

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500528

研究課題名（和文） ウェアラブルセンサを用いた義足使用者の歩行モード識別に関する研究

研究課題名（英文） The Identification of the person's walking mode with a prosthesis using a wearable sensor system

研究代表者

北山 一郎（KITAYAMA ICHIRO）

近畿大学・生物理工学部・准教授

研究者番号：80426535

研究成果の概要（和文）：本研究では、はじめに身体に装着した状態で、身体にかかる荷重、足にかかる加速度、足の傾斜角度および足関節と足関節の角度の時間的変化を計測できるウェアラブルセンサシステムを開発した。また、実験用として、坂道、階段、砂利道、砂道などの様々な歩行路を製作した。ついで、のべ30名の健常者にウェアラブルセンサシステムを装着した状態で歩行を行い、それぞれの歩行路でのデータを取得した。取得したデータを分析し、歩行者が現在どのような歩行状態（歩行モード）であるのかを識別するアルゴリズムを制作した。

研究成果の概要（英文）：First of all, we have developed a wearable sensor system which are able to measure time-series data about the load applied to the body, the acceleration of the foot, the inclination of the foot and the angle of the ankle joint and the knee joint. In addition, we manufactured various kinds of walking surfaces, those are inclination loads, stairs, gravel road and sandy road. Then, a total of 30 healthy subjects were walking in order to get data while wearing a wearable sensor system. By analyzing those data, we produced an algorithm to identify what might be pedestrian state (walking mode).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2210,000
2010年度	800,000	240,000	1040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：歩行分析、義足、ウェアラブルセンサ、力覚センサ、不整地歩行

1. 研究開始当初の背景

地震などによる家具や構造物の下敷きとなり足の切断に至るといったことやその他の事故、糖尿病をはじめとする疾病等で足を失った人は、身体機能のみならず精神的なケアの面からも元の足に近い機能と外観（コスメシス）を強く求めている。近年、このこと

に対し、膝より上で切断した人のための大腿義足の機能向上はめざましく、筆者らが共同で開発したコンピュータ制御の膝継手（関節）を有した“インテリジェント大腿義足”は、全世界で現在まで約2万点の使用例がある。その後、同様に膝の機能をコンピュータ制御する膝継手がドイツなどにより製品化

され多くの下肢切断者の生活向上に役立っている現状にある。

しかし、いずれの義足も膝のバネとしての機能、ダンパーとしての機能等を制御することにとどまっており、能動的にアクチュエータを使用するという健常者の歩行機能を実現するには至っていない。膝継手に動力を有するものを使用し、たとえば階段などを上るといったことも試作的には行われているが、自動的に伸展する膝に使用者が体重心のバランスを制御しながら、動作を行うなど、機械に人が合わせて歩行しなければならないこと、また、健常者では足関節と膝関節を協調させながら階段歩行を行っているのに対し、これらの協調動作の機能を有していない事などが大きな要因と考えられる。

また、このための基本的な原因として、義足使用者は、今から階段歩行である、あるいは坂道歩行である、段差を乗り越えたので足を踏ん張る必要があるなどのことは分かるが、現状の義足はそのような状況を識別する機能がないため、必然的に人は義足（機械）に合わせた歩行を行わざるを得ないことになる。

これに対し、本研究では、義足使用者に加速度センサ、ジャイロセンサ、フレキシブルゴニオメータなどに加え、6軸力覚センサを下腿部分に組み込んだ計測システムを構築し、義足使用者の階段や坂道の上りや下りの際のこれらのデータから、義足使用者は、現在どの歩行モードを実施しようとしているのかを識別することを目指し以下の研究を進めた。

2. 研究の目的

近年、義足は急速に高機能化が進んでいる。しかし、いずれも義足の各継手の機械的インピーダンスを制御することが中心でアクチュエータによる階段や坂道の上り歩行などでは、義足使用者が機械（義足）の機能に合わせて歩行している現状にあり、義足と健常な足との機能の差はいまだに非常に大きいものがある。

本研究では、人工の足である義足を生体の足に近づけるための基盤的な技術要素獲得を目指し、義足使用者が装着したウェアラブルセンサの情報をもとに、階段上り歩行、坂道上り歩行など、使用者の様々な歩行の場면을識別するためのアルゴリズム生成を目的とする。

3. 研究の方法

研究は以下の手順で進めた。

(1) ウェアラブルセンサシステムの構築

加速度センサ、角度センサ、踵部分とつま先部分の相対角度を測定するフレキシブルゴニオメータ、つま先部分と踵部分の荷重が

独立して測定できる6軸力覚センサ（2点）を一体的組み込んだ靴と足関節や膝関節角度が測定できるフレキシブルゴニオメータからなる歩行計測システムをウェアラブルセンサシステムとして構築する。

