

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：13501  
研究種目：若手研究(A)  
研究期間：2016～2019  
課題番号：16H05867  
研究課題名(和文) 導電性織物の画像処理

研究課題名(英文) Image processing for conductive fabric

## 研究代表者

豊浦 正広 (TOYOURA, Masahiro)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：80550780

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,200,000円

研究成果の概要(和文)：導電性織物の成果物として、加圧位置検出織物を発表した。特許を出願したのちに、電子回路研究会とユビキタスコンピューティング研究会で研究発表を行い、IEEE Transactions on Industrial Electronicsに論文が掲載された。研究会発表に対しては、学生奨励賞を受けることができた。心電図計測のためには織物電極の開発を進め、想定機能が実装できることを確かめた。現在、内容を拡充して国際誌への論文投稿準備を進めている。研究期間中には、美的織物作製の技術の拡張も行った。山梨県産業技術センターや地域織物関連企業とも連携して、製品化にもつながる研究成果を挙げる事ができた。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

導電性織物と美的織物作製の両面で研究成果が得られた。導電性織物の成果物として、加圧位置検出織物を発表することができた。これまでにはない特性を持つセンサとしての織物を開発することができた。伝統産業のニーズと最新のIoT分野のシーズを見ながら、次なる機能の実現に挑みたい。山梨大学や山梨県産業技術センターを通して、産業利用可能性を引き続き探る。特許出願した技術は、単に加圧位置検出織物の提案にとどまらず、織ることで機能を変えることを初めて提案するものであり、他の機能を織ることにも展開できる。美的織物作製の成果は、一部製品化にもつながってきており、今後もさらに地域産業への技術移転を進めていきたい。

研究成果の概要(英文)：A pressurization location sensor fabric was presented as a product of conductive fabrics. After applying for a patent, we presented the work at the Electronic Circuits workshop and the Ubiquitous Computing workshop. We received the student incentive award for the presentation at the workshop. The work was also published in the IEEE Transactions on Industrial Electronics. We have also developed textile electrodes for electrocardiographic measurements, and we confirmed that the expected functions could be implemented. Currently, we are preparing to submit a paper to an international journal with expanded content. During the term of research, we also tackled on creating aesthetic textile fabrics. In collaboration with the Yamanashi Industrial Technology Center and local weaving companies, we have produced research outcomes that can be commercialized.

研究分野：デジタルファブリケーション、画像処理

キーワード：コンピュータグラフィックス ウェアラブル機器 デジタルファブリケーション 画像処理 電子回路

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

織物は経糸(たていと)と緯糸(よこいと)が多数並列化し、格子状に織り重なる構造を持つ。ジャカード織機はそれぞれの格子点での経糸と緯糸の上下を任意に決定して、自動で織物を織ることができる。織物の格子パターンをデザインする問題は、デジタル画像処理とは親和性が高く、我々は研究開始時までに織物パターン合成のための織物画像処理を提案してきた。人間の感性に頼ってきた織物パターンデザインの過程を画像処理で支援することを目指してきた。

他方で、織物の新しい展開として、電極や導電性繊維を織物に織り込むことで機能性を持つ織物を提案する動きがあった。スポーツウェアでは、内部に電極を貼り付けることでランニング時の心拍数や筋肉の状態を記録するものが販売されてきており、Google Project Jacquard では、織物に粗い格子状の導電糸を織り込むことで、触れた位置と強さを計測する装置を開発してきた。京都大学医学部附属病院と帝健は、西陣織の職人と共同で、着るだけで心電を計測するウェアの開発を進めている。

これまでの検討の中で、美的な織物を目指してきた画像処理を導電性織物のために転化することで、織機による自動作製とセンシング感度の向上ができるという着想に至った。

### 2. 研究の目的

我々がこれまでに美的織物作製のために進めてきた織物画像処理を導電性織物の機能性を高めるために転化する。導電性織物に以下の2点の機能を追加することを目指した。

- (1) 自動作製 特定位置以外での絶縁性を保ちつつ、自動作製可能なパターンを開発する
- (2) 感度向上 位置・信号強度の空間的な分解能を高める(符号化織の提案)

### 3. 研究の方法

導電性織物の自動作製・感度向上のための織物パターン合成を実現する。実際に縫製して、生体信号を測定する。センサとしてのスペックを明らかにしておくことで、研究期間後の産業応用を見据える。

#### (1) 自動作製

ジャカード織機で自動作製可能であるためには、経糸と緯糸が端から端まで1本でつながっている必要がある。織物は立体構造を取ることで、この構造を工夫することで、絶縁糸で導電糸を覆うように織ることができる。

#### (2) 感度向上

これまでの導電性織物は、最も基本的な織り方である平織で構成されてきた。平織では、それぞれの糸からは同じ信号が得られることになり、触れたことに対するオンとオフの判定しかできない。各行を異なるパターンで織ることで、触れる位置によって異なる出力を得ることができるようになる。同じ糸の数でより細かな位置・信号強度を得ることで、導電性繊維のセンシング感度を向上する。

実際に心電を測定してその精度を検証する。着心地を向上させるような素材や縫製についても検討する。

以下の4点のサブテーマを設定して研究を進めた。

- (A) 写真織の応用による導電性織物パターンの生成
- (B) 高感度な導電性織物パターンの設計と精度検証
- (C) 連続着用を考慮した組込回路の設計
- (D) 産業利用可能性の検証と伝統産業復興の試み

### 4. 研究成果

導電性織物の成果物として、加圧位置検出織物を発表した。この織物は電源・均質・非均質の3層の織物を縫い合わせた構造を取る。当初は1層構造を計画していたが、電子回路の研究者らと議論を重ねる中でこの構造を発想し、この構造が核となって機能の実現にこぎつけることができた。同じ素材でできた織物の中で、位置によって“機能の異なる”状況を作り出す発想はこれまでの研究にはなく、真に新規のものであると考えている。

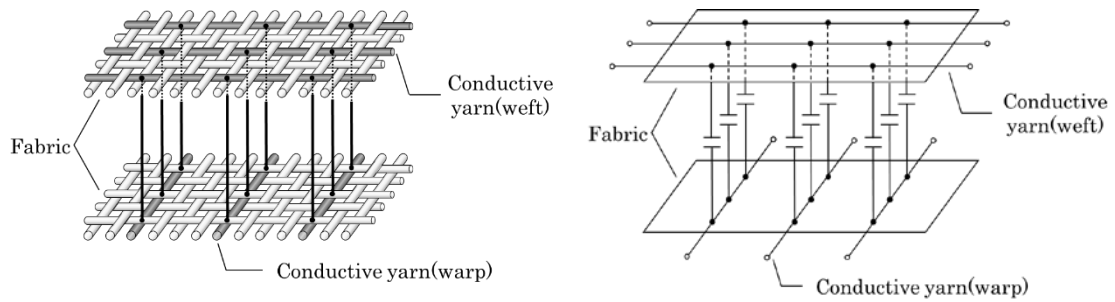


図1 導電性糸を織り込んだ2層の織物によるキャパシタ生成

図1に示すように、織物は経糸と緯糸が交差することによって布を形成する。織物は交点が平面的に連続して配置された物体だと捉えることができる。ここで、経糸が導電性糸である織物と、緯糸が導電性糸である織物の2枚を重ねることを考える。それぞれの導電性糸が被膜で絶縁されていれば、導電性糸間に静電容量が発生する。それぞれ経糸と緯糸が上にあるか下にあるかを制御することで、静電容量を変えることができる。これが本研究の本質的なアイデアである。実際の織物上では、経糸と緯糸に使用する導電性糸は複数であることから、織物の間には複数の交点が存在し、キャパシタが並列に並んでいるとみなせる。織物内の各導電性糸同士が短絡しているとする、理想的には織物間の容量値は交点が生ずるキャパシタの容量値の総和で表される。

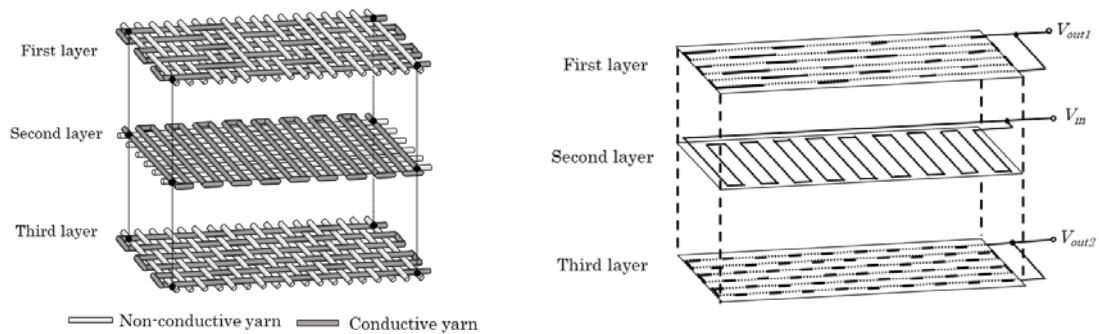


図2 導電性糸を織り込んだ3層構造の織物による圧力検出と位置推定

さらに織物に外力が加えられると、それぞれの位置での静電容量は増加する。全体で同じ種類のキャパシタを配置すれば、圧力の大きさを知ることができる。部分ごとに異なる種類のキャパシタを配置しておけば、同じ圧力に対しても異なる静電容量の変化を得ることができる。圧力と位置の両方を同時に推定するために図2に示す3層構造を提案し、性能を検証した。

この内容は特許を出願したのちに、電子回路研究会とユビキタスコンピューティング研究会で研究発表を行い、IEEE Transactions on Industrial Electronics に論文が掲載された。研究会発表に対しては、学生奨励賞を受けることができた。

また、心電図計測のための織物電極の開発を進め、想定機能が実装できることを確かめた。実際的な心電図計測のためには、織物電極の開発を進め、想定機能が実装できることを確かめた。現在、内容を拡充して国際誌への論文投稿準備を進めている。

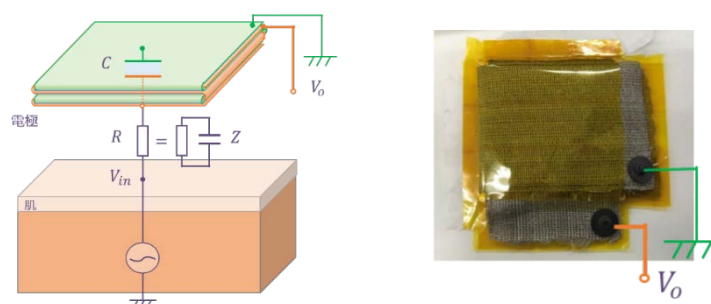


図3 折り畳み構造による電氣的機能を持った電極の開発

この研究では、電極の内部構造に着目することで、電極に新しい機能として抵抗やキャパシタ

などの通常の能動素子を使わないローパスフィルタを持つ構造の電極を提案する。図 3 に基本的な構造とプロトタイプを示す。提案した電極によって実際に心電図測定を行うことで、フィルタの構造を持たない電極と比較して高周波成分のノイズの減少を定性的に確認した。

また、研究期間中には、美的織物作製の技術の拡張も行った。美的織物作製では、山梨県産業技術センターや地域織物関連企業とも連携して、研究成果を挙げることができた。

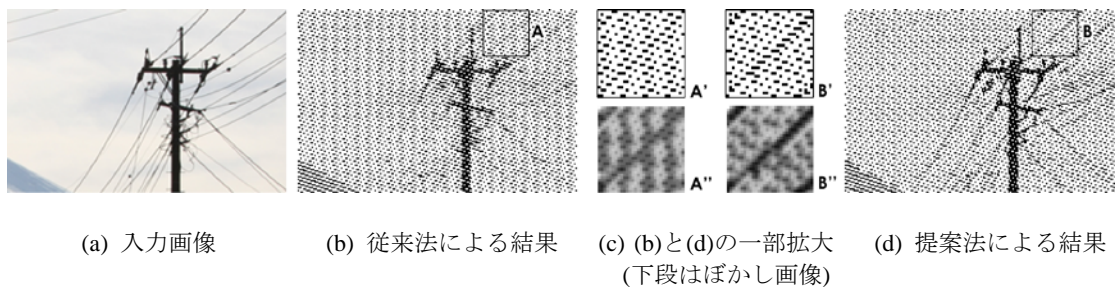


図 4 緩やかな階調変化と微細構造の両方を表現する織物パターン生成

織物パターンを定義する二値画像生成に対して、緩やかな階調変化を表現し、かつ、エッジなどの微細構造もよく保存する二値化手法を提案した。図 4 に生成される織物パターンの例を示す。研究開始までに、二値化に用いるディザマスクを織物用に交差回数に制約を与えるようなものを設計した。研究期間中にはさらに、このディザマスクの値の並びを最適化して、直線状に連続した黒点が生じないようにした。微細構造の有無を入力画像から判定して、利用するディザマスクの特性を切り替えられるようにした。

この提案は *Textile Research Journal* に論文が掲載された。さらに、本研究で得られた成果から、織物でできた“傘”が開発されて、地域企業から発売となった。所属する山梨大学や山梨県として産官学連携による初めての技術移転成果となる。これに限らず、今後もさらに地域産業への技術移転を進めていきたい。

同じく美的織物作製の技術として、任意画像からの製織パターン生成に関する成果を挙げた。この研究では、任意画像の視覚的印象を表現するジャカード織物パターン生成を目指した。図 5 に処理の流れを示す。分割された領域に個別に自由に選択する織物ディザマスクを割り当てられるようなシステムを構築した。この織物ディザマスクは、交差回数を制御しながら入力画像の色調を保つことができるものである。また、織物ディザマスクは、テクスチャの周波数と方向性に自由度を持つので、テクスチャの観点から自動または対話的に適した織物ディザマスクを適用することで織物パターン生成を実現する。自動マスクの割り当てでは、領域ごとにテクスチャが最も一致するマスクを自動で割り当て、色調が一致する二値化パターンを生成する。対話的マスクの割り当てでは、デザイナーが自由に特定の対象を強調したり、逆に対象を目立たなくしたりできるように、生成画像を確かめながら対話的に適用するマスクを変更できる。これによって、デザイナーが受ける視覚的印象を織物の上に表現できるようになる。

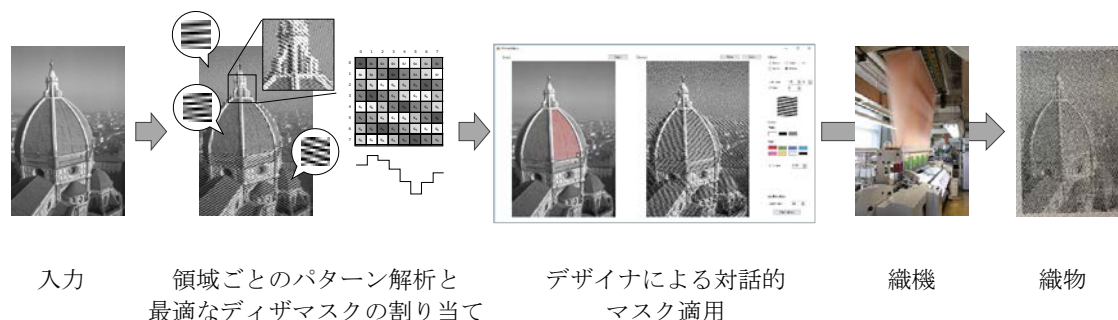


図 5 周波数成分解析による領域ごとに最適なディザマスクの選択と対話的修正

この成果は *IEEE Transactions on Industrial Informatics* で論文が掲載された。構築したシステムは、複数の地域織物企業に提供して、新たな製品開発が支援でき始めている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masahiro Toyoura, Tetsuya Igarashi, Xiaoyang Mao	4. 巻 15
2. 論文標題 Generating Jacquard Fabric Pattern with Visual Impressions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Informatics	6. 最初と最後の頁 4536-4544
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TII.2018.2886795	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takamasa Terada, Masahiro Toyoura, Takahide Sato, Xiaoyang Mao	4. 巻 66
2. 論文標題 Functional Fabric Pattern -Examining the Case of Pressure Detection and Localization-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 8224-8234
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIE.2018.2885692	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Igarashi Tetsuya, Toyoura Masahiro, Xiaoyang Mao	4. 巻 88
2. 論文標題 Dithering method for reproducing smoothly changing tones and fine details of natural images on woven fabric	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Textile Research Journal	6. 最初と最後の頁 2782-2799
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/0040517517732087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 五十嵐 哲也, 茅 暁陽, 豊浦 正広	4. 巻 47
2. 論文標題 織物製造及び設計における画像処理の役割について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 90-95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masahiro Toyoura, Noriyuki Abe, Xiaoyang Mao	4. 巻 30
2. 論文標題 Scene-Aware Style Transferring Using GIST	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transactions on Computational Science	6. 最初と最後の頁 29-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 豊浦 正広, 茅 暁陽, 五十嵐 哲也
2. 発表標題 アラカルト織物パターン生成技法のコースメニュー化による技術移転の加速化
3. 学会等名 やまなし産学官連携研究交流事業
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐 哲也, 鈴木 文晃, 秋本 梨恵, 家安 香, 茅 暁陽, 豊浦 正広
2. 発表標題 富士北麓・東部地域の伝統的な織物を活用した新商品開発
3. 学会等名 やまなし産学官連携研究交流事業
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊浦 正広
2. 発表標題 人工知能と一緒に見る世界 映像解析から織物作製まで
3. 学会等名 山梨大学産学連携セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小針 和也, 豊浦 正広, 五十嵐 哲也, 寺田 貴雅, 茅 暁陽
2. 発表標題 深層学習を用いた織物パターン的人工除去
3. 学会等名 Visual Computing シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田 貴雅, 豊浦 正広, 佐藤 隆英, 茅 暁陽
2. 発表標題 入力チャンネル数を絞った加圧位置検出織物の設計
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小針 和也, 豊浦 正広, 寺田 貴雅, 茅 暁陽
2. 発表標題 連続織物画像の次元圧縮によるキャストシャドウ除去
3. 学会等名 画像電子学会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 五十嵐 哲也, 茅 暁陽, 豊浦 正広
2. 発表標題 織物製造及び設計における画像処理の役割について
3. 学会等名 画像電子学会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 豊浦 正広, 茅 暁陽, 五十嵐 哲也, 秋本 梨恵
2. 発表標題 伝統織物をグローバルに発信する如実的画像合成技術の開発
3. 学会等名 やまなし産学官連携研究交流事業
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺田 貴雅, 豊浦 正広, 佐藤 隆英, 茅 暁陽
2. 発表標題 部分的な織り方の違いを利用した加圧位置検出織物の設計
3. 学会等名 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (学生奨励賞)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 豊浦 正広
2. 発表標題 深層学習による画像処理 - 原理と応用
3. 学会等名 慢性疾患診療支援システム研究会学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺田 貴雅, 豊浦 正広, 五十嵐 哲也, 齋藤 豪, 茅 暁陽
2. 発表標題 陰影とエッジを保つジャカード織物パターン生成のための拡散誤差の量と範囲を制限した二値化处理
3. 学会等名 Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 Takamasa Terada, Masahiro Toyoura, Tetsuya Igarashi, Suguru Saito, Xiaoyang Mao
2. 発表標題 Restricted Error Diffusion for Fabric Binalization
3. 学会等名 NICOGRAPH International (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuya Igarashi, Masahiro Toyoura, Xiaoyang Mao
2. 発表標題 Optimizing Dither Mask for Rendering Smooth Tone on Fabric
3. 学会等名 NICOGRAPH International (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 豊浦 正広, 五十嵐 哲也, 寺田 貴雅, 茅 暁陽
2. 発表標題 計算処理による写真からの対話的織物パターン作成
3. 学会等名 スマートテキスタイル研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 茅 暁陽, 豊浦 正広, 寺田 貴雅, 五十嵐 哲也
2. 発表標題 コンピュータ画像処理による対話的織物デザイン
3. 学会等名 やまなし産学官連携研究交流事業
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 豊浦 正広, 茅 暁陽, 五十嵐 哲也
2. 発表標題 写真からの対話的織物パターン生成
3. 学会等名 ものづくりビジネスチャンス発掘セミナー
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 加圧位置センサ、加圧位置検出方法、加圧位置検出装置および符号化織物	発明者 豊浦 正広, 寺田 貴雅, 佐藤 隆英, 茅 暁陽	権利者 国立大学法人山梨大学
産業財産権の種類、番号 特許、2017-104533	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>導電性織物の機能デザイン  <a href="http://www.design.yamanashi.ac.jp/research/circuit/">http://www.design.yamanashi.ac.jp/research/circuit/</a>            テキスタイルデザインの画像処理  <a href="http://www.design.yamanashi.ac.jp/research/textile-design/">http://www.design.yamanashi.ac.jp/research/textile-design/</a></p>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----