

情報家電制御に適した次世代インタフェース

Next-generation User Interfaces suited for Information Appliances

塚田 浩二¹⁾
Koji Tsukada

1) 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
(〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322 E-mail: tsuka@sfc.keio.ac.jp)

ABSTRACT. I have proposed two novel interfaces suited for information appliances. First is called “Ubi-Finger” that realizes sensuous operations for information appliances by gestures of fingers. Ubi-Finger is a gesture-input device, which is simple, compact, and optimized for the new computing environment. Using Ubi-Finger, a user can select a target device by pointing with her/his index finger, then control it flexibly by performing natural gestures of fingers. Second is called “Active Belt” that enables users to obtain multiple directional information with tactile sense. Active Belt is a belt-type wearable tactile display that can transmit multiple directional information. In this paper, I present prototype systems and some applications.

1 背景と目的

近年、コンピュータの小型化・高性能化には目を見張るものがあり、その利用分野は実生活全般に大きく拡大しつつある。Mark Weiser はコンピューティング環境の未来の姿として、多数の、しかも多様な形態の情報機器群が有機的に協調しあう世界「ユビキタス・コンピューティング (Ubiquitous Computing)」というビジョンを描いた [26]。このような実生活の様々な場面においては、ユーザの置かれている現実世界の状況・位置など、物理的要因が重要になる。従来の WIMP (Window・Icon・Menu・Pointing Device) を用いた GUI (Graphical User Interface) はディスプレイの中の事象のみを対象としており、こうした場面に適しているとは限らない。

当初のユビキタス・コンピューティングに関する研究の多くは、主に研究所などのオフィス環境を想定していた。一方、近年情報家電機器や位置依存コンテンツなどの研究が盛んになっており、今後は家庭内やモバイル環境も含めた本来の意味でユビキタス (普遍的) なコンピューティング環境が普及していくと考えられる。

このようにユビキタス・コンピューティングの領域は拡張しつつあり、実世界全般での利用を想定した新しいユーザ・インタフェースが必要となっている。だが、従来のユビキタス・コンピューティングに関する研究の多くはネットワーク・ミドルウェア・OS・ハードウェアなど技術的側面に重点を置いており、ユーザの視点から見た使いやすさや装着負荷、実現コストなどを十分に考慮しているものは少ない。だが、ユビキタス・コンピューティングの本質は、「どこでもコンピュータが利用できる」ことだけではなく、「コンピュータを意識せずに利用できる」環境を構築することであり、ユーザインタフェースの担う役割は大きい。

私は、家庭内やモバイル環境など実世界全般に拡張したユビキタス環境において、実際の利用場面や使いやすさなどユーザの視点を重視した次世代ヒューマン・インタフェースの研究・開発を行い、最終的には次世代のデファクト・スタンダードとなるようなキラー・インタフェースを実現したいと考えている。

2 概要

本プロジェクトにおいて研究・開発を行ったテーマは以下の二つである。

- 1) 家庭内の情報家電制御手法
ジェスチャを用いた情報家電制御インタフェース [Ubi-Finger]
- 2) モビキタス環境^{*1}に適した情報提示手法
方位情報を伴うベルト型触覚情報提示インタフェース [Active Belt]

以下、各テーマについて詳細を述べる。

3 Ubi-Finger: ジェスチャを用いた情報家電制御インタフェース

3.1 概要

近い将来、各種の家電製品はネットワークで結合された情報家電機器となり、家庭内にもユビキタスコンピューティング環境が浸透すると期待されている。しかし、情報家電機器は従来の家電機器と比較して高性能化・多機能化する反面、物理的なインタフェースが消失し、家電操作はより複雑になると考えられる。そうした状況では、簡潔性を重視した、ユーザにとって使いやすいインタフェースが求められる。

私は、こうした情報家電機器制御などの問題点を解決する手段として、手指を用いたジェスチャ入力に着目し、自然なジェスチャを用いてユビキタス環境の情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブル・インタフェース Ubi-Finger の開発、および改良を行った [23, 24]。本システムでは、実世界のさまざまな機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を直感的に操作することが可能である。

3.2 コンセプト

Ubi-Finger はモバイル環境でジェスチャ入力を行い、実世界の多様な機器操作を実現する小型の指装着型ウェアラ

^{*1} モバイル指向のユビキタス環境

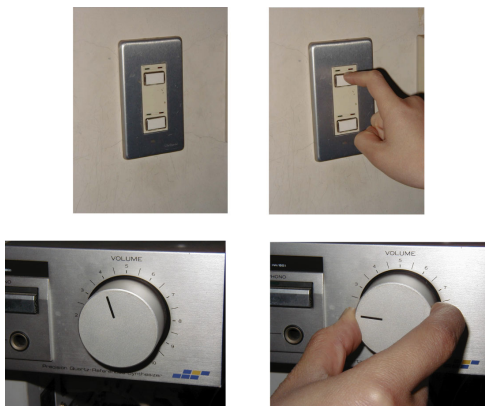


図 1: 実世界機器の持つアフォーダンス 上:部屋の照明のスイッチを「押す」、下:ボリュームつまみを「回す」

ブルデバイスである。Ubi-Finger の主要なコンセプトは以下の 3 点である。

- 1) 手指のジェスチャを用いた感覚的な入力・操作
- 2) モバイル環境に適したウェアラブルデバイス
- 3) 多様な機器操作を共通のインタフェースで実現

ここでは Ubi-Finger のコンセプトを詳しく紹介し、それらを実現するための問題点を検証し、実装の方針を述べる。

3.2.1 ジェスチャによる実世界機器操作

Ubi-Finger は手指を用いたジェスチャにより、実世界機器の操作を実現する。ジェスチャ入力を実世界機器の操作に適用した場合の利点としては、(1) 既存のメタファを活用した直感的な操作マッピング、(2) 身体性の積極的活用などが挙げられる。

「既存のメタファを活用」とは、実世界機器を操作する従来の方法などを有効活用するということである。実世界機器はそれ自体の持つアフォーダンスによって、自己の特質を表明しており [6]、たとえばオーディオ機器の音量操作を行うボリュームつまみは「回す」という使い方を提示している (図 1)。我々は長年こうした操作手段に慣れ親しんでおり、機器操作のメタファとしても有効に機能すると考えられる。

「身体性を活用」とは、ジェスチャ入力は身体性を最も活用できる入力インタフェースの一つであるということである。身体性は実世界指向インタフェースの研究において重要な要素であると考えられており [14]、実世界機器の操作においても有効な活用が期待できる。たとえば、一度身体を動かして覚えた操作はボタンを順番に押すだけの操作よりずっと忘れにくいと考えられる。

3.2.2 ウェアラブルデバイス

福本 [4] は常時装着できるウェアラブルインタフェースの必要条件として「携帯性」・「操作性」・「即時性」の 3 つを挙げている。つまり、ウェアラブルインタフェースは小型・軽量で日常生活の邪魔にならず、小型化しても使いやすい操作性を持ち、使おうと思った時にすぐに利用可能なものでなければならない。

従来のジェスチャ入力システムの多くはジェスチャの多様性を重視し、全ての手指にセンサーを装着するアプローチをとってきた。こうしたアプローチは汎用性の面で優れるが、「携帯性」・「操作性」などの要件を満たすことは難しくなる。ここではジェスチャの多様性とユーザの装着負荷のトレードオフについて述べる。

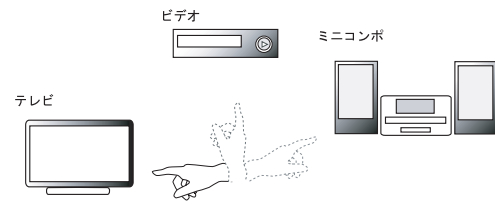


図 2: 指差しによる機器の選択のイメージ図

ジェスチャの多様性と装着負荷

手指を用いたジェスチャをできるだけ多く認識するには、(1) 各指の第一関節・第二関節の曲げ・伸ばし、(2) 各指間の関節角度、(3) 手首の角度を検出する必要がある。しかし、こうしたアプローチは全ての指にセンサーを装着する必要があるため、ユーザの装着負荷を増大し、携帯性に支障をきたすことが予想される。モバイル環境やユビキタス環境における利用を前提とした場合、このように全ての指を使ったジェスチャ認識は、実装・実用の面から現実的ではないと考えられる。

そこで、本研究では携帯性を重視したシンプルなジェスチャ入力を主眼におき、(1) 親指・人差し指の曲げ・伸ばし、(2) 手首の角度を中心に検出する手法をとる。装着するセンサーを人差し指中心にまとめることで、既存のジェスチャ入力デバイスより大幅に装着負荷を軽減している。

無意識的入力の排除

常時装着するウェアラブルインタフェースを想定した場合、意図的な入力と無意識的な入力を区別することは非常に重要である。しかし、既存のジェスチャ入力システムの多くは明示的なトリガー機構を持たず、無意識的な入力を排除することは難しかった。

そこで、Ubi-Finger では親指で自然に押せる人差し指の側面部にタッチセンサーを装着し、「親指でタッチセンサーを押す」という明示的な行為をジェスチャ入力の開始・終了のトリガーとして利用する手法をとる。このように明示的なトリガー機構を設けることで、意図しないジェスチャの誤認識の大幅な削減を図った。一方、こうした意識的トリガーと直感性の間にはトレードオフが存在するため、今後更なる議論が必要である。

3.2.3 多様な機器操作

Ubi-Finger は単一のデバイスで複数の実世界機器の操作を可能にする。従来の学習型マルチリモコンなどを用いても複数の機器操作を行うことはできたが、機能とボタンが一对一で対応付けられているため、操作対象の機器が増えるほど操作が複雑になり、ユーザの学習負荷が増大するという大きな欠点があった。

Ubi-Finger を利用すれば、ユーザはおおまかに以下のような手順で、さまざまな実世界機器をシンプルかつ直感的に操作することが可能になる。

- 1) 「指差し」による機器の特定
 - 操作対象の機器を指差し、赤外線にて ID を送信することで「選択」する。(図 2)
- 2) 手指のジェスチャによる機器の操作
 - 操作対象の機器を手指のジェスチャにより操作する。この際、あらかじめ選択した機器を操作するため、操作対象の機器が増加しても操作が複雑にならない。

3.3 実装

3.3.1 デバイス構成

ここでは Ubi-Finger のデバイス構成について述べる。

Ubi-Finger は 3 系統のセンサー (ジャイロセンサー、2 軸加速度センサー、タッチセンサー) を中心に、実世界の情報機器を特定するための赤外トランスミッタと、これらのデバイスの制御やホスト PC・PDA などと通信を行う

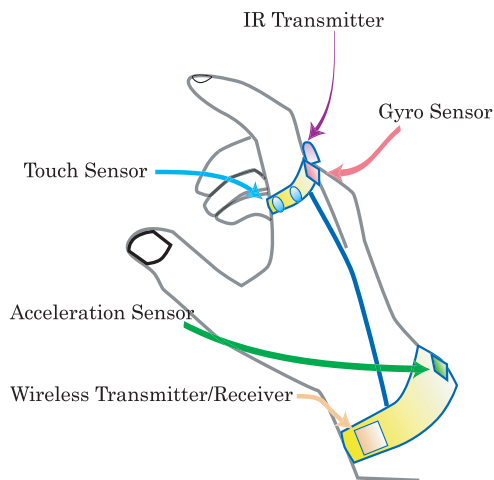


図 3: Ubi-Finger デバイス構成イメージ図

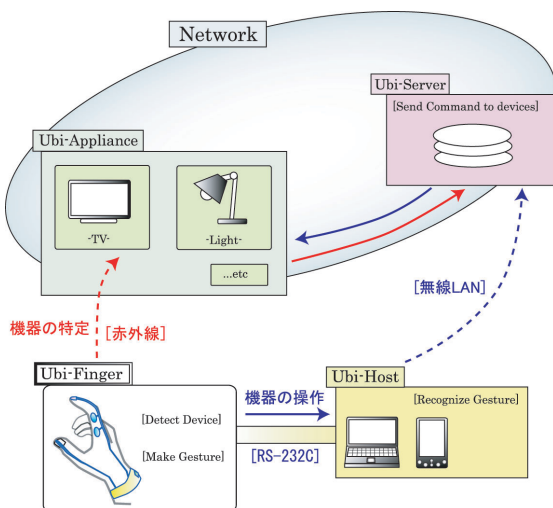


図 4: Ubi-Finger システム構成

マイコンから構成される (図 3)。それぞれのセンサーからは (1) 人差し指の曲げ・伸ばし, (2) 手首の回転角度, (3) 親指によるボタン操作, といった情報が入力される。このうち, (1), (2) は主にジェスチャの検出に, (3) は情報機器の特定やジェスチャ入力のトリガーとして利用する。

3.3.2 システム構成

次に, Ubi-Finger を利用して実世界の機器を操作するためのシステム構成について述べる (図 4)。本システムは Ubi-Finger ハードウェア, Ubi-Host (Ubi-Finger デバイスのホスト PC), Ubi-Appliance (赤外線レシーバーと LED を備え, ネットワーク接続可能な情報家電機器), Ubi-Server (Ubi-Appliance を管理するサーバー) の 4 つから構成される。

ここで, システムの流れについて簡単に紹介する。

まずユーザは Ubi-Finger で実世界の情報機器 (Ubi-Appliance) を指差し, 自分の ID 情報を含んだ信号を赤外線で送信する。Ubi-Appliance は信号を受けると機器固有の ID とユーザの ID をサーバー (Ubi-Server) に送信し, Ubi-Server は Ubi-Appliance とユーザの ID を関連付け, 「誰がどの機器を操作しようとしているか」という情報を保持する。そして Ubi-Appliance に関連付け完了のフィードバック信号を送信し, Ubi-Appliance は情報提示用の LED を用いて選択状態を提示する。

ユーザは操作対象の Ubi-Appliance の選択状態を LED

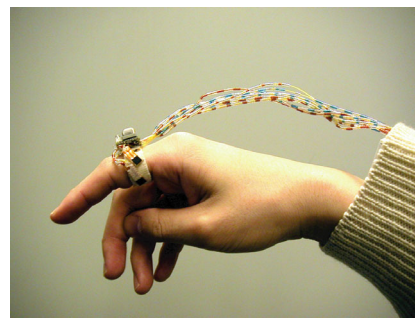


図 5: Ubi-Finger プロトタイプ Ver.3 装着例

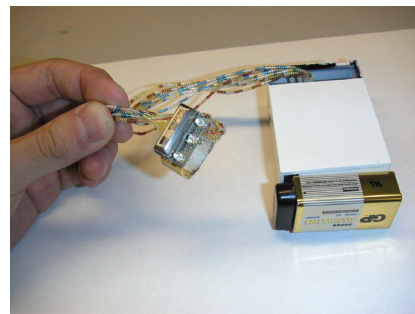


図 6: Ubi-Finger プロトタイプ Ver.3 外観

で確認した後, Ubi-Finger を用いてジェスチャを行う。ジェスチャはホスト PC (Ubi-Host) で認識され, 特定のジェスチャ ID に変換されて, ユーザの ID と共に Ubi-Server に送信される。Ubi-Server はユーザの ID から操作対象の Ubi-Appliance を判別し, ジェスチャの ID を機器毎に相応しいコマンドに変換する。そして, ネットワークを介して Ubi-Appliance の操作を行う。

3.3.3 プロトタイプ

このようなデバイス構成・システム構成に基づき, Ubi-Finger システムのプロトタイプを実装した。ここでは, 作成したプロトタイプシステムの構成・実現手法・特徴などを述べる。

Ubi-Finger ハードウェア

Ubi-Finger ハードウェアのプロトタイプについて述べる。

今回の開発では, 指輪部と腕輪部から構成される Ubi-Finger ハードウェア ver.3 を実装した (図 5, 図 6)。指輪部にはジャイロセンサー (村田製作所製 ENC-05E) とタッチセンサー (イナバゴム製 イナストマー SF-4) を, 腕装着部に 2 軸の加速度センサー (Texas Instruments 製 ADXL202E) を装着している。また, 指輪部には機器を特定するための赤外 LED と, 動作状態を提示する LED を二つ装着している。腕輪部には, 微弱無線を用いたシリアル無線送受信機 (野村エンジニアリング製 RS232-STR) とマイコン (Microchip 社製 PIC18F252) を組み込んでいる。各センサーからの出力はマイコンで数値に変換され, シリアル無線送受信機を介してホスト PC へ送られる。ホスト PC 上では Ubi-Host ソフトウェアが動作し, マイコンの出力データをリアルタイムに解析してジェスチャ認識を行い, 無線 LAN カードを経由して Ubi-Server との通信を行う。

Ubi-Appliance と Attachable Controller

Ubi-Appliance はネットワーク接続可能な情報家電機器を想定したものであるが, 現時点ではそうした機器を簡単に入手することは難しい。そこで, 図 7 のように, 既存の家電機器に「取り付ける」だけで, Ubi-Appliance に必要

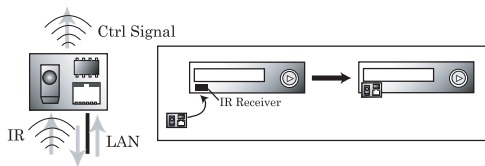


図 7: Attachable Controller 概念図

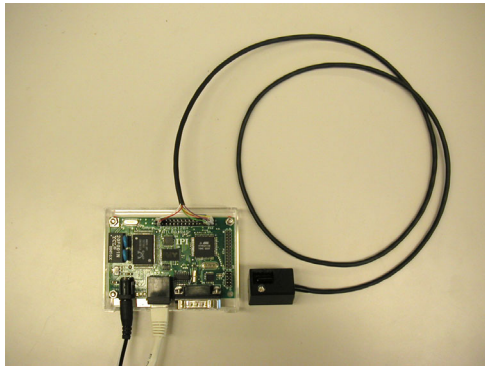


図 8: Attachable Controller プロトタイプ ver.2

な入出力系を付加できる機器装着型デバイス Attachable Controller を実装した。Attachable Controller は赤外受光部・ネットワーク接続部・機器制御部という三つのサブシステムから構成される。図 8 に、Attachable Controller ver.2 の外観を示す。

1) 赤外受光部

Ubi-Finger から赤外線信号を受信し、機器の選択状態の提示を行うサブシステムである。赤外受光素子と情報提示用の LED、および周辺回路から構成される。

2) 機器制御部

ネットワークからの信号に基づいて、赤外線などにより家電機器の制御を行うサブシステムである。赤外トランスミッタ (赤外 LED) と、取り外し可能な不揮発メモリ、およびその周辺回路から構成される。

3) ネットワーク接続部

Ubi-Server とネットワーク通信を行い、赤外受光部や機器制御部のデバイスを制御する、サブシステムである。ドイツの egnite 社の開発した、EtherNut (IPI 社製 Net/At128) を用いて実装を行っている。EtherNut は、LAN インタフェースを搭載し、Nut/OS という独自のソフトウェアライブラリを用いて、UDP、TCP/IP などの基本的なネットワークプロトコルや、マルチスレッドプログラムを実現できる、AVR(Atmega128) ベースの小型コンピュータである。

3.4 応用

次に、Ubi-Finger の有効な活用が期待できる実装例のうち、実世界の機器操作について紹介する。

実世界の機器操作

従来我々が実世界の家電機器などを操作する場合、機器の数だけリモコンを利用しなければならず、機器 (リモコン) 毎に異なる操作方法を学習する必要があった。高級な学習マルチリモコンでは複数の機器のコントロール信号を学習することはできたが、ボタンと機能のマッピングが複雑になり、従来のリモコン以上にユーザの学習負担を増大させることになりがちであった。Ubi-Finger を利用すれば、これらの問題点を解決し、ユーザの学習負担を軽減した直感的な機器制御が可能になると期待できる。

実世界機器操作の応用例として、ライト、テレビ、オー



図 9: テレビ操作とジェスチャの対応付け (抜粋)

ディオ機器、ビデオなどに Attachable Controller を装着し、Ubi-Finger で制御するシステムを試作した。ここではテレビを Ubi-Finger により制御する応用例を紹介する。

テレビの制御に関して実現した機能は「電源のオン/オフ」、「ボリュームを上げる」、「ボリュームを下げる」、「チャンネル次へ」、「チャンネル前へ」、「ミュート」の 6 つである。これらの機能を機器操作の特性を利用してジェスチャに対応付ける。たとえばボリュームを上げる、下げるという操作は「ボリュームつまみを回す」という動作を連想させるため、その行為に類似した「手首を右回り/左回りに傾ける」というジェスチャを対応付ける。図 9 にジェスチャと操作の対応付けの抜粋を示す。

3.5 関連研究

ここではまず、ジェスチャ入力に関する先行研究を装着型センサーを用いるアプローチと画像解析を用いるアプローチに分けて紹介し、本研究との差異を述べる。

装着型センサーを用いるアプローチとしては、5DT DataGlove、CyberGlove や、毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース、AcceleGlove などが挙げられる。5DT DataGlove [1] や CyberGlove [2] は光ファイバーや感圧導電インクを関節角のセンサー (ベンドセンサー) として利用するグローブ型ジェスチャ入力デバイスである。ポヒマスセンサーなどと組み合わせることで、特定空間においてデバイスの 3 次元位置を測定できる。毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース [12] や AcceleGlove [8] は 2 軸の加速度センサーなどを各手指と手の甲に装着し、その相対的な出力値から手指の形状を取得する、手の甲と各指に分離して装着するジェスチャ入力デバイスである。これらの先行研究は、全ての手指にセンサーをつけるアプローチをとっており、モバイル環境のみでなく、Virtual Reality の入力インタフェースなども含めたより汎用的な場面での利用を想定していると考えられる。一方、我々のアプローチは、モバイル環境や情報家電機器など特定の目的に絞る、そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目標としている。そのために、シンプルなジェスチャのみを対象としてセンサーの数を最小限に絞り、人差し指を中心に装着するコンパクトな形態とすることでユーザの装着負担を軽減している。

画像解析を用いるアプローチとしては、Wearable ASL (American Sign Language) や Gesture Pendant などが挙げられる。Wearable ASL [18] はベースボールキャッ

プにつけたカメラを用いて、ASL の認識を行う研究である。Gesture Pendant [17] はペンダント型のデバイスに赤外 LED とカメラを搭載し、カメラで認識したジェスチャを用いた家電機器の操作を試みている。特に Gesture Pendant は、主に情報家電機器の制御に焦点を当てたアプローチであり、興味深い。本研究は装着型センサーを利用してジェスチャ認識を行っている点で異なる。装着型センサーを用いたアプローチの利点としては、カメラの視野にとらわれず入力を行える点、外界のノイズに強い点などが挙げられる。また、情報家電機器制御のアプリケーションにおいて、本研究では機器の選択→操作を、指差しとジェスチャを用いて連続的にわかりやすい流れの中で行える点が特徴である。

情報家電機器を実世界インタフェースで操作する試みとしては FieldMouse や Air-Real が挙げられる。FieldMouse [11] はバーコードリーダーなどの ID 検出装置とマウスや加速度センサーなどの相対移動検出装置を一体化して、「傾き」などを利用した情報機器の操作を試みている。本研究では複数のジェスチャを既存のメタファと結びつけて、より直感的な機器操作を実現できると考えている。Air-Real [9] はレーザーポインタを内蔵したリモコンと部屋に設置されたカメラ、プロジェクタを利用して、レーザーポインタで指した家電に応じた操作を実現している。Air-Real は非常に大規模なシステムを必要とするのに対し、本研究は最小限のシステム構成で実現可能である点が異なる。Ubi-Finger は既存の家電機器に Attachable Controller を取り付けるだけで、さまざまな実世界機器の操作に適用可能である。

指鉤 [5] は手首に加速度センサーを装着して、モールス信号のように On/Off 信号の時系列を用いてコマンド表現を実現する。指鉤では応用のアイデアとして、家電機器操作への適用例についても述べており、興味深い。一方、本研究は最小限のセンサーを手指部に装着し、手指を利用したシンプルなジェスチャ入力を行うアプローチである。

Attachable Computer [10] は、実世界の家電機器などに小型コンピュータとセンサーなどを取り付けて、付加的な情報提示機能を追加するコンセプトである。Attachable Computer が実世界の機器に情報提示機能を付加する試みであるのに対し、本研究で提案する Attachable Controller は新しい入力・操作系の付加に焦点を当てている点で異なる。

Gesture Wrist [15] は手首に 2 軸加速度センサーと静電検出装置 (送信電極と受信電極) を装着し、簡単なジェスチャ入力を試みる研究である。手首以外に機器を装着する必要がなく、数種類のジェスチャを認識できるという点で興味深い。しかし、ジェスチャ認識開始の明示的なトリガーを与える機構が存在しないため、常時装着時には誤認識の問題が残ると考えられる。

4 Active Belt: 方位情報を伴うベルト型触覚情報提示インタフェース

4.1 概要

既存のコンピュータの出力インタフェースは主に視覚を利用するものであったが、モバイル環境、ユビキタス環境などの、コンピュータの利用場面の多様化に伴い、視覚以外の情報提示手法の重要性が高まってきている。特に触覚を用いた情報提示は、注意量をあまり必要としないため、常時利用可能な情報提示手法として有望である。しかし、従来のモバイル環境での触覚情報提示手法の多くは、携帯電話のバイブレーションのように、注意喚起程度の用途で利用されることが多かった。本テーマではモバイル環境において、方位情報を含む多ビットの触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブル・インタフェース “Active Belt” の提

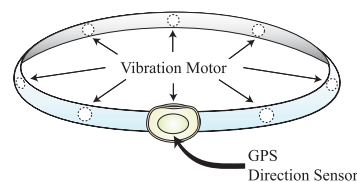


図 10: ActiveBelt デバイス構成イメージ図

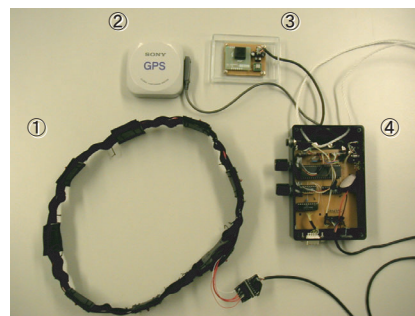


図 11: Active Belt プロトタイプ

案・開発を行った [21, 22]。Active Belt はベルトに方位センサー、GPS と複数のアクチュエータを装着し、方位情報を伴う触覚情報提示を実現する。

4.2 コンセプト

Active Belt のコンセプトは以下の 3 点である。

- 1) 方位情報を伴う多ビットの触覚情報提示
- 2) 装着負荷の少ないウェアラブルデバイス
- 3) 位置依存情報サービスとの多様な連携

(1) は腰の周りを 360 度一周するベルトの形状を生かして、アクチュエータを用いて触覚刺激を与えることで、実世界の方位情報を直接想起させることが可能となる点である。このように、実世界の方位情報と触覚情報を対応付けることで、身体に無作為にアクチュエータを装着する場合と異なり、個々の触覚情報に明確な意味を持たせることができる。(2) は、多くの人々が日常的に利用するベルトにアクチュエータ機能を付加することで、ユーザの装着負荷をほとんど増やすことなく、情報提示機構を加えられることである。また、一般に、ベルトは外出時に身につけられる可能性が高いため、特にモバイル環境における情報提示デバイスとして適していると考えられる。(3) はパーソナル・ナビゲーションをはじめとする、様々な位置依存情報サービスと連携できる可能性を持つことである。

4.3 デバイス構成

次に、Active Belt のデバイス構成について述べる。Active Belt は主に方位センサーと GPS、複数のアクチュエータ (振動モーター)、およびこれらを制御するマイコンから構成される (図 10)。GPS はユーザの位置情報を、方位センサーはユーザの身体 (腰部) の絶対方位を取得する。アクチュエータはベルトの周囲を一周するように複数個埋め込み、触覚による情報提示を行う。

4.4 プロトタイプ

上述したようなデバイス構成に基づいて、我々は Active Belt のプロトタイプを試作した。プロトタイプは、(1)Active Belt ハードウェア、(2)GPS、(3) 方位センサーユニット (地磁気センサーと加速度センサー)、(4) 制御用マイコンから構成される (図 11)。図 12 にプロトタイプのシステム構成を示す。以下に、プロトタイプの各構成要素について詳しく述べる。

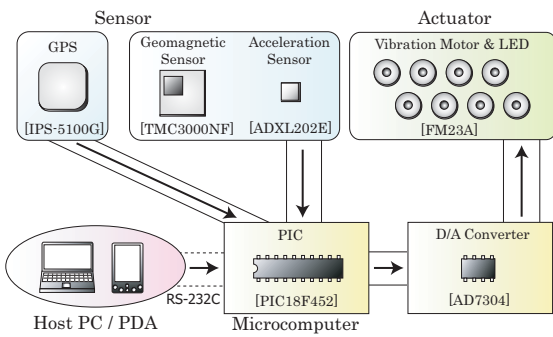


図 12: Active Belt システム構成

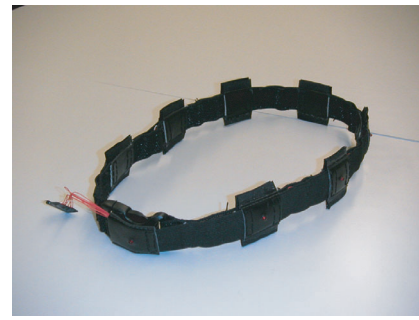


図 14: Active Belt ハードウェア ver.2 (フリーサイズ)

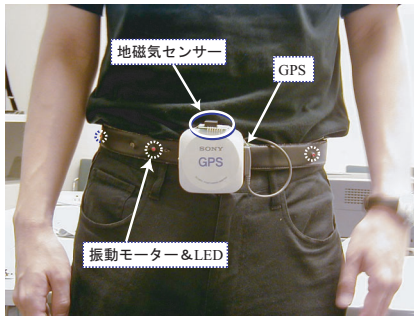


図 13: Active Belt ハードウェア ver.1

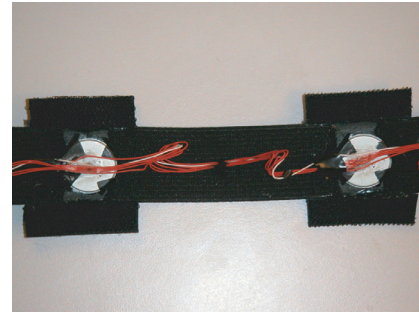


図 15: Active Belt ver.2 内部の配線

4.4.1 Active Belt ハードウェア

初期の Active Belt ハードウェアはバックル部で長さを調整する、通常のベルト型の形状で実装した (図 13)。ベルト部には 8 個の振動モーター (TPC 製 FM23A) と LED^{*2} を等間隔に埋め込んだ。振動モーターは直径 18mm、厚さは約 3mm の薄型のものである。振動モーターは、ベルト装着時に腹側の中点、背中側の中点、および左右の腰骨付近に位置するように 1 個ずつ装着し、さらに上記 4 箇所同士の中点に 1 個ずつ配置した。

しかし、ベルトのサイズを調整すると、振動モーターの位置関係が変化し、方位情報との対応付けが困難になるという欠点があり、多くのユーザが装着するのは困難であった。

こうした初期プロトタイプの問題を踏まえて、振動モーターを組み込んだベルト部を伸縮性のあるゴム素材で連結した、フリーサイズの Active Belt ver.2 を実装した (図 14)。通常時の全長は約 75.0cm であるが、図 15 のように、ゴム素材部の伸縮を考慮して余裕を持たせた配線を行うことで、ウエストサイズが最大約 98.0cm 程度のユーザまで、振動モーターの位置関係をほぼ保ったまま装着できるよう工夫している (図 16)。

4.4.2 方位センサーユニットと GPS

方位センサーユニットは、地磁気センサー (NEC トーキン製 TMC3000NF) と、加速度センサー (Analog Devices 製 ADXL202E) から構成される (図 17)。地磁気センサーは絶対方位の取得に用いる。地磁気センサーの出力はマイコンに 10bit A/D コンバータを通して入力される。加速度センサーは、地磁気センサーの補正に利用する。地磁気センサーが正しい方位を出力するためには、地軸に対して水平な姿勢を保つ必要があるが、人間の歩行時にはセンサーが必ずしも水平な姿勢を保てるとは限らない。そこで、早川ら [7] の提案する手法に基づき、加速度センサー

を重力加速度に対する傾斜センサーとして利用し、地磁気センサーの傾きを補正する。具体的には、加速度センサーのピッチ角・ロール角に応じた、地磁気センサーの出力値を北向き、東向き、西向き、南向き時のそれぞれの場合において計測し、それらを補完テーブルとして利用することで、方位センサーユニットのピッチ角、ロール角の計測値から、リアルタイムに方位ベクトルを算出している。

GPS は、Sony 製 IPS-5100G を利用する。IPS-5100G からの出力はシリアル形式でマイコンに入力され、バイト列から緯度、経度情報を抽出する。また、目的地への距離と方位は、GPS の緯度経度情報、および目的地の緯度経度情報をもとに、球面三角法 [28] を利用して算出する。

4.4.3 マイコンと周辺回路

Active Belt の制御用マイコンは、MicroChip 社の PIC18F452 を利用する。マイコンは上述のようにセンサーからの信号を入力、解析するとともに、(1) 振動モーターと LED の制御、(2) ホスト PC/PDA との通信を行う。(1) については、振動モーターと LED を 8bit の D/A コンバータ (Analog Devices 製 AD7304) を介して制御する。D/A コンバータを利用することで、電圧を可変的に制御し、振動モーターの振動数や LED の明るさを滑ら



図 16: Active Belt ver.2 装着例

^{*2} LED は振動モーターと同期して点灯し、主にデモ時の動作確認用途に利用する。

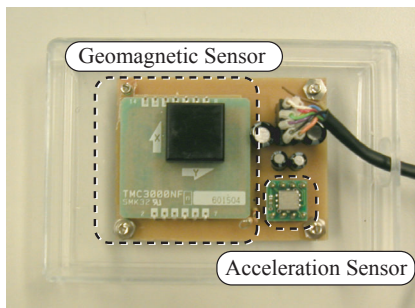


図 17: 方位センサーユニット

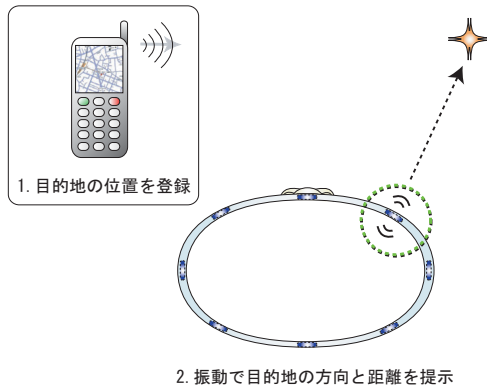


図 18: FeelNavi のイメージ図

かに変化させることができる*3。 (2) については、ホスト PC/PDA と RS-232C を介して通信を行い、目的地の緯度、経度情報の設定を行うことができる。

4.5 応用例

ここでは、Active Belt の有効な活用を期待できる応用例として FeelNavi, FeelSense, FeelSeek, および FeelWave を紹介する。それぞれの応用例を簡単に紹介すると、FeelNavi はパーソナル・ナビゲーション、FeelSense は位置依存情報提示、FeelSeek は忘れ物探索支援、FeelWave はエンターテインメントの応用を目的とするものである。

4.5.1 FeelNavi

FeelNavi は触覚情報提示を用いたパーソナル・ナビゲーションシステムの応用例である。ユーザは「感じるままに歩く」ことで、目的地に到達することができる。具体的には、目的地への距離と方位情報を振動により提示する。プロトタイプにおいては、目的地の緯度・経度情報をホスト PC/PDA から登録し、現在地とユーザの向きに応じて特定の振動モーターを駆動させている (図 18)。目的地への距離情報は、図 19 に示すように振動の周波数として表現しており、目的地に近づくほど振動周期が早くなる仕様としている。

4.5.2 FeelSense

本稿の冒頭で述べたように、特定の位置・地域限定の情報提供サービスが盛んに行われるようになってきている。従来、こうした情報提供サービスの多くは視覚を用いた情報提示を前提としていた。しかし、たとえば特定の位置に来るとメールが送信されてくる、といった情報提示手法は情報量が豊富な反面、煩わしいことも多いと考えられる。今後位置依存の情報提供サービスはより増加していく傾向にあり、ユーザの利用負荷を考慮したシンプルな情報提示

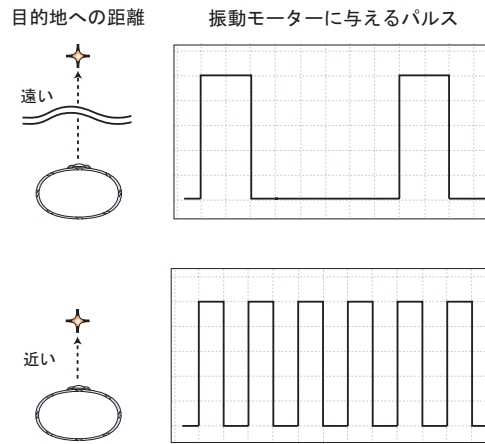


図 19: 目的地への距離と振動周期の対応例

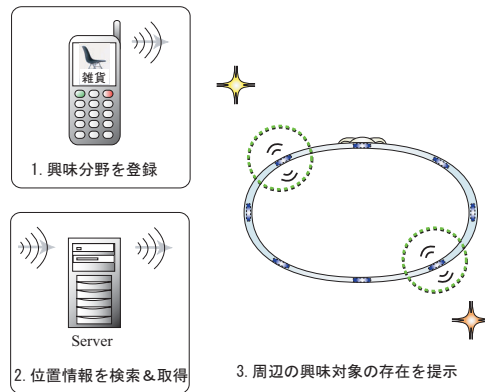


図 20: FeelSense のイメージ図

手法が求められる。FeelSense は、興味ある位置依存コンテンツの存在を「感じながら歩ける」常時アクティブな情報提示システムである。具体的には、対象の情報に近づいたとき、その方向と距離を振動により提示する。図 20 に示すように、ユーザは事前に関心領域を登録することで、興味のありそうな位置依存コンテンツの存在を常を感じる事ができる。たとえば、雑貨屋・古着屋など自分の特に関心のある店舗の存在を感じたり、街頭ライブなどのイベントの存在を感じたりすることが可能になるだろう。

4.5.3 FeelSeek

近年無線タグの大幅な小型化・低価格化が進んでおり、近い将来さまざまな生活用品に埋め込まれ、利用されるようになると考えられている [25]。そうした状況では、財布、手帳、パソコンなど重要な携帯品に無線タグを埋め込み、置き忘れや盗難を防ぐアプリケーションが有効となるだろう。FeelSeek はこうした貴重品の紛失情報の提示、および探索支援を想定したアプリケーションである。具体的には、図 21 に示すように、まず貴重品に埋め込まれた無線タグがベルトに内蔵したリーダーから一定距離以上離れると、ベルトの全方位が震え、「緊急事態」を通知する。次に、ユーザは必要に応じて、探し物を探索するためのトリガーを入力する。すると、システムは GPS の軌跡をもとに貴重品のおおまかな位置を検出し、FeelNavi と同様の仕組みで振動によるナビゲーションを開始する。

4.5.4 FeelWave

上述の例とは趣の異なる応用例として、Active Belt をボディソニックのように、音楽などに併せて振動のリズムを楽しむ目的で利用することも考えられる (図 22)。たとえば、全方位から触覚情報を提示できる特性を生かして、

*3 出力電圧は 255 段階で変化させることができるが、電圧を最大電圧の二分の一以下に下げると、振動モーターの振動はほとんど知覚できなくなる。

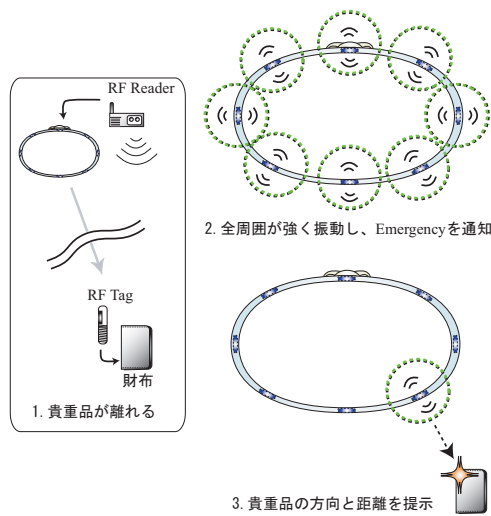


図 21: FeelSeek のイメージ図

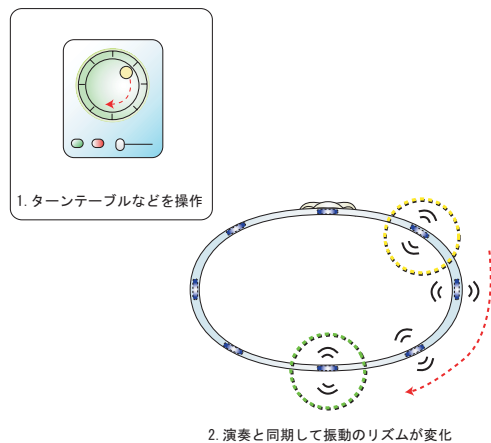


図 22: FeelWave のイメージ図

立体音響効果と組み合わせればシンプルで迫力のある演出が期待できる。また、DJ のターンテーブルの演奏（回転）と聴衆のベルトの振動子の動作を同期させるなど、新しい表現手段としての可能性も考えられる。

4.6 関連研究

GPS などの位置情報を利用した情報サービスやナビゲーションシステムに関する研究としては Walk Navi[13], Augment-able Reality[16], Touring Machine[3], Space Tag[20] などがある。これらはいずれも位置情報を利用した興味深いアプリケーションを提案しているが、その多くは視覚を中心とした情報提示を対象としている。一方、本研究はこうした位置依存のサービスに適した触覚情報提示手法に焦点を当てている。

電子コンパス内蔵 GPS 携帯 [29] は、現在地の地図を表示し、携帯電話の向きに応じて回転させることができる。方位情報を用いて地図と実世界の対応付けを支援しており、興味深い。一方、本研究は触覚により方位情報を提示し、パーソナル・ナビゲーションなどを行うアプローチである。

ウェアラブル・インタフェースを用いて、触覚を利用した情報提示を行う研究としては Cyber Touch, Tactual Wearable Display などがある。Cyber Touch[2] は 6 つの振動子をグローブに取り付け、仮想世界の物体との接触表現などを実現している。Tactual Wearable Display[19] はベストなどの背中の部分に振動モーターを 3 x 3 のマトリ

クス状に配置し、方位情報の提示を試みている。一方、本研究はベルト型のデバイスを用いるアプローチである。

ベルト型のウェアラブルデバイスとしては Mitutoyo 社のウエストメジャーベルトがある。ウエストメジャーベルト [27] はベルト内部にデジタルスケールを内蔵し、身につけるだけでウエストサイズを計測することができる。本研究の目的とは異なるが、ベルト型デバイスを用いた健康管理の応用例を提案しており、興味深い。

5 まとめ

本プロジェクトでは、ユビキタス環境に適した入出力インタフェースとして、ジェスチャを用いた直感的な情報家電制御システム Ubi-Finger と方位情報を伴うベルト型触覚提示システム Active Belt の研究・開発を行った。それぞれの研究成果は、家庭内やモバイル環境へと拡張するユビキタス・コンピューティング環境に適した次世代のユーザ・インタフェースとして有望であり、コストの面でも十分な実現可能性を持っている。

今後は、これらのテーマをより掘り下げ、商品化を目指してシステムを改良していくとともに、より広い視野から次世代ユーザ・インタフェースについて捉えなおし、ユーザの使いやすさ、実現コストなどを重視した、実用に耐えるシステムを提案し、研究・開発していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 5DT Data Gloves: .
<http://www.5dt.com/hardware.html#glove>.
- [2] CyberGlove and Cyber Touch: .
<http://www.immersion.com/products/3d/interaction/>.
- [3] Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T. and Webster, A.: A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment, *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers (ISWC'97)*, pp. 74–81 (1997).
- [4] 福本雅朗: 24 時間ニューリョクデキマスカ? – Wearable なインタフェース, 情報処理, Vol. 41, No. 2, pp. 123–126 (2000).
- [5] 福本雅明, 外村佳伸: “指鉤”: 手首装着型コマンド入力機構, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 389–398 (1999).
- [6] Gibson, J.: *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin Company (1979).
- [7] 早川敬介, 柏谷篤, 山田敬嗣: 磁界センサと傾斜センサを併用した方位検出による情報提示システム, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp. 135–138 (2001).
- [8] Hernandez-Rebollar, J., L., Kyriakopoulos, N. and Linderman, R., W.: The AcceleGlove: A Whole-Hand Input Device for Virtual Reality, *Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH 2002*, ACM SIGGRAPH, p. 259 (2002).
- [9] 星野剛史, 堀井洋一, 丸山幸伸, 片山淳詞, 柴田吉隆, 吉丸卓志: Air-Real: ホームネットワークのユーザーインタフェース, インタラクティブシステムとソフトウェア IX, 近代科学社, pp. 113–118 (2001).
- [10] Iga, S., Itoh, E., Higuchi, F. and Yasumura, M.: Attachable Computer: Augmentation of Electric Household Appliances by Fit-up Computer, *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI'98)*, pp. 51–56 (1998).
- [11] Masui, T. and Siio, I.: Real-World Graphical

- User Interfaces, *Proceedings of The International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing(HUC'2000)*, pp. 72-84 (2000).
- [12] 毛利工: 手指ジェスチャ認識に基づくウェアラブル型操作入力インタフェース, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 2, No. 4, pp. 283-292 (2000).
 - [13] Nagao, K. and Rekimoto, J.: Agent Augmented Reality: A Software Agent Meets the Real World, *Proceedings of Second International Conference on Multi-Agent Systems(ICMAS'96)*, pp. 228-235 (1996).
 - [14] 暦本純一: 実空間に拡張する直接操作環境—複数コンピュータ環境への身体的アプローチ, 身体性とコンピュータ, pp. 295-308 (2000).
 - [15] Rekimoto, J.: GestureWrist and GesturePad: Unobtrusive Wearable Interaction Devices, *Proceedings of 5th International Symposium on Wearable Computers(ISWC'2001)* (2001).
 - [16] Rekimoto, J., Ayatsuka, Y. and Hayashi, K.: Augmentable Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces, *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers(ISWC'98)* (1998).
 - [17] Starner, T., Auxier, J., Ashbrook, D. and Gandy, M.: The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring., *Proceedings of 4th International Symposium on Wearable Computers(ISWC'2000)* (2000).
 - [18] Starner, T., Weaver, J. and Pentland, A.: A Wearable Computer Based American Sign Language Recognizer, *Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers(ISWC'97)* (1997).
 - [19] Tan, H. and Pentland, A.: Tactual Displays for Wearable Computing, *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers(ISWC'97)* (1997).
 - [20] Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M. and Kambayashi, Y.: SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application, *Proceedings of International Conference on Multimedia Computing and Systems(ICMCS'99)*, Vol.1, pp. 207-212 (1999).
 - [21] 塚田浩二, 安村通晃: Active Belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構, 日本ソフトウェア科学会 WISS2002, pp. 23-28 (2002).
 - [22] 塚田浩二, 安村通晃: Active Belt: 方位情報を伴う触覚情報提示デバイスの提案, 情報処理学会研究報告 2002-HI-100, pp. 23-29 (2002).
 - [23] Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Proceedings of Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction(APCHI' 2002)*, Vol.1, pp. 388-400 (2002).
 - [24] 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger:モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3675-3684 (2002).
 - [25] Want, R., Fishkin, K., P., Gujar, A. and Harrison, B., L.: Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags, *Proceedings of CHI'99*, ACM Press.
 - [26] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century, *Scientific American (International Edition)*, Vol. 265, No. 3, pp. 66-75 (1991).
 - [27] ウエストメジャーベルト: .
http://www.mitutoyo.co.jp/jpn/syouhin/kenkou/w_new/w_new_1.html.
 - [28] 距離と方位に関する議論 (地図の広場): .
<http://forum.nifty.com/fyamap/kyorihoi.htm>.
 - [29] 電子コンパス内蔵 GPS 携帯: .
http://www.zdnet.co.jp/mobile/0202/25/n_gpsp.html.