

Glow-shapes : ルーバーフィルムとプラスチック板を用いた 光路制御により角度に応じて色と形が出現する視覚表現

奥野優太^{†1} 児玉智哉^{†1} 伊藤大貴^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要 : 傾きによって色が変化する現象は、多色性や構造色として自然界に多く観察される。また、ユーザーによる傾けや回転などの動作で、インタラクティブに色を変化させる物理構造も多く検討されている。本研究では、透明プラスチック板の角度変化に応じて色と形が出現する視覚表現“Glow-shapes”を提案する。これは、覗き見防止フィルターとして用いられるルーバーフィルムと、透明プラスチック板の反射やクレーズを利用した光路制御により、選択的に色光を出現させることで実現する。Glow-shapes は、プラスチック板の角度変化に応じた色と形の平面的な出現だけでなく、多面的・立体的な出現やアニメーション表現を可能とする。

1. はじめに

傾きが変わることで色が変わる現象は、タンザナイトにみられる鉱石の多色性や、モルフォチョウやクジャクなどにみられる生物の構造色など自然界で広く観察され、多くの人々の関心を集めてきた。最近では、このような現象を人工的に再現・活用するための印刷技術[1]、シート[2]、顔料[3]の開発などが積極的に進められ、アートやプロダクトへの応用も展開されている。このように、ユーザーが物体の傾きを変えたり、視点を移動させたりすることによって色が変わる視覚表現は多くの場面で実現されるようになってきた。

HCIの分野においても、インタラクティブに物体の色を変化させる研究は多様に行われている[4][5]。その中でも筆者らは、電気的な制御を用いずに物理的な特性を利用することでユーザーの動作や視点移動に応じて色の変化を実現する手法に着目する。このような手法の多くは、立体構造を素材表面に施す必要があり、素材そのものの見た目に影響を及ぼしてしまう[6][7][8]。

本研究では、覗き見防止フィルターとして広く使用されるルーバーフィルム（視野角制御フィルム/光路制御フィルム）と、透明なプラスチック板（以下、プラスチック板と呼ぶ）の特性を利用して光路制御を行うことで、プラスチック板の表面に色と形を出現させることを考える。

具体的には、ルーバーフィルムの特性を用いた色光の遮断と、プラスチック板の特性を用いた色光の出現を組み合わせることで、プラスチック板の素材表面に立体構造を施さずに、ユーザーによる傾けや回転などの動作に応じて色と形が出現する視覚表現“Glow-shapes”を提案する。透明素材であることを活用し、色と形の多面的・立体的な出現やユーザーの動作に応じたアニメーション表現を実現させる。

2. 関連事例

ユーザーの動作や視点移動により物体の角度が変化することで、インタラクティブに色を変化させる研究の中で、電気制御を必要としないものの多くは物理構造を利用している。Perroni-Scharf ら[6]は細かな凹凸構造に色を配置することで、角度変化に応じて平面的に絵柄が変化する構造を実現している。さらに、立体形状において色の変化を実現しているものとして、Zeng ら[7]による Lenticular Objects が挙げられる。これは、3D の曲面にレンチキュラーレンズとカラーパターンをプリントする手法であり、レンチキュラーレンズの光学的な作用により、角度変化に応じて色が変わって見える。また、Abu Rmaileh ら[8]は3D プリンターを用いて、表面に微細な凹凸を有する立体を印刷することで、角度変化に応じて色が変わる立体を作製している。

これらの手法では、色の変化を実現させるために素材表面にレンズや凹凸などの立体構造を施す必要があり、素材そのものの見た目を変化させてしまう。本研究では、ルーバーフィルムとプラスチック板の特性を利用した光路制御によって実現させるため、プラスチック板の表面に立体構造を施す必要がない。よって、プラスチック板の透明性を維持しながら色と形を出現させられるため、プラスチック板を重ねることにより多面的・立体的な色と形の出現も可能となる。

