



## 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

# 終了報告書

---

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. 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

本プロジェクトは、ロボティクス技術と脳神経科学を統合し、人に“適切な気づき(Awareness)”を与えることで主体的な行動変容を促す Awareness AI ロボットシステムの構築を目的とした。従来のロボット技術が重視してきた物理的支援や作業効率化とは異なり、本研究は“ヒトの内面”に介入する新たな枠組みの確立を目指した点に特徴がある。

まず脳活動を巨視的に捉え、Default Mode Network(無意識処理)、Salience Network(無意識と意識の橋渡し)、Central Executive Network(意識的処理)の三層モデルに基づき、気づきを「Salience Network を介して意識に上る情報の変化」と再定義した。この理論的整理により、ロボットが作用すべき介入部位やプロセスが明確になり、Awareness AI の設計指針が確立された。

無意識状態の定量化に向けては、歩行・立ち上がりといった日常動作に表れる無意識的反応を利用し、マーカーレスモーションキャプチャ、スマートインソール、Wearable Force Plate を組み合わせた多層的計測体系を構築した。これにより、大規模スクリーニングから精密解析まで、負担の少ない自然な動作計測が可能となった。さらに、得られたデータをもとに LSTM などの機械学習を用いて Foot Clearance などの歩行状態を高精度に推定する AI を作成し、無意識下の運動異常をリアルタイムで捉える技術基盤を整えた。介入技術としては、Robotic Nimbus による立ち上がりタイミングの教示、体幹圧刺激による Tactile C-fiber 刺激、さらに末梢電気刺激(PES)による無意識レベルの神経調整を導入した。これらの介入は力学的な「補助」ではなく、無意識と意識の橋渡しを整える“気づきの誘発”を目的として設計された。

臨床応用では、パーキンソン病患者に対し Robotic Nimbus を用いた立ち上がり介入を実施し、骨盤角度や姿勢制御の改善を確認した。また、PES により多発性硬化症患者の歩行改善やパーキンソン病患者の歩き出しの改善が得られつつあり、Awareness AI による認知介入療法の有効性を示す結果が集積している。さらに高密度筋電計を用いた筋活動解析では、ジストニア患者の異常筋活動を同定し、疼痛軽減に成功するなど、Software Disease と位置づけられる機能性運動障害に対する実践的治療モデルを提示した。社会実装面では、医療機関での歩行評価導入、都市施設での無意識計測、さらに国際共同研究(英国・スイス・EU)との連携が進み、大阪・関西万博を含む多様な場で成果が発信された。

以上より、本研究は「無意識の定量化」「気づきの操作」「ソフトウェア疾患の治療」という新しい医療・工学領域を切り拓き、2030年に向けた次世代医療システムの基盤形成に大きく貢献した。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施概要

本プロジェクトは、ロボティクス技術と脳神経科学を融合させ、ヒトに「適切な気づき」を与えることで主体的な行動変容を促す Awareness AI システム の開発を目標としている。プロジェクト開始当初から、従来のロボティクスが重視してきた「物理的な支援」や「作業効率化」といった枠組みを超え、ヒトの内面に働きかけるという極めて挑戦的な方向性を掲げてきた。そのため、研究の初期段階から、単なる装置開発やアルゴリズム実装ではなく、「ヒトの脳神経系をシステムとしてどのように捉えるか」という根源的な問いに立ち返り、脳活動の基盤を踏まえたロボティクス介入の設計を進めてきた点が大きな特徴である。

これまでに得られた進捗を整理すると、大きく以下の3つに区分できる。

#### 1. 気づきの定義とモデル化

「気づき」という従来曖昧に用いられてきた概念を、脳神経科学の知見に基づき再定義した。

具体的には、Default Mode Network（無意識処理）、Central Executive Network（意識的処理）、Salience Network（無意識と意識の橋渡し）の三層構造を設定し、気づきとは「Salience Network を介して意識下に上がる情報の選択と変化」と位置づけた。このモデル化により、ロボティクス介入がどの部位・どのプロセスに作用すべきかを明確化した点は、従来研究との差異を生み出している。

## 2. 無意識状態の定量化技術の開発

脳深部活動は、従来 fMRI や高密度脳波など時間的・空間的制約の大きい手法でしか測定できなかったが、本プロジェクトでは歩行や立ち上がりといった日常動作に表れる無意識の反映を利用し、運動計測を通じたリアルタイム推定技術を確立した。マーカーストレーションキャプチャ、スマートインソール、Wearable Force Plate を段階的に使い分け、大規模スクリーニングから精密解析までをシームレスに実現できる体系を整備したことは、臨床応用に直結する強みである。

