

〔論文〕

# 筋電図を使用した機器制御システム構成に関する検討

— 市販ゲーム機への生体信号の接続と，リハ支援機器への活用について —

松田 鶴夫<sup>\*1</sup>・益本 広久<sup>\*2</sup>

Study on equipment control system configuration using the EMG

— Connection of the EMG signals to commercial game machine,  
for the use of equipment to support rehabilitation —

Tsuruo MATSUDA<sup>\*1</sup>, Hirohisa MASUMOTO<sup>\*2</sup>

## Abstract

This study describes the development of an interface capable of controlling a commercial game machine controller and the utilization of an electric myogram taken of the surface of the thumb. This study also introduces the possibility that, through the use of this device, the area for application providing in the rehabilitation support domain will increase.

**keywords** : 筋電図, リハビリテーション, ゲーム

## 1 はじめに

磁気刺激や電気刺激等を用いて外部より刺激を与えた際に末梢筋より誘発される電位 (Motor Evoked Potential: M.E.P.) は広く知られている。また、脳波等の自発成分を計測する場合の瞬目や体動を反映する信号の重畳はアーティファクトとして広く認識されている。これらは筋運動に付随する応答 (筋電図: EMG) と捉えれば、獲得される振幅成分の大きさと周波数成分の低さから取り扱いの容易な信号と考える事が出来る。

一方で、養護学校や四肢麻痺者のリハ支援領域では、「遊びリテーション」<sup>1)</sup>等の言葉があるように、楽しく継続できるリハに注目が集まっている。中でも好奇心を刺激し、行動意欲を増す事を目的としたリハは重要とされている。これを支援するための各種おもちゃ等を活用した手法が各種考案されているが、その多くは海外輸入製品であり、高額かつ修理等の面からの国内サポートも乏しい。

本研究室では、マルチレイヤープラネタリーギアを使用した下半身麻痺者リハ支援用装置 (Wills) を研究試

作している。その中で、装置制御やモニタリングに必要な付随装置の研究開発を継続している<sup>2)</sup>。本報告ではこれまでに開発した付随装置の試用と活用範囲の拡大を目的として、筋運動に付随したEMGの大きな振幅成分に着目し、各種装置の制御応用する研究を行った。具体的には、市販ゲーム機 (Wii, 株式会社任天堂) のコントローラをEMGにより制御できるシステムを構築し、コントローラを直接操作する事が難しい上肢麻痺 (指が動く程度) 被験者等に対して、指の動きで操作可能とする装置を開発したので報告する。

## 2 システム概要

Fig. 1に今回開発したシステムを示す。システムはEMG導出部とフィルタ回路に区分できるアナログ部と、制御部に大別される。アナログ部の電源には006P乾電池を採用した。この電圧を中点電位生成回路により $\pm 4.5$  Vになるように変換したが、汎用回路であるので説明は割愛する。

PICをコアとする制御部には乾電池 (006P) を主電

<sup>\*1</sup> 情報ネットワーク工学科  
平成25年10月4日受理

<sup>\*2</sup> 機械システム工学科

源とする3端子レギュレータ(78M05)を使用し必要な電位を生成した。基板作成にはフリーCADであるEAGLE(CadSoft Online社製, Ver.4.2)を使用した。作成したデータはサーキットCAM(日本LPKF社製)を通して加工用データに変換する。

変換したデータを手作業により幾つかの修正を加えてミーリングマシン(Protomat C30, 制御ソフト: Board Master, 日本LPKF社製)に渡す。以上の過程を経て片面銅板を基板として研究室内で加工・実装等を行った。実際の基板は順を追って各部説明する。また、導出に試用する電極についても幾つかの検討を行ったので合わせて報告する。

### 2.1 EMG 導出部

本研究において使用したEMG導出部ブロック図と実際に試作した回路をFig. 2に示す。本回路はオペアンプLT1167(リニアテクノロジー社製)を使用した差動増幅回路であり、ここで最大約2,000倍のゲインを得る。筋電図導出の際に生じるノイズを軽減する為にDRL(Driven Right Log)回路を含む構成にした。DRL回路とは心電図計測等のノイズ対策として用いられる手法である。入力インピーダンスは公称値200GΩ(最小値)であり、本回路の出力側にRCによる簡易な0.3HzHPFを構成した。

### 2.2 フィルタ部

本システムではオペアンプ(LM4558(JRC))を用いたアナログフィルタを構成した。BEFに1極の回路を用いた。ノッチ周波数を60Hzに設定し、RCパラメタを調整し回路を構成した。Fig. 3に今回使用した回路と周波数特性を示す。数個の回路を試作し特性を評価した結果、最も大きなディップが得られたのは56Hz(-11.53db)近傍であったが、実用には問題無いと判断した。

Fig. 4に今回使用したHPF回路と周波数特性を示す。回路は部品点数を減らす為にバターワース型2極回路とし、カットオフ周波数は100Hzとした。数個の回路を試作し特性を確認した結果、100Hzでおよそ2.98dBの減衰が得られる事を確認し、実用には問題無いと判断した。実際に基板を作成し、部品を実装した物をFig. 5に示す。実装サイズはそれぞれ約27mm四方である。

### 2.3 EMG 導出部まとめ

前節2.1EMG導出部を2ch分実装し、各種回路を実装した回路全体をFig. 6に示す。本装置には中点電位生成回路と電池残量表示機能付き動作用LEDも実装されている。実装サイズはW100×H40×D100(mm)(YM-150, TAKACHI製)であり、将来的には基板実装サ

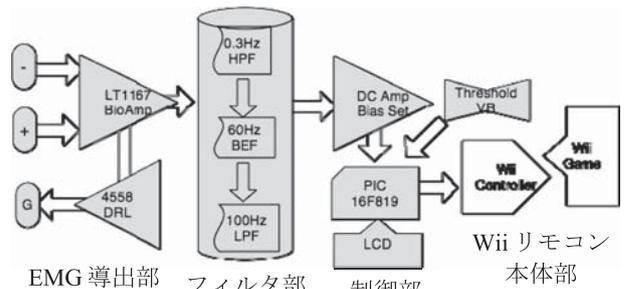


Fig. 1 システムブロック図  
Fig. 1 Block Diagram of Recent System



Fig. 2 EMG 導出部ブロック図と実装回路  
Fig. 2 EMG Circuits.

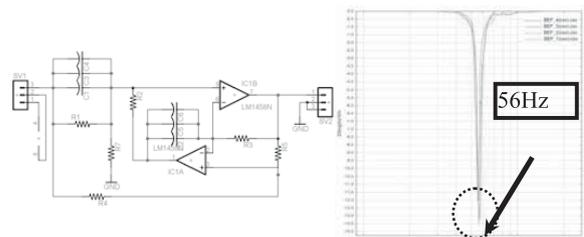


Fig. 3 BEF Circuits and freq. characteristics.  
Fig. 3 BEF Circuits and freq. characteristics.

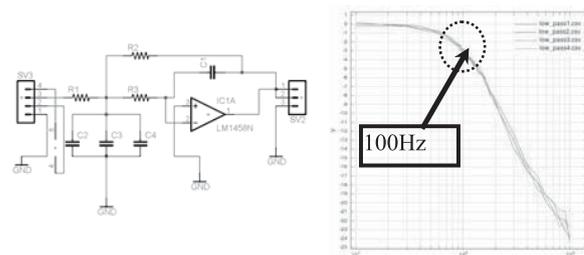
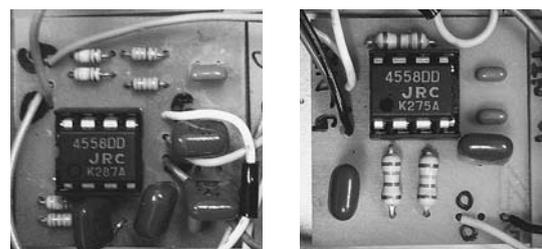


Fig. 4 LPF Circuits and freq. characteristics.  
Fig. 4 LPF Circuits and freq. characteristics.



(a) BEF  
Fig. 5 実装済み各種フィルタ回路  
Fig. 5 LPF and BEF Mounted circuits

イズの高密度化と一体化や表面実装パーツの採用により、更なる小型化が期待できる。

## 2.4 EMG 導出用部評価と使用する電極について

EMG 導出評価は Fig. 7 に示すように、健康成人男性（22歳）に VitrodeP（P-150, 日本光電社製）を左右母指球筋直上に配して行った。レファレンスは左右手の甲中央に配置した。左右の信号は Fig. 6 のアンプ入力部に個別に入力される。測定は非シールドルームで行い、EMG 導出部からの信号は BEF および LPF と通さず、直接オシロスコープ（TDS2022C, Tektronics 社製）を通して USB メモリに記録し可視化した。

Fig. 8 に左右の母指を交互に（被験者の感覚として一定の割合で）動かした際に導出される EMG 例を示す。母指の曲げと伸ばしに呼応する EMG 変化が明瞭に確認できる。また、図中破線で示すように左右交互の運動も明瞭に記録できる事がわかる。続いて被験者の母指運動について、片側だけ運動し、一方は停止するというタスクを数秒間交互に行った際の例を Fig. 9 に示す。運動停止中は GND レベルに電位が収束する事が確認できる。また、運動の強弱により導出される電位の大きさの変化と、信号の立ち上がり、立ち下がり時間に変化が現れる事を確認している。これらの事から、これらの大きな EMG は母指の大きな屈曲運動を示す一つの指標として使用可能である事を確認した。本稿ではこの大きな変位をサンプリングし、別途設定する閾値との比較を行う事で、市販ゲーム機コントローラのスイッチ制御機能として用いる事とした。

## 3 バイアスアンプ部について

2章に示した EMG 導出部では GND を中心に信号を増幅しており、これをマイクロコントローラ部に渡し AD 変換等の処理を行う為に幾つかの回路が必要になる。今回のマイクロコントローラには PIC を使用しており電源電圧範囲はゼロから +5 V としている。EMG 導出部の GND を電源電圧範囲の中心に移動する為にバイアス回路が必要となる。また、被験者間の相違や信号導出部の状態等の違いにより EMG 導出部（プリアンプ相等）のゲインでは不十分な場合も想定される。上述する条件を満たす為に、Fig. 10 に示すような LM358 を使用したバイアスアンプ部を製作した。ここでは DC+2.5 V のバイアスを EMG 信号に重畳させる。また、LM358 のフィードバック抵抗を変化させる事でポストアンプとしての機能も追加している。Fig. 11 にポストゲインを 1（源波形のまま出力）とした時の入出力波形比較を示す。回路が良好に作動している事を確認した。

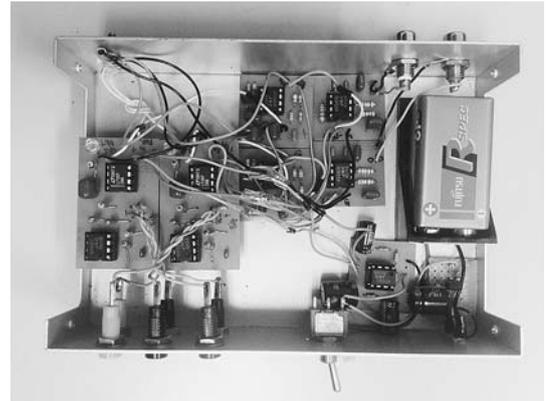


Fig. 6 実装済み EMG 導出部  
Fig. 6 Parts of EMG Detect Box.

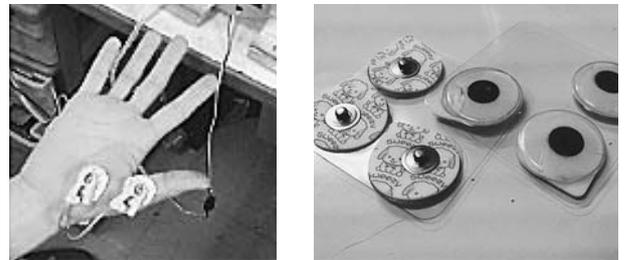


Fig. 7 使用した電極と導出部位  
Fig. 7 EMG Detect Position and Vitrode P.