3. 提案手法

本手法では、(1)ルーバーフィルムの特性を利用してユーザー視点へ色光の遮断を行い、(2)プラスチック板の2種類の特性を利用することで、プラスチック板が特定の角度を満たしたときにユーザー視点へ色光を選択的に出現させる。そして、これらの素材特性による光路制御を利用した構造を設計することで、ユーザーによる傾けや回転などの動作に応じて色と形が出現する視覚表現 Glow-shapes を実現する。なお、ルーバーフィルムは視野角制御フィルムや

[†] 早稲田大学

光路制御フィルムと呼ばれることもあるが、本研究ではルーバーフィルムと呼ぶこととする。

3.1 ルーバーフィルムによる色光遮断

ルーバーフィルムは、定めた可視角の範囲のみに光を透過させることができる。PCやスマートフォンの画面に貼る覗き見防止フィルターとしても活用され、可視角の範囲外である左右斜めの視点からは画面が黒く見える効果を有する。これは、図1に示すようにルーバーフィルム内にスリットが並んでいることで、光路が限定されるからである。なお、スリットは肉眼での観察が困難なほど微細な間隔で配置された構造である。

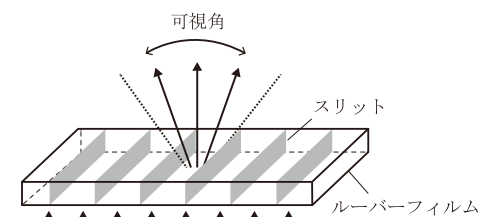


図1 ルーバーフィルムの構造

ここで Glow-shapes において、ルーバーフィルムを用いて色光を遮断するための構成（以下、基礎構成と呼ぶ）について述べる。図2に示すように、ユーザーの正面に面光源を水平に設置し、その上にスモークアクリル板、カラーセロハン、ルーバーフィルムを重ねる。ルーバーフィルムは各スリットの向きが正面から見て横になるようにする。カラーセロハンを通して色がついた光（色光）はルーバーフィルムで定められた可視角の範囲のみに透過され、可視角の外側へは透過されない。よって基礎構成に対して正面からの視点では色光が遮断され、ルーバーフィルムの面（以下、ルーバー面と呼ぶ）は黒色に見える。なお、スモークアクリル板は色光の遮断効果をより高めるために設置している。

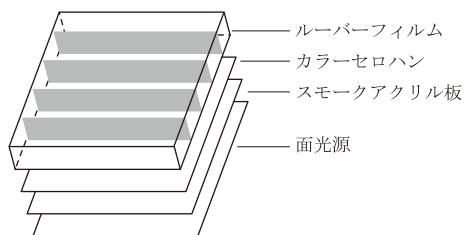


図2 基礎構成の模式図（正面からの視点）

3.2 プラスチック板による色光出現

基礎構成によって色光を遮断したルーバー面の上で、プラスチック板の特性を利用することで、角度に応じてプラスチック板に色光を出現させることができる。Glow-shapes ではプラスチック板の特性を利用した二つの手法を提案する。

一つは、プラスチック板の反射による色光の出現である。これはプラスチック板が特定の角度を満たしたときに、色光が反射し可視化される現象であり、この現象を用いて立体をつくることにより、ユーザーの動作に応じた多面的な色の出現を実現することができる。

もう一つは、プラスチック板のクレーズによる色光の出現である。これは、プラスチック板に曲げの力を加えることで一方向に生じたクレーズ（図3）が特定の角度を満たしたときに、色光が可視化される現象である。クレーズとは、プラスチックなどの高分子材料に力を加えたときに生じるもので、ひび割れが生じる前段階の白化した状態のことである[9]。この現象を利用し、クレーズを局所的に発生させながら、ピクセル状にプロットしていくことで、ユーザーの動作に応じて任意の図形を色として出現させることができる。

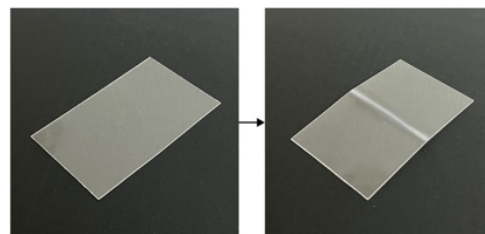


図3 プラスチック板にクレーズが生じる様子

4. 実装

本章では、まずルーバーフィルムを用いた色光の遮断についての詳細を述べる。次にプラスチック板を用いた二つの手法について、色光が出現する角度の基礎検討を行い、これらを利用して色と形が出現する視覚表現を実装する。なお、ユーザーのルーバー面中心への俯角を45度とする。

4.1 ルーバーフィルムによる色光遮断

基礎構成として、図4に示すように可視角30度・260mm×300mmのルーバーフィルム（N-VCF1003000-PC200、信越ポリマー）、黄色のカラーセロハン、スモークアクリル板、面光源（Nuada S3II, Phottix）を用いる。なお、面光源とスモークアクリル板の間には15mmの間隔を設けて設置している。今回は色光の見やすさのため黄色のカラーセロハンを用いているが、赤・青・緑でも同様に実装が可能であることを確認している。

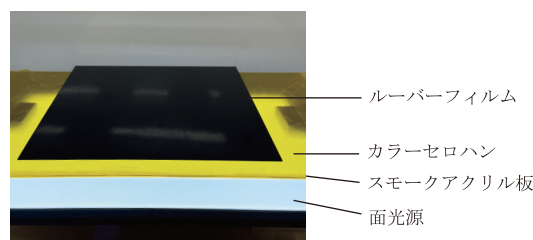


図4 基礎構成（正面からの視点）

4.2 プラスチック板の反射による色光出現

4.2.1 色光出現の基礎検討

基礎構成の上でプラスチック板が特定の角度を満たすことで、プラスチック板に色光が出現する。

ここで角度変化の説明のために、図5で示すようにプラスチック板にローカル座標系として x 軸・ y 軸・ z 軸を設定する。プラスチック板がルーバー面に垂直で各スリットの方

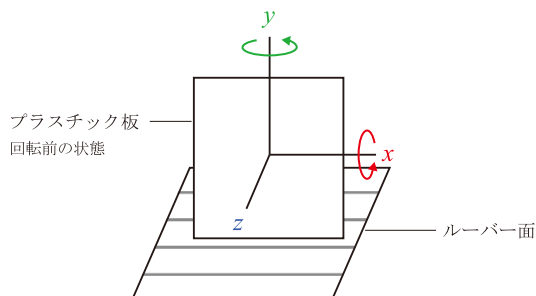


図5 プラスチック板に設定した軸

50mm 四方・PET 樹脂製のプラスチック板（SAWADA PLATEC）をルーバー面の中心で角度変化させる。

図6(a)に示すようにプラスチック板がルーバー面に垂直で各スリットに平行な状態では色光が出現しない。y軸まわりに -45 度から $+45$ 度の範囲で回転させた状態で、x軸まわりで正方向に回転させると、特定の角度範囲で色光が出現した。たとえば、図6(b)に示すように、y軸まわりの回転角が 0 度のとき、x軸まわりの回転角が $+20$ 度から $+26$ 度の範囲で色光が面全体に出現した。さらに、図6(c)に示すように、y軸まわりの回転角が ± 45 のとき、x軸まわりの回転角が $+0$ 度から $+12$ 度の範囲で色光が面全体に出現した。このように、y軸まわりの回転角が -45 度、または $+45$ 度になるにつれて、x軸まわりで正方向に小さく回転させることで色光が出現する。

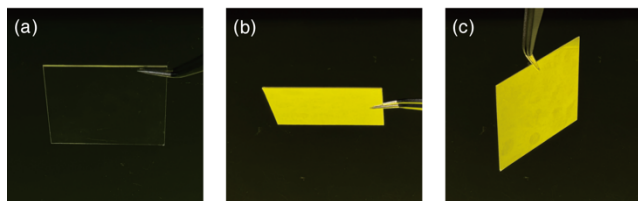


図6 基礎構成上でのプラスチック板の様子

4.2.2 多面体への選択的な色光出現

プラスチック板を用いて多面体を作製し、基礎構成の上で動かすことで各面に選択的に色光を出現させることができる。これは、色光の出現する角度が限定的であるため、ユーザーの動作により角度の条件を満たす面が変化してい

くからである。図7、図8に示すように、正三角柱と平行六面体を基礎構成の上で傾けたり回転させたりすることで、色光が出現する面が変化していく様子を確認できた。

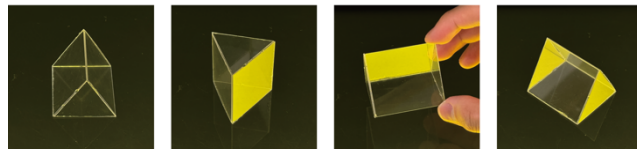


図7 正三角柱における選択的な色光の出現

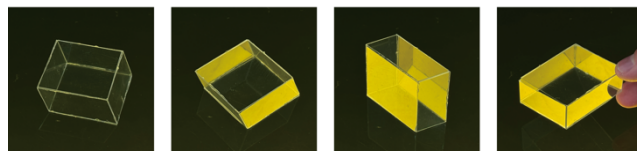


図8 平行六面体における選択的な色光の出現

4.2.3 立体形状としての色光出現

隣り合う面同士のなす角が 90 度になるように立体を設計することで、各側面が同時に角度の条件を満たすことができる。そのため、設計した立体形状に色光を出現させることが可能となる。このように設計した図9(a)のピラミット型を、基礎構成の上に角度の条件を満たすように置くことで、図9(b)で示すように全ての側面に同時に色光が出現し、ピラミット型に色光が出現することを確認できた。

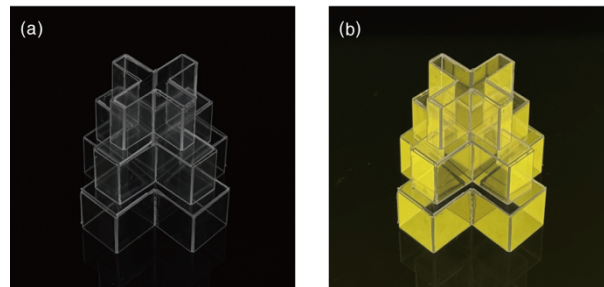


図9 ピラミット型への色光の出現

4.3 プラスチック板のクレーズによる色光出現

4.3.1 色光出現の基礎検討

プラスチック板に曲げの力を加えることで一方向に生じたクレーズが特定の角度を満たしたとき、クレーズに色光が出現する。色光が出現する条件はクレーズの方

向にも依存している。ここで角度変化の説明のために、図10で示すようにクレーズにローカル座標系として x 軸・ y 軸・ z 軸を設定する。ユーザー視点から見て横方向のクレーズがルーバー面と平行な状態から、各軸まわりにおいて矢印の方向を正とした回転による角度変化を考える。変化の範囲を -90 度から $+90$ 度に限定し、これらの軸は角度変化に応じてクレーズに追従するものとする。

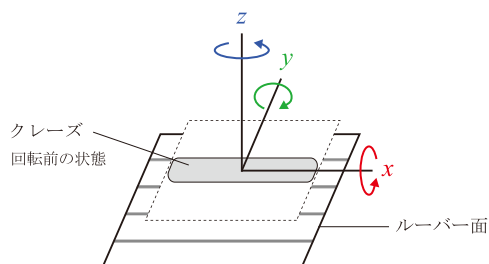


図 10 クレーズに設定した軸

50mm 四方・0.45mm 厚・スチロール樹脂製のプラスチック板（光栄堂）を曲げることで、ユーザーから見て横方向に生じたおよそ 50mm×16mm のクレーズをルーバー面の中心で角度変化させる。

図 11(a)に示すようにユーザー視点から見て横方向のクレーズがルーバー面と平行な状態では色光が出現しない。図 11(b)に示すように、 z 軸と y 軸まわりの回転角が 0 度 のとき、 x 軸まわりの回転角が +19 度から +23 度の範囲で色光がクレーズ全体に出現した。この動作を x 軸での角度変化と呼ぶことにする。なお、図 11(c)に示すように z 軸まわり に ± 90 度回転させた状態（ユーザーから見てクレーズが縦 方向の状態）で、 y 軸まわりで回転させてもクレーズに色 光は出現しない。さらに、図 11(d)に示すように、 x 軸と y 軸まわりの回転角が 0 度 のとき、 z 軸まわりの回転角が ± 45 度で色光がクレーズ全体に出現した。この動作を z 軸での 角度変化と呼ぶことにする。

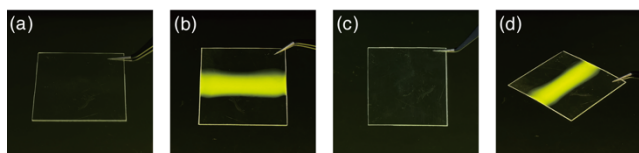


図 11 基礎構成上でのクレーズの様子

4.3.2 クレーズを局所的に生じさせる手法

本実装では、任意の図形を表現するために、グリッドを 想定してピクセル状に局所的なクレーズを発生させる。そ の手法として Craze Plotter (図 12) という装置を考案した。 これはベースフレーム、12×12 個の 6mm 四方の格子が並 ぶグリッドガイド、ゴムスタンプから構成される。

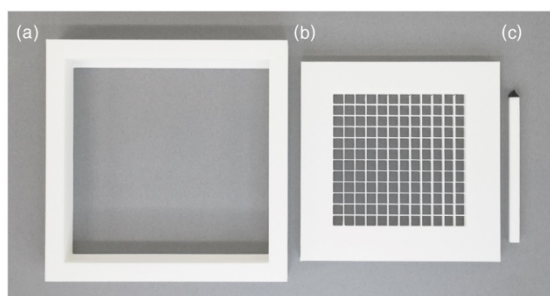


図 12 Craze Plotter : (a)ベースフレーム, (b)グリッドガイド, (c)ゴムスタンプ

布やゲルなどの柔らかい物の上で、ベースフレームとグリッドガイドの間にプラスチック板をセットし、グリッド に沿ってゴムスタンプで押すことで、任意の位置にクレーズを生じさせられる。図 13(a)で示すようにゴムスタンプの 先端には、三角型の屋根のように一方向へ角ばった形状の ゴムが取り付けられている。また、図 13(b)で示すようにベ ースフレームには向かい合う 2 辺に段差が存在している。 これらの構造により、図 13(c)で示すように、ゴムスタンプ で定めるクレーズが意図しない方向へ広がってしまうこと を防ぎ、一方向（横方向または縦方向）のクレーズをプロ ットすることができる。さらに、クレーズを斜めに生じさ せるために、段差を対角に設置したベースフレームや、ゴ ムの向きを斜めにしたゴムスタンプも作製している。

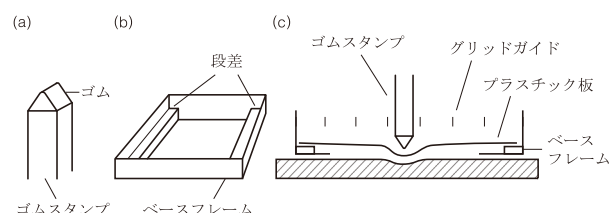


図 13 クレーズのプロット手法 : (a)ゴムスタンプの形 状, (b)ベースフレームの形状, (c)一方向のクレーズをプロットする仕組み

4.3.3 x 軸での角度変化による任意図形の出現

プラスチック板に 2 種類の図形を、横方向と縦方向のクレーズにわけてピクセル状にプロットすることで、 x 軸での角度変化によって 2 種類の図形を出現させることができる。

