



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

主体的な行動変容を促す Awareness AI

ロボットシステム開発

下田 真吾

名古屋大学 大学院医学系研究科



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

本プロジェクトでは、ムーンショット目標 3 のターゲットの一つである「人が違和感を持たない AI ロボット」計画を支えるための AI 技術として、人に気づきを与え、主体的で理想的な行動を促す Awareness AI の開発を行う。現代社会は、個人・社会の価値観の多様化により、個人の欲求と社会的な要求に齟齬が生じ、生きがいや将来像が描きにくい。Awareness AI を利用し、ロボットによる補助を受けながら理想とするような行動をとることで、自らの可能性を最大化すべく主体的に行動しながらも、適切な社会的役割を果たすことで、将来への希望を描きつつ生活できる社会が、本プロジェクトで 2050 年に目指す社会像である。

ロボットに代表される人工物を利用して人の生活をサポートする研究は、世界中で盛んにおこなわれているが、人が「主体的に気づく」ことをアシストできるほど、人と人工物が効果的に融合しているものはない。その一つの大きな原因として、「制御対象としての人」に対する理解が圧倒的に不足している点があげられる。特に「違和感」といったような、人の内面を構成する基本的な概念は、人の特徴に基づき、工学的に制御対象となる形で定義するには至っていない。

目標 3 の計画にある人と共生するロボットを実現のためには、人の外界との相互作用の影響を正しく理解し、入出力を持つ制御対象としてモデル化したうえで、気づき・違和感・共進化といった概念も同様に適切なモデルを与えることで、人を適切にサポートする、Awareness AI を構築していく。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

2024 年度は、2023 年度までに構築した、ヒトの無意識下に働きかけることで、効果的な気づきを生む脳神経系の特徴を生かし、実際の AI システムの構築を行った。

人の自然な動きは、歩行のような力学的には高難易度な動作であっても、意識が関与することなく、また環境の変化に適応しながら巧みにこなしていく。この環境の変化は、自身の心身の変化も含まれる。したがって、ヒトの自然な動きからは心身の状態を読み解くことが可能である。本プロジェクトでは、ヒトの自然な運動から心身の問題点を AI により読み解き、Robotic Nimbus による適切な介入を加え、適切な気づきを与えることで効果的な行動変容を促すシステムの構築を進めた。

さらにこれらのシステムの部分的な実装も随時進めることで、社会実装と先端研究を両立させながら進めた。具体的には、図 1 に示すように、PI を実装を中心に進める担当から、理論検討・AI 開発・臨床応用などの役割を明確化させ、提案手法の社会実装と研究進捗を両立させた。

具体的には、

1. 自然な運動の対象である歩行からの問題点を自動抽出し、適切な介入を行うシステムの構築
2. 歩行からの問題点を抽出し、提示することで変更を促すシステムの社会実装
3. Awareness AI の理論的検証

