

1. スマートロボットの身体と制御システムの構築

2024年度までの進捗状況

1. 概要

現在のロボットハードウェアは、その精度と耐久性（剛性）を重視するがゆえに極めて硬く重くなり、例えば接客、家事、福祉、看護、医療など、日常生活において人の支援を行うための安全性の問題を本質的にクリアできません。そのため、ロボットハードウェアを構成部材、表皮、関節などを含めて本質的に“柔らかく”し、人の全身を支えられるパワーを有しつつ、衝突しても人間に危害が加わらない受動柔軟性を備えたアーム・移動機構および各種の道具を使うことが可能なハンドを有するロボットの身体を設計・製作します。具体的には、柔軟関節、柔軟皮膚、磁性流体アクチュエータ、高精度触覚センサに加えて、油剤・冷却剤・潤滑剤などの体液を身体に循環させることで自己修復・維持機能を持たせた、人と共存可能なドライ・ウェットハイブリッドスマートロボットを開発します（図1）。

磁性流体アクチュエータ

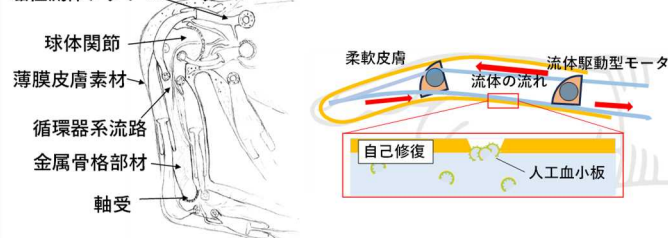


図1 隙間がなく自己修復機能を持つウェットロボットメカニズム

2. 2024年度までの成果

研究開発課題 1-1：人間との接触を伴う作業が可能なロボットシステムの構築

本プロジェクトで開発した世界最高水準の人共存型ドライロボット（Dry-AIREC）による人との物理的接触を伴う動作に関する各種実験を行うとともに、人の生体を模した新

しいドライ・ウェットハイブリッドスマートロボットの実現に向けて、以下の研究開発を実施しました。

・RGB 画像のみに依存せず、対象物の概念に基づくセマンティック情報を導入することで、未知の足の形状や背景環境にも対応可能であるようにモデルの汎化性を向上させ、加えて奥行き情報を用いることで、靴下と足の相対的位置関係の推定が容易となり、信頼性の高い靴下着衣動作を実現（図2）。



図2 靴下着衣支援動作

・全18自由度の回転型流体アクチュエータによるロボットシステム（上半身）のハードウェアを開発し、重量物持ち上げ実験を実施（図3）。3指+1親指で構成される4指流体駆動ロボットハンド（ホースレス、全14自由度）を開発し、空き缶の握り潰し実験を実施。（図4）。

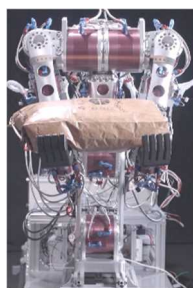


図3 回転型流体アクチュエータによるロボットシステム

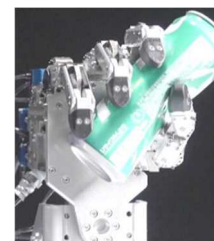


図4 4指流体駆動ロボットハンド

・流路の入ったハイドロゲル製の皮膚を硬い構造の周りに重合する技術開発を行い、皮膚内での液体循環を実現（図5）。

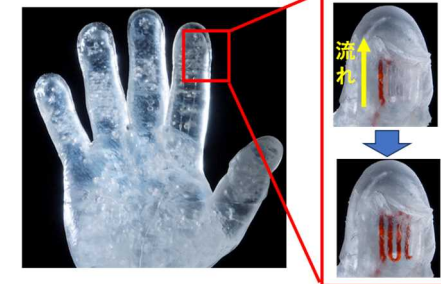


図5 流路を有するハイドロゲル皮膚

研究開発課題 1-2：スマートロボット用ミドルウェアの構築

RT System Integration Frameworkの改良を進め、複数物体への対応を考慮に入れた把持動作や健康モニタリング動作を実現しました。

研究開発課題 1-3：スマートロボットの頭脳を実現するコンパイラ協調低消費電力AIプロセッサの開発

深層予測学習処理の高速化を目指し、試験的に組み込みGPUを活用してDry-AIRECに実装し、評価の結果、高性能デスクトップPCと同等の動作を達成できました。

3. 今後の展開

引き続き、介護分野を中心に、人との接触を伴う各種応用場面を想定したDry-AIRECへのAI実装、回転式流体アクチュエータロボットによる重量物運搬等の機能検証、自己修復機能における人工血小板製造技術の向上や傷口への人工血小板の接着、ウェット型触覚センサの機能検証等を進めます。さらに、コンパイラ協調低消費電力AIプロセッサのDry-AIRECへの導入・検証など、ロボットハードウェア、ミドルウェア、AIチップの開発を統合的に進める予定です。

スマートロボットの知能システムの構築

2024年度の進捗状況

1. 概要

現在の人工知能技術において、最大の課題の一つとして「モラベックのパラドックス」が存在します。このパラドックスは、大人になって可能になる対話や論理推論に比べ、子供でも半無意識的に実行可能な作業が、最新の人工知能にとって非常に困難であるという矛盾を指摘しています。この問題は、近年の ChatGPT などの LLM（大規模言語モデル）の発展によってより顕在化し、Google DeepMind、OpenAI、テスラなど世界の AI のトップ企業が、LLM の次のターゲットとしての“（人型）ロボット”に着目し、2023 年には非常に大きな分野に発展しました。

本研究では、脳神経科学の知見を背景とした独自のアプローチである「深層予測学習」を活用し、人間の手作業、特に家事を支援するロボット知能の実現を目指します。深層予測学習は、深層学習技術を応用し、リアルタイムで高次元の感覚と運動の変化を予測し、予測誤差を最小化するためのフレームワークです。既に本手法によって、衣類や食材のハンドリング、家屋内での移動などのタスクを実現しており、今後も研究成果を拡大していく計画です。

2. 2024年度の成果

プロジェクトで開発した人間協調ロボット Dry-AIREC、その他のロボット群を用いて、複数の動作学習研究を展開しました。以下にその一部を示します。

1) 調理における複数動作の学習：ロボットが順を追って複数のタスク（例えば材料を認識してから調理動作を行うなど）を処理するため、物体の特徴を表現する「潜在空間」を持つ複数の深層学習モデルを活用した学習システムを提案しました。調理の一連の作業である「パスタやスープの注ぐ動作」と「かき混ぜる動作」を評価対象とし、注ぐ動作とかき混ぜる動作を連続して実行できることを確認しま

した。



図1 スープの注ぎとかき混ぜ動作

2) 動作高速化に関する研究：時間をかけて高品質なデータを収集し、その上で実際にロボットが動作する際には、モデルが現実世界の時間の数倍速で推論を行うことで、高速動作を実現する手法を提案しました。本手法により、教示段階でモデルに3倍速で推論させることで、実際のロボットがランダムに配置されたカップを、高速でかつ平均94%の成功率で積み上げることができることを確認しました。

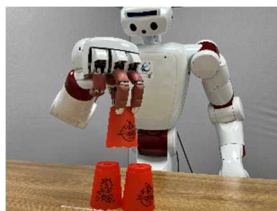


図2 深層予測学習の動作高速化実験

3) 多様な環境下での物体把持：AIREC に搭載した視覚からの力の分布推定に基づく複数商品のピッキング技術について、2025年3月7日に開催された日本科学技術未来館での公開シンポジウムや産業技術総合研究所のコンビニエンスストア模擬環境でのデモンストレーションなどを実施し、複数の人間がいる中で自律的にデモを継続するとともに、ピッキングの作業成功率は85%を超えることを確認しています。



図3 Dry-AIRECによるコンビニ環境下での物体把持検証

4) 転移学習のためのロボット基盤モデル構築：AI ロボットのタスク獲得プロセスの効率化を実現するロボット基盤の構築を目指して、簡易型の双腕モバイルマニピュレータ AIREC-Basic を製作し、ドラム式洗濯機内の洗濯物を取り出すタスクなどを例に、高難度タスク獲得基盤の開発・検証等を実施しています。



図4 AIREC-Basic と洗濯物取り出し実験

3. 今後の展開

2024年度から世界トップ AI 機関である英国エジンバラ大学が参画し、長期タスクを実現する階層的モーションプランニングに関する研究を実施しています。Dry-AIREC に実装し技術検証を進めるとともに、国際的な成果発信をしていきます。さらに、同じく2024年度から株式会社日立製作所が参画し、AIREC-Basic を用いたロボット基盤モデル構築に関する研究を進めています。今後は現実的な社会実装に向けて、多様なタスクの学習とデモンストレーションを行う予定です。

研究開発項目

3. スマートロボットの福祉・医療への展開技術の構築

2024年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目では、介護、看護、医療（診断・治療）が行われる施設、病院において、働く人や訪れた人たちを支援するスマートロボット（AIREC, AI-driven Robot for Embrace and Care）の実現を目指し研究開発を行なっています。このような場所では人とAIRECが互いに触れ合うため、AIRECはやさしく安全に動かなければならず、さらに、AIRECは治療などに使われる専用の各種道具を上手に使いこなさなければなりません。このような人との親和性、安全性などを考慮し、医療や福祉の現場で働けるAIRECの実現を目指し研究開発を行なっています。

2. 2024年度までの成果

① 健康モニタリングを実現する情報基盤システムの開発

体温や脈拍などの生体情報を取得し、どのメーカーのどんな機種からのデータでも将来的にクラウドで一括管理できるシステムのプロトタイプを構築しました。AIRECが日常生活の中で人に近づき、触れ、自然な形で生体情報を取得するためのAIREC用計測センサの開発を行いました。また、AIRECと生体情報管理システムが連携し、人と対話しながら健康モニタリングを行う実証実験を実施しました（図1）。



図1 健康モニタリング実証実験の様子

② 人に寄り添い、支えるロボットハンドスキンの開発

人の手に代わるバイオハイブリッド型ロボットスキンの実現を目指しています。傷ついても自己修復する機能を持つゲルや人の皮膚のようによく伸びるゲル（図2右）を開発しました。また、人の血管のようにロボットに必要な物質を運ぶ流路を埋め込んだゲル（図2左）も開発しています。

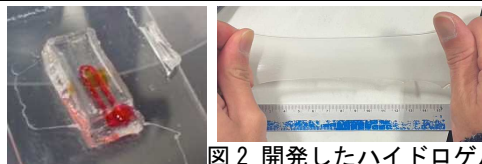


図2 開発したハイドロゲル

③ 病院の検査・施設案内をする機能の開発

AIRECが相手に寄り添った案内を行うために、骨格検知機能によって相手の身長や手の高さに合わせて手を差し出す機能を実装しました（図3）。また、AIRECがどちらに移動するかが周りの人にわかりやすいように進行方向に顔を向けLEDライトを光らせる機能を実装しました。



図3 骨格検知による手をとった案内

④ 5R（正しい；患者、薬剤、用量、用法、時間）を守って与薬・薬管理が可能な機能の開発

5Rを担保する与薬支援ソフトウェアとそれと連携するロボットシステムの開発を行っています。薬の入ったケースを正しい患者さんのもとへ運び、正しい薬が入っているか確認して渡すロボット動作を実装しました（図4）。



図4 ロボットによる与薬動作

⑤ 様々な場所で活用できるロボットハンドの開発

自己修復性のあるゲルとカメラ・感温性微粒子を組み合わせたゲルセンサを開発し、自己修復ゲルの傷を検知するAIを構築しました（図5左）。高精度な触診の実現を目指し、2指ハンドの振動伝搬による腫瘍等

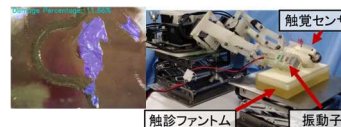


図5 傷検知AIと触診ハンド

判定AIを構築しました（図5右）。また、AIRECによって撮像した超音波画像に対する画質指標数値の分析を行い、力の情報と総合的に判断して超音波プローブ操作動作を生成するAIを構築しました（図6上左）。

⑥ 福祉・医療ロボット設計と品質保証・国際標準化・リスク管理

AIRECによる身体負担のかからない介護動作生成を目指し、仰臥位→側臥位の体位変換をする際の被介護者の動作の軌跡を体型に応じてモデル化しました（図6上右）。専門委員会を立ち上げ、AIRECのような汎用的なサービスロボットが医療に関わる際の安全基準について議論しました。

人を支えるロボットであるAIREC特有のリスク管理方法を検討するため、介護老人保健施設へのロボット導入による検証を開始しました（図6下）。支援対象やAIREC周辺環境の状況把握は必須であることが明らかになりました。また、AIRECが支援時に接触する際のリスクを見据え、触れた部位の硬さから腕の状態を把握する、フレキシブル変位センサと

力センサを組み合わせたロボットハンド用センサモジュールを試作しました。



図6 AIRECによる自動超音波プローブ操作(上左)と体位変換動作(上右)、体操支援(下)の様子

3. 今後の展開

今後は、これまでの開発成果のAIRECとの連携及びAI導入を行うことで、AIRECが人と触れ合いながら各機能を正確に自律的にを行い、社会で活躍するための研究開発を、社会倫理を考慮した上で進める予定です。

研究開発項目

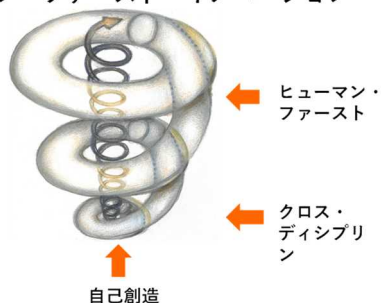
4. スマートロボットの実用化方策

2024年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目は、スマートロボットの実用化方策の提案を目的としています。この研究開発テーマの遂行により、プロジェクトが目指す「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」がグローバル社会において実現可能となり、ムーンショット目標3で目指すスマートロボットと共に暮らす未来の人間社会のよき実現に貢献します。この達成に向けては、地域や文化によるスマートロボットのニーズおよび社会受容性の差異が国際的な課題となっており、この点を挑戦的なテーマとして取り組んでいます。従来とはまったく異なる「ヒューマンファーストイノベーション」の発想で、倫理的・法的・社会的な課題(ELSI)の視点から、ケンブリッジ大学やスタンフォード大学などと連携し、理論的研究と国際比較調査を用いて取り組んでいます。プロジェクトが目指すスマートロボットの世界的な受容には、次の4つステップが必要となります。

ヒューマン・ファースト・イノベーション



高橋利枝(2019)『人工知能(AI)のもたらす新たなチャンスとリスク』、令和元年版情報通信白書、総務省、p.124。(画像デザイン：東京大学名誉教授 河口洋一郎氏)

①国際比較調査により、地域や文化の違いによるスマートロボットに関するニーズの抽出、社会受容性の理解。②多

様性とインクルージョンならびに倫理的・法的課題に配慮したスマートロボット開発原則の作成。③実証実験による設計・制御への反映。④利用者のスマートロボットリテラシーを向上するためのツールキットの開発。

2. 2024年度までの成果

ELSI の視点から世界に通用するスマートロボットの社会実装を実現する要件を明らかにするために、以下の3つの課題に取り組んできました。

1) 実践的課題：ELSI 視点の分析と方策の策定

・AI ロボット実装における ELSI 視点の分析と具体的方策の策定を行いました。この研究により社会実装における倫理的課題への対応指針を示しました。

・介護・コンビニ・家事等の導入場面ごとに、倫理的・法的・社会的側面からユースケースを分析し、倫理リスクアセスメント(ERA)と、チェックリストを作成しました。

・ERA では物理的・心理的・プライバシー・環境等のリスクを体系的に抽出し、AIREC の設計に反映する予定です。

2) 法的課題：自律・責任の再検討

・AI の自律性と責任を法的側面から考察しました。

・AI ロボットが意思決定に関与することで生じる「自律の揺らぎ」を指摘し、自律を抽象的属性ではなく、他者や文脈との関係性の中で再構築する必要性を提示しました。

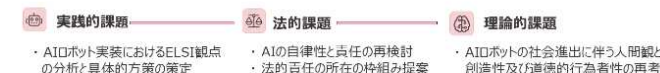
・AI 規制の国際比較を行いました。欧州、米国、日本、等を比較したうえで、AI ロボットの開発・利用に求められる国際的コンセンサスを確認しました。

3) 理論的課題：AI ロボットと人間の関係性のモデル構築
・技術的人工物の道徳的行為者性をめぐる技術哲学的研究、及び自律性と責任に関して研究を進めました。

・技術多様性論や、マルチスピーシーズ/モア・ザン・ヒューマンの人類学やデザイン研究をはじめとした、近代西洋中心主義的な人間観・技術観・自然観・生命観の限界を批判的に乗り越える試みを参照しつつ、AI ロボットと人間の善き関係をめぐる価値観提示の道筋を示しました。

・理論的自律性と実践的自律性の概念的区別を用いることで、社会システムに組み込まれた AI ロボットのデザインをめぐる問題と解決の指針として、メディア・アプローチを採用し、双方の関係性のモデルを構築しました。

AIロボットの社会実装のための倫理的・法的・社会的課題(ELSI)研究



研究の主要課題と成果



▶ AIロボットと人間が共存する社会の新たな人間観や倫理的枠組みの構築に貢献

3. 今後の展開

今後の3つの課題に対するアプローチを記載します。

1) 実践的課題：人との相互作用の観点から AI ロボットの現状分析を行い、大阪万博での AIREC デモンストレーションに反映させる実践的方策を作成します。

2) 法的課題：AI ロボットに支援されながら意思決定する際の個人の自由や自律性を確保する方法を検討し、適切な法規制や、ガイドラインの方向性を提示します。

3) 理論的課題：西洋中心主義的な人間理解を再考し、2050年にふさわしい人間の善き生を助ける AI ロボットとの関係について、オルタナティブな価値観を提示します。