

# 人物シルエットをペンライトアート風に表現するシステム

土屋 桃子<sup>1,†1,a)</sup> 伊藤 貴之<sup>1</sup> 新田 善久<sup>2</sup> Michael Neff<sup>3</sup> Yuhan Liu<sup>3,†2</sup>

**概要:** ペンライトアートとは、ペンライトで空中に絵を描き、光の軌跡を記録するアートのことである。1枚のペンライトアート写真を制作するには約10秒から20秒を要すると言われている。よって、ペンライトアート写真をつなぎ合わせたペンライトアート動画を制作するには膨大な時間を必要とする。そこで我々は、実時間でペンライトアート風ビデオが作成できるシステムを提案する。また、本システムを用いてインタラクティブ作品を制作することで、鑑賞者も参加できるペンライトアート風ビデオを実現する。现阶段では、人物シルエットをペンライトアート風に表現する。さらに本報告では、本システムの応用例としてインタラクティブ作品を制作し評価した結果を示す。

## A System for Light-Art-Like Representation of Human Silhouettes

MOMOKO TSUCHIYA<sup>1,†1,a)</sup> TAKAYUKI ITOH<sup>1</sup> YOSHIHISA NITTA<sup>2</sup> MICHAEL NEFF<sup>3</sup> YUHAN LIU<sup>3,†2</sup>

**Abstract:** Light art represents various objects by a light stroke drawn in the air. It takes 10 to 20 seconds to create a light art picture. We could create a light art movie by binding the pictures. It is a time-consuming task because we need large number of frames to create a movie. Based on this discussion, we developed a system incorporates interactivity into light art so the system can represent a new light art. For now we focus on human silhouettes for light art like representation. As an example application of this system, we created an interactive art work and conducted an evaluation.

### 1. はじめに

ペンライトアート (図 1) とは、カメラのシャッタースピードを長時間に設定し、その間ペンライトで空中に絵を描き、光の軌跡を記録するアートのことである。ペンライトアート写真を何枚もつなぎ合わせることで、ペンライトアート動画を制作することができる。1枚のペンライトアート写真を作成するのに10秒から20秒かかると言われている。ペンライトアートビデオを制作するには大量のペンライトアート写真を制作しなくてはならないため、ペン

ライトアートビデオを制作するには膨大な時間が必要となる。そこで我々は、このペンライトアートビデオを実時間で制作することで、実時間でペンライトアート風ビデオを制作できるシステムを開発した。



図 1: ペンライトアート写真 [1]

<sup>1</sup> お茶の水女子大学  
2-1-1 Otsuka Bunkyo-ku Tokyo, 112-8610, Japan

<sup>2</sup> 津田塾大学  
2-1-1 Tsuda-chou Kodaira-shi Tokyo 187-0025, Japan

<sup>3</sup> University of California  
1 Shields Ave, Davis, CA 95616, USA

<sup>†1</sup> 現在、お茶の水女子大学  
Presently with Ochanomizu University

<sup>†2</sup> 現在、カリフォルニア大学デイビス校  
Presently with UC Davis

<sup>a)</sup> tsuchiya.momoko@is.ocha.ac.jp

本研究の位置づけはメディアアートに近い。メディアアートとは、映像や音声などのマルチメディアを利用した作品を指し、コンピュータ技術の発展とともに同様に発展を続けてきた。そこで本研究ではメディアアートの中でも、インタラクティブアートに着目した。インタラクティ

ブアートは、観客が参加をすることで楽しむものであり、今後もさらなる発展が見込まれる。本研究ではコンピュータを用いて、ペンライトアート風ビデオを制作することから、このインタラクティブアートの特徴を採り入れることができないかと考えた。一方、従来のペンライトアートビデオでは、鑑賞者はその作品にリアルタイムに参加することはできないが、インタラクティブアートは誰でもリアルタイムに参加することができ、参加をすることで完成されるアートであるともいえる。そこで本システムを用いて、ペンライトアート風のインタラクティブ作品を制作することで、従来のペンライトアートでは実現できなかった「鑑賞者も参加できるペンライトアート風ビデオ」を目指した。

本手法の課題として、画像処理やCGの技術を応用したペンライトアート風の線画表現があげられる。ペンライトアートは人が手で描いているため、手描き風の線を生成しなくてはならない。またペンライトを用いて描いているため、ペンライトの色であるネオン色を表現しなくてはならない。本研究では線画表現処理をいくつかの段階に分けて、ペンライトアート風の線画を表現するための処理を実装した。さらに本システムでは、実際のペンライトアートでは表現できないようなデジタルエフェクトをいくつか追加した。

