

〔論文〕

ウェアラブルデバイスへの汎用性拡大を目指した筋電システムの研究

山元 優大^{*1}・松尾 重明^{*2}

Aimed to expand versatility to wearable devices Research on myoelectric systems

Yudai YAMAMOTO^{*1}, Shigeaki MATSUO^{*2}

Abstract

Currently, widely used myoelectric prosthetic hands are limited to only opening and closing movements using two myoelectric signals, but they fulfill their role well for users. On the other hand, many open-source electronic devices have emerged, making it easier to build a variety of functions. This trend is expected to further increase in the future, and not only motorized prosthetic hands but also machines with multiple functions and complexity will be operated using bio-signals. In this study, we report a method to discriminate between several types of signals by combining a minimum number of myoelectric sensor information.

In recent years, tablets have been used to operate many commercially available devices, but operating a tablet with an artificial hand is difficult and unsuitable. However, if the tablet can be operated by biometric signals, it is expected that many devices can be operated. In the future, it is expected to help physically disabled people to reintegrate into society and participate in it. In this study, as a first step, we aimed to operate a drone using bio-signals (myoelectric signals).

We discriminated the myoelectric pattern in 7 types of motions and could divide them into 4 types. We applied these patterns to control drones. We made it possible to operate 4 patterns with only 2 channels of myoelectricity.

As a result, using the myoelectric pattern, it became possible to perform the operation of starting, ascending, and descending the drone.

Key Words :Biological signal, Wireless operation, Biological signal pattern, Myoelectric Hand, Identification

1. 緒言

私たちは日常生活において手や腕といった上肢を中心に多くの動作を行っている⁽¹⁾。例えば食事において、箸や皿、コップといった食器類の把持や持ち上げ動作などを行っており、その他にもドアの開閉など数限りない動作が存在する。しかしながら、不慮の事故によって手や腕などを欠損した場合、生活を送る上で大きな障壁となる。

先天的または後天的に欠損した部位を補うために義手の研究が進められているが、未だ欠損する前と同じ作業を行うまでには達していない⁽²⁾。現在発売されている筋電義手の MYOBOCK Electric HAND (Otto bock, DE) は世界に多く普及しているが、日本では筋電義手の存在や機能などの認知不足や⁽³⁾、高価であることから、未だ少数の普及にとどまっている。世界的に見ると義手の中で筋電義手の占める割合はドイツが 70%で一番高く、それに比べ日本ではわずか 2%となっている。欧米では広く普及しているのに対して、日本では臨床の現場ですら十分に取り入れられていない現状である⁽⁴⁾。

2. 研究目的

現在、研究されている筋電義手制御の多くは、ニューラルネットワークを用いた複雑な処理方法である⁽⁵⁾。ニューラルネットワークは複雑な制御が出来る代わりに、多くのセンサーやそれらの複雑な処理を行うソフトウェアが必要であり、ロバスト性がなくなえ、高価になるという欠点がある。本研究では、筋電義手の普及を目指すことと同時に電動義手に限らず多機能化して複雑化した機械を、生体信号を用いて比較的容易に操作可能とし、且つ最小数の筋電センサー情報の組み合わせ

^{*1} エネルギーシステム工学専攻, ^{*2} エネルギーシステム工学専攻
令和 4 年 10 月 31 日受理

で数種類の信号に判別する方法について深究する。仮に、最小数の生体信号で市販デバイスを操作することが可能になれば、多くの機器を操作出来る可能性が広がると思われる。

また、近年の市販デバイス操作の多くはタブレットが利用されているが、義手でのタブレット操作は困難であり適していない。しかしながら、このタブレットを生体信号により操作出来れば、多くのデバイスを操作出来ることが予想される。さらにその先には、身体障害者の社会復帰及び参加の一助につながると思われる。本研究では、その一歩目として生体信号（筋電）を用いて、ドローンを操作できることを目標とした。

3. 実験方法

筋電信号を動作識別し、制御信号に置換するにはパターン化が必要である。計算機が処理できるようにする為、筋電を2進数に変換する。筋電センサーは、表面筋電位計である MyoWare Muscle Sensor (Advancer Technologies, US)×4基を用い、安定化電源器 DM-310MV (アルインコ株式会社, JP) により筋電センサーに5Vを供給する。取得した筋電情報は Arduino UNO (Arduino Holding, IT) を用いて処理を行う。実験機器を図1に示す。

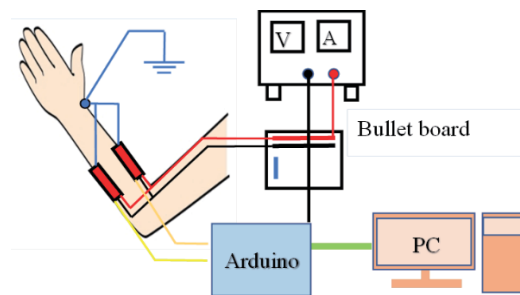


Fig.1 Experimental equipments

3-1. 生体信号のパターン取得

表面筋電センサーの ch1 を腕橈骨筋に貼付し⁽⁶⁾⁽⁷⁾、これを基準に腕周囲を90度ずつずらして合計4基を貼付した。

(図3) 被験者5名(平均年齢 22.5±0.5 歳), 左腕(全員, 利腕は右腕)とした。

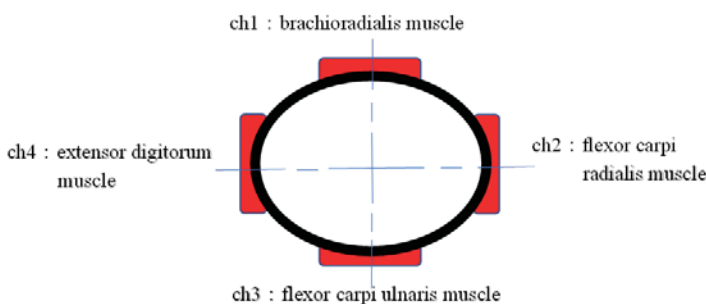


Fig.2 Pasting location

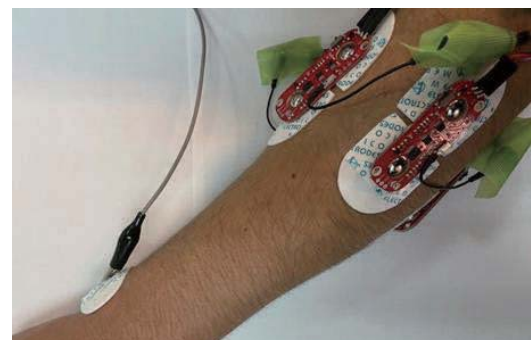


Fig.3 Actual pasting example

動作による筋活動の有無を判別する為、(グー、チョキ、パー、背屈、底屈、回内、回外)の7種類の動きをさせ、その時の筋活動を計測した。取得した筋電信号は、ソフトウェアを介して数値に変換しグラフ化する(図4)。

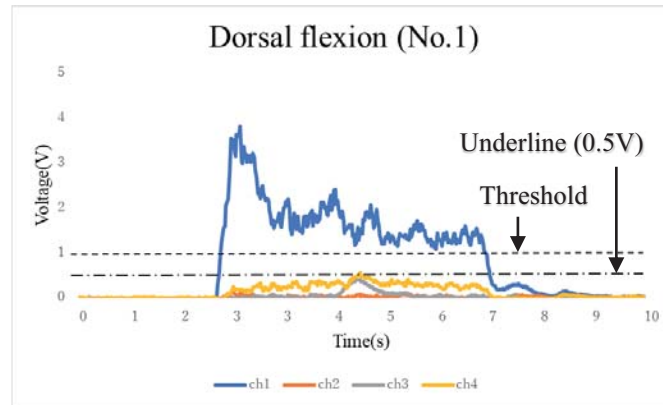


Fig.4 Dorsalflexion

静止した状態での電圧の平均値を基準（0V）とし、筋活動を行った際の電圧の波形を判断する。

1.5秒から ch1 に 1V 以上の電圧が入力されていることが確認でき、ch1 以外は、1V 以上の電圧が確認できない。5 名分の背屈動作の筋電パターンを表 1 に示す。

