

偏光板を用いた影の性質を拡張する インタラクティブアート表現の検討

住友 梨花^{1,a)} 赤星 俊平¹ 松下 光範^{1,b)}

概要：本研究の目的は、影の性質を拡張するインタラクティブアート表現の提案である。影は古くから影絵芝居や影踏みなどのエンタテインメントとして親しまれており、近年では影をテーマにしたインタラクティブアートが多数制作されている。本稿では、偏光板 2 枚の偏光方向を直交させると黒色に見えるという性質を利用して、黒いオブジェクトにライトを当てた時に外観とは異なる影を出現させるインタラクティブアートの表現手法を検討する。黒いオブジェクトから、絵柄の付いた影、色の付いた影、光源の方向によって絵柄が変化する影、光源を遮蔽した物体の手前側にも現れる影の 4 種類の拡張影の表現を可能にした。また、制作した拡張影に対する体験者の気づきの調査を行った。その結果、絵柄と色の付いた影は高い割合で認識されるが、その他の 2 種類の拡張影の認識は難しいことが分かった。

キーワード：影、インタラクティブアート、偏光板

RIKA SUMITOMO^{1,a)} SHUMPEI AKAHOSHI¹ MITSUNORI MATSUSHITA^{1,b)}

1. はじめに

影は身近な自然現象である。光を遮蔽することによって現れる領域で、その形には遮蔽物の輪郭が反映される。物体の色や柄、質感や立体感などの要素は削ぎ落とされ、黒の単色となる。物体が移動すれば影も同じように移動し、光源の角度や距離によって伸縮する。このような影の性質を利用し、古くから影絵芝居や影遊びなどのエンタテインメントとして利用されてきた。

影絵芝居とは、スクリーンの後方で切り絵の人形などを動かして、セリフや音楽と共に影で物語を表現する芝居である。影の動きに物語性を持たせた幻想的な演出をすることによって、鑑賞者は影絵を単なる物体の影ではなく一種の映像のようなエンタテインメントとして見ることができる。日本では、古くから庶民の遊びとして「手影絵」が親しまれてきた。手影絵は、手の指や腕を組み合わせることによって様々な形の影を作って楽しむものである。影を形作っている手自体を見ても、表現したい物の形は分りにくい、影を生成することで輪郭だけが反映され、実物を

見るよりもシンプルに形を捉えることができる。これらのエンタテインメントは影だけを鑑賞するものであるが、影を生成する物体も含めて作品の意味を持つ例を挙げる。

Tim Noble & Sue Webster の Dirty White Trash(with Gulls)^{*1}は、一見すると空き缶やゴミ袋などが積もったゴミの山であるが、光を当てると 2 人の人間が背中を合わせて座っている影が見えるアート作品である。これは影を生成する空き缶などの物体を、光源との距離や角度を考慮して積み重ねることで作られている。影が輪郭だけを反映し、視覚的要素をそぎ落とすという特徴を上手く利用することで、物体の見た目と生成されている影との差異が印象的な作品となっている。クワクボリョウタによる 10 番目の感傷(点・線・面)^{*2}は、光源を取り付けた列車模型を走らせて線路周りに配置したミニチュアの影を部屋の壁面に映し出す作品である。壁にはビルなどの建物や線路の高架の影が動的に映し出され、列車の窓から眺めたような景色を見ることができる。これらの影は消しゴムや洗濯ばさみなどの日用品から生成されており、日常で見慣れたものであっても影を見せることで新鮮に感じさせる作品となって

¹ 関西大学
2-1-1 Ryozenji, Takatsuki, Osaka 569-1052, Japan

a) k179706@kansai-u.ac.jp

b) t080164@kansai-u.ac.jp

^{*1} <https://www.artworksforchange.org/portfolio/tim-noble-and-sue-webster/>

^{*2} http://archive.j-mediaarts.jp/festival/2010/art/works/14a_The_Tenth_Sentiment/

