

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13274 号
------	---------------

氏 名 李 梦泽

論 文 題 目

Intention Reading and Sensory Substitution for Improving Walking Quality of Paraplegia Wearing An Exoskeleton
(両下肢麻痺患者の歩行支援を改善する意図推定と感覚代行技術)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名城大学	教授	福田 敏男
委員	名古屋大学	教授	秦 誠一
委員	名古屋大学	准教授	青山 忠義

論文審査の結果の要旨

李夢澤君提出の論文「Intention Reading and Sensory Substitution for Improving Walking Quality of Paraplegia Wearing An Exoskeleton（両下肢麻痺患者の歩行支援を改善する意図推定と感覚代行技術）」は、両下肢麻痺患者が装着する外骨格歩行支援ロボットの操作性及び安定性向上を目的とし、1) 操作インターフェイス及び感覚フィードバック手法と、2) 自律的バランス補正技術、の2点から歩行支援に必要な技術についてまとめている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の研究背景及び目的について、身体に搭載するウェアラブルロボットによる運動支援・歩行支援に焦点を当て従来研究を紹介しながら説明している。また、両下肢麻痺患者の運動・感覚機能の喪失に伴う外骨格歩行支援ロボットの重要性について述べ、患者からロボットへ運動意思伝達を行うインターフェースと、歩行支援ロボットの操作における体性感覚フィードバックの欠如による問題点について詳述し、本研究で取り組む研究の意義について述べている。また、以下の各章の構成について説明している。

第2章では、指先を用いた下肢運動操作インターフェースと電気刺激を用いた擬似深部感覚フィードバック手法について提案している。両下肢麻痺患者が外骨格ロボットを身体に装着して歩行する場合には、バランス保持の為に杖を両手に持つことが一般的である。そこで、杖に搭載した圧力センサに、示指から力を加えることで支援ロボットの股関節トルクを操作し、また、現在の足の位置を電気刺激にて拇指にフィードバックするインターフェースを提案している。これにより、足の位置を拇指で感じながら示指にて股関節トルクを制御し、操作者が意図する歩幅・歩行周期で歩行し、歩行の自己主体感を高める手法を提案している。また、感覚フィードバックとして22点のアレイ電極によって構成される電気刺激デバイスを使用し、刺激位置によって患者が歩幅を知覚可能とする手法を提案している。杖を持った2足歩行ロボットを用いた実験により、提案する操作インターフェースにて歩行操作の実現可能性を示し、操作者の視覚を遮蔽した場合の操作においても、足を直接視認した場合に近いの足位置操作精度を達成していることを確認している。

第3章では、指の体性感覚に基づく操作インターフェースと電気刺激感覚フィードバックによる麻痺部位の再身体化促進技術について提案している。人間工学に基づいて示指の平面動作によって2次元入力が可能となる操作インターフェースを新たに開発し、歩行中の脚軌道を自在に操作することを確認している。また、指先において、電気刺激の変調弁別能力に関する予備的実験を行い、複数パターンの刺激における弁別必要時間及び弁別精度を明らかにした。これらの弁別能力に基づき、同一アレイ電極に複数のエリアを提示する多重化技術を提案し、アレイ電極が提示できる領域を足の可動領域まで拡張した。この電気刺激手法を2足歩行ロボットの操作インターフェースに搭載し、視覚フィードバックの場合と同等の位置操作精度が実現できることを確認している。

第4章では、外骨格ロボットによる歩行支援時の歩行安定性向上を目的とし、非線形倒立振り子モデルを規範とした自律的バランス補正アルゴリズムを提案している。歩行時の患者が使用する杖と脚の動作の相互関係を主成分分析(PCA)によって抽出し、この関係に基づき、杖の動作に合わせて外骨格ロボットが脚の運動軌道をリアルタイムに生成が可能となった。これにより、歩行者が杖の動作(動作速度と距離)を変えることで、外骨格ロボットが提供する歩行の歩行周期と歩幅を調整することができ、歩行者が運動主体感を持って歩行を操作することが可能である。具体的には、杖の動作によって推定された歩行速度と歩幅となる歩行軌道および目標ZMP軌道を非線形倒立振り子モデルから生成し、ウォーキングシナジーから導かれた外骨格ロボットの運動軌道が、目標ZMP軌道へ追従するように股関節角度に補正を加える手法を提案している。動力学シミュレーションを用いて、目標ZMPに対する歩行中のZMP軌道の誤差が44%減少し、歩行バランスの向上を確認している。

第5章では、本論文の結論及び今後の課題について述べている。上記の各章において提案している操作者と歩行支援ロボットとの協調制御において、歩行に関する患者の意思を直感的にロボットへ伝える操作インターフェースと、失われた深部感覚を代用する電気刺激技術、リアルタイムに運動を修正し歩行姿勢を安定化する技術、これらの3つの技術について2足歩行ロボットの実験によりその効果を確認している。これにより、両下肢麻痺患者が、より自己主体感を感じながら安定して歩行するための基礎的な技術が整いつつあると言える。また、今後の研究課題として、歩行速度の一定化に向けた支援方法や違和感の少ない歩行安定化手法について説明している。

以上のように、本論文では、両下肢麻痺患者が装着する外骨格歩行支援ロボットの操作性及び安定性向上を目的とした操作インターフェイス及び深部感覚フィードバックの代替手法、リアルタイムバランス補正技術の提案を行っており、その得られた成果は、両下肢麻痺患者が運動主体感を有して歩行するための運動支援技術として重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である李夢澤君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。