

導電糸を編み込んだ布製タッチセンサの抵抗値測定

Measurement of resistance value of cloth touch sensor knitted with conductive yarn

○中村 賢志(立命館大) 正 平井 慎一(立命館大)

Kenji NAKAMURA, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In recent years, research and development of sensors intended for people have been widely conducted. However, most of them are of non-contact type, and the number of sensors to be used directly by touching the human body is still small. One of the reasons for increasing this problem is that it is not realistic that sensors made by hard material exposed directly to human body. We proposed the deformable sensor made by fiber to be applied for contact directly to human body. In this research, we use cloth-made touch sensor braided with conductive yarn as a sensor that can directly act on human body.

Key Words: Soft Robotics, Cloth made, Touch sensor, Conductive yarn, Resistance

1. 緒言

近年、様々なセンサを利用したウェアラブル端末の開発が盛んに行われている。しかし、既存のウェアラブル端末は強固かつ重量であるものが多い[1][2]。理想的なウェアラブル端末としては、安全性を考慮すると柔軟かつ軽量であるものが好まれる。そのため柔軟かつ軽量のセンサが必要とされる。例としては、フィルムやゴムを使用したセンサが存在する[3][4]。これらのセンサは、日常的に身体に使用するセンサとしては身体に馴染みにくいところがある。本研究では、このような問題を解決するために、開発された導電糸を編み込んだ布製タッチセンサについて報告する。

導電糸を編み込んだ布製タッチセンサは2層構造になっている。導電糸と呼ばれる導電性を持った繊維を、一般的な衣服にも使用されているポリアミドに編み込むことでできている。このセンサに力が加わることで導電糸同士の接触が発生する。その際、抵抗値に変化が表れることで接触の検出をすることが可能である。また、導電糸の編み込み方を直線や曲線に変化させることで、多様な形にも対応が可能であると考えられる。センサが繊維のみで構成されるため、衣服へ組み込むことができる。したがって違和感なくセンサが、日常生活に溶け込むことが可能となる。

本論文では、導電糸を編み込んだ布製タッチセンサにおける、抵抗値の検出原理と平面上での使用を想定した実験について報告する。

2. 布製タッチセンサの抵抗値測定方法

2.1 導電糸

本研究では、タッチセンサとして導電糸を編み込んだ布を利用する。導電糸とは、非導電繊維に銀メッキを施すことで導電性を持たせた糸である。導電糸の電気抵抗率を ρ 、断面積を A 、長さを l としたとき、導電糸の抵抗値 R_{yarn} は

$$R_{yarn} = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

と表される。また、式(1)の導電糸が全ての点において電気抵抗率が一定、かつ断面積が一定としたとき導電糸の抵抗値は

$$R_{yarn} = \alpha l \quad (2)$$

と表される。ここで、 α は定数であり式(2)より抵抗値の変化は導電糸の長さのみに依存し比例の関係にある事が分かる。したがって、抵抗値を計測することにより、導電糸の長さを求めることができる。

2.2 布製タッチセンサの構造

導電糸がポリエステルで作られた布の端から端まで編み込まれたものを、導電糸を編み込んだ布製タッチセンサと呼ぶ。本論文において、以降布製タッチセンサと呼称する。布製タッチセンサには導電糸が端から端まで編み込まれているため、どの位置で切断しても1本の導電糸に対して端が2つ存在する。また、布製タッチセンサの構造上、非接触時には端子間は断線している状態となる。本研究で使用する布製タッチセンサは、使用を検討している企業より提供を受けているため、細かな形状については省略する。

2.3 計測用端子接続方法

布製タッチセンサに入出力用端子の接続を行う。布製タッチセンサには、はんだ付けを行うことが不可能なため導電性接着剤を使用する。導電性接着剤のみでは接着が不安定であったため、図1に示すようにアクリル板と布製タッチセンサの間に導線を挟みこむ形で固定した。その後、布製タッチセンサの非導電性部分に非導電性接着剤を使用し、より強固な固定とした。

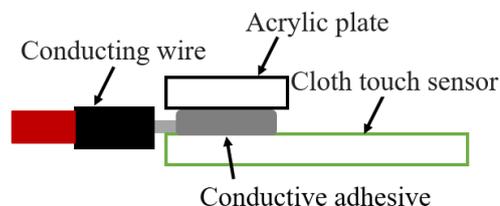


Fig. 1 Fixing method

2.4 布製タッチセンサの計測原理

布製タッチセンサの計測原理は式(2)を応用することで説明が可能である。布製タッチセンサの計測用簡易モデル図を図2に示す。計測端子から接触点までの距離を $l_{contact}$ とすると、AP間の抵抗値 R_{AP} は

$$R_{AP} = \alpha l_{contact} \quad (3)$$

と表される。また、同様にPB間の抵抗値 R_{PB} も求められる。よって、式(3)より図1のモデル図における計測端子AB間の抵抗値 R_{AB} は

$$R_{AB} = 2\alpha l_{contact} \quad (4)$$

となる。したがって、式(4)より計測端子間の抵抗値は接触点までの距離に比例することがわかる。

本実験では上記の計測を布製タッチセンサの両端で行うため、図3に示すように両側に端子を接続した。両端に端子を付けることで、1本の導電糸から2箇所の接触点を検出するこ

とができる。

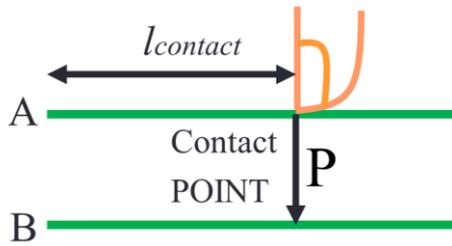


Fig. 2 Contact model

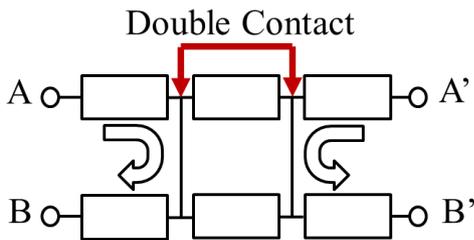


Fig. 3 Double contact

2.5 計測用回路

布製タッチセンサから抵抗値変化を計測するための回路を提案する。計測には図4に示す分圧回路を使用する。ここで、 R は既知抵抗、 R_x は未知抵抗、 V_{IN} は入力電圧、 V_{OUT} を出力電圧とする。このとき

$$R_x = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{OUT}} R \quad (5)$$

が成り立つ。式(5)より、入力電圧 V_{IN} を決めると、出力電圧 V_{OUT} より未知抵抗 R_x を導出できる。図4または式(5)における未知抵抗 R_x を布製タッチセンサに置き換えることで、布製タッチセンサの抵抗値を測定することができる。本実験は1つの布製タッチセンサを両端から計測するため、実機では図4の分圧回路が両端に接続された形になる。

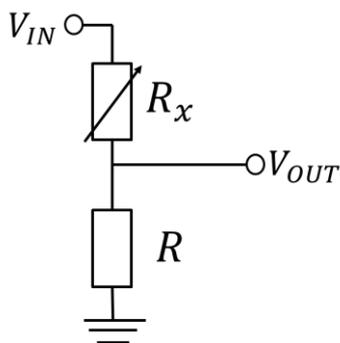


Fig. 4 Voltage dividing circuit

3. 布製タッチセンサ押さえ実験

3.1 実験目的

両端に計測端子を取り付けた布製タッチセンサを用いて1点接触の計測を行う。計測より得られるのは電圧値のため、式(5)を用いて布製タッチセンサの抵抗値を計測する。抵抗値から第2.4節で述べた計測原理の正当性を検証する。次に連続して計測を行った際の抵抗値のブレを確認し、布製タッチセンサの分解能について考察を行う。また、1本の導電糸を両端から計測を行うことによる、端子間での干渉の有無を調べる。実験時には押し込み以外の布製タッチセンサ表面に発生するせん断力などによる布製タッチセンサの変形から、計測値に外乱が発生する可能性が考えられる。外乱による計測値のブレを減らすため平面での使用を想定し、アクリル板に布製タッチセンサを固定して実験を行う。

3.2 実験構成

本実験の構成を図5に示す。布製タッチセンサから得られる電圧値をArduinoで読み取り、抵抗値へ変換を行う。押さえつけるを行う機器として、リニアステージを使用する。リニアステージに3Dプリンターで製作した図6に示す押さえつけ器具を取り付けて作動させることにより、布製タッチセンサを押さえつける。布製タッチセンサは長さ100mm、幅40mmに裁断し、計測に使用する。

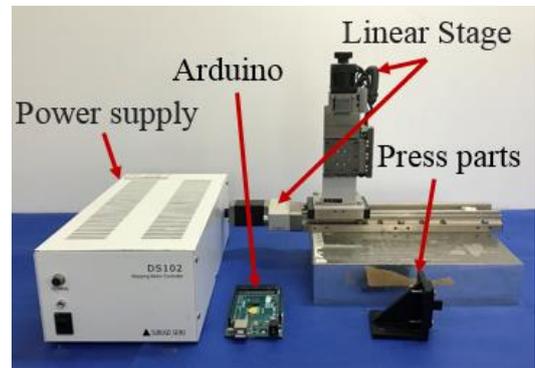


Fig. 5 Experiment environment

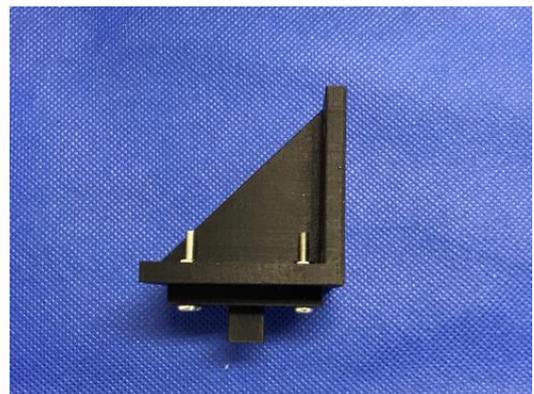


Fig. 6 Press parts

3.3 実験手順

実験手順を以下に示す。

1. 第3.2節の実験環境を構成し、布製タッチセンサをリニアステージ上に固定する。
2. 電源装置よりリニアステージに電圧をかける

- 20mm 地点から 80mm 地点まで 10mm 毎に押し付けを 5 秒間行う。
- Arduino のアナログ入力力で布製タッチセンサから得られる電圧値を取得する。サンプリングタイムは 0.05 秒とした。
- 各地点 5 回計測を行う。
- 計測は 8 月 29 日, 9 月 5 日, 9 月 11 日, 9 月 14 日, 9 月 21 日, 9 月 25 日の 6 日間計 6 回行った。

6.1 実験結果

図 7 に 9 月 5 日の実験結果を示す。以下は、5 回分の結果の平均データを測定した後、さらに測定した値を平均値にしたもの。平均値の上下の数値は、各点での 5 回計測の最大値・最小値となっている。同距離に 2 つのデータがあるのは、両端から計測を行っているためである。図 8 は図 7 における平均の点のみを計測 6 回分まとめたものとなっている。

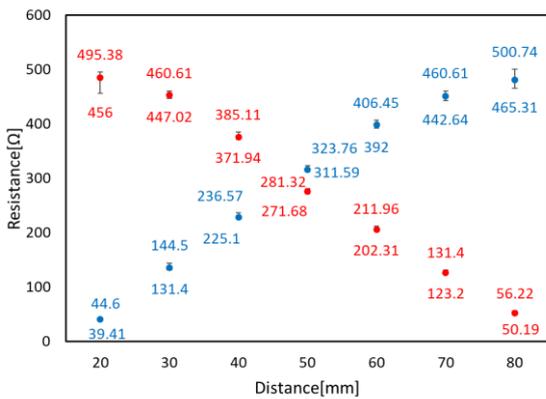


Fig. 7 Average value, maximum value, minimum value

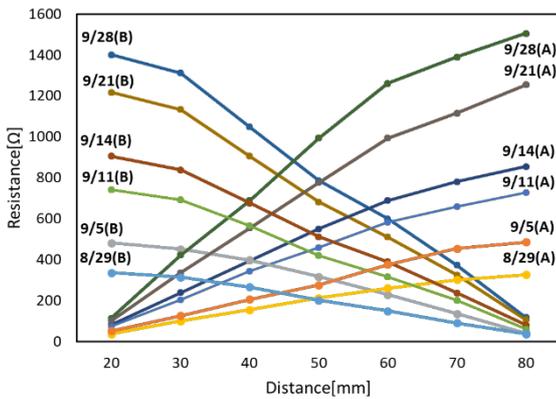


Fig. 8 Average value change for 6 times

図 7 より、グラフの形状からおおよそ線形性を持っていることが確認できる。各点での抵抗値のブレ幅より、分解能は 10mm 程度である。図 8 より、計測から日が空くと布製タッチセンサの抵抗値が上昇していることが確認できる。原因の検証については、次章で行う。

抵抗値の上昇がある状態ではセンサとして使いにくいいため、抵抗値上昇の影響を減らすために、比率を取り変化の割合を検証する。比率は以下に示す式(6)を用いて計算する。

$$(\text{比率}) = \frac{100R_A}{R_A + R_B} \quad (6)$$

ここで、 R_A , R_B は布製タッチセンサの両端をそれぞれ A, B とした時の端子から計測される抵抗値である。本実験では、抵抗値 R_A のみの比率をグラフに表示する。図 9 に結果を示す。

