

# パームレストにおける押し込み動作に基づく カーソル操作手法の検討

高倉 礼<sup>1,a)</sup> 志築 文太郎<sup>2,b)</sup> 高橋 伸<sup>2,c)</sup>

**概要:** コンピュータを用いた作業において、ユーザはタイピングおよびカーソル操作の切り替えのために、キーボードおよびマウスを適宜持ち替える必要がある。入力機器の持ち替えには視線を画面から離すため画面中のコンテンツに集中し続けることは難しく、かつホームポジションから頻繁に指を動かすことから作業効率に悪い影響があると考えられる。本稿において我々は、ユーザがパームレストへ指球を押し込む動作に基づきカーソルを操作する手法を示す。本手法を用いたカーソル操作の性能および使用感を調査するために、ポインティング操作性能およびキャレット操作性能を評価する実験を行った。実験の結果、本手法を用いたポインティング操作は難しいものの、本手法を用いたキャレット操作はユーザに受け入れられる使用感を有することがわかった。

## 1. はじめに

表計算ソフトを用いたデータ入力作業および EC サイトにおける届け先住所の入力など、コンピュータを用いた作業において、ユーザはタイピングおよびカーソル操作の切り替えのために、キーボードおよびマウスを適宜持ち替える必要がある。この持ち替えは 1 回あたり約 400 ms がかり [1], [2], またユーザは視線を画面から離す。そのため、頻繁に機器を持ち替える必要がある作業では作業効率に悪い影響があると考えられる。したがって、キーボードのホームポジションから手を動かすことなくカーソルを操作できれば、ユーザは機器の持ち替えが必要なく、かつ画面を見続けながら作業できるため、作業効率の向上が期待できる。

本稿において我々は、ユーザがパームレストへ手の平の指球を押し込む動作に基づきカーソルを操作できる手法を示す。本手法は、感圧センサが組み込まれたパームレストの押下された位置および押下圧力に基づき、カーソルの移動方向および移動速度を決定する。本手法を用いることにより、ユーザはホームポジションから指を動かさずにカーソル操作を実行できる。本稿では、本手法を用いてマウスカーソルを移動（ポインティング）する方法および本手法を用いて文字を入力できる位置を表すキャレットを移動す

る方法を示す。その後、それぞれの方法にてカーソル操作性能を評価するために行った実験および結果を示す。

## 2. 関連研究

機器の持ち替えを必要としないカーソル操作手法として、主にキーボード上にてジェスチャを行う手法が研究されてきた。Taylor ら [3] は、キーボードのキー間に赤外線距離センサを搭載することにより、ユーザがカーソル操作およびジェスチャ入力ができる手法を示した。Tung ら [4] は、静電容量を計測できる回路をキーボードに配置し、ユーザがキーボード上にてトラックパッドのようにカーソルを操作できる手法を示した。Wilson および Cutrell [5] は、キーボードを俯瞰撮影するカメラの映像からユーザの手の移動量を計測することにより、ユーザがキーボード上にてカーソルを操作できる手法を示した。高田ら [6] は、ユーザが押下している複数のキーの位置の重心に基づきカーソルを操作できる手法を示した。これらの手法はキーボード上にてカーソル操作が可能であるため、機器の持ち替えが必要ない。しかし、ユーザはこれらの手法を用いてカーソルを操作するためにホームポジションから手を離し、またホームポジションへ手を戻すために手元へ視線を動かす必要がある。したがって、ホームポジションから手を動かさずにカーソルを操作できれば、常に画面を見ながら作業するため、作業効率の向上が期待できる。

ホームポジションから手を動かすことなくカーソルを操作できる手法がこれまでに研究されてきた。Rutledge および Selker [7] はキーボードの中央にスティック型のカー

<sup>1</sup> 筑波大学 情報理工学位プログラム

<sup>2</sup> 筑波大学 情報工学科

a) takakura@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

c) shin@cs.tsukuba.ac.jp

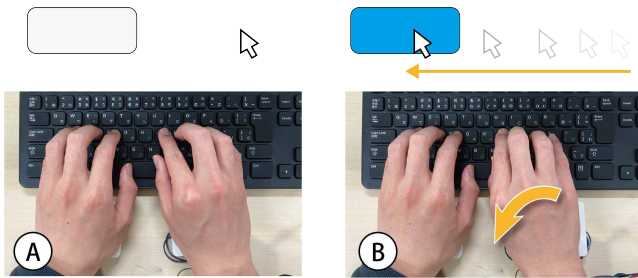


図 1 パームレストを押下することにより、カーソルを操作できる。A) パームレストへかかる圧力が閾値未満である時はカーソルは動かない。B) パームレストへ閾値以上の圧力がかかることにより、カーソルを操作できる。パームレストの押下位置および押下圧力に基づき、カーソルの移動方向および移動速度が決まる。

ソル操作機器を配置することにより、ホームポジションから両手のどちらかの人差し指を動かすだけでカーソルを操作できる手法を示した。Rekimoto [8] はホームポジション上のキーをクリック操作に割り当てることにより、ホームポジションから親指を動かすだけでカーソルを操作できる手法を示した。Sekimori ら [9] は導電布を用いてスペースキー上のタッチ位置を検出することにより、ホームポジションから指を動かさず、親指のみでリストメニューを選択できる手法を示した。しかし、これらの手法は依然として指によるカーソル操作が必要である。本手法において、ユーザがカーソル操作に指ではなく指球を用いる。これによりユーザはカーソルを操作しつつ、指による自由度の高いジェスチャ入力が実行可能であると考えられる。

### 3. 提案手法および実装

本節では、本手法においてカーソルを操作する方法を示したのち、本手法にて使用する機器の実装を示す。

#### 3.1 提案手法

本手法において、ユーザは指球をパームレストへ押し込むことによりカーソルを操作できる (図 1)。これによりユーザはポインティング操作またはキャレット操作を実行できる。

本手法はユーザの押下圧力に応じて 3 つの段階を持つ。最初の段階は無操作段階である。無操作段階は、ユーザがパームレストに手を置いているだけの状態にて意図しないカーソルの移動を防ぐ段階である。パームレストへ一定以上の圧力がかかることにより、ポインティング操作では操作準備段階に、キャレット操作では操作段階になる。操作準備段階では、ユーザはカーソルを操作することはできないが、ホームポジション上のキーである J キーを押下することによりクリック操作を実行できる。操作準備段階からさらに押下圧力が大きくなり、閾値を超えることにより操作段階となる。操作段階では、ユーザが押し込んだパーム

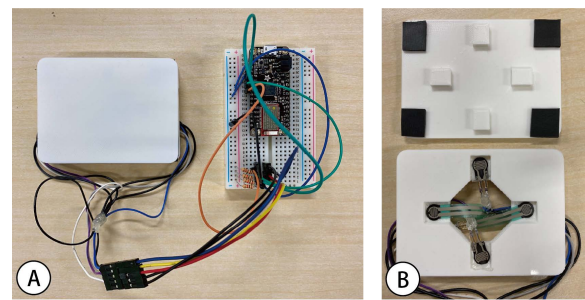


図 2 A) 押下圧力に基づきカーソル操作が可能なパームレスト。B) パームレストの内部には感圧センサが 4 つ取り付けられている。

レストの位置および押下圧力の大きさに基づき、カーソルが移動する。例えば、ユーザがパームレストの右側を押し込めば、カーソルは画面右方向へ移動する。ユーザがパームレストの前側を押し込めば、カーソルは画面上方向へ移動する。この時、ユーザが押し込み続ける限りカーソルは移動し続け、またユーザが押し込む強さが大きいほどカーソルは速く移動する。

本手法を用いるユーザは、指球のみでカーソルを移動可能かつホームポジション上にあるキーにてクリック操作が可能であることから、ホームポジションから指を動かすことなくカーソルを操作できるため、機器の持ち替えによる負担を削減できる。

#### 3.2 実装

本手法にて使用する機器を図 2 に示す。本機器は 3D プリンタにより作成されたパームレスト、マイクロコントローラ (Adafruit Feather 32u4 BlueFruit LE)、および 4 つの感圧センサ (FSR400) から構成されている。感圧センサは圧力が加わると抵抗値が減少する性質がある。そのため、固定抵抗と組み合わせることによって、圧力により電圧が変化する分圧回路を作成できる。本機器は、固定抵抗に 1 k $\Omega$  を用いた分圧回路から得られる電圧をマイクロコントローラにて測定することにより、ユーザがパームレストを押し込む動作を認識する。本機器は、パームレスト内部において前後左右の十字方向にそれぞれ 1 つずつ感圧センサが取り付けられている。そのため、ユーザがパームレストを押し込んだ際の前後左右それぞれの位置における圧力を測定できる。

### 4. 予備実験

コンピュータを用いた作業において、ユーザはカーソル操作を必要としない作業 (例えば、タイピング) も行う。そのため、ユーザがカーソル操作を必要としない作業において、本手法による意図しないカーソル移動が起こることを制限する必要がある。したがって、我々はカーソルが移動しない適切な閾値を求めるために予備実験を行った。予

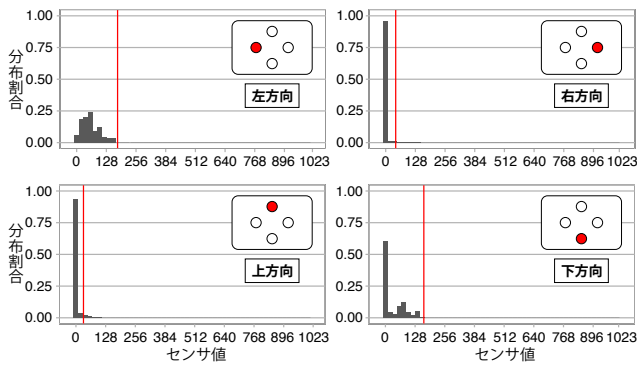


図 3 参加者の左手に設置されたパームレストにおいて測定された値。値が大きいほど大きい圧力が加わったことを表す。赤縦線は得られたセンサ値の平均値 + 標準偏差 × 3 の値である。

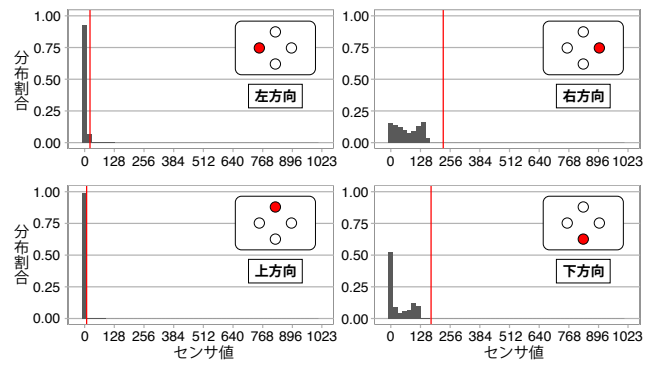


図 4 参加者の右手に設置されたパームレストにおいて測定された値。値が大きいほど大きい圧力が加わったことを表す。赤縦線は得られたセンサ値の平均値 + 標準偏差 × 3 の値である。

備実験には、21 歳–25 歳の大学生および大学院生 8 名（女性 1 名、男性 7 名）がボランティアで参加した。

#### 4.1 機器および手順

実験には Windows 10 のラップトップコンピュータ (Lenovo 社, ThinkPad T14 Gen1), 24 インチのディスプレイ (DELL 社, ST2410B) および, JIS 配列の外付け QWERTY キーボード (DELL 社, KB113) を用いた。パームレストにおける参加者の押下圧力を計測するために, 3.2 節にて述べたパームレストを用いた。はじめに, 参加者は高さ 70 cm の机の前に設置された椅子に着席した後, 椅子の高さを最も作業しやすい高さへ調節するよう指示された。その後, 参加者は外付けキーボードのホームポジションに指を置くように指示された。この時, 我々はパームレストをその中心が参加者の手首の中央に来るように設置した。この状態において, 参加者はタイピング練習アプリケーションである e-typing<sup>\*1</sup>を用いて, 日本語の短文 15 文をローマ字入力にてなるべく速く正確にタイピングするよう指示された。参加者 1 人あたりが要した時間は平均 3 分であった。

#### 4.2 結果および考察

実験において, パームレストに組み込まれた 4 つの感圧センサがそれぞれ取得したセンサ値の分布を図 3 (左手) および図 4 (右手) に示す。圧力センサが測定した圧力は 0–1023 の値にて取得された。グラフの横軸はセンサ値を, 縦軸はセンサ値の分布割合を表す。予備実験より, 左手のパームレストにおいて右側および前側, ならびに右手のパームレストにおいて左側および前側に設置されたセンサ値が小さい傾向が示された。このことから, 参加者は手の平の小指球を支点としてパームレストに手を置き, かつ体へ腕を引き寄せた状態にてタイピングしていると考えられる。

\*1 <https://www.e-typing.ne.jp>

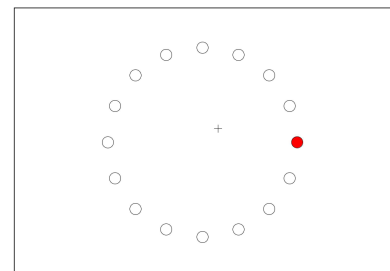


図 5 カーソル操作性実験にて参加者へ提示された画面。

以降では, それぞれの感圧センサが取得したセンサ値の平均値 + 標準偏差 × 3 をカーソル操作ができる閾値とした。

### 5. 実験 1: ポインティング操作性の評価

本手法を用いたポインティング操作性を評価するために実験を行った。実験には, 22 歳–25 歳の大学院生 6 名 (女性 1 名, 男性 5 名) がボランティアで参加した。

#### 5.1 機器および手順

実験には予備実験と同じ機器に加えて, 4 種類のカーソル操作手法 (マウス (DELL 社, MS111-L), トラックパッド, トラックポイント [7], 本手法) を用いた。はじめに, 参加者は高さ 70 cm の机の前に設置された椅子に着席した後, 椅子の高さを最も作業しやすい高さへ調節するよう指示された。その後, 参加者はキーボードのホームポジションに指を置くように指示された。この時, 我々はパームレストをその中心が参加者の手首の中央に来るように設置した。

参加者は, 4 種類のカーソル操作手法のうち指示された手法のみを用いて, 画面上に表示されるターゲットを一定の順番で選択する作業を行った [10]。実験時に参加者へ提示された画面の例を図 5 に示す。実験では画面中央を中心とした円上に, 円形のターゲットが 16 個配置された。このターゲットのうち, 次に選択するターゲットが 1 つだけ赤くなる。参加者はカーソルを移動させ, カーソルがターゲットの内側にある時にクリック操作を行うことによ

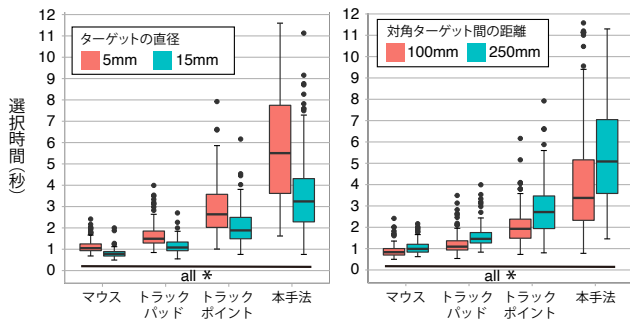


図 6 手法ごとのターゲット選択時間. 値が小さいほど, 速くターゲットを選択できることを表す.

てターゲットを選択できた. 16 個のターゲットを一定の順番にて選択することを 1 試行とし, 参加者はターゲットをなるべく速く正確に選択するように指示された. 参加者はこの作業を対角ターゲット間の距離 2 条件 (100 mm, 250 mm), ターゲットの直径 2 条件 (5 mm, 15 mm) の組み合わせ 4 条件それぞれ 1 試行ずつ行った. 4 試行ごとに, 参加者は自由記述および使用したカーソル操作手法の使用感を評価する SUS [11] 得点を測定するためのアンケートに回答した. 参加者は上記の手順を 4 種類全てのカーソル操作手法にて行ったため, 参加者は対角ターゲット間距離 2 条件 × ターゲットの直径 2 条件 × カーソル操作手法 4 条件 = 合計 16 試行を行った. なお, 使用するカーソル操作手法の使用順およびターゲット条件の提示順は参加者ごとにカウンターバランスをとった. 実験全体にて要した時間は実験参加者 1 人あたり約 30 分であった.

## 5.2 結果および考察

手法ごとのターゲット選択時間, ターゲット選択精度および使用感を比較するために検定を行った. 主効果検定はクラスカル=ウォリス検定, 事後検定にはボンフェローニ補正をしたウィルコクソンの順位和検定を用いた. いずれも有意水準は 0.05 とした.

### 5.2.1 ターゲット選択時間

ターゲット選択時間は, ターゲット 1 つあたりの選択に要した時間である. 実験より得られた各手法のターゲット選択時間を図 6 に示す. カーソル操作手法, ターゲットの直径, および対角ターゲット間距離をそれぞれ独立変数とした主効果検定の結果, 全ての独立変数において主効果が示された (それぞれ,  $\chi^2_3 = 1.04 \times 10^3, p = 2.20 \times 10^{-16}$ ;  $\chi^2_1 = 1.13 \times 10^2, p = 2.20 \times 10^{-16}$ ;  $\chi^2_1 = 61.0, p = 5.78 \times 10^{-15}$ ). 事後検定の結果, 全ての手法間, ターゲットの直径, および対角ターゲット間距離に有意差が検出された (全て  $p < 2.20 \times 10^{-16}$ ).

この結果から, マウス, トラックパッド, トラックポイント, および本手法の順番にて, 速くターゲットを選択できることがわかった. 特に, ターゲット選択に要した平均時間がマウスおよびトラックパッドにおいて 1 秒程度であ

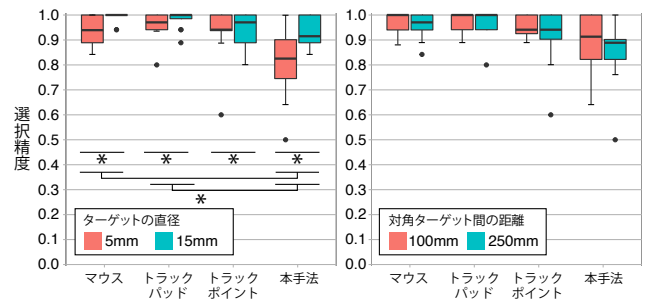


図 7 手法ごとのターゲット選択精度. 値が大きいほど, ターゲット選択の精度が高いことを表す.

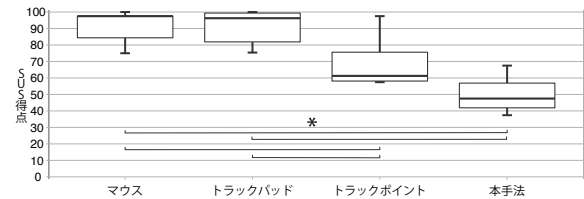


図 8 手法ごとの SUS 得点. 値が大きいほど, 使用感が良いことを表す.

ることに対し, 本手法が 5 秒程度であることから, 機器の持ち替えの時間を考慮しても本手法が既存手法よりも選択時間を要するカーソル操作手法であることがわかる.

### 5.2.2 ターゲット選択精度

ターゲット選択精度は, 実験において参加者が行った総クリック回数の内, 正しくターゲットを選択できた割合である. 実験より得られた各手法のターゲット選択精度を図 7 に示す. カーソル操作手法, ターゲットの直径, および対角ターゲット間距離をそれぞれ独立変数とした主効果検定の結果, 手法 ( $\chi^2_3 = 16.1, p = 1.08 \times 10^{-3}$ ) およびターゲットの直径 ( $\chi^2_1 = 7.44, p = 6.36 \times 10^{-3}$ ) において主効果が示された. 事後検定の結果, マウスと本手法 ( $p = 9.47 \times 10^{-4}$ ), トラックパッドと本手法 ( $p = 4.29 \times 10^{-4}$ ), ならびに, 全てのターゲットの直径間 ( $p = 4.16 \times 10^{-4}$ ) に有意差が示された.

この結果から, 本手法はマウスおよびトラックパッドよりも選択精度が低いカーソル操作手法であることがわかった. ただし, 本手法はターゲットの直径が 15 mm であるときの平均選択精度が 9 割を超えていることから, 小さいターゲットの選択を苦手としているものの, 大きいターゲットの選択においては十分な選択精度を有していると考えられる.

