、サプライチェーンの強靱化を図るとともに、関連するビジネスエコシステムの醸成を図る。

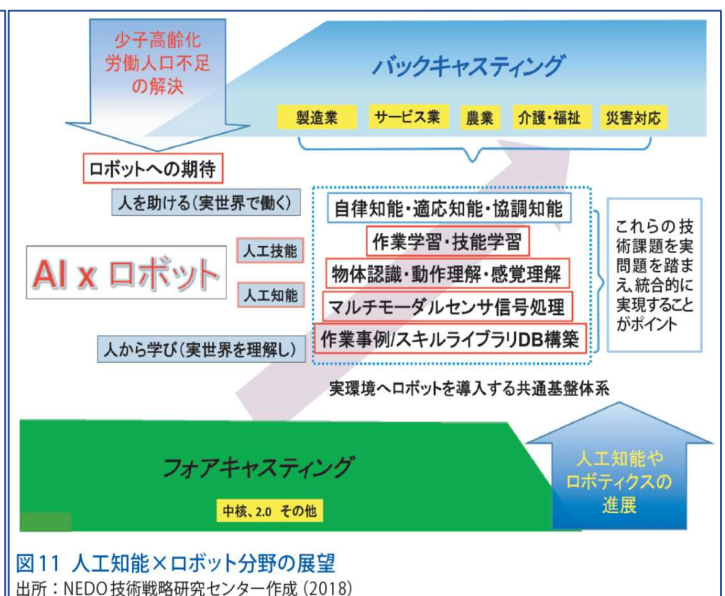
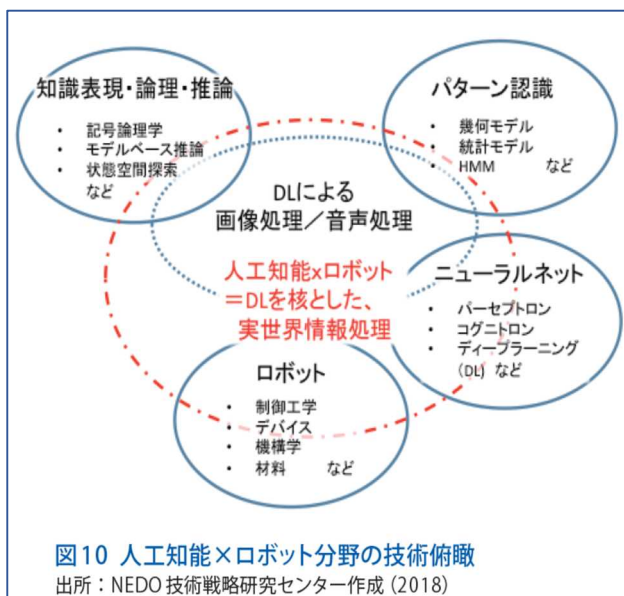


図 1-5. NEDO の技術戦略

(3) 事業の位置づけ

2016年1月、総合科学技術・イノベーション会議において「第5期科学技術基本計画」が策定され、2020年度まで第5期基本計画に沿った科学技術政策を推進するとされている。当該計画では、未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組として、世界に先駆けた超スマート社会「Society 5.0」の実現を示すとともに、超スマート社会における競争力向上と基盤技術の戦略的強化について掲げ、新たな価値創出のコアとなる、ロボット等の強みを有する技術について、中長期的な視点から高い達成目標を設定し、その強化を図るとしている。

また、2019年7月、内閣府、厚生労働省、文部科学省、経済産業省により合同で開催された「ロボットによる社会変革推進会議」の取り纏め（ロボットによる社会変革推進計画）では、国内需要よりも海外需要が拡大する中、国際競争力を強化していく上で、如何に国内でキープロダクツを育て、システムインテグレート能力を強化していくかが重要な課題であるとされている。今後プレイヤーが急拡大することが見込まれる中、将来の乱立に向けて、早い段階で、産業界が協調すべき領域を特定し、大学における基礎研究を活用しつつ、産学が連携して基礎・応用研究を実施していくための体制整備が必要であるとされており、国内ロボットメーカー等の主導によりアカデミアの基礎研究を促進、支援する本事業は政策的にも極めて重要な位置づけにある。

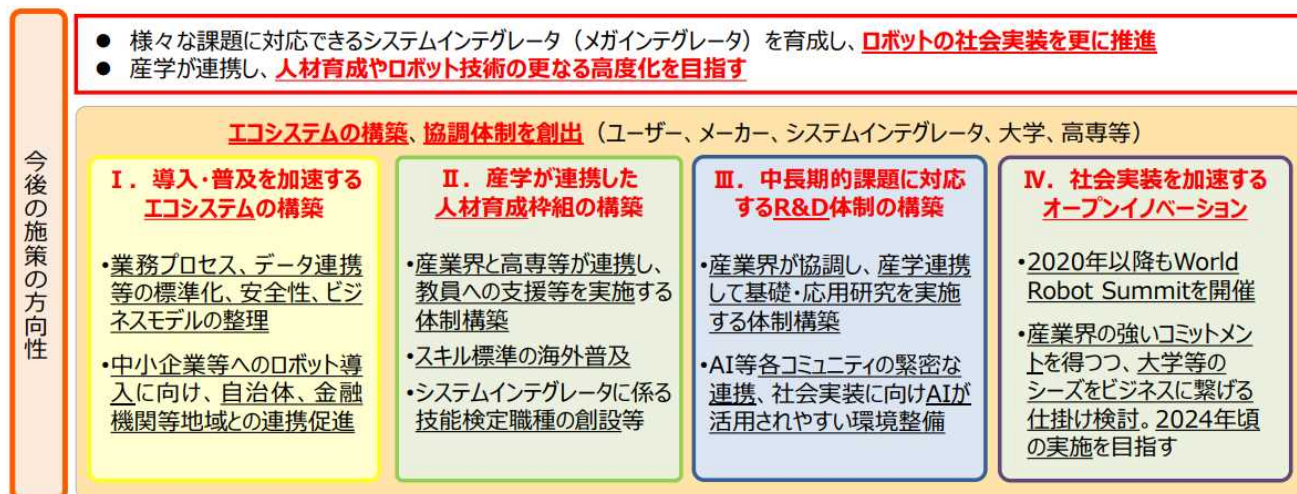


図 1-6. ロボットによる社会変革推進計画

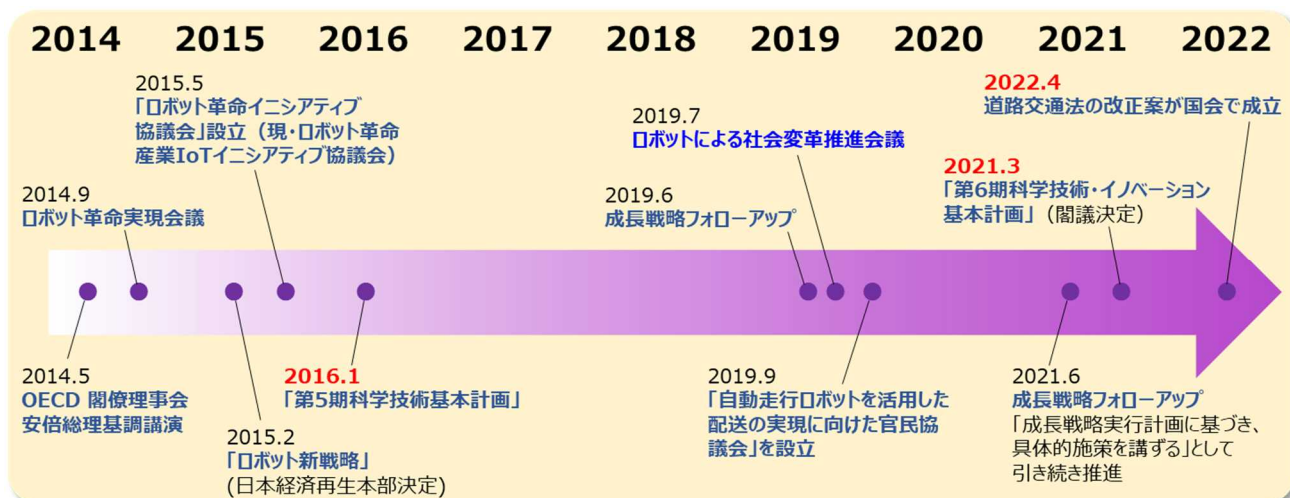


図 1-7. 国の政策推移

自動配送ロボットにおいては、本格的な社会実装に向け、2019年度内に官民による協議会を立ち上げ、同協議会における議論も踏まえながら、ロードマップの策定及び社会受容性の向上のために必要な措置、必要なルールの在り方、求められる安全性等についての検討に着手する。」ことを掲げている。今年に入り、関連する動きが活発化しており、2月には民間主体による一般社団法人ロボットデリバリー協会が発足、4月には低速・小型の自動配送ロボットに関する制度化を含む「道路交通法の一部を改正する法律」が成立し、2023年までに施行される予定となっていることから、自動走行ロボットの早期の実用化を目指す本事業は政策的にも極めて重要な位置づけとなる。

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2. 1 NEDO が関与することの意義

世界の産業用ロボットの販売台数は、2013年から2017年の5年間で約2倍に増加しており、今後も年平均12%の増加が見込まれている。また、サービス関連・物流関連ロボットの市場も2026年には4兆円を超える規模となり、年平均25%以上の成長率での成長が見込まれている。

産業用ロボットの導入台数に着目すると、2012年には日本が1位であったが、2017年には中国が日本を抜いて1位となっており、6年間で約5倍に増加している。同様に、サービス関連・物流関連ロボットに関しても欧米中において様々な企業の参入拡大が続いている。

この他、欧州では、EUの「Horizon2020」において金融危機後のEU経済の土台を築くために、「研究室から産業へ、そして市場へ」を掲げ、産学連携によるイノベーション創出が進められており、ロボット分野については23のプロジェクトが実施されており、年間2億ユーロが助成されている。なかでもデンマークにおいては、オーデンセ市により技術クラスター「オーデンセロボティクス」が発足し、2019年2月時点で約120社のロボット関連企業や研究・教育機関及び投資機関・企業が参画するなど、ロボティクスに係る技術・経営を熟知したプロフェッショナル集団による基礎研究から市場参入までの一気通貫型支援を目指した、自治体による各種支援が実施されている。

以上より、本事業では、中長期にわたり、産業用ロボットにおける重要技術について世界をリードし続けていくことを目指し、既存技術の改良・改善のアプローチのみならず、サイエンスの領域に立ち返った技術開発や、異分野の技術シーズの取り込み等によるイノベーションの創出、延いては国際競争力の強化をねらいとするためにもNEDOが関与することが必要である。

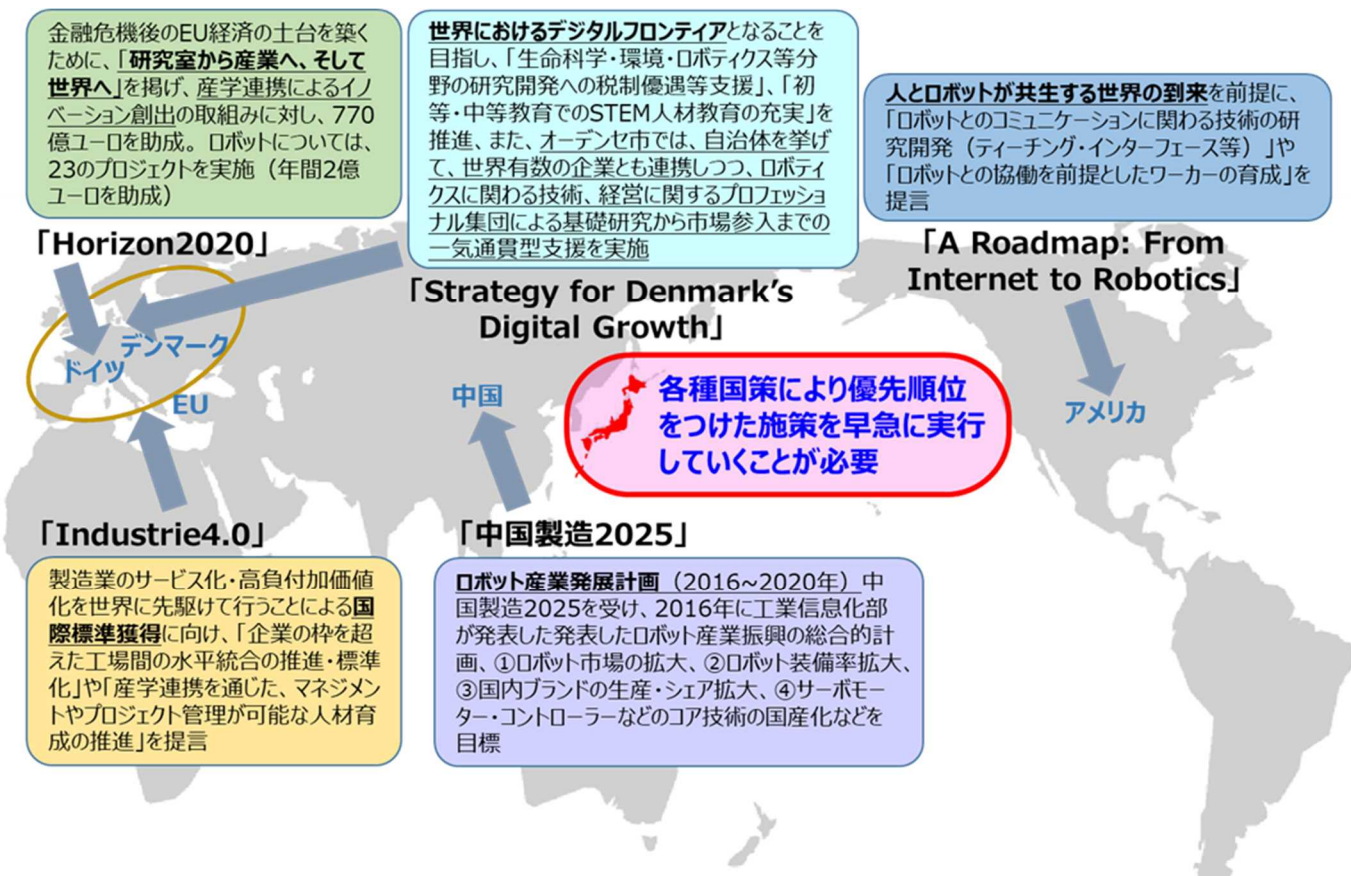


図 1-8. 主要国・地域でのロボットに係る取組み

2. 2 実施の効果（費用対効果）

今後わが国では、製造業、卸売・小売、物流分野の人材不足、3K 職場人離れ、宅配取扱個数の急増、買い物弱者の増加が予想され、これらへの対策が急務である。

本事業において、これまでの事業費合計は、13.2 億円（2020～2022 年度）であり、下図にて試算した通り、今後の人材不足を平均年収で換算したとして、本事業で得られる効果を市場規模の 5%と仮定しても十分な経済効果が見込めるものと考ええる。

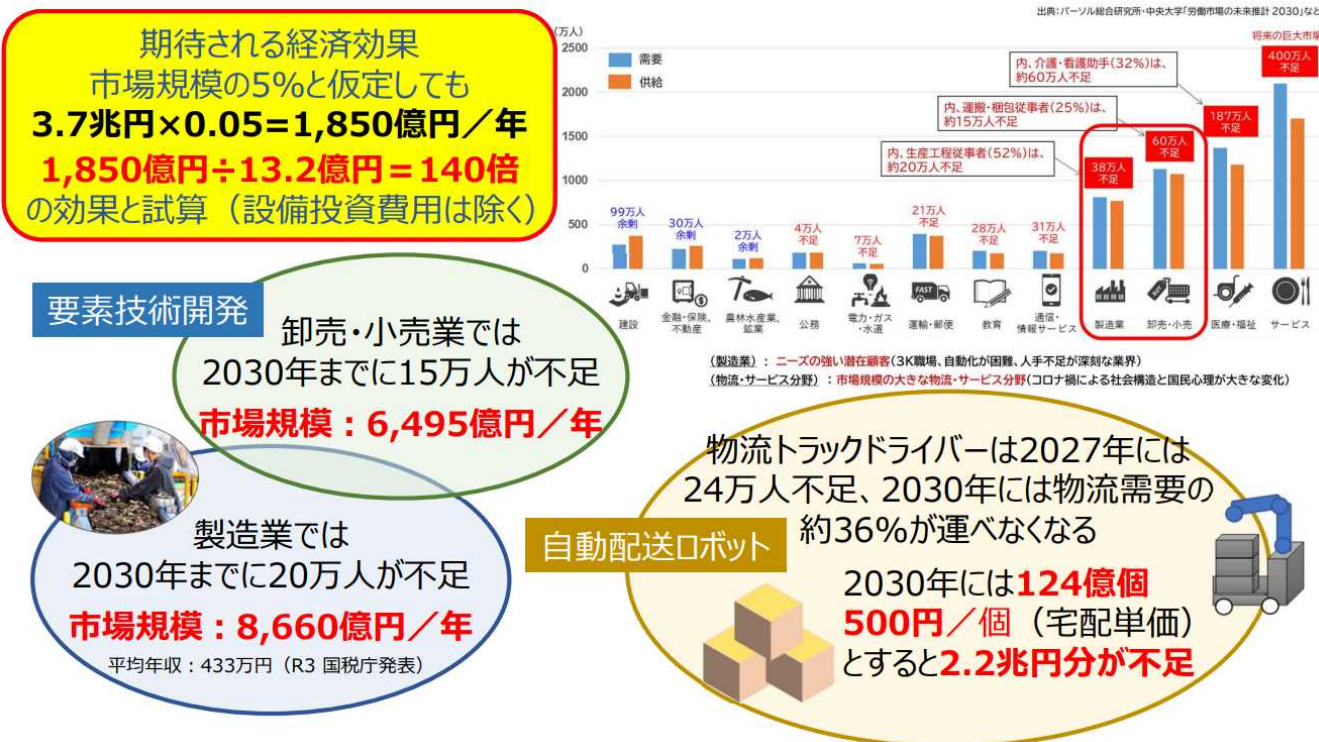


図 1-9. 費用対効果（試算）

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) アウトプット目標

本事業では5つの研究開発項目（汎用動作計画技術、ハンドリング関連技術、遠隔制御技術、ロボット新素材技術、自動配送ロボット）を定め、検証・評価を行う。各研究開発項目において、多品種少量生産現場や配送事業をはじめとするロボット未活用領域においても対応可能なロボットの実現に向け、ロボットメカ等が自社の製品開発に適用可能となる要素技術を8件以上確立することを目標とする。

さらに、各研究開発項目で得られた成果を統合したロボット試作機を製作し、実現場を模した環境での実証試験を行い、いずれも従来のロボットと比較して、「自動化率30%向上」、「システムインテグレーションコストの50%削減」を実現し、ロボットの更なる普及に資することを目標とする。

研究開発項目ごとの最終目標については表2-1. 参照。

表2-1. 研究開発項目ごとの最終目標

課題	研究開発項目	研究開発最終目標（2024年度）
実用化	①「汎用動作計画技術」	◆ロボット動作に関するデータベース及び作業対象物に関するデータベースを構築し、 各種データベースを活用した最適化ロジックやアルゴリズムを1件以上構築 する。さらに、 インテグレーションコストの50%削減について検証を行う 。また、ロボットシステムの評価方法について、規格化に向け着手する。
	②「ハンドリング関連技術」	◆研究開発項目①で構築するデータベースと連携し、不定形物を把持することの可能な 汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。さらに、開発したロボットハンドを搭載した産業用ロボットを用いて、実現場を模した環境での実証試験を完了し、 自動化率の30%向上について検証を行う 。
	③「遠隔制御技術」	◆ロボットの遠隔作業の領域に応じた通信仕様の検討を行い、 通信の多重化や通信断に強い仕組みを有する高度な遠隔制御技術を1件以上開発 する。また、ロボット操縦者の身体疲労等を考慮した ロボットの遠隔操作による人への影響に対する対応方針を1件以上確立 する。
	④「ロボット新素材技術」	◆駆動部及び構造部の 軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料を1件以上開発 する。また、ロボットの信頼性向上や制御性能の付与、安全性の向上に資する センサーデバイスについて、基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。さらに、開発したロボット新素材やセンサーデバイスを適用したロボット試作機を用いて、実現場を模した環境での実証試験を完了し、 消費電力の30%減少について検証を行う 。
実用化・事業化	⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」	◆開発成果を組み込んだ自動配送ロボットや遠隔制御システム等を用い、適切なリスクアセスメントを行った上で自動配送実証試験を行い、 下記のうち2つ以上の目標を達成 すること。 1. 10台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムの開発 2. 月平均400km以上、あるいは1600km以上の走行 3. 実際にサービスインをする環境で、サービスとして実運用（フル運用）し、事業としての運用可能性を検証するため、 週3日以上、6か月以上継続した荷物の配送・受領に相当する作業を実施 。 以下は例示であり、特定の地域や用途において以下の条件を下回っても継続的な事業化が可能となる場合はこの限りではない。 ① 都市部の人口密集地域：月あたり300件～500件程度（2台同時運用、週3日稼働時） ② 郊外の低人口密度地域：月あたり150件～300件程度（2台同時運用、週3日稼働時）

(2) アウトカム目標

本事業により得られた要素技術が活用されることで、ロボットの小型化・軽量化が進み、ロボット動作における消費電力削減を実現することを目標とする。また、最適なロボット動作計画を用いることで、無駄な動きを省いた効率的なロボットの動作を実現し、ロボット導入における省エネ化に寄与する。測定指標として、エネルギー効率について、現状（事業開始時）と比較して1.5倍とすることをアウトカム目標に掲げる。

(3) アウトカム目標達成に向けての取組

各研究開発項目において、国内ロボットメカ等主導のもと、大学における基礎研究を活用しつつ、産学が連携して基礎・応用研究を実施する。その際、従来のアカデミアの分野に囚われることなく、異分野の技術シーズを積極的に取

り込んでいくことに加えて、ロボット関連企業、大学や研究機関との間で人材交流等を行いながら、産学の連携体制で実施することにより、本事業で得られた研究成果の社会実装の確度を高める。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、図. nの研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

- (a) 研究開発項目①「汎用動作計画技術」
- (b) 研究開発項目②「ハンドリング関連技術」
- (c) 研究開発項目③「遠隔制御技術」
- (d) 研究開発項目④「ロボット新素材技術」
- (e) 研究開発項目⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」

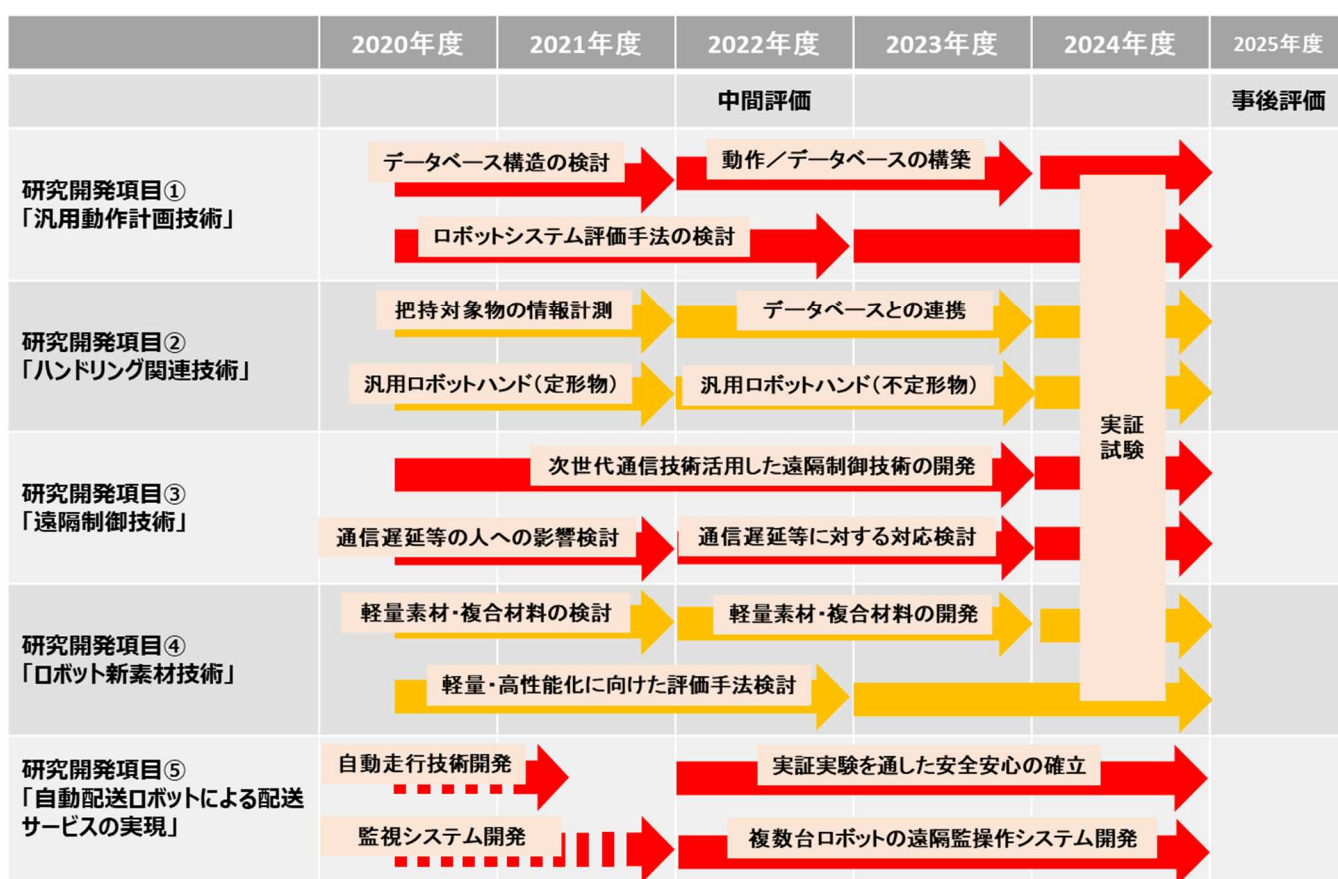


図 2-1. 研究開発スケジュール

なお、(a)～(d) (研究開発項目①～④)についてはロボット産業における共通基盤となり得る協調領域の基礎・応用研究開発を支援するものであり、主として大学等研究機関が実施するものであるため、従来であれば、委託事業で実施すべき研究開発内容である。しかしながら、早期の実用化と普及を確実なものにするため、民間企業の積極的な関与を初期から得て推進することを目的に、助成事業として実施する (NEDO 負担率: 2/3)。

研究開発項目⑤については、配送分野に向けた応用研究開発及び実証を支援するものであり、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発であるため、助成事業として実施する (NEDO 負担率: 大企業 1/2、助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成)。

2. 2 研究開発の実施体制

事業目標の達成には多くのブレイクスルーが必要であることを考慮し、次のような観点から研究開発の実施体制を構築している。

- ① それぞれの研究開発項目について最高のポテンシャルを有する研究者を企業・機関のレベルを超えて結集させ、ドリームチームを結成する。
- ② それぞれの研究開発項目内のみならず、研究内容や企業の壁を越えて研究開発項目が相互に関連しあって目標とするシステムが構築され高度化していくことを目指し、相互に緊密な連携を図って研究開発を推進できるようにする。
- ③ 各企業、機関が所有する既存設備、ノウハウ等を有効に活用することにより、効率的かつ効果的な研究開発を可能とするとともに、できるだけ効果的な資金配分を実現する。
- ④ 参加企業・機関が一体となって標準化推進を進めるとともに、本研究開発成果の実用化・事業化をより確実なものとするため、国内外市場における事業戦略を策定しつつ研究開発を推進できるようにする。

本事業の研究開発企業と共同研究先、研究項目を図 1-11.に示す。本事業は技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構（以下、ROBOCIPと略記する）、パナソニックホールディングス株式会社、国立大学法人 東北大学、ヤンマーホールディングス株式会社、京セラコミュニケーションシステム株式会社、株式会社 ZMP、LOMBY 株式会社に NEDO が助成金を交付して実施する事業である。

ROBOCIP の研究員は、組合企業である川崎重工株式会社、株式会社デンソー、ファナック株式会社、株式会社不二越、三菱電機株式会社、株式会社安川電機、セイコーエプソン株式会社、株式会社ダイヘン、パナソニックホールディングス株式会社から登録される研究員と、ROBOCIP にて採用した研究員により構成され、各企業内および ROBOCIP 実験室にて研究開発活動を実施している。他は単体企業および共同研究先にて実施する。

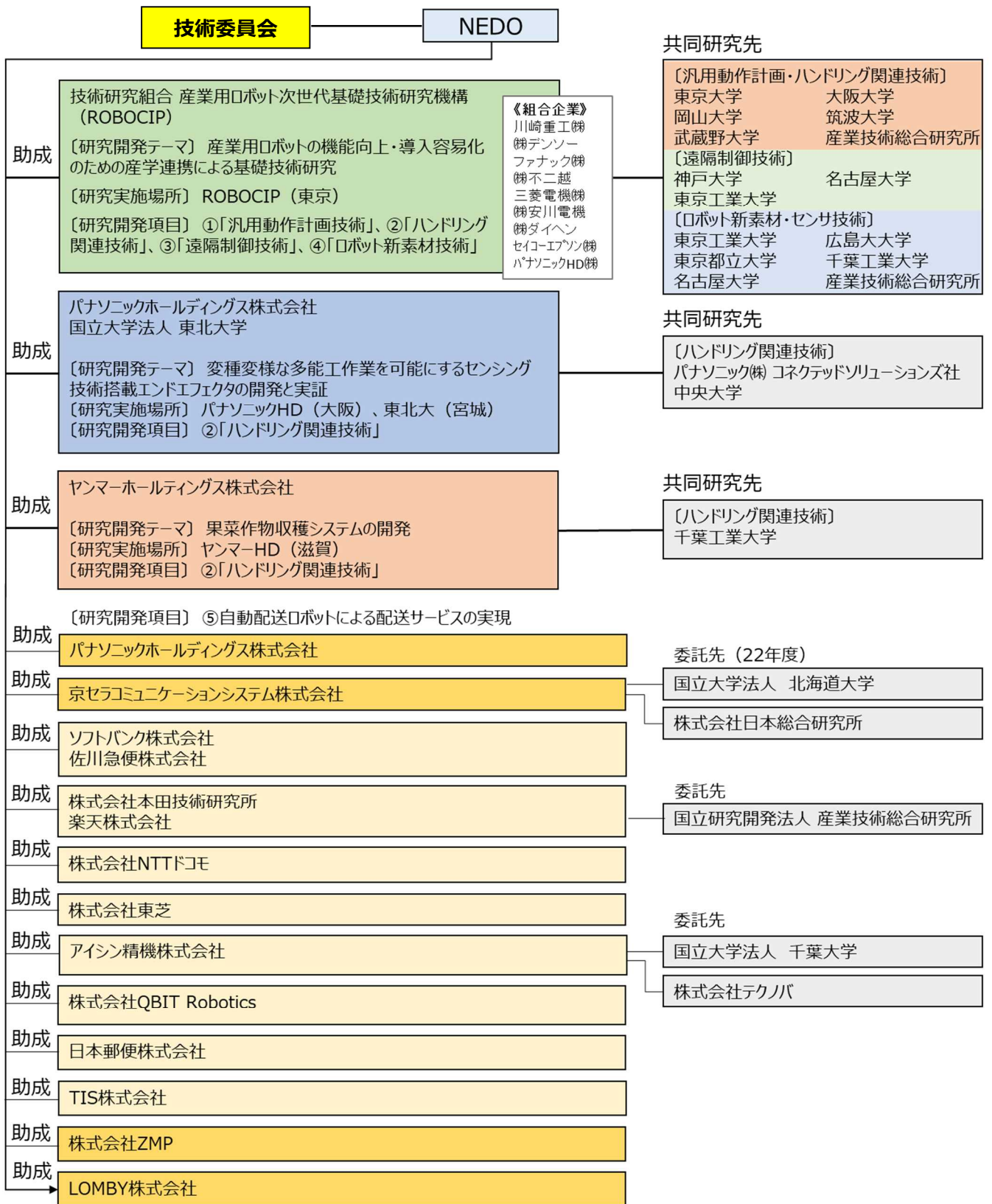


図 2-2. 研究開発の実施体制

2. 3 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PM は、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、テーマ間連携による相乗効果や相補的技術要素の整理等についても実施者含め検討を行う。

② 技術委員会の開催

PM は、研究開発の進捗状況に応じ、適時技術委員会を開催し研究開発内容の精査、方向性を見極め等を実施する。

表 2-2. 研究開発項目別技術委員リスト

技術委員リスト	
要素技術開発：研究開発項目①～④	自動配送ロボット：研究開発項目⑤
委員長 有木 俊博	委員長 永井 正夫
委員 細田 祐司	委員 細田 祐司
榊 泰輔	川本 雅之
三治信一郎	三治信一郎
	東 博暢
	富士原 寛

2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性

事業の開始にあたり、NEDO は経済産業省と共に産業用ロボットにおいて強みを持つ企業が参加した事業の実施体制を構築し、産業用ロボットに要する各種技術との深い誘導を実現するために必要な研究開発とその成果の実用化の達成に対する蓋然性を高めている。

(1) シンポジウムの開催

- ・ 第 34 回新産業技術促進検討会シンポジウム「ロボット活用拡大に向けた最新の取り組み」
(2021 年 8 月 31 日) モノづくり日本会議・ウェビナー (NEDO、ROBOCIP)
- ・ 「自動配送ロボットを活用した新たな配送サービス実現に向けたシンポジウム～自動配送ロボによるラストワンマイルの現在を知る」(経産省、NEDO、本事業参加事業者等)
(2022 年 3 月 8 日)
- ・ NEDO 講座「自動配送ロボのラストワンマイル」(全 5 回)
(2022 年 3 月 8 日、5 月 11 日、7 月 22 日、9 月 9 日、12 月予定)



図 2-3. 第 34 回新産業技術促進検討会シンポジウム



図 2-4. 自動配送ロボットシンポジウムの様子

(2) 講演

- ・ 横浜ロボットワールド 2021 (2021 年 11 月 10 日)
「ロボット導入拡大に向けた NEDO の最新の取り組み」(NEDO)
- ・ 国際ロボット展 2022 NEDO セミナー (2022 年 3 月 10 日)
「新たな領域での活用を目指した革新的ロボット技術開発」(NEDO)
「人とロボットの共生社会を目指した ROBOCIP の研究プロジェクト紹介」(ROBOCIP)
「遠隔・非対面・非接触での配送サービス実現のための自動走行ロボット開発」(NEDO)
「UR 団地における、5G/4G を用いた複数ロボットの遠隔監視・配送実証の実施」(NTT ドコモ)
- ・ 第 40 回 日本ロボット学会・講演及び展示 (2022 年 9 月・予定)
「データドリブンロボティクス」(ROBOCIP)

(3) 展示会への出展

- ・ World Robot Summit (WRS) NEDO ブース展示 (オンライン) (2021 年 9 月)
- ・ 国際ロボット展 2022 NEDO ブース展示：各事業者 (2022 年 3 月)

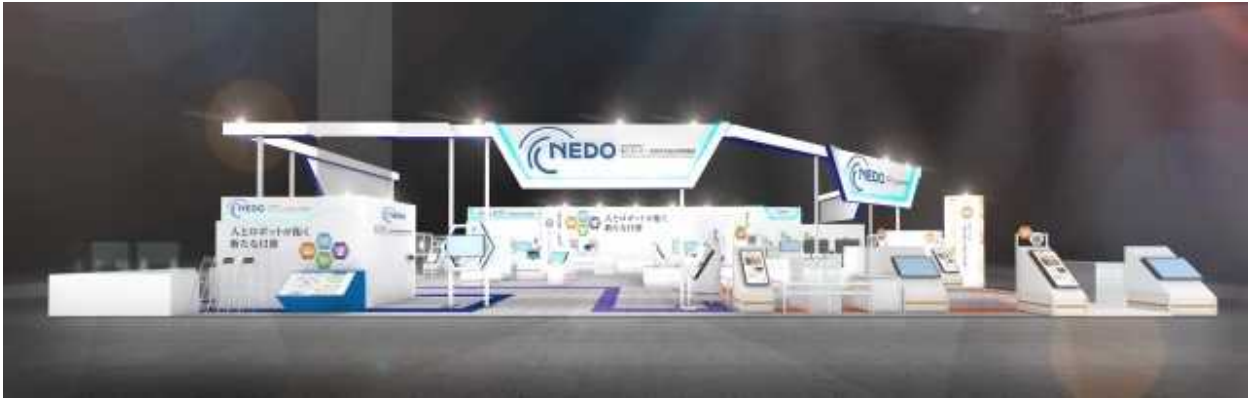


図 2-5. 国際ロボット展での展示（2022 年）

3. 情勢変化への対応

情勢変化への対応としては、以下のような取り組みを行っている。

- (1) 国際競争力強化や実用化に資すべく本事業で開発を進めている要素技術の研究開発成果に基づき、当初の計画を変更する形で、実施方針の変更や加速資金の投入を実施した。産業用ロボットの応用についてはまだ課題多く、実装技術・評価技術の開発を前倒し、実用化検討を推進している。

項目	テーマ	研究開発目標（2022年度末）	情勢の変化	目標の妥当性に対応
ハンドリング技術	変種変様な多能工作業を可能にするセンシング技術搭載エンドエフェクタの開発と実証	<ul style="list-style-type: none"> 汎用性の高いエンドエフェクタの原理を考案し、考案原理に基づく実機を具現化し、対象物の形状・サイズに依らずすくい取り保持可能なエンドエフェクタの設計・試作を実施する エンドエフェクタに搭載した小型カメラのセンシング情報を用いたエンドエフェクタの把持制御手法を開発する 	<p>研究開発の進捗が計画以上に推進</p> <p>研究開発加速予算の付与 14百万円</p>	<p>① 外部ビジョンセンサで検出した対象物を、ロボットアームに取付けたハンドで把持する実アプリケーションに近い動作でのハンド評価の実施</p> <p>② 「ハンドと把持対象物の位置ズレの影響評価」や「実運用時に顕在化する現在未把握の課題抽出」を実施</p> <p>より現実に近い想定で評価・課題抽出を行うことで、自動化率の向上を早く達成することに寄与</p>
	果菜作物収穫システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 所定ずれ範囲にあるトマトを90%以上収穫可能 部分的に隠れたトマトの実を規定誤差以内で90%以上について検出 	<p>研究開発の進捗が計画以上に推進</p> <p>研究開発加速予算の付与 6百万円</p>	<p>① 収穫ロボットの搬送、走行部分の外注化で社内リソースを収穫性能向上に集中、短期で目標性能を実現を目指す</p> <p>② 画像認識担当メンバー増、研究用計算機導入で開発を加速</p> <p>③ 近隣に試験用の圃場環境を整備</p> <p>リソース・環境整備で研究加速</p>

図 2-6. 加速予算投入による研究開発前倒し

- (2) プロジェクトで取り組む技術分野について、国内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等を調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査の効率化の観点から、必要に応じて本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

情 勢	対 応
<ul style="list-style-type: none"> ● 海外での最新の産業用ロボット研究開発加速による国際市場への参入 ● 国際競争力の強化のため、国内の産業用ロボット業界の要諦を検討・整理が急務 	<p>「産業用ロボットへの展開が見込まれる異分野アカデミアシーズに係る調査」 (2020年度：一般財団法人製造科学技術センター)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ ロボティクスとは異なる分野の技術シーズの取り込み等によるイノベーションの創出が必要であるため、産業用ロボットへの展開が見込まれる異分野アカデミアシーズに係る調査を実施 ➢ 各大学の研究室が有する技術シーズと産業用ロボットにおける重要技術との関係について整理し、その結果をとりまとめ
	<p>「欧州における産業用ロボットの研究開発および実装に関する動向調査」 (2020年度：NEDO・欧州事務所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 欧州での最新の産業用ロボットの研究開発および実装に関する動向調査を実施することにより、国内の産業用ロボット業界の要諦を検討・整理し、国際競争力を強化することを目的とする
	<p>「商品画像を活用したロボット導入に係る調査・検討」 (2020年度：三菱UFJリサーチ&コンサルティング、アーサー・ディ・リトル・ジャパン)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 国内外における商品画像に関する調査研究を一元的に実施することで、あらゆる産業分野にロボットを導入していくための基礎となると考えられるため情勢調査を実施
	<p>「産業用ロボットの関連技術の標準化等に係る調査」 (2021年度：一般財団法人製造科学技術センター)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 産業用ロボットの国際競争力をより一層強化していくためには、標準化の推進や、イノベーションの創出が必要であり、産業用ロボットの要素技術に係る標準化の動向や、異分野の技術シーズについて調査する
	<p>「革新的ロボット研究開発基盤構築事業に係る技術動向及び市場調査」 (2022年度：三菱ケミカルリサーチ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 要素技術開発で期待されている成果について、事業化の用途を広く探索するために、現状及び将来のロボットの国内外の技術動向、既存技術に対する優位性を明確にし、成果の応用範囲や実装可能性を拡大するための調査を行う

図 2-7. 調査事業一覧

3. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1. 1 事業全体の成果について

革新的ロボット研究開発基盤構築事業での基本計画に定めた研究開発項目に基づき、事業の目的や目標を達成するために以下の研究テーマについて研究開発を進めており、各研究開発において所期の成果が得られている。詳細な内容については「3.2 項 開発項目毎の成果」にて記す。

- ・産業用ロボットの機能向上・導入容易化のための産学連携による基礎技術研究
 - 研究開発項目①：汎用動作計画技術、②：ハンドリング関連技術、③：遠隔制御技術
 - ④：ロボット新素材技術
- ・変種変様な多能作業を可能にするセンシング技術搭載エンドエフェクタの開発と実証
 - 研究開発項目②：ハンドリング関連技術
- ・果菜作物収穫システムの開発
 - 研究開発項目①：汎用動作計画技術、②：ハンドリング関連技術
- ・人共存下における配送ロボット・運行管理システムの開発と住宅街等での配送サービスの実現、他
 - 研究開発項目⑤：自動配送ロボットによる配送サービスの実現

1. 2 知的財産権の確保に向けた取組み

研究開発の実用化・事業化を推進するためには、製品の性能優位性を確保するとともに、持続的に市場優位性を確保するために、簡単に他社に真似されない製品とする必要がある。本事業は助成事業であり、知的財産権は各事業者へ帰属するため知的財産権の確保に向けた取組みは各事業者の考え方に委ねる。

