

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12500

研究課題名(和文) 機電要素一体構成法と可変粘弾性システム化機構に基づく当事者義足評価開発研究

研究課題名(英文) Self Support Study of Prosthetic Leg with Variable Elastic System and Mechatronic Integration

研究代表者

稲葉 雅幸 (Inaba, Masayuki)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：50184726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、膝関節に動力を与える義足を研究者自らが利用評価し改造を加える新しい能動義足をテーマとしている。膝の角度に応じての可変粘弾性機構を利用し、モータ、バッテリー、角度センサ、力センサ、IMUセンサ、制御基板を一体として組み込む構成法に基づいて利用者にとって安全で使いやすい義足を研究開発することを目的として行っている。当事者研究として、平地歩行と立ち上がり動作の評価を行い、立脚相では機構のアライメントによって体重を支え、遊脚相では健常者の膝角度の平均プロフィールに合わせ、義足利用者のフィードバックに基づくパラメータ調整を行う仕組みとしている。

研究成果の概要(英文)：In this work, a novel mechanism to build lightweight and compact powered prosthetic knee are presented. Series elastic actuator is applied in building robotic prosthesis in our research in order to absorb shock during heel strike and store and release energy to improve energy efficiency with spring. Compact motor drive and control system have been embedded in the prototype and trajectory tracking approach based on human gait data is proposed to control the knee on level ground walking. The knee has been evaluated to assist standing up from chair and walking on the flat ground and results shows that it could help subject stand up without inclination and walk naturally. This prosthetic knee could bring user benefit such as more safety, less fatigue and less load on hip and sound leg and also increase battery's duration time, which make it feasible to commercialization.

研究分野：Robotics

キーワード：能動義足 バイオメカニクス 直列弾性アクチュエータ 当事者研究

1. 研究開始当初の背景

世界では下肢切断者は約 700 万人だと推定されている。義足の価格は非常に高く、一部の人のみ義足をつけている状況である。綺麗に歩く、楽に歩く、早く歩く、走ることは障害者が期待していることであるが、そのすべての期待に応えられる義足はまだできていない。歩行速度や地面状況に応じて、歩行の生体インピーダンスを調整できる電子制御義足は非常に進歩している。その代表としては、ドイツメーカー-Ottobock の Genium とアイスランドメーカー-Ossur の Reho3 がある。しかし、どちらもエネルギーを吸収するパッシブ義足であり、ポジティブなパワーを出すことで歩行をアシストすることができない。近年、一個のモータの減速機構を工夫するアクティブ義足が研究されてきているが、消費電力が大きいため、大きなバッテリーが必要となり重くなる。直列弾性アクチュエータを用いる義足もエネルギー効率が良いはなるが、重いという欠点がある。軽量、コンパクトかつダイナミックな義足を作るには、歩行からのエネルギーを効率よく利用するアクチュエータを研究する必要がある。また、義足の研究開発は欧米に集中しており、欧米人の体型に合わせた荷重構造と強度設計がとられている。実際にアジア人が利用しようとする、その強度が過剰という問題がある。アジア人の体型に合わせる強度構造を設計するには、小型化と軽量化の技術が必要となる。

2. 研究の目的

病気や事故など様々な原因で足を切断せざるを得ない人は、失った足の代わりに、義足を付けることで、綺麗に歩く、楽に歩く、早く歩く、走ることを期待している。しかし、それらの期待に応えられる義足はまだできていないといわれている。電子制御義足は消費電力が大きく、重量が大きい、歩行姿勢が悪くなるなどいろいろな課題を抱えている。申請者にはロボット技術はあるが、義足としての厳しい評価を日々行うことができる日常環境がなかった。しかし、障害者自身が自ら評価しつつ研究開発を行うために当研究室の博士課程へ進学してきたことで、供にその夢を実現したいと考え、障害者のモビリティを高め、生活と仕事への自立による社会への参加推進の一助となる研究へ挑戦することを目的とする。人自体の歩行から出ているエネルギーを蓄積し、必要に応じてそのエネルギーで歩行をアシストする弾性アクチュエータと、バッテリー効率を向上させ生体工学に基づく関節と歩行を再現し評価に耐えられる義足を生み出す挑戦を行う。

3. 研究の方法

歩行メカニズムに基づき、そのメカニズムに適用するアクティブ義足システムとして、歩行の立脚相と遊脚相を表すパラメータである角度、トルク、パワーと力の特徴を捉える。パラメータの特徴を模倣できるアクチュエータとして、直列弾性アクチュエータ機構、電力回生機構、可変粘弾性構造、金属と樹脂の複合材三次元実装、機電要素一体設計制御実装、などの要素を順に付加した義足を作り、各要素の付加の前後での比較をデータとして比較可能な形の段階的發展比較構成法を行う。29年度には全要素が統合された義足レベルをもってゆき、全体の行動支援制御ソフトウェアの評価改良を人の主観だけでなく行動観察データとの比較も行い評価改良を進め、本研究の総括を行う。



