

# 筋電位を用いた Body Sharing 技術の研究

神奈川県立神奈川工業高等学校 機械科 総括教諭

宮城 泰文

## 1. はじめに

不慮の事故や、先天性による肢体不自由者に対し筋電義手を用いることで様々な社会活動への参加が可能とするが、その普及率はわずか2%程度と諸外国に比べ低い状況である。これは筋電義手が一品物で製作するために費用が高額になること、また使用に関してトレーニングが必要であることなどが要因となっている。神奈川県では筋電義手が広く一般に認知され、だれもが使える社会を目指した筋電義手普及への取り組みを行っている<sup>1)</sup>。

神奈川工業高校機械科では、筋電位を用いた制御技術の研究を SeasonI～Vとシリーズ化しこれまで5年間にわたり課題研究のテーマとして取り組んでいる。筋電位とは人間の筋肉が発する微弱な電圧で人体の前腕部における筋電位は0.1～10mV程度発生する(図1)。我々は、前腕部から先を筋電義手に置換える研究を通して電子計測技術、機械要素設計技術、各種電子機器を制御するパワー半導体技術、プログラミング技術、これらデータを扱う上で必要な数学的解析手法を学ぶ事を目的として研究している。

## 2. 筋電位の計測

筋電位とは、脳から神経を伝わって筋肉の表面を伝播する際の電気信号である。その振幅は力の大きさに比例し微弱な電気信号ではアンプを用い信号を増幅させて計測する<sup>2)</sup>。皮膚表面上で計測した筋電位は様々なノイズをもち、更にデータのドリフトが激しく計測波形のままモータ制御を行うのは不向きである(図2)。SeasonIの研究でノイズを除去するための演算式(図3)、計測波形を滑らかな補正波形に変換するプログラムを開発した(図4)。



図1. 人体における電気信号の伝達

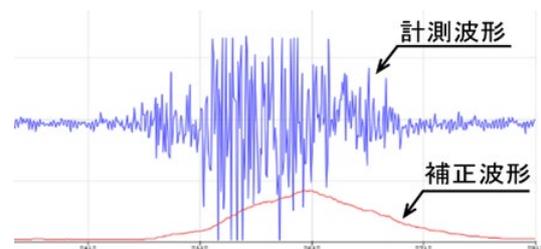


図2. 計測波形から補正波形への補正

$$\text{積分筋電値} = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \left| n f(t_j) - \sum_{k=1}^n f(t_k) \right| \dots (1)$$

モーターの制御に使用する値

$$t_k = \frac{b-a}{n} \cdot (m+k) \quad \begin{matrix} (m=0,1,2\dots) \\ (k=1,2,3\dots) \end{matrix} \quad (n > 0)$$
$$\theta = a \cdot \log V + (b=1,2,3\dots) \quad (2)$$

$\theta$ : モーター回転角度、 $V$ : 積分筋電値、 $a, b$ : 定数

図3. 積分筋電値算出式

```
void loop (){
  sum=0;
  for(i=0;i<n;i++){
    sum=sum+v[i]
  }
  ave=(long)sum/n;
  sum=0;
  for(i=0;i<n;i++){
    sum=sum+ads(v[i]-ave);
  }
  sekibun=(long)sum/n;
  k++;
  k=k%n;
}
```

図4. 補正波形演算プログラム (抜粋)

### 3. 研究内容の変遷

過去の研究では、無線通信による遠隔制御、画像認識による機械学習などを行い人体と機械がどのように接続できるのかその方法に関して研究を行った。昨年度 (SeasonIV) は、より人体機構に近づけるため手指、手の甲、モータマウント等ハードウェアの大幅な設計見直しを行った。今年度の研究では、体格の大きくなったアセンブリのダウンサイジング化を目指しハードウェアの設計変更を目標とした。

### 4. 人体機能をメカ機構に変換

(手指の機構原理) 人間の指は、筋肉が腱を引くことによって動く。この機構を利用し3Dプリンタで製作した樹脂製の人工指を連結させ伸展・屈曲ワイヤ2本を用いサーボモータで引張ることで背屈 (開く)・掌屈 (握る) の1自由度の機構<sup>3)</sup>とした (図8)。



図5. SeasonIの指の機構

(手指形状仕様) 人間の手のひらの掌屈 (握り) において、指先が遅れて屈曲することで物が格段に掴み易くなる。人間がもつ本能的な動作に着目し、その動きを再現するために指の中にトーションばねを組込み、バネのスプリングバック (復元力) を利用することでこれまで不可能であった人間の動きに近い動作を再現させた (図6)。指先に向かうほどバネレート (バネ定数) の大きいバネを組込み、より自然な遅れ屈曲とした。また、ワイヤの取り回しを最適化し一本のワイヤで伸展・屈曲を可能となるよう設計変更を行った。指の形状を滑らかにするために、細かなフィレット加工を多数用い指の可動範囲は実態と異なる可動範囲であったため掌屈時の干渉部分をすべて見直し可動領域の最適化を図った。手指の使い勝手を考えた時、ものを掴む際に爪形状の寄与度は大きい。爪形状を追加し、小さな物体を掴むときなどの繊細な作業をする機能を追加した (図7)。

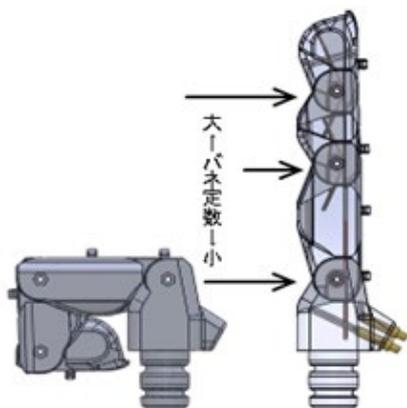


図6. 遅れ掌屈機構

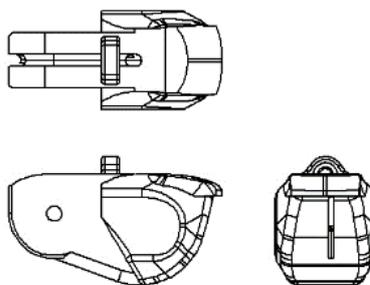


図7. 爪形状

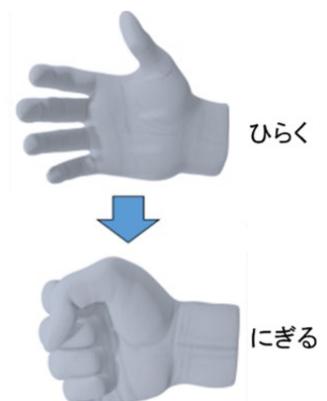


図8. 運動系1自由度のモデル

(手指形状見直し) SeasonIVではサーボモータを6個使用し5本指、手首を個別に作動させていたが、手のひらの機構を運動系1自由度に絞ることでモータ数を1個としダウンサイジング化を図った(図13)。また屈曲ワイヤを指の中を通す設計変更を施すことで指の外側にあったループを排除した(図9、10)。

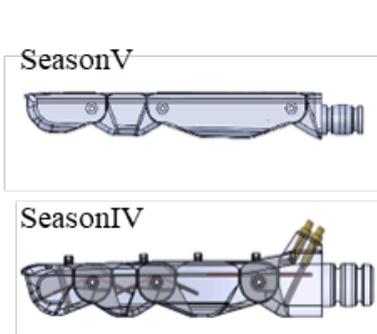


図9. 手指機構の比較

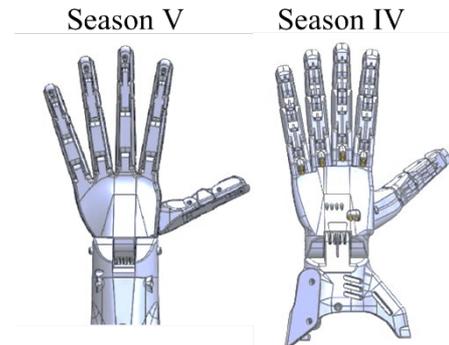


図10. 手の甲形状比較

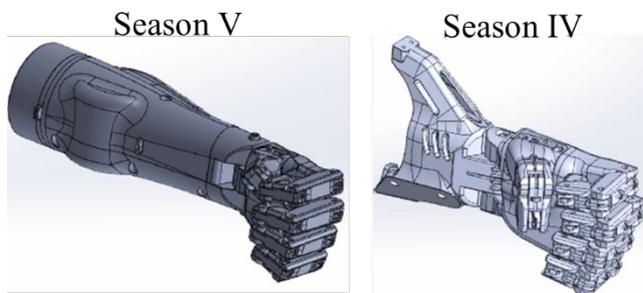


図11. 掌屈時の比較

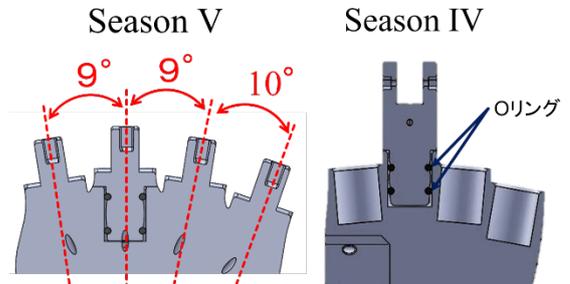


図12. 指接続部の比較

(指接続方法、及び根元角度の最適化) 人間の指間隔は、閉じた状態で手のひらの開閉動作をほとんどしないため、指と指の設置角度を最適な角度で見直すことにより自然な動きを可能とした(図12)。

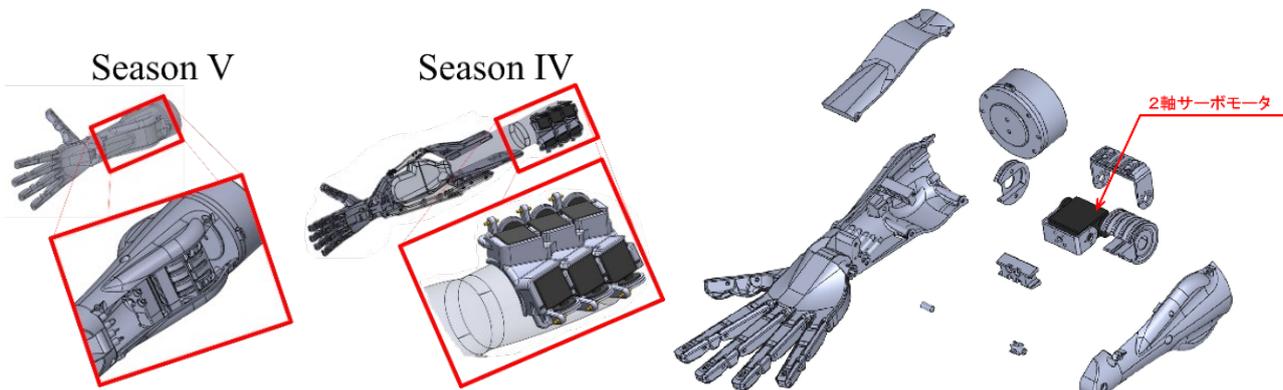


図13. モータマウント形状の変更

図14. 分解図 (SeasonV)

(巻取り部の改良) 人体の腱の代わりに糸を使ってモータで巻き取る機構は回転部をストレート形状からプリー形状に変更することで巻取り量を増やし、また2軸サーボモータを利用することで5本の糸を1個のモータで巻き取る機構(回転角度が270度となり稼働範囲拡大)とした(図15)。

(体格変更による軽量化) SeasonIIIから大幅な重量アップとなった SeasonIVに対し SeasonVは65%(前年度比)もの軽量化を達成できた(図17)。

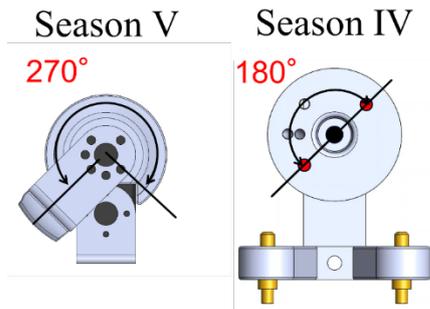


図 15. 巻き取り部の改良



図 16. EMG センサの変更

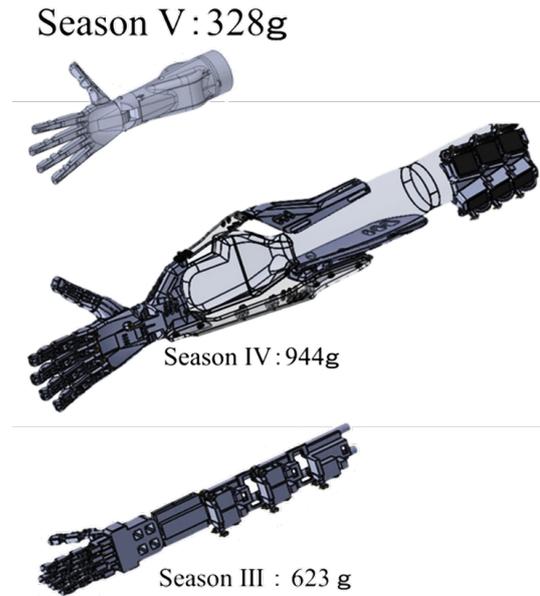


図 17. 重量の比較

(EMG センサの変更) EMG (表面筋電位) センサとは、筋肉の電気的な活動を記録するために使用されるデバイスである。これまで使用していた筋電センサは、パッド表面に水が浸透しやすく形が崩れる性質があり劣化が早い。また脱着を繰り返すことで粘着力が下がり、使い回しが困難だった。Season Vでは、乾式筋電センサ「MyoScan™」を使用したことで、皮膚に強く押し付けずとも計測が可能で、且つ使い捨てでないためランニングコストの低減につながった (図 16)。また、それに伴い収集回路も更新したことでノイズを減らすことができセンサの数を減らすことができた。

## 5. まとめ

本研究において、ハードウェア設計における VA (VALUE ANALYSIS)、VE (VALUE ENGINEERING) を図ったことで大幅な部品点数が削減できた。ダウンサイジング化により筋電義手として多様なニーズへの適応が期待できる。今後さらなる研究を通じて機能向上を図り、筋電義手が広く一般に認知され本研究の成果が社会における課題解決や福祉の向上に貢献することを心から望んでいる。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所様から多大なるご支援を頂きました。貴財団のご協力なくして、本研究成果をここまで導くことは叶いませんでした。ここに謝意を示します。

## 参考文献

- 1) 健康医療局.“筋電義手普及への取組”.神奈川県.2023.  
<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/w8d/kindengisyubank.html>.
- 2) 嘉数侑昇、他“バイオメカニクス・生体力学の原理と応用”.NTS.2001.
- 3) 加藤龍、他“オーグメンテッド・ヒューマン”.NTS.2018.