表 3-1. 知的財産権に関する考え方

項目	事業者	考え方
要素技術開発	ROBOCIP (共同研究先)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ すべての共同研究先と共同研究契約を締結し、研究成果の知的財産権は共同研究先と技術組合の共有 ◆ 共同研究契約において、技術組合員企業が研究成果たる共有知的財産権を無償実施できる ◆ 技術組合員企業各社で本事業の研究成果を持ち帰って実用化することが可能な仕組み
	パナソニックホールディングス 東北大学 (共同研究先)	◆ 東北大学で原理に立ち戻った研究を行い、基本特許となるアイデアを考案 → 出願前譲渡契約を行い、パナソニックで出願 → さらにパナソニックで周辺特許の出願を実施
	ヤンマーホールディングス (共同研究先)	◆ 共同研究先での開発ソフトウェアは知的財産として共有する、特許については2021年度は3件出願済み、2022年度も3件以上の出願を見込む
自動配送	パナソニックホールディングス	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 助成事業に関連する代表的知財として、①複数台モビリティ制御向け遠隔監視技術、②ロボット自律移動における安全停止技術を出願 ◆ ロボットの遠隔監視技術について出願状況を調査したところ、全体的に出願数が少ない状況。この分野の出願で優位性を確保していく方針。

1. 3 成果の普及

研究開発の中で共有化されてきた成果の社会実装、産業への波及効果を推進するために、研究開発の実施期間中から、研究開発の成果が迅速かつ広く受け入れられるように、ニュースリリース、展示会への出展、シンポジウム開催等の取り組みを通じて、革新的ロボット研究開発基盤構築事業の情報発信、普及促進を推進する。さらに革新的ロボット研究開発基盤構築事業を、一般ユーザ、研究者、学生等へ幅広く普及させるために、成果普及、人材育成、

ビジョン形成等の活動を推進する。

研究開発成果の普及として、学会活動、展示会活動、ニュースリリース等を表 n *にまとめる。特許については、研究開発成果の活用のため、成果や知的財産権は国内外で積極的に投稿、出願している。

表 3-2. 成果普及の状況

項目	2020年度	2021年度	2022年度	合計
論文	0	4	3	7
研究発表・講演	3	17	19	39
受賞実績	0	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	3	5	1	9
展示会への出展	0	8	4	12
項目	2020年度	2021年度	2022年度	合計
特許出願(うち外国出願)	4 (2)	8 (0)	10 (1)	22 (3)

1. 4 研究開発目標の達成度について

研究開発の中間目標に向けた進捗状況を表 3-3.にまとめる。達成度は全て大幅達成◎、達成○となっている。なお、下表における達成度は各事業者個別の評価を基に、本事業として総括的視点で目標と成果を精査した結果を記している。従って「3.2 項 開発項目毎の成果」に記される各事業者毎の達成度とは相違する部分がある

表 3-3. 中間目標の成果状況

課題	研究開発項目	研究開発目標（2022年度末）	主な成果状況	達成度
実用化 実用化	①「汎用動作計画技術」	◆ 各種データベースの構造を検討し、必要なデータの洗い出しを行う。また、 ロボットシステムの評価方法を1件以上確立し 、検証を行う。	<ul style="list-style-type: none"> データベースに必要な要素や構造の検討に加え、先行してデータベース構築と検証に着手。 ロボットシステムの評価方法としてシコスト算出モデルを確立・検証を実施した。 	◎
	②「ハンドリング関連技術」	◆ 把持対象物の情報計測を行うことの可能な センシング機能を有するエンドエフェクタ等を開発し 、10件以上の定型物・不定形物サンプルに対し、把持するモノの情報計測を実施する。さらに、定型物を把持する 汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。	<ul style="list-style-type: none"> データベースの作業対象物のデータを活用し、情報計測(対象認識)可能なカメラによるセンシング機能付きエンドエフェクタを活用し、10件以上の定型物・不定形物サンプルの情報計測(認識)を実施可能なシステム構築を実施。 把持戦略の原理検証により、要素技術として把持の際の指標となる把持安定度を確立した。 最終目標である不定形物の把持についても一部前倒しにて達成した。 	◎
	③「遠隔制御技術」	◆ 次世代の通信技術を活用したロボットの実現に必要な規格の検討を行い、5G通信等に対応したロボットの 遠隔制御に必要な基幹となる要素技術を1件以上確立 する。また、ロボットの遠隔操作による遅延が 人の感覚に与える影響の定量化に必要な指標を検討 する。	<ul style="list-style-type: none"> 公衆回線のように通信遅延(ディレイ)や変動(ジッター)のある通信環境でも遠隔制御を安定的に実行できる通信方式を試作。 遠隔制御のタスクモデル及び評価方法を開発し、要件定義の作成を計画通り達成し、複数感覚(マルチモダリティ)を考慮した通信制御技術を1件開発。 通信遅延や変動がロボット操縦者へ与える影響について、視線追従などによる定量的指標を挙げて有効性を検証。 	○
	④「ロボット新素材技術」	◆ ロボットの駆動部若しくは構造部のうち、 ロボットの消費電力削減に寄与する項目を2件提示し 、軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料の探索を行い、適用可能性を検証する。その上で、ロボットの 軽量化・高性能化による性能を評価する指標を1件確立 する。	<ul style="list-style-type: none"> プレス成形によるCFRP製ロボットアームのブロットタイプを開発し適用可能性検証。軽量化25%及び現行材と同等程度の特性を得られる見通しを得た。 アーム部及び減速機の軽量化(25%)により省電力化(30%)できる考え方を整理。これにより消費電力削減に寄与する2件(アーム部及び減速機)を提示。 上記の「軽量化(25%)により省電力化(30%)できる考え方」において「動作パターンにおけるDuty比(の低減)」が軽量化による省電力化(および高速化)の指標であることを示し、軽量化による性能を評価する指標を1件確立。 	○
実用化・事業化	⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 下記のうち2つ以上の目標を達成すること ● 2台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムの開発。(最終目標は10台以上) ● 月平均100km以上、あるいはのべ400km以上走行 ● 週1日以上、3か月以上継続した荷物の配送・受領に相当する作業を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 2020-21年度の予算事業で、自動配送ロボット単体の機能開発と実証を実施済。 ● 2022-24年度の本事業では左記の1:N遠隔監視制御と実用化へ向けて、所定の距離の走行及び自動配送の実証が可能な案件のみを採択しており、2022年度末に達成見込み。 	○

表 3-4. 成果の最終目標の達成可能性

分類	研究開発項目	最終目標	達成見通し
要素技術開発	①「汎用動作計画技術」	ロボット動作に関するデータベース及び作業対象物に関するデータベースを構築し、 各種データベースを活用した最適化ロジックやアルゴリズムを1件以上構築 する。さらに、 インテグレーションコストの50%削減について検証 を行う。また、ロボットシステムの評価方法について、規格化に向けて着手する。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 動作最適化アルゴリズム等の構築を進めることで達成見込み ◆ SI算出コストモデルの構築及び活用した検証を進めることで達成見込み
	②「ハンドリング関連技術」	研究開発項目①で構築するデータベースと連携し、不定形物を把持することの可能な 汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。さらに、開発したロボットハンドを搭載した産業用ロボットを用いて、実現場を模した環境での 実証試験を完了し、自動化率の30%向上について検証 を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 柔剛切替機構を搭載したエンドエフェクタの開発、後方崩しメカニズムの採用などで、ピックアップタスクの汎用性を高めることで、達成の見通し ◆ ハンドリング評価指標の研究を進めることで達成見込み ◆ 小売り店舗での実証実験を通して検証することで達成見込み
	③「遠隔制御技術」	ロボットの遠隔作業の領域に応じた通信仕様の検討を行い、通信の多重化や通信断に強い仕組みを有する 高度な遠隔制御技術を1件以上開発 する。また、ロボット操縦者の身体疲労等を考慮した ロボットの遠隔操作による人への影響に対する対応方針を1件以上確立 する。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 共同研究先の成果を統合した多様な通信環境とマルチモーダルに対応した通信方式を開発し達成見込み ◆ 上記の通信方式を実装した遠隔制御の実験システムを構築し、開発したタスクボードを用いた評価実験で検証を実施する ◆ 評価実験を通じて、操縦者が作業性能に及ぼす影響を評価、開発したヒューマンファクタの評価方法の妥当性を検証する
	④「ロボット新素材技術」	駆動部及び構造部の軽量化・高性能化に資する 軽量素材や複合材料を1件以上開発 する。また、ロボットの信頼性向上や制御性能の付与、安全性の向上に資するセンサーデバイスについて、 基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。さらに、開発したロボット新素材やセンサーデバイスを適用したロボット試作機を用いて、実現場を模した環境での 実証試験を完了し、消費電力の30%減少について検証 を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 産学の経験と知恵を活用して、重量25%減を実現できる軽量素材を1件以上開発し、消費電力30%削減を検証して、最終目標を達成できる見込み ◆ センサデバイス実装・信頼性向上に向けた要素技術開発を通じて、基幹部品となる要素技術を1件以上確立し、「ロボット新素材」の適用と合わせて消費電力30%削減を検証して、最終目標を達成できる見込み
自動配送	⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」	自動配送実証試験を行い、下記のうち 2つ以上の目標を達成 する <ul style="list-style-type: none"> ・10台以上のロボットの遠隔監視・操作システム開発 ・月平均400km以上、あるいはのべ1600km以上走行 ・週3日以上、6か月以上継続した荷物の配送 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 各研究開発成果の累積により達成可能見込み 自律移動機能及びイベント通知機能の強化により10台以上の遠隔監視・操作の達成の見通し。これに加え耐環境性能等の向上で走行・配送量の達成見込み

2. 研究開発項目毎の成果

2. 1 産業用ロボットの機能向上・導入容易化のための産学連携による基礎技術研究 (ROBOCIP)

産業用ロボットを取り巻く世界の動向を見ると、中国では国主導で SI の強化に取り組んでおり、欧州では産学が連携して産業用ロボットを含むロボットのイノベーション創出が進められている。一方日本では、産業用ロボットメーカーにロボットのみを手掛ける企業はなく、数多くある部門の一つがロボット事業になっていることから、ロボットの基礎、応用研究に割くリソースは限定的であり、極めて厳しい競争環境に晒されている。

そこで、多品種少量や変種変量の製造業やサービス業への産業用ロボットの展開を見据えた SI の導入容易化、低コスト化および現状の産業用ロボットでは困難な熟練作業の自動化のために、異分野の技術シーズも取り入れつつ産学連携により機能性や操作性、省エネルギーに優れた産業用ロボットの要素技術を開発する。具体的な研究項目および担当機関は以下の通りである。

〔ハンドリング・汎用動作計画技術〕 (株デンソー、東京大学、大阪大学、岡山大学、筑波大学、武蔵野大学、産業総合技術研究所)

- ・作業対象物や、ロボット、ハンドをまとめて扱えるメタデータベースの構築
- ・上述データベースを利用して、ロボットの最適な動作計画を自動生成する汎用動作ロジック
- ・定型物および不定形物をハンド選定やハンドリングするための戦略を導出するアルゴリズム
- ・簡便で低コストな作業対象物の形状や物性データを取得する計測手法
- ・データベースを利用したロボット生産システムの構築方法

〔遠隔制御技術〕 (川崎重工(株)、(株)ダイヘン、神戸大学、名古屋大学、東京工業大学)

- ・産業用ロボットの遠隔制御において必要なデータ種類、データ量、更新周期の基準の導出と検証
- ・上述された基準を利用して、人間工学的要素を考慮した最善の通信方式の制定

〔ロボット新素材・センサ応用〕 (株安川電機、三菱電機(株)、東京工業大学、広島大学、千葉工業大学、産業総合技術研究所、名古屋大学、東京都立大学)

- ・産業用ロボットの駆動部または構造部のうち消費電力削減に寄与する項目を提示し、その寄与する項目を評価するための指標(疲労強度や剛性など)を導出
- ・上述指標をもとに軽量化・高性能化に寄与する新素材
- ・センサデバイスの産業用ロボット実装のための要素技術

2. 1. 1 全体成果

研究開発項目①～④にて掲げた目標を具体的に実行し、中間目標に対する全体成果として表. nに記す成果が達成する見込みである。

表 3-5. 全体成果

研究開発項目	中間目標(2022年度末)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
汎用動作計画技術	各種データベースの 構造を検討 し、必要なデータの洗い出しを行う。 また、 ロボットシステムの評価方法を1件以上確立 し、検証を行う。	<ul style="list-style-type: none"> データベースに必要な要素や構造の検討に加え、先行してデータベース構築と検証に着手。 ロボットシステムの評価方法としてSIコスト算出モデルを確立・検証を実施した。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> DB検証用データの構築 ⇒各機関と連携してデータ作成活動を実施
ハンドリング関連技術	把持対象物の情報計測を行うことのできる可能なセンシング機能を有するエンドエフェクタ等を開発し、10件以上の定型物・不定形物サンプルに対し、把持するモノの情報計測を実施する。 さらに、定型物を把持する 汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立 する。	<ul style="list-style-type: none"> データベースの作業対象物のデータを活用し、情報計測(対象認識)可能なカメラによるセンシング機能付きエンドエフェクタを活用し、10件以上の定型物・不定形物サンプルの情報計測(認識)を実施可能なシステム構築を実施。 把持戦略の原理検証により、要素技術として把持の際の指標となる把持安定度を確立した。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 22年度計画の確実な遂行
遠隔制御技術	中長距離での通信技術を活用したロボット遠隔制御の実現に必要な通信方式の検討を行い、ロボットの 遠隔制御に必要な基幹となる要素技術を1件以上確立 する。また、ロボットの遠隔制御での通信遅延が 人に与える影響の定量化に必要な指標 を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> 公衆回線のように通信遅延(デレイ)や変動(ジッター)のある通信環境でも遠隔制御を安定的に実行できる通信方式を試作。 遠隔制御のタスクモデル及び評価方法を開発し、要件定義の作成を計画通り達成し、複数感覚(マルチモダリティ)を考慮した通信制御技術を1件開発。 通信遅延や変動がロボット操縦者へ与える影響について、視線追従などによる定量的指標を挙げて有効性を検証。 	○	<ul style="list-style-type: none"> マルチモダリティ間の同期とロボット制御と通信制御の連携確立が課題、QoS制御をロボット実験を活用して改良 物品調達の長納期化に伴う開発スケジュールの調整が課題、実装と実験評価を短周期で行うアジャイル開発手法により開発の効率化を図る
ロボット新素材技術	ロボットの駆動部若しくは構造部のうち、 ロボットの消費電力削減に寄与する項目を2件提示 し、軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料の探索を行い、 適用可能性を検証 する。その上で、ロボットの 軽量化・高性能化による性能を評価する指標を1件確立 する。	<ul style="list-style-type: none"> プレス成形によるCFRP製ロボットアームのプロトタイプを開発し適用可能性検証。 ロボットの機構を模擬した試験により、複数の候補素材を探索。 アーム部及び減速機の軽量化(25%)により省電力化(30%)できる考え方を整理。これにより消費電力削減に寄与する2件(アーム部及び減速機)を提示し、軽量化による性能を評価する指標を1件確立。 ロボットの高性能化に資するセンサ実装技術として、各種の印刷型有機センサ試作や、2次元マッピング可能な圧力センサアレイと無線通信回路を組合せたワイヤレスセンサシステムをハンドに実装したプロトタイプの開発・評価等を実施。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 22年度計画の確実な遂行 「センサ応用技術」の共同研究先変更に伴う実施内容再確認

2. 1. 2 ハンドリング・汎用動作計画技術

産業用ロボットを利用した組立や搬送などの各種作業に対して作業対象物(モノ)のデータや物性データおよびロボットや周辺機器、ハンドをまとめたデータベースを構築し、データベースから最適な動作計画を自動的に生成する汎用動作ロジックを開発する。モノは定型物および不定型物を対象とし、データベースから近い形状のモノは把持可能な柔軟で汎用的なハンドリング技術を開発する。

各共同研究機関の成果をとりまとめ、データベースを活用する3つのシナリオをベースに課題の明確化を推進した。

- シナリオ1 では DB のオフライン活用による P&P のシステムインテグレータ(SI)コスト削減を目標に P&P の対象ワークやハンド、ハンドリング、動作計画など一連の動作をどのように DB に登録するのが望ましいのかを検討を実施した。
- シナリオ2 では DB のオンライン活用による P&P の自動化率向上を目標にリアルタイムで物体の認識等を行う際に必要な要素の検討を実施した。
- シナリオ3 においては次年度以降に各研究機関の成果を統合したフレームワークの統合 DB においてロボットシステムデータの生成及び最適化の機能構築を実施した。また加えて各研究機関においては上記シナリオでの活用につながる研究成果の構築を推進した。

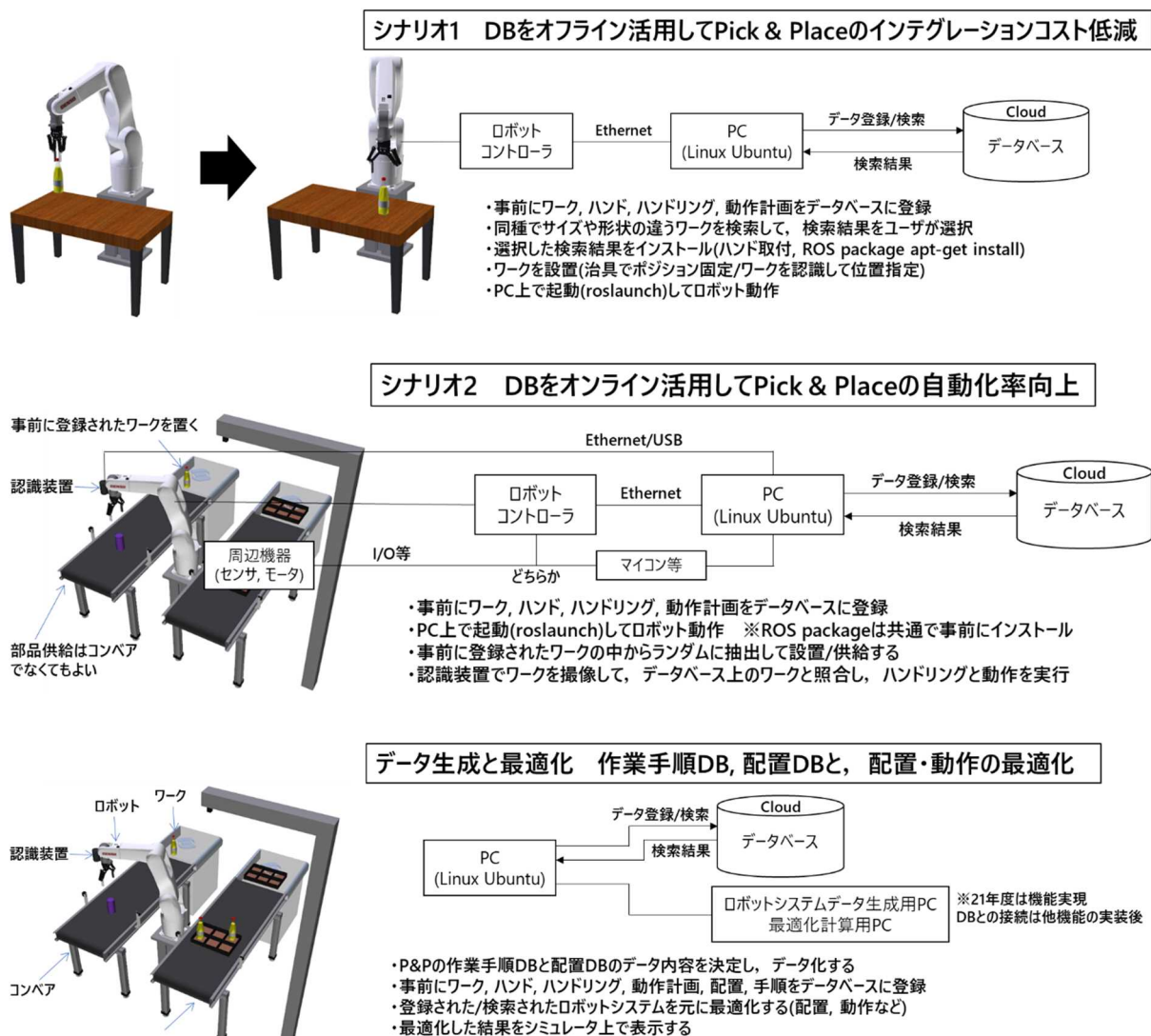


図 3-1. データベース活用シナリオ

中間評価分科会時点での各共同研究開発先での個別目標、成果及び今後の課題を表 3-6. に示す。

表 3-6. 共同研究先の成果と課題

研究開発項目	主担当	個別中間目標(2022年度末)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1-1 データベース開発	武蔵野大	意味DB、メタDBの原理開発・検証	各要素の原理についての開発・検証を完了 また原理を活用し、DBの基礎となる検索アル ゴリズム構築を実施	○	検索アルゴリズム検証用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施
1-2 物体データの登録方法の開発	産総研	モノデータ登録方法・内容検証	モノデータ取得に関する検証を完了し、 DBの基礎となるDBへの登録要素の検証を 実施	○	他機関で利用するデータ登録 ⇒ データ作成活動を実施
1-3 把持戦略データの開発	筑波大	把持戦略の開発・検証	ロボット把持の原理開発・検証を完了し、把 持安定度の指標を確立 また原理に基づく把持戦略の検証を実施	○	把持戦略検証用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施
1-4 ロボット動作戦略の開発	大阪大	動作戦略・計画の開発・検証	DBの基礎となるワーク認識から動作戦略・ 計画法の原理開発を実施	○	動作戦略等の検証用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施
1-5 複数セルの動作最適化の開発	岡山大	配置・動作最適化の開発	最適化アルゴリズムの原理検証を完了 DBの基礎となる動作最適化モデルの検証を 実施	○	最適化アルゴリズム検証用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施
1-6 ロボットなどの最適配置の開発	東京大	複合設計問題の原理検証	DBの基礎となる人動作からの動作生成アル ゴリズム構築	○	動作生成アルゴリズム検証用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施
1-7 ロボットシステムモデリングデータベース構築 ロボットハンドリングシステムの製作と評価	ROBOCIP	各研究成果の統合DBの基礎を構築 評価システム設計・製作	各研究成果を取り込む統合DBを構築 DBを活用した評価用ハンドリングシステム 及びS/Cコスト算出モデルの構築を実施	◎	DB活用用データ構築 ⇒ 各機関と連携してデータ作成活動 を実施

各研究先の詳細を以下に記す。

① ロボット・意味計算データベース・アーキテクチャの開発（武蔵野大学）

“物体知識”と“物体適用操作機能”を対象とした異種のデータベースが存在するマルチ・データベース環境（“物体知識”、および、“物体適用操作機能”）において、それらの異種“物体知識”、“物体適用操作機能”を下位層レベルの既存データベースとして位置づけ、それらを統合し、有機的に連動させることにより、メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE を実現する。

〈目標〉

2022 年度中間目標：ROBOTIC-Semantic Computing DB ARCHITECTURE(意味 DB)、メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE(メタ DB)の原理開発・検証

最終目標（2024 年度末）：ROBOTIC-Semantic Computing DB ARCHITECTURE、メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE を活用したアルゴリズムを用いて検索システムを構築し、統合 DB システム上での機能検証を実施することで、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：ROBOTIC-Semantic Computing DB ARCHITECTURE、メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE の原理検証及び検索アルゴリズムの検証を実施

2023 年度：各共同研究機関で構築したデータを活用した検索システムの構築を実施

2024 年度：構築した検索システムの検証を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈アプローチ、特徴技術〉

メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE は、ロボットの操作対象物体の意味を解釈し、ロボットと物体間の状況・文脈に応じて操作機能を抽出する ROBOTIC-Semantic Computing DB ARCHITECTURE の実現、および、ロボットが、物体の意味と動作状況（動作文脈）を解釈し、その物体の意味と動作状況（動作文脈）に応じた動作 PROCESS を生成し、実動作を行うデータとプロセスの自動生成を行うデータベースとして機能する新しいメタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE である。

〈成果〉

これまでに設計・実装した“ROBOTIC・DB 設計支援システム（空間生成マトリクス作成支援ツール SOFTWARE）”を用いて、メタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE における ROBOTIC-Semantic Computing データベースの基本データ構造を設定し、実現データ例の作成を行った。さらに、ROBOCIP から提供されたサンプルデータをもとに、時間的、空間的、および、意味的な関連性を計量の対象とし、ロボットシステム、モノ形状、動作戦略、ハンド、周辺機器等の統合的関連性計量を実現する ROBOT・DB 統合意味計算方式を設計した。また、ロボットシステム、モノ形状、動作戦略、ハンド、周辺機器についてのサンプルデータベースとして、本“ROBOTIC・DB 設計支援システム”による ROBOTIC-Semantic Computing データベース生成を行った。さらに、ROBOTIC Semantic Computing データベースを対象とした ROBOT・DB 統合意味計算によるデータ検索実験を行った。これらのデータ検索実験結果の精度の分析を行うために、本“ROBOTIC・DB 設計支援システム”の意味解釈機能の計量分析・可視化機構の実現を行った。これらにより、時間的、空間的、および、意味的な関連性によるロボットシステム、モノ形状、動作戦略、ハンド、周辺機器等の複合的な組み合わせを対象として、それらに適合するロボットシステムを検索する ROBOT・DB 統合意味計算方式を実現した。本 ROBOT・DB 統合意味計算方式は、多様なモノ形状を対象とした問い合わせの形成を可能にし、問い合わせに対応する時間的、空間的、および、意味的な関連性を有するロボットシステム、モノ形状、動作戦略、ハンド、周辺機器等の組み合わせを生成するメタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE として位置づけられる。

(1) ロボットの操作対象物体についての“物体知識”とその“物体適用操作機能”を体系的に蓄積・共有・検索・

統合・分析する本メタレベル・ROBOTIC・DBARCHITECTURE を設計するための“ROBOTIC・DB 設計支援システム”を対象として、ROBOT・DB 統合意味計算方式を設計し、操作対象物体の形状属性（重量、容量、サイズ等の連続値）を扱うことができる ROBOT・DB 統合意味計算方式における意味解釈機能の計量分析・可視化機構の実現を行った。

- (2) さらに、“ROBOTIC・DB 設計支援システム”を対象として、基本データ構造例を設計し実現データ例の作成を行った。ROBOCIP から提供された「ロボットシステム」「ロボットシステム属性」「モノ形状」「ロボット」「ハンド」「周辺機器」「配置」「作業手順」「ハンドリング」「動作戦略」に関するサンプルデータを対象として、基本データ構造例を設計し実現データ例の作成を行った。
- (3) ロボットの操作対象物体とロボット操作機能を対象とし、それら物体の形状属性（重量、容量、サイズ等の連続値）を対象として、状況（文脈）に応じた物体とロボット操作機能の組み合わせを意味的計量（ROBOTIC-Semantic Computing）により実現する意味解釈機構の SEMANTIC DB 処理サンプルプログラムと複合的な組み合わせ処理を可能とする計量軸重みづけ機能を試作した。
- (4) ROBOTIC-Semantic Computing DB 問合せ例設計：動作戦略リスト設計として、ROBOCIP から提供されたモノ形状問合せ例を対象として、SEMANTIC DB 処理プログラムの適用による問い合わせ処理実験を行い、その実現可能性を確認した
- (5) ROBOTIC-Semantic Computing DB 問合せ実行結果として、実験検証用にロボットシステムリストの生成と計量結果の可視化実験を行い、その実現可能性を示した。
- (6) ユーザー側の環境情報と入力作業内容(自然言語)を基にプリミティブタスクの自動変換アルゴリズムの構築を開始し、シミュレータ上においてその検証を行った。

各項目の DB と SYSTEM の構成について図 3-2.～図 3-3. を添付する。

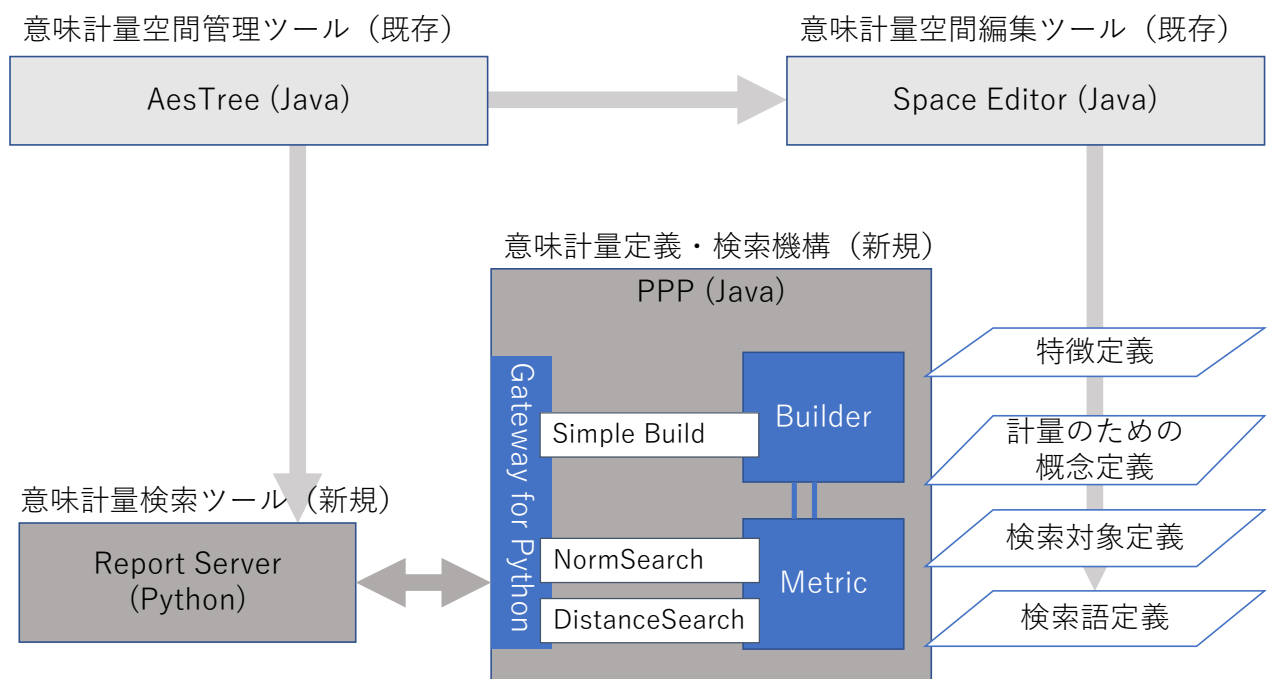


図 3-2. “ROBOTIC・DB 設計支援システム (空間生成マトリクス作成支援ツール SOFTWARE)” 構成図

環境状態と入力作業内容(自然言語)からロボットの認識できるプリミティブタスクへの自動変換アルゴリズムを構築し、ロボット側で認識したワーク・オブジェクトの状態に合わせて行動選択・動作生成を行うシステムについてシミュレータ上での検証を開始。

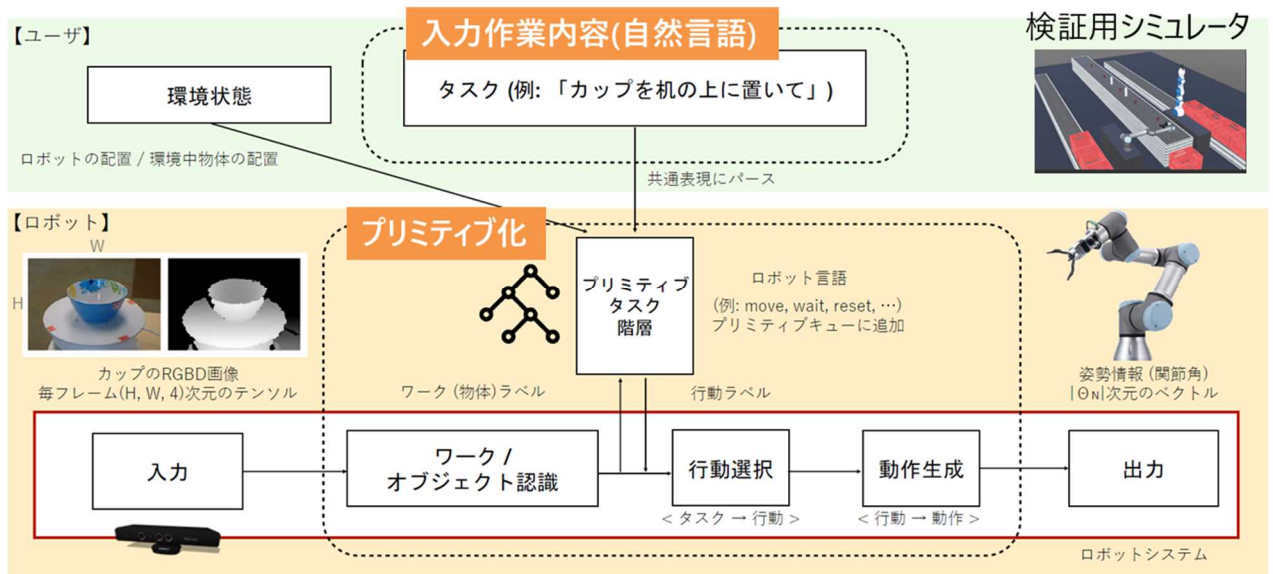


図 3-3. DB 検索時の作業内容入力からプリミティブタスクへの自動変換フロー

〈ベンチマーク〉

多様なモノ形状を対象とした問い合わせの形成を可能にし、問い合わせに対応する時間的、空間的、および、意味的な関連性を有するロボットシステム、モノ形状、動作戦略、ハンド、周辺機器等の組み合わせを生成するメタレベル・ROBOTIC・DB ARCHITECTURE として位置づけられ、他機関では追従できていない世界トップレベルの技術である。

② 画像に基づくモノのデータ作成技術および形状データ登録・分類方法の検討（産業技術総合研究所）

これまでの研究開発により、モノの形状データ作成・登録・分類方法および保有技術との関係整理に基づき、DB 登録の流れやユースケース、後プロセス（ハンド・ハンドリング設計検証）との関係を確定した（図 3-4.）。

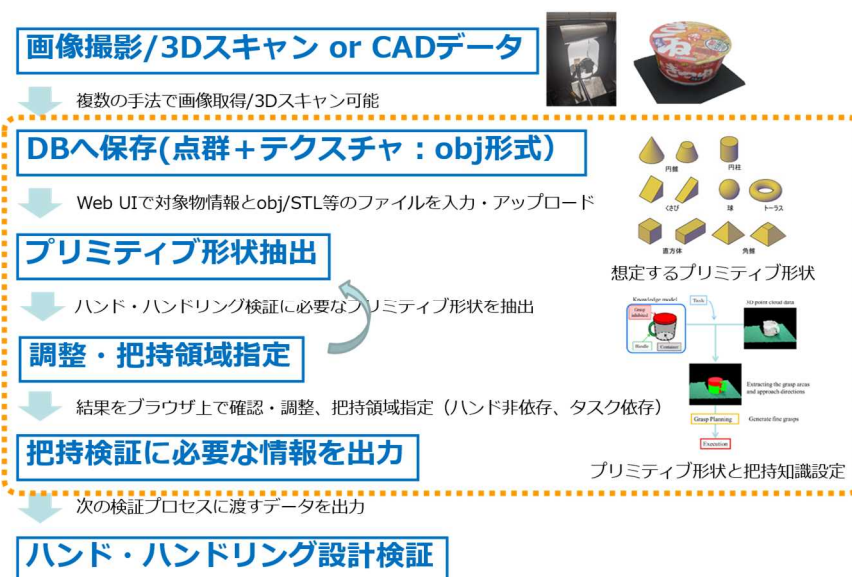


図 3-4. 3D 形状 DB の利用プロセスと処理

〈目標〉

2022 年度中間目標：モノデータの登録方法に関する検証及び DB への登録要素の検証
最終目標（2024 年度末）：構築したモノデータにより統合 DB への実データ登録検証及びデータベース内のモノデータを活用した初見ワークの形状推定等の要素技術を構築し、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：モノデータの登録技術の検証及び実際に登録するモノデータの登録内容の検証を実施
2023 年度：登録したモノデータを活用した初見ワーク形状推定技術の構築
2024 年度：構築した要素技術の検証を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

これまで公開されている 3D モデルデータセットは、日用品を対象としたものが多く、種類がまばらで規模も大きくない。一方で、コンビニやスーパーなどの店舗環境には、類似の商品が数多く存在する上に、定期的にパッケージの違う新商品に入れ替えられる。このような店舗商品の 3D モデルを簡便に作成する技術がこれまでなく、それゆえ商品 3D モデルのデータセットもこれまで提案されてこなかった。

〈アプローチ、特徴技術〉

モノの形状データ作成技術に関する研究開発については、多様な手法（3D レーザスキャナ、フォトグラメトリ、RGB-D カメラ等、図 3-5.）について様々なモノの 3D モデルデータを作成、精度評価、テクスチャ画像解像度について評価するとともに、将来的に現場での形状データ作成を考慮し、作成手順の容易さも含めて評価を行った。特に、光沢のあるもの、透明物体についてはデータ生成のためのノウハウが必要であり、別途実施している透明物体の GAN（Generative Adversarial Network）による推定手法に関する研究の知見も取り入れ、様々な物体の 3D 形状データ取得手法の体系化を行っている。



図 3-5. 形状データ作成手法と得られた 3D データの評価

〈成果〉

モノの形状データの DB への保存に関する研究では、形状データの表現形式について議論し、後プロセスやハンドリング時の DB の利用も考慮、形状プロファイル情報、点群情報、プリミティブ形状情報、把持知識情報等を保持できるような DB 構造を定義、スキーマ作成の上 DB を実際に作成するとともに、Web ブラウザによるフロントエンド（図 11）を開発し実際にモノ形状データ等が格納・閲覧・検索できることを確認した。

今後、これらの技術について、後段のハンド・ハンドリング設計検証プロセスと連携および、実際のハンドリングへの応用について、実機ロボットを用いるなどして検証を進める予定である。

③ 最適なエンドエフェクタを選択するために必要なハンドデータや抽出アルゴリズムの開発（筑波大学）

ワーク・ハンド・把持位置に基づいた把持安定度の定義および計算手法の開発を進め、ワークの種類及び置かれた姿勢、ハンドを指定することで、様々なアプローチ方向および把持位置から安定な把持パターンのデータを作り、把持データベースに格納するシステムを構築した。

〈目標〉

2022 年度中間目標：ロボット把持の原理検証及び把持原理に基づく戦略の開発・検証

最終目標（2024 年度末）：把持戦略の検証に基づくロボットハンドの要素技術の確立及び統合 DB への把持戦略の実装により、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：ロボット把持の原理検証及び把持戦略の検証を実施

2023 年度：検証した把持戦略の確立及び統合 DB への実装

2024 年度：構築した要素技術の検証を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

システムインテグレータやロボットユーザーが、ハンドリング／組立／その他作業を行うロボットシステムを設計する際に、適切なエンドエフェクタ（電動ハンド、エアグリッパ、バキューム、その他。以下ではまとめて「ハンド」と記述）を選択するための補助となるデータベースおよび検索アルゴリズム（もしくはプログラミングフレームワーク）の開発を目標とする。

従来手法では、カメラで計測したワーク形状データを基に計画を行うという手法を用いているため、データベース化されているワークなども、質量や重心位置などの本来考慮すべき重要なパラメータを含んでいない。ハンドはほぼ決まっており、それで把持できることを前提とし、ハンマーのヘッドと柄のような異なる重量バランスにも対応していない。

〈アプローチ、特徴技術〉

ワークの形状、材質、重さ等、ハンドの種類、形状、把持力、開き幅等を含めたデータベースを構築する。

まずはエアグリッパ／電動ハンドの二指ハンド／三指ハンド、バキュームを対象とし、可能な把持パターンの抽出・生成、その時の把持安定度を、上記のパラメータを用いて力学的に算出する。

設計者は、把持安定度の許容値を設定することで、複数のワークを一つのハンドで掴む、などの選択が可能となる。把持可能／把持不可能領域については、まずは設計者が指定するが、ワーク固有の条件（高精度加工した箇所を把持不可に、等）やタスクに依存する条件（卓上に置く場合は上下には把持不可、等）などをデータベース化、および、指定を容易にすることで、設計を容易にする。

爪の設計は従来ワークごとに個別に行われている。上記の手段でハンドおよび把持方法が選択されているので、その把持方法に合わせて、ワークとの接触面形状を変形させていき、より安定度が増す接触面形状を探索する。この面形状が爪の形状となる。ただし、一つのハンドが複数のワークを把持することを想定しているため、すべての対象ワークに対して、安定度が増すことを確認する必要がある。

〈成果〉

具体的なデータベース作成手順は以下のように検討した。ワークデータベースには、ワーク情報として、ワーク名、CADデータSTL形式、重心位置、質量、摩擦係数、プリミティブ=平行2面の組、円筒面=が格納される。ハンドデータベースには、ハンド名、指本数、把持力などの情報が格納される。把持対象となるプリミティブに対し、多数の把持候補点および姿勢を生成し、各把持姿勢に対して把持安定度の計算を行う。このとき、爪形状は平らな面とし、ハンドの開閉幅は一時的に無限大として爪が対象物に接触するまで移動させる。計算された把持安定度が0以上であれば安定な把持可能であるとして、ハンドリングデータベースへ登録する。さらに、平らな爪形状を仮想的に開閉幅の半分程度ワークに食い込ませ、重なった部分を消去することで、爪形状をワーク形状にフィッティングさせる。これにより、ワークに適応したハンドリングシステムを構築できる。