図1 市販の能動義足の評価実験

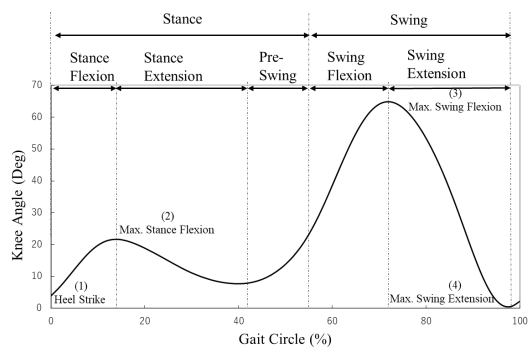


図2 歩行フェーズにおける膝角度変化

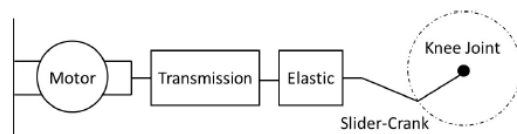


図3 直動可変弾性駆動構造

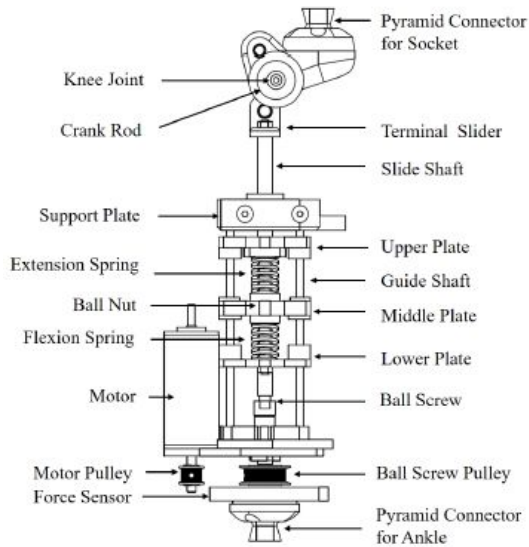


図4 能動義足の駆動構造

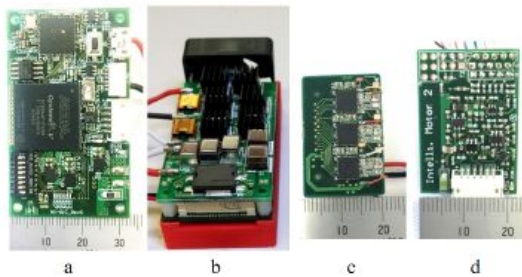


図5 能動義足駆動電装基板
(a: 駆動制御, b: モータ駆動, c: アナログ変換, d: IMU センサ統合基板)

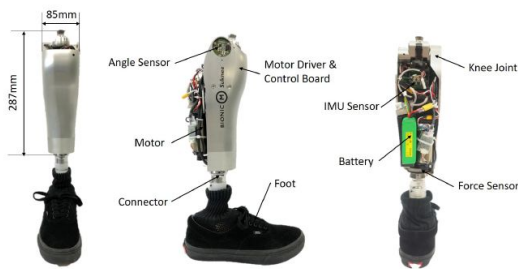


図6 試作を行った能動義足

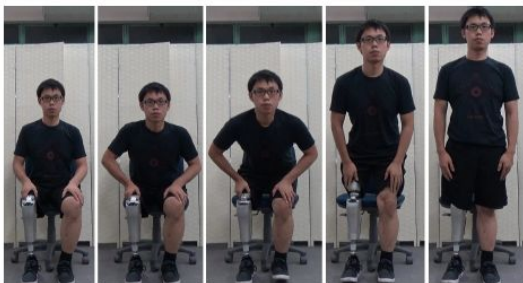


図7 立ち上がり評価実験

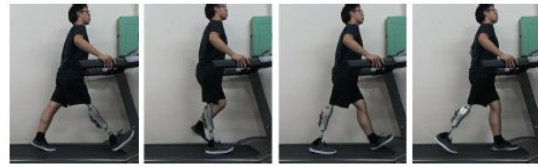


図8 能動義足状態での歩行評価実験



図9 受動義足状態での歩行評価実験



図10 屋外での歩行評価実験

4. 研究成果

本研究は、膝関節に動力を与える義足を研究者自らが利用評価し改造を加える新しい能動義足をテーマとしている。膝の角度に応じた可変粘弾性機構として直動・カム・クランク機構を利用し、モータ、バッテリー、角度センサ、力センサ、IMU センサ、制御基板を一体として組み込む構成法に基づいて利用者にとって安全で使いやすい義足を研究開発することを目的として行ってきた。図1は市販の能動義足での評価実験の様子であり、市販品は欧米人仕様で重く、電源が切れると受動義足として使えない。

本研究では、図2のような歩行フェーズにおける膝関節角度変化から、歩行時の角度範

困では大きい歩行速度の変化を実現でき、立ち上がりや階段昇降の際には、大きいトルクを発揮できることが求められると考え、歩行時の角度範囲では、減速比を小さくし、立ち上がりや階段昇降の角度範囲では減速比が大きくなるようにしている。図3はそのための膝義足の基本設計構造であり、直動スライダクランク機構と直列弾性駆動構造によりその機能を実現することを行う。図4に具体的な直動弾性要素とスライダクランク機構の構造を示す。スライダクランク機構により膝の角度に応じて必要なトルクを非線形に変化させることができる構造となっている。図5は、義足に組み込む電装基板であり、モータ駆動制御基板、力センサ、角度センサ、ジャイロ・加速度センサを統合したIMUセンサを実装した基板類である。図6は、外装構造の中に駆動機械構造と基板類を一体化させ受動足首義足を装着した状態の試作義足を示す。

当事者研究として、平地歩行と立ち上がり動作の評価を行い、立脚相では機構のアライメントによって体重を支え、遊脚相では健常者の膝角度の平均プロフィールに合わせて、義足利用者のフィードバックに基づくパラメータ調整を行う仕組みとしている。立脚相と遊脚相は力センサーと角度センサーによって判断し、脚を振り出そうとしていることを検知したうえで、振り出しをアシストするためユーザーは力を入れなくとも歩けることとなる。これによりアシストをする能動モードと従来義足と同様の受動モードを実現できる仕組みを実現してきている。

図7に立ち上がり時の実験評価の様子を示している。弾性要素により衝撃を吸収し、歩行時の足の振り上げのアシストと立ち上がり時の押し上げアシストの感触は受動歩行では得られない感触であると当事者評価を得た。

図8に、能動義足として機能させた状態でトレッドミル上での歩行を行った様子を示し、図9に同じ能動義足を受動義足として利用した場合のトレッドミル上での実験である。受動義足では義足を人の力で運ぶことになり、歩幅を大きくとりづらいことがわかる。図10は歩行時に手すりのない屋外での利用実験時の様子である。受動義足を日ごろ利用している当事者によりどのような能動義足であれば日々の利用に耐えられるかという視点から、装着者自身が本義足の設計開発改良を担当し、膝の動き・関節角度・床面からの反力に応じて能動義足の反応を制御するプログラムをこのような歩行実験を通して日々改良・改善できるところが本研究の特色となっている。

今後、受動義足では得られないつまずきへの対処、階段での交互歩行などが次の課題となっているが、最低限受動義足として利用することができれば、日々の利用に耐えられるということが当事者として重要なことであ

り、得られた重要な知見でもある。つまり、能動義足であっても受動義足として利用できる、すなわち、能動と受動のハイブリッド義足として利用できる能動義足が重要であるということである。膝義足では、安全上膝折れしないということが最も重要な要素となるが、能動義足であれば受動利用の場合にも膝折れしにくい制御も可能となる。そのような安全対応によって、他のユーザによる評価が今後可能となると判断している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

Xiaojun Sun, Fumihito Sugai, Kei Okada, Masayuki Inaba. Design of a Robotic Ankle Foot Prosthesis with Biomimetic Non-linear Transmission Series Elastic Actuator, 23rd Robotics Symposia, 2018 March, P. 302-P305

Xiaojun Sun, Fumihito Sugai, Kei Okada, Masayuki Inaba. Variable Transmission Series Elastic Actuator for Robotic Prosthesis, In International Conference on Robotics and Automation on. IEEE, 2018 May

出願状況(計 1 件)

名称: 膝継手
発明者: 孫小軍、稲葉雅幸、岡田慧、浅野悠紀
権利者: 東京大学
種類: 特許
番号: JP2017/031190
出願年月日: 2017 8 - 30
国内外の別: PCT

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
稲葉 雅幸 (INABA Masayuki)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 50184726
- (2) 連携研究者
菅井 文仁 (SUGAI Fumihito)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教
研究者番号: 30739256
- (3) 研究協力者
孫 小軍 (Xiaojun Sun)