

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 25 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2016

課題番号：16K14193

研究課題名（和文）マッスルシートの開発

研究課題名（英文）Development of muscle sheet

研究代表者

遠山 茂樹 (Toyama, Shigeki)

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：20143381

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、筋繊維の機能を模した微小超音波モータを用いて貼付型マッスルシートの基礎技術を開発した。マッスルシートとは、腕や腰、膝などアシストを必要とする関節に貼付することで関節アシストを行うものである。本研究では、このマッスルシートのコア技術となるアクチュエータとして超小型の超音波モータを開発した。これは3.5mm四方の立方体に2mmの貫通穴を設けたものである。設計値通りの並進運動を実現することができた。また、モータの駆動と停止のタイミングをとるために筋電情報を利用した。筋肉の等張運動と定尺動作を判別することで、モータの駆動停止を行う事ができた。マッスルシートの基礎技術を確立した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed the basic technology of a new type muscle sheet using a micro ultrasonic motor in imitation of a function of the muscular fiber. With the muscle sheet, we perform a joint assist by affixing it to joint needing an arm and a waist, the assist including the knee. In this study, we have developed a micro ultrasonic motor as the core technique of this muscle sheet. This made from a 3.5mm square cube with a through-hole of 2mm. We have realized a translation movement according to design level. In addition, we have used myoelectricity to take the drive of the motor by the timing of the stop and go. We can control stopping and driving of the motor by distinguishing Blank exercise from isotonic exercise of the muscle. We have established the basic technology of the muscle sheet.

研究分野：ロボット工学

キーワード：超音波モータ TRモータ 関節アシスト

### 1. 研究開始当初の背景

現在、重筋作業などの現場ではパワーアシストスーツの活用が期待されている。しかしながら、スーツ自体の重量が 20 kg を超えることや、大容量のバッテリーを持たなくてはならないことなど、現場での普及は進んでいない。簡単に利用できるアシストツールが望まれている。

### 2. 研究の目的

本研究では、筋繊維の機能を模した微小超音波モータを用いて貼付型マッスルシートを開発する。これは腕や腰、膝などアシストを必要とする関節に貼付することで関節アシストを行うものである。本研究では、このマッスルシートのコア技術となるアクチュエータと筋電の利用開発を行う。

### 3. 研究の方法

マッスルシートは、薄いシートにバッテリー、筋電センサ、超小型アクチュエータを内蔵しており、関節に貼るだけで自動的に筋肉の動きをセンシングして関節をアシストすることが可能である。コア技術となるのは、超音波駆動の原理を利用して並進運動ができる TR モータ (Translational and Rotational Motor) の開発と筋肉の起動と停止を検出する筋電情報の利用である。

### 4. 研究成果

試作した TR モータを図 1 に示す。当初の予定では 1.5 mm 程度の圧電素子であったが、具止まり不良や品質の不安定から 3.5 mm 程度とした。電極の取り付けには、はんだ付けによる熱の影響で脱分極してしまうを防ぐため、安定した電源供給のためにフレキシブル基板を接着した。

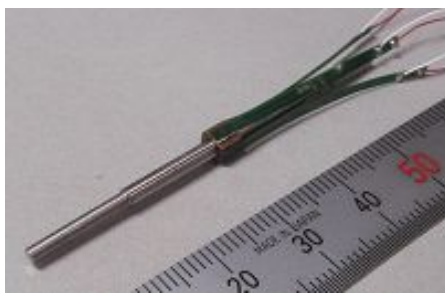


Fig. 1 3.5 mm TR motor.

ステータのインピーダンス特性を測定したところ、共振特性がよく表れており良好な試作であった。また、複数個の試作を行ったところ、品質はほぼ均一であった。

続いて、シャフトを挿入してモータを完成させた。印可電圧特性と周波数特性を図 2、3 に示す (回転特性も合わせて測定した)。

さらに、印加電圧の位相差を変えたときの回転数の変化を測定した (図 4)。正弦関数からのずれが生じる原因としては、ステータとシャフトの間の隙間でシャフトの傾きの発

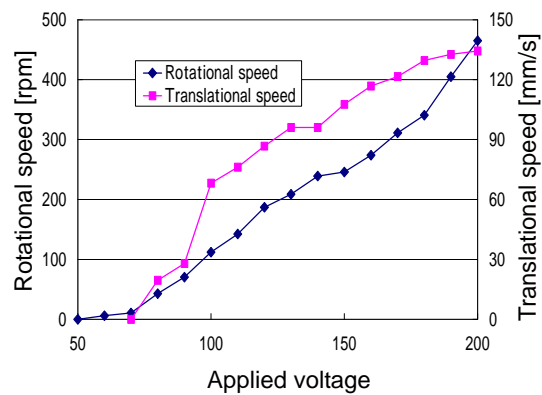


Fig. 2 Relationship between the applied voltage and the speed.

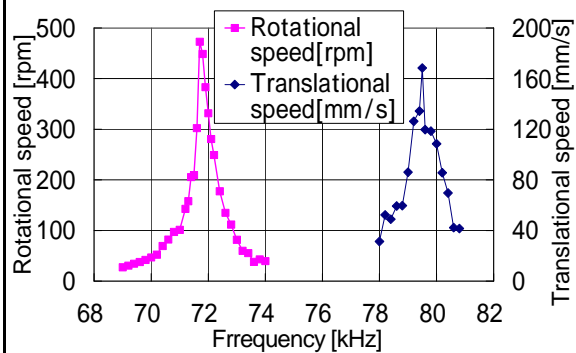


Fig. 3 Relationship between the frequency and the speed.

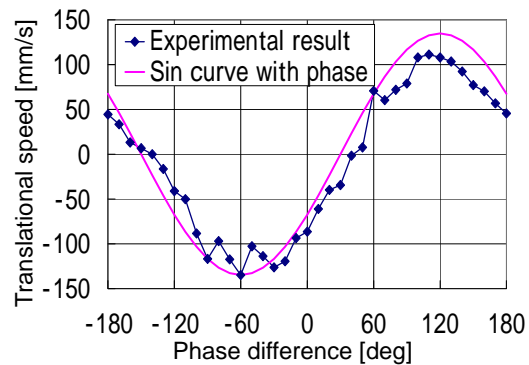


Fig. 4 Relationship between the phase difference and translational speed.

生や、それによる両者の片当たりの影響が考えられる。片当たりはステータの振動の伝達を妨害し、不安定駆動の要因でもある。また、本来ならば位相差 90 度のときに最大回転数を取るはずであるが、回転では 60 度、直動では 120 度で最大となりそこをピークとして正弦曲線を描く結果となった。位相差が 90 度で最大とならない原因は、作製時の圧電素子の貼り付け方法による誤差の影響や圧電素子の特性の僅かな差 (共振周波数やインピーダンスの違い) などが考えられる。

図 5 にトラスト力と並進速度の実験結果を示す。小さいモータ故に測定が難しいが、右下がりの垂下特性を持つことが分かる。シャ

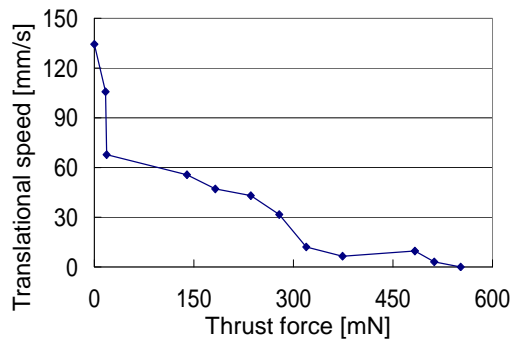


Fig. 5 Thrust force and translational speed characteristics.

フトとステータの押しつけ力を変化させることで特性の勾配を変化させることができると考えられる。

このモータの制御には筋電位を用いる。筋肉に収縮力が発生するためには、脳からの信号が筋肉の神経接合部に伝わることによる電位変化が必要である。この電位変化を測定したものが筋電位であり、皮膚表面に貼り付けた表面電極で取得した筋電位を時系列信号とした値を表面筋電図と呼ぶ。検出した表面筋電図は全波整流平滑化により筋肉の収縮時と弛緩時の差が視覚的に明瞭となり、閾値の設定が可能となる。これを全波整流平滑化筋電図 (ARV) と呼び、モータの制御には ARV を用いる。

筋の収縮様式は、等尺性収縮と等張性収縮の2種類に分類される。等尺性収縮は筋がその長さを変えずに力を発揮する収縮様式であり、等張性収縮は筋がある負荷とつり合い、その長さを変えながら一定の張力を発揮する収縮様式である。同負荷における等尺性収縮と等張性収縮の筋電位を比較した場合、一般に等張性収縮の筋電位が大きくなる。筋線維は完全に収縮するか、それとも収縮しないかのどちらかであり、この特徴は「全か無かの法則」と呼ばれる。

一つの運動単位に属する全ての筋線維は同時に収縮するので、筋全体の張力は運動単位の数によって決まる。同時に収縮する運動単位数を調節することによって、神経系は筋の張力、関節の動きを制御している。等張性収縮は関節の動きを伴い、その分運動単位の動員数が増加するため、等尺性収縮よりも筋電位が大きくなるのである。

本研究では、この収縮様式による筋電位の大きさの違いをモータの制御に利用することを提案する。ARV に閾値を設け、閾値を超えたらモータを ON にする。また、運動の終了を等張性収縮から等尺性収縮へ切り替わるときの ARV の低下で検出し、モータを OFF にする。

本研究では持ち上げ動作を対象とする。持ち上げ動作は重量物の把持から始まるため、モータを ON にするための測定部位は腕部の筋肉から選定する。腕部に関して、重量物持ち上げ動作に要する関節運動及び要する筋肉は手指関節の屈曲 (深指屈筋、浅指屈筋)

手関節の屈曲 (撓側手根屈筋、長掌筋など)、肘関節の屈曲 (上腕二頭筋、腕橈骨筋) であるが、表面筋電位の特性上、深部の筋肉は筋電位取得には適さない。前腕部の筋構造より、深層に位置する深指屈筋及び浅指屈筋は除外し、腕部では長掌筋、腕橈骨筋、上腕二頭筋から選定することにする。また、持ち上げ動作は上体を起こし終わるか、上体を起こす動作を途中でやめたときが持ち上げ動作の終了と言える。よって、モータを OFF にするための測定部位は腰椎の伸展に関わる脊柱起立筋とする。

測定対象とした長掌筋、腕橈骨筋、上腕二頭筋、脊柱起立筋に表面電極を貼り付け、約 20 kg のコンテナを持ち上げる時の表面筋電位を検出し、モータ制御に用いる筋電位取得部位を選定した。持ち上げ動作の途中で 1 秒間の姿勢維持を行い、等張性収縮と等尺性収縮の表面筋電位の大きさの違いを調べた。

その結果として以下のことが分かった。持ち上げ開始の検出に適した部位は長掌筋、終了の検出に適した部位は脊柱起立筋である。また、選定した 2 つの筋肉において、表面筋電位の出力値に影響を与える神経支配帯の位置について検討し、持ち上げ動作の検出に適切な電極貼り付け位置を決定した。

長掌筋では筋腹から肘側 35 mm の間、脊柱起立筋では、第 3 棘突起から筋線維に沿って首側の 35 ~ 70 mm の位置に神経支配帯が存在すると考えられ、ARV の低下がみられた。この神経支配帯を避け、腱の位置や持ち上げ動作時の皮膚の伸びを考慮し、それぞれの適切な電極貼り付け位置が決定できる。

長掌筋の ARV が閾値を超えると腰部のモータが駆動して持ち上げ動作のアシストを行い、モータの停止は脊柱起立筋が等張性収縮から等尺性収縮に移り変わるときの ARV の低下を検出することで行うことができる。ただ、今回の研究ではパワーアシストシートの貼付下の筋肉の情報からモータ停止の情報を得ることはできず、離れた部位の筋電位を使っただけの評価となった。

以上の結果より、TR モータを用いることでアシストシートの小型化が、筋電位の最適な検出位置より起動と停止が出来る可能性を示すことができた。

## 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 1 件)

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Phase difference control system for TR motor," Applied mechanics and materials, vol. 841 (2016), pp. 173-178. 査読有 doi:10.4028/[www.scientific.net/AMM.841.173](http://www.scientific.net/AMM.841.173).

[学会発表](計 1 件)

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Phase

difference control system for TR motor,"  
Proceedings of International Conference on  
Aerospace, Robotics, Manufacturing  
Systems, Mechanical Engineering,  
Biomechatronics and Neurorehabilitation  
(OPTIROB2016), June 29-July 2, 2016,  
Jupiter, Romania.

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~toyama/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

遠山 茂樹 (TOYAMA, Shigeki)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20143381

### (2) 研究分担者

石田 寛 (ISHIDA, Hiroshi)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：80293041

Venture Gentiane (VENTURE, Gentiane)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30538278