Table 1 Myoelectric pattern – Dorsal flexion

subject	ch1	ch2	ch3	ch4	
No.1	◎	×	×	×	◎:2V以上 ○:1V以上 ×なし
No.2	◎	×	×	×	
No.3	◎	×	×	×	
No.4	○	×	×	×	
No.5	◎	×	×	◎	

力を入れた際に電圧の閾値を 1V とし、1V 以上の変化の場合は○、それより大きく変化した場合に◎、ほとんど変化のない場合は、×とした。一瞬でも 1V を超えた場合○となり、1V を一瞬でも大きく超えた場合は、◎となる。○、◎の状態は電圧がアンダーライン(0.5V)以下になるまで維持する。

図 4 の場合、ch1 のセンサーに大きな反応が確認できるため No.1 の ch1 には◎をそれ以外のセンサーは 1V 以上の反応が見られないため×としている。

表 2 に、◎、○を 1、×を 0 に変換した表を示す。

Table 2 Convert to binary number from myoelectric pattern results

subject	ch1	ch2	ch3	ch4
No.1	1	0	0	0
No.2	1	0	0	0
No.3	1	0	0	0
No.4	1	0	0	0
No.5	1	0	0	1

表 2 を 4bit に置き換え、判断すると、1000 が「背屈」動作時の筋電パターンであることが確認できる。これを二進数の $(1000)_2$ と現すこととし、 $(1000)_2$ の筋電パターンが出力された際、「背屈」動作をしていると判断可能である。

No.5 は ch4 に反応が見られる為、 $(1001)_2$ となり背屈パターンと見分けることが困難である。

4. 結果

Table 3 Distribution map

(0000) ₂	チョキ (2) , パー (2) , 回内 (2) , 回外 (2)
(0001) ₂	チョキ (1) , 回内 (3) , 回外 (2)
(0010) ₂	パー (1) , 底屈 (2)
(0011) ₂	底屈 (1)
(0100) ₂	
(0101) ₂	
(0110) ₂	チョキ (1)
(0111) ₂	底屈 (2)
(1000) ₂	パー (1) , 背屈 (4)
(1001) ₂	背屈 (1)
(1010) ₂	グー (1) , 回外 (1)
(1011) ₂	グー (3) , パー (1)
(1100) ₂	
(1101) ₂	
(1110) ₂	
(1111) ₂	グー (1) , チョキ (1)

表 3 に全動作の分布人数と筋電パターンを示す. 本研究では, 5 名中 3 名が同じ筋電パターンを出した場合と 2 人以上かつ筋電パターンが他動作と重複していない場合の 2 パターンの場合のみ判別可能とする. 判別可能動作はグー動作(1011)₂, 背屈動作(1000)₂, 底屈動作(0111)₂, 回内(0001)₂, の 4 パターンである.

Table 4 Myoelectric pattern – Choki

subject	ch1	ch2	ch3	ch4	
No.1	×	×	×	×	◎:2V以上
No.2	○	○	◎	◎	○:1V以上
No.3	×	◎	◎	×	×なし
No.4	×	×	×	◎	
No.5	×	×	×	×	

表 4 に実験結果の 1 例として「チョキ」動作をした結果を示す. 「チョキ」動作の場合, No.1, No.5 は動作時に筋電が取得されていないことから力を入れることなく「チョキ」動作をしていることが判断できる.

表 5 に回内, 表 6 に回外動作を示す.

Table 5 Myoelectric pattern – Pronation

subject	ch1	ch2	ch3	ch4	
No.1	×	×	×	×	◎:2V以上
No.2	×	×	×	◎	○:1V以上
No.3	×	×	×	×	×なし
No.4	×	×	×	◎	
No.5	×	×	×	◎	

表 5 より, 「回内」動作では, 三名が ch4 のみに筋電反応を示しており筋電パターンとして判別できるが, 「チョキ」動作(表 4) で No.4 に同じ筋電パターンが見られる為, 識別は困難である.

