

センサー機能を有する織物の開発

池口達治^{*1}、堀場隆広^{*1}

Development of Sensor Textile

Tatsuharu IKEGUCHI^{*1} and Takahiro HORIBA^{*1}

Owari Textile Research Center, AITEC^{*1}

導電性素材と非導電性素材からなる二層構造糸をたてよこに織り込んだ織物を作製した。この織物は圧縮時に静電容量が変化するセンサー機能を有している。見た目や触れた感触が通常の織物とほとんど変わらないため、新しい形態のタッチスイッチ、圧力センサーなどへの展開が期待される。

1. はじめに

従来、寒さから身を守ったり、ファッションのために着飾ったり、見る人を楽しませてくれるために用いられてきた織物の分野に電子工学的なハイテクノロジーを組み込む研究が盛んになってきている。広告用のディスプレイがついたTシャツ、音楽プレーヤーを組み込んだジャケット、センサーを埋め込んだカーペットなど商品化段階にあるものも少なくない。このような織物はエレクトロニック・テキスタイルと呼ばれ、日常生活、福祉、病院、IT分野など大きな市場規模が期待されている。

本研究では、エレクトロニック・テキスタイルのひとつとして、上から押さえたことを検知できるセンサー機能を発揮できる織物の開発を進めてきた。芯に導電性繊維、周囲に絶縁性繊維を配置した導電性二層構造糸を使用した織物は、圧縮したときに静電容量が変化する。この原理を利用してセンサー機能を有する織物を試作した。さらに、この織物を手で押さえることによってLEDを点灯させる回路の試作、離床センサーの試作を行いそれぞれの有効性を確認した。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

導電性素材を含むカバーリング糸と綿糸とを交撚した糸を使って導電性織物を製織し、これを実験試料とした。カバーリング糸は無撚りの芯糸に鞘糸が巻き付いた構造の糸である。過去の実験において、ステンレス鋼線を芯糸に使用したカバーリング糸は、芯糸の座屈変形防止と鞘糸による高い被覆性において、優れていることが確認されている。今回はカバーリング糸と綿糸を交撚するこ

とにより、綿がもつ柔らかな風合いを付与させた織物を試作した。試作した糸および織物の製造条件は次のとおりである。なお、撚回数 Z は撚方向が左撚りであることを表し、 S は右撚りであることを表す。

導電性糸

糸 a (芯糸) }
糸 b (鞘糸) } 撚回数 : $Z476$ 回/m }
糸 c } S500 回/m

ただし、

糸 a : ステンレス鋼線 直径 0.04mm

糸 b : ポリエステル糸 300D/72F

糸 c : 綿糸 20/1

糸 a、b はカバーリング撚糸の構造

糸 a+b と糸 c は交撚構造

使用した撚糸機 :

オゼキテクノ(株)製意匠撚糸機 ON-700-NF

(株)カキノキ製合撚糸機 TW-D

導電性織物

組織 : 平織

たて糸密度 : 15.0 本/cm

よこ糸密度 : 16.5 本/cm

織物は図 1 に示すように裁断し、糸の一部を抜き取り、端部に導電性接着剤(藤倉化成(株)製 XA-910)を塗布した。これにより導電性接着剤が繊維の隙間に浸透して糸の芯部に位置する導電性素材にまで到達し、電氣的に導通させることができる。導電性接着剤を塗布した後の織物を図 2 に示す。

硬化処理 : 100 °C、60min

*1 尾張繊維技術センター 開発技術室

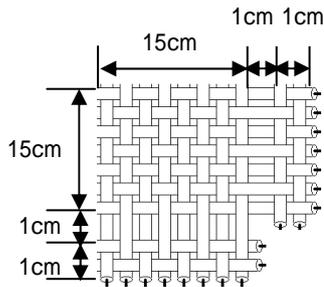


図1 織物センサーの形状



図2 織物の概観写真

この織物の導電性二層構造系の芯部にあるはずのステンレス線が何らかの原因で露出し、たて糸とよこ糸とで短絡するとキャパシタとして機能しないので、露出の恐れのある織物表面の数カ所において拡大し、不良箇所がないことを確認した。さらにたて糸とよこ糸に浸透させた導電性接着剤の端子間の抵抗を測定し、短絡がないことを確認した。

2.2 原理

芯に導電性素材、周囲に絶縁性素材を配置した導電性二層構造系をたてよこに使った織物は、たて糸とよこ糸の交点において、二つの導電体が絶縁体を挟み込んだ構造を形成する。この構造は可変のキャパシタであると見なせる。この電気的等価回路を図3に示す。

一般に絶縁体を間に挟んだ導電体に電圧を加えると両電極に電荷が蓄えられる。極板が平面のとき蓄えられる電荷の容量は式(1)で表される。

$$C = (\epsilon_0 S) / d \dots (1)$$

C : 静電容量(F)

ϵ : 比誘電率

ϵ_0 : 真空中の誘電率(F/m)

S : 極板の面積(m²)

d : 極板間の距離(m)

織物中の糸の交点においては、 ϵ 、 ϵ_0 、S、はほぼ一定であるため、Cはdに依存し織物を圧縮したときに生じる糸の変形により静電容量が増加すると推測できる。このとき、静電容量の変化を計測することにより織物を圧縮したことを検出できるセンサーが期待できる。

また、人が織物に触れたときに、人体が導体とみなせ

るため静電容量が変化する。この現象を利用することによりタッチセンサーとしても利用することができる。

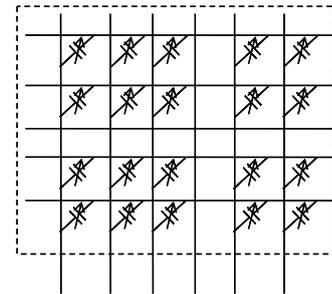


図3 織物の電気的等価回路

2.3 実験方法

2.3.1 構造解析

マイクロ X 線 CT スキャナー (株)東陽テクニカ製 SKYSCAN1174) を用いて織物を上下から圧縮した状態における導電性繊維の三次元座標を計測し、たて糸の導電性繊維とよこ糸の導電性繊維間の距離を求めた。主な計測条件は、分解能 : 6 μ m、スライス幅 : 9.75 μ m、試料サイズ : 5mm \times 5mm である。

2.3.2 耐候性試験

導電性接着剤は電子部品等の接合に使用することを前提としている。通常はケース等で囲われた環境で使用されるため耐候性に関する特性は重視されていない。今後、導電性接着剤を塗布した織物を衣料、インテリア、産業資材などに応用する可能性があり、用途によっては光や水に対する耐久性が問題となりうる。そこでウエザオメータを使用して導電性接着剤を塗布した織物を屋外と同等の環境下においたときの劣化状態について、外観の観察により評価した。

試験条件 : 65 \circ C、350hr、降雨あり。

2.3.3 センサドリフト

導電性織物の静電容量の安定性を調べるため、試作した織物を実験室内に6時間放置し、たて糸とよこ糸間の静電容量を断続的に測定した。

計測装置 : 日置電機(株)製 LCR ハイテスタ 3532-50

試験条件 : AC1.0V、周波数 1MHz、試料サイズ 15cm \times 15cm、サンプリング間隔 10sec

2.3.4 織物のサイズ

単位面積当たりの静電容量および周波数の影響を調べるため、織物を異なるサイズに裁断しそれぞれに異なる周波数の電圧を与えたときの静電容量を測定した。

計測装置 : 日置電機(株)製 LCR ハイテスタ 3532-50

試験条件 : AC1.0V、試料サイズ 7.5cm \times 7.5cm、7.5cm \times 15cm、15cm \times 15cm の3種類、周波数 100Hz、1kHz、1MHz

2.3.5 荷重 - 静電容量特性

50cm 四方の導電性織物を木製板で挟み重量計に置き、上から荷重を加えた。荷重は水を利用し、荷重が増加する過程と減少する過程におけるたて糸とよこ糸間の静電容量を測定した。測定方法を図4に示す。

計測装置：日置電機(株)製 LCR ハイテスタ 3532-50
 試験条件：交流電圧 1.0V、周波数 1MHz、100KHz

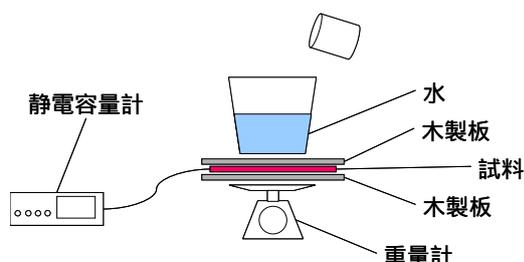


図4 荷重と静電容量の測定方法

2.3.6 タッチスイッチの評価

織物を静電容量計と接続した状態で、手で押さえたり物体を載せたときに静電容量が変化することを確認できた。この特徴を利用して織物のタッチスイッチを試作した。

2.3.7 離床センサーの評価

導電性織物の特徴を利用して離床センサーへの応用を考えた。本実験ではロールカーペットもしくはタイルカーペットの下に 50cm 四方の導電性織物を敷いたものを試料とした。試料の上に体重約 65kg の人が運動靴を履いて実際に乗り降りし、この間の導電性織物の静電容量を計測した。計測条件は、AC1.0V、周波数 100KHz。乗り降りの動作シーケンスは次のとおり。

降(7.5 秒) 乗(7.5 秒) 降(7.5 秒) 乗(7.5 秒)

3 . 実験結果および考察

3.1 構造解析

織物に荷重をかけた状態におけるたてよこの導電性繊維間の距離を求めた結果を図5に示す。

荷重の増加とともに導電性繊維間距離は減少し、減少する割合は荷重の増加とともに低下する傾向を示した。荷重が増加しても導電性繊維間の接触は起きなかった。

たて糸とよこ糸の交点においては、導電性繊維はほぼ直交し、両繊維は接触することなく、ある距離を隔てて配置していることも確認できた。このことから織物内部でキャパシタ構造が形成されていることがわかる。

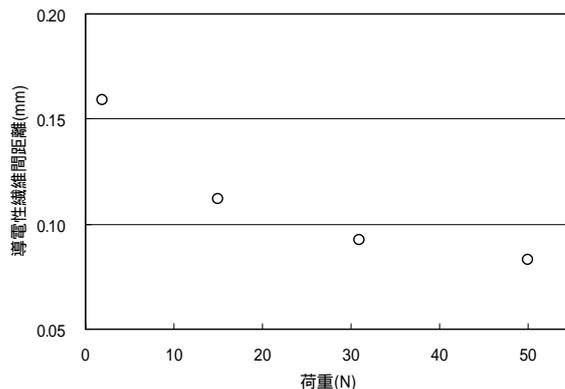


図5 荷重 - 導電性繊維間距離の測定結果

3.2 耐候性試験

導電性接着剤を塗布した試作した織物をウェザオメータを用いて耐候試験を行った結果、黄褐色に変色した。変色した原因は導電性接着剤に銀粒子が多量に含まれているためと思われる。変色後も低い電気抵抗値を示しているため、センサーとしての性能低下にはつながらないが、紫外線や降雨などの影響を受けやすい環境下では対策をとることが望ましい。

3.3 センサーのドリフト

導電性織物を 6 時間放置して静電容量を連続的に測定した結果、最大約 0.3pF の変動がみられた。このことから、センサーを安定したスイッチとして用いるためには、この変動を吸収する必要がある。

3.4 織物のサイズ

織物の面積と静電容量との関係を図6に示す。

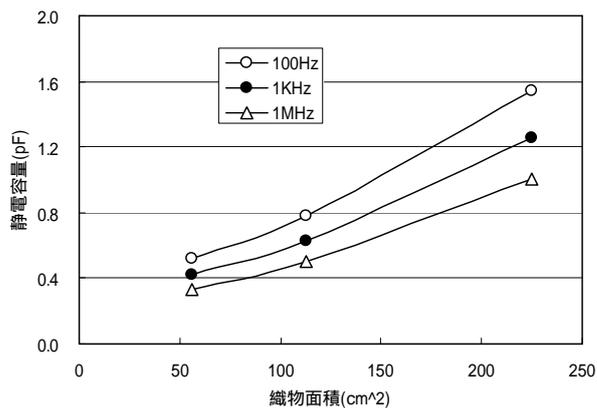


図6 織物面積と静電容量の関係

いずれの測定周波数の電圧を与えた場合においても織物の面積が増加するとともに静電容量も増加する。これは式(1)が表す内容と同等の傾向である。与える測定周波数によって静電容量が異なる点も明らかになった。

3.5 荷重 - 静電容量特性

荷重が増加する過程および減少する過程における静電容量を測定した結果を図7に示す。

静電容量の変化傾向は漸近線をともなう増加傾向を示す。また、荷重が増加する過程と減少する過程とを比較すると、減少する過程の方がやや高い静電容量を示している。この傾向は織物の圧縮回復特性と深い関係があり、素材や織物構造によって異なる。

