

## 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

木下 敏治\* 新原 洋人\*\* 丹下 祐貴\*\*\*

### A Development of Coordinated Motion Control System for a Shoulder Disarticulation Prosthesis(SDP) with 6 degrees of freedom using RC Servo motor

Toshiharu KINOSHITA , Hiroto SHINBARA and Yuuki TANGE

#### Synopsis

In this paper, a quite practical SDP using RC servo motor is proposed. By using RCB-1 control circuit (KONDO KAGAKU CO.), a SDP control system can provide a simplified total system using a PWM (Pulse Width Modulation). A SDP have 6 degrees of freedom. The control algorithm is so made as to move the terminal device of the prosthesis to the desired point by information of keyboard and mouse which is control program (Heart To Heart, KONDO KAGAKU CO.).

A coordinated motion control system using RC servo motor is developed. Total weight is 1.36Kg. But  $\theta_2$  angle until about 60 degrees can not move and  $\theta_3$  angles force is not enough. From the experimental results, each RC servo motor of SDP using KONDO KAGAKU teaching system to the many desired points can move like an flexible human movement. As the result, it was proven that the control system proposed here have good reliability as the pure fixed program control system.

#### 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、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。

肩義手は手先まで含めると自由度が非常に多いため制御が複雑になり多自由度になればそれだけ駆動させるアクチュエータの数が増え、重量が重くなる。現状、電動式肩義手は制御方式や重量など基本的な問題点が多く、実用に至るまでには多くの労力と資金が莫大になるのが問題である。

#### 2. 研究概要

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を目標とした。まず、義手は 4 自由度のシンプルな構造で、腕の部分は軽量なアルミを用いた。駆動部は従来のモータに比べ、軽量で高トルクの RC サーボモータを用いて軽量化を図った。義手の制御方法は、義手の制御に適した機能をもつ制御基板として、現在市販されている近藤科学製の RCB-1 を用いた。この制御基板をパソコンに接続し、5 個のモータを同時に操作して日常生活における簡単な動作を再現した。

さらに、4 自由度の義手に前腕回旋、手の開閉のモータを追加した 6 自由度の肩義手を製作し、動作実験を行った。実験結果を元に本研究で開発した肩義手が実用可能であるか判断する。

#### 3. 製作した肩義手システム

##### 3.1 肩義手の仕様と性能

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

\* 電子工学科

\*\* 川崎造船

\*\*\* 三浦工業株式会社

う、歯を磨く等の洗面動作、手を洗う、髪をとか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。

全体の概要を図 3.1、図 3.2 に示す。腕の長さは日本人男性の平均身長を 170 cm として上腕 35 cm、前腕 30 cm とした。腕の骨格には強度と軽量化を考慮してアルミ材を使用する。手の開閉部にはスポンジを貼り付けて、確実に物を掴めるようにする。

駆動部は高トルク、軽量の RC サーボモータを使用し、6 自由度(上腕水平回転、上腕挙上、上腕回旋、肘屈曲、前腕回旋、手の開閉)の動作を実現した。(図 3.5、図 3.6、図 3.7、図 3.8、図 3.9、図 3.10 参照)

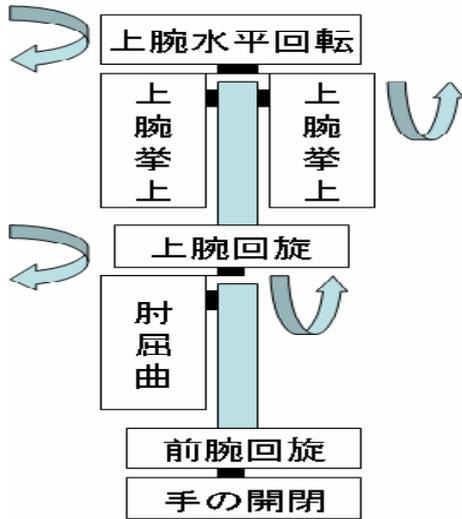


図 3.1 義手の概要図

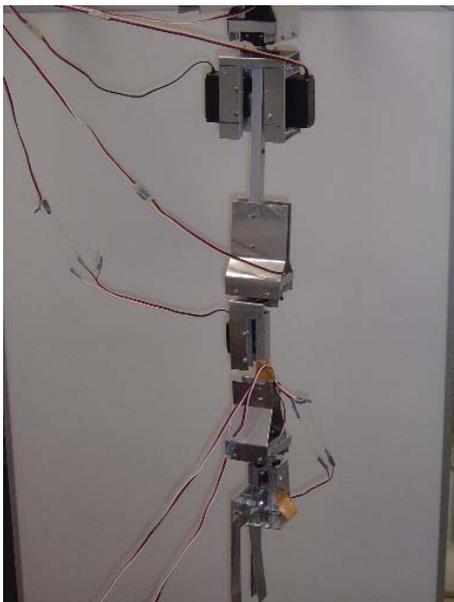


図 3.2 義手の全体図

表 3.1 肩義手の骨組みの重量とモータの重量

全長			
縦	735mm	横	130mm
上腕部			
縦	365 mm	横	130 mm
前腕部			
縦	370 mm	横	110 mm
重量			
上腕部	600g	前腕部	760g
上腕部モータ重量	427.5g	前腕部モータ重量	201g
上腕部骨組み	172.5g	前腕部骨組み	559g
全体重量	1360g		

