



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

2022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

国立研究開発法人 理化学研究所



研究開発プロジェクト概要

ロボットと普段の生活を共にする中で、私達の持つ様々な可能性に気付かせられて、それを一緒に大きく育ててくれる、そんな Awareness AI ロボットシステムの構築がこのプロジェクトの目標です。物質的な豊かさを追求する時代が終わり、安心や生きがいといった内面的な豊かさに重きを置き、様々な価値観を認め合う現代社会において、将来への希望を持って生活できる社会の実現を目指していきます。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/39_shimoda.html

課題推進者一覧

| 課題推進者 | 所属 | 役職 |
|-------|----------------------|----------|
| 村井 昭彦 | 産業技術総合研究所 人間拡張研究センター | 研究チーム付 |
| 川上 英良 | 理化学研究所 情報統合本部 | チームリーダー |
| 安 琪 | 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 | 准教授 |
| 下田 真吾 | 理化学研究所 脳神経科学研究センター | ユニットリーダー |
| 平田 仁 | 名古屋大学 大学院医学系研究科 | 特任教授 |
| 上田 彩子 | 日本女子大学 人間社会学部 | 准教授 |
| 藤原 武史 | 豊田合成株式会社 新価値開発部 | 主監 |

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

Awareness AI とはいかなるものであるか。これを確立することが当該年度の最も重要な問であったといえる。その問いに応えるには、脳神経科学に基づいた気づきの科学を確立する必要があり、それは同時に我々の無意識化の知性の在り方を明確にすることと同値であると考えに至っている。その考えに基づいた Awareness AI とは、我々の身体に存在する特異な神経系を適切に刺激することで、我々の無意識を司ると考えられる脳深部の各部位の活動ネットワークを調整し、適切な状態に移行させることで、意識に適切な状態を提示することであるとの結論に至っている。そして、脳深部を適切に刺激しネットワークを調整するには、身体と環境の適切なかかわりが必要であり、それをロボットでサポートすることが、必要な気づきを生み、主体的な行動を生み出せることが分かってきた。

これらを実現するため、当該年度は脳深部に刺激を与える情報処理として、身体と環境のかかわり部分(研究課題 1-1)と環境情報のシンボル化(研究課題 1-2)を中心にモデル化する手法の確立を目指すとともに、ヒトとロボットの適切なインターフェースの検討を進めた(研究課題 1-3)。そのうえで、脳神経科学と臨床に基づいた検証法の検討(研究課題 2-1、2-2)、認知心理学に基づいた検証方法(研究課題 3-1)を進めるとともに、必要な計測デバイスの開発(研究課題 3-1)を行った。

それぞれのアプローチを検証するため、合計で 300 例以上の人の運動計測を行いそれ

ぞれにアプローチに合わせた解析を進めている。それと同時に、提案する Awareness AI を社会実装するために必要な準備も進めており、とくにイオンモールにおいて Awareness AI を検証する「みらい健康ラボ」を始める順を進めている。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

2022 年 12 月 29 日にプロジェクト内部の Kick-off Meeting を行ったことを皮切りに、月に一度のペースで全体会議を行い、それぞれの進捗を確認するとともに、それとは別に「無意識の知性勉強会」を月に一度開催することで、プロジェクト内での認識の共通化を進めた。

加えて、International Conference on Intelligent Robot System (IROS2023) の Workshop に、“World-wide Network of AI Lab with Hospital” の提案を行った。これは、我々が構築を目指す Awareness AI Lab と志を同じくする世界各国の研究機関と連携することで、データ取得や解析手法の標準化、データ連携などを進めていく予定である。さらに、本プロジェクトの基本コンセプトを特定の疾患に特化した形で EU HORIZON への共同出願も検討している。

また、2023 年 9 月に US-Japan Healthcare Connections Event (<https://usjhealthcare.org/>) が名古屋で開催されるのに伴い、一部を Moonshot 主催の討論会とする予定で調整を進めており、今後の Healthcare の在り方についての議論を活性化させていく予定である。

