

タッチパネルデバイスを用いた 障がい者向けデータ入力システム

佐藤直人^{† a)} 野見山大史[†] 松原重喜[†] 中島誠[†] 杉本孝生[‡]

手や指に障がいがあるユーザにとって、通常の PC のキーボードは、データ入力時の身体的負担が大きい。PC の OS が提供するユーザ補助機能の利用や、トラックボールあるいは手首に固定するスティックなどの補助具の利用においては、効率の低下、肩こりや頭痛といった 2 次障がい指摘されている。本論文では、タッチパネルデバイスを用いた、障がいの程度に合わせてカスタマイズできるデータ入力システムを提案する。Web ブラウザを介して、日常的に利用する任意のアプリケーションへのデータ入力に利用できる。その有効性を、障がい者および健常者の両方を被験者とする実験によって検証し、考察と今後の展望を述べる。

A Data Input System using a Touch-type Device for a Person with Disabilities

NAOTO SATO^{† a)} TAISHI NOMIYAMA[†] SHIGEKI MATSUBARA[†]
MAKOTO NAKASHIMA[†] TAKAO SUGIMOTO[‡]

A data input system using a touch-type device, such as a tablet or smartphone, to reduce physical load of a company employee with functional disabilities is proposed. The data input system allows its users to send any text to an application on a daily-use PC via a Web browser, and to customize the key layout to fit their needs. The validation of the system was conducted through analysis that involved six functionally disabled company employees and twelve healthy university students. Although many disabled employees reported that anyone using the system needs training, they wanted to use it continuously.

1. はじめに

現在、日本国内の企業、公的機関には法定雇用率制度[1]が制定されており、障がい者が雇用される機会は増加している。そういった企業に雇用されている障がい者の多くが、主に PC を用いた、キーボードでのデータ入力作業に従事している。しかしながら、キーボードでのデータ入力作業は、身体に障がいをもつ人々にとって、その障がいの重度に関わらず、身体的負担が大きい。そのため、作業効率の低下だけでなく、頭痛、肩こりなどの二次障がいを生ずる原因となってしまうという問題がある。この問題を解消することが、企業の障がい者雇用の拡大につながるのではないかと期待されている。

障がい者のキーボードでのデータ入力作業の身体的負担が大きくなってしまふ原因として、大きく 3 つの問題が挙げられる。1 つ目は、基本的にキーの大きさ、キーピッチが固定であり、標準規格で定められた大きさとキーピッチは、障がい者にとって小さすぎるということである。障がい者の中には、指先でキーを押すのではなく、手の側面などを使ってキーを押す人が多いため、意図とは違うキーを押してしまうことが多くなる。そのような失敗を避けることに神経を使ってしまうことが、負担の増加につながって

しまう。2 つ目は、キーボードの自由な配置が困難なことである。キーボードは、そのサイズに多少の差はあるものの、机上で一定のスペースを必要とする。小さなサイズのキーボードであっても、机上に配置して利用することが前提であり、自由な配置は難しい。障がい者の中には、車いすを使用している人も多く、そういったユーザは、机上のキーボードの操作のために、腕を上げなければならない。長時間の使用により、頭痛や肩こりを引き起こしてしまう。3 つ目は、キーボードでのデータ入力では、腕や手を動かす範囲がキーボードの幅の分だけ広がってしまうことである。腕や手の移動量が多いと、その分負担が大きくなってしまふ。

本研究では、以上のような問題に対処した、障がい者向けデータ入力システムの設計と構築を目指している。本研究では、手や指を健常者のように動かさない機能障がい者をユーザとして想定し、iPad などのタッチパネルディスプレイから、PC のデスクトップ上で起動されたソフトウェアキーボードを操作し、データ入力作業を行うことができるシステムを提案する。本システムは、指でのスライド操作を必要としない、ツータップ入力を採用しており、また、キーのサイズ、キーピッチ、キーの位置をカスタマイズできる機能を有している。

以下、2 章で従来提案されているシステムの調査結果と、問題点をあきらかにし、3 章で、提案するシステムのデザインと実装方法を述べる。4 章で、作成したプロトタイプシステムを用いた被験者実験の結果を述べる。結果から、

[†] 大分大学工学部知能情報システム工学科
Department of Computer Science and Intelligent Systems, Oita University
[‡] 株式会社リフライ
Refly Corporation
a) v13e3010@oita-u.ac.jp

自由なキー配置が可能なカスタマイズ機能の有効性がわかり、通常のキーボードよりタッチパネルデバイスを用いたデータ入力への要求が高いことが分かった。最後に今後の展望について述べる。

2. 障がい者向けデータ入力システム

障がい者向けのデータ入力システムは、数多く存在している。ここでは、データ入力作業に適したシステムの設計を目指し、作業効率の低下と二次障がいを解消する目的に沿って、これらの技術的課題を述べる。

オペレートナビ TT[2]は、テクノツール社が販売しているソフトウェアで、主にテンキーを用いて文字入力を行うことを目的としている。文字パネルの上を移動するカーソルが、入力したい文字パネルの上に位置するときにキーを押すことで、その文字が入力されるという入力方式（スキャン方式）を採用している。入力方式の性質上、通常の入力方式よりも入力速度が低下してしまう。

Pete[3]は、アイデア・フロントが販売しているソフトウェアキーボードである。マウスを用いた文字入力、スキャン方式での文字入力、数個のボタンのみを用いた文字入力など、いくつかの入力方式を有している。しかしながら、どの入力方式においても、その入力速度に難があり、作業効率の低下を招いてしまう。

簡単キー[4]は、デジタル技研が販売しているソフトウェアで、同社から販売されている専用のハードを用いて、片手での文字入力を行うというものである。専用のハードを必要とすることや、カスタマイズが不可能であるため、障がいの程度の違いに対応できないといった問題がある。

上肢障がい者向け入力支援における研究[5]では、障がい者向けデータ入力システムとして、Wii Remoteを用いた入力システムを提案している。指に装備した指輪状の赤外線LED装置を、紙にプリントアウトしたキーボードの画像の上で点灯させ、Wii Remoteに感知させることで、文字入力を行える。プリントアウトしたキーボードを用いるため、細かなカスタマイズなどが期待できるが、赤外線LEDを感知させるための装置を設置しなければならず、その位置取りも限定されてしまう。また、赤外線LEDを点灯させるためには、指を押し込む動作が必要となるため、指先が動かない障がい者にとっては利用が難しい。

上で述べた従来の障がい者向けデータ入力システムの製品や研究は、障がい者でもPCを何とか利用できるようにするものであり、データ入力作業を業務とする障がい者を対象としていると言えない。しかしながら、スキャン方式や紙を用いる方法のように、力のいるキーを押す操作を避けられる方法が障がい者にとって適していることが示唆されている。実際、タッチパネルを用いた入力方法が誰にでも容易に使える便利さとデザインの自由度の高さから、障がい者向けと注目されている[6]。以下では、この示唆と

従来システムの問題点を考えにいった、データ入力システムを提案する。

3. 提案システム

前章で述べた従来のシステムの調査結果をもとに設計した、タッチパネルデバイスを用いたデータ入力システムについて述べる。

3.1 システムの要件

提案する障害者向けデータ入力システムは、以下の要件を満たすものとする。

- (1) 様々な程度の障がいに対応するために、キーのサイズや位置、キーピッチのカスタマイズが可能であること
- (2) 専用のハードを必要とせず、配置に自由度を持たせられること
- (3) データ入力作業を行う際の、腕や手の動く範囲が、キーボードよりも狭い範囲であること
- (4) 正確な位置のポイントが難しくても、データの入力は正確に行えること

これらの要件を満たすために、ここでは、PCのデスクトップ上で起動されたソフトウェアキーボードを、タッチパネルデバイスから操作することで、データ入力作業を行えるシステムを実現する。要件の1に対しては、ソフトウェアキーボードを用いることで、障がいのレベルに合わせたカスタマイズを容易に行うことができる。2に対しては、スマートフォンやiPadなど広く普及したデバイスを利用でき、3に対しては、直接の入力操作をタッチパネルデバイス上で行うことで、腕や手の移動範囲を狭めることができる。また、タッチパネルデバイスはキーボードと比べて、軽量かつ小型であるため、机上での配置に自由度を持たせることができる。4に対しては、小型のタッチパネルデバイスには、多くのキーを同時に表示できないことへの対処として、データ入力に際して、ツータップ入力という方法を採用する。手や指に障がいがあり、スライド操作が難しくとも正確なデータ入力が望める。

3.2 システムの実装方法

図1に、提案システムの概要を示す。PCのデスクトップ上で起動されたソフトウェアキーボードをタッチパネルデバイスから操作できるようにするため、ここでは、個人用アプリケーションを複数のデバイス間で共有することを可能にするミドルウェア、「コラボトレイ」を用いた[7]。コラボトレイは、図の中央にある円形のウィンドウで、これにウィンドウを載せるだけで、遠隔のデバイスからWebブラウザを介してアプリケーションが利用できるようになる。ここでは、コラボトレイにソフトウェアキーボードを載せることで、Webブラウザ上から、PCで起動しているアプリケーションに対して操作を行うことができるようにする。Webブラウザが利用できれば、どのようなタッチパネルデ

デバイスからでも、PC上で起動しているアプリケーションにデータ入力ができるようになる。

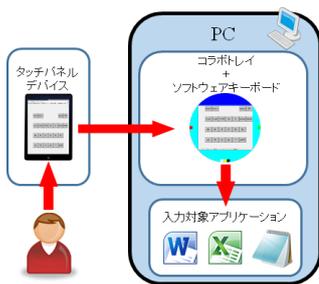


図1 提案システム概要

Figure 1 The configuration of the data input system.

3.3 プロトタイプシステム

図2に、プロトタイプシステム構築のため利用する、キー配置を変更できる機能を有したソフトウェアキーボードのデザインを示す。かな入力、数字入力、および英字入力は、タッチパネルデバイスの表示領域の制限から、切り替えを必要とする。文字キーをタップすることで、そのキーに表記されている文字と同じ行の文字キーが四方に展開される(図3)。展開された文字キーをもう一度タップすることで文字の入力が完了する。展開した状態で、他の行の文字キーをタップすると、展開された文字キーを収納し、あとからタップした行の文字キーが展開される。文字キーの他に、Ctrl キーを使ったショートカット機能を実行するキーや、ファンクションキーなども実装している。

カスタマイズ機能におけるキーの配置換えの例を図4に示す。図中左が、カスタマイズを行う前、右がカスタマイズ後の画面である。カスタマイズは、キー同士の位置を入れ替えることで行う。その際、元々何のキーも配置されていない箇所には、T1～T9までの文字が表記された空のキー(図の左で色をつけてある)が配置されており、そのキーと入れ替えることで、何も配置されていなかった箇所にも、任意のキーを配置することができる。ただし、文字キーなどの、展開を必要とするキーについては、展開のための領域を確保するため、画面端の箇所への移動は不可となっている。図4では、右上、BackSpace キーの左隣にあった Space キーを、何も配置されていなかった T2 の箇所に移動させている。

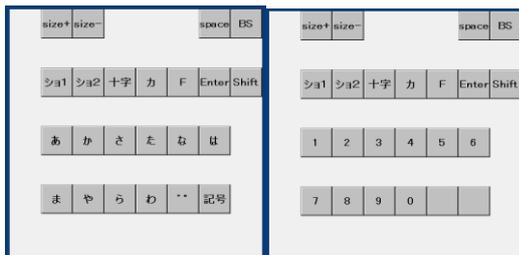


図2 かな入力画面(左)と数字入力画面(右)

Figure 2 Hiragana mode (left) and Number mode (right).

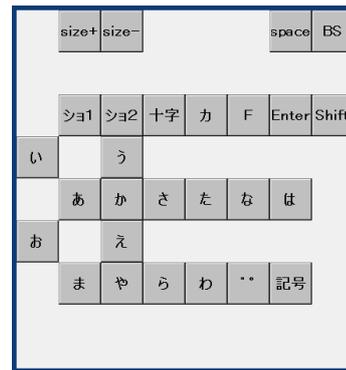


図3 文字キーの展開(あ行)

Figure 3 Displaying the letter keys for Japanese "a" column.

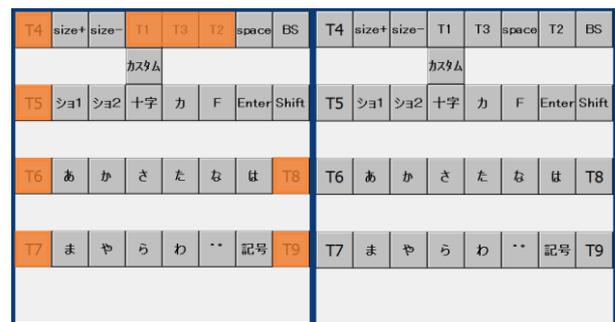


図4 カスタマイズ機能

Figure 4 Customizing the key layout.

4. 被験者実験

提案システムの有効性を検証するために、障がい者と健常者を被験者としたデータ入力実験を実施した。実験の概要述べる。

4.1 被験者

被験者は、企業に勤務中で、普段 PC を用いたデータ入力作業に携わっている障がい者 6 名と、大学工学部に所属する健常者の学生 12 名である。以下、それぞれを、グループ A およびグループ B と呼ぶ。グループ A に属する障がい者は手や指の機能に障害を有し、障がい等級[8]は身体 1 級から 2 級である。ただし、障がいの程度は様々で、指を使って直接キーボードからデータ入力をできる人や、ステイック状の補助具を用いてデータ入力を行っている人もいた。また、グループ B の被験者は全員、普段から PC での作業に慣れ親しんでいる者であった。

4.2 実験方法

普段使用している入力システム、提案システム、カスタマイズを行った提案システムの 3 つの入力システムそれぞれで、1 分間の決まった時間内でデータ入力タスクを行ってもらった。タスクの内容は、紙にプリントアウトされた文書を見ながら、同じ内容を PC のアプリケーションに入力してもらうというものである。普段使用している入力システム、提案システム、カスタマイズを行った提案システ

ムの順番でタスクを実行し、提案システムでのタスク実行の前には、5分間の練習時間を設けた。また、提案システムでのタスク終了後には、実際に、被験者にカスタマイズを行ってもらった。タスクの実行に伴って、各種データを計測し、全てのタスク終了後に、アンケートを実施した。

入力文書として、含まれる漢字の量が違い、入力難易度に差のある文章を2つ、4桁の数字を羅列したもの1つ、以上の3つの組み合わせを1セットとし、3セット用意した。連続したタスク実行に伴う入力への慣れを考慮し、使用する入力システムによって、利用するセットを変えた。以下では、入力難易度の低い文章を文書1、入力難易度の高い文章を文書2、数字のみのものを文書3と呼ぶ。図5に、入力文書の例(一部)を示す。

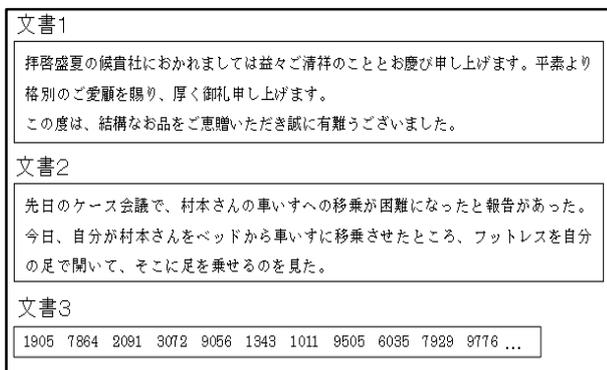


図5 入力文書の例

Figure 5 Example sentences.

4.3 実験環境

グループAは、被験者が勤務する企業のオフィスで、グループBは、所属する大学の研究室で実験を行った。いずれのグループも、普段使用している入力システムとしては、各自が普段から使用しているPCとキーボードを利用し、通常通り入力してもらった。提案システムのためのタッチパネルデバイスには、iPadを使用し、ノートPC上でデータ入力を行ってもらった。データ入力の対象アプリケーションには、文書1と2には、Microsoft Office Word2007、文書3にはExcel2007を使用した。グループAおよびグループBの被験者ともに、普段から対象アプリケーションを使用し、慣れていた。実験で行った文字入力では、普段使っているバージョンとの違いによる操作の違いはなかった。

4.4 評価方法

作業効率向上への有効性を見るため、各入力システム、入力文書毎に、入力文字数、キー操作回数を計測した。普段使用している入力システムを使った場合の入力文字数、キー操作回数に対する、提案システムを使った場合の入力文字数、キー操作回数の割合を求めた。その平均が、グループAとグループBとではどれだけ違うのかを確かめることで、提案システムの障がい者向けのデータ入力システムとしての有効性を調べた。また、カスタマイズ前の提案

システムを使った場合と、カスタマイズ後の提案システムを使った場合の入力文字数、キー操作回数の差を元に、カスタマイズ機能の有効性についても評価を行った。

実験のタスク完了後、被験者にはアンケートに答えてもらった。アンケートの項目は全部で5つあり、全て5段階のリッカート尺度(5.非常に同意できる, 4.同意できる, 3.どちらともいえない, 2.同意できない, 1.全く同意できない)で回答してもらった。以下に項目Q1~Q5を示す。

- Q1 提案システムについて、操作が反映されるまでの時間は適切だった
- Q2 提案システムのキーの初期配置は使いやすかった
- Q3 提案システムはカスタマイズによって使いやすくなった
- Q4 普段使っている入力システムと比べて提案システムでのデータ入力は疲労感が小さかった
- Q5 タッチパネルを用いたデータ入力システムを今後利用していきたい

その他、使用意見についても、自由に記述してもらった。

5. 実験結果と考察

実験結果をもとにした、作業効率に対する有効性とカスタマイズ機能についての評価結果と考察を述べる。

5.1 作業効率の変化

普段使用している入力システムを使用した場合の入力文字数とキー操作回数に対する、提案システムを使用した場合の入力文字数とキー操作回数それぞれの割合の、グループ毎の平均を表1に示す。たとえば、グループAの障がい者が提案システムを利用して文書1を入力したときは、普段使用している入力システムを利用したときの27%の文字を入力できていた。

表1 提案システムでの入力文字数とキー操作回数の割合
Table 1 The average ratios of the numbers of inputted letters and touched keys to the numbers for the daily-use system.

	グループ	
	A	B
入力文字数	文書1	0.27
	文書2	0.23
	文書3	0.68*
キー操作回数	文書1	0.39
	文書2	0.30
	文書3	0.68

文書3のデータ入力では、普段使用している入力システムを使用した場合の入力文字数に対する、提案システムを使用した場合の入力文字数の割合について、グループAはグループBよりも小さく、また、有意差が見られた(t

検定, $p < 0.05$). 一方, 文書 1, 文書 2 を用いたデータ入力においては, グループ A とグループ B それぞれの, 入力文字数, キー操作回数の中に, ほとんど差は見られない. 文書 3 を用いたデータ入力においては, グループ A の方が, 提案システムを使用した場合の作業効率の低下の幅が大きく, 文書 1, 文書 2 を用いたデータ入力においては, 提案システムを使用した場合の作業効率の変化の幅に, グループ A とグループ B の間で差はほとんどなかった.

文書 3 は, 4 桁の数字を羅列した文書であるため, その入力作業が非常に単純で, 提案システムを使用する場合でも, 目的の数字キーを 1 度タップするだけ完了するため, 提案システムへの慣れをあまり必要としなかったことが原因と考えられる. それに対して, 文書 1 や文書 2 のような, 漢字が含まれる文章を入力する際には, 提案システム独自の手順を踏む必要があるため, 健常者といえども習熟を必要とすることを示唆しているといえる.

表 2 入力文字数とキー操作回数の平均 (グループ A)

Table 2 The average numbers of inputted letters and touched

keys (group A).		
	カスタマイズ前	カスタマイズ後
入力文字数平均		
文書 1	7.2	8.3
文書 2	6.3	9.2*
文書 3	24.7	27.5
キー操作回数平均		
文書 1	34.3	39.2
文書 2	36.7	41.3
文書 3	40.3	45.6

表 3 入力文字数とキー操作回数の平均 (グループ B)

Table 3 The average numbers of inputted letters and touched

keys (group B).		
	カスタマイズ前	カスタマイズ後
入力文字数平均		
文書 1	11.4	11.8
文書 2	13.0	14.3
文書 3	50.6	58.9*
キー操作回数平均		
文書 1	54.9	58.1
文書 2	57.2	58.9
文書 3	81.1	92.9*

5.2 カスタマイズの効果

提案システムのカスタマイズ機能の有効性をみるために, カスタマイズ前とカスタマイズ後での, 各被験者の入

力文字数とキー操作回数を調べた. 表 2 にグループ A での, 表 3 にグループ B の結果を平均でそれぞれ示す.

グループ A では, 提案システムを用いた文書 2 のデータ入力において, カスタマイズ前よりカスタマイズ後の方が有意に多くの文字を入力できていた. 一方でグループ B では, 文書 3 のデータ入力において入力文字数, キー操作回数の両方で, カスタマイズ前より, カスタマイズ後の方の効率が有意に良かった (いずれも t 検定, $p < 0.05$). その他の場合においても, 有意差は見られなかったが, カスタマイズ前よりも, カスタマイズ後の提案システムを使用した場合の方が, 入力文字数とキー操作回数共に多くなった. 前節の結果とあわせて, 習熟度が上がれば, カスタマイズ機能の効果がより明らかになると考えられる.

表 4 グループ A のアンケート結果 (人数)

Table 4 Statistics of the answers to the questions (group A).

項目	評価				
	5	4	3	2	1
Q1	1	2	1	2	0
Q2	0	0	3	3	0
Q3	1	4	1	0	0
Q4	0	1	3	2	0
Q5	1	2	2	1	0

表 5 グループ B のアンケート結果 (人数)

Table 5 Statistics of the answers to the questions (group B).

項目	評価				
	5	4	3	2	1
Q1	6	5	1	0	0
Q2	0	0	7	4	1
Q3	1	8	3	0	0
Q4	1	0	4	6	1
Q5	1	2	3	5	1

5.3 アンケート結果

表 4 と 5 に, それぞれグループ A と B の被験者からのアンケートの結果を, 項目ごとに評価人数で示す. アンケート結果の有意差については, 評価 5 および 4 を肯定意見, 2 および 1 を否定意見とし, 符号検定 (有意水準 5%) によって違いを調べた.

提案システムの動作に関する Q1 への回答は, グループ A には有意差がなく, グループ B には有意差が見られた. 両グループ共に肯定意見の方が多く, タッチパネルディスプレイを用いた提案システムの操作反映速度は, 使用感において適切であったと言える.

提案システムのキーの初期配置に関する Q2 への回答で

は、両グループ共に有意差が見られ、否定意見の方が多かった。初期配置が使いづらかったと言えるが、一方で、カスタマイズ機能に関する Q3 の回答では、両グループ共に有意差が見られ、肯定意見が多かったことから、提案システムのカスタマイズ機能が操作感の向上のために有効であったと評価できる。否定意見をもった被験者は、その理由として、カスタマイズ機能に自由度がなかったことを挙げている。5.2 節の結果と合わせて、提案システムのカスタマイズ機能は有効であることがわかった。ただし、今後、カスタマイズ機能の自由度の向上のための改良をしていく必要がある。

疲労感についての質問 Q4 での回答では、グループ A には有意差がなく、グループ B には有意差が見られた。提案システムを使用した場合の疲労感は、普段使用している入力システムを使用した場合と比べて、増加しているということがわかった。この項目で否定意見をもった被験者に、その理由を併せて記述してもらった。グループ A では、6 人の被験者のうち、2 人が否定意見をもっており、その両者が、提案システムに慣れていないことが、疲労感の増加の理由であるとしていた。慣れればもっと入力が早くなるという意見を述べた被験者もいた。

今後の利用に関する Q5 への回答では、両グループともに肯定意見の方が多かったが、有意差は見られなかった。グループごとに結果を見てみると、グループ A では、12 人の被験者のうち、3 人のみが肯定意見をもっており、グループ B では、6 人の被験者のうち、3 人が肯定意見であった。グループ A で、唯一否定意見をもった被験者は、その理由として、キーボード入力に慣れていることを挙げている。この被験者は、普段キーボードを使用してデータ入力を行っており、そのスピードは健常者とあまり差がないことが、実験の結果からわかっている。障がい者が重度である被験者ほど、タッチパネルデバイスを使用したデータ入力システムへの期待感をもっていると考えられる。

以上のことから、提案システムを、障がい者向けデータ入力システムとして利用するうえで、システムへの慣れが、その有効性を左右する重要な要素であることがわかった。今後長期的な評価実験を実施していくことで、提案システムの有効性を、より明確化できると考えられる。

6. おわりに

障がい者の、キーボードでのデータ入力作業の負担を軽減する目的で、タッチパネルデバイスを使用し、カスタマイズ機能をもったソフトウェアキーボードを操作してデータ入力を行うシステムを提案した。提案システムが、障がい者向けデータ入力システムとして有効であるか、また、カスタマイズ機能の必要性はあるのかを検証するための被験者実験を実施した。実験の結果、長期的な使用と、慣れが必要であるが、タッチパネルデバイスを用いたデータ入

力システムは、障がい者向けデータ入力システムとして期待できることがわかった。また、カスタマイズ機能について、その必要性が確認できた。今後は、カスタマイズ機能の自由度を向上させ、さらに長期的な試用を通じて、有効性の調査を行う予定である。

参考文献

- 1) 厚生労働省 “障害者雇用率制度”
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/koyou/shougaisha/04.html>
- 2) テクノツール株式会社 “オペレートナビ TT”
<http://opnv.ttools.co.jp/>
- 3) アイデア・フロント株式会社 “Pete”
<http://www.ideafront.jp/PeteHP/index.html>
- 4) 有限会社デジタル技研 “簡単キー”
http://www.d-tech.jp/n_kkbox30.html
- 5) 久楽忠昭, 大西克実, 中野秀男, 上肢障がい者向け入力支援における研究, *Journal of Infomatics* 8(1), 2011-00-00
- 6) Chen, K. et al.: Touch screen performance by individuals with and without motor control disabilities, *Applied Ergonomics*, Vol. 44, pp. 207-302 (2013).
- 7) Abe, Y. et al.: Tolerant sharing of a single-user application among multiple users in collaborative work, *Companion Proc. CSCW2010*, ACM Press, pp. 555-556 (2010).
- 8) 厚生労働省 “障害等級表”
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/rousaihoken03/>