

## 形状認識を用いた動的な影の生成システム

伏尾 祐貴<sup>†1</sup> 松下 光範<sup>†1</sup>

本研究では、物体の影の形状をもとに動画像を影と合成することで、変化のある動的な人工影を生成するシステムを提案する。提案システムでは、物体の実影の生成には赤外光を利用し、スクリーン上に投影される実影と人工影の混合を避ける。実影の内側に影の現れない領域を作り、その領域同士の位置関係や個数のパタンを認識することで合成する画像を選択する手法をとる。提案するシステムを用いて、影の世界に住む人々が、それぞれの状況に応じた動きを見せる人工影を生成するシステムを作成した。

### Dynamic Shadow Generation System based on Shape Recognition

YUKI FUSHIO<sup>†1</sup> and MITSUNORI MATSUSHITA<sup>†1</sup>

This paper proposes a dynamic shadow generation system by combining a shadow of an object and artificial shadows of virtual characters. In our proposed system, infra-red light is utilized to capture an object's shadow in order to discriminate a shadow generated by an object and a virtual shadow generated by the system. Our proposed system determines areas in which shadows don't appear and mixes a shadow of virtual characters on it. This paper presents a basic idea of the system, shadow generation algorithm used in the system, and an empirical study on sharpness of a generated shadow along with the distance between a screen of the system and an object.

### 1. はじめに

我々にとって身近な存在である影に着目して、これまでに数多くのシステムが発表されて

いる。光を遮ることによって出来る影をそのまま利用するだけでなく、カメラで取得した画像から影領域を認識し、新たに画像を付与したり、影の色や形状を変化させたりなどの加工を施して利用している作品も多い。また、実際の影は映さず、コンピュータグラフィックス(CG)で作成した映像を影として投影している作品もある。本研究では影を加工する方法に着目する。この方法を用いたこれまでの作品では、カメラ画像から影領域を認識することで影に対して処理を行ってはいるが、その影の持つ形状によって付与する画像が変わるなどの変化を見せるものは少ない。影に対して一定の処理を行うだけでは、表現が限定され単調になり、見ている人に飽きを感じさせてしまう。この問題を解決するために、本研究では物体自身の影の形状を認識し、それに応じた動画像を選択し、物体の影と合成することで、動的な人工影を生成する。影が動的に変化することで見ている人を引きつけ、飽きさせない表現ができると考えている。また、光を遮る物体に応じて表現を様々に変化させることで、「この形の影だとどんな反応をするだろう」といった見る人の関心や興味を惹き、影を作り出すための物体を替えてみるなどの積極的なインタラクションを引き出すことが期待できる。

### 2. 関連研究

影を利用したシステムの影の利用方法に着目すると、(1) 光を遮ることによってできる実際の影をそのまま用いる方法、(2) カメラによって取得した画像から物体や影の領域を取得し加工する方法、(3) 実際の影を使用せずCGで作成した映像を影として投影する方法の3つに分類することができる。以下の節にそれぞれの方法を利用しているシステムについて述べる。

#### (1) 実際の影を用いる方法

養毛らの『Graphic Shadow』<sup>6)</sup>では、2台のプロジェクタを用いて、片方のプロジェクタの光を遮ると、もう片方のプロジェクタの映像が影となる領域に表示される。そうすることで、「影に彩りがある」という日常の影とは異なった印象をユーザに与えることができる。

クワクボリョウタの『10番目の感傷(点・線・面)』<sup>4)</sup>というメディアアート作品では、光源の位置による影の変化を表現に利用している。様々な物体が設置された暗い室内を先頭に高輝度LEDを付けた鉄道模型を走らせると、床や壁に投影される影が鉄道模型に付いたLEDの動きに合わせて動的に変化し、車窓からの眺めであるような感覚を観賞者に与えることができる。

#### (2) 影の領域を取得し加工する方法

<sup>†1</sup> 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

黒崎らの『スプリットパーソナリティ』<sup>3)</sup>は、赤外光によって投影されたユーザの影の動きを赤外カメラで撮影しておき、後にその映像をユーザの影として表示することで、ユーザの動きと影の動きが一致しないという驚きを与えることができるシステムである。

小俣らによる『仮想影カーソル』<sup>2)</sup>では、複数のユーザが1つのワークスペースを共有して作業するとき、影のように加工したユーザを撮影した映像をマウスカーソルに付けることで、ユーザは自身のカーソルを識別できるとともに、お互いがどの作業をしているのかということや、ジェスチャなどの非言語情報を伝えることができる。

### (3) CGによる映像を使う方法

近森らの『KAGE』<sup>5)</sup>は、円錐型のオブジェの影をCGで作成し、上部から投影することで影を表現している。オブジェにはタッチセンサが付いており、オブジェに触れることによって影が変化するというものである。

Joonによる『Augmented Shadow』<sup>1)</sup>では、テーブル上に置いた立方体のオブジェクトが、テーブルに表示される影の世界では光源や人の暮らしている家として表現され、「光」の存在を中心に様々な変化が起こる。オブジェクトを移動させると映像も合わせて動くため、現実と違う世界を演出しつつも影らしさを感じることができる。

本研究では、カメラ画像などから影領域を得て加工する方法を用いる。その理由として、実影をそのまま用いる方法より、影の形状や色にとらわれず表現の幅を広げることができるからである。また、CGによって影全体を人工的に作成するものに比べ、予め用意する画像は合成する画像だけで良く、あまり手間をかけずに済むと考えたからである。

## 3. システム実装

本研究では、物体の実影に基づいて合成する動画像を変化させることで、動的な人工影を生成する。提案するシステムでは、光を遮る物体に穴の空いたものを用いることによって、実影の内側に影の現れない領域をいくつか作り、その領域同士の位置関係や個数のパターンによって合成する動画像を選択することで、変化のある影の表現を実現する。

### 3.1 システム構成

本システムは、赤外光源、赤外カメラ、コンピュータ、スクリーンから構成される。システムの構成図を図1に示す。このシステムでは、影を生成するための光源に赤外光を使用することで、同じスクリーン上に投影する物体の実影と生成した人工影の混合を避けている。この赤外光源にはピーク波長が945nmの赤外LEDを使用している。赤外光による目

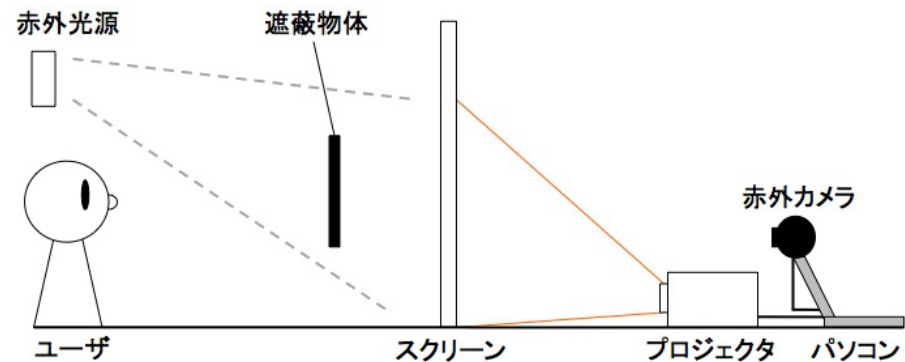


図1 システム構成図  
Fig. 1 Structure of proposed system.

に見えない物体の影を撮影するために、波長が860nm以上の赤外光のみを透過するフィルタを貼付したwebカメラを赤外カメラとして使用している。スクリーン素材にはトレーシングペーパーを使用し、スクリーンの背面からプロジェクタで映像を投影できるようにしている。また、光を遮る物体は一部が切り抜かれており、その部分には影が現れないようにして検出対象となる領域を作る。

### 3.2 システムの処理

本システムの処理は以下の5つから構成される。

- (1) 影の生成及び撮影
- (2) カメラ画像の補正
- (3) 領域検出
- (4) 画像の合成
- (5) 合成画像の投影

以上の処理を繰り返すことでシステムを実現している。なお、画像処理を行うプログラムはProcessing<sup>\*1</sup>で作成し、(3)の領域検出を行うために画像処理ライブラリであるOpenCV<sup>\*2</sup>を使用した。OpenCVは本来C/C++用に書かれているが、ここで使用したのはProcessing

\*1 <http://www.processing.org/>

\*2 <http://opencv.jp/>

用に機能が限定されたもの<sup>\*1</sup>である。

### 3.2.1 影の生成及び撮影

まず、人工影を生成するためのもととなる実影の生成を行う。赤外光源とスクリーンの間に物体が入ると赤外光源からの光が遮られ、その物体の影がスクリーン上に生成される。この影は赤外光によって生成されているため人の目には見えず、見ている人からはスクリーン上には何も投影されていないように見える。この目に見えない赤外光による物体の影を撮影するために赤外カメラを用いる。スクリーンの裏に設置した赤外カメラで影を撮影し、取得した画像をリアルタイムにコンピュータに送る。

### 3.2.2 カメラ画像の補正

カメラの画角とプロジェクタの投影領域が一致していないため、カメラ画像には歪みが生じてしまい、カメラ画像から影の正確な位置情報を得ることができない(図2-(a))。そこでカメラ画像の補正を行う必要がある。本システムでは、カメラで得た画像からスクリーンの四隅にあたる点を指定し、射影変換を行うことでキャリブレーションをして画像を補正する。本システムでは図2-(b)に示すようにカメラ画像上のスクリーンが投影領域全体と一致するように変換する。四隅の指定はシステム起動時に行い、画像の変換はカメラ画像を取得するごとに行う。キャリブレーションを行うプログラムは、関口による Processing での射影変換プログラム<sup>\*2</sup>を参考にした。

### 3.2.3 領域検出

補正した画像を2値化し白色領域の検出を行う。画像の2値化を行うのは、細かい色彩情報を省いて画像を単純化し、影領域を認識しやすくするためである。実装では2値化の際のしきい値を140に設定した。本システムでは、物体の影の内側から、光を遮る物体の切り抜いた部分によってできた白色領域をOpenCVを利用して検出する。その際、検出する領域の最大値(実装では9600pixels)と最小値(実装では300pixels)を予め定めておき、必要のない領域を検出しないようにする。領域検出を行うことにより、領域の面積と領域を囲む矩形(左上の $x, y$ 座標、高さ、幅)の情報が得られる。

### 3.2.4 画像の合成

検出した白色領域の座標から、「隣り合っている」、「上下に並んでいる」などの領域同士の位置関係を認識する。予め位置関係のパターンを用意しておき、得られた白色領域の配置に

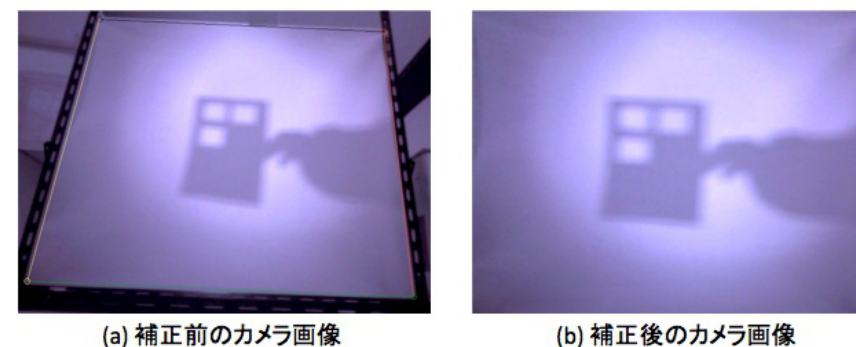


図2 カメラ画像の補正  
Fig.2 Calibration of camera image.

合致するボタンが存在すれば、そのボタンに応じた各領域間で連動する画像を、なければ領域ごとに独立した画像をそれらの領域に割り当て、物体の影と合成する。ボタンは、各領域からの $x, y$ 座標の範囲を決めておくことで設定する。この範囲内に別の領域が存在すれば、ボタンと合致したということになる(図3)。ここで合成する画像は静止画ではなく、「動き」を表現するためにgifアニメ画像を使用している。本システムのgifアニメ画像は、素材サイト<sup>\*3</sup>で配布されているものを使用した。

### 3.2.5 合成画像の投影

生成した合成画像を、スクリーンの背面に設置したプロジェクタからスクリーン上へ投影することで、人工影を生成する。人工影は物体の実影と同一のスクリーン上に投影されるが、物体の影は赤外光によって生成されているため、見た目には人工影だけが見え、認識においては赤外光による物体の影のみを赤外カメラで撮影するので、混合することはない。

### 3.3 アプリケーション

提案したシステムを用いて、影の世界に人が住んでいるかのような人工影を生成した。このシステムでは、物体の実影を人の住んでいる建物として表現するために、光を遮る物体にはビルや家などを模した紙を使用した(図4)。この物体の切り抜かれた部分は建物の“窓”を表しており、物体の影を投影した際にこの部分には影が現れず、検出の対象となる。

\*1 <http://ubaa.net/shared/processing/opencv/>

\*2 <http://naka.sfc.keio.ac.jp/public/2010/06/processing/>

\*3 <http://gifanimaya.com/>

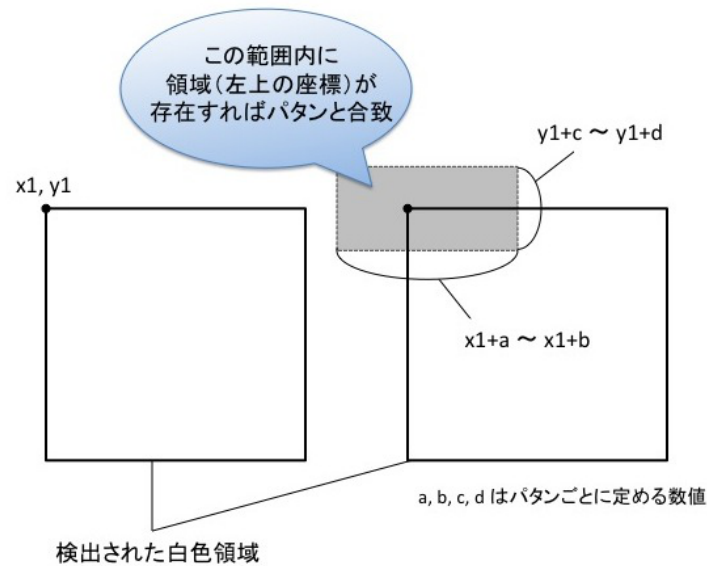


図3 窓の並びの判定

Fig. 3 Check on arrangement of windows.

それぞれの窓の中に動きのある人の画像を表示することで、各部屋に人が住んでいる様子を表現している。この作品では、窓が2つ隣り合っているかどうかを判断し、隣り合う窓が存在した場合は各々の窓に表示される人が互いに連動した動きを見せるようにした。その表示の例を図5に示す。図5-(a)の場合、隣り合う窓が存在しないため、各々の窓には独立して行動する人の動画像が表示される。図5-(b)では上段の2つの窓が隣り合っているため、各々の窓の中の人同士が互いに手を振り合うような動画像が表示される。このような処理をすることによって、窓の配置が異なる建物ごとに影世界の人の振舞いに変化するという表現を生成することができる。実際に使用している様子を図6に示す。

#### 4. 検証実験

実装したシステムにおいて、光を遮る物体の設置位置による物体の影の認識に関する検証を行った。スクリーンからの距離を赤外光源は3m、プロジェクタは85cm、赤外カメラは110cmとしてそれぞれ設置した。光を遮る物体をスクリーンから10cmずつ遠ざけていき、



図4 建物の形の物体

Fig. 4 Object of building's shape.

それぞれの距離においてどのような人工影が生成されるかという検証を行った。ここで、物体の形状が人工影に反映され、全ての白色領域内に画像が表示されており、隣り合う領域がある場合はそれを認識し連動する画像が各領域に表示されているという状態を最適として判断した。

実験の結果を表1に示す。形状の反映は物体の形状が人工影に反映されているかどうかを示している。物体の形状が反映されていれば○、そうでなければ×とした。認識の成否は最適な人工影が生成されているかどうかを示している。最適な人工影が生成されていれば○、そうでなければ×とした。なお、物体は手で支えていたため、影を生成する際に物体が少し動いてしまうことがあった。その動きによって形状の反映や認識の成否が変わってしまった場合を△とした。

この実験において、4種類の人工影を観察することができた(図7)。まずスクリーンからの距離が10cmの位置に物体を設置した場合、物体の影ははっきりと投影されており、生成する人工影においても物体の形状が正確に反映されていた。しかし、隣り合う白色領域を認識せず、全ての領域に独立した動作の画像が表示された。これは、スクリーンとの距離が近く物体の影が小さく投影され、設定したパタンの範囲外になってしまったためである。スクリーンからの距離が20cmの位置に物体を設置したときにも同様の状態が見られ

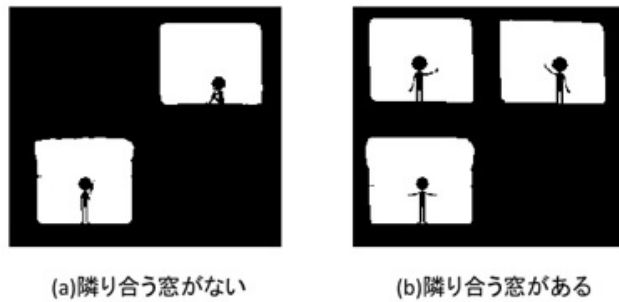


図5 画像の表示例  
Fig.5 Example of projected image.  
(a)no adjoining windows, (b)adjoining windows

た。次に、50cm の位置に設置した場合、投影される物体の影ははっきりしており、人工影にも形状が反映されていた。白色領域に表示される画像についても、隣り合う領域に連動する画像が表示されていたため、最適な人工影が生成されたとと言える。スクリーンからの距離が 20~90cm の位置に物体を設置した場合もこれと同じ結果が得られた。スクリーンから 100cm の位置に物体を設置すると、窓の間に投影される影が淡くなり、人工影においては上段の窓が繋がってしまっていた。80cm、90cm の位置に物体を設置したときにも同様の状態が見られることがあった。スクリーンから 120cm の位置に物体を設置すると、投影される影の輪郭全体が淡くなり、白色領域を囲うはずの影が認識されず、人工影に物体の形状がうまく反映されなかった。110cm 以上の距離に物体を設置したときにも同様の状態が見られた。

この検証により、スクリーンからの距離が 30~70cm の位置に物体を設置すると期待通りの人工影が生成されることが分かった。20cm、80cm、90cm の位置に設置した場合にも最適な人工影が見られることはあったが安定して表示されなかったので、物体を置く最適な位置ではないと考える。

## 5. 考 察

提案したシステムを実装したところ、いくつかの問題点が挙げられた。これらの問題点に

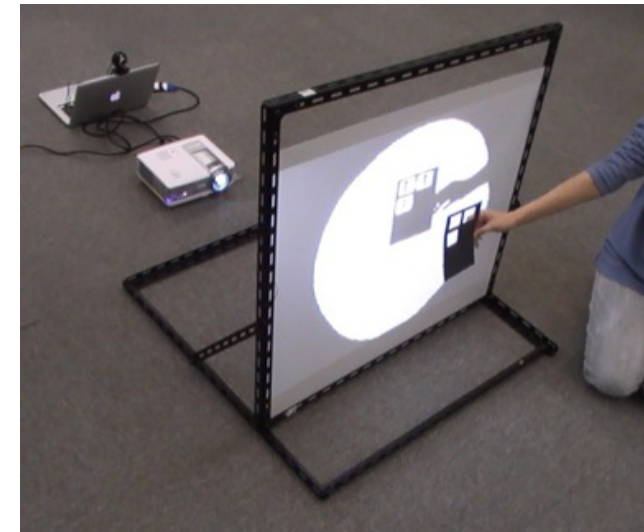


図6 システムとユーザのインタラクション  
Fig.6 Interaction between system and user.

表1 検証結果  
Table 1 Verification result.

距離 (cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
形状の反映	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×
認識の成否	×	△	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×

ついて考察を行う。

まず、光源についての問題点を述べる。本システムでは 56 個の赤外 LED を 47mm × 72mm の基板の上に配置したものを赤外光源として使用した。そのため光源の範囲が広がってしまい、光源と物体の距離が近いと生成される影の輪郭がはっきりせず認識がしづらくなった。また、光源と物体との距離が近いとき、白色領域間に投影されている細い影が、物体の穴の部分から差す光によって淡くなってしまい認識されず、生成される人工影において白色領域同士が繋がってしまうという問題点が起こった。これらの問題点から、使用する光源には面積の狭い点光源を用い、LED の数を減らして光量を抑える必要があると考える。しかし、光量が足りずに生成される影が淡くなってしまい認識されなくなる可能性がある

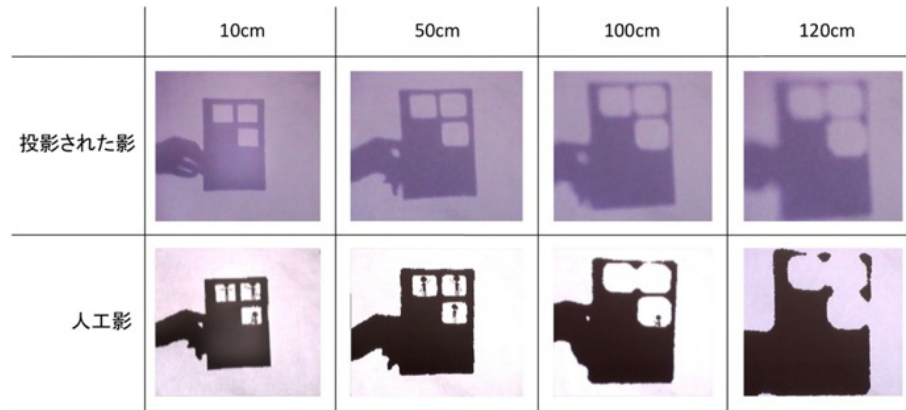


図 7 投影された影及び生成された人工影  
Fig. 7 Real shadow and artificial shadow.

