

起立アシスト装置開発のためのヒューマノイドロボットを用いた立ち上がり動作の解析

-アシスト力の位置とタイミングが膝関節に与える影響の解析-

東京大学 ○林 鍾勲, 石川 雄己, 安琪, 山川 博司, 山下 淳, 浅間 一

Analysis of sit-to-stand motion using humanoid robot for standing assist device development -Analysis of effects of time and position of the assist force on the knee joint-

The University of Tokyo

○Jonghoon Im, Yuki Ishikawa, Qi An, Hiroshi Yamakawa, Atsushi Yamashita, Hajime Asama

Abstract — One of the problems of aging society is the degradation of human's physical ability. Various devices have been made to assist decreased ability of standing-up motion of elderly people. However, elderly people might be injured due to hard material of devices. To solve this problem, soft material can be used for assistive devices. So we use dielectric polymer actuator as power source of the assist device and use humanoid robot for evaluation of availability. In this study, we analyze the knee joint torque of the humanoid robot during sit-to-stand motion to decide actuator locations. The results show that the best position of the actuators is above the knee and under the hip.

Key Words: Assist device, Dielectric polymer actuator, Humanoid robot, Sit-to-stand motion

1. 序論

高齢化によって発生する問題として、身体能力の低下がある。身体能力が低下すると人の歩行、起立、座りや階段昇降などの動作が困難になる。この問題を解決するため、現在様々な起立・歩行アシスト装置の開発が行われており、HAL [1]、BLEEX [2]などがある。これらを含めたほとんどの起立アシスト装置では大きな出力を出すため、あるいは大きな出力に耐えるため、主に硬い材料やアクチュエータを使用している。本研究では高齢者がより安全に使えるように、柔らかいアクチュエータ[3]を用いた起立補助装置の開発を目指す。既存の硬いアクチュエータではなく、柔らかいアクチュエータを用いたアシスト装置の開発を行うので、新しいアクチュエータに適した起立動作の解析が必要となる。そこで、本研究では起立動作時にアクチュエータに相当する力を人の各部位に加えた時の各関節にかかるトルクを計測することで、アクチュエータの補助率を算出し、起立動作時に大きなトルクがかかる膝関節を中心に解析を行う。

一方、アシスト装置の利用性の評価には多くの場合、被験者に頼っているが、性別、年齢、障害の程度などが異なる被験者を十分に集めるのは難しく、アンケートなどの主観評価などの信頼性に問題がある。また、評価のために行う動作を正確に再現することが困難であり、実験内容について、厳格な倫理的手続きが必要となる。しかし、このような問題は被験者の代わりにヒューマノイドロボットを用いてアシスト装置の評価を行うことにより、解決することが可能となる。そのメリットとしては、定量的な評価ができ、同じ動作を正確に何回も再現することやリスクのある動作でも、倫理的問題なしで実験可能である点が挙げられ、本研究ではヒューマノイドを用いてアシスト装置の開発および評価を行う。

本研究ではアシスト装置開発のため、ヒューマノイドロボットの立ち上がり動作中に任意の力を与えた時の膝関節トル

クの変化を計測することを目的とする。具体的にはヒューマノイドロボットの起立動作時、ある瞬間にロボットの各部位にアクチュエータに相当する仮想の力を加えることで、どういう条件で、ロボットの膝関節トルクが効率良くアシストされるかを調べることを目的とする。トルクに影響を与えるパラメータとしては力を与える位置、方向、大きさ、タイミングなどがあり、これらのパラメータをアクチュエータの特徴、ヒューマノイドロボットの構造などを考慮して設定し、それらがロボットの膝関節トルクに与える影響を調べる。

2. 立ち上がり動作の解析手法

2.1 高分子誘電アクチュエータ

今回使用する高分子誘電アクチュエータ (e-Rubber) [3]はゴム素材で、柔らかくて軽量であり、アクチュエータの両端に電圧をかけると歪や直線方向の瞬間的な力 (2kVで約2N) を発生する特徴がある。

2.2 ヒューマノイドロボットおよび起立動作の作成

今回使用するロボットは DARwIn-OP [4]というヒューマノイドロボットであり、高さ 454.5mm、重さ 2.9kg で、20 個の関節で構成されている。モーションの作成はモーションキャプチャで計測した実際の人の起立動作時の腰、膝、足首関節の角度情報を基に前屈動作を反映して作成し、実際の人の場合との角度誤差は平均 10deg 以下と小さい。



step1 step2 step3 step4 step5 step6
Fig. 1 Sit-to-Stand motion of the robot.

2.3 シミュレーション

シミュレーターを用いて、起立動作に対して、アクチュエータに相当する力を加えた時に膝関節のトルクがどのように変化するかを算出する。測定条件はアクチュエータの特徴を反映して次のように設定する。足の上端部を三等分 (a:膝, b:膝と腰の間, c:腰) し、垂直上下方向に 0, 2, 4, 6, 8N の力 (2N=アクチュエータ 1 個分の力) を起立が始まる瞬間 (Fig. 1 のステップ 3) から 100ms の間に力を加える。

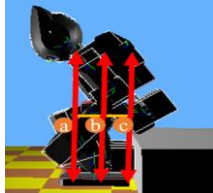


Fig. 2 Position and direction to apply force

3. 実験結果および考察

Figure 3~8 は起立が始まる 3000ms から 100ms の間に一定力を加えた時の膝関節のトルクを表している。グラフの横軸は時間を、縦軸はトルクを、線の色は与えた力の大きさを表している。

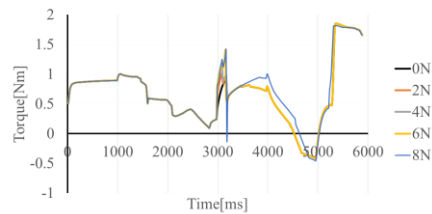


Fig. 3 Torque of knee (Position: a, Direction: up)

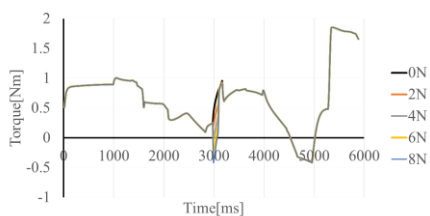


Fig. 4 Torque of knee (Position: a, Direction: down)

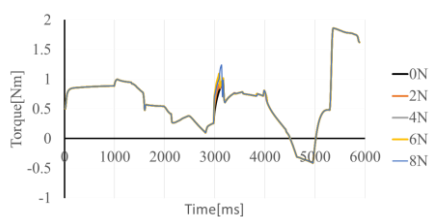


Fig. 5 Torque of knee (Position: b, Direction: up)

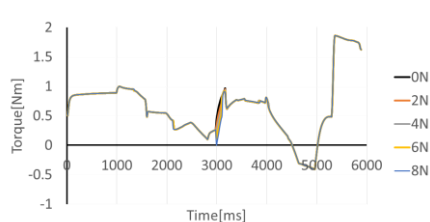


Fig. 6 Torque of knee (Position: b, Direction: down)

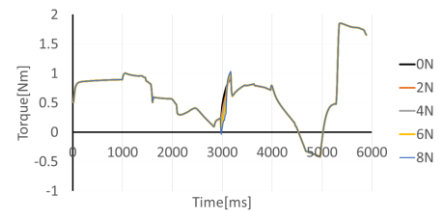


Fig. 7 Torque of knee (Position: c, Direction: up)

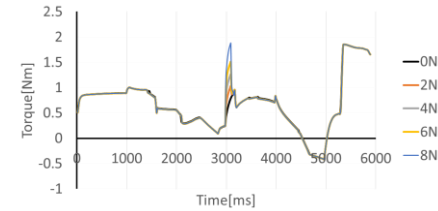


Fig. 8 Torque of knee (Position: c, Direction: down)

実験の結果、Fig. 2 の a の位置においては下方向に 4N の力を加えた時 (Fig. 4)、膝関節にかかるトルクが 68%減少し、b の位置では下方向に 8N の力を加えた時 (Fig. 6)、膝関節にかかるトルクが 62%減少した。一方 c の位置においては上方向に 8N の力を加えた時 (Fig. 7)、膝関節にかかるトルクが 68%減少したことが明らかになった。これはロボットの重心位置が b と c の間にあるため、重心位置の右側にある c の位置では鉛直上方向に力を与えると反時計周りに力を与えることとなり、立ち上がり動作を補助する方向にトルクの補助ができる。一方、a と b の位置では重心位置の左側にあるため、鉛直下方向に力を与えると反時計周りに力を与えることとなり、立ち上がり動作を補助する方向にトルクの補助ができる。同様に、a の位置で上方向に (Fig. 3)、b の位置で上方向に (Fig. 5)、c の位置で下方向に (Fig. 8) 力を与えると時計回りに力を与えることとなり、膝関節にかかるトルクが増加した。

4. 結論

本研究ではアシスト装置開発のため、ヒューマノイドロボットの立ち上がり動作中に任意の力を与えた時の膝関節トルクの変化を計測した。その結果、起立動作時に膝部の鉛直下方向に力を与えた時、腰部の鉛直上方向に力を与えた時に膝関節トルクが減少することが明らかになった。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究(B)24300198 およびカシオ科学振興財団の援助を受けた。

参考文献

- [1] Y. Sankai, "HAL: Hybrid Assistive Limb based on Cybernetics", *Advanced Robotics*, Vol. 66, pp. 25-34, 2011.
- [2] H. Kazaerooni, et al. "On the Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)", *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4353-4360, 2005.
- [3] K. Shinichi, et al. "Development of Medical & Assistive Devices with Dielectric Actuator (Report No. 1)", *日本義肢装具学会誌*, Vol. 27, pp. 180, 2011.
- [4] H. Inyong, et al. "Development of Open Humanoid Platform DARwIn-OP" *Proceedings of the SICE Annual Conference 2011*, pp. 2178-2181, 2011.