まず、前腕回旋、手の開閉の部分を省いた義手を作製し、正常に動作するかどうか動作実験、特性測定を行ったあと、前腕回旋、手の開閉を取り付けての動作実験を行った。

重心が手先に移ることでどの程度の影響が上腕挙上の部分に出るかを前腕回旋、手の開閉の部分を除いた義手とで比較、検討した。表 3.1 に肩義手の骨組みの重量とモータの重量を、表 3.2 にモータの仕様を示す。

### 3.1.1 上腕挙上の並列駆動

図 3.4 のように、上腕挙上部のモータは向かい合わせになっているためにどちらかのモータを逆回転にする必要がある。これは、近藤科学 servo manager -red version- を用いてモータの内部設定を書き換えて、リバース設定にした。しかし、二つのモータを合わせているのでモータの初期位置がずれているとモータが壊れてしまう可能性があるため、モータの最大駆動角が 180 度なので駆動角いっぱいのところまで二つのモータを合わせる。

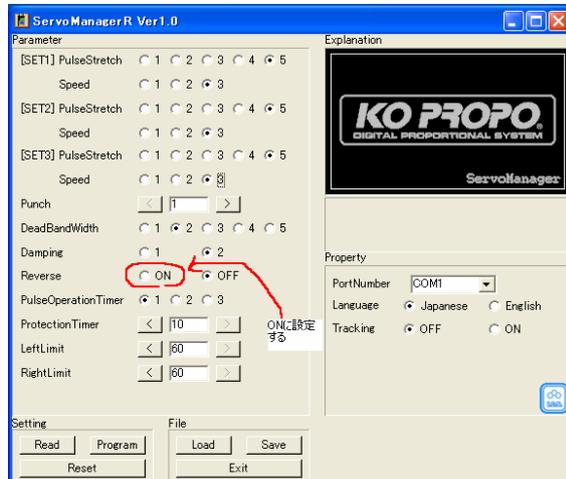


図 3.3 servo manager の設定画面

パルスストレッチ

サーボの保持特性の設定。デジタルサーボでありながらアナログサーボのような保持特性にすることができる

スピード

サーボの最大スピードを調整する機能

パンチ

サーボの初期レスポンスを向上させる機能

デッドバンド

ニュートラル帯域の設定

ダンピング

サーボが停止するときの特性の調整。停止ポイントの手前からブレーキをかけるか、行き過ぎてから少し戻るといった感じかいずれかに変更できる

パルスオペレーションタイマー

パルス入力がないときに、動作制御を開放するまでの時間の設定

プロテクションタイマー

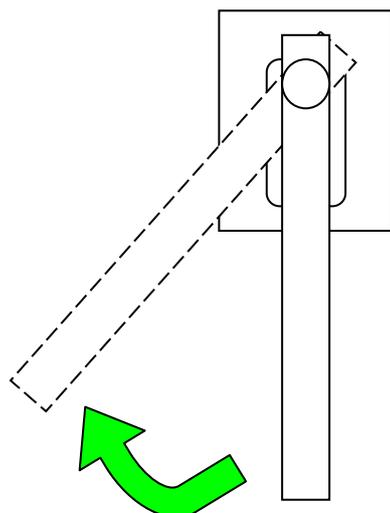
プロテクション動作開始までの時間を設定する。プロテクション機能は、ロックからサーボを保護するために設定した時間で 25% パワーダウンさせる

リミット

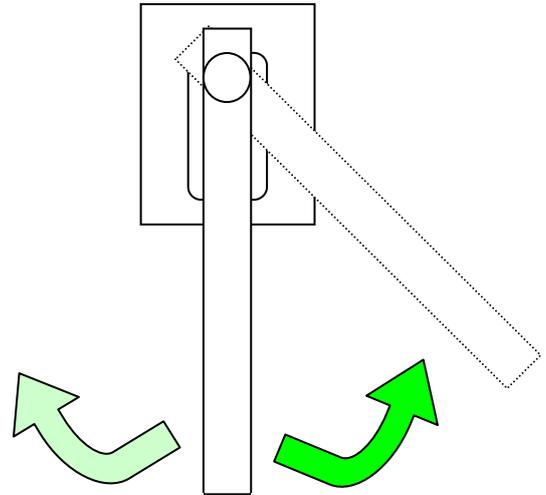
最大動作角を左右別々または、左右均等の設定が可能

リバース

入力信号のパルス幅の増減に対する動作方向(回転方向)を逆転させる



通常の場合のモータ



本来ならこっちに回転

リバース設定になっているのでこっち

リバース設定にするモータ

図 3.4 モータの並列駆動

アーム部分をまっすぐ下にした状態で二つのモータを合わせる。そうすることで二つのモータの 0 度の位置のずれを少なくすることが出来る。

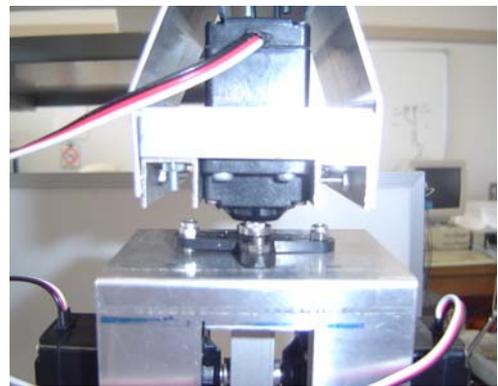


図 3.5 上腕水平回転(θ1)