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: 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:

当該年度は、研究開発課題 1-2 と協力して、横浜市立大学整形外科にて、外来患者の自然な歩行の様子を、300 名以上の患者を対象に計測を進めた。それらのデータとは別に、健常者の同等のデータベースを本 PI のチームは有しており、疾患データと健常データを比較しながら適切な解析を行う環境は整った。

これらのデータを用いた、力学的整合性を持つ運動解析のためのキーワードとして「人らしさ」というものを提案した。これまで人と同等の筋骨格モデルを持ちながらも、強化学習などで作られる運動は、計算上は効率的であったとしても運動としては人らしさに欠けるものが多かった。我々は無意識の中で、「人らしい」という判断を行うことができ、これは脳深部のネットワークのなかでも Body Shema が大いに関係しているのではないかと考えている。2023 年度は、脳深部ネットワーク活動を念頭に置いた解析を進めていく。

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:

研究開発課題 1-1 でも述べた通り、2 つの研究課題が協力し横浜市立大学整形外科にて、300 名以上の患者データ計測を行った。これらのデータは、様々な整形けが疾患を持

つ患者のデータであり、研究開発課題 1-1 の持つ健常者データと比較することで、異常箇所を検知するシステムの構築を進めている。具体的には、Efficient-GAN をベースにマルチモーダル LSTM と Attention 機構を導入することで、マルチモーダル時系列データの時間遅れ相互作用を考慮できる AI の開発を進めている。

今回取得したデータの中には、股関節の人工関節置換術の患者も多数含まれている。臨床現場になれた整形外科医であれば、歩容から人工股関節であることが一目でわかるものであるが、一般には全く不明である。ただし、人工股関節術になれた整形外科医であっても、その人が人工関節に違和感を持っているかどうかは、判断がつかない。提案する AI により、そのような判断が可能であるかといった検証を来年度は進めていく予定である。

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

当該年度実施内容：

当該年度は、研究開発課題 1-1、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変換、AI 出力の実際のデバイスへの入力を作成することで、AI によって算出された個々の潜在能力を実際の使用者において実現するための方法論の議論を進めた。筋シナジーなどに代表されるような、個々人の特徴に応じた変換モデルや自己効力感と呼ばれる本人の能動性を評価するモデルを構築したうえで、Awareness AI で同定された介入方法を実現するための支援システムの設計・動作方法を確立する必要がある。当該年度は、これまで進めてきた筋シナジーを主な対象として、適切な入出力関係の構築の議論を進めて、研究課題 3-1 などと協力し、VR/AR を用いて適切な入出力間の実験を行う環境を整えた。次年度は、実験を進めて具体的なインターフェースを確立していく。

課題推進者：

安 琪(東京大学)

(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準備を整えることを目的とした。特に、Hardware に関して Robotic Nimbus を積極的に利用しながら研究を進めていく計画を構築することを考えてきた。平田 PM とも慎重に議論を進めた結果、平田 PJ のメンバーである野田 PI の開発するロボットを利用した Awareness AI System の開発を進めていくこととし、複数回、野田 PI への訪問、さらには野田 PI にロボットを我々の研究室に持参いただき、Preliminary Experiments の実験準備を整えた。実験の成果は研究課題 2-2 に詳細を記す。

また、Awareness AI の基礎理論を作るためには、脳深部の各部位のネットワークが重要であること仮説をため、それに基づいた仮説検証を進めるため、そのようなネットワークに直接働

