

博士論文

ウェアラブル拡張現実感システムにおける
位置依存情報の提示に関する研究

天目 隆平

2005年3月24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
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

天目 隆平

審査委員：

横矢 直和 教授 (主指導教員)

木戸出 正継 教授 (副指導教員)

山澤 一誠 助教授 (副指導教員)

ウェアラブル拡張現実感システムにおける 位置依存情報の提示に関する研究*

天目 隆平

内容梗概

ユーザが装着可能なウェアラブルコンピュータ上で現実環境と仮想環境の融合提示が可能な拡張現実感を利用することで、ユーザの眼前の風景に情報を重畳表示することが可能となり、その組み合わせであるウェアラブル拡張現実感システムは位置依存情報の提示システムとして大いに注目されている。有用性の高い位置依存情報提示システムを構築するためには、1) システムの利用可能な環境に関する拡張性、2) コンテンツの数および種類に関する拡張性、を満たす必要がある。本研究では、これらの拡張性を満たすウェアラブル拡張現実感システムを提案し、提案システムを利用した位置依存情報の提示について述べる。まず1章では、ウェアラブル拡張現実感システムにおける技術課題と従来研究を概観し、本研究の目的と意義を明確にする。2章では、提案するウェアラブル拡張現実感システムの概要について述べる。3章では、屋内外の広域環境でシームレスに利用可能な絶対位置の同定と相対移動量の推定を利用したユーザ位置計測手法、および計測環境の構築について述べる。4章では、拡張現実環境における環境の三次元モデルを利用したビューマネージメント手法について述べる。5章では、ウェアラブル拡張現実感システムを利用した位置依存情報提示の具体例として、本学内におけるナビゲーションシステムと屋外観光案内システム「平城宮跡ナビ」について述べる。最後に6章で本研究を総括する。

* 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 博士論文, NAIST-IS-DD0361023, 2005年3月24日.

キーワード

ウェアラブルコンピュータ, 拡張現実感, 位置依存情報, ビューマネージメント,
ヒューマンナビゲーション

Presentation of Location-based Information for Wearable Augmented Reality Systems*

Ryuhei Tenmoku

Abstract

By realizing augmented reality which can merge real and virtual worlds on wearable computers, it becomes possible to overlay location-based information on a user's view image. Accordingly, wearable augmented reality systems have received a great deal of attention as a new method for displaying location-based information in dairy life. In order to construct practical systems which present location-based information for users, two kinds of scalabilities must be achieved: 1) a scalability on the area in which the system can be used, 2) a scalability on the number of contents data. This paper describes a wearable augmented reality system which satisfies these two scalabilities and presentation of location-based information using the proposed system. Chapter 1 gives a perspective of the study in the research area of wearable augmented reality systems. Chapter 2 describes a prototype of wearable augmented reality system. Chapter 3 describes a seamless positioning method which combines the specification of user's position and the estimation of relative movement for indoor and outdoor environments. In Chapter 4, view management methods for wearable augmented reality systems based on 3D models of the scene are proposed. Chapter 5 describes two kinds of applications using the proposed wearable augmented reality system. Finally, Chapter 6 summarizes the present study.

* Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0361023, March 24, 2005.

Keywords:

wearable computer, augmented reality, location-based information, view management, human navigation

目次

1. 序論	1
1.1 ウェアラブル拡張現実感を利用した情報提示技術の概観	1
1.1.1 ウェアラブルコンピュータ	1
1.1.2 拡張現実感	4
1.1.3 ウェアラブル拡張現実感システムの技術課題と従来のアプローチ	7
1.2 本研究の目的と方針	11
1.2.1 ユーザの位置および姿勢の計測	12
1.2.2 コンテンツデータベース	13
1.2.3 拡張現実空間におけるビューマネジメント	13
1.3 本論文の構成	13
2. 位置依存情報提示のためのウェアラブル拡張現実感システム	15
2.1 ウェアラブル拡張現実感システムの概要	15
2.2 ウェアラブル拡張現実感システムの要求事項	15
2.3 クライアントシステムの処理	19
2.4 サーバの処理およびデータベースの構築	19
3. ユーザの位置および姿勢の計測と計測環境の構築	22
3.1 序言	22
3.2 ユーザの姿勢の計測	22
3.3 絶対位置同定と相対移動量推定を利用したユーザ位置の計測	22
3.3.1 GPSと歩数計測を利用した屋外環境でのユーザ位置計測	24
3.3.2 赤外線センサと歩数計測を利用した屋内環境でのユーザ位置計測	26
3.4 ユーザ位置計測の精度評価	29
3.4.1 要求されるユーザ位置の計測精度	29
3.4.2 赤外線センサと歩数計測を利用した位置計測の精度評価	31

3.5	ユーザ位置計測環境の構築	36
3.6	結言	38
4.	三次元モデルを利用した拡張現実環境におけるビューマネージメント	41
4.1	序言	41
4.2	ビューマネージメント手法の概要	41
4.3	注目オブジェクトのハイライト表示	46
4.4	オクルージョン領域の補完表示	48
4.5	注釈情報強調表示実験とハイライト表示の定量的評価	48
4.5.1	注釈情報強調表示実験	51
4.5.2	注目オブジェクトのハイライト表示における定量的評価	51
4.6	結言	54
5.	ウェアラブル拡張現実感システムを用いた位置依存情報提示の応用例	55
5.1	序言	55
5.2	ウェアラブル拡張現実感システムを用いた学内ナビゲーション	55
5.3	ウェアラブル拡張現実感システムを用いた観光案内	57
5.3.1	想定する環境	59
5.3.2	システムの概要	61
5.3.3	処理の流れ	64
5.3.4	観光案内の例	66
5.3.5	平城宮跡における観光案内実験と考察	72
5.4	結言	76
6.	結論	77
6.1	本論文のまとめ	77
	謝辞	79
	参考文献	80

目 次

1	ウェアラブルコンピュータ MIThril[VSGP03]	2
2	WIA-100NB(日立製作所)	3
3	拡張現実感システム KARMA[FM91, FMS93]	4
4	fig:ARToolkit[KB99, KBP+00]	5
5	従来システムの生成画像例	6
6	重なり合いを避けた注釈情報の再配置 [AF03]	10
7	オープンスペースを利用した注釈情報の再配置 [BFH02]	11
8	提案システムの概要	16
9	注釈付加画像の例	16
10	クライアントシステムの機器構成およびデータフロー	17
11	慣性航法モジュール DRM-III	24
12	屋外環境でのユーザ位置計測	25
13	屋内環境でのユーザ位置計測	27
14	赤外線センサ	28
15	赤外線ビーコン送信機の設置例	28
16	仮想点の合成画像上での位置ずれ	30
17	実験環境の概略図	32
18	ユーザ位置計測の実験結果	33
19	ユーザ位置計測の実験結果 (続き)	34
20	位置計測誤差の最大値・平均値における回帰直線	35
21	赤外線ビーコン送信機電源供給ユニット	36
22	環境構築の例	37
23	ユーザ位置の計測結果	39
24	提案手法の処理の流れ	42
25	提案手法の処理の流れ	44
26	提案手法における生成画像の要素	45
27	実験環境の様子	47
28	視点位置 A における生成画像の例	49

29	視点位置 B における生成画像の例	50
30	正解領域画像および推定領域画像の例	52
31	注釈付け実験の実験環境概略図	56
32	注釈付加画像	57
33	注釈付加画像 (続き)	58
34	平城宮跡の様子	60
35	平城宮跡ナビの概要	61
36	クライアント端末における処理の流れ	65
37	各端末タイプの機器構成および各機器の仕様	67
38	CP タイプ端末における観光案内画像の例	68
39	PDA タイプ端末における観光案内画像の例	69
40	WC タイプ端末における観光案内画像の例	70
41	CP タイプ端末の生成画像例	73
42	PDA タイプ端末の生成画像例	74
43	WC タイプ端末の生成画像例	75

表 目 次

1	屋内環境でのユーザ位置計測の従来手法	8
2	クライアントシステムの各機器の仕様	18
3	共有データベース内のテーブルの例	20
4	ハイライト表示手法の評価結果	53
5	共有データベース内のテーブルの例	63
6	端末タイプごとのコンテンツ提示方法	63
7	各端末タイプのデータ通信方式	68
8	音声コンテンツの例	74
9	各端末タイプにおけるウェブマップの解像度および更新にかかった 時間	76

1. 序論

近年，計算機の小型化・高性能化に伴い，装着が可能なウェアラブルコンピュータの実現が可能になった [Man99, SWP97]．また，実世界に仮想物体をシームレスに重ね合わせる技術である拡張現実感の研究もさかんに行われている [田村 98, ABB+01, UTS+02, HSHS05]．拡張現実感をウェアラブルコンピュータ上で実現すれば，任意の場所において，位置に応じた情報をより直感的に提示することが可能となる．ウェアラブル拡張現実感を利用した位置依存情報提示の応用例として，様々な環境でのユーザへの道案内情報の提示や，博物館や観光名所でのガイド等が実現されており，現在では，より有用性の高いシステムの構築が期待されている．

以下では，ウェアラブル拡張現実感を利用した位置依存情報提示技術について概観し，技術課題と従来研究について述べる．次に，従来手法の問題点，本研究の位置づけと研究方針を明確にする．

1.1 ウェアラブル拡張現実感を利用した情報提示技術の概観

1.1.1 ウェアラブルコンピュータ

ウェアラブルコンピュータとは，ユーザが装着することのできるコンピュータを意味し，近年の計算機の小型化・高性能化により，図 1 に示す Massachusetts Institute of Technology(MIT) Media Lab. の MIThril[VSGP03]をはじめ，多種のウェアラブルコンピュータが開発されている．ユーザが携帯する計算機として PDA が挙げられるが，同研究所の定義では，ウェアラブルコンピュータと PDA の相違点として，PDA は使うときだけポケットから出して電源を入れるのに対し，ウェアラブルコンピュータは常時動作しているという点が挙げられる．また，近年では米国 Xybernaut 社や図 2 に示す WIA-100NB を販売する日立製作所等の企業によりウェアラブルコンピュータの製品化も行われており，ウェアラブルコンピュータは新時代の知的パートナーとして広く知られるようになってきた．現在では，ウェアラブルコンピュータに関する研究として，素材や機器の提案，消費電力に関する問題解決，インタフェースに関する研究のほか，応用システムの

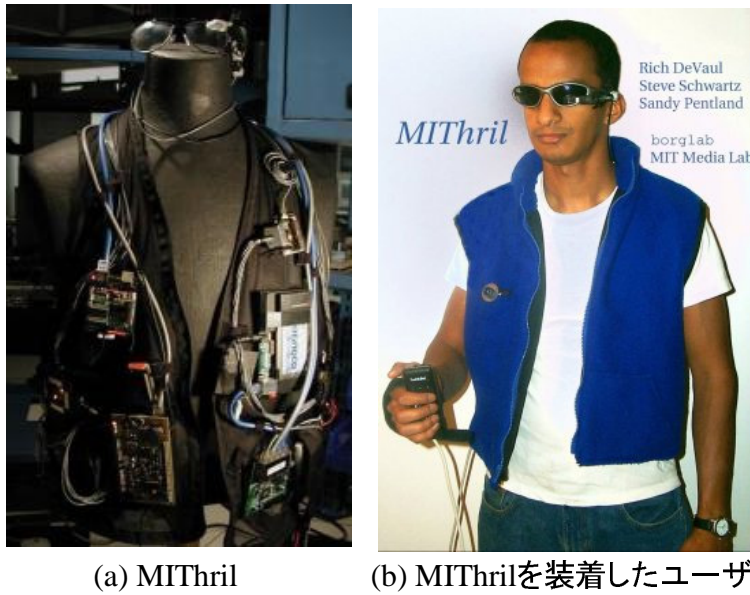


図 1 ウェアラブルコンピュータ MIThril[VSGP03]

提案等の様々な研究が行われている．以下にこれらの従来研究を概観する．

Koncar らは，FICC(Floatable Intelligent and Communicative Clothing) プロジェクトにおいて，コンピュータとセンサ類をつなぐケーブルを織り込んだ衣服の繊維を提案した [KKNJ04]．また，Linz らは，衣服と一体型の安価で省電力な折り曲げられる集積回路を提案した [LKAR05]．これらの研究はウェアラブルコンピュータのハードウェアの発展に大きく寄与するものである．また，ウェアラブルコンピュータの省電力化の研究として，Büren らは，ユーザの体中に小型の発電素子を装着し，ユーザの体の動きにより発電を行い，ウェアラブルコンピュータに欠かせない電源の供給を行う手法を提案した [vBLT03]．Büren らの成果は，ウェアラブルコンピュータの省電力化という問題を解決するための大きな一歩であると言える．

また，ウェアラブルコンピュータの大きな特徴の一つに，表示デバイスとしてユーザが装着可能な小型ディスプレイを用いて利用者のみに対して情報提示を行うという点が挙げられる．また，入力デバイスにもユーザが歩きながら使用でき



図 2 WIA-100NB(日立製作所)

るハンドマウス等が用いられたり、より拘束感なくウェアラブルコンピュータを利用可能にするために、ハンズフリーのインタフェースに関する研究も広くなされている [KKK+02, UKK02, 佐々02, 藤本 04, 加藤 06] .

ウェアラブルコンピュータの応用例として、多くのシステムが提案されている。河村らは、ウェアラブルコンピュータの常時装着可能であるという利点を活かし、ユーザの記憶支援を行うアプリケーションが開発した [河村 05, 上岡 04] . Billinghamurst ら [BWF97] や酒田ら [SKKK03] による、遠隔地にいる別のユーザとの共同作業時の作業の効率化を図るウェアラブル型の協調作業支援システムの開発も行われている。また、迅速な情報のやり取りを要求される看護師 [NOKK04] やバイクレースのピットクルー [MTTN04] のためのウェアラブル型の作業支援システムも提案されている。このように、様々な応用システムが提案されており、今後の機器のさらなる小型化・高性能化により、ウェアラブルコンピュータはますます普及し、より一般的なプラットフォームとしてユーザに認知されることが

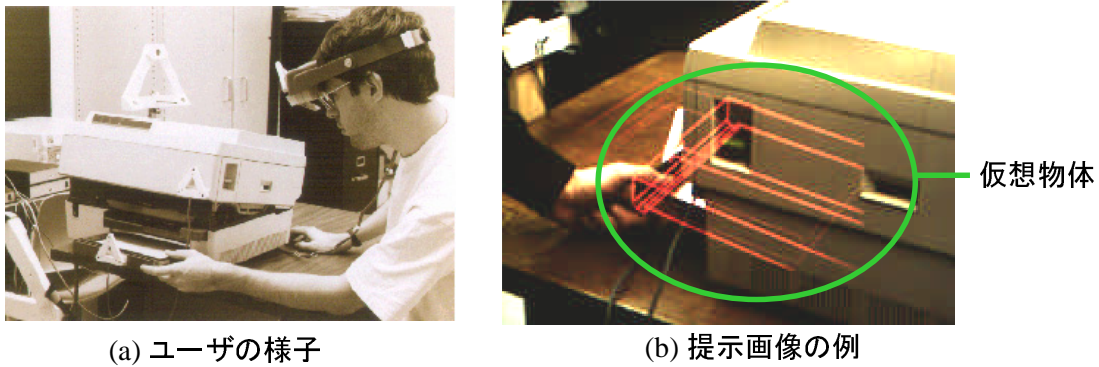


図 3 拡張現実感システム KARMA[FM91, FMS93]

予想される。

1.1.2 拡張現実感

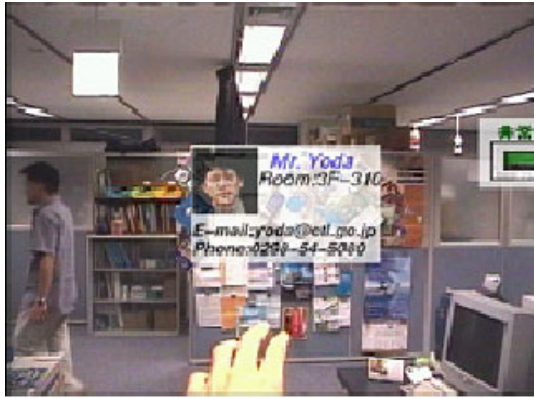
拡張現実感とは、現実環境にコンピュータグラフィクス(CG)等で描かれた仮想物体をシームレスに重畳表示する技術である。拡張現実感を利用することで、現実環境に情報を付加することが可能となる。拡張現実感の応用として、現実の建築現場に設計図から起こした仮想の建物を合成して見せる景観シミュレーションや、現実環境におけるユーザの作業を支援するアプリケーションが挙げられる[田村 98, ABB⁺01, UTS⁺02, HSHS05]。Feinerらは拡張現実感を利用してプリンタ等の機器のメンテナンスを支援するアプリケーション KARMA(Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance)を開発した[FM91, FMS93]。KARMAでは、図3(a)に示すヘッドマウントディスプレイを装着したユーザは、図3(b)のように現実環境に仮想物体が合成された画像を見ることができる。ユーザはこのようなCGで描かれた情報が重畳表示された画像を見ることで、次に現実世界のどのオブジェクトをどのように操作すればよいのかを直感的に認識することができる。

ユーザにとって違和感のない拡張現実環境を構築するためには、現実環境と仮想

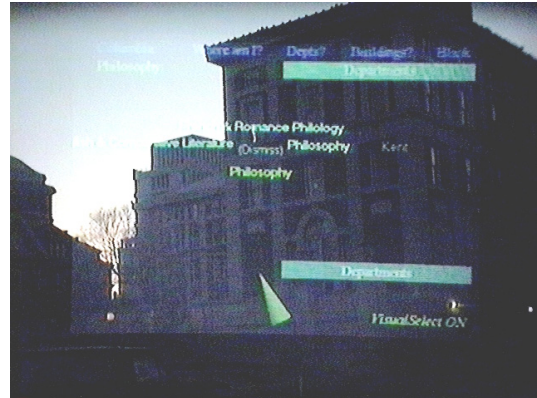


図 4 fig:ARToolkit[KB99, KBP+00]

物体との間におけるいくつかの整合性問題を解決する必要がある。このうち、現実環境と仮想物体の幾何学的位置合わせは特に重要な技術課題である。現実環境と仮想物体を幾何学的に正しい位置関係で表示するためには、実環境と仮想環境の位置・姿勢を実時間で推定する必要がある。これまでに、図4に示す ARToolkit[KB99, KBP+00] に代表されるように環境中に配置されたマーカ [KOYT00, BNR02] やシーンの画像特徴点 [KYT02, LVTF03, SL04] を利用して位置合わせする手法、さらに、画像ベースの位置合わせ手法とセンサによる位置・姿勢計測データを統合するハイブリッドな位置合わせ [藤井 00, SUY04, KTO04, JNY04] 等、様々な位置合わせ手法が提案されている。また、近年では、現実環境と仮想環境の画質のずれや陰影の不整合を解決し、写実性の高い拡張現実環境の構築に関する研究も盛んに行われている [SKT03, KY04, KOI05, 奥村 05]。



(a) VizWear [KKK+02]



(b) MARS [HFT+99]



(c) ARCHEOGUIDE[SKC+01]



(d) Tinmith [PT03]

図 5 従来システムの生成画像例

1.1.3 ウェアラブル拡張現実感システムの技術課題と従来のアプローチ

拡張現実感をウェアラブルコンピュータ上で実現すれば、ユーザは任意の場所において、ユーザがいる場所に合った情報をより直感的に獲得することができる。その応用例として道案内や博物館・観光名所のガイドなどが挙げられる [HFP99, SKC+01, KKS01, MTTN05]。図5に従来システムの生成画像例を示す。図5(a) および (b) は、カメラから得られる現実の風景に対して注釈情報と呼ばれる文字情報を重畳するシステムの生成画像例である。一方、図5(c) および (d) は、三次元モデルを現実環境の映像に重畳した例である。しかし、このような合成画像を生成する際に、実世界中の正しい位置に仮想物体を提示するためには、ユーザの位置及び姿勢を実時間で正確に計測する必要がある。特に、広域環境を移動するウェアラブルユーザの位置計測に関する問題は、ウェアラブル拡張現実感システムの実現に非常に重要な課題であり、本分野はユーザの位置計測手法の開発とともに発展してきたと言っても過言ではない。また、実環境と仮想環境の位置合わせ問題のほかにも、提示する位置依存型の拡張現実感コンテンツをどのように保持するか、位置依存情報の合成画像のビューマネジメント等の課題があり、問題解決のためにそれぞれいくつかの手法が提案されている。

従来、屋外環境でのユーザ位置計測には、汎地球測位装置 (GPS) が広く用いられ [PJS+96, 小田 03, 神原 05]、GPS で計測したウェアラブルユーザの位置情報をもとに拡張現実環境を生成するシステムが多く提案されている [HFT+99, 廣瀬 00, DK02]。しかし、屋内環境において高精度かつ広範囲をカバーするような位置計測手法は確立されておらず、現在でも様々な位置計測手法の提案が行われている。屋内環境におけるユーザ位置の計測手法を大別すると、ユーザが装着するウェアラブルカメラや環境中に設置したカメラから得られる画像を利用した手法とカメラ以外のセンサを利用した手法の2種類に大別できる。表1に屋内環境でのユーザ位置計測の従来手法の特徴を示す。

環境中に画像マーカを配置し、ユーザ視点付近に設置されたカメラに写るマーカから環境中のユーザの位置および姿勢を計測する手法は、複数の研究グループによって提案されている [TDP+98, NF02, WS03, PATM04]。しかし、本手法を広範囲に適用しようとする、多数の位置計測済みの画像マーカを環境中に配置す

表 1 屋内環境でのユーザ位置計測の従来手法

	ユーザ位置の計測手法	計測精度	安定性	インフラコスト・制約	ユーザ装備コスト・制約	その他の特徴
カメラを利用した手法	画像マーカ+視点カメラ [NF02,TDP+98,ES03]	約0.1m	△ マーカを常に撮影する必要がある	○ 画像マーカの密な配置が必要・景観を乱す	× 画像処理が必要・天井撮影用のカメラが必要	[羽原04,中里05]によりインフラコストの低減が可能・姿勢の計測も可能
	IRタグ+環境カメラ (ALTAIR) [SYI+03]	約1m	△ オクルージョンに弱い	× 環境中にカメラ・計算機の設置が必要	○ PDAでの動作が可能	ユーザの識別が可能
	環境の全方位画像+慣性センサ [興梧03]	約1m	△ 環境の変化に弱い	○ 事前に全方位画像の撮影が必要	△ 画像処理が必要	姿勢の計測も可能
カメラ以外のセンサを利用した手法	超音波センサ (Active Bat) [WJH97]	約0.01m	○	× 高価なセンサの密な配置が必要	○	
	無線ネットワークの信号の到来時刻差(Air Location)	約0.1m	○	× 設置する機器が非常に高価	○ PDAでの動作が可能	
	赤外線センサ+歩数計測 [LM01]	約2m	○	△ センサに電源が必要	△	位置計測結果に蓄積誤差が生じる

る必要があり、景観を著しく損ねるといった問題が生じる。羽原らは、位置計測済みのマーカを利用して未計測マーカの位置を伝播的に推定する手法を提案し、環境構築にかかるコストの削減を図った [羽原 04]。中里らは、再帰性反射材でできたマーカを環境に設置し、赤外線発光素子付きの赤外線カメラで撮影することで、画像マーカが景観を乱す問題を解決した [NKY05, 中里 05]。しかし、画像マーカを用いたユーザの位置・姿勢計測手法は、計測結果の安定性に欠けるという問題が残る。また、坂田らは、環境中に設置した赤外線カメラを用いて、ユーザが装着する IR タグを認識しユーザ位置を推定する手法を提案した [SYI+03, 坂田 03]。しかし、本手法は、環境側に設置する機器のコストが高く、広範囲でのユーザ位置計測には不向きである。また、興梠らは、環境中であらかじめ撮影したおいた全方位画像とユーザ視点付近に取り付けられたカメラから得られる画像のマッチング、および慣性センサを利用して、ユーザ位置の推定を試みた [興梠 03]。しかし、本手法は照明条件等の環境の変化に弱いといった問題点がある。

一方、カメラ以外のセンサを利用した位置計測手法もこれまでに多く提案されている。Wardらは、屋内環境の天井に限なく配置した超音波発信機を利用してオフィス環境でのユーザ位置を計測する Active Bat システムの開発を行った [WJH97]。日立製作所は、環境中に設置された無線ネットワーク基地局からの信号の到来時間差を利用して無線ネットワークの利用者の位置を推定する位置検知システム日立 AirLocation を開発した。また、Leeらは、環境中にまばらに配置した赤外線センサと歩数計測を利用したユーザ位置計測手法の提案を行った [LM01]。表1より、ビジョンベースのユーザ位置の計測手法は総じて安定性に欠け、センサベースの手法は環境に設置するセンサが高価であったり、電源が必要だったりといったインフラ構築コストに関する欠点があり、広域環境での恒常的な利用には不向きである。

また、広域環境で利用可能なウェアラブル拡張現実感システムを構築するためには、膨大な位置依存情報の中からどのようにユーザが欲しい注釈情報を選択するのかといった問題が生じる。このような位置依存情報のマネージメントに関する従来研究を概観する。上田らは、位置依存型情報をユーザの位置情報を利用して検索するデータベースおよび検索手法の提案を行った [上田 01]。牧田らは、複数のユー

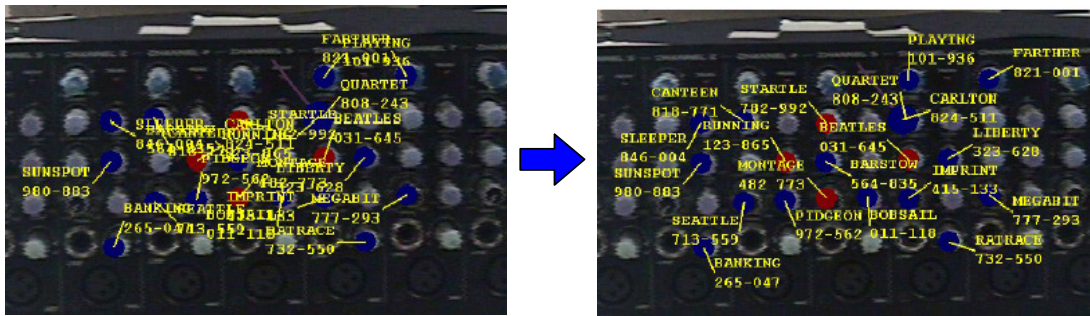


図 6 重なり合いを避けた注釈情報の再配置 [AF03]

で利用可能な拡張現実感コンテンツのネットワーク共有データベース [MKY04a] を提案し、穴吹らは牧田らのデータベースに各ユーザの位置情報を動的にアップロードすることで、ウェアラブルユーザに注釈情報を付加するシステムを開発した [穴吹 05]。このように、現在ではサーバ・クライアント型のウェアラブル拡張現実感システム [柴田 04, 古野 06] が一般的になってきており、サーバ・クライアント型のシステムを想定したオーサリングシステム [GF03, ZHBH03, PT03, 伊東 05] や開発用ライブラリの研究も行われている [高田 04, 橋本 06]。

さらに、拡張現実感技術を利用してユーザの眼前の風景に複数の注釈情報を重畳する際、生成画像をどのようにユーザに見せるかを考慮したビューマネジメントに関する研究もいくつか行われている。Azuma らは、現実のオブジェクトに対する CG で描画された注釈情報が多数存在するような拡張現実シーンにおいて、図 6 に示すように注釈情報を重ならないように合成画像上に配置する手法を提案した [AF03]。また、Bell らが提案した、環境のモデルを利用して仮想現実 (VR) 空間や AR 空間の注釈情報をオープンスペース等の適切な位置に再配置する手法を図 7 に示す [BFH02]。Leykin らは、背景画像のテクスチャを解析して、注釈情報を重畳する最適な場所を決定するアルゴリズムを提案した [LT04]。さらには奥行き情報や隠蔽関係を含めた注釈提示手法 [BH04, 浦谷 04] の提案等、様々な側面からウェアラブル拡張現実感システムにおけるビューマネジメント手法の研究が進められている。



(a) VR空間における再配置例



(b) AR空間における再配置例

図 7 オープンスペースを利用した注釈情報の再配置 [BFH02]

1.2 本研究の目的と方針

本研究は、ウェアラブルユーザを対象とした拡張現実感を利用した有用性の高い位置依存情報提示システムの構築を目的とする。有用性の高い位置依存情報提示システムを構築するためには、以下の二種類の拡張性を満たす必要がある。

- 1) システムの利用可能な環境に関する拡張性
- 2) コンテンツの数および種類に関する拡張性

1) を満たすためには、様々な環境でユーザ位置および姿勢の計測を、位置依存情報の提示に十分な計測精度を保ったまま、実時間で実現する必要がある。また、低コストで計測範囲を拡張できることが望ましい。本研究では、GPS および赤外線センサを利用した絶対位置同定と、歩数計測を利用した相対移動量の推定を組み合わせることにより屋内・屋外の広域環境でシームレスなユーザ位置計測を実現する。2) を満たすためには、拡張現実感コンテンツのマネージメントを円滑に行うための工夫が要求される。本論文では、この問題を以下の3種類の情報管理を行うことで2) を満たすシステムを構築する。

(i) 多数のコンテンツの効率的な管理

(ii) ユーザに多数のコンテンツを同時に提示する際のビューマネージメント

(iii) 多種類のコンテンツの管理

本研究では、複数のウェアラブルユーザが環境内に存在していることを想定し、ネットワーク共有されたサーバで注釈情報の管理を行うサーバ・クライアント型のウェアラブル拡張現実感システムを構築し、(i)を実現する。また、(ii)を実現するために、三次元モデルを利用したビューマネージメント手法を提案する。これにより、多数の注釈情報をユーザに提示する際に、注釈情報とその対象となる現実のオブジェクトの対応をユーザに明確に提示する。最後に、構築した共有データベースを拡張し、注釈情報以外の多種類の位置依存コンテンツデータを扱うシステムを構築し、(iii)を実現する。

1.2.1 ユーザの位置および姿勢の計測

本論文では、拡張現実感技術を利用してユーザの眼前の風景に注釈情報を重畳表示するのに十分な計測精度を持ったユーザ位置の計測手法を提案する。ユーザの姿勢の計測には、従来のウェアラブル拡張現実感システムで広く用いられている姿勢センサ [NPF⁺03, CGL⁺04] をユーザが頭部に装着することにより、実時間での計測を実現する。ユーザ位置の計測は、計測精度と利用可能な環境の拡張性を考慮して、屋外環境ではGPSを、屋内環境では赤外線センサを利用した絶対位置同定により計測する。しかし、GPSを利用した位置同定は時間的な分解能が、赤外線センサを利用した位置同定は空間分解能が十分ではない。そこで、歩数計測を利用したユーザの相対移動量の推定を組み合わせることで、拡張現実感の実現に十分な分解能でユーザ位置を計測し、現実環境と仮想環境の融合の際の違和感を軽減する。

1.2.2 コンテンツデータベース

本論文で想定するウェアラブル拡張現実感システムは、複数のウェアラブルユーザが環境内に存在し、各ユーザに対して現在位置に依存した拡張現実感コンテンツの提示を行う。本研究では、牧田らが提案したネットワーク共有データベース [MKY04a] を利用して拡張現実感コンテンツの管理を行うサーバ・クライアント型のウェアラブル拡張現実感システムを構築し、多数のコンテンツデータの効率的な管理を行う。

1.2.3 拡張現実空間におけるビューマネジメント

前節で述べた拡張現実感システムのビューマネジメントの従来研究の多くは、環境中に多数の注釈情報が存在するときに、それらをどのように重畳表示画像上で配置してユーザに提示するか、あるいは奥行きを考慮した注釈の提示方法に焦点を当てたものである。現状のウェアラブル拡張現実感システムでは、複雑なシーンや複数の注釈情報が密集するシーンなどでは、注釈情報がどのオブジェクトに対応するのかをユーザが認識することは容易でない。そこで本論文では、シーンの三次元モデルを利用して、生成画像においてユーザが注目する注釈情報と対象オブジェクトを強調表示する情報提示手法を提案する。これにより、注釈情報とその対象となる現実のオブジェクトの対応をユーザに明確に提示することが可能となり、ウェアラブル拡張現実感システムにおけるユーザの現実物体と仮想物体の直感的な対応付けを支援する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。2章では、提案するウェアラブル拡張現実感システムの概要について述べる。3章では、拡張現実感の実現に必要なユーザ位置・姿勢の計測手法、および計測環境の具体的な構築について述べる。4章では、拡張現実環境における、注釈情報と注釈付けの対象オブジェクトを強調表示するビューマネジメント手法について述べる。5章では、ウェアラブル拡張

現実感システムを利用した位置依存情報提示の具体例として、本学内におけるナビゲーションシステムと屋外観光案内システムのプロトタイプについて述べる。最後に6章で本研究を総括する。

2. 位置依存情報提示のためのウェアラブル拡張現実感システム

2.1 ウェアラブル拡張現実感システムの概要

提案するウェアラブル拡張現実感システムの概要を図8に示す。提案システムはサーバ・クライアント方式で、位置依存情報の格納およびクライアントへの配信を行うサーバと、ユーザが装着するウェアラブル端末であるクライアントから構成される。クライアントシステムは、一定時間おきにユーザの現在位置をサーバに送信する。サーバは、ユーザの現在位置付近の注釈情報を各クライアントに送信する。これにより、サーバでの注釈情報の一括管理を実現し、注釈情報の情報提供者は、サーバに格納された情報のみを更新すればよい [牧田 03, MKY04b]。

2.2 ウェアラブル拡張現実感システムの要求事項

提案システムでは、ユーザ位置および姿勢をもとに、ユーザの眼前の映像に対して位置依存型の拡張現実感コンテンツを重畳した合成画像を実時間で生成し、ユーザに提示する。図9に生成される画像例を示す。想定するシステムでは、注釈情報と詳細情報の2種類の位置依存型拡張現実感コンテンツをユーザに提示する。注釈情報は、現実環境の指定された地点に実在するオブジェクトのように描画される。注釈情報の重畳には2通りの用途があり、図9(a)に示すように背景の実オブジェクトの注釈として用いられる場合と、図9(b)に示すように、矢印とともに表示され、実環境の道案内に用いられる場合がある。また、注釈情報をユーザが画面中央で捉えたとき、ユーザがその注釈情報を注目していると判断し、注釈情報に関するより詳細な情報を記述した詳細情報を画面の右隅の特定の位置に重畳表示する。このような注釈付加画像を生成するには、注釈情報および詳細情報の内容、注釈情報を提示する三次元位置、矢印の向き等を含む注釈情報に関するデータが必要である。

このようなウェアラブル拡張現実感システムを実現するためには、以下の情報が必要となる。

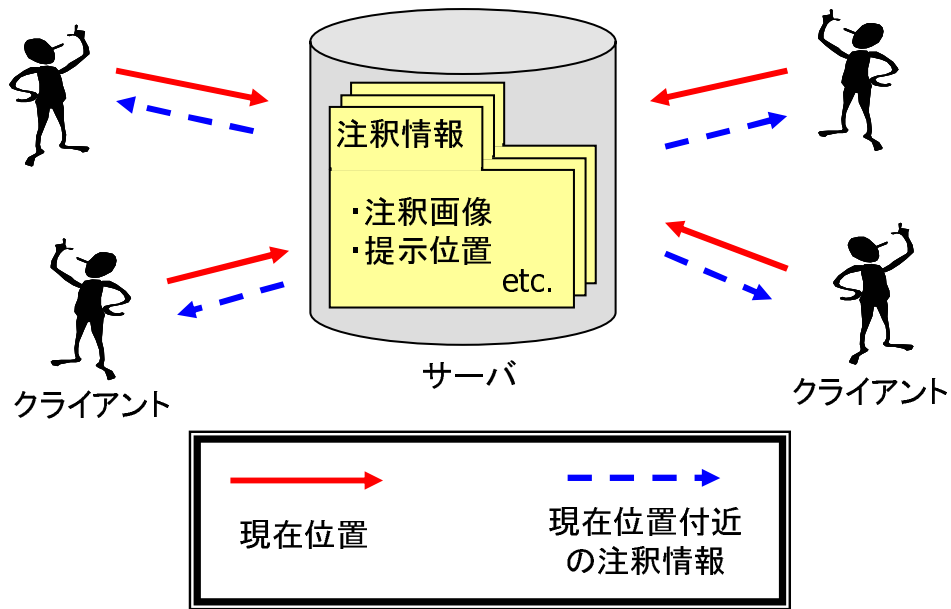


図 8 提案システムの概要

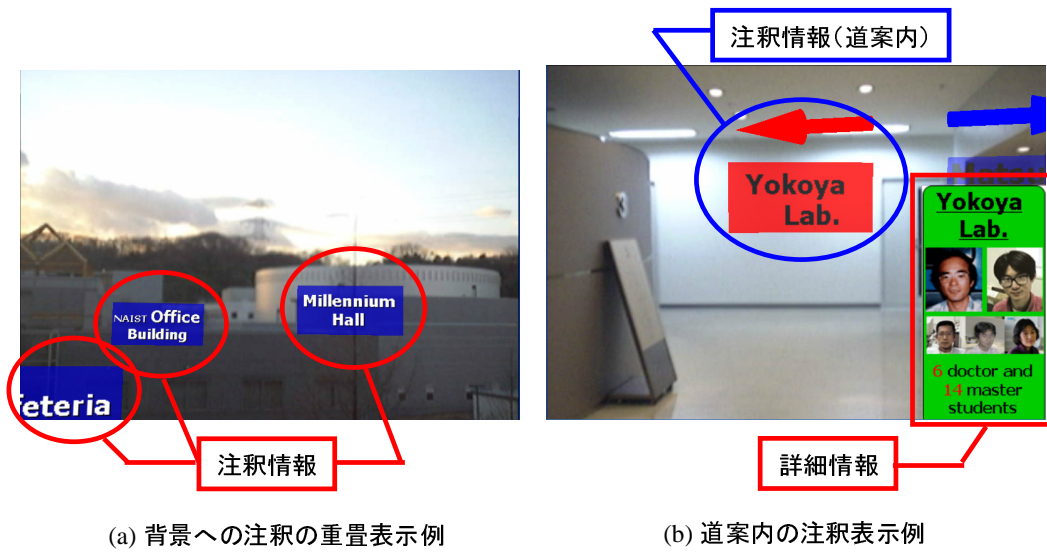


図 9 注釈付加画像の例

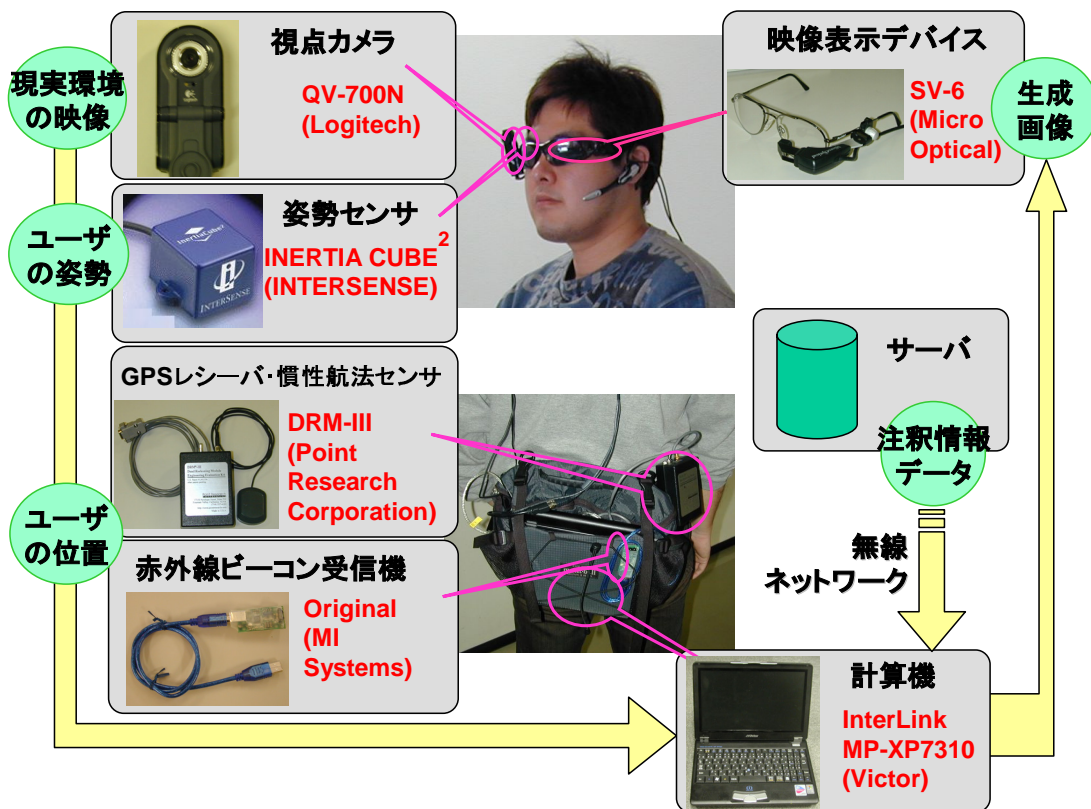


図 10 クライアントシステムの機器構成およびデータフロー

ユーザの現在位置および姿勢

ユーザの現在位置および姿勢は、ユーザが装着するセンサを利用して計測する。詳細は3章で述べる。

注釈情報データ

注釈情報の内容、提示位置、矢印の向き等の情報を含む。

表 2 クライアントシステムの各機器の仕様

デバイスの種類	型番 (製造元)	特徴
視点カメラ	QV-700N (Logitech)	640×480ピクセルのRGB24ビット カラー画像を30fpsでキャプチャ可能.
姿勢センサ	INERTIA CUBE ² (INTERSENSE)	3軸周りの回転角を256Hzで 計測可能な姿勢センサ. 振動ジャイロセンサの計測データを 地磁気センサ・重力センサにより補正.
GPSレシーバ・慣性航法センサ	DRM-III (Point Research Corporation)	慣性航法センサによるユーザの 相対移動量の推定が可能. 屋外ではGPSの利用も可能.
赤外線ビーコン受信機	オリジナル (MI Systems)	環境中に設置される赤外線ビーコン 送信機の信号を識別することで ユーザ位置を同定可能.
計算機	InterLink MP- XP7310 (Victor)	CPU: Centrino Pentium M 1.0GHz, メモリ: 768Mbyte
映像表示デバイス	Clip on Display SV-6 (Micro Optical)	640×480ピクセルのRGB24ビット カラー画像をユーザに提示可能.

2.3 クライアントシステムの処理

図 10 にクライアントシステムの機器構成およびデータフローを、表 2 に各機器の仕様を示す。図 10 に示すように、ユーザは視点カメラ、姿勢センサ、赤外線ビーコン受信機、GPS レシーバ・慣性航法センサを装着し、視点付近からの現実環境の映像、ユーザの姿勢、絶対位置、相対移動量を得る。ユーザが持つ計算機は無線ネットワークを介した通信が可能で、ネットワーク共有されたサーバ内のデータベースからユーザの現在位置付近の注釈情報を獲得する。これらの情報から、ユーザの眼前の風景に対して注釈情報を重畳表示した注釈付加画像（図 9）を生成し、ユーザが装着するビデオシースルー方式の映像表示デバイスを介してユーザに提示する。

2.4 サーバの処理およびデータベースの構築

サーバは、クライアントシステムで計測された各ユーザの位置情報をもとに、現在位置付近の位置依存コンテンツである注釈情報を、各ユーザが装着したクライアントシステムに配信する。そのため、サーバはコンテンツである注釈情報と各クライアントの現在位置の管理を行う必要がある。

これらを実現するために、サーバ内の共有データベースは以下の三種類のテーブルを持つ。

- 注釈情報テーブル: 注釈情報の管理を行う。
- クライアント位置テーブル: 各クライアントの現在位置を格納する。
- 位置 ID テーブル: 各クライアント端末が赤外線センサから得られる位置 ID から、ローカル座標系（領域 ID）と座標系内の位置情報を得るための対応を示す。

これらのテーブルの例を表 3(a),(b),(c) にそれぞれ示す。表 3(a) の注釈情報テーブルには、図 9 に示す注釈付加画像の生成に必要な注釈情報、詳細情報のファイルが、提示すべき位置情報に基づいて格納されている。道案内の注釈情報には、

表 3 共有データベース内のテーブルの例

注釈情報の ファイル名	詳細情報の ファイル名	注釈の種類	注釈情報の提示位置		矢印の 向き
			領域ID	位置	
a1.jpg	a2.jpg	注釈情報	001	(x1,y1,z1)	--
b1.jpg	b2.jpg	案内情報	001	(x2,y2,z2)	東
c1.jpg	c2.jpg	案内情報	001	(x3,y3,z3)	北
d1.jpg	d2.jpg	注釈情報	002	(x4,y4,z4)	--
e1.jpg	e2.jpg	注釈情報	002	(x5,y5,z5)	--

(a) 注釈情報テーブル

位置ID	領域ID	領域内の座標	クライア ント ID	ユーザの現在位置	
				領域ID	領域内における座標
00250	001	(x1,y1)			
00251	001	(x2,y2)	User A	001	(x1,y1)
00252	002	(x3,y3)	User B	001	(x2,y2)
00253	002	(x4,y4)	User C	002	(x3,y3)

(b) 位置IDテーブル

(c) クライアント位置テーブル

拡張現実感を利用して注釈と共に提示する矢印の向きも格納されている。ユーザ位置は、環境を建物の1フロア等から形成される領域に分割し、領域のIDとその領域内のローカル座標系での二次元座標値で表わされ、環境中の全てのユーザの位置は、表 3(c) に示すクライアント位置テーブルを利用して管理される。表 3(b) に示す位置 ID テーブルは、3 章で詳しく述べる屋内環境における位置同定に利用する赤外線ビーコン発信機の設置位置と ID を格納する。

3. ユーザの位置および姿勢の計測と計測環境の構築

3.1 序言

本章では、拡張現実感を利用した注釈情報の重畳表示に必要なユーザの姿勢・位置の計測手法、および屋内環境での位置計測のための環境構築について述べる。本研究では、ユーザ位置・姿勢ともにユーザが装着するセンサの出力結果をもとに推定を行う。

3.2 ユーザの姿勢の計測

ユーザの姿勢の計測には、ユーザの視点付近に装着された姿勢センサを用いる。一般に、姿勢センサは、振動ジャイロ等のジャイロセンサを用いて計測した姿勢情報をもとに電子コンパスや重力センサを利用してドリフト誤差による影響を補正して出力する。ジャイロセンサは、高速な姿勢の変化に対して有効であるが、長時間の使用により誤差が蓄積するという性質を持つ。一方、電子コンパスや重力センサは、高速な姿勢変化には対応できないが、時間と共に蓄積するような誤差は発生しない。しかし、電子コンパスは、地磁気を検出して方位角を計測するため、大きな地磁気の乱れが発生する大きな金属の近くや厚いコンクリートに囲まれたような場所では誤差が生じる。これらのセンサの出力結果の統合により、地磁気の乱れが比較的小さな場所では本システムの目的において十分な精度でユーザの姿勢を計測することが可能である。姿勢計測の問題として、姿勢センサとカメラから得られる現実環境の映像との間の同期ずれが挙げられる。提案システムでは姿勢センサの計測データを数フレーム遅延させることで、この同期ずれを軽減している。

3.3 絶対位置同定と相対移動量推定を利用したユーザ位置の計測

提案手法では、絶対位置同定の計測結果を相対移動量推定を用いて補完することでユーザ位置の計測を行う。それぞれの計測誤差が概算可能な絶対位置同定と

相対移動量推定が非同期で行われる位置位置計測手法では，絶対位置同定手法による計測誤差 EA および相対移動量推定手法による計測誤差 ER を利用して，式 (1) のように計測誤差 E を概算することが可能である．

$$E = EA + ER \quad (1)$$

このうち，相対移動量推定手法による計測誤差は絶対位置同定を行ってから現在時刻までに行った相対移動量推定の計測誤差の総和となる．すなわち，時刻 t で絶対位置同定を行ったデータの絶対位置同定の計測誤差 $EA(t)$ ，時刻 t における相対移動量推定による計測誤差 $ER(t)$ を用ると，ある時刻 t_1 で絶対位置同定を行ったデータの時刻 t_2 における計測誤差 $E(t_1, t_2)$ は，

$$E(t_1, t_2) = EA(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} ER(t) dt \quad (2)$$

となる．このような位置計測手法では，全ての絶対位置同定のデータに対して式 (2) を計算し，概算される計測誤差が最小となるものを時刻 t_2 におけるユーザ位置と定義する．

提案手法では，屋外環境では GPS，屋内環境では赤外線センサをそれぞれ利用してユーザの絶対位置同定を行う．しかし，GPS を利用した位置同定は時間的な分解能が，赤外線センサを利用した位置同定は空間分解能が低い．そこで，歩数計測を利用したユーザの相対移動量の推定を組み合わせることで，屋内・屋外の両環境において，ユーザ位置をステップレートで計測することが可能となる．相対移動量の推定には，図 11 に示す Point Research 社の慣性航法モジュール DRM-III を利用する．DRM-III は，事前に入力しておいたユーザのおおよその歩幅とユーザの歩行動作と歩行方向の検出により相対移動量の推定を実現している．しかし，事前に与えたユーザのおおよその歩幅と実際の歩幅の差や歩行方向の計測誤差等により，歩数計測には式 (3) で表わされるユーザの移動距離に比例した誤差が蓄積することより，式 (1) の ER には以下の式が代入される．

$$\begin{aligned} ER &= (\text{ユーザの移動距離}) \times (\text{誤差率}) \\ &= (\text{ユーザのおおよその歩幅}) \times (\text{歩数}) \times (\text{誤差率}) \end{aligned} \quad (3)$$

通常，DRM-III を屋外環境のような地磁気の乱れのない環境で使用した際の計測誤差は移動距離の約 5% 以内である．屋内環境では，地磁気の乱れが生じる場所



(a) GPSレシーバ付き慣性航法センサ
DRM-III (Point Research Corp.)



(b) DRM-IIIを装着した様子

図 11 慣性航法モジュール DRM-III

が存在し、電子コンパスを利用した歩行方向の計測に影響を与えるため、最大で移動距離の約 17% 程度の計測誤差が生じる。これより、式 (3) の誤差率に屋外環境では 0.05 を、屋内環境では 0.17 を代入し、歩数計測の誤差を概算する。ユーザが屋外にいるか屋内にいるかの判定は、その時点での最新の絶対位置同定が GPS によるものか赤外線センサを利用したものかによって判断する。提案手法では、ユーザが環境に応じたセンサの切り替えを行う必要がなく、屋内・屋外の両環境でのシームレスなユーザ位置計測を実現している。

3.3.1 GPS と歩数計測を利用した屋外環境でのユーザ位置計測

屋外環境では、GPS を利用した絶対位置と歩数計測を利用した相対移動量の統合によりユーザ位置の計測を行う。図 12 に屋外環境でのユーザ位置計測手法の概要を示す。屋外環境では、GPS によって毎秒 1 回計測されるユーザ位置を基準に、歩数計測による相対移動量推定を利用してユーザ位置を補間する。前述

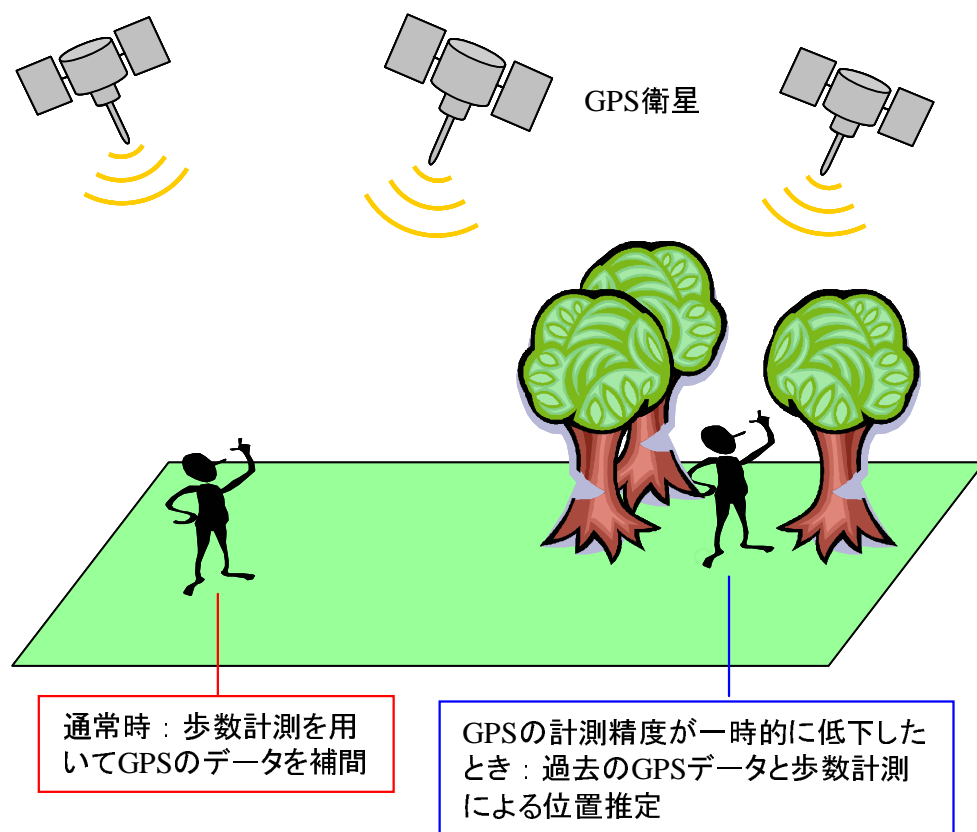


図 12 屋外環境でのユーザ位置計測

のように、基準となる GPS のデータには、式 (1) によって求められる計測精度が最小となるものが選択される。その際に式 (1) の EA に、GPS の標準的なデータ形式である NMEA 形式のデータに含まれる GPS の計測誤差値を代入する。この NMEA 形式のデータに含まれる GPS の計測誤差値は、捕捉衛星数および電波状況により随時概算される。これにより、遮蔽物等により GPS によるユーザ位置の計測精度が一時的に低下したときにも、過去の GPS のデータと歩数計測を利用してロバストなユーザ位置計測が可能となる。

3.3.2 赤外線センサと歩数計測を利用した屋内環境でのユーザ位置計測

図 13 にユーザの位置の計測手法の概要を示す。屋内環境では、赤外線センサを利用して離散地点でのユーザ位置の同定を行う。図 14 に屋内環境でのユーザ位置同定に用いる赤外線センサを示す。赤外線センサは、環境に設置され、位置 ID の送信に用いる赤外線ビーコン送信機と、ユーザが装着し送信機から送られる位置 ID の識別が可能な赤外線ビーコン受信機から構成される。赤外線ビーコン送信機は、図 15 に示すように環境中の天井等にまばらに設置される。各送信機からは、その送信機が設置された地点を示す位置 ID を含むビーコンが常時送信され、ユーザが装着する受信機がビーコンを受信することでユーザ位置の特定を行う。ユーザが送信機からの位置 ID を受信しているときは、システムはその位置 ID によって事前に定められた地点にユーザの現在位置を特定する。位置 ID を受信していないときは、最後に位置 ID を受信した地点からのユーザの相対移動量を歩数計測によって推定し、ユーザの現在位置の計測を行う。屋内環境では建物内のフロアごとにローカル座標系を設定し、ローカル座標系内での位置を計測する。各赤外線ビーコン送信機から送信される位置 ID がどのフロアの座標系のどの座標値と対応しているのかを示す位置 ID テーブルを表 3(b) に示す。よって本手法では、ユーザがどのフロア内にいるかと、フロア内での二次元位置（図 13 中の x 座標値、 y 座標値）を同定することができる。各座標系における z 座標値すなわちユーザ視点の高さは、事前に与えた固定値とする。

赤外線ビーコン送信機から送信される赤外線ビーコンには指向性がある。ビーコンを受信可能な範囲は、送信機を設置する環境中の天井の高さによって異なる

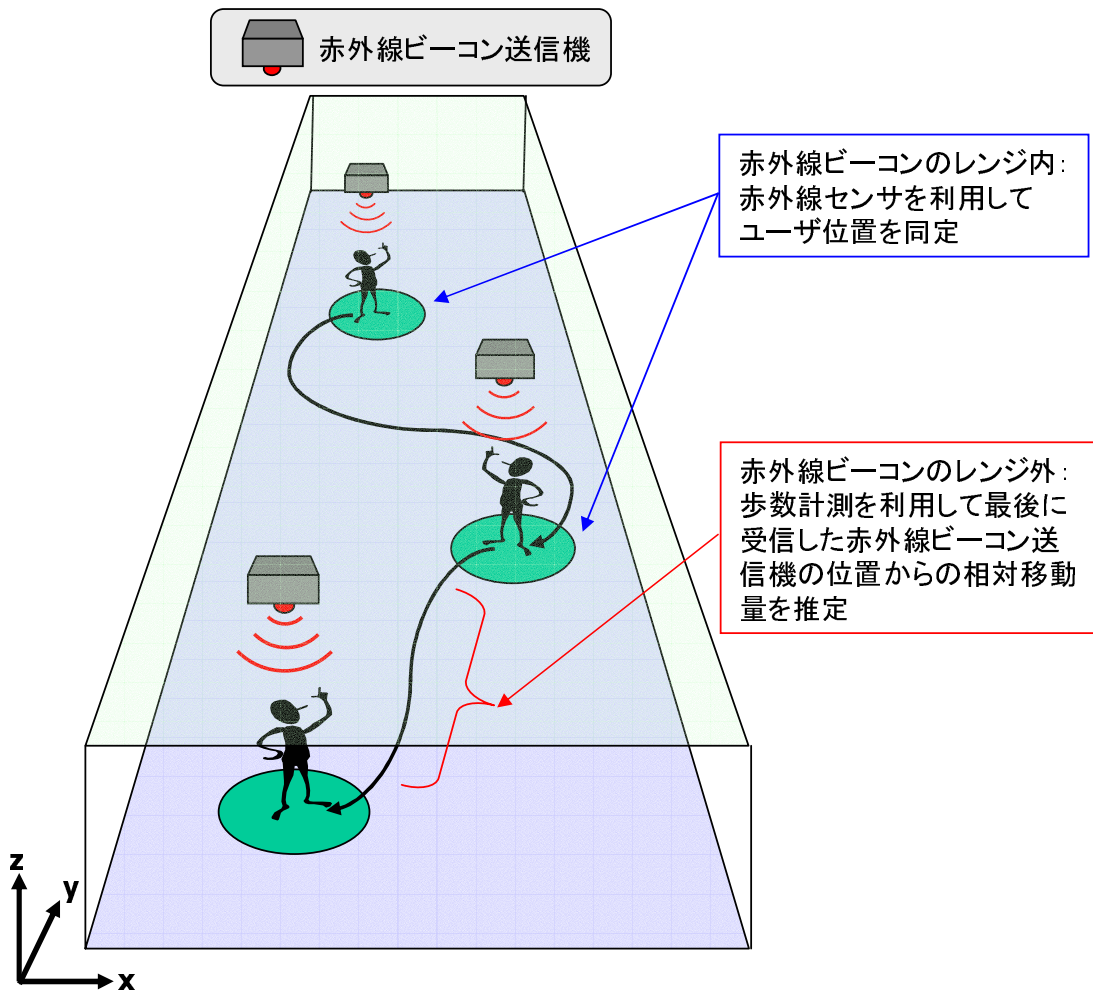


図 13 屋内環境でのユーザ位置計測



(a) 赤外線ビーコン送信機



(b) 赤外線ビーコン受信機

図 14 赤外線センサ



図 15 赤外線ビーコン送信機の設置例

が、提案システムで用いている送信機のビーコンの送信範囲は、図 15 に示すように通常の屋内環境の天井に設置した場合、受信機が取り付けられる高さで半径約 1 メートルの円になるように送信範囲の調節を行っており、赤外線発光部を遮光物で覆うことで送信範囲をさらに狭めることが可能である。よって、屋内環境では、式 (1) の EA には定数 1[m] が代入され、計測誤差の概算を行う。このような性質を持つ赤外線ビーコン送信機を屋内環境の天井に設置することで、送信機の下を通過したユーザは位置 ID を含むビーコンを受信し、ユーザ位置の同定を行うことができる。現状では、赤外線ビーコンの送信可能な距離は約 5 メートル程度であるので、これ以上の高さの天井の環境においては赤外線ビーコンは不向きである。そういった環境においては、他の機器を利用してユーザ位置の特定を行うといった対策が必要である [TKYT02]。

3.4 ユーザ位置計測の精度評価

本節では、拡張現実感を利用した現実環境への注釈付けを行う際に、位置計測の誤差が及ぼす影響について述べる。通常、位置計測の誤差の他に姿勢計測に関する誤差が拡張現実感における仮想環境と現実環境の位置合わせに影響を与える。しかし、提案システムで用いている姿勢センサは重力センサやコンパスを利用した補正を行っているため、利用時間と共に増加するような蓄積誤差は発生しない。また、提案手法で用いているユーザ位置計測手法の計測誤差は、水平方向にのみ蓄積することから、水平方向の位置計測誤差が注釈提示に及ぼす影響について議論する。

3.4.1 要求されるユーザ位置の計測精度

現実環境への注釈提示を行う際、ユーザが直感的に注釈情報と現実のオブジェクトとの対応付けを行えることが重要である。この「ユーザの直感的な理解」は、ユーザ位置や姿勢の計測精度の他に、注釈提示の対象となる現実環境の複雑さや、提示する注釈情報の数等の様々な要因によって左右される。すなわち、ユーザが直感的に注釈情報と現実環境との対応付けを行うためには、比較的単純な構造の

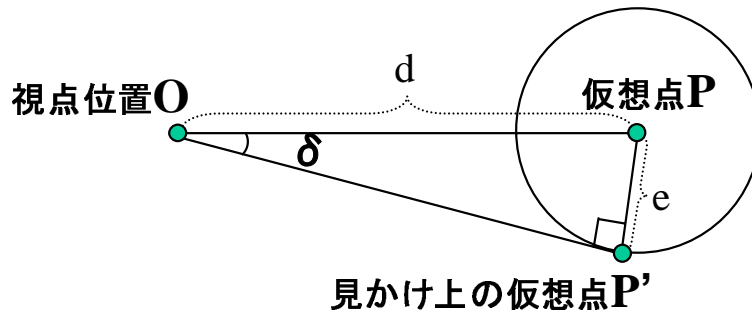


図 16 仮想点の合成画像上での位置ずれ

環境に対して注釈情報を 1 つだけ重畳表示する場合と、商店が立ち並ぶような複雑な構造の環境に対して全ての商店に対して注釈情報を重畳表示する場合には、要求される位置計測精度が異なる、ということである。注釈付けを行う環境の複雑さやユーザに提示する注釈の個数、注釈付けの対象となるオブジェクトの大きさといった環境の状態と要求される位置計測精度の関係を定式化することは非常に困難である。

そこで本研究では、この「ユーザの直感的な理解」の尺度として、図 16 に示す視点位置 O から d だけ離れた現実環境中のある点 P の合成画像上での位置ずれを考える。ユーザ視点の位置計測の水平方向の誤差が e で $d > e$ であるとき、水平方向の視差角のずれの最大値 δ は、

$$\delta = \arcsin \frac{e}{d} \quad (4)$$

となる。これは、 d 離れた地点に注釈情報を重畳表示する際、位置計測の水平方向の誤差が e であるなら、注釈情報は本来の注釈情報が提示される画像上の位置から視差角 δ だけずれた位置に重畳表示されることを意味し、本式は位置計測誤差と注釈の対象物までの距離、および合成画像上での位置ずれの関係を示す。提案システムが想定する注釈提示の対象となる現実環境のオブジェクトまでの距離は屋内環境で 5m ~ 20m、屋外環境ではそれ以上である。注釈の合成画像上での許容できる水平方向の視差角のずれを 20° であるとする、許容できるユーザ位置の計測誤差は、注釈提示の対象オブジェクトまでの距離の 30% 程度であり、対

象までの距離が 5m のときは 1.7m , 20m のときは 6.8m となる .

3.4.2 赤外線センサと歩数計測を利用した位置計測の精度評価

前節までに述べた赤外線センサと歩数計測を用いたユーザ位置計測手法において、赤外線ビーコン送信機の配置密度と位置計測精度の関係を調べるために以下の実験を行った。実験環境の概略図を図 17 に示す。本実験では、40m×17m の長方形の通路 (1 周 114m) の天井部に 5m 間隔で 23 個の赤外線ビーコン送信機を設置し、通路を歩行するユーザの位置を計測した。図 17 中の ①から ⑳内の数字は、赤外線ビーコン送信機の位置 ID を示し、丸印の位置は送信機が設置された位置を示す。実験では、ユーザ位置の特定に用いる赤外線ビーコン送信機の間隔を 5m・10m・15m・20m と変化させ、それぞれ 4 回ずつ図 17 中の ①の赤外線ビーコン送信機の位置から矢印に沿って通路を 1 周するユーザの位置を計測した。本実験環境中の ⑨ ~ ⑳の赤外線ビーコンを設置した場所は、付近にある変電室の影響等により地磁気に比較的大きな乱れが生じる範囲であった。赤外線ビーコン送信機の間隔が 5m・10m・15m・20m のとき、本手法によって計測された通路 1 周分のユーザ位置を地図上にプロットした例を図 18 および図 19 の (a) ~ (d) に示す。本手法では、歩数計測による蓄積誤差は、赤外線センサを利用して位置の特定を行うことで補正される。その際、補正される直前のユーザ位置と補正後のユーザ位置との距離を本手法による位置計測の誤差と定義し、この誤差のデータ全体の最大値・平均値、および地磁気の乱れが小さい場所 (ID1~8,17~23) における計測誤差の最大値・平均値、およびそれぞれの系列において最小二乗法で求めた回帰直線を図 20(a) に示す。また、赤外線ビーコン送信機の配置間隔を x 、ユーザ位置計測誤差を y としたときのそれぞれの回帰直線の方程式および回帰直線との相関値 R^2 を図 20(b) に示す。

図 20(b) より、データ全体の最大値・平均値、地磁気の乱れが小さい場所での誤差の最大値・平均値全てにおいて、回帰直線との相関値 R^2 が高いことから、本手法の位置計測誤差は赤外線ビーコン送信機の配置間隔に応じて概ね線形に増加していることがわかる。また、地磁気の乱れが小さい場所では、ほぼ 2m 以内の誤差でユーザ位置を計測できていることがわかる。本実験の結果と 3.3 節より、地

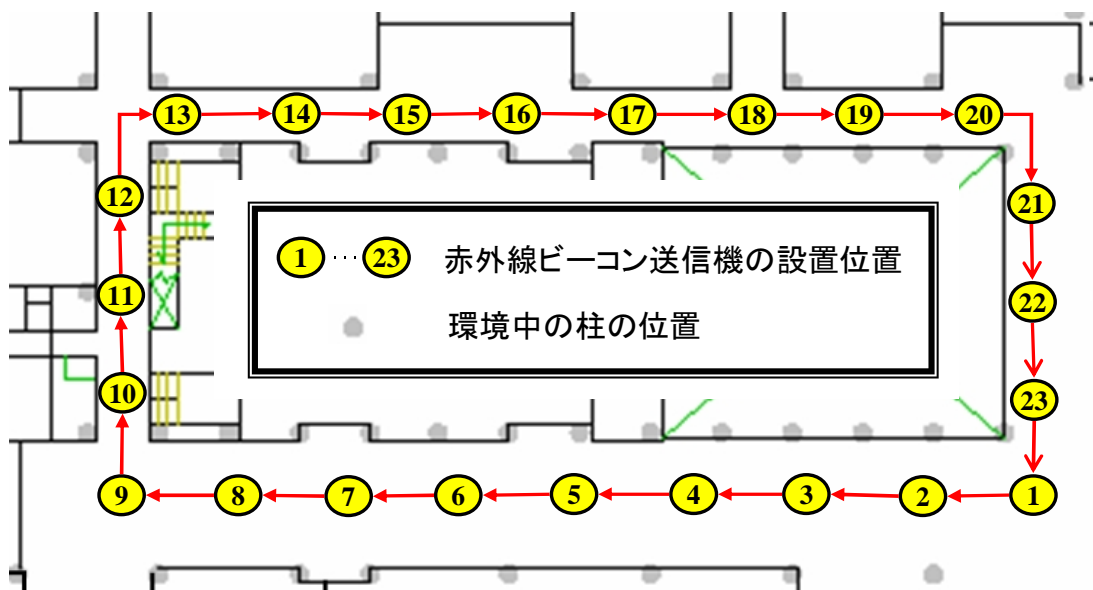
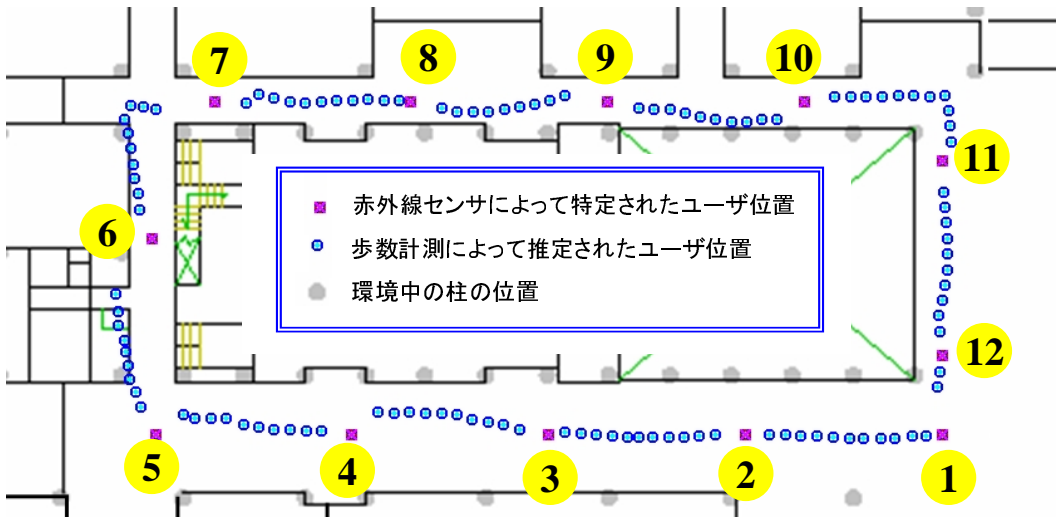
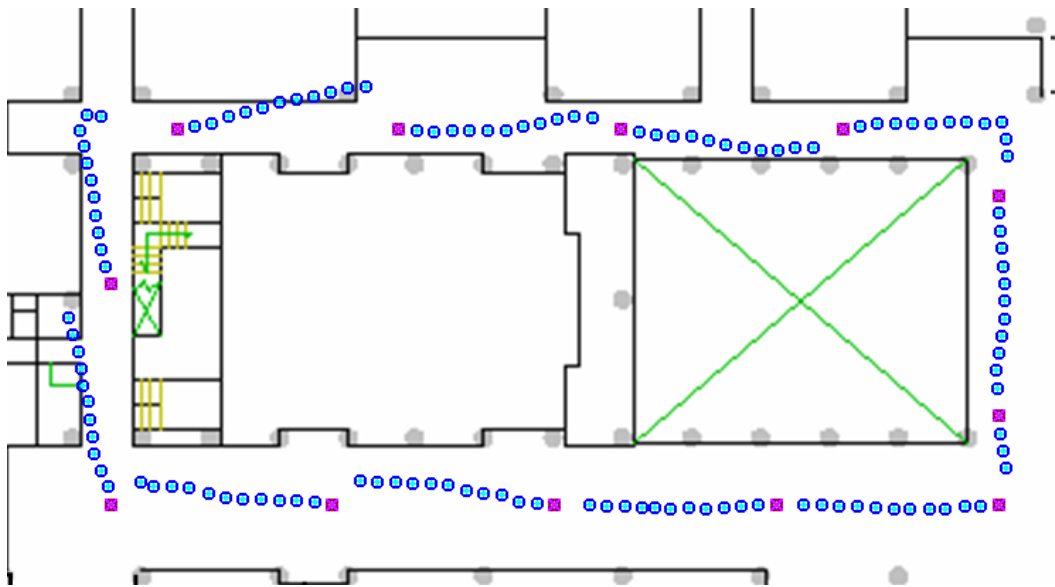


図 17 実験環境の概略図

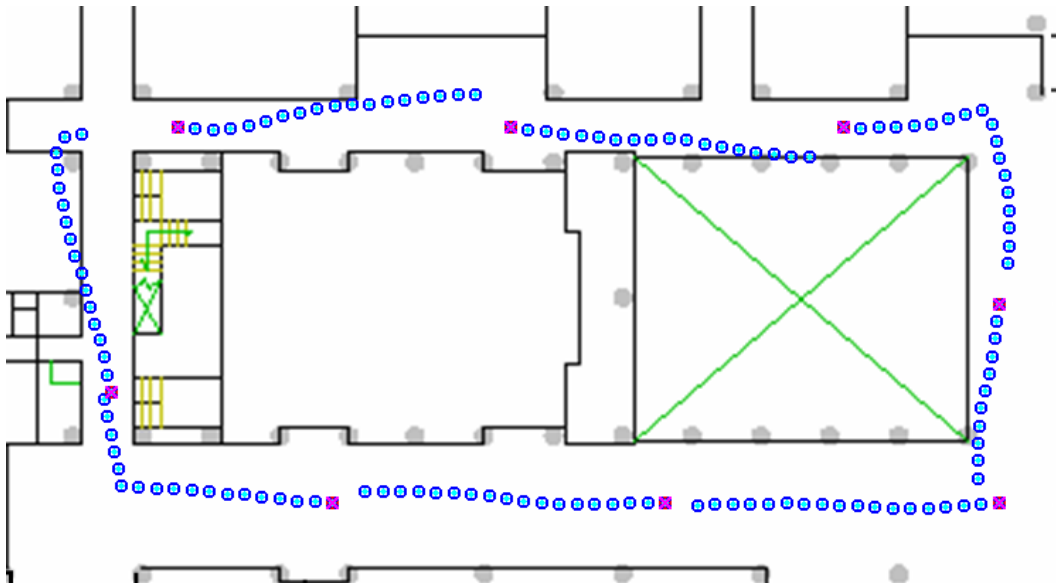


(a) 送信機の配置間隔が5m のとき

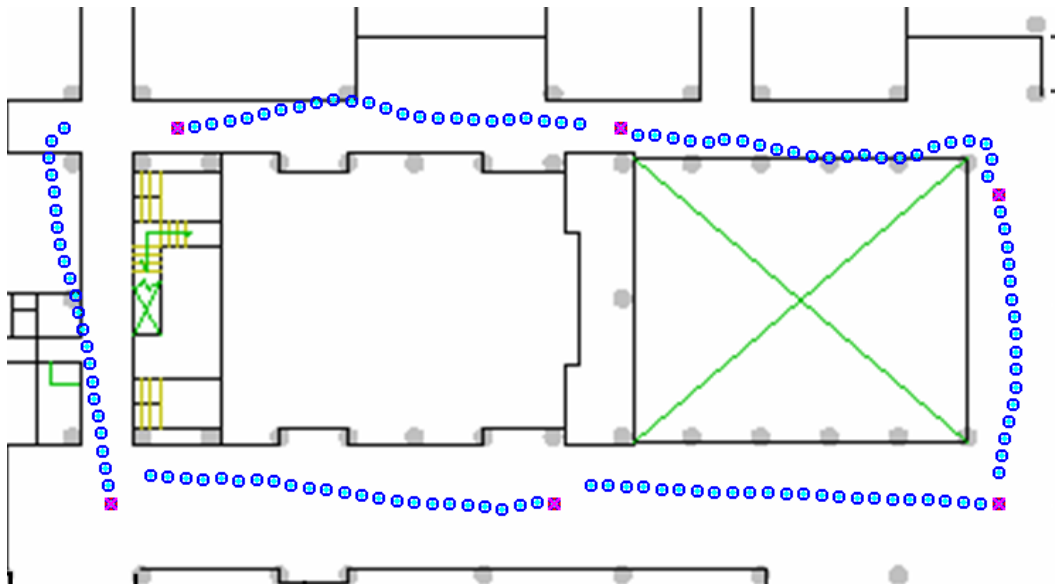


(b) 送信機の配置間隔が10m のとき

図 18 ユーザ位置計測の実験結果



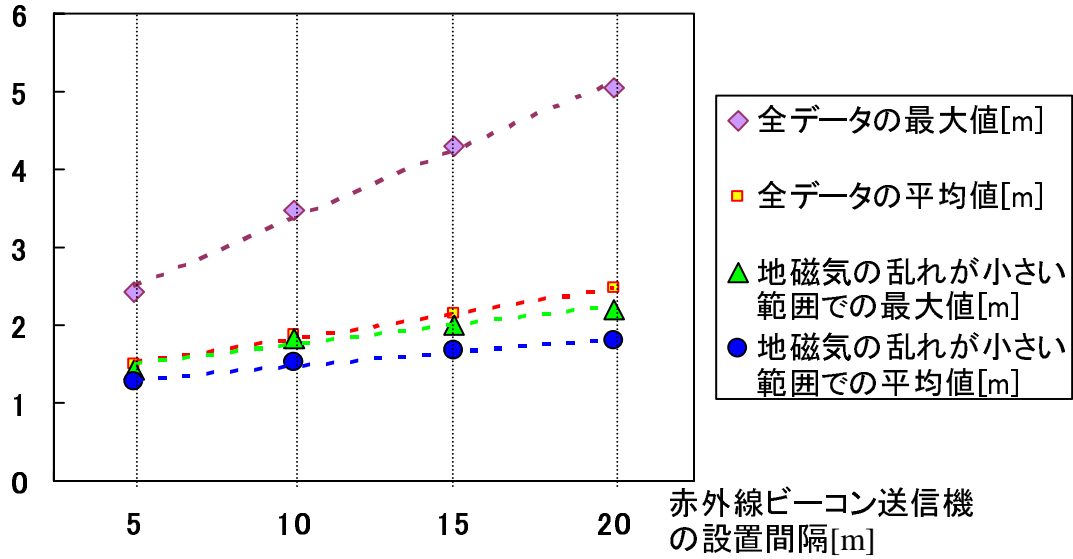
(c) 送信機の配置間隔が 15m のとき



(d) 送信機の配置間隔が 20m のとき

図 19 ユーザ位置計測の実験結果 (続き)

位置計測誤差[m]



線の種類	対応する系列	回帰直線の方程式	R ² の値
-----	全データの最大値[m]	$y = 0.175x + 1.63$	0.9935
-----	全データの平均値[m]	$y = 0.0642x + 1.195$	0.9948
-----	地磁気の乱れが小さい範囲での最大値[m]	$y = 0.0504x + 1.24$	0.961
-----	地磁気の乱れが小さい範囲での平均値[m]	$y = 0.034x + 1.14$	0.964

図 20 位置計測誤差の最大値・平均値における回帰直線



(a) 電源供給ユニット



(b) 電源供給ユニットの設置例

図 21 赤外線ビーコン送信機電源供給ユニット

磁気の乱れが小さい場所では送信機を 20m 程度離して設置しても、6~7m 程度先のオブジェクトに対して大きな位置ずれなく注釈付加が可能であることがわかる。また、環境により変電室の近くのような地磁気の大きな乱れが見込まれる場所でも、注釈対象が 20m 程度ユーザから離れていれば、大きな位置ずれなく注釈付加ができることがわかる。

3.5 ユーザ位置計測環境の構築

環境中に設置する赤外線ビーコン送信機は駆動に電力を必要とし、これまでは乾電池を利用して電力の供給を行ってきた。これにより、センサの保持に大きな人的コストを必要とし、提案手法を広域環境に恒久的に適用させるのに大きな障害となっていた。そこで、屋内環境の天井に設置された蛍光灯から赤外線ビーコン送信機に電源を供給することが可能な電源供給ユニットの開発を行った。図 21(a) に開発した電源供給ユニット、(b) に電源供給ユニットと赤外線ビーコン送信機の設置例を示す。電源供給ユニットにより、多数の赤外線ビーコン送信機を広域環境に恒常的に設置し、管理することが容易となった。図 21 に示す電源供給ユニットを用いて、本学の屋内環境の 1 フロア（広さ 60m × 45m）に 69 個の赤外線ビーコン送信機を図 22 に示すように設置した。本環境をユーザが通路に沿っ

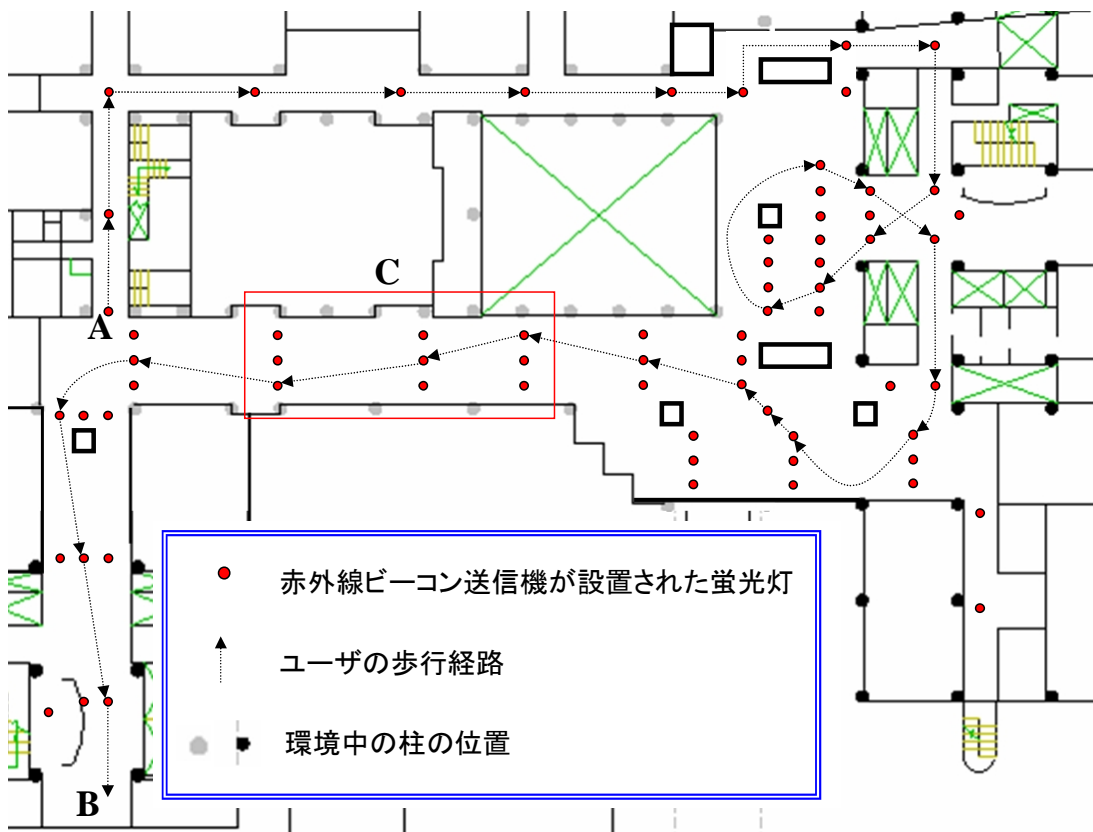


図 22 環境構築の例

て歩行した場合，数メートル～十メートルおきに赤外線ビーコン送信機の下を通過するように赤外線ビーコン送信機を配置した．その際，ユーザが赤外線ビーコンを受信しないで長距離を歩行することができないように図 22 中の C に示すようにある程度幅のある通路に対して垂直方向に送信機を複数設置する．また，通路の交差する地点に送信機を設置する等，効率的に赤外線センサによる位置特定が行えるようにした．

本環境をユーザが A 地点から B 地点まで破線矢印に沿って歩行した際に，赤外線センサと歩数計測を利用して計測したユーザ位置の計測結果を図 23 に示す．本位置計測実験における最大の誤差は 2.3m であった．これは，式 (4) より，10 メートル先の現実環境に重畳された注釈情報が視差角 13° ほど水平方向にずれて表示される誤差である．前節の考察より，屋内環境における注釈付加に十分な精度でユーザ位置を計測可能な環境であると考えられる．

3.6 結言

本章では，現実環境と仮想環境の位置合わせに必要なユーザ位置および姿勢の計測手法について述べた．また，屋内環境でのユーザ位置計測の計測精度評価，および屋内でのユーザ位置の計測に用いるインフラの構築例について述べた．提案手法では，GPS または赤外線センサを利用した絶対位置同定と歩数計測を利用した相対位置推定を組み合わせ，屋内・屋外の両環境で利用可能なユーザ位置計測を実現した．提案した位置計測手法は，

屋内・屋外においてユーザがセンサ等の切り替えを行うことなく計測が可能

計測レートは屋内・屋外を問わず一定

屋内外の境目なく位置依存情報を提示できるシステムへの適用が可能

の性質を持つことより，屋内外でシームレスに利用可能な位置計測手法であると考えられる．また，本研究で提案した屋内環境のインフラは，低コストで広域環境に適用することが可能なため，有用性の高いウェアラブル拡張現実感システムの構築が期待できる．歩数計測に代わる相対位置推定手法である装着した三次元

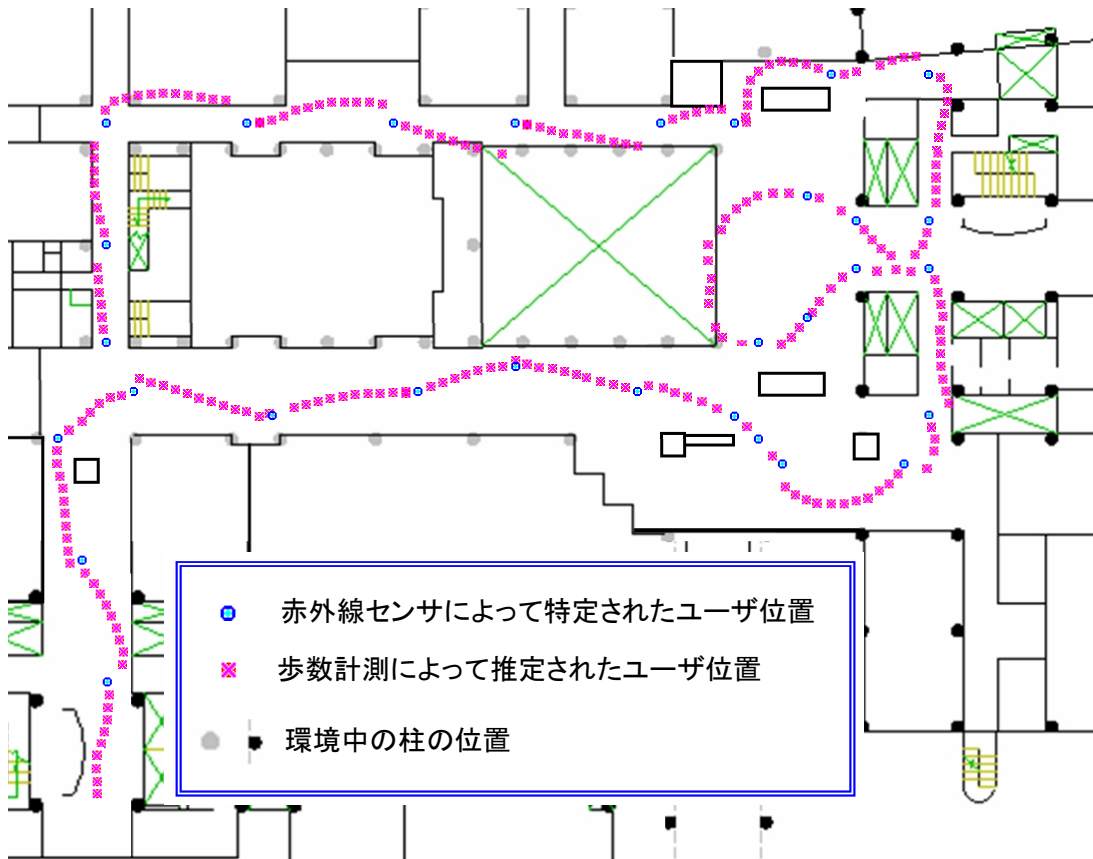


図 23 ユーザ位置の計測結果

磁気センサを利用した手法 [濱口 05] や, 靴に取り付けられた姿勢センサを利用した慣性航法による相対位置計測手法 [Fox05] との精度の比較等が今後の課題として挙げられる .

4. 三次元モデルを利用した拡張現実環境におけるビューマネージメント

4.1 序言

本章では、シーンの三次元モデルを利用して、ユーザが注目する注釈情報と対応する現実オブジェクトを強調表示することで、注釈情報と現実オブジェクトの対応付けを直感的にユーザに提示するビューマネージメント手法について述べる。注釈情報の強調表示手法は、注目オブジェクトの強調表示とオクルージョン領域の補完表示から構成される。注目オブジェクトの強調表示では、形状のみの簡易的な環境のモデルを用いて、ユーザが注目する実オブジェクトとそのオブジェクトに対するCGで描かれた注釈情報をハイライト表示した注釈付加画像をユーザに提示する。オクルージョン領域の補完表示では、テクスチャ付きの詳細な環境のモデルを利用して、合成画像上での注目オブジェクトの他のオブジェクトによるオクルージョン領域を補完してユーザに提示する。これらにより、複雑なシーンや多数の注釈情報が密集するシーンなどにおいて、ユーザによる注釈情報と対象オブジェクトの対応付けの直感的な理解を支援し、同時に表示するコンテンツの数に関する拡張性を示す。

オクルージョン領域の補完に関する従来研究として、亀田らによるサーベイランスカメラの映像を利用したウェアラブルユーザへのオクルージョン領域の補完提示 [KTO04] が挙げられる。しかし、亀田らの研究では、建物等によって隠蔽された部分の様子をサーベイランスカメラから獲得し、ウェアラブルカメラから得られるユーザの視界に重畳表示することを目的としていることから、提案手法は目的および手法において従来研究とは異なる研究と位置付ける。

4.2 ビューマネージメント手法の概要

これまでの我々の注釈提示手法 [TKY03] (従来手法) および、本章で提案する注釈提示手法 (提案手法) におけるデータの流れを図 24 に、提案手法全体のフローチャートを図 25(a) にそれぞれ示す。提案手法では、以下の2種類の処理を

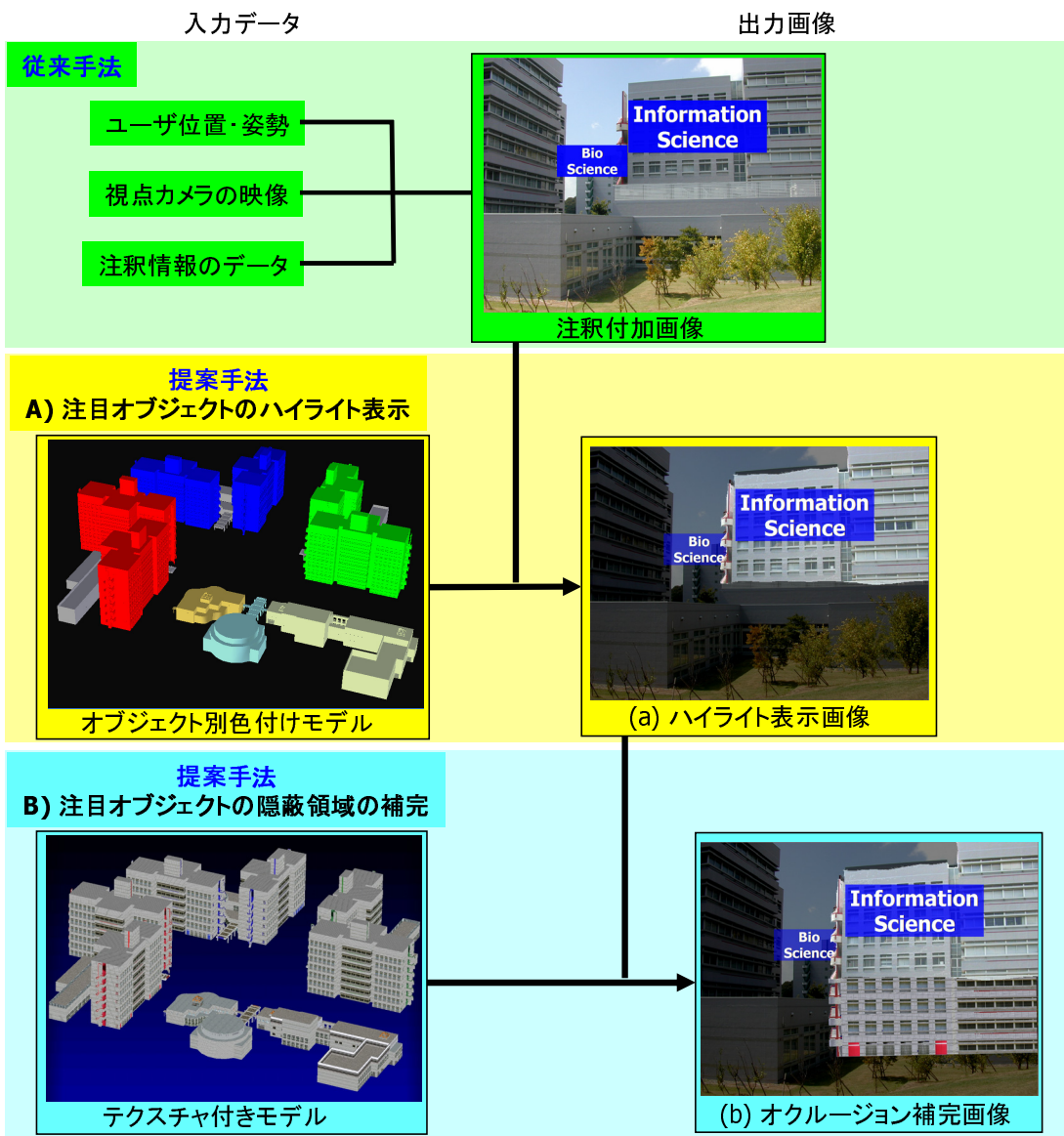


図 24 提案手法の処理の流れ

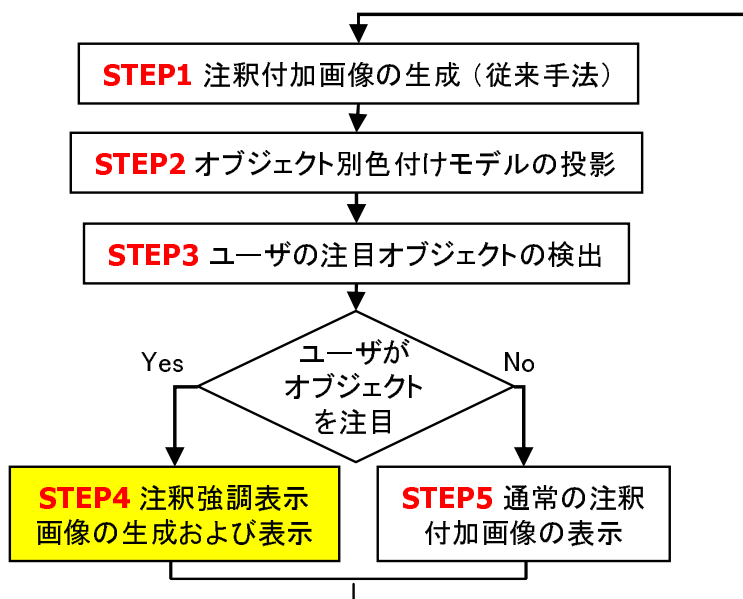
行う。提案手法では、2章および文献 [TKY03] で述べたウェアラブル拡張現実感システムの出力画像である注釈付加画像において、ユーザの注釈情報とその対象オブジェクトの直感的な対応付けを支援するために、以下の2種類の処理を行う。

- A) 注目オブジェクトのハイライト表示
ユーザが注目している実環境内のオブジェクトとそのオブジェクトに対する注釈情報をハイライト表示してユーザに提示する。これにより、ユーザの眼前の現実オブジェクトに対する注釈情報を直感的にユーザに提示できる。
- B) 注目オブジェクトの隠蔽領域の補完
ハイライト表示に加えて、他のオブジェクトによって隠蔽される注目オブジェクトの画像上の領域を、三次元モデルを用いて補完してユーザに提示する。これにより、部分的あるいは全体的にユーザの死角に存在するオブジェクトに対しても直感的な注釈提示が可能となる。

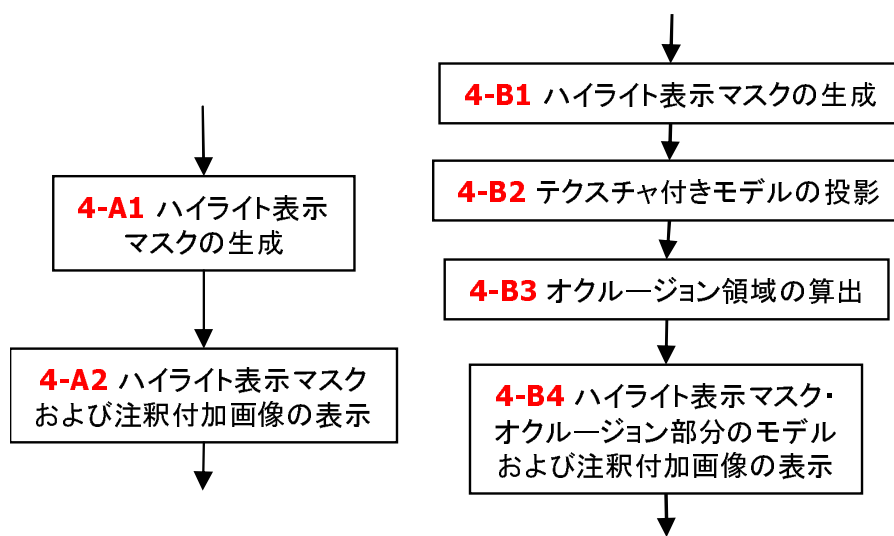
それぞれの注釈強調表示画像の例を図 24 中の (a), (b) に示す。以下、それぞれをハイライト表示画像、オクルージョン補完画像と呼ぶ。それぞれの注釈強調表示画像の生成および表示における処理の流れを図 25(b), (c) に示す。これらのフローチャートはそれぞれ図 25(a) 中の「STEP4 注釈強調表示画像の生成および表示」の処理に該当する。

ハイライト表示画像およびオクルージョン補完画像の生成には、注釈付けの対象となる現実環境の三次元モデルがそれぞれ必要となる。ハイライト表示画像の生成には、環境中の注釈付けの対象となる各オブジェクトに対して異なる色で色付けしたモデル(以下、オブジェクト別色付けモデル)を用い。オクルージョン補完画像の生成には、注釈付けの対象オブジェクトのテクスチャ付きのモデル(以下、テクスチャ付きモデル)を用いる。オブジェクト別色付けモデルの方はCADデータ等から比較的容易に入手可能であるため、注目オブジェクトのハイライト表示のみならず、多くの環境に容易に適用できると考えられる。

図 25(a) に示すように、提案手法ではユーザが注釈対象のオブジェクトを注目しているときのみ、注釈強調表示画像の生成および表示を行う。以下に、STEP4 を除く各処理の内容について述べる。



(a) 全体の処理の流れ



(b) A 注目オブジェクト
のハイライト表示

(c) B 注目オブジェクトの
オクルージョン領域の補完

図 25 提案手法の処理の流れ

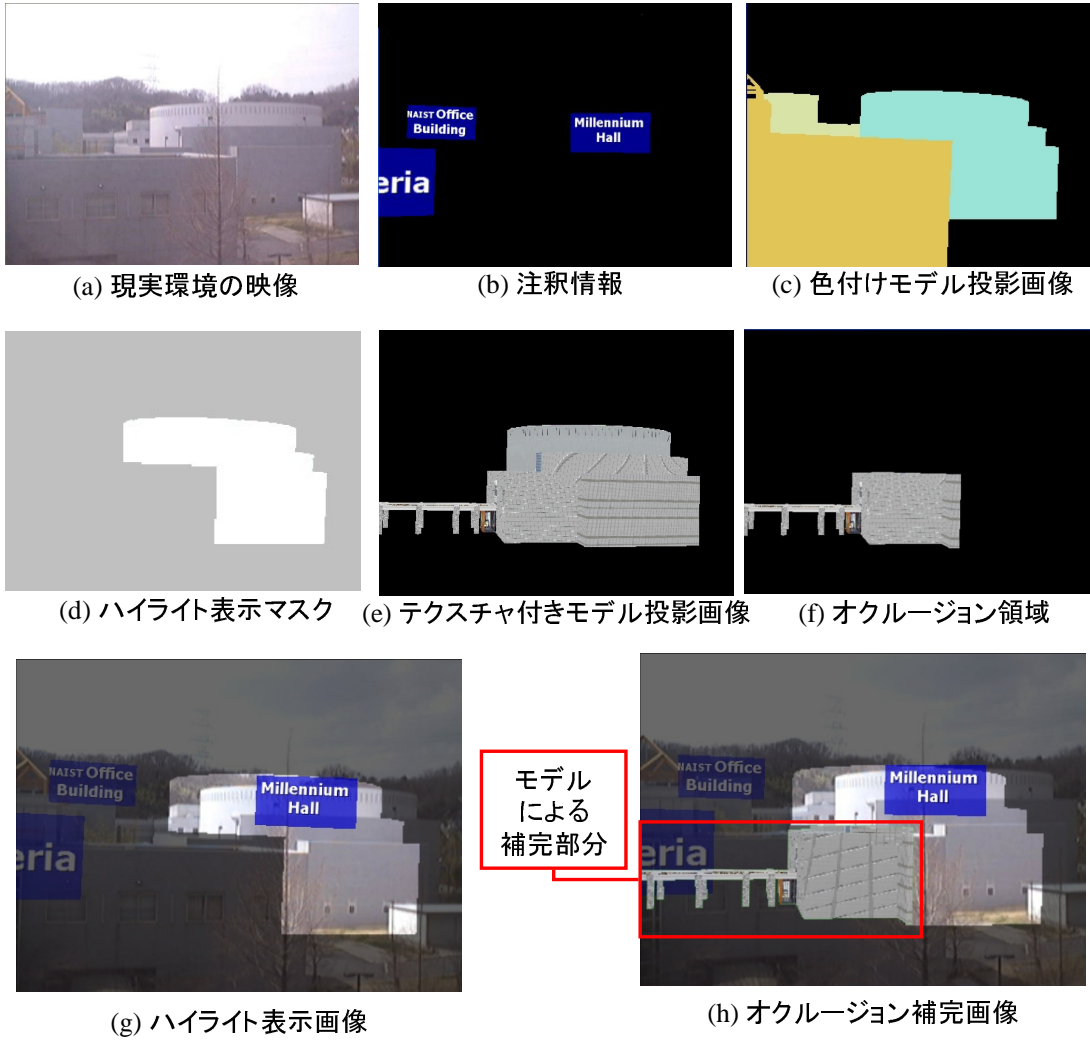


図 26 提案手法における生成画像の要素

[STEP1,5 注釈付加画像の生成および表示]

従来手法 [TKY03] をもとに，図 26(a) に示す視点カメラから得られる映像に注釈情報（図 26(b)）を重畳表示し，ユーザに提示する．

[STEP2 オブジェクト別色付けモデルの投影]

図 24 中に示すオブジェクト別色付けモデル，ユーザの位置および姿勢情報を用いて，図 26(c) に示す色付けモデル投影画像を生成する．色付けモデル投影画像は，計測されたユーザの位置・姿勢によって決まる仮想カメラに現実環境と位置合わせ済みのオブジェクト別色付けモデルを透視投影することで得られる．

[STEP3 ユーザの注目オブジェクトの特定]

色付けモデル投影画像を用いて，ユーザの注目オブジェクトを特定する．現在のシステムでは，ユーザの姿勢（頭部の向き）を利用して，合成画像上の中央部分で捉えたオブジェクトを注目オブジェクトであると判断する．

4.3 注目オブジェクトのハイライト表示

本節では，注目オブジェクトのハイライト表示について述べる．以下に，図 25(b) の各ステップの処理について説明する．

[4-A1 ハイライト表示マスクの生成]

図 26(d) に示すハイライト表示マスクを生成する．現在のシステムでは，ハイライト表示マスクに，画像上のユーザが注目しているオブジェクトの領域以外の透過度を下げた黒色のマスク画像を利用している．

[4-A2 ハイライト表示マスクの表示]

注釈付加画像の上にハイライト表示マスクを重畳して表示することで，図 26(g) に示すように注目オブジェクトのハイライト表示を実現する．

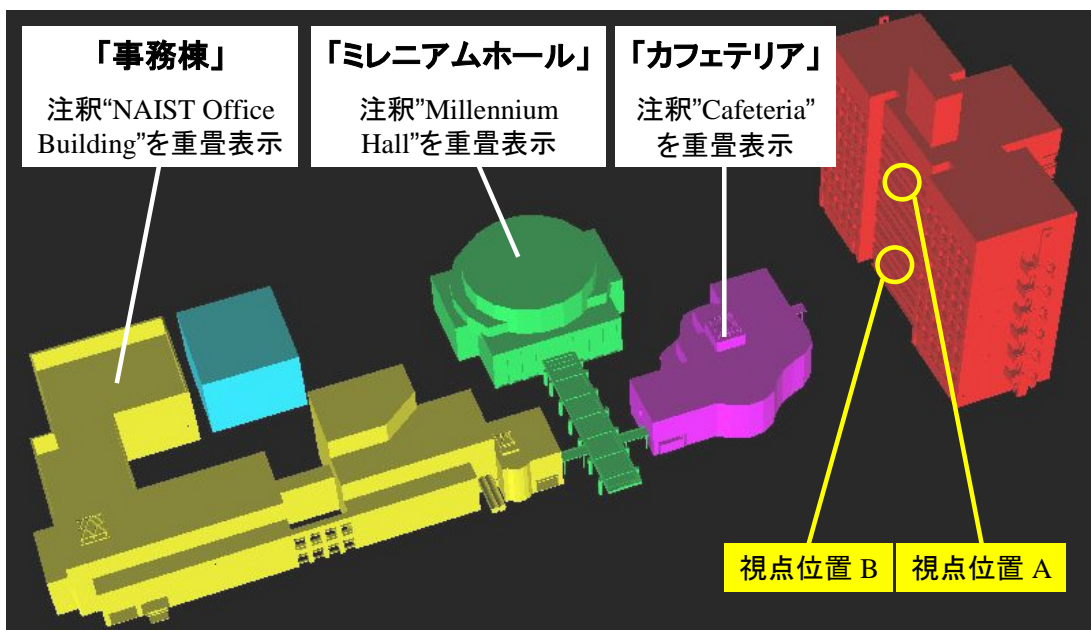


図 27 実験環境の様子

4.4 オクルージョン領域の補完表示

本節では、注目オブジェクトのオクルージョン領域の補完表示における処理の詳細について述べる。以下に、図 25(c) の各ステップの処理について順に説明する。4-B1 の処理は前節で述べた 4-A1 の処理と同じであるので説明は割愛する。

[4-B2 テクスチャ付きモデルの投影]

図 24 中に示すテクスチャ付きモデル、ユーザの位置および姿勢情報を用いて、図 26(e) に示すテクスチャ付きモデル投影画像を生成する。本画像の生成は、STEP2 と同様に、計測されたユーザの位置・姿勢によって決まる仮想カメラに現実環境と位置合わせ済みのテクスチャ付きの注目オブジェクトのみのモデルを透視投影することで得られる。

[4-B3 オクルージョン領域の算出]

テクスチャ付きモデル投影画像中の注目オブジェクトの領域と色付けモデル投影画像中の注目オブジェクト領域を比較することで注目オブジェクトのオクルージョン領域を得る（図 26(f)）。

[4-B4 オクルージョン部分のモデルの表示]

オブジェクト投影画像から前項で求めたオクルージョン領域のみを切り出して、注釈付加画像およびハイライトマスクと合成することで、図 26(h) に示すオクルージョン補完画像を得る。

4.5 注釈情報強調表示実験とハイライト表示の定量的評価

提案手法を用いて、本学構内においてユーザに対して提案手法による注釈強調画像を提示する実験を行った。実験では、図 10 および表 2 に示すクライアントシステムを用いた。図 27 に本実験の実験環境を示す。本実験では、本学構内の建物（図 27 右端の建物）の 6 階（視点位置 A）および 3 階（視点位置 B）の 2 箇所に赤外線ビーコン送信機を設置し、送信される ID を識別することでユーザの位置を特定する。本実験では、この 2 地点から窓外に見える事務棟、ミレニアムホー



(a) オブジェクト非注目時の生成画像



(b) ハイライト表示画像 (Cafeteria)



(c) ハイライト表示画像 (Office)



(d) オクルージョン補完画像 (Office)

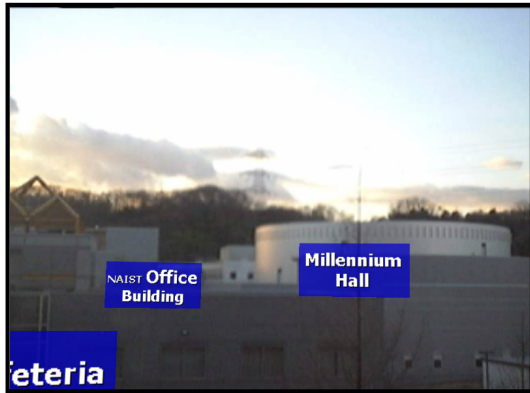


(e) ハイライト表示画像 (Hall)



(f) オクルージョン補完画像 (Hall)

図 28 視点位置 A における生成画像の例



(a) オブジェクト非注目時の生成画像



(b) ハイライト表示画像 (Cafeteria)



(c) ハイライト表示画像 (Office)



(d) オクルージョン補完画像 (Office)

図 29 視点位置 B における生成画像の例

ル，カフェテリアの3つの建物に対して，NAIST Office Building（以下 Office），Millennium Hall（以下 Hall），Cafeteria の注釈情報をそれぞれ重畳表示した．また，同環境において，提案手法においてハイライト表示される注目オブジェクトの画像上の領域が，実際の注目オブジェクトの画像上の領域とどれだけ合致しているかを評価する実験を行った．それぞれの実験について 4.5.1 節および 4.5.2 節で述べる．

4.5.1 注釈情報強調表示実験

図 28 および図 29 にそれぞれ視点位置 A, B において生成された画像を示す．図 28(a)，および図 29(a) にオブジェクト非注目時の生成画像を，図 28(b), (c), (e)，および図 29(b), (c) にハイライト表示画像を，図 28(d), (f)，および図 29(d) にオクルージョン補完画像を示す．これらのうち，ハイライト表示画像より提案手法を用いて画像上の注目オブジェクトのおおよそ正しい領域をハイライト表示し，ユーザの注釈情報とその対象オブジェクトの直感的な対応付けの支援を行えていることがわかる．また，オクルージョン補完画像，特に図 28(d) より，事務棟のような複雑な形状の建物に対しても，注釈情報の対象となる建物の形状が明確に提示されていることがわかる．さらに，図 29(d) より，他のオブジェクトに遮蔽されて，ユーザ位置からではほとんど見えないようなオブジェクトに対する注釈情報に関して，対象オブジェクトとの対応付けが行えていることがわかる．本実験より，提案手法によって，注釈情報と対象オブジェクトの直感的な対応付けを支援する注釈情報の強調表示が行えていることを確認した．強調表示無しの注釈付加画像は 25 フレーム毎秒以上で表示されたのに対し，ハイライト表示画像・オクルージョン補完画像はそれぞれ 22～25 フレーム毎秒，15～20 フレーム毎秒でユーザに提示された．

4.5.2 注目オブジェクトのハイライト表示における定量的評価

本実験では，提案手法を用いて推定された注目オブジェクトの画像上の領域と，同時刻に撮影されたユーザの視点カメラから得られる画像上の注目オブジェクト

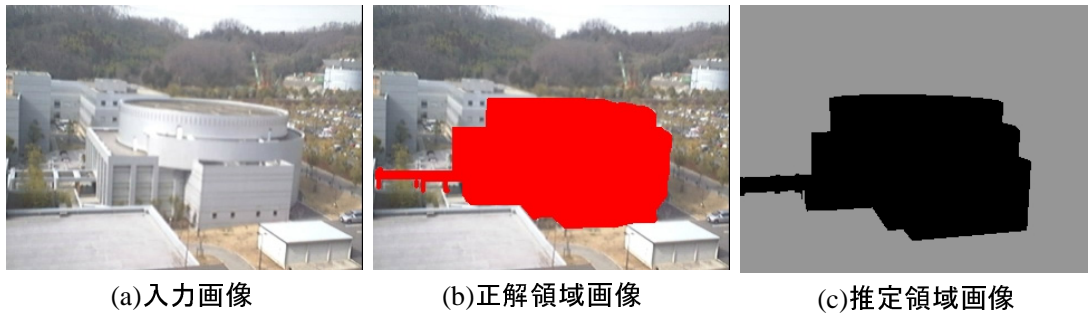


図 30 正解領域画像および推定領域画像の例

の領域との比較を行い，正しく推定できている割合を調べた．本実験で比較に用いた画像のサイズは縦 240 画素 × 横 320 画素であり，正解領域となる注目オブジェクトの画像上領域は手動で与えた．図 30 に入力画像およびその入力画像における正解領域の画像と提案手法によるハイライト領域（推定領域）の画像の例を示す．実験では，図 27 に示す実験環境で，2 箇所の視点位置から環境中の 3 個のオブジェクトを注目した合計 6 つの状況においてそれぞれ 5 回の試行を行った．これらの 6 つの状況における正解領域の画素数，推定領域の画素数，正解画素数のそれぞれ 5 回の試行における平均を表 4 に示す．正解率は式

$$(\text{正解率}) = (\text{正解画素数}) / (\text{正解領域の画素数}) \quad (5)$$

で定義する．

表 4 に示す結果では，いずれの状況においても正解率が 60 % を超えており，提案手法が注目オブジェクトの画像上の領域をユーザに認識させるには有効であると考えられる．また，注目オブジェクトの画像上での領域が小さくなるほど正解率が低下することがわかる．正解率の低下につながる推定誤りとして，

- (1) 推定領域の形状が正解領域と異なる
- (2) 推定領域が正解領域に対して画像上でずれる

表 4 ハイライト表示手法の評価結果

注目 オブジェクト	正解領域 の画素数	推定領域 の画素数	正解 画素数	正解率 [%]
Cafeteria (視点位置A)	41432	41170	39565	95.5
Office (視点位置A)	8297	8310	7108	85.6
Hall (視点位置A)	19928	22304	18082	90.7
Cafeteria (視点位置B)	42227	48913	40935	97.0
Office (視点位置B)	2172	1684	1407	64.7
Hall (視点位置B)	12751	14401	12015	94.2

という2つの状態が見受けられた。これらの推定誤りの要因として、現実環境とモデルの差および位置・姿勢計測の誤差が挙げられる。現実環境とモデルの差は主に(1)の要因となる。本実験では、赤外線センサを用いてユーザ位置を計測しているため、計測誤差は1メートル以内である [TKY03]。位置計測の誤差は主に(1)の要因となり、わずかながら(2)の要因ともなりうる。これに対し、姿勢計測の誤差は(2)のみの要因となる。本実験で使用している姿勢センサは [TKY03] に示すように利用時間とともに増加する蓄積誤差の補正は可能だが、地磁気の乱れの影響を受けるためヨー角に誤差が生じる。このヨー角の誤差により、状況によっては、図 26(g),(h) に顕著に見られるような現実環境とハイライトマスクおよびオクルージョン領域のCGとの間の位置ずれが見受けられた。位置・姿勢の計測精度の向上および、より精密な環境の三次元モデルを利用することで、正解率のさらなる向上が見込まれる。

4.6 結言

本章では，ウェアラブル拡張現実感システムにおける新しい情報提示手法として，環境中の三次元モデルを用いた注釈情報の強調表示手法を提案した．本章で提案した注釈情報の強調表示手法では，ユーザが注目するオブジェクトとそのオブジェクトに対する注釈情報をハイライト表示したハイライト表示画像と，入力画像における注目オブジェクトのオクルージョン領域をモデルを用いて補完したオクルージョン補完画像を生成した．また，実験用システムを用いた注釈強調表示実験を行い，提案手法により注釈情報と現実オブジェクトの対応関係を直感的に提示することができることを示した．本手法の応用により，ユーザに多数の注釈情報を同時に提示する場合でも，ユーザに対して正しく位置依存情報を提示することが期待できる．今後の課題として，実オブジェクトの輪郭を抽出し，ハイライト表示領域の輪郭とのずれを補正することで，主に姿勢計測のヨー角における誤差による位置ずれを軽減することが挙げられる．また，[AF03, BFH02]等の従来のビューマネージメント手法や[JLS⁺00]等の情報フィルタリング手法と本手法を組み合わせることで，より効果的な情報提示を行うことを試みる．

5. ウェアラブル拡張現実感システムを用いた位置依存 情報提示の応用例

5.1 序言

本章では、2章で述べたウェアラブル拡張現実感システムの応用例として、学内のナビゲーションシステムと観光案内システム「平城宮跡ナビ」を示す。5.2章で述べる学内におけるナビゲーションでは、本論文で提案したウェアラブル拡張現実感システムの動作例を示す。また、5.3章で述べる「平城宮跡ナビ」では、提案システムの共有データベースを拡張し、多種類のコンテンツを多種類のモバイル機器を持つクライアントに対して送信し、提示する位置依存情報の提示を実現する。これにより、提案システムのコンテンツの種類に関する拡張性を示す。

5.2 ウェアラブル拡張現実感システムを用いた学内ナビゲーション

2章で述べた提案システムを用いて、本学の屋内環境にいる図10に示す機器を装着した1人のウェアラブルユーザに対して、学内のナビゲーション情報を提示する実験を行った。ユーザに提示したコンテンツはサーバで管理されており、ユーザの位置に応じて、現在位置付近の注釈情報のみをサーバから獲得する。

本実験の実験環境の概略図を図31に示す。ユーザは、この環境内を点線矢印に沿って歩行を行った。本実験環境は比較的地磁気の乱れが大きい環境であったので、ユーザの絶対位置の特定に用いる赤外線ビーコン送信機は、3章で述べた位置計測手法の特性に基づき、図31中の①から⑥の6箇所にそれぞれ約7~10m間隔で天井部分に設置した。実験では、実験環境におけるオクルージョンに対応するために、本環境を図31に示す3つの領域に分け、ユーザが領域(i)内にいると推定されるときはA,B,Cの注釈情報および道案内情報をサーバ内の共有データベースから無線ネットワークを介して獲得し、ユーザに提示した。同様にユーザ位置が領域(ii)内のときはD,Eの道案内情報、領域(iii)内のときはF~Jの注釈情報をサーバから獲得し、ユーザに提示した。

図32および図33の(a)から(h)は、それぞれユーザが図31(a)から(h)の実線

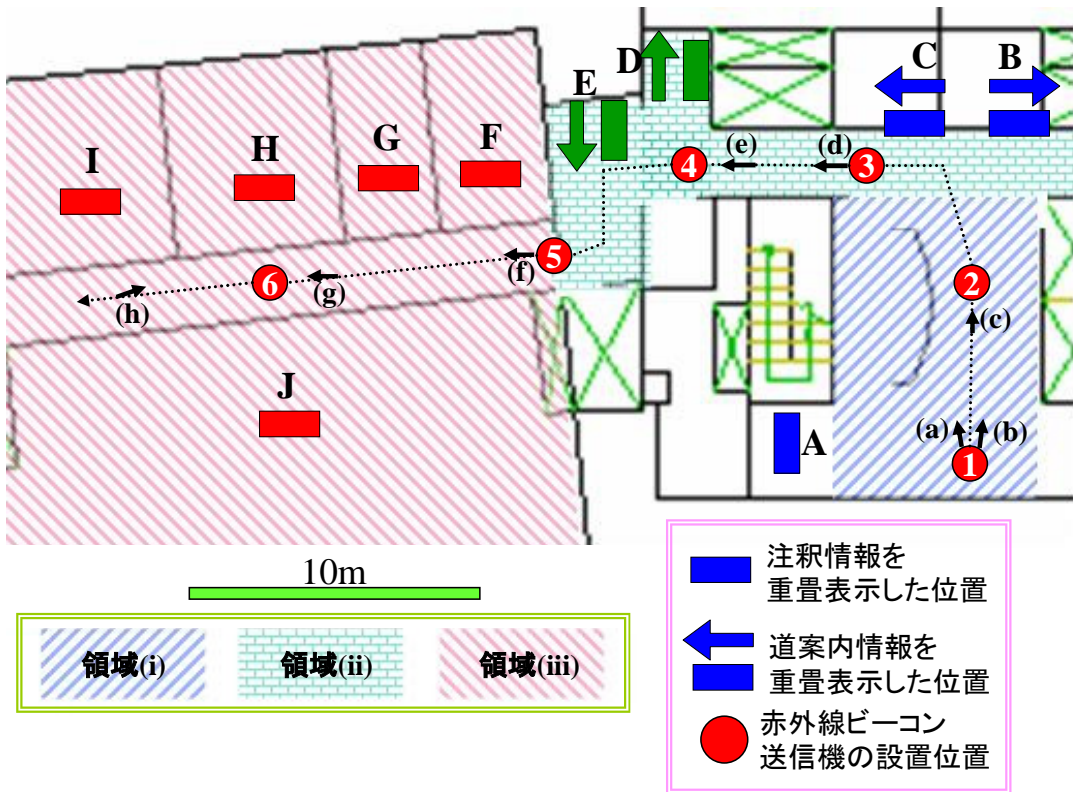


図 31 注釈付け実験の実験環境概略図



図 32 注釈付加画像

矢印の始点の位置から矢印方向を向いている際にユーザに提示された注釈付加画像である。本実験により、2章で述べた提案システムを用いてユーザ位置に応じた注釈付加画像を生成し、ユーザに対して提示できることを確認した。なお、注釈付加画像は毎秒 25 フレームでユーザに提示され、提案システムは、バッテリーにより 3 時間の連続作動が可能であることを確認した。

5.3 ウェアラブル拡張現実感システムを用いた観光案内

近年、GPS 等の位置情報をもとに、携帯電話や PDA、ウェアラブルコンピュータ等のモバイル端末を持ったユーザに対して道案内や観光案内の位置依存情報の提示を行うヒューマンナビゲーションシステムが多く開発されている [LKAA96, 池谷 99, MZ00, 原 03]。PDA ベースのナビゲーションシステムを例に挙げると、Cheverst らは、ユーザの現在位置に応じてランカスター市内の観光案内情報を提示する観光案内システム GUIDE を提案した [CDM⁺00]。Oppermann らは、博物館内の展示物の案内情報をユーザに提示する HIPS システムを提案した [OS99]。Baus らは屋内外の両環境でユーザの現在位置付近の地図と VR コンテンツを利用して歩行者のナビゲーションを行う REAL システムを提案した [BKW02]。



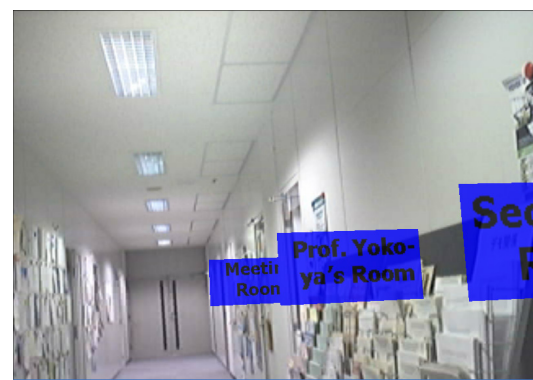
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

図 33 注釈付加画像 (続き)

さらに、PDA よりも処理能力の高いウェアラブルコンピュータとを用いることで、より魅力的なコンテンツをユーザに提示可能なモバイルナビゲーションシステムも実現されている。Höllerer らによって提案された MARS システム [HFP99] は、ウェアラブルコンピュータを装着したユーザに対して拡張現実感技術を利用してコロンビア大学のキャンパス内のナビゲーションを行うことが可能である。Stricker らによって提案されたウェアラブル観光案内システム ARCHEOGUIDE [SKC+01, DK02] では、AR を利用して古代ギリシア時代の遺跡に CG で復元された当時の建物を重畳表示する等、魅力的な観光案内情報の提示が実現されている。しかし、これらのシステムは、ユーザの持つモバイル端末の種類を想定コンテンツの提示が可能なものに限定したサービスであり、多様なモバイル端末が開発される現在において、有用性の高いサービス形態であるとは言えない。そこで、前章までで述べたウェアラブル拡張現実感システムの応用例として、ユーザ位置に応じた観光案内情報を無線ネットワークを介して獲得し、観光地内のウェアラブルコンピュータのユーザのみならず、PDA や携帯電話等のモバイル端末を持ったユーザに対しても、ユーザの現在位置に応じた観光案内情報の提示が可能な観光案内システム「平城宮跡ナビ」について述べる。本システムでは、ネットワーク共有されたコンテンツデータベースから、ユーザの持つ端末の機能に応じて、観光案内情報の提示に用いるコンテンツファイルを取得する。

5.3.1 想定する環境

「平城宮跡ナビ」が想定する利用可能な環境に関して述べる。提案システムは、平城宮跡に代表されるように、広い敷地内にまばらに観光スポットが点在している屋外の観光地での利用を想定している。平城宮跡は、図 34 に示すような、奈良市の西部に位置する約 2 平方キロメートルの広い敷地内に建物跡、発掘現場、資料館などの観光スポットが点在する約 1300 年前に存在した都の遺跡である。世界中の多くの遺跡や寺院等の観光名所の多くが、このタイプの観光地に分類されるため、平城宮跡ナビで用いる観光案内の手法は多くの観光地に適用されることが期待できる。

また、提案システムは無線ネットワークが利用可能な環境での利用を想定して



図 34 平城宮跡の様子



図 35 平城宮跡ナビの概要

いる．そのような屋外の観光地において，提案システムは，ユーザの現在位置に応じて自動的に生成される地図や付近の観光スポットに関する情報を含むウェブページを用いて，観光スポット間の道案内を行う．さらに，各観光スポットではマルチメディアコンテンツを利用した位置に依存した観光案内情報の提示を行うことで，観光案内を前提としたヒューマンナビゲーションを実現する．

5.3.2 システムの概要

図 35 に平城宮跡ナビの概要を示す．平城宮跡ナビは，2 章で述べたウェアラブル拡張現実感システムに対し，以下の 2 点の拡張を行った位置依存情報提示システムである．

- ウェアラブルコンピュータ，PDA，携帯電話等のモバイル端末への対応
- ウェアラブルコンピュータだけでなく，PDA や携帯電話といったモバイル端末を持つユーザに対してユーザの端末のスペックに応じた位置依存情報を提示する．

マルチメディアコンテンツを利用した位置依存情報の提示

拡張現実感を利用したコンテンツに加えて、映像・音声・ウェブページといったマルチメディアコンテンツを利用した位置依存情報のユーザへの提示を実現する。

平城宮跡ナビは、ネットワーク共有された観光案内コンテンツを格納するサーバ [MKY04a] と、想定環境内のユーザが持つモバイル端末であるクライアント端末から構成される。クライアント端末は、それぞれ自己位置の計測が可能であり、無線ネットワーク等を介してサーバとの位置情報やコンテンツファイルの送受信が可能なものとする。ユーザの姿勢（方位角）情報は、計測が可能な端末についてのみ計測し、位置情報と同様に逐次サーバに送信される。サーバに格納される観光案内情報は拡張現実感を利用した観光案内を実現する注釈情報やCGオブジェクト等のコンテンツに加え、映像・音声・ウェブページといったマルチメディアコンテンツから構成される。サーバは、クライアントから送信される端末情報やユーザの現在位置をもとに各クライアントに提示すべきコンテンツを決定し、コンテンツファイルをクライアントに送信する。

平城宮跡ナビの共有データベースは以下の3つのテーブルから構成される。

- コンテンツテーブル
- 端末情報テーブル
- クライアント状態テーブル

表5にそれぞれのテーブルの例を示す。表5(a)のコンテンツテーブルには、マルチメディアを利用したコンテンツファイルが、表3の(a)に示す注釈情報コンテンツと同様に、それらを提示すべき位置情報に基づいて格納されている。平城宮跡ナビでは、多様なモバイル端末を持ったユーザに対して、端末のスペックに応じた位置依存情報の提示を行うため、各コンテンツファイルに対して「提示対象となる端末タイプ」という属性が追加されている。また、各クライアントの端末の種類を格納するために、表5(b)に示す端末情報テーブルが用意される。環境中の各クライアントの現在位置は、表3(c)と同様に、表5(c)に示すクライアント

表 5 共有データベース内のテーブルの例

コンテンツの ファイル名	コンテンツ の種類	コンテンツの提示位置 (緯度, 経度)	提示対象となる 端末タイプ
a.mpg	映像	(Lat. a, Lon. a)	全て
b.mp3	音声	(Lat. b, Lon. b)	全て
c.html	ウェブ	(Lat. c, Lon. c)	全て
d.vrml	仮想物体	(Lat. d, Lon. d)	WCタイプ
d.txt	仮想物体の提示位置	(Lat. d, Lon. d)	WCタイプ
e.jpg	注釈情報	(Lat. e, Lon. e)	WCタイプ

(a) コンテンツテーブル

クライ アントID	端末情報
ID 1	PDAタイプ
ID 2	WCタイプ
ID 3	CPタイプ
ID 4	WCタイプ

(b) 端末情報テーブル

クライ アントID	ユーザの現在位置 (緯度, 経度)	絶対 方位
ID 1	(Lat. 1, Lon. 1)	Dir. 1
ID 2	(Lat. 2, Lon. 2)	Dir. 2
ID 3	(Lat. 3, Lon. 3)	--
ID 4	(Lat. 4, Lon. 4)	Dir. 4

(c) クライアント状態テーブル

表 6 端末タイプごとのコンテンツ提示方法

端末 タイプ	拡張現 実感コン テンツ	映像コン テンツの 解像度	映像コンテ ンツのフレ ームレート	音声コン テンツの ビットレート	自動生成 Webマップ の表示方法
CP タイプ	提示 しない	低	低	低	ノースアップ
PDA タイプ	提示 しない	中	中	中	ヘッドアップ
WC タイプ	提示 する	高	高	高	ヘッドアップ

状態テーブルにクライアント毎に格納される。平城宮跡ナビでは、ユーザの絶対方位の計測が可能なクライアントに対しては、絶対方位にもとづいてヘッドアップの周辺地図を提示することで道案内を行う。よって、絶対方位の計測が可能なクライアントのみ、クライアントの絶対方位情報も位置情報とともにクライアント状態テーブルに格納される。平城宮跡ナビの利用環境は屋外を想定しているため、平城宮跡ナビは表 3(b) に示す位置 ID テーブルを必要としない。

これら 3 つのテーブルは主にサーバから各クライアントに送信するコンテンツファイルの選択とウェブマップの自動生成に用いる。現在のシステムでは、クライアントを性能に応じて以下の 3 つのタイプに分類し、表 6 に応じてそれぞれの端末タイプに応じたコンテンツファイルを提示することで観光案内を行う。

- 携帯電話 (CP) タイプ
音声・映像コンテンツの再生およびウェブページの閲覧が可能な端末であり、ユーザの位置のみが計測可能な端末。
- PDA タイプ
音声・映像コンテンツの再生およびウェブページの閲覧が可能な端末であり、ユーザの位置と方位角の計測が可能な端末。
- ウェアラブルコンピュータ (WC) タイプ
音声・映像コンテンツの再生および拡張現実感コンテンツの実現、ウェブページの閲覧が可能な端末であり、ユーザの位置と方位角の計測が可能な端末。

5.3.3 処理の流れ

クライアント端末における処理の流れを図 36 に示す。

【1. 観光案内の開始】

想定環境内の新規ユーザがクライアントプログラムを起動させると、クライアント端末はユーザの持つ端末がどの端末タイプに分類されるかといった端末情報をサーバに送信する。サーバは新規クライアントからの端末情

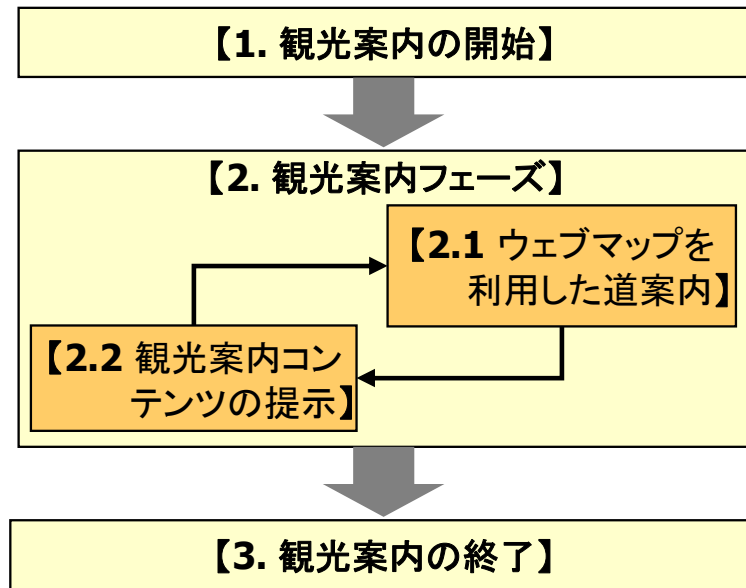


図 36 クライアント端末における処理の流れ

報を受信すると、クライアント ID を発行し、端末情報テーブルに新規クライアントのレコードを追加する。

【2. 観光案内フェーズ】

各クライアントは、自分のクライアント ID と現在位置、さらに計測が可能な端末タイプについては姿勢情報（方位角のみ）を断続的にサーバに送信する。これらデータの送信間隔は、利用するネットワークの帯域幅によって決められる。サーバは、各クライアントから送信された位置・姿勢情報をもとに、クライアント状態テーブルを更新する。提案システムでは、以下に述べる二種類のプロセスによって観光案内を実現する。

【2.1 ウェブマップを利用した道案内】

サーバは、クライアント状態テーブルに基づいて、各ユーザの現在位置付近の地図を表示したウェブマップを自動的に生成する。この際、ユーザの姿勢情報の計測および送信を行っているクライアントに対しては

ヘッドアップで、それ以外のクライアントに対してはノースアップで地図を表示する。このウェブマップを利用して、ユーザに対して観光スポット間の道案内を行う。

【2.2 観光案内コンテンツの提示】

サーバは、前節で述べた3つのテーブルの情報をもとに各クライアントに送るコンテンツファイルを決定する。端末情報テーブルおよびクライアント状態テーブルを参照することで、各ユーザの持つ端末の情報および現在位置・姿勢が得られる。サーバは、これらの情報をキーにコンテンツテーブルから各クライアントに提示すべきコンテンツファイルが得られ、それらのファイルを各クライアントに送信する。クライアント側では、受信したコンテンツファイルを用いて、現在位置に応じた観光案内情報の提示を行う。

【3. 観光案内の終了】

ユーザがクライアントプログラムを終了させると、観光案内を終了する。サーバは、端末情報テーブル及びクライアント状態テーブルにおいて、プログラムを終了させたユーザのレコードを削除する。

5.3.4 観光案内の例

各端末タイプにおけるクライアントシステムの詳細および観光案内の例について述べる。各端末タイプの機器構成の例と各機器のスペックを図 37 およびに、それぞれの端末タイプでサーバとの通信に用いる通信の方式および帯域幅を表 7 にそれぞれ示す。

- CP タイプ

図 37(a) に示すように、CP タイプ端末では携帯電話に内蔵された GPS レシーバを利用してユーザ位置の計測を行う。ユーザが指定されたウェブページに携帯電話のウェブブラウザを利用してアクセスすると、計測されたユーザの現在位置に応じて図 38(a) に示すウェブマップを自動的に生成する。CP



(a) CPタイプ

(b) PDAタイプ

端末タイプ	デバイスの種類	型番(製造元)	特徴
CPタイプ 端末	GPSレシーバ 内蔵型携帯電話	A5502K (KYOCERA)	画面解像度240×320ピクセル. ウェブページの閲覧, 音声および 映像ファイルの再生が可能.
PDAタイプ 端末	電子コンパス付き GPSレシーバ	eTrex Summit (Garmin)	絶対位置と絶対方位を毎秒計測可能.
	PDA	SL-C700 (SHARP)	CPU : Intel XScale 400MHz. メモリ : 96Mbyte 画面解像度640×480ピクセル.
WCタイプ 端末	マイク付き イヤフォン	MS-HS59SC (ELECOM)	音声の入力および提示が可能.

(c) 各機器の仕様

図 37 各端末タイプの機器構成および各機器の仕様

表 7 各端末タイプのデータ通信方式

端末タイプ	通信方式	帯域幅
CPタイプ	携帯電話データ通信	144Kbps
PDAタイプ	無線LAN IEEE802.11b	11Mbps
WCタイプ	無線LAN IEEE802.11b	11Mbps



(a) ウェブマップの例

第二次大極殿跡



745年、聖武天皇により建立。

「東の大極殿」とも呼ばれ、国家的行事が行われた重要な建物であった。

(b) htmlコンテンツの例

図 38 CP タイプ端末における観光案内画像の例



ZoomIn, ZoomOutリンク

(a) ウェブマップの例 (蓄積型拡張現実感コンテンツ)



(b) 映像コンテンツの例

図 39 PDA タイプ端末における観光案内画像の例

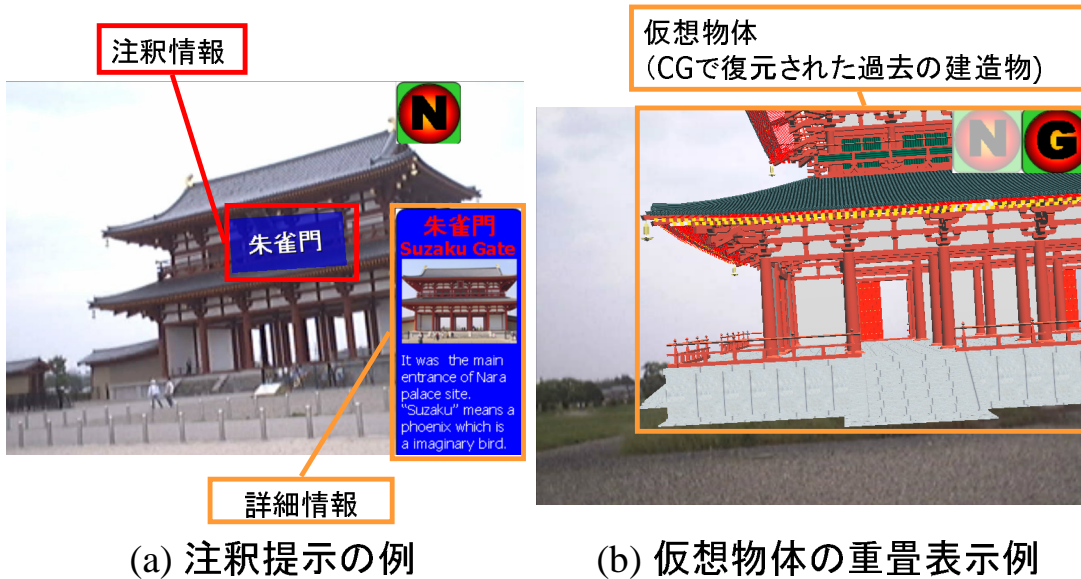


図 40 WC タイプ端末における観光案内画像の例

タイプ端末用に生成するウェブマップは、ノースアップ表示されたユーザの現在位置付近の地図上に、ユーザの現在位置および付近の観光スポットへの目印を表示したものである。ユーザは、ページ下部の ZoomIn および ZoomOut リンクにより、地図部分を自由に拡大および縮小して表示することができる。これにより、ユーザは観光スポットを自由に探し出すことが可能となる。コンテンツファイルが埋め込まれた観光スポットにユーザが接近すると、図 38(a) に示すように、ウェブマップの下部に観光スポットに関する情報が記述されたウェブページ（図 38(b)）へのリンクを表示する。これらのウェブページには、音声・映像コンテンツファイルへのリンクが埋め込まれており、これらのリンクを展開することでファイルの再生が実行される。コンテンツの再生が終了すると、自動的にウェブマップの表示に戻る。CP タイプ端末用に用意された映像および音声コンテンツは、携帯電話の画面解像度やデータ通信における帯域幅を考慮して、解像度やビットレートを下げている。

- PDA タイプ

図 37(b) に示すように、PDA タイプ端末では、端末に電子コンパス内蔵型 GPS レシーバを接続し、ユーザの現在位置および姿勢情報を計測する。ユーザに対する観光案内は CP タイプ端末と同様に行われるが、PDA タイプ端末用に生成するウェブマップでは、ユーザの姿勢情報を利用してウェブマップの地図部分をヘッドアップ表示（図 39(a)）する。また、図 39(b) に、事前に撮影した現実環境に注釈情報や仮想物体を合成した蓄積型拡張現実感コンテンツ（映像コンテンツ）の提示例を示す。

- WC タイプ

WC タイプ端末のユーザは、図 10 に示す機器構成に加えて、マイク付きイヤフォンを装着する。これは、音声コンテンツのユーザへの提示と後に述べる音声入力によるインタラクションを実現するためである。WC タイプ端末では、基本的には PDA タイプ端末と同様に、ヘッドアップ表示のウェブマップを利用した道案内とマルチメディアコンテンツを利用した観光案内情報の提示を行うことで、ユーザに対して観光案内を行う。加えて、比

較的処理能力の高い WC タイプ端末専用の観光案内コンテンツとして、拡張現実感を利用して現実環境に対する注釈情報 (図 40(a)) や CG で復元された過去の建造物 (図 40(b)) 等をユーザに直感的に提示することが可能である [天目 04b, TNA⁺04]。拡張現実感コンテンツと同時に音声コンテンツの提示を行うことで、ユーザに対して効果的に観光案内情報の提示を行うことが可能である。

WC タイプ端末では、ハンドマウス等のデバイスを利用した情報入力に加えて、音声入力によるインタラクションをサポートしている。音声によるインタラクションは、大語彙連続音声認識エンジン JULIUS[李 98, LKS01] を利用して実現している。その際、認識させる単語数を 5 語 (「はい」、「いいえ」、「選択」、「決定」、「終了」) に限定することで、認識率の向上を図る。

5.3.5 平城宮跡における観光案内実験と考察

本実験では、サーバおよび無線 LAN のアクセスポイントを平城宮跡内に仮設し、無線 LAN の電波強度を上げるために遠距離通信用無指向性屋外アンテナを用いて前節で述べた三種類のクライアント端末を持つユーザに対して観光案内を行う実験を行った。

図 41, 図 42, 図 43 はそれぞれ CP タイプ, PDA タイプ, WC タイプのユーザに対して提示された観光案内画像を示す。図 43(d) ~ (f) では、約 1,300 年前にこの場所に存在した歴史上の建築物を CG によって復元し、拡張現実感を利用してユーザの眼前の風景と合成している。これらの CG コンテンツは、前節で述べた機器を用いて毎秒 10 ~ 12 フレームでユーザに提示された。また、音声コンテンツおよび映像コンテンツにおける音声の例を表 8 に示す。表 8(i) は、図 41 の (b) に示す映像コンテンツの音声である。また、表 8(ii) および (iii) は、それぞれ「7 本の旗」および「第二次大極殿」に対する音声コンテンツであり、それぞれ、図 43(d) ~ (f) の拡張現実感コンテンツとともにユーザに提示される。本実験により、端末タイプに応じてサーバから正しくコンテンツの送信が行われていることを確認した。

表 9 に各端末タイプにおけるウェブマップの解像度と更新にかかった時間を示

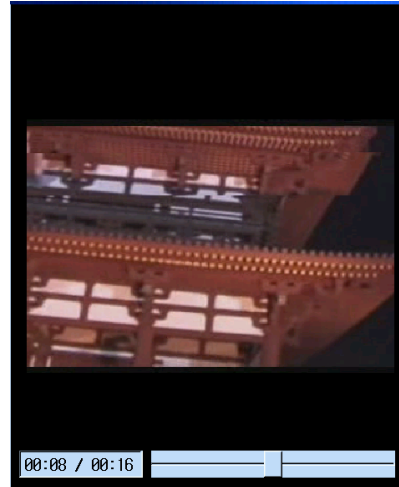


図 41 CP タイプ端末の生成画像例

す．実験では，ネットワーク状態の悪化により，ウェブマップの更新にさらに時間がかかることも見受けられた．提案システムでは，ユーザは歩行者を想定しており，通常の人間の歩行速度での位置の変化においては，ネットワーク遅延と更新レートの低さは，位置情報の送信および位置情報に応じたウェブマップの更新には大きな影響を及ぼさない．しかし，ウェブマップにユーザの姿勢情報を反映させ，ヘッドアップのウェブマップを生成する場合には，ネットワーク遅延と更新レートの低さが問題になる．これは無線ネットワークや携帯電話の通信機能を利用してヘッドアップの周辺地図を表示する従来のヒューマンナビゲーションシステムにも共通の問題であり，今後，改善策を検討する必要がある．



(a) ウェブマップ



(b) 映像コンテンツ
「朱雀門」

図 42 PDA タイプ端末の生成画像例

表 8 音声コンテンツの例

音声コンテンツの例	
(i)	ここは朱雀門です。朱雀とは南方の守護神とされる伝説上の生き物のことで、朱雀門は平城宮の南の玄関口となっていました。冬季は午後6時から10時まで、夏季は午後7時から10時まで、朱雀門はこのようにライトアップされ、鮮やかなその姿を夜空に浮かび上がらせます。
(ii)	第二次大極殿の前には、このように7本の旗が掲げられていました。中央の旗には烏が描かれており、周りの6本の旗には、太陽・月のほかに青龍・朱雀・白虎・玄武といった伝説上の生き物が描かれていました。
(iii)	第二次大極殿は745年に建立されました。第二次大極殿は横幅38メートル・奥行き16メートルの大きさで、ここでは国家の重要な儀式が行われていました。基壇の上に立ち、あたりを見渡すと、当時の平城宮の様子が目に浮かんでくるようです。



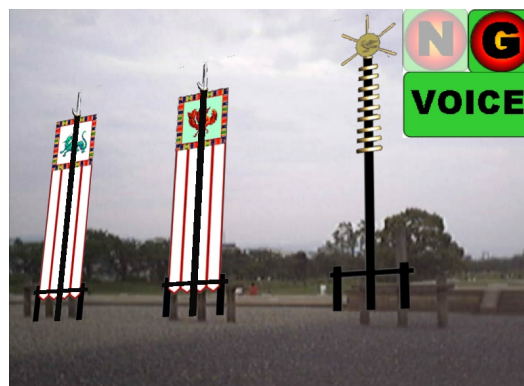
(a) ウェブマップ



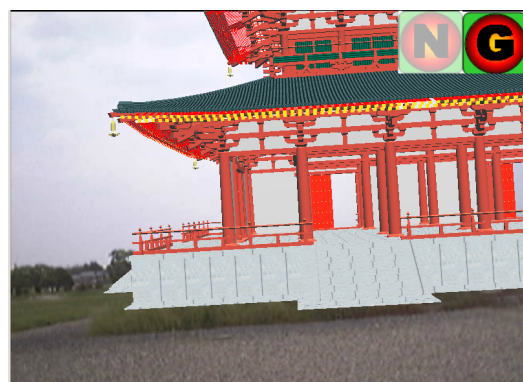
(b) 映像コンテンツ「朱雀門」



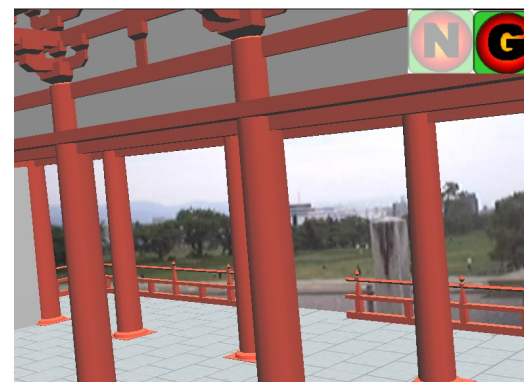
(c) 拡張現実感コンテンツ
- 注釈情報「第一次大極殿」



(d) 拡張現実感コンテンツ
- 仮想物体「7本の旗」



(e) 拡張現実感コンテンツ
- 仮想物体「第二次大極殿」



(f) 拡張現実感コンテンツ
- 仮想物体「第二次大極殿」

図 43 WC タイプ端末の生成画像例

表 9 各端末タイプにおけるウェブマップの解像度および更新にかかった時間

端末タイプ	地図部分の解像度	更新時間
CPタイプ	230 × 230	約7秒
PDAタイプ	320 × 320	約3秒
WCタイプ	640 × 480	約1秒

5.4 結言

本章では、前章までで述べたウェアラブル拡張現実感システムを利用した位置依存情報提示の具体例として、本学内におけるナビゲーションシステムと屋外観光案内システム「平城宮跡ナビ」について述べた。これらの位置依存情報提示システムにより、提案システムを用いて、あるいは拡張することにより、様々な位置依存情報提示への応用が可能であることを示した。特に、平城宮跡ナビでは、様々な種類の形式（映像、音声、ウェブ、注釈情報、仮想物体）のコンテンツを利用した位置依存情報の提示を実現しており、提案システムのコンテンツの種類に関する拡張性を示した。

6. 結論

6.1 本論文のまとめ

本論文では，ウェアラブル拡張現実感システムのための位置依存情報の提示について述べた．有用性の高い位置依存情報提示システムを構築するためには，以下の二種類の拡張性を満たす必要がある．

- 1) システムの利用可能な環境に関する拡張性
- 2) コンテンツの数および種類に関する拡張性

本研究では，これら二種類の拡張性を満たすウェアラブル拡張現実感システムの提案を行った．1) を満たすためには，低コストかつ屋内・屋外の広域環境でシームレスに利用可能なユーザ位置および姿勢計測手法の提案が要求される．本研究では，姿勢センサを利用した姿勢計測と，絶対位置同定と相対移動量推定を組み合わせた位置計測手法を用いることで，1) を満たすウェアラブル拡張現実感システムを構築した．また，

- (i) 多数のコンテンツの効率的な管理
- (ii) ユーザに多数のコンテンツを同時に提示する際のビューマネジメント
- (iii) 多種類のコンテンツの管理

の3つの情報管理を行うことで，2) を満たすウェアラブル拡張現実感システムを構築した．

2章では，提案するウェアラブル拡張現実感システムの概要について述べた．提案システムは，提案システムでは，環境中のユーザが装着したクライアントシステムが，サーバから現在位置付近の注釈情報を獲得し，ユーザが装着したセンサを利用して現在位置および姿勢を計測し，拡張現実感を実現するサーバ・クライアント方式のウェアラブル拡張現実感システムである．提案システムでは，サーバ内の共有データベースを利用して効率的に多数のコンテンツを扱うことで (i) を実現した．

3章では、クライアントシステムにおけるユーザ位置および姿勢の計測手法および計測環境の構築手法について述べた。提案システムでは、GPSまたは赤外線センサを利用して得られたユーザの絶対位置を基準に、歩数計測による相対移動量推定を用いてユーザ位置を求めることで、低コストで広域環境に適用可能なウェアラブル拡張現実感システムを提案し、1)を示した。

4章では、シーンの三次元モデルを利用してユーザが注目する注釈情報と対応する現実オブジェクトを強調表示することで、注釈情報と現実オブジェクトの対応付けを直感的にユーザに提示するビューマネージメント手法について述べた。注釈情報の強調表示手法は、注目オブジェクトの強調表示とオクルージョン領域の補完表示から構成され、それぞれ形状のみのモデルとテクスチャ付きの詳細なシーンの三次元モデルを必要とする。注釈情報の強調表示により、(ii)を実現した。

5章では、2章で提案したウェアラブル拡張現実感システムを利用した位置依存情報提示の応用例として、本学内におけるナビゲーションシステムと屋外観光案内システムのプロトタイプについて述べた。特に、屋外観光案内システムでは、平城宮跡において様々なモバイル機器を持つユーザに対し、多種類の位置依存情報を提示するシステムを構築し、(iii)を実現した。

本研究に残された課題として、ユーザが見たい情報をいかに的確にデータベースから獲得するかといった情報フィルタリングに関する問題が挙げられる。この問題に関しては、いくつかの従来研究 [JLS⁺00, 天目 04a] がなされているが、決定的な手法はまだ提案されていない。また、三次元モデルを利用したオブジェクトの強調表示手法において、画像処理技術を利用して、ハイライト部分と実オブジェクトの正確な位置合わせを行うことが挙げられる。これにより、位置および姿勢計測の誤差やモデルと現実環境とのずれが生じたときでも、オブジェクトの正確な強調表示の実現が期待できる。

謝辞

本研究の全過程を通して、懇切なる御指導、御鞭撻を賜った視覚情報メディア講座 横矢 直和教授に心より深謝致します。

本研究の遂行にあたり、有益な御助言と御鞭撻を賜った知能情報処理学講座 木戸出 正継教授に厚く御礼申し上げます。

そして、本研究を通じて、有益な御助言を頂いた視覚情報メディア講座 山澤 一誠助教授に厚く感謝致します。

本研究に関して、機会ある毎に様々な御助言を頂いた、前述の知能情報処理学講座 木戸出 正継教授をはじめとした、科学技術振興事業団（JST）戦略的基礎研究推進事業（CREST）：高度メディア社会の生活情報技術「日常生活を拡張する着用指向情報パートナーの開発」プロジェクトの基幹講座の諸先生方および参加メンバーの皆様心より御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院大学 21世紀COEプログラム「ユビキタスメディアコンピューティング」研究拠点リーダ 千原 國宏教授をはじめ、本研究を進めるにあたり有益な御助言や励ましの言葉を頂いた同プログラムのコアリーダーおよび各研究グループの諸先生方、事務補佐員の皆様、研究員の皆様に深く感謝いたします。

本研究の全過程を通して、様々な相談に応じて頂き、手取り足取り懇切丁寧なる御指導、御鞭撻を賜った視覚情報メディア講座 神原 誠之助手に心から感謝致します。

また、日頃から有益な御意見を頂き御指導して頂いた、佐藤 智和助手、日頃より暖かく支えて下さった視覚情報メディア講座 事務補佐員 守屋 知代女史、ならびに、本研究の実験・データ計測において、多大な協力を頂いた視覚情報メディア講座の諸氏に深く御礼申し上げます。特に、池田 聖君は、本学入学以来常に苦楽を共にし、良き相談相手となって頂きました。ここに、感謝の意を表します。

最後に、長い間暖かく見守ってくださった両親、ならびに、本研究を遂行する上で、生活面で大きな力になってくれた妻 礼子に深く感謝します。

参考文献

- [ABB⁺01] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Juiler and B. MacIntyre, “Recent advances in augmented reality,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, No. 6, pp. 34–47, 2001.
- [AF03] 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.
- [BFH02] B. Bell, S. Feiner and T. Höllere, “Information at a glance,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 22, No. 4, pp. 6–9, 2002.
- [BH04] R. Bane and T. Höllere, “Interactive tools for virtual x-ray vision in mobile augmented reality,” *Proc. 3rd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 231–239, 2004.
- [BKW02] J. Baus, A. Kruger and W. Wahlster, “A resource-adaptive mobile navigation system,” *Proc. Int. Conf. on Intelligent User Interfaces 2002*, pp. 15–22, 2002.
- [BNR02] G. Baratoff, A. Neubeck and H. Regenbrecht, “Interactive multi-marker calibration for augmented reality applications,” *Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2002)*, pp. 107–116, 2002.
- [BWF97] M. Billinghamurst, S. Weghorst and T. Furness, “Wearable computers for three dimensional cscw,” *Proc. 1st Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 39–46, 1997.
- [CDM⁺00] K. Cheverst, N. Davies, K. Mitchell, A. Friday and C. Efstatiou, “Developing a context-aware electronic tourist guide: Some issues and experiences,” *Proc. on CHI2000*, pp. 17–24, 2000.

- [CGL⁺04] A. D. Cheok, K. H. Goh, W. Liu, F. Farbiz, S. W. Fong, S. L. Teo, Y. Li and X. Yang, “Human pacman: A mobile, wide-area entertainment system based on physical,” *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 8, No. 2, pp. 71–81, 2004.
- [DK02] P. Dähne and J. N. Karigiannis, “Archeoguide: System architecture of a mobile outdoor augmented reality system,” *Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 263–264, 2002.
- [FM91] S. Feiner and K. McKeown, “Automating the generation of coordinated multimedia explanations,” *EEE Computer*, Vol. 24, No. 10, pp. 33–41, 1991.
- [FMS93] S. Feiner, B. MacIntyre and D. Seligmann, “Knowledge-based augmented reality,” *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 52–62, 1993.
- [Fox05] E. Foxlin, “Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 6, pp. 38–46, 2005.
- [GF03] S. Güven and S. Feiner, “Authoring 3d hypermedia for wearable augmented and virtual reality,” *Proc. 7th Int. Symp. on Wearable Computer*, pp. 118–126, 2003.
- [HFP99] T. Höllerer, S. Feiner and J. Pavlik, “Situated documentaries: Embedding multimedia presentations in the real world,” *Proc. Int. Symp. on Wearable Computers ’99*, pp. 79–86, 1999.
- [HFT⁺99] T. Höllerer, S. Feiner, T. Terauchi, G. Rashid and D. Hallaway, “Exploring mars: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system,” *Computers and Graphics*, Vol. 23, No. 6, pp. 779–785, 1999.

- [HSHS05] C. E. Hughes, C. B. Stapleton, D. E. Hughes and E. Smith, “Mixed reality in education, entertainment, and training,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 6, pp. 24–30, 2005.
- [JLS⁺00] S. Julier, M. Lanzagorta, S. Sestito, Y. Baillet, T. Höllerer, S. Feiner and L. Rosenblum, “Information filtering for mobile augmented reality,” *Proc. Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR00)*, pp. 3–11, 2000.
- [JNY04] B. Jiang, U. Neumann and S. You, “A robust hybrid tracking system for outdoor augmented reality,” *Proc. Int. Conf. on Virtual Reality 2004*, pp. 3–10, 2004.
- [KB99] H. Kato and M. Billinghurst, “Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system,” *Proc. 2nd Int. Workshop on Augmented Reality*, pp. 85–94, 1999.
- [KBP⁺00] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto and K. Tachibana, “Virtual object manipulation on a table-top ar environment,” *Proc. Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR2000)*, pp. 111–119, 2000.
- [KKK⁺02] T. Kurata, T. Kato, M. Kouroggi, J. Keechul and K. Endo, “A functionally-distributed hand tracking method for wearable visual interfaces and its applications,” *Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 84–89, 2002.
- [KKNJ04] V. Koncar, B. Kim, E. B. Nebor and X. Joppin, “Ficc (floatable intelligent and communicative clothing) project - conductive fibers development,” *Proc. 8th Int. Conf. on Wearable Computers*, pp. 36–39, 2004.
- [KKS01] M. Kouroggi, T. Kurata and K. Sakaue, “A panorama-based method of personal positioning and orientation and its real-time applications

- for wearable computers,” *Proc. Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 107–114, 2001.
- [KOI05] T. Kakuta, T. Oishi and K. Ikeuchi, “Shading and shadowing of architecture in mixed reality,” *Proc. 4th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 200–201, 2005.
- [KOYT00] M. Kanbara, T. Okuma, N. Yokoya and H. Takemura, “A stereoscopic video see-through augmented reality system based on real-time vision-based registration,” *Proc. Int. Conf. on Virtual Reality 2000*, pp. 255–262, 2000.
- [KTO04] Y. Kameda, T. Takemasa and Y. Ohta, “Outdoor see-through vision utilizing surveillance cameras,” *Proc. 3rd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 151–160, 2004.
- [KY04] M. Kanbara and N. Yokoya, “Real-time estimation of light source environment for photorealistic augmented reality,” *Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2004)*, No. II, pp. 911–914, 2004.
- [KYT02] M. Kanbara, N. Yokoya and H. Takemura, “Registration for stereo vision-based augmented reality based on extendible tracking of markers and natural features,” *Proc. IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 1045–1048, 2002.
- [LKAA96] 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.
- [LKAR05] T. Linz, C. Kallmayer, R. Aschenbrenner and H. Reichl, “Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric,” *Proc. 9th Int. Conf. on Wearable Computers*, pp. 86–89, 2005.

- [LKS01] A. Lee, T. Kawahara and K. Shikano, “Julius — an open source real-time large vocabulary recognition engine,” *Proc. European Conf. on Speech Communication and Technology*, pp. 1691–1694, 2001.
- [LM01] S. W. Lee and K. Mase, “Incremental motion-based location recognition,” *Proc. 5th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 123–130, 2001.
- [LT04] A. Leykin and M. Tuceryan, “Automatic determination of text readability over textured backgrounds for augmented reality systems,” *Proc. 3rd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 224–230, 2004.
- [LVTF03] V. Lepetit, L. Vacchetti, D. Thalmann and P. Fua, “Fully automated and stable registration for augmented reality applications,” *Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 93–102, 2003.
- [Man99] S. Mann, “Wearable computing: A first step toward personal imaging,” *IEEE Computer*, Vol. 30, No. 2, pp. 25–32, 1999.
- [MKY04a] K. Makita, M. Kanbara and N. Yokoya, “Shared annotation database for networked wearable augmented reality system,” *Proc. 5th Pacific Rim Conf. on Multimedia*, Vol. 3, pp. 499–507, 2004.
- [MKY04b] K. Makita, M. Kanbara and N. Yokoya, “Shared database of annotation information for wearable augmented reality system,” *Proc. SPIE Electronic Imaging*, Vol. 5291, pp. 464–471, 2004.
- [MTTN04] M. Miyamae, T. Terada, M. Tsukamoto and Y. Kishino and S. Nishio, “An event-driven navigation platform for wearable computing environments,” *Proc. 8th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 70–76, 2004.

- [MTTN05] M. Miyamae, T. Terada, M. Tsukamoto and S. Nishio, “An event-driven wearable system for supporting motorbike racing teams,” *Proc. 9th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 100–107, 2005.
- [MZ00] R. Malaka and A. Zipf, “Deep map - challenging it research in the framework of a tourist information system,” *Proc. Int. Congress on Tourism and Comm. (ENTER2000)*, pp. 15–27, 2000.
- [NF02] L. Naimark and E. Foxin, “Circular data matrix fiducial system and robust image processing for a wearable vision-inertial self-tracker,” *Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 27–36, 2002.
- [NKY05] Y. Nakazato, M. Kanbara and N. Yokoya, “Wearable augmented reality system using invisible visual markers and an ir camera,” *Proc. 9th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 198–199, 2005.
- [NOKK04] H. Noma, A. Ohmura, N. Kuwahara and K. Kogure, “Wearable sensors for auto-event-recording on medical nursing - user study of ergonomic design -,” *Proc. 8th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 8–15, 2004.
- [NPF+03] W. Narzt, G. Pomberger, A. Ferscha, D. Kolb, R. Muller, J. Wieghardt, H. Hortner and C. Lindinger, “Pervasive information acquisition for mobile ar-navigation systems,” *Proc. 5th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 13–20, 2003.
- [OS99] R. Oppermann and M. Specht, “Adaptive mobile museum guide for information and learning on demand,” *Proc. HCI International '99*, pp. 642–646, 1999.
- [PATM04] W. Piekarski, B. Avery, B. H. Thomas and P. Malbezin, “Integrated head and hand tracking for indoor and outdoor augmented reality,” *Proc. Int. Conf. on Virtual Reality 2004*, pp. 11–18, 2004.

- [PJS⁺96] H. Petrie, V. Johnson, T. Strothotte, A. Raab, S. Fritz and R. Michel, “Mobic: Designing a travel aid for blind and elderly people,” *Jour. of Navigation*, Vol. 49, No. 1, pp. 44–52, 1996.
- [PT03] W. Piekarski and B. H. Thomas, “Interactive augmented reality techniques for construction at a distance of 3d geometry,” *Proc. 9th Eurographics Workshop on Virtual Enviroments (EGVE’03)*, pp. 19–28, 2003.
- [SKC⁺01] 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. 89–93, 2001.
- [SKKK03] N. Sakata, T. Kurata, M. Kouroggi and H. Kuzuoka, “Wacl : Supporting telecommunications using wearable active camera with laser pointer,” *Proc. 7th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 53–56, 2003.
- [SKT03] N. Sugano, H. Kato and K. Tachibana, “The effects of shadow representation of virtual objects in augmented reality,” *Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 76–83, 2003.
- [SL04] I. Skrypnyk and D. G. Lowe, “Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features,” *Proc. 3rd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 110–119, 2004.
- [SUY04] K. Satoh, S. Uchiyama and H. Yamamoto, “A head tracking method using bird’s-eye view camera and gyroscope,” *Proc. 3rd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 202–211, 2004.
- [SWP97] T. Starner, J. Weaver and A. Pentland, “A wearable computer based american sign language recognizer,” *Proc. Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 199–202, 1997.

- [SYI⁺03] M. Sakata, Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe and K. Chihara, “Altair: Automatic location tracking system using active ir-tag,” *Proc of Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems(MFI2003)*, pp. 299–304, 2003.
- [TDP⁺98] B. H. Thomas, V. Demczuk, W. Piekarski, D. Hepworth and B. Gunther, “A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation,” *Proc. 2nd Int. Symp. on Wearable Computer*, pp. 168–171, 1998.
- [TKY03] R. Tenmoku, M. Kanbara and N. Yokoya, “A wearable augmented reality system using positioning infrastructures and a pedometer,” *Proc. 7th Int. Symp. on Wearable Computers (ISWC2003)*, pp. 110–117, 2003.
- [TKYT02] R. Tenmoku, M. Kanbara, N. Yokoya and H. Takemura, “Annotation overlay with a wearable computer using augmented reality,” *Proc. 1st CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 27–32, 2002.
- [TNA⁺04] R. Tenmoku, Y. Nakazato, A. Anabuki, M. Kanbara and N. Yokoya, “Nara palace site navigator: Device-independent human navigation using a networked shared database,” *Proc.10th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia (VSMM2004)*, pp. 1234-1242, 2004.
- [UKK02] N. Ukita, Y. Kono and M. Kidode, “Wearable vision interfaces: towards wearable information playing in daily life,” *Proc. 1st CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 47–56, 2002.
- [UTS⁺02] 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*, pp. 246–253, 2002.
- [vBLT03] T. von Büren, P. Lukowicz and G. Tröster, “Kinetic energy powered coputing - an experimental feasibility study,” *Proc. 7th Int. Conf. on Wearable Computers*, pp. 22–24, 2003.
- [VSGP03] R. D. Vul, M. Sung, J. Gips and A. S. Pentland, “Mithril 2003: Applications and architecture,” *Proc. Int. Symp. on Wearable Computers 2003*, pp. 4–11, 2003.
- [WJH97] A. Ward, A. Jones and A. Hopper, “A new location technique for the active office,” *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 42–47, 1997.
- [WS03] D. Wagner and D. Schmalstieg, “First steps towards handheld augmented reality,” *Proc. 7th Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 127–135, 2003.
- [ZHBH03] J. Zauner, M. Haller, A. Brandl and W. Hartmann, “Authoring of a mixed reality assembly instructor for hierarchical structures,” *Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 237–246, 2003.
- [穴吹 05] 穴吹篤志, 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “データベース共有型ウェアラブル拡張現実感を用いたウェアラブルユーザへの注釈付け”, 日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市研究会研究報告, Vol. 10, No. 1, pp. 27–32, 2005.
- [池谷 99] 池谷直紀, 加瀬直樹, 大須賀昭彦, “エージェント技術を適用したヒューマンナビゲーションシステム”, 情報処理学会研究報告, 99-ITS-3, pp. 97–104, 1999.
- [伊東 05] 伊東大輔, 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “拡張現実感技術を用いた位置依存情報のオーサリング”, 日本バーチャルリアリティ学会第 10 回

大会論文集, pp. 93–94, 2005.

- [上岡 04] 上岡隆宏, 河村竜幸, 河野恭之, 木戸出正継, “I’m here! : 物探しを効率化するウェアラブルシステム”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 19–30, 2004.
- [上田 01] 上田隆正, 天笠俊之, 吉川正俊, 植村俊亮, “位置情報と地理情報を用いたウェアラブルカメラ映像のダイジェスト作成”, 電子情報通信学会データ工学合同研究会研究報告夏のデータベースワークショップ (DBWS2001), No. 125-86, 2001.
- [浦谷 04] 浦谷謙吾, 町田貴史, 清川清, 竹村治雄, “AR 環境における奥行き曖昧性と視認性を考慮した注釈提示手法とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2003-57, 2004.
- [奥村 05] 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和, “拡張現実感のための実画像のぼけ推定に基づく実時間画像合成”, 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2005-36, 2005.
- [小田 03] 小田島太郎, 神原誠之, 横矢直和, “拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈提示システム”, 画像電子学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 832–840, 2003.
- [加藤 06] 加藤喬, 近藤裕介, 甲藤二郎, “手をインターフェースとした拡張現実感システム HandyAR の開発”, 電子情報通信学会 技術報告, PRMU2005-139, 2006.
- [河村 05] 河村竜幸, 福原知宏, 村田賢, 武田英明, 河野恭之, 木戸出正継, “対象物に『触れる』行為と記憶の遍在化による日常記憶支援”, 電子情報通信学会論文誌, J-88-D-I, No. 7, pp. 1143–1155, 2005.
- [神原 05] 神原誠之, 横矢直和, “RTK-GPS と慣性航法装置を併用したハイブリッドセンサによる屋外型拡張現実感システム”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演論文集, pp. 933–938, 2005.

- [興梠 03] 興梠正克, 蔵田武志, “ウェアラブルカメラと慣性センサ群のデータ統合に基づくパーソナルポジショニング”, 電子情報通信学会 技術研究報告, 2003.
- [坂田 03] 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 大城理, 千原國宏, “Altair: アクティブ IR タグを用いた複数ユーザ位置同定システム”, 電気学会論文誌 E, センサ・マイクロマシン準部門, Vol. 123, No. 8, pp. 279–284, 2003.
- [佐々 02] 佐々木博史, 黒田知宏, 眞鍋佳嗣, 千原國宏, “『てのひらめにゆう』: ウェアラブルコンピュータ用入力インタフェース”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 383–401, 2002.
- [柴田 04] 柴田史久, 橋本崇, 吉田友祐, 木村朝子, 田村秀行, “多様な携帯・可搬型機器に対応可能なモバイル複合現実感システム (1) -基本アーキテクチャとコンテンツ記述方式-”, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 281–284, 2004.
- [高田 04] 高田大輔, 浦谷謙吾, 町田貴史, 清川清, 竹村治雄, “ネットワーク共有型ウェアラブル AR システム開発用ライブラリの構築”, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 81–82, 2004.
- [田村 98] 田村秀行, 大田友一, “複合現実感”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 52, No. 3, pp. 266–272, 1998.
- [天目 04a] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “ウェアラブル拡張現実感システムのための直感的な注釈情報のフィルタリング”, 2004 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No. A-16-35, 2004.
- [天目 04b] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和, “拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡ナビ」”, 電子情報通信学会 技術報告, PRMU2003-186, 2004.

- [中里 05] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和, “ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 295–304, 2005.
- [橋本 06] 橋本崇, 吉田友祐, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行, “モバイル複合現実感システムにおけるコンテンツ記述言語の設計と実装”, 電子情報通信学会 技術報告, PRMU2005-140, 2006.
- [羽原 04] 羽原寿和, 町田貴史, 清川清, 竹村治雄, “ウェアラブルPCのための画像マーカを用いた広域屋内位置検出機構”, 電子情報通信学会技術研究報告, 2004.
- [濱口 05] 濱口明宏, 神原誠之, 横矢直和, “装着した3次元磁気センサと姿勢センサによるユーザの自己位置推定”, 日本バーチャルリアリティ学会第10回記念大会論文集, pp. 237–238, 2005.
- [原 03] 原雅樹, 神谷俊之, 矢入(江口)郁子, 猪木誠二, “PDAを使った歩行者ナビにおけるユーザインタフェースの開発”, 情報科学技術フォーラム(FIT)一般講演論文集, Vol. 3, No. K-096, pp. 633–634, 2003.
- [廣瀬 00] 廣瀬通孝, 廣戸健一郎, “屋外領域型展示空間における画像と対象物の重ね合わせ”, 日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集, pp. 385–388, 2000.
- [藤井 00] 藤井博文, 神原誠之, 岩佐英彦, 竹村治雄, 横矢直和, “拡張現実のためのジャイロセンサを併用したステレオカメラによる位置合わせ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU99-192, 2000.
- [藤本 04] 藤本昌宏, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏, “AIRGRABBER: 小型カメラと傾斜センサを用いたバーチャルキーボード”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 9, No. 4, pp. 413–422, 2004.
- [古野 06] 古野光紀, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行, “多様な形態・過般型機器に対応可能なモバイル複合現実感システム(4)-重量クライアントの実

現と機能検証-”, 電子情報通信学会 技術報告, PRMU2005-141, 2006.

[牧田 03] 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和, “ウェアラブル注釈提示システムのためのネットワーク共有型注釈データベース”, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 5, pp. 37-42, 2003.

[李 98] 李晃伸, 河原達也, 堂下修司, “単語トレリスインデックスを用いた大語彙連続音声認識エンジン julius”, 電子情報通信学会 技術報告, SP98-3, 1998.

研究業績

学術論文誌

1. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感システムのための注目オブジェクトへの直感的な注釈提示手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 305–312, Sep. 2005. (第4章に関連)

国際会議 査読あり

1. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “A Wearable Augmented Reality System Using an IrDA Device and a Passometer”, *Proc. SPIE Electronic Imaging*, Vol. 5006, pp. 478–486, Jan. 2003. (第3章に関連)
2. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “A Wearable Augmented Reality System for Navigation Using Positioning Infrastructures and a Pedometer”, *Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 03)*, pp. 344–345, Oct. 2003. (第3章に関連)
3. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer”, *Proc. 7th Int. Symp. on Wearable Computers (ISWC2003)*, pp. 110–117, Oct. 2003. (第3章に関連)
4. R. Tenmoku, Y. Nakazato, A. Anabuki, M. Kanbara, and N. Yokoya, “Nara Palace Site Navigator: Device-independent Human Navigation Using a Networked Shared Database”, *Proc. 10th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia (VSMM2004)*, pp. 1234–1242, Nov. 2004. (第5章に関連)
5. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “Annotating User-Viewed Objects for Wearable AR Systems”, *Proc. 4th Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR05)*, pp. 192–193, Oct. 2005. (第4章に関連)

6. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “Intuitive Annotation of User-Viewed Objects for Wearable AR Systems”, *Proc. 9th Int. Symp. on Wearable Computers (ISWC '05)*, pp. 200–201, Oct. 2005. (第4章に関連)
7. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “A New View Management Method for Wearable Augmented Reality Systems - Emphasizing the User-viewed Object and the Corresponding Annotation -”, *Proc. 12th Eurographics Symp. on Virtual Environments (EGVE'06)*, (第4章に関連、採録決定)

国際会議 査読なし

1. R. Tenmoku, M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura, “Annotation Overlay with a Wearable Computer Using Augmented Reality”, *Proc. 1st CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 27–32, March 2002. (第3章に関連)
2. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “Geometric Registration Using Positioning Infrastructures and a Pedometer for Wearable Augmented Reality”, *Proc. 2nd CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 14–22, May 2003. (第3章に関連)
3. M. Kanbara, R. Tenmoku, T. Ogawa, T. Machida, M. Koeda, Y. Matsumoto, K. Kiyokawa, H. Takemura, T. Ogasawara, and N. Yokoya, “Nara Palace Site Navigator: A Wearable Tour Guide System Based on Augmented Reality”, *Proc. 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 7–14, Oct. 2004. (第5章に関連)
4. R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya, “A Positioning Method Combining Specification of User’s Position and Dead Reckoning for Wearable

Augmented Reality System”, *Proc. 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 19–22, Oct. 2004. (第3章に関連)

研究会・シンポジウム

1. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “赤外線ビーコンと歩数計測を用いたウェアラブル型注釈提示システム”, 電子情報通信学会 技術研究報告, IE2002-54, July 2002. (第3章に関連)
2. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡ナビ」”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2003-186, Jan. 2004. (第5章に関連)
3. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “「平城宮跡ナビ」観光案内のためのウェアラブル拡張現実感システム”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 講演論文集, Vol. I, pp. 121-126, July 2004. (第5章に関連)
4. 穴吹 篤志, 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “データベース共有型ウェアラブル拡張現実感を用いたウェアラブルユーザへの注釈付け”, 日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市研究会 研究報告, Vol. 10, No. 1, pp. 27-32, Feb. 2005.
5. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感のための現実環境の三次元モデルを利用した情報提示”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2004-257, March 2005. (第4章に関連)
6. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “「平城宮跡ナビ」マルチメディアコンテンツを利用したウェアラブル型観光案内システム”, ウェアラブルコンピューティング研究会研究報告, Vol. 1, No. 1, pp. 30-35, March 2005. (第5章に関連)
7. 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型観光案内システム”, 日本情報考古学会第19回大会, pp. 1-6, March 2005. (第5章に関連)

8. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “「平城宮跡ナビ」マルチメディアコンテンツを利用したモバイル型観光案内システム”, 第1回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, S3-6, May 2005. (第5章に関連)
9. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感のためのシーンの三次元モデルを利用した現実環境への注釈付け”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演論文集, pp. 1404-1411, July 2005. (第4章に関連)
10. 天目 隆平, 穴吹 篤志, 神原 誠之, 横矢 直和, “共有データベースを利用したウェアラブルユーザへの注釈付け”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演論文集, pp. 1598-1599, July 2005.
11. 伊東 大輔, 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “地図情報と拡張現実感を用いた位置依存情報のオーサリング”, 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2005-56, Jan. 2006.

全国大会

1. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “拡張現実感技術を用いたウェアラブル型注釈提示システム”, 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No. A-16-46, March 2002.
2. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “赤外線ビーコンと歩数計測を用いたウェアラブル型拡張現実感のための幾何学的位置合わせ”, 情報科学技術フォーラム (FIT) 一般講演論文集, Vol. 3, No. K-32, Sep. 2002. (第3章に関連)
3. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “赤外線ビーコンと歩数計測を利用したウェアラブル拡張現実感システム”, 電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No. G14-10, Nov. 2002. (第3章に関連)
4. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感を利用した屋外型観光案内システム”, 情報科学技術フォーラム (FIT) 一般講演論文集, Vol. 3, No. K-097, Sep. 2003. (第5章に関連)

5. 神原 誠之, 天目 隆平, 牧田 孝嗣, 横矢 直和, “ウェアラブル型拡張現実感とその応用”, 第4回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2003), pp. 1060–1061, Dec. 2003. (第3,4章に関連)
6. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感システムのための直感的な注釈情報のフィルタリング”, 2004年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No. A-16-35, March 2004.
7. 穴吹 篤志, 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “データベース共有型ウェアラブル拡張現実感を用いた人物への注釈付け”, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集, pp. 83–84, Sep. 2004.
8. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “平城宮跡ナビ: ネットワーク共有コンテンツデータベースを利用した端末非依存ヒューマンナビゲーション”, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集, pp. 85–86, Sep. 2004. (第5章に関連)
9. 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “ウェアラブル拡張現実感におけるシーンの三次元モデルを利用した情報提示手法”, 2005年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No. A-16-18, March 2005.
10. 伊東 大輔, 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和, “拡張現実感技術を用いた位置依存情報のオーサリング”, 日本バーチャルリアリティ学会第10回記念大会論文集, pp. 93-94, Sep. 2005.

解説

1. 天目 隆平, “会議参加報告 ISWC2003”, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 46, March 2004.
2. 天目 隆平, “奈良時代の平城宮の情景を観光する - モバイル型観光案内システム「平城宮跡ナビ」”, 測量, Vol. 55, No. 5, pp. 44-45, May 2005.

マスメディア報道

1. ”奈良先端大がシンポ開く”, 科学新聞, 2002年7月12日.
2. ”ニュース関西発 2002 奈良ウィーク「新・まほろば宣言」”, NHK, 2002年9月11日放送.
3. ”リアルな風景に情報を合成 「これって何？」はもうなくなる”, 日経ネットワーク, 2002年12月22日.
4. ”平城京も再現 空間を「作り込む」システム”, ZD Net News, 2003年6月4日.
5. ”情報拡張コンピュータ使用 消防隊員に伝達”, 奈良日日新聞, 2003年8月28日.
6. ”先端大が消防隊員支援システム開発”, 奈良新聞, 2003年8月30日.
7. ”消火活動の新装備披露”, 朝日新聞, 2003年9月1日.
8. ”映像とCGで迅速に状況把握”, 産経新聞, 2003年9月1日.
9. ”ニュースなら630「消防支援の装置開発」”, NHK, 2003年9月1日放送.
10. ”首都圏ニュース「MR-EXPO開催」”, NHK, 2003年10月8日放送.
11. ”リアルタイム&インタラクティブな複合現実空間を体験 MRテクノロジー EXPO2003 開幕”, ASCII24.com, 2003年10月9日.
12. ”CGで描かれたバーチャル空間で遊んでみよう MRテクノロジー EXPO開催”, asahi.com, 2003年10月10日.
13. ”やってみないとわかんない~「MIXED FANTASY~MRテクノロジー EXPO」”, ZD Net News, 2003年10月10日.
14. ”もっと多くの命を救いたい 新システム開発へ”, 奈良新聞, 2004年3月7日.
15. ”五感情報通信への挑戦”, TIME&SPACE, 2004年4月1日.

16. ”ほら目の前に平城京”，日本経済新聞，2004年12月11日．
17. ”大学寮「三次元CGとGPSを組み合わせて平城宮跡をリアルに道案内」”，文部科学教育通信，2004年12月27日．
18. ”CGで平城宮跡へタイムスリップ”，歴史読本，2005年1月24日．
19. ”お元気ですか日本列島 「体感！平城京」”，NHK、2005年3月9日放送．
20. ”携帯端末に古代の風景”，読売新聞，2005年3月27日．
21. ”関西経済特集 研究の街から脱皮へ”，日本経済新聞，2005年3月9日．
22. ”新科論 平城宮、立体映像で再現”，朝日新聞，2005年5月2日．