芸術科学会論文誌 Vol. 1, No. 3, pp. 130 – 137 (2017)

影ユーザーインタフェース：
影をインタフェースとした実体とのインタラクション手法の提案

菊池康太 [1)](非会員)　尼岡利崇 [1)](正会員)

1) 明星大学大学院情報学研究科

Kage User Interface :
A Study for Shadow Based Physical Object Interaction Using Real Shadow as an Interface

Kouta Kikuchi[1)]　**Toshitaka Amaoka**[1)]

1) Graduate School of Information Science, Meisei University

17mj002@stu.meisei-u.ac.jp, amaoka@is.meisei-u.ac.jp

概要

本研究では，実影をインタフェースとして，実世界の物体に影響を与える，影ユーザーインタフェース (KUI) を提案する．既存の影を使った研究では，影を生成する実体を操作することで，影とのインタラクションを行うものがほとんどである．KUI では，古くからある影絵等の概念に着目し，実体と影の関係性を反転させ実影を操作することで，実体に影響を与えるインタラクションを実現する．これにより，実体が変化することで，実影にもその変化が反映される．KUI を介しこのような実影と実体間で循環を発生させることにより，インタラクション体験を提供する点で新規性を有する．本稿では，KUI の実装例として，ピンチインピンチアウトによる実体の上下移動システムと，タッチによる移動停止システムを制作し，評価実験を行った．その結果，本提案手法により，ユーザーに対し直感的かつ新しいインタラクション体験を提案することが出来た．

Abstract

We propose the Kage (shadow in Japanese) User Interface (KUI), which allows a user to manipulate a shadow with intuitive gestures. KUI allows a user's interaction with a shadow to move the object that is creating the shadow. This in turn changes the shadow itself. This interaction allows a user to manipulate a shadow by interacting with that same shadow. In this paper, we demonstrate an implementation of KUI that allows a user to make a shadow bigger or smaller through a pinch-in/pinch-out gesture, which moves an object vertically to adjust the shadow's shape. Another implementation stops the circular motion system of objects by touching a shadow. At the end of the paper, we present an evaluation experiment of our findings, proposing a new, intuitive interaction experience for users with our Kage User Interface.

1 はじめに

実世界において影は，遮蔽物となる物体 (以降，実体とする) が光の進行を遮った結果であり，その特徴として実体の形状や影が生成される環境によって姿形を変化させる．また影は実体に依存し，実体の変化により影に影響を及ぼすが，影からの影響を実体が受けることはない．

影を文化的視点から見ると古くから影についての様々な思想や概念 [1] が存在し，文学作品 [2]，遊び，そして心理学的考え [3] など，様々な分野で使用されている．これらの概念には，影をもう一人の自分とする考え [4] や，影から実世界に影響を与えるといった考え [5] がある．

そこで，本研究では影の概念等の，影が実世界に影響を与えるという考えに着目し，実影をインタフェースとして操作し，その影をもつ実体の位置，大きさ，そして形状を変化させる，影ユーザーインタフェース (以降，KUI とする) を提案する．KUI はすでにエンタテイメントコンピューティングシンポジウム 2016[6] で発表しているが，本稿では，KUI の概念をより明確に定義し，従来のユーザーインタフェース (以降，UI とする) との比較を行い，UI としての特徴や影を使ったインタラクションの新規性について，KUI の概念に沿って説明する．また，新規性及び実現性を示すために，制作した 2 つのインタラクション手法について述べる．一つは，影に対してのピンチイン，ピンチアウト操作による実体の上下移動システムに，改良を加えより完成度を高めたシステムと，もう一つは，移動している実体の影に対してのタッチ操作による実体の移動停止システムである．また，KUI の概念についての評価実験を行い，その結果及び考察について述べる．

2 関連研究

岩崎らは，実物の影内部に投影された映像とユーザーの影を用いたインタラクションを実現するシステム [7] を提案している．このシステムは，マルチプロジェクションを使ってディスプレイとなる物体正面に小物体の影映像を投影し，物体の影内部には小物体映像を投影するという逆転した環境を作り出し，ユーザーの影とのインタラクションを行う作品である．

また Joon は，テーブルトップ型のディスプレイ上に実オブジェクトを配置し，コンピュータグラフィックス (以降，CG とする) の環境を設計するシステム [8] を提案している．オブジェクトは，光源となるオブジェクト 1 つと，家の役割を持つオブジェクトが複数個あり，光源オブジェクトを中心に，家のオブジェクトに CG の影がテーブル下から投影されるシステムとなっている．

その他の影を使った作品では，壁に投影された CG の影の大きさを変化させるダイナミックな演出 [9] や，実体の影に CG の影を重ね非現実的な動きをさせる [10] などがある．

仮想空間ではあるが実体，影，そしてライト間に相互関係を持たせる研究 [11] では，仮想環境での影の配置や移動をマウス操作で直感的に行うことのできるインタフェースを提案している．物体やライトを操作するとそれに付随して影も変化し，影に対して操作すると，それに付随してライトや物体が変化する．また，Zeleznik ら [12] は，仮想空間内の 3D オブジェクトの位置をその空間内に影を描くことで，決定する手法を提案している．さらに，Cohen ら [13] は，3D 曲線形状を 1 視点からの 2D 入力と影によって描画するシステム，Mitra ら [14] は，3 枚の影絵の画像を入力として，その影絵を三方向に一度に作る 3D オブジェクトをモデリングするシステムを提案している．

影を使って実世界の照明を操作する研究としては，実体に対してライトが当たる箇所と影ができる箇所を PC から指示し，実世界のライトがその指示に合わせて向きや光量を変化させる [15] が挙げられる．また，Noh ら [16] は，タブレットから，光の当たる位置を指示し，ライトの向きや光量を変化させる手法を提案している．

これら作品や研究のように，CG の影を UI として利用する，仮想空間内で 3D オブジェクトを影で変化させる，仮想空間内の影を操作して実世界の物体 (照明) を変化させる研究が存在する．本研究では，実世界の影と実体に相互関係を持たせ，影を直接操作しその結果を実体が提示する点，そのシステムを実世界で実現している点で関連研究とは異なり，それらの点で新規性を有する．

3 KUI について

本章では，提案する KUI の概念と，KUI に基づくインタラクションの新規性と，ユーザーインタフェースとしての特徴についてそれぞれ述べる．

3.1 KUI の概念

KUI では，実世界において実体が光を遮ることで影が発生するという従属関係に着目し，それを逆説的に捉える．それにより，実世界での実体を動かすことで影が変化するという現象を，KUI によって影を操作することにより実体が変化するという新たな関係性を作り出し，UI として利用する．言い換えると，実世界において実体から影への一方向であった関係性に，KUI により相互的関係を与え，互いが影響し合う関係性を作り出す．KUI では，影に対しユーザーがジェスチャー操作を行うことで，影に与えられた操作によって実体に変化を与えることができる．KUI では影への操作で実体の位置，形状，動きに対する操作が考えられる．本稿ではそのうち，位置と動きに対する操作を実装する．

3.2 インタラクションの新規性

2 章で述べたように，従来の影を使った作品や研究に対し，KUI では実影をインタフェースとして操作し，その影を持つ実体の変化で表現を行う点に新規性を有する．また，影に対しての操作で，実体そのものが変化することによって，インタフェースである影にも，その結果が反映される影響の循環を生み出し，それをインタラクションに取り入れた点も新規性といえる．KUI では，このような影から実体へ，そして実体から影への物理的変化の循環を利用することで，コンピュータグラフィックスなどを一切使用せず，実世界における物理的変化のみでユーザーに情報を提示する点にインタラクティブシステムとしての特徴がある．

3.3 ユーザーインタフェースとしての特徴

従来の人工物に対する操作では，コントローラーなどの UI や，ジェスチャラル UI を使用する方法が挙げられる．KUI では，コントローラーなどの物理的な UI は使用せず，スマートフォンなどに使用される直感的なジェスチャラル UI に基づく操作方法を提供する．また，タッチパネルやプロジェクタなど使用せず，実世界の物理変化のみで情報提示を行う点で，ジェスチャラル UI としての特徴を有する．

マイノリティリポート [17] 型 UI のような空間でのジェスチャラル UI(以降，空間 UI とする) は，空間においての身振り (ジェスチャー) で操作することから，ユーザーが身体的に疲労しやすいと言われている．これに対し，KUI では，影の投影面に触れて操作することでユーザーの自由度を制限することにより，疲労度は軽減できると考えられる．

4 KUI に基づくシステムの提案

本章では，提案する KUI の実装例として制作した 2 つのシステムの概要について述べる．

4.1 上下移動システムの概要

このシステムでは，影に対してピンチイン，ピンチアウト操作を行う．ピンチイン，ピンチアウトはスマートフォンの操作では，画像などの拡大縮小に使われる．影を拡大縮小させる場合，実体の大きさが変化するか，光源に対して実体の距離が変化するかの 2 つが考えられる．直感的な実体の変化では，実体の大きさが変化する方がわかりやすいが，本稿の場合，光源と実体の距離によって影が伸びるという特性を生かすことで，KUI の特徴である，実体の変化による影への影響の循環が，より強調されると考え，光源に対しての実体の移動を選択し KUI の実装例としてシステムの制作を行う．操作としては，影をピンチアウトし拡大することで，実体を上昇させ，影をピンチインすることで縮小させ，実体を下降させる．

具体的な配置関係は，図 1 のように実体をナイロン糸で宙に吊るし，光源を実体に対し垂直上方向に配置する．実体の移動方向は垂直方向への上下移動に限定し，それにより影の拡大方向を中心から全方向に均等に拡大させることができる．また実体を地面から数センチ浮遊させることで，操作スペースを確保し，影への操作を行いやすくする．

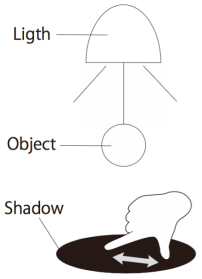


図 1: 上下移動システムの実体と光源の配置及び操作イメージ

4.2 移動停止システムの概要

このシステムでは，移動している実体の影に対してタッチ操作を行い，実体の移動を停止させるインタラク

ションを行う．移動している影を指で押さえることにより，相互的関係を持つ実体にも影響を与え，実体の移動を停止させる．影から指を離すことで，再び実体は移動を開始する．本稿では，回転移動している実体の影に対して指でタッチすることで，その動きを停止させるシステムを実装例として制作を行う．

具体的な位置関係と移動方向は図 2 のように，光源を上部に配置し，その中心から一定の距離に実体を配置し，光源の周りを円運動させる．それにより，光源を中心にした実体との距離と角度を保ちつつ円運動させ，生成される影の大きさを一定に保つ事ができる．影の大きさが一定になることで，影に対してのタッチ操作が行いやすくなる．

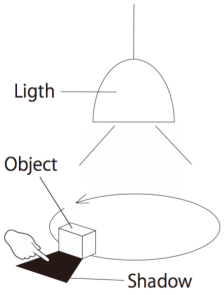


図 2: 移動停止システムの実体と光源の配置及び操作イメージ

5 KUI システムの実装方法

本章では，KUI に基づく 2 つの提案システムの実装方法について述べる．

5.1 FTIR を用いた影へのタッチ判定

4.1 及び 4.2 のシステムでは，影への操作を行う上で，影へのタッチ検出及び判定が必要である．本稿で制作した 2 つのシステムの影へのタッチ検出は，図 3 の FTIR 方式 [18] のタッチパネルを用いて行う．FTIR パネルはアクリル板のパネル内部に赤外線を照射し，タッチした箇所の赤外線が全反射することで，赤外線カメラにて検出することができる．この FTIR パネル上にシステムを配置し，パネルに影を投影することにより，影へのタッチ検出を行う．

5.2 上下移動システムの実装方法

上下移動システムでは，影に対してピンチイン，ピンチアウトを行うことで，宙に吊るされている実体を上下移動させる．実体の上下移動にはサーボモータを使用

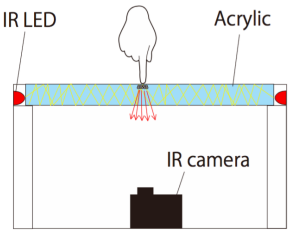


図 3: FTIR 方式タッチパネルの内部構造

し，サーボモータに巻き取り機を取り付け，これを回転させナイロン糸を巻き取ることによって，実体を上昇させ，逆回転させることで実体を下降させる．実体にはスチロール素材で出来た直径 8cm の球体を使用する．素材をスチロールにすることで，サーボモータへの負担を減らし，且つ上下移動した際の揺れを軽減できると考えた．影を生成する光源には赤外線が含まれない LED ライトを使用し，FTIR による指先の検出の妨げにならないようにする．

影の大きさは，実体の位置と移動範囲で決定し，影の大きさが最小の時の実体の位置は図 4 のように，操作パネルから近い位置 (以降，Hmin とする) にあり，影の大きさが最大のときの実体の位置は操作パネルから遠い位置 (以降，Hmax とする) にあることになる．上下移動システムで使用する FTIR パネルの寸法は縦 30cm，横 30cm，高さ 30cm とし，影の大きさが最大のときは，操作パネルより大きくならないよう，制限を設ける．Hmin をパネルから 10cm の高さにし，Hmin から Hmax までの距離は，ユーザーが操作した際に実体と影の両方が視界に入りやすくするために 30cm とする．それに合わせ光源となるライトの位置も操作パネルから 64cm の高さに設計し，移動距離に合わせ，巻き取り機の直径を 19cm とした．実際に制作したシステムを図 5 で示し，下部に位置するボックスは FTIR パネルであり，上部に位置するボックスは巻き取り機の機構と光源となるライトを収納する．

FTIR パネルにて得られた画像を画像処理により指先の輪郭を抽出し，重心の座標を検出する．座標を検出した後，上下移動システムにおいて必要な，ピンチイン，ピンチアウトのジェスチャー判定を行う．実体の移動距離により，影の中心座標，影の直径を測定することができ，影の直径内に 2 点の指座標があるか判定し，直径内

にある場合のみ処理を行う．指座標の 2 点間の移動距離の変化量によってサーボモータの回転角度を決め，実体の移動を行う．回転角度と実体の直径から影の領域を推測し，影の領域以外では反応しないよう処理を行っている．操作の様子を図 6 に示す．

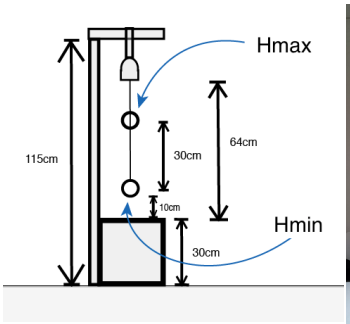
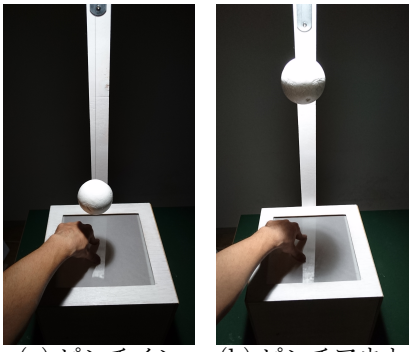


図 4: 上下移動システムの配置関係



図 5: 上下移動システム全体



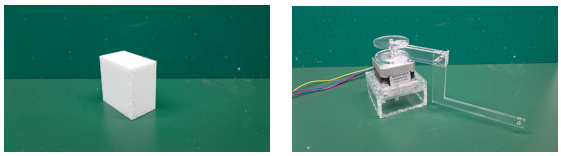
(a) ピンチイン　(b) ピンチアウト

図 6: 上下移動システムの操作の様子

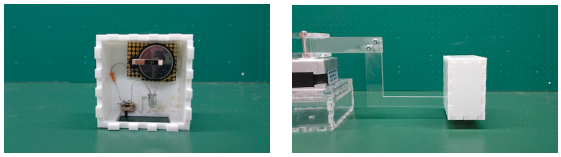
5.3　移動停止システムの実装方法

移動停止システムでは，影に対してタッチ操作を行い，円周上を移動している実体の移動を停止させる．実体の円周移動にはステッピングモータを使用し，実体には図 7(a) の縦 5cm 横 5cm 高さ 3cm の直方体を使用する．実体とモータを図 7(b) のジョイントで接続することによって，実体の移動と停止を実現させる．この実体は図 7(c) のように中に赤外線 LED と電池が収納されており，スイッチで点灯できる．実体の底面は赤外線をカメラで検出できるように開口してある．

ステッピングモータに固定用の台座を取り付け，パネル中央に配置する．台座の底面中央には赤外線 LED を取り付ける穴を設け，赤外線カメラでモータの位置 (円周移動中心点) を検出することが出来る．実体に円周移動をさせるため，図 7(d) のようにジョイントを取り付けモータと実体を連結させる．ステッピングモータの垂直方向上部に光源用の LED ライトを配置することで，移動している実体の影の大きさは一定に保たれる．



(a) 実体の外観　**(b)** ジョイント



(c) 実体の内部構造　**(d)** 実体接続時の様子

図 7: 移動停止システムに使用する実体

移動停止システムの実体とライトの位置関係及び全体イメージを図 8 に示す．実体の円周移動は，ジョイントで連結させたステッピングモータを Arduino で制御して行う．ステッピングモータには，MERCURY MOTOR 社のバイポーラステッピングモータ SM-42BYG011 を使用し，モータドライバーとして，Strawberry Linux 社の L6470 ステッピングモータドライバーキットを使用する．影へのタッチが判定されたときに，モータの回転を停止させ，指が離れたときに，モータの回転を再開させる．実際に制作したシステムが図 9 である．FTIR のボックス寸法は縦 60cm 横 70cm 高さ 90cm で，上下移動システムのようなライトを収納する設計はせず，赤外線を含まない環境光の利用が可能となっている．

画像処理にてタッチ判定を行う際，FTIR パネルで得られる画像にはパネルにタッチしてない状態で，実体内部に搭載された赤外線 LED と，ステッピングモータの台座に搭載された赤外線 LED が検出出来る．ステッピングモータがパネル中央に位置するため，画像内中央に検出される赤外線をステッピングモータのものと識別する．実体から出来る影は，中央のライトを中心に実体の外側に生成されるため，指のタッチで検出される赤外線は，実体の赤外線より外側で検出される．これにより，ステッピングモータの赤外線を中心に，最も近い赤外線を実体とし，実体より外側に検出される赤外線を指のタッチ操作であると判断する．輪郭抽出と重心検出を用いて，検出された赤外線をプログラム内で，ステッピン

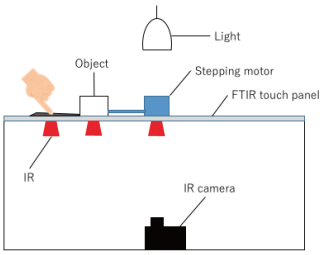


図 8: 移動停止システムの全体イメージ

グモータ，実体，指のタッチ位置と識別させる．それらの赤外線の位置関係を図 8 で示す．重心検出を行うことより，その重心点の座標を取得し，ID の振り分けを行う．光源と実体が常に一定の間隔を保って移動するので，影の大きさも常に一定となる．そこで，最初にプログラム内で影の座標と大きさを保持し，その大きさの領域を影のタッチ判定に用いる．実体の移動に合わせ，影が生成される位置にその領域を配置することで，影にタッチした際に，指の ID を持った赤外線が領域内で検出され，影へのタッチ判定を行うことが出来る．領域内でのタッチが判定された場合，Arduino にシリアル通信で停止信号を送る．信号を受け取った Arduino はステッピングモータの回転を停止させ，実体の移動は止まる．指が影内部から離れることで，Arduino に開始信号が送られ，ステッピングモータの回転を開始させる．これによりユーザーは，図 10 のように移動している実体の影を指でタッチし抑えることで，移動している実体の動きを停止するような感覚が得られる．



図 9: 移動停止システム全体

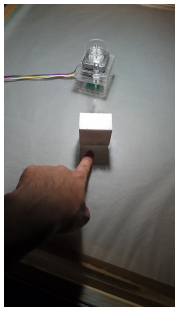


図 10: タッチ操作の様子

6 評価実験

KUI の新規性及び，概念についての評価を行うため，2017 年 1 月 27 日から 31 日の期間に，明星大学の 20 代男子学生を対象として 20 人に評価実験を行った．評価実験の手順として，最初に本研究についての概要と，実体の上下移動システムの操作方法を説明した．その際，実体がどのような変化をするかは説明していない．その後，上下移動システムを実際に体験してもらった．次に移動停止システムの操作方法の説明をした後，実際に体験してもらい，最後にアンケート調査を行った．実験環境は影を使用することから，安定した動作環境を確保するために，部屋の電気を消し暗い環境で行った．

6.1 評価項目

表 1 の全 6 項目で調査を行い，Q1 は “はい” か “いいえ” の 2 段階評価，Q2 から Q6 は 4 段階で評価を行った．Q1 から Q4 の項目は，新規性があったかを評価する項目で，Q5，Q6 は概念を理解出来たかを評価する項目である．

表 1: 調査項目

No.	調査項目
Q1	この作品以外で, 今まで影を操作した事はあるか
Q2	影を操作することで起こる, 物体の行動に予想がついたか
Q3	影を操作する感覚を得る事が出来たか
Q4	影を操作する感覚は新鮮だったか
Q5	この作品には, 物と影に相互的関係があると思ったか
Q6	影から物体に影響を与えるという概念を理解出来たか

6.2 調査結果と考察

図 11 の調査結果のグラフから，普段影を操作する意識を持つ人は少ない事がわかる．“はい” と回答した人は，チームラボの展示や，影絵で経験したという意見があった．図 12 は Q2，Q3，Q4 の調査結果のグラフである．Q2 では，「操作による実体の変化に予想がついたか」を評価している．評価 2 の「あまり予想がつかなかった」という意見の割合が 65 % と多いことがわかる．Q3 は「影を操作する感覚を得ることが出来たか」を評価し，Q4 は「影を操作する感覚は新鮮であったか」を評価する．Q3 では評価 3 の「感覚を得ることが出来た」と，評価 4 の「とても得ることが出来た」の割合が，合わせて 85 % と多いことから影を操作する感覚を得ることが出来た被験者が多いことがわかる．また，Q4 では評価 3 の「新鮮であった」と，評価 4 の「とても新鮮であった」の割合が 95 % と多く，ほぼ全ての被験者が新鮮であったと感じたことがわかる．Q1，Q2 の結果から，今まで影を操作するという意識を持っていなかった被験者は影を操作した後に起こる結果に予想がつかなかったと考え

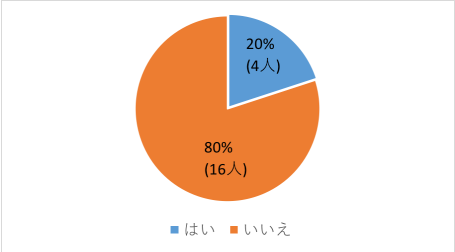


図 11: Q1 のアンケート結果のグラフ

られる．しかし，Q3 の結果から影を操作する意識を持たない人でも，影を操作する感覚を得ることが出来たと言える．そして，今まで影を操作することを意識していなかったため Q4 では，新鮮であったという回答が多かったと考えられる．

図 13 は，Q5 と Q6 の調査結果のグラフである．Q5 では「実体と影に相互関係があると思ったか」を評価し，評価 3 と，評価 4 の相互関係があると思ったの割合が 70 %を占めていることから，実体と影に相互関係性があると感じた被験者が多いことがわかる．また，Q6 では「KUI の概念を理解出来たか」を評価し，全ての被験者が評価 3 か評価 4 の理解出来たを回答していることから，KUI の概念を理解出来たことがわかる．調査の結果から，今まで影を操作するという意識を持つ機会がなかったため，操作に対して実体がどのような変化 (結果) をするのか予想はつかなかったが，実際に体験し操作したことにより，KUI の概念を理解し，影を操作する感覚を得ることが出来たと予想される．また普及率が高いスマートフォンに実装されているジェスチャーを参考にしたことで，影を操作したことがない人でも KUI の概念を理解できたと考えられる．また，その感覚は今まで意識していなかったため，被験者に新鮮な操作感を与えることが出来たと考えられる．

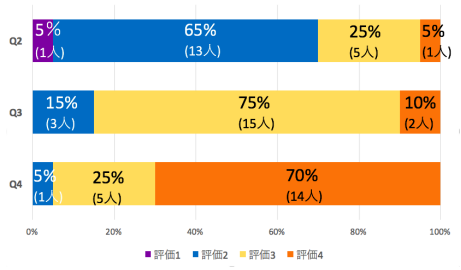


図 12: 新規性に関するアンケート結果

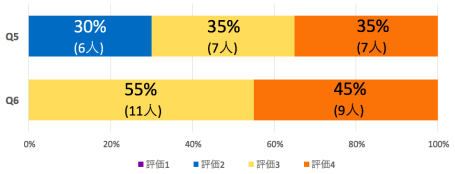


図 13: 概念の理解に関するアンケート結果

7 考察と今後の展望

評価実験の結果から，本研究で提案する KUI は実世界では起こりえない影から実体に影響を与える事象ながらも，その概念は直感的な操作や，それにあった実体の変化で理解出来るものとなった．また，KUI に基づく 2 つのインタラクティブシステムでの体験は，影を操作するという新しい感覚を与えることが出来たと言える．

今後の展望として，3 章でも述べた通り KUI は，位置，運動のみならず，形状の操作でも有効である．従って今後は，まず本稿で実装していないインタラクティブシステムを提案し制作していく予定である．例えば，影をドラッグすることによって実体の位置を操作するインタラクションが考えられる．ジェスチャラル UI でのドラッグは，物を移動させる操作として扱われることから，KUI での実体の水平移動に使用することが出来ると考える．また，ピンチイン，ピンチアウトによる実体の上下移動システムでは，実体自体の大きさを変化させる表現方法も考えられる．また，影を指で伸ばし，影の形状を自由に変形させることによって，実体の形状を変化させるインタラクションも考えられる．この他にも KUI に基づく新たなインタラクティブシステムを制作することで，より一層 KUI の概念を発展させて行きたいと考えている．

次に，本稿で提案した KUI のインタラクティブシステムの活用を検討していく．KUI は，光と影を使用するので，幻想的な空間演出やエンタテイメント分野での活用が期待される．さらに，影踏みという遊びに KUI のシステムを取り入れ，実際に鬼が影を踏む事で，踏まれた人の動きを停止させることができれば，よりエンタテイメント性に優れた遊びとなることが予想される．

参考文献

[1] 河合隼雄. 影の現象学. 株式会社講談社, 1987.
[2] Adelbert von Chamisso. 影をなくした男. 岩波文

庫, 1885.

[3] James Hollis. 影の心理学 - なぜ善人が悪事を為すのか. コスモライブラリー, 2009.

[4] 隆慶一郎. 影武者徳川家康〈上〉. 新潮文庫, 1993.

[5] James George Frazer. 初版 金枝篇〈上〉. ちくま学芸文庫, 2003.

[6] 菊池康太, 遠藤勝也, 小野隆之, 尼岡利崇. KUI : 影ユーザーインタフェース. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, 第 2016 巻, pp. 259–262, 2016.

[7] 岩崎妃呂子, 水野慎士. 影内部映像に対するインタラクションの提案. マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 1854–1858, 2016.

[8] Joon Y. Moon. Augmented shadow. 2010. `http://joonmoon.net/Augmented-Shadow`.

[9] Interactive wall “big shadow”, 2006. `http://bigshadow.jp`.

[10] 石山雅三, 筧康明. 物体の本物の影に動きを与えるディスプレイシステムの提案. 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 72, pp. 925–926, 2010.

[11] Fabio Pellacini, Parag Tole, and Donald P. Greenberg. A user interface for interactive cinematic shadow design. In *Proceedings of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '02, pp. 563–566, 2002.

[12] Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, and John F. Hughes. Sketch: An interface for sketching 3d scenes. In *Proceedings of SIGGRAPH 96*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 163–170, 1996.

[13] Jonathan M. Cohen, Lee Markosian, Robert C. Zeleznik, John F. Hughes, and Ronen Barzel. An interface for sketching 3d curves. In *Proceedings of the 1999 Symposium on Interactive 3D Graphics*, I3D '99, pp. 17–21, 1999.

[14] Niloy J. Mitra and Mark Pauly. Shadow art. In *ACM SIGGRAPH Asia 2009 Papers*, SIGGRAPH Asia '09, pp. 156:1–156:7, 2009.

[15] Frederik Anrys, Philip Dutré, and Yves D. Willems. Image-based lighting design. In *Proceedings of the 4th IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing*, p. 15, 2004.

[16] Seung-tak Noh, Sunao Hashimoto, Daiki Yamanaka, Yoichi Kamiyama, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. Lighty: A painting interface for room illumination by robotic light array. In *2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 305–306, 2012.

[17] Anthony Gary Dworkin and Rosalind J Dworkin. The minority report. *New York*, 1976.

[18] 坂本侑一郎, 吉川拓人, 大江龍人, 堀竜慈, 村田雄一, 志築文太郎, 田中二郎. 赤外線 LED 埋め込みシリコーンゴムを用いたタッチパネル. インタラクション, Vol. 104, No. 124, pp. 7–12, 2004.

菊池 康太



2017 年明星大学情報学部情報学科卒業. 現在，同大学大学院情報学研究科情報学専攻博士前期課程在学中.

尼岡 利崇



1992 年北海道大学大学院地球環境科学研究科修士課程修了. 2003 年ニューヨーク大学 Tisch School of the Arts, Interactive Telecommunication Program 修士課程修了. 2010 年東京工業大学博士 (学術) を取得. 2003 年別府大学専任講師，2005 年より明星大学情報学部情報科学科専任講師. 2017 年より同大学教授となり，現在に至る. ACM，芸術科学会会員.