

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500667

研究課題名(和文) 物体把持情報伝達システムを備えたバイオミメティック義手の開発

研究課題名(英文) Development of biomimetic myoelectric hand with artificial sensory feedback system

研究代表者

奥野 竜平 (RYUHEI, OKUNO)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：90294199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、義手による物体把握時の感覚情報と把持状態を使用者に伝達する物体把持情報伝達機能を備えた筋電義手の開発を目的とした。本研究得られた成果は次の通りである。(1) 物体把握時のすべりを検出するため、小型の2軸せん断応力センサを試作した。(2) 皮膚電気刺激を用いた感覚情報伝達システムを作成し、15パタンの情報伝達が可能であることを示した。(3) 独立成分分析(ICA)とテンプレートマッチングを用いた単一運動単位活動波形の同定手法を提案し、筋長変化が伴う運動時において同定が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop artificial sensory feedback system for biomimetic myoelectric. The results were as follows; (1) A small share stress sensor for artificial finger of the myoelectric hand was developed, (2) an electric stimuli system for supplementary sensory feedback was developed and it was shown that fifteen patterns could be transmitted, and (3) a method for identifying MUAPs from multi-channel EMGs recorded during flexion movement was suggested.

研究分野：人間医工学

キーワード：義手 筋電図 せん断応力 電気刺激 運動単位

1. 研究開始当初の背景

事故などにより手が切断された切断者のため、種々の筋電義手が開発されている。しかし国内での使用実績は極めて低い。使用されない主たる原因の1つは機能が手に比べて格段に低いことである。そのため、義手を用いてできる作業内容は貧弱で、切断者は日常生活において多大の不便を強いられており、より高機能の筋電義手の開発が強く望まれている。義手の高機能化においては、切断者が元の手と同じように義手を制御可能であること、物体把握時の情報(把握力、すべり、持ち方など)を認識できることが望ましい。申請者らは「義手が元の手が持つ特性を備えていれば、切断者が元の手と同じ様に義手の制御が可能となる」との観点から、ヒトの手の神経-筋制御機構の動特性と物体把持情報伝達機能を備えた高機能筋電義手の実用化を目指している。

義手を用いた作業において、把握の対象となる物体の大きさや形状は様々である。それらを安定して把握するためには、把持力や開閉角度などの感覚情報だけでなく、物体を「指先だけで摘んでいるのか(つまみ動作)」、「指全体で掴んでいるのか(円筒握り)」など、把持状態を使用者に提示することが必要である。これまでに、国内外の多くの研究機関で筋電義手の研究開発が行われているが、使用している義手の情報伝達する機能を備えた義手は実用化されていない。研究開発段階のものとしては、機械的振動刺激や皮膚電気刺激、圧刺激を用いて、把持力や開閉角度などの感覚情報を伝達するものが提案されている。しかし、つまみ動作や円筒握りなど物体の把持状態に関する情報を伝える物体把持情報伝達システムの研究は無く、開発が望まれている。

2. 研究の目的

本申請では、物体把持情報伝達機能を備えた筋電義手の開発を目的とする。具体的には次の3点が研究開発項目となる。

- (1) 義手すべり検出可能な義手人工手掌部の開発: 円筒握りで物体を把握した時に生じる反力(義手把持力)やすべりを検出するセンサを備えた義手人工手掌部を開発する。
- (2) 皮膚電気刺激を用いた物体把持情報伝達システムの開発: 指先部及び手掌部に生じた反力、すべりの情報からつまみ握りや円筒握りなどの物体把持状態力を推定する。それらの情報を皮膚電気刺激によるバーバル情報として使用者に伝達する物体把持情報伝達システムを試作する。
- (3) 多チャンネル筋電図処理方式の開発: 独立主成分分析(ICA)やブラインドソースセパレーション(BSS)などを用いてアナログ量の多チャンネル義手制御信号を導出する処理方式を提案する。

3. 研究の方法

(1) 義手物体把握時の2軸せん断応力センサの試作

義本研究では、物体把握時のすべりをせん断応力の変化として検出するため、せん断応力の大きさ、方向の検出可能な2軸型センサの試作をした。図1に試作した2軸型せん断応力センサの構成を示す。過去に試作した2組の1軸型せん断応力センサを用いた。これは台形状の銅板の斜面に2枚の歪みゲージ(S1l と S1r)を貼付したものである。せん断力が加わると S1l および S1r の抵抗が変化する。この変化をホイートストンブリッジ回路を用いて計測し、せん断応力 $S1_{output}$ を求めた。2つのセンサ(S1 および S2)を直交に重ね合わせアルミ板に貼り付けた。S1-S2間には板ゴム(厚さ3mm)を挿入した。また、S1の台形部には人肌ゲル(エクシールコーポレーション硬度5)を充填した。

