

氏名(本籍)	犬塚 健斗 (愛知県)		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	博 甲 第 9679 号		
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	装着者の意思を反映可能な大腿義足サイバニック化ユニット		
主 査	筑波大学 教授	工学博士	山海 嘉之
副 査	筑波大学 教授	博士 (情報科学)	望山 洋
副 査	筑波大学 教授	工学博士	坪内 孝司
副 査	筑波大学 准教授	博士 (工学)	河本 浩明
副 査	茨城県立医療大学 講師	学士 (医学)	松下 明

論 文 の 要 旨

外傷や血行障害、腫瘍などにより大腿部で切断した者は大腿切断者と呼ばれる。大腿切断者の抱える問題のうち、移動は最も重大な問題であり大腿切断者の QOL に大きな影響を与えている。大腿切断者が日常的な移動のために使用している大腿義足のうち、膝の機能を代替する部品である膝継手は受動的な部品によって構成されており、健全な膝のように動かすことができない。このような問題を解決するため、本研究では、既存義足に並列に取り付けることで義足関節の能動化を実現すると共に、残存部位から検出される生体電位信号により装着者の意思を反映させた能動関節動作を実現する手法として、既存義足の高い耐久性を活用できる能動化と装着者の動作意思の反映が可能な「大腿義足サイバニック化ユニット」を提案・研究開発し、その実現可能性を示すことを目的としている。

大腿義足のうち膝の機能を代替する膝継手には、回転軸が 1 つの単軸義足と回転軸が複数ある多軸のものがあり、本研究では、単軸義足専用のサイバニック化ユニットと多軸義足にも対応可能なサイバニック化ユニットを提案し研究開発している。サイバニック化ユニットの出力を義足関節に伝達する際に単軸義足にも多軸義足にも対応できるように、単軸義足に対しては、義足とユニット機構部の回転軸の厳密な調整を必要としないように回転軸のズレを許容できる構造とし、また、多軸義足に対しては、義足とユニット機構部が 4 節リンク構造となるようにして、それぞれ対応できるようにしている。4 節リンク機構における思案点回避に関しては、大腿ソケットカフに加えて下腿の固定部に既存義足の下腿側とユニットの角度をゼロに戻すトルクを与えることで、思案点を回避する機構を持つ構造としている。

サイバニック化ユニットには、上記のような機構部に加えて、制御系 (モータ等)、センサ系 (生体電位、膝関節角度等)、処理系 (データ処理・判別処理等) が搭載されている。モータが取り付けられている能動関節を意図通り駆動するための運動意思は、大腿切断者の断端領域から計測される生体電位信号によって推定される。歩行、歩行中の動作意思を反映が可能なハイブリッド歩行、階段昇り、階段降りの制御を実現するために、基本動作の単位となる基本動作フェーズから構成されるフェ

一ズシーケンスに基づき、それぞれをタスクとして制御している。歩行タスクから階段昇りタスクへの切り替えは、生体電位信号によって捉えられた動作意思によって行われる。

実際の動作タスクを想定した試験として、歩行試験、障害物またぎ試験、階段昇降試験、タスク切り替え試験を実施している。障害物またぎ試験では生体電位信号を使用することで、歩行中の障害物をまたいで通過できることを確認している。階段昇降試験では、健常者と同じ1足1段の方法での階段昇り、降り動作が可能となることを確認している。タスク切り替え試験では、生体電位信号による動作意思推定に基づき、制御方法の異なる歩行タスクから階段昇りタスクへと切り替えが可能であることを確認している。

結論として、本論文では、これらの研究結果を通して、既存の義足に装着することで既存義足を能動化し自律的に制御され、さらに、生体電位信号を用いて動作意思を反映した動作が実現可能な大腿義足サイバニック化ユニットを提案・研究開発できたこと、そして、プロトタイプシステムを構築して実際に想定した評価試験を行うことで、既存義足ではこれまで困難であった動作が実現できることを示し、大腿切断者の不自由の軽減の実現可能性を示している。

審 査 の 要 旨

【批評】

本論文では、人工物である従来大腿義足の膝関節部に、装着者の脳神経系から末梢へ伝達される意思を反映した生体電位信号を用いて機能する小型駆動ユニットを並列的に取り付け、従来義足の高い耐久性を活かしながら既存義足をサイバニック化する新たな手法およびシステムを提案・開発し、実際に想定した評価試験を通して、提案手法・提案システムが大腿切断者の不自由を軽減できることを示し、その実現可能性を示している。人間医工学、サイバニクスなどの学術的観点からも、社会的観点からも、有益な研究であると評価される。

【最終試験の結果】

令和2年8月6日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。