

# 画像を用いたリハビリテーションハンドのフィードバック

## Visual Feedback for Rehabilitation Hand

○高橋啓太(東電大) 齋藤之男(東電大) 大西謙吾(東電大) 東原孝典(高松義肢)

\*Keita TAKAHASHI, Yukio SAITO, Kengo OHNISHI, Tokyo Denki University,  
Takanori HIGASHIHARA, Takamatsu Prosthetics Orthotics Co.

*Key Words:* Hand Rehabilitation, Bilateral Servo, Visual Feedback Training, Virtual Hand Model

### 1. はじめに

厚生労働省の2006年の発表によると同年までの身体障害者数は年々増加しており、そのデータから肢体不自由者はその50%超を占め、肢体不自由の主たる起因は脳卒中や脊髄損傷であることが読み取れる<sup>[1]</sup>。これに対し、脳血管障害や脊髄損傷に伴う運動感覚機能障害は、機能回復訓練を適切な時期に導入することにより運動感覚機能の再獲得が期待できることを示唆する研究結果も報告されている。堀内らは、上肢機能障害者のリハビリテーション効果について、脊髄損傷などの機能障害者に可動関節領域(ROM)訓練など実施後に徒手筋力検査法(MMT)や日常生活動作(ADL)などの評価点数値が改善されたことを報告している<sup>[2]</sup>。また、機能回復訓練にロボットなどの技術を介在させることで回復効果を高めることを目標とする研究も数多く報告されている。例として川崎らは、日常生活動作で重要な手機能のリハビリテーション支援システムの研究を行っている<sup>[3]</sup>。この研究装置では、患者の健手動作を患手側に提示することで、患者が一人でリハビリテーションを行う事を可能にしている。構造は5指ロボットハンドの技術をベースにしており、ロボットは指節間関節屈伸、中手指節間関節屈伸・内外転のメカニズムで使用者とは指先を合わせる形で装着し、動きを提示する仕掛けとなっている。また、VR技術を利用した訓練用プログラムとデバイス制御を兼任するPCで構成されている。これら機能回復支援用ロボットの研究への期待は高く、実験環境下での成果は蓄積されており、領域としての拡大も見られるものの、機能回復訓練に関する基礎科学研究が不十分であり、効果を生む要因や臨床評価法に関する研究が必要である。このような背景のもと、本研究では、手部の機能回復を目指すロボットシステムの開発を進める。特に指の動作や把持力の調整機能を障害者に適した設定で訓練を行うため、視覚フィードバック法に重点を置いたシステムの構築を目指す。本報告では試作したシステムの開発状況について報告する。

### 2. リハビリテーションハンド

本研究では、把持力の調整と屈曲角度を障害者毎に適合した訓練を行うことを可能とすることを目的に、バイラテラルサーボ油圧伝達機構を応用したリハビリテーション用手部動力装具の研究開発を進めている。油圧式バイラテラルサーボ機構(HBSM)はDCモータに接合された直動機構により駆動されるピストンをもつマスタシリンダと、マスタシリンダに並列に接続されたスレーブシリンダからなり、シリンダ内にシリコン油が封入されている。マスタシリンダとスレーブシリンダの両端がシリコン油で充填されチューブで接続されていることから、マスタ・スレーブシリンダのピストンは圧力拮抗状態が構造的に保たれるよう動作する力伝達機構で

ある。圧力センサで両チューブ内の圧力を、ポテンシオメータでマスタとスレーブ両ピストンの変位を検知し、適宜フィードバック制御の入力とすることで位置と力制御が可能である。また、これまでのHBSMを用いた上下肢の動力装具の開発の経験から、HBSMには次の三点の優位性を確認している。

- ① 通常のモータでは得られない保持力を拮抗作用によって得られることで、省電力でやわらかさを備えている。
- ② スレーブピストンロッドの反力をシリンダ内の圧力変化として検知できることで異常検知も可能である。
- ③ コンピュータを用いた制御において位置制御と圧力制御が動的に切替可能である。

本研究ではハンド用の小型マスタシリンダを開発し、スレーブシリンダを搭載し被験者の手に装着するハンドを試作した。マスタとスレーブのユニットの外観図をFig.2に示す。