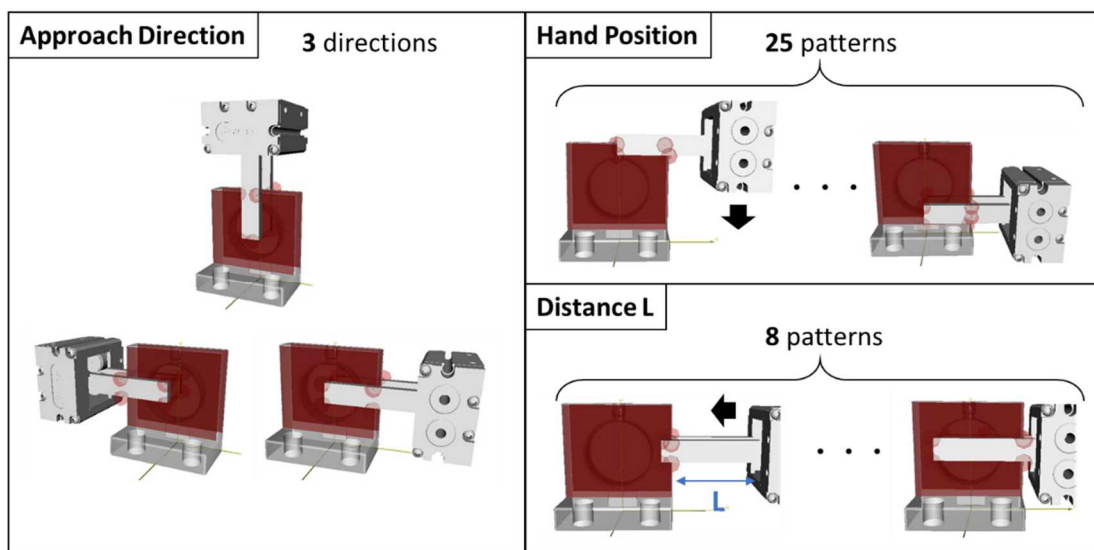


図 3-6. 把持対象プリミティブに対する把持姿勢生成

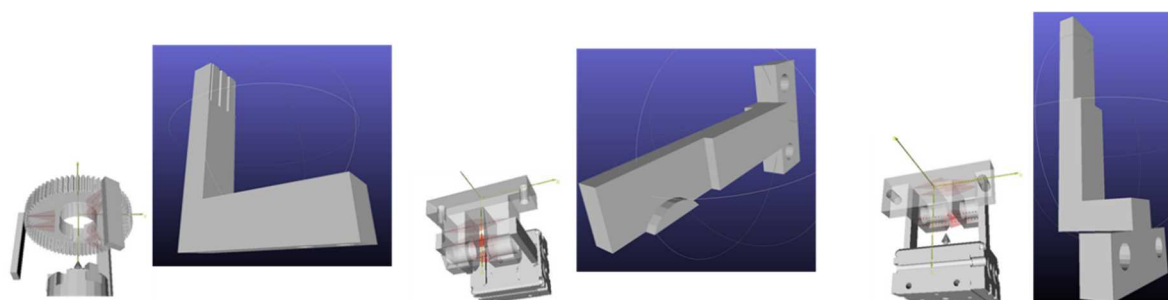


図 3-7. ワーク形状に合わせた爪形状フィッティング

また、2021度はロボットシステムインテグレータ（SIer）に対する調査を行った。SIerがハンドリングシステムを構築する手順や具体的な事例、気を付ける箇所などの条件についてインタビューを行った他、具体的なワークを指定し、どのようなハンドおよび把持方法を設計するのか調査するために、実システムの設計、製作を依頼した。設計時の検討項目として、ハンドから把持位置までのオフセットに応じて把持力が変化する点、開閉の両位置での周辺との干渉チェック、ワークの寸法誤差が大きい場合の電動ハンドの問題点、など様々なノウハウが提示された。さらに、大学の実験設備に合わせた実験システムの製作を依頼し、条件に合わせた設計の手順についてインタビューを行った。

2022度は、データベース構築の高速化、データベースに基づいて新たなワークに対するハンドリングシステムの設計手順作成を行うほか、実験システムを用いてコンベア上を流れてくるワークの種類と姿勢を計測し、オンラインでデータベースを検索して適切なハンドを用いてハンドリングするデモシステムを構築する予定である。

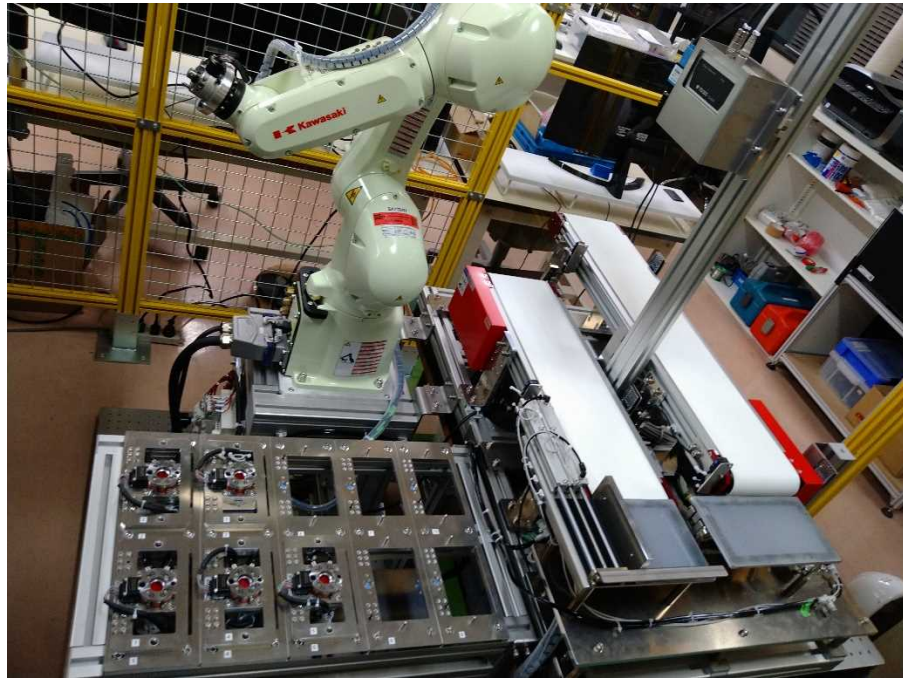


図 3-8. 5 種類のハンドを搭載したハンドリング実験デモシステム

④ システムインテグレータなどが持っているロボットの動作戦略（ノウハウ）のデジタル化、データ化と、そのデータを利用方法に関する開発（大阪大学）

ロボット動作計画・視覚認識ソフトウェアの整備を行った。ROS(Robot Operating System)に基づいて、視覚認識の部分と動作計画の部分で構築している。

〈目標〉

2022 年度中間目標：動作戦略の基礎となるワーク認識からの動作生成に関する検証を実施

最終目標（2024 年度末）：動作戦略の検証に基づく動作計画法の確立及び統合 DB への動作戦略の実装により、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：ロボット動作戦略の原理検証及び動作戦略の検証を実施

2023 年度：検証した動作戦略の確立及び統合 DB への実装

2024 年度：構築した要素技術の検証を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

従来より、ロボットハンドによって対象物の把持姿勢を計画し、計画された把持姿勢を使った作業計画の研究や、機械学習を用いてロボットの作業動作を自動生成する研究が行われている。しかしながら、これらの従来研究は十分に実用化がされているとは言い難い。これは、実用化を考えた場合、ロボットは膨大な数の日常生活品や工業部品を対象にして動作を自動的に生成しなくてはならないからである。これらの日常生活品や工業部品は、それぞれの形状や使い方に関して特徴を有しており、ロボットによる作業動作を生成する場合は、それらの特徴を的確に記述した上でロボットの動作生成を行わなくてはならない。

〈アプローチ、特徴技術〉

本研究開発では、ロボットが扱う日常生活品や工業部品などの対象物に対して、形状や使い方に関する特徴を記述した大規模なデータベースを構築し、これに基づいてロボットの作業に関する様々な要素を自動的に計画する。

〈成果〉

視覚認識として二つの手法を構築した。まず、RGB 画像に基づく方法を以下に示す。図 3-9. に示すように、画像特徴量を抽出し、画像特徴量とモデルとの特徴マッチングを行う。さらに関係式の同定を行った上で、カメラ座標系での位置姿勢の算出を行う。

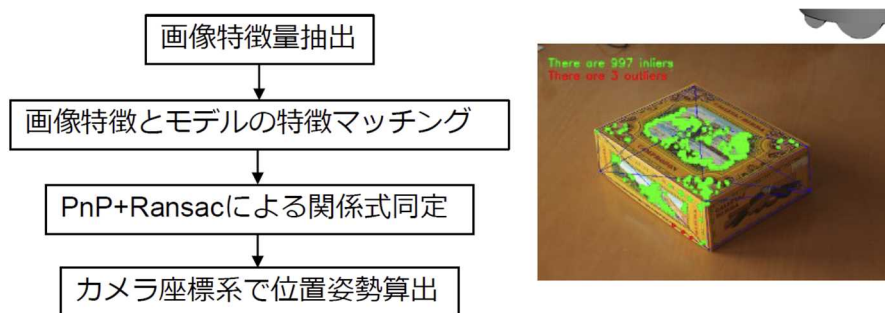


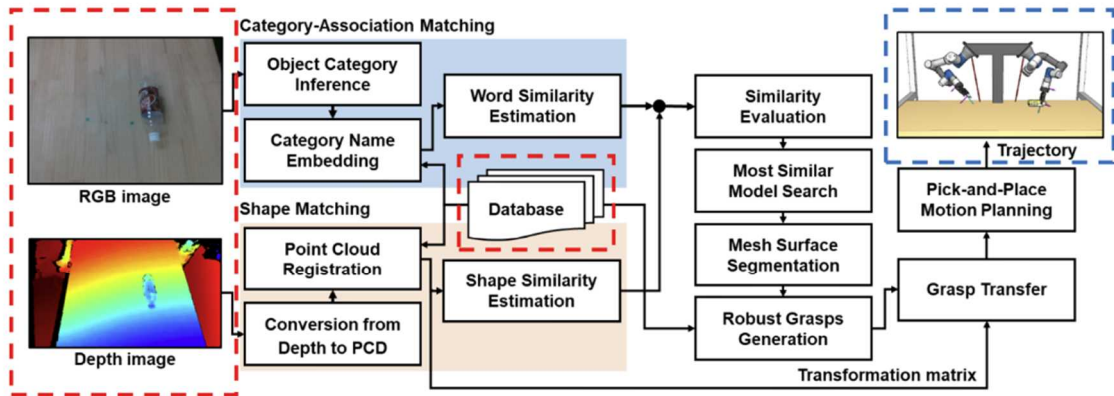
図 3-9. RGB に基づく視覚認識

次に 3 次元点群に基づく方法を図. n に示す。まず、グローバル点群、ローカル点群の登録を行い、これらに基づいて回転行列を計算する。これにより、カメラ座標系での姿勢を算出する。



図 3-10. 点群に基づく視覚認識

次に、未知対象物に対するピックアンドプレースの動作計画を行った。ここでは、形状と使われ方の類似性を考え、これらに基づいて未知対象物に対する把持姿勢の推定を行っている。そして、この把持姿勢を実現するようにピックアンドプレースを行った。



Overview of the whole system

[- - -]: Input [- - -]: Output

図 3-11. 未知対象物に対するピックアンドプレース

また、把持対象物の把持姿勢の補正を行った。図 3-12. に示すように複数回の持ち替えを行うことで、徐々に望みの把持姿勢に近づくことを確認した。

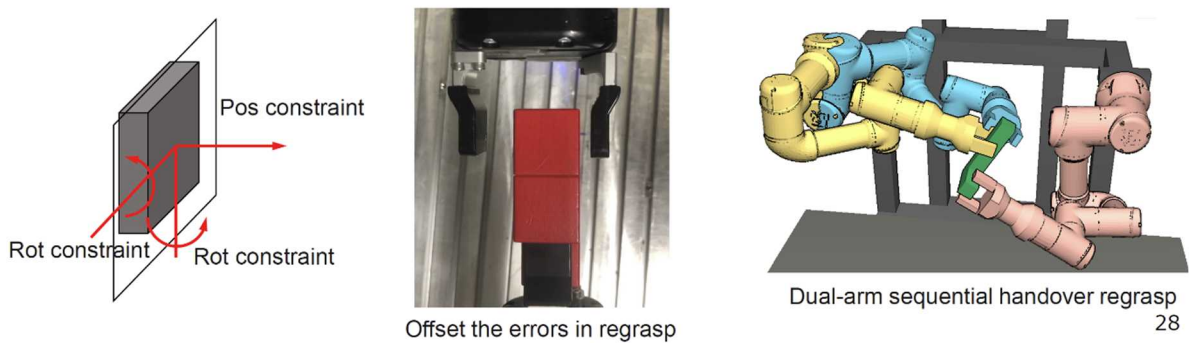


図 3-12. 把持姿勢の補正

⑤ ロボットやその周辺機器などの複数のセルからなる動作システムと、それを記述するモデリング言語を利用した最適化手法の開発（岡山大学）

ロボットシステムの最適化システムの構成として、図 3-13. に示す階層型最適化システムを開発した。全体システムは機器選定・配置最適化システム、配置動作計画最適化システム、シミュレーション・検証システムから構成される。

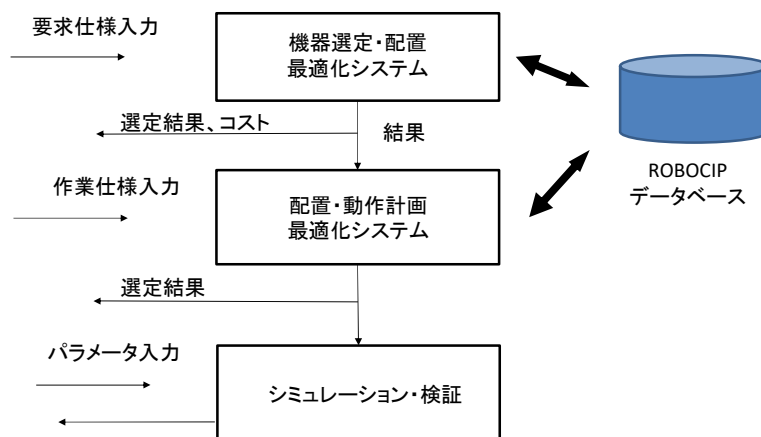


図 3-13. ロボットシステムの階層型最適化システムの構成

〈目標〉

2022 年度中間目標：最適化アルゴリズムの原理検証を実施

最終目標（2024 年度末）：原理検証に基づく最適化ロジックやアルゴリズムの構築及び統合 DB への動作戦略の実装により、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：最適化アルゴリズムの原理検証を実施

2023 年度：検証した最適化アルゴリズムを活用した動作・配置最適化システムの構築

2024 年度：構築した要素技術の統合 DB への実装を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

自動車産業やパソコンなどの組み立て産業、自動倉庫における搬入・搬出作業の自動化においては、複数台のロボットシステムが用いられる。半導体生産システムにおいても、クラスターツールと呼ばれる複数のプロセスチャンバーとチャンバー間を移送するロボットアームを有する装置が広く用いられる。これらのロボットシステムを新規に導入する際には、システムインテグレータやエンジニア、および顧客の要求に合わせてロボットシステムのシステム設計を行う必要がある。例えば、自動倉庫において搬送ロボットを導入する際には、ロボットの配置や荷物の入出庫の量、ハンドリング装置の設置位置やロボットの動作設計などを決定する必要がある。しかしながら、複数ロボットのシステム設計は容易ではない。複数ロボット間には干渉や衝突回避、あるいは安全性を考慮したシステム設計が必要となる。また、ロボットの動作は制御次第で容易にデッドロックが生じる。そこで、デッドロックを回避した動作計画が必要となる。また、省エネルギー性の考慮も重要である。ロボットシステムのシステム設計にはロボットの動作計画を考慮した設計が必要である。

〈アプローチ、特徴技術〉

複数のロボットシステムのサブシステムをマルチエージェントシステムとしてモデル化することで、大規模システムにおけるデータの取得やモデルの調整、およびエージェント間の協調制御や学習機能をリアルタイムにかつ自動的に行うことを可能とし、動的シミュレーションとの相互作用によるエージェントの共創的学習によって、提供されるサービスの影響やコスト、性能評価をリアルタイムに行うことを可能とする動的シミュレーションによるロボットシステムの共通サービス基盤(動的モデル共通開発基盤)を構成する。これにより、詳細シミュレーションを何度も行うことなく、システム設計に対する簡易設計が可能となり、より迅速にロボットシステムのコスト評価、概算見積、省エネルギー性評価、契約発注が可能となる。

マルチエージェントシミュレーションあるいはマルチエージェント最適化手法を用いて実仮想融合型の動作シミュレーションを行い、不足情報を推定しながらシステムティックに導出する方法を提供する。

〈成果〉

機器選定最適化システムでは、ROBOCIP データベースからロボットシステム構成やワークの形状、配置、作業手順などのデータを授受し、要件仕様を満たすロボットシステム構成のための機器選定の決定問題を混合整数線形計画問題として定式化し、ハードウェアの物理制約条件、作業条件、ワークへのハンドの到達可能条件、姿勢可能性、速度・加速度条件を線形不等式で記述し、最適な機器選定決定の支援を行う。

ROBOCIP データベースを用いた数値実験の結果、コストやサイズの変更に対して妥当な機器選定結果が得られることを確認した。配置動作計画最適化システムではベルトコンベアとロボットアーム各 1 台を想定し、作業完了時間と消費エネルギーの重み付き和を最小とする配置変数と動作計画の粒子群最適化や遺伝的アルゴリズムを用いた最適化手法を開発した。

双腕型ロボットアーム duaro を対象として最適化システムを実装し、Moveit の RRT-Connect との比較を行った結果、作業完了時間及び省エネルギー性能について提案手法は約 15%程度優れるという結果を得た(参考文献 1)。

シミュレーション・検証システムでは教示データからプロセスマイニングを用いてペトリネットを自動生成する手法を開発した(図 3-14.)。

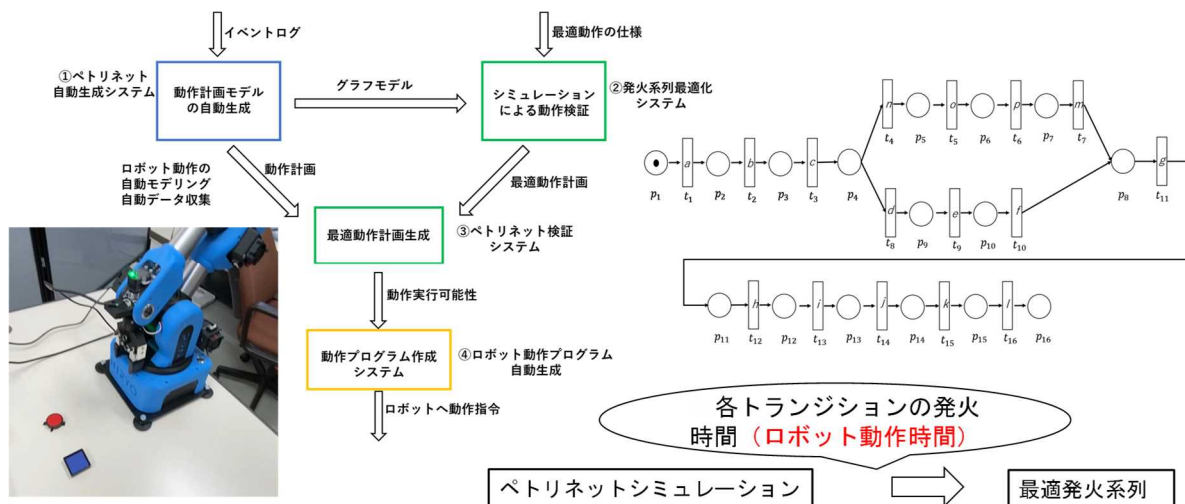


図 3-14. プロセスマイニングを用いた動作計画の最適化・検証・シミュレーションシステム

生成されたペトリネットモデルを用いて、複数の可能な動作候補から目的関数を最小とする動作シーケンスを導出し、最適化結果をシミュレーションによって検証することが可能となる。上記の最適化システムをロボットシステムとして実現するために、ベルトコンベアとスカラ型ロボットから構成されるコンベア同期ピッキング実験設備を拡張し、2 台のスカラ型ロボットとその周辺機器を開発・導入した(図 3-15.)。



図 3-15. スカラ型ロボット 2 台に拡張したピックアップ・プレーシングロボット実験装置

また、6 軸ロボットアームとして Niryo NED 2 台を導入し、ROS を利用した最適化アルゴリズムを実験装置に容易に実装可能とする実験システムを構築した。2022 年度以降の研究において、2 台のロボットシステムとベルトコンベアで搬送するワークの形状や大きさなどの諸条件によって、ロボットのレイアウトや最適動作計画条件の影響について数値シミュレーション、および実験システムを用いて、ロボットシステムやその周辺機器などの複数のセルからなる動

作システムの最適化の効果を検討し、その最適化によって人間系による従来の設計手法に比べてスループットの大幅な改善や消費エネルギーの大幅な削減を検証する。

参考文献 1. K. Nonoyama, Z. Liu, T. Fujiwara, Md M. Alam, T. Nishi, Energy-Efficient Robot Configuration and Motion Planning Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization, Energies, Vol. 15, No. 6, DOI: 10.3390/en15062074, March 2022.

⑥ 目標作業において、ロボット形状や仕様、ハンド、ワークのデータを利用する、ロボットや周辺機器との最適配置問題の解法アルゴリズムの開発（東京大学）

これまでに実施してきた最適化アルゴリズムの構想設計を基にした要素技術を開発した。特に、2021 年度はこれまで設計者の手作業で行われてきた、人手作業からのロボットシステム設計・変数仕様の抽出過程にも着目し、図 3-16. に示すようにシステムインテグレーションコスト低減へ向けて、システム設計全体を通じた最適化技術開発に取り組んだ。



図 3-16. 人手作業動画からの設計変数抽出過程を含めたロボット動作計画・機器配置問題同時最適化アルゴリズム

〈目標〉

2022 年度中間目標：複合設計問題の原理検証

最終目標（2024 年度末）：原理検証に基づく最適配置ロジックやアルゴリズムの構築及び統合 DB への動
作戦略の実装により、実用化に向けた基礎研究を完成させる。

〈スケジュール〉

2022 年度：複合設計問題の原理検証及びアルゴリズム構築の必要な要素技術検証を実施

2023 年度：検証したアルゴリズムを活用した複合最適化問題の解放アルゴリズムの構築

2024 年度：構築した要素技術の統合 DB への実装を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

多自由度ロボットの動作計画問題（ロボットの初期コンフィグレーションから目標コンフィグレーションまでの動作を計画する問題）は、探索空間が高次元であり環境内にロボットが回避すべき障害物が多数存在するため、導解に非常に時間がかかる問題点があった。また、ある特定の問題を解いた動作計画結果を他の問題に適用することが困難であり、たとえ類似問題であっても、一から解き直す必要があり、効率が悪かった。更に、多くの場合、ロボットシステムの機器形状や配置をまず決定し、その後でロボットの動作計画問題を解いており、ロボットの動作計画に適した機器形状・配置になっていない問題もあった。

〈アプローチ、特徴技術〉

ここでは、既存の問題を解いた際の様々な属性情報（例えば、ロボットハンド形状や部品に対する把持位置）や動作計画結果をデータベースの形式で保持しておき、新しい問題が与えられた際に、それらの既存の結果を部分的に利用、統合することで、解の導出の効率化を目指す。また、ここでは、通常のロボットの動作計画問題における設計変数（ロボットの各関節角）に加えて、ロボット治具・作業対象部品・供給装置等の機器の形状・配置も設計変数として、それらを同時に設計する「ロボット動作・機器形状・配置」複合設計問題を設定し、解くことで、より適正なロボット動作計画と機器形状・配置が期待できる。機器の位置を少しずらすだけで、動作計画問題が飛躍的に解きやすくなる状況は多々存在するが、ここではそのような課題解決が期待できる。

〈成果〉

具体的には、本年度の実績として開発した要素技術は主に以下のものが挙げられる。

- (1) 人手作業動画を基にした作業工程の自動記述アルゴリズムの開発： 人手作業動画から対象物と人の骨格情報を抽出し、両者の相互作用(人の手が物体に近づいている等)を基にした作業工程の自動記述アルゴリズムの開発に取り組んだ。本年度の成果としては単純なピックアンドブレース作業を対象としてアルゴリズムの基礎的な枠組みを開発した。
- (2) 人動作軌道情報を経験として利用した動作計画手法の開発： 骨格推定ソフトウェアを用いて人手作業動画から手首の三次元位置情報を推定し、任意の作業を行なった際のその軌道情報をロボット作業空間へマッピングすることで、人の動作をロボット経験として蓄積・再利用する動作計画手法の開発を行なった。これによって、既存の動作計画ライブラリに含まれる手法では解決困難な動作計画問題も高確率で解くことができた。
- (3) ロボット動作・機器配置問題の同時最適化アルゴリズムの検討： 昨年度行なった最適化の構想設計を基に、ロボット動作・機器配置問題の同時最適化を行うためのアルゴリズムの検討を行なった。具体的には、高次の機器配置問題と低次のロボット動作計画問題それぞれに過去の経験を参照する枠組みを導入することで、複雑な高次元最適化問題を高速に解くことを可能にする。

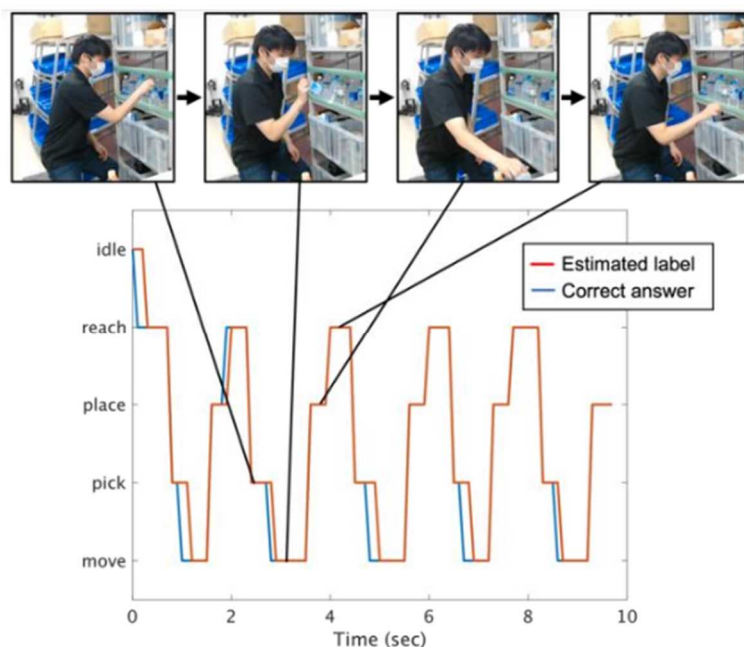


図 3-17. 人手作業動画から作業工程(アーム動作)への自動記述結果

2022 年度はこれまで開発したそれぞれの技術を精緻化するとともに、さらにそれぞれを結合させて、人手作業から設計変数を抽出する段階も含めた、ロボットシステム設計全体を対象として最適化やシステム構想の提案を行うアルゴリズムの開発に取り組む。

⑦ 産業用ロボットと周辺機器から構成されるロボットシステムのモデリングと、1-1 から 1-6 で研究したアルゴリズムを統合するデータベースの構築（ROBOCIP）

RGB-D カメラを用いてコンベア上に流れてくる物体を認識して把持を行うシナリオ 2 に関する簡易 P&P モデルを構築し、DB への登録要素についての検討と 2021 年度国際ロボット展 NEDO ブースにおいて実機展示を実施することでプロジェクト 1 の研究成果の公表に関する取り組みを推進。また 2022 年度以降に構築する統合 DB についての基本フレームワークの構築を実施した。

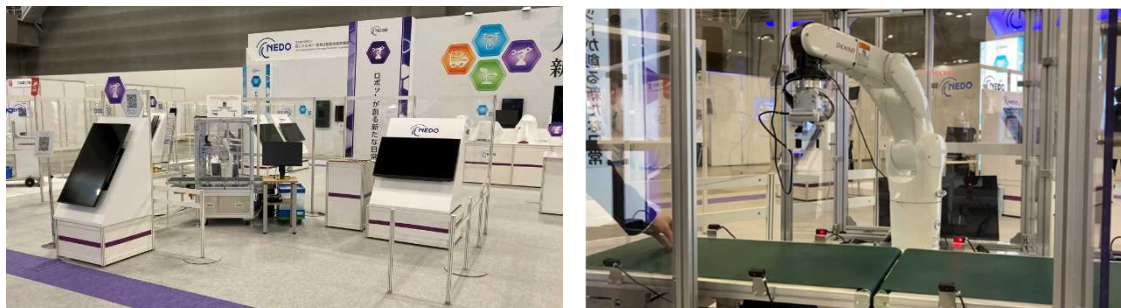


図 3-18. 国際ロボット展展示

〈目標〉

2022 年度中間目標：統合 DB の基礎構築及びロボットシステム評価に関する検証

最終目標（2024 年度末）：検証に基づくロボットシステム評価手法の確立及び各研究機関の成果を統合した統合 DB の構築により、SI コスト削減・自動化向上についての検証。

〈スケジュール〉

2022 年度：統合 DB の基礎構築及びロボットシステム評価に関する検証

2023 年度：各研究機関の研究成果の統合 DB への取り込み及び実店舗での検証による SI コスト減少、自動化率向上の検証

2024 年度：統合 DB の構築を通じ、実用化に向けた精度向上を実施

〈ベンチマーク〉

自動車を始めとして主に大企業では溶接、搬送、組立作業のロボット化は進んでいる。大企業は、先に述べた SI 機能を持つ専門の部隊がいる、または、SI をシステムインテグレータに外注することで、ロボット化できている。一方、中小製造業では、労働力不足が深刻で自動化ニーズはあるものの、産業ロボットを扱うノウハウを持っていないため、システムインテグレータに頼らざるを得ず、システムインテグレータのリソース不足や SI コストが産業用ロボット導入の障壁となっている。

〈アプローチ、特徴技術〉

産業用ロボットの AI 活用を含む制御技術および多種多様な製品の生産技術を有する組合員各社が協同して、ハンドリング、動作計画、配置設計、データベースの研究を行っている大学および研究機関の知見を活用しながら試験研究を行うことにより、SI に関連する産業用ロボットの導入や仕様変更の負担を低減するハンドリング技術や動作計画の知能化技術の研究を加速することが可能となる。

〈成果〉

簡易 P&P モデルはロボットハンドに取りつけた RGB-D カメラを用いて取得した点群データから DB に登録されているワーク情報とのマッチングを実施、マッチングされたワーク情報と紐づいたハンドリング・動作計画を実際のロボットが

実行するシステムを構築し、RGB-D カメラを用いた際の物体認識において点群の解像度等の検証を実施した。統合 DB については今までの研究成果や今後の活用をもとに各研究成果の統合を進めるために「データ仕様の変更の手間が可能な限り小さいこと」「相互に関連する研究/他の研究機関が生成するデータを利用する研究で最新データを利用できること」「個別の研究の進捗を阻害しないこと」「研究成果を利用しやすい形に整えること」等の要件・基本方針の明確化と DB のフレームワーク構築について着手を実施した。

次年度においては構築した簡易 P&P モデルに各研究機関の成果の取り込みと 2022 年 9 月に実施される日本ロボット学会にて実機展示を行い研究成果の公表に関する取り組みを実施する。統合 DB については各研究機関がそれぞれの研究成果を実装できる DB の構築を実施するのに加え、それに伴い各研究機関には統合 DB を活用した際に考えられる課題を解決するための研究を実施していただくようにマネジメントを実施する。また DB を活用した SI コスト削減効果を確認するために SI コストモデルや実証実験も実施する。

2. 1. 3 遠隔制御技術

設定したゴールイメージを具体的に実現するために、まず図. nに示すように提案する遠隔型協調・協働作業システムの各コンポーネントの関係を整理した。通信システムとロボット制御システムとは分離して開発すべきものではなく、両者連携の下で最大のパフォーマンスが得られるようなシステムとすべきであることは既に確認済みであるが、具体的に開発を進めるために、通信部分の基本的な検証用プラットフォームとなるプログラムを作成し、神戸大学と名古屋大学がこの共通プラットフォーム上で開発を進めることで、ロボット制御と通信システムとの連携を可能とする枠組みを構築した。また、遠隔型協調・協働作業システムの評価にはヒューマンファクタが欠かせないことは、2020年度から認識されていたが、2021年度よりヒューマンファクタの評価を担当する東京工業大学が加わり、研究体制を強化した。

また、ユースケースとして溶接作業を選定し、様々な通信環境下で作業を行うことで、通信環境に応じた様々な情報提示条件とタスクのパフォーマンスやオペレータの認知心理的影響を計測、整理した。

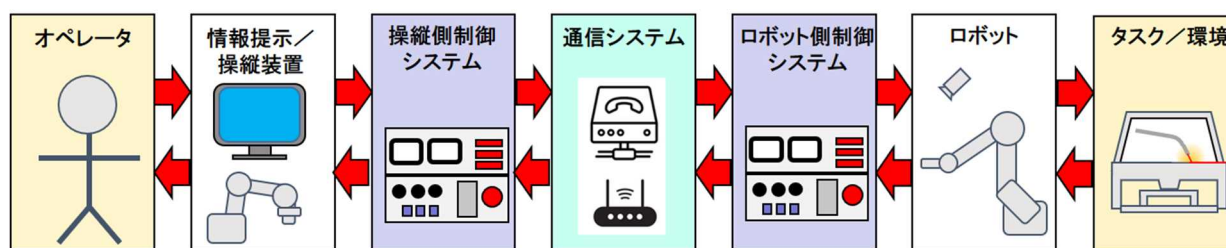


図 3-19. 遠隔型協調・協働作業システムの各コンポーネントの概念図

表 3-7. 共同研究先の成果と課題

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
2-1対象作業とヒューマンファクタおよび通信環境制約を考慮したロボット遠隔操縦のための通信方式に関する研究 (神戸大)	<ul style="list-style-type: none"> 通信遅延・変動のある通信環境でも人が使いやすい遠隔制御ができる通信方式の確立 作業性能の評価を含む実験システムの実装 実験による開発手法の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 通信方式評価の基盤システムを構築 作業性能を評価する標準作業と評価方法 (タスクボード) を試作 作業結果スコアと画像提示遅延の関係を実験的に検証 	○	<ul style="list-style-type: none"> マルチモダリティ間の同期性確立が課題、優先度変更やデータ分割を盛り込んだQoS制御の実装で解決予定 物品調達遅れに伴うスケジュール見直しは課題、ソフトウェア製作の外注活用で加速
2-2 遠隔制御における通信性能評価・性能向上・制御との連携に関する研究 (名古屋大)	<ul style="list-style-type: none"> 多様な通信・ロボット制御状況に対応する通信方式の確立 多様な通信環境をシミュレートした実験システムの実装 実験による開発手法の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 2-1で開発した基盤システムの上に通信遅延・変動に対応するQoS制御を開発 通信遅延や変動などの条件下でロボット作業実験を行いQoS制御の性能を検証 	○	<ul style="list-style-type: none"> データ欠損の対応やロボット制御と連携した通信制御手法の確立が課題、通信多重化やデータ予測等をQoS制御に実装することで解決予定 物品調達遅れに伴うスケジュール見直しは課題、ソフトウェア製作の外注活用で加速
2-3 遠隔制御システムにおけるヒューマンファクタの評価手法に関する研究 (東工大)	<ul style="list-style-type: none"> ヒューマンファクタ(操縦者の熟練度・疲労等)が作業性能に与える影響の評価手法の開発 ヒューマンファクタを通信方式に活用する手法の検討 評価手法の有効性をロボット遠隔制御実験にて検証 	<ul style="list-style-type: none"> ヒューマンファクタの評価手法の要件定義を実施 通信遅延・変動が人に与える影響を視線追従実験により評価 	○	<ul style="list-style-type: none"> ヒューマンファクタの評価手法の確立が課題、ロボット作業実験によりヒューマンファクタが作業性能に及ぼす影響のエビデンス取得し、手法改良を加速 ヒューマンファクタの評価結果を通信制御への活用が課題、心理実験を先行して実施、基盤システムのQoS制御との連携を検討予定

① 対象作業とヒューマンファクタおよび通信環境制約を考慮したロボット遠隔操縦のための通信方式に関する研究（神戸大学）

本研究開発で様々な実験を行うために、図 3-20. に示すような実験プラットフォームを神戸大学にて構築した。今後の様々な作業がおこなえるよう、スペースも余裕をもって確保し、グループ内で成果を共有できるように制御システムは ROS 上に構築した。

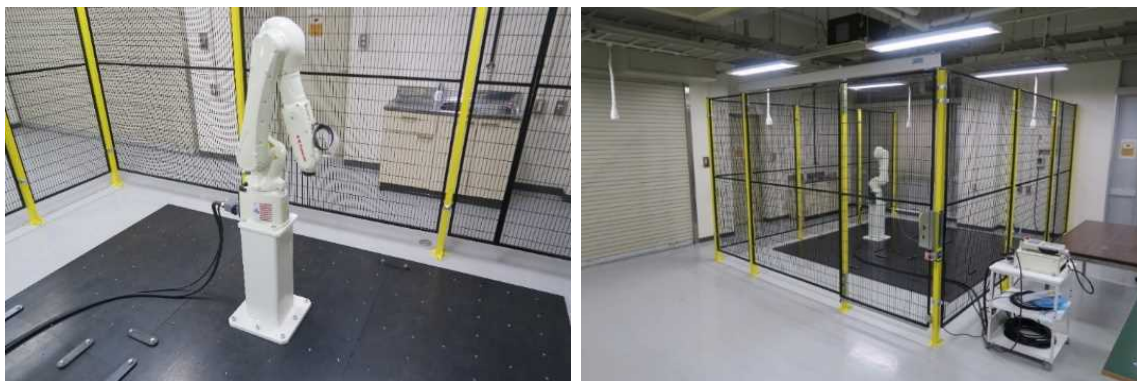


図 3-20. 実験プラットフォーム

〈目標〉

- ・ 通信遅延・変動のある通信環境でも人が使いやすい遠隔制御ができる通信方式の確立
- ・ 作業性能の評価を含む実験システムの実装
- ・ 実験による開発手法の検証

〈スケジュール〉

- 2022 年度内： 組立作業用の遠隔制御システムおよびタスクボードの試作
- 2023 年度： 組立作業評価、通信環境や作業状態、ヒューマンファクタと連携したロボット制御部の検討
- 2024 年度： 高速大容量の通信環境下での実証試験と通信方式の改良

〈ベンチマーク〉

従来の遠隔制御では、専用回線の利用を前提に通信遅延がロボット制御に影響を及ぼさない環境で利用されてきた。本開発の想定環境のように有線/無線を経由した一般回線でも通信システムと相互連携して遠隔制御が容易に使えるような通信方式を協調領域の技術として提案することは他に類を見ない。

また、遠隔制御の作業性能を評価するために標準的な作業と評価方法を提示するタスクボードも遠隔制御ロボットの適用拡大には不可欠な要素である。

〈アプローチ、特徴技術〉

遠隔制御の特徴である双方向通信や複数感覚（マルチモダリティ）の利用やヒューマンファクタが制御要素に含まれる Human-in-the-loop であることを考慮して、協調領域として通信システムに着目し、多様な通信条件下でも安定で人が使いやすい遠隔制御を、通信環境を制御するシステムとロボットを制御するシステムを相互連携させることで実現することとした。そのためには、様々な通信環境下で通信制御とロボット制御の対応策を検討する必要がある。

まずは対応策を実装した通信方式の評価ができる基盤システムを構築し、ロボット制御と通信制御のそれぞれの研究機関に提供し、共通プラットフォームで検討を進めるようにした。さらに、従来はロボット制御と連携されることがなかった操縦者の認知心理特性の考慮や対象とする作業の特性を考慮したロボット制御を検討することで総合的に

遠隔制御の性能評価ができるようになる。

〈成果〉

- ・ 通信方式評価の基盤システムを構築
- ・ 作業性能を評価する標準作業と評価方法（タスクボード）を試作
- ・ 作業結果スコアと画像提示遅延の 関係を実験的に検証

（1）通信プログラムの共通プラットフォーム開発

本研究開発で開発する遠隔型協調・協働作業システムのための通信システムは、ロボット制御との密な連携のもとで動作するように開発することが重要である。そのため、そのような通信システムの仕様を検討したり、考案した手法を検証したりできる通信プログラムの共通プラットフォームが必要である。グループ内の研究機関・企業をまたいだ共通プラットフォームとなるためには、ファイアーウォールをまたいだ WAN 接続が可能、ロボットメーカーに左右されないソフトウェアプラットフォーム、様々なモダリティを一元管理できこと、将来に渡る継続性・拡張性が保証されていることが条件となる。以上の条件を満たすものとして、通信プラットフォームを構築した。図 3-21. にその概念図を示す。このプラットフォームは、QoS 制御などの様々な機能を付加していくことが可能となるように設計されており、今年度は QoS 制御の簡単な一例として帯域制限のある通信路において重みに応じた複数の情報の送信のための負荷配分を実装し、その動作を確認済みである。

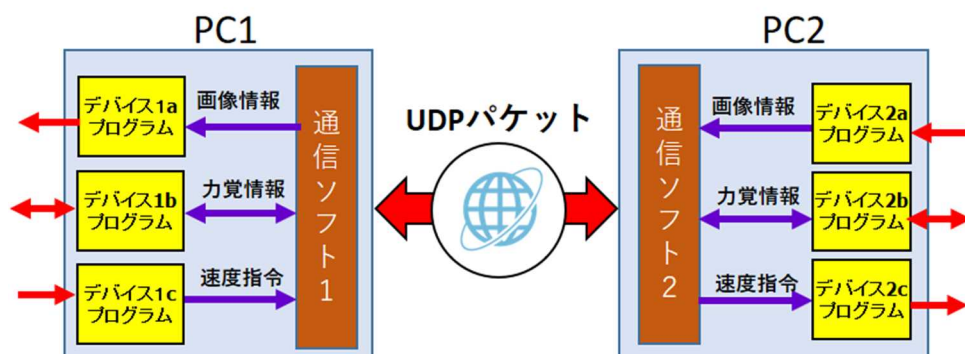


図 3-21. 通信プログラムの概念図

（2）タスクボードによる予備実験

2021 年度の対象作業（ユースケース）として溶接作業を実験的にとり上げた。まず ROBOCIP メンバー企業、特に溶接ロボットを事業の柱としているメンバー企業と密に情報交換をしながら溶接作業タスクボード構築を行った。

溶接作業は、定型的なものであれば一部自動化されているが、鉄道車両や大型タンクなどの大型構造物の溶接は一品物であるために、自動化しにくいものとして未だに人手による介入が行われており、この大型構造物の溶接作業を対象とすることとした。大型構造物といえども、完全にマニュアルで溶接するわけではなく、設計図面から割り出されるノミナルなロボット軌道に追従するようにロボットを動作させるが、溶接ひずみにより軌道の補正が必要となり、このひずみ量が事前には予測しがたいため、実際の溶接作業時に作業者が介入して補正している。

神戸大学で様々な通信環境下での溶接作業の評価の予備実験を行った。図 3-22.（右）にその予備実験の様子を示す。（1）で述べた通信プログラムを介し、様々な遅延条件で実験を行った。今後今回の予備実験の結果を踏まえて、修正操作インターフェースなどをより適切なものに変更し、図 3-20. で示した実験プラットフォーム上で改めて評価実験を行う予定である。