### 5.2.3 使用感

SUS 得点は 0 点-100 点の数値により示され, 高いほど使用感が良いことを表す. 実験より得られた SUS 得点を図 8 に示す. カーソル操作手法を独立変数とした主効果検定の結果, 手法間 ( $\chi^2_3 = 16.1, p = 1.08 \times 10^{-3}$ ) に主効果が示された. 事後検定の結果, マウスとトラックポイント ( $p = 3.25 \times 10^{-2}$ ), マウスと本手法 ( $p = 9.34 \times 10^{-5}$ ),



トラックパッドとトラックポイント ( $p = 3.66 \times 10^{-2}$ ), およびトラックパッドと本手法 ( $p = 1.06 \times 10^{-4}$ ) にて有意差が示された。

この結果より, 既存手法と比較して本手法の SUS 得点が低く, ユーザにとって扱いづらいカーソル操作手法であることがわかった。しかし, トラックポイントの SUS 得点も低いことから, 本手法とトラックポイントが共に採用しているジョイスティック方式のカーソル移動が参加者にとって良い使用感ではなかったとも考えられる。

#### 5.2.4 参加者のコメント

アンケートにおいて, 3名の参加者が「普段使用しているカーソル速度よりも遅いため, 思うように動かさなかった」とコメントした。今回の手法において, 全ての手法のカーソル移動速度は実験者により決められた値であった。そのため, 各参加者が好む速度ではなかったことから, このコメントが得られたと考えられる。

一方, 参加者のうち2名は「上下左右のいずれか一方方向ならば動かしやすい」とコメントした。これは, 本手法にて使用した機器が感圧センサを前後左右にそれぞれ1つずつのみ使用しているからであると考えられる。したがって, 感圧センサの数を増やす, または前後左右の方向のみで実行できる操作を本手法に割り当てることにより, ユーザの使用感の向上が期待できると考えられる。

### 5.3 議論

実験より, 本手法は機器の持ち替え時間を考慮しても既存手法より選択時間を要する, かつ選択精度が低い手法であることがわかった。また, 参加者の使用感およびコメントから, 本手法はユーザにとって使いづらい手法であることもわかった。このことから, 本手法によりポインティング操作を行うことは好ましくないと考えられる。しかし, 参加者の「上下左右のいずれか一方方向でならば動かしやすい」というコメントから, 本手法は, 文字入力時のキャレット移動またはメニュー選択などの移動方向が制限される操作ならば, 高い選択性能を実現できると考えられる。

## 6. 実験2: キャレット操作性能の調査

本手法を用いたキャレット操作性能を調べるために実験を行った。実験には, 21歳-25歳の大学生および大学院生6名(全員男性)がボランティアで参加した。

### 6.1 機器および手順

実験には予備実験と同じ機器を用いた。はじめに, 参加者は高さ70cmの机の前に設置された椅子に着席した後, 椅子の高さを最も作業しやすい高さへ調節するよう指示された。その後, 参加者はキーボードのホームポジションに指を置くように指示された。この時, 我々はパームレスト

