

科学研究費助成事業(基盤研究(S))公表用資料  
[研究進捗評価用]

平成23年度採択分  
平成26年3月20日現在

屍体足・人工筋骨格ハイブリッドロボットによる  
二足歩行の適応機能解明

Understanding Human's Adaptive Bipedal Walking by  
Using a Cadaver Feet/ Artificial Muscular-Skeleton  
Hybrid Robot

細田 耕 (HOSODA KOH)

大阪大学・大学院情報科学研究科・教授



研究の概要

ヒト二足歩行の適応性には、柔らかい足裏と複雑な足部骨格構造が大きく関わっていると考えられるが、歩行中の動的な振る舞いの観察は極めて難しく、その機序の解明には至っていない。本研究では、屍体足・人工筋骨格ハイブリッドロボットを2方向X線透過撮影装置で観測し、足部の歩行への寄与の解明と、これを利用した適応的ロボットの開発を目的とする。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

ヒトは柔らかい足裏と非常に複雑な足部骨格構造を持っており、その挙動は二足歩行の適応性に大きく寄与しているはずだが、その機序は詳しくわかっていない。一方で、二足歩行可能なロボットが多数開発されているが、わずかな地形の変化で容易に転倒してしまう。ヒトが足部の柔軟性や構造をどのように利用して適応性を生み出しているかを解明することが、ロボットの二足歩行制御に関する新しいパラダイムにつながることを期待される。

2. 研究の目的

ヒト足部機構の機能を解明するために、屍体足を人工筋骨格歩行ロボットに取り付けたハイブリッドロボットシステムを用い、接地時の挙動をレントゲン・力センサ・圧力センサ・ハイスピードカメラなどによって詳細に観察、足部機能に関する仮説を生成する。この仮説に基づき、柔軟な人工足を持つロボットを作成し、適応的な二足歩行を実現する。

3. 研究の方法

屍体足・人工筋骨格ハイブリッドロボットの歩行中の足部の挙動を、2方向エックス線透過撮影装置によって観察する。この画像より、足部の骨の3次元的な挙動を詳細に調べ、全身の歩行行動に対する寄与について、仮説を生成する。人工筋を持った歩行ロボットに、この仮説に基づく柔軟な足部を取り付け、検証を行う。

4. これまでの成果

4.1 3次元エックス線観察装置の製作

島津製作所(株)と共同で、フラットパネルディテクタ2枚を装備した、2方向エックス線透視撮影装置を開発した(図1)。生体(屍体)内部の骨格の運動を観察できる2方向エックス線透過撮影装置は、世界的に見ても数例しか存在せず、フラットパネルを用いたものは、申請者らの知る限り国内ではこの1台のみである。フラットパネルは画像にひずみが少なく、透過画像を実時間で精度よく観察できる。また、2枚の画像から骨格の3次元運動を自動的に得るための基礎技術として、あらかじめCTでモデル化した骨を、2枚の画像に自動的にレジストレーションする方法を開発した。これらの方法の確立によって、生体の骨格の動きを詳細に観察することが可能となり、骨の運動が生物全体の振る舞いにどのような影響を及ぼすかを調べることができる。

4.2 屍体足を用いた歩行実験技術の開発

歩行中の足部の骨の動きを詳細に観察するために、上記の2方向エックス線透過撮影装置内で動作する歩行ロボットを試作、このロボットに屍体足を装着、駆動する技術を開発した。エックス線透過撮影装置は、エックス線の漏えい防止のために、サイズの限られた空間内ではしか実験できない。また、ロボットに屍体足を固定し、いくつかの外來筋を、外部から駆動する必要がある。これらを実現するために、歩行シミュレータと呼ばれるロ



図1：2方向エックス線透過装置（慶應義塾大学・医学部に設置）

ロボットを開発した。屍体足を固定するための脛骨と腓骨のCTデータに基づくクランプ、腱を駆動するための空気圧人工筋の固定方法などを開発した。共同研究者の医師が機能解析に適合した解剖標本を作製し、ロボットに取り付けた。屍体足を装着したロボットが歩行する実験は、本件が世界初であり、この観測データを解析することによって、足部の機能解明が進むことが期待される。

歩行シミュレータは、エックス線装置内での動作を保証するため、ヒト型をしていないシミュレータが屍体足に対して、ヒトと同等の力学的な作用を与えることを保証するために、ヒト二足歩行のもっとも顕著な特徴である床反力の二峰性を再現する。そのために、ロボットの足首などを人工筋で駆動するための制御方法を開発した。

#### 4.3 有限要素法によるシミュレーション

足部内の骨の動きをある程度予測するために、有限要素法を用いたシミュレータを開発した。実際のヒトのCTデータから、骨、皮膚に関するCADデータを作成し、主要な腱については、解剖学での知見をもとに、有限要素モデルを構築した。この有限要素モデルについても、歩行中の運動を再現する必要がある。そこで、実際のヒトの歩行をモーションキャプチャで観測し、その運動を踵骨に関する強制変位として、シミュレーションに入力した。その結果、ヒトの特徴である、床反力の二峰性プロファイルのうち、最初のピークはある程度再現できることが分かった。今後、屍体足の実験が進む際に、骨同士の干渉から生じる力の見積もりなどに有効となることが期待される

#### 5. 今後の計画

屍体足を取り付けた歩行ロボットに関する予備実験により、足部は3次元的に大きく変形することがわかっている。3次元の変形からどのような反力を生み出すことができるのか、そのときの骨の詳細な挙動はどうなっているかを、さらに実験とレントゲン観察を繰り返して調べる。また、観察結果から、歩行に対する足部機構の寄与に関する仮説を生成し、この仮説を検証するためのロボットを作成する。このような仮定は、ヒトの二足歩行の機序を解明するだけではなく、柔軟な足部を持った新しいタイプの歩行ロボットの設計、製作に大きく寄与すると考えられる。

#### 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

K. Ito et al., "Automatic registration of bone surface models with biplanar fluoroscopic images for 3D kinematic analysis of human foot", The 15th Int. Conf. on Biomedical Engineering, 2013.

細田, 荻原, ヒト足部筋骨格形態に内在する歩行安定化機構, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.

荻原ほか, 足部屍体実験のための2方向X線透視撮影システムの開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.

久米ほか, 足部模型を用いた人工筋骨格歩行シミュレータの歩行実験, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.

伊藤ほか2方向X線透視撮影システムを用いたヒト足部足根骨運動の3次元再構築, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.

小林ほか, ヒト足部の有限要素モデルによる歩行時の垂直床反力の評価, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.

K. Narioka, T. Homma, and K. Hosoda, Roll-over shapes of musculoskeletal biped walker, AT - Automatisierungstechnik, Vol. 61, No. 1, pp. 4-14, Jan. 2013.

K. Narioka, T. Homma, K. Hosoda, Humanlike ankle-foot complex for a biped robot, 2012 IEEE/RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, pp.15-22, 2012.

K. Ogawa, K. Narioka, K. Hosoda, Development of Whole-body Humanoid Pneumat-BS with Pneumatic Musculoskeletal System, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2011.

ホームページ等

<http://www-hi.ist.osaka-u.ac.jp>