

平成21年 6月 10日現在

研究種目： 基盤研究（B）  
研究期間：2006～2008  
課題番号： 18360126  
研究課題名（和文） 二足ヒューマノイド・ロボットを用いた  
医療福祉機器の定量的評価法に関する研究  
研究課題名（英文） Research of Quantitative Evaluation Method for Medical/Welfare  
Apparatus with Biped Humanoid Robot  
研究代表者  
高西 淳夫（TAKANISHI, Atsuo）  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：50179462

## 研究成果の概要：

本研究は主に「人体運動の模擬」と「実環境下での運動の実現」を目指して開発を行った。前者としては、障害者歩行の模擬と人間形足部による人間らしい歩行といった人体運動シミュレータとしてより人間に近い運動を実現した。後者としては、不整地路面適応制御やオンライン歩行パターン生成の開発を行い、モデル化の難しい実環境下にも対応可能なシステムの構築を行った。さらに、ソフトウェア・シミュレーションによる事前検証や電気ハードウェアの改良による信頼性向上などにも取り組んだ。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2007年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，人体運動シミュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

近い将来、日本は超高齢社会を迎えることは明らかであり、そのための医療福祉対策を講じることは必須である。特に高齢者が自立した生活を実現するためには、その身体的・精神的な健康を維持することが欠かせない。とりわけ高齢者にとって、寝たきりにならずに「自らの足で歩くことができる」ということは、その身体的な健康のみならず、精神的な健康を保つ上で非常に重要な要素であることが言われている。

しかし現実では、身体に加齢とともに起こりうる運動能力の低下は避けられず、階段を踏み外す、路上の僅かな段差につまずく等の軽度の事故が骨折・脊髄損傷を引き起こし、またそれらの治療期間による筋力の低下の原因となり、結果として歩行障害を起こすケースが多く存在する。そのため、高齢者・障害者を支援する歩行支援機・歩行訓練機等の福祉・リハビリテーション機器の開発の必要性が近年高まっている。しかしながら、より効果的な機器開発を促進するためには、ユーザーである高齢者・障害者の人間工学的なモデル、すなわち、それらの機器を用いる場合のユーザーへの負担・効能を、力学・運動学等の考慮した定量的評価を可能にする実験モデルが必要である。

### 2. 研究の目的

申請者らはこれまで、人間と同等の運動が可能な2足ヒューマノイド・ロボットを開発し、これが被験者の代わりに福祉・リハビリテーション機器を用いることによって人体運動シミュレータによる定量評価手法を提案している。ロボットを用いる利点としては、

- (1) 従来の人体測定に比べ、定量的で再現性の高い実験が可能、
  - (2) 被験者に危険を及ぼす可能性のある実験と同等の実験を人道的・倫理的に悖ることなく行うことができる、
  - (3) 実際に開発された各種機器をそのまま用いることが出来る、
- 等が挙げられる。

そのような最終目的に対して、ヒューマノイド・ロボットによる福祉・リハビリテーション機器を用いた模擬治療実験を行い、ヒューマノイド・ロボットが各種機器の定量的な測定ツールになりうることを立証することを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、これまで開発してきた人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイド・ロボット“WABIAN-2R”を実験実証機として研究を進めた (Fig. 1)。WABIAN-2R は全長 1.48[m]、重量 67.5[kg]であり、人間の運動を再現するのに

