

## 事前生成型拡張現実の史跡観光への応用 — 特別史跡百済寺跡を例として —

小田 雅士 菅沼 祐耶 中山 堪太 西川 総生介  
畑 翔太郎 パウル 謙 和田 涼暉 河合 紀彦

大阪工業大学情報科学部 〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1

E-mail: {e1c20025, norihiko.kawai}@oit.ac.jp

**あらまし** リアルタイムカメラ映像を用いる拡張現実 (AR) が観光地などで用いられており、特に歴史的な史跡において過去に存在した建造物などを CG により表現することで、多大なコストをかけず当時の様子を仮想的に再現することができる。しかし、現地で AR マーカーなどを用いる場合、景観に影響を及ぼす問題がある。また大人数が集まり、カメラ映像に他の観光客が写り込むことで、視認性が低下する問題や、カメラ位置姿勢推定が適切に推定できず CG が正しい位置に描画されない問題がある。これに対して、AR を行いたい地点において事前に 360 度画像を撮影し、それにあらかじめ CG を合成しておき、端末の姿勢に応じて切り出し表示する事前生成型拡張現実が提案されており、これらの問題が生じない。本研究では、これを特別史跡である百済寺跡に応用することで百済寺を復元し AR 提示を実現する。これによって上記のリアルタイムカメラ映像を用いる AR の問題を防ぐだけでなく、事前生成型拡張現実の特徴である、1 地点からのシーンしか見られないことを利用することで歩きスマホを防止し、百済寺跡のように高低差が大きい場所での拡張現実利用における安全性を高める。

**キーワード** AR・CG 合成・事前生成型拡張現実

## Application of indirect augmented reality to historic site tourism — Special Historic Site, Kudara Temple Ruins, as an example. —

Masashi ODA Yuya SUGANUMA Kanta NAKAYAMA Sosuke NISIKAWA  
Shotaro HATA Ken PAUL Suzuaki WADA Norihiko KAWAI

Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

1-79-1 Kitayama Hirakata, Osaka, 573-0196 Japan

**Abstract** Augmented Reality (AR) that uses real-time camera images is utilized at sightseeing spots. Especially at historical sites, it is possible to virtually reproduce scenes in the past without incurring large costs by representing buildings that existed in the past with computer graphics. However, when AR markers are used in the site, they have a negative impact on the scenery. In addition, a large number of tourists cause the problem of visibility degradation due to the presence of other tourists in the camera image, as well as the problem of CG not being rendered in the correct position due to inadequate camera position and posture estimation. In contrast, indirect augmented reality has been proposed that takes a 360-degree image and composes virtual objects on it in advance, which is followed by cutting the image out and displaying it according to the posture of the user's mobile device, thus avoiding these problems. In this study, we applied this method to the Kudara Temple Ruins, which is a special historical site, to virtually reproduce the Kudara Temple and show it with AR. This not only solves the AR problems mentioned above, but also prevents people from walking while using the mobile device by taking advantage of the indirect AR's feature that users can only see the scene from a specific point. This can increase the safety of augmented reality use in places where there are large differences in elevation, such as Kudara Temple Ruins.

**Keyword** AR, CG synthesis, Indirect AR

### 1. 背景

日本には多くの史跡があるが、建物が存在していない史跡も多い。その事例として、大阪府枚方市にある百済寺跡[1]が挙げられる。現在の百済寺跡では、図 1

に示すように基壇や柱跡は再現されているが、建物自体は復元されていない。このような百済寺跡は、日本の特別史跡として認定されているが、知名度が高くない問題がある。このため、枚方市では再整備を含め、



図 1 現在の百済寺跡の様子

様々な周知が試みられている。

ところで、近年、カメラ映像中の物体やマーカを認識することで、現実空間に仮想物体を重ね合わせて描画する拡張現実 (AR: Augmented Reality) が普及しており、娯楽や観光などに活用されてきている。これを史跡にも応用することで、過去に存在した建造物がよみがえったかのような体験を可能にする。しかし、百済寺跡のような史跡では、建物が現存せず、マーカを環境中に設置するのが困難であるため、マーカを用いた AR は利用できない。

一方、この問題を解決できる AR の一方式として、事前に撮影した全方位画像にあらかじめ仮想物体を合成しておき、ユーザの利用時には、事前生成した画像からユーザの端末の向きに応じた適切な方向を切り出して画像提示を行う事前生成型拡張現実 (Indirect AR) [2][3][4]がある。この方式では、周辺の観光客が提示映像中に映り込むことなく、また現実シーンと仮想物体を事前に合成した画像を端末の内部センサを用いて切り出すため、周辺の観光客の影響を受けずに、頑健に AR が動作する。また、一般的な AR にとっては欠点となる、事前生成型拡張現実での特徴である 1 地点からのシーンしか見られない制限が、百済寺跡のように大きな段差が多く、歩き回ると危険が生じる場面にとっては、拡張現実利用の安全性を高める。加えて、この方式はバーチャルリアリティ (VR) でのパノラマ画像アプローチと同じであるため、AR 体験からシームレスに VR に遷移することも可能である。

以上の特徴を踏まえ、本研究では百済寺跡における、過去に存在した百済跡の復元およびそのシーンの体験を実現し、百済寺跡の知名度向上を目的として、百済寺 AR・VR システムを開発する。具体的には、事前生成型拡張現実による目の前に百済寺の金堂や塔があるかのような AR 体験に、視点の高さ、天候や季節を変えることで様々な状況での古代都市シーンも観覧可能な VR 体験を合わせた、AR と VR をシームレスに結ぶ史跡観光システムを開発する。

## 2. 提案システム

### 2.1.概要

提案システムの構築にあたり、まず百済寺跡で 360 度画像を撮影する。次に撮影画像中の不要物の消去および異なる天候を表現するための輝度値補正を行う。史跡の資料を用いて 3D モデル作成し、これを画像に合成する。最後にこれを球にマッピングするとともに球の中心に視点を置き、端末の向きに応じた球の中心視点から視野を切り出し端末上で提示する AR システムを完成させる。なお、体験位置における拡張現実機能に加えて、空中視点への遷移する機能や天候・季節を変化させる機能も実装し、AR 体験がシームレスに VR 体験に遷移するシステムとなっている。以下では、システム構築のための各ステップおよびシステムの機能について詳しく述べる。

### 2.2.撮影

大阪府枚方市宮之阪駅付近にある「百済寺跡」で撮影を行った。図 2 に示すように、全方位カメラ「RICOH THETA X」と最大の高さ 7.5m である三脚「LUMICA Bi Rod 6G-7500」を用いて撮影を行った。RICOH THETA X は最大 11K (11008×5504 画素) の解像度の 360 度画像を撮影できる。

百済寺跡の中門の中央位置に 7.5m 三脚を置き、RICOH THETA X を取り付けた。本システムでは、視点の高さ変更を実装するので、視点の高さと地上約 7.5m の高さで撮影を行った。それぞれ撮影した画像を図 3、図 4 に示す。

### 2.3. 撮影画像の編集

取得した 360 度画像を事前生成型拡張現実における現実のシーンとして利用するが、システムに適用するにあたって事前に画像編集を行う。今回は Adobe 社の Photoshop (バージョン 2021) を利用して画像編集を行った。

まずコンテンツにとって不必要である物体が画像に含まれる場合があるため、画像処理により不要物を消去する。なお、本システムに置ける不要物は、3D オブジェクトを設置する範囲内に存在する「人」、「カラーコーン」、「史跡説明のための立て看板」、「街灯」、「マンホール」、「当時には存在しないと推定される物体」に限定する。

画像中の異物の除去は、Photoshop 内の機能である「コンテンツの塗りつぶし」を用いる。まず選択ツールを用いて対象物体を囲む。次に囲んだ範囲に対して「コンテンツの塗りつぶし」を行う。以上の操作によって画像中の異物をまわりの風景になじむように消去する。



図 2 RICOH THETA X



図 3 視点位置での 360 度画像



図 4 地上 7.5m の位置での 360 度画像

次に、事前生成型拡張現実からシームレス遷移する VR における天候の変化を実現するため、晴天の画像を曇りの画像に変更させる。ここでは、Photoshop 内の機能である「空を置き換え」を用いる。まず、撮影された画像を用意する。その画像に対して「空を置き換え」を行い、単色の青空に変更する。次に曇りのような灰色の空に変えるために色温度を 100 に、明度を 10~30 の範囲に変更し、画像を出力する。

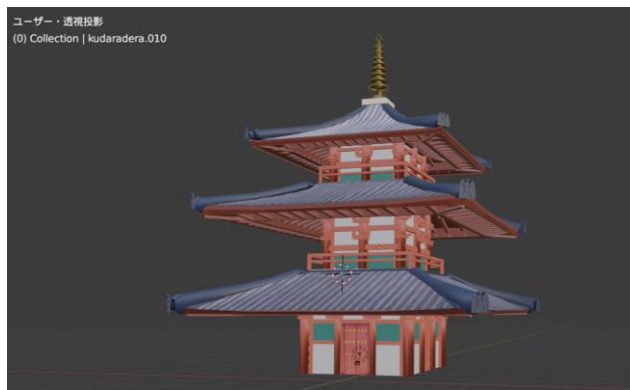


図 5 百済寺(東塔)の 3D モデル



図 6 レンダリング画像

#### 2.4. 3D モデルの生成と 360 度画像合成

3D モデリングソフトウェアの Blender (バージョン 2.93.4) を用いて百済寺の 3D モデルのモデリングを行った。具体的には、西塔・東塔・金堂とその周りを囲む建造物のモデリングを行った。形状の生成については、大小さまざまな直方体を組み合わせることや、立体集合演算の差演算を行うことによって生成した。また、マテリアルに関しては、ベースカラーを設定する方法と、画像テクスチャを使用する方法の 2 手法で行った。西塔・東塔・金堂の屋根の部分や金堂の扉の部分は画像テクスチャを用いた。その他の部分はベースカラーを設定することで表現した。図 5 に再現した百済寺(東塔)の 3D モデルを示す。

次に、Blender の環境テクスチャとして編集した全方位画像を設定し、原点を視点とした場合における 3D モデルと 360 度画像の位置合わせを行い、原点を視点とする 360 度画像としてレンダリングを行う。レンダリングした画像は図 6 である。

#### 2.5. 拡張現実システム

本システムは Unity (バージョン 2021.3.2f1) で作成し、タブレット PC で動作を実現する。システムのインタフェースを図 7 に示す。仕様として、画面中の視野がタブレットの回転に連動し、また、画面右側のボタンによって天気と四季を変更させることができる。



図 7 地上視点での画像

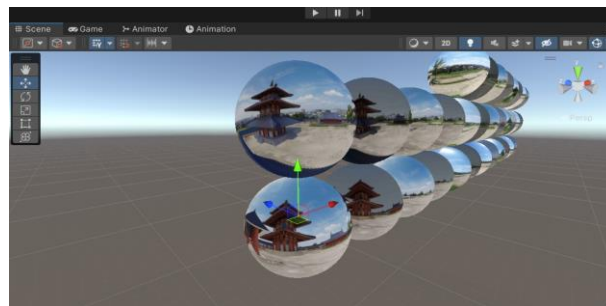


図 9 Unity 上で球が縦に連結されている様子

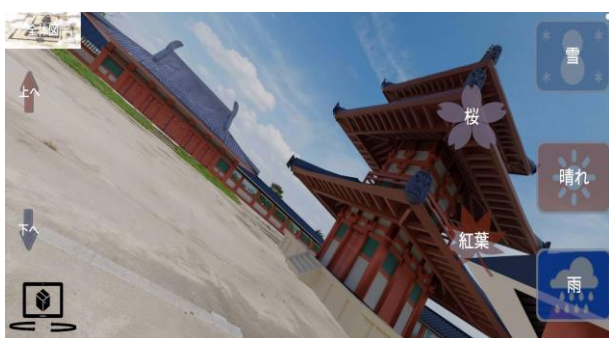


図 8 端末を回転させた際の画面

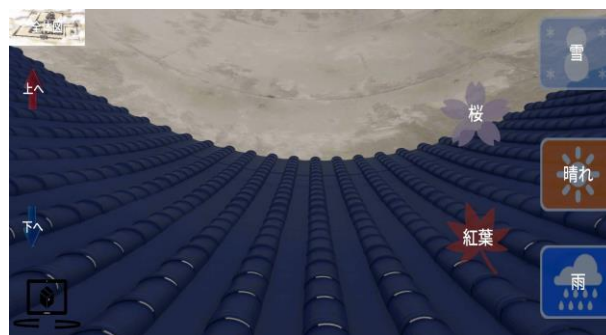


図 10 視点移動時に正面を向いている際の画面

また、画面左側の上下ボタンを押すことで上空と地上を行き来することができ、画面左下のボタンを押すことで、仮想物体の表示・非表示を切り替えられる。画面左上のボタンを押すことで、百済寺の全体マップを表示することができる。以下では各機能の実装について詳しく述べる。

実装方法として、作成した合成済みの 360 度画像をマテリアルとして読み込み、これを Unity 上に配置した球にマッピングする。その中心に仮想カメラを持つてくることで仮想空間を作成する。AR 体験時には、タブレット端末の電子コンパス・ジャイロセンサを用いて端末の向きを取得し、仮想カメラの回転を示す四元数へ値を渡すことで、タブレットと仮想カメラの連動を実現する。回転時の画面の様子を図 8 に示す。

視点移動については、上記の合成済みの 360 度画像の球体を図 9 で示すように上下に連結し、Unity でカメラの位置を上下させることによって視点移動を実現した。ただし、図 10 に示すように、この方法では接合部付近で画像が大きくゆがみ、また上空近くだったものが急に地面から出てくるという大きな違和感が生じる。そのため接合部付近で、カメラの動きを大きく加速させることでこの問題の解決を試みた。図 11 に空中視点の画面を示す。

季節や天候の変更については、パーティクルシステムを使い、これによって生成されたパーティクルをカメラ頭上から落下させる形で実現した。パーティクル



図 11 空中視点の画面

とは小さな点をいくつも描画し、その密度や分布の形を用いて何かを表現するものである。秋の表現には、図 12 に示すような紅葉のパーティクルを使い、春の表現には、図 13 に示すような桜のパーティクルを使用した。冬の表現には、図 14 に示すような雪のパーティクルを使うほかに、2.3 節で述べた空を置き換えた画像に変更した。雨の表現には、図 15 に示すような、線状のパーティクルを用いた。

仮想物体の表示・非表示について、合成前の 360 度画像を上記の仮想空間作成方法で同様に作成し、合成した画像と置き換えることで、図 16 に示すように、仮想物体の非表示の画面を提示できるようにした。

全体マップを表示については、ボタンを押すことで図 17 に示す全体マップが表示され、マップ中の①などのボタンを押すことでその地点に視点を切り替える。今回は対応する視点が①の部分しかないが、他の地点



図 12 秋の様子



図 16 仮想物体を非表示にした状態



図 13 春の様子

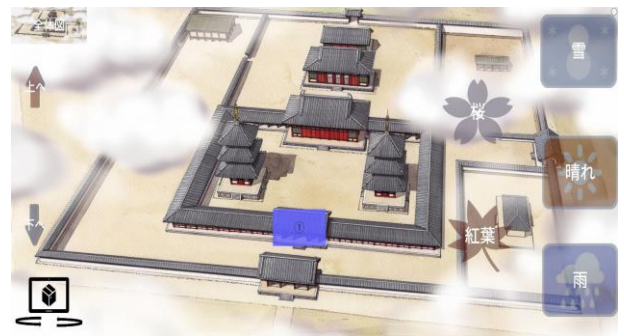


図 17 全体マップの画面



図 14 雪の様子

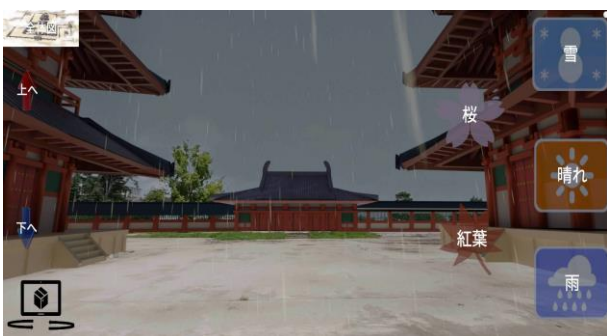


図 15 雨の様子

でこれまでと同様の作業を行うことで、将来的に複数視点から見る事ができる。

### 3.地域イベントでの活用

#### 3.1. 概要

本章では、本システムの地域イベントでの活用、またその活動報告について記述する。枚方市主催の市民歴史講座・歴史ウォーク「百済寺跡と周辺をぶらり歴史ウォーク」が特別史跡百済寺跡（中宮西之町）と禁野本町遺跡（中宮北町）で2022年11月12日に開催された。このイベントは、特別史跡百済寺跡の啓発普及活動の一環として催され、参加者20名が本システムによる「百済寺復元 AR」の体験を行った。なお、参加者の多くは高齢者であり、タブレット端末として NEC LAVIE T1295/DAS および T1195/BAS を用いた。

#### 3.2. 活用報告

特別史跡百済寺跡での本システムの活用の様子が図18である。図に示すように、百済寺がタブレットの画面を通して観覧することができる。また、現実の風景として過去の撮影画像を用いているが、一見その当日の風景と見分けがつかない。また、タブレット端末画面にあるように、視点の高さ、天候・季節の変化は、タブレット端末に表示されたアイコンのボタン入力により、感覚的に操作ができる。イベントでの参加者のシステムの体験の様子を図19に示す。図より、複数人が一斉に体験でき、周囲の人や影等の影響を受けず体験できていることがわかる。また、高齢者でも各機能の説明のみで容易に使用できていた。また、参加者か



図 18 百済寺跡での本システムの活用



図 19 イベントでの体験の様子

らはモデル再現性が高いという意見があった一方、拡大・縮小ができないことにより百済寺細部を確認することが難しいという体験者の意見があった。

### 3.3. 考察

イベントにおいて、史跡資料より復元した 3D モデルを含む景色を体験できる本システムが周辺の参加者に関係なく頑健に動作したことから、本システムがこのような複数人が同時に参加する史跡観光に適したものであることを確認した。しかし、事前生成型拡張現実であるため、今回は撮影画像と実際の風景のギャップがあまりなかったものの、イベント時の季節や天候によっては大きなギャップが生じ、体験に悪影響を及ぼす可能性がある。そのため、定期的なシステムの更新が必要であると考えられる。

また、本システムはタブレット端末を任意の方向に向けることができ、観察したい史跡部分を描写できる利点を有しており、紙媒体等の資料よりも臨場感のあるものとなった。しかし、参加者の意見のとおり、拡

大・縮小などできないことによって、細部の観察が難しい。これはモデルと視点位置との距離が遠いことに加え、実際にモデルに近づけないことが原因と考える。

また、体験位置の視点からの AR 体験だけでなく、日常生活では観察できない空中視点からの VR 体験も可能となり、また、天候・季節の変化を設定できるようにすることで、史跡における複数の情景を体験することも可能となった。ボタンを押すだけの簡単な操作もあいまって、参加者の多くが楽しんでいた。しかし、上下移動については、移動の速度をあげる工夫をしたものの、それでも違和感の残る結果となった。

## 4.まとめ

本システムは、Blender, Unity, Photoshop の 3 つのソフトウェアを使用し、AR の一方式である事前生成型拡張現実により復元した建物を観覧することができるだけでなく、視点の高さ、天候や季節を変えることもできる AR・VR システムを開発した。

枚方市の地域イベントで、一般参加者が本システムの体験を行った。本システムでは、周囲の環境に影響を受けることなく、当時の百済寺の建造物を様々な季節や天候で観光することが可能となった。また、季節や天候を変化させる機能は、インタラクティブ性が高かったため良い評価を受けた。しかし、上下の視点移動ではこれが低かったために、良い評価を得ることが出来なかった。

今後の課題として、体験時の風景とのギャップを減らすために、定期的なシステムの更新を行う必要がある。加えて、視点位置とモデル間の距離があり、視認性が悪いことを解決するために、拡大・縮小の機能を追加する。また、上下の視点移動については、ビューモーフィングなどの手法を使用するほかに、わかりやすい高さ指標となるものを設置するなどの方法があると考えられる。

## 文 献

- [1] 枚方歴史フォーラム実行委員会：“百済王氏とその時代”, 枚方歴史フォーラム実行委員会, (2018).
- [2] J. Wither, Y.-T. Tsai and R. Azuma: “Indirect augmented reality”, *Computers and Graphics*, Vol. 35, No.4, pp.810-822 (2011).
- [3] F. Okura, T. Akaguma, T. Sato, N. Yokoya: “Addressing temporal inconsistency in indirect augmented reality” *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 76, No.2, pp.2671-2695 (2017).
- [4] 池林ハキーム, 河合紀彦: “Indirect AR のためのカメラ画像を用いた輝度補正の検討”, 情報処理学会第 84 回全国大会講演論文集, 6P-02, (2022).