### 臨床応用による実証

得られた知見を実際の患者群に適用し、成果を実証している。パーキンソン病患者に対しては、Robotic Nimbus を利用した立ち上がり介入により骨盤角度や姿勢制御の改善を確認した。また、Peripheral Electrical Stimulation（PES）を利用した歩行補助では、意識に上らない介入によって自発的な運動改善を得られた。さらに、高密度筋電計を用いたジストニア患者の筋活動解析では、異常筋活動の同定とターゲット治療に成功し、疼痛スコアの有意な改善を示した。

## (3) プロジェクトマネジメントの実施概要

### a. 研究資金の効果的・効率的な活用(官民の役割分担及びステージゲートを含む)

本プロジェクトでは、研究課題を超えた共同実験・計測、サイトビジットを積極的に行い、相互補完的な成果創出を実現してきた。特に歩行計測技術に関しては、基礎研究から臨床応用への橋渡しが進展し、社会実装に耐え得る体制が整備されつつある。予算執行においても、専門人材の配置により透明性・効率性を担保し、研究開発全体を円滑に推進する体制が確立されている。これにより、当初計画を超えた実践的展開が可能となり、研究資金は有効に活用されている。

### b. 国際連携による効果的かつ効率的な推進

本プロジェクトは EU から 2 名の PI を迎えて進行しており、さらに Wales 政府との連携や大阪万博 UK パビリオンでのパネル参加などを通じ、国際的な発信を強化している。加えて、ETH Zürich の Robert Reiner 教授らとの共同研究計画も進行し、Awareness AI を核とした国際連携の枠組みが拡大している。これらは単なる学術交流にとどまらず、社会実装に向けた実践的な協力体制を築くものとなっており、効率的な国際展開を可能にしている。

### c. 広報・アウトリーチ活動(国民との科学・技術対話に関する取組み)

市民との科学技術対話の促進に向けて、学会発表やシンポジウムのみならず、企業・医療機関との実装現場での発信を強化してきた。特に歩行計測や Awareness AI の実装は社会的関心を集めており、報道・イベントを通じた広報活動がプロジェクトの可視化に寄与している。また、研究成果を分かりやすく社会に還元する仕組みを整備し、社会的説明責任を果たしつつ、国民との双方向的な対話を推進している。

d. データマネジメントに関する取組み(研究データの保存, 共有, 公開の状況)

研究データの保存・共有については、クラウド基盤を用いたセキュアな管理体制を構築し、研究グループ間での迅速なデータ交換を実現している。さらに、産業界や医療機関との連携に伴い、共有データの標準化・匿名化も進められ、社会実装を視野に入れたデータ利活用体制が整備されている。これにより、研究の効率化と信頼性確保が両立し、将来的な公開・展開に向けた基盤が確立された。

e. その他(ELSI/数理科学等の取組み含む)

本プロジェクトでは、AI・Robotics が社会に浸透していく過程での倫理的・法的・社会的課題(ELSI)についても積極的に取り組んでいる。2024年の日本ロボット学会でのELSI議論や、専門ポストクの採用、電気通信学会での特別セッション企画を通じ、研究と社会の接点を深めている。数理科学の面では、立ち上がり動作のダイナミクスを考慮したリアプノフ関数の導出と制御応用が進められ、Nimbusによる実証にも展開している。これらにより、研究の基盤強化と社会的適合性の両立が図られている。

## 2. 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

(2)

研究開発課題1-1: 潜在能力解放 AI の開発

実施内容:

90%以上の行動を無意識下で行っている人の神経系では、その存在が明示的に意識できる自己効力感のある能力のみを、普段は利用しているが、能力的には可能であるが発揮することができない潜在能力が存在する。本研究開発課題では、Awareness AI の重要な役割の一つとして、身体情報から潜在能力を推定し、それを自発的な気づきとして提示することで、自己効力感を調整するシステムを構築することを目的として実施された。

潜在能力は、運動や筋骨格の力学的整合性や神経系の妥当性などの、身体情報によりシミュレートできると考えられる。筋力・神経系状態を基にした身体情報から、筋骨格系などの力学的整合性・神経系の妥当性の備わった生体モデルから、本来利用可能である運動-感覚統合を出力するシステムを構築する。そのシステムを利用して潜在能力を推定し、適切な気づきを与えることで行動変容を促す AI の開発を行ってきた。

具体的には、人が無意識の中で行う動作の中でも最も制御が難しい歩行に注目し、研究開発課題 1-2 と協力して自動計測の中で問題点を抽出するシステムを構築した。特に 1-1 では「人らしさフィルター」を開発し、計測データをそのまま用いるのではなく、人としてあるべきデータに変換することで計測ノイズの排除し有効な評価を自動的に構築することに成功した。この点は非常に評価できる。さらに、これらのシステムを自動化するためのパイプラインを作成し、中東遠総合医療センターに導入したことは特筆に値する成果である。