きかけると考えられている鍼治療による検証を進める準備を行った。

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：

令和4年度は Awareness AI lab の設置に向けてイオンモールとの協議を重ねた。Nagoya Garden Clinic(イオンモール Nagoya Noritake Garden 内に開設された名古屋大学医学部関連医療機関)に隣接する形で Awareness AI lab を開設することで合意した。また、両者が連携してヒトとロボットの共進化に関する情報発信を行い、研究ボランティアを募る機会としてマンツリー市民公開講座を開始することでも合意し、具体的な準備に取り掛かった。Awareness AI Lab での研究内容に関しては現在名古屋大学医学部倫理委員会の審査を受けており、ラボ開設までには承認が得られる見込みである。これと並行して、Awareness AI lab で用いる内在的能力評価手法に関しては国立長寿医療研究センターと、脳機能解析手法については名古屋大学脳とこころの研究センターと、麻痺治療支援ロボットの導入方法に関しては国際電気通信基礎技術研究所とそれぞれ協議を進めており、ラボでの研究開始に向けた準備を進めた。

脳の構造的可塑性誘導メカニズムの分析については、技術的な課題から当初計画した *in vitro* での研究を断念して、脳磁計、高密度脳波計による *in vivo* での解析に切り替えた。我々が過去に蓄積していた上肢切断者の脳機能解析データを用いて探索的な解析を実施し、その有用性を確認した。末梢神経麻痺からの機能回復支援については国際電気通信基礎研究所の支援の元に、同研究所が開発したリハビリ支援ロボットを活用して探索的な研究を推進した。その結果、無意識への働きかけにより患者の運動学習が顕著に促進されることが確認できた。

課題推進者：

平田 仁（名古屋大学）

(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の明確化を進めた。具体的には、

- Time Perception
- Sense of Agency
- Self Efficacy
- Body Image
- Embodied Cognition

の五つにターゲットを絞って計測環境を整えていくことが Awareness AI を定量化していくうえで重要であると考えている。

Moonshot 目標1の南澤 PJ の鳴海 PI と協力しながら、VR・AR を利用した実験系の構築を進め、来年度は実際に計測を行っていく予定である。

課題推進者:

上田 彩子 (日本女子大学)

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刺激システムは、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する手段を得ることを目指すものであり、時間的、空間的、機能的 fidelity を如何に実現するか、また如何に日常の無意識の動作を妨げない形での計測/刺激系組み入れを同時に実現する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。

当該システムの構築を進めるにあたっては、まずはシステム構築に向けた要素技術開発が必要であり、感覚統合の仕組みの理解や介入可能性の確認のため身体制御ループの可視化/解析ツール、および内受容感覚刺激に用いる self-avatar のプロトタイプ開発を進める。

課題推進者:

藤原 武史 (豊田合成株式会社)

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

我々のプロジェクトでは、12月29日に全PIが集合した内部 kick-off ミーティングを皮切りに、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、月に一度「無意識の知性勉強会」と称した会合を行っており、毎回話題提供者1名に30分程度話題提供を頂き、それをもとに30分程度のディスカッションを行う、というイベントを行うことでPIの意思統一を図っている。

無意識の知性勉強会

月一回:無意識の知性に関して30分話題提供, 30分ディスカッション

2021年 11月より, Moonshot等応募のための勉強会としてスタート

採択後, Moonshotイベントに切り替え

| | 話題提供者 | 話題 |
|----------|---------------------------------|--------------------|
| 2022年 8月 | 名古屋大学 平田先生 | 脳内ネットワークと無意識の知性 |
| 9月 | 東北大学 林部先生 | 運動シナジーの無意識創発 |
| 10月 | 本田技研 吉川先生 | ヒューマノイド制御とその発展 |
| 11月 | 理研 坂口先生 | 脳オルガノイド |
| 2023年 1月 | 理研 下田 | Moonshot Project概要 |
| 3月 | 東大 鳴海先生(Moonshot 目標1, 南澤PJ, PI) | VRを用いた行動変容 |
| 5月 | 広島大 吉野先生 | 認知行動療法により疼痛治療 |

図1:無意識の知性勉強会のスケジュール

また、PM 支援体制として、PM 補佐に AMED 等のプロジェクトにおいて PM 補佐を務

めてきた経験の石川氏を招き、契約のマネジメント、運営会議の進行、アウトリーチ活動のマネジメント等を行っている。

課題別の報告会としては、PM-PI 間、PI-PI 間の連絡も含め Slack なども利用しながら、ほぼ毎日のように連絡を取り合っており、相互の状況把握は円滑である。特に研究開発課題 1-1、1-2、研究開発課題 1-3、3-1、研究開発課題 2-1、2-2、3-4、の単位となり、運動計測やデバイス構築なども進めており、PJ 内連携は円滑に進んでいる。

研究開発プロジェクトの展開

上記のように、Awareness AI の基礎理論を脳深部の部位のネットワーク調整に求め、そこで作られる無意識の知性を正しくモデル化するとともに、適切な介入を行うシステムの構築を行っている。

また、臨床研究を進めるための臨床委員会や広報活動を話すアウトリーチ委員会なども開催している。現在までに知財案件や予算に関する問題は起きておらず、知財委員会と予算管理委員会は開催されていない。

(2) 研究成果の展開

IROS2023 に Workshop を提案した。「World-wide Network of AI lab with Hospital」と題した Workshop の内容は、次項にしめす我々が構築を目指す医療機関と連動した AI を利用した計測や運動補助を行う施設 (Awareness AI Lab) と、同様の志を持つ図 2 に示す世界 (Singapore、UAE、Spain、USA、Japan) の 6 つの AI Lab とのネットワークを作り、計測・サポート手法やデバイスの共通化、データ連携などの手法やその有効性などについて議論を行う。

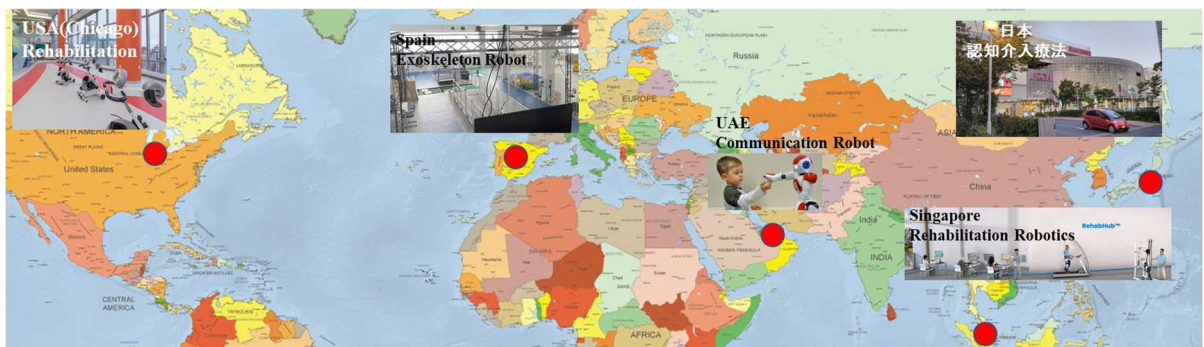


図2: World-Wide Network of AI Lab with Hospital

また、次年度 9 月に開催される US-Japan Healthcare Connections Event において、Moonshot が主催するセッションを検討している(図 3 参照)。我々が提案する Awareness AI が次世代の Healthcare をどのように変えるかを中心に、講演とパネルディスカッションを行うことを計画している。



図 3: US-Japan Healthcare Connection Event

(3) 広報、アウトリーチ

HP の作成や、SNS での情報発信といった一般的な広報活動を進める一方、Awareness AI Lab として、イオンモール 刈谷ガーデンに提案する AI システムの実践の場である「みらい健康ラボ」をオープンする予定である。イオンモール側からも全面的な協力を頂いており、図 4 に示すような案内フライヤーを作成し、まずは一般の方に Moonshot の研究内容を周知することも重要な役割であると考えている。



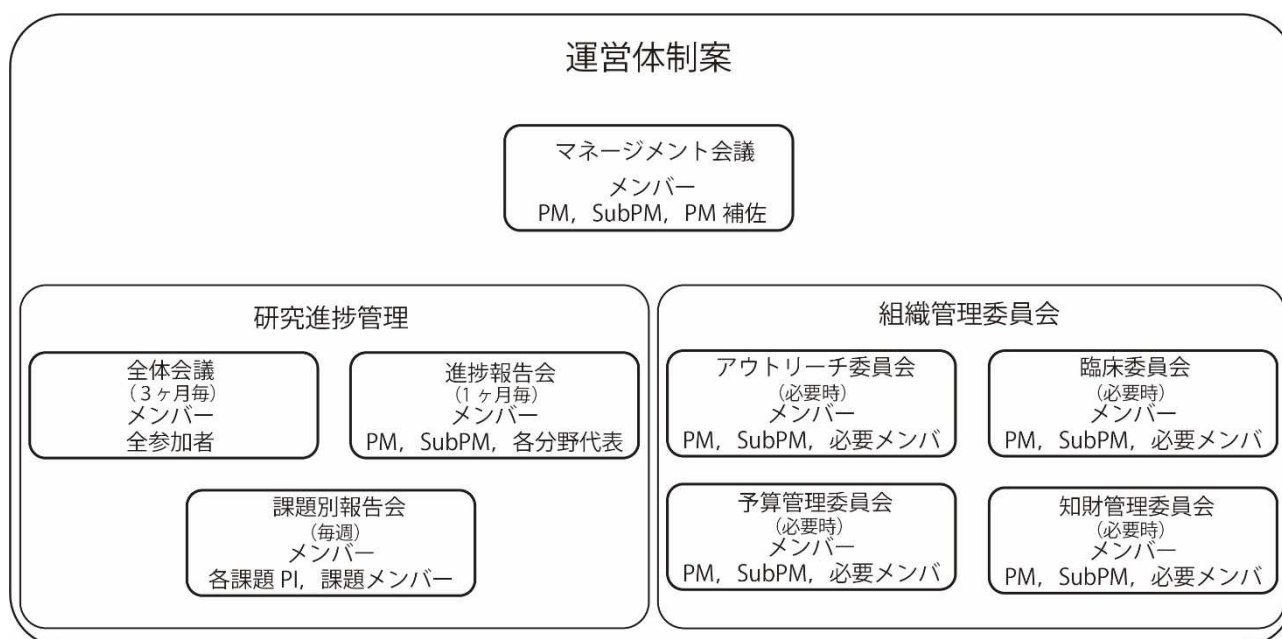
図 4:「みらい健康ラボ」の案内チラシ:一般への PR 文言として「科学の進歩は、私たちの生活をもどようにかえることができるのでしょうか。それを体験できる「研究室(みらい健康ラボ)」をイオンモール刈谷の森に開設します。内閣府の進めるムーンショットと呼ばれる科学技術プロジェクトの成果を利用し、最先端の科学技術によって解決可能な私たちの身近な問題を紹介したり、実際に体験してもらったり、そして

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

- IROSのWorkshopの提案：World-Wide Network of AI Labs in Hospital
- U.S. – Japan Healthcare Connectionの名古屋開催におけるMoonshot共催について
- JSTでのキックオフミーティング：5月16日午後
- ICRAでの研究室訪問について
- EU ProjectとのJointの可能性
- PM報告会日程：10月23日(月)or 24(火)のいずれか【デモなども含む】 場所：名古屋
- HPの作成について
- 東北大平田班との協力について
- SICE特集号について
- 鳴海先生 講演会

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

| 会議発表数 | | | |
|--------|----|----|----|
| | 国内 | 国際 | 総数 |
| 招待講演 | | | |
| 口頭発表 | | | |
| ポスター発表 | | | |
| 合計 | | | |

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

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

| 受賞件数 | | |
|------|----|----|
| 国内 | 国際 | 総数 |
| | | |

| |
|-----------|
| プレスリリース件数 |
| |

| |
|------|
| 報道件数 |
| |

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