

# 電子情報工学専攻

Advanced Course of Electronics and Information Engineering

平成 23 年度 専攻科特別研究論文

## 題 目

携帯端末におけるソフトウェアキーボードの  
表示位置に着目した使いやすさの評価

## 英 文 題 目

Usability Evaluation for Smartphone Keyboard  
based on Display Position

指導教員名 上野 秀剛

論文提出者名 中川 尊雄

独立行政法人 国立高等専門学校機構

奈良工業高等専門学校 専攻科

Institute of National Colleges of Technology, Japan

Faculty of Advanced Engineering at Nara National College of Technology

# 携帯端末におけるソフトウェアキーボードの 表示位置に着目した使いやすさの評価

Usability Evaluation for Smartphone Keyboard  
based on Display Position

中川 尊雄

Takao Nakagawa

独立行政法人 国立高等専門学校機構

奈良工業高等専門学校 専攻科 電子情報工学専攻

大和郡山市矢田町 2 2 番地 (〒639-1080)

Institute of National Colleges of Technology, Japan

Faculty of Advanced Engineering at Nara National College of Technology,

Yata-cho 22, Yamatokoriyama-shi, Nara 639-1080, Japan

**ABSTRACT:** To prevent errors during operation and improve work efficiency, usability evaluation and improvement of user interface (UI) for software system have been studied. On the other hand, mobile devices which have touchscreen, called smartphone or slate computer has become popular. Most of these devices have two characteristics compared with previous mobile devices: 1) they have a touchscreen as main UI hence users operate graphical user interfaces (GUIs) displayed on the screen directly by fingers or a pen and 2) different devices made by different companies have similar GUIs because the devices use the same mobile OS. Furthermore, usability evaluation and improvement for one of the GUI components affects many devices which use similar GUI component, hence importance of the usability evaluation for GUI components is more valuable than for previous mobile devices. In this paper, I evaluate one of the GUI components, software keyboard from the viewpoint of how position of software keyboard on touchscreen affects usability. Software tool to record user operation history on software keyboard was developed for evaluation experience. In an experiment, three positions of software keyboard were tested. As a result, keyboard placed on top or middle of the display takes better error rate and subjective evaluation than the de-fact standard position, bottom of the display.

## 目次

|         |                  |    |
|---------|------------------|----|
| 1       | はじめに             | 1  |
| 2       | 関連研究             | 3  |
| 3       | ソフトウェアキーボード      | 5  |
| 4       | 実験               | 7  |
| 4. 1    | ツール              | 7  |
| 4. 1. 1 | キーボードと問題の表示      | 7  |
| 4. 1. 2 | 操作記録             | 9  |
| 4. 1. 3 | ローマ字かな変換         | 10 |
| 4. 1. 4 | 加速度センサの値の記録      | 11 |
| 4. 2    | 実験の設定            | 11 |
| 4. 3    | タスク              | 12 |
| 4. 4    | 実験手順             | 12 |
| 4. 5    | 結果の集計方法          | 13 |
| 5       | 結果               | 15 |
| 5. 1    | <b>SPM と EPM</b> | 15 |
| 5. 2    | 振動度              | 15 |
| 5. 3    | アンケート            | 16 |
| 6       | 考察               | 17 |
| 6. 1    | 各キーボードの比較        | 17 |
| 6. 2    | 熟練者と初心者の差        | 18 |
| 6. 3    | 振動度              | 19 |
| 7       | おわりに             | 22 |

## 第1章 はじめに

システムの使いやすさを向上させ、操作時の煩わしさや誤りを防ぎ、作業の効率を向上させることを目的に、ユーザインターフェース(UI)のユーザビリティ評価や改善について研究がなされている。

他方で、タッチパネルを搭載した携帯電話や PDA のような片手で保持できるサイズの端末（以下、スマートフォン）が広く普及している。これらの端末は、画面表示やボタン操作など、UI の多くがタッチパネル上のグラフィカルユーザインターフェース(GUI)として提供されるものが多い。スマートフォンやスレートコンピュータを除く従来型の携帯端末では、一般的に本体に据え付けられたテンキーや方向キー、決定ボタンなどの物理的なボタン（ハードウェアボタン）が入力用のインターフェースとして用いられている。これらの端末のインターフェースは、機種ごとに別々のデザイン・配置がとられており、それぞれの機種ごとにユーザビリティ評価が行われている。

しかし、スマートフォンやスレートコンピュータにおいては、主にタッチパネルディスプレイ上に表示された仮想的なボタン（ソフトウェアボタン）を入力に用いており、従来のようなハードウェアボタンは数が少ない傾向にある。ソフトウェアボタンの表示と入力の受け取りはモバイル OS と OS 上で動作するアプリケーションで行われるため、ソフトウェアの面からの携帯端末のユーザビリティ評価を行う必要性が大きくなっている。さらに、これらの端末においては汎用のモバイル OS を採用している機種が多いため、ひとつのモバイル OS やソフトウェアにおけるインターフェースのユーザビリティを評価・改善することが、複数の機種 of ユーザビリティを評価・改善することにも繋がる。

タッチパネルによる文字入力インターフェースの一つに、文字入力用にソフトウェアボタンをキーボードの形に表示するソフトウェアキーボードがある。ソフトウェアキーボードはスマートフォンを含む携帯端末でも多く採用されている。ソフトウェアキーボードのユーザビリティ評価に関する研究はこれまでも多くあり、銀行の ATM や図書館の検索システム、家庭用コンピュータなどといった大型の端末が対象とされている[1][2]。しかし、スマートフォンのタッチパネルはこれらに比べて小型なものが用いられている。そのため、スマートフォンのソフトウェアキーボードでは、キーのサイズ、キーとキーの間隔、使用時の姿勢など、大型のタッチパネル上のソフトウェアキーボードとは異なる観点から使いやすさをはかる必要がある。さらに、本体が小型であるため、本体の保持と操作を片で行う場合や片手で保持し、もう片方の手で操作する場合などが考えられ、これらの差が使

いやすさに与える影響も考慮する必要がある。たとえば、小さな画面上に配置するキーボードもしくはキーのサイズや位置が、ユーザビリティに与える影響などについてである。

このような、タッチパネルを搭載した小型の端末に対するユーザビリティ評価の研究は従来にも行われているが、いずれもソフトウェアキーボードのような、大量のボタンがセットになった UI の画面上の表示位置とユーザビリティの関係について触れていない。

これらの背景を踏まえて、画面上に表示するソフトウェアキーボードの配置がユーザの入力時のふるまいや主観にどのような影響を与えるのかを知る必要があり、また状況に応じて使い分けを必要とするのであれば、どのように使い分けるべきなのかといった知見を得ることが必要である。

また、スマートフォンでは、モバイル OS を提供する会社、あるいは団体が民間の企業や個人の開発者に向け、ソフトウェア開発用にツールのセットを提供していることが一般的である。そのため、これまでに携帯端末向けのソフトウェア開発を行った経験のない企業や個人が参入する機会が増えている。しかし、携帯端末向けのソフトウェア開発を行った経験のない企業や個人には携帯端末の UI 設計に関するノウハウが不足している可能性が高く、その点でもソフトウェアキーボードのユーザビリティについて知見を得ることは重要と言える。

そこで本論文では、片手で操作できるサイズのスマートフォンを対象に、タッチパネルディスプレイ上に表示したキーボード（ソフトウェアキーボード）の表示位置に着目し、表示位置がユーザビリティに与える影響について調査する。

## 第2章 関連研究

従来から、携帯端末の使いやすさをソフトウェアの面から評価する研究が行われている。Karlson らは、携帯端末の小さな画面においてテキストベースの Web 検索をする際に、キーワード検索では候補の絞り込みが難しい点に着目し、方向キーを使ってカテゴリサーチを行う方法を提案・実装している[3]。長谷川らは、小型タッチパネルを搭載した端末への指入力補助のために、タッチパネルを円形になぞると中心を選択する機能や、タッチ領域周辺を拡大表示する機能などを4つのツールの形で提案し、開発を行った[4]。増井は、携帯端末への文字入力補助のため、文字列の一部を打ち込むと、変換予測辞書から合致する文字列を候補文字列として使用者へ提示し、その候補から一つを選択することで文字入力を行うソフトウェア、POBox を作成した[5]。

他に、新しいタイプのソフトウェアキーボードの提案として、郷らによる CATKey[1]がある。これは、利用者がタッチパネル上のキーをタッチした際に、タッチした位置を中心点としたボロノイ線図を書くことによってキーボードの最適化を行うというものである。また、入力中の文字列によって動的にレイアウトを変更するものとして、Aulanger らによる FloodKey[2]がある。これは、利用者がソフトウェアキーボードを用いて入力を行っている最中に、次に押される確率の高い文字列を 5-gram によって判定し、CATKey のようなタッチ中心点の取得とあわせて重みつきボロノイ線図によってキーボードを変化させていくというものである。

また、君岡らはマルチタッチ機能を用いて文字入力を行うキーボードを提案している[6]。これは、日本語文字入力において端末を両手で把持した場合に両手親指を使ってそれぞれ母音と子音を選択し、特殊文字の入力には母音を選択する指でジェスチャーを行うことで少ないストローク数での文字入力を実現するものである。

このように新しい操作方法や入力方法、キーボードの提案が行われる一方で、既存のレイアウトやキーの配置、サイズについての調査も行われている。MacKenzie らは、ソフトウェアキーボードのレイアウトの違いに着目し、Sears らは、ソフトウェアキーボードのサイズの違いに着目し、それぞれが使いやすさに与える影響がどのようなものかを調査・評価した[7][8]。また、片手親指で携帯端末を操作することに関する調査研究もいくらか行われている[9][10]。

しかし、キーそのものの配置やキーボードのサイズについて触れられていても、ソフトウェアキーボードの表示位置に着目した研究は行われていない。また、ここまで例に挙げ

た携帯端末のソフトウェアキーボードを対象とした研究であっても、配置について文中で触れていないか、あるいは Sears らのものや君岡らのもののように、画面下部に表示されている(図 1).

本研究ではスマートフォン上のキーボードの表示位置に着目し、表示位置が使いやすさにとどのような影響を与えるかを評価する.

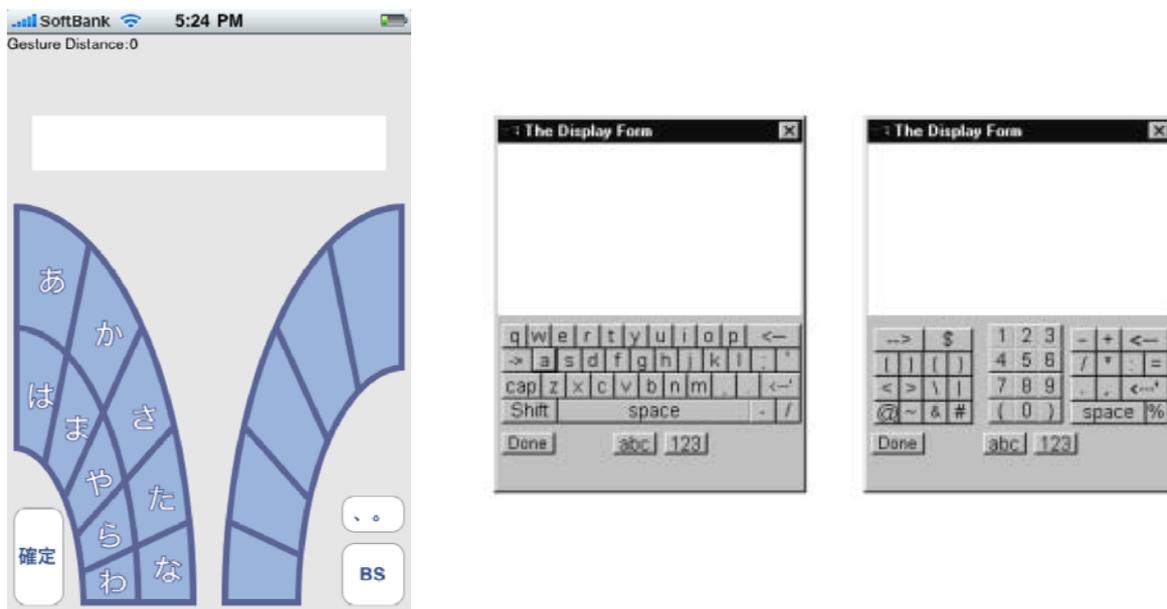


図 1.画面下部に表示されるキーボード[6][8]

### 第3章 ソフトウェアキーボード

ソフトウェアキーボードは、使用者が文字列を入力するための GUI コンポーネントの一種であり、次に示す特徴をもつ。

1. 開発者がキーの配置，サイズを自由に変更できる
2. キーを押した際に物理的な動きが無く，押した感覚が得られない
3. キーとキーの間を手で感じる事が出来ない[11]

これらの特徴のために，ソフトウェアキーボードの開発者はその配置やサイズ，操作方法について従来とは異なる設計を行う必要がある。たとえば，キーを押した際に物理的な動きがないことは，使用者にフィードバックを返さないことを示すため，使用者が戸惑いを覚える可能性があるが，このような現象によって使用者が使いにくく感じないように考慮する必要がある。また，キーとキーの隙間を手で感じられない以上，画面を見ずに入力を行うことが難しいため，それに沿ったインタフェースを作る必要がある。図2に種々の OS 上に実装されたソフトウェアキーボードのスクリーンショットを示す。図は左から，a)QWERTY 配列のキーボード，b)複数回ボタンを押す方式の，従来の携帯端末でよく用いられたキーボード，c)50音上の行を選択後，指をスライドさせることで列を決定するフリック方式のキーボードの三種類である。



(a)QWERTY 方式

(b)テンキー方式

(c)フリック方式

図 2.さまざまなソフトウェアキーボード

このように、利用者は場面や自分の好みに応じて、ソフトウェアキーボードを選択することができる。しかし、たとえば異なる OS や異なる種類のソフトウェアキーボードであっても図 2 に示したとおり、キーボードが画面下に表示されていることが一般的であり、利用者が自分の好みによってキーボードの位置を選択することができない。

画面に対する入力を行う際、使用者は両手操作を行う場合と片手操作を行う場合が考えられる(図 3)が、スマートフォン使用者に対するアンケート調査で、全体のうち 74%が片手で本体を保持し、同じ手の親指で操作を行っているという結果が出ている[12]。しかし、現状ではソフトウェアキーボードの配置に関する資料や、位置変更のできるソフトウェアが存在しないことや、スマートフォン本体が従来の携帯端末に比べて重量があることなど、片手操作の特性が充分考慮されているとは言い難い。

たとえば画面下にキーボードが表示されている場合、使用者が片手で文字入力をしようとすると、図 4 左側のように本体の下部（重心より下の位置）を保持して不安定な状態で操作を行うか、図 4 右側のように本体の中央部（重心の位置）を保持して親指を下に伸ばす必要がある。いずれの方法でも、使用者が使いにくさを感じる可能性があるため、ソフトウェアキーボードの画面上の表示位置がスマートフォンを片手操作する際のユーザビリティに与える影響を明らかにする必要がある。



(a)両手操作

(b)片手操作

図 3.スマートフォンの片手操作と両手操作

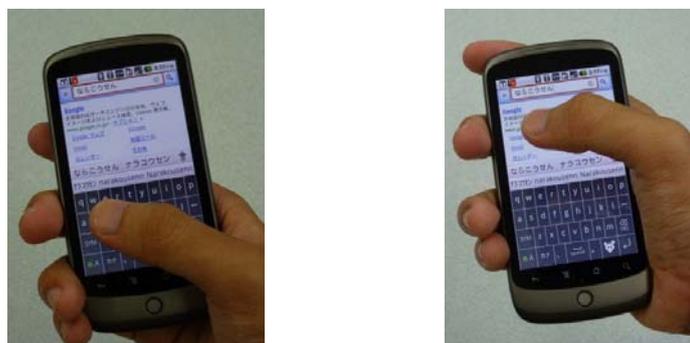


図 4.ソフトウェアキーボードの表示位置と片手操作

## 第4章 実験

3章でも述べたとおり，ソフトウェアキーボードを用いて入力する際，デファクトスタンダードな配置である，ソフトウェアキーボードを画面下部に表示する方式の場合，操作性に影響が出る可能性が考えられる．そこで，ソフトウェアキーボードの配置を変えることで，ユーザビリティにどのような影響を与えるかについて明らかにするため，ソフトウェアキーボードの位置を変更し，文字入力の記録を取るためのツールを作成し，被験者実験を行った．実験では，被験者に QWERTY キーボードによる文字入力タスクを行ってもらい，その間のキーボードの操作ログと，本体の振動を取得するために加速度センサの値を取得する．また，実験終了後は各配置の使いやすさについて五段階のアンケートに答えてもらう．評価には，定量的評価として操作ログから計算した一分当たりの入力速度(SPM: Stroke Per Minutes)や1分当たりの入力ミス(EPM: Error Per Minutes)を，定性的評価としてアンケート結果を用いる．また，本体の安定性を測るために，振動を加速度センサから求める．

以下の節で，実験に用いたツールや，結果の算出方法について詳しく説明する．

### 4.1 ツール

単語入力タスクを表示し，文字列入力時の使用者のキーボード操作履歴と，操作中の本体の振動を記録するツールを作成した．ツールは Android2.2 上で動作し，a)キーボードと問題の表示，b)操作記録，c)ローマ字かな変換，d)加速度センサの値の記録の四つの機能を持つ．以降，それぞれの機能についての解説を行う．

#### 4.1.1 キーボードと問題の表示

図5に初期設定画面を示す．初期設定画面は，キーボードの表示位置とログファイルに使う使用者の名前を設定する画面であり，キーボードの表示位置を選択するボタンを押すと，問題文字列入力画面に遷移する．図6に問題文字列入力画面を示す．問題文字列入力画面は，文字列提示部とキーボードの二つの部分から構成されている．この画面では，キーボードの位置を初期設定画面での選択に応じて変更して表示する．文字列提示部は三行のテキストを表示する部分で，上から順番に，問題文字列，問題文字列のかな表示，現在入力中の文字列のかな表示である．これらは使用者が入力中の文字列と問題を確実に理解できるように表示されており，入力中の文字列のかな漢字変換は行わないため，かな表示の問題文字列も併記した．

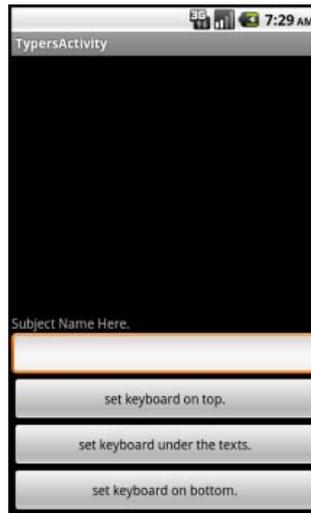
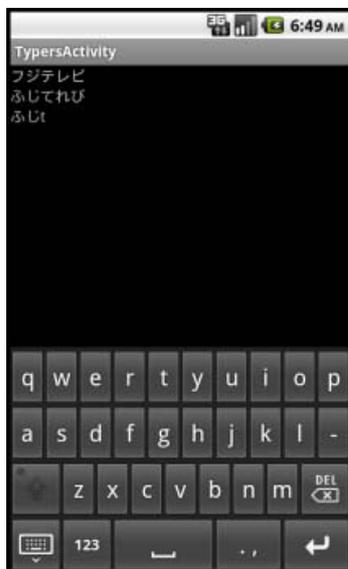
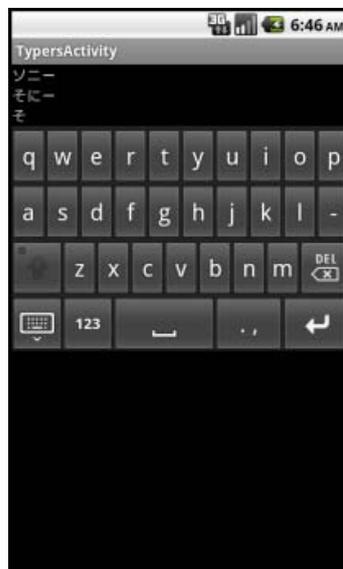


図 5.初期設定画面



(a)画面下部



(b)入力部直下



(c)画面上部

図 6.問題文字列入力画面

キーボードは、通常のキーボードと同様に現在入力中の文字列のかな表示を編集することが出来る。キーボードの表示位置は、図 6 に示した(a)画面下部、(b)入力部直下、(c)画面上部とした。「画面下部」は従来どおりの表示位置で、スマートフォンにおけるデファクトスタンダードとなっている。本研究では「画面下部」の反対に相当する表示位置として「画面上部」と、文字列入力部の真下に表示する方式である「入力部直下」を用意した。

問題はひとつのキーボードに対して 10 個表示され、10 回問題が出題されるとツールは自動的に終了する。画面遷移の流れを図 7 に示す。

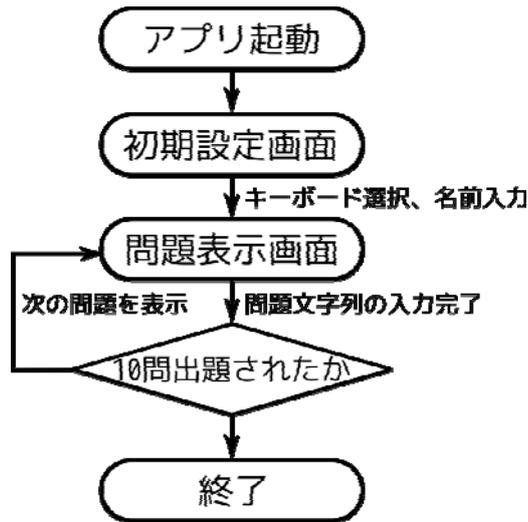


図 7.ツールの画面遷移

#### 4. 1. 2 操作記録

ツールは，問題文字列入力画面が表示されている間，使用者が入力操作を行った記録を取得し，ファイルに記録する．この際の文字入力はローマ字かな変換が行われるが，その仕様については 4. 1. 3 節に示す．

実際に取得されたログの例を図 8 に示す．データはカンマ区切りで表現され，入力時刻，入力されたキーコード，入力中の文字列の順番に記録される．

```

2011/03/16 16:39:07.910, 101, て
2011/03/16 16:39:09.253, 110, て n
2011/03/16 16:39:10.506, 107, てん k
2011/03/16 16:39:10.833, 117, てんく
2011/03/16 16:39:11.999, -5, てん
2011/03/16 16:39:12.709, 107, てん k
2011/03/16 16:39:12.882, 105, てんき
2011/03/16 16:39:14.023, 121, てんき y
2011/03/16 16:39:14.483, 111, てんきよ
2011/03/16 16:39:14.859, 104, てんきよ h
2011/03/16 16:39:15.221, 111, てんきよほ
2011/03/16 16:39:15.633, 117, てんきよほう
  
```

図 8.取得されたログデータ

5章において被験者実験の結果として SPM, EPM の値を算出するため、前準備としてログから、入力時間、キー押下回数、手戻り発生回数、そして無効入力数の四種の値を計算する。

キー押下回数は、出題文字列を入力し始めてから入力し終わるまでに打ち込んだキーの数である。たとえば「りんご」と打つ際に"ringo"と打てば 5, "rinngo"と打てば 6 である。

手戻り発生回数は、出題文字列を入力し始めてから入力し終わるまでの間に、単語の訂正のためにバックスペースが入力された回数である。ただし、入力文字列がないのにバックスペースキーが入力された場合はこれを数えない。

無効入力数とは、出題文字列を入力し始めてから入力し終わるまでの間に、バックスペースを押した際、何操作分手戻りが発生したかを表す数である。たとえば、"あさ(asa)"と入力するつもりが、"あし(asi)"と入力し、バックスペースキーで訂正を加えて"あ(a)"となった場合は、"し(si)"の入力が手戻りしたと見なし、無効入力数は 2 である。同様に、"あし(ashi)"と入力し、バックスペースで訂正を加えて"あ(a)"となった場合は、"し(shi)"の入力が手戻りしたと見なし、無効入力数は 3 となる。

#### 4. 1. 3 ローマ字かな変換

問題文字列入力画面では、被験者がローマ字入力した文字列をローマ字かな変換する必要がある。本ツールでのローマ字かな変換の仕様を示す。

まず、入力方式は日本語のローマ字入力、かな漢字変換は行わないものとする。また、日本語のローマ字入力では「三丁目」という言葉を入力する際にたとえば"sanchoume", "santyoume", "sannchoume"など複数の方法での入力が可能であることが一般的である。そのため、この入力のブレを許容するために、Microsoft が公開している日本語ローマ字入力の仕様に関するドキュメント<sup>1</sup>を参考に、複数の入力を受け付けるようにした。

ただし、本ツールではバックスペースキーで文字の削除を試みる時、「しゃ」「ちゃ」などのかな小文字を含んだ文字列を一文字と認識して削除するという点で、一般的に PC 上に実装されている日本語のローマ字入力とは異なる動作をする。

この特殊な動作は、実験でバックスペースキーが押された際の無効入力数を正常に計算するために行われる。例えば"sha"と入力して「しゃ」と表示された後、バックスペースで「ゃ」のみが削除出来ると、「し」が残ってしまい、"sha"という元の入力のうち、どこま

---

<sup>1</sup> <http://office.microsoft.com/ja-jp/support/HA001057229.aspx>

でが手戻りしたのか判別できないという問題を避けるためである。

#### 4. 1. 4 加速度センサの値の記録

また，問題文字列入力画面では，使用者が文字列を入力しているあいだ，本体の振動を記録する．本体の振動のためには加速度センサを用いる．

加速度センサの値の取得は Android が標準でサポートしており，X，Y，Z の三軸ごとにそれぞれ加速度の値を取得することができる．本実験で用いるデバイスにおいては図 9 に示す通り X，Y，Z 軸が設定されている．

本ツールにおいては，問題文字列入力画面が表示されている間，加速度センサの値が変化するとともに三軸の値を時刻とともに記録する．記録したファイルのことを，以降加速度センサログと称する．センサ値の更新は 1 秒間におよそ 28.6 回起こる．

実験に用いる際，加速度  $acc$  は三軸の値をそれぞれ X，Y，Z 軸へのベクトルとしてその絶対値をとったものを用いる．すなわち， $acc$  は三軸それぞれの加速度センサの値を  $A_x$ ， $A_y$ ， $A_z$  としたとき，式(1)によって求められる．

$$acc = \sqrt{Ax^2 + Ay^2 + Az^2} \quad (1)$$

#### 4. 2 実験の設定

この節では実験を行った環境と，被験者について述べる．被験者は 24 名で，全員奈良工業高等専門学校 of 学生である．また，年齢は 15 歳から 22 歳の間で，平均が 18.5 歳である．被験者のうち 12 名がスマートフォンを一か月以上使用した経験があり（以降、

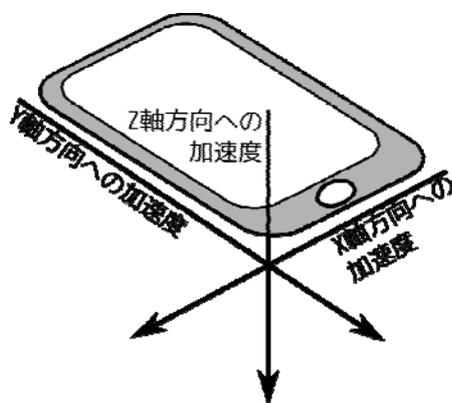


図 9. 実験に用いるデバイスの三軸加速度センサの設定



図 10.実験に使用するデバイス

熟練者), 残りの 12 名は一度も使ったことがない (以降、初心者).

実験に用いるキー配列は, QWERTY 配列 (図 6 参照) とした. これは, 実験用ツールの実装にあたって設計が容易であり, 一般に初期設定として採用されていることから適切であると判断したためである.

また, 本実験においては表示位置ごとの差について比較を行う. この際, 熟練者が普段使用している入力方式は, どのような種類であろうとも画面下部に表示されている. そのため, 普段使用している入力方式の違いが表示位置の違いによる傾向に与える影響は小さいと判断し, ここでは調査対象としない.

実験用のデバイスには, htc 製のスマートフォンである NEXUS One を使用した. 実験に使用したデバイスを図 9 に示す.

被験者は全員, 周囲が静かな環境において, 外出時や公共交通機関での移動中などを想定した起立状態で利き手による操作を行う.

#### 4. 3 タスク

タスクは Web 検索で文字列を入力することを想定し, 3~8 文字程度の指定した文字列を画面に入力するものである. 10 タスクを 1 セットとし, すべての被験者につき, 3 種のキーボードに対してそれぞれ 1 セットずつ, 同じ順番で合計 30 件のタスクを与える.

入力する文字列は Web 検索を想定しているため, サーチエンジン(Yahoo! JAPAN)の検索キーワードランキングの上位 100 個から, 人名, アルファベット列を除いたうえでランダムに抽出した.

被験者 24 人について, 3 種類のキーボード, 10 件の単語なので, 最終的なタスク数は

720 件となる。被験者がどの順番でどのキーボード配置を使うかについては、学習効果を考慮してカウンターバランスをとった。

また、加速度センサの値の記録については、このうち半分の 12 名（初心者 6 名，熟練者 6 名）に対して行った。

全タスク終了後にはそれぞれのキーボードについて、どの程度使いやすかったかを問う 5 段階のアンケートに答えてもらう。

#### 4. 4 実験手順

実験は、それぞれの被験者について、ひとりずつ部屋に呼んで行う。被験者には実験手順を記した手引書を配布し、その通りに操作を行ってもらう。まず、実験手引書を内容を理解するまで良く読み、読み終わったら合図をしてもらう。合図があったら、実験の手引書を回収し、実験用デバイスを渡す。被験者は手引書の記載のとおり、名前を入力し、こちらから伝えた順にキーボードを選択し、画面に表示された問題文字列を入力する。

#### 4. 5 結果の集計方法

720 件のログから、入力速度やエラー発生頻度などの値を算出する。

以上の値をすべてのタスクについて求めたのち、それらを利用して評価のための指標として SPM と EPM，また、加速度センサ値のログから振動度合を算出する。なお、加速度センサ値のログは、24 名の被験者のうち 12 名の被験者に絞って集計した。12 名のうち 6 名が初心者，6 名が熟練者である。

SPM(Stroke Per Minutes)とは、一分間当たりのキー押下回数のことである。以下に示す式(2)によって算出する。

$$\text{SPM} = \frac{\text{キー押下回数}}{\text{入力時間}} \times 60 \quad (2)$$

SPM は入力速度をあらわしており、値が高いほどよい。一般的に文字入力タスクでの入力速度を測るのには、文章を入力した際の WPM(Words Per Minutes)が用いられることが多い。しかし、本実験では単語を入力するという制約と、ローマ字かな変換を行う日本語入力では同じ単語を入力するためのローマ字の組み合わせが複数存在するという特性のため、SPM を利用する。

EPM(Error Per Minutes)とは、一分間当たりの無効入力数のことである。以下に示す式(3)によって算出する。

$$\text{EPM} = \frac{\text{無効入力数}}{\text{入力時間}} \times 60 \quad (3)$$

EPM はエラーの発生頻度をあらわしており、値が低いほど良い。

前述のとおり、このほか、アンケート結果の平均値も評価に用いる。アンケートは三種のキーボードの配置について、5 を最も使いやすい、1 を最も使いにくいとして五段階の数値で回答してもらった。アンケート結果は値が大きければ大きいほど被験者がその配置を使いやすいと感じたことを示している。

振動度とは、全被験者の加速度センサ値の平均を基準としたときの、ある被験者があるキーボードを使った時、加速度センサログに記録された値の偏差の平均である。以下に示す式(4)によって算出する。なお、N はある被験者の加速度センサログに値が記録された回数、 $acc_i$  はある被験者の i 件目の加速度データである。

$$\text{振動度} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |acc_i - \text{全加速度センサログの平均}| \quad (4)$$

振動度は、値が高いほど操作中に多くの振動が発生したことを示している。

## 第5章 結果

### 5.1 SPM と EPM

収集された 720 件のデータのうち、途中でツールが不正終了したタスク、被験者が操作方法を誤り、途中で操作が中断したタスクなど 7 件をノイズとして除去した 713 件について、キーボードの位置別の SPM と EPM の平均、また従来のキーボードとくらべてどれくらい改善・悪化したかを比で見るため、画面下部を 1.00 としたときの比の数値を表 1 に示す。

もっとも SPM が良い値を示したのはデファクトスタンダードな配置である画面下部で、EPM がもっとも良い値を示したのは入力部直下であった。この結果から、すべての観点から従来通りの手法が優れているわけではない可能性が示唆される。詳しい考察や、有意かどうかの検定については 6 章で行う。

また、それぞれのキーボード間の差について Student の t 検定を行った結果、SPM では画面上部と画面下部、入力部直下と画面下部の間に、EPM では画面下部と画面上部、画面下部と入力部直下のそれぞれに危険率 5% で有意な差がみられた。このことから、画面下部は速度の面ではほかの配置に対して優れているが、エラー頻度の面では画面上部や入力部直下よりも不利であると言える。

### 5.2 振動度

被験者 24 人のうち、12 人から三種のキーボードについて、計 36 の加速度センサログを得た。それぞれのログから振動度を計算し、キーボードごとの平均値を表 2 に示す。表では、画面下部に表示した場合がもっとも振動度が低く、画面上部に表示した場合もっと

表 1.SPM と EPM

|     | 配置       | 平均(mean) | 従来との比 |
|-----|----------|----------|-------|
| SPM | 画面上部     | 90.40    | 0.89  |
|     | 入力部直下    | 96.78    | 0.95  |
|     | 画面下部(従来) | 101.38   | 1.00  |
| EPM | 画面上部     | 7.34     | 0.57  |
|     | 入力部直下    | 6.99     | 0.55  |
|     | 画面下部(従来) | 12.78    | 1.00  |

も振動度が高くなっている。それぞれのキーボード間の差について t 検定を行ったが、有意な差は見られなかった。

### 5.3 アンケート

被験者に対して実施したアンケート結果の平均値を表 3 に示す。値から、被験者は画面下部や入力部直下に比べて画面上部を使いづらいと感じていることが示唆される。また、デファクトスタンダードである画面下部がもっともよい値となったが、入力部直下はそれに近い値を示しているため、これも他の配置を考慮する必要がある可能性が示唆される。

また、それぞれの配置間の差について Mann-Whitney の U 検定を行った結果、画面上部と画面下部、画面上部と入力部直下の間に危険率 1% で有意な差が見られた。この差はどちらの配置に対しても二倍以上と大きく、このことから、画面上部は画面下部、入力部直下に比べて主観評価では悪いといえる。

表 2.振動度

| 配置       | 平均(mean) |
|----------|----------|
| 画面上部     | 0.265    |
| 入力部直下    | 0.241    |
| 画面下部(従来) | 0.234    |

表 3.アンケート結果

| 配置       | 平均(mean) | 従来との比 |
|----------|----------|-------|
| 画面上部     | 1.79     | 0.50  |
| 入力部直下    | 3.83     | 1.07  |
| 画面下部(従来) | 3.58     | 1.00  |

## 第6章 考察

### 6.1 各キーボードの比較

実験の結果、画面下部は入力速度の面では他のキーボードより優れている反面、誤入力は多く、アンケート結果の値は入力部直下より小さい。ここから、画面下部にキーボードを表示すると、3章で述べたとおり不安定な保持方法を取らざるを得なくなり、バランスの悪化が入力ミスの増加やアンケート結果の低下を招くことが考えられる。入力速度が高いことについては被験者にスマートフォンの使用経験者が12名いたことから学習効果が出ていると考えられる。この学習効果の与える影響については、後ほど触れる。

画面上部は操作ミスが少ない反面、入力速度は低く、アンケート結果も低い。この原因としては、画面上部にキーボードを表示すると、画面上部を保持することになり、親指を本体の下から回り込ませて逆側のキーを打つ動作ができないため、操作に使用している手と反対の方向のキーが押しにくくなることが考えられ、利用者が入力に手間取った結果、誤入力と入力速度が同時に減少した可能性がある。また、アンケート結果が低いことに関しては、コンピュータの使用や従来型の携帯端末において入力画面が入力を行う手よりも手前側にあることがないため、利用者を戸惑わせた可能性がある。ほかにも、手で問題表示部分の一部が隠れてしまうなどの問題が起こりえるため、その影響も考えられる。

入力部直下は入力ミスが最も少なく、また、アンケート結果も他のキーボードより高い値を示している。ただし、入力速度は画面下部に劣る。これは、入力部直下にキーボードを表示することで画面中ほどを保持することができ、バランスがよいため誤入力が減ったと捉える事が出来る。また、キーボードの位置と入力文字が表示される部分が近いと、視線の移動が少なく済んだためとも考えられる。入力速度の減少については、画面上部と同様に逆側のボタンが押しにくいことや、学習効果による影響が考えられる。

これらの結果から、誤入力を減少させる、主観評価を重視するという観点からは入力部直下が良く、逆に入力速度を上昇させるという観点からは画面下部（従来通り）が向いているということが言える。また、画面上部はそのどれにも適さないと言える。これらの結果は、環境や利用者の要請によって自由にキーボードの配置が変更できることが望ましく、また設計の際にはキーボードの配置による特性を充分考慮する必要があることを示唆している。

## 6. 2 熟練者と初心者の差

熟練者と初心者の差について、各キーボードの SPM, EPM, アンケート結果を熟練者・初心者別に計算し、考察する。SPM と EPM を表 4 に示す。比較を容易に行うため図 11, 12 にそれぞれのグラフを示す。

図 11 から、SPM について、初心者はほとんどキーボードの配置による影響を受けていないことがわかる。反対に、熟練者はキーボードの配置が従来方式である画面下部に近づくにつれ SPM が高くなっていることがわかる。この傾向は、熟練者がキーボード配置の学習効果を受けていることを示唆している。

キーボード間の差について t 検定を行った結果、初心者ではキーボード間に有意な差は見られなかったが、熟練者ではすべてのキーボード間に危険率 5%(画面上部と画面下部、入力部直下と画面下部では 1%)で有意な差が見られた。

表 4.SPM と EPM の熟練度別表

|           | SPM   |        | EPM   |       |
|-----------|-------|--------|-------|-------|
|           | 初心者   | 熟練者    | 初心者   | 熟練者   |
| 画面上部      | 89.53 | 91.27  | 8.57  | 6.12  |
| 入力部直下     | 92.50 | 101.06 | 7.39  | 6.59  |
| 画面下部 (従来) | 93.53 | 109.22 | 14.76 | 10.79 |

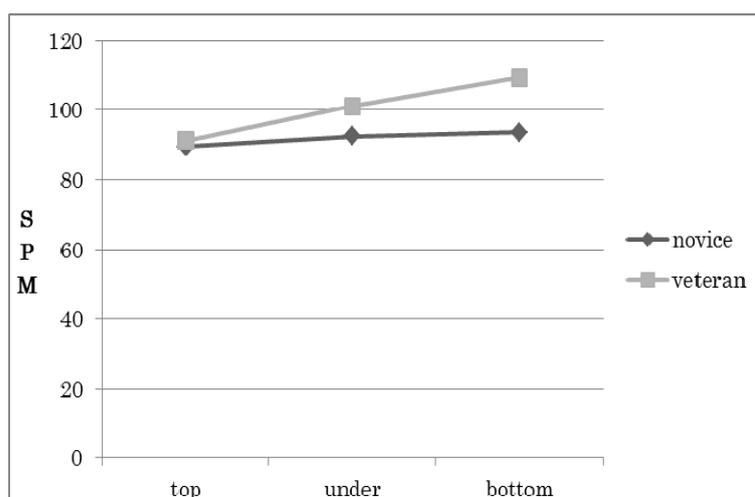


図 11.熟練度別 SPM のグラフ

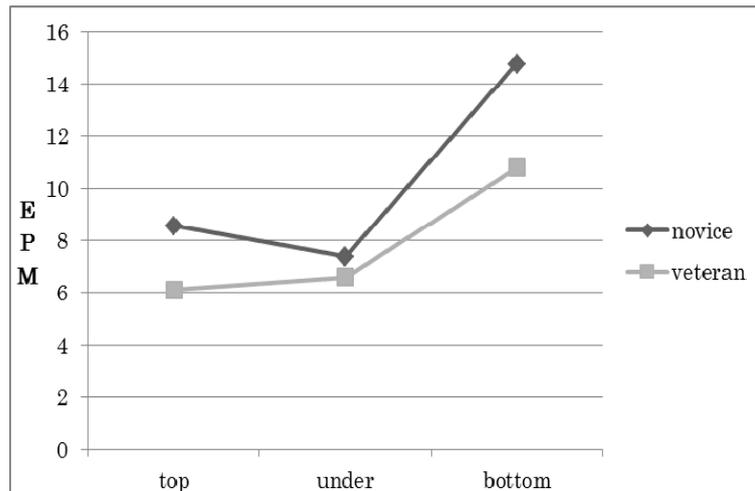


図 12.熟練度別 EPM のグラフ

図 12 について、EPM は SPM と逆に、初心者のほうが大きな差が出ていると言える。また、画面上部、入力部直下は熟練者・初心者ともに低い、画面下部は両者とも高く、また、初心者は熟練者より多くのミス入力をしていることがわかる。

ここで、EPM が上昇すれば、エラー入力のキーストロークも加味して計算される SPM が上昇するにも関わらず、初心者については SPM の上昇なしに EPM が上昇していることから、実際にはエラー入力に多くの時間を割いている可能性が示唆される。

キーボード間の差について t 検定を行った結果、熟練者ではキーボード間に有意な差は見られなかったが、初心者では画面上部と入力部直下を除くキーボード間に危険率 5% で有意な差が見られた。

熟練度別のアンケート結果を表 5 に示す。表 5 からは、初心者では入力部直下がもっとも高い値を示していること、熟練者では画面下部が最も高い値を示していることがわかる。これは、熟練者に学習効果が出ていることを表していると考えられる。

表 5.アンケート結果の熟練度別表

|           | 初心者  | 熟練者  |
|-----------|------|------|
| 画面上部      | 1.92 | 1.67 |
| 入力部直下     | 4.00 | 3.67 |
| 画面下部 (従来) | 3.00 | 4.17 |

また、画面上部は熟練度によらずもっとも低い評価がついており、このことから画面上部に配置する方式については、使用者がどのような理由で使いにくさを感じているのかを調査する必要があると考えられる。

これについて、アンケートで実施した自由記述に「キーボードが画面の一番上にある場合は問題文が見にくく、打ちにくくもありました」や、「キーボードが一番上にあると指とかぶって見えにくかった。(左手を使ったため問題文に指がかぶった)」などの意見がみられた。このことから、画面上部では手が画面にかぶってしまうため、問題文が見にくくなる現象が起こり、また文字列が左詰めかつ使用者が左利きの場合それが顕著にあらわれることが示唆された。

### 6. 3 振動度

振動度について今回の実験結果からは有意な差は確認できなかった。画面上部がもっとも振動度が高く、以降、入力部直下、画面下部の順に低い振動度となっている。これは、本研究で想定していた画面下部では振動が多くなるという仮定と一致しない。

より詳しい考察を加えるため、各キーボードサイズについて加速度センサの値と SPM, EPM との相関係数を求めた(表 6)。画面下部における加速度センサの値と EPM 以外には強い相関は見られなかった。また、加速度センサの値と EPM の相関係数は強い負の相関( $p<0.1$ )を示した。ほかの部分では有意な相関は見られなかった。

このことは、画面下部においては振動度が高ければ高いほど EPM が低いことを示しており、3章で述べた、保持のバランスが悪いことによって操作性が下がるという前提に対し、バランスが振動度に影響しないか、本体を振動させれば振動させるほどエラーが減少することを示唆している。

また、振動度を取得した 12 名について、振動度の順序尺度を初心者と熟練者で比較すると(図 13)、熟練者はキーボード間でほとんど変化がないのに対し、初心者は差が大きい。また、初心者は入力部直下がもっとも振動が少なく、画面上部では大きな値を取っているが、熟練者は入力部直下でもっとも振動が大きい。

なお、ここで順序尺度を基準にしているのは、個人ごとに異なるノイズが乗る可能性のある振動度の比較では順序関係を重視する必要があるためである。

これらの結果が出た理由として、熟練者が自分の打ちやすいように本体を持ちかえるなどして振動が発生していた可能性が考えられる。

表 6.加速度センサとその他の変数の相関係数

|       | 加速度センサの値と SPM | 加速度センサの値と EPM |
|-------|---------------|---------------|
| 画面上部  | -0.061        | 0.084         |
| 入力部直下 | -0.085        | 0.072         |
| 画面下部  | -0.202        | -0.544        |

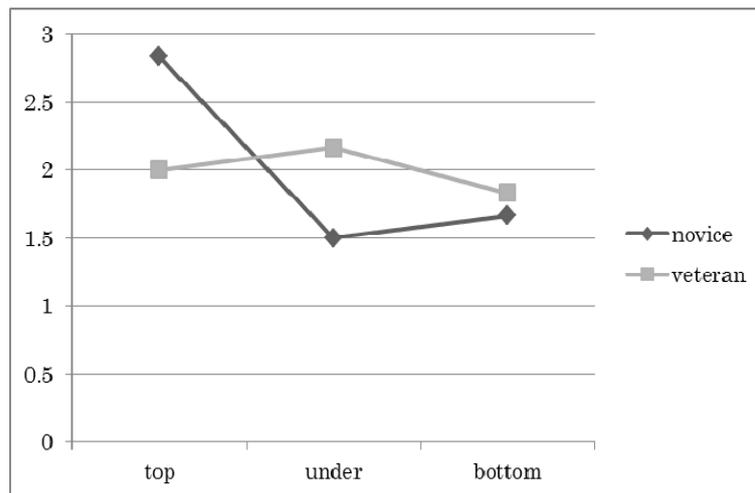


図 13.熟練度別振動度(順序尺度)のグラフ

また、本実験では振動度の取得のために全体の加速度センサの値の平均との偏差をはかったが、この方法では一つの軸につき一つ、計三つある三軸センサのノイズ特性が異なった場合、保持している角度でセンサの平均値が変化してしまうという問題が考えられる。

加速度センサのような測定機器ではそれぞれの機器ごとに固有のノイズが一般的であるため、この問題はどのような実験方法を用いたとしても起こりうるものである。そのため、より詳細な測定のためには、これらのノイズを除去する手法が必要である。

このようなノイズの除去を行うためには、本体の傾きセンサと合わせてデータを取り、傾きにあわせて修正を行う方法や、三軸それぞれについて別々にキャリブレーションを行う方法などが考えられる。

## 第7章 おわりに

本論文では、タッチパネルを主な入力とする携帯端末のユーザビリティ改善のため、特にソフトウェアキーボードについて、その表示位置が片手操作時のユーザビリティに与える影響に着目して被験者実験を行った。

被験者実験のために、デファクトスタンダードな配置である画面の下部に表示する方式のほか、画面上部に表示する方式、文字列入力部の真下に表示する方式で文字入力ができるツールを作成した。実験では、24名の被験者にそれぞれのキーボードにおけるSPM、EPM、振動度を取得し、キーボードの表示位置がユーザビリティに与える影響の定量的評価を試みた。また、同時にアンケートによる定性的評価も試みた。

被験者実験の結果、SPMやEPMなどの定量的指標からみると、下部に表示する方式は入力速度の面では最も高い値が出たが、入力ミスが頻発していることがわかった。アンケート結果からは、入力部直下に表示する方式がもっとも使いやすいと評価され、上部に表示する方式がもっとも使いにくいと評価された。

また、初心者と熟練者について比較を行った場合、初心者ではキーボードの違いがSPMにはほとんど影響せず、EPMに強く影響することが、熟練者ではキーボードの違いがSPMに強く影響し、EPMにはあまり影響しないということがわかった。

アンケート結果についても初心者と熟練者を比較したところ、熟練者は従来通りの画面下部がもっとも使いやすく感じたという評価を行った。これには学習効果が関係していると考えられるが、画面上部、入力部直下に熟練した使用者が今のところ居ないため、今後は熟練時にどのキーボードでパフォーマンスが高くなるかについても調査を行う必要がある。

加速度センサの値からは特徴的な傾向は見られなかった。画面下部については振動度が大きいほどEPMが小さくなるという当初の見解と異なる結果が出た。

今後の課題として、データ数を増加させ、ソフトウェアキーボードやハードウェアキーボードの利用経験がどのようにユーザビリティに影響を与えているのかについて調べる必要がある。また、実際に本論文中でおいた仮定の通り、片手操作時の不安定さがユーザビリティに影響しているかどうかについて、本体の振動以外に傾きセンサや生体情報などから得たデータと、SPMやEPMの関連について研究を行うことで、小型デバイスでの文字入力操作に本体の重心や持ち方が与える影響について知る必要がある。

本体の振動を用いた評価については、被験者の持ち替えなど意図的な動作によって発生する振動と、保持の不安定さによって無意識的に発生する振動を判別する方法の導入や、

より正確な加速度センサのキャリブレーションなどの方法で追実験を行う必要がある。

また、本研究で述べたソフトウェアキーボードの配置の違いが入力のしやすさに与える影響は、画面上のキーボード以外のソフトウェアボタンの位置についても同様に違いがみられる可能性が考えられるため、その点についても調査を行っていく必要がある。

## 参考文献

- [1] Go, K., Endo, Y.: CATKey: Customizable and Adaptable Touchscreen Keyboard with Bubble Cursor-Like Visual Feedback. INTERACT 2007. LNCS, Vol. 4662, pp. 493-496. Springer, Heidelberg (2007).
- [2] Aulagner, G., Francois, R., Martin, B., Michel, D., Raynal, M.: Floodkey: increasing software keyboard keys by reducing needless ones without occultation. In: Proc. the 10th WSEAS International Conference on Applied Computer Science (2010) .
- [3] Karlson, A.K., Robertson, G.G., Robbins, D.C., Czerwinski, M.P., Smith, G.R.: A Facet-based Interface for Mobile Search. CHI '06, pp. 711-720 (2006).
- [4] 長谷川利晴, 寺田実: タッチパネル環境下におけるマウスに代わる指入力補助ツール, インタラクシオン 2008 (2008).
- [5] Masui, T.: POBox: An Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers. HUC 1999. LNCS, Vol. 1707, pp. 289-300. (1999).
- [6] 君岡銀兵, 志築文太郎, 田中二郎.: マルチタッチを利用した携帯情報端末用日本語入力方式とその評価. 情報処理学会研究報告, Vol.2010-HCI-138, (2010).
- [7] MacKenzie, I.S., Zhang, S.Z.: The design and evaluation of a high performance soft keyboard. In Proc. the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 25-31 (1999).
- [8] Sears, A., Zha, Y.: Data Entry for Mobile Devices Using Soft Keyboards: Understanding the Effects of Keyboard Size and User Tasks. International journal of human computer interaction, Vol.16, No.2, pp. 163-184 (2003).
- [9] Perry, K.B., Hourcade, J.P.: Evaluating one handed thumb tapping on mobile touchscreen devices. In Proc. Graphics Interface 2008, pp. 57-64 (2008).
- [10] Park, Y.S., Han, S.H.: Touch key design for one-handed thumb interaction with a mobile phone: effects of touch key size and touch key location. International Journal of Industrial Ergonomics 40(1), pp. 68-76 (2010).
- [11] 天野貴之, 郷健太郎: タッチスクリーン用ソフトウェアキーボードへの物理的手がかりの付与. 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.2010, No.1, pp. 313-315 (2011).
- [12] Karlson, A.K., Bederson, B.B., Contreras-Vidal, J.L.: Understanding Single-handed Mobile Device Interaction. University of Maryland, Tech Report HCIL-2006-02 (2006).

## 謝辞

本論文は奈良工業高等専門学校専攻科電子情報工学専攻に在学中の研究成果について、筆者がまとめたものである。本研究の進行ならびに本論文の執筆にあたって多くの助言を頂き、またご指導くださった同専攻助教上野秀剛先生には深い感謝の意を表する。本論文の査読において的確な意見をくださった同専攻准教授・内田眞司先生、小坂洋明先生には深い感謝の意を表する。同専攻教授・世古忠先生、井上一成先生、同専攻准教授・土井滋貴先生、山口賢一先生、同専攻助教・芦原佑樹先生には、同専攻における講義である電子情報工学セミナーにおいて、また同専攻准教授、石飛学先生、同専攻講師・岡村真吾先生には特別研究発表会において、それぞれ本研究の発表に対して貴重なご意見と多くのご指摘をいただいたことについて、深い感謝の意を表する。被験者実験の実施にあたって、実験への参加を快く承諾してくださった被験者の皆様に感謝の意を表する。上野研究室各位には、研究に関する議論への参加や、論文に対する多くの意見をいただいたことについて、謝意を表する。

## 業績

1. Usability Evaluation for Software Keyboard on High-performance Mobile Devices,  
Takao Nakagawa, Hidetake Uwano, HCI International 2011, 2011年7月9-14日.(Poster)
2. 携帯端末におけるソフトウェアキーボードの表示位置に着目した使いやすさの評価, 中川  
尊雄, 上野 秀剛, シンポジウム「モバイル' 12」, 2012年3月15-16日

## 付録

## 被験者実験を受けられた皆様へのアンケート

平成 年 月 日

実験を振り返って、以下の質問項目にお答えください。

1. 実験中、キーボードの位置が変わりましたが、それぞれの位置について、どの程度使いやすい(もしくは、使いにくい)と感じたかを五段階評価で示してください。

|                     | ←使いやすい |   | 使いにくい→ |   |   |
|---------------------|--------|---|--------|---|---|
| (a) キーボードが画面の一番上にある | 1      | 2 | 3      | 4 | 5 |
| (b) キーボードが問題文の真下にある | 1      | 2 | 3      | 4 | 5 |
| (c) キーボードが画面の一番下にある | 1      | 2 | 3      | 4 | 5 |

2. もっとも使いやすかったキーボードから順番に、どのキーボードが使いやすかったかを a, b, c のアルファベットでお答えください。a, b, c はそれぞれ設問 1. の a, b, c に対応しています。

もっとも使いやすかったもの：

二番目に使いやすかったもの：

三番目に使いやすかったもの：

3. わかる範囲で結構です。スマートフォンを何年間ほど使用していますか？ また、スマートフォンのソフトウェアキーボードを使った入力をどの程度の頻度で行っていますか？

・私はスマートフォンを【 】(年・月・日)前から、利用しています。

・私はスマートフォンのソフトウェアキーボードを、【 】(年・月・日)に【 】度ほど、利用しています。

4. 普段パソコンのキーボードで入力を行いますか？ また、行っているならば、何年間ほど、どの程度の頻度で行っていますか？

・私はパソコンのキーボードを入力に(使います・使いません)。

(使う人は)

・私はパソコンのキーボードを【 】(年・月・日)前から、利用しています

・私はパソコンのキーボードを【 】(年・月・日)に【 】度ほど、利用しています。

5. ほかに意見など何かあれば自由にお書きください。

ご協力ありがとうございました。