

屋内環境におけるモバイル プロジェクション型 AR 案内システム

永松 明^{*1 *2}

中里 祐介^{*1 *3}

神原 誠之^{*1}

横矢 直和^{*1}

AR Guide System Using Mobile Projector in Indoor Environment

Akira Nagamatsu^{*1*2}, Yuusuke Nakazato^{*1*3}, Masayuki Kanbara^{*1}, and Naokazu Yokoya^{*1}

Abstract – This paper proposes a projection-based AR guide system which guides users using a mobile projector in indoor environment. The projection-based AR guide system projects guidance of exhibits onto walls or floors in the real world. In order to realize this system, it is necessary to measure a position and an orientation of the projector precisely in a wide area. In the proposed guide system, the projector's position is estimated from images capturing invisible markers which are set up on ceilings with an infrared camera attached to the projector. In addition, to indicate the guide information intuitively for users, the proposed system displays information at three dimensional position using two projectors and polarized glasses.

Keywords : Mobile Projector, Augmented Reality, Wearable Computer, Navigation, Stereoscopic Image

1 はじめに

ユーザが装着して使用可能なウェアラブルコンピュータ [1, 2] と、計算機が生成した情報を現実環境に重ね合わせて表示可能な拡張現実感 (AR) [3] を組み合わせたウェアラブル拡張現実感を利用すれば、任意の場所で利用者の位置や姿勢に応じて注釈情報を直感的に提示することができる。その応用として、道案内や観光案内のための位置依存情報を利用者に提示するウェアラブル AR 案内システムが提案されている [4, 5, 6]。

このような案内システムではディスプレイとしてヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) が使われることが多い [7, 8]。しかし、HMD を用いたウェアラブル AR システムでは個々のユーザに適した情報を個別に提示可能であるが、アイコンタクトなどの非言語情報の伝達が阻害されるため、ユーザ間の円滑なコミュニケーションが困難となる。また、ハンドヘルドディスプレイとして PDA (Personal Digital Assistant) を使った AR システム [9, 10] が提案されているが、ディスプレイが小さいため、複数人で同じ案内情報を見ることが難しく、ユーザ間の情報共有には適さない。観光案内では複数人でともに行動することも多く、同じ案内情報を同時に共有できるこ

とが望ましい。

一方、複数人で情報を共有可能な AR 提示デバイスとしてプロジェクション方式がある [11, 12]。これは、現実環境に設置されたプロジェクタにより、仮想物体を現実世界に直接投影することで仮想世界と現実世界の融合を図るものである。この方式は一般に、現実環境の壁面や物体面に直接映像を投影するため、仮想物体の立体的な提示や、3次元空間中の点を指し示すような提示方法は困難である。しかし、案内システムのように複数人で情報共有しながら移動するような利用形態を想定した場合、プロジェクション型 AR ではユーザがいる空間に対して案内情報を提示するため、一度に複数のユーザが同じ案内情報を見ることが可能であり、また、近年発達の目覚ましい小型プロジェクタをモバイルプロジェクタとして利用することで広範囲への拡張も可能であると考えられる。

しかし、この手法ではプロジェクタの位置を得るためにプロジェクタを投影する箇所にマーカを設置する必要があり、投影場所が限定されるため、広域な屋内環境で継続的に案内情報を提示するのは不向きである。そのため本研究では博物館のような屋内環境で利用できる継続的に案内情報を提示可能なプロジェクション型 AR 案内システムを提案する。案内システムでは不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定システム [13] を利用する。これにより、屋内環境において高精度にプロジェクタの位置・姿勢を連続的に推定することが可能となり、さらにユーザが所持可能なプロジェクタを用いることで、ユーザは環境内を歩き回

^{*1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

^{*2} 現在、パナソニック株式会社

^{*3} 現在、キヤノン株式会社

^{*1} Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

^{*2} Presently with Panasonic Corporation

^{*3} Presently with Canon Inc

りながら壁や床などに展示物の説明情報や移動経路のナビゲーション情報などの案内情報を投影することができる。

また、1台のプロジェクタを用いた案内システムでは、図1(a)のように案内情報の提示位置が投影面上に限定されるため、このままでは投影面から離れた3次元空間中の点を指し示して案内情報を提示することはできない。そのため、案内情報をより直感的にユーザに提示するためには、図1(b)のように提示位置を壁面や床面等の投影面上のみではなく3次元空間中に拡張する必要がある。一般に3次元的な立体情報の提示にはヘッドマウントディスプレイや固定型プロジェクタシステムの利用が考えられる。しかし、[14]はユーザは両目にディスプレイを装着しなればならず、周辺視野が遮られ環境内を歩き回る観光案内での利用は困難である。また環境内に設置された固定型の立体提示可能なプロジェクタシステム[15, 16]では、広範囲における利用は難しい。

そのため、本研究では2台のモバイルプロジェクタを用いた立体情報提示手法の開発を試みる。各プロジェクタに個別の偏光フィルタを取り付け、ユーザは偏光眼鏡を装着し、それぞれのプロジェクタから投影された左目用、右目用の映像を見ることで立体視を実現する。立体視を実現するために、利用者は偏光メガネを着用する必要があるが、通常の眼鏡のようなタイプも存在するため、一般にビデオシーズ方式のHMDより視野角の広い光学式HMDに対しても視野角の広さに対して優位性がある。また、偏光方式の両眼立体視を実現するためには、偏光スクリーン(反射後偏光を保持するスクリーン)を利用する必要があるが、シートのように加工が可能であり、壁紙のような利用を想定すれば、備え付けの大型ディスプレイなどよりもより安価に利用範囲に広域化することが可能である。本研究では、広域環境で利用可能なARシステムを実現するため、安価に利用範囲を拡張できるプロジェクション方式と偏光スクリーンを採用した。これにより、案内情報を投影面以外の3次元空間中に立体的に提示する機能を実現することで直感的な情報提示が可能となる。

以降、2章では案内システムの概要について、3章では案内システムを用いたナビゲーション実験・立体情報提示実験について述べる。最後に4章において本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2 モバイルプロジェクション型 AR 案内システム

提案システムは博物館のような展示物が様々な場所に置かれている屋内環境を対象とし、ユーザが展示物を見てまわる環境を想定する。図2に案内システムの

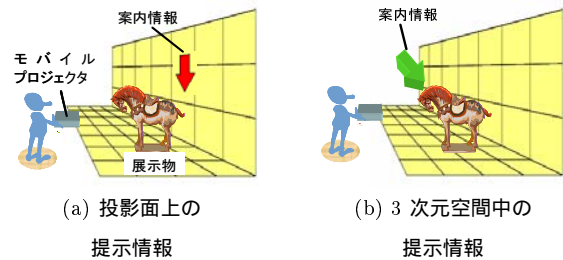


図1 投影面上と3次元空間中の案内情報の比較

Fig. 1 Guide information on projection plane and in 3-D space.

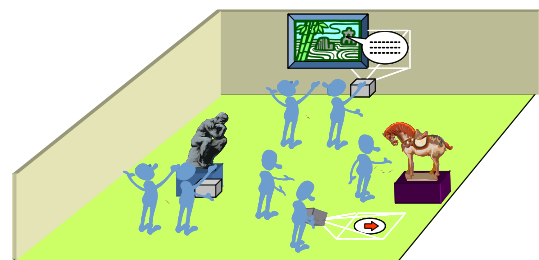


図2 案内システムの利用シーン

Fig. 2 Environment for the usage of guide system.

利用シーンを示す。複数人で行動するグループ内の一人がプロジェクタを手に持ち、案内情報を投影する。ユーザはプロジェクタから壁や床などに投影される展示物の説明情報や移動経路のナビゲーション情報などの案内情報を閲覧する。

2.1 提案システムの機器構成

図3にプロジェクタを装着したユーザの外観を示す。提案システムでは、プロジェクタの位置・姿勢を計測するためにプロジェクタの上に赤外線LED付き赤外線カメラを取り付け、図4のように環境中の天井には不可視マーカを設置する。赤外線カメラで不可視マーカを撮影・認識してプロジェクタの位置・姿勢を推定する(それぞれ誤差 $9mm$, 0.5° 程度)。案内システム(Type1)ではユーザは投影像を生成するための計算機を装着し、手にモバイルプロジェクタを持つ。また、入力装置としてボタンを2つプロジェクタの上に取り付ける。ボタンはそれぞれメニュー用・選択用ボタンとする。

立体情報提示機能(Type2)では、プロジェクタを所持するユーザに対して正しい位置に案内情報を提示するために、投影面の3次元形状とプロジェクタの位置・姿勢に加え、そのユーザの視点位置・姿勢に基づいて投影像を生成する必要がある。Type1と同様に手に持つのが理想的な利用形態の1つであるが、本研究では、2台のモバイルプロジェクタを頭部に固定し、プロジェクタの姿勢とユーザの視点の姿勢および2台の



図 3 案内システムの機器構成

Fig. 3 Hardware configuration of guide system.



図 4 天井に設置される不可視マーカ [13]

Fig. 4 Invisible marker wallpaper on a ceiling.

プロジェクタの相対関係を固定することで立体映像の提示に必要な視点位置・姿勢の算出を簡単化する。偏光フィルタをプロジェクタに取り付け、ユーザは偏光メガネを装着する。また、プロジェクタを用いた偏光方式による立体情報の提示には光の偏光を保つためにシルバースクリーンに投影する必要があるため、情報を提示する対象の展示物の背面にシルバースクリーンを設置する。

2.2 システムの利用方法

ユーザは環境内に入ると、まず希望する展示物のコースを選択する。選択されたコースに応じた経路に沿って、ユーザは手に持ったモバイルプロジェクタから案内情報を投影しながら展示物を見てまわる。また、選択されたコースに沿って移動するときにメニュー用ボタンを押すことでコースの再設定を行うことができる。

提案システムの案内情報は展示物の移動経路を案内する経路案内情報と展示物の内容の説明が見れる展示案内情報に分けられる。さらに展示物の周辺を展示案内情報の提示範囲を定義し、経路案内情報の提示範囲は展示案内情報の提示範囲を除くすべての投影面とする。経路案内情報は展示案内情報の提示範囲に入ると展示案内情報に切り替わり、展示案内情報の提示範

囲で経路を確認したい場合には、さらにメニュー用ボタンを押すことで経路案内情報に切り替えることができる。

展示案内情報には、ユーザとのインタラクションが可能であるものや、ユーザの行動履歴や展示物との距離に応じて内容が変化するもの、立体情報を提示するものがある。以下にそれぞれの機能について詳述する。

- インタラクション機能

ユーザは、図 5 に示すようにプロジェクタの投影範囲の中心点をポインタとして利用する。ユーザが三角印の案内情報内の特定の領域にこのポインタを重ねると色が変わり、その時に選択用ボタンを押すことでコンテンツの内容が切り替わる。

- 行動履歴に応じた情報提示機能

ユーザがどの展示物を見てまわったかというユーザの行動履歴により、提示する案内情報の内容を変えることが可能である。図 6 に示すようにユーザはまず展示物 (1) でこのような展示案内情報を見てから、別の展示物へ移動し、展示物 (2) を見た後でさらに展示物 (1) を見ると、展示物 (2) を見た後に説明すべき案内情報の内容を追加して提示することができ、ユーザはより展示物の説明を理解しやすくなる。行動履歴に応じた情報提示機能を使うとすでに見た展示物を反映した案内情報を提示可能となる。

- 展示物との距離に応じた情報提示機能

ユーザと展示物との距離に応じて案内情報の内容を切り替えることが可能である。図 7 に示すように、ユーザとの展示物との距離が遠くに離れた場合には全体を概観する案内情報を提示し、近づくとも内容を詳細に提示することができるため、展示物とユーザの距離に応じて案内情報の情報量を変えることで展示物の説明を見やすく提示可能となる。現段階では提示情報を切り替える閾値は展示物の内容・大きさなどを基準に経験的な値を設定した。また、その切り替えの視覚効果は単純な切り替えとしているが、効率的なユーザインタフェースを実現するためには、今後、展示内容やスケールをモデル化し主観評価等を行い切り替え閾値や提示切り替え効果などの検討が必要である。

- 立体情報提示機能 (Type2 のみ)

立体視可能な 3 次元の案内情報を提示可能である。図 8 に示すように、ユーザに投影面上以外

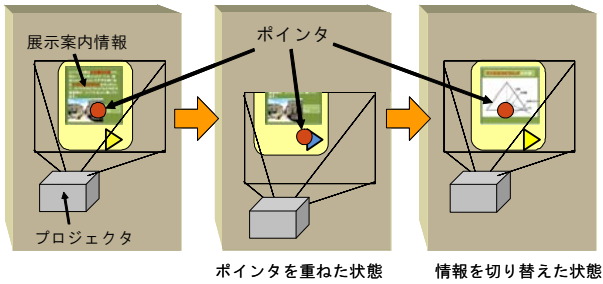


図 5 展示案内情報のインタラクション機能例
Fig. 5 Interaction function of guidance for an exhibition.

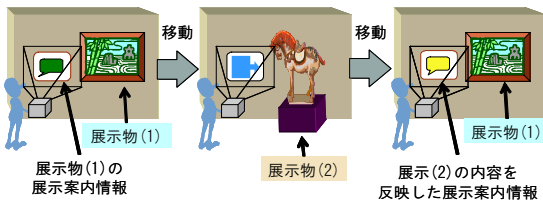


図 6 行動履歴に応じた展示案内情報の提示機能例
Fig. 6 Presentation function of guidance for exhibitions corresponding to navigation histories.

の 3 次元空間中に案内情報を提示可能となるため、直感的な提示が可能となる。

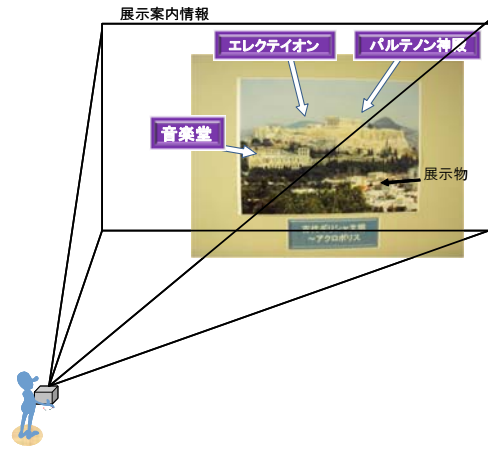
また経路案内情報はプロジェクタの投影範囲に追従して提示する。ユーザはあらかじめ用意されたコースの中からコースを一つ選択し、コースに沿って展示物を見てまわる。コースの案内作業は以下の順で行う。

- メニューボタンを押して経路案内情報を空間に固定する。
- コースを選択するために各コース名の上にプロジェクタの投影範囲の中心点であるポインタを合わせ、選択ボタンを用いてコースを選択する。
- 選択したコースに応じた順番に展示物名とその方向を指す 3 次元の矢印が提示される。

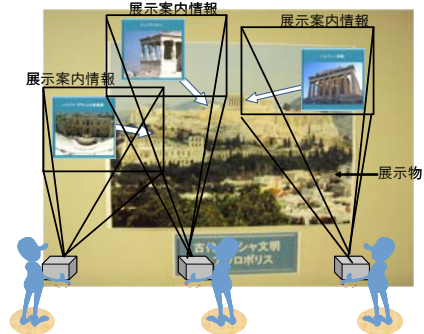
2.3 案内システム (Type1) における投影像の生成処理

案内システムでは、既知の情報として

- 環境内の壁や床などの投影面の 3 次元形状、
- 経路案内情報や展示案内情報などのコンテンツの画像や提示範囲、コンテンツの位置・姿勢、
- 経路案内情報でユーザが選択することができるコース (コンテンツの位置を持ったリスト)



(a) ユーザと展示物の距離が遠い場合



(b) ユーザと展示物の距離が近い場合

図 7 ユーザと展示物の距離に応じて展示案内情報の内容が切り替わる機能
Fig. 7 Presentation function that changes guidance according to the distance from an exhibit.

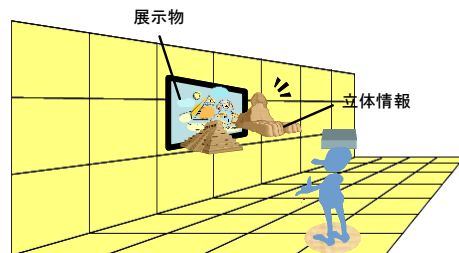


図 8 立体情報提示機能 (Type2)
Fig. 8 Presentation function of stereoscopic information.

を利用する．

次に投影像の生成について述べる．図9は提案システムにおける座標系と案内情報の投影の様子である．案内情報は，あらかじめ用意した投影面の3次元形状の任意の位置に設置する．設置した案内情報は不可視マーカを用いた位置・姿勢推定システムから得られる世界座標系でのプロジェクタの位置・姿勢，すなわち世界座標系からプロジェクタ座標系への変換行列 M を用いてプロジェクタ座標系に変換する．具体的には，不可視マーカを用いた位置・姿勢推定手法で得られたプロジェクタ座標系の3軸に対する姿勢成分 (r_1, r_2, r_3) とプロジェクタ座標系におけるプロジェクタの位置成分である $(t_1, t_2, t_3)^T$ を用いて，プロジェクタの位置・姿勢に対応する変換行列 M を以下のように定義する．

$$M = \begin{pmatrix} c_2c_3 + s_1s_2s_3 & c_1s_3 & -s_2c_3 + s_1c_2s_3 & t_1 \\ -c_2s_3 + s_1s_2c_3 & c_1c_3 & s_2s_3 + s_1c_2c_3 & t_2 \\ c_1s_2 & -s_1 & c_1c_2 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ただし，

$$\begin{aligned} s_1 &= \sin r_1, & s_2 &= \sin r_2, & s_3 &= \sin r_3 \\ c_1 &= \cos r_1, & c_2 &= \cos r_2, & c_3 &= \cos r_3 \end{aligned} \quad (2)$$

である．また，図9に示すように，設置した案内情報の世界座標系における3次元座標を $(X, Y, Z)^T$ ，プロジェクタ座標系における3次元座標を $(X', Y', Z')^T$ とすると，世界座標系とプロジェクタ座標系の変換は以下のように記述される．

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

さらに変換された案内情報を透視投影変換して投影像を生成し，プロジェクタから出力する．投影中心座標 (c_x, c_y) ，横方向と縦方向の画素の物理的な間隔 (δ_x, δ_y) ，プロジェクタの焦点距離 F とするとウィンドウ座標系上への投影座標 $\hat{x} = (\hat{x}, \hat{y})$ は以下のように定義される．

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(-\delta_x \frac{X'}{Z'} F + c_x, -\delta_y \frac{Y'}{Z'} F + c_y \right) \quad (4)$$

2.4 立体情報提示機能 (Type2) における投影像の生成処理

立体情報提示機能では既知の情報として，さらに立体情報として3次元の案内情報とユーザの左右の視点

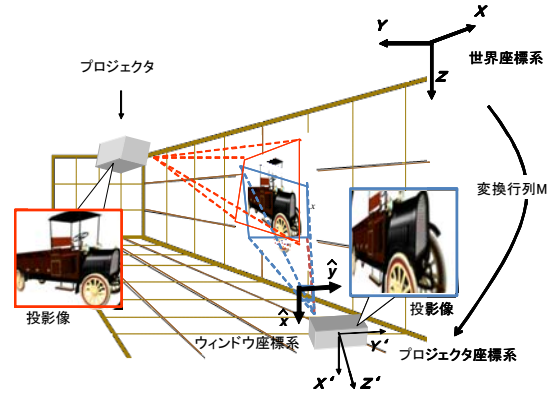


図9 案内システムにおける座標系と案内情報の投影の様子

Fig.9 Coordinate systems for guide system and projection of guidance.

と2台のプロジェクタの相対位置関係の情報を利用する．プロジェクタの位置とユーザの視点位置は異なっているため，ユーザの視点から見た映像を生成しプロジェクタから投影する．以下に各ステップに関して詳述する．

1. ユーザの左右視点位置・姿勢の推定

プロジェクタの位置・姿勢結果から，ユーザの左右の視点と2台のプロジェクタの位置・姿勢との相対関係によりユーザの左右の視点位置・姿勢をそれぞれ計算する．

2. 案内情報の投影変換両眼立体視を実現するための提示映像の幾何変換処理の概要を図10に示す．まず展示コンテンツとして，3次元的に提示したいオブジェクトの位置が設定された場合，そのオブジェクトの3次元形状を，計測されているユーザの視点位置を投影中心として，投影面へ投影変換する．その後，1つのプロジェクタを用いた場合の処理と同様に，壁面に投影変換されたオブジェクトを，プロジェクタの位置・姿勢を用いてプロジェクタ座標系に変換し，最後にプロジェクタのウィンドウ系に透視投影変換する．これを，左右のそれぞれの利用者の視点位置を利用して行うことで，両眼立体視が可能な投影映像は生成可能になる．

3. 投影像の生成

最後に2台のプロジェクタの位置・姿勢から，投影変換した案内情報をそれぞれ透視変換して左目用，右目用の投影像を生成し，各プロジェクタから出力する．

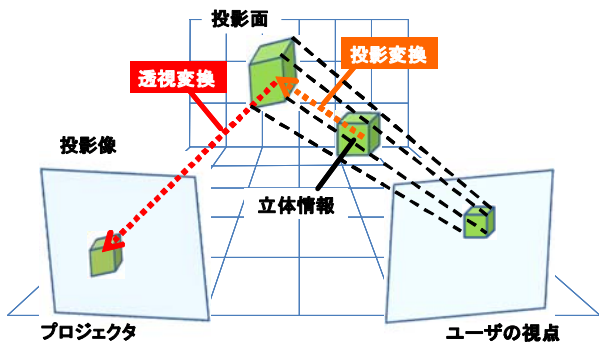


図 10 立体映像の幾何変換処理の概要
Fig. 10 Geometric transformation of stereoscopic images.

2.5 立体情報提示機能 (Type2) の利用環境

立体情報提示機能では、案内情報が正しい位置に提示されるのは、厳密にはプロジェクタを装着するユーザの視点のみである。複数人で行動する場合、プロジェクタを装着しない他のユーザは提示される案内情報の3次元位置は正確な位置とは異なり、プロジェクタを装着している利用者の視点からの離れるにつれて立体視の誤差は増加する。本論文ではプロジェクタを装着するユーザの視点から離れた地点から提示された案内情報を見た場合のその案内情報の3次元位置の誤差を示すことで案内システムの想定する利用環境を考察する。これを指標とすることで、誤差の許容範囲を考慮した展示内容・大きさに応じたARによる案内コンテンツが作成できる。

図 11 に提示する案内情報位置の高さを一定とした場合におけるユーザの視点位置、投影面、展示物、ユーザの位置関係を上から見た様子を示す。案内情報の提示位置を O 地点、プロジェクタを装着するユーザの位置を A 地点、プロジェクタを装着しない他のユーザの位置を B 地点、投影面と提示位置の距離を t m、案内情報の3次元位置の誤差を d m、O 地点に対する y 軸と A, B 地点の角度をそれぞれ α °, β °とする。ここでは、ユーザは O 地点を中心とした半径 1m の円周上から案内情報を見るものとし、それぞれのユーザの眼間距離は 6.5cm とする。

図 12 に投影面と提示位置の距離 t が 0.2m のときの $\alpha = 0, 15, 30$ ° の場合において、O 地点に対する A, B の成す角度 (α, β) と案内情報の3次元位置の誤差 d の関係を示す。これより、 α が 15°, 30° のときと比べて、投影面に対して正面から投影を行った $\alpha = 0$ ° の場合に誤差 d が小さくなるのがわかる。ここで提示情報の3次元位置の許容誤差を 0.05m とした場合は A, B の成す角度は約 15°, 0.1m とした場合は約 35° となる。

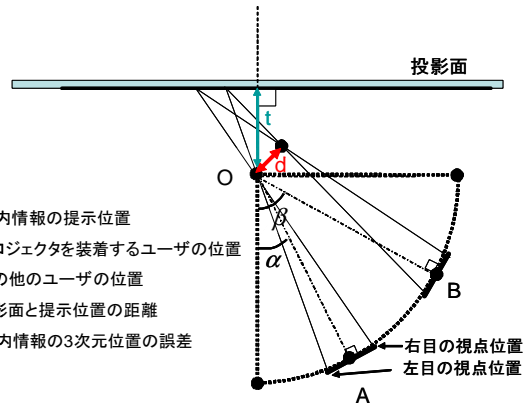


図 11 立体情報提示機能 (Type2) における利用環境の概略図

Fig. 11 Environment for the usage of presentation function of stereoscopic information (Type2).

図 13 に α が 0°, β が 30° のときの投影面と提示位置の距離 t と案内情報の3次元位置の誤差 d の関係を示す。許容誤差を 0.1m とした場合は t を約 0.25m, 0.2m とした場合は約 0.6m となる。また案内情報の提示位置が投影面に近いほど誤差 d が小さくなるのがわかる。

これらより、プロジェクタを装着するユーザとその他のユーザの視点位置に近いほどより正確な位置に提示でき、利用環境においてプロジェクタを装着するユーザは投影面と正対に近い場所から投影するほど誤差は小さくなる。

3 案内システムを用いた案内情報の提示実験

案内システムの有用性を確認するために、博物館を想定した環境内において案内システム (Type1) によるナビゲーション実験と立体情報提示機能 (Type2) による立体情報提示実験を行った。

3.1 実験環境

実験環境は本学内の廊下 (天井高 2.8m) で、天井には壁紙に印刷された不可視マーカを設置した。図 3 にシステムの機器構成を示す。ナビゲーション実験では、図 3(a) のようにユーザは計算機 (Lenovo 製 ThinkPad X61 CPU:Core2Duo 2GHz メモリ:2GB)、赤外線 LED 付き赤外線カメラ (自作) とボタンを取り付けたモバイルプロジェクタ (三菱電機製 LVP-PK20) を装着する。立体情報提示実験では図 3(b) のように赤外線 LED 付き赤外線カメラ (自作)、偏光フィルタが取り付けられた 2 台のプロジェクタ (三菱電機製 LVP-PK20) をそれぞれ頭部に取り付け、さらに計算機 (Lenovo 製 ThinkPad X60 CPU:Core2Duo 2GHz メモリ:2GB)、偏光メガネを装着する。

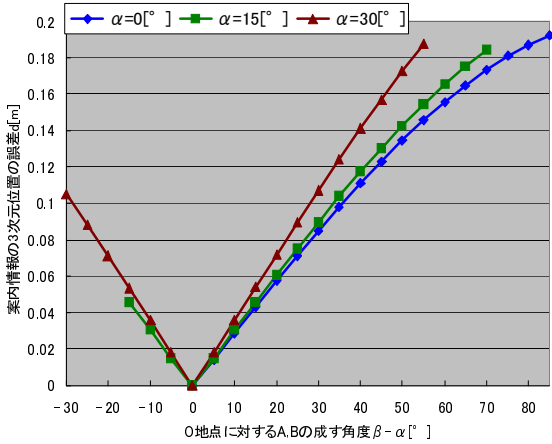


図 12 O 地点に対する A, B 地点の成す角度と 3 次元位置の誤差の関係
 Fig. 12 Relation between angles formed by positions A and positions B for O and displacement of stereoscopic information.

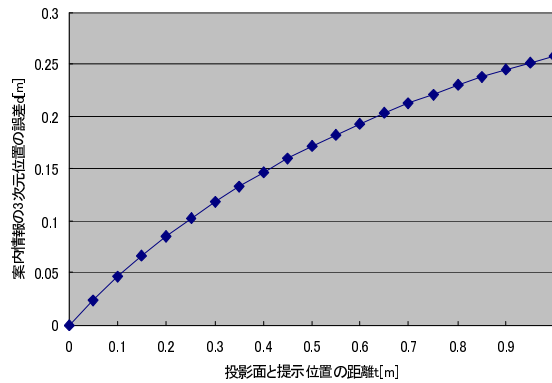
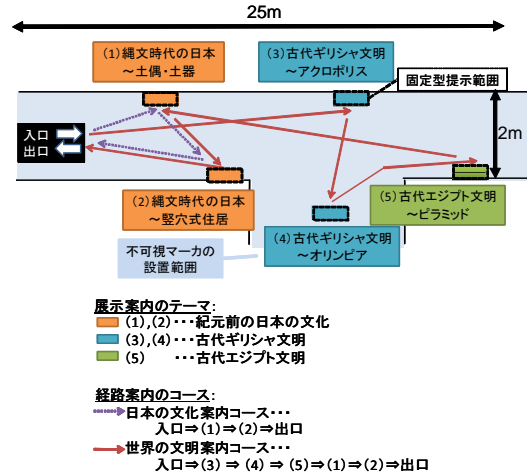


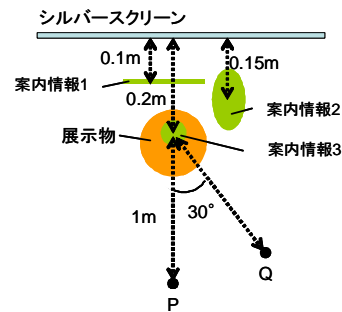
図 13 投影面の位置と 3 次元位置の誤差の関係
 Fig. 13 Relation between position of a projection plane and displacement of stereoscopic information.

実験では博物館のような環境を想定し、展示物を実験環境内に設置した。設置した展示物の詳細と経路案内のコースを図 14(a) に示す。博物館のメインテーマは「日本の文化と世界の文明～紀元前」とし、メインテーマをさらに「縄文時代の日本の文化」、「古代ギリシャ文明」、「古代エジプト文明」のテーマに分け、各テーマ毎にいくつかの展示物を設置した。(1)～(5)はそれぞれ設置した展示物を表す。

図 14(b) に立体情報提示実験の環境と案内情報の提示位置を示す。博物館を想定し、台の上に展示物を設置する。さらに展示物の背面にシルバースクリーンを展示物から距離 0.2m の場所に設置し、展示物からの距離 1m の P, Q 地点からそれぞれ映像を投影する。また、展示物に対する P と Q の成す角度は 30° とし、案内情報 1, 2, 3 はそれぞれシルバースクリーンから



(a) 設置した展示物と経路案内のコース



(b) 立体情報提示実験の環境と案内情報の提示位置

図 14 実験環境

Fig. 14 Experimental environment.

0.1m, 0.15m, 0.2m の場所に提示する。

3.2 ナビゲーション実験の結果

前節の実験環境内で案内システム (Type1) を用いたナビゲーション実験を行った。経路案内情報の実験結果について述べる。図 15 に各地点でのプロジェクタの投影方向を示す。図 16 に A 地点でのコースの経路選択の様子を示す。コース名の上にプロジェクタの投影範囲の中心点であるポイントを重ねてコースを選択することができた。

また、B, E 地点での壁や床に投影した経路案内情報提示の様子を図 17 に示す。次に向きたい展示物の方向に矢印を用いてユーザを案内可能であることが確認できた。プロジェクタを非常に速く動かしたりした場合、モーションブラーが発生し不可視マーカが鮮明に撮影されず位置・姿勢推定が行えないことがあった。しかし、位置・姿勢推定ができないほど速くプロジェクタを動かした場合、利用者もその投影画像を視認することは困難であるため、案内やガイドなどを目的とした一般的な動きであれば、十分な位置姿勢精度で計測が可能であった。また、天井や床に投影する際のプロジェクタを傾ける角度によってはマーカが撮影できないため、正しいプロジェクタの位置・姿勢推定結果は得られなかったが、マーカの設置範囲を拡大す

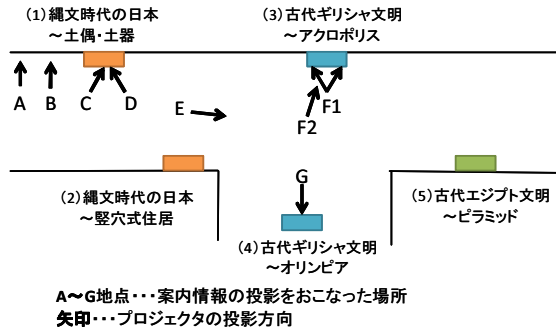


図 15 各地点のプロジェクタの投影方向
Fig. 15 Direction of projection at each point.



(a) B 地点での案内の様子 (b) E 地点での案内の様子

図 17 B, E 地点での経路案内情報提示の様子
Fig. 17 Appearance of presenting the navigation route to exhibitions at point B and E.



(a) メニュー用ボタンを
押した状態 (b) ポインタを
合わせている状態

図 16 A 地点でのコース選択の様子
Fig. 16 Appearance of course selection at point A.



(a) C 地点での案内の様子 (b) G 地点での案内の様子

図 18 C, G 地点での展示物の案内の様子
Fig. 18 Appearance of guidance for exhibition at points C and G.

ることで解決できると考えられる。

次に展示案内情報の実験結果を以下に述べる。C, G 地点では台の上に設置された展示物に対して、図 18(a), (b) のようにそれぞれ壁, 台などの投影面に投影した案内情報を提示した。壁や台などの投影面に貼りついているかのように案内情報を提示することができた。

次に展示案内情報の各機能の検証結果について述べる。

● インタラクション機能

C 地点でのインタラクションの様子を図 19 に示す。展示物 (1) では図 19(a) のように展示案内情報の三角印のボタンの上にプロジェクタの投影範囲の中心点であるポインタを重ね、選択用ボタンを押すことで図 19(b) のように展示案内情報の内容が変化した。

● 行動履歴に応じた情報提示機能

D 地点での、ユーザの行動履歴に応じて展示物 (1) の展示案内情報の内容が変化した様子を図

20 に示す。図 20(a) は展示物 (5) を見る前の展示物 (1) の案内情報の様子で、展示物 (5) を見た後には図 20(b) に示す案内情報が追加されていることができた。

● 展示物との距離に応じた情報提示機能

F1, F2 地点でのユーザと展示物 (3) との距離が近い・遠い場合の案内の様子をそれぞれ図 21, 図 22 に示す。このようにユーザと展示物との距離が遠くに離れた場合には全体と概観する案内情報を提示し、近づくとき内容を詳細に提示することができ、ユーザは展示物の説明を見やすくなった。

3.3 立体情報提示実験の結果

図 23, 24 に P, Q 地点から立体映像の提示を行った際の、各 P, Q 地点からの案内情報の提示の様子とその左目用の投影像をそれぞれ示す。図 23(b), (c), 図 24(b), (c) に示すように、機器を装着している利用者に対して 3 次元空間中の点を指し示す情報を提示可能であることが確認できた。また、図 23(d), (e), 図 24(d), (e) に示すように、その他の利用者も立体



(a) ポインタを重ねた状態
(b) 選択用ボタンを押した状態

図 19 C 地点でのインタラクションの様子
Fig. 19 Appearance of interaction for exhibitions at point C.



(a) 展示物 (1) の案内情報 (b) 追加された案内情報

図 20 D 地点の行動履歴に応じた情報提示の様子
Fig. 20 Appearance of presentation of guidance for exhibitions corresponding to navigation history at point D.

的な情報提示が可能であることが確認できた。本実験により、プロジェクション AR でありながら 3 次元空間中に情報を提示することができ、これまでプロジェクション方式の AR では実現が困難であった 3 次元空間中の点を示す情報提示や、立体的なオブジェクトの提示が行えることで、プロジェクション型 AR による案内システムの可能性が示すところできたと考えられる。また、本実験では使用したプロジェクタの光量の関係から、展示物に対して比較的近い地点から立体情報の提示を行ったが、展示物に対して離れた地点から提示すれば、案内情報の 3 次元位置の誤差は小さくすることができる。また、案内情報の 3 次元位置の誤差を考慮して展示物の大きさ・配置方法を工夫すれば直感的な案内が可能となる。

4 まとめ

本実験ではモバイルプロジェクタを用いて博物館のような屋内環境でユーザの案内を行う AR 案内システムを提案した。案内システム (Type1) では、ユーザは広範囲な環境内で案内情報を得ることができ、そ

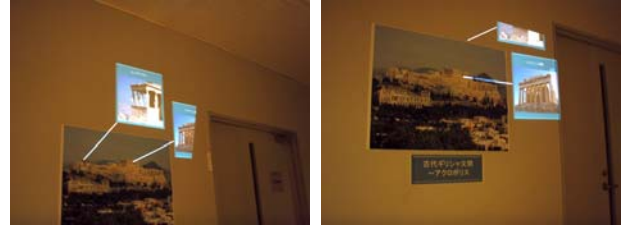


図 21 F1 地点での案内の様子
Fig. 21 Appearance of presentation of guidance for an exhibition at point F1.

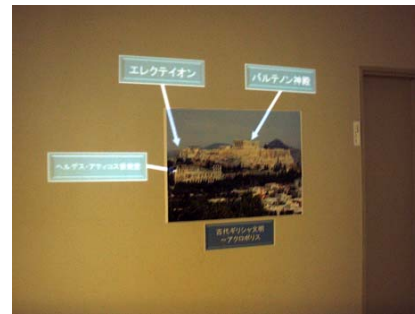


図 22 F2 地点での案内の様子
Fig. 22 Appearance of presentation of guidance for an exhibition at point F2.

の場にいる複数人で同じ情報を同時に共有することができる特徴がある。また、展示物の説明情報や移動経路のナビゲーション情報などの案内情報を壁や床に投影し観光の補助を実現した。さらに立体情報提示機能 (Type2) では 2 台のモバイルプロジェクタを用いた偏光方式による立体提示可能な AR 案内システムについて述べた。複数人での利用を想定した場合にプロジェクタを装着するユーザ以外の視点から見た案内情報の 3 次元位置の誤差を定式化することで案内システムの推奨される利用環境を考察した。実験では展示物への立体的な情報提示する環境を想定し、3 次元的な位置に案内情報を提示した。これにより、プロジェクションにおいて案内情報の提示表現を 2 次元から 3 次元に拡張できることが可能である。

今後の展望として、両眼立体視可能なシステムでは、プロジェクタの重量に問題があったが、モバイルプロジェクタの、小型化・高性能化は近年目覚ましく、近い将来プロジェクタが小型化され、ユーザが装着可能になると考えられる。実際に、160 グラム程度のプロジェクタが販売されるようになっており、今後のプロジェクタの更なる高性能化・小型化が期待される。また、複数のユーザが同時にプロジェクタを利用するような場合を想定した案内情報の提示方法の開発や案内情報の内容やその提示位置・姿勢情報等を編集するシステムのオーサリングツールの開発が挙げられる。また投影面の 3 次元形状の他に投影面の色彩情報や光源

環境情報を利用すれば、より鮮明な案内情報を提示することが可能となる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」の支援による。

参考文献

- [1] S. Mann: "Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging," IEEE Computer, Vol. 30, No. 2, pp. 25 - 32, 2002.
- [2] R. D. Vaul, M. Sung, J. Gips and A. S. Pentland: "MIThril 2003: Applications and Architecture," Proc. Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 4 - 11, 2003.
- [3] R. Azuma: "A Survey of Augmented Reality," Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355 - 385, 1997.
- [4] R. Azuma and C. Furmanski: "Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management," Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 66 - 75, 2003.
- [5] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Annotating user-viewed objects for wearable AR systems", Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality, pp. 192 - 193, 2005.
- [6] 大隈隆史, 興侶正克, 酒田信親, 蔵田武志: "屋内展示ナビと現地や遠隔地での追体験のための三次元インタフェース", 電子情報通信学会 MVE 信学技報, Vol. 107, pp. 44- 48, 2007.
- [7] S. Long, K. Kooper, G. D. Abowd and C. G. Atkeson: "Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The Cyberguide Case Study," Proc. 2nd Int. Conf. On Mobile Computing and Networking, pp. 97 - 107, 1996.
- [8] R. Malaka and A. Zipf: "Deep Map Challenging IT Research in the Framework of a Tourist Information System," Proc. 7th Int. Congress on Tourism and Communications, pp. 15 - 27, 2000.
- [9] R. Oppermann and M. Specht: "Adaptive Mobile Museum Guide for Information and Learning on Demand," Proc. 8th Int. Conf. Human Computer Interaction, pp. 642 - 646, 1999.
- [10] K. Cheverst, N. Davies, K. Mitchell, A. Friday and C. Efstatiou: "Diminishing Head-Mounted display for Shared Mixed Reality," Proc. SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp. 17 - 24, 2000.
- [11] 狩塚俊和, 佐藤宏介: "プロジェクト投影型ウェアラブル複合現実感システム", 情報処理学会 研究報告 2003 CVIM 140, pp. 141- 46, 2003.
- [12] O. Bimber, R. Raskar: "Spatial Augmented Reality", A K Peters, 2005.
- [13] Y. Nakazato, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Localization System for Large Indoor Environments Using Invisible Markers," Proc. ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology, pp. 295 - 296, 2008.
- [14] S. Uchiyama, K. Takemoto, K. Satoh, H. Yamamoto and H. Tamura: "MR Platform: A Basic Body on Which Mixed Reality Applications Are Built," Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 246 - 253, 2002.
- [15] N. Hashimoto, S. Jeong, Y. Takeyama, M. Sato: "Immersive Multi-Projector Display on Hybrid

Screens with Human-Scale Haptic and Locomotion Interfaces," Proc. Int. Conf. on Cyberworlds, pp. 361 - 368, 2004.

- [16] Y. Kitamura, T. Nakayama, T. Nakashima and S. Yamamoto: "The IllusionHole with Polarization Filters," Proc. ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology, pp. 244 - 251, 2006.

(2009年3月10日受付)

[著者紹介]

永松 明



2009年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、パナソニック株式会社に勤務。在学中、ウェアラブル拡張現実感システムに関する研究に従事。

中里 祐介 (正会員)



2008年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。現在、キヤノン株式会社に勤務。在学中、複合現実感に関する研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE各会員

神原 誠之 (正会員)



2002年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年同大情報科学研究科助教、現在に至る。コンピュータビジョン、複合現実感の研究に従事。博士(工学)。2002年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。FIT2005論文賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE各会員。

横矢 直和 (正会員)



1974年大阪大学基礎工学部情報工学科卒。1979年同大大学院博士後期課程修了。工博。同年電子技術総合研究所入所。以来、画像処理ソフトウェア、画像データベース、コンピュータビジョンの研究に従事。1986~87年マツギル大・知能機械研究センター客員教授。1992年奈良先端科学技術大学院大学・情報科学センター教授。現在、同大情報科学研究科教授。1990年、2007年情報処理学会論文賞受賞。2005年情報処理学会フェロー、電子情報通信学会フェロー。情報処理学会、人工知能学会、日本認知科学会、映像情報メディア学会、IEEE、ACM SIGGRAPH 各会員。

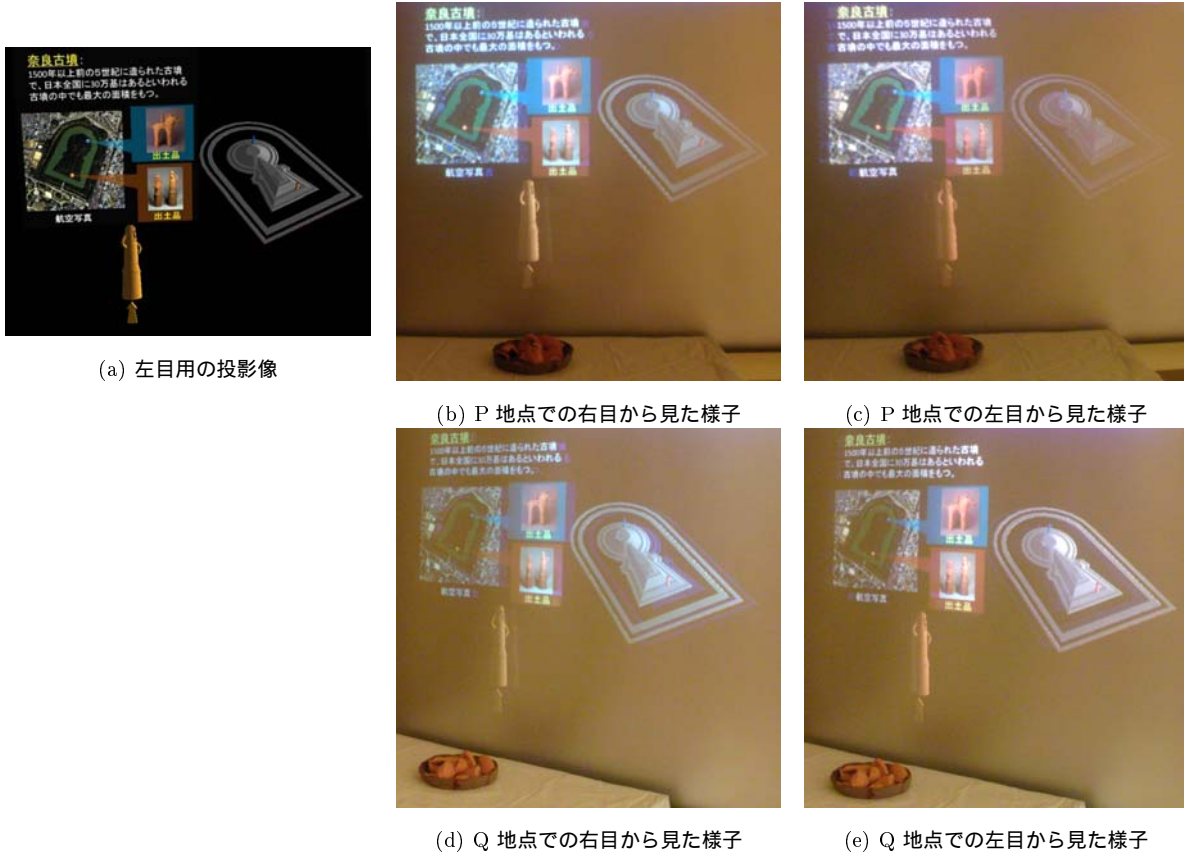


図 23 P 地点からの立体映像の提示の様子

Fig. 23 Presentation of stereoscopic information for exhibition at point P.

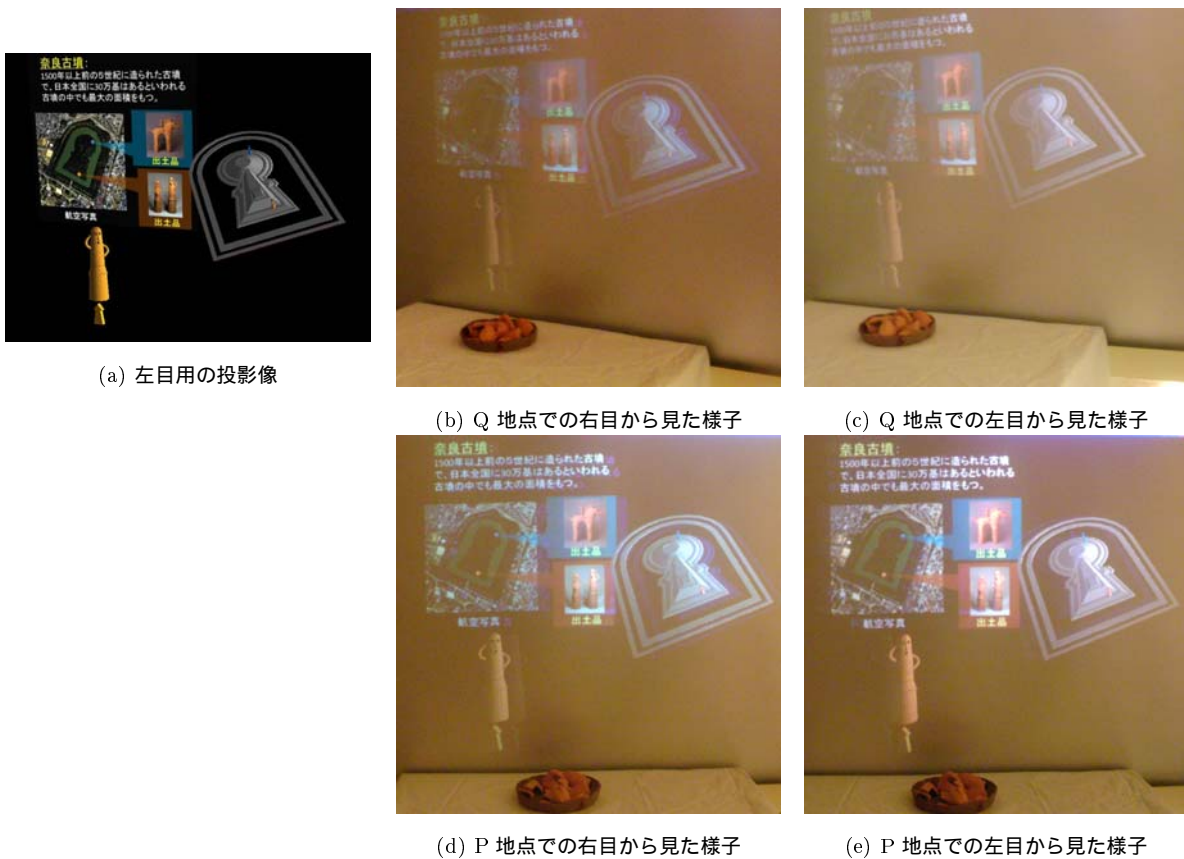


図 24 Q 地点からの立体映像の提示の様子

Fig. 24 Presentation of stereoscopic information for exhibition at point Q.