

超小型タッチスクリーン端末上の選択性能を向上させる ふきだし表示デザインの調査

石井 晃^{1,a)} 志築 文太郎²

受付日 2017年4月21日, 採録日 2017年11月7日

概要: 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）に搭載されるタッチスクリーンは、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超小型である。そのため、Fat finger problem やオクルージョンの問題が発生し、ユーザは小さなターゲットを選択しにくい。この問題は、ふきだし表示を用いて操作している指によって遮蔽されている領域を遮蔽されていない領域へ表示することにより解決することができる。しかしながら、超小型端末向けのふきだし表示のデザインについてはこれまで深く調査されてこなかった。本論文では、3つのデザイン要素（それぞれの要素には2つの水準を設けた）を選び、そして超小型端末上の選択タスクにおいて8つのふきだし表示の性能を実験的に調査した。実験の結果、先行研究における結果と一部一致したが、超小型端末ならではの結果も得ることができた。ふきだし表示内の表示はなめらかに変化させたほうが選択速度が速く、エラー率も減少し、また精神的負荷も減少した。また、ふきだし表示内に正確なタッチ位置を示すポインタを表示したほうがエラー率が減少した。デザイン要素としてのふきだし表示の位置は選択タスクにおける性能に影響を与えなかった。

キーワード: オクルージョン, ファットフィンガー, ポインティング, ウェアラブルデバイス, スマートウォッチ

Exploring Callout Design for Improving Selection Performance on Ultra-small Touch Screen Devices

AKIRA ISHII^{1,a)} BUNTAROU SHIZUKI²

Received: April 21, 2017, Accepted: November 7, 2017

Abstract: Ultra-small touch screen devices tend to suffer from occlusion or the fat finger problem owing to their limited input area. A callout could solve these problems by displaying a copy of the occluded area in a non-occluded area. However, callout designs for ultra-small touch screen devices have not yet been explored in depth. In this study, we chose three design factors (each factor has two levels) from various factors and conducted an experiment to examine eight callout designs in the selection task for ultra-small touch screen devices. The results of our experiment matched the results from previous research; however, we also obtained results unique to ultra-small devices. The results showed that the selection speed was higher when the content of the callout was changed continuously, the error rate decreased when the content of the callout was changed continuously and a pointer was displayed to indicate the touched position within the callout, and the workload decreased when the content was changed continuously. Further, as a design factor, the position of the callout would not affect the selection performance.

Keywords: occlusion, fat finger, pointing, wearable device, smartwatch

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

² 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan
a) ishii@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

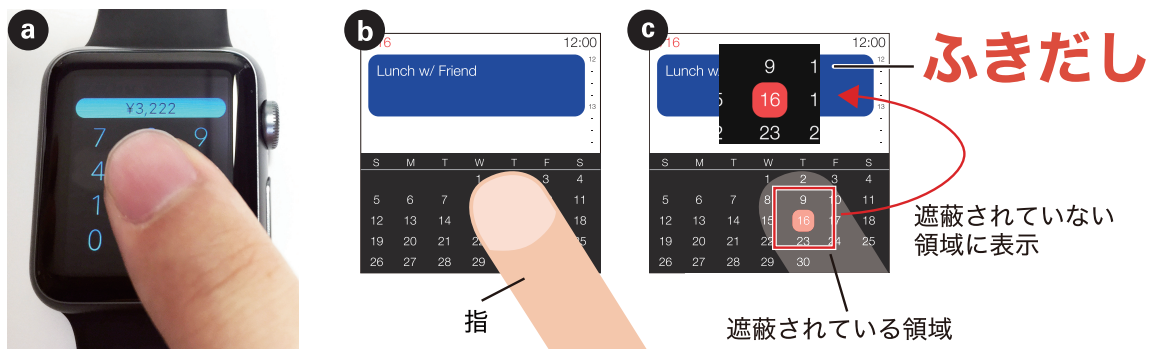


図 1 a) 指によって遮蔽されるタッチスクリーン. b, c) 本論文における「ふきだし表示」の定義. b) 超小型端末のスクリーン上でタッチ操作を行う場合、画面の大部分が指によって遮蔽されてしまう. c) ふきだし表示は指によって遮蔽されている領域を遮蔽されていない領域に表示するために使われる. これによって指による遮蔽を取り除くことができる [10]

Fig. 1 a) Ultra-small devices are more prone to occlusion. b, c) A callout definition in this study. b) During a touch operation by a finger on the screen of an ultra-small touch screen device, most of the screen is occluded by the finger. c) A callout is used to display a copy of the occluded area, thus eliminating the occlusion caused by the finger [10].

1. はじめに

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）は、身につけるという特性上、小型で軽量であることが要求される。そして、それらに搭載されるタッチスクリーンは超小型である。そのため、Fat finger problem [19] やオクルージョンの問題が発生し、小さなターゲットをユーザは選択しにくい（図 1a）。したがって、それら超小型端末の主なアプリケーションは情報の提示にとどまっている。

この問題に対する解決策の1つとして「ふきだし表示」がある。ふきだし表示とは一般的にマンガにおけるキャラクタのセリフ表示に使われるバルーン状の領域のことを指す。ヒューマンコンピュータインタラクションの分野においては、ふきだし表示はタッチスクリーン上における様々な選択タスク（例：メニュー選択、マップの操作、文字入力）を補助するために使われており [13], [20], [21]、また商業製品においても iOS や Android 端末における文字選択において虫眼鏡という形で使われている。このようなふきだし表示は、操作時に指によって遮蔽される領域を遮蔽されていない領域に表示するため、指による遮蔽の問題を解決することができる（図 1b, c）。超小型端末の入力領域は著しく限られているため、慎重に設計されたふきだし表示はオクルージョンの問題を解決する手段となり、その結果、超小型端末における選択タスクの性能向上につながる。

しかしながら、様々なデザイン要素がふきだし表示の性能に影響しうが、超小型端末向けのふきだし表示のデザインは今まで深く調査されてこなかった。超小型端末にお

ける3つのQWERTYソフトウェアキーボードの性能を比較した研究において、Leivaら [13] は、選択されているキーのみをふきだしに表示する場合（single モード）と、選択されているキーとそのキーの周辺のキーを表示する場合（surroundings モード）のふきだし表示のデザイン要素を調査している。その結果、surroundings モードのほうが文字入力の速度およびエラー率の面で良い性能であることが分かった。本論文では、Leivaらの結果を踏襲しつつ（surroundings モードを用いる）、新たに3つのデザイン要素を調査した。

本論文の目的は超小型端末におけるふきだし表示のデザインガイドラインを調査することである。よって、3つのデザイン要素（それぞれの要素には2つの水準を設けた）を選び、そして超小型端末上の選択タスクにおいて8つのふきだし表示の性能を実験的に調査した。実験の結果、先行研究における結果と一部一致したが、超小型端末特有の結果も得ることができた。本論文では、それらについて報告する。

2. 関連研究

2.1 オクルージョンをともなう極小ターゲットの選択

オクルージョンをともなう極小ターゲットの選択に関する研究は数多く行われている [3]。これらの研究においては、異なる入力手法や異なる入力デバイスを用いてタッチ入力の性能を調査したものが存在する（例：文献 [5], [14]）。しかしながら、これらの研究はスマートフォンやタブレット端末のような超小型端末に比べ比較的大きな端末を用いて調査を行っている。

また、特殊なハードウェアを用いた極小ターゲット選

択に関する研究も多数行われている。NanoStylus [22] は超小型端末の操作時における指によって遮蔽される領域を減少させるための指装着型スタイラスを提案している。nanoTouch [1] は端末の背面においてタッチ入力を行うことにより、指による遮蔽の問題を解決する研究である。Holzら [8] は指紋を取得可能な特殊なハードウェアを用いて、個人の癖に基づく指の姿勢やユーザ ID を用いることによってタッチ入力の精度が向上することを示した。これらの研究は、特殊な端末や追加のハードウェアを用いることによって極小ターゲット選択における性能が改善されることを示している。一方で、我々はふきだし表示というソフトウェアによる解決策を用いてこの問題に取り組む。

2.2 超小型端末における文字入力

一般的に文字入力はキーの選択などつねに極小ターゲット選択の問題に直面している。そのため、超小型端末における文字入力に関する研究は我々の研究と問題を一部共有することができる。ZoomBoard [15] 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とによりキーを選択する。Swipeboard [4] 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。このように、キーを複数回タップする、もしくはフリックなどのジェスチャを用いることによって超小型端末においても QWERTY キーボードを用いて文字入力を可能にしている。WatchWriter [6] はジェスチャ入力および統計に基づく単語の辞書を用いることによって超小型端末における文字入力を実現している。Komminosら [12] は6つに分かれた大きなキーを持つ特殊なキーボードと統計に基づく単語の辞書を用いた。DriftBoard [18] はキーボード自体を動かし、固定されたカーソルに特定のキーの位置を合わせることで超小型端末において文字入力を行う手法である。SplitBoard [9] は QWERTY キーボードを2つに分割し、キー1つあたりの大きさを大きくすることによって超小型端末における文字入力を実現している。これらのジェスチャ、キーの拡大、またはキーボードレイアウトの工夫というアプローチによる研究と比較し、我々はふきだし表示という別のアプローチを用いて超小型端末における極小ターゲット選択の問題を解決する。そしてこれは一般的に文字入力にも適用可能である。

2.3 Occlusion-aware インタフェース

オクルージョンの問題は Occlusion-aware インタフェースによって解決することができる [2], [11], [20]。しかしながら、これらの手法はテーブルトップやタブレットデバイス向けに設計されており、超小型端末のような画面サイズが小さな端末には向かない。

2.4 Offset Cursor 手法

選択タスクにおけるオクルージョンの問題を Offset Cursor という手法を用いることでも解決することができる [16], [17]。Offset Cursor は、ポインタをタッチ位置から固定長離れた上側の位置に表示することによって「ソフトウェア版スタイラス」のような操作を実現する。しかしながら、この手法の欠点はユーザが直接ターゲットを選択できないことである。一方で、ふきだし表示の利点はそのような画面領域においても直接ユーザがターゲットを選択可能である [21]。

2.5 ふきだし表示

我々の手法と最も関連のある研究は文献 [21] および [13] である。

Shift [21] は、ふきだし表示を用いて Personal Digital Assistant (PDA) 上でターゲット選択するための手法である。指による遮蔽の問題を解決するため、Shift は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を用いて表示する。この研究においては、次のデザイン要素が調査されている：位置、形、ズーム率、Control-Display (CD) 比。

Leivaら [13] は、ふきだし表示を用いることによって超小型端末上における QWERTY キーボードを用いた文字入力を実現した。この研究は文字入力のための手法を提案することに焦点を当てており、また、その性能を調査するため他の関連する文字入力手法との比較を行っている。この研究では、選択されているキーのみをふきだしに表示する場合 (*single* モード) と、選択されているキーとそのキーの周辺のキーを表示する場合 (*surroundings* モード) のふきだし表示のデザイン要素を調査している。その結果、*surroundings* モードのほうが文字入力の速度およびエラー率の面で性能が改善された。一方で我々は、超小型端末上の選択タスクにおけるふきだし表示のデザイン要素が与える影響を調査することに焦点を当てる。よって、超小型端末においてその他のデザイン要素を調査した。

3. ふきだし表示のデザイン要素

前節で述べたように、ふきだし表示のデザインには様々な要素が存在する。たとえば、位置、形、ズーム率、CD 比 [21] や、ふきだし表示にどの程度コンテンツを表示するかどうか [13] などである。そこで我々はふきだし表示をどのように行うかの検討にあたり、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。広大なふきだし表示のデザインスペースを調査する第一歩として、表示方法、表示位置、およびポインタ有無をデザイン要素として選択した。もしこのような選択タスクにおいて性能の良いふきだし表示を発見することができた場合、極小ター

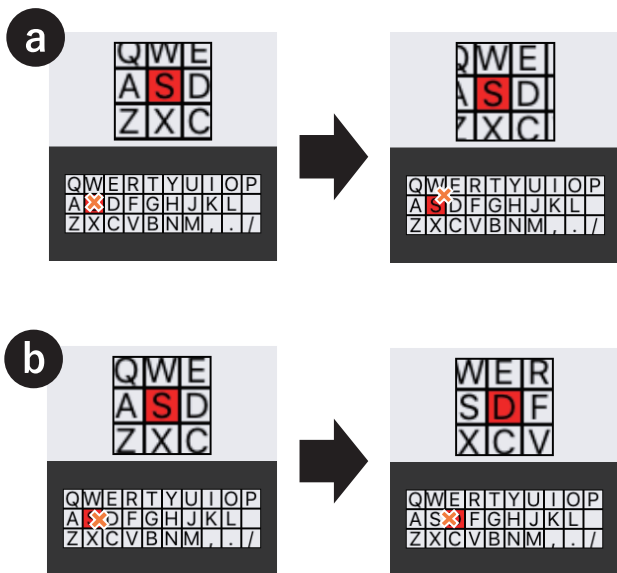


図 2 表示方法要素. a) 連続的, b) 離散的. X マークはユーザの指の位置を示す [10]

Fig. 2 Presentation Method: a) Continuous and b) Discrete. The X mark indicates the position of the finger of the user [10].

ゲットを比較的容易に選択可能になり、また文字入力もより簡単になるため、ユーザは超小型端末において通知ベースのアプリケーションの代わりに様々なアプリケーション(インスタントメッセンジャや SNS) を用いることができるようになると期待される。

3.1 表示方法

表示方法は、ユーザの操作に応じてふきだし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デザイン要素であり、連続的条件、および離散的の2水準を設けた(図 2)。

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(なめらかに)変化する(図 2a)。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 [21]、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。

離散的の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表示内の表示が離散的に(カクカクと)変化する(図 2b)。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、ふきだし表示内の表示は変化しない(図 3)。ユーザが指を動かし、別の項目を選択した場合はふきだし表示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。

3.2 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

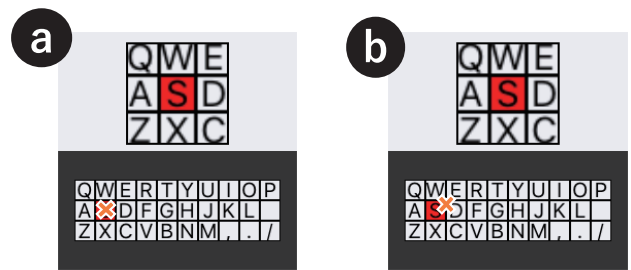


図 3 離散的の条件の場合、指が(a)の位置から(b)へ動いたとしても、同じアイテムを選択しているため(この場合は S キー)ふきだし表示の内容は変化しない [10]

Fig. 3 In Discrete, even if the finger is moved from the position in (a) to the position in (b), the callout displays the same content because the finger stays on the same item [10].

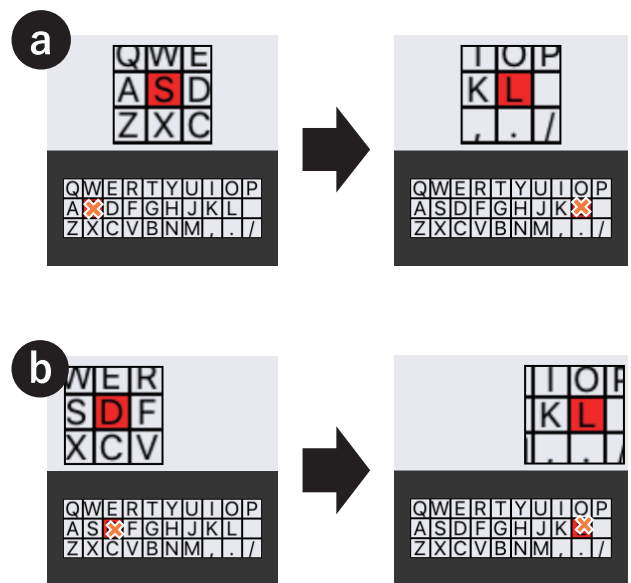


図 4 表示位置要素. a) 固定, b) 追従 [10]

Fig. 4 Presentation Position: a) Fixed and b) Following [10].

をどのように変化させるのが良いかを調査するためのデザイン要素であり、固定条件、および追従条件の2水準を設けた(図 4)。

固定条件においては、指の動きにかかわらずつねに同一の場所にふきだしは表示される(図 4a)。ふきだし表示の位置が固定されているため、ユーザはつね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表示の位置が変化する(図 4b)。指の位置に応じてふきだし表示の位置が変化するため、指による操作が視覚的フィードバックとして得られる可能性がある。

3.3 ポインタ有無

ポインタ有無は、ユーザの実際のタッチ位置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ほうが良いか

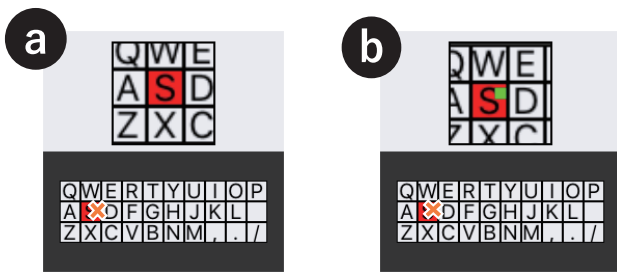


図 5 ポインタ有無要素. a) ポインタなし, b) ポインタあり. 緑の点はタッチ位置を示す [10]

Fig. 5 Pointer Existence: a) NotExisting and b) Existing. The green dot indicates the position of the touch point [10].

どうかを調査するためのデザイン要素であり, 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). ポインタを表示することによって, ユーザは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で表示し, サイズはふきだし表示内において $0.83 \times 0.83 \text{ mm}$ であった.

4. ふきだし表示の性能調査

3章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性能, および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. 実験参加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. 実験参加者の入力操作を記録し, 選択速度, エラー率, および精神的負荷(ワークロード)の3つの観点から解析を行った.

4.1 実験参加者

大学生および大学院生16名(男性14名, 女性2名, 年齢:21–25歳, 平均:22.6歳)が実験に参加した. すべての実験参加者が右利きであり, 6名はスマートウォッチの使用経験があった(利用歴:3–15カ月, 平均:8カ月). また, すべての実験参加者が普段からQWERTYキーボードを用いて文字入力を行っていた. 実験終了後, 各実験参加者には実験の参加に対する謝礼として1,640円支払った.

4.2 実験機器

選択タスクを提示する機器として, iPhone 5 (iOS 8.3, 画面サイズ:4inch, 解像度:326ppi)スマートフォンを用いた. Leivaら[13]やOneyら[15]と同様に, 市販のスマートウォッチのタッチスクリーンよりも精度の高いスクリーンを持つスマートフォンを実験に用いた. タッチスクリーン上の $18.0 \times 18.0 \text{ mm}$ (1.0inch, $232 \times 232 \text{ pixels}$)の領域をスマートウォッチを再現するために用いた(Leivaら[13]やOneyら[15]と同様のアプローチ). それ以外の領域のタッチイベントはすべて認識しないようにした. タッチ可能領域は2つの領域に等分割され, 上部はふきだし



図 6 スマートフォンは非利き手に横向きに取り付けた [10]

Fig. 6 The smartphone attached in a landscape orientation with respect to the non-dominant hand [10].

表示を表示するための領域として使い, 下部はQWERTYキーボードを表示し, 入力領域として使用した. 各キーのサイズは $1.6 \times 1.6 \text{ mm}$ ($10 \times 10 \text{ pixels}$)であり, これはZShift[13]やZoomBoard[15]と同様のキーサイズである. ふきだし表示のサイズは $7.8 \times 7.8 \text{ mm}$ ($50 \times 50 \text{ pixels}$)である. ふきだし表示内に表示されているコンテンツの領域は $4.4 \times 4.4 \text{ mm}$ ($28 \times 28 \text{ pixels}$)である. つまり, コンテンツ領域を1.8倍拡大表示してふきだし表示に表示した. Leivaら[13]と同様に, 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)を用いて実験参加者の非利き腕に横向きに取り付けた(図6). 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, 実験参加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.

4.3 実験計画

参加者内計画に基づく実験を行った. 実験参加者に提示したふきだし表示のデザイン要素(参加者内要因)は, 表示方法(連続的, 離散的), 表示位置(固定, 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つの要素からなる.

今回の実験においては, すべての実験参加者がQWERTYキーボードを日常的に使用していたこと, そして絵文字やアイコンなどの実験参加者間の知識の差による選択タスクへの影響を取り除くため, キー入力タスクを選択タスクとして使用した. また, 文字入力タスクではなくキー入力タスクを用いた理由として, 我々はターゲットを「発見」というタスクに対してふきだし表示のデザイン要素がどのように影響を与えるのかという観点に実験のフォーカスを当てたためである.

これらのデザイン要素に加えて, ふきだし表示のデザイン要素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7). 実験中, キーボードの左もしくは右

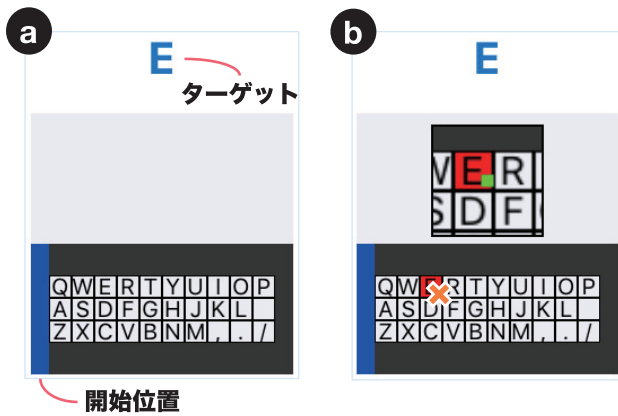


図 7 実験用アプリケーション. a) タスクの開始時、ターゲット（今回の場合は「E」として開始位置（青いバー）が表示される. b) 実験参加者は青いバーをタッチすることにより選択タスクを開始し、そのままターゲットへ指をドラッグし、ターゲットの上で指をタッチアップすることによりターゲットを選択する [10]

Fig. 7 The application used in the experiment. a) At the start of a trial, the application displays the target (“E” in this case) and a starting point (the blue bar). b) Then, the participants select the target by touching the blue bar, dragging their finger toward the target, and selecting the target by lifting their finger [10].

のどちらかの端を開始位置として提示した（左条件，右条件）．これは，実験参加者が選択タスクにおいてふきだし表示を見ながらターゲットの発見を行うようにするためである．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．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，実験参加者は各条件ごとに2回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で26回提示した（キーボード上のAからZキー）．したがって，実験参加者は計416試行（2表示方法要素（連続的，離散的）×2表示位置要素（固定，追従）×2ポイント有無要素（なし，あり）×2開始位置（左，右）×26ターゲット）を行った．

4.4 手順とタスク

実験は静かな室内で行われた．実験参加者には実験中つね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，実験参加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など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実験参加者の人差し指（利



図 8 人差し指の計測位置 [10]

Fig. 8 Measurement position for the index finger [10].

き腕）の遠位指節間関節の幅を測定した（図 8）．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 [23]．

はじめに，スマートフォンを実験参加者の非利き腕に横向きに装着した．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．その後実験参加者に各ふきだし表示デザインを用いて，それぞれ5回の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．この準備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，3章で示した条件の下，選択タスクを行うように指示した．実験が開始されると，入力すべきキーは実験機器の入力面の側面に青文字で表示され，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（図 7）．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．実験者は実験参加者に，なるべく速く，なるべく正確に選択するように指示した．選択タスク終了後，実験参加者は精神的負荷（ワークロード）を定量的に測定するアンケートである NASA Task Load Index (NASA-TLX) [7] に回答した．NASA-TLX はすべて英語で書かれているため，今回は三宅らによって日本語に翻訳されたもの [24] を使用した．各条件のタスク終了後，次の条件に移る前に1-2分ほどの休憩を挟んだ．このとき，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．

すべての条件が終了した後，ふきだし表示のデザイン要素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80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，また実験参加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．

5. 結果

5.1 選択速度

各条件における選択速度を図 9 および表 1 に示す．結果，連続的・追従・ポイントあり条件が最も速く，離散的・固定・ポイントあり条件が最も遅かった．実験結果の各条件を1元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った．

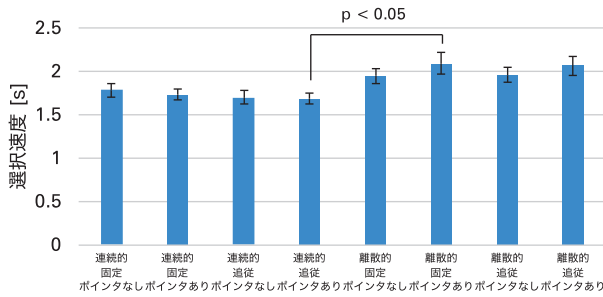


図 9 各条件における選択速度 (低い値のほうが良い). エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 9 The average selection speed for each condition (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

表 1 各条件における選択速度. 表の括弧内は標準誤差を示す. 太字は最も速い結果と最も遅い結果を示す

Table 1 The average selection speed for each condition. SEs are denoted in parentheses. Bold-faced type indicates the highest and the lowest selection speed.

条件	選択速度 [s]
連続的・固定・ポインタなし	1.78 (0.08)
連続的・固定・ポインタあり	1.73 (0.07)
連続的・追従・ポインタなし	1.70 (0.08)
連続的・追従・ポインタあり	1.68 (0.06)
離散的・固定・ポインタなし	1.94 (0.09)
離散的・固定・ポインタあり	2.09 (0.13)
離散的・追従・ポインタなし	1.96 (0.08)
離散的・追従・ポインタあり	2.06 (0.10)

独立変数は条件, 従属変数は選択速度である. その結果, 条件間に主効果がみられた ($F_{7,120} = 3.15, p < 0.001$). また, Levene 検定による等分散性の検定の結果, 等分散性が認められたため, Tukey 法による多重比較検定を行った. その結果, 連続的・追従・ポインタあり-離散的・固定・ポインタあり間に有意な差がみられ, 連続的・追従・ポインタあり条件が有意に選択速度が速いという結果となった ($p < 0.05$).

実験結果の各デザイン要素を 3 元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った (図 10). 独立変数は各デザイン要素 (表示方法要素, 表示位置要素, ポインタ有無要素), 従属変数は選択速度である. その結果, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的的条件が有意に速いという結果となった ($F_{1,105} = 60.22, p < 0.001$). また, 図 11 に示すように表示方法-ポインタ有無間に交互作用がみられた ($F_{1,105} = 4.44, p < 0.05$). 下位検定として単純主効果検定を行ったところ, 次のことが分かった. 1) 表示方法要素においては離散的条件下のみポインタ有無要素間に有意差がみられた ($p < 0.05$). 2) ポインタ有無要素においてはポインタなし, およびポインタありの双方の条件下において表示方法要素間に有意差がみられた ($p < 0.001$). 表示位置要素間に有意な差はみられなかった.

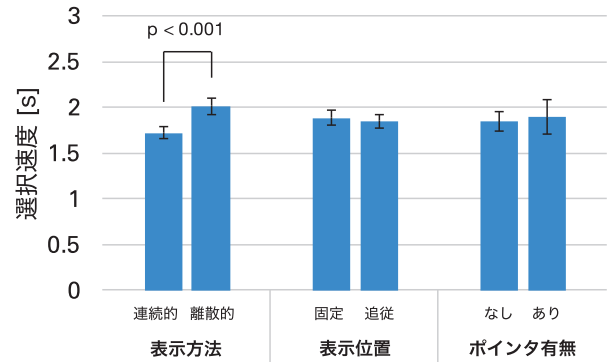


図 10 各デザイン要素ごとの選択速度 (低い値のほうが良い). エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 10 The average selection speed for each design factor (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

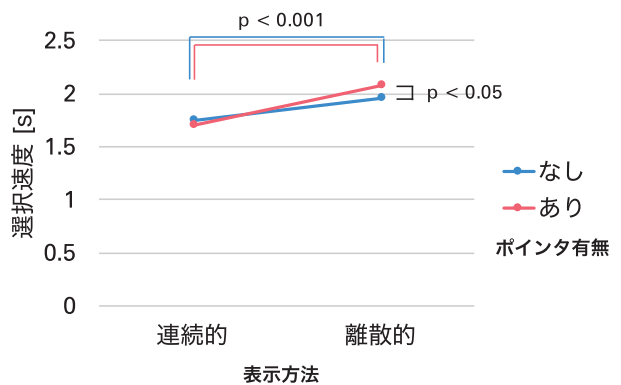


図 11 選択速度における表示方法-ポインタ有無間の交互作用
Fig. 11 The interaction effect of the selection speed between Presentation Method and Pointer Existence.

実験結果に対する疲労や学習効果の影響を調べるために相関分析を用いてラウンド (1 回めの条件から 8 回めの条件まで) と選択速度の関係を調べた. その結果, 両変数間に高い負の相関がみられた ($r = -0.80, p < 0.05$). 相関分析から学習効果がみられたため, 後半 4 ラウンドのみのデータを用いて 3 元配置の反復測定分散分析を行った. 独立変数は各デザイン要素 (表示方法要素, 表示位置要素, ポインタ有無要素), 従属変数は選択速度である. その結果, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的的条件が有意に速いという結果となった ($F_{1,41} = 15.61, p < 0.001$).

さらに, 各ふきだし表示の条件内における疲労や学習効果の影響を調べるために相関分析を用いて各条件内における各試行 (1 選択) と選択速度の関係を調べた. その結果, 次の条件において両変数間に負の相関がみられた. 連続的・固定・ポインタなし ($r = -0.53, p < 0.01$), 連続的・固定・ポインタあり ($r = -0.56, p < 0.01$), 連続的・追従・ポインタなし ($r = -0.46, p < 0.05$), 連続的・追従・ポインタあり ($r = -0.41, p < 0.05$), 離散的・追従・ポインタあり ($r = -0.46, p < 0.05$). 連続的的条件 (表示方法要素) においてはすべての条件下において負の相関がみられた一方で, 離散的的条件においては追従かつポインタ

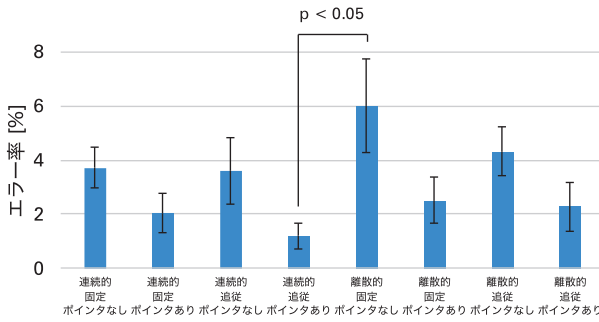


図 12 各条件におけるエラー率 (低い値のほうが良い). エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 12 The average error rate for each condition (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

表 2 各条件におけるエラー率. 表の括弧内は標準誤差を示す. 太字は最も低い結果と最も高い結果を示す

Table 2 The average error rate for each condition (lower is better). SEs are denoted in parentheses. Bold-faced type indicates the lowest and the highest error rates.

条件	エラー率 [%]
連続的・固定・ポインタなし	3.73 (0.73)
連続的・固定・ポインタあり	2.04 (0.71)
連続的・追従・ポインタなし	3.61 (1.22)
連続的・追従・ポインタあり	1.20 (0.46)
離散的・固定・ポインタなし	6.01 (1.71)
離散的・固定・ポインタあり	2.52 (0.84)
離散的・追従・ポインタなし	4.33 (0.90)
離散的・追従・ポインタあり	2.28 (0.92)

ありのときのみ相関がみられた.

5.2 エラー率

各条件におけるエラー率を図 12 および表 2 に示す. 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, 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. 実験結果の各条件を 1 元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った. 独立変数は条件, 従属変数はエラー率である. その結果, 条件間に主効果がみられた ($F_{7,120} = 2.31, p < 0.05$). また, Levene 検定による等分散性の検定の結果, 等分散性が認められたため, Tukey 法による多重比較検定を行った. その結果, 連続的・追従・ポインタあり-離散的・固定・ポインタなし間に有意な差がみられ, 連続的・追従・ポインタあり条件が有意にエラー率が低いという結果となった ($p < 0.05$).

実験結果の各デザイン要素を 3 元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った (図 13). 独立変数は各デザイン要素 (表示方法要素, 表示位置要素, ポインタ有無要素), 従属変数はエラー率である. その結果, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件が有意にエラー率が低くなった ($F_{1,105} = 4.06, p < 0.05$). また, ポインタ有無要素間にも主効果がみられ, ポインタあり条件が有意にエラー率

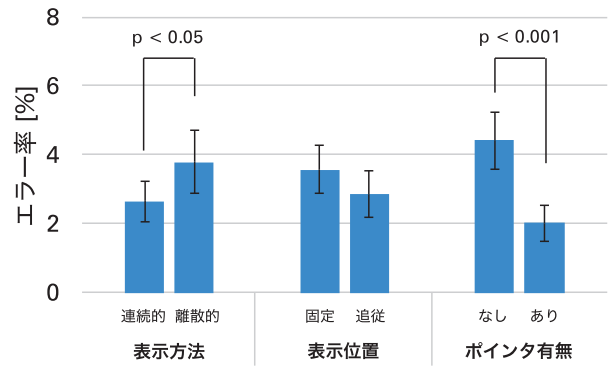


図 13 各デザイン要素ごとのエラー率 (低い値のほうが良い). エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 13 The average error rate for each design factor (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

が低くなった ($F_{1,105} = 18.01, p < 0.001$). 表示位置要素間に有意な差はみられなかった. また, 交互作用はみられなかった.

実験結果に対する疲労や学習効果の影響を調べるために相関分析を用いてラウンド (1 回めの条件から 8 回めの条件まで) とエラー率の関係を調べた. その結果, 有意な相関はみられなかった ($r = -0.35, p = 0.40$).

5.3 精神的負荷

各条件における NASA-TLX の結果を図 14 および表 3 に示す. 結果, 連続的・追従・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・ポインタあり条件が最も高い評価値を獲得した. 実験結果の各条件を 1 元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った. 独立変数は条件, 従属変数は NASA-TLX の評価値である. その結果, 条件間に主効果がみられた ($F_{7,120} = 2.31, p < 0.05$). また, Levene 検定による等分散性の検定の結果, 等分散性が認められたため, Tukey 法による多重比較検定を行った. その結果, 条件間に有意な差はみられなかった.

実験結果の各デザイン要素を 3 元配置の反復測定分散分析を用いて解析を行った (図 15). 独立変数は各デザイン要素 (表示方法要素, 表示位置要素, ポインタ有無要素), 従属変数は NASA-TLX の評価値である. その結果, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件が有意に NASA-TLX の評価値が低かった ($F_{1,105} = 50.62, p < 0.001$). 表示位置要素間およびポインタ有無要素間には有意な差はみられなかった. また, 図 16 に示すように表示方法-ポインタ有無間に交互作用がみられた ($F_{1,105} = 4.35, p < 0.05$). 下位検定として単純主効果検定を行ったところ, 次のことが分かった. 1) 表示方法要素においては連続的条件下のみポインタ有無要素間に有意差がみられた ($p < 0.05$). 2) ポインタ有無要素においてはポインタなし, およびポインタありの双方の条件下において表示方法要素間に有意差がみられた (ポインタなし: $p < 0.01$, ポインタあ

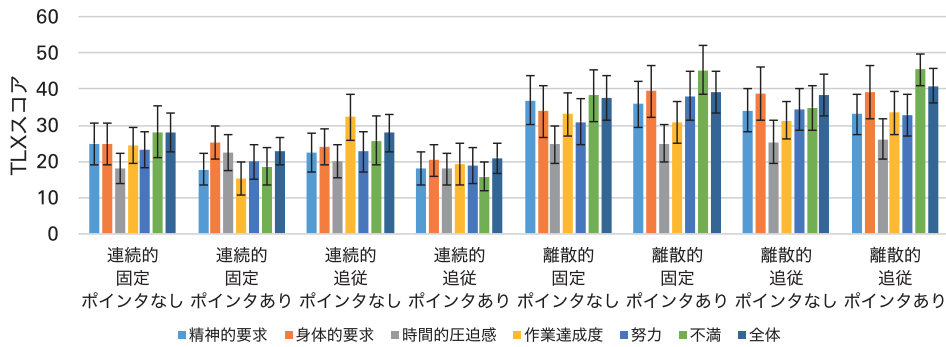


図 14 各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果 (低い値のほうが良い)。エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 14 TLX scales (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

表 3 各条件における 6 つの NASA-TLX 評価尺度項目の結果。表の括弧内は標準誤差を示す。太字は最も低い結果と最も高い結果を示す

Table 3 The average overall TLX score for each condition (lower is better). SEs are denoted in parentheses. Bold-faced type indicates the lowest and the highest scores.

条件	TLX スコア
連続的・固定・ポインタなし	27.9 (5.43)
連続的・固定・ポインタあり	22.8 (3.87)
連続的・追従・ポインタなし	28.0 (5.21)
連続的・追従・ポインタあり	20.9 (4.15)
離散的・固定・ポインタなし	37.6 (6.27)
離散的・固定・ポインタあり	39.2 (5.83)
離散的・追従・ポインタなし	38.2 (5.82)
離散的・追従・ポインタあり	40.9 (4.76)

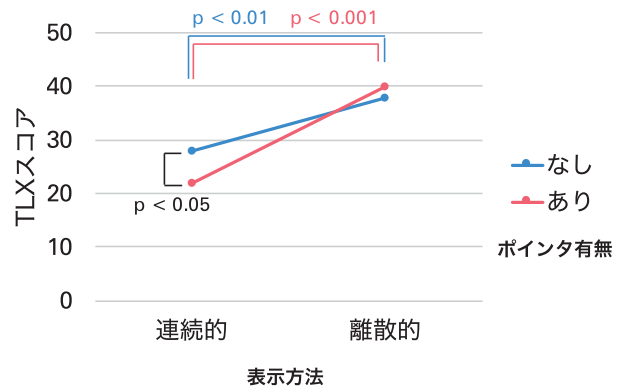


図 16 NASA-TLX における表示方法-ポインタ有無間の交互作用 Fig. 16 The interaction effect of the overall TLX score between Presentation Method and Pointer Existence.

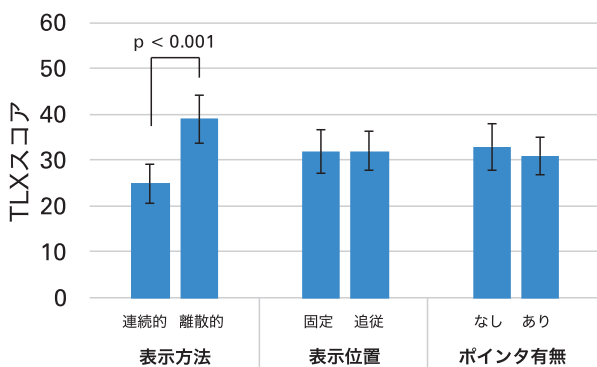


図 15 各デザイン要素ごとの NASA-TLX 評価値 (低い値のほうが良い)。エラーバーは標準誤差を示す

Fig. 15 The average overall TLX score for each design factor (lower is better). Error bars indicate \pm one SE.

り: $p < 0.001$).

また、6 つの NASA-TLX の評価尺度項目それぞれに対して 3 元配置の反復測定分散分析を行った。独立変数は各デザイン要素 (表示方法要素, 表示位置要素, ポインタ有無要素), 従属変数は NASA-TLX の評価値である。その結果, 精神的要求に対して, 表示方法要素間に主効果がみら

れ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 44.00, p < 0.001$)。身体的要求に対して, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 29.18, p < 0.001$)。時間的圧迫感に対して, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 11.54, p < 0.01$)。作業達成度に対して, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 16.06, p < 0.001$)。また, ポインタ有無要素間にも主効果がみられ, ポインタあり条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 5.86, p < 0.05$)。さらに, 表示方法-ポインタ有無間に交互作用がみられた ($F_{1,105} = 5.66, p < 0.05$)。下位検定として単純主効果検定を行ったところ, 次のことが分かった。1) 表示方法要素においては連続的条件下のみポインタ有無要素間に有意差がみられた ($p < 0.01$)。2) ポインタ有無要素においてはポインタあり条件下のみ表示方法要素間に有意差がみられた ($p < 0.001$)。努力に対して, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 25.73, p < 0.001$)。不満に対して, 表示方法要素間に主効果がみられ, 連続的条件の評価値が有意に低いという結果となった ($F_{1,105} = 43.55,$

表 4 設問「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）」に対する結果

Table 4 Result of the questionnaire “Which condition of the three design factors was easier to use? Continuous or Discrete, Fixed or Following, and NotExisting or Existing?”.

条件		回答した実験参加者数
表示方法	連続的	16
	離散的	0
表示位置	固定	8
	追従	8
ポインタ有無	なし	5
	あり	11

$p < 0.001$). また，表示方法-ポインタ有無間に交互作用がみられた ($F_{1,105} = 10.44$, $p < 0.01$). 下位検定として単純主効果検定を行ったところ，次のことが分かった. 1) 表示方法要素においては連続的条件下のみポインタ有無要素間に有意差がみられた ($p < 0.05$). 2) ポインタ有無要素においてはポインタあり条件下のみ表示方法要素間に有意差がみられた ($p < 0.001$).

実験結果に対する疲労や学習効果の影響を調べるために相関分析を用いてラウンド (1 回めの条件から 8 回めの条件まで) と NASA-TLX の評価値 (全体) の関係を調べた. その結果，有意な相関はみられなかった ($r = -0.48$, $p = 0.23$).

5.4 主観的評価

実験参加者に「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. 表示方法要素に関して，すべての実験参加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. 表示位置要素に関して，8 名の実験参加者が追従条件よりも固定条件のほうが使いやすいと回答した. ポインタ有無要素に関して，11 名の実験参加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. 結果を表 4 に示す.

5.4.1 表示方法

主観的評価の結果から，離散的よりも連続的条件のほうが使いやすいことが示唆された. また，連続的条件は有意に速い選択速度，低いエラー率，および低い精神的負荷であった. 連続的条件の場合，ユーザの指の動きに応じてふきだし表示内のコンテンツがなめらかに変化したことに起因する結果だと考えられる. アンケートにおける記述や実験中の実験参加者の発言もこの結果を支持した. 4 名の実験参加者は「連続的条件のほうがより自然に指の動きに追従して動き，実験タスクを達成しやすかった」と答え，6 名

の実験参加者は「連続的条件のほうがより簡単に正確な位置をタッチすることができた」と回答した. 一方で，我々は離散的条件は選択されたアイテムごとにふきだし表示内の内容が変化するため，ユーザにユーザの動作に対する視覚的フィードバックが与えられると推測した. しかしながら，この推測は間違いであった. アンケートにおいて 8 名の実験参加者が「離散的条件の場合，細かな調整ができなかった」と回答しており，ネガティブな評価が多かった.

5.4.2 表示位置

表示位置に関しては定量的な性能評価において有意な差はみられなかった. さらに，アンケートによる定性評価においても有意な差はみられなかった. アンケートにおける記述や実験中の実験参加者の発言もこの結果を支持した. 5 名の実験参加者は「追従条件の場合は目でふきだし表示を追う必要があったが，固定条件の場合はその必要がなかった (固定条件を支持)」と答えた一方，3 名の実験参加者は「追従条件の場合，指の動きに応じてふきだし表示の位置が変化するため，自身の操作を認識しやすかった (追従条件を支持)」と答えた. 加えて，5 名の実験参加者は「特に固定条件と追従条件で違いが分からなかった」と回答した. 今回の実験においては，非常に小さなスクリーンを用いた. そのため，固定条件と追従条件間の性能差が現れるにはスクリーンのサイズが小さすぎたと推測される. つまり，表示領域が小さすぎたため，追従条件におけるふきだし表示の移動範囲が小さく，固定条件に近似されたためだと考えられる.

5.4.3 ポインタ有無

定量的評価において，ポインタあり条件のほうがエラー率が減少したため，ポインタの存在は性能向上に寄与することが推測される. アンケートにおける記述や実験中の実験参加者の発言もこの結果を支持した. 10 名の実験参加者は「ポインタあり条件においては，今タッチしている実際の位置が分かるため，選択しやすかった」，そして「ポインタあり条件のほうがターゲットを狙いやすかった」と回答した. 一方で，10 名の実験参加者は「離散的条件の場合は，ポインタなし条件のほうが使いやすかった」と回答した. これは，離散的条件の場合は，選択されたアイテムに応じて離散的にふきだし内の表示内容が変わるのに対して，ポインタはなめらかに連続的に動くことによる表示のギャップによってユーザが混乱し，引き起こされた現象であると推測される.

6. 議論と今後の課題

6.1 新たな知見

今回の実験結果は Leiva ら [13] の結果と一致した (連続的条件のほうが良い). 上記に加え，連続的条件の場合はポインタを表示したほうが良いという新たな結果を得ることができた. この結果より，超小型端末上における文字入力

の性能はポインタを表示することによって改善されることが示唆された。つまり、ZShift [13] のような連続的条件を採用しているキーボードはポインタを表示することによってさらなる性能改善が期待される。

また、アンケートの回答から興味深いコメントが得られた。2名の実験参加者は「ポインタの有無に関して、違いが分からなかった」と回答した。よって、次のステップとして、より実験参加者を増やし、さらなる実験を行う予定である。その際には、より小さなターゲットを用いたほうがポインタ有無要素が強く性能に影響を与えることが予測されるため、より小さなターゲットを用いて実験を行う予定である。

さらに実験結果より、ふきだし表示の表示位置は選択タスクの性能に影響を与えないことが示された。超小型端末よりもスクリーンサイズの大きな端末 (PDA) 上で行われた Vogel ら [21] によるふきだし表示実験の結果において、追従条件が採用されていた。この結果は我々の結果とは異なるため、ふきだし表示の表示位置は選択タスクの性能に影響を与えないという結果は超小型端末ならではの結果であると推測される。よって、上記の仮説を検証するために今後の課題として様々なスクリーンサイズを持つ端末を用いて実験を行う予定である。

6.2 長期利用における実験

選択速度に関して 5.1 節で述べたように実験のラウンドと選択速度の間に高い負の相関がみられた。この結果は実験中にタスクへの学習効果があったことを意味する。また、後半ラウンドのみのデータを用いて分散分析を行った結果、表示方法-ポインタ有無間に交互作用がみられなくなり、ふきだし表示のデザイン要素による選択速度への効果が慣れによって薄れていくことが示唆された。ただし今回の実験では実験参加者にふきだし表示条件をランダムに提示したため、後半4ラウンドのデータを抽出した場合、各条件ごとにデータ数にばらつきが生じた。よって学習効果をより正確に分析するために、ラウンド数を増やした長期利用における実験を行う予定である。

また、各デザイン条件内における各試行と選択速度の間には、連続的条件下のときはすべての条件で負の相関がみられた一方で、離散的条件下のときは一部の条件でしか負の相関がみられなかった。これは、連続的条件と離散的条件の間には異なる学習効果が存在することを意味する。また、これは普段のスマートフォンの操作と同様な連続的条件のほうが慣れているため簡単である一方で、離散的条件は慣れていないために学習効果が現れなかった可能性がある。よって、長期利用における実験を行うことにより表示方法要素 (連続的, 離散的) の学習効果の違いを探る。

6.3 より現実利用に即したセットアップやタスクを用いた実験

本実験においては、スマートフォンを実験機器として用いた。このセットアップは特にスクリーンのエッジ部分における性能に影響しうる。そのため、スマートウォッチを用いて同様の実験を行う予定である。また、すでにキー入力タスクを用いて実験を行ったため、文字入力タスクにおける性能調査を様々なふきだし表示デザインを用いて行うことにより、さらなる調査を行う。

さらに、今回の実験ではふきだし表示の効果を調査するために、開始位置条件を設けた。結果として、ふきだし表示の効果を抽出することはできたが、同時に導き出されたガイドラインはこの制約下における結果である可能性がある。よって、今後はこの制約をなくした場合の実験を行い、導き出されるガイドラインが同一であるかどうかを調査する。

6.4 その他のデザイン要素

本論文においては、3つのふきだし表示要素を調査した。しかしながら、そのほかにも性能に影響を与えうる様々なデザイン要素が存在する (例: サイズ, 形, ズーム比)。

また、今回の実験においては1つのスクリーンサイズおよび1つのターゲットサイズを用いて性能調査を行った。これらスクリーンサイズおよびターゲットサイズは選択性能に影響しうる。特に、様々なスクリーンサイズを用いて性能調査をすることにより、表示位置要素の影響を調査できることが示唆されている。さらに、本実験において使用された QWERTY キーボードはキーが左側に寄っている。そのため、今後の課題として記号キーを含めた QWERTY キーボードなどキーが均一に配置されたキーボードを用いて実験を行う予定である。

これらの調査は新たなガイドラインを示しうるため、超小型端末上の選択タスクにおけるさらなる性能改善が期待される。

7. おわりに

本論文において、超小型端末におけるふきだし表示のデザインガイドラインを示すため、8つのふきだし表示デザインを用いて選択タスクにおける性能調査を行った。実験結果より、次のデザインガイドラインが示唆された。1) ふきだし表示の表示内容はなめらかに連続的に変化させる (選択速度が増加し、エラー率および精神的負荷が減少した)。2) ユーザの実際のタッチ位置を示すポインタをふきだし表示内に表示する (エラー率が減少した)。3) デザイン要素としての表示位置要素は選択性能に影響を与えない。そしてこれは、PDA 上における以前の調査結果 [21] とは異なる。これらのガイドラインは、超小型端末におけるインタラクションやユーザインタフェース設計に役立つ指針と

なりうる。

ただし、今回の実験においては実験条件に制約を設けたため実験結果が限定的である可能性がある。よって今後は制約をなくした場合の実験を行い、導き出されるガイドラインが同一であるかどうかを調査する予定である。

参考文献

- [1] Baudisch, P. and Chu, G.: Back-of-device Interaction Allows Creating Very Small Touch Devices, *Proc. 27th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, New York, NY, USA, ACM, pp.1923–1932 (2009).
- [2] Brandl, P., Leitner, J., Seifried, T., Haller, M., Doray, B. and To, P.: Occlusion-aware Menu Design for Digital Tabletops, *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '09*, New York, NY, USA, ACM, pp.3223–3228 (2009).
- [3] Chapuis, O. and Dragicevic, P.: Effects of Motor Scale, Visual Scale, and Quantization on Small Target Acquisition Difficulty, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.18, No.3, pp.13:1–13:32 (2011).
- [4] Chen, X.A., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: Swipeboard: A Text Entry Technique for Ultra-small Interfaces That Supports Novice to Expert Transitions, *Proc. 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14*, New York, NY, USA, ACM, pp.615–620 (2014).
- [5] Cockburn, A., Ahlström, D. and Gutwin, C.: Understanding Performance in Touch Selections: Tap, Drag and Radial Pointing Drag with Finger, Stylus and Mouse, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.70, No.3, pp.218–233 (2012).
- [6] Gordon, M., Ouyang, T. and Zhai, S.: WatchWriter: Tap and Gesture Typing on a Smartwatch Miniature Keyboard with Statistical Decoding, *Proc. 34th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, New York, NY, USA, ACM, pp.3817–3821 (2016).
- [7] Hart, S.G. and Staveland, L.E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human mental workload*, Vol.1, No.3, pp.139–183 (1988).
- [8] Holz, C. and Baudisch, P.: The Generalized Perceived Input Model and How to Double Touch Accuracy by Extracting Fingerprints, *Proc. 28th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10*, New York, NY, USA, ACM, pp.581–590 (2010).
- [9] Hong, J., Heo, S., Isokoski, P. and Lee, G.: SplitBoard: A Simple Split Soft Keyboard for Wristwatch-sized Touch Screens, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, NY, USA, ACM, pp.1233–1236 (2015).
- [10] Ishii, A. and Shizuki, B.: Exploring Callout Design in Selection Task for Ultra-small Touch Screen Devices, *Proc. 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction, OzCHI '16*, New York, NY, USA, ACM, pp.426–434 (2016).
- [11] Khalilbeigi, M., Schmittat, P., Mühlhäuser, M. and Steimle, J.: Occlusion-aware Interaction Techniques for Tabletop Systems, *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '12*, New York, NY, USA, ACM, pp.2531–2536 (2012).
- [12] Komminos, A. and Dunlop, M.: Text Input on a Smart Watch, *Pervasive Computing*, IEEE, Vol.13, No.4, pp.50–58 (2014).
- [13] Leiva, L.A., Sahami, A., Catala, A., Henze, N. and Schmidt, A.: Text Entry on Tiny QWERTY Soft Keyboards, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, NY, USA, ACM, pp.669–678 (2015).
- [14] MacKenzie, I.S., Sellen, A. and Buxton, W.A.S.: A Comparison of Input Devices in Element Pointing and Dragging Tasks, *Proc. 9th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '91*, New York, NY, USA, ACM, pp.161–166 (1991).
- [15] Oney, S., Harrison, C., Ogan, A. and Wiese, J.: ZoomBoard: A Diminutive QWERTY Soft Keyboard using Iterative Zooming for Ultra-small Devices, *Proc. 31st Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, New York, NY, USA, ACM, pp.2799–2802 (2013).
- [16] Potter, R.L., Weldon, L.J. and Shneiderman, B.: Improving the Accuracy of Touch Screens: An Experimental Evaluation of Three Strategies, *Proc. 6th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '88*, New York, NY, USA, ACM, pp.27–32 (1988).
- [17] Sears, A. and Shneiderman, B.: High Precision Touchscreens: Design Strategies and Comparisons with a Mouse, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol.34, No.4, pp.593–613 (1991).
- [18] Shibata, T., Afegan, D., Kong, D., Yuksel, B.F., MacKenzie, I.S. and Jacob, R.J.: DriftBoard: A Panning-Based Text Entry Technique for Ultra-Small Touchscreens, *Proc. 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '16*, New York, NY, USA, ACM, pp.575–582 (2016).
- [19] Siek, K.A., Rogers, Y. and Connelly, K.H.: Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs, *Proc. 2005 IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT '05*, Berlin, Heidelberg, pp.267–280, Springer-Verlag (2005).
- [20] Vogel, D. and Balakrishnan, R.: Occlusion-aware Interfaces, *Proc. 28th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10*, New York, NY, USA, ACM, pp.263–272 (2010).
- [21] Vogel, D. and Baudisch, P.: Shift: A Technique for Operating Pen-based Interfaces using Touch, *Proc. 25th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07*, New York, NY, USA, ACM, pp.657–666 (2007).
- [22] Xia, H., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: NanoStylus: Enhancing Input on Ultra-Small Displays with a Finger-Mounted Stylus, *Proc. 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '15*, New York, NY, USA, ACM, pp.447–456 (2015).
- [23] 河内まき子: AIST 日本人の手の寸法データ, 入手先 (<https://www.dh.aist.go.jp/database/hand/>) (参照 2017-11-15) (2012).
- [24] 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).



石井 晃 (学生会員)

1992年生。2016年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒業。同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程在学中。ヒューマンインタフェースに興味を持ち、現在はウェアラブルデバイスにおける入力手法やAR/VRに関する研究を行う。ACM学生会員。



志築 文太郎 (正会員)

1971年生。1994年東京工業大学理学部情報学科卒業。2000年同大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻博士課程単位取得退学。博士(理学)。現在、筑波大学大学院システム情報系准教授。ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ。日本ソフトウェア科学会、ACM、IEEE Computer Society、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。