

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500652

研究課題名(和文)人工筋肉を用いた麻痺手を動かすシステムの実用化に関する研究

研究課題名(英文) Study to practical use of a system moving the paralyzed fingers with artificial muscles.

研究代表者

千田 益生 (Senda, Masuo)

岡山大学・大学病院・教授

研究者番号：60226694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：麻痺した手・指に対する支援システムでは、手関節を固定し、3本の指(母指、示指、中指)で開き、把持するシステムを作成した。ある程度のピンチ力を導出することができた。指機能が失われた脳腫瘍患者に装着してもらい、音声スイッチによる把持動作を練習している。また、脳卒中など痙性麻痺の手に対する研究として、可動域改善目的のシステムも考案した。音声または手動で、患者自身が行う他動的な可動域訓練システムである。痙性麻痺に対するボツリヌス毒素を用いた治療法の後療法として、可動域改善エクササイズが必須である。自宅で毎日エクササイズが可能なシステムを構築した。

研究成果の概要(英文)：About a support system for fingers of flaccid paralysis, we fixed a wrist and made a function to perform a pinch with three fingers (a thumb, a forefinger, a middle finger). We were able to derive some pinch power. We have the brain neoplasm patient that a finger function was lost put it on an d practice pinch movement with a sound switch. As study for fingers of spastic paralysis, we devised a system of range of motion improvement purpose. It is a range of motion exercise system of the working on that a patient performs with his voice or the other side fingers movement. As an after care of the BOTOX therapy for spastic paralysis, range of motion improvement exercise is essential. We built the system which a patient can exercise every day at home by himself.

研究分野：人間医工学

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：人工筋肉 把持装置 可動域訓練装置

## 1. 研究開始当初の背景

アクチュエータとは、モーターなど「動き」を作り出す装置の総称である。機械を動かす原動力であったり様々なものを操ったりする手段として社会のいたるところで使われている。高齢者や身体障害者の自立支援や介護支援のため、人間親和型ロボットへの関心が高まり、駆動するための、人間に優しく安全なアクチュエータの開発が要求されている。回転型のモーターなどとは区別して、主として伸縮で使うアクチュエータを人工筋肉と呼ぶ。人工筋肉には、高分子を使った人工筋肉、電気・磁気を使った人工筋肉、および空気圧を使った人工筋肉などがある。高分子を使った人工筋肉としては、イオンの移動で収縮・伸長するイオン導電性高分子ゲル(ICPF)、電気的な酸化還元による高分子の化学構造変化で駆動力を生み出す導電性高分子などがあり、電気・磁気を使った人工筋肉としては、通常はナイロン糸のように柔らかだが、電気を通すと硬化する金属(バイオメタル)を用いる人工筋肉などがある。空気圧を使った人工筋肉として、McKibben(マッキベン)型人工筋肉がある。1961年、Joseph McKibbenによって開発されたもので、ゴムチューブの周りをナイロン繊維で覆った形状で、圧縮空気を内部に加えることで収縮伸長する。1980年代中頃には、国内メーカーにより「ラパチュエータ」として販売されたが、現在は製造・販売されていない。イギリス、ドイツのメーカーなどから同種のゴム人工筋を入手できるが仕様が限定され、かなり高価である。岡山大学大学院自然科学研究科の則次教授の研究室では、市販のゴムチューブと繊維コードを用いて容易にかつ安価でマッキベン型ゴム人工筋を制作でき、空気圧ゴム人工筋を用いた研究を行っている。岡山大学病院総合リハビリテーション部と共同して、患者さんに人工

筋肉を用いた支援システムについて研究している。ゴムを素材とした空気圧で駆動される空気圧ゴム人工筋は、代表的な空気圧ソフトアクチュエータである。ソフトアクチュエータは、すべての運動方向における慣性、粘性および剛性が小さいアクチュエータであり、動作だけでなく本体も柔軟で、受動的柔軟性を備えており、人間親和型のアクチュエータとして期待されている。

人工筋肉の基本的な構造は、ゴムチューブの周りをナイロン繊維で覆った形状で、圧縮空気を内部に加えることで収縮伸長する。人工筋肉には、収縮型直動ゴム人工筋、伸長型直動ゴム人工筋、収縮型彎曲ゴム人工筋、伸長型彎曲ゴム人工筋がある。収縮型直動ゴム人工筋では、ゴムチューブに空気を注入することで、収縮力を発揮する仕組みである。外径11.6 mm、内径8.0 mm、自然長793.0 mmの場合、収縮率25%であり、600 kPaに加圧した時に340Nの力を発揮することができる。伸長型直動ゴム人工筋では、外径8.4 mm、内径6.0 mm、自然長40.0 mmの場合、500kPa加圧から0kPaに減圧時の収縮力35Nの力を発揮できる。収縮型直動の方が約10倍強い力が出せる。彎曲して力を発揮する人工筋肉も考案されている。収縮型彎曲ゴム人工筋では、空気を注入して加圧する場合に、片側にアクリル板を貼り収縮率を変化させ、収縮力を生み出すものである。収縮型彎曲ゴム人工筋では、外径11.6 mm、内径8.0 mm、自然長300.0 mmの場合、500kPa加圧時に彎曲角度126度、最大発生力は78Nである。伸長型彎曲ゴム人工筋では、外径13.0 mm、内径6.0 mm、自然長80.0 mmの場合、250kPa加圧時に先端には20Nの力を発揮することができる。

## 2. 研究の目的

マッキベン型人工筋肉を用いて、5本の指

を伸展・屈曲できる装置を考案・開発し、患者さんへの装着実験を繰り返し行ってきた。指の伸展には収縮型直動ゴム人工筋を独自に考案した滑車作用を用いて装着した。麻痺筋は屈曲傾向が強く、伸展にはある程度張力な筋力が必要である。屈曲には伸長型彎曲ゴム人工筋を用いた。随意性のない指に対して、把持動作を行うことができるように母指、示指、中指によるピンチ動作機能を持つ装置を作成し、麻痺患者さんに装着実験を行った。また、脳卒中などに代表されるような痙性麻痺による手指拘縮に対し、人工筋肉による受動可動域訓練装置（F-CPM）を開発し、実用化に向けて研究を進めている。痙性麻痺で手指の屈曲拘縮を来している患者さんは結構多く、痛みや機能障害に悩まされており実用化できればそのような患者さんの役に立つと考えた。世界的に見てもこのような装置はない。音声による可動システムを採用することによって、健側の手指が自由に使えます。本研究の目的は、F-CPMの実用化である。

### 3．研究の方法

まず、麻痺手に対する把持システムを構築した。前腕・手関節部・手根部までの硬性保持装具に、収縮型人工筋、伸展屈曲型人工筋を配置し、容易に装着できる装置を作成した。麻痺手には、変形があり装着は容易ではない。アタッチメントの開発には非常に苦労した。装着が容易であり、締め付け感がなく、しかもフィットしていなければならない。アタッチメントの工夫が重要である。コントローラーの作成について、収縮・伸展する速度調整、力調整をボタン一つでできるようにする必要がある。当初は人工筋肉の収縮をさせるたびに、コンピューター上で操作を行っていたが、できるだけ簡潔に操作できるように工夫した。コンプレッサーもできる限り、小型軽量化し

た。

脳卒中などに代表されるような痙性麻痺による手指拘縮に対し、人工筋肉による受動可動域訓練装置（F-CPM）を開発した。アタッチメント、コントローラー、コンプレッサーは把持装置システムと同様でありスイッチは、音声によるものと健常な手による方法を作成した。ボトックス治療と併用して受動可動域訓練装置として作成した。システムすべてを一つのジュラルミンケースに収まるように作成し、患者さんの自宅でホームエクササイズとして用いることができるようなシステムを完成した。

### 4．研究成果

麻痺手に対する把持システムを構築に関して、ピンチ動作として約 20N の力を表出でき、何とかスマートフォンを把持する程度の能力を得ることができた。麻痺側の手でスマートフォンが把持できれば、健常な手で操作が可能である。麻痺した手指を動かして把持することがリハビリテーションの一環としても重要な意味を持つと考えている。自分の動かない手が、動いていることで指が動くことの実感が得られる。ただ支えさえすればいいのであれば、器具に差し込めばよい。そうではなく自分の手で把持することで機能的な改善も期待できる。

痙性麻痺による手指拘縮に対し、人工筋肉による受動可動域訓練装置（F-CPM）の開発に関しては、実用的なレベルまで来ることができたと思う。現在、患者さんの自宅で装置を貸出し、実用実験を行っている。今までのところ、痙性による拘縮は改善傾向であり、以前のような痛み、ツッパリ感などは減少している。心配していた装着したり、外したりの作業も患者さん自身で何とかできているとのことで、痙性麻痺の手指変形防止、機能回復に役立つ可能性があると考えている。

実用化に向けて、さらに小型化、軽量化、また見た目にも装着してみたいくなるような形状でなければならない。まだまだ工夫する余地があると考えます。

#### 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 25 件)

1. 千田益生、堅山佳美、馬崎哲朗、上原健敬：変形性膝関節症に対する運動療法の有効性 運動器リハビリテーション 24(3):275-278,2013. 査読あり.
2. 千田益生、堅山佳美、馬崎哲朗、上原健敬：人工筋肉の開発と臨床応用における課題 Locomotive Pain Frontier 2(2):50-52, 2013. 査読あり.
3. 千田益生、堅山佳美、馬崎哲朗、上原健敬：ロコモ予防・治療 - ロコトレ・ロコモ体操 - 関節外科 32(10):82-88, 2013. 査読あり.
4. 千田益生：人工筋肉について 臨床整形外科 48(1):34-37,2013.
5. K Sasaki, M Senda, Y Katayama, H Ota, Y Matsuyama: Characteristics of postural sway during quiet standing before and after the occurrence of neurogenic intermittent claudication in female patients with degenerative lumbar spinal canal stenosis. J Phys Ther Sci 25:675-678, 2013.
6. 千田益生：ロコモティブシンドロームにおける脊椎疾患の診断と治療 Geriatric Medicine50(9):1031-1034,2012. 査読あり.
7. 千田益生、堅山佳美、津島愛子：骨粗鬆症の実地診療 up to date 運動療法を中心としたリハビリテーションの進めかた Medical Practice 29(11):1954-1957,2012. 査読あり.
8. 千田益生、堅山佳美、迫間巧将、馬崎哲朗：変形性膝関節症 ロコモの予防とリハビリテーション Journal of Clinical Rehabilitation 21(12):1154-1159,2012. 査読あり.
9. 千田益生：巻頭言 運動療法と物理療法 22(4):377,2012. 査読なし.
10. 千田益生：人工筋肉とリハビリテーション 岡山医学会雑誌 124(3):211-216,2012. 査読あり.
11. 太田晴之、千田益生、堅山佳美、佐々木賢太郎：全人工股関節置換術後における重心動揺変化と移動能力について 運動療法と物理療法 23(4):426-430,2012. 査読あり.
12. M.Kataoka, T.Kunisada, M.Tanaka, K.Takeda, S.Itani, Y.Sugimoto, H.Misawa, M.Senda, S.Nkahara, T.Ozaki: Statistical analysis of prognostic factors for survival in patients with spinal metastasis. Acta Med Okayama 66(3):213-219, 2012.
13. 千田益生、西田圭一郎：人工肘関節のリハビリテーション. Medical Rehabilitation 139:13-17, 2011. 査読あり.
14. 千田益生、堅山佳美、迫間巧将、馬崎哲朗：慢性疼痛へのアプローチ 慢性腰痛に対する運動療法. 総合リハ 39(8):759-764, 2011. 査読あり.
15. 千田益生：運動療法の有効性と限界. RCT からみた考察. 臨床スポーツ医学 28(6):655-660,2011. 査読あり.
16. 千田益生：ロコモティブシンドロームと要介護予防. ロコトレのすすめ Aging and Health 19(4):11-14.2011. 査読あり.

[学会発表](計 25 件)

1. 千田益生、堅山佳美、馬崎哲朗、迫間

- 巧将、尾崎敏文：シンポジウム  
変形性膝関節症の病態解明と保存療法  
変形性膝関節症に対する運動療法の有効性第86回 日本整形外科学会学術集会 広島市 2013.5.25
2. 堅山佳美、千田益生、国定俊之、馬崎哲朗、尾崎敏文：骨盤原発悪性腫瘍に対し腫瘍切除後創外固定を行った後のADL・QOLの検討。第86回 日本整形外科学会学術集会 広島市 2013.5.25
  3. 鉄永倫子、田中雅人、尾崎敏文、太田晴之、千田益生：岡山大学病院における難治性慢性痛に対する新しい試み第86回 日本整形外科学会学術集会 広島市 2013.5.24.
  4. 堅山佳美、千田益生、馬崎哲朗：肺癌の開胸手術における周術期管理センター(PERIO)開設前後の検討 第50回 日本リハビリテーション学会 東京都 2013.6.14
  5. 馬崎哲朗、千田益生、堅山佳美、迫間巧将：人工筋肉を用いた動作支援システムの開発 第50回 日本リハビリテーション学会 東京都 2013.6.15
  6. 堅山佳美、千田益生、馬崎哲朗：モジュラー型硬性胸腰仙椎装具の試作 第25回 日本運動器科学会 神戸市 2013.7.6.
  7. 堅山佳美、千田益生、馬崎哲朗：後骨間神経麻痺の長期経過 第43回日本臨床神経生理学会 高知市 2013.11.8
  8. 馬崎哲朗、千田益生、堅山佳美、迫間巧将：モジュラー型硬性胸腰仙椎装具の試作 第49回日本リハビリテーション学会 福岡市 2012.6.1
  9. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：骨盤原発悪性腫瘍に対し hip transposition 法を施行後のADL・QOLの検討。第49回日本リハビリテーション学会 福岡市 2012.6.2
  10. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗 骨盤原発悪性腫瘍に対する hip transposition 法 術後のADL・QOLの検討第25回日本運動器科学会 東京都 2012.7.7
  11. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：上肢神経鞘腫の電気生理学的研究。第42回日本臨床神経生理学会 東京都 2012.11.9
  12. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：モジュラー型硬性胸腰仙椎装具の試作 第30回日本リハビリテーション医学会中国・四国地方会 広島市 2012.12.2
  13. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：骨軟部腫瘍患者の術前QOL 第23回 日本運動器科学会 新潟市 2011.7.9
  14. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：胸腰椎術前後のQOL 評価 第48回日本リハビリテーション医学会学術集会 千葉市 2011.11.3
  15. 堅山佳美、千田益生、迫間巧将、馬崎哲朗：針筋電図での脱神経所見における頸椎症とALSの検討 第41回日本臨床神経整理学会 静岡市 2011.11.11
- 〔図書〕(計 7件)
1. 千田益生、内尾祐司、斉藤知行：膝痛のベストアンサー ポケット版 主婦と生活社 2013.総ページ数 128.
  2. 千田益生：車椅子の種類と適応指針 運動器診療 最新ガイドライン 編集 中村耕三 総合医学社 2012.総ページ数 767 (129-131) .
  3. 千田益生、河村顕治、堅山佳美、迫間巧将、馬崎哲朗：リハビリテーション 変形性関節症の見かたと治療 編集 尾崎敏文 西田圭一郎 医学書院 2012.総ページ数 271(68-100).
  4. 千田益生：膝の痛み NHK お医者さん名

- 鑑 主婦と生活社 2012.総ページ数  
317(43).
5. 千田益生、内尾祐司、斎藤知行：膝痛  
のベストアンサー. NHK 名医に Q 主  
婦と生活社 2011.総ページ数 128.
  6. 千田益生：リハビリテーションとアク  
チュエータ. アクチュエータが未来  
を創る 産業図書社 2011.総ページ  
数 243(201-203).
  7. 千田益生：運動器のリハビリテーショ  
ン. ポケットマニュアル 診断と治  
療社 2011.総ページ数 215  
(50-63,116-125,150-153)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

岡山大学総合リハビリテーション部  
<http://www.okayama-u.ac.jp/user/rehabili/index>

6. 研究組織

(1)研究代表者

千田 益生 (SENDA MASUO)  
岡山大学・大学病院・教授  
研究者番号：60226694

(2)研究分担者

則次 俊郎 (NORITUGU TOSHIROU)  
津山工業高等専門学校・校長  
研究者番号：70043726

(3)連携研究者

堅山 佳美 (KATAYAMA YOSHIMI)  
岡山大学・大学病院・助教  
研究者番号：90397886