

平成22年 5月12日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700462
 研究課題名（和文） 有限要素・剛体リンクハイブリッド型身体動力学シミュレーションモデルの開発
 研究課題名（英文） Development of finite-element and rigid body hybrid human simulation model
 研究代表者
 内藤 尚 (NAITO HISASHI)
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
 研究者番号：40392203

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、剛体リンク動力学モデルと有限要素モデルを統合し、生体の軟部組織と外部環境との接触に起因する変形を考慮することのできる動力学シミュレーションモデルを開発する。研究成果としては、シミュレーションモデルを開発し、足部を弾性体とした2足モデルを用いた動力学シミュレーションを行った。具体的には、足部の有限要素モデルパラメータの同定およびモデルへの導入をしたこと、および動力学シミュレーションモデルの構築と検証したことが研究実績である。

研究成果の概要（英文）：

In this study, a model which integrates rigid link multi-body dynamics model and finite element model will be developed. The model will be able to consider deformation behavior occurred by contact between soft tissue of human body and external body surface. Research outcome of this study is that framework of the simulation model was developed and a forward dynamical simulation of which foot segment is modeled as elastic body was performed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：福祉用具・支援機器

1. 研究開始当初の背景

福祉機器では「適合」を適切に行うことが非常に重要であり、機器が利用者にとって役に立つには、機器の性能以前の問題として、良好な適合状態が達成されていることが必須の条件である。例えば、福祉機器の一つである義肢装具はソケットと呼ばれる部品を介して、身体に装着して用いられる。ソケットは、それを介して体重を支持できることと義肢装具が落ちないように懸垂し、装着状態を保つことが主要な目的であるが、使用者の装着部分の形状、体質、障害、運動機能、動作特性など、個人ごとの特性に合わせて、適切に製作され、調整される必要があり、痛みや不快感などが使用者に受け入れられないレベルであった場合には、ソケット以外の部分でどれほど高性能な部品を用いたとしてもほとんど使い物にならないとあってよい。義肢装具の適合は、高度な知識と技術を持つ臨床の専門職である義肢装具士によって行われるが、その手法は必ずしも定量的かつ客観的な評価に基づいて確立されたものではなく、義肢装具士の経験や感覚毎に適合状態および再現性が大きく変わるケースも少なくないなど、適切な適合は現在でも難易度の高い技術である。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、数値シミュレーションを用いて、定量的・客観的・合理的な適合評価予測および適合手法支援を行うことのできるシステムを構築することである。その中で本研究課題では、そのための基礎的なシミュレーション技術を確立することを目的とする。具体的には、研究代表者が開発した種々の性能の異なる義足を着用した人の動的な歩行動作を予測することのできる剛体リンクに基づいた順動力学シミュレーションモデルを更に発展させ、これまでの剛体リンク動力学モデル解析に加えて、新たに有限要素モデル解析を導入し生体の軟部組織と外部環境との接触を考慮できる運動シミュレーションモデルを開発する。

3. 研究の方法

本研究課題では、○ 剛体リンク動力学シミュレーションモデル、および○ 有限要素変形解析モデル、を部分的に統合したシステムを構築する。剛体リンクシミュレーションモデルでは、研究代表者らが開発した、順動力学義足歩行シミュレーションモデルを用いる。これらのモデルを統合した動力学シミュレーションモデルを作成し、まずは足底部の軟部組織、次に切断端—ソケット間のモデリングを行い、先述のシミュレーションモデルに導入する。導入されたシミュレーションモデルでは、1. 剛体リンク動力学モデルで全身の

運動がシミュレートされ、足部などの解析対象となる運動が有限要素解析モデルに境界条件として与えられる、2. 与えられた境界条件に基づき変形解析がなされる、3. 有限要素モデルから剛体リンクに与えられる力が計算され、剛体リンク動力学シミュレーションモデルに外力、モーメントとして与えられる、というプロセスを時々刻々繰り返すことで、軟部組織の変形を考慮して全身の運動がシミュレートされる。

また、モデルの妥当性の検証のために、まず、軟性シリコンで軟部組織を骨格標本で骨部を模擬して製作する足底部ダミー、切断端ダミーおよび義足ソケットを用いて歩行を模擬した実験を行い、その結果と計算結果を比較する。

