

# サーモクロミックを用いた表情制御手法の提案

梅澤 章乃<sup>1,a)</sup> 竹川 佳成<sup>1,b)</sup> 徳田 豊<sup>2,c)</sup> Diego Martinez Plasencia<sup>2,d)</sup>  
Sriram Subramanian<sup>2,e)</sup> 平田 圭二<sup>1,f)</sup>

**概要:** 自身の感情を他者に明確に伝え、他者が意図している感情を正確に読み取ることは重要である。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。言語情報よりも非言語情報が重要であり、その中でも表情や身振りといった視覚情報が感情の推測において大きな役割を担っている。そこで、本研究では、表情を用いて感情を表現する仮面型デバイスを提案する。本システムは、ボタン操作により喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、恐れ、驚きの6種類の感情を表現する。感情を表現する方法として、眉と口を変形させる。さらに、感情を明確にするために、表情に合わせて怒りマークや涙といった漫符を表示する。本システムの使用場面として、お遊戯会や文化祭などで初心者が行うような演劇がある。そのほかに、情緒的なプレゼンテーションや演奏におけるパフォーマンスなどがあげられる。このような場面で使用できるように、設計方針をたて、それらの要件を満たすために本システムで使用する技術の調査および検討を行った。その結果、装着性と伝達性が優れ、様々なマスクの形状に対応し、顔の部位の形や色の再現が可能なサーモクロミックを使用して本システムを実装する。本稿では、サーモクロミックを塗布した眉に熱を加えて、眉を変形させるプロトタイプを作成した。しかし、プロトタイプでは、眉の変形に6秒のタイムラグが生じたため、回路の見直しが考えられる。今後の課題としてタイムラグの解消や、口の変形や漫符を表示させる。

## 1. はじめに

自身の感情を他者に明確に伝え、他者が意図している感情を正確に読み取ることは重要である。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が重要だと述べている。非言語情報の中でも聴覚情報より表情や身振りといった視覚情報の方が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ことが明らかとなっている [4]。これらより、自身の感情を伝達するために、表情は有効な手段である。しかし、人によっては表情とは異なる感情を対話者が推測したり、表情の変化が小さい人やリアクションが苦手な人は、感情の表出が上手にできないといった問題がある。特に、お遊戯会や、文化祭などで行われるような演劇では明確な感情の表現が重要となる。

そこで、本研究では表情を用いて感情を表現する仮面型デバイスを提案する。本システムは、ボタン操作により、喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、恐れ、驚きの6種類の感情を表現する。McKelvie [5] は、表情は眉と口の組み合わせによって形成されると述べている。そこで、本システムでは、各感情に応じて眉と口を変形させる。さらに、表情に合わせて怒りマークや涙といった漫符を表示する。これにより、装着者が表現している感情に対し、対話者が誤った感情の推測をすることなく、明確に感情を伝達できる。加えて、感情の誇張表現が可能となる。また、本システムにおいて使用するマスクの色や形は限定せず、使用場面に合わせて自由に選択できるように考慮する。そこで、本研究ではサーモクロミックを用いて表情および漫符を表示する。本稿では、実装に使用する技術の調査および検討とプロトタイプの実装について記述する。

## 2. 関連研究

従来の研究において顔の全体や一部を仮想的に変えるシステムがある。1つ目は、ChameleonMask [6] である。ChameleonMask は遠隔コミュニケーションにおいて損なわれる遠隔話者の明確化や身体的存在感を補うために、遠隔話者の顔が表示されているディスプレイを代理人が着用する。これにより、代理人は遠隔話者への成り代わりが可

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学

<sup>2</sup> School of Engineering and Informatics,  
University of Sussex, Brighton, United Kingdom

a) g2217001@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) y.tokuda@sussex.ac.uk

d) D.Martinez-Plasencia@sussex.ac.uk

e) Sriram@sussex.ac.uk

f) hirata@fun.ac.jp

能となり、遠隔話者とその対話者の会話に親近感や臨場感をもたらす。ChameleonMaskは代理人の顔を遠隔話者の顔に代替するが、本システムは自身の表情を表現したい表情に代替する。

2つ目はAgencyGlass [7]である。AgencyGlassは、サングラスの形をしており、目と同じ大きさの液晶板をサングラスのレンズに配置し、あらかじめ撮影したシステム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悲しい感情を抱えている場合でも自らの感情を制御し、笑顔で顧客に接客しなければならない。そこで、店員が笑った時の目の動きをAgencyGlassに表示することで、店員は自らの感情を制御せずにその場に適した目の動きを表出できる。一方、本研究では目ではなく眉、口を変形させる。また、あらかじめ撮影したものではなく、表情を割り当てられたボタンで表示する眉と口と漫符の形を操作する。これにより、あらかじめ想定していない状況でもその場に適した感情を表現できる。

3つ目はMouthOver [8]である。MouthOverは発話と口の表情を代替するマスクを装着するマスク型デバイスである。これは、マスクに内蔵されたスピーカから事前に録音された音声再生され、マスク全面のディスプレイ上に口の画像が表示される。MouthOverを使用することで、自身の精神や肉体的状態に関係なく、状況に応じた発話と表情ができる。本研究では、眉の変形も加えて行う。また、リアルタイムで装着者が発話するため、想定していない会話にも対応できる。

4つ目は、拡張した化粧品のChromoSkin [9]である。このシステムは、サーモクロミックを使用してアイシャドウの色を自動的に変化させる。一方、本研究では、サーモクロミックを使用して色を変化させるだけでなく、それを利用して口や眉の形を変化させる。

そのほかに、タブレットを使用して目の動きを表示するHyperface[10]、メディアアートとして山田太郎プロジェクト [11] やTABLETMAN [12] がある。

### 3. 設計

本システムの使用場面として、お遊戯会や文化祭などで初心者が行うような演劇がある。演劇において、聴衆が感情移入や物語を理解するために、役の感情を明確に伝える必要がある。例えば、悲しみの表現が苦手な場合、本システムを使用することで、悲しみという感情を明確に表現できる。また、図1のように役に合わせたマスクを装着することで、外見から役になりきることで、堂々と演技ができるようになり、より豊かな感情の表現が期待される。そのほかの使用場面として、TEDのような情緒的なプレゼンテーション、演奏におけるパフォーマンスなどがある。

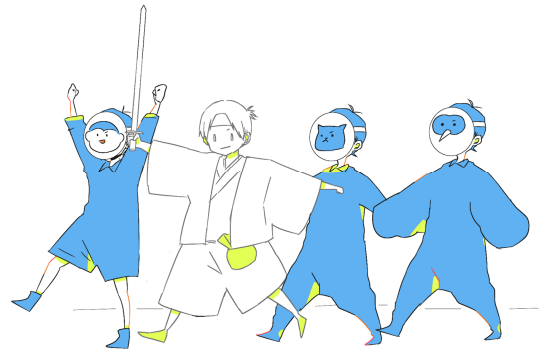


図1 使用場面のイメージ

#### 3.1 要件

上述した想定環境や利用事例を満たすために必要な設計方針を以下にあげる。

- (1) 言葉の伝達：本システムを使用するにあたり、装着者の対話者や第三者が互いに言葉を聞き取ることができる設計を行う必要がある。
- (2) 視界の確保：装着者が周りの状況を認識できるよう、クリアな視界を確保できる構造を目指す。
- (3) 小型・軽量：装着者の行動が制限されないように設計する。具体的には、装着者が対話者に手を振ったり、手で物を持ったり、階段の上り下りや歩行といった動作ができるよう配慮する。そのため、本システムが軽量かつ小型である必要がある。
- (4) 形の再現性：本システムは上記のような場面で使用されるため、装着者がマスクの形を場面に合わせて自由に選択できるようにする。そこで、人の顔型や猫や犬の顔型や曲面、平面といった様々なマスクの形に対応し、自由に顔の各部位を配置できるよう設計する。
- (5) 色の再現性：(4)と同様に、装着者がマスクのデザインを自由に選択できるようにする。そこで、多彩なマスクと顔の各部位の色を表現できるよう設計する。
- (6) 即応性：装着者の意図したタイミングでマスクに表示する表情および漫符を変える。したがって、状況に対応できるよう表情および漫符が変化する速度を考慮する必要がある。
- (7) 環境依存：本システムは様々な場面での使用を想定している。そこで、使用する環境を制限することなく、表情と漫符を表示できるよう考慮する。

#### 3.2 使用する技術の検討

表情および漫符を変化させるために使用する技術を調査し [13]、上記の要件を踏まえて検討した。その結果を○、△、×で表記し、表1に示す。

**サーモクロミック** サーモクロミックとは一定の温度に達すると変色する物質である。サーモクロミックの変色を利用して表情や漫符を表示する。サーモクロミックを変色

表 1 使用する素材の検討結果

使用する素材	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
サーモクロミック	○	○	○	○	△	×	×
フォトクロミック	○	△	×	○	△	○	×
ディスプレイ	○	△	×	△	○	○	×
Hyperface	○	△	×	△	○	○	×
有機 EL ディスプレイ	○	△	○	○	○	○	×
スキンディスプレイ	○	○	○	○	○	○	×
LED	○	○	○	△	△	○	×

させるために、サーモクロミックを塗布した素材の下に伝熱線を配置する。サーモクロミックの素材として、糸や粉末、インクの3種類がある。3種類とも軽量であり折り曲げが可能のため、マスクの形状にこだわらず様々な形に対応できる。また、サーモクロミックには様々な色の種類があり、色を混ぜることでより多くの色を表現できる。しかし、ディスプレイのように多彩な色を表現することは難しい。サーモクロミックを塗布した眉や口、漫符を独立に作成することで、自由にマスク上に配置できる。装着者の視界を確保する方法として、マスクの目の位置にあたる部分に穴をあける。穴をあけた部分を避けてサーモクロミックを塗布した部位を配置することで、容易に視界を確保できる。しかし、サーモクロミックは変色後、元の色に戻すことが難しい。環境温度が高い場所では、より元の色に戻すことが困難である。したがって、表情や漫符の変化に対する即応性は低い。

**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光を照射した部分が変色する顔料 [15][16] である。顔料をマスクに塗布し、そこに光を照射して表情の変化や漫符を表示させる。サーモクロミックを使用した場合と同様に装着者の視界を確保できるため、容易に装着者の視界の確保が可能となる。また、光を照射すると瞬時に変色し、消すと瞬時にもとに戻るため、即応性は高い。しかし、色の種類は少なく、混ぜて表現することは困難である。また、変色させるために照射するライトが必要である。そのため、マスクの外部にライトを設置したり、外部からプロジェクタのように照射しなければならないため、小型化が困難である。また、変色後の色は明るい場所では見えにくいいため、少し暗い場所で使用しなければならない。

**ディスプレイ** 装着者の顔前面にディスプレイを設置し、表情の変化や漫符を表示させる。ディスプレイでは、自由な色や顔の部位の形を表現できる。加えて、表情の変化を瞬時に表現できる。しかし、ディスプレイは平面であるため、立体的な表示ができない。また、ディスプレイにミニPCを接続する必要があるため、小型化や軽量化は困難で

ある。装着者の視界を確保するために、対話者側にカメラを設置し、装着者側にもディスプレイを設置してカメラの映像を表示する方法がある。装着者が視界用のディスプレイを見やすいように装着者の顔と視界用ディスプレイを離す必要があり、ほかの手法よりも手間がかかってしまう。また、太陽光があるような明るい場所では、ディスプレイの画面が見えにくい問題がある。そのため、ディスプレイの画面が見えやすい少し暗い場所で使用する必要がある。

**Hyperface** Hyperface [10] に使用されている技術を応用して、表情や漫符を変化させる。帽子のツバに表情や漫符を表示したタブレットを設置し、顔前面に設置されているアクリル板にその映像を投影する。タブレットを使用しているため、自由に色や顔の部位の形を表現できる。加えて、瞬時に表情の変化が可能である。装着者の視界を確保するために、アクリル板の目の位置に穴をあける。これにより、容易に装着者の視界を確保できる。しかし、顔全体に投影するためには、大型のタブレットが必要となる。さらに、タブレットが大きくなるほど、それを支える方法について考慮しなければならない。また、ディスプレイと同様に明るい場所では見にくいいため、少し暗い場所で使用しなければならない。

**スキンディスプレイ** スキンディスプレイ [14] とは、薄型で伸縮自在なディスプレイである。スキンディスプレイをマスクに接着し、各表情や漫符を表示する。スキンディスプレイは伸縮自在なので、様々なマスクの形に対応できる。また、表情の変化に対する即応性も高く、小型化や軽量化が可能である。しかし、スキンディスプレイは入手が困難であり、多彩な色を出力できない。また、ディスプレイと同様に明るい場所では使用できないという問題があるため、少し暗い場所で使用しなければならない。

**有機 EL ディスプレイ** 有機 EL ディスプレイとは、薄くて軽く、柔軟なディスプレイである。そのため、マスクの形状を問わず接着できる。また、ディスプレイと同様に多彩な色の表現が可能であり、瞬時に表情の変化ができ

る。さらに、薄くて軽いため、小型化や軽量化が可能である。装着者の視界の確保として、ディスプレイを用いた場合と同じ方法で行う。そのため、ほかの手法よりも手間がかかってしまう。また、スキンディスプレイと同様に入手困難であり、太陽光の下といった明るい場所では画面が見えにくいので、少し暗い場所で使用しなければならない。

**LED** LEDの点滅を利用して表情と漫符を表示する。ディスプレイほど多彩な色の表現は難しいが、多くの色の種類がある。LED自体は小型であり軽量であるため、小型化が可能である。LEDは瞬時に点滅できるため、表情の変化に対する即応性は高い。装着者の視界を確保する方法は、サーモクロミックと同様にマスクに穴をあけ、その部分を避けてLEDを配置するため、容易である。また、マスクの形状を問わずLEDを配置できるが、LEDの形を変えることはできない。そのため、LEDの大きさや高さを調整しながら配置し、顔の部位や漫符を作成する必要がある。さらに、LEDの光は太陽光の下といった明るい場所では見えづらく、ディスプレイを使用する場合よりも暗い場所で使用しなければならない。

上記のように、本システムで使用できる技術について検討した。要件(1)に関しては、すべての手法において装着者に咽頭マイクを使用させ、周囲の音が聞こえるように耳元にマスクが被らないように設計できる。表1より、すべての手法において使用する環境によっては画面の見えやすさや、表情の変化速度などが制限される。本システムは、上記で述べたように、演劇や情緒的なプレゼンテーション、演奏におけるパフォーマンスなどにおける使用が想定される。これらの場面では、屋外や照明のあたる場所といった明るい場所における使用が考えられる。したがって、そのような場所においても本システムを使用できるように考慮する。以上の理由から、本研究では、装着者の行動が制限されず、小型かつ軽量であり、様々なマスクや顔の部位の形および色を表現できるサーモクロミックを使用する。サーモクロミックの欠点である即応性に関しては、サーモクロミックが変色する温度と環境の温度の差を大きくとることで補う。

### 3.3 システム構成

本システムは仮面型デバイスであり、装着者の顔前面に設置される。表情と漫符を表示するために、サーモクロミックを塗布した眉、口、漫符をマスクに設置する。装着者の手元には6種類の感情を示すリモコンがあり、表現したい感情を選択する。選択した感情に合わせてサーモクロミックの変色部分を変える。これにより、顔の各部位の変形や漫符の変化が可能となる。なお、本システムで出力する感情のイメージを図2に示す。本研究では、サーモクロ

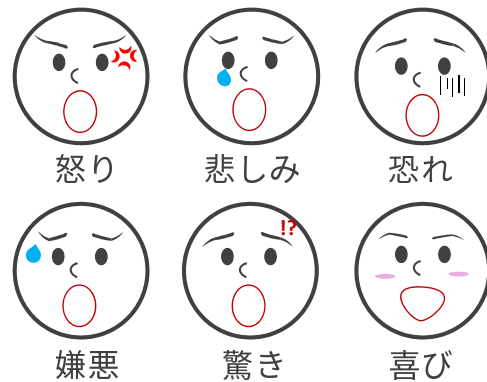


図2 提示する感情のイメージ



図3 プロトタイプシステム

ミックを使用した ChromoSkin [9] を参考に設計方針を立てた。

## 4. 実装

本システムのプロトタイプとして、変形する眉を実装した(図3)。本稿では、人の顔の形状に近いマネキンを使用し、そこにプロトタイプを配置した。プロトタイプに使用するサーモクロミックとして、黒から透明に変色する SFX社のサーモクロミックインク [17] を採用した。上記で述べたように、サーモクロミックには糸や粉末、インクの3種類があるが、色を混ぜやすいインクを本研究では使用する。図4のようにサーモクロミックインクが塗布されたX型の眉の変色する部分を6か所に分割し、3か所変色させることで4種類の眉を表現させる。プロトタイプの構造を図5、図6に示し、説明を以下に示す。

**サーモクロミック層** この層では、白い紙面にサーモクロミックインクが塗布されている。プロトタイプでは、47℃で変色するサーモクロミックインクを使用した。低温度で変色するサーモクロミックインクを使用した場合、環境温度や人間の皮膚に触れた際にすぐに変色してしまう問題がある。したがって、変色する温度が環境温度より高いサーモクロミックインクを使用することで、このような問題を

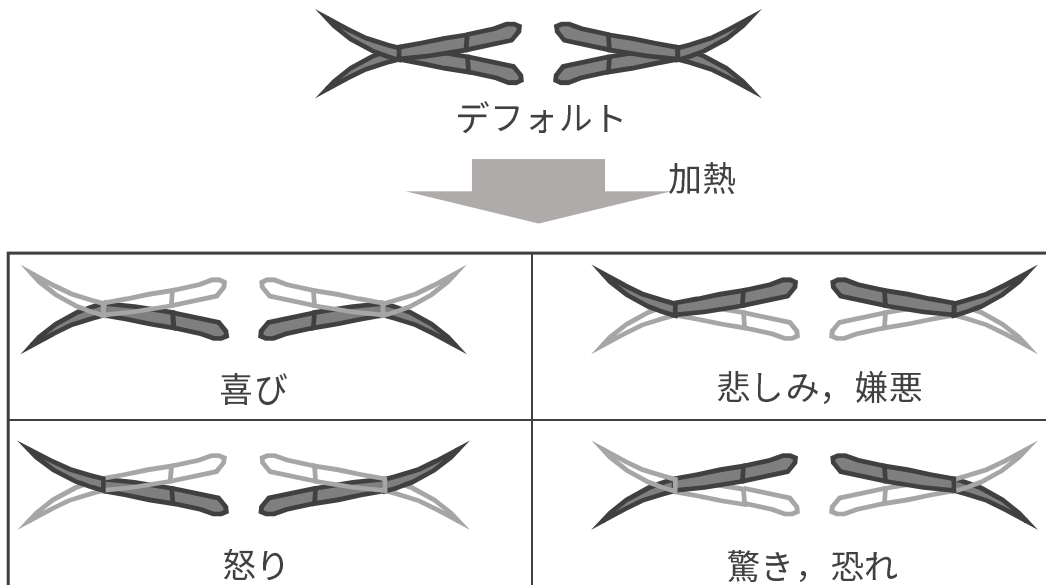


図 4 表現する眉の種類

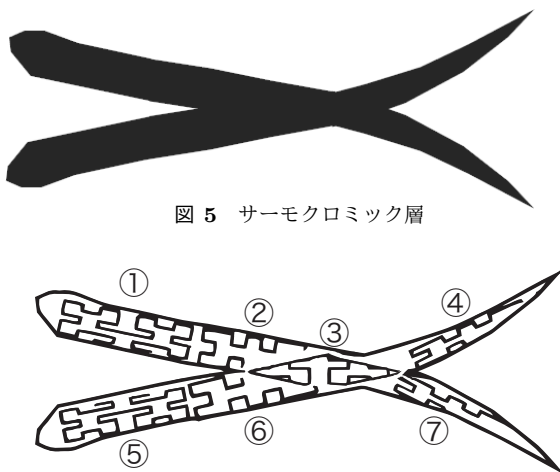


図 5 サーモクロミック層

図 6 加熱部回路層

防ぐことができる。また、変色した後に早く元の色に戻るよう、環境温度と変色する温度の差が必要である。しかし、温度の差が大きいほど伝熱しにくいいため、大きな熱量が必要である。したがって、41℃で変色するサーモクロミックインクを採用した。

**加熱回路層** この層では、サーモクロミック層で変色する部分を操作するための回路が設置されている。低電力で熱が伝わりやすいように回路の素材として銅を採用し、回路の形としてヒルベルトパターンを採用した。眉のプロトタイプでは、図4のように変形できるように、回路を7つに分割し、3か所加熱することで4種類の眉の形を表現させる。回路の作成方法を以下に示す。まず、眉の形に沿った回路の形を作成した。次に、Cricut Explore Air2 [18] 用いて、作成した回路の形に銅テープを加工した。Cricut Explore Air2 とは、自身でデザインした形に描写、切るこ

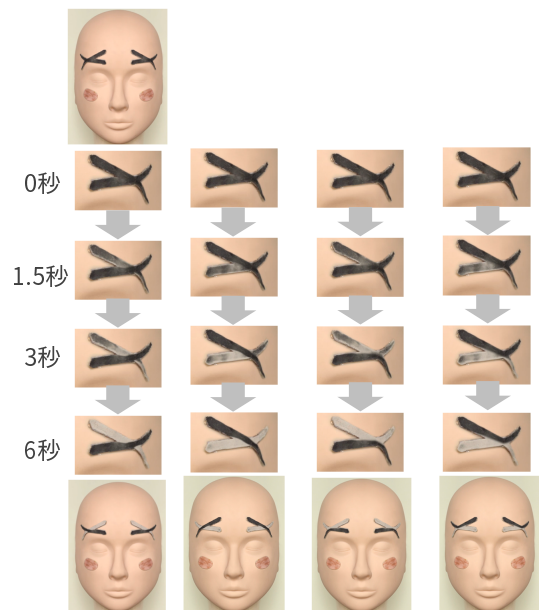


図 7 眉の形ごとの変化過程

とができるカッティングマシンである。各回路に導線を半田で接着する。この際、マスクに切り込みを入れそこに導線を通し、導線がマスク上から見えないよう配慮した。

上記の方法で実装した各層を両面テープで固定し、マスクに設置した。加熱回路層と接続している導線を基板に接続し、直流電源装置を用いて駆動させた。また、基板には Arduino Nano が設置されており、PCからのコマンドを送り、加熱箇所を操作する。

上記の方法で表現した眉を図7に示す。4種類とも、デフォルトの状態を加熱して各眉の形を出力した。図7は、上からデフォルトの状態、1.5秒後、3秒後、6秒後の変化の様子を表している。変化するまで6秒のタイムラグがあるため、これを解決するために、回路の設計を見直す必要

がある。図6より、で作成した回路の密度は低いため、さらに細かい回路を作成する。これにより、熱が伝わりやすくなり、変形するまでの時間が早くなる。また、本稿で使用したサーモクロミックインクの変色温度が高すぎたため、47度よりも低い温度で変色するサーモクロミックインクを使用する方法も考えられる。

## 5. まとめと今後

本研究では、感情を明確に提示するマスクを提案する。本システムの使用により、状況に応じた感情の伝達や、感情の誇張表現が可能となる。本システムを実装するにあたり、使用できる技術について調査および検討をした。その結果、サーモクロミックインクを使用し、変形する眉のプロトタイプを実装した。本システムのプロトタイプでは、デフォルトの状態から変形するまでに6秒のタイムラグが存在する。そのため、今後は本稿よりも熱が伝わりやすくなる方法を検討し、タイムラグを解消する必要がある。また、本システムの使用場面として、3章では主に初心者が行う演劇を挙げた。しかし、使用場面の展望として、情緒的なプレゼンテーションや演奏におけるパフォーマンスといった様々な場面がある。また、マスクを装着せずに地肌の上に断熱層と本システムを装着することで、ChromoSkinのような拡張した化粧品として使用できる。

今後の課題として、口や漫符の変形を加えて実装を行う。また、加熱回路からマスクおよび装着者への伝熱を防ぐため断熱層を加える。その際に、装着性や伝達性を高めるために、本システムの性能評価をしながら実装を行う。実装後、本システムの使用が想定される場面にて本システムの有用性を評価する認知心理学実験を行う予定である。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、研究の方針決めや実装の参考となる関連研究や手法などの情報を提供して下さった杉浦裕太先生、正井克俊氏に感謝いたします。また、本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構が実施する2018年度末踏IT人材発掘・育成事業の支援を受けて行われました。研究方針や実装方針について議論やご指導をして下さったプロジェクトマネージャの五十嵐悠紀先生に感謝いたします。加えて、評価方法の検討について適切なアドバイスをしてくださった寺井あすか先生に感謝いたします。なお、本研究はJSPS科研費JP16K12560の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Mehrabian, A.: Nonverbal Betrayal of Feeling of Feeling, *Journal of Experimental Research in Personality*, Vol. 5, pp. 64-73 (1971).
- [2] Mehrabian, A.: *Nonverbal Communication*, Chicago: Aldine-Atherton (1972).

- [3] Mehrabian, A., Ferris, S. R.: Inference of Attitudes from Nonverbal Communication in Tow Channels, *Journal of Consulting Psychology*, Vol 31, No.3, pp. 248-252 (1967).
- [4] Ekman, P.: *Facial Expressions of Emotion*: SAGE Publications, pp. 34-38 (1992).
- [5] Mckelviet, S. J.: The Meaningfulness and meaning of schematic faces, *Perception and Psychophysics*, Vol. 14, No. 2, pp. 343-348 (1973).
- [6] Misawa, K., Rekimoto, J.: ChameleonMask: Embodied Physical and Social Telepresence Using Human Surrogates, *Proceedings of Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 401-411 (2015).
- [7] 大澤博隆: AgencyGlass: 人間の擬人化による感情労働の代替, 情報処理学会インタラクシオン 2014 論文集, C6-2, pp. 708-709 (2014).
- [8] 石井綾郁, 橋本 直: MouthOber: 発話と口の表情を代替するマスク型デバイス, 情報処理学会インタラクシオン 2017 論文集, 3-404-53, pp. 844-845 (2017).
- [9] Kao, H. L. C., Mohan, M., Schmandt, C., Paradiso, J. A., and Vega, K.: ChromoSkin: Towards Interactive Cosmetics Using Thermochromic Pigments, *Proceedings of the Extended Abstracts of the International Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3703-3706 (2016).
- [10] designboom, <<https://www.designboom.com/technology/eun-kyung-shin-hyperface-artificial-intelligence-social-mask-08-04-2017/>> (参照 2018-7-20).
- [11] 山田太郎プロジェクト, <<https://vimeo.com/82250584>> (参照 2017-04-24).
- [12] GREATWORKS, <<http://www.greatworks.co.jp/works/tablet-man.html>> (参照 2017-04-24).
- [13] 色が変わる分子〜クロミック分子〜, <<https://www.chemstation.com/blog/2005/05/chromotropism.html>> (参照 2018-7-20).
- [14] engadget, <<https://japanese.engadget.com/2018/02/20/skin-display/>> (参照 2018-7-20).
- [15] 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 Extended Abstracts of the International Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 872-883 (2017).
- [16] trade Korea, <<https://www.tradekorea.com/product/detail/P304991/Upconversion-phosphor-Anti-Stokes-luminescence.html>> (参照 2018-7-20).
- [17] SFXC, <<https://www.sfxc.co.uk/>> (参照 2018-8-10).
- [18] Cricut, <<https://home.criut.com/>> (参照 2018-8-09).