

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 1日現在

機関番号：33401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360117

研究課題名（和文） 関節の分離独立運動を促進し安全な抵抗誘導を実現する3次元上肢リハビリ支援システム

研究課題名（英文） A Study on 3-D upper-limbs rehabilitation systems which promote selective independent movement and realize safe resistive guidance

研究代表者

古荘 純次（FURUSHO JUNJI）

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：70107134

研究成果の概要（和文）：

多くの人々が、脳卒中により運動麻痺となる。例えば、日本では毎年25万人が脳卒中となり、その多くが運動麻痺となっている。研究代表者らは、本質的な安全性を有するブレーキのみを用いて上肢リハビリ支援システムを研究開発してきた。本研究では、さらに冗長個数のブレーキを導入することにより、関節の分離独立運動を促進し安全な抵抗誘導を実現する上肢リハビリ支援システムを開発した。さらに、機構の理論解析も行った。

研究成果の概要（英文）：

Many people have been paralyzed by cerebral vascular accident, also known as 'strokes.' For example, in Japan more than two hundred and fifty thousand people have strokes each year, and many of them are paralyzed. In this study, we developed rehabilitation systems for upper-limbs using only brakes. Redundant number of breaks is introduced for the purpose of promoting selective independent movement of upper-limbs and realizing safe resistive guidance. Moreover, we conducted the theoretical analysis of mechanism.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	11,200,000	3,360,000	14,560,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：リハビリテーション、メカトロニクス、バーチャルリアリティ、上肢リハビリシステム、力覚提示システム、脳卒中、ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者は国内約140万人と推定され、高齢化に伴い更なる増加が懸念される。患者の多くは上肢運動機能に障害を持つが、療法士の数も十分ではない。今後益々若年労働者が減少することを考えると、ロボティクス・メカトロニクス技術のリハビリへの導入が

強く望まれる。研究者代表らはこれまで肩肘を3次元に動かし訓練できるアクチュエータを用いた3次元上肢リハビリ訓練装置をNEDOプロジェクト「身体技能リハビリ支援システム」(1999年度～2003年度)において開発し、これまで難しいとされてきた慢性期の片麻痺患者の上肢機能回復に有効なことを臨床

評価で実証してきた。しかしこのシステムは複雑かつ高価でありリハビリ専門病院等を対象としている。

そこで研究代表者らは、ブレーキのみを用いた簡易な2次元の上肢リハビリ支援システムを開発してきた。しかし、これらの研究では自由度の数に等しい個数のブレーキを用いており、力覚提示およびリハビリに必要な抵抗誘導の性能において次に示すような問題がある。

ブレーキを用いたリハ装置においては、良質な力覚提示性能および抵抗誘導性能を得るためには、把持部の速度ベクトル $V$ の後方の両側に力覚が提示できることが望ましい。しかし、抵抗力が把持部速度ベクトル $V$ の後方片側だけに提示できるが、もう一方の側には抵抗力が提示できないことがある。

この問題点は、システムに冗長個数のブレーキを加えることで改善できることを、Davisらは報告している。Davisらは電磁ブレーキを用いてこのシステムを構成したため、良好な力覚提示性能が得られなかった。研究代表者らは冗長個数のER流体ブレーキを有する力覚提示システムを開発し、このシステムにおいて壁をなぞる等の感覚を表現した。

## 2. 研究の目的

### (1) 冗長個数のブレーキを用いたリハビリ支援システムの研究開発

アクチュエータを用いた大型で高価な装置とは異なった、ブレーキのような受動的な要素だけで優れた力覚を提示し、正しいリハビリ訓練が可能で安全な3次元のリハビリ装置に関する基礎的な研究開発を行う。本研究では冗長個数のブレーキを有する上肢リハビリ装置を下記のように構築する。

①冗長システムにおける力覚提示・抵抗誘導性能を評価する方法を複数提案し、2次元、3次元のそれぞれの場合について理論解析を行う。

②上記の運動学解析に基づき機構の研究開発を行う。

③上記システムの制御ソフトウェアを研究開発する。

### (2) 共同運動パターンの発現を抑え、誤った運動学習をさせないリハビリ手法の研究開発

共同運動とは、運動パターンが一定であり、そこから外れることができない運動のことである。具体的にいうと一つの関節を屈曲させると他のすべての関節も屈曲する。反対に、一つの関節を伸展させると他のすべての関節も伸展してしまう。リハビリにおいては、この共同運動の抑制と分離的な正常運動の促通を図ることが重要である。この2つの基本的治療概念の実現を目指して、メカトロニ

クスやセンサの技術を応用して、療法士の経験や知識を盛り込んだ訓練プログラムを研究開発し、さらに脳科学の面からも検証する。  
(3) 訓練の動機を維持できる訓練ソフトウェアおよびその評価

辛いリハビリ訓練を持続してもらうために、バーチャルリアリティにおける力覚提示技術を用いた楽しいゲーム性のある訓練ソフトにする。さらに、ただ単にゲーム感覚で上肢を動かすだけでは反って回復を妨げることがあるので、共同運動パターンの発生を常に監視し、警告する。さらに、fNIRS等の脳機能計測装置を用いて、訓練者の脳活動を計測し訓練の有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

(1) 3次元の上肢リハビリ支援システムの機構およびER流体ブレーキの研究開発を行った。機構については、全姿勢に対して重力ポテンシャルが同一となるように設計を行った。これにより、全姿勢に対して、重力補償を可能とする。ER流体ブレーキについては、電極間ギャップを狭くすることにより、低い電圧の印加で高い電場が得られるようにした。これにより、安全性が向上する。

(2) 自由度の数より多い個数のブレーキを用いるシステムを冗長型パッシブ力覚提示システムと呼ぶ。冗長個数のブレーキを導入することにより、優れた抵抗誘導性能を実現する。

(3) 共同運動パターンの簡易な検出法に関する研究を、加速度計およびレートジャイロを用いて行う。さらに、把持部の回転角度を計測することによっても、共同運動を検出する。共同運動とは脳卒中による運動麻痺に特有の運動パターンである。これが発現した際には、患者に警告をする必要がある。

(4) 上記(2)、(3)の研究を基礎に、共同運動を抑制し、各関節の分離・独立を促す制御システムに関する研究を行う。

(5) 手関節の共同運動パターンの防止を行う振動刺激によるシステムを開発する。開発するシステムの有効性については、筋電を計測することにより行う。

(6) 上肢の運動の重要3要素(スペーシング、タイミング、グレーディング)に対してリハビリ効果のあるブレーキを用いたリハビリ支援システムを構築する。次に、効果を確認するため、臨床評価実験を行う。

(7) リハ訓練の継続と習慣化を支援するゲーム性のあるリハビリ支援ソフトの研究開発のために、新しいグラフィックス開発の手法を導入する。従来は、C言語のみで開発を行ってきた。本研究では、Flashでグラフィックス部分を開発し、制御部分はC言語で開発を行う。これにより、多彩なグラフィックス表現が可能となる。

#### 4. 研究成果

(1) 3次元の上肢リハビリ支援システムのシステム開発を行った。アームの第2リンク部には平行リンク機構を採用することにより、すべての姿勢に対して重力補償が行えるシステムを研究開発した。このシステムの下部に、駆動伝達機構を介して ER 流体ブレーキを取り付けた。

(2) ER 流体ブレーキのコンパクト化および低電圧化を行った。従来 2 kV を印加していたが、今回開発した ER 流体ブレーキでは 600 V の印加電圧で従来のブレーキと同等のブレーキトルクが発生となった。

(3) 冗長型パッシブ力覚提示システムにおける力覚提示・抵抗誘導性能を評価する方法について検討を行った。把持部速度ベクトル  $V$  の後方と抵抗力範囲端とのなす角度の内小さいほうの角度を発生可能最小角度  $\alpha_{\min}$  と定義して評価を行った。冗長性のない場合では  $\alpha_{\min}$  が 0 となる姿勢がしばしば発生する。一方、冗長性がある場合には全方向に対して  $\alpha_{\min}$  が 0 となることなく、優れた力覚提示・抵抗誘導性能を持つ。

冗長型パッシブ力覚提示システムの理論的解析を行った。解析の結果を、上述の発生可能最小角度  $\alpha_{\min}$  等を用いて、いくつかの命題としてまとめた。

(4) ER 流体ブレーキのみを用いた 2 次元の上肢リハビリ支援システムの評価を行い、脳卒中片麻痺における共同運動の抑制に効果があることを確認した。この研究は、本研究の 3 次元上肢リハビリ支援システムを開発する重要な基礎となる。

(5) 身体の運動計測手法で最も一般的なものに、モーションキャプチャや ゴニオメータ(関節角度計)がある。これらのシステムは高精度に姿勢を計測することができるが、装着方法に制限が要求される臨床現場での利用は一般的ではない。本研究では、3軸加速度センサを2個用いた運動解析用のデバイスを開発し、共同運動パターンの簡易な検出を可能にした。

(6) 上肢の運動制御の基本となる3要素からなるリハビリ訓練ソフトを研究開発し、臨床評価において大きな訓練効果を得た。上肢の運動制御の基本3要素は、スペーシング(リーチング、プリングよりなる)、タイミング(時間的要素を含む制御)、グレーディング(力の制御)からなる。

(7) 振動刺激による手関節の共同運動パターンの防止を目的として研究を行った。手関節に対して、共同運動パターンが発生した際に一方向の振動刺激を与え、方向づけられた振動と感覚の入力により関節の共同運動パターンを防ぐ。療法士による振動刺激の手技は、2 から 5Hz 程度の振動を加えることによ

り行われる。これらを参考に、グリップデバイスの機構および制御システムの研究開発を行った。次に筋電等を計測しながら実験を行い、振動刺激の効果を確認した。

(8) リハ訓練の継続と習慣化を支援するゲーム性のあるリハソフトの開発支援システムを開発した。訓練に使用するゲームは、訓練者が進んで訓練を行うためにも、ゲーム自体がアミューズメント性豊かなものとして自立している必要がある。ゲーム単体として十分なデザイン制作とゲーム評価をシステムに組み込むために Flash を導入した。これにより、上肢リハビリシステムの多彩なグラフィクス表現が可能となった。

(9) 共同運動パターンを抑制する動きを取り入れたゲームに関する研究を行った。ゲームのアミューズメント性と並立させて、ゲームプレイ自体が訓練プログラムの一部となるように考慮してゲーム設計を行った。例えば、ゲームルールとして、共同運動パターンを抑制する動きをゲームに取り入れ、腕を前に出す動作においては抵抗力を与えるが、手前に戻す動作では抵抗力を与えないことにより、共同運動パターンの発生を防いだ。

(10) 3次元上肢リハビリ支援システムにおいては、把持部の運動方向の逆方向の抵抗力を常に表現するために、5個のブレーキを必要とする。すなわち、このシステムでは冗長個数のブレーキを必要とする。しかし、コンパクト化、低コスト化は、実際にリハビリの現場に導入していくためには重要である。そこで、新しい機構の導入により、3個のブレーキで、把持部の運動方向の逆方向の力を常に提示できる機構を開発した。以上の目的を達するため、基礎研究として、2次元システムの構築を行った。

(11) 冗長個数のブレーキを用いて把持部の運動方向の逆方向の抵抗力を常に提示できるリハビリ支援システムの基本ソフトウェアを構築した。

(12) ER流体ブレーキの小型コンパクト化と印加電圧の低減には、ディスクの多重化と、電極間隙の低減が最も有効な手段である。これまでER流体ブレーキは、多重ディスク型であったが、ディスクの間隙を一定にして多重に組み立てるための加工精度やディスクに力がかかった際のディスク変形などの問題で、ディスク間隙を狭くするには1.0mmが限界であった。そこで、多重シリンダ型を採用した。多重シリンダ型は、芯ブレの少ない軸周りの回転型であるため、シリンダ間を狭くしても接触の恐れが少ない。さらに、ER流体の低粘度化を行った。

(13) 重要なリハビリ手法の1つであるPNF(固有受容推伸筋促通法)の手法の上肢

リハビリ支援システムへの導入を行った。運動失調症の患者に対して、上肢リハビリ支援システムへのPNFの手法の導入を行った。

#### 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)

[雑誌論文] (計 10 件)

(1) J.Furusho, T.Kikuchi, M.Haraguchi, Development of Rehabilitation Systems for Upper Limbs EMUL, Robotherapist, and PLEMO, Selected Papers from the Japanese Conference on the Advancement of Assistive and Rehabilitation Technology, 査読有、2011、84-92

(2) 小澤拓也, 古荘純次, (解説) 上肢機能支援ロボットの開発と展開、理学療法ジャーナル、査読無、45 巻、2011 年、241-247

(3) 古荘純次, 森川隆浩, (解説) ER 流体・MR 流体を用いたリハビリ支援 VR システム、日本フルードパワーシステム学会誌、査読有、142 巻 1 号、2011、12-15

(4) 古荘純次, (巻頭言) 上肢リハビリテーション支援ロボットとその本格的実用化、総合リハビリテーション、査読無、38 巻 12 号、2010、1117

(5) 原口 真, 菊池武士, 三原雅史, 畠中めぐみ, 宮井一郎, 古荘純次, 3次元上肢機能回復訓練支援装置 EMUL と脳機能計測法 NIRS を用いた追従訓練評価システム、日本機械学会論文集 C 編、査読有、76 巻 764 号、2010、942-948

(6) 原口 真, 小林 弘, 井上昭夫, 古荘純次, 低電圧駆動 ER 流体ブレーキを冗長個数用いた 2 次元力覚提示システムの研究開発、日本レオロジー学会誌、査読有、38 巻 2 号、2010、99-105

(7) 小田邦彦, 小柳健一, 古荘純次, 2 次元上肢リハビリ支援システムを用いた運動機能評価に関する基礎研究、日本実験力学会誌 (特集: 身体運動機能の再建)、査読有、10 巻 2 号、2010、162-168

(8) 原口 真, 金 英, 古荘純次, 冗長個数の ER 流体ブレーキを用いた 2 次元上肢リハビリ支援装置に関する基礎研究 (第 1 報: 力覚提示能力に関する解析)、日本機械学会論文集 (C 編)、査読有、76 巻 761 号、2010、142-150

(9) 小澤拓也, 古荘純次, 菊池武士, 赤井 弘樹, 福島一樹, 福田孝博, 谷田惣亮, 藤川孝満, 加納繁照, 脳卒中片麻痺患者に対する上肢リハビリテーション支援システム PLEMO-P3 の研究開発 (運動機能評価・訓練および実用化機の開発に向けた検討)、日本機械学会論文集 (C 編)、査読有、76 巻 762 号、2010、323-330

(10) 古荘純次, 原口 真, (解説) ロボット・

VR および理学療法の技術を取り入れた上肢リハビリ支援システムによる訓練とその脳活動を含む評価、バイオメカニズム学会誌、査読有、33 巻 2 号、2009、109-116

[学会発表] (計 19 件)

(1) 小坂一平、通所施設への上肢リハビリ支援システムの導入と評価、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2011 年 5 月 26 日-28 日、岡山

(2) 平原純平、PLEMO-P4 と Flash/AS3 によるゲームアプリケーション開発日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2011 年 5 月 26 日-28 日、岡山

(3) 古荘純次、上肢リハビリテーションロボットとその本格的実用化を目指して、第 50 回日本生体医工学会大会、2011 年 5 月 1 日、東京

(4) 市岡稔章、上肢リハビリ支援システム PLEMO-P5 の研究開発、日本機械学会東海支部第 60 期総会講演会、2011 年 3 月 15 日、豊橋科学技術大学

(5) 井上浩貴、Flash を用いた、上肢リハビリシステムソフトの開発、第 11 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、2010 年 12 月 23 日、東北大学

(6) 古荘純次、3次元上肢機能回復訓練支援装置 EMUL と脳機能計測法 NIRS による追従訓練およびその評価、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2010 年 6 月 15 日、旭川

(7) 古荘純次、上肢訓練支援システム EMUL への 3次元ディスプレイの導入による 3次元空間に対する認識性能向上の検証、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2010 年 6 月 15 日、旭川

(8) 森川隆浩、冗長個数の ER 流体ブレーキを有する上肢リハビリ支援システム Redundant-PLEMO による抵抗誘導訓練の検討、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2010 年 6 月 15 日、旭川

(9) 森川隆弘、手首振動機構を有した上肢リハビリシステム用新グリップデバイスの研究開発、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2010 年 6 月 15 日、旭川

(10) Junji Furusho, Rehabilitation System for Upper Limbs and Lower Limbs with Robotics Technology and Biological Engineering, 第 49 回日本生体医工学会大会、2010 年 5 月 25 日、大阪国際交流センター

