

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300206

研究課題名(和文) 運動機能再建のための統合化リハビリテーションシステム

研究課題名(英文) Integrated Rehabilitation System for Restoration of Motor Function

研究代表者

永井 清(Nagai, Kiyoshi)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40198289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、運動機能再建のための統合化リハビリテーションシステムの構築について取り組んできた。これまでに得られた主な研究成果は以下のとおりである。

1. 冗長駆動法に基づく上肢装着型リハビリロボットの開発：試作した1自由度リハビリロボットを健常者の上肢に装着して動作させる基礎的な実験により、運動機能回復訓練に有効な順応動作(コンプライアント動作)を生成し得ることが検証できた。

2. 脳波(EEG)を用いた運動意図の検出方法の確立：開発した代表周波数法に基づく運動意図検出アルゴリズムを健常者の脳波に適用する基礎的な実験により、運動意図を事前に検出し得ることが検証できた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to develop an efficient robotic system for stroke rehabilitation, in which a robotic arm moves the hemiplegic upper limb when the patient tries to move it. In order to achieve this goal we have considered a method to detect the motion intention of the patient using EEG (Electroencephalogram), and have designed a rehabilitation robot based on a Redundant Drive Method. In this report, an EEG driven rehabilitation robot system and its initial results evaluating the feasibility of the proposed system are explained.

研究分野：ロボット工学

キーワード：医用ロボット リハビリロボット 運動機能再建

## 1. 研究開始当初の背景

脳卒中リハビリテーションに関して研究代表者は、人に装着するリハビリロボットの要素技術として、ロボットに加わる力に応じた順応動作(コンプライアント動作)を生成する冗長駆動関節等を開発してきた。また、研究分担者は、本研究の開始までに、脳波(EEG)による運動意図抽出と機能的電気刺激(FES)を行う運動想起フィードバック訓練法を開発していた。

一方、運動機能再建の効果を向上させるためには、患者の運動意図の生成強化と運動意図に合わせた体性感覚の刺激印加が重要であると判明していた。

そこで本研究では、運動意図の生成に合わせて体性感覚を複合的に刺激する運動想起ロボットセラピー法、および、運動生成の補助と体性感覚の刺激を行う浮上型リハビリロボットを開発すること、さらに両者をもとに統合化リハビリテーションシステムを構築することに取り組むこととした。

## 2. 研究の目的

運動機能再建手法に関しては、脳波検出部とリハビリロボットを含むリハビリシステムを想定し、運動意図の生成に合わせて体性感覚を複合的に刺激する運動想起ロボットセラピー法を開発することを目的としていた。

一方、浮上型リハビリロボットと統合化リハビリテーションシステムに関しては、浮上機構に電磁石を導入して能動化し、患者の動作誘導と体性感覚の刺激印加を行うことのできる浮上型リハビリロボットを開発し、前述の運動想起ロボットセラピー法と融合させ、統合化リハビリテーションシステムを開発することとしていた。統合化と称する理由は、生体信号処理部では、脳波/事象関連脱同期(ERD)や筋電の検出や機能的電気刺激(FES)の印加を行い、運動と力を扱う浮上型リハビリロボットでは、人の手先動作と手先力の検出、

ロボット動作やタッピングによる触覚刺激や力覚刺激を行うことを想定しているためである。

## 3. 研究の方法

本研究では、統合型化リハビリテーションシステムの要素技術として、脳波(EEG)を用いた運動意図の検出、およびロボットの動作生成を行う運動想起ロボットセラピー法を開発することとした。

そして研究開始当初には、永久磁石と拘束機構で構成する受動的浮上機構に電磁石を導入した浮上機構を開発してそれをロボット関節と連携させることにより、微小力の検出や動作の誘導、手先コンプライアンスの広範囲な変化などの機能をもつ浮上型リハビリロボット(図 1)を開発することとしていた。

また、運動想起ロボットセラピー法と浮上型リハビリロボットをもとに統合化リハビリテーションシステム(図 2)を構築することとしていた。この際、運動機能再建の効果を向上させるためには、患者の運動意図の生成強化と運動意図に合わせた体性感覚の刺激印加が重要であると位置づけていた。

