

肩の2自由度に柔軟関節を用いた6自由度柔軟関節肩義手のモーションプロセッサ2HVを使用した顔面方位制御システムの開発

木下 敏治* 川井 由宇** 山口 彰大*** 香川 悠** 久本 将貴****

Development of the Face Direction Control System for Flexible joint type Shoulder-disarticulation Prosthesis (SDP) with 2degrees of flexible joint type shoulder motion's configuration using a Motion Processor 2HV

Toshiharu KINOSHITA, Yuu KAWAI, Syouta YAMAGUCHI, Yuu KAGAWA and Masaki HISAMOTO

Abstract

The control of SDP is becoming an increasingly important problem as engineering advance in hardware production can made a SDP available in practical use. But flexible joint type SDP can not control exactly using advanced control for robot systems. θ_1 and θ_2 have special structure which cancel undesired vibration. In the present research, a flexible control system for SDP is proposed. Information of head orientation and shoulder motion are used as control signals in our systems. The control algorithm is so made as to move the terminal device of the prosthesis to the visual point by information of head orientation and shoulder motion. We propose a MotionProcessor2HV system for a SDP controller. The fundamental coordinate control system can move like human arm.

Key Words: Prosthesis, Flexible joint, Face Direction control, Robot, Motion processor2

1. まえがき

全国 18 歳以上の身体障害者数(在宅)は、348 万 3000 人(平成 18 年 7 月度)と推計されており、そのなかで肢体不自由者は全体の 50.5%を占めている。また前回調査(平成 13 年 6 月度)と比較しても、肢体

*香川高等専門学校詫間キャンパス 電子システム工学科

**長岡技術科学大学 電気電子情報工学課程

***香川高等専門学校詫間キャンパス 電子通信システム工学専攻

****四国計測

不自由は 0.6%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。その中で電動式前腕義手は、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。①-⑤肩義手(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))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、重くなるなど基本的な問題点が多く、実用化されている例は少ない。¹⁾⁻⁵⁾

本研究では、現在普及している TDU 肩義手やユタ・アーム(1200 万円,2kg 以上)などの電動式肩義手よりも軽量で安価(約数 100 万円)、さらに操作が容易な電動式肩義手の開発を目標とした。⁶⁾⁻¹²⁾まず、義手は 6 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ーに比べ、軽量で高トルクな RC サーボモーター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、RCB-4HV、及びモーシオンプロセッサ 2HV を用いる。この制御基板をパソコンに接続し、7 個のモーター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。

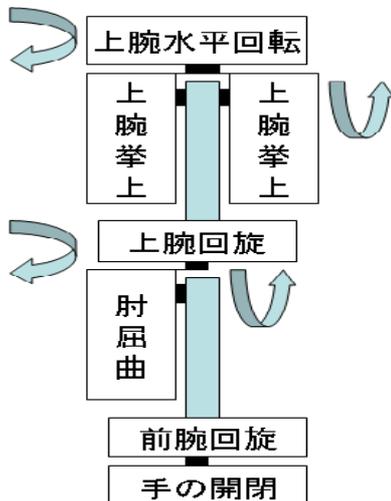


図 1. 義手の概要図



図 2. 義手の全体図

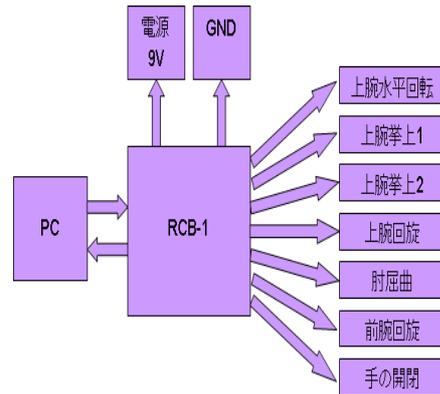


図 3. システム構成図

本研究では、日常生活においてスプーンでもものを食べる、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。今回の試作機はより軽量で高トルクになった RC サーボモーター KRS-4014HVICS (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、トルクをあまり要求されない前腕回旋と手の開閉部分には KRS-4024HVICS (電源電圧 10.8V、トルク 10.5kg・cm、重量 48.5g) を用いる。図 1 に義手の概要図を、図 2 に製作した身長が 185 cm に対応した電動式肩義手の全体図を示す。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 RCB-1 及びモーシオンプロセッサ 2HV をパソコンに接続し、7 個のモーターを同時に制御する。300g のものを安定に移動できる。ボールを最高速度で投げる動作も実現できた(参考文献の(12)を参照)。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(Pulse Width Modulation:パルス幅変調)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 3 にシステム構成図を示す。本研究は現在の制御理論(有本卓、新版ロボットの力学と制御、朝倉書店、p.96-99、(2002))では安定な制御が非常に難しいとされている柔軟関節構造を肩の部分に持つ 6 自由度肩義手である。¹³⁾¹⁴⁾エネルギー吸収ボックスと名付けたアルミニウムで出来た入れ物に(アルミチャンネルをはさみ、これで熱が放出されやすいように工

夫した)アクチュエータをぴったりとネジ止めすることにより一平面内での振動モードは存在できるがそれ以外の振動モードはエネルギー吸収ボックスのゆがみにより熱エネルギーとして刻々と放出されるように設計してある。以上の工夫により、上腕水平回転角 $\theta 1$ ・上腕挙上角 $\theta 2$ の 2 自由度にエネルギー吸収ボックスを用いることにより、非常に安定した動作を本体重量 1024g で実現した。研究紀要にこのアイデアを追実験して貰うためあらゆるデータを公開し、研究成果を積み上げることにより本方式が肩義手だけでなくあらゆるロボットに適用できることを示した。図 4 に 2008 年度卒研生の作成した 6 自由度肩義手(身長 173 cm 用)を示す。図 5 にモーションプロセッサ 2HV(24g)の写真を示す。RCB-1 の代わりにモーションプロセッサ 2HV を用いている。現在は KRS-6003HV(10 0g、トルク 67kg・cm、11V)及び小型軽量なポテンシオメータを用いた 2 自由度位置検出センサーを用いて顔面方位制御システムを実用化する予定であり現在研究中である。図 6 に手先部に使用予定の佐藤技研の装飾用グローブとソケットの外観を示す。



図 4. 2008 年度の肩義手

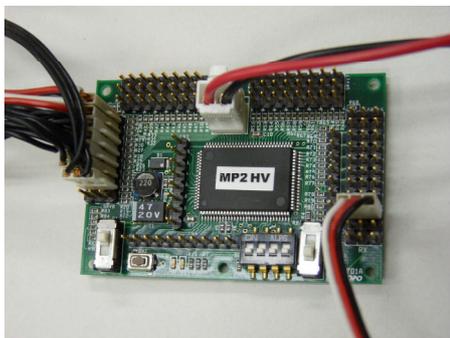


図 5. モーションプロセッサ 2HV



図 6. 手先部に使用予定の佐藤技研の装飾用グローブとソケット

柔軟関節肩義手の制御という今まで実用化されていない方式を音響工学の最新理論^{15)~17)}(B&W、FST：フィクスト・サスペンション・トランデューサー¹⁵⁾¹⁶⁾(コーンからエッジは伝わる屈曲波を熱エネルギーに変換する))を用いて肩義手の実用化に近づく 1 つの方法を見つけ出すことが出来た。本方式の詳しい設計には非線形有限要素法¹⁷⁾という高度なテンソル解析を用いた数学が必要となる。今年度は 100g で 67 kg・cm のトルクを持つ KRS-6003HV という近藤科学の RC サーボモータ(2009 年に発売)を用いて専攻科一年生の山口君と卒研生で実用型の肩義手を製作しておりほぼ完成している。BMI(ブレイン・マシン・インターフェース)(横井著、サイボーグ(BMI/BMC)日本ロボット学会誌 vol.26 No.7 p.14-p.15(2008))を用いた脳信号の正確な読み取りとともに、それを正確な動きにつなげることを目標に脳波と近赤外線で血流を測ることにより義手を制御しようとする研究が始まっているが上記ロボット学会誌によると実用化は 2040 年と予想されている。また、米国では手足が不自由な脊髄損傷の患者の脳に手術で電極を埋め込み、検出信号で義手やコンピュータを動かす臨床試験が行われている。この方法は、手術による感染のおそれがある。木下は安全性を考慮し、独創的な顔面方位制御方式を提案する。肩離断患者には上肢がなく、上肢系のうち肩、頭及び両目のみが残っているが、患者の意識の中には切断前の幻肢が存在していることが知られている。^{18)~20)}連続位置制御が可能な信号として頭と肩の動きを採用した。この信号はまた、運動の滑らかさを習得する学習過程に決定的役割を果たす固有受容の条件をも満たしている。本研究の目的は、人間の意志と直結した頭と肩の運

動を、義手制御用の情報として利用し、それらを用いて6自由度肩義手の顔面方位制御システムを実用化することである。本方式を産業用ロボットへ応用すればエネルギー問題の画期的な解決法となる。

本研究の目的は、使用者が簡単に制御でき、人間の動作に近い肩義手の開発である。本研究では、昨年まで使用していた肩義手を参考に、新しい肩義手を製作した。図7に示す。その際、過負荷によって変形した部位や手の開閉部の改良をした。近年の20歳から24歳の成人の平均的な身長は172.9cmである。医用精密工学¹⁸⁾という書籍より、この平均的な身長で求まる手の長さを参考に肩義手各部位の長さの変更をした。モーションプロセッサ 2HVを用いて肩義手を制御することが本研究の目的である。

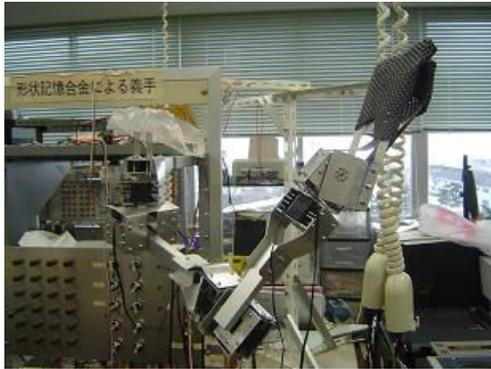


図7. 製作した6自由度肩義手

2. 顔面方位制御方式の原理

顔面方位制御方式の原理¹⁹⁾²⁰⁾は、人間が手を動かす時には一般的に目は手先の目標を見ているという点に注目して、顔の方向を視線の方向と近似し、手先をその直線上に拘束するものである。図9に示すL1(上腕の長さ)、L2(前腕の長さ)、L3(肩から頭の中心線までの長さ)、L4(L3の端から目までの長さ)、L5(目から仮想の目までの長さ)を決定する。次に Φ_3 (頭部の方位角は、頭部の水平回転角と同じ意味で使用する)、 Φ_4 (頭部の仰角は、頭部の垂直回転角と同じ意味で使用する)を求めるため、頭にセンサーを装着する。さらに両肩の上下前後の動作で $\theta_3 \sim \theta_6$ は装着者の意志で動かせるように設計する。具体的には、右肩の上下の位置情報(σ_1)で θ_3 、右肩の前後の位置情報(σ_2)で θ_4 、左肩の上下の位置情報(σ_4)で θ_6 、左肩の前後の位置情報(σ_3)で θ_5 を動かすことができる。それらの値からニュートン・ラプソン法を用いて、視線の方向に手先を拘束するように

θ_1, θ_2 を関係式から近似し、その値に従って肩義手が動くシステムを開発する。式(1)～式(3)に制御動作を求める関係式を、図8に顔面方位制御の構成図を、図9に上肢系の数学モデルを示す。

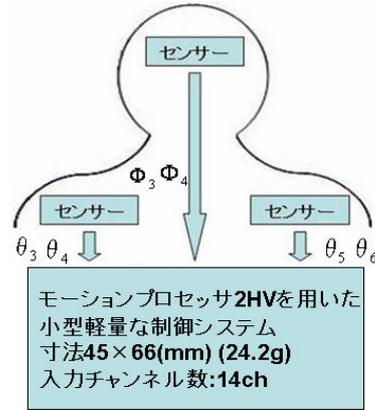


図8. 顔面方位制御の構成図

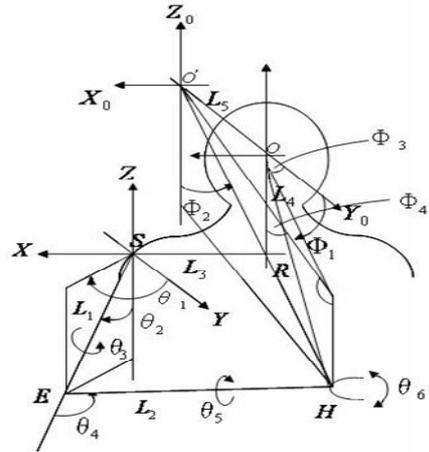


図9. 上肢系の数学モデル

柔軟関節肩義手では θ_1 と θ_2 が重力などの影響で最大6度ぐらいの誤差が生じることを実験で確認した。手先の振動を止めることは出来たが、エネルギー吸収ボックスの構造上手先の位置に誤差を生ずる欠点が残った。この問題の解決法としては、 θ_1 と θ_2 の位置決めに関する2自由度にポテンシオメーターを工夫して取り付けることにより、誤差を補正することが可能となる。現在研究中で上手くいきそうなので以下の数学モデルでは補正後は誤差はない。よって、通常の数学モデルで θ_1, θ_2 の導出を考える。

コンピュータシミュレーションでは θ_1, θ_2 は正確にかつ高速に求められた。

K_1, K_2, K_3, C_i, d_i は患者さんと相談しながら楽に肩義手を制御できる値にリハビリテーションを行いながら決定する。

$$\Phi_1 = K_1 \Phi_3 \quad (1) \quad \Phi_2 = K_2 \Phi_4 + K_3 \quad (2)$$

$$\theta_{i+2} = C_i \sigma_i + d_i \quad (i = 1 \sim 4) \quad (3)$$

このような上肢系のモデルにおいて、肩関節の中心:S を原点とすると手先の位置:H は座標系で (Xh,Yh,Zh)と表わせる。ここで肩義手の各部の座標系への動作を考える。(cos θ n は Cn, sin θ n は Sn で表わす。)

$$A_1 = \begin{pmatrix} C_1 & S_1 & 0 & 0 \\ -S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & 0 \\ S_3 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & -S_2 & 0 \\ 0 & S_2 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_4 & -S_4 & 0 \\ 0 & S_4 & C_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_6 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

以上を用いて手先の位置を座標系で表わすと、

$$\begin{pmatrix} Xh \\ Yh \\ Zh \\ 1 \end{pmatrix} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

