

便座からの立ち上がり動作における 身体的負担に関する実験的検討

近井 学^{*1} 小澤 恵美^{*1,2} 遠藤 博史^{*1} 細野 美奈子^{*1}
島田 茂伸^{*3} 土井 幸輝^{*4} 和田 親宗^{*5} 井野 秀一^{*1}

Basic study of physical load in standing-up motion from a toilet seat

Manabu Chikai^{*1}, Emi Ozawa^{*1, 2}, Hiroshi Endo^{*1}, Minako Hosono^{*1},
Shigenobu Shimada^{*3}, Kouki Doi^{*4}, Chikamune Wada^{*5} and Shuichi Ino^{*1},

Abstract The aim of this research is to develop a new in-home assistive system to aid sit-to-stand motion in toilets. The concept of the in-home assistive system is to use a metal hydride (MH) actuator for changing the toilet seat angle to aid the sit-to-stand motion after excretion. This study was carried out to understand the effect of the toilet seat angle on the performance of the sit-to-stand motion of humans. In the experiment, healthy participants were monitored to measure the muscle activity and the foot pressure distribution by using a portable toilet while changing the angle of the toilet seat. All participants repeated the standing-up motion for each angle of the toilet seat and provided feedback regarding their experience at each angle. The experiment results indicated that healthy participants found it easy to stand when the seat angle was approximately 10° from an upper surface part of toilet bowl. In future works, we plan to develop a new assistance system using the MH actuator, which is able to operate simply and can be safely performed by only one person.

Keywords: Toilet, Assistance system, Standing-up motion, and Human factors

1. はじめに

近年、高齢化の進む日本や欧米諸国などにおいて、加齢に伴う筋力低下[1]が一因として、高齢者は歩行時や移乗時に転倒する事例が多い。高齢者は転倒することによって大腿部頸部骨折[2]などの重大な事故を受けやすく、またこの事故により、高齢者は寝たきりになることが多い。先行研究[3]の調査によると、2007 年の大腿部頸部骨折の患者はおおよそ 15 万人程度と報告され、また発生数は 15 年間で男性は 1.7 倍、女性は 2.0 倍増加したといわれており、そのためにも高齢者の転倒を予防することが必要である。転倒が起こる場所についての調査研究[4]として、一例として院内での転倒事例を報告している。その結果から、転倒の事故が多い場所として、自室、廊下、トイレということであることを示しており、また転倒時の行動別にみると、便座（ポータブルトイレを含む）への移乗中など、排泄に係る行動の際の転倒が全体の 4 割以上を占めている[4]。加えて、杉原ら[5]は高齢者の起

立動作能力と排泄行為の自立度を調査している。このことなどからも、生活環境下における起立動作が QOL の維持向上に重要な要素であるといえる。

加齢に伴う筋力低下により移乗時の動作などの日常生活で不自由を抱えている人たちの運動機能のサポートを行うため、我々は水素吸蔵合金（MH）アクチュエータ[6][7]を用いたコンパクトで静かな小型動作支援デバイスの開発を目指している。

本研究は、便座からの起立動作時の身体的・精神的負担に着目した。ヒトは、便座からの立ち上がり動作を狭小空間の中で行う必要があり、また排泄行為はプライベートなものである。このことから、ヒトが便座からの立ち上がりを行うことを、ひとりでも安全に行えるようなデバイスが望まれている。そこで本研究では、水素吸蔵合金アクチュエータを用いた便座からの立ち上がり動作を安全に支援するデバイスの開発のための設計指針を得るために、便座の傾斜角度をパラメータとした時の起立動作時のヒトの表面筋電図計測や動作計測および内観（主観）アンケートなどを行い、その結果を踏まえ身体的・精神的負担について多角的に考察した。

2. 対象と方法

対象は、起立動作に際し影響となる既往歴がない健康な成人男女 5 名（男性 3 名、女性 2 名）とした。すべての被験者には、実験の趣旨を十分に説明し、同意を得た。

