

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

Discussion about Standup Assistive Device using Grand Refraction Force

○ 池内秀隆 (大分大学) 平川和広 (大分大学大学院) 藤田元気 ((株)日熱) 永利益嗣 (大分大学)

Hidetaka IKEUCHI, Oita University
 Kazuhiro HIRAKAWA, Oita University
 Genki FUJITA, Nichinetsu Co.,Ltd.
 Masuji NAGATOSHI, Oita University

Abstract: Our developing standup assistive device is controlled by information of the subject’s grand reaction force (GRF). The subject’s no need to operate the switch or button and is given suitable and dynamic assist according to his/her lower limb power. The force plate in this device measures GRF of subject’s contact feet at standing up. This device calculates “up” or “down” command by characteristics of GRF. When subject stand up contact feet’s GRF increase. “Up” command is sent to device actuator by measuring this increase signal. In this report, we describe about device control rule, experiment results and the found problems of control. Next, basic design of experiment device for new version to solve these problems is shown. It is proposed by analysis of normal subject standup.

Key Words: Standup assist, Grand reaction force, Analysis of human motion

1. はじめに

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、かつ生活に必要な日常動作である。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⁽¹⁾や電動による立ち上がり便座⁽²⁾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⁽³⁾は多数あり、機器開発の報告例⁽⁴⁾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。

日常生活の中でも、排泄動作に関しては、プライベートな時空間で、人的介助は、被介助者、介助者双方に、精神的、肉体的に負担の大きなものとなるため、支援機器の導入が比較的望まれる環境と考える。本研究では、主にトイレ環境での立ち座り動作を支援することを前提として、立ち座り動作補助機構についての検討を行う。本研究での開発機器では、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、利用者が出す力(能力)に応じた支援を行う。従って、スイッチ操作などが不必要となると共に、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。

本報告では、第一次試作機での実験を報告し、その結果に基づいた問題点等をまとめる。さらに、新たに計画している立ち上がり解析について述べ、そのための実験装置の設計・製作について述べる。

2. 第一次試作機による実験

2-1 試作機の概要

Fig1に装置の制御の概要を示す。Fig.1に示すように、足に加わる床反力は立ち上がり時に増加する。この増加分を床反力センサにて検出し、装置のアクチュエータにフィードバックする事で、立ち上がりを補助する支援力を発生する。一方、人が座ろうとするときは、これとは逆に床反力は減少するので、この減少量に応じてアクチュエータを動作すれば、適度な補助力が得られる。

床反力センサとしては、当初一般的なフォースプレートを利用していましたが、鉛直方向しか利用しないこと、安価で

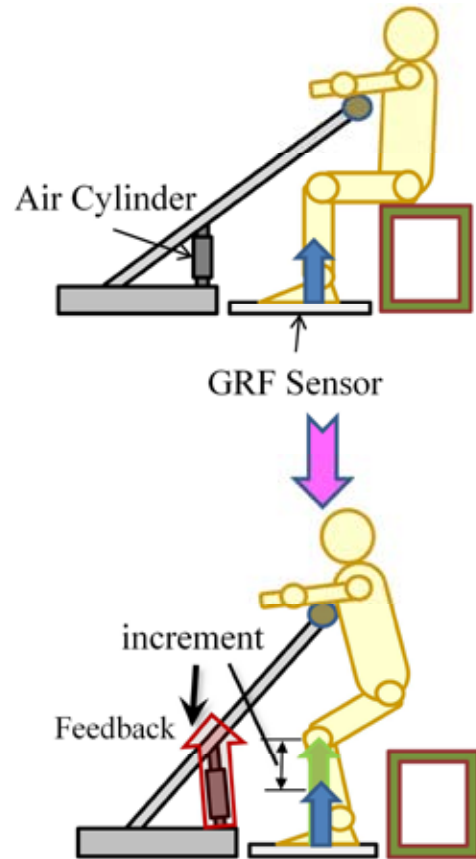


Fig. 1 Outline of Device Control

あることなどを考慮して、Wii バランスボードを利用する事とした。

アクチュエータには、水回りであるトイレでの使用を前提としていること、保持時および下降時の柔軟性を期待して、エアシリンダとした。アクチュエータの動作はON/OFFの単純なものとなるが、このような動作で立ち上がり支援機能として十分かどうかを検証することも考慮した。