ここで α_{ij} は次のようになる。

$$a_{11} = C_1 C_3 + S_1 C_2 C_3, \quad a_{12} = S_1 C_2 C_3 C_4 - C_1 S_3 C_4 - S_1 S_2 S_4$$

$$a_{13} = C_1 S_3 S_4 - S_1 C_2 C_3 S_4 - S_1 S_2 C_4$$

$$a_{14} = L_1 S_1 S_2 + L_2 S_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 S_1 S_2 C_4 - L_2 C_1 S_3 S_4$$

$$a_{21} = C_1 C_2 S_3 - S_1 C_3, \quad a_{22} = S_1 S_3 C_4 + C_1 C_2 C_3 C_4 - C_1 S_2 S_4$$

$$a_{23} = -S_1 S_3 S_4 - C_1 C_2 C_3 S_4 - C_1 S_2 C_4$$

$$a_{24} = L_1 C_1 S_2 + L_2 S_1 S_3 S_4 + L_2 C_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 C_1 S_2 C_4$$

$$a_{31} = S_2 S_3, \quad a_{32} = S_2 C_3 C_4 + C_2 S_4, \quad a_{33} = C_2 C_4 - S_2 C_3 S_4$$

$$a_{34} = -L_1 C_2 + L_2 S_2 C_3 S_4 - L_2 C_2 C_4$$

$$a_{41} = a_{42} = a_{43} = 0, \quad a_{44} = 1$$

よって、手先の位置は、

$$\begin{pmatrix} Xh \\ Yh \\ Zh \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 S_1 S_2 + L_2 S_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 S_1 S_2 C_4 - L_2 C_1 S_3 S_4 \\ L_1 C_1 S_2 + L_2 S_1 S_3 S_4 + L_2 C_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 C_1 S_2 C_4 \\ -L_1 C_2 + L_2 S_2 C_3 S_4 - L_2 C_2 C_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

となる。

また、目の仮想位置から手先の位置までの長さを R とすると、手先の位置は座標にて次のようにも表わされる。

$$\begin{pmatrix} Xh \\ Yh \\ Zh \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \sin \Phi_1 \cdot \sin \Phi_2 \\ \cos \Phi_1 \cdot \sin \Phi_2 \\ -\cos \Phi_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -L_3 \\ -L_5 \\ L_4 \end{pmatrix}$$

この手先の座標を双方向から導出できる特性を利用し、次のようにまとめる。

$$\begin{pmatrix} Xh \\ Yh \\ Zh \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_3 \\ L_5 \\ -L_4 \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \sin \Phi_1 \cdot \sin \Phi_2 \\ \cos \Phi_1 \cdot \sin \Phi_2 \\ -\cos \Phi_2 \end{pmatrix} \text{より、}$$

$$\frac{Xh + L_3}{Yh + L_5} = \tan \Phi_1, \quad \frac{Yh + L_5}{Zh - L_4} = \frac{\cos \Phi_1}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - \Phi_2\right)}$$

次にもう一方から求めた座標系の式を用いて

$$\tan \Phi_1 = \frac{L_1 S_1 S_2 + L_2 S_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 S_1 S_2 C_4 - L_2 C_1 S_3 S_4 + L_3}{L_1 C_1 S_2 + L_2 S_1 S_3 S_4 + L_2 C_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 C_1 S_2 C_4 + L_5}$$

同様に、

$$\frac{\cos \Phi_1}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - \Phi_2\right)} = \frac{L_1 C_1 S_2 + L_2 S_1 S_3 S_4 + L_2 C_1 C_2 C_3 S_4 + L_2 C_1 S_2 C_4 + L_5}{-L_1 C_2 + L_2 S_2 C_3 S_4 - L_2 C_2 C_4 - L_4}$$

となる。

この2式を変形すると、それぞれ次のようにすることができる。この時、 $\tan(\pi/2 - \Phi_2) = T$, $\cos \Phi_1 = C$ と置くとする。

$$F_1 \sin \theta_1 + F_2 \cos \theta_1 + F_3 = 0$$

但し、 $F_1 \sim F_3$ は次のようになる。

$$F_1 = L_1 S_2 + L_2 (C_2 C_3 S_4 + S_2 C_4 - S_3 S_4 \tan \phi)$$

$$F_2 = -L_1 S_2 \tan \phi - L_2 (S_3 S_4 + C_2 C_3 S_4 \tan \phi + S_2 S_4 \tan \phi)$$

$$F_3 = L_3 - L_5 \tan \phi$$

$$F_4 \sin \theta_2 + F_5 \cos \theta_2 + F_6 = 0$$

但し、 $F_4 \sim F_6$ は次のようになる。

$$F_4 = L_1 C_1 T + L_2 (C_1 C_4 T + C_3 S_4 T + C_3 S_4 C)$$

$$F_5 = -L_1 C + L_2 (C_1 C_3 S_4 T - C_4 C)$$

$$F_6 = L_2 S_1 S_3 S_4 T - L_4 C + L_5 T$$

このような両式は θ_1, θ_2 と2つの変数を持つため、解を求めることは非常に困難である。そこで、ニュートンラプソン法を用いて θ_1, θ_2 の近似解を導出する。まず、先ほどの式を次のように置く。

$$f_1(\theta_1, \theta_2) = F_1 \sin \theta_1 + F_2 \cos \theta_1 + F_3 = 0$$

$$f_2(\theta_1, \theta_2) = F_4 \sin \theta_2 + F_5 \cos \theta_2 + F_6 = 0$$

次に、 $i+1$ 回目に導出される近似解と i 回目に導出される近似解との関係を次のように置く。(ここで θ_1 は記述の関係上 θ_1 と表わす。)

$$\theta_{1,i+1} = \theta_{1,i} + k \quad (h, k \text{ は微小変化量である。})$$

$$\theta_{2,i+1} = \theta_{2,i} + k$$

この関係より ($\theta_{1,i}, \theta_{2,i}$) の周りでテイラー展開し、一時微分項までで近似すると、次のようになる。

$$f_1(\theta_{1,i+1}, \theta_{2,i+1}) = f_1(\theta_{1,i} + h, \theta_{2,i} + k)$$

$$\approx f_1(\theta_{1,i}, \theta_{2,i}) + h \cdot \frac{df_1(\theta_{1,i}, \theta_{2,i})}{d\theta_1} + k \cdot \frac{df_1(\theta_{1,i}, \theta_{2,i})}{d\theta_2}$$

$$f_2(\theta_{1,i+1}, \theta_{2,i+1}) = f_2(\theta_{1,i} + h, \theta_{2,i} + k)$$

$$\approx f_2(\theta_{1,i}, \theta_{2,i}) + h \cdot \frac{df_2(\theta_{1,i}, \theta_{2,i})}{d\theta_1} + k \cdot \frac{df_2(\theta_{1,i}, \theta_{2,i})}{d\theta_2}$$

ここで $f_1(\theta_{1,i+1}, \theta_{2,i+1}) = f_1(\theta_{1,i}, \theta_{2,i}) = 0, f_2(\theta_{1,i+1}, \theta_{2,i+1}) = f_2(\theta_{1,i}, \theta_{2,i}) = 0$ と考えられることより、 $i=0$ での初期値があらかじめ与えることができるの

で、 h と k のみが未知数となる。先ほどの 2 式より h と k はそれぞれ次のようになる。

$$h = \frac{\frac{df_1}{d\theta_2} \cdot f_2 - \frac{df_2}{d\theta_4} \cdot f_1}{\frac{df_1}{d\theta_1} \cdot \frac{df_2}{d\theta_2} - \frac{df_1}{d\theta_2} \cdot \frac{df_2}{d\theta_1}} \bigg|_{\substack{\theta_1 = \theta_{1i} \\ \theta_2 = \theta_{2i}}}$$

$$k = \frac{\frac{df_1}{d\theta_1} \cdot f_2 - \frac{df_2}{d\theta_1} \cdot f_1}{\frac{df_1}{d\theta_2} \cdot \frac{df_2}{d\theta_1} - \frac{df_1}{d\theta_1} \cdot \frac{df_2}{d\theta_2}} \bigg|_{\substack{\theta_1 = \theta_{1i} \\ \theta_2 = \theta_{2i}}}$$

この h, k を求めた後に、 $\theta_{1+1}, \theta_{2+1}$ を算出する。この過程を繰り返せば真の解の近似解を導出できる。この近似解を導出する際に収束条件を e_1, e_2 と定める。 $|h| < e_1, |k| < e_2$ となる時に、導出された解を近似解とみなす。

このようにして例えば、 n 回目の近似で導出された場合求まる θ_1, θ_2 は次のようになる。

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_{1_{n+1}} = \theta_{1_n} + h \\ \theta_2 = \theta_{2_{n+1}} = \theta_{2_n} + k \end{cases}$$

