

導電糸刺繍における縫い方の抵抗値に与える影響の調査

篠田 和宏[†]
東京大学[†]

矢谷 浩司[‡]
東京大学[‡]

1 はじめに

布製品にインタラクティブな機能を搭載させるために、様々なスマートテキスタイル技術の研究が行われている。スマートテキスタイル作成のために、布に導電繊維を組み込む方法としては主に織り・編み・刺繍の3つがある。その中でも刺繍は様々な縫い方・設計パラメータで導電繊維を組み込めるため、多様な導電繊維の構造作り出すことが可能である。先行研究では刺繍の設計パラメータを変えることで抵抗値も変化させられることがわかっている [1, 2]。しかし、特定の縫い方において刺繍のパラメータから抵抗値を精度良く推定することを目的にしており、刺繍のたくさんある縫い方・設計パラメータが導電糸刺繍の抵抗値にどのような影響を及ぼすのかは明らかになっていない。

そこで本研究では、様々な刺繍の縫い方が抵抗値にどのような影響を及ぼすのか明らかにすることを旨とする。そこで、様々な縫い方で設計パラメータを変化させて刺繍し、抵抗値を計測することによって、刺繍のパラメータと抵抗値の関係の調査を行った。結果として、導電パターン形状によらずに広い範囲で抵抗値を変化させたり異方性をもたせたりできることが確認された。

2 実験条件

2.1 対象とする刺繍のパラメータ

調査した刺繍の縫い方(設計パラメータ)は、走り縫い(ピッチ・重ね回数)・三重縫い(ピッチ)・サテン縫い(糸密度)・タタミ縫い(糸密度・ピッチ・偏差)・クロスステッチ(ピッチ・重ね回数)・同心円縫い(糸密度)・放射縫い(糸密度)の7つの縫い方とそれぞれに対応する4種類の設計パラメータである。これは、既存の刺繍設計ソフトに搭載されている縫い方・設計パラメータの中から、刺繍の作成によく使われている縫い方や他の様々な縫い方の基本形となっているような縫い方を対象とした。

2.2 刺繍の作成

刺繍ミシンはイノヴィス NX2800DW(ブラザー工業株式会社)を利用した。刺繍データの設計は「刺しゅう PRO11」(ブラザー工業株式会社)を利用した。導電糸はナイロン100%の銀メッキされた導電糸(Smart-X, 株式会社フジックス製)を利用した。この導電糸の線抵抗は約 $250 \Omega \text{m}^{-1}$ である。生地はシーチングを利用しており、刺繍を設計寸

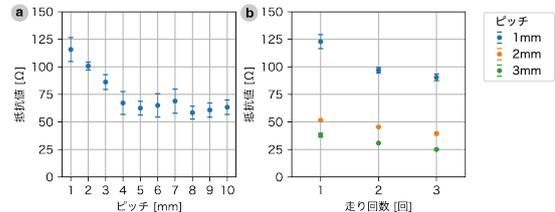


図1: 走り縫いの(a)ピッチ・(b)走り回数を変化させたときの抵抗変化

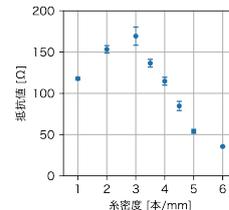


図2: サテン縫いの糸密度を変化させたときの抵抗変化。

法通りに作成するために接着芯を用いている。一次元の刺繍(走り縫い・三重縫い・サテン縫い)は10cmの直線、二次元の刺繍(タタミ縫い・クロスステッチ・同心円縫い・放射縫い)は一辺2.5cmの正方形を刺繍した。

2.3 計測方法

計測にはデジタルマルチメータ(CD771, 三和電気計器株式会社)を利用した。デジタルマルチメータのリードの当て方を一定にするために、クリップリード(TL-91C, 三和電気計器株式会社)で1本だけ糸を引っ掛ける形で計測した。また、布にかかる張力を一定にするために布を刺繍枠にはめた状態で計測した。刺繍のサンプルは各パラメータに対して4サンプルずつ製作し、それぞれ3回ずつ計測した平均値をそのサンプルの測定値とした。

3 結果

3.1 一次元の刺繍(走り縫い・三重縫い・サテン縫い)

走り縫いでは、ピッチが長くなるほど抵抗値が小さくなっていく傾向にあった(図1(a))。また、三重縫いにおいても同様にピッチが長くなるほど抵抗値が小さくなっていった。加えて、走り縫いの走り回数が多いほど抵抗値は小さくなっていく傾向にあった(図1(b))。

サテン縫いでは、密度が3本/mm以下の場合糸密度が大きくなるほど抵抗値も大きくなっていくのに対して、3本/mmより大きい場合は逆に糸密度が大きくなるほど抵抗値が小さくなっていく(図2)。

Examining the effect of sewing methods on resistance in conductive yarn embroidery

[†] Kazuhiro Shinoda, The University of Tokyo

[‡] Koji Yatani, The University of Tokyo

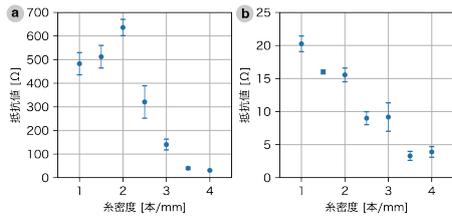


図 3: タタミ縫いの糸密度を変化させたときの抵抗変化。(a) 垂直な方向。(b) 平行な方向。

3.2 二次元の刺繍(タタミ縫い・クロスステッチ・同心円縫い・放射縫い)

タタミ縫いの糸密度では、縫い方向に垂直な方向に計測した時、糸密度が2本/mm以下の場合には糸密度が大きくなるほど抵抗値も大きくなっているが、2本/mmより大きい場合は逆に抵抗値が小さくなっている(図3)。縫い方向に平行な方向では、糸密度が大きくなるほど抵抗値が小さくなる傾向にある。ピッチを変化させた場合、垂直な方向において、糸密度が2本/mmの場合はピッチが1mmの時のみ抵抗値が小さくなっているが、それ以外の場合では統計的な観点から有意な差を持つほど抵抗値は変化していない。偏差を変化させた場合、垂直な方向において、糸密度が2本/mmの場合は偏差が0%の時に最も抵抗値が低く、50%に近づくほど高くなるような傾向になっている。平行な方向においては偏差によって統計的な有意差は見られない。また、タタミ縫いの全てのパラメータに共通することとして、抵抗値に異方性がある。

クロスステッチにおいて、ピッチが短いほど、重ね回数が多いほど抵抗値が大きくなる傾向にある。ただ、変化幅は非常に小さく、異方性もほとんど見られない。

同心円縫いの糸密度を変化させた場合、どちらの方向でも糸密度が大きいくほど抵抗値が小さくなる傾向にあった。また、異方性も見られた。放射縫いも糸密度が大きいくほど抵抗値が小さくなる傾向にあったが、放射縫いは刺繍構造が点対称になっているため、異方性はなかった。

4 考察

4.1 抵抗値に影響を与えるパラメータ

4.1.1 糸密度

サテン縫い・タタミ縫い(垂直な方向)はある閾値までは糸密度が大きくなるほど抵抗値が大きくなっていくが、ある閾値より大きいと抵抗値が小さくなっていく傾向が見れとれる。これは、隣り合う導電糸が接触しているかどうかに関わっている。糸密度が2本/mmの場合(図4(a))は導電糸が接触していないことから接触抵抗が存在しないため、等価抵抗回路モデルは走り縫いと同様のものとなる。したがって、糸密度が大きいくほど刺繍を構成する導電糸が長くなるため、抵抗値が大きくなっていく。一方で、導電糸が接触するほど糸密度が大きい場合(図4(b)(c))は接触抵抗が存在している。そのため、糸密度が大きいくほど導電糸同士の接触面積が大きくなるため、抵抗値は小さくなる傾向になる。



図 4: タタミ縫いにおける糸密度ごとの拡大画像。(a)2.0本/mm (b)3.0本/mm (c)4.0本/mm

同心円縫い・放射縫いにおいて、サテン縫い・タタミ縫いと異なる傾向となったのは、糸密度が1本/mmの場合でも隣り合う導電糸が接触することに起因している。

4.1.2 ピッチ

一次元の刺繍(走り縫い・三重縫い)ではピッチが長いほど抵抗値が小さくなっていったのに対して、二次元の刺繍(タタミ縫い・クロスステッチ)では逆にピッチが長いほど抵抗値は大きくなる傾向にあった。これはピッチが長いほど針数(下糸に引っ張られて上糸が布の内部を通る回数)が少なくなり、刺繍を構成する導電糸の長さが短くなるためである[2]。先行研究では行われていなかったが、本研究を通して三重縫いでも同様の傾向が見られた。

一方で二次元の刺繍では、一次元の刺繍とは逆の傾向を示していた。これは、ピッチが短いほど単位面積あたりに含まれる導電糸の長さが長くなるからと考えられる。

4.1.3 走り回数(重ね回数)

走り縫い・クロスステッチでは、走り回数(重ね回数)が多いほど抵抗値は小さくなる傾向にあった。これは、走り回数(重ね回数)が増えると同一の回路が並列回路になるから[1]である。先行研究では行われていなかったが、本研究を通してクロスステッチでも同様の傾向が見られた。

5 おわりに

本研究は、導電糸刺繍において様々な縫い方・設計パラメータが抵抗値にどのような影響を及ぼすのか明らかにすることが目的である。そこで、縫い方や設計パラメータを変化させて刺繍し、抵抗値を計測することによって、刺繍のパラメータと抵抗値の関係の調査を行った。結果として、導電パターン形状によらずに広い範囲で抵抗値を変化させたり異方性をもたせたりできる可能性が確認された。

謝辞

本研究は、株式会社メルカリ R4D とインクルーシブ工学連携研究機構との共同研究である価値交換工学の成果の一部である。また、株式会社パールヨットから刺繍の作成に関して助言を受けた。

参考文献

- [1] Rho, S. H. et al.: *Text Res J*, Vol. 92, No. 9-10, pp. 1550-1564 (2022).
- [2] Zhang, Y. et al.: *J Ind Text*, Vol. 51, No. 5_suppl, pp. 8565S-8581S (2022).