

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

研究開発項目

1. Awareness AI の開発

1. 概要

私たちは、他者の動作を目にするだけで、たとえそれが日常の何気ない動きであっても、その人の感情の揺れや疲労の程度、さらには年齢や身体に抱える痛みの有無までを、驚くほど正確に推し量することができます。しかし、その「なぜそう感じたのか」を言語化して説明することは容易ではなく、多くの場合、「なんとなくそう思ったから」という曖昧な表現にとどまってしまいます。このように、相手の身体動作から心身の状態を推定する能力は、私たちの社会生活において極めて重要な役割を果たしています。こうした推定が無意識のうちに見えるからこそ、言葉にしなくとも相手の気持ちを察して適切に手を差し伸べたり、円滑な人間関係を築いたりすることが可能になるのです。

今後、ロボットが人間社会により深く入り込み、共に生活していく存在となるためには、この「空気を読む」力、すなわち非言語的な情報から他者の状態を理解し、柔軟に振る舞う能力が不可欠です。人と同じように空気を読み、適切に反応できるAIをつくることができるのか—それが、本研究開発の中心的なテーマであり、私たちに課せられた挑戦的なミッションです。

人間が空気を読み合えるのは、互いに「暗黙の了解」と呼べる共通の認識を共有しているからだと考えられます。それは言語や文化、教養といった知識に基づくものにとどまらず、動作のリズムや構造、さらには筋肉の使い方といった身体的な側面まで、無意識のレベルで共有されている可能性があります。

本研究開発項目では、こうした無意識的な共有の現れとしての「自然な歩行」に注目し、その歩容の中から潜在的な問題を抽出し、ロボットによる介入が必要とされるタイミングや状況を適切に判断できるシステムの構築を進めています。目指すのは、単なる情報処理ではなく、人の振る舞いや状態を深く理解しときに改善点をそっと教えてくれる、「共に暮らす」ことのできるAIの実現です。

2. これまでの主な成果

概要で述べた通り私たちは、人が歩いている姿を見るだけ

で、「疲れている」、「足を痛めているのではないか」といった身体や心の状態を直感的に読み取ることができます。こうした無意識的な観察能力を人工知能に実装することを目指し、私たちは「人らしさ」と「予測」をキーワードに、これまで研究開発を進めてきました。

前年度までの取り組みにより、自然な歩行の動きをAIが観察・解析し、その中から健康上の問題や違和感を検出することができるシステムを構築しました。このシステムでは、「人らしさフィルター」と呼ばれる処理を通じて、現在の歩き方からごく近い未来の動作を予測し、そのズレや異常から疾患などの兆候を抽出することに成功しました。2024年度は、この技術をさらに発展させ、システムの完全自動化を図るとともに、「遠い未来の予測」へと挑戦しました。具体的には、現在の歩行パターンから30年後の身体状態を推定するAIを開発しました。さらに、ロボットによる介入（例えは歩き方の補助や修正）が将来の歩行にどのような影響を及ぼすか、つまり未来の予測が介入によってどのように変化するのかまでを予測するAIの構築にも成功しています。

そもそも人は、歩行時に手の振り方や足の出し方といった「動きの詳細」を意識して操作しているわけではありません。だからこそ、疲労や情動、痛みといった心身の状態が、意図せずとも歩き方にじみ出てしまいます。こうした「無意識の身体表現」こそが、人の内面を映し出す重要な情報源なのです。

本研究の成果により、現在の歩行から「将来、自分がどのような歩き方になるか」「どのような疾患を抱えるリスクがあるか」、そして「今どんな対策をとれば、その未来を回避できるか」といった情報を提示できるAIが誕生しました。これは、人と共に未来を見据え、健康の維持・増進を支援する新たなAIの可能性を切り開くものです。

3. 今後の展開

私たちは現在、個々の歩行データから詳細な身体の動きを予測し、このままの生活を続けた場合に、将来どのような身体状態になるのかを見通すことが可能になりつつあります。さらに、どのようなロボットのサポートを受ければ、

より良い未来の身体状態を目指せるのかといった具体的な指針も、徐々に明らかになってきました。

しかし、このアプローチによって将来の健康状態を改善するためには、単に「薬を飲めば治る」といった即効的な手段ではなく、日々の生活の中でロボットの支援を受けながら、自らの行動を変えていく「不断の努力」が必要であることも、脳科学的な観点から示されています。

人にとって、「何かを継続すること」は決して容易なではありません。だからこそ、継続を可能にする仕組みづくりが重要です。そして、多くの研究が示すように、「楽しい」と感じられる活動であれば、人は自然とそれを続けることができるのです。

本プロジェクトの他の研究開発項目では、この「継続」を可能にするための心理的アプローチにも取り組んでいます。たとえば、自分が本質的に楽しいと感じること＝「内的報酬」と、身体に良い行動＝「やるべきこと」を一致させるためのAI支援の仕組みです。健康的な動きになるように、自分が「やりたいこと」を少しだけ誘導していく。このような心と身体の自然な一致を促すことによって、行動変容が無理なく継続できる未来を目指しています。

AIにそっと支えられながら、「自分らしい歩き方」や「なりたい自分」に近づいていく—そんな未来の実現は、もうすぐそこまで来ています。



図1：今の歩行と70歳のときの歩行の予測

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

研究開発項目

2. Awareness AI の応用

1. 概要

研究開発項目「Awareness AI の開発」では、このような人の動作観察に基づく無意識的な気づきを AI に実装することを目指し、歩行や姿勢などの身体的な動きから、個人の抱える問題や将来的に起こりうる疾患リスクを予測する AI システムの構築に成功しました。

しかし、人の五感で感知できる情報には限界があります。身体の内部で起こっているごく微細な異変や、外見には現れない不調など、従来の観察ベースでは見落とされてしまうリスクもあります。そこで、本プロジェクトの応用研究フェーズでは、Awareness AI をより深く、より正確に活用するために、「見えない生体信号を可視化」する技術開発に着手しました。筋電図、皮膚電気反応などのセンシング技術を統合することで、人の内部状態を外部から読み取ることが可能となり、それを Awareness AI に組み込むことで、従来では検出できなかった問題点の把握や、病の予兆の解明が可能となります。

こうして明らかになった課題に対しては、Robotic Nimbus を用いた動作介入や、医学的な処置を組み合わせることで、これまで「治療が難しい」とされていた疾患へのアプローチや、フレイルのように知らず知らず進行してしまう身体的な衰えを未然に防ぐことを目指しています。

私たちの最終的な目標は、「治らなかつた疾患が治る」「気づけなかつた問題に気づける」といった、次世代の予防・治療の実現です。さらに、それがなぜ可能になるのかを科学的に明らかにするため、脳神経科学に基づいた理論的な検討も進めています。

また、こうした研究成果を社会とつなげる取り組みにも力を入れています。科学技術が私たちの生活をどう変えていくのかを広く伝えるために、市民公開講座を継続的に開催し、分かりやすい言葉で研究内容と未来像を共有しています。

これら一連の研究と社会活動を通じて、私たちが目指すのは、「日常生活を送るだけで、Awareness AI が自然に不調を検知し、介入と回復をサポートしてくれる」社会の実現です。人と AI、そしてロボティクスが調和する未来の医

療・生活支援環境が、いま着実に形になりつつあります。

2. これまでの主な成果

図 1 に示すのは、私たちが開発した新しい筋活動計測センサーによって、身体内部の筋肉の活動を直接可視化した結果です。これは、自然な日常動作を対象にしながら、筋活動計測を基に深層を含む筋活動を可視化するという、世界で初めての成果です。この技術は、従来の治療では効果が限定的であったジストニアに対して、顕著な治療効果をもたらすことが明らかになっています。図 2 に示すのは、その応用例のひとつとして、書痙の患者に対する治療事例です。書痙は、通常の動作には支障がないものの、いざ文字を書こうとすると特定の筋肉が異常に緊張し、手がうまく動かなくなる病気です。私たちは、患者が「書こうとした瞬間」に起こる筋肉の異常な活動パターンを、開発したセンサーと Awareness AI を用いて詳細に解析しました。その結果、問題を引き起こしている特定の筋群を特定することができ、神経ブロック注射による標的治療によって、症状が即座に改善することが確認されました。

この方法は、書痙を含む同様の運動障害を持つ 10 名以上の患者に対して適用し、いずれも有効な治療成果を得ています。これにより、症状が曖昧で診断や治療が困難だった患者に対しても、より正確な介入が可能となりました。さらに Robotic Nimbus を活用した運動支援にも取り組んでいます。図 3 は、パーキンソン病患者に対する立ち上がり動作の支援実験の結果です。パーキンソン病では、初動が極めて困難になる「すくみ足」症状が典型的に見られますが、Awareness AI によって適切なタイミングでロボットから刺激を与えることで、患者が自然な流れで立ち上がることが可能になりました。

これらの成果は、従来のリハビリテーションや薬物治療では十分に対応できなかつた運動障害に対して、個別化された新しい治療アプローチの可能性を提示するものであり、社会実装に向けた実証と臨床応用を進めていきます。

3. 今後の展開

Awareness AI の応用のため、ジストニアやパーキンソン

病患者さんの治療を行ってきましたが、今後はこのような技術を日常の中に埋め込むことで、このような患者さんが普段から不便を感じることなく生活ができるようなシステムを構築していきます。

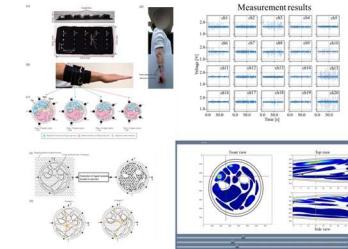


図 1 : 自然な運動の際の深部筋活動を計測可能なセンサー



図 2 : Awareness AI による書痙の患者の治療：尺側手根屈筋の治療後、しっかりと文字が書けるようになった

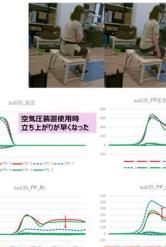


図 3 : Awareness AI と Robotic Nimbus によるパーキンソン病患者の治療例

研究開発項目

3. Awareness AI の社会実装

1. 概要

「Awareness AI の開発」および「Awareness AI の応用」において構築されたシステムを、現実の社会に実装していくには、どのようなアプローチが必要なのでしょうか。そして、それによって実現されるロボットと共に生きる社会は、私たちの生活にどのような恩恵をもたらすのでしょうか。本研究開発項目は、こうした問い合わせに対し、Awareness AI システムを用いた検証と実証実験を通じて答えを導き出すことを大きな目的としています。

なかでも、私たちが目指す「気づき (Awareness)」の管理は、従来の技術開発とは一線を画す複雑さを伴っています。気づきとは多くの場合、意識の深層で起こる微細な変化によって引き起こされるため、本人の主観的な認知と、実際の神経活動や行動変化とが必ずしも一致しないからです。たとえば、「Awareness AI の応用」でも示された通り、Awareness AI が検出する変化の多くは、身体に現れる微細な生理的兆候に基づいています。また、「Awareness AI の開発」において議論された“空気を読む”といった能力も、主観的には捉えにくい曖昧な現象に、一定の論理性を与える試みであり、AI にとっては極めて高度な推論能力が求められる分野です。

このような「意識では感じられない変化」をいかにして客観的に評価し、社会に実装可能な形に落とし込んでいくのか。それは、従来の人間工学的・心理学的な評価手法の枠組みを超えた、新たな評価軸と実装指針の確立を意味します。さらに重要なのは、Awareness AI が誘導する変化が、対象者にとって“望ましい”ものであることです。これは、単に身体的な改善だけでなく、本人が無意識下で潜在的に求めている方向性と一致している必要があります。従来のアンケートや主観評価に依存するのではなく、本人が自覚していない行動や生体信号の変化を解析し、それをもとに適切な気づきを促すというアプローチが求められます。

そのためには、気づきの発現と変容を理論的に捉えるための数学的な枠組みの構築も不可欠です。本研究開発項目では、心理学的知見と数理モデルの統合を進めながら、実際の社会実装の中で発生する課題を抽出し、それらの解決

に向けた具体的な戦略を検討しています。

最終的には、Awareness AI によって本人の主觀を超えて心身の状態を正確に把握し、本人が自然に望む方向へと変化を促すような介入が可能となる社会の構築を目指しています。その実現は、ロボットと人が共に生きる未来において、個人の QOL 向上、疾病の早期発見・予防、そして人間らしさを支える社会設計に大きく貢献することになるでしょう。

2. これまでの主な成果

「Awareness AI の開発」項目でも述べたとおり、Awareness AI によって人の行動変容を促すためには、その取り組みが継続される仕組みづくりが欠かせません。その鍵を握るのが「内的報酬」です。

内的報酬とは、行動そのものが「楽しい」「成長を実感できる」「好奇心が満たされる」といった、外的な報酬（お金、評価、褒め言葉など）を伴わなくとも、人がその行動を継続したくなるような心理的な報酬のことを指します。本研究開発では、特に自然な歩行への介入を「なりたい自分」と結びつけることで、行動自体が報酬となるような仕組みの構築を目指してきました。

具体的には、図1に示すように、歩行の様子を4つのカテゴリに分類し、今の歩き方を自分が望む歩行スタイルへと段階的に変容させていくことで、無理なく、知らず知らずのうちに健康な歩行習慣が形成されるアプローチを開発しました。この変容のプロセスそのものが、内的報酬を得られる機会として機能するよう設計されています。

加えて、Awareness（気づき）を引き起こす無意識下の運動パターンを数学的に定義する試みも進めています。特に、図2に示すリニアノフ関数を用いることで、人間の無意識的な運動の安定性や変容の方向性を定量的に捉えることが可能であることが示唆されてきました。これは、人間の運動変容をより効果的かつ自然に導くための運動補助・行動介入アルゴリズムの開発につながる基盤となります。

さらに、Awareness AI を搭載した歩行解析システムの社会実装も着実に進展しています。図3に示すように、本システムはすでに企業の健康経営の一環として導入され、社員の歩行を計測・分析し、その結果を本人にフィードバッ

クすることで、日常的な健康意識の向上や運動習慣の定着を促しています。また、一般市民向けの活動として、温浴施設（健康ランド）でのアクティビティにも本システムを導入し、より広い層が自分自身の身体に気づく機会を提供する取り組みも進めています。

3. 今後の展開

今後は、内的報酬提供システムや数学的アプローチを、他の研究開発項目と協力することで社会実装可能なシステムへと洗練させ、現在の社会実装システムをアップデートする形で進めていく予定です。

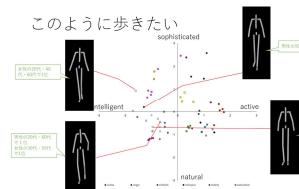


図1：歩行に内的報酬を与えるための分類

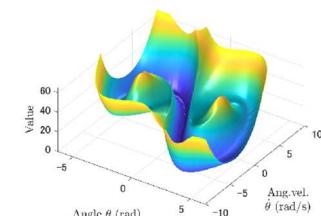


図2：人の自然な運動から導かれる関数



図3：丸ビルでの歩行計測の様子

研究開発項目

E. Peripheral Electrical Stimulation を用いた介入法の確立

1. 概要

これまでに開発されてきた Awareness AI を活用した介入アプローチは、主に医療技術を用いた治療的介入や、Robotic Nimbus を活用したハードウェアによる動作支援という形で実装されてきました。今後は、EU の研究チームとの国際共同研究を通じて、Awareness AI に基づく“第三の介入アプローチ”として、Peripheral Electrical Stimulation (PES) による神経系への介入技術の実装に取り組んでいきます。

これまで、電気刺激によって筋肉を直接収縮させ、実際の運動を生み出す技術は Functional Electrical Stimulation (FES) と呼ばれ、対象者が刺激によって生じる運動を意識的に認識・制御できるという特徴があります。一方、PES は筋肉ではなく末梢神経を対象とし、知覚されないレベルの微弱な電気刺激を用いて神経系に調整を加える技術です。これにより、対象者が意識しないまま神経系の状態を変化させ、結果として自発的な運動能力を高めることができるという、新しい形の介入法です。

PES はすでに、振戦 (Tremor) などの神経疾患に対する非侵襲的な治療法として有効性が示されており、物理的に運動を外部から作り出す FES と比べて、より高い主体性と神経系の自然な運動生成を引き出す点で優位性を持つとされています。また、PES による刺激は意識に上らないため、解剖学的な神経ネットワークに基づいた定量的モデル化が可能であり、我々が目指す脳神経活動とリンクした Awareness AI との統合に極めて高い親和性を持つ点も大きな特長です。

本国際連携では、PES を用いた神経疾患患者の歩行能力の改善を目的とした介入を行い、その結果をもとに、Robotic Nimbus による“Dynamic 健診”における最適な無意識下への介入戦略の確立を目指します。これにより、Awareness AI を活用した次世代の運動支援・治療技術の新たな地平を切り拓くとともに、個別最適化された介入モデルの実現に向けた基盤を築いていきます。

2. これまでの主な成果

Awareness AI を用いた PES の応用に向けた研究開発にお

いて、私たちは最適な生体信号として Wearable Force Plate (図1参照) を活用した歩行状態のリアルタイム検出を採用しています。本取り組みでは、特にパーキンソン病をはじめとする運動障害を伴う神経疾患を対象とし、より自然で安定した歩行を実現する新たな介入手法の確立を目指しています。

研究の初期段階では、PES が効果的に機能するための神経系モデルの構築と、その妥当性を実験的に検証するための準備を進めてきました。同時に、Wearable Force Plate から得られるデータをもとに歩行パターンを高精度で推定する AI の開発にも取り組んできました。これにより、個々の歩行状態を詳細に把握し、適切なタイミングと部位への電気刺激を実現することが可能となります。

これらの技術を応用し、私たちは現在、歩行中に生じる Foot Drop の改善を目指した支援システムの開発を進めています。Foot Drop とは、歩行時に足のつま先が無意識に下がってしまい、遊脚期に地面と引っ掛かることで転倒リスクが高まる現象を指します。Awareness AI によって Foot Drop の兆候をリアルタイムで推定し、PES によって必要な筋群をタイミングよく刺激することで、転倒を防ぎ、安定した歩行を支援するシステムの構築を進めています。

2024 年度には、まず健常者 5 名を対象とした実証実験を実施し、本システムが足部の状態を正確に推定し、適切な PES を実施できることを確認しました。これにより、技術的な有効性と実装可能性の高い基盤を得ることができます。(図2 参照)

また、パーキンソン病患者を対象とした実験では、「Awareness AI の応用」研究課題においては Robotic Nimbus を用いた動き出し支援が行われてきましたが、本研究課題では PES による非接触型・非意識的な動き出しの補助に取り組み、良好な成果を得つつあります。PES を通じて神経系へ直接的かつ非侵襲的にアプローチすることで、患者の主体性を保ちながらも、行動の起点となる「第一歩」をより自然に引き出すことが可能であると期待されています。(図3 参照)

3. 今後の展開

今後は、Foot Drop の実験、パーキンソン病の実験とともに、被験者を増やして、Awareness AI に基づく PES の効果を定量的に評価していきます。具体的には、Timed Up and Go Test (TUG) と呼ばれるパーキンソン病患者の運動能力を測るテストにおいて、運動が 20% 向上することを 5 名以上の患者で示していくことを考えています。



図1 : Wearable Force Plate

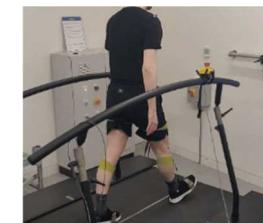


図2 : Wearable Force Plate による歩行推定



図3 : パーキンソン病患者実験