3. モーションプロセッサ 2HV について

3.1 使用する理由

2009 年度まで RCB-1 を用いて肩義手のモーションを作成していた。しかし、RCB-1 では作成したモーションを動作させることは可能だが、顔面方位制御に関しては演算処理が必要であったため使用することができなかった。そこで、モーションプロセッサ 2HV を用いることになった。このモーションプロセッサ 2HV は図 10 に示すような構造になっている。中央部に位置するチップにはルネッサンステクノロジー社の M16 シリーズの演算処理用の回路が搭載されている。AD 変換器は 6ch の 5ms で入力可能です。サブ CPU は 100ms で、8ch のアナログ入力が可能となっています。よって高速な演算、各種関数(三角関数など)の利用が可能となり顔面方位制御の演算処理が可能である。そして、アナログ入力端子も搭載されており、(6ch の高速入力端子、入力時間は 5ms、サブ CPU に 8ch の AD コンバータが使用されておりメイン CPU との通信時間は約 10ms でトータル 100ms で低速アナログ入力が可能である)別途 AD 変換器を用意せずに済む事などから現在において最も本研究に適していると判断した。重量も 24g で軽量省電力であり、シリアルサーボ制御 Ver1.2 に対応している。

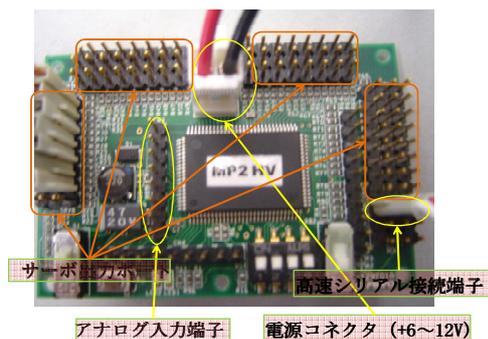


図 10. モーションプロセッサ 2HV 本体

3.2 スクリプトコマンドについて

モーションプロセッサ 2HD でのモーター制御方法は、モーションシナリオを作成する方法と、スクリプトコマンドによりプログラムを作成し制御する方法とがある。ここではスクリプトコマンド²⁰⁾について簡単に紹介する。

基本的には他の高等言語と同じであるが、主な特徴として、使用できるプログラムの大きさが制限されていること、使用できる変数の数に制限があること、高速演算処理用のコマンドが存在すること、各モーターが変数を持つこと、外部入力を変数に変換できること、モーター制御用のコマンドが存在することが挙げられる。

アナログ入力の変換については 0~5[V] の範囲内で対応しており、変換後は 256 分割され 0[V] は 0、5[V] は 255 と表わされる。また、各アナログ入力の変数は監視モニタにより図 11 のように確認できる。

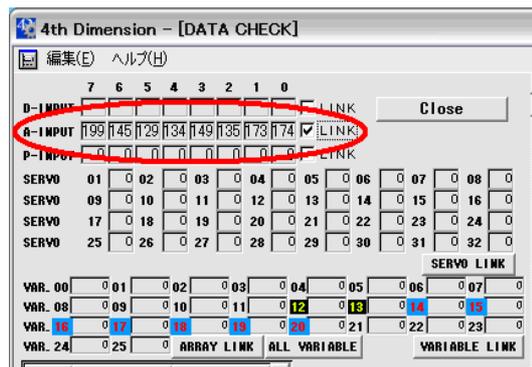
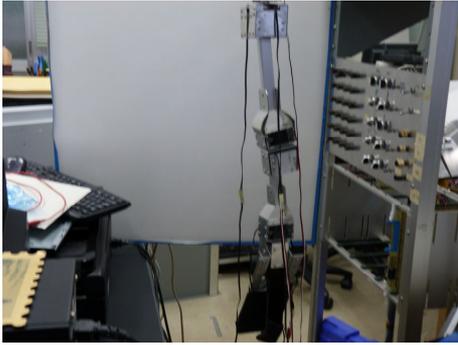


図 11. アナログ入力監視モニタ

3.3 注意事項

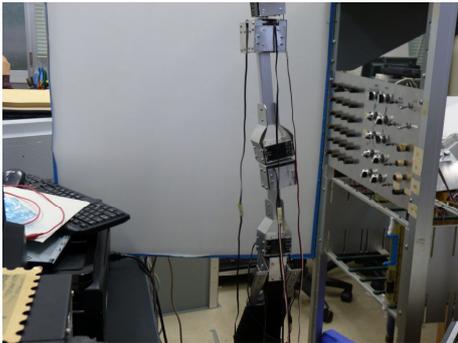
今回使用した PWM サーボモーター(KRS-401 4, 4024)の動作範囲が 0~270 度であるのに対し、モーションプロセッサ 2HV における角度指定範囲が 0~180 度であった。このため、モーションプロセッサ 2HV における 180 度の PWM 信号は



(1)



(5)



(2)



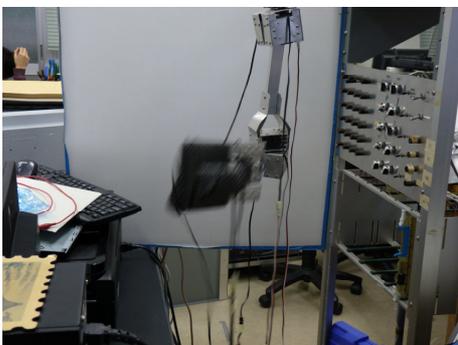
(6)



(3)



(7)



(4)



(8)



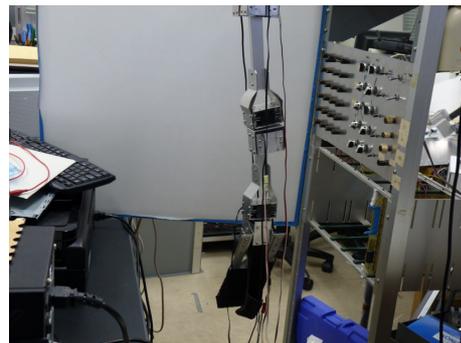
(9)



(13)



(10)



(14)

図 12. フォークで料理を食べる動作写真



(11)



(12)

4.2 顔面方位制御方式キーボード入力ソフトのフローチャート

制御用センサーの開発が未完成のため、数値入力
で顔面方位制御プログラムの動作チェックを行った。

本研究で製作した制御プログラムのフローチャート
を図 13 に示す。また、 $\theta 1, \theta 2$ の導出(フロー
チャートの(※)部)については 4.3 にて説明する。

図 13 を見ても分かるように分岐条件は各部位位置
検出センサーによって決まるように設定している。

制御用センサーの研究で、各種検出器をテストし
た。ホール素子、ストレインゲージ、導電性ゴムな
どを用いたセンサーの小型化について徳島大学知能
電子回路講座の為貞建臣教授(定年退職)と長期にわ
たって共同研究を行った。小型化は成功したが、耐
久力の点で実用化に問題を残している。

現在、500 円玉の大きさで 3 次元傾斜計と 3 次元
位置センサーを 1 チップ化した、ワイヤレスタイ
プの小型センサーシステムが ZMP というロボット関
連の会社より 8 個のセンサーを使用するとして、シ
ステム全体の費用が合計 52 万円であり最近発売さ
れた。このシステムをうまく利用すれば、小型セン
サーの開発に実用化の可能性があると思われる。

V18 = 87
 V19 = 413
 V20 = 538
 V21 = 127

初期値を設定
 (6~27行目)