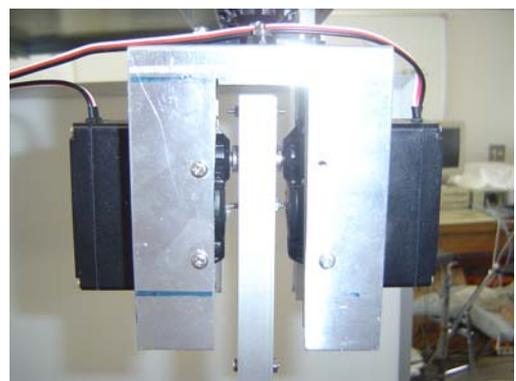


図 3.6 上腕挙上(θ2)

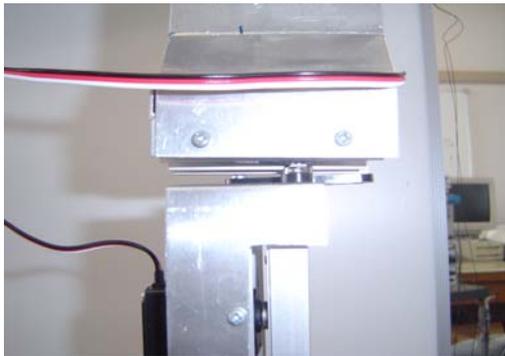


図 3.7 上腕回旋 ( $\theta 3$ )

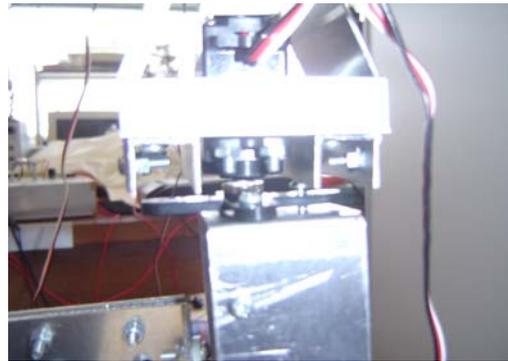


図 3.9 前腕回旋 ( $\theta 5$ )

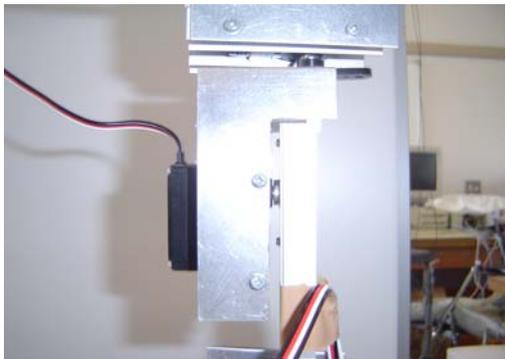


図 3.8 肘屈曲 ( $\theta 4$ )

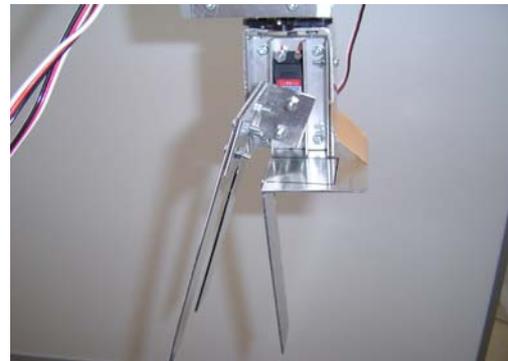


図 3.10 手の開閉 ( $\theta 6$ )

表 3.2 モータの仕様表

	モータの設置場所	寸法	重量	トルク	回転速度
$\theta 1$	上腕水平回転	59.5×29×53mm	142.5g	24(kg・cm)	0.2(秒/60°)
$\theta 2$	上腕挙上(2個)	59.5×29×53mm	142.5g	24(kg・cm)	0.2(秒/60°)
$\theta 3$	上腕回旋	40×20×43mm	58.0g	20(kg・cm)	0.16(秒/60°)
$\theta 4$	肘屈曲	40×20×43mm	58.0g	20(kg・cm)	0.16(秒/60°)
$\theta 5$	前腕回旋	40×20×43mm	58.0g	20(kg・cm)	0.16(秒/60°)
$\theta 6$	手の開閉	36×15×38.5mm	27g	2.9(kg・cm)	0.09(秒/60°)

