

Filum: 環境やユーザに即して既存のテキスタイル製品を動的に変形させる糸と縫い方

幸野朋美^{†1} 渡邊恵太^{†1}

Filum は一般的に市販されているテキスタイル (布地) 製品を動的に変形するテキスタイルへと拡張できる糸システムである。テキスタイル製品はなんらかの目的のために作られ、通常は静的である。ユーザの好みや環境の変化に合わせて変形させるにはユーザ自身が行う必要がある。本システムでは、糸、様々な縫い方、及びセンサを用いることで、通常のテキスタイル製品に対し後付で「折る」「まくる」「持ち上げる」といった行為をテキスタイル自身が行うように拡張できる。本稿ではシステム設計、アプリケーション、そして今後の展望について述べる。

Filum: A Sewing Technique to Alter Textile Shapes

TOMOMI KONO^{†1} KEITA WATANABE^{†1}

We propose a novel shape-changing technique called Filum, which makes it possible to alter the shapes of textiles to better suit the requirements of people and the environment. Using strings and various sewing methods, ordinary textiles can be automatically shortened or shrunk into curved shapes. We demonstrate a series of novel interactions between people and textiles via six applications.

1. はじめに

特殊な機能を持つ布地をコンピュータと組み合わせて、センシング機能と高い反応性を持たせたデジタルテキスタイルの研究が進んでいる。たとえば衣服自体が人の呼吸や心拍などをセンシングする研究 [1]や、モバイルデバイスを持つことなく入力操作を衣服上で行う研究 [2]などがある。また、センシングと組み合わせて、衣服が変形したり通気性を変えたりするような研究 [3]も行われている。たとえば、Yao らの提案した人の体温や汗に反応して変形する衣服 [4]や、Berzowska らの提案した時間の経過とともに変形する衣服 [5]がある。しかしこれらはいずれも、布に注目しており、布単位の応用が前提となる。

そこで我々は、布の構成要素である糸に着目した。糸は布の構成要素であるとともに、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。このように糸は布地に対してさまざまな加工ができ汎用性や柔軟性が高い。そこで本研究は、こうした糸にデジタルテキスタイルのような機能性を持たせる Filum[a]を提案する。Filum はセンサと組み合わせて動的に長さを変化させる糸である。Filum はさまざまな布に縫い込むことによって使用し、布を動体化する。Filum は糸であるため、針を用いて既存の衣服、布をベースにしたカーテンや家具、人形などの製品に対しても加工を施せ、取り外しも容易で



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

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

ある。本稿では、Filum の実装と、Filum のシステムを用いて布を動体化するための糸の縫い込み方とその応用例について報告する。

2. 関連研究

本章ではテキスタイルの拡張に関連する主な手法について述べる。

2.1 導電糸を用いて拡張されたテキスタイル

導電糸とは通電性の高い素材とナイロンやポリエステル素材を用いた電気を通す糸である。糸のため布に縫い込むことができる点と、抵抗値が高い点の特徴である。導電糸は、現在既に多岐にわたって使用されている。たとえば、既に身近なところではスマートフォンへのタッチ入力を行

^{†1} 明治大学

Meiji University.

a) Filum とはラテン語で“糸”を意味する。

える手袋に使われている。また、抵抗値の変化を用いた人の接触センシング [6]、電子刺繍 [7][8]、電子工作に用いることのできる LilyPad Arduino [9]、それを用いて製作された衣類 [10]などのシステムや提案がある。接触センシングに関しては、抵抗値の変化から伸縮具合をセンシングできる。また、糸を複数本用いることで X 軸と Y 軸の接触位置を独立に取得し、面上での移動をセンシングできる [11]。

2.2 導電布で拡張されたテキスタイル

導電布はテキスタイル表面に金属加工を施した導電性の高い布である。絶縁素材の布と組み合わせて使うことが多い。衣服の表面と裏面に配置した導電布を電極として用いて他のデバイスへの給電を行う衣類の提案 [12]や、縫い物の針の出入りを通電/非通電によってセンシングした刺繍支援手法の提案 [13]がある。また導電布を用いたインタラクティブな絵本 [14]の提案がある。

2.3 SMA ベースアクチュエータによって拡張されたテキスタイル

SMA とは高い可鍛性を有する素材である。通常の金属材料では弾性域を超えると元の形状に戻らない。SMA はある形状に加工し高熱処理で固定した後、力を加え変形させたとしても特定の温度域への加熱により元の形状に戻る特性がある。コイル形状の SMA を用いると繰り返し伸び縮みが可能なアクチュエータとして扱える。小さな 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 [15]や変形 [16]、その形状のセンシング手法が提案されている [17]。加熱の方法として電気による発熱の効率が良いため、前述の提案では電気による加熱を採用している。ただしジュール効果による発熱のため、反応する特定の温度域に達するまでの速さは電流量に左右される。また冷却設備を準備しない場合には、反応しなくなる温度域に達するまでの早さは空間の気温に左右される。

2.4 空気圧を用いて拡張されたテキスタイル

ポンプなどで空気圧を制御することでもテキスタイルを拡張できる。この場合、テキスタイル自体はエアバッグのように空気を内蔵できる構造で製作する。テキスタイルにバルブを接続し、空気の出し入れにより変形を行う PncUI [18]は、空気の流れを止めることで形状を維持する。そのため変形の速さは空気の出し入れの早さに依存する。また、熱溶接を用いて空気を区切ることで物体の変形を行う手法 [19]、空気の入る構造を粘着テープに取り入れたテープ状アクチュエータが提案されている [20]。これはテープを張る手法により、通常の素材のダンボールや折り紙といった軽量の紙製の物の変形を実現させた。空気圧を用いる手法は伸縮性のない素材にも用いることができる。

従来のテキスタイルの変形手法では、いずれも専用の特種な布もしくは大きな設備を用いている。実際に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。例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、一部を非可逆的に変更する必要がある。Sugiura ら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非侵襲にテキスタイル製品を変形させた [21]。変形対象はデバイスで挟める形状のぬいぐるみに限られる。また変形は一つのデバイスにつき一方向という制約はあるが、ぬいぐるみの変形によって生命性を表現した。

BERN らはぬいぐるみの関節に着目し、動かしたい動作を GUI ベースに入力するだけでぬいぐるみの縫う箇所をシミュレートするシステムを提案した [22]。シミュレート通りにモータ駆動のケーブルをぬいぐるみに通していくことで、通常テキスタイル製のぬいぐるみを変形させた。しかし、この手法では変形させたいぬいぐるみの 3D モデルを用意する必要がある。そのため使用できる場面は限定的である。

3. Filum

Filum は、センサと組み合わせる動的に長さを変化させる糸である。Filum は、糸の長さを変化させるために、糸の端にモータやセンサを組み込んだモジュールを取り付け糸の長さを動的に変える。Filum は布に縫い込み、糸を伸縮させ使用するが、縫い込み方によって布の変形パターンが異なってくる。まず次節では、Filum システムの構成について述べ、その後縫い方による変形パターンについて述べる。そして、それら縫い方を用いた Filum の応用について紹介する。

3.1 システム構成

Filum は、Filum モジュール、糸、針の 3 つで構成されている(図 2)。

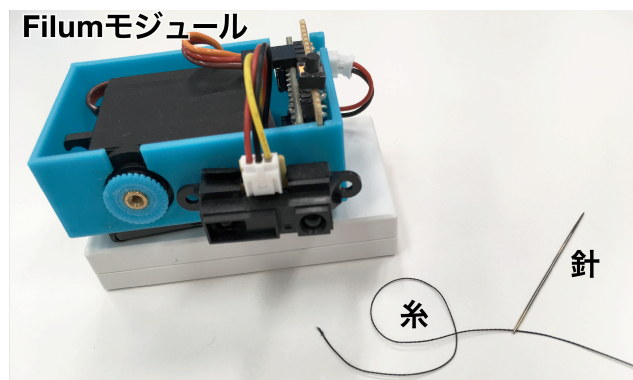


図 2 Filum は、糸を引くモータおよびセンサモジュールと、糸 (PE ライン)、縫い付ける針で構成される

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

【Filum モジュール】

プロトタイプデバイスはマイコン (Arduino nano)、無限回転のサーボモータ、センサ (人の近接の検知は近接セン

サモジュール（気温の変化は気温センサ）、プラスチックケース、バッテリーで構成されている。ケースとサーボモータのアームは3Dプリンタで製造した。糸がモータから外れにくくなるようにサーボモータのアームには歯車型アームを用い、凹部分を糸が挟まる程度の細い溝にした。

このデバイスを使用するには、まず3章で説明した縫い方に従ってテキスタイル製品を縫い、次に糸の端を歯車型アームの細い溝に挟んで巻きつける（図3）。次に、マイコンを使用して余った糸の長さ糸のたゆみがなくなるように調整する。最後に、デバイスが外れないように、変形させたいテキスタイル製品にデバイスを縫い付ける。

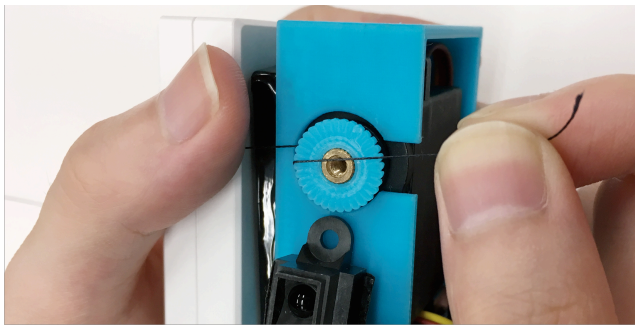


図3 糸を容易に付け外しできる歯車型溝機構

Figure 3 Gear type groove mechanism which can easily detach the string.

【使用する糸】

糸はモータにより強く引き絞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0.148mm程度）、もしくは1号（径0.165mm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あまりないため、外観に影響の出る縫い方の場合は透明ミンシ糸（ナイロン、径0.14mm程度）を用いる。縫う際に用いる糸については布を傷めない程度の細さならばよく、およそ1号以下の太さの糸であればよい。

【針と縫い方】

針や縫い方は従来の裁縫の手法を活用している。針は一般的な裁縫用の手縫い針を用いる。本稿で紹介するアプリケーションでは縫い目が広いため長針が向いている。縫い方は並縫いもしくはまつり縫いをする。縫う間隔は25mm程度だが、縫い目に応じて2mm～40mm内で調整した。玉止めは3,4回同じ箇所を結んで固く大きな玉止めにする。透明ミンシ糸は比較的細く切れやすいので、透明ミンシ糸は折りたたんで二本取りにするか、もしくは更に折りたたんで四本取りにして使用する。

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、玉止めの組み合わせ）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にはそれぞれに縫い目の形状を元に命名した。縫い方の図で用いる記号は図4hに示す。図4a～図4gそれぞれの図で示す布の大きさは200mmの正方形である。

4.1 縫い方と変形

【A】並縫い→標準伸縮（図4a）

20mm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20mm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45mm、振幅20mm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。更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物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20mm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。

【E】折り合わせ縫い→重ね伸縮（図4e）

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、縫った方向に引き絞ることでプリーツ形状になり、更に縞の幅が消える、もしくは極端に狭くなる縫い方である。折れ曲がる箇所に合わせてアイロンや爪などで折り目を付けておく。

【F】フック縫い→跳ね上がり（図4f）

これは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。分厚い布を重ね合わせた素材や、クッション、ぬいぐるみといった物に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）

これは乗せた物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く。うずまきの中央もしくは外側から引き絞る。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物の形に沿っていくので、例えば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。

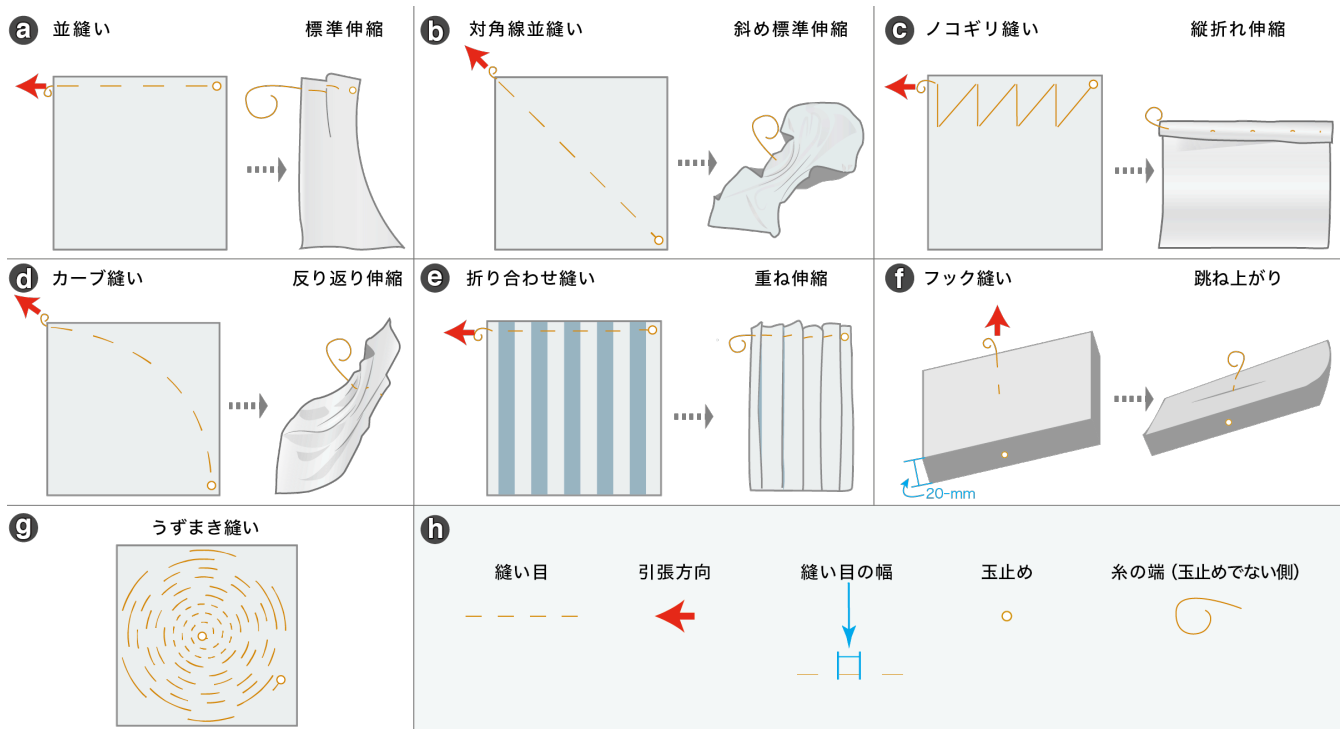


図 4 糸の縫い方 (a~f 左および g), 変形結果 (a~f 右), および縫い方の凡例.

Figure 4 Shape-changing patterns of clothes produced by various stitch patterns and sewing methods.

Gathered shapes differ according to the following sewing methods.

4.2 Filum を用いたアプリケーション例

Filum を用いたアプリケーション例と実装について述べる.

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. 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, 温度に応じてスカートの長さを変更する. 暑い場面ではスカート丈を短くすることで, 着用者の快適さをサポートする.



図 6 ウエストへのノコギリ縫い

Figure 6 Saw tooth stitching sewing to the waist.



図 5 気温に反応し短く変形するスカート

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

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. 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できる. 通常でのれんのように室内と室外との室温を隔てているため, 人は快適な出入りと快適な室温の両方を得る.

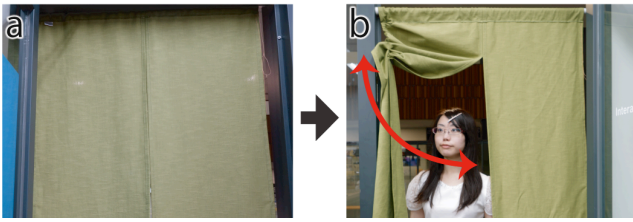


図 7 人の接近を検知し、自動でめくれ上がるのれん
 Figure 7 The noren automatically opens when a person approaches the front of a shop.

花びら形の把持するコースター (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ーを作成した。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ーを縫った。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ーにペットボトルなどを置くと載せた物を把持するようにフィットする形状に変形する (図 8b)。つぼみのような形状になる。これにより、冷たい飲料であっても水滴が滴り落ちない。更に引き絞ることで、ペットボトル全体を覆う形状になり飲料の温度変化を押さえる (図 8c)。

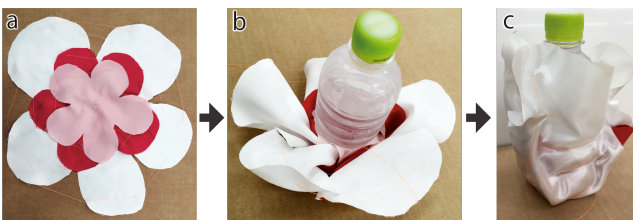


図 8 ペットボトルカバーに変形する花びら型コースター
 Figure 8 The petal type coasters transform into PET bottle cover.

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。図 2e 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ただけで柄の変更が行える。

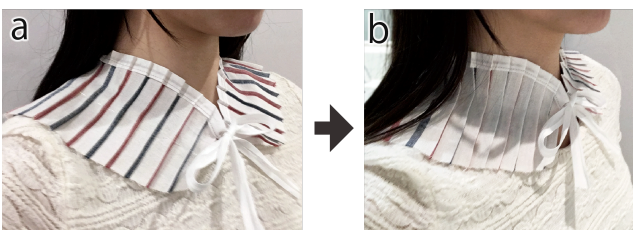


図 9 変形により柄が変わるつけ襟
 Figure 9 Pattern changed the cloth collar by deformation.

物を掴むオーナメント (図 10)

これは物を掴んだり離したりするオーナメントである。厚みのあるオーナメントに対し図 2f のフック縫いを行い、Filum モジュールはオーナメントの中央に接続する。今回用いたオーナメントは V 字で、その両端に同じ縫い方を行った。近接センサにより人の近づき情報を得て、人の近づきの度に掴む／離す形状に変形する。例えばクリスマスツリーのオーナメントを、物をつかむオーナメントに拡張することで、プレゼントを掴んだり渡したりするクリスマスツリーが作れる。

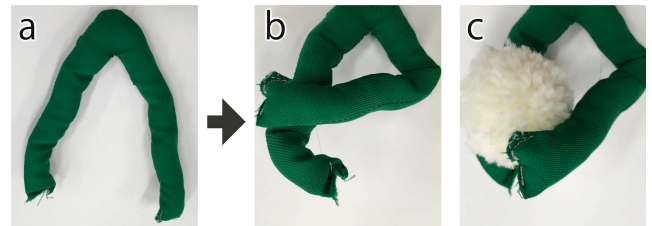


図 10 物を掴むように変形するオーナメント
 Figure 10 The ornament transforms to grab objects.

“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。一般的なテディベアの腕を図 2f のフック縫いで縫った。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。

ぬいぐるみは、テディベアに限らずおもちゃやおみやげとして一般的に普及している。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 [19]のように非侵襲とまではいかないが、ぬいぐるみ作成でも糸は使われるため親和性が高く、また糸での拡張は外せるため可逆性がある。

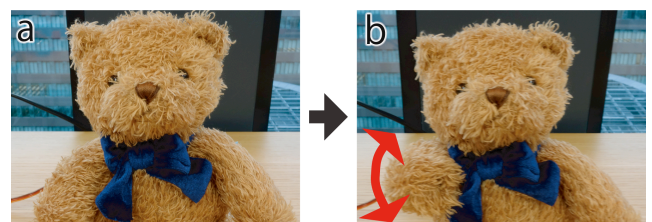


図 11 手を振るように動くテディベア
 Figure 11 The teddy bear moves like a waving its hand.

5. おわりに

本稿では上述のシステムにより、既存のテキスタイル製品を環境や人に応じて変形させる手法を提案した。本手法は実際に用いるコストが低いという特徴がある。本稿の貢献は主に二点である。1) 市販されている一般的なテキスタイル製品の拡張手法の提案, 2) テキスタイルの変形のための一連の縫い方とそれによるアプリケーションの紹介。

衣類の着用者に対しては快適さや好みに応じたファッションを提供し、部屋を出入りする人には歓迎的な雰囲気を提供した。テキスタイルに自在に入り込める糸という素材を積極的に利用した手法である。

今後の展望としては、提案システムを複数個用いたアプリケーションを検討していきたい。複数個用いることで、よりダイナミックな表現に優れたデジタルテキスタイルの実現が可能になると考えられる。

制約に関しては第一に、布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していきたい。

第二に、形状を元に戻すには重力やテキスタイルの回復力、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いる。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回復力を活用している。スカートの例では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。重力や布の回復力を有さ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していきたい。これについては毛玉を重り代わりにテキスタイル製品に縫い付ける方法が考えられる。本システムは通常のテキスタイル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ていきたい。

