

RayLeight: レイリー散乱を用いた 柔軟なタンジブルディスプレイの試作と評価

袴田 結女^{1,a)} 沖 真帆¹ 塚田 浩二¹

概要:

レイリー散乱とは、光の波長より十分に小さい微粒子に、光が散乱する現象のことであり、空の色の変化（青空、夕焼け等）の要因としても知られている。我々は、ホットボンドスティック（以下、スティック）に白色 LED を投射することで、レイリー散乱が発生することに着目した。スティックは身近な素材で入手が容易であり、柔らかくしならせることができる特徴がある。本研究では、こうしたスティックの特徴を活かした、カスタマイズ可能なマトリクスディスプレイを提案する。本稿では、提案システムの背景、実装、応用例について述べる。さらに、性能評価とユーザ評価を通してシステムの有効性を検証し、今後の展望を述べる。

RayLeight: Prototyping and Evaluation of a Flexible Tangible Display using Rayleigh Scattering

YUME HAKAMADA^{1,a)} MAHO OKI¹ KOJI TSUKADA¹

1. はじめに

近年、自然現象を活用した情報提示手法に関する研究が多くされている。例えば、Ketsuro-Graffiti [12] は、デバイスの表面温度を露点付近に制御することで、意図的に結露を発生させるディスプレイである。ピクセルの代替として結露を用い情報を提示したり、結露に指で触れることで情報を加工することができる。このように自然現象を情報提示手法に活用することで、自然現象ならではの印象的な情報提示をしつつ、自然現象に興味を持つきっかけを提供することができる。

このような印象的な表現をもたらすことのできる自然現象として、本研究では構造色に着目した。構造色とは、微細構造による光の干渉、回折、散乱などにより生じる色のことであり [14]。薄膜干渉により生じるシャボン玉の虹色や、多層膜干渉により生じる魚鱗の光沢、微粒子による光の散乱で生じる空の色の変化など、我々の日常生活では多

くの構造色が観察できる。こうした構造色は、見る角度によって色が変わったり、極めて鮮やかな発色をするという特徴を持つ。

本研究では、構造色の中でも特に、レイリー散乱に着目した。レイリー散乱とは、光の波長より十分に小さい微粒子に光が散乱する現象のことである。例えば、青空や夕焼けなどの空の色の変化は、大気中の微粒子に太陽光が散乱することで生じる。

こうしたレイリー散乱はフローリングワックスやホットボンドスティックなど、身近な素材と白色 LED を用いて再現できる [1,13]。我々は、レイリー散乱を生じる材料をディスプレイの構成要素として活用することで、単純な制御で空色の変化のような印象的な表現を行えると考えた。

本研究では、ホットボンドスティック（以下、スティック）に注目する。スティックは、安価で取り回しが容易であり、柔らかくしならせることができる。こうした特徴を活用して、レイリー散乱を用いた柔軟なタンジブルディスプレイ「RayLeight」を提案する。

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) g2122052@fun.ac.jp

2. 関連研究

2.1 構造色に関する研究

Saito ら [5] は、モルフォ蝶の翅の構造を応用し、光を広範囲に広げる採光窓のガラスのデザインを提案した。ガラスを通過する光は直進するため、室内を明るく照らすには、光を散乱させたり、光の経路を曲げる必要がある。モルフォ蝶の翅の微細構造には、青色の波長のみを強く反射し、経路を曲げても虹色に光らないという特徴がある。モルフォ蝶の翅の特徴を再現した微細構造を窓ガラスに取り付けることで、課題を解決した。

Amy ら [2] は、透明の液滴に着色することなく、構造色を生成する手法を提案した。半球の液滴に光を照射し、その光の屈折の仕方をモデル化することで、ある条件下で発色する構造色を予測できるようにした。

Yamada [7] は、チョコレートに手軽に構造色の模様をつける手法を提案した。分光シートに乗せ固めたチョコレートに、レーザー彫刻機で不要な箇所の微細構造を溶かすことで、見る視点によって虹色が変化する構造色の模様つきチョコレートを実現した。

このように構造色を再現する研究は広い分野で行われているが、微細構造を再現するには専門的な機材が必要である。本研究では、身近な素材とデジタル工作技術で、手軽に構造色の再現を行う。

我々は、先行研究 [9] において、フローリングワックスをアクリルケースに封入した部品でレイリー散乱を再現する情報提示手法を提案した。レイリー散乱の効果は観察されたが、「気泡が目立つ」「時間が経つと沈殿物が生じる」等、部品として扱いにくかったため、本研究ではホットボンドスティックを利用することにした。

2.2 フレキシブルディスプレイ

井上ら [8] は、チューブを物体に巻き付けるディスプレイ、TuVe を提案した。ポンプからチューブへ液滴を送り込み、液滴の位置を制御することで、情報を表示している。チューブを使用することで、さまざまな3次元物体に巻き付けて、ディスプレイ化することができる。

鈴木ら [15] は、2mm の LED チップを組み合わせた、巻き付け可能なディスプレイ CoiLEDDisplay を提案した。ポリイミド樹脂をベースに使用したフレキシブル基板に2mm の LED チップを70個取り付け、30cm のディスプレイユニットを実装した。このディスプレイユニットを身の回りの物体に巻き付けることで、手軽にディスプレイ化を図る。

Su ら [6] は、フレキシブルな8×8有機ELディスプレイを、3Dプリンタで作成する方法を提案した。押し出し印刷とスプレー印刷の2つの印刷方法を組み合わせ、6つの層を造形している。

このように、柔軟なディスプレイは多数存在するが、本研究では、ディスプレイの形状を組み替える過程で、レイリー散乱による色彩の変化も体験できる点に特徴がある。

2.3 アンビエントディスプレイ

BubBowl [3] は、電気分解により発生する泡を利用したディスプレイである。水を電気分解することで発生する気体の泡を利用し、液面上に文字や図を表示することができる。装置が小型なため、例えばカップに装着することで、コーヒーなどの液面に情報を表示することができる。

UTAKATA [11] は、泡によるテキストメッセージを、流水面に流しながら表示するディスプレイである。水路の底面に電極を設置し、電気分解により生じる泡を利用している。

石井ら [10] は、電気分解により生成するイオンを利用し、湿潤面上にカラーパターンを表示する手法を提案した。電気分解により生成させた特定のイオンに反応する呈色指示薬を用い、カラーパターンを表示させている。食材に含まれる色素を用いることで、パンナコッタなどの湿潤面を持つ食品にも情報を表示することができる。

Kimura ら [4] は、苔のブロックをピクセルとして情報を提示するディスプレイ、MOSS-xels を提案した。水量と風量を変化させることで苔の開き具合を制御することで、なだらかに情報が変化する。

このように、日常生活に溶け込みつつ、さりげなく情報を提示するアンビエントディスプレイの研究は多数行われている。自然現象を活用したディスプレイは、さりげなく情報提示することに焦点を当てている。それに対し、本研究では、レイリー散乱という自然現象を、デバイスに触れながらインタラクティブに体験できることに注目する。

3. 提案

3.1 コンセプト

本研究では、スティックを部品として用いた、カスタマイズ可能なディスプレイ「RayLeight」を提案する(図1)。RayLeightのコンセプトは以下の3点である。

- (1) レイリー散乱を用いた表現
- (2) 形状のカスタマイズ性
- (3) センシング機能を用いたインタラクティブ性

1点目は、情報提示手法としてレイリー散乱という自然現象を活用したディスプレイを提案する。自然現象ならではの美しさを、手にとって体験することができるデバイスを目指す。

2点目は、LEDとフォトトランジスタをマトリクス状に配置し、固定パーツを介してスティックを差し込むことで、スティックを手軽に着脱できる。スティックはそのまま差し込むことも、アーチ状に曲げて差し込むこともでき

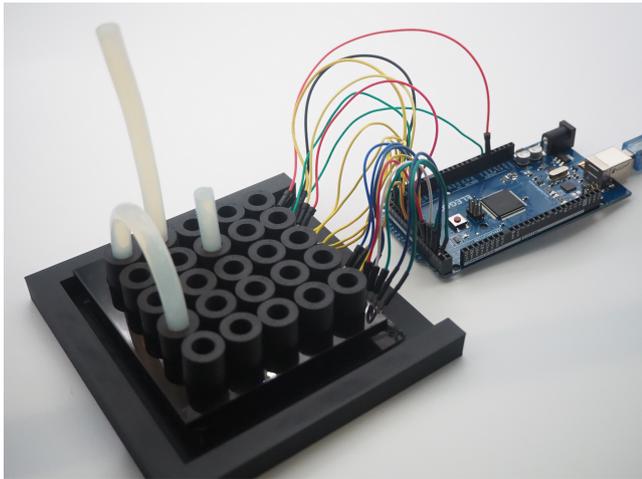


図 1 デバイスの全体図

る。また、ジョイントパーツを用意することで、複数のスティックを組み合わせて任意の形状を作成可能にし、造形のバリエーションを広げる。

3点目は、フォトトランジスタによるセンシングを行い、スティックの設置状態によって点灯パターンを切り替えることで、インタラクティブな体験を提供する。

4. 実装

4.1 システム構成

図 2 に、本デバイスの構成を示す。LED とフォトトランジスタを隣接して取り付けられた 5×5 のマトリクス基板を実装した。使用した白色 LED は NSPW300DS (光度 12.9cd)、フォトトランジスタは TEPT4400 である。作成した基板を Arduino 互換機 (ELEGOO MEGA2560 R3) に接続し、LED の点灯制御やフォトリフレクタを用いたセンシングを行っている。スティックは、モノタロウ社のホットメルト接着剤を使用した。また、スティックを固定して差し込むための L-S パーツと、スティック同士を接続して形状を変化させるためのジョイントパーツを作成した (図 3)。L-S パーツは底面に LED とフォトトランジスタを差し込むための穴があり、フォトトランジスタが直接 LED の光を受けないように仕切りがついている (図 8)。上面にスティックを差し込むための穴が開いており、5mm の黒色アクリル板を加工したケースにはめ込むことで、マトリクス型の配置を可能にした。ジョイントパーツは、スティックのしなやかさを活かして形状を立体的に変化させるために作成した。それぞれ 1 次元、2 次元、3 次元方向に穴が開いており、スティックを差し込むことができる。

4.2 スティック配置のカスタマイズ

本デバイスは、使用するスティック数や配置箇所の変更、ジョイントパーツの使用で、ディスプレイの形態を変化させることができる。ここでは代表例として、マトリクス型

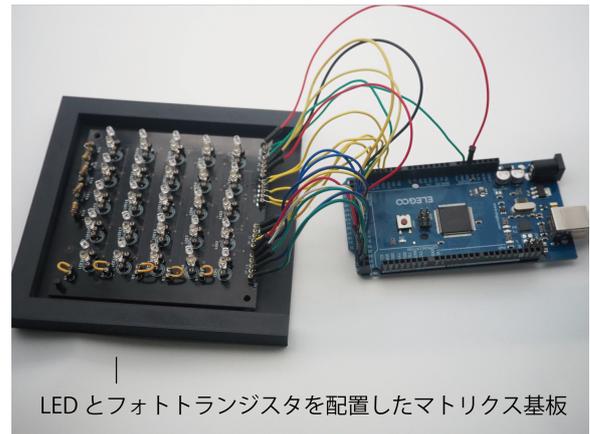


図 2 デバイスの構成

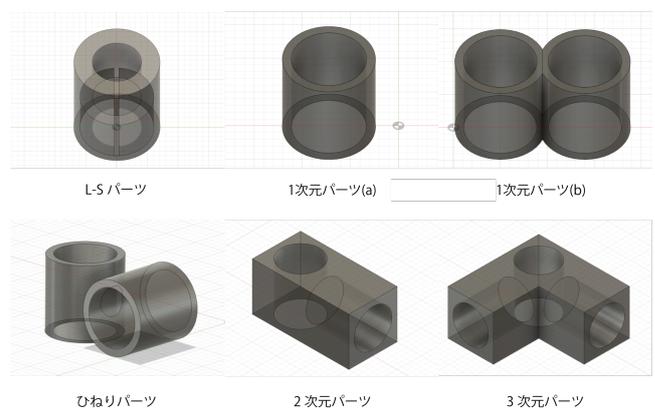


図 3 L-S パーツとジョイントパーツ。

ディスプレイとアーチ型ディスプレイについて紹介する。

4.2.1 マトリクス型ディスプレイ

スティックを 25 本使用した、5×5 のマトリクス型ディスプレイを試作した。スティック上部に、5mm 厚のアクリル板を加工して製作した整列パーツをはめ込んでいる。LED を 25 個全て点灯して、オレンジのグラデーションを表現している例を図 4 に示す。

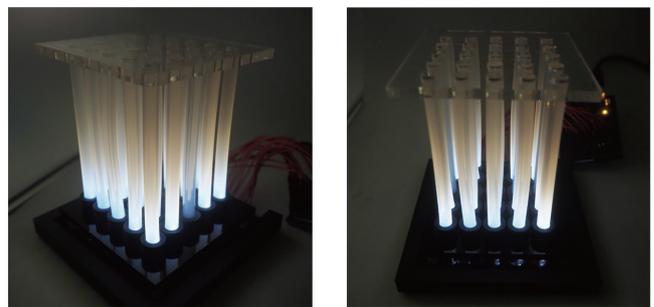


図 4 マトリクス型ディスプレイの表現例。

4.2.2 アーチ型ディスプレイ

スティックを 10 本使用し、対面するスティックをジョイントパーツで繋いだ、アーチ型ディスプレイを試作した。L-S パーツで接続されたスティックの根元の LED を点灯するとオレンジ色を、スティックが接続されていない中央

部の LED を点灯すると青色を表現することができる (図 5)。

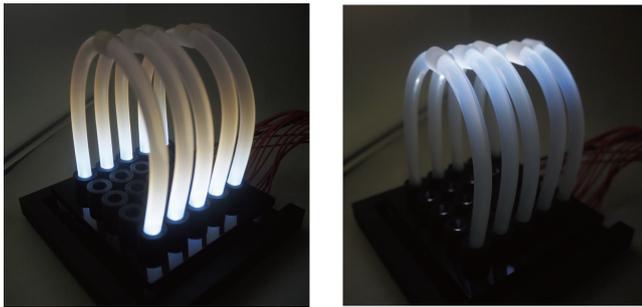


図 5 アーチ型ディスプレイの表現例。

4.2.3 長さの異なるスティックの組み合わせ

スティックの長さを変えることで、光がスティック内を通過する距離が変わり、発色する色が変わると考えた。そこで、図 6 左のように、スティックを $1/3$, $1/2$, $2/3$ の長さにカットした。スティックが短いほど青の、スティックが長いとオレンジの割合が増えている。また、異なる長さのスティックを組み合わせることで、立体感のある配置が可能になる (図 6 右)。ここでは、アーチ状の配置を組み合わせることで、さらに高低差を表現している。



図 6 スティックの長さによる発色の差 (左) と立体的な作例 (右)。

4.2.4 ジョイントパーツを使用した例

2次元ジョイントパーツを使用した作例を図 7 に示す。アルファベットの P のような、直線と曲線が混在する形状を造形した。また、光の通過する距離が長い縦線はオレンジに発色し、光の通過する距離が短い曲線部分は青色に発色していることが分かる。このように、ジョイントパーツを使用することで、複雑な造形が可能になり、形状により発色を変化させることができる。

4.3 センシング機能

光センサを用いたスティックの設置状態の検出を行った。図 8 に、スティックの設置状態検出の模式図を示す。スティックが設置されていないとき、LED の光は外側に逃げてしまうが、スティックを設置することで、スティックを介して散乱した光が光センサに届く。

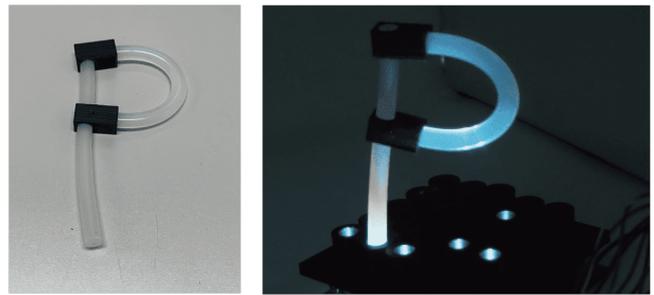


図 7 2次元パーツを使用したアルファベット P と、その点灯例。

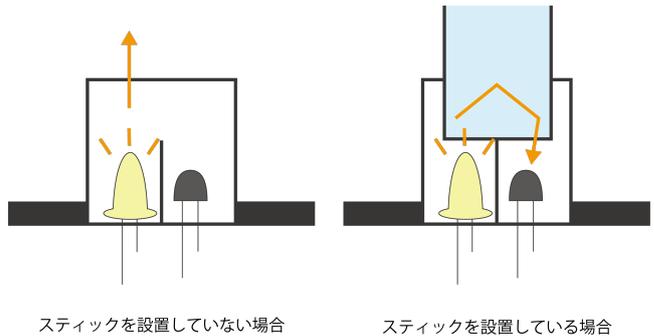


図 8 スティックの設置状態検出の模式図。

4.3.1 センシングのアルゴリズム

センシング機能は、フォトトランジスタが取得した値を元にスティックの設置状態を判別し、スティックの設置されている箇所の LED のみを点灯する仕組みになっている。フォトトランジスタが設置状態を取得するためには、隣り合う LED を点灯させる必要がある。したがって、「状態をセンシングするための点灯」と「情報表示のための点灯」の 2 種類の点灯を同時に制御する必要がある。

センシング機能の一連の流れを説明する。フォトトランジスタ (PT) の初期状態を格納するための配列 `init[5][5]` と、PT の実行中の状態を格納するための配列 `data[5][5]` を用意する。まずデバイスの起動時に LED (0, 0) を 1 回点灯させ、PT (0, 0) のアナログ入力値を、`init[0][0]` に格納する。その後、 n ミリ秒に 1 度「状態をセンシングするため」に LED (0, 0) を 1 回点灯させ、PT (0, 0) のアナログ入力値を、`data[0][0]` に格納する。`init[0][0]` と `data[0][0]` を比較し、閾値を超えていた場合スティックが設置されていると判断して、LED (0, 0) を点灯する。本操作を 5×5 の LED 全てに対して実行する。

5. 応用例

まず、知育デバイスとしての応用例を紹介する (図 9)。本デバイスには、以下の特徴がある。

- レイリー散乱を、身近な素材で再現できる。
- レイリー散乱を、実際に手で触れながら体験できる。
- マトリクス上で、パーツと組み合わせる自由な形状を造形できる。
- スティックの長さや角度で発色が変わることを学ぶ

