

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25年6月10日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560239

研究課題名（和文）軽度下肢障害者の一般トイレ利用を可能にする新しい移動システムの開発

研究課題名（英文）A Novel Traveling System for a Patient with Mildly Disabled Lower Limbs To Use an Ordinary Toilet

研究代表者

森 善一（MORI Yoshikazu）

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：70305415

研究成果の概要（和文）：

本研究では、比較的軽度の下肢障がい者（麻痺レベル=L4：腕には障がいがなく、脚の大腿は自らの意思で動かせる）が一般トイレを使用するための新しい補助具の開発を行った。利用者は杖による歩行により、一般トイレの狭いドアの通り抜けを行う。この杖はガススプリングを用いた伸縮機能を持ち、車椅子から立ち上がる際には杖を短くし、歩行時には杖を伸ばす。杖はロッキングチェアと類似した底面を持つので、座位・立位を連続的に行うことができ、折りたたみ構造としたので車椅子に携帯可能であるという特長を持つ。

研究成果の概要（英文）：

This research has proposed walking orthotic equipment that enables a person with mildly disabled limbs to use an ordinary toilet. The critical problem occurs as the narrow width of the toilet booth when a wheelchair user would like to use the ordinary toilet. On the other hand, if the wheelchair user can walk, this problem will be solved. In this case, the user has to realize the following motions: standing up from a wheelchair, walking to the toilet booth, and sitting down on the toilet seat. A pair of telescopic Lofstrand crutch assists the user when he is standing up and sitting down in short length state, and assists the user in a standing position when changed into long length state. This crutch has a curve foot to realize continuous contact from the seating position to the half-standing position. A gas-spring with a break attached to the crutch helps the telescopic motion of the crutch. It can be folded so as to carry easily with a wheelchair. Experimental results confirm the effectiveness of this equipment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野： 介助福祉

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： 人間機械システム, 福祉用ロボット

1. 研究開始当初の背景

近年のロボット技術の発達に伴い、ロボット技術を福祉分野へ応用しようという試みが行われてきている。その主たる目的は、障がい者や高齢者の自立の促進と介助者の負担の軽減である。このような研究は 1970 年代から始まり、その後も多くの研究が行われてきた。しかしこれまで実用化されたものは少なく、研究段階・試作段階に留まっているものがほとんどである。

厚生労働省の調査ではわが国の障がい者数は平成 18 年時点で 348 万人[1]となり、その中でも 64 万人が下肢障がい者であり、その多くは車椅子を利用して日常生活を送っている。車椅子利用者の多くが抱える問題としてトイレ利用が挙げられる。それは、車椅子の幅が一般トイレの個室の扉の幅よりも広いことのためそのままでは進入ができないことである。排泄の介助は介助者・被介助者双方にとって苦痛を伴うものであり、誰もが自分自身のみで行いたいと望む。特に、一般トイレの利用に関しては、車椅子利用者が自身のみで行うことは既存の車椅子では行うことができないのが現状である。その解決策として筑波大の HAL[2]に代表される脚移動が挙げられるが、このような補助具はすべての移動を脚移動に頼っているため安全面が低下し、また、価格の面で大きな負担になる。

[1]厚生労働省：平成 18 年身体障害児・者実態調査結果

[2]Hayashi, T. Kawamoto, H. and Sankai, Y.: International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2005), pp. 3455-3460.

2. 研究の目的

本課題では、車椅子を利用している下肢障がい者のうち、軽度の方（麻痺レベル=L3：腕には障がい無く、脚の大腿は自らの意思で動かせる下肢障がい者）を対象に、彼らの歩行をサポートし、彼らが独りで一般用トイレを利用できるようになる機器の開発をめざす。もし車椅子利用者が一般のトイレを利用できるようになれば、その行動範囲は飛躍的に拡大し、大きな効果を期待することができる。本システムは、起立・着座動作時には脚のパワーアシストの役割を担う伸縮ロフトランドクラッチ、および膝関節の固定・駆動を担う膝関節駆動機、バネ要素を持つ受動足首機構から構成される。車椅子利用者は、必要などきのみ本システムにより歩行移動を行うため、バッテリーの心配は要らない。各モジュールの設計にあたってはシンプルさを追求し、現在の松葉杖と車椅子の中間に位置する新たな移動システムの開発をめざした。

3. 研究の方法

本課題では、軽度下肢障がい者が独りで一般用トイレを利用できるようになる機器として、3 つの基本モジュールである「伸縮ロフトランドクラッチ」、「膝関節駆動機」および「受動足首機構」を想定していた。以下にそれらの具体的内容を示す。

(1) 伸縮ロフトランドクラッチ：

バネやモータなどのアクチュエータを持たず、簡単なレバー操作で即座に杖の長さの長・短が切り替わることを特長とする伸縮杖を設計・製作した。なお、杖長さ・伸縮量については、実験協力者である脊髄損傷者（60 歳代、男性、麻痺レベル=L3）の方に合わせ伸縮量を約 18 cm とした。

