

温水対応ウェアラブル手指リハビリテーション機器の研究開発

Development of Hot water compatible Wearable Rehabilitation support system for Hand and finger motion

2041001



研究代表者

松江工業高等専門学校
電子制御工学科

講 師

青 代 敏 行

〔研究の目的〕

生活習慣病患者の増加に伴い脳卒中患者数は、増加している。患者の後遺症に手指などの上肢運動、歩行に代表される下肢運動の障害が挙げられる。脳卒中により運動障害を抱えた患者にとって、生活の質（QOL）の向上、社会復帰するために早期のリハビリテーションが有効である。また近年、リハビリテーション分野において、血行促進、筋肉硬直の緩和を目的に温水療法が注目されている。しかし、経験豊富な理学療法士の慢性的な不足などの理由で多くの脳卒中患者は、早期なリハビリテーションが行えていない。そのため、患者の機能回復レベルにあわせてリハビリテーション機器が必要である。

これまでに様々な研究機関によって、多くのリハビリテーション機器について研究開発されてきた。しかし、従来までのリハビリテーション機器は、ヒトと協調して動作させるために装置が大きくなる、複雑なシステムになる、アクチュエータが温水使用に対応していないなどの問題があった。そこで本研究では、ヒト骨格をリハビリテーション機器の運動機構の一部に組み込む新しい概念より、各指が機構により駆動する機器開発を行った。患者に合わせた運動を実現するために表面筋電位を使用した制御システムの構築を図った。試作型手指リハビリテーションシステムの動作について確認を行った。

〔研究の内容、成果〕

1. 手指リハビリテーション用リンク機構

指動作は、対象物との相互作用で決定されることに注目し、指を組み込んだリンク機構は、対象物形状に合わせて動作するように構築した。

図1に人差し指から小指の4指用に構築したリンク機構動作概略を示す。本リンク機構は、中手指節間関節（MP 関節）、近位指節間関節（PIP 関節）と遠位指節間関節（DIP 関節）のそれぞれに4節リンク機構を応用した機構を適用し、MP、PIP、DIP 関節の屈曲/伸展を実現した。ただし、MP 関節の外転/内転は対象物に対して受動的に動作するため、外転/内転用にフリーな回転軸を Link A 内部に設けた。MP 関節用リンク機構は、Link A を原動節、Link A 回転軸と MP 関節間を固定節、基節骨

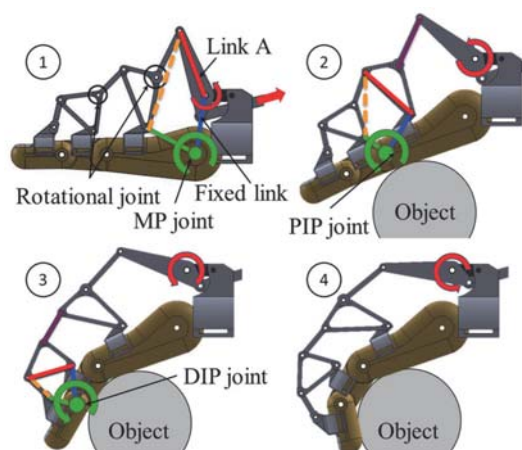


図1 4指運動用リンク機構動作概略図

とリンク機構固定部に設けた回転軸と MP 関節間を従動節，中央部に回転関節を追加した中間節で構成されている。ただし，対象物と基節骨が接触するまで 4 節リンク機構として成立するように中間節内の回転関節中心に各中間節角度を 170 度とした。Link A を回転させることで，MP 関節を中心として指全体が屈曲する。（図 1 ①）そして，基節骨に対象物が接触したとき，中間節中央部に設けた回転関節により回転関節より先の中間節が屈曲し，原動節と変化する。Link A の回転を続けることで原動節と化した MP 関節用中間節によって PIP 関節が回転する。（図 1 ②）このとき，PIP 関節用リンク機構は MP 関節と同様な構造となっている。中節骨が対象物に接触することで PIP 関節用リンク機構内の中間節が屈曲し，中間節の先にある中間節が原動節に変化する。そして，中節骨とリンク機構固定部に設けた回転軸と DIP 関節間を固定節，末節骨とリンク機構固定部に設けた回転軸と DIP 関節間を従動節とした 4 節リンク機構によって，DIP 関節は屈曲する。（図 1 ③）これらの動作によって，ヒト指は，対象物形状に合わせた屈曲/伸展を実現する（図 1 ④）。各関節の伸展は，屈曲手順を逆にした手順によって行われる。図 2 に拇指用リンク機構の動作手順概略を示す。拇指用リンク機構は CM 関節の屈曲/伸展動作を実現する。Link T を原動節，Link T 回転軸と手根中手関節（CM 関節）間を固定節，基節骨とリンク機構の固定部