ことができる。

これらの特徴を活かすことで、光学現象を学びつつ、創造性を育むことができるのではないかと考える。

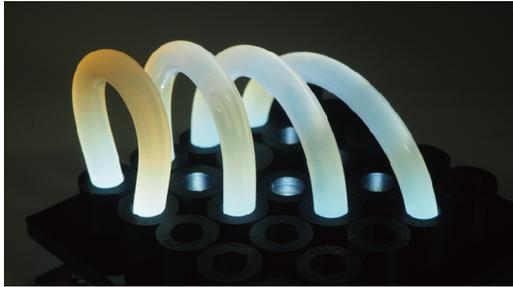


図 9 知育デバイスのイメージ。アーチの配置に応じた発色を学習。

次に、空時計としての応用例を紹介する(図 10)。実際の時間と連動させ、時間帯に合わせた空の色を示す時計のような表現ができる。図 10 左は昼間の青空を、右は夕焼けを表現している。

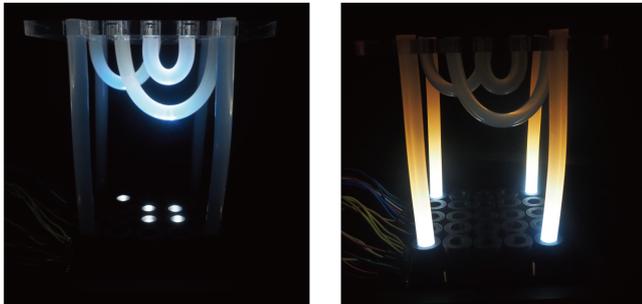


図 10 空時計のイメージ。時間帯によって青空(左)と夕空(右)を切り替える。

さらに、ネオンサインとしての応用例を紹介する。図 11 は、文字をネオンサインのように表現している例である。FUN の文字を 1 文字ずつスティックで作成し、1 列ずつ点灯している。ニキシー管のように、表示が切り替わる様子を表現することができる。図 12 は、図形をネオンサインのように表現している例である。スティックの柔らかさを活かし、土星を作成した。スティックとパーツを組み合わせて上からぶら下げることで、空に浮かぶ惑星を表現している。



図 11 ネオンサインで文字を表現するイメージ。「FUN」を 1 文字ずつ切り替えて点灯している。

最後に、光る楽器としての応用例を紹介する。本デバイ



図 12 ネオンサインで図形を表現するイメージ。土星を表現している。

スとスピーカーを組み合わせることで、スティックを挿した位置に対応する音を流すことができる。スティックを差し込むことで、ヤマハの TENORI-ON*1 のように、光りながら音を奏でる楽器のような表現ができると考える。

6. 性能評価

6.1 LED の点灯箇所による発色の違い

本節では、アーチ状にスティックを差し込んだとき、LED の点灯箇所を変更することでスティックの発色に変化が見られるかを検証する。図 13 に、スティックをアーチ状に差し込み、LED を (1) 全点灯 (2) スティックの根本以外を点灯 (3) スティックの中央のみ点灯の 3 パターンで点灯した様子を示す*2。(1) のとき、青とオレンジが半分ずつ混ざったような発色が見られる。(2)、(3) のとき、オレンジの発色は少なく、青みの強い発色が見られる。

本検証により、アーチ状のとき LED の点灯箇所を変化させることで、発色の割合を変化させられることを確認できた。



図 13 アーチの LED の点灯箇所を変化させた様子 (○: LED 点灯, ●: LED 消灯)。

6.2 スティックと LED の距離による発色の違い

本項では、スティックを横方向から LED で照らすとき、スティックと LED の距離でスティックの発色に変化が見

*1 https://www.yamaha.com/ja/about/design/synapses/id_005

*2 本章における画像の撮影設定は ISO2500, F10, SS1/4 とした。

られるかを検証する。両側に縦に支柱となるスティックを差し込み、2次元パーツを使用して、スティックを真横に設置する。真横のスティックを、(1)支柱の下端(2)支柱の中央(3)支柱の上端の3箇所にそれぞれ設置する。検証結果を図14に示す。支柱の下端にスティックを設置したとき、白色LEDの光を強く受け取り、スティック自体が白く発光している。支柱の中央にスティックを設置したとき、スティックは青く発色している。支柱の上端にスティックを設置したとき、スティックは青く発色しているが、LEDの減衰した光がスティックに入射したため、暗くなっている。

本検証により、真横にスティックを配置するとき、支柱中央より上側に設置すると青の表現ができること、LEDとの距離で発色の明るさを変化させられることを確認した。

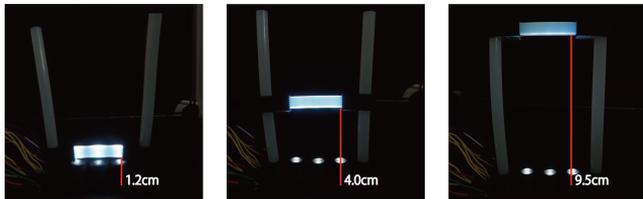


図14 真横に設置したスティックとLEDの距離を変化させた様子。

6.3 アーチの角度とLED点灯箇所による発色の違い

本項では、同じ長さ(10cm)のスティックをアーチ状に配置するとき、差し込む穴の位置を変化させることでアーチの角度を変化させ、スティックの発色に変化が見られるかを検証する。図15にアーチの角度を変化させた様子を示す。本検証では、スティックの差し込まれた範囲のLEDを点灯させている。図15左のとき、青とオレンジが半分ずつ混ざったような発色が見られるが、スティックの差し込み位置を一つずつ近づけることで、段々青の発色が減り、一番右のようにオレンジの発色のみになる様子が見られた。

本検証により、アーチの角度とLEDの点灯箇所を変化させることで、発色を変化させられることを確認した。

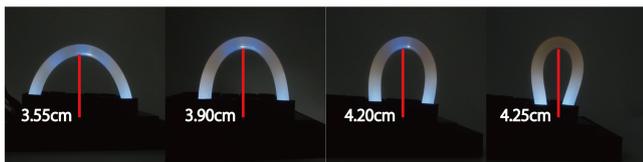


図15 スティックの差し込み位置を変化させた様子(○:LED点灯, ●:LED消灯)。

7. ユーザ評価

7.1 目的

本デバイスを使用して作品を制作してもらい、その様子を観察することで、作品の傾向や提案手法の課題、レイリー散乱の理解度の変化等を調査する。

7.2 手法

本デバイスを用いて作品制作するワークショップ形式の評価実験を開催した。1タームの時間は1時間程度、参加者は2名とし、合計3ターム行った。被験者は情報科学のバックグラウンドを持つ女性1名、男性5名であった。

評価実験の手順について、以下に示す。

- (1) レイリー散乱の知識について、事前アンケートを行った。
- (2) レイリー散乱の説明、デバイスの使用方法や作品例(図10, 図11, 図12)の紹介を行った。
- (3) 被験者にデバイスを使用し、実際に作品を制作してもらった。制作時間は25分程度であった。なお、被験者にはLEDの点灯を制御するプログラムを配布した。配布プログラムには、「(1) LEDの点灯位置を設定し、点灯させる」「(2) 複数パターン of LEDの点灯位置を手動で設定し、アニメーションしながら点灯させる」「(3) スティックの設置位置をセンシングし、点灯させる」の3つを用意した。被験者には作品に合わせてプログラムを改変可能であることを伝えた。なお、プログラムの書き込みは実験者が行った。
- (4) 作品制作終了後、被験者にそれぞれ作品名と内容を説明してもらった。
- (5) 事後アンケートを行い、評価実験を終了した。

本実験で利用したスティックとジョイントを図16に示す。スティックは各20本ずつ、ジョイントは各10個ずつ用意した。

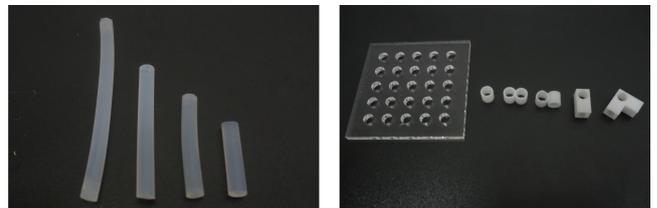


図16 実験で利用したスティックとジョイントパーツ。

7.3 結果と考察

被験者が製作した作品を図17に示す。各作品について、「作品概要」「スティック数」「パーツ数」「プログラム」の点から説明する。作品概要としては、人をモチーフにした作品(被験者A, D, E)と風景を表現した作品(被験者B), 想像上のものをテーマにした作品(被験者C, F)の3つに

分けられる。スティック数については、12本から28本とばらつきが見られた。スティックの種類や使用数にはばらつきがあるものの、どの長さのスティックも満遍なく使用されていた。パーツ数については、2個から18個とばらつきが見られた。Bの作品はパーツの使用数が2個と最も少なく、カーブと直線のシンプルな形状のみで構成されている。また、透明アクリルについて、応用例では天井パーツとして紹介していたが、AとCはスティックの根本に設置して使用していた。Aは透明アクリルを底に配置することで作品を目立たせるように使用していた。Cはマトリクスの外側に配置し、マトリクスを拡張するために使用していた。プログラムについては、センシング機能を使用した被験者が3名（被験者A, E, F）と、LEDの点灯箇所を手動で設定した被験者が3名（被験者B, C, D）であった。作品制作中に「プログラムを変更する余裕がない」「時間が足りない」というコメントがあったことから、スティックを組み立てる手軽さに対し、プログラムを変更することが重く捉えられた可能性が考えられる。以上のように、被験者が本デバイスを使用して多様な作品を制作できたことを確認できた。

