研究開発項目

1．人・ロボット共進化 AI 開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目では、過剰な支援を行わず人の残存・潜在能力を活かし、あくまでヒトが自ら行動することを促す AI ロボットのふるまいを設計することを目的としている。利用者に「このロボットがいれば自分でできる」と感じさせて主体的な行動を誘発するとともに、最終的には「このロボットがいなくても自分でできる」と思わせ、様々なことに挑戦する活力を創造する。

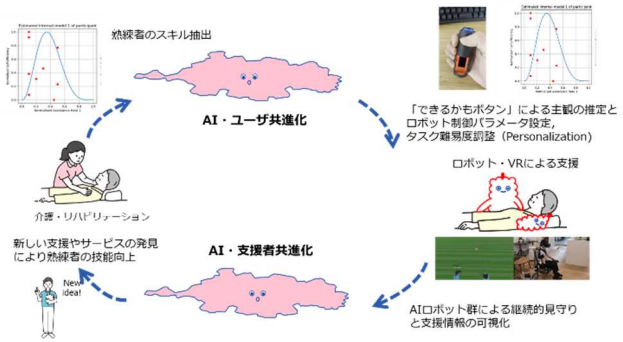
その目的のために『自己効力感』という、自分の行動に対する可能性の認知（主観）に着目し研究を進め、個人の自己効力感を向上させ、様々な動作・タスクに挑戦することを促す AI ロボットを開発する。

2．これまでの主な成果

2023 年度は、介護現場での活用を目的とし、被介護者の自己効力感を向上させ、様々なタスクやリハビリテーションに挑戦するための訓練システムの開発を目指してきた。人の自己効力感を向上させる支援は、熟練の介護士スキルの暗黙知を形式知化し、それをロボットによって実現することが有効であるが、それに加えて、個人の主観（自己効力感など）を適切に把握し、ロボットや訓練システムの支援パラメータを調整することが必要となる。

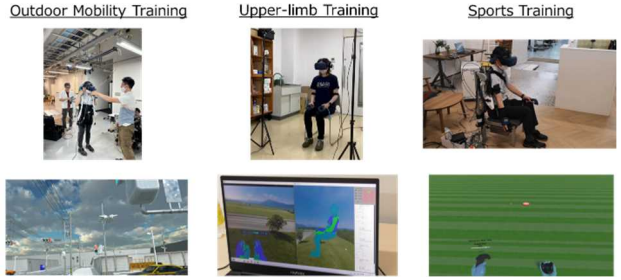
一方で個人の主観を推定し、それに基づいてシステムの支援パラメータを個人に適応させることは非常に挑戦的かつ困難な課題である。また、タスクの実現においても、単に成功体験を積ませるだけでは自己効力感は向上せず、簡単すぎずに達成できる「良い成功」を繰り返すことや、ぎりぎり成功に達しない「良い失敗」を適切なタイミングで発生させることが必要となり、成功・失敗体験を自在に調整できる訓練システムの実現も非常に挑戦的な研究開発課題である。

本研究開発項目では、まず熟練者の介護スキルの暗黙知を形式知化するとともに、それを人の主観推定に基づき個人適応し、ロボットによって支援を行う「AI・ユーザ共進化」フレームワークを構築した。特に、人の主観を推定するために、「できるかもボタン」という簡易でありながら、ユーザの「タスクに対する自信」を把握するインタフェースを開発した。これにより、タスク後のアンケート等に頼ることなくリアルタイムで個人の主観を推定し、適切な個人適応できる AI ロボット制御パラメータ決定フレームワークを構築した。



また、研究開発項目 2 で開発している Robotic Nimbus の要素技術（雲のようなふわふわ感創出技術）による身体補助と Virtual Reality (VR) を連携活用し、良い成功・良い失敗体験を創出することが可能な訓練システムを開発した。訓練システムは、屋外での歩行を体験するシステム、日々の生活を支援するための上肢訓練システム、スポーツ訓練を行うシステム等を開発し、様々な動作、状況においての訓練をサポートする。これらの訓練システムでは、物理的な支援パラメータを適切に調整し、過剰な支援を行わず適度な支援を行うことで、自分で体を動かしているという感覚を持たせるとともに、タスクの成功率を向上させる技術を構築した。また、VR システム内でのタスクにおいて、個人のタスク成功率の推定とタスク難易度を自在に調整する技術を構築することができた。

このような VR による視覚的錯覚と物理的支援による触覚的錯覚を融合し、かつ人の主観を推定しながらその制御パラメータを調整することができる訓練システムは、現在のリハビリテーション等では実現できていない世界初の画期的な取り組みである。