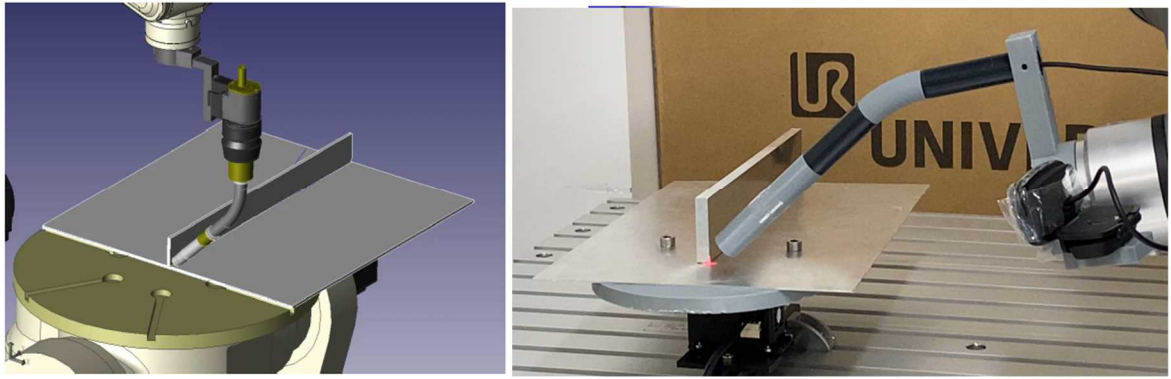


図 3-22. 溶接作業のモデルと予備実験の様子

② 遠隔制御における通信性能評価・性能向上・制御との連携に関する研究（名古屋大学）

本研究開発は、産業用ロボットの高性能・高信頼な遠隔制御の実現を目指すものである。ここで高性能の条件として、

- ・高い作業品質
- ・オペレータ疲労が小さな操作性

を考える。また高信頼とは、上記の高性能を、データ遅延や焼失といった通信品質の変動への耐性を持つことや、遠隔制御に関わる通信に対する悪意のある攻撃への耐性（通信セキュリティ）を持つことを意味する。

〈目標〉

- ・多様な通信・ロボット制御状況に対応する通信方式の確立
- ・多様な通信環境をシミュレートした実験システムの実装
- ・実験による開発手法の検証

〈スケジュール〉

2022 年度内： 無線制御など回線の品質・変動を考慮した QoS 制御、通信方式の設計

2023 年度： QoS 制御、通信方式の実装・評価、ロボット制御やヒューマンファクタと連携した通信制御部の検討

2024 年度： 無線通信などの速度制限環境下での実証試験と通信方式の改良

〈ベンチマーク〉

遠隔側からの映像の伝送だけでなく、力触覚や聴覚などの多感覚（マルチモダリティ）の伝送を同期・並列に提示することも考慮して、通信遅延や変動の影響を低減するような QoS 制御を協調技術として提供することは他に類を見ない。特に無線通信環境において変動に強い遠隔制御が活用できるとロボット分野だけでなく、建機や遠隔手術など他分野への波及効果も高い。

〈アプローチ、特徴技術〉

従来、安定で高速な通信ができる専用回線のみが前提として検討されてきた遠隔制御に比べて、本開発では、場所や距離など様々な通信条件により動的な変動要因も通信に存在することを前提としたロボットの遠隔制御を実現する。そのため、ロボットの遠隔制御における通信環境と通信の制約を検討し、ロボットの遠隔制御実験環境において様々な条件下の通信環境をシミュレートし、遠隔制御への影響を検証することで、通信方式での通信品質を保持するための通信制御について検討する。

また、ロボット制御と共通の通信プラットフォームに実装してロボット作業実験で効果を検証することで効率的な開発を行う。さらに従来、考慮されてこなかったロボット制御を介した作業状態やヒューマンファクタとの連携を考慮した通信制御を行うことで、より安定した通信方式を提案する。

〈成果〉

- ・ 2-1 で開発した基盤システムの上に通信遅延・変動に対応する QoS 制御を開発
- ・ 通信遅延や変動などの条件下でロボット作業実験を行い QoS 制御の性能を検証

以下、研究開発内容の詳細を示す。

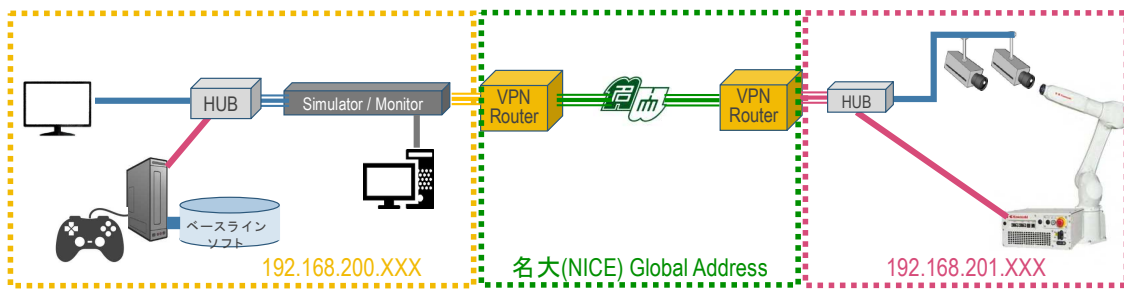
情報通信技術を用いた遠隔制御を実現する上での課題を明確化するための現状把握を行った。具体的には、現在一般的なロボットシステムやネットワークカメラなどをそのまま用いて遠隔制御に利用した状況を実際の機器で検証できる「ロボット遠隔制御ベースラインシステム」を構築した（図. n）。このシステムを用いて、通信シミュレータおよび実際の無線 LAN 回線を用いた場合の「ロボットの動作への通信の不完全性の影響」を検証した。さらに工場外からの制御において不可欠な遠隔映像取得における通信回線の不完全性の影響および作業品質の影響を明らかにした。

2021 年度の主たる成果として、以下のような事柄を明らかにした。

- ・ 作業品質の試金石として使用可能な標準作業として Pick and Place を定義できた
- ・ 通信回線の不完全性を考慮していない一般的な制御プログラムでは、不完全な回線を使用すると、制御動作そのものが開始できない場合がある。
- ・ 通信回線の不完全性により動作遅延だけでなく動作に振動が発生し作業品質を低下させる。
- ・ 通信回線の不完全性がロボット動作に悪影響を与える状況でも操作者の習熟により作業品質の低下が補償されることがあり、システムの人的要素（疲労も）を考える必要性が明確となった。
- ・ 一般的なネットワークカメラは、その遅延や通信回線の不完全性による映像停止があり、遠隔制御のための映像情報処理には不適當。遠隔制御を想定した画像伝送が必要。（図 3-23. ）

以上のように、2021 年度は、実験のための基本的なハードウェアシステムの構築と従来システムを遠隔制御に用いた場合の問題点の明確化をおこなった。この成果をうけて、2022 年度は、以下のように、高性能・高信頼遠隔制御実現のための方式開発を実施している。

- 屋内無線制御のための通信方式の検討
- 通信誤りを前提とした制御手法の開発・評価
- マルチメディア環境・制御情報の同期伝送方式開発・評価
- 通信品質の変動を想定した伝送方式と制御手法の開発・評価
- 通信・制御方式の作業品質・作業負担への影響の定量化



- 制御側
 - 制御操作用PC [ベースライン制御ソフトウェア]
 - 遠隔監視ディスプレイ
 - Switching Hub
 - 通信シミュレータ
- ロボット側
 - ロボット本体
 - 遠隔監視ネットワークカメラ
 - Switching Hub

図 3-23. ロボット遠隔制御ベースラインシステム

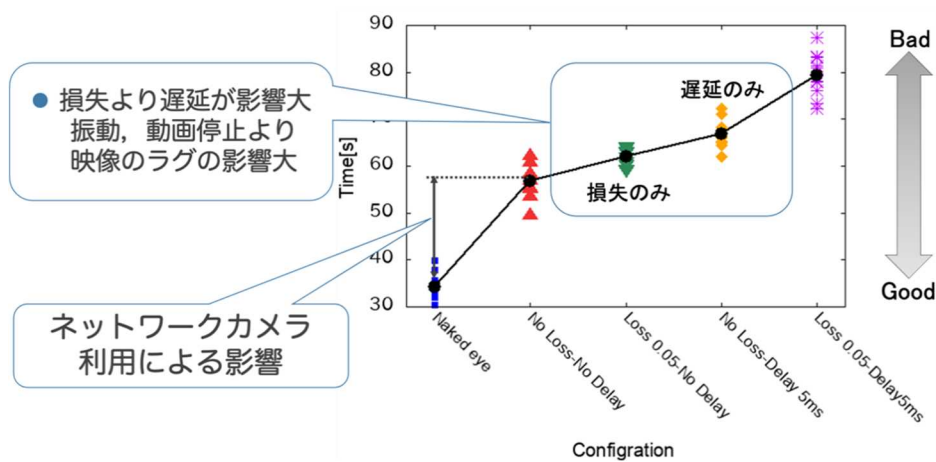


図 3-24. 不完全性の作業品質への影響：作業時間評価

③ 遠隔制御システムにおけるヒューマンファクタの評価手法に関する研究（東京工業大学）

〈目標〉

- ・ ヒューマンファクタ(操縦者の熟練度・疲労等) が作業性能に与える影響の評価手法の開発
- ・ ヒューマンファクタを通信方式に活用する手法の検討
- ・ 評価手法の有効性をロボット遠隔制御実験にて検証

〈スケジュール〉

- 2022 年度内： ヒューマンファクタの評価手法の実験検討
- 2023 年度： ヒューマンファクタの評価機能の試作評価、ヒューマンファクタとロボット制御や通信制御との連携方法の検討
- 2024 年度： ロボット作業実験による実証試験によるヒューマンファクタ評価方法の改良

〈ベンチマーク〉

従来の遠隔制御では遠隔制御に熟練した操縦者が遠隔作業を行うことを前提にしており、操縦者の操縦能力を評価することはされておらず、操縦者の体調や操縦への習熟や疲労などのヒューマンファクタを評価して遠隔制御の作業性能と結び付ける手法の提案は他に類を見ない。

また、ヒューマンファクタを評価した結果を操縦者の評価としてフィードバックする仕組みは、従来にない取り組みであり、遠隔地から操縦者を選定・雇用するオペレータマッチングに必須の機能であり、今後、遠隔制御を用いた自律ロボットの適用拡大には不可欠な要素である。

〈アプローチ、特徴技術〉

従来は特定の熟練者が遠隔制御を行うため、操縦者の認知心理特性を考慮した評価がされることがなかった。遠隔制御の操縦者にとってロボットを動かして「行為を起こしたのは自分である」と考える操作主体感をもつことが重要であると考え、機械との一体感や操作感、違和感、疲労などをどのように計測・可視化するかを検討する。

特に時間遅延の変動に関して人間の認知能力と操作一体感の関係を実験的に調査して、有効な評価方法を検討する。マルチモダリティを用いる作業では、ロボットの遠隔制御実験を通じた評価が有効と考え、通信制御やロボット制御と連携した評価実験を行う。

〈成果〉

- ・ ヒューマンファクタの評価手法の要件定義を実施
- ・ 通信遅延・変動が人に与える影響を視線追従実験により評価

(1) 遠隔操縦ロボット操の遅延を模したシミュレータの試作

従来、遠隔操縦ロボット操作における映像や触力覚の遅延に関する実験では、一定の時間に固定された遅延の下でヒューマンファクタの実験を実施することが一般的であった。しかし、名古屋大学拠点より、映像の遅延にジッターが入る状況の研究報告があったことを受けて、東京工業大学拠点においても、映像の遅延にジッターが入る状況を模したシミュレータを製作し、心理物理学の実験を実施する準備を進めている。シミュレータとしては、大規模なりアルタイム遠隔操縦ロボットを用いたものから、簡便にコンピュータ上でマウス操作に対してマウスのポインター動作が遅延するようなものまで、様々なものを予定している。以下に、ユーザの視線移動に応じて視覚画像が変化するようなインタフェースに、映像の遅延を設け、さらにそこにジッターを加えたものを試作した模式図を示す（図 3-25.）。この模式図に示された実験システムを用いて、試験的に実験を実施した研究成果を 2022 年には国際学会等で 2 件外部に公開する予定で、現在実験中である。

遅延時間の模擬

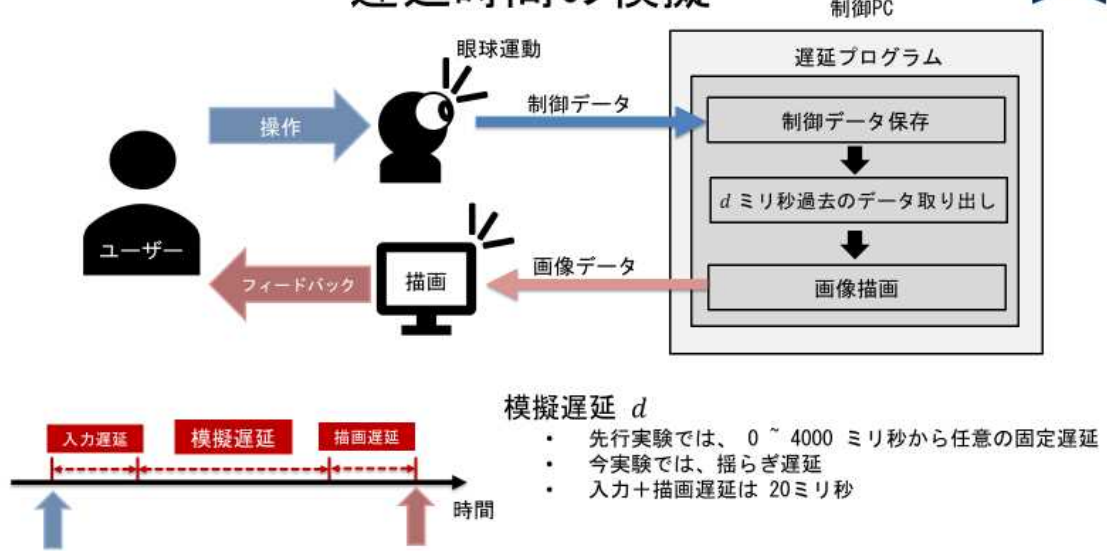


図 3-25. 遅延時間の模擬

2. 1. 4 ロボット新素材・センサ応用技術

ロボットの軽量化・高性能化を実現する新素材およびロボットへのセンサデバイス実装技術に関して、各共同研究先と定期的に討議を行い、

- ① ロボット新材料探索と研究
- ② ロボット材料（CFRP）研究
- ③ ロボットへのセンサデバイス実装技術の研究開発

の3つの研究テーマを遂行している。

ロボット新材料探索と研究では、東京工業大学、広島大学、千葉工業大学、東京都立大学の4大学が連携し、産業用ロボットアーム用の構造材として基本的な特性を試験するため、アームを模擬した一軸試験機を試作した。この試験機を用いて、東京工業大学は耐久性に関して、広島大学はロボットの高速性に着目して、千葉工業大学はロボットの高ペイロード化に着目して、また東京都立大学はロボットの剛性に着目して、計測・評価を行った。

ロボット材料（CFRP）研究では、名古屋大学が、ランダムCFRTP（炭素繊維強化熱可塑プラスチック）シート素材を積層して熱プレス成形する方法で、既存のロボットアーム部品とほぼ同形状で、ほぼ等剛性・等強度のCFRTP部品（プロトタイプ）を製作した。この試作品について曲げ試験を実施し、解析結果との差異を考察し、検証中である。

ロボットへのセンサデバイス実装技術の研究開発では、山形大学が、圧力センサアレイと無線通信回路を組み合わせたグリッパへの実装と実証、圧力センサアレイによるせん断力検出、2種類の圧力センサの積層による動的／静的圧力変化の同時検出の検討、静電容量型とインダクタンス型を組み合わせたハイブリッド型近接センサの試作・検討を実施した。

表 3-8. 共同研究先の成果と課題

研究開発項目		目標 (2022年度末)	成果	達成度	今後の課題 と解決方針
A.ロボット 新素材 の検討	3-1 ロボット 新材料探索と研究 (東工大・広島大・ 千葉工大・ 東京都立大)	・アーム部に適用可能な新素材／CFRPを1件以上提案し、プロトタイプ開発・評価	・ロボット素材としての評価指標選定し、ロボットの機構を模擬した1軸試験機を製作し、樹脂、複合材、3Dプリンタ造形したCFRP等、複数の候補材を評価して、アーム部・駆動機構部ともに適用可能と考えられる素材等につき基本的検討実施。	○	22年度計画の 遂行
	3-2 ロボット材料 (CFRP)研究 (名古屋大)	・駆動機構部に適用可能な新素材／CFRPの基本的検討	・不連続炭素繊維をランダム配向したシート状素材(市販品)のプレス成形による、実物大のCFRP製ロボットアームのプロトタイプを開発し、成形条件・加工性等を確認。	○	
B.センサ応用技術 3-3 ロボットへのセンサデバイス実装技術の研究開発 (山形大(～2021)、 産総研(2022～))		・センサ実装に係わる要素技術を1件以上提案し、プロトタイプ開発・評価	・印刷型有機センサ技術により、振動／圧力センサ、静電容量・インダクタンス型近接センサ等試作 ・4×4配列の圧力センサアレイを用いた2次元圧力マッピングによる把持物体の角度検出等の要素技術を提案。2次元圧力マッピングと無線通信回路を組み合わせたワイヤレスのセンサシステムをロボットハンドに実装したプロトタイプを開発し、評価。 (2021年度までの山形大成果による)	○	共同研究先変更に伴う実施内容再確認

① ロボット新材料探索と研究（東京工業大学、広島大学、千葉工業大学、東京都立大学）

ロボットとして必要な特性の評価に基づき、新素材の探索及び加工方法を研究することにより、ロボットに適した材料・プロセスを選定して、プロトタイプを開発・評価する。

〈目標〉

2022 年度中間目標： アーム部・駆動機構部に適用可能な新素材／CFRP の基本的検討

最終目標（2024 年度末）： 駆動部及び構造部の軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料を 1 件以上開発するとともに、消費電力の 30%減少について検証を行う。

〈スケジュール〉

2022 年度は、市販の CFRP 素材、3D プリント素材等から、ロボットに適した材料を探索し、機械特性・環境特性評価や加工・成形条件の基礎的な検討を行い、2023 年度から特性評価の継続とともに、締結・接合を含む加工・成形条件の検討、ロボットに適した材料の選定を行い、試作・検証を行って最終目標を達成する。

〈アプローチ、特徴技術〉

ロボットアームの機構を模擬した 1 軸試験機を製作し、ロボットに必要な特性を評価して、新素材の探索及び加工方法を研究することにより、ロボットに適した材料を探索。

各大学の分担は下記の通り。

東京工業大学

- ・ 全体とりまとめ
- ・ ロボットの耐久性に着目： ロボットの動作に伴う繰り返しの荷重変動に対し、材料の疲労による強度低下や部材の変形、それにより生じうる締結部のガタなどについても評価・研究

広島大学

- ・ ロボットの高速性に着目： 動力学特性を実現するための材料およびその制振性能についても評価・研究

東京都立大学

- ・ ロボットの剛性に着目： 高い負荷に耐えうる材料および機構部材の静的な変形特性についても評価・研究

千葉工業大学

- ・ ロボットの高ペイロード化に着目： 高い手先出力を実現するための材料および機構部材の動的な変形特性についても評価・研究

〈成果〉

ロボット素材としての評価指標選定し、ロボットの機構を模擬した 1 軸試験機を製作し、樹脂、複合材、3D プリント造形した CFRP 等、複数の候補材について、東京工業大学、広島大学、千葉工業大学、東京都立大学で分担して、基本的検討実施した。詳細を以下に記載する。

東京工業大学は、本テーマの全体をとりまとめ、かつ、ロボットの耐久性に着目し、ロボットの動作に伴う繰り返しの荷重変動に対し、材料の疲労による強度低下や部材の変形、それにより生じうる締結部のガタなどについても評価・研究を進めている。

産業用ロボットアーム用の構造材として基本的な特性を試験するため、アームを模擬した一軸試験機を設計し、試作した。試験リンクの材料として比較用のアルミ合金 4 種類、バルク材の切削による樹脂 4 種類、熱溶融積層方式による 3D プリント樹脂 3 種類を選定し、試作した（図 3-26. ）。



- ①市販 CFRP 素材(フェルト状基材/エポキシ樹脂)
- ②市販複合材素材(ガラス短繊維・無機フィラー/PET 樹脂)
- ③POM : ポリアセタール樹脂
- ④MC901 ナイロン
- ⑤市販複合材素材(超微細チタン酸カリウム繊維/ナイロン) (3D プリンティング)
- ⑥市販 3D プリント用 CFRTP フィラメント(カーボン短繊維/ナイロン) (3D プリンティング)
- ⑦上記素材⑥ + カーボン長繊維(連続繊維) (3D プリンティング)

図 3-26. 試作した試験リンク

耐久性に関しては、(1)試験リンクの経時的な質量変化の計測、および(2)試験リンクに一定荷重が作用する場合の変形について計測を行った。(1)では、ナイロン樹脂を母材とするフィラメントで造形した試験リンクの質量が湿度により顕著に変化することが明らかとなった。バルク材のナイロンではこれほどの変化は観測されないため、3D プリントによる表面積の増大が影響しているものと推察される。また(2)に関しては、3.2kgf 負荷した際の経時的な変位を計測したところ、⑥材の変位が最も大きかった。一方で超微細チタン酸カリウムで強化した⑤材やカーボン不織布で強化したエポキシ樹脂である①材では変位は小さいことが明らかとなり、強化する繊維材料や母材により特性が異なることが分かった。

広島大学はロボットの高速性に着目し、高い動力学特性を実現するための材料およびその制振性能について検証した。手先の移動速度の向上のみを考えるとアクチュエータの高出力化が重要となるが、アクチュエータが静止しても手先が振動している場合は高速な作業は実現できない。つまり、材料においては制振性能が求められる。そこで実験方法として試験片に質量 3.2 kg の錘を取り付け、アクチュエータにより駆動し、錘を持ち上げ試験片が水平となる所で急停止させ、先端の変位(振動)を計測した。試験片の材料としては、アルミ合金系を 4 種類、樹脂系を 7 種類検証した。試験片の形状は図 3-26. に示すように、全て同様である。

アルミ合金系と比較すると樹脂系は 1 周期目の減衰比は優れているものも少なくないが、その後の減衰比は小さくなる傾向がある。つまり、振幅が大きい場合においては制振性能が優れているものの、振幅が小さくなると減衰しにくくなる傾向があった。また、樹脂において⑥材に炭素長繊維を複合した材料 (⑦材) は、アルミ合金系と同程度の制振性能が得られた。

次に固有振動数について考える。一般に固有振動数以下の周波数帯でロボットを動作させる必要がある。ゆえに、固有振動数が高いほど優れており、剛性が高いほど固有振動数は高くなる。アルミ合金系と樹脂系では大きく剛性が異なると考えられるが、実験結果においてはすべての材料において振動数はおよそ 22 Hz となった。つまり、試験片以外のアクチュエータなどの剛性の方が支配的であると考えられるため、動力学特性に着目して材料を選定する場合、剛性よりも制振性能の方がロボットの運動の優劣に影響を与えることが分かった。

千葉工業大学は、ロボットの高ペイロード化に着目し、高い手先出力を実現するための材料および機構部材の動的な変形特性についても評価・研究を進めている。高ペイロード化、すなわち高い手先出力を実現するためには、軸周りの部品を高精度に組み合わせ、同時に高負荷や衝撃負荷に対する強度を確保する必要がある。現在までの金属材料を用いた方法では、NC 加工機等を用いた高精度加工や、材料の変更による強度の確保、並びに CAE を用いた構造解析による形状の最適化などにより実現してきた。しかしながら、3D プリントを用い、樹脂系材料を熱溶解積層方式で造形した部品で同じことを実現しようとしても、1) 造形した部品の造形精度の分布が不確実で、狙ったサイズの部品を確実に造形するのが困難である、2) 材料の経年変化の特性が不明である、そして 3) 造形による製作であるため、造形後の部品の機械特性（変形特性・耐衝撃性）は不明であり、CAE などを使った有効な解析方法が存在しない、といった問題が存在する。

これらの問題に対応するため、a) 造形部品の精密サイズ測定、b) 造形物のサイズの経年変化測定、c) 造形物の力学的な静／動特性の計測を行う。基礎的な測定として、これらのうちまず、(a): 軸と穴のサイズ測定、と (b): 異なる湿度環境下でのサイズの時間変化の測定、を実施した。

3D プリントを使い、⑥材で造形をした際の造形場所による造形サイズの偏りを調べたが、特に特異な差は見られなかった。次に造形サイズを計測するため、シャフト（充填率 100%）とパイプ（充填率 100%）について、直径・穴径を $\Phi 5 \sim \Phi 6$ まで 0.1 mm ずつ変えたものを造形し、直径・穴径を計測した結果、シャフト径は 0.2 mm 程度設計値より大きくなり、穴径では同程度小さくなる。同様に $\Phi 15 \sim \Phi 16$ まで設計値を 0.01 mm 刻みで変化させ 3D プリント並びに造形物の造形精度を確認したところ、切削加工に比べれば多少のばらつきはあるものの、同程度のずれのまま比較的高精度での造形が可能であることを確認した。

次に、3D プリント材料⑥材の吸水特性に関して、その変化について計測した。沸騰水の中で 1 時間煮ると急激に質量が増し、数ヶ月間大気下に放置することで質量とサイズが変化することが確認された。大気中の湿度が造形物の質量・サイズに影響を及ぼすと考え、4 種類の infill 形状をもつ造形物に対して、乾燥機、低湿度保管庫と水中にて保管し、質量の変化を計測した。これより、質量とサイズは造形物の保管環境における湿度に比較的大きな影響を受けることが確認できた。

東京都立大学は、ロボットの剛性に着目し、高い負荷に耐えうる材料および機構部材の静的な変形特性について評価・研究するため、以下の 4 種の材質で製作されたリンク部品を対象として研究を進めた。

- アルミニウム合金の代表例として A5052
- エンジニアリングプラスチックの代表例として③
- カーボン長繊維を用いた 3D プリント材料として⑦
- カーボン長繊維を用いない比較対象として⑥

これらの素材でできたリンクをハーモニックドライブ付きステッピングモータに取り付けた際の剛性を軸方向・回転方向のそれぞれで調査した。リンクの締結トルクは 1.5Nm および 3Nm の 2 種類とした。回転軸から 292mm 離れたリンク先端付近に約 50N の押し付け力を印加し、その際の変位を回測定した。

それぞれの条件における測定結果から以下のことが言える。

- A5052、③、⑦、⑥の順で剛性が高い（材料のヤング率から想定通り）。
- A5052 および③においては、締付トルクが高い方が剛性が高くなる。
- ⑦および⑥においては、締付トルクは剛性の増加に寄与しにくい。
- A5052 は樹脂材料に比べると桁違いの剛性であるはずだが、測定結果はそれほどではない（リンクだけの剛性を測定しているわけではないため）。

さらに、この結果から、測定した剛性を、リンクと減速機・軸受が直列に接続された剛性モデルとして検討し試算した結果、おおむね妥当な値であることを確認した。また、その直列剛性モデルから、カーボン長繊維により⑥の剛性を

③に近い剛性まで向上できる可能性が示唆されたが、実験結果から、積層方向や充填率により特性が変化することが予測された。

〈ベンチマーク〉

樹脂系材料／複合材料の3Dプリンティングは、将来的に低コストなCFRPの製法として期待できる。現状では、エンドエフェクタの製造や、海外メーカーでは市販の3Dプリンタをそのまま用いて小型（協働）ロボットを製造している事例はあるが、十分な強度と構成が必要な中・大型のロボットの構造部へはまだ適用されていない。現在3Dプリンティング技術は発展途上の過程にあると認識しており、現時点でロボットに必要な基礎的な特性を評価しながら加工・成形条件を改良することにより、世界トップレベルを狙えると考え。（なお2022年度は、樹脂系複合材料の3Dプリンティング分野で日本をリードする研究者のコンサルティングを受けて研究を加速する）

② ロボット材料（CFRP）研究（名古屋大学）

航空機および自動車市場で適用されているCFRP材料をベースに、ロボットに適した素材・加工方法を研究し、プロトタイプを開発・評価する。

〈目標〉

2022年度中間目標：アーム部に適用可能な新素材／CFRPを提案し、プロトタイプ開発・評価。

最終目標（2024年度末）：駆動部及び構造部の軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料を1件以上開発するとともに、消費電力の30%減少について検証を行う。

〈スケジュール〉

2022年度は、2021年度とは異なる素材・プロセスにより、中空形状のアーム部品のプロトタイプ開発を行い、2023年度から、2022年度までのプロトタイプの各種特性評価の継続とともに、締結・接合を含む加工・成形条件の検討等を行い、試作・検証を行って最終目標を達成する。

〈アプローチ、特徴技術〉

「素材の切断→積層→プレス」という、他のCFRP製造工程と比較して簡易な工程で製造が可能なシート状の素材を選定し、軽さと力学的特性と製造容易性を兼ね備えた、ロボットに適した素材・加工方法を研究。2021年度のプロトタイプ開発に用いた不連続CFRTPシート素材は、不連続繊維であることによる成形型への良好な賦形性と、不連続とはいえ長め（20mm長）の繊維を用いること、さらに日本国内の研究機関（福井県工業技術センター）で開発された開織技術（繊維束を開いて薄く平らな状態にする技術）による薄層プリプレグを原料に用いることによる優れた力学的特性とを両立させた新しい素材である。

〈成果〉

不連続炭素繊維とナイロン樹脂から成るランダムCFRTP（炭素繊維強化熱可塑性プラスチック：Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics）シート素材のプレス成形により、実際のアルミ製アーム部品と同形状のCFRP製アーム部品のプロトタイプを製作・評価した。詳細を以下に記載する。

2020年度から2022年度までの研究開発計画の全体と、各年度の実施計画を策定した。具体的には、ランダムCFRTPシートを積層したものの熱プレス成形技術の研究開発を主体として、2020-2021年度に実施することとした。第2番目のロボットアームにプリプレグ成形に適した形状のものを選定し、2021-2022年度にプリプレグを使用した熱プレス成形技術の研究開発を実施することとした。

最初の使用材料として、リボン状のCFRTP 薄片を集積したランダムシート型材料である不連続 CFRTP シート素材を選定した。

アルミ合金製ロボットアームを3次元データ化し、現在のアームの強度・剛性の特性を有限要素法を使用した数値解析により求めた。この形状を図 3-27. に示す。次に、選定した 不連続 CFRTP シート素材 の材料特性数値を代入して、ほぼ等剛性・等強度になるロボットアーム形状を設計した。実際の作業は、研究協力者である大学院学生が実施した。

AL 製 (可搬 15 kg タイプ)

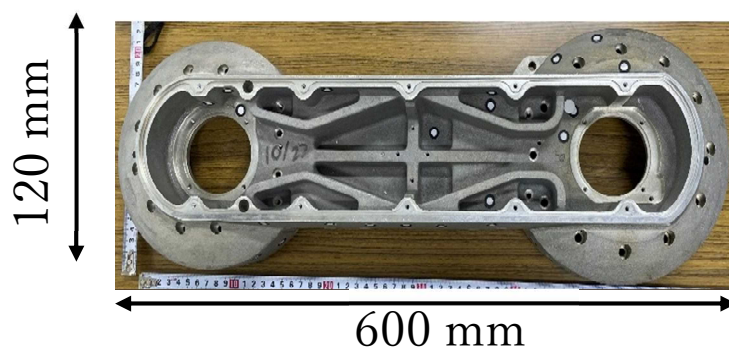
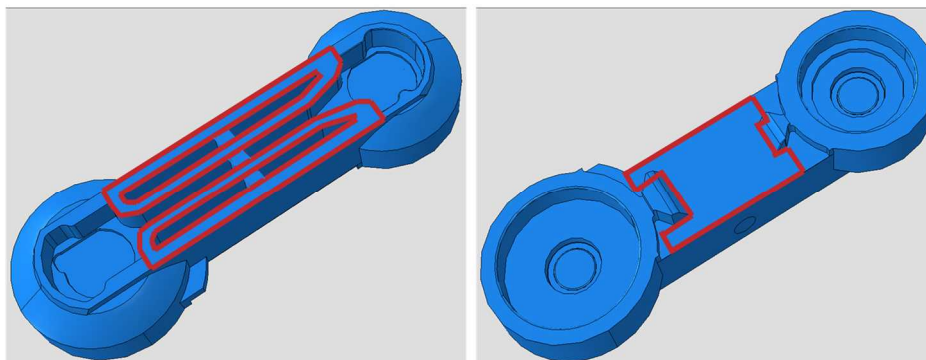


図 3-27. アルミ合金製ロボットアーム形状

設計された CFRTP 製ロボットアーム形状を図 3-28. に示す。このアームには更なる軽量化のため、CFRTP 連続繊維プリプレグを超音波溶着した。

CFRTP 製



 連続CFRTP溶着部分

図 3-28. 設計された CFRTP ロボットアーム形状

次に、不連続 CFRTP シート素材を原料として、CFRTP ロボットアームを熱プレス成形した。型内の原料と成形品の写真、成形条件等を図 3-29. に示す。

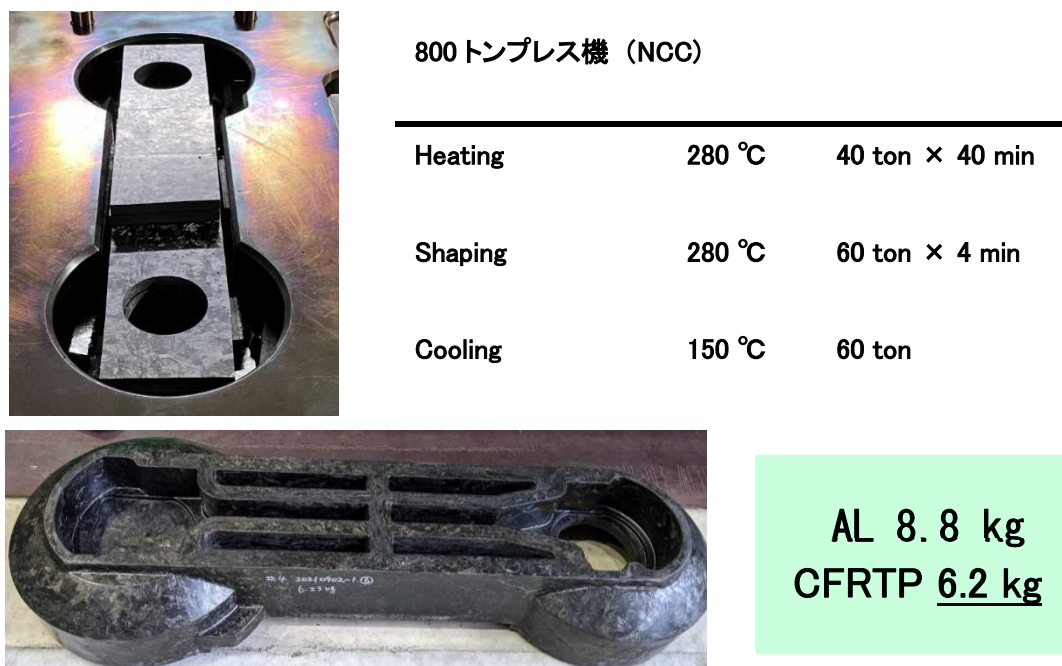


図 3-29. 成形された CFRTP ロボットアーム形状と成形条件

次に、このロボットアーム形状データに材料データを入力し、有限要素法を用いて剛性解析を実施した。プリプレグにより補強した場合についても、補強枚数が 2ply, 8ply の場合について解析を実施した。解析では、治具やクロスヘッドまで忠実にモデル化した。

実際に製作した供試体について、曲げ試験を実施し、解析と比較した。解析との比較では、実験結果の方が剛性が小さくなるという差異が認められた。この原因を考察すると、その第 1 としては、入力した材料データが二次元的な板の曲げ試験から求められたもので、ロボットアームの中では繊維が 3 次元的に配向しており、弾性係数が二次元的な板の曲げ試験から求められた値より小さいことが想定されることが挙げられる。これについては、実際のロボットアームから試験片を切り出して、曲げ試験を実施して、実際に近い弾性係数を計測するという可能性が考えられる。第 2 の原因として、実験の上下方向変位には、曲げ変形のみでなく、圧子による押込みのくぼみの変位も加算され、解析ではこれが十分に反映されていないことが挙げられる。この原因については、有限要素解析に弾性接触問題を取り込んで、実施する。

〈ベンチマーク〉

2021 年度のプロトタイプ開発に用いた不連続 CFRTP シート素材は、〈アプローチ、特徴技術〉の項に記載したように、日本独自の開繊技術を用いた、賦形性と力学的特性を両立した新しい素材であり、これから量産化が計画されている開発段階の素材でもある。こうした素材をいち早く評価・試作し、実用化につなげていくことで、世界をリードする技術レベルを狙えると考えられる。

③ ロボットへのセンサデバイス実装技術の研究開発（山形大学→産総研）

ロボットの信頼性・安全性向上につながるセンサ実装技術を研究し、ロボットへの実装を想定して、プロトタイプを開発・評価する。

〈目標〉

2022 年度中間目標： センサ実装に係わる要素技術を提案し、プロトタイプ開発・評価

最終目標（2024 年度末）： ロボットの信頼性向上や制御性能の付与、安全性の向上に資するセンサデバイスについて、基幹部品となる要素技術を 1 件以上確立する。

〈スケジュール〉

2021 年度までは山形大学が担当（中間目標は達成）

2022 年度は、山形大学の辞退に伴い、実施機関を産総研に変更し承継する

2022 年度後半以降は、センサの信頼性評価、状態検知、近接センシング、ワイヤレス化等の研究を進め、試作・検証を行って最終目標を達成する。

〈アプローチ、特徴技術〉

2022 年度後半以降は、産総研の保有するセンサ技術をベースとして、ロボットへの実装技術主体の研究として効率的に進める。

近接センシング（柵レス化）については、静電容量センサ等の既存の近接センサでは検知距離は 10～20cm 程度であり、アームの速度が速い場合、それだけでは柵レス化は困難である。複数センサの組合せなども含め、産総研のアイデアも活用して進める。

〈成果〉

2021 年度までの山形大学の成果として、ロボットの高性能化に資するセンサ実装技術として、各種の印刷型有機センサ試作や、2 次元マッピング可能な圧力センサアレイと無線通信回路を組合せたワイヤレスセンサシステムをハンドに実装したプロトタイプの開発・評価等を実施した。詳細を以下に記載する。

圧力センサをアレイ化し無線通信回路と組み合わせてロボットグリッパーへ実装し、ロボットアームとグリッパーの制御系へ組み込むことで、壊れやすい物体の把持や圧力マッピング情報取得による棒状物体の把持角度検出によるロボットグリッパーの高機能化を実証し、課題抽出を行った。さらに、圧力センサアレイを発展させることによりせん断力検出、2 種類の圧力センサを積層することで動的／静的圧力変化の同時検出を検討した。また、既報告を参考に印刷法による近接センサの作製も検討した。

アレイ化に関しては、2020 年度は、単一の印刷型フレキシブル圧力センサをロボットハンドに実装していたが、検出面積の拡大と二次元圧力情報の取得による高機能化を目的に検討した。デバイスは 2021 年に研究員が報告したプロセスを用いて作製した(Adv. Mater. Tech. 6, 2100731 (2021))。この時、粘度計を用いた粘度の測定を行いインクの状態を観測した。試作したセンサアレイの各センサ素子は 2.2×2.4 mm、4×4 全体のサイズは 2×2cm 以下のサイズである。電気的特性評価には、ソースメータやマルチメータを用いフォースゲージを用いて圧力を印加した際の抵抗変化を測定した。センサ基材には柔軟性のあるポリイミド基板を用いており、グリッパー先端に 3D プリンターで作製された先端チップに両面テープを用い、コネクタと接続される部分を裏側に配置することで実装可能である。また、配線数低減と高解像度化を目的として、8×8 圧力センサパッシブマトリクスを作製し特性評価を行った。本センサアレイの主な課題は、各センサの初期抵抗値にバラつきがある為、デバイス作製毎にキャリブレーションの作業が必要になる点である。また、本研究で採用した多孔質カーボン材料は、センサの固有抵抗値が 1～10 kΩ と比較的低い抵抗値

であるため、常時電流を流すようなセンシング回路では、消費電力増加が見込まれる為、抵抗値を増加させる対策が必要である。

圧力センサアレイのロボット制御系への組み込みに関しては、作製された圧力センサアレイの出力をマイコンの ADC でデジタル変換後に制御系に接続されている PC へ入力しデータ処理することで実現した。PC へ入力されたセンシング情報は、ソフトウェア上で可視化や閾値判定、二次元圧カマッピング解析、データロギングを行い、これらの情報をもとにロボットアームと、ロボットグリッパー制御を行った。ロボットアーム制御は、標準の制御ボックスにデジタル信号を入力することで行った。4×4 アレイを用いて、紙コップ等の柔らかい物体の把持や、4×4 の二次元圧カマッピング情報を利用した、棒状物体の把持角度の検出を実現した。これらの結果を JFLEX2022 展でのデモンストレーションと 2022 年度春季応用物理学学会学術講演会での発表を行った。

本制御系の主な課題は、制御速度（タイムラグ）の問題が挙げられる。本制御系では、通信時間やマイコンでの処理、ソフトウェアでの処理時間等の遅延時間が生じる。更なる高速化が必要な場合にはマイコン内でデータ処理を行いグリッパー制御を行うなどの制御系の高速化が必要になると考える。次に、ロボットアームの制御方法が挙げられる。アームの制御は、標準のティーチングペンダント内に搭載されるソフトウェアが担っており、制御ボックスのデジタル入力で PC からマイコンを介して制御信号を入力することで、圧力センサの情報をロボットアームの制御プログラムに反映させていた。このため、閾値判定や角度等の簡易的なアーム制御しか行うことが出来なかった。

また、ロボットへの容易な実装を目的として、ADC を搭載するマイコンと PC 間の通信には、USB ケーブルを用いたシリアル通信で行っていたが、ムセンコネク社製の BLE モジュール（LINBLE-Z1）を用いて無線通信化を行い、バッテリーを搭載することで一体化基板を作製した。本センシング回路の主な課題は、センサ部分の消費電力が挙げられる。4×4 圧力センサアレイでは、すべてのセンサに常時電流が流れている為、消費電力が高い状態である。このため、マルチプレクサ等でのスイッチングによる省電力化が必要であると考えられる。

圧力センサの応用として、複数の圧力センサとドーム構造ピラーを利用したせん断力センサを実現した。4 つ又は 7 つのセンサに跨る様に PDMS ドームを配置し、ソフトウェア上で各センサ出力値の差分を取ることで、せん断力（圧力の偏り）を算出し、せん断力可視化の検討を行った。せん断力の構造に合わせ可視化用のソフトウェアもセンサ配置と同等に変更し、圧力の偏りが明確に可視化できるように変更した。現状では、圧力センサ間の距離や、PDMS 材料の硬度の最適化が不十分であり、正確なせん断力の検出までには至っていない。今後、圧力センサ間の距離を含むセンサ配置の最適化や更なる微細化、そして、PDMS 材料の形状や硬度の最適化を行うことが必要であると考えられる。

