

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04192

研究課題名（和文）筋電位の時空間情報に基づく運動推定法の開発とその応用

研究課題名（英文）Development of a motion estimation method based on tempo-spatial information and its applications

研究代表者

小澤 隆太（Ozawa, Ryuta）

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：40368006

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、多点表面筋電極により手と手首の運動を推定するための新しい特徴量を提案し、その特徴量の解析とその応用に必要な技術の開発を行った。筋電モーメントと名付けたこの特徴量は、筋電極の取付位置情報を筋電位情報で重みづけたものであり、特徴量と運動の関係が直観的にとらえやすい特徴を持つ。複数の手の姿勢および手首の運動状態をこの特徴量を用いて解析し、分類可能性を示した。また、機械学習を用いることで、この特徴量から運動の判別が行えることを示した。また、多点での筋電計測を行いやすくするための装着型の多点筋電極の開発を行った。さらに、これらの技術を応用するための義手・ロボットハンドの開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、前腕などに取り付けた複数の筋電極から運動を推定するための新しい特徴量を提案した。この手法は、筋電義手や新しい入力デバイスを構成する際に重要な基礎技術となる。ここでは、この新しい特徴量が運動の識別を行うために、直観的でわかりやすい特徴を示し、機械学習などで動作識別が行えることを示した。また、計測するための筋電計測システムと応用先の義手などの開発も合わせて行った。

研究成果の概要（英文）：This study proposed new features for estimating hand and wrist motion with multi-point surface muscle electrodes. The features, named "myoelectric moments," are based on the position of the myoelectric electrodes weighted by the potential. We analyzed the features with the electrodes attached around the forearm during multiple hand postures and wrist movements. Then, we found that the myoelectric moments intuitively interpret the relationship between the features and the motions. We also employed machine learning methods to discriminate motion from these features. In addition, we developed a wearable multi-point muscle electrode to facilitate myoelectric measurement at multiple points. Furthermore, we developed prosthetic and robotic hands for the applications of myoelectric moments.

研究分野：ロボティクス

キーワード：筋電モーメント ロボットハンド 筋電計測装置 運動識別

### 1. 研究開始当初の背景

人間の運動意図を直接的に捉えるために筋電位のインターフェイスが広く研究されている。筋電位計測には侵襲・非侵襲型があるが、その手軽さから非侵襲型である表面筋電位法が広く利用される。表面筋電位は、1)多数の筋から発生する運動単位活動電位が時間的・空間的に重畳した干渉波形になる、2)個人差や疲労等による経時的な状態の変化により筋電位に不規則な時系列波形が現れる、3)皮膚表面に設置する電極のアーチファクトなどにより雑音混入や信号消失が起こる。そのため、計測された筋電位から意味のある情報を取り出し、運動を識別する方法が必要となる。

通常、筋電位は運動を司る重要な筋肉の付近に配置される。運動解析では、これらから得られる時系列信号に基づいて行われ、運動の推定精度の向上には一定区間のデータ取得が必要となる。これが運動の推定に時間遅れを生み出し、さらには運動予測を難しくする。これらの識別過程の困難さが筋電義手などの機器操作者にストレスを与える。

また、人間の動作は複数の筋が関係して活動するため、表面筋電位による計測箇所や点数が少ない場合、人間の各動作に対応した筋活動の様子を観察することが困難である。そのため、たとえば上肢や手の動作判別精度を上げるためには、筋電図から多数の特徴量を抽出する必要がある。しかし、計測電極を多く設定するにつれ、電極貼付の手間やそのための皮膚前処理など、必要な準備時間が非常に多くなる。

### 2. 研究の目的

本研究では、表面筋電位から運動推定の精度と速度の向上をするための新しい手法を開発し、これに基づく実時間での運動識別とその応用技術に関する研究を行うことを目的とする。

そこで、前腕全体を一つの仮想的な筋電位発生源としてとらえ、この筋電位発生源の動きや特徴を捉えるために筋電モーメントという新しい特徴量を提案する。この方法は、筋電位にその配置情報による重みづけを行うことで、これまでの筋電位の時間・周波数領域の解析問題を筋電位発生源の空間的特徴量の運動問題として捉える方法である。この方法により、筋電位から運動の実時間での推定・予測法とその応用について研究する。

### 3. 研究の方法

本研究で提案する筋電位の特徴量である筋電モーメントの具体的な解析手法を構築し、それを利用するための応用基盤を作っていく。主な研究項目は以下ようになる。

- (1) 筋電モーメントの基本的な性質と運動解析
- (2) 筋電モーメントによる運動識別
- (3) 無線ウェアラブル筋電システムの開発と評価
- (4) ロボットハンド(義手)の開発

