

metamoCrochet: 感温変色素材を用いた編み物の提案

岡崎桃子^{†1} 中垣拳^{†2} 笈康明^{†1}

一般的な編み物では毛糸の色を変える際、新しい別の色の毛糸を結び足す必要があるが、これは手間がかかり、その切り替えの箇所が作品の形に影響を与えてしまうなどの問題がある。本研究ではメタモインキの65°C以上で色が消える特徴を利用する。メタモインキを染み込ませた毛糸を、先端が発熱する編み棒を用いることで、任意の箇所に変色を制御可能な編み物を可能にする。さらに、本稿では、感情や周囲の環境の変化などを編み物の色に反映させるなど新たな編み物手法を提案する。

metamoCrochet:

A Proposal for Crocheting with Thermochromic Material

MOMOKO OKAZAKI^{†1} KEN NAKAGAKI^{†2} YASUAKI KAKEHI^{†1}

When changing the color of the wool while crocheting, it is common to integrate an additional color of wool. However, adding wool every time you switch the color is time-consuming and it may affect the shape of the work. In metamoCrochet, we use the feature of Metamo Ink that disappears at 65 degrees Celsius or more. By using a crochet hook with a heating tip, we can change color of the yarn dyed with Metamo Ink at an optional point. Furthermore, in this paper, we propose a new method of crocheting in which the color changes according to emotional and environmental elements.

1. はじめに

編み物は主に毛糸を素材として布や立体物を作る手芸であり、昔から現在に至るまで、多くの人に楽しまれている。毛糸と編み棒、もしくはかぎ針さえあれば、どこでも作業ができる手軽さが魅力のひとつであり、セーターやマフラーといった衣料品だけでなく、コースターやぬいぐるみのような日用品、玩具など、工夫次第で様々な作品を作ることができる。また、毛糸の色もさまざまであるため、単色だけでなく、途中で色を変えたり、模様を編みこんだりなど、同じ作品でも色や模様で印象に変化をつけ、オリジナリティを表現することができる。一般的な編み物では毛糸の色を変える際、新たな色の毛糸を結び足す手法が一般的である。しかし、変色毎に毛糸を結び足すことは、手間のかかる作業であり、結び目が増えたり、形が歪んだりといった、作品の見た目に影響を与える問題がある。

そこで、我々は編みながら動的に毛糸を変色させる手法として metamoCrochet (図1) を提案する。熱によって変色する毛糸と、先端が発熱するかぎ針を用いることで、編む過程で色を変色できる編み物の提案である。これによって、従来の毛糸を結び足す手間や問題点からユーザを解放するだけでなく、プロセスの中でユーザの意図に沿ったプロダクトを作成することが可能である。本論文では、metamoCrochet のシステム設計と実装、ユーザテストについてまとめる。

2. 関連研究

近年、3Dプリンタをはじめとして、あらかじめ用意されたデジタルデータを元に、コンピュータに接続された工作機器を用いて、コンピュータが自動的に加工・成型する、デジタルファブリケーションが広く一般に普及してきている。これに対し、Interactive Fabrication[1]として、全自動で作業を完結させてしまうのではなく、デジタル工作機械の創作プロセスにリアルタイムにユーザが介入することで、コンピュータと手作業の両者の利点を取り込んだものづくりの手法が提案されている。例えば FreeD[2]は彫刻を支援するようなシステムで、手に持つミリングデバイスをデジタル制御することで、デバイスを削りたい素材に近づけると、あらかじめ入力された3Dモデルデータに応じてチップが前後移動し、人がアレンジを加えながらも3Dモデル



図1 metamoCrochet

Figure 1 metamoCrochet

^{†1} 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University
^{†2} 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

データと同じ彫刻を作ることができる。本研究では、手作業にコンピュータの支援を加えるようなアプローチをとり、特に編み物の支援に着目し、従来と同じような作法の中で毛糸の色を動的に変えることが出来るようなツールを提案する。

これまでも、手芸に着目し、その作業をコンピュータによって支援する研究もいくつか提案されてきた。その中でも五十嵐らは、ぬいぐるみ[3]や、カード織り[4]などの手芸について、デジタルデータを人の手で作れるように設計図を出力するようなシステムを考案している。中でも、編み物の研究として、3次元モデルからあみぐるみの編み図を生成するシステムを提案している[5]。これによって、人が通常設計することが困難な複雑な形状のあみぐるみも、人が自分の手で作れるような支援を可能にした。これらの研究では、コンピュータは人が参照するための設計図を出力するとその役割を終えるが、本研究では、編むプロセスの中で、リアルタイムにコンピュータがユーザを支援するようなシステムの設計を目指す。

インタラクティブに手芸を支援するようなシステムとして、Needle User Interface[6]は刺繍の作業を支援するシステムで、導電布を用いて針の刺さった方向や位置を検出することで、刺繍プロセスをリアルタイムでコンピュータに記録し、他のユーザと共有することを可能にした。また編み物の作業プロセスを映像や音声等のデジタルデータで記録し、作品とともに作業プロセス自体も贈るようなシステムとして Spyn[7]が提案されている。これらの研究では、人の行為がデジタルデータに変換され、設計図や贈り物として利用できるような提案となっているが、我々の研究では、デジタル制御によって編み物という創作物自体に色として情報を埋め込むことが出来るようなシステムを考案する。

変色する素材によって、創作を支援する研究もいくつか提案されている。NeonDough[8]は、複数の電極とフルカラーLEDを埋め込んだ小麦粘土によって、粘土同士を接触するだけで混色させるなど、色を自由に変えることが出来る粘土細工である。また、サーモクロミックインクを用いた折り紙によって、ユーザが自身の手で作上げた作品を変色させて、作品の印象を大きく変えることを可能にしたシステム[9]も提案されている。Hand-rewriting[10]は紫外線インクとフリクションインクの二種類のインクを用いており、コンピュータによって手書きスケッチを後から補正するような支援を行うシステムである。ShaderPrinter[11]では、一定の温度まで上がると変色し、冷温にならないと色が戻らないメタモインキが塗布されている立体物に、レーザーを用いて物体の表面の熱を制御することで、そのものの色や、模様を変えることを可能にしている。本研究でも、不可逆性のあるメタモインキによって毛糸を染めることで、発熱するかぎ針デバイスによって編みながら色を変えることが出来るような編み物の提案を行う。

3. metamoCrochet の提案

本研究では、メタモインキの一定の温度以上で色が消える特徴を利用することで、単色の毛糸を変色させて、既存の編み物よりも幅広い色彩表現が可能な編み物の提案を行う。ユーザが編みながら任意に毛糸の色を変えるアプリケーションにより、従来の手法であった、新しい毛糸を結び足す手間と問題点からユーザを解放する。さらに、将来的に、感情や周囲の環境の変化などを編み物の色に反映させるなどといった、新たな編み物手法を提案していく。

3.1 システム設計

metamoCrochet のシステムはメタモインキで染めた毛糸と編み棒デバイスによって構成される(図2)。メタモインキは65度以上で色が消えるインクであるため、メタモインキで染めた毛糸は熱すると段階的に元の毛糸の色に変色していく。編み棒デバイスは、棒の先端に動的に毛糸の色を切り替えるための発熱するニクロム線、ユーザがマニュアルでon/offを制御できるボタン、バッテリーが内蔵されている。また、本研究で用いる編み棒は、かぎ針を採用している。一般的な編み物として連想される棒針編みに用いられる棒針は、先端がゆるやかに尖った形状をしており、ユーザによって毛糸を掛ける位置が異なる。一方かぎ針は、先端がかぎ爪状になっており、どんなユーザでも編む際に必ずかぎ部分に毛糸をかける。そのため、棒針よりもかぎ針のほうがユーザに関わらず確実に変色することが可能だと考え、かぎ針を採用した。

このようなシステム設計によって、デバイスに内蔵されたスイッチを押すことで、編み棒の先端のニクロム線が発熱し毛糸を変色させることで、ユーザは既存の自分自身で毛糸を結び足す手法よりもスムーズかつ段階的に編み物の色を変えることを可能とする。

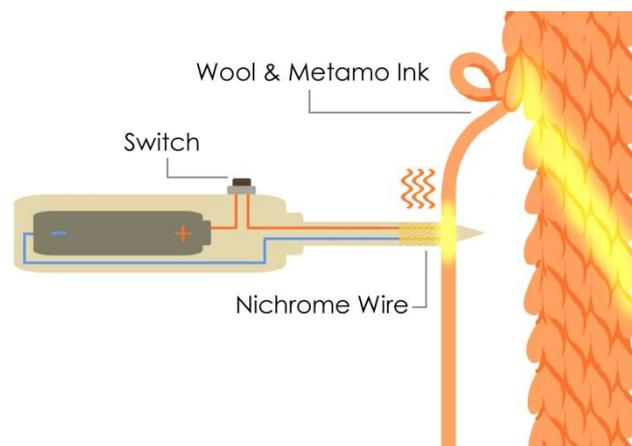


図2 システム図

Figure 2 System Design

3.2 実装

以下に本システムの実装として、変色する毛糸と編み棒デバイスの2点にわけて、今回の実装方法について述べる。

3.2.1 変色する毛糸

毛糸の染め方について説明する。メタモインキは、こすった摩擦熱によって消える水性カラーサインペンであるPILOT製のフリクションカラーズに使用されているインクを用いた。毛糸を染める手法としては、一般的には油性のインクを水と配合して、素材を煮立てるような手法があるが、メタモインキは水性であるため、メタモインキと常温水を混ぜた液体に浸して乾かすような独自の手法を用いた。毛糸の分量に対するメタモインキと常温水の配合については、約3mmのアクリル素材の毛糸10mに対し、メタモインキ5ml、常温水30mlとした。メタモインキと常温水をよくかき混ぜ、毛糸を浸す。浸したのち、水分が飛ぶまで自然乾燥させる。この作業を二度行う。これにより、色むらを軽減することができる。

図3が、実際に染色した毛糸と変色後の色のバリエーションの例である。図の上段は水色の毛糸を紫色のインクで、中段は黄色の毛糸を赤色のメタモインクで、下部は黄緑色の毛糸に青色のインクで染めたものである。

3.2.2 編み棒デバイス

今回実装した編み棒デバイスを図4に示す。使用したニクロム線は太さ0.2mm、導体抵抗34.4Ω/mで、長さ250mmのものをかぎ針の柄の部分を通し、先端に巻きつけている。電源は3.7V 2600mAのバッテリーを利用している。持ち手にはon/offを切り替えるためのスイッチを内蔵することで、スイッチを押しているときのみニクロム線に電気が流れ、かぎ針の先端が熱される。

編み棒デバイスの筐体は、3Dプリンタで製作し、ABS樹脂製となっている。全体の長さは170mmで、そのうち直径25mmの持ち手部分は長さ135mm、直径5.3mmのかぎ針部分は長さ35mmである。かぎ針部分は、一般的なかぎ針の8号とほぼ同じ大きさである。

4. 作品例

metamoCrochetを利用して筆者が編んだ作品例を図5に示す。図5右の縞模様のセーターのように、通常であれば縞ごとに毛糸を結び足し、結び目を隠さねばならないのが、metamoCrochetでは結び目を気にする必要なく縞模様を編むことが可能である。また、橙と黄色だから花を、緑と黄緑だからクローバーを、といったように、あらかじめ作りたいものを作るのではなく、毛糸が持つ二色の色の組み合わせから、どのようなものを作るかをユーザに想像させ、ユーザのクリエイティビティを助長するようなシチュエーションを想定している。



図3 染色した毛糸と変色後の色のバリエーション

Figure 3 The Variation of the Color After the Dyed Wool and Color Change



図4 編み棒デバイスとその先端

Figure 4 Crochet Hook Device and Its Tip



図5 metamoCrochetを用いた作品例

Figure 5 Examples of Crafts using metamoCrochet

5. 評価

5.1 編み棒デバイスによる毛糸の変色に関する実験

メタモインキで染色した毛糸に、熱した編み棒デバイスを押し当て、毛糸を熱した時間あたりの変色した範囲を計測する実験を行った。毛糸はニクロム線に接している側から徐々に変色するが、一般的にかぎ針で毛糸を編んだ際、外側に露出するのはニクロム線と接しているのと反対側の面である。そのため、今回の実験では、ニクロム線と接していない反対側の面が変色した長さを計測した。熱する毛糸の箇所は、計測毎に変えるものとする。毛糸には 3.2.1 で述べた直径 3mm, 黄色の毛糸を赤色のインクで染めたものを用いた。1 秒から 15 秒まで 1 秒間隔で変色した長さを計測し、これを 3 回繰り返した。

実験結果として、それぞれの秒数に対する 3 回の計測値の平均の値をグラフとして図 6 に示す。この結果から 8 秒以降、安定して約 12mm 変色できることが確認できる。さらに、3~6 秒の間に、急速に熱が伝わっていくことが確認できた。

5.2 ユーザフィードバック

2 名の被験者 A・B に対し、以下のユーザテストを実施した(図 7)。色がオレンジ色から黄色に変色する毛糸と編み棒デバイスを用い、1 人当たり約 1 時間、各々好きなものを編んで貰った。それぞれ被験者 A は 21 歳女性、被験者 B は 20 歳女性で、2 名ともかぎ針編みで作品を作った経験がある。

両被験者が完成させた作品を図 8 に示す。被験者 A は、1 段毎に変色した長方形の布状のものを編み、被験者 B は円形のコースターを編んだ。

編み方について、被験者 A は 1 段目(作り目という)を鎖目で編み、被験者 B は輪の作り目で編んでいた。二段目以降は両者とも細編みのみで編んでいた。

それぞれの被験者が二段目以降、細編みで一目編むのにかかった時間について、変色させずに通常通り編んだ場合と、変色させながら編んだ場合にわけ、それぞれ平均を算出した。被験者 A は 13.6 秒および 15.1 秒、被験者 B は 10.3 秒および 11.5 秒であった。いずれも変色させずに編むほうが、一目編むのにかかる時間の平均は短いものの、その差は 1.5 秒ほどで、変色しながら編むことにさほど時間をとられないことがわかった。

普段の編み物と比較し、ユーザテストを通して感じたことを両被験者に自由に述べてもらった。被験者 A は「普段は一種類の単色の毛糸でしか編まないの、一種類の毛糸で二色展開できるのが楽しい」と述べていた。また、作ったものに関して、「変色する箇所について、そろそろ色を変えようかな、という考えはなく、予め配色にプランを考えたうえで、完成品の右側を黄色にしたい、と考えながら変

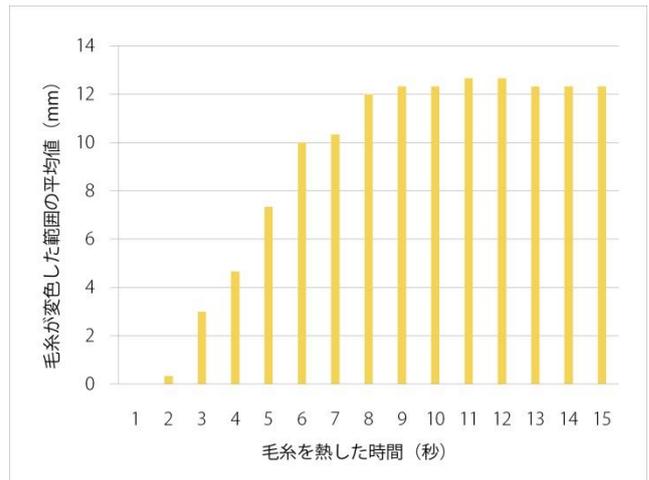


図 6 毛糸を熱した時間あたりの変色した長さ
Figure 6 Length of the Wool's Changed Color
Per Time Heated



図 7 ユーザテストの様子
Figure 7 User Test



図 8 被験者作品例 (上: 被験者 A, 下: 被験者 B)
Figure 8 Examples of Crafts which Examinees Crocheted
(Top : Examinee A, Bottom : Examinee B)

色させた」と述べていた。一方被験者 B は、「普段もともとグラデーションで染色された毛糸を使って編むことが多いのだが、それは毛糸のグラデーションの色が、作品のどの部分に該当することになるのか、実際に作品を作らないとわからない。それが面白さでもあるのだが、metamoCrochet は作品を作りながら、任意の位置にグラデーションを表現できるので、思い通りの配色になってわくわくする」「セーターに文字をいれるときなど、いちいち毛糸を変えるのが面倒で、結び目を隠す糸の処理は難しい。その点 metamoCrochet は結び目を隠す必要がないので、作品の形に影響を与えないところが良い」と述べていた。作ったものに関しては、彼女は当初、1 段ずつ変色させた目をずらしながら入れることで、スパイラル模様を編みこもうと考えていたようだ。しかし、実際に変色させた目の上に次の変色させてない目の段を編むと、変色したところが目立たなくなってしまう、と編んでいるうちに感じたという。そこで、途中で 1 段ずつ変色させた目を入れることをやめ、一番変色させた部分が映えそうな、一番外側だけを変色させたというコメントが得られた。

デバイスの設計について、両被験者から指摘されたことは、3D プリンタで製作した編み棒は表面が粗いため、かぎ針をくぐらせる際に引っ掛かる、ということであった。また、長時間スイッチをオンにしていた直後にオフの状態では編むと、ニクロム線の余熱により、変色を望まない部分に変色してしまうという問題点がある。また、持ち手について、現在の円柱形から、ややへこませたほうが持ちやすい、という意見があった。これらのフィードバックを元に、デバイスの改良に努める。

6. 課題と今後の展望

今回、動的に毛糸の色を変えるシステムによって、簡易に色を変えられるような編み物の仕組みを提案した。昔から多くの人に親しまれてきた編み物に、任意の場所で色を変えられる手法を提案することで、これまでの手法では難しかった細かい模様や、グラデーションが施された作品を作ることが容易になり、編み物を趣味とする人々の発想力をかき立て、新しい表現を用いた作品が生まれることが期待される。

今後の課題としては、まず色の問題が挙げられる。現在 2 色間の段階的表現になっているが、今後は温度だけでなく紫外線による変色など様々な変色特性を持った素材の検討も行うことで、一つの毛糸で多様な色彩表現が可能なシステムの設計を検討する。

また、今回使用したメタモインキの特徴として、 -10°C 以下の環境下に置かれると、一度 65°C 以上の環境で消えたインクが復活することが挙げられる。復活したインクも再び 65°C 以上で消え、半永久的にインクの特徴が持続する。

この特徴を用い、ユーザが何度でも繰り返し変色させた箇所を変えられるシステムを提案したい。

デバイスについても、いくつか改善を検討している。第一に今回使用したニクロム線だと毛糸を変色させるのに、5 秒以上を要するため、編むスピードを考えると、発熱速度をなるべく早くする必要がある。且つ、余熱により不本意な場所が変色しないよう、ニクロム線の温度の制御に改善が必要である。この他、デバイスの形状について、ユーザフィードバックを元に、かぎ針の先端を金属製にするなど、材質の改良に努める。

さらに今後は、より詳細な評価実験を行う為に、ワークショップ等を通して、ユーザテストを行い、本システムを用いた作るプロセスの変化や、贈り物としてのコミュニケーション/表現についても考察する。

本システムを用いた発展的なアプリケーションとして、編み物の贈り物として楽しめる背景に基づいて、作り手の思いや、周囲の環境を編み物作品の色に反映させるようなアプリケーションを提案していきたい。例えば、ユーザの状態であれば、心拍や体温、周囲の環境であれば、時刻、気温などをデバイスがセンシングし、例えば、ある一定以上の値をとったときのみ、編むプロセスの中でリアルタイムに編み物を変色させる。それぞれに必要なセンサをアタッチメントとして編み棒に装着することで、ユーザの好きな情報を埋め込みながら編み物が可能である。完成した作品には作り手の作業プロセスの様子が、色のパターンとして自然に作品に反映される。贈り物として作品を貰った受け手は、作り手の作業の過程をゆるやかに想起可能で、コミュニケーション/表現としての手芸を拡張する。また、作り手が数週間～数か月といった長い時間をかけてひとつの作品を作り上げたという、作り手の「思い」を、相手にこれまで以上に伝えることができるだろう。さらに、作り手自身もこれを通して作業過程を振り返ったり、自分の感情に向き合ったりすることができる。

謝辞

本研究は一部、科学技術復興機構戦略的創造研究支援事業 CREST の支援を受けて行った。

参考文献

- [1] Karl D.D. Willis, Cheng Xu, Kuan-Ju Wu, Golan Levin and Mark D. Gross: "Interactive Fabrication: New Interfaces for Digital Fabrication," ACM TEI '11 Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, pp.69-72, 2011.
- [2] Amit Zoran and Joseph A. Paradiso: "FreeD: A Freehand Digital Sculpting Tool," ACM CHI '13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing

Systems, pp.2613-2616, 2013.

- [3] Yuki Mori and Takeo Igarashi: ``Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys,” ACM SIGGRAPH '07, ACM SIGGRAPH 2007, papers Article No. 45, 2007.
- [4] Yuki Igarashi and Jun Mitani: ``Interactive Card Weaving Design and Construction,” ACM SIGGRAPH '13, ACM SIGGRAPH 2013 Studio Talks, Article No. 11, 2013.
- [5] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi and Hiromasa Suzuki: ``Knitting a 3D Model,” Computer Graphics Forum, Volume 27, Issue 7, pages 1737–1743, 2008
- [6] Ken Nakagaki and Yasuaki Kakehi: ``Needle User Interface: A Sewing Interface Using Layered Conductive Fabrics,” ACM UIST Adjunct Proceedings '12 Adjunct proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.1-2, 2012.
- [7] Daniela K. Rosner and Kimiko Ryokai: ``Spyn: Augmenting the Creative and Communicative Potential of Craft,” ACM CHI '10 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2407-2416, 2007.
- [8] Junichi Yamaoka and Yasuaki Kakehi: ``NeonDough: Crafting with Interactive Lighted Clay,” ACM SIGGRAPH '12 ACM SIGGRAPH 2012 Posters, Article No. 74, 2012.
- [9] Tetsuya Kaiho and Akira Wakita: `` Electronic Origami with the Color-Changing Function,” 2nd Workshop on Smart Material Interfaces, 2013.
- [10] Tomoko Hashida, Kohei Nishimura and Takeshi Naemura: `` Hand-rewriting: Automatic Rewriting Similar to Natural Handwriting,” ITS '12 Proceedings of the 2012 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces, pp.153-162, 2012.
- [11] Daniel Saakes, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, Naoya Koizumi and Ramesh Raskar: ``Shader Printer,” ACM SIGGRAPH '12 ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies, Article No. 18, 2012.