

Active Belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構

Active Belt: Belt-type Wearable Tactile Display for Directional Navigation

塚田 浩二 安村 通晃

Summary. This paper proposes a novel wearable interface called "Active Belt" that enables users to get multiple directional information with tactile sense. Since the information given with tactile sense hardly disturbs people's activities, it suits for daily use in mobile environment. However, many of the existing systems don't transmit multiple information with tactile sense. Most of them send only simple prompts, such as vibration of cellular phones. Active Belt is a belt-type wearable tactile display that can transmit multiple directional information. We develop a prototype system and some applications.

1 はじめに

近年, GPS をはじめとする位置計測技術の普及に伴い, モバイル環境における位置情報を用いた情報提供手法に関する研究が盛んに行われている[12][22]. また, AU の eznavigation[4]や J-PHONE の Station[20]をはじめとして, 携帯電話各社も位置情報を利用したコンテンツ・サービスを積極的に展開している. これらの位置依存情報サービスには様々な応用可能性が存在するが, 中でも需要の高いものの一つとして, 自分の周りの地図を表示するナビゲーションシステムがあげられる[11]. 例えば, eznavigation サービスの一つである GPS マップでは, 基地局情報と GPS 情報を併用することで, かなり正確な位置の地図を数秒程度で表示することができる.

こうしたパーソナル・ナビゲーションシステムは一見便利なものであるが, 実際に不慣れな場所で利用しようとする時, 実世界と地図の対応付けが困難であることも多い. たとえば, 巨大な学会や展示会場において, 地図を持っているにも関わらず, 目的の展示を探すのに一苦労した, という経験を持つ人は多いのではないだろうか. こうした問題を解決するには, 実世界の「どの方向に」向かえばよいのかという方位情報を適切な手法で提示することが有効である. たとえば, 展示会場などで道に迷った場合, 今いる場所から「どちらに」向かえばいいのかを教えてもらうことが大きな助けとなる.

モバイル環境やウェアラブル・コンピューティングにおける情報の提示手法としては, 「視覚」・「聴

覚」・「触覚」を用いる手法が主な選択肢として考えられ, それぞれ一長一短の特徴を持つ[8]. 視覚は一度に提示できる情報量は豊富だが, 多くの注意量を必要とする. 例えば, 携帯電話の画面を常に見ながら歩くのはユーザにとって大きな負担になる. 聴覚は視覚ほど多くの注意量を必要とせず, ある程度の情報量を提示できる. しかし, 雑踏や逆に静か過ぎる環境では使いにくい. 触覚は一度に提示できる情報量は少ないが, 注意量をあまり必要としないため, 常時利用に適する. 本研究では常時利用性とユーザの負担の少ない情報提示手法を重視して, 触覚による方位情報の提示に焦点をあてる.

次にこうした目的に適したデバイス形態について検討する. ウェアラブル・インタフェースの形態としてはこれまでも様々な種類が提案されてきている. 具体的には, 表 1 に示すように, 眼鏡型, 手袋型, 腕時計型, 指輪型, 靴型, ベスト型, ペンダント型, 帽子型, イヤリング型, などである. 本研究では, 触覚による方位情報の提示に適した形態としてベルト型のデバイスに着目した. ベルトは腰の周りを一周する形態を持つため, アクチュエータを用いた方位情報の提示に適していると考えられる. さらに, ベルトは男女共に幅広く利用される装飾品であり, 従来もウェアラブル・コンピュータ本体やバッテリーを装着する用途で頻りに利用されてきた. 一方, アクティブな入出力インタフェースとしてのベルトの可能性については, あまり議論されてこなかった.

我々は, ユーザの装着負荷を増やさず, 触覚により多ビットの方位情報を提示できるベルト型ウェアラブル・インタフェース Active Belt を提案, 試作し, 有効な応用例を検討する.

表1 ウェアラブル・インタフェースの代表的な形態と事例

形態	代表的な製品や研究
眼鏡型	MicroOptical[10], Poma[15]...etc.
手袋型	5DTDataGlove[1], CyberGlove[2], Ubi-Finger[23]...etc
腕時計型	UbiButton[7]...etc.
指輪型	FingeRing[6], GSR rings[14]...etc.
靴型	Expressive Footwear[13], GSR Shoes[14]...etc.
ベスト型	Tactual Wearable Display[21]...etc.
ペンダント型	GesturePendant[19]...etc.
帽子型	Wearable American Sign Language[18]...etc.
イヤリング型	The Blood Volume Pressure earring[14]...etc.

2 Active Belt

2.1 コンセプト

Active Belt のコンセプトは(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の3点である。

(1)は腰の周りを一周するベルトの形状を生かして, 方位情報と触覚情報を容易に対応付けられることである。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。(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。

2.2 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 は地磁気センサーと 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1)。

GPS はユーザの位置情報を, 地磁気センサーはユーザの身体(腰部)の向きを検出する。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。

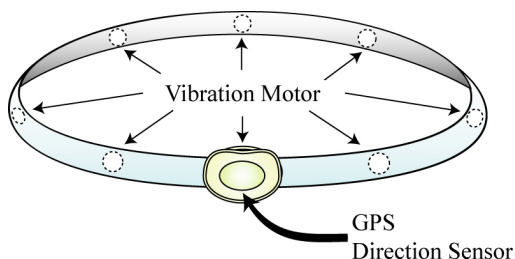


図1 デバイス構成

3 実装

3.1 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(図2)。地磁気センサー(NEC トーキン製 TMC3000NF)と GPS (Sony 製 IPS-5100G)をベルトのバックル部に取り付け, 8個の振動モーター(TPC 製 FM23A)と LED¹を等間隔にベルトに埋め込んだ(図3)。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。センサーからの情報はマイコン(MicroChip 製 PIC18F452)で数値化し, 設定に応じて振動モーターなどにフィードバックを与える。振動モーターと LED は 8bit の D/A コンバータ(Analog Devices 製 AD7304)を介して制御されており, 0~255の数値を与えることで滑らかに振動数や明るさを変化させている。

また, マイコンはホスト PC・PDA と RS-232C を介して通信を行い, 目標地の設定などを容易に行うことができる。図4にプロトタイプのシステム構成を示す。

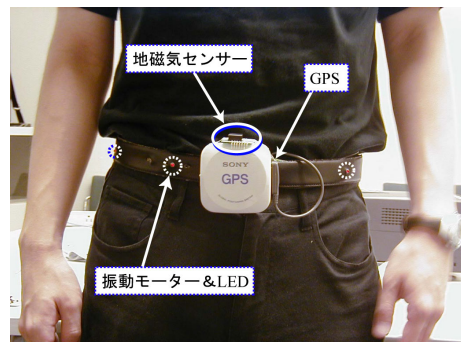


図2 プロトタイプ

1. 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。

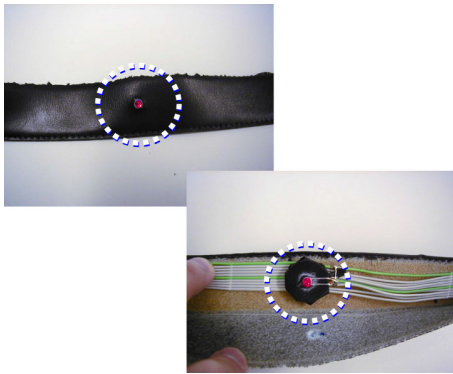


図3 振動モーターとLED (拡大図)

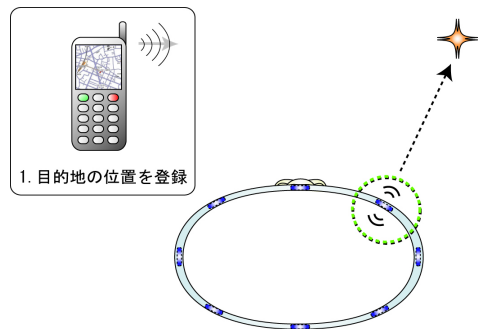


図5 FeelNavi の概念図

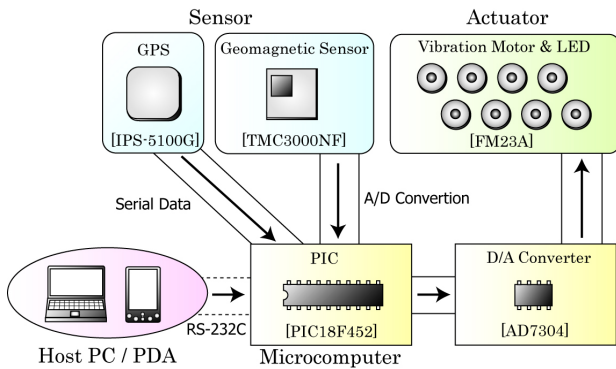


図4 プロトタイプシステムの構成

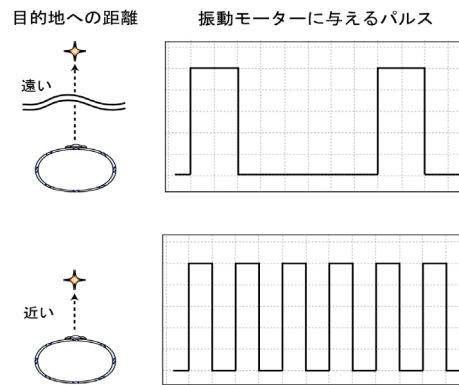


図6 距離と振動周期の相関例

3.2 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 はボディソニック効果を目的とするものである。

(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 Host PC 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5)。目的地への距離情報は、図6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。

(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7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、興味のある位置依存コンテンツの存在を常に感じることができる。例えば、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。

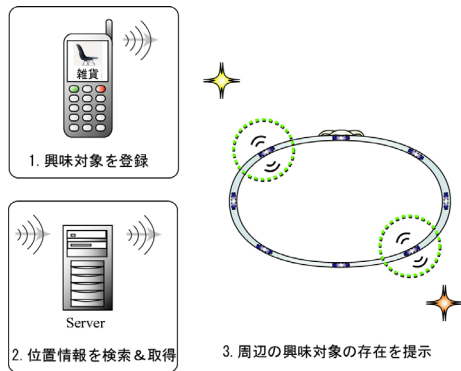


図 7 FeelSense の概念図

(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って考えられている[24]。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 8 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。

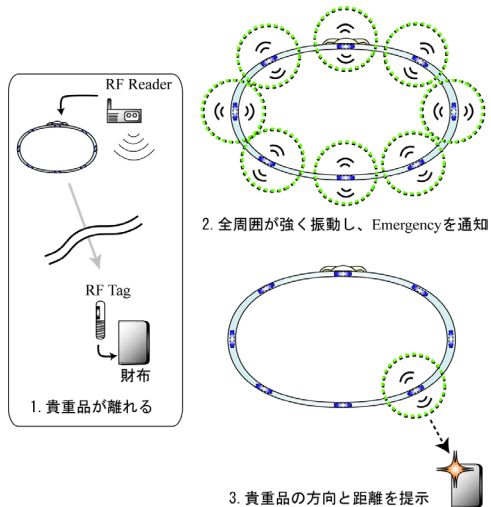


図 8 FeelSeek の概念図

(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。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、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 議論

Active Belt はまだ開発段階であり、十分な評価は行っていないが、著者らはプロトタイプの試用を通していくつかの知見を得ることができた。ここでは腰部に触覚刺激を与えた際の特徴や、位置依存情報の特性、およびベルト型デバイスの利点と制約について検討する。

4.1 腰部への触覚刺激の特性

ベルトの周囲に取り付けた振動モーターの刺激については、同じ強さの回転数でも、装着箇所によって体感的な刺激が異なって感じられた。具体的には、体感的な刺激は腰の側面の二つの振動子が最も強く、腹側の三つがやや弱く感じられた。また、背中側の三つは両者の中間程度の刺激として感じられた。さらに、腹側の三つについては中央（正面）の刺激が最も弱く感じられた。

また、現在のプロトタイプでは、前述のように距離を振動の周期で表現している。周期が短すぎても長すぎても振動刺激を感じる事が難しくなり、また振動刺激を数秒以上連続的に加え続けると、装着者の負担となるように感じられた。そこで、現時点では最小の振動周期を約 100msec (On) + 100msec (Off) に、最大の振動周期を約 500msec (On) + 2500msec(Off) に設定している。

単一の振動の分離特性については、腰部に振動触覚刺激を与えた場合、水平面上の方位を一定の正確さで想起できるという実験結果が報告されている[27]。実際に、今回用いた八つの振動子（方位）の刺激は問題なく分離できるように感じられた。一方、複数の隣接する振動子をほぼ同時に振動させた場合、振動の周期や時間差などによって、感じ方が異なった。具体的には、隣接する振動子を同じ周期で、ほぼ時間差無く振動させた場合は、単一の幅広い刺激として感じられた。一方、300msec 程度の時間差をつけて振動を与えたり、振動の周期を 2 倍程度（125msec と 250msec など）変化させることで、そ

それぞれの振動は個別の刺激として感じられた。また、こうした振動の分離に関する特性は刺激を与える部位によっても変化がみられた。総じて、腹側に受けた刺激は分離しにくく、腰の側面や背中側に受けた刺激は比較的明確に分離できる傾向があり、体感的な刺激の強さの特性と共通する部分がみられた。

今後より多くの被験者によるサンプルを集め、こうした触覚刺激の特性を考慮してデバイスを改良していく予定である。

4.2 位置依存情報の特性

Active Belt は視覚や聴覚による情報提示手法と比較すると、常時装着性に優れる反面、単体で提示できる情報量は限られてくる。一方、位置依存の情報サービスはユーザのいる実世界の位置や空間と密接な関係を持つ。そこで、位置依存サービスを想定した場合、ウェアラブル・インタフェース側ですべての情報を提供しなくても、環境側の情報を利用することで、ある程度の情報量を得ることができると考えられる。FeelSense の応用例を考えてみると、感じられた情報は今いる空間と密接な関係を持つものであり、振動により提示された方向に目をむけるだけでも、ある程度情報の種類がわかる可能性は高い。たとえば、目をやった方向に店舗があれば自分の関心のある商品を扱っている可能性が想像できる。ユビキタス・コンピューティング[25]のようにインテリジェント化された環境を想定すれば、環境側からより多様な情報を得ることも可能だろう。

4.3 ベルト型デバイスの特性

ここではベルト型デバイスの利点と制約について検討する。前述のように、ベルト型デバイスの利点は、(1)触覚を用いて方位情報を容易に提示できる、(2)ベルトは日常身につける装飾品であり常時装着性に優れる、といった点である。一方、ベルト型デバイスの制約としては、(1)頭部から遠いため視覚や聴覚を用いた情報提示には適さない、(2)複雑な情報入力を行うのは難しい、(3)ユーザのウエストサイズに合わせた多様なサイズが必要といった点があげられる。

こうした特徴を考慮すると、Active Belt は視覚や聴覚を用いた入出力インタフェースを完全に置き換えるものではなく、むしろ相互に補完しあうことでより実用的な利用が期待できる。たとえば、FeelNavi の応用例においては、目的地の位置情報の検索・取得などの複雑な操作を携帯電話などで行い、目的地までのナビゲーションを Active Belt で行うモデルが効率的と考えられる。

5 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[12]、Augment-able Reality[16]、Touring Machine [4]、Space Tag[22]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[3]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[21]はベストなどの背中部分に振動モーターを3x3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[26]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。

6 まとめ

本研究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 を提案し、プロトタイプの実装を行った。Active Belt はモバイル環境における常時利用に適しており、パーソナル・ナビゲーションや位置依存情報の提示をはじめとする、さまざまな応用可能性が期待できる。

参考文献

- [1] 5DT DataGlove:
<http://www.5dt.com/hardware.html>.
- [2] CyberGlove and Cyber Touch:
<http://www.immersion.com/products/3d/interaction/>.

- [3] 電子コンパス内蔵 GPS 携帯:
<http://www.au.kddi.com/phone/cdmaone/c3003/c3003.html>.
- [4] eznavigation:
http://www.au.kddi.com/ezweb/eznavi/index_h.html.
- [5] 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 ISWC'97*, pp. 74-81(1997).
- [6] Fukumoto, M. and Tonomura, Y.: Body coupled FingeRing: Wireless wearable keyboard, *Proceedings of CHI'97*, pp.147-154 (1997).
- [7] 福本雅明, 外村佳伸: “指釦”: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).
- [8] 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).
- [9] 城一裕, 田中一彦: Cycling NEWS Navigator: 方位情報の可聴化システムを実装した自転車, インタラクション 2002 論文集, pp. 155-156 (2002).
- [10] MicroOptical:
<http://www.microopticalcorp.com/products.html>.
- [11] 増井 俊之: GPS 携帯電話の活用, UNIX MAGAZINE, Vol. 17, No. 8, pp. 173-184 (2002).
- [12] Nagao, K. and Rekimoto, J.: Agent Augmented Reality: A Software Agent Meets the Real World, *Proceedings of ICMAS'96*, pp. 228-235 (1996).
- [13] Paradiso, J., A. and Hu, E.: Expressive Footwear for Computer-Augmented Dance Performance, *Proceedings of ISWC'97* (1997).
- [14] Picard, R. and Healey, J.: Affective Wearables, *Personal Technologies, Vol 1, No. 4*, pp.231-240 (1997).
- [15] Poma:
http://www.xybernaut.com/newxybernaut/Solutions/product/poma_product.htm.
- [16] Rekimoto, J., Ayatsuka, Y. and Hayashi, K.: Augment-able Reality: Situated Communication through Physical and Digital Spaces, *Proceedings of ISWC'98* (1998).
- [17] 新西誠人, 安村通晃: 能動的タグを利用した実世界指向探索システムの研究, ヒューマンインタフェース学会 論文誌 Vol.2, No.4, pp. 29-34 (2000).
- [18] Starner, T., Weaver, J. and Pentland, A.: A Wearable Computer Based American Sign Language Recognizer, *Proceedings of ISWC'97* (1997).
- [19] 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 ISWC'2000* (2000).
- [20] Station:
http://www.j-phone.com/p_and_s/sds/station/.
- [21] Tan, H. and Pentland, A.: Tactual Displays for Wearable Computing, *Proceedings of ISWC'97*(1997).
- [22] Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M., and Kambayashi, Y.: SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application, *Proceedings of ICMCS'99*, Vol.1, pp. 207-212 (1999).
- [23] Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Companion Proceedings of Ubicomp'2001, Technical Report: GIT-GVU-TR-01-7* (2001).
- [24] 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 (1999).
- [25] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century, *Scientific American (International Edition)*, Vol.265, No.3, pp. 66-75 (1991).
- [26] 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.
- [27] 山本哲正, 泉 隆, 白銀 暁, 小島 悟, 田中敏明, 井野秀一, 伊福部 達: 振動触覚刺激による二次元方位知覚特性, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp.21-24 (2002).