本研究の推進に伴い、研究当初において浮上型リハビリロボットと呼んでいた要素技術については、開発目的と基本概念を同一としたまま、その実現方法を見直し、次節に記すように、「冗長駆動法に基づく上肢装着型リハビリロボットの開発」として運動機能回復訓練支援用リハビリロボットの開発を推進してきた。

また、運動想起ロボットセラピー法については、その実現のために不可欠な要素技術である「脳波(EEG)を用いた運動意図の検出方法の確立」として BCI(Brain Computer Interface)技術の開発を推進してきた。

さらに、統合化リハビリテーションシステムの開発については、その実現のためのフィージビリティスタディとして、上記二つの要素技術の確立を行うことになった。

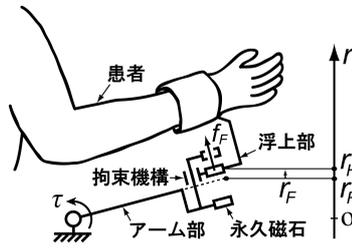


図1 浮上型リハビリロボットの概念図

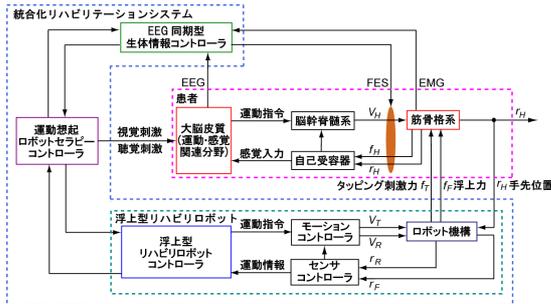


図2 統合化リハビリテーションシステム

#### 4. 研究成果

##### (1)冗長駆動法に基づく上肢装着型リハビリロボットの開発

ここでは、研究代表者らによる冗長駆動関節の研究成果をもとに、小型アームを先端に取り付けた冗長ロボットアームに対して、広い動作範囲と高い動作帯域のコンプライアント動作を生成させる冗長駆動法を開発してきた。ここでの技術課題は、小型アームの狭い動作範囲と元のアームの低い動作帯域が支障とならないような動作生成における連携を実現することであった。

冗長駆動法に基づく上肢装着型リハビリロボットとして、肘の曲げ動作を誘導する1自由度リハビリロボット(図3、図4)を試作した。また、そのリハビリロボットを健常者の上肢に装着して動作させる基礎的な実験により、運動機能回復訓練に有効な順応動作(コンプライアント動作)を生成し得ることが検証できた。この研究成果は、リハビリロボットの多自由度化のためのアクチュエータとリンク機構の検討を行うための十分な研究成果である。

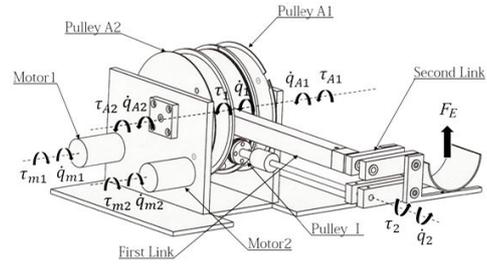


図3 試作したリハビリロボットの構造

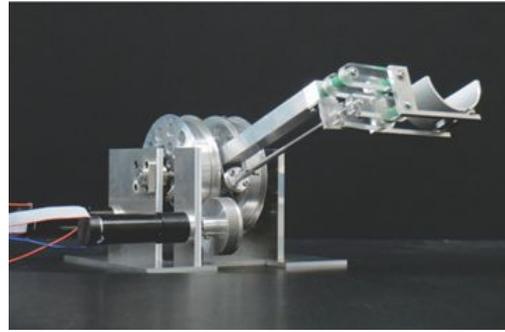


図4 試作したリハビリロボットの外観

##### (2)脳波(EEG)を用いた運動意図の検出方法の確立

ここでは、運動想起ロボットセラピー法と呼ぶ新たな運動機能再建手法構築のために、脳波(EEG)中の事象関連脱同期(ERD)を利用して運動意図を事前検出するための基本的な技術の確立を目指した。運動意図が事前検出できれば、リハビリテーション医などが効率的な運動機能回復訓練の際に指で行うタッピングを模擬したタッピング機構をリハビリロボットシステムに導入することが可能となるからである。

脳波(EEG)を用いた運動意図の検出方法として開発した代表周波数法に基づく運動意図検出アルゴリズムを健常者の脳波に適用する基礎的な実験により、運動意図を事前に検出し得ることが検証できた(図5)。この研究成果は、運動意図の事前検出のためのアルゴリズムの検討を行うための十分な研究成果である。