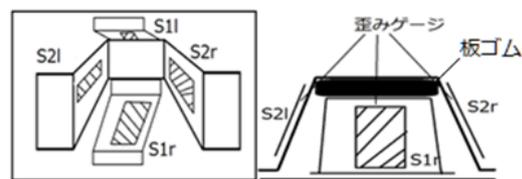


図1. 試作した2軸型せん断応力センサ

(2) 皮膚電気刺激を用いた物体把持情報伝達システムの開発

皮膚電気刺激を用いた刺激パターンを1つの単語に対応させ、それらを組み合わせることによってバーバル情報(言語情報)として伝達する方法を考えた(図2参照)。バーバル情報は2つの刺激パターンからなる組み合わせによって表現することで、少ない刺激パターンで多くの情報を伝達することが可能である。本研究では8種類の刺激パターンを提案し、それらを組み合わせたバーバル情報の識別が可能かを調べた。図3に試作した皮膚電気刺激パターン提示システムを示す。システムは電気刺激装置、皮膚に貼付する2チャンネルの電極、パソコン(PC)から構成される。電気刺激装置より双極性パルス信号を電極により皮膚に伝えた。この時、2チャンネルの刺激に位相差を与えることで、電極間に刺激を認知する仮現運動が生じる。本研究ではバーバル情報伝達においては、1番目に提示する刺激パターンを3種類(A~C)、2番目に提示する刺激を5種類(1~5)とすることで、15種類の情報を伝達することが可能である。



図2 バーバル情報伝達の刺激パターン

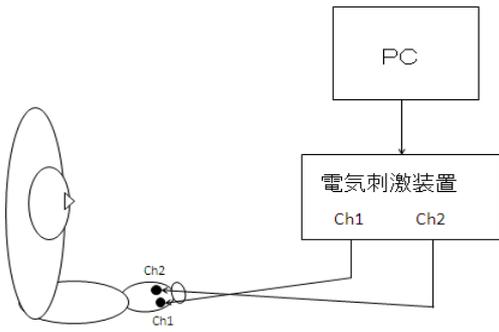


図3 皮膚電気刺激パターン提示システム

(3) 多チャンネル筋電図処理方式の開発

筋長変化が生じる場合に、筋を収縮させるための最小の命令単位である運動単位の活動を計測するため、独立成分分析(ICA)とテンプレートマッチングを用いた単一運動単位波形の同定手法提案した。本手法では運動単位波形の同定に問題となる重畳波形の分離のために、筋電図を短区間で抽出し、独立成分分析(ICA)を用いて運動単位波形の候補を決定した。次に抽出した候補の波形を用いてテンプレートマッチングにより波形の同定を行った。この手法の有用性を確かめるため、肘関節等角速度屈曲運動時における上腕二頭筋の多チャンネル表面筋電図を計測し、本手法により単一運動単位波形の同定を行った。

4. 研究成果

(1) 義手物体把握時の2軸せん断応力センサの試作

試作したセンサにおいて、せん断応力とセンサ S1 および S2 の出力の関係を計測した。せん断応力の大きさを 200, 400, 600, 800, 1000 gf として計測を行った。また、本計測を 0 から 90° までセンサを 15° 毎に時計回りに回転させながら計測を行った。測定結果を図2に示す。

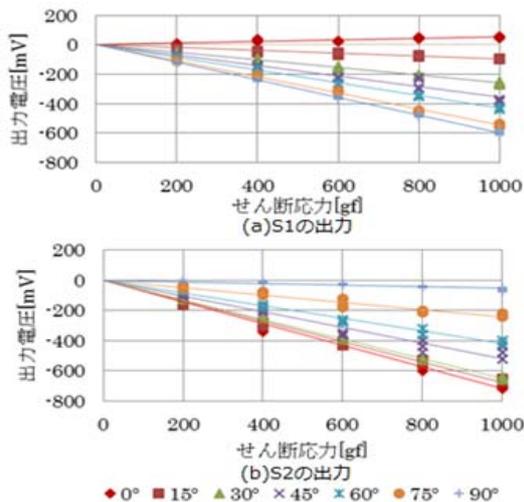


図2. せん断応力センサの出力

せん断応力が大きくなるにつれ、センサの出力の絶対値が大きくなることが示された。この測定結果からパラメータ推定を行い(1)(2)式の連立方程式よりせん断力の大きさ x と角度 θ を推定することが可能であることが示された。

$$S1_{output} = -0.52x \sin \theta \dots (1)$$

$$S2_{output} = -0.78x \cos \theta \dots (2)$$

$S1_{output}, S2_{output}$: センサからの出力 [mV]

x : せん断応力 [gf]

θ : 角度 [°]

(2) 皮膚電気刺激を用いた物体把持情報伝達システムの開発

刺激パタンの組み合わせをバーバル情報として解釈することが可能かどうかの実験を行った。被験者は成人男性2名(22歳~24歳)であり、被験者は皮膚電気刺激による情報伝達実験を過去に経験したことのある経験者である。まず実験内容等を口頭にて説明し、インフォームドコンセントを得た。刺激提示位置は右腕手関節近位とした。

次の手順で実験を行った。被験者の視覚、聴覚情報をアイマスクおよびヘッドフォンを用いて遮断した。刺激パターンを理解するために、練習として8種類の刺激パターンを10分間自由に印加させた。次に、被験者に刺激パターンを提示し、何番の刺激パターンかを口頭で答えてもらった。その回答までの正答率を計測した。各刺激パターンにつき15回の計測を1セットとした。本実験では1日につき2セットとし、8日間(計3375回)の実験を行った。

表1. 刺激パタンの識別結果

		第一刺激		
		パターンA	パターンB	パターンC
第二刺激	パターン1	77%	77%	81%
	パターン2	84%	80%	81%
	パターン3	65%	69%	65%
	パターン4	69%	62%	66%
	パターン5	74%	72%	76%

表1に刺激パタンの識別結果を示す。全体的に高い正答率を得ることは出来なかった。その原因として、1回目と2回目の刺激の感覚が短く、考える時間が短いということが挙げられる。さらに、パターン4とパターン6が組み合わせられた刺激パタンの組み合わせの場合、他の組み合わせと比べ、正答率が下がっていることが分かる。ゆえに、パタンの組み合わせによって大きく結果が変わることがわかった。

(3) 多チャンネル筋電図処理方式の開発

提案した手法を用いて運動単位の計測実

験を行った。実験は外部からの一定負荷をかけて状態において、等角速度での肘関節屈曲運動を対象とした。その時の上腕二頭筋の筋電図を8チャンネルアレイ型表面電極を用いて計測した表面筋電図より、単一運動単位の同定を行った。その結果、単一運動単位の発火頻度等が、これまでの生理学的知見とおおよそ一致していることから、本手法の有用性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者・研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 遠藤卓行, 濱崎俊光, 奥野竜平, 横江勝, 藤村晴敏, 赤澤堅造, 佐古田三郎
Parkinsonian Rigidity Shows Variable Properties Depending on the Elbow Joint Angle Parkinson's Disease, 査読有, Parkinson's Disease, Vol. 2013, DOI:10.1155/2013/258374, (2013)
- ② 赤澤堅造, 奥野竜平, 梶山隼輔, 北村智宏, 河合俊和, 真殿隼, 西田秀治, 市江雅芳, 青木智美, 益子務運動機能障害者が演奏を楽しむ呼気圧利用電子楽器の開発, 査読有, 生体医工学, Vol150, No. 6, 629-636, (2012)

[学会発表] (計18件)

- ① 竹中尚希, 奥野竜平, 赤澤堅造, 筋電義手人工指先部のための2軸せん断応力センサの試作, 平成27年電気学会全国大会 2015年3月26日, 東京都市大学(東京都世田谷区)
- ② J. Akazawa, R. Okuno, SMUAP, Decomposition Method Considering Estimated Distance from Surface Electrodes to Motor Unit during Voluntary Isovelocity Elbow Flexion, Biosignals 2015, 2015年01月15日, (Lisbon, Portugal)
- ③ 赤澤淳, 岡本武昌, マルチチャンネル表面筋電図を用いた肘屈曲動作における運動単位動態計測法の検討, 第23回日本柔道整復接骨医学会学術大会, 2014年11月29日, 大田区産業プラザ(東京都大田区)
- ④ 篠原和晃, 上田貴大, 梶山隼輔, 奥野竜平, 河合俊和, 赤澤堅造, 楽曲演奏による呼吸機能向上を目指した呼気圧・流速同時計測デバイスの試作, 第35回バイオメカニズム学術講演会, 2014年11月9日, 岡山大学(岡山県岡山市)
- ⑤ J. Akazawa, R. Okuno, SMUAP Decomposition Method Considering Territory of MU during Voluntary Isovelocity Elbow Flexion, 13th Polish Japanese Seminar on Biomedical Engineering, 2014年11月4日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)
- ⑥ 赤澤淳, 奥野竜平, マルチチャンネル表面

