

論文審査の要旨及び審査委員

(2, 000字程度)

報告番号	甲 第 28 号		氏 名	劉 暢		
論文審査 審査委員	氏 名		職 名	氏 名		職 名
	主 査	向井 伸治	教授	委 員		
	委 員	横井 浩史	教授			
王 鋒		教授				
石川 恒夫		教授				
		朱 赤	教授			

現在、世界規模で高齢化率が上昇している。高齢化社会において、介護が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、運輸、製造、加工などの重労働を伴う産業の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介護者が被介護者を抱えての移動と、重い荷物を持ち上げる荷役動作が就業者の上肢関節に大きな負担をかけている。そのため、これら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。しかし、既存の上肢外骨格装置は (1)装置が大きくて重い、(2)装着者の運動を制限する、(3)外骨格装置の装着性が悪いなどの問題点が残っている。

そのため申請論文は、人体へ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および機能検証を目的とした。まず、上肢外骨格装置の設計コンセプトおよび具体的な設計と開発方法を紹介した。解剖生理学に基づいた機械構造を設計した。最も力補助が必要な肘と肩関節の屈曲・伸展動作に対応して外骨格の関節をパワーアシスト可能な駆動関節に設計し、それ以外は装着者の動作を制限しないための受動関節に設計した。従って、駆動関節と受動関節を併用することにより、必要なアクチュエータの数を最小限に抑えたため軽量化が実現できた。また、肩複合体の運動に伴い球関節の回転中心(上腕骨頭)にスライド運動が発生する。このような運動により装着者と外骨格の肩関節に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設計に考慮することで、外骨格の装着性をさらに向上できた。

そして、駆動関節はバックドライブ性を持たせるため、直流モータと2段階の減速機構で構成された駆動システムを設計した。優秀なバックドライブ性により、制御を加えていない時でも装着者が容易に駆動関節を動かすことが可能となり、着脱する時の利便性、装着性と安全性が向上できた。さらに、運動範囲の検証として、モーションキャプチャを用いた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、外骨格装置は装着者自身の8割以上の可動域を確保し、日常生活に必要な運動範囲を完全に満足できることが実証された。最後に、筋電信号または力信号を用いた制御手法を提案し、実際の荷役動作の実験により装置のアシスト機能を検証した。動作中に計測された筋電信号、力信号と関節の角度信号により、外骨格装置が装着者の運動意図に従って、有効なアシスト機能を果たしていることが実証された。

申請論文は、全6章から構成されており、その概要は以下の通りである。第1章では、序論として研究の背景、目的と枠組みについて示した。第2章では、関連研究として、これまでの上肢外骨格装置の研究の成果、そして外骨格装置に使用される運動意図の検出手法と本研究の先行研究で得られた成果について述べている。第3章では、解剖生理学に基づいた上肢外骨格装置の具体的な設計と開発方法について説明している。そして、第4章では、開発した上肢外骨格装置をバックドライブ性とサポート可能な運動範囲の2つの方面から機構の検証をし、検証結果を紹介している。第5章では、筋電信号と力信号を用いたそれぞれの制御の提案をし、実際の荷役動作での検証をし、パワーアシストの効果を実証した。最後に第6章にて、従来の研究との比較をして本研究の長所を説明し、まとめを行い、今後の展望について述べている。

博士学位論文の予備審査においては、論文審査員から論文の内容について多様な意見が出され、その後論文全体において適切な修正が行われたものと判断する。本申請論文は将来性のある研究として、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および機能検証における有用性、妥当性を検討し、これからの外骨格装置の研究の進展には有用な研究成果であると思われる。

以上のような博士学位論文の審査結果を踏まえ、併せて申請者の既発表論文の内容や最終審査における質疑応答、最終試験の結果から総合的に評価し博士学位論文として合格と判断した。