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

### 実施内容:

人の神経系の特徴として、自己効力感のような脳上位機能では、行動目標などがシンボルで表象され、無意識の処理の中で具体的な生体信号へと変換されていくことで、実際の行動が作られ目標が実現されていくことが知られている。そのため、実際の行動を作っている際にも計測可能な、筋活動や心拍・体温・関節角などのマルチモーダルな生体信号を読み解くことで、同定すべき行動意図や、目標実現に不足する部分が同定できる可能性が高い。そこで、人間的な論理性の部分を生かしつつ、無意識下の情報処理結果であるマルチモーダルな生体信号を、機械学習を利用した手法により解析することで、行動意図や、目標実現に不足する部分を同定する AI を構築することを目的とした。

具体的には、研究開発項目 1-1 と協力し、歩行の特徴を抽出する機械学習モデルを構築した。繰り返し運動である歩行動作から、0.1 秒間のデータを用いて、0.1 秒後の運動予測を行う AI を構築することで、歩行の個性を消しつつ特徴量のみを残すことに成功した。また、歩行状態から加齢時の歩き方を推定する AI も構築し、運動の予測と顔などの静的なものの予測の違いの検証を進めている点も特筆に値する点である。

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

### 実施内容:

Awareness AI では、個人の生体信号や身体情報を元にその個人が発揮しうる潜在能力を算出する。本プロジェクトで対象とする患者の運動障害の程度は多岐に渡っており、これらの特性を反映した情報を取得して Awareness AI に入力する必要がある。また Awareness AI によって算出される潜在能力は、筋出力や身体の特徴を反映しているが、これを支援デバイスによって実現するためには、適用対象となる個人におけるその時々モチベーションや人が元来もつ神経生理学的な特性を反映することが必要不可欠である。したがって、本研究開発課題では、まず研究開発課題 1-1 や 1-2 と協力し、AI の構築・実際の利用に必要なデータの取得と Awareness AI の構造に合わせたデータの変換を行ってきた。AI によって算出された個々人の潜在能力を実際の使用者および使用デバイスに合わせて引き出すための方法論の確立を目指した。

具体的には自己効力感と呼ばれる本人の能動性を評価する指標を用いて、支援デバイスを使用した際に、本人が随意的に身体を動かしている割合を調べることで、自己効力感に合わせて支援の度合いを徐々に変えていく制御測設計し、Awareness AI によって算出される身体の動かし方を支援デバイスによって実現する方策を確立した。筋シナジーと呼ばれる人が運動する際の神経生理学的な基盤に着目し、人の動作を支援する際に人が元来有する筋シナジーの活動に適合するものとなるように、かつ支援デバイスによって実現できる形に適合させるように、Awareness AI による出力を実際の機器において使用するための方法論を構築した。

課題推進者: 安 琪 (東京大学)

### (3) 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 実証実験

##### 実施内容:

本研究開発課題では、平田 PJ と協力して、Awareness AI を利用した効果的なシステムを構築していくことも目標とした。特に、Hardware に関しては、平田 PJ の Robotic Nimbus を積極的に利用しながら研究を進めているが、実際の応用に関しては、使用方法の調整から使用機器の移動やセットアップなど、多岐にわたる調整が必要であった。研究開発課題 1-3 と協力し、研究開発課題 1-1, 1-2 で開発される AI が、実際に Robotic Nimbus で動くように調整し、研究開発課題 2-2, 2-3 にあげる実験や、平田 PJ の行う実験への協力を含め、Awareness AI と Robotic Nimbus を実用可能なシステムとしての構築を目指した。

具体的には、脳神経系の特徴に基づき、気づきを始めとする本プロジェクトの基盤となる考え方を体系的に整理するとともに、深部筋活動を含む四肢の筋活動を高精度に推定するシステムの開発を進め、生体信号計測の基盤を着実に構築した。これにより、従来は困難であった無意識下の筋活動や内部状態の推定が可能となり、ロボティクス研究に新たな視点を提供する基盤的成果が得られた。さらに、得られた多様な生体信号を活用し、Robotic Nimbus による介入システムの構築を、研究開発項目 1-3 との密接な連携のもとで推進した。この協働的な取り組みによって、生体信号計測から行動介入に至る一連のプロセスが統合され、プロジェクト全体の実効性を高める研究体制を整えることができた。

