

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13915

研究課題名(和文)筋-トルクモデルに基づいた機能的電気刺激による振戦抑制システムの研究

研究課題名(英文) A Study on Muscle-Torque Model Based Tremor Suppression System Using Functional Electrical Stimulation

研究代表者

木口 量夫 (Kiguchi, Kazuo)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：90269548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：振戦は自らの意思とは無関係に生じる手の震え等の振動現象であり、これまでに振動を軽減させるための機械システムとしては動吸振装置やロボットシステム等が提案されていた。本研究では、外部のアクチュエータや機械システムを着用することなく、自らの筋力を用いて振戦を抑制することを目的とし、筋-トルクモデルの逆モデルを利用して振戦抑制に必要な筋肉とその活動量を推定し、機能的電気刺激を対象となる筋肉に加えることで振戦を抑制する手法の研究を行った。本研究では、機能的電気刺激のパラメータの一つである刺激周波数をオンラインでリアルタイム制御することにより振戦抑制を行う手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Tremor is human vibration phenomenon such as hand vibration which is generated involuntary. Mechanical systems such as vibration absorber or robotic systems have been proposed to suppress the tremor up to the present. In this study, in order to suppress the tremor using user's own muscles without wearing external actuators or mechanical systems, a study on tremor suppression in which tremor is canceled by adding functional electrical stimulation (FES) to certain related muscles of the user was carried out. The inverse model of the muscle-torque relationship is used to estimate the certain related muscles and their required activity levels. The tremor suppression method in which the stimulation frequency (i.e., one of the parameters of the FES) is controlled in real-time in online manner to cancel the tremor was proposed in this study.

研究分野：知能機械学

キーワード：振戦抑制 機能的電気刺激

1. 研究開始当初の背景

本態性振戦等の振戦は自らの意思とは無関係に生じる手の震え等の振動現象であり、高齢者等に多くみられる現象であるため、日常生活において不便を感じる人も少なくない。一般的には薬剤で治療を行う場合が多いが、基本的に本態性振戦の原因はまだ明らかにはなっていないため、薬剤治療の作用も不明な点が多い。そのため、振戦を軽減させるための機械システムも期待されており、これまでに動吸振装置やロボットシステム等が提案されている。動吸振装置は受動的に振戦を軽減させるものであり、ロボットシステム<sup>1,2)</sup>は能動的に振戦を抑制するものである。我々も外骨格型パワーアシストロボットシステムを用いた振戦抑制に関する研究を進めており、独自の振戦抑制手法を提案してきた。我々が提案した手法は、ロボット装着者の筋電信号を基に装着者の運動を推定した後、装着者の動作意思通りの運動(随意運動)と振戦運動(不随意運動)を周波数を基に分離し、随意運動に対してはパワーアシストを行い、不随意運動に対しては逆振動を加えることにより運動をキャンセルするものである。本手法のアルゴリズムを図1に示す。本手法では、上肢の姿勢に応じてリアルタイムに変換行列を調整でき、初期の変換行列の成分も各患者の特性に合わせて調整できる。

しかし、動吸振装置やロボットシステム等の機械システムは、基本的にフレーム部とジョイント部から成るため、比較的大型になり、患者の服の中に隠すことは難しく、どうしても目立ってしまうため日常生活での使用が敬遠されがちである。

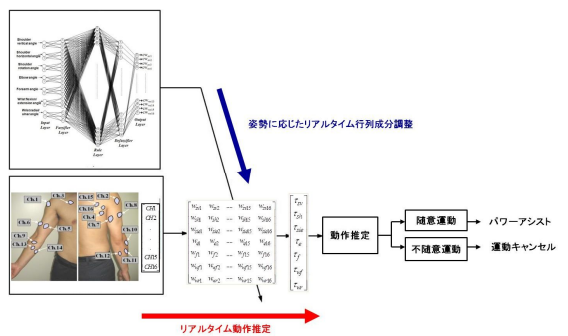


図1 ロボットによる振戦抑制

一方、機能的電気刺激は筋肉に電気刺激を与えることにより、患者の運動機能を再建・補助するものであり、今後の発展が期待されている。最近、電気刺激により振戦を抑制しようという試みも研究されたが、動作推定をせずに筋電信号を基に直接電気刺激を試みる手法のため、基本的に拮抗筋が単純な1軸運動にしか用いることができず、実用上問題がある。

そこで本研究では、これまでの我々の振戦抑制手法と機能的電気刺激を合わせることにより、外部のアクチュエータや機械システムを着用することなく、自らの筋力を用いて

振戦を抑制することを試みた。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの我々の振戦抑制手法と機能的電気刺激を合わせることにより、外部のアクチュエータや機械システムを着用することなく、自らの筋力を用いて振戦を抑制することを目的とし、筋-トルクモデルの逆モデルを利用して振戦抑制に必要な筋肉とその活動量を推定し、機能的電気刺激を対象となる筋肉に加えることで振戦と逆位相の振動を発生させ、振戦の振動を打ち消すことで抑制する手法の研究を行うものとする。本研究の主な内容は、振戦の現象から振戦抑制に必要な筋肉とその活動量を推定する手法の研究、対象となる筋肉に機能的電気刺激を加えることで振戦を抑制する手法の研究、リアルタイムで筋-トルクモデルおよび機能的電気刺激のパラメータを補正して振戦を減らす手法の研究の3点である。

なお、本手法は装置の小型化が可能であり、日常生活での利用が期待できる。

3. 研究の方法

振戦運動の計測・解析結果を基に作成した筋-トルクモデルの逆モデルを用いることにより、発生している振戦を抑制するために必要な拮抗筋とその活動量を推定することを試みる。ここでの筋-トルクモデルは、図1に示した上肢姿勢により変化する変換行列であり、リアルタイムで変換行列の各成分調整を行うファジィ・ニューロ調整器を含むものであり、各被験者に対して学習を行ったものを示す。筋-トルクモデルの逆モデルを用いることにより、発生している振戦の逆位相のカベクトルを発生させるために必要な拮抗筋とその活動量を推定する

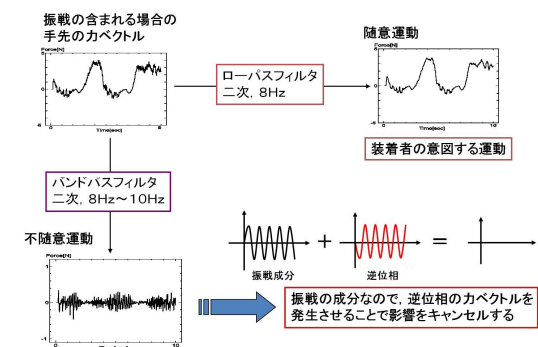


図2 振戦抑制手法

本研究での基本的な手法を図2に示す。まず筋電信号や加速度計等を用いて手先のカベクトルを推定あるいは計測し、バンドパスフィルタを用いて振戦成分を分離し、逆位相のカベクトルを機能的電気刺激を用いることにより患者本人の筋活動により発生させることで振戦をキャンセルする。ここでは、

逆位相のカベクトルを発生させるために必要な筋肉とその活動量を推定する手法が重要な鍵となる。

筋 トルクモデルの逆モデルを基に推定した拮抗筋での筋活動を機能的電気刺激により生成するため、電気刺激のパラメータ（電気出力、周波数、パルス幅、刺激時間）を制御する。本研究では、主に刺激周波数をリアルタイムでオンライン調整することにより、目標とする筋活動を生成するものとする。

#### 4. 研究成果

本研究では、振戦運動の筋 - トルクモデルを作成した。また、筋 - トルクモデルの逆モデルを用いて振戦抑制に必要な筋肉（振戦を生成している筋に対する拮抗筋）とその活動量を推定し、機能的電気刺激の各パラメータ（電気刺激の電気出力、周波数、パルス幅、および刺激時間）を調整した上で、パラメータの一つである刺激周波数をオンラインでリアルタイムで制御することにより推定した目標筋活動を生成し、振戦抑制を行う手法を提案した。振戦を抑制する筋肉（振戦と逆位相の振戦を生成する筋肉）に対して加える機能的電気刺激の周波数調整手法においては、周波数を調整することにより生じる筋活動変化を実験で確認した。

提案手法の有効性を確認するための実験では、機能的電気刺激による振戦の再現を行った。本実験で再現したのは前腕の回内、回外運動に生じる振戦である。前腕の回内筋、回外筋に対して電気刺激を行うため、刺激電極を回内筋、回外筋上に配置した。また、誘発される振戦運動は加速度センサにより計測した。実験での被験者は健常女性1名である。刺激周波数の変化に伴い再現する振戦に生じる変化を検証するため、本実験では、50、77、100Hzの3種類の周波数を用いた。また再現する振戦の周波数は高齢者に生じる振戦の周波数が小さく現れることから、比較的小さい6.25Hzとした。また刺激のパルス幅は300 $\mu$ sとし、刺激の持続時間は40msとした。このときの腕の姿勢は前腕が机の端に設置した状態で手は机から少し浮かせた状態で行った。

周波数ごとに振戦の再現を行った結果を図3に示す。図中、黒の実線で示しているのは振戦の回内角度であり、また赤の実線は振戦の強度を表している。これらの結果より、周波数が変化することにより振戦の強度（振幅）が変化することが確認できる。また、赤の点線は得られた強度の全体にわたる平均を示しているが、周波数が大きくなるにつれて徐々に平均値が大きくなっていることが確認できる。実験中は前腕の角度が変化しているが、それに伴い赤の実線で示す振戦の強度も変化していることが分かり、回内運動角度が大きくなるにつれて振戦の強度が低下しているように見える。このことから回内運

動するにつれて電気刺激による誘発運動が起きにくくなるのが分かる。

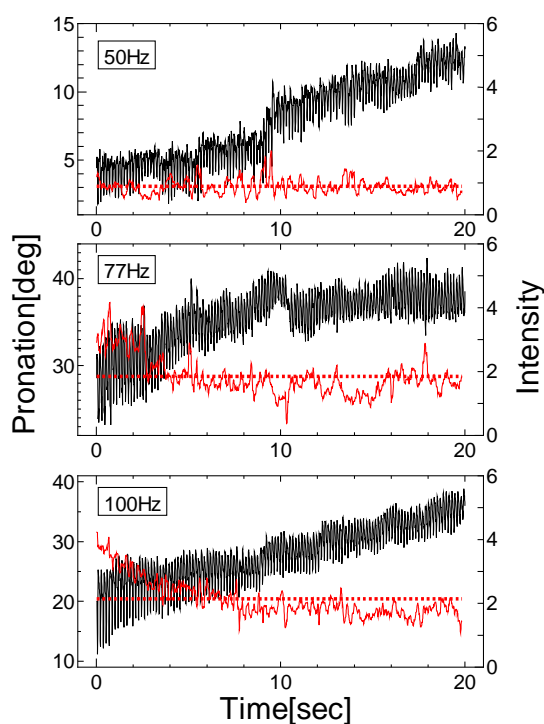


図3 刺激周波数を調整した際の振戦生成

これらの結果より、機能的電気刺激の刺激周波数を調整することにより振戦の強度（振幅）を変化させることが可能である。また、本研究により、姿勢変化に伴い機能的電気刺激による運動の誘発度合いが変化することが分かった。今後、これらの研究結果を基にリアルタイムで自動的に振戦を抑制するシステムを構築する。また、システムを小型化し、実用的な振戦抑制システムを構築することも重要である。

#### 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 件)

〔学会発表〕(計2件)

木口 量夫、田村 薫、筋電気刺激を用いた振戦再現において電流周波数と姿勢が誘発運動に及ぼす影響、第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2016)、2016年12月15日、札幌コンベンションセンター（札幌）。

Kazuo Kiguchi, Tremor Suppression with an Upper-Limb Power-Assist Robot, Proceedings of 38th Annual International Conference on the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2016)、2016年8月19日、オーランド（米国）。

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木口 量夫 (KIGUCHI, Kazuo)  
九州大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：90269548

### (2) 研究分担者

荒田 純平 (ARATA, Jumpei)  
九州大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：40377586

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

田村 薫 (TAMURA, Kaori)