

ChromicCanvas: クロミック繊維を用いた インタラクティブキャンバスの提案

若本 麻央^{†1} 沖 真帆^{†1} 塚田 浩二^{†1}

概要: クロミック素材は、外部からの刺激によって色等が可逆的に変化する現象を示す物質である。さりげない質感変化が魅力であり、お湯を入れると色が変わるマグカップ等の小物製品にも利用されている。しかし、「有色から無色などの2色間の遷移しかできない」、「一度変化パターンを決めると後から変更できない」といった制約があり、素材単独では柔軟な表現が難しかった。本提案では、クロミック素材と CNC ミシン等のデジタル工作機器を組み合わせることで、こうした問題を解消した柔軟な表現手法を目指す。本稿では、クロミック素材の中から UV 刺繍糸を使い、多様な色/描画パターンを表現できるインタラクティブキャンバス ChromicCanvas を提案する。

1. 背景

近年、衣服等にコンピュータの機能を内蔵し、人々の生活を支援するウェアラブルコンピューティングの研究が盛んに行われている。特に、ファブリック素材自体にセンサや電子回路の機能を内包する E-textile の研究が活発である。例えば、野田ら[1]は洋服の一部に導電糸を組み込んでセンサとして扱う研究を行っている。一方、従来の E-textile 研究の多くは繊維の電気的特性に注目したものである。本研究では、周辺環境に応じて素材の性質が変化するクロミック素材を、E-textile に応用することに着目した。

クロミック素材とは物質の光物性（色/蛍光など）が外部からの刺激によって可逆的に変化する現象を示す物質のことである。クロミック素材はさりげない質感変化が魅力的であり、お湯を入れると色が変わるマグカップ等の小物製品によく利用されている。しかし、(1)有色から無色などの2色間の遷移しかできない、(2)一度変化パターンを決めると後から変更することができない、といった制約があり、E-textile と連携した柔軟な表現は困難であった。

そこで本研究では、クロミック素材と CNC ミシン等のデジタル工作機械を組み合わせることで、こうした問題を解消した柔軟な表現手法を目指す。今回、クロミック素材の中から UV 刺繍糸に着目し、多様な色や描画パターンで描くことができるインタラクティブキャンバス ChromicCanvas を提案する（図1）。本稿では、UV 刺繍糸の表現力や応答性の基礎性能調査について述べた後、UV 刺繍糸と CNC ミシンで作成する ChromicCanvas の実装や UV ライトと組み合わせた利用例を紹介する。

2. 関連研究

本研究の関連研究として、クロミック素材や CNC ミシンを用いた研究事例を紹介する。

岡崎ら[2]はメタモインキを内包した毛糸を変色させて、

幅広い色彩表現が可能な編み物の提案をしている。ニクロム線を巻き付けた編み棒デバイスに電流を流すことで発熱させ、毛糸の色を変えることができる。一定以上の温度を加えると変色したまま固定され、常温でも色が戻らなくなるメタモインキの性質を活用する点が特徴である。ColorMod [3]は3Dプリンタの造形時に、赤、青、黄の3色のフォトクロミック染料を用いてマルチカラーボクセルパターンを印刷し、造形後に特定の波長光を照射することで、後から造形物の色や模様を変更することができる。海宝ら[4]は折り紙の表面にサーモクロミックインク、裏面に導電性インクを塗布し、裏面に電極パーツを接続することで、インタラクティブに折り紙の色彩制御を実現する手法を提案した。これらの研究は、従来のクロミック素材を用いた制作物よりも柔軟な色彩表現を可能にしている。

岡本ら[5]は家庭用刺繍ミシンを使用した造形表現に注目し、手作業と PC 作業を行き来することでアナログ/デジタルそれぞれ単独では表現できない色味/質感/立体感の表現を試みた。本提案では、クロミック素材とデジタル工作機器（CNC ミシン）を組み合わせることで、幅広い色



図1 本研究のコンセプト. UV 刺繍糸を用いて幅広い色彩表現が可能なインタラクティブキャンバスを構築し、UV ライト等を組み合わせた柔軟な入力手法を提案する。

^{†1} 公立はこだて未来大学

彩表現が可能なインタラクティブキャンパスを構築し、UV ライト等と組み合わせた柔軟な入力手法を提案する。

3. クロミック素材の検討

本研究で使用するクロミック素材の種類／性能確認を行った。

3.1 クロミック素材の種類

クロミック素材には、温度で色が変わる「サーモクロミズム」、光で色が変わる「フォトクロミズム」、電気で色が変わる「エレクトロクロミズム」等を始め、多くの種類がある[6]。我々は、入手性や取り扱いやすさを考慮して、「フォトクロミズム」素材に着目した。

3.2 クロミック素材の検討

クロミック素材を E-Textile に応用するため、糸や布等の形状の製品を調査した。その結果、フォトクロミック素材の糸として、中村商事株式会社の「ワゴン UV 糸 7 色セット」(以下 UV 刺繍糸)を入手した(図 1)。UV 刺繍糸が、研究室で所有するブラザーの業務用刺繍ミシン「PR655」(以下 CNC ミシン)で使用できるかを検証し、安定して利用できることを確認した。



図 2 本研究で使用する UV 刺繍糸[a]。黄、オレンジ、ピンク、青、赤、紫、緑の 7 色。写真は紫外線で変色後の色であり、変色前は全て白色である。

4. 試作と基礎性能の検証

UV 刺繍糸と CNC ミシンを使って色や形を表現するために、まず基礎的な試作検証を行った。「色の表現力の検証」では、7 色の UV 刺繍糸を用いて混色表現するための技法や作例について述べる。「色の応答性の検証」では、刺繍に対して紫外線を照射した後の、色の変化量、色変化の継続時間、紫外線の波長による色の感度について述べる。

4.1 色の表現力の検証

刺繍で表現できる色のバリエーションを増やすために、複数色の糸を組み合わせることで混色表現ができるかを実験する。具体的には「縫い設定」と「縫いパターン」を複数試し、混色して見えやすい組み合わせを探った。

縫い設定は、刺繍ミシンの専用ソフト上で設定する刺繍の縫い方の種類であり、縫い設定によりデータの製作手順や見え方が異なる。図形を高密度に縫うことができる「サ

テン縫い」「タタミ縫い」「走り縫い」「クロスステッチ」を試したところ、サテン縫いとタタミ縫いは 2 色が交互に並ぶデータを作ることができなかった。走り縫いはデータを作ることができたが時間と手間がかかり困難であった。クロスステッチは他の縫いに比べてデータを作るのが容易であったことから、混色における縫い設定はクロスステッチを利用して検証を進めることとした。

縫いパターンは、データ上の色の配置や模様である。今回、異なる色の線を横方向に交互に繰り返す横ストライプと、斜め方向に交互に繰り返す斜めストライプを試した。図 3 に、縫い設定をクロスステッチ、線幅 1.5mm で赤／青／緑の 3 色を使って、斜めストライプと横ストライプを縫った例を示す。複数の組み合わせで確認した結果、横よりも斜めの方が混色して見えやすいことがわかった。なお、パターンの線幅も複数検証したところ、安定して出力できる最小の幅は 1.5mm であった。

図 4 に、2 色の混色例を示す。比較しやすいように、正方形の同じデータを用いて、縦ストライプ、ピンク単色、斜めストライプ、青単色を刺繍した。斜めストライプで刺繍をすると、ピンク色と青色が混ざり紫色のように見えることがわかる。

以上の実験をまとめると、縫い設定は「クロスステッチ」、縫いパターンは幅 1.5mm の「斜めストライプ」を用いることで混色表現ができる可能性を確認した。また、単色 7 種(図 5)と 2 色を混ぜた混色 21 種(図 6)のサンプルを作成し、表現できる色のバリエーションを整理した。

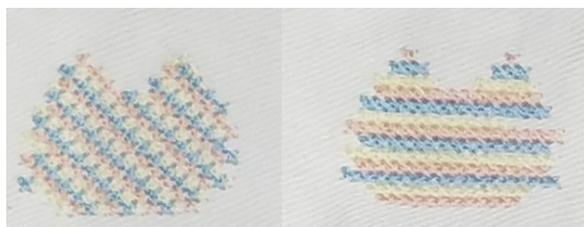


図 3 混色表現の実験。赤／青／緑の 3 色の色を交互にクロスステッチで刺繍した例。左：斜めストライプ、右：横ストライプ。

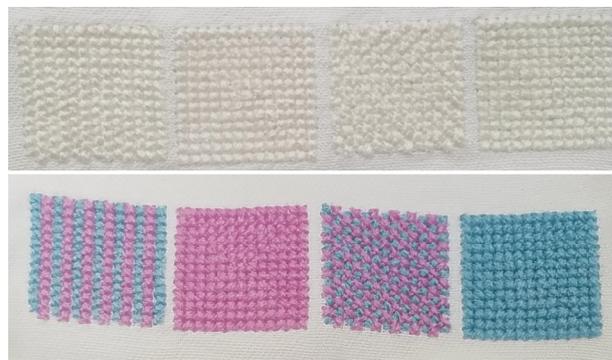


図 4 2 色の混色例。上：紫外線照射前、下：紫外線照射後。左から縦ストライプ、ピンク単色、斜めストライプ、青単色。縫い設定はクロスステッチ。

[a] <https://angelking.co.jp/SHOP/wagon-uv-thread.html>

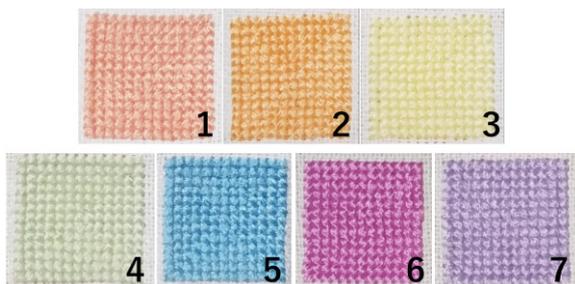


図5 単色の一覧. 1:赤, 2:オレンジ, 3:黄, 4:緑, 5:青, 6:ピンク, 7:紫

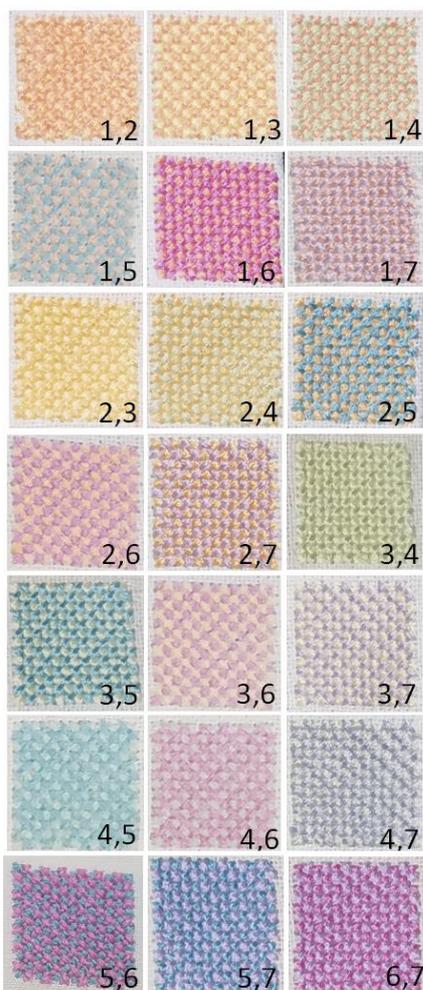


図6 2色の混色一覧. 数字は図5の各色に対応.



図7 UVライト(左)と紫外線照射機(右)

4.2 色の応答性の検証

照射する紫外線量による「色の変化量」と「色変化の継続時間」に違いがあるのか、紫外線の波長によって「色の感度」に差があるのかについて検証する。本検証では、紫外線照射機（永光株式会社, EKO-UV36W）と手持ち UV ライト（Vansky 51LED）を使用した（図7）。

4.2.1 色の変化量

色の変化量の検証について述べる。紫外線照射機では電源を入れ、5秒後に取り出した。手持ちライトは紫外線照射機内の光源と同じ高さから動かさず、5秒間照射した。結果を図8に示す。紫外線照射機では刺繍全体の色が均一に変化したのに対し（図8左）、手持ちライトでは色にむらがあった（図8右）。手持ちライトの紫外線照射量が多い場所は濃い色の変化、少ない場所は薄い色の変化となった。手持ちライトを動かすことで全体的に色が変わることを確認できたが、紫外線照射機に比べて若干の色むらが残った。このことから紫外線の当て方によって色の変化量が変わり、部分的な変化のさせ方もできることが分かった。



図8 紫外線照射機にあてたもの(左)と手持ちUVライトであてたもの(右). 照射時間は5秒.

4.2.2 色変化の継続時間

次に、紫外線を照射した後の色変化の継続時間を調査した。今回は紫外線照射機のみを使用し、紫外線を照射した後10分間、色の変化を動画で撮影した。撮影した動画を実験者が目視で観察し、1分毎の色の変化量を記録した。紫外線を照射する時間は5分、15分、30分、90分の4パターン用意した。

図9は、5分間照射した直後の変化量を100%として、1分毎の変化量を折れ線グラフで表している。いずれも1分後に20~30%程度下がり、3分後には40%以下になり、10分後には完全に色が消えた。また、照射時間5分が最も色が大きく変化し、それより長い時間照射すると、照射直後の色が薄い結果となった。図10に、照射直後（図9における経過時間0分時点）の写真を示す。長時間紫外線を照射した場合、照射直後にもかかわらず、色の変化が5分照射したときよりも小さくなっていることがわかった。

4.2.3 波長による色の感度

次に、波長によって色の感度に差があるのかを検証した。実験に使用した紫外線照射機の波長は365nm、手持ちUVライトは395nmであった。それぞれをUV刺繍糸7色に照

射し、比較した。結果を図 11 と図 12 に示す。図 11 を見ると青／ピンク／紫の UV 刺繍糸はほぼ違いがない。一方、図 12 を見ると、赤／オレンジ／黄／緑の UV 刺繍糸では、紫外線照射機と手持ち UV ライトで色の変化に違いがあることがわかる。このことから、光源の波長によって糸の色感度に差があることが推察される。原理や法則を引き続き調査したい。

