

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22680046

研究課題名(和文) 義足使用者の運動状態・運動意図推定手法の確立とそれを応用した高機能股義足の開発

研究課題名(英文) Technique for Estimation of Motion Status and Intension for Prosthesis Users and Development of a New Hip Disarticulation Prosthesis

研究代表者

内藤 尚(Naito, Hisashi)

金沢大学・機械工学系・准教授

研究者番号：40392203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,000,000円、(間接経費) 5,400,000円

研究成果の概要(和文)：義足は、下肢切断者が歩行する際には必須の道具となり、脚の機能の一部を代償することから身体の一部とも例えられる福祉用具である。本研究課題では、義足の中でも最も高度な技術が必要となる股義足を主な対象として、駆動要素を組み込んだ高機能義足の設計手法を提案し、それをを用いて動力股義足を開発した。この際、義足使用者の歩行時の身体ダイナミクスデータを収集するシステムを開発し、過渡的な歩行状態の再現することのできる神経筋骨格歩行シミュレーションモデルを作成し、能動股義足を開発した。

研究成果の概要(英文)：Prosthesis is a critical device for lower limb amputee to compensate for part of the function of the leg. In this study, we proposed a design process of high-performance hip disarticulation prosthesis (HDP), for which the most advanced technology is required in the lower limb prostheses, incorporating a driving element, therefore we have developed a power HDP by using the proposed design tool. In this project, we developed a system for collecting body dynamics data of a prosthesis user during walking, constructed a neuromuscular gait simulation model which can reproduce the walking transient state, and developed an active HDP.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：動力義足 運動状態・運動意図推定 シミュレーション 計算機支援設計 股義足

1. 研究開始当初の背景

義足は、下肢切断者が歩行する際には必須の道具となり、脚の機能の一部を代償することから身体の一部とも例えられる福祉用具である。義足の種類は、3大関節に対応する継手部品の数で大まかに分類でき、切断部が最近位のものから順に、股義足、大腿義足、下腿義足と呼ばれる。その中でも股義足は下肢全体の機能を代替することを目的としており、片側義足としては使用される機能部品の数が最も多くなる。さらに、切断部位が近位になればなるほど切断者下肢の残存機能は低くなり、他の切断レベルの義足使用者と同様の運動を実現するには、他の義足に比べて多くの機能が求められるため、股義足には最も高度な技術が必要となる。

義足には関節に相当する部品として継手と呼ばれる部品が用いられる。現状では、バネ・ダンパ・ブレーキ・クラッチなどの受動的（抵抗力の発揮を主目的とした）機械要素から構成されている継手が良く用いられているが、近年の開発研究の動向をみると、足継手や膝継手に駆動アクチュエータを組み込んだ実用レベルの部品が発表され始めている(Au and Herr 2009 や Osuur 社の POWER KNEE など)。今後の義足には、メカトロニクス技術を活用した駆動部品が次々と組み込まれてゆくことが予見でき、国際的な開発競争に突入してゆくものと思われる。

駆動部品を用いた義足開発における今後の技術的課題として、アクチュエータや電源などの機械・電気的要素技術の発展の必要性もさることながら、ヒトと「義足という機械」との間の情報および力の相互伝達と相互作用を総合的に考慮して義足を設計する技術を確立してゆくことが必要不可欠である。その中でも、義足の駆動部品に適切な運動指令を与えるためには、義足自身で、身体運動が現在どのような状態にあるかを判断し、使用者が次にどのような動作を行うことを意図しているかを推定する、運動状態と運動意図の推定に関する実用的な手法を確立することが最重要の課題であるといえる。

ヒトと義足との間のインタラクションを考慮して、合理的かつ創発的に義足を設計するためには、順動力学的な身体運動シミュレーションモデルに基づいた妥当な動作予測を用いることが有効である。研究代表者はこれまで、ヒトの神経・筋骨格系をモデル化した順動力学的運動シミュレーションに基づく義足開発支援システムを構築し、既存の義足部品の延長線上にある受動的アクチュエータを備えた股義足の開発や義足の適合性評価への応用研究を行ってきた。そこでは、主にヒトと義足の力学的インタラクションを考慮した義足の設計を行うことが課題であった。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、義足の中でも最も高度な技術が必要となる股義足を主な対象として、駆動要素を組み込んだ高機能股義足を開発することである。具体的には、まず、義足使用者の運動状態と運動意図を推定するアルゴリズムを提案し、研究代表者が構築した順動力学的身体運動シミュレーションモデルに基づく義足開発支援システムを応用することで、義足使用者の運動状態・運動意図を推定するアルゴリズムと股義足の制御システム・機構システムの設計を同時に行い、それを基に能動股義足を製作し評価を行う。