2 種類のセンサを組み合わせたハイブリッド型センサを検討した。これまで、抵抗変化型のカーボン材料は静的な圧力変化に適した材料であったが、振動の様な動的な圧力変化の検出は困難であった。そこで、動的な圧力検出に適した圧電材料を積層することで、静的／動的な圧力情報の同時センシングを試み、静的／動的 2 種類の圧力変化をそれぞれの圧力センサで測定可能であることが分かった。

また、ロボットアームへの人体や物体の衝突を防ぐために、近接センサを検討した。近接センサには既報告の論文（T. D. Nguyen et al., IEEE Trans. Indus. Electron. 68, 2379-2388 (2020)）を参考に、容量型とインダクタンス型を組み合わせたハイブリッド型近接センサを検討した。作製した電極パターンは、2 つの半円形の電極の周りにコイルが形成されており、半円形の電極間での容量変化と周囲のコイルのインダクタンスの変化による測定を検討した。シミュレーションをした結果、回路図中の C2（センサの半円形電極間の静電容量）が 0.1pF から 100pF まで変化した場合、Vout の出力電圧が変化しており、近接センサとして有用であると考えられた。

本項で述べたセンサの外観、実装状況、積層構造などを図 3-30. に示す。

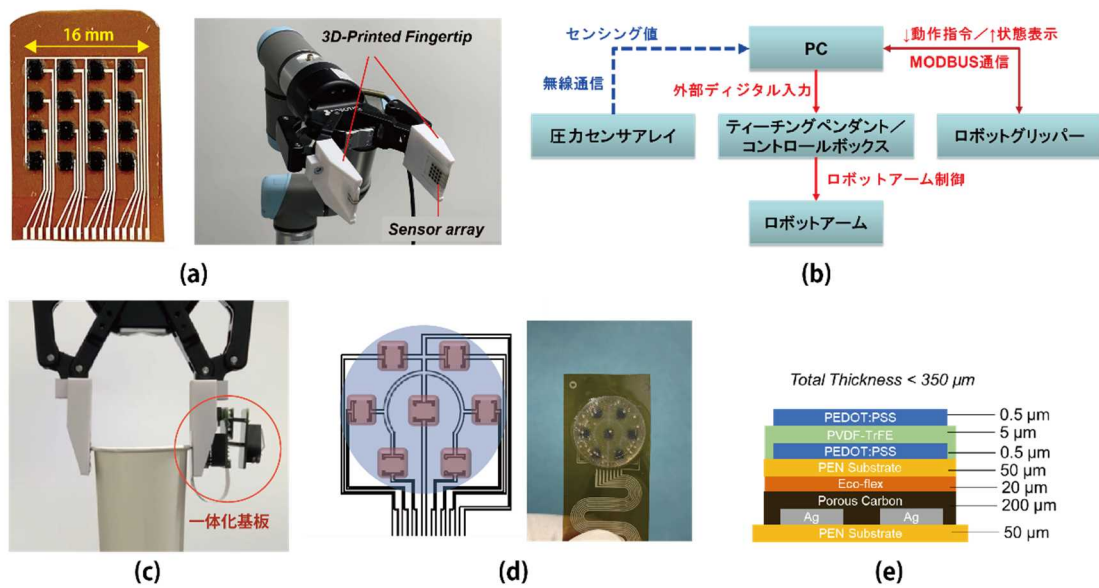


図 3-30. 2021 年度研究報告：(a)4×4 圧力センサアレイ (b)圧力センサのロボット制御系への導入 (c) 無線通信可能な一体化基板の作製 (d)せん断力センサ (e)積層型ハイブリッドセンサの断面構造

〈ベンチマーク〉

印刷型有機センサのロボットもしくはエンドエフェクタへの適用については、これまでも部分的には行われていたが、産業用ロボットに必要な耐久性・信頼性の観点からのデータを蓄積することで、産業用ロボット分野への適用拡大、それによるロボットの生産性向上が期待される。また静電容量センサによる近接センシングは実用化されているが、前述の通り検知距離が短く、実際の生産ラインで使用される（アームの動きが速い）産業用ロボットには適用困難であり、仮にこの分野で柵レス化を可能にするセンサシステムの構築が可能になれば、世界トップレベルと言える。

2. 2 変種変様な多能作業を可能にするセンシング技術搭載エンドエフェクタの開発と実証 (パナソニックホールディングス、東北大学)

中間目標への達成状況を表 3-9. に示す。

表 3-9. 達成状況

開発項目	できたこと
エンドエフェクタ機構技術の開発	柔剛切替え可能なベルト付きヘラ構造および、ヘラ挿入用隙間生成メカニズムについての原理を考案、実機試作。
統合エンドエフェクタの開発	センサとヘラ・ベルト機構を搭載したエンドエフェクタの試作と基本把持動作完了
エンドエフェクタ搭載センサ・制御技術の開発	センサ情報を用いたエンドエフェクタの制御アルゴリズムを開発し、硬度や重量が未知の対象物のつまみ上げを実現

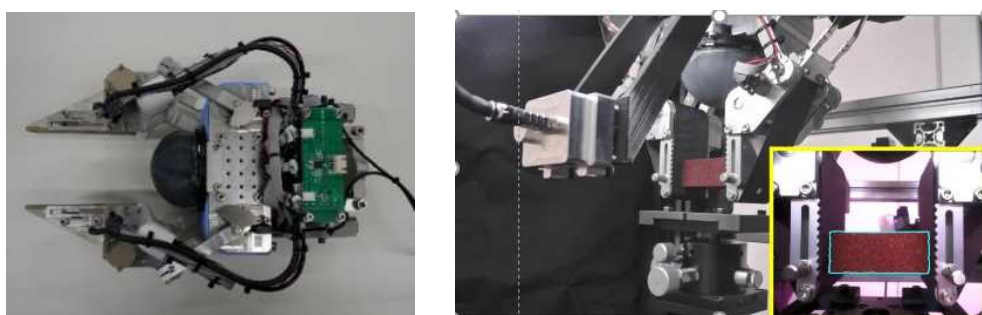


図 3-31. エンドエフェクタ試作とセンサ情報による柔軟物の把持

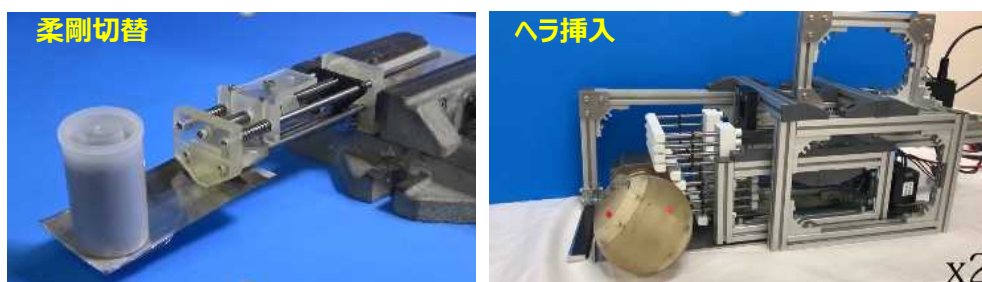


図 3-32. ロボットハンド要素技術開発

(1) ハードウェア開発

2020 年度に検討開始していたエンドエフェクタに搭載するセンサおよび機構・センサ統合エンドエフェクタ機の第 1 弾ハンドの試作を完了。その後、第 1 弾ハンドの性能評価を実施した。

評価結果に基づいて第 1 弾ハンドを改良・機能追加を行った第 2 弾ハンドを設計・製作した。第 2 弾ハンドを用いて、「把持」「つまみ上げ」「すくい上げ」などの様々なエンドエフェクタ動作の実現を確認した。

(2) 制御ソフトウェア開発

第 1 弾ハンドに小型ステレオカメラを搭載し、大きさや硬さ・重さなどが未知な物体に対して事前情報なしにつまみ上げることができるセンサ情報を活用したエンドエフェクタ制御アルゴリズムを開発した。

第 2 弾ハンドに搭載した「ヘラ・ベルト機構」を用いて、把持物体の姿勢をハンド内で変更するインハンドマニピュレーションを実現した。

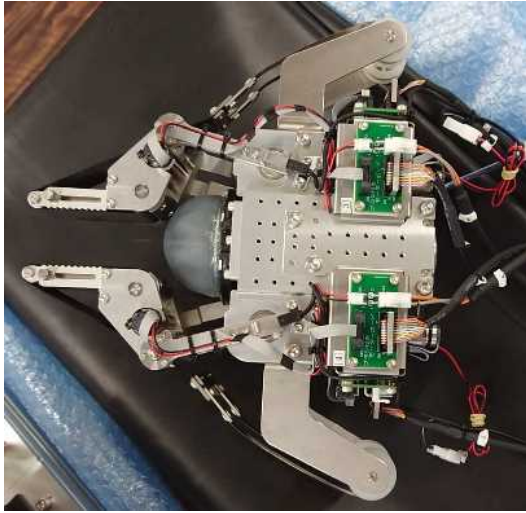


図 3-33. ハンド試作 (左：第 1 弾、右：第 2 弾)

表 3-10. 研究開発項目毎の目標と達成状況

◆全体

目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>把持対象物の情報計測を行うことのできるセンシング機能を有するエンドエフェクタ等を開発し、10 件以上の定型物・不定形物サンプルに対し、把持するモノの情報計測を実施する。さらに、定型物を把持する汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1 件以上確立する。</p>	<p>センシング機能を搭載したエンドエフェクタを開発し、4種類の物体について把持確認を完了。ロボットハンドの基幹要素技術として、「ヘラ・ベルト機構」を確立。</p>	○	<p>10種類以上の物体の把持に向けて、把持確認実験を実施。得られた知見を次ステップのロボットハンド開発にフィードバックする。</p>

◆個別テーマ

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>エンドエフェクタ機構技術の開発 ①エンドエフェクタ実機原理考案検討 ②エンドエフェクタ試作機的设计・試作</p>	<p>汎用性の高いエンドエフェクタの原理を考案し、考案原理に基づく実機を具現化。対象物の形状・サイズに依らずくい取り保持可能なエンドエフェクタの設計・試作を行う。</p>	<p>柔軟切替え可能なベルト付きヘラ構造および、ヘラ挿入用隙間生成メカニズムについての原理を考案、実機試作。</p>	○	<p>張力調整用のカム形状の最適化および、柔軟切替え可能な無限軌道円柱化を検討し、エンドエフェクタ機構技術を継続進化させる。</p>
<p>エンドエフェクタ搭載センサ・制御技術の開発 ③エンドエフェクタ搭載センサ要素原理設計 ④エンドエフェクタ搭載センサ要素製作</p>	<p>エンドエフェクタに搭載した小型カメラのセンシング情報を用いたエンドエフェクタの把持制御手法を開発する。</p>	<p>エンドエフェクタの動作制御と搭載した小型カメラの画像認識を組合せたアルゴリズム開発により、硬度、重量が未知の対象物サンプルに対するつまみ上げ制御を実現。</p>	○	<p>次ステップとして現場での応用を目指し、つまみ上げ制御後に、対象物を作業可能な姿勢に変換するために必要な把持物の姿勢操り制御の可能性を検討する。</p>
<p>統合エンドエフェクタの開発 ⑤機構・センサ統合エンドエフェクタ機の開発</p>	<p>センサとヘラ・ベルト機構を搭載したエンドエフェクタの設計と試作を行う。</p>	<p>センサとヘラ・ベルト機構を搭載したエンドエフェクタの試作と基本動作の確認完了。</p>	○	<p>種々な形状や様々な状態の物体の把持への適用を行い、課題抽出を行う。</p>
<p>エンドエフェクタ技術調査 ⑦各種ロボットエンドエフェクタの海外調査</p>	<p>海外の販売中のエンドエフェクタを調査する。最新の技術動向について学会調査や知財調査を実施する。</p>	<p>公開情報ベースで網羅的な調査を実施し、各社のエンドエフェクタの特徴を整理した。国際学会で最新の情報を収集し技術動向を把握した。国内知財の近年の出願動向を調査した。</p>	○	<p>最新の情報を引き続き取得する。国内知財に加えて、海外知財の調査も実施する。</p>
<p>エンドエフェクタ活用調査 ⑨他実施者との連携</p>	<p>ROBOCIPに参画し情報を収集する。</p>	<p>パナソニックから2名がROBOCIPの研究員として参画している。定例の会議に参加している。</p>	○	<p>現状はROBOCIP内のPJについての議論が中心であり、今後連携についての議論を進めていく。</p>

○ 大きく上回って達成, ○ 達成/達成見込み (中間), △ 一部達成 (事後), X 未達

最終目標に向けた取組みとして、従来の専用エンドエフェクタを脱するため、原理に立ち戻って機構技術と制御技術を開発し、多能工エンドエフェクタを実現する。また、ピッキングするだけでなく、その後のタスクも考えた機構・制御で、従来自動化が難しかった工程の自動化を実現する。

従来のエンドエフェクタは、特定の対象物やタスクに特化しているものが多く、本研究開発では、「多種多様な対象物へ対応」+「対象物の状態変化に対応」の2軸に注目し実現できる作業を面で広げていく開発を行う。

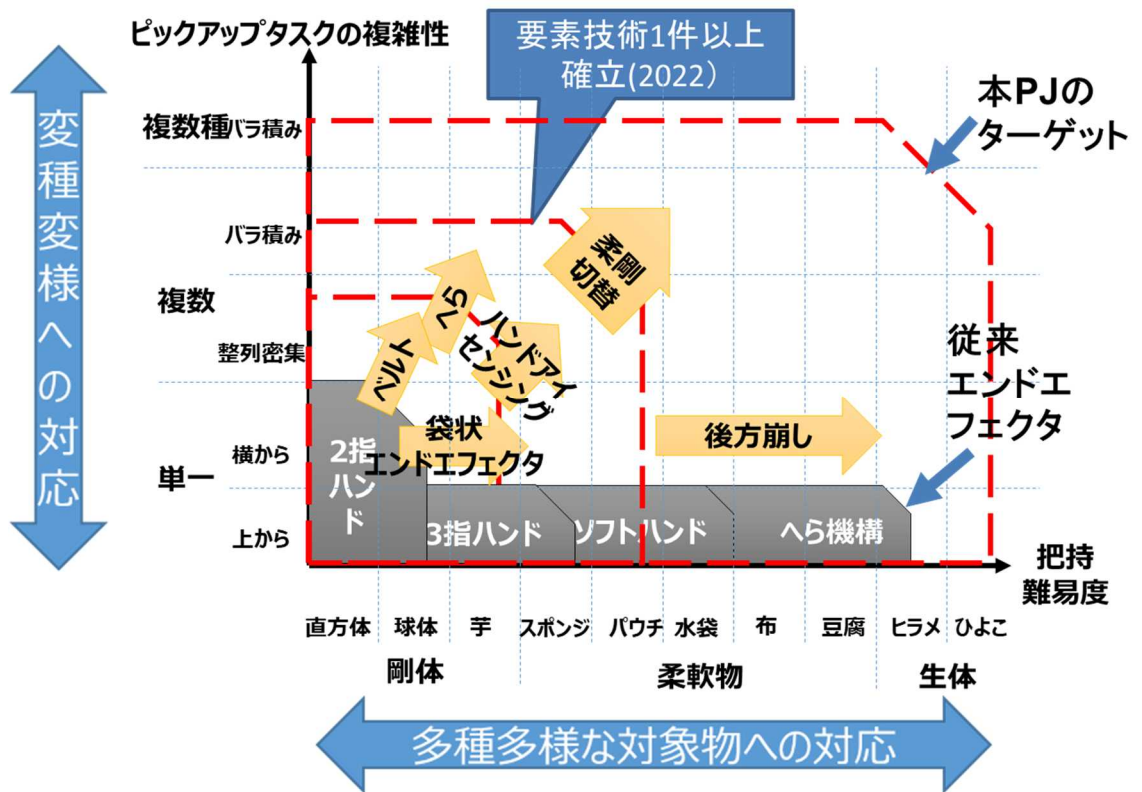


図 3-34. ピックアップタスクでの目標

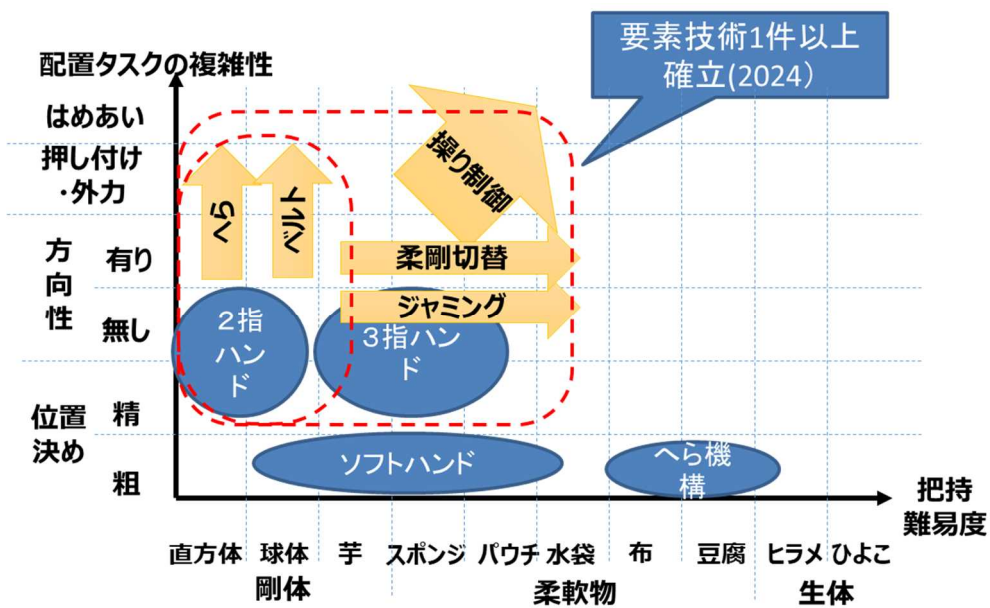


図 3-35. 配置タスクでの目標

2. 3. 1 研究開発成果

自動で動作ができる多能工エンドエフェクタ、その作業の正確性に寄与するセンシング技術・制御技術の開発。



『変種変様』な対象物を把持可能なエンドエフェクタを創出する

これにより、産業界において広く実用できる、多種多様な『変種変様』な対象物を把持可能な多能工ロボットの実現を目指していく。

想定されるアプリケーションとしては以下が考えられる。

- ・工場や物流における複雑形状物の把持作業の自動化
- ・農業等における軟弱・脆弱物の把持動作の自動化
- ・工場における把持作業の自動化

(1) 機構・センサ統合エンドエフェクタ機の開発 (担当：東北大学、パナソニック、中央大学)

① 第2弾ハンドにおいて、ほぼ目標通りの仕様を実現。

センサとヘラ・ベルト機構を搭載したエンドエフェクタの試作と基本動作の確認完了。

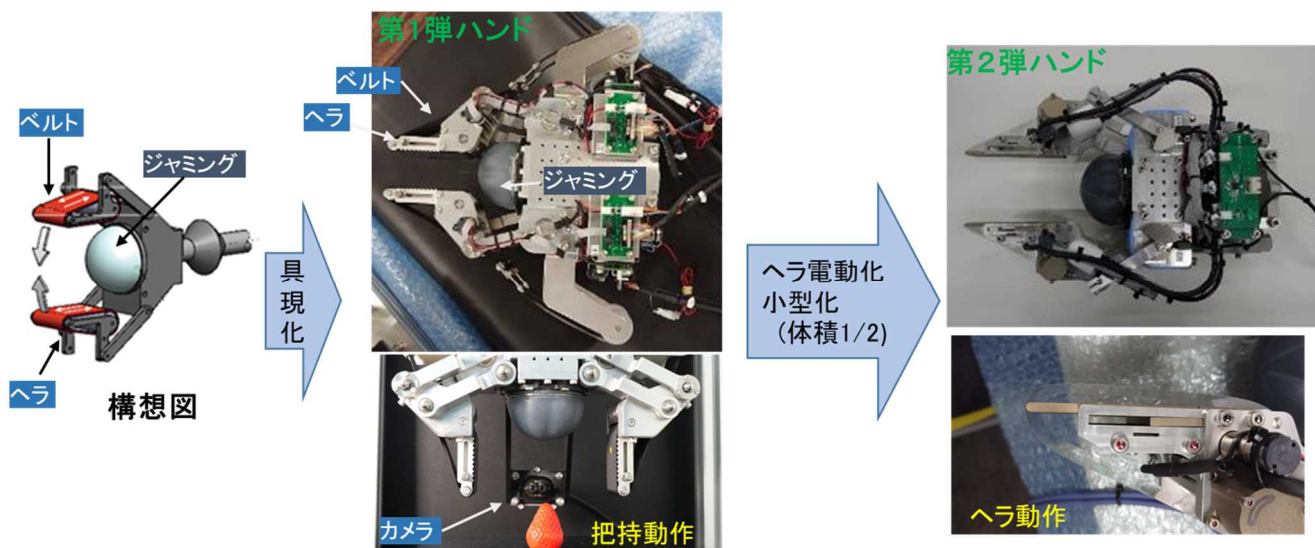


図 3-36. 機構・センサ統合エンドエフェクタ機概要

② 様々なエンドエフェクタ動作を実現



図 3-37. 把持

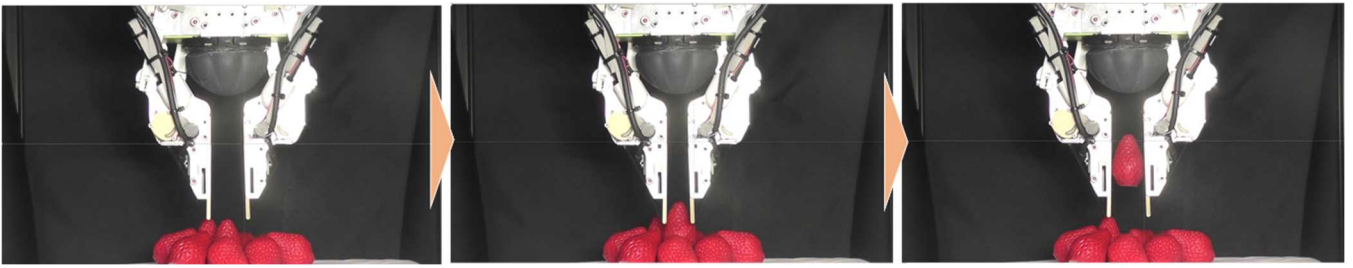


図 3-38. 摘み上げ

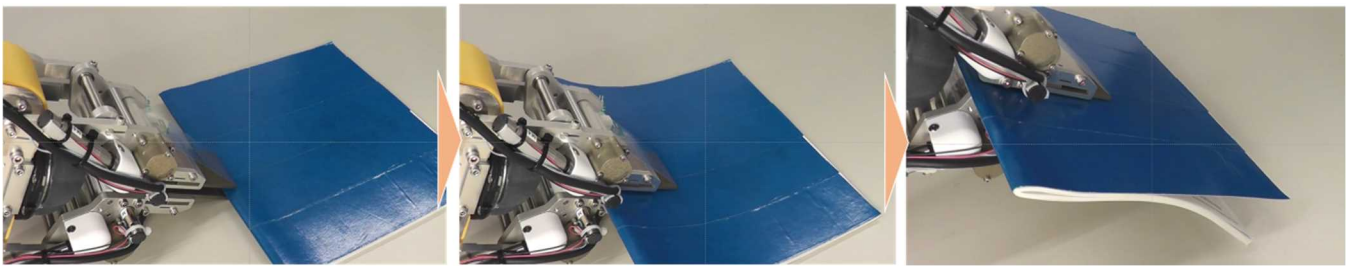


図 3-29. すくい上げ

(2) エンドエフェクタ搭載センサ・制御技術の開発 (担当：パナソニック、中央大学)

- ① エンドエフェクタの動作制御と搭載した小型カメラの画像認識を組合せたアルゴリズム開発により、硬度、重量が未知の対象物サンプルに対するつまみ上げ制御を実現。

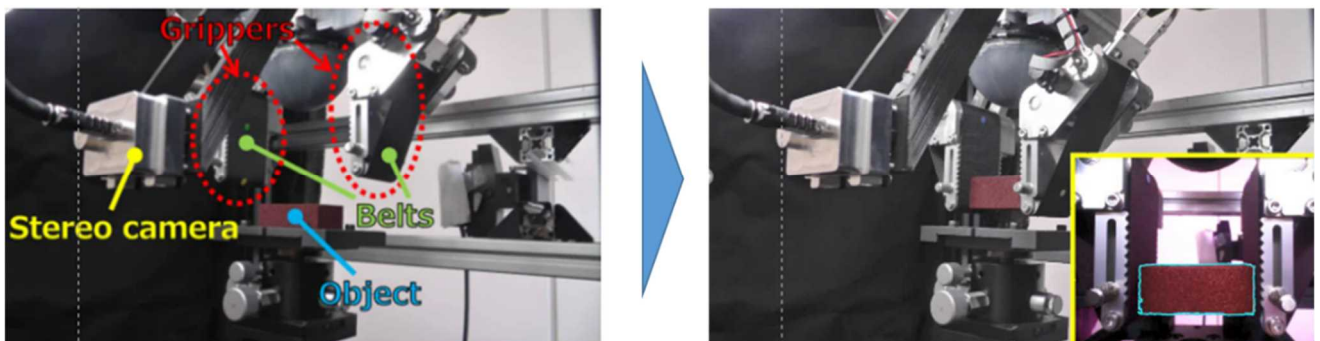


図 3-40. 未知な柔軟物（スポンジ）把持の様子

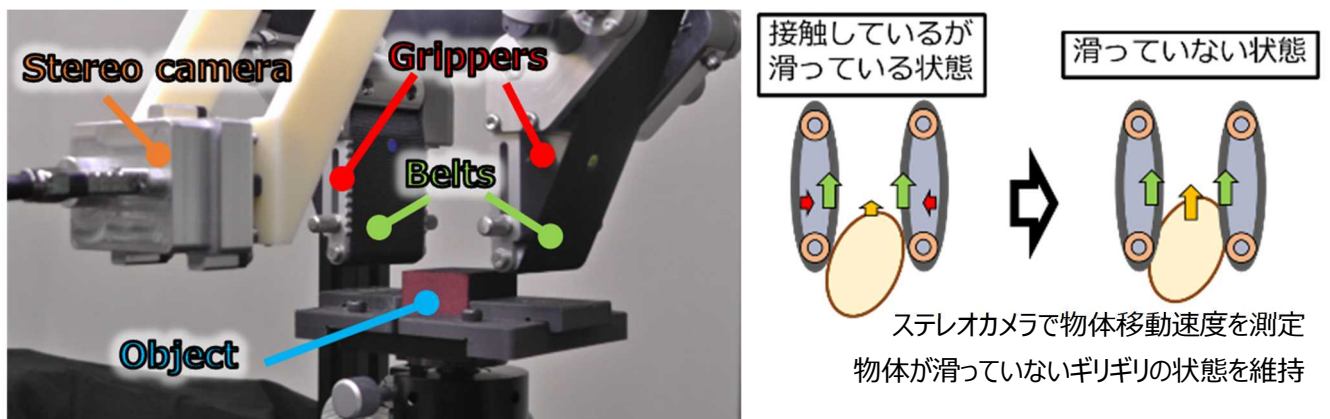


図 3-41. エンドエフェクタ搭載センサ・制御技術

② 把持物体のハンド内での姿勢変換制御（インハンドマニピュレーション）を実現

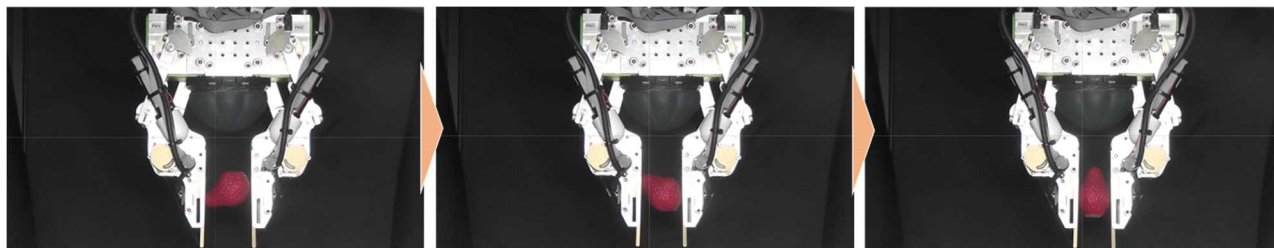


図 3-42. ハンド内での姿勢変換（回転）

(3) エンドエフェクタ機構技術の開発（担当：東北大学）

これまでの研究開発実績を以下に記す。

- 対象物の初期把持誘導機能を有する折返しベルト構造を取り付けるプレートに搭載する板状の柔剛切替え構造の実機具現化および実験を繰り返すことによる実機改善。
断面 2 次モーメント活用法の簡易的な入力方式とベルト循環の両立。
- 新たに創案した後方崩しを用いた隙間挿入式エンドエフェクタのアイデア吟味および実機具現化。
- 履帯自体に流体を供給することが可能な革新的な流路内包型スプロケット機構の創案と実機具現化。
- 上記の創案原理を基に実機を試作。試作した実機を用いた実験により考案原理の有効性の確認。

【後方崩し型エンドエフェクタ機構】

ロボットによる物体把持の分野において、平行グリップや多指ハンドは多くの研究が行われ、既に実用的な機構の例として挙げられる。

これらは高い把持性能をもつ一方で、円錐型や富士型など、把持を苦手とする形状もある。そこで、平行グリップや多指ハンドが苦手とする把持対象物を、ヘラを差し込んで掬い取り保持することで達成する手法を提案する。

掬い取り機構の従来研究として、把持モード可変グリップ[1]や、平行柔軟グリップ[2]、伸縮・回転可能な爪機構を有するロボットハンド[3]-[4]、人間の物体摘み上げ動作を模した劣駆動ハンド[5]-[6]、シートの摺動を利用したグリップ[7]-[8]などが挙げられる。

前提として、テーブルなどの面上に乗っている物体は、少なくとも自重を支えるだけの剛性は持っている。そして A 地点から B 地点に物体を移動させることが目的なら、グリップやハンドによる把持だけではなく、物体をヘラの上に乗せてお盆のようにして運ぶことも可能である。この場合、物体にかかる力は、ヘラに物体を乗せる時と降ろすときに発生するため、運搬時は物体に一切の把持力をかけなくてよい。

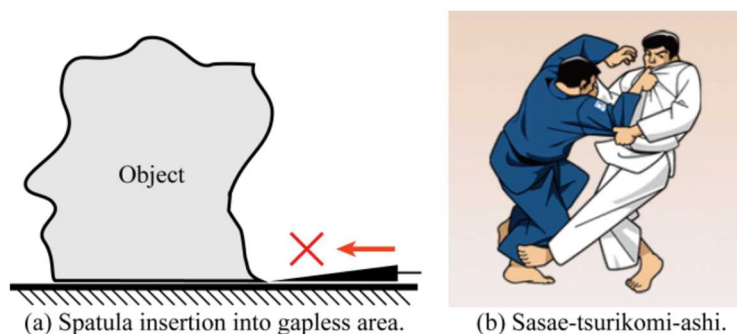


図 3-43. 後方崩し型エンドエフェクタ機構の原理

ここで問題となるのが、底面が床に完全に接している物体にヘラを差し込もうとすると、理論上は隙間が全くないため、差し込みが不可能ということである。(図 3-43.a) この問題の解決法として、柔道において相手の姿勢を崩す技術である“崩し”(図 3-43.b) を参考にして、本研究では物体を押し込むことで後方に傾け、ヘラを挿入可能なだけの隙間を生成する“後方崩し式ヘラ挿入用隙間生成メカニズム”を考案・具現化した。

本稿では、考案した後方崩し式ヘラ挿入用隙間生成メカニズムの原理(図 3-44.)の説明、試作機の構成、試作機の基本動作を含む実機実験から得られたすくい取り機能に関する知見について論じていく。

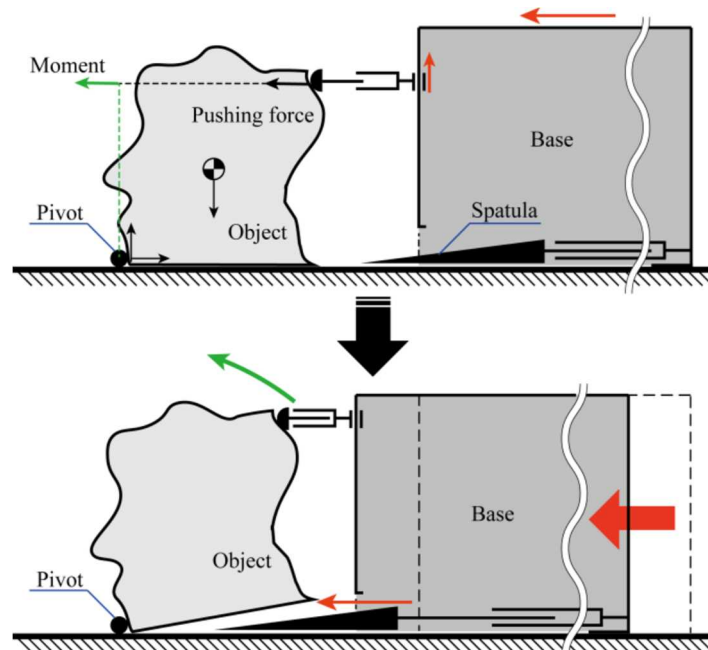


図 3-44. 後方崩し型エンドエフェクタ機構のメカニズム

土台部分を左に直動させることで物体の右上端部から押し付け力を与え、回転運動のためのモーメントを発生させる。ここで、物体が回転しても接触パーツが物体との接触点を維持するように、接触パーツ部が上下にスライド可能な仕様とした。以上により傾いた物体の隙間にヘラを差し込み、物体をヘラに乗せた状態で運搬、ヘラの引き抜きが可能な機構となる。

ここでヘラの引き抜きについて、差し込み時と同様に物体を後方に傾けると、ヘラと底面の面接触から線接触または点接触になる。これにより、引き抜きの開始時点では摺動が生じるものの、物体が床に接した瞬間から、摺動が生じなくなるため、物体への負荷が少なく引き抜き可能になる。

《実機構成》

図 3-45. に具現化した実機を、図 3-46. に実機を半分にした断面図を示す。

① リニアガイド

実機には、図 3-46. の赤色で示す箇所に 3 つのリニアガイドを搭載した。A は実機の外殻部分から、接触パーツやヘラを含めた内部構造部分を直動させるリニアガイド、B はヘラを直動させるリニアガイドであり、これらは実機外側につけたハンドルによって手動操作が可能である。また、C は接触パーツが上方向にパッシブにスライドするためのリニアガイドである。

② 接触パーツ

接触パーツについて特筆すべき点は、物体に押し付け力を与える接触パーツを複数個並列に搭載したことである。この接触パーツにはシャフト部分にバネが搭載されているため、物体に押し付けるとそのバネがつぶれること

でパーツが右側に沈む。これを複数個並べることで、物体の形状が複雑であっても、それぞれのパーツが適度に沈むことで物体の形状に沿った状態で後方崩しの動作に移行できる。

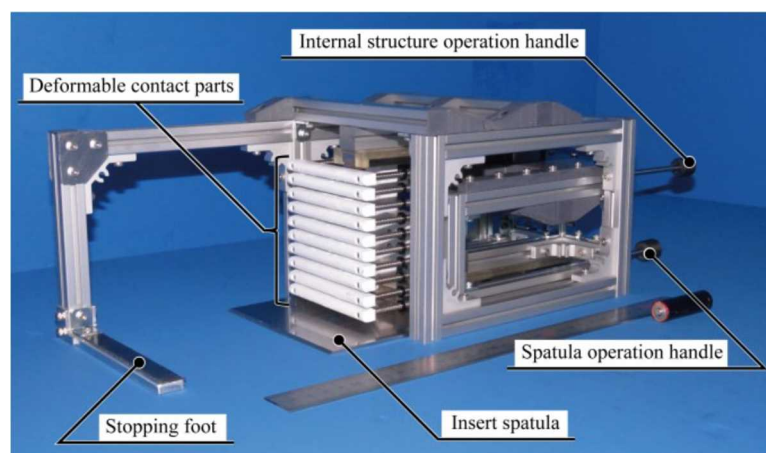


図 3-45. 後方崩し型エンドエフェクタ機構のメカニズム概観

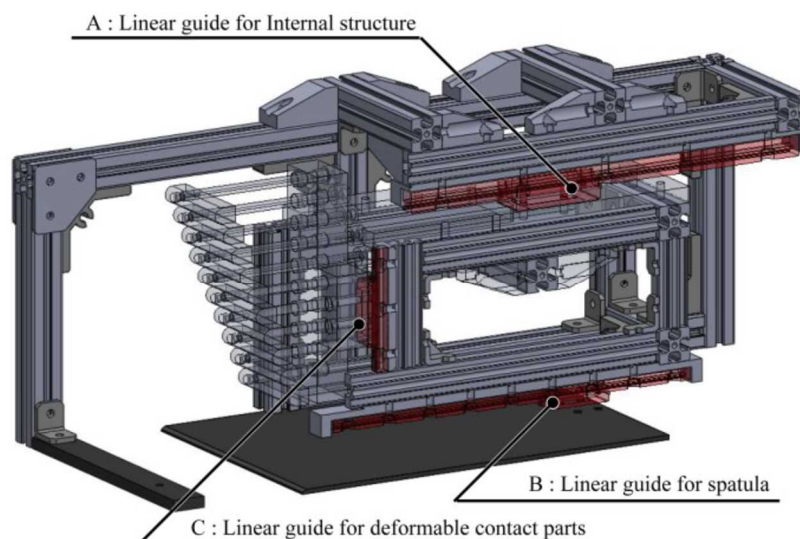


図 3-46. 後方崩し型エンドエフェクタ機構断面図

また、物体を回転させるには、よりモーメントが大きくなる物体の右上端部を押し込むのが望ましい。そのため、接触パーツが複数個並ぶことで、その範囲内であれば、任意の高さの物体に対して最適な接触点で押し込みが可能である。

これらのことから、接触パーツを複数個並べることで、物体のサイズや形状に依らず、同様の操作で掬い取り保持が可能となる。また、この接触パーツは物体に押し力を働かせられるなら、吸盤やスポンジ、空気噴射などの別のエンドエフェクタとの互換性がある。

表 3-11. 後方崩し型エンドエフェクタ諸元

Size	155×360×140 mm
Mass	3000g
Material of spatula	SUS304H
Size of spatula	120×180×2 mm

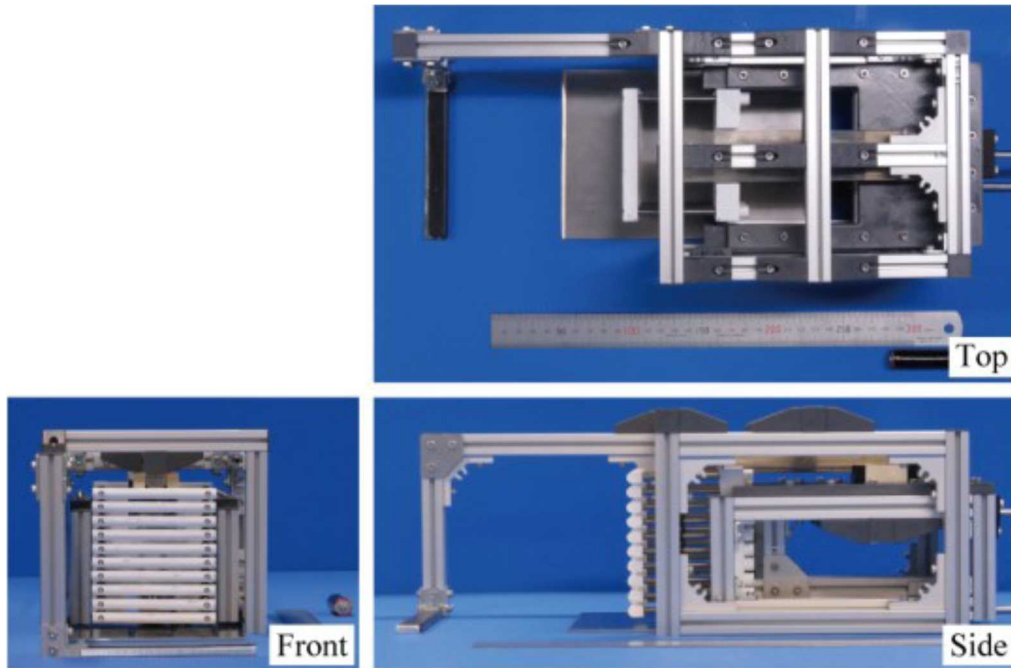


図 3-47. 後方崩し型エンドエフェクタ寸法

③ ヘラ部

ヘラはリニアガイドに直接ボルトで締結し、床と 1mm の隙間を設けることで、ヘラが床の表面性状に依らず滑らかに直動可能な構成とした。また、ヘラ部は少なくとも 3kg の物体まで許容できる仕様とした。

《実機動作》

図 3-48. に実機を用いて複雑な形状の PC マウスを掬い取り保持した様子を示す。以下に掬い取り保持の手順を説明する。①で内部構造部分をマウスに近づける。②で 3 本の接触パーツがマウスの形状になじんだ状態で押し込みを行い、マウスに回転運動をさせる。③で傾いたマウスの隙間にヘラを差し込み、④で内部構造部分をマウスから遠ざけることで、マウスの傾きを元に戻す。⑤、⑥で実機を持ち上げ、マウスを運搬する様子を示す。⑦でマウスを傾けさせ、ヘラの引き抜きを行いやすい状態にする。⑧でヘラを引き抜き、⑨でマウスを最初の状態に戻す。