##### (3)統合化リハビリテーションシステムの構築

上記(1)と(2)は、本件で目的とした統合化

リハビリテーションシステム(図 2)の構築を行うための主要な二つの要素技術であり、リハビリロボットに関する国際会議(The 14th of the IEEE/RAS-EMBS Int'l Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR 2015)において、"Feasibility Study on EEG Driven Robotic System to Realize Efficient Stroke Rehabilitation" という題目の研究発表として採択され、報告した。

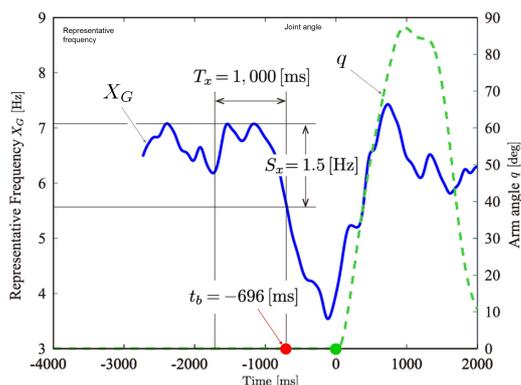


図 5 腕の動き(点線)と脳波から検出する運動意図情報(実線)の変化の実験例

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Y. Hayashi, K. Nagai, K. Ito, S.J. Nasuto, R.C.V. Loureiro, W.S. Harwin, "Analysis of EEG Signal to Detect Motor Command Generation towards Stroke Rehabilitation", *Biosystems & Biorobotics*, 査読有, Vol.1, pp.569-573, 2013, DOI: 10.1007/978-3-642-34546-3\_92

[学会発表](計 7 件)

K. Nagai, T. Goto, T. Shimizu, H. Dobashi, K. Ito, Y. Hayashi, R.C.V. Loureiro, S.J. Nasuto and W.S. Harwin, "Feasibility Study on EEG Driven Robotic System to Realize Efficient Stroke Rehabilitation", The 14th IEEE/RAS-EMBS Int'l Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR 2015), Aug. 14, 2015, Singapore

清水拓也, 永井清, 土橋宏規, "代表周波数法による運動意図の検出に関する検討", Proc. of the 2015 JSME Conf. on Robotics and Mechatronics, 1P2-L06, May 18, 2015, みやこメッセ(京都)

五藤孝彬, 永井清, 伊藤宏司, 土橋宏規,

コンプライアント動作生成のための冗長駆動マニピュレータの機構特性の解析, Proc. of the 2015 JSME Conf. on Robotics and Mechatronics, 1P2-L02, May 18, 2015, みやこメッセ(京都)

T. Goto, H. Dobashi and K. Nagai, "Consideration on Mechanical Properties of a Redundant Drive Manipulator for Reducing the Endpoint Inertia", Proc. of the 2014 IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, December 14, 2014, Chuo University, Tokyo, Japan

T. Shimizu, H. Dobashi, K. Ito and K. Nagai, "Consideration on a New BCI Method Using EEG to Detect Motion Intention", Proc. of the 2014 IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, December 14, 2014, Chuo University, Tokyo, Japan

土橋宏規, 永井清, "アクチュエータの性能限界を考慮したロボットのインピーダンス特性の解析", 第 14 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013), pp.2043-2048, 2013 年 12 月 20 日, 神戸国際会議場, 兵庫県

永井清, 林叔克, 伊藤宏司, Rui C.V. Loureiro, S.J. Nasuto, William S. Harwin, "脳波駆動ロボットシステムのための磁気浮上方式に基づく浮上機構の提案", 第 18 回 ロボティクスシンポジウム講演論文集, pp.126-133, 2013 年 3 月 14 日, 古窯, 山形県

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

永井 清 (NAGAI Kiyoshi)

立命館大学・理工学部ロボティクス学科・教授

研究者番号: 40198289

(2)研究分担者

伊藤 宏司 (ITO Koji)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 3023310

林 叔克 (HAYASHI Yoshikatsu)

立命館大学理工学部ロボティクス学科・助教

土橋 宏規 (DOBASHI Hiroki)

立命館大学理工学部ロボティクス学科・助教

研究者番号: 50634490