

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19300165

研究課題名(和文) 感覚情報伝達機能と柔軟指先部を備えたバイオミメティック筋電義手の開発

研究課題名(英文) Development of Biomimetic Myoelectric Hand with Sensory Feedback System and Flexible Artificial Finger

研究代表者

赤澤 堅造 (AKAZAWA KENZO)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：30029277

研究成果の概要(和文)：

本申請では感覚情報伝達機能と柔軟指先部をもつバイオミメティック筋電義手の開発を目的とし研究を遂行した。得られた成果は下記の通りである。

- (1) ヒト指腹部と同様の力学的特性を備えた人工義手指先部と指に生じる反力とせん断応力を検出可能な小型センサを試作した。
- (2) 電気刺激パターンにより義手把持状態の情報を伝達する感覚情報伝達システムを試作し、刺激パターンの認知が可能であることを示した。
- (3) 電動手首部の入力信号制御するために、独立成分分析を用いた筋電図処理法を提案した。

研究成果の概要(英文)：

The purpose of this research was to develop the biomimetic myoelectric hand with the flexible artificial fingers and the supplementary sensory feedback system. The results were as follows:

- (1) The artificial fingers mimicked mechanical property of human fingers and the small sensor for measuring stress and shear stress were developed.
- (2) The supplementary feedback system which transmitted state of the myoelectric hand with the electrical stimuli pattern was developed.
- (3) The method for processing multi-channel myoelectric signals was proposed in order to control the wrist of the prosthetic hand.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：生体医工学

科研費の分科・細目：人間医工学 ・ 医用生体工学・生体材料学

キーワード：義手，筋電図，歪み，応力，せん断応力，電気刺激，独立成分分析

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(筋電位信号によって制

御される電動義手)が開発され、また市販されている。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、物体把握時の感覚情報（把握力、開閉角度など）を認識できることが望ましい。

筋電義手に関しては、国内では早稲田大学（故）加藤一郎教授のグループによるワイムハンドが約30年前に開発され、外国では、ドイツのOttoBock社のMyobock動力義手が市販されている。現在でも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、いずれも義手の制御方式は、筋電位信号をもとにしたオン・オフ制御や単純な比例制御である。手の運動制御の優れた機能を取り入れた筋電義手は未だ開発されていない。また、従来の義手先具に装着するグローブは形状の保持や装飾性を重視しており、ヒトの皮膚の柔らかさまで考慮したものは無い。

筋電義手の開発とともに種々の感覚情報伝達システムが開発されてきたが、実用化されてきたものは無い。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、圧刺激を用いたものが提案されている。しかし、それらは、義手の把持力や開閉角度に応じて刺激の強度をアナログ的に振幅変調したり、刺激頻度を周波数変調したりするものである。本申請で提案するようなバーバル情報を伝達する感覚情報伝達システムの研究は国内外に例が無い。

2. 研究の目的

本研究では、皮膚電気刺激を用いた感覚情報伝達機能を備えた筋電義手の開発を目的とし、具体的には次の3点を研究開発項目とする。

(1) 義手把握力、すべり情報の検出機能を備えた義手指先部の開発：

剛性の高い物体も容易に把握できるように、ヒトの指の皮膚と同じ様な柔軟な力学的な特性を備えた指先部を試作する。そして、物体を把握した時に指に生じる反力（義手把持力）を検出するために、その指先部に内蔵可能な小型センサを歪みゲージを用いて開発する。

(2) 感覚情報伝達システムの開発：

物体の把握力と義手開閉角度に関する情報を皮膚電気刺激により伝達する感覚情報伝達システムを試作する。それぞれの

情報（意味情報）に刺激パターンを割り当て、その組み合わせをバーバル情報（言語情報）として伝達する。

(3) 電動手首部の開発：

現在の義手の多くは受動的に健常な手で回内、回外させている。そこで本研究では電動手先部を開発するために、その制御信号を導出するために多チャンネル表面筋電図の計測・処理方法について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 義手把握力、すべり情報の検出機能を備えた義手指先部の開発

筋電義手に用いる柔らかい人工指先部を開発するために、ヒト指腹部の力学的特性を計測した。本研究では材質の選定を容易にするために、ヤング率に相当する応力と歪みの関係を計測した。次に、ヒトの皮膚力学特性をもとに、義手人工指先部を試作した。図1に試作した人工指先部の構造を示す。入手と取り扱いが容易である超軟質ウレタン樹脂（(株)エクシールコーポレーション：人肌ゲル）を用いた。応力-歪み関係のオーダーを、ヒトの皮膚組織と一致させるために、硬度5のウレタン樹脂を用いた。かまぼこ型のウレタン樹脂を厚さ1mmのアルミ板に固定し、ウレタン樹脂の外側に厚さ13 μ mのポリエチレン皮膜を付加した。かまぼこ型ウレタン樹脂の最大の厚みは4mm、曲率半径は9mmである。

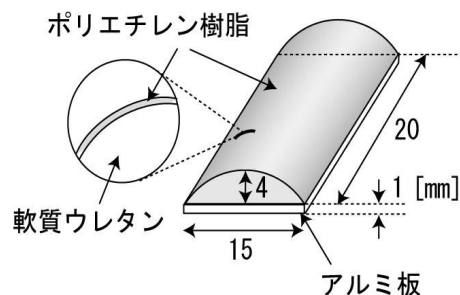


図1 試作した人工指先部の構造

上記の人工指先部において、物体を把握した時に指に生じる反力（義手把持力）を検出する小型センサを試作した。図2にその構造を示す。本センサは歪みゲージを義手の指の先端にある台形状の燐青銅板に取り付けたものである。2つの斜辺にそれぞれ歪みゲージを貼付した。本センサを用いて応力及びせん断応力の計測実験を行った。実験は応力方向およびせん断方向に負荷を掛けた時の各歪みゲージの出力を計測するものである。本

実験では、負荷を 0, 200, 400, 600, 800 gf とした。

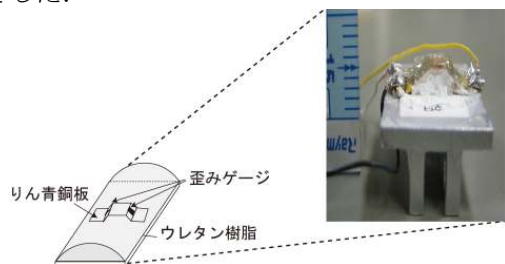


図 2 試作した反力，すべりセンサの構造

(2) 感覚情報伝達システムの開発：

視覚情報を用いることができない場所での物体把持作業では、

- ① 義手の手先具を大きく開き、
- ② 物体の位置を探索する物体を把持するまで手先具を閉じる物体を把持したまま、
- ③ 物体を目的の位置まで移動させる

の順序で行われる。そのために、それぞれの状況において義手の状態に関する情報を伝達する必要がある。そこで本研究では、物体の位置の探索時には、物体が接触した指の種類（母指，示指）と方向（内側，外側）を 4 つの皮膚電気刺激パターンを用いて使用者に伝達した。

次に物体把握時には、物体が指先部のみで把握されている（つまみ動作）か、指全体で把握しているか（円筒握り）の 2 種類を送付する。また、物体を把持した際には、2 種類の把持状態（物体を把持している，物体が落下した）に関する情報を伝達した。

試作した義手物体把持支援システムの有用性を検証するために物体把持実験を行なった。被験者は健常成人男子 1 名である。実験は、アイマスクにより目を塞いだ状態において、机の右エリアのどこか決められた位置に設置された物体を、左エリアに移動させるというものである。把持物体は直径 54mm、高さ 100mm の円筒形の物体を用いた。この実験を、支援システムを使用しない場合と使用した場合について行った。なお、物体の把握力の情報伝達は本研究ではバーバル情報を用いることによる明確なる結果を得るには至らなかった。

(3) 電動手首部の開発

電動手首部の入力信号である多チャンネル表面筋電図の計測・処理法を提案した。すなわち、筋電図は複数の運動単位活動波形の加算波形である。そこで、筋電図を個々の運動単位活動波形に独立成分分析を用いて分解し、それらを制御信号として用いようとするものである。

本研究では、まず計測時における筋線維走行方向と電極貼付位置の関係が筋電図に与える影響についてシミュレーション実験を行った。図 3 に示すシミュレーションの概要を示す。皮膚の下に複数の運動単位に分けられた筋線維を配置した。8 チャンネルアレイ型表面電極を用いて計測される筋電図を算出した。そして、算出された筋電図から独立成分分析を用いて独立成分を算出した。本シミュレーションでは、筋線維の走行方向と電極の長軸方向のなす角を 90° , 75° , 45° に変更してシミュレーションを行った。なお、筋電位発生モデルとして、Rosenfalck, Plonsey および Griep らが提案した三極モデルを用いた。

次に、シミュレーション実験で得られた知見をもとに 4 人の被験者を対象として運動単位の計測を行った。最大随意収縮力の 5% の等尺性収縮を行ったときの筋電図を計測した。そして独立成分分析を用いた筋電図処理法により、個々の運動単位の活動波形に分解し、それぞれの運動単位の発火周波数を算出した。

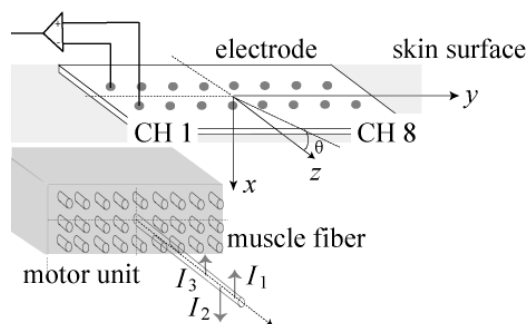


図 3 筋電図計測シミュレーション

4. 研究成果

(1) 義手把握力，すべり情報の検出機能を備えた義手指先部の開発

図 4 にヒト指腹部と試作した義手人工指先部の歪み—応力関係を示す。測定結果から応力と歪みの関係を算出したものを示す。ヒト指腹部においては歪みに対して応力が指数関数的に増加する非線形性があることを示した。人工指先部では、歪み 0.4 以下ではヒト指腹部より応力大きい。応力は指数関数的に増加し、歪み 0.5 においてはヒト指腹部の個人差の範囲内である。このことから、試作した義手人工指先部がヒト指腹部と同じような力学的特性を有することが示された。

従来実用化されてきた筋電義手では、ヒトの皮膚の代わりにインナーグローブと装飾用グローブを用いる。これらは形状の保持、見栄えを優先しているため、硬さは考慮されていない。本研究で試作した人工指先部はヒ

