

NAIST-IS-MT0651076

## 修士論文

# 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

2009年2月5日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

永松 明

審査委員：

横矢 直和 教授 (主指導教員)

加藤 博一 教授 (副指導教員)

山澤 一誠 准教授 (副指導教員)

# 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

## 内容梗概

近年、ユーザの位置・姿勢に応じて現実空間に案内情報を重畳表示するウェアラブル拡張現実感 (AR) に関する研究が盛んに行われており、その応用例の一つとして AR 観光案内システムが挙げられる。従来、このような案内システムでは表示装置として PDA のようなハンドヘルドディスプレイやヘッドマウントディスプレイ (HMD)、プロジェクタ等が用いられている。ハンドヘルドディスプレイや HMD は個々のユーザに適した案内情報を個別に提示可能であるのに対し、プロジェクタは現実空間に直接投影するため複数人で同じ案内情報を同時に共有可能という特徴がある。複数人で行動することが多い観光地における案内などでは、ユーザが情報を共有できることが利点となる。そのため、本研究ではモバイルプロジェクタを用いて博物館等の屋内環境で利用できる AR 案内システムを提案する。このようなシステムを実現するには、広域環境において高精度にプロジェクタの位置・姿勢を推定する必要があるため、不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定システムをモバイルプロジェクタに装着することで、AR 案内システムを実現する。ユーザは環境内を歩き回りながら壁や床などに投影された案内情報を見ることで、複数人で同時に案内情報を得ることが可能となる。さらに、2台のプロジェクタと偏光メガネを用いることにより、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、より直感的な情報提示を可能とする。

---

\* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0651076, 2009年2月5日.

## キーワード

モバイルプロジェクタ, 拡張現実感, ウェアラブルコンピュータ, ナビゲーション,  
立体視



# AR Guide System Using Mobile Projector in Indoor Environment\*

Akira Nagamatsu

## Abstract

Many wearable augmented reality (AR) systems which overlay location-based information in the real world have been proposed in recent years. As one of the wearable AR applications, AR tour guide systems have been developed. In such systems, A Head-Mounted Display (HMD), a handheld display such as a PDA, or a projector has been used. The HMD and handheld display can provide each user with individual guide information. On the other hand, the projector can make it possible to share the guide information among multiple users. During visual tour guide, it is desirable for all the tourists in a group to share the guide information. This thesis proposes a projection-based AR guide system which guides users using a handheld projector in indoor environments. 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.

---

\* Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0651076, February 5, 2009.

**Keywords:**

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

# 目次

1. はじめに	1
2. 拡張現実感を用いた案内システムに関する従来研究と本研究の位置づけ	3
2.1 拡張現実感と表示装置	3
2.2 拡張現実感技術を用いた案内システム	6
2.3 拡張現実感技術を用いたプロジェクション型案内システム	8
2.4 本研究の位置づけ	12
3. モバイルプロジェクション型 AR 案内システム	14
3.1 案内システムの概要	14
3.2 システムの機器構成	15
3.3 システムの利用方法	17
3.4 不可視マーカを用いた位置・姿勢推定	23
3.5 案内システムの処理の流れ	25
3.5.1 案内システムにおける投影像の生成処理	25
3.5.2 立体情報提示機能における投影像の生成処理	30
3.5.3 立体情報提示機能の利用環境	32
4. 案内システムを用いた案内情報の提示実験	35
4.1 実験環境	35
4.2 ナビゲーション実験の結果	39
4.3 立体情報提示実験の結果	50
5. まとめ	53
謝辞	54
参考文献	55

## 目 次

1	案内システムの提示情報の種類 . . . . .	2
2	プリンタのメンテナンス支援システム KARMA[20] . . . . .	5
3	ARtennis[21] . . . . .	5
4	プロジェクタを用いた協調作業支援 [22] . . . . .	6
5	ARCHEOGUIDE[23] における提示画像例 . . . . .	7
6	平城宮跡ナビ [24] においてユーザに提示される画像例 . . . . .	8
7	Signpost[25] . . . . .	9
8	CoGAME[29] による道画像提示例 . . . . .	10
9	プロジェクタを用いたインタフェース [30] . . . . .	11
10	小型プロジェクタを装着したユーザ概観と案内情報提示 [31] . . . . .	12
11	案内システムの利用シーン . . . . .	14
12	プロジェクタを装着したユーザの概観 . . . . .	16
13	展示物とシルバースクリーンの例 . . . . .	16
14	案内情報の提示範囲 . . . . .	17
15	展示案内情報のインタラクション機能例 . . . . .	19
16	展示案内情報の行動履歴に応じた情報提示機能例 . . . . .	19
17	ユーザと展示物の距離に応じて切り替わる機能 . . . . .	20
18	立体情報提示機能 (Type2) . . . . .	21
19	経路案内情報のインタフェース例 . . . . .	22
20	天井に設置される不可視マーカ . . . . .	24
21	案内情報の提示方式の種類 . . . . .	26
22	投影画像生成の処理の流れ . . . . .	27
23	案内システムにおける座標系と案内情報の投影の様子 . . . . .	28
24	投影画像生成処理の流れ . . . . .	30
25	提示映像の幾何変換処理の概要 . . . . .	31
26	利用環境の概略図 . . . . .	33
27	A, B の成す角度と 3 次元位置の誤差の関係 . . . . .	34
28	投影面の位置と 3 次元位置の誤差の関係 . . . . .	34

29	機器の仕様	36
30	案内システムの機器構成	37
31	設置した展示物と経路案内のコース	38
32	立体情報提示実験の環境と案内情報の提示位置	38
33	複数人での案内の様子	40
34	各地点のプロジェクタの投影方向	41
35	経路選択の様子	42
36	Yコースにおける経路案内情報の様子	43
37	展示物(1)(4)の展示案内情報の提示の様子	44
38	展示物(5)の展示案内情報の提示の様子	45
39	ユーザと展示案内情報のインタラクション機能	46
40	ユーザの履歴により展示案内情報の内容が変化した様子	47
41	ユーザと展示物(3)との距離が近い場合の案内の様子	48
42	ユーザと展示物(3)との距離が遠い場合の案内の様子	48
43	投影像の歪みの検証結果	49
44	P, Q地点からの提示した左目用の投影像	50
45	P地点からの立体情報の提示の様子	51
46	Q地点からの立体情報の提示の様子	52

## 表 目 次

1	案内システムの機能とコンテンツの対応関係	39
---	----------------------	----

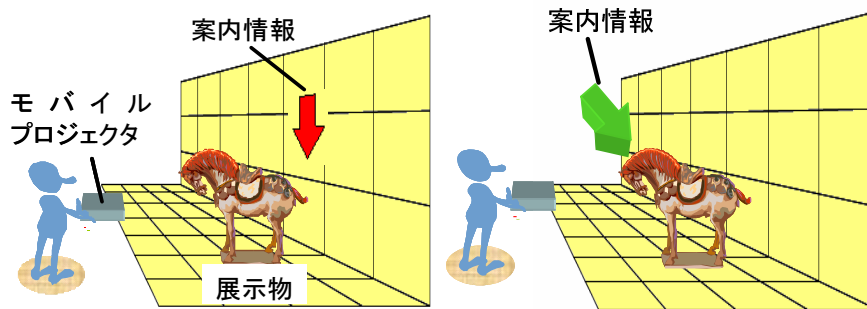
## 1. はじめに

近年、計算機の小型化・高性能化に伴い、装着することで自由に移動しながら利用できるウェアラブルコンピュータの実現が可能になった [1, 2]. また現実環境にコンピュータグラフィクス (CG) で描かれた仮想物体を重畳表示することにより、直感的に情報を提示できる拡張現実感 (Augmented Reality:AR) の研究も盛んに行われている [3]. AR をウェアラブルコンピュータ上で実現すれば、ユーザ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 [4, 5, 6]. その応用として、ユーザの位置・姿勢に応じて道案内や観光案内情報などの位置依存情報をユーザ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 [7, 8, 9].

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 [10, 11]. 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 [12, 13] 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することが望ましい.

そこで、仮想物体をプロジェクタから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プロジェクション型 AR が提案されている. 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投影するため、一度に複数のユーザが同じ案内情報を同時に見ることが可能である. 複数人で行動することの多い観光地における案内ではプロジェクション型 AR が適している.

そのため、本研究ではプロジェクタを用いて博物館のような広域な屋内環境で利用可能な 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 [14] 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・姿勢を推定することが可能となり、さらにユーザが所持可能なモバイルプロジェクタを用いることで、ユーザは環境内を歩き回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



(a) 投影面上の提示情報 (b) 3次元空間中の提示情報  
 図1 案内システムの提示情報の種類

報などの案内情報を投影することで、観光の補助が可能となる。

しかしこの手法では、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3次元空間中の点を指し示すことはできない。案内情報をユーザにより直感的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から3次元空間中に拡張する必要がある。そこで本研究では、2台のモバイルプロジェクタと偏光メガネを用いることにより3次元空間中に立体的な情報を提示可能な機能を追加する。この機能では正確な位置に案内情報を提示するために、ユーザの視点位置・姿勢に基づいた投影像を生成する必要がある。そのため同様にプロジェクタの位置・姿勢を位置・姿勢推定システムを利用して推定し、2台のモバイルプロジェクタを用いて立体的な案内情報を提示をする。各プロジェクタには個別の偏光フィルタが取り付けられ、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。

以降、2章では拡張現実感を用いた案内システムの従来研究について概観し、本研究の位置づけを述べる。3章では提案するモバイルプロジェクタを用いたAR案内システムについて詳述し、4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、システムの有用性について考察する。最後に5章において本稿のまとめと今後の展望について述べる。

## 2. 拡張現実感を用いた案内システムに関する従来研究 と本研究の位置づけ

本章では、プロジェクション型 AR 案内システムに関連する従来研究と本研究の位置付けについて述べる。2.1 節では拡張現実感について、2.2 節ではその拡張現実感を応用した案内システムについて述べる。さらに 2.3 節ではそれらの案内システムの中でもプロジェクタを用いた AR 案内システムについて詳述し、最後に 2.4 節では本研究の位置付けについて述べる。

### 2.1 拡張現実感と表示装置

拡張現実感 (AR:Augmented Reality) とは、現実環境にコンピュータグラフィクス (CG:Computer Graphics) で描かれた仮想物体などの情報をシームレスに重畳表示する技術である。拡張現実感では、一般的にヘッドマウントディスプレイ、ハンドヘルドディスプレイ、プロジェクションベースディスプレイなどの表示装置を用いて、現実環境に視覚情報を付加する映像をユーザに提示する。以下に表示装置の特徴を述べる。

- ヘッドマウントディスプレイ (HMD : Head Mounted Display)

ヘッドマウントディスプレイは頭部に装着するディスプレイ装置で 1968 年に Sutherland により提案 [15] された。個々のユーザに適した情報を効率的に提示可能である。ヘッドマウントディスプレイの中には視差のある映像を提示することにより、立体情報の表示が可能であるものもあり、AR の表示装置としてしばしば用いられる。

- ハンドヘルドディスプレイ

携帯電話や PDA(Personal Digital Assistant) などに代表されるハンドヘルドディスプレイは、小型で軽量であるため可搬性に優れている。表示範囲は狭いが、ヘッドマウントディスプレイと比べて装着に伴う負担が少ないという特徴がある。また、個々のユーザに適した情報を効率的に提示可能である。



- プロジェクションベースディスプレイ

プロジェクションベースディスプレイとは、現実環境をスクリーンと見立てて視覚情報をプロジェクタを用いて投影し、視覚情報を現実環境上に重畳表示することができる。視覚情報を現実環境に直接投影することができるため、ユーザ間で同じ視覚情報を同時に共有可能であるという特徴がある。従来プロジェクタは環境中に固定して利用するものが多かったが、近年の小型化、省電力化の技術革新は著しく、手のひらサイズのプロジェクタがすでに商品化されている。

拡張現実感の応用として、作業者の支援のための指示 [17] や建設前の建造物を現実のシーンに合成 [18]、またアミューズメントを目的としたゲーム [19] 等の研究が数多くなされている。その中で、ヘッドマウントディスプレイ、ハンドヘルドディスプレイ、プロジェクタを表示装置として用いた例をそれぞれ以下に挙げる。

- KARMA [20]

KARMA は Feiner らによって開発されたプリンタのメンテナンスシステムである。図 2 に示すようにメンテナンスを行うユーザに対して、目的の作業を行うにはどのパーツをどのように動かせばよいか等の作業支援情報をヘッドマウントディスプレイをかぶったユーザに提示する。

- AR テニスゲーム [21]

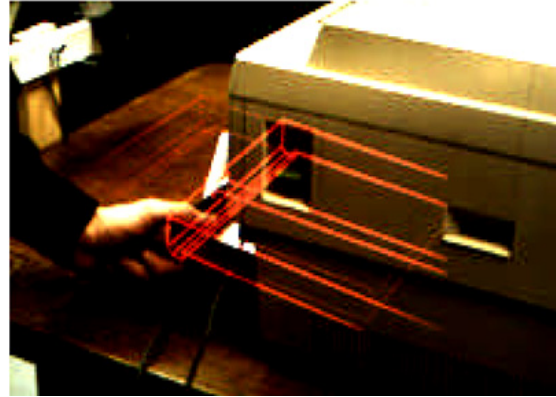
Henrysson らはハンドヘルドディスプレイである携帯電話を用いた AR アプリケーションの一つとしてテニスゲームを開発した。図 3 は 2 人のユーザはそれぞれ携帯電話を持ち、携帯電話をラケットとして CG で描かれたボールを打ち合っている様子である。

- プロジェクタを用いた協調作業支援 [22]

Rekimoto らはプロジェクタを用いた協調作業支援システムを開発した。図 4 に示すように個々の PC の作業空間をプロジェクタを用いて机や壁と空間的に連続させることで作業空間を拡張し、さらに複数のユーザ間で共通のタスクを行うことが可能である。



(a) HMD を装着してメンテナンスを行うユーザ



(b) ユーザに提示される合成画像

図 2 プリンタのメンテナンス支援システム KARMA[20]



図 3 ARtennis[21]



図 4 プロジェクタを用いた協調作業支援 [22]

また、近年の計算機の小型化・高性能化は目覚しく、装着することで自由に移動しながら利用できるウェアラブルコンピュータが現実のものとなりつつある。ARをウェアラブルコンピュータ上で実現すれば、ユーザ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可能となる。そのため、このようなウェアラブルコンピュータを用いたARはヒューマンナビゲーションや観光案内などへの応用がされている。次節では、ユーザの位置・姿勢に応じて道案内や観光案内情報などの位置依存情報をユーザに提示するAR案内システムについて詳述する。

## 2.2 拡張現実感技術を用いた案内システム

観光案内の分野において、注釈情報や3次元モデルなどの位置依存型コンテンツを拡張現実感により提示するシステムの開発が盛んに行われている。特にハンドヘルドディスプレイやヘッドマウントディスプレイを用いる方法は、個々のユーザに適した案内情報を任意の3次元位置に提示できるといった特徴があるため広く利用されている。以下にその例を示す。

- ARCHEOGUIDE[23]

Vlahanskiらは、ARを利用して古代ギリシャ時代の遺跡に当時の建物の3次元CGモデルを重畳表示するウェアラブル観光案内システム ARCHEOGU-



図 5 ARCHEOGUIDE[23] における提示画像例

IDEを開発した。表示装置としてヘッドマウントディスプレイを用いて、図5のように当時の環境を体感させることができる。

- 平城京跡ナビ [24]

天目らは屋外の観光地においてユーザの位置に応じた観光案内コンテンツをユーザに提示する「平城宮跡ナビ」を開発した。このシステムは多様なモバイル端末を持ったユーザに対して観光案内を行うことを目的としており、図6のようにウェアラブルコンピュータを持ったユーザに対してヘッドマウントディスプレイによる注釈や3次元モデルを提示している。携帯電話やPDA等のハンドヘルドディスプレイを持ったユーザに対しては、各端末の機能に応じて、コンテンツ情報の提示を行う。

- Signpost[25]

Kalkuschらは、ハンドヘルドディスプレイであるPDAを用いて屋内環境を案内するシステムSignpostを開発した。図7のように壁に貼られたマーカからユーザの現在地を計測し、ユーザの位置に応じた環境内の経路情報



(a) 注釈の提示画像例

(b)3次元モデルの提示画像例

図 6 平城宮跡ナビ [24] においてユーザに提示される画像例

を提示する。経路情報としては環境内の地図や進む方向の指示のための矢印を提示する。

このような AR 案内システムでは表示装置として、主にヘッドマウントディスプレイやハンドヘルドディスプレイが用いられることが多い。しかし、ヘッドマウントディスプレイやハンドヘルドディスプレイ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、ヘッドマウントディスプレイは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には不向きである。また、ハンドヘルドディスプレイは機器の表示範囲が狭く、小さいため複数人で同じ案内情報を共有することは難しい。観光案内では複数人で行動することも多いため、同じ案内情報を同時に共有できることが望ましい場合がある。そこで、プロジェクタを用いた AR 案内システムが提案されている。次節では、プロジェクタを用いた AR 案内システムについて述べる。

### 2.3 拡張現実感技術を用いたプロジェクション型案内システム

プロジェクタを用いた AR は現実環境に位置依存情報を投影するため、複数人で同時に共有可能な情報の提示手法として注目されている。また、携帯端末の小





(a) ユーザと環境内の外観

(b) 注釈の提示画像例

図 7 Signpost[25]

型化・高性能化によりプロジェクタを搭載した携帯電話端末等の開発が進められている。このような背景の下で、プロジェクタを用いたARに関する研究が多くなされている [26, 27, 28]。以下に拡張現実感技術を用いたプロジェクション型システムを挙げる。

- CoGAME[29]

CoGAMEはプロジェクタを用いてカメラロボットをナビゲーションするインタラクティブゲームで、プロジェクタを用いてカメラロボットをゴールまで誘導していくゲームである。図8のようにプロジェクタに道画像を投影するとカメラロボットはその道に沿って歩き始め、複数人で協力しながら道画像をつなげてゴールをめざす。

- プロジェクタを用いたインタフェース [30]

図9にCaoらによって提案されたプロジェクタを用いたインタフェースによるインタラクション例とユーザ外観を示す。Viconを使って、モーション

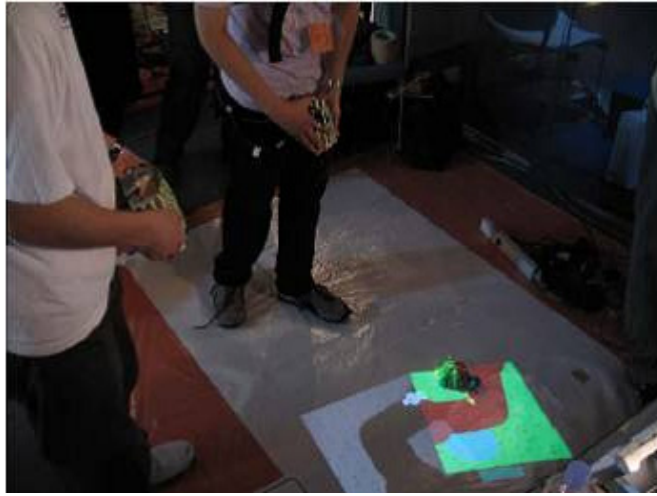
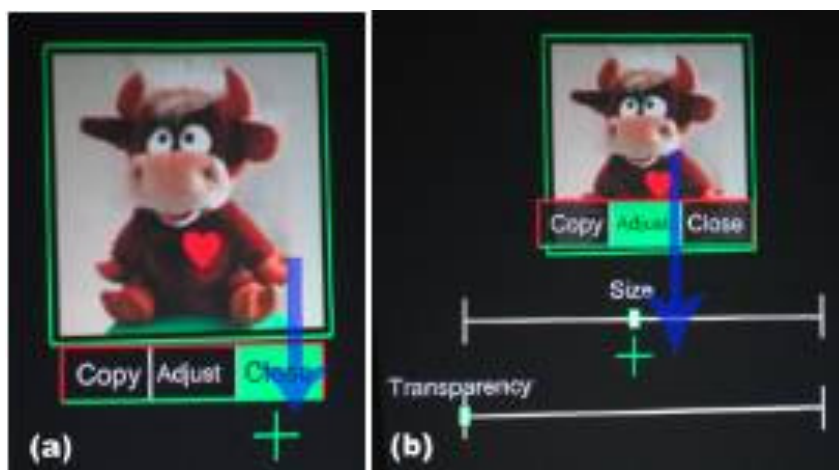


図 8 CoGAME[29] による道画像提示例

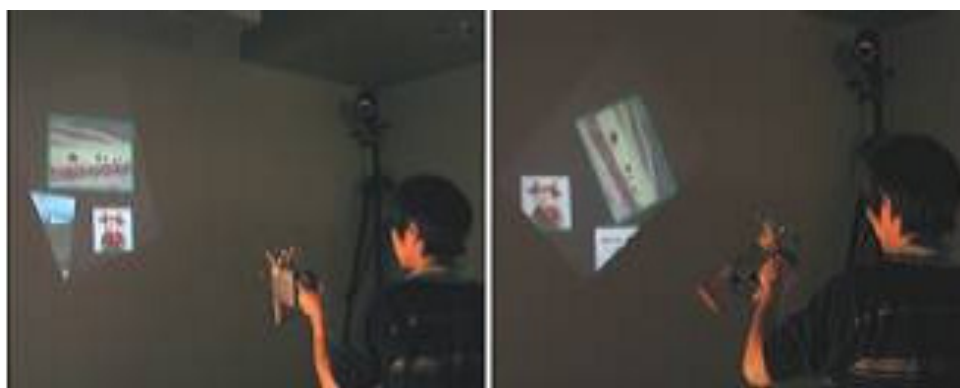
キャプチャしたプロジェクタの位置・姿勢に応じて投影像を射影変換し、投影像を常に壁に張り付いているかのように提示している。また、投影像を拡大・縮小させたり、投影像の位置を移動させるなどのインタラクションを可能としている。

- 小型プロジェクタを用いたウェアラブル案内システム [31]

狩塚らは肩に装着された小型プロジェクタを用いて再帰性反射材からなるマーカを貼りつけた平面実物体を投影対象として、テキスト情報や動画情報を提示するシステムを開発した [31]。図 10 に情報提示の様子を示す。また、インタラクション用のマーカを添付することや、赤外線 LED の付いた指キャップを装着することでユーザから提示情報への入力を可能としている。



(a) 提示画像に対するインタラクション例



(b) ユーザの外観と提示画像例

図 9 プロジェクタを用いたインタフェース [30]



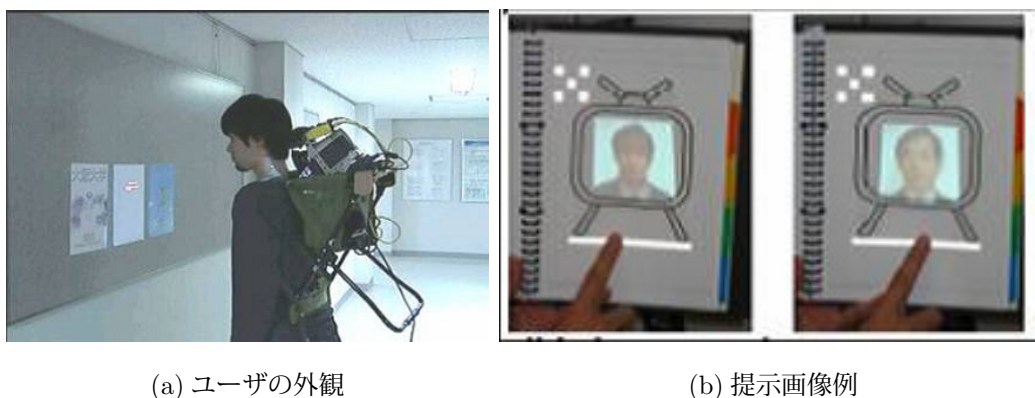


図 10 小型プロジェクタを装着したユーザ概観と案内情報提示 [31]

## 2.4 本研究の位置づけ

前節までに概観したように様々な表示装置を用いたウェアラブル AR 案内システムが多く研究されている。ハンドヘルドディスプレイやHMDは個々のユーザに適した案内情報を個別に提示可能であるため広く用いられているが、複数人で行動することが多い観光地における案内などではユーザが情報を共有できることが利点となるため、プロジェクタを用いた案内システムが適している。

小型プロジェクタを用いたウェアラブル案内システム [31] ではユーザがいる空間に対して案内情報を投影するため、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案内情報を投影する箇所にマーカを設置する必要があり、案内情報の投影場所が限定されるため、広範囲な屋内環境での利用は難しい。

そのため、本研究ではモバイルプロジェクタを用いて博物館等の屋内環境で利用できる AR 案内システムを提案する。このようなシステムを実現するには、広域環境において高精度にプロジェクタの位置・姿勢を推定する必要があるため、不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定システムをモバイルプロジェクタに装着することで、AR 案内システムを実現する。ユーザは環境内を歩き回りながら壁や床などに投影された観光の補助となる案内情報を見ることで、複数人で同時に案内情報を得ることが可能となる。

さらに、本論文では3次元空間中に指すような3次元的な情報提示を実現する機能についても述べる。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、[32]はユーザは両目にディスプレイを装着しなければならず、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 [33, 34] では、広範囲における利用は難しい。

そのため、2台のモバイルプロジェクタを用いて立体情報提示機能を追加する。各プロジェクタには個別の偏光フィルタが取り付けられ、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。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、直感的な情報提示を可能となる。

### 3. モバイルプロジェクション型 AR 案内システム

#### 3.1 案内システムの概要

本節では、提案するプロジェクション型 AR 案内システムの概要について述べる。案内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広域な屋内環境を対象とし、ユーザはこのような環境内で展示物を見て回りながら複数人で観光するものとする。図 11 に案内システムの利用シーンを示す。複数人で行動するグループの内の一人がプロジェクタを持ち、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環境内の経路情報(以降、経路案内情報)や展示物の説明(以降、展示案内情報)などの案内情報を投影しながら環境内を観光する。提案システムでは通常1台のプロジェクタを用いるもの(Type1)とし、立体情報提示機能(Type2)には一部、偏光方式により2台のプロジェクタから左目用、右目用の映像を投影することで実現する。次節では、システムの機器構成について述べる。

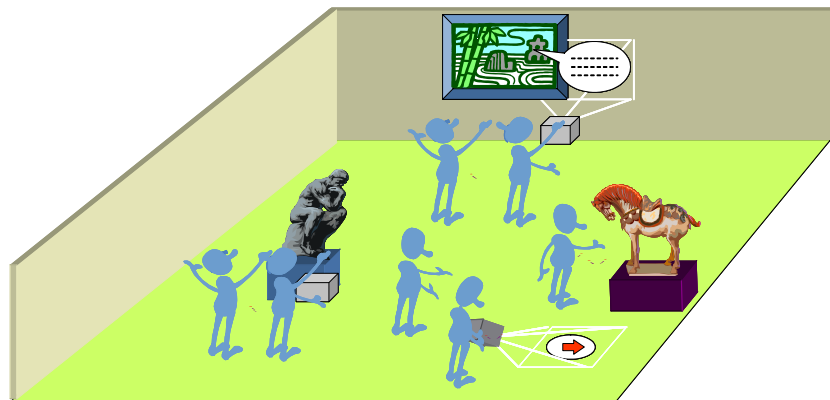


図 11 案内システムの利用シーン

### 3.2 システムの機器構成

図12にプロジェクタを装着したユーザの概観を示す。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、環境中の天井には不可視マーカを設置する。図12(a)のように案内システム(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。

図12(b)に立体情報提示機能(Type2)の機器構成を示す。案内システムでは、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台のプロジェクタの相対関係を固定することで立体情報の提示に必要な左右の視点位置・姿勢の算出を単純化する。また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、環境中の天井には景観を損ねない再帰性反射材からなる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。ユーザは偏光フィルタを取り付けた2台のプロジェクタを頭部に固定し、さらに投影像を生成するための計算機、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、投影面に映し出された光の偏光を保つためにシルバースクリーンが必要である。そこで、図13のように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。

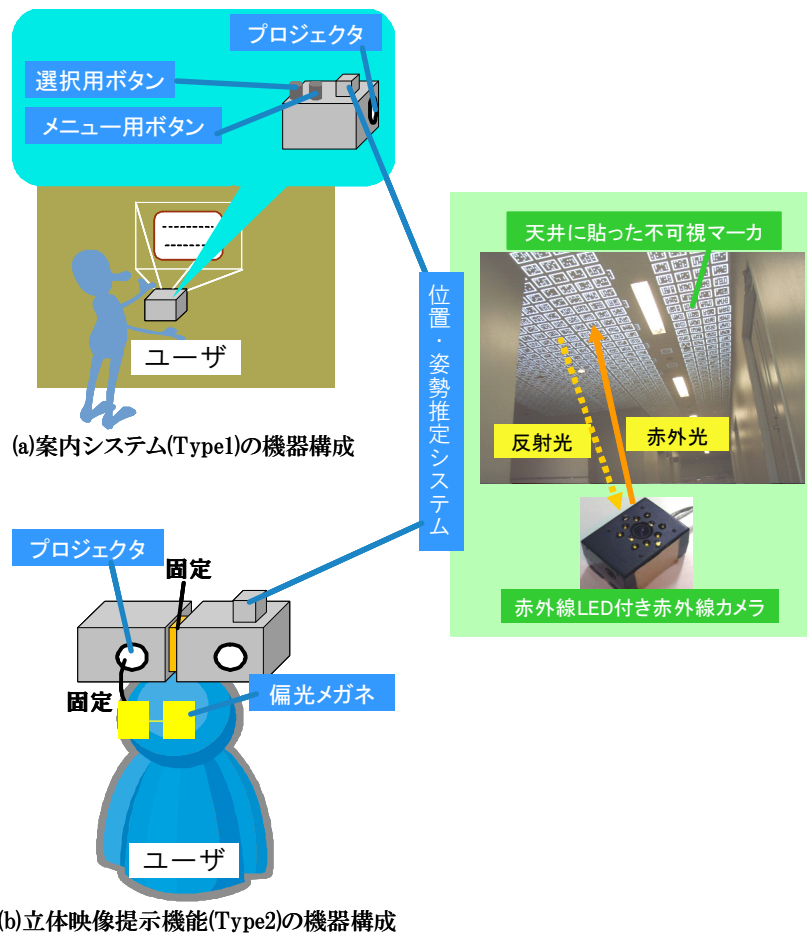


図 12 プロジェクタを装着したユーザの概観



図 13 展示物とシルバースクリーンの例

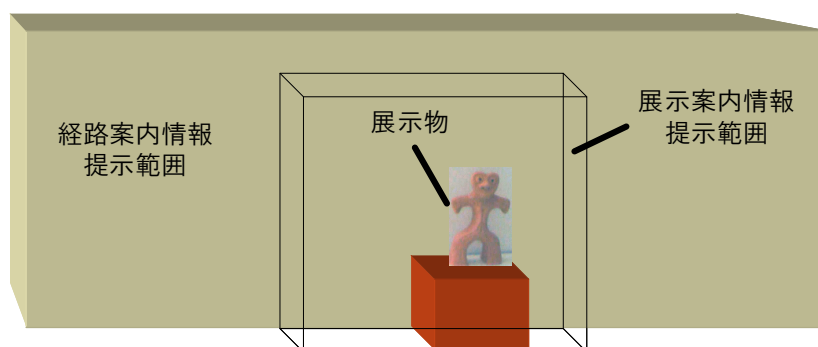


図 14 案内情報の提示範囲

### 3.3 システムの利用方法

本節では、提案システムの利用方法について述べる。ユーザは環境内の入口に入るとまず、観光したい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メニュー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。

提案システムが提示する案内情報を大別すると展示物の経路を案内する経路案内情報、展示物の内容の説明を提示する展示案内情報に分けられる。図 14 に示すように展示物を囲むように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 15 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。ユーザが図 15(a) にある三角印のような案内情報内の特定

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図 15(b) のように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 16 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 17 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。

- 立体情報提示機能 (Type2)

立体視可能な 3 次元の案内情報を提示可能である。図 18 に示すように、ユーザに投影面上以外の 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。

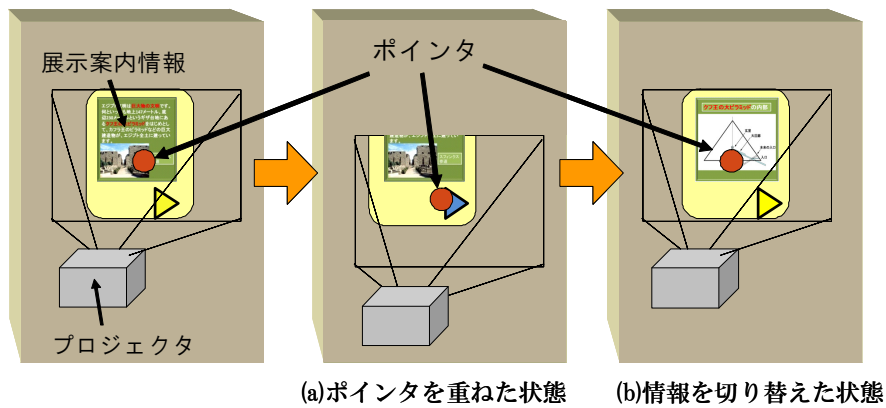


図 15 展示案内情報のインタラクション機能例

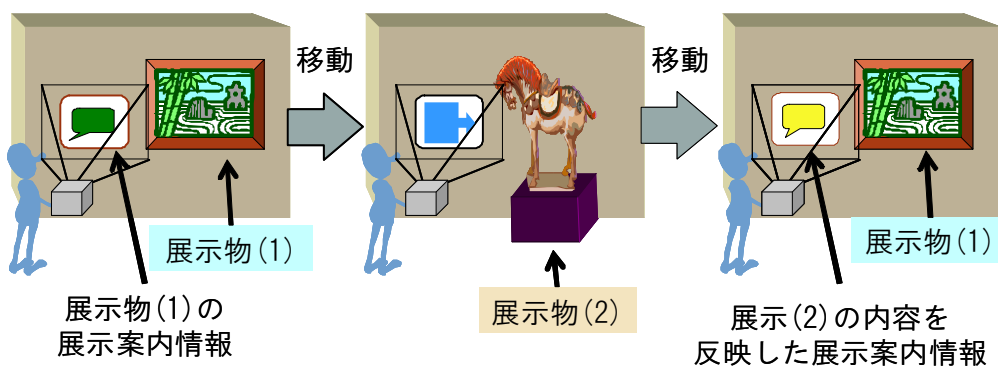
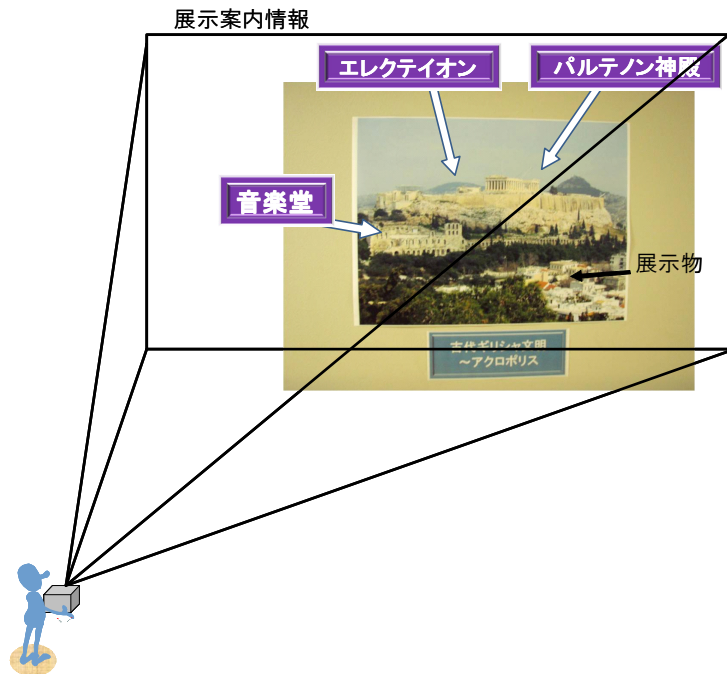
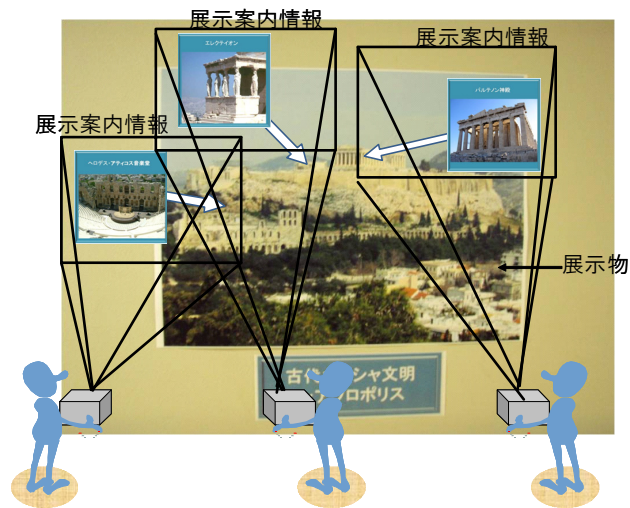


図 16 展示案内情報の行動履歴に応じた情報提示機能例





(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 17 ユーザと展示物の距離に応じて切り替わる機能

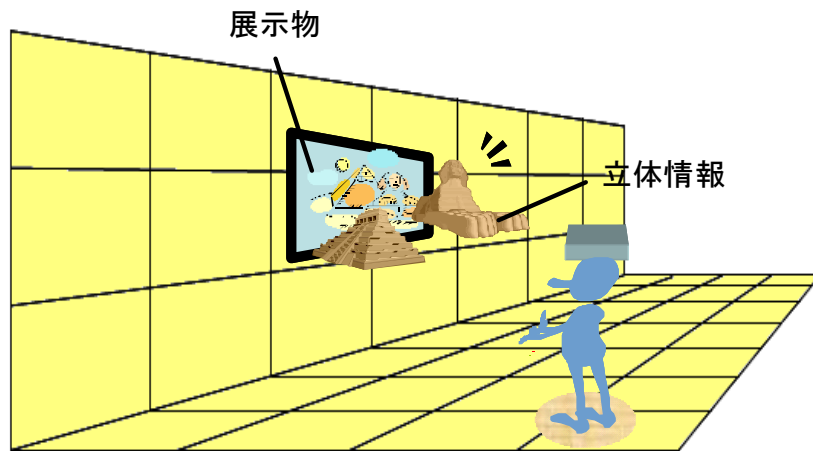


図 18 立体情報提示機能 (Type2)

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．図 19 のように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．

- メニュー用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，選択用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

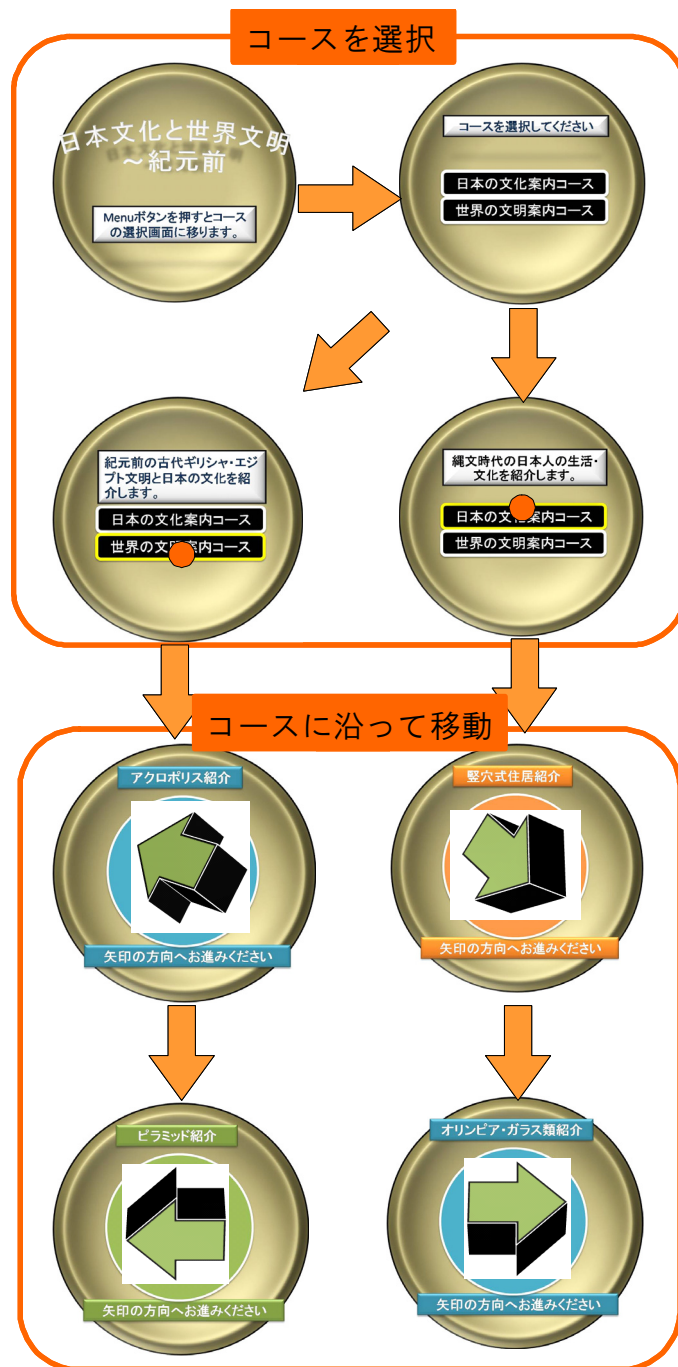


図 19 経路案内情報のインタフェース例

### 3.4 不可視マーカを用いた位置・姿勢推定

観光案内を目的とした環境内では景観を損ねずに屋内環境で安定して利用可能な位置姿勢計測手法が求められる。また、案内システムは広域な屋内環境を想定しているため、広範囲な環境でユーザの位置・姿勢を推定でき、かつその環境を容易に構築できることが望ましい。そのため中里らの不可視マーカを用いた位置・姿勢推定システム [14] を用いる。

不可視マーカを用いた位置・姿勢推定システムでは、位置計測対象に赤外線 LED 付き赤外線カメラを装着し、図 20(a) のように天井に景観を損ねない再帰性反射材からなる不可視マーカを設置する。また、不可視マーカのインフラ環境を容易に構築するために、不可視マーカを印刷した壁紙を利用し、マーカのキャリブレーションを行うツールを用いてマーカの 3 次元位置・姿勢を計測する。このツールは不可視マーカをデジタルカメラで撮影した画像を入力としてマーカの 3 次元位置・姿勢を推定することができる。

不可視マーカは再帰性反射材の性質により光源方向に強く光を反射するため(図 20(b))、カメラ付近から発した赤外光を反射する不可視マーカは赤外線カメラによって高輝度で撮影できる。カメラの位置・姿勢の推定を撮影した画像から認識したマーカと、あらかじめ計測しておいたマーカの 3 次元位置を画像上に投影した位置の差を最小化することにより行う。このシステムにより、通常天井高の屋内で位置・姿勢をそれぞれ誤差 9mm, 0.35° 程度で計測することが可能である。



(a) 不可視マーカ (通常時)



(b) 不可視マーカ (フラッシュ撮影時)

図 20 天井に設置される不可視マーカ

## 3.5 案内システムの処理の流れ

### 3.5.1 案内システム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)

を利用する。

本システムでは、図21に示すように案内情報の提示手法を2つに大別する。一つは空間に案内情報を固定して提示する手法(以降、固定型提示手法)で、図21(a)のようにプロジェクタの投影範囲が変化しても案内情報の位置は壁や床の投影面に貼り付いているかのように変化しない。もう一方は、プロジェクタの投影範囲に追従して案内情報を提示する手法(以降、追従型提示手法)である。図21(b)のように、プロジェクタの投影範囲が変化すると案内情報も壁や床の投影面に貼り付きながら追従する。これらの提示方式を用いて図21(c)のように経路案内情報と展示案内情報を組み合わせて案内情報を構成する。

**展示案内情報と経路案内情報の処理の流れ:** 経路案内情報のコースの選択や展示案内情報のインタラクションは、スイッチとなるボタンの投影像とポインタを用いて選択する。このとき投影面の中心点を追従型提示手法のポインタとし、スイッチとなるボタン用の投影像を固定型提示手法として用いることでコース選択やインタラクションを行うことが可能となる。

**投影像の生成:** 図22に投影画像生成の処理の流れを示す。案内システムはまず不可視マーカを用いた位置・姿勢推定システムを利用して、プロジェクタの位置・姿勢を計測する。次にプロジェクタの投影範囲を判定するために、屋内環境の投

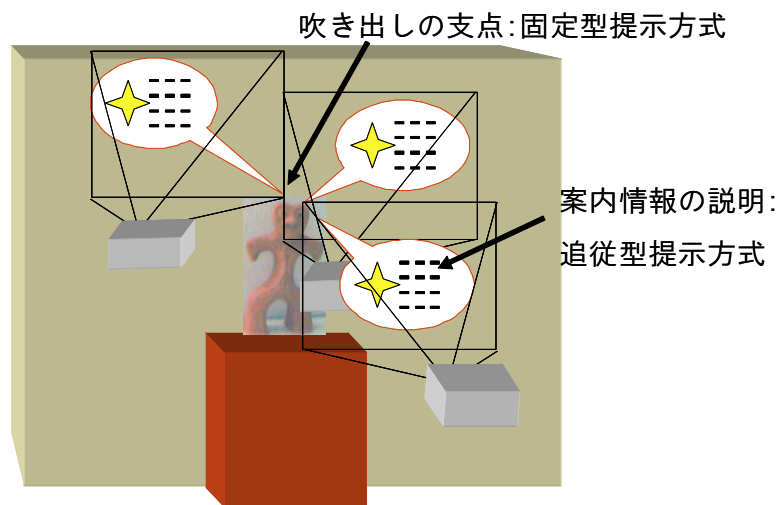
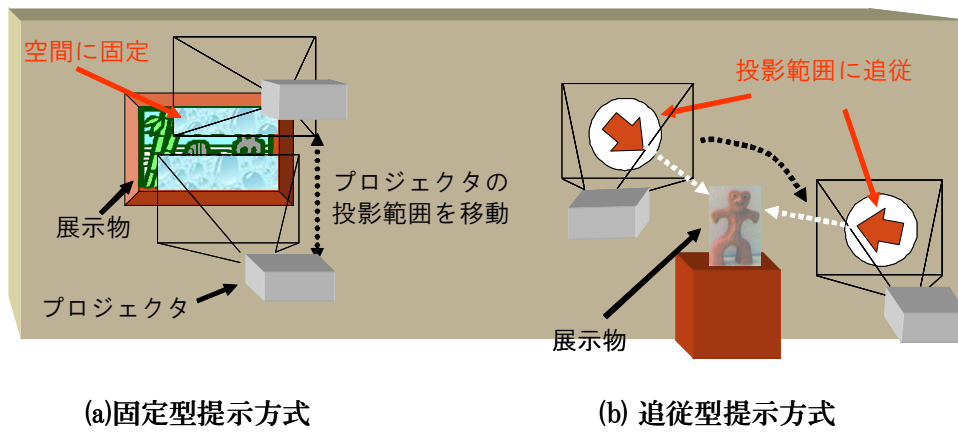


図 21 案内情報の提示方式の種類

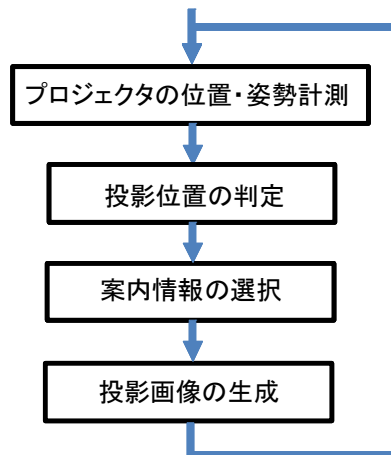


図 22 投影画像生成の処理の流れ

影面の 3 次元形状に対して、位置・姿勢が計測されたプロジェクタの投影領域の中心がどこに投影されるかを計算する。展示案内情報や経路案内情報の提示範囲はあらかじめ設定されており、計算した投影位置を元にどの案内情報を投影するかを決定し、投影像を生成する。

次に投影位置の判定と投影像の生成において用いられるプロジェクタ座標系と世界座標系の関係について詳述する。図 23 に案内システムにおけるプロジェクタ座標系と世界座標系の関係と案内情報の投影の様子を示す。

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配置する。配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  $\mathbf{M}$  を用いてプロジェクタ座標系に変換される。案内システムでは、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  $\mathbf{M}$  を以下のように定義する。



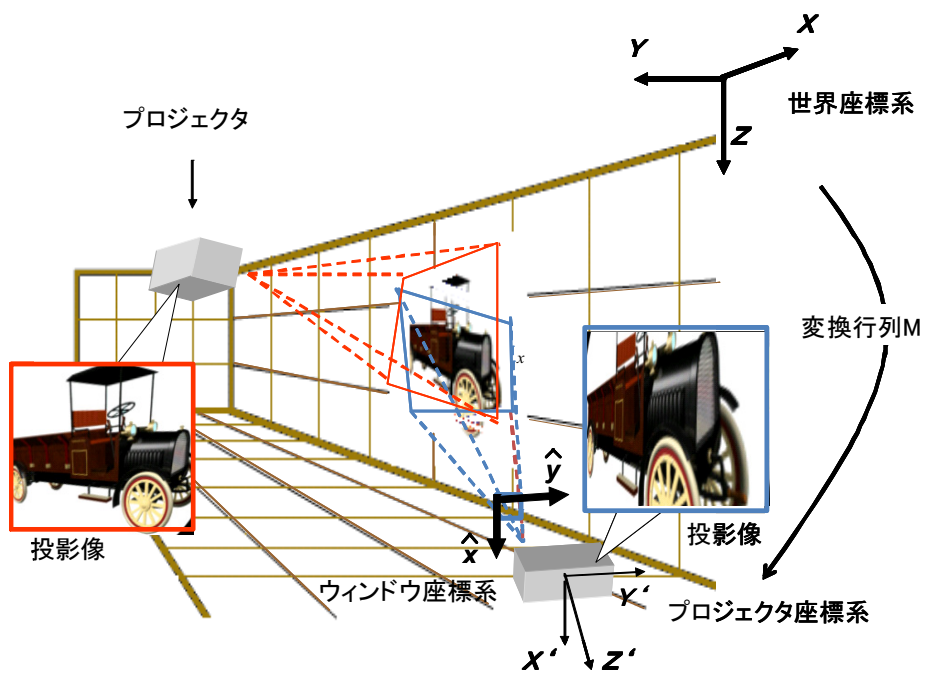


図 23 案内システムにおける座標系と案内情報の投影の様子

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{pmatrix} c_2c_3 + s_1s_2s_3 & c_1s_3 & -s_2c_3 + s_1c_2s_3 & t_1 \\ -c_2s_3 + s_1s_2c_3 & c_1c_3 & s_2s_3 + s_1c_2c_3 & t_2 \\ c_1s_2 & -s_1 & c_1c_2 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし,

$$\begin{aligned} s_1 &= \sin r_1, & s_2 &= \sin r_2, & s_3 &= \sin r_3 \\ c_1 &= \cos r_1, & c_2 &= \cos r_2, & c_3 &= \cos r_3 \end{aligned} \quad (3)$$

である. また, 図 23 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.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{M} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

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. また投影中心座標  $(c_x, c_y)$ , 横方向と縦方向の画素の物理的な間隔  $(\delta_x, \delta_y)$  と仮定し, 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  $\hat{\mathbf{x}} = (\hat{x}, \hat{y})$  は以下のように定義される

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left( -\delta_x \frac{X'}{Z'} F + c_x, -\delta_y \frac{Y'}{Z'} F + c_y \right) \quad (5)$$

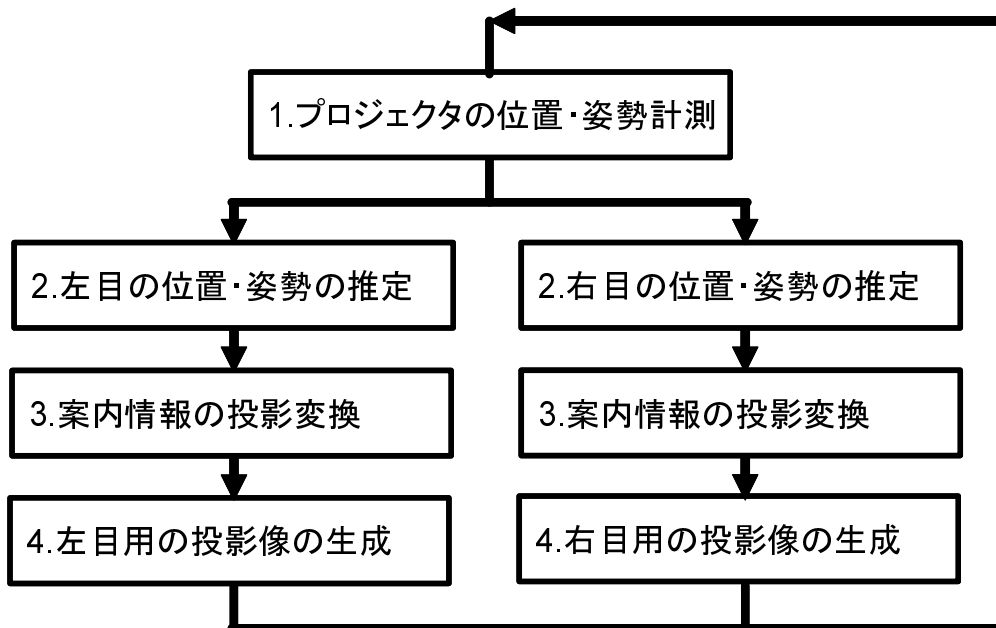


図 24 投影像生成処理の流れ

### 3.5.2 立体情報提示機能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。図24に投影像生成処理の流れを示す。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、ユーザの視点からみ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. プロジェクタの位置・姿勢計測

環境中の天井に設置された不可視マーカをプロジェクタの上部に取り付けた赤外線LED付き赤外線カメラで撮影・認識してプロジェクタの位置・姿勢計測を計測する(それぞれ誤差9mm, 0.35°程度)[14]。2台のプロジェクタの相対関係は固定であるため、それぞれの位置・姿勢を計算する。

#### 2. ユーザの左右視点位置・姿勢の推定

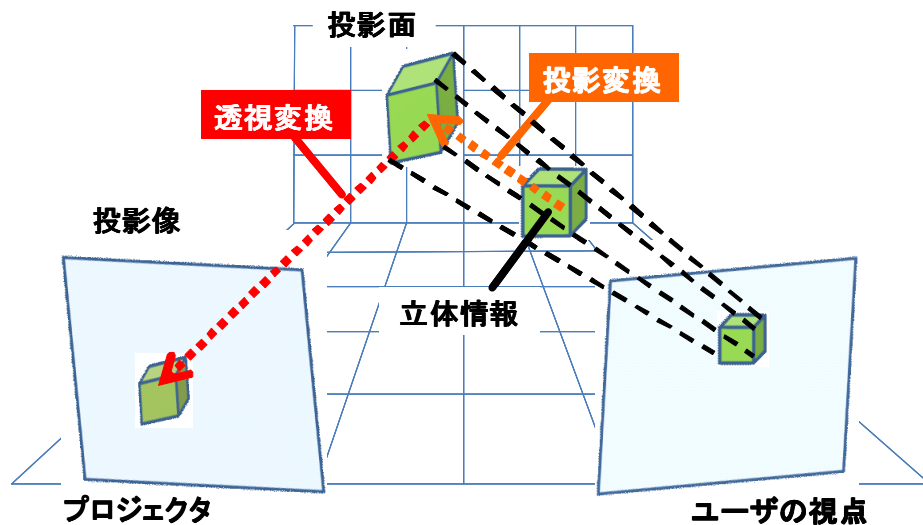


図 25 提示映像の幾何変換処理の概要

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。

### 3. 案内情報の投影変換

図 25 に提示映像の幾何変換処理の概要を示す。図中の案内情報は 3 次元位置に設定してある。投影面の 3 次元形状が既知であることからユーザの視点、案内情報、投影面の位置関係の情報より、ユーザの左右それぞれの視点から見た案内情報が、投影面に対してそれぞれどのように投影されるか計算する。

### 4. 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。

### 3.5.3 立体情報提示機能の利用環境

立体情報提示機能では、正しい位置に提示された案内情報を見ることが可能なのは、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その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る。そのため、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にその案内情報の3次元位置の誤差を求めることで案内システムの想定する利用環境を述べる。

図26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その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 $\alpha^\circ$ 、 $\beta^\circ$ 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27に投影面と提示位置の距離 $t$ が0.2mのときの $\alpha = 0, 15, 30^\circ$ の場合において、O地点に対するA、Bの成す角度( $\beta - \alpha$ )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、 $\alpha$ が $15^\circ$ 、 $30^\circ$ のときと比べて、投影面に対して正面から投影を行った $\alpha = 0^\circ$ の場合に誤差 $d$ が小さくなることがわかる。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 $15^\circ$ 、0.1mとした場合は約 $35^\circ$ となる。

図28に $\alpha$ が $0^\circ$ 、 $\beta$ が $30^\circ$ 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 $d$ が小さくなることがわかる。

これらより、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が近いほどより正確な位置に提示できる。

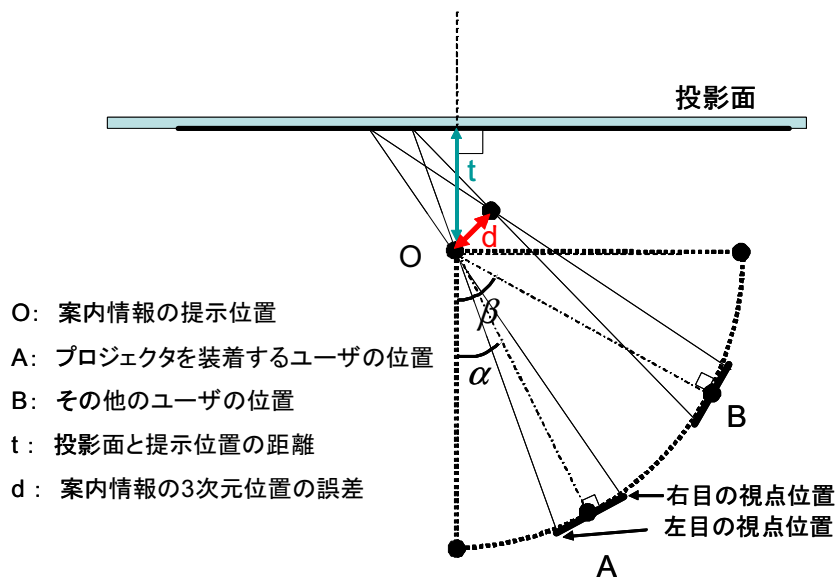


図 26 利用環境の概略図

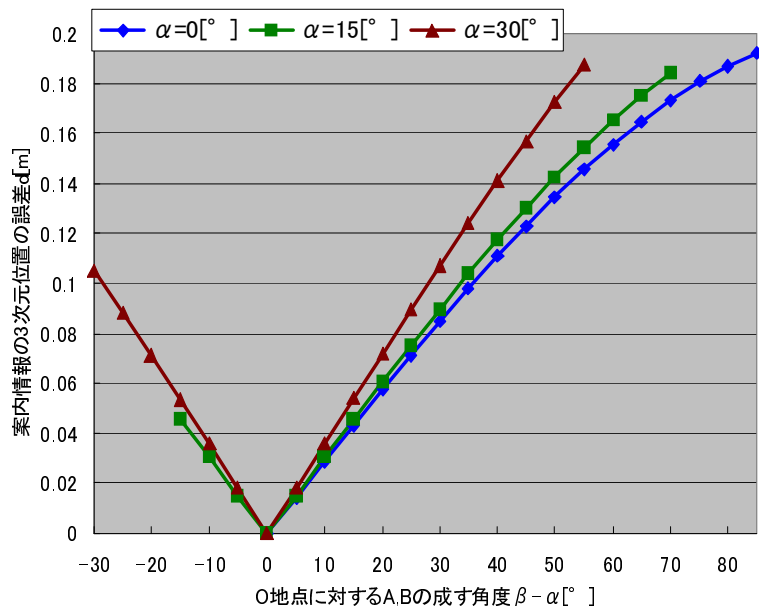


図 27 A, B の成す角度と 3 次元位置の誤差の関係

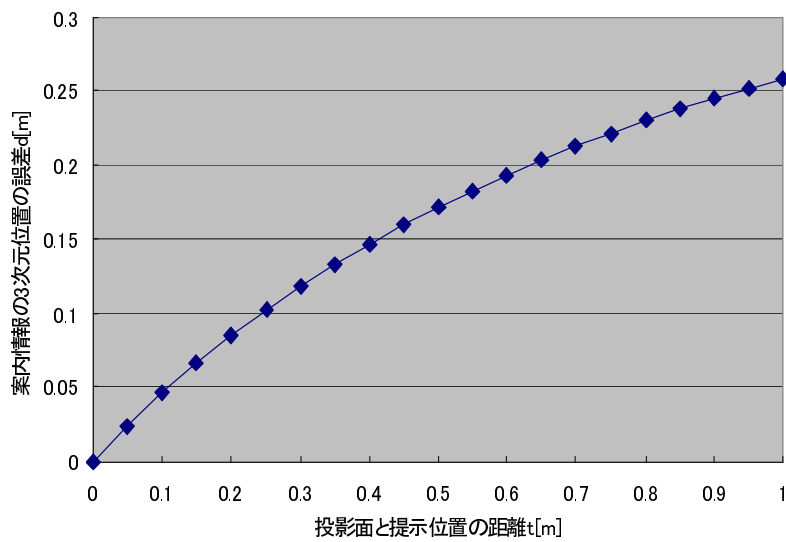


図 28 投影面の位置と 3 次元位置の誤差の関係

## 4. 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。4.1 節では実験環境の詳細について、4.2 節では実験結果、最後に実験結果に対する考察を 4.3 節で述べる。

### 4.1 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。表 29 に機器の仕様を、図 30 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 30(a) のようにユーザは計算機 (Lenovo 製 ThinkPad X61 CPU: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 30(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。

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 31 に示す。展示案内情報の提示範囲は設置した展示物の周辺とし、経路案内情報の提示範囲は展示案内情報の提示範囲以外のすべての範囲とした。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。経路案内情報は日本の文化案内コース、世界の文明コースからコースを選択でき、コースに沿って矢印を使って環境内の案内を行う。表 1 に展示案内情報の各機能と展示物の対応関係を示し、以下にその詳細について述べる。

- インタラクション機能



図 29 機器の仕様

機器の種類	名称	仕様
計算機	ThinkPad X61(Lenovo) ThinkPad X60(Lenovo)	CPU:Core2Duo 2GHz メモリ: 2GB 重量: 1.4kg
赤外線LED付き赤外線カメラ	自作	重量: 0.12kg 解像度:1024×768 画角: 110°
LEDプロジェクタ	LVP-PK20(三菱電機)	焦点距離: 18.2mm 重量: 0.85kg(バッテリー含)
ボタン用マウス		左ボタン:メニュー用ボタン 右ボタン:選択用ボタン
偏光メガネ・フィルタ		円偏光方式

(1), (3), (5) では、ユーザはそれぞれプロジェクタの投影範囲の中心点をポインタとしてプロジェクタの上に取り付けたボタンを押すことで各展示物の説明文を切り替えることができる展示案内情報を提示する。

- 行動履歴に応じた情報提示機能

(1) では、ユーザが展示物 (5) の展示案内情報を見たという行動履歴により、(1) の展示案内情報に (5) の展示案内情報の内容を含めた説明を提示する。

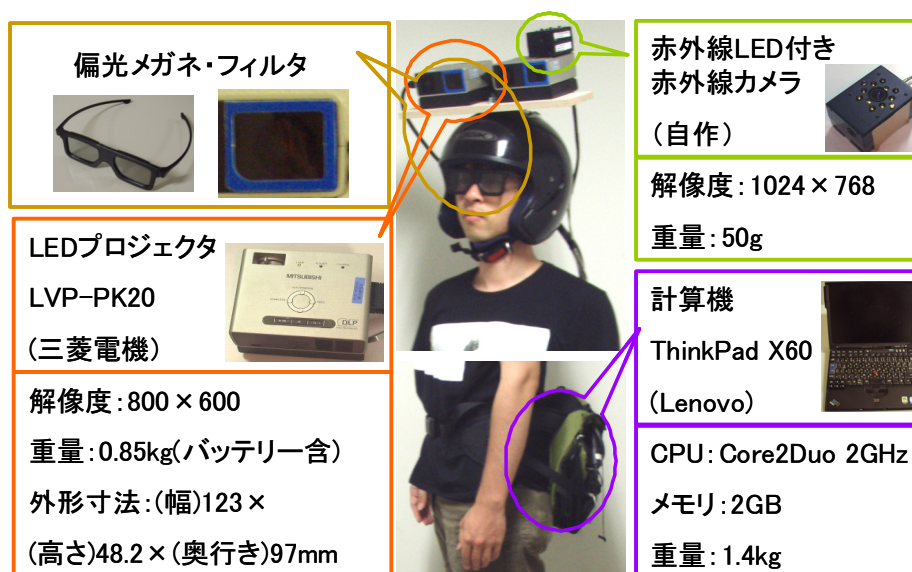
- 展示物との距離に応じた情報提示機能

展示物 (3) では、ユーザと展示物との距離に応じて案内情報が切り替わる展示案内情報を提示する。

図 32 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 0.1m, 0.15m, 0.2m の場所に提示する。



(a) ナビゲーション実験の機器構成 (Type1 用)



(b) 立体情報提示実験の機器構成 (Type2 用)

図 30 案内システムの機器構成

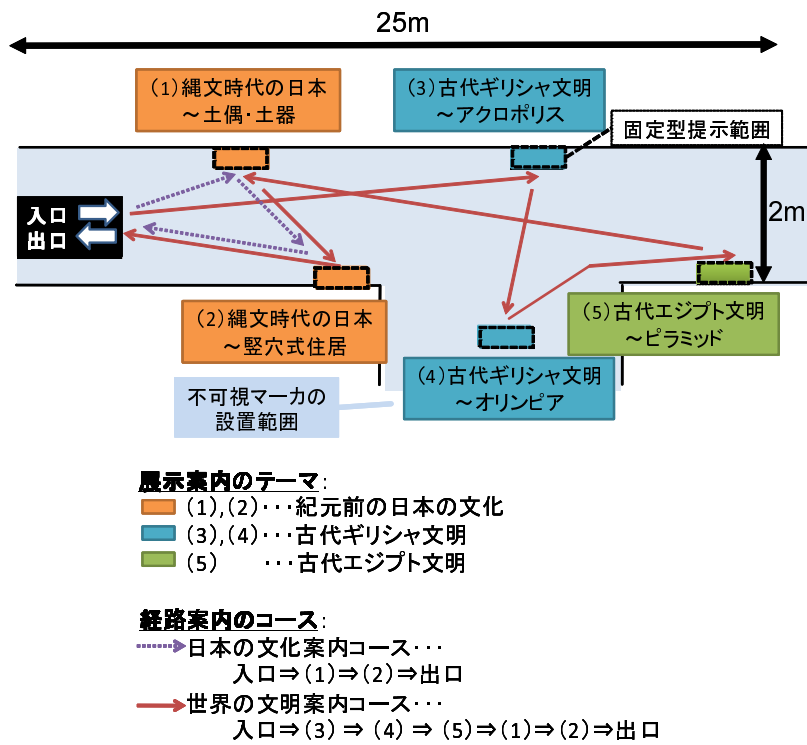


図 31 設置した展示物と経路案内のコース

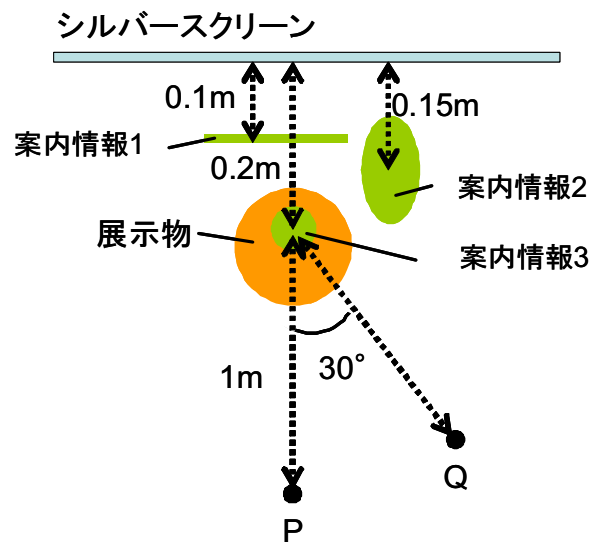


図 32 立体情報提示実験の環境と案内情報の提示位置

表 1 案内システムの機能とコンテンツの対応関係

案内システムの機能	コンテンツ
インタラクション機能	(1),(3),(5)
行動履歴に応じた情報提示機能	(1)
展示物との距離に応じた情報提示機能	(3)

## 4.2 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。図 33 に示すようにそ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た。

経路案内情報の実験結果について述べる。図 34 に各地点でのプロジェクタの投影方向を示す。図 35 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 36 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。しかし、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。

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 37(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。H 地点では図 38 のように壁に貼ったピラミッドの絵にピラミッドの内部の様子を示す案内情報を提示した。このように案内情報を展示物の上に直接重畳して提示することにより分かりやすく説明を行うことができた。

次に展示案内情報の各機能の検証結果について述べる。



図 33 複数人での案内の様子

- 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39に示す。展示物(1)では図39(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39(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40に示す。図40(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40(b)に示す案内情報が追加されていることが確認できた。

- 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

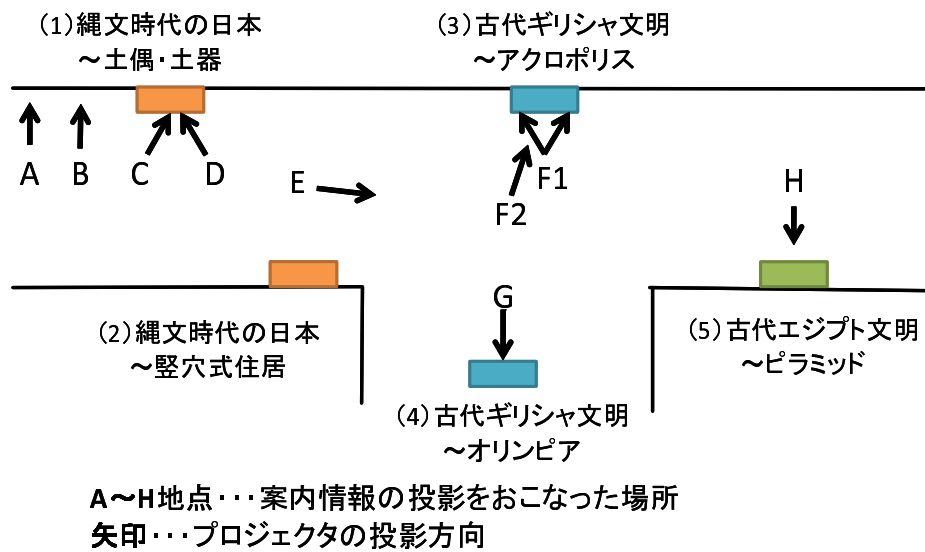


図 34 各地点のプロジェクタの投影方向

子をそれぞれ図 41, 図 42 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ることが確認できた.



図 35 経路選択の様子



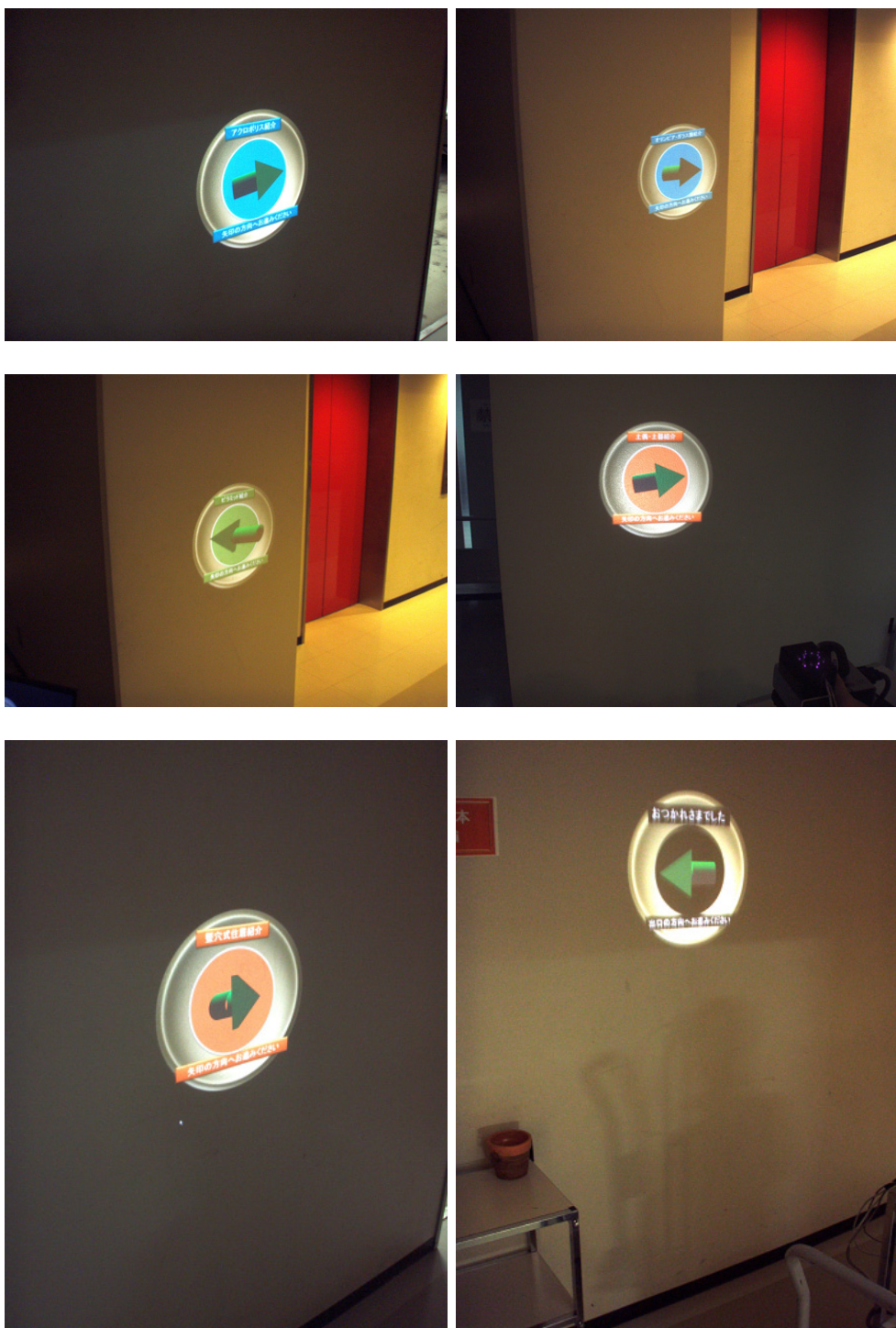


図 36 Y コースにおける経路案内情報の様子





(a) 展示物 (1) の展示案内情報 (土偶)



(b) 展示物 (1) の展示案内情報 (土器)



(c) 展示物 (4) の展示案内情報

図 37 展示物 (1)(4) の展示案内情報の提示の様子



図 38 展示物 (5) の展示案内情報の提示の様子



(a) 展示物 (1) の展示案内情報の様子



(b) ポインタを合わせている状態



(c) 案内情報の内容が変化

図 39 ユーザと展示案内情報のインタラクション機能





(a) 展示物 (1) の展示案内情報の様子



(b) 展示物 (1) の展示案内情報の様子



(c) 追加された案内情報その 1



(d) 追加された案内情報その 2

図 40 ユーザの履歴により展示案内情報の内容が変化した様子



図 41 ユーザと展示物 (3) との距離が近い場合の案内の様子

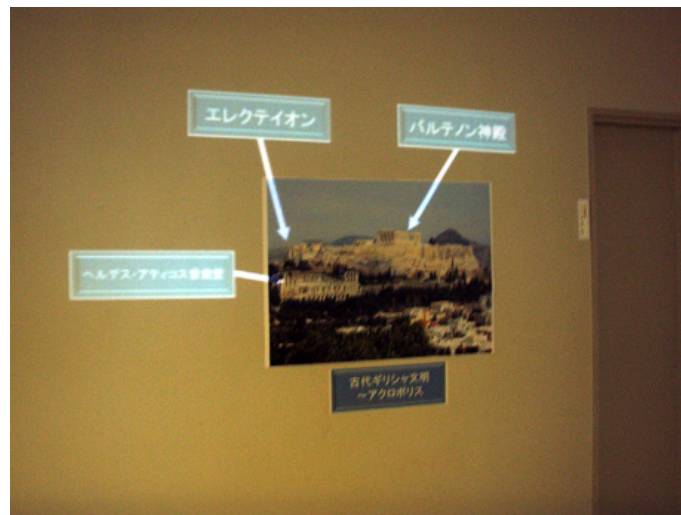


図 42 ユーザと展示物 (3) との距離が遠い場合の案内の様子

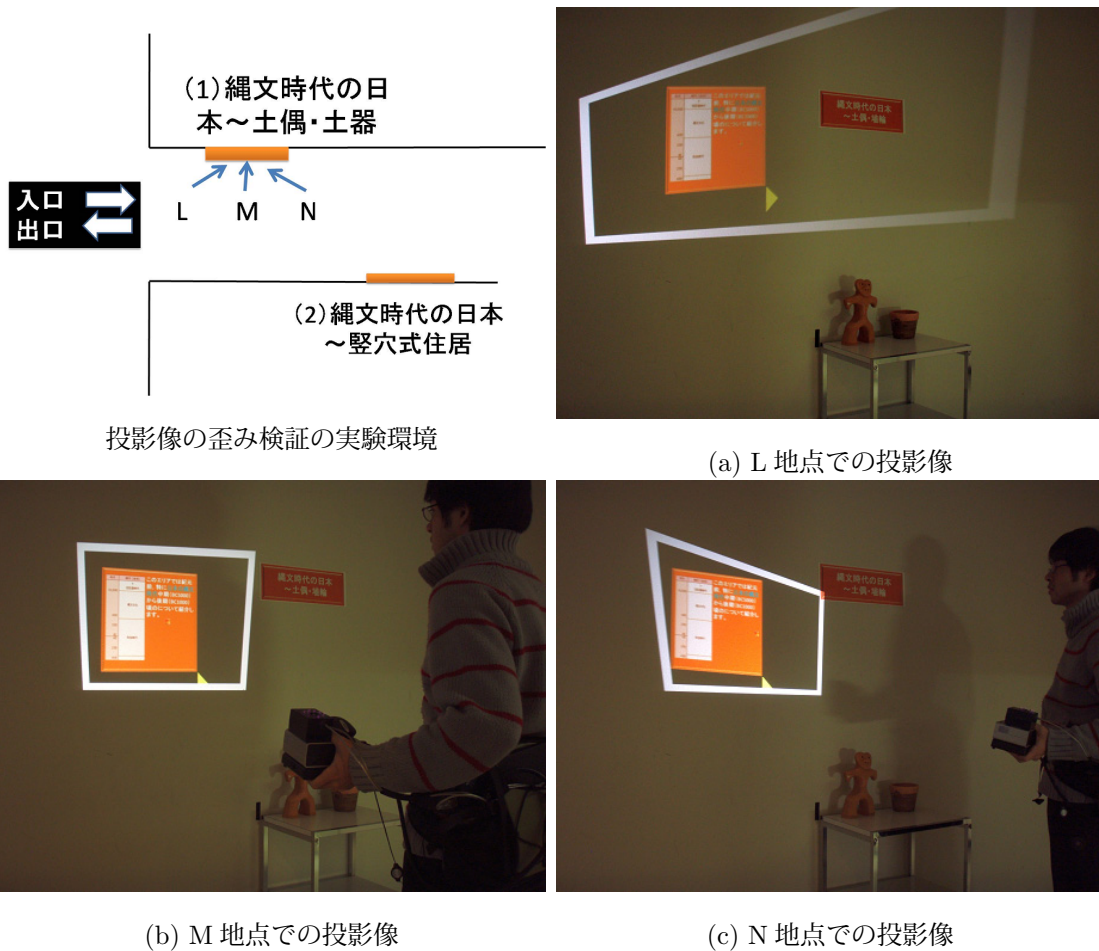
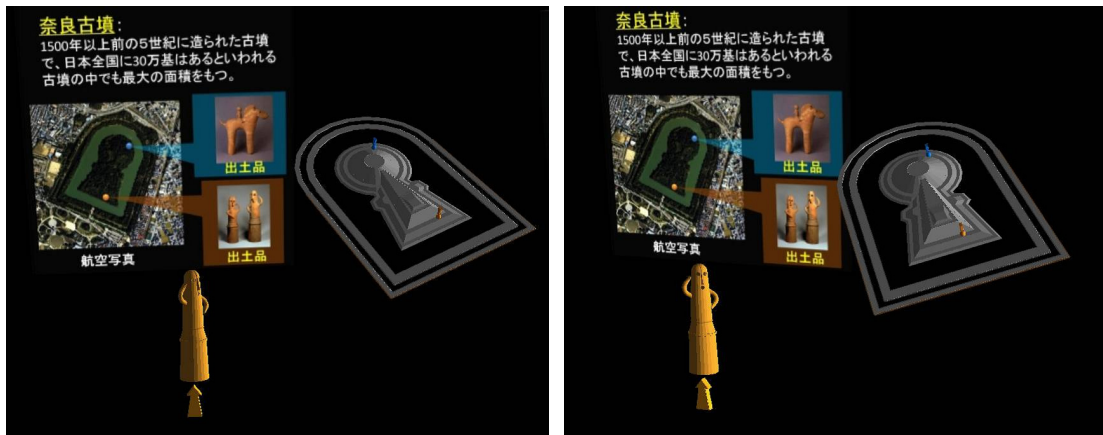


図 43 投影像の歪みの検証結果

また投影像が歪みなく生成されているかを検証した。図 43 に投影像の歪みの検証結果を示す。図 43(a),(b),(c) はそれぞれ L, M, N 地点から案内情報を提示した様子で、矢印はプロジェクタの投影方向である。これらは同一地点から撮影を行っている。その結果、異なる 3 地点から提示した案内情報の形状や位置の変化は、ユーザが案内情報を見る上で違和感無い程度に壁に張り付いているように見ることが可能であることが確認できた。





(a) P 地点から提示した左目用の投影像

(b) Q 地点から提示した左目用の投影像

図 44 P, Q 地点からの提示した左目用の投影像

### 4.3 立体情報提示実験の結果

図 44, 45, 46 に P, Q 地点から立体情報の提示 (Type2) を行った際の、左目用の投影像と各 P, Q 地点からの案内情報の提示の様子をそれぞれ示す。図 45(a), (b), 図 46(a), (b) に示すように、プロジェクタを装着しているユーザに対して 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 45(c), (d), 図 46(c), (d) に示すように、その他のユーザの視点からも立体的な情報提示が可能であることが確認できた。

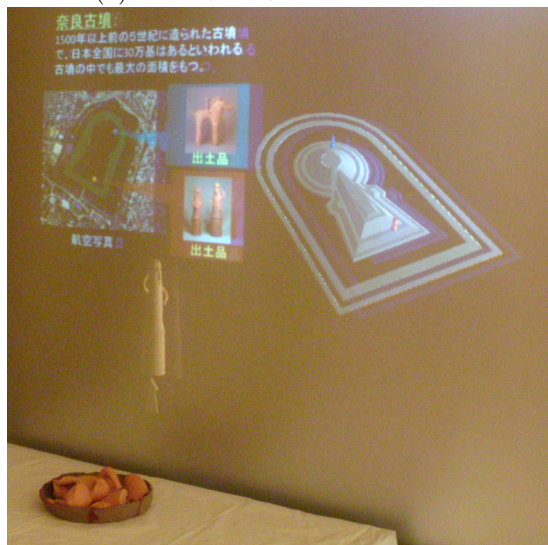
本実験では使用したプロジェクタの光量の関係から、展示物に対して比較的近い地点から立体情報の提示を行ったが、展示物に対して離れた地点から提示すれば、案内情報の 3 次元位置の誤差は小さくすることができる。また、案内情報の 3 次元位置の誤差を考慮して展示物の大きさ・配置方法を工夫する必要がある。



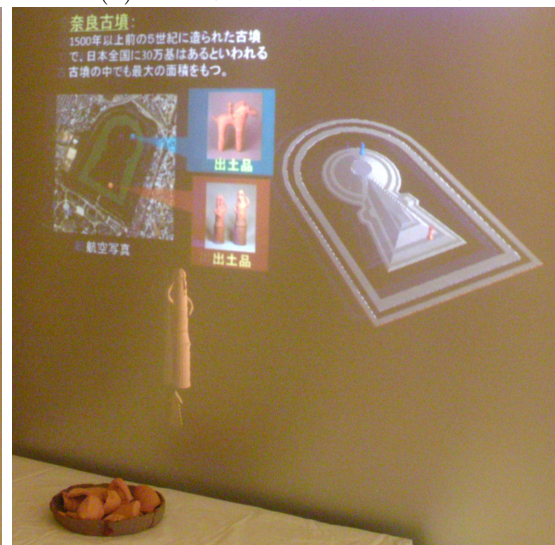
(a) P 地点での右目から見た様子



(b) P 地点での左目から見た様子



(c) Q 地点での右目から見た様子



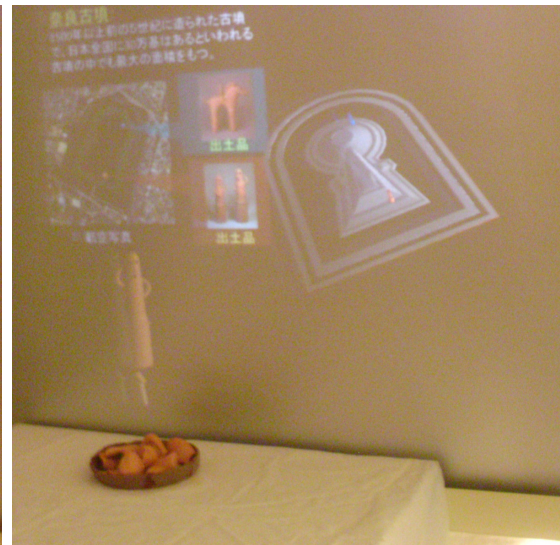
(d) Q 地点での左目から見た様子

図 45 P 地点からの立体情報の提示の様子





(a) Q 地点での右目から見た様子



(b) Q 地点での左目から見た様子



(c) P 地点での右目から見た様子



(d) P 地点での左目から見た様子

図 46 Q 地点からの立体情報の提示の様子

## 5. 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。

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、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次元形状以外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。またプロジェクタの技術の進歩により小型化・高性能化されたモバイルプロジェクタの利用が考えられる。ユーザ個人が所有する携帯端末等に搭載されたプロジェクタで利用可能になれば軽量化が期待でき、さらに光量調整機能やオートフォーカス機能をもつプロジェクタを利用すればより実用範囲は広がる。

## 謝辞

本研究の全過程を通じて懇切なるご指導，御鞭撻を賜った視覚情報メディア講座，横矢直和教授に心より感謝致します。本研究を進めるにあたり有益なご助言，御指導を頂いたインタラクティブメディア設計学講座，加藤博一教授に厚く御礼申し上げます。本研究を通じて暖かい御指導をして頂いた視覚情報メディア講座，山澤一誠准教授に深く感謝いたします。

そして，本研究を行うにあたり多大なる御助言，御鞭撻を賜った視覚情報メディア講座，神原誠之助教に深く御礼申し上げます。神原助教には日々様々な御助言，御指摘を頂いたことで本研究を円滑に進めることができました。心より感謝致します。

また，本研究の遂行に適切な御助言を頂きました視覚情報メディア講座，佐藤智和助教に深く感謝致します。無数の御助言，御指導を賜った(株)キヤノン，中里祐介博士に心より深く感謝致します。中里氏には研究の序盤からシステム設計，開発および論文の執筆，発表にいたるプロセスにおいて細やかで暖かい御指導を頂きました。同じ研究グループで御助言を頂いた牧田孝嗣氏，堀磨伊也氏に感謝致します。研究室において物心両面において常に暖かい御支援を頂いた，視覚情報メディア講座，高橋美央女史に厚く御礼申し上げます。最後に，研究活動だけでなく日々の生活においてもお世話になりました視覚情報メディア講座の諸氏に深く感謝致します。

## 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. Vul, 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] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and A. Webster: “A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment”, Proc. 1st Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 74 - 81, 1997.
- [5] B. H. Thomas, V. Demczuk, W. Piekarski, D. Hepworth, and B. Gunther: “A Wearable Computer System with Augmented Reality to Support Terrestrial Navigation”, Proc. Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 168 - 171, 1998.
- [6] M. Kourogi, T. Kurata, and K. Sakaue: “A Panorama-based Method of Personal Positioning and Orientation and Its Real-time Applications for Wearable Computers”, Proc. 5th Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 107 - 114, 2001.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] 大隈隆史, 興梠正克, 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] I.Sutherland: “A head-mounted three-dimensional display,” Proc. American Federation of Information Processing Societies, Vol.33, pp. 757-764, 1968.
- [16] M. Takemura and Y. Ohta, : “Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences,” IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 149 - 156, 2002.
- [17] 寺田智裕, 神原誠之, 横矢直和: “拡張現実感を用いた車載型アノテーションシステムの構築”, 奈良先端科学技術大学院大学修士論文, NAIST-ISMT0051065, 2000.

- [18] M. Rosenthal, A. State, J. Lee, G. Hirota, J. Ackerman, K. Keller, E. D. Pisano, M. Jiroutek, K. Muller and H. Fuchs: "Augmented Reality Guidance for Needle Biopsies: A Randomized, Controlled Trial in Phantoms," Proc. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 240-248, 2001.
- [19] M. Kanbara, H. Fujii, H. Takemura and N. Yokoya: "Whack Them Out! - A Whack-a-Mole Game Using Video See-through MR," Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed Reality, pp. 198, 2001.
- [20] S. Feiner, B. MacIntyre, and D. Seligmann: "Knowledge-based augmented reality," Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, pp. 52-62, 1993.
- [21] A. Henrysson, M. Billinghurst, M. Ollila: "Face to face collaborative AR on mobile phones," Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on Volume, pp. 80-89, 2005.
- [22] J. Rekimoto and M. Saitoh: "Augmented surfaces: a spatially continuous work space for hybrid computing environments," Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99), pp. 378-385, 1999.
- [23] D. stricker, J. Karigiannis, I. T. Christou, T. Gleue and N.Ioannidis: "Augmented reality for visitors of cultural heritage sites, " Proc. Int. Conf. on Cultural and Scientific Aspects of Experimental Media Spaces, pp. 89-83, 2001.
- [24] R. Tenmoku, M. Kanbara and N. Yokoya: "Nara Palace Site Navigator, " Device-indepent Human Navigation Using a Networked Shared Database, Proc.10th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia, pp. 1234-1242, 2004.
- [25] M. Kalkusch, T. Lidy, M. Knapp, G. Reitmayr, H. Kaufmann, and D.

- Schmalstieg: "Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding," Proceedings of the First IEEE International Workshop on ARToolKit (ART02), 2002.
- [26] 安藤英由樹, 雨宮智浩, 前田太郎: "ARにおける注釈表示のためのウェアラブル・スキャニング・レーザー・プロジェクター", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 2, pp. 191-200, 2005.
- [27] 白井良成, 松下光範, 大黒毅: "秘映プロジェクタ: 不可視情報による実環境の拡張", Proc. 11th Workshop on Interactive Systems and Software, pp. 115-122, 2003.
- [28] 木島竜吾, 近藤大祐, 小塚央, 吉田純也, 高橋優三: "自由曲面投影式を用いたバーチャル解剖模型", 第9回計測自動制御学会講演概要集, pp. 328 および CD-ROM, 2008.
- [29] 細井一弘, ダオヴィンニン, 森晶洋, 杉本雅則: "CoGAME:モバイルプロジェクタを用いたロボットナビゲーションの試作", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 3, pp. 285-294, 2007.
- [30] X. Cao, R. Balakrishnan: "Interacting with dynamically defined information spaces using a handheld projector and a pen," Proc. 19th. ACM. Symp. User Interface Software and Technology , pp. 225-234, 2006.
- [31] 狩塚俊和, 佐藤宏介: "プロジェクタ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.
- [32] 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.
- [33] 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.

- [34] 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.