

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 18 日現在

機関番号：54101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750261

研究課題名(和文)片麻痺患者の患足運動機能回復のための起立訓練支援ロボットの開発

研究課題名(英文)Development of standing training support robot for improvement of motor function of paralyzed leg of hemiplegia

研究代表者

打田 正樹(Uchida, Masaki)

鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：80454437

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：研究目的は、脳卒中片麻痺患者の麻痺足を回復させる起立訓練支援ロボットの有効性の確認である。これ目的に対して、1.被験者への負担が少なく本質安全を実現する起立訓練支援ロボットを設計、製作することができた。2.ロボットを動作させるためのリニアモータを開発することができた。3.ロボットを使用した際の違和感を低減しながら起立動作のアシストが可能な制御系を実現することができた。4.被験者実験により、提案ロボットの主機能である、患足に対する負荷調整機能が実現できたことが確認できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the research is confirmation of effectiveness of the standing training support robot which improves the motor function of the paralyzed leg of the patients suffering hemiplegia from a stroke. For this purpose, 1. Standing training support robot which achieves essentially safe and less burden of subject is developed. 2. Linear motor to move the robot arms are developed. 3. Control system for the robot are developed the control system can assist the standing motion of subject while reducing uncomfartableness from robot using. 4. From subjective experiments, I confirmed that a main function of the robot operates correctly. The function is adjusting load of the ill foot. The function is important for rehabilitation of the ill foot of the patients suffering from hemiplegia.

研究分野：制御工学

キーワード：制御工学 ロボット 福祉ロボット リハビリテーション リニアモータ

### 1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会に突入し、体が不自由な高齢者や患者が増加している。中でも脳卒中片麻痺患者は約 140 万人以上と推定されており、それは増加傾向にある。それらの患者にとって、起立動作は最重要動作とされている。しかし、その獲得には、長時間のリハビリが必要であり、療法士への体力的負担が大きいことから、患者の自主訓練に任されている場合が多い。そのような訓練において患者は、健足に頼って起立してしまうため、患足に荷重(負荷)がかからず患足の訓練にならないことが多く健足への負担が増加し、歩行や日常生活に対して障害となることが指摘されている<引用文献 1>。これによって、患者のQOL(Quality Of Life)の低下、さらには歩行困難を原因とする寝たきり患者の増加、それらに伴う介護費の増加を招いている。

よって、療法士を支援し、患足の訓練が可能なロボットの導入が切望されている。

以上の背景から申請者は、患足の訓練が可能な起立訓練支援ロボットの実現を目的に研究を行っている。従来申請者は、療法士が徒手により患者の体幹左右位置を調整することで患足へ負荷を与え、回復を促していることをあきらかできた。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目的は、療法士の徒手治療と同様に患足への負荷を調整することで、患足の訓練が可能な起立訓練支援ロボットの実用化である。この目的のもと本申請では、起立訓練支援ロボット試作機を設計・製作し、その効果を検証することで、ロボット実用化に向けた知見を得ることを目的とする。具体的には以下を明らかにする。医学分野の専門家と協力し、ロボットの安全性と人体に及ぼす影響を明らかにする。この結果をもとに、患者を対象とした実験から、ロボットの効果を明らかにする。

### 3. 研究の方法

起立訓練支援ロボット試作機の設計、製作を行う。この際、医学分野の知見をもとにロボットの構造を決定する。また、強度解析ソフトウェアを用いることで適切な強度を実現しているか確認しながらロボットの設計を行う。さらに、医学分野の知見をもとにロボットを制御する制御アルゴリズム考案し、その設計及び実装を行う。

ロボットの製作が完了した後、療法士指導のもと健常者を対象とした前臨床を行い、ロボットが被験者に及ぼす影響を明らかにする。また、前臨床の結果からロボットの改良点を模索し、改良を行う。安全性と動作確認ができた後、患者を対象とした実験を行い、本申請のロボットで麻痺足への負荷を調整可能であることを確認し、その効果を定量的に検証する。

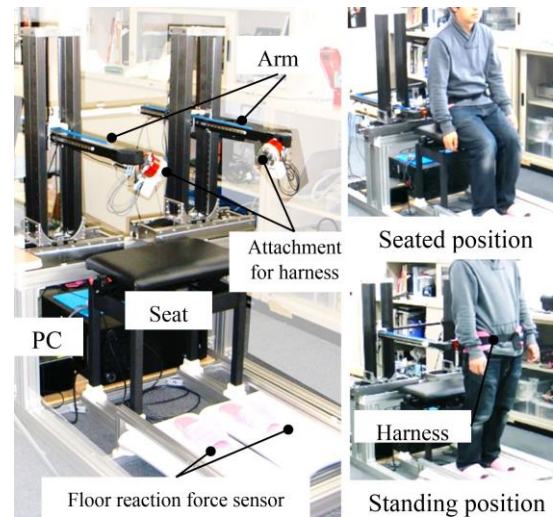


図1 試作起立訓練支援ロボットの外観

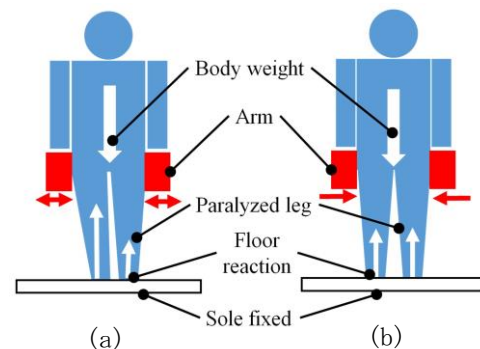


図2 ロボットによる患足負荷調整原理

### 4. 研究成果

#### (1) 起立訓練支援ロボットの設計と製作

ロボットを設計するに先立ち、患者の動作解析を行い患者の起立スピードの解析を行った。その知見をもとに、ロボットの構造、搭載するアクチュエータに必要な推力、その他の仕様等を決定した。その設計には、強度解析ソフトウェアを用い強度と軽さを両立する設計を行った。

ここで、この試作ロボットの外観を図1に示す。このロボットは直動3自由度を持つアーム二本とPC、センサ等によって構成される。このアーム先端を、装具を介して患者の腰部と固定し、ロボットから患者の腰部に力を加える。

このロボットによる患足への負荷の調整原理を図2に示す。この図はロボットを装着した患者を前方から見た模式図である。このロボットは左右のアームで患者の左右体幹位置を制御し、患足へかかる負荷を調整する。図2(b)のように患者の体幹左右位置が中心になるようにアーム左右位置を制御すると、両足にかかる荷重がほぼ同じになる。

また、患者の腰部に接続され患者と同じに可動するアーム部を低慣性化し、さらに、バックドライバビリティが低い構造としたため、アクチュエータによる摩擦補償、慣性補償等の必要がなくなり、アクチュエータに必

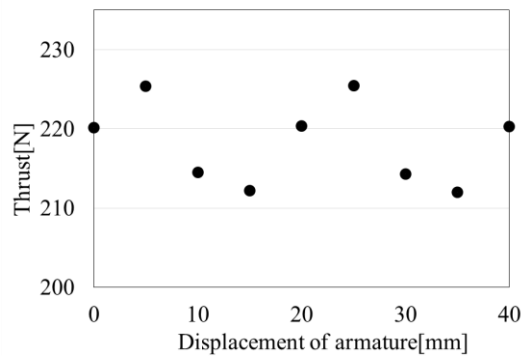


図3 リニアモータの推力特性

要な推力を小さくすることができた。

(2) 起立訓練支援ロボット用のデュアルハルバツハ型リニアモータの開発

研究を進める途中で、患者の腰部に力を加えるアクチュエータには、高いバックドライバビリティが必要であることがわかった。よって、アームを患者に対して左右方向に動作させるアクチュエータにはリニアモータ、上下、前後方向にどうさせるためにラックアンドピニオンと回転モータを用いることとした。

左右方向のリニアモータには、原理的にコギングが発生しないコアレスモータとし、推力を向上させるために永久磁石の配列をデュアルハルバツハ配列とした。そのリニアモータの設計に先立ち、引用文献2等から目標仕様を200N/30Aと決定し、磁場解析と強度解析を用いた設計より、目標仕様を満足するリニアモータを設計することができた。ここで、設計したリニアモータの可動子位置と推力解析値の関係を図3に示す。図3より、推力リップルがあるものの、すべての場所で目標推力を達成できていることがわかる。

(3) ロボット用コントローラの設計と製作

本申請のロボットは、左右のアームそれぞれ、患者に対して上下左右前後の3自由度の左右合わせて合計6自由度を持ち、それぞれの自由度がアクチュエータを持つ。本申請では、これらのアクチュエータを制御するため、専用のコントロールボードを設計、製作した。また、それと同時に起立動作をアシストする制御アルゴリズムを考案し、実装した。さらに、ロボットに関する知識がないものでもロボットを扱えるようにGUI画面をもつPCソフトウェアを制作し、各種パラメータの変更やロボットの操作が容易に行えるようにした。

(4) 被験者実験によるロボットの検証

健常者を対象とした被験者実験を行った。その結果、試作ロボットを用いることで起立動作をアシストできること、左右足への荷重バランスを調整可能であることがわかった。

また、試作ロボットにより患足にかかる荷重が療法士による徒手治療と同様に調整可

能かどうかを確認するために被験者実験を行った。ただし、安全性確保の点から、医療分野の専門家が演じる模擬患者に対して被験者実験を行った。擬患者とは、患者の身体的および心理的特徴を模擬するための専門知識を持ったものである(引用文献3)。この模擬患者は左麻痺とし、ロボットを装着したまま自由なタイミングで起立着座動作を行うように指示した。

一方、試作ロボットには様々な情報を計測するセンサが搭載されている。例えば左右アーム先端の移動量、アーム先端と被験者に取り付けられた装具との間に発生する力を検出するための力センサ等である。これらのセンサによって計測された被験者腰部の矢状面上の前後の位置、腰部の矢状面上の上下の位置、腰部の左右の位置、腰部にかかる力、腰部の屈曲・伸展、腰部の回旋、腰部の側屈、左右足にかかる荷重、両足にかかる荷重の合計を図5、6の(a)~(h)に示す。これらの値の原点はロボットによってあらかじめ設定された値であり、それぞれの向きは図7に示す。また、図5は試作ロボットで患足への荷重を制御しない場合、図6はロボットにより患足への荷重を増加させた場合を示し、各図の(a)~(h)の実線は模擬患者の右側の値を示しており、破線は左側の値を示している。図5、6の(a)と(b)より起立と着座に約2.5秒かかっていることがわかる。また図5の(h)より、左麻痺であるため、健足である右足と比べ左足の荷重が小さくなっていることがわかる。一方図6の(h)では、患足である左足の荷重が図5の場合と比べ大きくなっていることがわかる。

ここで、起立動作時間内の患足と健足にかかる荷重量の平均を算出し患足荷重率を求める。患足荷重率は、全体重の中で患足にかかる荷重の割合を示したものであり、下式で定義するものとする。

$$\text{患足荷重率} = \frac{\text{患足荷重量}}{\text{患足荷重量} + \text{健足荷重量}} \quad (1)$$

式(1)より模擬患者の実験結果に対して患足荷重率を導出した結果を図9に示す。ロボットにより荷重を調整していない場合では、患足荷重率が5%~35%の間にあり、調整した場合では、20%~45%の間にある。これらの患足荷重率に対して、ウィルコクソンの有意差検定を行った結果、有意差な結果となることがわかった( $p < 0.05$ )。

以上のことから、試作起立訓練支援ロボットを用いることで、療法士の徒手治療と同様に患足への負荷を調整可能なることがわかった。よって、試作ロボットを用いることで患側の回復が期待できると考える。

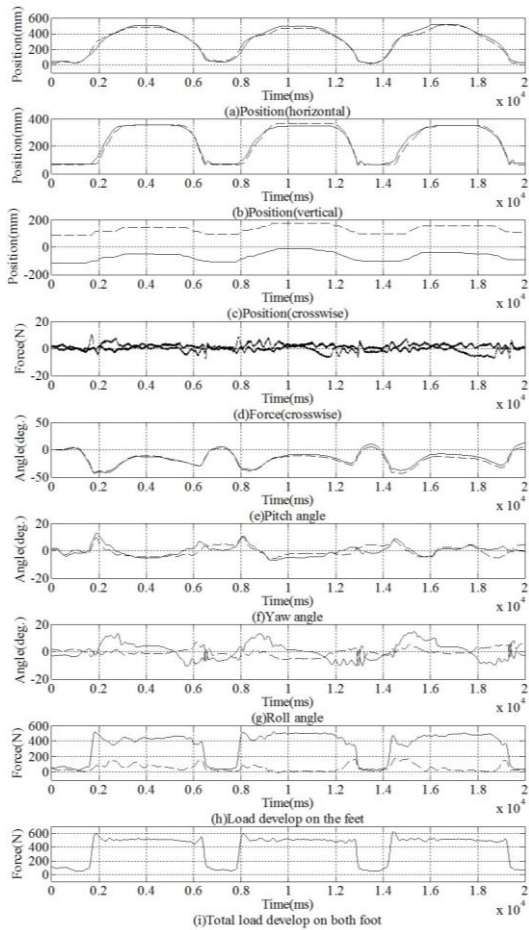


図5 ロボットを用いて患足への荷重を調整しない場合の実験結果

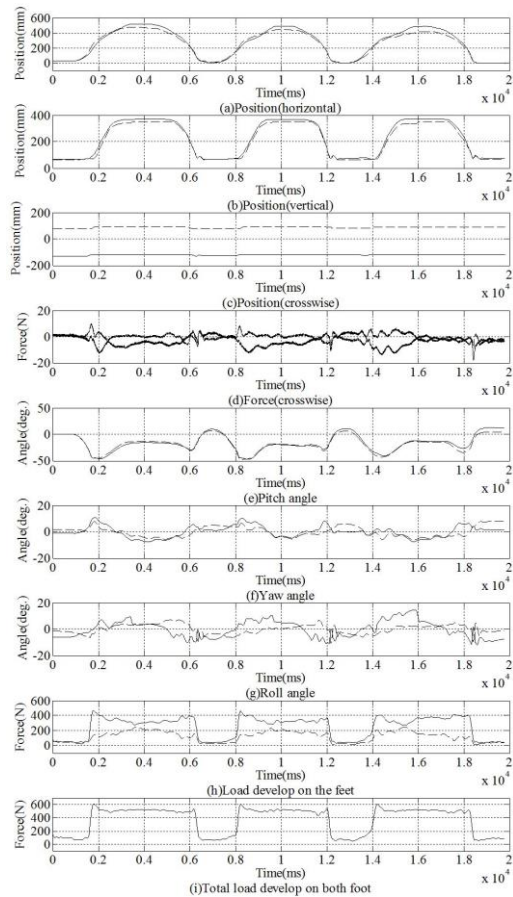


図6 ロボットを用いて患足への荷重を調整した場合の実験結果

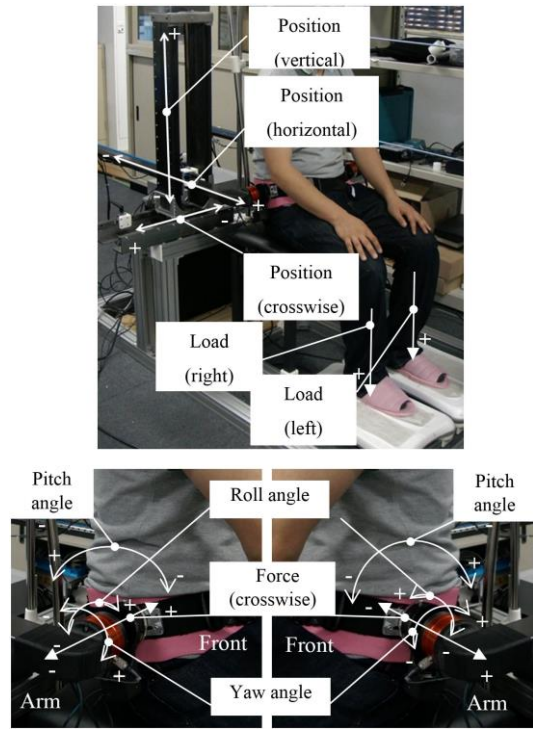


図7 計測データの座標系

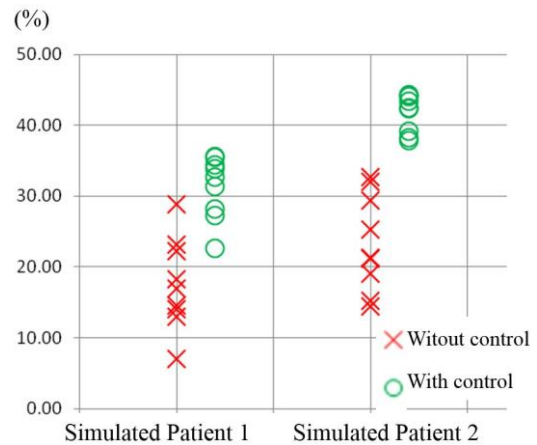


図8 患足荷重率の導出結果

<引用文献>

- 井上 勲, 「運動機能回復を目的とした脳卒中リハビリテーションの脳科学を根拠とする理論とその実際」, 相澤病院医学雑誌 Vol.8, pp.1-11, 2010年
- 韓琳, 他, 「脳卒中片麻痺患者の起立トレーニングにおける療法士の誘導動作の解析」, ロボディクス・メカトロニクス講演会 2014, 3P2-G04
- 千葉京子, 栗原洋介, 河原加代子, 網本和, 「在宅で簡易に計測できる動作評価システムの検討-座位から立ち上がり動作-」, 日本保健科学学会誌, Vol.8, No.1, pp.15-21, 2005年

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)



〔学会発表〕（計7件）

- ① チンイーケー、伊藤哲也、山崎 拓、打田正樹、起立トレーニング支援ロボットによる荷重バランスの評価、リニアドライブ研究会、2016年1月
- ② チンイーケー、磯村英和、山崎 拓、打田正樹、森田良文、リハビリトレーニング支援システム用起立動作計測システムの開発、2015 高速信号処理応用技術学会研究会、2015年8月
- ③ 伊藤哲也、打田正樹、起立トレーニング支援ロボットのためのデュアルハルバツハ型リニアモータの設計、リニアドライブ研究会、2015年6月
- ④ 山崎 拓、チンイーケー、磯村英和、打田正樹、森田良文、脳卒中片麻痺患者のための起立トレーニング支援ロボットの開発、2015年5月
- ⑤ チンイーケー、磯村英和、打田正樹、山崎 拓、森田良文、起立トレーニング支援ロボットの開発、2015年5月
- ⑥ 山崎 拓、打田正樹、森田良文、脳卒中片麻痺患者のための起立トレーニング支援ロボットの設計、平成26年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会、2014年9月
- ⑦ 打田正樹、etc.、Study On Rehabilitation Training Support System、International Conference of Global Network for Innovative Technology、2013年12月、招待講演

〔その他〕

ホームページ等

体幹バランス改善支援ロボット(リハビリテーション支援ロボット)

<http://www.suzuka-ct.ac.jp/mech/uchida/research.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

打田 正樹 (UCHIDA, Masaki)

鈴鹿工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：80454437