

エネルギー変換効率の良い6自由度柔軟関節肩義手 (SDP, ロボットアーム 1.45kg) の顔面方位制御 システム用肩部2自由度位置検出センサの開発

木下 敏治* 大東 賢治** 山口 彰大*** 安藤 誠基**** 香川 優介*****

**Development of 2 degrees of freedom shoulder motion sensor for energy-saving model flexible
joint shoulder disarticulation prosthesis (SDP, robot arm 1.45kg) with 6 degrees of freedom using**

Face Direction Control system

Toshiharu KINOSHITA, Kenji OHIGASHI, Shota YAMAGUCHI, Masaki ANDO,
and Yusuke KAGAWA

Abstract

A practical control system was proposed by us and was called "the Face Direction Control System: FDCS". (The hand part of the prosthesis is controlled to be always restricted on the imaginary eyes existing behind the real eyes.) The Shoulder Motion Transducer is fixed to the body, and the point P is attached to the shoulder. Forward and backward motion of the shoulder δ_2 or δ_4 is converted to the rotation of the potentiometer P1 through the horizontal displacement of the point P. Consequently, two-dimensional shoulder motion is converted into two voltages of P1 and P2 potentiometers. Motion sensor of IMU-Z (ZMP Co.) is able to actually use as detections sensor. The sensor using Potentiometers (LP-100F-C) durability Midori Precisions Co., Ltd. is made. It is confirmed to be able to detect the movement of the sensor by the voltage change of GL900. Next, the sensor and the SDP (robot arm) are connected by RCB-4HV (KONDO KAGAKU Co.), and the SDP (robot arm) which is operated by the shoulder movement of two degree of freedom. Moreover, the movement of the shoulder can be detected by installing IMU-Z.

Keywords: flexible joint prosthesis, SDP, robot arm 1.45kg, the Face Direction Control System,
Motion sensor of IMU-Z

1. 序論

1.1 研究の背景

*香川高等専門学校詫間キャンパス

電子システム工学科

**大岡技研株式会社

***三菱電機株式会社通信機製作所

****富士重工業株式会社

*****扶桑建設工業株式会社

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、その中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、肢体不自由者は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、義足の中で、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。肩義手¹⁾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。そのため電動式肩義手の実用化には、軽量かつ安価であることや外観、耐久性が高いことが重要である。

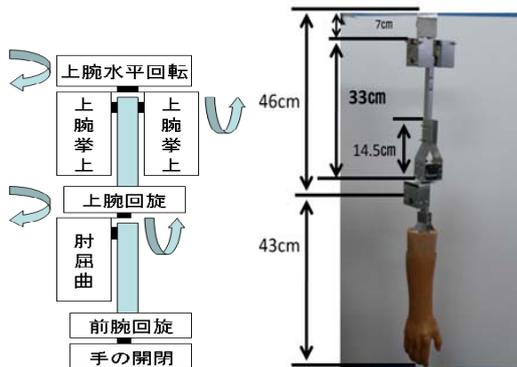


図 1. 義手の概要図 図 2. 義手の全体図

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。今回の試作機はより軽量で高トルクになったシリアル RC サーボモータ KRS-6003HV (電源電圧 11.1V, トルク 67kg・cm, 重量 100g) をアクチュエータに用い、トルクをあまり要求されない手の開閉部分には KRS-2552HV (電源電圧 11.1V, トルク 14kg・cm, 重量 41.5g) を用いる。図 1 に義手の概要図を、図 2 に製作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 (モーションプロセッサ 2・MP2), そして RC サーボモータ 7 個である。7 個のモータを同時に制御し、500g のものを安定に移動できた。

本研究で使用したシリアル RC サーボモータは、入力信号と電源のみで動作する。ただ、これまでと違い、シリアルサーボモータを肩義手に使用したので数珠つなぎという方法を利用した。数珠つなぎはシリアル RC サーボモータの最大の特徴で、図 3 のようにポートを 2 個使用するようにし、一つのポートに ID1,2,3,4 と、もう片方のポートに ID1,2,3 と

θ_1 から順に設定していく効率の良い通信方式である。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, p96-99, (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。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 θ_1 ・上腕挙上角 θ_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 1450g 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。

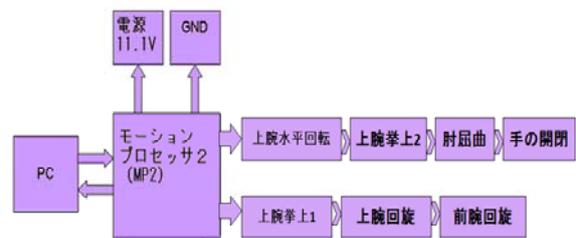


図 3. シリアル制御方式を用いたシステム構造 (数珠つなぎ)



図 4. 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にない方式を音響工学の最新理論 (B&W, FST (フィクスト, サスペンション, トランデューサー) 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。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)を用いて木下研究室は実用型の肩義手を試作した。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 p14-p15 (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。木下研究室では安全性を考慮し、独創的な顔面方位制御方式を提案している。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。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。

1.2 研究の目標

本研究の中で自分は肩の位置検出センサの製作を担当した。昨年度の研究で製作されたセンサのうち、直線形ポテンシオメータをスライドさせると途中で抵抗がありスムーズに動かなかった。

そこで今回は、ベアリングが内蔵されシャフトが太い緑測器のポテンシオメータ LP-100F-C を用いて耐久性の高い2自由度位置検出センサを製作することと、今年度新たに導入されたZMP社のe-nuvo IMU-Zが肩の位置検出センサとして使用可能であるかを、実験を行い検討する。

2. 本論

2.1 研究計画

本研究の目的はポテンシオメータやIMU-Zを使用した6自由度肩義手の2自由度位置検出用センサの開発である。まず、前年度に製作できなかったLM-2900Nを用いた差動増幅回路を用いた増幅器を製作し、ポテンシオメータを用いた検出器に接続する。次に、基礎実験として回路がセンサに必要な特性が得られているかを測定する。その後、肩センサを用いて動作実験を行う。

また、本年度に導入されたZMP社のIMU-Zを使用し、基礎的な動作確認と今後の課題について検討する。

2.2 顔面方位制御方式の原理

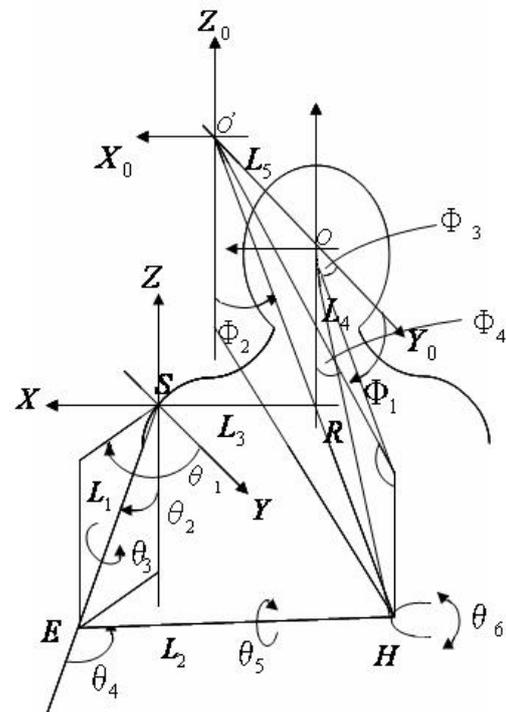


図5. 上肢系の数学モデル

- O: 実際の目の位置
- O': 目の仮想位置
- S: 肩関節の中心
- E: 肘関節の中心
- 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: 肩から目までの長さ
- L₅: 目から仮想の目までの長さ
- θ₁: 上腕水平回転角
- θ₂: 上腕挙上角
- θ₃: 上腕回旋角
- θ₄: 肘屈曲角