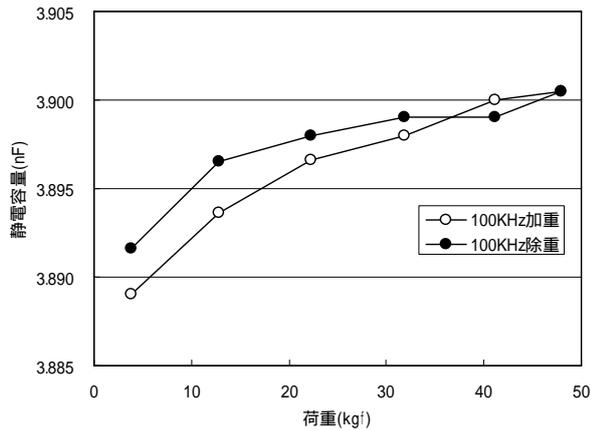


図7 荷重 - 静電容量の測定結果

3.6 タッチスイッチの評価

開発したタッチスイッチ回路のブロックダイアグラムを図8に示す。この回路は、導電性織物にパルス電圧を与え、導電性織物の放電時間を連続的に計測するものである。放電時間が設定した閾値より大きいときにLEDを点灯させ、逆に小さいときは消灯させるプログラムを組み込んだ。

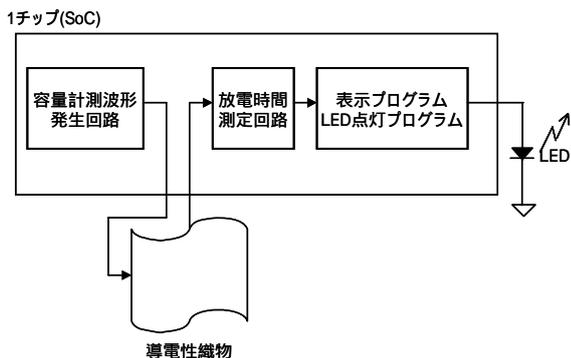


図8 計測のブロックダイアグラム

試作した装置を試験した結果、織物を応用したタッチスイッチの有効性が確認できた。試作した織物および回路部分の写真を図9に示す。

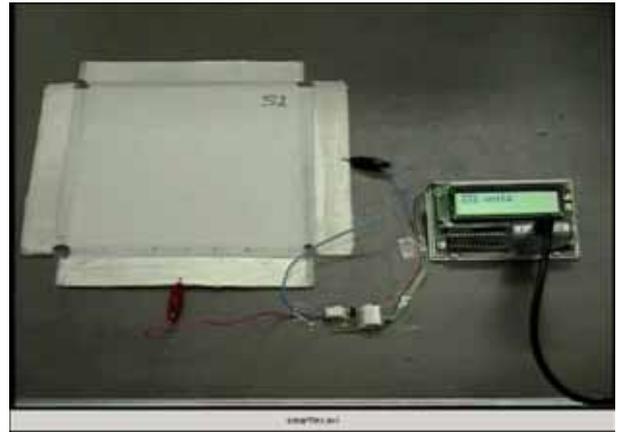


図9 試作した織物と回路

3.7 離床センサーの評価

導電性織物の上にカーペットを載せ、乗降したときの静電容量の変化を調べた結果を図10に示す。カーペットの裏面には樹脂がコーティングしてあり、上に人が乗ると導電性織物面全体が均一に押し下げられるため、静電容量の変化が明確に表れた。ロールカーペットとタイルカーペットとは大きな差はなかった。

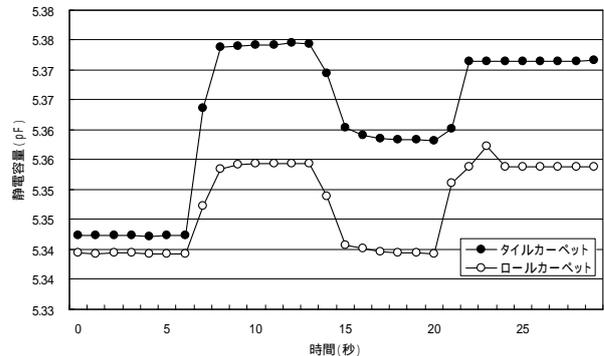


図10 離床センサーの乗降試験結果

4. 結び

今回の研究により導電性二層構造糸を使用した織物がセンサー機能を有することが明らかになった。この成果は織物の新しい使用形態を生み出すことにつながり、広い用途展開が期待できる。今後はこの織物のセンサー性能の向上と製品への応用について取り組んでいきたい。

本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構実用化検討に係る可能性試験「導電性織物を用いたセンサの開発」により実施した。