Table 6 Myoelectric pattern – Supination

subject	ch1	ch2	ch3	ch4	
No.1	×	×	×	×	◎:2V以上
No.2	×	×	×	◎	○:1V以上
No.3	×	×	×	×	×なし
No.4	○	×	○	×	
No.5	×	×	×	◎	

また、表6の「回外」動作でもNo.2とNo.5に「回内」動作と同じ筋電パターンが見られることから識別が困難であると判断した。

5. ドローンの操作

これまでの実験により、筋電信号をパターン化することが出来るようになった為、これら筋電パターンをもとに市販デバイス（ドローン）の操作を出来るように研究を進める。まずは、基礎動作として起動（グー動作）、上昇（背屈動作）、下降（底屈動作）の3種の動作を出来ることを目標とした。筋電センサーは最小チャンネルの2チャンネルで行う。

図5に操作手順のフローチャートを、図6に全体の回路図を示す。筋電信号をArduino UNOで処理し、パターン化したデータをM5 Stick C Plus（M5 Stick社, CH）に送信する。M5 Stick C Plusは受信したデータから、タブレットMediaPad M5lite 8（HUAWEI, CH）をマウスポインタで操作する。タブレット上にはドローンHS160Pro(Holy Stone Toys, CH)の操作ソフトが起動しているためドローンの操縦が可能となる。

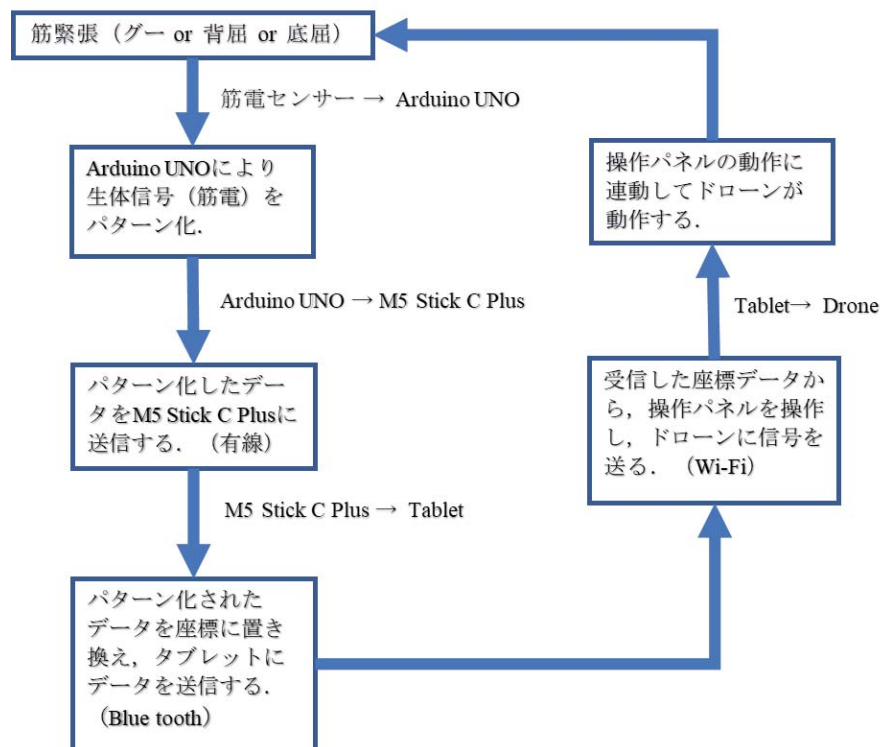


Fig.5 Flowchart

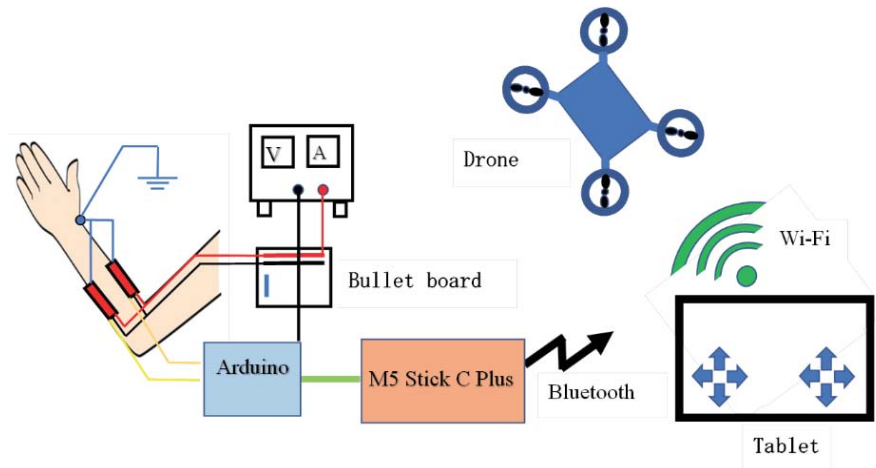


Fig.6 Experimental equipments

5-1. 座標確認

タブレットの座標を求めるために M5 Stick C Plus に x 座標, y 座標の値が 1000 ずつ増加するプログラムを入れ, 1000 ずつ増加する座標を黄色のマスキングテープに記入し座標を求めた. これにより, マウスポインタを任意な箇所動かすことが可能となる.

結果を図 7 に示す. 水平方向に x 軸, 垂直方向に y 軸, 解像度は WUXGA (1920×1200) である.

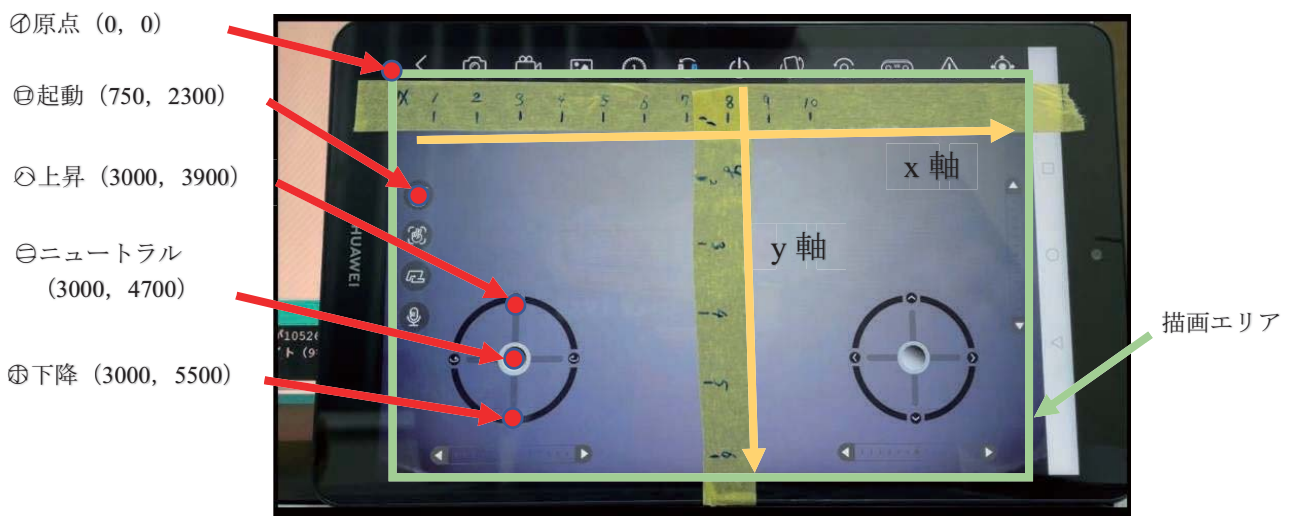


Fig.7 Tablet screen

タブレット上の座標確認後は, 使用する座標である①起動作ボタン, ②上昇, ③ニュートラルポジション, ④下降の 4 か所の座標確認を行う.

