

Title	導電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスタイル
Sub Title	Smart textiles utilizing conductive fabrics and shearing techniques
Author	葛, 心怡(Ge, Xinyi) 山岡, 潤一(Yamaoka, Jun'ichi)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1141号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1141

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024 年度

導電布とシャーリング技法を用いた
スマートテキスタイル



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

葛 心怡

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

葛 心怡

研究指導コミッティ：

山岡 潤一 准教授	(主指導教員)
マッシュ ウォルドマン 教授	(副指導教員)
加藤 朗 教授	(副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 准教授	(主査)
マッシュ ウォルドマン 教授	(副査)
加藤 朗 教授	(副査)

修士論文 2024 年度

導電布とシャーリング技法を用いた スマートテキスタイル

カテゴリ：デザイン

論文要旨

手工芸技法は、その独特な工と美学的表によって広く用いられてきた。しかし、従来の手工芸技法は、装飾性や造形美に優れる一方で、機能性を大幅に拡張するのが難しいという課題に直面している。こうした状況を改善するためには、手工芸技法と現代技術の融合が不可欠である。シャーリング技法は、簡単な操作性、立体感、多様なデザインの組み合わせ可能性の特徴を持っているため、本研究では、シャーリング技法と導電染布を融合させ、インタラクティブ機能を備えた新しいスマートファブリックのプロトタイピング手法を提案する。具体的には、布地のレイヤーデザイン、縫製形状、縫製間隔といった要素を制御することで、ユーザーが手軽に制作可能なインタラクティブ機能を備えたプロトタイプを作成した。また、異なる条件下での電気抵抗値やインタラクショ性能の実験を行うとともに、実物を用いた使用対比評価を実施し、布地特性が製品デザインと機能性に与える影響を検証した。その結果、提案手法が手工芸技術の新たな価値を創出し、スマートファブリックの普及に寄与する可能性を明らかにした。また、課題と今後の展望についても議論を行い、新しい技術の活用可能性を探求している。

キーワード：

スマートファブリック, シャーリング技術, 導電染布, カスタマイズ, ファッション, インタラクティブテキスタイル

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

葛 心怡

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

Smart Textiles Utilizing Conductive Fabrics and Shearing Techniques

Category: Design

Summary

Craft techniques have been widely used for their unique craftsmanship and aesthetics but face challenges in significantly enhancing functionality. To address this, integrating craft techniques with modern technology is essential. This study explores the combination of the shirring technique, known for its ease of operation, three-dimensionality, and design versatility, with conductive dyed fabric to develop an interactive smart fabric. By controlling fabric layer design, sewing shape, and sewing interval, an interactive prototype was created that users can easily produce. Experiments on electrical resistance and interaction performance under different conditions, along with comparative evaluations using actual prototypes, examined the impact of fabric properties on product design and functionality. The results demonstrate that the proposed method creates new value for craft techniques and contributes to the adoption of smart fabrics. Additionally, discussions on challenges and future prospects explore the potential applications of new technologies.

Keywords:

smart fabric, shearing technique, conductive fabric, customization, fashion, interactive textile

Keio University Graduate School of Media Design

Xinyi Ge

目次

第1章 序論	1
1.1. 研究背景	1
1.1.1 手工芸技法の現状と課題	1
1.1.2 スマートファブリック	3
1.1.3 シャーリング技術の特徴と他スマートファブリック比較	5
1.1.4 シャーリング技術から新しいイノベーション	6
1.1.5 シャーリング技術の応用と実装	6
1.1.6 シャーリング技術とスマートファブリックの融合の意義	8
1.1.7 デザイナーが利用際の制約	9
1.2. 提案	10
1.3. 研究目的	11
1.4. 論文構成	11
第2章 関連研究	13
2.1. シャーリング技術	13
2.1.1 プロセス解析と特徴	13
2.1.2 利用可能な素材	15
2.1.3 レイヤー層数と縫製模様	20
2.1.4 市場分析と応用シーン	20
2.1.5 工業化と大規模生産への適応	21
2.1.6 課題	22
2.2. スマートファブリック	23
2.2.1 スマートファブリックの発展	23

2.2.2	デザイン性と機能性の融合	24
2.2.3	課題	24
2.3.	布地の導電化	25
2.3.1	導電ファブリックの作り方	25
2.3.2	シャーリング工芸における応用の可能性	27
2.4.	導電染布とシャーリング技術の相補性	27
2.5.	シャーリング技術の優位性と他手法との比較	28
2.6.	まとめ	28
第3章	デザインプロセス	30
3.1.	コンセプトデザイン	30
3.2.	材料選定	31
3.3.	プロトタイピング	31
3.3.1	材料試験	31
3.3.2	構造試験	38
3.3.3	性能試験	44
3.4.	実物の製作	46
3.5.	使用体験評価	47
3.6.	考察	49
第4章	ユーザー検証	50
4.1.	目的	50
4.2.	ファブリケーションガイドの設計	50
4.2.1	材料の準備と加工	51
4.2.2	レイヤーデザインの構築	51
4.2.3	縫製形の設定と剪裁	52
4.3.	実験の制定	53
4.3.1	実験対象者の選定	53
4.3.2	実験内容と評価指標	53
4.3.3	総合分析	55

4.3.4	実験の流れ	55
4.4.	実験実施	57
4.5.	実験評価	58
4.5.1	実際の操作	58
4.5.2	実験過程の観察	58
4.5.3	完成品の分析	59
4.5.4	アンケート調査の分析	63
4.6.	考察	67
第5章	まとめ	68
5.1.	総括	68
5.2.	今後の展望	69
謝辞		71
参考文献		72
付録		76
A.	ファブリケーションガイド	76
B.	ファブリケーションガイド	76
C.	ファブリケーションガイド	76
D.	ファブリケーションガイド	76
E.	ファブリケーションガイド	76
F.	ファブリケーションガイド	76
G.	導電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスタイル実験の流れ	76
H.	電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスタイルに関するア ンケート	76

目 次

1.1	シャーリング技術を活用したスマートファブリッククッションの使用シーン	7
2.1	シャーリング技術で改造された布地のサンプル	13
2.2	コットン（綿）の例	16
2.3	ポリエステル例	16
2.4	ウール（羊毛）の例	16
2.5	リネン（麻）の例	17
2.6	デニムの例	17
2.7	メッシュの例	18
2.8	スパンデックス/ライクラの例	18
2.9	ビニールの例	18
2.10	幾何模様の縫製デザインの参考例	20
2.11	繊維上に銀膜をインクジェット印刷するプロセス図	26
2.12	PSS を基盤とした導電性繊維の製造プロセス図	27
3.1	水量の選定：布地が均一に浸る状態	32
3.2	モノマーの希釈：ピロール溶液の調製	33
3.3	面料の浸漬：ピロール溶液中での攪拌	33
3.4	酸化剤の添加：フェリクロリド粉末の分散	34
3.5	ポリピロール形成中：布地の色変化	34
3.6	洗浄および乾燥：布地の最終処理	35
3.7	測定のプロセス	36
3.8	Bending Test の過程	39

3.9	Pressure Test の過程	40
3.10	シャーリングクシヨンのデザイン図	46
3.11	シャーリングクシヨンの実物	47
3.12	シャーリングクシヨンの比較試験	48
4.1	実験中の様子	57
4.2	製作成品の写真	58
4.3	立体感の評価のサンプル	60
4.4	スケッチと説明内容の一例	66
A.1	ファブリケーションガイド 1	77
B.1	ファブリケーションガイド 2	78
C.1	ファブリケーションガイド 3	79
D.1	ファブリケーションガイド 4	80
E.1	ファブリケーションガイド 5	81
F.1	ファブリケーションガイド 6	82
G.1	実験の流れ 1	83
G.2	実験の流れ 2	84
H.1	アンケート 1	85
H.2	アンケート 2	86
H.3	アンケート 3	87
H.4	アンケート 4	88

表 目 次

1.1	シャーリング技術と通常の導電性布の比較表	5
3.1	導電性布地の電気抵抗測定表	37
3.2	曲げ試験結果表	41
3.3	圧力試験結果表	42
3.4	縫製模様と電気抵抗値の比較表	45
3.5	縫製形状ごとの電気抵抗および交互感度の比較表	46
4.1	立体感の印象評価表	61
4.2	主観的な視覚評価表	61
4.3	感度比較実験表	62

第 1 章 序

論

1.1. 研究背景

1.1.1 手工芸技法の現状と課題

近年、異なる手工芸技法が現代デザインに応用される事例が増加している。これは、手工芸技法が持つ独自の美学や職人技を継承しつつ、新たな価値を付加する試みの一環である。特に、デジタルファブリケーション技術やスマートテキスタイルの発展に伴い、手工芸技法を活用したインタラクティブなデザインの可能性が注目されている。

しかしながら、従来の手工芸技法は装飾や造形表現には優れる一方で、機能性の拡張が困難であるという課題を抱えている。例えば、テキスタイルに電子機能を組み込む場合、多くは既存の導電布や外付けセンサーを使用するが、これらの手法では素材の柔軟性やデザインの統一性が損なわれる可能性がある。また、手工芸技法と新しい技術を組み合わせる際には、追加の加工や専門的な技術知識が必要であり、一般のデザイナーや手工芸愛好者にとって導入のハードルが高い。

異なる手工芸技法の導入と応用の課題

異なる手工芸技法は、それぞれ特有の制作プロセスを持ち、技術的な要求も異なる。このため、現代のプロダクトデザインやインタラクティブデザインの分野で活用する際には、技法ごとに異なる適用方法を模索する必要がある。しかし、デジタル技術や新素材との統合が十分に進んでいないため、工業製品やスマートファブリックと比較すると、実用性の面で遅れを取っている。

次に、市場競争力の低下が問題となっている。グローバル化と工業化の進展により、機械化された低コスト製品が市場に大量供給される中で、手工芸技法を用いた製品は価格競争において不利な立場にある。特に、手作業による複雑な技法は生産コストを押し上げ、一般消費者にとって手に取りにくい価格帯となるケースが多い。

後は、技術の継承と革新のバランスの問題も深刻である。熟練職人の高齢化が進む一方で、若い世代の手工芸技法への関心が低下している。特に、現代のデザイナーやクリエイターにとって、手工芸技法は「習得に時間がかかる」「応用範囲に限られる」といった理由から、積極的に取り入れづらいという課題がある。

手工芸技法と現代技術の融合の必要性

これらの課題を解決するために、手工芸技法と現代技術の融合が重要な鍵となる。実際、従来は主に装飾目的で用いられていた技法が、現代技術との統合により多機能なインタラクション性を備えた布地へと進化する例が見受けられる。その具体例として注目されるのがシャーリング技法である。シャーリング技法は、その立体的なデザイン性と柔軟な構造特性を活かし、従来の装飾目的にとどまらない新たなインタラクション機能を持つ布地の可能性を生み出す。

シャーリング技法は、布地の層数や縫製パターンを自由に調整することで、形状の変化や装飾効果を生み出すことができる。この技法をスマートファブリックに応用することで、以下のような利点が得られる。

1. インタラクション機能の付加が容易シャーリング技術は、布地そのものの構造や形状を変化させることでインタラクション機能を追加できるため、手工制作を行うデザイナーや愛好者にとって非常に有利である。従来の導電布やセンサーを活用する方法と異なり、特別な電子回路の設計や外部デバイスの追加なしに、インタラクティブな要素を組み込むことが可能である。これにより、制作過程のハードルを大幅に下げ、より直感的なデザインアプローチが実現できる。
2. 布地の柔軟性と一体化構造の維持一般的な導電布や外付けセンサーは、素材

の柔軟性を損なう場合があるが、シャーリング技術を活用することで、布地全体が自然な柔らかさを保ちながら、インタラクション機能を持たせることができる。これは、衣類、クッション、カーテンなどの触感を重視する製品において特に有効である。

3. 新しいデザインの可能性を提供シャーリング技術を活用することで、従来の装飾性だけでなく、布地そのものがスイッチやセンサーの役割を果たすデザインが可能となる。特に、手工芸愛好者やデザイナーにとって、形状やパターンを自由に設定できるため、オーダーメイドのインタラクティブテキスタイルが容易に実現できる。
4. 制作プロセスの簡易化一般的に、スマートファブリックの開発には、電子回路の設計やハードウェアの組み込みが必要となる。しかし、シャーリング技法を活用することで、布地自体がインタラクティブな要素を持つため、追加の電子部品を必要とせずに機能を付加できる。このため、手工芸愛好者や一般のデザイナーでも簡単に扱うことができ、導入のハードルが大幅に下がる。

このように、シャーリング技術は、スマートファブリックにおける機能性とデザイン性の融合を可能にし、手工芸技法の新たな応用を切り拓く重要な手段となる。特に、シャーリング技法の持つ立体的なデザイン性と柔軟な構造特性を活かし、従来の装飾目的にとどまらない、新たなインタラクション機能を持つ布地の可能性を探る。本研究では、シャーリング技術と導電染布を組み合わせることで、より直感的で柔軟なインタラクション機能を持つ新しいスマートファブリックの開発を目指す。

1.1.2 スマートファブリック

近年、インタラクティブなテキスタイルが新世代の繊維素材として導入されており [1]、これらの織物は従来の布地を超え、スマートセンサー、機能性、反応性材料、持続可能な構成要素、機能的なコーティングなどを組み合わせた特性を有

している [2]。AI 技術が人々の生活に浸透する中、スマートテキスタイルはほぼすべての分野で大きな可能性を秘めており、スマートファブリックを使用した衣服は現在、注目されるトレンドとなっている。

次世代繊維 (NGT) は、材料、技術、機能性の最新の進展を取り入れた新しいカテゴリーであり、繊維産業におけるパラダイムシフトを象徴するものとして位置付けられている [3]。このような進化は、布地の機能性とデザイン性を同時に向上させるだけでなく、製品ライフサイクル全体での持続可能性にも寄与している。

一方で、手工芸と織物の製作手法は多くの共通点を持ち、両者は同源的な技術であると言われる。しかし、手工芸は工業的な大量生産が困難であるのに対し、一般的な織物は大量生産が可能であり、スマートファブリックを利用した機能性の付加によってさらに進化している。このように、一般的な織物産業では「イノベーション、制作、購入、再イノベーション」という良性循環が確立されている。

現在、手工芸が AI 技術を取り入れた製品は非常に少ない状況にあり、これは未開拓の分野として大きな発展の機会を秘めている。例えば、3D プリンターやレーザー切断などの現代技術を導入することで、複雑なデザインや効率的な生産が可能となる。これらの技術との融合は、手工芸の発展と継承を促進するトレンドとなりつつある。

しかし、一般的なデザイナーや手工芸愛好者がスマートファブリックを活用してインタラクティブな衣服や製品を制作する際には、大きな課題が存在する。特に、ハードウェアやソフトウェアに関する専門知識が必要とされることが、導入のハードルとなっている。また、スマートファブリックの加工や設計には特別な機材や技術が求められるため、一般的な環境では取り組みが難しいという現実がある。こうした背景から、スマートファブリックをより簡便に、そして幅広いユーザーにとって実用的なものとするためのアプローチが必要とされている。

さらに、新しいインタラクティブファブリックの発展は、伝統手工芸における素材選定の幅を広げる可能性を秘めている。導電染布や形状記憶素材など、機能性を備えた新しい布地は、伝統的なデザインにインタラクティブな要素を組み込むことを可能にし、手工芸品の価値を再定義する鍵となる。これにより、伝統手工芸は現代社会のニーズに応える新しい形で進化を遂げることが期待される。

1.1.3 シャーリング技術の特徴と他スマートファブリック比較

一般的に市場で流通しているスマートファブリックには、導電布、プリント型センサー、組み込み型電子回路などの技術が用いられている。これらの技術は、触覚センサーや圧力センサーとして機能することで、布地にインタラクティブな要素を追加することが可能である。しかし、これらの技術には柔軟性の制限、外付けセンサーのデザイン制約、直感的な操作性の欠如などの課題がある。シャーリング技術の特性を、通常の導電性布と比較すると以下ようになる（表 1.1）。

表 1.1 シャーリング技術と通常の導電性布の比較表

項目	シャーリング技術を用いたスマートファブリック	通常の導電性布
スイッチング機能	曲げる・押す・引っ張るなどの動作で自然に制御可能	電極やタッチセンサーが必要
触感	布本来の柔らかさを保持	配線部分が硬くなりがち
設計の自由度	縫製や層の構成でカスタマイズ可能	配線の制約が多い
操作の直感性	構造変化そのものがスイッチになる	外部デバイスが必要

シャーリング技術は、布地全体をインタラクションの一部とするためのアプローチを提供する。この技術を用いたスマートファブリックは、従来の技術が直面する制約を克服する可能性を秘めている。具体的には、布地の曲げ、押し、引っ張りといった物理的な動作を通じて、外部デバイスに頼ることなく直感的なオン/オフ制御が可能である。これにより、従来のスイッチやセンサーがもたらす平板な操作感を超え、遊び心と創造性を組み込んだ新しいインタラクションを実現できる。

物理的の柔軟性と触感を維持したまま機能性を埋め込むことが可能である。例えば、布そのものが柔らかさを保持するため、抱枕や衣類、カーテンといった柔らかさが求められる製品にも適用しやすい。これにより、硬い配線や目立つセンサーに頼らず、布地本来の心地よい触感を損なうことなくインタラクション性を追加できる。

このように、シャーリング技術を活用したスマートファブリックは、従来のスマートファブリックが抱える課題に対する解決策を提示するものであり、柔軟性、触感、直感的操作性を一体化した新しいデザインの可能性を切り開くものである。

1.1.4 シャーリング技術から新しいイノベーション

シャーリング技術は、従来の手工芸が持つ美的価値と技術的特性を基盤としながら、現代のスマートファブリックが必要とする柔軟性や機能性を兼ね備える点で注目されている。布地自体を操作のインターフェースとして活用できるこの技術は、既存の導電性布やプリント型センサーの制約を克服し、デザイン性と使い勝手を両立させる新しいイノベーションを提案するものである。

特に重要なのが、この技術が持つ直感的な操作性である。布地の「押下」や「引っ張り」といった簡単な物理的動作がスイッチとして機能し、外付けのインターフェースを不要にすることで、遊び心や創造性に富んだ体験を提供できる。従来のスマートファブリックが抱える柔軟性の不足やデザイン制約に対し、シャーリング技術はその特性を活かし、布地全体に分散した操作ポイントを設計できる自由度の高さを示している。これにより、視覚と触覚を組み合わせた能動的な操作が可能となり、ユーザーエクスペリエンスの質を大幅に向上させる。さらに、操作ポイントを布地全体に分散させることで、入力インターフェースの配置の自由度を高めることができる。

シャーリング技術とスマートファブリックの融合はまた、機能性とデザイン性を同時に満たす価値あるソリューションを提示するものである。例えば、服やインテリアにインタラクティブ機能を加えることで、既存の工芸品やデザイン製品との差別化が可能となり、ファッション、家具、舞台演出などの分野に新たな応用の可能性をもたらす。また、シャーリング技術の特徴である布地のレイヤー構造を活かし、装飾性と機能性を統合した新しいスマートファブリックを生み出すことが期待される。

1.1.5 シャーリング技術の応用と実装

従来のスマートファブリックは、導電布やプリント型センサー、組み込み型の電子回路を用いたものが主流であり、これらの技術は一定の機能性を備えている。しかし、布地の柔軟性やデザインの自由度に関しては制約が多く、特にインタラクティブな要素を持つ製品の開発において課題が残されている。



図 1.1 シャーリング技術を活用したスマートファブリッククッションの使用シーン

本研究では、これらの課題を解決するために、シャーリング技術を活用した新たなスマートファブリックの開発に取り組んだ。シャーリング技術の特徴である立体的な縫製構造を利用することで、布地に自然なスイッチ機能やインタラクション性を付加することが可能となる。例えば、布を押したり引っ張ったりすることで回路を開閉し、照明や音響装置をコントロールするインタラクティブ機能を実装できる。

製作と応用の可能性を実証するために、ファブリケーションガイドを開発し、ワークショップを実施した。ワークショップでは、参加者がシャーリング技術を用いてスマートファブリックを制作し、その過程や完成品に対する評価を通じて、デザインや機能の可能性を検証した。その結果、インタラクションの直感性やデザインのカスタマイズ性が高く評価され、さらに、クッションをはじめとする具体的な応用アイデアが生まれた。この実装を通じて、シャーリング技術が持つインタラクティブデザインの可能性が改めて確認された。以下に、本研究で制作したクッションの使用シーンを示す（図 1.1）。

このように、シャーリング技術は単なる装飾技法にとどまらず、インタラクティブなデザインと連携することで、新たなユーザー体験を創出し、現代社会のニーズに適応できる革新的な技術であることが示唆された。

1.1.6 シャーリング技術とスマートファブリックの融合の意義

現在、市場で見られる多くのスマートファブリック製品は、機能性に重点を置きすぎるあまり、デザイン性や美観が後回しになるという課題を抱えている。既存の導電布やセンサーを利用する手法は、技術的な敷居を下げる一方で、デザインの自由度や製品の多様性を犠牲にしやすい。その結果、耐久性や柔軟性に制約が生じ、長期使用やメンテナンス性において実用性が低下する問題がある。

こうした課題を克服するため、本研究では「シャーリング技術と導電染布の融合」という新しいアプローチを提案する。この方法は、以下のような特徴と意義を有する。

直感的な操作性の実現

シャーリング技術を活用することで、布地そのものを操作のインターフェースとして利用することが可能となる。布地の「曲げる」「押す」「引っ張る」といった動作がスイッチとして機能するため、外付けのセンサーやタッチパネルを必要とせず、直感的で自然な操作性を提供できる。

デザインの自由度と耐久性の向上

従来の導電布に見られる配線部分の硬化や後付けセンサーによる柔軟性の損失を回避できる。シャーリングによる構造の一体化により、布本来の柔軟性と質感が保持されるため、布地全体に分散した操作ポイントをデザインできる自由度が高まる。また、これにより耐久性の面でも優れた性能を発揮し、長期使用に耐える安定性を実現する。

メンテナンス性の向上

シャーリング技術を用いたスマートファブリックは、水洗に耐えられる設計が可能である。これにより、日常的な洗濯が容易となり、実用性が向上する。従来

のスマートファブリックで懸念されていたメンテナンスの複雑さや制約が緩和され、ユーザーにとってより扱いやすい製品となる。

これらの特性を持つシャーリング技術の融合は、スマートファブリック分野に新しい価値をもたらし、従来の製品が抱える課題を解消するだけでなく、デザイン性と機能性を兼ね備えた製品を実現する鍵となる。

1.1.7 デザイナーが利用際の制約

スマートファブリックは、その革新的な機能と可能性によって、多くのデザイナーや手工芸愛好者の関心を集めているが、実際に製品設計に取り組む際にはさまざまな課題が存在する。これらの課題は、デザイナーが制作プロセスで直面する制約に直結しており、結果として多くの試行錯誤を必要とする状況を生み出している。

第一に、スマートファブリックを活用したデザインには、コード記述や回路の組み込みなど、高度な技術知識が求められる場合が多い。このような技術的な作業は、多くのデザイナーにとって専門外の領域であり、対応するためには新しいスキルの習得が不可欠である。また、AI インタラクションを実現する設計プロセスは複雑であり、作業が煩雑化しやすい点も問題となっている。

第二に、必要なハードウェアやソフトウェアへのアクセスとそれに伴うコスト負担も大きな障壁である。高価な機材や特別な設備は一般のデザイナーにとって手が届きにくく、その購入や運用に多大な資金と時間を要する。このような状況では、技術的支援を受けられないデザイナーほど負担が大きくなり、創作意欲や自由度が制限される傾向がある。

これらの課題に対して、本研究ではシャーリング技術と導電染布を融合させた製作ガイドを提案する。このガイドは、スマートファブリックの製作プロセスにおけるデータや具体的な手法を明示することで、デザイナーが性能を効果的に調整できるようにすることを目的としている。これにより、試行回数の削減が可能となり、デザイナーが技術的なハードルを乗り越えてより創造的な作業に集中できる環境を提供する。結果として、初心者から熟練者まで、多様なデザイナーが手軽にスマートファブリックを活用できる設計環境の構築を目指している。

1.2. 提案

以上の内容に基づき、本研究では、伝統的な手工芸技法である「シャーリング」に導電加工を組み合わせることで、一般のデザイナーでも扱いやすく、価格も適切で、設計の可能性が大きく、カスタマイズ可能な I/O 機能を持つスマートファブリックのデザインを提案する。本提案の目的は、使用者が布地の種類、層数、縫製パターンを好みに応じて自由にカスタマイズできる設計環境を構築し、専門的な技術知識を持たないユーザーでも簡単にインタラクティブ機能を持つ製品を作成できるようにすることである。

提案の実現に向けて、まず異なる層数、縫製間隔、縫製パターンという三つの主要な変数を設定し、それぞれについてベンディング試験（曲げ試験）および圧力試験を行った。この一連の試験の目的は、スマートファブリック製作に関する具体的な指針を提供する「Fabrication Guide」を作成することである。このガイドラインを基にすることで、使用者は制作時に適切な選択が可能になり、試行錯誤の回数を削減できる。

試験結果に基づいて実物の製作も行い、さらにその実用性を検証した。具体的には、シャーリング技術を使用して作成した導電布と、従来の導電材料を使用した布地との性能を比較した。この比較を通じて、新たなスマートファブリックが持つ優位性と独自性を明らかにし、従来技術では達成できなかった性能の有用性を確認した。これにより、提案する布地がデザイン性、機能性、コスト効率の面で有益であることを裏付けることができた。

さらに、シャーリング技術を活用した製作プロセスにレーザー切断技術を導入し、製造工程の効率化と製品のデジタル化を図った。これにより、単なる手工芸の延長に留まらず、大規模な生産も視野に入れた展開が可能となる。本提案は、従来の手工芸とスマートファブリック技術を融合させた新たなデザインモデルの構築に寄与するものである。

1.3. 研究目的

本研究の目的は、伝統的な手工芸技法である「シャーリング」を基盤に、導電染色技術を活用することで、I/O 機能を備えた新しいスマートファブリックを開発することである。このファブリックは、専門的な技術知識を持たない一般のデザイナーや手工芸愛好者でも手軽に利用できる実用的な素材として提供されることを目指している。

具体的な目標として、以下の4点が挙げられる：

1. インタラクティブ機能の獲得可能性の検証：シャーリング技術が導電染色によってどの程度インタラクティブ機能を獲得できるかを評価する。
2. 設計要因の影響の分析：異なる布地の種類、レイヤーの構造、縫製形状、切断方法などの要素がスマートファブリックのインタラクティブ性能に与える影響を明らかにする。
3. 利便性と実用性の評価：一般のデザイナーや手工芸愛好者にとって、このファブリックがどの程度使いやすく、実用的であるかを検証する。
4. 応用可能性の探索：開発したスマートファブリックがファッション、インテリア、ウェアラブルデバイスなど、複数のシーンでどのように応用可能かを探る。

この研究を通じて、スマートファブリックの新しい設計モデルの確立を目指し、その実用性と応用可能性を幅広く検証することが期待される。

1.4. 論文構成

本研究は全5章で構成される。本章は手工芸の現状と革新のバランスの課題、そしてデザイナーや手工芸愛好者がスマートファブリックを使用する際に直面する課題について述べ、シャーリングという手工芸技術を活用して新しいスマートファブリックを設計するという提案を提示し、研究目的を示す。

第2章では、シャーリング技術の特徴や課題を整理し、使用する素材の選択肢、縫製方法に関する関連研究、および導電染めの活用と利用シーンについて述べる、それを基盤としたスマートファブリックの設計に必要な素材、プロセス、応用可能性を検討する。また、導電化技術や導電染布との相補性について議論し、関連する知見を総合して研究の基礎を構築する。

第3章では、シャーリングスマートファブリックのデザインプロセス全体を扱う。まず、コンセプトデザインを通じて設計の方向性を明確化する。その後、スマートファブリックのインタラクション性能に影響を与える要因を特定し、それらを比較するための実験とデータ収集を行う。このデータを基に、実物の制作に進み、最終的には使用評価を実施して得られた成果をまとめる。

第4章では、ユーザーを対象とした検証を行う。第3章の実験結果に基づいて作成した「Fabrication Guide」を用い、それを参考にしながらユーザーテストを実施する。このテストを通じて、本研究が提案する設計や研究目的に対する有効性を評価し、その結果を報告する。

第5章では本研究全体を総括し、研究の目的、デザインプロセス、使用テストの結果を比較・分析するとともに、プロセスを通して明らかになった課題や限界を整理し、今後の研究や開発に向けた進め方について議論する。

第 2 章

関 連 研 究

2.1. シャーリング技術

2.1.1 プロセス解析と特徴

シャーリングは伝統的な手工芸の一つであり、百年以上の歴史を持つ。近年では、表現方法が多様化し、ファッションデザインを含むさまざまな分野で広く利用されている。この技法は、バッグや衣類、小物などのデザインに取り入れられ、多くのデザイナーにとって布地改造の選択肢の一つとなっている。

シャーリング技術の制作プロセスは、いくつかの段階を経て完成する。まず、シート状の布地を複数枚重ね合わせる。次に、重ねた布地の表面に縫い目を施し、その縫い目に沿って切り込みを入れる。最後に布を揉み込むことで独特の立体的な構造が生まれ、シャーリング布地が完成する（図 2.1）。



図 2.1 シャーリング技術で改造された布地のサンプル

改造した生地にはいくつかの際立った特徴がある。

- 視覚的な面での豊かな色彩表現が挙げられる。この技術により、布地に複数の色を持たせ、触れることで色が変化するような動的な視覚効果を実現できる。これにより、見た目に新鮮で驚きのあるデザインが可能になる。
- 立体的な効果と豊かな手触りである。シャーリング技術を使うことで、布地表面に立体的な模様や構造が生まれ、触るたびに異なる質感を楽しむことができる。この立体感や手触りは、視覚的な魅力とともに触覚的な新しさも提供する。また、この過程で利用する素材の幅が広く、通常の布地に加え、廃棄された素材を再利用することで、サステナブルなデザインも実現できる。
- 機能性の向上が挙げられる。この技術は、単なる装飾に留まらず、例えばインタラクティブな仕組みや、特定の物理的刺激に応じて形状が変化する布地など、新しい機能を生地を持たせることができる。これにより、単なる布地改造を超え、デザイン性と機能性を兼ね備えた多様な製品開発が可能になる。

シャーリング工芸は、その簡単な制作方法、多様な表現形式、そして独特の立体的な美しさによって、個性と芸術性を融合させた現代的な創作手法でもある。いわゆる単なる伝統的な装飾技術にとどまらず、デザイナーや手工芸愛好家にとって人気の高い選択肢となっている。

シャーリングが本来持つ多層構造は、従来の手工芸をスマート化する上で大きな可能性を秘めている。前述のように、インタラクティブ繊維素材システムの性能統合は通常複雑な工程を伴い、多層または三次元構造を基盤とするケースが多い [4]。これらのプロセスは手間と時間がかかり、適用範囲が限られる場合も少なくない。しかし、シャーリング技術の多層構造を応用することで、こうした課題を緩和し、より柔軟かつ効率的なスマートファブリック設計が可能となる。

このように、シャーリング技術は伝統的な手工芸の価値を維持しながら、現代のデザインニーズや機能的要求に応える進化を遂げている。視覚的な立体感、豊かな触感、さらには機能性の向上までを兼ね備えたシャーリングは、単なる装飾技術を超えた新たな設計モデルとして、今後ますます広がる可能性を持っている。

2.1.2 利用可能な素材

シャーリング技術に利用可能な素材は、特性や加工のしやすさ、目的によって選択肢が変わる。デザインの美観の観点から見ると、製作者はどのような布地、素材でも自由に選択できる。しかし、製作プロセスの過程も考えると、縫製と裁断という2つのステップがあるため、選択肢が絞り込まれた。例えば、裁断が困難な布地や縫製が不可能な素材は避ける必要がある。本節では、シャーリング技術に適した素材を選ぶ際の基準と、それに基づく具体例や応用可能性について論じる。

シャーリング加工は、縫製と裁断の2つのステップを経て進行する。このため、以下の要素が素材選定の判断基準となる：

- 立体加工のしやすさと形状の安定性：切断や縫製後に立体感を維持し、形状が安定していることが重要である。
- デザイン性と実用性のバランス：素材がデザイン性を活かしつつ、日常使用や加工にも耐えられること。
- 用途に応じた適性：服、インテリア、スマートファブリックなど、最終的な使用目的に応じた特性が求められる。

以下、シャーリング技術で使用可能かつ一般的な布地を例する：

コットン（綿）

- 特徴：通気性があり、柔らかく、吸湿性が良く、肌に優しい。
- 用途：Tシャツ、シャツ、下着、ベビー服などに適している。

ポリエステル

- 特徴：耐久性があり、シワになりにくく、速乾性があり、扱いやすい。
- 用途：Tシャツ、シャツ、下着、ベビー服などに適している。



図 2.2 コットン（綿）の例



図 2.3 ポリエステルの例

ウール（羊毛）

- 特徴: 保温性が高く、柔らかい。天然の伸縮性と抗シワ性がある。
- 用途: セーター、コート、スーツなど冬の衣類に主に使用される。



図 2.4 ウール（羊毛）の例

リネン（麻）

- 特徴: 通気性が良く、吸湿性があり、涼しさが感じられる。独特の天然の風合いがあり、シワになりやすい。
- 用途: 夏の服、シャツ、パンツ、テーブルクロスやカーテンなど家庭用品。



図 2.5 リネン（麻）の例

デニム

- 特徴: 非常に耐摩耗性で壊れにくく、布はよりコンパクトで、布はより明確な質感、デニムと防風暖かい機能を持っており、コンパクトな布は防風で良い役割を果たす。
- 用途: ジーンズ、ジャケット、バッグなど。



図 2.6 デニムの例

メッシュ

- 特徴: 穴が空いたような見た目通り、透け感があることが特徴。素材は化学繊維がほとんどなので、薄くて軽く、サラサラ・ツルツルの肌触りである。
- 用途: 服、洗濯ネット、エアコンや掃除機のフィルター、化粧品のパフ、シンクの三角コーナーなど。

スパandex/ライクラ

- 特徴: 非常に高い伸縮性があり、耐久性が強い。
- 用途: ボディスーツ、ヨガパンツ、スポーツブラなど伸縮性が求められる服装。



図 2.7 メッシュの例

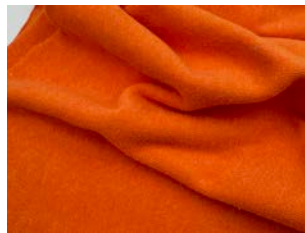


図 2.8 スパンデックス/ライクラの例

ビニール

- 特徴: 高温で変形したり低温で割れたりと温度変化に弱いこと。
- 用途: ビニール素材は非常に軽量であり、扱いやすい特徴がある。その軽さにより、携帯用のバッグや袋、衣類などに使用されると便利。



図 2.9 ビニールの例

通常、衣料用の布地は優れた縫製性能と形状変化能力を備えている。そのため、これらの布地の大部分はシャーリング技術に適用可能と考える。

素材の特性と適用例

1. 柔軟性と形状記憶性

- コットン、ベルベット、リネンなどの柔軟な素材は、自然な質感と立体的な加工に適している。
- ポリエステルなど形状記憶性を持つ素材は、長期的に立体感を維持するため、シャーリング加工後の安定性に優れる。

2. 異素材の組み合わせ

- 異なる繊維や色を組み合わせることで、視覚的および触覚的な魅力を拡張できる。
- 特に、導電性素材を組み込むことで、装飾性を超えた機能性デザインが可能になる。

3. 持続可能性と再利用可能性

- 市場で購入可能な布地だけでなく、廃棄された衣服や布地を再利用して加工することも考慮される。
- ファッション業界では、持続可能性と資源の浪費が重要な課題であり、シャーリング技術はこの解決策の一環として注目される。

ファッション業界では、持続可能性と資源の浪費が長年解決されていない重要な課題となっている。Recycling of Low Grade Clothing Waste の著者は、長期的には、新しい衣服の価格と品質が低下し続けるにつれ、中古衣服の需要も減少するだろうと警告した。これは、ファストファッション業界では、新しい衣服が中古衣服とほぼ同じ価格で購入できるからである。

廃棄された衣服の一部は、主に以下の3つの方法でリサイクルされている：

1. 一次消費者による再販売：他の消費者に低価格で再販売される。
2. 発展途上国への大量輸出：輸出された衣服が再販売される。
3. 化学的または機械的手法による原材料への再利用：これにより、他の衣服や非衣服製品の製造に使用される原材料が生産される [5]。

さらに、上述の第3点は本研究と非常に密接に関連している。化学的または機械的手法を用いて衣服を原材料へ再利用するというアプローチは、シャーリング技術を活用して新しいスマートファブリックを作り出し、それを多様な用途に適用する本研究の目的と一致と考える。この方法は、ファッション業界における廃棄物削減と環境保護を促進するための有効な手段となる可能性を示唆している。

2.1.3 レイヤー層数と縫製模様

シャーリング技術において、縫い目の模様や布地の層数は、完成した布地のデザイン性や機能性に大きな影響を与える要素である。縫い目の模様は布地の視覚的な美しさを決定づける重要な要素であり、幾何学模様や抽象的なデザインを用いることで、独特なパターンを生み出すことが可能となる。また、縫い目の深さや形状は布地の触覚にも影響を及ぼし、表面の凹凸が強調されることで、手触りの良さや使用感が向上する。さらに、導電染布を縫い目部分に組み込むことで、電気伝導性を活かした新しい機能性を付加する可能性がある。以下の図は、模様デザインの参考例として示したものである（図 2.10）。

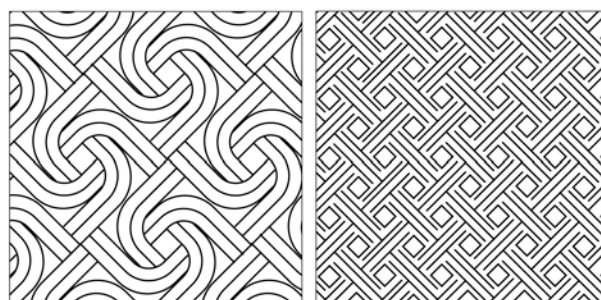


図 2.10 幾何模様の縫製デザインの参考例

一方、層数の多さは布地の立体感や構造を強調するが、その柔軟性とのバランスが求められる。層が多いほどシャーリング技術の立体的なデザインは際立つが、柔軟性が低下するリスクもあるため、適切な層構造の設計が必要である。特に、導電染布を層間に組み込む場合、電気伝導性を確保するための工夫が不可欠である。例えば、層間の接触面積を広げることで電流の流れを安定化させる設計が考えられる。

さらに、縫い目と層数を適切に組み合わせることで、装飾性と機能性を兼ね備えた複合デザインが実現可能となる。例えば、特定の模様を持つ導電性パターンを生成し、それをセンサーやスイッチとして活用することで、シャーリング技術がスマートファブリックの一部として機能する可能性が広がる。これにより、シャーリング技術は単なる装飾的用途にとどまらず、新しいインタラクティブ機能を備えた素材設計への応用が期待される。

2.1.4 市場分析と応用シーン

シャーリング技術は、その独特な美しさと柔軟な加工性により、手工芸愛好者から広く支持されている。この技法を使って作品を制作する人は少なくないが、現時点では、主に

見た目の模様や色彩デザインに焦点が当てられる傾向が強く、機能性の開発が十分には進んでいない。結果として、完成品は単純なバッグや小型のクッション、子など、使用シーンが限定される小物にとどまる場合が多い。こうした状況から、シャーリングの市場では、芸術性や装飾性だけでなく、実用性と幅広い応用を兼ね備えた製品への期待が高まっている。

この技術は、布地の層数や縫い目の形状、切り込みの深さなどを自由に調整できる高いカスタマイズ性を備えており、個別のニーズに応じた製作が可能である。また、その材料選択の自由度が非常に高いため、環境保護の観点でも大きな利点を持つ。たとえば、捨てられる予定の古着や工業生産で生じた端切れを原料として再利用することで、廃棄物の削減に貢献する。さらに、リサイクル素材を積極的に取り入れることにより、製作プロセス全体の環境負荷を軽減し、持続可能なデザインを推進する取り組みが可能となる。

こうした特性から、シャーリング技術は芸術性や装飾性だけでなく、環境保護や資源活用 の面でも優れた可能性を秘めている。そのため、リサイクルを重視する市場や、持続可能なファッションを推進する取り組みが進む現在の流れにおいて、シャーリング技術の意義はますます高まっている。

加えて、シャーリングは手作業と機械作業を組み合わせることで、効率性とコスト面でのメリットを提供する。レーザー切断やデジタル縫製技術といった最新技術の進化により、精密な加工が可能となり、独創的で複雑なデザインも実現されている。こうした特性により、特にファッション業界やアート業界での採用が進み、今後の市場拡大が期待されている。

2.1.5 工業化と大規模生産への適応

現代のデザイナーは、繊維、ポリマーフィルム、木材、金属など、さまざまな素材に切断のパターンで、2次元および3次元の表面や作品を制作し続けている。このような切断パターンの幾何学構造に関する詳細な研究や計算は、「スマート」な表面や、2次元構造から3次元構造へ、またはその逆へと変形可能な表面の科学研究においても重要な役割を果たす [6]。さらに、繊維製品の裁断技術は、ここ数十年で手作業から完全自動化されたプロセスへと進化を遂げ、特にレーザー切断技術の導入により、大規模な切断パターンやマークの効率と持続可能性が向上した。同時に、小規模な切断でも複雑な内部パターンや形状を正確に切断する能力が大きく向上している [7]。

グローバル化が進む中、工業化の定義とアプローチは変化し、手工芸の分野においては、製造者、卸売業者、小売業者、技術者（デザイナーを含む）、そして最も重要なのは決定者が、自身を「非工業化された産業」として捉え、直面する巨大な課題に備えるべきである。工業化とは、人間と機械が組み合わさったシステム化された作業を通じて商品を

組織的に生産することを指す。伝統的に、工業化は機械による人間の支配と、資本による労働の管理を意味していた。それに対し、手工芸は機械が主導権を握らない産業であり、その高度に分散化された構造は、資本家が遠隔地から生産を管理し、労働者を搾取することを避ける。

手工芸は本質的に大規模生産ではありませんが、人々が手作業で、道具と機械を使い、広範な市場の需要を満たす商品を生産し、それを販売して利益を得ることで国家の富に貢献するならば、それは分散型の創造産業として、機械よりも人間の思想と手の方が重要な産業として定義できる。この場合、機械は製作者の道具であり、製作者自身またはコミュニティが所有する。したがって、手工芸は支配や搾取からある程度免れることができる。従来の意味で工業化がなされていない場合でも、潜在的に可能性を秘めた工業分野が存在している [8]。

したがって、本研究では、シャーリングという手工芸におけるレーザー切断の可能性について議論する。

2.1.6 課題

上記の内容から、シャーリング技術は、特にそのデザイン性において優れており、多様な表現が可能である。しかし、機能性を付加する技術が未だ十分に発展しておらず、装飾用途に限定されがちである。この課題を克服するためには、既存の技術と新たな素材との融合が鍵となる。

まず、シャーリング技術は布地の立体的な構造を活用することで、デザイン性を高めている一方で、布地自体に機能性を付与する手法が確立されていない。特に、センサーやスイッチといったインタラクティブ機能の実装は、現状では実験的な段階に留まっている。この問題は、導電染布との融合により解決できる可能性がある。導電染布をシャーリング技術に応用することで、布地の一部を電気回路として利用できるようになり、インタラクティブなスマートファブリックの実現が期待される。

また、シャーリング技術は製造プロセスにおいても改善の余地がある。従来のシャーリング技術では、手作業や複雑な機械操作が必要であり、大規模生産に向かないという制約がある。導電染布の組み込みにより、これらの制約を緩和しながら、機能性を付加した布地の量産が可能となる新たな技術体系を構築できると考えられる。

さらに、シャーリング技術と導電染布の融合は、従来の装飾用途を超え、環境持続可能性の向上にも寄与する可能性がある。例えば、廃棄される布地をリサイクルして導電性を付与することで、持続可能な素材設計と新たな機能性の両立を目指すことができる。このようなアプローチは、ファッション業界だけでなく、広範な産業分野においても応用可能性を持つ。

2.2. スマートファブリック

2.2.1 スマートファブリックの発展

繊維の発展は、人類の進化と密接に関連しており、その歴史は古代の天然繊維の使用にまで遡る。現代社会の高度な技術発展に伴い、綿や麻などの天然繊維 [9] [10] に加え、ポリアミドやビスコースなどの化学繊維 [11] も、単体ではユーザーの多様な要求を満たすことが難しくなっている。

繊維には、形状記憶や蓄熱といった特殊な特性のほか、エネルギー収集、色調整、健康モニタリングなど、新たな機能が求められるようになってきた。このような背景の中、天然繊維や化学繊維が複合材料の補強材として初めて使用された時代から [12] [13]、機能性繊維への進化が始まった。現在では、導電性 [14] や抗菌性 [15]、エネルギー収集 [16] や蓄電 [17]、形状変形 [18]、温度調整 [19] といった特性を持つ「スマート繊維」が登場している。これらの繊維は、新世代の繊維として、次世代テキスタイルの開発に大きく寄与している。

スマートテキスタイルは、単なる素材としての枠を超え、環境や着用者の状態を検知・処理する高度な「スマートシステム」として定義される。このテキスタイルは、以下の3種類に分類される：

- パッシブスマートテキスタイル：外部条件を感知する役割を果たす。
- アクティブスマートテキスタイル：外部条件を感知し、それに応じて反応する。
- ウルトラスmartテキスタイル：感知や反応に加え、外部条件に適応する高度な特性を持つ [20]。

これらの分類により、スマートテキスタイルは着用者と環境との相互作用を革新的に実現し、ファッション、医療、スポーツ、インテリアなどの分野において多様な応用が可能である。

例として、Huang ら [21] は、スマートテキスタイル用の糸ベースの圧電センサーを研究し、ポリエステル繊維、弾性繊維、piezo抵抗性繊維を二重に巻き付けることによって作られるヤーンベースのセンサーの設計パラメータを分析した。この研究により、繊維の組み合わせと巻き付けのパターンがセンサーの精度に与える影響が示された。

また、Kao ら [22] は、ウェアラブルエレクトロニクス向けに、繊維上にインクジェット印刷された銀フィルムの製造方法を紹介し、高解像度かつ迅速な製造プロセスを提案した。この方法は、導電性と柔軟性を兼ね備えたスマートテキスタイルの製造において実用的な技術であることが確認された。

さらに、シャーリング技術との融合は、スマートファブリックの特性をさらに拡張する可能性を秘めている。シャーリングの立体構造を活用することで、電気回路やセンサーを効率的に組み込む新しいデザインが実現可能であり、柔軟性と機能性を同時に追求する次世代のスマートテキスタイルの基盤となり得る。

2.2.2 デザイン性と機能性の融合

シャーリング技術は、その独特なデザイン性と立体的な構造によって、装飾用途で高い評価を得ている一方で、機能性の付加という点で課題が残されている。同様に、スマートファブリックは、高度な機能性を実現しながらも、デザイン性や美観において改善の余地がある。これらの課題を克服するためには、シャーリング技術の持つデザイン性とスマートファブリックの機能性を融合する新たな設計アプローチが求められる。

特に、導電染布を活用することで、シャーリング技術とスマートファブリックの強みを引き出し、両者の弱点を補完する可能性がある。導電染布は、電気伝導性を備えた機能性素材として、従来の布地にセンサーやスイッチ機能を付加することが可能である。この素材をシャーリング技術に取り入れることで、従来の装飾的用途を超えた新しいスマートテキスタイルのデザインが実現できると考えられる。

2.2.3 課題

第一章で述べたように、次世代繊維の登場は繊維産業に革命をもたらし、特にファッション業界に大きな影響を与えている。機能性繊維（抗菌、保温など）が一般的な服装デザインに使われるようになり、さらに、スマートシステムを活用した特定のシーン向け機能的な服（心拍や血圧をモニターするスポーツウェアや、医療現場で使われる防護服や検査服など）が登場した。これらの進化は、繊維のスマート化と服装産業の密接な結びつきを示しており、未来のファッション業界の発展方向を反映している。

一方で、スマートファブリックの発展には依然として課題が残されている。現在のスマートファブリック製品は、機能性に特化するあまり、デザイン性や美観が十分に考慮されていない場合が多い。その結果、消費者にとっての視覚的・触覚的な魅力が損なわれている。この課題を克服するためには、機能性とデザイン性を兼ね備えた新しいアプローチが必要である。

また、本研究においては、伝統的な手工芸分野に特有の課題も明確化されている。伝統的な手工芸では、「手工」の定義や、完全手工制作が製品に付加価値を与えるという観点が重要視されている。さらに、手工芸における伝統文化の継承が重視される一方で、技

術革新や新たな工芸の展開が進みにくい状況にある。このため、一部の伝統工芸は継承が途絶え、現代社会に適応できず消失するリスクが高まっている。

これらの課題を解決するためには、伝統的な手工芸と智能繊維を融合させることが重要である。例えば、シャーリング技術のような立体的なデザイン手法をスマートファブリックに取り入れることで、装飾性と機能性を同時に追求する新しいデザインの可能性を開拓できる。この融合は、手工芸製品に現代的な価値を付加するだけでなく、消費者にとっても視覚的・機能的に魅力的な製品を提供する手段となり得る。

さらに、伝統工芸と智能繊維の融合は、持続可能な社会の実現にも寄与する。例えば、リサイクル素材を使用し、シャーリング技術とスマートファブリックを組み合わせた製品を開発することで、環境負荷の低減と新しいデザイン価値の創出を同時に達成できる。このような取り組みは、未来のファッションや手工芸業界における重要な方向性を示すものである。

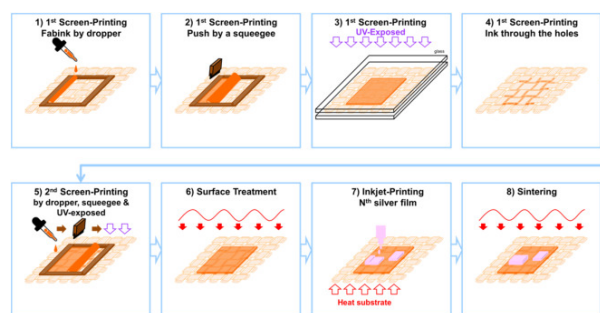
2.3. 布地の導電化

スマートファブリックにおいて、導電繊維はセンサーや加熱繊維、ウェアラブルデバイスなど、さまざまな用途に広く利用されている。導電繊維の基材としては、綿、羊毛、ポリエステル繊維、ナイロンなどが一般的に使用される。これらの基材の繊維に導電材料をコーティング（または染色）する方法や、織り込む方法が、導電繊維を作成する基本的な技術である。

金属繊維は高い導電性を有していますが、柔軟性が低く、繊維の二次加工には適していません。また、金属は価格が高く、酸化しやすいため、複雑な繊維構造の制作には向いていないという欠点がある。そこで本研究では、染色によって繊維を導電化する別の方法に注目している。この方法は、shearing 技術に適したスマートファブリックのデザインにより適しており、導電性を持ちながらも柔軟性を維持できる可能性がある。

2.3.1 導電ファブリックの作り方

導電性を持つ繊維の製造過程において、基材に安定した導電材料を付与することで、繊維に導電性を持たせることが可能である。例えば、繊維にインクジェット印刷技術を用いて銀膜を作成し、ウェアラブルエレクトロニクスへの応用ができる。Kao ら [22] の研究では、インクジェットプリンターを使用して銀インクを繊維上に印刷することで導電性薄膜を作成した（図 2.11）。この研究では、T/C 織物（80 % トリアセート、20 % 綿）、純綿（100 % 綿）、ナイロン、およびクリーンルーム用ワイパー（ポリエステルダブルニット）の 4 種類の繊維に対して銀膜の印刷を成功させた。



(Kao らの論文 [22] からの引用)

図 2.11 繊維上に銀膜をインクジェット印刷するプロセス図

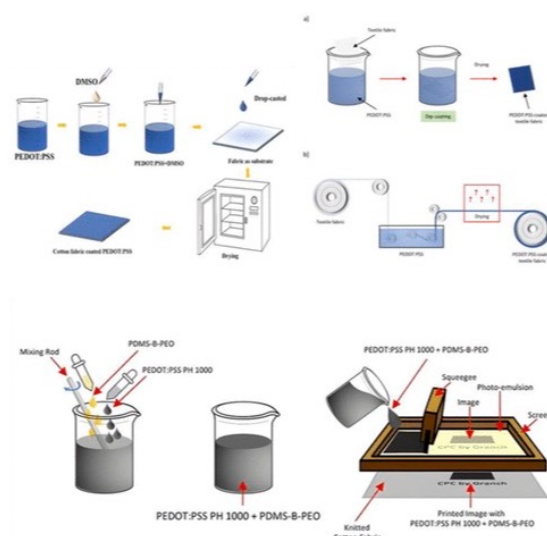
この方法で作成された繊維は、洗濯後の耐性が許容範囲内であり、実用的であることが示された。さらに、これらの異なる繊維が類似した電気特性を示すため、製造の利便性とデザインの自由度が高いことが確認された。この技術は、ウェアラブルエレクトロニクスの低コストかつ迅速な製造を実現する可能性を提供できる。

インクジェット印刷技術による繊維への導電性付与に加えて、基材上で導電性ポリマーを反応させることで、繊維に導電性を持たせる方法もある。この方法では、ポリマーが繊維と結合し、柔軟性や耐久性を損なうことなく導電性を実現する。特に、導電性の安定性と柔軟性が求められる可穿戴電子機器の分野で、この技術は非常に有効である。

Alhashmi ら [23] の研究には、導電性ポリマーであるポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン):ポリ(スチレンスルホン酸)(PEDOT:PSS)を用いて、導電性繊維を製造された。この技術は、PSSを薄膜としてコーティングするためには、浸漬、滴下成形、浸漬乾燥、さらにアニール処理といった技術が用いられた(図2.12)。特に、柔軟で軽量かつ高い導電性を持つ繊維を生産できるという利点がある。対象となる素材は、ポリエチレンテレフタレート(PET)、スパンデックス織物、綿、非織布ポリウレタン繊維など、さまざまなテキスタイルに及ぶ。

Honnet ら [24] の研究において、PolySenseは繊維およびその他の繊維材料に対して、カスタマイズされた圧阻特性を付与するためのアクセス可能な方法であることが示された。原位重合方法は、面料に単体(例:ピロール)を浸透させ、酸化剤(三塩化鉄)を用いてその場で重合を行い、導電性ポリマーを形成する。このプロセスにより、面料の柔軟性や透湿性を保ちながら、高い導電性を実現することが可能である。

原位重合法による導電性面料は、柔軟性や透湿性を維持しつつ、低コストで高い導電性を実現する。また、重合条件を調整することで導電性を自在にカスタマイズでき、耐久性や機械的特性にも優れる点が特徴である。



(Alhashmi らの論文 [23] からの引用)

図 2.12 PSS を基盤とした導電性繊維の製造プロセス図

2.3.2 シャーリング工芸における応用の可能性

シャーリング工芸における応用として、本研究では一部の面料を導電染布に置き換えることで、新しい機能性を付加する可能性を提案する。従来の導電面料応用が主に配線やセンサーの縫製に依存していたのに対し、本デザインではシャーリング加工後の剪裁や層構造を活用し、揉捏や圧力変化によって導電率が変化する特性を利用する。この設計により、布自体がスイッチとして機能し、複雑な配線作業を必要としないシンプルかつ効率的なスマートテキスタイルの実現が可能となる。シャーリング工芸の立体感や触覚的な魅力を維持しつつ、導電機能を直感的に統合することで、デザイン性と機能性の両立を目指した革新的な素材開発が期待される。

2.4. 導電染布とシャーリング技術の相補性

導電染布とシャーリング技術は、それぞれが持つ特性と課題に基づき、スマートテキスタイルの分野で相補的な関係を形成する可能性がある。導電染布は、圧力や触覚に応答する高い機能性を有しているが、デザインの柔軟性に欠け、視覚的な魅力が弱い。一方で、シャーリング技術は、多層的な立体構造と視覚的な美しさに優れるが、機能性の付加が十分に行われていない。この2つの技術を組み合わせることで、機能性とデザイン性の

両立が可能となり、特に導電染布をシャーリング加工に取り入れることで、圧力や触覚によるインタラクティブな効果を視覚的に表現する新しいスマートテキスタイルの創出が期待される。

2.5. シャーリング技術の優位性可他手法との比較

シャーリング技術を用いた導電染布は、弯曲、圧力、引っ張りといった外部からの力に応じて異なる交互反応を示し、触覚センサーやスイッチとしての機能を果たすことができる。たとえば、布地に加えられる力の強さや方向に応じて、電気抵抗が変化し、これに基づいて動作を制御する仕組みを備えている。この特性により、シャーリングによるスマートファブリックは、柔軟なインタラクションを可能にするだけでなく、視覚的にも直感的な反応を体験できるという強みがある。

一方で、現在市場に流通している他のスマートファブリックも同様に圧力や弯曲に回答する機能を持つものがある。しかし、それらの多くは、導電繊維を単純に編み込むか、布地の表面にセンサーを貼り付ける方法を採用しており、いくつかの課題がある。たとえば、後付けのセンサーを用いたスマートファブリックは、センサー部分が剥がれたり破損したりするリスクが高く、耐久性に欠ける。また、装飾性が不足しており、デザインの自由度が低い点もデザイナーにとって大きな制約となる。さらに、これらの製品は水洗に適さない場合が多く、日常的なメンテナンスが困難であることも課題として挙げられる。

これに対して、シャーリング技術を用いたスマートファブリックは、機能性と装飾性を高度に統合している点で大きな優位性を持つ。縫製や剪裁による立体的なデザインが布地全体にわたって一体化されており、柔軟性や耐久性を損なうことなく、複雑で高度なデザインを実現できる。また、層構造を工夫することで、機能性を維持しつつ水洗などの実用的な条件にも対応可能である。このように、シャーリング技術によるスマートファブリックは、従来の手法では達成できない高いカスタマイズ性と実用性を兼ね備えており、スマートファブリックの新たな可能性を提示するものである。

2.6. まとめ

まとめ本研究では、従来の研究成果を踏まえ、導電染布とシャーリング工芸の組み合わせが新しいスマートテキスタイルの開発において不可欠であることを示した。以下の3点を課題として特定する：

1. 導電染布のデザイン性と柔軟性の課題: 導電染布は、電氣的機能を持つ重要な素材であるが、従来の技術では柔軟性や触覚的な美感が十分に考慮されていない。特に、

複雑な配線やパターン設計の必要性がデザインの制約となり、汎用性のあるスマート素材への応用が困難である。

2. シャーリング工芸の機能拡張の可能性: シャーリング工芸は、美しい立体構造や多層的なデザインを特徴とし、視覚的・触覚的な魅力を提供する。一方で、現状ではその応用範囲が装飾用途に限定されており、機能性素材としての可能性が十分に探究されていない。
3. 導電染布とシャーリング工芸の融合の必要性: 導電染布の電氣的機能とシャーリング工芸の立体的構造を組み合わせることにより、これまでのスマートテキスタイルでは実現できなかった新しい可能性が広がる。本研究では、シャーリングによって形成される多層的構造を利用し、導電染布を素材として組み込むことで、圧力や触覚に応じた導電率の変化やスイッチ機能を付加することを目指す。この融合は、機能とデザインの両立を実現し、一般デザイナーにとっても扱いやすいインタラクティブ素材を提供する鍵となる。

第 3 章 デザインプロセス

3.1. コンセプトデザイン

手工芸は、制作過程においてデザインの自由度が限られ、特に機能性の開発が十分に進んでいないという課題を抱えている。人々が主に模様や外観の美しさに焦点を当てる一方で、機能的な拡張がほとんど行われていないため、製品としての可能性が十分に活かされていないのが現状である。この現状を打破するためには、新たな技術や素材を導入し、伝統を保ちながら現代のニーズに応えるデザインの実現が求められている。

本研究では、シャーリングという手工芸技術を基盤に、カスタマイズ可能な I/O 機能を持つスマートファブリックの開発を提案する。この取り組みにより、一般的なデザイナーでも回路設計の知識を必要とせず、インタラクション機能を備えた作品を制作できる環境を構築することを目指している。特に、シャーリング技術の多層構造と導電染布の機能性を融合させることで、装飾性と実用性を兼ね備えた新しいデザインモデルを提案する。

本研究のターゲットユーザーは、一般的なデザイナーや手工芸愛好者である。以下のデザインアプローチを通じて、シャーリング技術を基盤としたスマートファブリックの開発と評価を行う。

まず、材料選定と導電性検証をする。シャーリング工芸に使用される生地と導電染布に適した生地を比較し、染色方法と導電性のテストを実施する。これにより、導電染布がシャーリング工芸にインタラクティブ機能を付加する可能性を評価する。

その後、シャーリングの構造デザインと効果検証する。異なる導電層数、縫製パターン、および布地組み合わせがシャーリング面料に与える影響を比較実験を通じて定量化し、そのカスタマイズ性と機能性を検証する。

最後に、応用場面の模擬とユーザーテストを行い、異なるシナリオにおけるディスプレイの使用方法やインタラクション効果を評価する。本研究の目的に沿った実用性を確認するため、ユーザーのインタラクション機能の体験や個別化されたフィードバックの取得状況に焦点を当て、使用感や満足度を測定する。

これらのプロセスを通じて、設計されたスマートファブリックが意図した通りに機能し、ユーザーのニーズに応える能力を明らかにする。本研究は、伝統的な手工芸の可能性

を拡張し、現代社会の多様なニーズに応える革新的なデザインモデルを提供することを目指している。

3.2. 材料選定

本研究では、導電染布を作成するにあたり、関連研究および事前調査に基づき、以下の要件を満たす面料を選定した：染色プロセスへの適応性、繊維の構造的安定性、および導電性ポリマーとの親和性。さらに、面料の厚さや構造が導電性に及ぼす影響を比較するため、複数の異なる種類の面料を採用した。

本研究で使用した主な面料は以下の通り：

- デニム（厚手綿素材）：密度が高く、構造が安定している。
- リネン（薄手麻素材）：柔軟性があり、吸湿性に優れる。
- シーチング（薄手綿素材）：軽量で加工がしやすい。
- ポリエステル（化学繊維）：耐久性があり、多用途に適応可能。
- クールマーベラス（特殊機能性綿素材）：機能性と柔軟性を兼ね備えた素材。

3.3. プロトタイピング

本研究のプロトタイプは、キット形式でターゲットユーザーに提供されることを想定している。制作過程では、導電染布の実験、異なるレイヤー構造の比較、および縫製パターンの検証が行われ、それぞれの要素が製品に与える影響を評価する。また、実際の応用を見据え、Arduino を使用して簡易的な回路を構築し、最終的な製品設計を完成させる。このプロセスを通じて、ターゲットユーザーが直感的かつ簡便に扱えるインタラクション機能を備えたスマートファブリックを開発し、多様なニーズに応えることを目指している。

3.3.1 材料試験

プロトタイピングの第一歩として、各面料の特性を評価するための初期段階の試作品を作成した。この段階では、厚み、構造、表面特性といった素材の違いが、導電染布としての性能にどのような影響を与えるかを調査した。これらの要因を分析しながら、最適な組み合わせを見出すことを目指している。

導電染布の作成には、原位聚合法を採用した。この方法では、面料の繊維表面および内部に導電性ポリマー（ポリピロール）を形成することにより、均一な導電性を実現する。このプロセスでは、ベンディング試験や圧力試験を含む性能テストを複数回実施し、作成された試作品が期待通りの機能を発揮するかどうかを検証した。

また、各試作段階で得られたデータをもとに、構造や形状、機能性を細かく調整した。これにより、最終的なデザインに必要な仕様や要件を明確化すると同時に、技術的な実現可能性を確認することができた

水量の選定 最初に、水と面料の比率を調整し、面料が水中で均一に動きながら塊にならないようにする。これにより、モノマー（ピロール）と酸化剤（フェリクロリド）が繊維全体に均一に行き渡る環境を確保した（図 3.1）。



図 3.1 水量の選定：布地が均一に浸る状態

モノマーの希釈 モノマー（ピロール）を水に加えて溶液を調製し、完全に混合されるまで攪拌した。これにより、反応液が均一な状態となり、繊維への吸着が効率的に行われる（図 3.2）。

面料の浸漬 面料をピロール溶液に浸し、軽く攪拌しながら一定時間保持した。この過程で、モノマーが繊維内部まで十分に浸透し、均一な染色の準備が整う（図 3.3）。

酸化剤の添加 酸化剤としてフェリクロリドを用い、繊維内での重合を促進した。酸化剤は粉末状に加工し、均一に分散するように少量ずつ加えた。この段階で、溶液全体を攪拌し続けることで反応効率を高めた（図 3.4）。



図 3.2 モノマーの希釈：ピロール溶液の調製

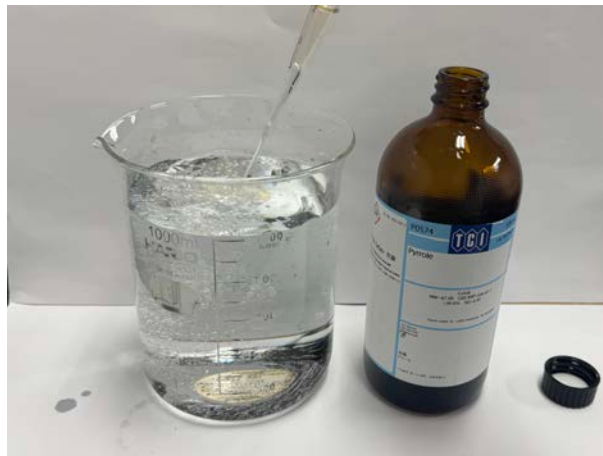


図 3.3 面料の浸漬：ピロール溶液中での攪拌

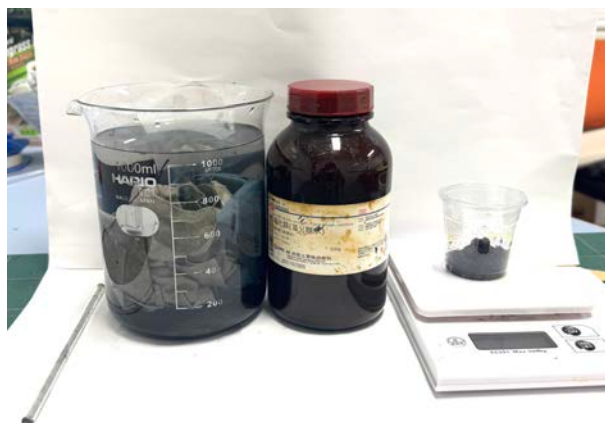


図 3.4 酸化剤の添加：フェリクロリド粉末の分散

ポリピロールの形成（重合） 攪拌を継続する中で、面料が均一に黒く変化することを目視で確認した。この色の変化は、ポリピロールが形成され、繊維の表面および内部に導電性が付与されたことを示している（図 3.5）。



図 3.5 ポリピロール形成中：布地の色変化

洗浄および乾燥 染色後、面料を冷水で十分に洗浄し、未反応成分を除去した。その後、吊るして自然乾燥させるか、必要に応じてアイロンで加速乾燥を行った（図 3.6）。



図 3.6 洗浄および乾燥：布地の最終処理

染色効果の比較

染色効果の比較では、原位重合法によってほとんどの面料が均一な黒色に染まることが確認された。特に、棉や麻といった天然素材は、その繊維構造が液体を容易に吸収する特性を持つため、染色液が繊維内部まで効果的に浸透し、高い染色効率を示した。一方で、ポリエステル繊維のような化学繊維はその素材特性から染色液の吸収が不十分で、染色効果がやや劣る傾向が見られた。これにより、ポリエステル繊維では表面の色調がやや均一性に欠けることが観察された。

さらに、染色後の仕上がりについては、棉や麻の面料では全体的に黒色が濃く、染色が均一である一方で、ポリエステルの一部に灰色がかかった箇所や白っぽい点、黒点が見られた。これらは繊維構造の異質性や染色液の局所的な分布によるものと考えられる。ポリエステル繊維の場合、染色後の色調が全体的に薄く、繊維表面の滑らかさが染色効率に影響を及ぼした可能性がある。

これらの染色効果は、後のスマートファブリックの制作においても重要な要素となる。特に、導電染布を用いたスマートファブリックの設計では、均一な染色が繊維全体にわたって導電性を確保する上で不可欠である。棉や麻の面料はその優れた染色特性により、導電性の均一性が期待され、インタラクティブなデザインに適した素材として位置づけられる。一方で、ポリエステルのような素材は軽量性や耐久性の利点を活かしつつ、助染剤の活用や加工技術の改善によって、導電性と機能性を高める可能性を秘めている。

以上の結果は、異なる面料が持つ特性に基づき、スマートファブリックの用途やデザインに応じた最適な素材選定とプロセス設計の指針を提供するものである。

電気抵抗の測定と分析

本研究では、導電性布地の電気特性を評価するため、製作した導電染布の電気抵抗を測定した。測定に使用した面料はデニム、リネン、シーチング、ポリエステル、クールマーベラスの5種類で、それぞれ Warp 方向（経糸方向）と Weft 方向（緯糸方向）の電気抵抗を測定し、さらに異なる測定間距（2 cm および 5 cm）の影響も評価した。測定用のサンプルは 2 cm × 5 cm のサイズに切り出したもので、各測定では2層のサンプルを重ねて使用した（図 3.7 を参照）。2 層構造を採用した理由は、リネンやデニムなど繊維構造が粗い面料の場合、単層では導電特性が安定しないことがあり、電極接触面の均一性を向上させるためである。

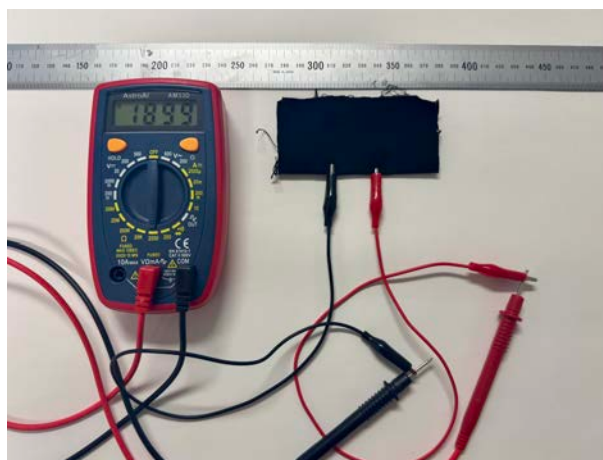


図 3.7 測定のプロセス

測定にはデジタルマルチメーターを使用し、サンプル表面の電気抵抗を直接測定した。測定プローブの接触を安定させるために導電性接着剤を使用し、各方向ごとに3回測定を行い、その平均値を記録した（表 3.1 を参照）。測定結果を「導電性布地の電気抵抗測定表」にまとめたところ、Warp 方向と Weft 方向の電気抵抗値には明確な差異が見られた。また、測定間距が長くなるほど電気抵抗値が増加する傾向が確認された。電阻値の具体データについては、以下の表 3.1 をご参照ください。

測定結果を分析すると、天然繊維（デニム、リネン、シーチング）は導電性が高く、均一な電気抵抗値を示したことが分かった。特に、繊維内部への染色液の浸透が効果的であったため、Warp 方向において安定した低い電気抵抗を示した。一方、ポリエステルやクールマーベラスなどの化学繊維では、電気抵抗がやや高く、均一性に欠ける傾向が見られた（表 3.1 を再参照）。これらは、素材表面の特性や染色液との相互作用の違いによるものと考えられる。

さらに、測定方向による差異も明確であり、Warp 方向の電気抵抗が Weft 方向より低い傾向が観測された。この結果は、Warp 方向の繊維密度が高く、電気伝導性が向上していることを示している。また、測定間距が長くなると電気抵抗が増加する傾向も確認され、導電性の分布が面積に依存していることが示唆された。

表 3.1 導電性布地の電気抵抗測定表

生地種類	測定方向	測定距離	平均抵抗値
デニム	Warp	2(cm)	825(k Ω)
デニム	Warp	5(cm)	923(k Ω)
デニム	Weft	2(cm)	856(k Ω)
リネン	Warp	2(cm)	2,111(k Ω)
リネン	Warp	5(cm)	3,618(k Ω)
リネン	Weft	2(cm)	2,164(k Ω)
シーチング	Warp	2(cm)	2,874(k Ω)
シーチング	Warp	5(cm)	3,916(k Ω)
シーチング	Weft	2(cm)	3,259(k Ω)
ポリエステル	Warp	2(cm)	107(k Ω)
ポリエステル	Warp	5(cm)	177(k Ω)
ポリエステル	Weft	2(cm)	112(k Ω)
クールマーベラス	Warp	2(cm)	5,580(k Ω)
クールマーベラス	Warp	5(cm)	6,226(k Ω)
クールマーベラス	Weft	2(cm)	3,960(k Ω)

考察

本研究における染色プロセスでは、導電性を持つポリピロールを布地に形成するために原位重合法を用いた。その結果、綿や麻などの天然繊維は、優れた液体浸透性により染色プロセスにおいて均一で高い導電性を示した。一方で、ポリエステル繊維のような化学繊維は、染色の均一性と導電性において課題が見られた。特に染色後のポリエステルの表面には色むらや未染色の箇所が確認され、染色効率を向上させるために助染剤の導入やプロセス条件の最適化が必要である。

電気抵抗測定において、測定結果は布地の種類、測定方向（Warp と Weft）、および測定間距（2cm および 5cm）による影響を明確に示した。天然繊維は一般的に均一で低い電気抵抗値を示し、これは今後のスマートファブリック設計において安定した導電性を提

供する可能性を示唆している。一方で、化学繊維では、電気抵抗が高く、測定結果にばらつきが見られた。これにより、化学繊維を使用する場合にはさらなる加工プロセスの改善が求められる。

これらの結果を踏まえ、次の段階として図案デザインとレイヤー構造の研究に進む。染色プロセスで得られた導電性布地の特性は、シャーリング技術を活用した複雑なパターンデザインに適用される予定である。特に、布地の導電層数や縫製パターンが電気抵抗およびインタラクティブ機能に与える影響を調査することで、最適なスマートファブリック設計指針を明らかにする。また、電気抵抗値のデータは、レイヤー数やパターン設計における基礎的な参考材料として、デザインの実現性と機能性のバランスを探るための重要な情報を提供する。

本研究の次のステップでは、これらの基礎データを活用し、より具体的かつ応用可能なデザインと製作プロセスを確立することを目指す。

3.3.2 構造試験

レイヤー数のテスト

シャーリング技術におけるレイヤーデザインは、布地を重ねる層構造がスマートファブリックのデザイン性と機能性にどのような影響を与えるかを探求する重要なプロセスである。特に、層数の変化が電気抵抗値、接触面積、視覚的な立体効果に加え、剪裁後の導電性や構造安定性に影響を及ぼし、最終的に制作されるスマートファブリックの性能を左右する。

また、伝統的なシャーリング工芸において、層数の増加はデザインの立体感を高め、触覚的な魅力を向上させる一方で、制作工程の難易度を増加させる傾向がある。したがって、良好なインタラクティブ体験を実現するには、層数と制作効率のバランスを慎重に調整することが求められる。

Bending Test 本研究では、この課題を解決するため、Bending Test を実施し、異なる層数の布地サンプルにおける層構造が電気抵抗値や柔軟性に与える影響を評価した。具体的には、2層、4層、5層の3種類の層数が異なる、縫製方法と面料種は同一のサンプルを使用して比較し（3.8、弯曲角度0度から最大360度までの範囲で電気抵抗値を測定した（表3.2を参照））。

その結果、以下の知見が得られた：

2層の場合、電気抵抗値は0から180°まで急激に上昇し、225°から360°で最大値に達した。他の層数と比較して、2層の布地は非常に感度が高く、電気抵抗値の変化範囲

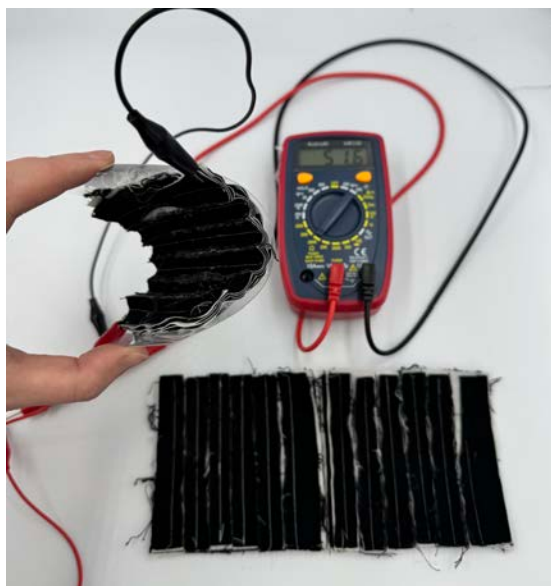


図 3.8 Bending Test の過程

が大きいという特徴を持つ。これにより、大きな角度変化を検知する用途において有利であることが示唆された。

4層の場合、電気抵抗値の全体的な変化は安定しており、線形範囲が広いことが確認された。特に90°から180°の間では電気抵抗値の増加が目立たず、感度はやや低いものの、広範囲の角度検知が可能である。汎用性を求める用途に適していると言える。

5層の場合、全体的な電気抵抗値は比較的低いものの、180°から360°にかけて大きな変化が見られた。また、初期段階（0°から90°）の感度が高いため、小角度の変化を精密に検知する必要がある場合に有効である。

これらの結果に基づき、以下の応用提案が得られる。小角度（0°から90°）の変化を高感度で検知する必要がある場合には、5層を選択することを推奨する。一方で、広範囲の角度変化を検知する用途では、2層または4層を選択し、具体的な用途に応じて層数を調整することが望ましい。

総括すると、2層布地は感度が最も高く、動的範囲が広いが、用途によってはその高感度が不要となる場合に適している。4層布地は全体的な電気抵抗値の変化が安定しており、汎用性が高い用途に適している。一方、5層布地は初期段階（低角度）での感度が高く、全体的な電気抵抗値が低い特性を持ち、特定の応用シナリオに向いている。

Pressure Test 弯曲テストの結果を踏まえ、本研究では圧力テストを実施し、異なる層数の導電布地が外部からの圧力に対してどのように応答するかを評価した。この実験で

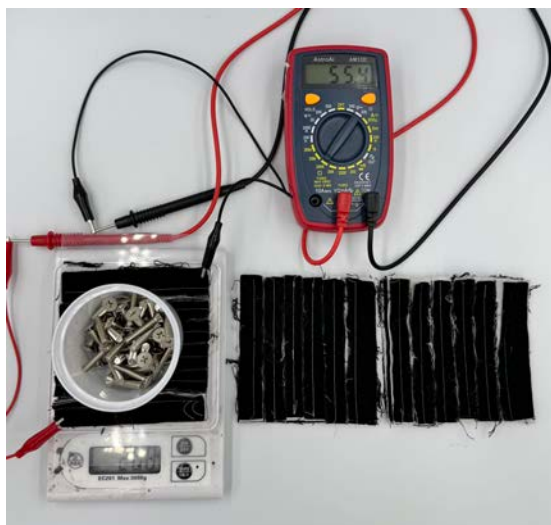


図 3.9 Pressure Test の過程

は、布地に徐々に圧力を加え、その際の電気抵抗値の変化を詳細に測定した (図 3.9)。圧力は 0.1N から最大圧力範囲まで段階的に加えられ、布地の感圧性や応答範囲が分析された (表 3.3) を参照)。まず、2 層布地は初期段階の圧力 (0.1N~0.5N) に対して非常に高い感度を示し、電気抵抗値が急激に減少する傾向が見られた。また、圧力が増加するにつれて電気抵抗値の変化が緩やかになり、最終的には飽和状態に達した。この結果から、2 層布地は微細な圧力変化を検知する用途に適しており、特に高感度を求められるセンサーの設計に有利であることが示唆された。

一方、4 層布地は初期から中間段階 (0.1N~0.8N) にかけて、緩やかで安定した電気抵抗値の変化を示した。圧力範囲全体にわたり均一な応答が見られるため、汎用性が高い特性を持つと考えられる。これにより、4 層布地は広範囲の圧力分布を正確に反映する必要がある用途、たとえばウェアラブル製品やインタラクティブ家具に適用することが期待される。

さらに、5 層布地では高圧力環境 (1.0N 以上) において感度が高まり、電気抵抗値の急激な変化が観察された。また、全体的に電気抵抗値が低く、高圧力環境下での応答が非常に安定していた。この特性から、5 層布地は高圧力環境での使用に適しており、圧力測定システムや産業用途での応用が見込まれる。

これらの結果から、2 層布地は微細な圧力変化を高感度で検知する用途に適し、4 層布地は安定した応答が求められる汎用的なデザインに適用可能である。一方、5 層布地は耐久性や高圧力環境下での感応性を必要とする用途に適していると結論づけられる。この結果をもとに、次の段階では圧力テストのデータをさらに弯曲テストの結果と統合し、具体的なデザインシナリオを構築していく予定である。特に、布地層構造の改良や材質の選定

がスマートファブリックの性能向上に寄与する可能性が期待される。

表 3.2 曲げ試験結果表

レイヤー層数	曲げ角度	抵抗平均値
2	0°	68(k Ω)
2	45°	3,273(k Ω)
2	90°	3,173(k Ω)
2	135°	5,726(k Ω)
2	180°	12,840(k Ω)
2	225°	18,260(k Ω)
2	360°	26,000(k Ω)
4	0°	85(k Ω)
4	45°	3,626(k Ω)
4	90°	3,500(k Ω)
4	135°	3,986(k Ω)
4	180°	8,346(k Ω)
4	225°	14,440(k Ω)
4	360°	32,000(k Ω)
5	0°	206(k Ω)
5	45°	626(k Ω)
5	90°	700(k Ω)
5	135°	1,093(k Ω)
5	180°	2,353(k Ω)
5	225°	5,066(k Ω)
5	360°	18,533(k Ω)

考察

本研究では、シャーリング技術を活用した導電布地の設計において、層構造が電気抵抗値や機能性に与える影響を評価するため、弯曲テストと圧力テストを実施した。弯曲テストでは、層数の変化に伴う電気抵抗値の変化特性を確認し、圧力テストでは、各層数の布地が圧力の増加に対してどのように応答するかを測定した。その結果、層数の違いが電気抵抗値の感度、安定性、応答範囲に顕著な影響を及ぼすことが明らかになった。

表 3.3 圧力試験結果表

レイヤー層数	圧力重量	平均値
2	0(kg)	4,684(k Ω)
2	0.1(kg)	4,066(k Ω)
2	0.2(kg)	3,346(k Ω)
2	0.4(kg)	3,166(k Ω)
2	0.6(kg)	3,000(k Ω)
2	0.8(kg)	3,053(k Ω)
2	max	2,766(k Ω)
4	0(kg)	5,360(k Ω)
4	0.1(kg)	3,626(k Ω)
4	0.2(kg)	2,846(k Ω)
4	0.4(kg)	2,340(k Ω)
4	0.6(kg)	2,053(k Ω)
4	0.8(kg)	2,760(k Ω)
4	max	2,573(k Ω)
5	0(kg)	1,240(k Ω)
5	0.1(kg)	880(k Ω)
5	0.2(kg)	720(k Ω)
5	0.4(kg)	620(k Ω)
5	0.6(kg)	526(k Ω)
5	0.8(kg)	486(k Ω)
5	max	446(k Ω)

具体的には、彎曲テストでは2層布地が広範囲の角度変化に対して高い感度を示し、特に大きな角度変化を必要とする用途に適していることが分かった。一方、4層布地は感度と安定性のバランスが良好であり、幅広い用途に対応可能であることが確認された。また、5層布地は初期段階での感度が高く、小角度の変化を精密に検知する用途に優れていることが示唆された。なお、再実験のたびにデータは変化したがる、傾向は基本的に変わらず、全体的な結果の信頼性が裏付けられた。

圧力テストでは、実験の際に直径 6.3cm の円形の容器を生地の中央に置き、その上に重しを加えることで圧力を段階的に増加させた。max は抵抗が一番小さい時の値とした。その結果、2層布地が微細な圧力変化に対する感度が最も高く、精密センサーとしての応用可能性が示された。4層布地は圧力範囲全体で安定した応答を示し、ウェアラブル製品

や汎用的な圧力検知デバイスに適していると考えられる。5層布地は高圧力環境での応答が安定しており、耐久性が求められる産業用途での応用が期待される。

これらの結果から、層数の設計は導電布地の感応性や応答性を最適化するために重要な要素であることが確認された。また、弯曲テストと圧力テストの結果を統合的に分析することで、特定の用途に適したスマートファブリックの設計指針を提供できる。この知見を基に、今後の研究ではさらなる層構造の改良や材質の選定を進め、スマートファブリックの性能向上と応用範囲の拡大を目指していく。

縫製型のテスト

シャーリング技術を活用したスマートファブリックの制作において、縫製パターンはデザイン性および機能性に直接的な影響を与える重要な要素である。本研究では、縫製形状と縫製間隔という2つの変数を対象に実験を行い、それぞれが布地の電気抵抗値、立体的効果、触覚的特性に及ぼす影響を評価した。

実験では、縫製形状と縫製間隔が布地の電気抵抗値、視覚的效果、および触覚的特性に及ぼす影響を評価した。具体的には、直線縫い、波形縫い、格子縫いの3種類の縫製パターンを比較し、それぞれの形状がもたらす特性の違いを分析した。同時に、縫製間隔については1.0cm、1.5cm、2.0cmの3つの設定を用いて布地の柔軟性や立体感、さらには電気抵抗値への影響を検証した。これにより、縫製のデザイン要素がスマートファブリックの性能に与える全体的な影響を明らかにすることを目指した。

縫製形状 縫製形状の特性を評価するために、本研究では以下の3つの縫製形状を用いて、それぞれの電気抵抗値、視覚的な効果、および触覚的な特性を比較した：直線縫い、波形縫い、格子縫いの3種類のパターン。

また、4つの実験を設計し、それぞれ異なる観点から縫製形状の影響を評価した。電気抵抗テストを通じて、縫製形状が導電性や電気抵抗値の安定性に与える影響を明らかにし、インタラクション性能テストを用いて、スマートファブリックとしての感圧センサーやスイッチ機能の違いを評価する。また、触覚テスト（ユーザー評価）では、縫製形状が布地の触感や柔軟性に与える影響を主観的な視点から測定し、立体感の評価（ビジュアルテスト）では、縫製形状の視覚的な魅力や立体感を調査する。このうち、触覚テストおよび立体感の評価については、第四章のユーザーテスト過程に組み込み、被験者からのフィードバックを収集して実験結果を総合的に分析する。

電気抵抗テスト 本研究では、直線縫い、曲線縫い、格子縫いの3種類の縫製形状について電気抵抗テストを行い、それぞれの形状が導電性や電気抵抗値の安定性に与える影響

を評価した。さらに、横向、縦向、斜向の3つの測定方向における電気抵抗値の変化を比較し、以下の結果が得られた。具体的なデータは図表 3.4 をご参照ください。

計測された電気抵抗値の範囲

- 直線縫い：平均電気抵抗値は 1,766,666.67 Ω （縦向 2cm）から 6,980,000.00 Ω （横向 4cm）の範囲であった。全体的に幅広い変化が見られ、高い感度が確認された。
- 曲線縫い：平均電気抵抗値は 2,280,000.00 Ω （横向 2cm）から 6,133,333.33 Ω （縦向 2cm）の範囲であり、形状の複雑さにより測定方向ごとの差異が顕著だった。
- 格子縫い：平均電気抵抗値は 5,373,333.33 Ω （横向 2cm）から 6,540,000.00 Ω （横向 4cm）の範囲であり、他の形状と比べて最も均一な結果を示した。

測定方向ごとの特徴

- 横向：全体的に電気抵抗値が低く、直線と曲線の縫製形状で良好な導電性が確認された。素早い反応を必要とする用途に適している。
- 縦向：曲線縫いの電気抵抗値が最も高く、形状の複雑さが導電経路の長さに影響を及ぼしていることが示された。安定性を重視する用途に適している。
- 斜向：すべての縫製形状で中間的な値を示し、バランスの取れた導電性が確認された。多用途のデザインに適している。

結論と応用提案

直線縫いは、高い感度を求める触覚センサーやスイッチ機能の設計に適している。曲線縫いは、複雑な形状や視覚的に魅力的なデザインに適しており、特に横向の設計で優れた性能を発揮する。格子縫いは、最も均一な導電性を持つため、圧力センサーや均一な応答が求められる用途に適している。

これらの結果に基づき、各縫製形状の特性を活かしたスマートファブリックのデザインを提案することが可能である。特に、ユーザーのニーズや製品の用途に応じて縫製形状や測定方向を柔軟に選択することが重要である。

3.3.3 性能試験

本研究では、3種類の縫製形状（直線縫い、波形縫い、格子縫い）における圧力変化に対する電気抵抗値の変化および応答速度を評価した。具体的なデータは図表 3.5 をご参照

表 3.4 縫製模様と電気抵抗値の比較表

縫製模様	測定距離	抵抗平均値
直線	横 向 2cm	5266(k Ω)
直線	横 向 4cm	6980(k Ω)
直線	縦 向 2cm	1766(k Ω)
直線	斜 向 2cm	4620(k Ω)
曲線	横 向 2cm	2280(k Ω)
曲線	横 向 4cm	4386(k Ω)
曲線	縦 向 2cm	6133(k Ω)
曲線	斜 向 2cm	4596(k Ω)
格子	横 向 2cm	5373(k Ω)
格子	横 向 4cm	6540(k Ω)
格子	縦 向 2cm	5773(k Ω)
格子	斜 向 2cm	6226(k Ω)

ください。その結果、それぞれの形状が持つ特性と、それらがスマートファブリックの設計に与える影響について以下のような知見が得られた。

まず、直線縫いは、圧力変化に対して迅速な応答を示し、特に初期段階の圧力変化に対する感度が高いという特長が確認された。このため、直線縫いはスイッチ機能や即時的な応答が必要な用途に適していると考えられる。例えば、タッチ操作を伴うインタラクティブディスプレイや、即時反応が必要なデバイスにおける感圧センサーとしての利用が挙げられる。

次に、格子縫いは、広範な圧力範囲において安定した高感度の測定が可能であり、圧力変化に伴う電気抵抗値の変動幅が最も大きいことが明らかとなった。この特性により、格子縫いは精密な圧力測定や圧力分布センサーとして優れた性能を発揮する。具体的には、医療用の感圧マットや体重分布のモニタリングに適した設計といえる。

一方、波形縫いは、全体的に安定した応答を示し、電気抵抗値の変化幅は他の形状よりも小さいものの、一定の傾向を維持した。この特性は、安定性が求められる用途や、微小な圧力変化を正確に検知するシナリオで活用される可能性が高い。例えば、ヨガマットや座布団に組み込む感圧センサーとして有用である。

縫製形状の選択は、スマートファブリックの具体的な用途や要求される機能に応じて慎重に行う必要がある。迅速な応答と高感度を必要とする場合には直線縫いを選択し、広範囲の圧力変化に対する高感度測定が求められる場合には格子縫いが有効である。また、安定性や微小な圧力変化の検知が求められる場合には波形縫いが適している。このような



図 3.10 シャーリングクッションのデザイン図

結果をもとに、用途に応じた縫製形状の選択がスマートファブリックの性能向上に寄与することが示唆された。

表 3.5 縫製形状ごとの電気抵抗および交互感度の比較表

縫製模様	0g 圧力	100g 圧力	200g 圧力	500g 圧力	交互感度評価
直線縫い	4,920(k Ω)	4,120(k Ω)	3,920(k Ω)	3,500(k Ω)	高い
波形縫い	960(k Ω)	820(k Ω)	780(k Ω)	720(k Ω)	低い
格子縫い	4,420(k Ω)	3,040(k Ω)	2,460(k Ω)	1,960(k Ω)	中程度

3.4. 実物の製作

初めて試作品については、シャーリング材料を利用したクッション型プロトタイプを開発し、押す・撫でるなどの触覚インタラクションによって照明効果を制御できるシステムを提案した。このプロトタイプは、シャーリング材料の持つ立体的な特徴を最大限に活用し、日常生活で頻繁に使用されるクッションを想定して設計された。触れる動作に応じてパターンや明るさが変化する新しい設計を採用することで、日常的な使用感を重視した実用的なアイテムとして仕上げられている。このアプローチにより、展示やユーザーテストを通じて、より現実的で参考になる使用体験評価を行うことが可能となり、視覚的な魅力やインタラクション性能に関するフィードバックを得るとともに、次の開発段階への指針となる成果を挙げた。

構造試験および性能試験の結果に基づき、安定したインタラクション効果を得るため、層数を増やしたデザイン案を採用した。また、圧力に対する応答速度が速く、照明制御に適した直線形の縫製パターンを選択した。このデザインの詳細は、以下の図を参照されたい（図 3.10）。



図 3.11 シャーリングクッションの実物

本研究では、前述の設計図と制作手順に従って、クッション型プロトタイプの実物制作を行った。製作した試作品は以下の画像を参照されたい（図 3.11）。

3.5. 使用体験評価

本研究では、完成したシャーリングクッションを用いて、通常の導電布および一般的なスタンドライトと比較する試験を実施した。これにより、シャーリングクッションの特性をより具体的に把握することを目的とした。評価には、ターゲットユーザーに一日間使用してもらい、そのインタラクションの快適性や操作性、実用性などについてのフィードバックを収集した（図 3.12）。前述のユーザーテストを通じて以下のような評価が得られた。それぞれのユーザーがクッションの使いやすさ、インタラクションの反応性、デザインの魅力について異なる視点から意見を述べた。次に、これらの評価結果を詳細に示す。

- 最初は少し戸惑いましたが、すぐに使い方に慣れました。クッションに触れるだけで明るさやパターンが変化する点は、とても新鮮でした。ただ、反応が微妙に遅れる時があったので、もう少しレスポンスが早いと完璧ですね。全体的に、日常生活にスムーズに取り入れられるデザインだと感じました。
- 触れると光が変わるのは面白いですね。ただ、ずっと使っていると少し感度が不安定になるように感じました。デザイン的にはとても魅力的で、特にシャーリングの



図 3.12 シャーリングクッションの比較試験

立体感がすごく気に入りました。

- 技術的には興味深いプロダクトですが、現時点では完成度がもう少し高くなる余地があると感じました。光のパターンの変化や速度調整がもう少し滑らかだと、もっと魅力的な商品になると思います。
- シャーリングの質感と光の変化がすごく合っていて、インテリアとしての可能性を感じました。個人的にはもう少し光の強弱をはっきりさせる設定があると良いかなと思います。全体的に見て、新しいインタラクションの形を提示している点が素晴らしいです。
- クッションの触感がとても厚みがあって、触れているだけで安心感があります。つい押したり揉んだりしてしまうんですが、それがとてもリラックスできてストレス解消になりますね。

全体的に、シャーリングクッションはその独自の触感やインタラクション性が評価され、リラックス効果やデザインの新鮮さに対して好意的な意見が多く得られた。一方で、光の反応速度や感度に関しては改良の余地が指摘されることもあり、今後の調整課題として挙げられる。また、触覚的な満足度やデザイン性の高さから、日常生活に取り入れる製品としてのポテンシャルが示された。これらの評価を基に、さらなる改善を加え、より完成度の高い製品を目指していきたい。

3.6. 考察

本節では、スマートファブリックにおける縫製形状の影響を評価するために、直線縫い、波形縫い、格子縫いの3種類のパターンについて電気抵抗値とインタラクション性能テストを実施した。結果として、各縫製形状には以下のような特徴が確認された。

- 直線縫い: 圧力変化に迅速に応答し、高い感度を示すため、感圧スイッチやタッチパネルに適している。
- 格子縫い: 広範囲の圧力変化を安定して検知できるため、医療用マットや精密な圧力センサーに有効である。
- 波形縫い: 安定性に優れ、微小な圧力変化を検知するため、ヨガマットや座布団のような用途に適している。

さらに、実物制作およびその評価から得られたフィードバックも考察に加えたい。製作したシャーリングクッション型プロトタイプについて、ターゲットユーザーから収集した評価では、触感や日常的な使い勝手に対する肯定的な意見が多く寄せられた。特に、押したり撫でたりといった日常的な動作で、視覚的および触覚的な満足感を与えられる点が評価された。一方で、光の反応速度や安定性については、さらなる改良の余地が示唆された。

以上の結果から、スマートファブリックのデザインプロセスにおいては、面料試験のデータに基づく技術的な選択だけでなく、実際の使用感を基にしたユーザーの評価も設計指針として取り入れることが重要であることがわかった。今後は、これら両方の視点をさらに発展させることで、より完成度の高い製品設計が可能となると考えられる。

また、各縫製形状の特性と使用者の物理的反応は、スマートファブリックの性能設計において重要な選択基準となる。本研究の結果は、目的に応じた縫製形状の選択に役立つ基礎データを提供している。

第 4 章

ユーザー検証

本章では、提案したスマートファブリックのユーザーテストを実施し、その有効性、デザイン性、および実用性について評価する。ユーザーテストは、一般的なデザイナー 10 名を対象に行い、彼らが提案されたスマートファブリックを使用してデザインと制作を体験する過程を通じて、製品の評価を行った。

4.1. 目的

本ユーザーテストの目的は、提案したスマートファブリックの実用性、デザイン性、そしてユーザビリティを評価することである。特に、以下の 3 点を中心に調査を行う：

1. デザインの可能性: ユーザーが提案されたスマートファブリックを使用して、自らのアイデアをどのように形にするかを観察する。スマートファブリックがどの程度自由で多様なデザイン表現を可能にするかを評価する。
2. 操作性と制作体験: スマートファブリックを用いた制作過程において、ユーザーが直面する課題や不便さを特定する。特に、導電性布地やシャーリング加工の使用が制作体験にどのような影響を与えるかを明らかにする。
3. 機能性の検証: 完成した作品のインタラクション機能（例：スイッチやセンサー）を評価し、ユーザーの期待にどの程度応えられるかを確認する。また、機能性とデザイン性のバランスがどのように保たれているかを分析する。

4.2. ファブリケーションガイドの設計

このガイドは、導電性布地を用いたスマートファブリックの制作手順を簡潔に説明するものである。本研究で得られた第三章「Design Process」の実験結果を基に、一般デザイナーがこれらの結果を参考にしながら、自身のデザインアイデアをインタラクション機

能を持つ形で実現することを目的としている。材料の準備からレイヤーデザイン、縫製形の設定、機能の実装に至るまでのプロセスを順を追って説明し、ユーザーはスマートファブリックの基本的な設計・制作スキルを習得できるとともに、自身の創造性を活かして新たな応用やデザインの可能性を追求することが期待される。

4.2.1 材料の準備と加工

第三章「生地 of 導電染め」の実験結果を基に、導電染色に適した材料を以下の基準で整理した。まず、布地の選定基準として、染色性と構造安定性が挙げられる。染色性については、布地が均一に染色され、導電ポリマーが効果的に形成されることが重要である。特に、綿や麻といった天然繊維は、染色液を吸収しやすく、導電染色に適している。一方、構造安定性の観点では、ポリエステルのような化学繊維が優れており、染色後の形状維持が容易であるが、染色性に課題があるため、助染剤の使用を検討する必要がある。

また、材料の特性に基づき、それぞれの長所と短所を考慮して選択する必要がある。綿や麻は染色性が高く、導電性の形成が均一であるものの、布地の厚みや織り方により染色後の導電性が異なることがある。ポリエステルは構造の安定性が高く、大量生産に適している一方で、染色性の低さが課題となるため、適切な染色条件の調整が不可欠である。さらに、クールマーベラスのような特殊繊維は柔軟性が高く、視覚的なデザイン性に優れているものの、導電性の安定性に注意が必要である。

材料の準備手順としては、まず選定した布地を蒸留水で洗浄し、不純物を取り除く前処理が必要である。これにより、染色の均一性が向上し、染色後の導電性の安定性を確保することができる。その後、布地の厚さや織り方に応じて、適切な染色条件を設定し、染色プロセスを実施する。染色後は、導電染色が均一に行われたかを確認し、電気抵抗値の初期測定を行う。

4.2.2 レイヤーデザインの構築

第三章「レイヤーデザイン」の実験結果を参考に、層数の調整や導電層の配置に基づいた設計を行った。

まず、層数の調整については、布地の層構造が電気抵抗値および立体感に大きく影響することが確認された。具体的には、層数が多いほど立体感が増し、視覚的および触覚的な魅力が向上する一方で、制作工程が複雑化し、下層の布地の柔軟性が低下するという課題がある。さらに、bending test および pressure test の結果を通じて、層数がスマートファブリックの機能性に与える影響を評価した。bending test では、2層は電気抵抗値の変化が急激で高感度な応答を示し、4層は安定した応答で広い角度範囲に適していることが確

認された。pressure test では、2 層は軽い圧力にも敏感に反応する一方、4 層は構造が安定し、感圧性能がやや低下するが耐久性が高い特性を示した。これらの結果から、用途に応じて層数を選定することが重要である。たとえば、高感度が求められる用途（手袋や衣服のタッチセンサーなど）では2層が適しており、軽い圧力や微細な動きを検知できる。一方、安定性や耐久性が重要な用途（インタラクティブ家具や床材など）では4層が適しており、構造の安定性を確保しつつ広い範囲の応答が可能である。

次に、導電層の配置に関しては、導電性布地が層全体の何割を占めるかが、電気抵抗値やインタラクション機能に直接影響することが分かった。実験の結果、導電性布地の割合が高い場合には、電気抵抗値の変化が迅速かつ持続的に発生する一方、繊維間のリンクが強いため、断電機能の実現が難しい傾向が見られた。一方で、導電性布地の割合が低い場合には、層全体の構造が安定し、開閉スイッチのような機能をより効果的に実現できることが確認された。

さらに、剪裁の影響についても検討した。シャーリング技術を応用した布地では、線状またはパターン状の縫製が行われた後、部分的に剪裁を加えることで独特の立体感が生まれる。本研究では、剪裁による導電性への影響を評価し、層数が増加するほど剪裁後の接触面積が減少し、導電性が低下することを確認した。これに基づき、剪裁のデザインと層数のバランスを最適化することが求められる。

4.2.3 縫製形の設定と剪裁

本研究の第3章「縫製形状のテスト実験」に、異なる縫製形状（直線縫い、波形縫い、格子縫い）を対象に実験を行い、電気抵抗値の安定性や性能特性を評価した。また、インタラクション性能テストを通じて、反応感度および異なる圧力下での電気抵抗値の変化を調査した。以下の実験の結果は、ユーザーがスマートファブリックを用いて自らのデザインを制作する際に参考となる。

1、電気抵抗値の安定性

直線縫いは、全体的に最も安定した電気抵抗値を示し、迅速な反応が求められるインタラクティブシステムに適している。一方で、波形縫いは、比較的低い電気抵抗値を持ち、小さな圧力変化を検知する能力が高いことが確認された。格子縫いは、広範囲の圧力変化に対応可能であり、バランスの取れた設計が求められる場合に適している。

2、インタラクション性能テスト

圧力変化に対する電気抵抗値の変化速度は、縫製形状によって大きく異なることが明らかになった。特に、直線縫いは高い感度で迅速な応答を示し、格子縫いは広範囲で均一な応答を提供する能力を持つことが確認された。また、波形縫いは安定性が高く、微小な圧力変化の検出に向いている。

3、用途に応じた縫製形状の選択

- 高感度で迅速な応答が必要な用途（例：触覚スイッチ）には、直線縫いが推奨される。
- 安定した感圧性能が必要な用途（例：柔軟な圧力センサー）には、波形縫いが適している。
- 広い圧力範囲での均一な応答が求められる用途（例：圧力分布センサー）には、格子縫いが有効である。

4.3. 実験の制定

本研究におけるユーザーテストは、開発したスマートファブリックプロトタイプの実用性、デザイン性、そしてインタラクション性能を評価することを目的として実施された。実験では、5名の一般デザイナーや手工芸愛好者を対象とし、以下の要素を組み込んだ多角的な評価プロセスを設計した。

4.3.1 実験対象者の選定

被験者は、デザインに関する基礎的な知識を持つ一般ユーザーで構成され、多様な視点を取り入れるために年齢や性別のバランスを考慮して選定された。

4.3.2 実験内容と評価指標

実験は、各プロセスに対して明確な評価指標を設定し、ユーザーの操作体験、完成品の機能性およびデザイン性を定量的・定性的に評価した。以下に、各内容と対応する評価指標を示す。以下の4つの主要な内容で構成された：

1. 実際の操作: ファブリケーションガイドを参照しながら、レイヤー構築、縫製形状設定、剪裁操作を実施し、スマートファブリックの制作を行う。

評価指標：

- 制作時間：各プロセスに要する時間を記録。
- 操作難易度：参加者の主観的評価（1～5段階スケール）をアンケートで収集。
- エラー発生数：操作中に発生したミスややり直し回数を記録。

2. 実験過程の観察: 被験者の制作過程や選択したデザイン要素（レイヤー、縫製形状など）を観察し、制作上の課題や工夫を記録する。

評価指標：

- 選択パターン：レイヤー数、縫製形状、デザインの傾向を定量化。
- 操作中の問題点：観察者が記録した課題の発生頻度。
- 工夫点：被験者が行った改善やアイデアの内容をリスト化。

3. 完成品の分析: 制作後のスマートファブリックを用いて、電気抵抗やインタラクション性能などを評価する。

評価指標：

- 電気抵抗値：各サンプルの導電性能を数値で記録。
- インタラクション性能：圧力実験、弯曲実験、感度比較（応答速度や安定性の定量評価）。
- デザイン性：第三章で実施した立体感や操作性についての主観的評価（アンケート結果）。

4. アンケート調査: 被験者から制作プロセス、完成品の使いやすさやデザイン性についての自由意見を収集する。

評価指標：

- 操作体験：使いやすさの評価（1～5段階）。
- デザイン評価：視覚的な魅力や立体感についての印象（1～5段階）。
- 実用性：提案された応用シナリオが現実的かつ実用的であるかの主観的評価。
- 改善要望：追加機能や材料改善に関する自由記述回答。

定量的な検証

1. 電気抵抗値の測定：制作したサンプルが導電性を持つスマートファブリックとして機能するかを検証する。デジタルマルチメーターと Arduino を用いて、弯曲・圧力実験における電流変化と感度を測定し、導電性能およびインタラクション性能を評価する。
2. 操作時間およびエラー数の記録：各被験者がスマートファブリックを制作する際に要した時間と、操作中に発生したエラーの回数を計測し、作業効率と操作の難易度を数値化する。

3. アンケートデータ：各評価項目（使いやすさ、デザイン性、実用性など）について1～5段階スケールを用いてデータを収集し、統計的な分析を行う。

定性的な検証

1. 観察記録：被験者の操作行動、選択されたデザイン要素（レイヤー数、縫製形状）および制作上の課題や工夫点を観察し、詳細に記録する
2. インタビュー内容の分析：被験者が制作後に行ったインタビュー内容（自由意見や改善案）をテキストデータとして収集し、内容をカテゴリ化して分析する。
3. アイデアスケッチの評価：被験者が作成したスケッチとその説明文をもとに、応用シナリオやデザインの具体性、実現可能性について評価を行う。

これらの評価指標を用いることで、各プロセスや最終的な完成品の評価を体系的に行い、ユーザーの体験結果を定量的・定性的に分析する。

4.3.3 総合分析

定量データ（電気抵抗、操作時間、アンケート結果）と定性データ（観察記録、インタビュー、スケッチ）を統合し、以下の観点から評価する：

1. スマートファブリックの機能性：導電性能やインタラクション性能が期待通りに機能しているか。
2. 操作性と制作体験：被験者が制作過程を通して感じた難易度や作業のしやすさ。
3. デザイン可能性：被験者が考案した応用シナリオの独自性と実現可能性。

4.3.4 実験の流れ

ユーザーが実験に参加する際の具体的な手順は、以下の通りである：

1. 背景説明（5分）
研究目的と背景を説明し、シャーリング技法と導電染布の融合による利点や応用可能性について簡単に紹介する。また、実験で使用する布地サンプルの機能（剪裁後の立体感、導電性）を説明する。

2. 操作テスト (20 分)

剪裁および縫製確認：参加者にサンプル布地を剪裁してもらい、剪裁後の立体感、柔軟性、および操作性を評価する。

導電性能の測定：剪裁後の導電性を万用表や Arduino を用いて測定し、縫製形状や剪裁方法が電気抵抗に与える影響を確認する。

機能体験：Arduino を用いてサンプルの導電性能を体験し、簡易な「弯曲実験」「圧力実験」「感度比較」を実施する。

3. アイデア創出とスケッチ作成 (20 分)

デザイン提案：参加者に「このスマートファブリックをどのような製品や用途に活用したいか」を考えてもらう。

スケッチ作成：提供する A4 用紙にデザイン案を手描きし、機能性やデザイン意図を簡単に説明してもらう。

4. インタビューとフィードバック (10 分)

評価と感想：布地の操作性や機能性、デザインの可能性についての意見を収集する。

困難点と改善案：制作過程での課題や、追加機能の提案についてフィードバックを得る。

応用シーンの確認：スケッチに基づき、具体的な使用シーンや実用可能性について意見交換を行う。

データ収集と結果の整理では、定性データとして参加者が作成したスケッチ、インタビュー内容、および提案されたデザイン案を記録し、定量データとして導電性能の測定結果、操作体験時の所要時間、満足度に関するアンケートデータを収集する。

具体的な評価手順としては、剪裁および機能体験の操作後にアンケート調査を実施し、布地の操作性、機能性、デザインの可能性、製作過程における困難点、さらなる改善案や追加機能の提案を記入してもらう。また、参加者が描いたスケッチは、デザイン意図や機能説明を含めて整理し、ユーザーの創造的なアイデアを反映する重要な資料として取り扱う。

本実験の結果をもとに、スマートファブリックの実用性とデザインの可能性を検証し、制作手法の改善および応用展開の方向性を明確にする。なお、具体的な実験流れ、アンケート項目および評価資料は附録に示す。

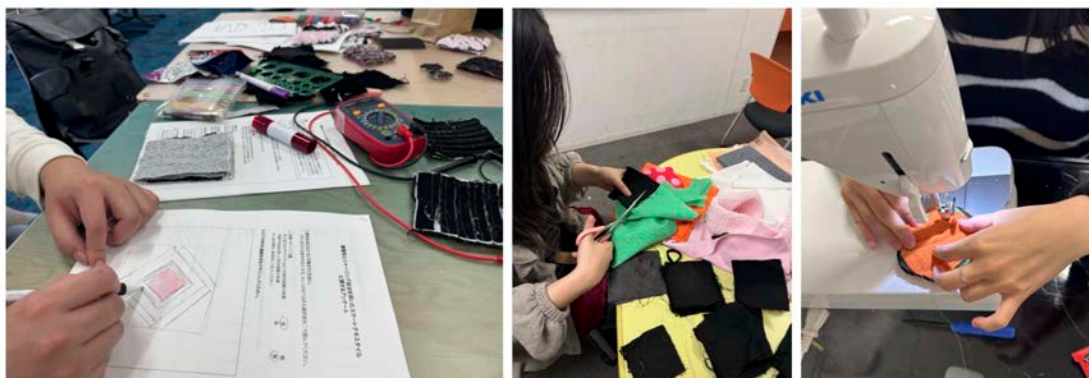


図 4.1 実験中の様子

4.4. 実験実施

本実験は 2024 年 12 月に実施され、参加者が実物の設計操作を行いながら、同時にアンケート調査を通じて制作体験に関するフィードバックを収集した。以下に、実験中の実際の操作の様子を示す（図 4.1）。

まず、実験開始前に参加者の基本情報として、手工芸経験や服飾制作経験の有無について確認するためのアンケートを実施した。続いて、実験の目的と背景について説明し、シャーリング技法と導電染布技術を融合することで実現可能なデザインや機能性について解説を行い、参加者の理解を深めた。

その後、参加者は布地サンプルの制作に取り組み、以下のステップを通じてアイデアを具現化した：

- レイヤーデザイン：層の重ね方や枚数を自由に設計し、各自の創意工夫を反映。
- 縫製パターン：形状や間隔を工夫し、直線・曲線・格子模様などのデザインを試行錯誤しながら選択。
- 実際の操作：布地の剪裁と縫製を行い、手を動かすことで制作工程を体験。

設計と制作が完了した後、参加者は制作したサンプルについて立体感や機能性を評価し、主観的な視覚印象や操作体験に関する意見を収集した。

本実験には合計 6 名の参加者が協力し、それぞれが独自のアイデアと工夫を反映させたサンプルを完成させた。以下の画像に、最終成品の一部を示す（図 4.2）。



図 4.2 製作成品の写真

4.5. 実験評価

本評価は、実験過程で収集したユーザーの調査表の回答結果、制作したサンプルのテストデータ、および操作過程の観察結果を基に総合的に行った。これにより、スマートファブリックの導電性能、操作性、デザイン性、インタラクション機能、および実用可能性について多角的に検証し、その性能と課題を明らかにする。

4.5.1 実際の操作

制作時間は最長で 90 分、最短で 45 分であった。操作難易度に関する評価では、1～5 の評価基準に基づき、6 人の参加者からの評価は 4、2、3、3、2、3 となり、平均値は 2.83 であった。また、2 名の参加者が縫製時にデザインした縫製パターンにおいて「縫製の難しさ」を感じたと評価した。

4.5.2 実験過程の観察

実験者が選択したレイヤー数は 4、6、5、5、8、5 と分布し、大半の参加者はガイドで推奨されている 4～5 層を基準に選んだ。一方で、手工芸制作や布地に関する理解が深い参加者は、面料の厚みを観察しながらレイヤー数を増やし、より満足度の高い立体感を得る結果となった。また、第一層の装飾デザインとして、4 名が波点、線条模様、ハート形の装飾を施すなど、創造的な試みも見られた。

縫製形状の選択においては、直線縫製が3名、曲線縫製が2名、回字紋縫製が1名と、直線と曲線が中心となり、この傾向はガイドで示された推奨パターンに合致している。しかし、面料の種類や色の選定では、参加者それぞれが自由な発想で色や素材を組み合わせ、個々のデザイン力を反映させた結果となった。

一方で、面料のレイヤー構成を変更する参加者も2名見られ、その主な理由はレイヤー数の追加によるデザイン調整であった。しかし、この過程で面料の理解不足が影響し、制作時間の増加や作業ミスの発生が確認された。

以上の結果から、面料選定やレイヤー構築に関する理解不足が作業効率や制作の成功率に影響を与えることが明らかとなった。今後、ガイドの面料紹介部分に、布地の厚みや特性、推奨レイヤー数の詳細な説明を追加することで、参加者の制作精度向上と効率化が期待される。

4.5.3 完成品の分析

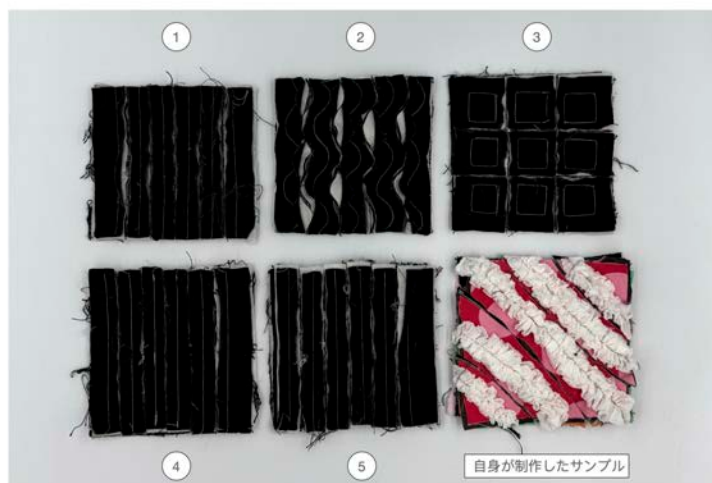
制作完了後の完成品について、視覚的な立体感および主観的なデザイン評価を実施した。評価対象には、第三章で実施したテストサンプルが含まれ、具体的には異なる縫製方法および異なるレイヤー数のサンプルと比較を行った。

立体感の印象評価

サンプルの制作が完了した後、参加者は以下の評価を実施した。まず、相同層数で異なる縫製パターンの参考サンプル、異なる層数で同一縫製パターンの参考サンプル、および自身が制作したサンプルを比較し、それぞれの立体感および主観的な視覚評価を行った(図4.3)。特に、縫製形状や層の重ね方による視覚的効果やデザイン性について、直感的なフィードバックを記録した。

評価結果から(表4.1)、立体感の印象評価は層数や縫製形状によって異なる傾向が見られた。特に「自分でデザインした生地」は最も高い評価を得ており、参加者が自ら手を加えたことで視覚的な満足度が向上したことが示唆される。一方、2層構造は立体感の評価が低く、層の少なさが視覚的効果に影響を与えていることがわかった。また、曲線構造や格子構造は4層導電布において比較的高評価を得ており、デザイン性と立体感のバランスが取れていることが評価された。

図 4.3 立体感の評価のサンプル



主観的な視覚評価

参加者による主観的な視覚評価の結果（表 4.2）を基に、各サンプルの立体感とデザイン性について分析を行った。曲線構造は平均評価 4.67 と最も高く、視覚的な立体感およびデザインの美しさにおいて優れていることが示された。曲線パターンの滑らかな縫製が布地の柔軟性を引き立て、立体的で動きのある印象を与えたことが評価の背景にあると考えられる。

さらに、参加者自身がデザインしたサンプルも平均 4.00 の高評価を得ており、個々の創意工夫が視覚的な満足度に大きく寄与したことが明らかとなった。特に、自身でレイヤー構成や装飾を調整したことで、オリジナリティと立体的なデザイン性が向上したと考えられる。

これらの結果から、曲線構造は特に立体感に優れた縫製形状であり、デザイン性を追求する場面で効果的である一方、格子構造は安定性とバランスが求められる用途に適していると示唆される。さらに、自身でカスタマイズを行うことで、ユーザーの満足度やデザインの独自性が向上する可能性が確認された。

－ デザイン性：第三章で実施した立体感や操作性についての主観的評価（アンケート結果）。

表 4.1 立体感の印象評価表

縫製タイプ	立体感平均評価
直線構造（4層導電布）	3.33
曲線構造（4層導電布）	4.00
格子構造（4層導電布）	3.33
直線構造（2層導電布）	1.83
直線構造（5層導電布）	3.67
自分でデザインした生地	4.50

表 4.2 主観的な視覚評価表

縫製タイプ	視覚平均評価
直線構造（4層導電布）	3.00
曲線構造（4層導電布）	4.67
格子構造（4層導電布）	4.00
自分でデザインした生地	4.00

機能性評価

次に、機能性評価として、自身が制作したサンプルを対象に、以下の4つの実験を実施した。

まず、電気抵抗値テストにおいて、すべての参加者が制作したサンプルが導電機能を有していることが確認された。これにより、シャーリング技法と導電染布を組み合わせた制作手法が導電性の確保に成功していることが示された。

次に、弯曲実験および圧力実験を行い、異なるデザイン条件（層数、縫製パターン、剪裁方法など）下でもガイドに沿って制作されたサンプルが電気抵抗値の変動を示し、インタラクティブな変化機能を有することが確認された。これにより、シャーリング技法を用いたスマートファブリックの制作が実現可能であることが実証された。

さらに、感度比較実験では、面料の選択、レイヤーの重ね方、縫製形状、および剪裁方法などの変数が、電気抵抗値の敏感度に与える影響を評価した。同じ条件下（弯曲、圧力、滑動触摸操作）で、テストサンプルと参加者が制作したサンプルを比較し、感度の主観的評価を行った。その結果、面料やデザイン要素によって電気抵抗の変化に差があることが確認された。

- 面料総層数と感度評価の関係

総層数が少ない場合（4層）に、サンプルの感度評価が最も高い（評価5）結果となった。一方、層数が増加すると（8層や9層）、電気抵抗の変化に対する反応が鈍化し、感度評価が低下する傾向が見られた。これは、厚みが増すことで布地の柔軟性が低下し、圧力や弯曲の影響が伝わりにくくなるためと考えられる。

- 縫製紋様の違い

縫製紋様としては、曲線と直線が多くのサンプルで採用されたが、それぞれの特徴が異なる結果を示した。

- － 曲線縫い：柔軟性が高く、立体感の評価も比較的高かった一方で、層数が増えると感度評価が低下する傾向が見られた（例：9層、評価2）。
- － 直線縫い：縫製が安定しており、層数が多い場合でも一定の感度を維持した（例：8層、評価4）。しかし、柔軟性が低下することで立体感に影響が出る可能性がある。
- － 回字紋：デザイン性が高いものの、感度評価は中程度（3）に留まった。

- 厚度と感度の相関性

全体厚度は感度に大きな影響を与える要素であることが確認された。例えば、厚度3mm～7mmの範囲では感度が高い評価を得る一方で、厚度が8mm以上となると感度評価が低下する傾向が見られた。これは、布地が硬くなることで圧力や弯曲に対する反応が抑制されるためと考えられる。

具体的なデータは以下の表 4.3 に示す。

表 4.3 感度比較実験表

面料総層数	導電面料層数	全体厚度	縫製紋様	感度評価 (1-5)
4	2	7(mm)	曲線	5
6	2	11(mm)	直線	1
5	2	5(mm)	回字紋	3
5	2	3(mm)	曲線	3
9	2	8(mm)	曲線	2
8	3	14(mm)	直線	4

総合的な考察

制作したサンプルは全て導電性能を有し、彎曲実験および圧力実験において電気抵抗の変化が確認された。これにより、シャーリング技法と導電染布を組み合わせた制作手法の有効性が実証された。また、感度比較実験を通じて、面料のレイヤー数、縫製紋様、厚度の設計が感度や操作性に直接影響を与えることが明らかとなった。

特に、4層構造と曲線縫いを組み合わせたサンプルは感度評価が高く、立体感や柔軟性とのバランスが良いことが示された。この結果は、スマートファブリックの設計において、目的に応じた最適なレイヤー数や縫製方法を選定する重要性を示唆している。

4.5.4 アンケート調査の分析

操作体験分析

実験者は操作体験およびデザイン制作の可能性について主観的な評価を行い、1～5の段階でスコアを付けた。その結果、デザイン制作における平均スコアは3.83となった。6名の被験者のうち、1名が2点の評価を付けた一方で、残り5名はすべて4点以上の高評価を示した。2点の評価を付けた被験者は「縫製方法の操作が難しく、手作業での再現が困難」と述べ、操作の可行性に課題を感じていた。

一方、操作体験に関する主観的な回答では、以下の意見が挙げられた：

- 「縫製の過程は難しいが、工夫すれば完成できる」
- 「後続の電気回路の出力が難点だが、完成品には高い実用性が期待できる」
- 「操作手順がシンプルであり、全体的に使いやすい」

これらの回答から、縫製操作に対する技術的な習熟度や、電気回路との連携に関する難しさが一部の被験者に影響を与えていることが分かった。しかし、多くの被験者が操作自体の理解と実現可能性を前向きに捉えており、完成品に対する期待感も高いことが示された。

デザイン評価

デザイン評価では、視覚的な魅力や立体感について1～5段階で評価を行った。その結果、自己制作の成品における立体感の平均スコアは4.33、視覚的な魅力は4.00と、いずれも高い評価が得られた。これにより、ファブリケーションガイドを通じた制作手法が、縫製紋様やレイヤー構成のデザイン性に対して効果的に寄与していることが示された。

さらに、実験者の視覚に関する感想では、「方向を変えた際に色が変わると驚きがある」や「縫製の線が複雑であればあるほど、立体感が強調されて見える」といった具体的なフィードバックが得られた。これにより、縫製紋様や色の選択が視覚的な効果において重要な要素であることが示唆された。

実用性評価

提案された応用シナリオが現実的かつ実用的であるかについて主観的評価を行った。実験者は制作した成品を基に、使用シーンを想定したスケッチの作成と機能性、意図の説明を実施した。多くの実験者が日常生活やファッション分野への応用を提案し、以下のような具体例が挙げられた。

1. 飾りのデザイン：発想として、ヘアアクセサリーの形状を調節することで内部に形状変化を生じさせ、異なる立体効果を生み出すインタラクティブなデザインが提案された。
2. ペット用玩具：
 - 延展性と立体感を調整できる布地を使用し、内部におもちゃを隠すことで、ペットの興味を引き出し、遊びの幅を広げる提案。一般的なペット用カーペットでは得られないインタラクティブな要素が追加される。
 - 音声デバイスとの連携：ペットの動きや圧力に応じて、布地内のセンサーが反応し、音声再生される機能の提案。
3. 舞台パフォーマンス：
 - ダンスマットとして使用し、ダンサーの動きと連動するインタラクティブな仕組みを導入。
 - 舞台上に敷設し、ダンサーの動きに合わせて照明や演出効果を制御する機能の提案。
 - ダンサーの衣装に組み込み、動きによって光や反応効果を生じさせ、パフォーマンスに新しい表現を加える提案。
4. 家具：
 - 布団として応用し、寝返りを打つ際に感知して空調を調整するシステム。
 - ゲーミングチェアとして使用し、プレイヤーの身体反応に基づき周囲の環境（光や音響）を制御するインタラクティブ機能の提案。

以下は実験者が作成したスケッチと説明内容の一例である（図 4.4 参照）。

提案された応用シナリオについて 1～5 のスケールで主観的評価を行った結果、平均評価は 4.33 となり、多くの参加者が自身のデザイン案の実用性を高く評価した。また、実験者は制作したスマートファブリックを通じてアイデアの実現可能性を確認し、応用シーンの具体化に繋がった。

この結果から、シャーリング技法と導電染布を用いることで、創造的なデザイン案が機能的かつ実用的に具現化できることが示唆された。

これらの提案は、シャーリング技法と導電染布を融合させたスマートファブリックが、日常生活やエンターテインメント、ペット用品、さらには舞台芸術や家具デザインといった幅広い分野での応用可能性を示している。また、機能性とデザイン性の両立が参加者によって明確に表現されており、今後の発展に向けた具体的な方向性が示唆された。

改善要望の評価

実験者は制作完了後、現有の材料および機能に対して以下の改善点を提案し、これに対する解決策も検討した。

1. 導電染布の防水性：導電染布は現状防水機能がなく、水分によって性能が低下する問題がある。今後は、防水加工を施した導電性ポリマーの開発や、水分に強い繊維素材と導電技術の融合が求められる。
2. シャーリング工芸による繊維脱落：シャーリング特有の柔軟性と立体感を保ちながらも、繊維の脱落を防ぐために、表面コーティング技術や強度のある繊維の導入を検討する。また、レーザー加工や樹脂含浸技術を用いて繊維の安定性を高めることも一案である。
3. 縫製困難な素材：縫製しづらい素材を使用する際の困難を軽減するため、接着技術や自動縫製システムを活用した制作プロセスの改善や、柔軟な導電シートの導入が考えられる。また、刺繍機械やレーザーカットを活用することで手作業の負担を軽減する方法も有効である。
4. 五感の拡張：香りを組み合わせたスマートファブリックは、製品の付加価値を高める可能性がある。今後は、マイクロカプセル技術を用いて香りや触覚、温度感知機能を組み込み、五感に訴えるインタラクティブな体験の提供が期待される。
5. 導電面布の色のバリエーション：現状、導電面布の色が黒色に限られている点については、導電性ポリマーの染色技術や色付き導電材料の研究開発が必要である。特に、異なる色の導電繊維や多層構造による視覚的バリエーションの実現が今後の課題となる。

以下の枠内に応用の製品をデザインしてください。
(衣服、物品、家具など、どのような用途でも構いません)



図 4.4 スケッチと説明内容の一例

これらの提案と解決策を通じて、スマートファブリックの材料特性や制作工程の改善が期待され、今後のデザイン応用範囲のさらなる拡大が示唆された。

4.6. 考察

本章では、ユーザーテストを通じてシャーリング技法と導電染布を組み合わせたスマートファブリックの制作プロセス、機能性、デザイン性、および実用性について総合的な評価を行った。

まず、操作体験に関しては、ファブリケーションガイドを参照することで、実験者全員がスマートファブリックを完成させることができたものの、縫製や層構成の段階で一部操作難易度の高さが指摘された。特に、縫製の精度や手工芸経験の有無が作業時間に影響し、平均制作時間は45分から90分の範囲に収まった。

次に、立体感および視覚評価においては、層数と縫製紋様がデザインの印象に大きく影響することが明らかとなった。曲線構造や格子構造が高い評価を受けた一方、層数がない場合には立体感が低下する傾向が見られた。また、参加者からは「弯曲線条が複雑なほど立体感が増す」や「方向によって色が変わると面白い」といった意見も挙げられ、デザインの可能性が示唆された。

機能性評価では、制作した全てのサンプルが導電性を有し、弯曲および圧力テストにおいても電流の変化が確認されたことで、シャーリング技法を用いたインタラクティブファブリックの実現可能性が実証された。感度評価の結果からも、層数、縫製紋様、面料の選択が電気抵抗値の変動に影響を与え、デザイン要素が機能性に直結することが確認された。

最後に、実用性評価では、実験者が制作したサンプルに基づき、装飾品、ペット用品、舞台表現、家具といった多様な応用シナリオが提案され、実用性の平均評価は4.33と高評価を得た。特に、色のバリエーション不足や繊維の安定性といった課題が挙げられたものの、改善策の提案も含めて、スマートファブリックのデザインと機能性の発展性が示された。

総じて、本実験を通じてシャーリング技法と導電染布を用いたスマートファブリックの制作手法が確立され、デザイン性と機能性を両立させる実用的なアプローチであることが示唆された。今後は材料特性の改善や制作プロセスの最適化を進めることで、さらなる応用範囲の拡大が期待される。

第 5 章 ま と め

5.1. 総括

本研究では、伝統的なシャーリング技法と導電染布技術を融合することで、スマートテキスタイルの新たな可能性を探求した。具体的には、縫製模様やレイヤー構造が、導電性、立体感、デザイン性および操作性に与える影響を、実物制作とユーザーテストを通じて評価した。

実物制作においては、ファブリケーションガイドをもとに試作品を製作し、各デザイン要素（レイヤー数、縫製形状、剪裁手法）を試行することで、最適な組み合わせを模索した。完成したシャーリングクッション型プロトタイプは、押す・撫でるなどの日常的な動作でパターンや明るさが変化するインタラクティブな特性を備えており、これにより視覚的および触覚的な満足感を提供することができた。

ユーザーテストでは、完成品を一日間使用してもらい、そのインタラクシオン性、快適性、日常的な使いやすさに対する評価を収集した。特に、押したり撫でたりする動作に対する応答性や触感が高く評価された一方で、光の反応速度や安定性については改良の余地があるとの意見も得られた。さらに、参加者からはファッション、インテリア、舞台演出など、実用的かつ創造的な応用シナリオが提案され、シャーリング技法を活用したスマートテキスタイルの広範な応用可能性が示唆された。

こうした結果から、シャーリング技法がデザインの立体感や独自性を高めるだけでなく、導電染布との組み合わせにより、インタラクシオン機能を効果的に実現する可能性が明確になった。また、縫製模様や層数が電気抵抗値や感度に与える影響も確認され、それぞれの特性がスマートテキスタイルの性能設計における重要な選択基準となることが示された。

本研究の成果は、伝統的な手工芸技術と現代の導電技術を融合することで、単なる美的表現の進化だけでなく、実用的かつ創造的なスマートファブリックの新しい価値を切り開く可能性を明示したものである。今後は、実物制作とユーザー評価から得られた知見を活用し、さらなる技術的改善と応用拡大を目指すことで、より完成度の高い製品設計が期待される。

5.2. 今後の展望

本研究の成果を基に、今後の展望として以下の点が挙げられる。

1. 素材の多様化と改良：

- 防水性や特殊面料への対応：特に、防水面料や特殊素材でも安定した導電機能を実現できる材料の開発を進め、水洗環境や屋外製品への応用可能性を高める。
- 導電面料の色彩の多様化：導電面料の色をさらに豊富にし、視覚的な魅力を高めるとともに、デザインの自由度や表現力を向上させることで、幅広い応用シーンに対応する。

2. 制作手法の最適化：シャーリングの工程に自動化技術やデジタルファブリケーション（レーザー切断、CNC 刺繍など）を導入し、効率的かつ精度の高い制作を可能にする。

3. AI 技術の統合：

- AI デザイン支援システムを導入し、ユーザーが簡単にデザインや機能性のシミュレーションを行える環境を構築する。
- スマートテキスタイルの性能予測やカスタマイズ提案を行うことで、デザインと機能性の両立を高度化する。

4. 多様な応用シナリオの実装：

- ファッション分野：スポーツウェア、スマートウェア、ヘルスマニタリング衣類など、動作や状態に反応する衣料品の開発。
- インテリア分野：圧力や動作に反応するスマートカーテンやインタラクティブな家具の開発。
- 舞台・芸術分野：ダンサーの動きに応じて光や音を制御する衣装やステージ装飾としての応用。
- ペット製品：ペットの動きに反応して音声や形状変化が起きる知育玩具の開発。

5. 実用化に向けた実証実験：

- 実際の利用シーンに基づいたプロトタイプの実証実験を行い、耐久性や使用感、機能性の評価を通じて製品化の可能性を高める。

- ユーザーとの共創プロセスを強化し、現場のニーズを取り入れた具体的なソリューションを提案する。

今後の研究では、これらの課題解決と技術統合を進めることで、シャーリング技法とスマートテキスタイルのさらなる融合が期待される。伝統技術の革新と現代社会への適応が実現すれば、手工芸と先端技術が共存する新しいデザイン文化が形成されと考えられる。

謝 辞

本研究を無事にまとめることができましたのは、多くの方々のご支援とご指導のおかげです。この場を借りて、心より感謝申し上げます。

まず、本研究の主指導教員としてご指導を賜りました山岡潤一准教授（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科）に深く感謝申し上げます。研究の構想段階から、的確なご指導と温かい励ましをいただき、研究を前に進めることができました。先生の豊富な知識と広い視野からのアドバイスは、私の研究の方向性を示す羅針盤となりました。

また、副指導教員としてご支援いただきましたマッシュ・ウォルドマン教授（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科）にも心より御礼申し上げます。実験設計やデータ分析、論文構成について多岐にわたるご助言をいただき、研究内容を一層深めることができました。先生の示唆に富むご指導がなければ、ここまでの成果は得られなかったと実感しております。

さらに、本研究に携わる過程で様々なご意見やご協力をくださった研究室の皆様、実験にご協力いただいた被験者の方々にも深く感謝申し上げます。皆様からのご支援と貴重なフィードバックが、本研究の質を向上させる糧となりました。

最後に、これまで支えてくれた家族や友人にも心から感謝いたします。多くの困難や挑戦の中でも温かく見守り、励ましてくれた皆様の存在が、私を前へと進ませる大きな力となりました。

以上、心からの感謝の意を込めて、ここに謝辞を記させていただきます。

参 考 文 献

- [1] Md Syduzzaman, Sarif Patwary, Kaniz Farhana, and Sharif Ahmed. Smart textiles and nano-technology: A general overview. *Journal of Textile Science Engineering*, Vol. 5, , 02 2015. doi:10.4172/2165-8064.1000181.
- [2] Lina M Castano and Alison B Flatau. Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Mater. Struct.*, 04 2014. doi:DOI10.1088/0964-1726/23/5/053001.
- [3] Md Tanvir Hossain, Md Abdus Shahid, Md Golam Mortuza Limon, Imam Hossain, and Nadim Mahmud. Techniques, applications, and challenges in textiles for a sustainable future. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Vol. 10, No. 1, p. 100230, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853124000246>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100230>.
- [4] Siw Eriksson, Lena Berglin, Emanuel Gunnarsson, Li Guo, H. Lindholm, and Leif Sandsjö. Three-dimensional multilayer fabric structures for interactive textiles. *Proceedings of the 3rd World Conference on 3D Fabrics and Their Applications*, pp. 63–67, 01 2010.
- [5] Luz Claudio. Waste couture: Environmental impact of the clothing industry. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 115, pp. A449 – A454, 09 2007. doi:<https://doi.org/10.1289/ehp.115-a449>.
- [6] Dafna Stoilkova. Cutting as an innovative approach to surface and textile design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 1188, No. 1, p. 012006, sep 2021. URL: <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1188/1/012006>, doi:10.1088/1757-899X/1188/1/012006.
- [7] Whitney Rorah. Laser cutting and etching textiles and apparel design: An experimental study on the implementation and documentation of laser cutting and

- etching in the apparel design creative process. *Iowa State University ProQuest Dissertations Theses*, 2016.
- [8] Jaya Jaitly. Crafts as industry. In *SEMINAR-NEW DELHI*-, Vol. 553, p. 14. MALYIKA SINGH New Delhi, India, 2005.
- [9] Dušan M. Popović Goran B. Poparić Snežana B. Stanković, Milada Novaković and Matejka Bizjak. Novel engineering approach to optimization of thermal comfort properties of hemp containing textiles. *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 110, No. 9, pp. 1271–1279, 2019. URL: <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1557367>, arXiv:<https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1557367>, doi:10.1080/00405000.2018.1557367.
- [10] David W. Wei, Haiying Wei, Alec C. Gauthier, Junlong Song, Yongcan Jin, and Huining Xiao. Superhydrophobic modification of cellulose and cotton textiles: Methodologies and applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–15, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969820300517>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.001>.
- [11] K. van Rijswijk, J.J.E. Teuwen, H.E.N. Bersee, and A. Beukers. Textile fiber-reinforced anionic polyamide-6 composites. part i: The vacuum infusion process. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 40, No. 1, pp. 1–10, 2009. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X08000791>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.03.018>.
- [12] Caroline Pigatto, José Humberto Santos Almeida Júnior, Heitor Luiz Ornaghi Júnior, Adriane Lawisch Rodríguez, Cláudia Mendes Mählmann, and Sandro Campos Amico. Study of polypropylene/ethylene-propylene-diene monomer blends reinforced with sisal fibers. *Polymer Composites*, Vol. 33, No. 12, pp. 2262–2270, 2012. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pc.22371>, arXiv:<https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/pc.22371>, doi:<https://doi.org/10.1002/pc.22371>.
- [13] Heitor Luiz Ornaghi, Ademir Jose Zattera, and Sandro Campos Amico. Dynamic mechanical properties and correlation with dynamic fragility of sisal reinforced composites. *Polymer Composites*, Vol. 36, No. 1, pp. 161–166, 2015.

- [14] Jaehong Lee, Hyukho Kwon, Jungmok Seo, Sera Shin, Ja Hoon Koo, Changhyun Pang, Seungbae Son, Jae Hyung Kim, Yong Hoon Jang, Dae Eun Kim, et al. Conductive fiber-based ultrasensitive textile pressure sensor for wearable electronics. *Advanced materials*, Vol. 27, No. 15, pp. 2433–2439, 2015.
- [15] Kevin J Edgar and Huihui Zhang. Antibacterial modification of lyocell fiber: A review. *Carbohydrate polymers*, Vol. 250, p. 116932, 2020.
- [16] Liang Huang, Shizhe Lin, Zisheng Xu, He Zhou, Jiangjiang Duan, Bin Hu, and Jun Zhou. Fiber-based energy conversion devices for human-body energy harvesting. *Advanced Materials*, Vol. 32, No. 5, p. 1902034, 2020.
- [17] Meng Liao, Lei Ye, Ye Zhang, Taiqiang Chen, and Huisheng Peng. The recent advance in fiber-shaped energy storage devices. *Advanced Electronic Materials*, Vol. 5, No. 1, p. 1800456, 2019.
- [18] Ignazio Floris, Jose M Adam, Pedro A Calderón, and Salvador Sales. Fiber optic shape sensors: A comprehensive review. *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 139, p. 106508, 2021.
- [19] Qiuwei Shi, Jianqi Sun, Chengyi Hou, Yaogang Li, Qinghong Zhang, and Hongzhi Wang. Advanced functional fiber and smart textile. *Advanced Fiber Materials*, Vol. 1, pp. 3–31, 2019.
- [20] Heitor Luiz Ornaghi Júnior, Roberta Motta Neves, Francisco Maciel Monticeli, and Lucas Dall Agnol. Smart fabric textiles: Recent advances and challenges. *Textiles*, Vol. 2, No. 4, pp. 582–605, 2022. URL: <https://www.mdpi.com/2673-7248/2/4/34>, doi:10.3390/textiles2040034.
- [21] Ching-Tang Huang, Chien-Fa Tang, Ming-Chen Lee, and Shuo-Hung Chang. Parametric design of yarn-based piezoresistive sensors for smart textiles. *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 148, No. 1, pp. 10–15, 2008.
- [22] Hsuan ling Kao, Chun-Hsiang Chuang, Li-Chun Chang, Cheng-Lin Cho, and Hsien-Chin Chiu. Inkjet-printed silver films on textiles for wearable electronics applications. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 362, pp. 328–332, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897219300775>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.076>.

- [23] Fahad Alhashmi Alamer, Khalid Althagafy, Omar Alsalmi, Asal Aldeih, Hissah Alotaiby, Manal Althebaiti, Haifa Alghamdi, Najlaa Alotibi, Ahmad Saeedi, Yusra Zabarmawi, et al. Review on pedot: Pss-based conductive fabric. *ACS omega*, Vol. 7, No. 40, pp. 35371–35386, 2022.
- [24] Cedric Honnet, Hannah Perner-Wilson, Marc Teyssier, Bruno Fruchard, Jürgen Steimle, Ana C Baptista, and Paul Strohmeier. Polysense: Augmenting textiles with electrical functionality using in-situ polymerization. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2020.

付 録

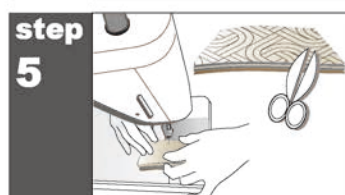
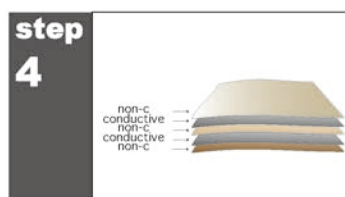
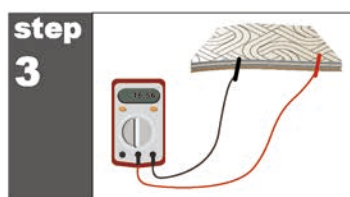
- A. ファブリケーションガイド
- B. ファブリケーションガイド
- C. ファブリケーションガイド
- D. ファブリケーションガイド
- E. ファブリケーションガイド
- F. ファブリケーションガイド
- G. 導電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスト
 タイル実験の流れ
- H. 電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスト
 タイルに関するアンケート

ファブリケーションガイド

本使用説明書では、シャーリングのスマートシアリング生地を製作するための標準的な方法を紹介しています。説明書の手順に従えば、この生地や製品を自由にデザインして製作することができます。

プロセス手順の説明

①	生地の導電染め	02-03
②	生地のレイヤーデザイン	04
③	縫製形状と縫製間隔のデザイン	04
④	縫製とカット	04
⑤	導電性テスト	05
⑥	製品のデザインと製作	05



01

図 A.1 ファブリケーションガイド 1

材料の準備

素材:異なる種類の生地若干(裁断後の廃棄生地も使用可能)、フェリクロリド粉末、ピロール溶液
工具:ガラス容器、攪拌棒、電子秤、ハサミ、ミシンなどの縫製道具



生地の選択

シャーリング技術に利用可能な素材は、特性や加工のしやすさ、目的によって選択肢が変わる。デザインの美観の観点から見ると、製作者はどのような布地、素材でも自由に選択できる。
以下の要素が素材選定の判断基準となる:

1 立体加工のしやすさと形状の安定性

切断や縫製後に立体感を維持し、形状が安定していることが重要である

2 デザイン性と実用性のバランス

素材がデザイン性を活かしつつ、日常使用や加工にも耐えられること

3 用途に応じた適性

服、インテリア、スマートファブリックなど、最終的な使用目的に応じた特性が求められる

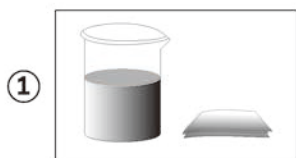
*注意点:導電層の製作に使用する生地は、防水生地の選択を避ける必要があります

以下は選択可能な一般的な生地の種類と特徴です。

コットン(綿)	通気性があり、柔らかく、吸湿性が良く、肌に優しい。
ポリエステル	耐久性があり、シワになりにくく、速乾性があり、扱いやすい。
ウール(羊毛)	保温性が高く、柔らかい。天然の伸縮性と抗シワ性があります。
リネン(麻)	通気性が良く、吸湿性があり、涼しさが感じられる。独特の天然の風合いがあり、シワになりやすい。
シルク(絹)	滑らかで柔らかく、光沢があり、通気性が良い。
ナイロン	軽く、耐摩耗性があり、伸縮性が高く、シワになりにくい。
スパンデックス	非常に高い伸縮性があり、耐久性が強い。
レーヨン	柔らかく、滑らかで、シルクのような手触りがあり、吸湿性が良い。
デニム	非常に耐摩耗性で壊れにくく、布はよりコンパクトで、布はより明確な質感、デニムと防風暖かい機能を持っており、コンパクトな布は防風で良い役割を果たす。
コーデュロイ	表面に縞模様があり、保温性が高く、手触りが良い。

図 B.1 ファブリケーションガイド 2

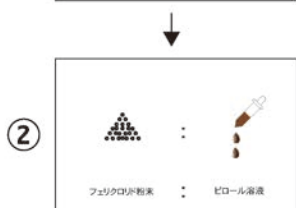
導電染めの注意事項



①

STEP1

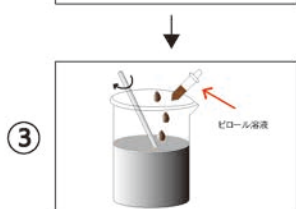
水と生地は比率は2:1～3:1の間にするべきであり、生地が水中で自由に攪拌できる比率を推奨します。



②

STEP2

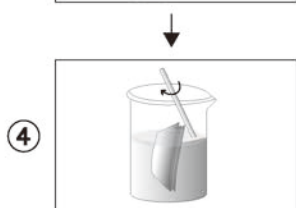
水とピロール溶液とフェリクロリド粉末の比率は
1000:24:10



③

STEP3

ピロールを加え、この溶液を攪拌して十分に混合させます。



④

STEP4

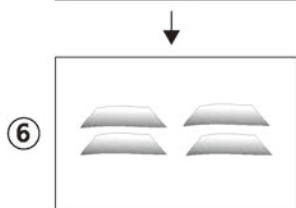
生地を加え、10～15分間優しく攪拌します。



⑤

STEP5

フェリクロリド粉末を加え、繊維が均一に黒く染まるまで、この溶液を攪拌して十分に混合させます。



⑥

STEP6

生地を洗浄、乾燥。

図 C.1 ファブリケーションガイド 3

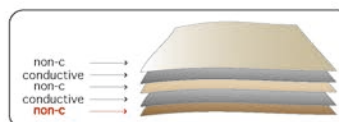
生地のリヤーデザイン

重ね層の総数:

生地を重ね層の総数は生地の厚さによって異なりますが、最低でも3層以上とし、7～8層を超える重ねは推奨しません(具体的な厚さは縫製時にミシンの押さえ圧のスペースに収まるかどうかで判断します)。

リヤーのデザイン:

重ねる層は自分の創造に応じて自由にデザインできますが、最下層の基布は非導電性の生地を選び、中央の層には導電布と非導電布を交互に配置することを注意してください。



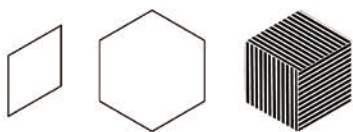
縫製形状と縫製間隔のデザイン

縫製パターンのデザインでは、規則的なパターンや不規則な線条に分けることができます。規則的なパターンでは、1つの小さな部品のデザインを拡大して、全体的な繰返しパターンにすることをお勧めします。ただし、線と線の間隔があまり小さくならないように注意し、2本の線の間隔が切り取れるように調整してください。

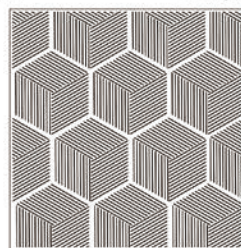


sample 1

sample 2



sample 3



縫製とカット



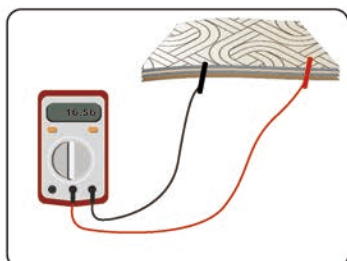
縫製する際には、最初に消えるペンでパターンを布地に描いてから縫製を行うことをお勧めします。



裁断する際は、デザインに応じて切り開いても構いませんが、最終層の基布は残すように注意してください。

図 D.1 ファブリケーションガイド 4

導電性テスト



シャーリング面料の製作が完了した後、製品作成前に導電性テストを行うべきです。

オームメーターを使用して抵抗値をテストするか、直接Arduinoを接続してテストすることができます。

製品のデザインと製作

電シアリング生地で作られた製品は、衣服、バッグ、ジュエリー、家具など、さまざまなカテゴリーに適用可能です。また、生地にはさまざまな出力モジュールを組み込むことができ、例えばライト、音、振動モジュールなどが含まれます。

以下はAI生成の物品と使用シーンの参考です。



● 舞台照明のコントロール



● シェーリングデスクライトの照明コントロール



● 動きに合わせて衣装のボリュームを変える



● ペットの感情に応じて反応するおもちゃ



● 触れると形が変わるショルダーバッグ



● 触れると香りが漂う装飾画

図 E.1 ファブリケーションガイド 5

以下は、製品を制作する際にアウトプットを接続する際の参考内容です。

重ねる層の数

電気抵抗値の感度が高い

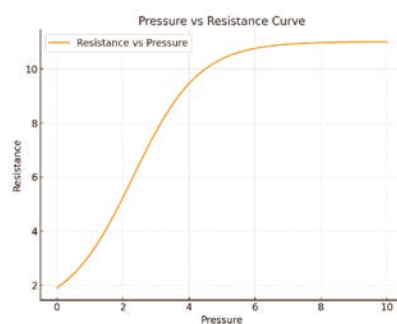
電気抵抗値の変化が安定

重ねる数

数量が少ない布地は感度が最も高く、ダイナミックレンジも広いですが、用途によってはその高感度が不要な場合に適しています。数量が多い布地は、全体的な電気抵抗値の変化が安定しており、汎用性の高い用途に適しています。

圧力の影響

この導電性素材の圧力応答には非線形特性があり、初期段階では圧力変化に非常に敏感ですが、その後徐々に安定に向かいます。



縫製形状の影響

直線縫い:

圧力変化に迅速に応答し、高い感度を示すため、感圧スイッチやタッチパネルに適している。

格子縫い:

広範囲の圧力変化を安定して検知できるため、医療用マットや精密な圧力センサーに有効である。

波形縫い:

安定性に優れ、微小な圧力変化を検知するため、ヨガマットや座布団のような用途に適している。

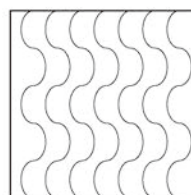
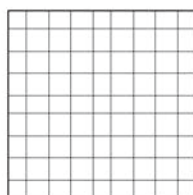
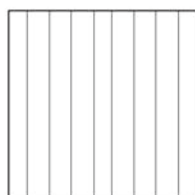


図 F.1 ファブリケーションガイド 6

導電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスタイル 実験の流れ

目的

本研究では、伝統的なシャーリング技法と導電染布技術を融合し、簡便かつ革新的なインタラクション機能を持つスマートファブリックの開発を目指す。一般のデザイナーや手工芸愛好者が容易に利用できる素材と制作手法を提供することで、新たなデザイン可能性と応用性の探求を目的としている。また、本実験を通じて、シャーリング技法を用いたスマートファブリックのデザインの可能性、操作性と制作体験、機能性について検証することを目指している。

テストの流れ

1、背景説明 (5分)

研究の背景や導電染布とシャーリング技術の融合のメリットを説明。
実験で使用するサンプルとその機能(例: 圧力感知、立体的な剪裁効果など)を紹介。

2、操作テスト (20分)

参加者は以下の手順で布地サンプルをテストします。

剪裁および縫製の確認

- ・ 布地の剪裁を行い、剪裁後の立体感や操作性を評価します。
- ・ 縫製箇所が布地の柔軟性やデザインに与える影響を確認します。
- ・ (第3章で実施した触覚テストおよび視覚テストをこの段階で実施)

機能性テスト

剪裁が導電性能に与える影響を確認するため、剪裁後の布地の電気抵抗値を測定します。
Arduinoを使用して、異なる縫製形状や布地サンプルが導電特性に与える変化を確認し、参加者に実際に体験してもらいます。

テスト記録

参加者の操作ステップ、所要時間、および観察された課題を記録します。
剪裁後の布地の導電性能や操作結果について詳細な記録を残します。

3、機能体験 (15分)

Arduinoを使用して、以下の簡易な実験を通じてサンプル布地の機能を展示します。参加者には、スマートファブリックとのインタラクションを体験してもらい、布地の特性を直感的に理解していただきます。具体的には以下の内容を実施します：

- ・ 弯曲実験(Bending Test)
- ・ 圧力実験(Pressure Test)
- ・ 感度比較実験(Sensitivity Test)

4、アイデア創出とスケッチ作成 (20分)

質問とインスピレーションの引き出し：

- ・ このスマートファブリックをどのような製品やデザインに応用したいですか？
- ・ 現在のデザイン上の課題を解決できると思いますか？
- ・ 美観と機能を両立させるためには、どのような工夫が必要ですか？

図 G.1 実験の流れ 1

スケッチと説明：

A4用紙と描画ツールを提供し、参加者にデザイン案をスケッチしてもらう。
スケッチに簡単な説明文を添えてもらい、機能性とデザイン意図を説明。

5、インタビューとフィードバック (10分/人)

- ・ 布地の操作性、機能性、デザインの可能性について、全体的な感想は？
- ・ 製作過程での困難点は？
- ・ 材料や性能の改善案は？
- ・ 自由に選択できるとしたら、どのような追加機能が欲しいですか？
(参加者からの創造的な提案やアイデアを記録。)

アイデア創出部分の重点**スケッチ作成**

シンプルな手描きを推奨し、デザイン論理と機能説明に重点を置く。
スマートファブリックが実際の使用シーンでどのように活用できるかを自由に発想。

応用分野の誘導

ファッションデザイン：スポーツウェア、スマートウェア、ヘルスマニタリング衣類。
インテリアデザイン：スマートカーテン、インタラクティブな家具、光応答装飾品。
産業応用：柔軟センサー、携帯デバイス保護材。

結果の共有

参加者にスケッチを披露してもらい、デザイン思考を簡単に説明。
質問やインタビューを通じて、具体的なニーズやアイデアを収集。

データ収集と分析**定性データ：**

参加者が描いたスケッチや説明文に含まれる応用アイデアと創造的提案。
インタビュー記録から得られるフィードバック。

定量データ：

サンプル使用時の導電性能データ。
参加者の満足度スコア(簡単なアンケートを通じて収集)。

テストの指導ポイント

創造性を重視：正解・不正解はないため、自由な発想を推奨。
操作手順を明確に：剪裁や機能テストの段階で適切な指導を行う。
応用シーンを想定：製品デザインの潜在力を具体的にイメージできるようにサポート。

*** 出力資料**

ユーザーが作成したスケッチとデザイン説明
インタビュー記録とアンケート結果
実験データ(導電性能、操作体験など)

図 G.2 実験の流れ 2

導電布とシャーリング技法を用いたスマートテキスタイル
に関するアンケート

- 1.あなたのことについて教えてください。
- ()内に該当する数字を記入する、もしくは当てはまる選択肢を○で囲んでください。
- ・ 手工芸 (DIYやクラフトなど) の制作経験の有無

有

無

・ 洋服や布地を使った制作経験の有無

有

無
- もしある場合、具体的にご記入ください:
- 2.以下の枠内に縫製形状をデザインしてください。

図 H.1 アンケート 1

3.以下のサンプルについて、立体感の評価を行ってください。

サンプル1	1	2	3	4	5
サンプル2	1	2	3	4	5
サンプル3	1	2	3	4	5
サンプル4	1	2	3	4	5
サンプル5	1	2	3	4	5
自分作ったサンプル	1	2	3	4	5

触覚に関するその他の感想があれば、ご記入ください：

4.以下のサンプルについて、ご自身の審美に基づいて視覚の評価を行ってください。

サンプル1					
サンプル2	1	2	3	4	5
サンプル3	1	2	3	4	5
自分作ったサンプル	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5

視覚に関するその他の感想があれば、ご記入ください：

5.以下のサンプルについて、機能性の評価を行ってください。

ご自身で制作したサンプルは導電性を備えていますか？

弯曲実験(Bending Test)の記録：

圧力実験(Pressure Test)の記録：

感度比較実験(Sensitivity Test)

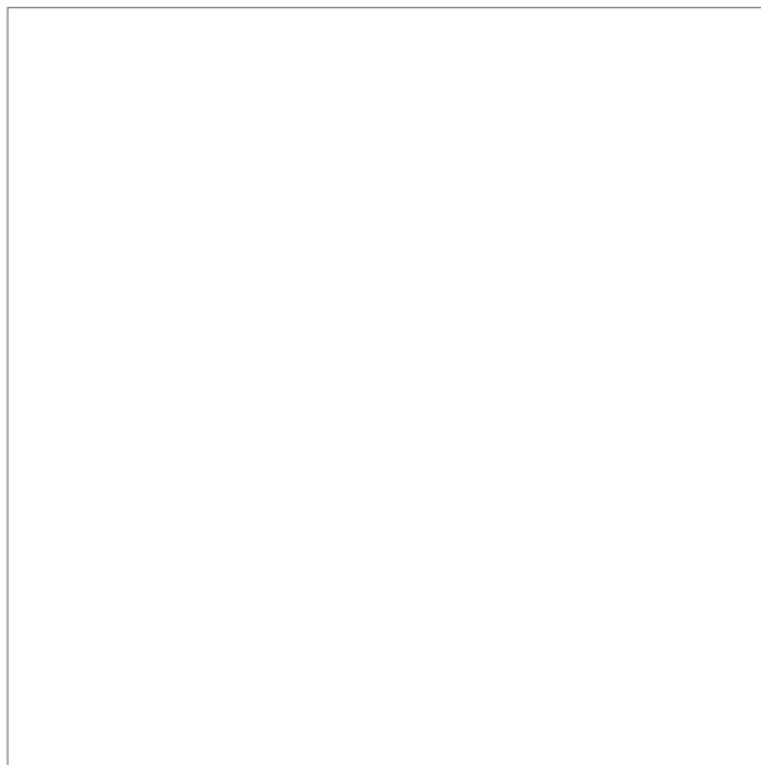
		有		無
		変化あり		変化なし
		変化あり		変化なし
1	2	3	4	5

6.ご自身で制作したサンプルについて、アイデア創出を行ってください。

このスマートファブリックをどのような製品やデザインに応用したいですか？

図 H.2 アンケート 2

以下の枠内に応用の製品をデザインしてください。
(衣服、物品、家具など、どのような用途でも構いません)



スケッチについて、機能性とデザイン意図を説明。

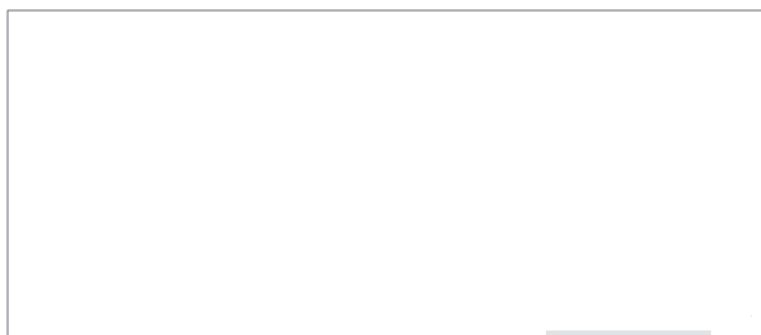


図 H.3 アンケート 3

1から5の評価スケールを用いて回答してください。また、必要に応じて自由記述欄に具体的な意見や改善案をご記入ください。

1 2 3 4 5

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

1 2 3 4 5

--

布地の操作性、機能性、デザインの可能性について、全体的にどのように感じましたか？

製作過程で最も難しかった点は何ですか？

現在の材料や性能について、どのような改善が必要だと思いますか？

自由に選択できるとしたら、どのような追加機能が欲しいですか？

図 H.4 アンケート 4