(2) 下肢関節駆動機：

初年度は、アクチュエータとして電気モータを想定していたが、研究を進める中で、①速い動作が実現可能であり、②ポンベを含めても軽量、③柔軟性に富み、電気を切ると完全にフリーになるため使用者への負担が軽いという長所をもつマッキベン型空気圧アクチュエータを用いたモジュールの製作に切り替えた。しかしながら、試作モジュールの実験を行うと、携帯用ポンベは断熱膨張時に温度が下がり、圧力が低下するため、起立・着座時のパワーアシストには利用できるが、歩行のサポートは難しいこと、また起立動作において、杖のサポートとしての役割を担うが、ややパワー不足であることが分かった。

そこで、次にアクチュエータの代わりに、ガススプリングを用いることにより、シンプルなシステムの開発が可能であることが分かったので、実用的なシステムの開発のために、機器の再設計を行った。ガススプリングは、立位動作時において身体を持ち上げることを補助するバネの要素と、着座動作時において緩やかに着座できるダンパの要素を持ち合わせている。そして立位態での位置エネルギーと、座位状態での位置エネルギーの差をガススプリングに補充し、座位状態から立つ瞬間に、ガススプリングに回収されたエネルギーを放出する。すなわち、利用者自身の位置エネルギーを回収し再利用する仕組みである。本研究では、着座時において脚が戻らないようにブレーキ付きのガススプリングを使用し、杖に設置したレバーでブレーキを解除できる機構とした。

(3) 受動足首機構：

足首関節にバネ要素を取り付ける予定であったが、立ち上がり動作時において、バネ要素は脚を引き寄せるのを困難とすることが実験を通して分かった。また実験を進める



(a) 伸縮ロフトストランドクラッチ (b) 下肢関節駆動機

図1 試作モジュール1号機

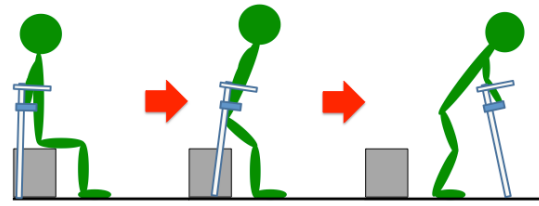


(a) 伸縮ロフトストランドクラッチ (b) 下肢関節駆動機

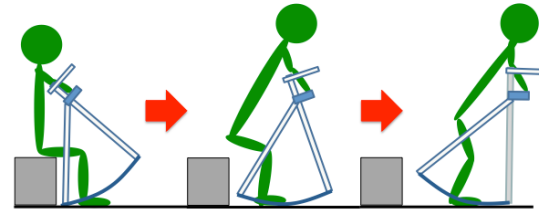
図2 試作モジュール2号機

中で、足首関節は必ずしも必要でないことが分かったため、最終的に機構のシンプルさを優先し、足首関節を用いないデザインとした。

図1に、「伸縮ロフトストランドクラッチ」とマッキベン型空気圧アクチュエータを用いた「下肢関節駆動機」から構成される試作モジュール1号機を、図2に同杖とガススプリングを用いた「下肢関節駆動機」から構成される試作モジュール2号機をそれぞれ示す。試作1号機による実験では、健常者がモジュールを装着し、起立・着座および歩行動作が可能であることを確認した。ただし、前述のとおり、歩行時には大量のガスを消費するため、自立性に問題を残す結果となった。次に試作2号機を装着して、健常者による実験を行った。大腿の筋電位を計測したところ、補装具の使用により、平均値では通常の起立動作より筋負担の27.8%を軽減し、また、最大



(a) 試作モジュール1・2号機による起立動作



(b) 試作モジュール3号機による起立動作

図3 起立動作の比較

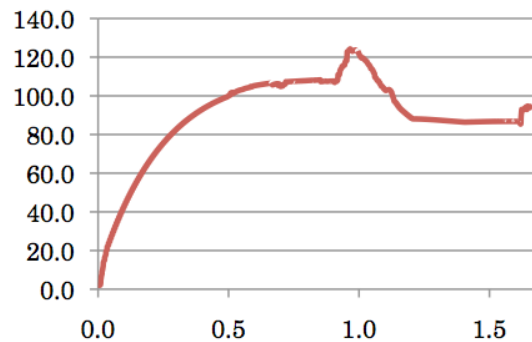


図4 シミュレーションによる肩トルクの時間変化

値では83.7%の筋負担の軽減を実現した。その他、膝関節については、関節軸がわずかな範囲だけ自由に移動できるように工夫することにより、ロック時においても約15 degの屈曲を実現し、これにより、利用者は拘束の少ない歩行移動が実現できた。またこの工夫により、着座動作時に必要な体重によるトルクを発生しやすくなった。

しかしながら、軽度下肢障がい者による実験では、立位姿勢に移行する動作が困難であることが分かった。そこで、最終的に「伸縮ロフトストランドクラッチ」と「膝関節駆動機」を一つにまとめるアイデアとして、“ロッキングチェア”を応用した「伸縮ロッキングクラッチ」の開発に至った。

4. 研究の成果

前章で示した「伸縮ロッキングクラッチ」は、伸縮ロフトストランドクラッチの後方にもう一本、杖を付加し、下方で2本の杖を円弧状の木製の板で接続したものである(図5(a)参照)。

