

事例紹介 NEDO「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」

手指上肢リハビリ支援システム

Hand Motion Assist Robot for Rehabilitation

川崎 晴久^{*1} 石 樽 康 彦^{*2} ^{*1}岐阜大学 ^{*2}(株)丸富精工Haruhisa Kawasaki^{*1} and Yasuhiko Ishigure^{*2} ^{*1}Gifu University ^{*2}Marutomi-seiko Ltd.

1. はじめに

近年、脳卒中や転倒による骨折などにより上肢・手指に障害をもつ人は増加しており、失った機能を回復するためには経験豊かなセラピストによる早期のリハビリテーションが望まれる。しかしこのような専門的なセラピストの数は不足している。リハビリテーション支援用の簡単なデバイスは開発されているが、日常生活で必要な手指の細やかな動作の回復には不十分である。

脳溢血等のように左右の手のうち片側には障害をもつが、もう一方は健常である場合(片麻痺)が多く見られる。そこで、片麻痺患者を対象に、患者の健側の動作をマスターとし、その動作をスレーブである患側運動の提示に用いるセルフモーションコントロール方式[1]による手指上肢リハビリ支援システムの研究開発を行った。

2. システム構成

システムの構成を図1に示す。機構部、CG表示部、健側の手関節計測部、および制御部から構成される。

2.1 機構部

機構部は、拇指、指、手首の運動支援機構および手の固定台から構成[2]される。人間の拇指には根元部から指先に向かって順にCM関節、MP関節、IP関節があり、指にはMP関節、PIP関節、DIP関節がある。拇指の支援機構はCM関節、MP関節、IP関節の屈曲・伸展、およびCM関節の対立運動(内転・外転)の計4自由度あり、指の支援機構はMP関節、PIP関節の屈曲・伸展、およびMP関節の内転・外転の計3自由度、上肢の支援機構は手首の掌屈・背屈、および前腕の回内・回外の計2自由度、機構全体で合計18自由度ある。様々な手のサイズに対応するため、人間の指と機構が閉リンク構造をもつ外骨格機構を採用しており、各リンクの長さは標準的な日本人の指の長さに対応で

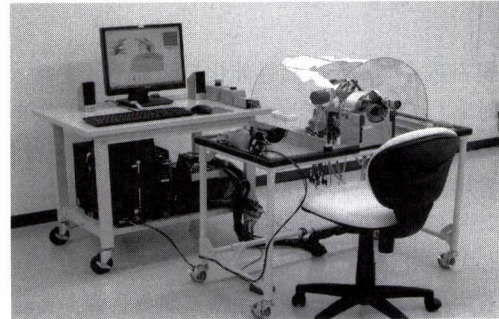


図1 システムの外観

きる寸法に設定した。また、細かな操作に欠かせない拇指の対立運動は、手首内に頂点のある円錐運動として実現している。

2.2 手関節計測部と制御部

健側の指関節角度は18関節角度をデータグローブ(Cyber Glove, Immersion社)で計測し、腕の姿勢はデータグローブに取り付けた3軸姿勢センサで計測する。計測した健側の関節角度から、患側機構部の各関節の目標角度を求めて制御部に送り、各関節を駆動するDCサーボモータをPD制御する。

2.3 CG表示と訓練メニュー

苦痛を伴うリハビリテーションを楽しく行えるよう、音声ガイド付きのCGを利用した訓練メニューの提示がなされる。ディスプレイには左右の手のCGが表示され、それぞれは患側と健側の動作に追従して動く。訓練プログラムとして、五つのメニューを用意している。

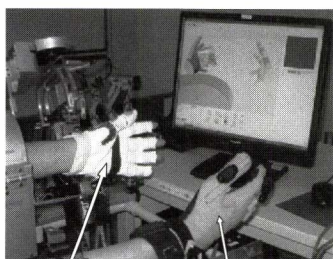
- ① 関節可動範囲の計測。
- ② 果物の掴み動作。
- ③ 後出しじゃんけん。
- ④ コップを把持し、その内容物をお皿に注ぐ。
- ⑤ ピアノを弾く。

訓練プログラムの一例として、手首と指の協調動作の訓練を目的とした、コップを把持しその内容物をお皿に注ぐリハビリテーション訓練状況を図2に示す。画面上には健側、患側動作に追従する手が表示され、患側には掴む対象である物体も表示される。患側に表示されたコップを把持