トと同じ力学特性を備えており、物体把持などに有用だけでなく、握手などのヒトとのインタラクションにおいても有用と考えられる。

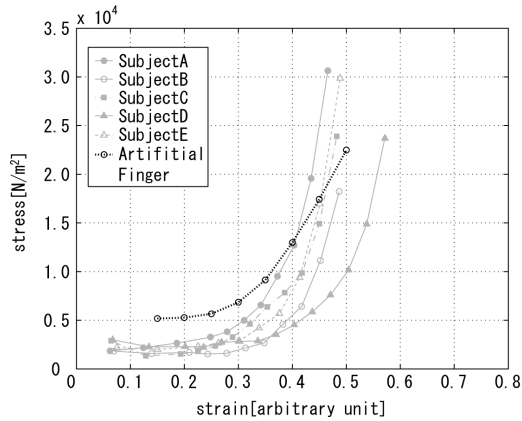
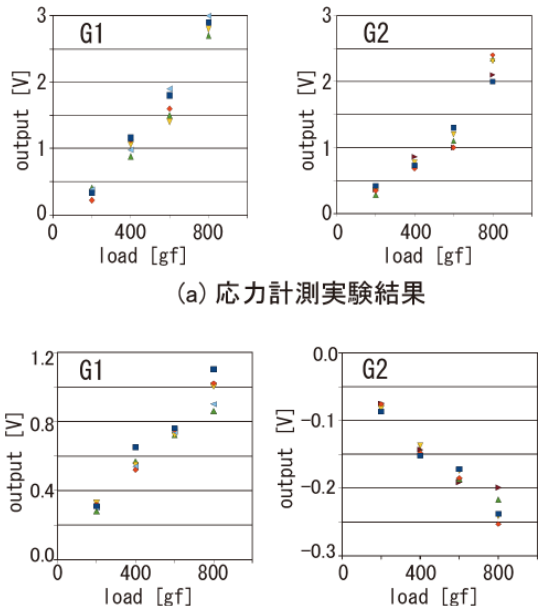


図4 ヒト指腹部及び人工指先部の歪み-応力関係

試作したセンサを用いた応力、せん断応力の計測実験の結果を図6に示す。(a)が応力を負荷した時、(b)がせん断応力を負荷した時の結果である。(a)ではセンサに取り付けた2つの歪みゲージによる出力が負荷が大きくなるにつれ、増大しているのが示された。また、せん断応力の場合には、片方は負荷の増大に伴い出力も増大しているが、他方は出力が減少しているのがわかる。これにより、本センサを用いて応力とせん断応力の計測が可能であることが示された。



(a) 応力計測実験結果

(b) せん断応力計測実験結果

図5 応力・せん断応力計測実験結果

(2) 感覚情報伝達システムの開発

実験において、義手と物体が接触してからの作業平均時間は、支援システムを用いない場合は11.9秒、用いた場合は7.8秒であった。このことより、支援システムを用いることによる把持作業時間の短縮が示された。また、被験者から物体探索のときはシステムを用いた方が楽であったこと、把持の際に屈筋・伸筋を意識しないでよいので、操作が楽であったとの意見があった。以上のことから、支援システムの有用性が示唆された。

これまでに開発されてきた感覚情報伝達機能では、使用者に伝達する感覚情報として把握力や開閉角度が主であった。これらの情報は物体を把持している時には有効である。しかし、視覚が効かない場所での作業においては、まず物体の位置の認知が重要であり、従来のシステムでは認知が困難である。本研究では物体の把持に必要な情報を提示することで、義手操作性の向上に繋がると考えられる。また、提示刺激においても単純なアナログ変調、振幅変調ではなく、パターン情報として提示するため、使用者の体調や電極貼付の状態に係わらず、刺激を確実に提示可能である。

(3) 電動手首部の開発

シミュレーション実験においては、表面電極の長軸方向と筋線維走行方向が直角(90°)である時、算出された1つの独立成分には1つの運動単位による活動波形のみが観測された。また、表面電極と筋線維走行方向の角度が小さくなるにつれ、1つの独立成分に複数の運動単位による信号が出現することを確認した。このことから、表面電極と筋線維走行方向の位置関係が重要であることが示された。

4人の被験者を対象として第1背側骨間筋における運動単位の活動を計測した。ここでは、電極位置を調整してから計測を行った。計測した8チャンネル表面筋電図に独立成分分析を適用して、個々の運動単位の活動を抽出し、その発火時刻と発火周波数のヒストグラムを求めた。その結果を図6に示す。これまで生理学的な知見と概ね一致することが示された。このことから、本研究において提案し用いた独立成分分析を用いた運動単位活動波形計測法が有用であることが示唆された。

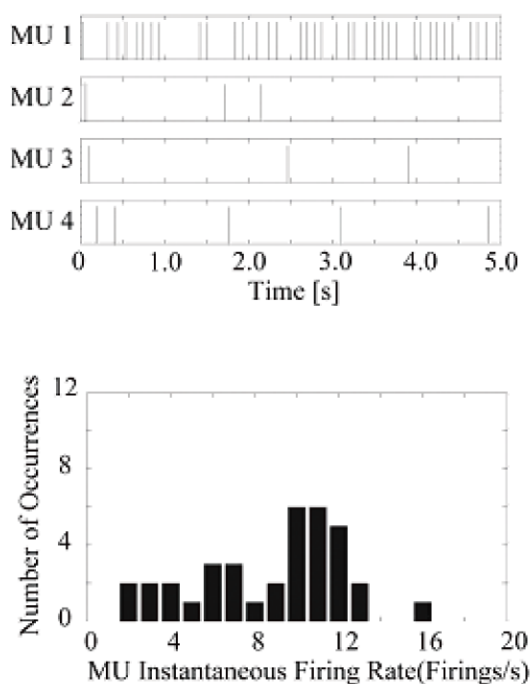


図 6 独立成分分析を用いて算出された運動単位の発火時刻および発火周波数のヒストグラム

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 4 件)

- ① J. Akazawa, R. Okuno, T. Ikeuchi, T. Okamoto, Constructing a System to Evaluate Effects of Support Taping for Ankle Inversion Sprain Using 3-D Motion and Planter Pressure, Proc of BIOSIGNALS 2011, 査読有, 2011, 522-525
- ② 赤澤堅造, ヒト指腹部の力学的特性を模擬した筋電義手人工指先部, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, 109 巻, 2010, 155-160
- ③ J. Akazawa, Effect of surface electrode orientation on independent component analysis for feature extraction of surface motor unit action potential, Proceedings of Biosignal2009, 査読有, 2009, 421-425
- ④ 赤澤堅造, 筋運動の柔らかさの制御の仕組みを取り入れた筋電制御義手のメカトロニクス, 平成 19 年電気学会産業応用部門大会論文集, 査読無, 2 巻, 2007, 127-130

[学会発表] (計 28 件)

- ① 奥野竜平, 筋電義手感覚情報伝達のためのすべり検出システムの試作, 第 50 回

日本生体医工学会大会, 2011 年 4 月 29 日, 東京電機大学

- ② 奥野竜平, パーキンソン病診断支援のための筋強剛計測システム, 第 12 回電気生理運動学会大会, 2011 年 3 月 12 日, 東京工業大学
- ③ 赤澤淳, 足背位置と足圧分布に着目した足関節内反予防用テーピングの効果に関する検討, 第 31 回バイオメカニズム学術講演会, 2010 年 11 月 6 日, 静岡大学
- ④ 赤澤淳, 独立成分分析を用いた運動単位同定のための表面電極位置に関する検討, 生体医工学シンポジウム 2010, 2010 年 9 月 11 日, 北海道大学
- ⑤ 奥野竜平, 筋電図を用いたパーキンソン病筋強剛診断支援システムの検討, 生体医工学シンポジウム 2010, 2010 年 9 月 11 日, 北海道大学
- ⑥ 小西有人, マトリクス状電極を用いた筋線維方向推定法, 生体医工学シンポジウム 2010, 2010 年 9 月 10 日, 北海道大学
- ⑦ 奥野竜平, Diagnosis Support System for Quantitative Evaluating of Rigidity in Parkinson's Disease, 第 49 回日本生体医工学大会, 2010 年 6 月 26 日, 大阪国際交流センター
- ⑧ 中村英夫, 多チャンネル表面筋電図による非侵襲的神経 - 筋系活動計測法, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会, 2010 年 3 月, 玉川大学
- ⑨ 奥野竜平, ヒト指腹部の力学的特性を考慮した義手人工指先部の試作, 平成 22 年電気学会全国大会, 2010 年 3 月 19 日, 明治大学
- ⑩ 是澤克彦, 筋電計測用衣服の製作, 第 30 回バイオメカニズム学術講演会, 2009 年 11 月 14 日, 北海道大学
- ⑪ 赤澤淳, マルチチャンネル表面電極を用いた運動単位の動態追跡法に関する検討, 平成 21 年度電気関係学会関西支部連合大会, 2009 年 11 月 8 日, 大阪大学
- ⑫ 小西有人, マトリクス状電極による表面筋電図を用いた筋線維方向推定法, 平成 21 年度電気関係学会関西支部連合大会, 2009 年 11 月 8 日, 大阪大学
- ⑬ 小嶋大樹, 静的姿勢変化に対する足趾圧の接床圧中心変動の計測, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会, 2009 年 10 月, 大阪電気通信大学
- ⑭ 小西有人, マトリクス状電極による表面筋電図計測～筋線維方向の推定～, 電子