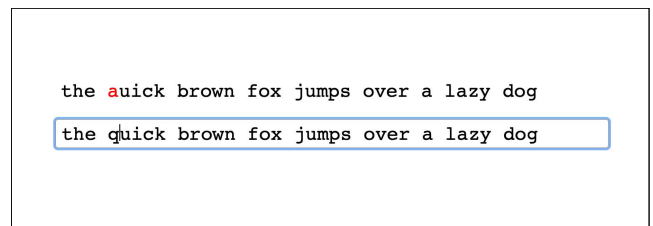


図9 キャレット操作性能実験にて参加者に提示された画面。

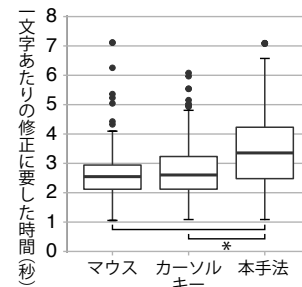


図10 各手法が1文字あたりの修正に要した時間。

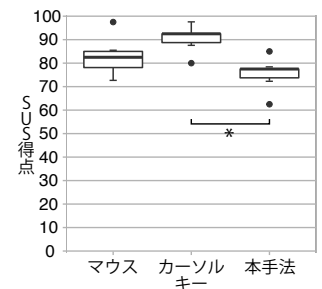


図11 手法ごとのSUS得点。

をその中心が参加者の手首の中央に来るように設置した。

実験時に参加者へ提示された画面の例を図9に示す。実験において参加者は, マウス, キーボードのカーソルキー, および本手法の中から, 指示されたカーソル操作手法のみを用いて, キャレットを操作した。はじめに, 修正すべき1文字が赤くなった文字列が参加者へ提示された。参加者は, 文字入力欄の文字列を提示された文字列と同じ文字列へ速く正確に修正するよう指示された。参加者はこの作業を20回行うことを1試行とし, 1手法あたり2試行ずつ行った。なお, 参加者が入力する文字はアルファベットの中から重複なく選出された。また, 修正する文字の位置までは1回の作業あたり平均10文字分のキャレット移動が必要であった。参加者は各手法にて2試行終えるごとに, 自由記述および使用したカーソル操作手法の使用感を評価するSUS得点を測定するためのアンケートに回答した。参加者は上記の作業を3種類全ての手法にて行ったため, 20回×2試行×カーソル操作手法3条件=合計120回の修正作業を行った。実験全体にて要した時間は実験参加者1人あたり約15分であった。

### 6.2 結果および考察

手法ごとの修正に要した時間, および使用感を比較するために検定を行った。主効果検定はクラスカル=ウォリス検定, 事後検定にはボンフェローニ補正をしたウィルコクソンの順位和検定を用いた。いずれも有意水準は0.05とした。

#### 6.2.1 修正に要した時間

実験より得られた1文字あたりの修正に要した時間を図10に示す。カーソル操作手法を独立変数とした主効果

検定の結果、手法間 ( $\chi^2_2 = 70.9, p = 3.97 \times 10^{-16}$ ) に主効果が示された。事後検定の結果、マウスと本手法 ( $p = 5.01 \times 10^{-14}$ )、カーソルキーと本手法 ( $p = 3.33 \times 10^{-10}$ ) にて有意差が示された。

この結果より、本手法はマウスおよびカーソルキーよりもキャレット移動に時間を要する手法であることがわかった。なお、各手法が修正に要した平均時間は、マウスが2.62秒、カーソルキーが2.74秒、本手法が3.50秒であった。今回の実験にて参加者が初めて本手法を使用したこと、および短期間の実験であったことを考慮すれば、ユーザが本手法に慣れることにより、キャレット移動をより高い速度にて実行できると考えられる。

### 6.2.2 使用感

実験より得られた使用感の良さを表す SUS 得点を図 11 に示す。カーソル操作手法を独立変数とした主効果検定の結果、手法間 ( $\chi^2_2 = 8.40, p = 1.50 \times 10^{-2}$ ) に主効果が示された。事後検定の結果、カーソルキーと本手法 ( $p = 1.59 \times 10^{-2}$ ) にて有意差が示された。

この結果から、本手法は既存手法と比較して使用感が悪いことわかった。ただし、本手法の SUS 得点が平均 75.4 点と高い点数であることから、本手法は参加者にとって十分に使いやすい手法であったと考えられる。

### 6.2.3 参加者のコメント

アンケートにおいて、参加者のうちの3人が本手法に対して、「ホームポジションから手を動かさずにキャレットを動かせるため、とても便利である」とコメントした。このコメントから、ユーザは本手法を用いることにより、快適にキャレット操作ができたと考えられる。

一方、参加者のうちの2名が本手法に対して「1文字だけキャレットを動かすような細かい操作が要求される時に2文字以上動くことが多かった」とコメントした。このコメントから、本手法はユーザが詳細な操作を行おうとしても、詳細なカーソル移動が難しい手法であることがわかった。つまり、ユーザが本手法を用いて詳細な操作を行おうとしてもカーソルが大きく動いてしまうため、意図した操作が実行できないと考えられる。したがって、ユーザが詳細な操作または大雑把な操作のどちらを行っているのかに合わせて、適切な速度にてカーソルを移動させる必要があると考えられる。

## 6.3 議論

実験より、本手法を用いたキャレット操作はユーザに十分受け入れられる手法であることがわかった。しかし、本手法は既存手法よりもキャレット操作に時間を要する手法であることがわかった。本実験では、本手法のキャレット移動速度が実験者により決められた一定の値であった。そのため、ユーザごとに適切な移動速度が異なることから、

キャレット操作性および使用感に悪い影響があったと考えられる。したがって、ユーザごとに好みのキャレット移動速度となるように調節できる必要があると考えられる。

また、本手法は詳細な操作が難しいことが実験参加者のコメントより示された。このことから、ユーザが詳細な操作を行っている場合はカーソル移動速度を小さく、大雑把な操作を行っている場合はカーソル移動速度を大きくすることによって、より高い操作性かつ高い使用感にてキャレットを操作できると考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、パームレストにおける押し込み動作に基づきカーソルを操作する手法を示した。本手法は、4つの感圧センサが組みこまれたパームレストの押下された位置および押下圧力により、カーソルの移動方向および移動速度を決定する。ユーザは本手法を用いることにより、ホームポジションから指を動かすことなくポインティング操作またはキャレット操作を実行できる。本手法のカーソル操作性および使用感を調査した結果、本手法は既存のカーソル操作手法と比較して操作性は低いものの、キャレット操作においてはユーザに受け入れられる使用感を有することがわかった。また、実験参加者のコメントから、本手法はマウスおよびカーソルキーと比較し詳細な操作が難しいことがわかった。そのため今後は、ユーザが詳細な操作を行っている時にはカーソル移動速度を小さく、大雑把な操作を行っているときはカーソル移動速度を大きくすることにより、ユーザの意図に合わせた適切な速度にてカーソルが移動できるようにする。

## 参考文献

- [1] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, and Allen Newell. The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. *Communications of the ACM*, Vol. 23, No. 7, pp. 396–410, 1980.
- [2] Stuart K. Card, William K. English, and Betty Burr. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a crt. *Ergonomics*, pp. 601–613, 1978.
- [3] Stuart Taylor, Cem Keskin, Otmar Hilliges, Shahram Izadi, and John Helmes. Type-Hover-Swipe in 96 bytes: A motion sensing mechanical keyboard. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1695–1704. Association for Computing Machinery, 2014.
- [4] Ying Chao Tung, Ta Yang Cheng, Neng Hao Yu, Chuan Wang, and Mike Y. Chen. Flickboard: Enabling trackpad interaction with automatic mode switching on a capacitive-sensing keyboard. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1847–1850. Association for Computing Machinery, 2015.
- [5] Andrew D. Wilson and Edward Cutrell. FlowMouse: A computer vision-based pointing and gesture input device. In *Proceedings of IFIP International Conference*

- on *Human-Computer Interaction*, INTERACT '05, pp. 565–578. Springer International Publishing, 2005.
- [6] 高田峻介, 志築文太郎, 高橋伸. キーボード上における 2 つのキーの連続押下を開始符号とする操作手法. 情報処理学会研究報告 (HCI-168) , pp. 1–6. 情報処理学会, 2016.
- [7] Joseph Rutledge and Ted Selker. Force-to-motion function for pointing. In *Proceedings of IFIP International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT '90, pp. 701–706. Springer International Publishing, 1990.
- [8] Jun Rekimoto. ThumbSense: Automatic input mode sensing for touchpad-based interactions. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 852–853. Association for Computing Machinery, 2003.
- [9] Kodai Sekimori, Yusuke Yamasaki, Yuki Takagi, Kazuma Murata, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. Ex-Space: Expanded space key by sliding thumb on home position. In *23rd International Conference on Human-Computer Interaction (HCII '18)*, Vol. 10903, pp. 68–78. Springer International Publishing, 2018.
- [10] ISO. Ergonomics of human-system interaction – part 411: Evaluation methods for the design of physical input devices. Technical report, 2012.
- [11] John Brooke. SUS: A ‘quick and dirty’ usability scale. In *Usability evaluation in industry*, pp. 189–194. Taylor & Francis, 1996.