身体保持については、事前に福祉施設等の従事者にアンケートを行い、その結果を考慮して検討した。立ち上がり

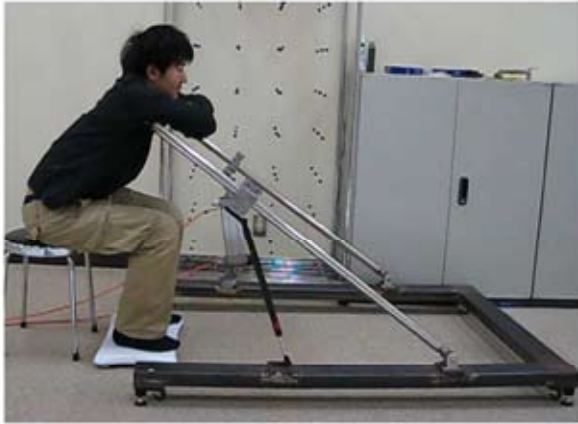


Fig.2 Prototype of Standup Assistive Device

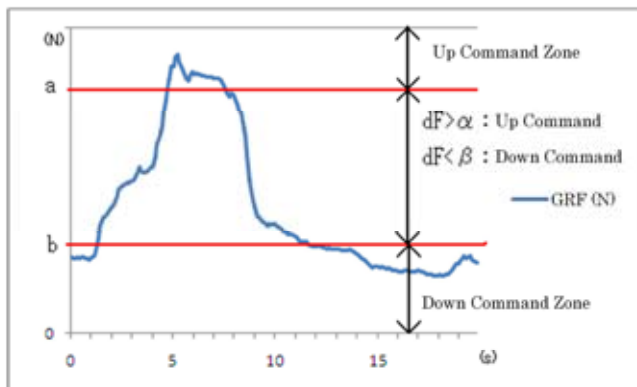


Fig.3 Pattern diagram of Device Control

補助においては、現場の従事者は安全性と使用者の安心感を重視していることから、体幹前方にバーを配置し、それを抱きかかえるような形に決定した。

Fig.2 に試作した装置の外観を示す。

2-2 制御

バーの制御には立ち上がり時の床反力の増減率に着目した。床反力の移動平均し微小変動を取り除いた値に対し差分値 dF を計算する。上昇閾値 α および下降閾値 β 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。その為、Fig.3 に示すように、被験者の体重の 90% および 30% の地点に動作閾値 a, b を設け、 a を超えた場合には dF の値にかかわらず上昇指令、 b を下回った場合には dF の値にかかわらず下降指令を送ることとした。

2-3 実験結果

体重 76kg の健常者を被験者として、検証実験を行った。被験者には、必要以上にバーに体重を預けないで立ち上がりを行った場合と、意識的にバーにもたれかかるように立ち上がる場合の二通りを指示した。

Fig.4 にバーにもたれかかる場合の実験時の床反力および制御入力データの一例を示す。この例では、立ち上がり補助が不安定になり、約 10 秒から 18 秒付近で装置の上昇・下降コマンドが頻繁に切り替わっていることがわかる。この区間では、被験者は立ち上がっているが、バーに加わる体重が大きいため、床反力の値が動作閾値 a を下回り、床

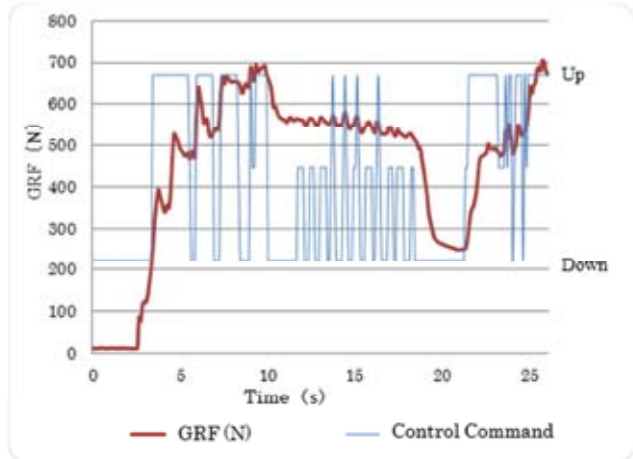


Fig.4 Experimental Result

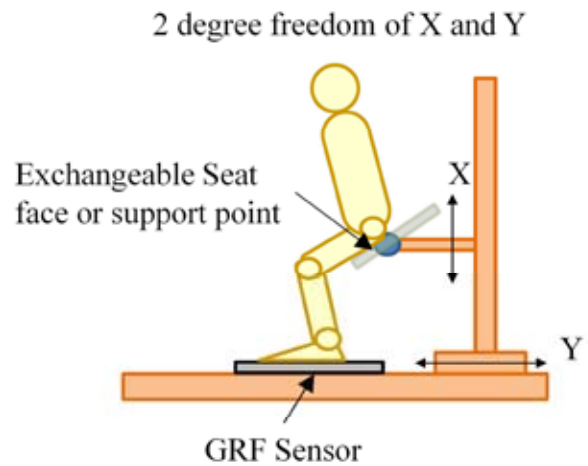


Fig. 5 Outline of experiment device for standup analysis

反力の微小な変動に装置が反応している。

2-4 考察

前述のように、被験者のバーへの依存度により、期待した立ち上がり効果が得られないことがわかった。一方、バーへ体重を預けないで立ち上がり動作をした場合は、適度に立ち上がりの負担を軽減でき、概ね想定内の動きが再現できた。また、アクチュエータの動作速度について、立ち上がり時の速度は十分で、エアシリンダーでも本装置においては問題ない動作を実現できたが、座るときには、バーの移動速度が遅く、動作に支障が出るがあった。

使用者の安心感を高めるために、体幹前方のバーを抱え込む形で制作したが、被験者が不安や補助力の不足を感じた場合に、バーに過剰に頼ってしまい、想定した床反力変化が得られない事態が起こった。本装置のような、フォードバック構造を取った場合、被験者の意識によって効果が著しく異なる結果が予想される。よって、このような影響が起こりにくい構造への変更が必要と考えられる。

アクチュエータの動作速度については、設計上は着座時においても十分な速度が発生できると見込んでいたが、コストの低減と安定性を見込んで、エアシリンダと反対側の部位にガススプリングを取り付けたが、これが着座時の抵抗となって、被験者の動作に追いつけないことがわかった。

以上の問題点を検討し、新たな試作機を設計するため、

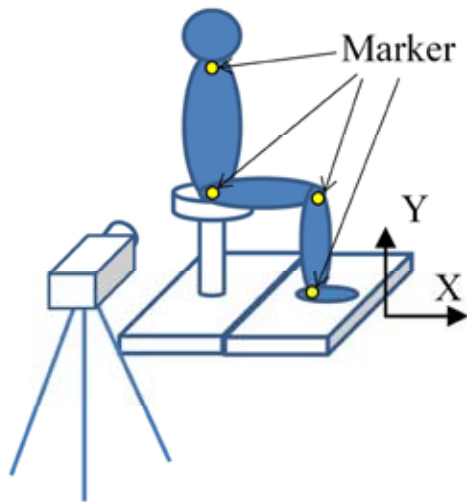


Fig. 6 Standup Analysis Experiment

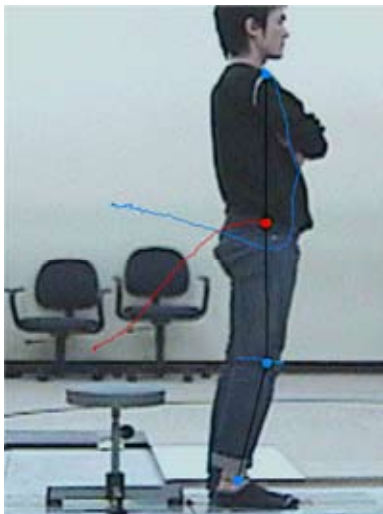


Fig. 7 Picture of Standup Analysis

立ち上がり補助動作の検討を行う。

3. 立ち上がり補助動作の検討

3-1 立ち上がり動作実験装置

一次試作機において、被験者の腕で支持点との接触力をコントロールできる点が問題であったと考え、支持点を別のポイントに変更することを検討する。

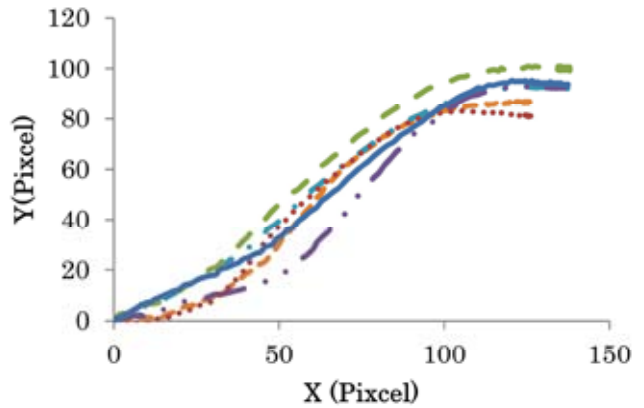


Fig. 8 XY trajectory of hip

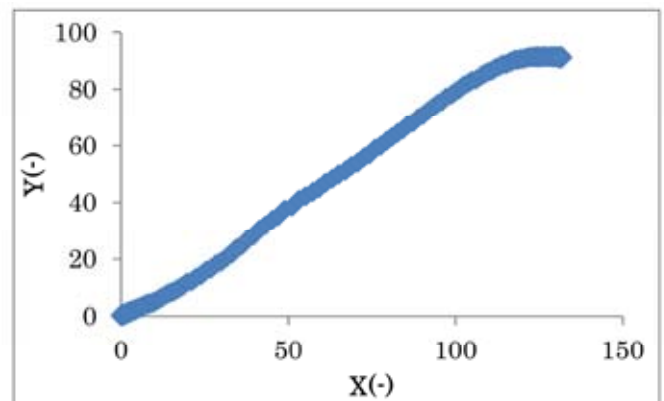


Fig. 9 XY trajectory of hip (average)

Fig. 5 に新たな試作機を製作するために必要なデータを得る目的で製作する実験装置の概要を示す。支持点は腰部付近とし、前後および上下の2自由度の移動が可能な実験装置を製作する。身体支持具は交換可能とし、支持点の軌道を、矢状面内で自由に設定できるようにすることで、本研究のコンセプトである床反力センシングによる立ち上がり支持を効果的に行える支持点、支持具および支持点の動作軌跡を検討する。立ち上がり補助時の最適な支持点の軌跡については、研究報告例⁽⁶⁾があるが、本研究では床反力をフィードバックする従来になかった方法をとっているため、新たに検証することとした。

3-2 支持点の軌跡の検討

装置の制作に先立って、健常者の立ち上がり動作における腰部の矢状面内での軌跡を測定し、その特徴を考察した。被験者は22才から23才の健常成年男子5人で、Fig.6に示すように、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、デジタル処理し二次元座標に変換した。撮影画像をFig.7に示す。

これらの実験結果をデジタル化し、腰位置のXY平面軌跡を求め、着座時の各自の腰位置を原点とした場合のグラフをFig.8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。

