

## ExpandFabric:熱膨張素材の添付による布の形状加工の基礎検討

## ExpandFabric: A Basic Study on Fabric Shape Change with a Thermal Expandable Material

開元 宏樹<sup>1</sup>, 笈 康明<sup>1</sup>Hiroki KAIMOTO<sup>1</sup>, Yasuaki KAKEHI<sup>1</sup><sup>1</sup> 東京大学<sup>1</sup>The University of Tokyo

## 【要約】

本研究は、熱膨張性材料を用いて布地の形状をプログラマブルに書き換えるファブリケーション技術を提案するものである。本研究では、材料の膨張現象に着目し、膨張材料を布に添付することで、加熱と共に2.5次元的な形状へと布の形状加工を施すことを狙う。本研究で用いる熱膨張素材は熱を加えることで約2倍の膨張率を作成することができ、その膨張率を任意に設定することができる。膨張率、布への添付の形状、添付する位置の組み合わせを設計することで、材料の添付後の布を熱をトリガとして、任意の形状に加工することができる。本発表では、手法の原理提案および素材添付のための装置の実装を行い、作成したサンプルの変形結果についてまとめると共に、今後の展望について述べる。

キーワード: 熱膨張, デジタルファブリケーション, 布加工, 形状変化

## 【Abstract】

In this study, we propose a fabrication technology that rewrites the shape of a fabric using a thermally expandable material printed on it. We focus on the expansion phenomenon of the material and attach the expanding material to the fabric, which enables the fabric surface to be bent or swelled. The thermal expansion material used in this research can create an expansion rate of about twice as large as that of the original material by applying heat, and the expansion rate can be set in advance. By designing the combination of the expansion rate, the shape of the attachment to the cloth, and the position of the attachment, the cloth after the material is attached can be processed into a 2.5D shape using heat as a trigger. In this presentation, we propose the basic principle of the method, implement the device for attaching the material, describe the deformation results of the sample, and summarize the future work.

Keywords: Thermal Expansion, Digital Fabrication, Fabric Processing, Shape Changing

## 1. はじめに

デジタルファブリケーション技術の発達と普及に伴い、さまざまな形状の物体を制作することが可能になった。特に、製造後に外部からの刺激等に応じてモノの形状を含めた特性を変える4Dプリンティングへの注目が高まり、HCI(Human Computer Interaction)領域においてもその設計を支援するためのツールや、モノの変形[1]・変色[2]・硬度変化[3]などを取り込むインタラクションや応用が提案されている。

これらの技術領域は、布あるいはファッション応用の親和性も高い。これまでも、布の形状変化[4]、変色・発光[5]、硬度変化[6]などの機能がデザインと結びついて先進的な提案がなされてきた。特に変形に注目すると、布に機械的なアクチュエータを組み込むものから、糸など布を構成する素材の特性を利用して変形を引き起こすものまでその手法も幅広い。特に後者の素材特性に注目するアプローチの既存の代表的な取り組みとして、bioLogicは納豆菌を含むバイオフィルムを布上に印刷することにより、装着者の汗等に起因する湿度変化に反応して素材が収縮し衣服の開口形状を変化さ

せる[7]。また、ISSEY MIYAKEのSteam Stretchは、熱で収縮する糸を他の糸と共に織り込むことにより、加熱時にさまざまな形状やパターンの表出を可能にする[8]。

これまでの多くは外部刺激に応じて収縮する素材を用いて変形を起こす手法が採られていた。これに対して、今回筆者らは、加熱による素材の膨張に注目して、新たな布の変形手法 ExpandFabric を提案する。これまでに、筆者らは発泡素材を3Dプリントの材料に混練し、造

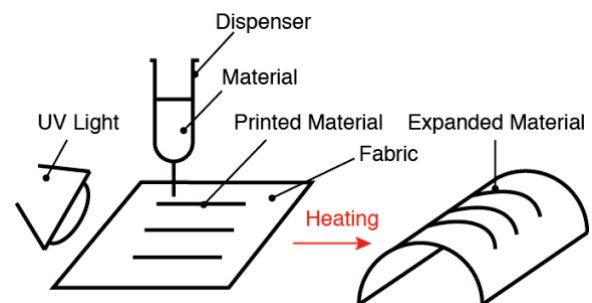


図 1. ExpandFabric の装置概要

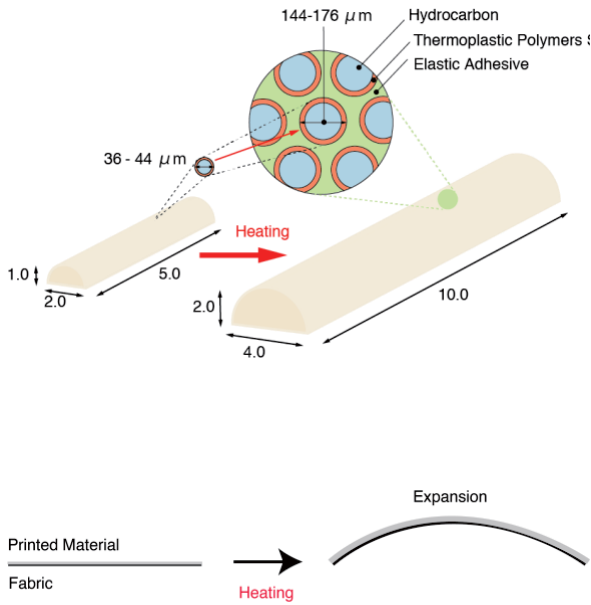


図 2. ExpandFabric の変形基本原理

形後に加熱・膨張して変形させるデジタルファブリケーション ExpandFab の研究を行ってきた[9]. この手法をベースに今回は布上に膨張性のある素材をプリントすることにより布の変形を起こす(図 1).

本手法は、収縮性の素材に対しても変形率が高く、また局所的な膨張率の制御が可能であること、既存の布の上に適用可能なことなどが特徴として挙げられる。本稿では、以下にその基礎原理と設計について述べ、実装したサンプルの変形結果、および展望についてまとめる。

## 2. ExpandFabric の提案と基本原理

本手法は図 2 のように熱膨張性材料を布表面にプリントし、加熱によるプリント部分の膨張に伴う生地形状変化を制御する。今回使用する材料は、

ExpandFab と同様に熱膨張性マイクロカプセルと UV 硬化型粘着剤を混合した粘性液体である。このマイクロカプセルは 160°C から 180°C の温度帯で膨張する。UV 硬化粘着剤は、プリント時に紫外線を照射することにより硬化するもので、布上での素材の定着を促進するために用いる。液体中での熱膨張性マイクロカプセルの含有量を変更することで、膨張率を設定することができる。

粘性のある材料を空気圧を用いたディスペンサを用いて布表面に添付し、UV による硬化を行うことで、布表面に定着させる。布表面に定着させた材料の熱膨張変化に伴い、添付された材料の体積変化と添付の土台となった布の伸長率の差により、布全体の形状が変化し、曲げやシワなどの形状変化を起こすことが可能となる(図 2 下)。

## 3. 実装と試作結果

### 3.1 装置構成

まず、布への材料のプリントは、ヘッドの水平位置をコンピュータから制御できる XY プロッタ(X-Carve 750mm RailKit)にディスペンサノズル(Nordson Ultimius V, シリンジ 55cc, ノズル内径 0.58mm)を取り付けたものを用いた。ステージ上に布を固定し、その上にディスペンサから材料を吐出する。ディスペンサの空気吐出量およびヘッド部分の移動速度の調整により、その位置に配置される材料の吐出量を調整することができる。また、造形後の加熱には定温乾燥機(DVS402)を用い、温度を 180°C に設定して後述する試作を行った。

### 3.2 生地の種類と熱膨張性材料

変形の様子を確認するために、材料の膨張率を 5 種類、添付する布の種類を 2 種類、合計 10 種類の条件で加熱膨張を施した。

膨張率は、材料全体に対する熱膨張性マイクロカプセルの含有率が 5%, 10%, 15%, 20%, 25% の 5 種

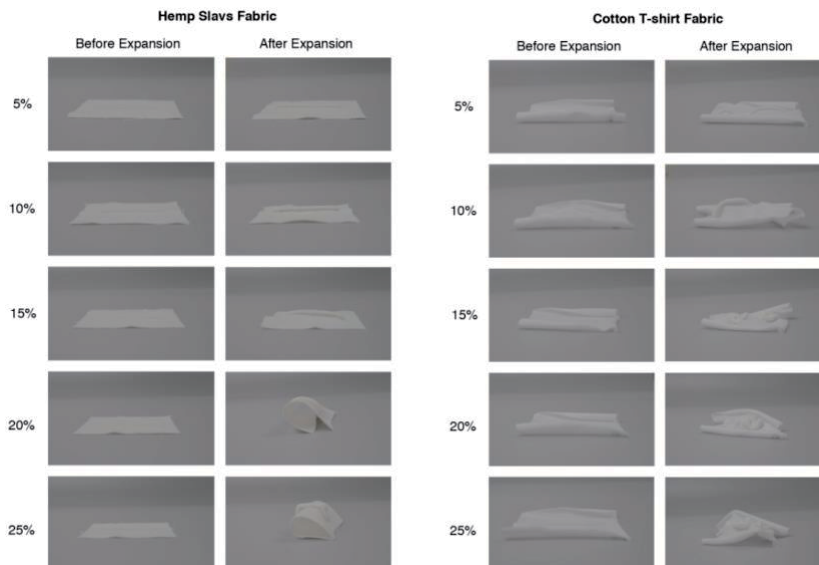


図 3. 試作の結果(左:麻スラブ生地, 右:綿 T シャツ生地それぞれ膨張率の異なる材料を添付した結果)

