

# ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援システムに 関する研究開発報告書

平成20年3月

財団法人 日本科学技術振興財団



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。  
<http://ringring.keirin.go.jp>





# ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援システムに関する

## 研究開発委員会

(敬称略、順不同)

委員長	廣瀬	通孝	東京大学大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻	教授
委員	池井	寧	首都大学東京 システムデザイン学部 ヒューマンメカトロニクスシステムコース	准教授
"	季里		株式会社七音社	取締役
"	葛岡	英明	筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 知能機能システム専攻	教授
"	蔵田	武志	独立行政法人 産業技術総合研究所 情報技術研究部門	主任研究員
"	椎尾	一郎	お茶の水女子大学 理学部 情報科学科	教授
"	西岡	貞一	筑波大学 大学院 図書館情報メディア研究科 情報メディア開発分野	教授
オブザーバー	大野	力	財団法人 日本科学技術振興財団	課長代理
"	鴻巣	美千代	財団法人 日本科学技術振興財団	インストラクター
事務局	竹田原	昇司	財団法人 日本科学技術振興財団	理事
"	棚橋	正臣	財団法人 日本科学技術振興財団	部長
"	高原	章仁	財団法人 日本科学技術振興財団	課長
"	中村	潤	財団法人 日本科学技術振興財団	



# 報告書目次

<b>1 . ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援システム</b> .....	<b>1 - 1</b>
1 . 1 . 目的.....	1 - 1
1 . 2 . 背景.....	1 - 1
1 . 3 . 内容.....	1 - 2
1 . 4 . 科学館学習支援システムのあり方 .....	1 - 2
<b>2 . 科学技術館における学習支援システムの機能</b> .....	<b>2 - 1</b>
2 . 1 . 来館者支援.....	2 - 2
2 . 1 . 1 . 展示物解説支援 .....	2 - 2
2 . 1 . 2 . 誘導（ナビゲーション） .....	2 - 2
2 . 1 . 3 . コミュニケーション機能.....	2 - 3
2 . 1 . 4 . 学習意欲支援（見学動機付け）機能.....	2 - 4
2 . 2 . 施設側支援.....	2 - 4
2 . 2 . 1 . 展示物評価支援 .....	2 - 4
2 . 2 . 2 . 来館者ニーズの把握支援.....	2 - 4
<b>3 . 調査実験</b> .....	<b>3 - 1</b>
3 . 1 . 記銘支援試作システムによる評価実験 .....	3 - 1
3 . 1 . 1 . 概要.....	3 - 1
3 . 1 . 2 . 実験目的.....	3 - 2
3 . 1 . 3 . 記銘支援システム .....	3 - 3
3 . 1 . 4 . 実験手法.....	3 - 5
3 . 1 . 5 . 実験結果.....	3 - 12
3 . 1 . 6 . おわりに.....	3 - 15
3 . 2 . モバイル科学技術館学習支援システム実験報告.....	3 - 16
3 . 2 . 1 . はじめに.....	3 - 16
3 . 2 . 2 . 来館者の位置と向きを計測する技術.....	3 - 17
3 . 2 . 3 . 昨年度の科学技術館ナビゲーションシステム実験概略 .....	3 - 19
3 . 2 . 4 . 追体験のためのモバイルツール .....	3 - 28
3 . 2 . 5 . 外部でのシステム性能検証実験 .....	3 - 35
3 . 2 . 6 . モバイル科学技術館学習支援システム実験の構成 .....	3 - 36
3 . 2 . 7 . モバイル科学技術館学習支援システム実験の実施 .....	3 - 50
3 . 2 . 8 . おわりに.....	3 - 63
<b>4 . 今後の展開</b> .....	<b>4 - 1</b>
<b>付録 1 . ポータブル記憶支援システム</b> .....	<b>付録 1 - 1</b>
付録 1 . 1 . 掲示資料 .....	付録 1 - 1
付録 1 . 2 . 実験状況 .....	付録 1 - 1
付録 1 . 3 . 被験者への説明資料 1 .....	付録 1 - 2
付録 1 . 4 . 被験者への説明資料 2 .....	付録 1 - 3

<b>付録 2 . モバイル科学技術館学習支援システム実験.....</b>	<b>付録 2 - 1</b>
付録 2 . 1 . 被験者への説明と同意に関する書類 .....	付録 2 - 1
付録 2 . 1 . 1 . 人間工学実験計画書.....	付録 2 - 1
付録 2 . 1 . 2 . 同意書 .....	付録 2 - 1 2
付録 2 . 1 . 3 . 写真及びビデオ公表についての承諾書 .....	付録 2 - 1 3
付録 2 . 2 . GUI パーツ.....	付録 2 - 1 4
付録 2 . 2 . 1 . スタート画面 .....	付録 2 - 1 4
付録 2 . 2 . 2 . メインメニュー .....	付録 2 - 1 4
付録 2 . 2 . 3 . 視点変更メニュー .....	付録 2 - 1 4
付録 2 . 2 . 4 . 現在位置方向修正メニュー .....	付録 2 - 1 5
付録 2 . 2 . 5 . 階選択メニュー .....	付録 2 - 1 5
付録 2 . 3 . Flash 説明コンテンツ .....	付録 2 - 1 6
付録 2 . 3 . 1 . 各展示室及び展示物の静止画と音声による説明.....	付録 2 - 1 6
付録 2 . 3 . 2 . オプト展示室の各展示のアニメーションによる説明.....	付録 2 - 1 8
付録 2 . 4 . アンケート.....	付録 2 - 2 3

## 1. ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援システム

### 1.1. 目的

以前、競輪の補助金を受けて実施した「博物館閲覧支援システム構築に関する調査研究」においてモバイル機器を使用した博物館閲覧支援システムを構築し実証実験を含む調査・研究を行い、PDA等のモバイル機器を使用した閲覧支援システムの有効性を実証した。しかし、同システムは幾通りかの設定が可能であったが、事前に設定した通りにしか情報を提供できない等の制約があった。

今回はより実用的で柔軟性に富むインタラクティブ環境を提供し、ユビキタス社会を想定した先進的な研究として、より身軽なウェアラブル機器を使用し、一方的に情報等を提供するのではなく、双方向性を持たせた学習支援を行うシステムを研究する。

そして、展示物と来館者はもとより、来館者同士の連携や例えば来館者と解説者とのインタラクティブなコミュニケーションが手軽にできることを目標に、モバイル機器と違ってハンズフリーなウェアラブル機器を使い、来館者が欲しい時に欲しい情報や学習に必要な情報を的確に得られる学習支援システムに関する研究開発を行うことを目的とする。

### 1.2. 背景

青少年の科学・技術に関する理解増進、あるいはより関心を持ってもらうために、生涯学習機関として理工系博物館（科学館）が重要な役割を担う必要に迫られている。これには科学館来館者のニーズに呼応した的確な情報の提供ができる手法として、来館者自らの体験的発見を誘導するファシリテータの育成・導入を始め、時代に即応する展示環境の一層の整備充実が科学館側に求められている。また、総合的な学習や生涯学習と言った教育的見地からの要求にもこたえる必要があり、インターネットが発達した今では情報量や多メディア化、スピードなど人によるサポートだけでは時代に対応できない面が発生してきている。そのために情報通信技術（ICT [ Information and Communication Technology ]）を利用した情報提供がいろいろ考え出されてきている。

その情報通信技術のデバイスとしてモバイルやウェアラブルといった主に無線を利用した情報機器が発達し、来館者個々人が容易に利用できる条件も整いつつある。「博物館閲覧支援システム」では、PDAや携帯電話といったモバイル機器を使用して、来館者に展示内容の解説支援を行うなどのサービス向上が出来ることを実証してきた。

これらモバイルやウェアラブル機器を利用したICT関連事業は、ユビキタス社会の到来に伴い、今後さらに発展する分野であり、特にウェアラブル機器を利用したシステムは製造現場やメンテナンス等の作業支援、遠隔地からの作業指示、ヘルスケアや救急医療支援等と様々な研究が行われており、実際の現場で利用される環境が整いつつある。

しかし、ウェアラブル機器の実用面での利用については様々な提案・研究がなされているものの、まだ始まったばかりであり、また、ハード面でも不特定多数の方が使用する場

合のサイズや装着感の問題など、解決すべき問題点があり普及が遅れている現実がある。これらの問題を科学館学習支援システムという切り口で、来るべきユビキタス社会の到来に伴い必要不可欠であろうウェアラブル機器の開発、普及を実現させるべく、利用者サイドに立った研究による社会的ニーズの把握が不可欠と考える。

そのために、ウェアラブル機器を使った科学館学習支援システムを構築し、科学技術館で調査実験を行う。

### 1.3. 内容

メガネや時計、あるいは洋服や帽子の様に手に持たずに身に付けることができるウェアラブル(wearable)機器を使った、ハンズフリーという特性を活かした科学館学習支援システムを試作し、その有効性に関する調査を行う。

来館者にウェアラブル機器を装着してもらい、館内を見学している最中にウェアラブル機器を通して展示物に対する解説等の学習支援を行う。その後、学習内容・方法、ウェアラブル機器の装着感等をアンケート形式で記入してもらい、その結果から有効性の検証及び実用化に向けた課題の抽出を行う。

評価はウェアラブル機器を使用した場合と、ウェアラブル機器を使用せずハンドヘルド型機器を使用した場合とを比較して行う。

実際の実験システムの詳細については第3章に記載しているが、学習支援を行うに当たって、来館者の現在位置と向いている方向を認識することが技術的には大きな鍵となっている。多くの科学館の展示物は建物の中に設置されており、GPS<sup>1</sup>を利用しての位置測定は利用できない。また、屋内に位置センサーを張り巡らせることも設置費用やメンテナンスコストを考えると実用的とはいえない。そこで今回は無線LANのアクセスポイントおよびアクティブRFID<sup>2</sup>を利用して位置の測定を行う。また、向きについては外部機器による測定は困難であることから、来館者にジャイロや地磁気センサーを身に付けてもらうことで測定可能とした。

### 1.4. 科学館学習支援システムのあり方

ウェアラブル機器を使った科学館学習支援システムに関する研究開発として科学技術館を実験フィールドとすることで、具体的な科学館学習支援システムのあり方を検討してみる。

まず、本研究開発は科学技術館の学習支援を目的とするものであり、ウェアラブル機器自体も科学技術の賜物であるがウェアラブル機器を前面に出すのではなく、機器と学習支

---

<sup>1</sup>GPS(Global Positioning System)。アメリカが打ち上げた衛星からの電波をもとに、地上にいる自分の場所を測位するシステム。

<sup>2</sup>RFID(Radio Frequency Identification)のうち電池等の電源を内蔵したもので自ら電波を発する。ID情報を埋め込んでおり無線通信によって情報をやりとりする。



援とのバランスを考えるべきである。実際、目の前に展示物があるのに何を見せるのか、という問いが発せられるが、存在する展示物だけでは補えない展示物に対する補足説明や類似展示物への誘導、技術史、社会背景などを身に付けているウェアラブル機器を通して、文字や音声、画像、あるいは映像と言ったメディアで学習支援していく事が考えられる。その場合、画像や音声は本当に必要なのか、実物を見てもらうほうが先決ではないか、という意見もあるが、学習支援システムとしては、見ただけでは分からない人に対して支援を行うことが目的なので、実物を見てもらったうえで、解説等の情報提供支援を行うことになる。

ウェアラブル機器を装着して科学技術館内を歩くと、展示物が反応したり、ハンズオン可能な仕掛けがあると面白い。ただこれも歩き回るたびに反応するのでは興醒めしてしまうし、システムの方が何も学習していないことになる。食わず嫌いの解消となるような、押し付けになり過ぎず興味をすくい上げるのに適切な回数や分量の解説が求められる。展示物側にセンサー等の仕掛けを施すのであれば、同様に展示物に工夫を施し、他の展示物とのリンクを上手に張ることで、埋もれがちなマイナー展示に対する興味をひきつけることができるのではないかとと思う。

そうであれば、来館者がある程度選択できるシステムであれば良いのではないだろうか。例えば、来館者の関心があるワークショップの演示時間や混雑状況（あるいは混雑予想）を知らせるナビゲーション（誘導型）コンテンツも考えられ、開始時間までの待ち時間にディズニーランドのようにワークショップの概要が見られるようになると事前学習となり学習効果もあがることになるのではないだろうか。

ここで実験システムとして、例えば科学技術館のサイトに載っている「おすすめ見学コース」のうち1つをパイロットコースとして実施してみることを考えてみる。サイトには学年向けやテーマ、閲覧時間といったカテゴリーでコースが並んでいる。学習支援としては単にコースの案内をするだけではだめで、コースでは「何をみせるか？」が大切であり、これを見ましよう、イコール強制ではなく、例えばコンテンツを見せ、その場で選択できたりすることが望ましい。誘導型であれば、音声で指示する方法もあるが、画面に科学技術館のマップ（できれば3D）を表示し一緒に来館者の現在位置を表示してコース案内をするのが妥当であろう。カーナビよろしくまさしく館内のナビゲーションシステムとなる。

数あるコースの中から推薦ルートとして一つのコースを提供するとしても、コース自体も1つのコンテンツとなり得るので、コースに忠実に沿っていく事が良いのか、来館者がコースを自由に組みかえられる方が良いのかという問題が発生する。今までの経験から誘導型のシステムを導入する場合、ストーリーの組み立てと施設の配置の関係が大きく影響することがあるので、十分検討する必要がある。科学技術館の展示は業界出展方式のため2から4階はブース単位で閉じた世界になっており、関連性やストーリー性は見出せないで、

あまり考慮する必要はないものと思われる。5階に関してはフロアのコセプトがあるので、そこは配慮する必要がある。ストーリー性をあまり考慮しないのであれば、コースから外れて「寄り道」することも可能とすべきであろう。技術的にはセンシングとビューアは別機能であり、コースから外れてもセンサーの範囲内であればシステムで現在位置を捉えることができる。また RFID タグなどを利用して位置補正を行うことになる。

「寄り道」とは書いたものの、実際に「寄り道」をするためにはコース以外の周囲が見える必要がある。コース上以外に興味をそそられる何かを発見しない限り「寄り道」そのものがないからである。通常歩いている時に、目に飛び込んできたものや音のするほうに興味を持てばその方向に動き始めることになる。システム上の画面にも似たような機能が必要になる。コースやコース上の情報だけでなく、カーナビのガソリンスタンドや駐車場等の周辺施設表示のような機能を設けて、コースの周囲に存在する展示物に対しても（簡易な）情報を提供する必要がある。

となると別の使い道も考えられ、オリエンテーリングやスタンプラリーの要素を入れてみることで、宝探しの様なワクワク感をだしたり、インカム を使って指令を出すなどのアレンジをいれて展示物から展示物への移動の楽しさを出すなどシステムに柔軟性を持たせることで子供から大人まで楽しめるのではないだろうか。そしてシステムへのフィードバックとして解説だけではなくアンケートも取り入れてみると面白い。

システムとしては来館者の現在位置を把握できるので時系列でログを取ると来館者の軌跡になる。そうすると、例えば帰りに今日のヒストリーとして軌跡をプリントアウトして渡すなどして体験が強化される。来館者が歩き回った軌跡データを保存しておきリピート時に前回の履歴を表示するなどするのも面白いし、インターネットを使って自宅から履歴を見られれば次回は前回見ていない展示物を見ようという事前学習にも似た効果が得られる。個々人の軌跡データを重ね合わせれば訪れた展示物等のランキングを見せることも可能となる。

インターネットが使えるのなら学習支援の解説者として科学技術館の職員だけでなく、ネットを通じて外からのガイドができると職員の負担が減るのではないだろうか。

解説の中身（コンテンツ）については管理者などではなく、各セクション（科学技術館の担当者）が直接に、しかも簡単に入力できるのが望ましい。例えば Wiki 等の技術を使って職員だけでなく来館者も知見やその体験記録をシステムのコンテンツとして入力することで、システムのコンテンツが増えるとともに、入力した来館者は次回来た時に「私はあの時こんなことを感じていたんだ。」などとその時の体験記憶を追認することになる。一方、他の来館者にとっては別の来館者との情報共有ができることになり、館側からの一方通行の情報提供ではなく、自分たち来館者も作成者側に回れるという気持ちから学習意欲が湧くことになると思う。（ネットの匿名性や個人情報の扱いなど現実問題として処理しなければ

ばならない課題はあるが、システムの形態の一つとしては存在するであろう。)

システム実験としては他の方法(例えば、紙のパンフレットやウェアラブル以外の IT 機器など)との違いを比較実験として行う必要がある。



## 2. 科学技術館における学習支援システムの機能

科学館における学習支援システムに関する機能はいくつかあるが、大別すると来館者向けのサービスに関する機能と来館者サービスに結びつく施設側支援に関する機能の2つに分けられる。来館者の学習支援サービスの提供に当たっては施設側のシステム支援も必要不可欠な機能として挙げられる。科学館学習支援システムに関する主な機能を図2-1に示す。

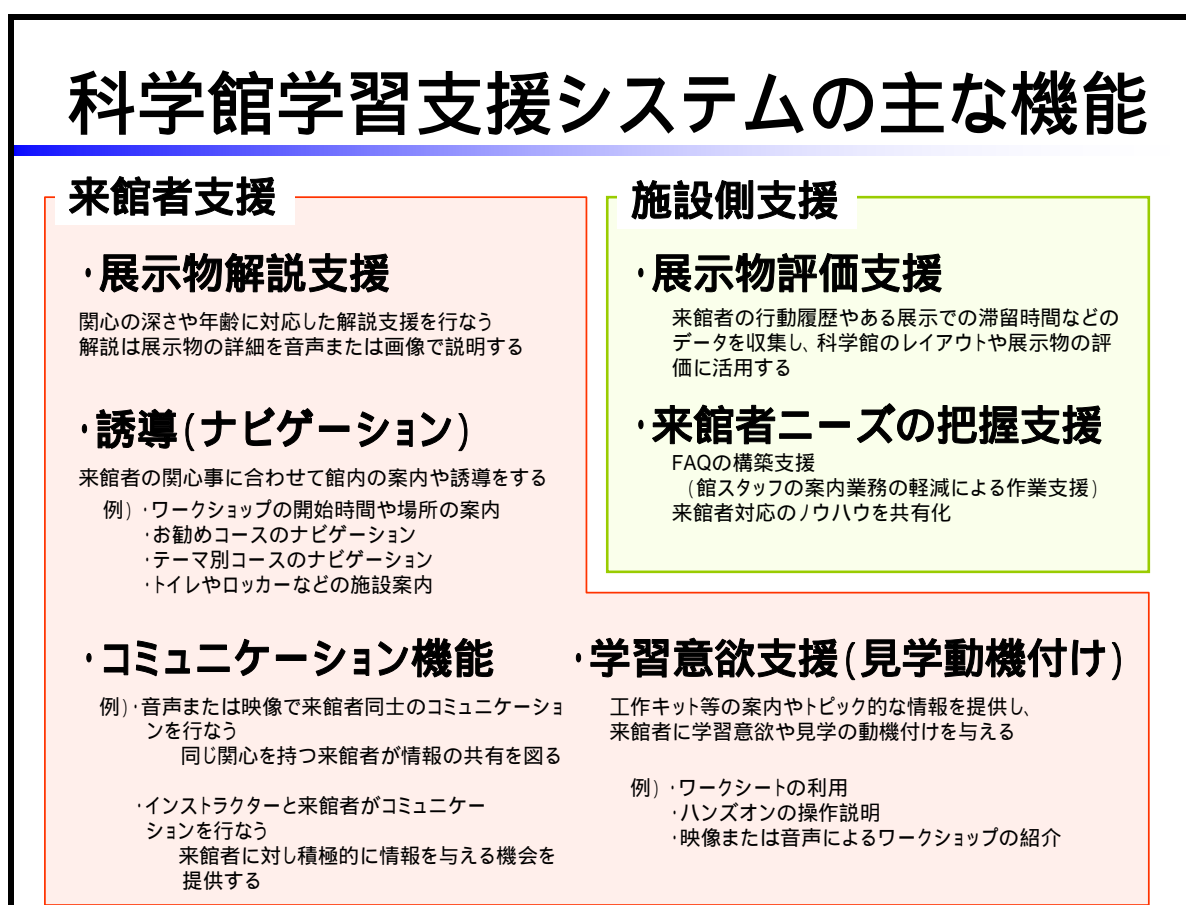


図 2 - 1 科学館学習支援システムの主な機能

なお、「展示物解説支援」機能は平成12年度から平成14年度に実施した「博物館閲覧支援システムに関する調査研究」で既に実施しており、平成18年度には「誘導(ナビゲーション)」機能を実装し、平成19年度には「学習意欲支援(見学動機付け)」機能の一部をシステムに組み込み調査実験を行った。また「展示物評価支援」機能の一部として追体験ができる行動履歴分析ツールの作成を行っている。

## 2.1. 来館者支援

### 2.1.1. 展示物解説支援

学習支援システムの根幹となる機能である、来館者の興味や関心などに合わせた解説を提供することで学習支援という来館者サービスの充実が図れる。また、解説の提供手段としてインストラクタやファシリテータと言ったヒトが対応する方法と、ヒトではなくパネルや解説装置、あるいはマルチメディア機器などを利用した方法など様々なものがあるが学習支援システムでは ICT 機器を利用して解説の提供を行うことを主とする。

目の前にある展示物そのものについての解説はもちろんのこと、元になった科学的理論や法則、製作に至る技術やその背景など付随するさまざまな情報提供も学習支援となり、提供方法だけでなく、情報 = コンテンツとしての振る舞いも考える必要がある。解説提供として音声が良いのか映像でなければいけないのか、文字で良いとした場合でも言語はもとより文字の大きさやレイアウトなど考慮しなければならない事が多くある。これはパネル等のハードウェアでは限りがあるが、ICT 機器を利用したシステムであれば来館者の関心の深さや年齢、言語に対応した解説支援を行なうに当たって上記の制限はほとんど無いと言って良い。

一方、来館時だけでなく来館前後や来館できない場合の解説提供も科学館が持てる大きな学習支援となる。例えば科学館を訪れる前に予めどのような展示物があるかを知って置くことは目的をもって来館する事にも繋がり極めて有益である。事前情報の提供手段として、メディアでの広告、友の会での案内、Web やメールマガジンによるネットワークでの提供、ガイドブックの発行などが考えられ、一般の人の目にとまり易く簡単に入手できなければならない。そして展示物に関係のあるグッズがミュージアムショップで販売されているなどの情報も学習への動機付けとしての支援になると思われる。

対象：

来館者に合わせた展示物の仕組み（からくり）の解説

展示物の科学的、技術的、社会的背景の説明、紹介

解説手段：

インストラクタ、ファシリテータなどヒトによるもの

パネルなど設置物によるもの

IT 機器など装置によるもの

### 2.1.2. 誘導（ナビゲーション）

科学館内での知的好奇心を満たすために展示物までの誘導を行うのも学習支援である。目の前にある展示物だけの解説提供だけでなく、来館者が興味のあるテーマや関心事に係わる展示物があるとすればそこまでのナビゲーションを行い、知的要求を満たすことが大

切である。来館者の関心事が何であるのかを確認する方法として、来館時に関心のあるキーワードをシステムに入力することで、例えばシステム側で本日の推薦ルートを生成してカーナビゲーションのごとく来館者をナビゲートするのの一考である。

科学館ではワークショップやプラネタリウム等のイベントがあり、そのタイムスケジュールをシステムに組み込んで置くことで開始 10 分前などの時間になったら概要案内を行い、また体験してみたいのであれば実施場所までの誘導を行うなどの情報提供により、機会損失を少なくするなどの工夫ができる。

館内の展示物の位置への誘導・案内

お勧めコースのナビゲーション

タイムスケジュール（イベントの開始時間・実施場所の誘導・案内）

資料の所在（他館、図書館）への案内

トイレや休憩場所、ロッカー等の施設案内

### 2.1.3. コミュニケーション機能

単独で学習するのも良いがグループ学習等による複数人での学習も忘れてはならない。ここでは友達やグループで来館した来館者同士、あるいは同じものに興味をもつ来館者同士のコミュニケーションやインストラクタとの会話を通じて理解を深めることを学習支援と捉える。科学館学習支援システムとしては人や機械などを通じて科学技術への親しみを持ってもらい、科学技術による便利な生活を享受していることなどを身近に感じていただき、自分たちとは接点のないものではないことを意識することが、科学技術に対する学習支援になると考える。

そして、システムにより技術者や研究者との交流ができ、科学や技術による（製品を含む）世界に感動し、その感動を共有することで研究者や技術者への夢やあこがれを持ってもらえれば良いと思っている。

前記ナビゲーション機能に来館者の現在位置を記録する機能を付加する事で、来館者の行動履歴が分かると共に、システム側で統計処理等を施すことにより、後日別の来館者が見学に訪れた時に、「この展示物に興味があった人は、他の　　の展示も見ています。」といった案内も可能となる。テキストでも音声でも構わないが来館者の感想をシステムに入力する機能を持たせることで、時間を越えた来館者同士のコミュニケーションも可能となる。

また、他科学館との連携を図り、学校教育における「総合学習」への取り組みや地域教育機関との連携も視野に入れることで交流を通じた、ユーザサイドに立った情報提供が可能になると思われる。

来館者同士、解説者など  
科学技術への親しみ（人や動物、機械などを通じて）  
展示物（実物）を見た感動の共有  
技術者・研究者との交流  
技術者・研究者への夢、あこがれ

#### 2.1.4. 学習意欲支援（見学動機付け）機能

来館者に学習意欲や見学の動機付けを与える。トピック的な情報（映像または音声によるワークショップの紹介、ワークシートの案内など）やミュージアムショップ等で販売されている工作キット類の案内を提供することで来館者に学習意欲や見学の動機付けを与える機能である。

ハンズオンの操作など良く分からない展示物に対しては、ちょっと触っただけで通り過ぎてしまう来館者も多く、ハンズオンの操作説明を行なうことで、その展示物に対して興味がわいたりすることがあり、これも動機付けの一部となる。

## 2.2. 施設側支援

### 2.2.1. 展示物評価支援

システムを利用した来館者の行動履歴を取ることで、来館者の動線や展示物での滞留時間を測定することができ、科学館のレイアウトや展示物の評価に活用する機能である。

蓄積されたデータを基に行動解析をデータマイニング手法を使って行えば、来館者の嗜好による展示物間の相関関係が発見できたりするかもしれない。

また、自分の行動履歴を来館者が自由に見ることができれば、例えば帰宅後にインターネット経由で自分の行動を再確認することで学習を強化することも可能となり、開館時間内に見ることが出来なかったコンテンツ等を見たり、来館者が科学館側に質問やリクエストを出したりすることで館側と来館者側のコミュニケーションが図れると共にニーズの把握も容易になる。

### 2.2.2. 来館者ニーズの把握支援

来館者対応のためのFAQの構築支援やノウハウの共有化を支援する機能。

来館者個々の氏名や年齢、連絡先といった個人情報と、来館時に訪れた展示品や回数、滞留時間といったものや、興味や関心・解説支援レベル等をデータベースに蓄積し、閲覧支援の際のデータとして活用する機能である。

また、システム利用時に来館者の質問や感想などを音声等で記録することで、ニーズの把握をすることがより容易に行なえる事となる。



### 3. 調査実験

#### 3.1. 記銘支援試作システムによる評価実験

首都大学東京 池井 寧、石垣 憲

##### 3.1.1. 概要

近年の計算機の小型化分散化にともなって、その応用範囲は、空間移動を行なうユーザに対しても広がりつつある。体験学習の重要性が認識される中で、空間的な活動を伴う体験学習者に、そうした小型の計算機で情動的支援を行なうことは、有効な応用の1つとして期待されている。

本研究開発では、科学館の展示空間の閲覧支援に、ウェアラブル機器などの小型の計算機を適用し、学習者の支援を行なう方法論を検討した。従来の閲覧支援では、展示物に関する追加情報をポータブルな端末で、視覚的あるいは聴覚的に提示したり、誘導のための情報を提示するなどの手法が試みられてきた。それらは、実際の博物館や美術館等において、既に利用されているものもある。しかしながら、より直接的に、学習対象の記憶を促進する仕組みは、まだ十分に検討されているとは言い難い。

そこで、本研究では、筆者らが提案している空間型の記憶支援システム（空間型電子記憶術システム、SROM）の一部の機能を適用し、展示空間における学習支援システムのプロトタイプとしての検討をおこなった。本システムは、展示空間閲覧の場において、閲覧者に展示物の情報（ここでは、主として外観）を強く印象付け、見学対象の記銘を促進するシステムである。手法としては、簡単に述べると、小型計算機（ウェアラブルコンピュータ等）の可搬機器を用い、記銘に効果的な画像と重ね合わせて展示物（学習対象）の写真を撮影してもらおうというものである。重ね合わせる画像は、従来から知られている記憶支援の手法（記憶術）における考え方が活用されており、効率的に記憶に残る仕組みが提供される。これは、記銘効率に優れた視覚的イメージと空間記憶を展示物の記銘に適用するものである。

記銘のプロセスには、多数の要因が関係するが、学習のその場の周辺情報がかかわることは、文脈



図3.1-1 実験風景(システムを利用する被験者(右)と補助をする実験者(左))

効果として知られている。文脈の情報を利用するにあたって、ウェアラブルコンピュータはユーザの文脈の情報にもっとも容易にアクセスできる位置にある。また、継続的にその個人とともに時間を過ごすことにより、その個人の特性に適合させた形式で情報を提示することが可能であるはずである。本評価実験は、短時間で被験者に利用してもらう条件であるため、そうしたウェアラブルコンピュータの本質的特性を有効活用することはできないが、将来的なポテンシャルとしてはそれらの点が非常に重要である。また、限定的ではあるが、写真には、展示物周辺の情報も含まれることになり、文脈を想起しやすくするという点も注意すべきである。

評価実験の詳細は、次章以降に述べるが、科学技術館 3F のガスの展示室(ガスクエスト)内において、閲覧者に小型 PC をもたせ、展示物の写真を十箇所撮影してもらった。その際、筆者らが提案している記憶支援手法を用いた場合と用いない場合で、記銘の効果を再認成績として比較した。また、被験者には、実験で撮影した写真とともに、展示物の説明を簡単に記述した体験記録他を持ち帰ってもらい、今後の学習へのきっかけとなることを期待することとした。

### 3.1.2. 実験目的

科学館の展示物閲覧の場において、ポータブルな機器を用いた閲覧記憶支援システムのプロトタイプを評価する。記憶支援としては、何を閲覧したかを、より正確に思い出せることがその目標となるが、ここでは、体験者の年齢が低いことと、短時間での実行ということを考慮して、再認<sup>1</sup>の正確さによる評価を行なうこととした。ただし、自分が撮影した画像であることの再認だけではなく、何番目に見た(撮影した)対象であるかを、記述してもらうこととした。

具体的には、展示物を見て回る際に、小型 PC (SONY, VAIO-U) をもたせ、展示物の写真をとってもらう。その際に、図 3.1-2 にあるように、数字を図形化したグラフィック(図形化数字。この場合は、1 を図形化した蠟燭)を、背景となる展示物に重ね合わせて、覚えやすい絵を作ってもらう。これは、**視覚的イメージ**による記憶促進と、**構図を考える注意誘導**、手および身体を使って写真を



図 3.1-2 操作画面の一例

<sup>1</sup> 再認は、記憶対象アイテムが提示された上で、それが記憶対象であったかどうかを判断すること。

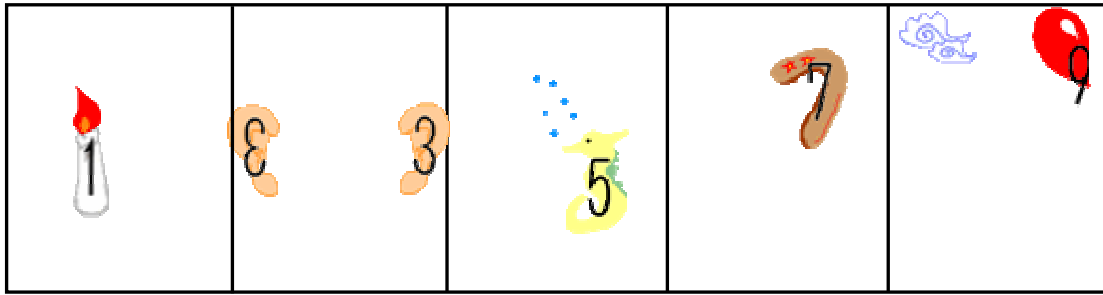


図 3 . 1 - 3 実験に用いた図形化数字

作る主体性の効果を有する手法である。ここで用いた図形化数字を、図 3 . 1 - 3 に示す。被験者が小学生という低年齢層であることを考慮し、ここでは、記憶対象を 10 箇所に限定したため、実際に用いたのは、5 個の図形化数字である。

本図形化数字の配置を行なった場合と、図形化数字を用いずに対象だけの写真を撮った場合（偶数番目の対象）との比較を行なうことにより、本記銘支援手法の効果を検討する。実験の詳細を述べる前に、次章では、本手法に関する、より一般的な概念の説明を行なう。

### 3.1.3. 記銘支援システム

本研究の基礎となっている記銘支援システムとして、筆者らが開発を行なっている手法は、空間型電子記憶術システムと称するものであり、多様な側面から研究を行なっているが、ここでは簡単に概略だけを示す。記憶術は、人間の認知特性に良く適合する手法によって、記銘、保持、再生の各局面の効率を高める方法論であり、これまで主としてトレーニングを積んで修得した個人だけが利用できるスキルであった。本研究の提案は、可搬型電子デバイスを使用することにより、誰でも非常に簡単に、従来の記憶術のエッセンスが利用できるという点が主な特徴となっている。

#### 3.1.3.1. 空間型電子記憶術システム SROM

空間型電子記憶術システム (Spatial Electronic Mnemonics, SROM) は、ユーザが認知的記憶空間を、実空間に拡張・増大して利用するための構築支援・運用支援システムである。ユーザが、実空間を記憶の格納場所として利用できるように構築することを支援するシステムであり、言い換えれば、認知的記憶空間を外界にマッピングするシステムである。ここで構築された記憶空間を、ここでは、外的仮想記憶空間 (External Virtual Memory Space, eVMS) と呼ぶ。外的仮想記憶空間 (eVMS) とは、ユーザの主観において外的空間に配置される記憶の空間であり、ウェアラブルコンピュータや携帯電話などの可搬型の電

子的道具立てに基づいて構築される。外的仮想記憶空間のアドレッシング・インデックスとして、場所とモノ、およびその電子的拡張を用いることとし、これを総称して、バーチャル記憶掛けくぎ (Virtual Memory Peg: vMPeg) と呼ぶ。eVMS を利用することにより、ユーザは自らの記憶パフォーマンスを高めることができるというのが、本研究の作業仮説である。

### 3.1.3.2. バーチャル記憶掛け釘 (vMPeg)

通常の記憶術において用いられる記憶掛けくぎ (Memory Peg: MPeg) とは、記憶保管場所へのタグであり、それ自体は直ちに取り出せるものである。MPeg に必要な基本特性として、本研究では、以下を定義する。

1. 直ちに想起できる枠組み (符号化と体制化)
2. 他の事物 (記憶対象) との高い連合性

このような MPeg を、多様な記憶対象に応じて、多数を直ちに構築することは、一般には困難であり、記憶術の広範な利用を妨げていたといえる。そこで、実世界の場所とオブジェクトが、効果的な MPeg となるように電子技術を使用し、通常の MPeg より速く、高保持率で、大量に構築でき、正確に再生できるような電子拡張記憶掛けくぎ (vMPeg) を構成する。vMPeg は、場所とオブジェクトに携帯デバイスによる機能拡張を付与し、認知空間におけるプレゼンスを高めたインデックスであり、SRROM と eVMS の基底要素である。これまでに構築された vMPeg は、場所を素材とする場所型 vMPeg、物を素材とするオブジェクト型 vMPeg がある。この他には、人物型の vMPeg も設定可能である。

### 3.1.3.3. SRROM における eVMS の操作機能

SRROM システムは、vMPeg を直接的なインタフェースとして、eVMS を操作するために、次の基本機能を有する。

1. 場所やオブジェクトを用いた vMPeg 構築の支援
2. vMPeg と記憶対象との連合支援
3. 想起の支援

1 の段階は、外的記憶空間のインデックスである vMPeg を作ること、すなわち記録メディアに例えれば、デバイスの記憶領域 (空間) の初期化をして、データを記録できるようにすることに相当する。2 の段階は、そうして作成された外的記憶空間に、記録する対象を書き込む段階である。3 の段階は、必要となったときに、書き込まれた対象を読み出す (呼び出す) ことを支援する局面である。

次章で述べる実験的評価は、この枠組み  
で言えば、1の段階であるが、作られた  
vMPeg 自体（場所画像 + 図形化数字）が、  
展示物として記憶すべき対象それ自身とな  
っている点が、一般の SROM の目的とは異  
なっている。

### 3.1.3.4. 図形化数字を用いる手法

vMPeg を作る手法としては、多様な選択  
肢があるが、SROM において最初に試みた  
のが、既出の図形化数字である。図3.1  
- 4に、1から25番までの図形化数字を  
示す。これらの画像を、カメラのライブビ  
ューにオーバーレイして、両者を関係付け  
るように配置した構図を作ることにより、  
非常に短時間の操作においても、十分な注  
意水準の上昇と、制作結果である写真に対する愛着(?) が生まれて、強く記憶することが  
可能となる。



図3.1-4 図形化数字（太田浩史氏 作）

### 3.1.4. 実験手法

学習支援の初期段階として、展示物の閲覧順および、その対象の記録支援を行った。小型 PC に内蔵されたカメラで捉えられた画像に、モニタ上で図形化数字を重畳し、ユーザ自身がその図形化数字の位置を操作して、背景の場所画像と関連付ける方法を評価した。本実験で用いた図形化数字は、既に示した図3.1-3である。

被験者の年齢を考慮し、記録する対象の展示物は、全部で10箇所とした。図形化数字を配置する SROM 利用の条件（支援あり）を、奇数番目（1、3、5、7、9）に、SROM 利用しない条件（支援なし）を、偶数番目（2、4、6、8、10）として、連続に撮影・記録してもらった。終了直後に、1から10番目に閲覧した場所の写真がどれであったかを、ディストラクタ<sup>2</sup>として実験者が予め撮影した10枚の写真とランダムに混合して印刷したシートに、番号を記入してもらった。

<sup>2</sup> ディストラクタ(distracter：妨害刺激)。ここでは不正解の写真のこと。



### 3.1.4.1. 展示物撮影条件

#### < 支援あり条件 >

展示物に対して図形化数字を重畳して撮影する。背景画像と図形化数字で構成された写真 (vMPeg) の例を図 3.1-5 に示す。これは、3番目の展示物の写真を撮影したものである。3番目をあらわす「耳」が、対象に付け加えられたような配置が作られている。この際、被験者は、小型 PC の画面の背後に付けられたカメラの位置を適切に操作して構図を考え、かつ、画面上の図形化数字を、画面を指で触れることによって任意の位置に移動して、印象的な「絵」を作成している。被験者自身によるフレーミングと、タッチパネルによる図形化数字の操作が、被験者の有効な認知処理レベルを短時間に引き出すと考えられる。作られた画像の視覚イメージは、被験者の関与性ととも、記銘効率の高さに貢献すると考えられる。

#### < 支援なし条件 >

通常、複数の対象や場所を覚えておきたいと思う場合、ともすると写真に撮影しておけば、後でいつでも確認できると考えて、写真を撮影する。しかし、写真に撮るとそれだけで安心してしまい、現場での実物の観察が十分に行なわれないということが起こる。そうした状況にも該当する条件として、展示物を図形化数字なしで、通常の意味で撮影する。この際、画面の隅に、撮影回数に対応するアラビア数字を提示する。

これらにより、支援ありで図形化数字を展示物と関連付けた場合と、支援なしでアラビア数字だけを提示した場合の記銘効果を比較する。上記の2つの条件において、撮影後に画像が提示される時間はともに5秒である。



図 3.1-5 支援あり

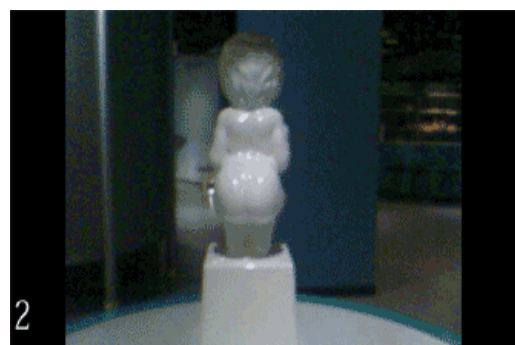


図 3.1-6 支援なし

### 3.1.4.2.手順

展示会場を訪れた閲覧者に実験への参加を依頼し、同意が得られた閲覧者に、実験の方法を説明する。図形化数字を確認してもらった後、被験者に、小型 PC (SONY, VAIO-U) の操作法を教示する。展示フロアの入口の始点から任意のルートを通り、展示室内の展示物 10 箇所を撮影してもらう。

PC のプログラムは、奇数番目の撮影では、支援あり条件、偶数番目の撮影では、支援なし条件で動作する。被験者は、実験者の概略の誘導に従って、任意に選択した展示物の前で、フレーミングやタッチパネルの操作によって図形化数字の配置を行ない（奇数番目の撮影時）、対象を撮影する。撮影直後、その写真は五秒間、PC のモニタ上に提示されるので、確認して記録してもらう。

その後「次へ」のボタンが表示されるので、次の展示物の前に移動してボタンを押すと撮影可能状態となるので、同様の作業を行ってもらう。

10 回の撮影直後、再認テストを行なう。回答方法は、被験者自らが撮影した展示物の写真 10 枚と、実験者が用意した展示物の写真 10 枚、合計 20 枚を、ランダムな順に並べて印刷した一覧写真からなる図 3.1-7 の用紙に、自ら撮影した展示物の写真の下に、撮影順番の番号を記入してもらって行なう。回答終了後、直ちに、正解を簡単に説明する。

最後に、被験者が撮影した写真と、それに対応する場所の実験者が事前に撮影した写真、およびその展示物の簡単な説明を記載した図 3.1-8、図 3.1-9 に示す体験記録シートを、その場で印刷して渡す。また、実験協力の謝礼として、ペンと消しゴムを贈呈する。

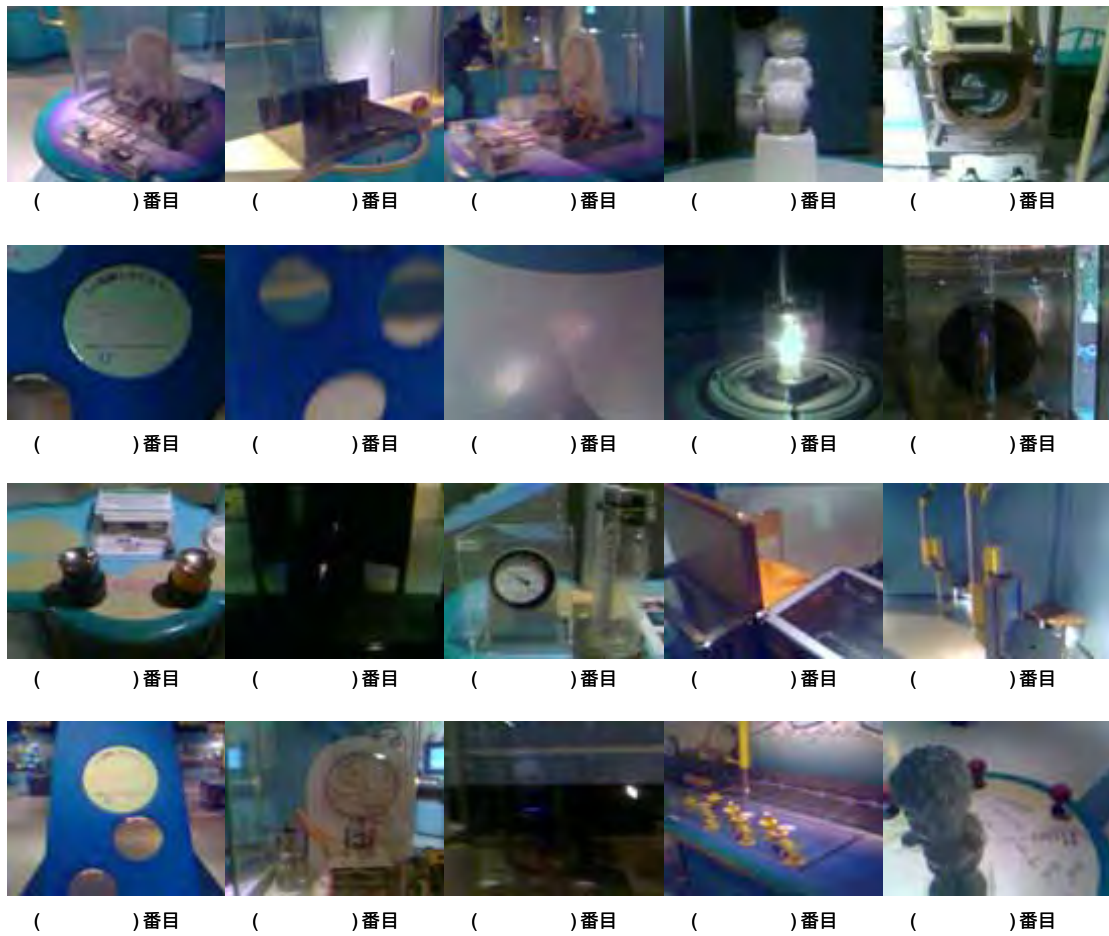


図3.1-7 回答用紙



## ガスクエスト 体験記録 2008年1月6日

### 1. プロキシトンの万華鏡



ガスが燃えるためにはガスだけじゃなく、空気の中にある酸素とよばれるモノが必要です。炎は酸素があるといきおいよく燃えます。IKEI Lab

### 2. ブラックのはかり



空気は無色透明でにおいもないため、私たちは日々空気の存在をあまり感じません。しかし空気にも重さがあります。1リットルで約1.3グラムと、とても軽いのです。IKEI Lab

### 3. メタンの像



腸内のガス主成分は、窒素、酸素、メタン、二酸化炭素、水素などがあります。このうちのメタンがガス的一种です。IKEI Lab

### 4. ヘルヌーイのボール



管の中を流れるガスの量や、管の出口の大きさを変える事でバルブから出てくるガスの持つ力が変化します。IKEI Lab

### 5. フィゴメーター



一般的な家庭用のガスメーターの基本的な原理は、ガスを一定の大きさの袋の中に入れ、袋がいっぱいになったらなかのガスを押し出すという動作を二つの袋で交互に繰り返し、連続的に動くように考えられた装置です。IKEI Lab

図3.1-8 体験記録シート1

6. ボイルの魔法椅子



袋にどんどん空気を入れていくと袋がばんばんになります。ばんばんになった袋に座っても、袋の中の空気が押し返してくれるので袋はつぶれません。

IKEI Lab

IKEI Lab

7. フェーンの風車



電球の熱によって周りの空気が暖められ、軽くなります。暖められた空気は周りの空気よりも軽いので上へ動きます。そのときに空気が羽根車を押すので回転します。

8. ラボアジェの風笛



太鼓をたたくと音が出るのは、太鼓の膜が振動して空気が圧縮と膨張を繰り返し、波となって人間の耳に伝わるからです。炎も同様に空気の圧縮と膨張を作り出しています。炎が太鼓の膜と同じような役割をしているのです。

IKEI Lab

IKEI Lab

9. マグデブルグの吸盤



普段感じることはありませんが、私たちは空気から力を受けています。地球をおおっている大気の層によって海面では面積1cm<sup>2</sup>あたり約1kgの圧力がかかります。

10. 燃料電池の逆さマスク



水に電気を流すと水素と酸素に分かれます。これを電気分解とよびます。この逆の原理を使って水素と酸素から電気を作ることができます。

IKEI Lab

IKEI Lab

資料提供: 科学技術館、首都大学東京、池井研究室

図3.1-9 体験記録シート2



### 3.1.4.3. 実験会場

実験は、図3.1-10に示す3Fのガスの科学の展示室(ガスクエスト)にて実施した。この展示室には、19個の展示があるが、18番、19番の展示を除いた17個の中から、10箇所を、被験者に任意に選んでもらった。



図3.1-10 実験会場(3F ガスクエスト)

1. フロギストンの万華鏡
2. 天然ガスの素 ~ガス・チェーン・マップ: 始まり~
3. シャルルの瓶 ~ガス・チェーン・マップ: 輸送~
4. 泣き笑い百面相 ~ガス・チェーン・マップ: 貯蔵~
5. マリオットの温度計 ~ガス・チェーン・マップ: 気化~
6. ベルヌーイのボール ~ガス・チェーン・マップ: ガス管~
7. フィゴメーター ~ガス・チェーン・マップ: ガスメーター~
8. メタンの像
9. ブラックのはかり
10. ボイルの魔法椅子
11. マグデブルグの吸盤
12. ラボアジェの魔笛
13. フェーンの風車
14. 燃料電池の逆さマスク
15. ガスの未来
16. 炎と電気
17. 浮沈子
18. ワークショップ
19. デジタルライブラリー

#### 3.1.4.4. 被験者

被験者は、3Fのガスクエストの入り口付近で募集し、保護者を含めて同意が得られた小学生16名（平均年齢10.7歳）である。年齢の内訳を表1に示す。年始の休日であったため、閲覧者数は少なかった。実施日は、平成20年1月5日、6日である。

表3.1-1 被験者の年齢別

年齢	人数
9	4
10	3
11	3
12	6

計16人

\*平均年齢 10.7歳

#### 3.1.5. 実験結果

被験者に回答してもらった結果の再認正答率と標準誤差を図3.1-11に示す。正答とは、展示物の種類とその順番が正しかった場合とした。また、被験者が撮影した写真の一例を図3.1-12に示す。

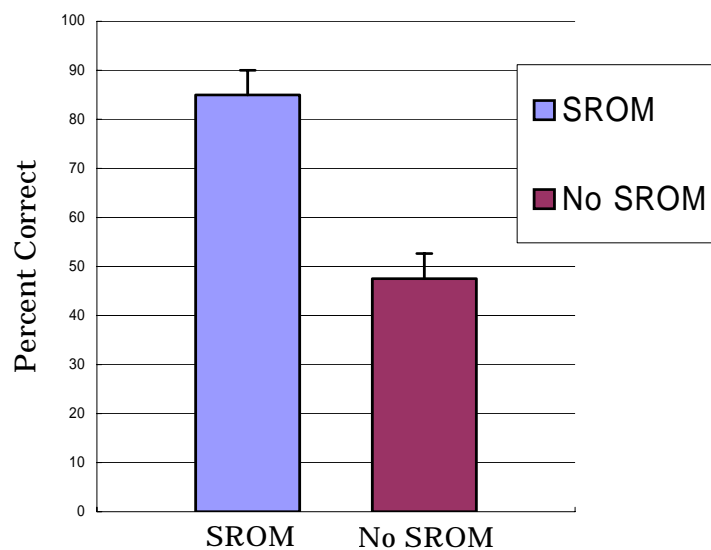


図3.1-11 再認成績



( 1 )



( 2 )



( 3 )



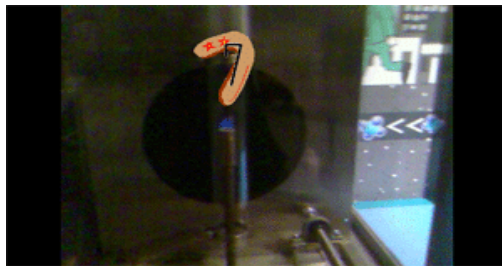
( 4 )



( 5 )



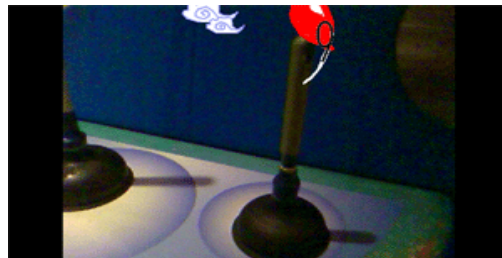
( 6 )



( 7 )



( 8 )



( 9 )



( 10 )

図 3 . 1 - 1 2 被験者の撮影写真の一例

図3 . 1 - 1 1 に示した再認正答率は、支援あり (SRROM) の場合は約 85%であり、支援無し (No SRROM) では、約 47%となった。支援ありが支援無しの2倍近く再認成績が高い (高度に有意。  $F(1,30)=27.4, p=1.1 \times 10^{-5}$ )。これは、本支援システムが、展示物の記録に対して有効な支援を与えていることを示している。

ユーザが使用した小型 PC (VAIO-U) の操作については、子供が扱う際にも適度な大きさであるように思われ、また、背面カメラからの画像のフレーミング操作、および画面上のタッチパネルによる図形化数字の移動配置操作ともに、極めて直感的で容易に実施されているように見受けられた。特に、年齢の低い被験者ほど、熱心に図形化数字の配置を行なっている場合が多かった。ただし、フレーミングと、図形の移動による配置の両者を同時に行なうことが、やや難しいように見える被験者もあった。図3 . 1 - 1 2 の奇数番号の写真を見ると、実験者が期待したように、意図して図形を配置していることが分かる。

被験者が撮影に要した時間を、図3 . 1 - 1 3 に示す。これは、被験者が展示物の前に到達し、撮影準備のボタンをクリックしてスクリーンに画像を表示してから、シャッターを押すまでの時間である。支援ありの場合は、平均約 14 秒、支援無しの場合は約 9 秒であり、支援ありの場合が有意に長かった。この差は、図形化数字を背景の中に配置するために要した時間であると考えられる。その時間は、わずか 5 秒間に過ぎないが、その簡単な操作によって、無理のないインタラクションを誘導し、展示物への注意が向けられ、対象が有効に記録されたことが再認成績から示唆される。年齢別では、最小年齢である 9 歳の被験者の撮影時間が最も長かった。

本実験では、学習支援手法の初期段階の検討を目的とし、展示物の外観的特長と、閲覧順の記録支援のみをおこない、展示物の詳細な情報については対象外とした。体験学習で

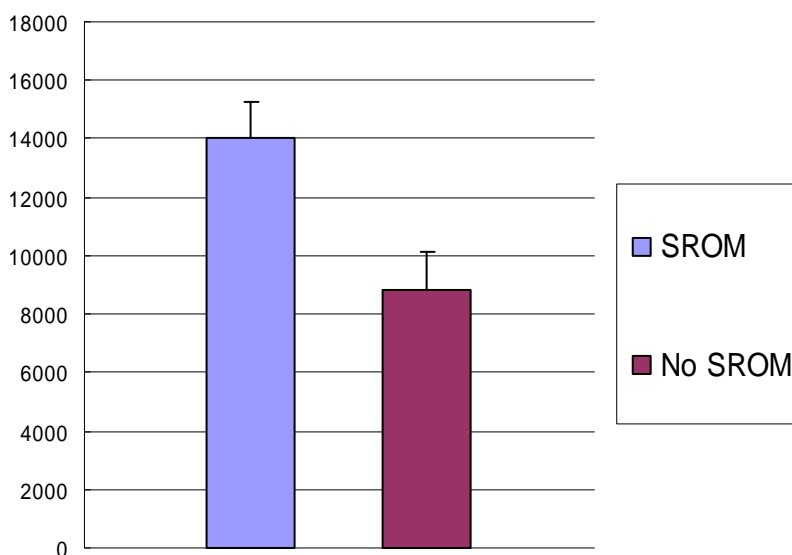


図3 . 1 - 1 3 撮影時間 [msec]

見学を行なった際に、漫然と見ただけでは、何を見たかすら思い出すことは難しいが、本手法を用いれば、何を見たかを、図形化数字を再認・再生の手がかりとして、想起できる確率を高めることが可能であると考えられる。

### 3.1.6. おわりに

本研究では、科学館の学習支援を行なうための小型 PC によるプロトタイプシステムを構築し、実験を実施してその効果の検証を行なった。ガスの科学をテーマとした展示室において、被験者を募り、数字の画像を重畳して展示物の写真をとってもらうことで、わずか 5 秒程度の画像合成操作にもかかわらず、対象の外観の記憶を著しく高めうることを示した。本研究で提案している SROM (空間型電子記憶術) は、ウェアラブルなどの可搬型計算機により、学習対象と遭遇している、「その場」において、適切な注意・認知処理を誘導し、かつ、従来の記憶術の特徴を利用して、対象の記憶を促進するシステムである。従来、大学生レベル以上の被験者を対象として実験的評価を行ない、その著しい効果を確認してきたが、本実験においては、小学校児童の年齢層を対象として、同様の高い記憶促進効果が得られ、科学館の学習支援においても有効であることが確認された。現在の記憶支援の構成は、単純な要素だけから成立しているので、今後、より高度な支援形態を導入する方向で開発を進める予定である。

科学館における学習の支援としては、主として物理的な展示物として提示されている対象の仕組み、機能 (背後の論理) 位置付けなどを深く理解させることこそが、本質的に求められる支援の目標であると考えられる。しかしながら、小学生・中学生を中心とした年齢層の閲覧者に、その場に提供された実体を含む多様な情報を深く理解させること、あるいは理解しようという気にさせることは、常にこちらの思い通りにできるとは限らない。本研究による支援は、内容の理解の前提ともいえること、すなわち、少なくとも「何を見たか、を思い出せる」仕組みを提供することである。思い出せなければ、その後、時間において、思考を深めることもできないわけであり、学習の出発点として、重要なきっかけを与えていると考えられる。更に進んだ学習内容を反映した支援については、今後検討を進めたいと考えている。

### 参考文献

- Yasushi Ikei, Hirofumi Ota, Takuro Kayahara, Spatial Electronic Mnemonics: a virtual memory interface, HCII2007, Beijing, 2007  
太田浩史, 池井 寧, 空間型電子記憶術 SROM に関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007, pp. 123-128, 2007  
Yasushi Ikei, Hirofumi Ota, Spatial Electronic Mnemonics for augmentation of human memory, IEEE Virtual Reality 2008, pp. 217-224, Reno, Nevada, 2008

## 3.2. モバイル科学技術館学習支援システム実験報告

産業技術総合研究所 情報技術研究部門

蔵田武志、興相正克、大隈隆史

### 3.2.1. はじめに

筆者らが昨年度実施した科学技術館ナビゲーションシステム実験は、屋内三次元ナビゲーションシステム実験としては過去にもあまり例がない規模であったため、実施したこと自体に大きな意味があった。さらに、被験者から得られたさまざまなフィードバックや運用経験は非常に価値の高いものであり、今年度以降の研究開発の指針に大きな影響を与えた。昨年度の実験を報告した国際会議 ICCAS2007 での Outstanding Paper Award 受賞は、それらが評価されたものであると思われる[文献 ICCAS]。

ただし、実運用に近い規模での実験を行うにあたっては、システム全体の安定化、測位系、特にマップマッチングや RFID などの自律的位置補正手段の改良、端末を用いた対話的な位置・方位補正手段の提供、コンテンツの出現制御や出現ルールの見直しなどの課題が昨年度の実験を通じて挙げられた。また、重量や装置の頑健性の問題、ユーザインタフェースのユーザビリティ、HMD の使用年齢の問題など、年齢層ごとの検討課題が多くあることも再確認することができた。さらに、試行中の被験者の行動や会話、インタビューなどの分析などを効率よく実施するためには、追体験ツールが必要でありその開発も課題となった。

昨年度の実験結果に基づいて実施された今年度のモバイル科学技術館学習支援システム実験を含む一連の実験においては、一貫して、測位系、コンテンツ管理系、およびウェアラブル(モバイル)利用者端末で構成されるシステムを開発・改良しながら適用してきた。その各サブシステムの中で技術的課題の最も多いのは測位系サブシステムである。本報告では、まず 3.2.2 節で、その測位、正しくは、位置と向き の計測技術の一般動向と筆者らの手法について概説する。続いて、3.2.3 節では昨年度の実験とその結果の概略について、3.2.4 節では被験者行動履歴を用いた追体験のためのモバイルツールについて述べる。3.2.5 節では、今年度のモバイル科学技術館学習支援システムに先立って、奈良県新公会堂(2007年11月)と龍谷大(2008年1月)で実施したシステム性能検証実験(実演)について紹介する。2008年2月24日から27日にかけての4日間に渡って実施したモバイル科学技術館学習支援システム実験については 3.2.6 節で実験システムについて説明し、3.2.7 節で実験報告を行なう。最後に 3.2.8 節でまとめと今後の課題や展望について述べる。



### 3.2.2. 来館者の位置と向きを計測する技術

来館者の位置計測のために利用可能な技術として、主に下記の選択肢が考えられる。

- (1) GPS(Global Positioning System)のように複数の軌道衛星を用いる手法
- (2) 超音波、電波(RF, UWB)、Wi-Fi、光通信などのコピキタスセンサインフラを用いる手法(本稿では便宜上 LPS: Local Positioning System と呼称)
- (3) 画像の幾何学的位置合わせや認識手法
- (4) デッドレコニング(マップマッチングを含む)
- (5) (1)~(4)の統合手法

カーナビと共に既に一般に普及している GPS は、携帯電話への GPS 搭載義務化の世界的な流れや、ポータブルナビ市場の拡大などもあり、これからも測位手段として重要な役割を果たすと考えられる。DGPS や RTK-GPS、さらに、それらとインターネットとの組み合わせなど、より高精度なシステムも提案されている。GPS の利点としては、広大な屋外空間をカバーしているにも関わらず、インフラ整備や運用コストを(少なくとも)利用者側は考えなくてよい点などがあげられる。問題点としては、高層建築物、木陰、屋内など空が遮蔽された場所では使えないこと、伝達遅延やマルチパスなどの精度への影響が大きいことなどがある。遮蔽に関しては、衛星と同じ信号をスードライト(擬似衛星)と呼ばれる装置を局所的に設置して提供することにより、利用者側の装置を変更せずに測位可能な範囲を拡大することも試みられている。しかしながら現状では、マルチパスの影響はやはり避けられず、また、インフラ整備・運用コストの問題が新たに発生する。

(2)の LPS の場合、送信機と受信機のセットでシステムを構築し、三辺測量の原理や、単なる ID 検知(ID と離散的な位置情報とが対応)に基づくことによって測位が実現される。GPS も送信機(衛星)と受信機のセットで成り立っているが、高々30個前後の衛星を配置することにより地球規模の測位可能としているのに対し、LPS では、測位サービスを提供しようとする場所に多くの装置を設置し、運用コストを継続的にかけていく必要があり、しかも利用者側の装置の業界標準が定まっていないという問題点がある。なお、UWB はマルチパスにも比較的強いとされ、今後の測位の高精度化が期待される。

LPS の中で最も実用化が進んでいるのは Wi-Fi を用いる手法である。コンシューマ用途に適したものとしては、PlaceEngine[文献 PlaceEngine]のように都市部を中心に遍在している Wi-Fi 基地局情報を収集し利用する方法がある。また、日本エアロスカウト社と NEC ネットエスアイ社は防爆構造規格に適合した Wi-Fi タグを開発しており、爆発性ガスの存在する場所においても、業務効率化、安全管理強化、有事時の作業員位置検知、危険物の搬出・搬入状況管理などを可能としている[文献エアロスカウト]。

(3)の画像を用いた手法[文献 SICE]では、カメラとマーカーとのペアによって ID、位置、

向きを求めるもの、データベースに蓄積された撮影位置の既知な画像群と入力画像とを比較して位置と向きを求めるもの、SLAM ( Simultaneous Localization and Mapping ) 技術等によって、周囲の環境の3次元構造を復元しながらカメラの3次元運動を求めるものなどがある。また、画像中には利用者(来館者)の手の動きや会った人なども含まれるため、潜在的には今後、より高度な状況把握機能が実現、提供される可能性がある。

### 3.2.2.1. デッドレコニングに基づく手法

来館者の移動速度・範囲に見合った縮尺・粒度で学習支援サービスを提供するには、高精度な位置情報が要求される上、的確なコンテンツ選択や情報の可視化のためには、向きの情報も必要不可欠となる。さらに、それらの履歴は、来館者の行動のトレーサビリティ確保に有効であり、来館者の行動解析や安全管理にも応用できる。

(4)のデッドレコニングでは、自蔵センサ群(加速度、角速度、磁気、気圧等)によって来館者の主に歩行動作を検出、積算し、位置や向きを逐次更新する。また、歩く、走る、座る、エレベータに乗るなどの動作種別などを推定するものもある。さらに、マップマッチングとの併用により精度を向上させることもできる。

筆者らの手法[文献 ISMAR2003, ICAT2006]では、まず、歩行動作の検出を行う。歩行動作によって人間の重心に印加される加速度には、その鉛直・進行の両方向成分において特徴的なパターンが出現する。慣性センサの姿勢は既知でないため、計測される加速度のうち、重力加速度ベクトルに沿った成分を鉛直方向の成分とする。重力加速度ベクトルを推定するために、慣性センサから得られる加速度と角速度データを情報源として用いる。カルマンフィルタの枠組において、加速度ベクトルは静的加速度である重力加速度の観測ベクトルとみなすことができ、角速度によって重力加速度の更新方程式をたてることができる。

一方、進行方向については装着時のキャリブレーションによって求める。まず、慣性センサを装着して直線的に短時間歩行し加速度の時系列データを得る。次にその時系列データから鉛直方向成分を除いたものに対して主成分解析を行い、得られた第一主成分軸方向を進行方向とみなす。このようにして得られた鉛直・進行方向の加速度成分の時系列変化をパターン認識し歩行動作を検出する。

さらに、一周期の歩行動作中に発生する加速度の鉛直成分の振幅とその歩幅の間には統計的に線形な関係が成り立つことが実験的に知られている。その線形関数の定数(傾きと切片)は個人によって異なるため、事前に歩行データを収集して統計解析によってこれらの定数を得ることで、歩幅を精度良く推定することが可能となる。また、線形関数の当てはめ誤差の分散を、歩幅の推定精度の信頼度として用いている。

移動方位は、加速度、角速度だけでなく、磁気方位データも使い、慣性センサのドリフトを補正しつつ推定する。ただし、磁気方位センサが計測する地磁気は微弱であり、電子

機器や建物の構造物などによって容易に乱されるため、その取り扱いは一般に困難である。そこで提案手法では、伏角及び予測値との比較に基づいて磁気方位センサの出力の正当性を検証している。

なお、GPS 信号にスクランブルを掛けるのと同じ意味合いだと考えられるが、現在、ハネウェル社のデッドレコニングモジュールの最上位機種は米国の輸出規制対象となっている[文献 DRM]。また、トキメック社で開発された高精度 MEMS 慣性センサ[文献トキメック]などの登場により、デッドレコニング性能はさらに向上すると考えられ、この分野の動向が注目される。

ただし、デッドレコニングの性能がいくら向上しても累積誤差を取り除くことは困難であり、また、絶対位置を与える必要があるため、通常は(1)~(3)とデッドレコニングとを相補的に組み合わせた統合手法を適用することになる。このような組み合わせでは、デッドレコニングによって過度にインフラに依存することがなくなるため、例えば、LPS で必要とされる装置の設置密度を低く抑えることができるようになる。また、画像ベースの手法の場合は、登録データ数を削減することができる。つまり、インフラ構築・運用コストやシステム全体のエネルギー消費を抑えながら、位置や向き、さらにそれらの履歴に基づく情報サービスを広範囲に提供できるようになるため、サステイナブル (sustainable : 持続可能) なユビキタス情報社会を構築するための基盤技術として位置づけることができる。昨年度および今年度の実験で使用した筆者らのシステムはそのような考え方を支持した設計を採用している。

### 3.2.3. 昨年度の科学技術館ナビゲーションシステム実験概略

#### 3.2.3.1. システム構成

##### (1) 測位系

3.2.1 節で述べたように、昨年度の科学技術館ナビゲーションシステムも今年度のモバイル科学技術館学習支援システムと同様、測位系、コンテンツ管理系、および利用者端末の各サブシステムで構成されていた。昨年度は、測位系としてデッドレコニングをベースに、Wi-Fi 測位[文献 PlaceEngine]や RFID による位置補正及びマップマッチング (移動可能範囲を用いた制約のみ) を組み合わせた統合的測位手法を採用した。

##### (2) コンテンツ管理系

コンテンツ管理系サブシステムは二つのコンポーネントから成る。一つは場所に関連付けられた Flash 等のコンテンツを Web ブラウザによって再生するコンポーネント、もう一つは Google Earth 上で推薦ルートのナビゲーションと利用者の周辺に存在するコンテンツ表示を実現するコンポーネントである。

利用者端末上では測位系から得られる利用者の現在の位置・高度・方位の履歴、端末のバッテリー残量、Flash コンテンツや推薦ルートなどを格納するデータベースが動作している。

再生コンテンツ管理系は条件に応じてクエリを組み合わせ、現在表示すべきコンテンツを検索する。

科学技術館ナビゲーションシステムでは、Flash コンテンツとしてスタート画面、コンテンツ再生を制御するボタン、時間が決められているワークショップや展示の説明(9種類)、各展示室や展示物の説明(44種類)などを用意した。説明用のコンテンツは、写真とテキストを含む静止画とそのテキストを読み上げる15秒程度の音声から成り、コンテンツオーサリングツールにより三次元地図上に登録した(以下、静止画コンテンツと呼称する。付録2.3参照)。この登録位置はPlacemarkで表示され、利用者が現地近くに到着しその方向を向いた場合や、これからその地点に向かうナビゲーション開始時に再生される。

また、実験システムでは推薦ルートもしくは時間の決められたイベントへの誘導コースを含む推薦ルートを利用者に提示した。科学技術館のWebサイトに掲載されているコース中の4コース分のデータ、及び時間が決められているワークショップや展示のスケジュールをデータベースに入力し、推薦ルートの計算に用いた。入力されたコースの1つについて、スタート地点である1階から始まり、最初の数箇所の展示までの推薦ルート表示の例を図3.2-1[推薦ルート1]に示す。

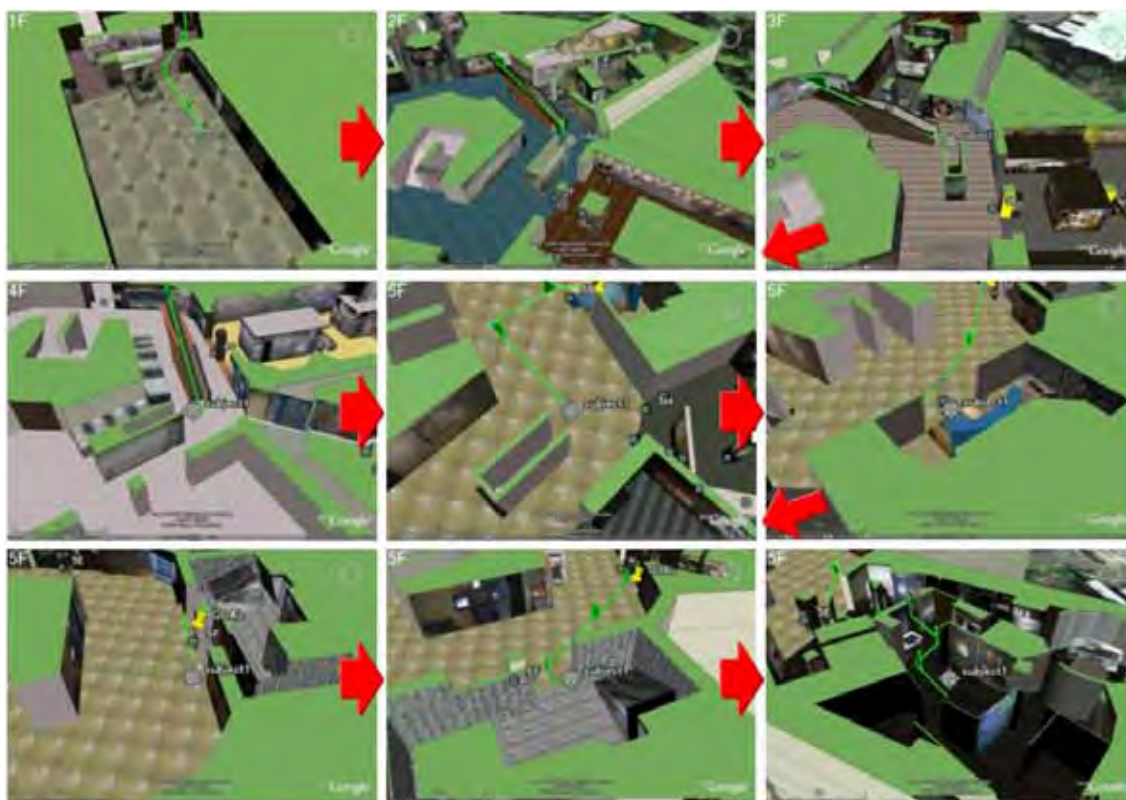


図 3 . 2 - 1 [推薦ルート1] 推薦ルートの可視化例

### (3) 利用者端末

実験システムのウェアラブル利用者端末として、図 3.2-2 [ハンドヘルド装置]に示すようなハンドヘルドディスプレイを利用するものと、図 3.2-3 [HMD 装置]のようにヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用するものの2種類を用意した。両方に共通しているのは、測位のための各装置を入れたウエストポーチ、ハンドヘルド PC(SONY VAIO Type U)、及び会話解析のためのデータ収集用ボイスレコーダである。HMD 利用者はハンドヘルド PC をショルダバッグに詰めて HMD(三菱電機 SCOPO)を装着する。このため、ハンズフリーとなるがハンドヘルド PC のボタンが使えなくなるのでショルダバッグにボタンを取り付けた。

使用持続時間は、組込システムや自蔵センサ群、HMD については実験に支障のない長さであったが、ハンドヘルド PC は約 1 時間(標準容量バッテリーを用いた場合)であった。



図 3.2-2 [ハンドヘルド装置] 利用者はパーソナルポジショニングのための各装置を入れたウエストポーチ、ハンドヘルド PC、及び会話解析のためのボイスレコーダを装着する。



図 3.2-3 [HMD 装置] ヘッドマウントディスプレイ利用者の外観。



#### (4) ユーザインタフェース

端末のディスプレイもしくはHMDの画面の大きさの制約から、三次元地図(Google Earth)とFlashコンテンツの同時表示は実用的ではないと判断した。そのため、Flashコンテンツを再生すべき場合は全画面で再生され、通常時は三次元地図が全画面表示される(図3.2-4 [GUI])。移動する利用者の安全確保のため単眼のHMDを使用し、効き目側に装着した。また、利用者の端末操作の負担を最小限にするため、利用者の位置や向き、静止時間に応じて端末が適応的に振る舞うようシステム全体を設計した。ハンドヘルドディスプレイ利用時もHMD利用時もポインティング操作を要さず、コンテンツのリプレイ再生希望時と時間の決まったイベントへの誘導をキャンセルする場合のボタン押下のみが要求される。



図 3 . 2 - 4 [GUI] ハンドヘルドディスプレイに表示される3次元地図、推薦ルート、及び静止画コンテンツの例

#### 3.2.3.2. ユーザスタディ

科学技術館ナビゲーションシステムの有用性・使用感の評価と、利用者端末のディスプレイ形態の違いがシステムの使用感に与える影響を調査することを主な目的としたユーザスタディを実施した。本ユーザスタディは科学技術館における実運用に対するシステムの頑健性や精度も含めて多面的な評価を目指したが、昨年度は特に被験者の主観から得られたシステムの定性的な評価について論じられた。

### (1) 実験設定と手順

本ユーザスタディは科学技術館（5階建て、各階 2500～2700 m<sup>2</sup>）において、計4日間実施した。1日につき午前と午後の2セッションを設定し、1セッションにつき3組が並列に試行できるような体制とした。被験者の安全考慮、行動履歴記録、及びシステム調整のために1組の被験者につき1人の付き添いを割り当てた。

実験時間は1試行につき2時間程度とし、試行開始後約1時間で1階のスタート地点に戻り、ハンドヘルドPCのバッテリー交換と、ディスプレイ形態（ハンドヘルドもしくはHMD）の切り替えを実施した。その際、順序効果が分散するようにディスプレイ形態を切り替えた。なお16歳未満の被験者は安全上の問題からHMDを着用できないため、試行の前半後半ともハンドヘルドディスプレイでの体験となった。

各付き添いは図3.2-5 [付き添いロガー]に示すような映像音声ロガーシステムを装着し、被験者の後方から映像音声履歴を記録した。また、階段の上り下りの際の安全確保やウエストポーチが体験型展示物の邪魔になる場合の着脱、システムトラブル対処なども付き添いの主な役割であった。

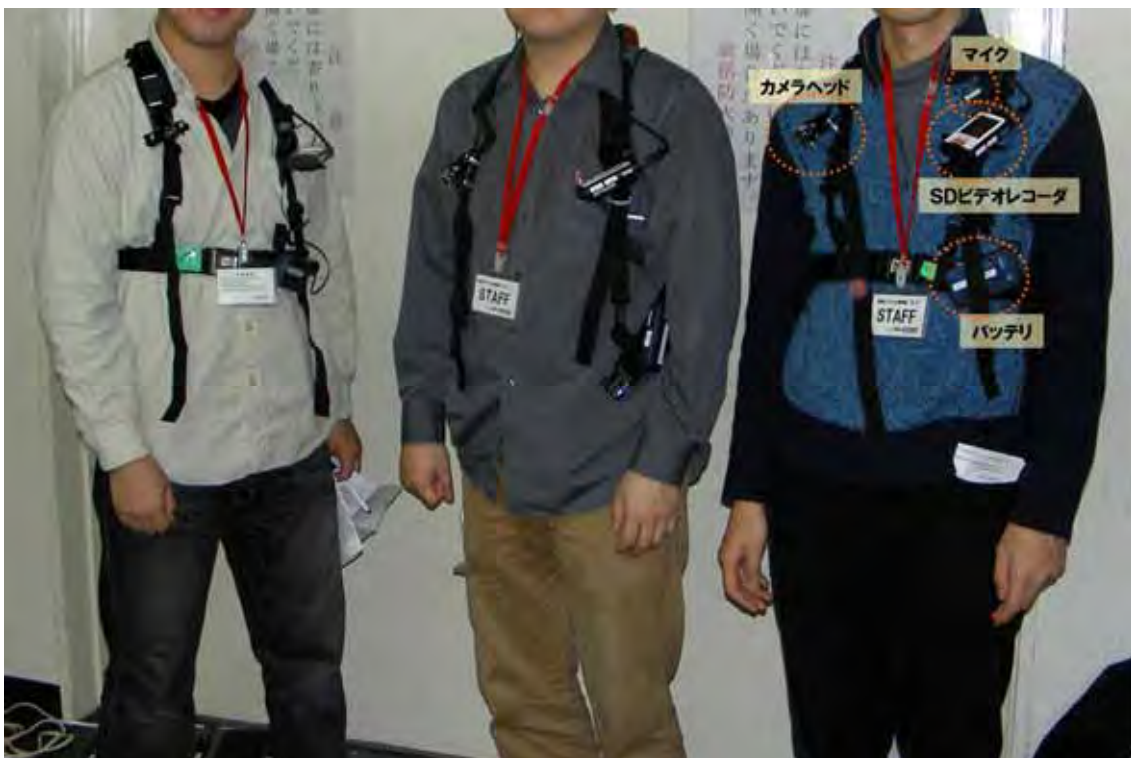


図 3 . 2 - 5 [付き添いロガー] 各付き添いが装着する映像音声ロガーシステム。

各被験者は試行開始前に実験に関する事前説明を受けた。利用者端末の使用方法や GUI の各表示の意味などの説明をする際、前述のように三次元地図上に推薦ルートが表示される旨を伝え、その上で必ずしもそれに従う必要はないことも同時に伝えた。これは、科学

技術館の見学行動がシステムによって強制される印象を与えないようにするためであった。試行終了後にアンケート調査とグループインタビューを実施した。グループインタビューの様子は被験者とインタビュアーそれぞれが映るよう2台のビデオカメラにより記録された。

4日間の実験期間のうち前半(1日目・2日目)と後半(3日目・4日目)の間に数日間の準備期間を設けていたため、実験期間前半で得られた被験者の意見を後半の実験に反映して違いを確認するという迅速な対応が可能であった。結果として実験期間の前半と後半で実験条件が変化することとなり、アンケートの定量的な解析は慎重に行う必要があった。しかし、前半と後半を比較することで改善の効果を確認できたと考えられる。

## (2) 被験者

当日の飛び入り参加者を含め、最終的に女性12名、男性10名の計22名に被験者として協力していただいた。年齢別構成は、10歳代(小学生)3名、20歳代4名、30歳代8名、40歳代4名、50歳代3名となっており、さまざまな世代からのフィードバックが得られることとなった。

## (3) 結果と考察

本節では被験者アンケート・インタビューを通じて得られた代表的な意見を主観評価結果とし、その要因や意義について考察する。アンケートは計17問の質問に対して7段階評価により回答された。

### 三次元地図表示・現在位置把握に関して

三次元地図表示に関して、インタビューでは「実環境との対応が付きやすい・面白い」という肯定的な意見と「実環境との対応がつかずわかりにくい」という否定的な意見の両方が得られた。三次元地図のわかりやすさに関するアンケートも同様の結果を示した(図3-2-6[Q三次元地図])。これらの結果から、被験者によっては測位系の誤差が主観に影響を与えたと考えられる。すなわち、測位系の誤差によって実際の現在位置・方位と表示されている位置・方位にずれが生じたときに、地図と実環境の対応を見失わずにシステムの誤動作と解釈した被験者と、地図と実環境の対応を見失ってしまった被験者の両方がいたということである。このことは「地図がわかりにくい」と回答した被験者の中にもインタビューでは「自分の位置・方位と表示がずれていた」ことを認識していた被験者が複数いて、実際には地図と実環境の対応付けができていたことから伺える。拡大率の高い詳細な三次元地図は直感的で実環境との対応付けに有効な視覚的手がかりを与えることができるが、測位系の誤差による位置・方位のずれを増幅させて見せてしまう。そのために実環境との対応付けに混乱を与え、三次元地図そのものに対する悪印象を与えた可能性がある。

地図に関してはこの他に、展示室名や展示室番号などを文字情報として提示してほしい



という意見が複数得られ、形状・外見以外の抽象情報も実環境との対応付けにおける手がかりとして配置すべきであったことを確認した。実験期間前半終了時にこの知見が得られたため、実験期間後半では部屋番号情報を三次元地図上に付加して表示することとした。

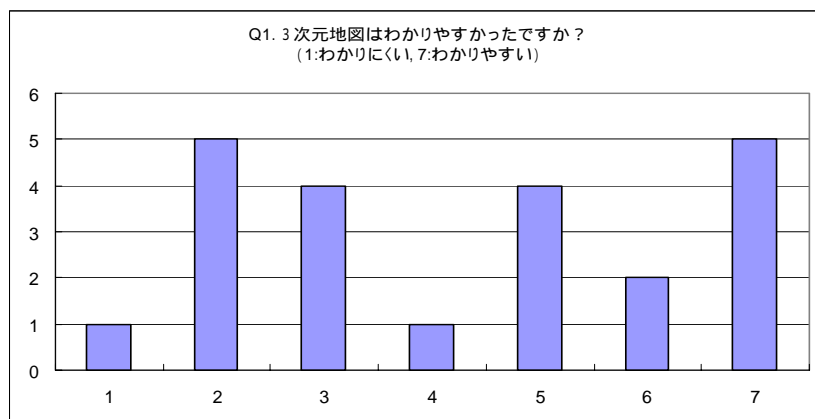


図 3 . 2 - 6 [Q三次元地図] 三次元地図のわかりやすさに関するアンケート結果

#### ナビゲーション・ルート推薦に関して

ルート推薦に関しては「従わなかった・従えなかった」とするネガティブフィードバックを多く受ける結果となった。これらの意見は「進行すべき方向がわからず、従えなかった」「自己位置の後ろに出てくる軌跡情報のように見えた」という推薦される進行方向の混乱に関連したものと、「行き先がわからず、結局従わなかった」というナビゲーション情報の提示に関するものに分類された。

進行方向の混乱については、推薦ルートが向きに関する表示を伴わない折れ線が表示されていたことに起因したと考えられる。実際には現在位置から目的地までを繋ぐように表示されていたため、注意深く見れば進行方向はわかるようになっていたが、被験者の誤解を受ける結果となった。さらに、現在いる階のルートのみを表示したため、上の階や下の階にルートが続く場合にエスカレータや階段上にルートが表示されず、ルートの方向が不明確となっていた。この問題は実験期間前半で露呈したため、期間後半の実験開始までの間に矢印による方向指示や階と階を繋ぐ部分のルートも表示するように可視化の改善を実施した(図 3 . 2 - 7 [推薦ルート 2])。この結果、ユーザスタディ後半では推薦ルートの意味や方向についての誤解が減少し、ルート推薦の効果を確認することができた。

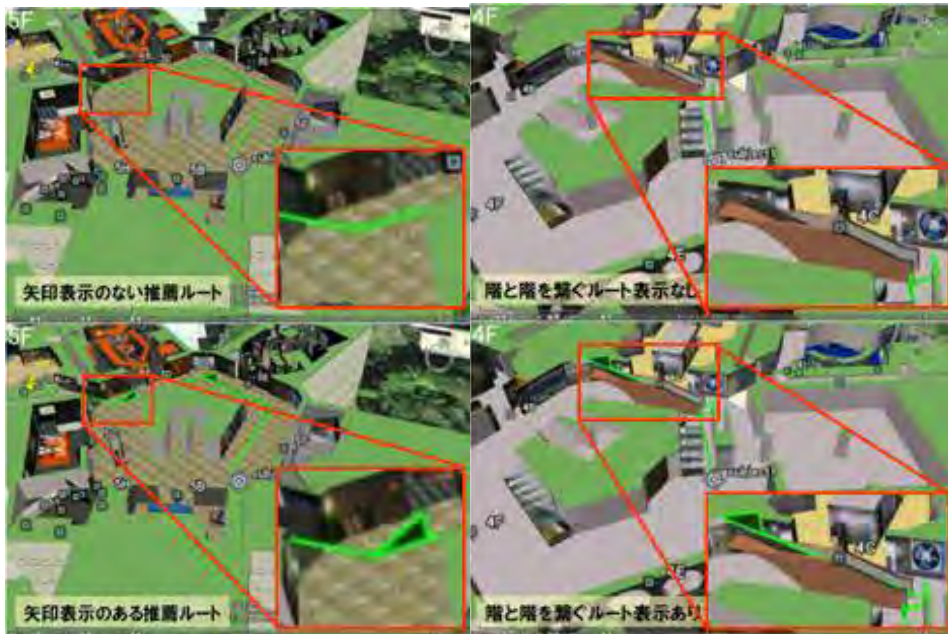


図 3 . 2 - 7 [推薦ルート2] 推薦ルート可視化の改善

「行き先がわからない」という意見については、短期的なものとの長期的なものに分けられた。短期的なものについては三次元地図の提示方法に要因があった。地図と実環境の対応付けに重点を置いて現在位置近辺をよく見せるために仮想視点を比較的近く、鳥瞰する角度も上方からに近い角度に設定していたため、進行方向の先に何があるのかなどがよく見通し辛かったと考えられる。この視点設定についても後半の実験までに改善することにした。すなわち、まず約 10 秒間縮尺の大きい表示をし、次の 5 秒間は少し引いた表示をすることを繰り返すようにし、角度も斜め後方から現在位置を見据えるように三次元地図の視点を制御するように変更した。長期的なものについて、実際には次の目的地の情報として展示物説明用の静止画コンテンツを提示していたが、これでは不十分であったと考えられる。この点に関しては次の目的地までの階移動を含めた全体ルートの表示などにより、目的地の位置情報を十分に印象付けることで改善が期待できる。

### ハンドヘルドと HMD の比較

ハンドヘルドディスプレイと HMD の比較に関するアンケート項目の結果を図 3 . 2 - 8 [QHMD]に示す。全般的に HMD の方が、画面が見づらく疲れやすいが展示物を体験しやすく展示物に集中しやすいという傾向が見られた。インタビューでは、多くの被験者が HMD を初めて利用することもあり、HMD そのものに興味を示した被験者が多かった。しかし、単眼式 HMD を利用したことから長時間画面に意識を集中しないと見づらく、慣れが必要との意見が得られた。また、HMD 利用者の年齢制限は科学技術館のように子供が多く訪問する施設では問題となるという指摘があった。

HMDは、ハンドヘルドよりも動きやすく科学技術館の展示そのものが見やすく体験しやすいという意見も得られる一方、体験型ではなく目で見えるタイプの展示の場合にはハンドヘルドタイプの方が見てまわりやすいという意見も得られた。また、ハンドヘルドタイプについて、グループでナビゲーションを体験するときには情報を共有してコミュニケーションを取れるという意見は興味深いものであった。ただし、手に持つときの重量感を問題としてあげる被験者が複数見られた。

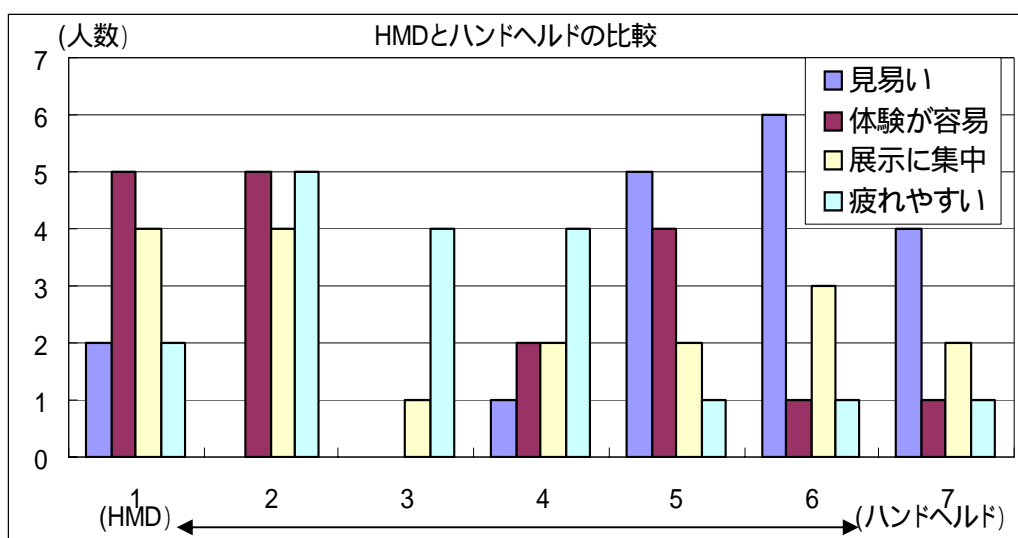


図 3 . 2 - 8 [QHMD] HMD とハンドヘルドの比較に関するアンケート結果

### システム改善による評価の上昇

実験条件の変化の影響を確認するために時間軸に着目すると、実験が進んでシステムが改良されるに従って好意的な回答結果が増える傾向にあった。この傾向が特に顕著であった三次元地図と静止画コンテンツのわかりやすさ、イベント開始 10 分前の案内に関する評価の結果について各実験日ごとの平均値を図 3 . 2 - 9 [Q 評価上昇]に示す。

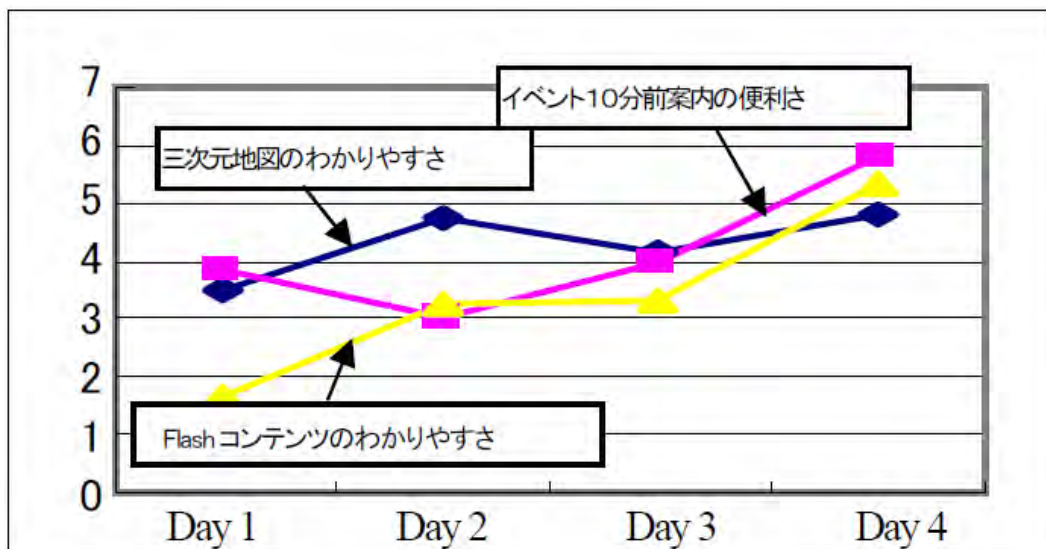


図 3.2-9 [Q 評価上昇] システムの改善に伴う評価の上昇

### その他の意見

その他、機能やサービスに関する要望も被験者から挙げられた。代表的なものは「推奨ルートではなく、行き先を自分で入力したい」「時間が決められたイベントのお知らせ機能は便利なので充実してほしい」「自分自身の位置よりも子供たちの位置を把握したい」といったものであった。当初の仕様を決定する段階で、可能な限りユーザによる操作を少なくすることを目標としたため、行き先入力などの機能は排除していたが、機能的には実現可能であるため、今後導入することが望ましいと考えられる。

### 3.2.4. 追体験のためのモバイルツール

科学技術館ナビゲーションシステムは前述のように被験者の行動履歴を記録した。これは、より詳細な被験者の行動解析の材料とするのと同時に、行動記録のコンテンツ化によるサービス提供を検討するための実データとして利用するためであった。

記録された被験者の位置・姿勢・時刻などの大規模情報を用いて行動解析を行うとき、統計的手法によるデータマイニングを適用することで興味深い情報を探索することができる。例えば、多くの被験者が長時間滞在した展示を見つけ出したり、展示同士の被験者の嗜好による相関（たとえば、展示 A を長時間見た被験者は展示 B についても長時間みる傾向があるなど）を見つけ出したりできる可能性がある。

しかし、映像や音声・インタビュービデオなどのマルチメディアデータを同様の手法で統計的に効率よく利用するのは、その意味にまで踏み込む必要があるため、少なくとも現状では困難であることも多い。また、これらのマルチメディアデータとして記録された情報は最終的に人間に提示することによって最も効率よくその意義を解釈することができる

と考えられる。一方で、展示ナビゲーションシステムでの行動記録をコンテンツ化することで、自宅に帰ってから自らの行動を復習する学習強化のためのサービスや、複数の参加者が自らの行動記録を持ち寄って新たな推薦ルートを作り上げるといった Web2.0 モデルでのサービスを提供することが可能である。

そこで我々は科学技術館実験システムで記録された行動履歴の実データを効率よく提示するための追体験ツールの開発を通して、その提示手法についての研究を進めている。本節では現在の追体験ツールの実装とその検証実験について述べる。

#### 3.2.4.1. 設計方針

追体験ツールは以下のようなシナリオを想定して設計を行った。

**シナリオ1：帰宅後の追体験** このシナリオでは追体験ツールをデスクトップ PC 上で使用して自らのデータを確認する。ユーザが見学者（パイロットスタディの被験者）ID で検索すると、追体験ツールは対応する行動履歴を提示する。可視化対象時刻を制御するスライダを動かすことで見たい時刻を指定すると、対応する時刻での位置を可視化する。同時に、指定された時刻のシーンを含む動画ファイルを検索して、存在すればその時刻のシーンを表示する。ユーザが画面上の再生ボタンを押すことで自動的に可視化時刻を更新するモードに入る。このモードでは位置の三次元可視化、動画ファイル、音声ファイルが同期を取って再生される。

**シナリオ2：被験者の行動解析** このシナリオでは、インタビューを記録した動画ファイルとインタビュー時の会話を記録したテキストデータも見学者 ID や場所を特定するための検索キーとして利用される。たとえばインタビュー映像で被験者が「自転車」に関する展示の前での行動について報告しているのを見たとき、同時に表示される発言内容のテキストの「自転車」部分に張られているリンクをクリックすることで、そのときの行動記録を追体験する。また、追体験ツールのユーザ自身がインタビュー発言内容テキストと三次元地図上の位置を関連付けるリンクを新たに作成する機能を提供することで、インタビューと場所の関連付けを容易に行える。

また、モバイル MR (Mixed Reality) システムを現地での見学者の行動解析に適用することで高い臨場感を持って被験者の行動を観察できる。たとえば問題が報告された地点に実際に行って、コンテンツ表示を再現しながらそのときの様子を追体験する。さらに、現在位置姿勢をキーとする検索により、同じ場所での他の見学者の体験を問い合わせることで、同じ問題が他の見学者に起こったかを確認する。ここで特定の見学者に着目すべき行動が見られた場合には、可視化の時間をさかのぼり、その見学者の行動を見学開始から追従して追体験で確認可能とする。

以上のようなシナリオで、マルチメディアデータを含む大規模な行動履歴を効率よくユーザに提示するために、以下の方針で追体験ツールを設計することとした。

**シーンの再現：** 追体験したい当時の状況を伝えるために、追体験ツールは Google Earth の画面を再現し、付き添いスタッフが記録したそのときの被験者の様子を同時に提示する。再現に使用するデータはタイムスタンプを用いて同期を取る。また、より臨場感を得るために、モバイル MR システムを用いることで現地での追体験も実現する。

**効率的な対象選択手段の提供：** 追体験の対象となる行動履歴を効率よく検索したり、切り替えたりするためのインタフェースを提供するために、被験者 ID や時刻による対象の検索だけでなく、位置・方位による検索も実現する。また、行動解析ツールにおいてはインタビュービデオを対象の選択に利用するために、インタビュー中の発言内容を記録したテキストと三次元地図上の点を対応付ける仕組みを提供する。

以上の方針に沿って実装した追体験ツールについて、その具体的な画面構成や実現方法について以下で述べる。

#### 3.2.4.2. 画面構成

開発した追体験ツールはデータ検索コントローラ、データプレゼンテーションコントローラ、三次元可視化表示領域、動画表示領域から構成される。図 3.2-10 [追体験ツール]に画面例を示す。データ検索コントローラは見学者 ID、時間範囲、三次元位置、姿勢、キーワードなどを入力する GUI 部品からなる。データプレゼンテーションコントローラは「再生」「停止」ボタンと制御対象となる時間範囲表示と可視化されるデータの時刻を示すタイムスライダからなる。現在位置、見学者の軌跡、静止画コンテンツは三次元可視化表示領域中の地図に表示される。展示ナビシステム画面を再現するために、本システムでも Google Earth を三次元可視化に利用している。GUI 部品は Web browser 上に JavaScript や ActiveX 技術を利用して実現した。

追体験ツールは三次元地図上の軌跡・地図の表示に用いられる視点を制御するための 3 種類のモードを持つ。

- 1)通常モード：ユーザは通常の Google Earth による視点制御を利用できる。
- 2)見学者ビューモード：履歴記録時のビューを再現するように視点を自動制御する。
- 3)ユーザビューモード(モバイル MR システム使用時のみ): モバイル MR システムを用いて、現在のユーザの姿勢とカメラの観察方向を一致させ、現在のユーザ位置を後方上部から観察するように視線位置を設定する。



モバイル MR システムは展示ナビシステムと同様の構成で実現されるが、利用者端末にはより画面の大きいタブレット PC (Lenovo ThinkPad X60)を用いた。



図 3.2-10 [追体験ツール] シナリオ2における追体験ツールの画面例

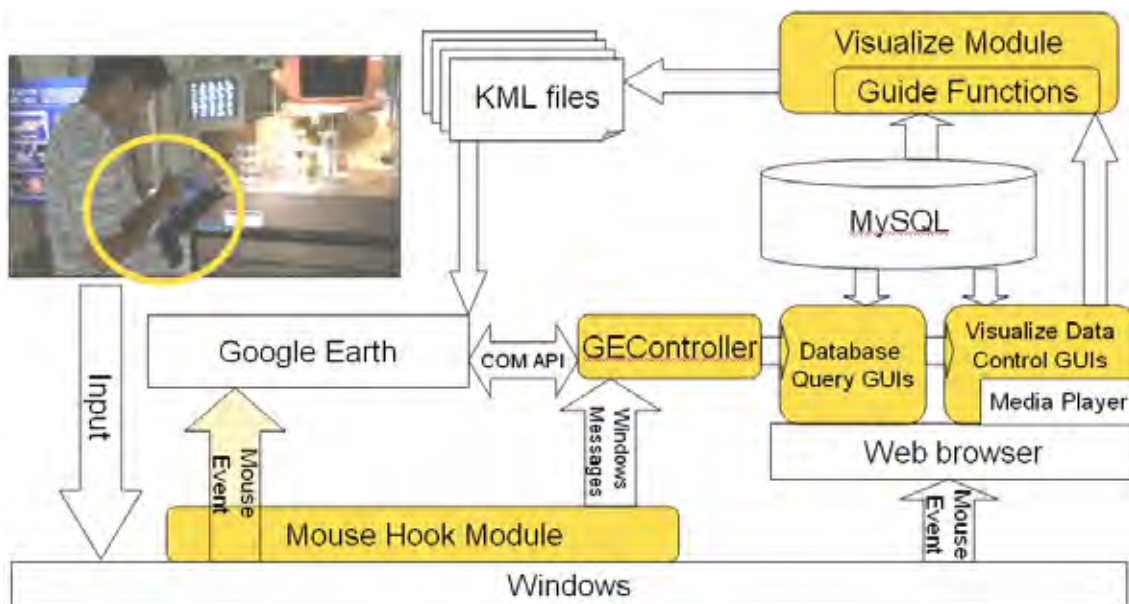


図 3 . 2 - 1 1 [追体験ソフト] 追体験ツールのソフトウェア構成

### 3.2.4.3. 実装上の技術課題

HTML フォーム部品によるボタン、JavaScript によるスライダ、ビデオデータ・音声データの提示に利用する Active X, Google Earth 上での可視化を実現するための KML<sup>1</sup>、履歴データと現在の状態を記録してプロセス間で共有するための SQL データベース、およびそれらの部品を連携させるための PHP スクリプトによる Web サービスを組み合わせ、追体験ツールを実装した。データベースには、

- 1)見学者 ID・時刻・位置・姿勢を記録した位置テーブル
- 2)見学者 ID・被験者追跡動画ファイル URL・作成時刻・記録時間を記録した動画テーブル
- 3)インタビュービデオ URL・発言開始時刻・発言終了時刻・発言内容テキストを保持したインタビュー会話テキストテーブル

を保持している。ソフトウェアの構成図を図 3 . 2 - 1 1 [追体験ソフト]に示す。データ検索コントローラおよびデータプレゼンテーションコントローラによるユーザの入力結果を Google Earth 画面上に即時に反映する機構は、検索結果や操作結果を SQL データベース内に蓄積し、KML から<NetworkLink>タグによって定期的にデータベースを監視する PHP スクリプトを呼び出すことで実現した。

<sup>1</sup> KML( Keyhole Markup Language: Google Earth や Google マップに表示するポイント、線、イメージ、ポリゴン、およびモデルなどの地理的特徴をモデリングして保存するための XML 文法および XML ファイル形式)



Google Earth は仮想の地球を提供し、建物の三次元モデルやルートの検索結果を表示するのに有益でパワフルなソフトウェアであるが、ユーザの入力情報を得る機構は提供されていない。このため、画面上を直接クリックすることで三次元座標を得る機能は Google Earth から提供されていない。そこで Windows Hook を用いて Google Earth 上でのマウスイベントを取得し、得られたウィンドウ座標を用いて Google Earth COM API の関数で地表上の位置を取得し、カメラパラメータと建物の三次元形状データを用いて、クリックされた座標に対応する表示中の建物との交点を計算する機構を実現した。この際、Google Earth が地球を球形で近似していることを考慮して WGS84 座標系からローカル三次元座標系へ変換した。

#### 3.2.4.4. 動作確認実験

##### (1) 実験設定

追体験ツールの動作および使用感を確認するために設計方針で述べたシナリオ 2 を想定した動作確認実験を行った。実験ではパイロットスタディ時に記録された見学者（パイロットスタディの被験者）の位置・方位・サポートスタッフによって撮影された見学者の追跡映像、実験後のインタビュー映像とインタビュー中の会話テキストデータを用い、モバイル MR システムを使用して科学技術館において実際に見学者の行動を追跡できるかを確認した。本実験の参加者（追体験者）は 4 名でシステムを使用しながらコメント・意見を得た。

##### (2) 結果と考察

本節では追体験中の観察結果と追体験者の意見から得られた知見についてまとめ、考察を加える。まず、見学者の追跡映像はその行動を現地において追跡する上でも非常に重要な手がかりとなることが確認できた。現地での見学者の行動や長く滞留して興味を示した展示を追体験者が実際に確認することができた。ただし、カメラの向きや画面の明るさに激しい変化があった場合には、画面内の見学者の位置と現実の位置の対応を見失うことがあった。このとき対応を取り戻すのに三次元地図上の見学者位置履歴が有効であった。このため、視点制御モードとしては見学者ビューモードが好まれた。

しかしながら、記録されていた位置履歴を測位誤差も含めたまま可視化を工夫せずに提示したために、実環境との対応が見つからない場合があり、結果的に位置履歴情報を補助的な利用に留める追体験者がほとんどであった。追体験システムにおいて、測位誤差については見学者の測位誤差と追体験者の測位誤差の両方が存在する。見学者の行動を追う場合には、拡大率の高い詳細な三次元地図において見学者の測位誤差を考慮した可視化を検討する必要がある。また、現在位置姿勢をキーとした検索を行う場合には追体験者の測位誤差が結果に影響を与える可能性があるため、誤差を考慮した検索方法についても検討が必要である。

また、2 時間近い履歴の検索結果に対する操作に標準的なスライダーを用いたため、時間操作について思い通りにできないと報告した追体験者がいた。実際、全ての追体験者において大きく時間を飛ばしながら見たいシーンを探するときのみスライダーを利用する様子が観察された。



図 3.2 - 1 2 [ISMAR] 国際会議で実施した屋内外測位デモ。上は正解軌跡、下は実演の様子。

### 3.2.5. 外部でのシステム性能検証実験

今年度のモバイル科学技術館学習支援システムに先立って、奈良県新公会堂（2007年11月、ISMAR2007）と龍谷大（2008年1月、電子情報通信学会 PRMU 研究会、情報処理学会 CVIM 研究会、日本バーチャルリアリティ学会 MR 研究会の合同研究会）において、システム性能検証実験を兼ねた実演展示を実施した。図3.2-12 [ISMAR]は後述するセンサモジュールを用いたデッドレコニングシステムを装着して屋内外を歩き回った際の測位結果である。この例では、インフラを整備することなく、デッドレコニングとマップマッチング（移動可能範囲を用いた制約、階段の昇り降り動作と階段位置との対応付け）により屋内外測位を実現している。GPS の場合（実際、GPS も備えていた）屋外から屋外に出て GPS 受信機が衛星からの信号を捕らえはじめてから測位結果を得るまでには待ち時間（十数秒から数十秒）が発生するが、デッドレコニングの場合はそのような問題はなくシームレスに測位結果を提供することができる。

図3.2-13 [SIG-MR]は龍谷大での実演展示の様子である。奈良県新公会堂もこの龍谷大も、実演展示の前に3次元地図コンテンツを作る必要があった。3次元地図コンテンツは、ユーザへの位置や向きの提示のためだけではなく、マップマッチング用データを生成するための元データとしても利用される。現状では、この3次元地図コンテンツは一般的なモデリングツール（Google SketchUp[文献 SketchUp]）を用いて手動で事前に生成している。今後は、前述の追体験のためのモバイルツールのように、現地でのセンシング結果を用いたインタラクティブなツールを開発してモデリングの負荷を減らしていくような取り組みも有効であろう。



左:地図コンテンツ。

右:デモの様子。

図3.2-13 [SIG-MR] 龍谷大での屋内測位デモ。

### 3.2.6. モバイル科学技術館学習支援システム実験の構成

#### 3.2.6.1. 実験システム

昨年度同様、今年度のモバイル科学技術館学習支援システムも、測位系（図3.2-14[測位系]）、コンテンツ管理系（図3.2-15[コンテンツ管理系]）、および利用者端末（図3.2-17[利用者端末]）の各サブシステムにより構成した。測位系としては、デッドレコニングをベースに、RFIDによる位置補正及びマップマッチング（移動可能範囲を用いた制約、階段の昇り降り動作と階段位置との対応付け）を組み合わせた統合的測位手法を採用した。

デッドレコニングは、筆者らが開発した図3.2-17[利用者端末]に示す Bluetooth 腰部センサモジュールに内蔵された加速度・ジャイロ・磁気センサ（各3軸）の出力に基づく歩行動作解析[文献 ISMAR2003]によって、基準位置からの相対移動ベクトルとその確からしさを推定する。昨年度は平坦路歩行のみをデッドレコニングによる解析対象としたが、今年度は、エスカレータ及び階段での階段移動もその対象とした。

また、昨年度は、装着デバイスに含まれていた組み込み処理系（日本 SGI、ViewRanger）にデッドレコニング処理を搭載していたが、今年度は、装着デバイス全体の小型・軽量化のために、デッドレコニング処理を利用者端末（SONY VAIO-U）で実行させた。これにより、装着デバイスの体積は約7分の1に小型化され、総重量（バッテリー含む）も400gから100gに軽量化された。この小型・軽量化はシステム装着時の違和感を軽減することに寄与すると期待される。

マップマッチングは、移動可能範囲を制約として用いる処理と、階段の昇り降り動作やエスカレータの乗り降り動作と階段位置との対応付け処理からなる。前者は、デッドレコニングから渡された相対移動ベクトルとその確からしさに基づいて、マップ上に移動後の位置の候補を生成する。そのうち、マップと照合して移動可能でない領域（壁や展示物など）に衝突する位置の候補を削除して、残存する位置のうち、尤もらしい位置を最終的な移動後の位置として出力する。マップマッチングの出力結果は、デッドレコニングシステムへとフィードバックされ、デッドレコニングシステムの推定結果を更新する。後者の動作との対応付けについては、地図上に配置された階段やエスカレータの位置や方向の情報に基づいたイベント駆動型の補正処理の一種であるといえる。

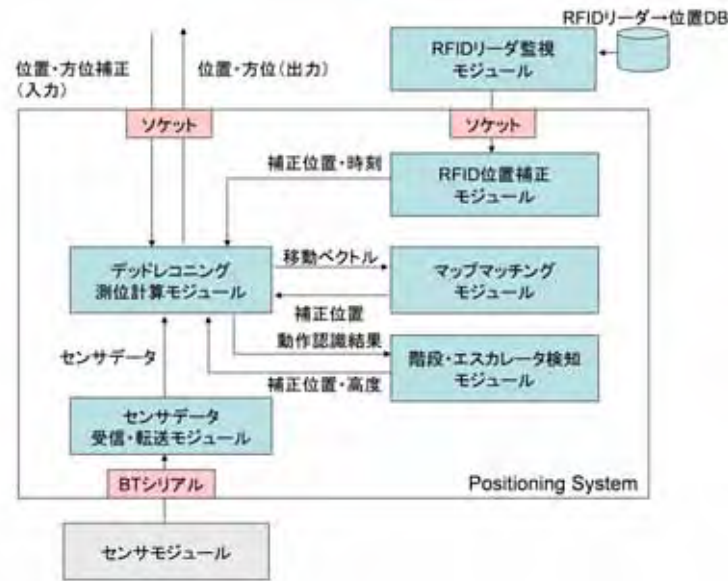


図 3.2 - 14 [測位系] 測位系に関する概略図

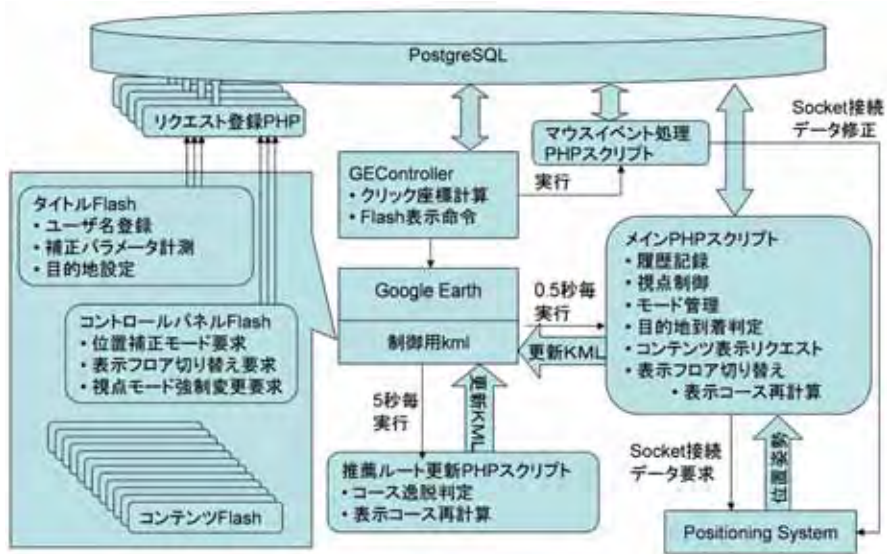


図 3.2 - 15 [コンテンツ管理系] 3次元地図、Flash コンテンツ、GUIなどの管理・制御についての概略図

### (1) インフラ

通信インフラとしては昨年度構築した Wi-Fi 網を利用することができたため、今年度は効率よく実験を実施することができた。ただし、Wi-Fi 測位については、筆者らによる挙動の解明がまだ不十分であったため用いず、純粋に無線通信網として利用した。

RFID による位置補正手法は基本的に昨年度のを踏襲した。しかし、昨年度は、RFID



での位置補正能力が、RFID リーダ（図 3 . 2 - 1 6 [RFID リーダ]）の電源系統のノイズなどに起因する誤差拡大によって正常に発揮されなかったため、今年度は利用者の持つ RFID タグと同様、リーダもバッテリー駆動とし、性能の安定化を図った。また、昨年度は 2 階から 5 階にかけて計 15 個のリーダを設置したが、今年度は 10 箇所に留め、主に階段と各フロアの境界付近及びエスカレータの降り口に配置し、階段やエスカレータの動作検出誤りの補償に用いた。



図 3 . 2 - 1 6 [RFID リーダ] 天井に設置された RFID リーダ

## (2) 利用者端末

本実験の被験者は、図 3 . 2 - 1 7 [利用者端末]に示す腰部センサモジュール、アクティブ RFID タグを装着し、ハンドヘルド利用者端末（SONY VAIO-U）を把持するか首にかけた状態で実験に参加する。



図 3 . 2 - 1 7 [利用者端末] ハンドヘルドPCとセンサモジュール

3 節で述べたように、昨年度は利用者端末（ディスプレイ）として、ハンドヘルドディスプレイとHMDとの比較を実施したが、HMD使用には年齢制限があって低年齢層は使

えないこと、また、複数人が同時に楽しむにはハンドヘルドディスプレイの方が適していることなどから、今年度はハンドヘルドディスプレイのみでの実験設定となった。

### 3.2.6.2. コンテンツ

科学技術館の各階の三次元地図（その地図情報に基づいて対話的に作成されるマップマッチング用データ含む）写真とテキストを含む静止画とそのテキストを読み上げる 15 秒程度の音声から成る静止画コンテンツ、その静止画コンテンツの位置を示す地図上のサムネイルコンテンツなどは、昨年度作成したものをほぼ再利用することができた。

今年度は新たに、5 階のオプト展示室の 6 つの展示の体験の仕方に関する説明用に 3 次元 CG を用いたアニメーション形式のコンテンツを作成した（以下、アニメコンテンツと呼称。図 3.2-18 [アニメ] 及び付録 2.3.2 参照。なお、静止画コンテンツと異なり音声は含まれない）。

静止画及びアニメコンテンツによる各説明用コンテンツには、利用者が現地近くに到着しその方向を向いた場合や、これからその地点に向かうナビゲーション開始時など、いくつかの条件に当てはまる場合に再生されるように属性が与えられている。



図 3.2-18 [アニメ] 3次元地図を素材にしたアニメーション説明コンテンツ



## (1) 事前調査

財団法人日本科学技術振興財団の企画広報室が2007年に実施した「一番面白かった展示室」に関するアンケート（1箇所のみ選択する方式）によると、オプト展示室への投票率は他の展示室と比べて高くなく、こどもで1.4%、おとなで1.8%であった。一方、科学技術館の説明員の方との意見交換を実施したところ、オプト展示室の各展示自体は体験の仕方さえわかれば十分に興味深いものであり、説明員が実際に解説すれば、来館者は興味を持って各展示を体験してくれることがわかった。

実際に設置されている実展示コンテンツとハンドヘルド端末などで表現されるような仮想展示コンテンツのそれぞれの特徴比較を表3.2-1 [実展示と仮想展示]に示す。このように、実展示と仮想展示とは相補的である。この特徴を生かしながら、最終的には実展示による体験を重視するために、説明員へのヒアリングに基づき、各展示の体験の仕方をアニメーション（仮想展示）で解説し、実際にどうなるかなどはアニメーションでは提示しないようなコンテンツを作成した。

表 3.2-1 [実展示と仮想展示] 実展示コンテンツと仮想展示コンテンツの特徴比較

コンテンツ	臨場感	製作・維持コスト	更新サイクル	人気の偏りの制御 <sup>2</sup>
実展示	高い	高い	長い	静的
仮想展示	MR技術で向上	低い	随時	動的

## (2) アニメコンテンツ

アニメコンテンツの作成にあたっては、3次元地図CGデータを素材とした。ただし、詳細な解説を実現するために、オプト展示室については昨年度より詳細なCGデータを追加した。また、本来であれば、3次元地図を用いてナビと詳細説明とをシームレスに提示すべきであるが、Google Earthの視点変更の自由度が十分ではないため、SketchUpでアニメーションを生成し、Flashコンテンツ(swf)を作成した。使用時には、被験者の位置や方向などに基づく各展示用の説明の再生条件が満たされた場合に、Google Earth上で各展示に対応するswfファイルがポップアップ再生される。

### 3.2.6.3. 3次元GUI

ハンドヘルド端末のディスプレイの大きさの制約により、3次元地図(Google Earth)とFlashコンテンツを並べて表示することは実用的ではない。昨年度の実験では、再生すべき

<sup>2</sup> 人気の偏りの制御：人気の偏りに対する制御をどのようにできるかということで、実展示はすぐに変更できないので静的、仮想展示は適宜追加修正できるので動的としている。



図 3 . 2 - 1 9 [ポップアップ] Google Earth 上に Flash ポップアップを表示し、メニューや各種コンテンツを表示

Flash コンテンツが存在する場合はその再生画面が全画面を表示し( 図3 . 2 - 4 [GUI]右) それ以外の時は3次元地図を全画面表示するように制御していた( 図3 . 2 - 4 [GUI]左)。

ただし、3次元地図とFlashブラウザとのフォーカス切り替え処理が必ずしも安定しておらず、また、切り替え方式だと、再生されているFlashコンテンツがどの場所に関連しているものなのかのキュー(cue)をユーザに与えることが難しいため、今年度は、3次元地図中にコンテンツがポップアップして表示される方式に変更した(例: 図3 . 2 - 1 9 [ポップアップ])。もちろん、大きく表示すべき場合は徐々に拡大表示することによって、コンテンツがリンクされている場所を把握しつつ十分な解像度でコンテンツを視聴できるよう配慮した。

3次元地図の視点についてであるが、昨年度の後半2日間は、約10秒間縮尺の大きい表示をし、次の5秒間は少し引いた表示をすることを繰り返すようにし、角度も斜め後方から現在位置を見据えるように視点を制御した。これにより昨年度は妥当な評価が得られたが、今年度は下記の4パターンを用意し被験者による主観評価を実施した。

視点制御パターン 1) [自動追跡 + 自動回転]

(昨年度の制御方式に近い方法、 図3 . 2 - 2 0 [視点 AA])

視点制御パターン 2) [自動追跡 + 方向固定] ( 図3 . 2 - 2 1 [視点 AF])

視点制御パターン 3) [真上からの鳥観 + 自動回転] ( 図3 . 2 - 2 2 [視点 FA])

視点制御パターン 4) [真上からの鳥観 + 方向固定] ( 図3 . 2 - 2 3 [視点 FF])



図 3 . 2 - 2 0 [視点 AA] [自動追跡 + 自動回転](昨年度の制御方式に近い方法)

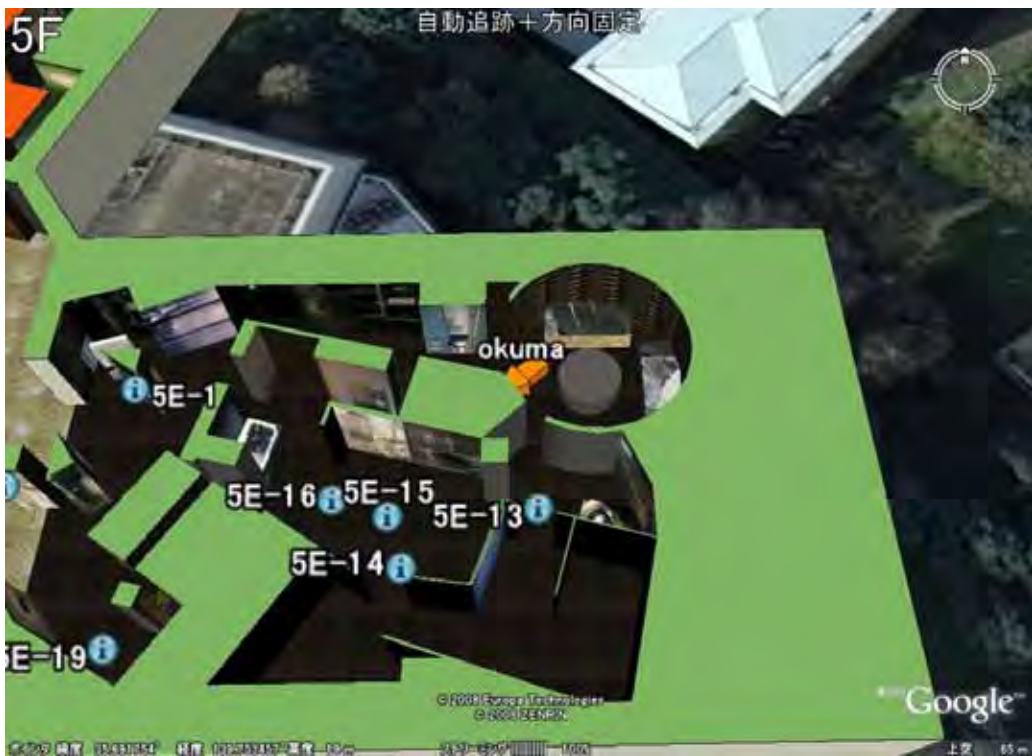


図 3 . 2 - 2 1 [視点 AF] [自動追跡 + 方向固定]





図 3 . 2 - 2 2 [視点 FA] [真上からの鳥観 + 自動回転]



図 3 . 2 - 2 3 [視点 FF] [真上からの鳥観 + 方向固定]

さらに、制御パターン1、2(視点追跡モード)の場合、**図3.2-24[視点信頼度1]**、**図3.2-25[視点信頼度2]**に示すように、測位系の不確かさが小さい場合は、縮尺を大きく表示し、逆に不確かさが大きい場合には、縮尺の小さな地図を表示した。これにより、測位誤差の影響により現在位置の表示がずれていても、画面内に本来の現在位置が含まれる状況が増えるとともに、システムの“自信の度合い”を暗に表現しユーザに伝えることができると思われる。

また、昨年度の実験では、利用者が端末の操作に時間を取られたり、操作法を覚えたりしないで済むようにするため、利用者の位置や向き、時間に応じて端末が適応的に振る舞うようにシステム全体を設計した。これにより、ハンドヘルドディスプレイ利用時もHMD利用時もポインティング操作は必要なく、コンテンツのリプレイ再生希望時と、時間の決まったイベントへの誘導をキャンセルする場合のボタン操作のみが要求された。

しかしながら、行き先の決定などの操作もできた方がよいという被験者からのフィードバックを反映させるためや、被験者自らがサポートスタッフの手を借りずに位置の修正などが行える手段を提供するために、今年度は**図[ポップアップ]**にも示したようなメニューの選択や、後述にあるような目的地選択や、位置と方向の修正などの操作を被験者が行えるようにした。



**図3.2-24[視点信頼度1]** 測位系の不確かさが大きい場合、自動追跡モードでは縮尺を小さく表示





図 3 . 2 - 2 5 [視点信頼度2] 測位系の不確かさが小さい場合、自動追跡モードでは縮尺を大きく表示

#### (1) 初期操作

被験者がハンドヘルド端末を用いて行う最初の操作は、実験開始のボタンの押下(図3 . 2 - 2 6 [スタート画面])となる。その後、アカウント作成(図3 . 2 - 2 7 [アカウント画面])、目的地設定(オプトは必須、残り2箇所を選択、図3 . 2 - 2 8 [目的地設定画面])、及び歩行個人パラメータ取得(図3 . 2 - 2 9 [個人パラメータ画面])についての操作をしながら、端末に慣れていくことになる。

歩行個人パラメータを取得する際には、まず、ある決められた距離(図3 . 2 - 2 9 [個人パラメータ画面]の例では10m)を歩いてパラメータを計算し、もう1度同じ距離を歩いて得られたパラメータの検証を実施している。また、もし、検証の結果が悪い場合は再試行を促すメッセージが提示される。



図 3 . 2 - 2 6 [スタート画面] システムを使い始める際、ハンドヘルド端末に表示されたスタートボタンを押下する。操作は指もしくはスタイラスによるタッチパネル操作、もしくはポインティングデバイスによる操作のいずれかで行う。



図 3 . 2 - 2 7 [アカウント画面] アカウントを作成



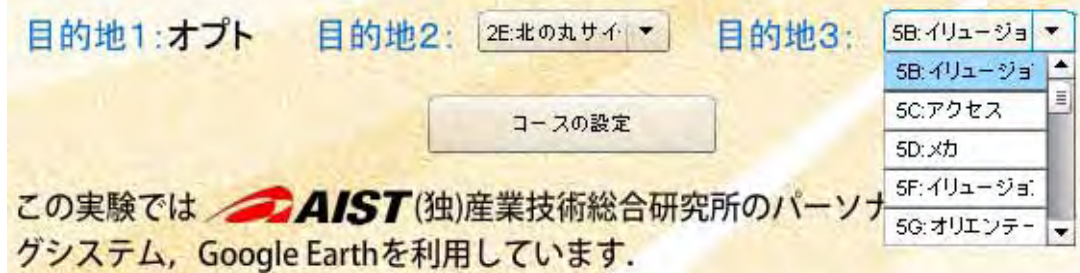
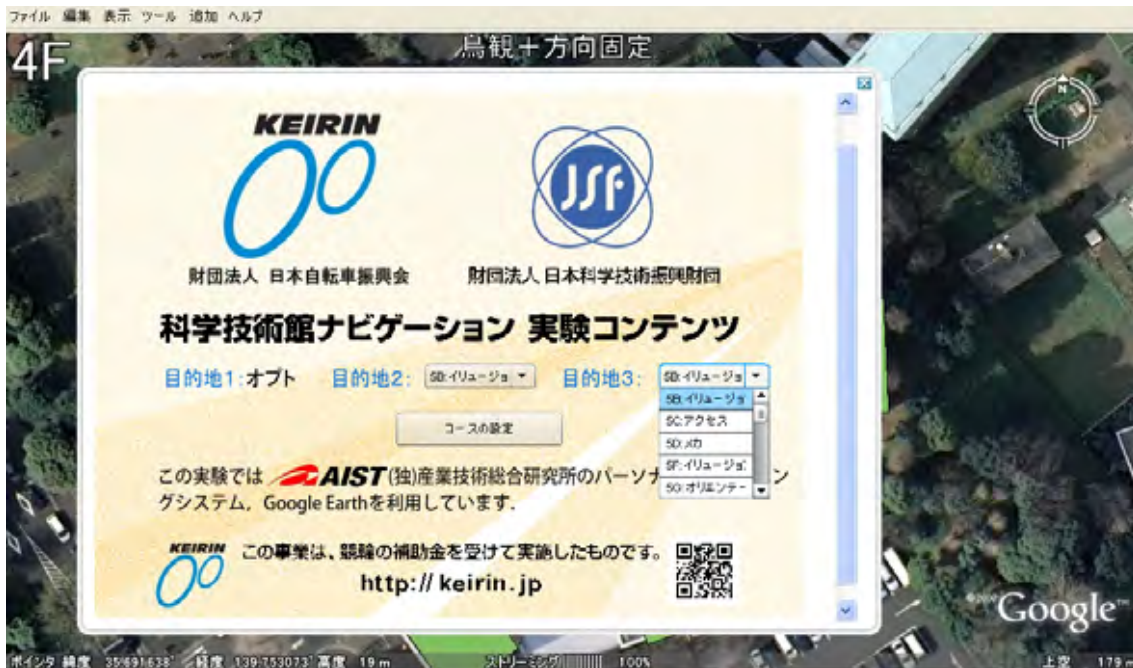


図 3.2 - 2 8 [目的地設定画面] 目的地を設定する。オプトは必須で、残り2箇所をリストから選択



図 3 . 2 - 2 9 [個人パラメータ画面] 歩行個人パラメータを取得するための操作画面。





図 3.2 - 30 [位置修正画面] 実空間と3次元地図とを見比べながら、本来の現在位置を思われる位置にカーソルを合わせてクリックする。



図 3.2 - 31 [方向修正画面] 実空間と3次元地図とを見比べながら、地図の上側が進行方向となるようにユーザ自身の向き、または地図の向きを調整して画面上をクリックする。

## (2) 現在位置と方向の対話的修正

3次元地図上のコンテンツが配置されていない場所をクリックすると、**図3.2-19 [ポップアップ]**のように現在位置と方向の対話的修正もしくは視点変更をするためのメインメニューが表示される（主なメニューについては**付録2.2**参照）。位置補正のメニューを選択すると、**図3.2-30 [位置修正画面]**、**図3.2-31 [方向修正画面]**に示すように位置、方向の順で修正するモードに遷移する。その際、ユーザ（被験者）はまず、実空間と3次元地図とを見比べながら、本来の現在位置と思われる位置にカーソルを合わせてクリックする。次に、地図の上側が進行方向となるようにユーザ自身の向き、または地図の向きを調整して画面上をクリックする。

## (3) 最短ルート提示

科学技術館のウェブサイトには「おすすめコース」が多数掲載されており、昨年度は、そのうちの4コース分のデータや、時間が決められているワークショップや展示のスケジュールデータをデータベースに入力し、その各データと現在位置に基づいて計算される推薦ルートを提示していた。ただし、コースの選択は被験者ではなく実施者により行われた。今年度は、前述の通り、オプト展示室、及び各被験者が自由に選択した2つの展示室の計3つの展示室を巡ることになるため、それら各目的地や受付に戻る最短ルートが提示される（提示方法については**図3.2-7 [推薦ルート2]**参照）。

### 3.2.7. モバイル科学技術館学習支援システム実験の実施

#### 3.2.7.1. 実験設定と手順

本実験は、休日1日間、平日3日間の計4日間実施することとした(2008年2月24日(日)~27日(水))。1日につき午前と午後2時間ずつ実験時間を設定し、同時に3組が試行できるような体制とした。被験者の安全考慮、行動履歴記録、及びシステム調整のために1組の被験者につき1人の付き添いを割り当てた。

各被験者は4階に設置された受付(**図3.2-32 [受付]**)で実験を開始し、前述のように、オプト展示室、及び自由に選択した2つの展示室の計3つの展示室を巡った後、再び受付に戻ってくる。実験時間としては、30分から1時間を想定したが、特に強制はしなかった。各展示(サブゴール)に到着する度に、視点制御パターン([自動追跡+自動回転]、[自動追跡+方向固定]、[真上からの鳥観+自動回転]、[真上からの鳥観+方向固定])が自動的に切り替えられた。その際、順序効果が分散するようにランダムな切り替えがなされるよう配慮した。

各付き添いは、ビデオカメラを持ちながら被験者の後方から映像音声ログを記録した(**図3.2-33 [ログ映像]**は得られたログ映像の一例)。また、階段の上り下りやエスカレータの乗降の際の安全確保やシステムトラブル対処なども付き添いの主な役割であった。

各被験者は試行開始前に、実験に関する事前説明を受け、実験参加に関する同意書(付

録 2.1.2) と、写真や映像の公表についての承諾書 (付録 2.1.3) への署名をした。説明は、付録 2.1.1 に示す説明書 (本実験は説明書記載の A~D のうちの A、B に相当) を参考にしながら行われた。

表示される最短ルートについてであるが、昨年度は、科学技術館の見学行動がシステムによって強制される印象を与えないようにするために、必ずしも従う必要はないと伝えた。今年度は、自らが選択したコース設定であるためそのような配慮はせず、評価条件を各被験者において揃えるためになるべくコースに従うように伝えた。



図 3.2 - 3 2 [受付] 4階受付では、科学技術館の3次元地図上に各被験者の現在位置を表示した。

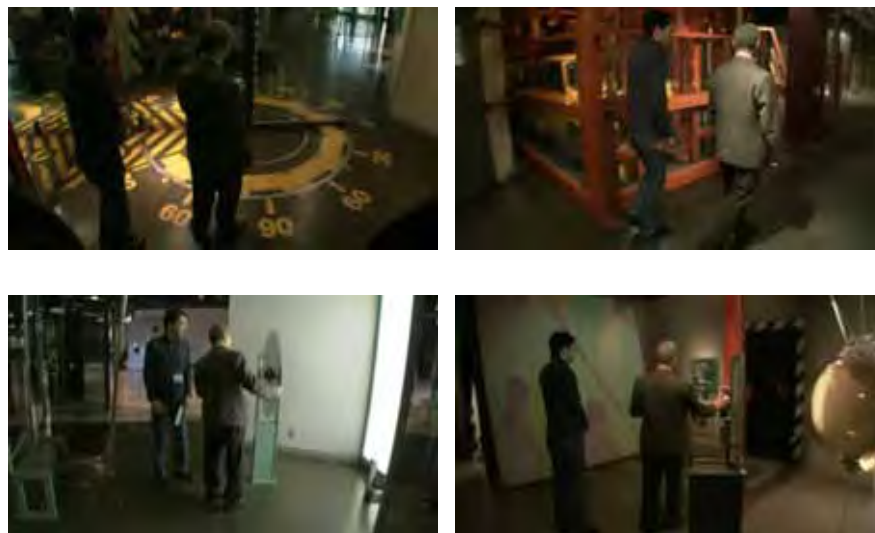


図 3 . 2 - 3 3 [ログ映像] 得られたログ映像の一例

各被験者には、試行終了後、付録 2.4.に示すアンケート用紙への記入と、数分のインタビューをお願いした。アンケートの質問は以下の 1 2 問であった。

**[目的地に関する質問]**

1. どの目的地が面白かったですか？ 1 ~ 3 位までの順位を記入してください。

**[3次元地図に関する質問]** (視点制御パターンごとに回答)

2. 3次元地図はわかりやすかったですか？
3. 画面に表示されている自分の位置と実際の自分の位置は簡単に対応がとれましたか？

**[学習支援システム、ナビシステムに関する質問]**

4. オプトのアニメーションによる説明はわかりやすかったですか？
5. オプト以外の展示物の静止画と音声による説明はわかりやすかったですか？
6. 表示されたルートに従いましたか？
7. 目的地を、簡単にみつけられましたか？
8. 画面と展示物のどちらをよくみましたか？
9. ナビシステムの必要性や有用性を感じましたか？
10. ナビシステムだけでなく人間の説明員による説明やナビが必要と感じましたか？
11. ナビシステムは邪魔でしたか？
12. ナビシステムはまわりの人との会話の邪魔になりましたか？



### 3.2.7.2. 実験告知と被験者

昨年度と異なり、今年度の実験では、事前予約者や派遣スタッフによる被験者を用意せず、当日受付のみとした。実験の告知は、科学技術館メールマガジンの配信[文献 ML 告知]、産総研ウェブサイトでの告知[文献 Web 告知]によって行い、図 3.2-34 [告知]に示すような告知内容を掲載した。受付では、図 3.2-32 [受付]に示すように 52 インチ大型ディスプレイで科学技術館の 3 次元地図上への各被験者の現在位置表示デモを実施し、来館者に興味を持ってもらえるように配慮した。また、実験参加のモチベーションを高めるために、被験者には図書カードを進呈することとした。

このように当日受付のみであったが、女性 5 名、男性 18 名の計 23 名に被験者として協力していただいた。年齢別構成は、小学生 13 名、20 歳代 5 名、30 歳代 3 名、40 歳代 1 名、50 歳代 1 名となっており、さまざまな世代からのフィードバックが得られることとなった。

なお、週末(2/24)は、積極的な広報活動をする事なく、小学校中学年(多くは保護者同伴者)を中心に 11 名を被験者として招き入れることができた。一方、平日の 3 日間は団体客がほとんどであったため、各団体の集合時間の制約があったり、保護者同伴ではなかったりという面で、被験者の確保に苦労した。それでも、当日受付のみで昨年度と同程度の人数で被験者実験を実施できたことは評価すべきであるが、今後は、実験の実施日についての検討もすべきであると考えられる。

## 「モバイル科学技術館学習支援システム実験」参加者募集

独立行政法人産業技術総合研究所と財団法人日本科学技術振興財団との協同研究として「モバイル科学技術館学習支援システム実験」を以下の日程にて科学技術館で実施いたします。



予約制ではございませんので、ご興味のある方はお早めにお越しいただけますようお願いいたします。

実験調査のために実験風景及びインタビュー風景をビデオ撮影いたします(一部学会等の発表に使用させていただきます)。

本実験の一部は日本自転車振興会の補助金で実施しています。また、実験システムでは、パーソナルホシシオニングシステム、及びGoogle Earthを利用しています。

#### 日程:

平成20年2月24日(日)~2月27日(水)

午前の部: 10:00~12:00

午後の部: 14:00~16:00

(一度に最大3組まで)

#### 内容:

装着型センサや携帯情報端末を身につけて30分~1時間の科学技術館見学をしていただきます。その後、5~10分程度のアンケートやインタビューにお応えいただけます。

#### 受付:

科学技術館4階「ユニバース」入口隣りの受付テーブルまでお越しください。

#### お問い合わせ:

jsfnavi-info@m.aist.go.jp

図 3.2-34 [告知] 被験者募集の告知

### 3.2.7.3. アンケート結果

アンケート結果の統計的な解析は、今後の課題として残されているが、本報告では速報的な結果についてのみ掲載する。図3.2-35 [アンケート]は、質問7を除く計11問の質問に対するアンケート結果を示している。質問1では、3箇所の展示室の面白さの順位付けについてであり、それ以外の各質問は7段階評価により回答された。以下、各質問に関する考察を述べる。

質問1の結果からは、各被験者が巡った計3箇所の展示室の中でオプト展示室が最も面白かったと回答した被験者が最も多かったことがわかる。3.2.6.2.節(1)で述べた通り、事前の人気アンケートでは下位に位置していたオプト展示室が本実験では、平均よりも高い人気を得たことになる。ただし、これが、アニメコンテンツ自体によるものなのか、アニメコンテンツによってオプト展示室が本来持つ魅力を引き出すことができた結果なのかの判明のためには、今後のさらなる調査を待つ必要がある。

質問2,3は、3次元地図に関して、特に、視点制御パターンごとの違いについてのものであったが、[真上からの鳥観]よりも[自動追跡]の方がわかりやすく、また、[方向固定]よりも[自動回転]の方がよい評価を得られる傾向にあった。ただし、[自動追跡+自動回転]以外は基準値4を超えていない。また、[自動追跡+自動回転]に関しても決してよい評価値が得られたとは言えない。この原因が、測位系の誤差にあるのか、地図の提示の仕方にあるのかなどを解明する必要がある。また、[自動追跡]と[真上からの鳥観]の比較は、3次元地図と2次元地図の比較を意図していたが、実際には、スケールの設定もかなり異なっているため、その意味での評価は今回、困難であると思われる。

質問4,5は、アニメコンテンツと静止画コンテンツとの比較についてであった。音声がないにも関わらず、アニメーション表示による説明の方がわかりやすいという評価が得られた。

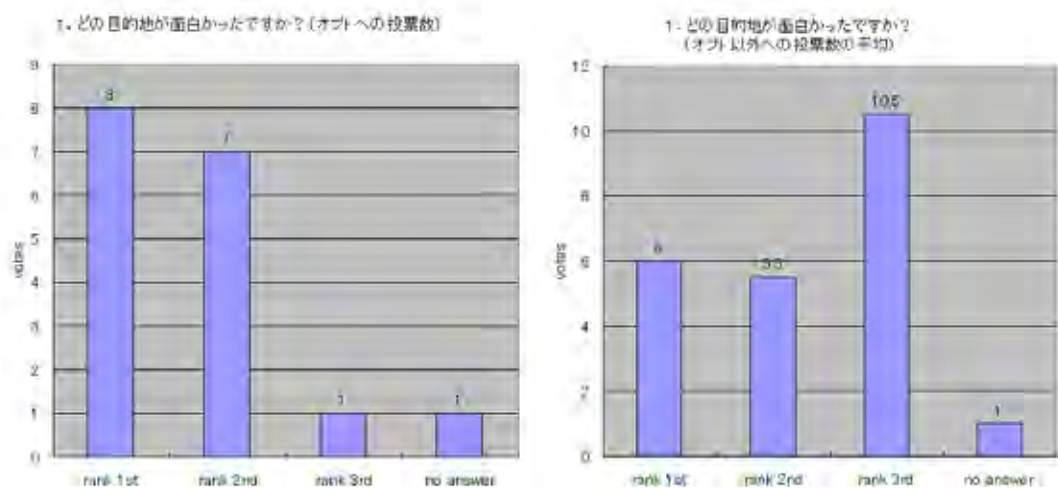
質問6は、ルートに従ったかどうかというものであったが、実験前になるべく従うように告げたことや説明や目的地を被験者本人が選択したことなどがあり、ルートに従ったという評価が得られた。

質問8からは、展示物よりも画面をよく見ていたという評価結果が得られた。これは、移動中の印象を含む可能性もあるが、もし展示室にいる場合においても同じ傾向の結果が得られる場合は、本来目指している展示物自体を主役としたような学習支援システムとは位置づけが異なってくる。そのため、今後のさらなる調査が必要となる。

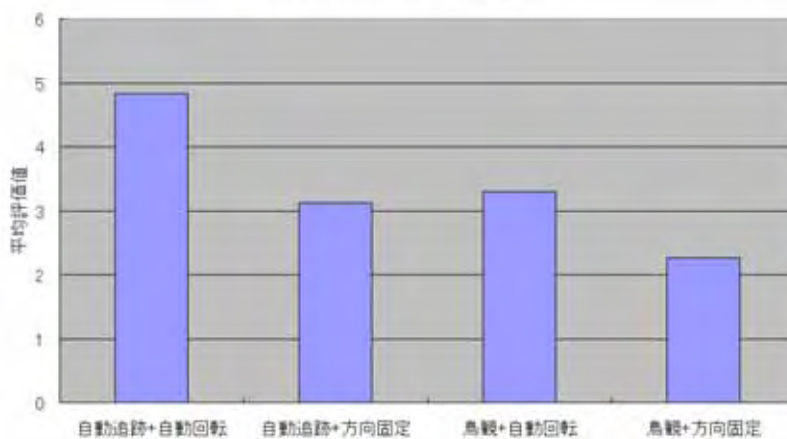
質問9ではナビシステムの必要性や有効性を感じるかどうか、質問10ではナビシステムに加えて人間(説明員)による説明やナビが必要かどうかについて尋ねた。その結果、ナビシステムも必要・有効であるが、さらに人間による説明やナビも必要であると評価される傾向があることがわかった。

質問11、12では、ナビシステム自体が展示体験の邪魔になったかどうか、会話の邪魔に

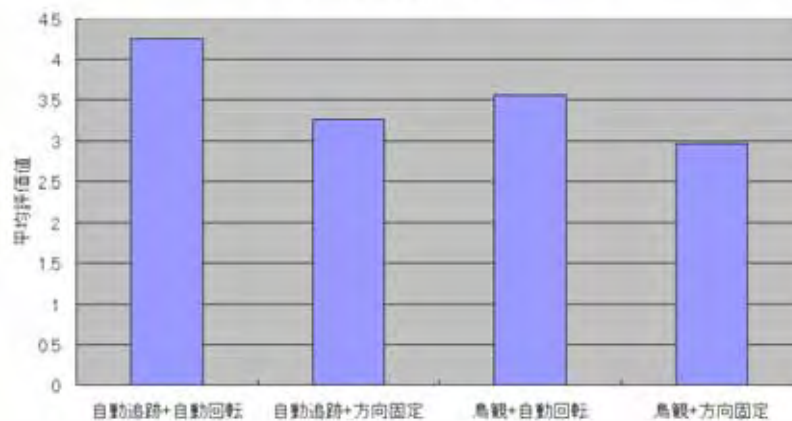
なったかどうかについて尋ねた。その結果、邪魔というわけではないと評価される傾向があることがわかった。

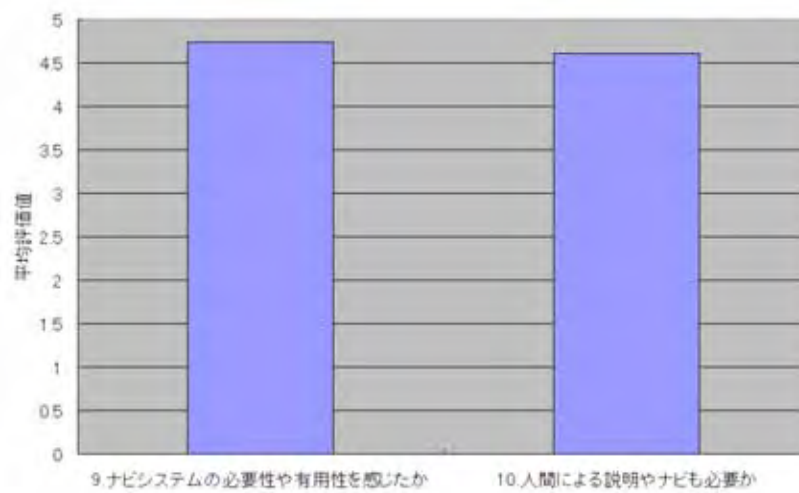
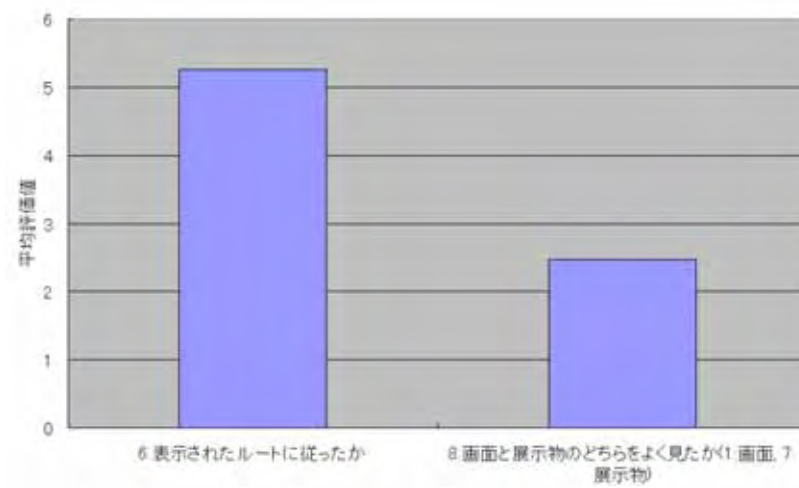
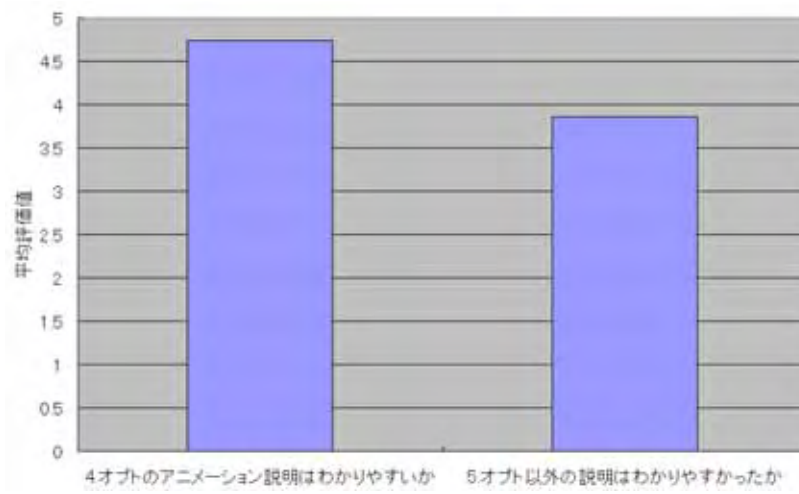


2. 3次元地図はわかりやすかったですか？



3. 画面に表示されている自分の位置と実際の自分の位置は簡単に対応がとれましたか？





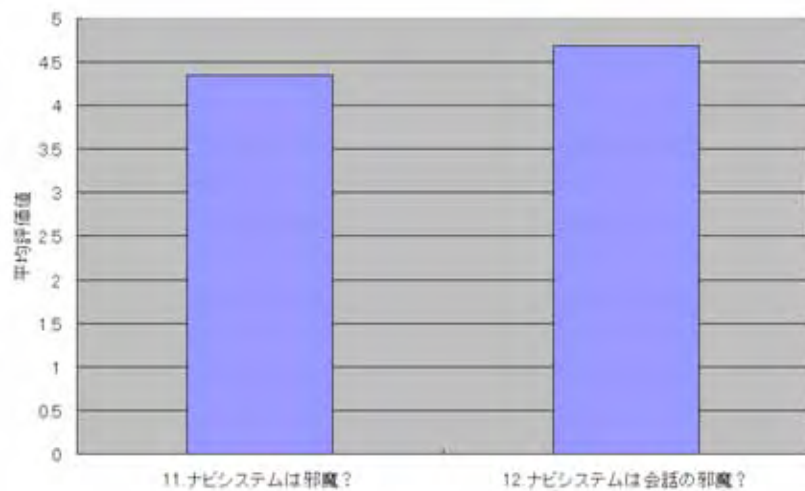


図 3.2 - 35 [アンケート] 質問7を除く計11問の質問に対するアンケート結果

#### 3.2.7.4. インタビューと考察

アンケート同様、被験者からのコメントやインタビューの会話などの厳密な解析は今後の課題であるが、本節では、まず、被験者から得られたコメントの一部をいくつかに分類して掲載する。

##### 全体的な印象について

- 楽しかった
- ナビをもって歩くのが楽しかった。
- 迷子になったときなどに親を見つけやすくなると思いました。

##### 3次元地図やコンテンツ表示について

- 緑の矢印が次のルートの行き先を教えてくれて分かりやすかった。
- 地図がとても詳しく出ていて分かりやすかった
- オプトのアニメーション説明は対象の目の前に立たなくても説明がはじまってしまったので、どの展示物についての説明なのか分かりにくかった。
- コンテンツが密集している所があり、必要でない時にコンテンツが再生された。
- 時々鳥観で位置を確認したいことがあった。
- 目的地と現在位置が画面内に入る範囲で最大限拡大してほしい。
- 文字が小さい。矢印が小さい(特に鳥瞰図)。
- 鳥観図のときに緑矢印が見えづらい。
- 視点固定のときは、進むべき方向が若干分かりづらい。

### 測位、位置・方向修正について

- 階段で階がずれた。
- 階段のあたりで位置が間違っ表示されることが多かった。
- 電波（RFID）による補正でかえってずれた。
- 別の計測装置を併用して、時々位置補正をすると良いと思いました。
- 位置姿勢を修正する頻度を減らしてほしい。
- 方向と位置設定が正確にしにくかった。

### 端末（ハンドヘルドPC）について

- ナビシステムが大きい、重いので展示を見るのには少し不向きだと思いました。
- ケータイや NINTENDO DS で同じようなシステムがあればその場です出して使えるし、子供も持っているので便利だと思います。
- NINTENDO DS + ダウンロードサービスで何とかできないか？ ディズニーワールドで実証中のはず
- 端末の（操作性）把持性に選択の検討の余地有りと感じた
- 画面が小さくて見づらい。PC 端末を見るのにどうしても一生懸命になってしまい、周りにいる人とぶつかる可能性があると感じた。
- 全身を使った体験型の展示物の体験がし辛かった。

### 音声について

- 動物園などの音声ガイダンスよりも音が小さくて聞きづらかった。
- イヤホンをつけた方がいい(周囲がうるさかった)
- (行き先やアニメ再生中など) 音声でも教えて欲しい

全体的な印象として楽しかったという感想が得られている。小学生中学年程度の被験者が多く、ゲーム感覚で楽しんでもらうことができた。また、もう一度体験させて欲しいと、実験終了後に戻ってきた被験者（低学年の児童）もいた。各被験者あたりの試行時間は特に強制せず 30 分から 1 時間を想定していたが、（正確な解析はまだであるが）平均で 35 分前後、最短で 10 分程度、最長で 1 時間半程度であり、おおむね肯定的にシステムを体験していただいたものと思われる。

3 次元地図やコンテンツ表示についてであるが、地図やルート表示がわかりやすかったとい評価が得られている。測位精度が向上したため、フロア全体を表示しなくても、自動追跡による大きな縮尺での表示が最も評価がよいという結果が得られたと考えられる。また、測位の不確かさによる縮尺制御を導入したことも効果があった可能性がある。

一方で、興味を持っていただいた高齢者(65 歳女性)が、画面の文字や現在位置を示す矢印が小さすぎて体験を断念されたなど、上記コメントを含め、GUI デザインがユニバーサ



ルではなかったことを示しており、改善の必要がある。また、測位系の誤差、コンテンツの配置密度、ユーザの体験履歴などを考慮したコンテンツの出現（再生）条件を設定できし、せっかくの説明コンテンツが学習支援の支障にならないようにすることも課題である。

測位、位置・方向修正については、階段付近でのネガティブなコメントが得られた。実際、階段に係る処理の実装は、実施直前に行われたものであり、処理の安定化が十分ではなかった。また、RFID やマップマッチングによる補正が十分に機能しなかった場面が少なからずあり、被験者に頻繁に位置や方向の修正を強いる場合もあった。

端末（ハンドヘルドPC）については、アンケートからはあまり否定的な結果は得られていないが、インタビューでは大きく重いという意見が多く寄せられた。任天堂 DS を用いたディズニーストーリーのツアーガイドサービスは、屋内測位を実現したり、詳細な 3 次元地図を現在位置や方向に応じて提示したりするものではないため、直接比較は難しい。しかしながら、携帯電話や携帯ゲーム機、iPod Touch や PND（パーソナルナビゲーションデバイス）などで、既にある程度の測位とナビゲーションの融合サービスは提供されていることや、端末自体のコストを削減可能であることなどから、端末を PC ベースから、携帯端末ベースに移行することを検討すべきであると考えられる。ただし、その場合、端末自体の性能が低下してしまうため、測位系やインタラクション技法などの技術的な改良がさらに必要になってくる面も発生する。いずれにしても、一般的に本実験に類するサービスが認知され始めているため、（今回を含め）一般向け実証実験によってこれまでよりも意味のあるデータが得られることが期待できる。

音声についてであるが、アニメコンテンツや行き先の提示などの際にも音声ガイドがあった方がよいという意見が得られた。また、周囲の音に対して、端末のスピーカーから出力される音が小さかったため聞き取りづらい場面が多く見られた。イヤホンをつけた被験者とつけなかった被験者がいたが、イヤホンがあった方が聞き取りやすさの面では望ましいようである。ただし、ハンドヘルド端末はグループでの利用が可能という利点があるため、音声の聞き取りやすさとの両立は課題である。

### 3.2.7.5. 測位精度評価

被験者1名について、測位精度を評価したので報告する。これにより被験者全員分の測位精度評価の方法がある程度確立できたため、今後、統計的な評価を進める予定である。

そもそも、測位精度評価を実現するには、グランドトゥルスデータが必要となるが、本来そのようなデータを容易に入手できない環境での実験を実施している。そのため、**グランドトゥルスデータ<sup>3</sup>**自体も技術課題となる。本実験では、追体験ツールを流用して、サポートスタッフが撮影した映像再生とそれに対応した測位データに基づいた3次元地図表示とを同期させるグランドトゥルスデータ入力ツールを作成した(図3.2-36[グランドトゥルスデータ入力])。



図 3.2-36 [グランドトゥルスデータ入力] グランドトゥルスデータ入力ツールのうち、Google Earth 以外の部分のデザイン。

<sup>3</sup> グランドトゥルスデータ：被験者の位置を直接計測していないので、ここではビデオを手で解析して得られた正解データ（手作業による誤差を含む）を指す。

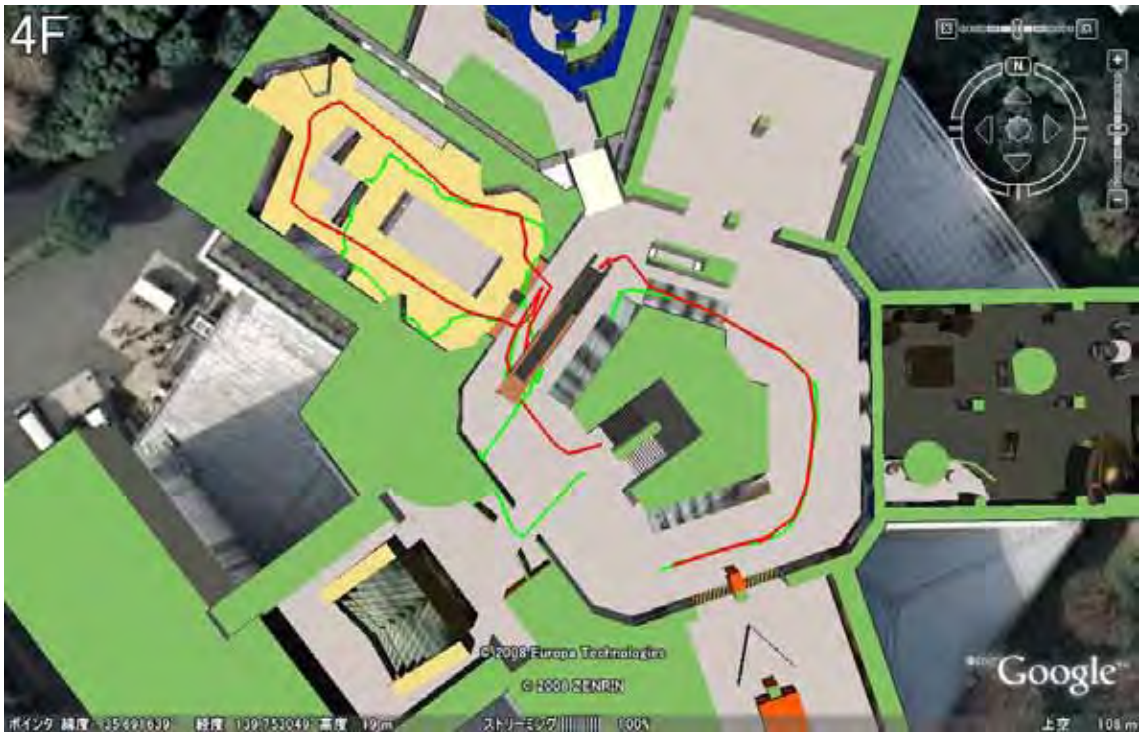


図 3.2 - 3.7 [軌跡] 測位結果により得られた軌跡を緑色、グランドトゥルースデータ入力ツールで入力した基準となる軌跡を赤色で表示。



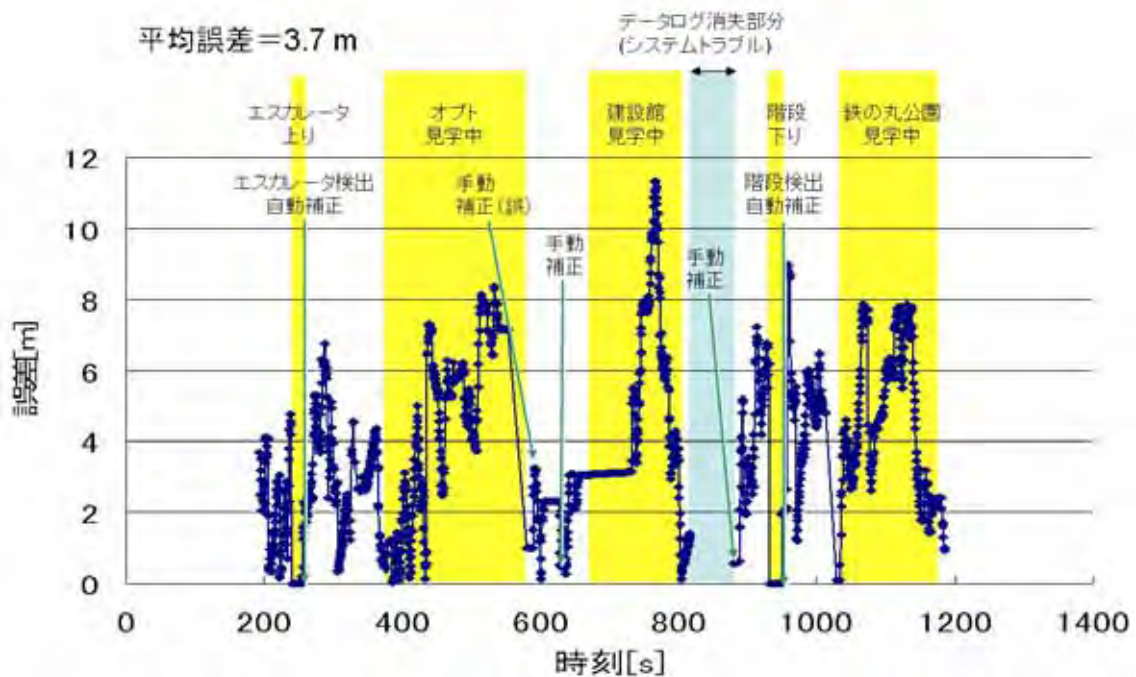


図 3 . 2 - 3 8 [測位誤差グラフ] 測位結果により得られた軌跡とグランドトゥールズデータ入力ツールで入力した基準となる軌跡とを比較して得られた測位誤差。

その入力ツールにより得られた基準となる軌跡と、被験者が装着した測位系サブシステムにより得られた軌跡を図 3 . 2 - 3 7 [軌跡]に示す。また、それら両軌跡を用いて得られた各地点での得られた測位誤差を図 3 . 2 - 3 8 [測位誤差グラフ]に示す。この被験者の場合の平均誤差は 3.7m であり、通常の GPS や屋内 Wi-Fi 測位よりも多少よい程度であった。ただし、この被験者は、約 16 分の間に 3 回位置修正を試みていた（そのうち 1 回は間違っただ位置に修正していた）。

軌跡及び誤差グラフから、展示室から展示室への移動については比較的安定して測位が実現されていたことがわかった。一方で、各展示室内では、そのレイアウトの複雑さに、現状のマップマッチングアルゴリズムが対応し切れず、誤差を増大させていることもわかった。また、レイアウトが複雑な場合、デッドレコニングで用いている歩行モデルに当てはまらない歩き方をしている可能性も考えられるため、それらの点について、今後の検討が必要である。なお、方向については、ジャイロと地磁気を併用したアルゴリズムの改良により、あまり大きくずれることはなかったと考えているが、定量評価は今後の課題である。

### 3.2.8. おわりに

本報告では、主に、昨年度の実験結果と比較しながら、今年度のモバイル科学技術館学習支援システム実験とその結果について述べた。また、被験者行動履歴を用いた追体験のためのモバイルツールについても概説した。今年度は科学技術館での2年目の実験であることや、外部での実装実験を繰り返してきたことなどもあり、昨年度と比較しシステムが安定していた。そのため、評価データに様々な意味でのノイズが含まれることが減っており、今後の厳密なデータ解析から有益な結果が導き出されることが期待される。

学習支援の面では、アニメコンテンツにより、実展示が本来持つ魅力を引き出せた可能性があり、今後この点についてはより深く検討していく必要がある。また、作りこまれたコンテンツに加えて、人間による説明の必要性もアンケートなどからわかっている。これらの点をサービス工学の面から捉えると、実展示・仮想展示・人のカップリングによるQOE (Quality of Experience)の向上という研究課題への取り組みが今後重要になるのではないかと考えられる。

例えば、各説明員には豊富な解説ノウハウが蓄積されており、そのノウハウを投入すれば各展示がより魅力的になることは明らかである。しかしながら、表[実展示と仮想展示]にも示した通り、実展示更新のサイクルはコストなどの面で早めることは困難である。そのため、本実験のように仮想展示コンテンツによるある種の補償は非常に有効であるといえ、その次の課題はいかに仮想展示コンテンツを効率よく増やしていくかという点になる。説明員などプロシューマ向け解説コンテンツ生成ツールを提供できれば、そのような課題を解決できる可能性がある。技術的には追体験ツールとそのようなコンテンツ生成ツールは共通点が多いため、早期の開発を検討したい。

また、やはり、最も優れた解説コンテンツは人間による解説であるとも言える。その場合、コンテンツ作成同様、問題となるのは人手不足やコストなどである。もしも、来館者と遠隔説明員（他フロア、他展示施設、在宅の説明員）との適応的マッチメイキングが可能となり、遠隔コミュニケーションを円滑にするインタフェース技術が実現されれば、これらの問題を軽減できるのではないかと考えられる。



## 参考文献

[文献 ICCAS] Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, Nobuchika Sakata, Takeshi Kurata: "A Pilot User Study on 3-D Museum Guide with Route Recommendation Using a Sustainable Positioning System", In Proc. International Conference on Control, Automation and Systems 2007 (ICCAS 2007) in Seoul, KOREA, pp.749-753 (2007)

[文献 PlaceEngine] PlaceEngine, <http://www.placeengine.com/>

[文献エアロスカウト] 日本エアロスカウト社, <http://aeroscout.co.jp/>

[文献 SICE] 蔵田武志, 酒田信親, 葛岡英明, 興相正克, 大隈隆史, 西村拓一, 遠隔協調作業のためのウェアラブル・タンジブルインタフェース, SICE 第 69 回パターン計測部会研究会, pp.11-18 (2006)

[文献 ISWC2001]

[文献 ISMAR2003] M. Kourogi and T. Kurata, "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera," in Proc. ISMAR2003, pp. 103-112, 2003.

[文献 ICAT2006] Masakatsu Kourogi, Nobuchika Sakata, Takashi Okuma, and Takeshi Kurata: "Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System", In Proc. 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2006), pp.1310-1321 (2006)

[文献 DRM] ハネウエル社 DRM, <http://www.magneticsensors.com/products.html#DRM>

[文献トキメック] 開発が進む マルチ出力マイクロ慣性センサ「MESAG」,  
<http://www.tokimec.co.jp/sensor/mesag/index.html>

[文献 SketchUp] Google SketchUp, <http://sketchup.google.com/intl/ja/>

[文献 ML 告知] 科学技術館メールマガジン, <https://www3.jsf.or.jp/mailmaga/menu.asp>

[文献 Web 告知] 産総研ウェブサイトでの実験告知,  
<http://unit.aist.go.jp/itri/itri-rwig/ci/ari/jsf2008.html>  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/event/ev2008/ev20080224/ev20080224.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/event/ev2008/ev20080224/ev20080224.html)

## 4 . 今後の展開

本年度は「ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援システムに関する研究開発」の一環として「記銘支援試作システムによる評価実験」および「モバイル科学技術館学習支援システム実験」を行った。また委員会において様々な検討がなされた。その結果を踏まえた今後の展開を以下に示す。

「記銘支援試作システムによる評価実験」では学習の基本となる記憶支援について評価実験を行なった。展示物に接した事を思い出せなければ、その後その展示物について思考することもできない事になり、学習の出発点として記憶し思い出す事は重要なきっかけを与えていると考えられる。この評価実験による記銘支援は内容の理解の前提ともいえる「何を見たかを思い出せる」仕組みを提供することにある。何回も科学館に訪れることができる環境であれば繰り返し学習の効果が得られるとが考えられるが、何回も訪れることが出来なければ、例えば一回限りの見学（学習）となり、認知科学で言う「エピソード記憶」に類する記憶支援が学習支援として必要になると思われる。

今回の実験で提案した SROM（空間型電子記憶術）は、ウェアラブル機器などにより、学習対象である展示物が存在している「その場」において、従来の記憶術の特徴を利用しつつ、適切な注意・認知処理を誘導することで対象展示物の記銘を促進するシステムである。記憶支援を科学館学習支援システムの機能として取り入れ、展示物解説や学習意欲支援などの他の機能と連携を図ることで、来館者の学習をサポートできると考えられ、自宅に戻った後でも記憶が残ることで興味を持続し事後学習（来館後の学習）が期待できる。

インターネットを活用した事後学習支援の機能を科学館学習支援システムのオプションとして追加することで学習支援を補強することになり、事後学習だけでなく事前学習についても検討し調査研究していきたい。

一方、「モバイル科学技術館学習支援システム実験」では前年度に引き続きナビゲーションを利用して科学技術館の中を見学していただいた。測位系の精度が向上したことで自身の現在位置（向き）を含めて地図やルート表示は分かり易かったという評価を得ている。しかし、許容できる誤差が無くなった訳ではなく階段付近では手動による誤差修正を行なう事がしばしばあった。実用化に当たってはシステムを改善しこの課題をクリアにする必要がある。

学習支援としてのコンテンツについては概ね好評であったが、高齢者の方にとっては文字や音声小さくて実験そのものを体験していただけなかったケースがあり、実用化に当たってはシステムのユニバーサルデザインを検討する必要があることが認識できた。今回の実験では被験者に対して（同じ場所に行けば）同じコンテンツが再生されているが、言語や解説の深さなど多様性を持たせることでパーソナライズ化を図ることは必然と思える。

またアンケート結果から実展示・仮想展示・人(説明員)による QOE( Quality of Experience) の向上が求められており、新たな研究課題として今後重要になると思われる。実際、各説明員には豊富な解説ノウハウが蓄積されており、そのノウハウを投入すれば各展示がより魅力的になることは明らかである。しかしながら、実展示更新のサイクルはコストなどの面で早めることは困難である。そのため、ICT を利用した操作説明を含む仮想展示コンテンツによるある種の補償は非常に有効であるといえ、その次の課題はいかに仮想展示コンテンツを効率よく増やしていくかという点になると思われ、コンテンツの充実も実用化の上で必要な項目となる。

上記課題を踏まえ実用化に向けて更なる研究開発を行なっていきたい。

## ウェアラブルの1スタイル

今回、HMD の実験を採用しなかったのは昨年度の実験で有効性が示されていたことと、年齢制限のため 15 歳以下の子供の使用が許可されていないため、ハンドヘルド型 PC を使用したが、アンケートでは大きく重いという意見が多く寄せられた。ハンドヘルド型 PC でも手に持たずに身に付ける事が出来る方法として季里委員から「VR 機器収納ベスト案」(図 4 - 1) を提案していただいた。

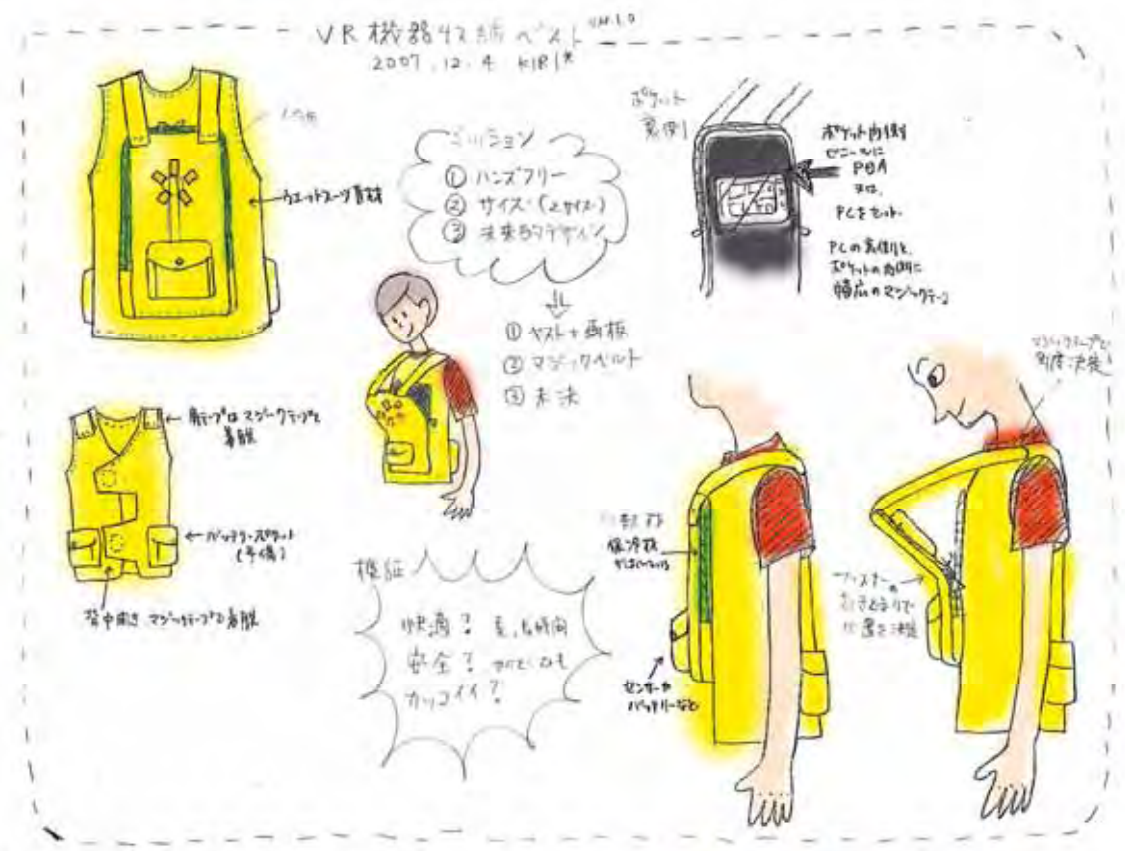


図 4 - 1 VR 機器収納ベスト案

VR 機器収納ベストはハンズフリー、フリーサイズ、未来的デザインをコンセプトとし、ハンズフリーにするためウエットスーツ素材のベストを採用している。特徴としては

- ・肩及び背中マジックテープで着脱式にし、フリーサイズ対応とした。
- ・左のポケットに小型バッテリー（予備）を収納可能とした。
- ・胸にはPCを収納する画板があり、ファスナーでPC画面の開け閉めを行い、画板の開き具合（角度）を調節するようにした。

（胸の画板を閉じるときには、PCのバッテリーを節約しかつ必要以上に熱が帯びないようにする意味で、PCの電源が切れる仕組みを入れる。）

- ・PCからの熱を体に伝えないよう保冷剤あるいは断熱材を入れる。
- ・ベストの前面にカメラを収納できる場所を設ける。

等が挙げられるが、実際に夏の期間や、長時間使用時でも快適かどうか、安全かどうか、カッコイイかどうか検証する必要がある。

学習支援とは別にウェアラブル機器のデザインに視点を移した「ファンタジー型ウェアラブル機器」案（図4-2）も提案していただいた。肩の上にペットのように留まっている鳥の形をした機器（ロボット）を通じて情報を提供しており、キャラクターを考えることで親しみやすい学習支援システムになるものと思われる。



図 4 - 2 ファンタジー型ウェアラブル機器案





## 付録 1 . ポータブル記憶支援システム

### 付録 1 . 1 . 掲示資料



図 付録 1 - 1 会場掲示

### 付録 1 . 2 . 実験状況



図 付録 1 - 2 撮影する被験者（右）と実験者



図 付録 1 - 3 回答する被験者

## 数字絵を用いて展示物を覚えてみよう

**シャッターボタン**

**実験について**

本実験では、実空間を用いた新しい記憶術を作ろうとしています。その第一歩として、カメラ撮影の視覚的効果を用いることにより、簡単に実空間を記憶空間へと変える手法を提案しました。

**使用方法**

ポータブルコンピュータをもって動かしてフレーミングを行います。撮影は、左上のシャッターボタンを押してください。数字絵を配置したい場所を画面上で触れることによる撮影も可能です。

撮影を行う際のコツとしては数字絵を背景と関連づけて撮影を行うことです。たとえば上の場合、「ダンボールにアヒルが入っている」のように関連をつけて撮影します。そうすることで、その場所への意識が高まり、処理水準がアップしてただ何気なく撮影するよりも強力に覚えることが可能になります。

時間	数字絵 (%)	無し (%)
On the day	90	70
after two days	85	60
after four months	65	15
after eight months	55	10

**実験結果の例**

ある実験では、数字絵有りと数字絵無しでは、後の記憶に左のような差が見られました。月日が経てば経つほど、差は開いていき、数字絵利用の記憶保持率の高さがわかります。



科学館学習支援のためのポータブル記憶支援システムの実験

お渡ししたポータブルPCを操作して、展示物の写真を順番に撮ってください



奇数回目



偶数回目

奇数回目には、下のような**数字絵**が表示されます。  
偶数回目には、**アラビア数字**が表示されるので、何回目に撮影した展示物かを覚えてください

**数字絵一覧**

IKEI Lab

※今回の実験では奇数のみ使用します





## 付録 2 . モバイル科学技術館学習支援システム実験

### 付録 2 . 1 . 被験者への説明と同意に関する書類

#### 付録 2 . 1 . 1 . 人間工学実験計画書

様式

人間工学実験計画書

新規     変更     継続

##### 1 実験課題

遠隔作業支援のためのセンサ及びインタフェースの評価

##### 2 実験期間等

###### 一 実験計画期間

H19年7月1日～H20年6月30日

###### 二 実験実施期間

H19年7月1日～H20年6月30日

##### 3 実験責任者名、所属及び連絡先

蔵田 武志 (情報技術研究部門) 連絡先電話番号 029-861-5789

##### 4 実験従事者名及び所属

大隈 隆史 (情報技術研究部門)

興侶 正克 (情報技術研究部門)

川本 海 (情報技術研究部門、技術研修生[筑波大])

Kalaivani Thangamani (情報技術研究部門、テクニカルスタッフ)

##### 5 実験場所 (サイト、棟番号及び室番号)

本部情報棟1, 3階、本部情報棟のエレベータや階段、サイエンススクエア、及び本部情報棟とサイエンススクエアを結ぶ経路 (中央第1に向かう道路と2-1の建物の間の通路含む) 筑波大学第三学群M棟3, 4階 (葛岡研究室とその周辺廊下。下図参照)、科学技術館1～5階 (下図参照)。



筑波大学第三学群M棟3, 4階





科学技術館 1～5階

## 6 実験目的及び実験内容の概要

申請者らは、指示者や作業者の状況把握に基づく操作・入力・行動予測を用いたウェアラブルまたはタンジブルテーブルトップインタフェースとその基礎技術を開発することを目標としている。大きく分けて以下の4種類の実験を実施する。

- (A) 作業者の動作（歩行、手振りなど）を、頭部や腰部に装着、ポケットや鞆に収めた、または手に把持した物理量計測センサ（加速度、ジャイロ、磁気センサ）、カメラなどのセンサを用いて計測する。
- (B) 頭部装着型またはハンドヘルド型のディスプレイやカメラにより3次元複合現実感環境（実環境と仮想CGを融合した環境）を体験・構築し、それを用いた作業支援情報呈示・編集システムを、どのように設計すべきかをユーザスタディにより検討する。
- (C) 作業者用装着・携帯型インタフェース（小型のパンチルトカメラ、レーザポインタや小型プロジェクタ、慣性センサ（加速度、ジャイロ）、小型ディスプレイなどの組み合わせからなる）の有用性について評価する。遠隔地の指示者、もしくはコンピュータがそのカメラやセンサデータを用いて、どの程度、作業空間の状況を把握することができるか、また、レーザポインタ、小型プロジェクタ、またはディスプレイから呈示される視覚的支援情報が、どの程度作業者に有用か、インタフェースの形態ごとにどのような利点、欠点があるかについて調査する。
- (D) 指示者用のタンジブルテーブルトップインタフェース（大型のプラットパネルディスプレイ、タッチパネル、超音波または光学式の3次元計測センサを備えるタンジブルタグなどからなる）を構築し、そのタッチパネルやタグなどへの入力に基づいて

映像や音声をどのように変化させて出力すれば、より効率的な作業支援が可能になるかを調査する。

#### 7 実験計画（倫理安全に関係する部分を特に詳しく具体的に）

上記の（A）から（D）それぞれに対しての実験計画を下記に記す。なお、後日、センサ及びインタフェースの評価を目的とした解析のために、（A）から（D）のすべてにおいて実験の様子はビデオやカメラで撮影される。また、実験中であることを周辺の職員や通行人などに知らせるため、立て看板やゼッケンなどに実験中と記すこととする。

##### （A）

（A-1）歩行や手振りなど、計測に必要な動作が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認を行う。また、下記の実験説明を受け、練習を行う。

（A-2）被験者は、実験責任者によって指定されたセンサモジュール（加速度、ジャイロ、磁気を内蔵）をベルトなどの装着具を用いて腰部に固定する。または、同等のセンサモジュールやカメラを帽子やヘッドセットなどの装着具を用いて頭部に固定する。または、手に把持する。また、データロガーもしくは遠隔のデータロガーにデータを通信する機器を鞆やジャケットなどを用いて胴体に装着する。

（A-3）被験者はその状態で、実験場所の平坦路や階段を歩行、エレベータやエスカレータを利用、また、カメラに写るように特定の手振りをするなどの動作を行う。なお、階段の乗降、エレベータやエスカレータの利用の際には、実験従事者が前方または側方で付き添い、段差の踏み外し等の事態に備える。さらに、屋外で道路を横断する必要がある場合も、実験従事者が車の通行を確認し安全確保する。

##### （B）

（B-1）裸眼視力または矯正視力が頭部装着型ディスプレイの利用に支障のないレベルかどうか、両手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認を行う。また、下記の実験説明を受け、練習を行う。

（B-2）被験者は、実験責任者によって指定された頭部着用型のディスプレイ（キャノン、島津、三菱、またはMicroOptical社製）とカメラを頭部に装着、または、ハンドヘルド型ディスプレイを把持する。さらに、実験（A）で用いるセンサを装着する場合もある。胴体に装着、または把持したコンピュータにより映像情報や文字情報をディスプレイに供給する。

（B-3）被験者は着座または立位の姿勢で、頭部着用型のディスプレイ上の映像や情報を見ながら、マウスやトラックボールなどのポインティングデバイス、タッチパネル、キーボードなどの入力インタフェースを用いて、作業支援情報呈示・編集システムを操作する。

(C)

(C-1) 裸眼視力または矯正視力が、レーザポインタや小型プロジェクタから作業空間に投影された視覚的支援情報や、頭部や胸部に装着、または手に保持するディスプレイの観察に支障のないレベルかどうか、両手または片手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認を行う。また、下記の実験説明を受け、練習を行う。

(C-2) 被験者には、上記作業用装着型インタフェースを胴体に装着、または把持する。さらに、実験(A)で用いるセンサを装着する場合もある。胴体に装着、または把持したコンピュータにより映像情報や文字情報をレーザポインタや小型プロジェクタ、ディスプレイに供給する。

(C-3) 被験者は実験場所を歩行により移動しながら数箇所で立ち止まり、トイブロックの組み立てやプラモデル作成、バルブの開け閉め、ねじ回し、展示物の操作などの単純な作業を行う。途中着座して作業をすることもある。これらの作業や移動は、上記作業用装着型インタフェースに表示される指示に従う。なお、移動に階段、エレベータ、エスカレータの利用を伴う場合、実験従事者が前方または側方で付き添い、段差の踏み外し等の事態に備える。

(D)

(D-1) 裸眼視力または矯正視力が、上記指示者用タンジブルテーブルトップインタフェースの観察に支障のないレベルかどうか、両手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認を行う。また、下記の実験説明を受け、練習を行う。

(D-2) 被験者は着座もしくは立位の状態で、上記タンジブルテーブルトップインタフェースを操作する。その際、映像や音声を、タンジブルタグの状態、タッチパネルへの入力、遠隔地の複数の作業員（これはコンピュータシミュレーションである場合もある）の状態に応じて変化させる。

8 被験者の特定（例：年齢層、性別、健常者その他実験上必要な制限及び人数）

上記実験を無理なく遂行することが可能である健康な男女（10代～60代）。小学生以下の場合には必ず保護者同伴とする。1実験あたり5名～40名程度。人材派遣会社及び筑波大学等の学生を被験者候補として想定している。その際、労災等障害保険について当方より確認を行う。科学技術館での実験においては来館者を対象としており、科学技術館からその旨の許可を得ている。また、被験者の受ける不利益並びに危険性に関して、特に注意すべきことはないものと考えられる。

9 被験者がインフォームド・コンセントを与えることができない状態にある場合又は未成年の場合はその必要性

科学技術館での実験の場合、来館者が被験者となるため、それが未成年である場合があり得る。

#### 10 実験に用いる機材又は調査方法

物理量計測センサ（加速度、ジャイロ、磁気センサ）

装着・携帯型カメラ

頭部・胸部装着型のディスプレイ

作業用の装着型インタフェース（小型のパンチルトカメラ、レーザポインタ（クラス2まで）や小型プロジェクタ、慣性センサ（加速度、ジャイロ）、小型ディスプレイなどの組み合わせからなる）

指示者用のタンジブルテーブルトップインタフェース（大型のプラットパネルディスプレイ、タッチパネル、超音波または光学式の3次元計測センサを備えるタンジブルタビラなどからなる）

ハンドヘルドPC、PDA、携帯電話などの携帯端末

ノートPC

デスクトップPC

マウス、トラックボールなどのポインティングデバイス

キーボード

実験風景撮影用のビデオカメラ及びスチルカメラ

有線・無線ネットワーク装置

RFIDタグ、リーダー

#### 11 試料採取の有無（有る場合は試料名）

無

#### 12 実験責任者の義務に関する誓約

実験責任者は、自らと実験従事者に対し、人間工学実験倫理要領を遵守することを常に求めることとし、いかなる場合も実験における安全性の確保と被験者の人権の保護に努め、その義務を果たすことを誓約します。

#### 13 個人情報の取扱い

##### 一 取得する個人情報（住所、氏名、性別、実験データ等）

基本的には、住所、氏名、性別、年齢、実験データを取得する。実験（A）の場合は、身長、実験（B、C）の場合は効き目、実験（B、C、D）の場合は利き手についても取得する。

##### 二 個人情報の取扱い方法

住所、氏名、性別、年齢などの個人情報は論文やメディアでは公表しない。顔写真などは承諾が得られた場合においてのみ公表する場合がある。個人情報と実験データは分離して保存する。これにより、実験データがどの被験者から取得されたものであるかの特定が困難となる。個人情報を記入した同意書等の紙媒体は施錠して保存

する。

12 その他必要と思われる事項

特になし。

14 インフォームド・コンセントのための説明文書（同意書の例を添付すること。以下は説明文書に含む項目）

- 一 説明及び同意の必要性並びにいつでも不利益を受けることなくインフォームド・コンセントを撤回することができること。

これから行う実験の内容と方法について、この説明書を口頭で説明します。この説明内容をご理解いただいた上で、被験者として本実験に参加されるあなたの意思を客観的な記録とするために同意書を作成します。この説明と同意はあなたが本研究の被験者となる根拠となるものです。さらに、別紙の承諾書にて、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を学会および技術発表などの研究広報上必要なメディアに掲載されることに同意していただいた場合は、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を公開させていただくことがあります。

本実験への協力は、被験者の自由な意思に基づく参加が原則となりますので、いただいた同意はいつでも撤回することができ、同意の撤回によりいかなる不利益を生じることありません。

二 実験責任者の氏名、所属、職名及び連絡先

蔵田 武志（情報技術研究部門） 連絡先電話番号 029-861-5789

三 実験の意義、目的、具体的な実施方法及び期間

申請者らは、指示者や作業者の状況把握に基づく操作・入力・行動予測を用いたウェアラブルまたはタンジブルテーブルトップインタフェースとその基礎技術を開発することを目標としています。そのために、大きく分けて以下の4種類の実験を実施します。実験の拘束時間は1日あたり、30分から3時間程度を想定しています。途中休憩などを入れることにより1時間以上連続して実験が行われないようにします。

なお、センサ及びインタフェースの評価を目的とした解析のために、(A) から (D) のすべてにおいて実験の様子をビデオやカメラで撮影することがあります。ご了承ください。

(A) 作業者の動作（歩行、手振りなど）を、頭部や腰部に装着、ポケットや鞆に収めた、または手に把持した物理量計測センサ（加速度、ジャイロ、磁気センサ）、カメラなどのセンサを用いて計測します。

(B) 頭部装着型またはハンドヘルド型のディスプレイやカメラにより3次元複合現実感環境（実環境と仮想CGを融合した環境）を体験・構築し、それを用いた作業支援情報



呈示・編集システムを、どのように設計すべきかをユーザスタディにより検討します。

(C) 作業着用装着・携帯型インタフェース（小型のパンチルトカメラ、レーザポインタや小型プロジェクタ、慣性センサ（加速度、ジャイロ）、小型ディスプレイなどの組み合わせからなる）の有用性について評価します。遠隔地の指示者、もしくはコンピュータがそのカメラやセンサデータを用いて、どの程度、作業空間の状況を把握することができるか、また、レーザポインタ、小型プロジェクタ、またはディスプレイから呈示される視覚的支援情報が、どの程度作業者に有用か、インタフェースの形態ごとにどのような利点、欠点があるかについて調査します。

(D) 指示者用のタンジブルテーブルトップインタフェース（大型のプラットフォームディスプレイ、タッチパネル、超音波または光学式の3次元計測センサを備えるタンジブルタグなどからなる）を構築し、そのタッチパネルやタグなどへの入力に基づいて映像や音声をどのように変化させて出力すれば、より効率的な作業支援が可能になるかを調査します。

各実験の具体的な実施方法は以下の通りです。

(A)

(A-1) 歩行や手振りなど、計測に必要な動作が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認いたします。また、下記の実験説明を受けていただき、練習を行います。

(A-2) 被験者は、実験責任者によって指定されたセンサモジュール（加速度、ジャイロ、磁気を内蔵）をベルトなどの装着具を用いて腰部に固定します。または、同等のセンサモジュールやカメラを帽子やヘッドセットなどの装着具を用いて頭部に固定します。または、手に把持します。また、データロガーもしくは遠隔のデータロガーにデータを通信する機器を靴やジャケットなどを用いて胴体に装着します。

(A-3) 被験者はその状態で、実験場所の平坦路や階段を歩行、エレベータやエスカレータを利用、また、カメラに写るように特定の手振りをするなどの動作をします。

(B)

(B-1) 裸眼視力または矯正視力が頭部装着型ディスプレイの利用に支障のないレベルかどうか、両手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションの確認を行います。また、下記の実験説明を受け、練習を行います。

(B-2) 被験者は、実験責任者によって指定された頭部着用型のディスプレイとカメラを頭部に装着、または、ハンドヘルド型ディスプレイを把持します。さらに、実験(A)で用いるセンサを装着する場合があります。胴体に装着、または把持したコンピュータにより映像情報や文字情報をディスプレイに供給します。

(B-3) 被験者は着座または立位の姿勢で、頭部着用型のディスプレイ上の映像や情報を見ながら、マウスやトラックボールなどのポインティングデバイス、タッチパネル、キーボードなどの入力インタフェースを用いて、作業支援情報呈示・編集システムを操作します。

(C)

(C-1) レーザポインタや小型プロジェクタから作業空間に投影された視覚的支援情報や、頭部や胸部に装着、または手に保持するディスプレイを注視可能かどうか、両手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションを確認いたします。また、下記の実験説明を受けていただき、練習を行います。

(C-2) 被験者は、上記作業用装着型インタフェースを胴体に装着、または把持します。さらに、実験 (A) で用いるセンサを装着する場合があります。胴体に装着、または把持したコンピュータにより映像情報や文字情報をレーザポインタや小型プロジェクタ、ディスプレイに供給します。

(C-3) 被験者は実験場所を歩行により移動しながら数箇所立ち止まり、トイブロックの組み立てやプラモデル作成、バルブの開け閉め、ねじ回し、展示物の操作などの単純な作業を行います。途中着座して作業をすることもあります。これらの作業や移動の際は、上記作業用装着型インタフェースに表示される指示に従っていただきます。なお、移動に階段、エレベータ、エスカレータの利用を伴うことがあります。

(D)

(D-1) 上記指示者用タンジブルテーブルトップインタフェースの観察が可能かどうか、両手を用いた作業が可能かどうかについて、被験者のコンディションを確認いたします。また、下記の実験説明を受けていただき、練習を行います。

(D-2) 被験者は着座もしくは立位の状態で、上記タンジブルテーブルトップインタフェースを操作します。その際、映像や音声を、タンジブルタグの状態、タッチパネルへの入力、遠隔地の複数の作業員（これはコンピュータシミュレーションである場合もある）の状態に応じて変化させます。

#### 四 実験に使用する装置又は調査内容の説明

- ・物理量計測センサ（加速度、ジャイロ、磁気センサ）：歩行や組立作業などの動作により発生する物理的な加速度・角速度と地磁気方位の変化を検出する受動センサの集合体です。
- ・装着・携帯型カメラ：作業状況を記録、映像を遠隔地に送信、コンピュータによる

画像処理などのために用いられるものです。

- ・ 頭部・胸部装着型のディスプレイ：ハンズフリーで映像を提供するためのデバイスです。
- ・ 作業用者の装着型インタフェース：小型のパンチルトカメラ、レーザポインタ（クラス2まで）や小型プロジェクタ、慣性センサ（加速度、ジャイロ）、小型ディスプレイなどの組み合わせからなり、作業状況を遠隔地の指示者に伝送し、さらに、作業指示を直接、実世界に呈示するためのものです。
- ・ 胸部に装着する小型ディスプレイ：ハンズフリーでさらに頭部が非拘束な状態で映像を提供するためのデバイスです。
- ・ 指示者用のタンジブルテーブルトップインタフェース：大型のプラットパネルディスプレイ、タッチパネル、超音波または光学式の3次元計測センサを備えるタンジブルタグなどからなり、遠隔地の複数の作業者の状況を把握し、さらに、作業者に様々な指示を送るための装置です。
- ・ ハンドヘルドPC：主に映像や音声を提供するために用いられます。
- ・ ノートPC：データ収集、画像処理、情報呈示のために用いられます。
- ・ デスクトップPC：データ収集、画像処理、情報呈示のために用いられます。
- ・ マウス、トラックボールなどのポインティングデバイス、キーボード：上記の各種ディスプレイを見ながらPCを操作するために用いられます。
- ・ 実験風景撮影用のビデオカメラ及びスチルカメラ：実験終了後に実験経過の詳細を検証するため、また、学会やメディアで実験風景を公開するための映像を取得するために用いられます。
- ・ 有線・無線ネットワーク装置：遠隔地の作業者や指示者間、連携して動作する装置間の通信に用いられます。
- ・ RFIDタグ、リーダ：ユーザや物体のID取得やおおまかな位置取得のために用いられます。

なお、上記装置のうちいくつかを組み合わせると頭部や胴体などに装着、把持していただくことがあります。その場合、一度に装着する装置の総重量は2.5kg前後となる場合があります。

##### 五 予測される研究への貢献並びに被験者の受ける不利益及び危険性

本実験を通して、作業支援のためのウェアラブル、タンジブルテーブルトップインタフェースの開発が促進されるとともに、そのインタフェースデザインに統計的な裏づけがなされることが期待されます。被験者の受ける不利益並びに危険性については、“七 実験の安全上の注意事項”に記載されている安全面、及び“十一 実

験により得られたデータの取扱い及び公表の方法”に記載されている実験データ、映像、音声データに関する取扱いに関してご了承くださいませようお願いいたします。その他、特に注意すべきことはありませんが、集中して実験を遂行することにより、肉体的な疲労や目の疲労を伴うことはありえますので、ご了承ください。

#### 六 被験者のコンディションに関する条件及びその理由

主観データ、客観データの統計解析により健常者にどれだけ適したデバイスやインタフェースであるかを評価するために、各被験者は上記実験に含まれる行為（呈示される情報の視聴覚、両手による簡単な作業、歩行、着座、起立など）を無理なく遂行することが可能でなければなりません。

#### 七 実験の安全上の注意事項

歩行時及び階段昇降時、エレベータやエスカレータ利用時に転倒しないように気をつけてください。頭部や胴体にディスプレイなどのデバイスを装着する際にぶつかって怪我をしないように気をつけてください。もし何か気になることがあれば、何でも実験者にお伝え下さい。

#### 八 実験の中止要求の権利及びその要求方法

被験者は、いついかなる場合でも実験を中止することができます。その旨を発話もしくは手振りにてお伝えください。

#### 九 被験者の権利及び人権擁護への配慮

個人情報とは実験従事者以外に開示されることはありません。計測・記録した実験データは、別途被験者の了解を得た場合を除き、実験目的であるウェアラブルまたはタングブルテーブルトップインタフェースとその基礎技術の開発、及び統計的に処理した実験データの研究論文等への掲載以外には使用しません。さらに、別途被験者の了解を得た場合を除き、各被験者のデータは個人特定がされない形態（符号や数字などで識別される）での公表となります。被験者は、担当者に実験データの内容及び取り扱い状況について問い合わせることができます。

#### 十 個人情報の取扱い

住所、氏名、性別、年齢などの個人情報は論文やメディアでは公表しません。顔写真などは承諾が得られた場合においてのみ公表する場合があります。個人情報と実験データは分離して保存します。これにより実験データが紛失したとしても、実験データがどの被験者から取得されたものであるかの特定が困難となります。個人情報を記入した同意書等の紙媒体は施錠して保存します。実験責任者の所属部門長を個

人情報管理者とします。

十一 実験により得られたデータの取扱い及び公表の方法

計測により取得した実験データは、“九 被験者の権利及び人権擁護への配慮”でも述べましたように、別途被験者の了解を得た場合を除き、実験目的であるウェアラブルまたはタンジブルテーブルトップインタフェースとその基礎技術の開発、及び統計的に処理した実験データの研究論文等への掲載以外には使用しません。なお、別途被験者の了解を得た場合は、本実験風景を撮影した写真や映像・音声を含め、公開させていただくことがあります。

十二 被験者からの苦情を受け付ける担当部署及び連絡方法

〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2

独立行政法人 産業技術総合研究所 情報技術研究部門

蔵田 武志

電話：029-861-5789 ファックス：029-862-6513

電子メール：[t.kurata@aist.go.jp](mailto:t.kurata@aist.go.jp)

または、

第 2 業務室安全担当：島田静夫

電話：029-861-5346

電子メール：[lifescience-c2@aist.go.jp](mailto:lifescience-c2@aist.go.jp)

十三 その他説明に必要な事項

特になし。

十四 被験者から呼気、涙液、唾液、汗又は尿を採取する実験に関する事項

該当なし。

- イ 採取試料名
- ロ 試料の採取方法
- ハ 試料を用いた実験の内容
- ニ 実験終了後の試料の取扱い
- ホ その他必要な事項



## 付録 2 . 1 . 2 . 同意書

### 同意書

私は、人間工学実験「遠隔作業支援のためのセンサ及びインタフェースの評価」および上記文書について事前に送付された文書および口頭にて蔵田武志、大隈隆史、または興梠正克から十分な説明を受け、理解した上で実験に協力することに同意します。

年 月 日

氏名

生年月日 年 月 日( )才

住所

電話番号

緊急時の連絡先電話番号

署名(本人または保護者)

## 付録 2 . 1 . 3 . 写真及びビデオ公表についての承諾書

### 写真及びビデオ公表についての承諾書

実験責任者

蔵田武志 殿

私は「遠隔作業支援のためのセンサ及びインタフェースの評価」について 実験の様子を記録したビデオを下記の場合にて公表することに同意いたします。

記録ビデオ、写真の公表を承諾する場合<sup>\*</sup>

1. 学会等，研究発表の場で公表することを  
( 承諾します ・ 承諾しません ) .
2. メディア等，一般の場で公表することを  
( 承諾します ・ 承諾しません ) .

平成 年 月 日 署名 \_\_\_\_\_ (本人または保護者)

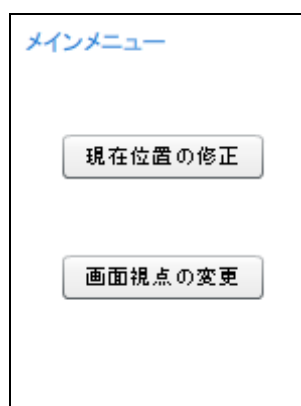
※ 上記 ( ) 内の「承諾します・承諾しません」いずれかを○で囲んでください。

## 付録 2.2. GUI パーツ

### 付録 2.2.1. スタート画面



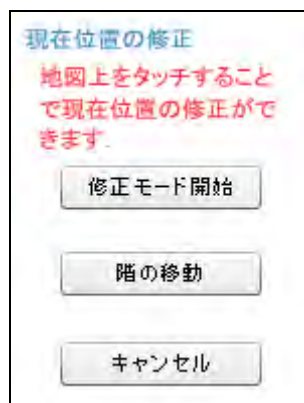
### 付録 2.2.2. メインメニュー



### 付録 2.2.3. 視点変更メニュー



#### 付録 2 . 2 . 4 . 現在位置方向修正メニュー



#### 付録 2 . 2 . 5 . 階選択メニュー



付録 2 . 3 . Flash 説明コンテンツ

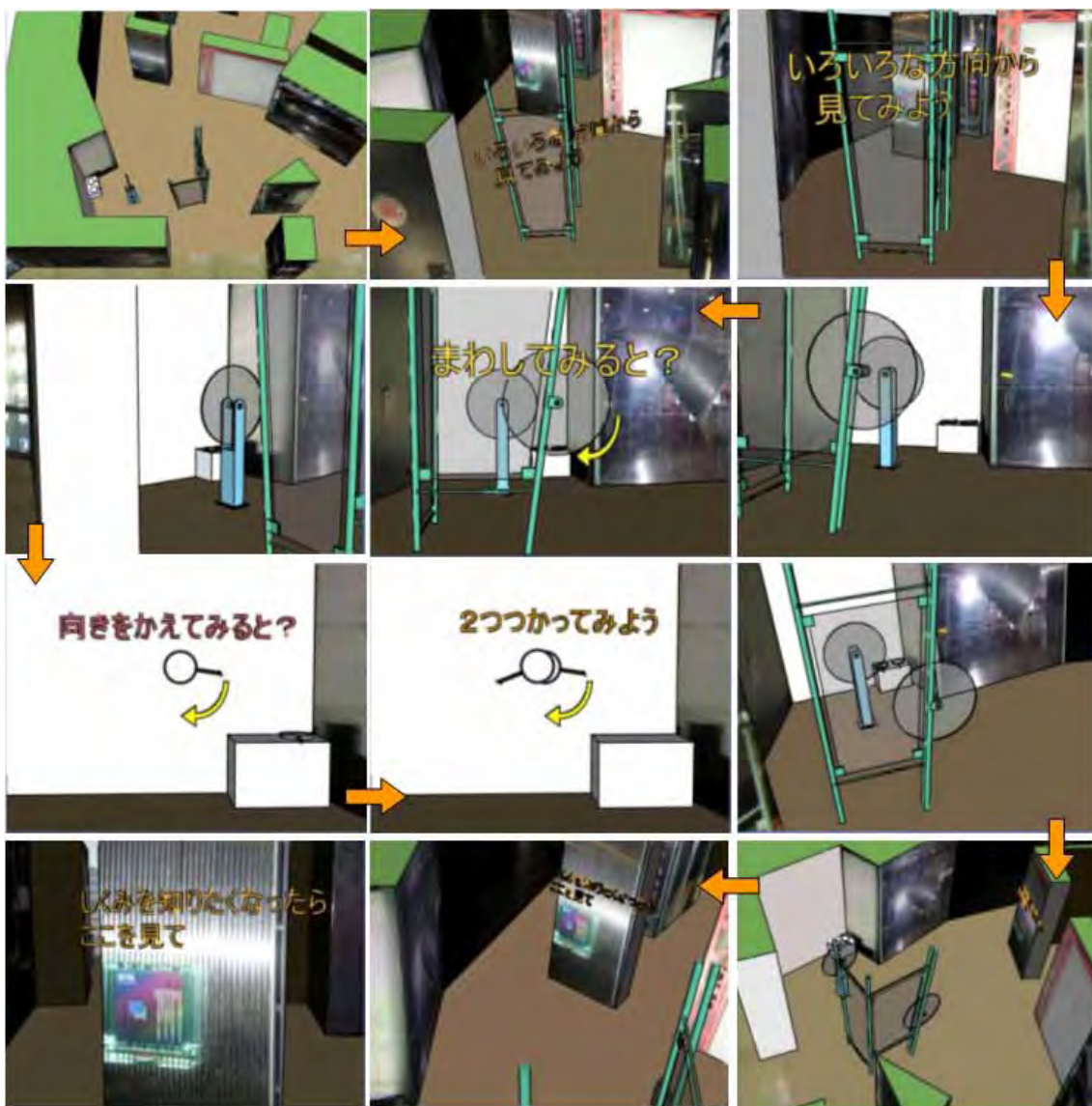
付録 2 . 3 . 1 . 各展示室及び展示物の静止画と音声による説明 (静止画コンテンツ)

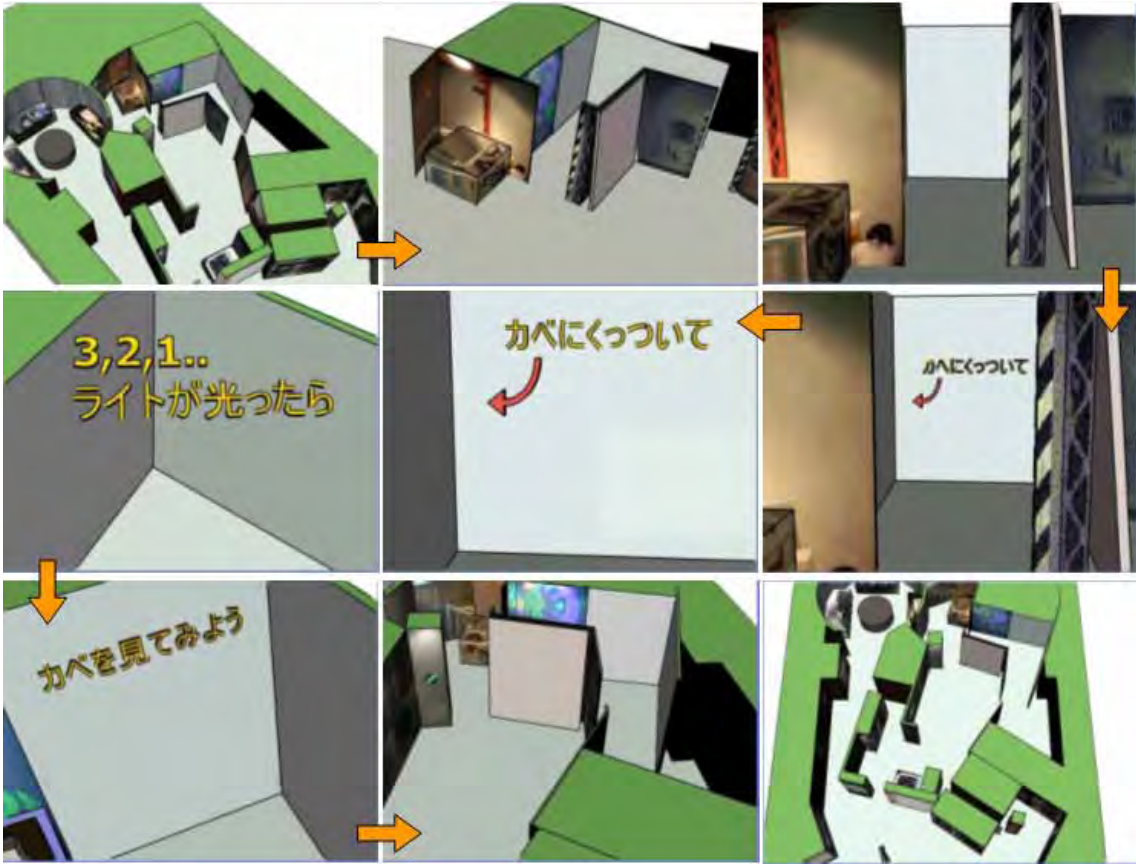
<b>2D アトモス</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> オリジナルの宇宙車をコンセプトとし、物産展と同時開催していること、それ以外で展示可能な幅広い展示スペースを確保し、その中でもアトモスと名づけた。日本発の宇宙車と宇宙飛行士。この展示室では、展示物の紹介と宇宙飛行士の紹介について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2E 北の丸サイクル</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 2009年に誕生した自転車車は、さまざまな自転車車を通じて、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>インデックスステーション</b>  <p>展示室の入り口に設置されたインデックスステーションは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>自転車歴史の発展</b>  <p>伝説の「セリフエール」や「トライアール」など、歴史的な自転車について、詳細な説明を行います。</p>
<b>2F 自転車広場</b> <b>自転車技術の発展と歴史</b>  <p>現代に至る自転車の歴史の発展を、写真やイラストを通じて展示しています。また、日本の自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>自転車部品の技術と発展</b>  <p>自転車部品の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>競技用自転車の科学</b>  <p>オリンピック競技でも使われるロードレーサー自転車や、オフロード競技用自転車について、最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>体験！電動アシスト自転車</b>  <p>展示室の入り口に設置された電動アシスト自転車は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>
<b>2F 自転車広場</b> <b>夢の自転車工場</b>  <p>パワーステアリング、エアアシストなどの最新の自転車技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2F 自転車広場</b> <b>展示室全体の紹介</b>  <p>展示室の入り口に設置された自転車は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>2I サイエンスライブラリー</b> <b>展示室全体の紹介</b>  <p>展示室の入り口に設置されたサイエンスライブラリーは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>3C デンキファクトリー</b> <b>展示室全体の紹介</b>  <p>展示室の入り口に設置されたデンキファクトリーは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>
<b>3D エレクトロホール(オーロラ・サイエンス)</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> アラスカやカナダ、北極圏に広がるオーロラ現象の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>3E みんなのくるま(自動車)</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置された自動車は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>3F カスクエスト</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置されたカスクエストは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>3G モーターズワールド</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置されたモーターズワールドは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>
<b>4C 鉄の丸公園1丁目(鉄鋼)</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置された鉄鋼は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4B REDO Futaba Slope</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置されたREDO Futaba Slopeは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4F 観望館</b>  <p><b>展示室全体の紹介</b> 展示室の入り口に設置された観望館は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b> <b>テーマパネル</b>  <p>展示室の入り口に設置された宇宙情報ライブラリーは、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>
<b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b> <b>ロケット(1) H-2ロケット機</b>  <p>展示室の入り口に設置されたH-2ロケット機は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b> <b>ロケット(2) 世界のロケット機</b>  <p>展示室の入り口に設置された世界のロケット機は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b> <b>人工衛星</b>  <p>展示室の入り口に設置された人工衛星は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>	<b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b> <b>月・惑星探査</b>  <p>展示室の入り口に設置された月・惑星探査は、展示の場を創りだしました。この展示室では、自転車の歴史や最新の技術や最新の自転車について、詳細な説明を行います。</p>



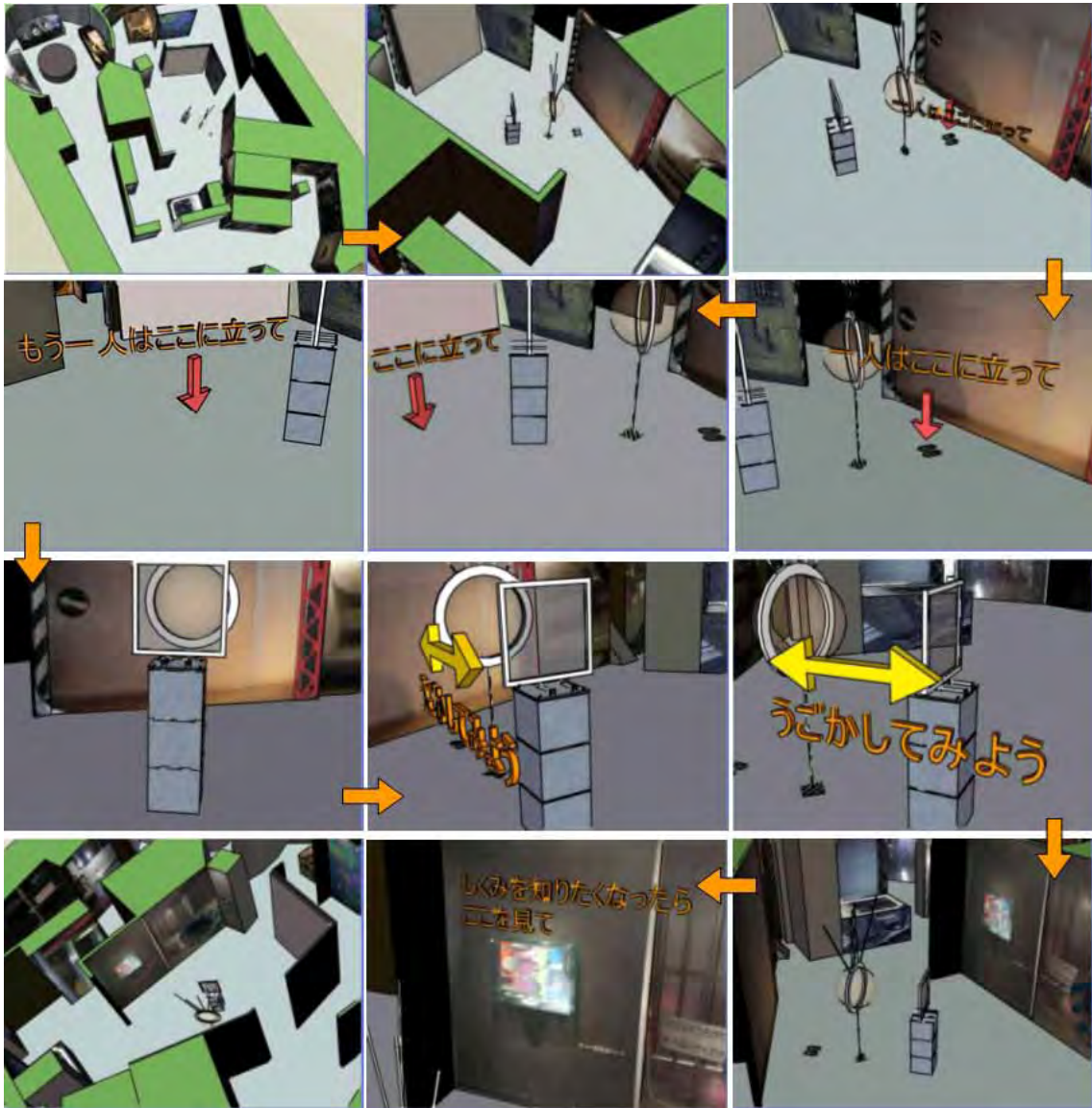
<p><b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b></p> <p><b>宇宙情報データベース</b></p>  <p>宇宙情報に関するさまざまなデータベースについてご覧いただけます。また、「宇宙飛行士選抜ゲーム」や宇宙探査Q&amp;Aなど、宇宙情報ができます。</p>	<p><b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b></p> <p><b>シミュレーションゲーム</b></p>  <p>最新のテクノロジーの宝庫である宇宙探査の現場に臨んだ「マコビロレータ・シミュレーションゲーム」と、「宇宙探検シミュレーション」の2つのシミュレーションゲームを楽しめます。</p>	<p><b>4I-1 宇宙情報ライブラリー</b></p> <p><b>宇宙情報利用</b></p>  <p>人類の宇宙への歩みについて、パネルで紹介しています。また、写真集、またの名を「お宝スーツ」と呼ばれる宇宙服も展示しています。</p>	<p><b>4I 宇宙情報ライブラリー</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>展示室は、最新のテクノロジーの宝庫である宇宙探査の現場に臨んだ「マコビロレータ・シミュレーションゲーム」と、「宇宙探検シミュレーション」の2つのシミュレーションゲームを楽しめます。</p>
<p><b>5B イリュージョンB</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>いつも見ているつもりでも、ちょっと見方を変えてみると、思いがけない発見があります。サウスイーランドの不思議な世界を体験してください。また、お宝スーツの展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5C アクセス</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>この展示室には、最新のテクノロジーが盛り込まれています。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5D メカ</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>たとえば、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5E オプト</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>最新のテクノロジーの宝庫である宇宙探査の現場に臨んだ「マコビロレータ・シミュレーションゲーム」と、「宇宙探検シミュレーション」の2つのシミュレーションゲームを楽しめます。</p>
<p><b>5F イリュージョンA</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>この展示室には、最新のテクノロジーが盛り込まれています。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>体内DNA</b></p>  <p>「DNA」、「ゲノム」、「セントラルドグマ」について楽しく学べます。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>気管支樹 (サートンマンダリン)</b></p>  <p>「DNA」、「ゲノム」、「セントラルドグマ」について楽しく学べます。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>体細胞DNA (1) 年齢55年分の文字</b></p>  <p>ヒト(人間)の1つの細胞には約30億の塩基配列があります。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。</p>
<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>体細胞DNA (2) 数が100万倍になったら</b></p>  <p>ヒト(人間)の1つの細胞には約30億の塩基配列があります。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。そのうち、約1%が遺伝子の塩基配列です。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>体細胞DNA (3) 100万分の1の確率に挑戦!</b></p>  <p>147桁の数字がすべて同じになる確率は100万分の1です。その確率に挑戦してください。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>「セントラルドグマ」ボールゲーム</b></p>  <p>DNAはタンパク質をつくる指令書です。その指令書を読み取り、タンパク質をつくる指令書です。その指令書を読み取り、タンパク質をつくる指令書です。その指令書を読み取り、タンパク質をつくる指令書です。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>ワークショップ・カウンター</b></p>  <p>生命科学テーマとしたワークショップや実験ショーを行います。是非、是非ご覧ください。</p>
<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>染色体観察用顕微鏡</b></p>  <p>顕微鏡の上にあるモニターで、ヒトの染色体を観察できます。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>DNAパック</b></p>  <p>遺伝子を簡単に読み取ることができるようになりました。DNAパックを展示しています。また、最新のテクノロジーが盛り込まれた展示もご用意しています。是非、是非ご覧ください。</p>	<p><b>5H ゲノム</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>最新のテクノロジーの宝庫である宇宙探査の現場に臨んだ「マコビロレータ・シミュレーションゲーム」と、「宇宙探検シミュレーション」の2つのシミュレーションゲームを楽しめます。</p>	<p><b>5I ワークス</b></p> <p><b>展示室全体の紹介</b></p>  <p>最新のテクノロジーの宝庫である宇宙探査の現場に臨んだ「マコビロレータ・シミュレーションゲーム」と、「宇宙探検シミュレーション」の2つのシミュレーションゲームを楽しめます。</p>

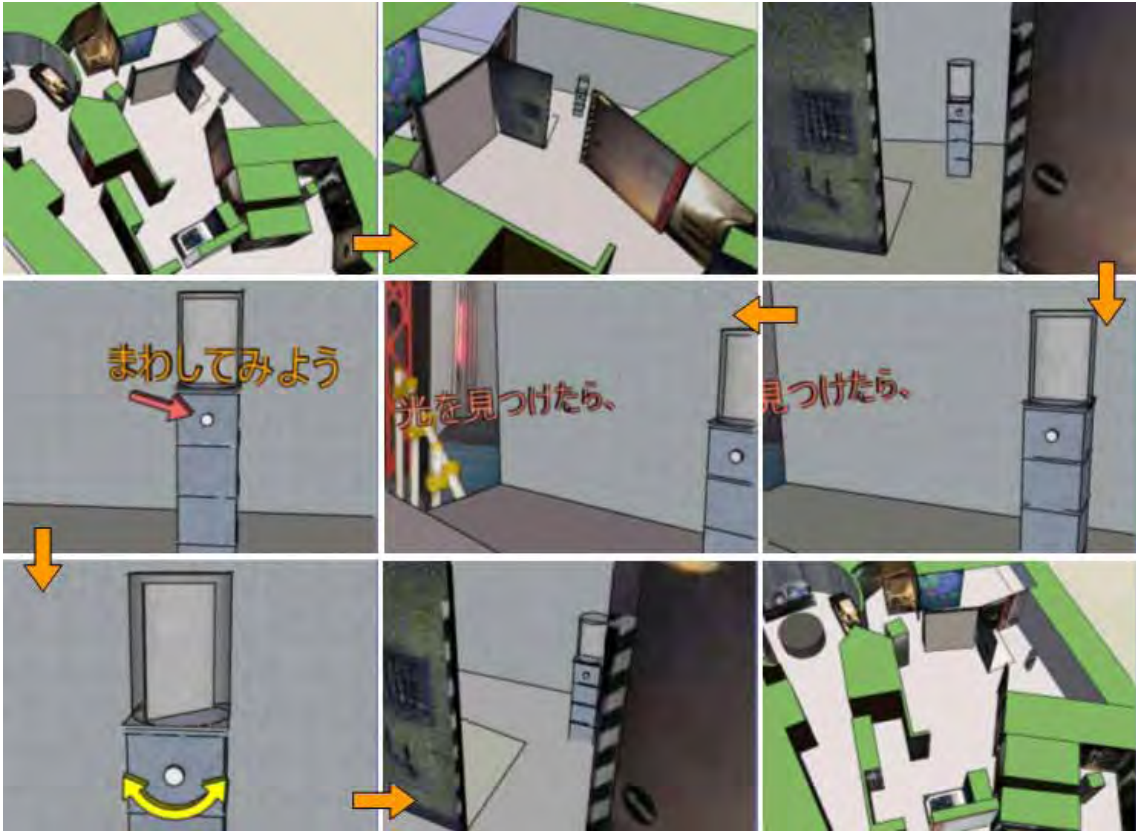
付録 2 . 3 . 2 . オプト展示室の各展示のアニメーションによる説明(アニメコンテンツ。  
下記に図[アニメ]以外を掲載する。静止画コンテンツと異なり音声はない。)



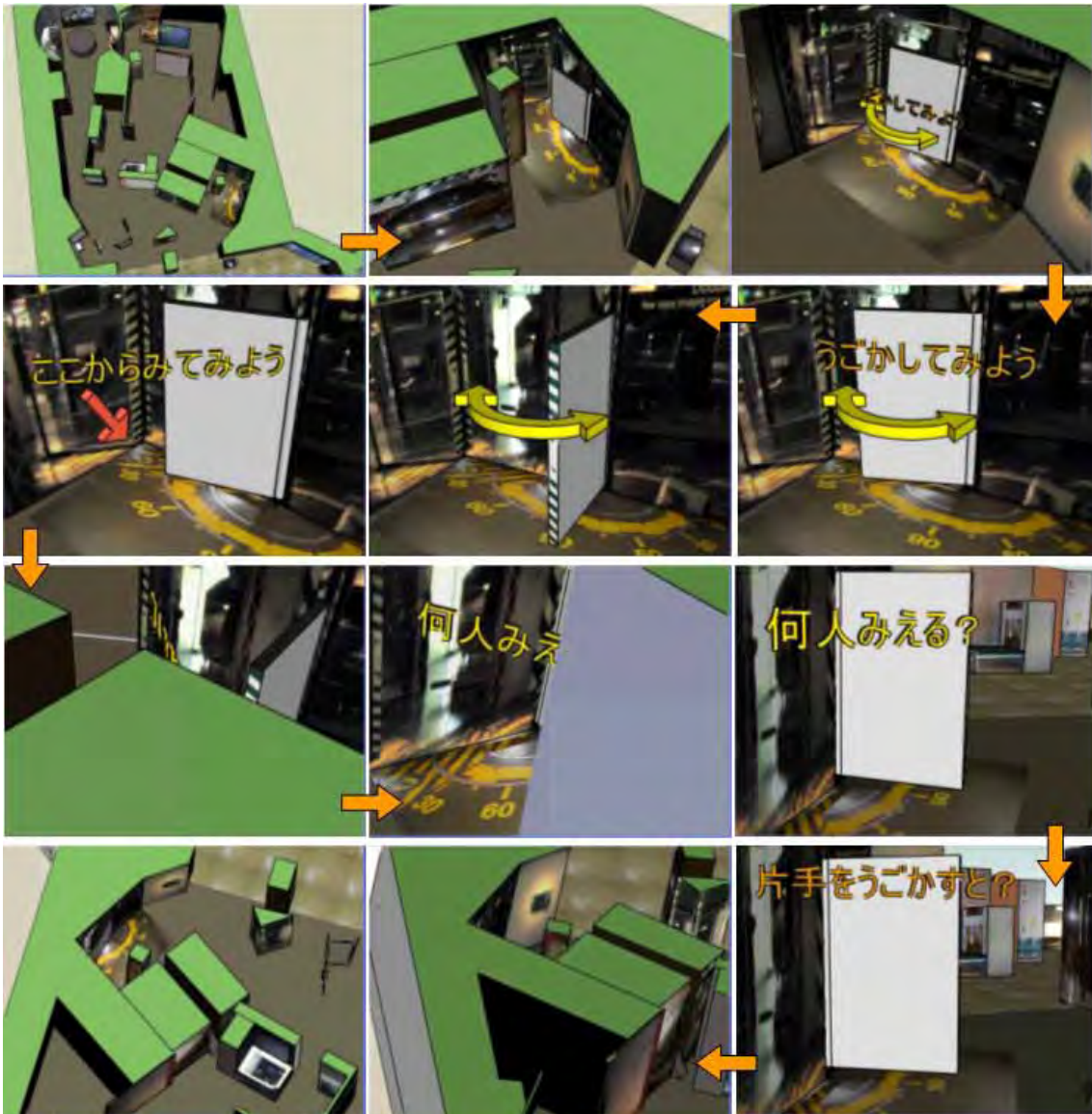












## 付録 2 . 4 . アンケート

### 被験者のみなさまへのアンケート

ご氏名： \_\_\_\_\_

科学技術館に来られた回数 \_\_\_\_\_ 回 被験者 ID： \_\_\_\_\_

#### 【目的地に関する質問】

1. 選ばれた目的地をご記入ください

[目的地 1： オプト ]

[目的地 2： ]

[目的地 3： ]

2. どの目的地が面白かったですか？ ( ) 内に 1～3 位までの順位を記入してください。

目的地 1 ( ) 目的地 2 ( ) 目的地 3 ( )

#### 【3次元地図に関する質問】

3. 3次元地図はわかりやすかったですか？

[自動追跡＋自動回転の場合]

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

[自動追跡＋方向固定の場合]

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

[鳥観＋自動回転の場合]

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

[鳥観＋方向固定の場合]

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

4. 画面に表示されている自分の位置と実際の自分の位置は簡単に対応がとれましたか？

[自動追跡＋自動回転の場合]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[自動追跡+方向固定の場合]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[鳥観+自動回転の場合]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[鳥観+方向固定の場合]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[学習支援システム、ナビシステムに関する質問]

5. オプトのアニメーションによる説明はわかりやすかったですか？

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

6. オプト以外の展示物の静止画と音声による説明はわかりやすかったですか？

わかりにくい 1 2 3 4 5 6 7 わかりやすい

7. 表示されたルートに従いましたか？

従わなかった 1 2 3 4 5 6 7 従った

8. 目的地を、簡単にみつけられましたか？

[目的地 1]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[目的地 2]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

[目的地 3]

難しかった 1 2 3 4 5 6 7 簡単だった

9. 画面と展示物のどちらをよくみましたか？

画面            1        2        3        4        5        6        7            展示物

10. ナビシステムの必要性や有用性を感じましたか？

感じなかった   1        2        3        4        5        6        7            感じた

11. ナビシステムだけでなく人間の説明員による説明やナビが必要と感じましたか？

不必要           1        2        3        4        5        6        7            必要

12. ナビシステムは邪魔でしたか？

邪魔    1        2        3        4        5        6        7            邪魔ではない

13. ナビシステムはまわりの人との会話の邪魔になりましたか？

邪魔    1        2        3        4        5        6        7            邪魔ではない

**【フリーコメント】** 将来的にモバイル学習支援システムや人ナビシステムに望むことや、その他全体的なことについてのご感想やお気づきになった点がありましたら、ご記入ください。

\*\*\*\*\* 以上、ご協力ありがとうございました。 \*\*\*\*\*







ウェアラブル機器を利用した科学館学習支援  
システムに関する研究開発報告書

平成20年3月

発行 東京都千代田区北の丸公園2番1号  
財団法人 日本科学技術振興財団  
電話 03(3212)8484