

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：12606

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K18615

研究課題名(和文)ARを用いた仏像の模刻制作手法の確立とその教育的効果の研究

研究課題名(英文)A study for the Establishment of a method for reproduction of Buddhist statues in using AR and its educational effect

研究代表者

山田 修(YAMADA, Osamu)

東京藝術大学・大学院美術研究科・講師

研究者番号：30571723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：AR技術を用いた仏像の模刻制作はリアルタイムに両者における形状の差異を確認できるため、立体の認識や模刻技術の向上に対して有効であることが確認された。従来3Dデータより作成した図面やモニターに映し出された画像を参考にしていたが、インタラクティブに表示できることで、3Dデータが模刻の資料として革新的な進化を遂げたといえるだろう。立体の手本が表示できることで現在のスマートフォンやタブレットの性能が向上したことで、ARの表示も誰もが簡易に行うことが可能になったことから、今後この手法は普及していくと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

仏像の模刻という狭い分野での研究であるため、本研究が直接的に影響する分野は決して多いとは言えない。しかし従来手法と比較して情報量や利便性が増大するため、技法研究において寄与することが期待される。現在では3D計測は普通なものになっており、主に海外では多くの美術品や文化財の3Dデータがインターネット上に公開されてきているのが現状である。その現状を好意的に捉えれば、本研究のARによる手法では世界中の博物館、美術館の作品をすぐに模刻対象にすることが可能になり、初等教育から高等教育までの美術教育におけるひとつのインフラになることが期待され、模刻手法の一つとして認知されるようになるだろう。

研究成果の概要(英文)：It was confirmed that the reproduction of Buddhist statues using AR technology is effective for the recognition of 3D objects and the reproduction technic because the difference in shape between the two can be confirmed in real time. In the past, we used to refer to drawings created from 3D data and images displayed on monitors, but it can be said that 3D data has undergone an innovative evolution as documents for reproduction because it can be able to experience interactively. By improving the performance of current smartphones and tablets by being able to display a 3D model, anyone can easily display AR, so this method will become widespread in the future.

研究分野：文化財

キーワード：文化財 仏像 AR VR デジタルコンテンツ

1. 研究開始当初の背景

通常、模刻対象の仏像は寺院や美術館に置かれており、調査は許されても隣に並べて模刻することはできない。そこで2004年より安置場所において仏像の3Dデータを取得し、主に図面化して活用し、さらにモニターで自由な角度から閲覧することで、原本像を目の前に置くことなく、模刻制作を行なっている。3Dデータを学生による模刻制作の教材として用いることで、従来のような写真資料だけに頼る模刻に比べて、原本に対する正確さが格段と増すようになった。現在その差異の確認は、寸法を測定・照合し、断面線からつくった型紙を像に合わせるなどの方法で行なっているが、その作業には一定以上の時間と労力を必要とする。また模刻途中のある段階で3D計測して原本と3Dデータ上で比較することもあるが、データ処理から確認までの間、作業の手を止めなくてはならず、さらに模刻像の形は刻々と変わっていくため、それに対応して何度も計測するのは現実的な方法ではない。

AR (Augmented Reality 拡張現実) は現実世界と3Dデータを合成し端末で表示する技術である。まず本研究では、模刻途中の像と原本の3Dデータをリアルタイムに重ね合わせて端末に表示することによって、その差異を視覚的に確認できるようにする。そして模刻において陥りがちな工程を抽出し、初学者でもわかりやすくその違いを理解できるシステムを構築し、主に古典技法を学ぶ学生の彫刻技量の向上を目指すものである。

2. 研究の目的

本研究の目的はスマートフォンやタブレットなどのカメラ付き携帯型端末(以下端末)にインストールして搭載可能であるAR技術を用いて、模刻途中の仏像とその原本の3Dデータをリアルタイムに重ね合わせ相違点を簡便に画面上で確認できるアプリケーション(以下アプリ)を開発することである。さらにARのシステムを利用して模刻手法を構築することで、古典技法を学習し、教育効果の向上を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究の流れとしては、基本的にアプリの開発と並行して、実際に端末に表示されたAR画面を閲覧し、模刻作業の実証実験を行なっていく。そして模刻を通して見出した必要機能をアプリに実装していくことで模刻像、アプリともに完成度を高めていくことが中心となる。ARに必須である3Dデータの制作手法や現実世界と合成して端末で表示する手法はすでに確立しているが、本研究で必要な特定の機能を追加するためにはプログラムを組むことでアプリ自体を開発する必要がある。

原本となる仏像などの彫刻においては現在実施している模刻の教育過程に準じて行なうことで、実用化に向けてスムーズな移行を目指す。まずは台座を構成する蓮弁のような単純な形状から仏像の手や頭部といった具合に、開発と並行して複雑な要素を持つ対象物を段階的に複雑なものへと移行していき、最終的には「仏像を一体仕上げる」という工程を丸々実体験し、達成感をもたらすことのできるシステムを目指す。

特に想定される機能としては、周囲から眺めたときに輪郭線上に表れてこない部分の差異をどのように画面上で確認するかである。通常AR上で輪郭部分における差異の確認は容易であるが、模刻像の上に3Dデータが表示されるため、その表示部分の差異の確認は不可能に近い。そこで半透明にするとかライン状のレーザーを投影した模刻像に3Dデータから抽出した断面線を重ねるといった表示上の工夫することで、差異の確認を可能にしていく。

4. 研究成果

研究期間中にスマートフォンやタブレットの進化の向上が著しく、ARのシステムにおいては紆余曲折があった事もあり、時系列を追って本研究の成果について説明していく。

平成29年度はARのソフトウェアにおける精度検証や、様々なデバイスでの動作検証を行った。iPad、iPhoneといったタブレット用のソフトウェアはこの頃に充実し、簡易な操作でARを試すことが可能になった。特にその中で外部からの3Dデータの入力に対応していたENTiTiというソフトウェアを利用し検証を行った。不規則な模様をプリントした紙をターゲットとして実際の像の下に配置し、同様に3Dデータ上でも同じ位置にくるようにターゲットをセッティングして、ARとして実写と3Dデータを合成してみると、ターゲットに近いモデルの下の方は問題ないが、上部に行くにつれて誤差が大きくなっていくのが確認できた。つまり床置きの場合、高さ方向に対してのパースの歪みの補正がうまくいかないことが原因だと考えた。またヘッドマウントディスプレイ HTC Vive や Microsoft HoloLens においても本研究で使用可能性がどうか検討を行った。Vive は AR には対応しておらず実写合成はできないが、任意視点や空間移動にまで対応しており、デバイスを付けたり外したりするわずらわしさがあるものの、実際の像と3Dデータの確認は可能であった。ただVRでの表示においてスケール感が若干異なる(小さく見える)印象を持った。一方HoloLensではそれに加えてデプスセンサーや環境認識カメラを用い

て3D空間をスキャンすることで空間認識しており、より高い精度で表示することが可能であると考えられるが、表示範囲の狭さや眼鏡型のデバイスであることからちょっとした位置のずれが生じることが考えられた。

またすべての作業をAR上で完結させるのではなく、「面取り法による粗取り」、「ARを用いた仕上げ」と分けて作業の効率化や学習効果の向上を期待する。特に角材を用いる場合、最初からARを利用するより、従来に沿った手法で事前にある程度形を彫り出す方法に変更することで、従来手法に付随する形でAR技術を取り入れることを目指した。第一段階としては図面を角材の面に転写して、その輪郭線をシルエット状に削り出し、必要であれば3Dデータを自由な位置や角度によって閲覧し、木材の頂点を含む角や辺となる稜線を切断して平面をつくり出す面取り作業をコンピュータ上でシミュレーションすることで、模刻像の概形となる粗取り段階までの工程を事前に検討した。

平成30年度は、実際にARアプリを開発することで、模刻作業の実証実験を行った。ARアプリの開発を行うにあたって、プラットフォームとしてはiPad(iOS)、開発環境としてはUnity及びVuforiaを採用した。その結果、実空間に設置したマーカを基準に3Dデータを配置し、実写と合成したCG画像をiPad上にリアルタイムに表示することが可能になった。プリミティブ形状のモデルで検証したところ、若干の誤差は生じるものの、タブレットの性能、マーカのデザインや配置等によって精度の向上がみられ、改善の余地があることがわかった。また実際に使用する仏像の3Dデータを使用する際でも、データ量を調節することでトラッキングも向上し、十分に実用可能なレベルに達していることを確認した。また回転、スケール、移動、輪郭線・透明度の表示方法の変更といった付加機能を設けることで、その汎用性を高めた。

令和元年度では、昨年度に引き続き、プラットフォームとしてはiPad(iOS)、開発環境としてはUnity及びVuforiaを採用した。これまで機能に加えて、3点までの光源を任意の角度から簡単に配置することを可能にした。やはり一番のキープポイントになるのは対象モデルのデータ量であり、それによって基準となるマーカーに対するトラッキングの性能が大きく変わった。データ量を削減すること自体は容易なことであるが、形状を維持しながら大幅な削減をするにあたっては多少工夫が必要であり、データの削減手法についても検討を行った。またiPad数種類にアプリをインストールして試すことで、どのくらいハードウェアの性能が必要となるかの目安を立てることができた。テクスチャデータも4096x4096の解像度までは動作上問題なく表示できることを確認し、表面状態といった質感の再現性も高くなった。

開発したiOS用のアプリは開発用のパソコンに接続してインストールしなければならず、これまでは事前にアプリをインストールした端末を貸し出すことで実証実験を行っていた。そのためアプリを入れるといった手間も解決しなくてはならない問題の一つであり、ブラウザによるwebARの開発に着手し、JavaScriptのライブラリであるAR.jsを用いて開発を行った。その結果、十分なトラッキングの精度とは言えなかったが、各自の端末でARを閲覧することができたのは十分な成果であった。

令和2年度はコロナ禍の影響のため研究が滞ってしまったが、感染対策のこともあり各自の端末でARを行うという方向性は幸いしたと考えられる。この頃から大きくARを取り巻く環境が変わってきた。iOS、Android共にこの頃のほとんどのスマートフォン、タブレットがARに対応し、3Dモデルの位置の移動・スケールの変更や、深度機能によるオクルージョン表示への対応が開発を伴わず行うことができるようになった。またARに対応する3Dモデルのファイル形式も統一化され(iOS:usdz、Android:glb)フリーウェアを含む一般のソフトウェアで簡単に交換できるようになっている。特にiOS、OSXでは「Reality Composer」や「Reality Converter」といったARの開発環境が整っており、開発自体も容易に行うことができるようになった。オンライン上で3Dデータをライブラリ化することで共有してARを実現する機能を持つサイトも登場しており、ARの市場自体が世の中から期待され、成熟してきた印象を持つ。従って当初の目的である「隣に並べたり、重ね合わせることで模刻像との相違点を確認する」という点では誰でもそれらを実現できる環境やインフラが整備されたのである。今後3Dデータと模刻像を比較するために必要な基準点・基準面を表示して、精度検証をやすくしていくことで、模刻自体のやり方も変化していくことが期待される。

こういったAR技術によって、リアルタイムに原本と模刻像を重ね合わせて表示することで、誰もが容易に一定の基準のもとに角度や距離やボリューム感の違いを評価できるようになる。つまり単に視覚的な印象に頼ることなく、客観的評価を自らの判断で下すことが可能になり、能動的な教育的効果を創出していくことが可能になり、これまでの閉塞感を打ち砕くことができるのではないかと考えている。

一方、伝統的技術の中に、最先端の科学技術を採用することに保守的な考えもある。それは科学技術に頼ることで、教育的効果を減らし、技量が落ちてしまうかもしれないという危惧からである。しかしここで重要なことは、あくまでも従来手法に付随する形でAR技術を取り入れることである。本研究は「差異を確認する」作業を効率化するものであり、本来の「制作する」というところにおいては効率化を考えておらず、単に同じ形をした像をつくることを目指すのではなく、同じ形をつくれる眼や腕を持つ人を育てることにあり、さらには文化財保護や伝統技法の伝承に資することが実なる目的といえる。

現在模刻を目的として開発しているアプリではあるが、展示や解説など他用途にも応用できる技術と考え、付加情報を取り入れたプレゼンテーションツールとしての活用も模索してい

たい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山田修	4. 巻 161
2. 論文標題 模刻教育における3Dデータを用いた面取りの効率性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 「図学研究」	6. 最初と最後の頁 10-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田修
2. 発表標題 立体文化財におけるARの活用方法の研究
3. 学会等名 文化財保存修復学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田修
2. 発表標題 模刻教育における3Dデータを用いた面取りの効率性
3. 学会等名 日本図学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山田修（共著、藪内佐斗司監修）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 求龍堂	5. 総ページ数 208（うち15 - 23）
3. 書名 古典彫刻技法大全	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	白澤 陽治 (SHIRASAWA Yoji) (80736778)	東京藝術大学・大学院美術研究科・講師 (12606)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------