

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試作と評価

沖 真帆¹ 若本 麻央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器を組み合わせることで、こうした問題点を解消した柔軟な表現手法を目指す。本稿では、UV 刺繍糸を用いて多様な色／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と描画デバイスを提案し、その試作と基礎性能評価について述べる。

キーワード: クロミック素材, フォトクロミック, 紫外線, 刺繍ミシン, キャンバス, 表現, 色

ChromicCanvas: interactive canvas using chromic fiber

MAHO OKI^{†1} MAO WAKAMOTO^{†1} KOJI TSUKADA^{†1}

1. はじめに

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。一方、従来の E-textile 研究の多くは、導電糸等を用いた繊維の電気的特性に注目したものである[1,2,3]。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、こうした問題点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予備的な試作検証結果について述べた後、UV 刺繍糸と CNC ミシンで

作成するキャンバスおよび描画デバイスについて紹介する。また、試作した ChromicCanvas を用いて基礎性能の検証を行い、これらの知見をもとに議論する。



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。

2. 関連研究

「クロミック素材を用いたインタラクション手法」および「クロミック素材を用いた印刷技術」に関する関連研究を紹介する。

2.1 クロミック素材を用いたインタラクション手法

加熱により色が変わる素材を用いて、インタラクティブに作品の色を制御するシステムが提案されている。岡崎ら[4]は、一定以上の温度を加えると変色したまま色が固定される「メタモインキ」で染めた毛糸を用いて、任意の箇所の変色を制御しながら編み物ができる手法を提案した。

^{†1} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

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、毛糸の色を変化させている。海宝ら[5]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、折り紙の色彩を制御する手法を提案した。別途用意したタッチセンサの入力によって、折紙作品の色変化を開始させる。

本研究では、紫外線光により色が変わる UV 刺繍糸を用いて布のキャンバスを作成し、入力デバイスと併せた柔軟な描画や表現を目指す。

2.2 クロミック素材を用いた印刷技術

熱や光により色が変わる素材を使った印刷技術／情報提示手法について紹介する。

Shader Printer[6]は、サーモクロミックインクを塗布した素材にレーザー光を照射することで、熱により任意箇所の色を変化させて模様等を印刷することができる。羽田ら[7]は液晶インクで染色された繊維と電子部品に接続された導電性糸を正方形の織物に織り込んだ Fabcell を提案した。電性糸に電圧を印加し、布地の温度を変えることによって布地表面を任意の色に変更でき、アンビエントディスプレイへの活用を目的としている。

フォトクロミック化合物を塗布したオブジェクトに紫外線と特定波長の可視光を照射することで、対象を任意の色／模様を描き換える手法が提案されている。平野ら[8]はカラーポジフィルムと蛍光灯を使って、平面フィルム上にフルカラー印刷を行うリライタブルメディアを開発した。ColorMod[9]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ックスパターンを印刷し、造形後に特定の波長光をプロジェクタで照射することで、後から造形物の色や模様を変更することができる。Photo-Chromeleon[10]は、3D プリントした自由形状の立体物の表面にクロミック化合物を塗布した後、特定の波長光をプロジェクタで照射することで後から造形物の色や模様を変更可能であり、ColorMod よりも高解像度／多色に対応できる。

これらの研究ではクロミックインクを塗布する作業が前提となっているため、化合物の配合／塗布等の専門性が製作者に求められ、手間もかかる。本研究では、ユーザはデータを用意すれば CNC ミシンが自動で刺繍を行うため、比較的手軽にキャンバスを構築できる。また、スタンプライトやペン型デバイスにより、ユーザは文具を使うような手軽さでインタラクティブにキャンバスへ描画を行うことができる。

3. クロミック素材の検討と予備的な試作検証

3.1 クロミック素材の種類および素材の検討

本研究で使用するクロミック素材の種類について述べる。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」、電気でも

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[12]。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。E-Textile に応用するため、糸や布等の形状の製品を調査した結果、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マシン「PR655」(以下 CNC ミシン)で利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。

3.2 基礎的な試作・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、「色の表現力」と「色の応答性」に関する基礎的な試作検証を行った[13]。ここでは、本稿に関連のある結果の概略を述べる。

3.2.1 色の表現力

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調査した。刺繍マシンの専用ソフト上で設定する刺繍の縫い方である「縫い設定」と、データ上の色の配置や模様である「縫いパターン」を複数検討した。その結果、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(図 3)。また、単色 7 種(図 4 左の 1~7)、2 色を混ぜた混色 21 種(図 4 右)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 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> (2019/11 参照)



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



図 5 UV ライト (左) と紫外線照射機 (右)

	差なし	差あり
紫外線照射機		
UV ライト		

図 6 紫外線の波長による色変化の比較結果. UV 刺繍糸の色は左から, 青, ピンク, 紫, 赤, オレンジ, 黄, 緑.

3.2.2 色の応答性

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した. 検証には, 紫外線照射機 (永光株式会社, EKO-UV36W, 365nm) と手持ち UV ライト (Vansky 51LED, 395nm) を使用した (図 5).

色の変化量については, 単色の刺繍に対して UV ライトと紫外線照射機によりそれぞれ 5 秒間紫外線を照射したときの見え方を観察した. 手持ちライトは, 動かすことで全体的に色に変化することを確認できたが多少の色むらがあり, 紫外線照射機は刺繍全体の色が均一に変化した. 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ができることが分かった.

色変化の継続時間については, 紫外線照射機を使って発色させた後から白色に戻るまでの変化を動画で撮影し観察した. 5 分間照射した直後の変化量を 100%とすると, 照射から 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, 長時間紫外線を照射する (15~90 分) すると, 直後の発色が薄くなる傾向があった.

紫外線の波長による色感度については, UV 刺繍糸 7 色を単色で刺繍した布に対し, UV ライト (波長 395nm) / 紫外線照射機 (波長 365nm) で紫外線を照射し変化を観察した. その結果, 青/ピンク/紫の UV 刺繍糸はほぼ違いがでなかったが, 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った (図 6). 特に, 赤と緑の UV 刺繍糸の色味が変化していた. 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.

4. 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. また, 3.2.2 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, 独自の UV スタンプライトを用いる手法, 独自の紫外線 LED ペン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提示等に活用できる可能性があると考え.

以下, 実装と応用例について述べる.

4.1 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。ここでは、「キャンバス」、および「紫色レーザーポインタ」、「UV スタンプライト」、「UV ペン」という 3 つの描画デバイスの実装について紹介する。

4.1.1 キャンバス

キャンバスは、ブラザーの業務用刺繍ミシン PR655 を用いて白い布に刺繍して、単色キャンバスと複数色キャンバスを作成した。

単色キャンバスは、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。たたみぬいでは、ミシンの上糸と下糸に UV 刺繍糸を使うことにより、布の両面にキャンバスを作成できる。そこで、今回は表と裏で色が異なる 18cm×13cm サイズの単色両面キャンバスとして作成した (図 7)。

複数色キャンバスは、幅 1.5mm の斜めストライプの縫いパターン、クロスステッチの縫い設定にて、布の片面に刺繍した。7 色全色を 7cm 四方サイズで、予備実験でライトの違いにより発色に差があった 4 色を 4.8cm 四方サイズで作成した。図 8 に 7 色のキャンバス、図 9 に 4 色のキャンバスを示す。



図 7 単色キャンバスの一例。上糸が緑、下糸がピンク。

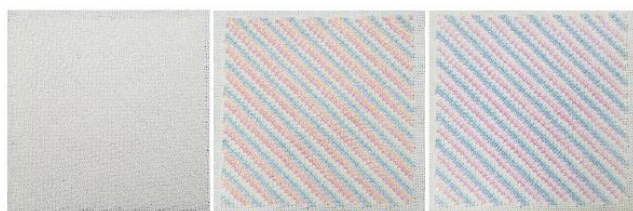


図 8 7 色のキャンバス。左から紫外線照射前、紫外線照射機で照射したもの、手持ちライトで照射したもの。

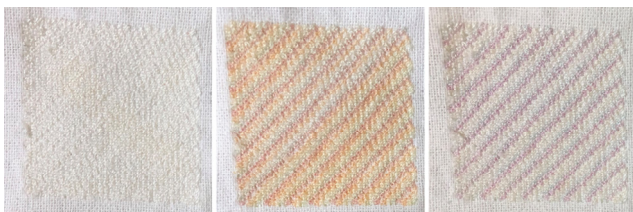


図 9 4 色のキャンバス。左から紫外線照射前、紫外線照射機で照射したもの、手持ちライトで照射したもの。

4.1.2 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 10)。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 11 左)、ゆっくり動かすと濃い色で描画される (図 11 右)。



図 10 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 11 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。

4.1.3 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 5 左) を拡張して、スタンプ型の入力装置 (以下、UV スタンプライト) を試作した (図 12)。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 13) 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 14 にスタンプを押す一連の動作を、図 15 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。

一つ目が、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。

二つ目が、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 12 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 13）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 12 UV スタンプライトのプロトタイプ（左），スタンプ型の一例（右）．



図 14 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 15 キャンバスに各 5 秒程度スタンプした一例．



図 16 UV ペンのプロトタイプ外観．ペンの背にあるスライドスイッチで 2 種類の波長の紫外線 LED を切り替える．

4.1.4 波長を切り替え可能な自由線画と色表現

波長の異なる 2 つの紫外線 LED を切り替えて利用できる独自のペン型デバイス（以下，UV ペン）を作成した（図 16）．紫色レーザーポインタを用いた自由線画と同様に，キャンバス上に自由に線を描画できる．異なる紫外線 LED を使い分けることで，キャンバス上で発色する色味の制御を狙う．2 種類の紫外線 LED をペン先としてセットすることができ，ペンの背にあるスライドスイッチによって用いる LED を切り替える．ペン中央下部にあるスイッチを押している間のみ，LED が点灯するよう作成した．電圧は 4.5V（1.5V のボタン電池を 3 つ使用），紫外線 LED は波長の異なる 4 種類（375nm: OSV2YL5111A, 385nm: OSV3SL5111A, 405nm: OSSV5131A, 415nm: OSV6YL5111A）を用いた．UV ペンによる描画例は 5 章で記述する．

4.2 応用例

日用品にキャンバスを組み込んだ応用例について紹介する．UV 刺繍糸で単色キャンバスをトートバッグ／T シャツに対して刺繍した一例を，図 17 に示す．模様毎に異なる色の UV 刺繍糸が用いられており，UV ペンや UV スタンプライトを使ってユーザが好みの刺繍のみを着色したり，模様を付けたりしてデザインを変更することができる．



図 17 日用品に組み込んだ応用例．

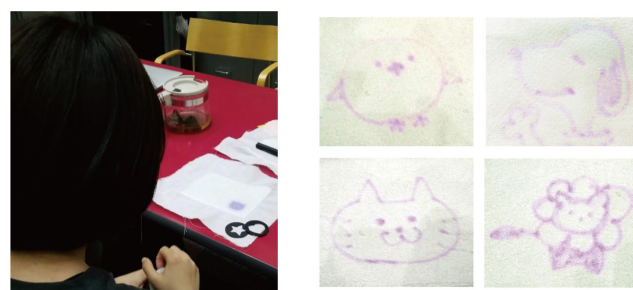


図 18 体験会にてスタンプ型を交換している様子（左），レーザーポインタを使ってユーザが描画した作品例（右）．

5. 基礎性能の検証

試作したキャンバス／描画デバイスの基礎的性能を確認するための実験を行った。まず、小規模な体験会にて ChromicCanvas の使い勝手や印象について調査した。次に、環境温度がキャンバスの色持続時間に及ぼす影響を調査した。最後に、UV ペンとキャンバスの組み合わせにおける色感度の特性を調査した。

5.1 体験会における簡易的な印象評価

単色キャンバスと紫色レーザーポインタ／UV スタンプライトを用いた小規模な体験会を行い、キャンバスの表現の印象や描画デバイスの使い勝手について、被験者へのアンケート／観察により調査した。

5.1.1 手法

実験者 1 名が被験者に UV スタンプライトの使い方を口頭で教示し、被験者は練習なしでスタンプ型を変えながら 10 回程度キャンバスに描画する。次に、レーザーポインタでの描画方法について実験者が被験者に口頭で教示し、こちらは練習をしてから、自由描画による作品を描く。その後、アンケートに記入を行う。被験者は 21 から 22 歳の 10 名（内、女性 4 名）を採用する。なお、実験の様子は動画で撮影し、ユーザが各作業にかかった時間や、実際に描画内容が消える時間、ユーザの様子などを観察した。

5.1.2 結果

UV スタンプライトの「押しやすさ」とスタンプ型の「変えやすさ」について 5 段階評価で評価してもらった結果、前者平均 4、後者は平均が 2.8 となった。自由記述ではふたが少し硬い、取りにくいという回答が見られた。

レーザーポインタを用いた自由線画については、「線の書きやすさ」、「線画の自由度」について 5 段階評価で評価してもらった。それぞれ、平均 4.3、4.3 の結果だった。自由記述では「細い線もかけるようにしてほしい」、「思っていたよりも色が消えるのが早い」という回答が見られた。図 18 に、体験会の様子とレーザーポインタを使った作例を示す。

「利用できそうな例、場所」を尋ねる質問項目では、「ワッペン」、「子供の遊び場」、「学校」などが挙げられた。「描画中に色が消える現象についての所感」を尋ねる質問項目では、「単純な絵なら支障なし」、「様々な色の濃さを表現できる」といった回答があった。

実験中によく見られた反応として、デバイスによって

キャンバスが突然色づいた際に、「おー！」「すごい！」といった驚いた反応が良く見られた。また、実験終了後は自由に絵をかいたり、実験中にはかかなかったような複雑な絵に挑戦したりしている様子も見られた。

5.2 環境温度とキャンバスの色持続時間の関係調査

3.2.2 の予備検証で述べたように、紫外線照射機で長時間照射（15～90 分）すると直後の発色が薄くなる傾向があった。このとき布が熱を帯びていたことから、我々は温度が発色に影響するのではないかと考えた。そこで、発色したキャンバスを異なる温度下に置いた場合の色の持続時間を調査した。

5.2.1 手法

温度以外の条件が一定になるよう、次のような環境で実験を実施する。小型の冷温庫（BESTEK, BTRC10-JP, 10L サイズ）の庫内上部に、ライト（ENEVU キューブ, 100 lm）とカメラ（GoPro HERO Session）を設置し、庫内下部に置いたキャンバスの色変化の様子を 30 分間撮影する。キャンバスは青色単色を用い、紫外線照射機で 30 秒間紫外線を照射し発色させてから冷温庫に入れた。温度は、10.3℃と 20.9℃の 2 条件で実施した。

5.2.2 結果

キャンバスの時間経過に伴う色変化の結果を、図 19 に示す。図上が 10.3℃、図下が 20.9℃の温度下における動画のキャプチャ画像である。キャンバスを庫内に入れた後の 10 分間の変化を比較しやすいよう、キャンバスの同領域を 1 分毎にクロップして時系列順に並べた。

10.3℃では 10 分経過後も青い発色しており、30 分後でもかなり薄れているものの青みが残っている。これに対し 20.9℃では、5 分後には大きく退色しており、10 分後には完全に色が消えている。

5.3 UV 波長による色感度調査

予備検証にて、紫外線照射機と UV ライトでは発色の色感度に違いがあった（図 6）。この特性を自由線画に取り入れられないかと考え、UV ペンを用いて紫外線 LED の波長の違いによる色感度を比較した。

5.3.1 手法

UV ペンでキャンバスの上に、5cm 程度を 6～7 秒かけて線を描く。この作業を単色キャンバス（青、ピンク、緑）と複色色キャンバス（7 色、4 色）に対し、4 種類の波長の

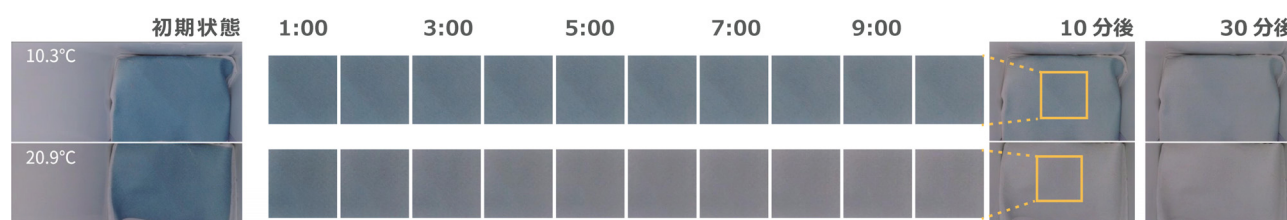


図 19 異なる環境温度下におけるキャンバスの色持続時間の比較。

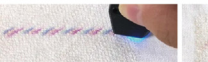
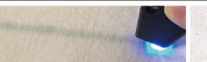
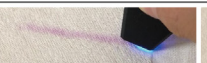
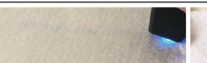
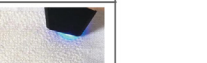
	青単色	ピンク単色	緑単色	7色	4色
375nm					
385nm					
405nm					
415nm					

図 20 紫外線 LED の波長の違いによるキャンパスの色感度の比較。

紫外線 LED (375, 385, 405, 415nm を 2 本の UV ペンに装着) で実施した。温度は 20.5~21℃, 蛍光灯が点いた室内で実施し, 実験の様子は動画で撮影して実験後に動画から色感度を比較する。

5.3.2 結果

紫外線 LED の波長の違いによって, 色感度に差があった。UV ペンで描画した直後の線を図 20 に示す。

まず, 色味について述べる。青とピンクの単色キャンパスでは, LED の波長が異なっても線の色味に差はなかった。緑単色キャンパスでは, 波長が 375nm のときは緑色, 385nm のときは青に近い緑色, 405nm と 415nm のときは水色の線となった。7 色キャンパスでは, 375nm と 385nm のときにピンクと青の強いストライプ状の線となり, 405nm と 415nm ではピンクが薄くなったため全体としては寒色系のストライプの線に見える。4 色キャンパスでは, 375nm と 385nm のときにオレンジ／赤／緑が色づいた線になったが, 405nm と 415nm では線を目視で確認できなかった。

線の色の濃さについては, すべてのキャンパスで 375nm と 385nm の時に濃く, 405nm と 415nm で薄くなった。4 色キャンパスについては前述の通り, 目視で線を確認できないほど薄い結果となった。

また, 7 色／4 色キャンパスに含まれている黄色の UV 刺繍糸については, 目視で確認することが難しかった。

6. 議論

本章では, 「キャンパスの発色の持続時間」「消しゴムツール」「濃淡／色味の制御」「応用例」について議論する。

6.1 キャンパスの発色の持続時間

5.2 の実験結果より, 温度が低い方が発色の持続時間が長かった。このことから, システムで温度制御を行うことにより, 描画の持続時間を制御できる可能性が示唆される。たとえば, キャンパスの裏側にペルチェ素子を密着させるように設置しキャンパスを冷却／加熱する方法が考えられる。キャンパスを冷却した際は発色の持続時間が延び, 加熱した際はキャンパス全体を白色に戻すまでの時間を短縮できる可能性がある。キャンパスの温度制御システムの試作検証を, 今後検討したい。

5.1 の体験会では, 描画中に色が消える現象について「単純な絵なら支障なし」, 「様々な色の濃さを表現できる」という回答を得た。また, 実験終了後に自由に絵をかいたり複雑な絵に挑戦したりしている様子も見られた。このことから, 時間経過に伴い色が消える現象を, 濃淡表現への利用や表現の試行錯誤に活用できる可能性が示唆される。今回の体験会では UV スタンプと紫色レーザーポインタを個別に利用してもらったが, 複数の描画デバイスを混ぜて使ってもらった場合の表現やフィードバックについても, 今後調査したい。一方で, 「思っていたよりも色が消えるのが早い」という意見もあった。前述したキャンパスの温度制御方法により発色の持続時間を制御することができれば, ユーザの描画を阻害しないよう調整できる可能性があると考ええる。

6.2 消しゴムツール

試作したキャンパスと描画デバイスによる描画は, 時間経過と共に一様に色が消えてゆく。しかし, 文字や絵を描く場合, 描画したものの一部を消したい状況がある。そこで, ChromicCanvas における消しゴムツールの実装について検討したい。現時点では, 熱や可視光によってキャンパスの一部の色を消すことができないか, 検証を進めている [b]。図 21 左は, 発色させた単色キャンパス (ピンク) に白熱電球を押し当てた直後の様子である。図 21 右は, 発色させた単色キャンパス (紫) に, 中温設定のアイロンを 1 秒程度押し当てた様子である。どちらも押し当てた部分のみの色が消えていることがわかる。この現象を利用した消しゴムツールの実装を試みたい。たとえば, 小型ペルチェ素子や導電糸を先端に取り付けたペン型デバイスを作成し, 発熱の有無をマイコンから制御する等の手法を検討している。

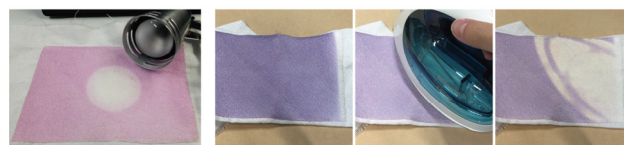


図 21 光／熱による消色の検証例。熱された部分のみの色が消えた。

[b] フォトクロミック化合物は, 光照射のみで着色／消色を行き来する P-type と, 光以外にも熱の作用でも消色される T-type に分類される [14]。

6.3 濃淡／色味の制御

UV ペンによる色感度の実験を行った結果、波長の異なる LED によって緑キャンバスは緑／水色、4 色のキャンバスは暖色系の 4 色 (3 色) / 無色を切り替えることができ、これは予備調査の結果と類似する (図 6)。キャンバス全体では、同じ描画速度でも、375, 385nm の LED では色が濃く、405, 415nm の LED で色が薄くなる現象があった。こういった特性を用いて、描画色や濃淡を切りえる機能の実装を検討したい。しかし、そのためにはいくつかの課題が残る。

一つ目は、青やピンクの糸が、4 色や緑の糸よりも濃く発色する点である。図 20 の 7 色のキャンバスでわかるように、青やピンクが強く出ているため他の 5 色を視認することが難しい。また、実験は遅い描画速度条件 (5cm 程度を 6~7 秒) で行ったが、実際の描画ではもう少し早い速度で描画できる方が望ましい。しかし、現状の 4 色／緑キャンバスでは、早く描くと目視できない可能性がある。こういった対策として、紫外線の強度を加味したデバイスの改良／検証を行い、濃淡／色味の制御を試みたいと考えている。

二つ目は、糸の色によって色の持続時間が異なる点である。正確な検証は行えていないが、青よりもピンクの方がはやく色が薄くなり、4 色／緑キャンバスはさらに早く色が消える傾向がみられた。LED の照射時間、発色時の濃淡、色の持続時間についても、条件を統制した特性調査を行いたい。

6.4 応用例

4.2 で日用品への応用例を紹介したが、議論で述べたツールの実装や濃淡／色味の制御ができれば、日常生活に馴染みつつより実践的な応用例を作成できると考える。たとえば、自動で消えるサインボードとして使用し UV ペンでの描画をカメラで撮影し続けたり、UV スタンプを屋内用スリッパに拡張して、キャンバス (マット) の上を歩くと様々な形状／色の足跡が描いたりといった例を考えている。消しゴムツールが機能すれば、全体が発色したキャンバスに対し白線で描画できる可能性もある。素材感やインタラクティブ性、時間経過に伴う自動消色といった本システムの特徴を生かした応用例を模索したい。

7. まとめと今後の展開

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。糸の基本色 7 種の単色だけでなく、2 色を組み合わせ合わせた混色キャンバスも試作した。また、柔軟な描画を行うためにレーザーポインタを使う自由描画手法や、特定の形を瞬間的にスタンプできる UV スタンプライト、波長の異なる紫外線 LED を使って自由描画ができる UV ペンを提案／実装した。また、これらを用いた基礎性能の検証を行い、知見を元に議論した。

今後は、議論で述べたような ChromicCanvas の応答性拡張に関する調査／実装／検証を行い、本システムの特徴を生かした応用例を模索したい。

謝辞 描画デバイスの実装に協力頂いたはこだて未来大学 特任研究員の新山大翔に感謝する。

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, p.76-77.
- [2] Thorsten Karrer, Moritz Wittenhagen, Leonhard Lichtschlag, Florian Heller, and Jan Borchers. 2011. Pinstripe: eyes-free continuous input on interactive clothing. In Proceedings of CHI '11. 2011, p.1313-1322.
- [3] Yu Enokibori, Akihisa Suzuki, Hirotaka Mizuno, Yuuki Shimakami, and Kenji Mase. 2013. E-textile pressure sensor based on conductive fiber and its structure. In Proceedings of UbiComp '13 Adjunct. 2013, p.207-210.
- [4] 岡崎桃子, 中垣拳, 寛康明. metamoCrochet: 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, p.1-6.
- [5] 海宝章也, 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, p.1-6.
- [6] Daniel Saakes, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, Naoya Koizumi, Ramesh Raskar, "Shader Printer", SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies Article No.18, 2012, p.5-9.
- [7] 羽田久一, 渋谷みどり, 辻航平, 脇田玲: 非発光変色デキスタイルによるアンビエント型ディスプレイの提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 12(1), 2010, p.23-33.
- [8] 平野成伸, 高橋裕幸, 川島伊久衛: フォトクロミック化合物を用いたフルカラーリライタブル表示メディア, Ricoh Technical Report, No. 29, 2013, pp. 79-83.
- [9] Parinya Punpongsanon, Xin Wen, David S. Kim, and Stefanie Mueller. 2018. ColorMod: Recoloring 3D Printed Objects using Photochromic Inks. In Proceedings of CHI '18, 2018, Paper 213, 12 pages.
- [10] Yuhua Jin, Isabel Qamar, Michael Wessely, Aradhana Adhikari, Katarina Bulovic, Parinya Punpongsanon, and Stefanie Mueller. Photo-Chromeleon: Re-Programmable Multi-Color Textures Using Photochromic Dyes. In Proceedings of UIST '19, 2019, p. 701-712.
- [11] 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, 47, 2016, p.47-52.
- [12] 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 2019-11-18).
- [13] 若本麻央, 沖真帆, 塚田浩二, 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, インタラクション 2019 論文集, 1B-45, 2019, p.364-369.
- [14] 横山 泰, クロミズム -外部刺激で物質の色が変わる現象-, 化学と教育, 65 巻, 8 号, 2017, p.400-403.