

サイバニクス空間で日常生活を支援する人協調型ロボットを開発

物理空間とサイバー空間とを行き来するサイバニクス空間において稼働する人協調型ロボットを開発しました。人の運動意思が反映された生体信号により、アームハンドシステムとIoTシステムを操作し、身体的・空間的な制約を受けずに日常生活での動作を支援することが可能です。

加齢や疾患に起因する運動機能や認知機能の低下は、日常生活やコミュニケーションを困難にし、不安やうつ状態をもたらすこともあります。このような状況に柔軟に対応しながら、日常生活の自立度を向上させるための一つ的手段として、人の運動意思を反映できる人協調型ロボットの開発があります。

本研究では、神経難病患者や高齢者が身体を動かすことなく、日常生活の動作を遂行するための技術開発を行いました。物理空間とサイバー空間とを行き来するサイバニクス空間において、人の運動意思が反映された生体電位信号と視線情報を用い、人とシステムとの関わり方に対する3つのモードをシームレスに切り替えることで、物理空間とサイバー空間の間を移動するとともに、アームハンドシステムとIoTシステムを操作可能な人協調型ロボットを開発しました。基本性能の検証では、生活空間で想定される日常的な動作の成功率は高く、使いやすさについても一定の評価が得られました。運動意思によりさまざまな人の自立度を向上させる本技術は、介護負担の軽減や医療費削減にも貢献すると期待されます。

研究代表者

筑波大学システム情報系

上原 皓 助教

研究の背景

高齢者や、筋萎縮性側索硬化症（ALS）などの神経難病患者は、視覚や聴覚などの感覚機能、排泄、痛みの感覚、読解力などの認知機能、あるいは会話や筆談によるコミュニケーションなどにおいて、さまざまな困難を抱えており、不安を強く感じたり、うつ状態に陥ることも少なくありません。そのような人々にとって、常に第三者の介助を必要とすることなく、移動、生活空間の整備、日常的な意思の伝達を実現できることは非常に重要です。

加齢や疾患によらず多様な人々が世代や空間を超えて、自立度と自由度を高め、快適かつ尊厳のある生活を送るための手段の一つとして、人の運動意思を反映できる人協調型ロボット^{注1)}の開発が挙げられます。本研究では、従来のサイバニクス技術^{注2)}、および物理空間とサイバー空間とを行き来するサイバニクス空間を活用しながら、人に残存している運動機能や認知機能を入力としてマスター・リモートシステム^{注3)}で構成される人協調型ロボットの開発を試みました。

研究内容と成果

本研究では、高齢者や神経難病患者に残存する運動機能と認知機能からなる多次元の生理情報をもとに、人の意図をリアルタイムで推定・反映し、人とシステムとの関わり方に対する3つのモードを滑らかに切り替えることで、身体をほとんど動かすことなく日常生活のさまざまな動作の支援を可能とするシステム構成とユーザー体験を設計するとともに、その概念実証モデルを開発しました（参考図）。概念実証モデルは、人の運動意思が反映された情報として皮膚表面から検出される微弱な生体電位信号^{注4)}と視線を用い、アームハンドシステム、パーソナルモビリティ、生体電位信号計測ユニット、視線検出機能付き映像提示ユニットで構成しました。人の運動意思で切り替え可能な3つのモードとして、ユーザーがロボットと協力して物理空間で作業を行う「アシスタントモード」、遠隔操作により環境の観察や対話を行う「ジョッキーモード」、IoT^{注5)}機器を操作して家電の制御などを行う「ゴーストモード」を設定しました。

この概念実証モデルの基本性能を確認するために、生活空間で想定される日常的な動作を支援する試験を、若年健常者2名により実施しました。その結果、「アシスタントモード」により、物理空間で離れた机の上に置かれた飲み物をとって口元へ運ぶタスクでは、再現率（ロボットへ入力すべき操作が実際にどれだけ正しく人の運動意思をもとに入力されているか）が100%、適合率（人の運動意思に基づく操作がどれだけ正しくロボットへ反映されているか）が90%であり、「ゴーストモード」により、サイバー空間内を移動してIoT機器を経由してテレビの電源を入れるタスクでは、再現率が85%、適合率が90%であることを確認しました。また、使いやすさの指標であるSUS（System usability Scale）^{注6)}も68.75±1.25点と一定の評価を得ることができました。以上のことから、人協調型ロボットによる日常生活の支援に対する実現可能性が実証されました。

今後の展開

本研究チームは、今後、AI（人工知能）による精度向上と個々のユーザーへの個別最適化に向けたシステム開発を進めるとともに、本技術の社会実装を目指します。人の運動意思によりさまざまな人の自立度を向上することができる本技術は、介護負担の軽減や医療費削減にも貢献すると期待されます。

参考図



図 本研究で開発された人協調型ロボット（上）および試験で用いたサイバー空間（下）

（上）a)人協調型ロボットの全体像。b)視線推定が可能な映像提示ユニットの着脱の様子。生体電位信号によって、身体を動かすことなくユニットの着脱ができる。c)ドアの錠とテレビの電源を操作可能なIoTシステム。（下）開発した人協調型ロボットの動作試験を行った実寸大サイバー空間。開発した人協調型ロボットは、空間内の移動の他、手動/手動でのドアの開閉やエレベーターの乗降ができる。視点 A と B はそれぞれ建物の外に立った時の視界。視点 C1 から C6 は、建物の外の正面から左折（視点 C1）、スロープの通過（視点 C2）、自動ドアを通過して右折（視点 C3）、エレベータに搭乗して 2 階に移動（視点 C4）、手動ドアを通過して左折（視点 C5）、室内移動の視界（視点 C6）。

用語解説

注 1) 人協調型ロボット

人とサイバー・フィジカル空間を融合する「HCPS (Human -Cyber-Physical-Space) 融合人協調ロボティクス)」の取り組みを基盤とした、人とテクノロジーが共生・協調して相互に支え合う社会の実現に資するロボット。

注 2) サイバニクス技術

人、AI ロボット、情報系を融合し、人の脳神経系や身体とロボット等を融合複合し機能させることで、人に残存する能力を飛躍的に改善・拡張・増幅・補助する技術。

注 3) マスター・リモートシステム

複数の機器が協調して動作するときに、制御・操作を司る「マスター」機と、マスター機の制御によって動作する「リモート」機で役割分担されるシステム。

注4) 生体電位信号

人が身体を動かそうとするときに脳から運動ニューロンを介して筋肉へ伝わる微弱な信号。

注5) IoT (Internet of Things)

住宅、車、家電製品など、さまざまなモノ (Things) をインターネット (Internet) に接続し、互いに情報交換を行って制御する仕組み。

注6) SUS (System Usability Scale)

システムや製品、サービスの使いやすさに関する満足度評価指標。アンケート調査により、10 項目の設問について 5 段階評価を行う。100 点満点中 68 点が平均的なスコアとされ、これ以上を良好とみなす。

研究資金

本研究には、内閣府総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) の下で推進する「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期／人協調型ロボティクスの拡大に向けた基盤技術・ルールの整備」(研究推進法人：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、体系的番号：JPJ012494)の成果が含まれています。また、本研究に用いたサイバー空間は、株式会社アルゴグラフィックスとシリコンスタジオ株式会社の協力のもと、構築されました。

掲載論文

【題 名】 Development of human collaborative robot to perform daily tasks based on multimodal vital information with cybernics space.

(サイバニクス空間において多次元生理情報に基づき日常生活動作を支援する人協調型ロボットの開発)

【著者名】 A. Uehara, H. Kawamoto, and Y. Sankai

【掲載誌】 *Frontiers in Robotics and AI*

【掲載日】 2025 年 3 月 18 日

【DOI】 10.3389/frobt.2025.1462243

問い合わせ先

【研究に関すること】

上原 皓 (うえはら あきら)

筑波大学 システム情報系 助教

URL: <https://sanlab.iit.tsukuba.ac.jp/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp