

織物構造とセンサ特性との関係解析

堀場隆広*¹ 池口達治*¹

Analysis of Relation between Woven Fabric Structure and Sensor Characteristics

Takahiro HORIBA*¹ and Tatsuharu IKEGUCHI*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系を使用した織物は圧縮されたことを検知できるセンサとしての機能を有する。この織物の構造とセンサ特性との関係については明らかにされていなかった。本研究では、このセンサ特性を向上させるための知見を得ることを目的に、二重織物や表面に凹凸が多く存在する織物を試作して静電容量の測定実験を行った。この試料による違いを各センサ特性として示した。この結果、センサ織物を設計する上で有効な知見が得られた。

1. はじめに

芯に導電性繊維、周囲に絶縁性繊維を配置した二層構造系を使用した織物は、圧縮したときにたて糸とよこ糸間の静電容量が変化する。この原理を利用することにより、織物にセンサ機能を付与できることがこれまでの研究で明らかになった。¹⁾

従来のシート状センサと比較して、センサ織物は伸縮性があり、曲げやすく、表面が柔らかく温みがあるなどの特徴がある。これらの特徴を活かした用途が見込めるため、様々な分野で実用化が期待されている。

織物は糸の素材、番手(太さ)、織物組織、密度、仕上げ方法(起毛や樹脂加工など)の織物構造の組み合わせを工夫することにより、用途や嗜好に合わせた設計をすることができる。設計の自由度が高いため、センサとしての色や形状も多様に設計できると考えられる。

しかし、これまでの研究では織物の設計要素とセンサ特性との関係が明らかにされていなかった。

織物の設計要素のひとつに織物組織がある。織物組織は糸の交錯の組み合わせで決まり、非常に多くの種類がある。例えば、平織と蜂巢織を比較すると、平織は織物組織のうちで最も薄く、圧縮したときの厚さの変化が小さいが、蜂巢織は厚さが2倍以上あり、圧縮したときの厚さの変化が大きいことが経験的に知られている。このような織物組織の違いがセンサ特性に及ぼす影響は大きいと考えられる。

本研究では織物構造とセンサ特性との関係を明らかにするため実験を行った。また、導電性素材を改良し、セ

ンサ特性の向上を図った。

2. 実験方法

2.1 試料

導電性素材としてポリエステルマルチフィラメント糸に銀めっきした糸を、また非導電性素材としてポリエステルフィラメント糸と綿糸をそれぞれ使用した。これらの糸を組み合わせ中空スピンドル式の撚糸機を使用してダブルカバーリング撚糸を試作した。芯に銀めっき糸、その周囲にポリエステル糸を巻いて完全に被覆し、さらにその周囲に綿糸を巻いて表面が柔らかな手触り感となるようにした。撚糸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。

糸 a (芯糸) }
糸 b (鞘糸) } 撚回数 : $Z476$ 回/m }
糸 c (鞘糸) } $S476$ 回/m

ただし、

糸 a : ポリエステル銀めっき糸 150D

糸 b : ポリエステル糸 300D/72F

糸 c : 綿糸 20/1

使用した撚糸機 :

オゼキテクノ(株)製意匠撚糸機 ON-700-NF

試作した糸をたてとよこに使用して蜂巢織と二重織の織物を試作した。

また、前年度試作した導電性素材にステンレス鋼線(直径 0.04mm)を使用した平織を比較対照に加えた。今回使

*¹ 尾張繊維技術センター 開発技術室

用した銀めっき糸はベースがマルチフィラメントであるため、織物内部で糸が圧縮変形したときに扁平になると考えられる。このため、ステンレス鋼線と比較してたて糸とよこ糸の交点における静電容量が増加し、センサとして安定した性能が得られると期待できる。

なお、織物組織が異なる場合、最密充填密度が異なるため、試料間の密度を統一することはできない。このため各試料ともに標準的な織密度になるよう調整した。製織条件は次のとおりである。

試料 1 (従来品)

組織：平織

たて糸密度：169 本/10cm

よこ糸密度：161 本/10cm

厚さ：0.55mm(0.05N 荷重時)

試料 2

組織：蜂巢織

たて糸密度：206 本/10cm

よこ糸密度：102 本/10cm

厚さ：2.99mm(0.05N 荷重時)

試料 3

組織：二重織

たて糸密度：206 本/10cm

よこ糸密度：134 本/10cm

厚さ：1.88mm(0.05N 荷重時)

織り下ろし後における蜂巢織および二重織の試料の写真を図 1 に示す。

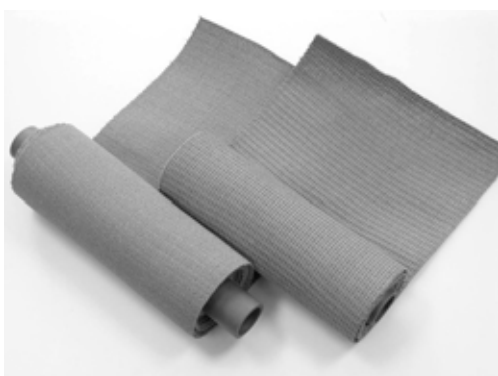


図 1 製織した蜂巢織および二重織

試料は 17cm 四方の正方形に裁断し、四辺の端部 1cm 幅に導電性接着剤(藤倉化成(株)製 FA-333)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、すべてのたて糸、すべてのよこ糸を電氣的に導通させることができる。

さらに角部の 1cm を切り取って、たて糸とよこ糸が電氣的に絶縁されている状態にした。四辺の導電性接着剤

の塗布部のうち、たてとよこの一辺ずつを電極として使用した。裁断処理後における試料の写真を図 2 に示す。

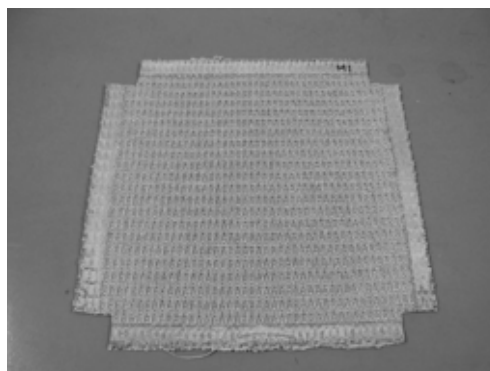


図 2 裁断処理後における試料の写真

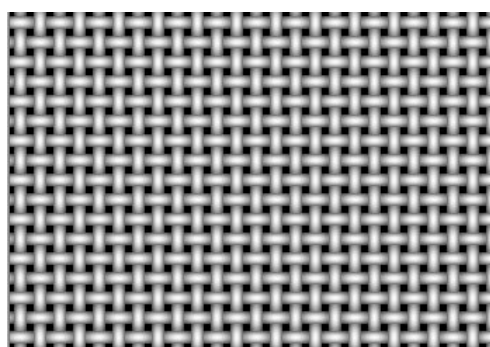


図 3 平織試料の構造モデル

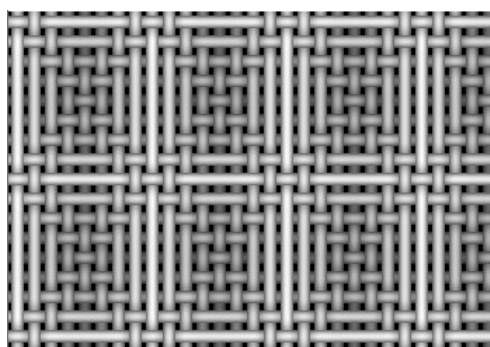


図 4 蜂巢織試料の構造モデル

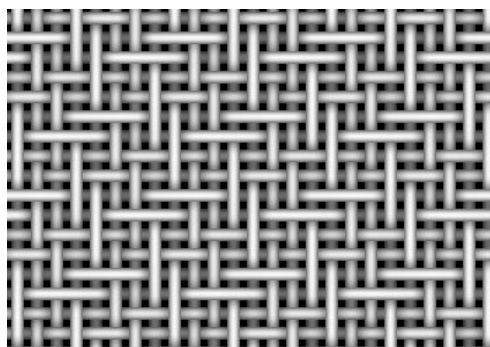


図 5 二重織試料の構造モデル

平織、蜂巢織、二重織の3種類の試料の構造を説明するために織物構造をコンピュータシミュレーションで生成した画像を図3、図4、図5に示す。

図3に示す平織は、各組織点でたて糸とよこ糸が密着した最も薄い織物となる組織である。図4に示す蜂巢織は、たて糸とよこ糸が交錯する回数が少ない組織で、表面には四角錐を逆にしたような凹凸が現れるのが特徴である。図5に示す二重織は、二枚の織物が重なった構造であることが特徴であり、この試料の場合、4本単位で表糸と裏糸が入れ替わる組織である。

2.2 実験方法

織物構造の違いが圧縮性に及ぼす影響を調べるため、圧縮試験器を使用して、加重時および除重時における試料の厚さを計測した。実験条件は次のとおりである。

計測装置：(株)イマダ製テンションメータ-DPZ-5N
可動式スタンド HV-500N2

圧縮子：直径 13mm 円形

次に試料のセンサ特性を調べる実験を行った。本研究で扱うセンサ織物は静電容量の変化をもとにして圧縮されたことを検知するタイプである。そこで、試料に木製の板を乗せ、さらにその上に 0.5 ~ 2kg の 7 個の錘を順に寄せ荷重を加えていき、全て乗せた後、順に取り除いていった。このときのたて糸とよこ糸間の静電容量を LCR メータで計測した。実験条件は次のとおりである。