いる。

以上の作品例から分かるように、物体の外観と実際に出現する影の差異は面白さや作品への興味を作り出す要素になり得ると言える。そこで本研究では、物体の輪郭と異なる影を生成するインタラクティブアートの制作を目的とし、影の性質を拡張する表現を検討する。影が持っている性質の一部を変化させることで、普段見ている影とは違った影の見せ方をすることを目指す。

2. 関連研究

これまでに制作された影を拡張するシステムは、CG を使って人工的な影を生成する方法と自然に生成される影を操作する方法の2種類に分けられる。

2.1 CG で影を生成する方法

近森らによる KAGE は、体験者が円錐形のオブジェクトに触れるとカラフルな影が現れたりオブジェクトとは異なる形の影がとび出す作品である [1]。これは体験者がオブジェクトに触れる動作をセンサで取得し、それに合わせて CG 影をオブジェクトと同じ平面に投影することで、通常とは異なる性質を持った影の表現を実現している。

水野らは、光を遮蔽してできる自然な影とバーチャルな影とのインタラクシオンを実現するシステムを提案した [2]。体験者がスクリーンの前で実物のジョウロを傾けると、体験者の影だけでなくジョウロから出る水の影が投影される。これは予め登録しておいた実物のオブジェクトと体験者の動きを Kinect で認識し、オブジェクトに応じて CG 影を投影することで実現している。

CG で影を生成する方法では、影の形を自由に作ることができ、体験者の動きをセンサで取得することで影とのインタラクシオンを実現できる。これらは影そのものの拡張ではなく、影の多くの性質を人工的に模倣した表現であるといえる。

2.2 自然に生成される影自体を操作する方法

橋田らは、屋外において影の濃淡を制御することができるソラ・カラを提案した [5]。光で発色を制御することができるフォトクロミック材料を塗布したスクリーンに対し、照射する太陽光の波長や照度を光学素子を用いて調節することで、生成される影の濃淡を制御している。

蓑毛らは、補色を用いて体験者の影を彩りあるものにする Textured Shadow を提案した [3]。上部に吊るした2台のプロジェクタから補色関係にある色を使用したブロック柄の映像が重なるように投影されており、その間を体験者が遮断した時だけカラフルな影が生成される。これは補色を重ねると白色になるという光の三原色の性質を利用している。

阪口は、オブジェクトに照射する赤外ライトの波長を変え

ると影の絵柄を変化させることができる Layered Shadow を提案した [4]。体験者はテーブル型のスクリーンの上でオブジェクトにライトを当て、生成される影を鑑賞する。赤外光は可視光よりも波長が長く目に見えない光であり、IR フィルタは特定の長さ以上の波長を透過させ、それ以下の波長を遮断するフィルムである。IR フィルタで作成したオブジェクトが光の透過と遮蔽を制御することによって不可視な影が生成され、それを IR カメラで認識しスクリーンに投影することで実現している。

自然に生成される影自体を操作する方法には、物体の輪郭とは異なる影を表現することが難しいという課題がある。しかし、光学特性を利用することで影に濃淡や絵柄を出現させるなど、本物の影を生かしながら影の性質を拡張することができる。また、センサを使用せずとも体験者と影のインタラクシオンを実現することが可能である。以上の理由から、本研究では自然に生成される影自体を操作する方法を用いる。

3. デザイン指針

影は様々な特徴を持っており、例えば

- (1) 物体の輪郭を反映する
- (2) 黒色である
- (3) 光源の角度によって伸縮する
- (4) 光源を遮蔽した物体の後ろ側に現れる
- (5) 物体と光源の距離によって大きさが変化する
- (6) 物体及び光源の動きに追従する
- (7) 光を物体で遮蔽すると現れる

などが挙げられる。これらの性質を全て保持している影を通常影、いずれかの性質が拡張されている影を拡張影と定義する。本研究では、体験者自身に拡張影の生成を体験してもらうことを目的とする。箱の中に配置された黒色のオブジェクトに対してライトを当てると、上述した影の性質のうち (1) から (4) の項目を変化させた拡張影が出現するシステムを制作した。

