

導電糸を活用した組紐型タンジブル・インタフェース の基礎検討

穂積 佳^{1,a)} 塚田 浩二¹ 吉田 博則¹

概要：

組紐は、柔軟性と強度を併せ持つため、固定や装飾等の多様な用途に利用できる。さらに、材料となる紐を変えることで、外観も美しくデザインできる。本研究では、導電糸と紐の組み方をカスタマイズすることで、異なる特性を持った導電組紐を製作する。さらに、製作した導電組紐の引っ張りや結んだ際の電気的な特性を測定し、その性能を調査する。これらの実験結果に基づき、導電組紐を活用したタンジブル・インタフェースの基礎検討を行う。

Exploring Tangible Interfaces with Different Configurations of Conductive Threads

KEI HOZUMI^{1,a)} KOJI TSUKADA¹ HIRONORI YOSHIDA¹

1. はじめに

紐は古代から多様な目的に利用されてきた。例えば、縄を結んでモノを固定したり、飾り結びを用いて装飾に利用したり、結縄のように結び目を用いて記憶補助手段としても利用された。本研究では、複数の細い紐を組み上げた組紐に着目する。組紐は、柔軟性と強度を併せ持つため、上述した多様な用途に利用できるだけでなく、材料となる紐を変えることで、外観も美しくデザインできる。また近年では、布や紐等の繊維に電子回路やセンサを組み込む E-Textile の研究が盛んに行われている。例えば、Olwal[1]らは、導電糸や光ファイバーなどの機能性繊維を紐に編み込み、タッチセンシングや情報提示機能を備えた組紐型デバイスを提案している。Wilson[2]らは導電糸を用いたテキスタイルセンサを複数種類製作し、そのデザイン、構築、普及に関する事例をまとめている。本研究では、組紐に使われる紐に導電糸等を組み込むことで、従来の組紐にセンシング機能等を付与し、タンジブル・インタフェース等に活用できる組紐型デバイスを開発する（図 1）。



図 1 組紐を組んでいる様子

本研究では、従来の紐だけでなく、導電糸・光ファイバー・クロミック糸等の多様な機能性繊維を素材とした、新しい組紐を組み上げることを目指す。例えば、導電糸を組み込んで抵抗値を計測すれば伸縮を検出するセンサとして利用でき、静電容量を検出すればタッチセンサとして利用できる。また、光ファイバーを組み込み光の透過率を計測すれば、組紐の曲げや結びを検出できる可能性がある。本論文では、特に導電糸の組み方に応じた性能の変化を確かめ、組紐型タンジブル・インタフェースの基礎検討を行う。

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

^{a)} g2124043@fun.ac.jp

2. 関連研究

本章では、本研究に関連する研究事例として、「紐状の入力デバイス」、「機能性繊維を用いたデバイスや表現」の2つの観点から説明する。

2.1 紐状の入力デバイス

Schwarz[3]らは紐の端や内部にセンサを取り付けることで、ねじり、引っ張り、タッチ箇所をセンシングできる手法を提案している。Schoessler[4]らは、コード内部に曲げセンサや導電性ポリマーを組み込むことで、コードを用いた入力方法を提案し、5つのプロトタイプ製作を行っている。Olwal[1]らは、非導電性のコアの周りに導電糸と光ファイバーを格子状に編み込み、近接、タッチ、ねじりをセンシングできる機能と情報提示機能を備えた紐型デバイスを提案した。さらに、音楽プレイヤーの音量を操作する応用例等を示している。Shahmiri[5]らは、コイル状の銅線と導電糸をシリコンを挟んで多重に配置することで、コイルの変形を用いたセンシング手法を提案した。具体的には、Pluck (つまむ)、Twirl (ねじる)、Stretch (伸ばす)、Pinch (つねる)、Wiggle (くねらせる)、Twist (ねじる)の6種類の操作を検出している。劉[6]らは、導電糸を組み込んだ紐に導電性の紐やクリップを取り付けることで入力ができるインタフェースを提案し、そのシステムを応用したタンジブル音楽システム「Music yarn」を提案している。大崎[7]らは、スニーカーのタンの部分にLEDマトリクスを、靴紐を通すホール部分にタッチセンサを組み込むことで、靴紐の表現を拡張できるインタラクティブな靴紐を提案をしている。

2.2 機能性繊維を用いたデバイスや表現

Wilson[2]らは導電糸を用いたテキスタイルセンサを複数種類製作し、そのデザイン、構築、普及に関する事例をまとめている。富永[8]らは、羊毛フェルトと導電性繊維を組み合わせることで、柔らかい触感がある入力インタフェース「ふわもにゅインタフェース」を提案している。若本[9]らは、外部刺激で色等が可逆的に変化するクロミック素材を用いて多様な色/描画パターンを表現できるインタラクティブキャンバスと描画デバイスを提案・試作し、基礎性能評価をまとめている。

2.3 本研究の特徴

本研究では、導電糸と非導電糸を組み合わせた導電紐の組み方等に着目し、定量的に性能を調査することで、紐を活用したタンジブル・インタフェースのための基礎検討を行う。

3. 提案

本章では、本研究のコンセプトや紐、導電糸について述べる。

3.1 コンセプト

本研究では、従来の紐に導電糸を組み込むことにより、引っ張り、結ぶ位置、結んだ回数等を検出できる紐を組み上げる。例えば、引張による伸縮は、組み込まれた導電糸の抵抗値を測ることで検出できる。

3.2 紐

本研究では、複数の紐もしくは糸を組み上げて作られた紐を紐とする。紐を構成する紐や糸のことをストランドと呼ぶ。紐には多様な束ね方があり、外観/伸縮性/手触り等に特徴がある。例えば、3本のストランドをねじる様に束ねた3つ打ちの紐は、表面に凹凸があり、滑りにくいがよじれやすいという特徴がある。一方、中に芯を通し、その周りを十数本のストランドで編んだ金剛打ちは、表面がなだらかで、よじれにくいという特徴がある。

3.3 導電糸

導電糸とは、導電性繊維で出来た糸である。導電性繊維とは金属やカーボンブラックなどを化学繊維に混合したり、繊維の表面を金属で被覆したり、金属繊維を用いる等して、導電性を付与した繊維素材である。導電繊維の抵抗値は製法や素材によって異なる。本研究では100mmで約12Ωの抵抗がある導電糸A(幅0.5mm)と、100mmで約1kΩの抵抗がある導電糸B(幅1mm)を使用した(図2)。非導電糸はコットン素材の幅1mmの糸を使用した。

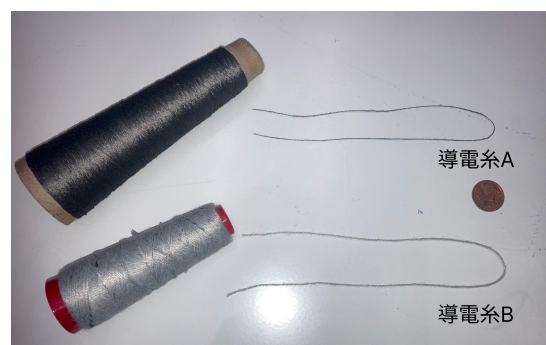


図2 使用した導電糸

4. 実装

導電糸と非導電糸から大きく2種類の組み方で導電紐を製作した。制作に用いた器具と紐の組み方について述べる。

4.1 制作器具

組紐を組む為の適切な太さのストランドを作るために、ひもより器を使用した。ひもより器は、それぞれのフックに糸を掛けてハンドルを回すと、フックが回転し糸がねじれていく。その後、ギアを変えてさらにハンドルを回すと、3つのフック全体が回り3つのねじれた糸がまとまる。このようにして、3つ打ちの紐を作ることができる。本研究では、ミスミフレームを使用して糸を張ることにより、紐の製作効率を高めた(図3)。ひもより器をミスミフレームに固定するジョイントは3Dプリンターで製作した。ミスミフレームの端にはクリップを付け、ひもより器のフックから糸を張ることができる。

糸から組紐を組み上げる製紐機としてミサンガ作成玩具「からふるくみくる」を使用した(図4)。12個のポビンに糸を設置してハンドルを回すことで、ポビンが規則的に移動して糸が巻き上げられて12打ちの組紐を作ることができる。設置する糸の箇所を変えることにより、異なるパターンの模様を作ったり、8個のポビンのみを用いることで8打ちの組紐を制作することができる。

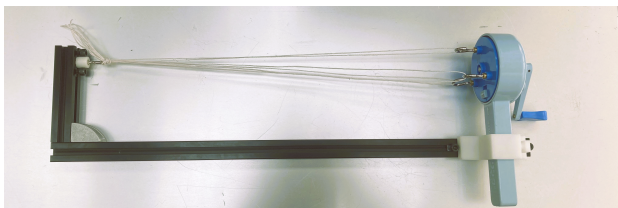


図3 ミスミフレームに固定したひもより器



図4 からふるくみくる

4.2 8打ち・12打ちの組み方

8打ちは、8本のストランドを1本の紐に組み上げる組み方であり、12打ちは12本のストランドを用いたものである。8打ち・12打ちでは、紐の中心に紐芯を通す場合と通さない場合があるが、本研究では紐芯なしで制作した。

4.2.1 制作方法

8打ち・12打ちの導電組紐は制作器具の節で述べた製紐機(からふるくみくる)で制作した。導電糸と非導電糸の厚みが違う場合は、薄い方の糸をひもより器で複数回よってサイズが合うように調整した。

4.2.2 制作例

8打ちの導電組紐は、導電糸と非導電糸を用いて、それぞれの本数と配置を調整して複数種類制作した。制作した組紐の例を図5に示す。具体的には、6種類のパターンに対して、導電糸A・Bを用いた場合で、計12種類制作した。長さは約20cmである。制作時の配置パターンと導電糸Bを用いた組紐を図6に示す。



図5 8打ちの導電組紐

パターンA		
パターンB		
パターンC		
パターンD		
パターンE		
パターンF		

図6 制作した6パターンの導電組紐。模式図の赤が導電糸の配置箇所

12 打ちの導電組紐は、導電糸 B を用いて約 40cm の長さで 2 パターン制作した。具体的には、パターン D のように、交互に導電糸と非導電糸を配置したものと、パターン F のように導電糸と非導電糸を半分ずつ配置した 2 パターンを制作した。この 12 打ちの導電組紐を用いて、紐の機能を分かりやすく見せるためのデモ装置を制作した。導電組紐にかかる張力に応じて、LED の光量が増加する。抵抗値の検出と LED の制御は Arduino で行った。図 7 のように、ミスミフレームに固定された組紐を引っ張ることで糸の抵抗値が減少し、それに応じて LED の明るさが増加する。

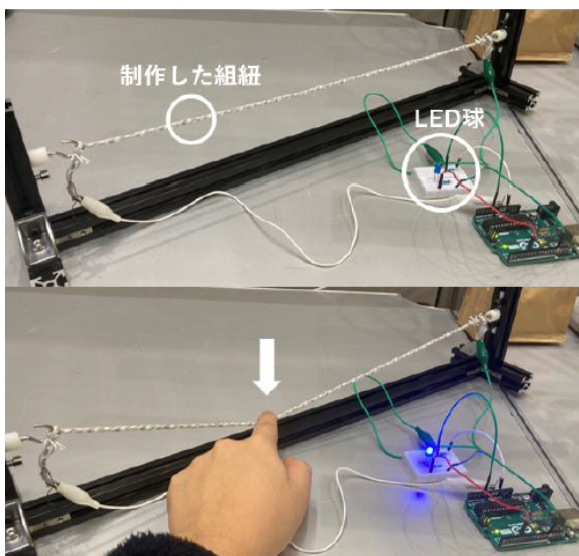


図 7 制作事例：引張に応じて光量が増加する

4.3 2 層組紐の組み方

2 層組紐は、同軸ケーブルのように、導電糸の周りを絶縁体の層で囲み、さらにその周りを導電糸で組んだ 2 層構造の組紐である。2 層組紐の構造と、実際に制作した例を図 8 に示す。芯になる導電糸の束をチューブ状になっている紐に通し、その周りを 8 打ちや 12 打ちで組み上げて 2 層構造にする。

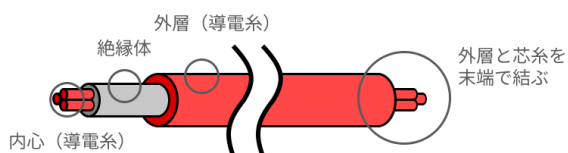


図 8 2 層組紐の構造と制作例

4.3.1 制作方法

市販のダブルブレードロープの芯糸を抜いて、導電糸 A の束を芯糸として通した。その後、周りをからふるくみくむを用いて、導電糸 B と非導電糸を組み上げて制作した。最後に、芯になっている導電糸 A と周りに編み込まれている導電糸 B を端で結び、導電組紐の端子が片方にまとめられる構造に仕上げた。2 層組紐は主に外周の組紐をセンサとして活用するため、芯糸としては、抵抗値が小さい導電糸 A を使用した。

4.3.2 制作例

製作した 2 層組紐を図 9 に示す。この組紐は、芯糸に 6 本の導電糸 A の束を通して、表面は 4 本の導電糸 B と 8 本の非導電糸を 12 打ちで組んだものである。長さ約 40cm のものを 2 本制作した。



図 9 制作した 2 層組紐

2 層組紐の機能を分かりやすく見せるためのデモ装置を作成した。組紐を結ぶことで抵抗値が変化し、それに応じて LED の光量が増加する。回路は、12 打ちのデモ装置と同じである。図 10 のように結ぶ回数が増えるほど、LED の明るさが増加する。

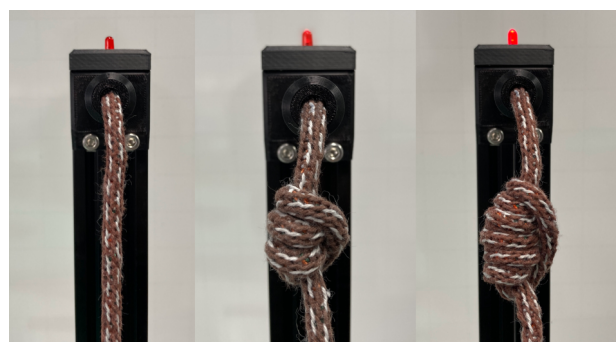


図 10 制作事例：結ぶごとに光量が増加する事例

5. 評価実験

制作した導電組紐を用いて、引張と結び目の位置、結んだ回数による抵抗値の変化を測定した。

5.1 引張の性能評価

制作した各導電組紐の引張による抵抗値の変化を測定した。

5.1.1 手法

図 11 のように導電組紐にフックで錘をつるし、100g ほどの抵抗値の変化をミノムシクリップを介してテスターで測定した。錘は 0g から 500g までの 6 段階とし、各 5 回の測定を行った。フックとクリップは計 8.2g である。計測対象とした組紐は、図 6 に示す 6 種類の 8 つ打ち紐である。

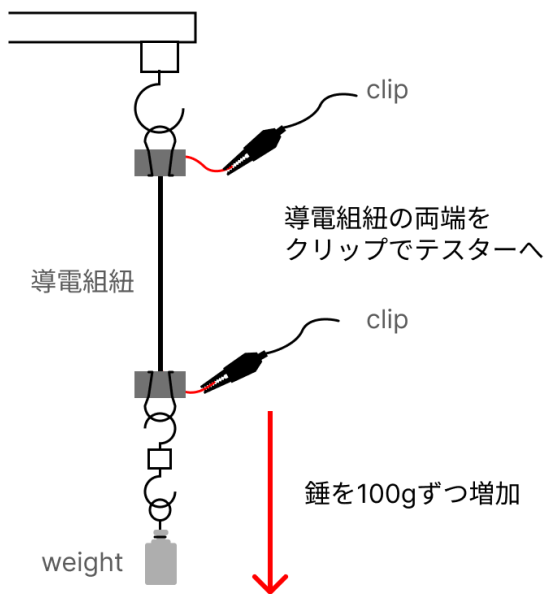


図 11 引張による抵抗値の測定

5.1.2 結果と考察

6 パターンの組紐の測定結果をまとめたものを図 12 に示す。組み上げる導電糸の本数を増やすと基本の抵抗値が低くなるのがわかる。パターン A, B, C は錘の重さが増えていくにつれて、抵抗値が下がる傾向が確認できる。一方パターン E, F は全体的に抵抗値の変化が小さい。パターン A は、0g~100g の抵抗値の減少が大きく、より細かい値の変化を測れる可能性がある。また、パターン D と同本数の導電糸が組まれているパターン E, F を比べると、パターン D の方が抵抗値の変化が大きいのことがわかる。この結果により導電糸を組み込む本数や配置パターンを変えることで、引張に対して大きく抵抗値が変わる紐（パターン A, B, C）と、変化が少ない紐（パターン E, F）を作り分けることができる。よって、センサや導線等、用途に応じて使い分けできると考える。

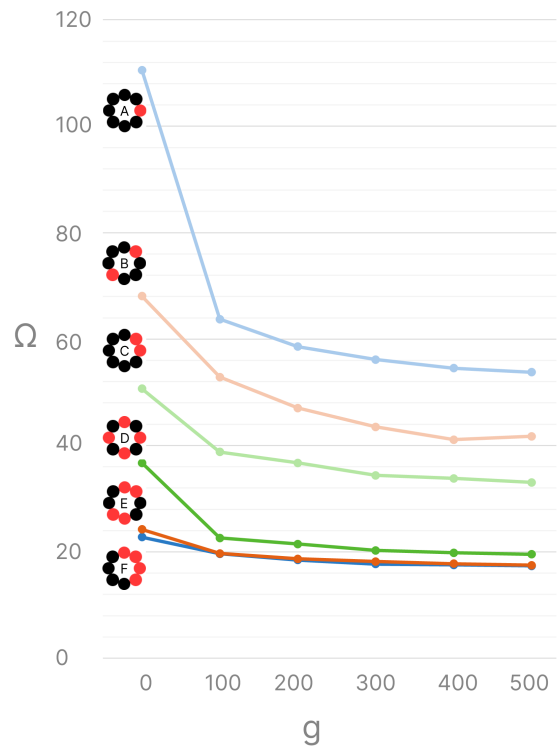


図 12 引張による抵抗値の変化

5.2 結び目の位置の性能評価

制作した各導電組紐の結び目の位置による抵抗値の変化を測定した。

5.2.1 手法

図 13 のようにミスミフレームに軸紐を固定し、片端にテスターにつながるミノムシクリップを取り付ける。次に、軸紐に移動紐を巻きつける。移動紐には、50g の錘を繋げる。さらに、移動紐の末端にミノムシクリップを取り付け、結んだ 2 つの組紐の抵抗値を測定した。結び目の位置は、軸紐のミノムシクリップが付いている端子側から、中央、端と 3 か所で 5 回ずつ測定した。

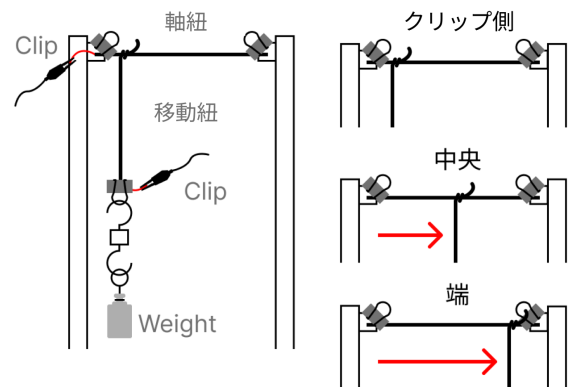


図 13 結び目の位置による抵抗値の測定

「軸紐：移動紐」の組み合わせは、以下の4種類を用意した。

- (a) 8打ち(パターンA)：8打ち(パターンD1)
- (b) 8打ち(パターンA)：8打ち(パターンD2)
- (c) 8打ち(パターンC)：8打ち(パターンD2)
- (d) 2層組紐：2層組紐

移動紐に用いているパターンDの導電組紐は、導電糸Bで制作したものをパターンD1とし、より抵抗値が低い導電糸Aで組み上げたものをパターンD2とする。紐同士は1重結びで結んだ。結び方の組み合わせを図14にまとめる。



図14 4種類の軸紐と移動紐の組み合わせ

5.2.2 結果と考察

4種類の組み合わせによる測定結果をまとめたものを図15に示す。また、各組合せの詳細な測定結果をそれぞれ図16にまとめる。

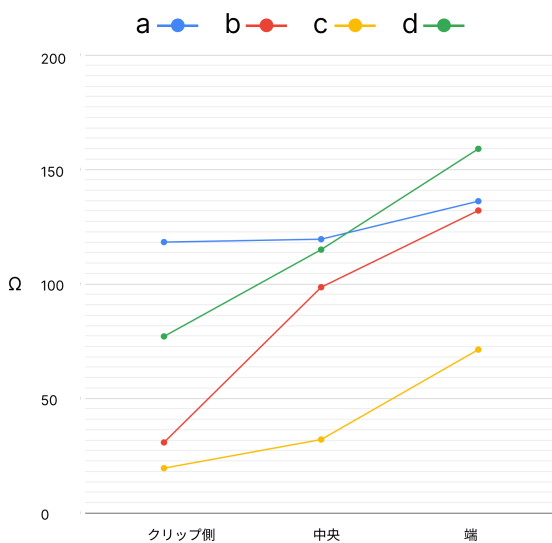


図15 結ぶ位置による抵抗値の変化

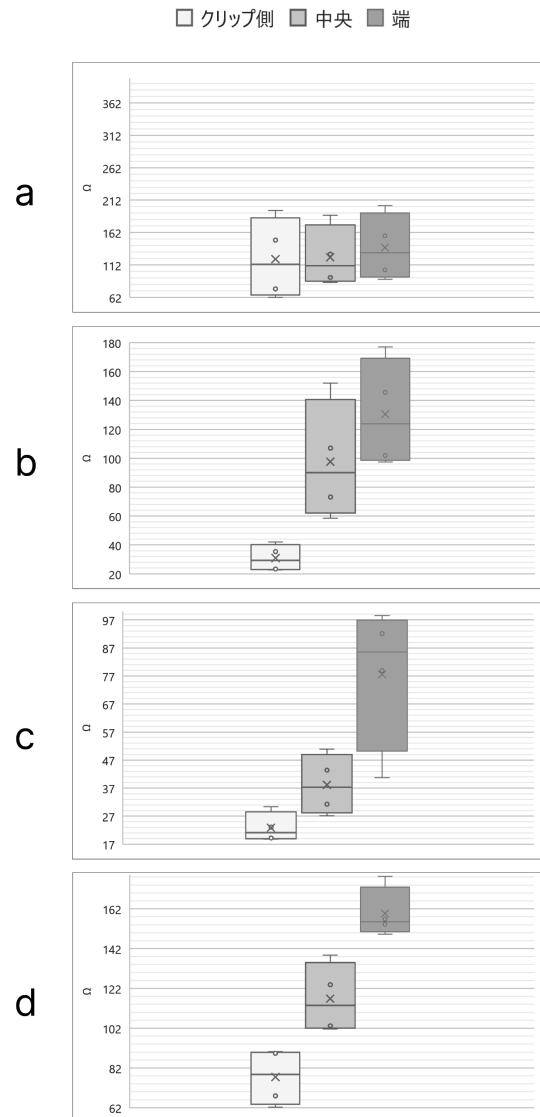


図16 結ぶ位置による抵抗値の変化(パターン毎の詳細)

図15より、結ぶ位置が端子から離れるにつれ抵抗値が上がる傾向があることがわかる。また図16より、(a)は他の組み合わせに比べて、変化の幅が少なく、(d)の2層組紐同士の組み合わせは測定箇所による抵抗値のブレが他の組み合わせより小さいことがわかる。比較的抵抗値の変化がみられる(b)と(c)の組み合わせは、8打ちの(パターンD2)を使っており、引張による抵抗値の変化が小さい。また2層組紐も引張による抵抗値の変化はほぼない。以上のことから、移動させる導電組紐は引張の影響を受けづらい物を使用したほうが結ぶ位置を検出するセンサとしては扱いやすいと考えられる。

5.3 結んだ回数の性能評価

制作した2層組紐の結んだ回数による抵抗値の変化を測定した。

5.3.1 手法

2層組紐の外層と芯糸をミノムシクリップを介してテストに接続した。2層組紐を図17のように結んでいき、巻き数ごとの抵抗値を測定した。巻き数としては、結んでいない状態から6回結ばれた状態までを、各5回ずつ測定した。

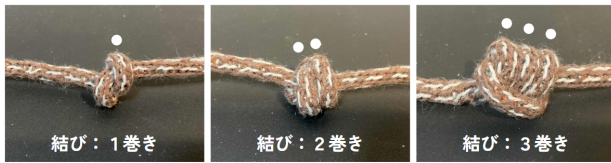


図17 2層組紐の結び方

5.3.2 結果と考察

測定した結果を図18にまとめる。結ぶ回数が増えるほど抵抗値が低くなっていくことが確認できた。このように、2層組紐は結ぶ回数を測定するセンサとして利用可能だと考えられる。

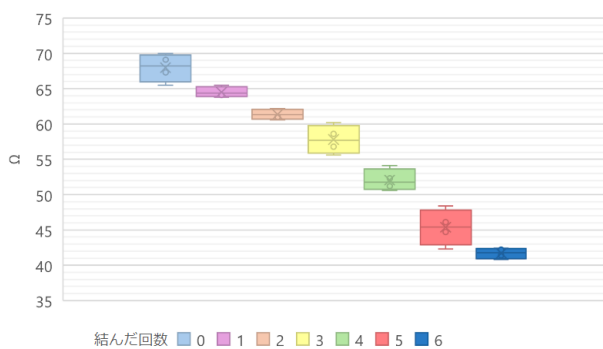


図18 結んだ回数による抵抗値の変化

6. まとめと今後の展望

本研究では、導電糸と紐を組み合わせて8打ち、12打ち、二層組紐の3種類の導電組紐を制作した。さらに、導電組紐のパターンに応じて、引張や結ぶ位置、結ぶ回数毎の抵抗値を測定した。その結果、導電糸の組み方に応じて、センサや導線として利用できることを確認した。今後は、評価実験で得られた知見をもとに、引張や結ぶ位置等を検出するセンサとして組紐を用いて多様な応用例を提案していきたい。また、導電糸以外にも光ファイバーやクロミック繊維などの機能性繊維も活用して、組紐型タンジブル・インタフェースの実現を目指したい。

参考文献

[1] Julia Schwarz, Chris Harrison, Scott Hudson, and Jennifer Mankoff. 2010. Cord input: an intuitive, high-accuracy, multi-degree-of-freedom input method for mobile devices. In Proceedings of the SIGCHI Conference

on Human Factors in Computing Systems (CHI '10). 1657 - 1660.

[2] Philipp Schoessler, Sang-won Leigh, PictureKrihika Jagannath, PicturePatrick van Hoof, Hiroshi Ishii. Cord UIs: controlling devices with augmented cables. Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. ACM, 2015. pp. 395-398.

[3] Alex Olwal, Jon Moeller, Greg Priest-Dorman, Thad Starner, and Ben Carroll. 2018. I/O Braid: Scalable Touch-Sensitive Lighted Cords Using Spiraling, Repeating Sensing Textiles and Fiber Optics. In Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '18). 485 - 497.

[4] Fereshteh Shahmiri, Chaoyu Chen, Anandghan Waghmare, Dingtian Zhang, Shivan Mittal, Steven L. Zhang, Yi-Cheng Wang, Zhong Lin Wang, Thad E. Starner, and Gregory D. Abowd. 2019. Serpentine: A Self-Powered Reversibly Deformable Cord Sensor for Human Input. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19). 1 - 14.

[5] 劉悦怡, 串山久美子, Music yarn: 導電糸組ひもを利用したタンジブル音楽システム, インタラクシオン 2019 論文集, インタラクティブ発表, 2019-3

[6] 大崎隼平, 塚田浩二, LED マトリクスで拡張したインタラクティブな靴紐の提案, インタラクシオン 2020 論文集, インタラクティブ発表, 3B-58, pp.998-1000, 2020-03-11.

[7] Hannah Perner-Wilson, Leah Buechley, and Mika Satomi. 2010. Handcrafting textile interfaces from a kit-of-no-parts. In Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction (TEI '11). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 61 - 68.

[8] 富永祐衣, 塚田浩二, 椎尾一郎: フェルト羊毛を用いた電子手芸手法の提案, 情報処理学会研究会報告 IPSJ SIG Technical Report, Vol.2012-MBL-61 No.16, Vol.2012 UBI-33 No.16, pp. 1-6 (Mar, 2012)

[9] 若本麻央, 沖真帆, 塚田浩二, ChromicCanvas: クロミック繊維を用いたインタラクティブキャンバスの提案, インタラクシオン 2019 論文集, インタラクティブ発表 (プレミアム発表), 1B-45, pp.364-369, 2019.