

## 本態性振戦患者のふるえのトルク解析に基づく

## 食事動作を支援する肘装着型ロボット装具の設計

## Development of Elbow Wearable Robot which Support Meal Movement of Patients with Essential Tremor Designed Based on an Analysis of Tremor Torque

- 松本侑也 (早稲田大学), 關雅俊 (株式会社 菊池製作所, 早稲田大学),  
安藤健 (パナソニック株式会社, 早稲田大学), 小林洋 (早稲田大学)

飯島浩 (横浜市リハビリテーション事業団), 長岡正範 (順天堂大学大学院), 藤江正克 (早稲田大学)

Yuya MATSUMOTO, Waseda University  
Masatoshi SEKI, KIKUCHI SEISAKUSHO CO., LTD., Waseda University  
Takeshi ANDO, Panasonic Corporation, Waseda University  
Yo KOBAYASHI, Waseda University  
Hiroshi IJIMA, Yokohama Rehabilitation Foundation  
Masanori NAGAOKA, Juntendo University Graduate School  
Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

**Abstract:** Essential tremor is a disorder that causes involuntary oscillations in patients while engaging in actions or while maintaining a posture. The patients have serious difficulties in performing activities of daily living such as eating food, drinking water, and writing. We have thus been developing an EMG-controlled exoskeleton to suppress tremors. In this paper, a requirement specification about a stroke torque of the motor mounted on the robot was developed through the experiment in which a torque caused by an oscillation was measured. To suppress tremor, we selected a motor whose stroke torque exceeds the measured tremor torque. The tremor torque was approximately 0.5[Nm] at a maximum. We selected a motor whose stroke torque is 1.3[Nm] to design the robot with a safety factor as two. As a future work, the extent of tremor suppression by wearing the proposed robot will be validated.

**Key Words:** Essential tremor, Exoskeleton, Tremor suppression

## 1. 緒言

本態性振戦は動作をする際や、一定の姿勢を維持する際にふるえを生じる疾患である。65歳以上に4%以上の割合で見られるという記述もあるほど有病率の高い疾患であり、そのうちの65%の方が、ふるえの症状によって食事動作や筆記動作といった日常動作に難を抱えている。β遮断薬などが症状を改善するものの、緊張や疲労が原因となり効果が薄い場合も存在する。脳深部刺激療法(DBS)という脳に電極を埋め込む手法があるが、電極を頭に埋め込むことの侵襲性が問題視されている。

そこで、著者らは低侵襲な振戦抑制手法として、装着することで振戦を抑制する装着型ロボット (Fig. 1) の開発を進めている。このロボットは装着することで装具のように関節を拘束し、振戦を外側から抑え込む (Fig. 2 ①)。しかし、関節が拘束された状態では随意的な動作が行えないため、表面筋電位から患者の動作意図を抽出し、意図に応じてモータを駆動することで随意的な関節角度変化を実現する (Fig. 2 ②)。我々の装着型ロボットが、CYBERDYNE 株式会社の HAL<sup>®</sup>に代表されるパワーアシストロボットと大きく異なる点は、装着者の筋力補助を目的としていない点である。そのため、筋力を補助するための出力の大きいアクチュエータは必要なく、最低限振戦を外側から抑え込めるトルクを有しているモータで十分である。そのため、アクチュエータを安価なものに抑えることができ、実用化された際にコストを抑えることができるという利点や、万が一モータ



Fig. 1 Wearable robot for patients with essential tremor

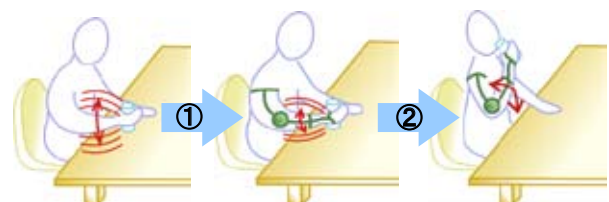


Fig. 2 Concept of the robot

が誤動作した場合でも出力の大きいアクチュエータを用いているロボットよりリスクが少ないという利点がある。これまで著者らはロボットを患者の意図通りに動かすために

本態性振戦患者の表面筋電位から随意動作の識別する研究を進めてきた<sup>(1)~(3)</sup>。一方で、振戦を抑制するために最低限必要な保持トルクの要求仕様を導出する検討が不十分であった。そこで、本稿では患者が姿勢を維持している際に発生する振戦によりロボットにかかるトルクを計測し、振戦を抑え込むことに必要な保持トルクの要求仕様を導出する。この知見を踏まえることにより、リスク削減と軽量化を狙い、モータ・ギヤを必要最小限のスペックで選定することを目的とする。

## 2. 振戦トルク計測実験

### 2.1 被験者

本態性振戦患者2名（被験者A：70歳男性，被験者B：62歳男性）を対象として実験を実施した。患者らは主に上腕二頭筋から振戦を起こす筋電位が確認されており、その影響から肘の屈曲伸張動作，および前腕の回内回外動作に振戦が現れていた。

### 2.2 計測機器

Fig. 3 にトルク計測に用いた装置を示す。本装置は開発中のロボットと同様の条件にてトルク計測を実施するため肘装着型である。ロボットは人体の肘関節位置にモータを配していたが、本計測装置は、肘関節位置に6軸力覚センサ（ビー・エル・オートテック社製，MICRO 5/50-SA，Fig. 4）を配している。また，上腕アームと前腕アームのなす角度が15[deg]刻みで調整可能となっており，ねじで固定することでその角度を保持し関節の拘束が可能である。

### 2.3 実験方法

#### 2.3.1 事前準備

本実験では最終的に振戦を抑える上で最低限必要となる保持トルクを導出することが必要となるため，患者の振戦が最大となる状態で実験を行う必要がある。振戦はある特定の姿勢で大きくなることがあり，その姿勢は個人差がある。そのため，実験前にもっともふるえが大きくなる姿勢をあらかじめ調査した。調査結果を踏まえ，いずれの被験者においても，上腕と前腕のなす角度が120[deg]の状態肘関節を固定した。

#### 2.3.2 計測

計測は以下の手順にて実施した。

- (1) 被験者が試作装具を装着し，あらかじめ定めた計測姿勢で肘角度を固定した。ここで，装着を行う際には，肘関節の回転中心と6軸力覚センサのz軸が一致するよう調整を行った。
- (2) 10[s]の間，姿勢を維持した（Fig. 5）
- (3) 計測装置を取り外し，被験者の身体に不調がないか確認した。

#### 2.3.3 検討項目

ロボットにおいてモータの回転方向と一致している方向は，6軸力覚センサのz軸周り（Fig. 5のz軸を参照）である。また，振戦を抑える上で最低限必要なトルクを導出することが目的であることを考慮すると，値の振幅を見ることが必要である。そこで，本実験ではz軸周りのモーメント $M_z$ の振幅の値を指標に検討を行う。

#### 2.3.4 倫理委員会

本実験は早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認の下，実施された。

## 2.4 実験結果

より肘の振戦が顕著に表れていた被験者Aにおいて計測したz軸周りのモーメント $M_z$ の値をFig. 6に示す。Fig. 6を見るとモーメントの振幅は凡そ±0.5[Nm]の範囲に収ま

っている。この結果は被験者Bにおいても同様であった。ただ，頻度は少ないものの±0.5[Nm]の範囲を超えるトルクが発生している状態も存在していた。

## 3. モータの選定

2章の振戦トルク計測実験により，姿勢維持時に発生する振戦によってロボットにかかるトルクは凡そ±0.5[Nm]の範囲に収まっていることが分かった。しかし，一部±0.5[Nm]を超えるトルクが計測されていたこと，及び実験の被験者数は2人であり決して多くないことを考慮すると，ロボットに搭載するモータの保持トルクを0.5[Nm]に設定しては，より症状の重い本態性振戦患者にロボットを適応した場合に振戦を抑えられない可能性がある。そこで，安全率を2と取ることで，ロボットに搭載するモータの保持トルクの要求仕様は1[Nm]以上とした。

また，保持トルクの検討に加えて，著者らは予備実験を行い，食事を行う際の肘屈曲伸張方向の角速度を検討しており，凡そ最大で80[deg/s]程度に収まることを確認した。よって，モータの無負荷回転速度の要求仕様は80[deg/s]以上とした。

以上の要求仕様を満たす既製品を調査した結果，Table 1のように仕様を満たす製品が得られたため，そちらを採用した。その結果としてロボット（Fig. 7）はTable 2のような仕様となった。振戦を装着型ロボットにて抑制する類似研究がスペインにて行われているが，この研究で開発された装着型ロボット WOTAS<sup>(5)</sup>，<sup>(6)</sup>は約850[g]である。本研究のロボットの重量は410[g]であり大幅に軽量の仕様を実現することができた。

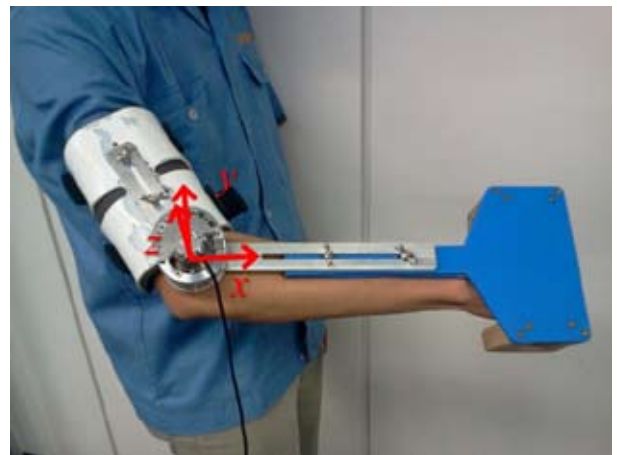


Fig. 3 Torque measuring device



Fig. 4 Force torque sensor (BL AUTOTEC, LTD., MICRO 5/50-SA)<sup>(4)</sup>



Fig. 5 Maintaining a posture during the task

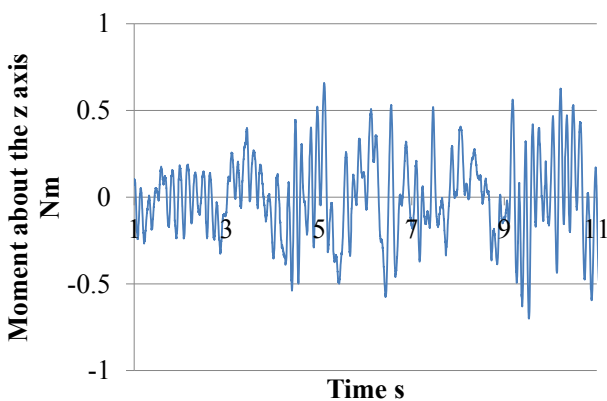


Fig. 6 Moment about the z axis  $M_z$

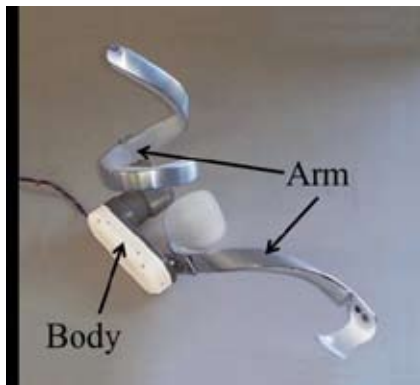


Fig. 7 the proposed robot designed based on the measurement of the tremor torque

Table 1 Specification of selected motor compared with requirement specification

| Content             | Specification of selected motor | Requirement specification |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Stoke torque Nm     | 1.3                             | More than 1               |
| No-load speed deg/s | 84                              | More than 80              |

Table 2 Weight of the proposed robot

|       | Weight g |
|-------|----------|
| Arm   | 150      |
| Body  | 260      |
| Total | 410      |

#### 4. 結言

本稿では本態性振戦患者のふるえを抑制し日常動作の遂行を支援する装着型ロボットの開発に向けて、振戦を抑え込むために必要となる保持トルクを導出する実験を行った。ロボットと同様に肘装着型のトルク計測装置を用い、本態性振戦患者の方が最もふるえ易い姿勢にて、振戦によってロボットにかかるトルクを計測した。その結果、振戦によるトルクは凡そ $\pm 0.5$ [Nm]以内に収まっていることが確認された。より症状が重い患者がいることも想定し、安全率を2と設定して、ロボットに搭載するモータの保持トルクの要求仕様を1[Nm]以上とした。この結果と予備実験で導出した無負荷回転速度の要求仕様80[deg/s]を踏まえ、保持トルク1.3[Nm]、無負荷回転数84[deg/s]の性能を持つ既製品をロボットに採用した。その結果としてロボット全体の重量を410[g]まで抑えることができ、類似研究や従来の装着型ロボットと比べても軽量なもの設計に成功した。

今後は設計したロボットを本態性振戦患者に装着して頂き、装着をしていない状態よりも振戦が抑制できていることを実験より確認していく。また、日常動作遂行を支援するためには振戦の振幅をどの程度まで抑える必要があるかという要求仕様も並んで検討を進めていく。

#### 謝辞

本研究を行うに当たりご協力いただいた被験者の方々、に厚く御礼を申し上げます。また、本研究の一部は、経済産業省地域イノベーション創出研究開発事業、文部科学省グローバルCOEプログラム「グローバルロボットアカデミア」、文部科学省科学研究補助金(23240088)の支援を受けて行われた。

#### 参考文献

- (1) M. Seki, Y. Matsumoto, T. Ando, Y. Kobayashi, H. Iijima, M. Nagaoka, M. G. Fujie, "Development of Essential Tremor Noise Suppression Filter for Voluntary Movement Extraction from surface EMG", 2011 IEEE EMBC
- (2) M. Seki, Y. Matsumoto, T. Ando, Y. Kobayashi, H. Iijima, M. Nagaoka, M. G. Fujie, "Development of Robotic Upper Limb Orthosis with Tremor Suppressibility and Elbow Joint Movability", 2011 IEEE SMC
- (3) M. Seki, Y. Matsumoto, T. Ando, Y. Kobayashi, H. Iijima, M. Nagaoka, M. G. Fujie, "The weight load inconsistency effect on voluntary movement recognition of essential tremor patient", International conference on Robotics and Biomimetics, 2011
- (4) ビー・エル・オートテック社ホームページ, [https://www.bl-autotec.co.jp/pdf\\_ca/BL-FTS-026.pdf](https://www.bl-autotec.co.jp/pdf_ca/BL-FTS-026.pdf) (2012年9月13日閲覧)
- (5) E. Rocon, J. M. Belda-Lois, A. F. Ruiz, M. Manto, J. C. Moreno, and J. L. Pons, "Design and Validation of a Rehabilitation Robotic Exoskeleton for Tremor Assessment and Suppression", *IEEE TRANS. NEU. SYS. REH. ENG.*, 15(3), 2007
- (6) E. Rocon, J.L. Pons, "Exoskeltons in Rehabilitation Robotics" Springer, 2011