

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

超小型タッチスクリーン端末における
フリックに基づく QWERTY キーボード

石井 晃

指導教員 志築 文太郎 田中 二郎

2016年 1月

概要

スマートウォッチのような超小型端末は、身に付けるという特性上、小型で軽量であることが要求されるため、それらに搭載されるタッチスクリーンは超小型である。これに伴い、タッチに基づくソフトウェア QWERTY キーボードによる文字入力はキーの押し分けが難しいため、ユーザに負担がかかる。この問題を解決するために、本論文においてフリックに基づく超小型端末向けソフトウェア QWERTY キーボード「Flickey」(フリッキー)を示す。Flickey では、キーを選択する際にフリックを用いる。ユーザはキーを押し分ける必要がないため、小さいサイズのキーボードにおいてもキーを容易に選択できる。Flickey の有用性を検証するため、Flickey のプロトタイプを作成し、既存の手法との比較実験を行った。実験の結果、キーボードサイズが 16.5 mm の場合において、有意な差はなかったものの Flickey の入力速度が最も速く、Flickey は超小型端末において有効な文字入力手法であることが示唆された。また、実験結果から Flickey はふきだし表示の表示内容が離散的であるため、他の手法と比べ誤入力が多いことが明らかとなった。この問題を解決するため、ふきだし表示に関する追加実験を行った。実験の結果、ふきだし表示は、表示内容を連続的に変化させ、表示位置を固定し、ポインタを表示するデザインが最も良いことが分かった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的とアプローチ	1
1.3	貢献	2
1.4	本論文の構成	2
第2章	関連研究	4
2.1	超小型端末におけるソフトウェア QWERTY キーボード	4
2.2	タッチジェスチャを活用したソフトウェアキーボード	4
第3章	超小型端末におけるフリックを活用したソフトウェア QWERTY キーボード	6
3.1	ZoomBoard	6
3.2	ZShift	6
3.3	Flickey	7
3.4	共通の機能	8
第4章	評価実験 1：Flickey の性能評価	10
4.1	実験機器	10
4.2	キーボード	10
4.3	被験者	11
4.4	手順とタスク	11
4.5	実験結果と考察	14
4.5.1	文字入力速度	14
4.5.2	エラー率	15
4.5.3	人差し指の太さと速度およびエラー率の相関	17
4.5.4	ユーザビリティおよびメンタルワークロード	17
第5章	ふきだし表示の検討	21
5.1	超小型端末におけるふきだし表示	21
5.2	ふきだし表示のデザイン	21
5.2.1	表示方法	21
5.2.2	表示位置	22
5.2.3	ポインタ有無	23

第 6 章	評価実験 2：ふきだし表示の評価	25
6.1	実験機器	25
6.2	被験者	25
6.3	手順とタスク	25
6.4	計測と解析方法	27
6.5	結果	27
6.5.1	選択時間	27
6.5.2	エラー率	28
6.5.3	メンタルワークロード	30
6.5.4	主観的評価	30
6.6	議論	30
6.7	実験結果のまとめ	31
第 7 章	まとめと今後の課題	33
	謝辞	34
	参考文献	35
付 録 A	評価実験 1 の際に用いた各種書類	39
A.1	実験同意書	40
A.2	アンケート用紙	41
A.3	実験手順書	46
付 録 B	評価実験 2 の際に用いた各種書類	47
B.1	実験同意書	48
B.2	アンケート用紙	49

目 次

1.1	Flickey (提案手法)	2
3.1	ZoomBoard (関連手法) . なお, 実験用に自身で追実装した	7
3.2	ZShift (関連手法) . なお, 実験用に自身で追実装した	7
3.3	Flickey における文字入力手順 . a) 初期状態, b) タッチダウン, c) 横移動によりキー列を選択, d) そのままタッチアップ, または上下へフリックして文字を入力	9
4.1	非利き腕に横向きで装着されたスマートフォン	11
4.2	実験で用いたキーボードのレイアウト	12
4.3	Flickey および 10 円玉 (直径 20 mm) との比較	13
4.4	人差し指のサイズの測定位置	14
4.5	各試行における文字入力速度 (WPM)	15
4.6	各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果	19
5.1	表示方法因子 . a) 連続的, b) 離散的 . X マークはユーザの指の位置を示す	22
5.2	離散的条件 (表示方法因子)	23
5.3	表示位置因子 . a) 固定, b) 追従 . X マークはユーザの指の位置を示す	24
5.4	ポインタ有無因子 . a) ポインタなし, b) ポインタあり . 緑の点はポインタである . X マークはユーザの指の位置を示す	24
6.1	実験アプリケーション	27
6.2	各条件における選択時間	28
6.3	各条件におけるエラー率	29
6.4	各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果	32

表目次

4.2	各条件における文字入力速度 (WPM)	15
4.3	各条件におけるエラー率 (CER)	16
4.4	各条件における修正済みエラー率 (Cerr)	16
4.5	各条件における未修正エラー率 (UCerr)	17
4.6	各条件におけるユーザビリティ (SUS)	18
4.7	各条件における NASA-TLX (WWL) の結果	18
4.1	SUS の原文と今回の実験において用いた日本語訳	20
6.1	各条件における選択時間 . 太字は最も速い結果と最も遅い結果を示す	28
6.2	各条件におけるエラー率 . 太字は最も低い結果と最も高い結果を示す	29

第1章 はじめに

本章において，本研究の背景，目的とアプローチ，貢献，および構成を述べる．

1.1 背景

スマートウォッチのような超小型タッチスクリーン端末（以降，超小型端末）への文字入力には，搭載されているタッチスクリーンへのタッチ入力および音声入力によって行われる．しかしながら，超小型端末のタッチスクリーン上におけるボタンはサイズが小さくなりがちであり，自身の指よりも小さなボタンは押し分けが困難であるという Fat Finger 問題 [SRC05] をしばしば引き起こす．また，音声入力には誤認識およびプライバシーの面において他人に入力内容を聞かれてしまうという問題がある．このため現在の超小型端末の用途は主として情報提示となっており，超小型端末における文字入力の性能を向上させることは大きな課題である．超小型端末における文字入力の性能を向上させることにより，情報提示が主な用途とされてきた超小型端末においてメールおよびメッセンジャーアプリにおける返信などが行えるようになり，用途が広がる．

この課題に対して，多くのユーザが慣れ親しんでいる QWERTY 配列のソフトウェアキーボード（以降，QWERTY キーボード）を超小型端末においても使用可能になれば利便性が向上する．しかしながら，多くのキーから成る QWERTY キーボード全体をタッチスクリーン内に収まるように表示するとキーサイズがユーザの指より小さくなるため¹，ユーザがキーを押し分けることは困難である [SRC05]．

これまでこの課題に対して，表示方法，または操作方法に工夫を施すことにより問題を解決した研究が数多く報告されている [OHOW13, CGF14, HHIL15, KD14, 原 14, LSC⁺15]．これらの研究を踏まえ，本論文においては表示方法に工夫を施すことにより超小型端末においても入力可能な QWERTY キーボードを提案する．

1.2 目的とアプローチ

1.1 節で述べた課題に対し，フリックを活用した QWERTY キーボード「Flickey」（フリックキー）を提案した（図 1.1）．Flickey はキーを選択する操作としてフリックを採用したキーボードである．フリックを採用したことより，ユーザはキーを押し分けずに済むため，小さいサイズのキーボードにおいてもキーを容易に選択できる．今回 Flickey の性能を評価する

¹スクリーンサイズが 18.0mm 四方の場合，キーサイズは 1.5mm 四方となる．

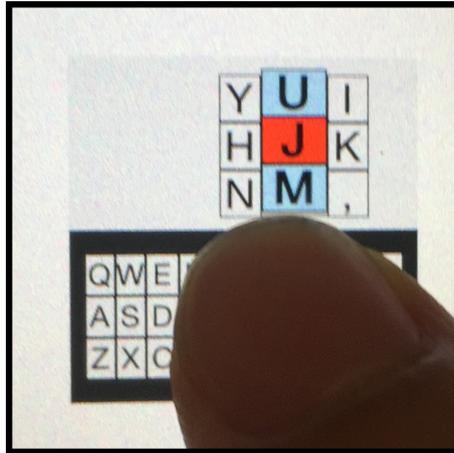


図 1.1: Flickey (提案手法) .

ため、先行研究である ZoomBoard [OHOW13] および ZShift [LSC⁺15] との比較実験を行い、文字入力性能、エラー率、および主観的評価の分析を行った。また、キーボードにおける評価実験から得られた知見を元に、超小型端末におけるふきだし表示のデザインを検討した。その後、検討した様々なふきだし表示のデザインを用いて比較実験を行い結果の分析を行った。

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に示す。

- 超小型端末におけるフリックに基づく新たな QWERTY キーボード「Flickey」を提案した
- 既存研究との比較実験を行うことにより、Flickey の性能評価を行い、Flickey の特性を明らかにした
- キーボードの評価実験から得られた知見を元に、超小型端末におけるふきだし表示のデザインを検討した
- 検討した様々なふきだし表示のデザインを用いて評価実験を行い、超小型端末におけるふきだし表示のデザイン指針を明らかにした

1.4 本論文の構成

1 章では、本研究の背景、目的とアプローチ、および貢献を示した。2 章では、本研究の関連研究を示す。3 章では、既存研究において提案されているキーボード、および本研究の提案するキーボードを示す。4 章では、3 章において述べた既存手法と本研究の手法を比較するこ

とにより，本研究の手法の性能を評価する．5章では，4章の評価実験において得られた知見を元に，超小型端末におけるふきだし表示のデザインを検討する．6章では，5章にて述べたふきだし表示のデザインに対して評価実験を行い，その結果から超小型端末におけるふきだし表示のデザイン指針を示す．7章では，本研究のまとめ，および今後の課題を述べる．付録Aでは，評価実験1の際に用いた各種書類を示す．付録Bでは，評価実験2の際に用いた各種書類を示す．

第2章 関連研究

本論文において示す Flickey は，超小型端末におけるフリックを活用した QWERTY キーボードである．したがって，超小型端末における文字入力手法に関する研究，およびフリックなどのタッチジェスチャを活用したソフトウェアキーボードに関する研究を示し，Flickey との位置づけを述べる．

2.1 超小型端末におけるソフトウェア QWERTY キーボード

超小型端末用の QWERTY キーボードが幾つか提案されている．ZoomBoard [OHOW13] を用いるユーザは，キーボード上の大まかな位置をタップにより拡大し，その後もう一度目的のキーをタップする．これにより，ユーザは小さなキーを確実にタップすることが可能となる．Swipeboard [CGF14] を用いるユーザは，9つのグループに分かれたキーを8方向フリックおよびタップにより選択し，その後もう一度フリックすることによりキーを選択する．同様に，SplitBoard [HHIL15] を用いるユーザは，複数の領域に分けられたキーボードをスワイプによって切り替える．Komninos ら [KD14] はキーボードレイアウトを変更し，キーを6つの領域に分けることにより超小型端末においても操作可能なキーボードを提案している．原ら [原 14] は，スクロールの変位量に応じてキーボードが自動的にズームするキーボードを提案している．ただし，これらのキーボードにおいては，ユーザがタッチする度にキーボードが拡大または移動するため，レイアウトが頻繁に変化する．その結果，キーボードに関する空間的記憶が十分に生かされずスムーズにキー入力が行えない恐れがある．

Leiva らの QWERTY キーボード [LSC⁺15] は，押下した指によって遮蔽されているキーを画面上部にふきだし表示することにより，超小型端末における文字入力を可能としている．

Flickey においても，押下されているキーとその周辺のキーをキーボード上部に表示することにより，指によってキーボード本体が遮蔽されていても文字入力を可能とする．ふきだし表示を用いることにより，キーボードのレイアウトを変更することなく超小型端末においてもキー入力が可能となる．

2.2 タッチジェスチャを活用したソフトウェアキーボード

ソフトウェアキーボードにおけるタッチジェスチャによる文字入力手法は数多く提案されている．Graffiti [MZ97]，Unistroke [GR93]，および EdgeWrite [WMK03] は，1ストロークにて入力可能なアルファベットを模したジェスチャ入力手法である．金井ら [金井 14] は，1スト

ロークにて1文字を入力する手法を示している．この手法においては，ストロークを連続入力することにより連続して文字入力を行うことも可能である．Quikwriting [Per98] はキーを9つの領域に分割表示し，それらを特定の規則に沿って，ドラッグすることによって文字入力を実現している．No-look Flick [FST13]，および下岡らの研究 [下岡 15] は，段階的な4方向へのフリックによって，アイズフリーなひらがな入力を実現している．同様に Drag&Flick [青木 13] も，段階的な8方向のドラッグとフリックによって，視覚障がい者向けのかな文字入力手法を実現している．

これらは，ドラッグ，またはフリックの方向のみの入力を用いているため，超小型端末における文字入力に応用できる可能性がある．Flickey も同様に，キーの選択にフリックを用いることによりキーを押し分ける必要がないため，超小型端末向けのキーボードである．

第3章 超小型端末におけるフリックを活用したソフトウェア QWERTY キーボード

本論文において示す Flickey は ZShift [LSC⁺15] と同様にふきだし表示を用い、かつキーボード上における操作をドラッグとフリックに限定する QWERTY キーボードである。特にフリックを活用することによりユーザはキーを押し分ける必要がないため、Flickey は小さいサイズのキーボードにおいてもキーの選択が容易であるという特徴を有す。

本章では、比較対象である ZoomBoard、および ZShift を述べた後、提案手法である Flickey を述べる。最後に、ZoomBoard、ZShift、および Flickey に実装されている共通の機能を述べる。

3.1 ZoomBoard

ZoomBoard [OHOW13] はキーボードの特定箇所を TapTap [RHL08] のように拡大表示することにより、キーの押し分けを容易にする。まず、初期状態（キーボード全体がタッチスクリーン内に収まるように表示されている）においてユーザがキーボードをタップすると、キーボードはタップ位置を中心として一定の倍率にて拡大する（図 3.1）。ユーザはこれを決められた回数繰り返した後、キーをタップすることにより文字を入力する。その後、キーボードは初期状態に戻る。このように ZoomBoard はキーボードを拡大表示することによって、Fat Finger 問題を低減する。結果としてキーの押し分けが容易になるため、非拡大状態の QWERTY キーボードと比べて誤入力が増加する。

3.2 ZShift

ユーザが押下しているキーをキーボード上部に表示する手法は、iOS の QWERTY キーボードにおいても採用されており、広く使用されている。しかしながら超小型端末においては、指の大きさに対してキーボードが小さいため、指を画面上に押下するとキーボードの大部分が指によって遮蔽される。したがって、入力したいキーをキーボードをなぞりながら探す場合、従来の手法においてはユーザの QWERTY キーボードに対する空間的記憶に強く依存する。そこで、ZShift [LSC⁺15] は Shift [VB07] という、押下されている位置とその周囲を画面上部にふきだし状にて表示する手法を用いることによりこの問題を解決している。しかしながら、特に小型のキーボードにおいては、単にふきだし表示するだけではキーが小さく表示される

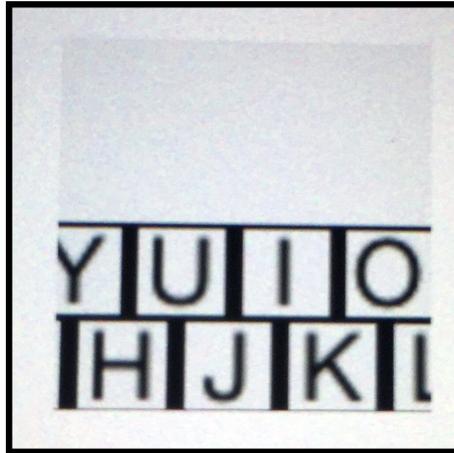


図 3.1: ZoomBoard (関連手法) . なお , 実験用に自身で追実装した .

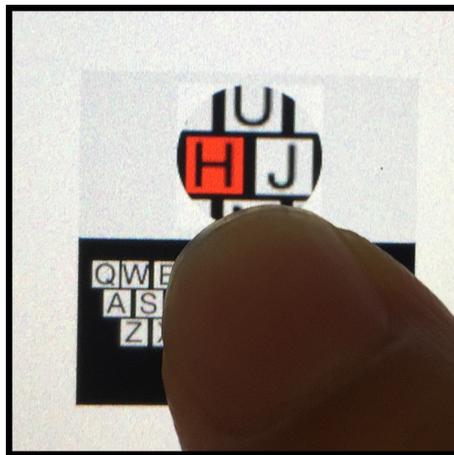


図 3.2: ZShift (関連手法) . なお , 実験用に自身で追実装した .

ため見づらさを伴う . そこで ZShift では Shift に拡大表示を加え (Zoomed Shift technique , ZShift) , かつ押下されているキーを強調表示することによってふきだし表示を改善している (図 3.2) .

3.3 Flickey

本論文において示す Flickey は , ZShift [LSC⁺15] と同様にふきだし表示を用い , かつキーボード上における操作をドラッグとフリックに限定する QWERTY キーボードである . 特にフリックを活用することにより , ユーザはキーを押しわけの必要がないため , 小さいサイズのキーボードにおいてもキーを容易に選択できる .

Flickey における文字入力の手順を図 3.3 に示す . Flickey を用いるユーザは 2 段階の入力操

作によって文字入力を行う。はじめに，ユーザはタッチダウンによってキー列の選択を行う（図 3.3b）。その後，タッチアップもしくはフリックによってキーの選択を行う（図 3.3d）。タッチアップにより選択されたキー列の中段のキーが，上フリックまたは下フリックにより上下段のキーが入力される。最初のタッチダウン時に入力したいキー列とは異なるキー列を選択していた場合は，フリックせずに左右に指をドラッグすることによって，選択しているキー列を変更することができる（図 3.3c）。

ユーザは最初のキー列選択時には横方向ドラッグ（X 軸方向）のみを行うため，縦方向（Y 軸方向）の動きを気にする必要がない。その後キーの上中下段の選択もフリックを活用しているため，正確な座標入力を必要としない。結果として，Flickey においては上下方向におけるキーを押し分ける負担が軽減されている。なお，タッチダウン時には現在選択されているキーが画面上部に拡大表示される（図 3.3b）。

3.4 共通の機能

これまでにタッチスクリーン上のキーを減らすためにスワイプが使われてきた [FWW11, LGYT11, OHOW13, LSC⁺15]。ZoomBoard および ZShift にもスワイプが実装されており，本研究においても Flickey に以下の機能を実装した。ユーザはキーボード上にて左スワイプを行うことにより直前の文字を削除することができる。またキーボード上にて右スワイプを行うことにより空白文字を入力することができる。

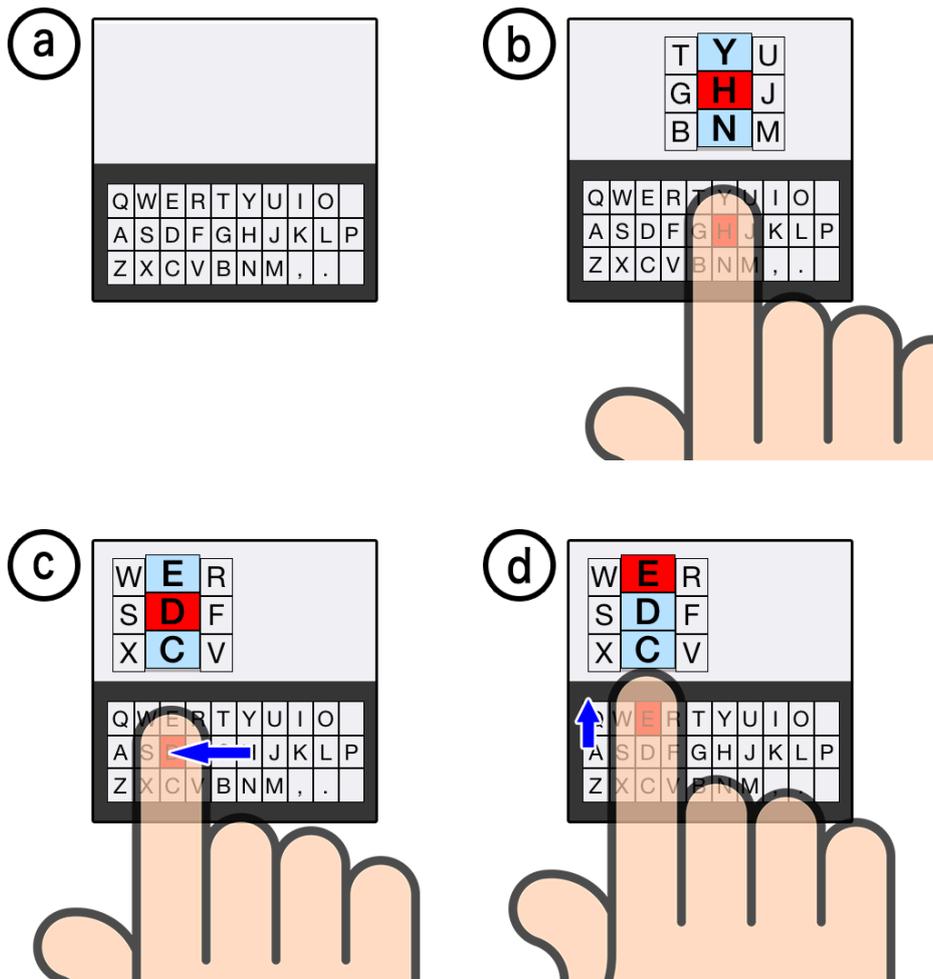


図 3.3: Flickey における文字入力手順 . a) 初期状態 , b) タッチダウン , c) 横移動によりキー列を選択 , d) そのままタッチアップ , または上下へフリックして文字を入力 .

第4章 評価実験1：Flickeyの性能評価

Flickeyの性能を評価するために、ZoomBoard、およびZShiftを比較対象とし、文字入力をタスクとする被験者実験を実施した。プレスレット型の端末から時計型の端末まで、様々なサイズ¹の端末における性能を評価するため、3つのキーボードを3つの異なるサイズ（small：16.5 mm，medium：22 mm，large：29.3 mm）にて被験者に提示した（計9条件）。また、本実験においては、スマートフォン上にスマートウォッチを想定した小さなキーボードを実装し、これを実験に用いた。この理由は、3つのサイズごとに異なるスマートウォッチを用いて実験をした場合、スクリーンの解像度やタッチ感度など端末の性能差による実験結果への影響が懸念されるためである。

4.1 実験機器

キーボードを提示するスマートフォンとして、iPhone 5（iOS 8.3，画面サイズ：4 inch，解像度：326 ppi）を用いた。図4.1に示すように、スマートフォンを2つのひざ用サポータ（株式会社D&M，ひざ下ベルト ラップタイプ，842XUD2786 BLK M）を用いて被験者の非利き腕に横向きに取り付けた。このサポータは面ファスナによって固定力の調節が可能であるため、被験者の腕の太さに柔軟に対応できる。また、伸縮性があり、かつ滑らないように設計されているため、スマートフォンを腕に確実に固定することが可能である。

4.2 キーボード

各キーボードをiOS 端末上にて動作するアプリケーションとして実装した。本実験において用いたキーボードのレイアウトを図4.2に示す。サイズに関しては、ZoomBoard [OHOW13]において使用されていた16.5 mmを基準に、Leivaら [LSC⁺15]の論文において使用されていた3つのサイズの決め方（基準値から3分の4倍ずつ拡大²）を用いて決定した。なお、すべてのキーボードは一般的なスマートフォン向けQWERTYキーボードより小さく、smallサイズのキーボードの面積はiPhone 6（4.7 inch）において用いられているQWERTYキーボードの約20分の1（0.054倍）である（図4.3）。

¹ウェアラブル端末における画面サイズの例（width × height）:

- ・ Samsung Gear Fit 13 mm × 45 mm
- ・ Apple Watch (38 mm) 21 mm × 26 mm
- ・ Apple Watch (42 mm) 24 mm × 30 mm

²small：1.00倍，medium：1.33倍，large：1.77倍



図 4.1: 非利き腕に横向きで装着されたスマートフォン。

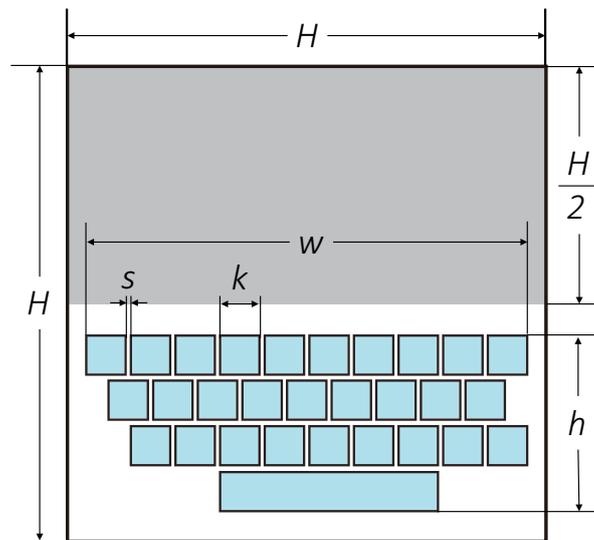
4.3 被験者

日本人の大学生および大学院生 5 名（男性 4 名，女性 1 名，年齢：21–22 歳）を被験者として雇用した。すべての被験者が日常的にスマートフォンを使用しており（利用歴：29–67ヶ月，平均：53ヶ月），利き腕は右腕であった。スマートフォンにおける文字入力は 3 名が右手のみを使用，1 名が右手および左手を使用，1 名が右および両手を使用していた。スマートフォンにおける日常的な英語文字入力には，2 名は QWERTY キーボードを使用し，1 名はフリック入力を使用し，1 名はその両方を併用していた。日本語文字入力には，3 名はフリック入力を使用し，1 名はフリック入力および QWERTY キーボードを併用していた。また，1 名は英語文字入力および日本語文字入力において，ATOK 式ジェスチャ入力 [ジャ11] を使用していた。コンピュータにおける QWERTY キーボードの利用歴は 125–213ヶ月（平均：171ヶ月）であった。全ての被験者は，スマートウォッチの使用経験がなかった。また，腕時計を着用する時は全ての被験者が非利き腕に着用すると回答した。実験終了後，各被験者には実験への参加に対する謝礼として 1,640 円を支払った。

4.4 手順とタスク

実験は静かな室内で行われた。被験者に実験中は常に着席しているように指示した。

まず，実験者は実験内容の説明を行った。その後，スマートフォンの使用歴等を問うアンケートに回答するように指示した。アンケート回答後，デジタルノギスを用いて被験者の人差し指（利き腕）の遠位指節間関節の幅（図 4.4）を測定した。平均サイズは 14.3 mm (SD = 0.8 mm)



サイズ [mm]	H	w	h	s	k
small	18.0	16.5	6.5	0.2	1.5
medium	24.0	22.0	8.7	0.2	2.0
large	32.0	29.3	11.6	0.3	2.7

図 4.2: 実験で用いたキーボードのレイアウト。

であり，日本人の標準的なサイズの範囲内であった [河内 12]．測定完了後，スマートフォンをサポータを用いて被験者の非利き腕に装着した．

実験者は被験者に対して3つのキーボードを提示し，それぞれの手法の説明を行った．その後，mediumサイズの各キーボードを用いて練習タスクを行うウォームアップセッションを実施した．練習タスクとして，まず「taro」と入力するように指示した．その後，文字の削除ジェスチャ（キーボード上での左スワイプ）に慣れるため，先ほど入力した文字を全て削除するように指示した．文字の削除が終了した後，次に「tsukuba」と入力するように指示した．その後，空白文字の入力ジェスチャ（キーボード上での右スワイプ）に慣れるため，先ほど入力した文字の直後に空白を入力するように指示した．空白の入力が終了後，再び「taro」と入力するように指示した．以上の練習タスクを各キーボードに対して行った．なお，練習を行うキーボードの順序は本番タスクにおいて使用するキーボードの出現順と同様にし，カウンターバランスをとった．このウォームアップセッションには平均6分間を要した．

実験者は被験者に，各手法および各サイズごとに5フレーズの入力（5試行）を指示し，これを1セッションとして条件を変えて9セッション行った．したがって，被験者は計45試行（3キーボード×3サイズ×5フレーズ）を行った．なお，各手法間におけるフレーズの提示順が実験結果に影響を及ぼす恐れがあるため，被験者に提示するフレーズをフレーズセットからランダムに選択した．このフレーズセットはMacKenzieら [MS03] によって提供されて

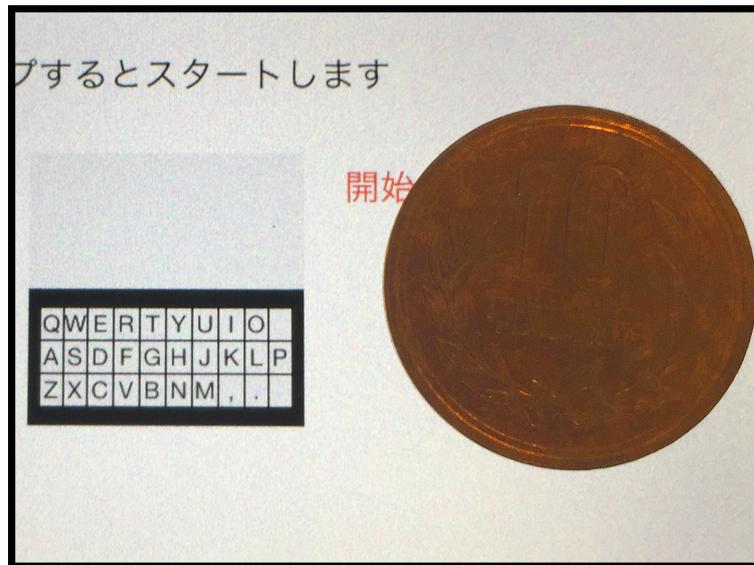


図 4.3: Flickey および 10 円玉（直径 20 mm）との比較．

いる 500 種類の英語のフレーズである．個々のフレーズはすべて小文字にて記述された単語からなり，句読点および数字を含まない．またフレーズ内の単語と単語の間は空白文字にて区切られている．なお，学習効果を抑えるため全試行において入力するフレーズが重複しないようにした．また，入力するフレーズの記憶強度に結果が影響されないように，入力が完了するまでの間は常に入力すべきフレーズを被験者に提示した．フレーズの入力が終了したら，キーボードの隣に配置された「次へ」ボタンを押すように指示した．「次へ」ボタンが押されると，自動的に現在のフレーズおよび入力した文字が消え，次に入力すべきフレーズが表示される．

実験者は被験者に，各試行においてなるべく素速く，なるべく正確に文字入力を行うように指示した．また，提示されたフレーズに含まれる空白も入力するように指示した．もし入力文字を間違えた場合は訂正するように指示した．そして，実験中の操作をすべて利き腕の人差し指を用いて行うように指示した．なお，疲労による入力速度への影響を抑えるため，各セッションの間に 3 分間程度の休息を挟んだ．

被験者は各セッションの計測開始前に，毎回該当するキーボードにて練習が可能であった．実験者は被験者に，これ以上練習しなくても迷わず入力を行えると判断した場合，練習を終了し実験者にその旨を伝えるように指示した．この練習は各被験者ごとに合計で 2 分から 7 分間程度要した．

各セッションの終了時に，実験者は被験者に System Usability Scale (SUS) [Bro96, Bro13] および NASA Task Load Index (NASA-TLX) [HS88] に回答するように指示した．SUS は 10 項目の質問に対し 5 段階の評価を用いて答えることにより，システムの使いやすさを定量的に評価するためのアンケート手法である．また，NASA-TLX は 5 項目に対して 100 段階の評価を与え，その後それらの項目に対して重み付けを行い得点を算出することにより，メンタ



図 4.4: 人差し指のサイズの測定位置 .

ルワークロード（精神的作業負荷）を定量的に評価するためのアンケート手法である。しかしながら，SUS および NASA-TLX は英語で記述されている。被験者全員が日本人であったため，今回はそれらの日本語版を使用した。SUS は古井ら [古井 14] によって，NASA-TLX は三宅ら [三宅 93] によって日本語に翻訳された。なお，SUS に関して一部の質問文に原文の意図が反映しきれていない恐れのある表現が見受けられたため，日本語訳の修正を行った（表 4.1 (9)）。全てのセッション終了時に各手法に対するアンケートに回答するように指示した。

本実験は，実験説明からすべてのセッションおよびアンケートへの回答が終了するまでに 120 分間程度の時間を要した。実験中，被験者が行った全ての操作を時刻情報およびスクリーンキャプチャとともに記録した。また被験者の発言をボイスレコーダを用いて記録した。

4.5 実験結果と考察

4.5.1 文字入力速度

今回文字入力速度の指標として Words Per Minute (WPM) [AS09] を用いた。WPM は 1 分あたりの文字入力速度を示す³。

表 4.2 および図 4.5 に各条件ごとの文字入力速度および分散分析の結果を示す。なお括弧内は標準偏差である。分散分析を行ったところ，全てのサイズ条件において手法間に有意な差があった。多重比較検定 (Tukey's HSD) を行った結果，small 条件においては，ZoomBoard - ZShift 間 ($p < .05$) および ZoomBoard - Flickey 間 ($p < .01$) に有意な差があった。また medium 条件においては，ZoomBoard - ZShift 間に有意な差があった ($p < .001$)。さ

³1 word = 5 characters

らに large 条件においては，ZoomBoard – ZShift 間 ($p < .001$) および ZShift – Flickey 間 ($p < .001$) 間に有意な差があった．結果として，small 条件においては ZoomBoard と比べ ZShift および Flickey が有意に速く，medium 条件においては ZoomBoard と比べ ZShift が有意に速く，large 条件においては ZShift が他のキーボードに比べ有意に速いことが示された．

アンケート調査により Flickey は「小さいサイズでは文字が正確に打てた」との回答が得られた一方，キーボードのサイズが変化するに伴って上下フリックの移動量（フリック判定しきい値）も増減するため「small の後に large を操作すると少し違和感があった」，「large だと自分が思っているよりも大きめに動かさないと上下段が打てないことがあった」等の回答も得られた．これに関連して，他の手法においてはサイズが大きくなるにつれ文字入力速度が速くなっているのに対し，Flickey は横ばいである．この理由として，前述のように，Flickey にはサイズ変化に伴ってフリック判定しきい値が増減することにより使用感に変化が生じるという特性があるため，それが実験結果に影響を与えたと考えられる．

表 4.2: 各条件における文字入力速度 (WPM) .

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	7.5 (0.3)	8.5 (0.7)	8.7 (0.3)	8.2	.006	0.58
medium	8.7 (0.5)	10.1 (0.4)	9.4 (0.5)	13.1	.001	0.69
large	8.9 (0.2)	12.4 (0.5)	8.8 (0.9)	58.1	.000	0.91

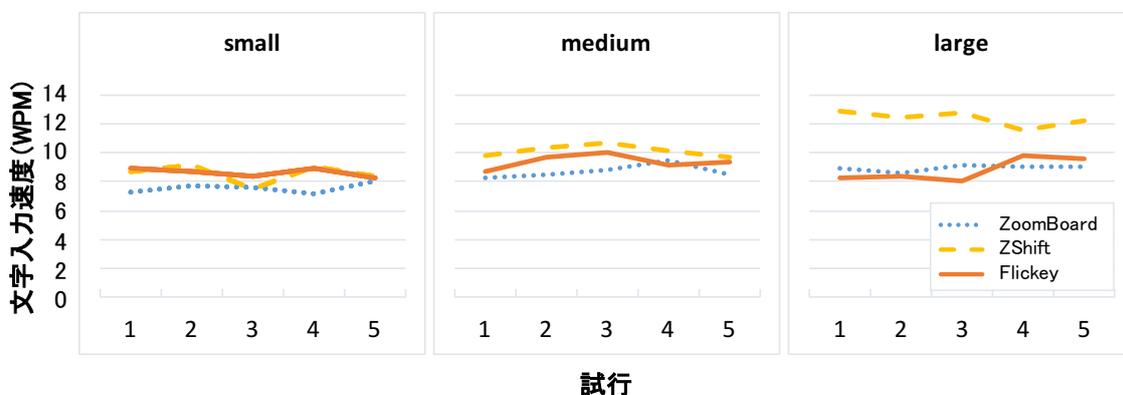


図 4.5: 各試行における文字入力速度 (WPM) .

4.5.2 エラー率

今回エラー率の指標として Character Error Rate (CER) を用いた．CER は，転写タスクにおいて入力されたフレーズの正確性を測定するための最も広く使用されている指標であ

る [LSC⁺15] . CER は最終的に入力されたフレーズと入力すべきフレーズ間のレーベンシュタイン距離から計算され、入力すべきフレーズの文字数を用いて割ることによって正規化される .

表 4.3 に CER を示す . なお括弧内は標準偏差である . 分散分析を行ったところ , small サイズ条件においてのみ有意な差があった . この small 条件において多重比較検定 (Tukey’s HSD) を行ったところ , ZShift – Flickey 間 ($p < .001$) および ZShift – ZoomBoard 間 ($p < .001$) に有意な差があった . 結果として ZShift は他のキーボードに比べ small 条件においては CER が有意に高いという結果が得られた .

表 4.3: 各条件におけるエラー率 (CER) .

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	0.00% (0.00)	0.55% (0.31)	0.00% (0.00)	15.82	.0004	0.73
medium	0.64% (1.42)	0.41% (0.64)	0.00% (0.00)	0.64	.543	0.10
large	0.00% (0.00)	0.29% (0.64)	0.26% (0.36)	0.69	.519	0.10

CER に加えて修正済みエラー率 (Corrected error rate, Cerr) , すなわち全入力に対する誤入力を修正した割合も求めた [SM03] . CER は最終的に入力されたフレーズと入力すべきフレーズ間のレーベンシュタイン距離から計算されるため、ユーザによって修正された入力過程におけるエラーが考慮されない . これらの CER においては表出しないエラーも考慮するため、我々は Cerr を求めた . 表 4.4 に Cerr を示す . なお括弧内は標準偏差である . 分散分析を行ったところ , large 条件においてのみ手法間に有意な差があった . この large 条件において多重比較検定 (Tukey’s HSD) を行ったところ , ZoomBoard – Flickey 間に有意な差があった ($p < .05$) . 結果として Flickey は ZoomBoard に比べ large 条件においては Cerr が有意に高いという結果が得られた .

表 4.4: 各条件における修正済みエラー率 (Cerr) .

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	4.59% (3.28)	5.53% (1.94)	9.47% (5.15)	2.45	.128	0.29
medium	4.70% (3.68)	8.95% (3.66)	10.01% (3.71)	2.91	.093	0.33
large	2.01% (1.89)	6.52% (4.99)	9.48% (3.44)	5.26	.022	0.47

また、未修正エラー率 (Uncorrected error rate, UCerr) , すなわち全入力に対する誤入力の割合も求めた . 表 4.5 に UCerr を示す . なお括弧内は標準偏差である . 分散分析を行ったところ , small 条件においてのみ手法間に有意な差があった . この small 条件において多重比較検定 (Tukey’s HSD) を行ったところ , ZShift – Flickey 間 ($p < .001$) および ZShift – ZoomBoard 間 ($p < .01$) に有意な差があった . 結果として ZShift は他のキーボードに比べ

small 条件においては UCerr が有意に高いという結果が得られた。

表 4.5: 各条件における未修正エラー率 (UCerr)。

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	0.00% (0.00)	0.47% (0.27)	0.00% (0.00)	15.61	.0004	0.72
medium	0.64% (1.44)	0.39% (0.62)	0.00% (0.00)	0.64	.543	0.10
large	0.00% (0.00)	0.26% (0.59)	0.23% (0.32)	0.69	.519	0.10

Flickey において、どのようなエラーがあったかを分析したところ、目的のキー列とは1つずれたキー列が選択されている事象が多く見られた。すなわち、横方向ドラッグによりキー列を選択している時に誤って移動しすぎた結果、目的のキー列とは別のキー列を選択していた。この原因としてふきだし表示内の視覚的フィードバックが離散的であったことが考えられる。ZShift ではドラッグに応じて、ふきだしの位置やふきだし内の表示が連続的に変化するため、ユーザはあとどれくらい指を動かせば目的のキーに辿り着けるのかを逐次確認することができた。一方、Flickey のふきだし表示はその表示が離散的なために、あとどれくらい指を動かせば隣のキー列に移動できるのか、という情報をユーザにフィードバックできていなかった。この結果として、誤入力が生じたと考えられる。この問題の解決策として、Flickey のふきだし表示をドラッグに応じて連続的に変化させることが挙げられる。

4.5.3 人差し指の太さと速度およびエラー率の相関

4.4 節において述べたように、実験前に被験者の人差し指（利き腕）のサイズを測定した。この人差し指の太さと文字入力速度およびエラー率 (Cerr) との相関分析を行ったところ、全てのキーボード・サイズ条件における被験者ごとに文字入力速度を足し合わせた結果との間に強い正の相関があった ($\rho = .906, p < .05$)。また、ZoomBoard (large サイズ) の Cerr との間に強い負の相関があった ($\rho = -.952, p < .05$)。つまり、指の太さが細いほど Fat Finger 問題 [SRC05] が解決され、文字入力速度の向上とエラー率の低下に繋がったと考えられる。

4.5.4 ユーザビリティおよびメンタルワークロード

SUS を用いて測定した各条件のユーザビリティを表 4.6 に示す。なお括弧内は標準偏差である。SUS の値は高い方が良い結果と言える。分散分析を行ったところ、small, medium 条件においては手法間に有意な差はなかったが、large 条件においては有意な差がみられた。この large 条件において多重比較検定 (Tukey's HSD) を行ったところ、ZShift - Flickey 間に有意な差 ($p < .05$) があった。結果として large 条件においては Flickey よりも ZShift の方が有意に使いやすいことが示された。

表 4.6: 各条件におけるユーザビリティ (SUS) .

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	66.0 (13.3)	60.0 (15.2)	59.0 (12.9)	0.37	.696	0.06
medium	72.0 (11.4)	69.5 (14.1)	62.0 (10.8)	0.91	.427	0.13
large	69.5 (17.0)	81.5 (11.8)	54.0 (9.8)	5.44	.021	0.48

NASA-TLX を用いて測定した各条件のメンタルワークロードを図 4.6 および表 4.7 に示す . 括弧内は標準偏差である . NASA-TLX の値は低い方が良い結果と言える . 分散分析を行ったところ , 全てのサイズ条件において手法間に有意な差はなかった .

ZShift に関しては , サイズが大きくなるにつれて SUS の評価が高くなっていった . これはサイズが大きくなればなるほど通常の QWERTY キーボードに操作感が近くなっていくためだと考えられる . アンケート調査においても「large 条件のときは , 普通の入力として使った」という意見が得られた . ZoomBoard に関しては , サイズが変化しても 2 段階入力という操作感が変わらないため , SUS および NASA-TLX の両者において評価が横ばいになったと考えられる . アンケート調査においても「毎回 2 度タップするため操作が少し煩わしい」という意見が得られた . また「ズームする位置が毎回変わりレイアウトが変化するので , 常にキーボードを注視する必要があった」という意見も得られた . Flickey は large 条件において small 条件と比較し低い評価が SUS および NASA-TLX の両者において得られた . これは large 条件程度のキーボードサイズの場合 , 直接キーを選択可能であり , わざわざキーの選択にフリックを用いることはかえって操作を複雑にしていると考えられる . この結果から Flickey は small 条件のような極めて小さいサイズにおいて有効な手法であることが示唆された .

表 4.7: 各条件における NASA-TLX (WWL) の結果 .

サイズ	キーボード			分散分析		
	ZoomBoard	ZShift	Flickey	$F_{2,12}$	p	η^2
small	36.4 (24.9)	32.5 (19.7)	37.3 (21.3)	0.07	.937	0.01
medium	40.2 (22.1)	34.7 (25.2)	41.9 (19.8)	0.14	.872	0.02
large	33.7 (13.7)	27.6 (24.1)	49.0 (21.9)	1.46	.271	0.20

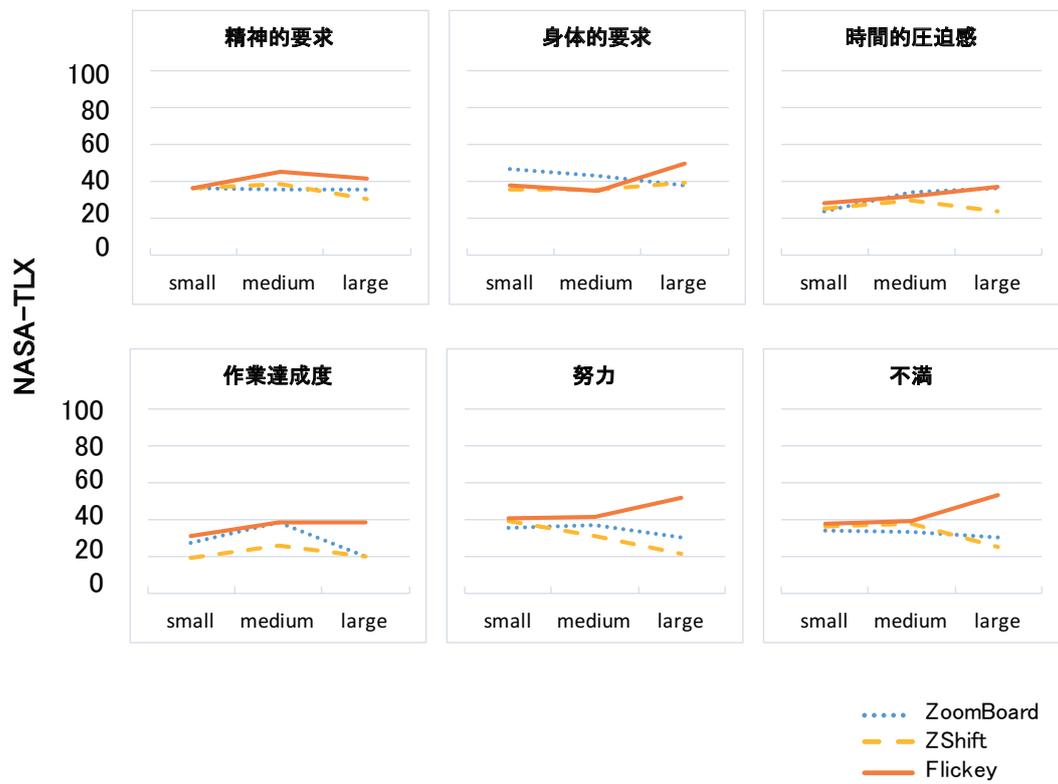


図 4.6: 各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果 .

表 4.1: SUS の原文と今回の実験において用いた日本語訳 .

(1) I think that I would like to use this system frequently. わたしはこのシステムを頻繁に使いたいと思う .
(2) I found the system unnecessarily complex. このシステムは無駄に複雑であると思った .
(3) I thought the system was easy to use. このシステムは簡単に使えると思った .
(4) I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system. このシステムを使えるようになるには , わたしは 技術者の支援を必要とするだろうと思う .
(5) I found the various functions in this system were well integrated. このシステムでは様々な機能がよくまとまっていると思った .
(6) I thought there was too much inconsistency in this system. このシステムにはあまりにも多くの矛盾があると思った .
(7) I would imagine that most people would learn to use this system very quickly. ほとんどの人々はこのシステムの使い方を すぐに覚えるだろうと思う .
(8) I found the system very cumbersome to use. このシステムはとても扱いにくいと思った .
(9) I felt very confident using the system. このシステムを使用できる自信があった .
(10) I needed to learn a lot of things before I could get going with this system. わたしはこのシステムを使い始める前に , 多くのことを学ぶ必要があった .

第5章 ふきだし表示の検討

4.5.2 節において、Flickey の改善点としてふきだし表示の改善を挙げた。本章ではいくつかのふきだし表示のデザインを検討する。その後 6 章において複数のふきだし表示のデザインを比較した実験を述べる。このふきだし表示に関する知見はキーボード操作のみならず超小型端末における操作全体に応用可能な知見である。

5.1 超小型端末におけるふきだし表示

超小型端末はその画面の小ささゆえに入力領域が小さいため、主な利用方法は情報の提示に限られており、タッチ入力の操作性の向上が望まれている。一つの解決策はふきだし表示を用いることである。指により遮蔽されている領域を遮蔽されていない領域にふきだし表示することにより、遮蔽の問題を解決することができる。しかしながら、超小型端末におけるふきだし表示のデザインはまだ研究されていない。したがって、本章においてふきだし表示のデザインを複数提示し、6 章においてそれらの評価および解析を行う。

5.2 ふきだし表示のデザイン

ふきだしをどのように表示するかを検討するにあたって、超小型端末においてユーザが非常に小さなターゲット（例：キーボードや小さなボタン）を選択する状況を想定することとした。また、ふきだし表示のデザインに関わる因子として、表示方法、表示位置、およびポインタ有無を使用した。

5.2.1 表示方法

表示方法は、ユーザの操作に応じてふきだし表示内の表示をどのように変化させるのが良いかを調査するための因子であり、連続的条件、および離散的条件の 2 水準を設けた。

連続的条件は現在のタッチ位置に応じてふきだし表示内の表示が連続的に変化する（図 5.1a）。指によって遮蔽された領域はふきだし表示によって直接表示される。Shift [VB07]、および iOS のコピーアンドペースト操作もこの方式を採用している。

離散的条件は指によって現在選択されている項目に応じてふきだし内の表示が離散的に変化する（図 5.1b）。連続的条件とは違い、たとえ指が動いたとしても指が同じ項目を選択し続けている限り、ふきだし内の表示は変化しない（図 5.2）。ユーザが指を動かし、別の項目



図 5.1: 表示方法因子 . a) 連続的 , b) 離散的 . X マークはユーザの指の位置を示す .

を選択した場合はふきだし内の表示が変化する . 項目が選択されるたびにふきだし内の表示が変化するため , 視覚的フィードバックとしてユーザは選択したというフィードバックを得られる可能性がある .

5.2.2 表示位置

表示位置は , ユーザの操作に応じてふきだし表示の位置をどのように変化させるのが良いかを調査するための因子であり , 固定条件 , および追従条件の 2 水準を設けた .

固定条件においては , 指の動きにかかわらず常に同一の場所にふきだしは表示される (図 5.3a) . ふきだし表示の位置が固定されているため , ユーザは常に同じ位置を見るだけで良く , 結果として視線移動が少なくなるという利点がある .

追従条件においては , ユーザの指の位置に応じてふきだしの位置が変化する (図 5.3b) .

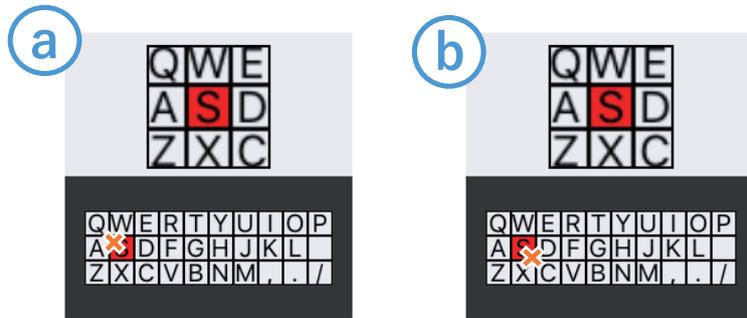


図 5.2: 離散的条件（表示方法因子）。

5.2.3 ポインタ有無

ポインタ有無はユーザの実際のタッチポイントをポインタ表示を用いてふきだし表示上に重畳表示する方が良いかどうかを調査するための因子であり、ポインタなし、およびポインタありの2水準を設けた（図 5.4）。ポインタを表示することによって、ユーザがタッチしている実際の位置を認識することができる。ポインタは緑色の四角にて表示し、サイズはふきだし表示内において 0.83 mm × 0.83 mm であった。

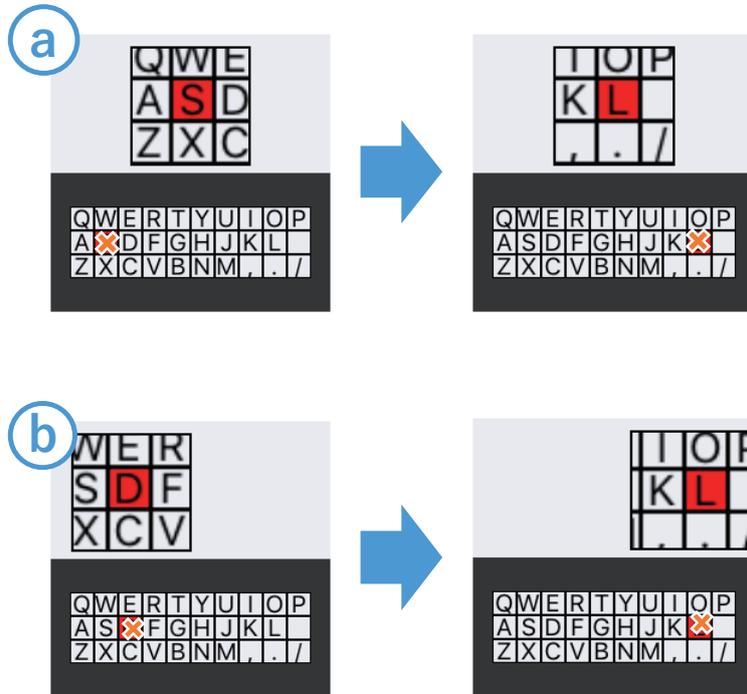


図 5.3: 表示位置因子 . a) 固定 , b) 追従 . X マークはユーザの指の位置を示す .

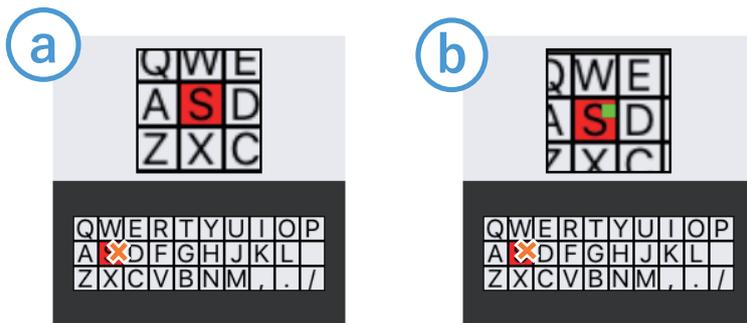


図 5.4: ポインタ有無因子 . a) ポインタなし , b) ポインタあり . 緑の点はポインタである . X マークはユーザの指の位置を示す .

第6章 評価実験2：ふきだし表示の評価

5.2節において述べた複数のふきだし表示に関する表示条件が使用感にどのような影響を与えるのかを調査するために、実験を行った。被験者が行ったタスクはそれぞれのふきだし表示デザインの条件の下、小さなターゲットを選択するタスクである。被験者の入力操作を記録し、選択速度、エラー率、およびメンタルワークロードの3つの観点から解析を行った。

6.1 実験機器

iPhone 5 (iOS 9.1, 画面サイズ: 4 inch, 解像度: 326 ppi) 上にて動作する実験用アプリケーションを実装し、これらを実験に用いた。これは既存のスマートウォッチよりも iPhone 5 に搭載されているタッチセンサの方がより高精度なためである。スマートウォッチの画面を再現するため、スマートフォンのタッチスクリーン上の 18.0 mm × 18.0 mm (= 1.0 inch) の領域を入力領域として用いた。その入力領域以外への操作をすべて無視した。入力領域を2つの領域に等分し、上側にはふきだし表示を表示し、下側にはキーボードを表示した。キーボードのサイズは 15.6 mm × 4.7 mm であり、それぞれのキーのサイズは 1.6 mm × 1.6 mm であった。スマートフォンを2つのひざ用サポータ (株式会社 D&M, ひざ下ベルト ラップタイプ, 842XUD2786 BLK M) を用いて被験者の非利き腕に横向きに取り付けた (図 4.1)。

6.2 被験者

大学生および大学院生 8 名 (男性 7 名, 女性 1 名, 年齢: 22–23 歳) を被験者として雇用した。なお、評価実験 1 における被験者との重複は 3 人であった。すべての被験者が右利きであり、4 名がスマートウォッチの使用経験があった (利用歴: 3–15 ヶ月, 平均: 8 ヶ月)。実験終了後、各被験者には実験への参加に対する謝礼として 1,640 円支払った。

6.3 手順とタスク

実験は静かな室内で行われた。被験者には実験中常に着席しているように指示した。

まず、実験者は実験の目的および内容の説明を行った。また、被験者にいつでも実験を中断して休憩がとれることを説明した。その後スマートウォッチの使用歴等を問うアンケートに回答するように指示した。アンケート回答後、デジタルノギスを用いて被験者の人差し指 (利

き腕)の遠位指節間関節の幅(図4.4)を測定した。平均サイズは14.9 mm (SD = 0.8 mm)であり、日本人の標準的なサイズの範囲内であった[河内12]。

はじめに、スマートフォンを被験者の非利き腕に横向きにて装着した。次に短い操作デモを通じて、各ふきだし表示デザインの提示および説明を行った。その後被験者に各ふきだし表示デザインを用いて、それぞれ5回のターゲット選択タスクを行うように指示した。このとき、実験中のすべての操作を利き手の人差し指のみを用いて行うように指示した。このウォームアップセッションは平均で3-5分ほど要した。その後、本番セッションを開始した。

本番セッションにおいて、5章にて示した条件の下、ターゲット選択タスクを行うように指示した。条件は、表示方法(連続的および離散的)、表示位置(固定および追従)、およびポインタ有無(ポインタなし、ポインタあり)の3つの因子からなる。これに加えて、ふきだし表示デザインの影響のみを明らかにするため、2つの開始位置条件を設けた(図6.1)。実験中、キーボードの左もしくは右のどちらかの端を開始位置として提示した(左条件および右条件)。開始位置として画面上に表示された青いバーをタッチしてから(タッチダウン)、画面上部に提示されたターゲットまでドラッグし、ターゲットの上で指を離すことにより(タッチアップ)ターゲットを選択するように指示した。タッチダウンからタッチアップまでを1試行とした。このとき、被験者がふきだし表示を使用せずにターゲットを選択してしまう恐れがあったため、はじめに開始位置をタッチした後、ふきだし表示を見ながらターゲットへ指を動かすように指示した。開始位置は各条件ごとにまずは左に提示し、次に右に提示した。したがって、被験者は各条件ごとに2回ずつターゲット選択タスクを行った。条件の提示順が実験結果に影響しないように、各条件をランダムな順序にて提示した。ターゲットは1つの選択タスクにおいてランダムな順序にて26回提示した(キーボード上のAからZキー)。結果として被験者は

	2	表示方法条件(連続的および離散的)
×	2	表示位置条件(固定および追従)
×	2	ポインタ有無条件(ポインタなし、ポインタあり)
×	2	開始位置条件(左および右)
×	26	ターゲット
=	416	試行

を行った。

実験が開始されると、入力すべきキーはスマートウォッチの入力面の上側に青文字で表示され(図6.1)、対応するキーを選択すると自動的に新しいキーが表示された。間違ったターゲットを選択した場合であっても、自動的に新しいキーが表示された。実験者は被験者に、なるべく速く、なるべく正確に選択するように指示した。各条件のタスク終了後、NASA Task Load Index (NASA-TLX) [HS88]に回答するように指示した。しかしながらNASA-TLXは英語で記述されているため、今回の実験では三宅らによって作成された日本語版を用いた[三宅93]。NASA-TLX回答後、次の条件に移る前に1-2分ほどの休憩を挟んだ。この時、先ほどの条件に対する感想がある場合は発言するように指示した。



図 6.1: 実験アプリケーション。

すべての条件が終了した後、ふきだし表示デザインに関するアンケートに回答するように指示した。この実験は合計で 70 分程度要した。実験中はスクリーンキャプチャによって入力画面を記録し、また被験者が実験中に発した発言をボイスレコーダによって記録した。

6.4 計測と解析方法

選択時間として、1 試行前のターゲットのタッチアップから現在のターゲットのタッチダウンまでを計測した。このとき、被験者が提示されたターゲットとは違うターゲットを選択した場合はエラーとして記録し、選択時間の計算には含めなかった。

6.5 結果

本節では、選択速度、エラー率、メンタルワークロード、および主観的評価結果について述べる。

6.5.1 選択時間

各条件における選択時間を図 6.2 および表 6.1 に示す。なお、表の括弧内は標準偏差を示す。結果、連続的・追従・ポインタなし条件が最も速く、離散的・固定・ポインタあり条件が最も

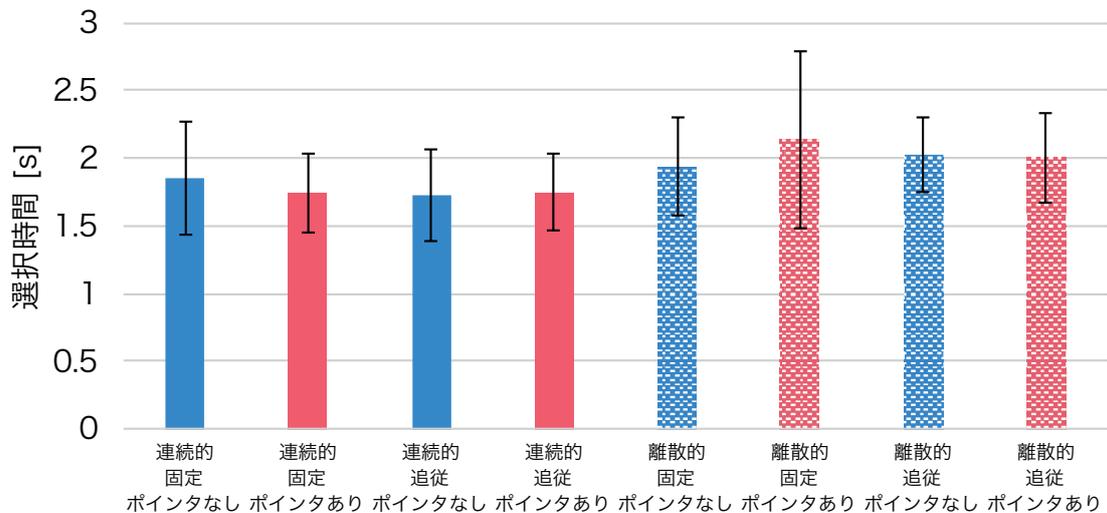


図 6.2: 各条件における選択時間 .

表 6.1: 各条件における選択時間 . 太字は最も速い結果と最も遅い結果を示す .

条件	選択時間 [秒]
連続的・固定・ポインタなし	1.86 (0.42)
連続的・固定・ポインタあり	1.74 (0.29)
連続的・追従・ポインタなし	1.73 (0.34)
連続的・追従・ポインタあり	1.75 (0.28)
離散的・固定・ポインタなし	1.94 (0.36)
離散的・固定・ポインタあり	2.14 (0.65)
離散的・追従・ポインタなし	2.03 (0.27)
離散的・追従・ポインタあり	2.00 (0.33)

遅かった .

実験結果を分散分析したところ , 表示方法因子間に有意な主効果がみられ , 連続条件が有意に速い結果となった ($p < .001$) . 表示位置因子間およびポインタ有無因子間に有意な差はなかった . また , 有意な相互作用はなかった .

6.5.2 エラー率

各条件におけるエラー率を図 6.3 および表 6.2 に示す . なお , 表の括弧内は標準偏差を示す . 結果 , 連続的・追従・ポインタあり条件が最もエラー率が低く , 連続的・固定・ポインタなし条件および離散的・固定・ポインタなし条件が最もエラー率が高かった .

実験結果を分散分析したところ , ポインタ有無因子間に有意な主効果がみられ , ポインタ

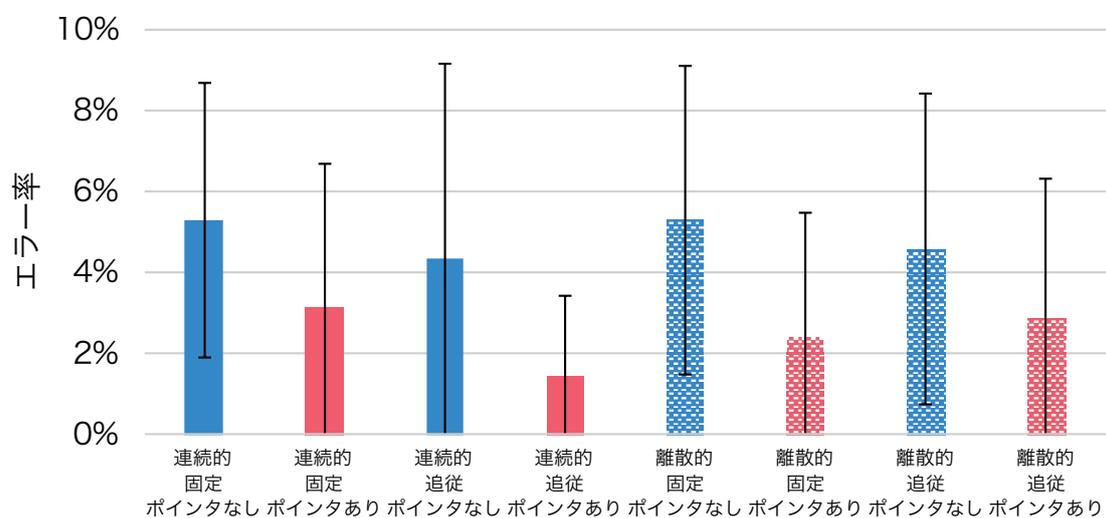


図 6.3: 各条件におけるエラー率 .

表 6.2: 各条件におけるエラー率 . 太字は最も低い結果と最も高い結果を示す .

条件	エラー率 [%]
連続的・固定・ポインタなし	5.29 (3.37)
連続的・固定・ポインタあり	3.13 (3.55)
連続的・追従・ポインタなし	4.33 (4.79)
連続的・追従・ポインタあり	1.44 (1.99)
離散的・固定・ポインタなし	5.29 (3.81)
離散的・固定・ポインタあり	2.40 (3.04)
離散的・追従・ポインタなし	4.57 (3.84)
離散的・追従・ポインタあり	2.88 (3.41)

あり条件が有意にエラー率が低くなった ($p < .05$)。表示方法因子間および表示位置因子間に有意な差はなかった。また、有意な相互作用はなかった。

6.5.3 メンタルワークロード

各条件における NASA-TLX の結果を図 6.4 に示す。NASA-TLX の結果は低いほうが良いと言える。結果、連続的・固定・ポインタあり条件が最も低い評価値を獲得し、離散的・追従・ポインタなし条件が最も高い評価値を獲得した。

実験結果を分散分析したところ、表示方法因子間に有意な主効果がみられ、連続的条件が有意に NASA-TLX の評価値が低くなった ($p < .01$)。表示位置因子間およびポインタ有無因子間には有意な差はなかった。また、表示方法因子およびポインタ有無因子間に相互作用がみられ、有意傾向がみられた ($p = .08$)。

加えて、NASA-TLX の各カテゴリの評価値も分散分析を行った。NASA-TLX は 6 つの異なる視点から評価することにより全体的なワークロードを算出する。精神的欲求において、表示方法因子間に有意な主効果がみられ、連続的条件が有意に低い評価値となった ($p < .01$)。身体的要求において、表示方法因子間に有意な主効果がみられ、連続的条件が有意に低い評価値となった ($p < .01$)。作業達成度において、表示位置因子間に有意な主効果がみられ、固定条件が有意に低い評価値となった ($p < .01$)。努力において、表示位置因子およびポインタ有無因子間に相互作用がみられ、優位傾向がみられた ($p = .07$)。不満において、表示内容因子間に有意な主効果がみられ、連続的条件が有意に低い評価値となった ($p < .05$)。また、表示方法因子およびポインタ有無因子間に有意な相互作用がみられ ($p < .01$)、また、表示方法因子および表示位置因子間に有意傾向がみられた ($p = .09$)。多くのカテゴリにおいて表示方法因子間に有意な主効果がみられ、連続的条件が有意に低い評価値となった一方で、作業達成度カテゴリにおいては表示位置因子間に有意な主効果がみられ、固定条件が有意に低い評価値となった。

6.5.4 主観的評価

被験者に「どちらの条件が使いやすかったですか?(連続的条件もしくは離散的条件, 固定条件もしくは追従条件, ポインタなし条件もしくはポインタあり条件)」と質問した。表示内容因子に関して、全ての被験者が離散的条件よりも連続的条件のほうが使いやすいと回答した。表示位置因子に関して、5名の被験者が追従条件よりも固定条件の方が使いやすいと回答した。ポインタ有無因子に関して、5名の被験者がポインタなし条件よりもポインタあり条件のほうが使いやすいと回答した。

6.6 議論

本節では、実験結果に対する議論について述べる。

実験結果より、ふきだし表示における表示方法因子は離散的条件よりも連続的条件の方が選択速度は速くなり、また NASA-TLX の評価値も小さくなった。連続的条件においては、ユーザの指の動きとふきだし表示の内容が対応しているため、より使いやすいという結果になった。アンケートからも「連続的条件は指の動きに対してより自然に感じられ、自分の操作をより実感することができた」、「連続的条件の方がターゲットに位置を合わせやすかった」という意見が得られた。

エラー率についてはふきだし表示内にポインタを表示した方が低い結果となった。アンケートからも「ポインタあり条件は自分のタッチしている実際の位置がわかるので、より選択しやすかった」、「ポインタあり条件はターゲットを狙いやすかった」という意見が得られた。

NASA-TLX における評価値の特に作業達成度の項目において、追従条件よりも固定条件の方が低い評価値となった。超小型端末のタッチスクリーンは超小型なため、ユーザは一度にスクリーンのすべての内容を見ることができる。よって、固定条件の方が視線移動が少なくなり、より低い評価値になったと考えられる。アンケートからも「追従条件だとふきだし表示に自分の視線を合わせる必要があるが、固定条件だとその必要が無い」という意見が得られた。

6.7 実験結果のまとめ

実験の結果、ふきだし表示内の内容をなめらかに連続的に変化させる方がより選択速度は速くなり、またメンタルワークロードも低い結果となった。また、ふきだし表示内にポインタを表示した方がエラー率が低くなった。NASA-TLX における評価値の特に作業達成度の項目において、ふきだし表示の位置を指の動きに追従させるよりも固定させた方が低い評価値となった。

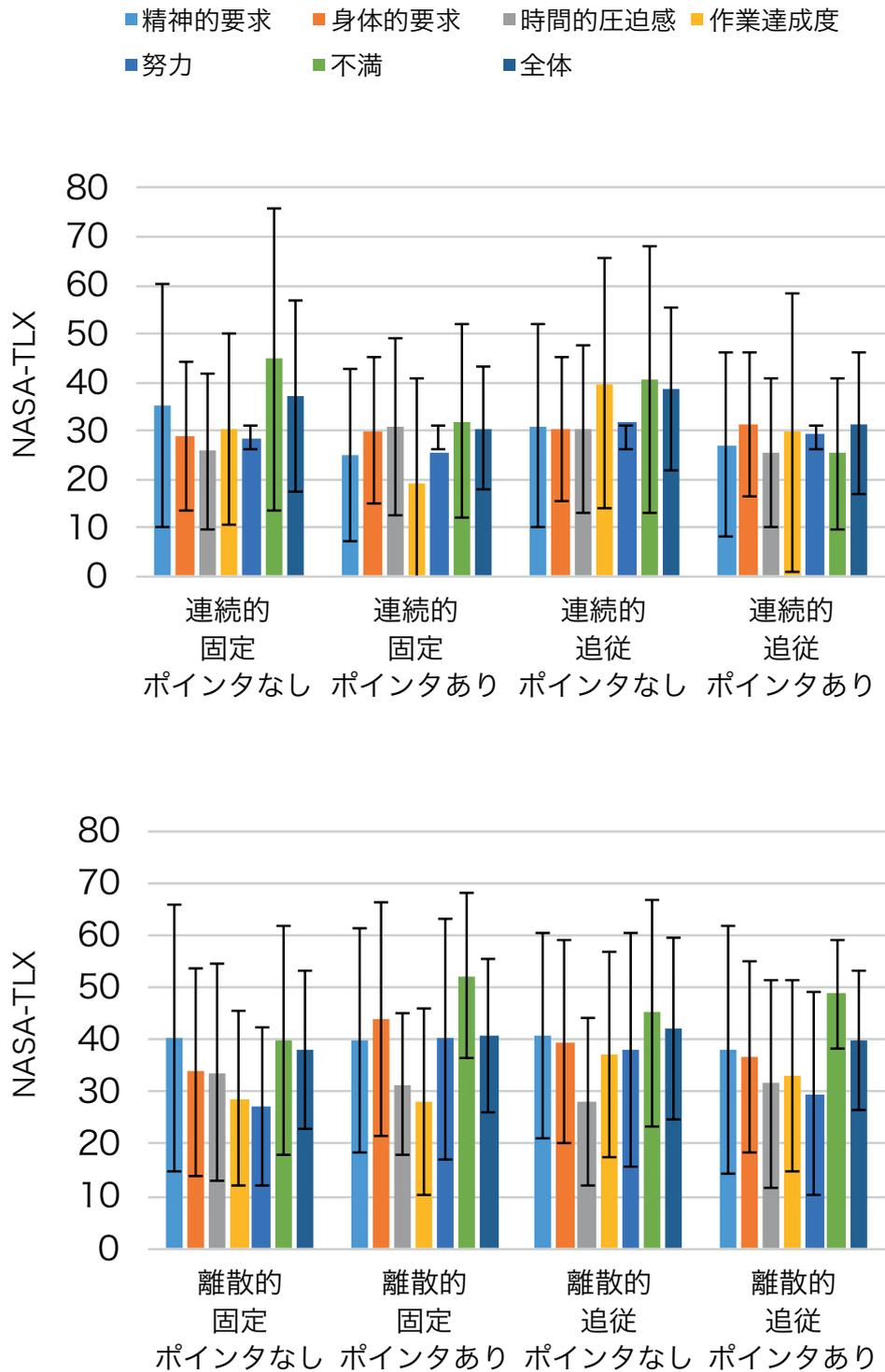


図 6.4: 各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果 .

第7章 まとめと今後の課題

本論文において、フリックを活用したキーの押し分けの負担が少ない QWERTY キーボード「Flickey」を示した。その後 iPhone 5 上にて動作するアプリケーションとして Flickey を作成し、既存手法と比較実験を行った。small 条件において、有意な差はなかったものの、Flickey の入力速度が最も速かった (ZoomBoard: 7.5 WPM, ZShift: 8.5 WPM, Flickey: 8.7 WPM)。Flickey はふきだし表示内の視覚的フィードバックが離散的であるため、他の手法と比べ誤入力が多いことが明らかとなった。この問題を解決するため、ふきだしの表示内容に関する追加実験を行った。実験の結果、ふきだし表示は、表示内容を連続的に変化させ、表示位置を固定し、ポインタを表示するデザインが最も良いことが分かった。

ふきだしの表示内容に関する実験結果から得られた最良のふきだし表示デザインと比較実験にて Flickey が採用していたふきだし表示デザインは真逆である。したがって、ふきだし表示の表示方法を変更することにより Flickey の性能向上が見込める。また、Flickey はフリックを用いるため、キーボードサイズが変化した場合にフリック判定のしきい値が変化し、同時に使用感も変化する。そのため、違和感を調査する追加実験を行い、各サイズにおけるしきい値を違和感の少ないものに調整することを考えている。今後はこれらの改善点を実装し、さらなるキーボードの性能評価実験を行う。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である志築文太郎先生，田中二郎先生には多大なご助力を賜り，ここに深く感謝いたします．特に，志築文太郎先生には論文の執筆方法だけでなく，研究生活において重要なご支援およびご助力を賜りました．深く感謝いたします．

田中研究室の皆さまには，研究における様々なご支援をいただきました．特に WAVE チームの皆さまには，チームゼミをはじめ，論文の添削や実験への参加など多くのご支援をいただきましたこと，ここに深く感謝いたします．

また，多くの友人にも論文の添削や実験への参加など大変お世話になりました．深く感謝いたします．

最後に，私の人生を支えてくださった家族や友人，研究においてお世話になった方々に深く感謝いたします．

参考文献

- [AS09] Ahmed Sabbir Arif and Wolfgang Stuerzlinger. Analysis of text entry performance metrics. In *Proceedings of the IEEE Toronto International Conference on Science and Technology for Humanity*, pp. 100–105. IEEE, 2009.
- [Bro96] John Brooke. SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 1996.
- [Bro13] John Brooke. SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29–40, February 2013.
- [CGF14] Xiang ‘Anthony’ Chen, Tovi Grossman, and George Fitzmaurice. Swipeboard: A text entry technique for ultra-small interfaces that supports novice to expert transitions. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST ’14, pp. 615–620, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [FST13] Yoshitomo Fukatsu, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. No-look Flick: Single-handed and eyes-free Japanese text input system on touch screens of mobile devices. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI ’13, pp. 161–170, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [FWW11] Leah Findlater, Jacob O. Wobbrock, and Daniel Wigdor. Typing on Flat Glass: Examining ten-finger expert typing patterns on touch surfaces. In *Proceedings of the 29th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’11, pp. 2453–2462, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [GR93] David Goldberg and Cate Richardson. Touch-typing with a stylus. In *Proceedings of the INTERACT ’93 and CHI ’93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, INTERACT ’93 and CHI ’93, pp. 80–87, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [HHIL15] Jonggi Hong, Seongkook Heo, Poika Isokoski, and Geehyuk Lee. SplitBoard: A simple split soft keyboard for wristwatch-sized touch screens. In *Proceedings of*

the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, pp. 1233–1236, New York, NY, USA, 2015. ACM.

- [HS88] Sandra G Hart and Lowell E Staveland. Development of NASA-TLX (task load index): Results of empirical and theoretical research. *Human mental workload*, Vol. 1, No. 3, pp. 139–183, 1988.
- [KD14] Andreas Komninou and Mark Dunlop. Text input on a smart watch. *Pervasive Computing, IEEE*, Vol. 13, No. 4, pp. 50–58, Oct 2014.
- [LGYT11] Frank Chun Yat Li, Richard T. Guy, Koji Yatani, and Khai N. Truong. The 1Line Keyboard: A QWERTY layout in a single line. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 461–470, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [LSC⁺15] Luis A. Leiva, Alireza Sahami, Alejandro Catala, Niels Henze, and Albrecht Schmidt. Text entry on tiny QWERTY soft keyboards. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 669–678, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [MS03] I. Scott MacKenzie and R. William Soukoreff. Phrase sets for evaluating text entry techniques. In *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '03, pp. 754–755, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [MZ97] I. Scott MacKenzie and Shawn X. Zhang. The immediate usability of Graffiti. In *Proceedings of the Conference on Graphics Interface '97*, pp. 129–137. Canadian Information Processing Society, 1997.
- [OHOW13] Stephen Oney, Chris Harrison, Amy Ogan, and Jason Wiese. ZoomBoard: A diminutive qwerty soft keyboard using iterative zooming for ultra-small devices. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 2799–2802, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [Per98] Ken Perlin. Quikwriting: Continuous stylus-based text entry. In *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '98, pp. 215–216, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [RHL08] Anne Roudaut, Stéphane Huot, and Eric Lecolinet. TapTap and MagStick: Improving one-handed target acquisition on small touch-screens. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '08, pp. 146–153, New York, NY, USA, 2008. ACM.

- [SM03] R. William Soukoreff and I. Scott MacKenzie. Metrics for text entry research: An evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 113–120, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [SRC05] Katie A. Siek, Yvonne Rogers, and Kay H. Connelly. Fat finger worries: How older and younger users physically interact with PDAs. In *Proceedings of the 2005 IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT'05, pp. 267–280, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.
- [VB07] Daniel Vogel and Patrick Baudisch. Shift: A technique for operating pen-based interfaces using touch. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, pp. 657–666, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [WMK03] Jacob O. Wobbrock, Brad A. Myers, and John A. Kembel. EdgeWrite: A stylus-based text entry method designed for high accuracy and stability of motion. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '03, pp. 61–70, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [ジャ11] ジャストシステム. スマートフォン向け日本語入力システム atok for android. http://www.justsystems.com/jp/products/atok_android/ 2016年1月10日閲覧, 2011.
- [下岡 15] 下岡純也, 浅井洋樹, 山名早人. スマートウォッチにおけるアイズフリー日本語入力手法. 第23回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, WISS2015, pp. 145–146. 日本ソフトウェア科学会, 2015.
- [河内 12] 河内まき子. Aist 日本人の手の寸法データ. <https://www.dh.aist.go.jp/database/hand/index.html> 2016年1月10日閲覧, 2012.
- [金井 14] 金井達巳, 宮下芳明. 極小タッチデバイスにおける文字の分割入力手法. 第22回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, WISS2014, pp. 145–146. 日本ソフトウェア科学会, 2014.
- [原 14] 原清貴, 梅澤猛, 大澤範高. 腕時計型端末におけるズーム・スクロールを用いたタッチ入力. *インタラクシオン* 2014, pp. 317–320. 一般社団法人情報処理学会, 2014.
- [古井 14] 古井陽之助, 前田環貴, 松本誠義. 講義画面の自動連続キャプチャを行う講義・学習支援システムとその評価実験. 火の国情報シンポジウム 2014. 一般社団法人情報処理学会, 8 pages, 2014.

- [三宅 93] 三宅晋司, 神代雅晴. メンタルワークロードの主観的評価法. 人間工学, Vol. 29, No. 6, pp. 399–408, 1993.
- [青木 13] 青木良輔, 橋本遼, 瀬古俊一, 片岡泰之, 井原雅行, 渡辺昌洋, 小林透. Drag&Flick: タッチスクリーンを用いた視覚障がい者向け文字入力方式. インタラクション 2013, pp. 72–79. 一般社団法人情報処理学会, 2013.

付録A 評価実験1の際に用いた各種書類

4章における評価実験の際に使用した実験同意書，アンケート用紙，および実験手順書を以下に示す．

A.1 実験同意書

超小型タッチパネル端末向けキーボードの性能評価実験のお願い

文責：石井晃

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、石井の研究「超小型タッチパネル端末向けキーボード」の性能を評価することです。
- 実験中に、写真および動画の撮影を行う場合がありますが、これは実験の様子を撮影するために行い、その写真および動画を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。
- 実験終了後、謝礼をお支払いします。

2015年 月 日

所属 _____ 署名 _____

説明者 所属 情報学群 情報メディア創成 _____ 署名 _____

7. 普段、スマートフォンにおいて利用している英語の入力方式は何ですか？(複数回答可)

1. フリック入力
2. QWERTYキーボード
3. トグル打ち(フィーチャーフォンにおいて一般的な入力方式)
4. ベル打ち(ポケベル打ち)
5. その他()

8. スマートウォッチの利用歴はありますか？

無し ・ _____ 年 _____ 月頃から _____ を使用

9. スマートウォッチを利用したことがある場合は、普段使用する入力方式(音声入力を含む)は何ですか？

日本語: _____

英語 : _____

10. 普段、腕時計はどちらの腕に装着しますか？

右・左・使用経験が無い

11. 人差し指の大きさ(こちらで測定します)

_____ mm

ZoomBoard に関するアンケート

文責：石井晃

1. 本キーボードは使いやすかったですか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

2. 本キーボードを今後も使用したいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

3. 慣れやすいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

4. 本入力システムについて、感想をご記入ください
(改善すべき点や感じた点、感想などご自由にお書きください)

ZShiftに関するアンケート

文責：石井晃

1. 本キーボードは使いやすかったですか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】
2. 本キーボードを今後も使用したいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】
3. 慣れやすいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】
4. 本入力システムについて、感想をご記入ください
(改善すべき点や感じた点、感想などご自由にお書きください)

Flickeyに関するアンケート

文責：石井晃

1. 本キーボードは使いやすかったですか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

2. 本キーボードを今後も使用したいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

3. 慣れやすいと思いますか？
(とても思う) 5・4・3・2・1 (全く思わない)
【理由】

4. 本入力システムについて、感想をご記入ください
(改善すべき点や感じた点、感想などご自由にお書きください)

A.3 実験手順書

チュートリアル

文責：石井晃

下記の手順で、各キーボードの操作方法を習得しましょう。

1. **「taro」**と入力してください
2. **【左スワイプ】**を繰り返し、文字をすべて削除してください
 - A) 左スワイプすることで、文字を一文字削除することができます
3. **「tsukuba」**と入力してください
4. **【右スワイプ】**を一回行い、「スペース」を入力してください
 - A) 右スワイプをすることで、スペースを入力することができます
 - B) スペースが入力されると「_ (アンダーバー)」が目印で表示されます
5. 続けて、**「taro」**と入力してください
6. **「tsukuba taro」**と入力されていれば、終了です

付 録 B 評価実験 2 の際に用いた各種書類

6 章における評価実験の際に使用した実験同意書およびアンケート用紙を以下に示す。

B.1 実験同意書

超小型タッチパネル端末向けフキダシ表示の精度評価実験のお願い

文責：石井晃

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、石井の研究「超小型タッチパネル端末向けフキダシ表示」の精度を評価することです。
- 実験中に、写真および動画の撮影を行う場合がありますが、これは実験の様子を撮影するために行い、その写真および動画を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。
- 実験終了後、謝礼をお支払いします。

2015年 月 日

所属 _____ 署名 _____

説明者 所属 情報学群 情報メディア創成 _____ 署名 _____

精度実験に関する事後アンケート

文責：石井晃

【注意事項】

カクカクなどの状態がよく分からない場合は手元の実験端末を実際に操作してみて確認してください。

また、分からないことがある場合は実験者に聞いてください。

理由・コメント欄は任意項目ですがなるべく書くようしてください。

1. 【カクカク】と【なめらか】どちらが使いやすかったですか？

カクカク ・ なめらか

【理由・コメントなど】

2. 【センター】と【追従】どちらが使いやすかったですか？

センター ・ 追従

【理由・コメントなど】

3. 【ドットなし】と【ドットあり】どちらが使いやすかったですか？

ドットなし ・ ドットあり

【理由・コメントなど】

4. 状態の組み合わせによる使いやすさの変化はありましたか？ある場合はご記入ください。

(例：全体的にドットありの方が使いやすかったがカクカクの時は無いほうが使いやすかった, なめらかの時の方がよりセンター表示の使いやすさが際立った, カクカク・センター状態は非常に使いにくかった)

【コメント】

5. その他コメントなどがございましたらご記入ください

【気になった点・コメント・感想など】