必要と思われる41自由度を全身に搭載している。また、人間のデータを参考に各リンク長や可動角は設計されている。

具体的な研究の方法として、WABIAN-2R を用いて以下の4つのアプローチによって研究を進めた。

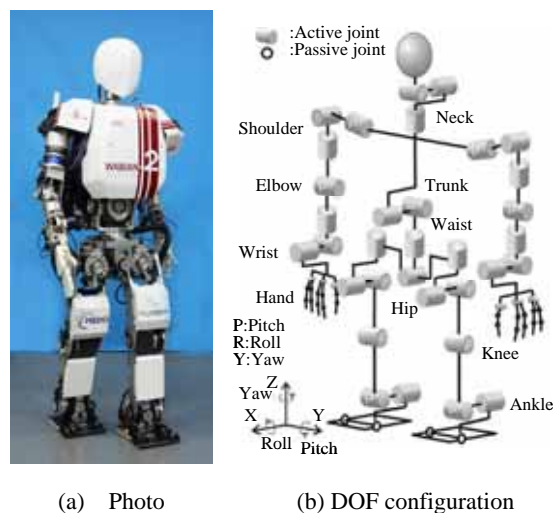


Fig. 1 WABIAN-2R

#### (1) 人体運動の模擬

- ・障害者歩行の模擬
- ・人間形足部の開発とそれを用いた歩行

#### (2) 福祉機器の定量評価手法

- ・アクティブな支援が可能な歩行支援機のソフトウェア・シミュレーション

#### (3) 実環境での安定した運用のためのロボット制御法の開発

- ・姿勢制御および着地軌道修正制御の導入
- ・オンライン運動パターン生成法の開発

#### (4) 信頼性向上のための電気ハードウェアの改良

- ・PC部のモジュール化
- ・ロボット用耐曲げ・小径電線への切り替え
- ・電源切替回路の開発

以下、順にそれぞれの詳細について述べる。

#### (1) 人体運動の模擬

医療福祉機器の定量評価手法を構築するに当たり、人間の運動モデルの構築が非常に重要であると考えられる。そのためにはまず人体運動のモデル化とロボットが人体運動を模擬することによるモデルの検証が必要である。そこで、本研究では、「障害者の歩行をロボットが模擬するた

めの運動生成アルゴリズムの開発」, および, 人間の運動で重要な役割を果たしていると思われる足部をモデル化した「人間形足部機構の開発とそれによる歩行の実現」を行った。

#### (2) 福祉機器の定量評価手法

(1)で人体運動のモデル化を進める一方, 定量評価手法の構築に関連して, ソフトウェアによるシミュレーションも並行して進めた。ハードウェア・シミュレーションでは実際のユーザーの使用環境下において検証が可能であるというメリットがある一方, 全長・重量などの被験者ロボットの身体的パラメータの変更が困難であるというデメリットが挙げられる。それに対して, ソフトウェア・シミュレーションであれば, 環境のモデル化が現実的に困難であるが, パラメータを容易に変更可能である。このことから, より現実的な定量評価手法を実現するためには, ハードウェア・シミュレーションとソフトウェア・シミュレーションの両面からアプローチする必要があると考えた。

本研究では, 歩行中にロボットが受ける外力を推定することを目指し, 動力学シミュレーションソフト“Webots”により「アクティブな歩行支援が可能な歩行支援機を用いた歩行実験のためのソフトウェア・シミュレーション」を行った。

#### (3) 実環境での安定した運用のためのロボット制御法の開発

人体運動シミュレータとしての大きなメリットの1つとして, ユーザーの使用環境において検証が可能であるという点が挙げられる。それを実現するためには実環境下で安定した運動を実現することが必要であるが, 不整地路面に対応する制御が十分に導入されていなかった。

また, これまで予めオフラインで生成された運動パターンに基づいて運動を実現していた。そのため, 方向転換や障害物回避などの環境や状況の変化に応じた柔軟な運動が実現できていなかった。

そこで, 本研究では不整地路面に適応するためにロボットの姿勢の補償や着地時の足部の倣い動作を実現するための「姿勢制御および着地軌道修正制御の導入」および「歩行中に運動パターンを生成可能なオンライン運動パターン生成法の開発」を行った。

#### (4) 信頼性向上のための電気ハードウェアの改良

実環境下での運用を想定した場合, ロボット・システムの信頼性や電源の運用・管理が非常に重要になると考えられる。そこで, 本研究では「電気ハードウェアの信頼性およびメンテ

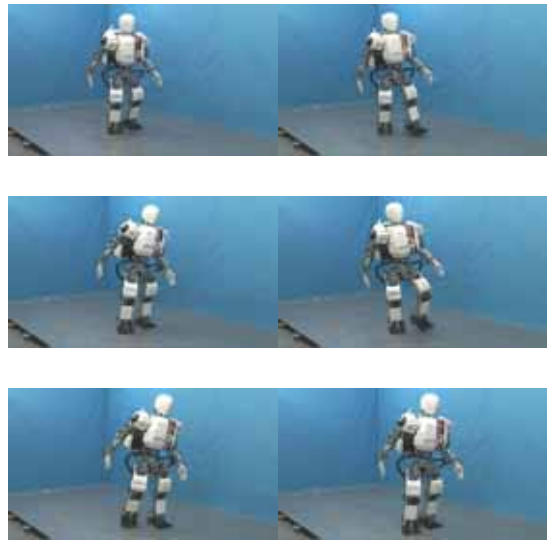


Fig. 2 Emulation of a hemiplegic gait

ナンス性の向上」および「効率的な電源運用を目指した電源切替回路の開発」を行った。

#### 4. 研究成果

3. で述べた各アプローチに対する研究成果は以下の通りである。

##### (1) 人体運動の模擬

まず, 左膝関節に障害を持つ障害者の片麻痺歩行を3D モーションキャプチャにより計測する。その歩行データをパラメータとしてロボットに与えることで, 歩行の再現を目指した。ただし, 障害者とロボットの間には身長や重量配分などの身体性の違いが存在することから, 歩行データをそのまま

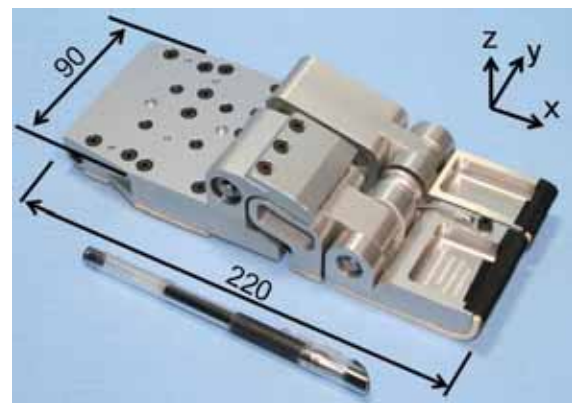


Fig. 3 Human-like foot mechanism

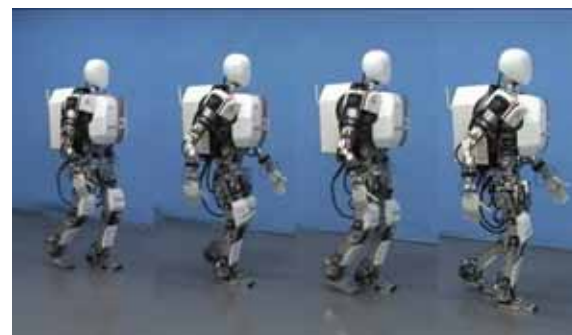


Fig. 4 Human-like walking with the new feet



Fig. 5 Simulation of walking with walk-assist machine

与えても安定した歩行の実現は難しい。そこで、ロボットが安定した歩行を実現するために、重心軌道を再計算し、その際の各関節の角度軌道と計測歩行データとの差が最小になるように一部のパラメータを最適化することで、安定性と歩行の再現との両立を図った。WABIAN-2Rでの片麻痺歩行の再現の様子を Fig. 2 に示す。

