

ロボティック・センス・オブ・ムーブメント

研究代表者 高西 淳夫
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

本研究では、外見だけでなく内面の運動制御系についても人体運動が模擬可能な2足ヒューマノイド・ロボットの開発を通して、ヒト感覚・運動機能を解明することを目的とする。

これまでに2足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2 を開発し、ヒトと同じく骨盤の回旋運動を巧みに利用することで、従来の2足歩行ロボットでは難しかった膝関節を伸ばした歩行を実現してきた。また、ヒトの歩行解析を通してバランス制御を開発し、ロボット内面の運動制御系もヒトに近づけてきた。しかし、そのロボットの足部に注目すると、ヒト足部の機械的特性が模擬できていなかった。そこで本年度は、ヒト足部の内側縦アーチの機械的特性や皮膚の機械的特性、靴の機械的特性を模擬可能な足部機構を開発することを目的とする。

2. 主な研究成果

2.1 アーチ構造の機械的特性の模擬

ヒト足部には、内側縦アーチ、外側縦アーチ、横アーチの3つのアーチ構造がある。特に、内側縦アーチが歩行中に変形することで柔軟性が変化することに特徴があり、単に「アーチ」と呼ぶ場合、この内側縦アーチのことを指す。外側縦アーチと横アーチは内側縦アーチに比して変形量が小さく、柔軟性の変化が乏しいため、本研究では歩行への影響が大きいと考えられる内側縦アーチのみに注目する。アーチ弾性の模擬は、高さの異なる2種類のばねを並列に用いることで実現することとした。

2.2 皮膚の機械的特性の模擬

ヒト足部の皮膚は体表から表皮、真皮、皮下組織の3層に分かれており、部位によって皮膚の厚さも異なるが、本研究では、図1に示すように、圧縮方向とせん断方向に弾性をもつ一定の厚さの弾性体としてモデル化した。皮膚の圧縮弾性係数の目標値に関しては、先行研究を参考に0.136MPaとした。しかし、せん断弾性係数については先行研究例が見当たらなかったため、足裏のせん断弾性特性を測定するための装置を開発し、実際に測定することとした。

開発した測定装置を用いて、足裏のせん断弾性の測定を行った。被験者は男性3名(年齢:23.2±0.70歳、体重:61.0±3.5kg、身長:1670±42mm)である。重りを1.5~7.5kgの範囲で1.5kgごとの5段階に変え、せん断力と足裏の変形量を測定した。なお測定は、それぞれの荷重に対して5回行い、前後方向と左右方向の2通りで行った。測定データから一次関数の最小二乗法によりせん断弾性係数を求めた。この結果より、足裏皮膚のせん断弾性係数の目標値を11.2N/mmと設定した。

足裏皮膚の機械的特性を模擬する軟素材に関しては、まず圧縮弾性係数の目標値である0.136MPaよ

り、アスカーC 硬度 0 の人肌ゲル（圧縮弾性係数：0.12MPa）を選定した。人肌ゲルは人肌に近い柔らかさを持った超軟質ウレタン造形用樹脂（株式会社エクシールコーポレーションより販売）である。そして、せん断弾性係数の目標値の 11.2N/mm を満たすように、人肌ゲルの厚みを調整した。

2.3 着靴可能な足部機構

開発した着靴可能な足部機構を図 2 に示す。足部重量は 0.85kg であり、足部全体の寸法および関節軸の位置は、成人女性の足部の平均寸法を 2 足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2R の身長 1500mm で換算した数値をもとに決定した。なお、足部機構の外形は靴が履けるように設計している。爪先関節は受動関節となっており、アーチ軸と内側爪先軸、外側爪先軸の計 3 自由度の受動関節を持つ。

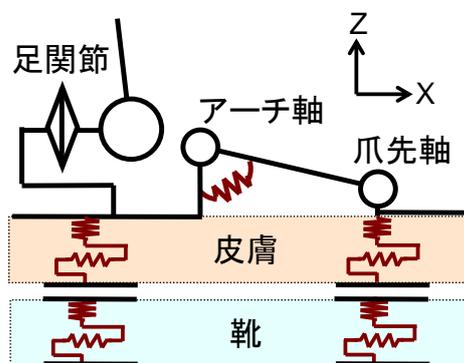


Fig. 1 ヒト足部のモデル化

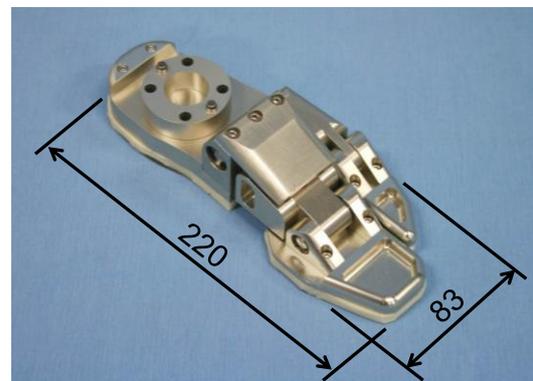


Fig. 2 ヒト足部の機械的特性を模擬した着靴可能な足部機構

3. 共同研究者

橋本 健二（理工学研究所・次席研究員）
林 憲玉（理工研・客員教授）

Aiman Musa Mohamed Omer (理工学術院・助教)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- Yueh-Hsuan Weng, Yusuke Sugahara, Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Intersection of “Tokku” Special Zone, Robots, and the Law: A Case Study on Legal Impacts to Humanoid Robots,” International Journal of Social Robotics, February, 2015.
- Matthieu Destephe, Martim Brandao, Tatsuhiro Kishi, Massimiliano Zecca, Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Walking in the Uncanny Valley: Importance of the Attractiveness on the Acceptance of a Robot as a Working Partner,” Frontiers in Psychology, Vol. 6, No. 204, February, 2015.
- Aiman Omer, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Study of Bipedal Robot Walking Motion in Low Gravity: Investigation and Analysis,” International Journal of Advanced Robotic Systems, 11:139, 14 pages, September, 2014.

4.2 総説・著書

- Kenji Hashimoto, Hideki Kondo, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Online Walking Pattern Generation

Using FFT for Humanoid Robots,” Motion and Operation Planning of Robotic Systems: Background and Practical Approaches, pp. 417-438, Springer International Publishing, March, 2015.

4.3 招待講演

- “Humanoid Robotics Research and Its Applications”, 2014 IEEE International Conference Robotics and Biomimetics, Bali, Indonesia, December, 2014.
- “Humanoid Robotics, and History and Culture of Japan -Comparison between Western Countries and Japan through the View of Humamoid”, the 2nd International Conference on Universal Village, Boston, USA, June, 2014.

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

- 日本ロボット学会副会長.
- International Steering Committee, “ROMANSY-2014 XX CISM-IFTtoMM SYMPOSIUM on Theory and Practice of Robots and Manipulators,” Moscow, Russia, June, 2014.

4.6 国際会議における発表

- Martim Brandão, Kenji Hashimoto, José Santos-Victor and Atsuo Takanishi, “Gait planning for biped locomotion on slippery terrain,” Proceedings of the 14th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2014), pp. 303-308, Madrid, Spain, November, 2014.
- Yukitoshi Minami, Przemyslaw Kryczka, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Heel-contact Toe-off Walking Model Based on the Linear Inverted Pendulum,” Proceedings of the 5th IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob 2014), pp. 221-226, São Paulo, Brazil, August, 2014.

4.7 国内学会における発表

- 橋本健二, 本橋弘光, 吉村勇希, 林憲玉, 高西淳夫, “ヒト足部の機械的特性を模擬した着靴可能な足部機構の開発,” 第32回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1M3-05, 福岡県, 2014年9月.
- 猪飼哲夫, 高西淳夫, 橋本健二, “2足歩行ロボットのリハビリテーションへの応用,” 第51回日本リハビリテーション医学会学術集会, S338, 名古屋, 2014年6月.

5. 研究活動の課題と展望

本年度は、ヒト足部の機能解明を目指し、アーチ構造と足裏の皮膚の機械的特性を模擬した着靴が可能な足部機構を開発した。開発した足部機構を用いれば、アーチ構造や皮膚、靴が歩行に与える影響を検証することができる。2015年度は、歩行運動だけでなく走行運動に関しても解析を行い、よりダイナミックな運動の模擬を目指す。