チューブ状の繊維を使用した色変更が可能な布

十亀 雄太[1,a)]　羽田 久一[1]

概要：人々が服を直用する際，それに応じた目的や他人にどのように知覚されたいかを，意識的に選択をする．しかしながら一日の途中で服を変えることは難しく，ほとんどの場合着替える場所が必要であったり，着替えるための服を持ち歩かなければならないなどの手間がかかる．そこで本研究では，布を形成する繊維にチューブを使い，チューブ内に鮮明な色のインクを流すことによって明確に色を変化させることが可能な布を開発した．

1. はじめに

人は自分のアイデンティティを衣服で表す. 人々が服を着用する際，それに応じた目的や他人にどのように知覚されたいのかを，意識的な選択または無意識的に選択をする. 着用する服を選ぶという行動は，天気や気温などの様々な要因から着用者を保護するための外的状況や，着用者の性格や態度，現在の感情などを表現する内的状況によって左右される．例えば気温が低い日は防音性のある服を，高い日は通気性の良い服を選ぶ．また，気分が良い時や楽しいと感じる場所に行くときは明るく晴れやかな衣服を選ぶことがある．衣服は時と場合に応じた他者との統一感を与える為にも使われる．冠婚葬祭での黒いスーツ，スポーツで敵と味方を区別するためのユニフォーム，ダンスなどで統一感や士気を高めるための衣装など，その使用方法は多岐にわたる．しかしながら一日の途中で服を変えることは難しく，ほとんどの場合着替えるための場所が必要であったり，着替えるための服を持ち歩かないといけないなどの手間がかかる.

衣服を構成する要素として色，形状，マテリアルがある．衣服の形状は周囲にアイデンティティを表現し，着心地にも影響を与える．マテリアルは着心地や外的状況からの保護に関係すると共に，テキスタイルデザインによって色の要素などにも影響を与える．要素の中でも色による知覚は形状やマテリアルよりも認識の優先度が高く，第一印象を与える割合が大きい [1].

近年では電子テキスタイルの研究分野で色や形状を変えることが可能な布の開発が行われている．電子テキスタイルはリアルタイムで着用している服の要素を変更できるため，ファッションとしての衣服のほか，ウェアラブルコンピューティングの分野でのインターフェースとしても注目を集めている．例えば，医療などで，着用者の心拍数などの生体信号を観察する必要がある場合，着用者やその周辺の人にモニターを装着している事を感じさせないようにする為に，電子テキスタイルの使用が提示されている．

電子テキスタイルの主な実装モデルでは，テキスタイルの上に電子機器や回路を縫合して構成されている．しかしながら，着心地や，私生活でも着る事ができるマテリアルの質感を得る為には繊維の基礎的な部分で目的の機能を実装する必要があり，電子テキスタイルの開発における最大の技術的課題となっている．関連研究として後述する Google とカリフォルニア大学の研究チームの研究ではサーモクロミック染料と導電糸を用いる事で毛糸に近いマテリアルを維持しつつ繊維レベルで色を変える事が可能になっているが，それらを使った布では素早く正確に色を変更する事ができず，色も不自由で明確な変化ができない.

そこで本研究では，布を形成する糸にチューブを使い，チューブ内に鮮明な色のインクを流すことによって確実且つ明確に色を変化させることが可能な布の開発を行い，そのためにどのような機構と制御でスムーズな変色が行えるかを調査した.

2. 関連研究

2.1 光学機器を使用したテキスタイル

衣服と LED などの光学機器を用いた研究は以前から数多く行われている．Rein らは LED と導線を光ファイバー内に組み込む事によって衣服に織り込む事ができる繊維を開発した [2]．この研究は布を構成する繊維内に光学機器を搭載する事によってよりテキスタイルベースで機能を与える．この研究では，アパレル用途としてのアプローチの

[1] 東京工科大学メディア学部
[a)] m011621688@edu.teu.ac.jp

© 2019 Information Processing Society of Japan

他，心拍数などの生理的信号を監視するための用途としても提示している．

橋本らの LightCloth[3] では光ファイバーを繊維として使ったテキスタイルの両端に光学センサを取り付ける事により，赤外線を放出するライトペンで触れた部分から色を変えるテキスタイルを開発した．これにより着用者が能動的に選択した部分のみを変色する事が可能であると述べている．

これらの研究においては色相も制限なく明確に変更し，変色するタイミングも正確に行える．しかしながら光学機器を使用し，発光するという実装により，私生活での使用や直射日光下などの明るい場所での使用に制限がある．これに対し本研究では，色を変えるプロセスにインクを用いているので発光することはなく，明るい状況下でも色を認識する事が可能である．

2.2 サーモクロミック塗料と導電糸で構成したテキスタイル

サーモクロミック塗料と導電糸を使って色を変えるテキスタイルは今までにもいくつか研究されている．サーモクロミック塗料はわずかな熱の変化によって色が変わるという特性がある．導電糸に電流を流す事によって発生する熱によって，それを塗装した布の色を変える事を実現されている．渋谷らはニクロム線を編み込んだテキスタイルにサーモクロミック塗料を塗装した布を開発した．さらにその布をマトリックス状に並べる事でディスプレイとしての機能を有する衣服を発表した [4]．

それらの技術を用いて製品として作られた ChroMorphous[5] では，衣服の他にも靴や家具にも応用されている．また，ChroMorphous ではスマートフォンから自らの指定したタイミングで色を変更し，より着用者の気分や状況の変化に対応できる電子テキスタイルとして開発されている．

Google とカリフォルニア大学の研究チームが開発したテキスタイルディスプレイ技術である Ebb[6] は糸ごとにサーモクロミック塗料でコーティングされた導電糸で構成されている．Ebb は糸ごとに導電糸を制御する事ができ，二重織りやかぎ針編みで布を構成する事によって様々な模様を浮き上がらせる事が可能になっている．また，糸ごとにサーモクロミック塗料がコーティングされている為，細かい間隔で様々な色を使用した布を構成する事ができる．

これらの研究はサーモクロミック塗料を使用している関係上，状況により導電糸以外の熱によって不意に色が変化してしまうという不安定性がある．また，色が変わる速度も素早くなく，一度熱を与えて色を変えると，元の色へと戻す為に熱を自然空冷によって冷ます必要がある．色味においても制限があり，明確な色の変化を行う事ができない．

これに対し本研究は，チューブ状の繊維を用いてその中に直接インクを流し込む事によって，周囲に状況に左右されず，明確で素早い色変更を行うのが特徴である．



図 1　本テキスタイルを用いた布を使った衣服とその色の変化

2.3 ディスプレイを用いた服

色や模様を変える事ができる服として，ディスプレイを装着するアプローチも行われている．Chen らの X.POSE[7] ではメッシュ状に構成したフレームにディスプレイを装着する事で，着用者がインターネットで使用するほどに透明になっていく服を開発している．また，近年では柔軟に曲げる事ができるディスプレイの開発も行われており，T シャツや帽子などに使用された製品も一般販売されている [8]．

ディスプレイを使用する事で，色相や模様をほとんど制限なく表す事ができ，尚且つ変色速度も素早く正確に行える．しかしマテリアルとして考えた場合，衣服としての布とは言い難く，着心地や肌触りに制限がある．本研究では日常的に使われる衣服らしいマテリアルを維持しつつ，色を変えることができる布を目指した．

3. チューブ状の繊維を用いた布の提案

布としてのマテリアルを維持しつつ，素早く正確に変色し，明確な色の変化を表す事ができる布を開発する．それにあたって，中心が空洞となっている透明の繊維を使い，中にインクを流す事で色を変える方法を提案する．これにより素早く正確に色が変更でき，変化する色相の制限もない．また，インクを用いる事によって光学機器を用いたテキスタイルと比べて，私生活やフォーマルな場所でも使いやすく，明るい条件下でも色を認識する事ができる．

4. チューブ状の繊維を用いた布の概要

4.1 布の構成の概要

本研究では，チューブを使い布を構成し内部にインクを流す事によって色を変える事ができる衣服を開発した (図 1)．ただし，チューブのみで布を構成すれば，衣服としてのマテリアルの質感を著しく損なう為，チューブの他に毛糸を使用して布を構成した．その結果，私服としても使う

© 2019 Information Processing Society of Japan

事ができる布のマテリアルを維持する事ができる．これによりチューブのみのテキスタイルと比べ，衣服としてのマテリアルの質感を向上させる．視覚した際の布としての質感，および触覚としての肌触りの質感が向上されている．

繊維を布として構成した際の織り方として，平織りを行なった．横糸としてチューブ，縦糸として毛糸を使用した．この手法で行う事により，繊維を可能な限り直線の状態で織る事ができ，インクのスムーズな流れを実現する．また，平織りで布を構成する事によって変色の段階が直線的になり，それにより素早く且つ違和感のない変色を行う事ができる．

中心が空洞の透明のチューブとして，軟質ポリ塩化ビニール (以下，軟質 PVC) の医療用チューブを使用した．軟質 PVC を使用する事により，インクの送入出の圧力に耐え，且つ平織りを行うだけの柔軟さを確保している．また，透明性にも優れており，内部を通るインクの色に対しての視認性も高い．

また，毛糸は無彩色である白色を使用し，チューブの内部に流すインクの色は紫色を選択した．これは各色相で最も彩度が高い純色において，紫の明度が最も低く，白色と合わせた際に視認しやすい色だからである．

チューブを流れるインクの送入出中の分散や他色のインクを同時に使用した場合の混合を防ぐ必要がある．その為，チューブ内のインクが流れていない部分にシリコンオイルを注入し，空気が混入しないよう施した．インクと混ざり合わないシリコンオイルによって，インクと空気，またはインクと他色のインクの境目を隔てる．これにより，より明確な色の変化を実現する．

4.2 インク制御システムの概要

軟質 PVC チューブの中にインクを送出する為に，ディスポシリンジを用いてノズルからチューブへと注入する．ディスポシリンジの制御を行う為に，ステッピングモータを用いた送りねじ式の機構を設計した (図 2)．3D プリンターでブランジャーを固定するテーブルを製作して，ガイドシャフトを通しステッピングモータによって送りねじを制御する．ステッピングモータを用いて制御する事によって，チューブ内にインクを送出するだけでなく，送出したインクを引き戻す事ができる．これによって単発での変色ではなく連続的に色を変える事ができ，インクの注入量を細かく制御する．また，ディスポシリンジを使う事により軽量化を測っており，ウェアラブルな衣服に利用可能な電子テキスタイルとして機能する．

ステッピングモータの制御は，Arduino Uno とモータドライバである A4988 を用いている．

5. 布を構成する手法の比較

チューブを用いた布の構成に置いて，織り方とチューブの材質を比較した．

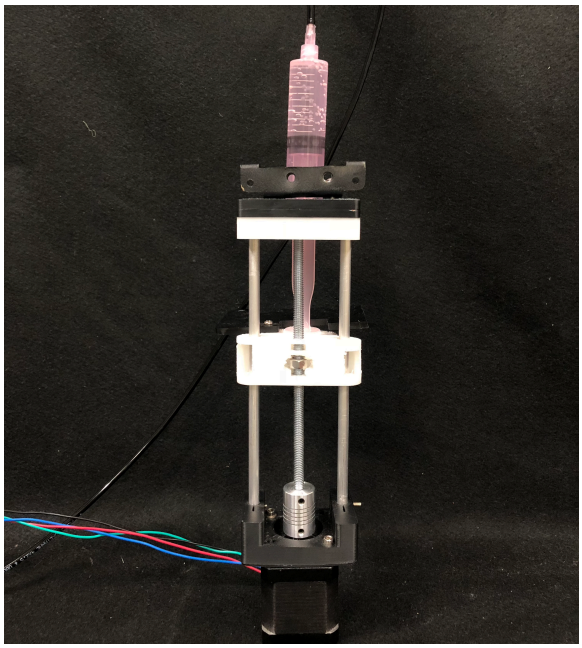


図 2 チューブ内にインクを送出するデバイス

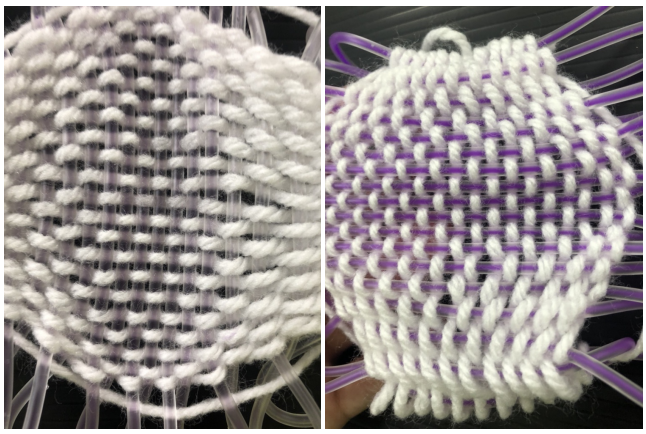


図 3 チューブと毛糸の平編み

5.1 織り方の比較

織り方については，チューブと毛糸の平織り，チューブによる平織り，チューブによるかぎ編み，チューブによる平織りの隙間に毛糸を編んだものの 4 つを比較した．

チューブと毛糸の平織り (図 3) では，横糸にチューブを，縦糸に毛糸を用いた．これによりチューブ鋭く曲げる回数を減らす事ができ，インクをスムーズな流れを確認した．さらには変色途中の段階も下から上に直線状に変化する為，色の変わる様を明確に認識する事が可能となる．

チューブによる平織り (図 4) は色も鮮明に認識でき，布としての柔軟性も十分であった．しかしマテリアルの観点で考慮した際に，肌触りとしては非常に平滑で衣服としては適さない．また，耐久性も脆弱であり，インクを注入した際の水圧に耐えられなかった．

チューブによるかぎ編み (図 5) についても同様に，衣服

© 2019 Information Processing Society of Japan

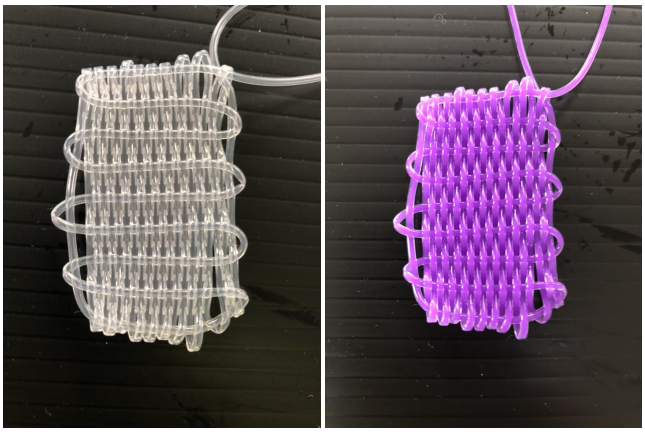


図 4　チューブによる平編み

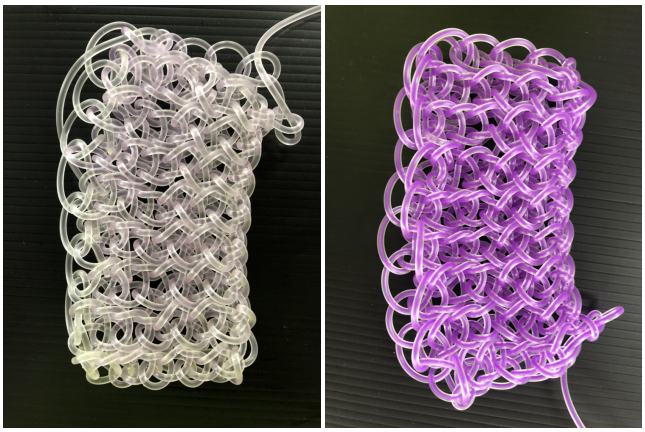


図 5　チューブによるかぎ編み

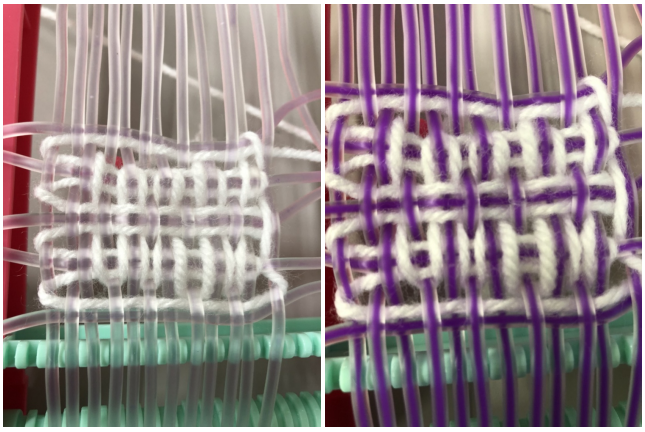


図 6　平織りの隙間に毛糸を編んだもの

の布としてのマテリアルとしては適さなかった．

チューブによる平織りの隙間に毛糸を編んだ構成 (図 6) では，マテリアルとしては衣服への使用に適していたが，縦糸と横糸にチューブを使用している特性上，インクを注入している際の色付く段階が不規則であり，ファッションの観点から動的に考えた際，縦糸と横糸でチューブと毛糸を分別するべきであるという結論に至った．

5.2　チューブの材質の比較

チューブの材質においては，軟質 PVC，シリコン，ポリウレタンの 3 つを比較した．

軟質 PVC は衣服としての柔軟性もあり，内部のインクの色を認識するための十分な透明度がある．また，医療の分野でも使われるように，インクの水圧にも耐えうる耐久性も十分である．

シリコンチューブは非常に柔軟性が高く，細く薄い形状も存在するので色の認識性も問題ない．しかしながら耐久性が低く，インクを注入した際に伸びて膨らんだ状態になる可能性がある．また，シリコンの材質自体は透明性が高くなく，丈夫で太い形状を使用すると色が認識しづらくなる事があった．

ポリウレタンは非常に透明性が高く，衣服として使用するのに問題のない耐久性がある．しかしながら柔軟性が低く，平織りなどで布として織込む事に適していない．

5.3　結果

本研究では，光学装置を使用せず私生活にも使用できるテキスタイルを開発し，色相の制限がなく色を変える事ができる衣服の実現を目的にしている．上記の比較実験の結果において，チューブを繊維として使用した衣服として適している織り方として平織りが挙げられる．チューブの材質においては，耐久性や色の認識において本研究のテキスタイルを構成する目的としては軟質 PVC が挙げられた．

6.　課題と解決策

このテキスタイルの課題として，チューブにインクを送出するためのデバイスが必要になる点が挙げられる．インク送出システムとして現状ではステッピングモータと送りねじ式のシステムを採用している．しかしウェアラブルなテキスタイルとして使用するには重量が重く，衣服に取り付ける為に必要なスペースも大きい．

また，このテキスタイルでは衣服用の布としてのマテリアルを優先し，チューブ状の繊維とともに毛糸を縫合されている．そのために，テキスタイルの全面の色を変える事ができず，毛糸の色に影響を受けるという課題点がある．

デバイスが必要になるという課題の解決策として，このシステム自体の見直しや，より軽量なインク送出デバイスの開発を行う事によって，より私生活に馴染んだウェアラブルテキスタイルとしての使用が期待できる．

チューブ繊維のマテリアルの解決策として，毛糸や織る手法，服用の布としてのマテリアルを有したチューブ繊維の開発が挙げられる．それにより，毛糸の色の影響を受けずより鮮明な色の変化が可能なテキスタイルとして使用できると考えられる．

© 2019 Information Processing Society of Japan

7. 今後の展望

電子テキスタイルはファッションの分野を超え，医療やコンピュータヒューマンインタラクションの分野での研究が行われている．それらの研究の中でも本研究は，より私生活に寄り添ったテキスタイルとして使用する事ができる．

例えば医療の分野においては，病院外の実生活の中で周囲の人々が，健康状態の監視が必要な着用者の生体情報を知るためのモニターとして使用する方法が挙げられる．本テキスタイルは，光学装置を使用しておらず，より通常の衣服に近いマテリアルを有している．そのために着用者やその周囲の人間が，着用者がディスプレイや光学装置を身にまとっている事を気にする必要なく着用者の健康状態をモニタリングする事ができる．

さらに，このテキスタイルはチューブと毛糸の平織りで布を構成している事によって，端から端への直線状の色の変化段階を表せる．この特性を利用すると 0 から 100 までの直線グラフといった直感的に認識できる数値情報も表す事ができる．この特性を利用したウェアラブルインターフェースの例として，時計やスマートフォンを身に着ける事なく時間を知る事ができるマフラーや，ナビを使用中に何度もモニターを確認する必要なく次の曲がり角までの距離を表示する袖を持つシャツなどが挙げられる．サーモクロミック塗料を使用したテキスタイルと比較して，数値情報を安定的に維持したまま表示しつ続けられる長所があるため，様々な情報表示にも役立つと考えられる．

8. おわりに

色を変化する事ができるスマートテキスタイルの実現手法として，チューブ状の繊維にインクを流すシステムの開発と，衣服として違和感を持たせないための布の構成の比較を行なった．本研究で実現したテキスタイルは，光学装置を用いる事なく衣服としての布のマテリアルに適しているため，私生活の中でも周りを気にする事なく身につけられる．表せる色相に制限は無く，色を明確に安定して表現できるので，数値などの繊細な情報の表示を行える．今後様々な形で応用できるテキスタイルだと考えている．

参考文献

[1] Choi, Y., Pan, Y. and Jeung, J.: A Study on the Emotion Expression Using Lights in Apparel Types, *Proceedings of the 9th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '07, New York, NY, USA, ACM, pp. 478–482 (2007).

[2] Rein, M., Favrod, V. D., Hou, C., Khudiyev, T., Stolyarov, A., Cox, J., Chung, C.-C., Chhav, C., Ellis, M., Joannopoulos, J. and Fink, Y.: Diode fibres for fabric-based optical communications, *nature*, No. 560, pp. 214–218 (2018).

[3] Hashimoto, S., Suzuki, R., Kamiyama, Y., Inami, M. and Igarashi, T.: LightCloth: Senseable Illuminating Optical Fiber Cloth for Creating Interactive Surfaces, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 603–606 (2013).

[4] Wakita, A. and Shibutani, M.: Mosaic Textile: Wearable Ambient Display with Non-emissive Color-changing Modules, *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, New York, NY, USA, ACM (2006).

[5] CREOL: ChroMorphous (2018).

[6] Devendorf, L., Lo, J., Howell, N., Lee, J. L., Gong, N.-W., Karagozler, M. E., Fukuhara, S., Poupyrev, I., Paulos, E. and Ryokai, K.: "I Don'T Want to Wear a Screen": Probing Perceptions of and Possibilities for Dynamic Displays on Clothing, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 6028–6039 (2016).

[7] Chen, X. and Oliveira, P. G. C.: X.POSE, (online), available from ⟨http://xc-xd.com/xpose⟩ (2014).

[8] Corporation, R.: Flexible Display, (online), available from ⟨https://www.clearstone.co.jp/magaru55/⟩.

© 2019 Information Processing Society of Japan