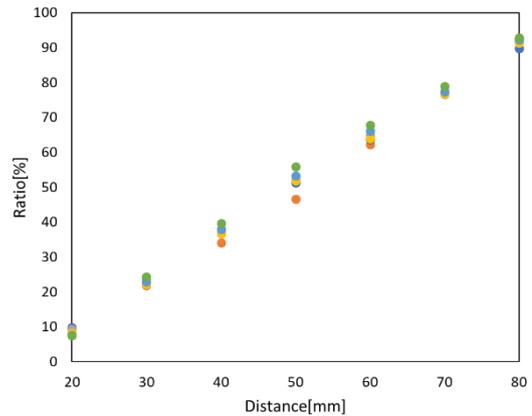
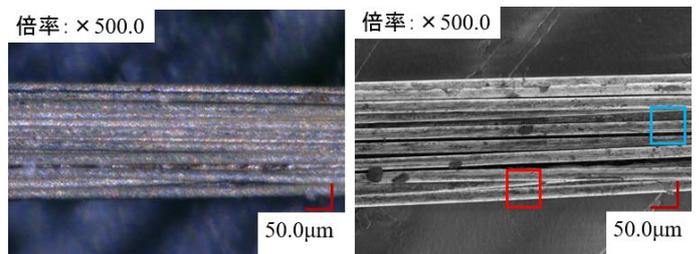


Fig. 9 A side terminal ratio

図 9 より、日が空くことで抵抗値の上昇が発生しても変化の割合に大きな違いはないことがわかる。これより、比率を求めることで接触位置を求めることができる。

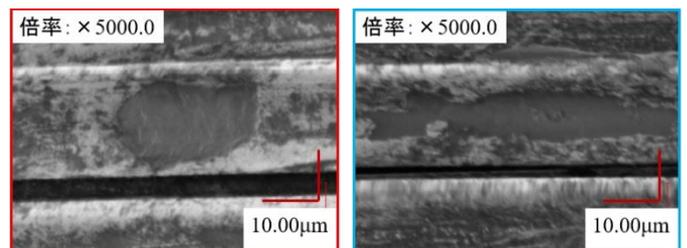
7. 抵抗値上昇原因検証

図 8 で日が空くことによる抵抗値の上昇を確認できたため、原因の検証を行う。光学顕微鏡と電子顕微鏡を用いて、布製タッチセンサの導電糸部分を撮影し、押さえつけによる導電糸への影響をみる。図 10 に(a)光学顕微鏡と(b)電子顕微鏡の結果を示す。図 11 には図 10(b)の赤枠部分と青枠部分の拡大図である。これらの結果画像は、布製タッチセンサの提供元である企業に撮影を依頼し、提供して頂いたものである。



(a) Optical microscope (b) Electron microscope

Fig. 10 Microscope magnification 500 times



(a) Red frame (b) Blue frame

Fig. 11 Electron microscope magnification 5000 times

図 10, 図 11 より光学顕微鏡では変化を見て取れなかったが, 電子顕微鏡で 5000 倍まであげることによって, 導電糸の銀メッキが剥離し, 内部の非導電性繊維が確認できた。抵抗値の上昇原因として, 銀メッキの剥離した部分が押さえつけ時に接触したことで通電性が悪化したことが原因の 1 つとして考えられる。

8. 結言

本研究の目的は, ウェアラブル端末にも使用可能な柔軟かつ軽量のセンサとして開発された, 布製タッチセンサの抵抗値測定であった。測定のために, 布製タッチセンサ用の端子接続方法を提案した。実験の際は平面での利用を想定し, 平面に固定した状況で計測を行った。計測実験より, 線形性を持つ変化を確認した。これは計測原理に即した結果であった。分解能は 10mm が限界である。複数日数での実験より, 計測実験を行う毎に布製タッチセンサの抵抗値が上昇した。しかし, 抵抗値の比率を取ることによって変化の割合がほぼ一定であることが判明した。さらに, 電子顕微鏡を用いて実験に使用した布製タッチセンサを撮影することで, 抵抗値上昇の原因の可能性の 1 つとして考えられる, 導電糸部分の銀メッキの剥離が確認できた。今後の課題は, 布製タッチセンサの抵抗値上昇の他の原因を考察および解明することである。

参 考 文 献

- [1] 大内一成, 鈴木琢治, 森屋彰久, 亀山研一: ”ウェアラブル機器を用いたヘルスケアサービス” 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), 29-36, 2007-02-22
- [2] 村尾和哉, 竹川佳成, 寺田努, 西尾章治朗: ”ウェアラブルコンピューティングのためのセンサ管理デバイスの設計と実装” 情報処理学会論文誌, 3327-3339, 2008-09-15
- [3] 藤本由紀夫, Taufiq Arif SETYANTO: ”圧電フィルムを用いたシート型衝撃力測定センサ” 日本機械学会論文集 C 編, 184-191, 73 卷(2007)725 号
- [4] 郭 士傑, 加藤陽, 伊藤弘昭: ”福祉機器用柔軟面状ゴムセンサの開発” SEI テクニカルレビュー (181), 117-123, 2012-07