例えば、図 14 のように、Craze Plotter を用いてプラスチ ック板に横方向のクレーズを与えて図形 A（ハート）をプ ロットする。また、縦方向のクレーズを与えて図形 B（星）を同一のプラスチック板にプロットする。実際にプラスチ ック板にプロットしたものを基礎構成の上で動かす様子を 図 15 に示す。図形 A（ハート）のクレーズがユーザーから 見て横方向の状態で、 x 軸で角度変化をさせることで図形 A（ハート）が出現し、プラスチック板を回転させて図形 B（星）のクレーズがユーザーから見て横方向の状態で、 x 軸 で角度変化させることで図形 B（星）が出現する。

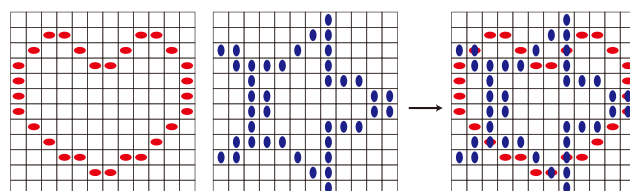


図 14 クレーズによる 2 種類の平面図形のプロット

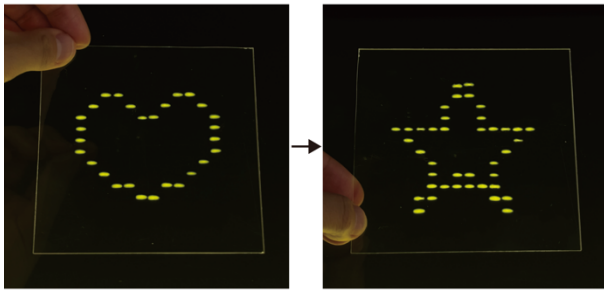


図 15 x 軸での角度変化により出現した 2 つの平面図形

さらに、クレーズをプロットしたプラスチック板を複数枚重ねることにより任意の立体図形が出現する表現へと拡張できる。Craze Plotter を用いて 6 枚のプラスチック板に横方向のクレーズを与えて立体 A (半球体) をプロットし、縦方向のクレーズを与えて立体 B (四角錐) をプロットする。これを一定間隔で積層させ、基礎構成の上で動かす様子を図 16 に示す。 x 軸での角度変化によって立体 A (半球体) や立体 B (四角錐) が出現する様子を確認できた。

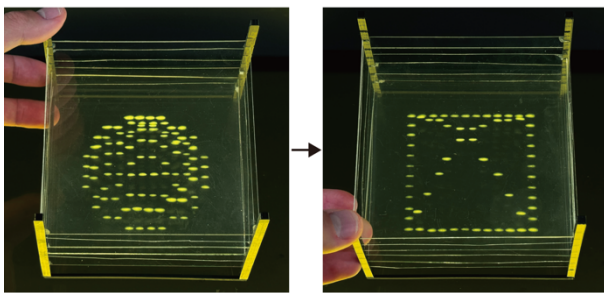


図 16 x 軸での角度変化により出現した 2 つの立体図形

4.3.4 z 軸での角度変化による任意図形の出現

プラスチック板に 2 種類の図形を、横方向と斜め方向のクレーズにわけてピクセル状にプロットすることで、 z 軸での角度変化によって 2 種類の図形を出現させることができる。

例えば、図 17 のように Craze Plotter を用いてプラスチック板に横方向のクレーズを与えて図形 A (丸) をプロットする。また斜め 45 度方向のクレーズを与えて図形 B (バツ) を同一のプラスチック板にプロットする。ここで本研究における z 軸での角度変化による色光の出現では、2 つ以上の方向の異なるクレーズを同一格子内にプロットしても、お互いに干渉してしまい想定通りに色光が出現しないことがある。よって、各格子に与えるクレーズ方向は一方にする必要があるため、2 つの図形が重ならないようにプロットを行っている。実際にプラスチック板にプロットしたものを基礎構成の上で動かす様子を図 18 に示す。 z 軸で角度変化させることで、クレーズが角度の条件を満たした順に図形 A (丸)、図形 B (バツ) が出現する。

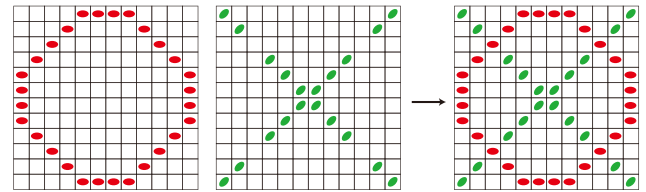


図 17 クレーズによる 2 種類の平面図形のプロット

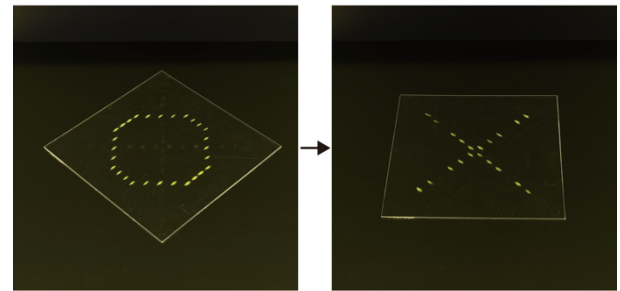


図 18 z 軸での角度変化により出現した 2 つの平面図形

さらに、複数枚にプロットしたものを一定間隔で積層させ、基礎構成の上で動かした様子を図 19 に示す。 z 軸での角度変化によって立体 A (直方体) や立体 B (四角錐) が出現する様子を確認できた。

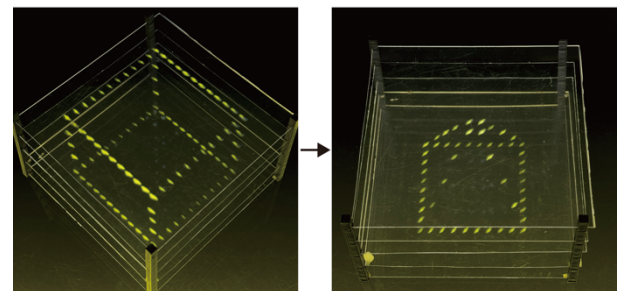


図 19 z 軸での角度変化により出現した 2 つの立体図形

5. アプリケーション

5.1 機構への組み込み

反射による色光の出現を利用し、他の機構にプラスチック板を組み込むことで身近な動作に応じた視覚表現を作ることができる。図 20 に示すように、スイッチが押されることでプラスチック板の角度が変化する構造を設計することで、押すという動作で色光が出現させられる。

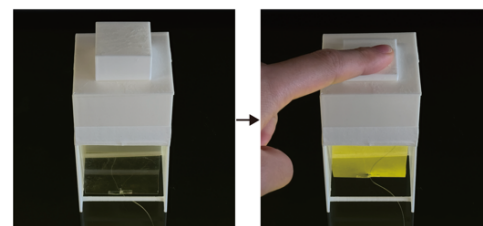


図 20 スイッチを押すことで色光が出現する様子

5.2 アニメーション表現

クレーズをプロットした複数枚のプラスチック板を異なる角度で配置し、角度変化に応じて順に色光が出現することでアニメーションのような表現が可能となる。

4枚のプラスチック板に大きさの違う円をプロットし、 x 軸まわりの回転角が異なるように配置(図21)することで、 x 軸での角度変化に応じて円の大小が変化するアニメーション表現(図22)が可能となる。



図21 x 軸まわりの回転角を変えた複数枚の配置

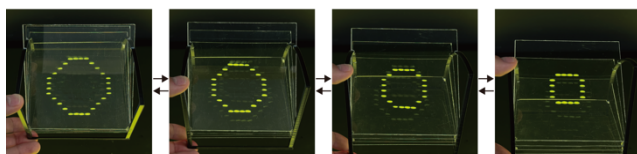


図22 円の大小が変化するアニメーション表現

また、3枚のプラスチック板に同一形状の円をプロットし、 z 軸まわりの回転角が異なるように間隔を空けて重ねる(図23)ことで、 z 軸での角度変化に応じて円が上下に移動するアニメーション表現(図24)が可能となる。