類を用意した。布は今回は伸縮率の異なる2種類の布を用いた。一つは麻スラブ生地、もう一つは綿 T シャツ生地である。それぞれ 100mm 四方に成形して用いた。

今回の試作では、それぞれ布の中央に熱膨張性マテリアルを 1 本の直線状(太さ約 2.75mm, 長さ 70mm)に添付した。加熱時間はそれぞれ約 1 分間とした。

### 3.3 試作の結果

図 3 に示すように、麻スラブ生地では、含有率 5%, 10%, 15%では布の形状に与える効果が薄かった。一方、20%, 25%では、布を折り曲げるように変形させることが出来た。綿 T シャツ生地では、含有率が 10%を越えると布の形状に大きく影響する様子がみられた。麻スラブを使った実験とは異なり、綿 T シャツ生地では、布表面上でマテリアルが布を巻き込むような変形となった。含有率に応じて変形の度合いを制御できる可能性が示唆され、また生地の素材や伸縮性によっても影響を受ける可能性がある点が確認できた。

### 4. T シャツへの添付によるテクスチャ付与

本手法を用いた応用の一つとして、市販の綿素材の T シャツの上に、熱膨張性マテリアルで矩形パターンを縦横にアレイ状に描くことで、表面に 2.5 次元的なテクスチャを付与することを試した。

図 4 にその結果を示す。本例では、膨張率 160%のマテリアルを使用し、10mm 四方の四角形を上下左右 10mm の等間隔に配置した。添付面を裏返すことで、布の表面にテクスチャを施すことができた。



図 4. T シャツにテクスチャを施した例

### 5. むすびと今後の課題

本稿では、熱膨張性マテリアルを布上に添付することによる布の変形制御手法 ExpandFabric の基本原理の提案と試作を行なった。基礎的な試作を通してマテリアルの膨張による布の変形を確認することができた。

今後の課題として、まず変形に適した膨張率や描画パターンを今後、理論・実践の両面から調査していく必要がある。安定した変形を起こすための加熱手法・環境

のさらなる探索も必要になる。なお、今回実験で用いた膨張後の布のサンプル(膨張率 160%)は、家庭用洗濯機で洗濯後も素材の剥離は見られず形状を保っていた。耐久性や経時変化についても今後より詳しく評価していきたい。

これらに加えた課題として、応用領域のさらなる開拓が挙げられる。本手法は一度膨張すると元に戻ることはない不可逆な変化である。この点も考慮して応用領域を見出したい。

**謝辞** 本研究は JSPS 科学研究費補助金(科研費) JP20K20432 の支援を受けた。また、多くの助言をいただいた早稲田大学の岩瀬英治教授に感謝する。

### 参考文献

1. Byoungkwon An, Ye Tao, Jianzhe Gu, Tingyu Cheng, Xiang 'Anthony' Chen, Xiaoxiao Zhang, Wei Zhao, Youngwook Do, Shigeo Takahashi, Hsiang-Yun Wu, Teng Zhang, Lining Yao. Thermorph: Democratizing 4D Printing of Self-Folding Materials and Interfaces. CHI.2018
2. Yuhua Jin, Isabel Qamar, Michael Wessely, Aradhana Adhikari, Katarina Bulovic, Parinya Punpongsanon, Stefanie Mueller. Photo-Chromeleon: Re-Programmable Multi-Color Textures Using Photochromic Dyes. UIST 2019.
3. Daniel Groeger, Elena Chong Loo, Jürgen Steimle. HotFlex: Post-print Customization of 3D Prints Using Embedded State Change. CHI.2016
4. Hussein Chalayan. <https://chalayan.com/> (最終閲覧日 2021.09.25)
5. ANREALAGE.A LIVE UN LIVE. Mori Art Museum 15th Anniversary Exhibition Roppongi Crossing. 2019
6. 中丸 啓, 西原 由美, 藤井 樹里, 武井 祥平, 加治 洋紀, 寛 康明. Heteroweave: 伝統技法に基づく材料の織り込みによる西陣織への機能付与と表現. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 24(3). 283-291.2019
7. Lining Yao, Jifei Ou, Chin-Yi Cheng, Helene Steiner, Wen Wang, Guanyun Wang, Hiroshi Ishii. bioLogic: Natto Cells as Nanoactuators for Shape Changing Interfaces. CHI. 2015
8. ISSEY MIYAKE. 3D Steam Stretch. 2014. <https://www.wwdjapan.com/articles/5456> (最終閲覧日 2021.09.25)
9. Hiroki Kaimoto, Junichi Yamaoka, Satoshi Nakamaru, Yoshihiro Kawahara, and Yasuaki Kakehi. ExpandFab: Fabricating Objects Expanding and Changing Shape with Heat. TEI .2020