

EMG信号による生体動作の 認識について

兵庫障害者職業能力開発校 メカトロニクス科 三村 孝

1. はじめに

肢体不自由者は、人間の本来持ち合わせているべき機能や能力が何らかの事情によって不全の状態となっている。そのため生活面や就労面などで社会に適応できず、自立的参画が著しく阻害されてしまっている人が多い。このような人々たちにとって必要なものの1つに機能面での支援がある。

本報は、肢体不自由者の筋力補助装置や動作補助装具である義手や義足などの障害者支援機器の開発を目指し、これらの機器操作を生体が発する信号を用いて制御を行う生体動作認識手法の構築について述べる。

2. EMG信号誘導装置

人間はある動作を行うとき、中枢神経系から送られてきた運動指令である活動電位が、運動ニューロンによって骨格筋の筋原線維束に伝達される。そして信号入力と同時に、その筋原線維束の束である筋肉が収縮し、目的とする動作が実現される。このときに発生する活動電位を導出し、増幅し、記録することを筋電図electromyography (EMG) と呼んでいる¹⁾。一般にEMG信号を利用した生体動作の識別法については、筋の活動電位（インパルスまたはスパイク電位とも呼ぶ）が被験者によって変化するため、ニューラルネットワークなどを用いてパターン認識を行う例が多く見受けられる^{2)~5)}。

今回試作した装置は、EMGの入力チャンネル数を増やして、導出した信号を平滑化し、そしてその波形を生体動作とリンクさせてパターン化することで、認識を実現させようとするものである。

2.1 EMG信号誘導装置の概要

図1にEMG信号波形を誘導する装置の外観を示す。本装置は、活動電位を導出するための「生体電極」、電極2点間の電位差を導出し増幅する「信号増幅器」、およびアナログ波形をデジタル波形に変換する「波形変換器」から構成されている。

通常、1つの筋肉からの入力情報では量的な要素しか判別できない。そこでEMG信号入力を3点とし、複数の筋からの情報により生体動作を判別することにした。

2.2 生体電極

EMG信号を誘導する方法には、筋全体の合成電

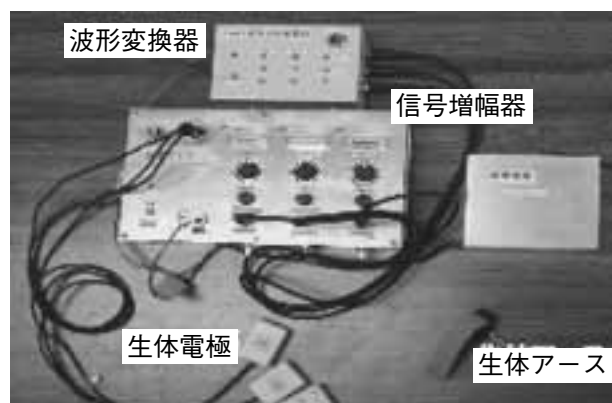


図1 EMG信号誘導装置の外観

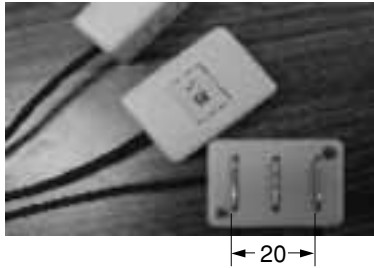


図2 電極の形状

位を導出する表面電極誘導法と、個々のNMU（筋線維群単位）の活動電位を分離導出する針電極誘導法がある。操作するうえでの安全性や使いやすさなどを考慮に入れて、表面電極誘導法を用いることにした。

図2は生体電極の外観を示す。電極形状は、EMG信号の誘導実験で、生体と接触する電極の形状を変更しても、あまり大きな影響を及ぼさなかったため、製作の都合上、電極にはφ1.2mmの銅棒材を用い、接点間の距離は20mmとした。また電極を貼りつける皮膚表面には、皮膚抵抗を減じる処置を施すために生理食塩水を塗布することにした。

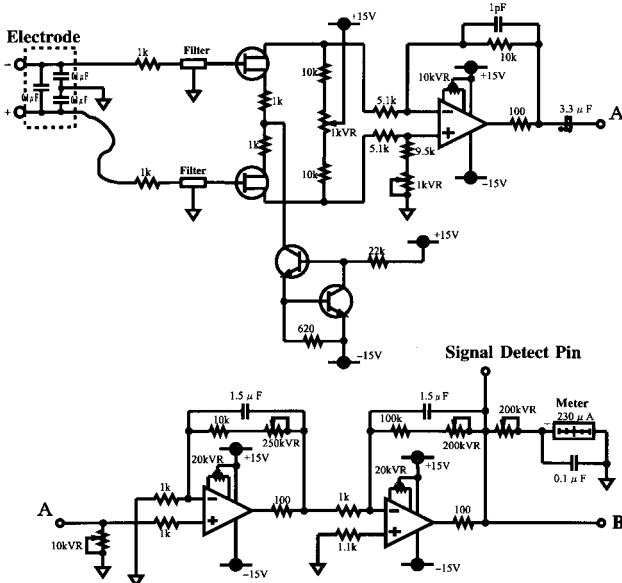


図3 信号増幅回路

2.3 信号増幅器

図3は信号増幅器の回路を示す。図の上段は、筋肉に貼りつけた電極間の微小な電位差を導出する回路であり、下段は導出された電位を増幅および平滑化する回路である。信号増幅器のボックスには、この回路が3組配置されており、誘導する波形はそれぞれ独立して増幅・平滑化される。

2.4 波形変換器

信号増幅回路において増幅された波形は、アナログ波形のため、このままでは認識処理が困難である。そこで図4に示す波形変換回路を用いて「正の値」、「負の値」および「ゼロの値」の3種類のデジタルな波形に変換する。

なお、常態（無動作）時は人的条件その他によっ

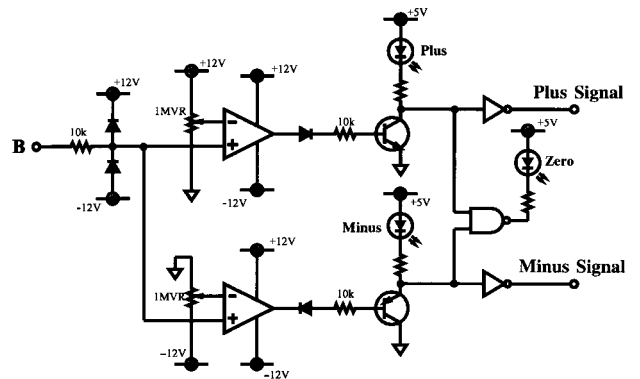


図4 波形変換回路

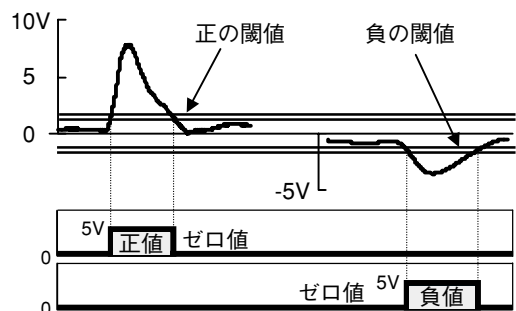


図5 閾値の設定

て、0 V付近でばらつきが生じるため、図5に示す閾値を設定して「ゼロの値」に幅をもたせている。

3. EMG信号誘導波形

3.1 動作の形態および信号導出部位

EMG信号を導出する部位としては、前腕部を選択した。そしてその形態認識には、図6に示す手首の「回内」、「回外」、「掌屈」、「背屈」および「把握」の5動作を対象とした。

これらの動作は深層部の筋肉にも影響を与えるが、その部位の活動電位は表面電極誘導法のため導出できない。そこで表層部の「腕橈骨筋」、「固有示指伸筋」および「尺側手根屈筋」の3筋肉を対象とし、その波形の状態から、深層部の筋肉の活動状況を判断することにした。

図7は、信号の導出筋肉部位を示す。

3.2 生体アースの位置

EMG信号を導出するに際し、その部位以外からの信号波や被験者自身の静電気、および外乱ノイズ（被験者近くの人々の通行、交流波電源など）の影響



図6 動作の形態

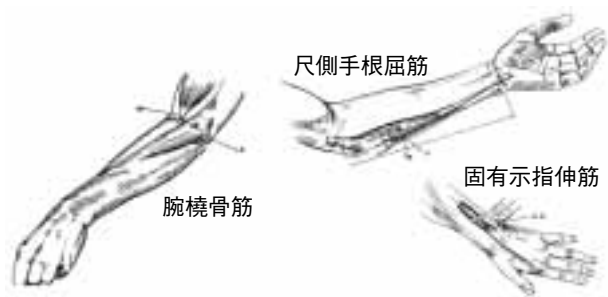


図7 EMG信号の導出部位

を強く受ける。そこでこれらを防止する手段として、生体にアースを取り付けることにした。取り付け位置を実験し検討した結果、前腕部から信号を導出する場合においては、図8に示す肘関節骨頭部にアース帯を巻きつけることで生体に発生する信号かく乱要因が除去できることがわかった。



図8 生体アース位置

3.3 信号誘導波形

誘導する信号波形は、個人や同一人であっても身体的疲労や微小な取り付け位置の相違によってばらつきが見られる。そのため定量的な値とはなり得ない。しかし一度、電極を装着すれば、それを取り外さない限り定常的となる。実験によると30分以上は同一信号波形が誘導され、再現性が得られることが確認された。図9に信号増幅器から出力された波形を示す。この誘導した波形が波形変換器により、「正值」、「負値」および「ゼロ値」の信号に分類され、その値の組み合わせから動作が認識される。

4. 信号認識処理

個々の正や負の信号をコンピュータの入出力端子に接続する位置を図10に示す。ここで、X筋は腕橈骨筋、Y筋は固有示指伸筋、Z筋は尺側手根屈筋が接続される。

動作が常態のときは、すべての接続端子で入力信号が「ゼロ値」であるLow（論理0）となり、動作

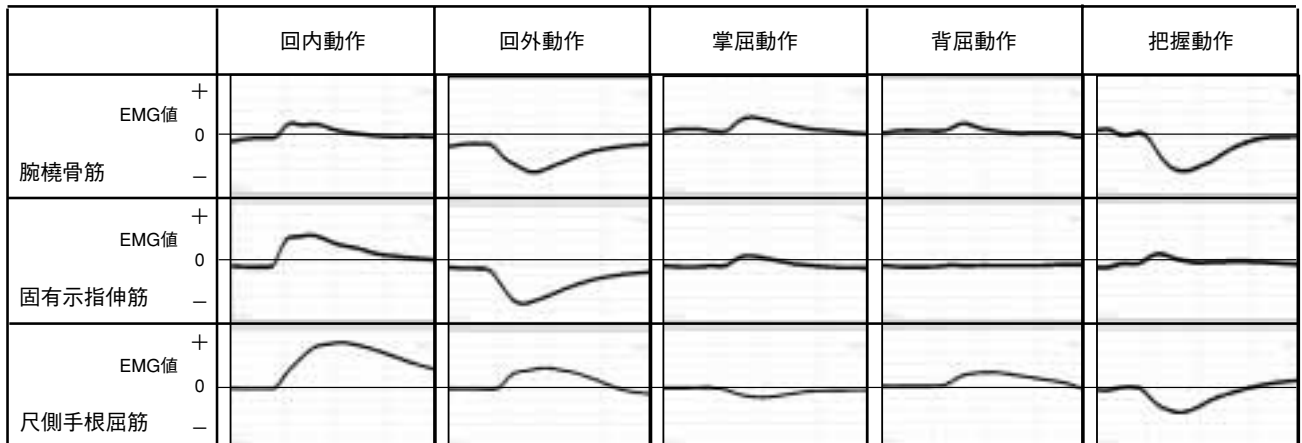


図9 生体動作とEMG信号

7 bit	6 bit	5 bit	4 bit	3 bit	2 bit	1 bit	0 bit
未接続	未接続	Z筋負信号	Z筋正信号	Y筋負信号	Y筋正信号	X筋負信号	X筋正信号

図10 接続端子

に応じて入力信号がHi（論理1）となる。

生体動作の認識は、誘導波形が電極装着ごとに異なるため、図11に示すような処理を行う。本装置を装着始めに、準備の段階として認識するすべての動作におけるEMG信号データをセットメモリに格納する。そして実行の段階で、格納されているセットメモリと、前腕部を動作させたときに誘導されるEMG信号データ値を比較判断して、動作の認識が行われる。

5. EMG信号の発生について

5.1 正電位の発生

骨格筋の筋線維群は、運動ニューロンの軸索終末部と接触しており、このつなぎ目がシナプスとよく似た神経筋接合部である。図12に神経筋接合部の概要を示す。

骨格筋線維群における電位の発生については、運動ニューロンが興奮し活動電位が神経筋接合部に達すると、ニューロン終末から、アセチルコリンが筋細胞膜との間に放出される。このアセチルコリンによって筋細胞膜の Na^+ イオンと K^+ イオンに対する膜の透過性が増し、脱分極が筋細胞膜の終板で起こる。生体電位はこのイオンの移動により発生する。

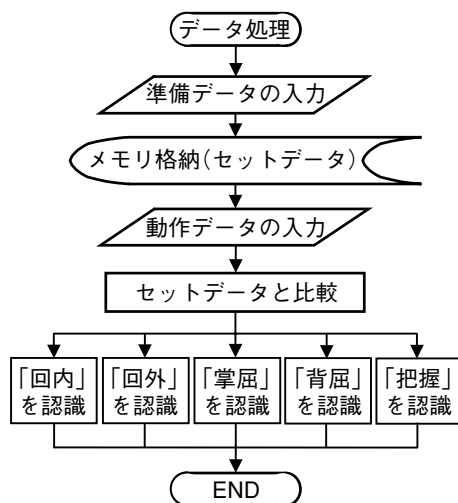


図11 EMG信号の認識処理

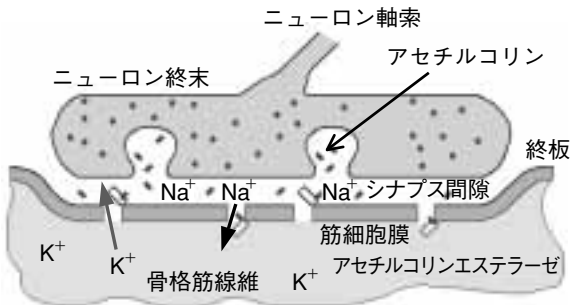


図12 神経筋接合部の概要

脱分極によって終板の電位が閾値を超えると、活動電位が発生する。このときに筋細胞膜が興奮し、骨格筋線維が収縮の状態となる。その後アセチルコリンエステラーゼという酵素でアセチルコリンが破壊され、 Na^+ イオンと K^+ イオンに対する膜の透過性が元に戻り静止膜電位となる⁶⁾。

5.2 負電位の発生

負の電位については、Eccles⁷⁾は抑制性のシナプス後電位 (IPSP) をあげている。興奮性、抑制性どちらにしてもシナプスは、中枢神経系からの指令である。ところが、外部負荷によって強制的 (無意識状態) に動作が行われた場合においても、動きの初期に負電位の発生が確認された。このことから抑制性シナプスの影響とは考えられにくい。

活動電位の発生が継続すれば、筋の細胞膜内は Na^+ イオン、細胞膜外は K^+ イオンが増加し、不均衡な状態となる。これを解消するためのイオンを元の状態に戻すポンプが必要となる。このイオン移動によって負の電位が発生される。そこでポンプの駆動源と、外部からの筋を伸展させる力とを結びつけることにした。

6. おわりに

EMG信号で正電位・負電位の波形発生を確認し

たことによって、生体動作を認識させることができた。今後はこの生体動作認識装置を、義手や義足などの装具にドッキングさせた支援機器の実用化に取り組んでいきたい。

また、当校は障害者校であるため、設置されているメカトロニクス科は、障害者の立場に立つ「ものづくり」教育を実践していくことが必要である。そのためこの装置を活用した実践訓練を、今後視野に入れて設定していきたい。

<参考文献>

- 1) 朝倉哲彦：『脳波・心電図・筋電図』，南江堂。
- 2) 榑橋康博，本多庸悟，高橋和彦，飯沼亮，石黒潤：「履歴を考慮した筋電周波数分布パターンによる前腕動作認識」，精密工学会誌，Vol.66，No.3，2000。
- 3) 辻敏夫，伊藤宏司，長町三生：「義手制御を目的とした多チャンネルEMG動作識別法」，電子情報通信学会論文誌，Vol.J70-D，No.1，1987。
- 4) 辻敏夫，市延弘行，伊藤宏司，長町三生：「エントロピーを用いた誤差逆伝搬型ニューラルネットによるEMGからの前腕動作の識別」，計測自動制御学会論文集，Vol.29，No.10，1993。
- 5) 森田聡，近藤敏之，伊藤宏司：「EMG信号による前腕動作推定と筋電義手への応用」，日本ロボット学会学術講演会，2000。
- 6) 貴邑富久子，根来英雄：『シンプル生理学 (改訂第4版)』，南江堂，1999。
- 7) Eccles, J. C. : The Physiology of Synapses, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, 1964.