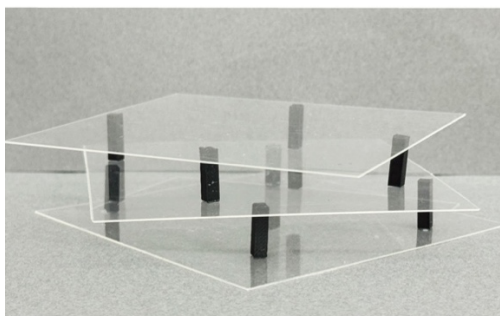


図23 z 軸まわりの回転角を変えた複数枚の配置

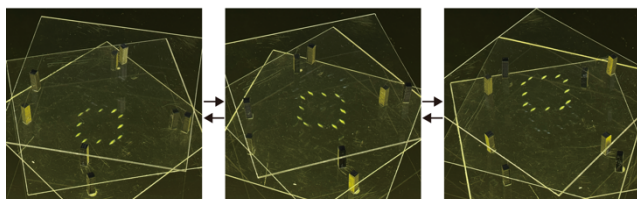


図24 円が上下に移動するアニメーション表現

6. おわりに

本研究では、ルーバーフィルムとプラスチック板を用いて光路を制御することで、ユーザーの傾けや回転などの動作に応じて色と形が出現する視覚表現 **Glow-shapes** を提案した。ルーバーフィルムによる色光の遮断と、プラスチック板の反射やクレーズによる色光の出現を利用することで実現し、色や形の平面的な出現だけでなく、多面的・立体的な出現やアニメーション表現を可能とした。

本研究の発展として、図形以外に文字や絵を出現させることや、複数の色を用いた表現が考えられる。そして、設計の自由度をさらに高めることで、表現の幅を広げることが期待できる。具体的には、透明な曲面を設計することで、プラスチック板の反射による色光出現を利用して、曲線を有する形を出現させることができる。また、局所的なクレーズをより細かくプロットすることができれば、プラスチック板のクレーズによる色光出現を利用して、より解像度の高い形を出現させることができる。さらに、光源として太陽光や角度を変化させるための動力として水を利用することで、有機的な表現へと発展させることも検討していきたい。

参考文献

- [1] 富士フイルム株式会社. “構造色インクジェット技術” 新開発. <https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/7724>, (参照 2024-12-15).
- [2] artience. “顔料および染料を用いない印刷型の構造色シート”. <https://www.artiencegroup.com/ja/products/rd/structural-color.html>, (参照 2024-12-15).
- [3] 小野洋介, 吉田潤一郎. サステナブルな構造色顔料の作製と陶芸への応用. デザイン学研究. 2021, vol. 68, p. 300-301.
- [4] Follmer, Sean. et al. inFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation. UIST'13. 2013, p. 417-426.
- [5] Yu, Tianyu. et al. Thermotion: Design and Fabrication of Thermofluidic Composites for Animation Effects on Object Surfaces. CHI'23. 2023, p. 417-426.
- [6] Perroni-Scharf, Maxine. et al. Constructing Printable Surfaces with View-Dependent Appearance. SIGGRAPH'23. 2023, p. 417-426.
- [7] Zeng, Jiani. et al. Lenticular Objects: 3D Printed Objects with Lenticular Lens Surfaces That Can Change their Appearance Depending on the Viewpoint. UIST'21. 2021, p. 1184-1196.
- [8] Abu Rmaileh, L., Brunton, A. Meso-Facets for Goniochromatic 3D Printing. ACM Transactions on Graphics. 2023, vol. 42, no. 4, p. 66:1-66:12.
- [9] 一般社団法人日本機械学会. “クレーズ”. 機械工学事典. <https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/doku.php?id=08:1003409>, (参照 2024-12-15).