- 情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会, 2009年10月, 大阪電気通信大学
- ⑮ 小西有人, マトリクス状電極による表面筋電図計測 ～筋線維方向や神経筋接合部への配慮からの解放～, 生体医工学シンポジウム2009, 2009年9月19日, 大阪大学
 - ⑯ 奥野竜平, 筋電義手人工指試作のためのヒト指先部力学的特性計測, 生体医工学シンポジウム2009, 2009年9月19日, 大阪大学
 - ⑰ 赤澤淳, 運動単位同定のための表面筋電図の独立成分分析に関する検討, 生体医工学シンポジウム2009, 2009年9月19日, 大阪大学
 - ⑱ 服部託夢, 運動単位活動電位伝導可視化のためのインターフェースの開発, 第48回日本生体医工学会大会, 2009年4月25日, タワーホール船堀
 - ⑲ 山口晶子, アレイ電極を用いた信号誘導範囲の検討, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会, 2008年10月, 大阪
 - ⑳ 小西有人, 表面筋電図計測における能動的ノイズ除去法, 第47回日本生体医工学会大会, 2008年5月8日, 神戸国際会議場
 - ㉑ 服部託夢, 格子状多点誘導表面筋電図を用いた皮膚表面電位分布の描画～等尺性最大随意収縮力発揮時～, 第47回日本生体医工学会大会, 2008年5月8日, 神戸国際会議場
 - ㉒ 才原正文, 筋電信号差動増幅における信号誘導範囲の検討, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会, 2008年3月14日, 玉川大学
 - ㉓ 小西有人, 筋電義手のための最適な電極位置探索システムの開発, 平成19年度電気関係学会関西支部連合大会, 2007年11月18日, 神戸大学
 - ㉔ 服部託夢, 格子状表面電極を用いた筋線維走行方向の推定, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会, 2007年10月11日, 大阪電気通信大学
 - ㉕ 服部託夢, 格子状多点誘導表面筋電図に対する3次元テンプレート適用運動単位同定法, 生体医工学シンポジウム2007, 2007年9月21日, 北海道大学
 - ㉖ 原良昭, 前腕筋電義手における習熟度の定量的評価手法の開発, 第46回生体医工学会大会, 2007年4月27日, 仙台国際センター

- ㉗ 奥野竜平, 皮膚電気刺激を用いた少数単語伝達による義手感覚情報伝達システムの試作, 第46回生体医工学会大会, 2007年4月27日, 仙台国際センター
- ㉘ 服部託夢, 格子状表面電極を用いた単一運動単位同定 ～表面筋電図表示方法の検討～, 第46回生体医工学会大会, 2007年4月25日, 仙台国際センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤澤 堅造 (AKAZAWA KENZO)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号: 30029277

(2) 研究分担者

筒井 博司 (TSUTSUI HIROSHI)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号: 00351453

吉田 正樹 (YOSHIDA MASAKI)
大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授
研究者番号: 30174949

(3) 連携研究者

奥野 竜平 (OKUNO RYUHEI)
摂南大学・理工学部・准教授
研究者番号: 90294199
(H19: 研究分担者)

赤澤 淳 (AKAZAWA JUN)
明治国際医療大学・保健医療学部・助教
研究者番号: 10460742
(H19: 研究分担者)