もし影の全ての性質を拡張した場合、我々が普段見ている影とはかけ離れた振る舞いをするようになり、それが影であると認識することが難しくなる可能性があると考えられる。そこで、影の性質の一部を変化させ、その他の性質を保持することで、影であるという認識はそのままに普段とは異なる振る舞いをする影を実現する。

3.1 拡張影生成の仕組み

提案システムでは、偏光板2枚の偏光方向を直交させると黒色に見えるという性質を利用して、箱の中に配置したオブジェクトを黒く見せる。また、オブジェクトの制作に Lumisty フィルム、ハーフミラーといった光学素材を使用することで、光源の方向によって絵柄が変化する影、光源を遮蔽した物体の手前側にも現れる影を生成する。

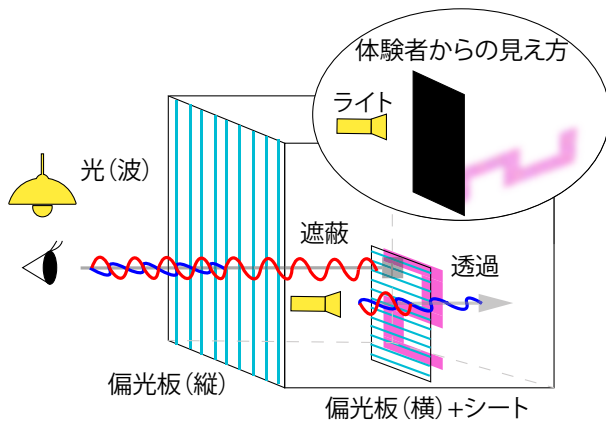


図 1 提案システムの仕組み

3.1.1 偏光板による黒いオブジェクトの形成

偏光板は、ある一定方向に進む光だけを通す性質を持っており、目で見ることができない程の細かいスリットが平行に入っている。光は縦方向に振動する波（縦波）と横方向に振動する波（横波）で構成されており、例えば、縦方向にスリットの入った偏光板は入射する光の縦波だけを透過し、横波を遮蔽する。提案システムでは2枚の偏光板の偏光方向を直交させて使用する。箱の前面に光の縦波を透過させる偏光板を貼付し、その箱の中に光の横波を透過させる偏光板を貼付したオブジェクトを配置する。オブジェクトの偏光板の裏には、影として出現させたいデザインで切り抜いた黒画用紙やカラーフィルムなどのシートを貼り付けて制作する。偏光板2枚の偏光方向が直交していることによって箱の外からはオブジェクトが黒に見えるが、体験者が箱の中に手を入れてオブジェクトにライトを当てれば、光は偏光板1枚を透過し、その裏に貼り付けられたシートの影が生成されるという仕組みである（図1参照）。

3.1.2 光学素子による拡張影の形成

Lumisty フィルムは、特定角度から入射する光だけを拡散させる性質を持ったフィルムである。フィルムの正面を視点位置とした場合、片方向に約 25° から 55° の範囲は不透明になり、それ以外の角度は透明に見える（図2参照）。不透明の範囲は光が拡散することによって白く曇って見え、透明の部分は高い透過性を持つ。透明に見える方向からライトを当てた場合は光が透過し、不透明に見える方向からライトを当てた場合はフィルム上で光が拡散することによって影が生成される。

ハーフミラーは、入射光の一部を反射させ一部を透過させる性質を持ったミラーである。視点位置から見ると、ミラーには手前側が映ると同時に向こう側が透けて見える。ハーフミラーの前面からライトを当てれば、光の半分はミラーを透過し、残りの光はミラーの手前側に反射する。

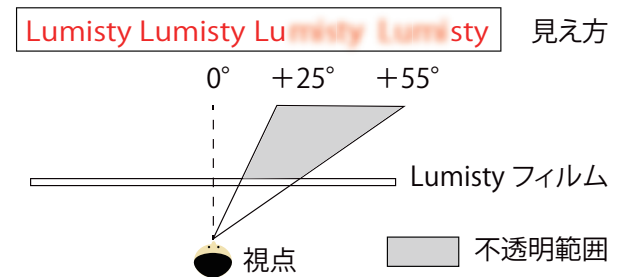


図 2 Lumisty フィルムの性質

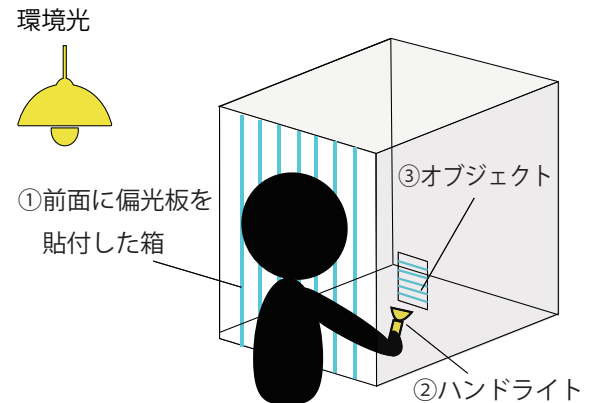


図 3 システム構成

4. 実装

4.1 システム構成

本システムは(1) 前面に偏光板を貼付した透明な箱、(2) 白色光のハンドライト、(3) 偏光板を用いて制作したオブジェクトによって構成される（図3参照）。箱の外からは(1)と(3)の偏光板のスリットが交差することによりオブジェクトが黒に見える。光の横波成分のみがオブジェクトの偏光板を通り、その裏に重ねられた各シートの色や形、光学特性を反映した拡張影を生成する仕組みである。

箱は無色透明の亚克力で縦横 50cm、高さ 60cm の大きさで作成し、箱の底には白色の画用紙を敷くことで影が鮮明に見えるようにした。体験者が使用するハンドライトは、照射角度（中心の最も明るい光の範囲）が約 15° 、散光角度（周辺光まで含む光の範囲）が約 33° の白色 LED ライトを用いた。照射角度が広いものを使用することで、オブジェクトの面積全体に均一に光が当たり、影のデザインが鮮明に見える。

4.2 オブジェクト構成

オブジェクトに使用する偏光板は、箱に貼付した偏光板と直交するように配置し、それに拡張影として出現させたい形状に切り抜いた黒画用紙、カラーフィルム、Lumisty フィルム及びハーフミラーといったシートを貼り付けて作

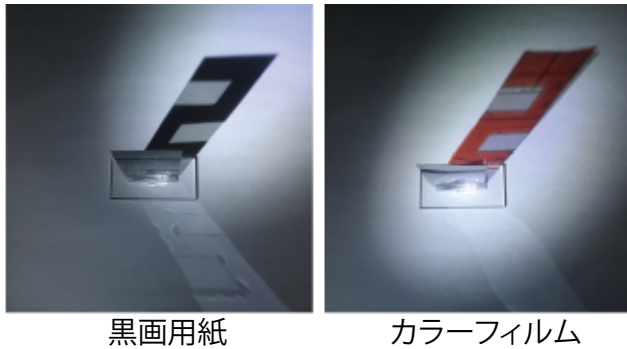


図 4 影の見え方 (黒画用紙 又は カラーフィルム)

成する。

オブジェクトに黒画用紙を使用した場合、光が遮蔽された部分のみが絵柄の付いた影として現れる。半透明のカラーフィルムを使用すると、フィルムを透過した部分のみが色の付いた影として現れる。出現する影の見え方を図 4 に示す。

光の透過する方向が左右で異なる Lumisty フィルムと黒画用紙を組み合わせれば、例えば正面からライトを当てた場合はデジタル数字の“5”，右方向からライトを当てた場合は“6”，左方向からライトを当てた場合は“9”の影が現れるような拡張影の表現が可能である。構成を図 6 に示し、出現する影の見え方を図 5-左に示す。