- V00~V04 は L1~L5 に対応している。
- V09~V20 は写像の式より $\Phi 1 \sim \Phi 4$ を求めるためのパラメータである。
- V21 は位置検出センサの初期位置の値とする。
- その他は $\text{radian} \Leftrightarrow \text{degree}$ とするための数値や、アナログ入力端子からの入力は 0~5[V] を 0~255 に変換されるため、これを元の[V]の値に戻すための数値である。

```
#FX V22 = WF V00
#FX V24 = WF V01
#FX V26 = WF V02
#FX V28 = WF V03
#FX V30 = WF V04
#FX V32 = WF V05
#FX V34 = WF V06
#FX V36 = WF V07
#FX V38 = WF V08
#FX V40 = WF V09
#FX V42 = WF V10
#FX V44 = WF V11
#FX V46 = WF V12
#FX V48 = WF V13
#FX V50 = WF V14
#FX V52 = WF V15
#FX V54 = WF V16
#FX V56 = WF V17
#FX V58 = WF V18
```

初期値を整数変数から高速演算用の
 実数変数に変換(28~46行目)

```
#FX V60 = WF V19
#FX V62 = WF V20
#FX V64 = WF V21
```

初期値を整数変数から高速演算用の
 実数変数に変換(47~49行目)

```
:LOOP
V00 = INPUTADC (0)
V01 = INPUTADC (1)
V02 = INPUTADC (2)
```

```
V03 = INPUTADC (3)
V04 = INPUTADC (4)
V05 = INPUTADC (5)
```

各部位置検出センサーの出力をアナ
 ログ入力端子より取り込んでいる。
 V00 から順に、頭の直線、回転、右
 肩の直線、回転、左肩の直線、回転を
 想定している。(50~56行目)

```
#FX V06 = WF V01
#FX V08 = WF V00
#FX V06 = V06 / V32
#FX V08 = V08 / V32
#FX V06 = V06 * V34
#FX V08 = V08 * V34
#FX V10 = V06 * V06
#FX V12 = V08 * V08
#FX V14 = V10 * V08
#FX V16 = V12 * V06
#FX V18 = V06 * V08
```

V01 を V_x 、V00 を V_y として、単位
 を[V]の値に戻し、 $V_x, V_y, V_x^2, V_y^2,$
 $V_x^2 V_y, V_x V_y^2, V_x V_y$ として実数変数
 に代入(57~67行目)

```
#FX V20 = V42 * V10
#FX V66 = V44 * V12
#FX V68 = V46 * V14
#FX V70 = V48 * V16
#FX V72 = V50 * V18
#FX V74 = V52 * V06
#FX V76 = V54 * V08
#FX V78 = V40 + V20
#FX V78 = V78 + V66
#FX V78 = V78 + V68
#FX V78 = V78 - V70
#FX V78 = V78 - V72
#FX V78 = V78 - V74
#FX V78 = V78 + V76
```

$\Phi 3$ を導出(68~81行目)

```
#FX V80 = V32 * V10
#FX V82 = V42 * V12
#FX V84 = V58 * V14
#FX V86 = V34 * V16
#FX V88 = V60 * V18
#FX V90 = V50 * V16
#FX V92 = V62 * V08
#FX V94 = V56 + V80
```

```

#FX V94 = V94 + V82
#FX V94 = V84 - V94
#FX V94 = V94 + V86
    Φ4 を導出(82~92 行目)
#FX V94 = V94 - V88
#FX V94 = V94 + V90
#FX V94 = V94 + V92
    Φ4 を導出(93~95 行目)
#FX V96 = FW V78
#FX V97 = FW V94
    Φ3, Φ4 を実数変数から整数変数に
    代入(96~97 行目)
V98 = V96 / 2
V99 = V97 / 2 + 10
    Φ1, Φ2 を Φ3, Φ4 より設定
    (98~99 行目)
JUMPIF(V02, >=, 178, M5)
JUMPIF(V02, <=, 77, M5)
JUMP(A)
:M5
#FX V100 = WF V02
#FX V100 = V100 - V64
#FX V100 = V100 / V34
#FX V102 = FW V100
AUTOSETH(5, V102)
:A
    77 < V02 < 178 ではないとき、肘屈折
    角(θ4)を V02 の大きさに応じて動作
    量を設定(100~109 行目)
JUMPIF(V03, >=, 178, M1M2M3)
JUMPIF(V03, <=, 77, M1M2M3)
JUMP(B)
:M1M2M3
    77 < V03 < 178 ではないとき、顔面方
    位制御の演算を開始(110~113 行目)
V103 = S01 - 90 * 3 / 2
V104 = S03 * 3 / 2
V105 = S04 - 90 * 3 / 2
V106 = S05 - 90 * 3 / 2
    θ1~θ4 をモーターの現在位置から
    読み取り、PWM 信号における倍率を
    補正(114~117 行目)
V107 = 0
V108 = 0
#FX V110 = WF V107
#FX V112 = WF V108
h, k の初期値を設定し、実数変数に変
換(118~121 行目)
#FX V114 = WF V103
#FX V116 = WF V104
#FX V118 = WF V105
#FX V120 = WF V106
#FX V122 = WF V98
#FX V124 = WF V99
    θ1~θ4, Φ1, Φ2 を整数変数から実
    数変数に変換(122~127 行目)
#FX V118 = V118 * V38
#FX V118 = V118 / V36
#FX V120 = V120 * V38
#FX V120 = V120 / V36
#FX V122 = V122 * V38
#FX V122 = V122 / V36
#FX V124 = V124 * V38
#FX V124 = V124 / V36
#FX V126 = V38 / V26
#FX V126 = V126 - V124
    θ3, θ4, Φ1, π/2 - Φ2 を degree から
    radian に変換(128~137 行目)
#FX V128 = SIN V118
    θ3, θ4, Φ1, π/2 - Φ2 の三角関数を
    導出(138 行目)
#FX V130 = COS V118
#FX V132 = SIN V120
#FX V134 = COS V120
#FX V136 = COS V122
#FX V138 = TAN V122
#FX V140 = TAN V126
    θ3, θ4, Φ1, π/2 - Φ2 の三角関数を
    導出(139~144 行目)
:NL
#FX V114 = V114 + V110
#FX V116 = V116 + V112
#FX V114 = V114 * V38
#FX V114 = V114 / V36
#FX V116 = V116 * V38
#FX V116 = V116 / V36
    θ1+h, θ2+k を degree から radian
    に変換(145~151 行目)
#FX V142 = SIN V114
#FX V144 = COS V114
#FX V146 = SIN V116
#FX V148 = COS V116

```

$\theta_{1i+h}, \theta_{2i+k}$ の三角関数を導出(152
～155 行目)

#FX V150 = V22 * V146
#FX V152 = V148 * V130
#FX V152 = V152 * V132
#FX V154 = V146 * V134
#FX V156 = V128 * V132
#FX V158 = V156 * V138
#FX V160 = V152 + V154
#FX V160 = V160 - V158
#FX V162 = V24 * V160
#FX V162 = V150 + V162

F1 の導出(156～165 行目)

#FX V164 = V150 * V138
#FX V166 = V152 * V138
#FX V168 = V146 * V132
#FX V168 = V168 * V138
#FX V170 = V156 + V166
#FX V170 = V170 + V168
#FX V172 = V24 * V170
#FX V172 = V164 + V172

F2 の導出(166～173 行目)

#FX V174 = V30 * V138
#FX V174 = V26 - V174

F3 の導出(174～175 行目)

#FX V176 = V22 * V144
#FX V176 = V176 * V140
#FX V178 = V144 * V134
#FX V178 = V178 * V140
#FX V180 = V132 * V136
#FX V182 = V180 * V130
#FX V182 = V182 + V178
#FX V182 = V24 * V182
#FX V182 = V176 + V182

F4 の導出(176～184 行目)

#FX V150 = V22 * V136
#FX V152 = V144 * V130
#FX V152 = V152 * V132
#FX V152 = V152 * V140
#FX V152 = V152 - V180
#FX V152 = V24 * V152
#FX V152 = V152 - V150

F5 の導出(185～191 行目)