θ_5 : 前腕回旋角

θ_6 : 手の開閉角

図5に上肢系の数学モデルを示す。

人は大脳内の頭頂葉の大部分を手と腕の動きを実現するために使用しており、脳はそれを記憶している。例えば、赤ちゃんが手を使って食べ物を口に運べるように失敗しながらも最終的には口に運ぶことができるようになる。そしてその感覚を記憶し、繰り返し行うことで自分の体を自分の意思通りに動かせることができる。これを固有受容という。そのため腕を失ったとしても無くなったはずの腕を動かす感覚、即ち幻肢の感覚が残っている。通常、腕を上げるときは肩も上に動き、下げるときは肩も下がる。左右の場合も同じである。それは健康者だけでなく、腕を失った人も幻肢を動かそうとして肩も一緒に動いてしまう。この動き(残った鎖骨の動き)と頭部の動きを用いることで視点の位置に義手の手先を移動させる。このような考え方を拡張固有受容という。

顔面方位制御とは前述の拡張固有受容より、人は手を動かす時に視線は手先の目標を見ているという点に注目して顔の方向と視線を一次近似式で表し手先を視線の直線状に拘束する制御方式である。両肩の動きで $\theta_3 \sim \theta_6$ が動くようにする場合、

$$\Phi_1 = K_1 \Phi_3 \quad \Phi_2 = K_2 \Phi_4 + K_3$$

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

$$i=1 \quad \theta_3 = C_1 \delta_1 + d_1$$

$$i=2 \quad \theta_4 = C_2 \delta_2 + d_2$$

$$i=3 \quad \theta_5 = C_3 \delta_3 + d_3$$

$$i=4 \quad \theta_6 = C_4 \delta_4 + d_4$$

i=1 (右肩の上下で上腕の回旋角を制御)

i=2 (右肩の前後で肘の屈曲角を制御)

i=3 (左肩の前後で前腕の回旋角を制御)

i=4 (左肩の上下で手先の回旋角を制御)

制御動作を求める式

上式に代入すれば、両肩の動きで $\theta_3 \sim \theta_6$ が求まるので、こ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 を求め、その値に従って肩義手が動くようにする。

2.3 測定機器



図6. 8ch ミニデータロガーGL900

図6が今回の研究で測定に使用した8ch ミニデータロガーGL900である。

このGL900の2chXYレコーダー機能を用いてセンサの波形測定を行った。

外形寸法	232×150.1×80mm
質量	1.1kg
アナログ端子数	8チャンネル
外部入出力	トリガ入力 1ch・ロジック入力 4ch パルス入力 4ch・アラーム出力 4ch
PC 接続	イーサネット (10BASE-T/100BASE-TX) USB 標準装備
内蔵記憶装置	内蔵 RAM : 100 万データ点/内蔵フラッシュメモリ : 約 256MB USB メモリスロット標準装備
サンプリング間隔	10 μ s MAX (内蔵 RAM 収録時) 10/20/50/100/200/500 μ s /1/2/5/10/20/50/100/200/500ms /1/2/5/10/20/30sec

表1. GL900 の仕様

2.4 回路の製作

ポテンショメータは負荷を接続すると誤差を生

じるため、基礎実験の前にポテンシオメータの誤差を少なくし、電圧を増幅させる回路を設計・製作した。

2.4.1. 本研究の回路

まず、ボルテージフォロア回路により入力抵抗を大きくして検出器であるポテンシオメータの負荷効果による影響を小さくする。誤差の小さくなった信号を差動増幅回路によって電圧を増幅し A/D 変換器に出力する。バイアス電源は、ポテンシオメータの取り付け位置の微妙な変化により基準電圧が変化したときに電圧を調整するために入れている。

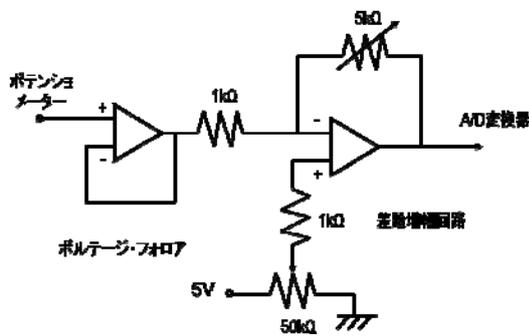


図 7. 回路図

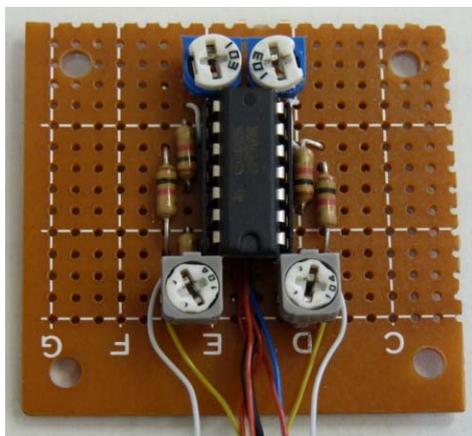


図 8. 製作した回路

図 7 が設計した回路で図 8 が実際に製作した回路の写真である。

ここで、回路で使用したオペアンプを説明する。使用したオペアンプはテキサスインスツルメンツの LM2900 という製品である。

このオペアンプは 7 番ピンをグランドにつなぐと単電源、マイナス電圧を加えると両電源として使用できる。

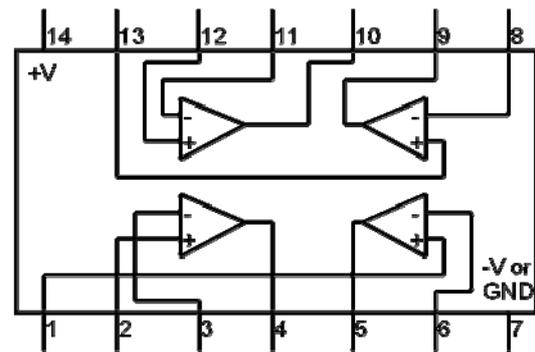


図 9. LM2900 の内部構造

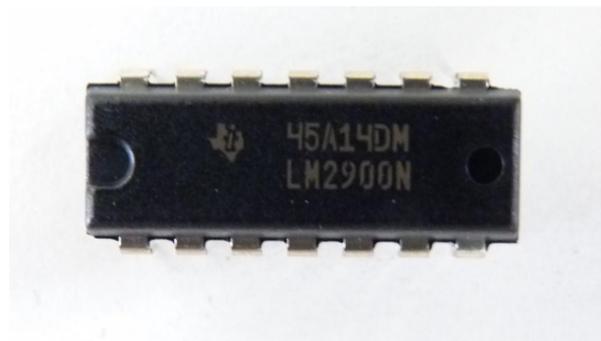


図 10. 使用した LM2900

入力の最大電圧は単電源の時 0V~32V, 両電源の時 $\pm 16V$ で、使用温度範囲は $-40\sim 85^{\circ}C$ である。初めは LM2900 と使用温度範囲以外は同じで温度範囲が $0\sim 70^{\circ}C$ の LM3900 というオペアンプを使用していたが、義手に使用することを考えると使用温度範囲の広い LM2900 の方が実用的であると考え変更した。

2.4.2. 回路の測定

製作した回路に 0.5V, 10Hz の正弦波を入力して GL900 で出力波形を測定する。ポテンシオメータの出力は直流だが高速で動作した時は電圧の変化が急になるため、追従できなければ正確な位置検出が出来ない可能性がある。そこで 10Hz の正弦波を入力して回路の追従性を調べる。

測定方法

回路の波形の測定は GL900 の時間軸表示を使用して行う。時間軸表示は GL900 の立ち上げ時に自動的に表示されるので、そこから波形観測に最適な状態に設定する。

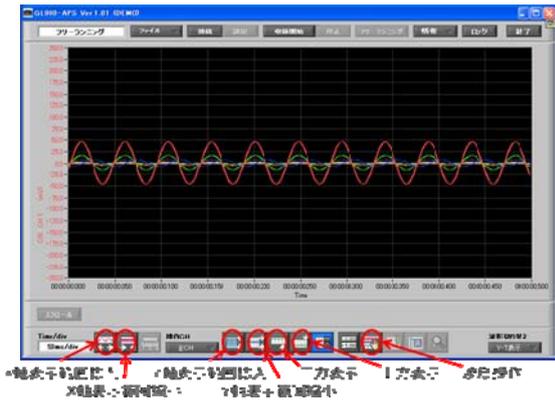


図 11. GL900 の時間軸表示

まず、上にある設定ボタンで設定画面を表示して電圧レンジを変更する。波形を保存するときにはファイルボタンの「画面をコピー」というコマンドで保存できる。

測定結果

回路の波形の測定は GL900 の時間軸表示を使用して行う。時間軸表示は GL900 の立ち上げ時に自動的に表示されるので、そこから波形観測に最適な状態に設定する。

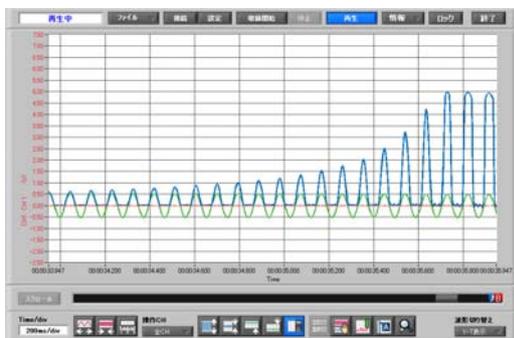


図 12. 回路の出力波形

図 12 を見ると、可変抵抗によって出力が増幅されていることがわかる。マイナス側が出力されていないのは単電源で使用しているためだと思われる。実際にはマイナスの電圧は必要ではないので、この回路を使用する。

2.5 センサの改良

昨年の位置検出用センサのうち、直線形ポテンシオメータを伸縮させると、所々で抵抗がありスムーズではなかった。そこで以前より重量は増加するが、シャフトが太く、可動部にベアリングが内蔵されている LP-100F-C を使用したセンサの製作を行った。

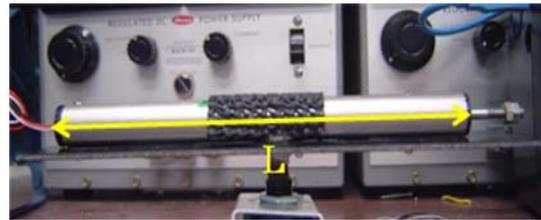


図 13. LP-100F-P

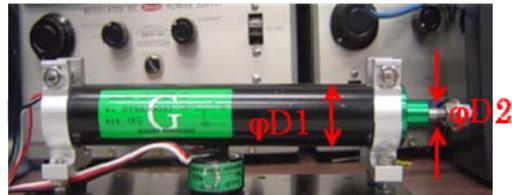


図 14. LP-100F-C

		LP-100F-P	LP-100F-C
寸法	L [mm]	130±1	138±1
	φD1 [mm]	φ12	φ22.2±0.3
	φD2 [mm]	φ3.0	φ5.0
機械的ストローク [mm]		102±1	103±1
電氣的ストローク [mm]		100±0.5	100±0.5
質量 [g]		約 40	約 110
直線性 [%]		±1	±0.1

表 2. ポテンシオメータの比較

また、回転形ポテンシオメータは昨年と同じ CP-2FB を使用した。



図 15. CP-2FB

有効電気角[°]	340°±3
機械角[°]	360° エンドレス
質量[g]	約 20
直線性[%]	±1

表 3. CP-2FB の仕様

そして製作し、実際に使用したセンサを下に示す。



図 16. 製作したセンサ



図 17. 増幅器を組み付けたセンサ

回転形ポテンシオメータの取り付け部分を完全に固定させず、サーボモータ用の部品を流用して半固定させることで容易に基準位置を変えられるよう改良を行った。



図 18. スティアホーン



図 19. 取り付け部

2.5.1. 基礎実験①

製作したセンサが実際に使用できるかどうかを確認するため、二種類の基礎実験を行った。一つ目はセンサを構成している二つのポテンシオメータの線形性を測定する実験である。

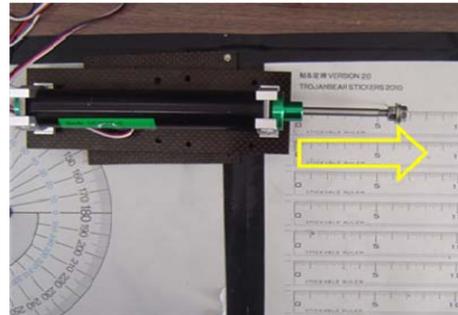


図 20. 直線形ポテンシオメータの測定

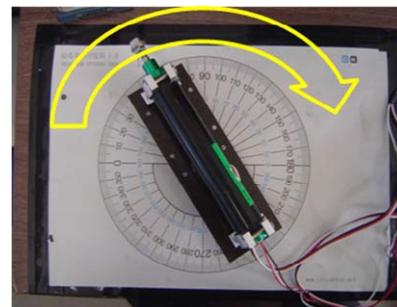


図 21. 回転形ポテンシオメータの測定

直線型ポテンシオメータの測定はシリンダーバーの先端を 5mm ずつ伸ばしていき測定し、回転式ポテンシオメータは 0°から 180°まで 10°ずつ回転させて測定した。実験機の上に方眼紙で直線型ポテンシオメータの移動距離が真上から見た時何 cm 移動したか分かるように工夫して実験をした。また、回転式ポテンシオメータの基礎データを得るために 180°の分度器を拡大コピーし、同じ大きさの図を逆方向に貼り付けて 360°に対する測定データが得ら

れるようにした。

測定結果

直線型ポテンシオメータ

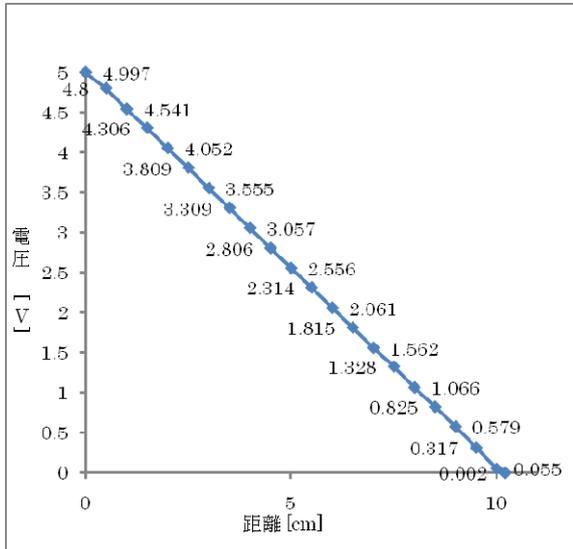


図 22. 直線型ポテンシオメータの電圧特性

グラフを見ると、シリンダーバーの長さで電圧が直線的に変化しているため、このポテンシオメータは実際に使用できることが分かる。

回転式ポテンシオメータ

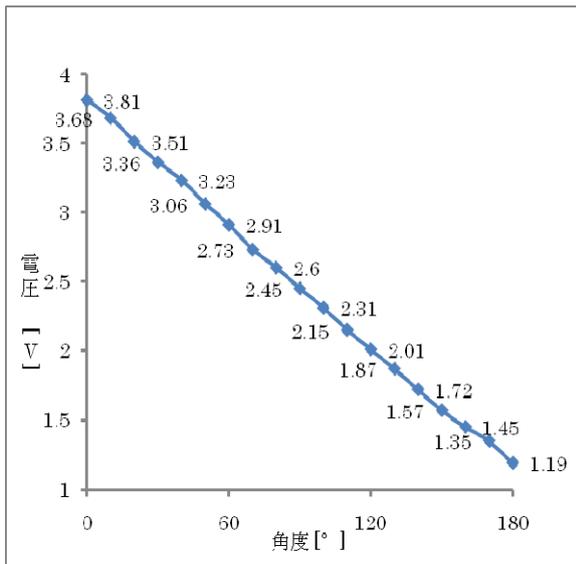


図 23. 回転式ポテンシオメータの電圧特性

こちらも直線的に増加しているため、このポテンシオメータは実際に使用できることが分かる。

2.5.2. 基礎実験②

ポテンシオメータの動作が確認できたので動作実験を行った。

縦横 1cm 間隔で縦横+3~-3 まで書いた点を 1 直線に 1 本ずつ手でなぞって測定した。方向が正確にわかるようにポテンシオメータの先端に針金を付けている。

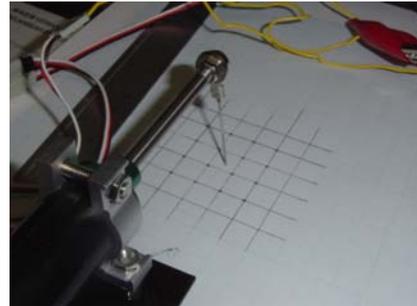


図 24. 動作実験

XY レコーダーの操作方法

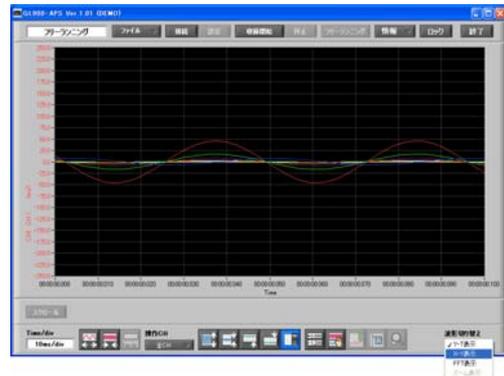


図 25. GL900 XY 表示への切り換え

画面右下の波形切り替えのチェックで X-Y 表示を選ぶと画面が XY 表示に切り替わる。

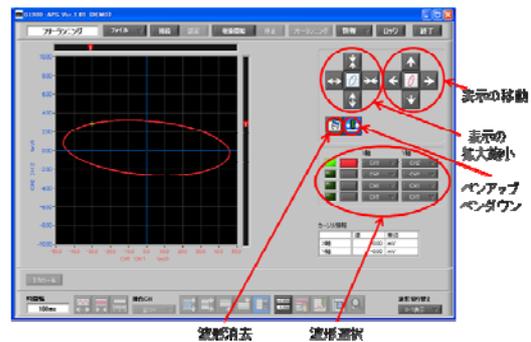


図 26. GL900 XY 表示

はじめに波形選択で回転式センサのチャンネルがX軸に、直線型のチャンネルがY軸になるように設定する。そして表示の移動、表示の拡大縮小で波形が測定したい範囲に収まるように調整する。XY表示の波形はペンダウン状態のときのみ記録される。ペンアップ・ペンダウンのボタンが青色のときはペンダウン状態で波形が記録される。波形の保存の方法は時間軸表示と同じである。



図 29. DM-330MV

測定結果

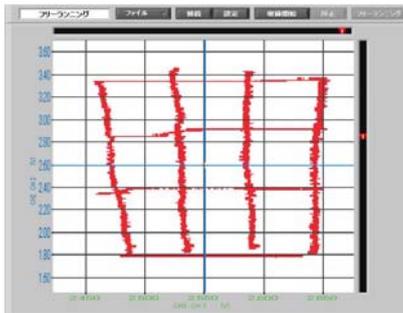


図 27. 測定結果

図 27 において縦軸が直線型ポテンシオメータの出力、横軸が回転式ポテンシオメータの出力である。なぞった線に近い出力波形が測定され、これは写像の関係図を表わしている。このことから、製作したセンサは位置検出装置として使用可能であると考えられる。

2.6 センサとサーボモータの接続

センサとサーボモータの接続には近藤科学社のコントロールボード「RCB-4HV」とソフトウェア「HeartToHeart4」を使用した。またボードの電源にはアルインコ製の DM-330MV を使用している。以下に仕様を示す

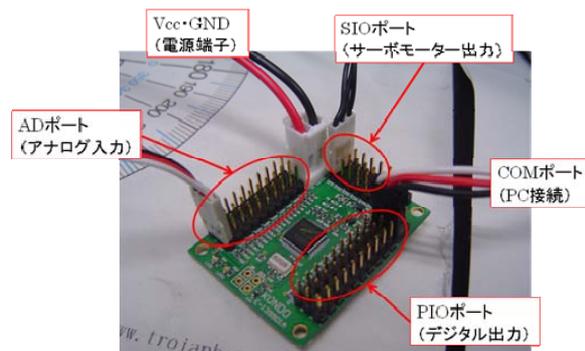


図 28. RCB-4HV

【ボードサイズ】

- ・サイズ：35×45×12mm
- ・重さ：11.8g
- ・使用電圧：6～15V 内部電圧：5V

【スペック】

- ・CPU：ルネサステクノロジ製M16C26A
- ・CLOCK：20MHz

【ペリフェラル】

- ・SIO：8ポート(2系統×4)
- ・AD：10(基準電圧5V)(5msec)
- ・PIO：10(5V)
- ・EEPROM：256KB
- ・COM：8ポート(115200, 625k, 1.25Mbps)
- ・SW：1ポート
- ・LED：2(赤, 緑)

【端子】

- ・電源端子：1
- ・RESET：1
- ・TPポート：1

【その他】

- ・最大電流：1A(レギュレーター電流、500mA以下推奨)

接続方法は、

- ① Vcc・GND 端子を DM-330MV(DC5～15V, 32A)の OUTPUT に接続
- ② COM ポートを PC に接続
- ③ AD ポートにセンサを接続 (本実験では直線形を AD1, 回転形を AD2 に接続)
- ④ SIO ポートにサーボモータを接続する。(義手は数珠つなぎで配線しているため、SIO1 と SIO5 に1本ずつ接続した)

以上の通りである。

今回 PIO ポートは使用しないが、このポートは 0V(Low)・5V(High)を出力することができ、LED の発光などに使用できる。

2.6.1. HeartToHeart4 について

次に HeartToHeart4 について説明する。本来このソフトは二足歩行ロボット KHR-3HV を制御するもので、サーボモータに対し多くの設定機能がある。しかし今回は、その内のアナログミキシング機能を使用したものでそれについてのみ説明を行う。

- ① C:\ProgramFiles\HeartToHeart4\HeartToHeart4.exe を起動する。
- ② 赤丸の所のコンボボックスでボードを接続したポートを指定する(COM3 or COM4)。
- ③ ファイル - 新規作成 - プロジェクトで任意の名前のプロジェクトを作成。
- ④ C:\ProgramFiles\HeartToHeart4\HeartToHeart4.exe を起動する。
- ⑤ 赤丸の所のコンボボックスでボードを接続したポートを指定する(COM3 or COM4)。



図 30. HeartToHeart4 の TOP 画面

- ⑥ 赤丸の所のコンボボックスでボードを接続したポートを指定する(COM3 or COM4)。
- ⑦ ファイル - 新規作成 - プロジェクトで任意の名前のプロジェクトを作成。
- ⑧ プロジェクトタブのプロジェクトの設定を選択し、設定ウィンドウを表示させる。

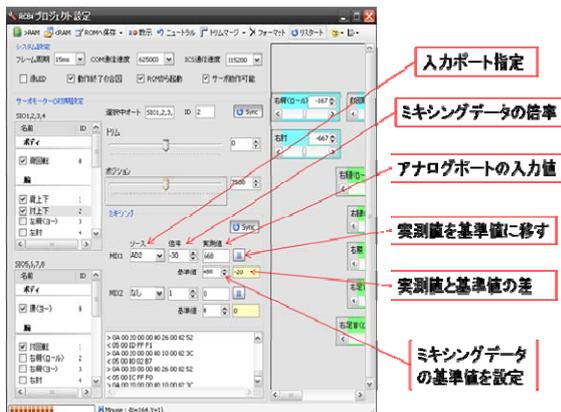


図 31. アナログミキシングの設定画面

- ⑨ サーボモータの初期設定欄で設定を行うサーボモータの ID を指定
- ⑩ ミキシング欄右上の Sync ボタンを押しボードとの同期を開始
- ⑪ MIX1 のソースコンボボックスでセンサを接続している AD ポートを指定する。
- ⑫ 実測値を見ながら基準値をキャプチャボタンで設定し、倍率を任意の値に指定する。
- ⑬ Sync ボタンをもう一度押しボードとの同期を終了し、プロジェクトファイルを保存。
- ⑭ RAM ボタンを押し ROM へ書き出して、再起動する。

2.6.1. 動作実験



図 32. 取り付け例

センサは図 32 のように脇の下に取り付ける。

肩を上下に動かすと直線形が、前後に動かすことで回転形が可動し肩の動きを電圧の変化として検出する。また、先ほど説明した HeartToHeart4 のアナログミキシング機能の倍率調整で出力電圧を増幅できることと、センサとボード間に回路を組み込んで実際に実験を行った。その時の入力波形と出力波形をミニデーターロガーGL900 で測定した。また、回路を外して同様の実験をした。その結果、回路を使用することによりノイズが混入するしていた為、製作した増幅回路は使用しなかった。

次に、実際に義手をセンサによって動作させる。

今回はセンサの動きを分かりやすくするため、体には装着せず撮影している。動画の一瞬を写真データとして下図のようにまとめた。図33の実験では肩を前に出すと肘が曲がるように設定してある。また、

図34のように肩を上下に動かすと上腕を位置制御出来ることを確認した。



図 33. 肩(センサ)を前後に動かしたとき

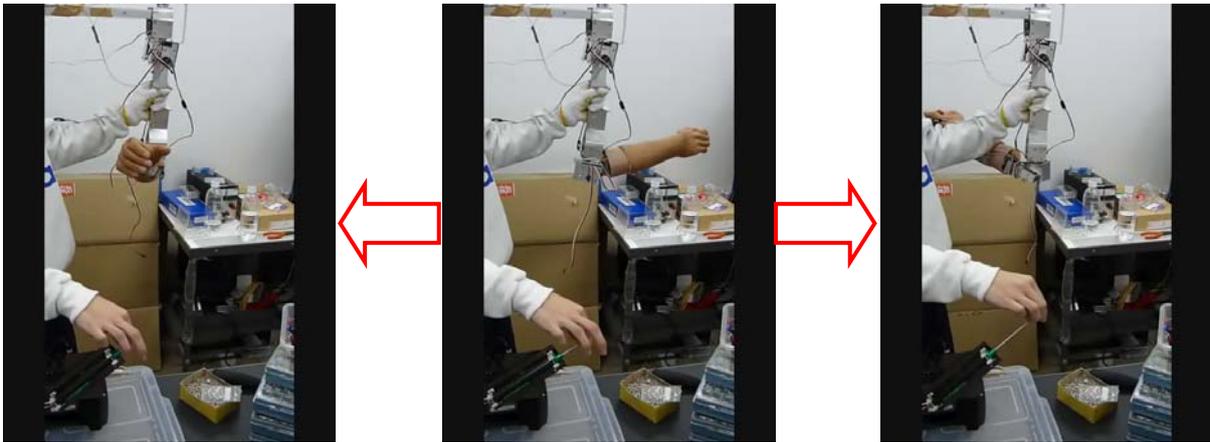


図 34. 肩(センサ)を上下に動かしたとき

以上のようにセンサの動きによって義手を動作させることに成功した。しかし、新たな問題も発生した。体に取り付けた時に小さな動きも感知してしまい上手く義手を操作できないということである。これについては増幅度などのパラメータやポテンシオメータを変更することにより問題は解決される。

2.7 IMU-Z とは

本年度、研究室に ZMP 社の e-nuvo IMU-Z というセンサが導入された。このセンサは軽量で小型なため、使用できれば装着者の負担が減るだろう。

以下に詳細を示す。



図 35. IMU-Z の外観

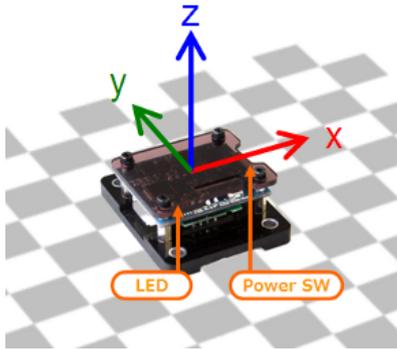


図 36. IMU-Z の座標軸

特徴

- 9 軸センサを 1 つにパッケージ
ジャイロ, 加速度, 地磁気と, タイプの異なるセンサを 1 パッケージに収めているため それぞれの特徴を生かし, 組み合わせることが可能
- 小型軽量のモジュール
約 4cm×約 5cm の小型なため, 人の手や足, ロボットや, そのほかの移動体など さまざまな場所にとりつけて使用可能
- 最大 28 台まで同時利用
1 システムに最大 28 台の IMU-Z が接続できる。人の体に多数のセンサをつけ, 多くの点の動きを収集したり, 群行動をするたくさんの物体などの計測が可能
- Bluetooth による無線接続と,

USB による有線接続
無線により, 被験者の動作をしばらく手軽に測定したり, 有線の接続により, 電波の環境の厳しい場所でも信頼性の高い測定が可能。

加速度センサ	3 軸
角速度 (ジャイロ)	3 軸
地磁気	3 軸
通信インターフェイス	Bluetooth CAN(USB ポート)
サンプリング	10[msec]~10[sec]10[msec]刻みで指定可能
サイズ	42[mm]×52.5[mm]×20.5[mm]
重量	35[g](カバー無し電池無し 10[g])
最大接続台数	28 台

表 4. IMU-Z の仕様

表 4 に示すように IMU-Z を使えば角速度, 加速度, 地磁気が XYZ 方向の 3 種類かつ 9 つのデータが 10msec ごとに同時出力できる。図 37CAN-USB (有線) の図を示す。

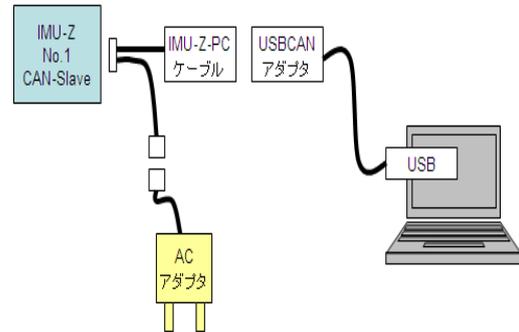


図 37. IMU-Z とパソコンの接続図

2.7.1. 原理

加速度計測

STMicroelectronics 社の 3 軸加速度センサ (LIS331 DHL) を使用。静電容量型加速度センサを用いている。温度変化において特性変化が少なく, 量産性に優れているため, 家庭用ゲーム機などにも使用されている。

方位計測

Honeywell 社の 3 軸地磁気センサ (HMC5843) を使用。内部には 12 ビットの A/D コンバータを使用。原理は, 地上における地磁気の方角を北としその方角を磁気センサで検出。

角速度計測

STMicroelectronics 社の 2 軸角速度センサ (LPR550AL, LPY550AL) を使用。センサ内部には質量をもった弾性体がくみこまれていて, 電氣的に振動させられている。弾性体は外部から回転運動を受けると, それに比例したコリオリ力が発生。この力による弾性体の位置変化は静電容量の変化として観測できる。LPR550AL で XY 軸, LPY550AL で Z 軸の角速度を測定する。コリオリ力とは回転座標系上で移動した際に移動方向と垂直な方向に移動速度に比例した大きさで受ける慣性力の一種である。

2.7.2. 付属アプリケーション

IMU-Z に付属のアプリケーションには, 以下のようなものがある。

3D Viewer

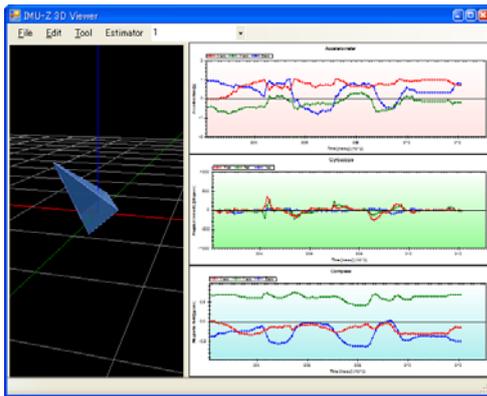


図 38. 3D Viewer 動作画面

1つのIMU-Zのデータをグラフで表示し、同時に3Dモデルを表示することのできるアプリケーション。グラフは上から加速度・ジャイロ・地磁気を表示している。

Model Draw Application

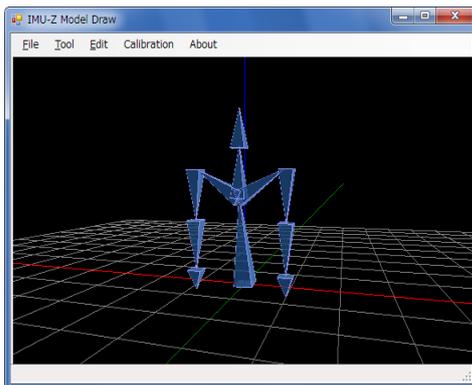


図 39. Model Draw Application 動作画面

ピラミッド型のパーツを組み合わせた上半身モデルを表示する。身体にIMU-Zを取り付けることで人の動きと画面上のモデルが同期して動く。また、接続するIMU-Zの数が1つでも、接続・設定したIMU-ZのノードIDに対応したパーツのみ動く。モデルは11個のパーツから構成されており、各パーツのノード番号は以下の通りである。

- Node 1 : 腰 Node 2 : 胸 Node 3 : 頭 Node 4 : 左肩
- Node 5 : 左上腕 Node 6 : 左下腕 Node 7 : 左手
- Node 8 : 右肩 Node 9 : 右上腕 Node 10 : 右下腕
- Node 11 : 右手

また、開発用環境のSDKには他にも数種類のサンプルアプリケーションが付属しており、簡単な説明を行う。

SimpleCommunicationSample

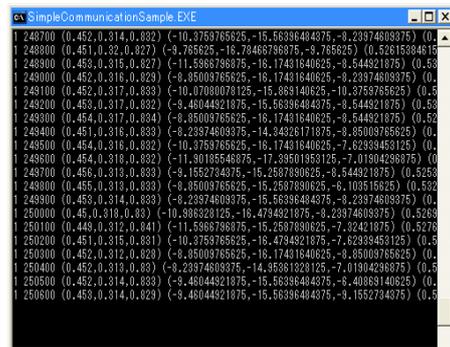


図 40. 実行画面

IMU-Zから受信したセンサの値を、コンソールに出力

ImuzSingleCommunicationSample

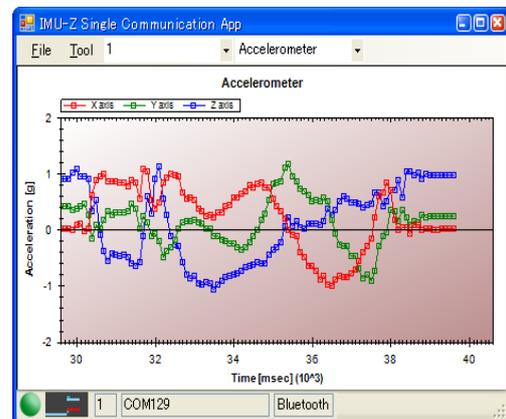


図 41. 実行画面

IMU-Zからの計測データをグラフに表示

ImuzMultiCommunicationSample

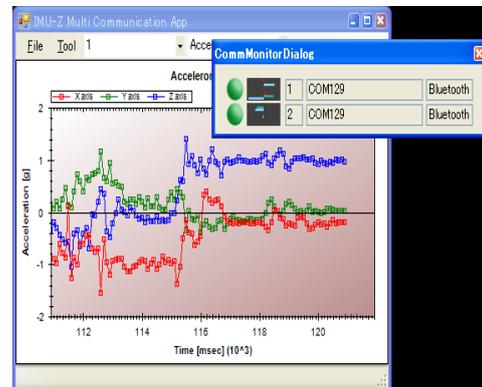


図 42. 実行画面

複数のポートを利用して、IMU-Zからの計測データをグラフに表示

図 45. 実行画面

FilterSample

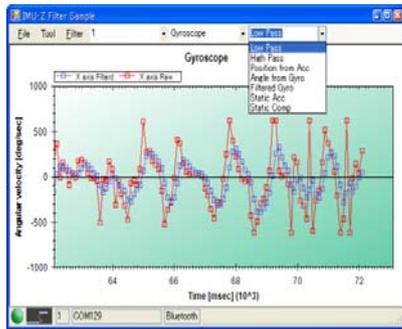


図 43. 実行画面

フィルタを利用するプログラム。元データと、フィルタ適用後のデータがグラフにプロットされる

GraphicDrawSample

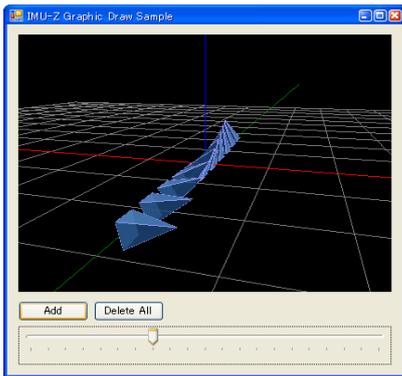
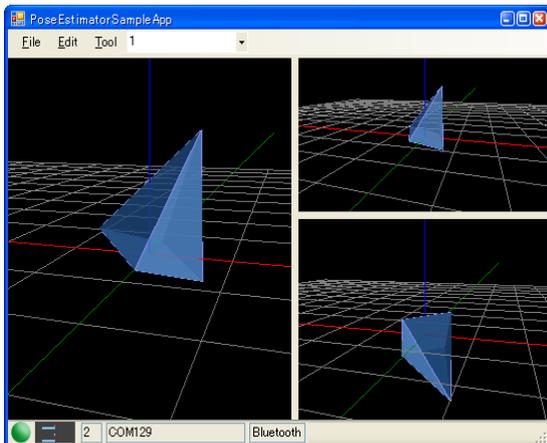


図 44. 実行画面

ImuzDraw を利用して、3D の空間にオブジェクトを表示するサンプル。IMU-Z との通信はせずに単独で表示のみ行う

PoseEstimatorSample



姿勢推定器(PoseEstimator)のサンプル。3種類の推定器の結果を同時に表示

2.7.3. PC との接続・設定

次に、IMU-Z と PC との接続・設定、使用方法について説明する。

初期設定

- ① 今回は有線で使用するため図 37 のように AC アダプタをコンセント、USBCAN アダプタを PC へ繋ぐ。
- ② IMU-Z の Node 番号(Model Draw Application の説明を参照)と Role*を設定するので、IMU-Z のプッシュスイッチを押しながらパワースイッチを ON にする。すると設定モードに切り替わり LED が点滅するので、確認する。
- ③ C:\Program Files\ZMP\IMU-Z Application and SDK\ImuzConfigurationTool.exe を起動し File-Open -コンボボックス内の[Lawicel CANUSB]を選択し、開く。
- ④ Target Node No を[All]にして[Get Status] ボタンを押すと現在の設定が帰ってくる。(複数の IMU-Z を接続しているならば、その数だけ)
- ⑤ Target Node No を変更したいセンサの番号にして、Node No に新たに設定するノード番号を入力し、Role も指定する。(今回は USB 接続かつ右肩に装着するため、Node No は 8 で Role は CAN-Slave とする)
- ⑥ [Save]ボタンを押して設定を送信し、IMU-Z を再起動する。

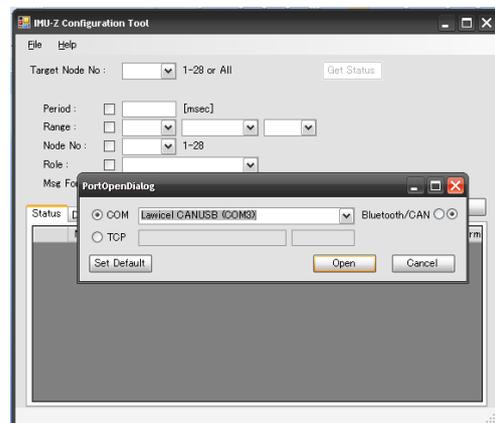


図 46. ③の画面

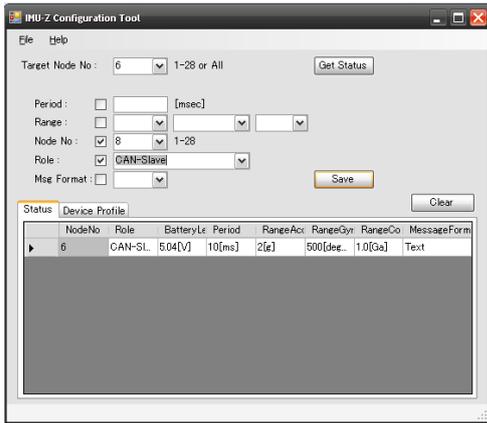


図 47. ⑤の画面(ノード番号6⇒8へ)

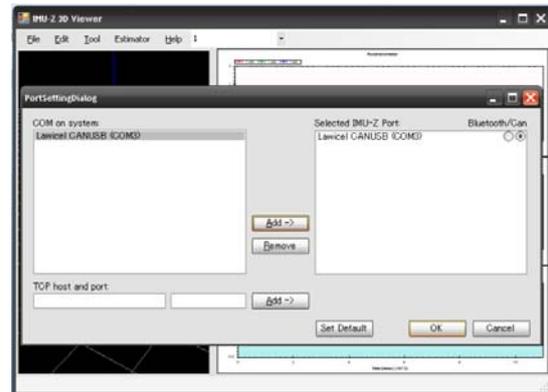


図 48. Port Setting ダイアログ

※) CAN-Slave, SingleBT, CAN-MasterBT の三つを選択できる。

CAN-Slave : CAN-USB(有線)接続時

SingleBT : Bluetooth(無線)接続時

CAN-MasterBT: Bluetooth-CAN 接続時(PC と一台の IMU-Z が無線接続, それと他の IMU-Z が有線接続)

3DViewer・Model Draw Application

- ① IMU-Z を接続した状態で C:\Program Files\ZMP\IMU-Z Application and SDK\Imuz3DViewer.exe を起動し File-Port Setting を押すとダイアログが表示されるので接続している方式(ポート番号)を選び, ADD ボタンを押して追加する。
- ② File-Open を押し, 図 49 赤丸の所のコンボボックス内のノード番号を初期設定で設定した任意の値にするとセンサのグラフ及び 3D モデルが表示される。

補足) その他の操作についてはメニュー項目に以下の機能がある。

Edit-Clear Graph : グラフの消去

Edit-Pause Graph : グラフの一時停止

Tool-IMU-Z Manager : マネージャーダイアログを表示し, レンジや計測間隔値を設定

Tool-Communication Monitor : 複数のセンサの値や変化を簡易的に表示する

Estimator-Begin Calibration : 場所によって異なる地磁気の大きさの変化を吸収し, データを更正する

Estimator-Save Cal Data : 上記の構成データを保存し, 次回アプリケーション起動時には自動で読み込まれる

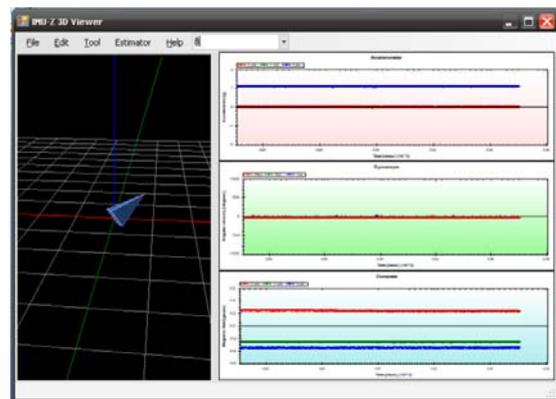


図 49. 3DViewer 表示画面

また Model Draw Application については, 基本的な操作は同じなので省略する。

2.7.4. 動作実験

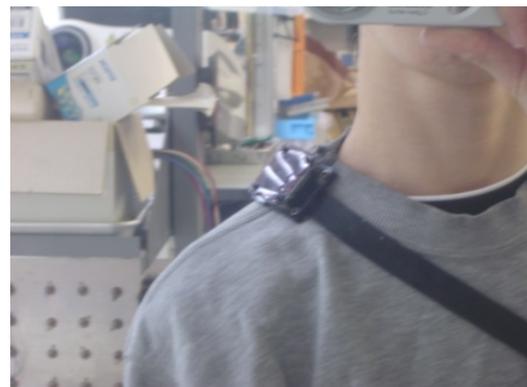


図 50. IMU-Z の取り付け例

今回, 肩の動きを検出するために ZMP 社の動画を参考にし, IMU-Z を図のように鎖骨の上に装着した。

下に実際に Model Draw Application・3DViewer を動作させた様子を示す。

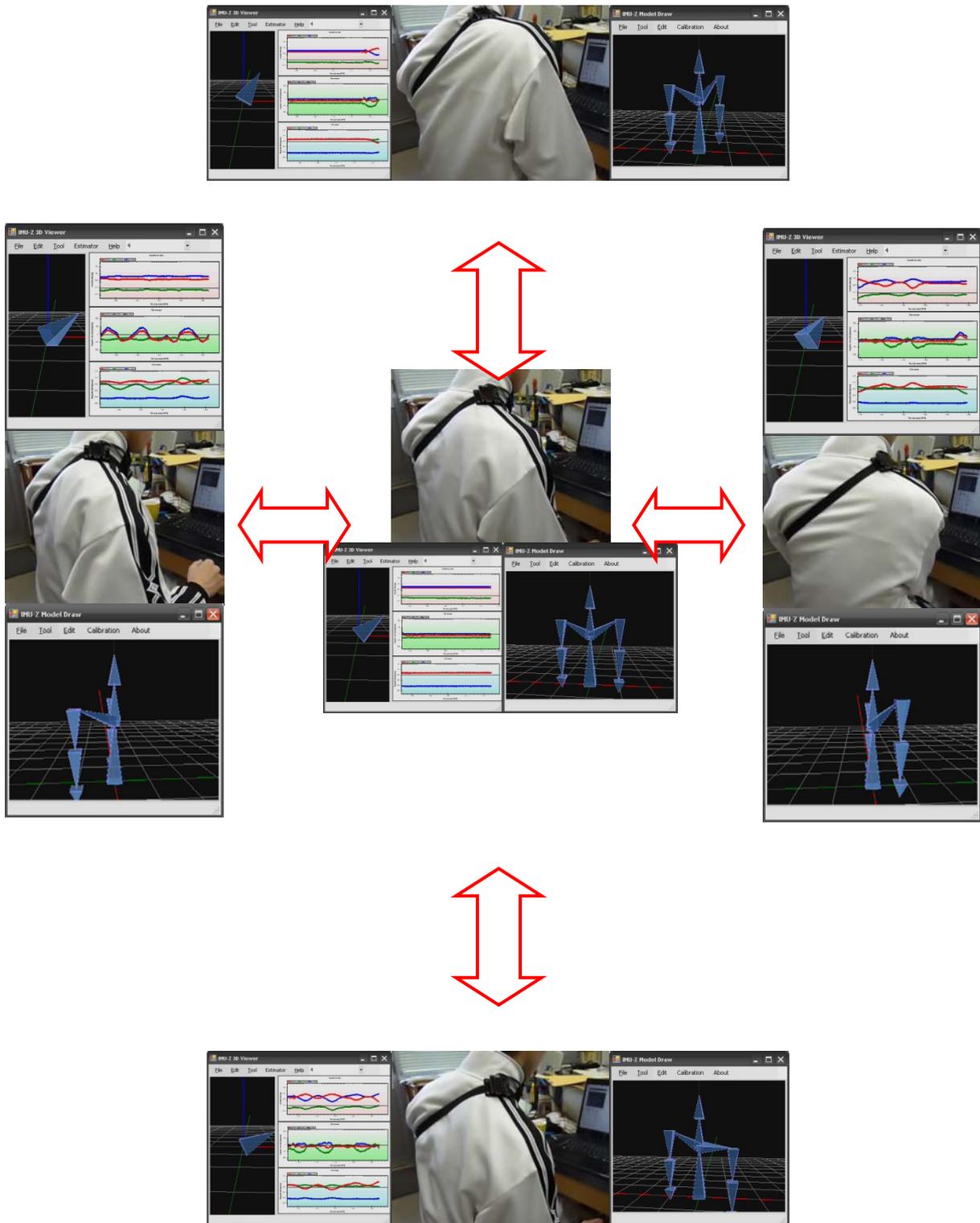


図 50. IMU-Z を用いた右肩の前後上下運動の動画の一部

なお、アプリケーション動画の撮影・編集にはカハマルカの瞳(C:\Documents and Settings\卒研¥My Documents¥jos3_3¥jos.exe)と AVIDEMU X2(C:\Documents and Settings\卒研¥My Docu

ments¥avidemux_2.5.4_win32¥avidemux2.exe) を使用している。

3. 結論

3.1 成果

今回の実験で2自由度位置検出センサの電圧変化によって義手を動作させられたので、センサの製作に成功した。耐久性に関しては、ポテンショメータは500万回転以上耐えられ、スムーズに変化しているので問題ない。

IMU-Zに関しては、肩の動きを検出できたので肩の位置検出センサとして使用可能である。

3.2 課題

今回の実験で発生した問題は、アナログミキシング機能によってポテンショメータの出力を増幅したため小さな振動も感知してしまい手先が振動するということである。これを改善するためには、倍率を下げればよい。しかし倍率を下げてしまうと肩を動かした時に義手があまり動かなくなってしまう。そこで、動作範囲の少ないポテンショメータを使用できれば倍率を下げられるだろう。(現在使用しているポテンショメータは0~10cmで0~5V, 0~360°で0~5Vの可変量。しかし実際に可動する範囲は0~3cm, 0~90°程度。そこで、0~3cmで0~5V, 0~90°で0~5Vの可変量のポテンショメータを使用できれば倍率を下げられる。)また、今回センサの先端を脇の下にマジックテープを使用して固定したが、肩を動かすうちに外れることが多々あった。こ

の点についても改善を行いたい。

IMU-Zが肩のセンサとして使用できることは判ったが、義手と接続し動作させるところまではできなかった。そこで、今後は図51に示すようなシステムを開発することが課題となる。頭と両肩にモーションセンサIMU-Z(現在3次元方位角のセンサーを除いた重量が3gのUSBケーブルを用いた有線によるセンサIMU-Z liteが販売されている)をノートパソコンのUSB端子に入力する。また、肩義手の各関節角度の値をIMU-Zやより小型なIMU-Z liteをUSBケーブルでノートパソコンに入力する。C#を利用して顔面方位制御アルゴリズムをプログラミングして、目標値を求めソフトウェアサーボプログラムを開発して定常偏差を0に出来る新しい目標値を求める。USBケーブルにシリアルUSB変換アダプター付きケーブルを用いてシリアル制御が可能な近藤化学のRCB-4HV(シリアルサーボコントロールボード)に接続する。数珠つなぎで6自由度柔軟関節肩義手(ロボットアーム)のシリアルRCサーボモータKRS-6003HVなどに接続する。リハビリで患者さんの楽な頭と肩の動きで顔面方位制御システムが完成できるよう2.2で示した式の K_1 , K_2 , K_3 , $C_{i(1-4)}$, $d_{i(1-4)}$ を決定する。リハビリを繰り返しながら最終的なパラメータを最終決定し実用化を実現する。コンピュータに使用されている集積回路の容量が毎年向上している為、現在のノートパソコンに相当する能力の制御用ボードは将来小型軽量化が可能であると予想される。

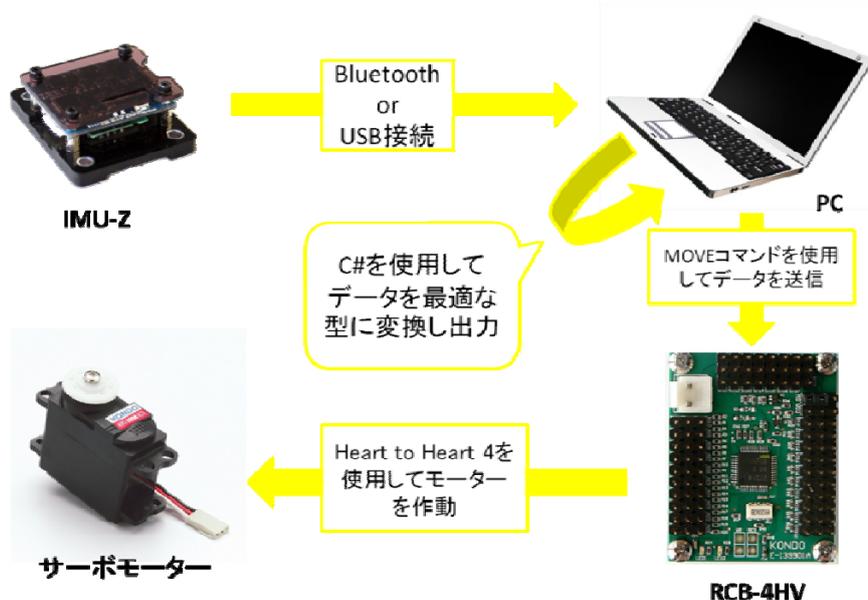


図 51. 今後開発する予定のシステム全体関連図

4. 謝辞

本研究にあたり、熱心に指導していただいた近藤化学株式会社、ZMP 株式会社の技術部門の方々に感謝します。また、研究に必要な機材を開発して下さった、株式会社緑測器、グラフィテック株式会社、テキサスインスツルメンツ、近藤化学株式会社、株式会社 ZMP の方々に深く感謝致します。電動義手研究の恩師徳島大学工学部電子工学科故原田尚文教授に深謝します。また、初代詫間電波高専故石黒美種校長先生の励ましに感謝します。卒業研究として木下研究室で努力してくれた全ての卒業生に感謝します。

5. 参考文献

- 1) 木下敏治 他：“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”，香川高等専門学校研究紀要第 1 号, p.113-130 (2010)
- 2) 木下敏治 他：“高トルクなシリアル RC サーボモータを用いた 6 自由度柔軟関節肩義手の協調動作制御システム”，香川高等専門学校研究紀要第 1 号, p.130-138(2010)
- 3) 臼井良：“ポテンショメータを用いた 6 自由度肩義手用肩部 2 自由度位置検出センサの開発”，平成 20 年度電子工学科特別研究論文,(2009)
- 4) 松本和樹：“ポテンショメータを用いた 6 自由度肩義手用肩部 2 自由度位置検出用センサの開発”，平成 21 年度電子工学科特別研究論文,(1983)
- 5) 山口彰大：“高トルクなシリアル RC サーボモータを用いた 6 自由度柔軟関節肩義手の協調動作制御システム”，平成 22 年度専攻科特別研究論文, (2011)
- 6) 株式会社 緑測器：PRECISION POTENTIOMETERS (2009)
- 7) テキサスインスツルメンツ：LM2900/LM3900 取扱説明書
- 8) グラフィテック株式会社：GL900 マニュアル (2009)
- 9) 近藤化学株式会社：Heart to Heart4 for User's Manual (2010)
- 10) 株式会社 ZMP：IMU-Z Manual (2010)