

論文和文概要

(2000字程度)

報告番号	甲 第 28 号	氏名	劉 暢
------	----------	----	-----

現在、世界規模での高齢化率が上昇している。特に、日本では出生率の低下とともに長寿化による高齢化が進み、超少子高齢化社会に突入していると言われている。高齢化社会において介護に必要な高齢者の増加に伴い介護者の負担が増加していると考えられる。また、高齢者の就業率からみると運輸・運送、製造、加工、設備、建築業などの重労働を伴う就業者の高齢化もますます進んでいる。このような介護現場と重労働現場の就業者たちでは重い荷物を持ち上げる荷役動作と介護者が被介護者を抱え上げて移動する際、上肢関節に大きな負担がかかる。したがって、パワーアシスト装置の導入が急務となっている。そのうち、上肢関節の負担を軽減できる上肢外骨格パワーアシスト装置を開発することは非常に有意義である。

外骨格パワーアシスト装置は主に回転関節とリンクを組み合わせて使用者の体の外側に装着する装置である。装着者の動作意図に追従して一緒に動作することにより、体にかかった荷重の一部が外骨格で負担されるため、負荷軽減と力補助を実現できる。しかしながら

- (1) 外骨格装置が大きくて重い、使用に不便を生じる。
- (2) 外骨格装置が装着者の運動範囲を制限してしまう。
- (3) 外骨格装置の装着性が良くない、拘束感を装着者に与えてしまう。

以上の問題点が存在するため、外骨格パワーアシスト装置の研究開発を実用化するまでに重大な挑戦が残っている。私たちの研究チームも以前から筋電信号を用いた制御手法の研究と検証のため、非装着型のロボットアームを開発した。また、最小限の筋電信号を用いた制御手法を提案し、1自由度-1筋電センサ（屈筋の筋電信号のみ）での制御を検証し実現した。そこで、本研究ではこれまでの非装着型のロボットアームの開発と制御手法の提案を踏まえて上記の問題点を改善するため、親和性を持つ装着可能な軽量型上肢外骨格パワーアシスト装置の開発を目的とした。

本論文ではまず上肢外骨格パワーアシスト装置の設計コンセプト及び具体的な設計と開発方法を紹介する。本研究はまず人間の関節の構成に基づいて肘と肩関節の動作を拘束しないような外骨格の自由度を持つ機械構造を設計した。具体的には、人間の肘関節は1自由度のみで屈曲・伸展動作ができる。肩関節は一般的により複雑な球関節と認識されて3自由度を持ち、屈曲・伸展、外転・内転、外旋・内旋動作ができる。外骨格の設計はこの4つの自由度を考慮して設計した。そのうち、肘と肩関節の屈曲・伸展動作は人間が両腕で荷役の際に主に行う動作であり、最も力補助が必要な動作として外骨格が対応する関節をパワーアシスト可能な駆動関節に設計した。それ以外の2自由度は回転フリーな受動関節に設計した。従って、駆動関節と受動関節の組み合わせにより、装着者の運動を拘束しない上で必要なアクチュエータの数を最小限に抑えることで軽量化が実現できた。また、人間の肩関節は球関節だけではなく、複数の関節（肩甲上腕関節（球関節）、肩鎖関節、胸鎖関節など）で構成された複合体である。肩複体の運動に伴い球関節の回転中心（上腕骨頭）がスライド運動を発生する。このような運動により装着者の肩関節と外骨格の肩関節に微小なズレが生じてしまう。本研究の外骨格はこのようなズレも考慮に入れて設計することで、外骨格の装着性を更に向上できた。そして、外骨格装置にバックドライバビリティを実現するため、直流モータと2段階の減速機（タイミングベルトとプーリー、複合遊星ギア）で構成された駆動関節を設計した。また、駆動関節のバックドライバビリティにより、制御を加えない場合（着脱時）と不具合が発生した場合（電源が落ちた時）に装着者の動作を制限しないようになった。これにより、装着者が容易に駆動関節を動かすことが可能となり、着脱時の利便性と緊急時の安全性を向上できた。

次に、本論文は開発した外骨格パワーアシスト装置の運動範囲とバックドライバビリティの検証を紹介する。本研究は外骨格装置の運動範囲の検証として、モーションキャプチャを用いて外骨格を装着している時と装着していない時の運動範囲の定量的な解析手法を提案し、分析を行った。その結果、開発した外骨格を装着していても装着していない時の8割以上の動作範囲を達成した。この結果から日常生活に必要な運動範囲と比較することにより、外骨格を装着しても日常生活の動作を妨げないことが言える。バックドライバビリティの検証実験により駆動関節が優れたバックドライバビリティを有することで、制御を加えていない時も装着者が容易に外骨格を動かせることが確認できた。

更に、筋電センサまたは力覚センサを用いて、パワーアシストの検証実験を行った。先行研究での筋電信号を用いたロボットアームの研究成果を踏まえて、筋電信号を用いて上肢外骨格パワーアシスト装

置の制御と荷役動作の力補助を実現した。また、小型な力覚センサを導入し、直接外骨格装置の先端に固定して装着者の力情報を用いた運動意図の判別と制御による力補助を実現できた。力覚センサを用いた場合では筋電センサのように電極を貼り付ける時間が不要となり、更に汗などの外乱に対して強くなるため使用可能な環境が広がられた。筋電センサを用いた制御と力覚センサを用いた制御ともに、負荷荷物を運ぶ際の筋電信号と力情報から優れたパワーアシストの効果を確認できた。

論文の最後に従来の研究との比較をし、まとめを行い、今後の展望について述べる。