

テーマ 2. ロボットアームを操ろう

姜 銀来

電気通信大学 脳科学ライフサポート研究センター

1. 背景と目的

肢体の筋肉は関節をまたいで骨とつながり、筋肉の収縮によって肢体の運動がおこる。随意運動（自分の意図に基づく運動のこと）を行うときに、脳からの運動指令を電気信号として筋肉に伝わり、運動神経と筋繊維と接続するところで活動電位が発生する。この活動電位は筋電と呼ばれ、筋繊維上での大きさが 90 mV で、皮膚表面で計測する場合は数 μ V ~ 数 mV 程度である。表面筋電図（sEMG : surface Electromyography）を計測し、その信号特徴から筋収縮の状態を計測することができる。従って、ヒトが手を握った、手首を曲げた、といった運動意図を読み取ることができる。また、皮膚表面から簡単に計測できることから、ヒトの運動意図を外部機器に伝え、制御するための非侵襲型マンマシンインターフェースとして多くの実用的な研究がなされてきた。

特に、sEMG は義肢装具、リハビリの分野で注目されてきた。事故や病気などで四肢に障害が発生した場合、日常生活において多大な障害が発生する。これに対し、残存する筋肉の筋電位によって人の運動意図を読み取って、その意図をロボットに代替・補助してもらうことにより、日常生活動作の再建が期待されている。図 2 には、電気通信大学脳科学ライフサポート研究センターで開発された多自由度筋電義手である。ワイヤ牽引駆動を利用することで手部の重量を抑えながら、1 kg の物体を把持できる。

本演習では、生体信号の計測・解析・応用を理解するために、基礎的な sEMG の計測や運動意図の推定手法に関する講義及び演習を行い、sEMG 信号で人型ロボットアームを制御することを体験する。

2. 実験機材と方法

2.1 ワイヤ干渉駆動型ロボットアーム

現在、市販されているロボットアームの多くは、回転軸一つにモーターを一個付けて、直接駆動する方式でコントロールされている。現状では、図 3 に示した人の上肢の 7 自由度動作を再現できるロボットアームは、サイズが大きく自重も重い。ペーロードの向上と、軽量化、小型化を実現できる新たな駆動方式の開発が必要である。

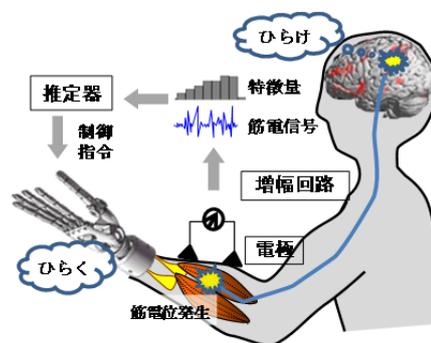


図 1 筋電で動かすロボットハンド（筋電義手）



図 2、電気通信大学の多自由度・高出力な筋電義手

本研究室は、ワイヤ干渉駆動を使って、モーターと回転軸との関係は1対1ではなく、多対多にしてワイヤ結合により一つの回転軸を駆動するには複数のモーターの力を利用できるようにする。ワイヤ干渉駆動のメリットとしては、①ワイヤは弾性を持つため、機構はより柔軟であり、衝突が緩和される。②ワイヤは歯車やベルトより軽いいため機構の軽量化ができる。③モーター配置の選択肢が多く、機構設計の自由度が高くなる。

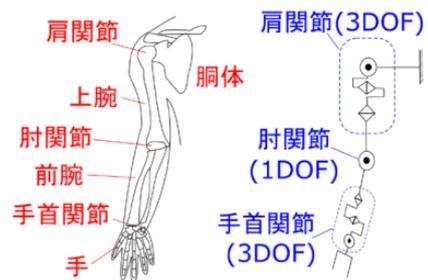


図3. 上肢の関節(左)とリンクモデル(右)

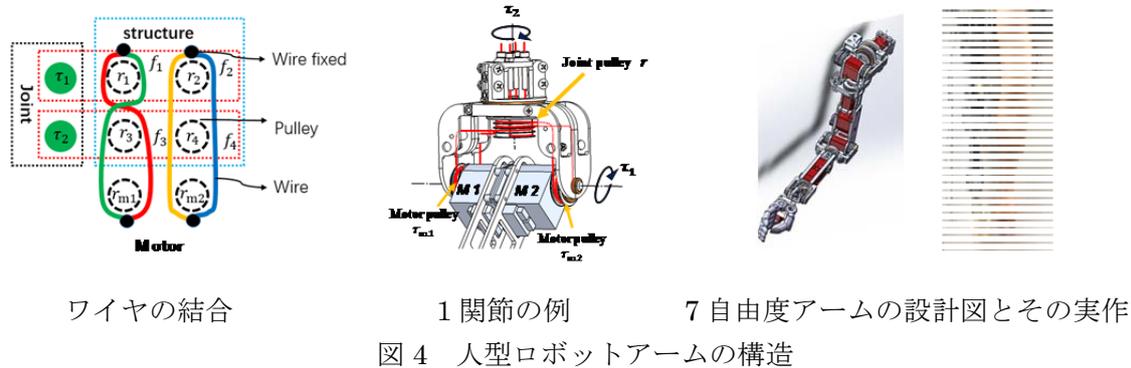


図4 人型ロボットアームの構造

図4に本研究室で開発された人型ロボットアームを示す。このロボットアームは、人の腕と同じく7自由度を持ち、人の腕の動作をすべて再現できる。アーム全体の重量が2.2 kgで軽量でありながら、1.5 kgの物体を持ち上げられ高出力を実現できている。同じ自由度とペーロードのアームとして世界一軽量である。