そのうえで、最終的に Hardware, Software とともに汎用化し、実環境で適切に応用ができるものへと発展させていく必要がある。そのための AI システムの活用法、ユーザーインターフェースの在り方、社会的許容性のあるシステム構築など、実社会へ応用していくための議論も進めてきた。特に社会実装に向けては、研究開発課題 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 と適切に協力することで、人の認知心理学的な妥当性、社会倫理に反しないデバイス設計、論理的正当性、それらを実現可能なデバイスの在り方、についての議論を深めた。

課題推進者: 下田 真吾(名古屋大学)

#### 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

##### 実施内容:

本研究開発課題では、Awareness AI の開発とその効果検証にメイン知識を提供して Awareness AI 及びそれを活用するデジタルモデルによるシミュレーションシステムの開発を支援することを目的とした。具体的には、神経障害と難治性筋骨格疼痛患者の診療に特化したみらいの診察室を、中東遠総合医療センターに設置し、神経外傷・障害患者や難治性筋骨格疼痛患者を対象とするデータ収集や介入効果の検証を行い、シミュレーションシステムの開発を支援するとともに、Awareness AI による Robotic Nimbus と人のシームレスな協調の実現を医学的観点から進めた。研究開発項目 2-1 と協力し、高密度筋

電計を利用してジストニア患者の Awareness AI を用いた治療応用を進めるなど、アカデミックな結果と実利用を両立可能な成果を出している。

課題推進者:平田 仁(名古屋大学)

#### 研究開発課題 2-3: Awareness AI の臨床応用

実施内容:

本研究開発課題では、主に先天的な異常・神経系疾患への応用の検討を進めた。先天的な異常は、課題 2-2 のような、認知機能の介入とは異なり、生得的に環境への適応能力が不足していることが多い。その原因の一つは、環境との相互作用を生み出す反射機能であると考えており、研究開発課題1-1, 1-2, 1-3で開発する AI システムを応用し、適切な環境との相互作用状態を構築し、正常は発達を促すことを目的とした。また Parkinson 病 (PD) などの神経系疾患は、進行性の病気であるにもかかわらず理学療法に基づくリハビリテーションが有効であることが分かっている。

そのような背景の基礎研究課題では、具体的に、研究開発項目 1-3 と研究開発項目 2-1 と緊密に連携しながら、Robotic Nimbusを PD 患者に応用し、Awareness AI が立ち上がり動作をサポートする効果について詳細に検証した。患者の起立や動作開始において、従来の方法と比較して有意に高い改善が得られ、統計的に優位であることを明確に示すことができた。この成果は、単に技術的な進展にとどまらず、神経疾患患者に対する新しい治療アプローチの有効性を裏付ける重要なエビデンスであり、本プロジェクトが掲げる目標に対して大きな前進を示すものである。さらに、複数の研究開発項目が協調的に機能することで、単独では到達し得なかった知見を導き出した点は特筆すべきであり、学術的にも臨床的にも高く評価できる。このように、Robotic Nimbus と Awareness AI の統合的な応用は、神経疾患リハビリテーション分野における新しいパラダイムを提示するものであり、今後の臨床応用や社会実装に向けた基盤を築いた。

課題推進者:松田 雅弘(順天堂大学)

#### (4) 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

実施内容:

本プロジェクトにおいて開発する AI は、人に適切な気づきを与えることで、主体的な行動変容を促すことを目的としていた。したがって、行動変容を適切に定量化するための、認知心理学に基づいたアプローチの開発は必須であり、本研究開発課題では、Awareness AI による行動変容を、Sense of Agency や Time Perception, 自己効力感, Body Image などの指標を用いて定量化することを目的とした。従来の研究では、そのような値を定量化手法としては、アンケート調査が主流であったが、本研究では生体信号の解析からの定量化を目指す。生体信号の利用では研究開発課題1-2の AI 開発と協力し、必要なあたりを定量化していくことを検討してきた。

具体的には、研究開発項目 1-1, 1-3 との緊密な協力のもと、Awareness AI の適用範囲を単なる運動支援や症状改善にとどめるのではなく、行動変容後の「その先」に焦点を当てた研究を進めた。対象者が行動変容を経て、どのような自分を目指すのか、そのためにどのような行動を持続することが必要かという問いを、認知心理学の枠組みから体系的に検討した。特に、単なる外的報酬(運動機能改善, 症状軽減)だけでなく、対象者自身の「内的報酬」に着目し、健康維持や疾患回復と「なりたい自分」のイメージを結び付ける新たなリハビリテーションの枠組みを議論の中心に据えた点が重要である。この取り組みにより、Awareness AI は従来の「支援技術」から、対象者の動機づけや心理的成長を後押しする「伴走者」としての役割を持つ方向へと進展した。

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 による神経系異常からの機能回復実験

実施内容:

