



筋電電動義手用アクチュエータに関する研究

菊谷, 功

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2000-09-30

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2192

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002192>

※ 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。



【244】

氏 名・(本 籍) 菊谷 功 (兵庫県)

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 博い第192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12年9月30日

【学位論文題目】

筋電電動義手用アクチュエータに関する研究

審 査 委 員

主査 教授 峯元 工 教授 賀谷 信幸

教授 赤澤 堅造

要旨

事故や疾病により手を失ったとき、元の手の状態や機能を復元するために使用する人工の手を義手といい、そのうち、電池を用い、モータや減速器から駆動機構を構成し、指の開閉の制御に筋電信号を利用するものを筋電電動義手という。上肢切断者にとって筋電電動義手は、生活になくてはならない身体の一部であるとして、日常生活で常時使用されているという報告がある。このように、筋電電動義手は上肢切断者にとって有用な機器であり、普及が望まれている。

義手使用者が片手切断か両手切断か、あるいは、使用者の職業や趣味、生活様式によって義手の使い方は異なるので、筋電電動義手に要求される機能は様々である。使用者の様々な要求に対応するためには、指先の位置の制御（位置制御）、把持力の制御（力制御）、手先の関節回りの柔らかさの制御（コンプライアンス制御）など、種々の制御で物体を把持できるようにしておくことが望ましい。そこで、位置制御、力制御、コンプライアンス制御の中から、義手使用者の目的や局面に応じて適切な制御モードに随時切り替えることが可能な筋電電動義手システムを提案し、それを簡単なシステム構成で構築することにより実用化を目指そうとしている。これにより義手を利用する機会や用途が広げられると期待できるからである。

さて、このシステムを構築するうえで、アクチュエータの選択は重要である。3つの制御モードが全て行え、かつ、制御回路や機器構成が簡単となるアクチュエータでなければならないためである。これまでに動力義手として研究されてきたアクチュエータには、DCモータ、超音波モータ、空気圧シリンダ、形状記憶合金などがある。これらを含め、種々のアクチュエータを検討した結果、本研究ではリニアアクチュエータを選択した。例えば、DCモータを用いた義手でコンプライアンス制御を行う場合、指先の位置と指に作用する力とを検出する必要がある。リニアアクチュエータを用いた義手では、指先の位置の検出だけでコンプライアンス制御が行える。したがって、構成はDCモータよりも簡単となる。しかし、リニアアクチュエータは印加電流に対する発生推力が小さいことから、高推力化が技術課題となっている。

ところで、前出のコンプライアンス制御をヒトの手の運動制御機構の動特性を取り入れて行わせる場合、筋の粘弾性が脳からの指令によってどのように調節されているかを明らかにする必要がある。随意収縮力（筋活動レベル）と筋の粘弾性との関係については多くの報告があるが、筋活動レベルに対して筋の粘弾性が直線的に変化する

という結果と非直線的に変化するという結果の両方が報告されている。このように、筋活動レベルと筋の粘弾性との関係はまだ明確になっていない。

このような観点から、リニアアクチュエータを用いて、提案する義手の制御システムを構築するうえで、以下の2点がまず最初に検討すべき技術課題であると考え、これらを本研究の目的としている。

1. 電動義手にコンプライアンス制御を行わせるため、随意収縮力（筋活動レベル）と筋の粘弾性との明確な関係を求めること
2. 高推力が発生するリニアアクチュエータを開発すること

第1章では、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、指先の位置の制御（位置制御）、把持力の制御（力制御）や手先の関節回りの柔らかさの制御（コンプライアンス制御）の各制御モードを、義手使用者の目的や局面に応じて適切な制御モードに随時切り替えることが可能な筋電電動義手システムを提案した。

第3章では、筋電電動義手にコンプライアンス制御を行わせるうえで重要となる、随意収縮力（筋活動レベル）と筋の粘弾性との関係を明らかにした。ヒト長母指屈筋を対象として、収縮中の筋をランプ状に伸展させたときの張力応答を、3名の被験者で測定した。筋自体の特性を観察するために、伸張反射が含まれないと考えられる伸展開始から35msまでの短い期間で解析した。その結果、筋活動レベルの増加に従って筋の粘弾性は直線的に増加することが示された。

第4章では、リニアアクチュエータの高推力化を図るため、新しいコイル構造を考案した。このコイルは、強磁性体のワイヤと非磁性体のワイヤで成形されたそれぞれのコイルを、1巻毎に交互に重ねて一つのコイルとしたものである。強磁性体コイルは磁気回路内の磁束密度を高めるために、また、非磁性体コイルは磁束の流れを径方向に制御するために用いる。電流は強磁性体コイルに印加する。2次元モデルによる磁場解析のシミュレーション実験から推力を求めた結果、本コイル構造では、従来の非磁性体ワイヤだけで形成するコイルよりも、同一電力で約30%の推力向上が期待できることが示された。次に、電動義手に適用可能な寸法形状のリニアアクチュエータを試作した。試作リニアアクチュエータの推力はシミュレーション結果の約80%となった。この差異の原因は、2次元モデルでは考慮されない円周方向の磁束の分布などが計算誤差となって現れたと考えられた。さらに、より高推力を発生させるために

は、ワイヤ幅比の最適化と、コイル外径と外ヨーク内径とのすきまを減少させることが重要であることを示した。

第5章では、第4章で試作したリニアアクチュエータを使用して、電動義手を製作した。その義手は3指で構成され、開閉動作を行う1自由度のものである。寸法は、ヒトの手とほぼ同じ大きさである。把持力がリニアアクチュエータの発生推力とほぼ等しくなるように、指のリンク部のレバー比を設定した。まず、義手単体の性能として、把持力と開閉速度、駆動音を測定した。把持力はリニアアクチュエータの推力とほぼ等しく、開閉速度は1.5Aにおいて約180mm/sであった。また、開閉動作時の駆動音は32dB(A)であった。そして、第3章で得られた、筋活動レベルと筋の粘弾性との直線関係であるという結果を、コンプライアンス制御のゲインに反映させた。指先での反力を測定する実験により、本リニアアクチュエータ駆動型電動義手でコンプライアンス制御が可能であることを示した。

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

氏名	菊谷 功		
論文題目	筋電電動義用手用アクチュエータに関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	峯本 工
	副査	教授	賀谷 信幸
	副査	教授	多田 幸生
	副査	教授	赤澤 堅造
	副査		
要 旨			
本論文は、これまでに行われたことのないリニアアクチュエータの筋電電動義手（筋電位信号を制御信号として用いた義手）への適用に主眼を置き、このシステムを構築するうえで重要になる技術課題として、随意収縮力と筋粘弾性力との関係とリニアアクチュエータの高推力化の二つを設定し、それぞれについて新しい方法を提案することで課題を解決したものである。 これまでに開発されてきた筋電電動義手の制御方式には、指先の位置制御や手先の関節周りの柔らかさを変える制御があり、一つの義手システムには一つの制御方式が採用されている。しかし、日常生活では、義手は様々な用途や目的で使われるので、一つの制御方式ですべての把持作業に対応することはできない。指先の位置制御（位置制御）、把持力の制御（力制御）、手先の関節回りの柔らかさの制御（コンプライアンス制御）の中から義手使用者の用途や目的に応じて適切な制御モードに随時切り替えることが可能となれば様々な把持作業に対応でき、さらにそれを簡単なシステム構成で実現することができれば電動義手の実用化に貢献できると考えられる。本研究では、このようなシステムを構築するためにはアクチュエータの観点からも検討することが重要と考え、リニアアクチュエータに着目している。そして、リニアアクチュエータ駆動型義手システムを実現するための技術課題として、随意収縮力と筋粘弾性力との関係とリニアアクチュエータ高推力化の二つをとりあげている。			

印

随意収縮力と筋粘弾性力との関係を求めたこれまでの研究では、直線関係と非直線関係という異なる報告があった。本研究では、筋粘弾性力を推定する新しい方法を提案し、この方法を用いて随意収縮力と筋粘弾性力とは直線関係であることを明らかにしている。また、リニアアクチュエータの高推力化を図る方法としては、新しいコイル構造を考案し、磁場解析のシミュレーション実験から推力の向上を明らかにするとともに、実際にコイルおよびリニアアクチュエータを試作している。推力の測定結果では、シミュレーション実験の約80%の推力にとどまったが、同一消費電力における従来構造のリニアアクチュエータに比べて高い推力が得られている。本論文の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、これまでに開発されてきた義肢装具に使用されてきたアクチュエータと制御方式について概説し、さらに、位置制御、力制御やコンプライアンス制御の各制御モードを義手使用者の目的や局面に応じて適切な制御モードに随時切り替えることが可能な筋電電動義手システムを提案している。

第3章では、筋電電動義手にコンプライアンス制御を行わせるうえで重要となる、随意収縮力と筋粘弾性力との関係を明らかにしている。ヒト長母指屈筋を対象として、収縮中の筋をランプ状に伸展させたときの張力応答を3名の被験者で測定した。その結果、随意収縮力の増加に従って筋粘弾性力は直線的に増加することが示された。

第4章では、リニアアクチュエータの高推力化を図るための新しいコイル構造を考案している。このコイルは、強磁性体のワイヤと非磁性体のワイヤで成形されたそれぞれのコイルを、1巻毎に交互に重ねてひとつのコイルとしたものである。強磁性体コイルは磁気回路内の磁束密度を高めるために、また、非磁性体コイルは強磁性体コイル内の磁束の流れを径方向に制御するために用いる。電流は強磁性体コイルに印加する。2次元モデルによる磁場解析のシミュレーション実験から推力を求めた結果、本コイル構造では、従来の非磁性体ワイヤだけで形成するコイルによるリニアアクチュエータよりも、同一電力で約30%の推力向上が期待できることが示された。次に、電動義手に適用可能な寸法形状のリニアアクチュエータを試作し、推力を測定した。試作リニアアクチュエータの推力はシミュレーション結果の約80%であった。より高推力を発生させるためには、ワイヤ幅比の最適化と、コイル外径と外ヨーク内径とのすきまを減少させることが重要であることをシミュレーション実験から明らかにした。

第5章では、第4章で試作したリニアアクチュエータを使用して電動義手を製作し、さらに第3章で得られた筋活動レベルと筋の粘弾性力とが直線関係であるという結果を、コンプライアンス制御のゲインに反映させ、リニアアクチュエータで義手のコンプライアンス制御が可能であることを示している。

第6章では、本論文によって得られた結果を要約している。

本研究は、初めてリニアアクチュエータを筋電電動義手（筋電位信号を制御信号として用いた義手）へ適用したものである。そして、この義手システムを構築するうえで重要になる技術課題として、随意収縮力と筋粘弾性力との関係とリニアアクチュエータの高推力化の二つを設定し、それぞれについて新しい方法を提案することで課題を解決している。各種制御モードの切り換え方法、動的なコンプライアンス制御、また、臨床への応用には至っていないものの、本論文で得られた成果は、リニアアクチュエータ駆動式筋電電動義手の実用化への重要な知見を得たものとして価値があると認める。

よって、学位申請者菊谷 功は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。