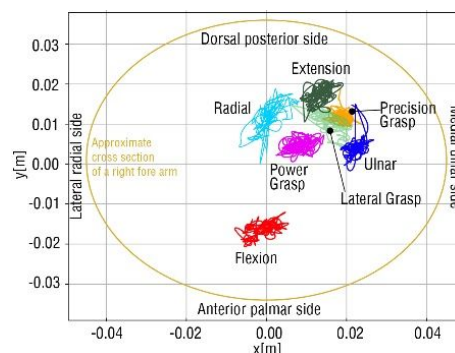


図1: 運動時の筋電1次モーメント

### 4. 研究成果

#### 4.1 筋電モーメントによる運動解析

##### 4.1.1 筋電モーメントによる識別可能性

筋電モーメントは、複数の表面筋電極の位置と筋電位から求まる特徴量である。筋電0次、1次、2次モーメントはそれぞれ筋電位の単純和、取付位置に筋電位で重みつけた重心位置、重心周りの取付位置の筋電位重み付き2乗和となる。把持・手首屈曲動作時に前腕近位部の周囲に8個の筋電極から得られた筋電1次モーメントを図1に示す。各動作はほぼ分離して点在しており、姿勢識別のしやすい特徴量であることがわかる。

##### 4.1.2 把持における内力と筋電モーメント

同じ把持姿勢でも把持力が変わると筋の状態が変わる。図2は、3指把持時の筋電2次モーメントである。赤は脱力した状態、黄は把持開始時、緑は最大把持力発揮時である。内力上昇に伴い、状態が左下から右上に移る。このように、筋電2次モーメントは内力との関連性が高いことが分かった。

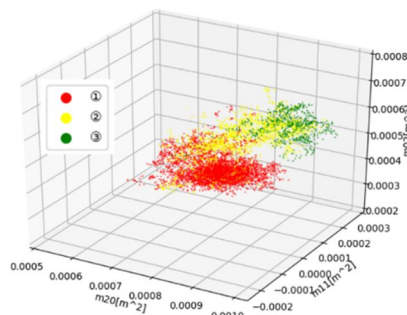


図2: 内力上昇と筋電2次モーメント

### 4.1.3 手首運動と把持動作

図3のように、手首を連続的に回転させ、その時の手首の回旋方向の角度と屈曲方向の角度（右図）と筋電1次モーメント（左図）の関係調べた。実際の手首データの方に計測ノイズによるずれなどが観測されるが、筋電モーメントとの位相構造がうまくとれていることが分かる。これから、手首の連続的な運動も視覚的に確認することができる。

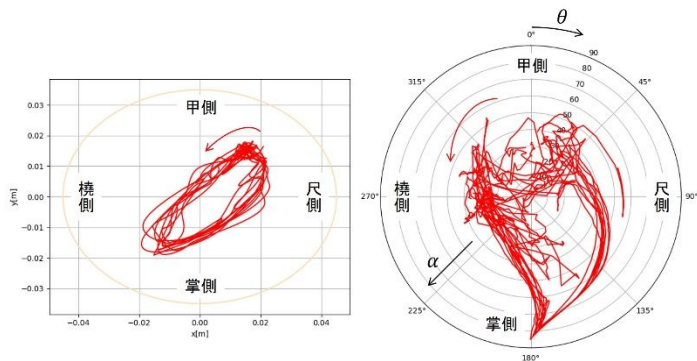


図3：筋電1次モーメント手首運動

## 4.2 筋電モーメントによる運動識別

### 4.2.1 SVMを用いた把持形状識別

4.1.1節で計測された4つの把持姿勢に対して、筋電0次、1次モーメントを入力とするサポートベクターマシンを構成し、8名の健常者を対象として静的把持姿勢の識別を行った。このうち6名は97%以上、2名は90%以上の高い識別率で判別可能であった。

### 4.2.2 DTWとk近傍法によるリーチング動作の識別

義手等を用いて物体へ近づく際、物体に対する掌の向きを決定する問題は重要となる。そこで、把持姿勢3種と到達方向3種の9種類の組み合わせについて、加速度センサ単体と加速度センサと筋電位から推定するために距離の尺度として Dynamic Time Warping (DTW)を用いたk近傍法による推定を行った。この結果、加速度データ単体と比べ、筋電データを組み合わせると10%以上の推定精度が良くなることが分かった。