図3に試作モジュール1・2号機と試作モジュール3号機の起立動作の違いを示す。杖



(a) 展開時



(b) 収納時

図5 試作モジュール3号機 (収納時)

を使った起立・歩行動作では、立ち上がりの際には、杖を足の後方におき腕で体を起こし、その後、杖を体の前方へ移して歩行を行う。図3(a)に示す試作モジュール1・2号機のケースでは、立ち上がった後、後方の杖を前方へ移動する際に、杖を浮かせた不安定な状態を経由する必要があるため、利用者は転倒の危険性がある。それに対し図3(b)に示す試作モジュール3号機のケースでは、まず後方の杖で体を車椅子から起こした後、ロッキングチェアに座っている場合と同様に、連続的に体重を後方から前方へかけていくことにより、歩行姿勢に移行することができるので、安定した状態遷移が可能となる。3D機構解析ソフトAdamsを用いて、肩にかかるトルクについて検討した。その結果を図4に示す。肩関節のトルクは最大で126 Nmとなり、これは60代男性の発揮できる最大のトルクの約60%に相当するため無理なく立位動作を行うことができると考えられる。

図5に上記アイデアを実現した試作モジュール3号機を示す。本杖は伸縮動作にはガススプリングを用い、携帯性を考慮し、折りたたみ構造とした。健常者ならびに軽度下肢障がい者による実験では、着座姿勢から立



図6 障がい者による動作実験の様子

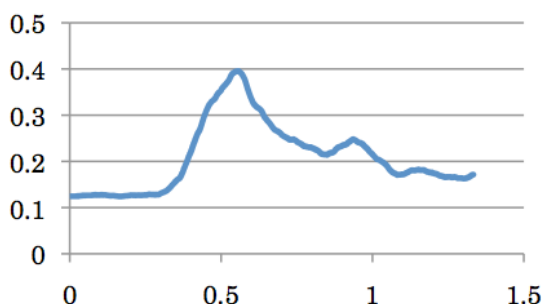


図7 障がい者による動作実験の結果 (大腿の筋電位変化)

位動作へ移行後、杖を伸ばし前方へ歩行、その後、後方へ歩行し、杖を縮めて着座するという一連の動作ができることが確認できた。図6に本研究の対象となる障がい者の方にご協力いただいて実験を行っている様子を示す。また図7がその実験結果となる。大腿における筋電位は、最大値が健常者の立位動作の約65%となっており、筋負担の軽減が確認された。下肢障がい者の立位時の膝および上腕の筋電位は平均で0.78 mV および1.9 mVとなった。また一般トイレで使用できることも確認できた。

今後、機器の軽量を行い、被験者を増やした実験をとおして機器の最適化を図っていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① 森善一, 前嶋兼, 「下肢障害者の立位移動を可能にするシステムABLE II の開発」, ライフサポート, Vol. 23, No. 2, 79-86, 2011, 査読有, https://www.jstage.jst.go.jp/browse/lifesupport/23/2/_contents
- ② Yoshikazu Mori, Ken Maejima, Kousuke Inoue, Naoji Shiroma and Yasuhiro Fukuoka, "ABLE: A Standing Style

Transfer System for a Person with Disabled Lower Limbs (Improvement of Stability when Traveling),” Industrial Robot, Vol.38, No.3, 234-245, 2011, 査読有, <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0143-991x&volume=38&issue=3&PHPSESSID=n81f28chdd2qr11s4q00murgc6>

- ③ Yoshikazu Mori, Toshiya Taniguchi, Kousuke Inoue, Yasuhiro Fukuoka and Naoji Shiroma, “Development of a Standing Style Transfer System ABLE with Novel Crutches for a Person with Disabled Lower Limbs,” Journal of System Design and Dynamics, Vol.5, No.1, 83-93, 2011, 査読有, https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jsdd/5/1/_contents

[学会発表] (計 21 件)

- ① 鯉渕正寛, 森善一, 菊池亮太, 「軽度下肢障がい者の一般トイレ利用を可能にする歩行補助具」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2A1-B12(1)-(4), 2013.5.22-25
- ② 菊池亮太, 森善一, 瀋昌輝, 鯉渕正寛, 「軽度下肢障がい者の一般トイレ利用を可能にする歩行補助具」, 茨城講演会講演論文集, 257-258, 2012.8.24
- ③ 瀋昌輝, 森善一, 鯉渕正寛, 中田明彦, 「軽度下肢障がい者の一般トイレ利用を可能にする移動補助具」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 1P1-M07(1)-(3), 2012.5.27-29
- ④ Yoshikazu Mori, Ken Maejima, Kousuke Inoue, Naoji Shiroma and Yasuhiro Fukuoka, “ABLE: A Standing Style Transfer System for a Person with Disabled Lower Limbs,” 13th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines CLAWAR 2010, 1071-1078, 2010.8.31-9.3. (Japan).

[その他]

ホームページアドレス

<http://www.ise.ibaraki.ac.jp/~mori-zen/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 善一 (MORI Yoshikazu)
茨城大学・工学部・准教授
研究者番号：70305415