#FX V154 = V24 * V142
#FX V154 = V154 * V128
#FX V154 = V154 * V132

#FX V154 = V154 + V30
#FX V154 = V154 * V140
#FX V156 = V28 * V136
#FX V156 = V154 - V156

F6 の導出(192～198 行目)

#FX V158 = V24 * V134
#FX V158 = V158 + V22
#FX V160 = V158 * V148
#FX V164 = V24 * V146
#FX V164 = V164 * V130
#FX V164 = V164 * V132
#FX V160 = V160 - V164

dF1/d θ_2 の導出(199～205 行目)

#FX V168 = V160 * V138
-dF2/d θ_2 の導出(206 行目)

#FX V170 = V158 * V142
#FX V170 = V170 * V140

-dF4/d θ_1 の導出(207～208 行目)

#FX V176 = V24 * V142
#FX V176 = V176 * V130
#FX V176 = V176 * V132
#FX V176 = V176 * V140

-dF5/d θ_1 の導出(209～212 行目)

#FX V178 = V22 * V144
#FX V178 = V178 * V128
#FX V178 = V178 * V132
#FX V178 = V178 * V140

dF6/d θ_1 の導出(213～216 行目)

#FX V150 = V162 * V144
#FX V180 = V172 * V142
#FX V180 = V180 + V150

d f 1/d θ_1 の導出(217～219 行目)

#FX V184 = V168 * V144
#FX V186 = V160 * V142
#FX V186 = V186 - V184

d f 2/d θ_2 の導出(220～222 行目)

#FX V188 = V176 * V148
#FX V190 = V170 * V146
#FX V190 = V190 + V188
#FX V190 = V178 - V190

d f 2/d θ_1 の導出(223～226 行目)

#FX V192 = V178 * V148
#FX V194 = V152 * V146
#FX V194 = V192 - V194

d f 1/d θ_2 の導出(227～229 行目)

```

#FX V196 = V162 * V142
    f1 の導出(230 行目)
#FX V198 = V172 * V144
#FX V198 = V196 - V198
#FX V198 = V198 + V166
    f1 の導出(231~233 行目)
#FX V196 = V182 * V146
#FX V200 = V152 * V148
#FX V200 = V200 + V196
#FX V200 = V200 + V156
    f2 の導出(234~237 行目)
#FX V202 = V180 * V194
#FX V204 = V186 * V190
#FX V204 = V202 - V204
    -df2/dθ1・df2/dθ2 の導出(238~
    240 行目)
#FX V206 = V186 * V200
#FX V208 = V194 * V198
#FX V208 = V206 - V208
#FX V208 = V208 / V204
    h[radian]の導出(241~244 行目)
#FX V210 = V190 * V198
#FX V212 = V180 * V200
#FX V212 = V210 - V212
#FX V212 = V212 / V204
    k[radian]の導出(245~248 行目)
#FX V208 = V208 * V36
#FX V110 = V208 / V38
#FX V214 = FW V110
#FX V212 = V212 * V36
#FX V112 = V212 / V38
#FX V215 = FW V112
    k,h を radian から degree へ変換(249
    ~254 行目)
JUMPIF(V214,>=,3,NL)
JUMPIF(V214,<=,-3,NL)
JUMPIF(V215,>=,3,NL)
JUMPIF(V215,<=,-3,NL)
    ニュートンラプソン法により導出さ
    れた解の収束判定(255~258 行目)
#FX V216 = FW V114
#FX V217 = FW V116
V216 = V216 * 2 / 3
V217 = V217 * 2 / 3

θ1, θ2 を実数変数から整数変数に
変換し、PWM 信号における倍率を補
正(259~262 行目)
AUTOSETH(1,V216)
AUTOSETH(2,V217)
AUTOSETH(3,V217)
    上腕水平回転角(θ1),上腕挙上角(θ
    2)の動作量を設定(263~265 行目)
:B
JUMPIF(V04,>=,178,M7)
JUMPIF(V04,<=,77,M7)
JUMP(C)
:M7
#FX V226 = WF V04
#FX V226 = V226 - V64
#FX V226 = V226 / V34
#FX V109 = FW V218
AUTOSETH(7,V109)
:C
    77<V04<178 ではないとき、手の開
    閉角(θ6)を V04 に応じて動作量を設
    定(266~276 行目)
JUMPIF(V05,>=,178,M6)
JUMPIF(V05,<=,77,M6)
JUMP(D)
:M6
#FX V220 = WF V05
#FX V220 = V220 - V64
#FX V220 = V220 / V34
#FX V222 = FW V220
AUTOSETH(6,V222)
:D
    77<V05<178 ではないとき、前腕回
    旋角(θ5)を V05 に応じて動作量を設
    定(277~286 行目)
JUMPIF(V01,>=,178,M4)
JUMPIF(V01,<=,77,M4)
:M4
#FX V224 = WF V01
#FX V224 = V224 - V64
#FX V224 = V224 / V34
#FX V223 = FW V224
AUTOSETH(6,V223)
:E

```

77<V01<178 ではないとき、上腕回旋角(θ_3)をV01に応じて動作量を設定(287~295 行目)

AUTOMOVE(720,1,A)

WAIT(200)

JUMP(LOOP)

設定された動作量を実行し、200 カウント(1 カウント=5[msec])後に LOOP 開始(296~298 行目)

5. 顔面方位制御装置の開発

5.1 センサー開発のための基礎実験

5.1.1 曲げセンサーによる直線運動の実験

浅草ギ研製の曲げセンサーは長さ 10cm で、通常は抵抗が 10k Ω 、曲げると 30k Ω ~60k Ω になるセンサー素子である。この曲げセンサーを用いた実験装置により、 Φ_4 (頭部の仰角)による 1 自由度の直線運動が低速で行われた場合と、高速で行われた場合の追従実験を行った。これは、曲げセンサーがなめらかに水平から山型に連続的に変化する構造を採用したので、微小な動きにも対応できる。この実験結果より、ノイズはほとんど無く、速度に関わらずに動作の再現性が優れていることが確認できた。図 15 に動作中の曲げセンサーの様子を示す。

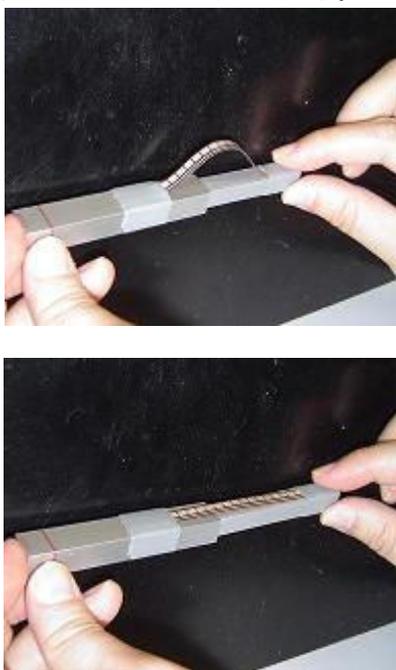


図 15. 動作中の曲げセンサーの様子

5.1.2 ポテンシオメータによる基礎実験

ポテンシオメータを用いた実験装置より、 Φ_3 (頭部の方位角)による 1 自由度の運動が行われた場合

の出力電圧を測定した。ポテンシオメータは、90°を中心とし、60°~120°までを範囲とした。この実験結果より、曲げセンサーでは再現が困難であった、頭部の水平方向の動作が再現できることが確認できた。

