



## ムーンショット目標3

2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し  
人と共生するロボットを実現

# 実施状況報告書

## 2024年度版

---

活力ある社会を創る適応自在

AIロボット群

---

**平田 泰久**

東北大学 大学院工学研究科



## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

本研究プロジェクトでは、商業施設、文化施設、観光施設、スポーツ施設、介護施設、病院、保育施設等の様々な場所に AI ロボット群を配置し、個人の状態や目的に合わせて選択され、その形態・機能が変化し、ユーザの個人適応モデルが引き継がれ、どのロボットも個人にとって適切なふるまいを行うことで様々なサービスを提供することを目指す。本研究開発プロジェクトではこのような個人に適応してサービスを提供する AI ロボットを適応自在 AI ロボットと呼ぶ。適応自在 AI ロボット群によるサービスの提供により個人の自己効力感が向上し、誰もが主体的に社会参画できると感じ、自身の行動が変わることを 2050 年の目標としている。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

本プロジェクトでは、介護現場において個々の利用者の状態や目的に応じて最適なサービスを提供できる「適応自在 AI ロボット」の構築を目指している。当該年度は、利用者の健康状態や動作をリアルタイムで解析し、必要な支援内容を自動的に調整する AI の開発を進めた。さらに、介護施設での実証実験を通じて、ロボットが移動補助や作業支援、リハビリテーション支援など多岐にわたる介護シーンで柔軟に対応できるフレームワークを実現した。これにより、施設利用者の身体的・精神的負担を軽減し、介護スタッフの業務効率向上にも寄与する具体的な道筋が見えた。また、介護現場から得られたフィードバックをもとに、サービスの精度と安全性の向上にも継続して取り組んでいる。加えて、リハビリ支援を目的とした Nimbus Robots では、人の体型や動作に柔軟に対応し、心理的支援効果も重視した先進的な設計を行った。さらに、複数のロボットやデバイスが協調して動作するフレームワーク「ROS Healthcare」を活用し、効率的で拡張性のある支援基盤が構築されており、実際のデモンストレーションも可能になった。企業や自治体と連携し、在宅での実証プロジェクト「ムーンショットチャレンジハウス構想」の取り組みを開始し、今後、成果の社会実装を目指す。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

研究開発項目ごとの進捗管理とともに、各項目の統合と実証を計画的に推進した。2025 年度に向けて、介護施設や在宅での活用を目指した技術統合と実証実験が進められており、AI ロボットの社会的な適用シナリオを明確にするための検証設備やデータ管理手法も整備している。また、AI ロボットの倫理評価については、IEEE Standards Association での標準化準備が進行中であり、国際的な議論にも参画している。ムーンショットチャレンジハウス構想における各企業・自治体との協力により、社会実装を視野に入れたプロジェクトマネジメントが進行しており、計画以上の成果を上げている。さらに、仮想環境を用いたデジタル・ツインの活用によるリスク低減や、ユーザの習熟度に依存しない操作性の確保など、社会実装に向けた課題抽出も行っており、今後の進展が期待される。産学連携にも力を入れており、20 以上の会社（福祉ロボット関係、センサ関係、基盤技術関係、住宅・施設関係、福祉用具関係、福祉事業者関係など）とコンタクトを取り、一部の会社とは連携を進めている。国際連携では、フランス、カナダとの大学との共同研究

を継続しており、フランスの大学と障がい者・健常者問わず楽しめるインクルーシブ・ダンスプロジェクトを進めている。さらにスイスの大学とは、ライフログとロボット連携の国際標準化に向けた取り組みを行うとともに、WHO にも協力いただき、ロボット支援を想定した活動量評価指標の検討も開始した。アウトリーチ活動では、プレスリリースを積極的に行い、本成果に関する数多くの取材を受けた。また、ロボット系の学会での招待講演はもちろんのこと、介護系の学会、ELSI 系の学会から招待講演を依頼されるなど、学際的な観点からプロジェクトが推進できている。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

### (1) 研究開発項目1: 人・ロボット共進化 AI 研究開発

#### 研究開発課題1: 成功体験マネージャー

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、様々な施設や生活環境等から得られるマルチモダリティデータセットを用いて人のふるまいを推定するユーザモデルを構築するとともに、ユーザの「やってみようと思う」感覚の推定や認知バイアスによる誤った主観的認識を推定する個人適応モデルの構築を行う。そして、ユーザの主観的な成功体験記憶を推定・モデル化し、成功体験が少ない場合には、過去の記憶を再生し、追加体験させることを目指す。

令和 6 年度(2024 年度)では、2023 年度に開発した成功体験創出プラットフォーム(Virtual Reality(VR)技術および Augmented Reality(AR)技術と、Robotic Nimbus 技術を統合したプラットフォーム)を活用し、以下の 3 つの研究開発項目を実施した。(1)「VR/AR と Robotics Nimbus を統合した成功体験創出プラットフォームによる自己効力感・運動パフォーマンスのデータ収集の加速化」、(2)「成功体験のアシストパラメータと自己効力感／運動パフォーマンスの関係性モデリング法の確立」、(3)「ユーザ間比較に基づくアシストパラメータの変動戦略のカテゴリ化と個人適応法の確立」を行った。

また、これらの研究開発項目を実施するにあたり、令和 4 年度までに構築した大規模機械学習プラットフォームを活用し、研究開発項目 3「共進化 AI ロボット群」グループが開発した日常生活行動の観察・分析・予測プラットフォームとも連携を取りつつ、プロジェクト全体でのデータを相互利用できる体制を構築した。

課題推進者: 稲邑 哲也(玉川大学)

研究開発課題2: (令和 5 年度で本課題は中止し、課題 1, 4, 5 が補完したため欠番)

研究開発課題 3: (項目3課題 4 へ統合したため欠番)

#### 研究開発課題 4: アシストプランナー

当該年度実施内容:

当該年度は、アシストプランナーとその実証プラットフォームの社会実装に向け、臨床機関や生活空間における実証研究を推進し、ユーザの自己効力感と運動主体感の向上に資するアシスト技術の高度化を実施した。ユーザがアシスト中でも自ら能動的に運動していると感じられるよう、インピーダンス調整やセンシング技術を取り入れたプランニング機構を実証的に検証した。

当該年度の実施内容について、(1)アシストプランナーおよび実証プラットフォームの

開発の実施 および (2) フィールド実証のための環境構築およびアシストプランナーの実証の実施については、マイルストーンをすべて達成し想定以上の成果を得た。

特に、想定を超える成果の一つとして、実証実験の進展とアウトリーチ、国際連携の加速があげられる。複数の現場実証と社会発信活動を通じてアウトリーチに貢献した。

まず、実証実験については、愛知県名古屋市の介護施設「花乃邸」リハビリテーション施設において、Flying Nimbus を用いた免荷支援技術の現場実証を実施した。また、国立長寿医療研究センター・リビングラボに Flying Nimbus を導入・実証し、PM、PD、アドバイザーへの報告会においてデモンストレーションを実施した。具体的には以下の通りである。IEEE ICRA 2024 (国際ロボティクス会議) において当該平田 PM のプロジェクト全体のデモンストレーションを実施し、ATR は当該プロジェクトの全体展示責任者として展示のオーガナイズやセットアップ全体のオーガナイズを行い、また、Flying Nimbus・動的に透明なアシスト技術の上肢支援デモについても実施し、IEEE-President を含め、来場者からの反響があり、国際的なアウトリーチに貢献した。

社会実装に向けて、Flying Nimbus の社会的認知向上と価値創造に向けた広報・展示活動にも注力した。具体的には、東京・丸の内丸ビル内「Marucube」にて開催された「『どこでもヘルスケアパーク 2030』を支える未来技術展(2025 年 2 月 26 日～28 日)」において、Flying Nimbus を出展し、来場者との対話を通じて社会実装の方向性を発信した。また、日本科学未来館において開催されたムーンショット公開シンポジウムにて、一般市民および丸の内オフィスの投資候補企業(取締役等)へ体験型展示を実施した。

臨床実証や展示・アウトリーチ活動を通じて、課題を抽出することで、制御性能の向上や VR コンテンツとの連携統合も推進され、Flying Nimbus のユーザビリティや拡張性の更なる強化につながった。プレスリリースや新聞記事による報道も行われ、社会実装を見据えた広範なアプローチの一環として、実用化に向けた認知と社会実装に向けたプロジェクトの成果アウトリーチに寄与した。

課題推進者: 野田智之(株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

## 研究開発課題5: 認知・行動の数理基盤構築

当該年度実施内容:

人の認知と行動の数理基盤を構築する。令和 6 年度は、産婦・助産師のインタラクションについて助産師の視線解析をさらに進めるとともに、学習ロボットを用いた助産師訓練装置の開発を開始した。また、介護者・被介護者間の身体的インタラクション行動の低次元潜在空間表現獲得および支援に対し、新たに支援 LLM を構築することを提案し、その開発を進めた。また VR けん玉を対象としたスキルと自己効力感の数理モデルを構築した。さらに生理学データの取得方法を見直し、連続的かつ非侵襲的に測定できる指尖容積脈波計が心拍変動よりも有望であることを見出した。

課題推進者: 池田和司(奈良先端科学技術大学院大学)

## (2) 研究開発項目2: 適応自在 AI ロボット研究開発

### 研究開発課題 1: 人・環境変形適応ロボット機構

当該年度実施内容:

これまでの期間で原理検討した柔剛切替え機能を有する先端折返し機構要素、人・環境への結合(把持)機構要素、人・環境への形状なじみ機構要素の統合化をさらに推進させる。屋内においてはリビングラボの天井から吊り下げられた線状体との連結を切り替えられる装置として、磁石式の連結・分離機構を新たに創案・実機具現化した。

次に、Nimbus Holder などの流体駆動式の装置において、チューブ本数を削減するこ

とも鑑み、反射型・簡易知能含有型の論理ゲート機構の創案と実機具現化、さらには Holder 表面などへの実装を試みた。また、各要素の統合化実機構成として、先端折返し機構と吸着機構の組み合わせにおいて、表面に搭載する吸盤などの効果器においても、この論理ゲート機構の観点からの実機具現化を実施する。ここでは、流体供給配管の連結も考慮に入れた上での、渡辺 PI のスキンなどの要素とのさらなる統合を試みた。

また、Nimbus Holder の準実用化機体の開発として、さらなる小型化・軽量化された機体の開発を実施した。また、デザインも含めて機体の形状を再検討し、見た目も含めて訴求できるものに仕上げた。また、Nimbus Arm-Saddle 連動駆動装置の基礎原理の開発し、Nimbus Holder のアームとサドルを連動させて、使用者が安全に使用できる Nimbus Holder を開発する。加えて、現在水平方向のみの限定された運動にとどまるトラス型のアームを、上下方向等にも能動的に動作することを可能とする湾曲方向切替え可能トラス袋機構の基本原理解案・実機具現化を行った。

課題推進者: 多田隼建二郎(東北大学)

## 研究開発課題 2: 機能性スマートスキン

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、人の身体に合わせて優しく接することができるロボットを実現するに当たり、長時間人に接することができるロボットの皮膚(スキン)の開発を行う。最終的には、接触していることを感じさせない接触インタフェースの実現を目指す。

令和6年度では、人との接触部の摩擦・温度・湿度等を変化させる機能性スマートスキンを Nimbus Holder, Nimbus Wear へと搭載可能なものにするとともに、血行維持・擦過傷予防のために接触面状態を計測する技術の開発に取り組んだ。また、更衣動作をアシストする機能を備え、介護施設等で使用可能な機能性スマートスキンを搭載した Nimbus Wear を開発した。

課題推進者: 渡辺哲陽(金沢大学)

## 研究開発課題 3: 超自由度・多点接触運動アシスト制御

当該年度実施内容:

本研究開発では、人が家庭や施設等で行う作業において、特に物体ハンドリング等の複雑動作を支援するためにロボットをどのように制御するかの方法論を構築した。個人の自己効力感を向上させるために AI ロボットが自身の支援の度合いを調整することや、どのように人と AI ロボットが協調作業を行うべきかを自動設定・更新することを目指した。

このため、本年度は下記の3項目に関する研究開発をおこなった。

【項目 A】 物体操作に伴う操作対象のふるまいの正確な計測・予測・状態推定:

着衣支援における主な操作対象は布である。ロボットのような自動機械に布のような柔軟物を扱わせるには、センサデータから柔軟物の状態を推定する能力や、柔軟物のふるまいを予測する能力を高度に作りこむ必要がある。しかし、そのような柔軟物の情報を計算機上で表現するには、本来きわめて高次元かつ広範囲の変数空間が必要となる。そこで、「加えた操作」と「不定形物の変化」の組み合わせを一つの要素とするアプローチを採ることで、次元の削減および探索対象空間の限定を実現し、「操作に伴う変化」を高速かつ高精度で柔軟物の認識を実現した。

【項目 B】 多点接触ロボットによる物体操作:

柔軟物を2点以上で保持できるハードウェアを用いて、項目Aの予測・状態推定技術を密に連携させた物体操作法を提案・検証した。

【項目 C】 自己効力感の指標に基づく多点接触物体操作による人の活動支援:

前年度の成果に加えて、「自己効力感向上ナビゲーター」や「アシストプランナー」と連携させ、自己効力感向上のサイクルにロボットが自然に存在できる方法を検討した。

課題推進者:山崎公俊(東北大学)

#### 研究開発課題 4:身体融合型インタフェース

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、ユーザと Robotic Nimbus のインタフェースを開発するため、ユーザの意思通りの動作および変形を Robotic Nimbus で生成すると共に、Robotic Nimbus を自らの身体の一部と感じ、自分で出来たと錯覚させるような人工感覚フィードバックを生成して自己効力感を向上させる身体融合型インタフェースを実現することを目的としている。また、人工的に感覚生成することにより、自分で運動しているという運動主体感を向上させることを目指している。はじめに、生体信号と環境の統合情報を基にユーザの動作意思を推定し、Robotic Nimbus に必要とされる変形と動作を示す技術を構築した。また、体表からの機械的・電氣的な刺激を加えることで人工感覚を生成してユーザにフィードバックするシステムを開発し、Robotic Nimbus により支援された動きを自分自身で生成した動きとして感じられる人工運動感覚生成技術を開発した。人工運動感覚の自己効力感に対する影響に関する研究については他グループと連携した。さらに、Robotic Nimbus による身体拡張の影響を考慮したユーザの新たな動作意思を推定する技術および Robotic Nimbus による拡張部をあたかも自分の身体の一部と感じるような人工感覚生成技術の実現を目指している。本研究開発課題を通して実現されるユーザと Robotic Nimbus 間のインタフェース技術は、適応自在ロボットすべてに適用できる技術であり、他の研究開発課題と連携して行った。また、生体信号計測や体表への刺激装置の研究開発は研究開発課題 2 と連携して行った。更には下肢 Nimbus Limb を開発し、ユーザの下肢動作を支援した。

本年度(令和 6 年度)は、研究項目1「生体信号と環境の統合情報センシングによるユーザの意思推定」を継続し、他の研究開発課題と連携しながらユーザの筋電信号と環境情報等との統合情報を基にユーザの動作意思と動作目的を推定する技術を開発した。また、研究項目2「身体表面からの刺激による人工感覚生成」を継続し、人工感覚を生成するロボットシステムのプロトタイプを開発して主要筋に対する人工感覚生成技術の研究を行うと共に他グループとの連携を進めた。更に研究項目4「下肢 Nimbus Limb の研究開発」を継続し、ユーザの下肢動作を支援する下肢 Nimbus Limb の改良を進めると共に、1～複数の下肢 Nimbus Limb を用いてユーザの下肢動作の支援を試みた。その上、研究項目3「身体拡張の影響を考慮したユーザの動作意思推定および人工感覚生成」を継続し、身体拡張部を制御すると共に、身体拡張部の感覚をユーザへ感覚フィードバックする技術の開発を進めた。さらに、ユーザの状態をアクティブにリアルタイム計測し、体幹支持、歩行支援、立ち上がり支援等において、ユーザの状態に合わせてユーザと Nimbus Robot との接触形態を変化させる技術や、ユマニチュードの概念を用いて Nimbus Robot でユーザを優しく支援することでユーザの安心感を高めるロボットの開発を進めた。

課題推進者:木口量夫(九州大学)

#### 研究開発課題 5:スマートアシストウェア

当該年度実施内容:

本研究課題においては、人の自己効力感を向上させることを前提として、人に支援を提供するスマートアシストウェアを開発している。このとき、各アシスト形態に応じたアクチュエーション形態を適応的に変化できるような革新的なメカニズムを提案する。このアシストウェアは、必要なアシスト力を調整することでウェアラブルロボットの飛躍的な軽量化を図るとともに、アクチュエーションとセンシングを両立する柔軟素材を用いたウェアラブルロボットである。

当該年度においては、流体アクチュエータによるきめ細かな制御、センサを用いたロ

ボットとヒトとの密着度合の計測, Chaimmail Jamming を用いたサポートデバイスにソフトアクチュエータを組み合わせることで, アクチュエーションの実現, 空気圧発生装置の開発ならびに軽量化, 腕のリハビリシステムとのサポートデバイスの統合, ならびに, サポートデバイスやセンサを組み込んだアシストウェアの構築を実現した.

課題推進者: 原田研介 (大阪大学)

## 研究開発課題 6: 適応自在 Limbs

当該年度実施内容:

人に装着するもしくは人に寄り添って支援を提供する適応自在 Limbs の研究開発の1つとして, 腕機構と脚機構を複数持ち, それらが変形することによって, 衣服の着脱支援, 着座・起立支援, 歩行支援, 姿勢維持支援を実現する機構を持つ適応自在 Nimbus Limbs のプロトタイプ(L3)の試作を行なった. 2023 年度に製作した下肢支援用適応自在 Limb プロトタイプの着座, 起立支援機能の評価結果に基づき, 歩行支援へと拡張を行うための 3 脚型下肢支援用 Limb の試作機を製作し, ベッドサイドからトイレへの歩行支援およびトイレやベッドサイドでの起立・着座支援機能を実現した. また, 歩行支援用の介護機器(ロボスネイル)や 3 脚型 Limb(Nimbus Limb-L3)に搭載が可能な小型衣服操作モジュールのプロトタイプをそれぞれ試作し, 同時に開発した外部カメラを用いた人および下衣認識モジュールからのフィードバックによりユーザの体格に合わせて下衣の上げ下げを実現した. また, リビングラボにて, 3 脚型 Limb や衣服操作モジュールの操作を行い, 理学療法士などを含む専門知識を有する方から評価を得た.

課題推進者: 長谷川泰久 (名古屋大学)

## 研究開発課題 7: (項目3課題5へ移動したため欠番)

## 研究開発課題 8: 適応自在環境操作機構

当該年度実施内容:

「既存環境を包み込み, その環境と接触する人や物体を優しく支え, 安全に移動させる Robotic Nimbus としての適応自在環境操作機構 (Nimbus シート)」をさらに改良・発展させた.

具体的には, これまで開発を進めてきた, 繊毛を振動させて, 立体的な平行リンク機構によりステアリングを切って, 全方向に物体を搬送するという機構による適応自在環境操作機構の改良をさらに進め, より広い面積の, 任意の曲率を有する自由曲面に対応できるようにした. そして, テーブル型の繊毛振動型 Nimbus シートを複数台開発し, 東京都立大学の久保田直行教授 (PI) にも提供して, リハビリテーションテーブルとしての機能を開発して各種実験を行い, 国立長寿医療研究センターでデモンストレーションを行った.

また, フォーク型の板構造を複数並べた機構の上に, エアーチューブを個別に配置して, フォーク型の板の直動アクチュエータによる並進とエアーチューブの膨張・収縮の組合せ動作で, 前後に高荷重の物体や人体を搬送するという方式による, 大荷重に対応可能な適応自在環境操作機構の改良も進めた.

さらに, 「真に柔軟な適応自在環境操作機構」として, コイルと永久磁石とを, 柔軟な構造に組み込んだ適応自在環境操作機構を開発し, その上部の弾性体の形状・材質を最適化することにより, 全方向への物体搬送機能を開発した.

上記に加えて, 外部にアクチュエータを配置して, その外部アクチュエータの振動を, 柔軟なシート部分に伝えることにより, 「真に柔軟な適応自在環境操作機構」の開発・改良も進め, 外部アクチュエータとしての, 多様な振動を生成可能な, 球状歯車の改良を行った.

その上で, 大きな荷重に対応可能な繊維型の適応自在環境操作機構である, 簡易型の



平行リンク機構としての機能を有する襷状の弾性体(繊維)を振動的に駆動して、推力を発生させる機能の改良も進め、クランク機構による繊維の振動のさせ方などを工夫して、全方向搬送性を高めた。

また、繊維振動型・フォーク駆動型の搬送機構を、人体の各部分の関節自由度の配置に合わせて組み上げ、ベッド型の適応自在環境操作機構である「高荷重対応型の Nimbus シート」とし、その上に寝ている人間の位置や姿勢を操作可能とした。

これらの適応自在環境操作機構を、使用者の声やジェスチャーなどで、使用者の意図を推定しつつ、使用者が直観的に制御出来るようにし、使用者の自己効力感を増進することを可能とした。

課題推進者: 多田隈理一郎(山形大学)

## 研究開発課題 9: モジュール型 Nimbus Limbs

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、介護現場におけるモジュラー型ロボットのコンセプトに基づいた AI ロボットプロトタイプを開発することを目標としている。本年度はモジュール設計について整理した上で、脚モジュール、腕モジュール、手モジュール、それぞれのベースとなるユニットは、3 軸脚、7 軸腕、5 指 6 軸手と考え、これらの設計試作を実施した。

また、脚モジュールの組み合わせによる四脚ロボットおよび脚モジュールに爪先軸と踵軸(車輪)を取り付けた二脚ロボットを試作した。腕モジュールとして7軸ロボットアームを試作し、双腕化や車いすへの取り付け・組み合わせが可能となるようにした。また、木口PI と連携し、ユーザに対して外部からアクティブかつ繊細に接触しユーザの下肢動作を支援する Nimbus Robot に活用するための腕モジュール・脚モジュールの試作を実施した。

課題推進者: 掃部雅幸(川崎重工業株式会社)

## (3) 研究開発項目 3: 共進化 AI ロボット群社会実装

### 研究開発課題 1: 共進化型実証実験プラットフォーム構築

当該年度実施内容:

本研究開発は、適応自在 AI ロボット群の社会実装を目指し、介護施設や在宅を想定した共進化型実証実験プラットフォームの構築を目的としており、以下の 3 つの研究開発項目から構成される。

**(1) AI ロボット群の実証実験の実施:** 市販化されている転倒衝撃緩和ロボットや移動・排泄支援ロボットに加え、適応自在 AI ロボットプロトタイプ(Robotic Nimbus)を活用し、健康高齢者を対象にリビングラボにて実証実験およびユーザビリティ評価を実施した。これにより、物理的な支援を伴わない場合でも、ロボットの存在そのものが利用者の挑戦的行動を誘導し、自己効力感を高める効果がある可能性を示した。

**(2) AI ロボット群の評価手法の開発:** 介護施設や在宅における高齢者を対象に、RGB カメラ・深度センサおよびウェアラブルバイタルセンサを組み合わせたライフログ技術を活用し、心身状態および活動量の統合的かつ継続的な計測手法を実現した。加えて、リビングラボ環境における日常生活活動にとどまらず、スポーツ、踊り、園芸などの社会的活動を対象とした動作計測の拡張と、神経筋骨格シミュレーション技術の導入を行い、介入設計に資する新たな評価指標の構築を進めた。

**(3) 実証実験プラットフォームの整備:** 介護施設や在宅におけるロボット活用の実証環境を整備するとともに、「ムーンショットハウス」構想を推進し、空き家をロボット共生住宅として改修するための設計検討および施工計画に関する議論を開始した。さらに、国立長



寿医療研究センターに蓄積された 3,400 件を超える転倒・転落インシデントレポートを対象としたテキストマイニングを進め、行動要因および環境因子の構造化と可視化を試みた。

以上の取り組みにより、研究開発全体は当初の計画に沿って順調に進捗しており、適応自在 AI ロボット群の実証実験プラットフォームの構築と社会実装に向けた基盤整備が計画通りに進んでいる。

課題推進者:加藤健治(国立長寿医療研究センター)

#### 研究開発課題 2:(項目3課題5へ統合したため欠番)

#### 研究開発課題 3:AI ロボット群標準化のための安全評価基準策定

当該年度実施内容:

本研究開発課題では適応自在 AI ロボットに要求される安全性(使用性)のための技術として、要素技術の基礎課題に取り組んでいる。当該年度は久保田 PIらと連携して教示・推薦システムの開発を進め、教示システムに対して介助および訓練(在宅リハビリ)を想定した性能検証に着手した。理学療法士らに体験してもらい、没入感や操作性などの基本的な使用性の意見を得るなどしてシステム改良を実施した。また、Chatbot 等の対話型 AI の活用についても計画を前倒して検討した。また、次世代アクチュエータの先行検証として Nimbus Wear を主な対象とし、可変剛性のために試作した新素材の検証にて、期待以上の性能を確認することができた。その活用法については特許案件として検討を進めており、素材開発企業と連携して新素材の検証を行うことができた。

また、Robotic Nimbus プロトタイプに対するリスク評価結果を個々に参照(収集)して、適応自在 AI ロボットの安全設計の方針を確認した。各課題推進者が研究開発を行っている各プロトタイプのリスク評価を推奨・支援するとともに、Nimbus プロトタイプに対する安全設計の実装状況を確認した。既存の簡便な評価手法や安全装置の周知などを積極的に行なった。さらに ELSI 課題に関する検討についても積極的に検討し、下田 PJ とワークショップを共同開催するなどし、個人情報の活用を想定するデータベースの構築の早急の課題となるプライバシー配慮等について議論した。ELSI の1つの主題となる Nimbus の自律性についても安全性の観点から検討を始めた。

課題推進者:岡部康平(労働安全衛生研究所)

#### 研究開発課題 4:AI ロボット群共進化システムインテグレーション

当該年度実施内容:

本研究開発課題の目的は、人・ロボット・AIをシームレスに統合する共進化型システムインテグレーションプラットフォームを構築することであり、大きく(1)ユーザの日常生活における行動を推定し経験として蓄積する「経験蓄積エコシステムの開発」、(2)自己効力感に基づく行動モデルの構築と分析を行う「自己効力感向上ナビゲーターの開発」、(3)蓄積された人々の日常生活における経験を互いに利用しながら知識として洗練しつつ、体系化する「共進化型ソーシャルビッグデータプラットフォーム構築」、(4)様々な人の経験に基づき行動生成と行動学習を行う「共進化型多目的マルチタスク最適化・学習」、(5)様々な AI ロボット群をタスクと使用されるシナリオにあわせて自動的にカスタマイズしつつ具現化する「共進化型システムインテグレーションプラットフォーム」から構成される。令和 6 年度では、東京都の海の森で開催された SusHi Tech Tokyo 2025,東京駅前の丸ビルで開催された『どこでもヘルスケアパーク 2030』を支える未来技術展にトレーラ型リビングラボを移設し、多くの有識者や一般参加者に認知・運動能力計測システム認知・運動能力計測を用いた脱出ゲームを体験してもらい、有益な意見交換を行った。また、国立長寿研では、Nimbus Computing に基づくライフログ解析や R4 Staging の推定システムを体験しても

らい、令和7年度の研究開発と実証実験にむけた改良について検討した。これらの研究成果に基づき、令和6年度では、上述の5つの研究項目について、他のPIとの連携をさらに発展させるためにトレーラ型リビングラボを改良しつつ、高齢者向けの大規模計測実験を行うための各種基本フレームワークを構築した。さらに、東京の長寿研と連携し、高齢者の標準モデル構築のためのデータを整理した。具体的には、組み換え可能なNimbus活動空間の基本仕様を策定・システム化するとともに、拡張自在リビングラボとして整備した。次に、システムインテグレーションに関する研究開発を加速させるために、(5-5)システムインテグレーション環境の構築を追加し、他のPIと連携しながら、実施した。また、複数の介護・リハビリテーション拠点施設に動作解析システムを設置し、研究推進とPI間連携をさらに強化した。

課題推進者：久保田直行（東京都立大学）

#### 研究開発課題5: Cooperation of AI-Robot Enablers

当該年度実施内容：

本研究開発課題では、研究開発項目1～3と連携し、開発されたAIロボット群を適切に協調させ、1台のAIロボットやアシストウェアでは実現できない動作支援を実現するものであり、結果的に個人が一人でできることを増やすことを目指す。特にスマートアシストウェアとAIロボット群協調システムの開発では、介護施設を想定した環境で適応自在AIロボットプロトタイプとスマートアシストウェアプロトタイプを用い、離床・移動支援などの介護動作支援を行った。加えて、人のさりげないセンシングを実現するシステムが介護現場だけでなく、オフィスや工場の労働環境への導入するための実験を行った。国際連携においては、スイス工科大学チューリッヒ校との取り組みを強化し、生体データ取得用システムとロボット制御システムが容易に連携できるROS-Healthcareの開発を進めた。スマートアシストウェアを介した人間協調支援システムでは、装着者同士の物理的接触時に同期した動作が可能であることを示し、これにより介護動作支援だけでなくスポーツやダンス支援等に応用可能であることを示した。また、車いす型や立位移動型ロボットの開発を進め、周囲状況を提示するシステムと連携して他者とのスポーツやダンスができるシステムを構築した。特に、障がい者と健常者が共にダンスを楽しむための支援システムについては、国際共同研究を進め、多国間の研究機関との連携を強化した。ELSIに基づくAIロボット設計では、倫理、法律、社会問題を設計プロセスに組み込み、倫理国際標準化に向けた取り組みを進めている。

課題推進者：平田泰久（東北大学）

#### 研究開発課題6: Lifelogging for Patient Digital Twin in Robotic Care

当該年度実施内容：

During the current year, we have investigated data aggregation methods for life-logging systems that can model from low-level biosignals to people's life experiences in high-level behavioural models. Using the International Classification of Functioning (ICF), we have developed methods for detecting activities of daily living (ADLs) in healthy and pathological individuals. This health status recording and identification of life changes provides a novel method of measuring robotics interventions of the AI-robots nimbus cloud, enabling assistance as needed. Moreover, ROS-enabled communication system makes real-time interventions possible with a unified framework to model the user's status, ROS-for-Healthcare (ROS4HC).

Our work has delivered multiple pilot clinical trials validating the novel modelling of the

individual's functioning and self-efficacy. Performed with the participating institutions in Japan and Switzerland. Resulting in a set of biosignals and biometrics that match the needs of the observation in these populations.

課題推進者: Diego Paez-Granados (ETH Zurich)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 【進捗状況の把握】

PM のマネジメント活動を支援する研究推進室を PM 直下に構築している。そして、事務部門や東北大学 URA センターや本部事務機構研究推進部と連携することで全学一体となって PM の効果的・効率的なマネジメント活動実施を強力に支援する体制構築を強化している。

具体的には、「①研究開発プロジェクトの設計」における研究開発プロジェクトの企画・立案や研究開発体制の構築に関しては、PM が中心となっていて行っているが、東北大学事務機構研究推進課を中心に、東北大学総長・プロボスト室長(青木孝文)、研究担当理事(小谷元子)、オープンイノベーション戦略機構、共創戦略センターと連携できる体制となっている。「②研究開発プロジェクトの実施管理」の中で、研究開発の進捗管理に関しては、PM 直下に組織した研究推進室で実施し、研究開発の評価や研究開発成果の展開に関しては、PM 自身が行っているが、今後、東北大学産学連携機構や東北テクノアーチ(TLO)や東北大学ナレッジキャスト株式会社等と連携していくことを検討している。「③PM活動に対する支援体制整備」に関しては、東北大学機械・知能系総務係および研究推進室が担当し、「④JST との連携等」に関しては、東北大学工学部・工学研究科研究推進課産学連携係と研究推進室の PM 補佐が担当している。「⑤研究開発成果の広報・アウトリーチ活動」に関しては、サイエンスコミュニケーションイベント等の経験もある研究推進室の PM 補佐が担当している。

今年度は2月18日に第1回運営会議(メール審議)を開催し、実施規約の改定について審議を行った。11月5日には国立長寿医療研究センターにおいてプロジェクト会議を開催し、各課題推進者の研究開発進捗状況を PM が確認した。課題推進者との会議に関しては、Zoom 等を利用したものを含めればプロジェクト開始から現時点までで 800 回を超えており、密な議論を行っている。また、課題推進者が対面で集まる会議も複数回実施した。

さらには、PM 間連を積極的に進めており、特に下田プロジェクトとは互いの課題推進者が発表するワークショップを数回開催し、それをきっかけとして平田プロジェクトの Nimbus Robots を下田プロジェクトに提供して実験を行うなどの連携が進んでいる。

#### (2) 研究成果の展開

##### ELSI の取り組み

AI ロボットの設計プロセスに ELSI (倫理, 法律, 社会問題) の概念を組み込み、共有データ管理および AI ロボットの倫理国際標準化に向けた取り組みを行っている。介護施設等で取得したデータの個人情報の保護を、AI ロボットが存在する未来環境においてどのように実現するかを検証するために、リビングラボを利用して複数ロボットの運用されている映像を作成した。これにより、ロボットの専門家ではない人でも未来の介護環境を容易に理解することが可能となり、様々な学際的な議論の助けとなっている。また、AI ロボットの倫理標準化に向けて、多くの国際ワークショップを開催し議論を重ねてきた。さらに、実験等で取得されたデータを、プライバシーに配慮した形式にてプロジェクト内で共有するために、セキュリ

ティの高いVPN ネットワークシステムを構築した。AI ロボットの倫理基準の国際標準化に関しては、IEEE P7000 の枠組みに申請し、委員会(P7017)の設立が承認された。IEEE 規格協会(IEEE-SA)と戦略的な協力関係を結ぶことで、AI ロボット群の行動に対する倫理的評価や標準化を実施するための国際協調ネットワークを構築することができた。

### 数理科学の取り組み

國府 AD と尾畑 AD が中心となって開催頂いた数理科学シンポジウムへ参加し、ワークショップ後に「平田 PJ に課題推進者として参画希望」と回答した 5 名の研究者と打ち合わせを開始し、結果的に 3 名と具体的な参画に向けた個別ディスカッションを実施した。現時点で、池田和司先生(NAIST)は課題推進者(数理枠)として参画いただくこととなり、「認知・行動の数理基盤構築」として、介護者・被介護者間の身体的インタラクションの潜在空間分析や、自己効力感を向上させる因子の特定・モデル構築を推進していただいている。

### 産業界との連携・橋渡し

マイルストーンに示している通り、プロジェクトの初期段階では介護現場にAI ロボットを導入することを想定した研究開発を進めている。そのため、福祉介護ロボットやセンサ等を開発している企業との議論を継続して行っている。すでにプロジェクト開始から 20 社以上の会社とコンタクトを取っており、そのうちのいくつかの企業とは NDA を結んでおり、ムーンショットの将来ビジョンを共有した研究開発を進めていく予定である。また、企業との共同研究で新しい AI ロボットを開発する方向で話を進めているものがいくつかあり、うまくいけばスピニングアウトできる可能性がある。特に、サンヨーホームズとはムーンショットチャレンジハウス構想を共同で立ち上げ、長寿研近隣の貸家を改修して最先端支援技術を導入した家を使った長期実証の取り組みを進める。また、SONPO ケアとは「2030 年から問う介護」というテーマで未来の介護施設に関する動画作成を行い、未来を共有した取り組みが進んでいる。加えて、三井不動産とはロボットと共生する未来のまちづくりを、トヨタ自動車東日本とは自分たちで組み換え可能な工場を構築することを目指した取り組みを進めており、どの取り組みも平田プロジェクトの未来ビジョンに共感いただいた形での共同研究が進んでいる。

その他、厚生労働省の介護ロボットプラットフォーム事業にて、東北大学と国立長寿医療研究センターは、リビングラボとして認定されており、企業等からの相談を受け付ける体制が整っている。このような機会も利用したうえで、多くの企業と連携していきたいと考えている。

### 国際連携

フランスのパリ・サクレ大学(Paris-Saclay University)の研究者とフランスのアートディレクターおよび、障がいを持つダンサー、健常者ダンサー等との共同プロジェクトを進めている。内容は、車いすロボットや立ち乗り型移動ロボット(パラマウントベッド株式会社と共同開発)を用いて障がい者ダンサーと健常者ダンサーと一緒に踊るための取り組みである。本プロジェクトを進めるにあたり、はじめは障がい者ダンサーがロボットを用いてダンスを踊ることへの抵抗があるという状況であった。しかしながら、健常者がロボットを使ったダンスを見せることで、自分もできるかもという「自己効力感」が変化するという事例を見ることができた。プロジェクト開始後何度かパリ・サクレ大学を訪問し打ち合わせを行い、昨年は日本でワークショップ、今年はパリ・パラリンピック関連イベントでダンスパフォーマンスやダンス支援ロボット搭乗体験を行い、多くの人にロボットによる社会参加の事例を紹介することが出来た。この国際連携ではフランスだけでなく、カナダ、南アフリカ等の多くの大学・研究機関が関わるものであり、今後さらに国際連携を加速させていきたい。

また、カナダのウォータールー大学と人の離床支援や歩行支援に関する共同研究を開

始し、その後、共同研究者がカールスルーエ工科大学に異動したために、東北大学を含めた3大学との共同研究が開始できている

加えて、昨年行われたムーンショット目標3の日本・ヨーロッパシンポジウムにおいて、特に ETH, EPFL, DLR の研究者との議論を進め、ATR の野田 PI が積極的な国際連携を進めている。また ETH の Diego Paez-Granados PI が中心となり、東北大学、長寿研の研究者で議論が進み、ライフログとロボット連携の国際標準化に向けた取り組みを行うとともに、WHO にも協力いただき、ロボット支援を想定した活動量評価指標の検討も開始した。

### (3) 広報、アウトリーチ

2024 年 5 月に横浜にて開催された、7,000 名以上の研究者が全世界から集うロボティクス分野の最大級の国際会議のひとつである 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2024)の Exhibition において、プロジェクトで開発した各種 AI ロボット群を一堂に会したデモンストレーションを実施し、国内外の研究者へと目標3全体および本研究開発プロジェクトの周知を図った。また、平田 PM および原田 PI が Keynote Talk を行い、プロジェクトおよび研究開発成果のアピールを行った。さらに ICRA2024 では渡辺 PI らが Nursing Robotics に関するワークショップを開催し、本プロジェクトの社会実装でも重要となる介護・看護分野とロボット分野との連携について国際的な意見交換を行うことができた。2024 年 10 月に開催された、同じくロボティクス分野における最大級の国際会議である The 2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2024)では、稲邑 PI が下田 PM らとともにオーガナイザーとしてワークショップ”Integrating Physical and Cognitive Perspectives in Assistive Robotics Design“を開催し、野田 PI が招待講演を行って研究開発成果を紹介するとともに、身体的のみならず心理的側面からのリハビリテーション・アシスティブロボティクスについて国内外の専門家と意見交換を行った。

本研究開発プロジェクトのコンセプトを広く示すため、分野融合・産学連携によって進められている『スマーター・インクルーシブ・ダンス』では、9 月にはフランス・ヴェルサイユにてパリ・パラリンピック関連イベントでのパフォーマンスを実施し、ロボットを用いた包摂的社会の例を国内外に広く示すことができた。これらの取り組みは朝日新聞全国版(夕刊)や地方テレビ局での特集による報道のみならず、第 2 回総合知活用事例として内閣府ホームページに掲載されるとともに、第 11 回ロボット大賞・優秀賞(介護・医療・健康分野)を受賞した。国際福祉機器展でもデモンストレーションを行い、社会実装に向けた意見交換を行っている。

平田 PM が技術監修を行った SONPO ケアの『2030 年から問う介護』の展示も、多くの介護事業者・介護従事者が現在までに見学して意見交換を行うとともに、11 月の介護テクノロジー開発企業向けのシンポジウムにおいて講演を行い、社会実装に向けて意見交換を行うことができた。また、野田 PI/加藤 PI らが連携して介護施設(グループホーム福の里 花乃邸)での移動式免荷システムのリハビリテーション応用のデモンストレーションを実施し、社会実装に向けた取り組みを進めている。久保田 PI は 5 月に開催された SusHi Tech Tokyo (Sustainable High City Tech Tokyo) 2024 においてトレーラ型リビングラボの展示を行い、研究開発成果のヘルスケア分野への展開を広く一般へ示している。これらの技術は、2025 年 2 月にマルキューブで開催されたデロイト主催の「どこでもヘル

スケアパーク 2030」を支える未来技術展に出展し、一般来場者への体験を提供した。

多くの招待講演を行っており、特に当該期間中は 2024 年 3 月に Japan House São Paulo で開催された講演会「Convivendo com os robôs no presente e no futuro (ロボットの暮らしの現在と未来)」やイタリアで開催された I-RIM 3D など、国外に向けたものが多い。これらの招待講演を機として今後の国際連携に関する議論や、関係構築・強化が進んでいるところである。

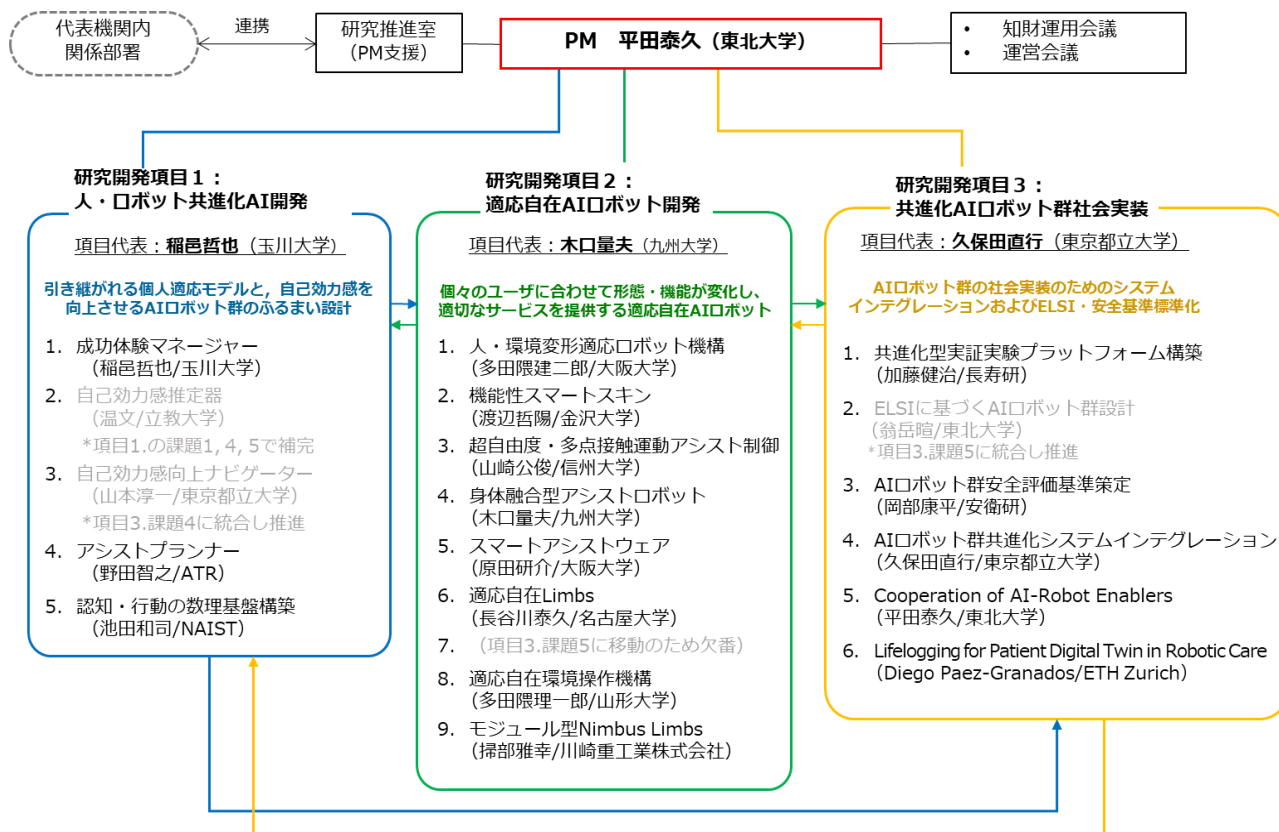
また、本プロジェクトが目指す 2050 年の社会像および現在までの研究開発成果を、研究者および一般に向けて広く共有する動画を制作し公開した。

#### (4) データマネジメントに関する取り組み

研究開発項目3で取得される継続的見守りに基づく介護施設でのデータセットや、様々なタスクにおいて取得されるデータセットは、玉川大学に設置されるサーバと接続し転送する構想である。そこで、実証施設と大学等を接続するための VPN ネットワークを構築した。

また、社会実装グループでは、介護施設等での介護職員や施設利用者の運動・生理データの取得し、それらをデジタル化する技術を構築中である。デジタル化する際に個人のプライバシー情報を削除することで、それらデータを一般に公開することも可能になってくる。本プロジェクトを中心として構築されたデータセットを準備することで、多くの研究者がそれらデータにアクセスし、様々な支援技術のベンチマークを作成することも検討している。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



##### 知財運用会議 構成機関と実施内容

議長: PM

構成員: PD・技術主幹/JST, 研究推進者および所属機関の知財管理部門責任者等

内容: 本研究開発プロジェクトにかかる知的財産権の運用について議論するため、必要に応じて開催を検討

##### 運営会議 構成機関と実施内容

議長: PM

構成員: PD・技術主幹およびアドバイザー/JST, 研究推進者・所属機関, 外部有識者等

内容: 本研究開発プロジェクトの推進に関する重要事項についての連絡・調整

R5 年度は 1 回開催



## 5. 当該年度の成果データ集計

| 知的財産権件数  |    |            |          |    |
|----------|----|------------|----------|----|
|          | 特許 |            | その他産業財産権 |    |
|          | 国内 | 国際(PCT 含む) | 国内       | 国際 |
| 未登録件数    | 4  | 1          | 0        | 0  |
| 登録件数     | 1  | 0          | 0        | 0  |
| 合計(出願件数) | 5  | 0          | 0        | 0  |

| 会議発表数  |    |    |     |
|--------|----|----|-----|
|        | 国内 | 国際 | 総数  |
| 招待講演   | 12 | 18 | 30  |
| 口頭発表   | 56 | 9  | 65  |
| ポスター発表 | 31 | 21 | 52  |
| 合計     | 99 | 48 | 147 |

| 原著論文数(※proceedings を含む) |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|
|                         | 国内 | 国際 | 総数 |
| 件数                      | 5  | 60 | 65 |
| (うち、査読有)                | 1  | 60 | 61 |

| その他著作物数(総説、書籍など) |    |    |    |
|------------------|----|----|----|
|                  | 国内 | 国際 | 総数 |
| 総説               | 2  | 0  | 2  |
| 書籍               | 0  | 0  | 0  |
| その他              | 1  | 0  | 0  |
| 合計               | 3  | 0  | 2  |

| 受賞件数 |    |    |
|------|----|----|
| 国内   | 国際 | 総数 |
| 6    | 7  | 13 |

|           |
|-----------|
| プレスリリース件数 |
| 4         |

|      |
|------|
| 報道件数 |
| 8    |

|                   |
|-------------------|
| ワークショップ等、アウトリーチ件数 |
| 41                |