

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500651

研究課題名(和文) 使用者の操作を必要としない足底力センシングによる立ち座り補助装置の開発

研究課題名(英文) Development of Automatic Control Sit-to-Stand Supporting System using Ground Reaction Force

研究代表者

池内 秀隆 (Hidetaka, Ikeuchi)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：50264130

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、床反力を計測して制御を行う立ち座り補助装置の開発を行った。本装置はスイッチ等の操作を必要とせず、下肢で発生する力に合わせて適切で動的な支援を行う。最初に、一次試作機の問題点を検討し、腰の位置でサポートを行う方式に変更することとした。続いて、適切な支持軌道を検討するため、検討用実験装置を開発した。この装置はX、Yの二つの自由度を持ち、床反力の出力に合わせて2つのモータを動かす。被験者実験の結果を基に、5つの候補となる支持軌道を作成し、立ち座り実験を行って最も適切と考えられる軌道を決定し、適切と判断された直線軌道を持つ二次試作機を設計した。最終的に二次試作機のメカニズムを製作した。

研究成果の概要(英文)：This project was developed automatic control sit-to-stand support system using ground reaction force. Our device is controlled by information of the user grand reaction force (GRF). In this system, the user don't need to operate the switch or button and is given suitable and dynamic assist according to user lower limb power. First, we studied problems of our first prototype device and considered modifying support method to support at the hip. Next, experiment device for new version were developed to find suitable support trajectories of hip. This device has 2 degree freedom of X and Y, and actuated 2 motors according to GRF sensor output. We proposed 5 candidate trajectories based on subject experiment, and decided best trajectory by sit-to-stand experiment. Best trajectory was straight line, and we designed second prototype. Finally, we developed second prototype mechanism.

研究分野：福祉工学

キーワード：床反力 立ち座り補助 福祉機器

1. 研究開始当初の背景

(1) 昨今は洋式の便座が普及し、座位での排泄が一般的となったが、膝や腰などの下肢に疾患や異常がある人にとって、立ち座り動作は困難を伴う動作で、かつ生活に必要な不可欠な日常動作である。また、排泄はプライベートな時空間であり、非介助者にとっても介助者にとっても、人的介助は精神的、肉体的に負担の大きなものとなるため、人的介助以外の支援機器の導入が望ましいと言える。

(2) 立ち座り時の補助を行う機器としては、バネやガスシリンダを用いた座椅子<sup>①</sup>や電動による立ち上がり便座<sup>②</sup>などが市販されている。研究では立ち上がりの解析を行ったもの<sup>③</sup>は多数あり、機器開発の報告例<sup>④</sup>もあるが、多くはバネ等による一定力の補助や、スイッチ操作が必要である。

(3) 研究代表者は、現在までに図1および図2に示す試作機を開発し、上記の床反力による装置の制御について検討を行った。測定された床反力の変化に基づいて、エアシリンダにより使用者前方のバーを上下させることにより、ほぼ使用者の立ち座り動作に応じた補助力が発生できることを確認した。また、高価なフォースプレート代わりに、ゲーム機で利用されているバランスボードを利用して、同様の動作を行えることも確認した。立ち座り支援機器の設計にあたっては、介護現場等の意見も参考にして、使用者がバーを抱え込む形を採用したが、実際に実験を行ってみると、使用者によってバーにもたれかかる割合が違い、十分な補助感覚が得られない例もあった。

(4) 高齢や障害により立ち座りが困難になった人々に対して、本装置の機能は多くの可能

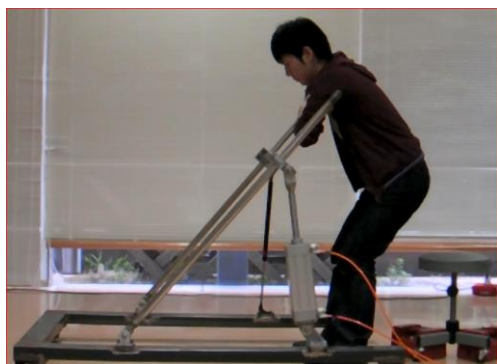


図1 立ち座り補助装置試作機

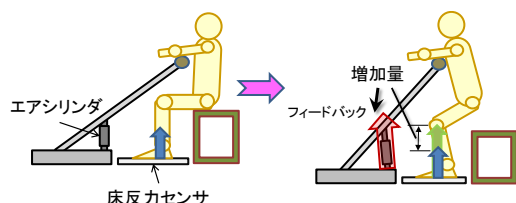


図2 立ち座り補助装置の動作

性を秘めていると考えられるが、これらの可能性を検証・発展させ、社会に還元するための実用化へ結びつけるには、構造の再検討と本装置のようなシステムを含めた人間-機械系の特性の解析が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、床反力(床から足への反力、床に加わる力と同義)を測定し、その特徴により利用者が立ち上がろうとしているのか、座ろうとしているのかを判断し、利用者が出力(能力)に応じた支援を行う。従って、立ち上がり時に、ただ装置に身を任せて立ち上がるということではなく、日常生活を利用した無理のないリハビリ訓練の一助となることも期待できる。利用場面(トイレでの立ち座り)に適応した仕様の機器を設計し、実用的な試験機を製作することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 健常者や高齢者の立ち上がり時のパターン等は、既に報告例があるが、本申請で提案するような補助装置を使った場合に最適な支持点の軌道は、人間と機械の相互作用が発生するため、通常の立ち上がりパターンのみを参考にすることは不十分であると考えられる。

(2) よって、図3に示すような、座面もしくは支持点の軌道を、矢状面内で自由に設定できる実験装置を作成し、本申請の提案システムに適した支持点の軌道を検討する。また、床反力の変化に基づいて、装置を制御するアルゴリズムの検証を行い、立ち上がりを効果的に補助できるかどうかを検討する。

(3) 検討する支持点の軌道は、健常被験者による立ち上がり実験で得られた腰位置の軌道を参考に5つの軌道について検討し、一対比較法を用いてスコアを計算する。このスコアの高い軌道が、本装置において最適な支持軌道であると結論づける。これらの検討結果を基に二次試作機の設計、製作を行い、立ち上がり補助装置の二次試作機を完成させる。

XおよびY軸の二自由度

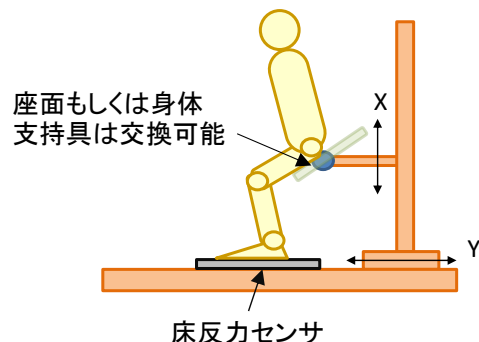


図3 支持軌道検討装置の概要

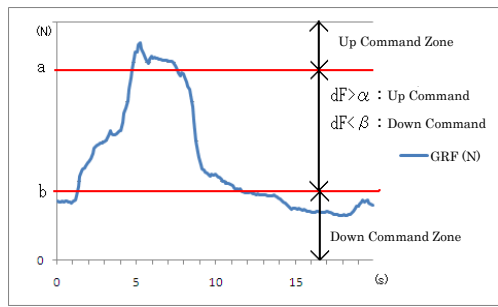


図4 制御手法の概要

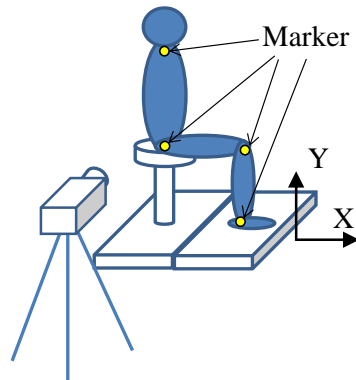


図5 立ち上がり計測実験

#### 4. 研究成果

(1) 立ち上がり支持点の動作制御は、一次試作機での手法を基本としてアルゴリズムを作成した。

(2) 図4に制御の概要を説明した図を示す。身体の支持点の制御には立ち上がり時の床反力の増減率に着目した。床反力データを移動平均し微小変動を取り除いたものに対し差分値  $dF$  を計算する。上昇指令の閾値  $\alpha$  および下降指令の閾値  $\beta$  をあらかじめ設定しておき、 $dF > \alpha$  のとき上昇指令、 $dF < \beta$  のとき下降指令をアクチュエータに送る。一方、床反力が大きいときや小さいとき、すなわち被験者が立位状態や着席状態に近い動作の両端では、床反力の大きな変化が起こらず、保持機構を動作させない方がよいと考えられる。それゆえ、被験者の体重の90%以上および30%以下の範囲にそれぞれ上昇指令領域および下降指令領域を設け、 $dF$  の値にかかわらず、上昇指令領域では上昇指令、下降指令領域では下降指令を送ることとした。

(3) 図5に、健常者の立ち上がり動作における腰部の矢状面内の軌跡を測定する実験のイラストを示す。被験者は22才から23才の健常成年男子5人で、肩、腰、膝、足首の位置にマーカを付け、ビデオカメラで側面から立ち上がり動作を撮影した。上肢は組んだ状態にし、両足をそろえた状態で立ち上がった。撮影されたデータはDKH社製FrameDIAS IIを用いて、デジタイズ処理し二次元座標に変換した。

(4) 得られた腰位置のXY平面軌跡から、着

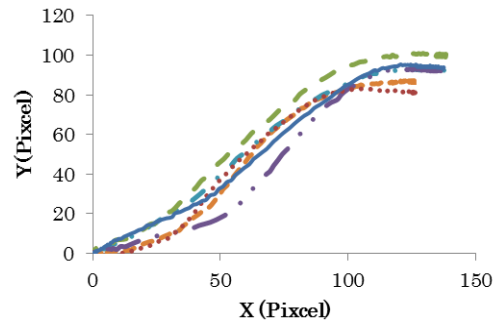


図6 腰位置の測定結果

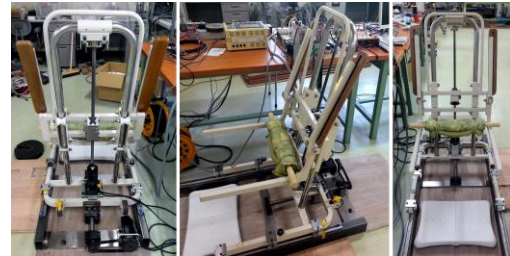


図7 検討用実験装置

座時の各自の腰位置を原点とした場合のグラフを図6に示す。被験者ごとに細かな軌跡は異なっているが、概ね前傾したS字カーブを描いているのがわかる。

(5) 図3で本システムにおける支持軌道を検討する実験装置の概略を説明する。一次試作機と同様に、床反力計を用いて使用者の足の床反力を測定し、そのデータを用いて支持点の上下を制御する。支持点の軌道を自由に設定できるように、動作機構は水平と上下の2自由度とし、支持点は腰部の一点とする。この装置で、座位から立位までの状態を支援し、立ち上がりを補助する。

(6) 図7に製作した実験装置の写真を示す。アクチュエータはACモータとし、駆動部分は、ボールねじ機構にて支持部の移動力を伝達する。垂直機構については、立ち上がり補助用「ハイローチェア」(江藤製作所製)の一部を利用した。ACモータは、上下モータに安川電機社製SGMJV-06A36C、水平モータに同社製SGMJV-02A3A6Cを使用した。フォースプレートは一次試作機と同様にバランスWiiボードとし、Bluetooth接続で、WiimoteLibライブラリを用いてマイクロソフト社製Visual Studio2012を用いてC#で制御プログラムを作成した。モータの制御にはインターフェース社製モーションコントローラPCI-7404Vを使用してドライバを駆動し、同社製ドライバソフトの直線補間機能を用いて、二軸モータの制御を行った。なお、図7に示すように、上下動作機構に関しては、経費を節約し市販の装置を改造したため、後方に傾斜しており、二軸は垂直関係にない。そのため、この傾斜を考慮して、モータのパルス指令値および速度指令値を幾何学的関係から実際の物理的座標に一致するように、変