Fig.9にこれらの初期位置と最終位置が一致するようにそれぞれのデータを正規化し、平均値を取ったものを示す。個々のデータではS字カーブの特徴があったが、平均化すると、直線に近くなり、立ち上がりの最終局面で水平に近

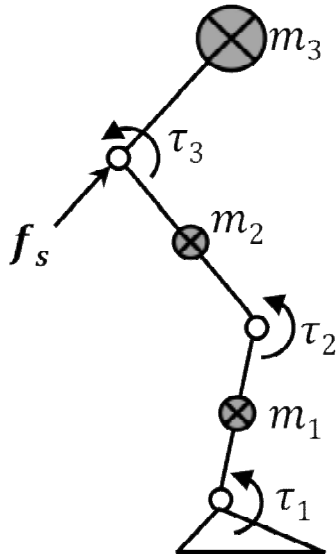


Fig. 10 Standup Model

くなるデータとなる。

支持点の軌跡を考える際、利用者にかかわらず唯一の起動を決定するとすれば、平均の軌道を参考にするのが妥当とも考えられるが、本解析の結果を見る限り、平均は個々の被験者の特徴が失われ、立ち上がり支援として好ましい軌跡と言えるのか疑問が残る。

本装置は、単に立ち座り時の負担を軽減するだけでなく、利用者の能力を最大限発揮し、無理のない範囲で正常な立ち座り能力の改善に寄与することを狙っている。したがって、支持点の軌跡や支持力を検討する場合は、利用者が単に楽になる、使いやすいという観点のみならず、どのようなサポートをすれば、健常者に近い立ち座り動作が行えるかという観点で検討する必要があると考える。

3-3 モデルによる解析

提案する実験装置により、さまざまな環境および評価条件で、最適な補助方法・制御方法を検討する必要があると考えるが、より効率的な検討を行うため、本装置の立ち上がりモデルを提案し、解析を行う。

Fig.10 に検討中のモデルを示す。関節変数ベクトルを q 、関節トルクベクトルを τ とすると、運動方程式は下記のように表される。

$$M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) + g(q) + R_s(q)f_s = \tau \quad (1)$$

$M(q)$: 慣性行列

$h(q, \dot{q})$: 遠心力・コリオリ力

$g(q)$: 重力項

f_s : サポート力ベクトル

$R_s(q)$: サポート力 f_s の座標変換行列

(1)式を使って、さまざまな条件でシミュレーションを行うことで、必要なサポート力 f_s を推定できると考えている。

4. まとめ

床反力をフィードバックし、立ち上がり補助を行う装置を試作し、補助機能の実験を行った。その結果、基本的な機能は確認できたが、利用者の使い方によっては、十分な効果が得られないことがわかった。それに対し、本研究のコンセプトを行かせる新たな試作機的设计に向けて、立ち上がり動作を検討できる実験装置を提案し、その設計・製

作を現在行っている。さらに、健常者の立ち上がり動作を計測し、支持点とする腰位置の軌跡を解析した。今後は、これらのデータも利用して、立ち上がり動作のモデルを構築し、さまざまな条件で装置の設計に行かせるデータを得ると共に、立ち上がり補助装置の開発を進める。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 基盤研究(C) 24500651 の助成を受けたものです。

参考文献

- (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/>, 他
- (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. 2436-243, 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) 上肢支援型起立動作補助装置の開発(第2報) 座面の移動軌道の関係, 坂東直行, 村田明宏, 山田宏尚, 森田啓之, 田中邦彦, 岐阜県生活技術研究報告 No. 10, 2007.
- (6) 床反力センシングによる立ち上がり補助装置の開発, 平川和広, 池内秀隆, 藤田元気, 永利益嗣, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 AMBL2011(CD-ROM), 01-4-2, 2011.
- (7) ロボット工学の基礎, 川崎晴久, 森北出版, 1991.