ため、LED の種類や個数を考慮する必要がある。

次に、白色領域の位置関係のパタン認識について述べる。提案システムでは、各領域の座標からの  $x, y$  座標の距離を定めることで、それぞれのパタンを設定している。つまり、定められた距離から外れてしまうと、そのパタンには合致しないということになる。例えば、物体上では窓が隣同士にあったとしても、影を生成する際に物体が傾いてしまっていると、隣同士とは判断できなくなる。この問題点の解決のために、傾き検出を行うことが考えられる。領域の傾きを検出することで、物体が傾いていても正しくパタンの認識ができるだけでなく、傾きに合わせて中に住む人が転がっていくような表現を加えることも可能である。また、影は光源からの距離で大きさが変わる。つまり、物体の形状と認識したいパタンが合致していたとしても、物体を設置する距離によってはパタンで定めた距離の範囲から外れてしまう可能性がある。この問題点は、物体を設置する位置を指定することで解決できると考える。設置位置を定めて光源との距離を一定にすることで、影の大きさを範囲内に保つことができる。また、影が小さい場合や大きい場合に関してもそれぞれパタンを用意すれば、物体を設置する場所によって違った表現になるという影の大きさを利用する表現に繋がれると考える。

また、提案システムでは人工影を生成する際、カメラ画像をキャリブレーションした画像の影をそのまま用いているため解像度が低く、実際の影のような滑らかな輪郭が表現できて

いない。また物体が移動した際、人工影は少し遅れて移動する。このように、物体の形状と動きをリアルタイムに反映する影らしさの追求についても検討の余地がある。

## 6. おわりに

本論文では、赤外光によって生成された物体の影の形状にもとづいて人工影を生成する、動的な影の生成システムを提案した。今後は、位置関係のパタンとそれに対応する動画像を増やすことによって、より表現の幅を広げていく。さらに、検出する領域を影の現れない白色領域だけではなく、影が投影されている領域も検出し、動画像を表示する領域を窓部分だけに限らず建物の外側にも動画像を表示することで、より活発な動きが表現できると考える。例えば、窓領域に表示されていた人が外へ出て行き、また外から部屋へ戻ってくるというような動作をしたり、建物の周りを鳥が飛んだり、建物が複数並んでいる場合に人が行き来したりするなどの表現を加える。また、赤外による影がシステム利用者の目に見えないことを利用し、合成する画像だけではなく得られた物体の影自身にも色や形状の変化を与えることで、より自由度の高い表現を目指す。例えば、物体の影が線路の形状をしていれば、影世界ではその線路の上を列車が走ったり、影が観覧車の形状であれば影世界では人が乗って回ったりなど、物体自身が変化をせずとも影世界では物が自由に動き出すような表現が可能である。

## 参 考 文 献

- 1) Moon, J.Y.: Augmented Shadow, <http://joonmoon.net/#1021400/Augmented-Shadow> (2011/2/15 参照).
- 2) 小俣昌樹, 深澤寛和, 今宮淳美: 仮想影カーソルによる遠隔協調作業時のコミュニケーション支援, 第 8 回情報科学技術フォーラム講演論文集第 3 分冊, pp.57-60 (2009).
- 3) 黒崎敬太郎, 寺屋秀紀, 田村駿介, Labelle, E., Jaffer, S.: スプリットパーソナリティ, エンタテインメントコンピューティング 2010 (2010).
- 4) クワクポリョウタ: 10 番目の感傷 (点・線・面), [http://www.vector-scan.com/the\\_tenth\\_sentiment/](http://www.vector-scan.com/the_tenth_sentiment/) (2011/2/15 参照).
- 5) 近森基, 久納鏡子: KAGE, <http://www.plaplax.com/legacy/artwork/minim++/artwork/kage.htm> (2011/2/15 参照).
- 6) 蓑毛雄吾, 寛康明, 飯田誠, 苗村健: 補色を用いて自己の影を彩りある映像メディアにするマルチプロジェクションシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, pp.21-30 (2005).