



感覚フィードバックを備えた筋電義手に関する研究

奥野, 竜平

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1997-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1665

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001665>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	奥野電平 (大阪府)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	博い第110号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成9年3月31日
学位論文題目	感覚フィードバックを備えた筋電義手に関する研究

審査委員	主査 教授 赤澤 堅造
	教授 高森 年 教授 多田 幸生

論文内容の要旨

事故や疾病により失われた手の機能を代行するものとして、ヒトの筋電位信号を義手の制御信号として用いた筋電義手が開発され、日常においても用いられるようになってきた。しかし、従来の筋電義手は、低機能のロボットの手のように、オン・オフ的に一定速度で指が開閉するだけのものである。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。義手の高機能化に当たっては、使用者が義手の開閉動作を随意にかつ容易に制御できること、義手の開閉角度や把握力などの情報を使用者に伝達するための感覚フィードバックの機能を備えていることが必要である。

ヒトの手が示す優れた運動機能の特徴の一つとして、関節回りのコンプライアンス(柔らかさ)が脳によって随意に調整できることが挙げられる。もし、義手がヒトの手と同じ運動制御機構を備えていれば、義手は元の手と同じ様に外力に対して柔軟に反応することが可能となる。また、元の手と同様な感覚で義手を操作できることができ、義手を用いた作業を行なうための訓練期間が短縮されることが期待される。

筋電義手の研究開発と共に種々の感覚フィードバックの研究も行われてきたが、未だ感覚フィードバックは実用化されていない。そのため、義手の使用者は、義手の状態を目で確認しながら物体把握などの作業を行なっているのが現状であり、義手の状態を監視できない暗所や棚の上のような場所において、義手を用いた作業を行うことができない。

このような観点から、本研究では、ヒトの手の筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手(筋電位信号で制御される電動義手)と、物体を把握した時に義手の指に作用する反力を皮膚振動刺激を用いて使用者に伝達する感覚フィードバック装置を開発し、その有用性を示すことを目的とする。

開発した筋電義手は、筋運動制御機構における重要な性質である、筋の粘弾性と伸張反射系のゲインが筋の収縮力にほぼ比例して変化するという特性を取り入れたものである。全波整流、平滑化した屈筋、伸筋の表面筋電位の振幅に依存して、指の開閉角度(1自由度)と動きの柔らかさ(コンプライアンス)が制御されるものである。

感覚フィードバック装置として振動周波数の異なる二種類を試作した。一つは約350[Hz]である。これは、皮膚振動感覚の閾値が最小という利点があるが、振動による音が発生する。もう一つは約10[Hz]である。これは、閾値が高いという欠点があるが、可聴周波数以下という長所がある。情報(反力の大きさ)の伝達は、前者は振動振幅の大小により、後者は刺激パターンの違い(断続と連続)により行う。ここでは、いずれがよいという判断を下すものではない。350[Hz]の振動周波数を用いても振動音が発生しないのが最も望ましいが、現状では困難である。ここでは、現実的な対応として二種類を開発し、切断者の希望、使用環境に応じて使い分けられるよう準備しておくという考えである。

各章の内容は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景および目的について述べた。

第2章では、本研究の検討に必要な、ヒトの筋運動制御機構に関する生理学的知見および、皮膚振動感覚に関する生理学的、心理学的知見について示した。

第3章では、筋電義手の構成原理を示し、デジタルサーボ機構を用いて筋電義手を試作した。試作した筋電義手は、筋電位信号の処理部分、DCモータ、デジタルサーボ機構、一自由度の手先具から構成される。示指、中指、母指の3指駆動である。DCモータの回転は約1/120の減速比を持つギヤリンク機構を介して指の開閉動作となる。本義手は、表面筋電位を全波整流・平滑化して得られた積分筋電位(筋の収縮トルクの推定値)に比例して義手の柔らかさ(コンプライアンス)が変化するものである。デジタルサーボ機構は力フィードバックと位置サーボシステムから構成され、筋運動制御系の動特性を模擬している。本デジタルサーボ機構をワンチップマイクロプロセッサを用いて構築している。本義手の有用性を検討するため、健常者と切断者による筋電制御実験を行った。健常者による実験を行い本義手が所望の機能を持っていることを確認した。すなわち、(1)筋電位信号による義手の開閉角度の随意制御実験、(2)筋電位信号による義手の柔らかさの制御実験、(3)物体把握実験である。また切断者による物体把握実験により、本義手が切断者に適用できることを確認した。

第4章では、二種類の皮膚振動刺激装置を試作した。一つは可聴周波数内の振動刺激で、もう一つは可聴周波数以下である。試作した二種類の皮膚振動刺激装置の周波数特性を測定した。感覚フィードバック装置に用いる振動刺激の振動周波数を決定するために、皮膚振動感覚の閾値を測定した。その結果、可聴周波数以下の振動周波数においては10[Hz]で、可聴周波数内の振動周波数においては350[Hz]で、振動感覚の閾値が最小になることを示した。これらの結果より、感覚フィードバック装置に用いる振動周波数として、10[Hz]と350[Hz]を決定した。さらに、感覚フィードバック装置に用いる断続刺激の刺激提示時間および刺激休止時間を決定するため、10[Hz]の振動刺激を用い、種々の断続刺激の刺激休止時間において、断続刺激を認知できるまでの時間を計測した。その結果、断続刺激の刺激提示時間を0.1[sec]、刺激休止時間を0.61[sec]とした。

第5章では、第4章の結果をもとに、二種類の皮膚振動刺激を用いた感覚フィードバック装置を試作した。一つは皮膚振動感覚の閾値が最小となる350[Hz]の振動周波数を用い、義手の把握力に応じて皮膚振動刺激の強さが変化するように振幅振動変調を用いたものである。もう一つは可聴周波数以下の10[Hz]の振動周波数を用い、使用者に提示する刺激が把握力に応じて、連続刺激と断続刺激が切り替わるものである。試作した感覚フィードバック装置の義手の操作性に対する効果を検討するため、健常者による物体把握実験を行った。(1)振動感覚の閾値が最小となる振動周波数を用いた感覚フィードバック装置を用い、目標変形量と同じ変形量で物体を把握する実験と、(2)可聴周波数以下の振動周波数を用いた感覚フィードバック装置を用い、1分間に物体を把握した回数を測定する実験である。

試作した感覚フィードバック装置により、義手の操作性が向上することが示された。

第6章では、本論文によって得られた結果を要約した。

論文審査の結果の要旨

高度社会福祉の実現を目指し、身体障害者に対する社会福祉の充実の重要性が強く認識されてきており、科学技術の知見を社会福祉の向上に応用することは、工学にとっても重要な意義を持つものである。

本論文は、ヒトの手の筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手（筋電位信号を制御信号として用いた義手）と振動刺激を用いた感覚フィードバック装置の開発を行い、その有用性を示している。

事故などにより失われた手の機能を代行するものとして、筋電義手が開発されてきた。しかし、従来の筋電義手を用いてできる作業内容は貧弱であり、切断者は日常生活において多大の不便を強いられている。そのため、より高機能の筋電義手の開発が強く望まれている。本研究は、義手がヒトの手と同じ運動制御機構を備えていれば、元の手と同様な感覚で義手を操作することが可能となり、また、感覚フィードバックの機能を付加することで、従来の義手では不可能であった義手の状態を監視できない場所においても義手を用いた作業を行うことができるようになるという観点から、ヒトの手の筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手と、物体を把握した時に義手の指に作用する反力を皮膚振動刺激を用いて使用者に伝達する感覚フィードバック装置を開発し、健常者および切断者を用いた義手の制御実験により、その有用性を示したものである。

筋電義手は、筋運動制御機構における重要な性質である、筋の粘弾性と伸張反射系のゲインが筋の収縮力にほぼ比例した変化するという特性を取り入れたものである。全波整流、平滑化した屈筋、伸筋の表面筋電位の振幅に存在して、指の開閉角度（1自由度）と動きの柔らかさ（コンプライアンス）が制御されるものである。

感覚フィードバック装置として振動周波数の異なる二種類を試作した。一つは約350[Hz]である。これは、皮膚振動感覚の閾値が最小という利点があるが、振動による音が発生する。もう一つは約10[Hz]である。これは、閾値が高いという欠点があるが、可聴周波数以下という長所がある。情報（反力の大きさ）の伝達は、前者は振動振幅の大小により、後者は刺激パターンの違い（断続と連続）により行う。ここでは、いずれがよいという判断を下すものではない。350[Hz]の振動周波数を用いても振動音が発生しないのが最も望ましいが、現状では困難である。ここでは、現実的な対応として二種類を開発し、切断者の希望、使用環境に応じて使い分けられるよう準備しておくという考えである。

第1章では、本研究の背景および目的について論じている。

第2章では、本研究の検討に必要な、ヒトの筋運動制御機構に関する生理学的知見および、皮膚振動感覚に関する生理学的、心理学的知見について述べている。

第3章では、ヒトの手の持つ筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手の試作と、健常者および切断者による、試作した義手の筋電制御実験について述べている。本義手は筋電位信号処理部分、DCモータを制御するためのサーボ機構、手先具から構成される。手先具は、母指、示指、中指の3本指からなり、ギヤーリンク機構を用いて1自由度の開閉動作を行うものである。義手の指の開閉角度と指に加わるトルクを検出し、フィードバックするという構成で、筋電動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手を試作した。サーボ機構には高速演算、多機能のマイクロプロセッサを用いた。健常

者および切断者による筋電制御実験を行った。義手の開閉角度の随意制御，義手の指の柔らかさの制御，物体把握実験であり，開発した義手の有用性が示された。

第4章では，二種類の皮膚振動刺激装置の試作と，感覚フィードバック装置において提示する振動刺激の振動周波数と，断続刺激の提示，休止時間を決定するために行った心理物理実験について述べている。振動周波数1～100[Hz]および100～700[Hz]の二種類の皮膚振動刺激装置を試作した。これを用いて，皮膚振動感覚の閾値を測定した。可聴周波数以下として10[Hz]を，閾値が最小の周波数として350[Hz]を得た。

10[Hz]の振動刺激を用い，断続刺激を認知できる最短の刺激停止時間を計測した。その結果から，断続刺激における刺激提示時間を0.1[sec]，刺激休止時間を0.61[sec]とした。

第5章では，振動周波数が10[Hz]と350[Hz]の二種類の感覚フィードバック装置の試作と，筋電義手による物体把握実験について述べている。振動周波数が350[Hz]の感覚フィードバック装置は，義手の把握力に対して振動振幅が比例して変化するように振幅変調を用いたものである。振動周波数が10[Hz]の感覚フィードバック装置は，義手の把握力の大小により，使用者に提示する振動刺激が，連続刺激と断続刺激に切り替わるものである。これらの二種類の感覚フィードバック装置を用い，健常者による物体把握実験を行い，義手の操作性が向上することを示した。

第6章では，本論文によって得られた成果をまとめるとともに，今後の課題についても言及している。

本研究は，ヒトの手の筋運動制御機構の動特性を取り入れた筋電義手と，皮膚振動刺激を用いた感覚フィードバック装置の開発を行う，その有用性を示したものである。本論文で得られた成果は本義手の実用化のための重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって，学位申請者奥野竜平は，博士（工学）の学位を得る資格があると認める。