### 3.2 肩義手のシステム構成

#### 3.2.1 システム構成

システム構成は、近藤科学製 RC サーボモータのコントロールボード RCB-1、RC サーボモータ 7 個、電源、パソコンである。

全体のシステム構成図を図 3.9 に示す。RC サーボモータ専用の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。

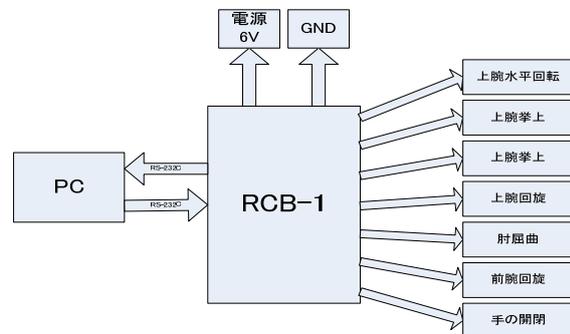


図 3.11 システム構成図

#### 3.2.2. 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。数  $\mu$  sec の制御パルス

によってモータの角度を 1° 単位で正確に決める事ができ、PIC などのワンチップマイコンでも容易に制御することが可能である。

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。

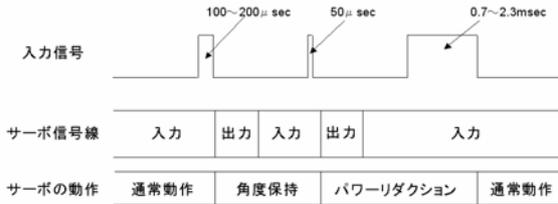


図 3.12 入力信号とサーボモータの機能

(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、180 度に及ぶサーボ動作範囲の位置制御が可能である。図 3.13 にパルスの状態を示す。

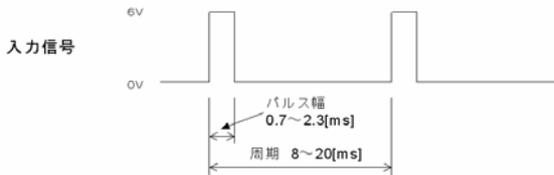


図 3.13 通常動作

(2) モーションキャプチャー機能

50 μ sec のパルスが入力されるとサーボ側は 100 μ sec 以内に信号線を入力から出力に切り換わり、そのときのサーボの位置に対応するパルス幅を出力する。このパルス幅を測定することでサーボモータの位置情報の取得が可能となる。入力信号とサーボ信号との関係を図 3.14 に示す。

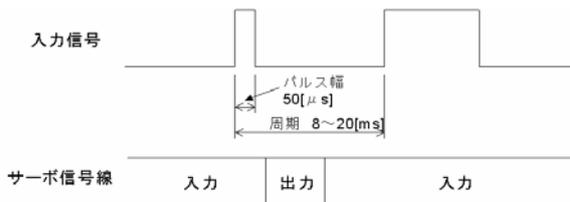


図 3.14 入力信号とサーボ信号との関係

3.2.3. 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 3.13 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。表 3.3 に RCB-1 の仕様書を示す。



図 3.15 コントロールボード RCB-1

表 3.3 RCB-1 の仕様書

寸法	重量	通信速度
44.5 × 35 (mm)	12 (g)	115200bps

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。ポジションキャプチャー機能を利用し、協調動作制御プログラムの作成が可能である。

4. 動作実験

6 自由度方義手に分度器を取り付けて、目標角 5 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)

4.1 肩義手の動作実験

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、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測定した。

4.1.1 上腕挙上運動(θ 2)

(1) 肘を伸ばした状態での上腕挙上運動

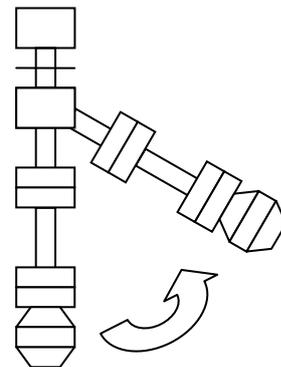


図 4.1 実験の概要図

表 4.1 肘角度 0 度 のときの上腕挙上角

目標角 [度]	測定値 [度]	目標角 [度]	測定値 [度]
0	10	55	56
5	15	60	60
10	20	65	62
15	25	70	62
20	28	75	62
25	32	80	62
30	37	85	62
35	42	90	62
40	46	95	62
45	50	100	62
50	53	105	62

表 4.2 肘角度 30 度 のときの上腕挙上角

目標角 [度]	測定値 [度]	目標角 [度]	測定値 [度]
0	10	55	55
5	15	60	55
10	20	65	55
15	25	70	55
20	30	75	55
25	35	80	55
30	39	85	55
35	43	90	55
40	46	95	55
45	49	100	55
50	53	105	55

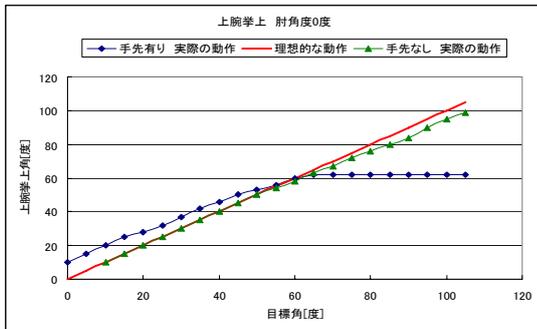


図 4.2 肘角度 0 度 上腕挙上角の追従特性

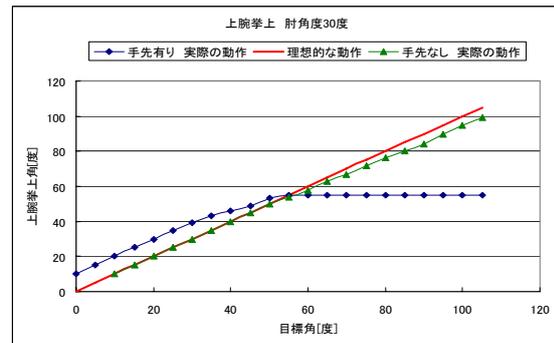


図 4.4 肘角度 30 度 上腕挙上角の追従特性

(2)肘の角度 30 度 のときの上腕挙上運動

肘角度を 30 度に固定した状態での上腕挙上の追従特性を測定した。

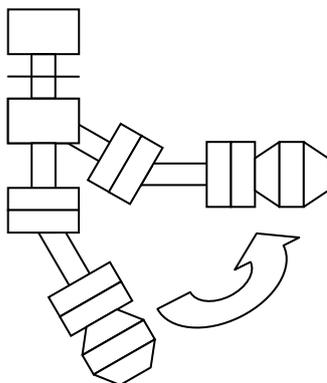


図 4.3 実験の概要図

肘の角度 0 度、肘の角度 30 度 のとき共に上腕挙上角が約 60 度付近までしか上がらなかった。手先の部分がない場合は大体の位置まで上がっているの、手先の部分がないので、手先の部分がない原理でかなりの負荷になっていた、上腕回旋部の影響が出ていると思われる。手先ありの実際の動作の 0 度での位置がずれているのは、モータの取り付け位置が手先部を取り付けたときにずれているためと思われる。

(3)肘の角度 60 度 のときの上腕挙上運動

肘角度を 60 度に固定した状態での上腕挙上の追従特性を測定した。

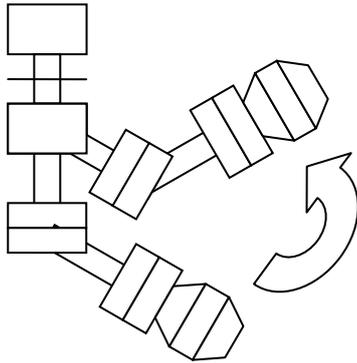


図 4.5 実験の概要図

表 4.3 肘角度 60 度の上腕挙上角

目標角 [度]	測定値 [度]	目標角 [度]	測定値 [度]
0	10	55	48
5	14	60	48
10	19	65	48
15	24	70	48
20	29	75	48
25	34	80	48
30	37	85	48
35	40	90	48
40	45	95	48
45	48	100	48
50	48	105	48

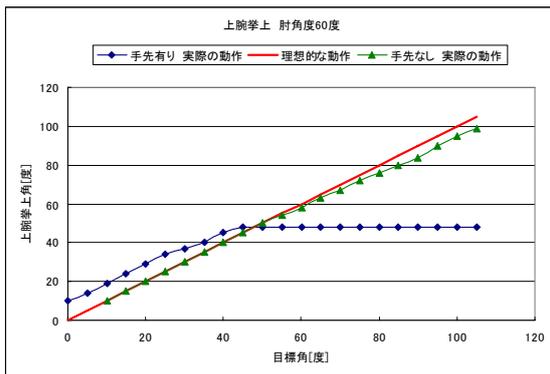


図 4.6 肘角度 60 度 上腕挙上角の追従特性

前述の結果と同様に肘を 60 度に曲げた状態でも、追従特性は良くなかった。手先有りの実際の動作の 0 度がずれている理由も図 4.4 の説明と同様である。

(4) 肘の角度 90 度の上腕挙上運動

肘角度を 90 度に固定した状態での上腕挙上の

追従特性を測定した。

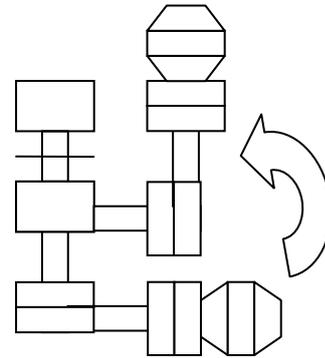


図 4.7 実験の概要図

表 4.4 肘角度 90 度の上腕挙上角

目標角 [度]	測定値 [度]	目標角 [度]	測定値 [度]
0	10	55	55
5	15	60	55
10	19	65	55
15	24	70	55
20	29	75	55
25	34	80	55
30	37	85	55
35	40	90	55
40	44	95	55
45	48	100	55
50	52	105	55

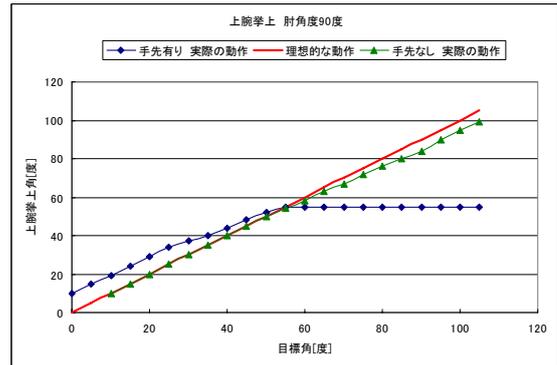


図 4.8 肘角度 90 度 上腕挙上角の追従特性

肘を 90 度に曲げた状態でも、同様に 55 度付近までしか上がらなかった。目標角が 0 度するとき測定値が約 10 度がずれている理由も同様である。

4.1.2 肘屈曲運動(θ4)

肘以外の駆動部を固定して目標角に対する実際の位置を測定した。

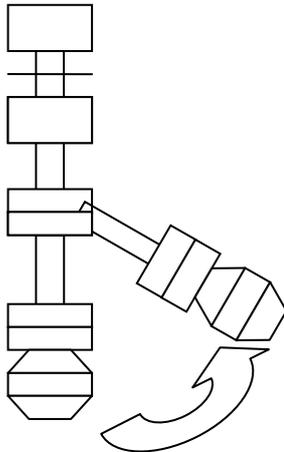


図 4.9 実験の概要図

表 4.5 肘屈曲角の追従特性

目標角 [度]	測定値 [度]	目標角 [度]	測定値 [度]
0	5	55	46
5	9	60	51
10	12	65	56
15	15	70	61
20	18	75	65
25	21	80	70
30	24	85	75
35	27	90	80
40	31	95	85
45	35	100	90
50	38	105	96

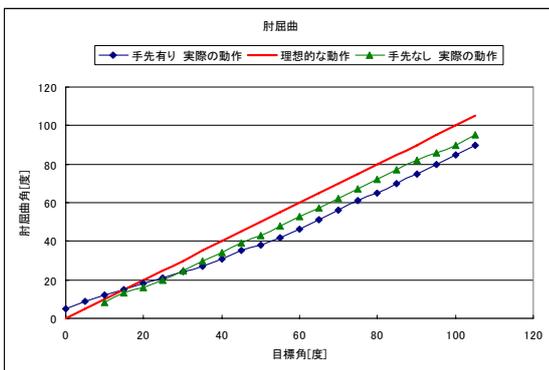


図 4.10 肘屈曲角の追従特性

手先がある場合では、ない場合に比べて負荷がかかる分追従特性が悪くなっている。0度はずれている理由も同様である。

#### 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。

##### 4.2.1 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、Redversion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、制御用の信号を決定する。

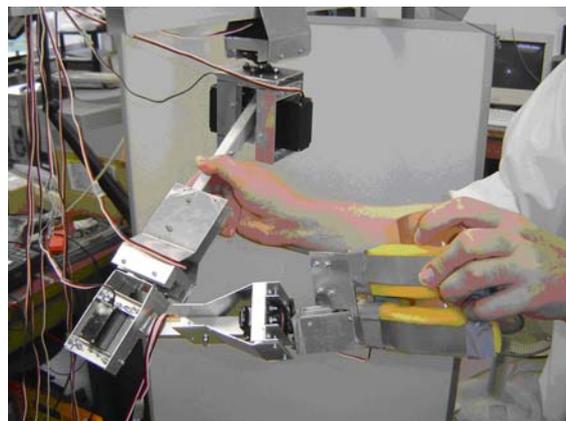


図 4.11 教示の様子①

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 4.11 参照)

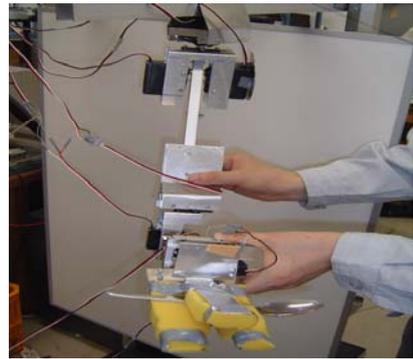


図 4.12 教示の様子②

記憶したデータを再生すると、記憶した位置付近まで挙がる。(図 4.12 参照)

#### 4.2.2 シナリオの作成

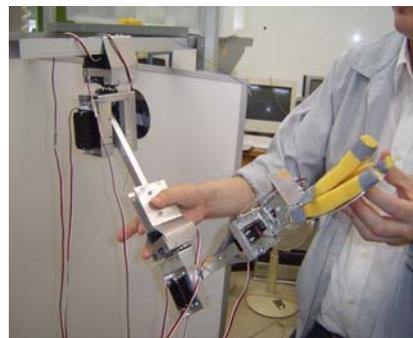
義手に様々な動作をさせる場合に、その都度モーションを指定して動作させることも出来るが、連続した動きをさせる場合、シナリオを使用する。RCB-1 にシナリオは 4 つまで記憶させておくことが可能で、1 つのシナリオを格納しておく場所をバンクという。1 つのシナリオにはモーションのデータを 200 個指定することが出来る。RCB-1 と Redversion の機能を持つサーボと組み合わせることでデータ入力によるポジションの作成ではなく、先に説明した教示によるポジションの作成を行うことが出来る。



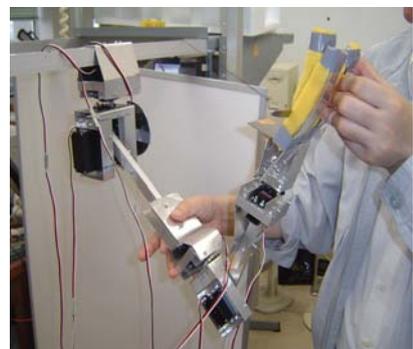
②



③



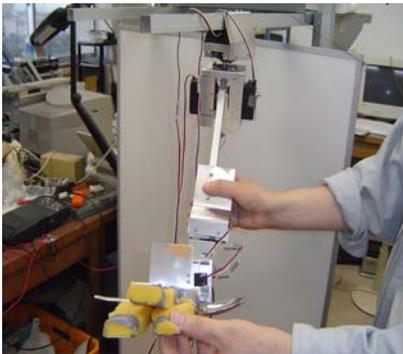
④



⑤



①



⑥

図 4.13 シナリオ作成の様子

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。協調動作制御で、最も適当なパターンは、食事動作であると判断した。食事動作について、図 4.14 の ADL 表(日常生活動作評価表)から一番使用頻度が高いであろうスプーンで食べるというパターンを例にとりシナリオの作成について説明する。

皿の物をスプーンですくい口に運ぶまでの動作を滑らかに動作させる。スプーンで物をすくい、口に運ぶまでの動作で連続して教示によりポジションを記憶していく、ポジション間はソフト側で補完されるので、滑らかな動きになる。

表 4.6 シナリオ作成により得られた  
ポジションデータ

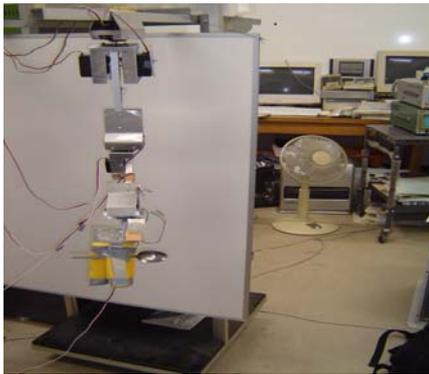
	上腕水平回転角 $\theta_1$ [度]	上腕挙上(右)角 $\theta_2$ [度]	上腕挙上(左)角 $\theta_2$ [度]	上腕回旋角 $\theta_3$ [度]	肘屈曲角 $\theta_4$ [度]	前腕回旋角 $\theta_5$ [度]	手の開閉角 $\theta_6$ [度]
①	33	22	-18	25	82	-73	12
②	69	37	-33	12	92	-88	12
③	73	49	-45	16	103	-85	12
④	61	49	-42	4	96	-88	12
⑤	28	38	-31	2	82	-88	12
⑥	14	23	-16	-8	42	-88	12

左端の番号は図 4.13 の番号に対応している。

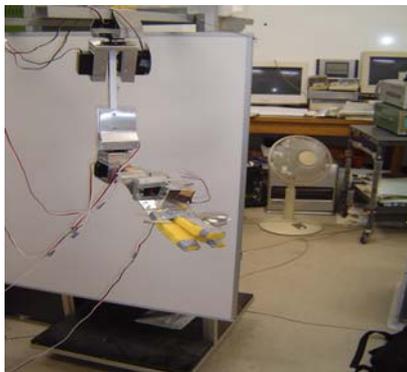
項目	動作
食 事	食べ物を口に運ぶ
	湯飲みでお茶を飲む
	はしを使う
	スプーンを使う
	食器を持つ
	バナナ、みかん等の皮をむく
	食物(飲み物)を嚥下することが出来る
足の機能	足の指の屈伸
	足首の曲げ伸ばし
	膝の曲げ伸ばし
	股関節を開く、ひねる
入 浴	(※腕、腹部、陰部、大腿部)を自分で洗える
	※の他に頭を洗える
	※の他に足を洗える

更 衣	※の他に背中を洗える
	自分で浴槽に入浴出来る
	上衣(下着、上着)を着る
	上衣(下着、上着)を脱ぐ
	下衣(下着、ズボン)を着る
整 容	下衣(下着、ズボン)を脱ぐ
	歯を磨く、入れ歯を洗う
	口を濯ぐ
	顔を洗う
	爪を切ることが出来る
	整髪、髭をそる

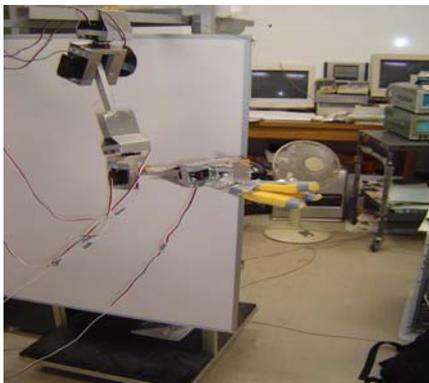
図 4.14 ADL 表 (日常生活動作評価表)



①



②



③



④

図 4.15 シナリオを再生したときの様子

作成したシナリオを再生すると上記写真(図 4.15 参照)のようになった。上腕挙上、肘屈曲の部分のモータのパワー不足で手先が目標の位置まで上がらなかったが、大体の位置まで上がった。動きとしては、使用したソフトのサンプリングされた不連続な点を自然な動きになるように結ぶ機能により滑らかな動きを再現出来た。

## 5. まとめ

### 5.1 結果

昨年度の義手の問題点であった上腕挙上のパワー不足を補うため上腕挙上のモータを 2 個に増やした。4 自由度から 6 自由度にするための上腕回旋、前腕回旋のモータを追加した。その結果、手先なしの場合は満足に動作したが、手先有りだと上腕挙上、上腕回旋のパワー不足が問題となった。上腕挙上は負荷をかけない状態で最大 60 度、上腕回旋は左右共に約 40 度くらいまで回旋するとトルクの必要な肩義手の姿勢により手先の重さで位置を保持できなくなった。

また、昨年度出来ていなかった教示機能を使ったポジション入力をし、シナリオを作成して日常生活動作に近い動きを再現出来た。上腕挙上を 60 度程度まで挙げる日常動作ならば、再現することが出来た。

### 5.2 今後の課題

上腕挙上の部分にバイアスばねを取り付け、60 度くらいまで引っ張った状態を基点にすることで上腕挙上を 90 度付近まで動作させることが出来る可能性がある。また、上腕回旋の部分にもバイアスばねを左右に 2 個取り付け、動作範囲は狭くなるが確実に動作する義手を作ることが出来る可能性がある。また、RC サーボモータの進歩は非常に早く近藤科学より KRS-4014HV ICS 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)が発売されている。現在のトルク不足により稼働範囲の少なさは、新しい上記モータを用いることにより克服することが出来ると思われる。

また、センサー入力による空間上の手先の位置決めを行う制御方式に対応しては、浅草技研より発売されている RC サーボコントローラ(AGB65)と PIC ベーシックを組み合わせることにより解決できると思われる。患者さんの要求されている義手は概観がより人間的であり、軽くて操作性の良い物である。今回開発した義手の動力システムに薄いシリコン膜を用いた柔らかか

くかつ軽い材料を上手に取り付けることにより、外観はより人間的になり遮音効果も期待できる。PWM 制御のため効率は非常によく可搬型の肩義手を開発出来ると思われる。本システムには、ウォームギアなどを使用していないため電源をオフすると人間の手と同様に脱力状態を実現できており、他人との接触時に安全性が高まっている。

以上のように多くの問題点や長所を本システムにより見つけ出すことが出来たことは本研究の有用性を示唆している。

## 6. 謝辞

本研究の開発に当たり、森本峯世先生には研究に関する知識や開発手順などをご指導いただき感謝しております。三崎先生には貴重な研究資料を提供していただき、実習係の方々には物品入手の際にご協力いただき、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)東原孝典, 斎藤文男 前腕式電動義手 (TD IIs-86) のメカニズムと工学的評価, バイオメカニズム 10, P117-137, (1990)
- 3)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年度特別研究論文, (2007)
- 4)丹下祐貴 RC サーボモータを用いた肩義手の協調動作制御システムの開発 詫間電波高専電子通信システム工学専攻学位授与機構提出論文, (2005)
- 5)近藤科学, RCB-1 ソフトウェア操作説明書, (2004)
- 6)舟久保熙康 医用精密工学, p54-74(1983)
- 7)原田尚文 他, 協調動作制御システムの開発研究, 動力義肢装具の開発, 徳島大学動力義肢装具開発研究グループ, p43-59 (1974)
- 8)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, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第34号, p47-55(2006)
- 9)木下敏治 形状記憶合金アクチュエータを用いた上腕義手のマイクロコンピュータ制御システム, 詫間電波工業高等専門学校研究概要, 第31号, p119-127 (2003)
- 10)木下敏治 他, 形状記憶合金ロボット (肩義手自在 2号) の顔面方位制御システムに関する

基礎的研究, 日本産業用ロボット工業会, No.85, p.70-76 (1992)

11)木下敏治 他, 電動義手の柔らかい協調動作制御の一方式, バイオメカニズム 4, 東大出版会, p.121-130 (1977)

12)T.Kinoshita et al, A Study on the flexible visual point control of a complete arm prosthesis, External Control of Human Extremities, Yugoslav Committee for Electronics and Automation, Dubrovnik, p.503-512(1978)