2.2 sEMG 信号の計測

sEMG の測定に使用する電極には直接皮膚に接触させる乾式電極、粘着性のあるゲルやペーストを使用し接着させる湿式電極などがある。筋電制御には一般的に繰り返し利用できる乾式電極が用いられる。金属製の乾式電極は皮膚と電極の接触が不安定であり、sEMG を安定して測定できないという課題がある。この課題に対して、皮膚と電極を密着させることが可能である導電性シリコン材料を用いて、図5に示す電極を開発した。さらに複数の電極を伸縮バンドに固定して、切断者でも片手で装着できるようにした。

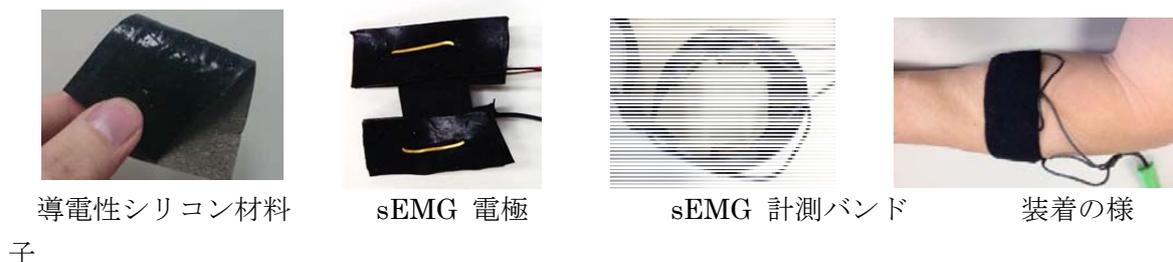


図5 導電性シリコンを用いた sEMG センサ

2.3 sEMG 信号の解析と識別

sEMG から運動意図を推定する手法は様々提案されている。既存の筋電義手の多くは sEMG の振幅を利用し、一定の閾値を超えた時に動作する。閾値を超えた振幅の大きさと速度や力強さを制御する比例制御と、閾値を上回った時を 1, 下回っている時を 0 として符号化し、これにより動作に対応付けられたコマンドを入力することで制御を行う符号化の 2 方法が一般的である。

これらの手法は sEMG の振幅のみを用いるためノイズに強く、アルゴリズムが極めて簡便で計算量も少ない。一方で、比例制御は複数の運動を識別することができず、手指の握り・開きといった 1 動作のみの制御に限られる。また、符号化では比例制御と異なり様々な動作を操作することが可能であるが、同時に複数の動作を行うことはできず、また目的の動作に必要なコマンドの一覧を使用者が記憶する必要があるなど、様々な問題を抱えている。

これらの制御手法に対して、近年ではパターン識別を利用した意図推定法が提案されている。sEMG の振幅に加えて周波数特性を特徴量とした教師あり機械学習を利用したパターン識別を用いている。図 6 に手首と手指の動作を行うときに、二か所 (Ch1 と Ch2) で計測された sEMG 信号の周波数特性を示す。カラーマップの横軸は時間、縦軸は周波数、カラーが赤いほど、その時の sEMG 信号の特定の周波数が強いと意味している。カラーマップの隣にある横の棒グラフは、各周波数領域の平均強さを示している。図 6 に示しているように、手首及び手指の動作時、二か所の sEMG 信号の周波数特性がはっきり異なるようになる。つまり、sEMG 信号の周波数特性から動作のパターンを推定することができる。