次に、事前アンケート・事後アンケートの内容について考察する。制作過程についてのアンケート結果を表1に示す。制作過程がわかりやすかったかという質問に対して、平均4.17という結果が、意図通りに組み立てられたかという質問に対して、平均4.33という結果が得られた。「パーツをはめ込むだけで簡単に組み立てることができた」という意見があり、直感的に制作することができたと考えられる。意図通りに発色させられたかの質問に対して、平均4.33という結果が、発色を使い分けることが容易だったかという質問に対して、平均3.17という結果が得られた。「構造上狙った色を出せないことがあった」という使い分けの難しさに対する意見や、「差し込みに気を取られて、使い分けることを忘れていた」という発色を意識しなかったコメントがあり、発色を十分使い分けできなかった被験者が多かった。スティックの取り扱いが容易だったかという質問について、平均4.0という結果が得られた。「曲げすぎると折れてしまうかと思ったが、そんなことはなく、自由に使うことができた」というスティックのしなやかさを評価する意見の一方で、「スティックに個体差があって曲げにくかったり逆に真っすぐにならなかったりするものがあった」「ジョイントはきつすぎるかあった」といった、スティックの個体差やジョイントパーツへの差し込みについての課題も指摘された。全体を通してのコメントとして、「よく曲がるという特性があったので、いろいろなものが頭の中に浮かんできた」「自分でスティックの曲がり方や指す位置をカスタマイズすることができて、作りたいものを表現しやすく面白く感じた」、「プログラムのスキャンするやつは、最初の試行錯誤のときに役立った。光らせた

いところを指で押さえて光らせてどんな風に見えるかを試すことができた。」といった、デバイスのカスタマイズ性やセンシング機能を評価するコメントが得られた。一方で、「ジョイントの扱いがやや上手く行かないときがあるので、改善されるとうれしい」「光の強さも変えられるとなお良い」といった改善点も指摘された。

表1 制作過程に関するアンケート結果（1：当てはまらない～5：当てはまる）

	平均（標準偏差）
制作過程はわかりやすかった	4.17 (0.98)
意図通りに組み立てられた	4.33 (0.52)
意図通りに発色させられた	4.33 (0.53)
発色を使い分けるのは容易だった	3.17 (0.75)
スティックの取り扱いは容易だった	4.0 (1.10)

8. 議論

本章では、本デバイスの表現の可能性を追求するための検討・試作について述べる。

ユーザ評価では、ユーザが作品を作る過程でプログラムを改変することは困難であると観察された。そこで、ユーザが直感的にLEDの点灯位置を変更できるようなGUIシステムの開発を検討する。

次に、より多彩な設計を実現するために、レイリー散乱を3Dプリンタの造形物で表現する方法を検討した。その結果、光造形式の3DプリンタForm3と、デュラブルレジンの組み合わせでレイリー散乱を再現できることを確認した（図18）。一方、デュラブルレジンはホットボンドより硬質で柔軟に曲げることは難しい問題がある。デュラブルレジンをを用いた様々な構造体を実装することで、スティックでは難しい直線的な表現や、細かい形状の造形が可能になると考える。また、評価実験から「部品の色が透明であればもっと滑らかな作品ができるのではと思った」とのコメントが得られたため、ジョイントパーツの作成への応用も検討する。

9. まとめと今後の展望

本研究では、スティックを素材として、レイリー散乱を用いた柔軟なタンジブルディスプレイ「RayLeight」を提案した。次に、スティックの配置をカスタマイズしたり、インタラクティブに検出可能な機能を備えたプロトタイプを実装した。これらの表現を組み合わせることで、知育デバイスや空時計として応用することができる可能性を示した。性能評価より、スティックの長さやアーチの角度、LEDの点灯位置を変更することで、それぞれ異なる色彩表現ができることを確認した。また、ワークショップ形式の

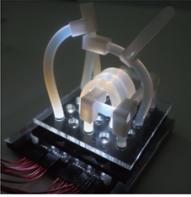
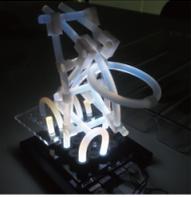
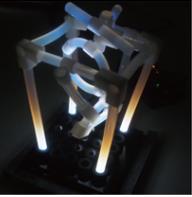
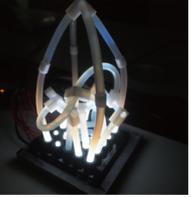
被験者	A	B	C	D	E	F
作品						
作品名	ブリッジしている人間	お天気雨	蛍光灯の幽霊	うんていをする Kくん	パチンコを打っている人	インフルのときに見る夢
スティック数 (本)	16	12	28	18	12	23
パーツ数 (個)	18	2	17	16	9	12
プログラム	センシング	点灯位置を変更	点灯位置を変更	点灯位置を変更	センシング	センシング

図 17 被験者が制作した作品.

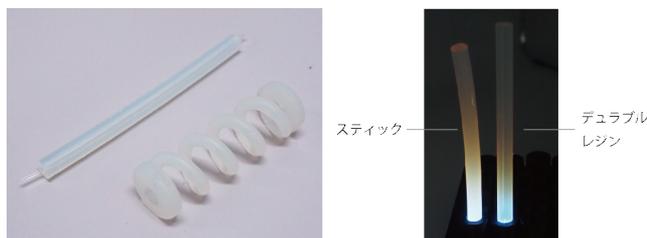


図 18 デュラブルレジんで造形した例 (左). スティックとデュラブルレジンの点灯の比較 (右).

評価実験を行い、本デバイスを用いた作品の制作過程を観察し、有用性や課題を考察した。今後は、LED の点灯位置を GUI 上で変更できるアプリケーションの試作や、デュラブルレジンをを用いた 3D プリンタでの造形について検証し、より手軽なデバイス操作や新たな表現の可能性を追求する。

謝辞

本研究の一部は、科研費 20H04231 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Exploratorium Teacher Institute Project: Glue-Stick Sunset (online). 入手先 <<https://www.exploratorium.edu/snacks/glue-stick-sunset>>. (2024-2-14 アクセス) .
- [2] A. E. Goodling, S. Nagelberg, B. Kaehr, C. H. Meredith, S. IkCheon, A. P. Saunders, M. Kolle, and L. D. Zarzar. Colouration by total internal reflection and interference at microscale concave interfaces. *Nature*, pp. 523–527, 2019.
- [3] A. Ishii and I. Siio. BubBowl: Display Vessel Using Electrolysis Bubbles in Drinkable Beverages. *UIST '19*, pp. 619–623, 2019.
- [4] T. Kimura and Y. Takehi. MOSS-xels: slow changing pixels using the shape of racomitrium canescens. *SIGGRAPH '14: ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, pp. 20:1–20:1, 2014.
- [5] A. Saito, K. Yamashita, T. Shibuya, and Y. Kuwahar. Daylight window based on the nano-disorder inspired by Morpho butterflies' coloration. *Journal of the Optical Society of America B*, 38(5):1532–1537, 2021.
- [6] R. Su, S. H. Park, X. Ouyang, S. I. Ahn, and M. C. McAlpine. 3D-printed flexible organic light-emitting diode displays. *SCIENCE ADVANCES*, 8(1), 2022.
- [7] W. Yamada. M&M: Molding and Melting Method Using a Replica Diffraction Grating Film and a Laser for Decorating Chocolate with Structural Color. In *UIST '35*, pp. 1–3, 2022.
- [8] 井上佑貴, 伊藤雄一, 尾上孝雄. TuVe: チューブを用いたフレキシブルなディスプレイ. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 24(3):293–301, 2019.
- [9] 袴田結女, 沖真帆, 塚田浩二. RayLight: レイラー散乱を用いたマトリクスディスプレイの提案. 第 63 回エンタテインメントコンピューティング研究会, No. 12, pp. 1–7. 情報処理学会, 2022.
- [10] 石井綾郁, 池松香, 椎尾一郎. 電解イオンディスプレイ. 第 28 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2020) 論文集, pp. 1–6, 2020.
- [11] 石井綾郁, 福島真花, 田中波輝, 的場やすし, 池松香, 椎尾一郎. 電気分解気泡による流水ティック表示と高画素階調表示. 第 28 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2020) 論文集, pp. 1–6, 2020.
- [12] 辻本祐輝, 伊藤雄一, 尾上孝雄. Ketsuro-Graffiti: 結露を用いたインタラクティブディスプレイ. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 21(3):513–520, 2016.
- [13] 馬目秀夫. 「青空と夕日の実験機」の制作 (online) . 入手先 <<http://www6.plala.or.jp/maamu/seisaku.pdf>>. (2024-2-14 アクセス) .
- [14] 木下修一. 発色原理が異なる色—構造色—. *日本画像学会誌*, 50(6):543–555, 2011.
- [15] 鈴木紗也, 藤田和之, 白井僚, 伊藤雄一. CoiLED Display : 対象に巻きつけ可能なストライプ状フレキシブルディスプレイ. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 26(4):230–240, 2021.