ハーフミラーにカラーフィルムと黒画用紙を組み合わせれば、例えばオブジェクトの後ろ側にはデジタル数字の“9”，手前側には“3”の影が現れるような拡張影の表現が可能である。構成を図 7 に示し、出現する影の見え方を図 5-右に示す。

5. 評価

体験者の拡張影に対する気づきと、オブジェクト配置角度の範囲の調査を大学生 10 人に対して行った。

5.1 拡張影に対する気づきの調査

提案手法で生成する拡張影が制作の意図通りに体験者に認識されるかどうかを調査するアンケートを行った。前述した 4 種類のオブジェクトに様々な方向からライトを当てるように指示し、見えた影の特徴を自由に記述してもらった。拡張影の制作意図に関する特徴の記述があるものを、影の拡張が認識されたものと見なす。その結果、絵柄の付いた影の認識率は 90%，色の付いた影は 70%，光源の方向によって絵柄が変化する影では 40%，光源を遮蔽した物体の手前側にも現れる影では 10%であった。光源の方向によって絵柄が変化するオブジェクトの認識については、オブジェクトの一部分だけに Lumisty フィルムを使用したことにより、影の絵柄の変化が小さく、その変化に気づくのが難しかったのではないかと考えられる。光源を遮蔽した物体の手前側にも現れる影の認識率が低かった理由として

は、オブジェクトに使用しているハーフミラーによって前後に光量が分散し、影の明度が低くなってしまったことが考えられる。

5.2 オブジェクト配置角度の範囲の調査

提案システムは偏光の交差を利用するため、基本的にはオブジェクトを箱の前面と平行に配置することが望ましいが、オブジェクトを傾けて配置しても黒く見える角度の範囲を調査した。箱の前面を 0° として、 90° まで 15° ずつオブジェクトを傾けて設置し、角度ごとにオブジェクトが黒く見えるかどうかを回答してもらった。結果として、70%の被験者が 0° から 30° までは黒く見えると回答したことから、箱の前面に対して 30° まではオブジェクトを傾けて配置することができ、それ以上の角度をつけて配置すると黒く見せることができないことが分かった。

6. 議論

6.1 システム構造による制約

箱の前面の偏光板とオブジェクトの偏光板の偏光方向が直交することによりオブジェクトが黒色に見えるという仕組みを利用するため、箱の前面以外から箱の中のオブジェクトを見た場合、オブジェクトが黒く見えず、物体の外観と出現する影の差異を作り出すことができない。これには、箱の側面から覗かないように箱の側面全体を不透明なテープで覆うことで対処している。

オブジェクトは基本的に箱の前面と平行に配置する必要がある。体験者がオブジェクトにライトを当てて影を鑑賞する際に、オブジェクトに触れるなどの要因で角度が変化すると、黒く見せることができなくなる。また、体験者がオブジェクトを箱から持ち出した場合、箱に仕掛けがあることが露呈する。これはオブジェクトを箱の中に固定することで解決することができる。

6.2 操作性の課題

システム操作の分かりやすさに関する課題としてライトを持つ手首の向きの問題がある。箱の前面から鑑賞し箱の側面から手を入れるという構造上、体験者の自然な動作として箱の中にライトを入れる際の手首の向きはオブジェクトと並行である。平面のオブジェクトと光の向きが並行であるので、そのままライトの光を当てても影が生成されない。影を出現させるにはオブジェクトに対して垂直にライトの光を当てる必要があるため、体験者は手の角度を調節する必要がある。

