

## 寺院の博物館展示を目的とした襖配置のCG再現と 体験型システム

曾我 麻佐子・富増 康宏・藤田 憲孝（龍谷大学 理工学部）

国内の寺院には歴史ある襖絵が数多くあり、博物館でこれら全てを展示することは困難である。本研究では、寺院を対象とした博物館展示を支援するため、襖配置のCG再現および体験型システムの開発を行った。博物館の実物展示と併せて展示する体験型システムとして、VRゴーグルおよび襖配置システムを開発した。VRゴーグルはCGで再現された部屋の全周囲を見渡すことができ、襖配置システムはタッチ操作で襖を移動させることにより様々な配置でのシミュレーションが可能である。さらに、CGを用いて過去の襖配置を再現した4K映像を制作した。制作した映像は、龍谷ミュージアムの特別展「聖護院門跡の名宝」において上映し、開発した二つのシステムは特別展の関連イベントとして3日間展示した。

## CG Reproduction and interactive systems of sliding-door arrangements for museum exhibition of a temple

Asako Soga / Yasuhiro Tomimasu / Noritaka Fujita  
(Faculty of Science and Technology, Ryukoku University)

Although a Buddhist temple has many traditional sliding doors used for partitioning rooms, it is difficult to bring all of the sliding doors from a temple to a museum exhibition. We have reproduced the arrangement of a temple's sliding doors in 3D space and developed two systems to support exhibitions at a museum. One system uses goggles to show a stereoscopic 3D image, which helps visitors to understand the actual arrangement of sliding doors as well as the ambience of the room. The other system can simulate various arrangements of sliding doors by moving the doors using touch input on a tablet's screen. Moreover, we created a 4K-resolution video using the reproduced CG of sliding-door arrangements previously set. The created videos were shown at a special exhibition of the Ryukoku Museum, "Treasures of Shogo-in Monzeki Temple," and the proposed systems were demonstrated for three days as one of the events related to the special exhibition.

### 1. はじめに

近年、人体動作の認識や3D空間の構築が容易になったことから、ジェスチャなどの自然なインタフェースを用いたVRシステムが様々な分野で活用されている。一方、様々な文化財のデジタルアーカイブ化が進み、博物館においても効果的に展示されるようになってきている。

筆者らは、博物館における展示支援を目的とし、インタラクティブ技術を用いたシステムの開発および4Kシアター映像の制作を行っている[1]。今回は、寺院の博物館展示を目的としたCGコンテンツの制作と体験型システムの開発を行った。国内の寺院には歴史ある襖絵が数多くあり、博物館でこれら全てを展示することは困難である。本研究では、寺院の内部を3DCGで再現し、体験型システムとしてVRゴーグルと襖配置システムを開発した。VRゴーグルはCGで再現された部屋の全周囲を見渡すことができ、襖配置システムはタッチ操作で襖を移動させることにより

様々な配置でのシミュレーションが可能である。さらに、CGを用いて過去の襖の配置を再現した4K映像を制作した。

3DCGやインタラクティブ技術を用いた展示支援に関する研究として、タブレット端末を用いた展示支援[2]や携帯型ゲーム機を用いた博物館ガイド[3]などが報告されている。これらは、博物館での使用を想定している点では類似しているが、展示物そのものの解説や展示場所までのガイドを携帯端末で表示するものが多い。

文化財のCG再現に関する研究としては、棒巻き付け縄による縄文土器紋様のCG再現システム[4]や、祇園祭の山鉦巡行のCG再現[5]なども報告されている。これらは3DCGによるシミュレーションという点では類似しているが、実際の博物館における展示支援を目的としていない。

シミュレーション技術による体験型展示コンテンツの提案[6]は、水族館の展示内容とシミュレーションによるコンテンツを相互に利用することを目的としている点において本研究と類似

している。しかしコンテンツが限定されており、さらに大がかりな機材を必要とするため、一般的な博物館での利活用は困難である。

本研究では、実際の展示では見ることができない寺院の襖や部屋の様子を 3DCG で再現し、博物館の実物展示と関連した体験型システムを展示することで、展示内容の理解を深めることを目的としている。具体的には、龍谷ミュージアムの「【特別展】聖護院門跡の名宝」に合わせた展示支援を目的とした。本稿では、襖配置の CG 再現、開発した体験型システム、博物館での運用および評価について報告する。

## 2. 寺院の襖配置の CG 再現

### 2.1 CG 再現の意義

聖護院には、10 部屋に 100 枚以上の襖絵があるが、全てを博物館に持っていくことは困難である。実際に今回の特別展では、展示スペースの制限により、20 枚程度の襖の展示を行っていた。また、襖絵は壁貼付になっているため物理的に持ち運べないものもある。襖配置の CG 再現を行うことにより、実際に展示できない襖絵もバーチャル展示で補うことが可能となる。さらに、個々の襖絵の断片的な展示だけでなく、襖で囲まれた部屋の様子を確認したり、襖絵を連続する絵として確認したりすることが可能となる。

また、現在の襖の配置は襖絵が連続しない箇所があり、本来は異なる配置であった可能性があると言われている。実際に襖を移動させて確認するのは困難であるが、CG による仮想空間では、このようなシミュレーションも容易に実現できる。本研究では、現在の襖配置の再現だけでなく、過去の襖配置の CG 再現や、様々な配置でのシミュレーションも試みた。

### 2.2 CG 再現手順

寺院の襖の配置を CG 再現するにあたり、見取り図の作成、襖のサイズの計測、襖画像の撮影を行った。襖絵の画像データは、主に専門家が撮影したものと図録用に撮影したものを使用し、不足分および床や天井などのテクスチャ素材は新たに撮影した。画像データは撮影時期や照明環境によって色合いが異なるため、色調補正、絵柄の切り出し、合成などの加工を行った。

CG 制作には Maya を使用した。再現映像は、Maya でアニメーションを作成してレンダリングした。体験型システムで使用するインタラクティブ CG は、Unity で読み込み可能な FBX 形式で出力した。

### 2.3 襖絵画像の加工

現在、壁貼付となっている襖絵については、撮影が困難な上に保存状態も悪かったため、背景部分と絵柄部分に分けて複数の撮影画像を加工し、隣接する襖絵の色合いに近づけるようにした。

背景画像は、図録用に撮影された写真を原画像とし、隣接する襖絵の画像を参考画像として色合い変換を行った[7]。その後、図録用に加工された画像から絵柄部分を切り取り、背景画像と合成した。図 1 は加工の様子を示している。(a)は撮影された写真の原画像、(b)は色合い変換を行った画像、(c)は最終結果であり、(b)の背景部分と図録の絵柄部分を合成したものである。

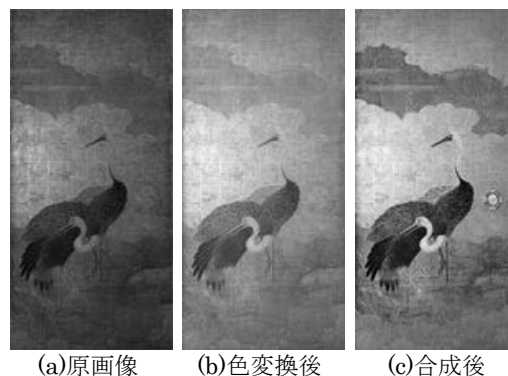


図 1 襖絵画像の加工

Figure 1 Editing sliding-door pictures.

### 2.4 過去の配置の CG 再現

現在仏間となっている鶴の間については、襖の配置が過去のものとは異なり、以前は 28 枚の鶴の襖絵で囲まれていたと考えられている[8]。そこで本研究では、現在では見ることができない過去の配置を CG で再現することを試みた。

CG 再現映像は、特別展の展観内容に合わせてシアター映像に収録することを目指し、博物館の学芸員および研究員の要望を取り入れて制作した。要望として、現在他の部屋にある襖が仏間にはめられていくようにすることと、再現した 28 枚全ての襖絵を一周見渡すことが挙げられた。

他の部屋の襖が仏間にはめられていく様子は、10 枚の襖を上から下に時間差でアニメーションさせることで表現した。また、どの部屋のどの襖を移動しているのかをわかりやすく表現するため、CG アニメーションの途中に寺院の見取り図を挿入し、テロップによる解説を追加した。全ての襖絵を見渡すためには、部屋の中央にカメラを配置し、これを右回りに回転させることにより 28 枚の連続した襖絵を順に見せるようにした。また、柱があるためカメラ視点から襖絵が遮られてしまうところは、柱を透過させることで襖絵を見渡せるようにした。図 2 は CG 再現した群鶴図襖である。左 2 枚の襖は現在も同じ位置にあり、右 6 枚の襖は現在大玄関にあるが、CG 再現することで連続した襖絵であることが確認できた。

再現した群鶴図襖の CG 画像は、特別展の図録やパネル展示で活用した。また、仏間の CG 再現映像は 4K 解像度で出力し、特別展のシアター映像の一部として使用した。シアター映像は 13 分程度であるため、約 10 分の実写映像の後に約 2 分 30 秒の CG 再現映像を追加した。



図 2 群鶴図襖 CG 再現  
Figure 2 CG reproduction of sliding doors illustrated with cranes.

### 3. VR ゴーグル

#### 3.1 システム概要

襖の配置と部屋の雰囲気を変換空間で表示するため、全周囲の 3DCG が表示可能な VR ゴーグルを開発した。本研究では、既に Kinect を用いたウォークスルーシステムの開発を行っている[9]。しかし、博物館で Kinect を用いた体験型システムを運用するには、来館者が動くスペースと結果を表示する装置が必要であり、現実的に難しい。そこで、HMD (Head Mounted Display)を用いて没入型のシステムに発展させた VR ゴーグルを開発した。図 3 に VR ゴーグルの実行イメージを示す。VR ゴーグルは、HMD を用いることで頭の向きに追従して 3D 空間の視点を変更できるため、ユーザは頭を動かすことで直感的に部屋を見渡すことができる。今回は、ジェスチャで操作可能な対話型システムと、スマートフォンで容易に実現可能な携帯型システムを開発した。



図 3 VR ゴーグル  
Figure 3 VR goggles.

#### 3.2 対話型システム

対話型システムは、部屋内のウォークスルーや襖の開閉などのインタラクションが可能である。HMD には Oculus Rift DK2 を使用し、HMD を被ることにより視界が遮られるため、入力デバイスとして Leap Motion を使用する。Leap Motion で入力した手のジェスチャで CG 空間の視点やオブジェクトを操作することができる。視点移動はジェスチャや自動操縦にも対応しているが、角度変更は HMD で直感的に行う。全周囲の CG およびインタラクションは Unity を用いて実装した。図 4 は対話型システムの実行イメージである。Leap Motion に手をかざして両手を開くことで、CG 空間内の襖を開けることができる。

対話型システムは、視点の移動や襖の開閉などのインタラクションが可能であり、機能面で優れているが、一方で Oculus Rift を有線で接続する PC が必要であり、ユーザの可動範囲が制限されてしまうという欠点がある。



図 4 対話型 VR ゴーグルの実行イメージ  
Figure 4 Interactive VR goggles.

#### 3.3 携帯型システム

携帯型システムは、ジャイロセンサが搭載されたスマートフォンとレンズの入ったビューワのみで HMD と同等の機能を実現できる。今回はスマートフォンとして Sony Xperia T2、ビューワとしてハコスコ DX を用いた。全周囲の CG は Google Cardboard SDK と Unity を用いて作成した[10]。携帯型システムは、コードや PC が不要であるため軽量で可搬性に優れており、手軽に全周囲の CG 映像を確認できるが、入力デバイスがないため視点の移動やインタラクションなどには対応していない。

龍谷ミュージアムの体験プログラムでは、可搬性および手軽に体験してもらうことを優先し、携帯型システムを使用した。

#### 3.4 コンテンツ制作

今回は、龍谷ミュージアムの展覧内容に合わせて大玄関と太公望の間の二つの部屋を制作した。これらの部屋は、一部の襖を特別展で実際に展示する予定があったため、実物の展示を見た後に、バーチャル体験で他の襖や配置を確認することを想定して選択した。

大玄関は老松が特徴的な部屋で、2枚の大きな壁貼付の襖絵と、10枚の襖で構成されている。このうち4枚は通期の展覧で展示された。現在の大玄関の襖の配置は、襖絵が連続していない箇所があるが、今回は現在の配置をそのまま再現し、雨戸や天井、竹の壁貼付の襖絵も含めて全周囲を CG で再現した。

太公望の間は16枚の襖で構成されており、このうち4枚は通期、6枚は後期の展覧で展示された。南側は隣の部屋に接続しているため、塞がずに空洞とした。

博物館における展示では、各部屋につき1つの VR ゴーグルを用意した。図 5 は実際に使用した VR ゴーグルである。



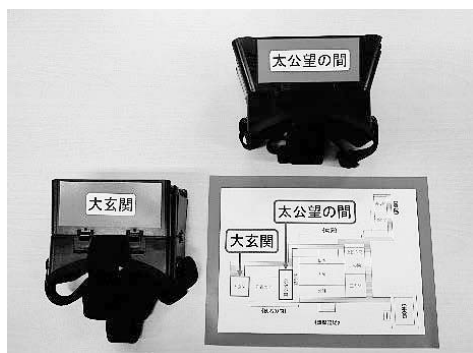


図 5 携帯型 VR ゴーグル  
Figure 5 Portable VR goggles.



図 7 3D ビューワ  
Figure 7 3D viewer.

## 4. 襖配置システム

### 4.1 システム概要

襖の配置を楽しみながら理解してもらうための対話型システムとして、襖をドラッグ&ドロップで入れ替えることができるシミュレーションシステムを開発した[11].

本システムはランダムに抜き出された襖を正しい位置に配置していくパズルゲームのようなものである。襖の配置操作が直感的に行えるように、端末はタッチ入力可能な Microsoft 社の Surface を使用した。襖の配置を行う際は見やすさと操作性を考慮し、上からの視点で襖を部屋の外側へ倒した展開図で襖の入れ替えを行えるようにした。正しく配置されていない襖の枚数の表示、襖の位置や回転情報の自動補正、3D 空間における配置結果の見渡しなどの機能がある。

図 6 に襖配置システムの構成図を示す。襖を配置する展開図では、抜き出した襖をランダムに配置した後、ユーザ入力に応じて配置制御と正誤判定を繰り返している。3D 空間では、図 7 に示すように展開図の襖を起し、柱や壁などの襖以外の 3DCG オブジェクトを表示させることで立体的に見渡すことが可能である。3D ビューワでは、タブレット画面をドラッグすることにより視点を左右に回転させることができる。

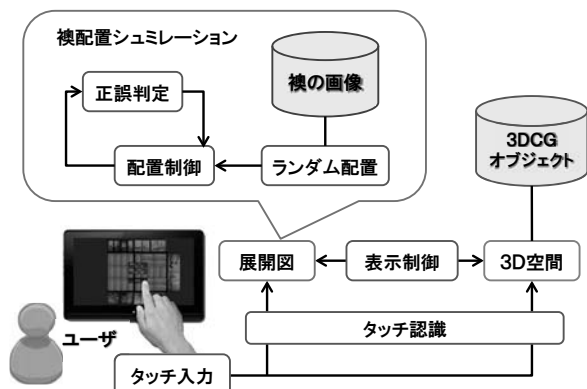


図 6 襖配置システムの構成  
Figure 6 Structure of arrangement system of sliding doors.

### 4.2 難易度に合わせてパズルゲームの作成

図 8 は襖配置システムの実行例である。今回は上段の間と二の間を合わせた部屋を対象とし、襖のサイズは 4 種類、合計 19 枚を使用した。難易度は、初心者向けの「易しい」と、ある程度知識がある人を想定した「難しい」の 2 種類を用意し、「易しい」では 5 枚、「難しい」では 10 枚の襖をランダムに抜き出すようにした。図 8 は難易度「易しい」の場合の実行例である。襖が配置可能な場所を示すため、サイズごとに色が異なる枠を用意した。最初に抜き出す襖は、サイズ、位置、枚数を考慮し、図 8 中の①から⑤の 5 グループに分けた襖の群から均等に選択するようにした。パズルゲームは、実際の配置を正解とし、全て正しく配置できるとクリアとなる。誤って配置された状態や襖が配置されていない状態でも、配置結果を 3D ビューワで確認することができる。

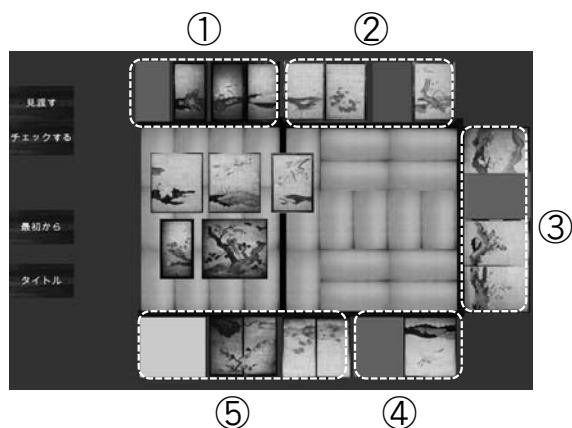


図 8 襖配置システム実行例  
Figure 8 Arrangement system of sliding doors

### 4.3 襖の自動配置・回転

襖の配置では、襖を部屋の外側へ倒した展開図で操作するため、上下左右の襖の場所によって向きが異なり、異なる向きの襖を配置しようとすると周りの襖と比べながら配置することができない。そこで図 9 に示すように、ドラッグ中の襖と

近づけた枠のサイズが同じ場合のみ、襖が正しく配置される向きに自動で回転するようにした。さらにドロップした際に襖が枠にはまるように、襖の位置を自動で補正するようにした。枠にはまっている襖をドラッグで抜き出す際は、襖絵がユーザから見て正しい向きに自動で回転するようにし、襖を抜き出した場所には枠を表示するようにした。

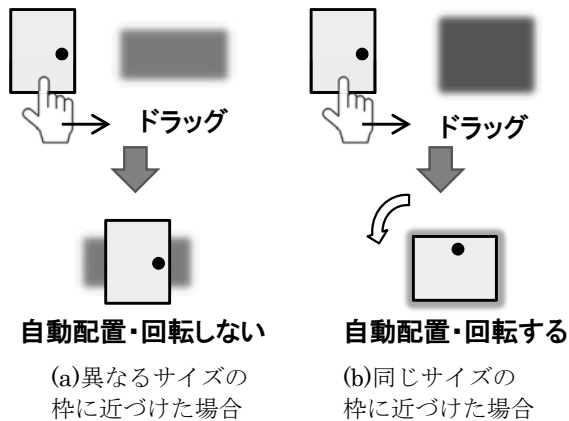


図 9 襖の自動配置・回転

Figure 9 Automatic adjustment of position and rotation.

## 5. 博物館での運用と評価

### 5.1. 博物館での運用

開発した二つのシステムは、龍谷ミュージアムの特別展に合わせた体験プログラムとして 2015 年 5 月 1～3 日の 3 日間展示した。

図 10 は博物館における展示の様子である。システムは実物の襖がある展示室の入口に設置し、混雑解消のため各システム 2 台で運用した。VR ゴーグルで使用するスマートフォンは、充電が 3.5h しか持たないため 4 台用意し、前半と後半で 2 台ずつ使用した。また、VR ゴーグルは没入型で実世界を見ることはできないため、安全性を考慮し、回転可能な椅子に座ることで体の向きを変えながら閲覧できるようにした。

特別展では、仏間の CG 再現映像もシアター上映していたため、襖配置システムでは、パズルゲームが行える上段の間・二の間の他に、再現した仏間を 3D ビューワで確認できるようにした。

体験イベントは、受付のパネルや館内ポスターで告知し、特別展の関連イベントとして龍谷ミュージアムの Web ページ[12]でも周知した。

開発したシステムの評価を行うため、アンケートを実施し、アンケート回答者には、過去の襖の配置を CG 再現した画像のポストカードを配布した。ポストカードは、シアターでも使用した仏間の群鶴図襖と、大玄関の老松を連続するように再現したものの 2 種類を用意した。



図 10 龍谷ミュージアムにおける展示の様子

Figure 10 Photo of demonstration at the Ryukoku Museum.

### 5.2. 来館者による評価

システムの利用後、了承を得た方のみアンケートに協力してもらい、5 段階評価 (5: 良い, 1: 悪い) と自由記述の評価を行った。来館者 152 名によるアンケートの結果を図 11 に示す。

襖配置システムについては、(1)操作のわかりやすさの平均が 4.3、(2)操作性の良さの平均が 4.4 であり、8 割以上の利用者から肯定的な評価を得ることができた。(3)襖や部屋の理解については平均が 4.5 で、「部屋の雰囲気がわかってよかった」などの好印象な意見があったが、「もう少し襖をよく見たい」や「配置の際にヒントがほしい」といった声もあった。

VR ゴーグルについては、(4)襖や部屋の理解についての平均が 4.7 で、最も高評価であった。自由記述の意見としては、部屋の移動やズーム機能が欲しいという意見が多かった。また、メガネ使用者についてはピントが合わないことがあり、視度調整できるとよいという意見があった。

(5)CG 再現の効果および(6)体験プログラム全体についての平均はどちらも 4.4 であり、総合的に高評価であったと考えられる。

襖配置システムの難易度に関する評価も 5 段階 (1: 易しい, 3: 適切, 5: 難しい) で行った。アンケートに回答した 152 人のうち 124 人が「難易度: 易しい」を、58 人が「難易度: 難し

い」を体験した。結果は、「易しい」の平均は 2.2, 「難しい」では 3.0 となり、難易度は適切であったという結果を得た。

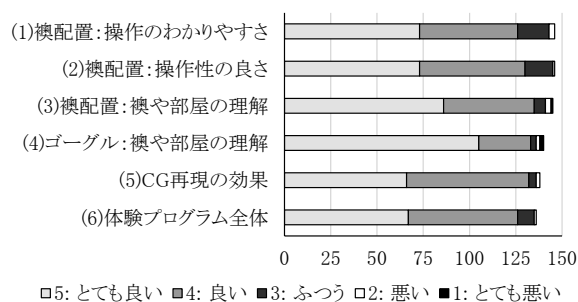


図 11 来館者による評価  
Figure 11 Evaluation by visitors.

## 6. おわりに

本研究では、寺院を対象とした博物館展示を支援するため、襖配置の CG 再現および体験型システムの開発を行った。CG を用いて過去の襖配置を再現した 4K 映像を制作し、龍谷ミュージアムの特別展において上映した。また、博物館の実物展示と併せて展示する体験型システムとして、VR ゴーグルおよび襖配置システムを開発した。開発した二つのシステムを特別展の関連イベントで展示し、来館者による評価を行った結果、操作性や部屋や襖の理解などに関して全体的に良い評価が得られた。評価結果より、展示では見ることができない襖や部屋の様子を見ることができてよかったという意見が多く、提案システムが展示支援に対して有用であるという結果を得ることができた。襖配置システムは、直感的な操作でわかりやすいという意見もあった半面、スタッフの説明がないとわかりにくいといった意見もあり、説明がなくともシステムを利用する工夫が必要であると感じた。

今回の評価結果は、体験型システムの評価であり、実際の展覧も含めた特別展の評価ではないが、開発したシステムはスマートフォンおよびタブレット型 PC を用いた汎用的なものであり、コストも高くはないため、他のコンテンツへ差し替えることで様々な展覧での利用が期待できる。また、博物館の展示支援を行うためには、実際の展覧内容との親和性が重要であり、さらに展覧期間に間に合わせる事が不可欠であると感じた。

今後の課題としては、アンケートの回答にあった要望の追加、対応する部屋の追加といったシステムの改良を進めていく。

## 謝辞

協力いただいた本山修験宗総本山 聖護院門跡に謝意を表す。体験プログラムの実施に協力い

ただいた龍谷ミュージアムの方々、シアター映像制作に協力いただいた並木誠士氏、写真提供に協力いただいた菱田諭士氏、画像処理に協力いただいた藤田和弘氏に謝意を表す。本研究の一部は、JSPS 科研費 26350390 の助成によるものである。

## 参考文献

- 1) A. Soga, M. Shiba, Y. Niwa, Y. Okada: Archives and Exhibits of Buddhist Ceremonial Processions for Museum, Transactions of the Virtual Reality Society of Japan, Vol.19, No.3, pp.405-412(2014).
- 2) 平澤泰文, 松川節, 川田隆雄, 小南昌信: タブレット型 PC を利用した博物館ガイドシステムの検討, 大谷大学文学部人文情報学科『タブレット型 PC の人文科学への応用』研究報告, pp.8-13(2013).
- 3) Audio Guide Louvre-Nintendo 3DS, <http://www.louvre.fr/en/museum-audio-guide> (参照 2015-11-12).
- 4) 高井健吾, 植田真, 高木隆司, 水野慎士: C G 空間での棒巻き付け縄による縄文土器紋様の再現, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, pp.4-163~4-164(2012).
- 5) 黒川輝貴, 石河健, 王晟 他: 3D ゲームエンジンを用いた京都・祇園祭の仮想空間構築とその活用, NICOGRAPH2015 論文集, F-05(2015).
- 6) 高橋里奈, 高橋尚樹: 3D シミュレーション技術による体験型展示コンテンツの提案, 芸術科学会論文誌, Vol.8, No.2, pp.100-107(2009).
- 7) 篁直樹, 藤田和弘, 桶谷新也, 中森伸行: IC A を用いたデジタル画像の色合い変換, 2012 年映像情報メディア学会年次大会(2012).
- 8) 龍谷大学龍谷ミュージアム: 京都文化博物館, 聖護院門跡の名宝 ~修験道と華麗なる障壁画 図録, 読売新聞社(2015).
- 9) 中東彰郎, 曾我麻佐子: Kinect を用いた 3D 空間ウォークスルーシステム, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.8, pp.77-78(2015).
- 10) Asako Soga: Virtual Show, Go In!: Walk-through System and VR Goggles of a Temple for Museum Exhibits, Proc. of the International Conference on Culture and Computing 2015, pp.199-200(2015).
- 11) 富増康宏, 曾我麻佐子: 博物館における展示支援を目的とした寺院の襖配置シミュレーションシステム, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.30, pp.35-36(2015).
- 12) 龍谷大学龍谷ミュージアム特別展「聖護院門跡の名宝~修験道と華麗なる障壁画~」, <http://museum.ryukoku.ac.jp/exhibition/sp201503.html> (参照 2015-11-12).