

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 7日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860061

研究課題名（和文） 2足歩行ロボットを利用した脆弱路面におけるヒト歩行戦略の解明

研究課題名（英文） Gait Analysis and Biped Walking Stabilization on Soft Ground

研究代表者

橋本 健二（HASHIMOTO KENJI）

早稲田大学・理工学術院・講師

研究者番号：10449340

研究成果の概要（和文）：本研究では、ヒトの脆弱路面での歩行運動を計測・解析し、その解析結果を2足歩行ロボットに実装することで検証し、脆弱路面におけるヒト歩行戦略の解明を目指す。歩行解析より、①脆弱路面歩行時は遊脚が路面と接触し躓くことを防ぐため足上げ高さを高くしていること、②左右方向の重心位置を安定させていることが分かった。以上の解析結果より歩行安定化技術を開発し、2足歩行ロボットでの実験を通してその有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to develop a walking stabilization control on a soft ground based on gait analysis for a humanoid robot. First we conducted gait analysis using a motion capture system on a soft ground. By analyzing experimental data, we obtained two findings. The first finding is that step height tends to increase to avoid tripping on a soft ground. The second finding is that although the vertical CoM amplitude increases on a soft ground, there are no significant differences in the lateral CoM trajectories. Based on these findings, we developed a walking stabilization control to stabilize the CoM motion in the lateral direction. Verification of the proposed control was conducted through experiments with a human-sized humanoid robot WABIAN-2R.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,410,000	723,000	3,133,000

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，ヒューマノイド，2足歩行ロボット，脆弱路面，人体計測

1. 研究開始当初の背景

ヒトの歩行を解析する試みは100年近い歴史を持つが、その多くが剛体路面上で行われており、脚接地面が変形するような脆弱路面での研究例は少ない。さらに剛体路面では、頭部の前庭器官で得られる角速度や加速度の情報をを用いて頭部の動きが大きくなるように歩行を安定化している（Head

Stabilization)といわれているが、脆弱路面における歩行解析で、頭部の運動まで含めた歩行解析例は見当たらない。一方、2足歩行ロボットの研究分野においては、不整地路面での歩行安定性に関する研究が盛んに行われているが、脆弱路面での歩行を実現した例はない。

そこで、脆弱路面での歩行解析を通して、

2足歩行ロボットの運動性能向上を目指すとともに、脆弱路面でのヒト歩行戦略を解明しようとするに至った。

2. 研究の目的

脚接地面に変形を伴う脆弱路面においてヒトの歩行運動を計測し、モデル化したヒトの歩行戦略をロボットに実装することで、2足歩行ロボットの脆弱路面での歩行実現を目指す。また、ロボットでの実験を通し、モデル化したヒト歩行戦略の妥当性を検証し、脆弱路面におけるヒトの歩行戦略を解明することも目的とする。

3. 研究の方法

以下の3つのアプローチによって本研究を推進した。

(1) 脆弱路面でのヒト歩行運動の計測・解析

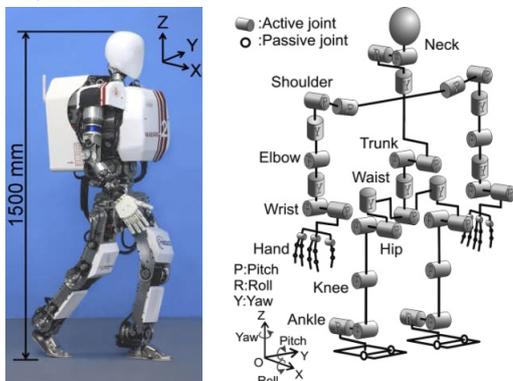
モーション・キャプチャ・システムを用いて脆弱路面におけるヒト歩行運動を計測した。被験者は6名で、年齢 23.2 ± 0.70 歳、身長 1670 ± 42 mm、体重 61.0 ± 3.5 kg である。計測データはモーション・キャプチャのマーカ座標から得られる被験者の重心位置、足先の挙動や頭部の揺動などである。

(2) 歩行解析に基づいた脆弱路面での歩行安定化技術の開発

(1)の解析結果に基づき、脆弱路面での歩行安定化技術を開発した。フィードバック制御として実装が難しいものに関しては、本研究では予めロボットの動作を生成する際に反映することとした。

(3) 2足歩行ロボットでの評価実験

これまでに開発してきている2足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2R (図1)を用いて評価実験を行った。WABIAN-2Rは全長1500mm、重量63.8kgであり、ヒトの運動を再現するのに必要と思われる41自由度を持ち、ヒト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。



(a) 全体図 (b) 自由度構成図
図1 WABIAN-2R

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下記の通りである。

(1) 脆弱路面でのヒト歩行運動の計測・解析

脆弱路面での歩行の特徴としては、剛体路面歩行時に比べ重心の揺動が上下方向に大きくなる傾向があったが、左右方向については有意な差は見られなかった。このことから、脆弱路面では左右方向の重心位置を安定させるように歩行をしているものと考えられる。

足の運びに注目すると、歩幅や歩隔に変化は見られなかったが、路面の変形に応じて足上げ高さが高くなる傾向があった。これは、先行研究においても報告されていたが、路面の変形による躓きを防ぐためだと考えられる。また、前述した上下方向の重心揺動増加については、足上げ高さや周期が一致していたため、足上げ高さが増加することで重心位置も高くなったと推測される。

さらに頭部の動きに関しては、脆弱路面においても安定化しているという結果が得られた。測定結果を表1に示すが、剛体路面と脆弱路面において、頭部の上下方向の動きとピッチ軸周りの動きに関して有意差が見られなかった。

表1 頭部の動きの比較

	上下方向の動き m	ピッチ軸周りの動き deg
剛体路面	0.030 ± 0.007	3.8 ± 0.4
脆弱路面	0.031 ± 0.008	5.1 ± 0.8

(2) 歩行解析に基づいた脆弱路面での歩行安定化技術の開発

(1)での歩行解析結果に基づき、下記2点について改良・開発を行った。

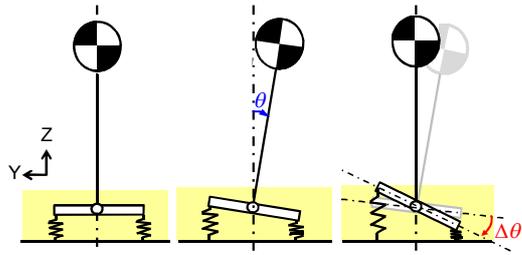
① 歩行パターンの改良

脆弱路面では、立脚が路面に沈み込み、遊脚が路面と接触する危険性が高まるが、足上げ高さを増やすことで路面とのクリアランスを増加させていることが歩行解析より分かった。そこで、従来は25mm程度の足上げ高さであるが、ロボットの歩行パターン作成時に足先軌道を最大で50mmに達するように改良を加えた。ヒトの足上げ高さは実際はこれよりも大きいですが、50mm以上ロボットの足上げ高さを高くすると下肢関節の角速度の上限を超えてしまうため、本研究では50mmと設定している。

② 重心位置補償制御の開発

歩行解析結果より、脆弱路面ではヒトは重心位置を安定化させるような歩行戦略を取っ

ていることが分かった．そこで，ロボットを倒立振り子，脆弱路面を並列のばね要素として図2に示すようにモデル化し，重心の角度偏差をロボットに搭載された姿勢角センサから取得し，それを足関節を回転させることで重心位置を安定化する重心位置補償制御を考案した．本制御は単立脚期に行い，両立脚期には足部で発生する床反力を目標値に収束させるようにロボットの両脚長を制御することで重心位置の安定化を図る．



(a) 安定時 (b) 転倒時 (c) 復帰時
図2 ロボットと脆弱路面のモデル

(3) 2足歩行ロボットでの評価実験

以上のヒト歩行戦略を等身大の2足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2R に実装し評価実験を行った．その結果，密度 $22 \pm 2 \text{kg/m}^3$ のウレタンスポンジ上でのその場足踏み歩行を実現した(図3)．そこで，ロボットの重心が左右方向に安定化できているか

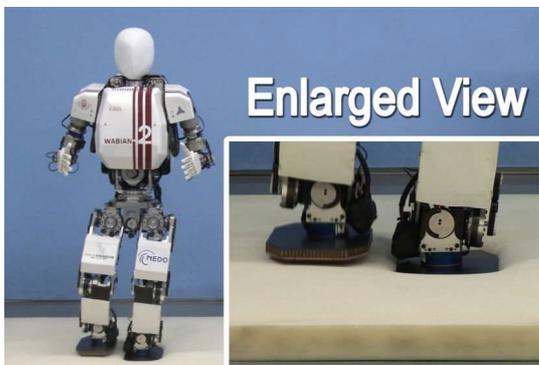
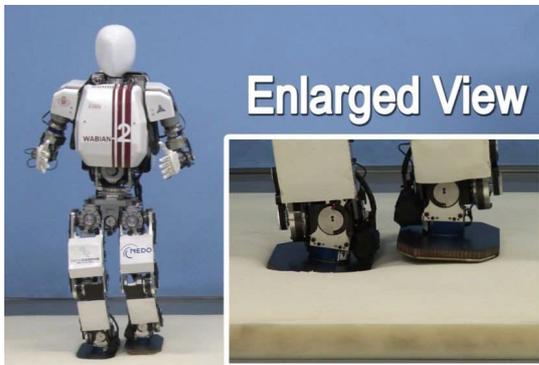


図3 脆弱路面でのその場足踏み歩行実験
(歩行周期 1.0s/step)

確認するために，剛体路面歩行時と脆弱路面歩行時とで重心の振幅を比較したところ，図4に示すように有意差は見られなかった．

次に前進歩行実験を行ったところ，図5に示すように安定した歩行を実現した．以上の実験結果より，本提案手法の有効性が確認できた．

今後の展望としては，路面の変形量に応じて足上げ高さを自動で変更するアルゴリズムの開発や，Head Stabilization の実装などが挙げられる．

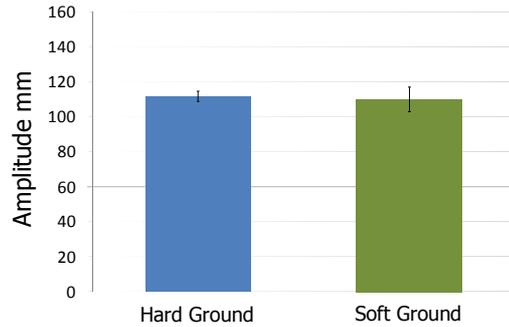


図4 重心の左右方向の揺動の比較

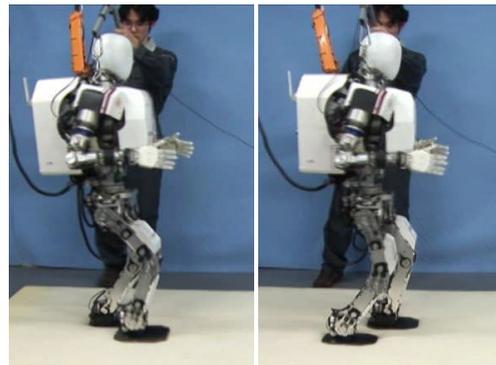


図5 脆弱路面での前進歩行実験
(歩行周期 1.0s/step, 歩幅 200mm/step)

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 Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Disturbance Compensation Control for Biped Vehicle,” Advanced Robotics, Vol. 25, No. 3, pp. 407-426, 2011. (査読有)

〔学会発表〕(計10件)

- ① Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Biped Walking Technology in Dynamic Environments: FFT-based Online Walking Pattern Generation and Walking Stabilization against External Disturbances”, Proceedings of the 2011 IEEE-RAS

International Conference on Humanoid Robots, Workshop 4: Humanoid service robot navigation in crowded and dynamic environments, Bled, Slovenia, October, 2011.

- ② Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Kentaro Hattori, Hideki Kondo, Takamichi Takashima, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "A Study of Function of the Human's Foot Arch Structure Using Biped Humanoid Robot," Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2206-2211, Taipei, Taiwan, October, 2010.
- ③ 橋本健二, 竹崎裕記, 本橋弘光, 高本大己, 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13報: 歩行解析に基づいた極座標式遊脚軌道修正制御)," 日本ロボット学会第29回学術講演会予稿集, 1J2-2, 東京都, 2011年9月.
- ④ 高本大己, 橋本健二, 近藤秀樹, 竹崎裕記, 高嶋孝倫, 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14報: 水平面における人間の歩行の模擬が可能な下腿機構)," 日本ロボット学会第29回学術講演会予稿集, 1J2-3, 東京都, 2011年9月.
- ⑤ 本橋弘光, 橋本健二, 吉村勇希, 竹崎裕記, 近藤秀樹, 高嶋孝倫, 林憲玉, 高西淳夫, "ヒト足部の足裏せん断弾性特性の測定," 第31回バイオメカニズム学術講演会予稿集, 1A2-4, pp. 35-38, 静岡県, 2010年11月.
- ⑥ 姜賢珍, 橋本健二, 吉村勇希, 近藤秀樹, 林憲玉, 高西淳夫, "2足歩行ロボットの軟弱路面での歩行実現に向けた基礎的研究," 日本ロボット学会第28回学術講演会予稿集, 2D2-1, 愛知県, 2010年9月.
- ⑦ Kenji Hashimoto, Giuseppe Carbone, Yusuke Sugahara, Marco Ceccarelli and Atsuo Takanishi, "Experimental Evaluation of Stiffness Performance for a Biped Walking Vehicle with Parallel Architecture," Proceedings of the 13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for

Mobile Machines, pp. 928-935, Nagoya, Japan, August, 2010.

- ⑧ Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Kentaro Hattori, Hideki Kondo, Takamichi Takashima, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Development of New Biped Foot Mechanism Mimicking Human's Foot Arch Structure," Proceedings of the 18th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (ROMANSY2010), pp. 249-256, Udine, Italy, July, 2010.
- ⑨ 橋本健二, 吉村勇希, 近藤秀樹, 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11報: 両足の滑りを利用した高速な旋回運動の実現)," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, 2A2-D23, 旭川, 北海道, 2010年6月.
- ⑩ Kenji Hashimoto, Terumasa Sawato, Akihiro Hayashi, Yuki Yoshimura, Teppei Asano, Kentaro Hattori, Yusuke Sugahara, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Avoidance Behavior from External Forces for Biped Vehicle," Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4715-4720, Anchorage, Alaska, May, 2010.

[その他]
ホームページ等
http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/research/wabian/index_j.htm

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 健二 (HASHIMOTO KENJI)
早稲田大学・理工学術院・講師
研究者番号: 10449340

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: