

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

木下 敏治* 久本 将貴** 西山 功一*** 高橋 慎弥****

Development of Coordinated Motion Control System for a Shoulder Disarticulation Prosthesis (SDP) with 6 degrees of freedom using RCB-1

Toshiharu KINOSHITA , Masaki HISAMOTO , Kouichi NISHIYAMA and Shinya TAKAHASHI

Synopsis

The purpose of this research is to develop a SDP that is lighter and has more torque than the one developed 2006 year at our college. 2007 year's SDP has a simple structure with 6 degrees of freedom, and the RC servo motor has more torque than that of the 2006 year's SDP. 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 motions of drinking water in a PET bottle. In that 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

近年における身体障害者(18歳以上)の全国推計数は増加傾向にあり、その中でも肢体不自由者数はその半数以上を占めている。

しかし、肢体不自由者に対する義手や義足の開発は遅れており、特に義手は義足に比べ種類・使用目的が多く高度な制御を必要とし、研究開発が困難とされている。

また、現在の国内における電動義手の普及状況は極めて低い。その原因には、電動義手の着用者が重量や操作性に不便を感じる、というものがある。

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。

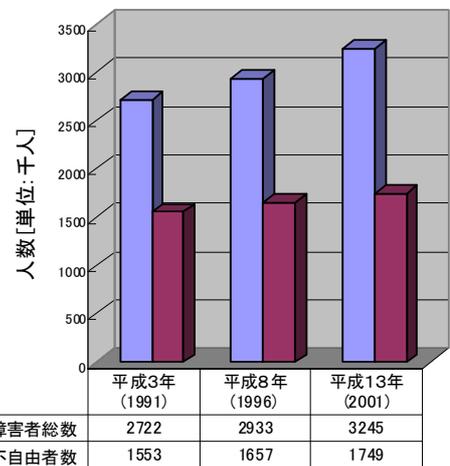


図1. 身体障害者(18歳以上)の全国推計数

2. 研究の概要

本研究では、現在普及している電動式肩義手よりも軽量で安価、さらに操作が容易な電動式肩義手の開発、また、専攻科2期生の新原洋人君が開発している電動式肩義手よりも軽量で高トルクの電動式肩義手の開発を目標とした。

*電子工学科

**専攻科電子通信システム工学専攻

***四国計測

****川崎テクノサービス

製作した肩義手は6自由度のシンプルな構造で、駆動部には近藤科学の高出力の高電圧(9~12V)型のRCサーボモータ KRS-4014HV, KRS-4024HVを使用した。

義手の制御方法は、制御基板である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、7個のRCサーボモータを操作して、生活動作評価表(ADL表)の中のペットボトルで水を飲む動作を、教示機能を用いて実現した。

θ_2 (上腕挙上)の並列動作での問題点を明確化し、改良点を専攻科2期生の新原君に指導して貰い、基本的な各自由度の稼動範囲のデータを測定出来た。

これらの実験結果を元に本研究で開発した電動式肩義手が実用可能であるかを判断する。

3. 製作した電動式肩義手

3.1 肩義手の性能

本研究では、日常生活においてスプーンでものを食べる、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を実現することを目的として肩義手を試作した。

前回の肩義手はパワー不足が問題となり、負荷をかけない状態での上腕挙上運動でも最大60度程度しか上がらず、稼動範囲が少なかった。原因はモータのトルク不足によるものだった。

今回はより軽量で高トルクになったRCサーボモータ KRS-4014HV ICS Red Version (電源電圧10.8V, トルク 40.8kg・cm, 重量 65.0g) をアクチュエータに用い、トルクをあまり使わない前腕回旋と手の開閉部分には少し軽い KRS-4024HV (電源電圧10.8V, トルク 10.5kg・cm, 重量 48.5g) を用いる。

図2に全体の概要図を、図3に製作した電動式肩義手の全体図を示す。また図4から図9までは各部の様子である。

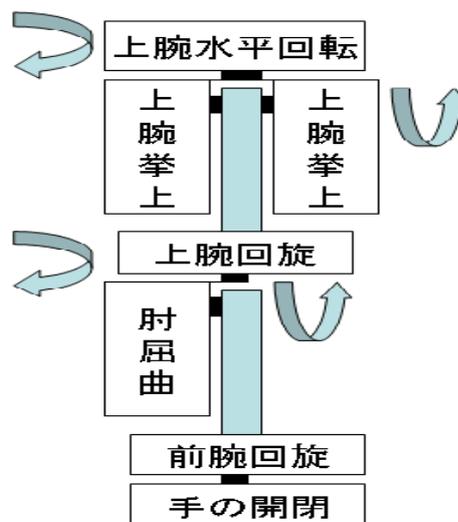


図2. 義手の概要図



図3. 義手の全体図

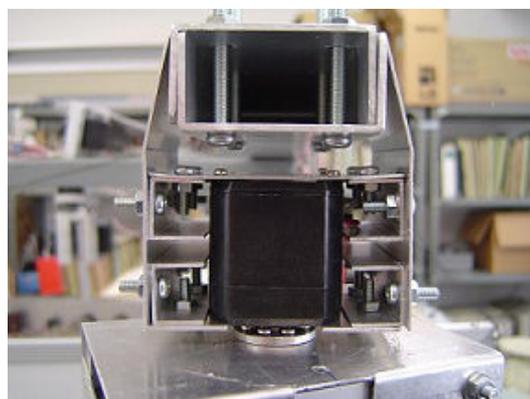


図4. 上腕水平回転(θ_1)

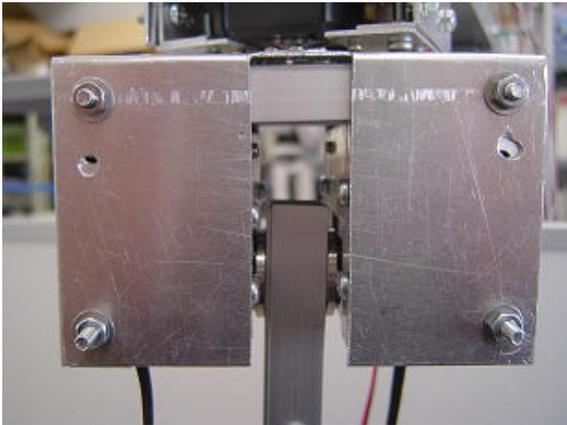


図 5. 上腕水平回転 (θ_2)

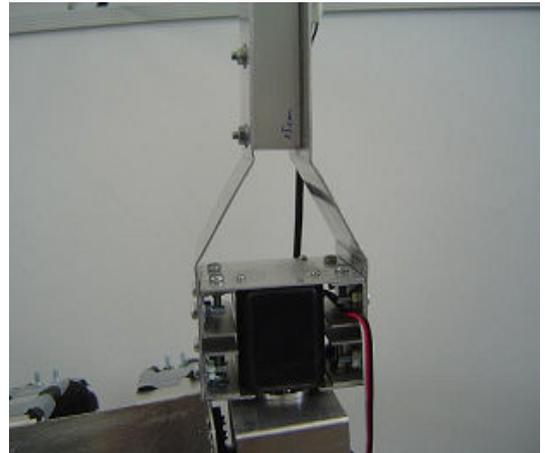


図 8. 前腕回旋 (θ_5)

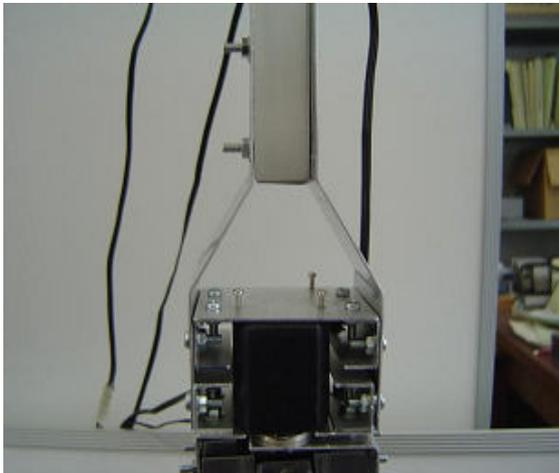


図 6. 上腕回旋 (θ_3)

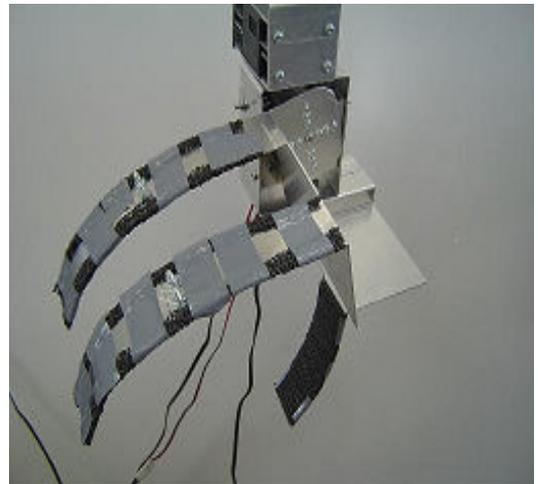


図 9. 手の開閉 (θ_6)

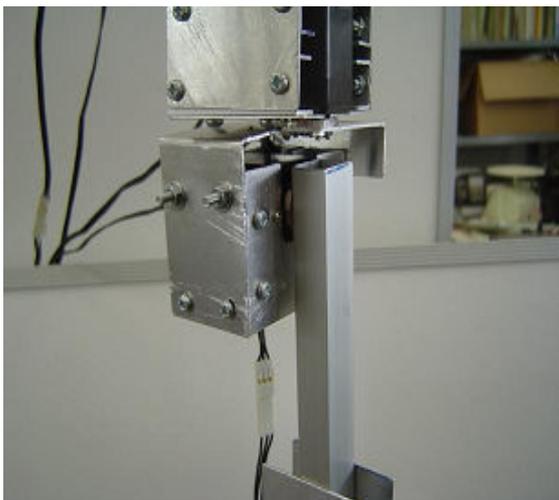


図 7. 肘屈曲 (θ_4)

概要に関しては前回の肩義手と同じだが、今回使用する RC サーボモータが前回のものとは構造も寸法も異なるため、設計段階から作り直す必要があった。

モータの寸法は若干小さくなっているのですが、それに伴い、アクチュエータの骨格も強度を保ったまま小型化することに成功した。ただ、手の開閉部分に関しては物が掴みやすくなるようにと少し大きい構造にしたために重くなってしまい、かなり負荷がかかってくる。表 1 に設計制作した肩義手の骨組みの重量とモータの重量を示す。

表 1. 肩義手の骨組みの重量とモータの重量

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
上腕部モータ重量	260g	前腕部モータ重量	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7個である。

RCサーボモータ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個のモータを同時に制御する。

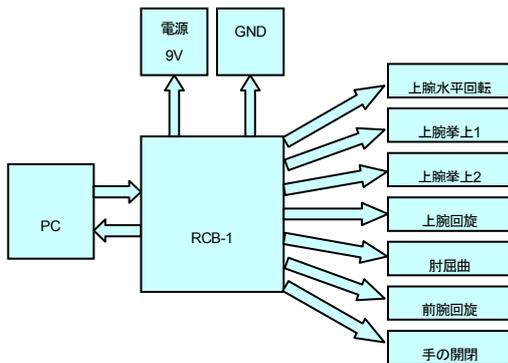


図 10. システム構成図

3.2.1 RCサーボモータの制御方法

本研究で使用したRCサーボモータは、入力信号と電源のみで動作する。RCサーボモータは、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の角度の読み取りが可能である。

図 11 に入力信号とサーボモータの機能を示す。

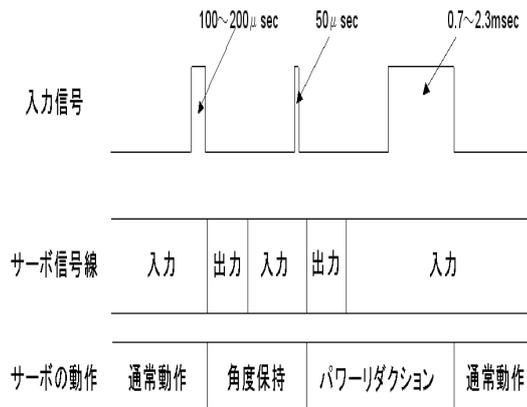


図 11. 入力信号とサーボモータの関係

(1) 通常の動作機能

周期 8~20msec に対して 0.7~2.3 μ sec のパルス幅で PWM 信号を入力すると、サーボモータはパルス幅に相当する角度に制御され、4014 では 270 度、4024 では 260 度に及ぶサーボ動作範囲の位置制御が可能である。

図 12 にパルスの状態を示す。

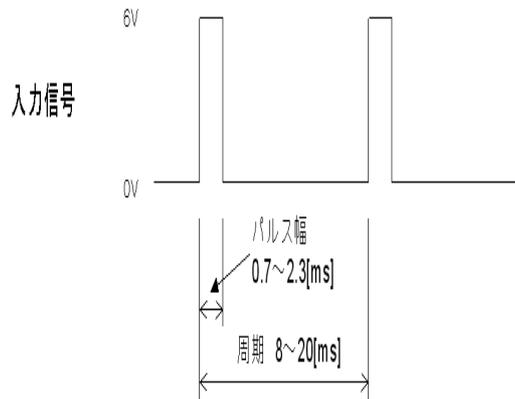


図 12. 通常動作

(2) 教示機能 【位置情報の出力】

100 μ sec~200 μ sec または 50 μ sec のパルスが入力されると、サーボは 100 μ 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 13 にパルスの状態を示す。

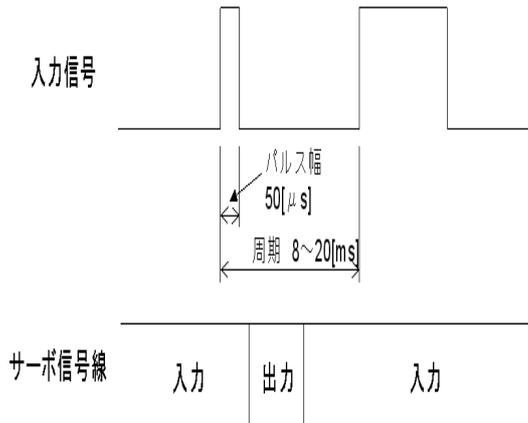


図 13. 入力信号とサーボ信号との関係

3.3 制御基板

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 14 参照) は最大で 24 個のサーボモータと接続し、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の角度制御が可能である。

RCB-1 専用ソフトウェア Heart To Heart 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 14 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 15 にその基板を示す。

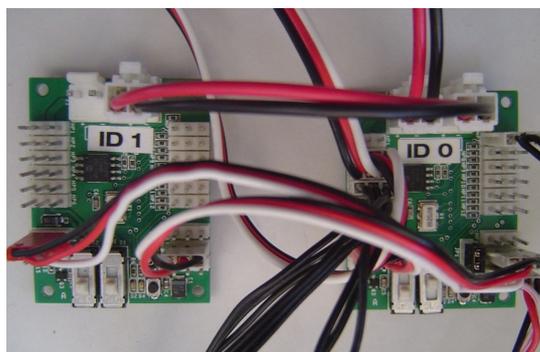


図 14. ロボットコントロールボード RCB-1

6 自由度肩義手に分度器を取り付けて、目標角 10 度ずつ変化させていったときの義手の角度を目測で測定した。(目測のため誤差±1 度)

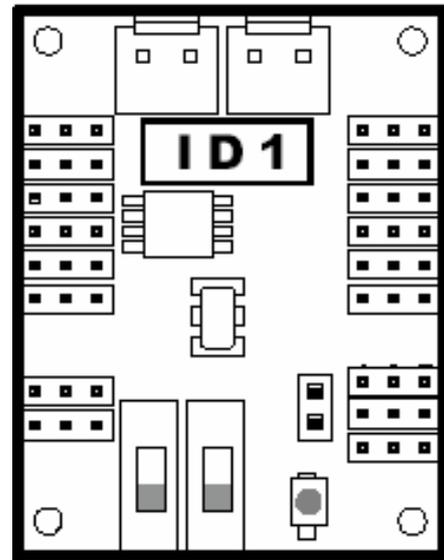


図 15. 基板図

4. 動作実験

4.1 肩義手の動作実験

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。

このとき、上腕挙上の各データではモータを 2 個使用した場合と、1 個のみ使用した場合の 2 通りを測定した。また、モータを 2 個使用した場合には、上腕挙上を改良する前とした後でデータに違いが現れたのでこれも加えた。θ₃ は一定値にしてある。

4.1.1 肘屈曲運動(θ₄)

図 16 に肘屈曲の動作図を、図 17、表 2 にその追従特性を示す。

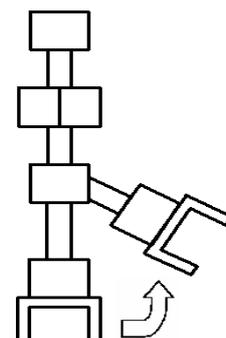


図 16. 肘屈曲の動作図

表 2. 肘屈曲運動

目標角[度]	測定角[度]
0	1
10	10
20	21
30	33
40	43
50	54
60	61
70	71
80	82
90	91
100	103
110	112
120	120

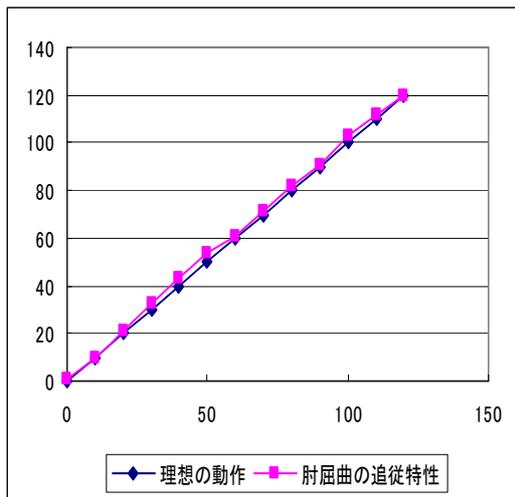


図 17. 肘屈曲の追従特性

4.1.2 肘角度 0 度の上腕挙上運動 (θ_2)

図 18 に肘角度 0 度の上腕挙上の動作図を、図 19、表 3 にその追従特性を示す。

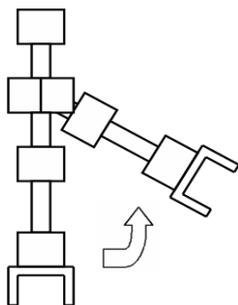


図 18. 肘角度 0 度の上腕挙上の動作図

表 3. 肘角度 0 度の上腕挙上運動

目標角[度]	測定角(改良前)[度]	測定角(改良後)[度]	測定角(モータ1個)[度]	理想角[度]
0	5	1	5	0
10	14	11	14	10
20	22	21	24	20
30	32	31	33	30
40	41	41	42	40
50	50	51	49	50
60	58	60	58	60
70	69	70	58	70
80	78	79	58	80
90	87	89	58	90
100	91	99	58	100
110	91	110	58	110
120	91	120	58	120
130	91	128	58	130

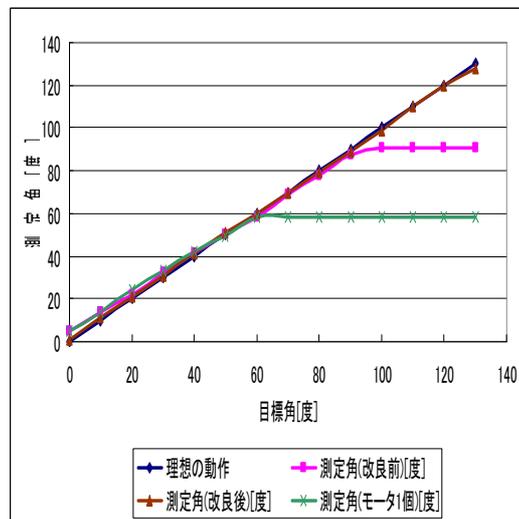


図 19. 肘角度 0 度の上腕挙上の追従特性

4.1.3 肘角度 30 度の上腕挙上運動 (θ_2)

図 20 に肘角度 30 度の上腕挙上の動作図を、図 21、表 4 にその追従特性を示す。

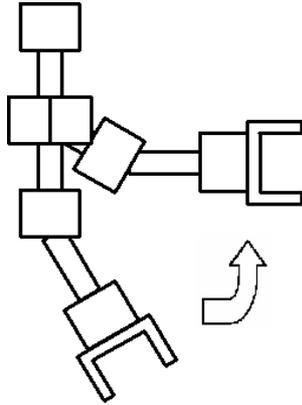


図 20. 肘角度 0 度の上腕挙上の動作図

表 4. 肘角度 30 度の場合の上腕挙上運動

目標角 [度]	測定角 (改良前) [度]	測定角 (改良後) [度]	測定角 (モータ 1 個) [度]	理想角 [度]
0	4	1	4	0
10	13	12	11	10
20	19	21	20	20
30	26	31	30	30
40	34	41	40	40
50	44	51	48	50
60	54	60	48	60
70	63	71	48	70
80	72	80	48	80
90	80	89	48	90
100	83	99	48	100
110	83	111	48	110
120	83	119	48	120
130	83	129	48	130

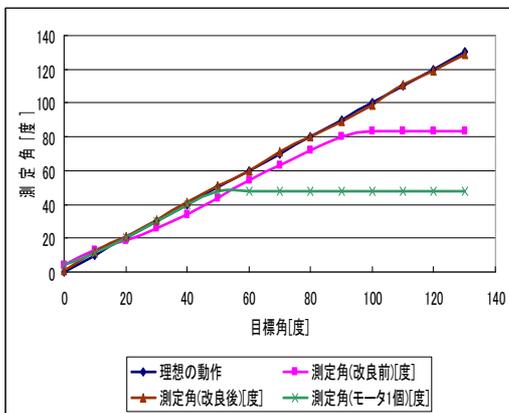


図 21. 肘角度 30 度の上腕挙上の追従特性

4.1.4 肘角度 60 度の上腕挙上運動 (θ₂)

図 22 に肘角度 60 度の場合の上腕挙上の動作図を、図 23、表 5 にその追従特性を示す。

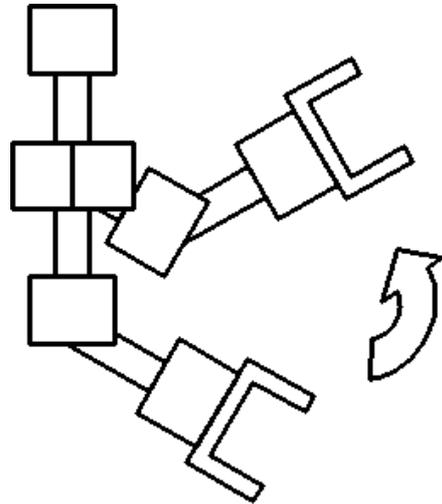


図 22. 肘角度 60 度の上腕挙上の動作図

表 5. 肘角度 60 度の上腕挙上運動

目標角 [度]	測定角 (改良前) [度]	測定角 (改良後) [度]	測定角 (モータ 1 個) [度]	理想角 [度]
0	4	2	4	0
10	11	12	11	10
20	18	22	19	20
30	25	31	28	30
40	35	42	36	40
50	45	51	46	50
60	54	61	46	60
70	61	71	46	70
80	70	81	46	80
90	75	90	46	90
100	75	100	46	100
110	75	110	46	110
120	75	120	46	120
130	75	128	46	130

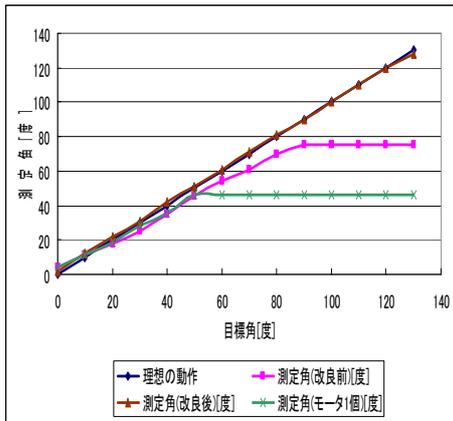


図 23. 肘角度 30 度の上腕挙上の追従特性

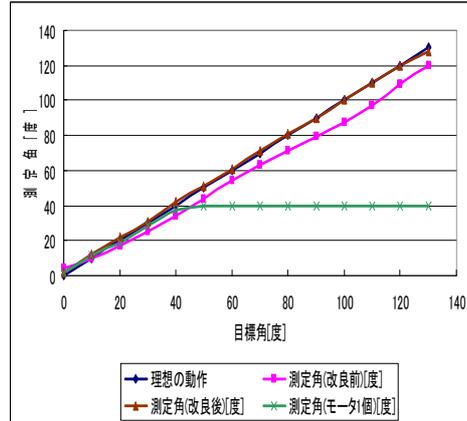


図 25. 肘角度 30 度の上腕挙上の追従特性

4.1.5 肘角度 90 度の上腕挙上運動(θ₂)

図 24 に肘角度 90 度の上腕挙上の動作図を, 図 25, 表 6 にその追従特性を示す。

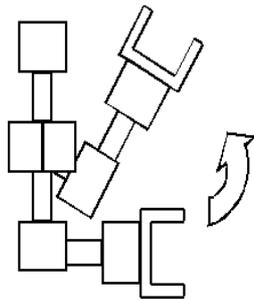


図 24. 肘角度 90 度の上腕挙上の動作図

表 6. 肘角度 90 度の上腕挙上運動

目標角 [度]	測定角 (改良前) [度]	測定角 (改良後) [度]	測定角 (モータ 1 個) [度]	理想角 [度]
0	4	2	2	0
10	10	12	11	10
20	17	22	19	20
30	25	31	28	30
40	34	42	37	40
50	44	51	40	50
60	54	61	40	60
70	63	71	40	70
80	71	81	40	80
90	79	90	40	90
100	87	100	40	100
110	97	110	40	110
120	109	120	40	120
130	120	128	40	130

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。

ソフトウェア側では, ポジションを作成するために, ウィ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。

図 26 に動作の再現までの手順を示す。

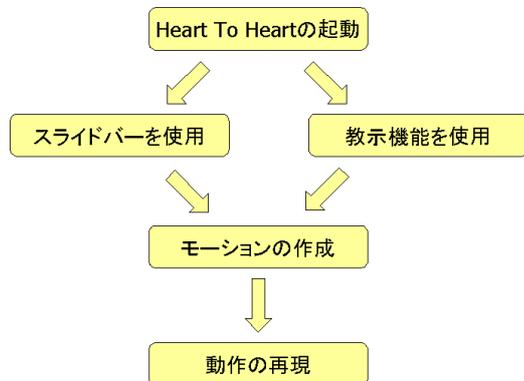


図 26. 動作の再現までの手順

4.2.1 スライダーの使用

図 27 はソフトウェア『Heart To Heart』の操作画面である。この操作場面でスライダーを操

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、間の補充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。

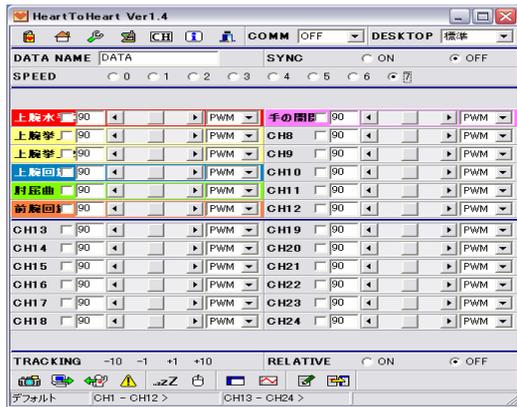


図 27. Heart To Heart の操作画面

4.2.2 教示機能

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接触し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挙げたい位置まで挙げて、ソフトウェア側で義手の現在位置を記憶する。

図 28 に教示の様子を、図 29 に教示作成画面を示す。

4.2.3 モーションの作成

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

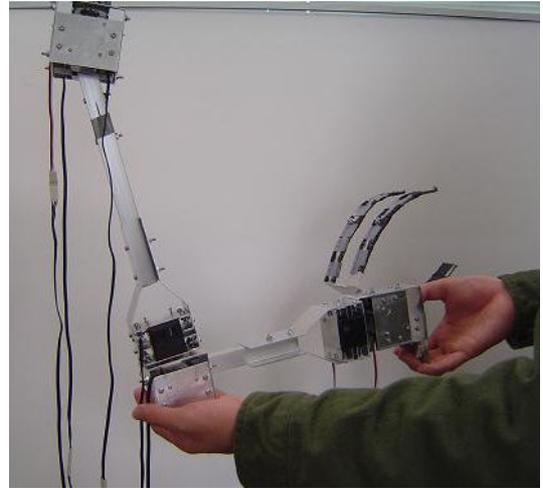


図 28. 教示の様子

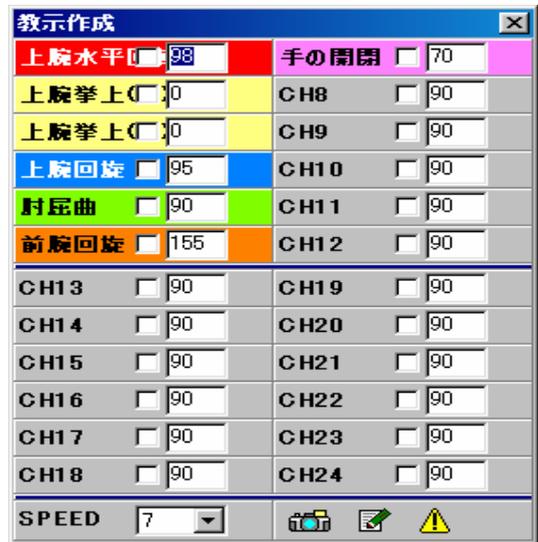


図 29. 教示作成画面

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、先に説明した教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。

今回は 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。

モーション作成から動作の再現までの手順としてはまず、スライドバーや教示機能を使用してポジションデータを作成し、次に各ポジションデータを再現したい動作に合わせて連続させ、最後に再生させる。

図 30 はモーションの作成画面である。

NO.	DATA NAME	SPEED	上	肘	前	手	CH8	CH9			
1	DATA	7	98	0	0	95	90	155	70	90	90
2	DATA	7	98	0	0	95	90	155	43	90	90
3	DATA	7	98	0	0	95	90	95	43	90	90
4	DATA	7	98	0	0	95	161	95	43	90	90
5	DATA	7	98	0	0	115	161	95	43	90	90
6	DATA	7	98	57	57	115	161	95	43	90	90
7	DATA	7	98	0	0	115	161	95	43	90	90
8	DATA	7	98	0	0	95	161	95	43	90	90
9	DATA	7	98	0	0	95	90	95	43	90	90
10	DATA	7	98	0	0	95	90	155	43	90	90
11	DATA	7	98	0	0	95	90	155	70	90	90

図 30. モーションの作成画面

5. 結果

専攻科 2 期生の新原洋人君が製作した電動式肩義手の問題点は上腕挙上部に KRS-8044(トルク:24kg・cm, 重量:142.5g)を 2 個用いたので、トルク不足によって稼動範囲が少なく、上腕挙上を 60 度程度までしか挙げることが出来なかったということである。これを補うため、今回製作した電動式肩義手には高出力の高電圧型の RC サーボモータを使用した。

その結果、上腕挙上の動作範囲は、肘の角度を変化させても 60 度から 70 度近くはそれを上回った。これにより、上腕挙上を 60 度以上挙げる日常動作も再現可能になった。

また、300g の物を持たせた状態で、安定した動作を確認した。これにより水を飲む動作が再現可能である。しかし 300g 程度以上のものでは上腕回旋のトルクが不足し、目標角まで到達せず、腕全体が振動を始めた。

6. 今後の課題

今回の研究で 300g 以内であれば食事動作などで使用する作業空間内で、肩義手の手先の位置・姿勢を自由に制御出来ることが確認出来た。今後の課題としては、300g 以上の重い物を持った時に

上腕回旋のトルク不足により物が支えきれなくなるので、上腕回旋のトルク増加か前腕部の軽量化をすることにより上記問題を克服できると思われる。

また今回の水を飲む動作は 9V の電圧で再現したので、12V まで電圧を上げると値にどう影響してくるかも実験する必要がある。

7. 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御指導して頂いた電子工学科の先生方、並びにご協力下さいました実習係の方々に深く感謝致します。

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.2,34-41(1999)
- 2)新原洋人:RC サーボモータを用いた 6 自由度肩義手の協調動作制御システムの開発,平成 18 年度専攻科特別研究論文集(2007)
- 3)近藤科学:RCB-1 ソフトウェア操作説明書
- 4)木下敏治:クランク拮抗方式による形状記憶合金ロボットシステムの研究,本誌,第 34 号,47-55(2006)
- 5)東原孝典・斉藤之男:全腕式電動義手(TDU s-86)のメカニズムと工学評価,バイオメカニズム 10,東大出版,227-237(1990)
- 6)木下 他:RC サーボモータを用いた 6 自由度肩義手の協調動作制御システムの開発,本誌,第 35 号,33-44(2007)
- 7)木下 他:高トルク・軽量の RC サーボモータを用いた 6 自由度肩義手の開発,本誌,第 35 号,45-52(2007)