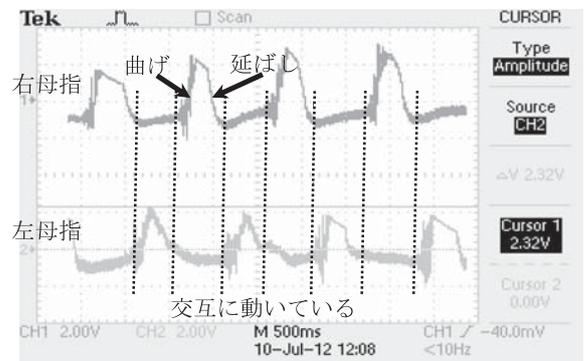


Fig. 8 導出した筋電図例  
Fig. 8 Example of an electromyogram

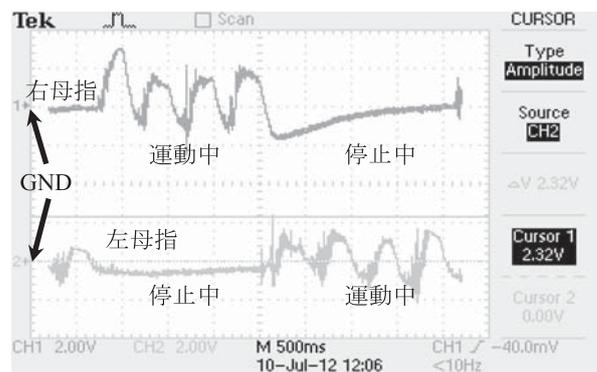


Fig. 9 導出した筋電図例  
Fig. 9 Example of an electromyogram

### 4 マイクロコントローラ部

Fig. 12に今回使用したマイクロコントローラ部の回路図ならびに実装状態を示す。コアとしてPIC16F819 (Microchip Tech., 社製, 内部クロック 8 MHz) を使用した。AD 変換には内蔵の 3 ch 分を使用し, 分解能は10bitとした。データのサンプルにはTMR0 割り込みを使用し, 間隔は20msである。プログラム開発にはPCWCコンパイラ (CCS社製) を使用した。これによりEMG信号のサンプリングと外部制御可能な閾値との比較・制御信号生成, ゲームコントローラとのI.F.を管理する。以下に概略について説明する。

#### 4.1 EMG信号と外部制御可能な閾値との比較について

本報告ではEMGの変化をスイッチの一種と捉え, これを用いてゲーム機コントローラのボタンスイッチ制御を行う事に目的である。そこで, Fig. 13に示すような閾値比較方式を採用する。すなわち, バイアスアンプ部を通過したEMG信号は, 外付けボリュームにより任意に電位を調整された値 (閾値と呼称する) と比較される。閾値を超えた場合はゲーム機コントローラのボタンをONに, 超えていない場合はOFFに出来るようにプログラミングならびにI.F.を制御する。Fig. 14に実装した閾値調整用ボリュームと, LCDによるCh1, Ch2, 閾値の3つの電圧パラメタモニタリング状態を示す。

#### 4.2 EMG 閾値比較後の制御信号生成について

Fig. 15にEMG信号からゲーム機コントローラ駆動信号を生成する様子を示す。EMG信号が閾値を超えると関連するパラメタを表示させ (LCD Lag Time), その後ゲーム機コントローラ駆動に必要なパルス幅の信号 (P.W.) を生成する。ここでの液晶表示による遅れ時間は, EMGが瞬時に複数回に渡り閾値を超えるような状態 (大きくて緩やかなEMG信号) に誤検出軽減を目的とする遅れ時間である。実際の運用においては想定以上の誤検出が生じる可能性があり問題を提起する事となったが, 詳細については後述する。またFig. 15中のP.W. 幅は実際には10msであるが, ここでは見やすいように一時的に拡大した物を表示している。

### 5 完成した機体と結果

Fig. 16に完成した本機全体を示す。本機は大きく分けて3つのパートに分割できる。今回は試作段階であるためパート毎にケースに収納して製作した。これらを持ち運びが可能なように, レーザカッターを用いてアクリル板を加工し, 図中に示すようなスタンドを作成した。これにより今後の試験運用における可搬性の問題に対応

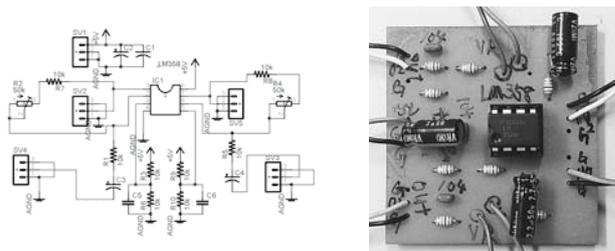


Fig. 10 バイアスアンプ部と実装回路  
Fig. 10 Circuit of Bias-Amp Mounted circuits.

