

筒型点字入力インタフェースの開発と評価

雨宮 智浩[†] 広田 光一[†] 廣瀬 通孝[†]

本稿では、ウェアラブルコンピューティングのための新しい文字情報入力インタフェースとして開発した筒型の点字入力インタフェース OBOE について述べる。開発した筒型のデバイスは持ち歩くことが容易で、両手で操作する様子が縦笛に類似しており、立ったままの姿勢で入力が可能である。また、明確なクリック感をユーザにフィードバックするメカニカル式のキースイッチを用いるため、ユーザは入力動作を直観的に確認することができる。本インタフェースの評価として、点字未習得者の学習効果の実験、および習熟者モデルと見なせる指点字通訳者の入力速度、誤入力率の計測実験をそれぞれ行った。これらの評価実験の結果から、習熟後には高速な入力が可能であることが判明した。さらに、アンケートの結果も合わせて、従来の点字タイプライタとの比較、最適なキー配列、把持の姿勢について議論する。

Development and Evaluation of Oboe-like Braille Input Interface for Wearable Computing

TOMOHIRO AMEMIYA,[†] KOICHI HIROTA[†] and MICHITAKA HIROSE[†]

This paper describes the development of a wearable interface for textual input on the basis of Braille input method. The device, named OBOE, is operated by both hands, which is good for portability and can be used while standing. The users get their input operations confirmed clearly by feeling the click since the buttons of the proposed device are the same mechanical switches as used in keyboards for desktop computers. The results of an experiment of learning effect revealed that the users who had no experience of Braille input could type Japanese phrases at 35.4 Braille codes per minute, and who had experience at 112.4 Braille codes per minute. Thus novices can master the proposed device and experts can input text very fast by using OBOE. Based on the results of questionnaire by the subjects, we discussed the comparison with a Braille typewriter, the optimum layout of keys for OBOE, and the posture of holding.

1. はじめに

半導体デバイスの小型化や高機能化にともなって、情報処理端末はウェアラブルコンピュータの時代に入りつつある。ウェアラブルコンピュータを考えるうえで、入力インタフェース、特にテキスト入力は最も重要な技術的課題の1つであり、単に据置型の入力インタフェースを小型化しても解決することはできない。たとえば、QWERTY キーボードによるテキスト入力では1つのキーが1つの文字に対応しているため、習熟が進むと高速な入力が可能なが知られているが、

デバイスの大きさやキーの数からそのままではウェアラブルコンピュータには適さない。実世界作業を実施しながらの情報インタフェースとしては、従来のキーボードに代わる新しいコンセプトに基づく入力方式の考案が望まれる。

ウェアラブルコンピュータのための入力デバイスとして、これまでに多くのコードキーボードが提案されてきた。コードキーボードとは、ピアノの鍵盤で和音(コード)を弾くときのように同時に複数のキーを押すことで1つの文字を入力する方法であり、キーの数が少ないという特徴を持つ。Twiddler (Handykey社)¹⁾ は片手式の12キーのコードキーボードで、握りしめるようにして使用する。また、加速度センサのついた指輪を両手に装着して31個のシンボルを入力することが可能なFingerRing²⁾ というコードキーボードも開発されている。

点字タイプライタはウェアラブル入力デバイスでは

[†] 東京大学先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology,
The University of Tokyo

現在, NTT コミュニケーション科学基礎研究所

Presently with NTT Communication Science Laboratories

ないが、コードキーボードの1つといえる。点字タイプライタは視覚障害者が用いる点字を作成するためのデバイスで、点字の各点に対応したキーを同時に押すことで1つの点字コード（1マス）を作成する装置である。点字入力方式は視覚障害者にとっては効率的でほとんどの言語に対応している。一般にコードキーボードではキーの組合せを新たに設定する 경우가多いが、新しくキーの組合せを覚えるならば、点字入力方式のような既存の確立したキーの組合せの体系を応用した方が既存の点字入力の資源を活用でき、キーの組合せを覚えたときの応用可能範囲も広い。以上のことから、点字入力方式はコードキーボードの方式の有力な候補の1つとして適していると考えることができる。この点字入力を応用したウェアラブル入力デバイスの例としては点字コードグローブ³⁾があげられる。これは変形されると電圧値が変化する圧電性高分子材料ポリビニリデンフルオライド（PVDF）をセンサ入力に利用した手袋式デバイスである。

これら文献2)や文献3)に見られるような、加速度センサ、タッチセンサ、PVDFセンサなどの入力デバイスはユーザに明確な触覚フィードバックを与えないため、正確な入力を確認することが難しい。触覚フィードバック、特にクリック感は直観的に入力確認ができるため、ウェアラブルコンピュータのように他のタスクと同時に利用する場合では入力作業の入力速度や正確性などに寄与する利点は大きい⁴⁾。

本稿では、視覚障害者が用いる点字入力方法を応用したウェアラブル入力インタフェース OBOE (Oboe-like Braille interface for Outdoor Environment) を提案し、明確な触覚フィードバックを返すキー特性を持った筒型のプロトタイプの開発と、その評価について述べる。本稿で提案するデバイスは点字入力を採用しているが、視覚障害者だけでなく、健常者を含めたすべてのユーザを対象としている。

2. OBOE

OBOE は、点字タイプライタと同じ方式で入力を行うウェアラブル入力インタフェースである。これまでも携帯型の点字入力キーボード（たとえば Freedom Scientific 社の BrailleLite）は存在したが、固定した机の上での使用が前提であり、楽器のメタファを使えば、歩きながらの入力には適さない「ピアノ」型である。そこで本稿では、持ち歩くことが容易で、し

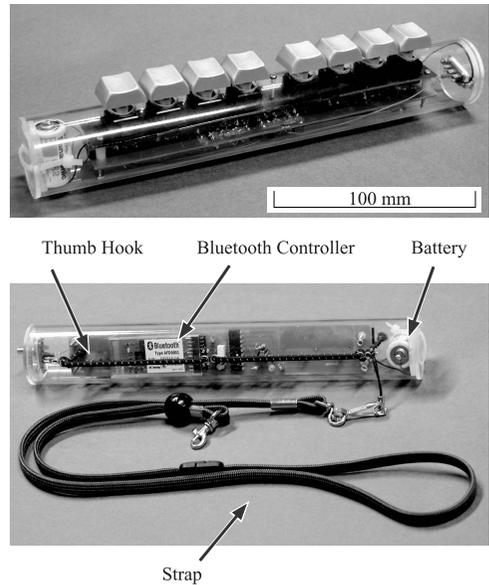


図1 筒型点字入力インタフェース OBOE
Fig.1 OBOE.

かも立ったままの姿勢で入力が可能な「笛」型のインタフェースを提案する。

2.1 入力方法とキー配列

OBOE では視覚障害者が用いる点字入力方法を採用した。点字入力方式では、押されたキーの組合せによって点字1マス（1文字）が決定される。従来の機械式点字タイプライタではすべての指が離れたときに点字1マスが確定する設計になっており、本インタフェースもこれを採用した。図1にOBOEのプロトタイプを示す。プロトタイプシステムではキーの個数は8個とした。このうち6点は6点式の点字入力に、2点は修正（Backspace）や改行（Enter）の機能を行うファンクションキーに割り当てられた。

また、一般的に手袋型は装着に手間がかかるため、常時装着していなければならない。さらに視覚障害者の利用を考える場合、手袋型は触覚受容器が多く集中する指先や手掌を覆い隠すため、必要な情報が得られないという欠点を持つ。これらの理由から、OBOEは手袋型ではなく、使用していないときはストラップによって首からぶら下げ、必要時にすぐに把持できるように設計した。入力時には親指はキー配列面の背面でデバイスを支える格好になる。OBOEはゴムバンドでできた親指フックを装備しており、このゴムバンドに親指を通して親指とデバイスを密着させ、手からOBOEが離れるのを防いでいる。

OBOEの使用形態として、フルート型（本デバイスを水平に持つ状態）とオーボエ型（本デバイスを垂

たとえば日本語の文字はすべて1つまたは2つの点字コードで表現される。

直に持つ状態)の2種類のスタイルが考えられる。これらの形態とユーザの利き手に対応するために、キー配列は図2に示すように4つまでソフトウェア側で切り替えられる。なお、フルート型(図2(c))は従来の点字タイプライタと同じキー配列となる。

2.2 ハードウェア

OBOEのボタンはデスクトップPCのQWERTYキーボードと同じメカニカルスイッチ(アルプス電気株式会社製)を用いた。メカニカルスイッチを用いたことにより、OBOEは加速度センサ入力やタッチセンサ入力では実現できなかった明確なクリック感を有し、ストロークの深さなどにより直観的に入力操作を確認できる。キーピッチは19mmで、弾性力の最大値はおよそ55gfである。キーの大きさは12mm x 12mmである。前述の使用形態に対応するために、プロトタイプの8つのキーは同一のものを用いた。OBOEの外筒は直径35mmのアクリル樹脂製で、全長は220mm、総重量は約150gである。

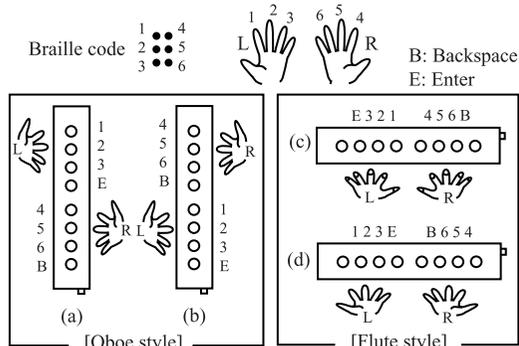


図2 OBOEのキー配列
Fig. 2 The keymap of OBOE.

2.3 システム構成

入力部であるOBOE, 処理部であるウェアラブルコンピュータ, そして出力部によって構成されたシステム構成を図3に示す。OBOE内のすべてのコントローラは、内蔵された3.0Vの電池で駆動する。OBOEの押されたキーの情報は、内部のマイコン(PIC16F84A, Microchip Technology社)で処理され、Bluetoothモジュール(BlueStick, ADCテクノロジー社)上に実装されたBluetooth Ver.1.1のSerial Port Profileを使ってウェアラブルコンピュータへ送信される。ウェアラブルコンピュータは押されたキー情報を文字情報に変換し、たとえば視覚ディスプレイ(画面表示), 聴覚ディスプレイ(音声読み上げ), 触覚ディスプレイ(指点字出力)などへ出力される。ここでは聴覚出力はTTS(text-to-speech)エンジンIBM Protalker97⁵⁾, 触覚出力は指点字インタフェース⁶⁾を用いて実装された。なお、聴覚出力は後述する評価実験にも用いた。

3. 学習効果の評価実験

OBOEの学習効果を評価するために、点字入力および点字通訳の経験のない被験者の入力速度や誤入力率を試行回数ごとに計測する実験を行った。実験は指定された文字列をOBOEを用いて入力するタイピングタスクである。タイピングタスクはこれまでに内部プロセスのモデル化^{7),8)}, モデルによる作業所要時間の推定^{7),9)}, 熟練者の作業の分析¹⁰⁾, スタイラス型のバーチャルキーボードの学習効果¹¹⁾などの研究で用いられている評価方法であり、本研究でもこれを採用した。以下に評価実験の詳細をそれぞれ述べる。

3.1 被験者

晴眼の学生6名が本実験に参加した。すべての被験者は右利きで、男性であった。また、すべての被験者

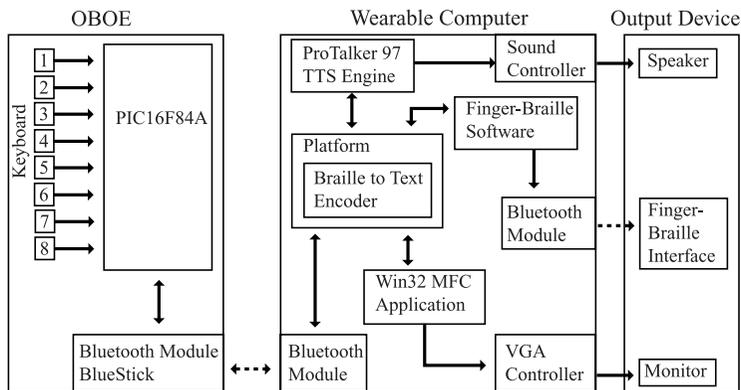


図3 システム構成
Fig. 3 System configuration.

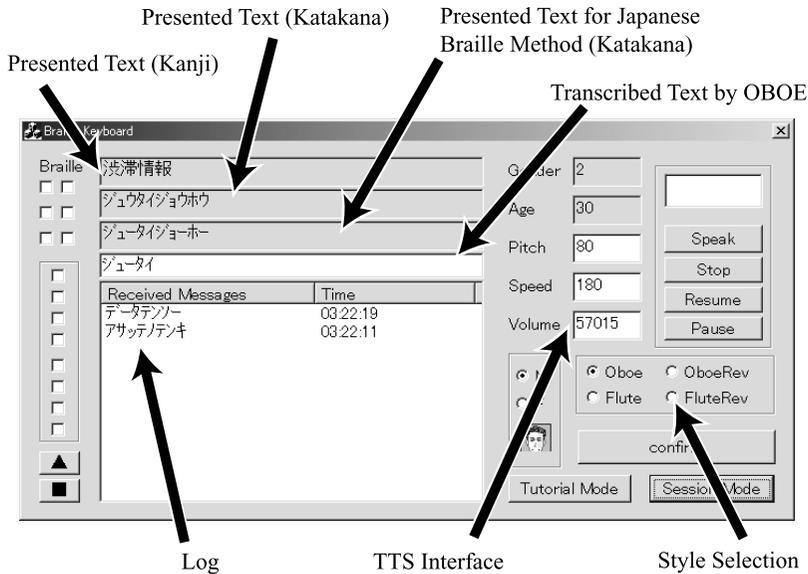


図 4 実験で用いたソフトウェアの概観

Fig. 4 Software for the experiment.

には点字入力に関する知識はなかった。被験者の年齢は 23 歳から 25 歳（平均年齢は 23.6 歳）であった。

3.2 実験装置

実験には OBOE と 1 台のラップトップコンピュータ（OS: Windows XP, CPU: Pentium III-M 700 MHz）を使用した。この両者間を Bluetooth で接続し、OBOE がスレーブ、ラップトップコンピュータがマスターとしてピコネットを形成した。Bluetooth のアダプタには、OBOE 側には前述のように BlueStick を用い、ラップトップコンピュータ側には GWBH01U（Planex Communications Inc.）を用いた。

3.3 実験方法

実験は無語義群セッション（Non-Semantic Phrase Session）であるチュートリアルと有語義群セッション（Semantic Phrase Session）から構成され、それぞれのセッションは 5 回ずつ、計 10 回が行われた。無語義群セッションは 10 分間の試行であり、その後 10 分間の有語義群セッションが行われ、セッションは交互に合計 100 分間行われた。実験では被験者に日本語の点字とそれに対応する日本語の文字が書かれた紙を配布し、被験者はそれを見ながら入力を行った。各試行の終了時に被験者は「精神的疲労」「肉体的疲労」「使いやすさ、ユーザビリティ」「好み」について、5 段階の評定尺度法に基づくアンケートに回答した（た

だし、5 が最良を表す）。それに加えて、被験者にシステムについて自由にコメントを記述してもらった。各セッションでは、「被験者は高速にかつ正確に入力するように」と「正確性のために入力速度を犠牲にしないように」と指示された。実験で用いたソフトウェアは両セッションで共通であった。ソフトウェアのスクリーンショットを図 4 に示す。フォントは 12 ポイント（解像度 1,024 × 768）で、カタカナ表記には半角 MS ゴシック、漢字表記には全角 MS ゴシックを用いた。このソフトウェアでは、ユーザが指定されたフレーズを正しく入力し、かつ Enter キーを押したときに次の指定フレーズが表示される。被験者は実験を通じてオーボエ型（図 2 (a)）で握るように指示された。入力した文字は画面に表示されると同時に前述の TTS エンジンにより音声で読み上げられた。

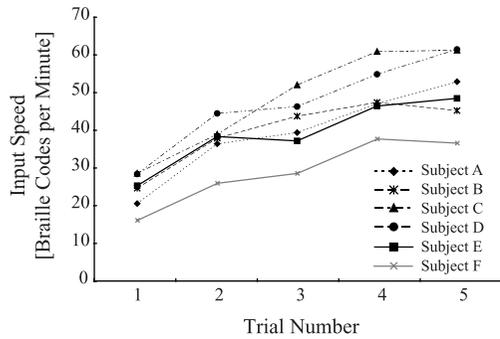
3.3.1 無語義群セッション

被験者ははじめに無語義群セッションによって OBOE の使用訓練を行った。ここで入力が要求された文字は「アイウエオ」のような 50 音の行単位の文字列で、1 回に 5 文字ずつ表示された。文字列は清音のア行からワ行までの入力から始まり、濁音（ガ行からバ行）、半濁音、拗音・拗濁音・拗半濁音、数字（1, 2, ..., 9, 0）、英語（A から Z まで）の順で 1 回に 5 文字ずつ表示された。ここでは特殊音（たとえば「フィ」「ウェ」「テュ」など）の入力は行っていない。

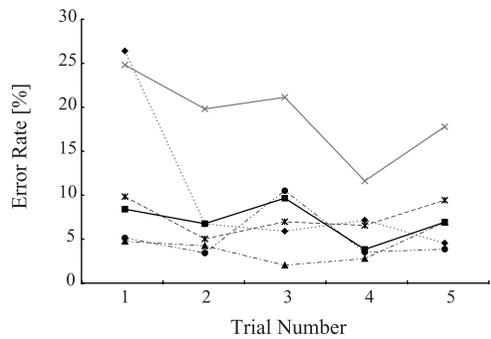
3.3.2 有語義群セッション

有語義群セッションはあらかじめ用意された、短い

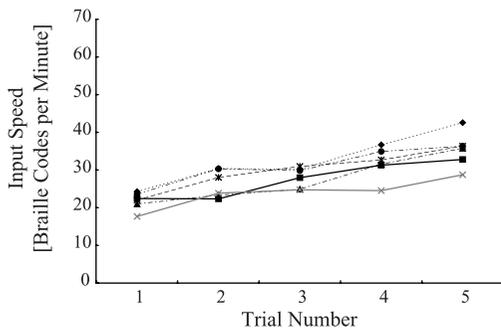
Bluetooth の通信方式である周波数ホッピング方式において、端末群が通信チャネルを共有している状態のこと。



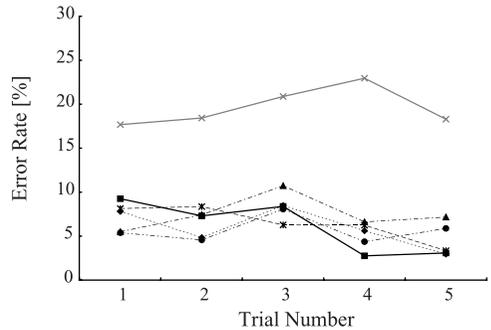
(a) Input Speed (Non-semantic)



(b) Error Rate (Non-semantic)



(c) Input Speed (Semantic)



(d) Error Rate (Semantic)

図 5 点字入力初心者の学習効果
Fig.5 Learning effect of the OBOE.

フレーズからなる。なお、ここで用いたフレーズはウェアラブルコンピュータの用途を模したもので、たとえばコンピュータに対する返事「はい」「いいえ」「キャンセル」や、ウェアラブル健康管理システムのようなものに問い合わせる「消費したカロリーを計算」や、手帳や個人の予定管理を問い合わせる「今日の予定は何?」といった文字列である。表 1 に実験で用いた文字列の例を示す。実験では文字列の表示される順番は試行を通じて同一とした。また、日本の点字には発音されたとおりに記述するという特別の規則がある。そのため、このセッションでは、通常の日本語読み(カタカナ表示)と点字用の読み(点訳用表示)の2種類の指定フレーズが表示され、被験者はどちらを選択して入力してもよい方式とした。

4. 実験結果

4.1 入力速度および誤入力率

被験者の無語義群セッションでの平均入力速度は5回目のセッションで 50.9 Bpm (Braille codes per minute, 1 分間に入力した点字のマス数) で、有語義群セッションでは 35.4 Bpm であった。各被験者の入力速度および誤入力率の平均値の推移を図 5 に示す。

表 1 実験で用いた有語義群のフレーズ
Table 1 Semantic phrases for experiment.

漢字表示	カタカナ表示	点訳用表示
あしたの天気	アシタノテンキ	アシタノテンキ
在庫確認	ザイコカクニン	ザイコカクニン
渋滞情報	ジュウタイジヨウホウ	ジュウタイジヨウホー
降水確率	コウスイカクリツ	コースイカクリツ
不快指数	フカイシスウ	フカイシスー
データ転送	データテンソウ	データテンソー
もう一度	モウ 1 ド	モー 1 ド
カメラ撮影	カメラサツエイ	カメラサツエー
インターネット接続	インターネットセツソク	インターネットセツソク
メール送信	メールソウシン	メールソーシン
午後 3 時の予定	ゴゴ 3 ジノヨテイ	ゴゴ 3 ジノヨテイ
午後の予定	ゴゴノヨテイ	ゴゴノヨテイ
会議室の場所	カイギシツノバシヨ	カイギシツノバシヨ
プロ野球の結果	プロヤキユウノケツカ	プロヤキユウノケツカ
J リーグの結果	j リーグノケツカ	j リーグノケツカ
終電の時刻	シュウデンノジコク	シューデンノジコク
わかりません	ワカリマセン	ワカリマセン
英語に翻訳	エイゴニホンヤク	エイゴニホンヤク
アラーム時刻設定	アラームジコクセツテイ	アラームジコクセツテイ
キャンセル	キャンセル	キャンセル
カロリー計算	カロリーケイサン	カロリーケーサン
血圧データ	ケツアツデータ	ケツアツデータ
ビデオ録画予約	ビデオロクガヨヤク	ビデオロクガヨヤク
電池の残量	デンチノザンリョウ	デンチノザンリョー
トイレの場所	トイレノバシヨ	トイレノバシヨ
非常口の場所	ヒジョウグチノバシヨ	ヒジョウグチノバシヨ
目的地確認	モクテキチカクニン	モクテキチカクニン
目的地変更	モクテキチヘンコウ	モクテキチヘンコー
地図表示	チズヒョウジ	チズヒョージ

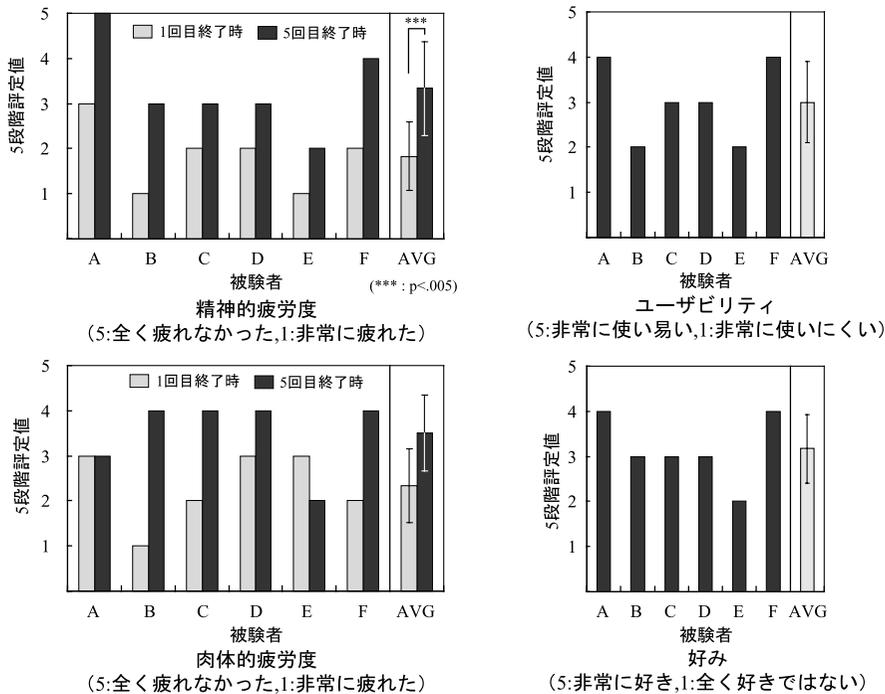


図 6 学習実験の 5 段階評定値

Fig. 6 Result of the rating questionnaire.

図中のエラーバーは被験者間の結果の標準偏差を表す。誤入力率は Soukoreff らのメトリクス¹²⁾を用いて、総入力点字コード数に対する、エラーの点字数によって計算された。なお、本実験では誤入力はすべて訂正され、Enter は入力文字と見なして計算した。5 回目のセッションにおける被験者 6 名の誤入力率の平均は無語義群セッションで 8.20% であり、有語義群セッションで 6.76% であった。

4.2 アンケート結果

精神的疲労度の平均値は 1 回目の試行終了時では 1.8 であり、5 回目の試行終了時では 3.3 であった。肉体的疲労度の平均値は 1 回目の試行終了時では 2.3 であり、5 回目の試行終了時では 3.5 であった。また、ユーザビリティの平均値は 3.0 であり、好みの平均値は 3.2 であった (図 6)。

すべての被験者で 5 回目の試行終了時では 1 回目の試行終了時より精神的疲労度の評価値は大きくなったが、5 回目の試行終了時の精神的疲労度では被験者間でばらつきが見られた。これは被験者間で点字入力規則を覚えた量が異なったために生じた、点字と日本語の対応表を参照する頻度の差異が原因であると自由記述のコメントから推測される。具体的には、5 回目の試行終了時の評定値が 4 以上の被験者 A および被験者 F は点字の規則を 8 割程度覚えた」と記述している

のに対して、5 回目の試行終了時の評定値が 2 の被験者 E は 5 回目の自由記述にも日本語と点字の対応表の視認性の悪さについてのコメントがあったことからもうかがえる。

また、肉体的疲労度は 5 回目の試行終了時では 1 回目の試行終了時より 6 名中 4 名で値が大きく、OBOE による入力作業に慣れることで肉体的疲労感が軽減されたことが推測される。

4.3 自由回答の結果

自由回答の結果によると、「実験のはじめにおいて、点字とその対応する日本語の表に慣れるまでに時間がかかり、ストレスを感じた」(3 名)、「右手と左手の対応を間違えやすく、特に Enter キーと Backspace キーを押すときに間違えやすかった」(3 名)、「点字をある程度覚えてくると、自信がつき、それにとまって紙を見る回数が減り、間違いも増えてしまった」(2 名)などの回答が得られた。

5. 指字通訳者によるデバイス評価

指字通訳者 2 名を被験者としたときの実験結果について述べる。指字とは、視覚と聴覚の重複障害者が用いるコミュニケーション手段の 1 つで、視聴覚重複障害者の両手の 6 指を点字タイプライタに対応させて、通訳者とその指を打鍵して文字を伝達する方法で

表 2 学習効果実験の 5 回目のセッション終了時の点字入力未経験者の実験結果の平均値と指字通訳者の平均値

Table 2 Mean value of input speed and error rate by novices and experts.

		未経験者	指字通訳者
無語義群 (Non-Semantic)	入力速度	50.9 Bpm	73.3 Bpm
	誤入力率	8.20%	6.18%
有語義群 (Semantic)	入力速度	35.4 Bpm	112.4 Bpm
	誤入力率	6.76%	3.59%

ある¹³⁾。

5.1 被験者

晴眼の指字通訳者 2 名 (30 代女性と 40 代女性) が本実験に参加した。2 名とも右利きであった。2 名とも指字通訳の経験者に 10 年以上従事している。

5.2 実験装置

実験装置は点字入力未経験者の学習評価実験と同一のものをを用いた (詳細は 3.2 節を参照)。

5.3 実験方法

実験は 10 分間の無語義群セッションと 10 分間の有語義群セッションを 1 回ずつ計 20 分行われた。本実験では日本語の点字とそれに対応する日本語の文字が書かれた紙は配布されなかった。被験者は実験を通じてオーボエ型 (図 2 (a)) で握るように指示された。入力した文字は画面に表示されると同時に前述の TTS エンジンにより音声で読み上げられた。システムについて自由にコメントを記述してもらった。各セッションにおける指示および実験で用いたソフトウェアは 3.3 節と共通であった。

5.4 実験結果

指字通訳者の平均入力速度は有語義群セッションにおいて 112.4 Bpm, 誤入力率は 3.59% であった。この数値は前項の被験者の平均入力速度より高速であり、かつ低い誤入力率であった (有意水準 1%)。指字通訳者はほとんど練習なしで使用してこの結果を得ており、指字通訳の経験者にとっては非常に高速に入力できるデバイスであるといえる。

表 2 に指字通訳者による無語義群および有語義群の結果をまとめる。指字通訳者から、無語義群セッションで「じゃ」ではなく「ぢゃ」のような日常的な日本語の会話文にあまり登場しない文字の入力を要求されたために、入力が遅くなってしまったというコメントを得ており、これが無語義群が有語義群より入力速度が低かった原因であると考えられる。指字通訳者は、日常的に使われる単語をパターンとして会得しており、これも有語義群セッションで入力が早くなった原因の 1 つと考えられる。また、親指の固定方法についても、より高速な入力には、現在の親指フックよ

り強固な固定が必要との意見も得た。また、指字通訳の場合には小指は使わないため、小指にキーがマッピングされている Enter や Backspace について間違えやすいというコメントがあった。

6. 考 察

6.1 学習効果実験の結果について

点字入力未経験者の入力速度の推移は図 5 に示すように被験者間で類似した傾向を示した。実験を通して無語義群セッションで平均 2.1 倍、有語義群セッションで平均 1.6 倍の速度向上という結果が得られた。誤入力率もそれぞれ平均 0.62 倍、平均 0.75 倍となった。学習効果実験の 5 回目のセッション終了時の入力速度および誤入力率の平均値を表 2 にまとめる。

図 5 に示すように誤入力率の推移については被験者間で異なった。しかし、すべての被験者は点字入力に対する知識や経験がなかったため、初期のセッションでは共通して高い誤入力率を示した。その後、点字入力の規則性やデバイス自体に慣れたことによって誤入力率が減少するが、さらに入力速度の向上が進むと誤入力率が増加する傾向が見られた。アンケート結果によると、無語義群の 3 回目以降において、「紙を見ないで押せる文字が増えてきた」と回答した被験者が 2 名、「慣れてくると予想で押す傾向がある」と回答した被験者が 3 名いた。無語義群の誤入力率が 3 回目と 5 回目で再度増加する現象は、過信によって配布された点字コードの資料を見ないで入力する場面が増えてくるために起こったと考えられる。またアンケートの結果によると、精神的疲労度の値はすべての被験者で、肉体的疲労度の値は 6 名中 4 名で、1 回目の試行終了時と比較して 5 回目の試行終了時で向上した。また、据置型のコードキーボードでは、なめらかに押下作動力が増加するような柔らかいキータッチが疲労の軽減に重要であるという報告¹⁴⁾があり、OBOE のように把持する場合は、キー特性が疲労に対してどのような影響を与えるかについても調べていきたい。

6.2 従来の点字タイプライタとの比較

本稿で提案する入力インタフェースの熟練者とは (1) 点字入力方法を習得しており、入力が高速であること、(2) デバイスおよびシステムに対して精通していることが考えられる。指字通訳者の入力速度は、(1) の意味において提案する入力インタフェースの熟練者の到達入力速度と見なすことができる。入力方法を習得したユーザの場合、今回の実験のようなタイピングタスクで、平均 110 Bpm 以上の入力速度が可能であることが判明した。(2) の点や、固定方法の改善

などで入力速度は向上する余地があり、最終的には従来の卓上型点字タイプライタと同程度の入力速度になると期待される。ここで、操作性の評価に課題遂行時間を用いる手法 KLM 法¹⁵⁾ を用いて考察を行った。キーを押す時間(入力速度の逆数) T_k 、タスク発生ごとに必要な心理的準備時間 T_m 、システム応答時間 T_r として実行時間 $T_{execute}$ は以下のように予測される。

$$T_{execute} = T_k + T_m + T_r \quad (1)$$

上式において、各文字列発生時に T_m (定数で 1,200 ms¹⁶⁾) が必要となるため、長文入力作業を中心にする卓上型点字タイプライタの入力速度と単純に比較することはできない。しかし、 T_m が本研究の実験とほぼ等しいと考えられる短い文字列のタイピングタスクで、卓上型点字タイプライタでは 135.9 Bpm という結果が報告されており¹⁷⁾、本稿で提案している入力インタフェースでも 80% 程度の入力速度が実現できていることが分かった。本デバイスの主目的は据え置きでの入力操作ではなく、デバイスを持った姿勢で入力できることであり、また、指点字通訳者の内観報告として「卓上型と比べて入力操作に不都合は感じなかった」とあることから、モバイル用途において十分実用的な入力速度であるといえる。

また、ソフトウェア内の処理により文字入力から音声出力までのシステム応答時間 T_r は、1 文字あたり最大 100 ms となる場合があった。この応答の遅れ時間は被験者が聴覚的に入力確認を行う場合に入力速度が遅くなる原因となったという感想を得た。

6.3 キー配列について

点字入力未経験者のアンケートの結果では、配布された点字の日本語の対応表の中で、点字表記(3 行×2 列)と提案する入力方法(6 行×1 列)は配置の対応が直観的でないと感じたという事例が報告されている。しかし、これは従来の点字タイプライタ(1 行×6 列)についてもいえることである。日本の点字では清音をローマ字のように 6 点のうち左右の手にまたがる 1, 2, 4 の点で母音、同様に 3, 5, 6 の点で子音を表現するため、点字入力未経験者においては点字方式を応用した新たな対応方法、たとえば左手(1, 2, 3 の点)に母音、右手(4, 5, 6 の点)に子音を対応させたキー配列も考えられる。森田はキー配列の記憶負担量と熟練者到達入力速度の面からの考察により母音と子音の分離が適しているという報告をしている¹⁸⁾。また一方で両手を使った非コード型のキー入力では、左

手と右手を交互に使うって打鍵すると高速に入力が可能であることが知られている¹⁹⁾。以上の考察を基に、点字方式を踏襲した、より入力に特化した効率的なキー配列についても実装し、評価したい。

また、ファンクションキーは、利用する言語ごとの設定も欠かせない。たとえば英語圏の点字ユーザに対しては特に SPACE キーが重要となる。ファンクションキーを n 個使う場合、ファンクションキー単独で同時押しを含めて $2^n - 1$ 種類まで設定することが可能である。今回の評価実験のように日本語点字規則によるフレーズ入力の場合ではキーの数は 2 個で十分であったが、SPACE キーなどの対策についてはキーの数の増加以外にファンクションキーと点字キーの組合せなどで対処できると考えられる。

6.4 把持する姿勢について

OBOE と従来の卓上型点字タイプライタとではキー配列が大きく異なる。このため、打鍵する際の姿勢の違いによる影響が危惧されたが、前述のように指点字通訳者の実験結果によると実用的な入力速度が実現できていた。この理由としては QWERTY 配列のキーボードを打鍵するときと異なり 1 つのキーと 1 つの指が対応しているため、指の運動と対象物との間の相互関係が保たれていたことが大きな理由であると考えられる。

しかしながら、指点字通訳者や視覚障害者などの意見には、点字タイプライタと同じ姿勢で打鍵したいという意見も根強い。このような要望に対して、たとえばデバイスを 2 個に分離できるような形状にすることで、ソフトウェアだけでなくハードウェア的にキーマップを変更させることはこの問題を解決することができると考えられる。これは右利きと左利きの問題を解決するうえでも有効であると考えられる。

7. おわりに

本稿では、ウェアラブルコンピュータのための新しい文字情報入力デバイスとして開発した、点字入力方式のコードキーボードである簡型点字入力インタフェース OBOE の報告を行った。点字の未修得者による学習効果の評価実験を通じて、早期に習得できることを示した。また、指点字通訳者による評価実験の結果から、習熟すれば高速な入力が可能であることが示された。さらに評価実験の結果から OBOE におけるキー配列や、OBOE を把持する姿勢についても議

日本の点字はすべて横書きなので、読む側の読みやすさのために母音を上側に、子音を下側に分離したと予想される。

予備実験として点字習得者である視覚障害者にも本稿で提案するデバイスを用いて入力操作を試してもらった。

論を行った。今後の課題として、点字キーボードの経験のある視覚障害者などを対象としたOBOEの評価実験を行っていく予定である。また、デバイスと手の固定方法が入力の高速化につながるものが指点字通訳者のアンケートからも確認されており、デバイスを両手に分離して使用できる形状やエルゴノミクスデザインも含めて議論していきたい。また、本実験では被験者が静止状態にあるときの入力速度および誤入力率の計測であったため、OBOEの利点の1つである「歩きながら」というような状況下でのユーザビリティも評価する必要があるといえる。

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ご助言をいただ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に寛大な感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) Lyons, K., Starner, T., Plaisted, D., Fusia, J., Lyons, A., Drew, A. and Looney, E.W.: Twiddler typing: one-handed chording text entry for mobile phones, *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2004)*, Vienna, Austria, pp.671-678, ACM Press (2004).
- 2) Fukumoto, M. and Tonomura, Y.: Body Coupled Fingering: Wireless wearable keyboard, *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*, Atlanta, Georgia, pp.147-154, ACM Press (1997).
- 3) An, S.S., Jeon, J.W., Lee, S., Choi, H. and Choi, H.-G.: A Pair of Wireless Braille-Based Chording Gloves, *9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2004)*, Paris, France, pp.490-497 (2004).
- 4) Silfverberg, M.: Using mobile keypads with limited visual feedback: Implications to handheld and wearable devices, *the 4th International Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Mobile HCI 2003)*, pp.76-90 (2003).
- 5) Saito, T., Sakamoto, M., Hashimoto, Y., Kobayashi, M., Nishimura, M. and Suzuki, K.: ProTALKER: a Japanese Text-To-Speech System for Personal Computers, Technical report, IBM TRL Research Report RT0110 (1995).
- 6) 雨宮智浩, 広田光一, 廣瀬通孝: パーバル・ノンパ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, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.3, pp.207-216 (2004).
- 7) John, B.E.: TYPIST: A Theory of Performance in Skilled Typing, *Human-Computer Interaction*, Vol.11, pp.321-355 (1996).
- 8) John, B.E. and Newell, A.: Cumulating the Science of HCI: From S-R Compatibility to Transcription Typing, *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '89)*, Atlanta, Georgia, pp.109-114, ACM Press (1989).
- 9) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A. (Eds.): *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates (1983).
- 10) Salthouse, T.A.: Perceptual, Cognitive, and Motoric Aspects of Transcription Typing, *Psychological Bulletin*, Vol.99, pp.303-319 (1986).
- 11) Lee, P.U. and Zhai, S.: Top-down learning strategies: Can they facilitate stylus keyboard learning?, *International Journal of Human Computer Studies*, Vol.60, No.5-6, pp.585-598 (2004).
- 12) Soukoreff, R.W. and MacKenzie, I.S.: Metrics for text entry research: An evaluation of msd and kspc, and a new unified error metric, *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2003)*, Lauderdale, Florida, pp.113-120, ACM Press (2003).
- 13) 小島純郎, 塩谷 治, 福島 智: ゆびで聴く—盲聾者青年福島智君の記録, 松癩社 (1988).
- 14) 手嶋教之, 山内 繁: 同時打鍵式キーボードにおけるキー特性, 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要, Vol.13, pp.51-55 (1992).
- 15) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A.: The keystrokelevel model for user performance time with interactive systems, *Comm. ACM*, Vol.23, No.7, pp.396-410 (1980).
- 16) Olson, J.R. and Olson, G.M.: The growth of cognitive modeling in human-computer interaction since GOMS, *Human-Computer Interaction*, Vol.5, pp.221-265 (1990).
- 17) Lee, S., Hong, S.H. and Jeon, J.W.: Designing a universal keyboard using chording gloves, *Conference on Universal Usability 2003*, pp.142-147, ACM Press (2003).
- 18) 森田正典: 各種日本語入力方式の性能の定量的比較, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J70-D, No.11, pp.2182-2190 (1987).
- 19) Kinkead, R.: Typing speeds, keying rates, and optimized keyboard layouts, *19th Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, Human Factors Society, pp.159-161 (1975).

(平成 16 年 10 月 18 日受付)

(平成 17 年 5 月 9 日採録)



雨宮 智浩

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

学基礎研究所にてウェアラブルインタフェース，人間の知覚特性を利用した力触覚の錯覚現象の解明，五感伝送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，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．