

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730163

研究課題名(和文)片麻痺患者の協調運動機能の回復と獲得を支援する装着型ロボットの開発

研究課題名(英文)Wearable robots assisting to acquire the coordinated motions of stroke patients

研究代表者

尾形 邦裕 (OGATA, Kunihiro)

埼玉大学・理工学研究科・非常勤研究員

研究者番号：40641436

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：脳の障害によって身体に麻痺を持つ場合、リハビリテーションによる運動機能獲得が重要となる。そこで、これをロボット工学の技術によって支援することを自指す。本研究では装着型のロボットを開発し、運動誘導に関する基礎的な検討を行い、上肢の運動誘導が可能であることを確かめた。下肢及び全身では赤外線を利用したカメラを用いることで足裏にかかる反力を推定し、可視化する技術を開発し、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：When the patients have paralysis because of cerebral stroke or brain infarct, the acquiring motion functions by the rehabilitation is important. Then, the purpose of this study is to assist the rehabilitation using robotics technologies. In this study, wearable robot was developed to consider inducting motions, and the effectiveness of the inducting motions of upper limb was confirmed. The rehabilitation assisting system that calculates and visualizes the floor reaction forces of each foot using color-depth sensor, the effectiveness of the system was confirmed.

研究分野：ロボット工学

キーワード：スキル獲得支援 リハビリテーション支援 装着型デバイス 可視化技術

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省による平成 22 年度国民生活基礎調査報告書によると、介護が必要になった原因の 1 位は脳血管疾患（脳卒中）(21.5%) であり、要介護度 5 の要介護認定者の 30.8% は高齢脳卒中が原因であることが分かっている。脳卒中患者は後遺症を残すことが多く、片麻痺などの運動機能障害、言語障害や視覚障害などの高次脳機能障害などが挙げられる。運動機能障害を放置することで高齢者が寝たきりとなり、介護の負担が増大し、在宅介護者の Quality of Life(QOL) の低下が指摘されている。

そのため、医師やセラピストによる適切なリハビリテーションが重要となる。リハビリテーションによって高齢者の運動機能が回復することで、要介護者の自立性が高まり、介護者の負担が軽減され、在宅介護における日常生活改善が期待できる。脳の高位中枢が損傷して麻痺となる場合、筋力の量的に低下した機能の再現化だけではなく、運動の質的徴候の抑制を同時に進め、個体全体として協調された機能を漸増的に促すことが基本である。そのため、麻痺の段階によっては特定関節部位のリハビリテーションだけでは十分な効果を与えることはできない。複数の関節の協調運動の再建を実現する機器が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では片麻痺患者の運動リハビリテーションにおいて、各患者に適応した複雑な協調動作を教示可能な装着型のロボットシステムの開発とその運動支援アルゴリズムの確立を目指す。特に、使用者の随意運動の回復を促すために、パワーアシストよりも運動誘導の実現を目指す。

ここで、運動提示方法として大きく 2 つの方法が考えられる。1 つは力覚を提示する方法、もう 1 つは視覚によって提示する方法である。本研究では、それぞれの方法について基礎的な検討を行った。

3. 研究の方法

2 種類の運動誘導手法について説明をする。1 つ目は力覚による提示、2 つ目は視覚による提示である。

(1) 力覚提示

装着型ロボットによる力覚提示

訓練者が随意に運動を回復させるために、セラピストは訓練者が任意の運動が可能になるように誘導を行う。この誘導は力任せに訓練者の身体を動かすのではなく、弱い力で指示を与えるものである。これをロボットに

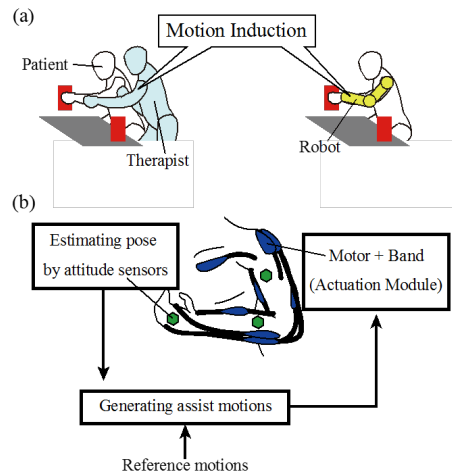


図 1 研究の概要

において再現することを目指す。図 1 にこの概要を示す。

従来までのリハビリテーションロボットはヒンジジョイントによって構成されているが、人の身体はロボットのような単純なヒンジ構造ではない。人の身体は多数の筋肉で構成された筋骨格系である。本研究では、人の筋骨格系を模擬し、力覚提示が可能な方法としてワイヤー駆動を採用する。