識別を行う前に、あらかじめ各パターンの筋電特性をデータとして筋電コントローラに

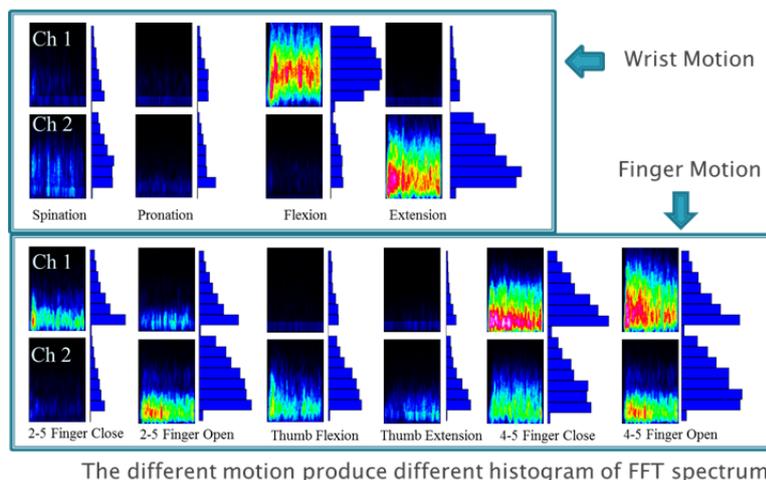


図 6 手指や手首の運動と sEMG の周波数特性

学習させる。識別時の sEMG は特性のもっとも近いパターンを識別し、制御命令としてロボットアームに送る。なお、この筋電コントローラは、手の握り・開き、手首の掌屈・背屈などの離散的な動作を推定しており、連続的な運動情報 (位置, 速度, 角度など) を推定できない。

実験手順

3.1 ロボットアーム動作の体験

sEMG でロボットアームを制御する前に、マスタースレーブ制御によりロボットアームの動作を体験する。図 7 に示すように、マスターのヒトの上腕，前腕，拇指，四指にモーションセンサを取り付け，上肢の動きを計測する。計測した動きをそのままスレーブのロボットアームに実行させ，ヒトの上肢と同じ動きをさせる。関節の動きを観察し，ワイヤ干渉駆動のメカニズムを理解する。

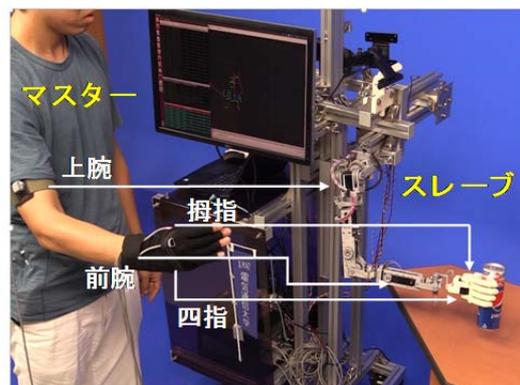


図 7. マスタースレーブ制御による物体把持

3.2 sEMG 信号によるロボットアーム制御

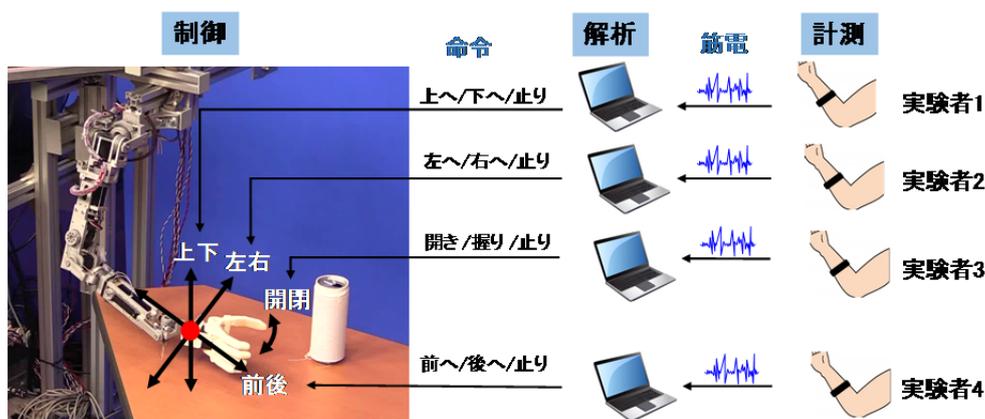


図 8 筋電制御の概要

図 8 に示すように，複数の被験者の sEMG 信号でロボットアームを制御し，物体の把持と移動を行う。

まず，sEMG 計測バンドを前腕に取り付ける。sEMG センサの設置場所は非常にシビアなため，TA と相談しつつ適切な場所を探すこと。sEMG センサの装着を終えたら，計測用 PC に sEMG センサを接続して，正常に sEMG が計測できていることを確認する。

次に，2.3 節で説明したように，ロボットアームを動かすには，事前に教師あり学習を行う。TA の協力の下で，実験者の sEMG 信号を其々手首の 3 次元（上下・左右・前後）動作及び手の握り・開きの命令として，PC の識別プログラムを学習させる。

上記の準備ができたら，物体の Pick-and-Place 実験を行う。Pick-and-Place 実験では，sEMG によるロボットアーム制御で，物体を把持し，持ち上げ，指定されたエリアからエリアへ把持物体を移動したのち，落下させることなく把持物体を降ろす一連のタスクを制限時間内に行えるかを計測する。この実験では，実験システムを構成するロボットアーム，PC のアルゴリズム，センサが全て正常に動作する上に，実験者間のチームワークも不可欠である。

3. 課題

次の課題について調べよう.

- 4.1 ロボットアームを人の腕のように自由自在に動かせるように, どんな機能が必要でしょうか.
- 4.2 ロボットアームに感覚機能を付けたら, その感覚をどうやって人に感じさせることについて考えて見よう.