さらに、人間形足部機構の開発およびそれを用いた踵接地爪先離地歩行も実現した。開発した足部機構は、3つのアーチ機構を持つ人間の足部に対し、特に重要な役割を持つと思われる内側縦アーチに着目してモデル化し、受動関節による爪先、内側縦アーチと軟素材による踵を持つ足部機構を開発した (Fig. 3)。足部が着地して離地するまでの内側縦アーチによる足部の弾性係数の変化の再現を目指し、機構の変化に応じて軟素材が圧縮されることで、足底接地時と爪先接地時の弾性係数の変化の再現を目指した。その成果として、足底接地時の弾性係数の模擬に成功し、それによる踵接地爪先離地歩行を実現し (Fig. 4)、着地衝撃が緩和されることを確認した。

### (2) 福祉機器の定量評価

これまで能動的な支援のないパッシブな歩行支援機に対して WABIAN-2R での評価実験を行った。今後、人体運動シミュレータとして開発を進めるに当たり、まずソフトウェア・シミュレーション上での検証を踏まえて、開発を進めて行くことが重要と考える。次のターゲットとして、アクティブな歩行支援機に対する評価実験が期待されるが、それを実現するための制御開発の事前検証を行うために、動力学シミュレーションソフトウェア WEBOTS によるシミュレーションを行った。シミュレーション上にアクティブな歩行支援機と WABIAN-2R のモデルを構築し、歩行支援機の制御系や WABIAN-2R に実装されている仮想コンプライアンス制御などの制御系を導入し、シミュレーション上でアクティブな歩行支援機を用いての歩行に成功した (Fig. 5)。今後は、摩擦係数など各パラメータ設定などの妥当性を検討した上で、得られた外力データを基に実機での実現に必要な制御系の構築を目指す。

### (3) 実環境での安定した運用のためのロボット制御法の開発

まず、公道などの設計において基準とされて



Fig. 6 Walking in the real environment

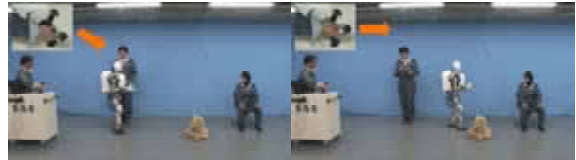


Fig. 7 Walking with online pattern generation

いるバリアフリー新法に基づいて、傾斜 5[deg]、段差 20[mm]までの路面をターゲットとし、姿勢制御および着地軌道修正制御の導入を行った。姿勢制御に関しては、背面部に搭載した姿勢角センサから得られる情報を基に、足部軌道を修正することにより傾斜などに対応可能となった。

さらに、足部軌道を予め脚が進展する方向に設定しておき、足部に搭載された力センサの値によって検知される着地と予め計画した着地のタイミングとの差を検出することで、路面の凹凸を検知し、それに応じて足部軌道を修正することで、路面に依う着地軌道修正制御を導入した。これらの制御を導入することにより、傾斜は 5[deg]、段差は pitch 方向に 20[mm]、roll 方向に 15[mm]までの路面に対して安定した歩行を実現した (Fig. 6)。

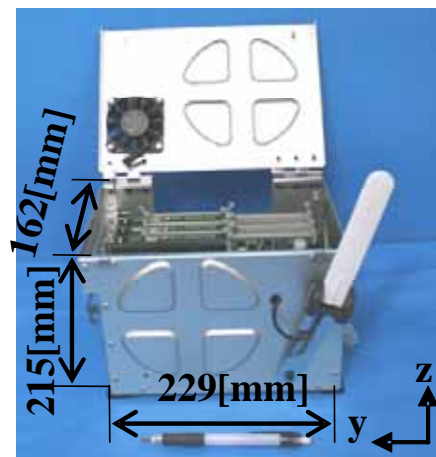


Fig. 8 Power supply switch circuit

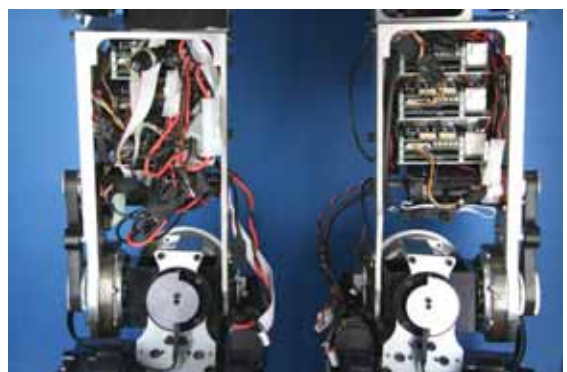


Fig. 9 Example of rewiring (L: Before, R: After)



Fig. 10 Power supply switch circuit

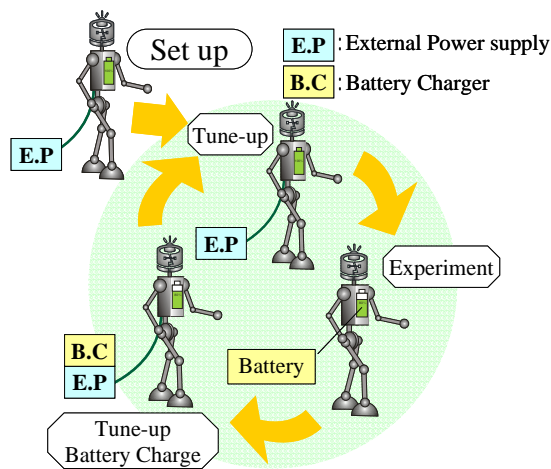


Fig. 11 Concept of power supply system

また、これまで歩行開始から歩行終了までの歩行パターンを予めオフラインにて生成していたため、環境の変化などに対応可能なオンライン歩行パターン生成法を開発した。これにより、歩行中に歩行パターンが生成可能となり、ジョイスティックの指令に応じた歩行を実現することで、その有効性を確認した (Fig. 7)。

#### (4) 信頼性向上のための電気ハードウェアの改良

これまで歩行中の振動により、PC内部のPCI接続ボードの接触不良によるトラブルがあった。そこで、PC部分をモジュール化することにより、信頼性およびメンテナンス性の向上を実現した (Fig. 8)。さらに、小径にも拘わらず、許容電流値が大きく、繰り返し曲げに強いロボット用配線ケーブルを導入することで、信頼性の向上のみならず、4[kg]の軽量化にも成功した (Fig. 9)。

また、実環境下においてロボットの運用を考えた場合、駆動・充電を効率的に行える電源システムの開発が非常に重要であると考えられる。WABIAN-2Rは内部に搭載されたバッテリーもしくは外部電源での駆動が可能である。そこで、Ni-MHからLi-ionバッテリーに変更し、バッテリー

の残量に拘わらず、継ぎ足し充電が可能となった。さらに、電源切替回路を開発することにより (Fig. 10)、切替時にシステムの再起動が不要となり、外部電源と内部バッテリーのシームレスな切替が可能となった。

これらの改良により、バッテリーを充電しながら外部電源にてロボットの調整を行い、内部バッテリーに切り替え、福祉機器の評価実験を行うといった効率的な電源運用システムの構築を実現した。

#### 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 1 件)

< 査読あり >

- [1] Hideki Kondo, Yu Ogura, Kazushi Shimomura, Shimpei momoki, Tatsu Okubo, Hun-Ok Lim and Atsuo Takanishi, "Emulation of Human Walking by Biped Humanoid Robot with Heel-Contact and Toe-Off Motion", Journal of Robotics and Mechatronics, Fuji Technology Press, Vol.20 No.5, pp.739-749, Oct., 2008.

[学会発表] (計 13 件)

< 査読あり : 7 件 >

- ① Aiman Musa M. Omer, Hideki Kondo, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Development of Walking Support System Based on Dynamic Simulation", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio 2008), pp. 137-142, Bangkok, Thailand, Feb., 2009.
- ② Aiman Musa M. Omer, Hideki Kondo, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Simulation of Walking Support System Using Humanoid Robot", 2008 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SI International 2008), pp. 48-53, Nagoya, Japan, Dec., 2008.
- ③ Aiman Musa M. Omer, Yu Ogura, Hideki Kondo, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Development of a Rehabilitation System Using Humanoid Robot", The 5th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2008), pp. 687-692, Seoul, South Korea, Nov., 2008.
- ④ Hideki Kondo, Akitoshi Morishima, Yu Ogura, Shimpei Momoki, Juri Shimizu, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Algorithm of Pattern Generation for Mimicking Disabled Person's Gait",

Proceedings of the second IEEE/RAS-EMBS 2006 International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2008), pp.724-729, Arizona, USA, Oct., 2008.

- ⑤ Hideki Kondo, Yu Ogura, Hiroyuki Aikawa, Akitoshi Morishima, Juri Shimizu, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Application of Biped Humanoid Robot to Motion Simulation for Elderly and Disabled People", Proc. of the 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology (ISG2008), Paper146, Pisa, Tuscany, Italy, June, 2008.

- ⑥ Aiman Musa M. Omer, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Simulations for Elderly Support Walking Device with Humanoid Robot", The 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology (ISG2008), No. 43, Pisa, Italy, June, 2008.

- ⑦ Aiman Musa M. Omer, Yu Ogura, Hideki Kondo, Hun-ok Lim, and Atsuo Takanishi, "Dynamic-based Simulation for Humanoid Robot Walking Using Walking Support System", Proc. of the 5th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2008), pp.23-28, Funchal, Madeira, Portugal, May, 2008.

<査読なし：6件>

- ① 近藤 秀樹, 清水 自由理, 橋本 健二, 服部 賢太郎, 竹崎 裕記, 西川 浩介, 濱 雄一郎, 吉村 勇希, 林 憲玉, 高西 淳夫, "FFT を用いたオンライン歩行パターン生成法の開発", "ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2A1-D21, 福岡県, 2009 年 5 月.
- ② 濱 雄一郎, 桃木 新平, 近藤 秀樹, 清水 自由理, 林 憲玉, 高西 淳夫, "人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットの開発 (第7報: 着地路面への倣い動作が可能な足部機構の開発)", "第26回日本学術講演会予稿集, 2J1-04, 兵庫県, 2008 年 9 月.
- ③ 姜 賢珍, 桃木 新平, 近藤 秀樹, 濱 雄一郎, 清水 自由理, 林 憲玉, 高西 淳夫, "人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットの開発 (第8報: 実環境下の安定歩行のための制御方法の統合と開発)", "第26回日本学術講演会予稿集, 1O2-01, 兵庫県, 2008 年 9 月.

- ④ 清水 自由理, 近藤 秀樹, 森島 彰俊, 小椋 優, 桃木 新平, 林 憲玉, 高西 淳夫, "人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットの開発 (第4報: ユーザビリティの向上を目的とした電装システムの改良)", "日本ロボット学会第25回学術講演会予稿集, 1G21, 千葉県, 2007 年 9 月.

- ⑤ 近藤 秀樹, 森島 彰俊, 清水 自由理, 小椋 優, 桃木 新平, 林 憲玉, 高西 淳夫, "人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットに関する研究 (第5報: 擬似障害歩行パターン生成アルゴリズムの開発)", "日本ロボット学会第25回学術講演会予稿集, 1G23, 千葉県, 2007 年 9 月.

- ⑥ Omer Aiman, 小椋 優, 近藤 秀樹, 林 憲玉, 高西 淳夫, "Development of Biped Humanoid Robot as Human Motion Simulator (6th Report: Dynamic Simulation for Biped Walking with Walk-assist Machine)", "日本ロボット学会第25回学術講演会予稿集, 1G24, 千葉県, 2007 年 9 月.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

高西 淳夫 (TAKANISHI, Atsuo)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：50179462

### (2)研究分担者

林 憲玉 (LIM, Hun-Ok)  
神奈川大学・工学部・教授  
研究者番号：10318769

藤江 正克 (FUJIE, Masakatsu)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：20339716