*1: 産業技術総合研究所

*2: 昭和伊南総合病院

*3: 東京都産業技術研究センター

*4: 国立特別支援教育総合研究所

*5: 九州工業大学

*1: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*2: Showa Inan General Hospital

*3: Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute

*4: National Institute of Special Education

*5: Kyushu Institute of Technology

なお、本実験は産業技術総合研究所人間工学実験委員会にて承認されている。

本研究では、被験者の動作を分析するため、図 1 に示すようなセットアップで計測実験を行った。

便座からの起立動作時の筋活動を計測するために表面筋電図計測装置 (Cometa 社製, Wave Wire-less EMG, Italy) を使用した。被験者の下肢の筋活動は、右半身の 1: 脊柱起立筋, 2: 大腿直筋, 3: 前脛骨筋, 4: 腓腹筋の 4 筋の筋腹にディスプレイ型電極を貼り付けたうえで計測した。電極を貼り付ける場合には、はじめに被験者の計測筋を拭き、そのうえで電極間距離が 20 mm になるように貼り付けた。計測時のサンプリング周波数は 1000 Hz とした。計測したアナログデータは、データ収集・解析装置 (ADInstruments 社製, PowerLab 4/26, Australia) を用いて記録した。

被験者の足圧分布を計測するために足圧分布計測装置 (Medicaptures 社製, Win-Pod, France) を使用した。被験者の足圧分布計測は、起立動作時の圧力中心 (Center of Pressure, COP) を確認した。計測時のサンプリング周波数は 100 Hz に設定した。

実験では、市販のポータブルトイレ (パナソニック社製, PN-L30201V, 日本) を使用した。便座の前傾傾斜角度は 0, 5, 10, 15 度の 4 つのパターンで変化させた。図 2 に示しているように、便座の高さは被験者の大腿・下腿がなす角度が 90 度になるように定めた。被験者には、着座時の足部を便座の前傾角度 0 度の場合と同じ位置に置くように教示し、また下腿の間隔は肩幅を基準とした。

計測実験のプロトコルとして起立動作を 25 試行を行った。なお、立ち上がり動作時の上肢は、胸部の前で腕を組むように教示した。被験者は、動作を開始するまで着座したまま静止し、そして実験者が起立動作を開始するように口頭で指示した後、起立動作を行った。

3. 分析

表面筋電図分析では、予め被験者の表面筋電図を着座時の安静な状態で測定し、筋電図のノイズ成分を確認したうえで、ソフトウェア上で除去した。評価に用いるデータは、動作開始時から動作終了時までの筋電信号の最大値とした。

重心移動量の分析では、計測実験で得られた 2 次元座標データを用いて、動作開始時から動作終了時までの COP を算出した。COP を算出した面は、矢状面上 (身体の前後方向) と前額面上 (身体の左右方向) の 2 つとした。

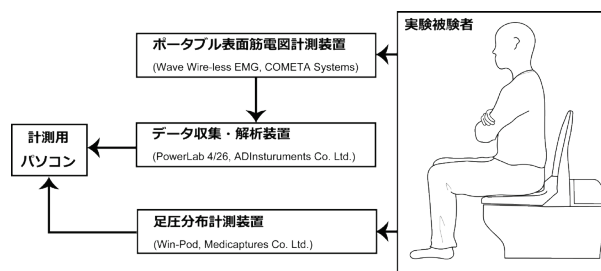


図 1 計測実験のセットアップ

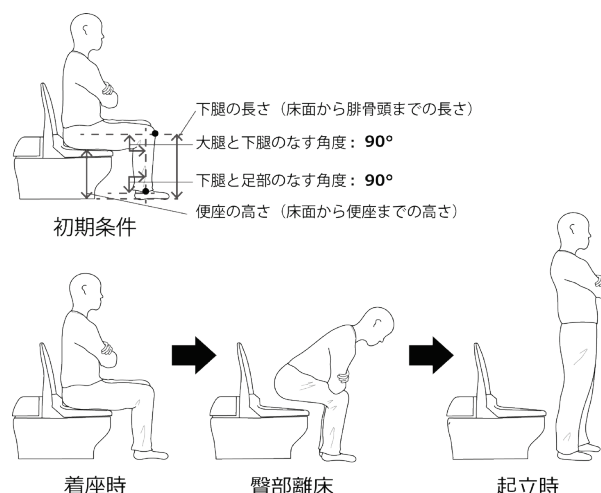


図 2 計測実験時の条件設定

(上図：初期条件，下図：起立動作の流れ)

4. 結果

4.1 表面筋電図

計測結果の一例として、2名の被験者 (被験者 A, B) の計測結果を比較する。図 3 に、それぞれの被験者の表面筋電図の計測結果 (N=25) を示す。グラフの横軸には、計測した筋をそれぞれ示しており、グラフの縦軸には、25 試行で計測された EMG の最大値の平均を示している。図 3(a)によると、被験者 A は、便座の前傾角度が高くなるにつれて、脊柱起立筋・大腿直筋・前脛骨筋の筋活動が減少する傾向にあることが示された。図 3(b)によると、被験者 B は、便座の前傾角度が高くなるにつれて、前脛骨筋の筋活動が減少する傾向にあるが、一方で脊柱起立筋・大腿直筋は便座の前傾角度の変化により、筋活動量が相対的に変化していないことが示された。両被験者は、便座の前傾角度が高くなるにつれて、前脛骨筋の筋活動が減少する傾向があることが示された。

4.2 足圧中心

図 4 に、それぞれの被験者の起立動作時の足圧中心の移動量 (最小値と最大値の差) の比較結果 (N=25) を示す。グラフの横軸には、それぞれの被験者を示しており、グラフの縦軸には、25 試行で計測された起立動作時の足圧中心の移動量の平均値を示している。図 4 によると、被験者 A, B, D の起立動作時の足圧中心の前後方向の移

動量は、便座の前傾角度が変化した場合、便座の前傾角度が変化した場合に減少する傾向にあることが示された。また、起立動作時の足圧中心の左右方向の移動量は、便座の前傾角度が変化した場合に傾向が見られないことが示された。

4.3 主観評価

最後に、起立動作時の被験者の内観報告を述べる。表 2 に、各被験者の起立動作のしやすさ、着座時の身体的負荷などの主観評価の報告から、被験者は、便座の前傾傾斜角度が 5 度～15 度の場合において、起立動作が容易になると報告しており、特に前傾傾斜角度が 10 度の場合において評価が高いことがわかった。

5. 考察

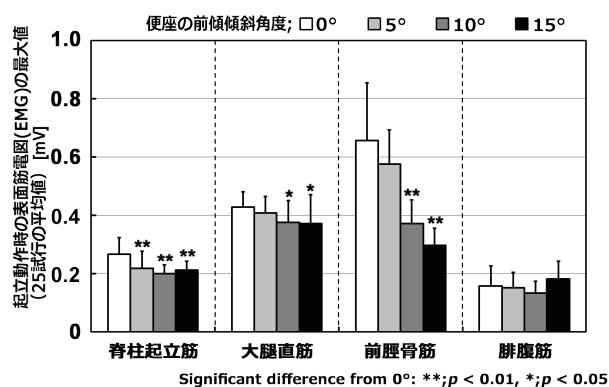
5.1 起立動作の特徴

COP の計測結果 (図 4) から、立ち上がり動作には、(1) 身体の重心移動を積極的に活用する場合 (被験者 A) と、(2) 身体の重心移動をあまり活用しない場合 (被験者 B, C, D, E) の 2 つのパターンがあることが示された。前者のような起立動作を行うヒトの場合、便座の前傾角度を付加することによって、立ち上がり動作を容易にすることが可能になる。一方で、後者のような起立動作を行うヒトの場合、便座の前傾角度を付加することに加え、身体の重心移動を容易にする手法を取り入れることで、立ち上がり動作を容易にすることができると考えられる。特に、身体の重心移動を容易にする一つの手法として、例えば、矢状面上の動きを安全に配慮してサポートするような機器などを併用することも検討課題である。先行研究において便座の角度を前傾させることで体幹の前傾動作を減らすことができる[8]と報告しており、便座の前傾角度はヒトの体幹の前傾動作を減少させ、重心の移動を容易にすることができると考えられる。一方で、便座の前傾角度が高くなるにつれて、体幹の前傾角度が変化しない起立動作を行う方法があると考えられる。今後は、計測人数を増やしたうえで、体幹前傾角度・体幹の動作速度を比較し、起立動作方法の個人差について考察していく予定である。

