Vol.2021-HCI-193 No.15
Vol.2021-EC-60 No.15
2021/6/2

仮面劇のためのプロトタイピングが容易な動的表情拡張手法の提案

増井 元康[1]　竹川 佳成[1]　平田 圭二[1]

概要：本研究では仮面劇のためのプロトタイピングが容易な動的表情拡張手法の提案を目的とする．提案手法は，温度によって変化するサーモクロミックインクを用いる．サーモクロミックインクの下に導電性インクで回路を敷設し電流を流すことで，サーモクロミックインクを変色させる．また，サーモクロミックインクの余熱を利用して，仮面にサーモクロミックインクで描かれた部分の形状が変化したことを装着者が知覚できる機構を提案する．演技中にトラブルなく動作しているか鏡を見ずとも確認しながら演技に集中できる．本研究では，典型的な利用シーンとして学芸会などの演劇を設定し，演者がストーリ中のキャラクタを再現するために仮面を手作りする状況を想定する．そのため，提案手法の有用性を 5 つの観点（安さ，表現の多様性，演技の支援，変化の知覚のしやすさ，変化の制御のしやすさ）から検証した．

キーワード：サーモクロミックインク，電熱回路

1. はじめに

古今東西，仮面は，演劇においてストーリへの没入感を高めるための小道具として使われてきた．その利用範囲は，演劇にとどまらず，儀式・演舞・演奏・ドラマ・映画・プロレス・コスプレなど幅広く使われている．また，顔全体を隠すフルフェイスマスク，顔の一部を隠す仮面など多種多様で，仮面が瞬間的に変わる変面といった中国の伝統芸能もある．厚紙・絵具・ハサミがあれば仮面を作れるため，その制作の手軽さゆえに，幼稚園や小学校において，演劇の小道具としての仮面を子供が自主的に制作することは一般的である．最近では，LED や EL パネルを内蔵した仮面も販売されており表現手段は多様化している．

本研究では，典型的な利用シーンとして学芸会などの演劇を設定し，ストーリ中のキャラクタを再現するために仮面を手作りする状況を想定する．ストーリ中のキャラクタは多種多様であるが，いずれのキャラクタもダイナミックに変化する感情を持ち合わせる場合が多く，キャラクタの外見を模すだけでなく，ストーリ中のキャラクタの感情をいかに再現するかも重要である．感情を伝達する手段として，非言語情報と言語情報がある．Mehrabian [1] は，感情の伝達において言語情報よりも非言語情報の重要性を主張している．非言語情報の中でも表情や身振りといった視覚情報の方が聴覚情報よりも感情の推測において大きな役割を担っている [2][3]．また，表情から喜び・悲しみ・怒り・嫌悪・恐れ・驚きの感情を判断できると言われている [4]．既存の仮面の表情は静的で変化しなかったため，演者は身振りや声のイントネーションなどでキャラクタの感情を表現するしかなく限界があった．制作の手軽さを失わずに動的に仮面の表情を変化させられる仕組みがあれば，演劇における表現力や説得力は高まると考えられる．

そこで，本研究ではプロトタイピングが容易な動的表情拡張手法の提案を目的とする．提案手法は，温度によって変化するサーモクロミックインクを用いる．サーモクロミックインクの下に導電性インクで電熱線を描き電流を流すことで，サーモクロミックインクを変色させる．また，サーモクロミックインクの余熱を利用して仮面上の色が変化したことを装着者が知覚できる機構を提案する．演技中にトラブルなく動作しているか鏡を見ずとも確認しながら演技に集中できる．

本研究の貢献は以下の通りである．

- プロトタイピングの容易さと表現力の拡張を両立させるための手法の提案
- 表情が変化したか装着者自身が知覚できる手法の提案

2. 関連事例

顔全体や顔の一部を変えるシステムやデバイスが提案されてきた．

[1] 公立はこだて未来大学

メディアアートとして，山田太郎プロジェクト *1や，TABLETMAN *2といったタブレット PC を顔に装着する作品がある．山田太郎プロジェクトとは，iPad を用いて街中で人の顔を撮影し，それを自分の顔に投影するという一時的かつ匿名性のある演出である．TABLETMAN は，株式会社東芝が宣伝のために作り出したキャラクタで，光るラインの入った特撮ヒーロのようなスーツに，いくつものタブレット PC を頭部や腕や腹部に搭載している．テレプレゼンスシステムとして，Skype などのビデオ通話や遠隔ユーザの顔を表示する ChameleonMask [5] がある．テレプレゼンスとは，遠隔地のメンバーとその場で対面しているかのような臨場感や存在感を提供する技術である．ChameleonMask では，テレプレゼンスにおいて遠隔ユーザの明確化や身体的存在感を出すために，遠隔ユーザの顔が表示されたディスプレイを代理人が着用する．よって，代理人は遠隔ユーザへの成り代わりが可能となり，遠隔ユーザとその対話者の会話に親近感や臨場感をもたらす効果がある．本研究では仮面の拡張を目指しており，仮面そのものをタブレットで置き換えるこれらの研究とは異なる．

大澤の Agencyglass [6] は，サングラスの形をしており，目と同じ大きさの液晶ディスプレイをサングラスのレンズとして埋め込んでいる．事前に撮影した装着者の目の動きを液晶に映し出す．例えば，接客業において，店員は，落ち込んでいる場合でも，自身の感情を制御し，笑顔で顧客に接客しなければならない．このような感情労働の負担を軽減するために，店員が笑顔の時の目の動きを AgencyGlass の液晶ディスプレイに表示することで，店員は自らの感情を制御せずともその場に適した目の動きを表出できる．液晶ディスプレイを用いる Agencyglass とは異なり，本研究では加工のしやすさという観点から，サーモクロミックインクによる仮面の表情変化手法に注力する．

本研究と近い研究として，ChromoSkin [7][8] がある．ChromoSkin は拡張化粧品を提案しており，例えば，粉状のサーモクロミックを使用してアイシャドウの色を変化させるアプリケーションなどを提案している．サーモクロミックを使用して色を変化させるという点では類似であるが，ChromoSkin は顔面上に直接電熱回路とサーモクロミックを貼り付けている一方，本研究では仮面上にこれらを配置するという点で，また，仮面の装着者が形状変化を知覚できるような仕組みを検討している点で異なる．

また，顔の外見を変化させるウェアラブルデバイスとして，筆者らは e2-MaskZ[9] や PerformEyebrow[10] を開発している．e2-MaskZ はフォトリフレクティブセンサと薄型のディスプレイによって構成された，ユーザの顔をアバタの顔にリアルタイムで置き換えることができる仮面型デバイスである．また，PerformEyebrow はサーモクロミックインクと電熱回路によって構成された人工眉毛形状変化デバイスである．電熱回路を動的に加熱制御することで，電熱回路上のサーモクロミックインクで描かれた人工眉毛の形状を自在に変化させることができる．本研究は e2-MaskZ とはサーモクロミックインクで構成された仮面による動的表情拡張手法に着目している点，PerformEyebrow とは装着者自身がデバイス上の状態変化を知覚できる点で異なる．

*1 https://vimeo.com/82250584
*2 https://www.greatworks.jp/works/tablet-man.html

3. 設計

本研究では，感情伝達を支援するためのプロトタイピングが容易な動的表情拡張手法を構築する．

本研究で想定する典型的な利用シーンとして，図 1 に示すような仮面を小道具として利用する演劇がある．演者あるいは小道具作成者が，ストーリ中のキャラクタの感情を再現するために，例えば，眉毛・目・口，漫付，皺といった表情に影響するパーツのラフ画を描いたり，切ったり折り曲げたりしたパーツを仮面上に置いて検討している状況を想定している．ここでは，例えば，動的に色が変化するパーツを工作室やアトリエで制作し，キャラクタの心情を表現できているか制作者自身が確認し修正するという試行錯誤もプロトタイプの一環として想定している．

3.1 要件

上述した想定環境での利用を満たすための動的表情拡張手法の要件を下記に示す．

(1) 低コストであること：何度も作り直すことを想定しているため，金銭面において低コストで仮面が作れることが望ましい．

(2) 演劇を妨げないこと：練習・リハーサル・本番など演者が演劇に集中していても利用できるように配慮する必要がある．仮面の表情を変化させるために頭部に大きいあるいは重いデバイスを取り付ける必要があると，演者は演技をしづらくなってしまう．

(3) 多様な表現ができること：仮面の形や色は多種多様で，表情変化の表現は多様であるほど制作の幅が拡がる．したがって，動的に変化させたい部位の形状や色を自由にデザインできることが求められる．

(4) 変化を知覚できること：例えば，不快を表現するために自分自身の眉を寄せる場合，驚きを表現するために口を開ける場合においては，自分の顔面上の筋肉そのものが収縮することで，意図する表情を表現できているのか，自分自身で理解できる．しかし，仮面上のある部位が変化した場合，鏡を見る以外，適切に変化しているのか確認できない．一方，演劇の中にはアクティブなダンスやパフォーマンスがあり，表情拡張モジュールそのものや，ケーブルの断線により，意図どおりの表情を表現できない場合もある．特に自由なタ

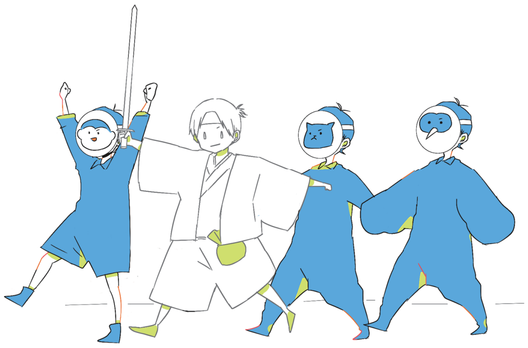

図 1　使用場面のイメージ

表 1　使用する素材の検討結果

使用する素材	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
サーモクロミック	○	○	○	○	○
フォトクロミック	○	○	×	×	×
ディスプレイ	×	◎	×	×	◎
LED	×	○	○	×	◎

イミングで鏡で確認できない本番においてはその重要性は高まる．

(5) 変化の速さを制御できること：演技中の感情の変化は，急激に変化するものや，時間をかけて少しずつ変化できるものなど，ストーリによってさまざまである．そのため，仮面上の表情が変化する速度を制御できることが求められる．

3.2　使用する素材の検討

表情拡張手法のアプローチとして，クロミック素材・ディスプレイ・LED の 3 種類がある．クロミック素材としては温度変化によって反応するサーモクロミックと，赤外線や紫外線の照射によって反応するフォトクロミックの 2 種類がある．これらの素材が上記の要件に適しているかどうか検討した結果を 3 段階 (◎ (満たす)，○，× (満たさない)) で評価し，その結果を表 1 に示す．以下，詳細に説明する．

サーモクロミック：サーモクロミックとは既定の温度を境界として変色する素材である．サーモクロミックが変色する設定温度は数種類あり，例えば SFXC 社のサーモクロミックインク[*3]は 15 ℃，21 ℃，31 ℃，47 ℃の 4 段階である．また，サーモクロミックは粉末タイプおよび溶液タイプの 2 種類がある．溶液タイプのサーモクロミックインクは，絵具と同様の取り扱い方法で手軽である．また，インクが乾燥する時間を確保する必要があるが数分で乾燥する．さらに，紙や布などさまざまな素材に塗布できる．また，サーモクロミックを変色させるために，電熱回路を配置する必要があるが，銀ナノインクを利用すれば紙状の電熱回路を制作でき [11]，サーモクロミックインクを塗布した紙と銀ナノインクをプリントアウトした紙を貼り付けるだけで，軽量・屈曲可能・色変化可能なモジュールを制作できる．サーモクロミックインクの色は数種類あり，これらを組みわせることでさまざまなな色を作れる．これらの特性より，さまざまな仮面のデザインに適用できる．さらに，電熱回路で発生した熱を熱伝導率の高い素材を介して皮膚に伝えることで，直接的に形状変化しているかどうか知覚できる．加えて，電熱回路に印加する電圧を制御することで，表情変化のタイミングや速度を制御できる．

フォトクロミック：フォトクロミックとは，赤外線や紫外線といった非可視光の光を照射することで変色する素材である．絵具と同様の取り扱い方法で紙や布といった素材に塗布できる．しかし，色の種類は少ない．変色させるためには周波数の異なるライトを必要とし，仮面上のあるパーツ一面を変化させるためには，外付ライトの設置や，タイル状に敷設した赤外線 LED あるいは紫外線 LED が必要で小型化が困難である．また，変色後の色はスポットライトがあたるような明るい場所では見えづらい．さらに，変色したかどうかを装着者自身が知覚するためには，付加的デバイスが必要となる．加えて，太陽光に反応してしまうため，屋外といった日差しが強い場所で，フォトクロミックの色の制御は困難である．

ディスプレイ：ディスプレイとは，液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイを意味する．ディスプレイは加工しづらく，形状にフィットしたディスプレイの作成は難しい．しかし，多彩な色を表現できる利点がある．ディスプレイ上の映像変化を直接的に知覚することは難しい．

LED：小型軽量な LED を形状にあわせて敷設することで，さまざまな形状を構築できるが，各 LED を制御するための配線が複雑になる．また，形状を短時間かつ手軽に変更することや，明滅の変化を直接的に知覚することは難しい．

表 1 の結果を考慮して，本研究ではサーモクロミックを表情拡張手法の素材として利用する．

4.　動的表情拡張手法

本研究で提案する動的表情拡張手法について述べる．図 2 に示すように，サーモクロミックインク層，電熱回路層，余熱伝搬層から構成される．以下，その制作の流れを説明する．

4.1　制作の流れ

(1) アクリル絵の具を使って，仮面に好きなデザインを描く．
(2) サーモクロミックインクで形状変化させたい部分のデ

[*3] https://www.sfxc.co.uk

Vol.2021-HCI-193 No.15
Vol.2021-EC-60 No.15
2021/6/2

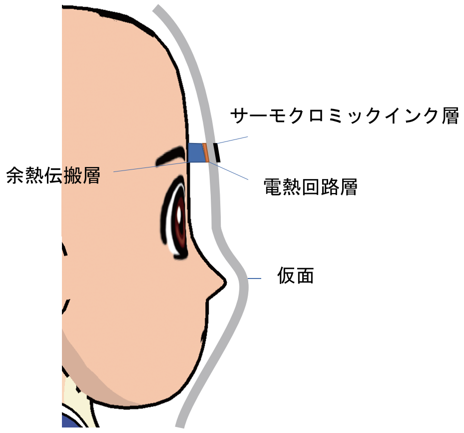

図 2　システム構成

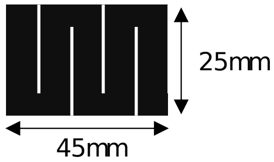

図 3　電熱回路

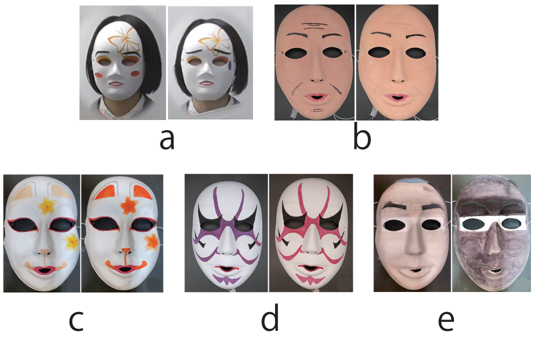

図 4　制作したプロトタイプ

ザインを描いていく．サーモクロミックインクで描いた部分（サーモクロミックインク層）は，熱を加えると消えてしまうことに注意する．ドライヤでサーモクロミックインクで描いた部分の色の変化を確認することができる．

(3) サーモクロミックインクで描いた部分と同じ大きさの電熱回路（電熱回路層）を作る．例えば，図 3 のような電熱回路を，三菱製紙株式会社の銀ナノ粒子インク（NBSIJ-FD02）および専用メディア（NB-TP-3GU100）を用いてプリントアウトする．迂曲状に描かれた線によって熱を伝搬させる．電熱回路の線を太く短く変更することで電熱回路の加熱速度を向上させることができるが，電熱回路が過剰に熱くなったり，そもそも熱がうまく伝わらないということを防ぐために，図 3 のサイズにしている．また，コの字型の回路にすることで，電熱回路の長さをはさみなどで容易に切断できる．これにより最適なサイズの電熱回路を作成できる．さらに，銀ナノ粒子インクによるプリント以外に，ハサミを使って銅テープに同様の切れ込みを挿入することで，同様の電熱回路を作成できる．

(4) 仮面の裏側に電熱回路を貼り付ける．

(5) ケーブルと電熱回路をテープで止める．一度の操作で複数のエリアを制御したい場合は，ケーブルを直列に接続する．各エリアを個別に制御したい場合は，それぞれのケーブルを接続する．

(6) クッション（余熱伝搬層）を電熱回路に取り付ける．仮面装着時には，電熱回路加熱時に生じるクッションの熱によって，サーモクロミックインクの変化を装着者が知覚することができる．

4.2　制作された仮面の例

以上のような手順で制作された作品の例を紹介する．マスクとして COOKY.D 社が販売しているポリスチレン素材のマスク*4を利用した．

仮面上の単一パーツの変形

図 4-(a) は，悲しみを表現するために涙マークが使われる．図 4 の仮面には，眉毛の形を変える機能や，悲しみや喜びを表す漫符の機能が付与されている．この作品の制作時間（企画時間を除く）は，約 30 分である

図 4-(b) も，特定のパーツが変化する仮面である．アクリルインクで顔を描いた後に，黒色のサーモクロミックインクを塗っている．

図 4-(c) は頬に黄色のアクリルインクで花を描いた後，橙色のサーモクロミックインクを塗っている．図 4-(d) も，図 4-(c) と同様の手法を用いている．制作にかかった時間（構想時間を除く）は，約 1 時間である．

仮面の広い範囲の変形

図 4-(e) は，顔全体が忍者（加熱前）から侍（加熱後）に変化した仮面である．仮面全体を変化させるという特徴があるため，制作にかかった時間（企画時間を除く）は約 5 時間である．

5.　表現の多様性の検証

3.1 節の要件 (3) に基づいて，サーモクロミックインクと電熱回路を組み合わせた際における表現の多様性について記述する．

- 新色の作成：サーモクロミックインクやサーモクロミック粉末にはさまざまな色があり，それらを混ぜることで新しい色を作り出すことができる．シアン（C），マゼンタ（M），イエロー（Y），ブラック（K）の 4 種のサーモクロミックインクを一定量混ぜ合わせた結果

*4 https://www.amazon.co.uk/COOKY-D-Plastic-Halloween-Cosplay-Costume/dp/B07H7JGNH3

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-HCI-193 No.15
Vol.2021-EC-60 No.15
2021/6/2

混ぜた分量(C,M,Y,Kの順) [滴]

①0,0,8,0	⑮8,4,0,0
②0,2,8,0	⑯8,2,0,0
③0,4,8,0	⑰8,0,0,0
④0,6,8,0	⑱8,0,2,0
⑤0,8,8,0	⑲8,0,4,0
⑥0,8,6,0	⑳8,0,6,0
⑦0,8,4,0	㉑8,0,8,0
⑧0,8,2,0	㉒6,0,8,0
⑨0,8,0,0	㉓4,0,8,0
⑩2,8,0,0	㉔2,0,8,0
⑪4,8,0,0	㉕2,4,8,0
⑫6,8,0,0	㉖4,6,8,0
⑬8,8,0,0	㉗4,6,8,4
⑭8,6,0,0	㉘0,0,0,8

図 5　新色の作成

を図 5 に示す．図 5 左側の数字が混ぜた各色の分量，右側が混ぜた結果である．本実験では容量 3ml のスポイトを使用した．例えば，C, M, Y, K のそれぞれのインクを 0 滴, 8 滴, 8 滴, 0 滴の分量で混ぜた場合，図 5 右側の 5 番の色が作成される． このように，混ぜる色の配分を変えることで，色の表現のバリエーションを増やすことができる．

- 数段階の色の変化：サーモクロミックインクの変色温度領域はさまざまに存在する．この特性を利用して，色を数段階に分けて変化させることができる．例えば，赤のサーモクロミックインクと青のアクリルインクを混ぜると，赤のサーモクロミックインクの変色温度に達したときに青のインクだけを残すことができる．さらに，30 ℃で発色する赤のサーモクロミックインクと 50 ℃で発色するサーモクロミックインクを重ねて塗ることで，3 段階の色の変化を表現することができる．また，SFXC 社のコレステリックレインボー液晶インク*5のように，温度に応じて段階的に変化するインクもある．

6. 電熱回路の発熱の知覚実験

電熱回路が発熱したことを知覚できるか検証するために実験した．電熱回路が発熱したことを知覚するだけでなく，その時にサーモクロミックインクの色が問題なく変化しているかどうかも重要である．

被験者

被験者は成人 11 名で，全員が初めて提案手法を適用した仮面を装着した．眼鏡の上からは装着できないため，眼鏡をかけている被験者には，眼鏡を外すように指示した．

実験内容

図 6 に示すように，額の右側，左眉，左目の下，右頬，顎の 5 か所を個別に制御できる仮面を作成した．また，35 ℃で変化するサーモクロミックインクを使用した．

*5 https://www.sfxc.co.uk/collections/thermochromic-paint/products/liquid-crystal-rainbow-ink-cholesteric-formulation

図 6　実験で使用した仮面

実験の手順

実験は以下の手順で行った．

(1) 被験者は，椅子に座り，仮面を装着する．
(2) 実験者は，の加熱したい箇所の電熱回路に電圧を印加する．
(3) 被験者は仮面のどの部分が加熱されたかを答える．
(4) 実験者は，仮面のサーモクロミックインクが消えたことを確認した後，仮面の加熱していた箇所への電圧印加を停止する．
(5) 回答後，被験者は加熱された場所のサーモクロミックインクが元に戻るまで待つ．
(6) 被験者は，仮面のどの部分が元に戻ったかを答える．加熱する部分をランダムに変えながら，2 と 5 を繰り返し行った．

被験者への指示

被験者には，「指示があったら，顔のどの部分が温かいかを言ってほしい」，「電熱回路が過剰に温かくなりすぎたら，すぐに実験者に伝えてほしい」と伝えた．

結果

最も正答率が高い部分は目の下の部分である．目の下は頬骨の上にあたり仮面への密着が高かったからと考えられる．一方，頬や顎はマスクとの隙間が生じたため，熱くなっていることに気づけなかった．また，3 名の被験者は，鼻や口による呼吸により頬や顎付近が温まり回路が熱くなっていることに気づけなかったとコメントしていた． 額や眉毛部分は，髪や眉毛により熱が遮られてしまい，回路が熱くなっていることに気づけなかった．

このように肌への密着具合に関してはスポンジを分厚くして対応することで解決できる．また，息に関しては，仮面に息を排出する穴をあけることで解決できる．さらに，額に関しては仮面装着時に髪がスポンジと肌の間にはさまならないように工夫してもらうことで解決できる．加えて，眉毛に関しては，回路を若干大きくして，眉毛以外付近の皮膚にスポンジが密着することで解決できると考えられる．

7. 変色速度の検証

実験によってサーモクロミックインクの変色速度を調査した．

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

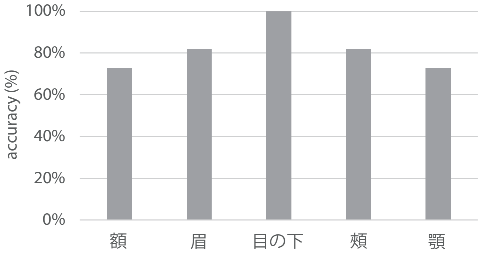

図 7 実験の結果

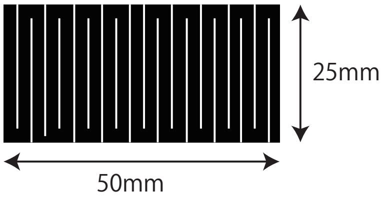

図 8 実験に使用した電熱回路

実験キット

図 8 のように 50mm × 25mm の銅テープに 2.5mm 間隔で切り込みを入れ電熱回路を作成する．また，図 9 のように，プロトタイプと同じ仮面の一部を切り取り，35 ℃で色が変わるサーモクロミックインクを塗る．電熱回路の上には，仮面の一部と温度計を設置する．本稿では，これを「実験キット」と呼ぶ．

実験中の様子をビデオカメラで撮影した．

実験の手順

実験は以下の手順で実施した．実験は室温 27 ℃の室内で行なった．

(1) 自然な状態の実験キットに電圧を印加する．
(2) サーモクロミックインクが消失する温度である 35 ℃で電圧を停止する．同時にサーモクロミックインクが消えたことを確認する．
(3) 電圧印加開始から終了までの時間を記録する．
(4) 仮面の一部の温度計の温度が，電圧印加開始時の温度に戻ったことを確認する．

結果

サーモクロミックインクの変色温度である 35 ℃に達するのにかかる時間は 12 秒であった．サーモクロミックインクの変色速度の制御をさらに容易に行えるようにするために，今後は室温が異なる場合や，異なる形状の電熱回路を用いた場合における詳細な変色速度の検証を行う必要がある．

8. おわりに

本論文では，試作が容易で，動的な表情拡張が可能であり，変化を知覚できる制御手法を構築した．提案手法の有用性を 5 つの視点（安さ，試作のしやすさ，表現の多様性，演技の支援，変化の知覚のしやすさ，変化する速度の制御のしやすさ）から検証した．提案手法を実現するために必要な値段的コストは低く，演者が簡単にマスクを製造することができる．また，サーモクロミックインクの色を混ぜることで、様々な色を作り出すことができる．さらに，温度で色が変わるサーモクロミックインクを重ね塗りすることで，多段階の色替えが可能になる．実際にマスクを試作し，その効果を確認した．また，提案手法は，出演者がマスクの色の変化を知覚できる機構を持ち合わせており，評価実験から 80%の精度で知覚できることを確認した．変色速度について検証を実施したところ，変色時間は 12 秒であることを確認した．

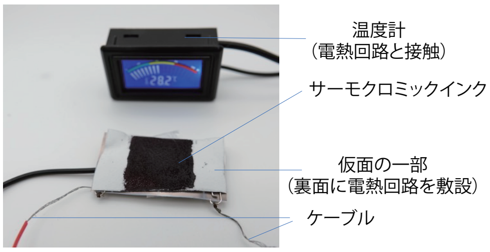

図 9 実験キット

今後の課題として，提案手法を用いた実運用，変色速度の制御性に関する詳細な評価実験があげられる．また，サーモクロミックインクは紙状の面の上に塗布したが，仮面の素材は，布・プラスチックなど多種多様である．サーモクロミックインクを塗布する下地となる素材を変えた場合における表現の多様性や，変色速度の制御性に関する検証などがあげられる．

謝辞 本研究に取り組むにあたり，助言をくださった寺井あすか准教授に深く感謝致します．また，本研究は JSPS 科研費 19H04157 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Mehrabian, A.: Nonverbal betrayal of feeling., *Journal of Experimental Research in Personality* (1971).
[2] Mehrabian, A.: *Nonverbal communication*, Transaction Publishers (1972).
[3] Mehrabian, A. and Ferris, S. R.: Inference of attitudes from nonverbal communication in two channels., *Journal of consulting psychology*, Vol. 31, No. 3, p. 248 (1967).
[4] Ekman, P.: Facial expressions of emotion: New findings, new questions (1992).
[5] Misawa, K. and Rekimoto, J.: ChameleonMask: Embodied Physical and Social Telepresence Using Human Surrogates, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 401–411 (online), DOI: 10.1145/2702613.2732506 (2015).
[6] Osawa, H.: Emotional Cyborg: Complementing Emotional Labor with Human-Agent Interaction Technology, *Proceedings of the Second International Conference on Human-Agent Interaction*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 51–57 (online), DOI: 10.1145/2658861.2658880 (2014).
[7] Kao, H.-L. C., Mohan, M., Schmandt, C., Paradiso,

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

J. A. and Vega, K.: ChromoSkin: Towards Interactive Cosmetics Using Thermochromic Pigments, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 3703–3706 (online), DOI: 10.1145/2851581.2890270 (2016).

[8] Kao, C. H.-L., Nguyen, B., Roseway, A. and Dickey, M.: EarthTones: Chemical Sensing Powders to Detect and Display Environmental Hazards through Color Variation, *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 872–883 (online), DOI: 10.1145/3027063.3052754 (2017).

[9] Umezawa, A., Takegawa, Y., Suzuki, K., Masai, K., Sugiura, Y., Sugimoto, M., Tokuda, Y., Plasencia, D. M., Subramanian, S., Takahashi, M., Taka, H. and Hirata, K.: E2-MaskZ: A Mask-Type Display with Facial Expression Identification Using Embedded Photo Reflective Sensors, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3384657.3385332 (2020).

[10] 増井元康，竹川佳成，新田野乃華，徳田雄嵩，杉浦裕太，正井克俊，平田圭二：PerformEyebrow：表情拡張可能な人工眉毛形状制御デバイスの提案，技術報告 10 (2020).

[11] Tsujii, T., Koizumi, N. and Naemura, T.: Inkantatory paper: dynamically color-changing prints with multiple functional inks, *Proceedings of the adjunct publication of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 39–40 (2014).

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan