

人に寄り添う動作支援ロボット

古川 淳一郎

<はじめに>

少子高齢化の進行に伴い、高齢者が自宅で自立的に生活することを支援する技術への関心がますます高まっている。高齢者の自立支援や生活支援は、介護の負担軽減や生活の質向上の観点から重要であり、これを実現する手段として身体動作を補助する装着型運動アシストロボット、いわゆる外骨格ロボットが注目されている。外骨格ロボットは、リハビリテーションや製造現場などで実用化が進んでおり、近年の技術革新によって、従来の単なる力学的補助装置から、利用者の運動意図を理解し協調動作を行う知能化されたシステムへと進化しつつある。特に Physical AI の進展により、センサ技術、アクチュエータ技術、人工知能が高度に統合されるようになり、ヒトの動作意図をリアルタイムで推定し、自然なアシストを提供できるロボットの開発が可能になった。これにより、ロボットは単に力を提供する存在ではなく、利用者と一緒に協調動作を行うパートナーとして機能することが期待されている。

しかし、現状の外骨格ロボットは、臨床や研究施設、工場といった環境に限定されており、家庭内での使用に必要な要素が十分に満たされているわけではない。家庭環境では、利用者の生活動線や住環境の個別性に起因する制約の中で、立ち座りや歩行、物の把持など多種多様な日常動作に柔軟に対応することが求められる。さらに、日常生活に継続的に組み込まれる機器として、身体的・心理的負担の低減や自然な使用感を確保することも重要な課題である。こうした背景から、家庭内で自然に共生できる外骨格ロボットの開発には、ハードウェアとソフトウェアの高度な統合が不可欠であり、利用者の生活全体に溶け込むデザインや制御戦略の検討が求められる。

<家庭内共生型ロボットに必要な技術>

家庭内で自然に共生する外骨格ロボットを実現するためには、ハードウェア面とソフトウェア面の両面から検討が必要である。まずハードウェア面では、利用者に対して安全かつ柔軟なアシストを提供できる構造が求められる。具体的には、人体の関節や曲線に沿った自由度を持たせることにより、日常生活に必要な多様な動作を阻害せずにアシストが可能であることが重要である。また、万一接触が発生しても過度な力を加えない安全設計や、静音性、長時間の使用に耐えられる耐久性も求められる。さらに、利用者が一人で装着・脱着できる装着性、体格に応じた柔軟な調整機構、家庭内の狭小空間に対応する柔軟性も重要である。

次にソフトウェア面では、利用者の運動意図をリアルタイムで正確に推定し、自然なアシストを提供することが重要である。家庭内では動作環境や行動パターンが多様であるため、固定的なアシストではなく、利用者ごとの運動特性や行動状況に応じてアシスト力を動的

に調整する制御が求められる。具体的には、筋電センサや慣性計測ユニット、関節角度センサなどから得られる情報を AI アルゴリズムで統合し、協調制御や学習型適応制御を用いてアシスト力を個別最適化することが考えられる。このように、ハードウェアとソフトウェアが相互に連携することで、家庭内で自然に共生するロボットシステムの基盤が形成される。さらに、家庭内では人の行動が予測しにくく、突発的な動作や環境変化が頻繁に発生するため、ロボットの動作は柔軟かつ適応的である必要がある。例えば、階段の昇降、狭い廊下での移動など、日常生活には複雑な運動が含まれるため、これらに対応可能な多自由度のハードウェアと、高度な運動意図推定アルゴリズムが不可欠である。

以上のように、家庭内で自然に共生する外骨格ロボットを実現するためには、柔軟なハードウェア設計と、利用者の動作意図を的確に捉えるソフトウェア制御を高度に統合することが求められる。しかし、これらの要件を同時に満たし、日常生活環境に適用可能なシステムは未だ限定的である。理化学研究所ガーディアンロボットプロジェクト(GRP)では、これらの課題に対する一つの解として、家庭内利用を想定した外骨格ロボットの設計および制御手法の研究開発を行ってきた。以下では、我々が提案するシステム構成とその技術的特徴について述べる。

<技術例:家庭内共生を目指した外骨格ロボットの研究開発>

本研究グループでは、家庭の中で人と自然に共に使える外骨格ロボットの実現を目指し、装着のしやすさや安全性、そして使う人にとってのわかりやすさを重視した技術開発に取り組んできた。家庭で使用されるロボットは、病院や工場とは異なり、決められた動作だけを繰り返すのではなく、日常生活の中で発生する多様な動きに柔軟に対応する必要がある。そのため、ロボットが人の体の動きになじみ、使う人の意図を自然にくみ取ることが重要となる。本研究では、こうした家庭内利用ならではの条件を踏まえ、人に寄り添うロボットのあり方を検討している。

柔軟で安全な外骨格ロボットの構造

開発を進めてきた外骨格ロボットでは、動力源として空気圧人工筋を採用している。空気圧人工筋は、空気力によって収縮・伸長する柔らかいアクチュエータであり、人の筋肉に近いしなやかな動きを実現できることが特徴である。この柔軟性により、ロボットの動作が人の体の自然な動きに沿いやすく、利用者が自ら動こうとする際の動きを妨げにくい構造となっている。また、急激に大きな力を発生しにくいいため、万が一人や周囲の物に触れた場合でも過度な力が加わりにくく、家庭内での使用において高い安全性が期待できる。さらに、空気圧人工筋は軽量の構造を実現しやすく、装着部分の重量を抑えられるという利点もある。これは、高齢者を含む幅広い利用者が日常的に使用することを想定した場合に重要な要素であり、長時間の使用における身体的な負担の軽減につながる。こうした特性から、空気圧人工筋は、家庭内で人と共生する外骨格ロボットに適した駆動方式で

あると考えている(図 1)。

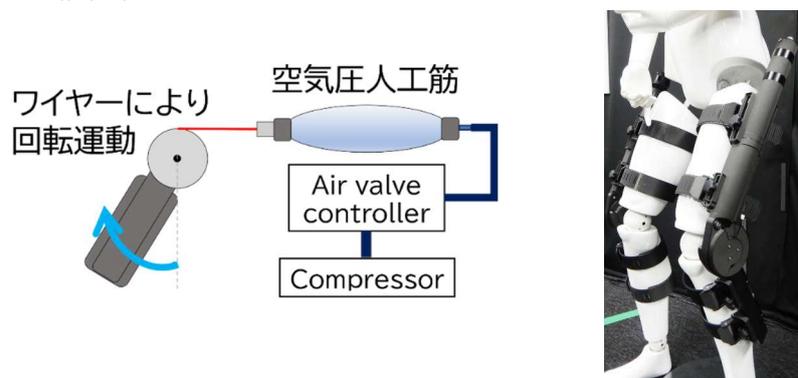


図 1：空気圧アクチュエータを用いた外骨格ロボット

利用者の意図をくみ取るための工夫

ロボットが人の動きを支援するためには、利用者が「どのような動作をしようとしているのか」を理解することが必要となる。これまでは、筋肉の動きを読み取ることで利用者の動作意図を推定する技術に取り組んできた。この方法は、人の体の内部で起こる動きを直接捉えられるため、ロボットが人の動作に合わせて素早く反応できるという利点がある。一方で、体にセンサを貼り付ける必要があり、使い始めるまでに準備が必要となる点が課題であった。そこで近年では、より手軽で直感的に使える方法として、カメラで捉えた利用者の姿勢や動きの情報と、ロボット自身の関節の動きの情報を組み合わせ、人工知能を用いて動作意図を推定する技術を開発している。この方法では、体にセンサを装着する必要がなく、初めてロボットを使う人でも短時間で利用を開始できる。利用者は特別な操作を意識することなく、自然に体を動かすだけでロボットからのアシストを受けることができるため、家庭内での利用や展示イベントなど、さまざまな場面での活用が期待される。

大阪・関西万博「フューチャーライフヴィレッジ」への出展による一般来場者の体験

本研究で開発を進めてきた外骨格ロボットシステムは、研究室内での検証にとどまらず、実際の利用シーンを想定した体験展示にも応用している。その一例として、開発したシステムを用途に応じてカスタマイズし、上肢の動きを支援する外骨格ロボットとして構成したうえで、大阪・関西万博「フューチャーライフヴィレッジ」に出展した。展示では、専門的な知識を持たない多くの一般来場者にも分かりやすく、直感的に体験してもらうことを重視した。

体験内容としては、ボール投げ動作をタスクとして設定し、利用者が近くのゴールを狙っているのか、あるいは遠くのゴールを狙っているのかを、カメラ画像から得られる利用者の身体の動きや姿勢の変化といった情報をもとに推定した。その推定結果に応じて、ロボットがアシストの強さやタイミングを自動的に調整することで、投球動作を支援する仕組みを体験してもらった(図2)。来場者は、ロボットの細かな操作方法を意識することなく、自然に腕を動かすだけでアシストを受けることができ、人の意図に寄り添って動作を支えるロボットの特徴を実感できる構成となっていた。



図 2 : Exp2025 大阪・関西万博 FLE 出展と体験の様子

このような体験展示を通じて、外骨格ロボットが単に力を加える装置ではなく、利用者の動きを理解しながら協調的に動作する存在であることを、実体験として伝えることができたと考えている。また、一般来場者を対象とした展示は、家庭内での使用を想定した場合の使いやすさや心理的な受容性を検討するうえでも重要な機会であり、本研究の技術が日常生活への応用に向けて有効であることを示す一例である。

<家庭内共生に向けた今後の展望>

以上のように、本研究では、柔軟で安全な外骨格ロボットのハードウェアと、利用者の意図を自然にくみ取るソフトウェア技術を統合し、実際の体験を通じてその可能性を示してきた。今後は、家庭内でのさまざまな生活シーンを想定した検証を進めることで、より使いやすく、より安心して利用できる外骨格ロボットへと発展させていく予定である。本研究を通じて、外骨格ロボットが人々の暮らしを支える身近な存在として社会に受け入れられることを目指している。

将来においては、外骨格ロボットは単なる動作補助装置にとどまらず、健康管理や運動支援、生活支援を統合した家庭支援プラットフォームの中核として機能する可能性がある。その実現に向けて、ハードウェアのさらなる軽量化や装着性の向上、AI 制御による個別最適化、そして家庭内の生活に無理なく組み込むための運用方法について、引き続き検討と開発を進めていく必要がある。

<おわりに>

家庭内共生型外骨格ロボットの実現には、柔軟かつ安全なハードウェアと、利用者の運動意図をリアルタイムで推定し、自然なアシストを提供するソフトウェアの統合が不可欠である。本報告では、こうした技術要件を整理するとともに、空気圧人工筋を用いた外骨格ロボットと、AI 制御による運動意図推定システムを具体例として紹介した。

体験展示や動作タスク実験を通じて、短時間の使用においては、利用者の意図に寄り添った自然な補助が可能であることが示された。一方で、長期的な使用や、多様な家庭環境への適応に向けては、さらなる検討が必要である。

今後は、ハードウェアの軽量化や装着性の向上、AI 制御の個別最適化に加え、家庭内の生活全体に自然に溶け込む運用方法や、安全性を評価するための手法についても検討を進めていく必要がある。