

凹凸付きスマートフォンケースにおける タッチ精度の評価

深津 佳智 箱田 博之 野口 杏奈 志築 文太郎 田中 二郎

本研究では、スマートフォンをアイズフリーに片手操作する際のタッチ精度向上を目的として、凹凸を付けたスマートフォンケースを作成した。我々は、ユーザがケースの凹凸を触り、タッチの際の手がかりにすることができると考えた。それぞれのケースを装着したスマートフォンを用いて被験者実験を行い、タッチの精度を評価した。

In this research, we created smartphone cases attaching a dimple or a wedge shaped object in order to improve eyes-free and single-handed touch accuracy. We considered that users could use these dimple or wedge shaped object as a tactile marker for a screen of smartphone. In the user study, we evaluated touch accuracies using a smartphone with each case.

1 はじめに

現在普及しているスマートフォンの多くには、その入力装置としてタッチパネルが搭載されている。このタッチパネルを用いてユーザが入力を行う際、“アイズフリー”での正確な入力は困難である。その原因として、タッチパネルの触覚フィードバックが乏しいためユーザがタッチパネル画面に視覚的注意を向けなければならないこと[13][15]、また、小さなキーをそれよりも大きな指で押さなくてはならない場合、キーを細かく押し分けることが難しいこと (fat fingers problem[12]) が挙げられる。

我々は、スマートフォンをアイズフリーに“片手入力”する際の精度向上を目的とする。ここで、片手に着目した理由は、多くのユーザが片手を用いた携帯情報端末の操作を望んでいるためである[6][8]。我々は、この目的を達成するために、スマートフォンケースの

背面に凹凸を付けることとした。ユーザはケース背面の凹凸に触れることによりスマートフォン画面を操作する際の手がかりにすることができ、結果として入力精度が向上する可能性がある。この考えに従い、我々は凹凸の無いケース、及び凹凸の有るケースを複数作成し、被験者がアイズフリーに片手入力を行った際のタッチ精度を評価する実験を行った。本稿では、作成したケース、実験の結果、及び考察についてそれぞれ述べる。

2 関連研究

本研究は、スマートフォンケースの裏側に凹凸を付け、ユーザにタッチパネルを操作する際の手がかりを与えることにより、アイズフリーに片手入力する際の入力精度を向上する。よって、関連する研究には、「タッチパネル端末においてユーザに触感を与える研究」及び「タッチパネル端末においてアイズフリーな入力を実現する研究」が挙げられる。本節ではこれらに関する研究についてそれぞれ述べる。

2.1 タッチパネル端末においてユーザに触感を与える研究

Fukumoto ら[4]は、押した感触の乏しいタッチパネル端末において、端末背面もしくはタッチパネル

A Study of Touch Accuracy using Smartphone Cases with a Dimple or a Wedge shaped Attachment.

Yoshitomo Fukatsu, Hiroyuki Hakoda, Anna Noguchi, Buntarou Shizuki and Jiro Tanaka, 筑波大学, University of Tsukuba.

コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.3 (2014), pp.325-335.

[研究論文] 2013年10月10日受付.

大会同時投稿論文

背面にアクチュエータを取り付けた機構 Active Click を提案した。この機構により、クリックの感触をユーザに与えた。同様に、Poupyrev らは、TouchEngine [10] 及び Ambient Touch [9] の研究において、バイブレーションの周波数を変更可能なアクチュエータを端末背面に取り付けた。これにより、多様なクリックの感触をユーザに与えた。Fukumoto ら [3] は、タッチパネル端末の表面に透明なウレタンゲル素材 Puyosheet を付けることにより、ボタンの押下感をユーザに与えた。Yu ら [16] は、タッチパネル画面の端に導電性ゴムでできたボタン Clip-on Gadgets を取り付けることにより、ボタンの押下感をユーザに与えた。また、ユーザの指がタッチパネル画面を塞ぐことを防いだ。

これらの研究では、端末操作の感触をユーザに与えることを目的として、アクチュエータやゴムなどの物体を端末の背面もしくは表面に取り付けている。一方で、我々の研究では、入力精度の向上を目的として、端末ケースの背面に凹凸を取り付けることとした。

2.2 タッチパネル端末においてアイズフリーな入力を実現する研究

Sánchez ら [11] は、視覚障がい者のためのメッセージングシステム Mobile Messenger を提案した。9つのソフトウェアキーを目の見えないユーザでも触りやすい画面の角や端に配置し、text-to-speech による音声フィードバックを用いる工夫を施している。Binner ら [1] は、マルチタッチジェスチャによるアイズフリー文字入力システム No-look Notes を提案した。被験者実験により、入力速度、精度、被験者の好みの点において、Apple iPhone にアクセシビリティ機能として標準搭載されている VoiceOver [14] よりも優れた結果を得た。Jain ら [5] は、ベゼルからのジェスチャを用いたアイズフリーな文字入力手法を提案した。Saponas ら [5] は、ポケットなどの生地越しに静電容量を検出するシステム PocketTouch を提案した。ユーザは、このシステムを携帯端末に付けて利用することにより、ズボンのポケットやカバンから端末を取り出すことなく、アイズフリーに端末を操作することができる。

これらの研究では、新たな入力手法、もしくは、追

加のハードウェアを用いることにより、アイズフリーな入力を実現している。一方で、我々の研究では、端末ケースの背面に凹凸を取り付けることのみの実装となっている。このため、低コスト、かつ、既存の多くの入力手法に適応可能であるという利点を持つ。

3 作成したスマートフォンケース

我々は3種類のケースを作成した。作成に際しては、ケースの形状を3Dモデリングツール (123D デザイン^{†1}) を用いて設計し、これを3Dプリンタ (Cubify^{†2}) を用いて出力した。なお、ケースを3Dプリンタにより出力した後に、紙やすりでケース表面を研磨し、滑らかにした。これは、我々が意図しない手がかりを被験者に与えないためである。

基本ケース

一般的なスマートフォンケースを模して作成した (図 1a)。ケース側面・背面共に厚さが 1.5 mm であり、背面が平らなケースである。精度評価のベースラインとするために作成した。

凹ケース

基本ケースの背面に1ヵ所のくぼみを施した (図 1b)。このくぼみはスマートフォン画面の中央に位置する。我々は、著者らの先行研究 [2] において最も良い精度を記録したケース (ケース背面の中央部に1つの突起を付けたケース) を基に本ケースを設計した。ユーザがくぼみを触ることにより、画面の縦・横の中央の位置を把握しやすくなるのが期待できる。

凸ケース

基本ケースの背面にでっぱりを施した (図 1c)。このでっぱりがスマートフォン画面の縦の中央線に沿う様に配置されている。ユーザがでっぱりを触ることにより、画面の縦の中央線の位置を把握しやすくなるのが期待できる。加えて、持ちやすさを考慮に入れ、本ケースを設計した。具体的には、ユーザがでっぱりに指をひっかけることで端末の持ち方を安定させることができるように設計した。

^{†1} Autodesk 123D Design <http://www.123dapp.com/design>

^{†2} Cube Cubify <http://cubify.com/cube/>



図1 スマートフォンケースの3Dモデル。a) 基本ケース, b) 凹ケース, c) 凸ケース

4 実験

それぞれのケースを取り付けたスマートフォン (Apple iPhone 4S, 画面サイズ 3.5 インチ, 重量 140 g) を用いた際のタッチ精度を調査することを目的として被験者実験を行った。

4.1 被験者

大学生・大学院生のボランティア 12 名 (男性 6 名, 女性 6 名, 年齢 19~24 歳) を被験者とした。タッチパネル端末の利用歴は, 0~28 ヶ月 (平均 10.3 ヶ月, 標準偏差 8.6) であった。すべての被験者は右利きであり, 以下に示すタスクを全て右手のみを用いて行った。

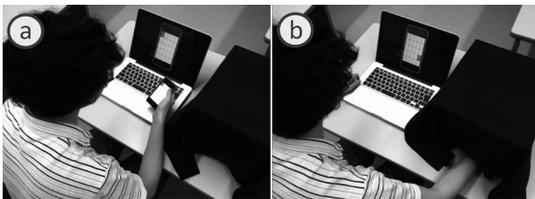


図2 実験の様子。a) 練習タスク時, b) 本番タスク時



図3 提示画面例

4.2 タスク

図2に示すように, 机の上にラップトップPC (Apple MacBook Pro, 画面サイズ 13 インチ) を設置し, ラップトップ PC 画面に, 格子状に分割されたスマートフォン画面をミラーリング (Reflector^{†3}を使用) により提示する (図3)。被験者には, スマートフォンを右片手で持ち, スマートフォン画面内の灰色の矩形 (以降, ターゲット) を右手親指でタッチするよう依頼した。

4.3 実験条件

ケース条件, タッチ条件, 及び分割条件の3種類の実験条件を設定した。以下, それぞれについて詳述する。

4.3.1 ケース条件

3節において作成したスマートフォンを実験に用いた。すなわち, 以下の3種類のケース条件を設けた。

- 基本ケース条件
- 凹ケース条件
- 凸ケース条件

4.3.2 タッチ条件

以下の2種類のタッチ条件を設けた。

開始点タッチ条件

被験者は, タッチの開始点がターゲット内を捉えるように気を付けてタスクを行う (以降, 開始点タッチ)。本条件におけるタスクの成否は, タッチの開始点がターゲット内を捉えたか否かにより判定する。

^{†3} Reflector <http://www.airsquirrels.com/reflector/>

終了点タッチ条件

被験者は、タッチの終了点がターゲット内を捉えるように気を付けてタスクを行う（以降、終了点タッチ）。本条件におけるタスクの成否は、タッチの終了点がターゲット内を捉えたか否かにより判定する。

多くの先行研究 [7][18][17] のタッチタスク及びポインティングタスクにおいて開始点タッチの精度が調査されてきた。一方で、本研究では、終了点タッチについても調査を行うこととした。この理由は、終了点タッチ条件は、ユーザがケース背面の凹凸を手がかりとしながら適切なリリース位置を探ることが可能な条件となっているため、高精度にアイズフリー入力が行えたと考えたからである。

4.3.3 分割条件

画面の分割条件として以下の3種類を設けた。

- 3 × 3 分割条件
- 4 × 4 分割条件
- 5 × 5 分割条件

3 × 3 分割条件の提示画面例を図3に示す。図3と同様に、4 × 4 分割条件においては4 × 4 の格子状に分割された画面を、5 × 5 分割条件においては5 × 5 の格子状に分割された画面をそれぞれ提示した。なお、2 × 2 分割条件を分割条件に含めなかったのは、著者らの先行研究 [2] における被験者実験の結果から、2 × 2 分割条件においては98%以上のタッチ精度が示されており、これ以上の精度向上が望めないと考えたためである。

4.4 手順

4.2節にて述べたタスクを以下の手順に従って行った。

1. 実験説明

実験者は、被験者に実験の流れ及び注意点について説明した。特に、「入力速度よりも入力精度に気を付けてタスクを行うこと」、「スマートフォンを片手で持ち、入力には親指のみを使うこと」、「凹凸の付いたケースを使う場合、できるだけ凹凸を触って入力すること」に注意してタスクを行う様に指示した。

2. 練習タスク A (目視有, 正誤音有, 15 回)

被験者は、スマートフォンの画面を見ながら (図 2a), タスクを 15 回行った。タッチ終了時に正誤音が鳴り、タスクの正誤が確認できた。

3. 練習タスク B (目視無, 正誤音有, 15 回)

被験者は、スマートフォンを持った手を箱の中に入れ、スマートフォンの画面を見ずにラップトップ PC の画面を見た状態 (図 2b) で、タスクを 15 回行った。タッチ終了時に正誤音が鳴り、タスクの正誤が確認できた。

4. 本番タスク (目視無, 正誤音無, 50 回)

被験者は、スマートフォンを持った手を箱の中に入れ、スマートフォンの画面を見ずにラップトップ PC の画面を見た状態 (図 2b) で、タスクを 50 回行った。タッチ終了時にタッチ音が鳴り、タスクの遂行が確認できた。ただし、タスクの正誤については確認できなかった。

5. (繰り返し)

被験者は、2~4の工程を3種類のケース条件、2種類のタッチ条件、及び3種類の分割条件の組合せにおいて、それぞれ行った。つまり、合計1440回 ((15 + 15 + 50) 回 × 3 ケース条件 × 2 タッチ条件 × 3 分割条件) のタスクを行った。なお、それぞれの条件の試行順は、ランダム順とした。

6. アンケート

被験者は、それぞれの条件に関するアンケートに答えた。

被験者 1 名あたりの実験所要時間は約 40 分であった。

4.5 アンケート

アンケート内容を以下に示す。

設問 1. ケースに関して

3種類のケース（基本ケース、凹ケース、凸ケース）それぞれに関して、以下の設問に5段階評価（5：高，1：低）でお答えください。また、理由があれば、その理由をお答えください。

- 設問 1-1. 持ちやすさ（このケースを付けた端末が持ちやすかったかどうか）
- 設問 1-2. 入力しやすさ（このケースを用いてタスクを行った際、入力しやすかったかど

うか)

- 設問 1-3. 入力の正確さ (このケースを用いてタスクを行った際、正確に入力できたかどうか)
- 設問 1-4. 好み (このケースを使いたいかどうか)

設問 2. タッチ方法に関して

2種類のタッチ方法 (開始点タッチ, 終了点タッチ) それぞれに関して、以下の設問に5段階評価 (5:高, 1:低) でお答えください。また、理由があれば、その理由をお答えください。

- 設問 2-1. 入力しやすさ (このタッチ方法を用いてタスクを行った際、入力しやすかったかどうか)
- 設問 2-2. 入力の正確さ (このタッチ方法を用いてタスクを行った際、正確に入力できたかどうか)
- 設問 2-3. 好み (このタッチ方法を使いたいかどうか)

設問 3. 画面の分割数に関して

3種類の画面分割数 (3 × 3 分割, 4 × 4 分割, 5 × 5 分割) それぞれに関して、以下の設問にパーセンテージ (0%~100%) でお答えください。また、理由があれば、その理由をお答えください。

- 設問 3-1. どのくらいの精度で入力できたと思うか
- 設問 3-2. 慣れた場合、どのくらいの精度で入力できると思うか

5 結果

5.1 実験結果

ケース条件, タッチ条件, 及び分割条件がタッチ精度に与える影響を評価するために、有意水準 5% において対応のある三元配置分散分析を行った結果、ケース条件 ($F_{2,22} = 1.969, p = .163$) 及びタッチ条件 ($F_{1,11} = .789, p = .393$) の主効果は有意ではなく、分割条件 ($F_{2,22} = 106.802, p = .000$) の主効果は有意であった。また、いずれの交互作用にも有意差は認められなかった (ケース条件とタッチ条件: $F_{2,22} = .363, p = .700$ ケース条件と分割条件:

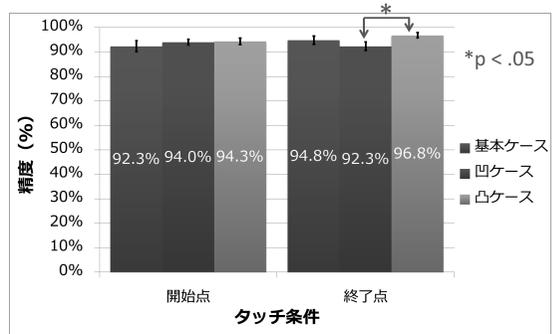


図 4 3 × 3 分割条件におけるタッチ精度。

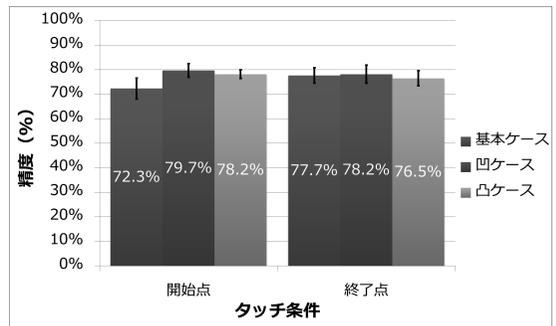


図 5 4 × 4 分割条件におけるタッチ精度。

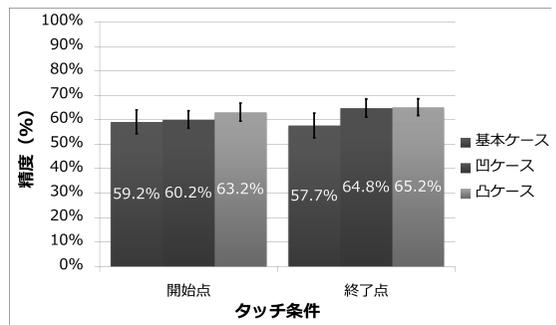


図 6 5 × 5 分割条件におけるタッチ精度。

$F_{4,44} = .821, p = .519$ タッチ条件と分割条件: $F_{2,22} = .078, p = .925$).

また、各分割条件とタッチ条件の組合せ毎のタッチ精度をそれぞれ図 4~6 に示す。いずれの組合せにおいても、ケース条件間のタッチ精度に有意差は認められなかった。(3 × 3 分割条件かつ開始点タッチ条件:

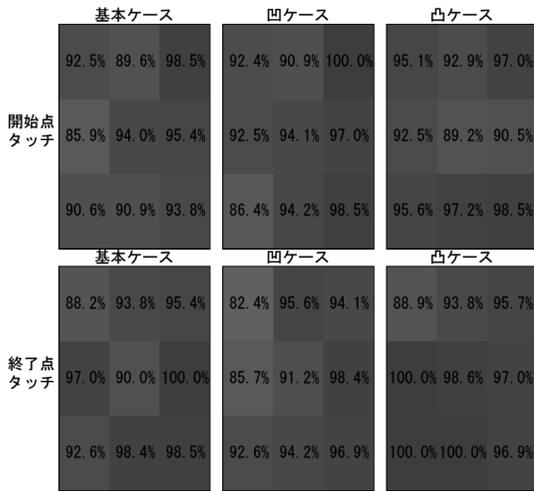


図 7 3 × 3 分割条件におけるターゲット毎のタッチ精度.

$F_{2,22} = .527$, $p = .598$, 3 × 3 分割条件かつ終了点タッチ条件: $F_{2,22} = 2.888$, $p = .077$, 4 × 4 分割条件かつ開始点タッチ条件: $F_{2,22} = 2.580$, $p = .098$, 4 × 4 分割条件かつ終了点タッチ条件: $F_{2,22} = .107$, $p = .899$, 5 × 5 分割条件かつ開始点タッチ条件: $F_{2,22} = .593$, $p = .561$, 5 × 5 分割条件かつ終了点タッチ条件: $F_{2,22} = 1.894$, $p = .174$). また, 各分割条件において, Bonferroni の多重比較を行ったところ, 3 × 3 分割条件かつ終了点タッチ条件において, 凹ケース条件の精度と凸ケース条件の精度の間に有意な差が認められた ($p = .010 < .017$; Bonferroni 補正済).

また, 各分割条件におけるターゲット毎のタッチ精度を図 7~9 に示す. これらの図において, 精度をグレースケールで表し, 精度が高いほど色を濃く, 精度が低いほど色を薄く表した.

また, 各分割条件におけるターゲット毎のタッチの重心の分布を図 10~12 に示す. なお, これらの図において, ターゲットの中心とタッチ点との距離が, (平均 ± 3 × 標準偏差) の範囲を外れるタッチを外れ値として除外した. これは, 外れ値により分布が偏ることを防ぐためである.

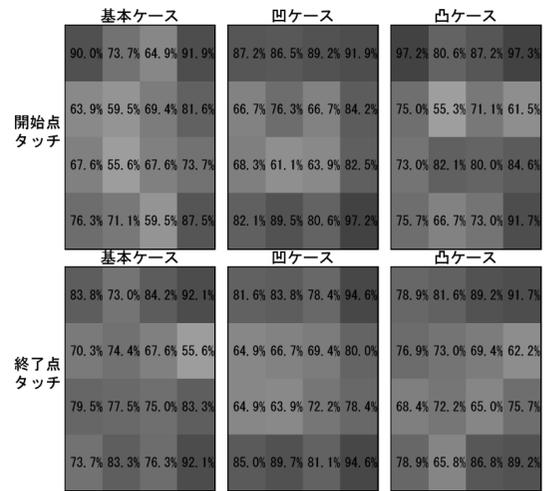


図 8 4 × 4 分割条件におけるターゲット毎のタッチ精度.

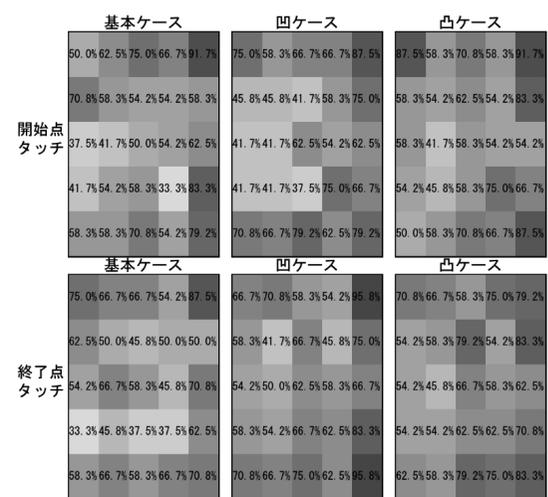


図 9 5 × 5 分割条件におけるターゲット毎のタッチ精度.

5.2 アンケート結果

5.2.1 ケースに関するアンケート結果

ケースに関するアンケート結果を図 13 に示す. 各アンケート項目において, 有意水準 5% でフリーマン検定を行った結果, いずれのアンケート項目においてもケース条件間に有意差は認められなかった. (持ちやすさ: $\chi^2(2) = 3.733$, $p = .155$ 入力しやすさ: $\chi^2(2) = .744$, $p = .689$ 正確さ: $\chi^2(2) = 2.364$, $p = .307$ 好み: $\chi^2(2) = 3.167$, $p = .205$)

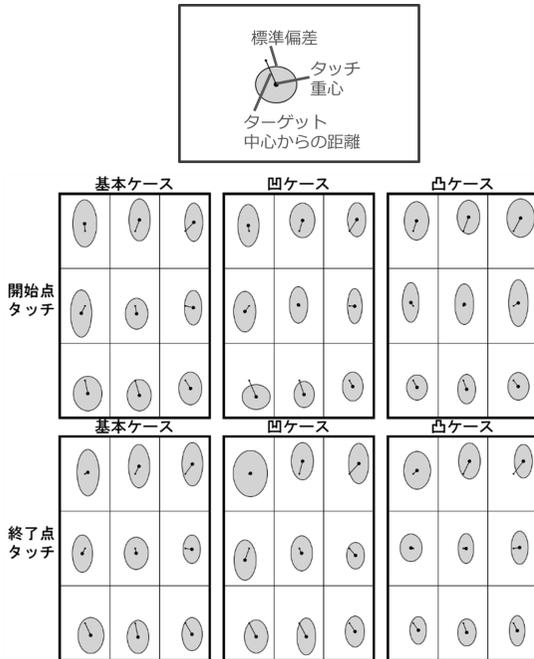


図 10 3 × 3 分割条件におけるターゲット毎のタッチの重心.

5.2.2 タッチ方法に関するアンケート結果

タッチ方法に関するアンケート結果を図 14 に示す。各アンケート項目において、有意水準 5% でウィルコクソンの符号付き順位検定を行った結果、入力しやすさ ($Z = -0.707, p = .480$) 及び正確さ ($Z = -1.134, p = .257$) の項目においてはタッチ条件間に有意差は認められなかった。一方で、好みの項目においては開始点タッチの評価が終了点タッチの評価よりも有意に高かった ($Z = -2.323, p = .020$)。

5.2.3 分割数に関するアンケート結果

分割数に関するアンケート結果と分割条件毎のタッチ精度 (実測値) を図 15 に示す。「どのくらいの精度で入力できたと思うか」の項目において対応のある一元配置分散分析を行った結果、分割条件間に有意差が認められた ($F_{2,22} = 63.609, p = .000 < .01$)。Bonferroni の多重比較を行ったところ、すべての条件間において有意差が認められた ($p < .01$)。「慣れた場合、どのくらいの精度で入力できると思うか」の項目 ($F_{2,22} = 32.183, p = .000 < .01$) 及びタッチ精度の実測値 ($F_{2,22} = 106.073, p = .000 < .01$) におい

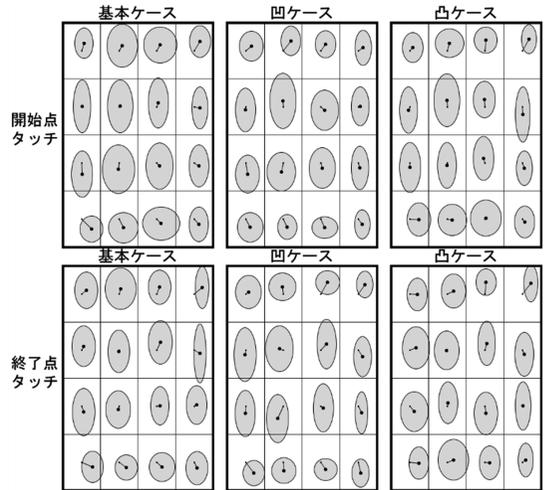


図 11 4 × 4 分割条件におけるターゲット毎のタッチの重心.

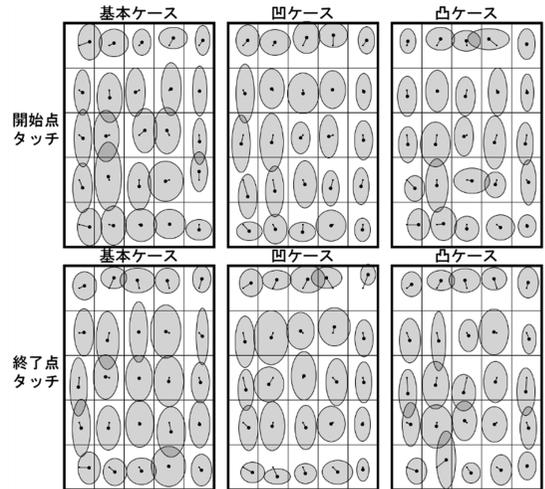


図 12 5 × 5 分割条件におけるターゲット毎のタッチの重心.

ても同様の有意差が認められた。

6 考察

今回の実験において、ケース条件間に有意差が見られたのは、3 × 3 分割条件かつ終了点タッチ条件における凸ケース条件と凹ケース条件間のみであった。

各ターゲット毎にタッチ精度及びタッチの重心 (図 7~12) を分析すると、ケースの凹凸の効果が見られ

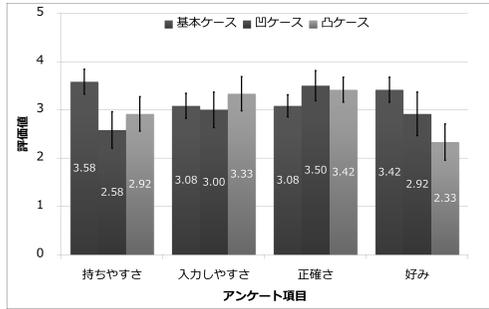


図 13 ケースに関するアンケート結果.

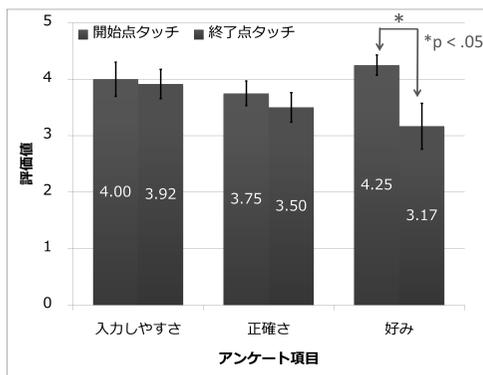


図 14 タッチ方法に関するアンケート結果.

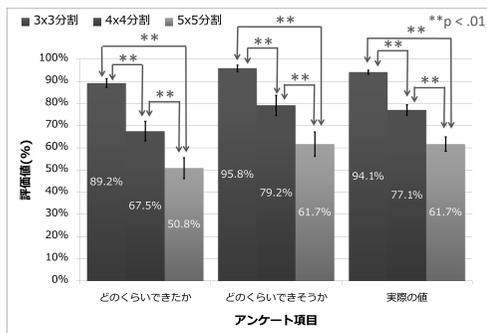


図 15 分割数に関するアンケート結果.

た. 奇数の分割条件 (3 × 3 分割条件及び 5 × 5 分割条件) かつ開始点タッチ条件においては, 凹ケースのくぼみの効果が見られた. 具体的には, 図 7 を見ると, 凹ケース条件時の中央のターゲットのタッチ精度が他のケース条件のタッチ精度よりも高いことが分かる (3 × 3 分割条件かつ開始点タッチ条件時中央ター

ゲットのタッチ精度: 凹ケース条件 94.1% 基本ケース条件 94.0% 凸ケース条件 89.2%). また, 図 9 にも, 同様の結果が見られる (5 × 5 分割条件かつ開始点タッチ条件時中央ターゲットのタッチ精度: 凹ケース条件 62.5% 基本ケース条件 50.0% 凸ケース条件 58.3%). このことは, タッチの重心とばらつき (標準偏差) にも表れている. 図 10 を見ると, 3 × 3 分割条件かつ開始点タッチ条件かつ凹ケース条件において, 中央のターゲットに対するタッチの重心がターゲットの中心に近く, ばらつきが少なくなっている (標準偏差が小さくなっている). 5 × 5 分割条件かつ開始点タッチ条件かつ凹ケース条件においても同様の傾向が見られる (図 12). これは, 被験者が凹ケースのくぼみを手がかりにし, スマートフォン画面の中央の位置を把握できたためだと考えられる. この推測を支持する意見として, ケースに関するアンケートにおいては, 「中心の位置が分かるから正確にタッチできた」 (設問 1-3. 入力の正確さ, 2 名) という意見や 「指標が真ん中にある」 (設問 1-2. 入力しやすさ, 1 名) という意見が得られた. このことは, 設問 1-3. 入力の正確さの平均評価値が 3.50 と 3 種類のケースの中で最も高かったことにも表れている (図 13).

同様に, 奇数の分割条件 (3 × 3 分割条件及び 5 × 5 分割条件) かつ開始点タッチ条件において, 凸ケースのでっばりの効果が見られた. 具体的には, 凸ケース条件時の縦の中央線上にあるターゲットの平均タッチ精度 (3 × 3 分割条件の場合, 3 つのターゲットの平均タッチ精度. 5 × 5 分割条件の場合, 5 つのターゲットの平均タッチ精度.) が, 他のケース条件の平均タッチ精度よりも高かった (3 × 3 分割条件かつ開始点タッチ条件時中央線上ターゲットの平均タッチ精度: 凸ケース条件 93.1% 基本ケース条件 91.5% 凹ケース条件 93.0%, 5 × 5 分割条件かつ開始点タッチ条件時中央線上ターゲットの平均タッチ精度: 凸ケース条件 64.1% 基本ケース条件 61.6% 凹ケース条件 57.5%). これは, 被験者が凸ケースのでっばりを手がかりにし, スマートフォン画面の縦の中央線の位置を把握できたためだと考えられる. この推測を支持する意見として, ケースに関するアンケートにおいて, 「中心が分かりやすい」 (設問 1-2. 入力しやすさ,

2名)という意見や「真ん中の線が分かっているから(正確にタッチできた)」(設問 1-3. 正確さ, 1名)という意見が得られた。

一方で、画面の中央の位置を把握できればその周囲のタッチ精度も高くなると予想されるものの、凹ケースのくぼみ周辺のターゲットでは、タッチ精度の向上が見られない場合があった。具体的には、5×5分割条件かつ開始点タッチ条件において、くぼみ周辺(画面中央の周囲)の8つのターゲットのうち、4つのターゲットにおいて凹ケース条件時のタッチ精度が基本ケース条件時のタッチ精度よりも低かった。加えて、くぼみ周辺の8つのターゲットの平均タッチ精度についても、凹ケース条件時の精度が基本ケース条件時の精度よりも低かった(凹ケース条件 56.6%, 基本ケース条件 58.3%)。これらの原因としてターゲットの位置によってはタッチ時にくぼみに触れにくかったことが考えられる。この推測を支持する意見として、ケースに関するアンケートにおいて、「持ち方が安定しなかった」(設問 1-1. 持ちやすさ, 3名 設問 1-2. 入力しやすさ, 3名 設問 1-3. 入力の正確さ, 1名)という意見や「穴に指を当てづらかった」(設問 1-1. 持ちやすさ, 1名)が挙げられた。このことは、設問 1-1. 持ちやすさの平均評価値が 2.58, 設問 1-2. 入力しやすさの平均評価値が 3.00 と 3 種類のケースの中で最も低かったことにも表れている(図 13)。持ちづらさや入力しづらさが精度の向上を妨げた可能性がある。

左上隅のターゲットのタッチにおいては、凸ケースの効果が見られた。図 7 を見ると、3×3分割条件かつ開始点タッチ条件時の左上隅のターゲットのタッチ精度が、凸ケース条件 95.1%, 基本ケース 92.5%, 凹ケース 92.4%と凸ケース条件時が最も高かった。また、他の条件においても同様の結果が見られた(4×4分割条件かつ開始点タッチ条件時左上隅のターゲットのタッチ精度:凸ケース条件 97.2%, 基本ケース 90.0%, 凹ケース 87.2%, 5×5分割条件かつ開始点タッチ条件時左上隅のターゲットのタッチ精度:凸ケース条件 87.5%, 基本ケース 75.0%, 凹ケース 50.0%)。このことは、タッチの重心とばらつきにも表れている。図 12 を見ると、5×5分割条件かつ開始点タッチ条件

時の左上隅のターゲットのタッチ重心が、基本ケース条件においては、大きく右に偏っているのに対して、凸ケース条件においては、偏りがなくなりタッチ重心がターゲットの中心に近づいている。加えて、タッチのばらつきも少なくなっている。これは、被験者が凸ケースのでっぱり指をひっかけることにより、指の届きにくい左上隅に指が届きやすくなったためだと考えられる。この推測を支持する意見として、ケースに関するアンケートにおいては、「親指(の可動)範囲が広いので押そうと思った位置を正確に押せた」(設問 1-3. 入力の正確さ, 1名),「親指の入力範囲が広いように思えた」(設問 1-2. 入力しやすさ, 1名),「しっかり持てるので指が動かしやすい」(設問 1-2. 入力しやすさ, 1名)という意見が得られた。加えて、「しっかりと持てた, 安定した」(設問 1-1. 持ちやすさ, 3名),「一番押しやすかった」(設問 1-2. 入力しやすさ, 1名)という意見も得られた。このことは、設問 1-2. 入力しやすさの平均評価値が 3.33 と 3 種類のケースの中で最も高かったことにも表れている(図 13)。タッチ精度向上のために、スマートフォンの持ちやすさ, 入力しやすさ, 指の動かしやすさも考慮しなければならないことが示唆された。

タッチ方法に関しては、期待していた終了点タッチの精度向上は見られなかった。タッチ方法に関するアンケート結果では、すべてのアンケート項目(入力しやすさ, 正確さ, 好み)において、終了点タッチの平均評価値が開始点タッチの平均評価値を下回った。これに関して、「誤った場所にタッチしてもそこからスライドさせれば誤りにならないのでよい」(設問 2-2. 入力の正確さ, 1名),「微調整が効く」(設問 2-1. 入力しやすさ, 1名)という肯定的な意見の一方で、「普段と違う」(設問 2-1. 入力しやすさ, 1名 設問 2-2. 入力の正確さ, 2名),「正確にタッチする方法が分からない」(設問 2-1. 入力しやすさ, 1名),「どの点からタッチを開始するのか迷ってしまう」(設問 2-1. 入力しやすさ, 1名)という否定的な意見が得られた。終了点タッチの入力を普段使わず慣れていなかったこと、終了点タッチを使いこなせなかったことが精度の向上を妨げた可能性がある。

また、ケース及び入力方法の好みについては、多く

の被験者が慣れているもの(基本ケース, 開始点タッチ)を好み, 奇抜なもの(凸ケース, 終了点タッチ)を好まない傾向にあった。このことは, 設問 1-4 及び設問 2-3 の好みを尋ねる設問の評価値に表れている(図 13, 図 14)。

7 まとめと今後の課題

我々は, スマートフォンをアイズフリーに片手入力する際の精度向上を目的とし, 凹凸の付いたスマートフォンケースを複数作成した。被験者実験において, これらのケースを用いた際のタッチ精度を調査した。具体的には, ケース条件(基本ケース条件, 凹ケース条件, 凸ケース条件), タッチ条件(開始点タッチ条件, 終了点タッチ条件), 分割条件(3×3分割条件, 4×4分割条件, 5×5分割条件)のそれぞれの組み合わせにおいてアイズフリーに片手入力した際のタッチ精度を調査した。

実験の結果, ケース条件間及びタッチ条件間に主効果は見られなかった。しかしながら, ターゲット毎のタッチ精度を分析した結果, 凹ケース使用時にスマートフォン画面の中央のタッチ精度の向上が見られた。このことは, 中央に取り付けたくぼみの手がかりが, スマートフォン画面の中央の位置の把握を促すことを示唆している。また, 凸ケース使用時にスマートフォン画面の左上隅のタッチ精度の向上が見られた。このことは, 指の届きにくい画面位置(スマートフォンを右片手持ちした際の左上隅)に指を届きやすくすることが, タッチ精度の向上を促すことを示唆している。

また, アンケートの結果から, タッチ精度向上のために, ケースを付けた際のスマートフォンの持ちやすさ, 入力しやすさ, 指の動かしやすさも考慮しなければならないことが示唆された。

今後は, 持ちやすさ, 入力しやすさ, 及び指の動かしやすさについてより詳細に調査するための実験を行った上で, その調査結果を基にしたケースを検討する予定である。

参考文献

- [1] Bonner, M. N., Brudvik, J. T., Abowd, G. D. and Edwards, W. K.: No-look Notes: accessible

eyes-free multi-touch text entry, in *Proceedings of the 8th international conference on Pervasive Computing*, Pervasive '10, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010, pp. 409–426.

- [2] Fukatsu, Y., Oe, T., Kuno, Y. Shizuki, B. and Tanaka, J.: Evaluation of effects of textures attached to mobile devices on pointing accuracy, in *Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction*, HCII '13, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2013, pp. 255–263.
- [3] Fukumoto, M.: PuyoSheet and PuyoDots: simple techniques for adding “button-push” feeling to touch panels, in *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 3925–3930.
- [4] Fukumoto, M. and Sugimura, T.: Active Click: tactile feedback for touch panels, in *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, New York, NY, USA, ACM, 2001, pp. 121–122.
- [5] Jain, M. and Balakrishnan, R.: User learning and performance with bezel menus, in *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, 2012, pp. 2221–2230.
- [6] Karlson, A. K. and Bederson, B. B.: Understanding single-handed mobile device interaction, Technical report, Department of Computer Science, University of Maryland, 2006.
- [7] MacKenzie, I. S. and Buxton, W.: Extending Fitts' law to two-dimensional tasks, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, New York, NY, USA, ACM, 1992, pp. 219–226.
- [8] Parhi, P., Karlson, A. K. and Bederson, B. B.: Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices, in *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '06, New York, NY, USA, ACM, 2006, pp. 203–210.
- [9] Poupyrev, I., Maruyama, S. and Rekimoto, J.: Ambient Touch: designing tactile interfaces for handheld devices, in *Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '02, New York, NY, USA, ACM, 2002, pp. 51–60.
- [10] Poupyrev, I., Rekimoto, J. and Maruyama, S.: TouchEngine: a tactile display for handheld devices, in *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '02, New York, NY, USA, ACM, 2002, pp. 644–645.
- [11] Sánchez, J. and Aguayo, F.: Mobile messenger for the blind, in *Proceedings of the 9th conference on User interfaces for all*, ERCIM '06, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2007, pp. 369–385.
- [12] Siek, K. A., Rogers, Y. and Connelly, K. H.: 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, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005, pp. 267-280.

- [13] Silfverberg, M.: Using Mobile Keypads with Limited Visual Feedback: Implications to Handheld and Wearable Devices, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '03, Springer-Verlag, 2003, pp. 76-90.
- [14] Apple - Accessibility - iPhone - VoiceOver, <http://www.apple.com/accessibility/voiceover/>.
- [15] Yatani, K. and Truong, K. N.: SemFeel: a user interface with semantic tactile feedback for mobile touch-screen devices, in *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 111-120.
- [16] Yu, N.-H., Tsai, S.-S., Hsiao, I.-C., Tsai, D.-J., Lee, M.-H., Chen, M. Y. and Hung, Y.-P.: Clip-on Gadgets: expanding multi-touch interaction area with unpowered tactile controls, in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM, 2011, pp. 367-372.
- [17] 西村崇宏, 瀬尾明彦, 土井幸輝: Influence of size and shape of switch on operability in portable resistive touch-sensitive screen, *日本機械学会論文集C編*, Vol. 77, No. 780(2011), pp. 3036-3046.
- [18] 黒川隆夫: タッチ画面インタフェースにおける人間のポイント特性およびそれに対する Fitts の法則の適合性, *Progress in Human Interface*, Vol. 5(1996), pp. 5-12.



深津 佳智

1989 年生。2013 年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒。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関する研究に興味を持つ。ACM, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。



箱田 博之

1991 年生。筑波大学情報学群情報メディア創成学類在学中。ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ。情報処理学会会員。



野口 杏奈

1989 年生。2012 年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒。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関する研究に興味を持つ。情報処理学会会員。



志築文太郎

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。



田中 二郎

1975 年東京大学理学部卒業。1977 年同大学大学院理学系研究科修士課程修了。1984 年米国ユタ大学大学院計算機科学科博士課程修了。ユタ大学では関数型プログラミング言語の並列実装に関する研究に従事。PhD. in Computer Science. 1985 年から 1988 年に(財)新世代コンピュータ技術開発機構にて並列論理型プログラミング言語の研究開発に従事。1993 年から筑波大学に勤務。現在、筑波大学システム情報系教授。ユビキタスコンピューティングや未来の情報環境の構築に興味を持つ。ACM, IEEE, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, 電子情報通信学会各会員。