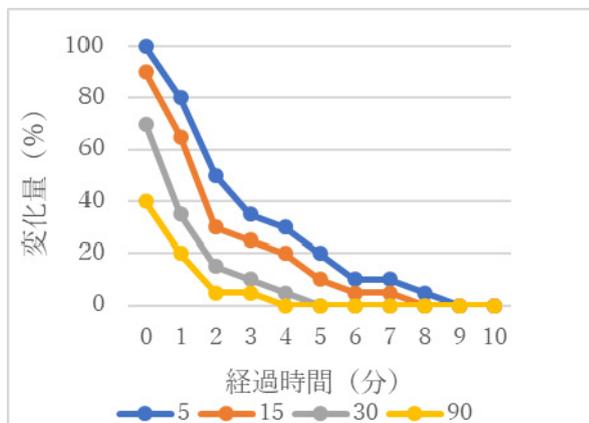


図 9 紫外線照射後 10 分間の、色の変化量の推移。縦軸の変化量は実験者がビデオから目視で観察し、最も色の濃い状態を 100% としてプロットした。

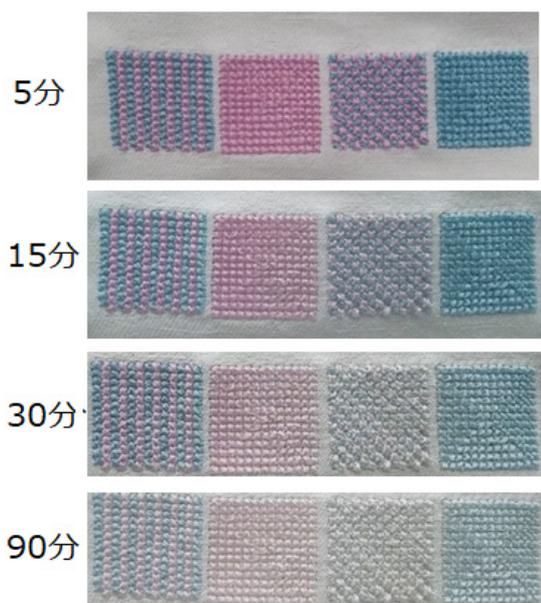


図 10 紫外線照射直後の色の変化量。左の時間は、紫外線を照射した時間を表す。

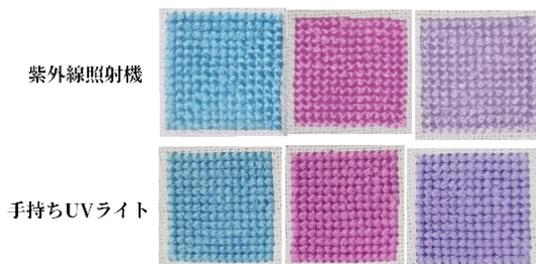


図 11 紫外線の波長による色変化の比較結果 (違い無し)。UV 刺繍糸の色は左から、青、ピンク、紫。



図 12 紫外線の波長による色変化の比較結果 (違い有り)。UV 刺繍糸の色は左から、赤、オレンジ、黄、緑。

5. ChromicCanvas

本研究では、UV 刺繍糸と CNC ミシンを活用したインタラクティブキャンバス「ChromicCanvas」を提案する。コンセプトは (1) 多様な色表現ができ、(2) UV ライト等を拡張した柔軟な描画ができる点である。

(1) は、UV 刺繍糸の基本色を複数組み合わせることで色を混合させる (図 1 上)。また、4.2.3 で述べた紫外線ライトの波長による発色感度の違いを活用した色表現の導入も検討する。

(2) は、UV ライト等の紫外線を照射する機材を拡張した柔軟な描画方法を実装する。今回は、紫色レーザーポインタを用いる手法と、独自の UV スタンプライトを用いる手法を提案する。それぞれの詳細は後述する。

なお、ChromicCanvas は使用している UV 刺繍糸の性質上、時間経過とともに色が薄れて概ね 5 分程度で描画内容が消えてしまう。これは制約条件でもあるが、一定時間で消える特徴を生かして何度も描画を繰り返したり、時間制限付きの情報情報提示等に活用できる可能性があると考えられる。

5.1 実装

ChromicCanvas は、UV 刺繍糸で作成したキャンバスと、紫外線照射デバイスで構成される。キャンバスは、ブラザーの業務用刺繍ミシン PR655 を用いて、一辺 7cm の正方形を白い布に刺繍して作成した。色はピンク単色と 7 色の混色を用意した。ピンク単色はより布に近い仕上がりにできる「たたみぬい」の縫い設定で作成した。7 色の混色は 4 章の知見を踏まえ、「クロスステッチ」の縫い設定、幅 1.5mm の「斜めストライプ」の縫いパターンで作成した (図 1 右下)。

紫外線照射デバイスは、紫色レーザーポインタ (図 13) と独自の UV スタンプライト (図 16) を使用した。それぞれの特徴や作例を述べる。

5.1.1 紫色レーザーポインタを用いた自由線画

紫色レーザーポインタ (HTPOW Ltd, 波長 405nm) を用いることで、紙にペンで書くように、キャンバスに対して自由に線を描画できる。ボタンを押し続けながらレーザーをキャンバスに照射し動かすと、照射された場所が発色し、レーザーの軌跡が線として描かれる (図 14)。色の濃淡は、

レーザーポインタを動かす速さに依存する。素早く動かすと薄い色で（図 15 左）、ゆっくり動かすと濃い色で描画される（図 15 右）。



図 13 紫色レーザーポインタ。



図 14 レーザーポインタでキャンバスに描画する一連の動作。描画開始時点でレーザー照射を開始し、照射したまま動かすとレーザーの軌跡が発色し、線画となる。



図 15 レーザーポインタによる描画例。素早く動かすと薄い色で（左）、ゆっくり動かすと濃い色で（右）描画される。なお、濃い色（右）を先に描画した。

5.1.2 UV スタンプライトを用いたスタンプ式描画

手持ちの UV ライト（図 7 左）を拡張して、UV スタンプライトを試作した（図 16）。UV スタンプライトをキャンバスに当てて押し込むと、紫外線が照射される。ライト照射部に取り付けたスタンプ型（図 17）によって紫外線の一部が遮られ、型の穴の部分からのみキャンバスに紫外線が照射される。これにより、多様な形状のスタンプをキャンバス上に描画することができる。図 18 にスタンプを押す一連の動作を、図 19 にスタンプを押した作例を示す。

