

空気圧ゴム人工筋肉を利用した リハビリテーション支援器具の開発

武田 隆宏

機械システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号

Development of Rehabilitation Support Equipment using Pneumatic Rubber Artificial Muscle

Takahiro Takeda

Mechanical system engineering, 〒899-4395 1-10-2, Kokubu-chuou, Kirishima, Kagoshima

Abstract: It is said that about half of the patients suffering from cerebrovascular disease are discharged with sequelae. Therefore, it is said that remote rehabilitation for patients with cerebrovascular disease is necessary. In this study, we consider a methodology for reproducing the "Kawahira method" with artificial muscles for a rehabilitation support system for paralysis. For the movement of the patient's finger, a cheap, easy-to-make and lightweight Macchiben-type artificial muscle is used to create a rehabilitation glove. As an experiment, it was confirmed that an artificial muscle was created from a rubber tube with a length of 180 mm, an outer diameter of 11.6 mm, and an inner diameter of 8 mm, and when pressurized at about 0.48 MPa, it contracted by about 35 mm. In this presentation, the orthotic device was evaluated by flexing and extending with artificial muscles limited to one index finger.

Key words: Rehabilitation, Kawahira method, Artificial Muscle, Macchiben-type artificial muscle

1. 前書き

交通事故などを原因とする脳疾患や神経の圧迫、筋ジストロフィーなど様々な要因によって麻痺が引き起こされる。その中でも脳卒中や脳梗塞などの脳血管疾患の受傷者数の割合は高く、主な傷病の中でも上位を占めている。平成29年度の患者調査[1]によると約111.5万人が脳血管疾患を患っており、高齢になるにつれて患者数が多くなっている。また、退院患者の約半数が後遺症を抱えたままであると言われており[2]、原因の一つとして病院におけるリハビリの行い方が挙げられている。リハビリは急性期、回復期、維持期の三段階に分けられ、急性期及び回復期では病院、維持期ではリハビリ専門施設や介護施設等でリハビリを行う。現在医療保険の制度により、脳血管

障害では150日、高次脳機能障害を伴った脳血管障害では180日までしかリハビリを受けられないため、十分なリハビリを行うことができていないのが現状である。そのため急性期及び回復期は麻痺の完治や機能の回復ではなく、廃用症候群を防ぎ、麻痺していない部分を用いた日常生活を行うための機能訓練を行う傾向にある。このようなことから、後遺症が残ったまま退院を余儀なくされている場合があると考えられる。また維持期のリハビリにおいても目的はあくまで「現状の維持」であり、より積極的なリハビリ内容には至らないのがほとんどである。退院した患者のうち54%が「リハビリを行う環境が不十分である」と回答している[2]。現状、退院後の生活期ではリハビリ専門施設やデイサービス等の通所リハビリや

訪問リハビリの利用が主であるが、脳血管疾患患者の多くを占めている高齢者には、通所リハビリは身体的な負担が大きく困難である。また訪問リハビリにおいても、理学療法士の人数不足や、患者宅へ訪問するのに時間がかかるため十分な治療が行えないなどの大きな問題がある。これらの問題の改善策として療法士の増員やリハビリ施設の充実、遠隔治療などがあり、その中でも遠隔治療への需要や関心は高まってきていると言える。このことから遠隔治療に着目し、本研究では手指関節用の遠隔リハビリテーションシステムを提案する。

本システムは主に、手指に麻痺等の障害を持つ患者のリハビリを対象とする。遠隔リハビリを行うメリットとして、場所に依存せず行うことができる、継続的にリハビリを実施できる、療法士不足の解消などが挙げられる。本研究ではこれらに加えて、従来のものよりもリハビリの質を向上させることを目標とする。質の高いリハビリを行ううえで療法士による支援は必要不可欠であり、それらを遠隔で行うためには患者の手指へ療法士による何らかの操作が必要である。従来研究³⁾では療法士が動かしたマスタースレーブによって遠隔で患者の手首を動かすが、本論文で提案する遠隔リハビリテーションシステムでは、従来研究³⁾とは異なったアプローチを行うために、療法士の手指の動きをそのまま患者にトレースする方法を検討する。このシステムが出来れば、療法士の手指の動きをトレースするのみならず、マネキン等の手の模型を用いれば擬似的な患者として扱うことができ、より幅広いリハビリが可能となる。

本研究報告では、提案するリハビリテーション支援システムの内、患者の手指を駆動させる人工筋肉の作成について述べる。ここでは、人工筋肉として空気圧で作動するマッキベン型人工筋肉を採用し、その動作特性について実験を行った結果について記載する。

2. 主 部

2.1 遠隔リハビリテーションシステム

遠隔リハビリテーションシステムの構成を図1に示す。本システムはセンサーグローブ、空気圧グローブ、Arduino UNO、電磁弁、エアーコンプレッサによって構成される。療法士側では、センサーグローブで指の曲げ量が計測され、Arduino UNOへと送られる。患者側では、Arduino UNOが療法士の指の曲げ量を信号として出力し、その信号によって電磁弁の開閉を制御することで空気圧グローブを動作させる。療法士へのフィードバックについては、カメラ映像および空気圧グローブの曲げ量の2種類で行う。

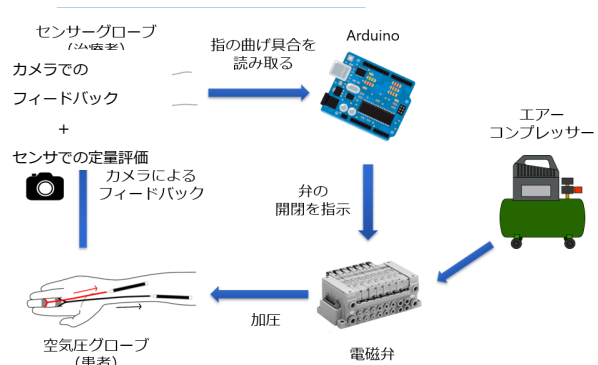


図1 遠隔リハビリテーションシステム概念図

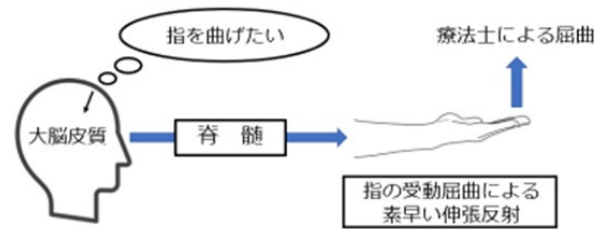


図2 川平法の治療プロセス

2.2 川平法

脳血管疾患による麻痺に対する治療法として「川平法」と呼ばれる治療法がある。従来の促通法としてBobath法やBrunnstrom法、Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF)などの神経筋促通法があるが、麻痺や日常生活活動(ADL)改善への有効性は実証されておらず、科学的根拠はないとされている。それに対して川平法は促通反復療法と呼ばれており、脳血管疾患による麻痺に対して高い効果が認められている⁴⁾。川平法の治療におけるプロセスを図2に示す。これは脳の可塑性を利用した治療法であり、麻痺した手や足を治療者が操作して患者に意図した運動(随意運動)を実現・反復することで、大脳から脊髄までの神経回路を再建・強化することができ、そこで、手指の麻痺に対してより高い効果を得るため、川平法のプロセスを遠隔リハビリテーション装具へと取り入れる。

2.4 空気圧グローブ

リハビリテーション装具を開発するうえで、患者の指を動作させるアクチュエータが必要になる。本研究で対象とするのは脳血管疾患による手指の麻痺であり、軽量であること、安価で作製できることなどが条件として求められる。モータやリンク機構などを用いれば安定した出力をすることができ、指を屈曲させることは容易であるが、装具重量が増加することが考えられる。そこで、本研究では軽量・高出力の空気圧式人工筋肉を採用する。

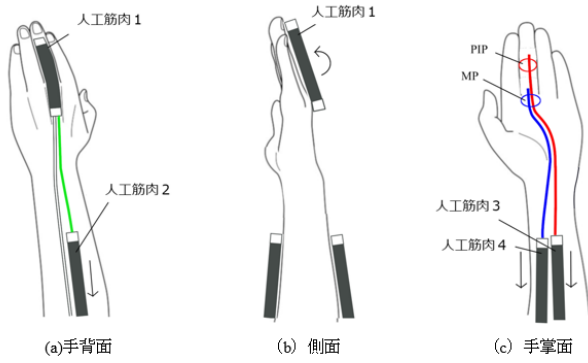


図3 マッキベン型人工筋肉の配置



(a) 斜視図 (b) 側面図

図4 人工筋肉固定具

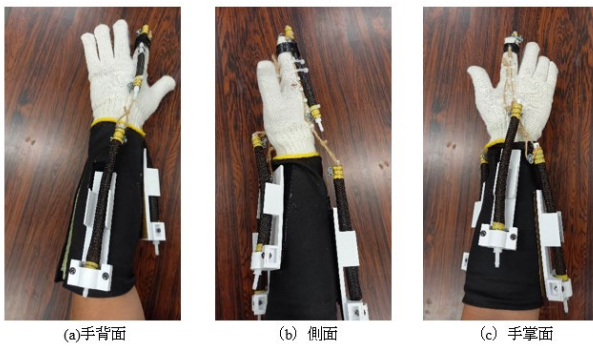


図5 作成した空気圧グローブ

人工筋肉には様々な種類があるが、本研究ではマッキベン型人工筋肉が最適であると考え、アクチュエータとして採用した。マッキベン型人工筋肉を図3のように取り付ける。指背面に取り付ける人工筋肉1は指全体の屈曲を行う。また前腕部には計3個の人工筋肉が取り付けられており、それぞれの人工筋肉には糸が繋がれている。収縮して糸を引くことで人工筋肉2が緑：指全体の伸展、人工筋肉3が赤：PIP（第二関節）の屈曲、人工筋肉4が青：MP（第三関節）を行う。

本研究では先行研究[5]を参考とし、長さ180mm、内径8mm、外径11.6mmのものを使用し、さらに腕部への人工筋肉の固定のために図4に示すように3Dプリンタを使用し固定具を制作する。さらに、人工筋肉の動作には有効断面積0.6mm²以上、オリフィス径0.9mm以上の電磁弁を使用しArduinoによる制御を行う。ここでは、Arduinoからの出力が通常時（非通電時）は弁が閉じ、通電時は弁が開くN.C.（ノーマルクローズ）を使用する。

3. 実験結果

3.1 電磁弁による空気圧グローブの動作実験

作成した空気圧グローブ(図5)の動作実験を行った。空気圧は約0.5MPaに設定し、人工筋肉1~4を順番に動作させた。また電磁弁の制御については、Arduinoでの操作ではなくスイッチ付電源タップでスイッチを切り替えて電磁弁のON/OFFを切り替えた。空気圧グローブの動作実験結果を図6に示す。人工筋肉1が指全体の屈曲、人工筋肉2が指全体の伸展、人工筋肉3がPIPの屈曲、人工筋肉4がMPの屈曲をそれぞれ行えることを確認した。これらの動作において指の角度は表1のようになった。これらの結果から、人工筋肉3、人工筋肉4による特定の関節の屈曲を確認でき、目標としていた指の各関節の屈曲を達成することができたと言える。だがPIP, MPともに、角度は小さく、実用までの課題は多い。

表1 空気圧グローブ動作後の指の角度

	Angle	
	MP	PIP
Artificial muscle 1	14°	9.2°
Artificial muscle 2	-4.8°	0°
Artificial muscle 3	0°	15°
Artificial muscle 4	27°	0°

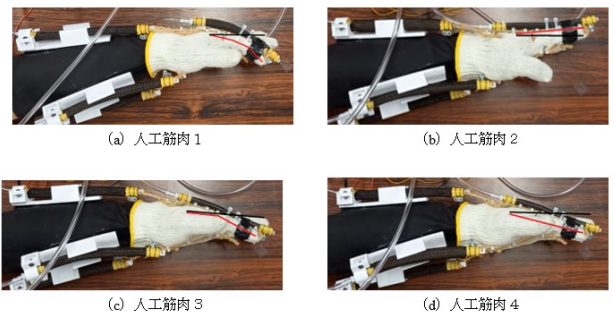


図6 空気圧グローブ動作実験結果

3.2 Arduinoによる制御回路

作成した制御回路(図7)に電磁弁を接続し、Arduino UNOによって動作させた。プログラムは制御回路の動作確認のため、電磁弁1~4が1から順番に5秒間ONと5秒間OFFを交互に繰り返すものを作成した。実際の動作を確認したところ、不規則にON/OFFを繰り返す、電磁弁が動作しないなど、正常な動作は見られなかった。電磁弁の定格電圧は12Vであるが、このとき電磁弁へ加えられていた電圧は5Vであった。そこで、この問題を疑わしいと考えられる1) 制御回路、2) プログラム、3) 電磁弁の3点に切り分け、原因の特定を行った。

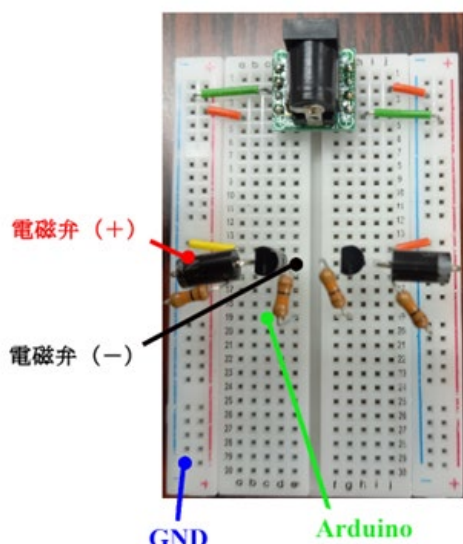


図7 制御回路

原因の特定のため、電磁弁を同じ定格電圧 12V の LED に置き換え、先述と同じプログラムと制御回路を使用し、点灯実験を行った。図8は点灯実験を行ったものである。点灯実験を開始したところ、LED1は5秒間点灯したのち5秒間消灯し、それをLED1~4で繰り返し、プログラム通りの動作をすることが確認できた。この結果から、問題の原因は3) 電磁弁にあることが確認された。これは、電磁弁の動作に電磁石(コイル)が使用されており切り替え時の逆起電力が原因ではないかと推測されるが、特定には至っていないため今後の課題とする。

4. 結び

本論文では手指関節用の遠隔リハビリテーション装具を提案し、前段階として空気圧グローブの開発と電磁弁の制御回路の作製を行った。空気圧グローブの動作実験について、指の角度が小さかった原因として、マッキベン型人工筋肉の収縮量が少なかったことが挙げられる。この問題の改善策として、人工筋肉そのものを大きくすることで収縮量を大きくすることや、人工筋肉の素材を見直し、より肉厚の薄いゴムチューブを使用するなど行いたい。また、作製した空気圧グローブは拘縮を持つ患者でも使用できるような出力荷設定したが、装具は装着しづらく、特に拘縮を持つ場合は困難であると考えられる。そのため今後の課題として、拘縮の場合でも取り付けやすいような装着方法の開発が挙げられる。また、Arduinoを用いた電磁弁の制御回路の設計を新たに行い、自動制御を目指すことが今後の課題である。

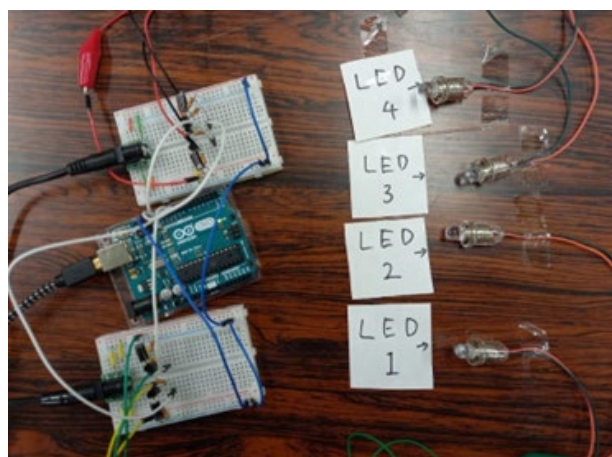


図8 LED点灯実験

本論文ではリハビリテーション装具というテーマを設定したが、この研究は別の分野への応用の可能性がある。例えば療法士の指の曲げ量を読み取るセンサーグローブは、装着型のマスタースレーブとしてロボットの遠隔操作への応用できる。また、患者が装着する空気圧グローブは、センサーグローブとArduino UNOをAIに置き換えれば、AIなどによる遠隔リハビリも可能となると考えられる。

参考文献

- [1] 主な傷病の総患者数(平成29年患者調査の概況), 厚生労働省(2018)
- [2] 脳卒中経験者の生活調査, 株式会社ワイズ(2016)
- [3] 修震, 留滄海, 北川能, 塚越秀行, 小西健一郎, “遠隔で行う他動運動による在宅手首リハビリシステムの研究”, 日本フルードパワーシステム学会論文集(2010)
- [4] 促通反復療法研究所-川平先端リハラボ(<https://kawahira.org/profession/>)
- [5] 中村太郎, “空気圧人工筋肉を用いたバックドライバブルな可変剛性機構とその制御”, 日本ロボット学会誌, Vol. 31 No.6, pp.572~576(2013)