

6 自由度肩義手の協調動作制御システム用 モーション作成の研究

木下 敏治* 西原 大樹** 久本 将貴*** 三好 敦士****

Research of the Motion Creation for Coordinated Motion Control Systems for Shoulder Disarticulation Prosthesis with 6 Degrees of freedom

Toshiharu KINOSHITA, Daiki NISHIHARA, Masaki HISAMOTO and Atsushi MIYOSHI

Synopsis

The purpose of this research is to make the SDP motions than the one developed 2006 year at our college. This SDP has a simple structure with 6 degrees of freedom, and the RC servo motor has more torque than that of the 2005 year's. We have used a control circuit, RCB-1, and a control program, "Heart to Heart" (KONDO KAGAKU CO.) in order to control the seven motors of the SDP, and succeeded in making the several programmed motions (by Activities-of-daily-living evaluation table). In this process, we have solved a problem of how to control two motors for shoulder flexion/extension. We have also collected basic data for the range of motion of each degree of freedom.

1. まえがき

全国 18 歳以上の身体障害者数（在宅）は、324 万 5000 人（平成 13 年度）と推計されており、そのなかで肢体不自由者は全体の 53.9%を占めている。また前回調査（平成 8 年 11 月度）と比較しても、肢体不自由は 5.6%増と年々増加傾向となっている。

肢体不自由者のための義手^{1)~18)}、義足のなかで、肩義手は前腕義手などの他の義手、義足に比べて開発が遅れている。その中で電動前腕義手は、手の開閉の制御に筋電を利用して操作する方式で実用化されているが、一方で電動式肩義手は実用化が遅れている。一般的に電動義手は義足よりも高度な制御を必要とし、種類や使用目的が多い

ため研究開発が難しいとされる。また、機能性に優れた義手が完成したとしても、「重量が重すぎる。」「価格が高すぎる。」との声が上がリ、実用化されているのは TDU 全腕義手（東京電機大学 斎藤教授）や、ユタアーム（米 ユタ大学）などしかない。

近年における身体障害者（18 歳以上）の全国推計数を図 1 に示す。

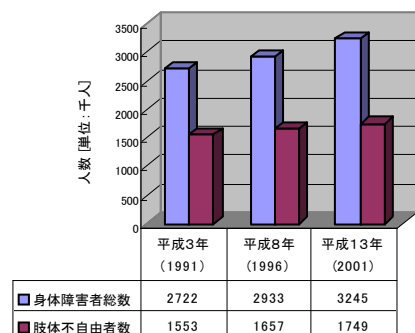


図 1. 身体障害者(18 歳以上)の全国推計数

* 電子工学科

** フジケンエンジニアリング

*** 四国計測

****和歌山大学工学部光メカトロニクス学科

2. 研究の概要

本研究では、2009年4月に四国計測に入社した専攻科の久本君達が開発している電動式肩義手¹⁹⁾を用いてモーション作成の実験をした。

義手の制御方法は、制御基板で7個のRCサーボモーターを操作して、ロボットコントロールボードRCB-1を用いて、近藤科学製の制御ソフト『Heart To Heart』を使用し、日常生活動作評価表(ADL表)の中でも生活に欠かせない作業を教示機能で実現することを目指す。日常生活においてフォークでものを食べる、コップで水を飲む等の食事動作、鉛筆を握る、電話に出る等の机上動作、顔を洗う、歯を磨く等の洗面動作、手を洗う、髪をとく等の衛生動作のモーションを実現することを目的とする。

2006年度の久本君達が作製した肩義手は6自由度の構造で、駆動部には高トルク出力の高電圧(9～12V)型のRCサーボモーターKRS-4014HV、RS-4024HVを使用している。この2つのRCサーボモーターの仕様を図2、図3に示す。



図2. KRS-4014HVICS Red Version
電源電圧 10.8V
トルク 40.8kg・cm
最大動作角度 270度
重量 65g



図3. KRS-4024HVICS Red Version
電源電圧 10.8V
トルク 10.5kg・cm
最大動作角度 260度
重量 48.5g

3. 2006年度に製作した電動式肩義手

図4に全体の概要図を示す。

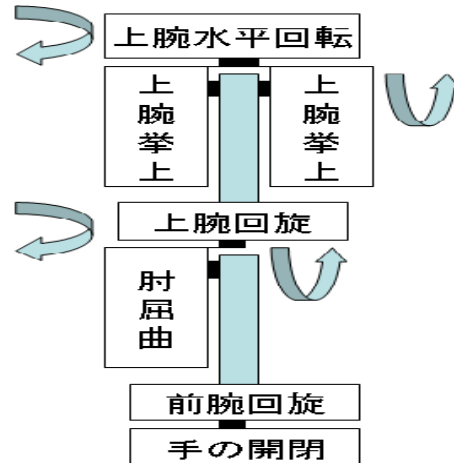


図4. 全体の概要図

3.1 肩義手の重量

下の表は2006年度製作した肩義手の骨組みの重量とモーターの重量である。

表1. 肩義手の骨組みの重量とモーターの重量

全長			
縦	830mm	横	190mm
上腕部			
縦	400mm	横	90mm
前腕部			
縦	430mm	横	170mm
重量			
上腕部	603.5g	前腕部	520.5g
上腕部 モーター重量	260g	前腕部 モーター重量	162g
上腕部 骨組み	343.5g	前腕部 骨組み	358.5g
全体重量		1124g	

3.2 肩義手のシステム構成

システムの構成は、パソコン、電源、近藤科学製のロボットコントロールボード、そしてRCサーボモーター7個である。

RCサーボモーター専用のロボットコントロールボードRCB-1をパソコンに接続し、7個のモーターを同時に協調動作制御する。

3.2.1 システム構成

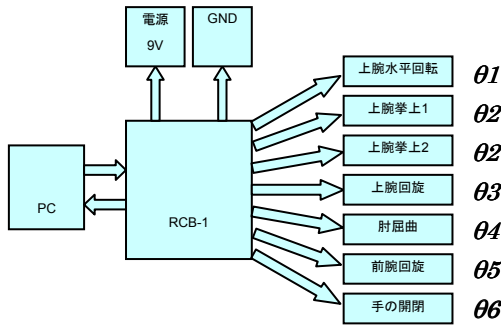


図 5. システム構成図

01 から 06 の対応関係を図 5 に示す。

3.2.2 RC サーボモーターの制御方法

本研究で使用した RC サーボモーターは、入力信号と電源のみで動作する。RC サーボモーターは、PWM 信号を入力すると自動的に PWM 信号のパルス幅に相当する角度に制御でき、さらに特定のパルス幅に PWM 信号を入力するとサーボモーターの角度の読み取りが可能である。

図 6 に入力信号とサーボモーターの機能を示す。

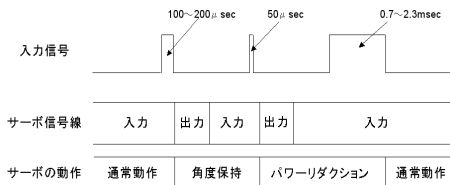


図 6. 入力信号とサーボモーターの関係

(1)通常動作機能

周期 8~20msec に対して 0.7~2.3μsec のパルス幅で PWM 信号を入力すると、サーボモーターはパルス幅に相当する角度に制御され、180 度に及ぶサーボ動作範囲の位置制御が可能である。図 7 にパルスの状態を示す。4014, 4024 は可動域が広い最大角度を 180° に対応させて目標値を与える。

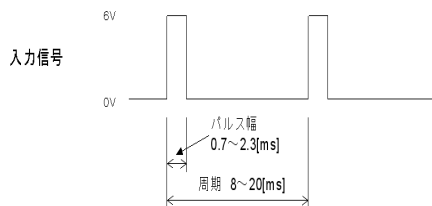


図 7. 通常動作

(2)教示機能 【位置情報の出力】

100μsec~200μsec または 50μsec のパルスが入力されると、サーボは 100μ 以内に信号線を入力してから出力に切り替えて、サーボの位置（回転角度）に対応するパルス幅を出力する。このパルス幅を外部で測定することにより、サーボの現在位置情報の取得が可能である。図 8 にパルスの状態を示す。

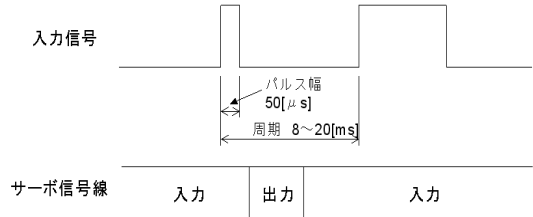


図 8. 入力信号とサーボ信号との関係

3.2.3 制御基盤

本研究で使用した近藤科学製コントロールボード RCB-1 (図 9 参照) は最大で 24 個のサーボモーターと接続し、同時に制御することが可能である。RS-232C ポートよりパソコンに接続し、専用のソフトウェアを用いることでより簡単にモーターの角度制御が可能である。

RCB-1 専用ソフトウェア Heart To Heart Ver1.0 は、RCB-1 専用のモーション作成ソフトウェアである。教示機能を利用し、協調動作制御プログラムの作成が可能である。

図 9 に近藤科学製のロボットコントロールボード RCB-1 を、また図 10 にその基盤図の 1 例を示す。

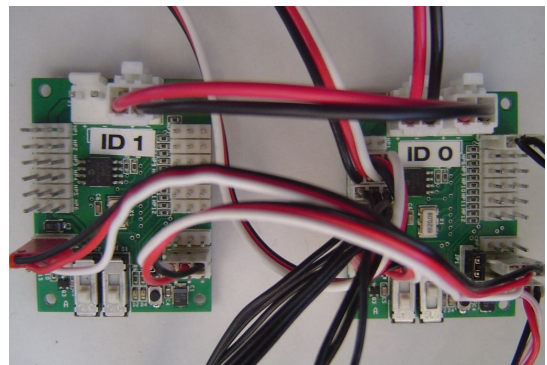


図 9. ロボットコントロールボード RCB-1

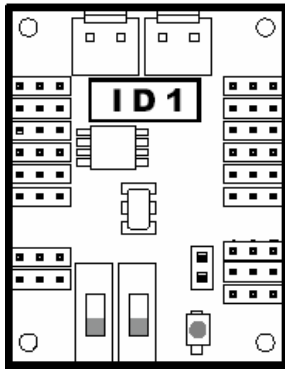


図 10. 制御用基盤図の 1 例

ディップスイッチの位置は ID1 が 2 つとも OFF で ID0 は左が OFF で右が ON である。

4. 動作実験

肩義手を真っ直ぐ伸ばした状態での上腕挙上運動, 肘屈曲運動で目標角に対する実際の角度を測定した。(目測のため誤差 ± 1 度)

他の自由度は一定値に固定してある。

4.1 肩義手の動作実験

2006 年度は肘以外の駆動部を固定した状態での肘屈曲運動で目標角に対する実際の角度を, 肩義手を真っ直ぐ伸ばした状態での上腕挙上運動, 肘を 30 度, 60 度, 90 度にそれぞれ曲げた状態での上腕挙上運動を測定した。

2007 年度は手に物を持たせ何 g 持つと上腕挙上と肘屈曲が目標値と差が生じてくるかの測定を行い動作可能な範囲を調べ, 教示機能を使用して動作可能なモーションを決める。

重さは 50g~400g まで。モーターの駆動電圧は 9v~12v まで測定した。

4.1.1 上腕挙上運動($\theta 2$)

(1)肘を伸ばした状態での上腕挙上運動

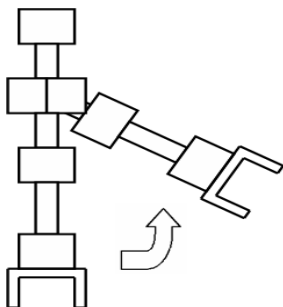


図 11. 上腕挙上の動作図

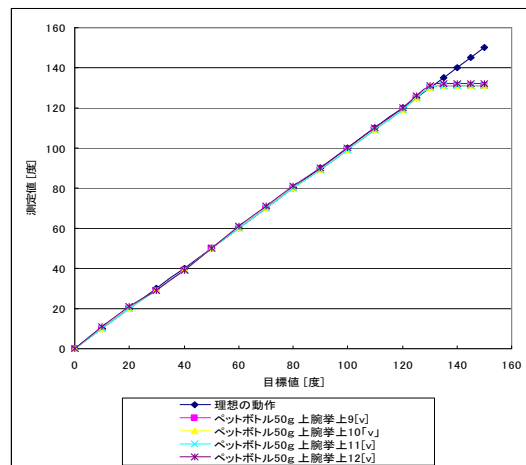


図 12. ペットボトル 50g(水 0g)の時の上腕挙上運動の追従特性

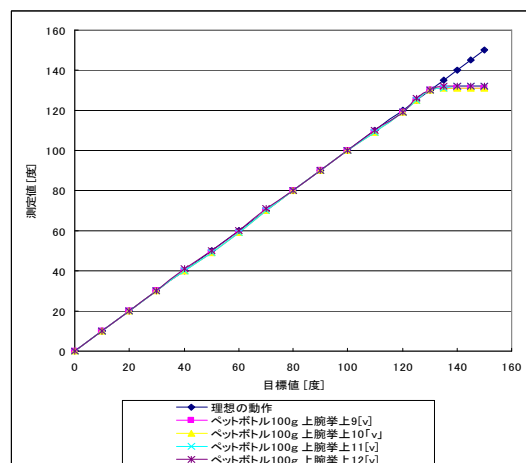


図 13. ペットボトル 100g(水 50g)の時の上腕挙上運動の追従特性

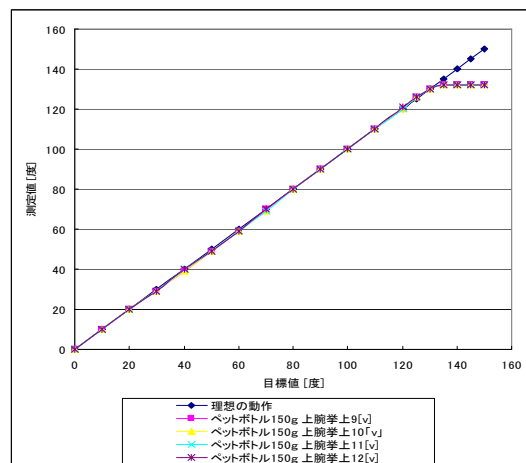


図 14. ペットボトル 150g(水 100g)の時の上腕挙上運動の追従特性

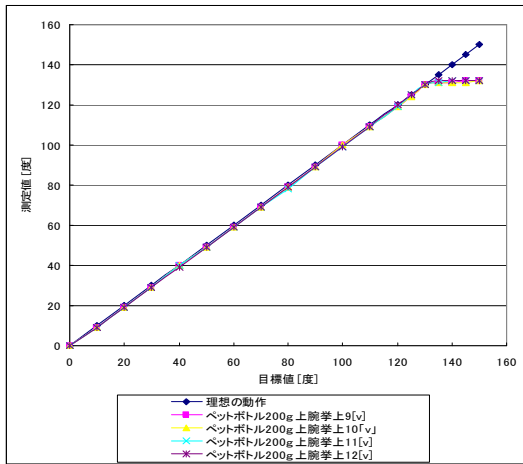


図 15. ペットボトル 200g(水 150g)の時の上腕挙上運動の追従特性

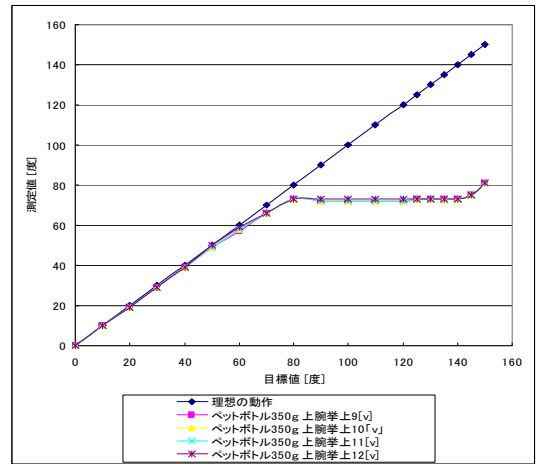


図 18. ペットボトル 350g(水 300g)の時の上腕挙上運動の追従特性

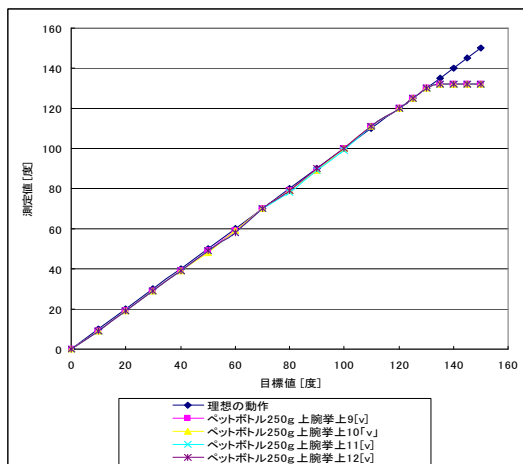


図 16. ペットボトル 250g(水 200g)の時の上腕挙上運動の追従特性

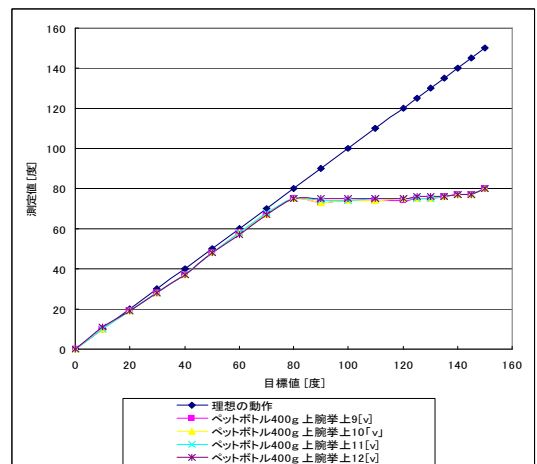


図 19. ペットボトル 400g(水 350g)の時の上腕挙上運動の追従特性

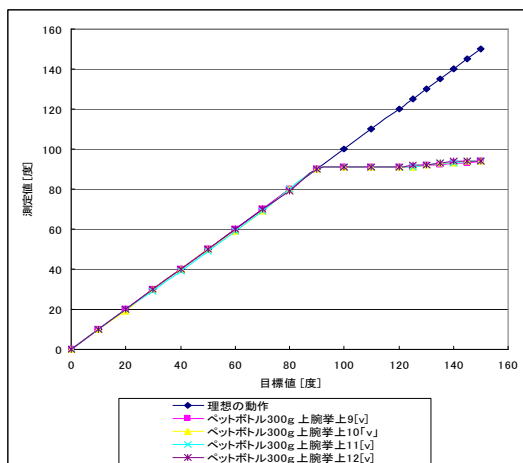


図 17. ペットボトル 300g(水 250g)の時の上腕挙上運動の追従特性

図 12 から図 19 では電源電圧は 9v から 12v に 1v ずつ変化させている。

図 12 から図 16 に示すように 250g までは約 130° まで確実に動作している。図 17 から図 19 に示すように 350g では約 70° までしか動作出来ない。

4.1.2 肘屈曲運動(θ_4)

(2)肘の角度 30 度のときの 上腕挙上運動

図 21 から図 25 までのデータより 250g までは目標角度に追従している。図 26 から図 28 までに示すように 300g から 400g までは約 85° までしか追従出来ていない。

図 21 から図 28 では電源電圧は 9v から 12v に

1v ずつ変化させている。

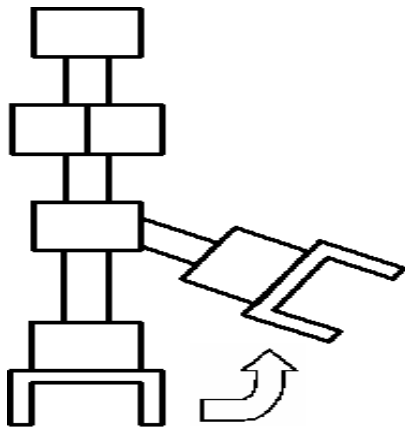


図 20. 肘屈曲の動作図

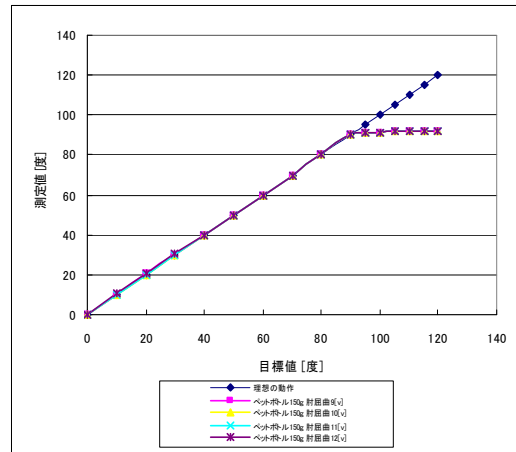


図 23. ペットボトル 150g(水 100g)の時の肘屈曲運動の追従特性

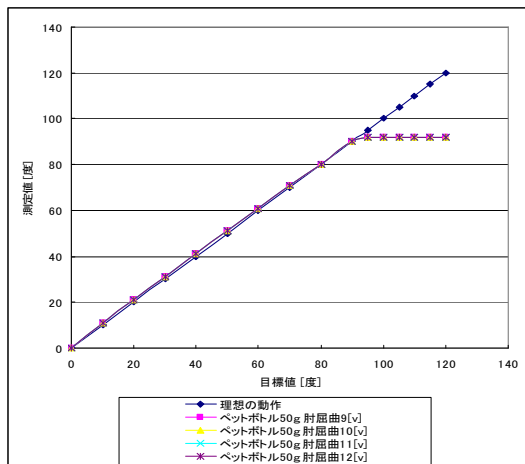


図 21. ペットボトル 50g(水 0g)の時の肘屈曲運動の追従特性

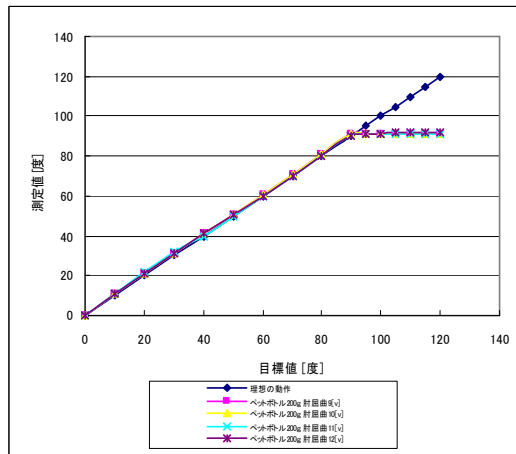
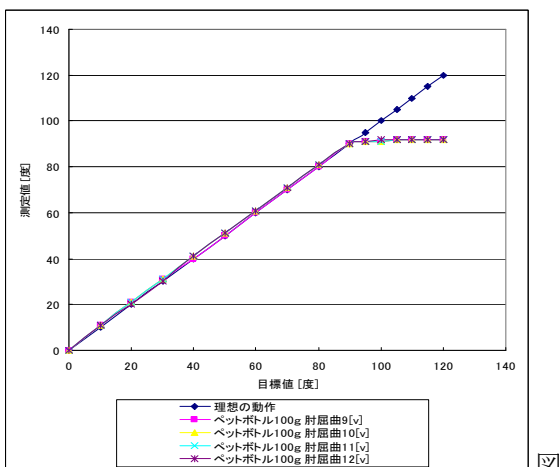


図 24. ペットボトル 200g(水 150g)の時の肘屈曲運動の追従特性



22. ペットボトル 100g(水 50g)の時の肘屈曲運動の追従特性

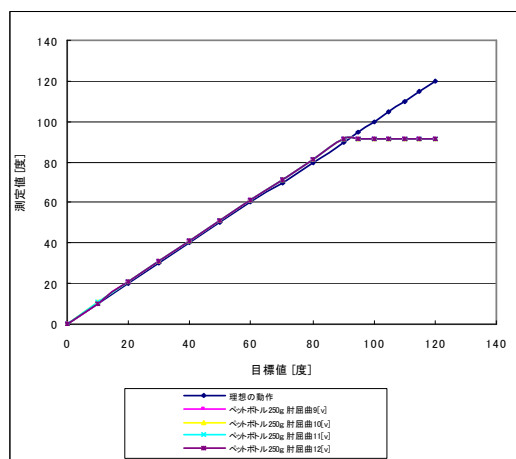


図 25. ペットボトル 250g(水 200g)の時の肘屈曲運動の追従特性

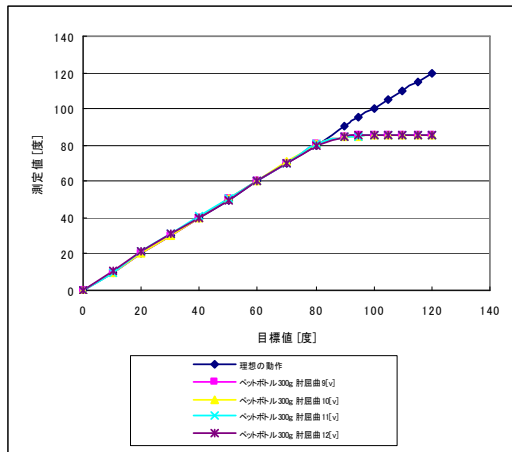


図 26. ペットボトル 300g(水 250g)の時の肘屈曲運動の追従特性

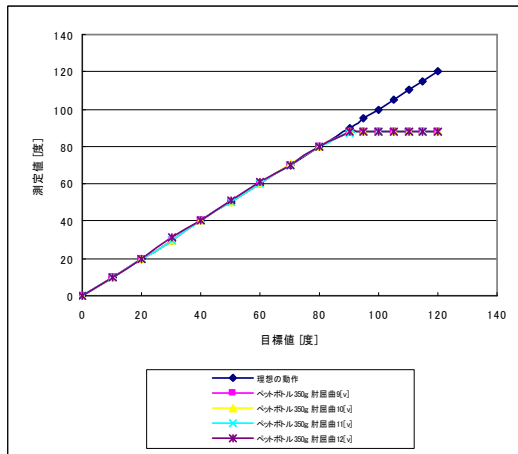


図 27. ペットボトル 350g(水 300g)の時の肘屈曲運動の追従特性

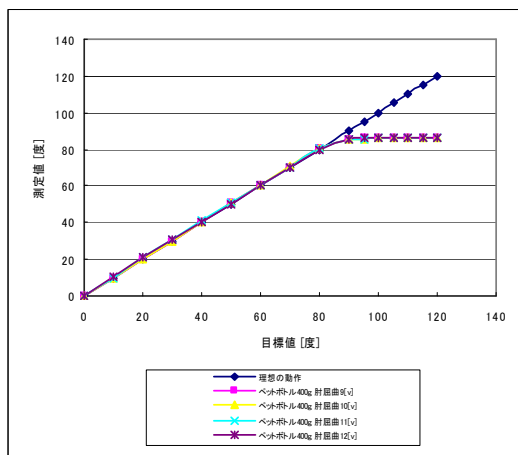


図 28. ペットボトル 400g(水 350g)の時の肘屈曲運動の追従特性

4.2 義手の操作

義手を動かすには、義手のそれぞれのサーボの位置を表すデータを入力する。

ソフトウェア側²⁰⁾では、ポジションを作成するために、ウインドウのスライダーを使用してそれぞれのサーボの位置を設定するか、後述する教示による設定をすることで行う。

また、手を上に上げるなどの動きはモーションといい、モーションとは連続したポジションデータの集まりである。

ポジションから次のポジションへの移り変わりは、設定した数値によりその間は自動的に補完される。RCB-1 では、1 つのモーションに 100 個のポジションを記憶可能で、モーションは 40 個記憶できる。

まず、PC の電源をつける。

各サーボとロボットコントロールボード RCB-1 とを延長コードで接続する。

ソフトウェア『Heart To Heart』を起動させ操作画面が出たら COMM を COM1 に設定する。

次に SYNC を ON にする。

そして動作の再現までの流れは以下になる。

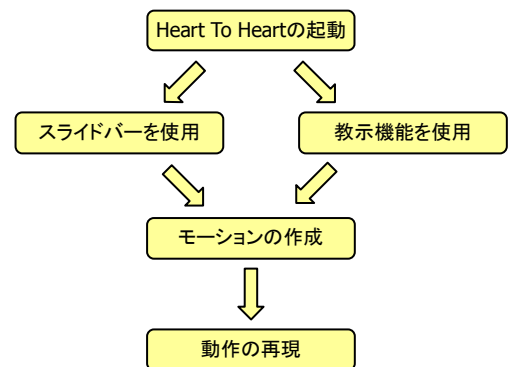


図 29. 肩義手の操作方法の原理

4.2.1 スライダーの使用

実験システムの動作システムの動作方法を示す。

- ① PC の電源を ON にする。
- ② ソフトウェア『Heart To Heart』の起動
- ③ 画面が出たら COMM を COM1 に設定し SYNC を ON にしてスライダーを動かすことでそれぞれのサーボが連動して動作の確認をする。
- ④ 実験
- ⑤ ホームポジションに戻す。

- ⑥ 『Heart To Heart』を終了させPCの電源を切る。

図 30 はソフトウェア『Heart To Heart』の操作画面である。この操作画面でスライドバーを操作して肩義手を動かし、ポジションデータを取得する。この場合、ポジションデータの変更が容易である。しかし、ポジションデータが変更されるときに、変化するスピードを設定できないため、間の補完がなく直ちにデータが変わり、電動式肩義手の操作には向いていない。

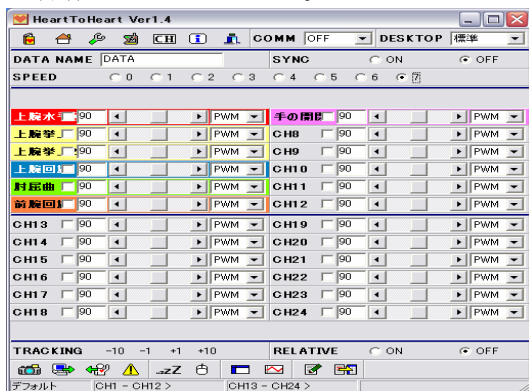


図 30. Heart To Heart の操作画面

4.2.2 教示機能

教示機能の操作方法について説明する。

- ① スライドバーの使用の操作方法(①～③)までと同じ。
- ② 操作画面のショットボタンをクリックすると教示ウインドウが開く。
- ③ 教示で動作を取り込みたいサーボの FREE 設定チェックボックスにチェックを入れる。
(複数同時に指定してもかまわない)
- ④ チェックボックスにチェックを入れると対象のサーボはすぐにフリーの状態になるので、サーボの出力軸を目的の位置に動かす。
- ⑤ 動かしたサーボの位置の角度を読み込む方法は 2 種類の方法がある。(チェックボックスのチェックを外すと現在の位置が読みこまれ、信号が読み込まれた位置に固定されるのとショットボタンを押すと、全てのチェック済みのサーボの位置を読み込み、チェックは解除される。また、信号も読み込まれた位置で固定される) ③から⑤は後で詳しく説明する。
- ⑥ 実験
- ⑦ ホームポジションに戻す。
- ⑧ 『Heart To Heart』を終了させPCの電源を

切る。

通常では、サーボの位置を決めるために信号をサーボに送り、その結果により信号を増減するという作業の繰り返しで行う。つまり、制御のための信号の流れは常に一方通行である。これに対して、Red version が持つポジションキャプチャを使うと、特定の信号に対してサーボは、現在のサーボの出力軸の位置をデータとして返してくる。

入力された信号によってサーボをフリーの状態にすることが可能になっている。教示機能では、指定したサーボをフリーにしてその出力軸を直接触って動かすことによってサーボの位置を決めて、決定後コマンドを送って現在の位置を知ることによって、制御用の信号を決定する。

教示機能を使用するときは、ソフトウェア側で教示モードにし、サーボをフリーしてから義手を上げたい位置まで移動して、ソフトウェア側で義手の現在位置を記憶する。

図 31 に教示機能使用中、図 32 に教示機能使用後、図 33 に教示作成画面を示す。

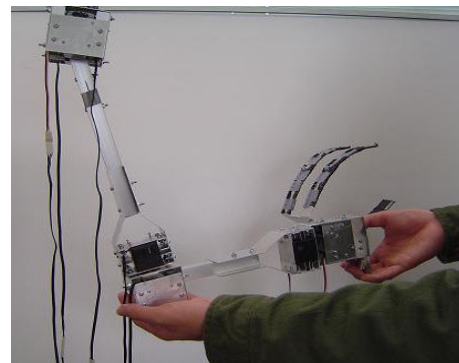


図 31. 教示機能使用中

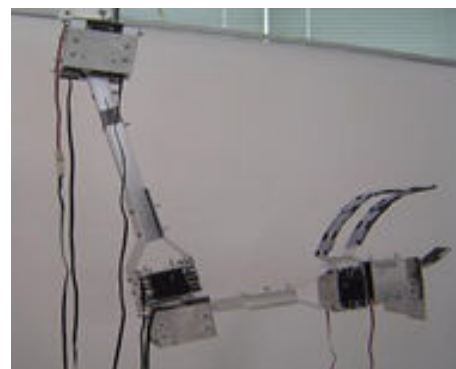
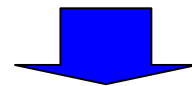


図32. 教示機能使用後



図 33. 指示作成画面

4.2.3 モーションの作成

モーション作成の操作方法を具体例で説明する。

義手に様々な動作をさせる場合に、その都度モーションを指定して動作させることも出来るが、連続した動きをさせる場合、シナリオを使用する。RCB-1 にシナリオは 4 つまで記憶させておくことが可能で、1 つのシナリオを格納しておく場所をバンクという。

1 つのシナリオにはモーションのデータを 200 個指定することが出来る。RCB-1 と Red version の機能を持つサーボと組み合わせることでデータ入力によるポジションの作成ではなく、先に説明した指示によるポジションの作成を行うことが出来る。

義手を装着しても不可能なパターンが多いのは、更衣動作、入浴動作などで、他人の助けを要せず、行うことのできるパターンが多いのは、洗面動作、食事動作、机上動作などである。

2006 年度は ADL 表(日常生活動作評価表)より協調動作制御で、水を飲む動作を再現するために、モーションの作成を行った。

2007 年度は肩義手(肘屈曲、上腕挙上)の追従特性測定より 250g までは肩義手の構造上の限界角度まで上腕挙上、肘屈曲を動作させることができ、300g 程度では上腕挙上、肘屈曲を 80° 以上上げることができることから 300g 程度でも口までペットボトルを持ち上げて飲むことができ、さらに指示機能を使用してモーション作成をした。

表 2. 2006 年度のスライダーを使用したモーション作成

NO	SPEED	上腕水平回転角 θ_1 [度]	上腕挙上(右)角 θ_2 [度]	上腕挙上(左)角 θ_2 [度]	上腕回旋角 θ_3 [度]	肘屈曲角 θ_4 [度]	前腕回旋角 θ_5 [度]	手の開閉角 θ_6 [度]
1	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	-30
3	7	0	0	0	0	0	-30	-30
4	7	0	0	0	0	71	-30	-30
5	7	0	0	0	30	71	-30	-30
6	7	0	57	57	30	71	-30	-30
7	7	0	0	0	30	71	-30	-30
8	7	0	0	0	0	71	-30	-30
9	7	0	0	0	0	0	-30	-30
10	7	0	0	0	0	0	0	-30
11	7	0	0	0	0	0	0	0

表 3. 2007 年度の教示機能を使用したモーション作成

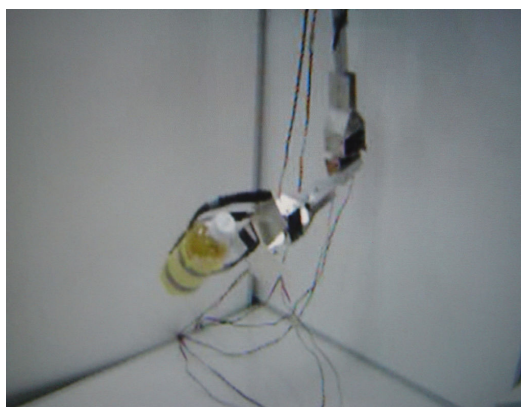
N O	SPEED	上腕水 平回転 角 θ_1 [度]	上腕挙 上(右) 角 θ_2 [度]	上腕挙 上(左) 角 θ_2 [度]	上腕回 旋角 θ_3 [度]	肘屈曲 角 θ_4 [度]	前腕回 旋角 θ_5 [度]	手の開 閉角 θ_6 [度]
1	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	-18
3	7	0	0	0	0	69	62	-18
4	7	0	60	60	38	69	62	-18
5	7	0	0	0	0	0	0	-18
6	7	0	0	0	0	0	0	0

2006 年度と 2007 年度を見比べるとまずわかることは、ポジションデータの数が教示機能を使用することにより少なくなっている。

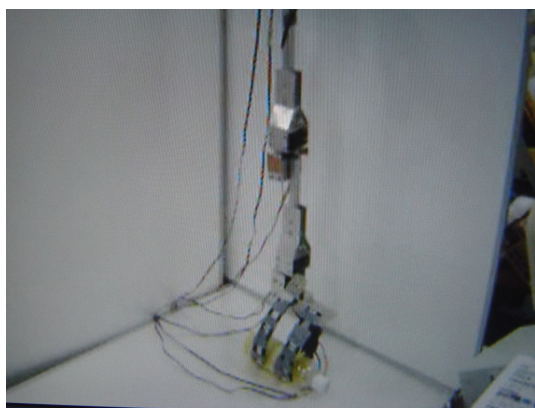
2006 年度はスライダーを使用しているので一個一個のサーボを制御するため動作開始から終了まで時間がかかると共に動きに連動性が無く人間らしい動作をしていない。2007 年度は教示機能を使用しているので一度に二個以上のサーボを同時に協調動作制御することができ人間らしいスムーズな動きをし、動作時間もスライダーを使用するよりかなり短縮された。

その様子を次の図で示す。

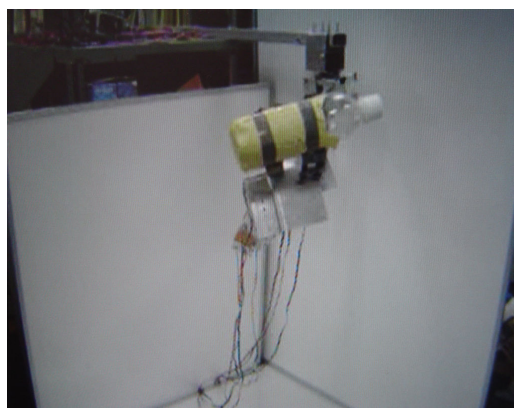
モーション作成の表の左端の番号は時間の進みに対応している。また、次の図の番号は写真による時間の進みに対応した肩義手の様子を大まかに示す。



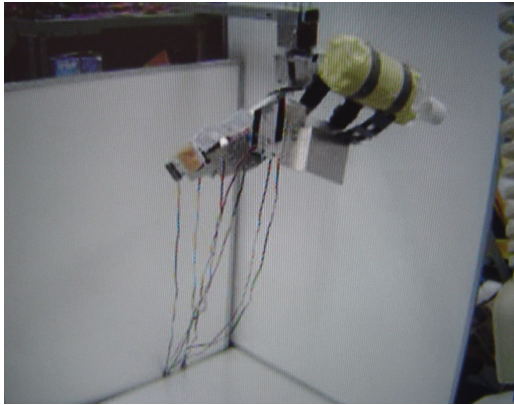
2



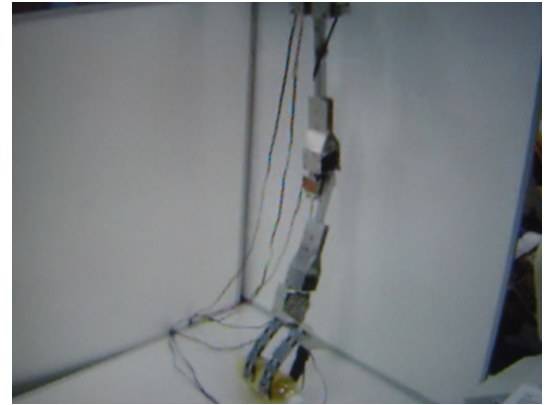
1



3

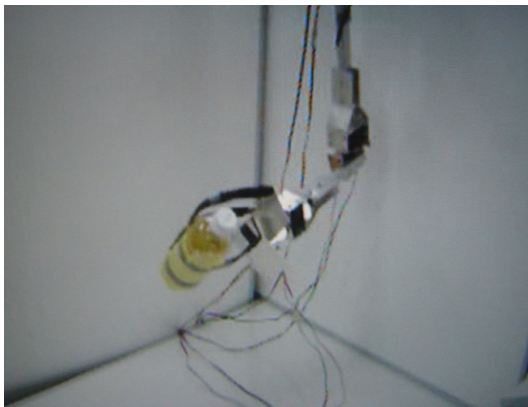


4



6

図 34. 水を飲むモーションを再生したときの様子

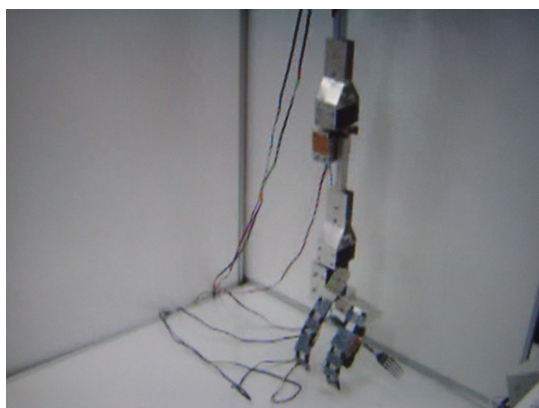


5

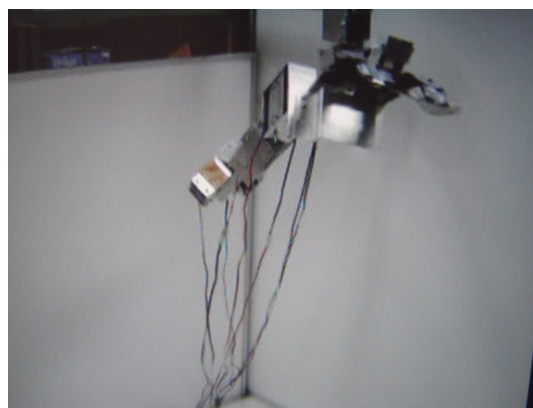
次に ADL 表の中から教示機能を使用して その様子を図と一緒に示していく。
実現できるいろいろな動作を作成できたので

表 4. フォークでものを食べる動作

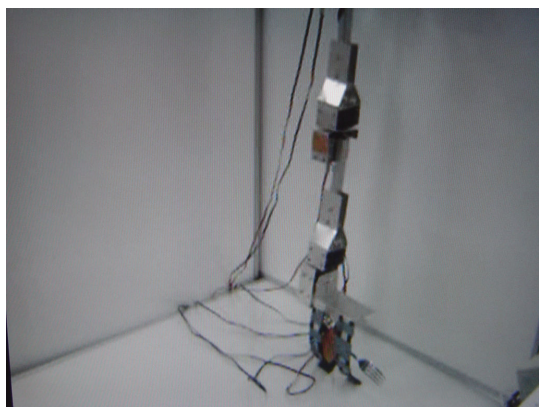
NO	SPEED	上腕水平回転角 θ_1 [度]	上腕挙上(右)角 θ_2 [度]	上腕挙上(左)角 θ_2 [度]	上腕回旋角 θ_3 [度]	肘屈曲角 θ_4 [度]	前腕回旋角 θ_5 [度]	手の開閉角 θ_6 [度]
1	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	-40
3	7	0	0	0	0	69	62	-40
4	7	0	60	60	38	69	62	-40
5	7	0	0	0	0	0	0	-40
6	7	0	0	0	0	0	0	0



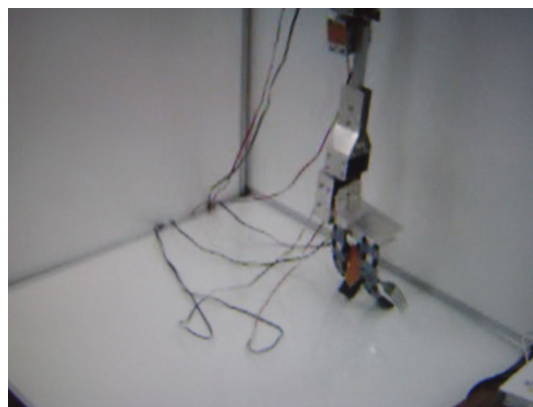
1



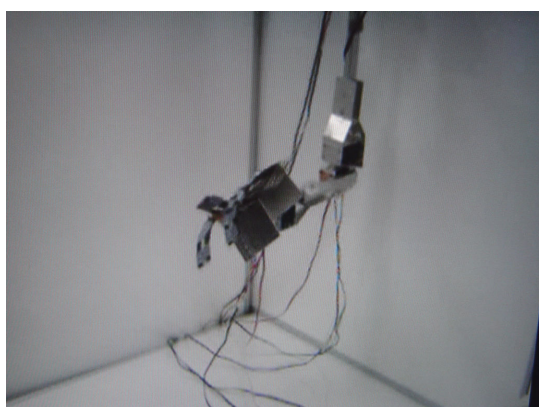
4



2



5



3



6

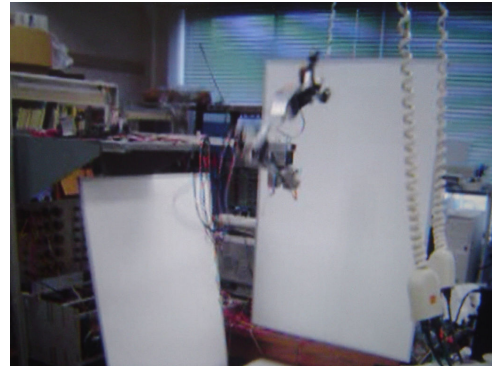
図 35. フォークでものを食べるモーション再生したときの様子

表 5. ボールを投げる動作

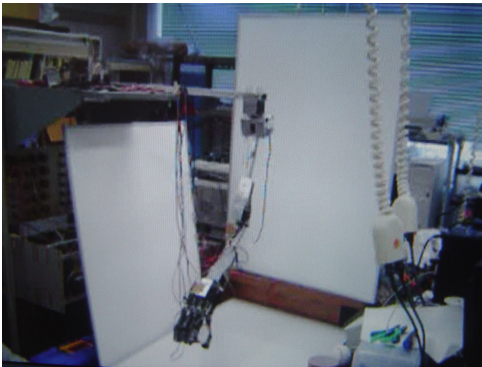
NO	SPEED	上腕水平 回転角 θ_1 [度]	上腕挙上 (右) 角 θ_2 [度]	上腕挙上 (左) 角 θ_2 [度]	上腕回旋 角 θ_3 [度]	肘屈曲角 θ_4 [度]	前腕回旋 角 θ_5 [度]	手の開閉 角 θ_6 [度]
1	7	0	0	0	0	0	0	-79
2	7	0	40	40	0	40	0	-79
3	7	0	-40	-40	0	-40	0	-79
4	7	0	80	80	0	91	0	-79
5	7	0	80	80	0	91	0	-19
6	3	0	0	0	0	0	0	0
7	7	0	0	0	0	0	0	0



1



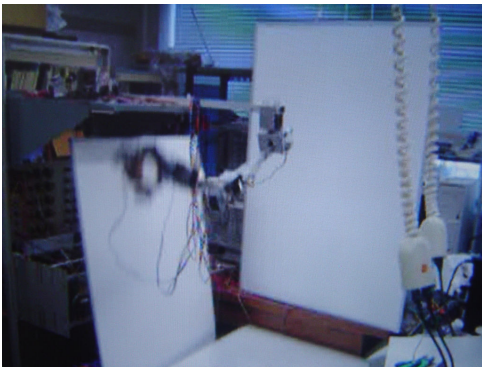
4



2



5



3



6



7

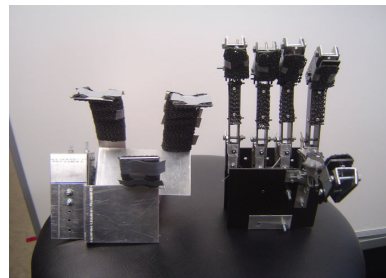
図 36. ボールを投げるモーション再生した時の様子

モーション作成の結果

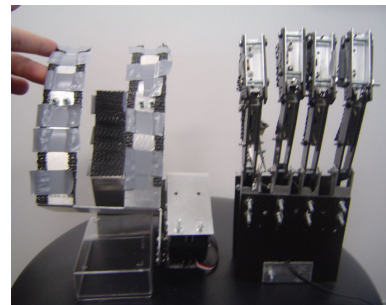
教示機能を用いてフォークでものを食べる, コップで水を飲む等の食事動作を実現することができた。

2006 年度の動作よりスムーズに人間の動作に近いモーションを教示機能を使用することにより実現することができた。また, 三好君と西原君が共同制作して作った新しい手先を久本君達が作った 6 自由度肩義手に装着することにより鉛筆を握る動作, 歯を磨く衛生動作, ボールを投げる動作を実現することができた。

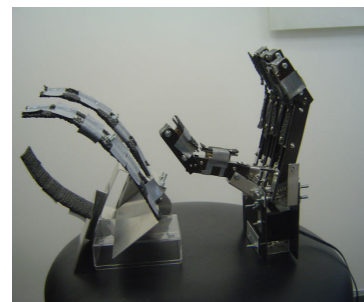
2007 年度の新しい手先(右側)と 2006 年度の手先(左側)を次の図に示す。ボールを投げるモーションでは上腕水平回転角(θ_1)上腕挙上角(θ_2)上腕回旋角(θ_3)肘屈曲角(θ_4)の各部位に大きな力が作用するため故障すると思っていたが, 後で肩義手を分解して調べたところ上腕挙上部と肘の結合用アルミ板が 3° 程歪んだ以外他には異常は無かった。



正面から見た様子



後ろから見た様子



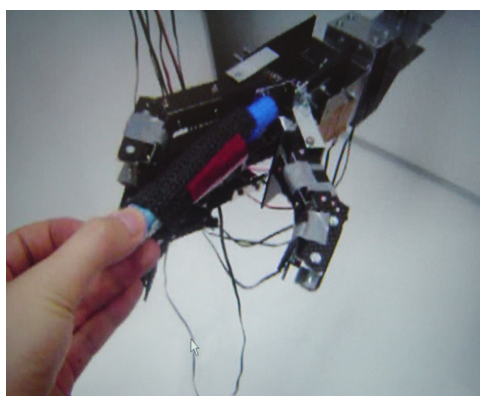
側面から見た様子

図 37. 2006 年度の手先の重さ 200g・
2007 年度の手先の重さ 342g

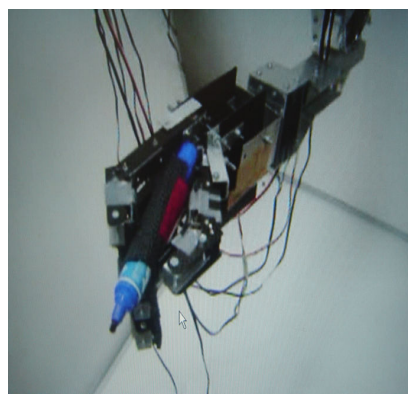
最後に最も人間が動作していると思われる文字を書く動作もこの新しい手先なら実現できると思い実験してみた。その様子を図 38 とモーション作成の表 6 とで示す。

表 6. ペンで文字を書く動作

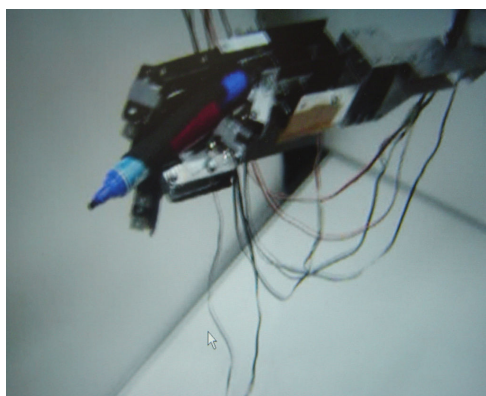
N O	SPEE D	上腕水平 回転角 θ_1 [度]	上腕挙上 (右) 角 θ_2 [度]	上腕挙上 (左) 角 θ_2 [度]	上腕回旋 角 θ_3 [度]	肘屈曲角 θ_4 [度]	前腕回旋 角 θ_5 [度]	手の開閉 角 θ_6 [度]
1	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	-1
3	7	0	7	7	0	91	4	-1
4	7	0	7	7	35	71	4	-1
5	7	0	7	7	35	40	4	-1
6	7	0	0	0	0	0	0	0



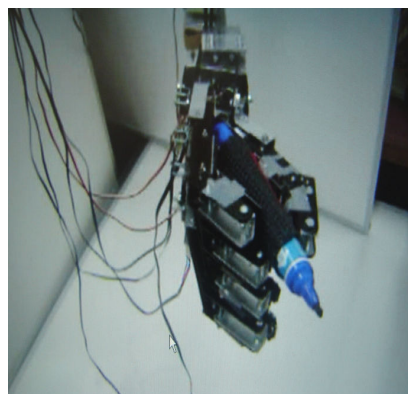
1



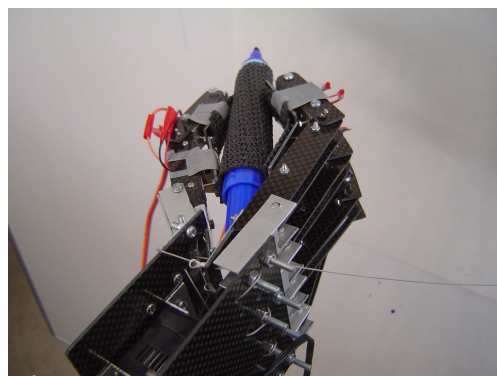
2



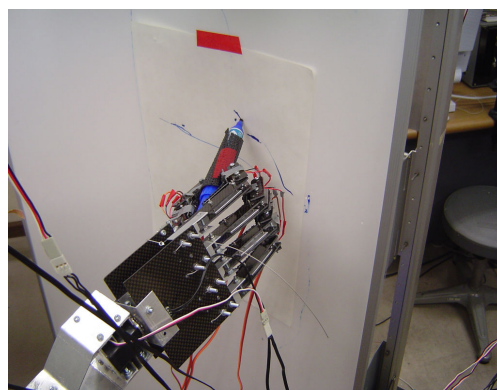
3



4



5



6

図 38. ペンで文字を書く動作

そして書けた文字がこれである。

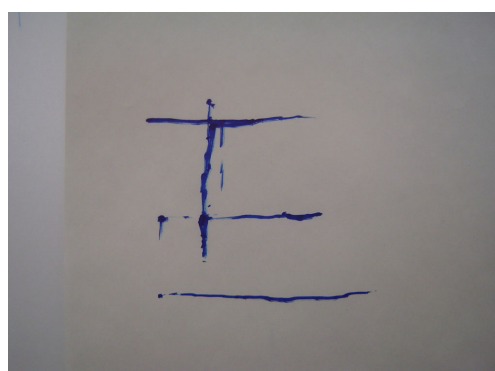


図 39. 完成した文字

漢字の「正」と言う文字を書きたかったのだが上腕回旋のトルク不足により途中で振るえだしてしまった。

5. まとめ

5.1 結果

300g 以上の重い物を持ったときに上腕回旋のトルク不足により物が支えきれなくなる。新しい手先でペンで文字を書く動作はボードとペンに摩擦が生じて手先のモーターに負荷がかかったのと上腕回旋のトルク不足により肘から手先までを十分に支えきれずまっすぐな線が書けなかったと思われる。新しい手先は 2006 年度製作した手先より 142g 重いため動作する範囲が 2006 年度の手先より狭くなる。

5.2 今後の課題

今後の課題として成人男性 20 歳～24 歳の最近の平均身長は 172～173 cm に対応した肩義手の設計制作である。今回使用した肩義手は身長 185 cm ぐらいの成人男性用の物である。身長 173 cm の成人男性を対象とした肩義手の正確な設計を行うと、手先までの長さが相当短く出来る。今のモーターであれば十分なトルクを実現できると予想される。本研究については現在、コントロールボードを新しくして、新しい制御方法について研究中である。

6. 謝辞

本研究にあたってお忙しい中、研究に対する知識や実験手順などをご指導して頂いた電子工学科の全先生方及び実習係のみなさんに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 赤澤堅造 他：動力義手・装具の研究開発の現状と将来,BME(医用電子と生体工学), Vol.13,No.2,p.34-41(1999)
- 2) N.Dechev et al: Multiple finger, passive grasp prosthetic hand, Mechanism and Machine Theory Vol.36, 1157-1173,(2001)
- 3) M. C. Carrozza et al : The Development of a Novel Prosthetic Hand-Ongoing Research and Preliminary Results, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics Vol.7, 108-114, (2002)
- 4) Jimenez et al : First Approach of Pneumatic Anthropomorphic Hand, 2001 Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, October 25-28, Istanbul, Turkey, 1412-1414, (2001)
- 5) William Craelius : The Bionic Man: Restoring Mobility, SCIENC Vol 295, 1018-1021 (2002)
- 6) Peter J. Kyberd et al : An Intelligent Anthropomorphic Hand, with Automatic Grasp, Robotica volume 16, 531-536, (1998)
- 7) Peter Kyberd : The intelligent hand, IEEE REVIEW, 31-35, (2000)
- 8) C. Whiteley et al : Using practice led design research to develop an articulated mechanical analogy of the human hand, Journal of Medical Engineering & Technology, Volume 22, Number 5, 226-232, (1998)
- 9) B. Massa et al : Design and Development of an Underactuated Prosthetic Hand, 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 3374-3379, (2002)
- 10) Richard F. ff. Weir : Design Issues in the Development of an Externally-Powered Partial Hand Prosthesis, BED-Vol. 39, Advances in Bioengineering, 313-314, (1998)
- 11) Richard Colwell et al : The Ut Prosthetic Hand, ASME International Mechanical Engineering Congress & Exhibition, 1-3, (1996)
- 12) F. Sebastiani et al : Experimental analysis and performance comparison of three different prosthetic hands designed according to a biomechatronic approach, 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 64-69, (2003)
- 13) A. Z. Escudero et al : Inverse Kinematics for a Parallel Myoelectric Elbow, 23rd Annual EMBS International Conference, 1427-1430, (2001)
- 14) Kevin Englehart : A Robust, Real-Time Control Scheme for Multifunction Myoelectric Control, IEEE Transactions on Biomedical Engineering VOL50 NO.7, 848-854, (2003)
- 15) Patrizia Scherillo et al : Parallel Force/Position Control of a Novel Biomechatronic Hand Prosthesis, IEEE/ASME International Conference

- ence on Advanced Intelligent Mechatronics, 920-925, (2003)
- 16) Yiorgos A. Bertos et al : Microprocessor Based E.P.P Position Controller For Electric-Powered Upper-Limb Prostheses, 19th International Conference IEEE/EMBS Oct. 30 Nov.2, 2311-2314, (1997)
 - 17) Chih-Lung Lin et al : A Speech Controlled Artificial Limb Based on DSP Chip, 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Vol.20 No5, 2704-2705, (1998)
 - 18) Han-Pang Huang et al : DSP-Based Controller for a Multi-Degree Prosthetic Hand, 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1378-1383, (2000)
 - 19) 木下敏治他 : ロボットコントロールボード RCB-1 を用いた 6 自由度肩義手の協調動作制御システムの開発, 詫間電波高専研究紀要第 36 号, 37-46, (2008)
 - 20) 近藤科学 : RCB-1 ソフトウェア操作説明書