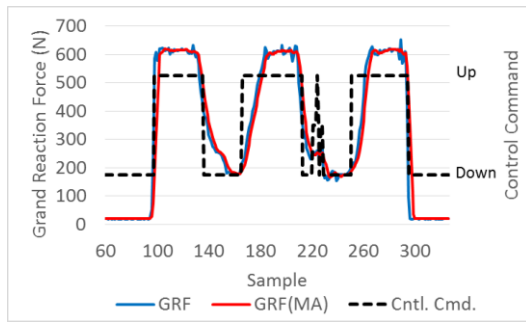


図 8 検討用実験装置の動作

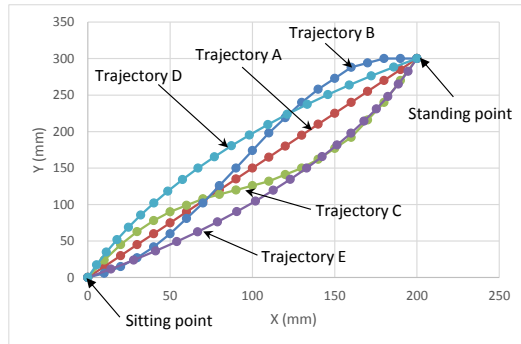


図 9 検討用支持軌道



図 10 高齢者疑似装具「うらしま太郎」

換式を算出しプログラムを作成している。

(7) 制御則は、前述の通り一次試作機と同様としているが、アクチュエータがモータに変更になったので、単純な ON/OFF 以外に、目標軌道に合わせて動作するように、パルス指令値を算出し設定するようにプログラムを変更した。支持軌道の設定以外は、支持点の上昇、下降のみであり、軌道に沿った支持点の速度は全区間において一定となるように設定している。なお、動作速度に関しては、実際に動作させ、立ち上がりや立ち座りに妥当と思われる速度にあらかじめ調整している。動作閾値  $\alpha$ 、 $\beta$  に関しては、試行錯誤的に調整している。

(8) 図 8 に製作した実験装置で立ち上がりを行ったときの床反力と制御コマンドの時間変化を示す。支持軌道は、座位時の腰位置から立位時の腰位置までの直線軌道である。これを見ると、一部動作が変動している部分もあるが、立ち座りに応じてシステムが比較的良好に作動していることがわかる。

表 1 立ち上がり評価実験の結果

Normal			Elder person simulated		
Trajectory	Score	Ranking	Trajectory	Score	Ranking
A	0.67	2	A	1.00	1
B	0.00	3	B	0.33	2
C	-1.33	5	C	-1.00	5
D	1.00	1	D	-0.67	4
E	-0.33	4	E	0.33	2

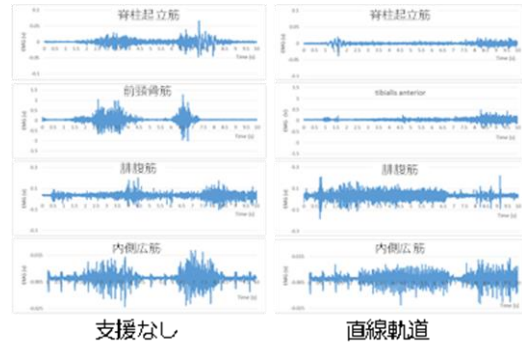


図 11 立ち上がり時の筋電の比較

(9) 候補となる支持軌道を図 9 に示す。軌道 A は、座位から立位までの直線軌道、軌道 B は図 6 で得られた結果を座位と立位の腰位置が一致するように正規化したデータを、3 次式で近似した軌跡であり、軌道 C は軌道 B を軌道 A に線対称に反転した軌道である。軌道 D は座位と立位の腰位置を通り上に凸の半径 600mm の円の一部、軌道 E は同じく下に凸の半径 600mm の円の一部である。

(10) 図 9 に示す軌道に従って、支持点を動作させ、被験者により実験を行い、立ち上がりやすい軌道を評価した。被験者は、22 歳の健常男子 6 名で、5 つの軌道からランダムに 2 つの軌道を選び出し、実験後、立ち上がりやすい軌道を答える試行を 1 セットとした。これを 10 セット実行し、すべての組み合わせに対する評価データを得、一対比較法によって各軌道のスコアを算出した。

(11) また、上記の実験は、通常の状態に加え、図 10 に示す高齢者疑似装具「うらしま太郎」を装着した状態でも行い、同様のデータ処理を行った。

(12) 表 1 に、結果を示す。通常の状態では、D (上円弧) が第一位であったが、高齢者疑似装具を装着した場合は、A (直線) が第一位となった。A (直線) は通常の状態でも第 2 位であり、機器の製作においても比較的簡単になることが予想されるので、直線軌道とするのが本装置の場合は妥当であると判断する。

(13) 図 11 に、装置を使用した時としていないときの下肢 EMG の計測結果例を示す。支援のないときに比べ、支援があるときの方が EMG の振幅が小さくなっており、装置が効果

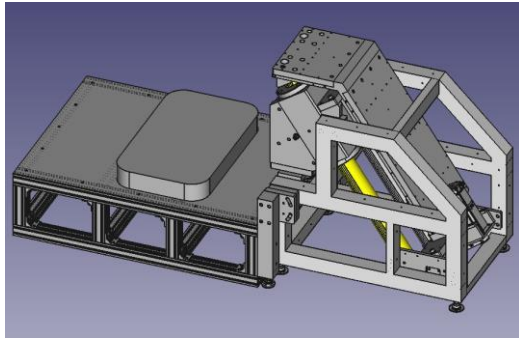


図 12 二次試作機立ち上がり機構

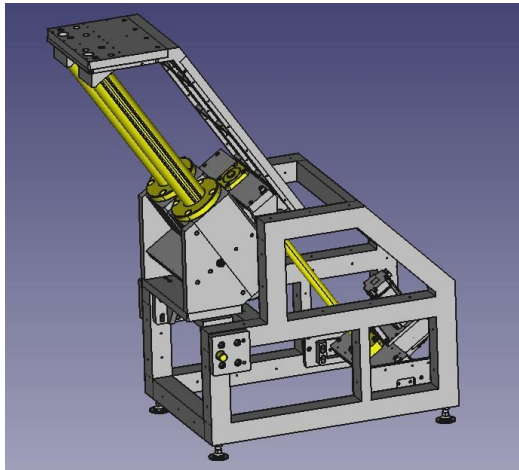


図 13 立ち上がり機構上昇時

的に働いていることが推測できる。

(14) 立ち上がり軌道評価実験の結果、直線の軌道が比較的立ち上がりやすいと評価された。他の軌道には、特筆すべき有用点はなく、直線機構の方が装置の構造が簡単で、設計製作上有利であるので、二次試作機では、直線軌道で下から持ち上げる形で設計することとした。

(15) モータに関しては、費用の関係から、検討用実験装置に使用している 600W のモータを流用することとした。利用者の平均体重を 700N と仮定し、安全率 1.5 で計算すると装置にかかる荷重は約 1050N となる。また、部品の重量を 500N とし、合計で 1550N の荷重がかかるとする。装置の駆動機構はボールネジとし、ボールねじのストロークは、検討用実験装置の時同様のストロークが出せるように 550mm、ピッチは 10mm とし、直径を 25mm に設定した。減速比を 2.4 とすると、持ち上げ速度は 200mm/s と計算された。この値は健常者の立ち上がり速度と比べると遅いが、検討用実験装置の経験上、大きな問題はないと考え、このモータを利用することとした。

(16) 立ち上がり時に十分なストロークを持ち、安全性、強度を考慮した結果、図 12、図 13 に示す立ち上がり機構を設計した。

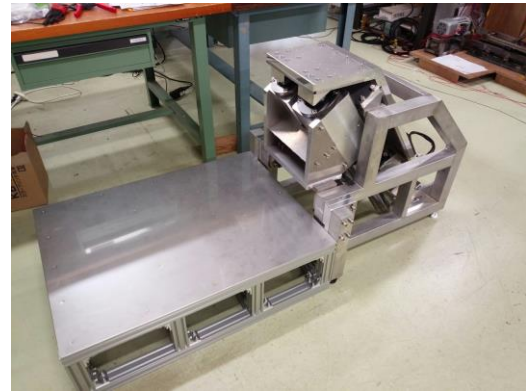


図 14 二次試作機立ち上がり機構（実機）

(17) 図 14 に作成された立ち上がり装置の外観を示す。いくつかの案を検討したが、強度と安全性を考慮すると、現状では図に示すような構造とせざるを得ず、立ち上がりストロークを確保するため、立ち上がり装置の足底面と床面に段差をもうけなければ、機構を設置することができなくなってしまった。また、大きさ重量ともかなり大きくなってしまい、実用的にはまだ改良を重ねなければならない。