UV スタンプライトは UV ライトに大きく分けて二つのパーツを取り付けて実現している。まず、ライト全体を押し込むことで紫外線を照射する機構である。UV ライトの電池を入れる裏蓋には、蓋を締め込んだ時に電池を押さえるための大型のバネがついている。この裏蓋を取り外して

自作パーツで周囲から支えることで、通常時はバネと電池が接触せず、ライト全体を押し込んだ時だけ両者が接触して UV ライトが点灯する仕組みを実現した。

次に、UV ライト照射部に取り付けるスタンプ型用ホルダーである（図 16 の白いリング状の部品）。UV ライト照射部にはもともと数 mm 程度の窪みがあり、ここに円形のスタンプ型（図 17）をはめ込んだうえで、上から抑えるように固定する。ホルダーはフレキシブルフィラメントを用いて造形することでゴムのような柔軟性を持っており、ライトへの着脱やスタンプ型の取り換え作業が容易になるよう配慮した。さらに、スタンプ型が回転しないように抑える切り溝や、押し込んだ際に光が漏れるような窓を設けるなど工夫した。スタンプ型は、今回は 2mm 厚の黒いアクリル板を、レーザーカッターを使って切り出した。型を交換することで、任意の模様のスタンプを何度でもキャンバス上に描画することができる。



図 16 UV スタンプライトのプロトタイプ。



図 17 スタンプ型の一例。レーザーカッターで黒いアクリルを切り出した。



図 18 スタンプ描画の一連の動作。UV スタンプライトをキャンバスに押し付け（図左）、持ち手を押下して最後まで押し込む（図中）。UV ライトを離すと、型の穴の形に発色した絵が残りスタンプ完成（図右）。



図 19 キャンバスに各 5 秒程度スタンプした一例。

6. まとめと今後の展望

本研究では、UV 刺繍糸と CNC ミシンを用いて、多様な色や描画パターンを表現できるインタラクティブキャンバス ChromicCanvas を提案した。UV 刺繍糸を使って CNC ミシンで高密度に刺繍してキャンバスを作成した。キャンバスは、基本色 7 種の単色だけでなく、2 色を組み合わせで刺繍することで混色表現ができることも確認した。また、照射する紫外線の波長違いによる色感度の特徴等を検証／整理した。試作したキャンバスは、紫外線のあて方によって多彩な表現ができることを確認した。具体的には、紫色レーザーポインタで自由に線画を描くことができ、試作した UV スタンプライトを用いることで、スタンプ型に応じた任意の模様を簡単に描くことができる。以上のように、UV 刺繍糸単体では表現が難しかった、多彩な色表現と描画パターンの変更を実現した。

今後は、紫外線の波長違いによる色変化の傾向を使って、特定のライトでのみ発色するキャンバスの実装等、本手法独自の表現手法を模索したい。また、特定の光を当てることで無色になるまでの時間が短縮される現象を確認しており、この原理やルールを調査し本手法に取り入れたい。

謝辞 実装や技術のアドバイスを頂いた、はこだて未来大教務課工房管理担当の西野 由希子氏、および、特任研究員の新山 大翔氏に感謝する。

参考文献

- [1] 野田聡人,篠田裕之.生体計測のための導電布を用いたウェアラブルセンサネットワーク, 電子情報通信学会通信ソサイエティ (IEICE) ,2018,76-77
- [2] 岡崎桃子,中垣拳,笈康明.感温変色素材を用いた編み物の提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集,2014,1-6
- [3] Parinya Punpongsanon, Xin Wen, David S. Kim, Stefanie Mueller. ColorMod: Recoloring 3D Printed Objects using Photochromic Inks,CHI2018,2018, DOI: 10.1145/3173574.3173787
- [4] 海宝竜也,脇田玲,Origamic I/O device:機能性インクを用いた色彩制御可能な折り紙,研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) ,2014,76,1-6
- [5] 岡本泰子.刺繍ミシンを使用した造形表現,文化学園大学紀要,2016,47,47-52
- [6] 色が変わる分子〜クロミック分子〜.
<https://www.chem-station.com/blog/2005/05/chromotropism.html>
(参照 2018-12-23).