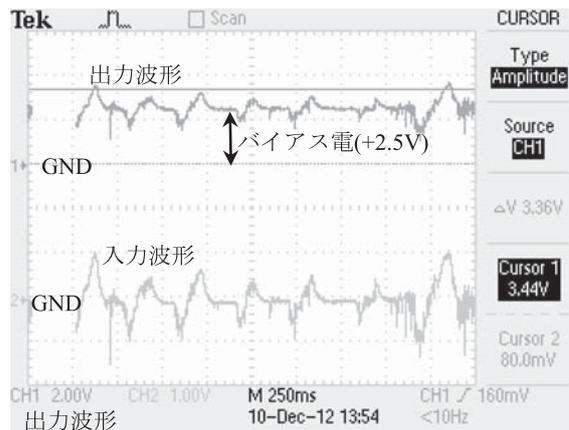


Fig. 11 バイアスアンプ部の入出力比較  
Fig. 11 Compare of IN and Out within the Bias-Amp.

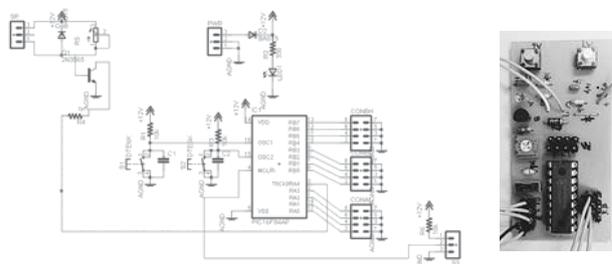


Fig. 12 マイクロコントローラ部回路図と実装  
Fig. 12 PIC Mounted circuits.

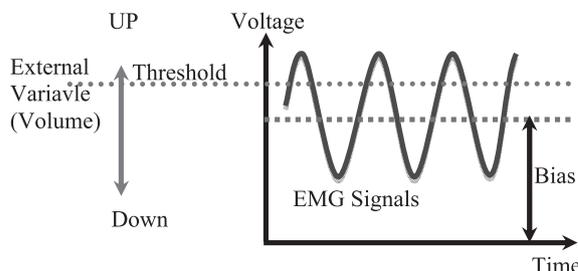


Fig. 13 EMG と閾値比較法について  
Fig. 13 Method of comparison of EMG and Thresholds.

する事とした。Fig. 17に健常者の左右母指に電極を配置し、Wii (任天堂) 用ソフト、「太鼓の達人 Wii 決定版」(バンダイナムコゲームズ) を操作している状態を示す。実際のゲームプレイには多少の慣れを必要とするが、問題なくゲームを実行する事が出来る事を確認した。

## 6 現在の問題点と対策の方針

本機を使用したゲーム中に幾つかの問題点を確認できた。最も顕著なシステム自体の問題点は、操作者としては一度しか母指を屈曲させていないにも関わらず、ボタンが複数回反応するという現象である。そこで本現象を確認する為に検討を行った結果、幾つかの原因を特定した。原因の一つとしては、大きな筋運動応答の前に、ハザードのような応答が得られ、これが閾値を超えてしまう事により誤ったパルスを生成する例である。また、比較的ゆっくり(持続時間幅約500ms)の筋運動応答が、2回サンプルされてしまう事により誤ったパルスを生成する例がある事も確認した。今回は試作第一段階として最も単純な閾値比較によるパルス生成法を採用した事が原因であると推測される。この問題を解決するために、持続時間に起因するデータ処理方法を導入する必要がある。例として差分法に基づく微分係数による処理等があるが、ソフト的に処理する場合は複数回のサンプルが必要であるため、実時間性が重要な今回のアプリケーションには向いていない。これを解決する為のアナログ微分回路を検討中である。また、本機の連続使用時に避けては通れない問題として電極問題がある。今回のようなアプリケーションでは被験者が1) 楽に装着でき、2) 長時間装着しても炎症や剥がれを起こす事無く、3) コスト的に安価である事が必要である。今回使用した電極はディスプレイ型(P-150, 日本光電)であり、1) の条件は満たすが、2) および3) を満たすのは難しい。他にディスプレイ電極 NC-032Y (日本光電製) 等も使用したが、いずれも2) ならびに3) の条件を満たす事は難しい。これについては新規形状を持つ電極開発を検討中である。

