1 2 1 4 糸状柔軟変位センサを用いた表皮変位センサの開発と応用 Development and Application of Skin Displacement Sensor Using String Type Flexible Displacement Sensor

○ 学 内田裕久(岡山理大・院) 正 赤木徹也(岡山理大) 正 堂田周治郎(岡山理大)

○ Hirohisa Uchida, Tetsuya Akagi and Shujiro Dohta, Okayama University of Science

Key Words: Flexible displacement sensor, Nylon string coated with carbon, Flexible potentiometer

1. 緒 言

近年、医療介護、リハビリテーションの分野での福祉機器の重要性が増している。また、介護者の負担軽減から、介護者の体の実装し、被介護者を抱え上げるなどの重労働を補助するパワーアシスト装置など福祉機器の開発が盛んに行われている¹⁾。それらの装置は人体に直接付けるため、安全であることに加え、小型・軽量のシステムであることが求められる。そこで、本研究では人体の多自由度な動きを妨げることなく動作や力を推定できるウェアラブルなセンサとして、人体の動きを表皮の動きで検出する表皮変位センサと加速度計を用いた差動式筋音センサの開発について検討する。

2. 柔軟変位センサ

2-1. 構造と動作原理

Fig.1 に試作した柔軟変位センサの構造を示す。センサはアノード、カソードの銅製固定電極と可動電極から構成され、ナイロン繊維の表面に炭素を塗布した繊維(関東レ製 エレバイ)上を可動電極がスライドすることで、柔軟なポテンシオメータとして機能する。このセンサは、従来、柔軟センサとして知られている導電性ゴムのようにゴム自身の変形によって抵抗値が変化するものと違い、長いストロークの計測範囲が設定できる。また、ユーザが測定範囲を自由に設定できるなどの利点を有する。

Fig.1 Construction and view of tested flexible sensor

一般的なポテンシオメータの可動電極は、金属製のブラシと抵抗体との摺動接触により接点を確保する。しかし、炭素被覆ナイロンの場合、表面に塗布したカーボンが削れてしまい、耐久性に問題がある。そこで、スライド中の接点の確保とエレバイを保護するため、Fig.2 に示すように可動電極内部に炭素粉末(カーボンブラック)を詰め、導電性ゴムシートによりシールを行った新たな可動電極を提案し、試作した。この可動電極は導体である炭素粉末が、炭素被覆ナイロンの動きにあわせて流動し、電極内部で転がり接触することで、ナイロン表面の炭素コーティングを傷つけることなく安定した接点が確保でき、さらに、繊維表面の磨耗防止の効果もあるといえる。

Fig.2 Inner construction of slide electrode

2-2. センサの特性

Fig.3 に可動電極の移動量に対するセンサの抵抗値変化の関係を示す。実験では、固定電極と可動電極間の初期長さが52mmのものを使用し、可動電極を0から40mmまで移動させた場合の電気抵抗値の変化を計測した。Fig.3 から、移動量と抵抗値の関係は比例関係にあり、ヒステリシス特性が少ないことがわかる。このことは、炭素被覆ナイロンと可動電極間の摺動抵抗が非常に少ないことを意味している。

Fig.3 Characteristics of tested sensor

3. 表皮変位センサへの応用

3-1. 構造と原理

人体の動きの計測方法として、人体の表皮の動きに着目する。これは人体が動くたびに表皮も連動して動くことから表皮の動きを測定することで、関節角度などを推定できるのではないかと考えたものである。Fig.4 にセンサの構造を示す。センサの構成は蛇腹状の切り込みを施したプラスチックシートに柔軟変位センサの回路を導電性ペーストでパターンニングを行い、取り付けている。動作原理はスライド電極部と入出力端子部を表皮に貼り付けることで表皮の動きに合わせて蛇腹上のモールドが引っ張られる際に、固定電極とスライド電極間のエレバイの長さが変わり、抵抗値変化を生じるというものである。

Fig.4 Construction of skin displacement sensor

試作した変位センサをFig.5に示す。以前の表皮センサ²⁾は1軸方向のみの表皮の変化を測定するものであったが、今回は互いに30degの傾斜角を有し2方向の変位を同時に測定可能な多方向表皮変位センサを試作した。前報では、回路をパターンニングする際に導電性ペーストを使用したため、時間経

過による劣化により剥がれ落ちる問題が生じたため、導線をハンダ付けして回路を構成した。また、蛇腹状のモールドの幅を狭くすることで長い表皮の伸びにも対応できるように改良した。

Fig.5 Tested skin displacement sensor

3-2. 計測方法

試作した表皮変位センサを用いて人体の動きを計測する場合、人体のどの部分（部位）の動きを計測するのに、どこへ取り付けるかが非常に重要である。これは試行錯誤的にセンサを貼り付け、体を動かす際のセンサ出力と体の動きを同時に計測するといった方法により最適位置を見出すことも可能であるが、ここでは人間工学的な視点からアプローチする。具体的には、表皮の動きはアクチュエータである筋肉によってもたらされるので、測定対象となる人体の部位（関節など）を動かす筋肉を見出し、それらに沿ったセンサ配置を考える。ここで、測定ポイントは視覚により動作の状態を把握しやすい肘関節の屈曲・伸展の動きとした。この場合、腕の動きに用いられる筋肉として、上腕筋、上腕二等筋、上腕三等筋がある。この中でも、特に表皮に近い筋肉は上腕筋と上腕二等筋なのでその二箇所センサを貼り付けて計測を行った。Fig. 6 に計測した結果を示す。図から関節角度 60deg までは角度に比例してセンサ出力電圧が変化しているが関節角度 60deg 以降ではほとんど変化が見られないことがわかる。

Fig.6 Relation between joint angle and sensor output voltage

4. 差動式筋音センサ

4-1. 構造と原理

筋肉の状態を知る方法として筋音図（MMG）がある。これは筋肉が収縮する際に生じる微細な振動を加速度計を用いて計測するものである。しかし従来の筋音センサでは筋音だけでなく人体の動きまで計測してしまうため、正確に計測するには計測部分を固定しておく必要がある。そこで筋音計測を行うセンサとは別に人体の動きのみを計測するセンサを追加することで、その差から筋音のみを計測することができると考え差動式筋音センサを試作した。Fig. 7 に試作した差動式筋音センサを示す。検出原理は筋音計測用の加速度計（Sensor1）の上部に動作計測用の加速度計（Sensor2）を配置し、その間に緩衝材（スポンジ）を挟むことにより動作計測用

の加速度計に筋音が伝わらないようにしている。

Fig.7 Differential-type mechanomyogram sensor

4-2. 計測結果

Fig. 8 に試作した差動式筋音センサの出力電圧の変化を示す。また、Fig. 9 にセンサ出力間の電圧差を示す。Fig. 9 から二つのセンサ出力間に差が生じていることがわかる。

Fig.8 Output voltage from two mechanomyogram sensors

Fig.9 Differential voltage between two sensor

5. 結言

本報告では人体の動きを妨げることなく動作や力を推定できるウェアラブルなセンサとして、人体の動きを表皮の動きで推定する表皮変位センサを試作し、動作計測を行った結果、一定の角度範囲においてセンサ出力から関節角度を推定できる可能性を示した。また加速度計を用いた差動式筋音センサを提案・試作し動作計測を行った結果、筋音のみの検出が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) M. Ishii et al., "Stand-Alone Wearable Power Assist unit -Development and Availabilty-", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.5, (2005), pp. 575-583.
- 2) 濱元育他, "糸状柔軟変位センサの開発と応用", 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 74, No. 746, (2008), pp. 2528-2534.