5-2. 使用する筋肉

使用した筋肉は橈側手根屈筋と総指伸筋の2箇所である。貼付例を図8に示す。

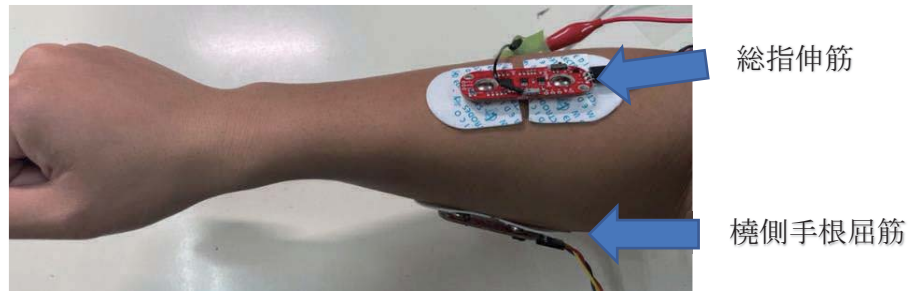


Fig.8 Actual pasting example

Table 7 Myoelectric pattern – 2ch

	橈側手根屈筋	総指伸筋
起動（グー動作）	1	1
上昇（背屈動作）	0	1
下降（底屈動作）	1	0

表7に筋電パターンを示す。グー動作をした際、2つの筋肉の筋電信号が閾値を超え2chが1（起動）となり、タブレット上の座標①が押されドローンが起動する。背屈動作時は、総指伸筋のみが閾値を超えるため、上昇を行うようにマウスポインタがニュートラルポジション②から上昇ポジション③まで上方向に移動し上昇動作を行う。同様に、底屈動作時は、橈側手根屈筋のみが閾値を超えるため、マウスポインタがニュートラルポジション②から下降ポジション④まで下方向に移動し下降動作を行う。

6. 結果

目的で掲げたように筋電にてタブレットを操作し、市販ソフトウェアにてドローンを飛行させることが出来た。以下に操作中の画面を示す。



Fig.9 Start-up position

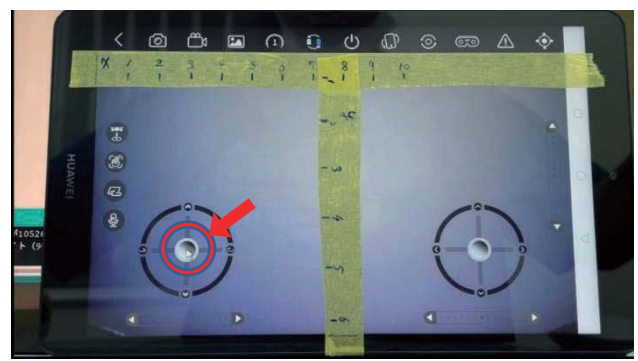


Fig.10 Neutral position

図9にグー動作を行った時のタブレット画面を示す。前述した筋電パターンの信号により、左上起動ボタンが押されドローンのプロペラが回転始動を行うがドローンは、接地した状態である。

図10にニュートラルポジションの状態を示す。起動ボタンが押された後、自動でマウスポインタが左操作部の中心に固定され、ニュートラルポジションとなる。ドローンは、上昇の指示待ちをしている状態となる。

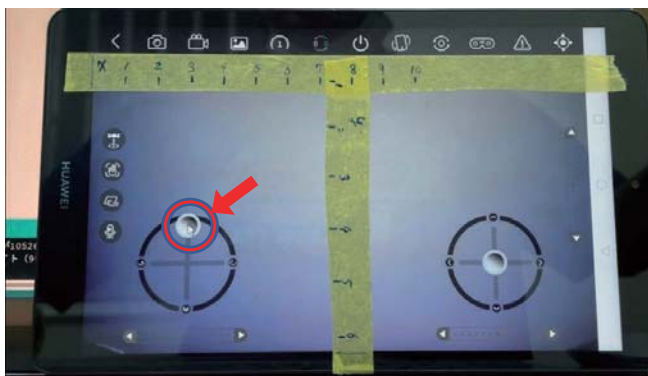


Fig.11 Up position

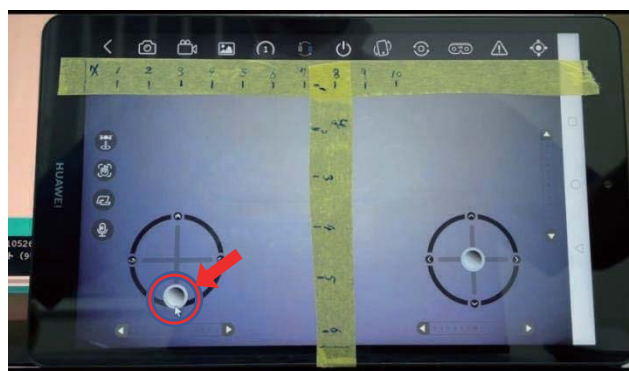


Fig.12 Down position

図 11 に、背屈動作を行った際のマウスポインタの状態を示す。この動作によりマウスポインタは、ニュートラルポジションから上方向に移動し、同時にドローンは上昇を行う。