5.2 顔面方位検出装置による測定

5.2.1 顔面方位検出装置

曲げセンサーとポテンシオメータを組み合わせて、顔面方位検出装置を製作した。⁹⁾この装置は、顔の方向が正確に検出できるように顔の中心となる部分にレーザーポインタを取りつけている。 Φ_3 と Φ_4 の一方をパラメータとして他方を変化したときに平面(Z=100[cm])にできる曲線群を縦 75[cm]、横 125[cm]の図形として作成した。パラメータは 15°間隔でとられている。縦の線は Φ_3 を一定として Φ_4 を変化させたもので、横の線は Φ_4 を一定として Φ_3 を変化させたものである。これらの曲線は Φ_3 と Φ_4 の関数になっていて、横線を $X\Phi_3=Z\tan\Phi_3$ 、縦線を $Y\Phi_4=Z\tan\Phi_4/\cos\Phi_3$ で表す。図 16 に Φ_3 と Φ_4 の関数の曲線群を示す。正面を向いた状態を Φ_3, Φ_4 ともに 0°とした。図 17 に Φ_4 をパラメータとした関数の曲線群を、図 18 に Φ_3 をパラメータとした関数の曲線群を図 19 に顔面方位検出実験の様子を示す。

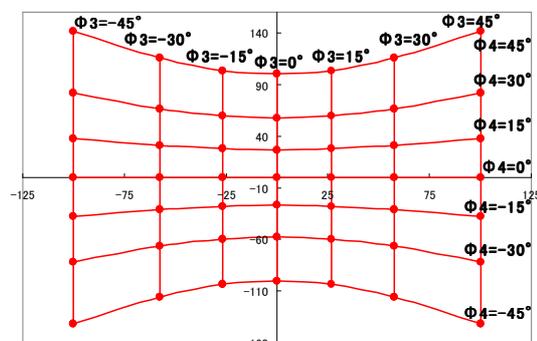


図 16. Φ_3 と Φ_4 の関数の曲線群

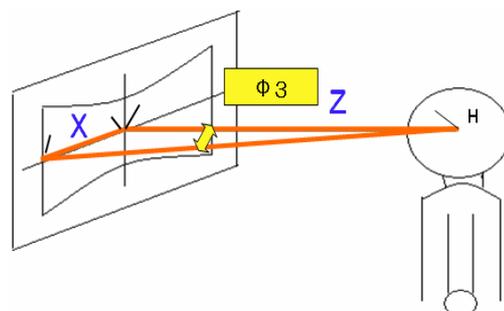


図 17. Φ_4 をパラメータとした関数の曲線群

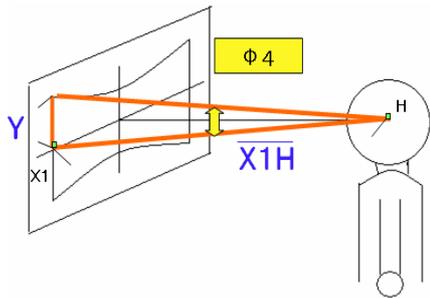


図 18. Φ3 をパラメータとした関数の曲線群

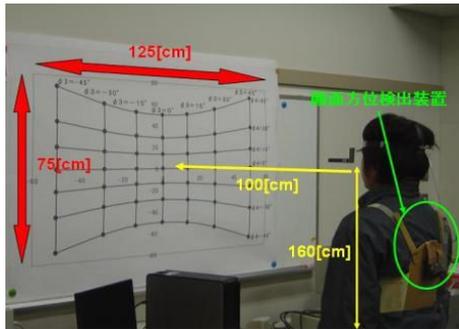


図 19. 顔面方位検出実験の様子

5.2.2 実験内容

これらと差動入力(±10V)で8chのA/D変換ボード(CONTEC)のActiveXのサンプルプログラムを用いて2chXYレコーダによる顔面方位検出実験を行った。サンプリング時間は100msecである。実験方法は作成した検出装置を装着した被験者が装置に取りつけたレーザーポインタで曲線群をなぞり、曲げセンサーからの出力波形をVy、ポテンシオメータからの出力波形をVxとして測定を行った。図面の位置は被験者からの距離を100[cm]、床からの高さを160[cm]としている。図20に2chXYレコーダによる測定結果を示す。

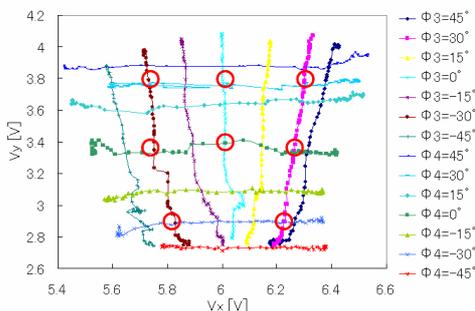


図 20. 2chXYレコーダによる測定結果

図20は検出装置により出力電圧の形で表現されている。図16と比較すると、図20は上下左右が非対称である。Vyはほぼ等間隔で出力されているが、VxはΦ4=-30°から-45°付近ではΦ3=0となる中心よりに傾いている。

5.2.3 曲げセンサーとポテンシオメータを使用した顔面方位検出装置を用いたΦ3とΦ4の関係式

図20の曲線群の変化の特徴によりΦ3とΦ4をVxとVyの2次曲面と仮定して、方程式のパラメータを求める。Φ3とΦ4の関係式を導出するために、測定結果より日常生活動作で使用する身体前面の動作空間の重要と思われる点を8個選び出す。このとき選び出す点はΦ3とΦ4のどちらかが45°または-45°である場合、誤差が大きい。そこで使用者の使用頻度が高いΦ3とΦ4のそれぞれが±30°以内である交点の中からとする。未知関数を二次曲面と仮定すると、未知パラメータは8個となるので、この8点の値よりΦ3とΦ4についての連立方程式を表し、これを解いてΦ3とΦ4についての写像の関係式を導き出した。Φ3の関係式を式(5.4)に、Φ4の関係式を式(5.5)に示す。

$$\Phi_3 = 125.74 \cdot V_x^2 - 275.13 \cdot V_y^2 - 33.742 \cdot V_x^2 V_y + 44.491 \cdot V_x V_y^2 + 60.681 \cdot V_x V_y - 736.41 \cdot V_x + 909.93 \cdot V_y - 21682 \quad (5.4)$$

$$\Phi_4 = 133.47 \cdot V_x^2 - 0.5331 \cdot V_y^2 - 39.650 \cdot V_x^2 V_y + 0.9342 \cdot V_x V_y^2 + 478.27 \cdot V_x V_y - 16189 \cdot V_x - 14128 \cdot V_y + 47419 \quad (5.5)$$

これより求めた電圧入力により角度を出力した図形を図21に示す。数学モデルでは正面を向いた状態をΦ4=90°としているが、今回は基礎実験なのでΦ4=0°として(Φ3, Φ4)と(Vx, Vy)の写像関係式を求めた。

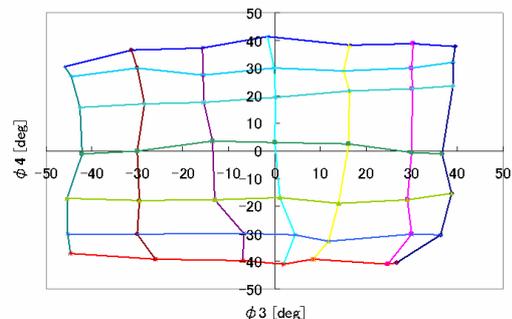


図 21. 電圧入力により角度を出力した図形

5.2.4 ポテンシオメータを使用した顔面方位検出装置を用いたΦ3とΦ4の関係式

曲げセンサーとポテンシオメータの回転角度センサーCP-2FB(B)を組み合わせて製作した装置の欠点は、曲げセンサーの耐久力であった。そこで、曲げセンサーを500万往復以上の寿命が確保されているポテンシオメータの直線変位センサーLP-100FPに置き換えて、顔面方位検出装置の改良型を作製した。図22に顔面方位検出装置の改良型