(18) 今後は、この装置を用いて、健常者よりもより高齢者や下肢疾患者を被験者として、実験データを収集し、装置の制御や効果について検討を重ねるとともに、実用的な装置とするために、小型化、高性能化を検討する必要がある。

#### <引用文献>

- ① 立ち上がり補助いす (TS-101G/S), タカノ(株), <http://www.takano-hw.com/>
- ② トイレリフト (EWCS141J), TOTO(株), <http://www.toto.co.jp/>
- ③ 椅子からの立ち上がり動作の位相面解析, 新小田 幸一, 田中 光晴, 池内 秀隆, 加藤 了三, 山下 忠, 日本機械学会論文集 C編, 第 65 巻 第 634 号, pp. 2436-2437, 1999.
- ④ ガススプリングを用いた立ち座りサポートシステムの評価, 薬師亮祐, 平見鉄郎, 十河宏行, 片山周二, 福祉工学シンポジ

- ウム 2009 講演論文集, pp.16-19, 2009.
- ⑤ 床反力フィードバック型立ち上がり補助装置の開発, 藤田元気, 池内秀隆, 永利益嗣, 第 23 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, pp. 201-202, 2010.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① Hidetaka Ikeuchi, Masuji Nagatoshi and Atuyoshi Miura, Development of Sit-to-Stand Support System Using Ground Reaction Force, Computers Helping People with Special Needs, 査読有, Vol. 2, 2014, pp. 256-259.

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① 池内秀隆, 平川和広, 藤田元気, 永利益嗣, 床反力センシングを利用した立ち上がり補助装置に関する検討, 生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2012, 2012 年 11 月 2 日~4 日, 名古屋市, 名古屋大学
- ② 池内秀隆, 平川和広, 永利益嗣, 床反力センシングを利用した立ち上がり補助に関する検討, SICE 九州支部学術講演会, 2012 年 12 月 8 日~9 日, 熊本市, 熊本大学
- ③ 池内秀隆, 永利益嗣, 三浦篤義, 床反力を用いた立ち上がり補助装置の検討 - 実験装置の製作 -, SICE 九州支部学術講演会, 2013 年 11 月 30 日~12 月 1 日, 長崎市, 長崎大学
- ④ 池内秀隆, 永利益嗣, 三浦篤義, 床反力を用いた立ち上がり補助装置の開発, - 立ち上がり軌道検討用装置の製作と実機 -, ロボティクスメカトロニクス講演会 2014 in Toyama, 2014 年 5 月 25 日~29 日, 富山市, 富山国際会議場
- ⑤ Hidetaka Ikeuchi, Masuji Nagatoshi, Atuyoshi Miura, Development of Sit-to-Stand Support System Using Ground Reaction Force, 14<sup>th</sup> International Conference on Computer Helping People with Special Needs, 2014 年 7 月 8 日~11 日, フランス, パリ, 第 8 大会
- ⑥ 池内秀隆, 永利益嗣, 三浦篤義, 床反力を用いた立ち上がり補助装置の開発 - 支援軌道の検討 -, 日本機械学会 九州支部大分講演会, 2014 年 9 月 19 日~20 日, 大分市, ホルトホール大分
- ⑦ 池内秀隆, 永利益嗣, 三浦篤義, 床反力を用いた立ち上がり補助装置における補助軌道評価実験, 生活生命支援医療福祉

工学系連合大会 2014, 2014 年 9 月 24 日~26 日, 北海道留寿都村, ルスツリゾート

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池内 秀隆 (IKEUCHI, Hidetaka)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号: 50264130