

Filum：環境やユーザに即して糸の縫込み可能な布や柔軟物体に新たな動作や変形機能を与える糸と縫い方

幸野 朋美^{1,a)} 渡邊 恵太²

受付日 2018年1月24日, 採録日 2018年9月7日

概要: 本論文では, 布 (テキスタイル) や糸の縫込み可能な柔軟物体に, 変形や動作機能を付与する糸システム Filum を提案する. テキスタイル製品は決まった形状から変わることなく通常は静的である. テキスタイル製品をユーザの好みや環境の変化に適応させるには, ユーザ自身が変形させる必要がある. そこで, 本研究では変形のための縫い方を検討した. モータ駆動の糸, 様々な縫い方, およびセンサを用いることで, テキスタイル製品を変形させる手法を提案する. これにより, 通常テキスタイル製品に対し「折る」「まくる」「上下する」といった動的な機能を後付けで付与できる. 本論文では Filum のシステム構成, アプリケーション例, および発展的な応用可能性について述べる.

キーワード: インタラクティブストリング, デジタルテキスタイル, スマートテキスタイル, 変形

Filum: A Sewing Technique to Alter Textile Shapes

TOMOMI KONO^{1,a)} KEITA WATANABE²

Received: January 24, 2018, Accepted: September 7, 2018

Abstract: We propose a novel shape-changing technique named Filum, which makes it possible to alter the shapes of textiles to better suit the requirements of people and the environment. Without deformation, textile products are usually static; hence, it is necessary for users to alter the shapes of textile products depending on users' preferences and circumstances. Using strings and various sewing methods, we propose several techniques to alter the shapes and usage of the textile products. With this approach, textile products can obtain additional functions such as bending, folding, and fluctuating. In this paper, we describe the system configuration and application examples of Filum, and we also discuss potential sophisticated implementations.

Keywords: smart string, digital textile, interactive string, shape-changing

1. はじめに

布にコンピュータを組み合わせて, 衣服が変形し通気性を変えるデジタルテキスタイル研究 [1] が行われている. たとえば, 人の体温や汗に反応して変形する衣服 [2] や, 時間経過とともに変形する衣服 [3] がある. しかし, これらはいずれも布に注目しており, 開発した布の使用が前提と

なる. そのため, たとえば動的な衣服を実現するには, 布の単位での活用方法が求められ, 既存の衣服を部分的にデジタルテキスタイル化したい場合でも布自体の置き換えが要求される.

そこで我々は, 布の構成要素である糸に着目した. 糸は布をつなぎ合わせたり, 補強したりするためにも使用する. 多くの衣服は, 形をつくるために複数の布を糸によって縫い合わせている. また糸は, 衣服がほつれたり破れたりした場合に, 後から補強もできる. さらに縫い込んだ糸は切ることによって取り外せる. このように糸は布に対して様々な加工ができ汎用性や柔軟性が高い.

¹ 三菱電機デザイン研究所
Industrial Design Center, Mitsubishi Electric Corporation,
Kamakura, Kanagawa 247-0056, Japan

² 明治大学
Meiji University, Nakano, Tokyo 164-8525, Japan

a) ictstomo@gmail.com



図 1 Filum モジュールのプロトタイプ (左上) と Filum で拡張された 3 つのテキスタイル製品例

Fig. 1 A prototype device and three examples of altered textiles using Filum.

本研究は、こうした糸に変形や動作機能を持たせるシステム *Filum*^{*1} を提案する。Filum はセンサと組み合わせて動的に長さに変化するモータ駆動の糸である。この糸を様々な縫い方で布に縫い込んで使用し、一般的な布を様々な動的に変形させ、布や縫込み可能な柔軟体の特性を拡張する。Filum は糸であるため、布をベースにしたインテリアや、ぬいぐるみなどの縫込み可能な柔軟物体に対しても加工を施せ、取り外しも容易である。

我々はこれまでに提案手法を用いた数種類のアプリケーションを例示し、この手法によって実現する表現について報告している [4], [5]。本論文ではこれらをまとめ、提案手法によってテキスタイル製品を拡張することの意義、糸による柔軟な物体への機能付与に関する問題について整理した。

2. 関連研究

布や柔軟な物体などを変形させる動的なテキスタイルの研究は、これまでに数多く提案されてきている。本章では、関連研究についてまとめ、最後に本研究の新規性を明確にする。

動的なテキスタイルとしては、小さな Shape memory alloy (SMA) ベースのコイルをテキスタイルに固定することによるテキスタイルの伸び縮み [6] や変形 [7] が提案されている。Ohkubo らは SMA を応用した毛状のインタフェースを衣服に配置し、その変形により着用者がさらされている紫外線を可視化した [8]。

また、空気圧を用いた柔軟な物体の変形手法も提案されている。エアバッグのように空気を内蔵できる構造のテキスタイルにバルブを接続し、空気の増減により変形を行う PneuUI [9] がある。この仕組みを元に、熱溶接を用いて空

*1 Filum とはラテン語で“糸”を意味する。

気を区切ることで物体の変形を行い平らな素材がソファに変形するといった手法 [10] や、ジャケット内部の厚みを変位させ、着用者の上半身の任意の箇所に圧迫感を提示する手法 [11] が提案されている。

