

鍵盤奏者のための小型鍵盤を用いた 文字入力インタフェースの構築

竹 川 佳 成^{†1} 寺 田 努^{†2} 西 尾 章 治 郎^{†3}

近年，計算機の小型化や高性能化にともない，ユーザが計算機をつねに身に付けて持ち運ぶウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている．これまでに提案されてきたウェアラブル環境用のインタフェースは，あらゆるユーザ向けに設計されたものが多く，敷居の低さと入力速度を両立させたものは存在していなかった．そこで，本研究では特に鍵盤奏者を対象とし，鍵盤や鍵盤奏者の性質を考慮した小型鍵盤楽器のための文字入力インタフェースを提案する．提案方式はユーザを鍵盤奏者に限定することで，敷居の低さと高速な文字入力を両立させている．鍵盤習熟者によるプロトタイプの評価結果より提案文字入力インタフェースは使い始めてから約 60 分でブラインド入力できるようになり，280 分後には比較対象である Twiddler の文字入力速度と比べて 2 倍以上速く文字入力できるようになるなど，その有効性が証明された．

Construction of a Text Input Interface Using a Portable Clavier for Pianists

YOSHINARI TAKEGAWA,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†2}
and SHOJIRO NISHIO^{†3}

Recently, due to the miniaturization of computers, wearable computing has attracted great attention. Several text input interfaces for wearable computing have been already proposed. However, since they are not specialized to specific users, they do not achieve enough easiness to use and input efficiency. Therefore, the goal of our study is to construct a text input method specialized to pianists by exploiting the characteristics of pianist and clavier. The proposed method achieves the simplicity and the efficiency by restricting users to pianists. We have developed a prototype system and evaluated its effectiveness. As the result of evaluation, the proposed interface achieves the twice efficiency as that in Twiddler, the most commonly used text input interface in wearable computing environments.

1. はじめに

近年，計算機の小型化や高性能化にともない，ウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている．常時コンピュータを装着し利用するウェアラブル環境では，ユーザはあらゆる状況でコンピュータを操作するようになる．

これまでに，いつでもどこでも文字入力を行いたいという要求を満たすためにさまざまな文字入力インタフェースが提案されてきた．これらは大きくキーボード型インタフェースと，音声やジェスチャなどを用いる非キーボード型インタフェースに大別できる．後者は手が塞がらないという利点があるが，文字入力速度が遅く，また日常の動作を入力と取り違えてしまう可能性がある．一方，キーボード型インタフェースは，文字入力方式に着目すると携帯電話方式（同じキーに複数の文字を割り当て，キーを複数回押すことで入力文字を選択する方式），ポケットベル方式（子音と母音など複数キーの組合せで入力する方式），コード方式（複数キーを同時に入力する方式）に分類できる．一般に携帯電話方式，ポケットベル方式，コード方式の順で敷居は高くなり使い始めの文字入力速度は遅い．しかし，習熟後の文字入力速度はコード方式が最も速くなる^{1),2)}．したがって，ユーザは敷居が低く低速な文字入力方式か，敷居が高いが習熟すれば高速に文字入力できる方式を選択しなければならない．

このように，万人向けに設計されたインタフェースでは，敷居の低さと文字入力速度の両立は難しい．そこで本研究では，鍵盤奏者を対象としたコード型文字入力インタフェースの構築を目的とする．提案方式は鍵盤の性質，鍵盤奏者の性質を考慮し，より直観的で敷居の低い文字入力ができるような工夫を行っている．なお，本研究では第 1 段階として，かな文字を対象とした文字入力インタフェースの構築をめざす．

以下，2 章で要求事項について述べ，3 章で提案する文字入力インタフェースの設計について説明する．4 章で実装について述べ，5 章で評価実験について説明し，最後に 6 章で本研究のまとめを行う．

^{†1} 神戸大学自然科学系先端融合研究環
Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

^{†2} 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†3} 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

2. 要 求 事 項

ウェアラブル環境における文字入力デバイスは、以下の性質が求められる。

携 帯 性

入力デバイスが小型かつ軽量である。

状況非依存性

ユーザがおかれている状況によらずいつでもどこでも利用できる。

操 作 性

使い始めの敷居が低くかつ文字入力速度が速い。

上記 3 つの観点に基づき、これまでに提案されたウェアラブルコンピューティング用文字入力インタフェースについて考える。これらは、非キーボード型インタフェースとキーボード型インタフェースに大別できる。

非キーボード型インタフェースは、音声や頭、視線、腕、手の動きを検出し文字を入力する³⁾⁻⁷⁾。このようなインタフェースは、ユーザの手が塞がっている状況が多いウェアラブル環境では有効であるが、使用できる場所や状況に限られる。また、意図しない入力や誤動作が多くなるうえに、一般に文字入力速度は遅い。

キーボード型インタフェース^{1),2),8)-14)}の多くは、持ち運びをしやすいように小型に設計され、片手入力や装着して使うなど状況非依存性に対し工夫されている。一方、操作性について考えると、キーボードは小型化の影響で特殊なキー配列になっており、ユーザはキーの名前やキー配置を覚えなければならない。また、キーボード型インタフェースは文字入力方式で分類すると携帯電話方式（同じキーに複数の文字を割り当て、キーを複数回押すことで入力文字を選択する方式）、ポケットベル方式（子音と母音など複数キーの組合せで入力する方式）、コード方式（複数キーを同時に入力する方式）に分けられる。ポケットベル方式は子音と母音それぞれに対してキーを選択しなければならないが、携帯電話方式は、母音は連続打鍵で対応できるため子音のみキーを選択すればよく、ポケットベル方式に比べて敷居は低い。一方、コード方式は子音と母音の指の動きだけでなく同時打鍵もしなければならないため敷居が高い。しかし、習熟後の文字入力速度は複数の操作を 1 度に行うコード方式が速くなる^{1),2)}。

このように、敷居の低さと文字入力の速さ両方を備えた文字入力インタフェースの構築は難しい。しかし、対象を限定し、その対象にとって使い慣れたインタフェースを流用することで敷居の低さと文字入力速度の両立を実現できると考えられる。

3. 設 計

本研究では、鍵盤や鍵盤奏者の性質を考慮した鍵盤型文字入力インタフェースを構築する。鍵盤はふだんの生活で邪魔にならないように音域が 1 オクターブの小型な鍵盤を用いる。小型にするために鍵のサイズ自体を小さくする方法も考えられるが、練習や演奏で使っている鍵盤と感覚が異なると的確に打鍵できないため、鍵盤は標準のサイズにする。また、鍵盤は持って使用するのではなく装着し、入力は片手で行うことでより状況非依存性や安定性の向上を図る。

本研究で想定するインタフェースの利用形態を図 1 に示す。頭部にはヘッドマウントディスプレイを装着し、腰には小型 PC と入力装置である小型鍵盤を装着する。また、ユーザはオプションとしてヘッドフォンを装着し、キー入力時に発生する音を聴くことも可能である。

3.1 鍵盤の性質

鍵盤の特性に適した入力インタフェースを設計するため、鍵盤の性質について議論する。鍵盤は一般に下記の特性を持つ。

縦 の 耐 性

鍵盤の各鍵は縦長の構造になっているため、縦方向で打鍵位置がずれてもミスタッチが生じにくい。

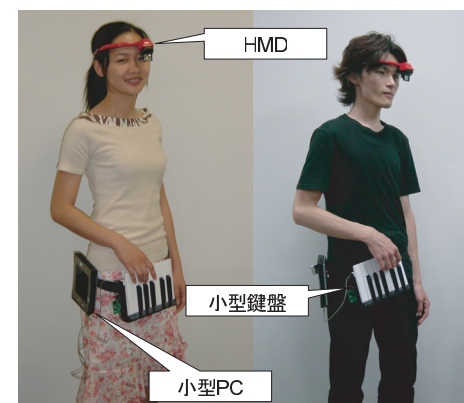


図 1 利用形態

Fig. 1 A snapshot of using our interface.

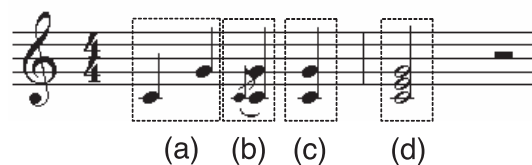


図 2 奏法

Fig. 2 The various execution methods.



図 3 小型鍵盤

Fig. 3 A compact clavier.

和 音

鍵は縦長の構造をしているため、指を無理矢理、縮めたり伸ばしたりすることなく自然な状態で複数同時打鍵が行える。したがって、コード（和音）入力に適している。

奏 法

和音と同様、自然な状態で打鍵できるため使用する鍵は同じでもさまざまな奏法で演奏できる。たとえば、同じ 2 音入力でも図 2 (a), (b), (c) で示すようにさまざまなバリエーションで入力できる。

3.2 鍵盤奏者の性質

鍵盤奏者の性質を調査するために、鍵盤奏者は目を閉じていても習熟した楽曲ならほとんどミスタッチすることなく演奏できるという点に着目し、図 3 に示す小型鍵盤を作成し手元を隠した状態で適当な 2 和音や 3 和音を打鍵してもらった。上の特性が証明でき、それ

表 1 被験者のプロフィール
Table 1 The profile of examinees.

被験者	鍵盤歴	ブランク
情報系学生	0 年	22 年
	5 年	10 年
	10 年	7 年
	15 年	4 年
音楽大学学生	17 年	0 年
	17 年	0 年
	17 年	0 年



図 4 評価実験システム

Fig. 4 The system for evaluation experiment.

を活かした設計にすればユーザは容易にブラインドで入力できるため、落ち着いてインタフェースを見ながら入力できる機会が少ないウェアラブル環境では鍵盤の利用が有効であるといえる。

被 験 者

被験者は、鍵盤経験歴がないあるいは数年のブランクがある情報系学生 4 名と、まったくブランクがないピアノ科専攻の音楽大学学生 3 名とした。具体的な被験者のプロフィールを表 1 に示す。

システム構成

図 4 に実験を行っている様子とシステム構成を示す。実験では Windows XP が動作する

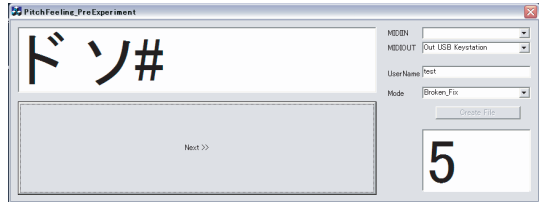


図 5 評価実験アプリケーション

Fig. 5 The application for evaluation experiment.

表 2 アンケート結果

Table 2 The result of the questionnaire.

アンケート項目	鍵盤歴 (年)							平均	標準 偏差
	0	5	10	15	17	17	17		
鳴っていた音は打鍵の補助となったか? (1: ならない~5: なった)	2	5	5	5	4	5	5	4.43	1.13
慣れたときに音の補助は必要か? (1: 必要でない~5: 必要)	5	5	5	2	3	1	5	3.71	1.70
打鍵時に生じる不協和音は違和感を持つか? (1: 持つ~5: 持たない)	4	4	5	5	4	1	4	3.86	1.35

ノートパソコン (IBM ThinkPad X30) を利用し, MIDI 音源は Roland 社の SC-8820 を, 出力スピーカは BOSE 社の小型スピーカ (MM-1), 小型鍵盤は M-audio 社の OXYGEN8 を改造した. MIDI 出力を備える OXYGEN8 はフルサイズ 25 鍵盤を備える. 小型にするために鍵盤を半分に切断した.