(2) 歩行路の製作

歩行路としては、・平地、・坂道（勾配1/8）、・階段（1段200mm）、・片流れ（傾斜角度5度）、・砂利道、・砂利道を実験用に屋内に製作する。

(3) 健常者による試歩行実験

作製した歩行路を用い、ウェアラブルセンサを装着した健常者で試歩行を行い、各歩行路（歩行場面）において、データが入手できることを確認する。

(4) 健常者による歩行実験と分析

構築したセンサシステムにより20名の健常者の歩行の分析を行う。はじめは測定データを目視観察し、注目すべき事項が観察されるデータに特化して分析をさらに進める。

今回、義足使用者の健足側、義足側のいずれにおいてもデータが測定できるよう靴に内蔵する形のセンサシステムを構築したが、ここで、義足内に6軸力覚センサが内蔵できる形のセンサシステムも同時に製作し、模擬義足歩行等によりデータを取得・分析する。

(5) 特徴点抽出・分析

取得したデータを統計的手法あるいはフーリエ解析などの手法を利用し、歩行モードの差異と特徴的な指標をデータから抽出する。

(6) アルゴリズムの生成と改良

モデルが発生する特徴的な指標と画像データなどを元に、通常平地歩行と比較した時の値および発生時間などから、どのようなルールによることで歩行モードが識別できるかのアルゴリズムを生成する。また、同アルゴリズムによる歩行モード識別については改良を重ねて、最終モデルを確定する。

4. 研究成果

(1) ウェアラブルセンサの開発

開発したシステムの靴部分は、靴底に6軸力覚センサ（ATI社製Mini45:厚み15.7mm）を前足部分（forefoot）と踵部分（heel）の2箇所配置し、それらを曲げのみに自由度を有する柔軟性のあるポリエチレン樹脂で連結した上で、曲げの角度を測定できるフレキシブルゴニオメータ（Biometrics社）を組み込み、さらに重力方向に対する踵部分の姿勢を測定できる傾斜センサ（S&ME社）を組み込んだ健常者、義足使用者、器具使用者の歩行分析を可能とする歩行分析システ

ムである。同靴に加えて、足関節角度と膝関節角度を測定できるフレキシゴニオメータ (Biometrics 社) とを組み合わせることで、下肢の運動を測定できるウェアラブルセンサシステムを完成させた。システムのブロック図を図 1 に示す。靴内蔵のセンサ総重量は約 0.2kg である。

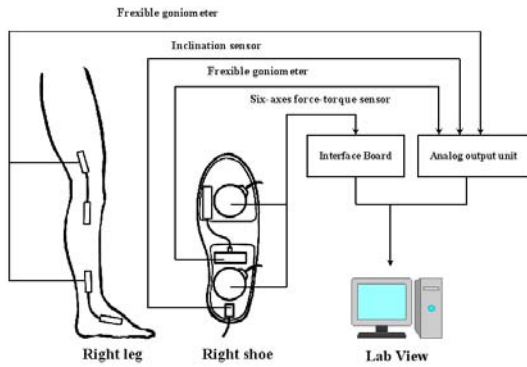


図 1 ウェアラブルセンサシステム

(2) 歩行路面

実験用に作製した歩行路の内、階段、砂利道と砂地を図 2 に示す。



図 2 階段および不整地 (砂利道、砂地)

(3) 歩行分析結果

健康者 20 名による歩行実験を実施し、分析を行った。得られたデータは、歩行分析で通常用いられている手法に従い、被験者の体重で割り、また、1 立脚相を 100 とすることにより標準化を行った。