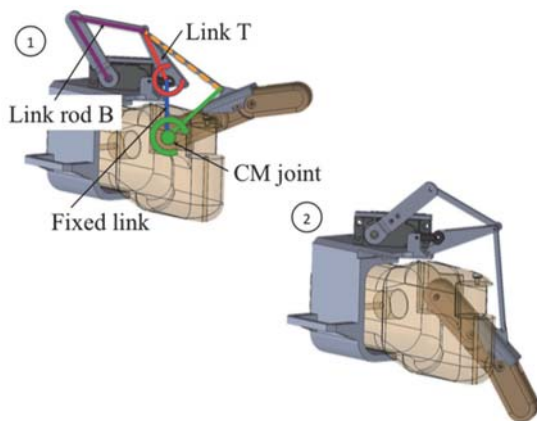


図 2 拇指運動用リンク機構動作概略図

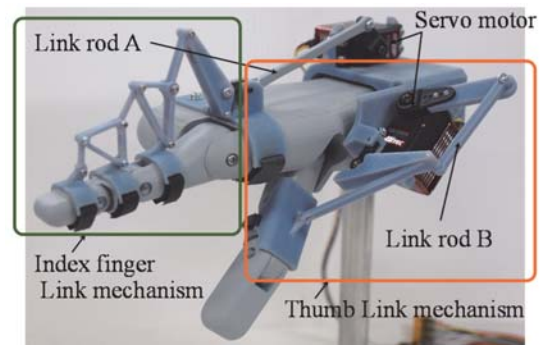


図 3 試作型手指用リンク機構

に設けた回転軸と CM 関節間を従動節とした 4 節リンク機構により動作する。

4 指，拇指用リンク機構の動作確認などを実施するために，成人男性の指寸法をもとにリンク機構を設計した。人差し指と拇指を対象とした試作型手指用リンク機構を図 3 に示す。人差し指 MP 関節，PIP 関節，DIP 関節，拇指 CM 関節の屈曲/伸展可能角度はそれぞれ図 1，2 中の各リンク機構初期姿勢から 77 度，69 度，73 度，120 度である。これらの角度は，ヒト指可動範囲とほぼ同程度であるため，試作型リンク機構は十分な可動範囲を有していると言える。人差し指，拇指の各リンク機構は，それぞれサーボモータ（HSB-9380TH，Hitch 社製）により駆動される。このとき人差し指，拇指の各リンク機構は，温水対応を考慮し，各サーボモータホーン，Link rod A，Link rod T と Link A，Link T で構成される各平行リンク機構により Link A，Link T はそれぞれの回転軸で回転する。試作型手指用リンク機構を用いてリンク機構動作確認実験を行った。各リンク機構は，サーボモータ駆動により対象物形状（直径 50 mm 円筒）に合わせて各関節中心に所定動作可能であることを確認した。温水中における各リンク機構の挙動を確認するために，温水中にリンク機構を挿入し，駆動実験を行った。図 4 に温水中における動作の様子を示す。各リンク機構は，水の抵抗によってリンク機構が成立しない，動作しないなどは見られず，安定した動作が可能であった。



(a) 人差し指

(b) 拇指

図4 手指リンク機構の水中動作確認実験

2. 表面筋電位による制御システム

本研究では2つの表面筋電位センサを使用し、各出力信号より指動作を識別し、対応したリンク機構をON/OFF制御するシステムを構築した。筋電位センサは、EMG信号とEMG信号の積分値 i-EMG 信号が出力されるIW2PADW（湿式表面電極、（有）追坂電子機器社製）を使用した。筋電位センサのEMG、i-EMG 信号に対して、30, 500 Hz の2次ハイパス、ローパスフィルタをかけた。そして、マイコン ATMEGA328-PU のAD変換を用い、10[bit] で周波数1[kHz] でサンプリングした。また i-EMG 信号に対して50点の単純移動平均 (SMA) のデジタルフィルタを追加した。

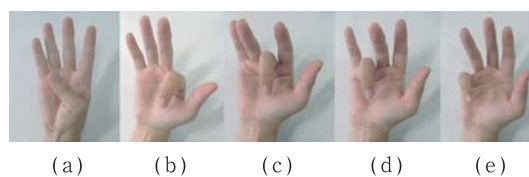


図5 各指動作の様子

(a) 拇指, (b) 人差し指, (c) 中指, (d) 薬指, (e) 小指

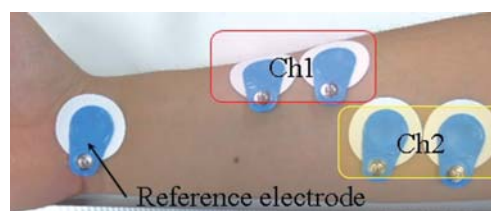


図6 表面筋電位電極の装着箇所

被験者は19～34歳の男性5名とし、図5の各動作を3回ずつ行い、各筋電位信号を取得した。ただし各筋電位電極は、図6に示す位置に貼り付けた。またリファレンス電極は筋のない手首部に貼り付けた。ただし、長拇指屈筋、浅指屈筋の直上に貼り付けた表面筋電位センサをそれぞれ筋電位チャンネル1, 2とした。

図7に代表的な各筋電位出力信号の波形を示

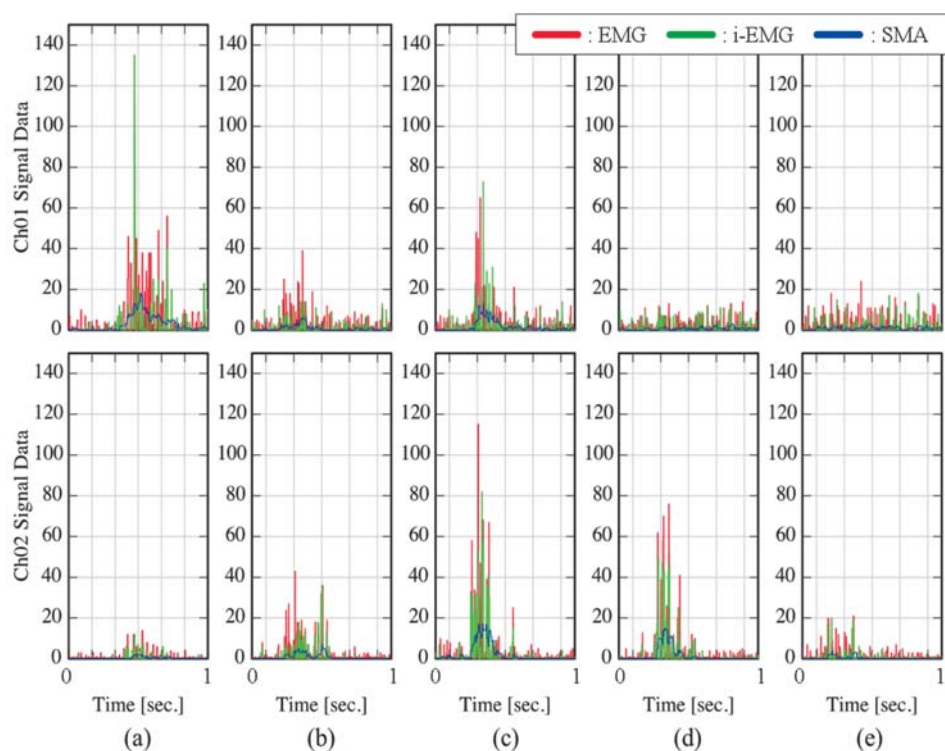


図7 各指運動におけるEMG/i-EMG信号

(a) 拇指, (b) 人差し指, (c) 中指, (d) 薬指, (e) 小指

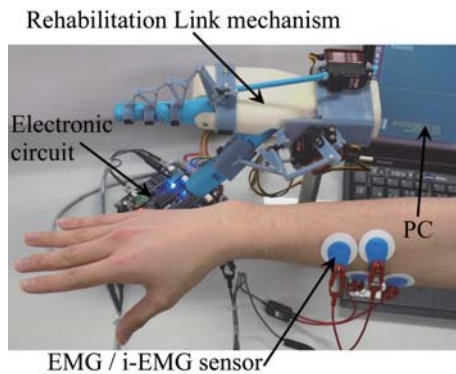
す。筋電位チャンネル 1, 2 の SMA 信号において、各指動作で差異があり、各指動作間に特徴的な信号パターンが見られた。この信号パターンを使用し、試作型手指リンク機構の駆動実験を行った。各指動作の SMA 信号に閾値を設け、試作型手指リンク機構の各モータを ON/OFF 制御により駆動した。図 8 に表面筋電位センサによる手指リンク機構の駆動実験を示す。動作実験の結果より、本システムは、筋電位によって各指動作を認識し、試作型手指リンク機構を駆動可能であることを確認した。

[今後の研究の方向, 課題]

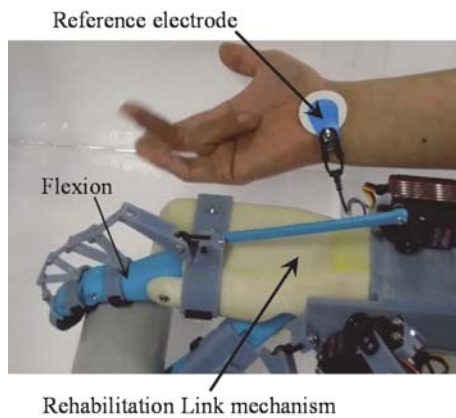
本研究において、ヒト指をリンク機構に組み込み、対象物体との相互作用に駆動するリンク機構を考案した。そして、人差し指、拇指用のリンク機構を構築し、筋電位信号によるリンク機構の ON/OFF 制御に成功した。今後は、人差し指用リンク機構を他指に適応し、リンク機構全体の構築を行う。また本研究で構築した筋電位信号による各指動作の識別は、被験者に応じて調整を要するため、今後は SMA 信号をトリガとした EMG 信号の FFT 解析結果による指動作のパターン認識を実装し、様々な被験者に対応出来る筋電位を用いた手指リハビリテーション機器を構築する。

[成果の発表, 論文等]

青代敏行, 把持動作を目的とした手指リハビリテーション機器の開発, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2015 (発表予定)



(a) 筋電位による駆動実験系



(b) 中指動作によるリンク機構駆動の様子

図 8 筋電位によるリンク機構駆動実験