

# 生体信号を用いたユーザ指向型上肢トレーニング装置の開発

佐野翼\*1, 加藤誠基\*1, 大林千尋\*2, 藤尾三紀夫\*3

## Development of User-oriented Upper Limbs Training Equipment using Biosignals

Tsubasa Sano\*1, Tomoki Kato\*1, Chihiro Obayashi\*2, Mikio Fujio\*3

Recently, each year swells the numbers of elderly people. Elderly people are susceptible to lifestyle diseases such as dyslipidemia and diabetes. Light-load resistance exercise training is recommended as a prevention of lifestyle diseases of elderly people. However, it is difficult for beginners of exercise training to do training by themselves. The choice of the appropriate load and method is important for effective exercise training. For the reason, a system that can conduct effective exercise training even with the elderly alone is needed. Therefore, in this study, we made a prototype of the device that enables proper exercise training using bio-signals with the theme of isometric contraction movement of the right wrist.

Key Words: Surface EMG, Isometric exercise, Lifestyle diseases

### 1. 背景と目的

近年, 日本では高齢者の人口が増加し続け, 超高齢化社会となっている. 高齢者になると免疫力や抵抗力が低下するため, 病気を患い介護を必要とする高齢者の数は年々増加している[1]. 高齢者の患いやすい病気として, 糖尿病や脂質異常症などの生活習慣病が挙げられ, これら生活習慣病を患う高齢者の数も年々増加している[2].

これらは, 習慣的に運動を行うことで予防が可能であり, 予防目的の運動の1つとして低強度から中強度の筋力トレーニングが推奨されている[3]. 初心者が筋力トレーニングを行う際, 1人で適切なトレーニング内容を把握し, 実行することは困難である. そのため, 初心者がトレーニングを効果的に行うためには, 有識者による指導を受けることが必要とされる. しかし, 超高齢化社会の現代において, 高齢者1人ひとりに対して1対1のテーラーメイド指導を行うことは非常に困難である. そのため, 人間に代わって筋力トレーニング初心者に効果的なトレーニングの指導を行うことのできるシステムの需要が高まっている. そこで本研究では, トレーニングシステム利用者(ユーザ)の能力や状態をもとに, ユーザに与える負荷量の調節やユ

ーザへの情報提示を行うトレーニングシステムの開発を目的とし, システムの設計, 試作および動作試験を行った.

### 2. システム概要

#### 2. 1 トレーニング内容

本トレーニングシステムで行うトレーニング内容は, 右手首のアイソメトリックトレーニングとした. アイソメトリックトレーニングとは, 筋肉が収縮した状態を維持し続けることで筋肉に負荷を与えるトレーニング方式であり, 効率よくトレーニングを行うことができ, 狭い範囲で少しの動作でトレーニングが可能であるという特徴があるため, 動作の指導が容易である. また, トレーニングを行う部位を上肢とすることで, 足に障害を持つ人でも問題なくトレーニングを行うことができると考え, 本トレーニング内容とした.

#### 2. 2 トレーニング方法

トレーニングの動作を1動作のみとし, トレーニングでユーザに与える負荷量を変化させることで, ユーザそれぞれに適したトレーニングとなるように調節する. トレーニングはユーザが座った状態でを行い, ユーザには右手でハンドルを握ってもらう. ユーザの手の甲の方向へハンドルを引っ張る力を与え, それに対して右手首の力を使って抵抗してもらうことでトレーニングを行う. この動作で, 力がつり合いハンドルの位置が静止している状態を維持し続けることで, 筋肉が収縮した状態を維持することとなり, 右手首のアイソメトリックトレーニングとなる. ユーザに与える負荷量の調節は, ハンドルを手の甲の方向に引っ張

\*1 専攻科 Advanced Course

\*2 電子制御工学科

Department of Electronic Control System Engineering

\*3 御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering

る力を変化させることで実現する。

本システムでは、トレーニングの開始と終了のタイミングとユーザの発揮する力の目標値（目標負荷量）の指定はユーザが操作する仕様とした。またシンプルなトレーニング内容であるため、ユーザの発揮している力（発揮力）を測定することでユーザの能力をおおよそ把握することができる。しかし、発揮力だけではユーザがどのような動作で力を発揮しているかを把握することができないため、ユーザが無理な動作でトレーニングを行うことで怪我の原因となる可能性があると考え、発揮力の他にユーザの能力と状態を把握するデータとして、右腕前腕部の表面筋電位を用いることとした。表面筋電位とは、特定の筋肉の活動電位の総和を測定したものであり、ユーザが測定している筋肉をどの程度使用しているかを把握することができる。そのため、トレーニングを正しい動作で行う際に使用する筋肉の表面筋電位を測定することで、ユーザが正しい動作でトレーニングを行えているかどうかを把握することが可能となる。本システムのトレーニングでは手首を屈曲する動作を行うため、表面筋電位を測定する筋肉部位を手首の屈曲時に収縮する筋肉である尺側手根屈筋とした。

### 3. トレーニング装置の構成

#### 3. 1 ハードウェアの構成

試作したシステムのトレーニング装置のハードウェアの構成図を図1に示す。矢印はデータの流れ、直線はワイヤーを示している。試作したトレーニング装置の写真を図2に示す。装置の大きさは横 80cm×幅 50cm×高さ 20cm であり、机に置いた状態で使用する。装置全体の骨組みにはアルミ角材やアクリル板などを用い、ハンドルやモータマウンドなどの部品は、3DプリンタにてABS樹脂で造形した。図2の右下にある台座は、ユーザの上肢を固定するためのものであり、取り付けられた2本のバンドを用いてユーザの上肢を固定する。