4. 研究成果

本研究課題では、剛体リンク動力学モデルと有限要素モデルを統合し、生体の軟部組織と外部環境との接触に起因する変形を考慮することのできる動力学義足歩行動作シミュレーションモデルを開発する。平成20年度は、シミュレーションモデル開発の準備として有限要素モデルと剛体リンクモデルそれぞれの作成およびモデルの妥当性検証のための実験の準備を行った。具体的な研究実績は下記の3点でまとめられる。

(1) 足部の有限要素モデルの作成：足部の骨を考慮し、足部を3つのセグメントに分割し、それらを関節軟骨および靭帯で接続した有限要素モデルを作成し、予備的な検証として静的な荷重条件で応力解析を行った。

(2) 大腿義足シミュレーションモデルの作成：大腿義足使用者を剛体リンクでモデリングし、申請者が開発している順動力学動作生成手法を導入することで実際の大腿義足歩行を定性的に再現する歩行動作を生成した(図1, 2)。

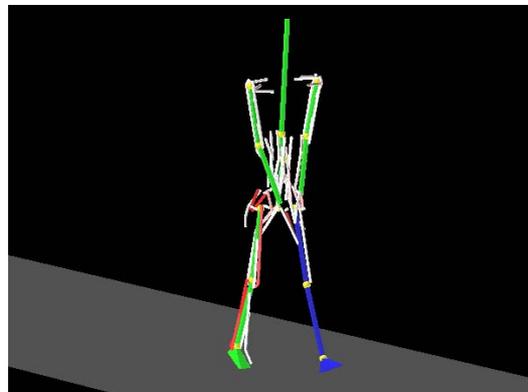


図1 大腿義足歩行シミュレーション。左脚が大腿義足を表している。

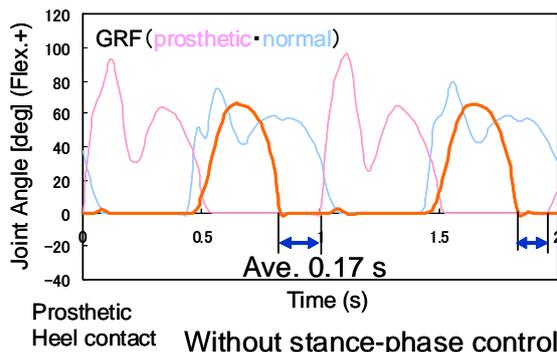


図2 大腿義足歩行シミュレーションの結果。グラフの橙色の線が大腿義足膝関節の関節角度を表しており、義足が接地する前(平均0.17秒)に義足の膝が完全伸展している様子がわかる。

(3) カセンサシートを用いた接触力測定手法の検討: 薄型力センサをアレイ状に配置し、接触力の分布状態を取得することができるシステムを製作し、計測実験による検討を行った。計測データはセンサの接触状態やその時間的な変動に大きく影響されることが明らかとなり、接触状態も含めて計測する手法の開発、あるいは接触状態を規定する計測プロトコルが必要であることがわかった。

平成21年度は、シミュレーションモデルを開発し、足部を弾性体とした2足モデルを用いた動力学シミュレーションを行った。具体的な研究実績は下記の2点でまとめられる。

(4) 足部の有限要素モデルの作成: 足部の骨を3つの節に分割し、それらを関節軟骨および靭帯で接続した有限要素モデルを作成し、静的な荷重条件下で応力解析を行い、軟骨や靭帯の材料パラメータを検証した。

(5) 動力学シミュレーションモデルの構築と検証: 研究代表者がこれまで構築してきた剛体リンク動力学モデルを基に、そこに有限

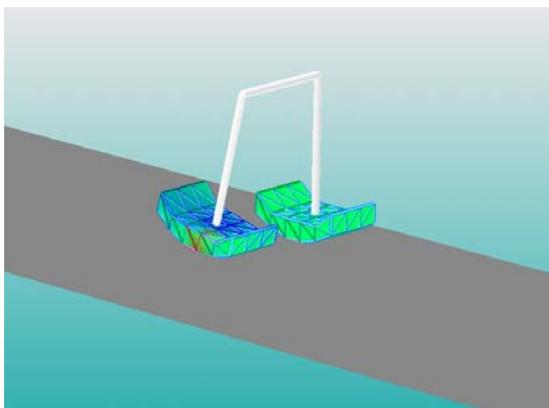


図3 剛体リンク動力学モデルを基に、有限要素動力学解析モデルを組み合わせ、力学的・変位境界条件を共有した二足モデル。

要素動力学解析モデルを組み合わせ、力学的・変位境界条件を共有することでモデルの統合を行った。作成したモデルを用いて、足部を線形弾性体の平板で構成した2足モデルを構築し、動力学シミュレーションを行い、足部の変形を考慮した歩行シミュレーションが可能であることを検証した(図3)。