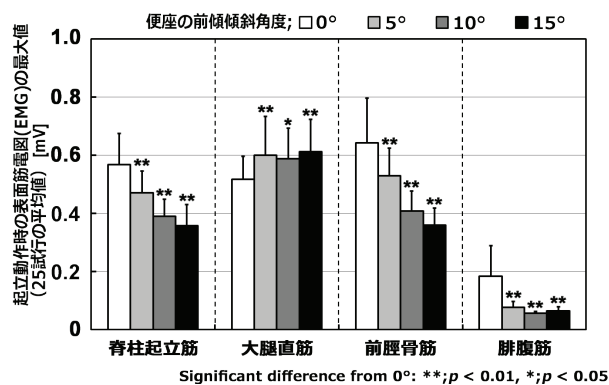
5.2 支援デバイスの設計

本支援デバイスのアイディアは、小型で静かな MH アクチュエータにより便座に傾斜角度を付加する方法を用いて、ヒトが排泄動作を終えた後に、立ち上がり動作を促すものである。便座は、ヒトが着座している状態において、全体重の 8 割程度の荷重を受けており、例えば、70 kg の男性であれば、試作するアクチュエータはおおよそ 60 kg 程度の荷重を持ち上げることができれば良いといえる。

このシステムを用いて、図 5 に示すように、立ち上がり動作の支援を行うことを目指している。このアクチュ



(a) 被験者 A



(b) 被験者 B

図 3 便座の前傾角度を変化させた場合の EMG 値 (起立動作時の表面筋電図の最大値) の比較

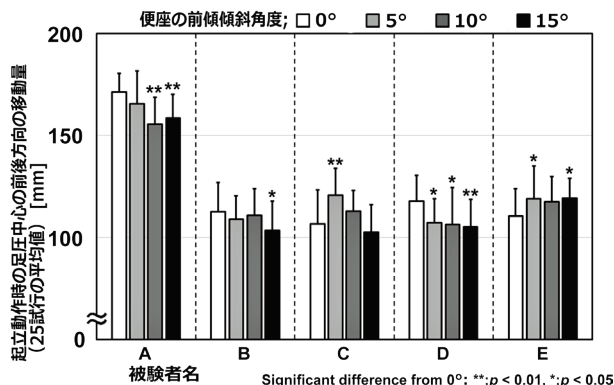


図 4 起立動作時の足圧中心の移動量 (最小値と最大値の差, N=25)

エータの駆動原理は、水素吸蔵合金への熱をコントロールすることにより、水素の放出／吸収を行い、その水素圧を用いて、金属ベローズを伸縮させるものである[6]。

計測結果から、ヒトは便座の前傾角度が 10 度程度の場合において、起立動作がしやすいことがわかった。市販の便座は、便座の長さ (便座の取り付け部から先端までの長さ) がおよそ 400 mm 程度であることから、MH アクチュエータはおよそ 60 kg 程度の荷重を 50 mm 程度持ち上げることができれば、本支援デバイスが実現できると示唆される。例えば、現在試作している金属ベローズ (外

径 $\phi 50$, 内径 $\phi 37$, 全長 280 mm)の有効断面積は 15.2 cm², 体積は 4.26 cm³である。このペローズが 50 kg 程度の荷重を 40 mm 程度持ち上げるためには, (LaNi₅系の) 水素吸蔵合金は, およそ 6.50 g 程度必要であると計算された [9][10]。言い換えると, 水素吸蔵合金の出力重量比はおよそ 1000 倍と計算され, 他のアクチュエータに比べて小型化・軽量化が実現できると考えられる。

6. おわりに

本研究では, 便座の傾斜角度をパラメータとした, 起立動作時の計測実験を行った。

今回の実験条件において, 得られた知見は以下の通りである。

- ・ヒトは便座の前傾角度 10 度程度の場合に起立動作が行いやすくなる
- ・起立動作の方法には, 個人差があり, 便座の前傾角度を活用して, 身体の重心移動を容易にしながら立ち上がり動作を行うパターンと, 前傾角度に影響されずに立ち上がり動作を行うパターンがある
- ・起立動作の方法により, 個人に合った支援方法の検討, 傾斜角度の提案が必要である

そして, 今後の展望として, 今回の計測結果に基づき, 水素吸蔵合金アクチュエータを用いた起立動作時の身体的負担を軽減するための小型動作支援デバイスの開発を行っていく予定である。

謝辞

本研究の一部は, JSPS 科研費 25242057 の助成を受け実施した。本研究を遂行するにあたり, 計測実験へ協力して下さった方々, 有益な議論を行って下さった本田哲三氏 (飯能靖和病院), 山口浩史氏, 宮澤隆志氏, 大西忠輔氏 (昭和伊南総合病院), 横井孝志氏 (日本女子大学), 布川清彦 (東京国際大学), 榎浩司氏, 中嶋香奈子氏, 井上拓晃氏, 坂本悦子氏 (産業技術総合研究所), および富山嘉之氏 (元九州工業大学大学院) に記して感謝する。

参考文献

[1] I. H. Rosenberg: Summary comments from proceedings of a conference -Epidemiologic and methodologic problems in determining nutritional status of older, The American Journal of Clinical Nutrition, **Vol.50**, pp.1231-1233, (1989).

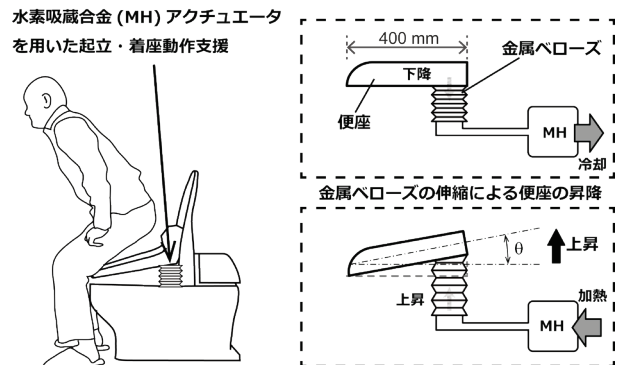


図5 水素吸蔵合金 (MH) アクチュエータを用いた起立・着座動作支援デバイスの概要

- [2] 堀井, 他: 大腿骨近位部骨折の疫学, 京都医大誌, **Vol.124**, No.1, pp.1-12, (2015).
- [3] H. Orimo, et al.: Hip fracture incidence in Japan -estimates of new patients in 2007 and 20 year trends," Archives of Osteoporosis, **Vol.4**, pp.71-77, (2009).
- [4] 永井, 他: 当院における院内転倒の現状, 日本職業・災害医学会会誌, **Vol.53**, No.2, pp.88-81, (2004).
- [5] 杉原, 他: 高齢者の起立動作能力と排泄の自由度について, 理学療法科学, **Vol.22**, No.1, pp.89-92, (2007).
- [6] 井野: 水素吸蔵合金のアクチュエータ技術への応用, 日本ロボット学会誌, **Vol.31**, No.3, pp.477-480, (2013).
- [7] T. Tsuruga, et al.: A basic study for a robotic transfer aid system based on human motion analysis, Advanced Robotics, **Vol.14**, No.7, pp.579-595, (2000).
- [8] 丸田: シート角度が立ち上がり動作時の体幹前傾に及ぼす影響, 理学療法学, **Vol.31**, No.1, pp.21-28, (2008).
- [9] S. Ino, et al.: Development of LaNi₅ Hybrid Paper and Its Application in a Metal Hydride Actuator, Proceedings of 15th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, 2016. [in press]
- [10] M. Chikai, et al.: Basic Study of a Motion Assistance System Based on a Metal Hydride Actuator, Proceedings of 15th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, 2016. [in press]