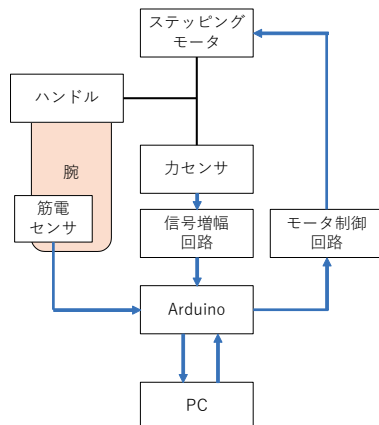


図1 ハードウェア構成図

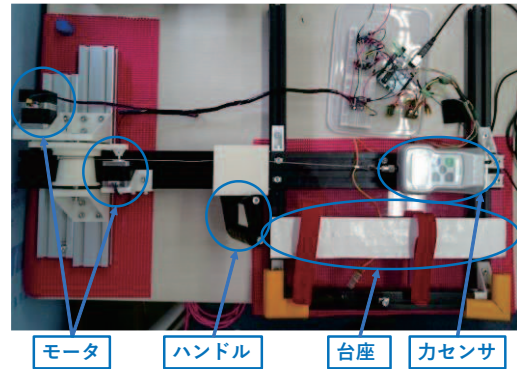


図2 トレーニング装置

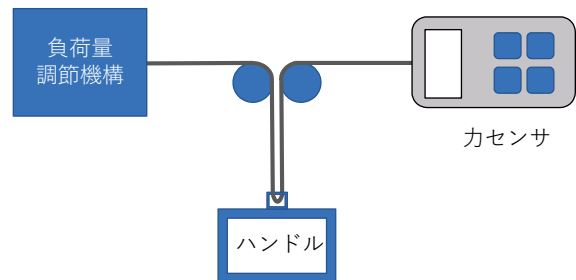


図3 ワイヤ回転機構

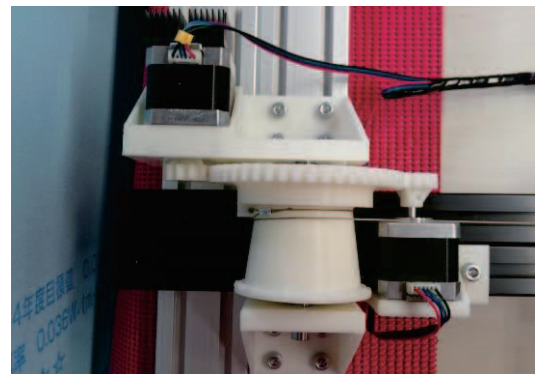


図4 負荷量調節機構

台座の付近にトレーニング用のハンドルが設置されており、図3に示すワイヤ回転機構を通して負荷量調節機構とカセンサ(FGP-50)にワイヤーで繋がっている。本システムでは、負荷量を調節するアクチュエータとして制御が容易であるステッピングモータ(42H4062-23)を用いた。ワイヤ回転機構を通すことによって、発揮力の測定と負荷量の調節を同時に行うことができる。また、ステッピングモータには保持トルクの上限が低いという問題点があるため、ユーザがハンドルを引っ張った力を2方向に分散させることで、ステッピングモータにかかる力を半分にし、トレーニング可能な負荷量の最大値を向上させた。

本システムの負荷量調節機構を図4に示す。本機構でも、発揮力に対する最大保持力を増加させるための設計を行った。具体的には、ステッピングモータを2個使い、ステッピングモータ側の歯車とワイヤー巻き取り側の歯車の比を、1:8としてステッピングモータにかかる力を低減させる構造とした。

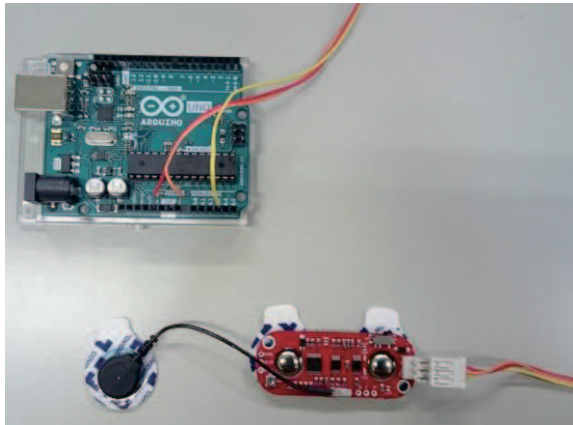


図5 MyoWare

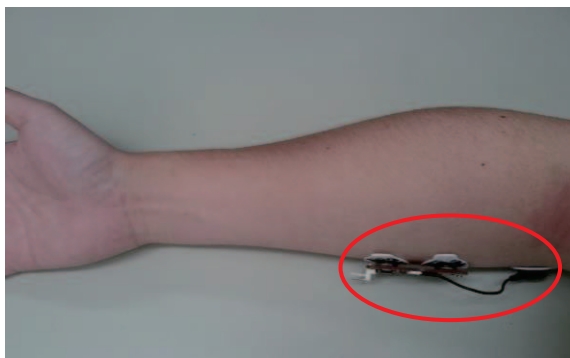


図6 MyoWare 設置例

開発したシステムでは、表面筋電位を計測するセンサとして SparkFun 社の MyoWare を用いた。MyoWare は、基準電極 1 つと測定電極 2 つの合計 3 つの電極で構成される筋電センサである。ジェル素材のセンサパッドを用いて各電極を皮膚表面に設置する。構造上 2 つの測定電極の距離は固定されており、2 つの電極で測定した筋電位が打ち消しあうことを防ぐために測定電極の片方を測定対象の筋肉の中央に設置する。MyoWare は、未加工の表面筋電位の他、整流平滑化処理後の値を出力する機能があり、Arduino を用いてデータを取得できる。本システムで用いた MyoWare を図 5 に示す。また、MyoWare の尺側手根屈筋への設置例を図 6 に示す。

### 3. 2 ソフトウェアの構成

試作したソフトウェアの処理フローを図 7 に示す。トレーニングの開始命令から終了命令までの間、MyoWare で取得した表面筋電位の波形と力センサで取得した発揮力の値を表示し、同時に発揮力が指定内であるかに応じてステッピングモータの保持、正転、逆転の制御を行う。

ステッピングモータの制御プログラムは Arduino IDE を用いて作成した。力センサで取得した値（ $-200\text{N} \sim 200\text{N}$ ）は、信号増幅回路と Arduino を通して、 $0 \sim 1024$  のシリアルデータに変換される。負荷量の調節は、このシリアルデータの値を基準に行い、シリアルデータが

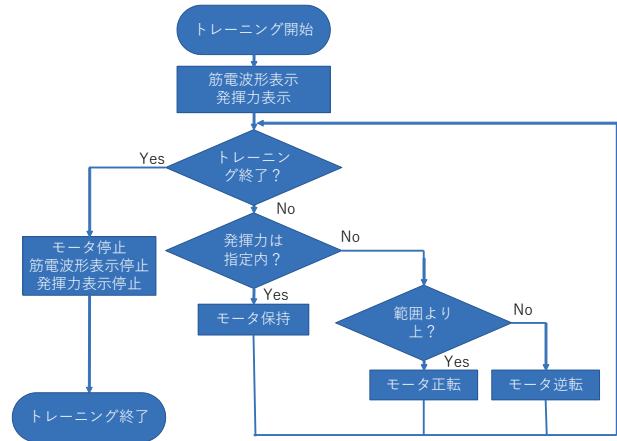


図7 ソフトウェア処理フロー

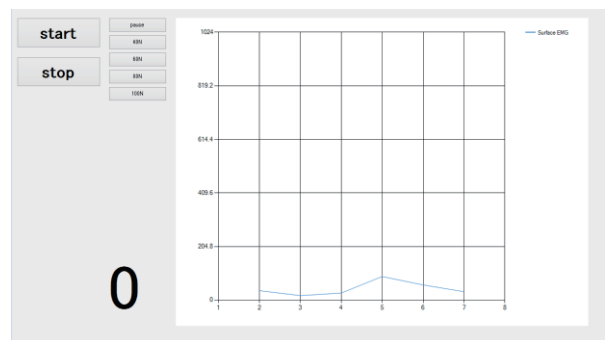


図8 操作画面

目標負荷量の範囲を外れた場合、ステッピングモータを回転し、ワイヤーの長さを変化させることでユーザに与える負荷量を調節する。本システムでは、目標負荷量よりユーザの発揮力が低い場合はワイヤーを短くすることでユーザに発揮力を多く必要とさせ、逆に発揮力が高い場合はワイヤーを長くすることで必要とする発揮力を少なくするようにステッピングモータを制御する。

作成した GUI アプリケーションの操作、データ表示画面を図 8 に示す。このアプリケーションでは、トレーニングの開始、終了命令と目標負荷量の調節の操作や発揮力と表面筋電位の表示を行う。操作画面左上にある「start」ボタンを押すと、トレーニングが開始され、「stop」ボタンを押すとトレーニングが終了する。開始、終了ボタンの右に並んでいる 5 つのボタンで、トレーニングの一時停止と、ユーザに指定する発揮力の指定ができる。今回のアプリケーションでは、負荷量を  $40\text{N} \sim 100\text{N}$  まで  $20\text{N}$  刻みで指定できるようにした。また、右側のグラフに筋電センサで取得した整流平滑化処理後のデータをリアルタイムで表示する機能を実装した。本機能では、トレーニングが開始されると表面筋電位の表示が開始され、トレーニングが終了すると表面筋電位の表示が停止する。これにより、ユーザが力を発揮する際に想定通りの筋肉を使っているかどうかを把握するための情報提示を行う。また、ユーザに関する情報はアプリケーション画面のみで全て把握

できるようにするため、発揮力の値もアプリケーション画面の左下に表示するようにした。

また、トレーニング開始から終了までのトレーニング時間と力センサで取得したデータ、筋電センサで取得したデータをまとめてCSVファイルに保存し、トレーニング内容を管理する機能を実装した。

#### 4. 動作試験

##### 4. 1 トレーニングシステムの動作試験

試作したトレーニングシステムが正常に動作することを動作試験にて確認した。動作試験の様子を図9に示す。動作試験は、一番低い目標負荷量である40Nから開始し、それぞれの目標負荷量のトレーニングにおいてトレーニングが問題なく行えるかどうかを確認した。動作試験の結果、目標負荷量が60Nのトレーニングまでは正常に実施できることが確認できた。しかし、ユーザの発揮力が80Nを上回るとステッピングモータの保持トルクを上回りステッピングモータが脱調してしまう問題が発生した。そのため、現状のトレーニングシステムでは、目標負荷量は60Nが限界であることが分かった。

##### 4. 2 MyoWare の動作試験

筋電センサ MyoWare が正常に動作することを動作試験にて確認した。動作試験では、トレーニングシステムの動作である右手首の屈曲と伸展を繰り返し、MyoWare で取得した尺側手根屈筋の表面筋電位の値が動作に応じて変化することを確認した。動作試験で得られた表面筋電位の

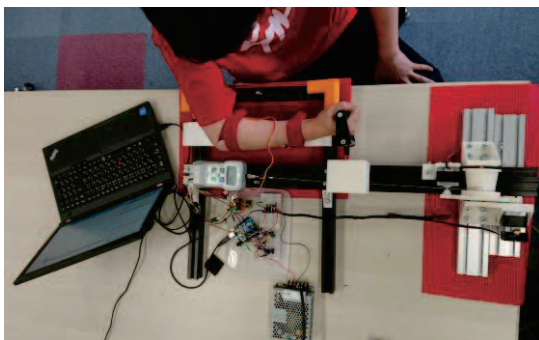


図9 トレーニングシステムの動作試験

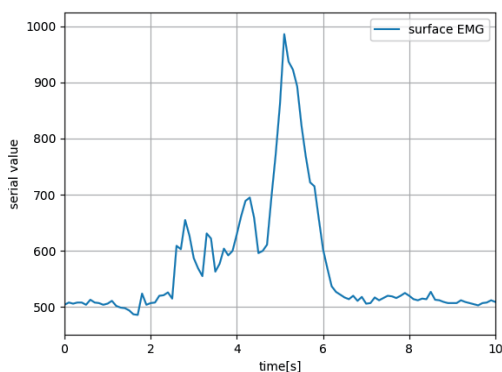


図10 MyoWare の動作試験

一例を図10に示す。中央にあるピークが筋収縮時の筋電波形であり、それ以外の一定の値を保っている部分が筋弛緩時の筋電波形である。このように動作試験の結果、MyoWare を用いて筋活動に応じた表面筋電位を測定できることを確認できた。

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、高齢者の生活習慣病予防を目的として高齢者が1人で筋力トレーニングを行うことを想定した、トレーニング内容をユーザに合わせて調節する機能を持つ筋力トレーニング装置の試作を行った。トレーニングシステムの動作試験の結果、トレーニング可能な目標負荷量の上限はあるが、負荷量をユーザに合わせて調節するトレーニングが可能であるトレーニングシステムを構築できたことを確認した。また、ユーザが適した動作でトレーニングを行うことを支援することを目的とした情報提示機能の実装も行った。トレーニングシステムと筋電センサの動作試験の結果、情報として用いる発揮力と表面筋電位の値が、ユーザの動作に応じて取得できていることも確認できた。

今後は、動作試験で発生した目標負荷量に上限があるという問題の改善を行う。また、現在の情報提示の方法は測定した発揮力と表面筋電位の値をそのまま表示するというものであり、ユーザに向けた情報提示としてはわかりづらいと考えられるため、情報提示の方法も今後改良が必要である。トレーニングシステムの今後の目標としては、現在のシステムでは目標負荷量は任意で設定しているため、測定した発揮力と生体信号の値からユーザの能力から、自動でユーザに適した目標負荷量を推定するシステムの開発が考えられる。さらに、トレーニングが単調であるとユーザがトレーニングに飽きてしまうという問題点が考えられるため、ユーザが飽きないようなシステムの検討も必要であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 平成30年版高齢社会白書  
[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/pdf/1s2s\\_02\\_01.pdf](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/pdf/1s2s_02_01.pdf)
- [2] 人口動態統計(厚生労働省)  
<http://www.seikatsusyukanbyo.com/statistics/survey/01/>
- [3] 生活習慣病予防のための運動の意義とそれを実行可能にする環境対策の重要性  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/35/2/35\\_91/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/35/2/35_91/_pdf)