## 7 結果と考察

下半身麻痺者支援装具(Wills)の研究開発過程で、被験者の筋の動きをシステム制御のに取り込むという課題から、今回のアプリケーションを考案し、実際に試作した。その結果、必要な各種装置を安価に試作可能であり、また実際の動作確認が出来るところまでを確認した。これにより安価かつ小型で自由度の高いシステムを本研究室内で作成可能となり、今後のヒューマン・マシンインターフェース研究開発の持続可能性を確認する事が出

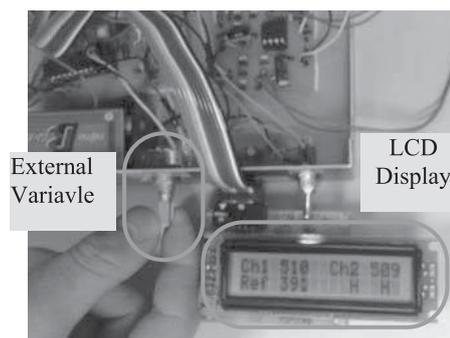


Fig. 14 LCDによるパラメータモニタリング  
Fig. 14 Parameter monitoring by LCD.

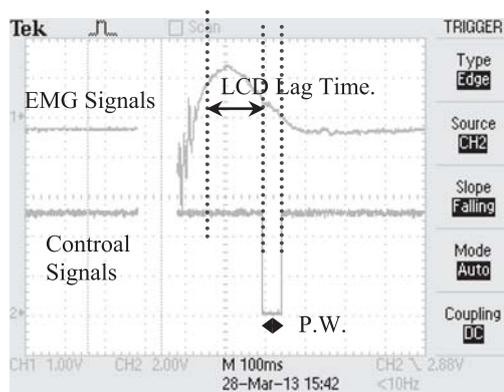


Fig. 15 EMG信号から生成する制御信号  
Fig. 15 Making Control Signals from EMG.

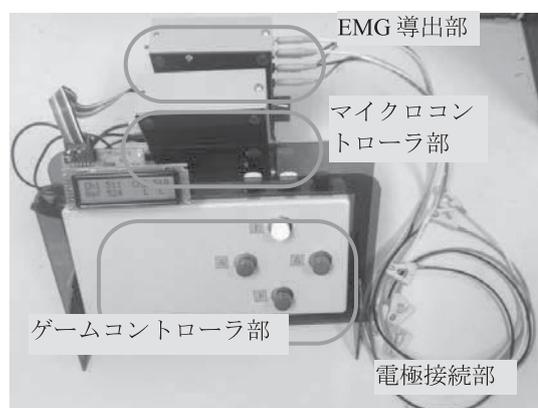


Fig. 16 完成した機体全容  
Fig. 16 EMG-Game Controller.



Fig. 17 健常者によるテスト中の風景  
Fig. 17 Scenery under test by a healthy person.

来た。現在本装置は久留米大学医学部や関連養護施設との連携による実証試験の準備中であり、幾つかの改良をいくつか現場への投入試験を行う予定である。

## 8 謝 辞

本装置を検討開発するにあたりご協力いただいた平成25年度久留米工業大学4年生佐々野稔貴君、平成22年度同修士課程卒業生の青木秀之君、同卒業生、堤裕太君、平成23年度同卒業生、武藤龍之介君、平成24年度同卒業生、里優希君、他関係者各位に感謝いたします。

尚、本研究の一部は平成23年度科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)基盤研究(C)、研究課題名：軽量かつインテリジェントなりハ支援装具の研究開発(課題番号23500665)等によった。

## 参考文献

- 1) 坂元宗久他 遊びリテーション H.P. <http://www.skkg.jp/asobiri.html>
- 2) 松田他, 筋電図を用いたリハ支援装具の開発-把持訓練支援装置への試験的活用-, マグネティクス・医用生体工学合同研究会 MBE-12-99pp. 1 - 8, 2012