他にも、モータを用いたテキスタイルの変形手法も提案されている。上間らは円盤型振動モータを用いた毛の逆立によるコミュニケーションを提案した [12]。モータを用いた手法では、ワイヤとモータを内蔵したメカニカルドレスがファッション作品として発表されている [13]。これらの SMA や空気圧、モータなどを用いたテキスタイルの変形手法は、あくまで限られた素材についての変形可能性について探求している。いずれもシステムを包含した布や、空気の出し入れが可能な特殊な素材を用いている。実際にこのようなテキスタイルの変形手法を用いるには、テキスタイルの置き換えや分厚いテキスタイルを重ねる必要があるなどコストが高い。たとえば気に入っているテキスタイル製品を拡張するためには、非可逆的に一部を変更する必要がある。可逆的にテキスタイル製品に動作を与える手法としては、Sugiura らの提案した PINOKY [14] がある。これはモータを組み込んだ取り外し可能なデバイスをぬいぐるみに装着することで、限られた動作ではあるが非侵襲にぬいぐるみに動作を与える。

本研究と同様に糸とモータを利用し動的な変形を実現する手法として、高瀬らは糸や綿、布といった繊維素材を使って簡単な身体動作を実現可能なぬいぐるみロボットを提案した [15]。ぬいぐるみに内蔵した 18 個のサーボモータで頭・両腕・両足の糸を引くことで、やわらかなぬいぐるみでありながら、関節があるような動作を実現した。

本論文は、これら布や柔軟物体を動的に変形する先行研究に対して、布へ縫い込んだ糸を引くことで発生する布の変形に注目する。布の変形は縫い方によって様々な変化する。本論文では縫い方と変形パターンとの関係について検討し、その応用や適用可能性について報告する。

3. Filum

Filum は、糸で縫い込み可能な布や柔軟物体に、特殊な縫い方で糸を通し、片端に取り付けたセンサ付きモータで糸を巻き取ることで、布や柔軟物体を動的に変形させることや、動作を可能にするテキスタイル拡張手法である。

本手法は、対象となる布や柔軟物体、実現したいインタラクションによってモータトルクや使用するセンサは異なってくる。ここでは 5 章で紹介するアプリケーション例を実現するうえで必要となった構成について紹介しながら、Filum の手法を実現するうえでの基本的な要件について述べていく。

3.1 基本的な設計手順と使用方法

Filum の基本的な設計手順と使用方法について述べる。

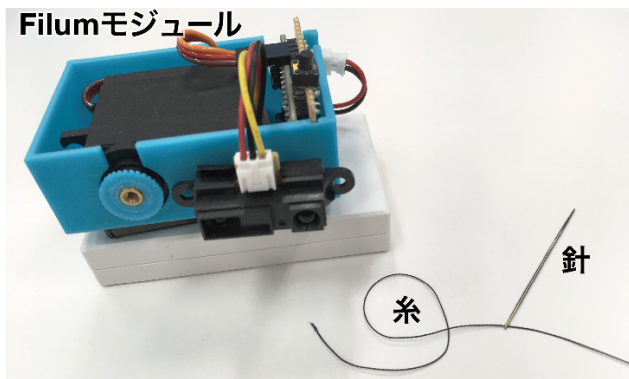


図 2 Filum は、糸を引くモータおよびセンサモジュールと、糸 (PE ライン)、縫い付ける針で構成される

Fig. 2 Filum consists of a motor and sensor module to draw string, a needle, and a string (PE line).

まず、変形や動的にしたい対象に対して、4章で紹介する縫い方パターンを施す。その後、糸の片端に Filum モジュールを取り付け、もう片端は布から糸が抜け出さないように玉止めを施す。必要に応じてセンサや巻き取りのプログラムを記述する。Filum のモジュールは、センサの条件によって、モータで糸の巻き取りを開始し、対象の変形が開始する。モータは逆回転によって糸は戻り、対象は元の形状に戻る。ただし、変形、自重や重力による力がない場合には、もとの形状には戻らない。こうした制約や特徴については後の議論で述べる。

3.2 システム構成

Filum は、モータやセンサ、バッテリーを内蔵した Filum モジュール、糸、針の3つで構成する (図 2)。

【Filum モジュール内部】

5章で示すアプリケーションで使用したプロトタイプのプロトタイプでは無限回転のサーボモータ (後述)、Arduino nano、近接センサ (GP2Y0A21YK)、気温センサ (LM61CIZ)、リチウムイオン電池 (3.7V)、モバイルバッテリー (Canvas 3,200mAh IoT, cheero)、プラスチックケースで構成している。ケースとサーボモータのホーン部分は 3D プリントで製造した。モジュールは身体や壁など固定するため、ケースには 4 隅に穴を開けている。

【糸巻き付けホーンと糸の取り付け】

モジュールには糸の取り付け部分である糸巻き付けホーンがあり、この部分に糸を巻き付けて使用する (図 3)。糸巻き付けホーンは V 字のスリットが入っている。そこに糸を何度か巻き付けると糸は V 字スリットに食い込み固定できる。また、スリットに挟まった糸は垂直方向に手で引き抜くことで取り外しも容易にでき、着脱性を考慮した。

【モータ】

本システムで使用するモータは無限回転と両回転の制御の必要がある。今回は日用的な場面での使用を想定してい

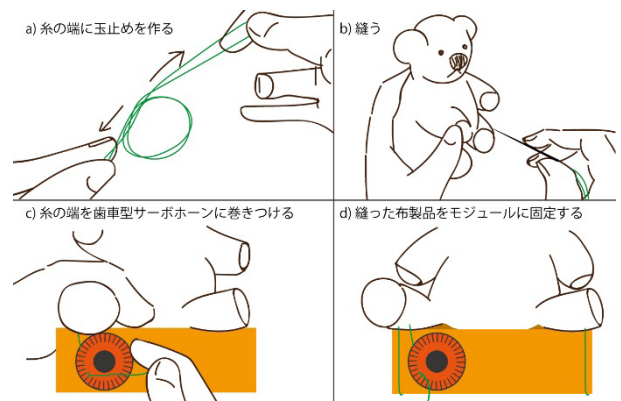


図 3 ホーンとモジュールへの糸の取り付け方

Fig. 3 How to attach strings to the module and the horn.

るため、小型なりチウムイオン電池で駆動可能なモータであるメタルギアサーボモータ (16007, Nexus robot) を選んだ。半径 10mm の糸巻きで 13kg の力で毎秒 62mm ほどの速度で糸を巻き取れる。本論文ではこのモータを用いたが、モータの選定は動作を与えたい対象の重量や理想の動作の速さ次第での検討が望ましい。

なお今回の試作においては、巻き取ることによる変形に主眼をおいたため、マイコンは手軽に利用可能な Arduino nano を使用した。モータ制御のプログラムは、その Servo ライブラリを使用した。この関係で位置制御ではなく、回転の秒数で糸の長さをカウントし、巻き取りと糸の緩めを行った。また、今回使用したモータでは正回転 (糸を引っ張り巻き取る方向) と逆回転 (糸を緩める方向) とで回転速度が異なったため、巻き取った糸の長さぶん糸を緩めるように秒数を基準に Arduino のプログラム上で調整した。

【モジュールの固定位置】

Filum はモータで糸を巻き取るため、モジュールが何らかの場所に固定する必要がある。5章で紹介する例において、身体の衣服を制御する場合には、腰のベルト、ポケット、肩など身体動作の邪魔にならず制御上都合の良い場所を選ぶ必要がある。布面上にモジュールの穴を利用して縫い付けることもできるが、巻き取り時に固定した部分の布ごと糸の引力が影響してしまうことは注意する必要がある。取り付けるモジュールの位置によっては糸を巻き取る制御が難しい場合も想定できる。モジュールの取り付け制約については議論の章でも述べる。

【対象として使用可能な布や柔軟物体】

布はポリエステルなどシワの入りにくい布や、針を通した穴が広がりにくいものが適している。ただしアイロンの折り目付けをする折り合わせ縫い (4章で紹介) では折り目の付きやすい綿などの素材が向いている。逆に本手法に適していない布はメッシュ生地のような、玉止めで糸を固定できないほど目の荒い布である。目の荒い布でも、布の糸を数本すくい、そのうえで玉止めではなく 2 本取りで糸の端を固定すれば Filum は適応可能ではあるが、布への

摩擦負荷により生地を傷める可能性があるためメッシュ生地はあまり適していない。

【使用する針】

針や糸の扱い方は一般的な手芸の手法と同様である。針は一般的な裁縫用の手縫い針を用いる。本論文で紹介するアプリケーションでは縫い目が広いため長さ 40mm 以上の長針が向いている。針の太さの選び方は手芸と同じで、適用するテキスタイル製品の生地の厚さに合わせる。具体的には厚い生地には太い針、薄い生地には細い針を用いる。

【使用する糸】

糸はモータにより強く巻き取られ通常の手芸用糸では引張強度が不足するため、釣具用の糸である PE ライン 0.8 号 (径 0.148 mm 程度)、もしくは 1 号 (径 0.165 mm 程度) を利用する。ただし、PE ラインには透明度の高いものは少ないため、テキスタイル製品の外観次第で透明ミシン糸 (ナイロン、径 0.14 mm 程度) を用いる。PE ラインが目立つ布の場合には透明ミシン糸を選ぶ。糸の細さについては布を傷めない程度の細さならばよく、布次第ではあるが、およそ 1 号以下の太さの糸であればよい。玉止めは 1 つ頑丈に作ったうえで同じ箇所ですらに 2~3 度玉止めをして、直径 2~4 mm 程度の小さなビーズ大の玉止めにする。これはモータで糸を引き絞った際に糸が抜けないようにするためである。なお、透明ミシン糸は PE ラインに比べもろく切れやすいので、透明ミシン糸を使う場合には折りたた

んで 2 本取りにするか、もしくはさらに折りたたんで 4 本取りにして使用する。

【糸の制御方法】

本論文でのプロトタイプモジュールでは、5 章で述べるアプリケーション例での糸の制御について、糸の長さや状態のセンシングをしていない。糸の長さをモータで変化させているのみである。糸の長さは縫い込む前に測って Arduino のプログラム上に入力しておく。糸の長さとモータの軸の長さ太さをもとに糸を巻き取る秒数を概算し、糸の巻き取りと糸の緩めを行っている。

4. 縫い方の違いによる変形バリエーション

本章では、縫い方 (縫い目とその間隔、玉止めの組合せ) とギャザリング (絞り) の工夫によって、どのようにテキスタイルを変形できるかを紹介する。変形のための縫い方と、変形結果にはそれぞれの外観をもとに命名した。縫い方の図で用いる記号の凡例は図 4h に示している。図 4a~図 4g それぞれの図で示す布の大きさは 200 mm の正方形である。縫い方は並縫いもしくはまつり縫いをする。縫う間隔は 25 mm 程度を基準にしているが、縫い目の形状に応じて 2 mm~40 mm 内で調整した。縫う間隔は 3 つの条件をもとに調整する。第 1 に、後述のノコギリ縫い、カーブ縫い、そして折り合わせ縫いのような変形のポイントがある縫い方では変形のポイント以外の箇所では縫う間隔を

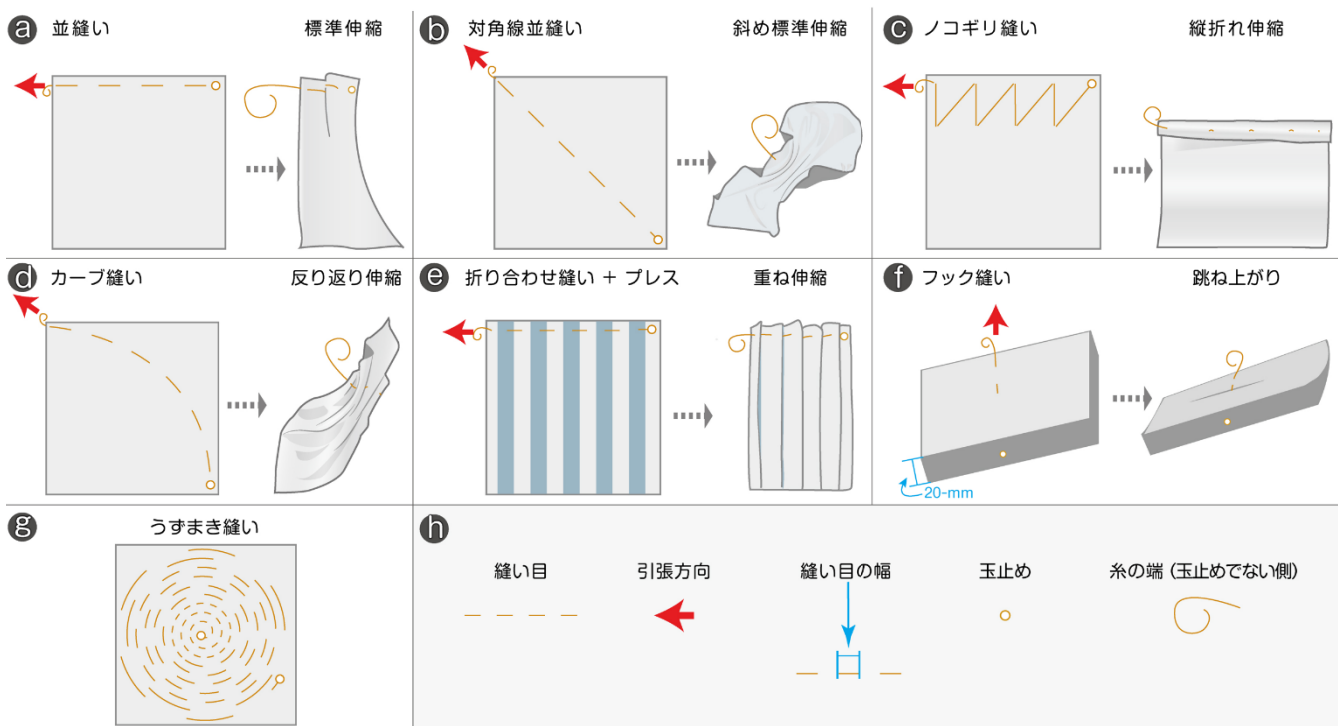


図 4 糸の縫い方 (a~f 左および g)、変形結果 (a~f 右)、および縫い方の凡例
 Fig. 4 Shape-changing patterns of clothes produced by various stitch patterns and sewing methods. Gathered shapes differ according to the following sewing methods.

広くとる。第2に、摩擦の強いテキスタイル製品の場合は縫う間隔を広くとる。第3に、布が重い場合は縫う間隔を狭くとる。摩擦の強い布を細かく縫ったり、布が重いのに広い間隔で縫ったりすると、モータや糸、糸を通しての部分の布への負荷が高まってしまう。

【A】並縫い → 標準伸縮 (図 4a)

20 mm 幅の縫い目で真横に縫い、縫った方向に引き絞ることで、真横にギャザリングする。縫った部分から離れた部分も引き絞りの影響を受け変形するが、縫い目との距離に応じて変形の程度は穏やかになる。

【B】対角線並縫い → 斜め標準伸縮 (図 4b)

約 20 mm 幅の縫い目で斜めに一直線に縫い、縫った方向に引き絞ることで、斜めにギャザリングする。縫い目は並縫いと同一である。縫い目が同じでも布の角度が異なるとギャザリング結果が異なる。

【C】ノコギリ縫い → 縦折れ伸縮 (図 4c)

ノコギリ波型で波長 45 mm, 振幅 20 mm 程度で縫っていく。まつり縫いのように角の度に布の繊維の 2~4 目程度をすくっていき、緩く引き絞ることで縦に折れ曲がる。この折れ曲がる長さは縫い目の振幅部分の長さに依存する。さらに引き絞ると横に収縮してしまうため、着用している衣類など布自体が押さえられているものに特に有効な縫い方である。

【D】カーブ縫い → 反り返り伸縮 (図 4d)

約 20 mm 幅の縫い目でカーブしながら縫い引き絞ることで反り返るようにギャザリングする。特徴はテキスタイル製品の大きな変形を行いやすいことである。

【E】折り合わせ縫い → 重ね伸縮 (図 4e)

縫い目の形状は「並縫い」と同じである。特徴は布自体に縞模様があることと、折り目を付けることである。縫い目の幅は布の縞から、次の縞までの長さである。この縫い目で真横に縫い、折れ曲がる箇所に合わせてアイロンや爪などでプレスし、折り目を付けておく。縫った方向に引き絞ることで折り目どおりにプリーツ状になり、さらに縞の幅が消える、もしくは極端に狭くなる縫い方である。

【F】フック縫い → 跳ね上がり (図 4f)

厚手の多面の布を変形させるための縫い方である。玉止めをした面とは他の面から糸を引き出して縫う。引き絞ると玉止めを作った面は糸を引き出した面に向かって跳ね上がるように変形する縫い方である。フェルトなど分厚い布を重ね合わせた素材や、中に綿の入ったクッション、ぬいぐるみなど対して用いることができる。

【G】うずまき縫い → つぼみ伸縮 (図 4g)

乗せたものを把持するように変形する縫い方である。布をうずまき状に縫っていき、うずまきの中央もしくは外側から引き絞ることで、乗せたものを把持するようにフィットした形になる。なお、引き絞った側から形が乗せたものの形に沿っていくので、たとえば同じ縫い方をしても内側

から引き絞ると、変形途中の段階では外側の布はあまり変形しない。

5. Filum を用いたアプリケーション例

本章では Filum を用いたアプリケーション例とその実装について述べる。

Filum は糸に注目したため、衣類をはじめとして、のれんなどのインテリア、布コースタなどの既存の布を利用した日用品や柔軟物体をデジタルテキスタイル化できることが特徴である。

本章で述べるアプリケーション例は、Filum を使用し本来は静的である布製品に対し利便性やエンタテインメント性の観点から変形や動作機能を付与し、人とテキスタイル製品との新たな関わり方を検討した。

丈を自動調整するスカート (図 5)

気温に応じて長さを自動的に調整するスカートを作成した。モジュールはスカートのポケット内に収納し、ポケット内部で固定するように縫い付けた。図 4c のノコギリ縫いをスカートのウエスト部分に用い (図 6)、さらに温度センサを用いて、気温に応じてスカートの長さを変更する。一般に、膝丈スカートよりはミニスカートの方が肌の露出面積が広いので涼しく感じる。縦方向の縫い目の高さぶんだけではあるが、丈が短くなることで体感気温の変化が期待できる。



図 5 気温に反応し短く変形するスカート

Fig. 5 Short deformed skirt with short length in response to the temperature.



図 6 スカートのウエストへのノコギリ縫い

Fig. 6 Saw tooth stitch sewing to the waist of skirt.

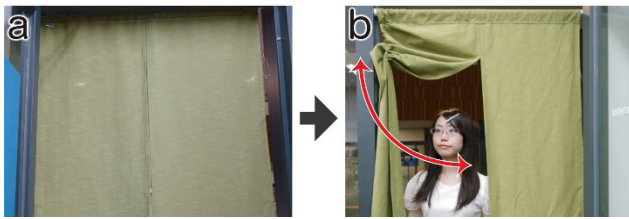


図 7 人の接近を検知し、自動でまくれ上がるのれん

Fig. 7 The noren automatically opens when a person approaches the front of a shop.

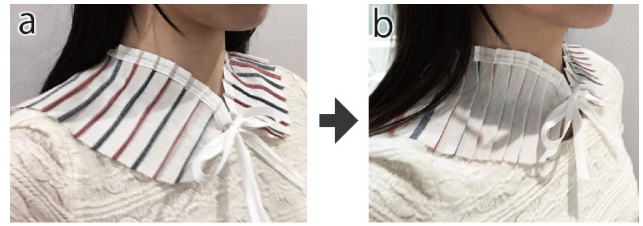


図 9 変形により柄が変わるつけ襟

Fig. 9 Pattern changed the cloth collar by deformation.

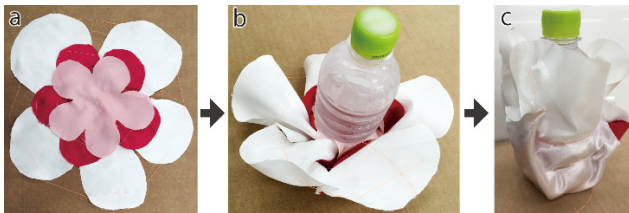


図 8 ペットボトルカバーに変形する花びら型コースタ

Fig. 8 The petal type coasters transform into bottle cover.

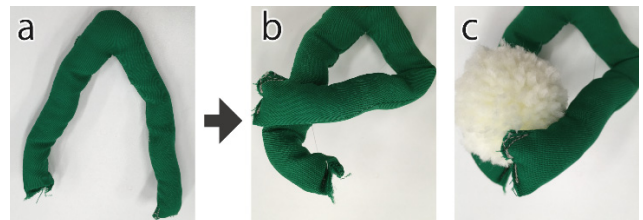


図 10 ものを掴むように変形するクッション

Fig. 10 The cushion transforms to grab objects.

自動のれん (図 7b)

人の接近を検知し、自動的にまくれ上がるのれんを作成した。モジュールはのれんを配置している扉の上部に両面テープで配置した。のれんは突っ張り棒で扉に吊り下げており、突っ張り棒上でのれんがくしゃくしゃにまとまらないように、のれんの両端は両面テープで固定している。図 4d のカーブ縫いと近接センサを用いている。自動のれんのかかった出入り口に人が近づくと自動でのれんが開く。自動で開くことにより歓迎的な雰囲気を来客者に与えることが期待できる。「看板」「簡易的なドアとしての部屋の区切り」といった通常ののれんの役割を維持したまま、自動ドアのように人の近接に即してまくれ上がる。

数秒後にのれんに通った糸は巻き戻され、のれんの自重によって、もとの状態に戻る。

花びら形の把持するコースタ (図 8)

ペットボトルカバーに取り付け、変形する花びら型コースタを作成した。図 4g のうずまき縫いを用いて3枚の布でできたコースタを縫った。モジュールは図 8b でコースタ下部に隠すように両面テープで配置し、うずまきの中央の側の糸の端を Filum モジュールに接続した。図 8a の花びら型のコースタにペットボトルなどを置くと載せたものを把持するようにフィットするつぼみ状に変形する (図 8b)。これにより、冷たい飲料であっても下部のコースタ部分を持って水滴は手に付かない。さらに引き絞ることで、ペットボトル全体を覆う形状になりペットボトル全体の水滴を抑えるカバーに変形する (図 8c)。なお、このパターンでは糸を緩めても、元の状態には戻らないため、元に戻す必要がある場合には手で緩める必要がある。

柄が変わるつけ襟 (図 9)

これは縞模様の有無と形状が変容するつけ襟である。モ

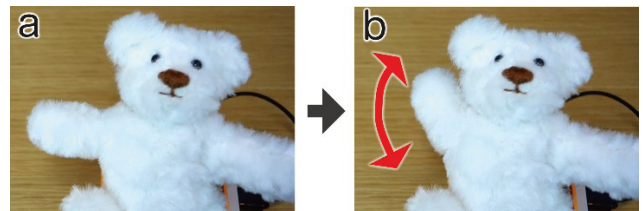


図 11 手を振るように動くテディベア

Fig. 11 The teddy bear moves like waving its hand.

ジュールはつけ襟の中央部分に両面テープと縫い付けによって固定した。図 4e の折り合わせ縫いを襟の左右に用いた。Filum モジュールは襟の中央裏に設置した。近接センサによる着用者の首のかしげを起点に変形し始める。本システムでは首をかしげるだけで柄の変更が行える。なお、このパターンにおいては糸を緩めても、元の状態には戻らないため、元に戻す必要がある場合には手で緩める必要がある。

ものを掴むクッション (図 10)

人に反応してものを掴んだり離したりするやわらかいクッションを作成した。図 10b と図 10c では一般的な布と綿でできた逆さ V 字型のクッションの両端対し図 4f のフック縫いを行い、Filum モジュールをクッションの中央に縫い付け、接続した。近接センサにより人の近づき情報を得て、人の近づきのたびに掴む/離す動作を行う (図 10b, 図 10c)。離す動作のとき、クッションの原型に戻ろうとする回復力により元の形に戻る (図 10a)。

Hi ベア (図 11b)

人に向かって手を上げるテディベアのぬいぐるみを作成した。テディベアの腕を図 4f のフック縫いで縫った。モジュールはテディベアの椅子に見えるように腰の下に台座のように配置し、テディベアの腰、両足の3点をモジュール

ルに縫い付けて固定した。Hi ベアは、近接センサを用いて、接近する人に“ハイ”と挨拶するように手を上下する。なお、このパターンでは糸を緩めると、ぬいぐるみ手の本来の縫い付け形状により手は元の位置に戻る。

ぬいぐるみは、テディベアに限らずおもちゃや土産品として一般的に普及している。ぬいぐるみ作成でも糸は使われるため親和性が高く、本手法によって様々なぬいぐるみに対して多様な動きを付与できる。また、Filum は Sugiura らの PINOKY [14] のように非侵襲とまではいかないが、糸での拡張は外せるため可逆性がある。

6. 議論

本論文では、主に衣類や、のれんやコースタといったインテリア、ぬいぐるみでのアプリケーションを例示した。糸というテキスタイルに自在に入り込める素材を積極的に利用した手法である。

提案手法を従来の糸以外でのテキスタイルの変形手法と比べた場合、SMA ベースアクチュエータのように気温に左右されずに安定した変形が可能である。さらに、自動のれん (図 7) のように比較的大きな変形が可能だという特徴があることが分かった。

6.1 アプリケーションの展示

提案手法のアプリケーションが実際に人に与える影響を観察するため、2017 年 10 月 22 日から 25 日にかけてケベックで開催された UIST2017 でデモ展示を行った。

5 章で紹介した「Hi ベア」を体験者の近接に反応して駆動する状態で展示し、「自動のれん」は人がいなくても動く状態で展示した。Hi ベアの体験者からは Hi ベアの腕の上下に対して手を振り返す、ハローなど声をかける、上がった腕を触る、といった通常の動かないテディベアには行わない反応が見られた。

6.2 糸によるテキスタイル製品の変形にともなう制約

提案手法の制約に関しては第 1 に、糸は押すことができないという点である。そのため、テキスタイル製品の形状を元に戻すには重力やテキスタイルが元々持つ原形に戻ろうとする復元力、もしくは人の手を用いる必要がある。のれんの例では重力を活用しており、自動でほぼ元の形状に戻る。麻という軽い素材だったため下端は少し丸まった状態までしか自動では戻らないが、機能や見た目には大きな影響はない。また、ぬいぐるみの腕やオーナメント例ではテキスタイルの厚みによる復元力を活用しており、元の形状に自動に戻る。スカートとつけ襟の例は自動で元の形状には戻らないため、人の手によってテキスタイル製品を原形に戻すことが可能である。うずまき縫いを施し変形させたコースタは手動でも簡単には平らな状態に戻すことはできないが、モジュールを外しても形状を維持し、使い続ける

ことができる。変形させる対象次第で原形に戻す容易さが異なっており、重力や布の復元力を持たないテキスタイル製品を自動で原形に戻す手法について検討が必要である。たとえば、復元のためにモータを増やすことは 1 つの方法だろう。あるいは、人の手の力や、糸を緩めたことによる自重や、人が動く中で自然と緩み戻ることでもうまく取り込むことで、さりげなく復元させることや、緩みやすい縫い込み方なども今後の設計課題となるだろう。本システムは日常的なテキスタイル製品の拡張を目指しているため、外観を大きく変容させない方法を試みたい。

第 2 に、テキスタイルの裁縫に用いることのできる糸の引張強度には限界があり、変形可能なテキスタイル製品の重さは糸の強度に依存してしまうという点がある。そのため今後は様々なテキスタイルの持つ特性（重さや素材の摩擦の強さ、糸を通した穴の広がりやすさ）に対応した糸を調査する必要がある。

第 3 に、限られた縫い方と変形のパターンを紹介してきたが、本論文で紹介した例以外にも縫い方と変形のパターンがありうる。また、理想の変形結果になる縫い方は複数ある場合もありうるだろう。そして多くの縫い方と変形のパターンがあるゆえに、ユーザの意図する変形パターンを実現するための支援ツールが必要である。

6.3 糸を用いたテキスタイル拡張手法の展望

本論文での提案手法 Filum は同一のテキスタイル製の日用品に複数個用いることができる。糸を用いることで「自動のれん」のような従来の変形手法では難しかったテキスタイルのダイナミックな表現が可能になる。さらに物の把持が可能であることから、物を掴み運搬するといった方面への応用も考えられる。そのためには 6.2 節で述べた糸の復元力について探求していく必要がある。

糸による布の拡張については今までもコンピュータを用いた手法が提案されてきている。Efrat らは手芸でのひだ飾り縫いの設計システムにより、ユーザへのひだ飾りの意匠提案や制作支援を行った [16]。また、Lilypad Arduino [17] の多くの作成事例のように手芸とデジタルテキスタイルの親和性は高い。Filum は変形や動作を付与する様々な縫い方によって、手芸という手作業のエンタテイメント性を引き出せる技術であるとも考えられる。本論文での提案手法以外にも、導電糸を用いたりモータにかかる負荷を活用したりすることでアクチュエーションに限らず、センシングも実現できるようになる可能性がある。

6.4 モジュールの限界と今後の展望

本論文で用いたモジュールの設計において、いくつかのハードウェア上の課題がある。まずモジュールのサイズや固定方法の課題がある。大きく、布にアタッチしにくい。そのため、たとえば衣服の場合にはベルト部分にモジュ

ルを固定する場合や肩や首、足の甲など比較的安定した場所を探索し、固定パターンについても検討することで、本手法がより利用しやすくなるだろう。また、モジュールの大きさは今回のプロトタイプでは市販の Arduino nano やセンサを使っているが、Filum モジュール用に新たに基板から作成することでモジュールの小型化が期待できる。モジュールの形状についても、角張ったケースではなく衣類によりフィットするように角のない形状にすることで布にもよりアタッチしやすくなるだろう。また、センサを分離することでも小型化が期待できる。たとえば MESH タグ [18] のセンサのような、センサとして独立したものと連携することで、モジュールからセンサを分離できる。

またサーボモータを使用しているために駆動音が発生してしまうという課題もある。これについてはモータを消音のモータなどに変えることで改善できる。もしくは、モータは必ずしもテキスタイル製品の近くになくてもよいので、テキスタイル製品の縫い目の端と、モジュールのモータアームとの間の糸を極力伸ばすことで、モジュールの音や存在を目立たなくできる。

さらにモータでの糸の巻き上げ速度の課題がある。5章で紹介したアプリケーションのうち、「自動のれん」(図7)は時間をかけて大きくギャザリングし、変形する。この実装ではのれんが自動で変形し終わるまで、ユーザはのれんの前で少し待つ必要がある。この変形速度の課題は、糸を巻きつけるモータアームの軸を太くすることで改善が期待できる。ただし、モータアームを太くしても必要なトルクを得られるモータに変更する必要がある。そのため電力の消費が大きくなり、使用する場所付近のコンセントから給電するなど、給電の方式を再検討しなければならない。

7. おわりに

本論文では、テキスタイルの素材である糸と縫い方に着目し、Filum と呼ぶ、糸の縫込み可能な布や柔軟物体に対して糸を特殊なパターンで縫い込むことにより環境や人に応じて変形や動作させる手法を提案した。布を縫うことによって柔軟物体を動的に変形する試みはすでにあるものの、本論文はその縫い方について検討し、7種類の变形パターンを実現した。また、この縫い方を活用した6つのアプリケーションの例示し本手法の応用可能性を示した。

デジタルテキスタイルに関する多くの事例では、新たな素材作りによりテキスタイルの新たな可能性を探っている。

我々は、糸や縫い方に着目したことにより、ユーザが日常的に用いているテキスタイル製品を実際に適用して試せる。そのためデジタルテキスタイルの応用可能性を検証しやすい。本論文では、糸で手縫いするという一般的な行為によって日常的なテキスタイル製品に変形や動作といった動的な機能を付与するための基礎的な考え方を提供した。

謝辞 本研究は、文部科学省革新的イノベーション創出

プログラム (COI STREAM) の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Yao, L., Ou, J., Cheng, C.Y., Steiner, H., Wang, W., Wang, G. and Ishii, H.: BioLogic: Natto cells as nanoactuators for shape changing interfaces, *Proc. CHI 2015*, pp.1–10 (2015).
- [2] Yao, L., Steiner, H., Wang, W., Wang, G., Cheng, C.Y., Ou, J. and Ishii, H.: Second Skin: Biological Garment Powered by and Adapting to Body in Motion, *Ext. Abstracts CHI 2016*, p.13 (2016).
- [3] Berzowska, J., Coelho, M.: Kukkia and vilkas: Kinetic electronic garments, *Proc. 9th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp.82–85 (2005).
- [4] 幸野朋美, 渡邊恵太: Filum: 環境やユーザに即して既存のテキスタイルを動的に変形させる糸と縫い方, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp.17–22 (2017).
- [5] Kono, T. and Watanabe, K.: Filum: A Sewing Technique to Alter Textile Shapes, *Proc. UIST 2017*, pp.39–41 (2017).
- [6] Roudaut, A., Karnik, A., Löchtfeld, M. and Subramanian, S.: Morphees: Toward high shape resolution in self-actuated flexible mobile devices, *Proc. CHI 2013*, pp.593–602 (2013).
- [7] Coelho, M., Ishii, H. and Maes, P.: Surflex: A programmable surface for the design of tangible interfaces, *Ext. Abstracts CHI 2008*, pp.3429–3434 (2008).
- [8] Ohkubo, M., Xue, M., Yamamura, M., Kanebako, J., Ishigami, L., Yamaguchi, S., Nojima, T., Uchiyama, H. and Yamazaki, N.: Design Proposal of Space Clothes that Supports Lives in the Future Space Tourism Era, *Advances in Science and Technology*, Vol.100, pp.59–63, Trans Tech Publications (2017).
- [9] Yao, L., Niiyama, R., Ou, J., Follmer, S., Della Silva, C. and Ishii, H.: PneuUI: Pneumatically actuated soft composite materials for shape changing interfaces, *Proc. UIST 2013*, pp.13–22 (2013).
- [10] Sareen, H., Umaphathi, U., Shin, P., Kakehi, Y., Ou, J. and Ishii, H.: Printflatables: Printing Human-Scale, Functional and Dynamic Inflatable Objects, *Proc. CHI 2017*, pp.3669–3680 (2017).
- [11] Delazio, A., Nakagaki, K., Klatzky, R.L., Hudson, S.E., Lehman, J.F. and Sample, A.P.: Force Jacket: Pneumatically-Actuated Jacket for Embodied Haptic Experiences, *Proc. CHI 2018*, Paper No.320 (2018).
- [12] 上岡裕二, 古川正紘, 大越淳史, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦: Fur Display: コミュニケーションを可能にする毛皮, *WISS2009*, pp.19–22 (2009).
- [13] Hussein Chalayan: Hussein Chalayan from fashion and back, pp.56–57, 美術出版社 (2010).
- [14] Sugiura, Y., Lee, C., Ogata, M., Withana, A., Makino, Y., Sakamoto, D. and Igarashi, T.: PINOKY: A ring that animates your plush toys, *Proc. CHI 2012*, pp.725–734 (2012).
- [15] 高瀬 裕, 山下洋平, 石川達也, 椎名美奈, 三武裕玄, 長谷川晶一: 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.327–336 (2013).
- [16] Efrat, T.A., Mizrahi, M. and Zoran, A.: The Hybrid Bricolage: Bridging Parametric Design with Craft Through Algorithmic Modularity, *Proc. CHI 2016*, pp.5984–5995 (2016).
- [17] Leah, B., Eisenberg, M., Catchen, J. and Crockett, A.:

The LilyPad Arduino: using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education, *Proc. CHI 2008*, pp.423–432 (2008).

[18] MESH, available from (<http://meshprj.com/jp/>).



幸野 朋美

2016年宮城大学事業構想学部デザイン情報学科卒業。2018年明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系博士前期課程修了。同年より三菱電機デザイン研究所勤務。



渡邊 恵太 (正会員)

2004年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2009年慶應義塾大学院政策・メディア研究科博士課程修了。2013年度より明治大学総合数理学部メディアサイエンス学科所属。2013年度より准教授、現在に至る。インタラクシオンデザイン研究に従事。政策・メディア博士。