モデルの妥当性の検証実験は、研究協力者との共同研究(科学研究費補助金基盤研究(C), 20500640)で行っている。

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4件)

- (1) Hisashi Naito, Yasushi Akazawa, Kensuke Tagaya, Takeshi Matsumoto, Maso Tanaka, "An Ankle-Foot Orthosis with a Variable-Resistance Ankle Joint Using a Magnetorheological-Fluid Rotary Damper," *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 査読有, Vol. 4-2, 2009, 182-191.
- (2) 内藤尚, 井上剛伸, 歩容を改善する股義足の開発プロジェクト, 国立障害者リハビリテーションセンター研究紀要, 査読有, 29巻, 2009, 3-9.
- (3) 内藤尚, 井上剛伸, 相川孝訓, 長谷和徳, 山崎伸也, ソケット側面に股継手回転軸を設けた股義足の機能評価, *バイオメカニズム* 19, 査読有, 2008, 139-149.
- (4) 内藤尚, 股義足の開発, *日本義肢装具学会誌*, 査読無, Vol. 24-4, 2008, 223-227.

[学会発表] (計12件)

- (1) 内藤尚, 順動学的歩行シミュレーションによる足部の力学挙動解析, 日本機械学会 第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010年1月9日, 岡山理科大学, 岡山.
- (2) 三浦亜友, 内藤尚, 片麻痺患者の足関節機能に着目した歩行評価の検討, 日本機械学会, 第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010年1月9日, 岡山理科大学, 岡山.
- (3) 内藤尚, 膝にリンク構造を組み込んだ3次元大腿義足歩行シミュレーションモデルの構築, 第30回バイオメカニズム学術講演会, 2009年11月14日, 北海道大学, 北海道.
- (4) 内藤尚, ソケット側面に股継手回転軸を設けた股義足の歩行解析, 第25回日本義肢装具学会学術大会, 2009年11月1日, 神戸国際展示場, 兵庫.
- (5) 内藤尚, 足部節の変形を考慮した二足歩

- 行シミュレーションモデルの構築, 福祉工学シンポジウム 2009 講演会, 2009 年 9 月 24 日, 高知工科大学, 高知.
- (6) 三浦亜友, 内藤尚, 片麻痺患者の筋機能に着目した足関節特性評価と歩行特性との関連性, 福祉工学シンポジウム 2009 講演会 2009 年 9 月 23 日, 高知工科大学, 高知.
- (7) Ayu Miura, Hisashi Naito, The effect of Hill-type model parameters on ankle joint moment estimation from electromyograms and musculo-skeletal model during walking, Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2009, August 21st, 2009, Hong Kong, China.
- (8) Hisashi Naito, Kazunori Hase, Takeshi Matsumoto, Masao Tanaka, Analysis of transfemoral prosthetic gait using knee joint with/without stance control function using forward dynamical simulation, XXII Congress of the International Society of Biomechanics, July 6th, 2009, Cape town, South Africa
- (9) 内藤尚, 3次元受動歩行に初期値が与える影響に関するシミュレーションを用いた考察, 第14回計算工学講演会, 2009年5月12日, 東京大学, 東京.
- (10) 内藤尚, 大腿義足歩行シミュレーションを用いた義足膝継手の立脚期制御機能の有効性に関する考察, 第29回バイオメカニズム学術講演会, 2008年10月25日, 広島大学東広島キャンパス, 東広島.
- (11) 内藤尚, 順動力学義足歩行シミュレーションを用いた義足四節リンク膝継手の設計, 第13回計算工学講演会, 2008年5月21日, 仙台市民会館, 仙台.
- (12) 内藤尚, 歩容を改善する股義足開発プロジェクトー順動力学シミュレーションの人・機械系設計への応用ー, 第47回生体医工学会, 2008年5月9日, 神戸国際会議場, 神戸.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 尚 (NAITO HISASHI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号: 40392203

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

高嶋孝倫 (TAKASHIMA TOMONORI)
国立障害者リハビリテーションセンター・
研究所補装具製作部・義肢装具士