計測装置：日置電機(株)製 LCR ハイテスタ 3532-50

電圧：AC 1.0V

周波数：100Hz

木製板サイズ：15cm × 15cm

温度：24.4

湿度：21%

また、圧縮面のサイズと静電容量の変化との関係調べるため、3種類のサイズの異なる木製の板を使用して、その上に 0.5 ~ 2kg の 7 個の錘を順に寄せ荷重を加えていき、全て乗せた後、順に取り除いていった。このときのたて糸とよこ糸間の静電容量を LCR メータで計測した。実験条件は次に示す以外は上述と同様である。

圧縮板サイズ：5cm × 5cm、10cm × 10cm、15cm × 15cm

試料：蜂巢織

3 . 実験結果および考察

図6に圧縮試験の結果を示す。

蜂巢織が最も厚く、二重織、平織の順に薄くなる。圧力が増加すると試料の厚さが減少するが、厚さが大きいほど厚さの減少量が大きい。また、圧力が減少すると厚さが増加するが、回復履歴は加圧時と異なり、ヒステリシスがあることが示されている。実験直後の試料の厚さ

は実験前よりも薄くなっているが時間が経過すると元に戻る。

圧縮を検知するセンサ織物を設計する際には、織物の厚さや手で圧縮したときの感触が重要な場合がある。これらの項目について調整する場合に織物組織を工夫する手法が有効であることを実験結果が示唆している。

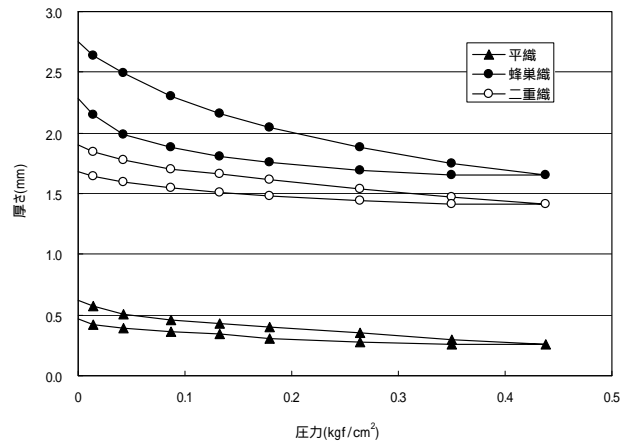


図6 圧力と厚さとの関係

：平織 ：蜂巢織 ：二重織

(ただし、それぞれの上部曲線は加重直後、下部曲線は 0.045kgf/cm² の圧力を一旦加えた後の各加重時)

次に、試料に錘を乗せていったときの静電容量の変化について試験した結果を図7に示す。

静電容量は平織、蜂巢織、二重織の順に大きくなっている。二重織と蜂巢織では、二重織の方が、静電容量が大きい。これは織物の厚さとたて糸とよこ糸の交点数が影響したと考えられる。交点数はたて糸密度とよこ糸密度の積で表すことができ、次のようになる。

平織：27,209 個/10cm²

蜂巢織：21,012 個/10cm²

二重織：27,604 個/10cm²

二重織は蜂巢織に比べて約 15%薄く導電性繊維間の距離が近いので静電容量が大きくなると考えられる。

一方、平織は他の試料と比較して薄く導電性繊維間の距離が小さい上に交点数も二重織と同程度であるにもかかわらず静電容量は小さい。これは使用した導電性繊維の違いが影響したと考えられる。

平織に使用したステンレス鋼線は織物中においても変形せず円形断面を保つ。一方、蜂巢織や二重織に使用した銀めっき糸は細い繊維が何本も束ねられたマルチフィラメントの構造である。したがって織物になったときに導電性繊維が扁平に押しつぶされて導電体の重なり面積が増加する。この影響によって平織よりも蜂巢織、二重織の方が、静電容量が大きいという結果になったと考え

られる。

以上の実験から静電容量の大きい織物を作製するためには、たて糸密度とよこ糸密度を増やす、薄くする、織物中で扁平形状となる導電性繊維を選択する、といった対策が有効であることがわかった。

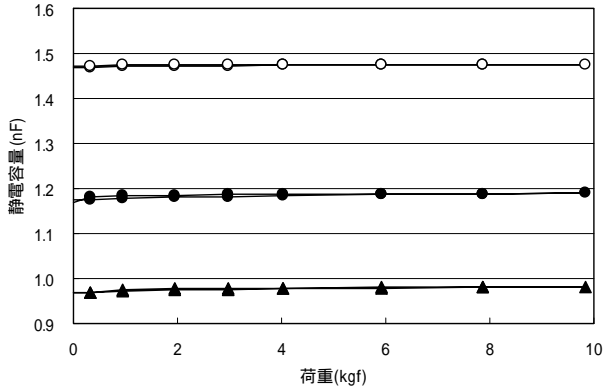


図7 荷重-静電容量特性
○：平織 ●：蜂巢織 ▲：二重織

荷重を加える前における静電容量を基準として、荷重を加えたときの静電容量の変化量を図8に示す。どの試料においても初期の荷重増加に対して静電容量は急激に増加するが、荷重が増加するほど静電容量の増加率は低下する。また、二重織は他の試料と比較して静電容量の増加が少ないことがわかった。

蜂巢織はたて糸とよこ糸が接触せず離れている箇所が多く存在する織構造であり、圧縮したときに導電性繊維間距離が大きく変化する。このため静電容量が大きく増加したと考えられる。

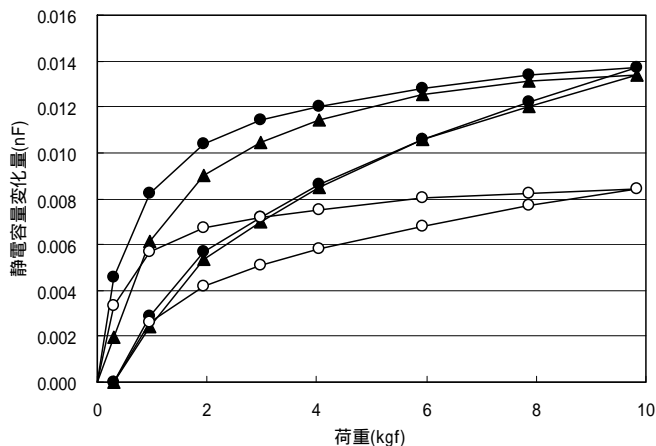


図8 荷重-静電容量特性
○：平織 ●：蜂巢織 ▲：二重織

試料を圧縮する面積と静電容量との関係を図9に示す。圧縮する面積が増加するとともに静電容量が増加する。

圧縮面積が広いとき、圧縮されるたて糸とよこ糸の交点の個数が多くなり、静電容量が増加したのと考えられる。

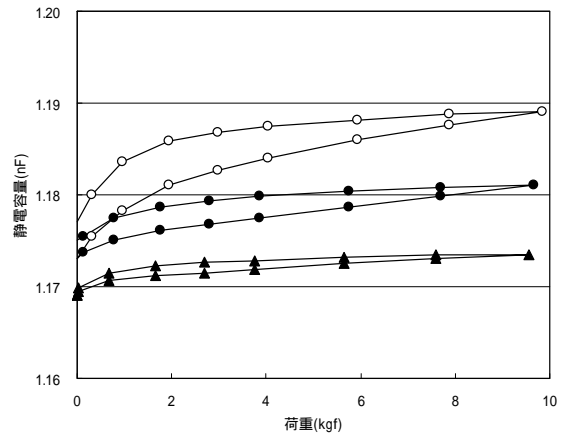


図9 荷重-静電容量特性(圧縮面積別)
○：5cm×5cm ●：10cm×10cm ▲：15cm×15cm

試料を圧縮する面積と静電容量との関係について横軸を圧力に換算した結果を図10に示す。

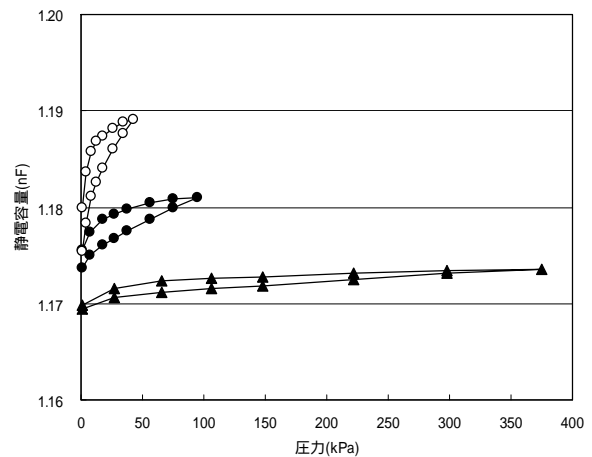


図10 圧力-静電容量特性(圧縮面積別)
○：5cm×5cm ●：10cm×10cm ▲：15cm×15cm

4. 結び

静電容量を測定することにより圧縮されたことを検出できるセンサ織物に関する実験を行った。この結果、織物構造および糸密度の違いが静電容量に及ぼす影響について明らかになった。得られた知見は、今後、センサ織物を製品に向けて展開していく際に、有効に活用できる内容である。

文献

- 1) 池口、堀場:愛知県産業技術研究所研究報告,6,132 (2007)