Variety of VR/Robot Training

3．今後の展開

2023 年度に構築した AI・ユーザ共進化フレームワークと、VR・物理支援融合型訓練システムを用いて、タスクの難易度を適切に調整し、各ユーザに応じて成功確率を調整することで自己効力感向上を実現するアシスト技術を開発する。

また、AI ロボット群による継続的な見守りと支援技術の可視化により、介護士等の熟練者が今まで気づかなかった支援やサービスの発見により、熟練者の技能を向上させる「AI・支援者共進化」フレームワークを構築し、2023 年度に構築した「AI・ユーザ共進化」との好循環ループを実現する。

研究開発項目

2．適応自在 AI ロボット開発

2023年度までの進捗状況

1．概要

本研究開発項目では、ヒトや環境に自由自在に適応することを目的として、柔らかくも固くもなり、しなやかさも調整が可能なアクチュエータ・機構を持つロボットハードウエア開発と、それらハードウエアに適応したセンシング・制御技術開発を行っている。

人の意図や行動を推定する技術と、人の目的やその人の体格・障がいの程度等に応じて、ロボットの形状や形態を変形させる適応自在 AI ロボットの開発を進めており、Robotic Nimbus という雲のように柔らかく変形し、筋斗雲のように人の意図に基づいて、人の運動機能を拡張させることが可能なロボットコンセプトを提案した。

2．これまでの主な成果

人それぞれ異なる身体的な障がいや、苦手な運動・動作に対して、それを克服できる物理的支援を提供するロボットハードウエアを開発するためには、1 台の高機能なロボットを構築するだけでは人の個別性や使用時の環境・目的すべてに適応することは困難である。そこで、本テーマでは、雲のように自由自在に変形し、くっついたり、はなれたりしながら、その人の状態（体格、障がい等）や環境・目的に合わせた支援を提供できる Nimbus Elements と呼ぶロボットハードウエア要素技術を開発した。

Nimbus Elements の自由な組み合わせにより自在に形状・機能を組み換え可能とし、目的に応じた支援を提供することにより、様々な形状・形態を有するロボット群が実現できる。また、雲のような柔らかい特性が Nimbus Elements 同士の協調制御を容易にするとともに、Nimbus Elements で構成されたロボット群の複数の協調動作をも容易にすることが可能である。

2023 年度は、支援形態（掴む、抱える、動かす、操る等）に応じた動作プリミティブを実現するために、Comfort Element（温度・湿度等調整）、Actuation Element（軽アシスト）、Holding Element（ヒトを抱える）、Gasping Element（モノを掴む）、Moving Element（ヒト・モノを動かす）、Supporting Element（ヒトを支える・移動を支援する）、Manipulation Element（モノを操る）等の Nimbus Elements を開発した。

モノの取り扱いでは、剛体・定型物から柔軟・不定形物の扱いを実現するという挑戦的な課題があることに加えて、ヒトは柔らかいだけでなく、繊細に扱うとともに安定して支えるべき対象であることから、従来のロボットハードウエアの発展ではなく、柔らかくも固くもなり、しなやかさも調整が可能なアクチュエータ・機構を持つ新しいロボットハードウエア開発が必要となる。

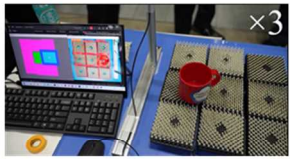
2023 年度は、世界初のロボットハードウエア要素技術として、人の体型に沿った優しい包み込みと体幹保持を両立する技術（重剛切り替え機構）、柔軟性と重量物搬送を両立する技術、人が装着できる軽量さと体幹や腕・足の姿勢を保持できるほどの剛性を両立する技術（重剛切り替え機構）、人の快適性を調整する温度・湿度・摩擦係数変化型スキン技術、人の身長や姿勢に応じた伸縮自在機構（オリジナルの長さから 2 倍程度の伸縮）等を実現している。

また、筋斗雲のように意思通りに動かすことができ、自身の能力を拡張してくれる存在が、新しい活動への挑戦を促すことを目指し、人の状態をセンシングし、自身の身体拡張を実感できるような物体マニピュレーション技術を開発するとともに、雲のようなふわふわした支援を提供するロボットが体の一部のように感じ、違和感のない（自分で動いていると感じる）支援動作を実現する技術を開発した。

Comfort/Sensing Element

Actuation Element

Holding Element



Moving Element

Supporting Element

Manipulation Element

3．今後の展開

- 開発した Nimbus Elements を適切に統合し、様々な Robotics Nimbus プロトタイプを開発する。
- 社会実装の観点から策定された介護ロボット支援シナリオを実現するための支援動作・タスクを抽出し、開発した Robotics Nimbus プロトタイプ群を適切に連携させることで実現する。
- 具体化した支援動作・タスクの達成度合いをリビングラボにて検証する。

研究開発項目

3．共進化 AI ロボット群社会実装

2023年度までの進捗状況

1．概要

本研究開発項目では、誰もが、いつでも、どこでも安心して AI ロボットを使うことが当たり前となるために必要な技術開発として、「人・環境」に適応し、アシストプラン・機能を自己的に改変する自己組織化的社会実装 AI、すなわち、どの AI ロボットが、いつ、どこで、だれの、何を、どのように支援するかを自動決定するシミュレーション技術を開発する。

また、社会実装のために必要となる実証実験環境（リビングラボ）の整備と社会実装シナリオ作成や、標準化を見据えた開発コンセプト設計、安全評価基準とリスク・アセスメント手法の構築、個人情報保護等の ELSI に関する問題に取り組む。

2．これまでの主な成果

新しいロボットを社会実装するための標準化・ELSI 戦略や実証現場の整備、複数 AI ロボット協調運用技術構築、システムインテグレーションを想定したシミュレータの整備等の研究はもちろんのこと、研究開発項目３にて構築されるデータセットを研究開発項目１と共有する枠組みや、研究開発項目２の適応自在 AI ロボット群の制御・運用方法等を検討することで、実証実験を想定した密な連携を行ってきた。

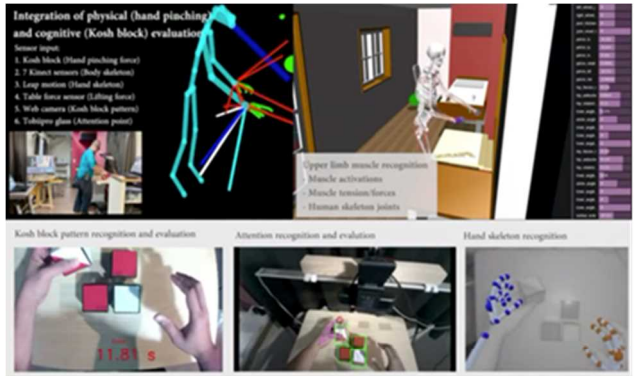
また、本プロジェクトで開発するロボットのコンセプト設計・分析、倫理遵守、リスク評価等を行う ELSI/RRI の実践に向けた組織的開発の体制を IEEE SA 7000 に準拠して整備するとともに、人・ロボット・AI をインテグレーションするために、ステークホルダー間の関係性や、関係性から抽出されるペインポイントの抽出をした上で、SRDM (Service Robot Design Matrix)に基づき、社会実装シナリオを策定する支援ツールの開発を行った。

さらに、自己組織化的社会実装 AI の要素技術として、様々なセンサ群を配置した生活機能測定リビングラボを構築した。このリビングラボは、この中で活動することで、自分自身が「何ができるのか」、「何ができないか」をしっかりと理解し、さらに「何ができるようになりたいか」を理解するための空間となっている。例えば、ミクロ解析として動作・視線計測、筋活動推定が実現でき、メゾ解析として物体操作、行動解析、マクロ解析としてタスク遂行評価などが実現できる世界初の画期的な空間となっている。

さらに、生活機能測定リビングラボでの解析結果を基に AI ロボット群協調計画シミュレーションを行うとともに、IoT に基づくロボット群・センサ群・インタフェース群・その他デバイス群の連携を実現する共通 OS を用いた複数ロボット群・センサ群制御フレームワークを構築し、そのフレームワークを用いた実証実験を国立長寿医療研究センターに設置されたリビングラボやリハビリテーションルームで行った。

加えて、プライバシーを考慮した介護現場における活動データセットの構築を目指し、人の実際の活動の状況を仮想環境とアバターで表現した。また、視線、心拍等の生体・生理情報をあわせて計測するとともに、合成音声・生活音等と合わせてデータセットとして提供することを目指した要素技術開発を進めている。

さらに、国際連携として ETHZ とライフログ技術の開発やロボット・センサ協調制御技術（ROS-Healthcare）の開発を行った。パリ・サクレー大学とは、カナダ、南アフリカの大学等とも連携し、人が積極的に社会参加するための一つの取り組みとして、AI ロボットがダンスを支援するインクルーシブ・ダンスイベントを開催した。



Individuals' capabilities Analysis

Smarter Inclusive Dance

3．今後の展開

- 社会実装の観点から介護ロボットによる支援シナリオを策定し、そこから導かれる必要な支援動作・タスクを具体化する。
- どの AI ロボットが、いつ、どこで、だれの、何を、どのように支援するかを自動決定するシミュレーション技術を開発する。
- Robotic Nimbus 社会実装にむけた運用シナリオ策定、機能・倫理的評価、介護 AI ロボット標準化を目指した取り組みを推進する。