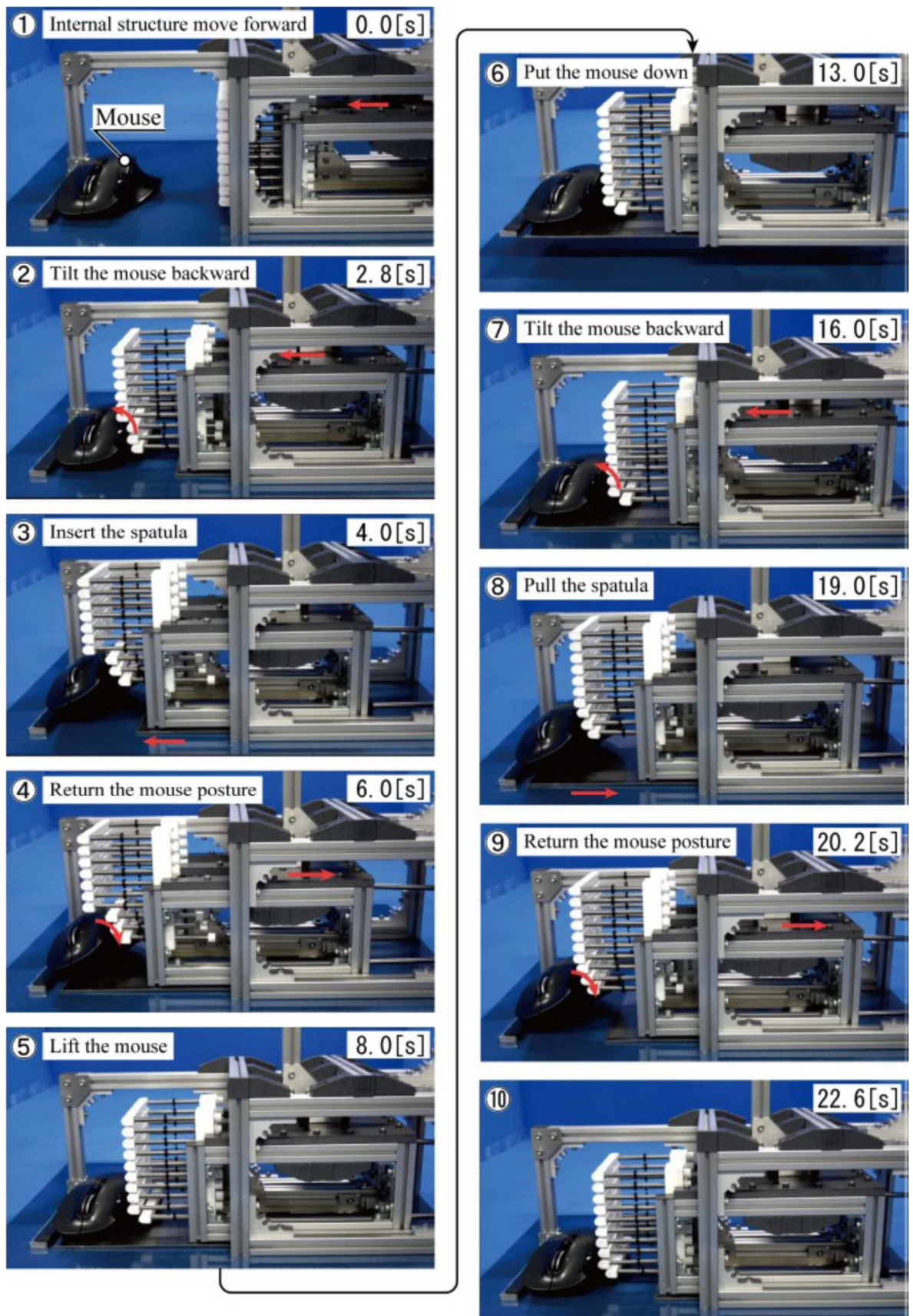


図 3-48. 後方崩し型エンドエフェクタの動作

① 接触パーツの上下スライド機能の有無による動作比較

当機構において、接触パーツが物体に接し続けながらその物体を回転させるには、接触パーツ自身が上方方向にスライドをする必要があると考えられた。そこで、このスライドがない場合においても、物体の掬い取り保持が可能か検証した。

実験方法として、実機の接触パーツ部に、リニアガイドによる上下スライドを制限する部品を新たに追加し、従来との後方崩し動作の比較を行った。

結果を図 3-49. に示す。これは房状ジャミング膜グリッパ[10]とガムテープを対象物として比較したものである。図 3-49.a-1 では、接触パーツが上方方向にスライドするため、押し込みに対して自然に傾き、容易にヘラを差し込むことが出来た。一方、図 3-49.a-2 ではジャミング膜グリッパが大きく変形するほどの押し力を加えても底面は一切傾かなかった。この結果はマウスでも同様であった。

また、ガムテープやコップは、押し込み時にわずかにヘラが入るだけの隙間が生じた。これは、接触パーツのシャフト部分が微小に上下に揺れることで、物体をわずかに持ち上げているためであると予想する。さらに強く押し込むと、図 3-49.b-2 のように物体と接触パーツが滑ることで傾きを生じたが、明らかに従来よりも多大な力が必要であった。ジャミング膜グリッパやマウスでは、その形状や材質から接触パーツの微小な上下移動を打ち消していると予想する。

以上のことから、接触パーツが上下にスライドすることの必要性を確認することができた。一方で、空気噴射など、直接対象物に接触せずに押し込み力を与える手法の場合は、上方方向にスライドさせること自体が必要なくなると考えられる。

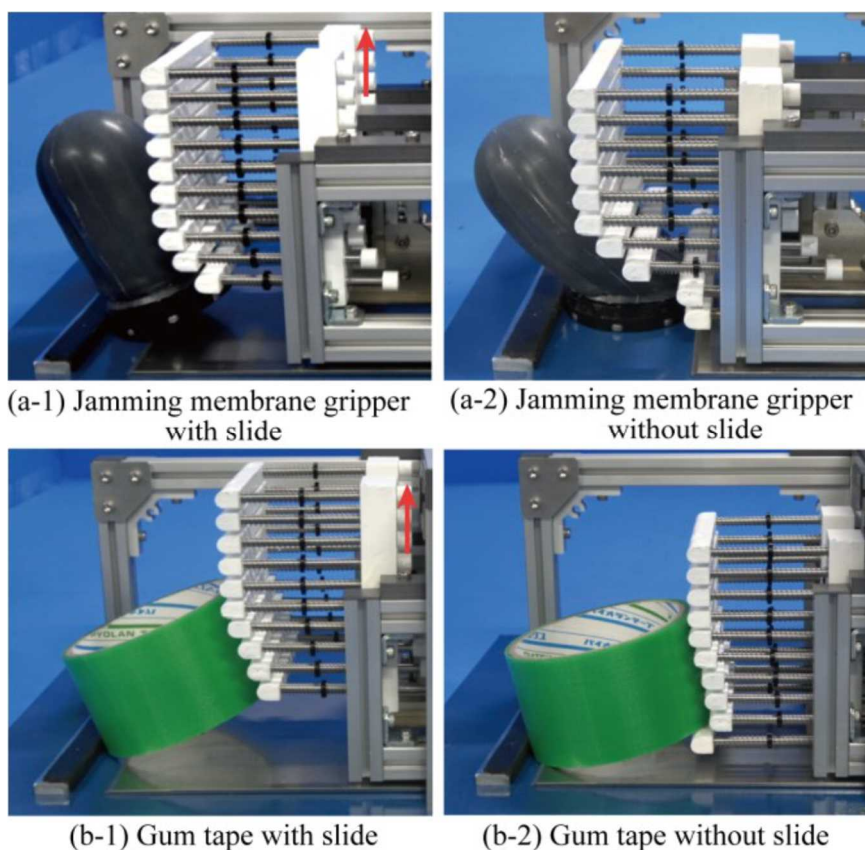


図 3-49. 接触部品の垂直スライド機能がある場合とない場合の操作の比較

② 後方崩し可能角度の検証

後方崩し式へら挿入用隙間生成機構で掬い取り保持を行うにあたって、テーパが掛かった対象物の後方崩し動作時に、接触パーツが滑りあがってしまうことが予想される。そのため、テーパの掛かった対象物の後方崩し動作可能な角度を実験により検証した。

方法として、半径 100mm、角度は任意に調整可能な扇形のブロック(アクリル系樹脂製)を用いて、

(a) 物体表面：なし、接触パーツ表面：なし

(b) 物体表面：ゴムシート、接触パーツ表面：なし

(c) 物体表面：ゴムシート、接触パーツ表面：ゴムシート

の 3 つの条件で、接触パーツが物体を滑らずに後方崩し動作が行えた角度を測定した。10 回の試行で 10 回とも滑らずに後方崩し動作が行えた場合を成功とした。

結果として、(a)は 65°、(b)は 45°、(c)は 15°の時に成功した(図 3-50)。また、(b)では非常に強い力で押し込む必要があり、(c)では、滑りはしなかったものの、後方崩し動作を達成するには接触パーツ部の上方へのスライドを補助する必要があった。

この結果から、現在の機構の構成では、滑りやすい物体への後方崩し動作が苦手であることが分かった、また、(b)、(c)の後方崩し動作について、現在の機構では与える力の方向が横向きのみであるため、物体との接触点の位置が低いと、生じるモーメントが小さいために多大な力を必要としていたと考えられる。次章において、身の回りの薄いもの、滑りやすい形状のものについてさらに検証する

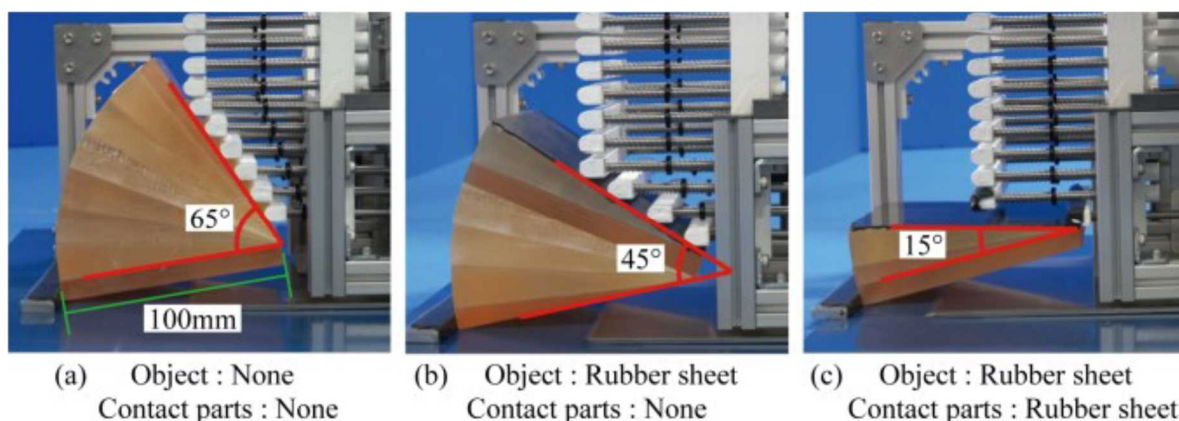


図 3-50. 後方傾斜角の検証

③ 複数種類の対象物の掬い取り保持

実機を用いて、複数種類の対象物を掬い取り保持する様子を図 3-51. に示す。成功例を見ると、形状やサイズがそれぞれ異なるものを掬い取り保持できていることが分かる。また、スポンジやゴムバンドなどの底面が床に完全に接していないものに関しては、後方崩し動作を行わずに直接へらの差し込みが可能だった。その際の接触パーツは、持ちあげ時に物体を押しさえつけることで物体を支え、へら引き抜き時には物体がへらに追従するのを防ぐ壁の役割をしていた。

このような成功例の一方で、SD カードケースやスマートフォンなどの薄い物では、高さが十分でないため、一番下の接触パーツがせり上がってしまった。また、マウスの後ろ側から接触した場合は、表面で滑り上がってしまった。これらのことや、章 4.2 の結果から、当機構は、薄い物、滑りやすい物の後方崩し動作が苦手だと分かった。現状でとれる対策として、薄い物に関しては、物体にかかる力のベクトルを上方向にすることで、回転に必要なモーメントを大きくすることが考えられる。具体的には、接触パーツが上方向にスライドしやすくするため、接触パーツの自重補償を行うことや、接触パーツ部の上下移動を行うリニアガイドの傾きを直角よりも右側に傾け、接触パーツの押し力を利用できるようにすることなどが考えられる。

次に、滑りやすい物の対策として、接触パーツの変更が考えられる。章 3.1.2 で先述したように、物体に押し力を伝えられれば何でもよいので、現在のアクリル系樹脂の接触パーツにゴムシートを貼って表面性状を変更する、半円柱型の形状を変える、スポンジ、吸盤、空圧式などの別の材質や仕様に変更するなど、様々な選択肢が考えられる。

逆に現状の仕様でも、薄い物、滑りやすい物以外ならどのような形状のものでも後方崩しとヘラの差し込みが可能だと考える。

また、ヘラ部の展開として、柔剛切替機能を追加することでヘラを薄くし、さらにヘラに摺動するベルトを巻く。これにより、物体への差し込み、引き抜き性能をさらに高めることを検討している[11]-[13]。ここで、搭載するベルトを無限循環可能にすることで、従来のヘラの直動に依存する循環方式よりも、物体のヘラ上での位置調整など、さらなる機能の追加が見込める。当チームでは、この無限循環を可能にするカブラの着脱用の流路内包型スプロケット機構を創案し、具現化を行っている。



図 3-51. 複数種類の対象物の掬い取り保持

《まとめと今後の予定》

本稿では、考案した後方崩し式へ挿入用隙間生成メカニズムの原理の説明、試作機の構成、試作機の基本動作を含む実機実験を行った。結果として、マウスなどの複雑形状を含む様々なサイズや形状の対象物を掬い取り保持可能なことを示した一方で、薄い物や滑りやすい物に対しての後方崩し動作を苦手とすることが分かった。

今後は、この苦手な対象物を保持できるように機構を改良する。具体的には、接触パーツの検討、接触パーツの自重補償機能の追加、ヘラ部の機能追加の検討などを行う。

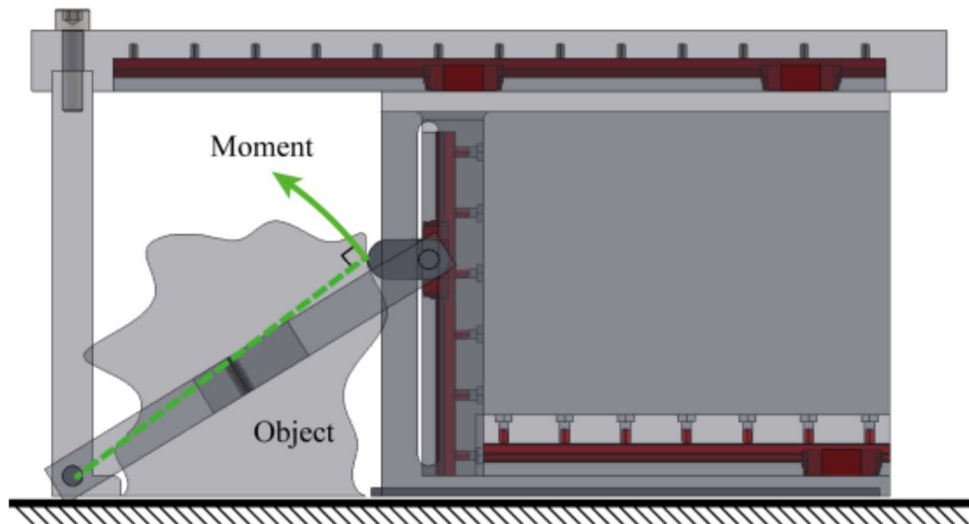


図 3-52. 後方崩し型機構の回転バージョン。

図 3-52. 示すように、接触部を直接的に円弧状に動かす方式も考案している。平行グリッパと併用可能という利点も有するが、今回は接触部の軌跡生成の容易性に鑑み、図 3-45. に示す方式とした。

参考文献

- [1] T. Watanabe , K. Morino, Y. Asama, S. Nishitani, and R. Toshima, "Variable-Grasping-Mode Gripper With DifferentFinger Structures For Grasping Small-Sized Items", IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 3, July 2021.
- [2] T. Yoshimi, N. Iwata, M. Mizukawa, and Y. Ando, "Picking up operation of thin objects by robot arm with twofingeredparallel soft gripper," in Proc. IEEE Workshop Adv. Robot. its Social Impacts, 2012, pp. 7–12.
- [3] 研究代表者：多田隈 理一郎 , "伸縮・角度可変な爪機構により超人的把持動作を実現するロボットハンドの基礎研究", 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 研究課題/領域番号 15K13903 2015 年度～2017 年度.
- [4] 石川拓也, "物体把持のための伸縮・回転可能な爪機構を有するロボットハンドの機構と制御の研究", 山形大学大学院理工学研究科博士前期課程 修士学位論文, 2016 年 2 月 16 日発表.
- [5] L. U. Odhner, R. R. Ma, and A. M. Dollar, "Open-loop precision grasping with underactuated hands inspired by a human manipulation strategy," IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 10, no. 3, pp. 625–633, Jul. 2013.
- [6] L. U. Odhner et al., "A compliant, underactuated hand for robust manipulation," Int. J. Rob. Res., vol. 33, no. 5, pp.736–752, Apr. 2014.
- [7] T. Ko, "A tendon-driven robot gripper with passively switchable underactuated surface and its physics simulationbased parameter optimization," IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 5, no. 4, pp. 5002–5009, Oct. 2020.
- [8] K. Morino, S. Kikuchi, S. Chikagawa, M. Izumi, and T. Watanabe, "Sheet-Based gripper featuring passive pull-in functionality for bin picking and for picking up thin flexible objects," IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 5, no. 2, pp. 2007–2014, 2020.
- [9] ホームメイト柔道チャンネル, "支釣込足"[Online]. Available: <https://www.judoch.jp/dictionary/technique/nage/asi/sasaeturikomi/>.

- [10] 藤田政宏, 藤本敏彰, 清水杜織, 高根英里, 小松洋音, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭, "房状ジャミング膜グリッパ機構", Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Kitakyushu, Japan, 2P1-J06, June 2018.
- [11] 多田隈建二郎, 多田隈理一郎, 野村亮太, 田中信行, 原口裕次, 大和雅之, 岡野光夫, 東森充, 金子真, "細胞シート用ヘラ機構, — 基本概念の提案と第一次試作機の開発 —", 2E2-3, 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会, 2012 年 9 月 17-20 日.
- [12] 高橋優太, 高根英里, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭, "断面 2 次モーメント式柔剛切替機構", 第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2E3-04, December 2020.
- [13] 高橋優太, 高根英里, 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭, "断面 2 次モーメントを活用した柔剛切替機構 — 柔剛切替性能の評価と車輪への応用 —", Proceedings of the 2021 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2P2-G12, June 2021.

【流路内包型スプロケット機構】

〈1〉 通常のスプロケット機構

従来のスプロケットは、チェーンを通して駆動力を伝達することが、その主な機能であった。そのため、スプロケット側の幾何的な凹凸と噛み合うようにチェーンも構成されており、スプロケットの回転に伴いチェーンに張力が発生し、その張力によって、チェーンと噛み合わされた 1 つもしくは複数のスプロケットが回転する、広義には、チェーンによって噛み合わされた何らかの部品が駆動される、という使用に方法が限定されていた。

〈2〉 流体供給機能の提案

前述の、駆動力伝達機能のみの従来からあるスプロケットとチェーンの組み合わせに対して、スプロケットによって、流体がチェーン側にも供給できれば、駆動力のみならず、圧力や流れ、流体自体の物理的作用・化学的反応など、力に限定されない多様な伝達を可能とする機構を作り出すことが可能となる。

〈3〉 従来方式、および創案原理の異着眼点

従来、空気の通り道を内部に含めて異物を吹き飛ばすことを可能とする歯車やスプロケットは提案されている（例えば[1]）。しかしながら、流体そのものを、その噛合駆動する相方要素に供給することを目的とはしておらず、またこの供給機能を実現させた例は我々の知る限りでは存在しない。

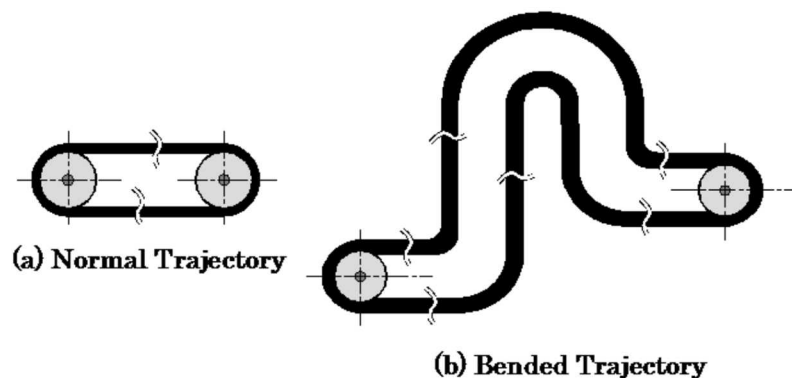


図 3-53. 無限循環

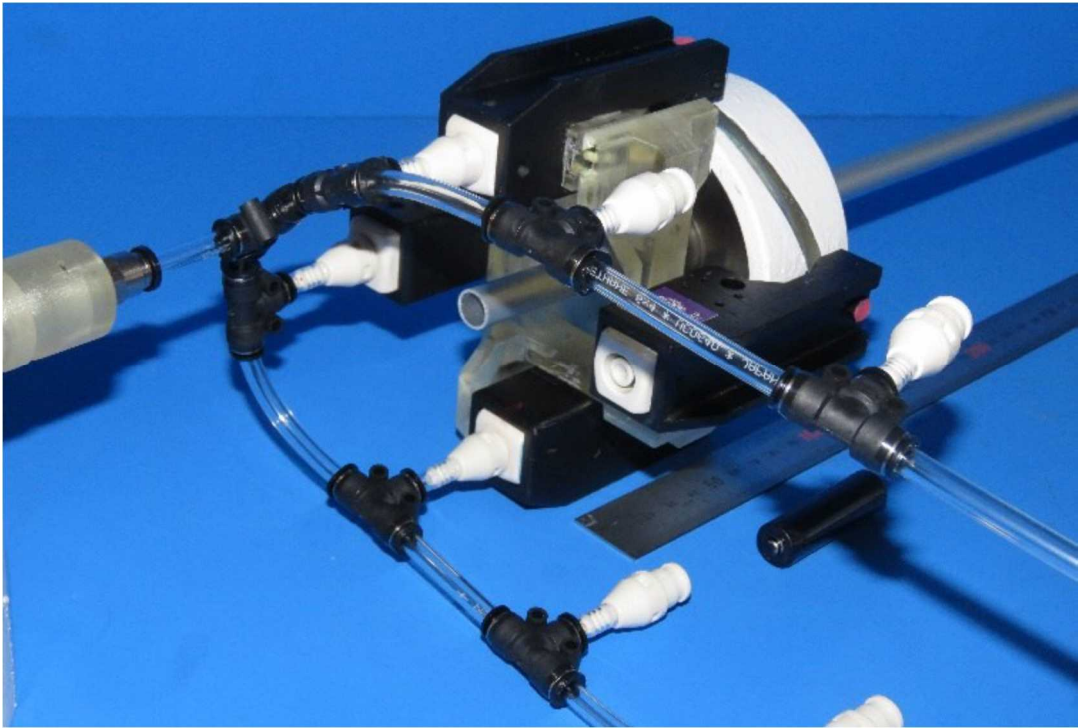


図 3-54. 初期機械的プロトタイプモデルの概要

また、文献[2]特許に示すように無限軌道状に流体を供給させる方式として、機体中央部分に回転可能継手を設置して、無限軌道の直背部分においては、その柔軟配管をたるませるという方法が存在する。しかしながら、この方式は、履帯の軌跡が直線と円弧で構成されるものに限定され、なおかつその直線部分が比較的長い場合にはたるみが発生し、軌跡が S 字など複雑化した場合や実時間で変化する場合には適用不可能である。さらに、この機構を複数層で使用すると、かならず中央部分の回転継手から共有する流体源までの間でねじれが発生することが問題となる。

〈4〉研究目的

前述のように、流体供給を行うスプロケットがなく、なおかつ流体供給により多様な機能が実現できる可能性を踏まえ、本研究の主目的を、無限循環体への持続的流体供給を可能とするメカニズムとしての流路内包型スプロケット機構の原理創案と実機具現化と設定する。

〈5〉流路内包型スプロケット機構および流体供給可能履帯によりなされる機能例

駆動力伝達のみならず、状態を変化させることが可能な各種流体素子・要素を履帯表面に搭載したベルトコンベアやクローラ機構が構成できることになる。

流体供給を行った際に発生する効果として、例えば後述する機能がある。これまでに、当研究チームにおいては、1次元ジャミング機構という線状の柔剛切替え要素について長年研究を続けてきた[3]。1次元ジャミングにはワイヤ駆動方式と流体駆動方式などがあり、この後者の流体駆動方式においても、減圧式・加圧式とがある。いずれにせよ、作動流体によって柔剛を切り替えるこの要素には、流体供給が必要であり、この流体式柔剛切替え機構を無限循環体の表面に有する機構は、凹凸の激しい不整地や対象物に柔モードで形状適応を行いながら無限循環推進し、作業などを安定して行う際には、なじみ形状を維持した状態で剛モードに移行するといった動作が可能となる。さらに、流路供給先に対して、負圧を発生させることによる吸引効果もあるため、例えば壁のぼりロボットの足回りなどに使用可能である。

《流路内包型スプロケット機構の基本原理》

円弧部分で必ず噛み合う。軸方向もしくは径方向にカプラの片方が回転と同期してずれることにより、相方のカプラと噛合を行う。この連動動作をカムを用いて行い、チェーン内に流路を含めた流路内包型チェーンに、駆動力伝達のみならず流体の供給を行うものである。なお、この噛み合わせの方向が径方向と軸方向の主に2つが考えられるが、今回は反力の受けやすさを鑑み、後者の軸方向方式を採用した。また、鏡面对称にこの流路内包型スプロケット機構を配置することにより、スプロケット機構本体の内力として相殺しあい、スプロケット機構にモーメントを発生させないような配置上工夫した構造も考えられる。

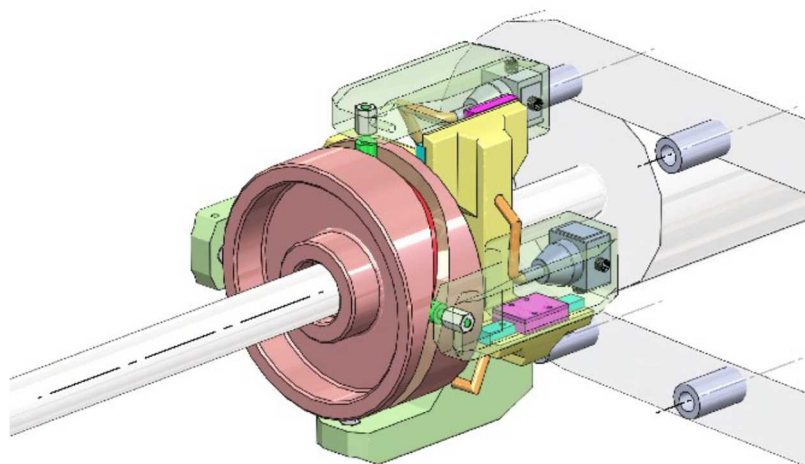


図 3-55. 円筒タイプ CAD モデル

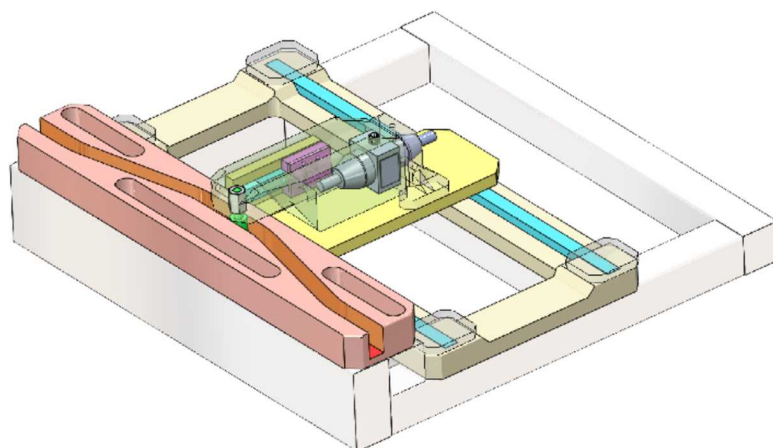


図 3-56. 平面タイプ CAD モデル

《実機具現化》

創案した基本原理に基づき、実機を設計・試作した。第一段階として、円柱版に入る前に、平面版にて基本動作・機能実験を行い、カム形状を含めた要改良点の抽出と反映を行い、次の段階としてこの構造を湾曲させて円中版とする、という手法を取る。具現化した平面版の CAD 図を図 3-56. に、実機外観を図 3-58. (斜視図) 図 3-57. (三面図) にそれぞれ示す。

実機にはオス・メスともに常閉式のカプラを用いた。これは、例えば状態切替体をチェーンに搭載した際に、そのモードをスプロケットを噛み合っていない際にも維持できるようにするため、およびスプロケット側からも噛み合っていないカプラにおいて、流体漏れが発生することによる圧力低下などが起きないようにするためである。後者は、無尽蔵に流体源から流体が供給される状況においてはその限りではない。

また、スプロケット自体の駆動方向とは垂直向きにカプラを動かすための溝カムを設け、その溝カムにはまるローラカムフォロワーを搭載し、このフォロワー側に前述のカプラのオス型を搭載した。こうすることで、溝カムの軌跡に応じてフ

フォロワーが図中左右方向に動くことになり、直線上の移動に伴い、所定の場所でメス型と連結することが可能となる。今回の平面版はこの溝カムの軌跡形状の最適化に向けた確認機としての位置づけでもある。

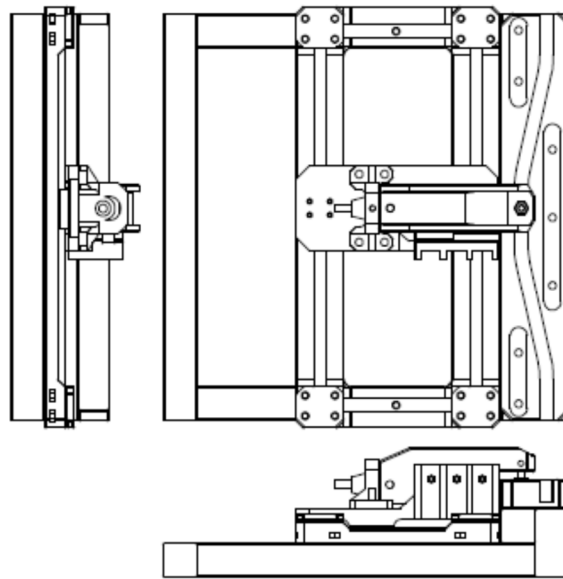


図 3-57. 平面タイプ三面図

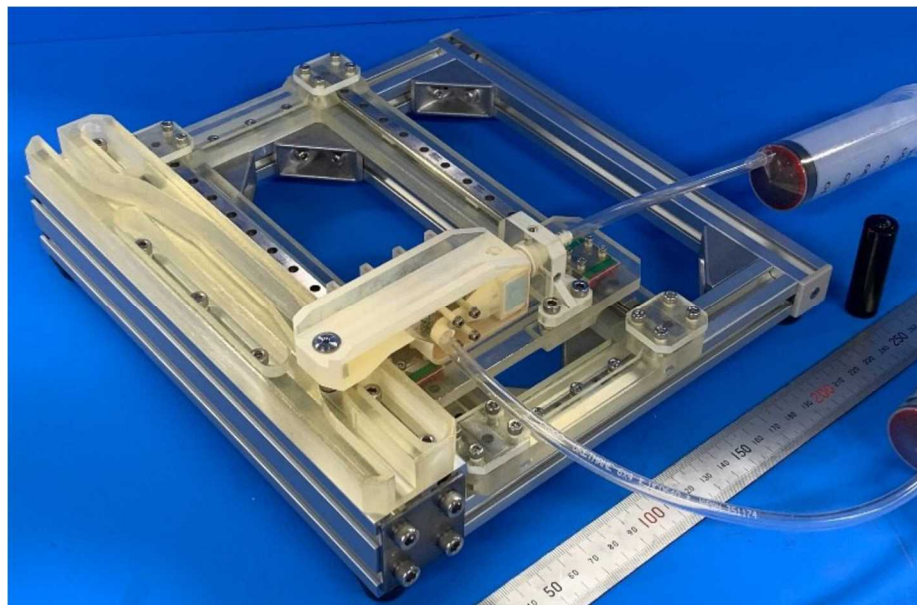


図 3-58. 平面タイププロトタイプ概観

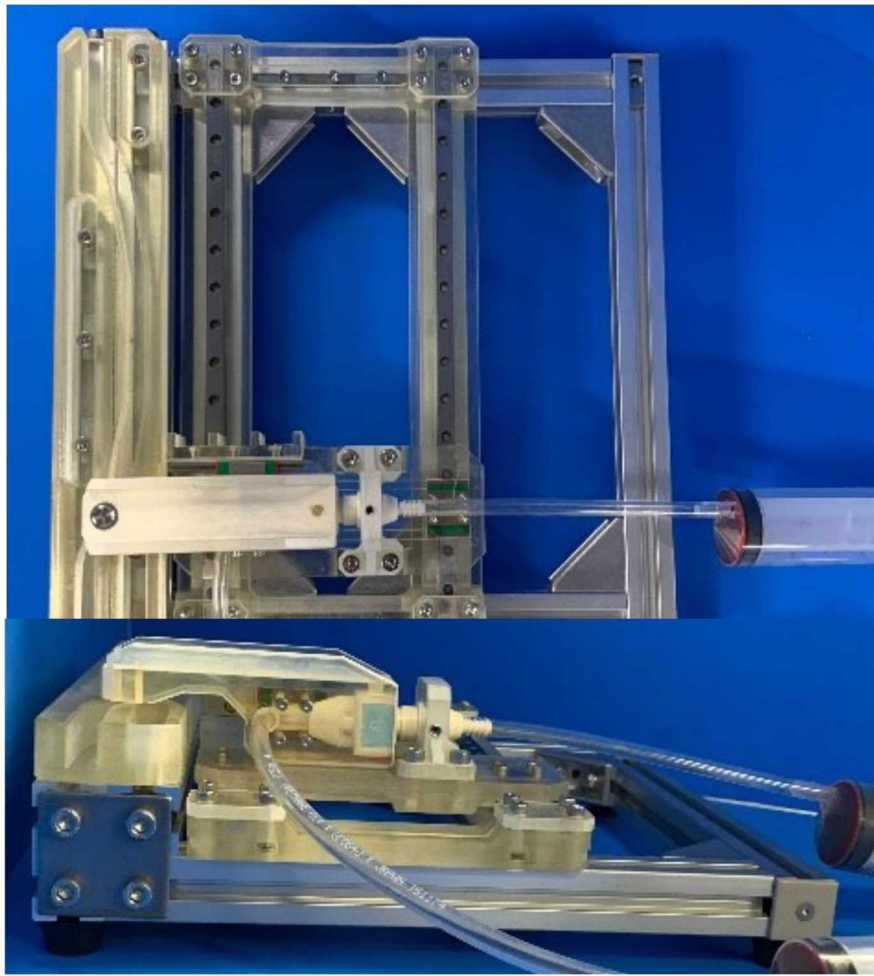


図 3-59. 平面タイププロトタイプの上側および側面



図 3-60. ロータリーコネクタによる流体チャネルブルト付きチェーン

また、図 3-60.にこの流路内包型スプロケットと連動する流路内包型チェーン機構の試作機外観の一部を示す。回転継ぎ手を用いて構成されており、この図に示されたユニットが図中の上下方向に複数個連結することで、図 3-60.に示す試作機のチェーンよりも滑らかな受動動作が可能となる。ピッチに関しては、スプロケットの回転駆動用のピッチと同じ、もしくはその約数が倍数での設定が望ましい。

《実機具現化》

前章にて説明した平面版実機を用いて基本動作実験を行った。実機を用いた実験を通して、創案した基本原理の効果の確認が実験の目的はである。実験においては、平面版のオス型・メス型双方の連結しない方の端部に、空気圧チューブされにその先にシリンジを搭載した。流体の供給・移動が視認しやすいように、赤色に染色した液体と気体である空気の2種類を含む流体をシリンジ内に封入した。

実験の結果を図3-61.および予稿添付の動画に示す。図3-61.および動画からもわかるように、カムに沿ってメス型のカブラがオス型のカブラへと連結され、連結・非連結の境界においても、視聴認する限りでは流体の漏れが殆ど発生しないことが見て取れた。また、0.7MPaをオス型・メス型双方の連結部の逆端部にそれぞれ印加しても同様に漏れが殆ど発生しないことが観察された。

以上により、創案した流路内包型スプロケット機構および流路内包型チェーン機構の連結の基本原則に基づいて具現化した試作機を用いた実機実験を通して、創案原理の基本的な有効性を確認した。

今後は、この漏れ量の定量評価および円筒型の実機具現化を実施していく。

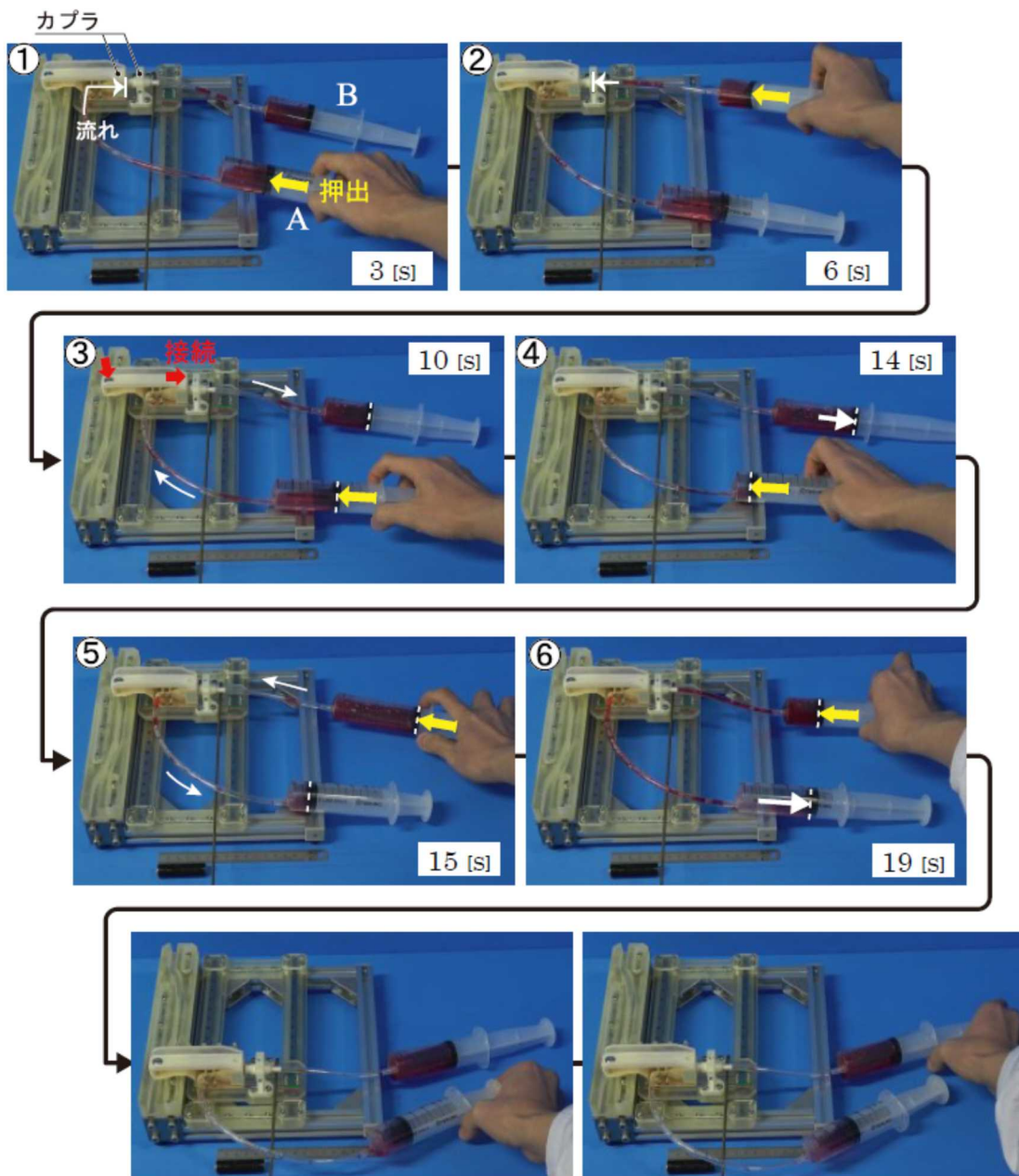


図3-61. 基礎実験

《流路内方式メカニズムへの拡張》

本研究で取り扱ったスプロケット機構およびチェーンに限定されることなく、ベルトやギア、ベアリング、カップリング、シャフトなど、様々な機械要素に流路を内包させ、駆動力伝達、物理量変化をもたらす機構群の創出が考えられる。

《まとめと今後の課題》

本研究においては、無限循環体への持続的流体供給を可能とするメカニズムとしての流路内包型スプロケット機構の基本原理解と実機具現化を行った。創案した基本原理に基づいて具現化した試作機を用いた実機実験を通して、創案原理の基本効果・性能を確認した。

今後は、漏れ防止の効果や供給圧力に応じた要駆動力の変化など、さらなる定量評価の実施、および次号機への反映を繰り返し行い、実機の質をより向上させる。また、本機構の複層構造化や、状態切替要素や吸引要素など、各種機能素を表面に施した無限循環式機能体も含めた体系的な研究推進を行っていく。

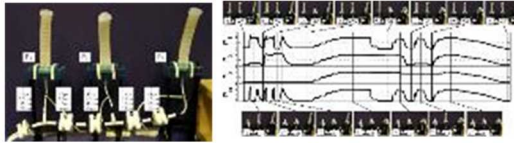
参考文献

- [1] 発明者：ブルー、アンドリュー、ジョン、発明の名称：粒状材料用コンベヤのための洗浄システム、出願番号：特願 2002-510367(P2002-510367)、公表番号：特表 2004-503448(P2004-503448、国際出願番号：PCT/GB2001/002528、国際公開番号：WO2001/096217、出願人：エンテコン リミテッド Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 3, July 2021.
- [2] 発明者：木暮 澄夫、泉 雅之、吉田 洋司、発明の名称：無限軌道走行装置、出願番号：特願平 6-71807、公開番号：特開平 7-277237、出願人：株式会社日立製作所、日立エンジニアリング株式会社
- [3] 藤本敏彰、西村礼貴、鉄井光、野村陽人、藤田政宏、高根英里、小松洋音、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、“1次元ジャミング転移機構 - 線状式剛性切替えメカニズムの考案と具現化 -,” 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017), pp. 1293-1295, 2017.

