

令和3年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：個人研究

研究期間：令和 2年 10月～令和 3年 9月

研究課題名：表面筋電図および機能的電気刺激を用いた新しいバイオフィードバックシステムの研究

ラボ長

所属：機能創成専攻・機能デザイン領域

氏名：松居 和寛

研究成果：

研究の概要：

本研究は、仮想現実（VR）/拡張現実（AR）空間において、モデルベースで複数筋の協調を考慮し筋電図（EMG）を処理することで、「任意の特性の仮想四肢をリアルタイムかつ連続的に操作して目標運動を実現するという動作体験」が可能になる筋電図バイオフィードバック（EMG-BFB）を目指すものである。これは任意の特性の身体を現在の身体に代替させるという意味合いで、代替現実（SR）EMG-BFBと言える。これには、これまで報告されてきた機能的電気刺激（FES）を用いてヒトの神経筋骨格系（Neuromuscular skeletal system: NMSS）をモデル（NMSS モデル）として取得するという手法を用いる。またあわせて、FESにより任意の四肢の運動を体験させられるFESバイオフィードバックも同一システムで実現できることを目指す。このようなEMG, FES, VR/AR技術が結合した新しいバイオフィードバックシステムを開発することが本研究の目的である。これによりヒトの内部モデルの再学習という治療効果が期待できる。また、より治療効果を向上させるために当初計画から触覚提示機能も目的に追加した。

得られた成果：

1. FESを用いた手指MP関節運動モデルの取得および駆動

FESでヒト手指MP（metacarpophalangeal）関節に対し電気刺激を行った時の挙動の再現性および、挙動がNMSSモデルを用いて説明できるかを検証した。FESを連続的に入力し、6周期の平均と標準偏差を評価した（図1）。運動範囲の1.07～6.23%で再現性があった。これまでの研究からNMSSモデルは2次+むだ時間+2次という伝達関数で記述されることが示唆されたが、より低次の2次+むだ時間の系でもボード線図に近似的にフィッティング可能であることを示すことができた。ただし、FESを入力した際の挙動は得られたモデルで説明するには非線形要素等の考慮が不足していることが示唆された。

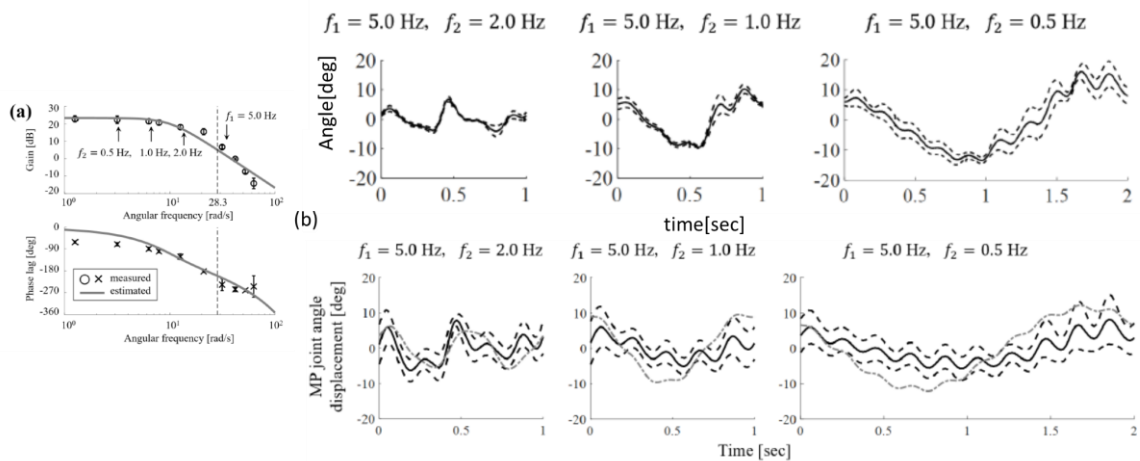


図 1 (a)2 次遅れ+むだ時間でフィッティングしたボード線図の例. (b)様々な波形 (2つの周波数の足し合わせ) を入力した際の再現性を示した結果. 6 周期の平均が実線, 標準偏差が破線. (b)上: 再現性の評価, (b)下: FES 入力時の挙動評価.

2. 触覚提示を行うデバイスの開発と触覚フィードバックの意義

将来的にはウェアラブル化することを前提に, まずは図 2 に示す据え置き型の剪断刺激デバイスを開発し, 任意の知覚を与えられることを目的に刺激と知覚の関係性を定量化した. 回転数と指を押し当てる押し込み力を入力パラメータとして, 摩擦感, 反発感, 痛みという項目を 7 段階アンケートによって定量化し, 3 名の被験者のデータを用いて任意の感覚を得るための数理モデルを求めた. 当該モデルで別の被験者 1 名に任意の感覚を生じさせる実験を行ったところ, 7 段階評価に対して 1 未満の誤差で感覚を提示できた.



図 2 剪断刺激提示装置. 将来的には指先に装着するウェアラブル化を目指しており, 小型なものを製作した. 右図は実験時の示指の触れ方を表す.

図 3 に示すウェアラブルな示指指尖部に圧覚刺激を与えるデバイスを開発し, 3 名の被験者に対し 2 次元モニター内に表示される奥行を持った仮想壁面を正しくなぞる補助ができることを確認した. 今後, デバイスによる介入効果がデバイス離脱後も持続することを示すことができれば, 内部モデルが働くローカル座標ともいえる, 身体表象への介入手法として提案することができると考えている.

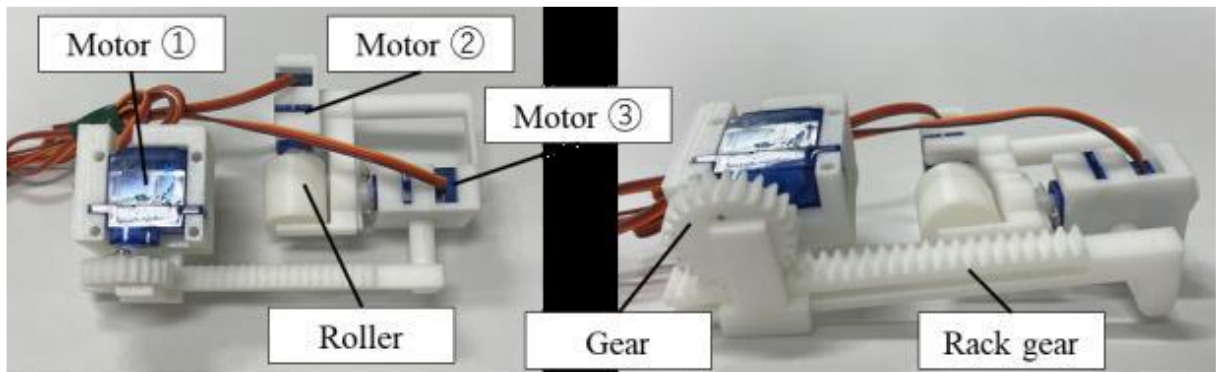


図 3 圧覚刺激提示装置。ウェアラブル型であり，将来的に剪断刺激装置と結合することを考えている。

3. 神経筋骨格系モデルを用いた EMG による運動予測

FES を用いて取得した NMSS モデルを用いて EMG から運動予測を行い，それを VR/AR 空間の仮想四肢に反映することで，EMG で操作する任意の特性を持つ仮想四肢が実現できるかを検証した。2 名の被験者の上腕二頭筋・上腕三頭筋に電極を貼り付け，それぞれ別の肘関節水平面内 1 自由度運動を行ってもらった。タスクは，被験者 A：肘関節屈曲 90° から目標地点のマーカまで (60° 程度伸展) 1 秒かけて肘を伸展させる運動を 20 回，被験者 B：2 点マーカ間 (50° 程度屈伸) を 2 秒と 3 秒周期で屈伸する運動を 40 秒間もしくは 60 秒間とした。EMG と関節角度を取得し，被験者 A は 1 回ごと，被験者 B は 3 周期ごとに切り出し平均化し，演算アルゴリズムに入力した。演算に用いるパラメータは任意とし，図 4 に示す通り良好な予測結果を得た。

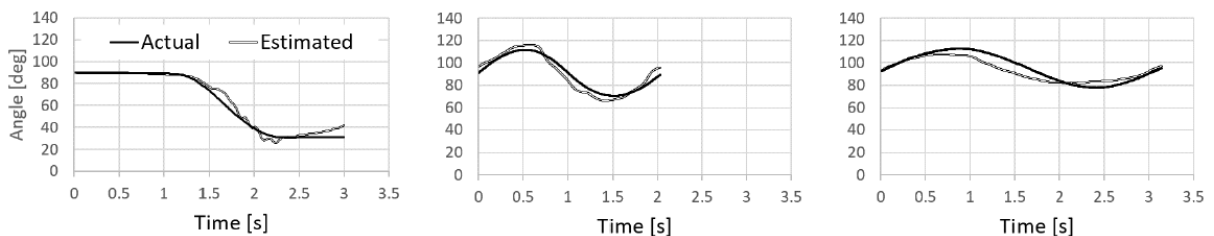


図 4 予測角度と実測角度は 3 つの例で $R^2 \geq 0.8$ で良く一致している。ここからパラメータ決定式係数群は任意だが，少なくとも角度予測ができ得る組み合わせがあることがわかる。

また，被験者 B において，パラメータの決定は 2 秒周期の結果で行ったが，異なる 2 タスクを 1 パターンのパラメータ決定式係数群で予測できている点も注目すべき点である。

キーワード：筋電図、バイオフィードバック、機能的電気刺激、内部モデル、リハビリテーション、仮想/拡張現実

研究経費（R3年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0円	62,756円	0円	0円	65,201円	127,957円

共同研究者等

(1) 共同研究者（氏名・所属）

無し

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

永井 美和・機能創成専攻・D2

下城 拓真・機能創成専攻・M2

奥野 真輝・機能創成専攻・M2

Gong Shuogang・機能創成専攻・M2

発表論文等（令和4年3月31日現在）

〔学会発表〕

1. 【査読有】松居和寛，安藤哲也，Gong Shuogang，永井美和，平井宏明，西川敦. “内部モデルの再学習を目的としたモデルベースの筋電図バイオフィードバックシステムに関する提案.” 第19回日本神経理学療法学会学術大会，2021年12月18-19日；オンライン開催：08-1.
2. 松居和寛，安藤哲也，Gong Shuogang，永井美和，平井宏明，西川敦. “筋協調を考慮した筋電図バイオフィードバックシステムの連続的な入力における角度計算精度検証.” 第10回日本支援工学理学療法学会学術大会，2021年12月4-5日；オンライン開催：a132-1.
3. 奥野真輝，松居和寛，下城拓真，厚海慶太，谷口和弘，平井宏明，西川敦. “二次元視覚情報下でのヒトの奥行き知覚能力の分析と触覚フィードバックの意義.” 第39回日本ロボット学会学術講演会，2021年9月8-11日；オンライン開催：1K2-04.
4. 松居和寛，平井宏明，西川敦. “機能的電気刺激により取得したヒト肘関節運動モデルを用いた筋電図による運動予測手法の検討.” 第60回日本生体医工学会大会，2021年6月15-17日；オンライン開催：03-6-3-5.
5. 【査読有】永井美和，松居和寛，厚海慶太，谷口和弘，平井宏明，西川敦. “協調的な機能的電気刺激を用いた中手指節関節運動のモデル化.” 第26回ロボティクスシンポジウム，2021年3月16-17日；オンライン開催：5C3.
6. 下城拓真，松居和寛，厚海慶太，谷口和弘，平井宏明，西川敦. “ヒトの指腹部へ触覚提示を行うデバイスの開発と知覚の定量化.” 第38回日本ロボット学会学術講演会，2020年10月9-11日；オンライン開催：2I3-02.

[その他]

1. 特許出願：PCT/JP2022/4796. 出願日 2022年2月8日.
2. 松居和寛. "表面筋電図および機能的電気刺激を用いた新しいバイオフィードバックシステムの研究." 第6回 大阪大学豊中地区研究交流会, 2021年12月21日; オンライン開催.
3. 特許出願：特願 2021-36935. 出願日 2021年3月9日.

外部資金獲得状況・申請状況

- ・立石科学技術振興財団 研究助成 (A) 採択 (研究期間：R3年4月1日～R4年3月31日)

参考となるHP等

<http://hmc.me.es.osaka-u.ac.jp/>