これまでに、未知環境への適応能力を理論的に議論する一つの手法として、未知環境を含むシステム全体を微分方程式で表現し、システム全体の変化の方向性の議論に置き換えることを行ってきた。本研究では、Awareness AI においても、

1. AI の全容を数式に書き下すこと
2. 未知環境や人の身体状態など、数式に書き下すことが不可能な部分はその変化分を考えること

が重要な役割を果たすと考えている。

本研究開発課題では、研究開発課題1-1, 1-2で開発する AI と、研究開発課題2-1, 2-2, 2-3の協力で行われる検証実験をもとに、Awareness AI を理論的に解析するための定式化を行い、それに基づいた適応能力の定量化を行ってきた。さらに、理論的な側面からの解析を進めることで、時間的・空間的なスケールを包含する理論モデルを構築することも、本研究開発課題のタスクとして研究を進めてきた。

その目的に基づき、無意識の適応能力を理論的に解明するための取り組みを推進してきた。具体的には、立ち上がり運動における下肢や体幹の筋活動、足底圧の変化、さらには重心の動態といった多角的な生体データを収集・解析し、それらを基盤として無意識下で発揮される立ち上がり動作のダイナミクスを抽出する試みを行った。その成果として、これまで定性的にしか捉えられなかった無意識的制御の安定性や適応性を、リアプノフ関数という数理的な枠組みで表現することに成功した。さらに、この理論的枠組みを Robotic Nimbus の制御に応用し、患者の立ち上がり動作をより精緻に支援できる仕組みへとつなげている。これらの成果を、無意識の適応能力を可視化し定量的に捉えるだけでなく、工学的実装へと結びつけた。

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

#### 実施内容:

生体信号から、適切な能力の同定や潜在能力の推定を行うには、継続的な生体計測は欠かせないと考えている。特に、内受容感覚への刺激と計測は本研究で確立しなければならない重要な技術である。近年人の受容感覚についての理解が進み、成長発達の過程で臨界期を設けることで、取得できる情報を選択・遮断し、意識可能な情報のみを取得できるようになる外受容感覚と異なり、身体内部の情報を読み取る内受容感覚は、身体の変化に素早く対応し、身体イメージの調整などを行い、刻一刻と変化する状態への素早い適応を実現する役割があることが分かってきた。この内受容感覚の特性を利用することで、脳神経系内の状態を、デバイスによる補助がある状態が自然な状態である、と認識するものに変化させながら補助することで、人工物による補助への違和感を低減させられる可能性が示唆されている。本研究課題では、Wearable での直接刺激、視覚や聴覚を利用した直接意識には登らない、周辺視野等を利用して、内受容感覚を刺激・計測し、定量化することができるデバイスを開発することを課題として研究を進め、大阪万博等で、歩行データ計測に基づいた将来像のシミュレーションシステムやロボット介入による変化のシミュレーションシステムの開発をすすめてきた。さらにその社会実装を進めるため丸ビルでの一般公開イベントを主導し、幅広い層の参加者に対して Awareness AI の有用性と可能性を実際に体験してもらう機会を創出したことは、社会的認知度を高めるうえで大きな効果をもたらした。大阪でのヘルスケア施設への導入を実現し、臨床現場や地域医療に直結する形での応用展開を先導したことは、研究成果を社会に還元するという点で特筆に値するものである。これらの活動は単なるシステム開発にとどまらず、研究と社会を橋渡しする「実装力」を体現しており、Awareness AI の社会的受容性や持続可能な発展基盤を形成するうえで大いに貢献したと。加えて、こうした取り組みは今後の他地域・他施設への展開を促す触媒ともなり、臨床研究から実社会への移行プロセスにおける重要なモデルケースとして位置付けられる。したがって、本成果は Awareness AI の社会実装を現実のものとするための極めて重要な一歩となった。

課題推進者:藤原 武史 (豊田合成株式会社)

#### (5) 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

#### 実施内容:

多発性硬化症 (MS) やパーキンソン病 (PD) のような神経変性疾患の治療が困難である主な理由は、神経機能の低下が進行性であり、時間とともに悪化する傾向があるためである。これらの疾患の進行を評価し監視するために使用される現在の臨床スケールは、しばしば低下の全範囲を捉えることができず、効果的な治療やタイムリーな介入を難しくしている。

MS の場合免疫系が神経繊維を覆うミエリンを攻撃し、神経のいわば通信問題を引き起こし、最終的には永久的な損傷や劣化を引き起こす。一方、PD は主に脳の大脳基底核の

黒質にあるドーパミン作動性ニューロンに影響を及ぼし、震え、こわばりなどの運動症状、および認知機能の低下を含む非運動症状が引き起こされる。これらの変化は老化の高速な変化と考えることもでき、これらを早期発見し、適切な介入を行うことが Dynamic 健診における介入手法の確立につながる。

