

# 行灯を用いたインタラクティブ映像システムの開発

畑田 彩花<sup>†1,a)</sup> 水野 慎士<sup>†1,b)</sup>

**概要:** デジタル技術の発達はあらゆる分野に影響を与えており、芸術分野での利用も大きく広がってきた。その一例としてプロジェクションマッピング技術がある。プロジェクションマッピングの活用事例は日本の伝統建築や文化にも広がっている。この理由としては、日本の伝統文化にデジタル技術を組み合わせることで、本来の特徴や良さをそのまま生かしつつ、新たな価値が創造できることが挙げられる。本研究では、日本の伝統文化として行灯に着目して、行灯とプロジェクションマッピングを組み合わせたインタラクティブコンテンツを提案する。そして、行灯と行灯を置く机の上にプロジェクションマッピングを施しながら、行灯の位置や角度を変化させた際に、行灯の側面映像と机の映像が連動しながら変化する手法の開発とコンテンツの制作を行う。

## 1. はじめに

デジタル技術の発達はあらゆる分野に影響を与えており、芸術分野での利用も大きく広がってきた。その一例としてプロジェクションマッピング技術がある。東京駅へのプロジェクションマッピング[1]で大きな注目を集めて、その後は様々なイベントの演出として活用されている。そして近年は、お城[2]、古民家[3]、生け花[4]や古代遺物[5]など、日本の伝統建築や文化にプロジェクションマッピングを適用する事例が増えている。この理由としては、日本の伝統文化にデジタル技術を組み合わせることで、本来の特徴や良さをそのまま生かしつつ、新たな価値が創造できることが挙げられる。

本研究では、日本の伝統文化として行灯に着目する。そして、行灯を用いたインタラクティブプロジェクションマッピング手法の開発とコンテンツ制作を行う。筆者らはすでに行灯を用いたインタラクティブコンテンツを制作しているが[6]、そこでは行灯の明るさだけをコントロールしていた。本研究では行灯へインタラクティブ映像を映すことを試みる。

## 2. コンテンツ概要

本研究で制作するインタラクティブコンテンツは、行灯の側面、および行灯を置く机の上に映像を映すとともに、それらを行灯の位置や向きに合わせて連動させるものである。コンテンツの外観を図1に記す。

コンテンツでは、床面が正方形の行灯を机の上に置く。行灯は滝、机はその滝が落ちる水面をイメージしている。行灯を動かさない状態では、行灯側面には水とモミジの葉が流れる映像が映し出されて、行灯が置かれた机の部分では、行灯から落ちた水が水紋を作り、行灯から流れ出たモ

ミジの葉が浮かび上がる。そして、行灯を移動させると、水紋ができる位置やモミジが浮かび上がる位置も行灯と共に移動する。また、行灯の角度を変化させた際には、行灯側面を流れ落ちるモミジの葉の色が変化して、その結果として机に流れ出るモミジの葉の色も変化する。

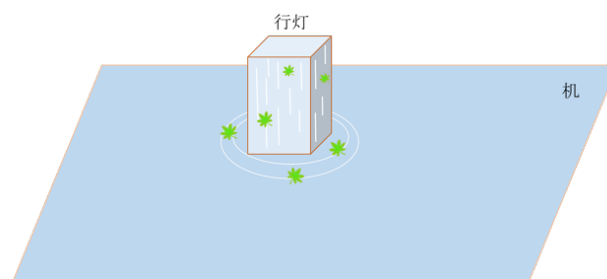


図1 コンテンツ外観

## 3. 手法

### 3.1 システム構成

本研究で制作するコンテンツを実現するには、行灯の4つの側面への映像投影、行灯の位置と角度の取得、行灯の映像や位置・角度に連動した机への映像投影、などの要素が必要になる。

これらを実現するためのシステム構成を図2に示す。使用する機材としては、行灯と机の他、行灯の位置情報を取得するためのレーザーレンジセンサ、行灯用のモバイルプロジェクタ、机用のプロジェクタ、そして処理用PCである。処理用PCでは、行灯追跡アプリケーション、行灯側面映像生成アプリケーション、机映像生成アプリケーションが稼働しており、行灯の位置情報や映像情報を各アプリケーションで共有している。

†1 愛知工業大学 情報科学部

a) x17079xx@aitech.ac.jp

b) s\_mizuno@aitech.ac.jp

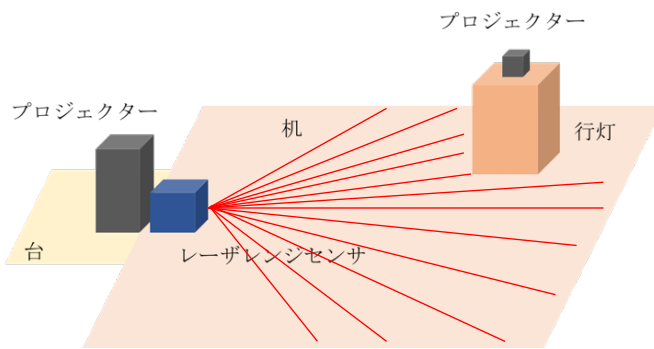


図2 全体の構成

### 3.2 行灯の四面への映像の投影

行灯の4つの側面に映像を投影する手法として、本研究ではモバイルプロジェクタと半球の球面鏡を使用する。図3に行灯の構成を示す。

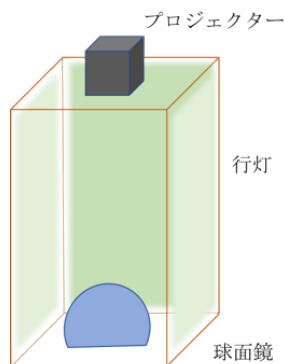


図3 行灯の構成

モバイルプロジェクタは行灯上部に設置して、球面鏡は行灯底部に設置する。そして、モバイルプロジェクタから球面鏡に向けて映像を投影すると、映像は球面鏡で反射して行灯の4つの側面に投影される。

球面鏡で反射して行灯側面に映った映像は、球面鏡に影響によって曲線的に歪む。そのため、行灯側面に適切な映像を投影するには、反射による歪みを考慮して補正した映像を生成する必要がある。

そこで本研究では、モバイルプロジェクタから投影された映像が球面鏡で反射して行灯側面に映ったときにどのように変形するかをシミュレーションによって求めた。三次元CG空間に球面鏡と行灯側面を模した平面を設置して、プロジェクタに相当する位置から16,000本(100×160本)の光線を放出した。そして、光線が球面鏡で反射して行灯側面と交差する位置を計算した(図4)。

投影シミュレーションによって、プロジェクタ映像の座標と行灯側面に投影される映像の座標との位置関係が得られる。そこで、その位置関係に基づいてプロジェクタ映像をあらかじめ変形させる。具体的には、行灯側面に映したい映像をCGで生成したら、変形を考慮した二次元格子にテクスチャとして貼り付けることで、変形映像を生成する。

この変形映像をプロジェクタで投影すれば、球面鏡での反射と行灯への投影で再び変形して、元の映像として行灯に映し出される。

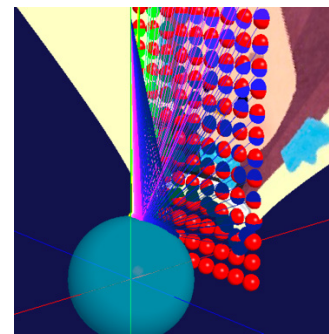


図4 光線の球面鏡反射と側面交差のシミュレーション

### 3.3 行灯の位置と角度の検出

行灯を動かしたときに行灯の側面映像を変化させたり、行灯の側面映像と机上の映像を連動させるためには、リアルタイムで行灯の位置と角度を取得する必要がある。これを実現するため、本研究では二次元レーザレンジセンサを使用した。また、行灯の底面の辺サイズ $l$ は事前に計測して既知とする。

図5に行灯の位置と角度の取得の様子を示す。二次元レーザレンジセンサは机の約2cm上方を二次元的に30(fps)でスキャンする。そのため、行灯を机に置いた場合には、行灯の1つまたは2つの側面がスキャンされる。そして、スキャン結果を二値画像として可視化すると、行灯のスキャン結果は1本または2本の直線分として現れる。

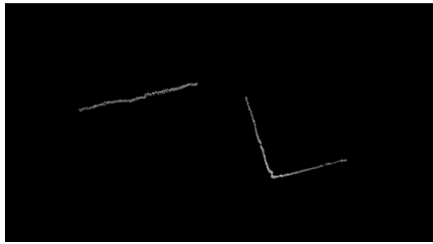
実際にはスキャン結果には多くのノイズが含まれる。そのため、毎フレームのスキャン二値画像を新しいフレーム画像ほど大きな重みを与えながら加算する。そして、加算結果に対するしきい値処理およびクロージング処理を施すことで、ノイズを低減したスキャン結果画像を取得する(図5(a))。

次にスキャン結果画像に対して領域輪郭抽出処理を施して、しきい値以上の輪郭がある領域の包含矩形を注目領域(ROI)とする。そして、ROI内で確率的ハフ変換を施して、1本の直線分、または直交に近い関係を持つ2本の直線分を検出する(図5(b))。

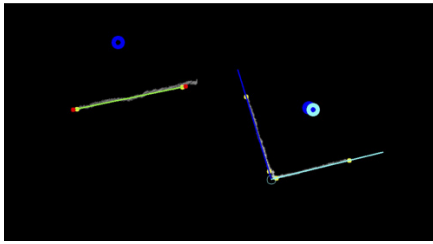
検出された直線分が1本の場合、検出された直線分は行灯の一つの側面全体または両端が一様に切れた側面一部と見なす。そのため、線分の角度は行灯の角度となる。また、直線分の中点は行灯の一つの側面の中央であり、そこから長さ $l/2$ 直交線分を伸ばすことで、行灯の中心座標が得られる(図5(b))。

検出された直線分が2本の場合、検出された直線分は行灯の角を含む2つの側面全体または一部と見なす。そのため、2本の直線分の交点は行灯の角点となる。角点から一

方の線分に平行な長さ  $l$  の直線分を伸ばせば、これは行灯の一つの側面全体となり、行灯の角度も得られる。そして、その中点から長さ  $l/2$  の直交線分を伸ばすことで、行灯の中心座標が得られる。



(a) 可視化された行灯のスキャン結果



(b) 行灯側面の直線分と中心座標の取得

図 5 レーザレンジセンサを用いた行灯の位置と角度の取得

### 3.4 机と行灯の映像の連動

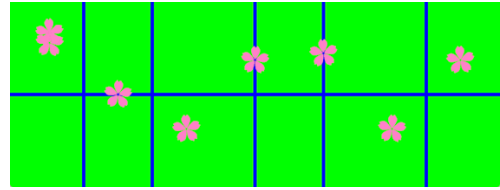
本研究のシステムでは、3.2 節で述べた行灯側面映像生成アプリケーション、3.3 節で述べた行灯追跡アプリケーション、そして机映像生成アプリケーションが稼働しており、行灯の位置情報や映像情報を各アプリケーションで共有している。共有データは、行灯の二次元座標と角度、表示オブジェクトであるモミジの葉の個数と座標と色、などである。これらの情報はプロセス間通信またはネットワーク通信でテキストデータとして共有する。

## 4. 実験

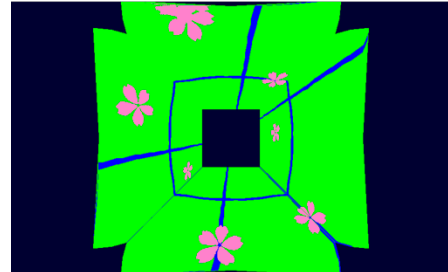
本研究で提案したシステムを試作して実験を行なった。使用した PC は MacBook Air で、映像生成に OpenGL、スキャン結果画像の解析に OpenCV を用いている。

図 6 に行灯用映像の生成と投影の様子を示す。初めに最終的に行灯に表示したい映像を生成する (図 6(a))。次に、球面鏡による光線反射シミュレーション結果に基づいて映像を変形する (図 6(b))。そして、変形した映像を行灯に設置したモバイルプロジェクタで投影すると、球面鏡で反射して行灯側面に映った映像は、意図したようになっていることを確認した (図 6(c))。

図 7 に行灯を机の上に置いたときに様子を示す。行灯側面に投影された映像と机に投影された映像が連動しており、行灯から流れ落ちたモミジの葉が行灯の下から机に浮かび上がる様子が確認できた。そして、行灯の移動に応じて机の上でモミジが出現する位置も移動することを確認した。



(a) 変換前の画像



(b) 変形後の画像



(c) 行灯に投影された映像

図 6 行灯用映像の投影実験

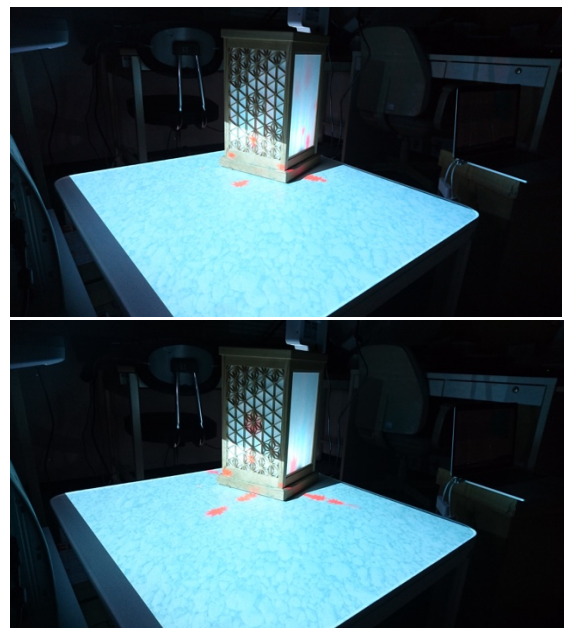


図 7 行灯用映像の投影実験

## 5. おわりに

本研究では、行灯を用いたインタラクティブ映像システムの開発を行った。実装実験では、行灯側面の映像と行灯が置かれた机の映像が連動するとともに、行灯の移動によって変化することを確認した。行灯を用いた新しいインタラクティブコンテンツによって、日本の伝統文化に新しい魅力を追加できることが期待される。

今後の課題としては、複数の行灯への対応、本映像システムの特性を生かしたより魅力的なコンテンツ制作などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 東京駅丸の内駅舎保存・復原工事完成記念 プロジェクションマッピング「TOKYO STATION VISION」, 入手先 (<https://www.nhk-ep.co.jp/service/media/projection-mapping/tokyo-station-vision/>) (参照 2020-12-25).
- [2] 大阪城 3D プロジェクションマッピング 2014-2015, 入手先 (<https://youtu.be/iXBAXt2YeWo>) (参照 2020.12.25).
- [3] 水野慎士, 小栗真弥, 小栗宏次, 安田孝美, 日本の伝統的住宅を用いたインタラクティブプロジェクションマッピング, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 7, No. 1, pp. 22-32 (2019).
- [4] 岩崎妃呂子, 水野慎士, 秋葉陽児, いけばなとCGによるインタラクティブデジタルコンテンツ"デジタル枯山水"と"いけばな影絵", 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 5, No. 1, pp. 1-7 (2017).
- [5] 迎山和司, 小林真幸: 国宝「中空土偶」へのインタラクティブ・プロジェクションマッピングを使った新しい展示方法の検討, 芸術科学会論文誌, Vol. 14, No. 6, pp. 248-256 (2015).
- [6] 小栗真弥, 水野慎士, 浦田真由, 遠藤守, 安田孝美 建具の特徴を活かしたプロジェクションマッピングによる新しい和室演出の試み, 芸術科学会論文誌, Vol. 19, No. 5, pp. 86-97 (2020).