### 4.2.3 筋電モーメントの混合自己回帰モデルによる認識アルゴリズム

0次から3次の10次元の筋電モーメントベクトルを入力とした混合自己回帰モデルを用いて、筋電モーメントからの運動中の掌背屈の自動識別を行う方法を提案した。混合自己回帰モデルの推定にはEMアルゴリズムを用い、混合比と自己回帰モデルのパラメータ、データの所属確率を推定する。

提案アルゴリズムの有効性を確認するために筋電位信号から積分筋電位を計算し、積分筋電位から混合自己回帰モデルにより動作認識する方法と、筋電位信号から筋電モーメントを計算し、筋電モーメントから混合自己回帰モデルにより動作認識する方法を比較した。図4は計測した筋電位信号を認識した結果を示しているが、右図のIEMGの認識結果は動作が頻繁に切り替わっており、正しく認識されていない一方で、左図の筋電モーメントの認識結果は、背屈が赤、掌屈が青に認識されていることがわかる。この結果のように、筋電モーメントから自己回帰モデルにより動作を認識する有効なアルゴリズムが提案できた。

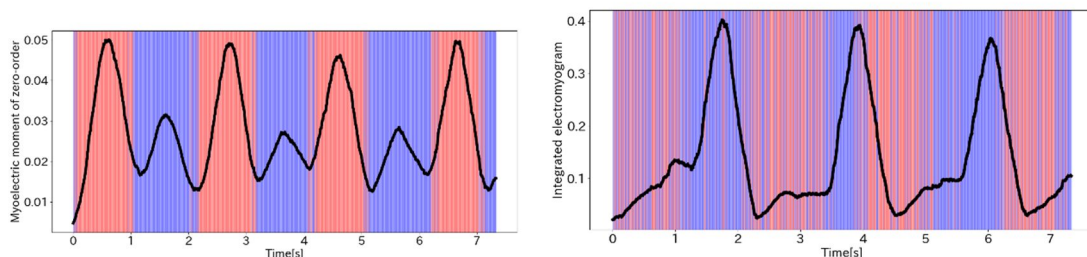


図4：自己回帰モデルによる掌背屈動作の識別（左：0次モーメント、右：積分筋電位）

## 4.3 無線ウェアラブル筋電システムの開発と評価

### 4.3.1 ウェアラブル電極の開発

複数の電極の配置を一度に簡単に行えるウェアラブルな筋電図計測デバイスの開発を行った。このウェアラブル電極は、電極皮膚接触部には導電性エストラマ、絶縁層にホットメルト付きポリウレタンシート (MF10F33MTS, TOYOBO, Osaka, Japan) (以下PUシート) を使用することで、非平面な接触面にも対応することができ、複数の電極を一つの布に取り付けることができる。電極部とリード線の接続にはバネホックボタン(11.5[mm]×4.5[mm], SEIWA, Tokyo, Japan) を使用した。個々の電極は、図に示すように、絶縁用PUシートで導電性エラストマを挟むように重ねて圧着すること



で形成し、図5のようなスリーブ型とバンド型の二つのウェアブル電極を開発した。開発したウェアブル電極の評価を行うために市販されている筋電図用電極(ディスプレイ電極)との比較実験を行った。ここでは、計測した筋電図から、2048 サンプルを抽出し FFT によって周波数解析、これらをパワースペクトルで比較した。開発したバンド型電極についての比較実験の結果を図6に示す。右図(市販電極)と左図(開発したバンド型電極)の形状の比較により、周波数特性および Power が同等の性能を持つことが確認された。スリーブ型でも同様な結果が得られた。



図5：開発したウェアブル電極、スリーブ型(左)、バンド型(右)

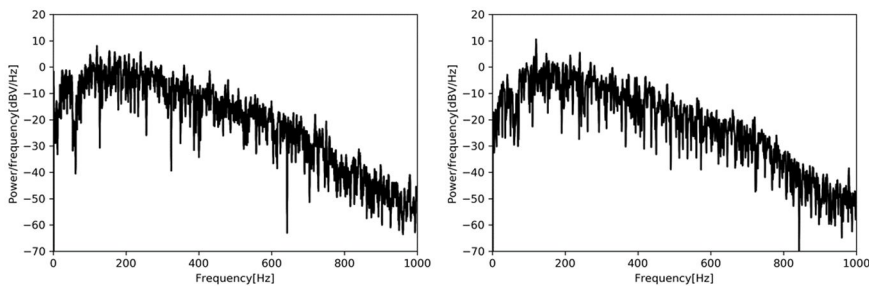


図6：同時計測した筋電図周波数解析結果 市販電極(左)、開発スリーブ型電極(右)

#### 4.3.2 筋電位の増幅回路および Bluetooth による無線回路システムの開発と評価

多チャンネルに対応するため、筋電位増幅回路を自作し、Bluetooth により無線通信可能な筋電図計測システムを開発した。また、図7のように、操作性の観点から Android で操作可能な計測アプリも開発した。このアプリは最大6チャンネルまでグラフで表示でき、記録データを端末内に CSV ファイルで出力することができる。これにより計測した情報をもとに筋電図の値を評価する実験を実施した。この結果を図8に示す。スリーブ型およびバンド型の電極アレイを前腕に装着した際に、活動筋の特徴が捉えられていることがわかる。

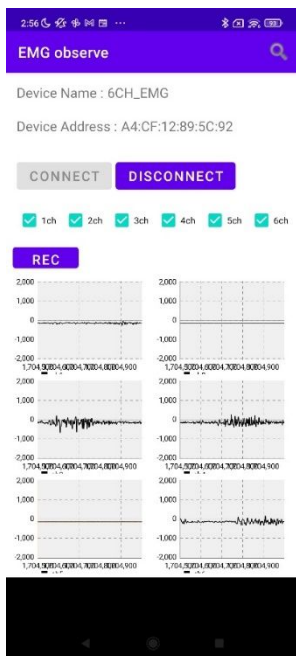


図7：Android  
インターフェイス

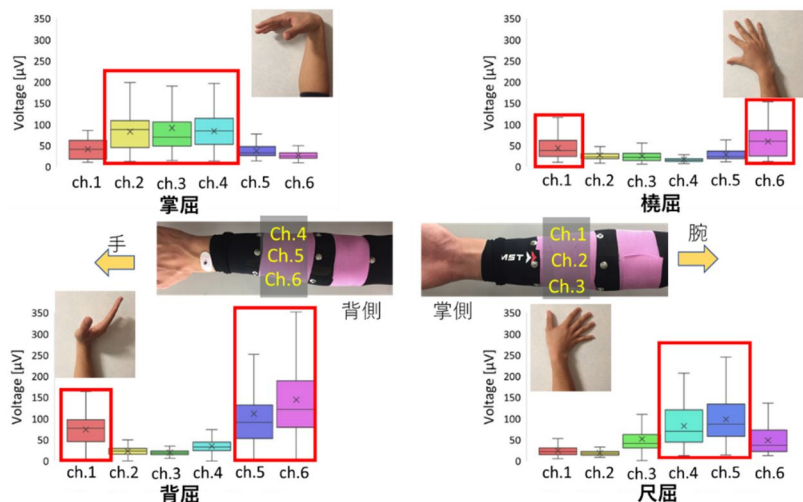


図8：各手首姿勢における筋電図 RMS 値

## 4.4 ロボットハンドの開発

### 4.4.1 小児用義手の開発

運動識別結果を実装するプラットフォームとして図9に示すような2種類の電動義手の開発を行った。左の成人男性の手との比較からわかるように、これらのハンドは子供用の義手である。関節の幾何学配置を変えた二つのロボットハンドを構成した。これらの小型義手は、軽量化のため、関節に劣駆動機構を採用しているが、母指・示指・残りの指が独立に駆動できる。

下中図のロボットハンドは、人型の多指ハンドによくみられるように、CM関節をほぼ立てた状態での構成となっている。この場合、側面把持と精密把持を行うような対向状態を簡単に作れるものの、把持動作に母指球が有効に使えないことが分かった。そこで、下右図のようなCM関節を傾けたロボットハンドを開発した。このハンドは、母指球と対抗する指との間の対向性が向上しているため、通常関節配置のハンドではつかめなかった大型の物体を確実に把持することができるようになった。

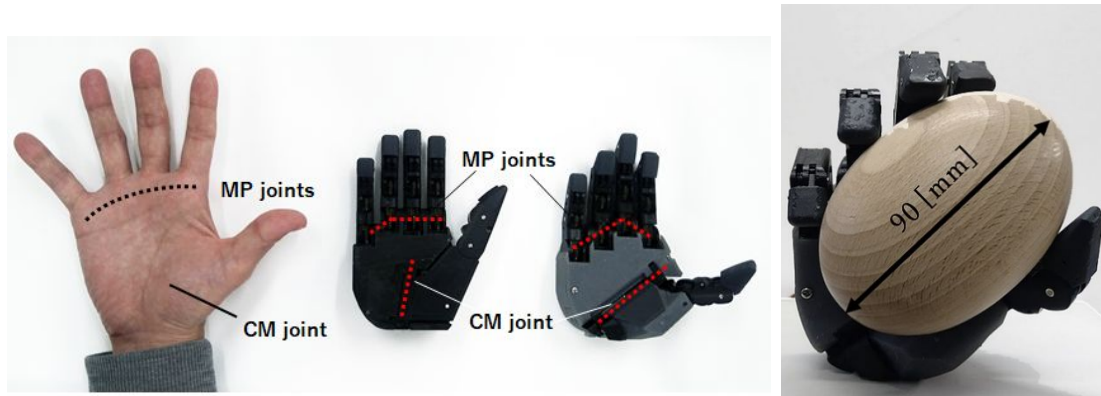


図9：開発した子供用義手とその把持姿勢。

### 4.4.2 可動皮膚構造をもつロボットハンドの開発

義手以外のプラットフォームとして図10のような4指のロボットハンドの開発を行った。このロボットハンドは、成人男性とほぼ同等のサイズをもつ。把持対象物のクラスを広げるため、母指球と手掌の部分が可変構造をもたせることで把持能力を向上させることに成功した。例えば、母指球は初期状態で図10中のような状態になっており、コップをつかむとその把持力により母指球が受動的に図10右の状態に変化し、物体の形状への適応性が向上しているのが分かる。

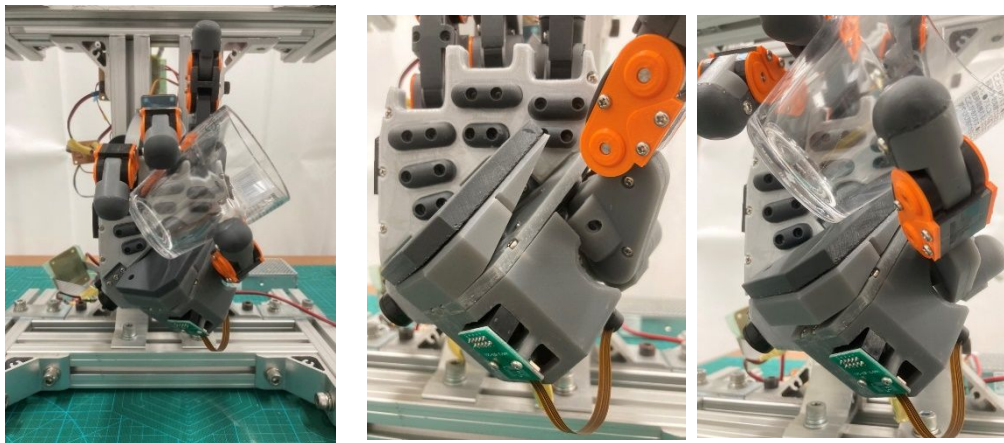


図10：可動皮膚構造をもつロボットハンド

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 栗本幸典, 岡田志麻, 王天一.
2. 発表標題 日常動作アシストを目指した上肢筋の筋疲労検出
3. 学会等名 看護理工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池永貴一, 小澤隆太
2. 発表標題 把持動作における内力の筋電モーメントへの影響
3. 学会等名 SI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天野健人, 福永修一, 小澤隆太
2. 発表標題 DTW距離とk近傍法を用いた腕の運動の識別
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Katsumaru, R. Ozawa
2. 発表標題 Design of 3D-printed assembly mechanisms based on special wooden joinery techniques and its application to a robotic hand
3. 学会等名 IEEE Int. Conf. on Robotics and automation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野井 親良, 岡田 志麻
2. 発表標題 筋電義手の機能拡張のための上腕筋による前腕動作推定手法の検討
3. 学会等名 第63 回 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田 千歌, 岡田 志麻, 牧川 方昭
2. 発表標題 前腕の隆起/陥没変化の計測による手の動作識別デバイスに生じる装着圧の問題の解決
3. 学会等名 第63 回 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tamon Maeda, Shima Okada
2. 発表標題 Development of Grasp Force Estimation Glove for Finger Assist Hand
3. 学会等名 the 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福永修一, 太田竜正, 小澤隆太
2. 発表標題 筋電センサとIMUセンサを用いた腕の運動の識別
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 興柏展明, 小澤隆太
2. 発表標題 歯車列機構による子供用劣駆動義手の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池永貴一, 小澤隆太
2. 発表標題 筋電モーメントを用いた手の運動解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 彰吾, 小澤 隆太
2. 発表標題 受動皮膚構造を持つ劣駆動ロボットハンドの開発
3. 学会等名 SI2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	岡田 志麻  (Okada Shima)  (40551560)	立命館大学・理工学部・教授   (34315)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	福永 修一  (Fukunaga Shuichi)  (70402518)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授     (52605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関