

バーチャル飛鳥京：

複合現実感による遺跡の復元と観光案内システムへの展開

Virtual Asukakyo : A restoration of an archeological site with Mixed Reality technology and expansion into a tour guide system

角 田 哲 也*・大 石 岳 史**・小 野 晋太郎***・池 内 克 史***

Tetsuya KAKUTA, Takeshi OISHI, Shintaro ONO and Katsushi IKEUCHI

1. は じ め に

ITS (高度交通システム), 特に地域社会の ITS において利用者に分かりやすい観光案内は重要な柱の一つである。我が国には, 多くの貴重な文化財が現存, あるいはかつて存在しており, これを核とした観光体験の創出やそれに伴う旅行者のスムーズな誘導は, 地方自治体などにとって関心の高いテーマとなっている。そこで近年, 地域社会における観光振興のために, 仮想現実感 (VR: Virtual Reality) 技術を用いた文化財の復元が注目されている。

失われた文化財の復元に関しては, CG (Computer Graphics) 技術を用いる取り組みが行われている^{[1][2]}。これらの研究で復元された CG モデルは, ウォークスルーアニメーションによる当時の様子の再現や, VR を用いたインタラクティブな展示などに活用されている。このような CG による文化財の復元は, 従来の模型やレプリカに代わる新しい復元手法として注目されているが, デジタルコンテンツとしての文化財は鑑賞条件の制約や臨場感の再現性に問題がある。すなわち, CG モデルは PC のディスプレイ上や特殊な VR シアターの上でしか鑑賞することができず, コンテンツを鑑賞する場所が博物館のような施設内に限定されてしまう。さらに, CG アニメーションや VR コンテンツでは実世界の景観などの情報を完全に再現することが難しく, 臨場感や現実感に乏しい。

そこで, 実世界と仮想世界を融合してユーザに提示する複合現実感 (MR: Mixed Reality) 技術を用いた屋外環境での遺跡の復元が期待されている (図 1)。MR による復元には次の 3 つの利点がある。

1. 遺構上に復元モデルを表示することが可能
2. 復元案の修正・変更が容易
3. 文化財の保存と活用を両立

第 1 に, 復元した CG モデルを遺構上に合成表示するこ



図 1. MR 技術による遺跡の復元イメージ

とによって, 遺跡の現状と復元状態をわかりやすく対比することができる。また, ユーザを外界から遮断せずに, 実世界の環境情報をそのまま利用することが可能である。視覚的・聴覚的な感覚や現場の雰囲気など, 従来の VR コンテンツでは味わえない臨場感を体験することができる。加えて, 遺跡の説明や誘導サインをわかりやすく重畳提示するといった活用も可能である。

第 2 に, CG モデルの修正・変更を容易に行うことができる。これまで発掘調査の進展から復元案の修正が生じた場合, 復元図や復元模型を部分的に修正することは困難であった。しかし MR では CG モデルの修正や差し替えを容易に行うことが可能である。

第 3 に, 遺跡の保存と活用という 2 つの相反する要求に応えることができる。考古学的見地からは一般に, 発見された遺跡は現状保存が原則と考えられているが, 観光振興の観点から文化財の整備と活用を求められる場合がある。MR 技術による展示は, 実世界の遺跡に影響を与えることなく仮想的な展示を可能とする点で, 両者の要求を同時に満たすことができる。

本稿では, 奈良県明日香村に位置する飛鳥京跡及び川原

*東京大学大学院学際情報学府

**東京大学生産技術研究所 情報・エレクトロニクス系部門

***東京大学生産技術研究所 先進モビリティ連携研究センター



図 2. MR システムの外観

寺跡を対象とした MR 技術による遺跡の復元について述べる。また、明日香村現地で一般公開実験を行い、体験者に対して行ったアンケート調査の結果を示す。さらに、この取り組みを地域の観光案内システムとして活用する可能性について展望を述べる。

2. 関 連 研 究

MR に関する研究は盛んに行われている^{[3][4]}。MR では、HMD (Head-Mounted Display) などの表示装置を用いて現実世界の撮影画像に CG を重ね合わせることで、あたかも CG で描いた仮想物体が現実世界に出現したかのように見せることが可能となる。MR の応用例としては、機械製造工程・保守作業における作業支援、注釈・情報提示による道案内や博物館ガイド、協調作業・教育支援、医療・建築分野でのシミュレーション、ゲームやエンターテインメントなど、幅広い事例が挙げられる。

さらに、ウェアラブルコンピュータを用いて、屋外環境において MR システムを構築する試みも広く行われるようになってきている。屋外環境での応用例としては、文化財の復元が挙げられる。天目らは平城宮跡において、ウェアラブルコンピュータ、PDA、携帯電話などのモバイル端末を持ったユーザに対するナビゲーションシステムを提案している^[5]。Dahne らの提案する ARCHEOGUIDE プロジェクトでは、MR システムによって古代ギリシアのオリンピア遺跡が復元されている^[6]。しかし上記の事例では、屋外の実光源環境に対応した仮想物体の陰影付けは行われていない。

MR において、実世界と仮想世界の違和感のない合成を行うためには、幾何学的整合性、光学的整合性、時間的整合性という 3 つの課題を解決する必要がある。特に、現実感の高い合成画像を生成するためには、光学的整合性を実現することが重要である。

光学的整合性を実現するためには、実画像と仮想物体の色・明るさ・影といった光学的な条件を一致させる必要がある。特に屋外においては太陽の運動や天候の変化により光源環境が刻々と変化するため、環境の変化に対応して仮想物体の陰影を実時間で変化させなければならない。

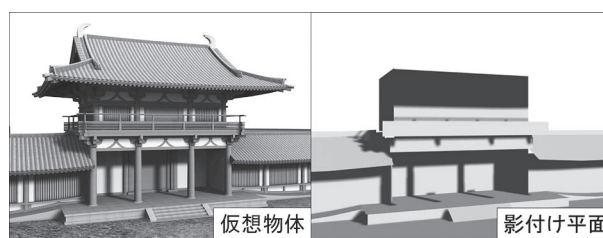


図 3. 影付け平面

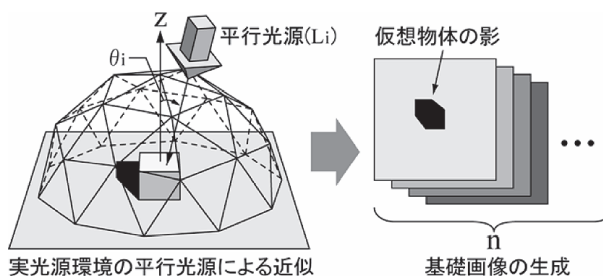


図 4. 基礎画像の生成

Jacobs らは最近の MR における照明手法を調査しているが、屋外での光源環境の変化に実時間で対応できる手法はまだ提案されていない^[7]。

佐藤らは、前処理で生成しておいた仮想物体の影の画像（基礎画像）を用いて、実光源環境に対応した仮想物体のソフトシャドウを高速に生成する手法を提案している^[8]。しかし、画像ベースの手法であるため、ユーザの視点移動に対応することができない。一方で、影付け平面という概念を用いて任意の視点において実時間で実行可能な影付け手法が提案されている^[9]。この手法は静的な物体にのみ適用可能であるが、本研究が対象とする建築物には適している。本研究では上記の影付け平面による影付け手法を適用することによって、合成画像の現実感を向上させている。

3. MR システム

本章では、基本システムである MR Platform と陰影付け処理、遮蔽処理などの詳細について説明する。

3.1. 基本システム

基本となる MR システムには、キヤノン社の MR Platform^[10]を用いた。MR Platform はビデオシースルー方式の HMD、Polhemus 社の 6 自由度磁気センサ FASTRAK によって構成される。このシステムでは、実画像の取得、実世界と仮想物体の幾何学的位置合わせ、実画像と仮想物体の合成処理が可能である。MR システムの外観を図 2 に示す。

3.2. 陰影付け

本研究で用いた影付け平面による陰影表現手法について説明する。

前処理

実世界の光源環境を半球状の面光源と仮定し、その面光

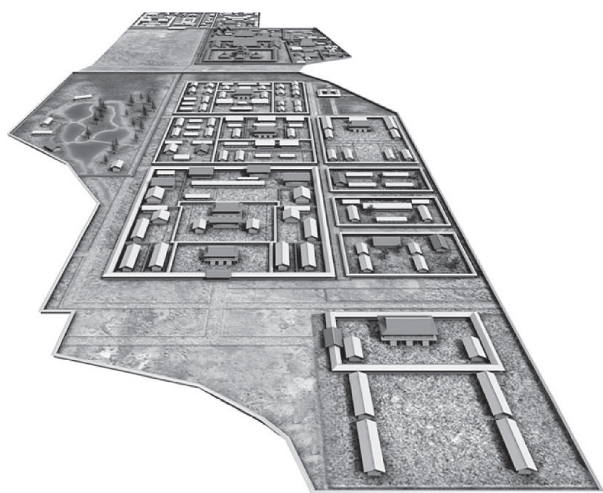


図 5. 飛鳥京復元 CG モデル

源を複数の平行光源の集合に近似する。ここで、影付け平面と呼ぶ平面形状のオブジェクトを仮想物体の表面上に配置しておく（図 3）。そして、各々の平行光源を用いて仮想物体を描画し、影付け平面に落ちる仮想物体の影を基礎画像として取得する（図 4）。このようにして生成した近似光源数×影付け平面数の基礎画像を用いて任意の光源環境下における仮想物体の影を合成する。

合成処理

天空の光源情報を取得するために、魚眼レンズを装着したカメラで全方位画像を撮影する。そして撮影した全方位画像から実世界の光源分布を計測し、各方向の光源強度を表す輝度パラメータを求める。取得した輝度パラメータからは、仮想世界にあらかじめ配置しておいた仮想光源の強度が求められる。この光源分布によって、仮想物体表面の陰を実世界の光源環境に一致させることができる。さらに前処理で生成した基礎画像と輝度パラメータの線形和を計算し、入力された実光源環境に対応する仮想物体の影画像を生成する。この影画像を各々の影付け平面にマッピングすることにより、仮想物体のセルフシャドウと実画像に落ちる影を表現する。基礎画像と輝度パラメータの合成は GPU (Graphics Processing Unit) のシェーダー機能を用いて高速に計算することが可能である。

4. 実 験

明日香村現地の甘樫丘展望台及び川原寺跡にてシステムの一般公開実験を行った。実験では、一般の方に HMD を装着して飛鳥京と川原寺の復元 CG モデルを観察してもらった。実験に用いた PC の仕様は、CPU : Core2Duo 2.4GHz, RAM : 2GB, GPU : NVIDIA GeForce 7950 GT である。実光源環境の撮影には魚眼レンズ（フジノン社 YV2.2X1.4A-2）を装着した CCD カメラ（Point Grey Research 社 Dragonfly2）を使用した。



図 6. 合成画像（甘樫丘から見た飛鳥京）

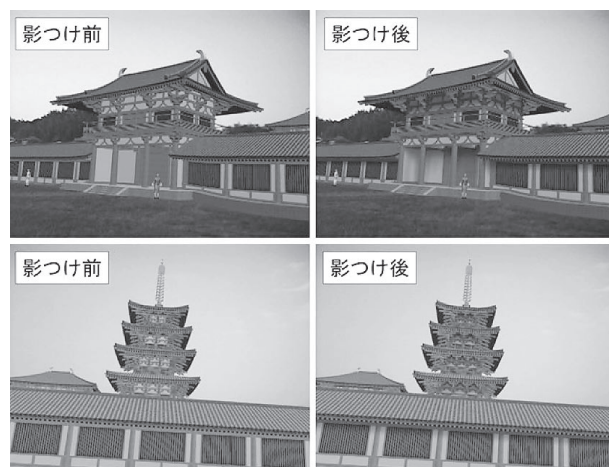


図 7. 合成画像（川原寺）

4.1. コンテンツ

飛鳥京及び飛鳥京の復元 CG モデリングにはオートデスク社の 3ds Max を使用した。CG モデル制作にあたっては、橿原考古学研究所及び奈良文化財研究所より提供を受けた復元図面を参照した。実験に用いた飛鳥京モデルのポリゴン数は約 96,000、川原寺モデルのポリゴン数は約 388,000 である。

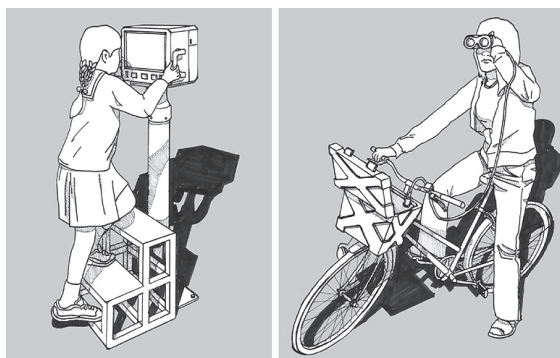
実験では復元モデルを実世界の遺構上に実寸大で合成表示した（図 6, 7）。実験は 10:00 から 15:00 の間に行い、体験者に太陽の移動や天候の変化によって仮想物体の陰影が変化する様子を観察してもらった。また、体験後にアンケートに回答してもらった。

4.2. アンケートによる評価

復元 CG の体験者を対象にアンケート調査を実施し、意見と感想を自由に記述してもらった。特に多かった意見を以下に示す。

技術的な問題に関する意見

- ・自由に動けるようにしてほしい。



遠望鏡型ディスプレイ

双眼鏡型ディスプレイ

図 8. 観光案内・旅客誘導のための MR ディスプレイの提案

- ・CG が作り物のように見える。
- ・頭を動かすと CG がずれる。
- ・ゴーグルに違和感がある。

コンテンツに関する意見

- ・ほかの遺跡にも適用してほしい。
- ・人物を登場させてほしい。
- ・音声解説があるとよい。

4.3. アンケート結果の考察

HMD のケーブルや磁気センサの測定範囲に制約されることなく、自由に動けるようにするためには、ウェアラブルコンピュータの使用や、HMD の無線化が考えられる。また、磁気センサによらない位置合わせ手法を実現する必要がある。

5. まとめと今後の展望

本研究では MR による遺跡の復元を提案した。提案手法は従来の図面や模型による復元と比較して、1) 遺構上に合成表示可能、2) コンテンツの修正が容易、3) 文化財の保存と活用を両立できる、などの利点がある。奈良県明日香村の飛鳥京及び川原寺を対象として、復元 CG モデルを制作し、現地での一般公開実験を行った。実験では、影付け平面を用いた仮想物体の陰影処理手法を適用し、合成画像の現実感を向上させた。実験の参加者に対してアンケート調査を実施し、その結果を考察した。その結果、陰影表現手法の有効性と MR による遺跡復元の効果を確認することができた。屋外環境における位置合わせ、HMD の違和感解消などは今後の課題である。

観光案内・旅客誘導システムへの展開としては、まず展示範囲を広げ、ユーザの負担を減らすために、屋外環境に適した MR ディスプレイ装置を提案したい (図 8)。特に、明日香村はレンタサイクルのシステムが整備されているため、これを利用した自転車搭載型のディスプレイは有力と考えられる。また、電動カートを用いれば、複数人が搭乗

可能で雨天時も走行できるような展示システムが可能となる。MR 技術を利用すれば、観光案内文を重畳表示したり、誘導サインや次の遺跡の所在地を直感的に提示することも可能である。将来的には、これらのアイデアをベースとして村内の全遺跡をめぐりながら観光体験のできる「まるごと博物館」の実現が期待される。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省技術振興調整費リーディングプロジェクト「大型有形・無形文化財の高精度デジタル化ソフトウェアの開発」の援助を受けて行った。また、明日香村での一般公開実験については国土交通省の援助を受けて行った。実験の場を与えて下さった明日香村役場、復元図面をご提供いただいた橿原考古学研究所、奈良文化財研究所に対して謝意を表する。

(2007 年 3 月 13 日受理)

参 考 文 献

- [1] 安藤真, 吉田和弘, 谷川智洋, 王燕康, 山下淳, 葛岡英明, 廣瀬通孝, “スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作—マヤ文明コパン遺跡における歴史学習—”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, vol.8, no.1, 2003, pp.65-74.
- [2] 大石岳史, 増田智仁, 倉爪亮, 池内克史, “創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, 2005, pp.429-436.
- [3] R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality”, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol.6, no.4, Aug. 1997, pp.355-385.
- [4] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre, “Recent Advances in Augmented Reality”, IEEE Computer Graphics and Applications, vol.21, no.6, Nov. 2001, pp.34-47.
- [5] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “「平城宮跡ナビ」拡張現実感を利用したウェアラブル観光案内システム”, 日本情報考古学会第 19 回大会, Mar. 2005, pp.1-6.
- [6] P. Dahné, J. N. Karigiannis, “Archeoguide: system architecture of a mobile outdoor augmented reality system”, Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR02), Sept. 2002, pp.263-264.
- [7] K. Jacobs and C. Loscos, “Classification of illumination methods for mixed reality”, Proc. Eurographics State of the Art Report (STAR), Sept. 2004, pp.95-118.
- [8] 佐藤いまり, 林田守広, 甲斐郁代, 佐藤洋一, 池内克史, “実光源環境下での画像生成: 基礎画像の線形和による高速レンダリング手法”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol. J84-D-II, no.8, Aug. 2001, pp.1864-1872.
- [9] T. Kakuta, T. Oishi, K. Ikeuchi, “Shading and shadowing of architecture in mixed reality”, Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR05), Oct. 2005, pp.200-201.
- [10] S. Uchiyama, K. Takemoto, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura, “MR platform: a basic body on which mixed reality applications are built”, Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR02), Sept. 2002, pp.246-253.