原稿受付 2008年7月9日

キーワード: Hand, Rehabilitation, Robot

^{*1}〒501-1193 岐阜市柳戸1-1^{*2}〒501-3936 関市倉知字イクダ3147-7^{*1}Gifu-shi, Gifu^{*2}Seki-shi, Gifu



リハビリ支援機構に装着した患側手部 データグローブを装着した健側手部

図2 コップの操作による訓練

し手首を回転させて内容物を下部にあるお皿に注ぐ。全て注ぎ終わると、ゲームがクリアとなる。このとき、動作時間と注ぎ込んだ内容物の割合が表示される。また、前回の訓練より早くゲームがクリアできると「前回より**秒早くできましたね」と音声でアナウンスし、楽しくリハビリテーションができるように工夫している。

2.4 運動記録の保存と表示

訓練メニューを実施しているときに、患側の指関節可動域、最大関節角速度、動作時間を記録保存している。リハビリテーションの有効性は、これらの計測データを解析することにより評価できる。また、患者に対してもその日の訓練終了時に過去のデータをディスプレイに表示し、日々の機能回復効果が定量的に把握でき、リハビリの励みとなるようにしている。なお、実証試験においては、倫理問題の観点からこれらの記録データの厳重な保管管理を実施した。

3. 安全対策

本システムの安全性については、ISO12100 (JIS B 9700) に基づいてリスクアセスメントを行い、危険源の同定、リスクの評価と低減方策等について工学研究者、医学研究者、製造者の立場から検討し、次の安全対策を施している。

- ①患者の足元に非常停止用フットSWを設置し、危険を感じればいつでも機械の動作を停止できる構成とした。
- ②監督者用の非常停止SWを設置した。
- ③安全監視用PCが制御装置に組み込まれており、モータ過電流、制御PCの正常/異常の判定等を行い、異常と判定するとモータ電源をオフにする構成とした。

- ④メカニカルストッパにより各関節の可動範囲を制限した。
- ⑤関節に作用するトルクのモニタリングを制御用PCで実施し、異常であれば安全監視用PCに通知するとともに、現状の位置で緊急停止できるようにした。
- ⑥患者の健側の手が機械に挟まれないように機構に透明カバーを付けた。また、健側の手が急に大きく動くことを防止するため、健側にも固定台を設置した。

4. 実証評価

本機器使用群6名とコントロール群5名の実証試験を岐阜中央病院と岐阜大病院で実施した。その結果、運動FIM (Functional Independence Measure: 自立度評価尺度) において本機器使用群は開始時平均65.8から3週平均79.5と有意に向上した。改善の平均はコントロール群で1.0に対し「本機器使用群」では13.7であり、t検定 ($p = 0.065$) は高い傾向にあった。しかし、その他の評価項目においては実証試験の参加患者が少なかったことと実証試験期間が3週間と短かったこともあり、統計学的には有意な結果が得られていない。一方、患者アンケートでの“手のリハビリに効果があると思いましたが?”と“訓練メニューは楽しいものでしたか?”の質問に対して、多くの患者が楽しい、手のリハビリに効果があると思うと回答している。本リハビリ支援システムによる患者のリハビリ意欲の維持効果の有効性が示され、本システムに対する期待の高いことが確認できた。

5. おわりに

本システムは先駆的な研究開発ではあるが、機構的には未だ改良すべき点があり、改良して再度実証試験を行い、まずは福祉・健康機器として実用化し、数年後には医療機器としての認証を得て正式に医療現場へ導入することを目指したい。

参考文献

- [1] 川崎晴久, 他5名: “手指リハビリテーション支援システムの研究 (第1報, 概念と1例試験報告)”, 日本機械学会論文C編, vol.72, no.720, pp.228-233, 2006.
- [2] H. Kawasaki et al.: “Development of Hand Motion Assist Robot for Rehabilitation Therapy by Patient Self-Motion Control,” Proc. of ICORR 2007, pp.234-240, 2007.



川崎晴久 (Haruhisa Kawasaki)

1974年名古屋大学大学院航空工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社研究員, 1990年金沢工業大学教授, 1994年岐阜大学工学部教授, 現在に至る。ロボットハンド, ハプティクス等の研究に従事。工学博士。IEEE, 日本機械学会等の会員。

(日本ロボット学会正会員)



石樽康彦 (Yasuhiko Ishigure)

1999年(株)丸富精工入社, リハビリ支援システム, 多指ハプティックインターフェイス, 枝打ちロボットの開発に従事。現在に至る。(日本ロボット学会正会員)