

NAIST-IS-MT0251111

## 修士論文

ウェアラブル拡張現実感システムのための  
ネットワーク共有型注釈情報データベース

牧田 孝嗣

2004年2月6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。

牧田 孝嗣

審査委員： 横矢 直和 教授  
木戸出 正継 教授  
山澤 一誠 助教授

# ウェアラブル拡張現実感システムのための ネットワーク共有型注釈情報データベース\*

牧田 孝嗣

## 内容梗概

近年，計算機の小型化，高性能化に伴い，コンピュータグラフィクスで描いた仮想物体を現実環境に重畳表示することで現実環境に情報を付加することが可能な拡張現実感技術をウェアラブルコンピュータ上で実現することが可能になってきた．これにより，任意の場所でユーザが見ている現実のシーンに注釈情報を直観的に提示することが可能なウェアラブル拡張現実感システムが注目されている．このシステムを用いてユーザに注釈情報を提示するためには，計算機が注釈情報を保持しておく必要がある．従来，注釈を表示する際には，ユーザが装着した計算機にあらかじめ注釈情報を保持していたため，注釈情報の追加や更新が困難であるといった問題があった．

そこで本論文では，あらかじめ個々の計算機に注釈情報を保持しておく必要がなく，注釈情報の追加・更新が効率的に行えるウェアラブル拡張現実感システムのための注釈情報データベースを提案する．まず，ユーザが装着した計算機が無線ネットワークを介して通信可能なサーバにデータベースを保持することで注釈情報の共有を行う．これにより，注釈情報の提供者がサーバ上のデータベースを更新することで，ウェアラブルコンピュータの利用者は，常に最新の注釈情報をネットワークを介して獲得可能となる．また，web ブラウザを利用することで，注釈情報の提供者は情報の追加・更新を効率的に行うことができる．実際に注釈情報データベースを構築し，注釈情報の提供者が情報の追加・更新が効率的に行

---

\* 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-MT0251111, 2004年2月6日.

えること, ユーザが装着したウェアラブル拡張現実感システムにおいて注釈情報の獲得及び重畳表示が行えることを実験を通じて確認した。

キーワード

ウェアラブルコンピュータ, 拡張現実感, 注釈提示, ネットワーク共有データベース

# Shared Database of Annotation Information for Wearable Augmented Reality System\*

Koji Makita

## Abstract

This paper describes a database of annotation information for augmented reality (AR) on wearable computers. With the advance of computers, AR systems using wearable computers have received a great deal of attention as a new method for displaying location-based information. To overlay annotations on the real scene image, a wearable computer needs to hold annotation information. Up to this time, since a database of annotation information is usually held in a wearable computer in advance, it is difficult for the annotation database to be efficiently updated or added by information providers.

This paper proposes a shared database of annotation information for wearable AR systems. The proposed system provides users with annotation information from a server via a wireless network. Therefore, the wearable computers do not need to hold it in advance, besides information providers can add and update the database easily with a web browser. We have developed a prototype of shared annotation database and have proven the feasibility of the prototype system through experiments. In experiments, the user's position-based annotations have been given to the user automatically. Moreover, we have confirmed that the database can be successfully updated and added by information providers with a web browser.

---

\* Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0251111, February 6, 2004.

**Keywords:**

wearable computer, augmented reality, annotation overlay, shared database

# 目次

1. はじめに	1
2. 関連研究と本研究の位置付け	3
2.1 ウェアラブル拡張現実感システムに関する従来研究	3
2.2 本研究の位置付けと方針	10
3. ネットワーク共有を利用した注釈情報データベース	12
3.1 ネットワーク共有型注釈情報データベースの設計方針	12
3.2 注釈情報データベースの構成	13
3.3 注釈情報の追加・更新	14
3.3.1 web ブラウザを利用した注釈の追加・更新手法	15
3.3.2 ウェアラブルコンピュータを用いた注釈の追加・更新	19
3.4 ウェアラブルコンピュータのユーザによる注釈情報の獲得	19
3.4.1 注釈情報の獲得	20
3.4.2 注釈情報のフィルタリング	20
3.4.3 注釈情報の提示	22
4. 実験	23
4.1 実験環境	23
4.2 ウェアラブル拡張現実感システムの機器構成	23
4.3 注釈情報の追加と重畳表示実験	26
4.3.1 WEB ページを用いた注釈追加及び重畳表示実験	26
4.3.2 注釈情報獲得範囲の検証	29
4.3.3 モバイルPCのユーザによる注釈情報の追加実験	30
4.4 考察	31
5. むすび	35
謝辞	36





## 目 次

1	拡張現実感技術を用いた注釈情報の重畳表示の例 . . . . .	2
2	MIThril(MIT Media Lab) . . . . .	4
3	WIA(Wearable Internet Appliance) [16] . . . . .	4
4	プリンタのメンテナンス支援システム KARMA [28] . . . . .	5
5	The Touring Machine [36] . . . . .	7
6	ARQuake [37, 38] . . . . .	8
7	各アプリケーションで提示される合成画像の例 . . . . .	8
8	tinmith AR system [42] . . . . .	9
9	注釈情報データベースのネットワーク共有の概要 . . . . .	11
10	ネットワーク共有された注釈情報データベースの利用環境 . . . . .	13
11	注釈情報の追加・更新手法の手順 . . . . .	15
12	web 認証フォーム . . . . .	16
13	注釈追加フォーム . . . . .	17
14	注釈追加位置を探す様子 . . . . .	18
15	注釈追加後に表示される画面 . . . . .	18
16	位置に応じた地図の表示 . . . . .	19
17	ユーザの現在地に応じた注釈情報の獲得 . . . . .	21
18	詳細情報が重畳表示された画像の例 . . . . .	22
19	ウェアラブル拡張現実感システムの機器構成 . . . . .	25
20	実験環境 . . . . .	27
21	合成画像 . . . . .	28
22	注釈情報の更新 . . . . .	29
23	異なる基準で注釈情報を取得した際の合成画像の例 . . . . .	30
24	モバイル PC による注釈の追加 . . . . .	31
25	注釈情報を見て集合場所を目指すユーザ . . . . .	34

## 表 目 次

1	注釈情報データベースの構成 . . . . .	14
---	-------------------------	----

## 1. はじめに

近年，計算機の小型化，高性能化により，装着することで自由に移動しながら利用が可能なウェアラブルコンピュータが開発されている [1]．一方，コンピュータグラフィックスで描いた仮想物体を現実環境に重畳表示することで現実環境に情報を付加することが可能な拡張現実感技術の研究もさかんに行われている [2, 3, 4]．この技術をウェアラブルコンピュータ上で実現し，任意の場所でユーザが見ている現実環境に注釈情報を提示するウェアラブル拡張現実感システムが注目されている [5, 6]．

図 1 に，拡張現実感技術を用いた注釈情報の重畳表示の例を示す．このように，ウェアラブル拡張現実感システムは，現実環境の物体などに関連した情報をユーザに直感的に提供することが可能なため，景観シミュレーション，ナビゲーション，観光案内等，様々なシステムへの応用が考えられる [7, 8, 9, 10, 11]．このようなウェアラブル拡張現実感システムにおいて，ユーザのしている現実環境の正しい位置に注釈を重畳表示するためには，ユーザの位置，姿勢を実時間で計測し続ける必要がある．また，ユーザの位置に応じた注釈情報が必要となる．従来より，ユーザの位置及び姿勢を，ユーザが身に付けた GPS やジャイロセンサなどを用いて実時間で計測する研究は多くなされている [12, 13, 14]．しかし，従来の拡張現実感システムは，注釈情報をユーザが装着するウェアラブルコンピュータにあらかじめ保持させるものがほとんどであり，注釈情報の追加・更新を行うことが困難であるなどの問題がある．

そこで本論文では，あらかじめ計算機に注釈情報を保持しておく必要がなく，注釈情報の追加・更新が効率的に行えるウェアラブル拡張現実感システムのための注釈情報データベースを提案する．まず，無線ネットワークを利用して全てのユーザ，及び注釈情報の提供者による注釈データベースのネットワーク共有を行う．これにより，注釈情報の提供者は，サーバ上のデータベースを更新することで，常に最新の注釈情報をユーザに提供できる．また，ウェアラブルコンピュータの利用者は，無線ネットワークを介して最新の注釈情報を獲得し，閲覧することが可能となる．

以降，2 章ではウェアラブルコンピュータを利用した拡張現実感に関する従来

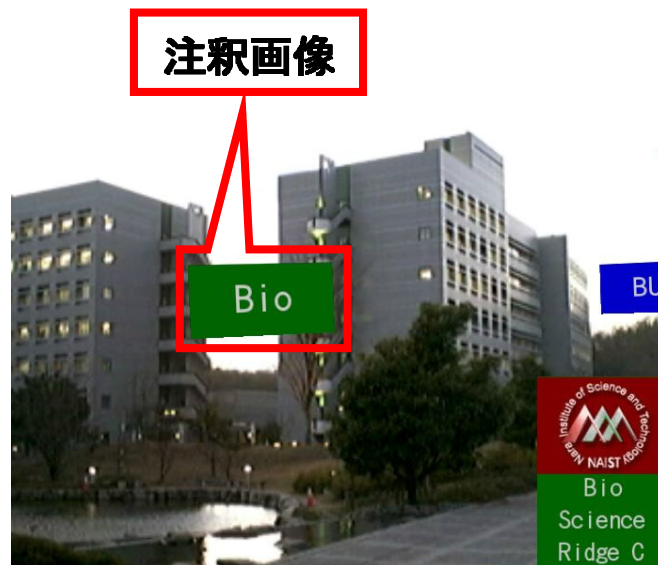


図 1 拡張現実感技術を用いた注釈情報の重畳表示の例

研究と本研究の位置付けについて，3章ではネットワーク共有を行う注釈データベースの概要について述べる．4章では提案するデータベースを用いた実験について詳述し，5章では本論文をまとめ，今後の展望について述べる．

## 2. 関連研究と本研究の位置付け

本章では，本研究に関連する従来研究及び本研究の位置付けについて述べる．2.1 節ではウェアラブルコンピュータを用いて作成された拡張現実感システムに関する従来研究とその研究課題について，2.2 節では本研究の目的及び位置付けについて述べる．

### 2.1 ウェアラブル拡張現実感システムに関する従来研究

以下に，本研究の基盤となるウェアラブルコンピュータと拡張現実感に関して簡単に述べる．

#### 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，図2に示すようにユーザが身に着けて使用することが可能なコンピュータである．マサチューセッツ工科大学のメディアラボ [15] の定義では，ウェアラブルコンピュータは使用時のみ電源を入れる PDA などと異なり，常時作動するものであると定義されている．近年の計算機の小型化，高性能化に伴い，次世代の計算機としての期待も高まっており，図3に示すようなウェアラブルコンピュータ WIA(Wearable Internet Appliance)[16] が日立製作所によって開発され，市販されている．計算機，表示デバイス，ハンドマウスはいずれも装着可能であり，ユーザは自由に移動しながら利用が可能である．この他にも，現在は多種多様なウェアラブルコンピュータが開発されている [17, 18, 19] ．



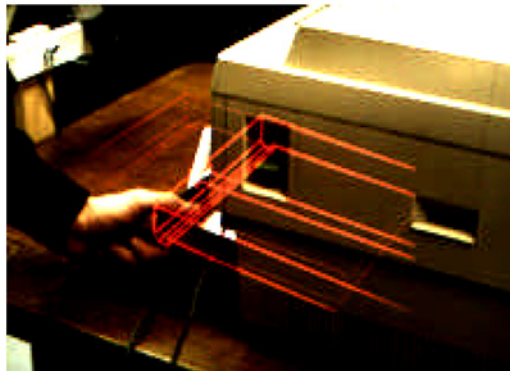
图 2 MIThril(MIT Media Lab)



图 3 WIA(Wearable Internet Appliance) [16]



HMD を装着してメンテナンスを行うユーザ



ユーザに提示される合成画像

図 4 プリンタのメンテナンス支援システム KARMA [28]

#### 拡張現実感

拡張現実感とは、コンピュータグラフィックスで描いた仮想物体を現実環境に重畳表示することにより、現実環境に情報を付加する技術である。拡張現実感を利用すれば、作業者の支援のための指示や、環境シミュレーションにおいて、建設前の建造物を現実のシーンに合成する等、これまでになく直感的な情報の提示が可能となる [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]。図 4 は、Feiner らによって開発されたプリンタのメンテナンス支援システム KARMA であ

る [28] . メンテナンスを行うユーザには , 次に行うべき作業の指示が CG により直感的に示される . 現実シーンの正しい位置にコンピュータグラフィクスで仮想物体を重畳表示するためには , ユーザの視点の位置・姿勢を正確に求める必要がある .

ウェアラブル拡張現実感システムとは , 前述のウェアラブルコンピュータを用いて構築された拡張現実感システムであり , ユーザの動きや移動に制限が無いため , これまで , 限られた範囲のみでしか動作しなかった拡張現実感をあらゆる所で AR 環境が構築できるという利点が生まれる . ユーザは , 自由に動き回りながら , コンピュータグラフィクスで描かれた仮想物体が重畳表示された画像を見ることができるため , ウェアラブル拡張現実感システムは , 屋内外を問わず広範囲においてユーザの位置に応じた情報を現実環境に付加する技術として注目されている [29, 30] .

ウェアラブル拡張現実感システムを実現する際の課題は「何を , どこに」表示するかということである . ユーザのしている現実環境の正しい位置に仮想物体を重畳表示するためには , AR における本質的な課題であるユーザの現在位置及び視線方向 ( 姿勢 ) を計測する必要がある . これまで , ウェアラブル拡張現実感システムを実現するために , 多くの研究者がユーザの位置及び姿勢を計測する手法の提案を行ってきた [31, 32, 33, 34, 35] . 以下に , これまでに開発されたウェアラブル拡張現実感システムの例を挙げる .

図 5 は , Feiner らによって開発されたアプリケーション Touring Machine [36] であり , ユーザには , 現実環境中の建物等に注釈情報を重畳表示した合成画像が提示されるシステムである . 本システムは屋外において使用するシステムとして提案されており , ユーザの位置を計測するために GPS (Global Positioning System) を使用している . また , ユーザの姿勢を計測するために , ジャイロセンサを使用している . そのため , 屋外においてあらゆる所で注釈情報を得ることができる .

また , エンターテイメントを目的として作られたアプリケーションの一つに Thomas らによって提案されたシステム ARQuake [37, 38] がある . ウェアラブルコンピュータのユーザは銃型の入力デバイスを持ち , 移動しながら重畳表示されるモンスターを倒すゲームである . 図 6 に , ユーザの外観及びゲーム画面の例を





ユーザの外観



提示される合成画像

図 5 The Touring Machine [36]

示す。本システムでは、屋外環境においては GPS，屋内環境においては画像マーカを用いることによりユーザの位置を測定している。複数のセンサを組み合わせることで使用することにより、ユーザが屋内外を自由に移動することを可能としている。

一方、注釈画像を提示し、個人をナビゲーションするシステムとして、興杓らは Weavy を提案している [39]。Weavy では、パノラマ画像群を情報源として用いたビューベースな位置・姿勢の取得を行っており、その補助的な役割で歩数計測、及びジャイロセンサによる方位計測を行っている。その他にも、天目らは屋内・屋外を問わずに利用可能な環境埋め込み型センサと歩数計測を用いることで、屋内外でシームレスにユーザの位置を計測することができるウェアラブル拡張現実感システムを提案している [40]。図 7 に、それぞれのシステムのユーザに提示される画像の例を示す。

以上の従来システムでは、ユーザの位置及び視点方向を求めることに注目しており、ウェアラブル拡張現実感システムの課題である「何を」に関しては深く考慮がされていない。しかし、前述のように安定して動作する多くのウェアラブル拡張現実感システムが提案されてきたため、ユーザに提示するコンテンツに関する研究が注目されるようになってきた [41]。



ユーザの外観

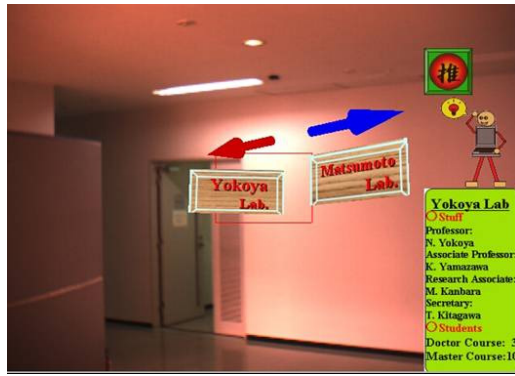


提示されるゲーム画面

図 6 ARQuake [37, 38]



Weavy [39]



注釈提示画像 [40]

図 7 各アプリケーションで提示される合成画像の例



システムを使用するユーザ



作業中の画面



仮想物体が合成された画像

図 8 tinmith AR system [42]

その代表的なものに図 8 に示す tinmith[42]がある。これはウェアラブル拡張現実感システムのユーザ自身が、ユーザの見る現実環境に仮想物体をモデリングすることでコンテンツをオーサリングするツールである。ユーザの指につけたマーカを視点付近に取り付けたカメラにより撮影することで、ユーザは手の動きを利用して直感的に、現実環境に仮想物体を配置することが可能である。しかし、これらは、提示情報の共有化やデータベース化に着目するものではなかった。

## 2.2 本研究の位置付けと方針

従来，拡張現実感と呼ばれる技術が提案され，それを応用したアプリケーションが開発されたが，ユーザの移動範囲は非常に制限されたものであった．よって，提示する仮想物体に関する情報は限られたものであった．しかし前節に示したように，近年では，ウェアラブルコンピュータを用いることでこれまでになく広範囲で使用可能なウェアラブル拡張現実感システムが多く提案されている．このようなシステムにおいて，現実環境の正しい位置に注釈情報を重畳提示するためには，ユーザの持つウェアラブルコンピュータは注釈情報を保持する必要がある．従来，ウェアラブル拡張現実感システムはあらかじめ注釈情報を保持しておき，ユーザの位置・姿勢に応じて仮想物体を重畳表示していた．また，提示情報に関する研究も存在するが，コンテンツのオーサリングに注目するものがほとんどであった．そのため，ウェアラブル拡張現実感システムのユーザが移動可能な範囲全ての情報をあらかじめ保持しておかなければならないといった問題が発生する．さらに，表示する注釈情報の中には，道案内の情報，場所に基く情報等，その内容が時間の経過と共に変化するものが多く存在し，あらかじめ情報を保持しておくという方法では，それらの情報の追加や更新が困難であるといった問題も生じる．

そこで，本論文では，あらかじめ計算機に情報を保持しておく必要がなく，注釈情報の追加・更新が効率的に行えるウェアラブル拡張現実感システムのための注釈情報データベースを提案する．図9に，提案する注釈情報データベースのネットワーク共有の概要を示す．まず，ユーザが装着したウェアラブルコンピュータが無線ネットワークを介して通信可能なサーバにデータベースを保持することで，全てのユーザ，及び注釈情報の提供者による注釈データベースのネットワーク共有を行う．これにより，注釈情報の提供者は，サーバ上のデータベースを更新することで，常に最新の注釈情報をユーザに提供できる．また，ウェアラブルコンピュータのユーザは，無線ネットワークを介して最新の注釈情報を獲得し，閲覧することが可能となる．

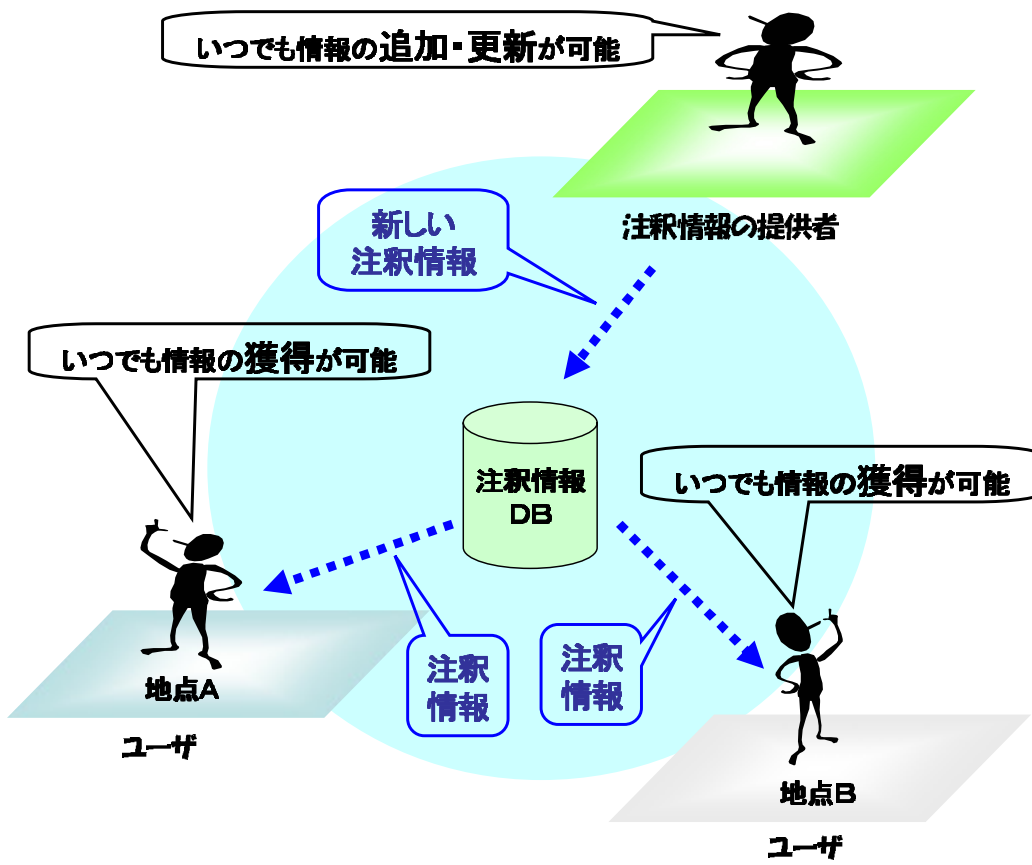


図 9 注釈情報データベースのネットワーク共有の概要

### 3. ネットワーク共有を利用した注釈情報データベース

本章では，ウェアラブル拡張現実感システムのためのネットワーク共有型注釈情報データベースについて述べる．3.1 節でネットワーク共有型注釈情報データベースの設計方針について，3.2 節では注釈情報データベースの構成についてそれぞれ述べる．最後に，3.3 節では注釈情報の追加・更新について述べる．

#### 3.1 ネットワーク共有型注釈情報データベースの設計方針

ネットワーク共有された注釈情報データベースの利用環境を図 10 に示す．現実環境に注釈情報を重畳提示するためには，ユーザの持つウェアラブルコンピュータは常にユーザの存在する場所付近に関する注釈情報を保持しておく必要がある．しかし，表示する情報の中には，道案内の情報，場所に基く情報等，その内容が時間の経過と共に変化するものが多く存在するため，あらかじめ情報を保持しておくという方法では，情報の追加や更新が困難であるといった問題がある．そこで本研究では，あらかじめ注釈情報を個々の計算機に保持させるのではなく，個々のウェアラブル拡張現実感システムが必要な時にデータベースにアクセスし，必要な注釈情報を取得可能な注釈情報データベースを提案する．

提案システムでは，ユーザが装着したウェアラブルコンピュータは無線ネットワークが利用可能である環境を想定している．まず，ユーザの装着した計算機が通信可能なネットワーク上に，注釈データベースを保持したサーバを用意する．これにより，拡張現実感システムの利用者及び注釈情報の提供者は注釈データベースの共有を行う．ウェアラブル拡張現実感システムの利用者は，あらかじめ注釈情報を計算機に保持させることなく，無線ネットワークを介してサーバから必要な注釈情報を取得することができ，最新の注釈情報が合成された映像を閲覧することが可能である．また，注釈情報の提供者は，共有されたデータベースの情報を更新することで，効率的な情報の更新が可能である．データベースの更新を行うインターフェースとして WEB ブラウザを用い，注釈情報の提供者は，あらかじめ用意された特定の更新用 WEB ページにアクセスし，情報の更新を行う．さらに，ウェアラブルコンピュータを持ったユーザが今いる場所付近において注釈情

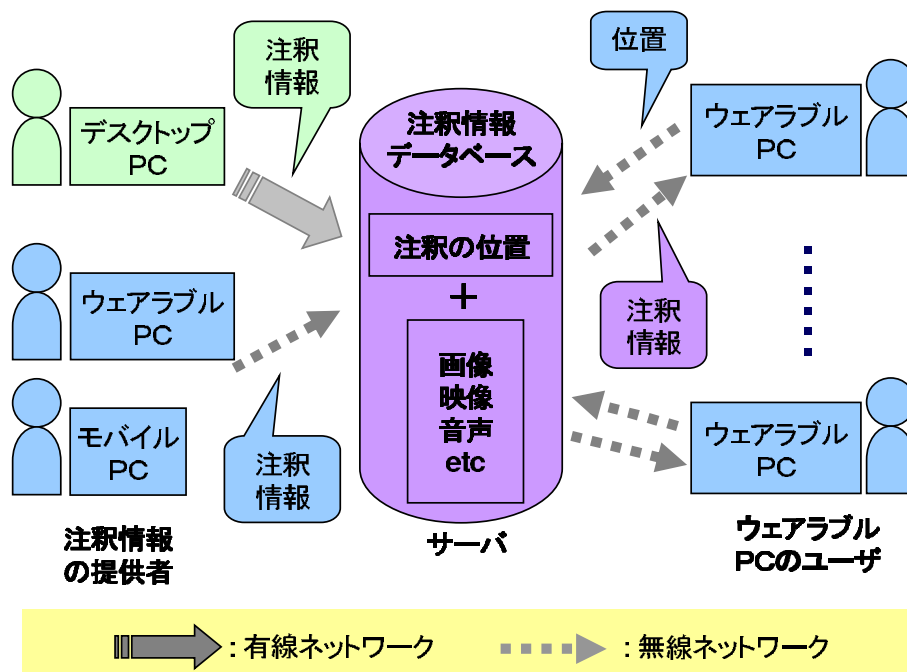


図 10 ネットワーク共有された注釈情報データベースの利用環境

報の追加・更新が行えるインタフェースも用意する。

### 3.2 注釈情報データベースの構成

注釈情報データベースの構成及びデータの例を表 1 に示す。以下に、注釈情報に関する各データについて述べる。

位置：現実環境内における注釈の 3 次元位置。データベース内に、緯度，経度，高さの 3 つの値で格納される。

名称：注釈として提示するオブジェクトの名称。データベースの位置情報を用いてユーザの見るシーンに重畳表示される。

詳細情報：注釈に関する詳細な情報。ユーザが名称に注目することにより、画像，映像，音声など，その名称に関する詳細情報として利用される。

表 1 注釈情報データベースの構成

位置	名称	詳細	提供者	閲覧可能者	ジャンル
Pos1	食堂	Det1	P1	全員	お店
Pos2	事務局	Det2	P2	P2	公共施設
Pos3	図書館	Det3	P3	グループA	公共施設

⋮                    ⋮                    ⋮                    ⋮                    ⋮                    ⋮

提供者：注釈を提供した人物。

閲覧可能者：注釈を取得し、閲覧することの可能なユーザ。個人、またはグループで格納される。

ジャンル：注釈のジャンル。お店、公共施設等。

閲覧可能者の項目には、各注釈の提供者が定める獲得・閲覧が許可されるユーザが指定されており、提供者に許可されたユーザのみが注釈を見ることができる。また、各注釈にはそのジャンルを決めておくことが可能であり、ウェアラブルコンピュータのユーザは注釈情報を獲得する際、特定のジャンルの情報のみを閲覧することも可能である。

### 3.3 注釈情報の追加・更新

注釈情報のデータベースはネットワークを介して共有されているため、注釈情報の提供者は、データベースを更新することでその更新をネットワークを介して全てのウェアラブル拡張現実感システムのユーザに反映させることが可能である。

情報の更新を行うインターフェースとしては、WEBブラウザを使用する。そのため、注釈情報の追加・更新を行うにあたり特別なソフトウェアの用意は必要



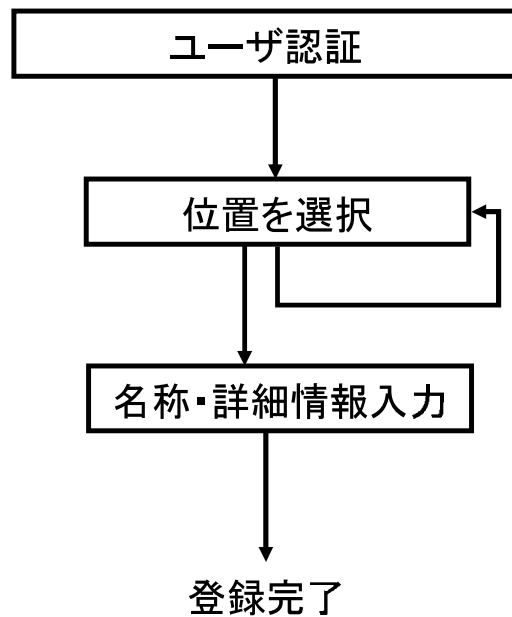


図 11 注釈情報の追加・更新手法の手順

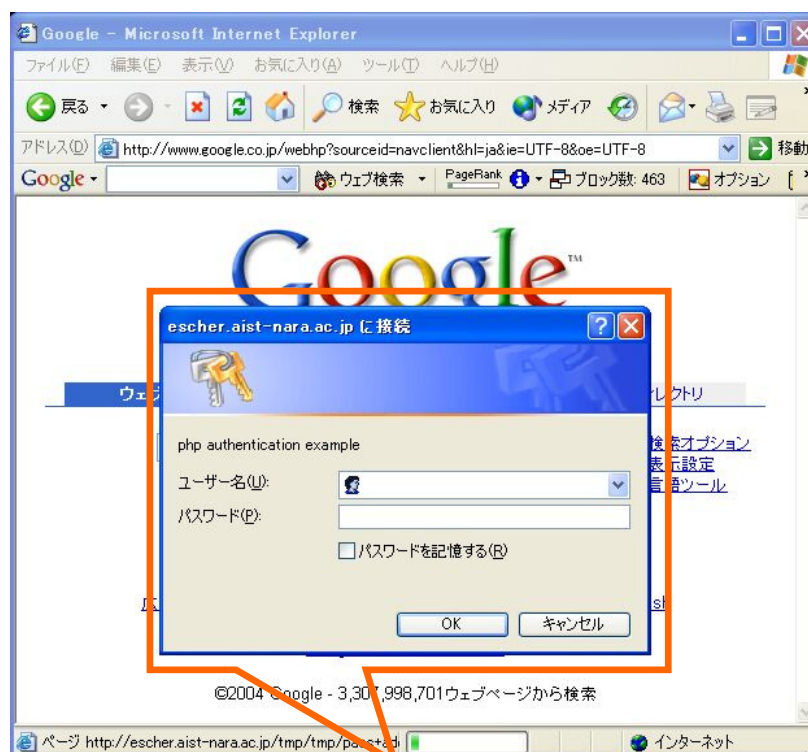
なく、その操作も容易である。以下、3.3.1においてはwebブラウザを用いた注釈情報の更新について述べ、3.3.2においてはウェアラブルコンピュータを用いた注釈情報の更新についてそれぞれ述べる。

### 3.3.1 webブラウザを利用した注釈の追加・更新手法

図 11に、注釈の追加・更新手法の手順を示す。注釈情報の提供者は用意された特定のWEBページにWEBブラウザを用いてアクセスし、入力フォームから注釈に関するデータを送信することで注釈情報の追加・修正・削除を容易に行うことが可能である。以下に注釈情報の追加における各手順について詳述する。

#### 1. 認証：

図 12に示すように、注釈情報の提供者が特定のWEBページにアクセスする際、最初に認証画面が現れる。ここで、提供者名及びパスワードを入力し、正しければ注釈追加フォームへのアクセスが許可される。その際、提



## 認証画面

図 12 web 認証フォーム

供者名はサーバに記憶され、注釈情報が追加される際まで保持される。

### 2. 位置の選択：

図 13 の A,C により、注釈を登録する位置を決定する。C に示す地図は、A に示されたズームボタンによりズームイン、ズームアウトが行える。また、地図上をクリックすることにより、その地点が中心の地図が表示される。これらの作業を繰り返すことにより注釈を追加する地点を決定し、任意の場所に注釈を追加することが可能である。図 14 に、位置を探す様子を示す。

### 3. 名称の入力：

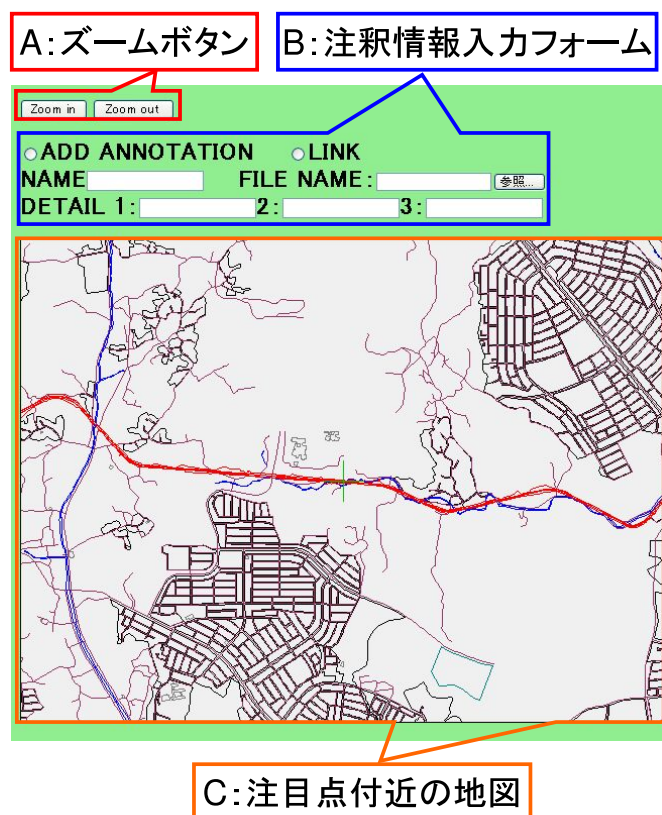


図 13 注釈追加フォーム

注釈の名称に用いる文字情報を図 13 の B のフォームより入力し，データを送ることにより，名称用の画像がサーバ内で自動生成される．

4. 詳細情報の入力：

名称入力と同様にして文字情報を送ることにより，詳細情報用の画像がサーバ内で自動生成される．また，画像ファイルや音声ファイル，もしくは映像ファイルを送信し，詳細情報として追加することが可能である．

5. 情報の送信：

最後に，入力情報を送信することで，注釈情報データベースには新たなデータが追加される．図 15 に，追加後に表示される画面を示す．なお，追加さ

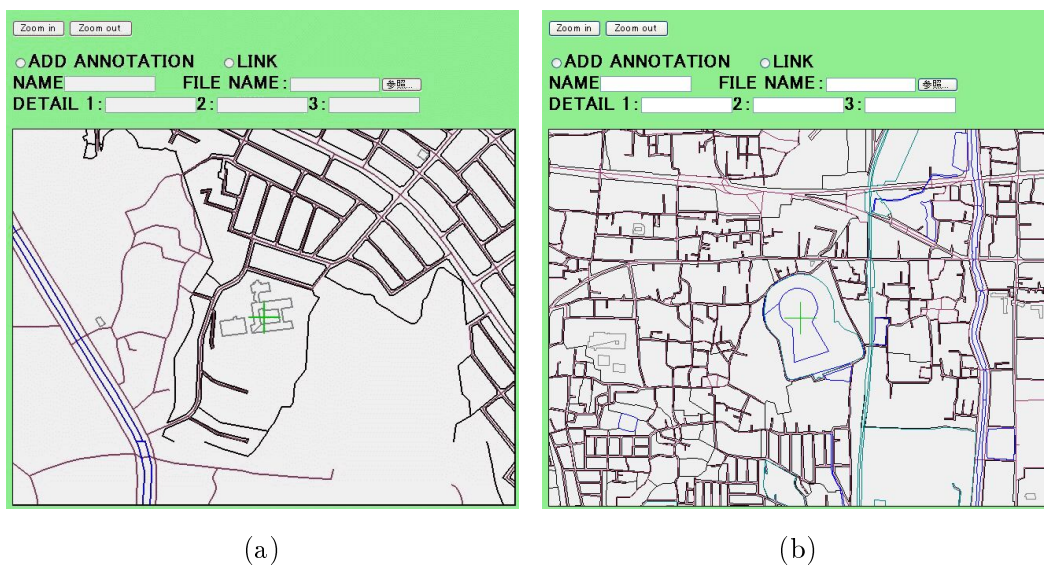


図 14 注釈追加位置を探す様子

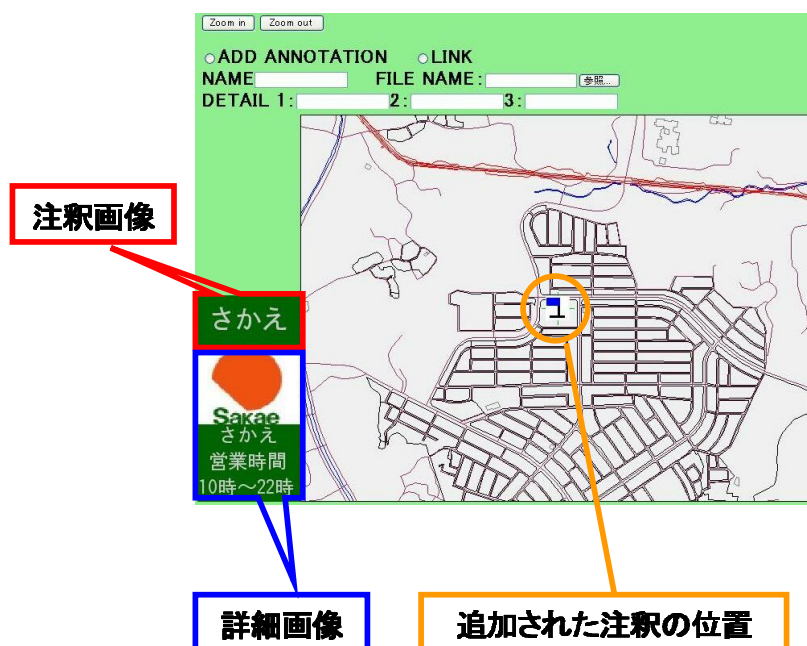


図 15 注釈追加後に表示される画面

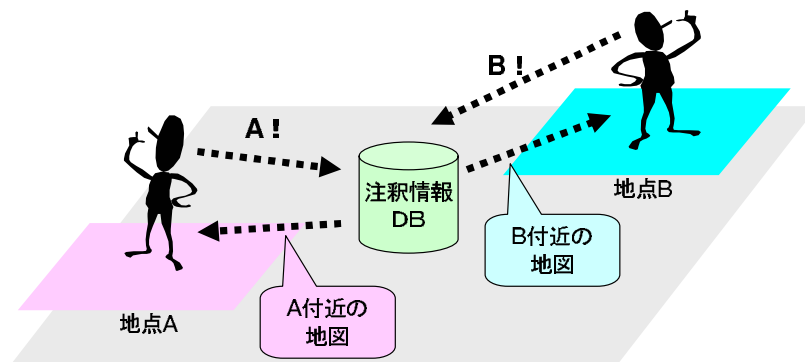


図 16 位置に応じた地図の表示

れた注釈の提供者名はこの時点で注釈の位置，名称及び詳細情報とともに格納される．

### 3.3.2 ウェアラブルコンピュータを用いた注釈の追加・更新

WEB ブラウザを用いることで，新しい注釈情報を効率的に送信できるため，ウェアラブルコンピュータ，もしくはモバイルコンピュータのユーザが注釈情報の追加・更新を行うことも可能である．図 16 に示すように，ウェアラブルコンピュータ，モバイルコンピュータのユーザが位置センサを装着していれば，位置情報をサーバへ送信することで，注釈追加フォームにはユーザが今いる場所付近の地図が表示される．それにより，提供者はその地図上をクリックすることで情報を追加・更新することが可能である．

## 3.4 ウェアラブルコンピュータのユーザによる注釈情報の獲得

本研究では，拡張現実感システムのユーザは常に注釈情報を保持するサーバと無線ネットワークを介して通信可能であることを想定している．データベース中のどの注釈を獲得すべきかは，ユーザの位置によって決定される．まず，ユーザが装着している赤外線ビーコン，GPS 等の位置センサによりユーザの位置を計測す

る．そして，ユーザ側のウェアラブルシステムは計測された位置情報をもとに，サーバ内の注釈データベースからユーザの現在地に応じた注釈情報を獲得する．その際，どの注釈情報を送信すべきかの判定は，サーバ側に用意した注釈情報の選択ソフトウェアを用いて行う．ユーザの装着した計算機は必要な情報のみを保持しておけば良いため，ウェアラブル拡張現実感システム上の注釈情報のデータが膨大となる問題はなく，さらに常に最新の情報を獲得することが可能である．共有データベースからデータを獲得するタイミングは，ユーザが一定量移動した場合，及び一定時間が経過した場合に更新を行う．以下に，注釈情報の獲得，注釈情報のフィルタリング及び注釈情報の提示方法について詳述する．

#### 3.4.1 注釈情報の獲得

本研究では，拡張現実感システムのユーザは常に注釈情報を保持するサーバと無線ネットワークを介して通信可能であると想定しており，データベース中のどの注釈を獲得すべきかは，ユーザの位置によって決定される．まず，ユーザが装着している赤外線ビーコン，GPS等によりユーザの位置を計測する．そして，ユーザ側のウェアラブルシステムは計測された位置情報をもとに，サーバ内の注釈データベースからユーザの現在地に応じた注釈情報を獲得する．

#### 3.4.2 注釈情報のフィルタリング

ユーザ側のウェアラブルシステムがどの注釈情報を獲得するかの判定は，サーバ側に用意された注釈情報の選択ソフトウェアを用いて行われる．ユーザのウェアラブルシステムよりサーバに現在地が送信されると，選択ソフトウェアはユーザの現在地に応じたフィルタリングを行う．その際，注釈を選ぶ方法としては，図 17 に示すように，「ユーザから一定距離内に存在する注釈を選ぶ」，「ユーザから一定距離離れた位置に存在する注釈を選ぶ」等が考えられる．

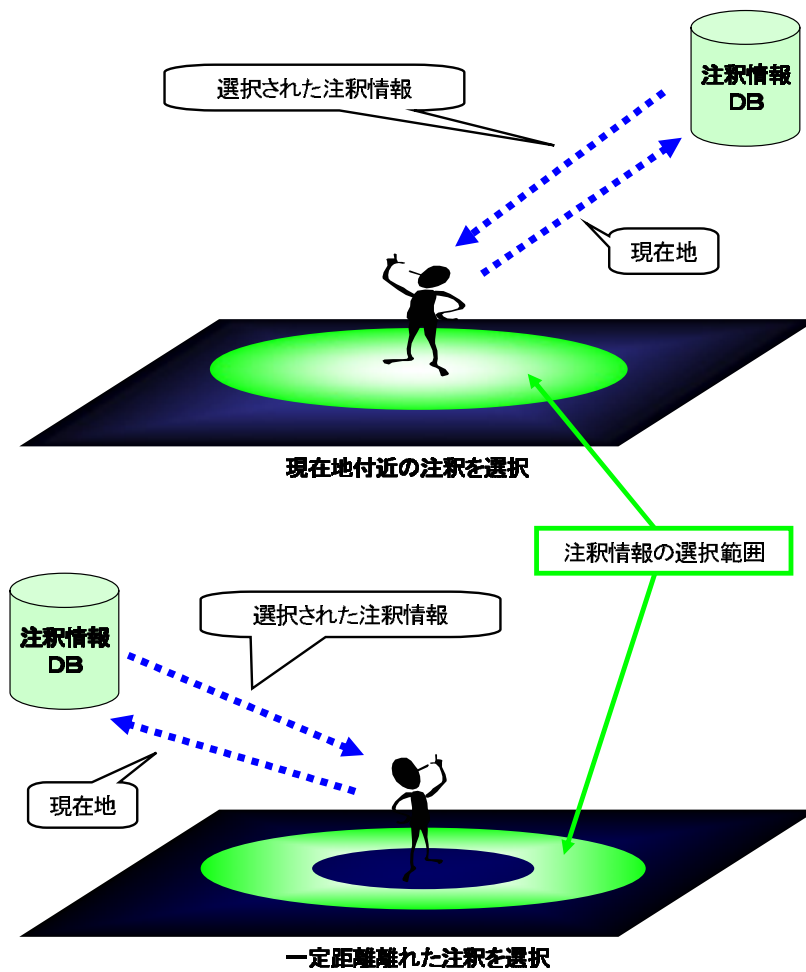


図 17 ユーザの現在地に応じた注釈情報の獲得



図 18 詳細情報が重畳表示された画像の例

### 3.4.3 注釈情報の提示

注釈情報，及び詳細情報が重畳表示された画像の例を図 18 に示す．ユーザの位置，姿勢に応じて名称の記載された注釈画像が重畳表示される．また，ユーザが注釈画像に注目した際（注釈画像が画面の中央付近に表示された際）に，画面の右下にその注釈に関する詳細情報が提示される．



## 4. 実験

提案する注釈情報データベースの有効性を確認するために、本学屋外、及び周辺に注釈を付加し、無線ネットワークが使用可能な本学内においてウェアラブル拡張現実感システムを用いて注釈情報を獲得し、ユーザに合成映像を提示する実験を行った。4.1 節では実験環境について、4.2 節では本実験に使用したウェアラブル拡張現実感システムの機器構成について、4.3 節では今回行った注釈付け実験についてそれぞれ述べる。また、4.4 節では、実験結果についての考察を行う。

### 4.1 実験環境

本実験では、まず、本学内の当研究室のサーバ ( CPU Pentium4 2.0GHz, メモリ 512Mbytes ) に注釈情報データベースを用意した。地図として奈良県生駒市の数値地図及び本学の施設配置図を用いた。注釈情報を追加・更新・削除することができる WEB ページを作成し、各実験に必要な注釈情報を WEB ページより追加した。その後、学内の各箇所においてウェアラブルシステムのユーザによる無線ネットワークを介しての注釈情報の獲得を行い、ユーザの位置・姿勢に応じて現実環境の映像に注釈情報を付加した合成映像の提示を行った。また、注釈情報のフィルタリングを行うために、パラメータに基きユーザ位置付近の注釈を選択するソフトウェアをサーバに用意した。例えば、パラメータを 50m と決めておくと、注釈情報の獲得が行われる際に、ソフトウェアはユーザの位置より 50m 以内に存在する注釈をデータベースより選択する。選択を行う際、ユーザの位置と各注釈との距離は、緯度、経度を用いて計算される。

### 4.2 ウェアラブル拡張現実感システムの機器構成

図 19 に、本実験で使用したウェアラブル拡張現実感システムの機器構成の概要を示す。ユーザはウェアラブルコンピュータとしてノート PC を装着し、CCD カメラ、姿勢センサ、位置センサ及び小型表示ディスプレイを装着する。CCD カメラは現実環境の映像取得、姿勢センサはユーザ姿勢の計測、位置センサはユー

ザ位置（緯度，経度）の獲得に用いられる．また，各センサが取得したデータはユーザが装着する計算機に送られ，計算機内では，位置情報をもとに無線 LAN を介して獲得した注釈情報を用い，現実環境に注釈情報を重畳した合成映像が作成される．なお，ユーザにはビデオスルー型の小型表示デバイスを用いて合成映像を提示する．以下に，ユーザが装着する各機器について述べる．

ノート PC：Inspiron8100( DELL )，CPU PentiumIII 1.2GHz，メモリ 512Mbytes，無線 LAN 通信可能．センサから得られたデータと無線 LAN を介して獲得した注釈情報から，現実環境に注釈を付加した合成画像を生成する．

CCD カメラ：Qcam ( Logicool )，有効画素数 640 × 480．ユーザの視点付近に視線方向とカメラの光軸を一致させるように装着し，ユーザが見ている現実環境と同様の映像を獲得する．

姿勢センサ：InterTrax<sup>2</sup> ( Intersense )，データの更新レートは最大 256Hz．ユーザの視点付近に装着し，ユーザの視線方向を計測する．角度分解能：0.02 °．最大角速度：yaw 角 720 °/s，pitch 角 720 °/s，roll 角 360 °/s．

位置センサ：慣性航法モジュール( Point Research Corporation：Point Research Corporation: DRMIII )，GPS と歩数計測ユニットから構成される．GPS を利用して計測した絶対位置と歩数計測によって計測される相対的な移動量をカルマンフィルタを利用して統合することで，屋外環境において蓄積誤差のないユーザの位置を計測することが可能である．生じる誤差は 10m 程度．



図 19 ウェアラブル拡張現実感システムの機器構成

### 4.3 注釈情報の追加と重畳表示実験

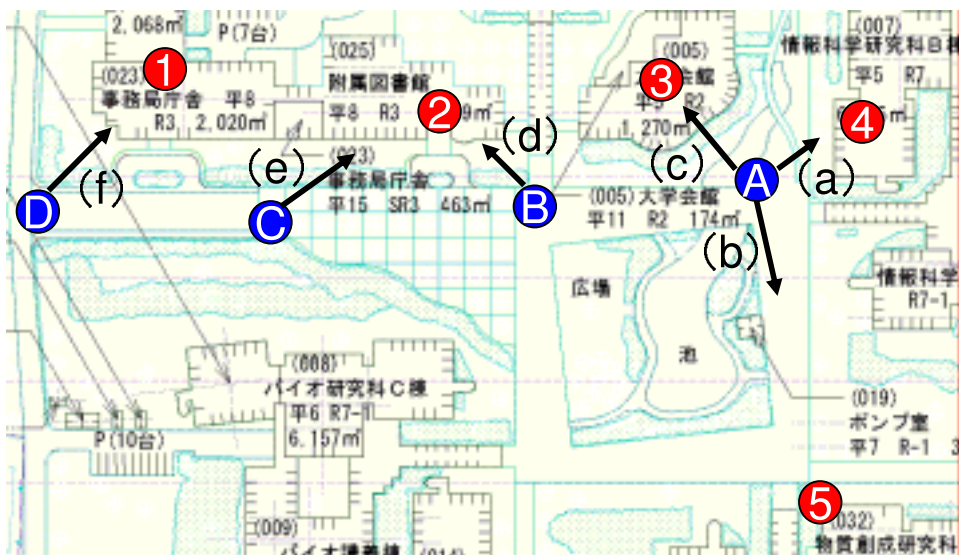
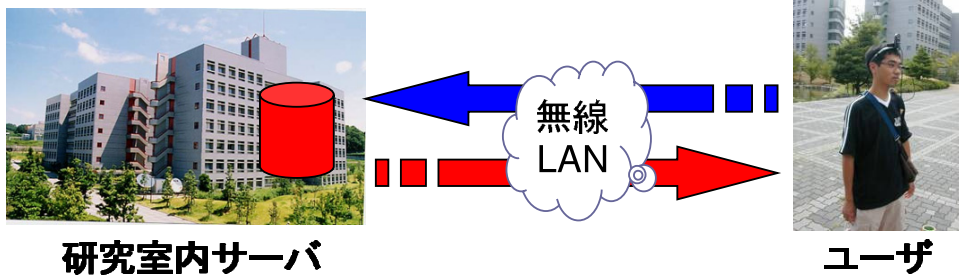
4.1 節で述べた環境において注釈の追加・更新を行い，4.2 節で述べたウェアラブル拡張現実感システムを用いて注釈の重畳表示実験を行った．以下に，各実験について述べる．

#### 4.3.1 WEB ページを用いた注釈追加及び重畳表示実験

3.3.1 で述べた手法により追加された注釈情報がどのようにウェアラブル拡張現実感システムのユーザに表示されるかを調べるために，用意された WEB ページを用いて学内施設への注釈追加を行い，ウェアラブル拡張現実感システムのユーザによる注釈情報の獲得を行った．図 20 は本実験において注釈を追加した位置，及び注釈情報の獲得を行った位置を示したものである．なお，ユーザ位置付近に存在する注釈の情報を選択するソフトウェアのパラメータは 70m とした．

次に，実際に注釈情報データベースの更新が有効であることを確認するために，ユーザが学内を移動している最中に，注釈情報更新用 WEB ページより“食堂”に重畳表示された注釈の詳細情報を更新した．

図 21，22 に，各地点においてユーザに提示された合成画像を示す．図 21 は，図 20 で示した A～D 地点にて注釈情報を無線 LAN を介して獲得し，ユーザが (a)～(f) の矢印の方向を向いた際に提示された合成画像の例である．図 21 (a) の例では，正面の建物に“情報棟”の注釈が表示され，直感的に注釈情報を認識できることがわかる．図 21 (b)～(f) も同様に，ウェアラブル拡張現実感システムのユーザに注釈情報の提示が行えることが確認できた．また，図 22 は，注釈情報の提供者がデスクトップ PC より注釈情報の更新を行った際に提示された合成画像を示したものである．ユーザが食堂の方向に移動すると，図 22 (a)～(d) のように，次々と注釈情報が更新された．これにより，サーバの情報が更新された場合，注釈情報の更新ができている事が確認できた．



● : 注釈の存在箇所

● : 注釈情報の獲得地点

図 20 実験環境



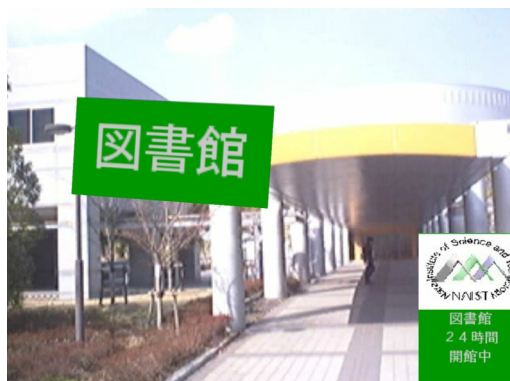
(a)



(b)



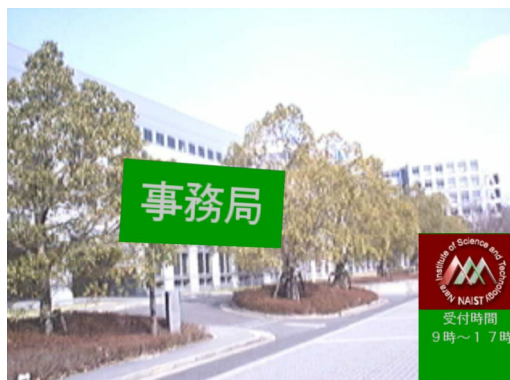
(c)



(d)



(e)



(f)

図 21 合成画像

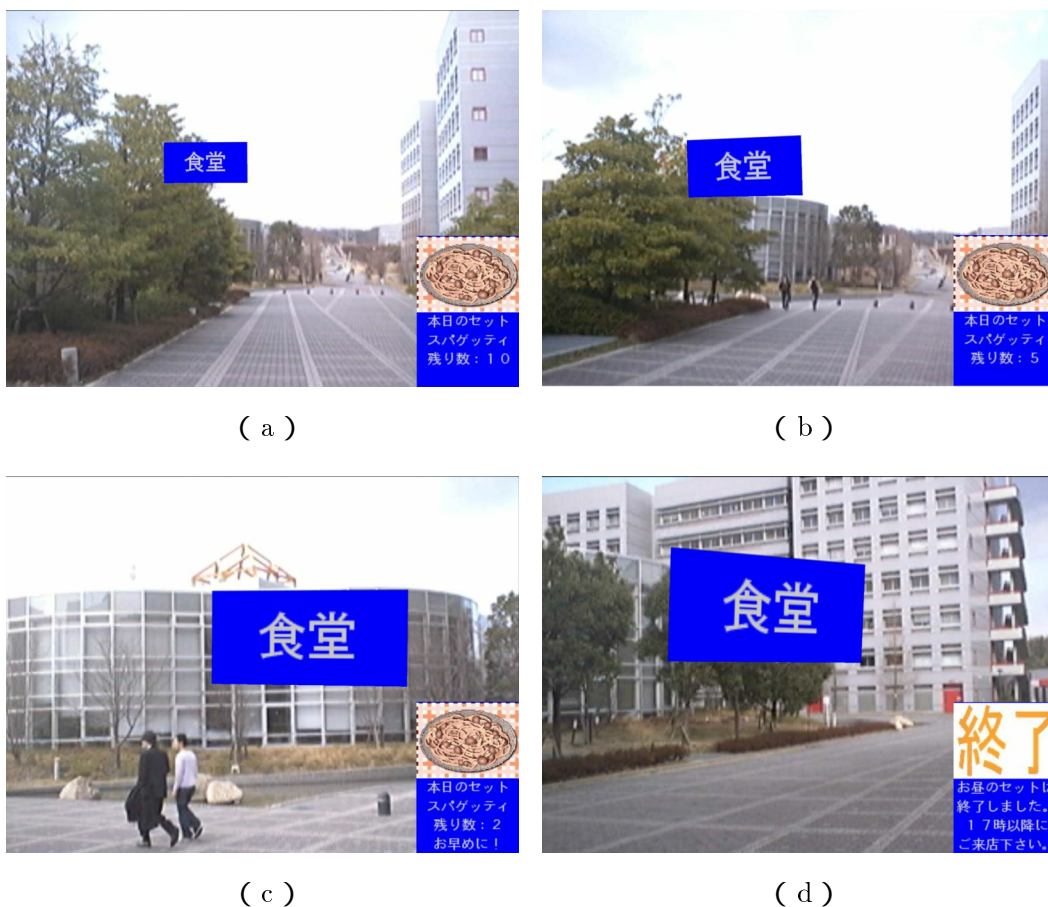


図 22 注釈情報の更新

#### 4.3.2 注釈情報獲得範囲の検証

ユーザの位置付近に存在する注釈の情報を選択するソフトウェアのパラメータの変化による影響を調べるために、学内及びその周辺に注釈情報を追加し、現実環境の同じ位置でパラメータを変化させて注釈情報の獲得及び重畳表示実験を行った。

図 23 は図 20 中の A,C 地点においてパラメータを 50m と 500m に設定して注釈情報を獲得し、ユーザに提示された合成画像の例である。パラメータが 50m の場合、ユーザ付近の注釈のみが重畳表示されたが、パラメータが 500m の場合、注釈画像どうしが重なり合って表示される場合や、手前の建物等で隠蔽され、ユー



A 地点: パラメータ 50m



C 地点: パラメータ 50m



A 地点: パラメータ 500m



C 地点: パラメータ 500m

図 23 異なる基準で注釈情報を取得した際の合成画像の例

が見ることの出来ない施設の注釈が表示されるといった場合があった。

#### 4.3.3 モバイル PC のユーザによる注釈情報の追加実験

提案システムの応用実験として、モバイル PC のユーザによる注釈情報の追加実験を行った。本実験では、注釈情報の提供者は無線 LAN の内蔵されたモバイル PC 及び位置センサとしてハンディ GPS を保持している。モバイル PC のユーザが注釈情報追加ページにアクセスすると、ユーザの現在地付近の地図が表示され、3.3.2 に示した方法により、特定のグループに対して集合場所を示す注釈情報の追加を行った(図 24)。その後、ウェアラブル拡張現実感システムのユーザに





モバイルPCユーザの外観



現在地付近の地図が表示された画面

図 24 モバイルPCによる注釈の追加

は集合場所付近に注釈が重畳表示された画像が提示され、その画像を見ることで集合場所へ向かった。ユーザが集合場所へ向かう様子を図 25 に示す。はじめは注釈が表示されない状態で集合場所に向かったユーザが、図 20 の C 地点付近までたどり着くと、図 20 の D 地点付近に集合場所を示す注釈が提示された。図 25 (a) ~ (d) は、注釈が提示される前後のユーザの様子及び提示された画像である。その後は、図 25 (e), (f) に示されたように、注釈の重畳表示された画像を見ながら移動することで、ユーザは容易に集合場所に到着できた。

#### 4.4 考察

本実験により、提案する注釈情報データベースを用いて、注釈情報を追加できることを確認した。また、ウェアラブル拡張現実感システムのユーザが位置に応じて注釈情報を獲得し、合成画像が閲覧可能であること、さらに、注釈情報の追加・修正が WEB ブラウザを用いて容易に行え、かつその更新をウェアラブル拡張現実感システムを装着したユーザに実時間に提示可能であることを確認した。

しかし、ユーザの位置付近の注釈情報の獲得を行うという方法について、以下の二点の問題がある。

注釈の獲得基準について：本実験では、どの注釈を獲得するかフィルタリング

方法として「ユーザの位置付近の注釈を獲得する」という方法を用いた。その際、選択ソフトウェアのパラメータをあらかじめ固定して実験を行った。しかし、これは実験を行う中で経験的に決定した値であり、常にこの値が最適なわけではない。実際、ユーザの存在する位置付近に注釈が多量に存在する場合、同じ基準で注釈を獲得しても、注釈画像が多く重畳表示されすぎるために視認が出来ないといった問題や、ユーザが遠くの注釈情報を見たい場合に対応できないといった問題が存在した。

隠蔽関係について：ユーザから近い位置に存在する注釈であっても、建物等に隠蔽されているために、本来は見えない位置に注釈情報が表示され、違和感が生じる場合があった。

直感的に情報を重畳表示するウェアラブル拡張現実感システムにとって、ユーザの位置から余りにも遠い位置に付加されている情報は明らかに不必要である。したがって、最低限のフィルタリングとして「ユーザの位置付近の注釈を獲得する」という方法は必ず必要である。ただし、獲得するか否かの最適な基準値は、ユーザの位置によって変化すると考えられる。注釈情報の密度の高い地域においては、パラメータを小さくすることで付近の情報のみを取得し、密度の高い地域においてはパラメータを大きくし、ある程度広範囲に情報を獲得するといったように、ユーザの位置に応じてパラメータを動的に決定する必要がある。また、注釈情報を獲得する基準としては、ユーザと各注釈との距離以外にも、特定のカテゴリの注釈情報のみを獲得する方法も考えられる。しかし、特定のカテゴリの注釈を獲得する等のフィルタリングを行う場合には、ユーザからサーバへリクエスト情報を送る必要がある。したがって、ウェアラブル拡張現実感システムの側にリクエスト情報をサーバに送信可能なインタフェースを用意することで、今後はより高度なフィルタリングが行えると考えられる。

隠蔽関係についての今後の課題としては、現実環境の情報との統合が挙げられる。提案する注釈情報データベースは、現実環境のどの位置にどの注釈情報が存在するかのみを保持するものであり、現実環境に関する情報(どこにどのような形状の建物が存在するか等)は保持していない。仮想物体と実物体との前後関係を考慮し、隠蔽問題を解決するには、注釈情報と共に現実環境に存在する建物の

三次元形状等の情報が必要である。したがって、現実環境の三次元地図をデータベースに格納しておき、ユーザに位置付近の地図情報を注釈情報と共に送信することで、今後解決することが可能と考えられる。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

図 25 注釈情報を見て集合場所を目指すユーザ

## 5. むすび

本論文では、注釈情報データベースをネットワークを介して共有することでデータベースの追加・更新が容易に行えるウェアラブル拡張現実感システムのための注釈情報データベースを提案した。提案システムでは、無線ネットワークを介して通信可能なサーバに注釈情報データベースを設置することで、全ての注釈情報の提供者及びウェアラブル拡張現実感システムのユーザによるデータベースの共有を行う。そのため、注釈情報の提供者はデータベースを更新することで最新の注釈情報を効率よく提供することができ、また、ウェアラブル拡張現実感システムのユーザは常に最新の注釈情報を獲得し、注釈情報の付加された合成画像を見ることができる。実際に、有効性を確認するために無線ネットワークの使用できる環境においてプロトタイプシステムを構築し実験を行った。そして実験を通して、ウェアラブル拡張現実感システムが位置に応じて注釈情報を獲得し、ユーザに合成画像を提示できること、また、WEBブラウザを用いての注釈情報の更新がウェアラブルシステムに実時間で反映可能であることを確認した。

今後の展望としては、より大規模な環境における注釈提示と、注釈情報を獲得する際のより高度なフィルタリングが挙げられる。提案システムを用いることで、無線ネットワークが使用可能な地域であれば、より広域な環境でのウェアラブル拡張現実感システムの使用が可能となる。その際、環境が広域になるにつれて注釈の数は増大するため、今までよりも高度なフィルタリングが要求されると考えられる。

## 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，御指導を頂い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．本研究を進めるにあたり，温かい御指導をして頂いた視覚情報メディア講座 山澤 一誠助教授 に深く感謝いたします．そして本研究の遂行に多大なる御助言，御鞭撻を賜った視覚情報メディア講座神原 誠之助手 には厚く御礼申し上げます．また，本研究を行うにあたり，適切な御助言を頂きました視覚情報メディア講座 佐藤 智和助手 に深い感謝の意を表します．

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の諸氏に深く感謝致します．特に，常日頃本研究をサポートして頂いた 天目 隆平氏 に深く感謝致します．また，本研究の実験を幾度となくお手伝いして頂いた 中里 祐介氏，穴吹 篤志氏に深く感謝致します．最後に，物心両面において常に温かい御支援を頂いた，視覚情報メディア講座 守屋 知代女史 に深く感謝します．

## 参考文献

- [1] S. Mann: “ Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging , ”  
IEEE Computer, Vol.30, No. 2, 2002.
- [2] R. Azuma: “ A Survey of Augmented Reality , ”Presence, Vol. 6, No. 4, pp.  
355-385, 1997.
- [3] M. Kanbara, T. Okuma, H. Takemura and N.Yokoya: “ A Stereoscopic Video  
See-through Augmented Reality System Based on Real-time Vision-based  
Registration , ”Proc. IEEE Int. Conf. on Virtual Reality 2000, pp. 255-262,  
2000.
- [4] S. Julier, M. Lanzagorta, Y. Baillet, L. Rosenblum, S. Feiner, T. Holler, and  
S. Sestito: “ Information Filtering for Mobile Augmented Reality , ”Proc.  
IEEE/ACM 1st Int. Symp. on Augmented Reality, pp. 3-11, 2000.
- [5] M. Kourogi, T. Kurata, and K. Sakaue: “ A Panorama-based Method of Per-  
sonal Positioning and Orientation and Its Real-time Applications for Wear-  
able Computers , ”Proc. 5th Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 107-114,  
2001.
- [6] K. Satoh, K. Hara, M. Anabuki, H. Yamamoto, and H. Tamura: “ TOWN-  
WEAR: An OutdoorWearable MR System with High-precision Registration,  
”Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed Reality, pp. 210-211, 2001.
- [7] J. Loomis, R. Golledge, R. Klatzky, J.Speigle, and J. Tietz: “ Personal  
Guidance System for the VisuallyImpaired , ”Proc. Int. Conf. on Assistive  
Technologies, pp. 85-90, 1994.
- [8] M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. Furness III: “ Wearable Computers for  
Three Dimensional CSCW , ”Proc. 1st Int. Symp. on Wearable Computers,  
pp. 39-46, 1997.

- [9] M. Kourogi, and T. Kurata: " A Wearable Augmented Reality System with Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis , "Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality(ISMAR 03), pp.342-343, 2003.
- [10] 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 (CAST 01), pp. 89-93, 2001.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 小田島太郎, 神原誠之, 横矢直和: " GPS を用いた屋外で利用可能なウェアラブル型拡張現実感システム, "情報科学技術フォーラム (FIT) 一般講演論文集, Vol. 3, No. I-96, 2002.
- [14] 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情報システム, "信学技報, PRMU2002-181, pp. 73-78, 2003.
- [15] <http://www.media.mit.edu/>
- [16] <http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/wia/>
- [17] 雨宮智浩, 檜山敦, 中茂睦裕, 福島智, 広田光一, 廣瀬通孝: " 盲聾者ナビゲーションのためのウェアラブル指点字インタフェースの研究 , "ヒューマンインターフェース学会報告集, vol. 4, No. 3, pp. 11-14, 2002.



- [18] 小見正幸, 尾崎徹, 杉本千佳, 柴健次, 保坂寛, 板生清, 苗村潔: “ヘルスケア用ウェアラブルセンシングユニットの開発研究,” 2002年春季マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, pp. 19-20, 2002.
- [19] 河村竜幸, 上岡隆宏, 浮田宗伯, 河野恭之, 木戸出正継: “着用指向情報パートナーにおける記憶支援システムの開発に向けて,” 人工知能学会第3回 AI若手の集い MYCOM2002, 2002.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] S. Julier, M. Lanzagorta, Y. Baillet, L. Rosenblum, S. Feiner, T. Höller, and S. Sestito: “Information Filtering for Mobile Augmented Reality,” Proc. IEEE/ACM 1st Int. Symp. on Augmented Reality, pp. 3-11, 2000.
- [24] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura: “AR Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality,” Proc. Int. Conf. Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 1226-1229, 1998.
- [25] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Juriet, and B. MacIntyre: “Recent advances in augmented reality,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.6, pp.34-47, 2001

- [26] 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
- [27] P. Milgram and F. Kishino: “ A taxonomy of mixed reality visual display, ”IEICE Trans. Inf. and Syst. , Vol.E77-D, No.12, pp.1321-1329, 1994
- [28] S. Feiner, B. MacIntyre, and D. Seligmann: “ Knowledge-based augmented reality, ”Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, pp. 52-62, 1993.
- [29] 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, 2003.
- [30] 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, No. 4, pp. 37-42, 2003.
- [31] T. Gleue, and P. Daehne: “ Design and Implementation of a Mobile Device for Outdoor Augmented Reality in the ARCHEOGUIDE Project, ”Proc. VAST '01, pp. 28-30, 2001
- [32] P. Daehne, J. Karigiannis: “ ARCHEOGUIDE: System Architecture of a Mobile Outdoor Augmented Reality System , ”Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 263-264, 2002.
- [33] 蔵田武志, 大隈隆史, 興梠正克, 加藤丈和, 坂上勝彦: “ VizWear: コンピュータビジョンとウェアラブルディスプレイによる人間中心インタラクション , ”高臨場感ディスプレイフォーラム 2001, pp. 47-52, 2001.
- [34] A. State, G. Horita, D. Chen, W. Garrett, and M. Livingston: “ Superior Augmented Reality Registration by Integrating Landmark Tracking and Magnetic Tracking , ”Proc. SIGGRAPH'96, pp. 429-438, 1996.

- [35] 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.
- [36] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, and T. Webster: " A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban environment, " *Proc. Int. Symp. on Wearable Computers*, pp. 208-217, 1997.
- [37] 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.
- [38] W. Piekarski, and B. Thomas: " Bread Crumbs: A Technique for Modelling Large Outdoor Ground Features , " *Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*, pp. 269-170, 2002.
- [39] 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 , " *信学技報*, PRMU2002-180, pp. 67-72, 2003.
- [40] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: " A Wearable Augmented Reality System for Navigation Using Positioning Infrastructures and a Pedometer , " *Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality(ISMAR 03)*, pp. 344-345, 2003.
- [41] S. Guven, and S. Feiner: " Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual reality , " *ISWC* , pp. 118-126 , 2003
- [42] Piekarski, W. and Thomas, B. H. " An Object-Oriented Software Architecture for 3D Mixed Reality Applications , " *Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality(ISMAR 03)*, pp. 247-256, 2003.