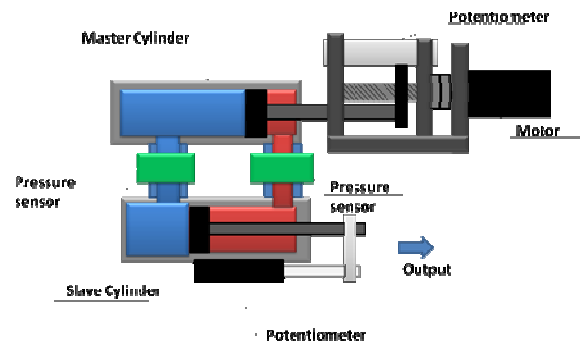
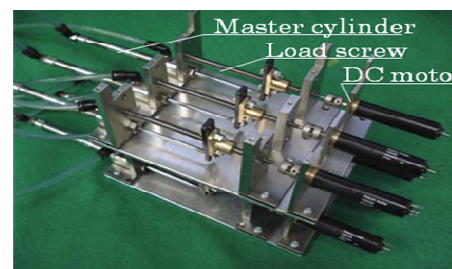
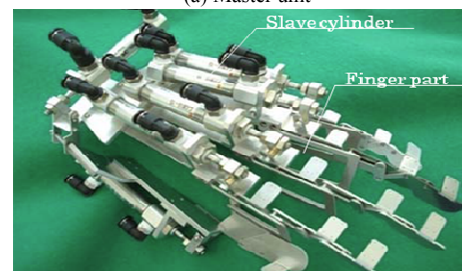


Fig.1. Diagram of the structure of Hydraulic Bilateral Servo Mechanism.



(a) Master unit



(b) Slave unit (hand orthosis)

Fig.2. Master and slave unit of the hand rehabilitation system.

スレーブユニットである動力装具型のハンドは成人男性の左手用に作成した。また、ハンドには、スレーブシリンダを6本搭載し、各スレーブシリンダでそれぞれが接続された指の屈曲・伸展を担う。6本である理由は親指の内外転を含むためである。なお、人間の手は関節単位で動きを決定できることで多様な手の使用形態を取りうるが、装具としての装着性、ならびに重量などの制約を勘案し、本ハンドでは、指の屈曲・伸展にはスレーブシリンダは1本にとどめ、指部のリンク機構で一定軌道の屈曲伸展運動を行うこととした(Fig. 3 参照)。さらに、このリンクメカニズムの機構モデルをFig.4に示し、式(1)～(3)にシリンダストローク  $x$  に対する、各指関節の回転角度  $\theta_i$  ( $i=1,2,3$ )の関係式を示すとともに、この式より算出した指の動作軌跡の計算結果を Fig. 5 に示す。指はMP 関節の可動域である  $0^\circ$  から  $60^\circ$  までが動作可能であることが確認できる。Table 1 に試作したハンドの仕様を示す。

$$\theta_1 = \tan^{-1}(x/l) \quad (1)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{-l_2^2 - l_x^2 + l_3^2}{-2l_2l_x}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{l_4 \sin(106.6 - \theta_1)}{l_x}\right) \quad (2)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{l_6^2 - l_8^2 - l_y^2}{-2l_8l_y}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{l_7 \sin \theta_4}{l_y}\right) \quad (3)$$

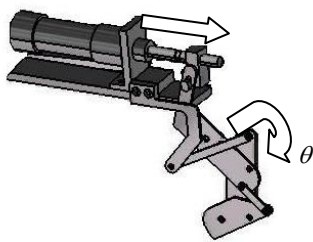
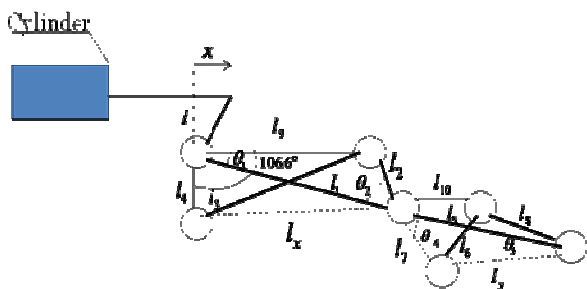


Fig. 3. The slave cylinder and the digit link mechanism of the hand.



