

## 表面筋電位センサの義手コントローラの動特性による比較実験

### Comparison Test of Surface Myoelectric Sensors based on Upper Limb Prosthetic Controller's Reaction Characteristics

○ 大西謙吾 (東電大) 松田啓佑 (岡山県大院)

Kengo OHNISHI, Tokyo Denki University

Keisuke MATSUDA, Okayama Prefectural University

*Key Words: Myoelectric Control, Surface Electromyogram, Myoelectric Sensor, Upper Limb Prosthetics*

#### 1. はじめに

筋電制御式義手は片側前腕切断者を中心に、強い把持力、外観のよさ、作業可能空間の広さなどを理由に活用されている。また切断者からの改良要望が、拇指や指節間関節が独立に動かせることであることから、複数電極を用い複数関節の独立制御を目的とした多機能化義手の研究が多く報告されている。これらの研究は誤動作率の低減を目指しているものの、実験は研究室での整えられた環境下で筋電センサ信号を扱った結果での議論にとどまっている。またこれらの報告で用いられている筋電センサは、湿式・乾式、3極・2極、電極寸法、フィルタ・増幅回路の特性も異なるため、報告される研究成果を横断的に比較する術がない。

そこで本研究では実使用環境下でセンサ特性を劣化させると経験的に知る7因子(湿潤度、装着時間、センサ取付位置ズレ、肩姿勢、肘動作、手先負荷、テンポ)を組み合わせた実験条件下で筋電センサの出力特性を測定し、筋電センサの性能のばらつき変動を求め、比較検討する。義手制御用筋電センサの基本機能は目的動作実施時に意図した信号強度とセンサ出力信号の振幅の大きさとの相関が高いことと定義し、7種類の乾式筋電センサの比較分析を行った。

#### 2. 実験

本実験で用いる筋電センサと、その電極数、ならびに電極部の周囲の寸法(電極が並ぶ方向の電極部の最大長さ×電極の最大幅)を目安としてTable 1に示す。信号測定は、各センサに内蔵もしくは付属するアンプを使用し、A/D変換と記録は、設定を合わせデータ処理を行うため追坂電子機器社 Personal-EMGを用いノートPCに記録した。2電極のセンサは測定条件を整えるためレファレンスを被験者の前腕長1/2の橈骨側、触診で骨を確認できる橈骨上に印をつけ取り付けた。また、実験対象である7種類のセンサは全て被験者の前腕の屈曲筋側に取り付けた。伸展筋側には参考信号として追坂電子機器社製のTable 1中#3の3極型筋電センサを取り付け測定を行った。被験者は成人男性(大学院生)1名、電極の固定には熱可塑性樹脂の模擬ソケットを作成した。実験で行う動作は事前に練習を行い、十分に慣れた状態となり、また測定間では休憩を設け、疲労による影響がないよう配慮した。実験の動作テンポは電子メトロノ

Table 1 List of Evaluated Electrodes.

#	Maker, Product#	Number of Electrodes	Elctrd. Surf. Dimensions [mmxmm]
1	Otto Bock 13E125=50	3	23x8
2	Otto Bock 13E200=60	3	25x14
3	Oisaka E.D. 3	3	23x12
4	Oisaka E.D. (3-prot)	3	21x12
5	Oisaka E.D. (2-prot)	2	20x13
6	Delsys DE-2.1	2	12x8
7	Biometrics ZX230WVF	2	30x10

ームの音で提示、信号強度は具体値は指示せず、PCモニタ上にリアルタイムで表示し被験者が識別可能な範囲で疲れない程度で差を設けるよう依頼した。動作は、手首の「屈曲」、「復位(脱力して中間位に戻す)」「伸展」「復位」「屈曲」…と繰り返し、記録と同時にストップウォッチにより15秒計測する。なお、筋電信号は、本実験は特性劣化因子7つに対しそれぞれ2水準(条件設定)を人為的に再現した条件下で、筋出力が大小2種類の動きを被験者が実施した際の筋電センサの出力を測定する。7種類のセンサに対し全数実験を実施するのは非現実的であるため、直交表実験の手法により計8種類の部分実験を筋出力2種、各センサで2回繰り返し測定し、分析を行う。特性劣化因子とその水準の関係をTable 2に、部分実験における特性劣化因子AからGの水準設定の組み合わせを示す。実験において湿潤度ありは生理食塩水を電極と接する皮膚表面に薄く塗布した。また、手先負荷ありは、手に1kgの錘を握った状態での動作、テンポは、30bpmを遅い、60bpmを速い動作として実施した。切断者の筋電信号を模倣するため、被験者の手関節をテーピングテープで固定して関節変位を抑制し、テープに拮抗するよう力(筋電)を発揮するよう支持した。

Table 2. Influential Factors and their level

	Influential Factors	Level 1	Level 2
A	Skin Moistness	Natural	Added
B	Time After Don	Within 3min.	After 3 min.
C	Misalignment	0	10 mm
D	Shoulder	Suspension	Forward Elevation
E	Elbow	Fixed	Movement
F	Arm-end Load	Without	With
G	Tempo	Slow	Fast

Table 3. Combination of the Influential Factors and their levels (Orthogonal Experiment L<sub>8</sub>).

Exp.#	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

#### 3. 実験結果・考察

実験に用いた筋電センサのうち、1,2のOtto Bock社のセンサは、筋電制御用として実用されており、平滑化された信号が出力される。このため、本実験では測定データをそのまま閾値処理に用いる。これに対し、3から7のセンサは筋電計測用のセンサであり、測定データは記録後、全波整流、平滑化処理(RMS)をオフラインで行い閾値処理に用いる。閾値処理は、全てのセンサにおいて式(1)の処理を行う。Xは各センサの実験(Table 3中の#1)の設定で信号強度を強(筋出力:大)として実施した

測定データの最大値  $x_{\max}$  に対し、式(2)の通り、意図した信号強度の強弱に応じた係数をかけた値を用いる。

$$x_i = \begin{cases} x_i & (x_i \geq X) \\ 0 & (x_i < X) \end{cases} \quad (1)$$

$$X = \begin{cases} 0.1x_{\max} & (\text{Signal Intensity: weak}) \\ 0.4x_{\max} & (\text{Signal Intensity: strong}) \end{cases} \quad (2)$$

本実験において、特性劣化因子の比較を行うにあたり、品質工学のオフライン法の感度を尺度に用いる<sup>[1]</sup>。感度は筋電センサの基本機能として定義した線形な入出力関係の傾きに相当し、本実験では、入力目的動作実施時に意図した信号強度は各実験データにおいて閾値を越えた区間の内、最初から2回目と3回目に閾値を越えた区間の振幅を抽出したデータ群の平均値とした。これに対し、出力は各実験において閾値を超えた信号のデータ群の総平均とした。これより算出した各センサにおける特性劣化因子の水準毎の感度を Fig. 1 に示す。なお、図中の縦軸は [dB] で表されており、上方向ほど感度は高いが、理想は感度が 1 であるので、0 に近づくことが望ましい。

Fig. 1 の上 4 つのグラフは 3 極の筋電センサであり、いずれも湿潤度の変化に感度は大きく変化している。これに対し、下 3 つの 2 極の筋電センサは動作テンポに対し感度が大きく変化し、他の因子の影響は小さいことが確認できた。また、Otto Bock 13E200=60 と追坂電子機器社の 3 極型センサは、装着経過時間とセンサの取付位置のズレに対しても大きく変動するのが確認できた。Otto Bock 13E200=60 は、ダイナミックフィルタを搭載していると思われる挙動を示し、装着時間が経過することで出力信号が安定化することが既知である。本実験は、この特性を定量的に確認したものといえる。一方、取付位置のズレによる感度の向上は、説明が難しい。センサの電極部の寸法が異なることから、他のセンサで最適位置とした点が他のセンサでも最適となる保証はないことは自明であったのと、他より大きい理由としてセンサの特性の交互作用などの影響が考えられる。

以上の結果と考察より、日本において筋電センサを制御用インタフェースとして用いる場合、高温多湿な環境で発汗の影響が懸念される場合、2 極型のセンサの使用とレファレンスをソケット内で別に設けて用いる手法が推奨される。しかしながら、屋内で高頻度で繰り返し義手を開閉する(開閉具外を調子する)場合は、従来型の 3 極形のセンサの利用が優位であると思われる。

#### 4. まとめ

本研究では、2 極型と 3 極型の計 7 種類のセンサの夫々に対し特性劣化因子が及ぼす影響を直交表実験を行うことで、実験的にその影響の評価、比較、考察を行った。入力は意図する動作の強度、出力は生体信号の強度とあり、再現性がないため、実験は被験者 1 名に対し、各センサの設定を人為的に変化させ、出力変動に因子が及ぼす影響を分析した。結果は被験者とセンサ間の交互作用の制約を受けたものではあるが、電極の寸法や信号処理回路の特性の異なるセンサを同一のプロトコルで比較評価し、その傾向を掴むことができた。実験結果より、汗などの皮膚の湿潤度の変動は 3 極型のセンサで共通して他の因子より大きく影響を受けること、2 極型のセンサは他の因子より動作テンポの変動に影響を受けることが確認されることが確認できた。本報告は感度のみを尺度とした議論であり、今後は、SN比やデータの分析に測定データの平均値以外の情報を行い、筋電センサの設計のみならず、臨床現場でのセンサの調整やインタフェースの選択時に参考となるエビデンスを蓄積したい。

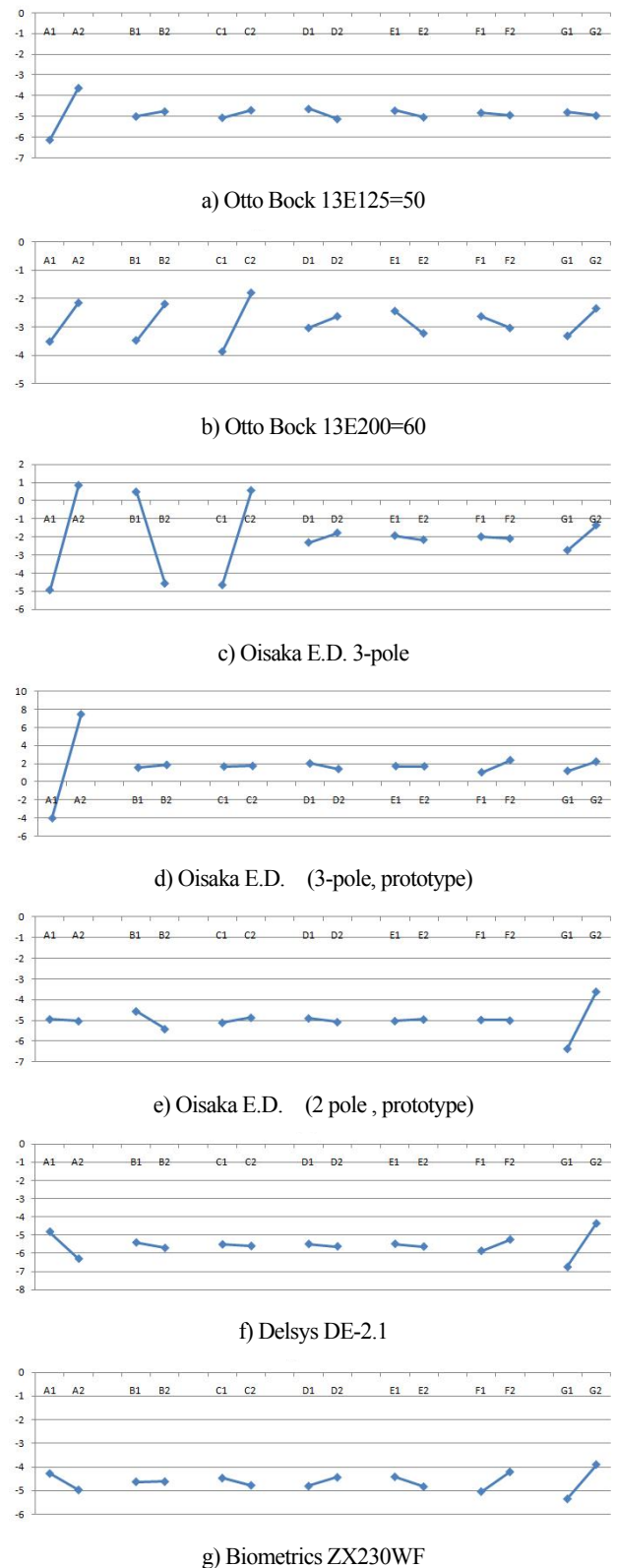


Fig. 1. Sensitivity of the 7 Myoelectric Sensors: OttoBock

#### 参考文献

- (1). 立林和夫. 入門タグチメソッド, 日科技連出版, 2004
- (2). 大西謙吾. 閾値制御用の表面筋電位センサの設計因子に関する基礎実験, 第 6 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, p.199, 2008
- (3). 大西謙吾. 表面筋電位センサの装着設定因子が義手コントローラ動特性へ及ぼす影響, 福祉工学シンポジウム 2009 講演論文集, p. 143-144, 2009