

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2008 ~ 2009  
 課題番号： 20700464  
 研究課題名 (和文) 電動義手用肩関節機構の筋電位をベースとしたマルチセンサ制御システムの開発  
 研究課題名 (英文) Development of Myoelectric-based Multisensor Control System for Powered Prosthetic Shoulder Mechanism  
 研究代表者  
 大西 謙吾 (OHNISHI KENGO)  
 岡山県立大学・情報工学部・准教授  
 研究者番号： 70336254

研究成果の概要 (和文) : 本研究は、義手や人間形のロボットアームの肩関節をより直感的に操作する方法として、肩甲骨の姿勢と肩甲骨につながっている筋肉の筋電位信号を測定し、信号の変動パターンから肩関節動作を推定する制御方法を提案する。この基礎実験として、加速度センサと筋電位センサの取り付け方や信号処理の方法などの影響を調べた。また、センサの信号から実際に行った動作の判定確度を 1 名の被験者について調べ、概ね良好の結果を得た。

研究成果の概要 (英文) : This research proposes an intuitive method for operating the shoulder joint mechanism of artificial arm. The shoulder joint movements are presumed by measuring and detecting the change pattern relation among the orientation of the scapula and the myoelectric signals of the muscles attached to the scapula. Basic Experiment on the influencing factors was conducted and the assumption rate of the subject testing showed acceptable results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：義肢装具

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：筋電位制御，電動義手，肩関節，マルチセンサ制御，マルチモーダル，適応フィルタ

## 1. 研究開始当初の背景

近年、運動・感覚障害者の自立と社会進出のために、ユーザやその支援者の視点に立ちロボティクス・メカトロニクス技術を開発・応用する研究が活発である。なかでも、肩離断などの高位切断者や高位頸髄損傷者は、腕と手の機能

が協調したより自然な操作系で動かさうる多機能な上肢機能を代行しうるシステムへの強い要望がある。技術開発の課題は、操作方法が直感的であり、かつ、残存する身体部位に制約を設けることないという前提条件を満たし、失

った関節部位を独立に操作しうる信号源と信号源の数を確保する点にあり、適切なセンサと信号処理系の設計がキーとなる。先行研究として、欧米を中心に筋肉や神経に埋め込むセンサや、神経移植の研究事例があるものの、その制御対象は肘、もしくは、手や前腕であり、肩関節への取り組みはない。また、ソフトウェアや脳・神経系モデリングの研究で肩周辺部の筋からの筋電位信号を用いて肩甲骨腕関節の動きを推定する研究はあるが、実際の義手の装着を想定し、また、肩甲骨の動きに着目し肩甲骨腕関節の動作推定を行う手法に関する研究はまだない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、義手や生活支援用ロボットアームの3自由度肩関節機構のヒューマン・インタフェースとして、肩甲骨の姿勢と周辺筋から筋電位信号をセンシングし、パターン判定した肩関節動作を実行するコントローラを開発することで、多機能義手の直感的で独立な入力系の基礎技術を確立することである。

## 3. 研究の方法

### 3.1. アプローチ

Kuikenによって報告された筋電義手の利用向上を目的とした筋の神経再支配術 Targeted Muscle Reinnervation(以後 TMR)により、肩離断者についても筋電義手を使用する選択肢が開けた。肩離断者に対する TMR では胸筋に前腕部の残存神経を移して筋電義手を制御入力用の筋電位信号の信号源を得る。そこで、本研究では筋電位制御の肩関節機構の操作信号源として TMR の影響を受けない肩甲骨周辺筋を対象とする。これにより肩甲骨周辺筋を用いる肩関節機構は、TMR で使用する胸筋部の前腕筋電義手の操作信号源とは干渉しない形で操作信号源を確保できるため、TMR 式の前腕筋電義手に肩関節機構の追加が可能となり、肩離断者が生理学的に自然な制御で欠損した全腕の機能を補完できる可能性がある。

本研究では、肩離断者・高位上腕切断者を対象とした筋電位制御による義手や生活支援用ロボットアームの3自由度肩関節機構を扱い、その制御入力用の信号源として TMR の影響を受けない上記の肩甲骨周辺筋からの筋電位信号、ならびに肩甲骨の姿勢情報をセンシングし、それらと肩甲骨の体幹に対する相対運動である解剖学的動作との関係を明らかにする。