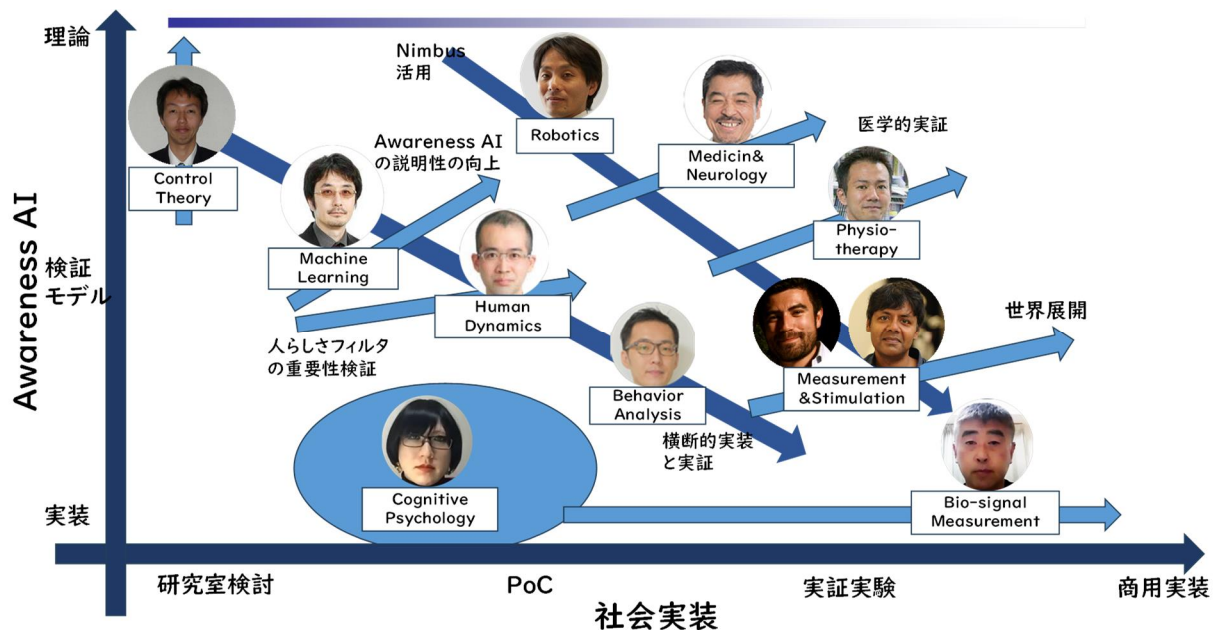


図1:社会実装と Awareness AI 開発

の3項目に分かって研究開発を進めた。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

i. 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

- 月一度のペースで全PIの参加するOn-lineでの進捗報告会を実施し、全員で進捗の共有を進めている。それとは別に、2024年5月20日には、国際シンポジウムを開催し、研究内容の活性化を行っている。
- EUから2つの研究室のメンバーに向かい入れ、Awareness AIの応用の一つとして、Peripheral Electrical Stimulationによる介入の研究を開始した。

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: Awareness AIの開発

研究開発課題1-1: 潜在能力開放AIの開発

当該年度実施内容:

ヒトの潜在能力の推定のためには、運動力学的整合性や神経系の妥当性などの身体情報を反映した生体デジタルモデルが求められる。当該年度は、本プロジェクトで計測する実データに前年度に開発したデータにフィットする個人モデル・運動生成アルゴリズムを適用することで、その妥当性の検証・アップデートを進めるとともに、適用範囲を健常者から患者へと拡大した。

そのうえで開発した生体デジタルモデルを実際の疾患データに適用し、実際に実現される運動と、身体情報から期待される潜在能力の差値を定量的に表現した。一般的に筋骨格モデルは逆問題の解析を安定して実現することができるが、ここでは順問題も解くことにより

“人らしい”運動を生成する必要がある。当該年度は、前年度に導入した生体デジタルモデルと運動データから差値を定量的に表現するシステムを活用し、データセットの構築を進めた。

また、ヒトの潜在能力開放・生体信号解析 AI の社会実装を目指すには、これらの技術の社会での在り方にもとづいた議論・開発が必要であり、そのためには早期のプロトタイピングと PoC の実施、そして社会受容性向上のためのリ・デザインが必要である。当該年度は、前年度に実施した歩行計測、解析、そして歩行データベースおよび予測技術にもとづく異常検出とその可視化を実現する「ロコモ AI」をユーザの操作のみで完結する自動パイプラインを作成した。

課題推進者：村井 昭彦(産業技術総合研究所)

研究開発課題1-2:生体信号解析 AI の開発

当該年度実施内容：

前年度は、仮想 IMU データから AutoEncoder により 10 次元の協調運動成分を抽出し、Transformer で将来の協調運動を予測するモデルを開発した。しかし、非線形性の表現には優れる一方で、過学習の懸念があった。これを踏まえ、当該年度は自己教師あり学習(対照学習)を用い、時系列の IMU データを直接 Transformer に入力する方式に転換した。さらに、筋骨格・神経シミュレーションモデルとの整合性をロス関数に導入し、被験者の年齢情報も学習に取り入れることで、年齢を考慮した歩行特徴の抽出と生成に成功した。また、横浜市立大学の 277 名の運動器疾患患者データを用いて、個別の歩行特性に基づいた Transformer モデルにより股関節および腰椎・骨盤疾患を高精度で検出する AI モデルを開発した。AutoEncoder のみによる検出よりも、Transformer で得られた予測誤差を併用することで、異常検知の精度が向上することが確認された。

課題推進者：川上 英良(理化学研究所)

研究開発課題 1-3:AI に基づく支援デバイスの制御則の確立

当該年度実施内容：

令和 6 年度では高齢者における生体信号や身体情報を解析し、個々人に合わせて支援デバイスによって身体機能をサポートする制御則を確立するための調査を実施した。本研究課題では、臨床現場にて行われているリハビリテーションが実際に人の運動機能に合わせて介入することで機能回復を実現している点に着目し、人の起立動作と歩行動作の生体信号を解析し、運動機能の特徴を明らかにした(図 2, 3 参照)。また、起立動作に対する支援デバイスの効果検証を行った。本年度は、高齢者 14 名と脳卒中者 1 名、健常者 6 名を対象に計測実験を行った。その結果、フレイルと関連する歩行の特徴量を同定した。さらに、脳卒中者の起立動作における運動制御パラメータ間の関係性を明らかにした。そして、リハビリテーションにおける介入を模した支援デバイスの介入効果を検証し、生理学的データから妥当性を示した。

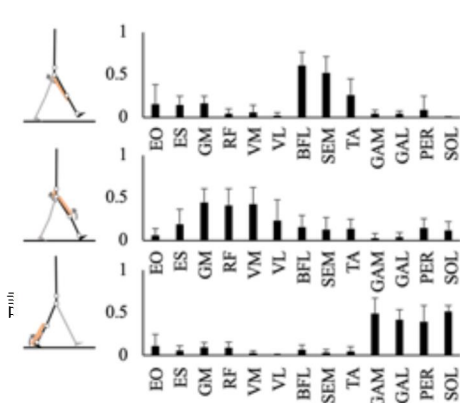


図 2 抽出された筋シナジーの結果

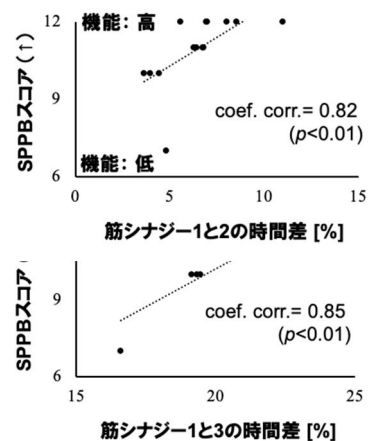
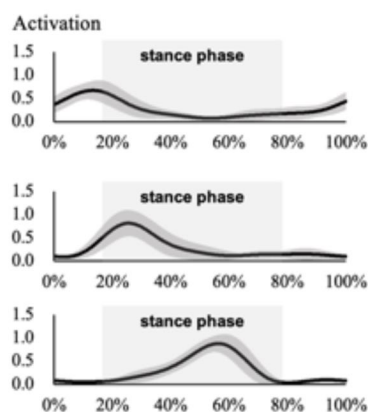


図 3 相関解析の結果

(2) 研究開発項目2: Awareness AI の応用

研究開発課題 2-1: 平田 PJ と連携した Awareness AI の実証実験

当該年度実施内容:

本研究計画は、平田 PJ と強く連携して研究を進めた。2024 年度は、これまで行ってきた平田 PJ と連携した実験の被験者を増やすとともに、脳神経科学にのつとつた Awareness AI の実装検討(図 4 参照)、ロボットのモデル化、臨床応用手段の検討、をすすめ、都市型病院で使用する可能性を探り、他の研究開発項目と連携しながら、社会実装を進めていった。また、Awareness AI Lab のような病院と連携する AI Lab の世界的なネットワークの議論を深めた。University of Edinburgh の Prof. Sethu Vijayakumar と、Spain CSIC の Prof. Juna Moreno と実際のプロジェクトをスタートさせ、Peripheral Electrical Stimulation による神経系疾患患者の計測を始めた。

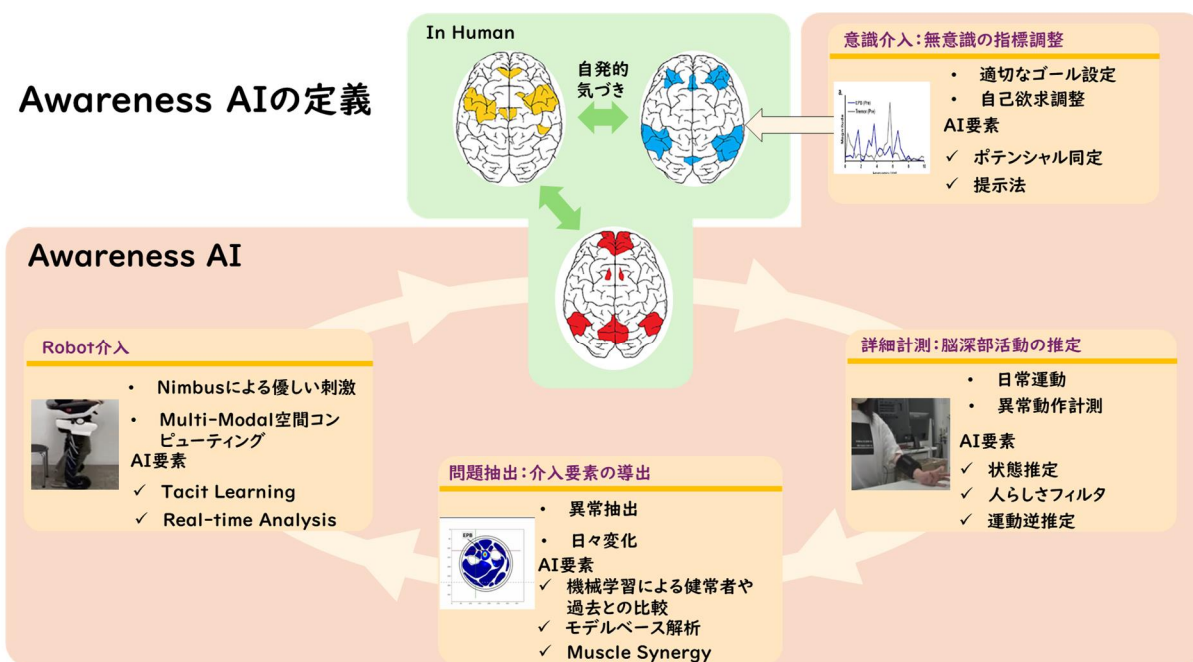


図 4: 脳神経科学に基づく Awareness AI の定義: この定義を確立したことで、Robotic Nimbus の制御を進めた

課題推進者: 下田 真吾 (理化学研究所)

研究開発課題2-2: Awareness AI による神経系異常からの機能回復実験

当該年度実施内容:

本課題における当 PI の役割は「Awareness AI」の開発において、運動・感覚機能再建外科医としての専門知識を提供し、開発を支援することである。

令和 6 年度には、イオンモールナゴヤリタケガーデン内に設置した Awareness AI Lab (オープンラボ)と、名古屋大学医学内の Awareness AI Lab において運動器慢性疼痛(フレイル状態の健常者も含む)や神経外傷・疾患による機能障害患者を対象に、運動・感覚機能解析、脳機能解析、認知機能解析を実施した。更に、これらの被験者から取得したデータを活用して意識的な介入により暗黙学習を通じて適応的な神経可塑性を刺激し、運動・感覚統合を正常化させる技術の開発を推進した。これらの取り組みは下田 PM との密接な連携のもとに行い、本 PI のミッションでもある Awareness AI アルゴリズムの開発を推進した(図 5-1, 5-2 参照)。並行して、平田 PM とも連携し、開発した Awareness AI を適用する Robot Nimbus のヘルスケア・医療領域への展開について協議を進めた。



図5-1 Awareness AI Labでの客観的身体機能評価

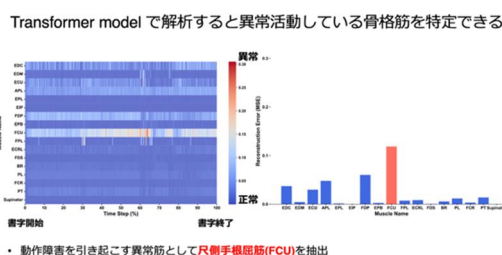


図5-2 市民公開講座の月例開催によるアウトリーチ活動

課題推進者: 平田 仁 (名古屋大学)

研究開発課題2-3: 先天性神経異常者補助システムへの応用

当該年度実施内容:

本研究計画は、ムーンショット目標 3 の平田 PJ と強く連携、かつ研究課題 1~3 と協働して研究を進めていっている。2024 年度は、特に研究課題 1-3, 2-1, 3-1 との議論を開始し、運動障害を呈する各疾患の運動特徴の解明と、運動支援の方法について議論を深めていく。複数名の発達期の患者、神経変性疾患の患者、運動器疾患の患者に対して、センシング技術を用いて計測を実施していく。本研究で対象とする動作は立ち上がり動作と歩行動作とし、セラピスト(理学療法士, 作業療法士, 言語聴覚療法士)による環境調整や運動支援を行ったときの動作の変容について計測とセラピストの手法について言語化していく。得られた結果については研究課題 1~3 と共有し、Awareness AI とロボットによる運動支援の手法の検討を協働して実施していく。下田 PM, 安 PI, 上田 PI と少なくとも 3 回以上の対面ミーティング、共同での実験を複数回行って、最も効果的な運動支援の方法を模索していく。また、下田 PM が構築している「AI の構築を実証する場としてクリニックを併設する Awareness AI Lab」と協働して、円滑な動作に必要な運動支援を行ったときに、運動の特徴

の変化を定量化し、その情報をもとに行動変容が可能な AI とロボット支援のシステム化に向けて研究を推進していく。

2024 年度において、本研究課題は研究開発項目 1-3 と共同で研究を実施した。脳性麻痺、パーキンソン病、脳卒中をはじめとする運動障害を呈する児・者や高齢者など、計 207 名に対し身体機能および認知機能の計測を完了し、それぞれの運動特徴の解明に向けてデータ収集および解析を行った(図 6 参照)。

計画に沿って、セラピストによる介入の前後での歩行および立ち上がり動作時の身体状況の変化を定量化し、その結果を基にリハビリテーションの内容を言語化した。これを AI ロボットに学習させ、アノテーションの作成を進めた。

また、地域在住の高齢者 150 名に対する計測では、身体機能データに加え、認知機能評価および脳波計測も実施し、身体・認知機能の連関や、機能低下に先立つ変化を明確化した。これにより、機能低下前に早期アプローチが可能となるようなデータを収集・解析した。認知機能評価ツール MOCO-J (Instruction manual of Japanese version of Montreal Cognitive Assessment) における MCI (Mild Cognitive Impairment) 基準と歩行指標の関連性を見出し、さらなる予測精度の向上に向けて議論を深めている。

さらに、目標 3 として、平田 PM に所属している渡辺 PI との協働によりライトタッチサポートを行う空圧アクチュエータの開発を加速させることができた。IMU センサを追加することで、動作時のセンシングから感覚刺激を外的キューとして付与する一連のシステム開発について、他職種との議論を通じて実現の方向性を見いだした。

平田PJ渡辺PI開発ロボットによる実証 (ライトタッチサポート)

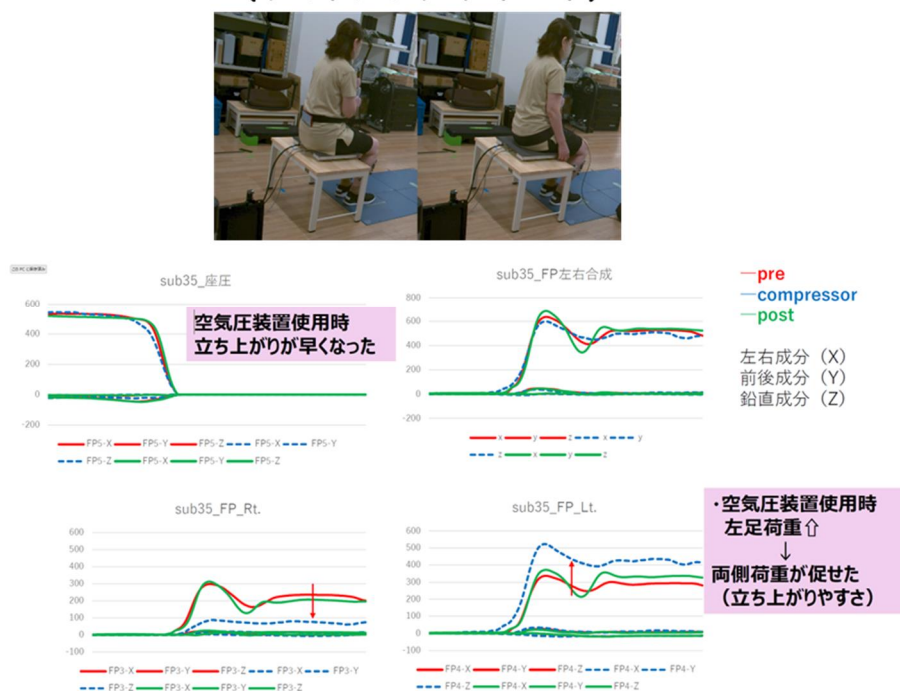


図 6 平田 PJ の渡辺 PI の Robotic Nimbus を用いた、パーキンソン病患者の立ち上がり補助: 立ち上がり姿勢に基づき、離臀のタイミングで筋収縮を促すことで、自然な立ち上がりを実現。対象者はサポートを受けたというよりも、自然に立ち上がれたと感じた

課題推進者:松田 雅弘(順天堂大)

(3) 研究開発項目3: Awareness AI の社会実装

研究開発課題3-1: 認知心理指標の定量化

当該年度実施内容:

心理行動実験でターゲットする気づきは, Awareness AI の導入によって使用者に心理的現象として形成されるものである必要があり, 他研究開発項目と意見交換を行いながら, ターゲットとする気づき現象を明確化する. ターゲットとする気づきと行動の関連度合いを独立変数として, 「気づき」現象をより効果的に観察できるものを新たに開発する. 2024 年度は, 研究開発課題 1-1,2,3と協力しながら, AI 解析された行動データを, 気づきおよび主体性を伴う行動変容を創発しやすいように心理指標を用いて定量化(見える化)することを目指した(図 7 参照). また, そのメカニズムを解明するため, 生体信号データの計測しながら心理行動実験を行い, データの蓄積を進めた.

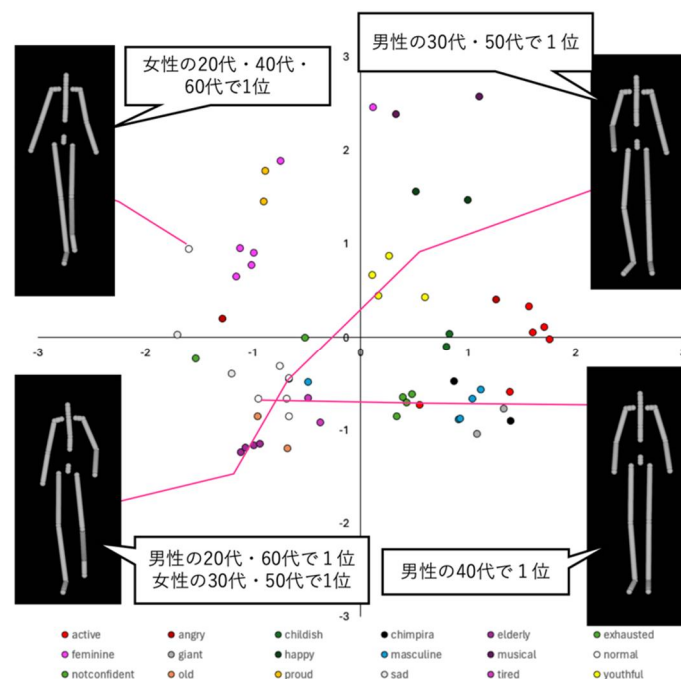


図 7. 各年代・性別ごとの好ましい歩行例

課題推進者:上田 彩子 (日本女子大学)

研究開発課題3-2: Awareness AI の数理モデル構築

当該年度実施内容:

2024 年度の実施概要は、「脳卒中患者の筋シナジーへの感覚入力が身体運動に与える効果」のモデル化に取り組むことであった。脳卒中患者のリハビリの運動データをもとに、数理モデルの構築を行なった。被験者数十名分のリハビリ前後の起立動作をデータ解析する

ことで、図 8 に示すようなロボットの制御などで仮想的に用いられるリアプノフ関数の推定を行なった。リアプノフ関数とは、力学系のエネルギーを模した状態変数のスカラ関数で、制御の動作中は値が単調に減少し、終端点で最小値ゼロとなるような関数である。ロボットの制御などでは、設計者が人工的なリアプノフ関数を指定して、それに沿った制御を行う。人体の無意識の動作である起立動作においても、同様の原理が働いているであろうという仮説のもと、深層学習を用いて被験者のリアプノフ関数推定を行ったところ、起立動作を説明できるリアプノフ関数が得られた。

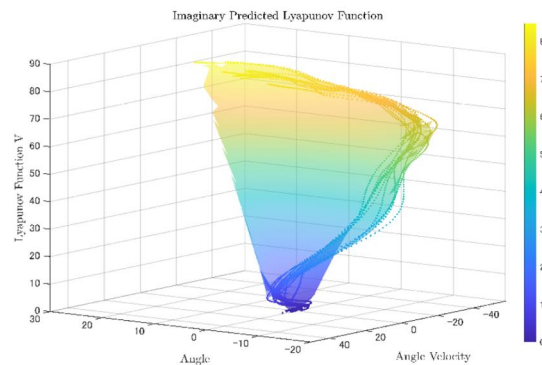


図 8：起立動作のリアプノフ関数

課題推進者：藤本健治(京都大学)

研究開発課題3-4:内受容感覚操作システム開発

当該年度実施内容：

本研究開発課題が目指す内受容感覚操作システムは、人間が絶えず使っている、外受容、内受容のループに違和感なく介入することで、その認知の操作性の手段の獲得、および無意識の知性による身体制御や、筋活動の拘束などに介入し、発達しすぎた人間の認知機能と生得的な知覚機能の不足部分を補完し拡張する能力を得ることを目指すものであり、日常の無意識の動作を妨げない形での常時計測/刺激系組み入れを実現しつつ、well-being に資する未来予測システムを構築することが本研究課題の重要な目的となる。R6 年度においては、上述システムの実装に向けた要素技術を開発する一方、開かれた環境での PoC を積極的に行なうことにより、当該システムの社会的受容性や、実生活環境での実装のポイントなど Heuristic な観点のレビューを先行して組入れる方策を採り、各所でのアウトリーチ活動を闊達に実施した。

課題推進者：藤原 武史（豊田合成株式会社）

(4) 研究開発項目 E:Peripheral Electrical Stimulation を用いた介入法の確立

研究開発課題 E-1: Data-centric Monitoring and Early Intervention for Motor Deficits in Neuro-degenerative Disorders through Portable Sensing

当該年度実施内容：

the objectives for the current fiscal year included:

- a) Development of Personalised Electrical Stimulation Interventions: Designing and

prototyping adaptive Functional and Peripheral Electrical Stimulation (FES/PES) interventions tailored to individual gait patterns and muscle dynamics. Initial trials will be conducted on healthy subjects, followed by validation studies in MS patients, particularly at the Anne Rowling Clinic.

b) Model Development for Real-World Application: Creating data-driven models to bridge the gap between portable sensor outputs and laboratory-grade motion capture systems. These models will estimate key biomechanical variables such as ground reaction forces and foot kinematics, ensuring reliable analysis outside controlled lab settings.

c) Data Collection and Gait Analysis: Conducting comprehensive gait assessments on both healthy individuals and those diagnosed with MS. Using both gold-standard 3D motion capture and the portable sensorised shoes, the study aims to identify kinodynamic and clinical metrics that effectively differentiate healthy from pathological gait. These metrics will be used to train AI models capable of estimating gait characteristics from low-cost portable sensors, facilitating continuous at-home monitoring of patients.

Together, these objectives aim to enable early, accurate diagnosis of neurodegenerative motor deficits and deliver scalable, personalised interventions in real-world environments. The outcomes of this research are expected to support a paradigm shift in how MS and PD are monitored and managed, ultimately enhancing patient quality of life and reducing the burden on healthcare systems (See Figure9).

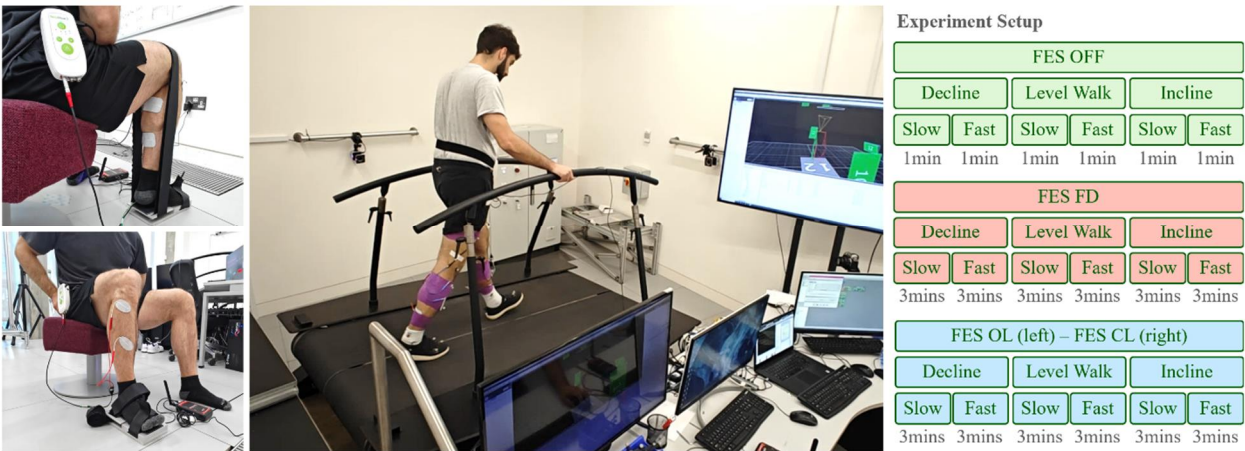


Figure 9: Overview of Walking Experiments

課題推進者: Sethu Vijayakumar (The University of Edinburgh)

課題 E -2 Unconscious Intervention by Peripheral Electrical Stimulation

当該年度実施内容:

The aim of the current fiscal year was to design a first version of a Wearable Force Plate (WFP) that could be used as a daily intervention device for people with Parkinson's disease. To that end, we based the research of the current fiscal year on designing a usable, robust and comfortable device that could (1) read in real-time the forces from the sensorised shoes designed by the University of Nagoya, (2) provide a peripheral electric stimulation based on

those real-time forces with the EAST stimulator (See Figure10). To fulfill those aims, we carried out the following tasks in the current fiscal year:

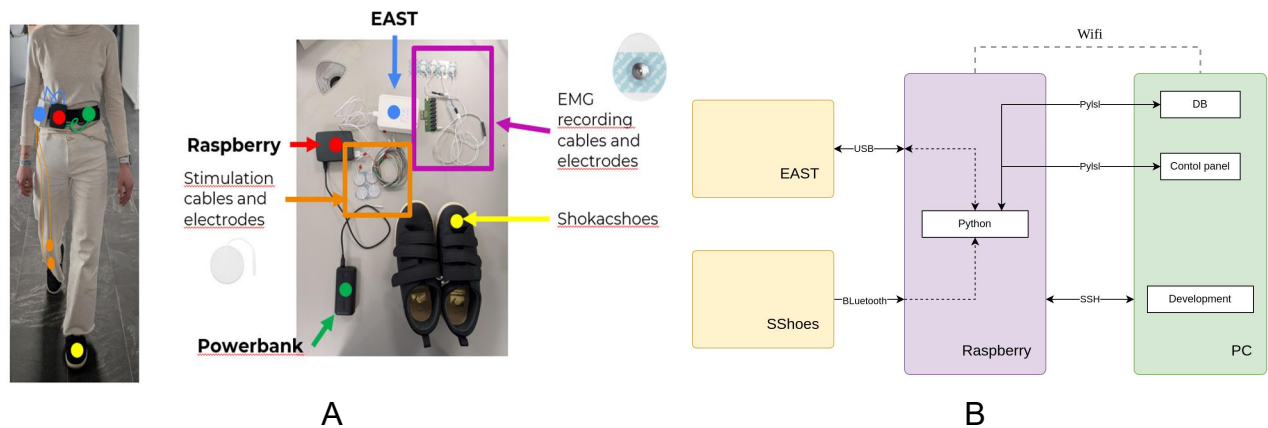


Figure 10 Final design of the Wearable Force Platform system for a personalized intervention.

A. Hardware design. B. Communication scheme

課題推進者: Juan Moreno (Spanish National Research Council)

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

月に一度の全体会議・運営会議を開催して全体の把握に努めるとともに、個別のミーティング実験等を頻繁に行うことで、研究進捗の管理を行っている。また、EU チームも正式にプロジェクトに加わったため、スペイン・エジンバラとも月に一度の定期ミーティングを実施している。

(2) 研究成果の展開

2024 年 5 月に Post-ICRA Workshop



図11: Post-ICRA Workshop Neuro Revolution



MOONSHOT
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

Forum 9 - Moonshot R&D Program Goal 3

**Envisioning a Future of Human-Robot Co-Living:
Potential for Robotics to Transform Human Lives**

15:30-18:00 Thu 17 Oct Room 17-18



IROS '24
ABU DHABI

Session 1: Keynote Speeches from Project Managers Goal 3



Prof. Sugano
(Waseda Univ.)



Prof. Hirata
(Tohoku Univ.)



Prof. Shimoda
(Nagoya Univ.)

Session 2: Panel Discussion: Ideal Future Society with Robots

Panelists:



Prof. Albu-Schäffer
(Tech. Univ. Munich)



Prof. Seneviratne
(Kalifa Uni.)



Prof. Sugano
(Waseda Univ.)



Prof. Hirata
(Tohoku Univ.)



Prof. Shimoda
(Nagoya Univ.)

Moderator:



Prof. Hashimoto
(Chuo Univ.)

図12: IROS Forum

図11, 12 に示す, Workshop や Forum を開催し, 我々の研究成果の公表に努めている。

(3) 広報、アウトリーチ

図13に示すように, 月一度の頻度でイオンモール Nagoya Noritake Garden での市民公開講座を行った。健康に関するテーマを設定し, 参加者が体験できる内容も交えながら市民の意識改革を進めている。

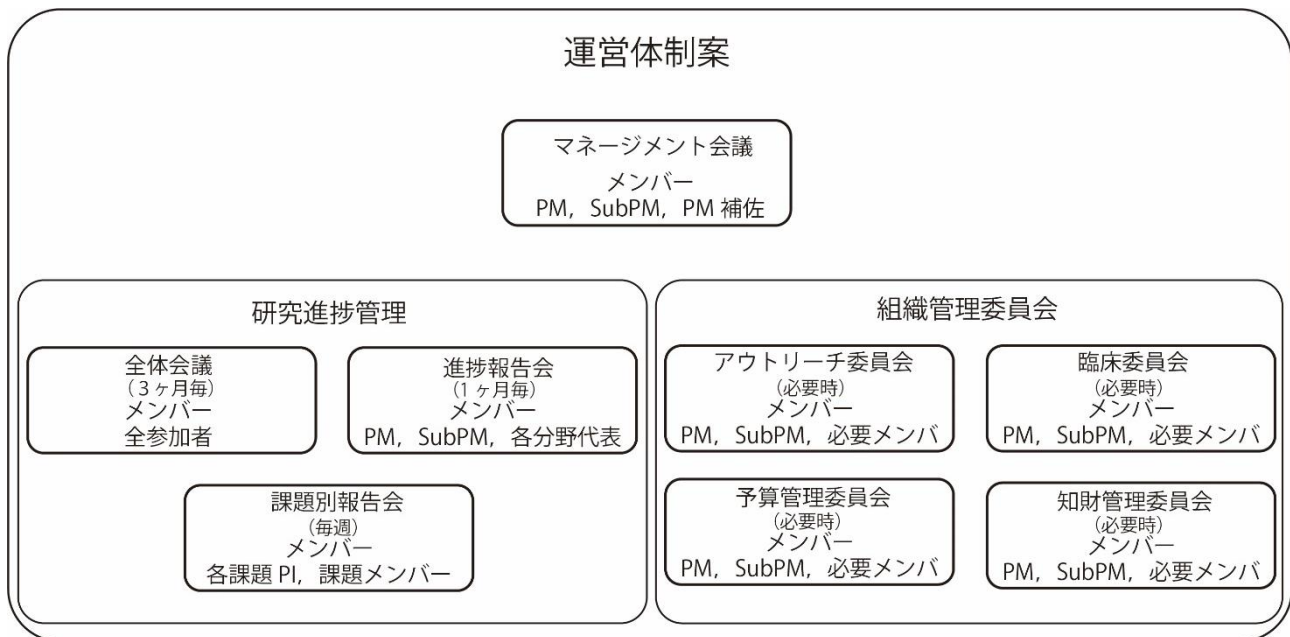


図13:「みらい健康ラボ」:一般への PR 文言として「科学の進歩は、私たちの生活をもどのようにかえることができるのでしょうか。それを体験できる「研究室(みらい健康ラボ)」をイオンモールノリタケの森に開設します。内閣府が進めるムーンショットと呼ばれる科学技術プロジェクトの成果を利用し、最先端の科学技術によって解決可能な私たちの身近な問題を紹介したり、実際に体験してもらったり、そして参加することで、科学の発展に貢献することもできる、そんなラボです。毎月いろいろなテーマを設定して、最先端の研究をしている先生に来てもらいます。長年の痛みをとる方法や、健康に過ごす方法、イオンモールがロボットになる、なんて話題も登場しますよ。」としている。

(4) データマネジメントに関する取り組み

これまでに取得しているデータは、極めて秘匿性の高いものであり、それぞれの研究機関の倫理審査基準にのっとり管理している。今後倫理委員会と協議しながら、必要に応じて公開することも検討していく。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



運営会議内容：

2 月 26 日

急遽、既存PJと一緒に新規プロジェクトも一緒に中間評価を受けることになった： 中間評価会：7月28日（金）

FS Stage Gate審査日程： 11月24日（金），11月25日（土）

プロジェクト全体会議： 10月： PM主催で課題推進者からの報告会、デモをアレンジ

IROSへのWorkshop提案を計画

3 月 26 日

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	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	2	2	4
口頭発表	3	3	6
ポスター発表	0	5	5
合計	5	10	15

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	5	2	7
(うち、査読有)	5	2	7

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	5	0	5
書籍	0	0	0
その他	0	4	4
合計	5	4	9

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
10