参考文献

- 1) Jovanov, E., Milenkovic, A., Otto, C. and De Groen, P. C. A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and rehabilitation* 2, 1(2005), 6.
- 2) Poupyrev, I., Gong, N.W., Fukuhara, S., Karagozler, M.E., Schwesig, C. and Robinson, K.E. Project Jacquard: interactive digital textiles at scale. In: *Proc. CHI 2016*, 4216-4227.
- 3) 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. In: *Proc. CHI 2015*, 1-10.
- 4) 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*, 13.
- 5) Berzowska, J., Coelho, M. Kukkia and vilkas: Kinetic electronic garments. In *Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium*, 82-85.
- 6) Vogl, A., Parzer, P., Babic, T., Leong, J., Olwal, A. and Haller, M. StretchEBand: Enabling Fabric-based Interactions through Rapid Fabrication of Textile Stretch Sensors. In: *Proc. CHI 2017*, 2617-2627.
- 7) Post, E.R., Orth, M., Russo, P.R. and Gershenfeld, N. E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Systems journal*, 39(3.4), 840-860.
- 8) Okazaki, M., Nakagaki, K. and Kakehi, Y. metamoCrochet: augmenting crocheting with bi-stable color changing inks. In *ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, 19.
- 9) Buechley, Leah, Mike Eisenberg, Jaime Catchen, and Ali Crockett. The LilyPad Arduino: using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. In *Proc. of CHI 2008*, 423-432.
- 10) Buechley, Leah, and Benjamin Mako Hill. LilyPad in the wild: how hardware's long tail is supporting new engineering and design communities. In *Proc. of CHI 2010*, 199-207.
- 11) Rivera, M. L., Moukperian, M., Ashbrook, D., Mankoff, J. and Hudson, S. E. Stretching the Bounds of 3D Printing with Embedded Textiles. In: *Proc. CHI 2017*, 497-508.
- 12) Akita J, Shinmura T, Toda M. Flexible network infrastructure for wearable computing using conductive fabric and its evaluation. *ICDCS Workshops 2006. 26th IEEE International Conference on 2006*, 65-65.
- 13) Nakagaki, K., Kakehi, Y. Needle user interface: a sewing interface using layered conductive fabrics. In *Adjunct Proc. UIST 2012*, 1-2.
- 14) 中小路隼一, 齊藤明子, 刑部育子, 戸田真志, 秋田純一 and 岩田州夫. 絵本学習リフレクションのための導電性布を用いた動的布絵本の設計. *情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC) 2007*, 33-40.
- 15) Roudaut, A., Karnik, A., Löchtefeld, M. and Subramanian, S. Morphees: toward high shape resolution in self-actuated flexible mobile devices. In *Proc. of CHI 2013*, 593-602.
- 16) Coelho, M., Ishii, H. and Maes, P. Surfex: a programmable surface for the design of tangible interfaces. *Ext. Abstracts CHI 2008*, 3429-3434.
- 17) Wakita, A., Nakano, A., and Ueno, M. SMAAD surface: A tangible interface for smart material aided architectural design. 2011.
- 18) Yao, L., Niiyama, R., Ou, J., Follmer, S., Della Silva, C. and Ishii, H. PneuUI: pneumatically actuated soft composite materials for shape changing interfaces. In: *Proc. UIST 2013*, 13-22.
- 19) Sareen, H., Umaphathi, U., Shin, P., Kakehi, Y., Ou, J. and Ishii, H. Printflatables: Printing Human-Scale, Functional and Dynamic Inflatable Objects. In: *Proc. CHI 2017*, 3669-3680.
- 20) Niiyama, R., Sun, X., Yao, L., Ishii, H., Rus, D. and Kim, S. Sticky actuator: Free-form planar actuators for animated objects. In: *Proc. TEI 2015*, 77-84.
- 21) Sugiura, Y., Lee, C., Ogata, M., Withana, A., Makino, Y., Sakamoto, D. and Igarashi, T. PINOKY: a ring that animates your plush toys. In *Proc. CHI 2012*, 725-734.
- 22) Bern, J.M., Chang, K.H. and Coros, S. Interactive design of animated plushies. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4), 80.