また, 実験を円滑に進めるために図 5 に示す評価実験アプリケーションを用意した. 画面左上に打鍵してもらう 2 音もしくは 3 音を表示する. 楽譜が読めない者もいると予想し, 打鍵してほしい音は音名で表示した. さらに, 画面中央にあるボタンのクリックで次の試行に移る.

手続き

情報系学生には, 1 オクターブで考えられる 2 音の組合せをランダムに選び, 図 2 に示す奏法 (a)~奏法 (c) の 3 通りについてそれぞれ試行させた. 音楽大学学生には, それらに加えて 3 音の組合せ (奏法 (d)) について試行してもらった.

被験者には「弾き直しを避けるように, できるだけ速く正確に打鍵するように」と指示した. また, 実験に慣れてもらうために 2 音の組合せの試行を 20 回練習してから実際の評価を行った. さらに, 実験終了後にアンケートを行った. 表 2 にアンケート項目を示す. 実験では, ノートオンおよびオフのノートナンバとタイミングを記録した.

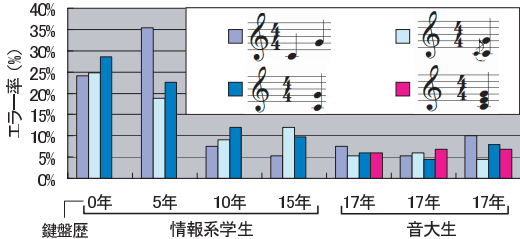


図 6 各被験者ごとのエラー率

Fig. 6 The error rate of each examinee.

結果と考察

図 6 に被験者ごとのエラー率を示す. 図 6 から, ブランクの長い者ほどミスが増えていることが分かる. また, ミスの内容を解析したところ, 情報系学生における 8 割程度, 音大生における 5 割程度は, 誤って隣の鍵を打鍵してしまうミスであった. この感覚的なミス以外に, 「ファ#, レ」を「ファ, レ#」と勘違いしてしまうといった # の見間違いや, 音名の見間違いがあった.

これらの結果から, 鍵盤奏者は鍵の位置を感覚的に把握しているといえる.

また, アンケート結果から, 全体的に鍵盤歴によらず打鍵音が入力の補助となっていることが分かった. さらに, 打鍵時に生じる不協和音を不快に感じていることも分かった. 一方, 習熟後の打鍵音の必要性は鍵盤歴に相関が見られ, ある程度の鍵盤歴を持つ者は必要性を感じていない. これより, 鍵盤習熟者は音だけでなく, 手の位置や指の開きから感覚的に鍵の位置を把握しているといえる. さらに, アンケート用紙の自由記述欄より, 「黒鍵より白鍵の方が弾きやすい」, 「3 和音は 2 和音より肉体的に疲れる」などのコメントを得た.

3.3 文字入力方法

鍵盤および鍵盤奏者の性質を活かした小型鍵盤用文字入力方式を提案する.

表 3 に提案文字入力方式の文字コード割当てを示す. かな文字の入力は C 鍵から G 鍵 (白鍵のみ) の組合せで行う. なお, は行~わ行で第 1 音と第 2 音が同じ鍵を使う文字 (下線が引かれた文字) は, 奏法 (b) で演奏できない. ゆえに, 第 1 音と C# 鍵, D# 鍵, F# 鍵のいずれかを奏法 (b) で弾くことで該当の文字を入力できるようにした. たとえば, 「は」を入力する場合, C 鍵と C# 鍵, D# 鍵, F# 鍵のいずれかを奏法 (b) で弾く. なお, これら 2 鍵の演奏順は順不同である. また, 図 7 に示すように, 文字入力によく使う機能 (SPACE, ENTER, BACKSPACE, →, ←, Shift+→, Shift+←, モード切替え) は C# 鍵, D# 鍵,

表 3 提案文字入力方法
Table 3 The character input method.

(a)		(b)	
第2音		第2音	
C	あ い う え お	C	は ひ ふ へ ほ
D	か き く け こ	D	ま み む め も
E	さ し す せ そ	E	や ゅ ゆ よ
F	た ち つ と	F	ら り る れ ろ
G	な に ぬ ね の	G	わ を ん M

M: モード変換

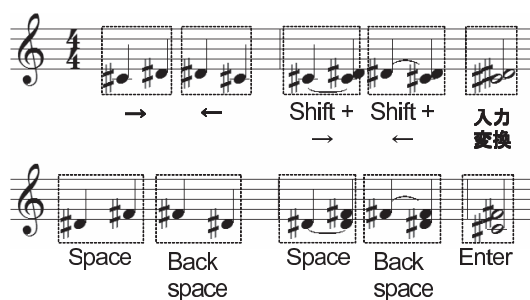


図 7 特殊キーのマッピング

Fig. 7 The function of black keys.

F# 鍵の組合せで入力する。

少ない鍵数で多くの文字を入力するためには、ストローク数や同時打鍵数を増やすことで組合せ数を稼ぐのが一般的である。しかし、提案方式では、2 音の組合せと奏法を変化させることで組合せ数を増やしている。他の方式として、演奏で頻繁に利用するコードと文字をマッピングした文字入力方式や、携帯電話方式のようにある鍵の連続打鍵による文字入力方式も考えられる。提案方式を採用した理由は、一般に同時打鍵数が増えると文字入力方式が複雑になってしまうことや、予備実験のヒアリングにて得られた「3 和音は 2 和音より肉体的に疲れる」というコメントから同時打鍵数をなるべく少なくし、連続打鍵が多いと習熟時における文字入力速度が遅くなってしまうためである。したがって、同時打鍵数と連続打鍵のバランスがとれている方式を採用した。また、提案方式で採用した奏法はいずれも、特別な訓練なくブラインドの状態でもほぼ正確に入力できている。さらに、これらの入力方式は、通常の演奏でも頻繁に用いられており、実験のヒアリングからもストレスなく入力できると

いうコメントを得ている。

今回、奏法 (c) を文字入力方式に加えなかった理由は、高速に入力した奏法 (b) と奏法 (c) とを判別することが難しく、奏法 (c) は奏法 (b) と比べて文字入力パターン数が半数程度になってしまうことにある。

提案する文字入力方式では特殊な場合を除きほとんどの操作を白鍵で行う。これはアンケート結果より白鍵の方が入力に適していると考えたためである。また、すべての文字入力操作は C 鍵から G 鍵で行う。これにより、C 鍵に親指を G 鍵に小指を置いたポーズをホームポジションとすれば、ホームポジション内で文字入力操作が行えるため安定性が確保できる。さらに、実験のヒアリングで「C 鍵に親指がある場合、D 鍵は人差し指、E 鍵は中指、F 鍵は薬指、G 鍵は小指を使って演奏する」という意見から、提案するホームポジションは、運指という視点から見ても演奏者にとって違和感がない。また、母音と指が 1 対 1 に対応付けられているため直観的に文字入力を行える。

4. 実 装

今回のプロトタイプシステムは、実験で作成した 1 オクターブの小型鍵盤を用いた。装着できるように鍵盤と回路部を重ねプラスチック製の網で固定し、網と鍵盤の間にベルトを挿入した。外観を図 3 に示す。また、PC 上ソフトウェアの開発は WindowsXP 上で Microsoft Visual C++6.0 を用いて行った。小型 PC として SONY 社の VAIO Type U を、HMD としては SHIMADZU 社の DataGrass2 を用いた。

4.1 同時打鍵とレガートの判定

プロトタイプシステムでは、ある鍵の打鍵から次の打鍵までの間隔が 100 msec 以内であれば同時打鍵であったと判定している。これは、図 2 の奏法 (a) と (b) が、単純に 2 鍵目の打鍵時に 1 鍵目が打鍵されているという判定で区別できないためである。図 8 に示すように、奏法 (a) には第 1 鍵目を離鍵してから第 2 鍵目を打鍵するノンレガートと呼ばれる奏法と第 1 鍵目を離鍵する前に第 2 鍵目を打鍵するレガートと呼ばれる奏法が存在する。鍵盤奏者は通常、レガートで演奏することが多く、また入力が高速になるほどレガートになる。そこで、奏法 (a) のレガートと奏法 (b) を区別するために、第 2 鍵目の打鍵から第 1 鍵目が離鍵されるまでの時間 ΔT を算出し、第 2 鍵目の打鍵後、 ΔT 秒後に第 1 鍵目が離鍵されているかどうかでレガートか否かを判断している。 ΔT の値は経験的に 100 msec とした。

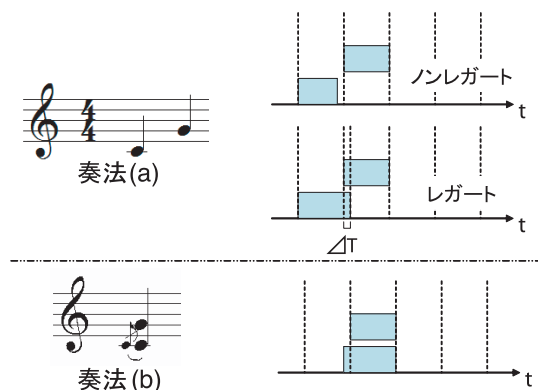


図 8 レガートとノンレガート

Fig. 8 A legato and a non-legato.

5. 評価

実装した提案手法の有効性を示すために、鍵盤習熟者 4 名、および鍵盤になれていない被験者 4 名による評価実験を行った。本実験では、ウェアラブル環境の入力デバイスとして広く使われている Twiddler (HandyKey 社)^{1),17)} を比較対象とし文字入力速度やエラー率から敷居や習熟などについて調査した。

5.1 Twiddler の概要

図 9 に Twiddler の概観を示す。Twiddler は片手で複数のキーを同時に打鍵することで操作するインタフェースで、一般の PC で使われているマウスとキーボードの機能をすべて備えている。Twiddler には、親指で打鍵する 6 個のキーと、人差指～小指で選択する 12 個のキーがある。親指のキーにはシフトキーやコントロールキーなどが、人差指～小指キーには英数字キーが割り当てられている。これら 12 個のキーを 1 つだけ打鍵するあるいは 2 つ同時に打鍵することで英数字すべての入力パターンをサポートしている。また、Twiddler はウェアラブル環境向け入力インタフェースの中で、高速入力可能な文字入力デバイスとして比較対象によくあげられるデバイスである¹⁸⁾⁻²⁰⁾。

5.2 実験の手続き

被験者

被験者は、鍵盤歴 17 年の音楽大学ピアノ科学生 4 名および鍵盤経験歴のない情報系学生



図 9 Twiddler の概観

Fig. 9 The snapshot of Twiddler.

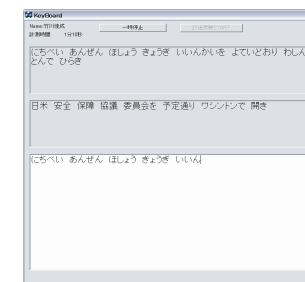


図 10 評価実験用タイピングソフト

Fig. 10 The typing soft for the evaluation experiment.

4 名で、提案手法および Twiddler を使って文字入力をした経験はない。

実験環境

実験では、Windows XP が動作するノートパソコン (IBM ThinkPad X30) を、MIDI 音源はノートパソコンにインストールされているソフトウェア MIDI 音源 (Microsoft GS Wavetable SW Synth) を使用し、出力音はヘッドフォンを用いて聴いた。また、入力デバイスは提案手法を、比較対象として Twiddler を用いた。

手続き

実験では、提案手法と Twiddler のそれぞれを使って「ひらがな」を入力してもらった。なお、単純にかな入力の速度を調べるために、漢字変換は行わない。

また、実験を円滑に進めるために図 10 に示すタイピングソフトを用意した。タイピングソフトはエディットボックスを 3 つ持ち、各エディットボックスは入力してもらいたい文 (試行文)、試行文を漢字変換した文、被験者が入力デバイスを使って入力している途中の文を表示する。被験者が表示されている試行文をすべて入力した場合、システムは次の試行文を表示する。なお、表示する試行文は 30～50 文字程度で、読み取りやすさを考え文節ごとにスペースを挿入した。また、実験の都合上、正しい文字を入力するまで次の文字を入力できないようにし、被験者が誤った文字を入力した場合、システムが自動的に削除するようにした。

入力する文章は Yahoo!ニュース¹⁵⁾ の記事をランダムに選んで用いた。また、被験者はデバイスごとに異なる文章を、「利き手」で立ちながら入力した。さらに、提案手法においては出力音を聴きながら入力した。被験者には「できるだけ速く正確に入力するように」と指

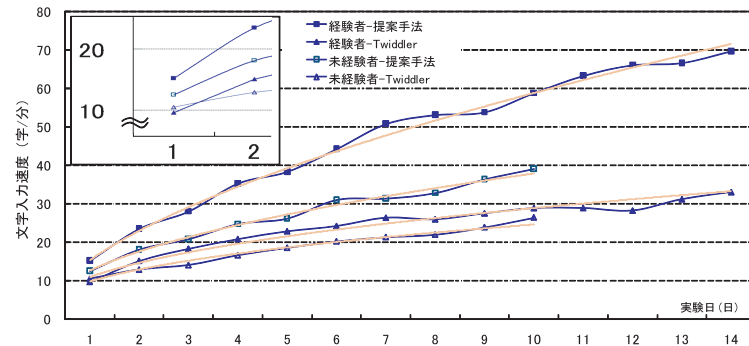


図 11 平均文字入力速度 – 提案手法と Twiddler

Fig. 11 The mean text input speed – Proposed method and Twiddler.

示し、実験終了後に「ブラインドで入力できたか？」というアンケートに 5 段階（1：できない～5：できた）で回答してもらった。なお、このアンケートは実験の途中から始めたため鍵盤経験者の 1 名には実施できなかった。

これらの試行を各デバイスについて 1 日 20 分間、鍵盤経験者は 14 日間、鍵盤未経験者は 10 日間連続して行った。また、各デバイスを使用する順序は、初日に経験者および未経験者のそれぞれ半分は提案手法から、残りの半分は Twiddler から実験を行い、1 日ごとに順序を交代した。さらに、実験最終日は「利き手でない手」で同様の試行を行い、加えて、入力デバイスの代わりにノートパソコンの QWERTY キーボードを使い同様の試行を行った。

5.3 結果と考察

鍵盤経験者による 14 日間の実験で 80,531 文字、未経験者による 10 日間の実験で 36,741 文字の文字入力データを取得できた。

鍵盤経験者と未経験者それぞれの平均文字入力速度（入力文字数/分）、文字入力速度を近似した指数曲線¹⁶⁾、1 日目と 2 日目における拡大図を図 11 に示し、近似曲線の近似式および近似式と実際のデータとのあてはまりの良さを示す重決定係数 R^2 を表 4 に示す。なお、近似式の x は実験日、 y は文字入力速度に対応し、重決定係数 R^2 は 96% 以上と高くこれら近似式の信憑性は高い。また、文字入力速度に関して二元配置分散分析法により検定を行ったところ、デバイスに対する有意差 ($F_{1,12} = 22.6, p < 0.01$)、被験者に対する有意差 ($F_{1,12} = 6.09, p < 0.03$) をそれぞれ確認でき、文字入力速度の差異が、デバイスによるものと被験者の特性によるものであることが検証できた。さらに、図 12 に平均エラー率

表 4 文字入力速度の近似式

Table 4 The approximate expression for text input speed.

項目	提案手法	Twiddler
経験者	$y = 15.354x^{0.5836}$ $R^2 = 0.996$	$y = 12.594x^{0.4788}$ $R^2 = 0.9929$
未経験者	$y = 10.86x^{0.4232}$ $R^2 = 0.9687$	$y = 9.8495x^{0.3972}$ $R^2 = 0.9779$

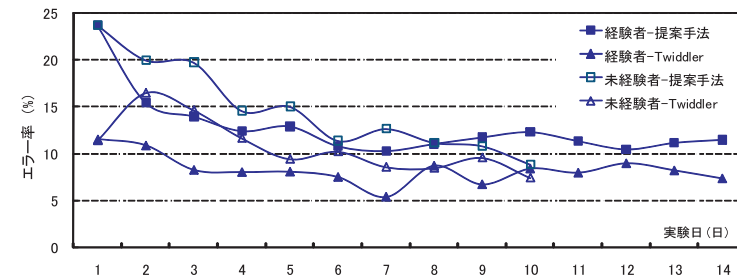


図 12 平均エラー率 – 提案手法と Twiddler

Fig. 12 The mean error rate – Proposed method and Twiddler.

(%) を示す。図 11 の縦軸は文字入力速度を、図 12 の縦軸はエラー率を示し、横軸はいずれも実験開始からの日数を示す。図 11 から明らかなように、提案手法は Twiddler より速く文字入力できた。また、図 12 から全体的にエラー率は提案手法の方が高くなり、各デバイスともに習熟するにつれ文字入力速度の向上が見られた。

以下、評価結果を考察する。

敷居

アルファベット入力の Twiddler に対し、かな入力である提案手法は約 2 倍の文字入力パターンを必要とする。また、主に 5 個のキーを使う提案手法に対し、Twiddler は 12 個のキーを使って入力する。一般にキー数が少なく入力パターンが多いほど複雑な文字入力方式になってしまう。

鍵盤経験者における実験初日の入力速度を見ると、Twiddler より提案手法の方が約 1.56 倍速く入力でき、未経験者においても 1.16 倍速く入力できた。提案手法の入力速度が速くなった原因に、ひらがなの特性の利用が考えられる。提案手法において母音は使用する 5 個の鍵に対応付けられているため、ユーザは子音とキーのマッピングを記憶すればよい。一

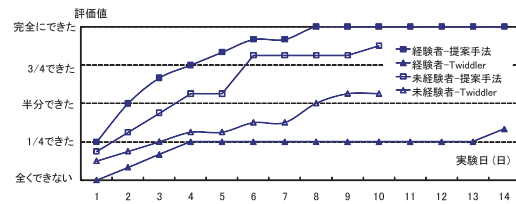


図 13 アンケート結果

Fig. 13 The result of the questionnaire.

方, Twiddler はアルファベット 26 音のマッピングを記憶しなければならない。

また, 実験初日における鍵盤経験者と未経験者の入力速度を比較すると, 提案手法は経験者が未経験者より速く入力できるが, Twiddler では未経験者の方が経験者より若干速く入力できている。この原因には, インタフェースに対する慣れが考えられる。鍵盤の扱いに習熟している経験者は, 文字入力方式が理解できれば, 最適な指使いで手元をほとんど見ずに入力でき, ミスタッチをしても打鍵音から正しい鍵へと補正できる。一方, 鍵盤の扱いに慣れていない未経験者は, たどたどしい指使いで, 打鍵位置を確認しながら文字を入力していた。また, Twiddler は, 経験者, 未経験者ともに未知のインタフェースであったため提案手法のような入力速度の大きな差は見られなかった。

これらの結果から, 提案手法は Twiddler と比べて敷居が低く, 鍵盤経験者であればより直観的に入力できるといえる。

習 熟

キー数が少なく文字マッピングの習熟が容易な提案手法は, 図 13 に示すように実験が進行するにつれほとんどの文字をブラインドで入力できる。一方, キー数が多く文字マッピングの習熟が困難な Twiddler は, たとえ打鍵するキーの場所を記憶しても正しいキーを打鍵しているかつねに打鍵確認が必要で, ブラインド入力が困難である。また, 表 4 の近似式における指数を見ると, 提案手法の指数が Twiddler の指数より大きいことから, 提案手法の文字入力の上達加速度は Twiddler より優れている。

一方, 図 12 のエラー率に注目すると, 提案手法は習熟するにつれエラー率が下がり, Twiddler と差異がなくなっている箇所もある。しかし, 鍵盤を使っているとき高速な文字入力に注力をおく被験者ばかりであったため, エラー率は打鍵位置をそのつど確認する Twiddler より悪くなった。

鍵盤経験者と未経験者との文字入力速度の差について比較すると, 提案手法における文字

表 5 利き手と利き手でない手の比較

Table 5 The comparison of the dominant hand and the non-dominant hand.

変化率	文字入力速度		エラー率	
	提案手法	Twiddler	提案手法	Twiddler
経験者	0.84	0.62	1.07	1.44
未経験者	0.74	0.51	1.39	1.79

入力速度の差は広がる一方, Twiddler における差はほとんど変化しない。これより鍵盤経験者の上達加速度は未経験者より優れていることが分かる。これは, 表 4 に示す経験者の近似式の指数と未経験者の指数との差が, Twiddler より提案手法の方が大きいことからもいえる。

これらの結果から, 習熟するにつれ提案手法は Twiddler より速く入力でき, 特に提案手法を使った鍵盤経験者はより習熟しやすいといえる。

利き手でない手

鍵盤経験者, 未経験者それぞれについて, 「利き手」と「利き手でない手」における文字入力速度とエラー率の変化率を表 5 に示す。この変化率は, 実験最終日に行った「利き手」の文字入力速度(エラー率)を 1 としたときの「利き手でない手」の比率である。すなわち, 1 に近いほど「利き手でない手」を使ったときの文字入力速度の減衰が少なく, エラーが少ないことを示す。

表 5 の結果から, 利き手でない手を使った場合, 文字入力速度が 7 割から 8 割に減速する提案手法に対し, Twiddler の文字入力速度は 5 割から 6 割に減速している。また, Twiddler と比べてエラー率の悪化も少ない。

この結果から, 提案手法は片手で培った習熟が反映されやすいインタフェースといえる。これは, 鍵盤経験者と未経験者いずれも見られたが, 鍵盤経験者の方がより反映されている結果となった。この差は, 未経験者より 4 日分長い経験者の習熟期間が有利に働いたことや, どちらの手もコントロールできるように訓練している鍵盤奏者の能力が原因と考えられる。

片方の手しか使えない状況が多いウェアラブル環境において, 使う手に依存しないという特徴は有効である。

QWERTY キーボードとの比較

図 14 に実験 10 日目の各被験者の提案手法と QWERTY キーボードとの文字入力速度を示す。すべての鍵盤奏者は未経験者よりも提案手法の入力速度が速くなった。特に QWERTY キーボードの文字入力速度が最も遅い鍵盤経験者が, QWERTY キーボードの文字入力速

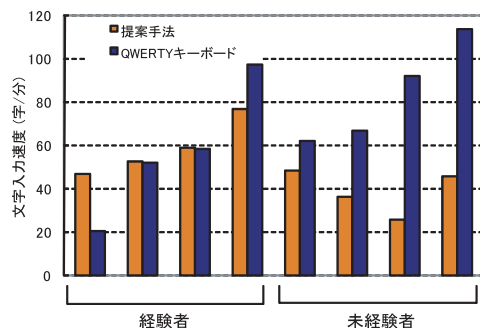


図 14 提案手法と QWERTY キーボードとの比較
Fig. 14 The comparing with QWERTY speeds.

度が最も速い未経験者よりも入力速度が速くなっている。この結果からも、提案手法は鍵盤奏者向けのインタフェースであることが分かる。

鍵盤経験者において QWERTY キーボードと提案手法の文字入力速度は正の相関（相関係数は 0.96、有意水準 5% で有意）が見られた。一方、未経験者の相関係数は 0.08 で相関はまったく見られなかった。これから、鍵盤奏者ならば、QWERTY キーボードに習熟しているほど提案手法を高速に入力できるといえる。

携帯電話方式との比較

かな入力方式を採用している提案手法に対し、比較対象である Twiddler はアルファベット入力方式を採用しているため、提案手法と Twiddler における文字入力速度の差は、文字入力方式の違いが影響していると考えられる。そこで、小型入力デバイスのためのかな入力方式として一般に広く普及している携帯電話方式を採用した Keiboard による比較評価実験を行った。実験日数が鍵盤経験者および鍵盤未経験者ともに 5 日間であることを除き、実験方法や環境は、Twiddler や提案手法に試用実験と同じである。

図 15 および図 16 に Keiboard と提案手法を使った場合における実験結果を示す。被験者は、ふだんから携帯電話を使い文章入力を行っており、携帯電話方式の文字入力に慣れていた。このため、実験初日から速い文字入力速度と低いエラー率を記録した一方、5 日目の実験においても文字入力速度やエラー率の変化は見られなかった。したがって、携帯電話方式に習熟していると考えられ、実験を続けても大きく文字入力速度やエラー率は変化しないと考えられる。

提案手法との文字入力速度を比較すると、鍵盤経験者では実験を開始してから 8 日目に、鍵

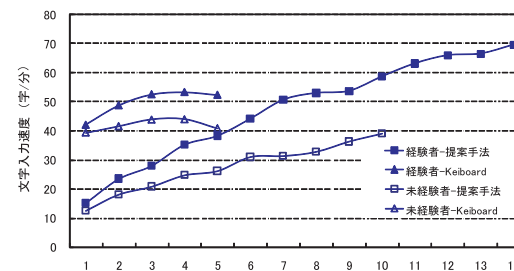


図 15 平均文字入力速度 – 提案手法と Keiboard
Fig. 15 The mean text input speed – Proposed method and Keiboard.

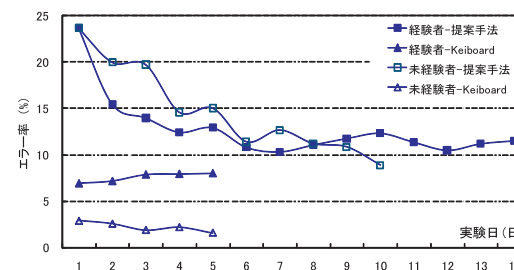


図 16 エラー率 – 提案手法と Keiboard
Fig. 16 The mean error rate – Proposed method and Keiboard.

盤未経験者では 10 日目に提案手法の文字入力速度が、携帯電話方式の文字入力速度を上回った。また、14 日目には鍵盤経験者において提案手法の文字入力速度は、習熟後の Keiboard の文字入力速度を大きく上回っている。また、鍵盤未経験者における文字入力速度の曲線から提案手法の文字入力速度は速くなると考えられる。

以上の結果から、習熟した場合における提案手法は携帯電話方式より高速に入力できるといえる。

一方、携帯電話方式はすでに習熟していたため敷居に関する検証は行えなかった。今後は、携帯電話方式以外のかな入力方式を採用したインタフェースによる比較評価実験を行ってきたい。

使用感

実験で行ったアンケートの自由記述やヒアリングをもとに、提案手法の使用感について考

察する．

実験初日に、提案手法と Twiddler の使用感についてアンケートをとったところ、鍵盤経験者は「Twiddler より提案手法の方が入力しやすい」、鍵盤未経験者は「Twiddler と提案手法の入力のしやすさは同じくらい」というコメントを得た．この印象の違いは、インタフェースに対する経験の違いが大きいと考えられる．新たなインタフェースを使う場合、ユーザは、ボタンの配置やボタンと指の対応を覚えるといったハードウェア的な習熟と、入力方法を覚えるといったソフトウェア的な習熟を求められる．提案手法は、鍵盤や鍵盤奏者の特徴を活かすことで、演奏で培った経験則を流用できるようにすることで、ハードウェア的な習熟に対する鍵盤経験者の負荷を軽減させている．

また、提案手法の文字入力方式は、基本的には白鍵を組み合わせて入力するが、一部、黒鍵と白鍵を組み合わせる異質な入力が混在している．これに関して被験者からは、混乱やとまどいはなかったというコメントを得た．

さらに、使用した鍵盤は、標準サイズの鍵を持つ 1 オクターブの鍵盤である．提案デバイスは、常時装着して利用するには大きいというコメントを一部の被験者から得た．今後の課題として、たとえば、ピアノのようにミニサイズの鍵における入力速度やエラー率を評価することで、どれくらいふだん使用している鍵盤楽器を模している必要があるかなどについて調査し、最適な鍵盤の大きさについて検討していきたい．

6. ま と め

本研究では、鍵盤の性質や鍵盤奏者の性質を利用しより直観的でシンプルな仮名文字入力方式を提案した鍵盤型入力インタフェースの評価および考察について述べた．評価実験から、提案文字入力インタフェースは敷居の低さや習熟のしやすさにおいて Twiddler を上回った．また、入力する手に依存しない、鍵盤習熟者ならブラインド入力が 1 時間程度の練習でできるようになるという知見も得られ、提案文字入力インタフェースの有効性が証明された．さらに、鍵盤経験者と未経験者との比較評価実験から、提案インタフェースは鍵盤スキルが有効に活かされることも証明された．

今後の課題としては、これまでの章で述べた以外に、英数字入力方式の検討や被験者を増やしたより長期的な評価実験を行う予定である．

謝辞 末筆ながら、本研究を進めるにあたって評価実験を引き受けてくださった諸氏には有益なコメントを多数いただいた．ここに衷心より感謝の意を表す．なお、本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団研究助成の支援によるものである．ここに記して謝意を表す．

参 考 文 献

- 1) Lyons, K., Plaisted, D. and Starner, T.: Expert Chording Text Entry on the Twiddler One-Handed Keyboard, *Proc. IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2004)*, pp.94–101 (2004).
- 2) Lyons, K., Plaisted, D. and Starner, T.: Twiddler Typing: One-Handed Chording Text Entry for Mobile Phones, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2004)*, pp.671–678 (2004).
- 3) 音声認識ソフト．<http://www.scansoft.co.jp/viavoice/>
- 4) 頭の動きで操作するポインティングデバイス．<http://akiba.ascii24.com/akiba/news/2003/12/04/647214-000.html>
- 5) 伊藤和幸：注視中の拡大表示機能付き視線マウスインタフェース、ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.5, No.3, pp.367–372 (2003).
- 6) 庄司 武，中村聡史，塚本昌彦，西尾章治郎：ウェアラブル計算環境における環境の変化を考慮した入力インタフェースの構築，情報処理学会研究報告（モバイルコンピューティングとコピキタス通信研究会 2004-MBL-28），Vol.2004, No.21, pp.39–46 (2004).
- 7) 中村聡史，塚本昌彦，西尾章治郎：DoubleRing：ウェアラブルコンピューティングのためのポインティングデバイス，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（DICOMO2002）論文集，Vol.2002, No.9, pp.301–304 (2002).
- 8) Engelbart, D.C.: Study for the development of human intellect augmentation techniques, Technical Report, Stanford Research Institute (1968).
- 9) 小野勝康：テンキーによる日本語入力—2 タッチ 50 音配列を実現，情報処理学会研究報告（ヒューマンインタフェース研究会 1997-HI-077），Vol.1998, No.22, pp.49–54 (1998).
- 10) 福本雅朗，外村佳伸：Wireless FingerRing：人体を信号経路に用いた常装着型キーボード，情報処理学会論文誌，Vol.35, No.5, pp.1423–1430 (1998).
- 11) 福本雅朗，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).
- 12) 杉本正勝：片手操作キーカード（SHK）による日本語入力，情報処理学会研究報告（モバイルコンピューティングとコピキタス通信研究会 1997-MBL-001），Vol.1997, No.54, pp.1–6 (1997).
- 13) 7 個のキーで操作するコードキーボード．<http://www.onehandkeyboard.com/>
- 14) Half-QWERTY キーボード．<http://half-qwerty.com/>
- 15) Yahoo!ニュース．<http://dailynews.yahoo.co.jp/fc/>
- 16) Card, S., Moran, T.P. and Newell, A.: *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum (1983).
- 17) Wigdor, D. and Balakrishnan, R.: A Comparison of Consecutive and Concurrent

Input Text Entry Techniques for Mobile Phones, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2004)*, pp.81–88 (2004).

- 18) 林 豊, 小川剛史, 清川 清, 竹村治雄: 仮想空間でのナビゲーションと文字入力をシームレスに行う入力デバイスの試作と評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.617–622 (2006).
- 19) Clawson, J., Lyons, K., Starner, T. and Clarkson, E.: The Impacts of Limited Visual Feedback on Mobile Text Entry for the Twiddler and mini-QWERTY Keyboards, *Proc. IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2005)*, pp.170–177 (2005).
- 20) Lee, C.S., Newman, W.M. and Partridge, E.K.: Paradiddle: An Exploration of a One-Handed Tap-Based Text Entry Technique, *Proc. International Workshop on Pervasive Mobile Interaction Devices (PREMID2007)*, pp.13–16 (2007).

(平成 20 年 5 月 13 日受付)

(平成 20 年 9 月 10 日採録)



竹川 佳成 (正会員)

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業。2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007 年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。現在に至る。2007 年より神戸大学大学院工学研究科助教, CrestMuse プロジェクト共同研究員を兼任。博士 (情報科学)。音楽情報科学, ウェアラブルコンピュータの研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2002 年より大阪大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手, 2005 年より同講師を併任。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005 年には同機構事務局長を兼務。2002 年には NEC インターネットシステム研究所客員研究員, 2004 年には英国ランカスター大学客員研究員, 2007 年 1 月より ATR 客員研究員を兼務。博士 (工学)。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手, 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授, 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て, 2002 年より大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり, 現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長, 2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長, その後 2007 年より大阪大学理事・副学長に就任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ビクトリア大学客員。データベース, マルチメディアシステムの研究に従事。現在, Data & Knowledge Engineering 等の論文誌編集委員。本会理事を歴任。本会論文賞を受賞。電子情報通信学会フェローを含め, ACM, IEEE 等 8 学会の各会員。