筋電図の類似度に着目した上腕二頭筋屈曲における運動単位動態計測法の検討, 第69回日本体力医学会大会, 2014年9月19日, 長崎大学(長崎県長崎市)

- ⑦ 樋口貴信, 奥野竜平, 河合俊和, 赤澤堅造, 認知症予防を目指した電子楽器 Cymis演奏課題におけるFm0波計測プロトコルの基礎的検討, 生体医工学シンポジウム2014, 2014年9月26日, 東京農工大学(東京都小金井市)
- ⑧ 梶本雄平, 梶山隼輔, 北村智宏, 河合俊和, 奥野竜平, 土井幸輝, 赤澤堅造, 視覚障害者が演奏できるタッチパネル利用電子楽器Cymisのシステム構築, 電子情報通信学会MEとサイバネティクス研究会, 2014年1月24日, 佐賀大学(佐賀県佐賀市)
- ⑨ 中川和紀, 奥野竜平, 赤澤堅造, 聴覚障がい者への音階提示を目指したボイスコイル型皮膚振動刺激システムの試作, 平成25年電気関係学会関西連合大会, 2013年11月17日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)
- ⑩ 上田貴大, 梶山隼輔, 河合俊和, 奥野竜平, 赤澤堅造, 呼吸リハを目指したCymis用呼気圧・流速同時計測デバイスの開発, 平成25年電気関係学会関西連合大会, 2013年11月16日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)
- ⑪ 赤澤淳, 奥野竜平, 丸山顕嘉, 岡本武昌, 肘屈曲動作時におけるマルチチャンネル表面筋電図の類似度に着目した運動単位動態計測法の提案, 第15回スポーツ整復療法学会大会, 2013年11月3日, 久留米大学(福岡県久留米市)
- ⑫ S. Obata, H. Nakahara, T. Hirano, C. Ohsawa, R. Okuno, T. Ito, H. Kinoshita, An Electromyographic Study of the Left Hand in Violin Playing International Symposium on Performance Science (ISPS2013), 2013年8月7日, (Vienna, Austria)
- ⑬ J. Akazawa, R. Okuno, A Method for Quantitative SEMG Decomposition and MUAP Classification during Voluntary Isovelocity, Elbow Flexion, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS (EMBC13), 2013年7月7日, 大阪国際会議場(大阪府大阪市)
- ⑭ 赤澤淳, 奥野竜平, 肘屈曲動作時におけるマルチチャンネル表面筋電図の類似度に着目した運動単位活動電位同定法の提案, 第33回バイオメカニズム学術講演会, 2012年12月15日, 東北大学医学部良陵会館(宮城県仙台市)
- ⑮ K Akazawa, T Kawai, R Okuno, T Masuko, H Nishida, M Horai, Novel electronic musical instrument for persons with cerebral palsy to play and enjoy together, the 9th international conference on disability, virtual

reality and associated technologies (ICDVRAT 2012), 2012年9月10日, ラバル (フランス)

- ⑩ 奥野竜平, 横江勝, 佐古田三郎, 赤澤堅造, Analysis of Plantar Pressure Pattern during Gait for Severity Assessment of Parkinson's disease, 生体医工学シンポジウム 2012, 2012年9月7日, 大阪大学 (大阪府豊中市)
- ⑪ 北村智宏, 梶山隼輔, 河合俊和, 奥野竜平, 赤澤堅造, バリアフリー電子楽器用スイッチのオープンソースハードウェアの開発 —加速度センサ及び導電性繊維利用—, 電子情報通信学会 MEとバイオサイバネティクス研究会, 2012年7月12日, 岡山大学 (岡山県岡山市)
- ⑫ 奥野竜平, 赤澤淳, 足関節テーピング技法における足関節可動域の計測, 第51回日本生体医工学会大会, 2012年5月10日, 福岡国際会議場 (福岡県福岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥野 竜平 (OKUNO Ryuhei)
摂南大学・理工学部・教授
研究者番号: 90294199

(2) 研究分担者

赤澤 堅造 (AKAZAWA Kenzo)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号: 30029277
(2012年度は研究分担者,
2013年度からは連携研究員)

赤澤 淳 (AKAZAWA Jun)
明治国際医療大学・保健医療学部・講師
研究者番号: 10460742