本研究課題では、Wearable センサーを用いて、症状の早期発見・定量化と介入量の導出を目指してきた。具体的には、研究開発項目 2-1 および E-2 と緊密に協力し、WFP を利用した運動推定 AI の構築に取り組み、着実な成果を挙げた。特に、MS 患者に特徴的に見られる Foot Drop 症状に焦点を当て、Awareness AI を利用したシステムを構築したことは大きな意義を持つ。そのため MS に限らず PD 等の歩行障害など、他の神経疾患への応用可能性も視野に入れ、研究成果の幅広い展開を目指す必要がある。

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

## 研究開発課題 E-2: Unconscious Intervention by Peripheral Electrical Stimulation

実施内容:

多発性硬化症 (MS) やパーキンソン病 (PD) のような神経変性疾患の同定のため、Wearable Force Plate と言えるセンサーシューズ (6 軸力覚センサ 3 つを配置 + IMU の計 48 出力) の使用性の向上と、無意識下の神経刺激である Peripheral Electrical Stimulation (PES) 手法の確立を行った。センサーシューズの使用性向上では、48 出力をこれまでの一枚のフォースプレート出力と比較しながらその有用性を検証するとともに、PES 手法の確立では、PD/MS への介入に適切なモデルを確立し、かつ介入手法を開発することで、Robotic Nimbus の入力 of 確立を目的とした。

具体的には、研究開発項目 2-1 および E-1 と緊密に連携し、WFP から得られる出力データを活用することで、これまで十分に臨床応用されてこなかった末梢神経刺激 (PES) の新たな利用基盤を構築することに成功した。この知見をもとに、PD 患者への臨床応用を進めた結果、歩行能力の改善という形で有効な成果が得られており、神経疾患リハビリテーションの新しい介入手法として大きな可能性を示している。加えて、本研究は当初計画段階では十分に想定されていなかった「無意識下での末梢神経刺激と行動変容との関連」を示すものであり、Awareness AI の概念とも親和性が高い展開を見せている点が特筆される。この成果は、単なる技術開発にとどまらず、神経科学的理論の深化と臨床応用の両面に資するものである。

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

### 3. 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

本プロジェクトでは、代表機関内に研究活動・財務・契約・データマネジメント・広報・ELSI 対応などを横断的に支える管理基盤を構築した。PM チームは研究代表者と密接に連携し、研究計画進捗の可視化、リスク把握、産学官との調整を担う役割を中心的に果たした。

進捗管理の中核には、月次進捗報告会 (JST も参加) が位置づけられ、研究開発項目 1~3 および国際連携項目 E の各課題推進者が定期的に進捗を報告し、課題の共有、技術的ボトルネックの分析、優先順位づけの更新を行った。また、重要事項については臨時会議を開催し、ロボティクス介入技術の安全性評価や、臨床データ取得体制の改善など、意思決定を迅速に行った。

進捗の一次情報を確実に把握するために、国内外で複数回のサイトビジットを実施し、実験環境の整備状況、被験者リクルート状況、ロボティクス装置の稼働状況、高密度筋電計のデータ品質などを直接確認した。英国・スイスの海外 PI の拠点へもオンラインを含む連携を継続し、国際協働での計測プロトコルの統一や研究進度の同期を確保した。

さらに、全体会議では研究機関横断でのミーティングを設定し、歩行データの解析手法の標準化、AI モデル間の比較、PES 刺激パラメータの調整など、研究者間の技術交流を促進した。研究支援チームは、四半期ごとに成果と課題を整理し、PM へ報告することで全体の進捗を統合。特に、マーカーレスモーションキャプチャや Wearable Force Plate のデータ収集進度、臨床介入の統計的有意性の評価など、主要 KPI の定量的管理を徹底した。

##### 研究開発プロジェクトの展開

本プロジェクトでは、研究者・研究機関間の「競争と協働」を意図的に設計し、技術開発のスピードと革新性の最大化を図った。具体的には、歩行解析 AI について複数 PI が独自手法を提案し、それぞれを競合的に評価する仕組みを取り入れた一方、解析精度の高かった手法を共同で統合し、プロジェクト共通の推定 AI へと昇華させた。また、研究が想定より遅れた項目については、早期に方向転換を実施し、無意識状態の定量化に関する計測技術を強化するなど、柔軟な体制再構築を進めた。

歩行・立ち上がり介入研究の成果を踏まえ、研究中盤では Software Disease (機能性運動障害) 領域への拡張を決定し、ジストニア患者への高密度筋電計解析や連合学習による無意識調整モデルの適用など、新規研究項目を追加した。これは、研究成果と臨床ニーズの高まりを踏まえた適切な方向転換であり、Moonshot 目標である「無意識への介入による主体的行動変容」の実証に大きく寄与した。