(4) エンドエフェクタ技術調査 (担当：東北大学、パナソニック)

最新の技術動向について学会調査や知財調査を実施する。

2014年
チューブ1本で
複数指の駆動
(圧力・流量の変化
により動作切替)

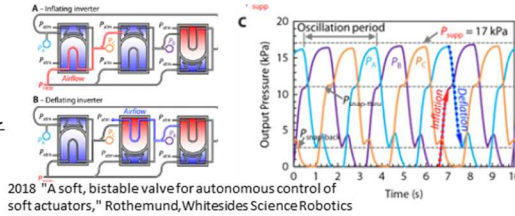


"Simple Passive Valves for Addressable Pneumatic Actuation,"
Nils Napp, Brandon Araki, Michael T. Tolley, Radhika Nagpal, Robert J. Wood
2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA)
Hong Kong Convention and Exhibition Center May 31 - June 7, 2014, Hong Kong, China

流体（液体・気体）による回路（R,L,C）を用いた
ソフトロボティクス研究が立ち上がりつつある

⇒柔軟かつスマートなエンドエフェクタが
単体素材で実現できる可能性

2018年
2極切替えバルブ
による自励振動を
生成する柔軟素子



【今後の課題】

循環ベルトや柔軟グリップへの適用可能性の
検討

2021年
流路を体内に入れた
身体全体を3次元にて
完全造形化

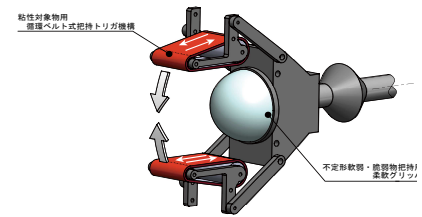
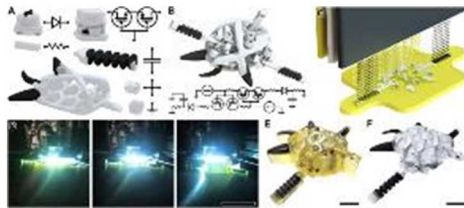


図 3-62. ソフトロボティクス（流体素子）に関する研究動向調査

《国内動向調査》

国内知財 2002～2021 年のエンドエフェクタ関係知財 722 件を調査。

- ・2017 年から国内出願が急増
⇒ 関連事象) 関連国プロ増加、WRS の開始、ソフトロボット勃興
⇒ 変種変様ハンドの出願も増加傾向
- ・変種変様ハンドで研究開発と出願を加速し権利化を急ぐ
- ・今後の課題 ⇒ 海外知財の状況を調査

2. 3 果菜作物収穫システムの開発（ヤンマーホールディングス）

これまでの主要成果の意義を以下に記す。

- ・ ハンド 吊り下げられた凹凸あり果実への吸着を初めて実現
→ 収穫可能割合に寄与。収穫ロボット全般の実現に貢献する。
物流にも有用。
- ・ 認識 写実的 CG モデルを使った機械学習により現実の作物認識性能を高められることを実証した。
→ 収穫可能割合に寄与。
- ・ 収穫ロボット試作機を構築。ハウスでの効率よい試験実施が可能になった。

成果の概要を以下に記す、各成果の詳細は、2.3.1 項に示す。

① トマト収穫ハンドの開発

切断 + 吸着方式の収穫ハンドについて、試作機の評価を通して目標性能を実現した。また試作開発の過程で吸着、繰り出し、切断の各部の課題を解決した。

特に吸着パッドについては形状の最適化を行い目標性能を達成するとともに学会発表し講演賞を受賞した。このパッドは凹凸物体に広く利用することができる。

③ 果菜類認識・推定技術の開発

- ・ 作物構造を機械学習で認識するための作物モデルシミュレータを構築した。
- ・ 上記シミュレータを活用した植物構造認識に関する論文が掲載された。

⑤ トマト自動収穫ロボットの設計、製作、評価、実証、事業化

- ・ 収穫機能開発用の 6 号機を製作し活用した。
- ・ ロボット展に出展しアピール実施した。

2. 3. 1 研究開発成果

① トマト収穫ハンドの開発

吸着 + 切断による方式を選定し、各要素を実現すべく開発した。

トマトを自動収穫する上で、トマトを果梗から分離する切断機能について、多くの方式を試作し、目標を達成できるハサミ式切断機構を設計、製作した。

切断部に関しては、複数方式を比較し、収穫対象果実及び周囲を傷付けない形状かつ、十分な切断能力を発揮することが可能なハサミ方式を採用した。

吸着部に関しては、前年度 8 種、今年度 3 種類の吸着パッドの試作評価を行った。

- ・ 反力が得にくい球状作物を形状、姿勢によらず吸着可能
- ・ 位置ずれがあっても吸着でき、中央に引き込む
- ・ 同外形の従来吸盤と同等の把持力を発生
- ◎ 高い性能を単一部品で実現し、非常に実用的

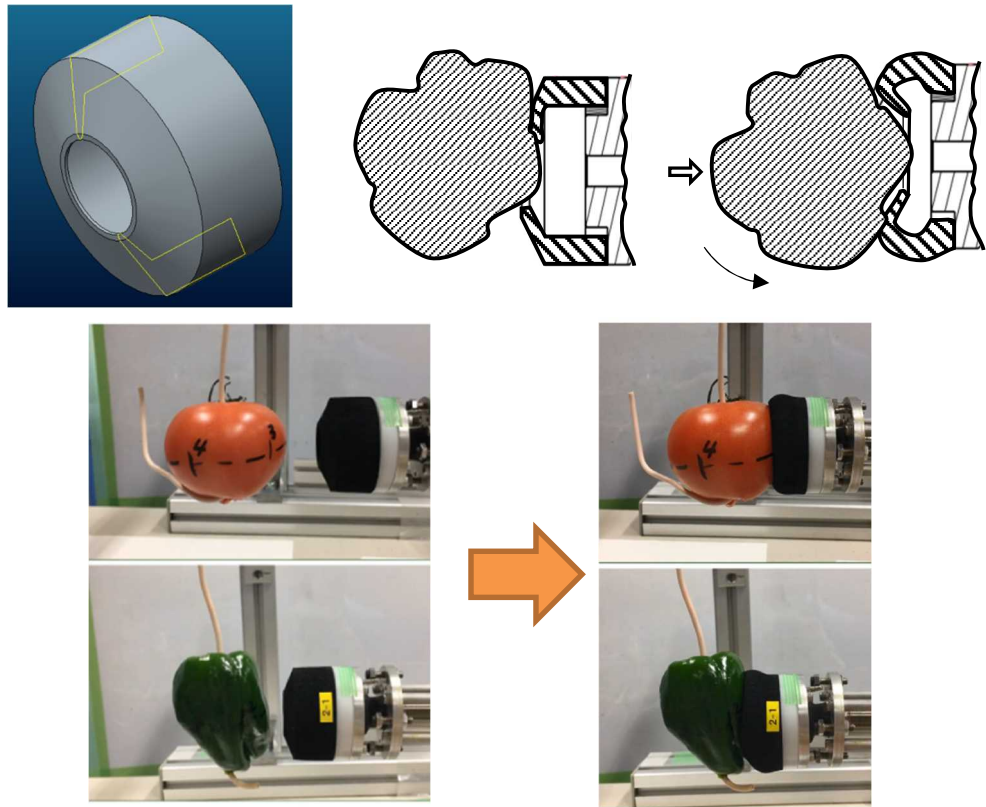


図 3-63. 吸着パッドの評価試験

② 果菜類認識技術の開発（非公開）

③ 果菜類認識・推定技術の開発

果菜類植物の構造を推定する技術について、共同研究先の千葉工業大学を中心に取り組んだ。

1) 作物構造推定と隠れ枝推定モデルの開発、それにかかわる論文投稿

2) に記載のシミュレータで生成したアノテーション済み画像を用いて、植物を撮影した画像の中で枝がどこにあるのかを、隠れた枝も含めて推定するアルゴリズムを開発し(2020 年度までの成果)、シミュレータの構成と合わせて 2021 年度に論文投稿した。トマトを生育しているような複雑な環境で、隠れた枝の位置を推定するアルゴリズムはほかに例がなく、革新的な技術であると言える。

2) トマトの植物全体の外観を再現するシミュレータの開発

ロボットの多様な作業とそのため認識アルゴリズムを考慮すると植物全体の外見を再現するシミュレータが必要である。例えば果房が着生する位置は葉のついている位置や順番と相関があるので、葉のついている位置がわかれば、果房が隠れていてもおよその位置を推測できる。また、トマトの栽培作業は収穫だけではなく、葉や芽をかくような作業があり、このような作業も将来的に自動化が求められるだろう。人間にこのような複雑な作業ができるのは、経験的に植物の構造を理解しているからである。ロボットで同様に複雑な作業を行うには、ロボットを制御するコンピュータに植物の構造を授けるための仕組みが必要である。しかし、実世界でそれを行うのは難しく、シミュレータが必要となる。

そこで、図. n の右上に示すように写実的に植物の外観を表現できるシミュレータを開発した。このシミュレータではトマトの主茎・葉と果房が再現されている。このシミュレータは図. n の左上のポリゴンモデルをもとに、物体の表面物性を再現する physical based rendering と現実の照明環境を模擬する image based rendering によって、植物を写実的にレンダリングできる。

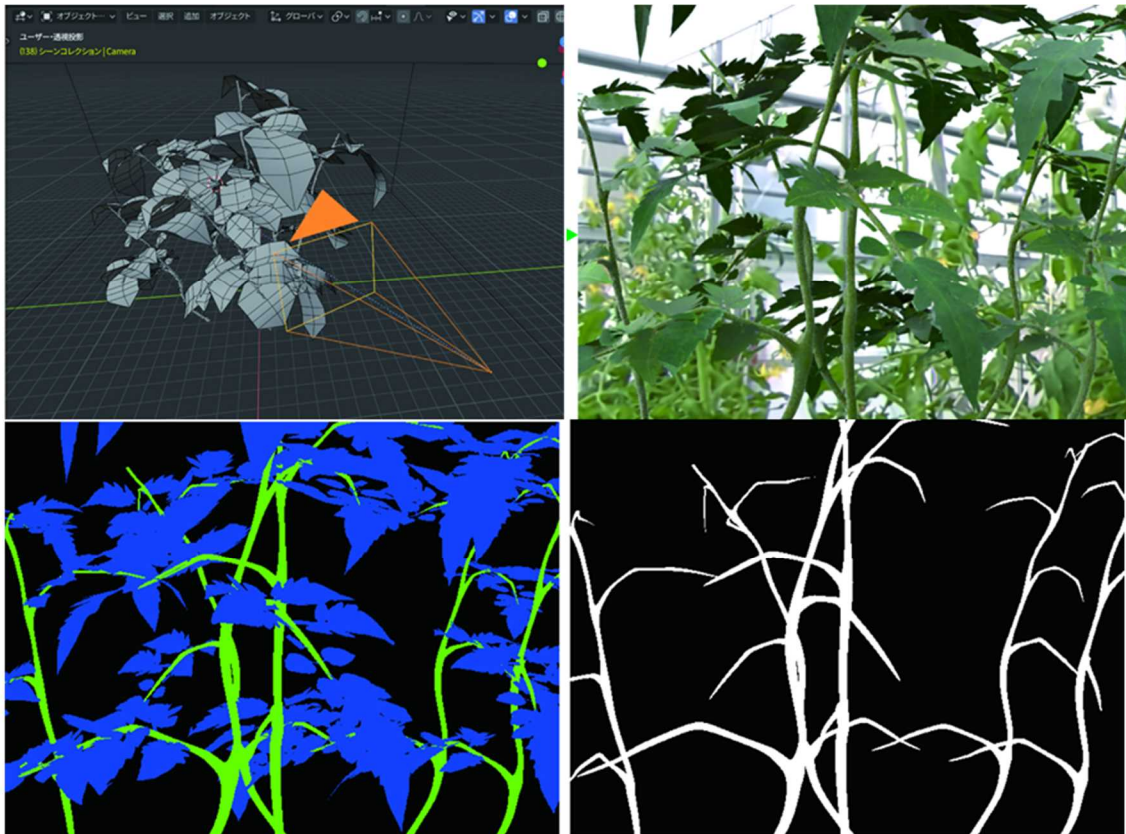


図 3-64. 果実シミュレータと果実シミュレータがレンダリングした画像

このシミュレータは植物の外観を写實的に再現できるだけでなく、画像の各画素に意味を持たせたアノテーション済み画像としてレンダリングすることもできる。例えば、図 3-64.の左下のアノテーション済み画像は、写實的にレンダリングされた左の画像の各画素に映っているのが植物のどのパーツなのかを示した画像である。また、図 3-64.の右下のアノテーション済み画像は、左の画像の中でどこに枝があるのかを、本来はほかの物体によって隠されている部分も含めて示した画像である。このような画像は実世界でカメラを使って得ることはできない。実世界で撮影された画像の各画素に何が写っているかを正確に表そうとすれば、各画素を人の手で 1 画素ずつ塗り分けなければならない大変な労力がかかる。また、他の物体に隠された別の物体がどこにあるのかを示すなど、もはや人間には不可能である。

④ 自動収穫の経路生成（非公開）

⑤ トマト自動収穫ロボットの設計、製作、評価、実証、事業化

1) 試作機

下図に示す「トマト収穫ロボット試作 6 号機」を設計、製作した。リスクアセスメントを行い、運用上危険な部分を修正し実用的な試験機に仕上げた。

これを使いハウスで収穫試験を行った。福島県にある株式会社ワンダーファームの大型ハウスにも持ち込んで試験を行った。



図 3-65. 「トマト収穫ロボット試作 6 号機」外観と収穫試験の様子

2) アウトリーチ活動

事業化につなげるためのアウトリーチ活動として 2022 国際ロボット展 NEDO ブースへ出展した。認識、ハンド、収穫の様子をデモ上映した。来場者 69 名以上に紹介することができた。

2. 4 自動配送ロボットによる配送サービスの実現

研究開発項目⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」については、2020年度から2021年度にかけて、自動走行ロボット・システムの高機能化に関わる技術開発、開発した自動走行ロボットの実証、社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討を実施した。

表 3-12.

番号	実証環境			配送物	備考
	屋内	屋外			
		私有地	公道		
1		○		宅配荷物	団地内（小売店～各住戸前）
2	○			宅配物	マンション内（エレベータ連携）
3			○	小型荷物、野菜等の収穫物	地方（中山間地域）
4			○	宅配物等	都市部（住宅地域）
5		○	○	スーパーの商品等	地方（大学構内）
6	○			レターパックや小型荷物	オフィスビル内（エレベータ連携、異種ロボット連携）
7	○	○	○	ドリンク・事務用品・郵便物など	都市部（信号連携）
8	○	○		生活用品	ショッピングモール内～駐車場
9	○			物流倉庫内のかご台車に乗せられる荷物全般	物流倉庫内
10			○	ドリンク・事務用品・郵便物など	地方（工業地域）、中速中型ロボット

- 1 団地の居住者や団地内でのサービス提供者に向けた配送サービスの実現
- 2 セキュリティマンション向け複数台自動走行ロボットによるラストワンマイル配送サービスの実現
- 3 中山間地域の生活支援向けロボットシェアリング型配送サービスの実現
- 4 住宅街向け小型低速ロボットによる安全・安定なラストマイル配送サービスの実現
- 5 個人向け自動走行ロボットによる安全な配送サービスの実現
- 6 大規模オフィスビル向け異種ロボット連携による館内配送サービスの実現
- 7 オフィス街向けオフィスビル内外配送サービスの実現
- 8 大型商業施設向け店舗から駐車場への商品自動配送サービスの実現
- 9 商業施設バックヤード向け複数ロボット連携システムによる配送サービスの実現
- 10 工業地域向けロボットシェアリング型配送サービスの実現

2. 4. 1 研究開発成果

次ページより、これまでの各事業者の成果を報告する。

テーマ：セキュリティマンション向け複数台自動走行ロボットによるラストワンマイル配送サービスの実現
研究開発機関：日本郵便

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

複数機体を平行して運行させつつ、配送サービスの提供者が配送業務の現場で特定の専門性や高度な訓練を要さずとも適切な管理を実施可能とするために必要となる運行管理システムを開発した。

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021年2月下旬～3月下旬
- 場所：千葉県習志野市マンション内
- 配送物：宅配物
- 実証内容：20戸程度マンション屋内における複数台の自律走行ロボットによる配送実証
 - －住民とロボットの共生を前提としたオペレーション方法、特に、EVに人と同乗する実証はこれまで前例がなかったが安全に実施できることが確認できた。
 - －運行管理システムを活用した複数機体の監視等の必要機能を確認した。
 - －自動ドアをシステム連携ではなく、物理的にセンサーで検知して開けるという方法が有効であることを確認した。
 - －自社の既存基幹システムと荷物ステータス管理機能の連携にはコストも含め検討が必要。
 - －遠隔画像の画角についても活用場所に合わせた調整が必要と分かった。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

ロボットとの共生環境や受取利便性等に関するアンケート、機体・運行管理システムの評価反省内容と照らし、総合的な評価を実施。



(参考) 日本初！宅配分野における複数台の配送ロボットによる屋内配送試行
https://www.post.japanpost.jp/notification/pressrelease/2021/00_honsha/0225_01_01.pdf

テーマ：住宅街向け小型低速ロボットによる安全・安定なラストマイル配送サービスの実現
研究開発機関：パナソニック ホールディングス

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 回避障害物の明確化と適切なセンサ構成の案策定
- ② 走行環境の状況により回避動作が異なる為、考慮すべき環境要素の検討と環境に応じた回避動作の実現とデータ蓄積
- ③ 屋内/屋外など走行モードの切り替えが発生する際の精度のよいスムーズな切り替え可能なシステムの構築
- ④ 遠隔操縦/自律走行制御/近接操作等の各モードやその優先順位について、ロボットに必要な仕様案の検討・策定合わせて、必要な通信セキュリティ等に必要対応の分析検討も実施
- ⑤ 防水性等の屋外対応仕様の検討と技術的検証
- ⑥ 屋外環境にて稼働する場合のリスクアセスメントを実施し、リスク分析と必要な設計対策の検討
- ⑦ 独立した制御系により、センサ故障時には確実に停止させる構成の実現

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2020/12月・2021/2月（雨天以外の9:00～16:00）
- 公道の種類：原則歩道、必要に応じて車道/横断歩道（信号無）
- 場所：神奈川県藤沢市藤沢 SST（住宅街）
- 走行距離：累計で100 km以上
- 配送物：宅配物等
- 実証内容：
 - 1. 屋外を安定に走行するための小型低速ロボット向け自律移動技術の検証
 - －安全上考慮すべき障害物を明確にし、必要なセンサ配置を決定
 - －ロボット自体での回避と遠隔操作との切り分けを明確化し、機能検証を行った。
 - 2. 運用継続性を支える操作性の良い遠隔監視/操縦技術の検証
 - －バッファ削減等の対応により500ms程度の遅延達成に目処。
 - －セキュリティについては脅威分析し、VPN、ファイアウォール、モニタリング機能等を実証、運用可能であることを確認
 - 3. 屋外環境に適した機体とその安全性の検証
 - －リスクアセスを実施。IPX3を実現。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

- 宅配サービス提供時のエンドユーザ視点・店舗視点でのサービス受容性
- 住民視点での安全性の受容性、事業者視点でのオペレーションコストの分析（遠隔システム含む）



（参考）小型低速ロボットによる住宅街向け配送サービスの実証実験を Fujisawa サスティナブル・スマートタウンで実施

テーマ：人共存下における配送ロボット・運行管理システムの開発と屋外環境調査
研究開発機関：パナソニック ホールディングス

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 人共存下における安全技術
 - － 最高速 6km/h 以下
 - － 降雨量 10mm/h を想定した雨天走行
 - － 公道上で共存する人とのインタラクション機能（進行方向表示 LED や発話インタラクション機能）
- ② 歩道等における人共存化技術
 - － 安全面、人共存を考慮した歩道走破性改善の技術要件抽出。
 - － 要求仕様定義。
- ③ 遠隔監視と自律移動における安全確保の技術実装
 - － 走行エリア区分に応じて変更が必要なロボット走行要件の明確化

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021 年 10 月～2022 年 3 月
- 公道の種類：原則歩道、必要に応じて車道/横断歩道（信号無）
- 場所：神奈川県藤沢市藤沢 SST（住宅街）
- 走行距離：累計で 1,000km 以上（2022 年 2 月現在）
- 配送物：宅配物等
- 実証内容：
 - 1. 配送ロボット／遠隔監視・制御システムでの現地実証
 - － 藤沢 SST 全エリア（約 500m×500m）での走行検証完了。総走行距離 1000km 以上を無事故で達成。
 - － 一人の遠隔操縦者により 4 台までのロボット走行を実現。
 - － 横断歩道での自律停止を回避する機能を実現。
 - 2. 実証走行実績に基づく環境側課題や条件の整理
 - － 歩道幅は実走行可能エリアとして 2.0m を満たすことが必要（自動走行ロボットが幅 1.0m 以内を走行可能な経路追従性を有することを前提）。ただし、植樹飛び出しにより本要件を満たせないケースがあるため、植樹管理体制に課題がある。



テーマ：オフィス街向けオフィスビル内外配送サービスの実現

研究開発機関：ソフトバンク、佐川急便

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 館内配送用自律走行ロボットを原動機付自転車として保安基準に対応した、屋外配送用ロボットへの改造
- ② ユーザーインターフェイスとなるロボット配送予定の案内通知及び受取手段の開発
- ③ セルラー通信を用いた遠隔操作の検証
- ④ スマートフォンアプリを利用したロボット現在地の確認及び指定場所到着通知の開発
- ⑤ 実際の信号システムからの情報を受信し、それをもとに信号機に同調させる技術の確立
- ⑥ エレベータシステムと連携させるための情報、制御信号の通信技術の確立
- ⑦ 屋外配送用ロボットのバッテリーを活用した冷蔵・冷凍装置設置の有効性検証
- ⑧ 配送中の宅配荷物への振動、衝撃の検証や温度変化の検証

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

■ 屋外配送実証

- 期間：2020/12月～2021/6月末（隔週水・木の10:00～17:00(12:00～13:00除く)
- 公道の種類：原則歩道／横断歩道（信号有）
- 場所：東京都港区竹芝エリア（オフィス街）
- 走行距離：3つのルート（125m,125m,250m）を設定
信号を横断するルートを主として走行し、のべ約8.25kmを走行
- 配送物：ドリンク・事務用品・郵便物など
- 実証内容：
 1. 遠隔・非対面・非接触での配送サービスに必要なユーザーインターフェイスの検証
→ 音声アナウンスによる注意喚起の有効性を確認。UIの高度化が今後の課題
 2. 信号機との協調機能の検証
→ 歩行者信号の通信を用いた連携に成功

■ 屋内配送実証

- 期間：2021/6月～2021/7月末（平日午前の館内配送タイミングに合わせ実施）
- 走行場所の種類：屋内
- 場所：東京都港区竹芝エリア オフィスビル内フロア
- 走行距離：1フロアあたり20m程度、エレベータシステムと連携して複数フロアを移動
- 配送物：事務用品・機械部品など実際の配送物の一部
- 実証内容：
 1. 遠隔・非対面・非接触での配送サービスに必要なユーザーインターフェイスの検証
→ バーコードベースでの簡便な操作インターフェイス、ユーザスマートフォンへのメール通知、QRコードを用いた解錠などの有効性を確認。積載性能の向上が今後の課題
 2. セルラー通信を利用した自律走行ロボットの遠隔監視・操作機能の検証
→ LTEによる遠隔監視システムを検証（異常時一旦停止できる等の機能）
 3. エレベータシステムとの協調機能の検証
→ ロボットに搭載したLTEによる連携に成功

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

○改善課題の洗い出し及び社会実装に向けた評価

→本提案事業の関係者及び一般向けにデモ視察日を設け、アンケートの配布・収集



(参考) 日本初、自動走行ロボットと信号機の連携による屋外配送に成功

～竹芝エリアの公道でロボットが信号機の表示情報を受信して交差点を横断し、安全に走行しながら荷物を配送～

https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20210615_01/

テーマ：個人向け自動走行ロボットによる安全な配送サービスの実現

研究開発機関：楽天グループ、本田技術研究所

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 人混在環境における安全配送を行うため、危険源の特定、リスク見積、安全対策手法の検証
- ② 経済性と安全性を備えたシステムの開発

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：（私有地内）2020年11月～2021年2月
（公道）2021年7月～8月
- 場所：（私有地内）ひたちなか市自動車安全運転センター内 交通公園
（公道）筑波大学構内（公道横断を含む）
- （公道）の走行環境：筑波大学構内の宿舍周辺と一部公道を含む全長約500m
一部公道の走行は歩行者専用道の横断
- 実証内容：
 - 私有地内
公道環境に近く、且つ通行をコントロール可能なクローズドエリアを活用した実証実験の実施
→自動走行ロボットの基本移動機能の開発及び、ラストワンマイル搬送の機能要件抽出を実施した。
 - 公道
オープンエリア（段差、移動体や構造物あり）において商品等を配送するサービスを想定した実証
→安全運行のためのリスクマップを作成し、本質安全、機能安全、運行ルールの要件を定義。
要件に基づいて走行実験を実施し、71kmの距離を受入れ不可能なリスクがない状態で走行した。
・機体に搭載するボックスを試作、その検討結果を踏まえて改修版を製作。当該ボックスを用いてユーザビリティテストを実施。サービス時の利用者の目線、課題を把握した。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

サービス利用者へのアンケートや機体・運行サービスに関する安全性を含めた実現性などについて分析等を勘案して社会的受容性の総合的評価を行った。



(参考) Hondaと楽天が自動配送ロボットの走行実証実験を共同で開始

<https://www.honda.co.jp/news/2021/c210719.html>

テーマ：工業地域向けロボットシェアリング型配送サービスの実現
研究開発機関：京セラコミュニケーションシステム

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 高精度地図とセンサーによる走行制御
- ② 遠隔監視および遠隔操作機能
- ③ 情報セキュリティ機能
- ④ 無人自動配送ロボットの走行を周囲の人々へ通知する機能

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021年5月以降
- 公道の種類：原則車道、必要に応じて歩道
- 場所：北海道石狩市（工業地域）
- 配送物：小売店商品・宅配物・クリーニング衣類品など
- 実証内容：港湾地区の工業団地就労者向け無人配送サービスの実証
 - －期間中の走行距離は 232.7km、1日当りの走行距離も最高で 18.1km。また直線部分では安定して時速 10km 以上に達し、実証実験エリアのいずれの地点へも 15 分以内に到達できたことにより、オンデマンドサービス実現に必要な機動性を確認できた。
 - －遠隔監視用の高精細な映像伝送を実現する為、高速・大容量・低遅延の通信環境とそのコスト負担が必要
 - －遠隔操縦のクオリティが高いと大抵運行可能と言うことが本実証で判明した。通信環境などの良いところであれば、複数台運用で実装することも出来そうな見込み。
 - －利用する企業の業務形態や利用者の年齢層に応じて、使用するデバイスやインターフェースの使い分けが必要。
- 実証環境の特徴：信号機の無い交差点、歩道付き道路の車道車線、歩行者、自動車、駐車場有り。晴天・昼・夕方を想定。
- 走行ルート総延長：約 5km

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

地域における配送ニーズ調査を実施する自動配送ニーズ研究会を設立し、当該研究会によるニーズ調査方法の検討および調査実施、地域の社会受容性向上にむけた説明会、ヒアリングを実施。



(参考) 北海道石狩市の公道において無人自動配送ロボットによるロボットシェアリング型配送サービスの実証実験を開始

<https://www.kccs.co.jp/news/release/2021/0817/>

テーマ：中山間地域の生活支援向けロボットシェアリング型配送サービスの実現
研究開発機関：TIS

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 低コスト（初期コスト、運用コスト）且つ高精度（10cm 級）な自己位置推定技術の開発
- ② 脆弱なネットワーク環境下でも安全安定的に稼働可能な自律走行機体の開発
- ③ 社会受容性の高いインターフェイス、汎用性、安全性を備えた機体の開発
- ④ 異なる事業主体間でロボットを管理可能なロボット管理プラットフォームの開発

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021 年 7 月～8 月の内 5 日程度（予備含む）
- 公道の種類：歩道と車道の分離の無い道路
- 場所：福島県会津若松市湊町西田面地区（界限）
- 配送物：小型荷物、野菜等の収穫物
- 実証内容：ラストワンマイル配送 に加えて、配送物や収穫物 の集荷など地域住民の生活支援の実証。
 - －事前地図生成を伴わない衛星測位を利用した自己位置推定システムにより、誤差±10cm 以内の精度での公道走行が可能であることを実証
 - －デプスカメラを使った自律走行が可能であることを実証。但し、方位精度に課題が残る。
 - －ロボットを配送として利用する仕組み（BOX の開閉・認証の簡素化、高齢者でも使えるインターフェイス、などのサービス提供するための仕組み）が社会受容性を高めるうえで重要であることが明確化
 - －中山間地域で事業者をまたいで配送を実施（公共交通など含む）。様々な事業者を接続する際に人の介在が必要で効率さが下がるため、オペレーション検討が必要。本取組みに多くの事業者が参加したことにより、それぞれに取組の価値を感じてもらえた。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

事業推進検討委員会を発足し、新たな配送サービス実現に向けての課題抽出や、配送サービスが継続的に提供できるための事業のありかた、サービスを取り巻くプレーヤの役割の明確化を検討分析し、さらにサービスモデルのひな型作成に向けて整理。



（参考）TIS、「中山間地域での生活支援向けロボットシェアリング型配送サービス」の実証実験を会津若松市で実施～ 地域コミュニティ、行政、企業一体で社会課題解決を目指す ～
https://www.tis.co.jp/news/2021/tis_news/20210929_2.html

テーマ：団地の居住者や団地内でのサービス提供者に向けた配送サービスの実現
研究開発機関：NTT ドコモ

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 高速、低遅延通信でセキュアな閉域ネットワークによる通信経路の提供（実証実験における電波環境やロボットからの通信状況の変動によって顕在化する課題の抽出）
- ② 複数の走行ロボットの高精度な位置や走行状態、機体のテレメトリなどを遠隔から把握できる動態管理技術の検証と確立
- ③ 荷物の積載状態の確認や、顔認証による本人確認技術を活用した荷物の積み込み・受け渡しの実現性や受容性の検証
- ④ 積載物を搭載した状態での安全走行、異常検知の検証

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021年8月
- 場所：UR 団地（金沢シーサイドタウン並木一丁目第二団地）敷地内の歩道と車道の区別のない道路、歩道
- 配送物：近隣商店からの宅配荷物
- 実証内容：自動走行ロボット試作機による物流サービス実証
 - －遠隔操作時に影響を及ぼす最も大きな要素は「映像遅延」の「ゆらぎ」であることが確認できた。
 - －ロボット専門家ではない運用担当者でも、半日程度の講習で操作習熟可能なシステムを構築し、運用できる体制を整備した。
 - －2km 走行時に 2m 先の障害物を検知した場合、速度を 1km に落とし、さらに 70 cm の距離で停止する機能を開発した。
- 走行距離等：1 回につき約 360m

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

- 高齢者等の親和性、受容性に必要な機能及び最適な運用方法検討のための調査
- サービサーによるサービスの仮説立案、経済性、採算性の分析のための調査
 - ⇒周辺住民（一般住民）、サービス利用者（一般住民）、サービサー（商店運営者、店員など）、エリアオーナー（団地敷地、商店敷地所有者など）、ロボットメーカー（本件協力者、その他など）などへのアンケート実施の上、検討や分析を行った。



テーマ：大型商業施設向け店舗から駐車場への商品自動配送サービスの実現
研究開発機関：アイシン精機

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 低コスト（初期コスト、運用コスト）且つ高精度（10cm 級）な自己位置推定技術の開発
- ② 脆弱なネットワーク環境下でも安全安定的に稼働可能な自律走行機体の開発
- ③ 社会受容性の高いインターフェイス、汎用性、安全性を備えた機体の開発
- ④ 異なる事業主体間でロボットをシェア可能なロボット管理プラットフォームの開発

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021 年 1 月、2021 年 6 月
- 場所：岐阜市 カラフルタウン岐阜(大型商業施設)
- 配送物：生活用品
- 実証内容：施設内指定位置から駐車場指定位置までの自律走行(配送及び帰還)技術の確認
 - －安価な低分解能・検出距離の 2D LiDAR であっても、歩行者等のオクルージョンに強い位置推定が可能となることが分かった。
 - －測距エラーを評価し、低価格 LiDAR でも使用に耐えることが分かった。
 - －回避対象とのインタラクション機能を追加し、荷物搬送効率の向上と安全性の担保を両立するシステム設計・開発を行う必要があることを確認した。
 - －開発した運用システムに対し初期設定時間を計測。短時間で設定可能となることが分かった。
- 走行距離等：1 回につき約 300m

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

- ① 実証実験開始前の意見収集（2021 年 2 月）〈対象者〉：店舗運営者、施設利用者
⇒うれしさ、懸念点、要望、などの意見を収集し、本サービス(システム)の改善点、収益化に向けたポイント、及び、新しいサービスのアイデアを抽出
- ② 営業時間内実証実験中の意見収集（2021 年 6 月～7 月）
〈対象者〉：店舗運営者、施設利用者
⇒使い勝手、懸念点、利用しなかった理由、などの意見を収集し、本サービス(システム)の改善点、収益化に向けたポイントを抽出
- ③ 実証実験終了後の意見収集〈対象者〉：地域住民、商業施設運営者
⇒本サービスに関する期待度・要望・懸念点などの意見を収集し、収益向上、サービス展開のポイントを抽出



テーマ：大規模オフィスビル向け異種ロボット連携による館内配送サービスの実現
研究開発機関：Qbit Robotics

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

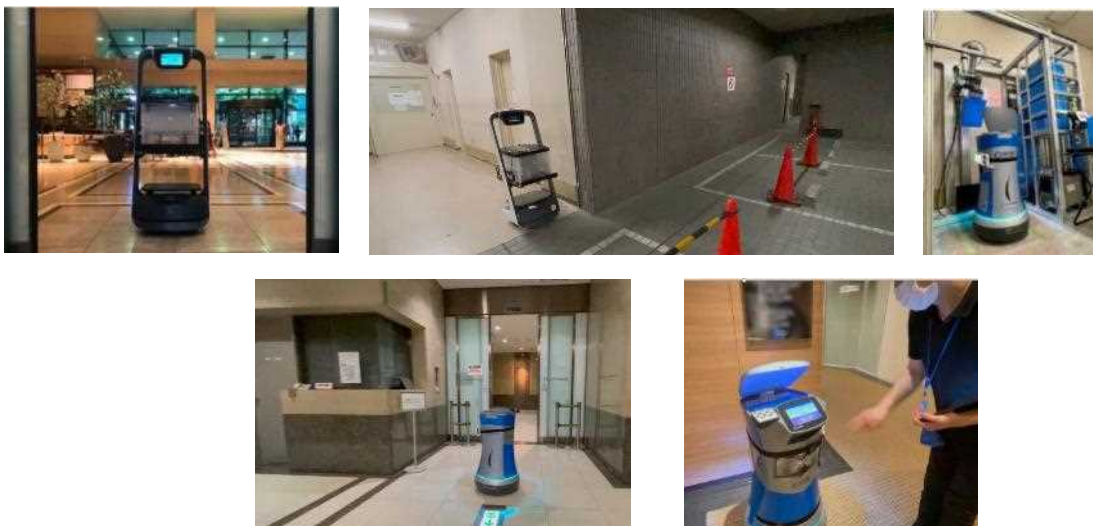
- ① 自律走行ロボット向け異種ロボットの群制御ソフトウェアの開発
- ② 外部搬送と施設内ロボット搬送とのシステム連携プラットフォームの開発

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021年4月～5月
- 場所：森トラスト社ビル（大規模オフィスビル）
- 配送物：レターパックや小型荷物
- 実証内容：
 - 館内物流において人手不足や感染リスク問題を解決する自律搬送ロボットの実証
 - －ロボット群制御基盤ソフトをベースに、位置管理方法や走行制御方法が異なる3つの自動走行ロボットがビル館内のセキュリティ付自動ドアやエレベータと連携しながらビル館内を走行し、ロボットアーム UR5e が小型荷物を荷物棚から Relay に自動的に登載するといったエッジ側ロボット/ビル設備の連携制御を実現した。
 - 外部搬送と施設内ロボット搬送とのシステム連携プラットフォーム
 - －自動ドア、エレベーター、利用者端末機器、配送業者の営業所、QBIT 運用監視の各所で、実用レベルでのデータ・情報共有が出来る統合システムを構築できた。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

館内物流関係者と、オフィスでロボット化館内物流に遭遇した人の両方へヒアリングとアンケート調査により、接触頻度低減への評価、館内で自動走行ロボットに遭遇した際の実感、自動走行ロボットの発話や表情などへの評価を把握し、社会受容されるためのポイントについて分析。



（参考）QBIT が、森トラストと、異種複数台の自動搬送ロボットとロボットアームを用いた館内配送集荷サービスの
実証実験を開始～6/2より 城山トラストタワーで 1ヵ月間実施～
https://www.qbit-robotics.jp/post/20210601_001

テーマ：商業施設バックヤード向け複数ロボット連携システムによる配送サービスの実現
研究開発機関：東芝

(1) 配送サービスを実現するための自動走行ロボット・システムの技術開発

- ① 走行ロボット用協調連携システムにおける通信プロトコル及び通信インターフェースの開発
- ② 異機種・複数ロボット共存環境における走行ロボット用自律センシングユニットの開発

(2) 配送サービスを実現するための自動走行ロボットの開発成果の実証

- 期間：2021年8月～9月
- 場所：公共施設（深川江戸資料館）および商業施設バックヤードを模した実験場
- 配送物：商業施設で用いられる6輪台車に乗せられる荷物全般
- 実証内容：ロボットが無線LANの無線環境を使用して相互通信状態を確立し、ロボット同士が直接情報を交換することで、相互回避動作（2台のロボットの衝突回避を伴うすれ違い動作）と、協調搬送動作（1つの搬送物を2台のロボットがタイミングを合わせながら運搬する協調搬送）を実証する。
 - －無線LANマルチホップ方式による低遅延（10ms以内）のロボット間直接通信を実現。
 - －小型低速ロボットを複数使うことで、大型荷物を安全・安心に搬送出来る事を実証。
 - －ロボット間直接通信に最適な通信プロトコルの策定および通信ユニットの開発。
 - －「異種ロボットの相互回避」と「複数同種ロボットによる協調搬送」を実証。

(3) 新たな配送サービス実現に向けた社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討

移動や搬送を伴う異種ロボットの連携システムを用いたサービスが、対象となる商業施設等において安全に運用できるかの調査・検討を実施する。また、連携システムを用いたサービスが商業施設等に対し十分に受容されるかを調査するとともに、有識者の意見を聴取する場を設けるなど、社会受容性の向上について検討を実施する。



4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

本事業での実用化・事業化の考え方は以下の通りとする。

- 研究開発項目①：汎用動作計画技術
- 研究開発項目②：ハンドリング関連技術
- 研究開発項目③：遠隔制御技術
- 研究開発項目④：ロボット新素材技術、上記4項目の場合

「実用化」の考え方

実用化とは、当該研究開発における技術、試作品等が、社会的利用（産業分野への提供等）が開始されることをいう。

- 研究開発項目⑤：自動配送ロボットによる配送サービスの実現

「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、当該研究開発における技術、試作品等が、特定地域において社会的利用（顧客への提供等）が開始されることであり、さらに、事業化とは、当該研究開発の成果を用いた商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売上等）に貢献することである。

この考え方にに基づき、各事業者にて実用化・事業化を検討する。

1. 産業用ロボットの機能向上・導入容易化のための産学連携による基礎技術研究（ROBOCIP）

組合員企業他での開発成果(要素技術)活用による製品・サービス事業強化を支援し、ロボットサービスプラットフォーム提供と継続したエンハンスによるイノベーション創出支援により製造業・サービス業の生産性向上、産業用ロボットの国際競争力強化を図っていく。

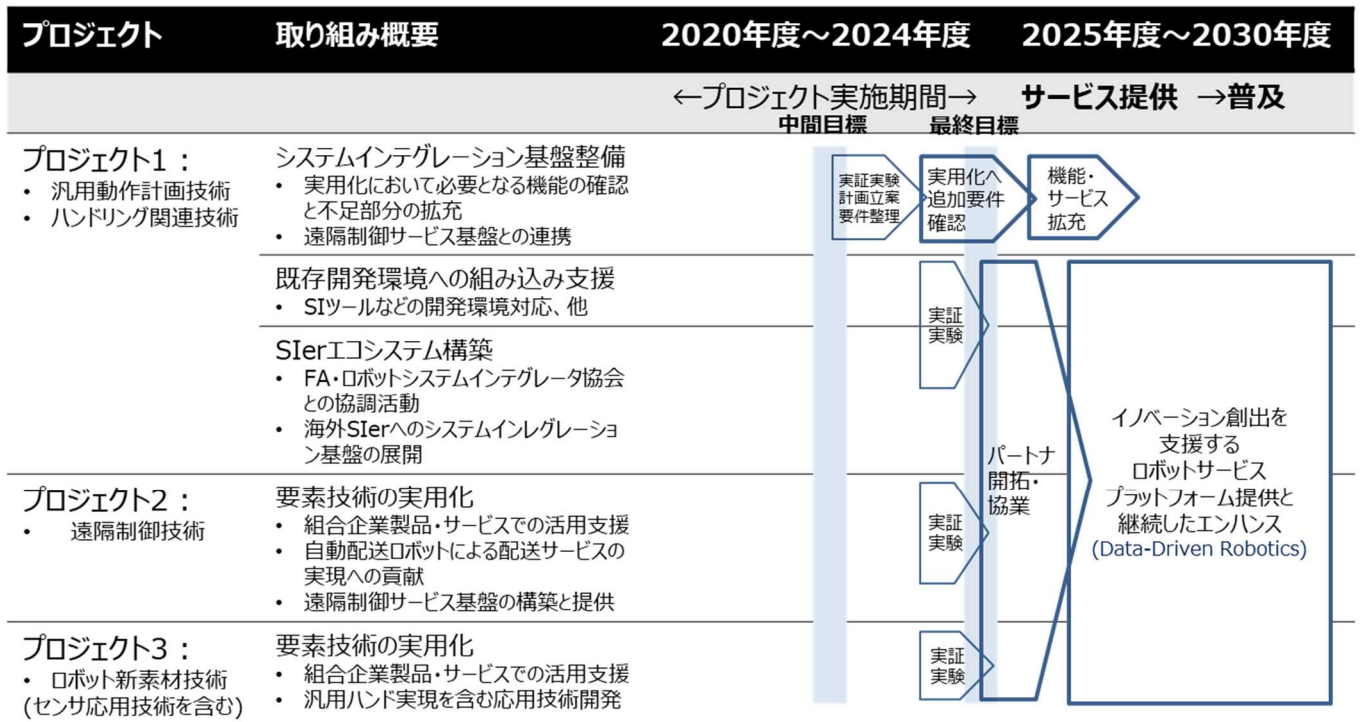


図 4-1. 実用化に向けた取組み

1. 1 汎用動作計画・ハンドリング技術

本研究開発により開発する技術を他社に先駆けていち早く事業化するために、データベース(DB)システムは ROBOCIP でプラットフォーム化し、各大学・組合員企業が機能を搭載できるようにし、継続して維持・管理していく。また、DB アプリケーション(DB ツール(UI), 制御 SW はベンダー(組合員他)で連携して検討を進めている。

- ・ ROBOCIP はデータベース利用/データ利用サービスを提供する
- ・ ベンダーは DB ツールや制御 SW を商品/サービスとして提供する
- ・ ユーザ(SIer 等)は DB 利用により SI コスト低減を享受できる

1. 2 遠隔制御技術

本事業により開発した要素技術を製品/サービス他への組込・活用を検討する。(本プロジェクトでは組込支援) センサ・通信技術により遠隔復旧・遠隔メンテが可能になり、DB 活用、通信活用などでサプライチェーンの動的再構成、地政学的リスク回避する。また、運用データ収集による品質管理、遠隔制御のデータ蓄積(自律化へ活用)による生産手法の改善、他分野への応用を進めている。これにより、地球レベルでの働き方改革(タイムゾーンの差を利用して労働時間の柔軟化)となるよう連携して検討を進めている。

1. 3 ロボット新素材・センサ応用技術

ロボット新素材は、産業用ロボットへ活用可能な特性を有する CFRP/複合材素材の製造工程を確立し、組合員企業と共有。各社のロボットへの適用を支援し、軽量化によるカーボンニュートラルへ貢献していく。

センサ応用技術は、印刷型有機センサーのロボット実装での信頼性・設計要領等を確立し、組合員企業と共有し、各社製品へのセンサー実装を支援していく。

軽量化にて、30%の省エネ性能を見込む。各ロボットメーカーにて、製造方法、構造検討など製品化に向けた研究開発を連携して進めていく。

《戦略》

パナソニック社内の現場で技術を鍛え、工場・物流現場で事業化、リサイクル、食品加工、小売など異業種に展開していく。そのために技術を着実に高め、展開先を広げる戦略とする。

- ・ 2026 自社・同業種 年間 4 億円販売
- ・ 2027 他業種展開 年間 10 億円
- ・ 2028 食品加工、小売等に展開 年間 20 億円

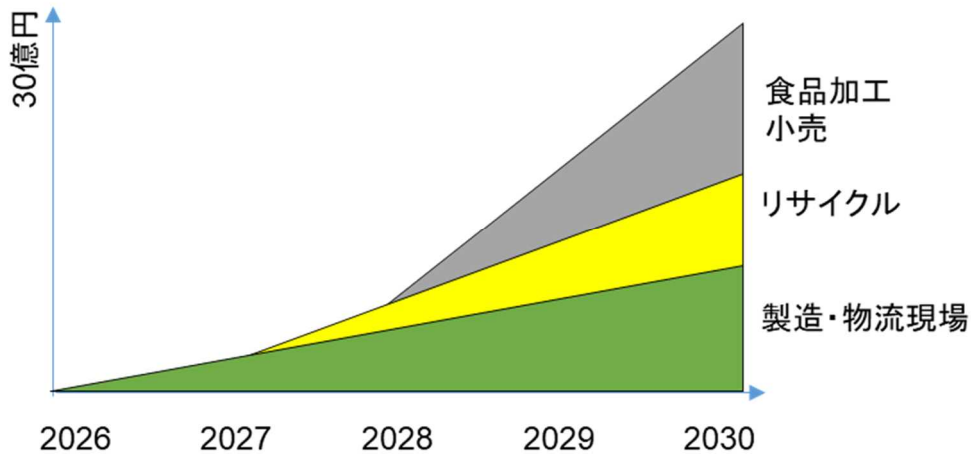


図 4-5. ターゲット市場予想

《ビジネスモデル》

従来のシステム販売以外に、プラットフォーム販売や RaaS モデルも検討する。

- ・ プラットフォーム販売：
典型的なタスクは DB からロードするだけで SI ができるため、お客様で SI が可能となる(ROBOCIP 連携)
- ・ RaaS モデル：
ロボットの稼働に応じて費用を請求するモデル



図 4-6. ビジネスモデル例

3. 果菜作物収穫システムの開発（ヤンマーホールディングス）

3. 1 汎用動作計画、ハンドリング技術

[ターゲット顧客層]

大玉トマト大規模施設栽培生産者（要件…温湯管/レールあり，通路：舗装）にて実用化を進めていく。

4. 自動配送ロボットによる配送サービスの実現

現在、人手で実施されている小売店や倉庫などから最終消費者に製品を配達するプロセスを、人間がほとんど、または全く関与せずに、ロボットにより最終消費者に商品を届けるようにすることで、急増する宅配需要による人手不足解消やコロナ時代に求められる非接触での宅配を実現することを目指す事業を創出できる。

配送ロボ事業は、ロボットの製造販売だけでなく、下記のように3つの領域にまたがった事業化が考えられる。得意な領域のみを専業とする企業もあれば、3つの領域をパッケージとして提供可能な企業も出現することが予想され、事業の裾野は極めて大きく、パナソニック ホールディングス、京セラコミュニケーションシステム、ZMP、LOMBY、TIS、Qbit Robotics、NTT ドコモ、佐川急便、日本郵便、東芝、本田技術研究所、楽天、ソフトバンク、アイシンといった業種の異なる様々な企業が事業化の検討を進めている。

- ・ ハード：ラストワンマイル搬送を行うための屋内外を走行可能なロボット
- ・ システム：複数の搬送ロボットを管理するためのマネジメントシステム。マネジメントシステムには、ロボットの状態（位置情報、バッテリー残量など）を管理する機能、ユーザのデマンドに応じて複数台を最適な経路で配車する機能、それらの機能を遠隔から管理（必要に応じて介入操作）する機能、ユーザから受注を受ける機能を含むものとする。
- ・ サービス：顧客に応じてハード、システムを活用した搬送サービスのオペレーション事業

2022年に入り、関連する動きも活発化しており、2月には民間主体による一般社団法人ロボットデリバリー協会が発足、4月には低速・小型の自動配送ロボットに関する制度化を含む「道路交通法の一部を改正する法律」が成立し、2023年までに施行される予定となっており、社会実装のスピードは今後ますます加速していくと期待される。

現在のラストワンマイル配送は完全に労働集約型の業務となっており、人件費が総コストの8～9割を占めている。国内デリバリー事業のシェア90%を占めるヤマトHD、SGHD、日本郵便のデリバリー事業売上高（約4兆3800億円）に対して、ラストワンマイル配送はサプライチェーンの中で最も人手とコストがかかることから、コスト率40%とすると、国内におけるラストワンマイル配送の国内市場が約2兆円であると考えられる。また近年では、宅配便取扱個数が毎年約10%増加している状況を鑑みると、今後ますますの市場拡大が予想される。

屋外を含むラストワンマイルの配送ロボットに関しては、既に海外などで先行するメーカ（Starship など）は存在しているものの、絶対的なチャンピオン企業が存在している状態ではないと考えられる。本事業で取り組む10台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムを開発することで、安全性・効率性の面で優位となり国内での社会実装の加速が期待できる。

P 2 0 0 1 6
P 2 0 0 1 8

「革新的ロボット研究開発基盤構築事業」基本計画

ロボット・AI 部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

2016 年 1 月、総合科学技術・イノベーション会議において「第 5 期科学技術基本計画」が策定され、2020 年度まで第 5 期基本計画に沿った科学技術政策を推進するとされている。当該計画では、未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組として、世界に先駆けた超スマート社会「Society 5.0」の実現を示すとともに、超スマート社会における競争力向上と基盤技術の戦略的強化について掲げ、新たな価値創出のコアとなる、ロボット等の強みを有する技術について、中長期的な視点から高い達成目標を設定し、その強化を図るとしている。

また、2019 年 7 月、内閣府、厚生労働省、文部科学省、経済産業省により合同で開催された「ロボットによる社会変革推進会議」の取り纏め（ロボットによる社会変革推進計画）では、国内需要よりも海外需要が拡大する中、国際競争力を強化していく上で、如何に国内でキープロダクトを育て、システムインテグレート能力を強化していくかが重要な課題であるとされている。今後プレイヤーが急拡大することが見込まれる中、将来の乱立に向けて、早い段階で、産業界が協調すべき領域を特定し、大学における基礎研究を活用しつつ、産学が連携して基礎・応用研究を実施していくための体制整備が必要であるとされており、国内ロボットメーカー等の主導によりアカデミアの基礎研究を促進、支援する本事業は政策的にも極めて重要な位置づけにある。

②我が国の状況

我が国のロボットの活用状況を見ると、1980 年代以降、製造現場を中心にロボットが急速に普及してきた。特に産業用ロボットについて、現在に至るまで日本のロボット産業は世界で高いシェアを保ってきたものの、近年、中国等のロボットメーカーや欧州の大学発ベンチャー等の追い上げにより、1990 年台後半から約 20 年で 30%近く低下し、現在は 60%弱となっている。また、導入先に着目すると、自動車産業が最大の導入先であり、近年は電気・エレクトロニクス産業でも同様の規模まで増加しているものの、食品、化粧品、医薬品といった、いわゆる三品産業等では導入があまり進んでいないといった点も大きな課題となっている。また、製造のみならず物流配送などの

モビリティ関連や、警備ロボットやコミュニケーションといったサービス関連分野においても新たなプレイヤーの参入が拡大している。

ロボットの研究開発は多岐の分野にわたるとともに、世界における開発スピードも加速している中、厳しい競争環境に晒されている。このため、各社が単独で基礎・応用研究を実施していくのではなく、協調すべき領域では協調し、従来とは異なる分野の技術シーズなども取り込みつつ、研究開発を進めていくことが、今後もロボットの開発において日本が世界をリードするためには不可欠である。

③世界の取組状況

世界の産業用ロボットの販売台数は、2013年から2017年の5年間で約2倍に増加しており、今後も年平均12%の増加が見込まれている。また、サービス関連・物流関連ロボットの市場も2026年には4兆円を超える規模となり、年平均25%以上の成長率での成長が見込まれている。

産業用ロボットの導入台数に着目すると、2012年には日本が1位であったが、2017年には中国が日本を抜いて1位となっており、6年間で約5倍に増加している。同様に、サービス関連・物流関連ロボットに関しても欧米中において様々な企業の参入拡大が続いている。

この他、欧州では、EUの「Horizon2020」において金融危機後のEU経済の土台を築くために、「研究室から産業へ、そして市場へ」を掲げ、産学連携によるイノベーション創出が進められており、ロボット分野については23のプロジェクトが実施されており、年間2億ユーロが助成されている。なかでもデンマークにおいては、オーデンセ市により技術クラスター「オーデンセロボティクス」が発足し、2019年2月時点で約120社のロボット関連企業や研究・教育機関及び投資機関・企業が参画するなど、ロボティクスに係る技術・経営を熟知したプロフェッショナル集団による基礎研究から市場参入までの一気通貫型支援を目指した、自治体による各種支援が実施されている。

④本事業のねらい

産業用ロボットは、日本経済を牽引する自動車産業や電機・エレクトロニクス産業で数多く導入されており、その技術は日本の産業を発展させていく上でも欠かせない基盤技術である。また、近年では労働力不足を背景に、サービス分野・物流分野におけるロボットの活用についても着目されており、今後もロボットの市場は拡大が見込まれている。

他方で、欧州や中国の追い上げにより、日本のロボット産業は極めて厳しい競争環境に晒されており、中長期的視点に立った、企業が投資しづらい

スクの高い基礎・応用研究を支援する必要がある。また、現状、日本の産業用ロボットメーカーにロボットのみを手掛ける企業はなく、数多くあるセグメントの一つがロボット分野となっているに過ぎず、基礎・応用研究に割くリソースは極めて限定的であるというのが実態である。そこで、これまで直接関わることの少なかった、ロボティクスとは異なる分野も含めた幅広い大学研究者等との連携を図りつつ、産学が連携した研究体制を構築し、産業界における協調領域について検討を進めながら研究開発を実施する必要があるが、これには、国の関与が不可欠である。

本事業では、中長期にわたり、産業用ロボットにおける重要技術について世界をリードし続けていくことを目指し、既存技術の改良・改善のアプローチのみならず、サイエンスの領域に立ち返った技術開発や、異分野の技術シーズの取り込み等によるイノベーションの創出、延いては国際競争力の強化をねらいとする。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業では 5 つの研究開発項目（汎用動作計画技術、ハンドリング関連技術、遠隔制御技術、ロボット新素材技術、自動配送ロボット）を定め、検証・評価を行う。各研究開発項目において、多品種少量生産現場や配送事業をはじめとするロボット未活用領域においても対応可能なロボットの実現に向け、ロボットメーカー等が自社の製品開発に適用可能となる要素技術を 8 件以上確立することを目標とする。研究開発項目ごとの最終目標及び中間目標については別紙 1 を参照。

さらに、各研究開発項目で得られた成果を統合したロボット試作機を製作し、実現場を模した環境での実証試験を行い、いずれも従来のロボットと比較して、「自動化率 30%向上」、「システムインテグレーションコストの 50%削減」を実現し、ロボットの更なる普及に資することを目標とする。

②アウトカム目標

本事業により得られた要素技術が活用されることで、ロボットの小型化・軽量化が進み、ロボット動作における消費電力削減を実現することを目標とする。また、最適なロボット動作計画を用いることで、無駄な動きを省いた効率的なロボットの動作を実現し、ロボット導入における省エネ化に寄与する。測定指標として、エネルギー効率について、現状（事業開始時）と比較して 1.5 倍とすることをアウトカム目標に掲げる。

③アウトカム目標達成に向けての取組

各研究開発項目において、国内ロボットメーカー等主導のもと、大学における基礎研究を活用しつつ、産学が連携して基礎・応用研究を実施する。その際、従来のアカデミアの分野に囚われることなく、異分野の技術シーズを積極的に取り込んでいくことに加えて、ロボット関連企業、大学や研究機関との間で人材交流等を行いながら、産学の連携体制で実施することにより、本事業で得られた研究成果の社会実装の確度を高める。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

研究開発項目①「汎用動作計画技術」

研究開発項目②「ハンドリング関連技術」

研究開発項目③「遠隔制御技術」

研究開発項目④「ロボット新素材技術」

研究開発項目⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」

なお、研究開発項目①～④についてはロボット産業における共通基盤となり得る協調領域の基礎・応用研究開発を支援するものであり、主として大学等研究機関が実施するものであるため、従来であれば、委託事業で実施すべき研究開発内容である。しかしながら、早期の実用化と普及を確実なものにするため、民間企業の積極的な関与を初期から得て推進することを目的に、助成事業として実施する（NEDO負担率：2/3）。

研究開発項目⑤については、配送分野に向けた応用研究開発及び実証を支援するものであり、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発であるため、助成事業として実施する（NEDO負担率：大企業1/2、助成、中堅・中小・ベンチャー企業2/3助成）。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）として、研究開発項目①～④についてはNEDO ロボット・AI部 竹葉 宏を、研究開発項目⑤についてはNEDO ロボット・AI部 鶴田 壮広を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDO は公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や

大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

（２）研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

PM は、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、テーマ間連携による相乗効果や相補的技術要素の整理等についても実施者含め検討を行う。

②技術分野における動向の把握・分析

プロジェクトで取り組む技術分野について、国内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等を調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査の効率化の観点から、必要に応じて本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

2020 年度から 2024 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2022 年度、事後評価を 2025 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(2) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第3号および第9号に基づき実施する。

(3) その他

本事業の実施を通じて、イノベーションの担い手として重要な若手研究員及び女性研究員の育成を支援することとする。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2020年6月 制定

(2) 2021年11月 改定：プロジェクトマネージャーの変更

(3) 2022年2月 改定：「自動走行ロボットを活用した新たな配送サービス実現に向けた技術開発事業（P20018）」を本事業の研究開発項目⑤として統合

(4) 2022年8月 改定：プロジェクトマネージャーの変更

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目①「汎用動作計画技術」

1. 研究開発の必要性

現状の産業用ロボットでは、一連の動作をプログラミングする「動作計画(ティーチング)」が必要であり、作業員の大きな負担や導入コストの増につながり、ロボットの導入拡大の障壁になっていた。この負担軽減は、多品種少量生産用途など従来導入が進んでいない産業分野でのロボット活用のためには必要不可欠である。

そこで本項目では、これまでロボットの導入が進んでこなかった分野へのロボットの導入を容易にすべく、ロボット作業に関わるデータベースの構築や、自動的かつ汎用的なロボットの動作計画技術に関する研究開発を行い、ロボット導入コストの削減を目指す。

2. 具体的な研究内容

- ① 産業用ロボットの把持動作、組立ノウハウ等に関するデータベースや、把持対象物の形状に関する画像データや重さ、触覚データといったロボットの作業対象物についてのデータベースを構築する。
- ② ①で構築するデータベースを活用して、作業計画の最適化に向けたロジックやアルゴリズムの開発を行い、ロボットシステム構築の実証を行う。実証に当たっては、併せてロボットシステムの評価方法についての検討を行う。

3. 達成目標

【中間目標】

各種データベースの構造を検討し、必要なデータの洗い出しを行う。また、ロボットシステムの評価方法を1件以上確立し、検証を行う。

【最終目標】

ロボット動作に関するデータベース及び作業対象物に関するデータベースを構築し、各種データベースを活用した最適化ロジックやアルゴリズムを1件以上構築する。さらに、インテグレーションコストの50%削減について検証を行う。また、ロボットシステムの評価方法について、規格化に向け着手する。

研究開発項目②「ハンドリング関連技術」

1. 研究開発の必要性

日本の人口減少等に伴う労働力不足を解消するために、産業用ロボットの導入が進んでいない分野にも裾野を広げることが求められている。しかしながら、三品産業（食品・化粧品・医薬品）や物流・サービス分野では、人手不足が深刻となっているにもかかわらず、少量生産への対応や不定形物の取り扱いが必要となるため、人手による作業をロボットが代替することは困難であり、これまでロボットの導入が進まなかった背景がある。

こうした課題の解決に向け、本項目では、把持・搬送できる対象物を増やし、ロボット適用範囲を拡大することを目的に、柔軟で汎用性のある、新たなハンドリング技術の開発を行う。

2. 具体的な研究内容

- ① 研究開発項目①と連携し、ロボットの把持対象物等のデータを計測できるよう、各種センシング技術を搭載したエンドエフェクタ等を開発する。
- ② 多品種少量生産への対応を見据え、研究開発項目①で構築するデータベースと連携して、各種対象物を安定的に把持することの可能なロボットハンドの要素技術開発を行う。さらに、対象物が不定形物であることも想定したハンドリング関連技術を開発する。

3. 達成目標

【中間目標】

把持対象物の情報計測を行うことの可能なセンシング機能を有するエンドエフェクタ等を開発し、10件以上の定型物・不定形物サンプルに対し、把持するモノの情報計測を実施する。さらに、定型物を把持する汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立する。

【最終目標】

研究開発項目①で構築するデータベースと連携し、不定形物を把持することの可能な汎用ロボットハンドの基幹部品となる要素技術を1件以上確立する。さらに、開発したロボットハンドを搭載した産業用ロボットを用いて、実現場を模した環境での実証試験を完了し、自動化率の30%向上について検証を行う。

研究開発項目③「遠隔制御技術」

1. 研究開発の必要性

生産現場では、工場内外にあるロボットを、快適・自在に制御できる技術が求められている。従来、工場内でロボットの配置換えを行う際、ロボットを制御する有線通信回線の敷設変更作業のため、長時間にわたり稼働停止する必要があった。

そこで、次世代無線通信技術等を活用した遠隔制御を導入することにより、ロボットの配置換えに伴う回線敷設作業を省略し、稼働停止時間を短縮することが可能となり、メンテナンスの高効率化、システム立上げ・段取り替え時間の短縮に貢献する。また、労働人口の減少に伴う人手不足、特に熟練工不足に対応する必要がある中、遠隔制御によるロボットの集中操作が求められており、高臨場感が得られる遠隔制御技術や遠隔操作支援技術の確立を目指す。

2. 具体的な研究内容

- ① 視覚、力覚、音声等を含む制御データに関し、通信遅延や擾乱があっても安心安全に制御できるよう、5G 通信等に対応した遠隔操作を安定的に可能とする信号伝達規格の開発を行う。
- ② 遠隔制御によるロボットの集中操作が求められることを見据え、操作遅延が人の感覚に与える影響を定量的に評価し、操作者の疲労が少ない通信方法の開発を行う。

3. 達成目標

【中間目標】

次世代の通信技術を活用したロボットの実現に必要な規格の検討を行い、5G 通信等に対応したロボットの遠隔制御に必要な基幹となる要素技術を 1 件以上確立する。また、ロボットの遠隔操作による遅延が人の感覚に与える影響の定量化に必要な指標を検討する。

【最終目標】

ロボットの遠隔作業の領域に応じた通信仕様の検討を行い、通信の多重化や通信断に強い仕組みを有する高度な遠隔制御技術を 1 件以上開発する。また、ロボット操縦者の身体疲労等を考慮したロボットの遠隔操作による人への影響に対する対応方針を 1 件以上確立する。

研究開発項目④「ロボット新素材技術」

1. 研究開発の必要性

現状、ケースやカバーといったロボットの外装部については樹脂化等による軽量化が実現できているものの、駆動部や構造部の軽量化の実現については、強度・剛性・耐熱性・耐久性の確保の点から技術的に実現できていない。

そこで本項目では、複合材料化や樹脂化等により重要素材の軽量化を実現し、ロボット新素材技術による省エネルギー化や導入コストの低減に貢献する。さらに、新たなセンサーデバイスの実装等に関する研究開発を実施し、信頼性向上、制御性能の付与、安全性能の向上等を図る。

2. 具体的な研究内容

- ① 駆動部（減速機・モータ・連結など）及び構造部（アームなど）それぞれについて、強度・剛性・耐熱性・耐久性など、ロボットとして主に必要な仕様を設定し、CFRP を含めた樹脂化や複合素材をベースにした複合材料化を進め、候補素材について駆動部及び構造部への適用可能性をシミュレーションや試作モデルで評価・検討する。
- ② 圧力・振動・温度などのセンサー材料をロボットに組み込む技術を開発するとともに、無線給電や自己発電を実現するための技術を開発する。

3. 達成目標

【中間目標】

ロボットの駆動部若しくは構造部のうち、ロボットの消費電力削減に寄与する項目を 2 件提示し、軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料の探索を行い、適用可能性を検証する。その上で、ロボットの軽量化・高性能化による性能を評価する指標を 1 件確立する。

【最終目標】

駆動部及び構造部の軽量化・高性能化に資する軽量素材や複合材料を 1 件以上開発する。また、ロボットの信頼性向上や制御性能の付与、安全性の向上に資するセンサーデバイスについて、基幹部品となる要素技術を 1 件以上確立する。さらに、開発したロボット新素材やセンサーデバイスを適用したロボット試作機を用いて、実現場を模した環境での実証試験を完了し、消費電力の 30% 減少について検証を行う。

研究開発項目⑤「自動配送ロボットによる配送サービスの実現」

1. 研究開発の必要性

新型コロナウイルス感染症による影響で、ラストワンマイル物流において、宅配要望の急増、配達員の感染等による影響により、ドライバー不足や配送の一時的な停滞が発生している。引き続き、国内においても新型コロナウイルス感染症による影響が懸念されており、ラストワンマイルにおける「遠隔・非対面・非接触」での配送ニーズ増加や配達員不足が見込まれる中での対応策として、自動走行ロボットを活用した新たな配送サービスの早期実現が求められている。

このような中、政府では成長戦略（2019年6月21日フォローアップ）において、具体的な政策として、「宅配等への活用が期待される自動走行ロボットの社会実装を目指し、2019年度内に道路使用許可の申請に対する取扱いの基準を策定するなどして実証のための枠組みの構築を行い、自動走行ロボットの公道上での実証を実現する。加えて、本格的な社会実装に向け、2019年度内に官民による協議会を立ち上げ、同協議会における議論も踏まえながら、ロードマップの策定及び社会受容性の向上のために必要な措置、必要なルールの在り方、求められる安全性等についての検討に着手する。」ことを掲げている。

さらに、内閣が設置した「新しい資本主義実現本部」による緊急提言（2021年11月8日付）では、「低速・小型の自動配送ロボットは、現行制度（道路運送車両法、道路交通法）には位置付けられていないが、自動配送サービスを早期に実現するため、道路運送車両には該当しないこととした上で、配送サービスの提供エリアや事業者の連絡先等について事前の届出を求め、安全管理義務に違反した場合には行政機関が措置を行えることとし、機体の安全性・信頼性の向上が図られるよう、産業界における自主基準や認証の仕組みの検討を促すこと等を前提に、次期通常国会に関連法案を提出する。」とあり、自動配送ロボット実現に向け、官民一体となり進めていく体制が構築されてきている。

自動走行ロボットの実用化を早期に実現し、有事においても物流サービスの維持を可能とすることで、サプライチェーンの強靱化を図るとともに、関連するビジネスエコシステムの醸成を図る。さらに、自動走行ロボットを活用した新たな配送サービス実現の観点から、社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討を実施する。

2. 具体的な研究内容

- ① 自動走行ロボットが屋外環境を安全に走行するための遠隔監視・操作システムの開発を行う。オペレータが少ない訓練時間で対応可能な監視操作シ

システムの開発、同時に複数台のロボットを監視できるシステムの開発、安定し遅延の少ない通信環境構築等を行う。

- ② 自動走行ロボットの自律移動機能開発を行う。GNSS や SLAM を用いた高精度な自己位置推定技術や走行に必要な事前準備の簡略化等を行う。
- ③ 安全・安心を示すエビデンスの収集、協調領域の整理（地図、メーカー・サービサーをまたいだ集中管理・遠隔制御システム等）を行う。

3. 達成目標

【中間目標】

開発成果を組み込んだ自動配送ロボットや遠隔制御システム等を用い、適切なリスクアセスメントを行った上で自動配送実証試験を行い、下記のうち 2 つ以上の目標を達成すること。

1. 2 台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムの開発
2. 月平均 100km 以上、あるいはのべ 400km 以上の走行
3. 限りなく実際のサービス実施環境に近い場所で、ロボットによる配送サービスのコンセプトが、実際に事業として顧客価値を提供するのかを検証するため、週 1 日以上、3 か月以上継続した荷物の配送・受領に相当する作業を実施。以下は例示であり、特定の地域や用途において以下の条件の下回っても継続的な事業化が可能となる場合はこの限りではない。
 - ① 都市部の人口密集地域：月あたり 100 件～170 件程度（2 台同時運用、週 3 日稼働時）
 - ② 郊外の低人口密度地域：月あたり 50 件～100 件程度（2 台同時運用、週 3 日稼働時）

【最終目標】

開発成果を組み込んだ自動配送ロボットや遠隔制御システム等を用い、適切なリスクアセスメントを行った上で自動配送実証試験を行い、下記のうち 2 つ以上の目標を達成すること。

1. 10 台以上のロボットを遠隔監視・操作可能なシステムの開発
2. 月平均 400km 以上、あるいはのべ 1600km 以上の走行
3. 実際にサービスインをする環境で、サービスとして実運用（プレ運用）し、事業としての運用可能性を検証するため、週 3 日以上、6 か月以上継続した荷物の配送・受領に相当する作業を実施。以下は例示であり、特定の地域や用途において以下の条件を下回っても継続的な事業化が可能となる場合はこの限りではない。
 - ① 都市部の人口密集地域：月あたり 300 件～500 件程度（2 台同時運用、週

3日稼働時)

- ② 郊外の低人口密度地域：月あたり150件～300件程度（2台同時運用、週3日稼働時）

(別紙2) 研究開発スケジュール



研究開発事業に係る技術評価書（事前評価）

（経済産業省）

事業名	革新的ロボット研究開発等基盤構築事業	
担当課室	製造産業局産業機械課ロボット政策室	
事業期間	令和2年度～令和6年度（5年間）	
概算要求額	令和2年 600（百万円）	
会計区分	一般会計	
実施形態	国→NEDO→民間団体等(2/3 補助), 国→民間団体等(定額補助)	
PJ / 制度	研究開発課題（プロジェクト）	
事業目的	世界の産業用ロボット市場では、近年、日本製のシェア低下に加えて、欧州の大学発ベンチャーが世界の人協働ロボットのシェア No.1 の地位を獲得するなど、ロボットを取り巻く環境は急激に変化している。また、海外では、革新的な技術開発を促進するため産学官による研究開発体制を構築し、ロボット技術の実用化を加速させる研究開発が進められている。本事業では、既に活用が進んでいる産業のみならず、ロボットを広く普及させ、人手不足を解消し、生産性を飛躍的に高めていくことを目指した研究開発を行う。	
事業概要 (アタビティ)	<p>ポットを広く普及させ、人手不足を解消し、生産性を飛躍的に高めていくことを目指した研究開発として、以下の取組を実施。</p> <p>① 多品種少量生産にも対応可能な産業用ロボットの実現に向けて、複数の異なる対象物のハンドリング等の要素技術について、産業界と大学等研究機関が協調しつつ研究を推進。その際には、サイエンスの領域にまで立ち返りつつ、異分野のシーズ等の取り込みを実施。</p> <p>② サービスロボットの社会実装に向けて、ユーザーの業務フローや施設環境の変革を含むロボットフレンドリーな環境の実現のため、メーカーのみならず、ユーザーやシステムインテグレーター等が連携し研究開発等を実施。</p>	
	アウトプット指標 <small>研究開発に係る活動の成果物。目的達成に向けた活動の水準。</small>	アウトプット目標
(指標 1) 共通要素技術の確立		(令和4年度(中間評価時)) 4件
(アウトプットの受け手) ロボットメーカー等企業		(令和6年度(終了時評価時)) 8件
	アウトカム指標 <small>研究開発に係る活動自体やそのアウトプットによって、その受け手に、研究開発を実施または推進する主体が意図する範囲でもたらされる効果・効用。</small>	アウトカム目標
(指標 1) 産業用ロボット市場		(令和13年度) 3兆円
(指標 2) ロボットの動作作業における省エネ化の達成		(令和13年度) 現状の1.5倍へ
外部有識者（産構審評価WG 又は NEDO 研究評価委員会）の所見【技術評価】		
<p>アウトプット目標として「共通要素技術の確立」を設定されているが、これでは本事業の課題や成果が見えてこない。このため「共通技術要素の確立」について、中間・事後評価で判定可能な具体的なアウトプット目標と具体的な内容を設定すること。</p> <p>〔第49回産業構造審議会評価ワーキンググループ〕</p>		
上記所見を踏まえた対処方針		
<p>本事業は、基礎・応用研究の実施を通じた要素技術の確立を目的とする、提案公募型の事業である。このため、当該要素技術の有用性を的確に判断するために、ユーザとなり得る産業界サイドが参画し、中間・事後評価で判定可能な具体的なアウトプット目標と具体的な内容を設定するものとする。また、中間評価時には、実施者が掲げる成果目標の妥当性について第三者からの評価を行うことで、上記所見に対応していく。</p>		

革新的ロボット研究開発等基盤構築事業

令和2年度概算要求額 6.0億円（新規）

製造産業局 ロボット政策室
03-3501-1049

事業の内容

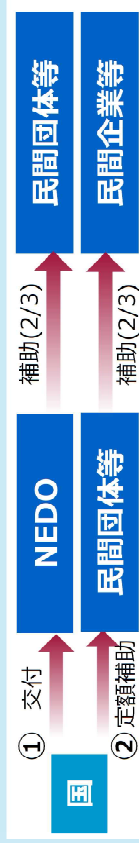
事業目的・概要

- 我が国の人手不足を解消するためには生産性を飛躍的に高めていくことが必要で、そのための有効な手段の一つであるロボット技術について、幅広い産業分野で導入を進めていきます。具体的には、以下の取組を実施します。
 - ① 多品種少量生産にも対応可能な産業用ロボットなど、ロボット導入が進んでいない分野に求められるロボットの実現に向けて、「ハンドリング関連技術」、「遠隔制御技術」、「ロボット新素材技術」、「汎用動作計画技術」などの要素技術について、産業界と大学等研究機関が協調しつつ、研究を推進します。
 - ② また、サービスロボットの社会実装に向けて、ユーザーの業務フローや施設環境の変革を含むロボットフレンドリーな環境の実現が必要です。このため、メーカーのみならず、ユーザーや情報通信企業等が連携し、研究開発等を実施します。

成果目標

- ①のプロジェクト終了時（2024年度）に、8つの新たな要素技術を確立。また、本事業の成果を活用し、2030年を目標に、ロボットの動作作業の省エネルギー化を目指します（効率を現状の1.5倍）。
- ②のプロジェクト終了時（2024年度）までに、少なくとも3業種において、ロボットフレンドリーな環境を備えた社会実装事例を創出します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

① 要素研究開発の例

ハンドリング関連技術

用途に応じた最適なエンドエフェクタ適用技術及びエンドエフェクタ知能化技術を確立し、ロボット把持技術の高度化を目指す。



(イメージ)

人の手の動きを模倣した機構

把持からモノ情報の取得・利用

(イメージ)

遠隔制御技術

あたかもその場にいるような高臨場感が得られる遠隔制御技術や遠隔操作支援技術を確立することで、遠隔における容易な動作を実現する。



(イメージ)

ロボット管理・操作のためのIF

(イメージ)

ロボット新素材技術

ロボットに用いられる素材の「軽い」、「小さい」、「柔らかい」の実現等により、トータルコスト（省エネ、導入コスト）の削減に繋げる。



(イメージ)

ロボット用センサーへの応用開発

汎用動作計画技術

ティーチングレスロボットを実現し、導入や仕様変更の負担が限りなく少ないロボットシステム導入技術の実現を目指す。



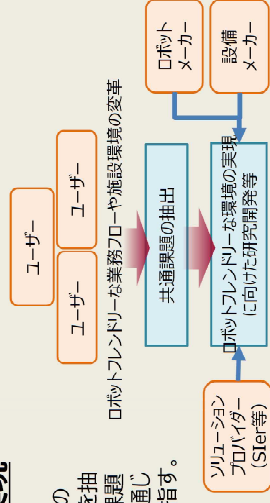
(イメージ)

学習による汎用作業計画作成

(イメージ)

② ロボットフレンドリーな環境の実現

ユーザーにおける業務フローや施設環境の変革を前提にユーザーにおける共通課題を抽出し、メーカーやStier等が協働して当該課題解決のための研究開発等を実施。これを通じ、ロボットフレンドリーな環境の実現を目指す。



「革新的ロボット研究開発基盤構築事業 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

2020年6月26日
NEDO
ロボット・AI部

NEDO POSTIにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
貴重なご意見をいただき、ありがとうございます。

1. パブリックコメント募集期間
2020年3月31日～2020年4月13日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計 2件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方
ご意見の概要

	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
1. 研究開発の目的 (3) 研究開発の内容		無し
[意見1] (1件) (別紙1) 研究開発項目①「汎用動作計画技術」について、「2. 研究開発の必要性」の第1パラグラフ、2行目に「動作計画（ティーチング）」と書かれてあるが、以下の観点で整理し、本計画に取り入れることが重要と考える。 (イ)『動作計画』と『ティーチング』は、異なるものであること (ロ)『ティーチング』が産業用ロボット導入の負担になっていること (ハ) (ロ) の解決策として、動作計画があること	現状の課題として従来の動作計画やティーチングでは負担になっていることを踏まえた記載であり、ご意見頂きましたとおり、本事業では産業用ロボット導入の負担軽減につながる動作計画技術の開発に取り組んで頂くことを想定しております。	無し
[意見2] (1件) (別紙1) 研究開発項目②「ハンドリング関連技術」について、研究開発項目①と研究開発項目②は、他の研究開発項目に比べて密接に関連しており、すずで、「2. 具体的な研究内容、①」において『研究開発項目①と連携』する旨の記述があるが、連携が必要不可欠であるに留まらず、研究開発項目②は、研究開発項目①のうちの重要なアプリケーション技術として考えるべきである。	ご意見頂きましたとおり、ハンドリング関連技術は動作計画技術のアプリケーションとしても期待されることから、基本計画にも記載のとおり、両項目間での連携が図られながら事業推進されることを想定しております。	無し

以上

〈添付資料 D : 特許論文等リスト〉

【特許】リスト例

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	パナソニックホームディングス(株)	特願 2020-185035	国内	2020/11/5	出願中	移動体	
2	パナソニックホームディングス(株)	特願 2020-185043	国内	2020/11/5	出願中	自己位置推定装置 および移動体	
3	パナソニックホームディングス(株)	中国 202111299157.5 米国 17/453035 欧州 21206363.0	PCT	2021/11/4	出願中	移動体 MOBILE OBJECT	
4	パナソニックホームディングス(株)	中国 202111299146.7 米国 17/453505 欧州 21206364.8	PCT	2021/11/4	出願中	自身位置估计装置 及移动体 SELF-POSITION ESTIMATION APPARATUS AND MOBILE OBJECT	
5	東北大学	特願 2021-201325	国内	2021/12/13	出願中	運搬装置	
6	パナソニックホームディングス(株)	特願 2022-029907	国内	2022/2/28	出願中	保持装置および保持 方法	
7	パナソニックホームディングス(株)	特願 2022-034501	国内	2022/3/7	出願中	物品保持装置	
8	パナソニックホームディングス(株)	意願 2022-004347	国内	2022/3/3	出願中	ロボットハンド	
9	東北大学	特願 2022-031799	国内	2022/3/2	出願中	巻き掛け伝動装置	
10	ヤンマーホールディングス(株)	特願 2021-174380	国内	2021/	出願中	吸着パッド	
11	ヤンマーホールディングス(株)	特願 2021-182695	国内	2021/	出願中	農作物操作装置	
12	ヤンマーホールディングス(株)	特願 2021-199854	国内	2021/	出願中	推定システム、実収穫 システム、枝茎推定シ ステム、学習システム、実 推定方法及び実推定 プログラム	

13	岡山大学、 ROBOCIP	特願 2022- 078971	国内	2022/2/12	出願中	ロボット動作計画支援システム、ロボット動作計画支援方法、およびコンピュータプログラム	
14	岡山大学、 ROBOCIP	特願 2022- 078972	国内	2022/2/12	出願中	ロボット制御システム、ロボット制御方法、およびコンピュータプログラム	

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】リスト例

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	陳浩、他	大阪大学	視覚情報に基づく把持データベースとの意味的かつ幾何的なマッチングによる未知物体把持	RSJ2021 レター	無	YYYY/MM/DD

【外部発表】リスト例

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	恩田一生、他	東北大学	多様分解性ロボット機構	第 39 回日本ロボット学会 学術講演会	2021/9/8
2	高橋優太、他	東北大学	後方崩し式ヘラ挿入用隙間生成メカニズム	第 2 2 回計測自動制御学会システムインテグレーション 部門講演会	2021/12/15
3	磯邊柚香、他	パナソニック ホールディングス(株)	大きさや硬さの異なる物体をつまみ上げ可能な画像を用いた ロボットハンド制御	第 27 回ロボティクスシンポジア	2022/3/16
4	高橋優太、他	東北大学	張力調整型柔剛体切替えヘラ機構	日本機械学会 Robomech 2022	2022/6/3
5	佐竹陽一、他	東北大学	流路内包型スプロケット機構	日本機械学会 Robomech 2022	2022/6/3
6	黒田和暉、他	大阪大学	Mixed Reality を用いた仮想環境上での組立作業の教示	SI2021	
7	川嶋太陽、他	岡山大学	逆強化学習による AGV のデッドロック回避経路計画問題に対する報酬設計	日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 2021	
8	野々山和樹、 他	岡山大学	遺伝的アルゴリズムを用いた双腕ロボットの PID ゲイン調整による省エネルギー動作計画	SCI'21	
9	野々山和樹、 他	岡山大学	Every-EfficientMotion Planning for Dual-Armed Robot by PID Gain Optimization with Genetic	CASE2021	

			Algorithm		
10	Zhengtao Hu、他	大阪大学	Reducing Uncertainty Using Placement and RegraspPlanning on a Triangular Corner Fixture	TASE2021	
11	Hao Chen、他	大阪大学	Vision-Based Novel Object Grasping based on Object-Semantics Matchingwith Grasp Database	RSJ2021	
12	金澤洸輝、他	東京工業大学	3D プリンタの産業応用に向けたロボットアームを用いた実践的検	SII2022	
13	Floris Erich、他	産業技術総合研究所	A Framework for 3D Scanning Using RGB-D Cameras and An Automated Rotary Table	SII2022	
14	竹田泰典、他	山形大学	ロボット分野へのフレキシブル有機センサ応用	JFlex2022	
15	Takuma Bando、他	岡山大学	Automatic Generation of Optimization Model using Process Mining and Petri Nets for Optimal Motion Planning of 6DOF anipulators	IEEE IROS 2022	
16	Hao Chen、他	大阪大学	Category-Association based Similarity Matching with Grasp Databasefor Novel Object Pick and Place Task	ICRA2022 + IEEE RA-L	
17	竹田泰典、他	山形大学	高感度フレキシブル圧力センサアレイを用いたロボットハンドの触覚機能	応用物理学会	
18	金澤洸輝、他	東京工業大学	産業応用に向けた 3D プリンタ製ロボット機構部品-第 3 報：造形中組立法と積み勾配法の提案	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022 in Sapporo	
19	牟田真尋、他	大阪大学	迅速な箱詰め作業のための投射物の状態を考慮したトス動作の学習	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022 in Sapporo	
20	Tomoya Kawabe、他	岡山大学	A Flexible Collision-Free Trajectory Planning for Multiple Robot Arms by Combining Q-Learning and RRT	IEEE CASE 2022 with RAL	
21	Kosuke Watanabe 、他	筑波大学	Handling-Design Method by Multi-primitive Recognition of Object Shape	IEEE CASE 2022 with RAL	
22	Tomoya Kawabe、他	岡山大学	A Flexible Collision-Free Trajectory Planning for Multiple Robot Arms by Combining Q-Learning and RRT	IEEE CASE 2022 with RAL	
23	Takuma Bando、他	岡山大学	Automatic Generation of Optimization Model using Process Mining and Petri Nets for Optimal Motion Planning of 6DOF anipulators	IEEE IROS 2022	

24	竹田泰典、他	山形大学	印刷型フレキシブル圧力センサアレイを用いたロボットハンドの触覚機能	ROBOMECH2022	
25	Md Moktadir Alam、他	岡山大学	Inclusion of Rapidly Exploring Random Tree based Optimal Motion Planning Algorithm for 6-DOF Industrial Robot	International Symposium on Flexible Automation 2022	
26	高橋哲平、他	岡山大学	PSO による消費エネルギーを考慮したロボットアームの動作計画と配置問題の同時最適化	システム制御情報学会研究発表講演会(SCI)2022	
27	板東巧真、他	岡山大学	ペトリネットを用いたプロセスマイニングによるロボットの動作計画最適化システム	システム制御情報学会研究発表講演会(SCI)2022	
28	大山裕士、他	岡山大学	ロボットアームのピックブレース動作のための機器選定決定支援システム	システム制御情報学会研究発表講演会(SCI)2022	

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	パナソニックホールディングス(株)、東北大学	平行グリップー開発 つかんだまま持ち変え パナ・東北大 柔らかい対象把持	日刊工業新聞 朝刊 22 面	2022/3/24