図 12 に、底屈動作を行った際のマウスポインタの状態を示す。この動作によりマウスポインタは、ニュートラルポジションから下方向に移動し、同時にドローンは下降を行う。

これらのようにマウスポインタを移動させて、ドローンを上昇、下降させることが可能となった。

7. 考察

筋電信号のパターン化を行い、市販デバイスを移動出来るシステムを開発した。7種類（グー、チョキ、パー、背屈、底屈、回内、回外）の実験動作について、グーや背屈、底屈などの動作では判別を行うことが可能であるが、パー及びチョキ、回内、回外では、識別することは困難であることが分かった。これは、センサーを貼付する際、腕橈骨筋を基準に均等に90度ずつセンサーを貼付しているためセンサーがモータポイントからずれている事があげられる為だと判断された。

「チョキ」動作において、No.2 に関してはすべてのセンサーで筋電信号を取得しているため、動作時にある程度の力を入れている。このことから、1動作に対して個人差が大きく影響することが確認できた。

「回内」「回外」動作において No.1, No.3 においては全チャンネルから筋電パターンを取得できていないため、力を入れること無く動作していることが確認できた。

今後は、センサー貼付場所を変更しつつ、細密な筋電パターンの確定が必要である。また、「回内」動作や「回外」動作など、腕のねじりを使う動作は筋電信号を取得できるほど筋収縮をしていない可能性をふまえ、圧力センサーなどを用いて複合化し回内、回外の動作にも対応できるようにする必要があると思われる。

今回開発したシステムは、目標どおり最小チャンネル数で、市販ソフトウェアを操作することが出来た。しかしながら、ノイズにより筋電信号を筋電パターン化できない場合や誤作動が起きることは否めない。また、ドローン操作中にタブレットの電波が届く範囲から外れると回帰できなくなるため、通信状態を監視・復帰するような安全装置の考慮が必要である。

現在、筋緊張させてからドローンが動作するまで 1 秒程度の時差が生じる。これは、ドローンに信号が行き届くまでに Arduino UNO→M5 Stick C Plus→タブレットとマイコンを 3 台経由しているため遅延が発生している。応答速度を上げるためには経由台数を減らすほかプログラムの簡略化が必要である。

市販デバイスをコントロールするソフトウェアを生体信号（筋電）で操作できれば、筋電義手に限らず、ドローンや大型重機といった多機能化して複雑化した機械を操作することが可能となり、その先には身体障害者の社会参加や社会復帰の一助になると期待できる。また、健常者も様々な複雑化した機械を片腕で操作可能となるため拡張性が高くなると予想される。

このように、生体信号によりデバイス操作が出来れば、多くの可能性が想像でき、同時に SDG's にそった行動にもつながる為、今後も研究を続ける価値が高いと思われた。

文 献

- (1) 岸本佑斗, 池田佑樹, 鈴木新, 筋隆起による手指と前腕の複合動作識別, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.851 (2017), pp.1-9.
- (2) 山崎太一, 川崎創史, 澤田隆之, 鈴木亮一, 表面筋電位を用いた上腕の複合動作識別法の提案と筋電義手への応用, 自動制御連合講演会, Vol.59, No.16-14 (2016), pp.431-433.
- (3) 奥野竜平, 赤澤堅造, 内山孝憲, オンオフおよびバイオミメティック型筋電義手の 3D-CG シミュレーションの開発, バイオメカニズム, Vol.15 (2000), pp.165-172.
- (4) 陳隆明, 電動義手の現状と将来展望, 切断とリハビリテーション医学, Vol.55, No.5 (2018), pp.395-399.
- (5) 木曾淳, 関弘和, 適応型ファジィ推論を用いた筋電位信号に基づく前腕部動作識別, 電気学会論文誌 D, Vol.130, No.11 (2010), pp.1272-1278.
- (6) 河合良訓ら 2 名, 3D 踊る肉単, 株式会社エヌ・ティー・エス (2009), pp.13
- (7) 木曾淳, 関弘和, 適応型ファジィ推論を用いた筋電位信号に基づく前腕部動作識別, 電気学会論文誌 D, Vol.130 No.11 (2010), pp.1274-1278.