健駆動モデルによる力覚提示

任意の姿勢を目標として、装着者に運動を提示するアルゴリズムについて説明する。本節では特に上肢に着目する。

運動を誘導する際に、手先の位置や姿勢だけではなく、上腕の姿勢なども重要である場合がある。そこで、手先の位置と姿勢、肘の位置や姿勢を目標として力覚提示のコマンドを決定する。それぞれの目標値と実際の手先や肘の位置と姿勢の誤差を用いるが、訓練動作や訓練者の様態に合わせる必要がある。そこで、目標値と実際の値の誤差に重みをかけることで、力覚提示のコマンドが調整できるようにする。

上記の方法によって、目標値と実際の値の誤差を得ると、逆運動学計算によって各関節角度を得る。この関節角度と筋張力ヤコビアン[1]から各ワイヤーへの入力を決める。

上肢力覚提示ロボットの開発

力覚提示を可能にする装着型ロボットを開発した。本ロボットはワイヤー（紐）の張力によって力覚提示を行う。このワイヤーに張力を与えるアクチュエータモジュール（図 2）と装着者の姿勢を推定するセンサモジュール（図 3）によって構成されている。

(a) Actuator Module (3D CAD) (b) Developed Actuator Module

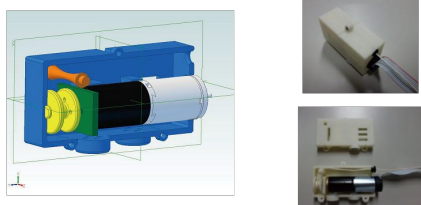


図2 アクチュエータモジュール

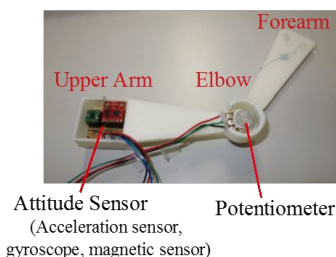


図3 センサモジュール

図2より各モーターモジュールにはDCモーターが内蔵されており、ワイヤーを巻き取ることで力覚提示を行う。また、図3よりセンサモジュールは腕に取り付け、姿勢センサによって上腕の姿勢を推定し、ポテンショメータによって肘の角度を算出し、腕全体の姿勢を推定する。姿勢センサには加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサが取り付けられており、これらのセンサ値に基づき上腕のオイラー角を推定する[2]。

下肢力覚提示ロボットの開発

片麻痺者は健足側の足裏に荷重が集中しやすいという問題がある。そこで左右の荷重バランスを均一にするように運動を誘導する装着型ロボットを開発した。アクチュエータモジュールは上肢力覚提示ロボットと同じものを使用し、ワイヤーの取り付け方を変えた。左右の荷重バランスを調整するために、下肢力覚提示ロボットでは圧力センサを用いた。実装したロボットの全体構成を図4に示す。

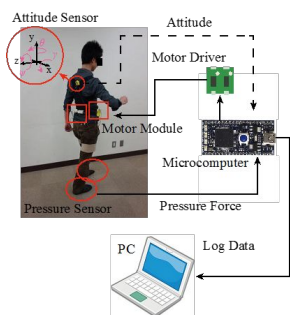


図4 下肢力覚提示ロボットの構成

下肢力覚提示ロボットは左右の足裏に取り付けた圧力センサの値を互いに比較し、左

右差があると判断した場合、対応するモーターモジュールによって力覚提示を行う。但し、歩行動作などでは左右の荷重が時々刻々と変化する。そこで、荷重の積算値を計算し、これを比較することで、左右の荷重量の差を評価する。また、体幹部の姿勢の変化を評価するために、姿勢センサを体幹部に取り付けてある。