### 3.2. マルチセンサ・システム

肩甲骨の体幹に対する相対運動動作は解剖学的に挙上・下制・前進(外転)・後退(内

転)・上方回旋・下方回旋の6動作である(図1)。これらの動作は肩甲骨周辺筋である大円筋、棘上筋、棘下筋、三角筋、僧帽筋、前鋸筋、菱形筋が関与しており(図2)、これらの6動作に伴い肩甲骨周辺筋で生じる皮膚表面部での筋電位を計測することで、肩関節機構の操作信号源として使用できる可能性がある。さらに上記の6動作に伴い、肩甲骨の身体に対しての姿勢角度は変化するため、肩甲骨の姿勢情報を肩甲骨の動作を判別するための情報として使用できる可能性がある。本研究では肩関節機構の制御入力として使用する操作信号源に肩甲骨周辺筋の筋電位に加えて肩甲骨の姿勢情報を使用する。肩甲骨は皮膚表面上からでも触診できる肩甲骨の部位であるので、肩甲骨の体表面上に加速度センサを取り付ける(図3)。肩甲骨の姿勢情報を肩関節機構の操作信号源として使用するメリットとして、肩甲骨姿勢は一定の状態を保持し、操作信号として随意的に安定に扱えること、肩甲骨の姿勢情報を得るために使用する加速度センサは半導体技術の向上に伴い、小型化、高精度化が進んでいるため筋電義手に実装しやすく、バッテリーで動作させる必要があり、処理能力の低いマイクロコンピュータでも制御可能なことが挙げられる。

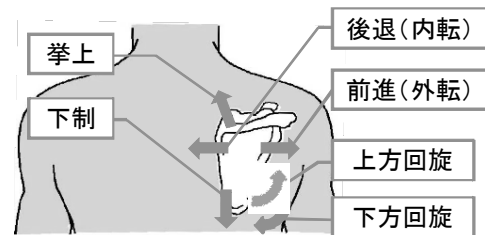


図1 肩甲骨の解剖学的動作



図2 計測を行う筋



図3 加速度センサの位置

### 3.3. 実験用計測システム

計測システムの概略図を図4に示す。肩甲骨の姿勢情報を計測するためにカイオニクス社製の3軸加速度センサ KXM52-1050 を、

肩甲骨周辺筋の筋電位信号を計測するために日本光電社の心電図モニタ用湿式電極ビトロード F-150S を使用する。筋電位信号は増幅度を 5000 倍に設定した追坂電子製 Personal EMG の 4ch タイプを 2 台使用して、計 8ch を計測できる状態とした。筋電位信号 8ch および加速度センサの X, Y, Z 軸出力の計 3ch の加速度信号をともに、PC の拡張スロットに接続された AD 変換ボード (Interface 社製 CTP-3174) で PC に取り込まれる。PC に取り込まれた信号は製作した計測・モニタリングツールで、信号処理、計測データの波形表示の処理をリアルタイムで行いながら、PC の HDD へのデータの記録保存の処理が行われる。

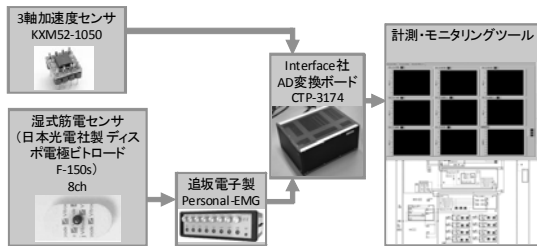


図 4 計測システムの概略図

#### 4. 研究成果

4.1. 筋電電極取り付け筋・位置の選定実験  
解剖学的な知識をもとに上肢帯の動作に関与する肩甲骨周辺筋 6 筋を選定したが、これらの筋電位信号と加速度センサより算出する 3 軸の姿勢角度情報との組み合わせで 6 動作が仮説通り、効果的に選定できるかを検証し、筋電測定筋と筋電電極を取り付ける位置とを最終決定した。

実験は、20 代の上肢に障害のない男性 3 名を被験者として進めた。各被験者は (1) 等張性運動、(2) 等尺性運動の 2 条件において、それぞれ上肢帯の挙上・下制・前進 (外転)、後退 (内転)、上方回旋・下方回旋の各動作を 2 回ずつ行う。

AD 変換のサンプリング周波数 2kHz とし、加速度信号はセンサモジュール上の低域通過帯域 10Hz のローパスフィルタを設け、計測・モニタリングツール上で 100 サンプルごとの移動平均平滑化処理を行う。姿勢情報は実験開始から信号処理された加速度信号の最初の 50 サンプルの平均をセンサの基準姿勢値とし、基準値からの変動分を記録する。筋電位信号は計測・モニタリングツール上でノッチフィルタによる交流雑音 (60Hz) 除去後に 3 次バターワースによる通過帯域 5~500Hz のバンドパスフィルタ処理後、全波整流、100 サンプルごとの移動平均平滑化処理を行う。ノッチフィルタ・バンドパスフィルタは National Instrument 社の LabVIEW の既存プログラムを適用し処理した。

計測は挙上・下制・前進 (外転)・後退 (内転)・上方回旋・下方回旋の順にメトロノーム (セイコー製デジタルメトロノーム DM-17) の音 (45bpm) に合わせて各 1 回行った後、逆順で 2 回目を行う。

3 名の被験者実験から各動作に伴う大円筋、棘上筋、棘下筋、三角筋、僧帽筋上部、僧帽筋下部、前鋸筋、菱形筋の皮膚表面で計測される筋電位を計測し各筋の筋電位が比較的鮮明に計測できる装着条件として求めた。電極位置を図 5 に示す。初期条件を測定対象筋の筋線維方向とし、その方向から電極間の距離と角度を変え最適となる条件をそれぞれの被験者で求めた。測定結果をもとに定めた電極取り付け位置を次に示す。

- 大円筋：肩甲骨の下角部、棘下筋の電極から下に約 30mm 離れた位置
- 棘上筋：棘上窩の位置、加速度センサから首筋方向に約 30mm 離れた位置に配置
- 棘下筋：肩甲骨の下、加速度センサから約 30mm 離れた位置に配置
- 三角筋：三角筋側部の中央の位置に配置
- 僧帽筋：(上部) 棘上筋の電極から約 25mm 隣の首筋付近  
(下部) 背骨方向の肩甲骨の終端である棘三角から、背骨方向に約 20mm の位置に背骨と平行な向きに電極を並べて配置
- 前鋸筋：第 7 肋骨に付着している位置に電極を配置
- 菱形筋：僧帽筋の電極から約 30mm 下に同じく背骨と平行な向きに電極を並べて配置

この配置において、被験者 1 名で確認実験を行い、各動作中で活動度の高い筋を比較する。各軸の値の算出には (3.1) 式を用いた。

$$R(t, i) = \frac{V_{EMG}(t, i, j)}{\sum_j V_{EMG}(t, i, j)} \quad (3.1)$$

$R(t, i)$  は時刻  $t$  における動作  $i$  での筋  $j$  の活動度、 $V_{EMG}(t, i, j)$  は時刻  $t$  における動作  $i$  での筋  $j$  の筋電位の大きさを表す。評価には、加速度センサで計測している肩甲骨の姿勢情報が大きく変化している 0.2s 間を動作開始時とみなし、その区間の筋電位信号を用いる。この結果の一例をレーダーチャートで表したものを図 6 に示す。

各動作で高い活動度を示した筋は挙上および上方回旋で僧帽筋上部、棘上筋、前進 (外転) で前鋸筋、後退 (内転) で僧帽筋下部の 4 つとなった。肩甲骨の姿勢情報からは挙上または上方回旋、下制または下方回旋、前進、後退の 4 種の動作でそれぞれ異なる姿勢情報

の変化を示した。前進（外転）、後退（内転）においてはそれぞれ筋電位信号と姿勢情報が独立している。しかし、挙上と上方回旋でそれぞれ同様の筋電位信号と姿勢情報となり、下制と下方回旋では特徴的な筋電位情報が計測されず、それぞれ同様の姿勢情報のみとなった。

この結果より提案するマルチセンサ制御方式として、動作判別に用いるセンサ情報の組み合わせを表1とし、この結果を用いて動作判別実験を行う。

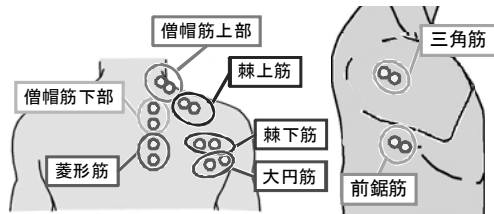


図5 筋電極取り付け位置

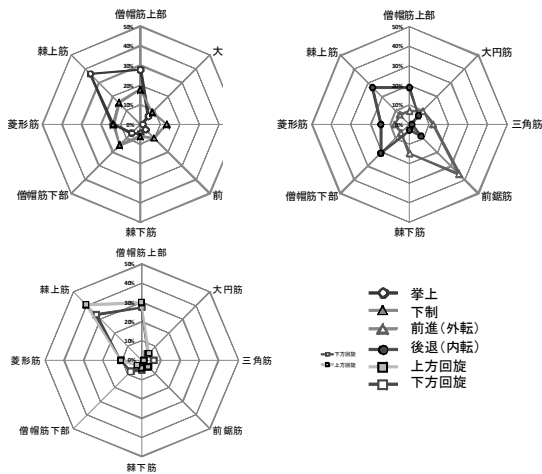


図6 動作時における8筋電位信号の活動割合

表1 動作の分類に用いる筋電位信号，姿勢情報の組み合わせ

動作	筋電位信号	肩甲骨の姿勢情報
挙上	僧帽筋上部， 棘上筋	+X, +Y
下制		-Y
前進（外転）	前鋸筋	+X, -Y
後退（内転）	僧帽筋下部	+Y
上方回旋	僧帽筋上部， 棘上筋	+X, +Y
下方回旋		-Y

#### 4.2. 動作判別実験

前述の実験における筋電信号の処理方法と

してバターワースフィルタを用いたバンドパスフィルタと移動平均平滑化を使用した。挙上と上方回旋，下制と下方回旋のそれぞれが独立して判別可能なほどの特徴的筋電位を計測することができなかった。そこで、フィルタ時定数が適応アルゴリズムによって自動的に選択される適応フィルタを導入した。フィルタのパラメータの選定には先行研究の成果を参考にし、立ち上がり時の変動の検出性能が向上するよう微調整を行った。これにより、挙上と上方回旋を活動度の大小で区別できるようになり、表1の下制と下方回旋を同一の動作とする計5種類の動作にて動作判別実験を行った。

非切断者の20代男性1名で被験者実験を行った。被験者は表1に示す各動作を最初の2回は弱く、次の3回は強く、計5回ずつを1セットとして各2セット行った。また、姿勢による誤動作の影響を加味するため、自然体、前腕部横動作、前腕部縦動作、首回し運動の状態におけるセンサ出力も合わせて測定した。

この結果、挙上、下方向動作はいずれも約90%の判別率を示し、動作の強弱で判別に差はみられなかった。上方回旋では強い動作の場合には約75%、弱い動作の場合には約55%の判別率を示し、前進（外転）、後退（内転）は動作が強い場合には約90%の判別率を示したが、動作が弱い場合には閾値を超えず、動作を行っていないと判別された。また前腕や首の動きによる動作の誤判別は示されず、いずれも自然体、即ち肩甲骨は動いていないものとして判別された。

以上の成果より、本研究で提案する筋電位センサと加速度センサを用いたマルチセンサ制御インターフェースを用いることで、肩甲骨周辺筋および肩甲骨の姿勢情報から、肩甲骨の解剖学的動作である挙上・前進（外転）・後退（内転）・上方回旋・下方回旋+下制を判別でき、電動義手用肩関節機構の制御入力として利用できる可能性を示せた。

動作判別アルゴリズムには、マイクロコンピュータへの実装を想定し、ファジィ制御アルゴリズムを用意している。本報告では閾値制御の結果までだが、複数被験者の実験での報告を後日行いたい。また、筋電センサと加速度センサを体表面上に日々装着するための肩甲骨用ソケットの製造方法を検討した。肩甲骨部の採型方法として3次元形状計測装置を用いこと、そして、測定データを加工し、3次元切削型モデリングマシンでソケット用鋳造型を作成、シリコンソケットを作成する方法を試行した。また、姿勢変動に対する対象筋の形状変化についての測定実験をおこなった。筋電センサと加速度センサを埋め込んだ試作の作成と被験者実験を今後行い

たい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Kengo Ohnishi, Experiment on Comparative Validation of the Destabilizing Factors in Surface Myoelectric Interface for Prosthetic Control, Journal of Prosthetics and Orthotics, 査読有, 21(2), 2009, 106-109

〔学会発表〕(計2件)

- ① Kengo Ohnishi, Kiyoshi Goto, Experimental consideration on the factors which causes variation in fitting surface EMG interface, The MyoElectric Controls Conference: MEC'08, 2008/8/13, Univ. of New Brunswick Fredericton, NB, Canada
- ② 大西 謙吾, 筋電位信号入力を中心とした多自由度電動義手のマルチモーダルセンサ制御, 日本機械学会 第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010/1/9, 岡山理科大学(岡山県)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 謙吾 (OHNISHI KENGO)

岡山県立大学・情報工学部・准教授

研究者番号: 70336254