また、ペンライトアートによるインタラクティブアート作品を制作するためには、運動する物体の線画表現を実時間で処理することが重要となる。そこで我々は高速な線画処理アルゴリズムを実装するとともに、対象物を「人物」に定め、その輪郭線抽出を専用ハードウェア（本研究ではMicrosoft社のXbox One Kinect）に頼ることにした。

本報告では、ペンライトアート風に人物シルエットを描くシステムを提案する。本システムを利用することで、従来のペンライトアートでは実現できなかった鑑賞者の参加が可能になる。本システムでは、撮影画像のうち人体が写っている画素の深度（距離）にもとづき、エッジを実時間で検出する。次にエッジの簡略化により、エッジを構成するピクセルの中から特定のピクセルを選んで線画のための制御点とする。次に、制御点の移動処理によって手描き風の線画に近い図形を形成し、ペンライトアート表現のためのネオン風描画を適用することでエッジを描く。最後に、ペンライトアートをより印象深くするためにエフェクトを付与する。

また本報告では、本システムを利用した動画作品の制作例を提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 人物インタラクション

人物を対象としたインタラクション作品の例としてRecollection Six[3]がある。これは、人物シルエットにさまざまなエフェクトをリアルタイム付与する作品である。人物

が動くことによって、背景にエフェクトを残すことが可能となり、自分自身が動くことでアートを制作することができるシステムである。VIDEOPLACE[2]は、人物シルエットとコンピュータグラフィックスを融合させたシステムとなっている。このシステムでは、違う部屋にいる人とのインタラクションを体験することが可能となっている。その他にも、人物の影にさまざまな色やデザインで装飾したシステム[4]であったり、パーティクルで表現するようなインタラクションシステム[5]も開発されている。これらの研究では、人物を捉えるために普通のカメラから画像処理によって人物シルエットを抜き出している。

### 2.2 手描き風の線画表現

Curtisらのシステム[6]では、3Dアニメーションから手描き風に変換したビデオを出力する。このアルゴリズムでは、ベクター場とパーティクルを用いて手描き風の線を表現している。しかし、1フレームあたり50-60秒の処理時間がかかるため、実時間処理には向いていない。そこでHallerらのシステム[7]では、Curtisらの手描き風アルゴリズムを実時間で処理できるよう改善し、ARシステムを開発した。カメラを通して周囲を見ることで、周囲を手描き風に見ることができる。しかし、各フレームごとに手描き風の線を表現しているため、映像がちらついているように見えてしまう。本研究では、手描き風に変換する線を限定したことで、ちらつきを抑える処理を行った。Woodら[8]は図形を手描き風へ出力するProcessing言語のライブラリを公開している。我々のシステムでもWoodらの手描き風描画のアルゴリズムを実装した。

## 3. 提案手法

### 3.1 概要

- (1) 深度を用いたエッジ検出
- (2) エッジの簡略化
- (3) 手描き風描画
- (4) ネオン風描画
- (5) エフェクトの付与

なお現時点での著者らの実装では、Microsoft社のXbox One Kinectの深度センサと人物認識ライブラリを利用している。

### 3.2 深度を用いたエッジ検出

本システムでは、Kinectに内蔵される深度センサを利用して深度を取得し、それを濃淡でイメージ化することによりエッジを検出する。この方法により、身体に重なる手などの部分のエッジも検出できるようになる。そこで、人体と認識された画素における深度の最大値と最小値を「0(黒) 255(白)」で正規化する。Dを人物領域内における深度情報、DepthMax,DepthMinを人体領域内における最

大の深度情報と最小の深度情報として、以下の式により正規化結果  $R$  を求める。

$$d_{nor} = \frac{255 \times D(x, y)}{DepthMax - DepthMin} \quad (1)$$

深度を正規化した濃淡画像の例を図 2a に示す。図 2b は濃淡画像 (図 2a) からエッジを検出した結果画像である。身体に重なる手部分と身体部分の濃淡に差が出ていることで、手のエッジを検出できた。なおエッジ検出には、OpenCV ライブラリに実装されている Canny の手法を利用した。

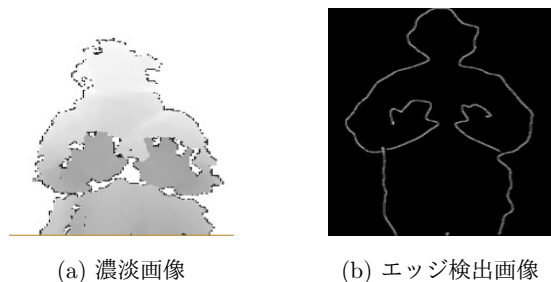


図 2: エッジ検出画像

### 3.3 エッジの簡略化

エッジの簡略化のために本システムでは、エッジを構成する画素から一定数の画素を選択する。以下、それらをノードと定義する。図 3 ではノードを緑色で示している。これらのノードの位置を以降の処理で移動することで、人物の形状を手描き風にデフォルメする。プログラム内部ではノードはクラスとなっており、隣接するノードやエッジが何本あるか、といった情報を保持する。

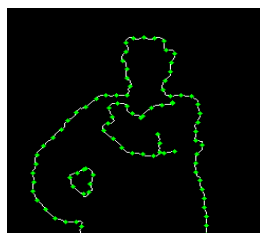


図 3: 選択したノード

### 3.4 手描き風描画

手描き風描画を実装するに先立ち、現実のペンライトアートでの線画にはどのような特徴があるかを観察した。図 4 の 1 より、二つの形状を比べると、どちらも同じ形ではあるが、完全に同一の形状にはならない。また図 4 の 2 より、描くべき形状の頂点付近では腕の動きが直線的な形状部分より遅くなるため、強く光っているように見える。さらに、図 4 の 3 より、円や正方形などを描くとき、本来なら始点と終点が一致するような軌跡を描くべきであるが、実際には必ずしも始点と終点は一致していない。以上のことから、始点・終点・形状頂点の表現を意識して手描

き風描画を実装した。

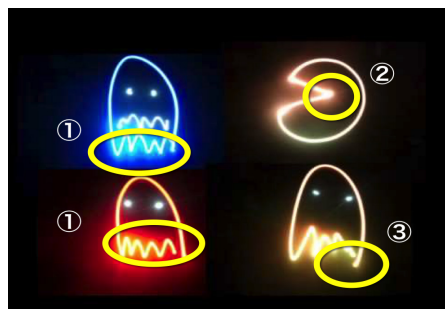


図 4: 選択したノード

本システムは、始点・終点・形状頂点のノードを選択し、それぞれの位置を乱数的に移動する。しかし、ただ乱数的に移動するのでは、フレーム間でのノード位置の連続性が失われてしまう。そこで我々は、一つ前のフレームを参照し、現フレームのノードの位置に対応する前フレームのノードがあれば、その座標に乱数を加算し配置するように実装した。実装方法を図 5 に示す。まず、現フレームのノードを囲む正方形領域 (縦横 40 画素) の中から最も近い位置にある前フレームのノードを探索 (図 5 右) する。前フレームのノードが存在すれば、2 点間距離の中点 (距離 3 画素以内) に現フレームのノードを乱数的に配置する (図 5 左) ことにした。以上の処理によって、フレーム間の変化の差分を小さく保ち、手描き風の線画形状を形成する。

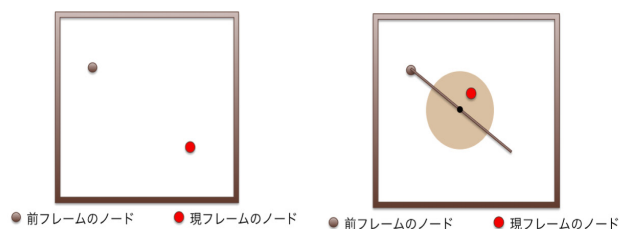


図 5: ノードの配置方法

### 3.5 ネオン風描画

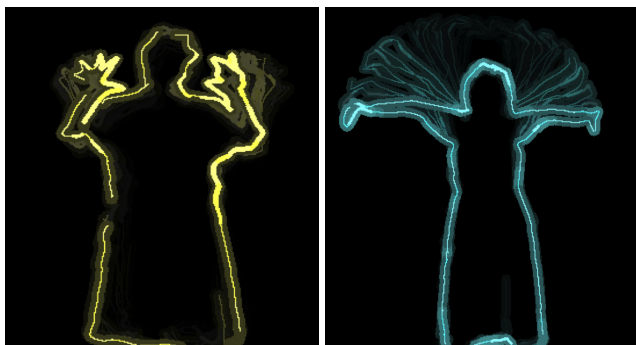
ペンライトアートは、光源を利用して描画しているため、見た目はネオン管によく似ている。ネオン管は明度が高い部分が人間の目には白く見える。言い換えれば、ネオン線の内側は彩度が低く明度が高いのに対して、外側は彩度が高く明度が低い。以上を踏まえてネオン風描画手法を開発した。本システムでは、ネオン風描画における外側と内側の線の色を特定のために、HSV 色空間で彩度と明度を調節する。描画時にはあらかじめ HSV 色空間から RGB 色空間へと画素値を変換する。

### 3.6 エフェクトの付与

本システムではペンライトアートをより印象的に演出するためのエフェクトを付与する機能を実装している。現時点の我々の実装では残像効果を実装している。この実装では、現在のフレーム  $X'$  の直近  $n$  枚のフレームを保存し、それぞれのフレームの各 RGB に対し明度を段階ずつ下げ、 $X$  から  $n$  枚の論理和を取ることで、新たなフレーム  $X'$  を生成する。  $X$  の  $i$  フレーム前の画素値を  $P_i$  とするとき、残像を付与した画素値を  $\sum C_i P_i$  とする。ここで  $C_i$  は、 $C_0 = i$ ,  $C_i < C_{i-1}$  を満たす定数であるとする。

## 4. 実行結果

以上の処理による結果を図 6a に示す。手などの身体に重なる部分のエッジが検出できている。また、手描き風描画とネオン描画により、ペンライトアートのような表現が実現できている。図 6b はエフェクトとして残像効果を付与した場合の実行結果である。残像効果を付与したことにより、直前の動きの軌跡を視認しやすくなった。この結果、残像効果を付与した画面を見ながら Kinect の前でジェスチャをしたユーザには、それまでよりも大きな動作をする傾向が見られた。一方で表 1 に示すとおり、1 フレームあたり 0.017 秒の処理時間で実行できており、ほぼ実時間で本システムが動作することがわかる。



(a) 実行結果 (b) 残像効果を付与

図 6: 実行結果

表 1: 処理時間

手法	実行時間 (秒)
深度を用いたエッジ検出	0.010
エッジの簡略化	0.001
手描き風描画	0.001
ネオン風描画	0.002
エフェクトの付与	0.003

## 5. インタラクティブ作品の制作

本システムでペンライトアート風人物シルエットの実時

間表現が可能となったので、インタラクティブ作品を制作した。今回の制作では、図 7 のようなシャッタースピードを変化させた写真を題材とした。これらの写真は、周りがせわしく動いているように撮影し、中心人物にピントを合わせることで、中心人物の存在感を強めている。この写真を見た時、街中で周りにたくさん人はいるけれど、誰も自分のことを気にしていないような孤独感を感じ、このような孤独感を表現したインタラクティブ作品を本システムで表現できないかと考えた。本システムでは人物は顔の表情まで表現していないので、逆に本システムを使うことで他人感を表現できると考えた。また、夜の街で光るネオン色の看板が存在感を放つように、暗い背景にネオン色のコラボレーションが人の存在感をより強められるのではないかと考えた。



図 7: スローシャッター写真 [9]

### 5.1 概要

本インタラクティブ作品では図 8 のような展示を想定する。本システムによるインタラクティブな人物シルエット表示に加えて、ペンライトアート風に加工した背景と、背景を歩く人々を追加表示している。そして、Kinect とその前に立つ人物の距離によって背景が変化するようにインタラクティブを搭載している。

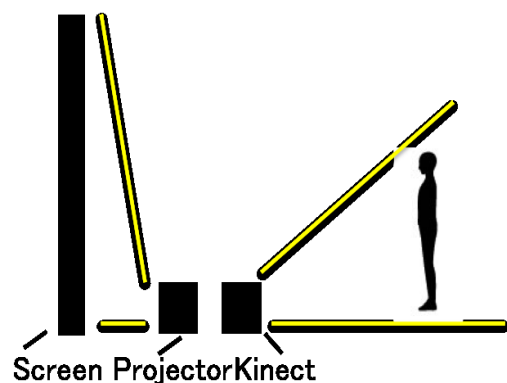


図 8: 展示例

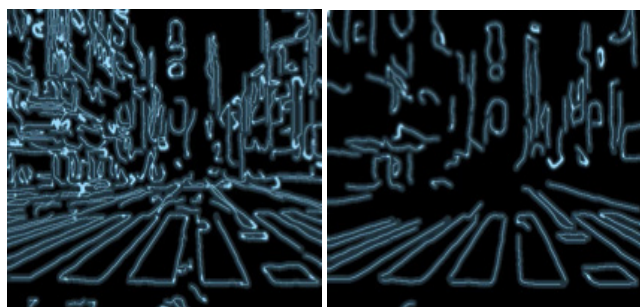
#### 5.1.1 背景のペンライトアート風描画

本システムを用いて、背景画像 (図 9) からエッジを抽

出する。その際、ガウシアンフィルタによるぼかしの強度を10段階に分けた背景画像を10枚用意し、それぞれからエッジを抽出する。ぼかしの強度が比較的高い背景画像と比較的低い背景画像の例を図10に示す。本作品ではこの10枚の画像のうちいずれかを、Kinectの前に立つ人物とKinectの距離によって選択的に表示する。そして本システムにより、人物と背景の両方に対してペンライトアート風描画を適用する。



図 9: 背景画像の原画 [10]



(a) ぼかしの強度高 (b) ぼかしの強度低

図 10: 背景画像加工結果

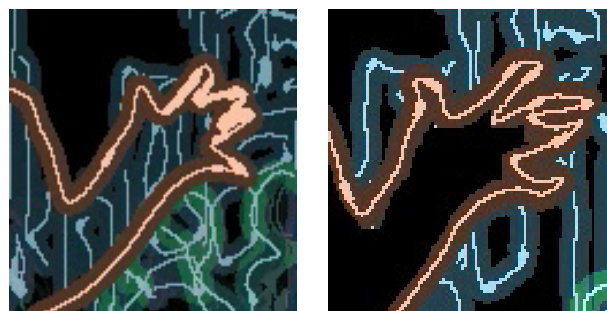
### 5.1.2 背景を歩く人のペンライトアート風描画

背景に歩く人のペンライトアート風人物シルエットを追加するにあたり、Kinectで歩く人物シルエットを取得し、本システムにより手描き風描画とネオン風描画を適用した。しかし、Kinectの人物認識機能は最大6人までであるため、6人を超える人物を検知することはできない。よって本制作では、本システムで1人ずつ人物が歩く様子を撮影し、ペンライトアート風描画を適用し、それらの動画を合成することで多数の人物を描画した。

### 5.1.3 人物シルエット内部の黒塗り

本インタラクティブ作品では、人がKinectの前に立つと、ペンライトアート風の人物シルエットが描画される。しかし本システムでは、人物シルエットをペンライトアート風に適用したエッジを描画しているため、背景を描画すると内側から背景が見えてしまう(図11a)。それを防ぐために、Kinectから黒の人物シルエットを取得し、OpenCV

を用いて膨張処理を行うことで、黒の人物シルエットを小さく表現し背景に描画した。図11bに結果を示す。

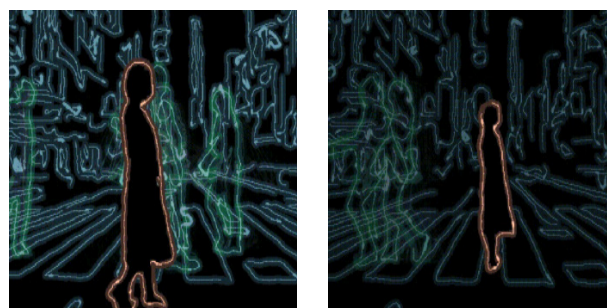


(a) 黒色人物シルエット適用前 (b) 黒色人物シルエット適用後

図 11: 黒色人物シルエットの適用

## 6. 実行結果

以上の処理を背景に適用した結果を図12に示す。Kinectの前に人が立つと、Kinectからの距離によって背景の明るさや描画が変化するようにインタラクティブを実装している。Kinectから1メートル以内の範囲に立ったときに背景は最も詳細に描画され、背景を歩く人々が増加し、明度が上がる。それより遠い範囲に立ったときに背景は徐々に簡略に描画され、背景を歩く人が減り、明度が下がる。



(a) Kinectから1メートル以内 (b) Kinectから1メートル以外

図 12: 実行結果

## 7. インタラクティブ作品の評価

本インタラクティブ作品を体験した他の観客は、どのような印象をこの作品から受けるのかをアンケート調査した。被験者はカリフォルニア大学デビス校のデザインを専攻する22名。本インタラクティブを制作した意図を説明せずに、ペンライトアート風に人物を表現するシステムであることを被験者に説明した。無作為に選んだ3名に本インタラクティブ作品を体験してもらい、他の19名にその様子を観覧してもらった。その直後にアンケート1に答えてもらい、その後本インタラクティブ作品についての説明をし、アンケート2に答えてもらった。

## 7.1 アンケート 1 の結果

本インタラクティブ作品を体験・鑑賞してみたどのような印象を持ったかを、幸福・孤独・悲しさ・ワクワク・困惑の5つについてリッカード尺度を用いて答えてもらった。結果とそれに対応するコメントを表2に示す。我々の予想とは異なり、幸福やワクワクといった意見が多く見られた。その理由として、ペンライトアート風に人物シルエットを表現するという方法を見たことがないため、幸福やワクワクを感じたという意見が多くあった。

表 2: アンケート 1 の結果

印象	コメント
幸福	見たことない新しい技術表現だったためリアルタイムのインタラクティブ作品は楽しかった
孤独	色や表現の仕方から孤独感を感じた 広い暗い空間で自分だけならば孤独感を感じていた
悲しさ	特にコメントはなし
ワクワク	初見なので、まずワクワクした インタラクティブ作品からはワクワクを最初に感じる
困惑	特にコメントはなし

## 7.2 アンケート 2 の結果

本インタラクティブ作品について説明し、2つ目のアンケートを実施した。被験者がデザイン専攻の学生ということもあって、他に実装できるようなインタラクティブ、本システムで表現できるインタラクティブ作品についてのアイデアなどをコメントとしていただいた。

## 7.3 アンケートの考察

本インタラクティブ作品では孤独を表現したかったにも関わらず、被験者の多くは幸福やワクワクを感じたという意見が多かった。このことから、本システムでインタラクティブ作品を制作する場合、幸福やワクワクを感じるような作品を制作するのに向いているということがわかった。また孤独感を感じたという意見が少なかった一因として、実際にはいないけれど、作品内では大勢の人が後ろを歩いているように見えるという錯覚を用いた作品にも関わらず、調査を実施した教室には22名の方がおり、インタラクティブ作品を体験するには空間が十分ではなかったことがあげられる。

## 8. まとめと今後の課題

本報告では、人物シルエットをペンライトアート風に表現するインタラクティブシステムを提案した。本システムでは、人物認識によって身体形状のエッジを実時間取得し、手描き風描画、ネオン風描画や残像効果を施すことによってペンライトアートのようにエッジを表現する。また、従来のペンライトアートビデオでは実現できない観客参加型のペンライトアート風ビデオを実現することで、インタラ

クティブアートの特徴を取り入れた新たなペンライトアート表現を提案する。本システムが実時間で動くことが確認されたので、インタラクティブ作品を本システムで制作し、それに関する評価実験も実施した。評価実験からは、本インタラクティブ作品を体験してみた、被験者は幸福やワクワクを感じたという印象が多く見られた。これらの結果から、本システムを用いてインタラクティブ作品を制作する場合、幸福やワクワクを感じるようなインタラクティブ作品を制作するのに向いているということがわかった。

今後の課題として、幸福やワクワクを感じるようなインタラクティブ作品の制作をしたい。評価実験においてインタラクティブのアイデアを募った際に、その場にはいない人とのインタラクティブという意見があった。そこで、このような要素を採り入れた作品を制作し、孤独を表現した作品と幸福を表現した作品とを比較する評価実験を実施することで、評価結果が変化するかを確認したい。

## 参考文献

- [1] PiKAPiKA(Light Painting) - Flash at BEAT IT, <https://www.youtube.com/watch?v=nVJJC17Un6Y&t=185s> (2017/11/4).
- [2] M. W. Krueger, et al. VIDEOPLACE an artificial reality, ACM SIGCHI Bulletin, 16(4) (1985): 35-40.
- [3] E. Tannenbaum. Recollections Six, (1981).
- [4] Y. Minomo, et al. A Basic Study on "Graphic Shadow" on a Wall, Special Interest Group on Entertainment Computing (EC), 2005(59) (2005): 3-8.
- [5] T. Amaoka, et al. Collective Body Interactive art using 3D Scanner Technology, The Journal of the Society for Art and Science, 8(4) (2008): 145-150.
- [6] C.J. Curtis, Loose and sketchy animation, ACM SIGGRAPH 98 Electronic art and animation catalog ACM, (1998) 145.
- [7] M. Haller, et al. A loose and sketchy approach in a mediated reality environment, Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, (2005) 371-379.
- [8] J. Wood, et al. Sketchy rendering for information visualization, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18(12) (2012): 2749-2758.
- [9] William Lulow, <http://williamlulow.com/blog/creative-use-of-shutter-speed/> (2017/11/4).
- [10] Pictures from a taxi, <http://picturesfromataxi.blogspot.jp/> (2017/11/4).