国際連携の拡大も重要な展開である。英国 (Wales 政府・大学)、スイス (ETH Zürich)、EU の研究者との協働体制を構築し、共同データ収集、介入プロトコルの国際比較、研究成果の共著化など、世界レベルでの知の集約を進めた。大阪・関西万博 UK パビリオンでの展示や講演の実施は、国際社会における Awareness AI の認知向上につながった。さらに、ELSI および数理科学の専門家をプロジェクトに組み込み、AI 介入の倫理性・安全性・社会受容性について継続的な検討を実施した。特に、無意識への介入がもたらす社会

的影響の分析や、介入アルゴリズムの透明性確保に向けた議論は、研究開発の加速と社会実装の両立に大きく貢献した。

## (2) 研究成果の展開

研究成果の社会展開を見据え、知財・事業化・技術移転の3軸で戦略的に取り組みを進めた。知財面では、高密度筋電計による深部筋推定技術、歩行推定 AI、連合学習を活用した気づき誘発モデル、PES 刺激の最適化プロトコル、Robotic Nimbus 関連技術など、複数の要素技術について特許出願を検討・実施した。知財委員会を定期的で開催し、研究フェーズごとに保護すべき技術の優先順位づけを行った。

市場・技術動向調査については、世界的に高齢化・フレイル対策・遠隔医療需要が拡大する中、無意識計測・Software Disease 治療・歩容 AI 解析技術の市場性を分析し、医療・ヘルスケア・スポーツ産業への応用可能性を評価した。

社会実装に向けては、中東遠総合医療センターに「みらいの診察室」を設置し、歩行計測・無意識推定・介入技術を統合した実装モデルを構築。ショッピングモールでの大規模スクリーニング(1000名超)、施設での MLMC 常設化、都市型施設との社会実証も実施した。さらに、万博などの展示会でのデモ展示を通じ、将来の顧客層である医療機関・行政・企業へのアプローチを強化した。

終了後の展開としては、スタートアップ設立による技術移転、国際共同研究プロジェクトの継続、医療機関との連携による臨床応用の本格化を予定しており、Awareness AI を基盤とした新たな医療技術・健康産業の創出を目指すロードマップが整備されている。

## (3) 広報、アウトリーチ

本プロジェクトでは、研究成果を社会へ開くこと、また国民との科学・技術対話を促進することを重要な柱として位置づけ、積極的かつ多角的な広告・アウトリーチ活動を展開した。特に、一般市民が自身の身体や健康に関する「気づき」を得る場を創出することを目的として、イオンモールにおける市民公開講座「みらい健康ラボ」を定期開催してきた。同講座はこれまでに16回実施され、延べ数千名規模の市民が参加する継続的なプログラムへと成長した。講座では、歩行解析の実演、高密度筋電計による筋活動可視化、ロボティクス介入の体験型デモなど、Awareness AI の要素技術を市民が直接体験できる形式とし、「身体の状態を知ることが行動変容につながる」というプロジェクトの理念を広く伝えてきた。

また、大阪・関西万博では、大規模な国際的アウトリーチの機会として、エンターテインメントと科学技術を融合した発信を行った。著名ダンスグループ TRF の SAM 氏を迎え、健康と身体運動の未来についての特別パネルディスカッションを実施し、Awareness AI 技術が日常のウェルビーイング向上にどのように寄与するかを分かりやすく紹介した。さらに、和太鼓演奏者の筋活動を高密度筋電計でリアルタイムに可視化し、大型スクリーンに映し出すステージ演出を行うことで、来場者が“身体の中で起きている見えない現象”を体験的に理解できる仕掛けを提供した(図1参照)。この取り組みは、専門性の高い研究内容を誰もが直感的に理解できる形に変換するアウトリーチの成功例として、多くの来場者から高い評価を得た。

さらに、若年層を含めた幅広い層への情報発信を目的に、Instagram をはじめとする

SNSを積極的に活用している。研究成果の紹介、イベント開催告知、計測風景の裏側、臨床研究の進捗、国際連携の様子などを継続的に発信し、大学・研究者の活動をより身近に感じてもらう取り組みを展開している。特に動画コンテンツを活用することで、歩行解析やロボティクス介入など動的な技術を視覚的に訴求し、フォロワー層の拡大と高いエンゲージメントを獲得している。

このように、本プロジェクトでは大規模イベント・地域講座・デジタル発信の三本柱を通じ、研究を社会に開きながら国民の理解と共感を醸成し、Awareness AIの社会実装を見据え



図1 本プロジェクトで開発した技術を披露した大阪万博でのステージ演出の様子

た社会的基盤の形成に取り組んでいる。

#### (4) データマネジメントに関する取り組み

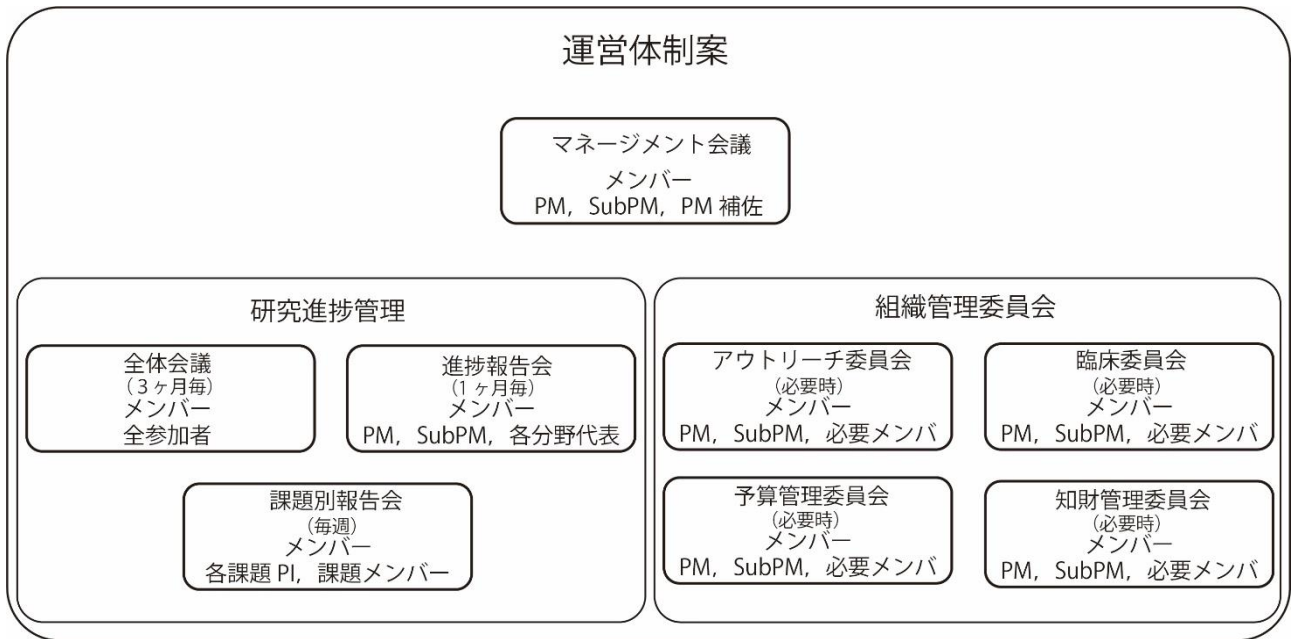
研究データの保存・共有については、クラウド基盤を用いたセキュアな管理体制を構築し、研究グループ間での迅速かつ安全なデータ交換を実現している。さらに、産業界や医療機関との共同研究の拡大に伴い、共有データの標準化・匿名化プロトコルを整備し、医療情報として要求される品質水準に対応したデータ利活用の枠組みを強化してきた。これにより、研究活動の効率化とデータ信頼性の確保が両立し、将来的な大規模公開や二次利用に耐える基盤が確立されている。

加えて、本プロジェクトでは社会実装を見据え、歩行解析 AI や無意識状態推定技術、高密度筋電図解析システムなどを医療機器として展開することを目指し、SaMD (Software as a Medical Device) の取得に向けた準備を進めている。具体的には、データのトレーサビリティ確保、品質管理 (QMS) 要件との整合、アルゴリズムの性能評価指標の明確化、バリデーション

手順の国際規格 (ISO/IEC) との対応など, SaMD 化に必要な技術・運用基盤の整備を段階的に進めている。

これらの取り組みにより, 研究データが単なる学術資源に留まらず, 将来的に医療現場で使用されるソフトウェア医療機器の評価・承認に直結する重要な基盤となり, Awareness AI 技術の社会実装を加速する体制が構築されつつある。

#### 4. 研究開発プロジェクト推進体制図



## 5. 研究開発プロジェクト成果

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	10	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	10	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	34	8	42
口頭発表	22	17	39
ポスター発表	4	15	19
合計	60	40	100

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	13	13
(うち, 査読有)	0	13	13

その他著作物数(総説, 書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	14	2	16
書籍	0	0	0
その他	0	4	4
合計	14	6	20

受賞件数		
国内	国際	総数
3	0	3

プレスリリース件数
0

報道件数
9

ワークショップ等, アウトリーチ件数
76