7. 今後の展望

今回の提案手法では、ライトを当てる方向によって絵柄が変わる影を表現するなど、体験者自身で影のデザインを変化させることが可能である。コンピュータを組み合わせ

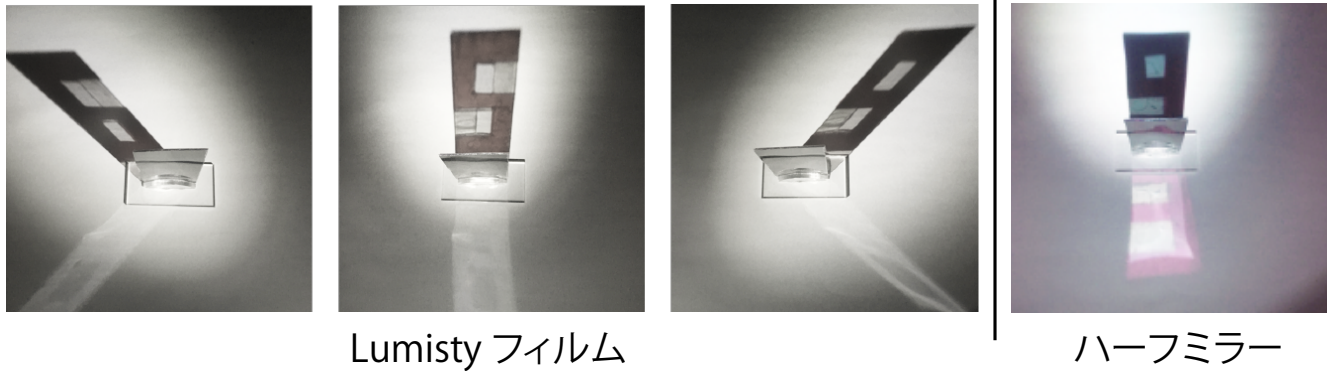


図 5 影の見え方 (Lumisty フィルム 又は ハーフミラー)

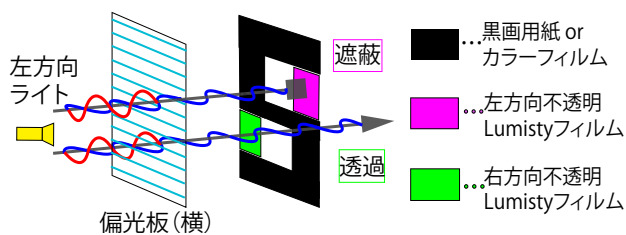


図 6 オブジェクト構成 (Lumisty フィルム)

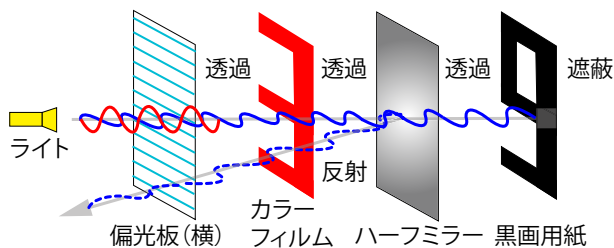


図 7 オブジェクト構成 (ハーフミラー)

ることで、体験者によって異なる影を出現させるなど、さらに動的な要素を追加したりすることができると考える。

8. まとめ

本稿では、影の性質を拡張するインタラクティブアート表現の提案のために、偏光板を用いた表現手法の検討を行った。今後も影の表現において動的な要素の追加やインタラクションの多様化を目指す。

参考文献

- [1] Chikamori, M. and Kunoh, K.: Kage, *SIGGRAPH Electronic Art and Animation Catalog 1998*, p. 14 (1998).
- [2] Iwasaki, H., Kondo, M., Ito, R., Sugiura, S., Oba, Y. and Mizuno, S.: A Method of Touching and Moving Virtual Shadows with Real Shadows, *International Conference on Cyberworlds* (2015).
- [3] Minomo, Y., Kakehi, Y. and Iida, M.: Transforming your shadow into colorful visual media: multi-projection of complementary colors, *2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, Vol. 61-68 (2005).

- [4] Sakaguchi, S., Tanaka, T. and Matsushita, M.: Layered Shadow: Multiplexing Invisible Shadow Using Infrared Lights with Different Wavelengths, *Proceedings of the Virtual Reality International Conference*, pp. 13:1–13:2 (2013).
- [5] 橋田朋子, 筧 康明, 苗村 健: ソラ・カラ: 太陽光を活用した屋外空間の発色制御, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 17, No. 3, pp. 279–288 (2012).