3. 研究の方法

本研究課題は、次の3つの主要なテーマから成り立っている。

(1) 義足および身体に配置したセンサ信号からの運動状態および運動意図推定手法の定式化

(2) 義足開発支援システムを用いた股義足と運動状態・運動意図推定アルゴリズムの同時設計

(3) 設計した高性能股義足の製作と評価実験

本課題では、まず定式化する多チャンネルのセンサ信号から運動状態および運動意図を推定する手法が基盤技術となる。この手法を義足の制御システムに導入したモデルを作成し、義足開発支援システムで、制御・機構システムの同時設計を行う。それを基に股義足を製作し、評価を行うという流れで進められる。股義足の制御システムは比較的容易に改良できるため、必要に応じて開発支援システムに立ち戻り、制御システムの設計の再設計を行う。

4. 研究成果

本研究課題では、義足の中でも最も高度な技術が必要となる股義足を主な対象として、駆動要素を組み込んだ高機能股義足の設計手法を提案し、それを用いて義足を開発した。具体的な研究実績は下記の3点でまとめられる。

(1) 義足使用者の歩行時の身体ダイナミクスデータ収集システムの開発

加速度・角速度・地磁気センサを搭載したウェアブルセンサ5個を義足および健常脚の両下腿、大腿およびソケット部（骨盤節）に取り付け、運動時の各データを収集するシステムを製作した。それらのデータを元に身体運動状態を推定するアルゴリズムを組み合わせ、身体ダイナミクスデータ収集システムを開発した。

(2) 神経筋骨格歩行シミュレーションモデルによる過渡的な歩行状態の再現

研究代表者らが作成している随意的な関節運動自由度と同じ数の神経振動子を運動制御系として持ち一定速度の歩行を再現することができる神経筋骨格シミュレーション

モデルを基に、速度を変更することができるモデルの提案を行った。まず、ある速度の歩行から異なる速度の歩行へと歩行状態を変更する際には、それぞれ異なる定常的な速度の歩行を制御する運動制御系が速度の変更開始から変更終了の間のどこかで切り替わり、速度変更という過渡的な運動を速度の異なる定常軌道間の遷移であると仮定した。この仮定だけでは、実際に計測されているおよそ1から2歩の間で歩行速度の変更は達成することができなかった(図1a))。そこで、歩行速度の変更は上記の仮定に加えて定常軌道の遷移をサポートするために、上位中枢から運動神経に随意的な関節駆動トルク信号があるタイミングと大きさとで一定時間付加的に入力されるものと考えた。その関節トルクの種類、タイミング、大きさ、継続時間はパラメトリックに探索を行った結果、実験結果に類似した1歩で加速および減速させる歩行を再現させることに成功した(図1b))。

加速・減速時の歩行共に制御系の切り替えは支持脚立脚期初期に行い、次のステップが開始する立脚期後期および非支持脚の遊脚期後期から立脚期後期に上位中枢からの関節トルクの調整信号が入力されていた。これにより、加速や減速などの過渡的な歩行においては、反射やリズム生成回路からの自動的な運動制御に加えて上位中枢からの随意的な運動制御の関与が必要であることが示唆された。

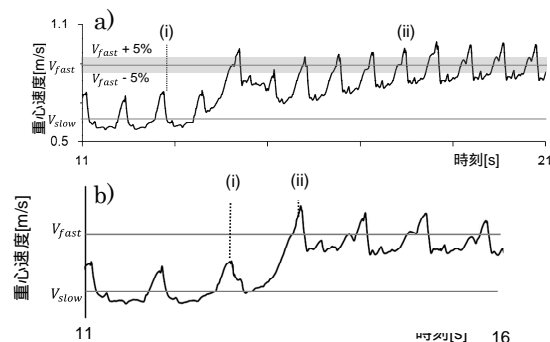


図1 加速時の歩行速度の時間履歴 a) 制御系の切替みの場合、b) 制御系の切替と上位中枢から調整入力がある場合。

(3) 能動股義足の開発

研究代表者らが以前発明したソケット側面に回転軸を持つ股義足を参考に、股関節をサーボモータで駆動させる股継手部品を製作した。それに既存の膝継手部品および足部部品を組み合わせることで股関節を動力化した股義足を開発した。小型PCを用いて制作した制御アルゴリズムを基にサーボモータを駆動させることで能動股義足を開発した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

林祐一郎, 長谷和徳, 内藤尚, 西澤教之, “足部の精密化と目的関数の混成化による歩行シミュレーションモデルの開発,” 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 80, p. DR099, 2014.

DOI: 10.1299/transjsme.2014dr0099

H. Naito, Y. Akazawa, A. Miura, T. Matsumoto, M. Tanaka, “Identification of Individual Muscle Length Parameters from Measurements of Passive Joint Moment around the Ankle Joint,” Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol. 7, pp. 168-176, 2012.

DOI:10.1299/jbse.7.168

[学会発表](計17件)

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “足関節底屈筋の過緊張が代償運動に与える影響の歩行シミュレーションによる検討,” LIFE2013, 2013年9月2日, 山梨大学, 山梨.

井上みなみ, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “ヒト神経筋骨格モデルによる歩行速度変更の再現に関する検討,” LIFE2013, 2013年9月4日, 山梨大学, 山梨.

榎田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “大腿義足歩行における身体負担の逆動力学解析による評価,” 日本機械学会関西支部第88期定時総会講演会, 2013年3月17日, 大阪工業大学, 大阪.

榎田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “大腿義足歩行における身体負担の逆動力学解析による評価,” 第25回バイオエンジニアリング講演会, 2013年1月9日, 産総研つくばセンター, 茨城.

N. Nishizawa, K. Hase, H. Naito, “Biochemical Analysis of the Foot Arch Function Using a Forward Dynamic Walking Simulation,” 23rd 2012 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2012年11月6日, 名古屋大学, 愛知.

井上みなみ, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “CPG運動制御機構を持つ二足歩行モデルによる歩行速度変更シミュレーション,” 第23回バイオフロンティア講演会, 2012年11月6日, 弘前文化センター, 青森.

重里賢一, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “膝関節をもつ二足受動歩行モデルの下腿節の機械的特性が歩行に与える影響,” 日本機械学会関西支部第87期定時総会講演会, 2012年3月17日, 関西大学, 大阪.

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “Stiff knee gait シミュレーションに

基づく下肢分回し動作と同側膝関節機能との関係の検討,” 第 24 回バイオエンジニアリング講演会, 2012年1月8日, 大阪大学, 大阪.

榊田貴博, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “義足歩行解析のための筋骨格モデル構築,” 第 24 回バイオエンジニアリング講演会, 2012年1月8日, 大阪大学, 大阪.

内藤尚, 長谷和徳, 松本健志, 田中正夫, “義足歩行の消費エネルギーに関するシミュレーションを用いた考察,” 第 23 回バイオエンジニアリング講演会, 2011年1月9日, 熊本大学, 熊本.

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “片麻痺歩行における代償動作の発生メカニズムに関する歩行シミュレーションを用いた検討 筋骨格系の障害因子が歩行動作に与える影響について,” 第 23 回バイオエンジニアリング講演会, 2011年1月9日, 熊本大学, 熊本.

H. Naito, T. Takashima, K. Hase, T. Matsumoto, M. Tanaka, “Effects of Foot Arches Stiffness and Shape Properties on Gait Patterns - Investigation using Three-dimensional Forward Dynamic Simulation,” 6th World Congress of Biomechanics, 2010年8月3日, Singapore.

内藤尚, 高嶋孝倫, 長谷和徳, 松本健志, 田中正夫, “足部アーチの力学特性が歩行動作に与える影響に関するシミュレーション解析,” 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010年9月20日, 大阪大学, 大阪.

松原裕幸, 赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “異常歩行ホイップに関する三次元歩行計測に基づく検討,” 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010講演論文集, 2010年9月19日, 大阪大学, 大阪.

赤澤康史, 内藤尚, 松本健志, 田中正夫, “片麻痺者の股関節内外旋・内外転位が歩容に及ぼす影響 - 三次元歩行シミュレーションに基づく検討 -,” 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010講演論文集, 2010年9月20日, 大阪大学, 大阪.

内藤尚, 長谷和徳, 井上剛伸, 松本健志, 田中正夫, “神経・筋骨格身体シミュレーションモデルを応用した義足開発支援システム,” 第 22 回運動器リハビリテーション学会, 2010年7月10日, 仙台国際センター, 宮城.

内藤尚, 高嶋孝倫, 松本健志, 田中正夫, “足部アーチ形状および剛性が歩行に与える影響に関する数値シミュレーションを用いた検討,” 第 26 回日本義肢装具学会学術大会, 2010年10月23日, 川

越プリンスホテル, 埼玉.

〔図書〕(計1件)

内藤尚(分担執筆), “義足歩行,” シミュレーション辞典, p. 61, 日本シミュレーション学会編, コロナ社, 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 尚 (NAITO HISASHI)

金沢大学・理工研究域機械工学系・准教授

研究者番号: 40392203