

## ウェアラブルコンピュータを用いた万博記念公園 ナビゲーションシステムの設計と実装について

宮前 雅一<sup>†</sup> 岸野 泰恵<sup>†</sup> 寺田 努<sup>††</sup> 塚本 昌彦<sup>†</sup> 平岡 圭介<sup>†††</sup> 福田 登仁<sup>†††</sup> 西尾章治郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科

<sup>††</sup> 大阪大学サイバーメディアセンター

<sup>†††</sup> ウエストユニティス株式会社

大阪府吹田市にある万博記念公園は、バリアフリー化が進み、健常者・身障者を問わずさまざまな人が自然を楽しみに訪れることが可能な公園である。1970年の博覧会当時には公園内にパビリオンが立ち並び、各国の特色あふれる展示や催しが行われていた。しかし、現在はそのシンボルとして太陽の塔を残すものの、パビリオンには跡地にプレートが残るのみである。そのため、公園を散策中に万博の在りし日の姿を閲覧できる、さまざまな障害をもつユーザが利用可能なナビゲーションシステムに対する要求が高まっている。そこで、本研究では万博公園のナビゲーションシステムを構築し、実運用を行う。提案システムは、ユーザが操作をしなくても能動的にユーザに万博のパビリオン情報・ナビゲーション情報を提示する。また、さまざまな障害をもつユーザや、計算機に詳しくない一般ユーザでも容易に装着・利用できる。提案システムを用いることで、ユーザは公園を散策しながらさまざまな情報を閲覧できるようになる。

### A Navigation System for Expo'70 Commemoration Park using Wearable Computers

Masakazu MIYAMAE<sup>†</sup> Yasue KISHINO<sup>†</sup> Tsutomu TERADA<sup>††</sup> Masahiko TSUKAMOTO<sup>†</sup>  
Keisuke HIRAOKA<sup>†††</sup> Takahito FUKUDA<sup>†††</sup> Shojiro NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Grad. School of Info. Sci. and Tech., Osaka University

<sup>††</sup>Cybermedia Center, Osaka University

<sup>†††</sup>Westunitis Co.,Ltd.

Expo'70 Commemoration Park in Suita, Osaka is a park richly endowed with nature. Nowadays, many people include disabled people can visit the park and get close to nature because the park employs barrier-free policies. However, since there are only commemoration plates where pavilions had been placed, visitors cannot know information about pavilions of bygone days. Thus, there are growing demands on a navigation system, which enables users include disabled people to brows various information about the park. In this paper, we construct the Expo Park Navigation System and actually demonstrate it. Using our system, users can browse for various information automatically without any operation while walking around the park.

## 1 はじめに

1970年に大阪府吹田市で開催された大阪万国博覧会 [7] は、「人類の進歩と調和」をテーマに世界各国から6421万人が集まった史上最大級のイベントである。この万博では、さまざまな国を紹介する44のパビリオンと参加企業による32のパビリオンが設置され、いずれも大きな注目を集めた。その後、その跡地は約260haの面積をもつ自然豊かな万博記念公園 [1] として整備され、撤去されたパビリオンの跡地には当時のパビリオンの名称を記したプレートが設置されている。近年では、公園のバリアフリー化が進み、健常者・身障者を問わずさまざまな人が自然を楽しみに訪れることが可能な公園として、人々に親しまれている。

しかし、年月の経過とともに1970年当時の万国博覧会を知らない世代の人々が増加し、当時の様子を知る人が公園を訪れて当時を懐かしむということも減少してきている。また、パビリオンの名称のみが記されたプレートから当時の様子を想像するのは困難である。そのため、ユーザが公園を散策中に万博の在りし日の姿を閲覧できるナビゲーションシステムに対する要望が強く、そのようなシステムによる公園の活性化が求められている。

そこで、本研究ではウェアラブルコンピュータを利用した万博記念公園ナビゲーションシステムを構築する。ウェアラブルコンピューティングとは、計算機をユーザが常に身に付けて持ち運ぶコンピューティングの一形態であり、従来の計算機の利用形態と比較して

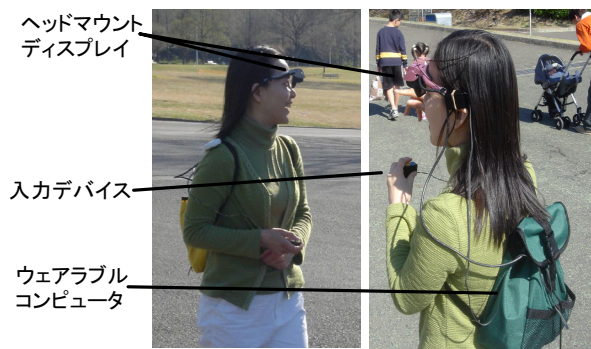


図 1: ウェアラブルコンピューティング

次の 3 つの特徴をもつ [9] .

- ハンズフリー：計算機を身体に装着しているため、両手を使用せずに情報を参照できる .
- 常時オン：計算機は常に電源が入っており、使いたいときにすぐに使える .
- 生活密着：常に計算機を装着した状態で、日常生活を行う .

実際にウェアラブルコンピュータを利用している様子を図 1 に示す . この図では、ユーザは計算機をリュックに入れて持ち運び、装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いて情報を閲覧している . ウェアラブルコンピューティング環境では、常時オン・生活密着という特徴により、計算機は GPS や地磁気センサなど各種のセンサを用いてユーザの位置や向いている方角といった状況を常時把握し、適切な情報を提供できる . また、ハンズフリーという特徴により、ユーザは行動を制限されることなく情報を閲覧できる . これらの特徴をもつウェアラブルコンピュータを用いることで、ユーザは公園の散策を楽しみながら道案内やパビリオンの情報を閲覧できるため、万博公園のナビゲーションに適したシステムが構築できる .

本研究では、万博記念公園において身障者や健常者を対象に構築したシステムの利用実験を行うことで、提案のシステムの有効性を明らかにする .

以下、2 章で提案システムの要求事項について述べ、3 章でシステムの設計を行う . 4 章で提案システムの実装および実運用について述べ、5 章で本システムを考察する . 最後に 6 章でまとめを行う .

## 2 要求事項

提案システムは、万博記念公園を訪れる計算機に詳しくない一般のユーザや障害をもつユーザが使用するため、さまざまな点を考慮する必要がある .

まず、提案システムでは、ユーザがその場で必要な情報を選択するのではなく、自動的に必要な情報を判断してナビゲーションを行なうことが求められる . このような自動的に情報を提示できるという性質 (能動性) は、ウェアラブルコンピュータの常時オンという特徴を活かすとともに、ユーザにとって便利なナビゲーションシステムにとって欠かせない性質である . このようなシステムを実現するためには、ウェアラブルコンピュータがユーザの状況を細かく取得し、ユーザの位置の変化などに応じてコンテンツを提示できる必要がある . そこで、提案システムでは GPS と地磁気センサを用いることで、ユーザの位置とユーザが向いている方角をウェアラブルコンピュータが取得できるようにする . これらのデバイスを用いることで、ユーザが見ている対象物を推定できるため、能動的なナビゲーションが可能となる .

また、提案システムは、健常者・障害者を問わずさまざまなユーザが使用し、これらのユーザは計算機に慣れ親しんでいないことが予想されるため、ユーザが複雑な操作を行なうことなく、簡単にシステムを利用できることが求められる . 盲人や聾啞者に対応するためには、音声や手話で案内を行う必要があり、それぞれに対応したナビゲーションコンテンツを作成することが必要となる . また操作方法としては、現在 CUT Key[2] や Keiboard[5] など、さまざまな携帯用入力デバイスが市販されており、文字入力など多くの操作が可能であるが、習熟には時間が必要である . 提案システムでは、能動的に情報を提示するため、文字入力といった複雑な操作は不必要であり、最低限の機能を備えた入力デバイスを用いる . 選択および決定の 2 種類の操作ができれば、ナビゲーションにおいて最低限の操作ができると考えられるため、2 つのボタンからなるデバイスを試作し、使用する .

さらに、提案システムが多数のユーザに受け入れられるようにするためには、ウェアラブルコンピュータを容易に装着でき、ユーザが自由に移動できる必要がある . ウェアラブルシステムの中にはさまざまなデバイスを用いてユーザの位置に関する高精度な情報を取得しているもの [4, 8] があるが、これらのシステムは

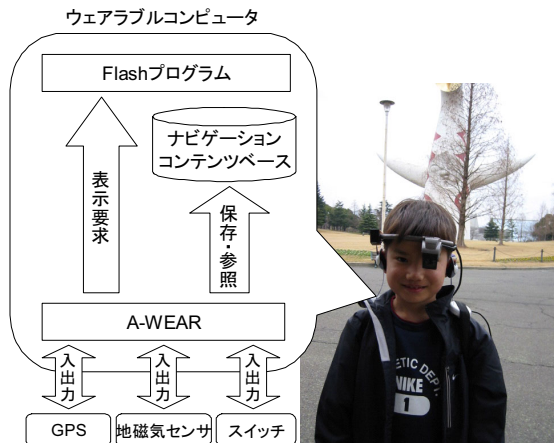


図 2: ナビゲーションシステムの構成

一般に大きく重いセンサを装着したり，体中にセンサを装着する必要があるため，装着が困難であるとともにユーザが自由に行動するのが困難であるといった問題がある．提案システムは一般ユーザが利用するため，精度よりも装着が容易であり，歩行や頭を傾けるといった動作が自由に行えることを重視してシステムを構築する．そのため，ウェアラブルコンピュータはリュックに入れ，ユーザの行動を妨げないようにする．

### 3 設計

本研究では，2章で述べた方針に基づいて万博公園ナビゲーションシステムを構築する．構築するシステムは，ユーザの移動や視点変更に応じて自動的に道案内や説明，クイズなどのコンテンツをユーザに提示する．各コンテンツは，シーンと呼ぶ扇形の領域に関連付けられ，ユーザがシーンに参加すると関連付けられたコンテンツを提示する．クイズのコンテンツでは，ユーザは，試作した2つのボタンからなるデバイスを用いて回答する．

提案システムは，筆者らが提案しているウェアラブルコンピューティングのためのルールエンジン A-WEAR[6] を基盤として用いる．A-WEAR は，状況の変化に対する処理をイベント駆動型ルールで記述できるため，能動性を満たすシステムを構築できる．提案システムの構成を図 2 に示す．提案システムは，GPS と地磁気センサからの入力をもとにシーンへの参加を

```

DEFINE Rule-ID
    [IN List-of-belonging-groups]
    [FOR Scope]
    [VAR Variable-name AS Variable-type]*
WHEN Event-type [ (Target-of-event)]
IF Conditions
THEN DO Actions
    
```

図 3: A-WEAR の ECA ルール記述構文

判定し，コンテンツを Flash プログラムを用いてユーザに提示する．A-WEAR による Flash プログラムの制御は，提示するコンテンツを XML 形式で送信することで行う．

以下，A-WEAR について詳細に説明し，次にシーンへの参加判定について述べる．その後，提案システムで使用する入力デバイスについて述べ，最後に機器の装着方法について述べる．

#### 3.1 A-WEAR

A-WEAR は筆者らの研究グループで開発しているウェアラブル環境のためのルール処理エンジンである．A-WEAR の動作は発生する事象 (イベント)，実行させるための条件 (コンディション)，イベントによって発火する操作 (アクション) の 3 つの組からなる ECA ルールで記述する．A-WEAR で使用する ECA ルールの構文を図 3 に示す．*Rule-ID* は ECA ルールを一意に識別する ID を示す．*Event-type* はルールをトリガするイベント名を示す．*Conditions* はアクションを実行するための条件を示し，AND や OR 演算子を用いて，複数コンディション間の関係を記述できる．*Actions* には実行するアクション名と引数を指定する．イベントやアクションに記述できる内容は使用するプラグインによって定義される．プラグイン形式を採用したことで，既存のプラグインを組み合わせ，ECA ルールを記述することで新たなウェアラブルシステムを構築できる．既存のプラグインでは機能が不足する場合，不足する機能を提供するプラグインを作成するだけでなく，システム自体の修正を必要としない．

これまでに実装したプラグインの一部とその機能を

表 1: プラグインの詳細

データベースプラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	SELECT	データ参照
	INSERT	タプルの挿入
	DELETE	タプル削除
	UPDATE	タプル更新
ACTION	QUERY	データベース操作
共通プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	CMN_START	システム開始直後に発火
	CMN_TIMER	タイマの発火
ACTION	CMN_EVENT	任意のイベントを発生
	CMN_DISPLAY_MESSAGE	メッセージの表示
	CMN_SETTIMER	タイマの設定
	CMN_KILLTIMER	タイマの破棄
	CMN_ADDRULE	ルールの追加
	CMN_LOAD_PLUGIN	プラグインのロード
	CMN_UNLOAD_PLUGIN	プラグインのアンロード
システム情報取得プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	SYS_POWER_CHANGED	電源状態の変更
	SYS_ENUM_DEVICE	デバイスの列挙
ACTION	SYS_STANDBY	システムのスタンバイ
	SYS_ENUM_DEVICE	デバイスの列挙
	SYS_ENABLE_DEVICE	デバイスの有効化
	SYS_DISABLE_DEVICE	デバイスの無効化
現在位置取得 (GPS) プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	MOVE	現在位置の変更
方向取得 (モーションセンサ) プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	ROTATE	方向の変化
ACTION	SET_DEFAULT	センサの初期化

表 2: 位置テーブルのスキーマ

属性名	説明
ID	位置を一意に識別する ID
LATITUDE	緯度
LONGITUDE	経度
DIRECTION	方角
RADIUS	半径
RANGE	角度の範囲

表 1 に示す . EVENT はプラグインがシステムに提供するイベントを , ACTION はプラグインが提供するアクションを示す .

### 3.2 シーンへの参加判定

提案システムでは , コンテンツ提示のトリガをシーンへの参加と定義した . 本節では , シーン参加の判定条件について述べる . 提案システムでは , 看板のように向きがある物体に対応できるように , ユーザの視界およびシーンの形を扇形で定義する . 判定方法を図 4 に示す . 図に示すように , ユーザおよびシーンは , 緯度 (LATITUDE) ・経度 (LONGITUDE) , 方角 (DIRECTION) , 角度 (RANGE) , 距離 (RADIUS)

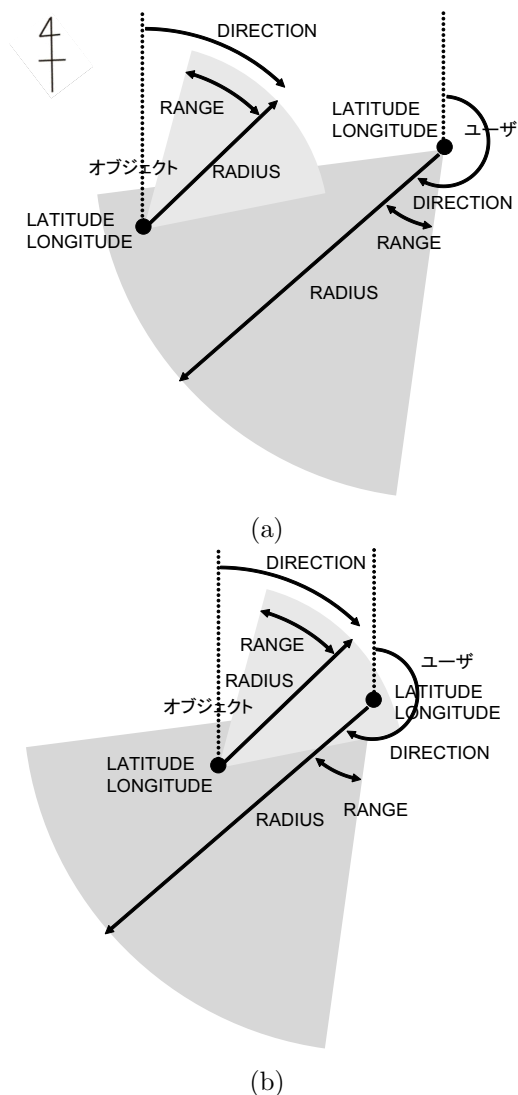


図 4: シーンの参加判定

からなる領域をもつ . ユーザとシーン双方がお互いの領域内に存在している場合にユーザがそのシーンにいると判断する . 図 4(a) では , シーンの基点がユーザの領域内に存在しているが , ユーザの基点がシーンの領域に含まれていないため , ユーザはそのシーンにいないと判定される . 一方 , 図 4(b) ではシーンとユーザの基点がお互いの領域内に存在しているため , シーン内にいると判断される .

ナビゲーションシステムは , 表形式でナビゲーションコンテンツベースに格納された各シーンの情報を利用する . ナビゲーションコンテンツベースは , 位置情報とシーン情報を位置テーブルとシーンテーブルにそれ

表 3: シーンテーブルのスキーマ

属性名	説明
ID	シーンを一意に識別する ID
POS	シーンの位置を示す位置テーブルの ID
XML	シーンの詳細

```

DEFINE OnRotate
WHEN ROTATE
IF !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.DIR, OLD.DIR, 10]
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM PositionTable WHERE
LATITUDE > %GPS.LATITUDE% - RADIUS
AND LATITUDE < %GPS.LATITUDE% + RADIUS AND
LONGITUDE > %GPS.LONGITUDE% - RADIUS
AND LONGITUDE < %GPS.LONGITUDE% + RADIUS')

DEFINE OnMove
WHEN MOVE
IF !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.LONGITUDE, OLD.LONGITUDE, 0.001]
OR !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.LATITUDE, OLD.LATITUDE, 0.001]
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM PositionTable WHERE
LATITUDE > %NEW.LATITUDE% - RADIUS
AND LATITUDE < %NEW.LATITUDE% + RADIUS AND
LONGITUDE > %NEW.LONGITUDE% - RADIUS
AND LONGITUDE < %NEW.LONGITUDE% + RADIUS')

DEFINE CheckPosition
WHEN DB_SELECT(PositionTable)
IF ?CMN.IS_OBJECT_VISIBLE(GPS.LONGITUDE, GPS.LATITUDE,
0.05, DIR.ALPHA_NORTH, 60, NEW.LONGITUDE, NEW.LATITUDE,
NEW.RADIUS, NEW.DIRECTION, NEW.RANGE)
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM SceneTable
WHERE POS = %NEW.ID%')

DEFINE DoNavigation
WHEN DB_SELECT(SceneTable)
THEN DO CALL_VIEWER(NEW.XML)

```

図 5: シーンを判定するルール

それぞれ格納している。各テーブルのスキーマを表 2, 表 3 に示す。シーンテーブルの POS 属性には、そのシーンの領域を示す位置テーブルのデータの ID を設定する。また、XML 属性には Flash プログラムで提示するコンテンツを指定するための情報を XML 形式で格納する。

A-WEAR を用いてシーン判定を行うルールを図 5 に示す。ルール *OnRotate* はユーザの向いている方向が 10 度以上変化した場合に、ルール *OnMove* はユーザの位置が 0.001 度以上変化した場合に付近にあるシーンを位置テーブルから検索する。ルール *CheckPosition* は、検索されたシーンの中で、提示すべきものをシーンテーブルから検索する。ルール *DoNavigation* は、検出されたシーンに関連付けられたコンテンツを提示する。

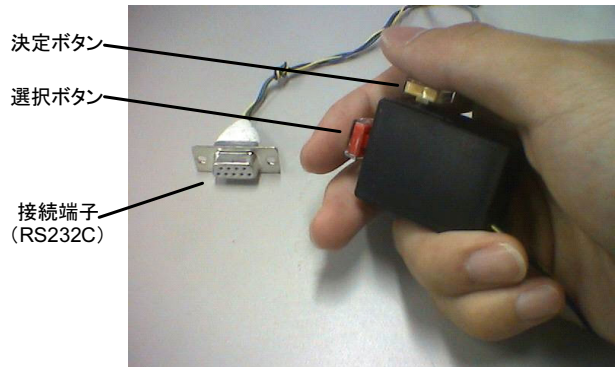


図 6: 作成したスイッチ

### 3.3 入力デバイス

使用する入力デバイスは、2 章で述べたように 2 つのボタンをもつ。入力デバイスは初めて使用するユーザでも手元を確認しなくても容易に操作できることが望ましい。そこで、本研究では図 6 に示すスイッチを作成する。このスイッチは、図のように片手で固定し、親指と人差し指で入力できるため、ユーザは容易に入力操作を行える。

### 3.4 機器の装着

提案システムは、ユーザの動作を制限せず容易に装着できるようにするため、図 1 に示すようなリュックに計算機を入れて使用する。また、地磁気センサはユーザの視点を計測するために頭部に装着する必要があるが、ユーザの装着を容易にするため、HMD に固定する。さらに、GPS は高感度で電波を受信させるため、リュックの肩部分に固定する。

## 4 実装と実運用

本章では提案システムの実装について述べ、次に実装したナビゲーションシステムの実運用について説明する。

### 4.1 システムの実装

本研究では、3 章の設計に基づき、ナビゲーションシステムを作成した。A-WEAR およびデータベースプラ

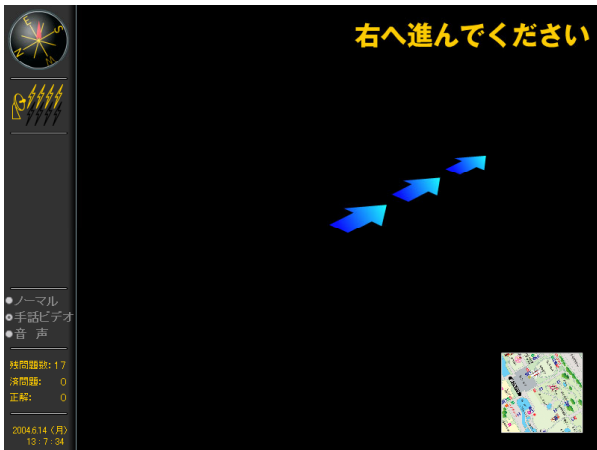


図 7: 矢印の表示例



図 9: クイズの表示例



図 8: パビリオンの説明の表示例



図 10: 現在地の表示例

ゲイン, GPS プラグイン, 地磁気センサプラグインは既存のものを用いた。また, 共通プラグインには拡張を加え, ユーザとオブジェクトの領域判定を行えるようにした。プラグインの実装には Microsoft 社の Visual C++ .NET 2003 Enterprise Architect を用いた。スイッチの作成には MicroChip 社のマイコン PIC12F675 を使用し, 8 個のスイッチを作成した。

構築したシステムは, 1970 年の万国博覧会当時の様子を紹介する。コンテンツの表示例を図 7, 図 8, 図 9, 図 10 に示す。ユーザはナビゲーションに従って公園内を散策し, 分岐点に到達すると道案内の矢印が提示され(図 7), 万国博覧会時代にパビリオンが設置されていた位置にさしかかるとパビリオンを紹介するコンテ

ンツやクイズが自動的に再生される(図 8, 図 9)。コンテンツは図 11 に示す配置で 60 個(矢印が 19 個, 3 択クイズが 18 個, パビリオン解説が 23 個)作成した。コンテンツとしては, 画像と文字, 音声で紹介する通常のコンテンツの他に, 盲人向けにコンテンツを音声のみで表現したコンテンツ, 聾唖者向けに手話ビデオを含んだコンテンツを作成した。

Flash プログラムの作成には Macromedia 社の Flash MX を用いた。この Flash プログラムは, ナビゲーションコンテンツを表示する機能に加えて, ユーザの向いている方向にあわせて現在地を地図で表示する機能(図 10)をもっている。ユーザは, 2 つのボタンからなるスイッチを用い, 「選択」および「決定」を行うことで 3

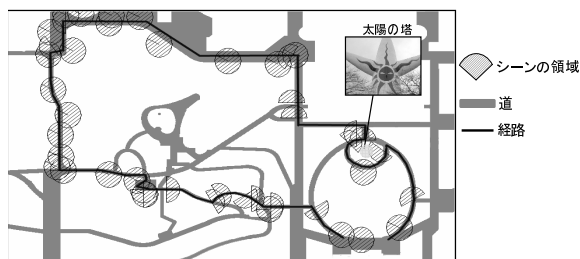


図 11: コンテンツの配置図

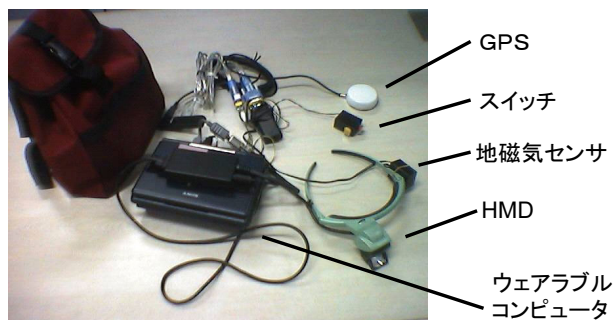


図 13: 実運用したウェアラブルコンピュータ



図 12: 実運用の様子

択クイズに答えることができる。また、クイズが表示されていないときにスイッチを押すことで、地図を拡大・縮小できる。

#### 4.2 実運用

作成したシステムは 2004 年 3 月 25 日に万博記念公園で開催されたサイバーコミュニケーション 2004[3]において実際に運用した。サイバーコミュニケーション 2004 は公園案内のバリアフリー化を目指す取り組みに関するシンポジウムで、講演と並行してナビゲーションシステムの実証実験を行った。体験者は、招待され

表 4: アンケートの結果

質問	結果の平均
1. 普段計算機を利用するか	4.1
2. 機材を持つことは負担にならないか	3.4
3. ケーブルは邪魔にならないか	2.2
4. 画面は見やすかったか	2.3
5. 操作しやすかったか	3.0
6. HMD による情報提示は便利か	3.9
7. 道案内は万博理解の助けになったか	3.5
8. ガイドブックと比べて便利か	3.5
9. ガイドブックと比べて面白い	4.0

た身体障害者 20 人、公園を訪れた一般客やシンポジウム参加者約 80 人で、1 周 1 時間程度のナビゲーションを 6 時間にわたって行った。実際にシステムを装着している様子を図 12 に示す。

使用した機器を図 13 に示す。ウェアラブルコンピュータには自作の小型計算機 4 台および SONY VAIO PCG-U3 4 台を使用し、HMD には島津製作所の Data Glass 2、GPS には RIGHT STUFF GPS-USB-RA、地磁気センサには Sensation 社の VectorCube(VC-03) を用いた。音声コンテンツを利用するユーザは、さらにヘッドホンを装着した。

## 5 考察

4 章で述べた実証実験における利用者のうち 39 人にアンケートを行った。アンケートは、あらかじめ用意した質問に 5 段階 (1 が最低, 5 が最高) で答えるものであり、そのほかに自由に意見を書く欄も用意した。アンケートの集計結果を表 4 に示す。

質問2～5はウェアラブルコンピュータのハードウェアに関する質問、質問6～9はウェアラブルナビゲーションの有効性に関する質問である。結果から、ハードウェアに関しては端末自体の重さはそれほど問題ではないものの、ケーブルが邪魔であったりHMDの画面が見にくいなど、今後のさらなる改善が必要であることがわかる。また、入力デバイスが操作しにくいと答えたユーザがいたが、これは強い力で入力すると試作したデバイスが壊れることがあったためだと考えられる。システムを利用したユーザからは、ボタンが選択・決定の2つであることに対する不満は聞かれなかったため、十分な強度をもつ入力デバイスを作成すれば実用に耐えられると考えられる。一方、ナビゲーションシステムの有効性に関しては高評価が得られた。いちいちガイドブックをめくって情報を調べる必要がないという能動的なコンテンツ提示が有効に働いたためだと考えられる。自由意見としては、ショッピングセンターで利用したい、音声認識で制御したい、チャットの機能が欲しい、複数人で移動するときに情報を共有したいといった意見を得た。今後はこのような意見をもとにシステムを拡張してさらに便利なナビゲーションシステムを実現することが課題となる。

## 6 まとめ

本研究では、ウェアラブルコンピュータを用いた万博記念公園ナビゲーションシステムを構築した。提案システムは、イベント駆動型システムA-WEARを用いることでユーザが操作をしなくても能動的にユーザに情報を提示する。また、さまざまな障害をもつユーザや、計算機に詳しくない一般ユーザでも容易にシステムを装着し、利用できる。提案システムは、実際に万博記念公園において健常者・障害者による運用を行い、アンケートを通して提案システムの有効性を検証した。

今後は、複数人による情報交換などの高度な機能を提供するナビゲーションシステムを構築する予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省21世紀COEプログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))「大規模な仮想空間システムを構築す

る放送型サイバースペースに関する研究」(プロジェクト番号:15300033)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 万博記念公園, <http://www.expo70.or.jp/>.
- [2] *CUT Key*, <http://misawa01.misawa.co.jp/CUTKEY/>.
- [3] サイバーコミュニケーション2004, <http://www.teamtsukamoto.com/cyber2004/>.
- [4] Helal, A., Moore, S. and Ramachandran, B.: *Dr-ishi: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled*, *The Fifth International Symposium on Wearable Computers(ISWC 2001)*, pp. 13–20 (Oct. 2001).
- [5] *Keiboard*, <http://www.mevael.co.jp/>.
- [6] Miyamae, M., Terada, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: *Design and Implementation of an Extensible Rule Processing System for Wearable Computing*, *The First Annual Int'l Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MobiQuitous 2004)* (Aug. 2004, to appear).
- [7] 大阪万国博覧会, <http://www.expo70.jp/>.
- [8] Tenmoku, R., Kanbara, M. and Yokoya, N.: *A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer*, *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers(ISWC 2003)*, pp. 110–117 (Oct. 2003).
- [9] 塚本昌彦: *モバイルコンピューティング*, 岩波書店(2000).