

研究開発テーマ名

スマートロボットの身体と制御システムの構築

2022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）。

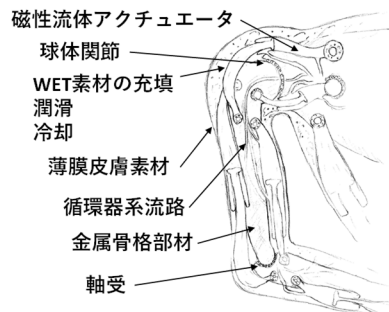


図1 隙間のないウェットロボットメカニズム

2. 2022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。

・画像処理による骨格認識に基づき、Dry-AIREC が身体に接触して行う介護・リハビリ動作として、関節の可動範囲拡張などに関する機能訓練の模擬動作実験を実施（図2）。



図2 関節可動範囲拡張動作と移乗介助動作

・ハンド部のアクチュエータとなる MRF ベーンモータ（モーター軸が回転する形式の磁気粘弾性流体モーター）を開発するとともに、ハンド部の機構設計を実施（図3）。

・自己修復用カプセルの製作方法を確立し、カプセル形状を得ることを確認（図4）。さらに、カプセルの吸着が可能な流路を製作する手法を構築し、ポンプを用いて流路内部で液体を循環できることを確認。

・伸縮性皮膚センサの信頼性向上のため、コイル状の銅線およびシリコンを使用することで、繰り返し引張に対する出力の安定化を確認（図5）。

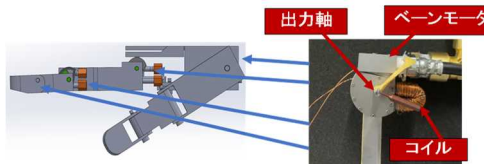


図3 MRF ベーンモータ駆動ロボットハンド

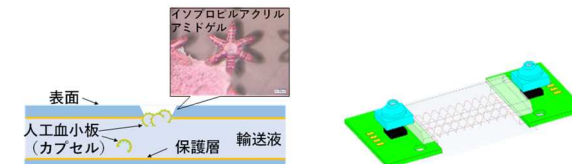


図4 自己修復用カプセルの製作
図5 伸縮性を有する皮膚センサ

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

OpenRTM と ROS 間の連携を行い、開発を進めているソフトウェアフレームワーク上で Dry-AIREC の動作を実現しました。マニピュレータの手先座標を用いた学習により物体把持を行うモジュールなどを Dry-AIREC に適用することにより、ロボットを変更しても同一の学習モデルが利用できることを確認しました。

研究開発課題 1-3：

スマートロボットに搭載する低消費電力 AI アクセラレータプロセッサチップに関して、その基本構成の設計を行い、さらに FPGA 上の設計検証兼予備評価環境を構築しました。また、基本構成設計から次年度のチップ製造に向けた設計情報を作成しました。

3. 今後の展開

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、流体駆動型上半身やハンドによる重量物ハンドリングの実験、自己修復機能におけるカプセルの吸着が可能な流路製作や造形精度の向上などを進めます。さらに、チップ製造に着手している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

2022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、高度な推論やパズル、チェスなどの作業に比べ、子供でも半無意識的に実行可能な作業が、最新の人工知能やロボット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。近年、歩行や走行などの運動、視覚や聴覚による認識、言語による対話など、多くのタスクにおいて著しい深層学習技術の進歩がありました。しかし、共通の手と触覚を用いた多様な実環境作業の遂行は、最新技術を有していても困難な課題であると言えます。

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. 2022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) 多指ハンドによる多様な物体のハンドリング：物体ピックアップは、多くのロボットの基本動作です。しかし研究の多くは画像を用いた把持に限定されています。本研究では前例がない挑戦的なタスクとして、384の触覚センサを持つハンドの4指の協調動作による多様な物体の掴み上げ動作を、提案する深層予測学習により実現し、論文誌 IEEE

RA-Letter、国際会議 ICRA2022 にて発表しました(図1)。

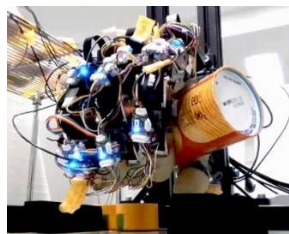


図1 多指の協調による多様な物体の掴み上げ動作の学習

2) 洗濯タスク：Dry-AIRECによる家事動作の一つとして、深層予測学習と注意機構を用いた、双腕協調による洗濯物ハンドリングを、ミュンヘン工科大学と共同で行ないました(図2左)。本動作の学習にはバイラテラル遠隔操縦装置を活用しています。さらに本研究成果を IEEE/RSJ IROS2022 にて展示しました(図2右)。

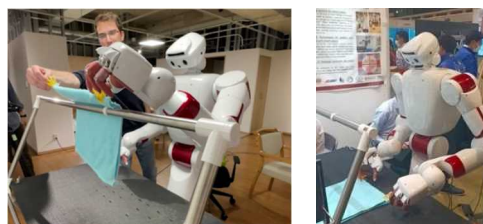


図2 Dry-AIRECによる洗濯補助動作学習

3) 言語運動学習：今後活用が必須となる ChatGPT などの学習済言語モデルと運動の統合を目的としたモデル研究を行いました。具体的には言語学習で得られたベクトル表現を、動作を学習した深層予測学習モデルに組み込む変換学習を行うモデルです。本成果を論文誌 IEEE RA-Letter、国際会議 IROS2022 にて発表し、若手研究者を対象とした SIYA-IROS2022 を受賞しました。

4) 仮想空間の利用 (Forcemap)：シミュレーション上の仮想世界では、視覚上把握できない情報を得ることができます。この性質を利用し、シミュレーションで複数物体を操作する際の力分布を予測可能なモデルを構築しました(国際会議 IROS2023 採択)。図3は複数の物体画像から接触力分布を可視化した結果です。適切な予測が可能となっていることを確認しました。

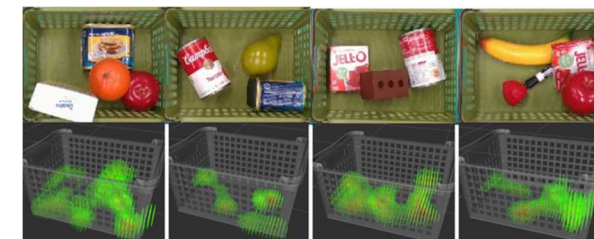


図3 物体間の接触を推論(可視化)

5) 自由エネルギー原理に基づくモデル拡張：脳神経科学の分野を背景とした、予測符号化・自由エネルギー原理の理論に基づき、変分ベイズ・リカレントニューラルネットワーク (PV-RNN) を構築しました。実ロボットデータを利用し、現在の深層予測学習モデルのアップデートを進めています。

3. 今後の展開

2023年度は、深層予測学習のオープンソースソフトウェア EIPL (Embodied Intelligence with Deep Predictive Learning) を公開します。また Dry-AIREC の台数を増やすことで、さらに多様なタスクを実現します。加えて、Forcemap の実ロボット応用、PV-RNN モデルによる深層学習モデル拡張を行います。また、2022年度に早稲田大学と MOU を締結した英国アランチューリング研究所との共同研究を本格的に展開していく予定です。

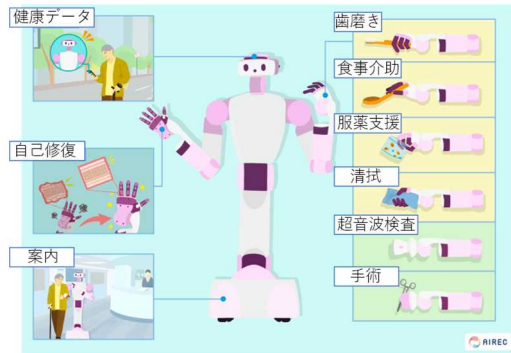
研究開発テーマ名

スマートロボットの福祉・医療への展開技術の構築

2022年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発テーマでは、介護、看護、医療（診断・治療）が行われる施設、病院において、働く人や訪れた人々を支援するスマートロボット（AIREC, AI-driven Robot for Embrace and Care）の実現を目指した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くてはならず、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. 2022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**
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し健康管理を行うために、大容量・超高速データ処理の負荷に耐える高機能なサーバーを構築し、他のデータベースとの互換性が高いデータ形式でデータを蓄積しています。介護老人保健施設等での情報取得に関する

実証実験を開始しました。

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。水素結合性材料の特徴に着目し、人と接するのに適した弾性や接着力、高い伸展性や自己修復性を持つ材料（ゲル）の開発と開発したゲルの特性評価を実施しました。（図1左）

③ **病院の検査・施設案内をする機能の開発**
検診施設で、ロボットが各検査室への案内を行う実証実験を実施しました（35件）。本実証実験により、AIREC が人に“やさしく”案内する際の要求機能や課題などが明確になりました。

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**
現状の介護・医療現場での看護師や介護士の与薬に関するニーズ調査と開発する与薬管理システムの要件定義を行い、システムのプロトタイプを開発しました。

⑤ **様々な場所で活用できるロボットハンドの開発**
AIREC に専用のハンドを取り付け、口腔ケアを行うシナリオを作成し、機能の模擬動作を実施しました。（図1中）また、診察（触診・手当）を可能とするハンド開発のため、皮膚科での触診動作を解析し患部の重症度の判定に不可欠なやわらかさ5段階や表面特徴3種類を触診判定可能なAIの構築（図1(右)）と視触覚センサの原理検証を行いました。

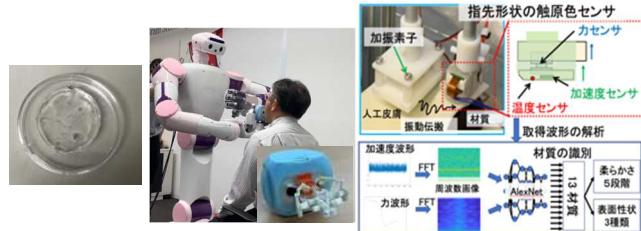


図1(左)開発したハイドロゲル(中)口腔ケア用ハンドと実機テストの様子(右)構築した触診AI

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 による支援についてのシナリオの作成とリスクマネジメントのためのリスクリストの作成、標準化を意識した AIREC 導入後の実証実験における検証項目の検討を行いました。特に人に寄り添った支援において今後需要が高くなる医療機器を取り扱うホームロボットは新たな標準の枠組みが必要であり、そのあり方に関するガイドライン準備委員会を発足しました。また、実際の介護施設のインシデントレポートを元にリスクマネジメントにおける課題を整理しました。介護老人保健施設に複数人を対象とした位置検知システムを設置し、リスクマネジメント・安全性、品質保証のための継続的なデータ収集および解析を可能としました。さらに、同施設に AIREC を導入し、体操支援、会話機能の一部を実施・評価するとともに（図2（左））、支援対象となる高齢者の身体的な特徴を評価するための要素技術研究（図2（右））を実施しました。

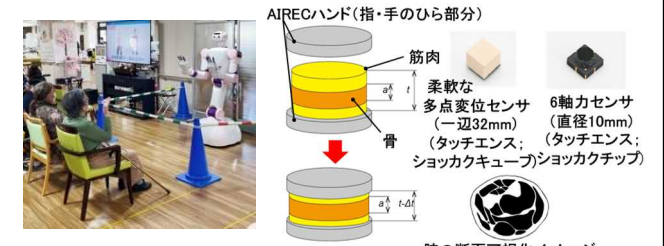


図2(左)介護老人保健施設に AIREC を導入した様子(右)AIREC ハンドで腕の状態評価を目指した硬さ計測法

3. 今後の展開

今後は、これまで行ってきた環境整備や基盤開発成果の AIREC との連携及び AI 導入を行うことで、各機能を正確に自律的に行えるようにし、さらに AIREC が社会で活躍するための社会倫理を考慮した研究開発を進める予定です。