を示す。

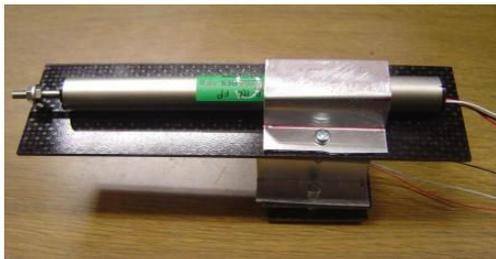


図 22. 顔面方位検出装置の改良型

顔面方位検出装置の改良型を用いて 2chXY レコーダによる顔面方位検出実験を行った。サンプリング時間は 100msec である。実験方法は改良前と同様である。図 23 に 2chXY レコーダによる測定結果を示す。

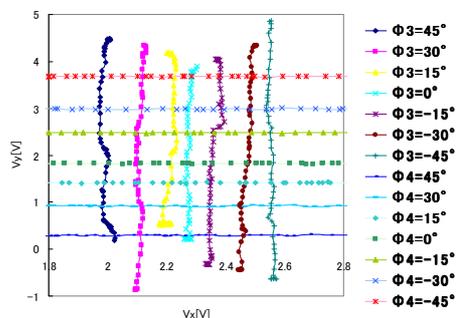


図 23. 2chXY レコーダによる測定結果

改良前と同様な手順で、 Φ_3 と Φ_4 についての連立方程式を導出する。これを解いて Φ_3 と Φ_4 についての写像の関係式を導き出した。 Φ_3 の関係式を式(5.6)に、 Φ_4 の関係式を式(5.7)に示す。そして、これより求めた電圧入力により角度を出力した図形を図 24 に示す。実際に使用される顔面方位の範囲内では正確に目標角度が求められる。

$$\Phi_3 = 15.598 * V_x^2 + 36.094 * V_y^2 + 39.899 * V_x * V_y - 15.408 * V_x * V_y^2 - 116.57 * V_x * V_y - 297.82 * V_x + 54.116 * V_y + 600.44 \quad (5.6)$$

$$\Phi_4 = -254.58 * V_x^2 - 15.672 * V_y^2 + 86.859 * V_x^2 * V_y + 4.7223 * V_x * V_y^2 - 413.49 * V_x * V_y + 11738 * V_x + 537.73 * V_y - 14182 \quad (5.7)$$

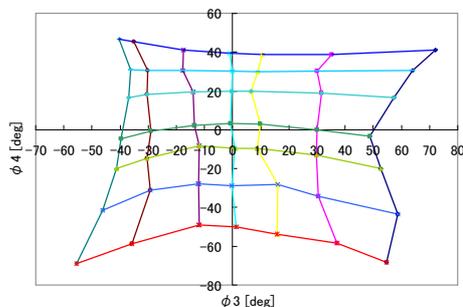


図 24. 電圧入力により角度を出力した図形

実際に使用するのは図 24 のうち、1 つ内側の面積に相当する部分であり、問題点は少ない。

5.2.5 ポテンシオメータを用いた肩位置検出装置

顔面方位検出装置の改良型と基本的な構造は同じであり、この装置もポテンシオメータの直線変位センサー LP-100FP と回転角度センサー CP-2FB(B) を組み合わせている。回転角度センサー CP-2FB(B) の軸を取り付ける位置が顔面方位検出装置とは異なっている。両肩に取り付ける必要があるので、左右一個ずつの計二個製作した。図 25 に肩位置検出装置を示す。



図 25. 肩位置検出装置

6. 結び

6.1 結果

前試作機の問題点であった上腕挙上のパワー不足を補うため駆動部を高電圧タイプの RC サーボモータに変更した。その結果、負荷が 300g までであるならば、日常動作を再現することが可能であることがわかった。問題点としては負荷が 300g 以上になった場合に、義手全体が振動を始め、目標値に固定するのが困難であることである。しかし、日常動作(食事動作などの場合)では 300g 以下の負荷がかかるので、上記問題は実用上問題にはならない。

顔面方位制御方式の実験では、ポテンシオメータである直線変位センサー LP-100FP と回転角度センサー CP-2FB(B) を用いた検出装置の作成、そしてその検出装置を用いた 2chXY レコーダによる測定実験ができた。この測定結果より求められた Φ_3 と Φ_4 の関係式を用いることによって、仮想頭部の姿勢角 Φ_1 と Φ_2 を求めることが可能である。問題点としては、 Φ_4 (頭部の仰角)を検出する時に、直線変位センサー LP-100FP がなめらかにスライドしない場合があることである。これは装置の取り付け位置や接合部に用いた針金の固定方法などを強化する必要があると思われる。また、検出装置を取りつけた被験者の髪や姿勢などで装置の位置が微少であるがずれてしまうことも問題である。この問題点については、原点をソフトウェアでその都度変更することにより、

対応可能と思われる。システム全体を顔面方位制御させる実験用肩義手は2008年度の卒研生の川井君、臼井君、豊岡君、2009年度の卒研生香川悠君、松本君、大平君、2010年度の卒研生安藤君、大東君、香川優介君のチームにアドバイスをを行い、システムの改良が続けられている。

6.2 今後の課題

Φ4(頭部の仰角)を検出する時に、直線変位センサーLP-100FPがなめらかにスライドしない場合があるので、装置の取り付け位置や接合部に用いた針金の固定方法などを強化することによりこれを解決する。共和工業の小型ユニバーサルジョイントを2010年に使用し、改良できることがわかった。これにより6自由度の制御用センサーが実用化できると思われる。

7. 謝辞

本研究にあたって、ご指導していただいた電子システム工学科の全教員ならびにさまざまな面でお世話していただいた学生支援室の方々に深く感謝いたします。また、共和工業、佐藤技研、緑測器、近藤科学の各株式会社には研究に協力していただき深く感謝しています。

8. 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) Inoue Takahiro, Mechanics and control of soft-fingered manipulation, Springer(2008)
- 3) Birglen Lionel, Under actuated robotic hands, Springer(2008)
- 4) 有本卓, Control theory of multi-fingered hands: a modeling, Springer(2007)
- 5) 加藤 他, 筋電義手使用による運動機能再建の評価, 日本ロボット学会誌 October 2009, Vol.27 No.8, p.102-108(2009)
- 6) 木下 他, 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, p.47-56(2006)
- 7) 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, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第35号, p.33-44(2007)
- 8) 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, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第35号, p.45-52 (2007)
- 9) 木下 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, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第36号, p.37-46(2008)
- 10) 木下 他, RCサーボコントローラ AGB65-RSC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, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第36号, p.47-56(2008)
- 11) 木下 他, 肩義手のためのRCサーボコントローラ AGB65-RSCを用いた感圧センサーの開発, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第37号, p.55-67(2009)
- 12) 木下 他, 6自由度肩義手協調動作制御システム用モーション作成の研究, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要, 第37号, p.69-85(2009)
- 13) 有本 卓, 柔軟関節ロボットの制御, 新版ロボットの力学と制御, 朝倉書店, p.96-99(2002)
- 14) 有本卓, Control theory of non-linear mechanical systems: a passivity-based and circuit-theoretic approach, Clarendon Press (1996)
- 15) B&W (Bowers & Wilkins)800 Series カタログ(2009)
- 16) フィクスト・サスペンション・トランスデューサー(略称FST), B&W (Bowers & Wilkins)683/684 Series カタログ(2009)
- 17) 日本塑性加工学会, 非線形有限要素法, コロナ社(1994)
- 18) 舟久保熙康, 医用精密工学・生体への工学的アプローチ, 丸善株式会社(1983)
- 19) 顧 蘭明, 肩義手の顔面方位制御アルゴリズムの改良, 詫間電波工業高等専門学校昭和62年度卒業論文(1987)
- 20) 久本 将貴, 6自由度肩義手の顔面方位制御システムの開発, 香川高等専門学校詫間キャンパス電子通信システム工学専攻科平成20年度専攻科特別研究論文集(2009)
- 21) 近藤科学株式会社, MP2Editor+MotionGenerator 取扱説明書(2009)