

1 ドット LED の発光パターンが感情に与える影響

山本剛生¹ 土田修平¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要: LED を用いた電飾は, 多くの人を魅了する手段の一つとして日常生活で広く普及している. LED の電飾は観客に対して喜びや感動といった感情を想起させ, 電飾を構成している発光パターンの種類によって観客が抱く感情は異なる. そのため, 観客に特定の感情を与える LED の電飾を演出する場合, その電飾を構成する LED の発光パターンを適切に設計することが重要である. しかし, 発光パターンは制作者の経験やセンスに基づいて作られており, 制作者が意図した感情を観客に与えられていない可能性がある. LED の発光パターンがどのような感情に影響を与えるのかを調査し, LED の発光パターンとそれが与える感情との関係が分かれば, 制作者の電飾に対するコンセプトを観客に伝えることができる. そこで, 本研究では LED の発光パターンが感情に与える影響を調査し, 感情と発光パターンの関係を明らかにすることを目的とする. まずは, 単純な LED の発光パターンと感情の関係を明らかにするため, 1 ドットの LED の発光パターンが人の感情に与える影響を調査する. 4 つの要素を組み合わせて作成した基礎パターンと映像を LED に出力した映像パターンがどのような感情に影響するのか調査した. 実験結果より, 赤色は怒り, 青色は悲しみに影響を与えるといった, 色彩による感情への影響があることがわかった. また, 色や明るさが不規則に変化する複雑な発光パターンのほうが不思議に影響を与えやすいことがわかった. 回帰分析の結果, 全パラメータの中で LED の発光パターンの 1 周期の時間が複数の感情にとって重要な要素であることがわかった.

1. はじめに

LED を用いた電飾は, 多くの人を魅了する手段の一つとして日常生活で広く普及している. 例えば, アーティストのライブでダンサーが身に纏う電飾衣装やステージに設置された LED パネルのパフォーマンス [1], 広場や樹木を無数の LED で美しく照らすイルミネーション [2] など, 様々な場所で LED の電飾が用いられている. さらに近年では, 音に連動して光の演出が変化するドーム型の光のオブジェ [3] や, 観客の頭上に光を照射して広場一面を海底に見立てることによって, 海底を散歩しているかのような体験ができるイルミネーション [4] といった LED の電飾が登場している. このような LED を用いた電飾は, 観客に対して美しいや綺麗であるといった印象を抱かせ, 喜びや感動といった感情を想起させる. また, LED の電飾は LED の様々な発光パターンによって構成されているが, 発光パターンの種類によって観客が受け取る印象や抱く感情は異なる. そのため, 観客に特定の感情を与える LED の電飾を演出する場合, その電飾を構成する LED の発光パターンをどのように設計するかが重要である.

しかし, 電飾に用いる LED の発光パターンは制作者の

経験やセンスに基づいて作られており, LED の発光パターンとそれが与える感情との関係は体系的にまとめられていない. つまり, 制作経験の浅い人やセンスに乏しい人が LED の発光パターンを作る場合, 制作者が意図した感情を観客に与えられていない可能性がある. そのため, 制作者の作った発光パターンが観客に与えたい感情と異なる感情を表現してしまい, 制作者の電飾に対するコンセプトが観客に伝わらない恐れがある. この課題を解決するために, LED の発光パターンがどのような感情に影響を与えるのかを調査する必要がある.

発光パターンと感情の関係に関わる研究として, 物体色における色彩が与える感情についての研究がいくつかみられる. 例えば柳瀬 [5] は, 色彩が与える感情について述べており, 色彩が人に与える心理的効果として, 赤には怒り, 青には悲しみがあるなど, 色彩が与える感情や色彩の持つ印象についてまとめている. そのため, LED の発光パターンを考える上でも光源色が感情に与える重要な構成要素の一つとなる可能性がある. また, Terada ら [23] は, ロボットに搭載した LED を使って発光パターンと感情の関係を調査し, 基本的な感情と発光パターンの関係について明らかにした. しかし, LED 単体のさまざまな発光パターンとそれが与える感情との関係は筆者らの知る限り調査されて

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

こなかった。

そこで、本研究ではLEDの発光パターンが感情に与える影響を調査し、発光パターンと感情の関係を明らかにすることを目的とする。本稿では、単純なLEDの発光パターンと感情の関係を明らかにするため、1ドットのLEDの発光パターンが人の感情に与える影響を調査する。調査方法としては、筆者が考えた27種類のLEDの発光パターンから感じた感情の度合いを5段階で評価する。実験結果を回帰分析することで、LEDの発光パターンの構成要素の中で重要な要因を特定し、ある感情を表すのに最適な発光パターンを検討する。

2. 関連研究

本研究は光源色における色彩の心理的効果に触れるため、物体色での心理的効果について述べている研究を紹介する。次に、LEDの発光以外の対象物が表現する感情に関する研究を紹介する。最後に、LEDの点滅を用いた様々な提案手法について述べている研究を紹介する。

2.1 色彩の心理的効果に関する研究

色彩の心理的効果について調査する研究は数多く行われている。色彩と感情の関係を調査した研究として、Liら[6-8]は、色の組合せが喚起する感情や、色の好みに与える影響を調査した。調査の結果、色の活性度、色の重み、色の熱量という色に抱く感情の要因を特定し、色感情モデルを開発した。Hanada[9]は、感情の円環モデルと色相円の構成が対応するという仮説を検証するために、コレスポネンス分析を使用して感情を表現する単語と色の分割表を分析した。分析の結果、この仮説は立証されなかったが、コレスポネンス分析が色と感情の関連性をさらに解明するのに有効であることを示唆した。他にも、Güneşら[10]は室内空間の色に対する感情の反応を調査した。この研究では、被験者に基本6感情(喜び、悲しみ、怒り、恐怖、嫌悪、驚き)を表現している顔の表情の中から、提示された色の室内空間に最もよく合う顔の表情を選ばせた。実験結果から、赤い壁の部屋は嫌悪感と幸福感、緑の部屋は幸福感、青の部屋は無感情、灰色の部屋は無感情、嫌悪感、悲しみの感情と結び付けられることが多かった。

日常生活における色彩を用いた研究として、Luwenら[11]は消費者が製品を購入する際の意味決定に色彩連想要因が影響を与えるかどうかを調査した。色彩連想要因とは、橙色からオレンジを連想し、紫色からはラベンダーの香りがするのがふさわしいように、ある色が製品にとって意味・情報の点から適切であるかどうかを意味している。実験結果から、被験者が特定の色の好みをもたない場合、どのような色の製品を購入するのかの意思決定に、色彩連想要因が主要な要因の一つであることが示唆された。一方でFateminiaら[12]は、食品および食品包装で一般的に使用

される色に対する味覚への反応を調査するため、被験者に原色、二次色、無彩色が味覚へ与える影響について7種類の味の中から該当する項目を選択させた。実験結果から、色から感じられる味覚と色相環との間に有意な相関関係があること、紫以外の二次色から知覚される味はそれを形成する二つの原色の間の共通の味であることを明らかにした。

このように色彩の心理的効果に関する研究は数多く行われているが、これらは物体色について調査したもので、光源色については考慮されていない。本研究では、LEDの光源色を考慮して、発光パターンが感情に与える影響を調査する。

2.2 感情表現に関する研究

メディアを用いて感情の表現を試みた研究は数多く行われている。映像を用いた研究として、金ら[13]は、制作者のメディア・リテラシーの向上を支援するため、映像メディアが引き起こす感情を調査した。実験では、被験者に映像を提示し、16個の感情の中から生じた感情を選択させた。また、富川ら[14]は、映像内の平面図形の動きが感情に与える影響を調べた。単純な小円の図形を用いて上下・往復・回転といった12種類の動きについて、被験者がどのような感情を連想するのかについて実験を行った。実験結果より、単純図形の単純な移動だけで対象の感情推定が可能であることがわかった。また、映像と動きの両方に注目した研究として、鹿内ら[15]は、喜び・悲しみ・怒りの3感情を表現した舞踊動作のビデオ映像と点光源映像を被験者に提示し、表現者の意図する感情を読み取れるか検証した。点光源映像とは、舞踊動作を行う人に対してモーションキャプチャを用いることで骨格座標を取得し、その座標点に点光源を置いた映像である。実験結果から、ビデオ映像と点光源映像の両方において鑑賞者は表現者の意図する感情を読み取れていたため、どの感情も適切に表現されていた。しかし、各映像の印象評価を行った結果、喜び表現において「躍動的な」などの項目が点光源映像よりビデオ映像のほうが高く評価された。一方で、悲しみ表現において「寂しい」などの項目がビデオ映像より点光源映像のほうが高く評価されるなど、ビデオ映像と点光源映像から受ける印象は異なることがわかった。

ニューラルネットワークを用いた感情表現に関する研究として、井上ら[16]は、ロボットの手振り、お辞儀といった身体動作に感情表現を付与するための変換モデル、RNNPB-Transを開発した。このモデルを使用することによって、感情を付与していない手振り動作に対して喜びや怒り、悲しみといった感情を与えることができた。他にも、大出ら[17]は、感動という観点から音を評価している。音楽聴取実験を行い、音楽から受けた印象について感動を表現するさまざまな言葉の分類表(感動評価尺度)と「すごく良かった(感動した)」で評価させた。実験結果から「すご

く良かった(感動した)」が高く評価された楽曲でも感動評価尺度の評価パターンは異なっており、音楽聴取時の感動にも種類があることが示された。

このように感情表現に関する研究は数多く行われているが、LEDの発光パターンが想起させる感情については筆者の知る限り調査されていない。本研究ではLEDの発光パターンに対する感情評価の基礎実験を行う。

2.3 LEDの点滅を用いた応用研究

LEDの点滅・明滅パターンを利用した応用研究は数多く行われている。丸山ら[18]は、ドライバーに注意を促す方法として、フレーム内でLEDを点滅できる雰囲気メガネを用いる手法を提案した。このシステムでは、LEDの点滅により注意喚起を行い、注意力の向上について検討した。雰囲気メガネによる事前通知により指標の発見率と指標の向きを問う問題の正答率が上がるとともに、応答時間が短縮することが示され、LED点滅によって注意力の向上が確認できた。LEDの点滅による視認性の向上を検討した研究として、前田ら[19]は歩行者に光を照射する前照灯「インテリジェントヘッドライト」を提案し、その実現に向けて歩行者を照射するのに有効な点滅パターンを検討した。実験結果から、瞬間的な照射かつ高速な点滅パターンが最も視認性が高いことがわかった。また、白岩ら[20]は、視認性の高いLED警光灯の点滅パターンの開発を目的として、様々な点滅パターンの視認性を調査した。この研究では、点灯時間・滅灯時間・光強度・立ち上がり時間をパターンの構成要素としている。実験結果を分析したところ、滅灯時間が視認性に対して強く関与していることがわかった。

他にも、LEDの点滅をロボットに組み込んだ研究がある。Kobayashiら[21]は、様々なLEDの点滅パターンで発光するロボットと音声対話システムを組み合わせ、被験者がホテルの予約作業を行うという音声対話実験を行った。実験結果より、オンオフを繰り返す点滅パターンが対話において被験者に心地よい印象を与えることが示唆された。港ら[22]は、小型の人間型ロボットメディアに人間らしい自然な動作を表出させる方法として、運動錯視を引き起こすLED明滅光を用いる手法を提案した。この研究では、携帯型で遠隔操作可能なアンドロイドの内側に取り付けられたLEDの配置や明滅によって傾き錯覚を誘発することで、ロボットと人間のコミュニケーションの質が向上する可能性を示した。ロボットのLEDの点滅により感情表現を実装する研究として、Teradaら[23]は、ロボットの体の色を変化させるという手法を提案した。この研究では、発光パターンの色、周期時間、波形の各パラメータを操作することで、さまざまな発光パターンを表現することができるロボットを用いて、ロボットが人の感情に与える影響を調査した。結果、基本的な感情と発光パターンとの間

に関係があるものが存在することがわかった。Feldmaierら[24]は、LEDを搭載したロボットの光のパターンと適切な動きのパターンで感情を表現できるか調査した。この研究では、文化や個人的な差による感情と色の結びつきの違いを回避するために、文化的に同じ意味を持つシンボルを用いた光のパターンを作成した。

このように、LEDの点滅を用いた研究やLEDの点滅とロボットを組み合わせた研究は数多く行われているが、LEDの発光パターンのみを考慮してはいない。本研究では、LEDの発光パターンのみに着目した基礎研究を行う。

3. 実験

単純なLEDの発光パターンと感情の関係を明らかにするために、1ドットのLEDの発光パターンが人の感情に与える影響を調べるための実験を行った。4つの要素(色、明るさ、発光周期、明滅変化)を組み合わせ作成した基礎パターンと映像をLEDに出力した映像パターンがどのような感情に影響するのか調査する。なお本実験は、神戸大学大学院工学研究科人を直接の対象とする研究倫理審査委員会の承認を受けて行ったものである(審査番号03-52)。

3.1 実験準備

図1に実験に使用する1ドットのLEDを示す。1ドットのLEDはLEDテープから1つのLEDチップを切り取り使用した。LEDチップに内蔵しているLEDはWorldsemi社のWS2812B*¹である。LEDチップに表示する発光パターンを制作する手順について説明する。図2に制作手順の流れを示す。まず、各発光パターンを表した映像を、映像制作ソフト(Adobe After Effects [25])を用いて作成する。次に、作成した映像から1ドットのLEDに光として出力できるように変換するため、Processing [26]を用いて映像1フレームごとに1ピクセルのRGB値を取得する。最後に、すべてのフレームで取得したRGB値をテキストファイルに保存する。テキストファイルに保存された発光パターンをLED上で表示するためにマイコン(Teensy3.5 [27])を用いて制御する。実験では、基礎パターンと映像パターンの2種類のLED発光パターンを作成した。基礎パターンは、LEDの色・明るさ・発光周期・明滅変化の4つの要素を組み合わせ作成したパターンである。4つの要素について述べる。

色(赤(R)・緑(G)・青(B)) LEDの発光色と定義する。

光の3原色である赤(R)・緑(G)・青(B)の3種類を用意した。

明るさ(100%・10%) LEDの明るさの最大値と定義する。LEDが最大で光ることができる100%と10%の

*1 WS2812Bのデータシート、
<https://drive.google.com/file/d/1eZ1y1Uc6b9yEbHcR848MkjqBMfZ1zzjh/view?usp=sharing>



図 1: 実験で用いた LED チップ

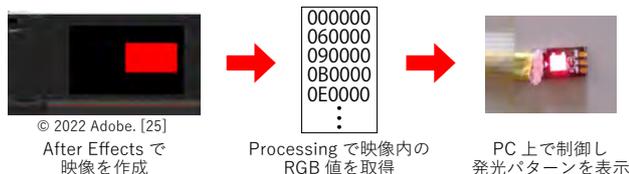


図 2: 発光パターンを表示する手順

2 種類を用意した。

発光周期 (6 秒・0.6 秒) LED の発光パターンの 1 周期の時間と定義する。

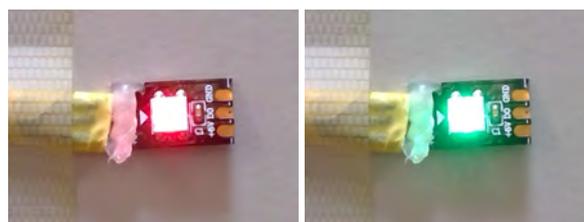
明滅変化 (点滅・線形) LED の明るさの変化の度合いと定義する。オンオフを繰り返す点滅と、明るさが 0 から最大、最大から 0 へと一定に変化する線形の 2 種類を用意した。

これらの要素をまとめると、色が 3 種類、明るさが 2 種類、発光周期が 2 種類、明滅変化が 2 種類の、計 24 種類の基礎パターンを作成した。なお、明るさが 100% の際、LED に流れる電流は 5.2mA、かかる電圧は 5.0V であった。図 3 から図 5 に各基礎パターンで光らせたときの LED チップとパターンに対応した要素を波形で示す。映像パターンは、用意した映像にマスキング処理を行い、それを LED に出力したものである。本実験では、出力した際に基礎パターンの赤・緑・青の色に近い、炎・小川・クラゲの 3 種類の映像を用いた。用いた映像と切り抜き箇所を示した画像、実際に LED チップで光らせたときの写真を図 6 に示した。これらの映像パターンと基礎パターンを合わせた計 27 種類の発光パターン*2 を用いて感情に与える影響を評価した。

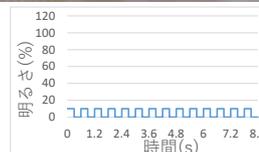
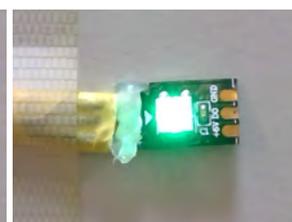
3.2 評価項目の選定

実験で評価する感情項目は喜び、悲しみ、怒り、恐怖、驚き、嫌悪、落胆、不思議の 8 項目である。喜び、悲しみ、怒り、恐怖、驚き、嫌悪の 6 つの感情に関しては、エクマンが提唱した人間の基本 6 感情 [28] から採用した。落胆と不思議の感情項目については、事前に LED 映像制作の専門家 [29] にアンケート調査を行い決定した。アンケートで設けた設問を以下に示す。

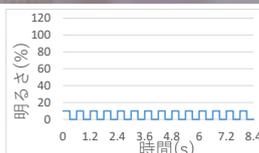
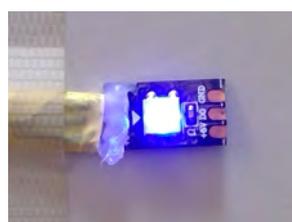
*2 LED の発光パターンの映像、
<https://drive.google.com/drive/folders/1biPmJwBW2QHSqUqiU1sG0-ow100GDPkh?usp=sharing>



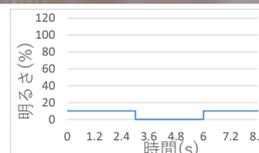
(a) 赤, 10%, 0.6 秒, 点滅



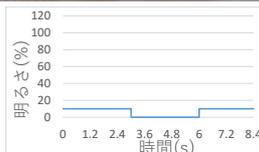
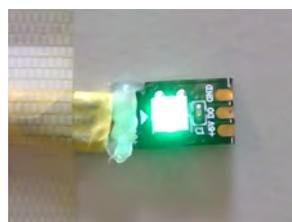
(b) 緑, 10%, 0.6 秒, 点滅



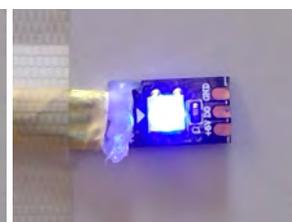
(c) 青, 10%, 0.6 秒, 点滅



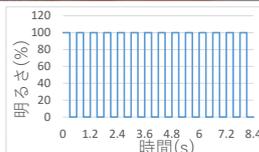
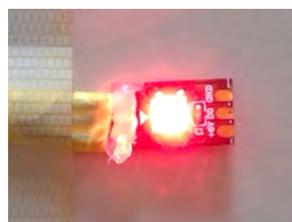
(d) 赤, 10%, 6 秒, 点滅



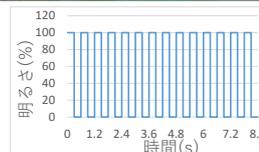
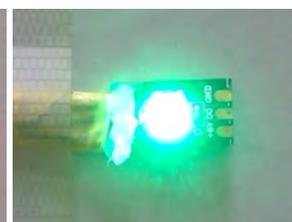
(e) 緑, 10%, 6 秒, 点滅



(f) 青, 10%, 6 秒, 点滅

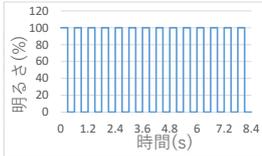
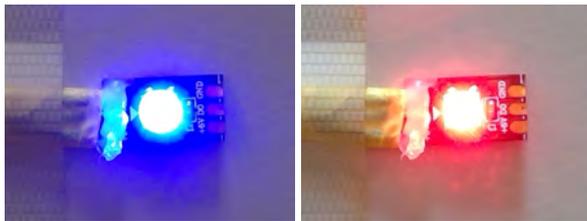


(g) 赤, 100%, 0.6 秒, 点滅

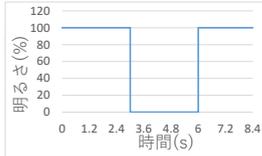
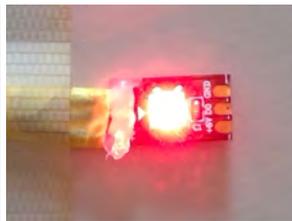


(h) 緑, 100%, 0.6 秒, 点滅

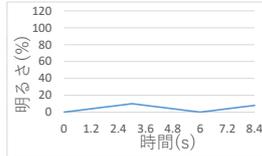
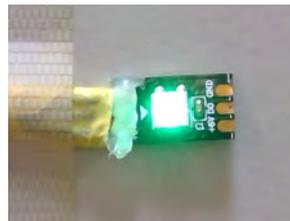
図 3: 基礎パターン 1 (色, 明るさ, 発光周期, 明滅変化)



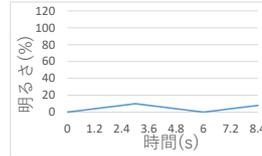
(i) 青, 100%, 0.6秒, 点滅



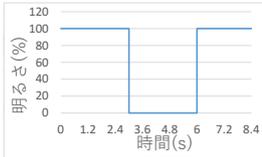
(j) 赤, 100%, 6秒, 点滅



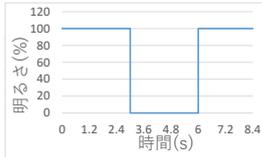
(q) 緑, 10%, 6秒, 線形



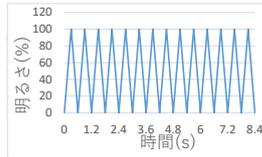
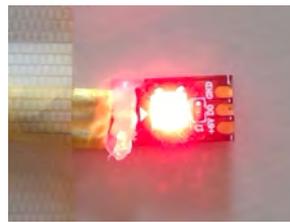
(r) 青, 10%, 6秒, 線形



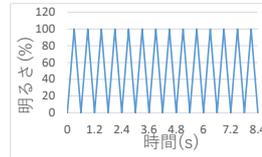
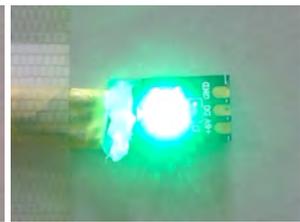
(k) 緑, 100%, 6秒, 点滅



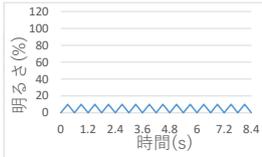
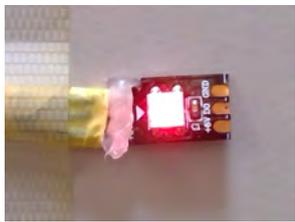
(l) 青, 100%, 6秒, 点滅



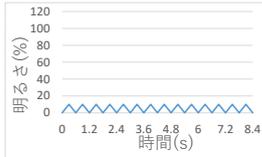
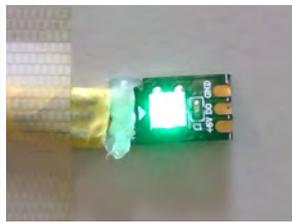
(s) 赤, 100%, 0.6秒, 線形



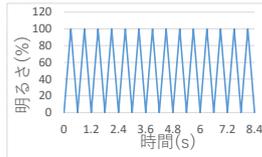
(t) 緑, 100%, 0.6秒, 線形



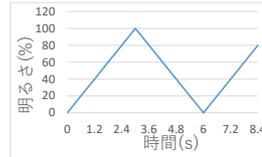
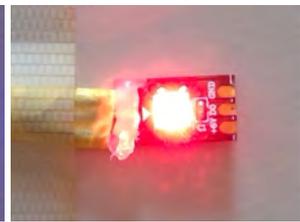
(m) 赤, 10%, 0.6秒, 線形



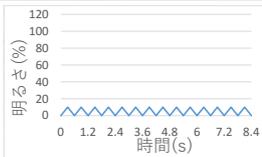
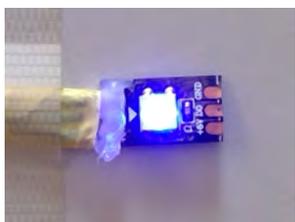
(n) 緑, 10%, 0.6秒, 線形



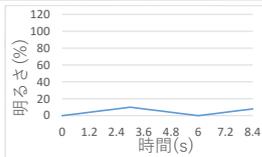
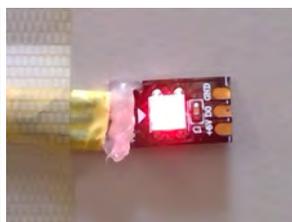
(u) 青, 100%, 0.6秒, 線形



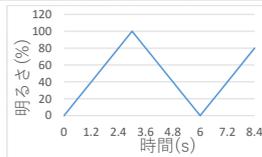
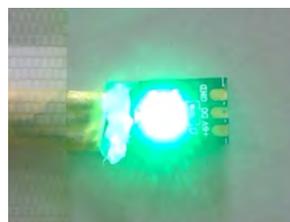
(v) 赤, 100%, 6秒, 線形



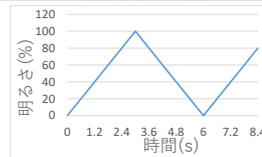
(o) 青, 10%, 0.6秒, 線形



(p) 赤, 10%, 6秒, 線形



(w) 緑, 100%, 6秒, 線形



(x) 青, 100%, 6秒, 線形

図 4: 基礎パターン 2 (色, 明るさ, 発光周期, 明滅変化)

図 5: 基礎パターン 3 (色, 明るさ, 発光周期, 明滅変化)

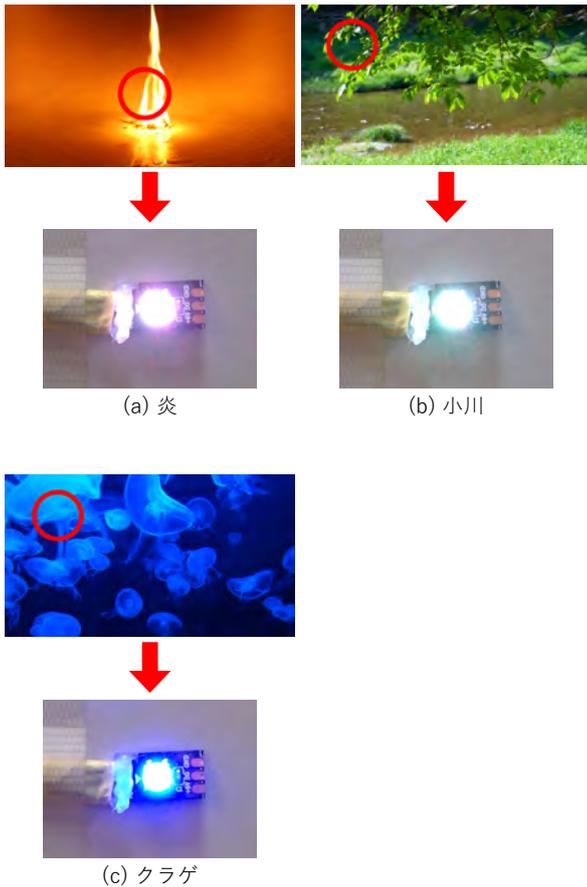


図 6: 映像パターン

- LED のアニメーションを見る人に対して、どのような感情を抱かせようと思いませんか？ 思ったものを全て回答してください (例：喜び、怒り、驚き、悲しみ、恐れ、嫌悪、幸福、満足、不満、落胆、安堵など)。
- LED のアニメーションを見る人に対して、どのような感情を抱いて欲しくないと思いませんか？ 思ったものを全て回答してください。

アンケート結果より、落胆は LED の電飾を見る人に与えたくない感情として、不思議は与えたい感情としてそれぞれ候補に挙がった。

3.3 実験方法

実験では、3.1 節の手順で作成した 27 種類の発光パターンがどのような感情を与えるかについて調査した。実験環境の様子を図 7, 8 に示す。周囲の光による影響を無くするため、部屋の電気を消し、周囲の光が入らないような状態で実験を行った。被験者の両側にはパーテーションと遮光シートを配置し、外部からの光が入らないようにした。また、被験者と LED の距離を約 1.5 m 離し、LED の光が正面に見えるようにした。被験者は、20 代の男性 15 名である。被験者に作成した 27 種類の LED の発光パターンをランダムな順番で提示した。発光パターンを見る時間は被験

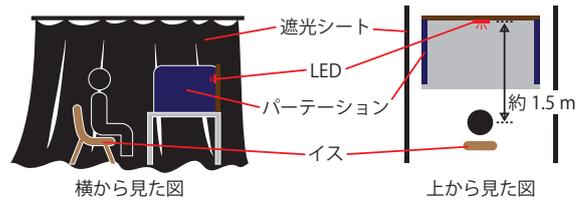


図 7: 実験環境



図 8: 実験環境の写真

者の任意とした。一つの発光パターンが終了するごとに、8 つの感情項目について、被験者が感じた感情の度合いを 5 段階 (1: 全く感じなかった, 2: あまり感じなかった, 3: どちらとも言えない, 4: まあ感じた, 5: 大変感じた) で評価してもらった。また、評価を回答する方法は、紙に印刷された評価シートに記入してもらった。感情項目は、3.2 節で示したエクマンが提唱した人間の基本 6 感情 [28] と落胆、不思議の 8 項目である。

3.4 実験結果と考察

被験者 15 人のアンケート結果から、各パターンにおける感情ごとの評価値の平均を算出した。結果を図 9 から図 16 に示す。全パターンの中で、各感情の評価値の平均が最大値を示したパターンがその感情に影響を与えやすいと考えた。その結果を表 1 に示す。反対に、各感情の評価値の平均が最小値を示した発光パターンがその感情に影響を与えにくいと考えた。その結果を表 2 に示す。また、嫌悪の評価値の平均が 3 以上を示したものがなかったため、本実験で用意したパターンでは影響を与えにくかったと考えられる。各パターンにおける感情ごとの評価値の平均の結果より、色について以下のことが分かった。

- 赤色の発光パターンは、他の 2 色の発光パターンよりも怒りのスコアが高い。
- 青色の発光パターンは、他の 2 色の発光パターンよりも悲しみのスコアが高い。
- 緑色の発光パターンは、他の 2 色の発光パターンよりも不思議のスコアが高い。

赤色の発光パターンが怒りに、青色の発光パターンが悲しみに影響を与えやすいため、LED の発光においても色彩による感情への影響が存在すると考えられる。色以外の要素について、図 13 から発光周期が 6 秒のパターンは驚きのスコアが低く、反対に発光周期の 0.6 秒パターンは驚きのスコアが高い傾向にあるため、発光周期の短い発光パター

ンのほうが、驚きの感情に影響を与えやすいと考えられる。色、発光周期以外の要素については傾向が見られなかった。個人間でスコアの差が大きかった感情項目は恐怖であり、特に全ての映像パターンにおける恐怖のスコアの個人差が大きかった。このことから、LEDの発光パターンに対して恐怖を感じるかは個人による部分が多い可能性がある。他に個人差の大きかったパターンの感情は、基礎パターン(赤, 100%, 0.6秒, 線形)の嫌悪であった。基礎パターンと映像パターンの比較のため、全基礎パターンと全映像パターンの感情のスコアの平均と各映像パターンの感情のスコアを表3,4に示す。基礎パターンと映像パターンの感情ごとの評価値の平均を比較すると、基礎パターンより映像パターンのほうが不思議のスコアが高い傾向があった。このことから、単純な発光パターンよりも、色や明るさが不規則に変化する複雑な発光パターンのほうが不思議の感情に影響を与えやすいと考えられる。各映像パターンごとに結果をまとめると以下のようになった。

- 炎の映像パターンは、基礎パターンよりも驚き、不思議のスコアが高い。
- 小川の映像パターンは、基礎パターンよりも喜び、不思議のスコアが高い。
- 小川の映像パターンは、基礎パターンよりも悲しみ、怒り、恐怖、嫌悪、落胆のスコアが低い。
- クラゲの映像パターンは、基礎パターンよりも不思議のスコアが高い。
- クラゲの映像パターンは、基礎パターンよりも怒り、嫌悪のスコアが低い。

被験者に回答してもらった実験後のアンケートの設問と回答をまとめたものを以下に示す。

- 評価した際に、自分の中で設けた基準やパターンを見て抱いたイメージがあれば教えてください。
 - 明滅感覚の短いパターンは何となく喜びを感じた。赤は怖い感じ、青は悲しい感じがした。落胆は分からなかった。
 - 色の影響が一番大きかった。あと激しい点滅では危機感を覚えた。
 - 点滅が早いパターンは、驚きに近い。
 - 仮にその光り方をする生物がいたとして、出会った時に何を考えているかをイメージした。
 - 赤色は危険や恐怖など、青色は悲しみや不思議、緑は不思議が強く感じた。点滅が強いと恐怖や怒り小さい、ゆっくりだと不思議に感じた。
 - 青色は悲しい、赤色はサイレン、緑色は安らかなイメージだった。
 - 映画の同様の光を使うようなシーンや音楽ライブの照明の意図している光らせ方から感情が出てきたようなイメージだった。

このように、発光を見て直感的に感じたかどうかで判断

する被験者や、あるいは光り方を別の対象に置き換えてから判断する被験者が存在し、判断の仕方によっても個人の結果が異なる可能性がある。また、回答してもらった感情スコアの被験者間の相関係数を表5,6,7に示す。被験者no1とno13の相関係数が0.091となっていることから、回答が大きく異なっているものがあつた。

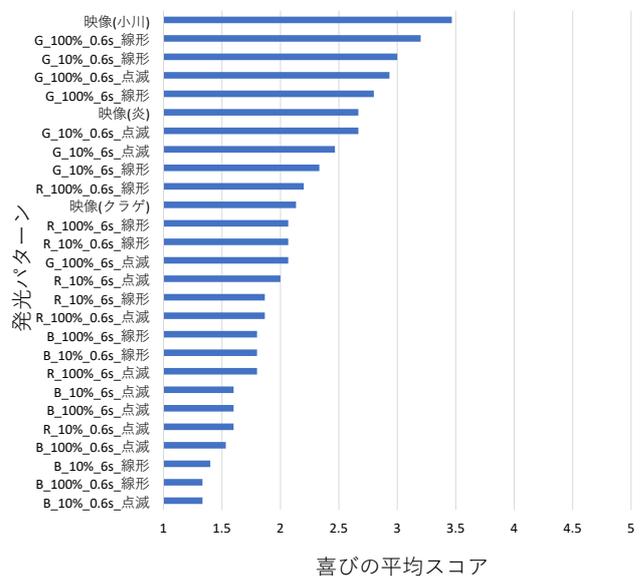


図 9: 喜びの評価値の平均

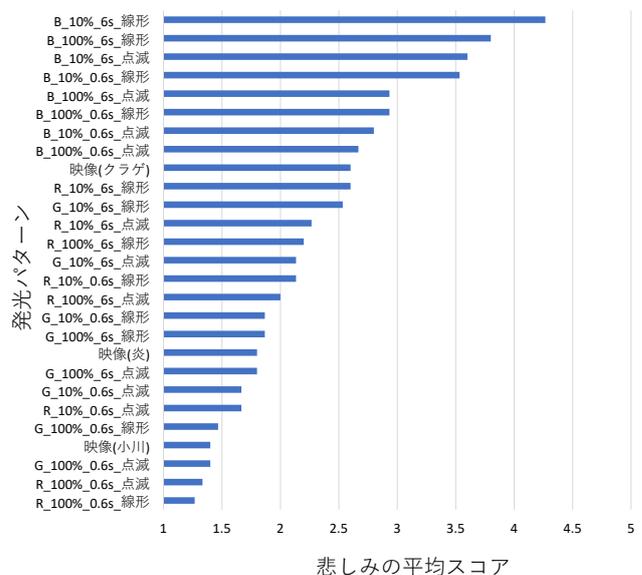


図 10: 悲しみの評価値の平均

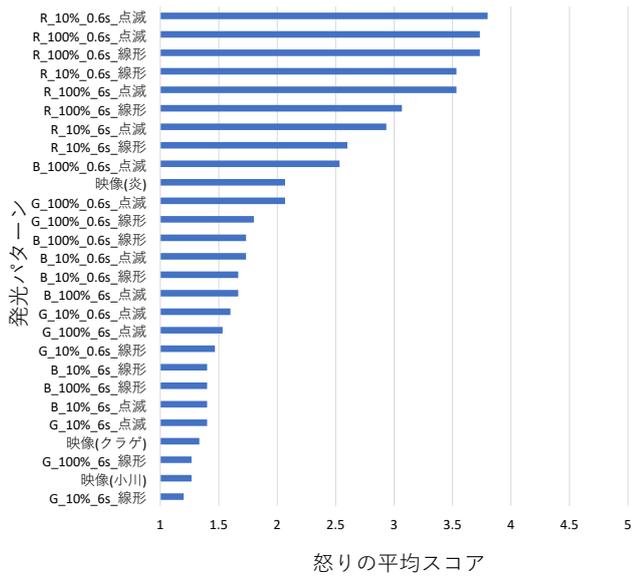


図 11: 怒りの評価値の平均

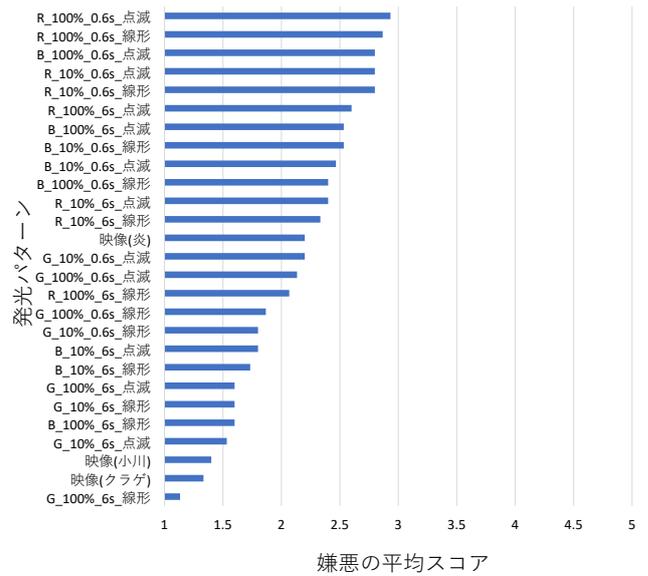


図 14: 嫌悪の評価値の平均

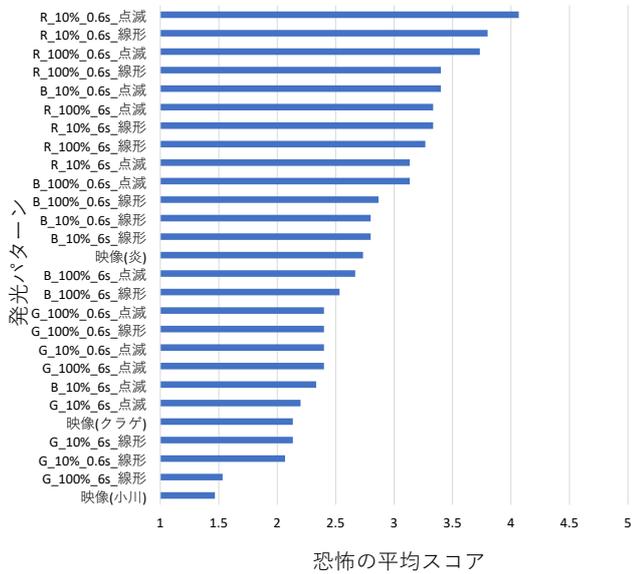


図 12: 恐怖の評価値の平均

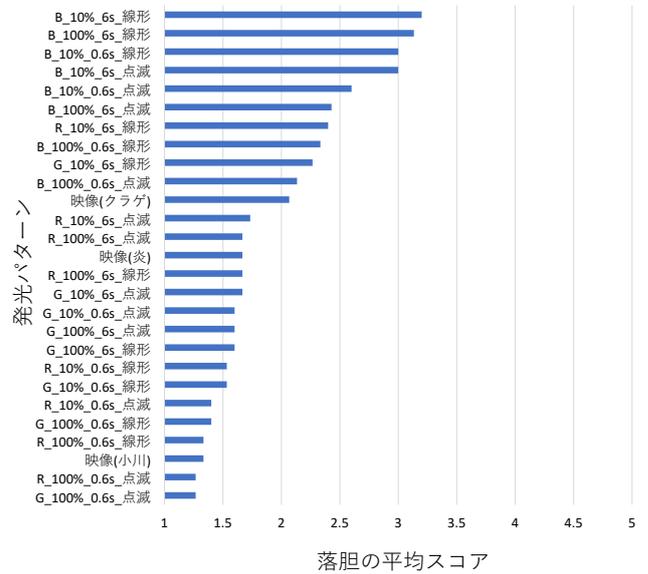


図 15: 落胆の評価値の平均

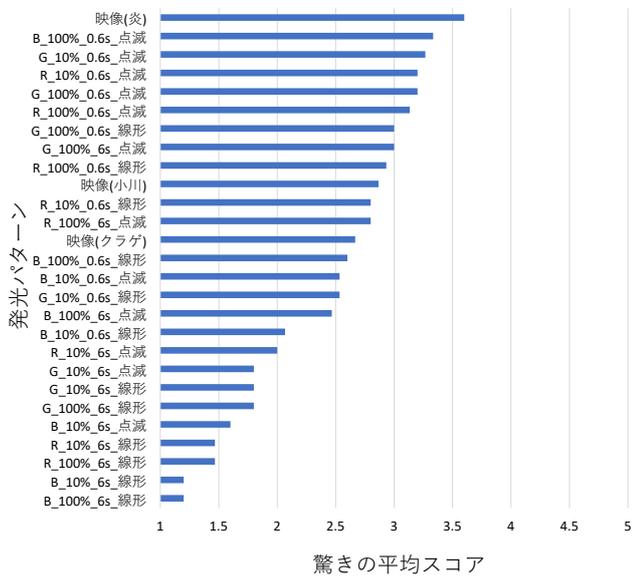


図 13: 驚きの評価値の平均

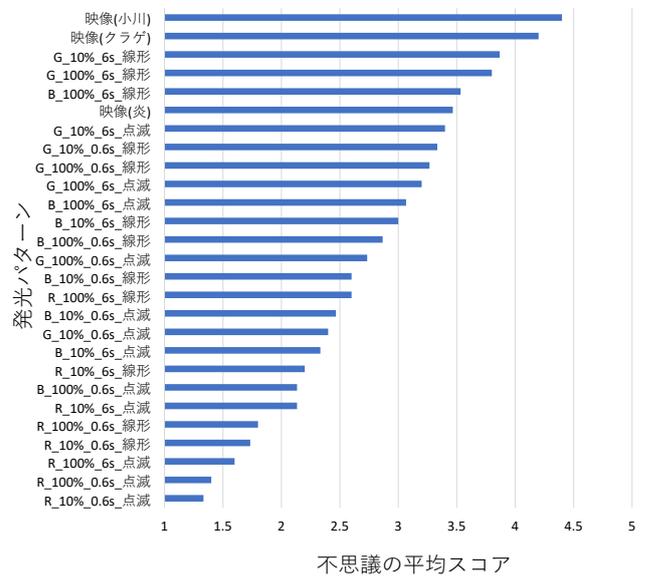


図 16: 不思議の評価値の平均

表 1: 感情に影響を与えやすいパターン

感情	発光パターン
喜び	映像パターン (小川)
悲しみ	基礎パターン (青, 10%, 6 秒, 線形)
怒り	基礎パターン (赤, 10%, 0.6 秒, 点滅)
恐怖	基礎パターン (赤, 10%, 0.6 秒, 点滅)
驚き	映像パターン (炎)
落胆	基礎パターン (青, 10%, 6 秒, 線形)
不思議	映像パターン (小川)

表 2: 感情に影響を与えにくいパターン

感情	発光パターン
喜び	基礎パターン (青, 10%, 0.6 秒, 点滅)
	基礎パターン (青, 100%, 0.6 秒, 線形)
悲しみ	基礎パターン (赤, 100%, 0.6 秒, 線形)
怒り	基礎パターン (緑, 10%, 6 秒, 線形)
恐怖	映像パターン (小川)
驚き	基礎パターン (青, 10%, 6 秒, 線形)
	基礎パターン (青, 100%, 6 秒, 線形)
嫌悪	基礎パターン (緑, 100%, 6 秒, 線形)
落胆	基礎パターン (赤, 100%, 0.6 秒, 点滅)
	基礎パターン (緑, 100%, 0.6 秒, 点滅)
不思議	基礎パターン (赤, 10%, 0.6 秒, 点滅)

表 3: 基礎パターンと映像パターンの感情のスコア 1

発光パターン	感情			
	喜び	悲しみ	怒り	恐怖
基礎パターン (平均)	2.1	2.4	2.2	2.8
映像パターン (平均)	2.8	1.9	1.6	2.1
映像パターン (炎)	2.7	1.8	2.1	2.7
映像パターン (小川)	3.5	1.4	1.3	1.5
映像パターン (クラゲ)	2.1	2.6	1.3	2.1

表 4: 基礎パターンと映像パターンの感情のスコア 2

発光パターン	感情			
	驚き	嫌悪	落胆	不思議
基礎パターン (平均)	2.3	2.2	2.0	2.6
映像パターン (平均)	3.0	1.6	1.7	4.0
映像パターン (炎)	3.6	2.2	1.7	3.5
映像パターン (小川)	2.9	1.4	1.3	4.4
映像パターン (クラゲ)	2.7	1.3	2.1	4.2

4. パターンの構成要素の重要度の検討

本章では、前章で述べた各感情における基礎パターンの構成要素の重要度について検討する。各感情ごとの重相関係数を求めるために、基礎パターンのパラメータを設定し、前章での実験結果も合わせて回帰分析する。設定した各パラメータのうち、一つを除いて回帰分析を行うことにより、重相関係数が大きく下がれば、除いたパラメータは各感情に大きく影響を与えるパラメータなのではないかと

表 5: 被験者間のスコアの相関係数 1

		被験者				
		no1	no2	no3	no4	no5
被験者	no1	1	0.21	0.12	0.22	0.35
	no2	0.21	1	0.37	0.44	0.43
	no3	0.12	0.37	1	0.41	0.31
	no4	0.22	0.44	0.41	1	0.44
	no5	0.35	0.43	0.31	0.44	1
	no6	0.24	0.45	0.46	0.38	0.29
	no7	0.23	0.34	0.35	0.38	0.33
	no8	0.47	0.31	0.25	0.33	0.40
	no9	0.25	0.41	0.37	0.39	0.48
	no10	0.15	0.46	0.34	0.46	0.37
	no11	0.33	0.36	0.37	0.48	0.42
	no12	0.25	0.50	0.48	0.42	0.35
	no13	0.091	0.22	0.24	0.34	0.21
	no14	0.18	0.30	0.35	0.25	0.29
	no15	0.30	0.34	0.29	0.35	0.43

表 6: 被験者間のスコアの相関係数 2

		被験者				
		no6	no7	no8	no9	no10
被験者	no1	0.24	0.23	0.47	0.25	0.15
	no2	0.45	0.34	0.31	0.41	0.46
	no3	0.46	0.35	0.25	0.37	0.34
	no4	0.38	0.38	0.33	0.39	0.46
	no5	0.29	0.33	0.40	0.48	0.37
	no6	1	0.44	0.32	0.31	0.36
	no7	0.44	1	0.25	0.26	0.31
	no8	0.32	0.25	1	0.22	0.33
	no9	0.31	0.26	0.22	1	0.43
	no10	0.36	0.31	0.33	0.43	1
	no11	0.38	0.36	0.44	0.40	0.35
	no12	0.54	0.35	0.38	0.37	0.41
	no13	0.24	0.28	0.16	0.24	0.29
	no14	0.49	0.41	0.31	0.23	0.31
	no15	0.35	0.30	0.38	0.34	0.31

考えた。

4.1 パラメータの設定

線形回帰を行うために必要な基礎パターンのパラメータを従属変数として設定した。基礎パターンのパラメータは、R, G, B, r_average, g_average, b_average, r_SD, g_SD, b_SD, time, r_slope, g_slope, b_slope の 13 個である。13 個のパラメータについて表 8 にまとめる。独立変数は前章で算出した各感情の 1 ~ 5 までのスコアとする。

4.2 回帰分析

前節で述べた各パラメータの値を標準化した。標準化した 13 個のパラメータのうち、相関がある二つのパラメータは、いずれか片方を従属変数として用いる。これにより、

表 7: 被験者間のスコアの相関係数 3

		被験者				
		no11	no12	no13	no14	no15
被験者	no1	0.33	0.25	0.091	0.18	0.30
	no2	0.36	0.50	0.22	0.30	0.34
	no3	0.37	0.48	0.24	0.35	0.29
	no4	0.48	0.42	0.34	0.25	0.35
	no5	0.42	0.35	0.21	0.29	0.43
	no6	0.38	0.54	0.24	0.49	0.35
	no7	0.36	0.35	0.28	0.41	0.30
	no8	0.44	0.38	0.16	0.31	0.38
	no9	0.40	0.37	0.24	0.23	0.34
	no10	0.35	0.41	0.29	0.30	0.31
	no11	1	0.43	0.29	0.22	0.39
	no12	0.43	1	0.24	0.42	0.38
	no13	0.29	0.24	1	0.22	0.32
	no14	0.22	0.42	0.22	1	0.34
	no15	0.39	0.38	0.32	0.34	1

表 8: 設定した基礎パターンのパラメータ

パラメータ	定義
R	基礎パターンの 1 周期における LED の RGB 値の R の値の最高値
G	基礎パターンの 1 周期における LED の RGB 値の G の値の最高値
B	基礎パターンの 1 周期における LED の RGB 値の B の値の最高値
r_average	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の R の値の平均
g_average	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の G の値の平均
b_average	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の B の値の平均
r_SD	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の R の値の標準偏差
g_SD	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の G の値の標準偏差
b_SD	基礎パターンの 1 周期における RGB 値の B の値の標準偏差
time	基礎パターンの 1 周期の時間 (秒)
r_slope	R を time で割った値
g_slope	G を time で割った値
b_slope	B を time で割った値

多重共線性の問題を回避し、重要度が高いパラメータを重要度が高くないパラメータと判断することを防ぐ。13 個のパラメータのうち、相関関係にあった二つのパラメータは、R と r_average, R と r_SD, r_average と r_SD, G と g_average, G と g_SD, g_average と g_SD, B と b_average, B と b_SD, b_average と b_SD であった。よって、用意した 13 個のパラメータから r_average と r_SD, g_average, g_SD, b_average, b_SD の 6 個を削除した。標準化した 7 個のパラメータと前章で得た 15 人分の感情のスコアを合

表 9: 感情ごとの重相関係数 1

感情	除いたパラメータ				
	なし	R	G	B	time
喜び	0.29	0.29	0.25	0.29	0.29
悲しみ	0.44	0.40	0.32	0.43	0.37
怒り	0.52	0.37	0.51	0.52	0.48
恐怖	0.30	0.25	0.23	0.30	0.27
驚き	0.39	0.40	0.38	0.40	0.10
嫌悪	0.28	0.26	0.24	0.28	0.17
落胆	0.29	0.24	0.22	0.29	0.25
不思議	0.39	0.32	0.38	0.39	0.33

わせたデータを、ある変数の値を別の変数の値に基づいて予測する数式を提供する線形回帰法を用いて回帰分析した。なお、回帰分析には Weka [30] を用いて、3 分割交差検証を行った。

4.3 回帰分析の結果と考察

回帰分析で算出した重相関係数と、各パラメータを一つ除いたときの重相関係数を表 9,10 に示す。r_slope, g_slope, b_slope をそれぞれ一つを除いたとき、どの感情においても重相関係数は変化しなかった。そのため、r_slope, g_slope, b_slope のパラメータは重要度が高くなく、LED の明るさの時間変化は感情にあまり影響を及ぼさないと考えられる。この結果より、以下のことがわかった。

- 喜び, 落胆は、どのパラメータを除いても重相関係数が大きく減少することはなかった。
- 怒り, 不思議は、R を除いた場合、重相関係数が最も減少した。
- 悲しみ, 恐怖は、G を除いた場合、重相関係数が最も減少した。
- 驚き, 嫌悪は、time を除いた場合、重相関係数が最も減少した。

これらのことから、LED の赤の発光色は怒り, 不思議の 2 感情に、LED の緑の発光色は悲しみ, 恐怖の 2 感情に、LED の発光パターンの 1 周期の時間は驚き, 嫌悪の 2 感情に影響を及ぼすと考えられる。また、喜び, 恐怖, 嫌悪, 落胆は全てのパラメータが揃っている場合でも重相関係数が高くないため、これらの感情を表すのにあまり適していない可能性がある。今後の課題として、発光パターンの特定の発光色や周期時間だけでなく、LED の発光パターンによって感情に影響を与える構成要素に違いが表れないか調査する。

5. まとめ

本研究では、発光パターンと感情の関係を明らかにするため、初期段階として 1 ドットの LED の発光パターンが人の感情に与える影響を調査した。実験結果より、LED の発光パターンが感情に与える影響の傾向がわかり色や明る

表 10: 感情ごとの重相関係数 2

感情	除いたパラメータ		
	r_slope	g_slope	b_slope
喜び	0.29	0.29	0.29
悲しみ	0.44	0.44	0.45
怒り	0.52	0.52	0.51
恐怖	0.30	0.30	0.30
驚き	0.39	0.40	0.40
嫌悪	0.28	0.28	0.28
落胆	0.29	0.29	0.32
不思議	0.39	0.39	0.39

さが不規則に変化する複雑な発光パターンが不思議の感情に影響を与えやすい傾向があった。また、回帰分析の結果、LEDの発光パターンの1周期の時間は驚き、嫌悪の2感情に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

今後は、発光パターンと感情の関係を明確にするため、本実験で扱わなかったLEDの発光パターンでの実験や複数個のLEDを用いた場合を調査する予定である。そして、本実験で得られた知見を組み合わせることで発光パターンと感情の関係を体系的にまとめる。また、設定した発光パターンのパラメータの重要度を計るには、パラメータ間の相関を見るなど、より詳細な分析も必要である。実験後のアンケートから個人間で感情の判断方法が異なっていたことから、具体的な判断方法を指定した上での調査を検討していく。他には、調査の際に脳波や心拍数などの生体情報を取得し、得たデータから被験者の感じた感情を推定する方法についても検討していく。本実験の分析結果より、感情に影響を及ぼすと考えられた発光パターンの構成要素は色と周期時間のみであったので、他の構成要素が感情に影響を及ぼすような新たなLEDの発光パターンの作成もする予定である。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 株式会社 LDH JAPAN: SAMURIZE from EXILE TRIBE, <https://www.ldh.co.jp/management2/samurize/> (Accessed 2022-5-18).
- [2] イルミネーション事務局: 神戸イルミネーション <https://www.illuminationgroup.com/kobe2/> (Accessed 2022-5-18).
- [3] クリエイティブ・ライト・ヨコハマ実行委員会: ヨルノヨ, <https://yorunoyo.yokohama/#sponsor> (Accessed 2022-5-18).
- [4] 神戸市: メヤメヤ, https://www.city.kobe.lg.jp/a44800/merikenpark_illumination.html (Accessed 2022-5-18).
- [5] 柳瀬徹夫: 色のイメージ (色彩感情), 可視化情報学会論文誌, Vol. 17, No. 64, pp. 18–22 (Jan. 1997).

- [6] Li-Chen Ou, M. R. Luo, A. Woodcock, and A. Wright: A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part I: Colour Emotions for Single Colours, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 29, No. 3, pp. 232–240 (June 2004).
- [7] Li-Chen Ou, M. R. Luo, A. Woodcock, and A. Wright: A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part II: Colour Emotions for Two-colour Combinations, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 29, No. 4, pp. 292–298 (Aug. 2004).
- [8] Li-Chen Ou, M. R. Luo, A. Woodcock, and A. Wright: A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part III: Colour Preference Modeling, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 29, No. 5, pp. 381–389 (Oct. 2004).
- [9] M. Hanada: Correspondence Analysis of Color-emotion Associations, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 43, No. 2, pp. 224–237 (Apr. 2018).
- [10] E. Güneş and N. Olguntürk: Color-emotion Associations in Interiors, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 45, No. 1, pp. 129–141 (Feb. 2020).
- [11] Luwen Yu, S. Westland, Yun Chen, and Zhenhong Li: Colour Associations and Consumer Product-colour Purchase Decisions, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 46, No. 5, pp. 1119–1127 (Oct. 2021).
- [12] M. Fatemina, T. D. Ghotbabadi, and K. M. Azad: Perceptions of The Taste of Colors in Children and Adults, *Journal of Color Research and Application*, Vol. 45, No. 4, pp. 743–753 (Aug. 2020).
- [13] 金多賢, 北島宗夫, 李昇姫: 映像に対する嗜好と感情反応・印象評価の関係, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 181–189 (Feb. 2014).
- [14] 富川道彦, 尾田政臣: 単純な動きを示す対象図形の感情推定, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 17, pp. 1–4 (Mar. 2009).
- [15] 鹿内菜穂, 八村広三郎, 澤田美砂子: 舞踊の感情表現における感性情報の評価—ビデオ映像と点光源映像を用いた主観的評価実験—, 情報処理学会研究報告人文科学とコンピュータ (CH), Vol. 2011-CH-92, No. 2, pp. 1–8 (Oct. 2011).
- [16] 井上結加里, 佐久間拓人, 加藤昇平: 人型ロボットの身体動作に感情を付与するための RNNPB-Trans, 日本感性工学会論文誌 (Dec. 2021).
- [17] 大出訓史, 今井 篤, 安藤彰男, 谷口高士: 音楽聴取における”感動”の評価要因—感動の種類と音楽の感情価の関係, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 3, pp. 1111–1121 (Mar. 2009).
- [18] 丸山大岳, 斎藤雄太, 山田光穂: フレーム内のLEDを点滅できる雰囲気メガネを用いた運転中の注意変化の分析, パーソナルコンピュータ利用技術学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 1–7 (Sep. 2019).
- [19] 前田高志, 平山高嗣, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋: ヘッドライトを用いた視認性向上のための歩行者への点滅光照射パターンの検討, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2017, No. 35, pp. 1–6 (May 2017).
- [20] 白岩 史, 飛谷謙介, 下斗米貴之, 猪目博也, 藤澤隆史, 饗庭絵里子, 長田典子, 北村泰彦: LED 警光灯の視認性向上のための感性指標に基づく点滅パターン解析, 精密工学会誌, Vol. 79, No. 11, pp. 1159–1164 (Nov. 2013).
- [21] K. Kobayashi, K. Funakoshi, S. Yamada, M. Nakano, T. Komatsu, and Y. Saito: Blinking Light Patterns as Artificial Subtle Expressions in Human-robot Speech Interaction, *Proc. of the 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interaction Communication*

- (*RO-MAN 2011*), pp. 181-186, (Aug. 2011).
- [22] 港 隆史, 境 くりま, 西尾 修一, 石黒 浩: 運動錯視を利用した携帯型遠隔操作ヒューマノイドの運動表現, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 51-62 (Feb. 2013).
 - [23] K. Terada, A. Yamauchi, and A. Ito: Artificial Emotion Expression for a Robot by Dynamic Color Change, *Proc. of the 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2012)*, pp. 314-321 (Sep. 2012).
 - [24] J. Feldmaier, T. Marmat, J. Kuhn, and K. Diepold: Evaluation of a RGB-LED-based Emotion Display for Affective Agents, ArXiv, abs/1612.07303 (Dec. 2016).
 - [25] Adobe Inc.: Adobe After Effects, <https://www.adobe.com/> (Accessed 2022-5-18).
 - [26] Processing, <https://processing.org/> (Accessed 2022-5-18).
 - [27] PJRC.COM, LLC.: Teensy USB Development Board, <https://www.pjrc.com/teensy/> (Accessed 2022-5-18).
 - [28] P. Ekman and W. V. Friesen: Constants Across Cultures in the Face and Emotion, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 17, No. 2, pp. 124-129 (Feb. 1971).
 - [29] mplusplus 株式会社: mplusplus, <http://www.mplp1.com/>
 - [30] Waikato University: Weka 3, <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> (Accessed 2022-5-18).