

PerformEyebrow : 表情拡張可能な人工眉毛形状制御デバイスの提案

増井 元康¹ 竹川 佳成¹ 新田 野乃華¹ 徳田 雄嵩² 杉浦 裕太³ 正井 克俊³ 平田 圭二¹

概要: コミュニケーションにおいて、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が重要である。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。心理学者の Merhrabian は、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と主張している。しかし、自身の感情が他者から理解されず、誤解を招く場面がある。そこで本研究では、装着者の表情を識別し、識別した表情に適した眉毛形状を提示することで、表情を拡張する人工眉毛形状制御デバイス PerformEyebrow を提案する。PerformEyebrow はダイナミックかつ動的に眉毛形状を変化させるために、サーモクロミックインクで描かれた人工眉毛を用いる。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敷設し、サーモクロミックインクを変色させる。PerformEyebrow を装着して眉毛形状を変化させた場合における、印象評価実験を実施し、表情拡張デバイスとしての有用性を確認した。

キーワード: 人間拡張, コミュニケーション, 認知心理学

1. はじめに

コミュニケーションにおいて、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が重要である。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。Merhrabian[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であると述べている。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、無表情であっても怒っていると他者から思われるなど表情とは異なる感情を対話者から推察されたり、嬉しい表情を表現しているにもかかわらず表情変化が小さく嬉しいと思ってもらえないといったように感情の伝達がうまくできない場合がある。

表情を形成する顔の部位として、口・目・眉毛が考えられる。口は発話を、目は視界の確保といったように表情の表現以外にも利用される。一方、眉毛は額と眼の間に位置し、汗やゴミを眼に入りにくくするという機能をもつが、

眉毛の主要機能は表情の形成にあると言われている [5]。

本研究では、装着者の表情を識別し、識別した表情に適した眉毛形状を提示することで表情拡張可能な人工眉毛形状制御デバイス PerformEyebrow を提案する。PerformEyebrow はダイナミックかつ動的に眉毛形状を変化させるために、サーモクロミックインクで描かれた人工眉毛を用いる。人工眉毛の直下に導電性インクでプリントアウトされた電熱線を敷設し、人工眉毛に塗布されたサーモクロミックインクを変色させる。例えば、図 1 に示すようにサーモクロミックインクを塗布した眉毛を制作して、眉毛の形状を変化させることで、表情を拡張できる。

本研究の貢献は以下の通りである。

- 電熱回路を用いたサーモクロミック制御手法の提案
- 眉毛の形状変化が感情の伝達において有効かどうかの検証
- 装着可能な人工眉毛形状制御デバイスの提案

2. 関連研究

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。

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

¹ 公立はこだて未来大学

² フリーランス

³ 慶應義塾大学

^{*1} <https://vimeo.com/82250584>

^{*2} <https://www.greatworks.jp/works/tablet-man.html>

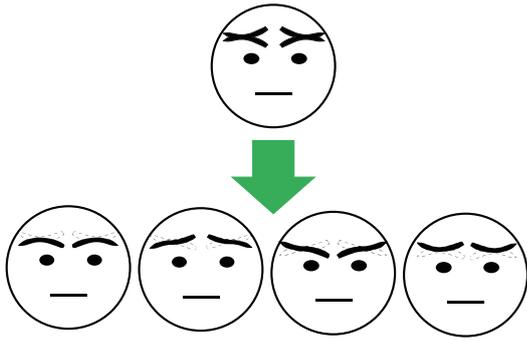


図 1 形状変化可能な眉

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ーで、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 [6] 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。したがって、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。

対面コミュニケーションにおける使用を目的とし、対話者や自身の顔の全体や一部を仮想的に変える従来研究がある。赤池らの初対面における対面会話支援システム [7] は、拡張現実技術と HMD を用いて、対話者の顔の上に静止画のアバタを表示する。これにより、初対面での対面コミュニケーションを阻害する要因である外見の影響を軽減する。萩原らの視線恐怖症支援システム [8] は、シースルー型 HMD を使用し、対話者の顔をモザイクで隠す機能を持つ。これを装着することで、視線恐怖症の傾向がある人は対話者と視線を合わせやすくなる。

大澤の Agencyglass[9] 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。本研究では眉毛の拡張を目指しており、顔そのものや目を

ディスプレイで置き換えるこれらの研究とは異なる。

本研究と近い研究として、ChromoSkin[10][11] がある。ChromoSkin は拡張化粧品として、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しているが、本研究では眉毛の形状変化による表情拡張を目的としており、対象や目的が異なる。

3. 眉毛形状変化の予備実験

本研究では表情拡張手段として、眉毛形状変化に着目している。眉毛以外に口や目を使って感情を表現している。口は発話・呼吸・摂食において、目は見る行為全般において重要な部位である。これらの行為を妨げずに、口や目の直上や周辺に拡張デバイスを設置することは難しい。口や目をもつ物質や情報の入出力の機能を眉毛は持ち合わせていないため表情拡張部位として選定した。しかし、口や目の感情表現能力と比較して、眉毛は感情表現能力を有するか明らかになっておらず、この点について予備実験を実施し検証した。

3.1 実験方法

図 2 に示すように、目だけ形状が異なる絵文字、眉毛だけ形状が異なる絵文字、口だけ形状が異なる絵文字を用意し、各絵文字に対して、幸せ・嫌悪・怒り・驚き・恐怖・悲しみの各感情の印象を 5 段階で回答してもらった。

3.2 実験システム

図 3 に示すように絵文字を表示し、スライダバーを用いて各感情を入力する実験システムを構築した。絵文字とスライダバーがセットになっており、画面をスクロールすると、次の絵文字とその絵文字に対応する感情入力用スライダバーが出てくる。また、11 種類の絵文字が出る順番はランダムである。本実験システムは Amazon Mechanical Turk 上で実装した。

3.3 被験者

Amazon Mechanical Turk を用いて 100 名の被験者に回答してもらった。1 人 11 ドルの謝礼を支払った。

3.4 結果

実験結果を図 2 に示す。1-1 がニュートラルな絵文字であり、目・眉・口をそれぞれ変化させた絵文字に対して特徴的な感情が表出された。特に怒りの感情に関しては、2-2 の絵文字が最も強く、マン・ホイットニーの U 検定を適用したところ、1-1 ($M=1.64$, $SD=0.95$) と 2-2 ($M=4.31$, $SD=0.75$) で有意差が観測された ($U=81$, $p<0.01$)。また、悲しみの感情に関しては 2-3 の絵文字が最も強く、同様

にマン・ホイットニーの U 検定を適用したところ、1-1 (M=1.38, SD=0.82) と 2-2 (M=3.18, SD=1.46) で有意差が観測された (U=320, $p<0.01$)。怒りと悲しみという 2 つの感情に関して、眉毛は高い感情表現能力があるということが検証できた。

4. 設計

本研究では表情拡張可能な PerformEyebrow の構築をめざす。装着者の表情を識別し、識別した表情に応じて眉毛の形状を変化させることで、表情を拡張する。

4.1 利用シナリオ

PerformEyebrow で想定する使用場面として、装着者の感情を増幅する場合と、感情を隠蔽する場合の 2 種類に大別できる。以下、これらについて詳細に説明する。

4.1.1 感情の増幅

装着者の感情を増幅させるという利用シナリオがある。

例えば、楽器演奏のパフォーマンスがある。楽器演奏では、演奏者が演奏に込める思いを音楽や表情などで表現する。特に管楽器のソロ演奏においては、口は楽器によって塞がれるため、眉毛と目の変化によって感情を伝達しなければならない。PerformEyebrow を使用することで、演奏者の眉毛を変化させ、聴衆に対して情緒的な演奏ができる。

また、演劇初心者の支援がある。演劇において、聴衆が感情移入し物語に没入する手段の一つとして、演者の感情の伝達が有効である。例えば、PerformEyebrow を使用し眉毛を誇張させることで、演者がより強く悲しみの感情を表現できる。

4.1.2 感情の置換

装着者の本来の感情を隠蔽し、別の感情へと置換するという利用シナリオがある。

例えば、感情労働の代替がある。感情労働とは、労働者の感情を抑圧することが求められる労働である。感情労働は客室乗務員や看護師、介護士、教師など様々な職種に必要不可欠となっている。このような職種の労働者は、気分が落ち込んでいる時でも、顧客に対し明るく振る舞わなければならない。労働者が PerformEyebrow を装着することで、自身の感情を隠蔽できる。

また、プレゼンテーションがある。プレゼンテーションの発表者は、緊張している場合でも表情に出すことなく、堂々とした発表をすることが求められる。発表経験が豊富でない発表者でも、PerformEyebrow を装着することで、TED のような情緒的なプレゼンテーションができる。

さらに、麻雀や人狼ゲームのような対面心理戦ゲームがある。麻雀や人狼ゲームのような対面心理戦ゲームでは、自身の感情を隠蔽し感情を偽ることで、相手を欺かなければならない場面が存在する。自身の感情を不意に出してしまうような、感情の隠蔽が苦手な人でも、PerformEyebrow

を装着することで、白熱した心理戦が可能となる。

4.2 要件

上述した利用シナリオを満たす要件を以下に列挙する。

- (1) 小型・軽量：顔への装着を想定しているため、軽量かつ小型である必要がある。
- (2) デザインの多様性：眉毛は、長さ・形状・太さなど多様で、さまざまな眉毛形状をデザインできる必要がある。
- (3) 眉毛形状の変化：眉毛の形状を動的に変えられる必要がある。
- (4) 表情識別の自動化：PerformEyebrow は眉毛の形状変化により表情を拡張する。眉毛の形状変化のきっかけとなる装着者の感情変化として表出される表情を識別する必要がある。

4.3 形状変化素材の検討

表情制御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を満たしているか検討する。要件 (4) は素材に依存しないため、それ以外の要件 (1) 小型・軽量、要件 (2) デザインの多様性、および、要件 (3) 眉毛形状の変化に対して議論する。

4.3.1 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。さらに、株式会社記録素材総合研究所は^{*4} 20℃~60℃まで 5℃ごとに変色する温度が異なるサーモクロミックインクを販売している。温度で変色するというサーモクロミックインクの特性を利用して、サーモクロミックインクを温めたり冷やしたりすることで、サーモクロミックインクで描かれた眉毛の形状を動的に変化させられる。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。例えば、つけ眉毛にサーモクロミックインクを塗布することも可能である。サーモクロミックインクは、インクという特性上、小型かつ軽量である。また、様々な形状の眉毛を作ることができる。さらに、コンシーラを使って眉毛を作ることもあり、サーモクロミックインクを使った眉毛の作り方は、既存のスキルを援用できる。

^{*3} <https://www.sfx.co.uk>

^{*4} <https://www.kirokusozai.com/>

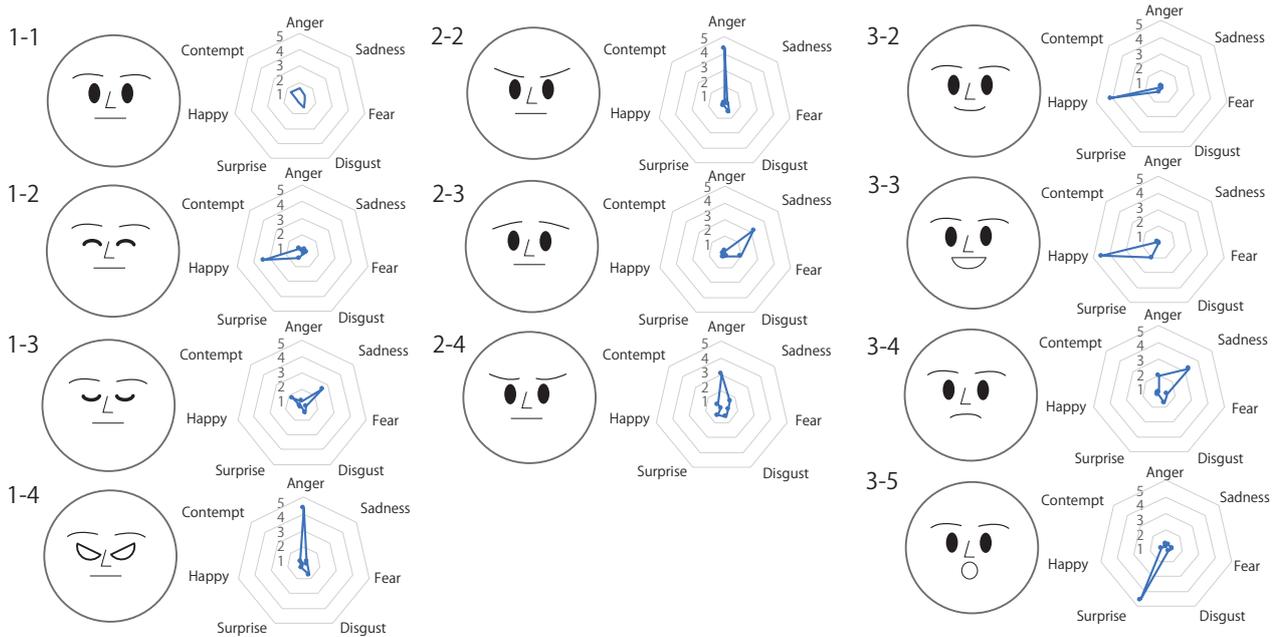


図 2 使用した絵文字と実験結果

1-1

T1: Please enter the number written on the upper left part of the face.
example: 1-1 _____

T2: Please assign an emotional tag to this image.
○ Anger ○ Sadness ○ Fear ○ Disgust ○ Surprise ○ Happy ○ None of the Above

T3: On a scale of 1-5, how much do you think it shows the following "emotions"?
example: 1 (NOT Anger) ----- 5 (Anger)

Anger _____
Sadness _____
Fear _____
Disgust _____
Surprise _____
Happy _____

* If you selected "None of the Above" in the previous question(T2), please answer this.
Emotion (that you felt was shown on the face)
○ _____

T4: Any additional comments
* If you selected "None of the Above" in the previous question(T2), please write the "emotion" that you felt was shown in the image.
* If you don't have any comments, write "nothing", please.

図 3 実験システムのスクリーンショット

4.3.2 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。このフォトクロミックの特性を利用することで、フォトクロミックを利用して描かれた眉毛に対して、部分的に赤外光や紫外光を照射することで、眉毛形状を動的に変えられる。また、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、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、太陽光を遮断するような仕組みも必要になる。

4.3.3 ディスプレイ

液晶ディスプレイや有機 EL 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。また、小型・軽量化も困難である。しかし、眉毛形状を多様に変更でき、多彩な色を表現できる利点がある。

以上の分析より、4.2 節で述べた要件をもっとも満たす素材としてはサーモクロミックインクが適しているといえる。

4.4 発熱素材の検討

サーモクロミックインクを変色させるための素材として、電熱線、ペルチェ素子、液体用ポンプが考えられる。前節と同様、要件 (1) 小型・軽量、要件 (2) デザインの多様性、および、要件 (3) 眉毛形状の変化を基準に、各発熱素材の利点欠点を分析し、使用する発熱素材を検討する。なお、PerformEyebrow は図 4 に示すように眉毛をブロックに分割し、ブロックごとに発熱させるかどうか切り替えることで、眉毛形状を変化させる。眉毛という狭い範囲に対して独立して制御可能かどうかについても検討する必要がある。

4.4.1 電熱線

銀ナノインクを利用すれば、市販のプリンタで精密な電熱回路を制作でき [12]、軽量・屈曲可能・多様な形状の電熱線を制作できる。同時に、コネクタを複数設けることも

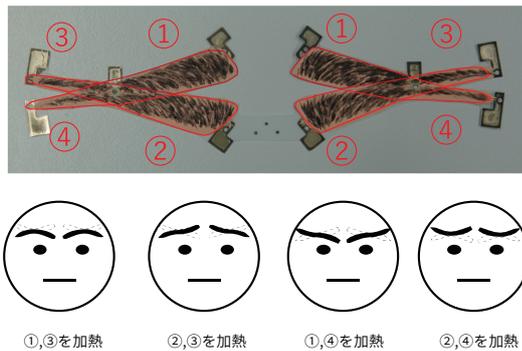


図 4 4 個のブロックに分割した眉毛

容易にでき、ブロックごとに電熱回路を独立して制御することができる。電熱線の欠点として、冷却するためには自然冷却させる必要がある。

4.4.2 液体ポンプ

サーモクロミックインクが塗布された眉毛部分の裏側にチューブを張り巡らし、冷却水や熱水を流すことで、サーモクロミックインクの発色や消色を制御できる。しかし、眉毛のブロックごとに独立して制御するためには多数のチューブが必要になり、小型化が難しい。

4.4.3 ペルチェ素子

ペルチェ素子は液体ポンプと同様に冷却と発熱の両方を実現できる素子である。ペルチェ素子は一般的に矩形でしか生産されておらず、眉毛にフィットする形状を作るとは難しい。また、顔にフィットするように屈曲させることも難しい。

以上の分析より、各素材は利点欠点がある。要件 (1)～要件 (3) を考慮して、PerformEyebrow では、電熱線の発熱を用いてサーモクロミックを変色させる。

4.5 システム構成

PerformEyebrow は表情識別部および眉毛形状制御部（サーモクロミック層、電熱回路層）から構成される。表情識別部は共著者が開発した AffectiveWear を利用する [13]。AffectiveWear は PerformEyebrow が対象とする 6 つの感情を 92.8% の精度で識別できる眼鏡型ウェアラブルデバイスである。AffectiveWear で識別した結果をもとに、眉毛形状制御部のマイクロコンピュータが電熱線の電流制御を行う。眉毛形状制御部は、図 5 に示すように、2 層から構成される。以下、各層について詳細に説明する。

4.5.1 電熱回路層

電熱回路層は図 5-(a) に示すように、紆曲状の回路から構成される。この回路に電流を流すことで電熱回路が発熱する。

4.5.2 サーモクロミックインク層

前述した電熱回路上に、肌色のアクリル絵具を塗布し、図 5-(b) に示すようにサーモクロミックインクで眉毛を描

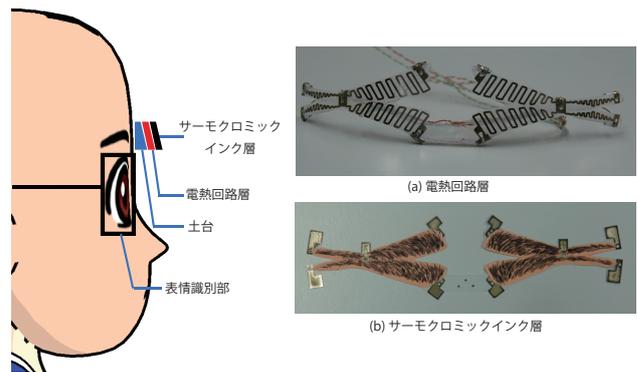


図 5 システム構成

画する。

5. 実装

PerformEyebrow のプロトタイプを図 6 に示す。また、図 5 に示す電熱回路層・サーモクロミックインク層の実装の詳細を以下に示す。

5.1 電熱回路層

図 6 に示す X 型の眉毛の実装を例に説明する。X 型眉毛は形状を変更できるように 4 個のブロックから構成されている。各ブロックの電熱回路を熱するかどうかは独立して制御できる。電熱線の実装には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した。

5.2 サーモクロミックインク層

サーモクロミックインク層は 2 層から構成されている。電熱回路層のシート全体を肌色 (アクリルインク) に塗った。これによりサーモクロミックインクが消えても電熱回路が見えることは防げる。さらに、35℃ を境に黒色から透明に変色する株式会社記録素材総合研究所のサーモクロミックインク (水性スクリーンインキ) を利用した。リアルな眉毛を再現するために golden maple 社の 5/0 サイズの筆を利用した。

6. 眉毛形状の変化が与える印象評価実験

PerformEyebrow を用いて眉毛の形状を変えることで、印象が変化していることを評価するために、評価実験を実施した。評価に使用する感情は、Ekman らが提唱した 6 つの普遍表情 (幸せ、嫌悪、怒り、驚き、恐怖、悲しみ) [4] と Mastumoto が普遍的であると主張した表情 (軽蔑) [14] である。

6.1 実験方法

PerformEyebrow を用いて眉毛の形状を変化させた、図 7 にある表情 7 種をアンケート形式で評価してもらった。

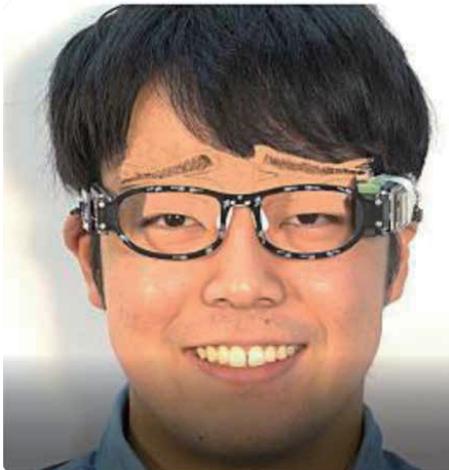


図 6 プロトタイプ

アンケートでは、各表情から受ける印象を、Anger (怒り)・Sadness (悲しみ)・Fear (恐怖)・Disgust (嫌悪)・Surprise (驚き)・Happy (幸せ)・Contempt (軽蔑) の 7 種の感情によってそれぞれ 5 段階でどの程度感情を感じるかを回答してもらった。

6.2 被験者

本実験は大学生 86 名を対象に実施した。

6.3 結果

実験結果を図 7 に示す。各表情の感情の平均値をレーダーチャートでまとめたものである。ニュートラルな表情 1 に対して、眉毛の形状を変えたそれぞれの表情で特徴が表出される結果となった。表情 2, 3, 7 などの下がった形状の眉毛では悲しみが強く見られた。悲しみにおいてマン・ホイットニー U 検定を適用したところ、表情 1 (M=1.48, SD=0.76) と表情 2 (M=3.35, SD=1.26) で有意差が観測された (U=1412, $p<0.01$)。また、表情 1 と表情 3 (M=3.62, SD=1.33) で有意差が観測された (U=1213, $p<0.01$)。さらに、表情 1 と表情 7 (M=3.78, SD=1.25) でも有意差が観測される結果となった (U=1007, $p<0.01$)。よって、表情 1 と比較して、下がった眉毛は悲しみを感じる表情だと言える。次に、表情 4, 6 などの上がった形状の眉毛では、特に怒りが強く見られる結果となった。同様にマン・ホイットニー U 検定を適用したところ、表情 1 (M=1.81, SD=1.08) と表情 4 (M=3.38, SD=1.46) の有意差が観測された (U=1611, $p<0.01$)。また、表情 1 と表情

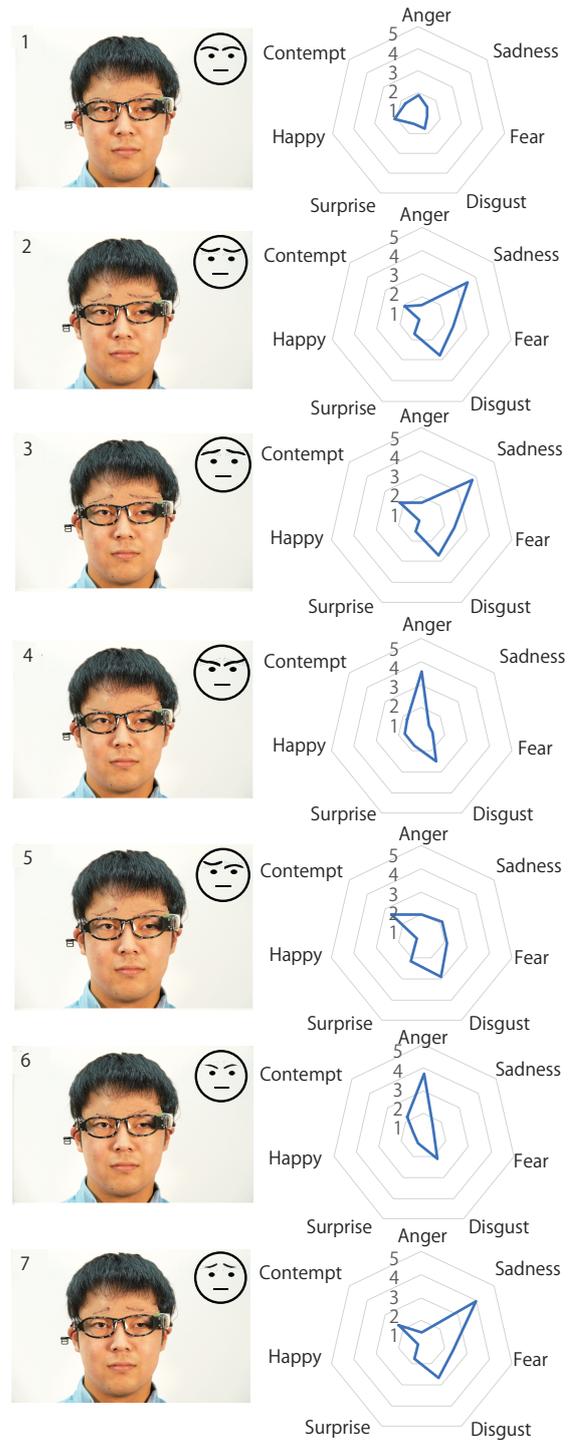


図 7 使用した顔写真と実験結果

6 (M=3.31, SD=1.47) の有意差が観測された (U=1669, $p<0.01$)。よって、表情 1 と比較して、上がった形状の眉毛は怒りを感じる表情だと言える。さらに、片眉が表情 2 の眉毛と同じように下がっている表情 5 の場合、両眉が下がっている表情ほど悲しみが強く現れない結果となった。表情 5 と表情 2, 表情 3, 表情 7 でカイ二乗検定を適用したところ、有意差が観測され ($\chi^2(3)=31.791$, $pp<0.01$)、残差分析の結果、表情 5 の悲しみは有意に少なく ($p<0.05$)、嫌悪が有意に多い ($p<0.05$) 結果となった。よって、表情

5は、下がった眉毛と比較して嫌悪のみ感じる表情だと言える。眉毛の形状によりまとまりを持って特徴が分かれていることから、眉毛の形状の変化により、印象が異なっているということが検証できた。

7. まとめ

本研究では、表情拡張可能な人工眉毛形状制御デバイス PerformEyebrow を構築した。提案デバイスは、識別した装着者の表情をもとに、ダイナミックかつ動的に眉毛の形状を変化させる。人工眉毛はサーモクロミックインクで描かれており、導電性インクで印刷された電熱線に電圧を印加することで、人工眉毛の形状を変化させる。PerformEyebrow のプロトタイプを実装し、PerformEyebrow を装着して眉毛形状を変化させた場合における、印象評価実験を実施し、悲しみや怒りといった感情を表出できることが明らかになった。

今後の課題としては、異なる眉毛形状を用いた場合における印象評価実験の実施、PerformEyebrow の性能評価実験などがある。

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] Godinho, R. M., Spikins, P. and O'Higgins, P.: Supraorbital morphology and social dynamics in human evolution, *Nature Ecology & Evolution*, (online), available from <http://www.nature.com/articles/s41559-018-0528-0> (2018).
- [6] 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).
- [7] Akaike, Y., Komeda, J., Kume, Y., Kanamaru, S. and Arakawa, Y.: AR Go-Kon: A System for Facilitating a Smooth Communication in the First Meeting, *2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th Intl Conf on Automatic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops*, pp. 120–126 (2014).
- [8] 萩原早紀, 栗原一貴: シースルー型 HMD を用いた社会福祉学的アプローチに基づく視線恐怖症的コミュ障支援システムの開発と検証, コンピュータソフトウェア, Vol. 33, No. 1, pp. 52–62 (オンライン), DOI: 10.11309/jssst.33.1.52 (2016).
- [9] 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).
- [10] Kao, H.-L. C., Mohan, M., Schmandt, C., Paradiso, 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).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] Masai, K., Sugiura, Y., Ogata, M., Kunze, K., Inami, M. and Sugimoto, M.: Facial Expression Recognition in Daily Life by Embedded Photo Reflective Sensors on Smart Eyewear, *Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 317–326 (online), DOI: 10.1145/2856767.2856770 (2016).
- [14] Matsumoto, D.: More evidence for the universality of a contempt expression, *Motivation and Emotion*, Vol. 16, No. 4, pp. 363–368 (1992).