(2) 視覚提示

後述の4.3節で述べているように、下肢の運動誘導において提案する力覚提示方法では運動が誘導されない被験者が見られた。そこで、視覚的に提示する方法を提案した。

ここでは、訓練者の身体情報を色距離画像センサ(KINECT[3])によって取得する。取得された身体情報は身体各部の関節の位置であり、この情報と文献値をもとに全身の重心の位置を算出する。この重心の位置から重心加速度を算出し、足裏に働く力の代表点(ZMP[4])を算出する。このZMPと足部の位置から足裏に働く荷重を推定する。

この各足裏の荷重値を視覚的に提示することで荷重値の偏りを改善し、歩行訓練支援に用いる。実装したシステムの構成を図5に示す。

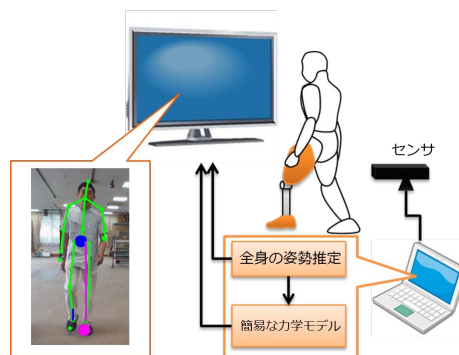


図5 視覚提示システムの構成

図5に示すように、各足裏の荷重量は色付きのバーで表され、バーが高い方では荷重量が大きいことを意味している。これが左右均等にするように訓練では指示を行う。

また、反力以外に目標姿勢を提示することも可能である。ここでは訓練者の運動機能に合わせて調整することが可能で、個々人に合わせた訓練を実現している。

機器を装着する必要がないため、簡易的に訓練を行うことが可能となる。また、片麻痺者以外の疾患の訓練(片側下肢切断者など)にも応用が可能な技術である。

4. 研究成果

(1) 力覚提示

シミュレーション実験
提案手法によって誘導が可能かどうかを

検証するためにシミュレーション実験を行った。目標動作として、肘を屈曲する動作、手を前に伸ばす(リーチング)動作を扱った。肘の屈曲動作では目標角度を 30 度、60 度、90 度の 3 種類とした。実験結果を図 6 から図 9 に示す。

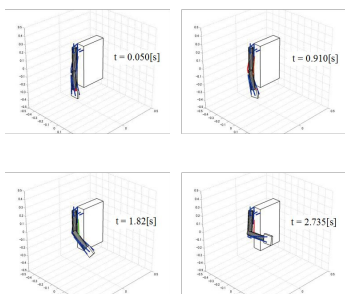


図 6 肘の屈曲動作

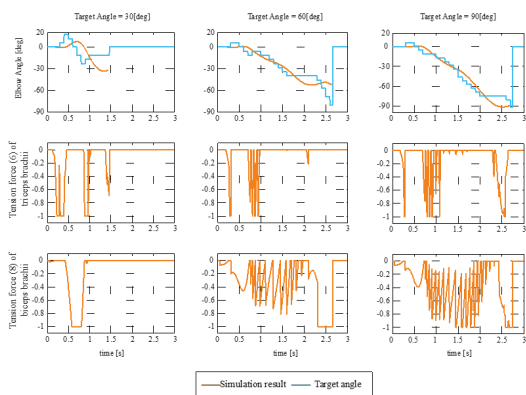


図 7 屈曲動作の関節角度とワイヤーへの入力

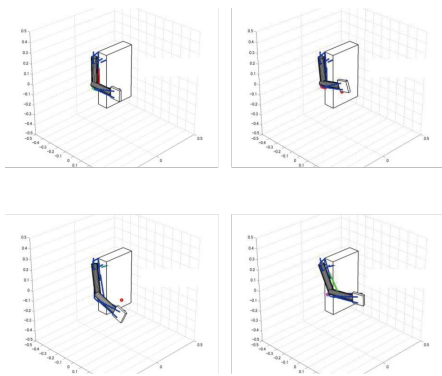


図 8 リーチング動作

図 7 から過渡応答は見られるもののいずれの目標角度に対して収束していることが分かる。計算結果から、はじめに人の屈筋(上腕二頭筋)にあたるワイヤーが強く働き、終端では人の伸筋(上腕三頭筋)にあたるワイヤーがブレーキングとして働くことが分かる。図 8 と 9 から、リーチング動作において複数の関節が同時に動く場合において適切

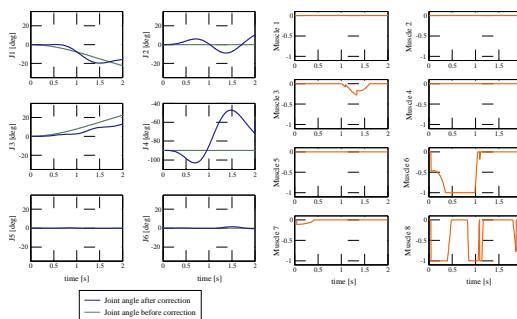


図 9 リーチング動作の関節角度とワイヤーへの入力

な修正がなされていることが分かる。また、動作生成に寄与しない手首は変化がなく、適切な関節に対してのみ運動誘導がなされていることが分かる。

実機による力覚提示実験

実機による実験では、簡易的に目標角度から離れている場合に、任意のモーターモジュールが働くようにした。この実験では、肘の屈曲動作(目標角度 45 度、90 度)、肩の外旋動作(目標角度 90 度)、リーチング動作を扱った。被験者は健康な成人男性 5 名を対象とした。実験結果を図 10 に示す。

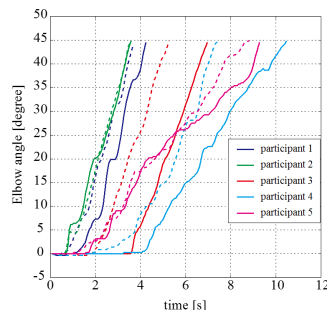


図 10 肘の屈曲動作の実験結果

肘の屈曲動作では全ての被験者において運動誘導が実現できた。一方で、肩の外旋動作やリーチング動作では十分に誘導できない被験者も見られ、被験者間での差が見られた。

下肢力覚提示実験

上肢と同様、下肢においても運動誘導が可能かどうかの検証実験を行った。健康成人男性 4 名を被験者として実験を行った。本稿ではそのうちの 1 名の実験データを記載した。

実験において、力覚提示する身体部位について 2 種類試した。1 つは大腿への提示、もう 1 つは腰部への提示である。また、荷重の偏りを再現するために、2 種類の姿勢(体幹屈曲、腰位置移動)を被験者に伝え、それを行ってもらった。その 2 種類の姿勢の状態でもその場足踏みを行ってもらった。実験条件を表 1 に、実験結果を図 11 に示す。

表 1 下肢力覚提示実験の条件

No	姿勢	力覚提示する身体部位
7	体幹屈曲	大腿への提示
8	腰位置移動	大腿への提示
9	体幹屈曲	腰部への提示
10	腰位置移動	腰部への提示

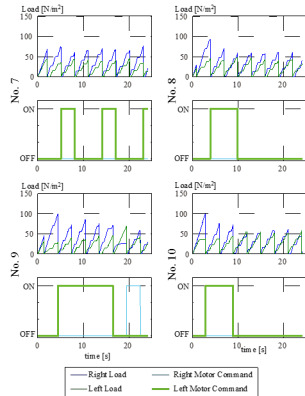


図 11 床反力とモーターへのコマンド

腰位置移動によって荷重の偏りを再現した場合では、いずれの力覚提示する身体部位においても適切な運動誘導ができたことが分かる。一方で、体幹を屈曲させた姿勢においては過渡的な応答が見られた。このことから、体幹を屈曲させた場合においては力覚を感じにくいと考えられる。

また、本実験では被験者間でのバラつきが見られ、運動が誘導されない結果も見られた。このことから、力覚だけで全身の運動を誘導することが困難であると考えられる。

(2) 視覚提示

提案したアルゴリズムによって足裏の荷重量が推定可能かどうかの検証実験を行った。被験者は成人健常者6名を対象に行った。動作は静止立位、その場足踏み、歩行の3種類を行った。ここでは、1名の被験者の足踏み動作の結果を図12に示す。本実験では推定結果を評価するために、光学式モーションキャプチャシステム及びフォースプレートを使用した。

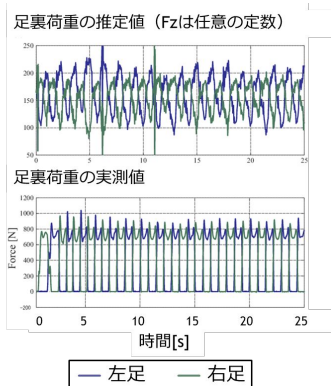


図 12 足裏荷重量の計算結果

図12より、実測値(フォースプレート)と推定値(提案手法)の各足裏の反力の軌道に違いは見られるものの、各足裏の荷重が増減するタイミングは一致していることが分かる。このような軌道の差異を人が短い時間で知覚できるとは考えづらく、タイミングが一致していれば十分といえる。このことから、視覚提示に用いる範囲においては、本提案手法による足裏の荷重量の推定は十分になされたと言える。

これまでの研究成果から、力覚提示での運動誘導について検証を行った。しかし、実験結果から力覚提示だけでは困難である場合が見られ、視覚提示による運動誘導についても検討を行った。視覚提示による運動誘導では片側下肢切断者において訓練効果の有効性が示された。

<引用文献>

- [1] Y. Nakamura, K. Yamane, Y. Fujita and I. Suzuki, "Somatosensory Computation for Man-Machine Interface from Motion Capture Data and Musculoskeletal Human Model," IEEE Transactions on Robotics, 2004.
- [2] R. Zhu, D. Sun, Z. Zhou and D. Wang: "A linear fusion algorithm for attitude determination using low cost MEMS-based sensors," Measurement, Vol.40, pp.322-328, 2007.
- [3] J. Shotton, et al, Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images, CVPR '11, pp. 1297-1304, 2011.
- [4] M. Vukobratovic, et al, On the stability of anthropomorphic systems, Mathematical Biosciences, Mathematical Biosciences, vol. 15, pp. 1-37, 1972.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

尾形邦裕, 國吉康夫: 押し動作における自他身体誘導スキルの計測と解析, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.4, pp72-82, 2013 (査読あり)。

〔学会発表〕(計 6件)

Kunihiro Ogata and

Tomoyuki Yamamoto:

A Fundamental Study of Light and Flexible Wearable Robot Assisting to Recover Movement Functions, The 23rd IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.90-95, August, 25-29th, Edinburgh (Scotland), 2014 (査読あり)。

尾形邦裕, 三田友記, 清水健, 山崎伸也: 色距離画像センサを用いた床反力可視化による義足荷重訓練支援システム, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2014, GS4-2, 9/24-26, ルスツリゾート(北海道, 虻田郡), 2014.

尾形邦裕, 山本知幸: 左右足裏の荷重バランスを補正する装着型ロボットの力覚提示に関する検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 in Toyama ,3P2-F04, 5/25-29, 富山市総合体育館 (富山県, 富山市), 2014.

尾形邦裕, 山本知幸: 運動の獲得を支援する装着型ロボットに関する基礎研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 , 1A1-C12, 5/22-25, つくば国際会議場(茨城県, つくば市), 2013.

Kunihiro Ogata and Tomoyuki Yamamoto : Light and Flexible Wearable Robots to Assist in the Recovery of Movement Functions , The 31st Annual Conference of the Robotics Society of Japan ,2S2-05, 9/4-6, 首都大学東京(東京都, 八王子市), 2013.

尾形邦裕, 山本知幸: 運動の獲得を支援する装着型ロボットにおける力覚提示方法の検討, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会 ,3F1-04, 9/4-6, 首都大学東京(東京都, 八王子市), 2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6 . 研究組織

研究代表者

尾形 邦裕 (OGATA, Kunihiro)

埼玉大学・大学院理工学研究科・非常勤研究員

研究者番号: 40641436