結果の一部として、通常平地歩行の足関節のグラフを図 3 に階段上りのグラフを図 4 に示す。

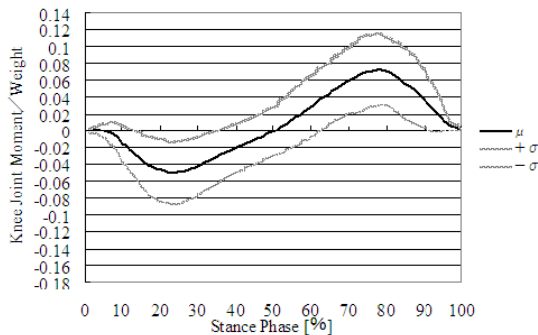


図 3 平地歩行における足関節モーメントの平均値と標準偏差

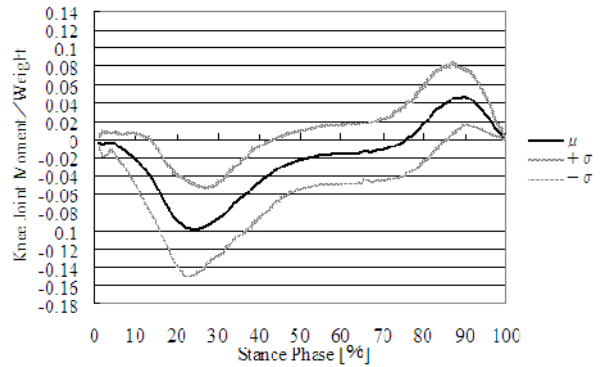


図 4 階段上り歩行における足関節モーメントの平均値と標準偏差

これらのデータにより、平地歩行と階段の上りあるいは下りなどの歩行場面では有意な差が見られ、歩行モードが識別できる可能性が見出された。しかし、このような力学情報のみでは平地と砂地などでの差を検出することは困難であった。

(4) アルゴリズムの作成

そこで、これらの力学的なデータに加え、踵接地したときの加速度データや関節角度のデータを同時に分析することで、それぞれの歩行モードが識別できることが分かった。同実験は上記の被験者とは別の 10 名で行った。図 5 にはそれらのアルゴリズムを示す。

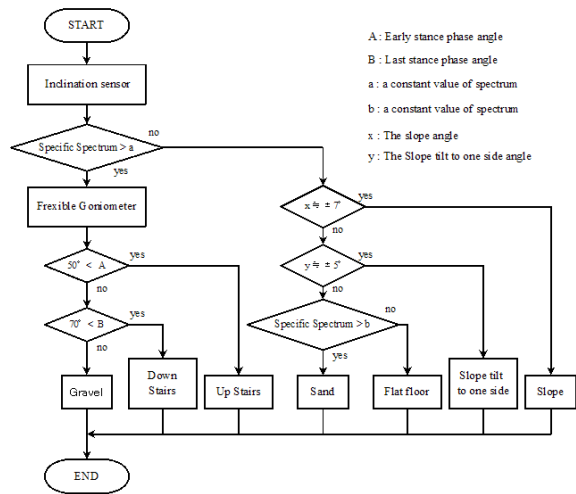


図 5 歩行モード識別アルゴリズム

(5) 国内外における位置づけとインパクトおよび将来展望

本研究では、ウェアラブルセンサシステムの情報から歩行モードが識別できる可能性を見出すことができた。このことは、義足使用者が行う平地から階段歩行などへの移動やアスファルト路面から砂利道歩行などへの移動に関し、意識することなく連続性のある歩行ができる可能性を示すものである。例えば、平地から階段の上り歩行を行う

場合、義足を階段路面に正確に設置する必要がある。このような場合、平地歩行時よりも膝の曲げに対する大きな減衰特性を必要とするが、そのようなことへの自動調整も可能である。また舗装された路面と比較して砂道での歩行においては、義足使用者は転倒を意識し義足に非常に高い安定性を求めるが、このことも自動的に行うことが可能である。このように歩行モード識別は利用者の安全で快適な歩行に寄与することが大であると考えられる。

なお、当初センサシステムは義足内部に組込むことを想定していたが、加速度や角度データでは、立脚相後期のデータも重要な役割を果たすことが分かったため、義足側でモード検出しても義足の特性の転換が間に合わないことが分かった。そこで、義足側ではなく健足側にシステムを装着し、識別データを義足側に送信するという方式を考案した。また、義足使用者は舗装された路面から砂道歩行に移る場合、義足側から踏み出すことはなく健足から踏み込むことが一般的である。このことから、健足で歩行モードを識別する方が実用性の高いことが分かる。

このように健足側に装着できることにより、高額なセンサシステムをどのように簡素化するかの課題はあるが、同システムの考え方は、装具装着者や一般の利用者にも利用可能で、適応範囲が拡大するものと考えられる。

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 1 件)

① I. Kitayama, Gait Analysis on Stairs and Other Uneven Terrain with Portable Gait Analysis System, 査読有, Journal of JSME, Vol.11, 2011, 293-298, <http://jsem.jp/>

[学会発表] (計 3 件)

① 横田裕紀, 濱田拓末, 北山一郎, ウェアラブルセンサを用いた階段、不整地等の歩行分析, 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, 吹田市.

② I. Kitayama, Gait Analysis on Stairs and Uneven Terrains by Using a Portable Gait Analyzing System, 5th International Symposium (ISEM' 10), 2010 年 11 月 7 日, 京都.

③ I. Kitayama, S. Hada, T. Kawauchi, H. Yokota and T. Hamada, Development of a Portable Device for Gait Analysis and Gait Analysis on Stairs and Uneven Terrain, 6th World Congress of Biomechanics (WCB2010), 2010 年 8 月 5 日, Singapore.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北山 一郎 (KITAYAMA ICHIRO)
近畿大学・生物理工学部・准教授
研究者番号: 80426535

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし