

# バーバル・ノンバーバル情報を利用した視聴覚障害者の歩行支援のためのウェアラブル触覚インタフェースの研究

雨宮 智浩<sup>\*1</sup> 広田 光一<sup>\*2</sup> 廣瀬 通孝<sup>\*2</sup>

Wearable Tactile Interface for Way-Finding Deaf-Blind People using Verbal and Nonverbal Mode

Tomohiro Amemiya<sup>\*1</sup>, Koichi Hirota<sup>\*2</sup>, and Michitaka Hirose<sup>\*2</sup>

**Abstract** - This paper describes the development and evaluation of a tactile hybrid interface of verbal and nonverbal communication, which informs Deaf-Blind people of their position and direction in real-time through the tactile sensation by Finger-Braille method. Finger-Braille is one of the great commonly used communication methods among the Deaf-Blind people in Japan. We psychologically show the subjects felt tactile stimulation transmitting by the interface as simultaneous stimulation, by measuring delay of stimulus signal between both hands caused by wireless connection and time discrimination threshold of both hands. We propose a new way-finding system using the combination of verbal and nonverbal information using the proposed interface, and verify the feasibility of instructing the correct orientation by using tactile stimulation pattern through experiments.

**Keywords** : wearable computer, Finger-Braille, verbal and nonverbal, turning guidance

## 1. はじめに

コンピュータの高機能化, 小型化により, コンピュータは「持っていることを意識しない」ウェアラブルコンピュータの時代へと進化している。感覚器を拡張させる情報機器を眼鏡, 腕時計, 指輪といった形態で生活の中に自然に浸透させることができるため, ウェアラブルコンピュータは障害者支援に対して有効であると期待されている。日本国内には視覚および聴覚の重複障害者(以下視聴覚障害者と略す)は2万人以上いると推定されている。この視聴覚障害者の情報伝達のチャンネルは主に触覚に限られており, コミュニケーション手段として指点字[1]などが用いられている。本研究では, ウェアラブルコンピュータの技術を用いて, 指点字を電子的に実現し, 視聴覚障害者のコミュニケーションを支援するウェアラブル指点字インタフェースの開発を行った。文字の認識率や無線通信における遅延の許容時間などを計測することで技術的な基礎を確立し, 視聴覚障害者を被験者とした評価実験を通じて指点字インタフェースの改良を重ねた。

また, 本インタフェースを用いた視聴覚障害者に対する新しい歩行支援システムを提案する。そ

の情報提示手法として, 距離の案内や障害物の有無を言語的な情報(バーバル情報)で伝え, 方位の案内を非言語的な情報(ノンバーバル情報)で伝える方法を提案する。本インタフェースは, バーバル情報(指点字)とノンバーバル情報(刺激パターンの空間的变化)の両者を表現することが可能である。指点字を読むためには非常に意識を集中させる必要があることが指点字を使用する視聴覚障害者から報告されており, 両者を併用することは認知処理に伴う負荷の軽減などに効果的であると期待される。本稿では指点字インタフェースを用いたバーバル情報, ノンバーバル情報に関するそれぞれの基礎研究を行い, 歩行支援のための実現可能性を検証する。

## 2. 従来の視聴覚障害者のコミュニケーションと移動支援に関する研究

情報伝達のチャンネルが主に触覚に限られている視聴覚障害者に対するコミュニケーション支援として, 触覚インタフェースを用いたデバイスが研



図1 指点字

Fig. 1 Finger-Braille

\*1: 東京大学大学院 情報理工学系研究科  
現在, NTTコミュニケーション科学基礎研究所 / 東京大学 先端科学技術  
研究センター

\*2: 東京大学 先端科学技術研究センター

\*1: Graduate School of Information Science and Technology, The Univ. of Tokyo  
Presently with NTT Communication Science Laboratories / RCAST, The  
University of Tokyo

\*2: RCAST, The University of Tokyo

究開発されてきている。現在最も普及しているコミュニケーション支援デバイスは点字ディスプレイである。しかし、駆動部分の微小変位を増大させるための機構が必要なため、いつでもどこでも使うことのできるウェアラブルコンピュータに適した実装が難しい。また、聾ベースの視聴覚障害者は通訳者の手話を直接触って文章を読み取る触手話を使っており、アメリカでは広く普及している。これを工学的に実装するのは困難であるため、手話の中の指文字に限定した、触指文字ディスプレイ RALPH[2] が開発されている。日本では、視聴覚障害者に対するコミュニケーション手段にデファクトスタンダードがないため、デジタル化が容易な指点字に対する多くの基礎研究 [3][4][5] が行われてきた。指点字とは、視聴覚障害者が用いるコミュニケーション手段の一つで、視聴覚障害者の両手の6指を点字タイプライタに対応させて、図1のように通訳者がその指を打鍵して文字を伝達する方法である [1]。たとえば、表1のように「あ」という文字は点字では1の点のみが突起した記号として表現されるが、指点字では1の点に対応する指(たとえば左手の人差し指)が打鍵されることで表現される。このようにして視聴覚障害者に時系列で文章を伝える方法である。しかしながら、これまでの指点字デバイスの実装は持ち運びが困難な重厚長大な据置型や、日常生活で常時装着することを前提に考えられていない形状にとどまっている。

一方、視聴覚障害者の移動支援としては、1970年代後半に、腹部に電極マトリックスを用いた触覚による視覚代替システムが視覚障害者の歩行補助として開発された [6]。また、Ertan らによるモータアレイを使った研究ではページモータをマトリックス状に配置したベストを背部に装着して、振動の空間的推移によって躍動感を与える仮現運動に基づいて、歩行支援を行っている [7]。

視聴覚障害者の移動支援ではないが、触力覚を使って方位指示を実現するシステムの研究も行われている。矢野らはVR空間内の迷路探索実験において12個の振動子を使って全身への触覚提示

を行った [8]。柳田らは全身への触覚提示を念頭に置き、振動モータを用いた最小限の構成で与えられる情報提示の可能性について検討を行っている [9]。Rupert は航空機パイロットに対してベスト型の振動触覚インタフェース (TSAS) を開発し、空中飛行時の方位指示を行った [10]。Yang らは胴巻き型振動触覚アレイインタフェース (POS.T.Wear) で方向識別実験を行った [11]。他にも吉江らによるジャイロモーメントを用いた誘導実験 [12] や久米らによる足裏への刺激を利用する研究 [13] も行われている。

Ross らは、視覚障害者が横断歩道を横断するタスクをヘッドセットによるバーバルな音声情報、肩叩きインタフェースによるノンバーバルな情報、超音波センサ Sonic Carrot の3種類を用いた比較実験を行い、主観的な好みやパフォーマンスのいずれにおいても最も好成績だったのは、肩叩きインタフェースであったと報告している [14]。これらのシステムや点字ブロックでは移動支援としてノンバーバルな情報を伝達しているが、[14] では音声と肩叩きの組み合わせがよいと結論付けているように、バーバルな情報も移動支援には必要であると言える。

本稿では、装着性に優れ、手の動きの自由度の高い指点字インタフェースを開発し、バーバルな触覚情報とノンバーバルな触覚情報を指点字インタフェースによって伝えることで視聴覚障害者の歩行支援に活用する方法を提案する。

### 3. ウェアラブル指点字インタフェース

視聴覚障害者のコミュニケーションのための触覚ディスプレイとして、指点字に基づいてバーバル情報を伝達する触覚インタフェースを作成した。

#### 3.1 装着形態




装着形態としては手袋型と指輪型が考えられる。手袋型は装着が容易であるが、触覚受容器の集中した指先や手掌の感覚が得られない。また、指先や手掌の空いた形状の手袋もあるが、その場合も物理的に隣の指と布で繋がっているため、駆動部分の振動や衝撃などの伝播の影響を受けやすい。また、常時装着するウェアラブルコンピュータ特有の問題として、装着部の衛生面も考慮しなければならない。そのため本研究では手袋型ではなく、触覚受容器の集中した指先や手掌を覆わない指輪型を採用した。試作機では指の太さに対応して太さの調整可能な指輪を用いた。

#### 3.2 情報提示装置

指点字の情報提示のための装置として、振動型

表1 指点字の対応例

Table 1 Example of the Translation of a Letter into a Braille Code and a Finger-Braille Code

墨字	点字	指点字
あ	● ○ ○	
ん	○ ○ ●	
ら	● ○ ○	

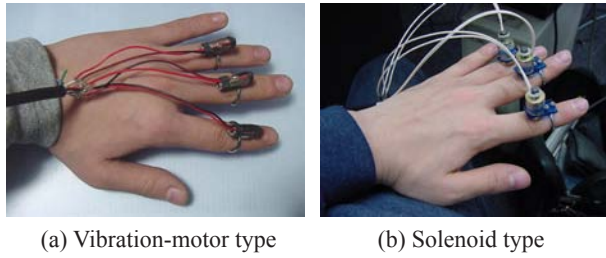


図2 有線式指点字インタフェース  
Fig. 2 Our Previous Finger-Braille Interface

と打鍵型が考えられる。本研究では、それぞれアクチュエータとして小型振動モータ (図2(a)) とソレノイド (図2(b)) を採用した2種類のプロトタイプを開発した。小型振動モータ型では、指背部に振動刺激を提示する場合、周波数が120 Hzの時に最適であるという報告 [5] に基づいて、振動数が116 Hzである小型振動モータ (TPC社 CM05J) を採用した。振動モータの周波数は、装着対象の機械インピーダンスにより影響を受ける。そこで採用した振動モータを指に装着した際の振動数、立ち上がり・立ち下がり時間、および振動量などの駆動特性を計測した。なお、計測には加速度センサ (Analog Devices社 ADXL210)、デジタルオシロスコープ (横河電機 DL1640) を用い、加速度センサを振動モータに両面テープで固定した状態で測定した。200 msの矩形波を入力したときの指の重力方向の加速度の計測結果を図3に示す。矩形波を入力してからおよそ50 ms後に振動が始まり、およそ100 ms後に振動数が安定し、入力波がオフになってからおよそ100 ms後に振動は収まった。加速度センサの出力電圧の振幅から、振動量は1.0 G程度であることが確認された。また、加速度センサの出力電圧の周波数から、モータの振動数は安定時におよそ80 Hzに降下したことが確認された。[5]によると垂直方向の加速度しきい値は80 Hzでも120 Hzと比較して20%程度の上昇しか見られない。よって、採用した小型振動モータの振動刺激周波数は最適とは言えないが、後述する識別実験の結果も良好であり、本システムでは十分であったと考えられる。また、ソレノイド型ではチューブラソレノイド (新電元社 S-50S03) を採用し、本来の指点字の感覚に近いと考えられるタッピング方式の打鍵を実現させるため、単発パルスで駆動させる設計とした。採用したソレノイドは自己保持型ではなく、ばねの反力により鉄芯を保持する。

これら2種類のインタフェースについて、指点字を日常的に使用している5名の視聴覚障害者によって文字認識の評価実験を行った。その結果、指点字との刺激の類似という点ではソレノイド型

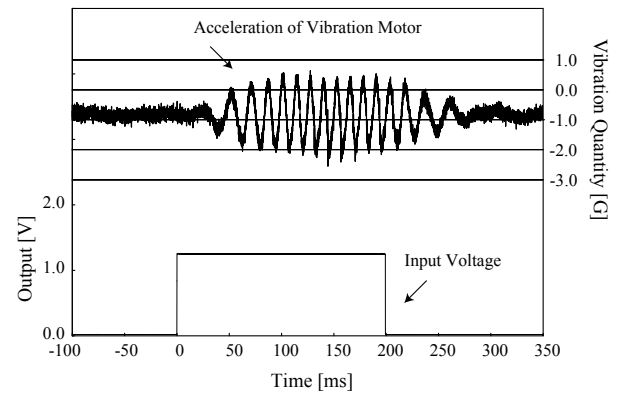


図3 採用された小型振動モータの時間応答  
Fig. 3 Time Response of Adopted Vibration-motor

の方が優れているという評価が多かったが、文字の認識率では小型振動モータ型の方が優れているという結果が得られた。これは卓上型や据え置き型の指点字インタフェースと異なり、ウェアラブルコンピュータのような常時装着型特有の問題が発生したと考えられる。指輪型に設計された本インタフェースにおいて、現状のソレノイドの大きさ・自重では指への固定が不安定となり、フランジの向きやストロークにばらつきが生じる。そのため、タッピングの強度差が文字の認識率を低下させたと考えられる。以上から、指輪型のインタフェースでは小型振動モータの方が適していると考察され、この後のデバイスは小型振動モータ型を採用した。また、振動により提示される指点字システムの経験がある盲聾の被験者は、小型振動モータで駆動する試作機では100%の正解率となった。このことは、ウェアラブル指点字システムも習熟が進むことで、有効な伝達手段になりうることを示唆している。

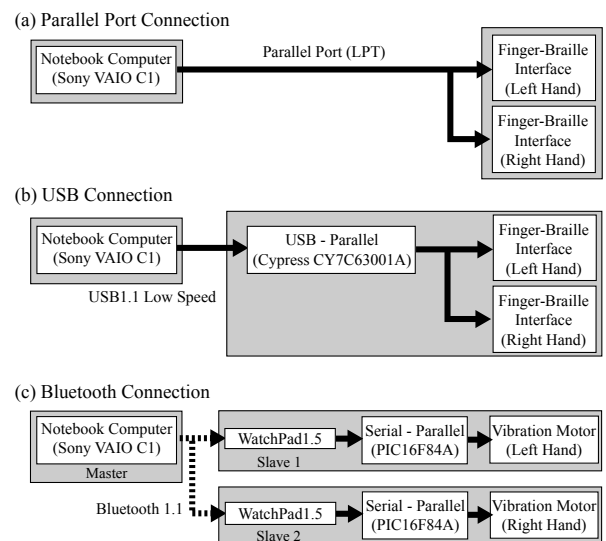


図4 ブロック図  
Fig. 4 Block Diagrams

### 3.3 接続形態

前述のプロトタイプは、パラレルポート接続や USB 接続によって計算機と接続されていた(図 4(a)(b)). この有線式のデバイスを視聴覚障害者によって評価してもらった際、腕の動きの自由度に対する不安感、不快感を受けるといったワイヤに起因する問題点を多く指摘された。また、視聴覚障害者は手や腕を積極的に動かして、周囲の環境の情報を得ようとするため、計算機と指點字インタフェースとの間のワイヤは日常的に使用する場合に重要な支障をきたす。そこで、両手に装着された指點字インタフェースと、ウェアラブルコンピュータ間を近距離無線技術 Bluetooth により無線化した試作機を開発した(図 5)。プロトコルスタックは Affix Bluetooth Protocol Stack を用いた。両手に装着された本インタフェースと、ウェアラブルコンピュータは、Bluetooth を介して、前者をスレーブ、後者をマスターとしてピコネットを形成している(図 4(c)). この実装により、手先の部分とウェアラブルコンピュータとの間が分離された。

## 4 ワイヤレス型の指點字インタフェースの評価

### 4.1 両手間の時間弁別閾

ウェアラブル指點字インタフェースを無線化することによって、ノイズなどにより両手間の刺激信号のランダムに発生する遅延は避けられない。仮にこのような遅延が生じてても、人体の両手間の時間弁別閾がその遅延時間以内であれば文字情報の認識の際に問題は生じない。そこで、無線 LAN と Bluetooth の 2.4 GHz ISM バンド域の干渉の影響などにより両手間の刺激信号にランダムに発生する通信の遅延と、人体の両手間の刺激の時間的な弁別閾をそれぞれ計測し、心理学的に評価した。

#### 4.1.1 測定システム構成

実験システムではデスクトップコンピュータ (CPU:Pentium4 2.0 GHz, Memory:512 MB,

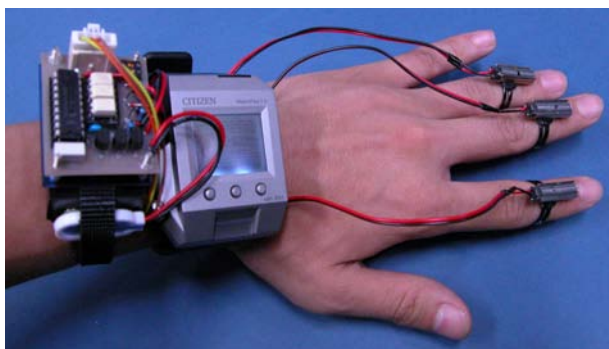


図 5 ウェアラブル指點字インタフェース  
Fig. 5 Wearable Finger-Braille Interface

OS:Windows 2000) と USB 接続された有線式指點字インタフェースを用いて、両手間に遅延を含んだ振動刺激を被験者に伝達した。

#### 4.1.2 測定方法

遅延を含んだ刺激のパターンとしては図 6 に示すように **P1**(刺激の終了時刻が等しい), **P2**(刺激の開始時刻が等しい), **P3**(刺激提示時間が等しい)の3つが考えられる。本実験では、**P1**と**P2**に焦点を当てて測定した。定常的な遅れのモデルである **P3**の刺激パターンは、**P1**と**P2**の組み合わせと考えられるため、ここでは議論しない。なお被験者は指點字の読めない 22 歳から 33 歳までの晴眼、健聴な大学院生および会社員 8 名(男性 7 名, 女性 1 名)である。利き手は 7 名が右手である。視覚的および聴覚的に振動モータの動作を察知できないようにするため、アイマスクと耳栓の着用と、ヘッドフォンによるホワイトノイズの提示により被験者を擬似的な盲聾状態下に置いた。被験者に指輪を両手の示指, 中指, 環指のいずれかにそれぞれ 1 つずつ, 全 9 通りに装着させ, それぞれの組み合わせごとの閾値を心理物理学的手法の完全上下法により測定した。アクチュエータである振動モータは各指輪の台座の部分に固定されており, 指背部に振動モータが位置するように調整した。実験中はモータの振動による刺激残留感の影響を防ぐため, 指輪装着の組み合わせごとにおよそ 2 分間の休憩を挟んだ。なお, 反応の種類としては“同時と感じる”, “同時ではない”の 2 件法で行った。

また, 比較のため, 日常的に指點字を使用している全盲, 全聾の視聴覚障害者 1 名を被験者とした同様の両手間の遅延に対する時間弁別閾の測定を行った。

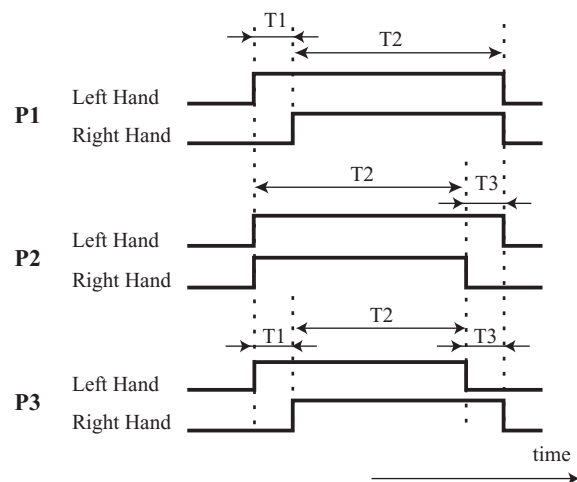


図 6 両手間の振動刺激パターン  
Fig. 6 Tactile Pattern of Vibration Stimulation for the Two Hands

### 4.1.3 測定結果

図7に視聴覚障害者以外の被験者8名の各指の組み合わせごとの時間弁別閾の測定結果の平均および標準偏差を示す。この結果、時間弁別閾が最も高い指の組み合わせは被験者によって異なるものの、各指の組み合わせ間において有意差は確認されなかった。また、被験者ごとに開始時刻の遅延時間 T1 の閾値と終了時刻の遅延時間 T3 の閾値に対してそれぞれ有意差検定を行ったところ、被験者8人中7人で有意差が確認された ( $p < .05$ )。このことは開始時刻の遅延が振動の同時性(同時であると認識すること)に大きく影響していることを意味している。

被験者を視聴覚障害者としたときの測定結果との比較では、T3 では有意差は確認されなかったが、T1 では有意差が確認された ( $p < .05$ )。よって視聴覚障害者は、視聴覚障害者以外より遅延に対する弁別閾が小さいことが確認された。

被験者に対するアンケートでは、「本実験では基準になる刺激を参照できないため、絶対的な基準が変化することがある」(2名)、「指輪の装着部位により刺激の感覚がやや異なる」(3名)、「判断が付きにくいケースが多い」(2名)といった意見が得られた。

T1 の閾値と T3 の閾値に有意差が生じた要因としては、(1) 振動モータの過渡特性による物理的残留振動の影響、(2) 振動刺激の順応による影響、(3) 被験者の集中力の低下、の3点が考えられる。ただし、T2 は 200 ms と短時間であったため、(2) の影響は小さいと考えられ、(1) が強く影響していると考えられる。

### 4.2 通信遅延時間の計測

前述のように、Bluetooth の通信はノイズなどによってランダムに遅延が発生すると考えられる。さらに Bluetooth と同じ 2.4GHz ISM (Industrial Science and Medical) バンドで通信を行う無線 LAN (IEEE802.11b 方式) などの存在によって、これらを近傍で使用するとお互い干渉を起し、接続性やデータ転送速度に影響が懸念される。そこで、東京大学先端科学技術研究センター内のバリアフリー実験空間 [15] で本システムの Bluetooth と無線 LAN の通信を行い、Bluetooth 通信の遅延時間と相互の影響を調べた。実際に使用する形態を想定し、バックパック上側にウェアラブルコンピュータ、両手に腕時計型コンピュータと指字インタフェースをそれぞれ装着し、Bluetooth によりマスターから各スレーブへ信号を送る際のスレーブ間の遅れ時間を計測した。測定は無線 LAN のアクセ

スポイントからの水平距離 (600 mm, 2,000 mm) と無線 LAN 接続なしのそれぞれ3通りで行った。

試行 15,000 回の通信の結果、図8のように 1 ms 以内の遅延が約 95 %、1 ms から 2 ms の遅延が約 4 %、2 ms から 3 ms の遅延が約 0.6 %、3 ms から 4 ms が約 0.08 % の頻度でそれぞれのケースにおいてほぼ等しく観測された。無線 LAN 接続の有無による有意差は確認されず、無線 LAN のある環境でも安定した通信が可能であることが確認された。

### 4.3 遅延の影響の考察

本システムにおける P1 の時間弁別閾 T1 は約 35 ms、P2 の時間弁別閾 T3 は約 55 ms と考えられる。一方、両手間の Bluetooth の通信遅延は、実測によると 99.68 % が 4 ms 以下、99.98 % が 30 ms 以下であった。両手間の振動刺激の同時性は保持

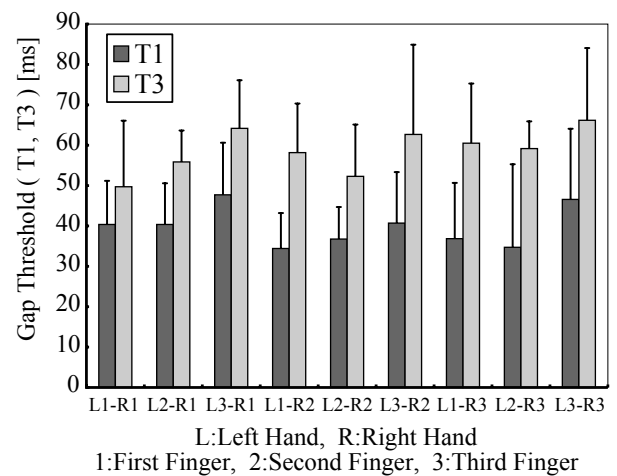


図7 両手間における時間の弁別閾 (T2=200 ms)

Fig. 7 Time Resolution of Combination of Fingers

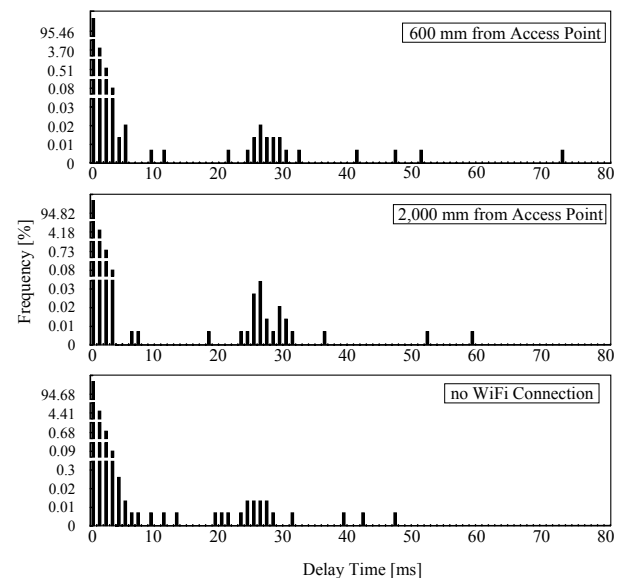


図8 無線 LAN 通信時の Bluetooth 通信の遅延時間の頻度ヒストグラム

Fig. 8 Histogram of Frequency of Delay Time of Bluetooth Communication in Presence of WiFi

できることが示された。さらに視聴覚障害者は時間弁別閾 T1 が高く、約 30 ms と考えられるが、この場合でも同時性は許容できると考えられる。

## 5 バーバル情報の認識率

### 5.1 実験方法

日常的に指点字を使用している全盲、全聾の視聴覚障害者 1 名を被験者として、本インタフェースを使用したときの指点字認識率を測定した。測定は振動刺激時間 200 ms とし、清音 46 字種からランダムに 1 文字を離散提示し、読めたとおりに発声する方式とした。

### 5.2 結果と考察

文字の認識率を打点数ごとにまとめた結果を図 9 に示す。認識率は 87.6 % となり、有線式、無線式ともにほぼ等しい結果となった。誤認識された文字の例を表 2 に示す。誤認識のほとんどは打点数が増加すると隣り合った指への振動刺激に対して、刺激されてないのに刺激されたと感じてしまう事例 ("読み足し" と定義) やその逆の事例 ("読み逃がし" と定義) に分類できる。これは触覚におけるマスキング効果が起因することが推測される。つまり、同じレベルの刺激でも同時に与えられる刺激量の大小によって感じ取れる触知レベルの閾値が変化し、別の触覚刺激がかき消される影響により、指点字の誤認識が起きたと考えられる。また、刺激の強度が同程度である場合、2 点の刺激の中間の位置に刺激を感じるファントムセンセーションによって振動刺激の位置が不明瞭になることも考えられる。認識率向上にはこれらの触覚認知特

性を考慮し、各指に感じる刺激量の調整や、打点数の少ない文字で構成された文章の提示などの解決策が必要だと言える。

## 6. ノンバーバル情報による方位指示実験

指点字は意識の集中を伴い、単純な情報も含めてすべてを伝えると非常に疲れるという報告を、指点字を使用する視聴覚障害者から受けている。そのため、すべてをバーバル情報で伝えるのではなく、状況に応じてノンバーバル情報として伝えることでユーザの疲労を低減することが可能であると考えられる。そこで本節ではノンバーバル情報の活用を検証する。

本稿で述べるノンバーバル情報とは、バーバル情報である指点字ではなく、刺激パターンの推移のようなテキストでない情報と定義する。刺激パターンの推移は空間的变化であるので、ユーザに対して実空間の空間性に関する情報を伝えることができるかと期待できる。本稿では、歩行における方位指示をノンバーバル情報に対応させ、ユーザに必要な情報が伝えられるかを調べる実験を行った。

### 6.1 実験目的

目的の方位へ誘導する指示を、ノンバーバルな情報である振動パターンの時間的変化で伝えることを提案している。本実験では、複数の振動刺激パターンの提示を行い、どのパターンが正確に早く目的の方位へ誘導できるかを決定することを目的とする。

### 6.2 実験システム

実験システムの外観と構成を図 10 に示す。インタフェースである指点字インタフェースと、姿勢センサで構成されている。実験では無線通信のエ

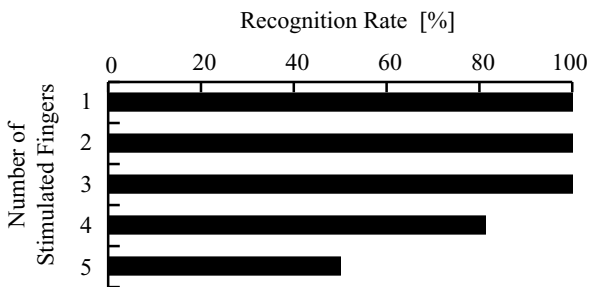


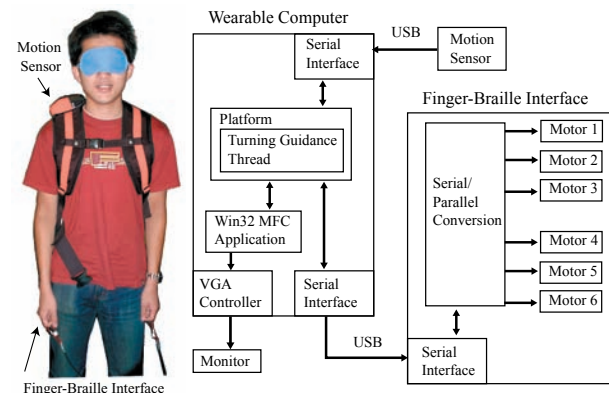
図 9 指点字認識率

Fig. 9 Recognition Rate of a Letter vs. Number of Stimulated Fingers

表 2 誤認識された文字の例

Table 2 Examples of Misclassified Characters

正解	誤答	分類
も (●●●●)	と (●●●●)	6 の点の読み逃がし
そ (●●●●)	こ (●●●●)	5 の点の読み逃がし
ほ (●●●●)	へ (●●●●)	1 の点の読み足し



(a) システム外観 (b) 実験システム構成  
(a) System Overview (b) Architecture of the System

図 10 方位誘導実験システム

Fig. 10 Experimental System of Turning Guidance

ラーを排除するため、USB 接続型の指点字インタフェースを用いた。

被験者の回転角度は肩上部のセラミックジャイロ・地磁気センサ・加速度センサを組み合わせたセンサユニット (NEC TOKIN 社 MDP A3U7) により計測された。TalkingSign [16] のように腕の角度ではなく、体の向いている方位角を測定する。このセンサの更新レートは最大 125 Hz で、誤差の RMS 値は最大で 15 度である。

### 6.3 実験方法

本インタフェースは手に装着されており、それと人間の心理的な中心位置との位置関係は手の動きにより変化する。そのため、装着者に対して絶対方位を伝えるのが困難であり、正しい方位との差分のような相対方位の指示が適している。その相対方位に応じて振動時間が変化する振動刺激パターンによって、目標の角度にユーザの yaw 角が一定の角度範囲 (12, 24, 48 度) で収まるまでの時間の評価を行った。目標の角度はランダムに決定され、角度範囲を変えながらそれぞれ時間を測定した。

被験者は健聴、晴眼の男子学生 2 名 (平均年齢 23 歳、被験者 A,B とする) および後天盲の視覚障害者 3 名 (平均年齢 30 歳、被験者 C,D,E とする) である。晴眼者にはアイマスクを装着させた。方位指示実験に際して被験者のインタフェースの学習の影響を避けるため、刺激パターンの提示はランダムに行われた。振動モータの残留感覚を考慮し 2 分程度の休憩を入れた。

### 6.4 提示パターン

相対方位で方位指示を行う場合、目的の方位までの相対位置を表現するパラメータには、回転方向および回転角度の 2 種類が存在する。本研究では、提案するインタフェースを用いて回転方向を表現するのに適した刺激提示パターンを比較検討した。

#### 6.4.1 回転方向の提示方法

回転方向の指示では、空間的变化である刺激の空間的推移が、実空間における空間性と直感的に情報を伝えられると考えられる。空間的变化による表現として、人間の心理的な身体中心を回る方向に刺激を推移させることで回転方向を提示する方法と、単純にどちらを向けばよいかの情報を提示する方法がある。これらの方法に対応する 4 種類 (Pattern1 ~ Pattern4) の推移パターンを図 11 に示すように選定した。なお、各パターンの手がかりの相違は表 3 のようになっている。表中の指の単位とは、刺激される指の変化の向きが手がかり

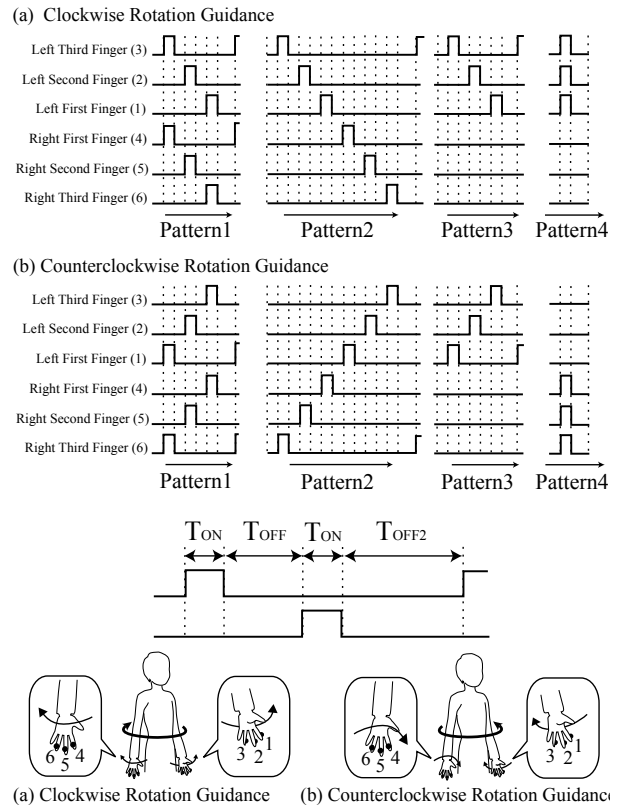


図 11 方位指示のための提示パターン

Fig. 11 Stimulation Pattern for Instructing the Correct Orientation

表 3 提示パターンの相違

Table 3 Difference of Stimulation Pattern

	刺激される指の種類	一度に刺激される指の数	方位情報の手がかり (刺激の単位)
Pattern1	6	2	指の単位
Pattern2	6	1	指の単位 + 手の単位
Pattern3	3	1	指の単位
Pattern4	6	3	手の単位

となることを意味する。また、手の単位とは、刺激された手の変化の向き、あるいは刺激された手の左右自体が手がかりとなることを意味する。

Pattern1 は、両手の指を 1 点ずつ、左手示指と右手環指、左手中指と右手中指、左手環指と右手示指の組み合わせで推移する。Pattern2 は、片方の手の環指からもう一方の手の環指へ 1 点ずつ推移する。Pattern3 は、Pattern1 の片手版で、片方の手 (実験では左手) において環指と示指の間を 1 点ずつ推移する。Pattern4 は、回転すべき方向の手の三指が刺激される。

以上の 4 種類の提示パターンは以下のように比較検討される。Pattern1 と Pattern2 によって、一度に与えられる情報量の影響を調べる。Pattern1 と Pattern3 によって、両手刺激と片手刺激の影響を調べる。Pattern4 とそれ以外によって、刺激の変化の有用性を調べる。

### 6.4.2 回転角度の提示方法

回転角度では、目的の方位との角度差が小さいときには刺激間の時間を短くする設計とした。根拠としては、刺激の時間変化が高速になるため、目的の方位への細かい調整がしやすく、タスク終了時刻が早くなると期待できるからである。

ユーザは指点字インタフェースを装着し、方位誘導の提示は特定の角度範囲に収まるまで続けられ、角度範囲内になったら提示は停止される。目標の角度とユーザの yaw 角の角度差分  $\theta$  に応じて振動刺激オフ間隔  $T_{OFF}$  は  $T_{OFF} = \alpha\theta$  ( $\alpha=300$  ms/rad) で変化する。振動刺激オン間隔  $T_{ON}=200$  ms で一定とした。また、一連の刺激パターンの終了を意味するオフ間隔  $T_{OFF2}$  は、 $T_{OFF2} = 2\alpha\theta$  とした。

### 6.5 結果

図 12 に結果を示す。健常者 2 名においては角度範囲が 12 度のとき、各パターンのタスク達成の平均時間に対して被験者ごとに t 検定を行ったところ、Pattern2 と Pattern4 の結果が他の 2 種類と比較してそれぞれ有意であった ( $p<.05$ )。このことから Pattern2 と Pattern4 は他の 2 種類より早く目的の方位へ誘導可能であることが確認された。ただし被験者 A の Pattern1 と Pattern2 は有意傾向であった ( $p<.1$ )。しかし、Pattern2 と Pattern4 では、いずれの方法が適切かについてはこの実験では判明しな

かった。一方、視覚障害者 3 名では Pattern1 とそれ以外は、被験者 D を除いて角度範囲が 12 度のとき有意であった ( $p<.05$ )。このことから Pattern1 は他の提示パターンよりタスク達成に時間を要することが確認された。他の提示パターンの組み合わせでは被験者ごとに優劣の違いが見られた。実験後のアンケートにおける各被験者のわかりやすさの順位は平均時間を反映したものとなった。

### 6.6 考察

提示パターンによっては、タスク終了までの時間に大きなばらつきが見られた。これはユーザが目的の方位を探索する動作において、はじめにある程度回転してその刺激の時間変化によるフィードバックを利用する機会が多いが、角度範囲が大きい場合、この動作中に目標の角度に収まってしまったことが原因であると考えられる。そのため標準偏差から判断すると角度範囲が小さいときは Pattern2 と Pattern4 が安定していると言える。

一方、Pattern1 と Pattern3 を比較すると 5 人中 4 人で有意差が見られなかったことにより ( $p<.05$ )、刺激を与える際の両手と片手の差はないことがわかった。また、この Pattern1 と Pattern3 では被験者が正しい方位を通り越したとき、すなわち正逆転の切り替わり時にその変化に気づかない場面が多く観測された。

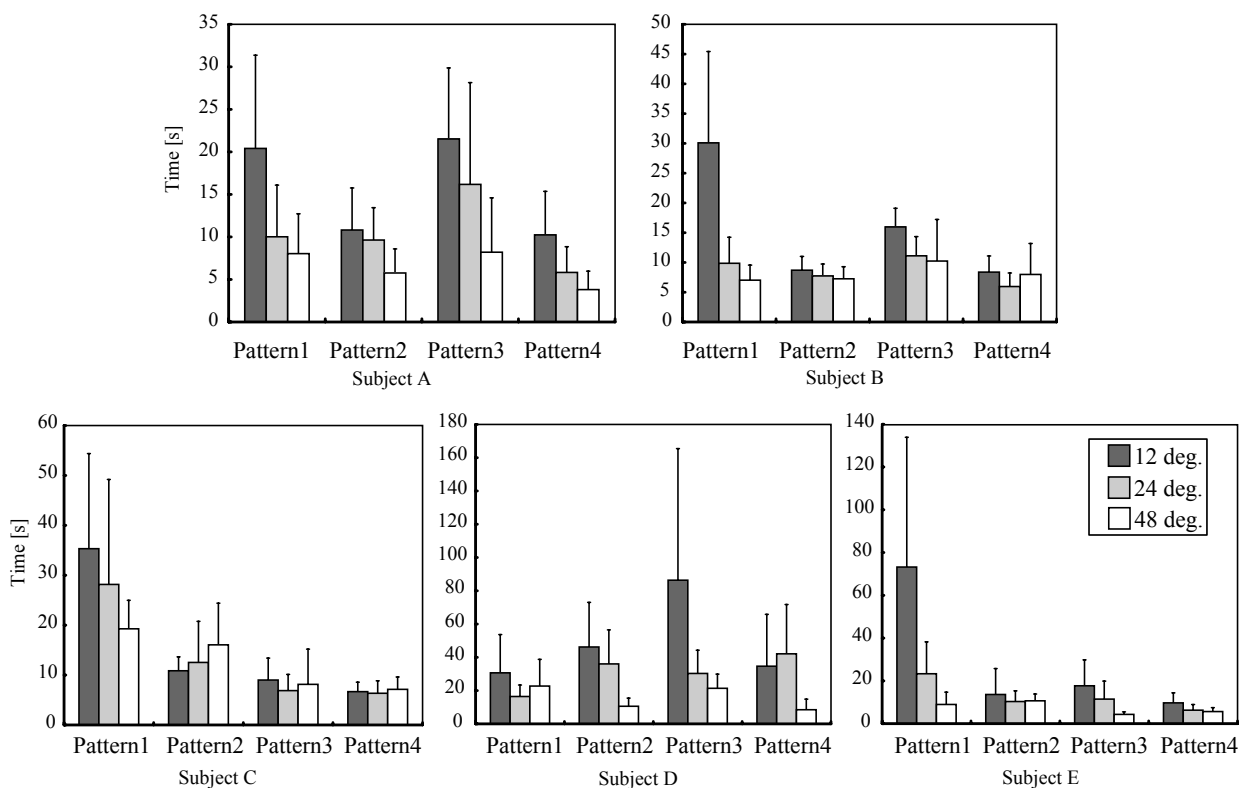


図 12 提示パターンごとのタスク達成までの平均時間

Fig. 12 Mean Time Taken to Accomplish the Task

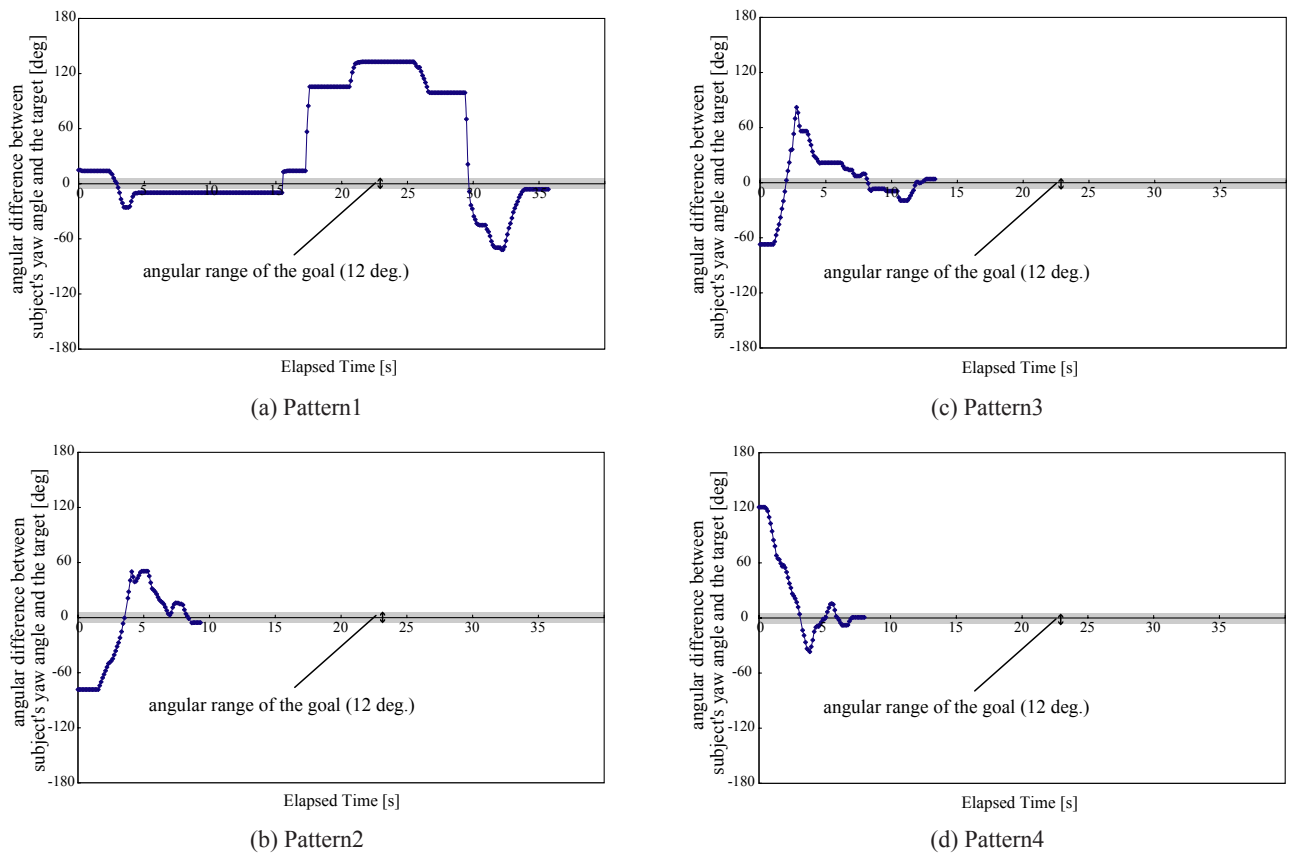


図 13 提示パターンによる回転指示とユーザの姿勢の推移の例

Fig. 13 Examples of Navigating According to Tactile Stimulation, and Changing of a Blind Subject's Direction

また、ユーザは実験を進めていくうちに比例定数  $\alpha$  を推定できるようになり、学習の効果が見られた。図 13 に被験者 C の刺激パターンに応じたユーザの姿勢の推移の例を示す。Pattern1 では回転角が変化しない箇所に表されるように、被験者が方位指示を読むために立ち止まって意識を集中させる状態が観察された。Pattern2 や Pattern4 による方位指示が安定している理由は、Pattern2 や Pattern4 では一度に刺激される部位が片手に限られるので、角度差分だけに注目することができる点に起因すると考えられる。また、Pattern2 では Pattern1 と Pattern3 に比べて各指の OFF 間隔が相対的に長くなり振動残留感覚の影響が小さい点も起因すると考えられる。この結果から、歩きながらの情報提示のような作業には Pattern2 や Pattern4 の方が適していると言える。また、角度量を刺激時間のような量的情報で表現するときは、回転方向は Pattern4 のような記号的でも十分であることも結論づけられる。

## 7. おわりに

本稿では視聴覚障害者のコミュニケーションのための指点字インタフェースの開発と評価につい

て述べた。日常的に使用することを考慮して無線式のインタフェースを開発し、その両手間の遅延による影響は無視できることを心理学的に示した。また、指点字インタフェースを使って触覚を通じて言語情報を伝えるだけでなく、非言語情報として刺激パターンによる方位提示の基礎研究を行い、実用の可能性について検証した。触覚による方位情報提示方法では、4 種類の提示パターンの比較実験を行い、片方の手の環指からもう一方の手の環指へ 1 点ずつ推移する方法と、回転すべき方向の手の三指が刺激される方法が視覚障害者、晴眼者ともに優れていることがわかった。

ノンバーバル情報とバーバル情報を併用する場合、両者をどのように切り替えるかが重要になる。本稿で得られた知見を基に指点字の読める視覚障害者に対してバーバル情報とノンバーバル情報の組み合わせによるナビゲーション実験をすでに進めており、バーバル情報とノンバーバル情報の切り替えが重要であるという感触を得ている。今後の課題としては、この予備実験の結果を踏まえて、バーバル・ノンバーバル情報の統合提示による誘導実験を行い、総合的に評価することが挙げられる。また、人体を通信線として利用する方法 [17]

などを応用して、手首から指先までのワイヤレス化も検討していきたい。

## 謝辞

本研究は、科学技術振興事業団 (JST) の戦略的基礎研究推進事業 (CREST) の援助を受けた。記して感謝する。また、デバイスの作成や評価の際に御助言を頂いた東京大学先端科学技術研究センターのバリアフリープロジェクトの関係者各位、ならびに WatchPad1.5 のソフトウェア開発およびハードウェア開発の際に御助言を頂いたシチズン時計に感謝する。

## 参考文献

- [1] 小島, 塩谷, 福島: ゆびで聴く 一視聴覚障害者青年福島智君の記録一; 松癩社 (1988).
- [2] D. L. Jaffe: Evolution of Mechanical Fingerspelling Hands for People who are Deaf-Blind; Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 31, No. 3, pp. 236-44 (1994).
- [3] 宮城, 藤森, 堀内, 市川: 指点字のプロソディの分析; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 1, No. 3, pp. 35-40 (1999).
- [4] 坂尻, 岡田, 竹内, 富田, 和田: 振動を用いた指点字提示方式による盲ろう者コミュニケーション支援機器の開発; 電子情報通信学会技術報告, HCS99-2, pp. 11-18 (1999).
- [5] 星野, 清澤, 大竹, 米澤: 指点字表示のための最適刺激モードの検討; 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-A, No. 9, pp. 1273-1279 (1998).
- [6] C. Collins, L. Scadden, and A. Alden: Mobility Studies with a Tactile Imaging Device; Fourth Conference on Systems and Devices for the disabled, pp. 170-174 (1977).
- [7] S. Ertan, C. Lee, A. Willets, H. Tan, and A. Pentland: A Wearable Haptic Navigation System; Proceedings of the 2nd International Symposium on Wearable Computers, pp. 164-165 (1998).
- [8] 矢野, 小木, 廣瀬: 振動子を用いた全身触覚提示デバイスの開発; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 3, pp. 141-147 (1998).
- [9] 柳田, 野間, R. Lindeman, 鉄谷: 背中への分布型振動触覚を利用した情報伝達; 第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2002) 講演論文集, Vol. 3, pp. 35-36 (2002).
- [10] A. H. Rupert: An Instrumentation Solution for Reducing Spatial Disorientation Mishaps; IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 19, No. 2, pp. 71-80 (2000).
- [11] U. Yang, Y. Jan, and G. J. Kim: Designing a Vibro-Tactile Wear for "Close Range" Interaction for VR-based Motion Training; Proceedings of 12th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2002), pp. 4-9 (2002).
- [12] 吉江, 矢野, 岩田: ジャイロモーメントを用いた力覚提示装置; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 329-337 (2002).
- [13] 久米, 白井, 津田, 畑田: 足裏への皮膚振動刺激によ

る情報伝達; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 3, pp. 83-88 (1998).

- [14] D. Ross and B. Blasch: Wearable Interfaces for Orientation and Wayfinding; ACM Conference on Assistive Technologies, pp. 193-200 (2000).
- [15] T. Amemiya, J. Yamashita, K. Hirota, and M. Hirose: Virtual Leading Blocks for the Deaf-Blind: A Real-Time Way-Finder by Verbal-Nonverbal Hybrid Interface and High-Density RFID Tag Space; Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference 2004 (VR 2004), pp. 165-172 (2004).
- [16] 島山, 伊藤, 萩原, 大久保, 中村, 春日: 個人用音声情報案内システム; ヒューマンインタフェースシンポジウム 1999 論文集, pp. 255-260 (1999).
- [17] T. G. Zimmerman: Personal Area Networks: Near-field Intrabody Communication, IBM Systems Journal, Vol. 35, Nos. 3&4, pp. 609-617 (1996).

(2004年4月10日受付)

## [筆者紹介]

雨宮 智浩 (学生会員)



2002年東京大学工学部機械情報工学科卒業, 2004年同大学大学院情報理工学系研究科博士前期課程修了, 同年日本電信電話株式会社入社。現在 NTT コミュニケーション科学基礎研究所にて五感伝送, ウェアラブルコンピュータ, パラサイトヒューマンに関する研究に従事。日本 VR 学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。

広田 光一 (正会員)



1988年東京大学工学部産業機械工学科卒業, 1990年同大学院産業機械工学専攻修士課程修了, 1994年同博士課程修了, 博士(工学), 1995年豊橋技術科学大学情報工学系助手, 2000年東京大学先端科学技術研究センター助教授。主にヒューマンインタフェースの研究に従事。日本 VR 学会, 日本機械学会, 計測自動制御学会各会員。

廣瀬 通孝 (正会員)



1977年東京大学工学部産業機械工学科卒業, 1979年同大学大学院修士課程修了, 1982年同大学大学院博士課程修了, 工学博士, 同年東京大学工学部産業機械工学科専任講師, 1983年同大学助教授, 1999年東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授。同年東京大学先端科学技術研究センター教授。主にシステム工学, ヒューマンインタフェース, バーチャルリアリティの研究に従事。日本機械学会, 情報処理学会, 計測制御自動学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。