芸術科学会論文誌 Vol. 19, No. 5, pp. 86 – 97

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

小栗真弥 [1)]　水野慎士 [2)](正会員)　浦田真由 [1)]　遠藤守 [1)]　安田孝美 [1)](正会員)

1) 名古屋大学大学院情報学研究科　2) 愛知工業大学情報科学部

A New Method of Spatial Effect to Japanese-style Room by Shoji Projection Mapping

Shinya Oguri[1)]　Shinji Mizuno[2)]　Mayu Urata[1)]　Mamoru Endo[1)]　Takami Yasuda[1)]

1) Graduate School of Informatics, Nagoya University
2) Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

ogrium@nagoya-u.jp

概要

本研究ではデジタル技術を用いて建具の機能を拡張・誇張し，日本の伝統的な和室空間に，これまでにない楽しみ方や付加価値を生み出すことを目的とする．ここでは，建具の特徴を活かした上でプロジェクションマッピングによる仮想的な映像を用いた和室演出手法を提案する．具体的には，従来の和室空間の良さを維持しつつ新たな魅力を創造する手法として「デジタル障子」「床の間インスタレーション」を実施した．例えば，建具へのプロジェクションマッピングにより仮想的な映像を投影することで，実際には存在しない庭の雰囲気を付加した和室演出を行った．これにより障子の新しい活用と，和室空間演出の可能性を探った．本手法による実証実験を行い，建具職人をはじめとする関係者から評価を受けたところ，提案手法が建具の新しい魅力を創出し和室空間の演出向上に有効であることが示された．

Abstract

The purpose of this study is to create new ways of enjoying and added value in traditional Japanese rooms (*Washitsu*) using digital technologies. This paper proposes a new *Washitsu* performance method by projection mapping, while utilizing the features of *Tategu* and *Washitsu*. Concretely, “Digital Shoji”, “Tokonoma Installation” was carried out as techniques to create new attractiveness while maintaining the goodness of conventional *Washitsu* space. This paper investigates new utilization of shoji and possibility of Washitsu space performance. As a result of the verification experiment by this method, it was shown that the proposed method creates new attractiveness of fittings and is effective for the performance improvement of *Washitsu* space.

1　はじめに

デジタル技術の発展は，インターネットやスマートフォンに代表されるようなコミュニケーション手段の革新的変化だけでなく，芸術科学の分野においても VR/AR などが色々な場面で利用されるようになるなど大きな影響を与えている．中でもプロジェクションマッピング技術は 2012 年の東京駅での事例から特に注目され，城郭やビルなどを使った大規模なイベントなどに多く利用されている [1]．また最近では，音楽ライブや日本の伝統芸能の代表である歌舞伎の演出でもプロジェクションマッピングを利用する例が増えている．このように，日本古来の伝統文化や伝統産業に先端のデジタル技術を活かす事で，新たな価値創造を目指す動きが進んでいる．

我々のグループではこれまでに登録有形文化財建造物の活用のために，建物の外観を活かしたプロジェクションマッピングや，茶会でのプロジェクションマッピング手法を提案してきた [2][3]．これにより，建物の改築や修繕などを必要とせず効果的に文化財建造物を活用出来ることを示した．そこで，本論文ではさらに和室空間の演出について考察する．この際，和室を構成する要素として建具に着目した．

建具（たてぐ）は，本来部屋の仕切りとしての機能だけのものであったが，歴史の流れの中で，デザイン性や保温，採光といった機能面での要素が付加されてきた．そこで，和室を構成する障子や床の間といった伝統工芸に，さらに先端のデジタル技術を融合し，これまでに無い新たな魅力を創造することを目指した．

本研究の目的は，プロジェクションマッピング等のデジタル技術の応用により，和室を構成する建具の機能を拡張・誇張する手法を提案し，それにより和室の魅力を高める事にある．この際，コンテンツの演出効果を高めすぎてしまうと，和室本来の持つ雰囲気を壊してしまい，かえって違和感を与えてしまう事がある．そこで，本研究ではこうした点を理解した上で，建具としての障子の特徴を生かしたプロジェクションマッピングにより「和室の魅力を高める」手法を提案する (図 1)．

本論文で対象とする和室とは，建築様式を言うのではなく「伝統的な日本風の部屋．畳を敷いた部屋 (三省堂大辞林)」と広く定義する．和室には「床の間の室礼や建具の木工工芸などから日本文化を感じられる事」「障子に映る影や額入り障子などを通して見える外（庭）の景色などから四季の変化を感じられること」「畳や建具の香りや色，部屋全体の空間からリラックスできること」など，多くの魅力があるが個人によってその感じ方は異なる．そこで本論文では，特に限定する事なく，こうした様々な魅力を総合的に和室の魅力と考える．本手法では，障子を単なるプロジェクションマッピングのスクリーンとして扱うのではなく，和室における建具としての一般的な機能を活かした上で，仮想的な影や景色の演出により和室の魅力をさらに高める事を目指した．なお，建具とは「部屋の仕切りや外部との仕切りに用いる，開け閉めすることのできる可動性の障子・襖・窓・戸などの総称 (三省堂大辞林)」であり，一般的なドアや窓も全て建具であるが，本論文中では，伝統的な和室を構成する木枠に障子紙を張った明障子を指して建具と表現している．加えて，伝統的な和室の座敷飾りである床の間や照明の一つでもある行燈も広い意味で建具と考える事とする．

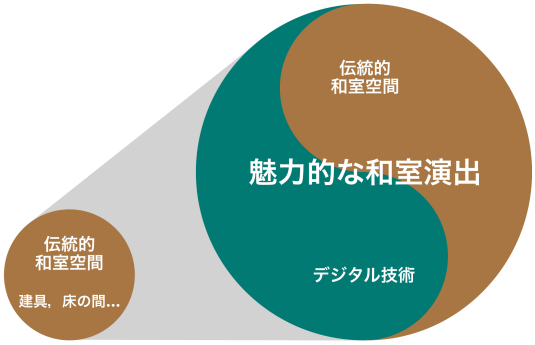


図 1　本研究の概念図

2　建具の変遷とデジタル技術の活用

2.1　建具の変遷

日本における建具の起源は飛鳥時代の法隆寺金堂の板戸と言われている [4]．これは木製建具であり，板戸を閉める事で明かりは遮断され室内は暗くなってしまう．平安時代に入ると，板戸から格子戸が発明され，屋外からの採光が可能となった．「源氏物語絵巻」には，黒漆塗の格子戸を引き違いに使ったり，はめ込み式に建てこんだ間仕切りの様子を見る事ができる [5]．しかし，格子戸によって採光は可能になったものの，部屋の中が伺い知れてしまうという欠点があった．そこで平安時代後期になると，この格子に紙を貼る事で，間仕切りも可能であり

採光も可能にする「障子」が発明された．障子は，採光だけでなく紙によるフィルタ機能としての通気性と吸湿性，さらに保温性などが得られ日本の伝統的な和室を構成する要素として定着した．その上で，木工技術が発達し，江戸時代にはこうした職人を建具師と呼ぶようになり，様々な木工工芸が発達した．その後，明治維新を経て，洋風建築が増え，住宅の近代化に伴い木製建具から金属製の建具へと移行が進み，今日，新築される住宅では和室を有するものが少なくなってきている．これにより，日本の伝統工芸でもある建具の生産は年々減少をたどり，それにより建具職人も減少しており，将来的に日本の伝統工芸産業の衰退が懸念されている [6]．建具の魅力を高めるため，近年の建具ではステンドグラスと組子を組み合わせたモダンな建具制作などの動きもある．このように伝統工芸産業でも新しい時代に対応するための様々な試みが行われている．

2.2 建具とデジタル技術

建具の魅力を高めるためにデジタル技術を応用する試みはいくつかなされている．宮川らは建具の魅力をよりわかりやすく伝えるために，3DCG を用いて建具の検索性を高める研究を行なっている [7]．石田らは，VR/AR を活用して伝統工芸を仮想的に表示するシステム開発を行っている [8]．これらはデジタル技術を用いて，建具のデザインや風合いといった魅力を伝えるという点に着目しており，具体的に建具自体の機能や使い方については言及していない．水野らは，障子をスクリーンとしてインタラクティブなプロジェクションを実現し，障子の開閉に応じて映像を切り替えるコンテンツを提案している [9]．この方法では，障子を用いた要素技術としての提案となっており，和室空間の価値を高めるという点については議論されていない．

2.3 プロジェクションマッピング

プロジェクションマッピングとは建物や構造物などにプロジェクタにより映像を投影する空間演出の手法である．この手法は投影対象に直接触れず映像を投影することができ，色や形状を変形させるなど様々な錯覚を起こすような視覚効果を実現可能であり，その特性ゆえに，大勢の観客を楽しませるためのイベントなどによく利用されている．

日本では 2012 年ごろから東京駅舎をはじめ，名古屋城や大坂城など全国の城郭や寺院など歴史的建造物を利用したイベントなどにおいてもプロジェクションマッピングが利用されている．さらに全国各地でのメディアアート作品，音楽ライブなどにも活用されている．これらの中には障子を大きなスクリーンとして利用し，屋外から映像や影を鑑賞するコンテンツ [10][11] や展示場などのブースに設置した仮設の障子に投影したスライドショーを内部から鑑賞する事例 [12] などもある．NTT 研究所では 2016 年 5 月に米国ラスベガスにて上演された「Japan KABUKI Festival in Las Vegas 2016・KABUKI LION 獅子王」にて，歌舞伎に ICT を応用した取り組みを実施した [13]．他にも，市川海老蔵による「源氏物語」，市川猿之助による「ワンピース」や「オグリ」など日本の伝統芸能の代表である歌舞伎の演出でもプロジェクションマッピングを利用する例が増えてきている．また，水野ら [14] は，いけばなにプロジェクタで白い光を当てながら，その背景にできる影を利用したインタラクティブコンテンツを制作して，いけばな自体をしっかり見せながら，その影も利用した新しい展示空間を表現する手法を提案している．このように，日本古来の伝統文化に先端のデジタル技術を活かす事で，新たな価値創造を目指す動きが進んでいる．

我々のグループでは，これまでに文化財建造物の活用事例として障子に対するプロジェクションマッピングの研究を進めている [2][3]．これは，文化財の外観を活かして障子にプロジェクションマッピングを行うことで，建物に大規模な修繕や工事をすることなく，文化財に対する理解促進や活用に繋げるものである．建造物以外の文化財へプロジェクションマッピングを応用する例として，迎山ら [15] は文化財の土偶にインタラクティブなプロジェクションマッピングを行い，能動的な鑑賞を誘発させる新しい展示方法を提案している．このようにプロジェクションマッピングでは物体に触れることなく映像を投影して新しい体験を生み出すことができるという特徴がある．これは対象物の特徴を活かしつつ何らかの変更や加工をする事なく新たな価値を創造できる可能性があり，その応用が期待されている．

本研究で目指すところは，「建具」という和室を構成する伝統工芸に注目し，和室本来の魅力を維持しながらプロジェクションマッピングの手法を用いて，仮想的に建具の機能を拡張・誇張する事で和室空間の新しい演出手法を提案することにある．

3 和室演出手法

本研究では，デジタル技術により和室を構成する要素として建具に新たな魅力を付加する手法として「デジタル障子」,「床の間インスタレーション」の２つの演出手法を提案する．

3.1 デジタル障子

我々のグループでは 2.3 で述べたように，茶会の演出においてプロジェクションマッピングを用いる事で，歴史的建造物を修繕や工事などをすることなく活用できる可能性を示してきた [2][3].

本論文では，これらの手法に建具の特徴を活かす事で和室の魅力をさらに向上させる事を目指した．もとより，建具としての障子は和室を構成する重要な要素の 1 つであり，

- 間仕切りや採光などの機能的要素
- 木工工芸としてのデザインや組子細工などの伝統工芸的要素
- 障子に映る物の影や，額入り障子越しに見える庭の季節の変化などから得られる風情的要素

があると考えられる．

本論文ではこのような障子の特徴を活かしつつ，和室の色々な演出を仮想的に実現する手法を「デジタル障子」と名付ける．デジタル障子では，障子を単なるスクリーンとするのではなく，障子越しの風景や組子の形状を変化させるような映像を投影する．このとき，デジタル障子においても障子の重要な要素である風情的要素及び伝統工芸的要素に着目して，これらに関する魅力をより高められることができる映像投影を心がける．

風情的要素の実現のため，障子越しに見える外の木々の影を投影したり，額入り障子や雪見障子のように障子の一部の格子から見える外の風景を投影する．額入り障子では，和室から見て障子の向こう側にある景色と同様の大きさになるように調整してから見える映像を投影する．障子を通して見える景色は和室の広さや形状によっても影響されるので，通常の位置的な調整に加え，実際に障子の前から見える主観的評価を加えることで色調やサイズの調整も行う．

また，伝統工芸的要素の実現のため仮想的な組子細工を投影する場合も実際の障子の木工細工の位置を考慮して投影する．このように実際の障子の木工細工の質感や格子形状を活かしつつ，それに合わせてプロジェクションマッピングにより，実際には存在しない庭の様子や木々の影など，仮想的な季節感や外部環境を投影することで，より本物に近く違和感の少ない和室演出効果を導くことが可能となる．

3.2 床の間インスタレーション

床の間は和室で床面より 1 段高くした所であり，壁に掛軸などをかけ，床に花や置物などを飾る場所である．時節に合わせた室礼により，雰囲気を変えたり客をもてなしたりして楽しむための，和室を構成する代表的な要素となっている．

床の間インスタレーションでは，床の間の空間と，その周りの障子に対して映像を投影し，掛軸や置物の世界観を拡張した表現を行うことができる．床の間を用いたインスタレーションは先行研究 [2] でも実施しているが，そこでは掛軸と障子だけにデジタル技術を用いていた．本研究ではこれをさらに和室空間に拡張する．これまで床の間インスタレーションではプロジェクタは，床の間の畳下に設置し，畳に開口加工などを行なう必要があった．こうした部屋への加工は和室の持つ特徴を損なう可能性があり，できるだけ少なくしたい．そこで，本研究では新たに行燈を利用することに着目した．行燈は和室等で利用する照明器具であり，持ち運びも容易であるために和室への負荷はなく，和室の特徴を損なうこともない．本研究では，この行燈にデジタル技術を適用してシステム構築する事でデジタル障子や床の間インスタレーションと連動させながらインタラクティブに動作させることで，これまでは床の間に掛軸を飾ったり花を活けたりすることによる静的な和室演出であったものを，その機能を拡張・誇張することで，その延長線上にある楽しみ方として，動的な和室演出を可能とする．

4 デジタル障子による和室演出の実証実験

4.1 和室演出の実証実験

本手法による演出効果を評価するため，2019 年 6 月 14 日，15 日に名古屋国際会議場で開催された全国建具フェア 2019 と，2020 年 2 月 8 日に名古屋市で開催された愛知県木製建具振興大会において，デジタル障子・床の間インスタレーションを用いた和室演出の実証実験を行った (図 2)．全国建具フェアは，全国建具組合連合

会による年 1 回の全国大会で誰でも自由に参加する事ができる．ここで，“未来の建具” と題してデジタル障子と床の間インスタレーションのデモンストレーションを実施した．愛知県木製建具振興大会は愛知県の建具関係事業者が会するもので，この大会参加者で建具の現状をよく知っている関連事業者を対象にデジタル障子と床の間インスタレーションを用いた和室演出の実証実験を行った．2 回の実証実験では，条件を合わせるためプロジェクションマッピングで投影するコンテンツはどちらも同じものを利用した．

図 3 に実証実験を行った和室空間のレイアウトを示す．この和室空間は実在する国登録有形文化財建造物の和室を忠実に再現したものである．この和室内に，本論

図 2　実証実験の様子

文で提案する「デジタル障子」「床の間インスタレーション」のためのシステムを実装した．そして「床の間インスタレーション」を実現するための要素として「デジタル行燈」「デジタル床の間」のシステムを開発した．

4.2　システム構成

4.2.1　デジタル障子

本システムは障子背面に超短焦点プロジェクタ (NEC 社製 NP-U321HJD，図 3 プロジェクタ 3) を設置し 1 台の PC により種々の画像や映像を投影する事により実現する．プロジェクタの解像度は 1920×1080 のフル HD 画質となっている．投影対象となる障子 1 枚の大きさはおよそ縦 180cm× 横 86cm となっており，障子紙の貼ってあるエリアは，床面からおよそ 40cm の高さに縦 132cm× 横 80cm となっている．この時 2 枚の障子面の全面に対して映像を投影するために，障子からのプロジェクタのレンズまでの距離が約 60cm になるように調

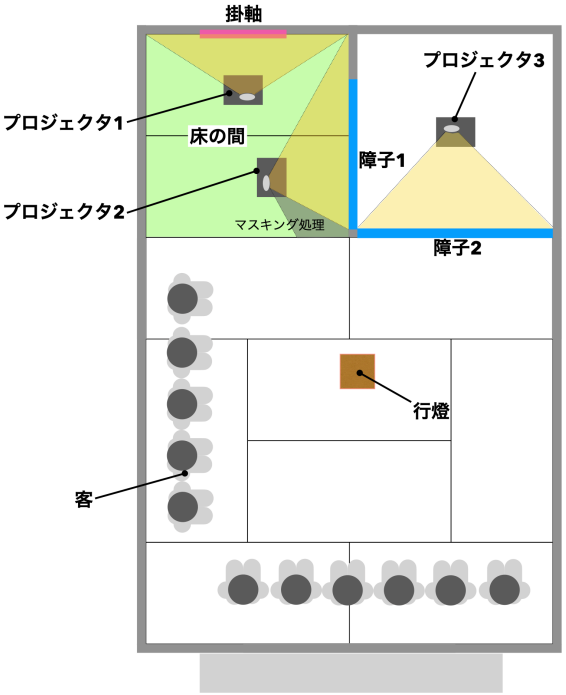


図 3　実証実験に用いた和室空間のレイアウト

整する．障子は 2 枚が引き違いで横並びになっており，2 枚の障子面は前後に約 6cm ずれている．

投影する映像に関して，障子面ではない部分にはマスキング処理を行い前後にずれている障子に対し，和室から見た時に映像コンテンツがずれないように調整を行う．コンテンツの位置調整のためのソフトウェアには MadMapper(Ver3.7.4) を用いた．図 4 にデジタル障子による演出例を示す．和室内から見て，障子の格子は内側にある．このため，障子背面から映像投影することで，障子の格子の影はできずに障子紙全面に対し映像が投影することができる．

本手法が和室の雰囲気をより活かす事ができるか，種々のコンテンツを投影する事で評価した．図 4-(a) は演出のない，そのままの障子の様子を示す．図 4-(b) は障子の向こうに木の枝がある事を想像させるため，木々の影を表示し，さらに風でそよぐ様子を映像で示す．これは，障子の風情的要素の拡充を目指したものである．また，図 4-(c), (d) では，障子は枡格子から別の組子様式へと変化させ，その違いを楽しむ事ができる．予め，実際の組子の位置を合わせておき，仮想的に新しい組子を楽しめるように切り替える．これは，障子の伝統工芸的

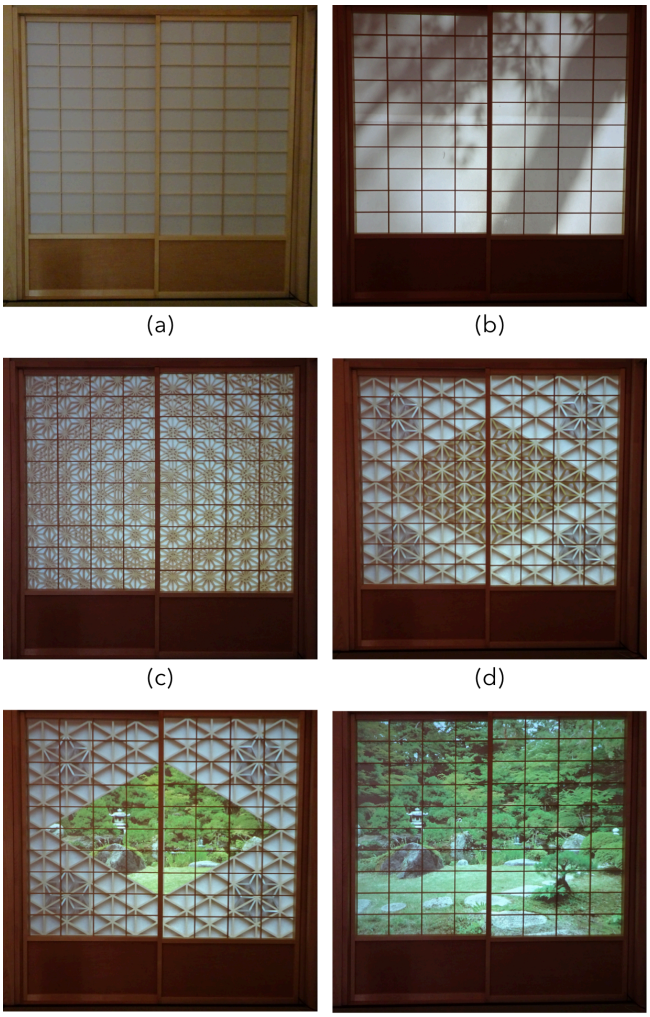


図 4　デジタル障子の演出例

要素の拡張を目指したものである．図 4-(e) では組子の中央にまるでガラスの窓があるように位置合わせをした画像・映像を表示し，額入り障子のようにそこから外部の庭が見える演出とした．さらに図 4-(f) は障子全面が障子紙の無い枡格子により部屋の外が見通せるようなコンテンツとなっている．このコンテンツでは一般的な和風庭園風景を投影しており，実際には障子の向こうに庭が無い場合でも，デジタル障子を利用することで，まるで庭があるかのような奥行き感を得られることを実証するためにこの風景を利用した．この際，よく知られているような特定の庭園の画像を利用した場合には，評価に先入観が入る可能性があるので，一般的な和風庭園の風景を利用した．コンテンツについては部屋の中央付近から見た時の距離感に合わせるように縮尺を調整した．これらは，風情的要素と伝統工芸的要素を合わせて拡張・誇張を目指したものである．

4.2.2　デジタル行燈

マイコン (Arduino UNO) やフルカラー LED，人感センサを内蔵した行燈を製作した．和室の雰囲気に合うような外形になるように組子細工を用いて製作した．これを「デジタル行燈」と呼ぶ．後述するデジタル床の間と合わせて床の間インスタレーションを実現して，建具の伝統工芸的要素と風情的要素を拡張する．フルカラー LED は Arduino で制御されており，光の色や明るさを制御することができる．人感センサも Arduino に接続されており，デジタル行燈上部の蓋の開閉を検出することができる．そして，Arduino は Bluetooth4.0 で後述する床の間インスタレーションの映像を制御する PC(Mac Pro Late2013) と接続されており，シリアル通信により逐次情報のやりとりを行う (図 5)．デジタル行燈は，今回使用した掛軸に描かれた虫籠を模擬したものである．そのため，デジタル行燈の明るさと，デジタル床の間に投影される蛍の光とを連動させる．デジタル床の間に蛍の光が投影されていない状態では，デジタル行燈の LED の明るさを大きくする．デジタル行燈の蓋を開けると，検出情報は PC に送信されて，掛軸から蛍の光を次々と発生させる．このとき，デジタル行燈では蛍の光の発生情報を受信しながら，発生数に応じて LED の明るさを低減させる．

具体的には，行燈内の Arduino に接続した人感（焦電型赤外線）センサは行燈の蓋の開け閉めによって出力値が大きく変化するため，蓋の変化の有無を論理値で表現して，その値を 1/10 秒ごとに PC に送っている．PC ではこの値に基づいて，投影映像での蛍が虫籠から飛び立つタイミングを決定している．一方，PC は虫籠内の蛍の数，および飛んでいる蛍の数や位置を管理しており，虫籠内の蛍の数を 1/10 秒ごとに Arduino に送っている．Arduino はこの値を用いて，行燈内に設置しているフルカラー LED の輝度値を決定している．

そして，蛍の光が虫籠に戻っていく場合でも，蛍の光の帰還情報を受信しながら，帰還数に応じて LED の明るさを増大させる．なお，デジタル行燈は和室の床の間や障子の雰囲気と一体化するように木工組子細工で作成した．実際に制作したデジタル行燈の内部の構成を図 6

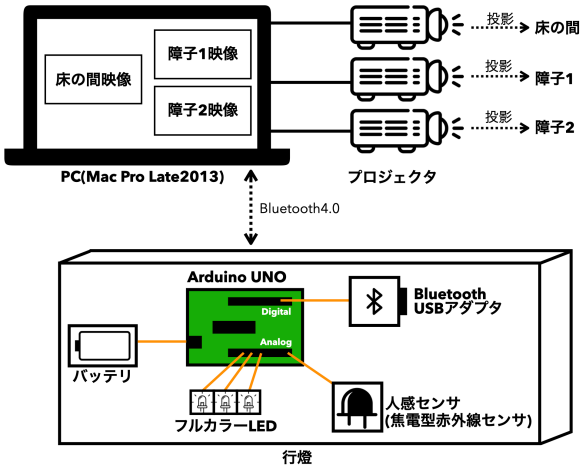


図 5　システム構成図

に示す．

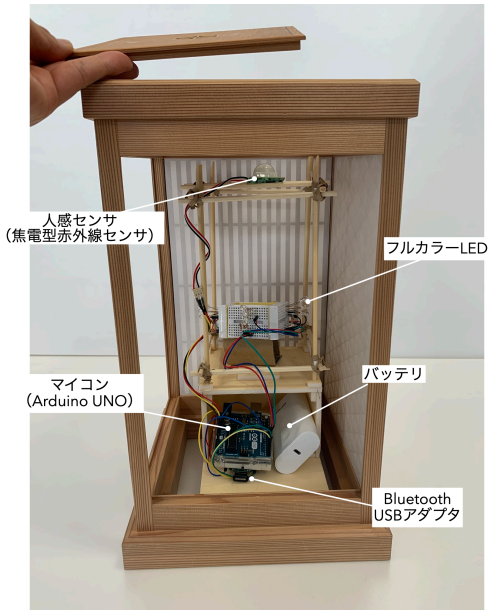


図 6　デジタル行燈の内部

4.2.3　デジタル床の間

床の間の畳の下に設置された 2 台のプロジェクタ (Optoma 社製 EH320UST, 図 3 プロジェクタ 1，2) と，床の間横の障子背面に設置されたプロジェクタ (NEC 社製 NP-U321HJD，図 3 プロジェクタ 3) の計 3 台のプロジェクタが 1 台の PC に接続されている．床の間に設置した 2 台のプロジェクタは，プロジェクタのレンズ部分だけに穴が開いた特製の畳の下に収められている．プロジェクタ本体は完全に畳の下に隠れており，和室にいる観賞者からは見えないようになっている．そして，各プロジェクタがそれぞれ，床の間に飾られた掛軸，床の間側面の障子 1，床の間横の障子 2 に映像を投影する (図 7)．これらのプロジェクタ設置状況は先行研究 [2] と同じである．

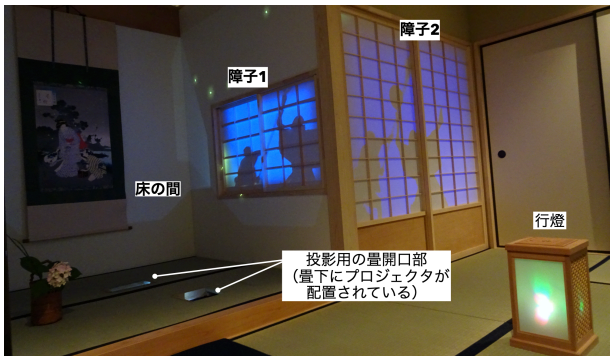


図 7　床の間インスタレーションの様子

投影される映像コンテンツは図 5 でも示したようにセンサ内蔵のデジタル行燈と連動し，床の間インスタレーションを実現している．PC で生成する映像は元々 1 つの大きなシーンであり，ここから連続する 3 つの部分シーンを切り抜いて，それぞれの部分シーンを 3 台のプロジェクタで投影する．このとき，PC で実装したキャリブレーション機能を用いて，投影映像のサイズや位置を調整することで，床の間内の 2 つの面と床の間横の障子に投影された各映像をシームレスに繋げることができる．映像は OpenGL によるリアルタイム CG であり，行燈の蓋の開閉に反応するインタラクションを実現することも可能である．また，掛軸や壁面に投影する映像と障子面に投影する映像は自動的に変更することも可能である．

今回，床の間には明治時代の浮世絵画家である水野年方作「三十六佳撰 蛍狩 天明頃婦人」の掛軸を掛ける (図 8)．これまでは，客は床の間の掛軸に描かれた静的な絵を見ることで，その世界を想像するだけであった．しかし本手法による掛軸上のプロジェクションマッピングによる動的な演出で，掛軸のイメージは拡張され，掛軸の枠を超えて床の間全域の壁や障子に広がり，より大きく，わかりやすく演出される．

障子に投影する映像中では，使用した掛軸の背景に描かれている，竿と団扇を持つ人物をスキャンして画像データ化して，それを蛍を表示する CG 空間に配置して

揺らしている．そして視点からは蛍の手前に配置することで，蛍の光によってシルエットが浮かび上がるようにしている．これにより，部屋の外で蛍を追っている人たちがいる雰囲気を表現している．

図 8　掛軸「三十六佳撰 蛍狩 天明頃婦人 (水野年方作)」

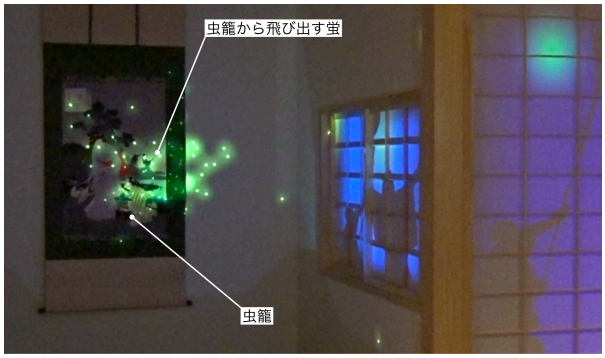


図 9　掛軸の虫籠から蛍が次々と出てくる様子

蛍の光は絵に描かれた虫籠から次々と発生して，掛軸の枠を超えて壁面や障子面に広がっていく (図 9)．投影される蛍の光の表現は，掛軸や壁面に投影される場合は明るい小さな光で，障子面に投影される場合には障子越しのやや淡く広がった光となっている (図 7)．蛍の数は 150 匹で，しばらく飛び回った後に掛軸の虫籠に戻っていく．蛍の光の動きは，それぞれの蛍が個別に目標点を持ち，そこに向かって移動して，目標点に到達したら新たな目標点をランダムに設定するという処理の繰り返しとなっている．蛍が虫籠に戻る際には，全ての蛍の目標点が虫籠に設定される．蛍が目標点へ移動する際には，蛍の速度の方向をそのまま目標点に設定するのではなく，現在の位置から目標点方向を中心に 180 度の範囲内でランダムに設定している．そして，速度方向のランダム設定とその速度に基づく移動をフレームごとに行う．これにより，ふらふらと目標点に向かっていく蛍らしい飛び方を実現している．なお，飛び方の設定は生物学的知見に基づくものではなく，著者が実験的に決定している．蛍が虫籠から飛び始めてから再び虫籠に戻るまでの時間は自由に設定することができる．これは演出映像の使用状況によって変更する．今回の実験では蛍が飛び回る時間を 5 分間としている．

5　結果と考察

全国建具フェア 2019 でのデモンストレーション参加者に任意で本システムの有効性を聞いたところ 20 代から 70 代までの男女 58 名から回答を得る事ができ，42 名（72.4%）が「デジタル障子を利用したい」と回答した．一般には自宅に和室や障子が無い場合もあり，和室に対する感じ方が様々である事がわかった．そこで和室や建具に詳しい人を対象に再度実証実験を行うこととした．専門家による実証実験は愛知県建具組合による木製建具振興大会の出席者を対象に 3 回実施し，全体で 30 人が参加した．本システムの和室演出の有効性を評価するためにアンケート調査を実施した．アンケートは全国建具組合連合会の資料 [4] を参考に作成した．アンケートでは，今回の提案手法である建具の特徴を生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に対する印象や効果についての質問を行った．調査は実証実験の参加者に実施し，来賓として参加した 9 人を除き合計 21 人全員から回答を得た．回答者の最低年齢は 24 才で最高年齢は 84 才，平均 59.4 才であった．回答者はいずれも建具職人または建具関係事業者でその経験年数は 3 年から 66 年で平均 38.2 年であった．

5.1　デジタル障子による和室演出効果

デジタル障子により図 4-(a) から図 4-(f) までの様々な演出を行い和室の雰囲気がどのように変わるかを検証した．　実験参加者は和室に着座し，デジタル障子によって和室の雰囲気に違いを感じるか実際に体験してもらい，その演出効果についてアンケート調査を行った．このアンケートでは，風情的要素としてデジタル障子による和室の「雰囲気の変化」とデジタル障子による建具

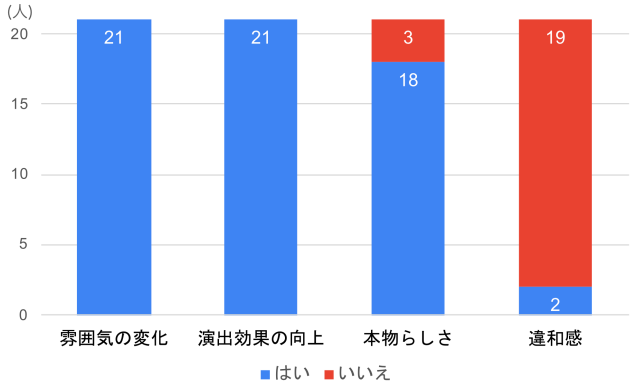


図 10　デジタル障子による和室演出効果に関するアンケート結果

を通じた和室の「演出効果の向上」があったかどうかを問うた．また，伝統工芸的要素として，障子に投影された映像の「本物らしさ」とデジタル障子によって感じられる「違和感の有無」を問うた．この結果を図 10 に示す．実証実験を体験した全員が「デジタル障子により和室の雰囲気が変わった」，「本手法により和室の演出効果が向上した」と回答した．また，障子に投影された様々な仮想的な画像や映像が「本物のように感じた」と回答した人は 18 人だった．「そうでない」と回答した人は 3 人で，特にその理由は無かった．「デジタル障子に違和感を感じた」と回答した人は 2 人で，「感じなかった」と回答した人は 19 人だった．違和感を感じたと回答した人の理由は，「何となく」，「プロジェクタの解像度の関係で障子に投影された格子状のピクセルが見えてしまい違和感を感じた」というものだった．図 11 は障子に映る外の木々の影の様子について，本物とデジタル障子による仮想的な風景の比較である．図 11-(a) は障子に映った本物の木々の影で，図 11-(b) はデジタル障子による仮想的な木々の影である．

(a) 本物の木々の影　(b) 仮想的な木々の影

図 11　本物の影と仮想的な影

図 4-(c)，(d) の例では本物の枡格子の障子から，組子細工の映像を投影することで組子様式の障子へと変化させることが可能となった．組子細工のような木工工芸は日本的な印象を強く与え，和室としての高級感を高めることができる．しかし，建具は大掛かりなのでいったん和室に設置されると簡単に入れ替えたりすることは難しい．そこでデジタル障子を利用することで，既存の障子を利用しながらも様々な建具の魅力を楽しむことが可能となる．建具としての明障子は，外光や明かりなどの光が重要で，光によってそれらを構成する木工細工の質感や形状が際立ち，そういった意味で障子プロジェクションマッピングとの相性が優れていると言える．そして，自然の中で起きる外環境の再現や，現実には実現が困難な蛍による行燈の明かりの再現など，木工細工が持つ魅力を生かすシチュエーションをデジタル技術で再現することが可能となった．ただし，今回の手法では，障子の格子位置と投影する組子細工の位置関係を正確に調整することができなかったため，障子に近い位置から見ると位置のずれから違和感を感じる事もあった．今後は，既存の障子の格子の位置を正確に反映したコンテンツの制作が望まれる．

また，図 12 は額入り障子から見る庭の様子について，本物とデジタル障子による仮想的な風景の比較である．図 12-(a) は本物の額入り障子からの風景で，図 12-(b) はデジタル障子による仮想的な風景である．実証実験における図 4-(b)，(e)，(f) について「木々の影」や「額入り障子」の建具への演出に関しては評価は高く，「特に木々の影の演出に関しては，デジタル障子の演出によるものと言われなければ本物かどうかわからないほど両者は酷似しており，和室空間を演出していた」との意見も得られた．これらの結果から，本手法により建具の持つ特徴である風情的要素と伝統工芸的要素が活かされ，和室の効果的な演出を仮想的に実現できた事が示された．

5.2　床の間インスタレーションによる和室演出効果

床の間に掛けられた掛軸の図案（蛍狩）を拡張し，蛍が虫籠から飛び出して掛軸から床の間全体に広がっていく演出を見て，全員の参加者に驚きと感動の反応があっ

(a) 本物の額入り障子　(b) 仮想的な額入り障子

図 12　本物の額入り障子と仮想的な額入り障子

た．行燈から床の間の掛軸へ，そして隣の障子に蛍の光が飛び移っていくと，部屋の周りを見渡しているような参加者もいた．

これは，光る行燈を和室に置くことで掛軸に描かれた蛍入り虫籠をイメージすることができ，行燈の光と連動しながら掛軸，壁，障子に光の粒が舞い飛ぶことで掛軸に描かれた世界観が和室全体に拡張する働きが生まれたことが考えられる．

そもそも歴史的に和室に床の間が設置されたのは，そこに風景画の掛軸を掛けたり，花を活ける事で，室内でありながら和室の中に風景画の世界や，野に咲く花のイメージを感じることができるようにする狙いがあった．今回，和室空間で床の間インスタレーションによるデジタル行燈とデジタル障子を組み合わせた本システムを用いることで，実験参加者全員から「和室の演出効果の向上」があったと評価され，その上で 21 人中 19 人（90.4%）がシステム利用による「違和感は無かった」と評価しており，建具の伝統工芸的要素と風情的要素が拡張されたと考えられる．

6　おわりに

本論文では，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手法を提案した．建具関係者を対象に実証実験を行いアンケート調査を実施したところ本手法が建具の機能を向上し和室空間の演出に有効であることが示された．また，住環境の変化に適応した新しい和室の楽しみ方を示すとともに，伝統工芸としての建具の魅力に加えて，デジタル技術との融合により和室空間の魅力向上へこうした技術を利用することで，和室の普及や利用に新しい可能性を示す事ができた．

本システムの社会実装を考えると，まずは，旅館やホテル，美術館など「和」を重視し，客をもてなすような施設に導入することが考えられる．そして今後，プロジェクタの小型化や低価格化が進めば一般家庭の和室にも普及が見込めるだろう．特にデジタル障子は都心のマンションなどの高層階や外の風景が見えない住宅の和室で新たな価値が見いだせるものと期待している．

今後の展望としては，現代の住環境や活用シーンに合わせたシステム開発や投影コンテンツの開発などがあげられる．例えば，現在はプロジェクタを障子の後方から投影しているが，住宅によっては障子の後方にプロジェクタを設置することができない場合も想定される．そこで天井取り付けの照明内部にプロジェクタを組み込んだり，行燈内部にプロジェクタを組み込み，障子前方から投影する方法も検討が必要となる．天井取り付け型のプロジェクタ内蔵照明は，すでに市販されているものがあるが，壁への投影を想定した洋室用のものとなっており，障子への投影を想定した和室用のものはまだ発売されていない．この場合，障子の格子による影が発生する可能性があり，この影への対策が必要になると思われる．また障子に投影する新しいコンテンツの開発やシステム設置のキャリブレーションを最小にするようなアプリケーションの開発も今後期待される．

謝辞

本研究を進めるにあたって，和室および行燈の設計・製作や実証実験に協力頂いた愛知県建具協同組合の関係各位に深く感謝する．

参考文献

[1] 吉田ひさよ．プロジェクションマッピングの最新技術動向 (高臨場感ディスプレイフォーラム 2013〜高臨場感ディスプレイの可能性とビジネスを探る). 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 37, No. 46, pp. 31–38, 2013.

[2] 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.

[3] 水野慎士, 小栗真弥, 小栗宏次, 安田孝美. 歴史的住宅内部の調度品を利用したインタラクティブプロジェクションマッピングの試み. 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2018-DCC-18, No. 36, pp. 1–6, 2018.

[4] 一般社団法人全国建具組合連合会. 建具について. https://www.zenkokutategu.com/knowledge. 参照: 2020-3-30.

[5] 国立国会図書館デジタルコレクション. 源氏物語絵巻. http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1685003. 参照: 2020-3-30.

[6] 経済産業省. 伝統的工芸品産業をめぐる現状と今後の振興施策について (2011). https://www.meti.go.jp/committee/summary/0002466/006_06_00.pdf. 参照: 2020-3-30.

[7] 宮川明大, 杉田薫, 柴田義孝. デジタル伝統工芸プレゼンテーションシステムのための感性情報処理法. 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 2, pp. 526–539, 2004.

[8] Tomoyuki Ishida, Misaki Iyobe, Akihiro Miyakawa, Kaoru Sugita, and Yoshitaka Shibata. Implementation of an ar traditional japanese craft presentation system: presentation of traditional crafts using the kansei retrieval method. *Artificial Life and Robotics*, Vol. 24, pp. 430–437, 2019.

[9] 中原由美, 水野慎士. 障子を用いたインタラクティブシステムの開発. 情報処理学会インタラクション 2017 論文集, pp. 674–686, 2017.

[10] 倉敷とことこ. 第 13 回倉敷春宵あかり 2019. https://kuratoco.com/kurashikiharuyoiakari/. 参照: 2020-3-30.

[11] DAIV. Creative is beside computer. ～PROJECTION MAPPING 篇～. https://www.mouse-jp.co.jp/creator/ss/daiv/case_study/projection_mapping.html. 参照: 2020-3-30.

[12] RICOH. リコーのイベントソリューション:プロジェクションマッピング. https://www.ricoh.co.jp/solutions/event_solution/lp/. 参照: 2020-3-30.

[13] 木下真吾, 南憲一, 岡崎哲也, 野間一平, 横澤大輔, 岩城進之介. 歌舞伎× ICT によるエンターテインメントの進化. 電子情報通信学会誌, Vol. 100, No. 11, pp. 1169–1175, 2017.

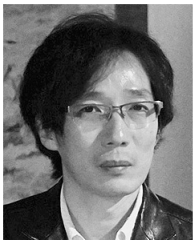
[14] 岩崎妃呂子, 水野慎士, 秋葉陽児. いけばなと CG によるインタラクティブデジタルコンテンツ“デジタル枯山水”と“いけばな影絵”. 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ（DCON）, Vol. 5, No. 1, pp. 1–7, feb 2017.

[15] 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, pp. 248–256, 2015.

小栗真弥

2018 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了．現在，同大学院情報学研究科博士後期課程在学中．伝統文化や文化財を活用するためのデジタルコンテンツ開発や地域課題解決のためのデータ分析・可視化に関する研究に従事．情報処理学会，観光情報学会，社会情報学会，情報文化学会各会員．

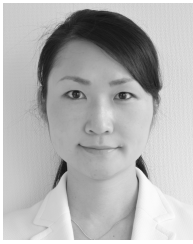
水野慎士



1998 年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了．博士 (工学).1999 年豊橋技術科学大学情報処理センター助手，2009 年愛知工業大学情報科学部講師，2010 年同准教授を経て，2014 年同教授，現在に至る. コンピュータグラフィックス，画像処理，マルチメディア等に関す

る技術の開発やそれらを応用した教育用やエンタテインメント用のインタラクティブデジタルコンテンツに関する研究に従事．2017 年山下記念研究賞受賞．画像電子学会，芸術科学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員．

浦田真由



2011 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了．博士 (情報科学) ．2011 年名古屋大学大学院国際開発研究科助教，2017 年同大学大学院情報学研究科講師，現在に至る．専門は，社会情報学，観光情報学．情報通信技術がもたらす新しい社会の在り方に関する研究に従事．社会情報学会，情報文化学会，観光情報学会各会員．

遠藤守

2003 年名古屋大学大学院人間情報学研究科修了．博士 (学術)．同年中京大学情報科学部講師，08 年同大学情報理工学部准教授，13 年同大学工学部准教授，14 年名古屋大学大学院情報科学研究科准教授，17 年同大学情報学研究科准教授，現在に至る．情報技術の社会応用に関する研究に従事．IEEE，社会情報学会，電子情報通信学会，情報処理学会各会員．

安田孝美

1987 年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程情報工学専攻修了．工学博士．同年同大学工学部助手，1993 年同大学情報文化学部助教授，2003 年同大学大学院情報科学研究科教授，2015 年同大学大学院情報科学研究科研究科長となり，同大学院情報学研究科および情報学部設立に部局責任者として携わる．2017 年同研究科教授，現在に至る．専門は社会情報学，メディア情報学．1990 年第 22 回市村賞学術貢献賞，1995 年科学技術庁長官賞，1998 年第 6 回情報処理学会坂井記念特別賞，IEEE Senior Member，日本工学アカデミー，社会情報学会，芸術科学会，情報文化学会，観光情報学会，情報処理学会，電子情報通信学会各会員．