$x$  The movement distance of the slave cylinder

Fig. 4. The geometrical link model of the digit link mechanics.

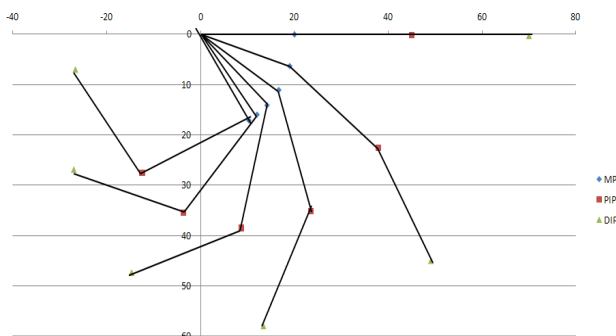


Fig. 5. Movement of the digit link mechanism.

Table 1. Specifications of the rehabilitation hand system

Material	Height	Length	Width	Weight
A2017	107[mm]	187[mm]	125[mm]	400[g]

指部で受ける力はリンクを通じてシリンダピストンに伝わりチューブ部の圧力センサにより検出可能である。また、スレーブシリンダのピストンロッドに取り付けたポテンショメータにより、式(1)～(3)にて指の姿勢は常時推定可能な状態にある。ゆえ、これらのセンサ信号をフィードバック信号とし、目標の指先位置、もしくは指先の力にもとづき制御を行うコントローラが構築できる。マスタ側のDCモータは、モータドライバ回路を接続し、制御する。本試作機においては、モータドライバはマイコン(ルネサスエレクトロニクス, H8-3052F)を用いたPWM制御を行う。センサ信号もH8マイコンでサンプリング、A/D変換を行う。なお、本研究では、機能回復訓練のプログラムで動かされる手(ハンド)の状態をモニタ上に表示する。このため、H8マイコンで読み取られたセンサ信号は、処理された後、PCへシリアル通信で送信される。H8-3052Fは分解能10bitのA/D変換機能を有するので、一度データは16bitに変換したのち上下位の8bitずつに分割しRS-232CインタフェースでPC側に送信、PC側でデコードしモニタ上のハンドのモデルの動作制御情報として用いる。

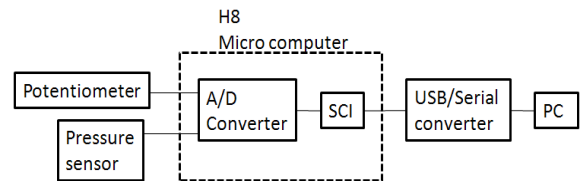


Fig. 6. System diagram of the controller for Rehabilitation Hand.

### 3. 手の動作のモニタリング・表示ソフトウェア

上肢とりわけ腕の運動機能回復訓練には画面に表示される目標追従プログラムがこれまでも活用され、訓練効果が確認されている。一例として、Durffeらは、画面上のターゲット追従を繰り返す機能回復訓練のプログラムを作成し、臨床実験として単にアームを動かすだけのグループと、ターゲットを追跡するグループとで訓練前後の効果を調査しており、その結果、前者のグループではBox and Block、Jebsen-Taylorの評価試験の点数に効果が表れることを確認し、後者のグループでは前者の効果に加えて指の動作範囲、追跡の正確さが改善されることを報告している<sup>[4]</sup>。本研究でも視覚による回復効果の向上を期待し、指の機能訓練装置においても視覚フィードバックを行うこととする。しかし、ハンドとアームとでは自由度や機能が異なることから、モニタ上に表示する操作対象をゲーム性の高い目標追従式ではなく、実際の人間の手のVRモデルとする。作成したモニタ画面の一例をFig. 7に示す。なお、リハビリテーションハンドの試作機は左手用であるが、Fig. 7の画面では右手用のモデルが表示されている。左右の入れ替えは手のモデル作成時に容易に実行可能である。

モニタリング・表示ソフトの開発はMS Visual Studio.NETで進め、コードはSerial Portでシリアル通信が容易なVisual Basicで作成した。動作の理解をしやすくすることを目的に、表示する手のモデルは、動作解析システムで用いられるリンクバーや幾何学的なモデルではなく、人間の手から採形した石膏を三次元計測器で測

定, 合成した手の三次元データを用いることとした. なお, この三次元データは, 使用者の手を非接触式の三次元測定機 (Konica Minolta, VIVID700) を用いて採形, 合成することで作成できるプロセスがこれまでの関連研究で構築できている.

機能回復訓練においては, この手のモデルにセンサより取得した信号を元に動作を行わせ, その結果をリアルタイムで表示する. ハンドは一定軌道を動作することから, 前述の関節角度の導出式をもとに手のモデルにモーション付け用のデータを準備することが可能である. この作業には, 本研究では三次元 CG アニメーションを制作する等を目的とした統合環境アプリケーションソフトである Blender を用いる. 先の三次元測定器により採取, 処理してできる手の表面形状データは, データ数と構造上, センサより得られた関節角度をもとにモデルの指を動かすことが困難である. そこで, 指の形状データを手指の骨格モデルを参考に分割し, 手の形をした骨格モデルの適切な指節に, 関連付ける. 関節動作時には設定された骨モデルと連動し, 表面形状データを移動, 変形させる. この方法でセンサのデータの受け取りから, 画面上の手の三次元モデルの動きを作成する.

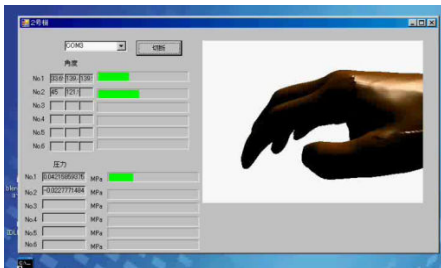


Fig. 7. The developed monitoring window

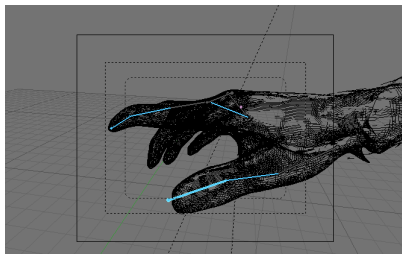


Fig. 8. A screen shot of the Blender software

## 5. まとめ

本研究では, 指のリハビリテーションを目的とした装具を開発した. これは, バイラテラルサーボ機構を用いて指を伸展するものである. その指に加わる負荷を圧力センサで検知し, 指の角度はポテンシオメータにより検知するシステムを構築した. また, 圧力センサ, ポテンシオメータによるハンドの状態データを H8 マイコンで AD 変換し, そのデータからあらかじめ取得していたハンドの三次元画像を編集することにより, モニタ表示を可能にした手の機能回復訓練用視覚フィードバック用のシステムを構築した.

なお, 現状のソフトウェアでは, 三次元の手のモデルの表示処理に時間がかかり, 手の動きとモニタに表示される動きの間に作業に支障を来すような顕著な遅延が生じることが確認できている. また, 画面に表示される手のモデルは常に一定の姿勢で特定の方向から見たものであるのに対し, 使用者の手は多様な姿勢を取りえ視点位置も変えられることから, システムの操作において生理学的に不自然さを感じる. このため, 今後は, ハンドにセンサを追加し, 画像の手のモデルの姿勢変動を実際の手の姿勢変動に

追従することを検討している. また, 様々な評価法でこの装具の有効性を検討していきたい.

## 参考文献

- 1) 社会・援護局障害保険福祉部企画, 身体障害児・者実態調査結果, 2006
- 2) 堀内秀俊, 他, 慢性期の頸髄損傷患者に対するリハビリ効果, 日本パラプレジア医学会雑誌, 9, pp.302-303, 1996
- 3) 川崎晴久, 木村宏樹, 他 4 名, 手指上肢リハビリ支援システムの研究開発, 日本機械学会論文集(C 編), Vol.72, No.720, pp. 228-233, 2006
- 4) William K. Durfee, Design and Usability of a Home Telerehabilitation System to Train Hand Recovery Following Stroke, J. of Medical Devices, Vol.3, DEC., pp.041003\_1-7, 2009
- 5) 吉村忠史, 斎藤之男, 梅村敦史, 東原孝典, バイラテラルサーボを用いたリハビリテーションハンドの研究, 第 14 回日本 IFToMM 会議シンポジウム, 2007, pp25 - 30