

平成21年3月10日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560269

研究課題名（和文） 表皮変位測定可能なフレキシブル筋電センサの開発

研究課題名（英文） Development of a flexible myoelectric sensor to be able to measure the skin displacement

研究代表者

堂田 周治郎 (DOHTA SHUJIRO)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：10090218

研究成果の概要：まず、先に開発した炭素被覆ナイロンを用いた糸状柔軟変位センサを利用して、全方向湾曲センサや表皮変位センサの開発を行った。つぎに、表皮変位センサ電圧と腕の関節角度やねじり回転角度との関係を調べ、適切なセンサ取り付け位置や複数センサの組み合わせにより、センサ出力電圧から人体の動作角度等が推定できることを確認した。さらに、加速度センサを2つ用いた差動式筋音センサを試作しその有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス、ソフトセンサ

## 1. 研究開始当初の背景

近年の超高齢社会への急激な推移やメタボリックシンドロームに代表される中高年の生活習慣病の増加に伴い、糖尿病や脳溢血などで運動機能が低下する高齢者が増加し、要介護者に対する介護支援者の人手不足は避けられない問題になりつつある。このような状況において、脳溢血等で片麻痺となった患者の自立や生活の質（QOL）の向上を目指し、喪失した身体機能をサポートする機器の開発が望まれている。また、これらの機器は、現在の情報ネットワークにおける力フィー

ドバックシステムにも応用が可能である。そこで、我々は人体に実装できる空気圧駆動のソフトアクチュエータの開発や、それらのアクチュエータの柔軟性を損なうことなく変位量が測定できる柔軟な変位センサの開発を行ってきた。これらのソフトアクチュエータは電磁ノイズが発生しにくく、人体の意思伝達装置として用いられる筋電センサや筋音センサとの親和性が良い。現在、これら人体に直接取り付ける駆動システムの実用化の障害となっているのは、意思伝達装置としての入力システムである。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、柔軟性を有した筋電センサ（あるいは筋音センサ）の開発と柔軟な変位センサとの一体化を考慮した新しい筋電・変位センサの開発を目指す。

2007年度は、手始めとして複雑な人体の動作計測を行う簡易なセンサの開発を目指し、炭素被覆ナイロンを用いた柔軟変位センサの改善や耐久性の確認を行い、この柔軟変位センサを圧縮コイルばね内部に4本用いた「全方向湾曲センサ」を試作する。また、人体の表面変位などの微小変位を計測することができる「表皮変位センサ」の開発を目指し、いくつかのプロトタイプを試作し、表皮変位センサの実現性について検討することを目的とした。2008年度は、開発した表皮変位センサを用いて、腕の関節角度やねじり回転角度とセンサ出力電圧の関係を求め、比較的簡単なセンサ構成から、人体の動作を推定するシステムの可能性について検討する。さらに、筋電センサや筋音センサと表皮変位センサを一体化したハイブリッド型センサの開発をめざす。

## 3. 研究の方法

### (1) 糸状柔軟変位センサの改善

本研究において基本となる柔軟変位センサについて構造や基本特性、ならびに改善点を述べる。図1に先に開発した糸状柔軟変位センサの概要を示す。センサは柔軟な特性を有する糸状の抵抗体に電極を取り付け、その電極をスライドさせることで柔軟なポテンショメータとして利用するものである。糸状抵抗体としてナイロン繊維の表面に炭素を塗布した繊維である炭素被覆ナイロン繊維（株東レ製 エレバイ）を用いている。

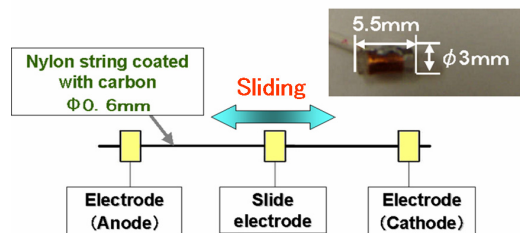


図1 柔軟変位センサの概要

センサは、図に示すように、アノードとカソードの固定電極と糸状抵抗体上をスライドしながら移動できるスライド電極から構成される。ここで、固定電極とスライド電極間の抵抗値変化は、その電極間の距離に比例する。すなわち、アノードとカソード間に一定電圧を加えることで、スライド電極から変位量を電圧として出力することができる。また、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弾性体の変形によって材料自身の抵抗値が変化する

ものと違い、長いストロークの計測が可能である。さらに、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。

一般的なポテンショメータは、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、本センサの場合、炭素被覆ナイロン表面のカーボンが摺動により削られ、耐久性が問題となる。そこで、いくつかのタイプのスライド電極を試作し、実験や改善を行った結果、以下のものが耐久性や電氣的接点の安定性がよいことがわかった。すなわち、スライド中の接点の確保と炭素被覆ナイロンを保護するため、図2に示すように電極内部に炭素粉末を詰め、ゴムパッキンによりシールを行った新しいタイプのスライド電極である。この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。また、炭素粉末の粒子径が約0.1mmと比較的大きいため、炭素被覆ナイロンとスライド電極との隙間から炭素粉末が漏れることがないといった特徴を有する。

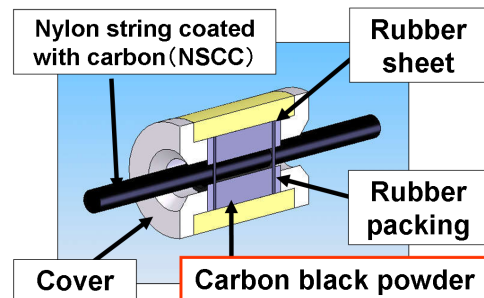


図2 スライド電極の内部構造

図3にスライド電極の移動量に対するセンサの抵抗値変化を示す。図から、移動量と抵抗値の関係は比例関係にあることがわかる。また実験では、炭素被覆ナイロンを両端から引っ張った直線状態ではなく、一方の端を自由端とした不安定な状態で、単に固定電極とスライド電極をつないだゴムチューブの復元力によって戻したにも関わらず、ヒス

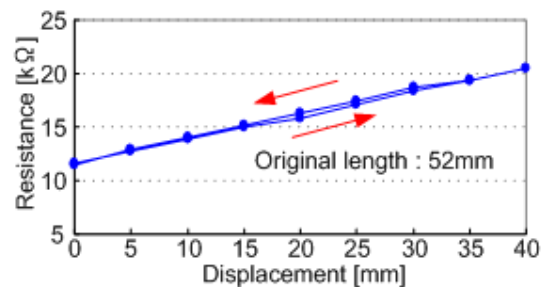


図3 センサ出力電圧と変位の関係

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スライド電極との摺動摩擦抵抗が非常に少ないことを意味している。試作した柔軟変位センサに用いられているスライド電極は、炭素粉末を内封しているため、炭素被覆ナイロンの摺動に対して磨耗などの耐久性の問題を確認する必要がある。そこで、100万回のスライド耐久性試験を行った。その結果を図4に示す、図より、伸張時(30mm)と収縮時(0mm)のセンサ出力電圧に大きな変化は見られず、十分な耐久性を有していることがわかる。

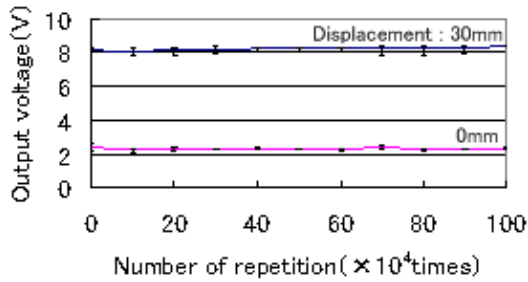


図4 センサの耐久性試験結果

### (2) 全方向湾曲センサの開発

糸状柔軟変位センサを利用して2自由度の湾曲角が同時に計測できる全方向湾曲センサを開発した。センサ構造などを図5に示す。センサは外径12mmの圧縮コイルバネの内部に、4本の柔軟変位センサをコイル中心軸から90deg.間隔でφ6mmの位置に並列に配置した構造であり、一端の固定電極とスライド電極を、樹脂製カバーを介してバネ両端に固定している。これにより、コイルバネの湾曲に伴い、対角位置にある2組の柔軟変位センサから出力される電圧差から、湾曲方向角と湾曲角を知るといえるものである。センサの簡単な解析モデルを提案し、2組の柔軟変位センサの出力電圧差から湾曲角と湾曲方向角を求めることができることを示した。

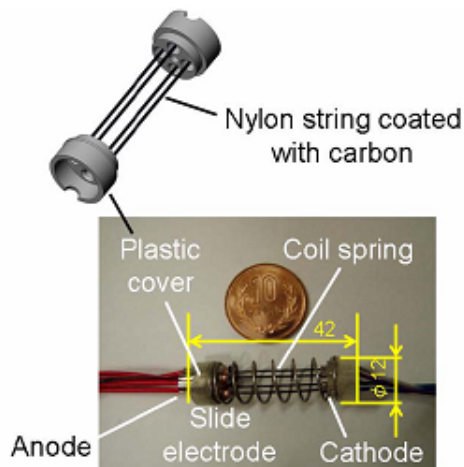


図5 湾曲センサの構造

### (3) 表皮変位センサの開発と動作の推定

人体の動きの推定方法として人体表皮の動きに着目し、表皮変位から関節角度などの人体の動きを推定することを考える。図6に表皮変位センサの構造などを示す。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、取り付けられている。動作原理はスライド電極部と入出力端子部を表皮に絆創膏のように簡便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。

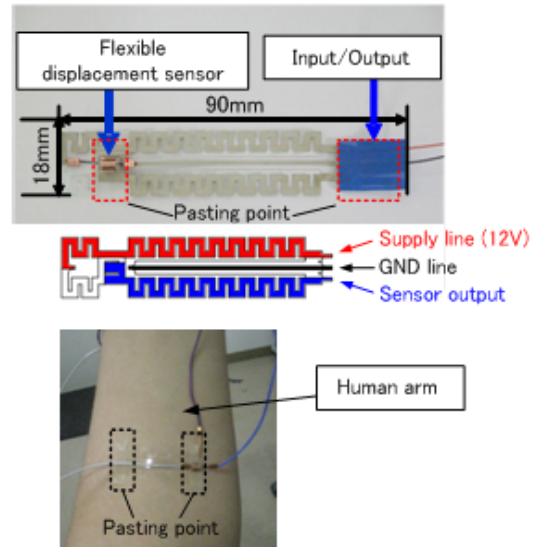


図6 表皮変位センサの構造と取り付け

センサの出力電圧と肘関節角度の関係を測定した結果の一例を図7に示す。センサは上腕二頭筋の筋繊維方向に平行に取り付けた場合である。このようにセンサの取り付け位置や方向を工夫することにより、センサ出力電圧と関節角度に強い相関が現れる取り付け位置があることがわかる。

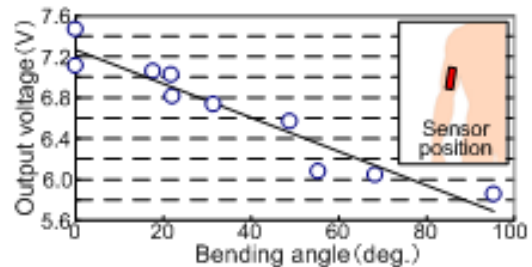


図7 肘関節角度とセンサ出力の関係

さらに、図8のように、二つの表皮変位センサに30度の角度を持たせて、異なる表皮変位を同時に計測する二方向表皮変位セン

サを提案，試作した．二つのセンサ出力から，肘の屈曲・伸展，腕の横倒し，ねじり動作における関節角度等を推定できる可能性を確認した．このように，センサを表皮に絆創膏のように貼り付けることにより，関節角度やねじり角度など，人体の動作角度を推定する可能性を見出した．

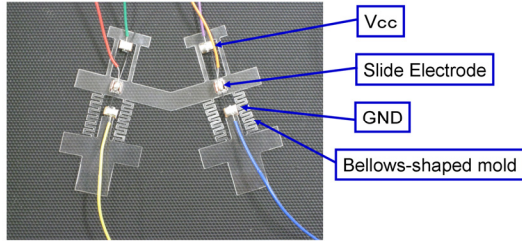


図8 二方向表皮変位センサの概観

#### (4) 差動式筋音センサの開発

筋肉の活動状態を知る方法として筋電図と筋音図がある．本研究では当初，筋電に注目していたが，筋電の場合，グラウンド電極を肘など皮膚と骨の間の距離が短い（皮膚や肉が薄い）箇所に取り付ける必要がある．一方，筋音の場合は筋活動を測定したい筋の上に取り付けるだけよく，皮膚へのグラウンド電極貼り付けは不要である．この簡便さから筋音に注目した．筋音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（加速度）まで計測するため，筋音を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を計測するセンサを追加することで，その出力差から筋音のみを計測することができると考え，図9に示す差動式筋音センサを試作した．

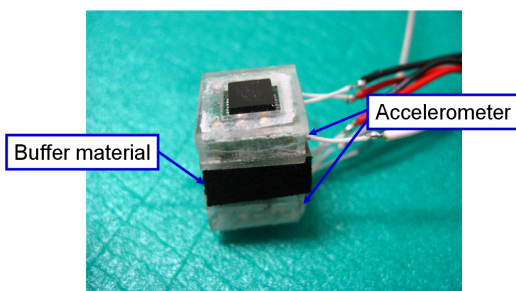


図9 差動式筋音センサの概観

検出原理は筋音計測用の加速度計(センサ1)の上に動作計測用の加速度計(センサ2)を配置し，その間に緩衝材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たものである．

図10に試作した差動式筋音センサの出力電圧の時間変化を示す．また，図11にセンサ出力間の電圧差を示す．図11から二つの

センサ出力間に差が生じており，筋音を取り出せることがわかる．

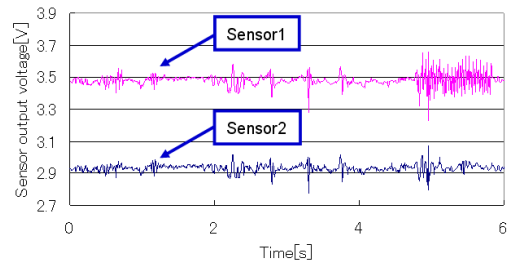


図10 2つの加速度計の出力電圧

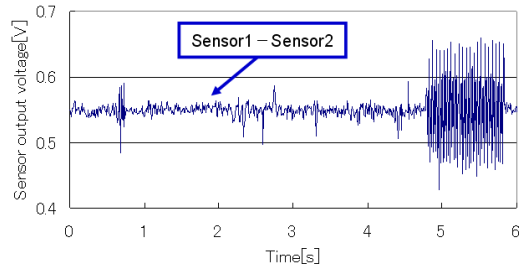


図11 2つの加速度計の出力電圧差

#### 4. 研究成果

本研究では，身体機能をサポートするパワーアシスト装置やリハビリ機器の意思伝達装置，人体動作角度の推定装置として用いることができる各種センサの開発をめざした．すなわち，柔軟性を有した表皮変位センサの開発や，筋電／筋音センサと一体化したハイブリッド型センサの開発をめざした．それらの研究成果は以下の通りである．

まず，先に開発した炭素被覆ナイロンを用いた糸状柔軟変位センサの改善や耐久性試験を行った．このセンサは新しいタイプの柔軟ポテンシオメータであり，スライド電極に炭素粉末を封入することにより安定した電気接点と優れた耐久性を有するセンサである．この安価で小型の柔軟変位センサは，我々が行った応用以外にも様々な応用が考えられる．特に，従来困難とされていた自由変形する曲面や柔らかい表面，人体の皮膚などの変位計測に応用できる．

つぎに，柔軟変位センサを利用した全方向湾曲角センサを開発した．この湾曲センサは多自由度の湾曲角を同時に計測することができ，人体の肩関節や股関節以外にも，ロボットや機械の操作ジョイスティックなど多方面に応用できる．

さらに，本研究の主たる目的である表皮変位センサの開発を行った．高齢者の喉の動きなど人間の表皮の動きを知ることは重要である．また，肘や膝の関節角や腕のねじり回転角度などを，カメラシステムや外骨格型の大きかりな装置を用いず，簡便に知るために

も表皮変位と人体の動作角度の関係を調べることは重要である。そこで、糸状柔軟変位センサを利用した表皮変位センサを提案し、試作した。そして、表皮変位だけでなく、人体の運動を推定できる可能性を確認した。腕のねじり運動も推定できそうであり、今後、複数の表皮変位センサの出力をマイコンで処理し、人体の動作を即座に推定できる手軽な計測システムへの発展が期待できる。

最後に、筋電センサに比べ、グランド電極の扱いが容易な筋音センサに注目し、加速度センサを2つ用いて、筋音に及ぼす人体運動の影響を取り除くことができる差動式筋音センサを開発し、筋音だけを取り出せることを確認した。筋音センサと表皮変位センサを一体化したハイブリッド型センサの開発や信号処理を含むシステムのコンパクト化などは今後の課題である。

以上、本研究で得られた研究成果は、パワーアシスト装置、リハビリ機器、介護支援機器、人体運動計測機器等における、安価で簡便なセンサとして、その普及が期待できる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① S. Dohta, T. Akagi, H. Kuno and I. Hamamoto, Development of String Type Flexible Displacement Sensor to Measure the Movement of Robot and Human Body, Proc. of 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, pp.29-34, 2008年、査読有
- ② S. Dohta, T. Akagi and H. Kuno, Development of Skin Displacement Sensor for the Pneumatic Power Assisted System, Proc. of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, pp.427-432, 2008年、査読有
- ③ 赤木徹也、堂田周治郎、濱元 育、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、74巻、pp. 2528-2534、2008年、査読有
- ④ S. Dohta, T. Akagi and I. Hamamoto, Development of Wearable Displacement Sensor to Measure the Movement of Human Body or Soft Actuator, Proc. of 2nd International Forum on Systems and Mechatronics, pp.29-34、2007年、査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 内田裕久、赤木徹也、堂田周治郎、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、日本機械学会中国四国支部第47期総会・講演会、2009年3月6日、山口大学工学部

- ② 濱元育、赤木徹也、堂田周治郎、炭素被覆繊維を用いた糸状柔軟変位センサの試作と応用、平成19年秋季フルードパワーシステム講演会、2007年11月16日、鹿児島県霧島市役所

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堂田 周治郎 (DOHTA SHUJIRO)  
岡山理科大学・工学部・教授  
研究者番号：10090218

### (2) 研究分担者

赤木 徹也 (AKAGI TETSUYA)  
岡山理科大学・工学部・准教授  
研究者番号：50311072  
久野 弘明 (KUNO HIROAKI)  
岡山理科大学・工学部・講師  
研究者番号：40344618