(11) 小林 弘、冗長個数の ER 流体ブレーキを用いた 2次元力覚提示システムの研究開発および評価、第 10 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 (SI2009)、2009 年 12 月 25 日、芝浦工業大学、東京都

(12) 古荘純次、冗長個数の ER 流体ブレーキを用いた上肢リハビリ支援システム Redundant-PEMO、第 10 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 (SI2009)、2009 年 12 月 25 日、芝浦工業大学、東京都

(13) Hiroshi Kobayashi、Basic Study of Rehabilitation System for Upper Limbs With Redundant ER Fluid Brakes、The 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics (4th ISEM)、2009 年 11 月 28 日、29 日、朱鷺メッセ、新潟市

(14) Mayumi Sonobe、Basic study on evaluation system of trajectory tracking for upper limbs using 3D rehabilitation robot “EMUL” and a functional NIRS、The 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics (4th ISEM)、2009 年 11 月 28 日、29 日、朱鷺メッセ、新潟市

(15) 菊池武士、PEMO システムによる脳卒中片麻痺患者の運動機能評価、第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会、2009 年 10 月 16 日、ひめぎんホール、松山市

(16) 園部真弓、3 次元上肢リハビリ支援装置 EMUL と脳機能計測 NIRS による軌道追従訓練評価に関する基礎研究、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、2009 年 9 月 16 日、横浜国立大学、横浜市

(17) 小林 弘、冗長個数の ER ブレーキを用いた力覚提示システムの研究開発および上肢リハビリテーション支援装置への応用検討、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、2009 年 9 月 16 日、横浜国立大学、横浜市

(18) 古荘純次、準 3 次元上肢リハビリ支援システム PEMO-P3 の臨床評価、第 24 回リハビリテーション工学カンファレンス、2009 年 8 月 27 日、国立障害者リハビリテーションセンター、所沢市

(19) Makoto Haraguchi、A Performance Evaluation Method of a Passive-Type Force Display and Rehabilitation System with Redundant Brakes、11th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR2009)、2009 年 6 月 26 日、国立京都国際会館、京都市

〔図書〕(計 2 件)

(1) 古荘純次、原田 真、株式会社 NTS、アクチュエータ 研究開発の最前線(10.5 人間共存型ロボットに適した安全性の高い MR・ER アクチュエータおよびブレーキに関する研究開発)、2011、447-459

(2) Junji Furusho and Ying Jin, INTECH, Rehabilitation Engineering (Chapter 15 A 6DOF Rehabilitation System for Upper

Limbs “Robotherapist” and Other Rehabilitation Systems with High Safety), 2009, 243-287

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

福井工業大学研究者詳細 (古荘純次)

[http://futredb.fukui-ut.ac.jp/html/100000063\\_ja.html](http://futredb.fukui-ut.ac.jp/html/100000063_ja.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古荘 純次 (FURUSHO JUNJI)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：70107134

### (2) 研究分担者

菊池 武士 (KIKUCHI TAKEHITO)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10372137

田中 敏嗣 (TANAKA TOSHITSUGU)

大阪大学・工学 (系) 研究科 (研究院)・教授

研究者番号：90171777

菅本 一臣 (SUGAMOTO KAZUOMI)

大阪大学・医学 (系) 研究科 (研究院)・教授

研究者番号：40294061

小田 邦彦 (ODA KUNIHICO)

大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授

研究者番号：10440950

松村 雅史 (MATSUMURA MASAFUMI)

大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授

研究者番号：80209618

高見 友幸 (TAKAMI TOMOYUKI)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：50300314

西原 一嘉 (NISHIHARA KAZUYOSHI)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号：80098087

川谷 亮治 (KAWATANI RYOJI)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30169734

小柳 健一 (KOYANAGI KENICHI)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：30335377

山西 輝也 (YAMANISHI TERUYA)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：50298387

太田 貴士 (OHTA TAKASHI)

福井大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：10273583  
小林 康孝 (KOBAYASHI YASUTAKA)  
福井医療短期大学・副学長  
研究者番号：80424448  
原口 真 (HARAGUCHI MAKOTO)  
大阪大学・大学院工学研究科  
・ティーチングアシスタント  
研究者番号：80467547

(3)連携研究者  
なし

以上