

# 着ぐるみ装着者支援のための提示情報の認知度を考慮した マルチモーダル情報提示手法

丁 吉之<sup>1</sup> 寺田 努<sup>1,2</sup> 塚本 昌彦<sup>1</sup>

**概要：**ウェアラブルコンピューティングシステムは様々な状況下での利用が考えられ、システムを取り巻く環境は頻繁に変化する。そのため、システムを利用しているユーザの行動、および周囲の環境と使用する情報提示デバイスの組合せによっては、ユーザの情報支援の認知に影響を及ぼす可能性がある。例えば、屋外でディスプレイを使用しているときに周囲が明るくなると表示が見づらくなるというように、ユーザの作業の妨げになったり、場合によってはユーザを危険に晒す恐れがある。そこで筆者らの研究グループでは、システム障害時にユーザが装着しているデバイス同士が直接データ通信を行うことで情報支援を継続し、システムの信頼性を確保する手法を提案してきた。本研究では、ウェアラブルコンピューティング環境の例として着ぐるみ装着者支援システムに提案手法を導入し、HMD、スピーカ、振動モータの3種類の情報提示デバイスを実装した。また、ユーザの行動、周囲環境と提示デバイスの組合せと情報提示の認知度との関係を調査した。

## 1. はじめに

近年、コンピュータの小型化や高性能化に伴い、コンピュータを体に装着して使用するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。ウェアラブルコンピューティングではセンサや情報提示デバイスを使用することで、ハンズフリーで安全に常時情報支援を受けることができる。一方、ウェアラブルコンピューティングシステムは様々な場所や状況での利用が想定されるため、従来のデスクトップ環境に比べて以下の2点の特徴がある。

1つ目は、気温変化や衝撃などの外的要因によってデバイスが物理的に故障したりシステムがハングアップするなど、情報支援が途切れる可能性が高いことである。例として、内視鏡手術におけるシステムの利用 [1] を挙げ、利用場面を図 1 に示す。医師は装着した頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) に表示される患者体内のカメラ映像やセンサ情報を閲覧しつつ、施術している。しかし、システムエラーにより、ディスプレイの映像が遮断、もしくは停止すると、表示が停止すると、医療事故など致命的な結果につながる可能性がある。そのため、様々なシステム障害に備えて、異常発生時でも情報提示を継続できるシステムの構築が必要である。



図 1 医療現場での利用

2つ目は、システム利用中時ユーザの周辺環境や行動が変化し、ユーザが情報支援を認知できない可能性があることである。例として、ディスプレイに地図を表示して閲覧する状況を想定する。周囲が明るい屋外や歩行中といった状況下ではディスプレイは見づらく、ユーザが道を間違える可能性がある。ユーザの周辺環境や行動と使用する情報提示デバイスとの組合せが情報支援の認知に影響し、情報をうまく伝達できず、作業の妨げを起し、場合によってはユーザを危険に晒す。そのため、使用可能な情報提示デバイスとユーザの周辺環境や行動に柔軟に対応できることが求められる。このように、ウェアラブルコンピューティングシステムは、システムの稼動状態、およびユーザの周辺環境や行動の変化に応じた情報提示を行う、つまり、システムの信頼性を確保する機構が必要である。

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University  
<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

これらの問題を対処するために、これまで筆者らの研究グループではウェアラブルコンピューティングシステムの信頼性を確保する手法 [2] を提案し、研究を進めてきた。本研究では提案手法をウェアラブルコンピューティングシステムである着ぐるみ装着者支援システム [3] に実装する。また、複数種類の情報提示デバイス、切り替え機構を実装し、提示デバイスとユーザの周囲環境や行動の関係の評価を行う。

以降、2 章では関連研究について述べ、3 章でシステムの信頼性確保について詳しく説明する。4 章では着ぐるみ装着者支援システムに複数種類の情報提示デバイスを実装し、5 章で評価について述べ、最後に 6 章で本論文のまとめを行う。

## 2. 関連研究

ウェアラブルコンピューティング環境のための情報提示に関する研究は盛んに行われている。ActiveBelt[4] はユーザの腰回りに装着した 8 個のバイブレータが振動することで、ユーザに目的地の方向を提示する。Haptic Radar[5] では、赤外線センサで物体の接近を検知し、検知方向のバイブレータを振動させることでユーザに危険を通知する。また、スマートフォンを用いた歩行動作改善ツール [6] では、スマートフォンの加速度の値から歩行時の姿勢を認識し、姿勢の崩れをユーザに通知することで正しい姿勢での歩行を意識させる。このように、情報提示に関する研究は数多くあるが、これらの研究はアプリケーションと使用する入出力デバイスやセンサが固定されており、デバイスの変更に対する柔軟な対応が考慮されていない。また、システムトラブル時の情報提示継続については考慮されていない。

また、ウェアラブルコンピューティング向けのプラットフォームに関しても多くの研究が行われている。MIThril[7] では、装着した多数のセンサ、入出力デバイス、機械学習による状況認識システムを統合している。Wearable Toolkit[8] では、イベント駆動型ルールを用いて、センサ状態の変化などをトリガとしたアプリケーションを実行できる。またプラグインを作成することでさまざまなデバイスへの対応が可能となるため、状況に応じたサービスを定義できる。これらのプラットフォームはさまざまなデバイスを利用でき、アプリケーションの開発が容易に行えるが、システム異常発生時の対処については考慮されておらず、そもそも情報提示デバイスを選択して利用することを想定していない。

コンピュータの信頼性を高める手法については、RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disk)[9] や Chipkill[10] といった機器の多重化や冗長化を行う手法が一般的である。しかしウェアラブルコンピューティングでは、ユーザは PC やセンサ、HMDなどを体に装着するため、軽量のシステムが望ましい。そのため、デバイスの追加を伴う信

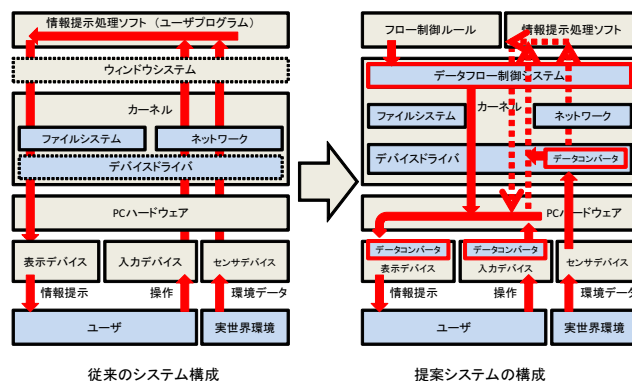


図 2 従来システムと提案システムの違い

頼性確保のための手法には不向きといえる。

また、様々な入出力デバイスを想定したマルチモーダルインターフェースに関する研究も多く行われている。しかし、視覚提示や振動提示に限った研究 [11] など、特定のデバイスや特定の研究領域をターゲットとしているものがほとんどであり、汎用的な提示デバイスを用いた研究は少ない。提示デバイスに関する汎用的な研究としては、WWHTモデルを利用したフレームワーク [12] がある。この研究では、アプリケーションに依存しない汎用的なミドルウェアの開発を行っており、提示情報の整理の仕方においては本研究と類似している。また、同様の研究として、マルチモーダルアプリケーション作成プロセスの手順を示す研究 [13] もある。この研究は、アプリケーション開発の手間を軽減するものではなく、開発時の注意点を示すガイドラインのようなものであり、いずれも障害時の情報提示継続を行うことは考慮されていない。

## 3. システムの信頼性確保手法

これまでに筆者らの研究グループで提案した、ウェアラブルコンピューティングの信頼性を確保する手法 [2] について述べる。

図 2 に従来システムと提案システムの構成を示す。本研究では、複数の入出力デバイスを身体に装着し、常時情報支援を受けている環境を想定している。PC とユーザが装着するすべての入出力デバイスは有線/無線通信を行い、入力デバイスから取得したデータを PC に配置したプログラムで処理し、出力デバイスで提示するが、従来システムでは PC に何らかの機能障害が発生した場合、情報提示を継続できなかった。

そこで提案手法では、システム異常時に入出力デバイスが直接データを通信し、情報提示を継続する。入出力デバイスが直接通信を行うために、入出力デバイスにシステム異常時のデータ処理の挙動を記述したソフトウェアであるデータコンバータを配置する。また、使用する入出力デバイスの組合せを決定するソフトウェアであるデータフロー制御システムを追加している。

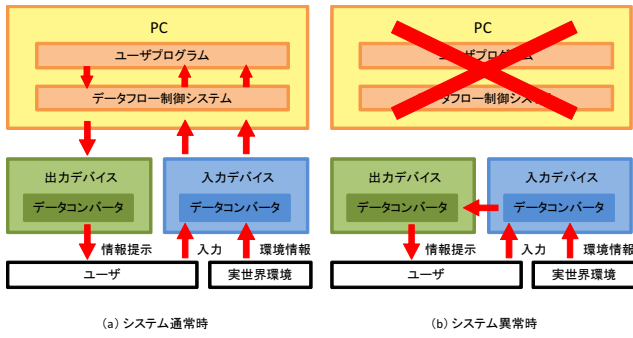


図 3 システム通常時, および異常時のデータ処理の流れ

### 3.1 システム稼働状態変化への対応

図 3 に PC 通常動作時, PC 障害発生時のデータ処理の流れを示す. PC 通常動作時は従来のシステムと同様に PC でデータ処理を行うが, PC 障害発生時は入出力デバイス同士で直接データを通信することで情報提示を継続できる. 入出力デバイスは, システムを再起動すると通常動作時の処理に戻る.

提案手法はウェアラブルコンピューティング環境におけるあらゆる種類の提示デバイスで適用することを想定しているが, 提示デバイスの種類によっては提示できる情報の種類や表現能力は異なるため, 提示する情報の形式をそれぞれの提示デバイスが表現できるものに変換する必要がある. 例えば, ディスプレイに提示する地図の目的地情報を LED アレイで提示する場合, 光らせる個数やパターンで目的地の方向を提示できるように変換しなければならない.

そこで提案手法では, 提示デバイスに情報提示表現力に応じて, ユーザーが情報提示の意味を理解できるような形式に情報を変換する機構の実装を行っている. この研究では, 変換を細分化したソフトウェアであるフィルタをあらかじめ用意しておき, 必要なフィルタを組み合わせることで求められるデータ形式の変換を実現する. なお, フィルタを組み合わせたものをデータコンバータとする. 可能な限り多くのフィルタを用意しておくことで, 様々な形式の情報提示が可能となる. また, 入出力デバイスの通信機能を利用して, システムの異常検出も行っている. 入力デバイスが PC にデータを送信した際に PC が受信応答を返すようにしておくことで, 主に PC のハングアップなどのシステム異常を検出し, 迅速にデバイス間直接通信に切り替えることができる. その後システムが復旧した場合, 再び PC からの応答を受信することでデバイスがシステム復旧を検出し, 通常データ通信に戻る.

### 3.2 システム利用状況の変化への対応

提示デバイスが提示できる情報の種類や質は提示デバイスごとに決まっているが, ある提示デバイスを使用する場合でも常に一定の情報が得られるとは限らない. 例えば, 光学式シースルー型 HMD は HMD の背景が明るい場合に

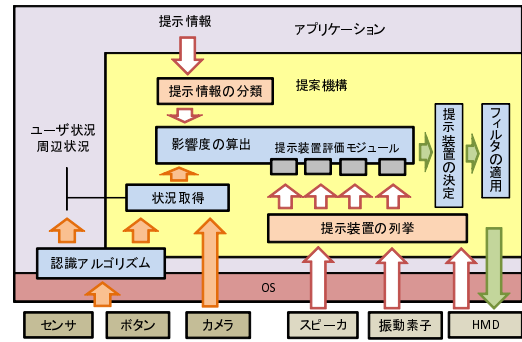


図 4 データフロー制御システムの構成図

は情報が読み取りにくいいため, その影響度を算出するために HMD の背景となる部分から必要な特徴量を取得する必要がある [14]. またその他の例では, スピーカからの情報は周囲が騒がしい場合や会話中には聞き取れないという先行研究 [15] がある. このように, 情報提示の認知度は提示デバイスやユーザーの行動, 周囲の環境によって変化する. 適切に情報提示を行うには, 周囲の環境, ユーザーの行動をシステムが認識し, 使用可能な提示デバイスとの相性を考慮し, 提示デバイスの中から使用するデバイスを選択することになる.

ここで, 筆者らの既存研究 [16] より設計したデータフロー制御システムの構成図を図 4 に示す. 提案手法では変換コストと認知コストという概念を導入する. デバイスごとに算出した変換コスト, 認知コストの和が最も小さい提示デバイスが, その状況下での使用に適していると判断できる.

変換コストとは, ある提示デバイスで情報を提示するために必要なデータ変換による, 情報の質に対する影響の程度を示す. 例えば, 健康管理システムを使用しており, ユーザーに気温を常に提示する場合で考える. ディスプレイを使用した場合は細かな値まで表示できるが, LED を使用する場合は二値の情報しか提示できない. よってこの2つの提示デバイスの場合は LED の方が変換コストが高いといえる. 提案手法では簡単のため提示デバイスごとに定数で定める.

認知コストは, ユーザーが情報提示を受ける際に, ユーザーの行動や周囲の環境が情報提示に与える影響の程度を示しており, 各提示デバイスごとにリアルタイムに算出する. 前述のシースルー型 HMD の場合では, 表示の読み取りやすさは HMD の背景と注視できるかに影響されることがわかっており, 定式化されている. このような提示デバイスごとに周囲状況との関係を示す特徴量を認知コストとして使用することで, 提示に適した状況かを判断できる.

## 4. 着ぐるみ装着者支援システムへの実装

提案手法の有用性を確認するために, 実際のウェアラブルコンピューティングシステムである着ぐるみ装着者支援

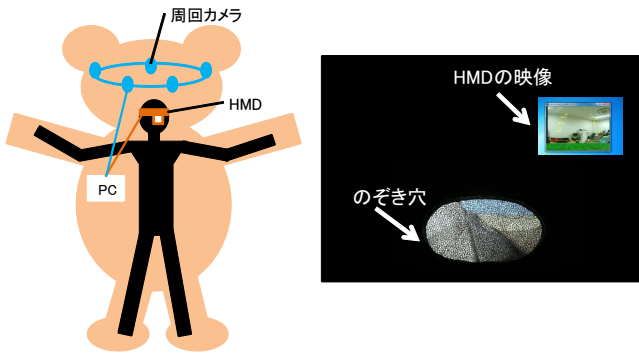


図 5 従来の着ぐるみ装着者支援システムの構成図と着ぐるみ内部の視界のイメージ

システム [3] に提案手法を実装した。また、新たに 2 つの提示デバイスを追加した。

#### 4.1 着ぐるみ装着者支援システム

図 5 に着ぐるみ装着者支援システムの構成と、システム使用時の視界のイメージを示す。着ぐるみ装着者支援システムは、着ぐるみ装着者の視界をカメラで補い、着ぐるみパフォーマンスの向上を目指した支援システムである。着ぐるみ装着者は視界が悪いため、着ぐるみの周囲への人や物体の接近に気づくことが難しい。そこで、着ぐるみ装着者に HMD と PC を、着ぐるみ頭部に 5 個のカメラを周回状に装着し、着ぐるみ装着者はカメラ映像を切り替えて HMD に表示することで、周囲の状況を取得できるシステムを開発した。

しかし、着ぐるみ内は通気性が悪く、PC が熱暴走を起こしてダウンする可能性がある。カメラ映像は PC で処理するため、PC がダウンすると情報支援ができなくなってしまう。そこで、着ぐるみ装着者支援システムの信頼性を向上するために提案手法を実装した。なお、今回は情報提示デバイスの切り替え機構とシステム異常時の情報提示継続機構のみを実装した。

#### 4.2 提案手法の実装

図 6 に提案手法を導入した着ぐるみ装着者支援システムの構成と、実装にあたり製作した着ぐるみを示す。

着ぐるみの高さはユーザの身長+約 20cm、胴体の最大直径は 95cm、のぞき穴は 1ヶ所で、着ぐるみの頭部のみを動かすことはできない。図 7 に示すように、周囲の映像を取得するアナログカメラ 5 個を着ぐるみ頭部に、ユーザの周囲の物体の有無とその方向を取得するために超音波センサ (MaxBotix, LV-MaxSonar-EZ0) 5 個を胴体部に配置している。

情報提示は視覚、聴覚、触覚の 3 種類の形式を想定し、視覚情報提示用の単眼シースルー型 HMD (島津製作所, DataGlass2/A) と、聴覚情報提示用の音声は PC (SONY, PCG-4R2N) 付属のスピーカから出力した。触覚情報提示

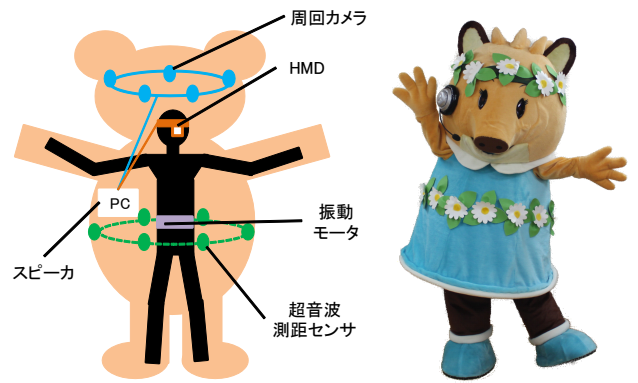


図 6 提案手法を実装した着ぐるみ装着者支援システムの構成図と製作した着ぐるみ

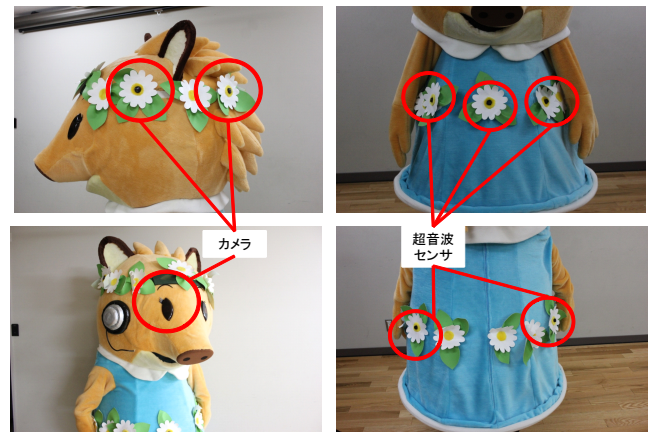


図 7 着ぐるみに取り付けカメラと超音波センサ



図 8 ベルトに取り付けた振動モータ

用の 5 個の振動モータは図 8 のようにベルトに取り付け、正面、右前、右うしろ、左前、左うしろの 5 方向に固定した。なお、超音波センサ、カメラと設置方向を揃えている。

各超音波センサ、各振動モータには図 9 に示す研究グループで開発した仮想マシン Cilix[17] を搭載したデバイスを接続し、データコンバータに記述されたデータ処理、無線通信が可能である。以下、超音波センサ、振動モータと接続された Cilix をまとめて超音波センサ、振動モータと記す。超音波センサは 50ms で距離データを取得し、最新のデータ 10 個で閾値を超えたデータ個数が 8 個以上で物体あり、2 個以下で物体なしと判定する。物体を検出し超音波センサは PC にデータを送信するが、物体があるという状態を記憶しておき、次の物体海範提示にも引き続き物



図 9 仮想マシン Cilix

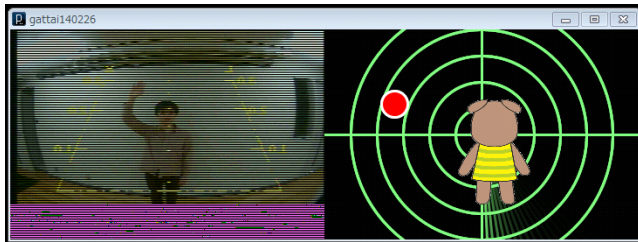


図 10 HMD に表示する映像

体を検出した場合はデータを送信しない。また、物体がなくなったと判断した場合もセンサデータは送信しない。各超音波センサのデータを受信する振動モータはあらかじめ指定しており、振動モータはデータを受信すると 3 秒間振動する。

PC はデータを受信すると受信応答を返す。初回のデータ送信後、500ms 経過しても受信応答が来ない場合、超音波センサは 200ms ごとに 30 回データを再送し、なおも受信応答がない場合はシステム異常発生と判断し振動モータへ直接通信を開始する。使用する提示デバイスの切り替えるには、デバイス管理ソフトウェアから切り替え信号を送信する。カメラ切り替え機構にはカメラをリレー接続した Arduino を用い、HMD の画面表示のソフトウェアは processing を、データコンバータ、デバイスの無線通信管理ソフトウェアは Microsoft Visual C# を用いて実装した。

次に各情報提示デバイスの提示方法について説明する。HMD では、図 10 のようにどの方向のカメラの映像かを示すインジケータとカメラ映像を表示する。図 10 では左前方のカメラ映像を表示していることを示す。通常は正面のカメラ映像を表示し、センサに反応があった場合はインジケータが点滅してその方向を示し、カメラ映像を数秒切り替えたのち、正面のカメラ映像に戻る。スピーカは反応があったセンサの方向を音声で読み上げる。振動モータは着ぐるみ装着者の腹部に装着し、反応があった方向のモータを振動させることで方向を提示する。

## 5. 評価

実装した着ぐるみ装着者支援システムを用いて、周囲に物体が存在するという情報を提示する際の周囲の環境、着ぐるみ装着者の行動と、使用する情報提示デバイスの関係



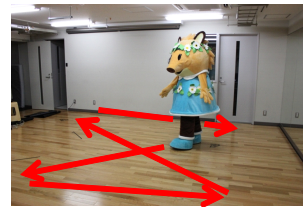
図 11 明るい状態（左図）、暗い状態（右図）の実験環境



静止



ポーズ



歩行



コミュニケーション

図 12 着ぐるみ装着者の行動

性を検証するための評価実験を行った。

### 5.1 提示デバイスの評価項目

今回の実験では、着ぐるみ装着者支援システムがあるイベントで使用され、着ぐるみが何らかの行動をしている際にイベント来場者が着ぐるみの周囲に接近する、という状況を想定した。今回使用するシステムでは HMD、スピーカを用いるため、先行研究 [14], [15] より、HMD による情報提示が影響を受ける周囲の明るさ、スピーカが影響を受ける周囲の騒音の大きさを変化させて検証を行う。着ぐるみ装着者の行動は静止、ポーズ、歩行、コミュニケーションとした。以下、着ぐるみ装着者の行動をそれぞれ説明する。図 11 に左に明るい状態、右に暗い状態の実験環境を、図 12 に 4 種類の着ぐるみ装着者の行動をそれぞれ示す。

#### 静止

前方約 90 度の範囲に向かって上半身をゆっくり揺らしながら両手を振る。着ぐるみは動きを止めない。通行中の人々に向かって手を振る状況を想定している。

#### ポーズ

前方約 90 度の範囲の左右、正面の 3 方向に向かってポーズを取る。ポーズ中は着ぐるみは停止する。写真撮影を要求される状況を想定している。

#### 歩行

床の矢印にしたがって、8 の字に歩行する。イベント会

場内を着ぐるみ装着者が移動する状況を想定している。  
コミュニケーション

客と見立てたマネキンと握手する。スキンシップを求められた状況を想定している。

## 5.2 実験内容

着ぐるみの周囲に1人の観客役が接近し、被験者が気づくまでの時間を測定した。システムの使用状況としては、4種類の情報提示デバイスから1つ使用するデバイスを固定し、システムの使用状況として4種類の周囲の環境、4種類のユーザの行動からランダムに指定した。周囲の環境は、周囲の明暗、騒音の大小のそれぞれを組み合わせた4種類、検証する情報提示デバイスはHMD、スピーカ、振動モータ、および比較のためのデバイス無しの4種類である。被験者は指定された行動を繰り返し行い、周囲に人がいると気づいた場合はその方向を向き、のぞき穴から目視で確認したのち、手を振るなどの合図動作を行った。着ぐるみ胴体に取り付けた5つの超音波測距センサの閾値は約1.5mとし、観客役は着ぐるみのセンサに向かって接近し、ある程度近づいたところで立ち止まった。被験者が歩行中の場合は、距離を保ちつつ移動した。状況ごとに観客役は着ぐるみのセンサが装着されている方向に10回ずつ、合計640回被験者に接近し、接近後立ち止まってから被験者が合図動作を行うまでの時間を測定した。接近から10秒以上経過しても被験者からの合図がない場合は時間切れとし、その場合の経過時間は10秒とした。また、参考として3つの情報提示デバイスに気づきやすさの順位を付けてもらい、自由コメントのアンケートを実施した。被験者は22～25歳の男女10名である。

## 5.3 実験結果

10人の被験者に対する状況ごとの実験結果、行動ごとの実験結果を表1、表2に示す。値は周囲環境、ユーザの行動、提示デバイスごとに測定した10回の測定値を平均し、さらに表1では周囲環境ごとに、表2では被験者の行動ごとに平均した値である。表3、表4は表1、表2の値をさらに提示デバイスごとに平均した値を示す。またアンケートより得られた、情報提示に気づきやすかった提示デバイスの順位を表5に示す。

### 5.3.1 提示デバイスで見た経過時間

表3、表4のどちらにおいても、提示デバイスごとの経過時間を見ると、振動モータ、スピーカ、HMD、システム無しの順に観客役の接近に早く気づいている。特に提示デバイスとシステム無しでは約3秒以上気づくまでの時間に差があった。この結果より、システム無しをシステム異常が起こった状態と考えると、提案手法を用いてシステムの信頼性を確保できた場合、システム異常時にも着ぐるみ装着者のパフォーマンスの低下を防ぐことができると考えら

れる。また、実装した提示デバイスで人が近づいた方向を示すという情報提示においては、振動モータによる情報提示が最も適していたと考えられる。これは表5より、被験者10人中8人が振動モータの提示が最も気づきやすいと回答したことから推測できる。理由としては、被験者は着ぐるみののぞき穴から見える景色から周囲の状況を得ようと、基本的にのぞき穴を注視していたと思われるので、振動による情報提示が視界の邪魔にならなかったことも、情報提示の気づきやすさに関係していると考えられる。

視界に入らない点ではスピーカによる情報提示についても同様のことが言えるが、振動モータと差がある理由は以下の2点が考えられる。1つ目は、複数のセンサが反応して読み上げられる音声重なってしまった場合に正しい情報を聞き取れず、判断までに時間がかかってしまったからだと思われる。被験者が行っていた4つの動作のうち、方向転換を伴うものは静止、ポーズ、歩行の3つであり、超音波センサが反応してから情報提示が始まるまでに別のセンサが反応するということが多かったことも原因に挙げられる。2つ目は、方向を読み上げられてから被験者が理解するまでに少し時間がかかったからだと考えられる。スピーカを用いた実験中に被験者が一瞬考えるような様子を何度も見かけたため、被験者の動作の邪魔にはならないが、提示方法を工夫する必要がある。

HMDによる提示は、提示デバイスの中で最も時間がかかった。原因としては、のぞき穴を注視していたために情報提示する際にHMDを確認できなかったことが挙げられる。アンケートには、情報提示によって被験者の視線移動の頻度が増加したため、動作に集中できなかったというコメントが多数あった。

### 5.3.2 周囲環境で見た経過時間

表3の経過時間を見ると、提示デバイスを使用している場合は、大きな差は見られなかったことから、着ぐるみ装着者支援システムにおいては、周囲の明るさと騒音の大きさは情報提示には影響しないと考えられる。デバイスごとに考察すると、スピーカと振動モータによる提示は視覚情報提示ではないため周囲の明るさによらず情報を得られるからだと考えられる。

一方、視覚情報提示のHMDも影響が見られなかったことについては、今回の実験は屋内で行ったため、直射日光等の強い光が直接着ぐるみ内に入らなかったこと、そしてHMDを使用している着ぐるみ内部が常に暗かったということから、既存研究[14]にあるように、着ぐるみ内部に入る外光、および使用していたHMDの背景が変化しなかったからだと考えられる。よって、照度に変化する屋外などでさらに検証する必要がある。

また、システム無しの場合においては、約0.6秒騒音の大きさが接近に気づくまでの時間に影響している。これは、システムが無い場合、被験者はのぞき穴に加えて、足音か

表 1 各被験者に対する状況ごとの実験結果 [s]

被験者	HMD				スピーカ				振動				システム無し			
	明 <sup>1</sup> +騒 <sup>2</sup>	明+静 <sup>3</sup>	暗 <sup>4</sup> +騒	暗+静	明+騒	明+静	暗+騒	暗+静	明+騒	明+静	暗+騒	暗+静	明+騒	明+静	暗+騒	暗+静
A	3.77	4.02	4.01	4.00	3.95	3.47	3.77	3.54	3.63	3.14	3.22	3.46	8.06	4.89	7.83	4.47
B	4.47	4.33	4.36	3.66	3.55	3.98	3.65	3.46	2.89	2.94	3.03	3.06	8.01	7.61	7.83	8.19
C	3.36	4.08	3.95	3.82	3.79	3.89	3.61	3.96	2.44	2.02	2.09	1.90	6.77	7.33	7.06	7.19
D	4.10	4.45	3.42	3.58	4.22	3.59	3.61	3.88	2.58	2.61	2.90	2.59	7.99	8.12	8.35	8.13
E	4.71	5.07	5.90	4.83	3.75	4.08	4.52	4.18	3.08	3.50	3.64	3.53	7.81	7.65	7.73	7.78
F	5.39	5.29	5.26	6.30	4.02	4.02	3.86	3.51	3.84	4.29	4.14	3.46	8.25	7.60	8.51	8.28
G	5.12	5.12	4.49	4.77	4.34	4.07	4.48	4.55	3.64	3.41	3.90	4.01	7.63	6.95	7.65	6.43
H	5.19	4.51	5.35	4.99	4.40	4.18	4.01	4.67	4.21	3.15	3.69	3.97	7.89	8.05	7.73	7.52
I	5.14	5.04	5.41	4.35	3.86	3.64	4.30	4.16	3.41	3.45	3.77	3.43	8.39	7.54	8.43	7.72
J	4.60	5.28	5.42	5.10	4.96	4.94	4.79	4.57	3.25	3.22	3.10	3.48	8.28	7.74	7.81	8.19
平均	4.58	4.72	4.76	4.54	4.08	3.98	4.06	4.05	3.30	3.17	3.35	3.29	7.91	7.35	7.89	7.39

<sup>1</sup> 周囲が明るい <sup>2</sup> 騒音が大きい <sup>3</sup> 騒音が小さい <sup>4</sup> 周囲が暗い

表 2 各被験者に対する行動ごとの実験結果 [s]

被験者	HMD				スピーカ				振動				システム無し			
	静止	ポーズ	歩行	コミュニケーション	静止	ポーズ	歩行	コミュニケーション	静止	ポーズ	歩行	コミュニケーション	静止	ポーズ	歩行	コミュニケーション
A	4.23	4.26	3.69	3.62	3.97	4.28	3.07	3.40	3.61	3.55	3.30	2.99	4.89	6.67	7.10	6.60
B	3.66	4.61	4.99	3.58	3.29	3.55	4.02	3.79	2.55	3.43	3.08	2.85	8.78	7.46	6.73	8.68
C	3.21	3.77	3.46	4.75	4.26	2.53	3.83	4.63	2.31	2.25	2.24	1.66	6.90	5.41	6.05	10.00
D	4.45	3.82	3.71	3.57	3.27	3.53	3.54	4.96	2.46	2.42	2.68	3.12	7.33	8.55	6.70	10.00
E	5.40	4.91	4.40	5.80	3.58	4.07	4.02	4.86	3.44	3.17	3.27	3.88	7.01	6.76	7.21	10.00
F	4.92	5.73	6.30	5.29	3.13	4.09	3.68	4.51	3.14	3.71	4.05	4.84	8.00	7.31	7.65	9.67
G	5.56	4.62	5.76	3.55	4.40	4.52	4.59	3.92	3.36	3.72	3.65	4.23	7.49	7.15	7.77	6.25
H	4.59	5.49	6.01	3.93	4.46	5.12	3.74	3.94	3.65	4.35	3.26	3.76	7.42	7.15	8.13	8.49
I	5.10	5.26	5.31	4.27	4.19	4.18	3.88	3.72	3.88	3.81	3.10	3.25	7.40	7.36	8.03	9.29
J	5.59	5.05	5.20	4.56	5.14	4.79	4.87	4.46	3.37	3.21	3.28	3.18	6.93	7.56	7.79	9.74
平均	4.67	4.75	4.88	4.29	3.97	4.06	3.93	4.22	3.18	3.36	3.19	3.38	7.21	7.14	7.32	8.87

表 3 周囲の環境ごとで人の接近察知にかかった時間 [s]

提示デバイス	環境		騒音	
	明るい	暗い	騒音大	騒音小
HMD	4.59	4.72	4.76	4.54
スピーカ	4.09	3.99	4.06	4.05
振動	3.30	3.18	3.35	3.29
システム無し	7.91	7.35	7.89	7.39

表 4 被験者の行動ごとで人の接近察知にかかった時間 [s]

提示デバイス	行動			
	静止	歩行	ポーズ	コミュニケーション
HMD	4.67	4.75	4.88	4.29
スピーカ	3.97	4.07	3.93	4.22
振動	3.18	3.36	3.19	3.38
システム無し	7.21	7.14	7.32	8.87

などの環境音からも周囲の状況を得ようとしていたからだと考えられる。

### 5.3.3 被験者の行動で見た経過時間

表 4 の経過時間では、HMD については、コミュニケーション中が最も経過時間が短く、その他の行動については動きが大きくなるにつれて時間が長くなっている。これは、ポーズに集中する、歩行中に壁にぶつからないように気を配るなど、動きが激しくなるほど HMD での情報提示集中できなくなるからだと考えられる。スピーカについては、コミュニケーション中が最も経過時間が長い。これは、情報提示後に被験者が観客役に振り向く時にセンサが反応して音声は次々再生され、5.3.1 でも述べたように混乱を招いたからだと考えられる。振動モータのポージング中、コミュニケーション中の経過時間についても同様の理由が考え

表 5 気づきやすかった情報提示の順位の票数

提示デバイス	順位		
	1位	2位	3位
HMD	0	2	8
スピーカ	2	7	1
振動モータ	8	1	1

られる。システム無しについてはコミュニケーション中の経過時間が最も長い。これは、着ぐるみの向きを変えて周囲状況を取得することができないからだと考えられる。実際、3人の被験者が観客役の接近を一度も気づくことができなかった。

### 5.4 システムの改善点

被験者アンケートからシステム改善の意見を得られた。

HMD が使いづらかった理由として、頻繁に視線を移動していた多かった。今回 HMD を固定した位置は被験者の右目の少し上の部分であり、対して着ぐるみののぞき穴はかなり下にあった。視線移動を減らすためには、のぞき穴付近または目の少し下に固定、あるいは、両眼シースルー型の HMD を用いて常に目の前に固定することが考えられる。

スピーカに関しては、複数の音声提示が重複しないように改良する必要がある。さらに、周囲の騒音が大きい場合に聞き取れなかったとの意見があった。イヤホンは耳を塞ぐため環境音が聞き取れず、人々とのコミュニケーションを阻害する可能性がある。そのため、耳を塞がず、かつスピーカと比較して遮音性が高い骨伝導イヤホンでの実装が有効だと考えられる。

振動モータに関しては、モータの個数について再考する必要がある。実験中では被験者は正面の腹部に 3 つのモータを装着したが、被験者の感覚には個人差があったため、モータ間距離が近過ぎた場合はどのモータが振動したのかわからないという意見があった。また、振動が強すぎて行動に集中できない、あるいは弱すぎて提示がわかりづらいという意見もあり、振動の強さについても調査する必要がある。

センサの装着位置に関しては、正面は不必要だという意見が多かった。これは正面の様子のはのぞき穴からある程度見えるからだと考えられる。また、特にコミュニケーションなどパフォーマンス中は着ぐるみの正面に人がいる可能性が高く、頻繁に情報提示されてユーザが混乱する可能性も考えられる。センサとモータの個数、および装着位置についても再検証する必要がある。

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、筆者らの提案したウェアラブルコンピューティング環境の信頼性確保手法を、着ぐるみ装着者支援システムに実装した。また、HMD、スピーカ、振動モータの 3 種類の情報提示デバイスを実装し、ユーザの行動、および周囲の環境を変化させて情報を提示する実験を行った。その結果、提示デバイス、ユーザの行動、周囲の環境ごとにユーザが情報提示を認知するまでの時間に差を確認した。今後はシステムの改善を行うとともに、提示デバイスの追加を予定している。また健康管理やナビゲーションなどの機能を着ぐるみ装着者支援システムに追加する予定である。

## 参考文献

- [1] 五味雄一, 森田圭紀, 寺田 努, 東 健, 塚本昌彦: 内視鏡手術における HMD 利用に関する一考察, 情報処理学会研究報告 (第 130 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会), Vol. 2008-HCI-130, pp. 75–81 (Oct. 2008).
- [2] 寺田 努, 柳沢 豊, 岸野泰恵, 塚本昌彦, 須山敬之: 装着デバイス間の直接通信によるウェアラブルコンピューティングの信頼性確保, インタラクション 2014 論文集, pp. 76–83 (Feb. 2014).
- [3] T. Okazaki, T. Terada, and M. Tsukamoto: A System for Supporting Performers in Stuffed Suits, Proc. of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology 2012 (ACE 2012), pp. 85–100 (Nov. 2012).
- [4] K. Tsukada and M. Yasumura: ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation, Proc. of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004), pp. 384–399 (Sep. 2004).
- [5] A. Cassinelli, C. Rynolds, and M. Ishikawa: Augmenting Spatial Awareness with Haptic Radar, Proc. of the 5th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006), pp. 60–64 (Oct. 2006).
- [6] 櫻原裕大, 清水裕基, 三好健文, 吉永 努, 入江英嗣: スマートフォンを用いた歩行動作改善ツールの開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-UBI-32, No. 7, pp. 1–8 (Nov. 2011).
- [7] R. Vaul, M. Sung, J. Gips, and A. Pentland: MIThrill2003: Applications and Architecture, Proc. of the 7th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2003), pp. 4–11 (Oct. 2003).
- [8] 寺田 努, 宮前雅一, 山下雅史: Wearable Toolkit: その場プログラミング環境実現のためのイベント駆動型ルール処理エンジンおよび関連ツール, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 6, pp. 1587–1597 (June 2009).
- [9] D. Patterson, G. Gibson, and R. Katz: A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID), Proc. of the International Conference on Management of Data (SIGMOD), pp. 109–116 (Jun. 1988).
- [10] T. Dell: “A White Paper on the Benefits of Chipkill-Correct ECC for PC Server Main Memory,” IBM Microelectronics Division, pp. 1–23 (Nov. 1997).
- [11] M. Harders and G. Szekely: Enhancing Human-computer Interaction in Medical Segmentation, Proc. of the IEEE, Vol. 91, No. 9, pp. 1430–1442 (Sep. 2003).
- [12] C. Rousseau, Y. Bellik, F. Vernier, and D. Bazalgette: A framework for the Intelligent Multimodal Presentation of Information, Signal Process, Vol. 86, No. 12, pp. 3696–3713 (June 2006).
- [13] C. Duarte and L. Carri, co: A Conceptual Framework for Developing Adaptive Multimodal Applications, Proc. of International conference on Intelligent user interfaces (IUI 2006), pp. 132–139 (Jan. 2006).
- [14] 田中宏平, 岸野泰恵, 宮前雅一, 寺田 努, 西尾章治郎: 光学式シースルー型 HMD のための読みとりやすさを考慮した情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 4, pp. 1847–1858 (Apr. 2007).
- [15] 矢高真一, 田中宏平, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのための状況依存音声情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 9, pp. 2384–2395 (Dec. 2010).
- [16] 田中宏平, 寺田努, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのためのユーザ状況を考慮した知覚影響度に基づく情報提示手法, 情報処理学会シンポジウムシリーズマルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2008) 論文集, pp. 1479–1486 (July 2008).
- [17] 岸野泰恵, 柳沢 豊, 田中 聡, 寺田 努, 塚本昌彦, 須山敬之: 小型無線デバイスのための CLI 仮想マシン, 情報処理学会シンポジウムシリーズマルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2009) 論文集, pp. 893–900 (July 2009).