

# スマートフォンの左右回転操作による スライダー操作手法の検討

小柳 元志郎<sup>1</sup> 崔 明根<sup>1</sup> 坂本 大介<sup>1</sup> 小野 哲雄<sup>1</sup>

**概要：**スマートフォンにおける操作方法として、搭載されたジャイロセンサを利用した3自由度の傾き操作がある。端末の傾きを利用した操作に関する研究（例えば、チルト操作など）は行われているが、操作方法、操作感度などのパラメータ設定の検討は十分ではない。そこで本研究では、スマートフォンの画面上に表示されたスライダーを操作するタスクを用いて、端末の傾きをスライダーの変化量に対応させる手法（Position 手法）と傾きを変化率に対応させる手法（Rate 手法）について、パラメータ設定の比較、検討を行った。本研究ではスマートフォンを横向きに持ち、端末の画面に対して垂直な方向を軸とした回転（Yaw 回転）を傾きとして利用した。Yaw 回転を利用することで画面は常に利用者の方を向く。スマートフォンを左右に傾けてスライダーを指定された位置に移動させ、その操作完了時間と精度、ユーザビリティで評価を行った。その結果、操作完了時間と精度において、左右に最大30度傾けることのできる操作感度の Position 手法が優れている傾向が見られたものの有意差は確認されなかった。

**キーワード：**スマートフォン、インターフェース、傾き操作

## 1. はじめに

現在、スマートフォン上のコンテンツとのインタラクションは主に、画面を指で直にタップ、スワイプ、フリックなどを行うことで行われている。しかし、スマートフォンにはタッチスクリーンの他にもインタラクションに利用できる装置が搭載されている。その一つであるジャイロセンサなどで取得した3自由度の傾き、回転を利用した操作に関する研究はこれまでに行われており、傾き操作を利用したメニューの選択 [1] やポインティング [2] などの研究が行われている。しかし、スマートフォンを傾けると利用者にとって画面が見にくくなるという問題がある。

この問題を解決する方法として、端末の画面に対して垂直な方向を軸とした回転（Yaw 回転）を傾きとして用いるという方法がある。端末の傾きや角速度は、端末に内蔵されたセンサから得られる。本稿における端末の回転軸を図1に示す。本稿では特に、Z軸回転をYaw 回転と呼称する。Yaw 回転では回転動作を行っても画面は利用者に向いたままであるという利点がある。しかし、Yaw 回転を用いたインタラクションに関しての、操作方法、操作感度などのパラメータ設定の検討は十分ではない。

そこで本研究では、既存の研究で提案された手法をYaw

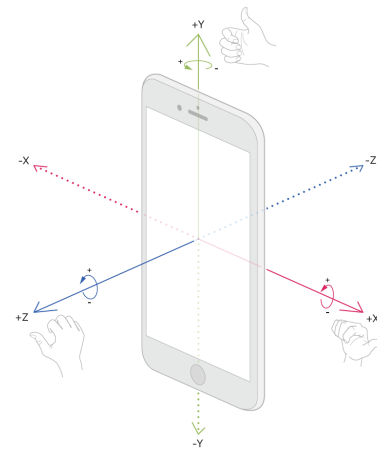


図1 端末の回転軸 [3]

回転に応用した2つの手法を提案し、スライダーを使用した1次元のポインティングタスクを用いて評価を行う。スマートフォンのYaw 回転についての角度に比例してスライダーの値を変化させる Position 手法、スマートフォンのYaw 回転についての角度に比例した速度でスライダーの値を変化させる Rate 手法の2つを提案する。また、それぞれの手法における適切な操作感度の検討を行う。

<sup>1</sup> 北海道大学  
Hokkaido University

## 2. 関連研究

### 2.1 傾き操作

現在、傾きによる操作はスマートフォンやタブレットのようなモバイル端末、ゲームのコントローラなどで利用できる。加速度センサやジャイロセンサによって、デバイスの姿勢を取得し、傾きの大きさを入力に利用 [2][4]、傾けたという動きをトリガーとして利用 [5][6] するということなどが行われている。傾きを利用した操作は主に速度制御と位置制御の2種類に分けられる [7]。ポインティングを例にあげると、速度制御は傾きの大きさを基準としてカーソルの速度が変化する。位置制御は傾きの大きさに基づいてカーソルの位置が変化する。

傾き操作の性能評価に関する研究が行われている。Rahman ら [8] は手首の回転軸に合わせた傾き操作について、手首で制御が可能な精度を調査した。これは位置制御であり、傾き操作をするデバイスと操作対象が表示されているデバイスが異なるものである。Teather ら [7] は2次元のポインティングタスクにおいて、X軸、Y軸を基準とした傾き操作について位置制御と速度制御の比較を行い、操作時間では位置制御が速度制御の2倍高速であり、ユーザにも位置制御のほうが好まれていた。この研究では、位置制御で9度、速度制御で5度程度の傾きまで利用している。モバイル端末から得られるのフィードバックは、主に画面から得られるものである [9] が、画面をX軸やY軸方向に回転させた場合に、画面が見にくくなりフィードバックが得にくくなるという問題がある [8]。

### 2.2 傾きによるインタラクション

傾き操作のユーザーインターフェースへの利用はメニューの操作 [10] や画面回転 [5] などで研究されてきた。傾きによる画面回転は現在の多くのモバイル端末に搭載されている。Rekimoto [10] は、画面の小さいモバイル端末においてメニュー操作やスクロールを行うために、タッチ入力に変わる手段として傾きとボタンを使う手法を提案した。Chang ら [6] は大画面のスマートフォンにおいて、片手操作では画面の端に指が届かない問題を解決するために、傾き操作をトリガーとして利用した手法を提案している。

ゲームへの利用も行われている。NintendoのWii<sup>\*1</sup>のコントローラであるWiiリモコンは傾きを操作に利用している。Brown ら [11] は iPod Touch のシューティングゲームにおいて、傾き操作と画面上をスワイプする操作、画面上にシミュレートされたボタンを利用した操作の比較を行った。この研究では傾き操作が好まれていた。これは画面上をタッチして行う操作に触覚フィードバックが乏しいことが影響している。

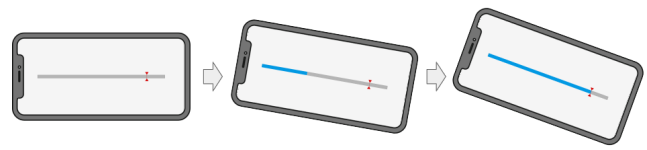


図 2 Position 手法の操作

スマートフォンなどのモバイル端末上の拡張現実感 (Augmented Reality:AR) においても傾き操作を適用した研究が行われている。Henrysson ら [12] は小型の携帯端末を用いた AR 空間上の 3D オブジェクトの回転において、傾き操作とボタン操作、トラッキングした指での操作を比較している。その結果、傾き操作はボタン操作に比べて劣っていた。Samini ら [4] はモバイル AR における 3D オブジェクトの回転を行うために X 軸と Y 軸を基準とした傾き操作を行うと、オブジェクトが視界から外れてしまう問題を解決している。

## 3. 提案手法

本研究ではYaw回転による傾き操作を活用することで、傾き操作時に画面が見にくくなるという問題を解決することを目指す。スマートフォンのYaw軸を基準とした傾きを利用した操作として、位置制御の手法と速度制御の手法 [7] に着目し、それぞれ Position 手法と Rate 手法を提案する。スマートフォンの傾きの大きさは、操作開始時の傾きを  $0^\circ$  とし、搭載されたセンサから得られるYaw軸に関する角速度を時間積分することで得た。

### 3.1 Position 手法

Position 手法は、スマートフォンの画面の任意の場所を指でホールド (ホールド: タッチし続けること) しながらスマートフォンを傾けることで、傾けた角度に対応して、スライダーの値を変化させる手法である。傾けた角度を  $Angle(^{\circ})$ 、操作感度を  $Gain(^{\circ})$ 、スライダーの変化量を  $dSlider$  とすると、

$$dSlider = Angle \times Gain$$

となる。角度は右回転を正とする。また、傾けた角度と操作感度はそれぞれ実験の独立変数である。

### 3.2 Rate 手法

Rate 手法は、スマートフォンの画面の任意の場所をホールドしながらスマートフォンを傾けることで、傾けた角度に対応した速度で、スライダーの値を変化させる手法であ

\*1 [urlhttps://www.nintendo.co.jp/wii/](https://www.nintendo.co.jp/wii/)

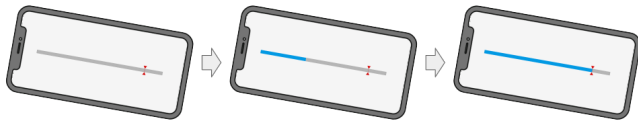


図 3 Rate 手法の操作

る。傾けた角度を  $Angle(^{\circ})$ 、操作感度を  $Gain(/^{\circ})$ 、スライダーの変化速度を  $v(/second)$  とすると、

$$v = Angle \times Gain$$

となり、スライダーの変化量を  $dSlider$ 、微小時間を  $dt(s)$  とすると

$$dSlider = dt \times v$$

となる。角度は右回転を正とする。また、傾けた角度と操作感度はそれぞれ実験の独立変数である。

## 4. 実験

Position 手法と Rate 手法の 2 つの手法について、適切な操作感度の調査とパフォーマンス測定を目的とした参加者実験を行う。

### 4.1 実験参加者と使用機器

実験は大学生、大学院生の 8 名（男性 5 名、女性 3 名、平均年齢 22.6 歳、標準偏差 1.5 歳）が参加した。実験参加者全員が日常的にスマートフォンを使用し、使用歴は平均 7.5 年（標準偏差 1.4 年）であった。

本実験は、Google Pixel 4a（サイズ：144.0mm × 69.4mm × 8.2mm、解像度：2340px × 1080px、画素密度：441ppi、OS：Android 12）を用いて行った。実験に用いたアプリケーションは Unity(2020.3.22f1) で作成した。

### 4.2 実験デザイン

実験は参加者内実験計画を用いて行った。独立変数は以下の通りである。

- 手法（Position 手法、Rate 手法の 2 種類）
- 操作感度（2.5, 3.3, 5.0, 10 の 4 種類）
- 移動方向（右方向、左方向の 2 種類）
- 移動距離（14.3, 28.6, 42.9, 57.1, 71.4, 85.7 の 6 種類）

実験タスクで利用したスライダーは横向きで左端を 0、右端を 100 とした実数値を取る。スライダーの画面上の幅は 1800px、10.37cm である。画面上にはスライダーのみが表示され、値は表示されない。タスク実施時の画面の様子

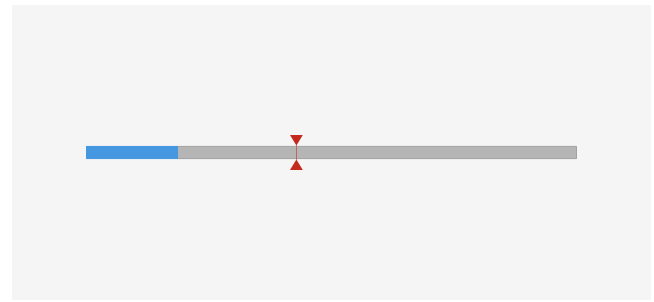


図 4 タスク実施時の様子

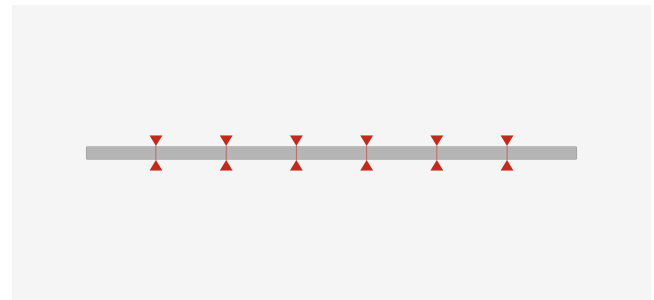


図 5 移動距離に対応した目標地点

を図 4 に示す。操作感度は傾きの最大角度から決定している。最大角度をそれぞれ  $40^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ 、 $10^{\circ}$  とし、それに対応して操作感度は 2.5, 3.3, 5.0, 10 とした。これにより、Position 手法では最大角度まで傾けた場合は 0 から 100 まで値変化させることができる。Rate 手法では最大角度まで傾けた場合を速度の上限とし、速度の上限では 1 秒間で 0 から 100 まで変化する。移動方向が右方向のときはスライダーの値が 0 から開始し、左方向のときは 100 から開始する。移動距離はスライダー全体の長さを 100 と見たときの距離である。0 から 100 を等間隔に 6 箇所まで区切っている。移動方向と移動距離に対応した位置に目標位置として赤い線が表示される。図 5 にすべての目標地点の表示を示す。実際のタスクでは一つのみ表示される。

分析において、Position 手法と Rate 手法ではスライダーの操作方法が異なるため、同一の値の操作感度で手法間の比較は行えない。このことから、手法と操作感度の独立変数を結合し、‘手法と操作感度’と表記する。組み合わせた‘手法と操作感度’は Position-2.5 のように表記する。

従属変数として各タスクにおいて操作完了時間と誤差を記録した。操作完了時間はスライダー操作を始めてから終えるまでの時間とした。誤差は操作を終えたときのスライダーの値と、実際的目標位置との差の絶対値とした。

参加者ごとに独立変数の組み合わせを 3 回ずつ行った。操作感度ごとに 2 移動方向 × 6 移動距離 × 3 回 = 36 回のタスクを行った。以降これをセッションと呼称する。一人あたりのセッション数は 2 手法 × 4 操作感度 = 8 セッションである。タスクを行う手法の順番、操作感度の順番はラテン方格法によって決定した。移動方向、移動距離はランダ

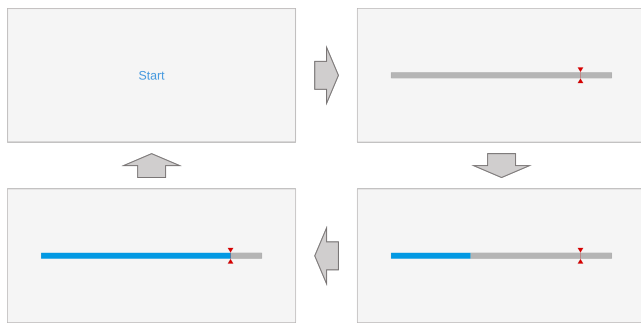


図 6 実験タスクの概要

ムな順番とした。全データ数は 8 人 × 8 セッション × 36 回 = 2,304 データである。そのうち操作ミスのあった 27 データを取り除いた 2,277 データを分析に用いた。実験の始めに、スマートフォンの使用歴などを問う事前アンケートを実施した。手法ごとに 4 つの操作感度を経験した後、4 つの操作感度を総括したユーザビリティとメンタルワークロードを計測するために System Usability Scale(SUS)[13], NASA Task Load Index(NASA-TLX)[14] によるアンケートを実施した。その後、操作感度の順位付けと自由記述の手法アンケートを実施した。2 手法の全タスクが終了した後、全体を総括したアンケートと 2 手法のうちどちらが好みかを尋ねる事後アンケートを実施した。NASA-TLX のみ筆記で回答してもらい、その他は Google フォームを利用し、各実験参加者のスマートフォンを用いて回答してもらった。

### 4.3 実験タスク

タスクは、スマートフォンの画面に表示されたスライダをスライダー上の目標位置まで操作するというものである。スライダーの初期値は両端のどちらかである。「Start」と表示される画面の、任意の場所をタップするとスライダーが表示される。スライダー上の目標位置には赤い線が表示される(図 4)。タスクの目的は、画面上をホールドしながらスマートフォンを左右に傾けることで青いバーを動かし、青いバーの先端を赤い線に合わせることである。ホールドをやめると青いバーの先端の位置が確定し、そのタスクは終了となる。ホールドをやめると即座にタスクは終了するため、一度の操作で目標位置まで操作する必要がある。1 つのタスクが終了すると、再び「Start」と表示されるので、同様の操作を指定の回数だけ繰り返す。実験タスクの遷移の概要を図 6 に示す。

### 4.4 実験手順

実験参加者を指定の位置に座らせ、ディスプレイに実験説明を表示しながら実験を行った。初めに、事前アンケートを行った。次に、タスクの説明と実験の進行方法の説明を行った。1 つ目の手法について操作説明を行い、操作練

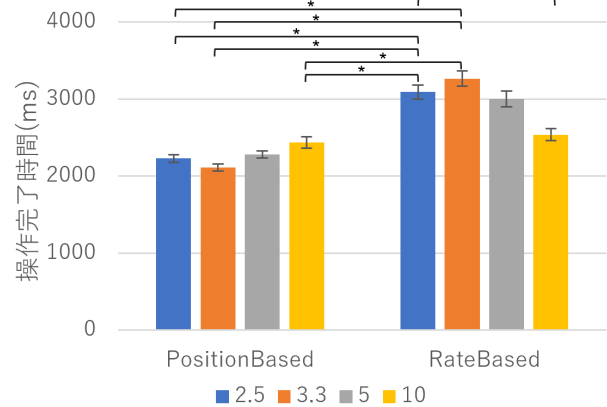


図 7 ‘手法と操作感度’に対する操作完了時間(有意差: \* $p < 0.05$ )

習と 1 セッションを 4 つの操作感度で繰り返した。操作練習は実際のタスクと同じ操作感度で行い、目標位置はランダムに表示した。操作練習は最大 36 回の任意の回数行うことができた。実験参加者には「なるべく水平の状態からホールドを始める」「タスクをなるべく速く、正確に行う」よう教示を行った。各操作感度のタスク終了後に、操作感度の順位付けのためのメモをとってもらった。その後、手法アンケートを実施した。2 つ目の手法でも同様に行った。最後に事後アンケートを実施した。

### 4.5 結果

操作完了時間、誤差に関して、「手法と操作感度」、移動方向、移動距離の 3 要因分散分析を行った。多重比較にはホルム法を用いた。

また、SUS と NASA-TLX についてはウィルコクソンの符号順位検定によって分析を行った。

#### 4.5.1 操作完了時間

操作完了時間に対して、単純主効果の「手法と操作感度」( $F_{7,49} = 13.9, p < 0.001$ ), 移動方向 ( $F_{1,7} = 6.46, p < 0.05$ ), 移動距離 ( $F_{5,35} = 111, p < 0.001$ ) について有意差が確認された。また、1 次の交互作用として「手法と操作感度」× 移動距離 ( $F_{35,245} = 4.11, p < 0.001$ ) について有意差が確認された。「手法と操作感度」に対する操作完了時間を図 7 に示す。「手法と操作感度」に対する移動距離ごとの操作完了時間を図 8 に示す。

#### 4.5.2 誤差

誤差に対して、単純主効果の「手法と操作感度」( $F_{7,49} = 6.36, p < 0.001$ ), 移動方向 ( $F_{1,7} = 9.52, p < 0.05$ ), 移動距離 ( $F_{5,35} = 3.06, p < 0.05$ ) について有意差が確認された。また、1 次の交互作用として移動方向 × 移動距離 ( $F_{5,35} = 3.25, p < 0.05$ ) について有意差が確認された。2 次の交互作用として「手法と操作感度」× 移動方向 × 移動距離 ( $F_{35,245} = 1.56, p < 0.05$ ) について有意差が確認された。「手法と操作感度」に対する誤差を図 9 に示す。

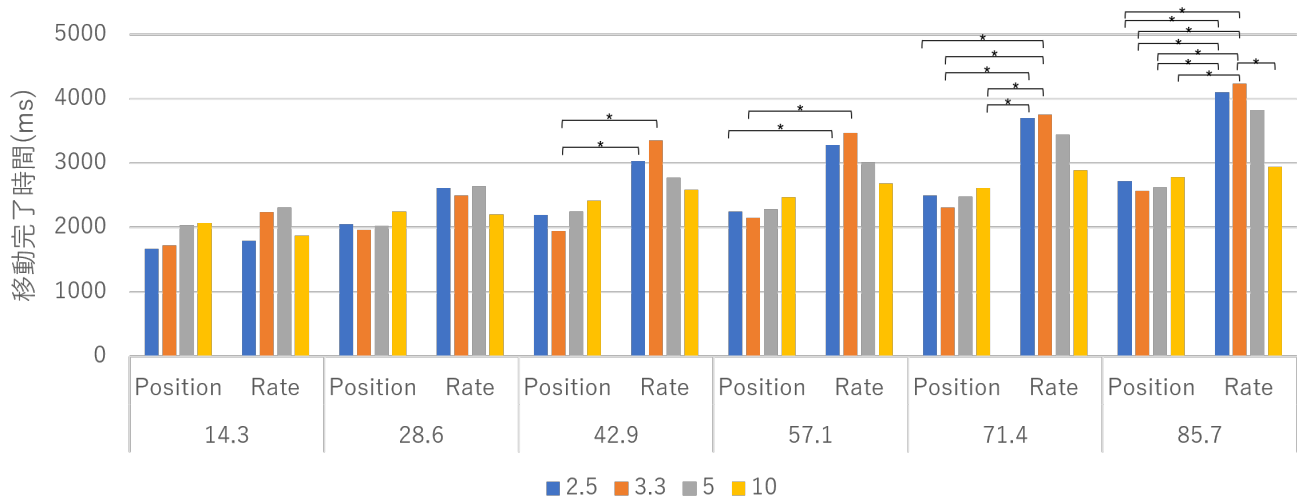


図 8 各移動距離ごとの‘手法と操作感度’に対する操作完了時間（有意差：\* $p < 0.05$ ）

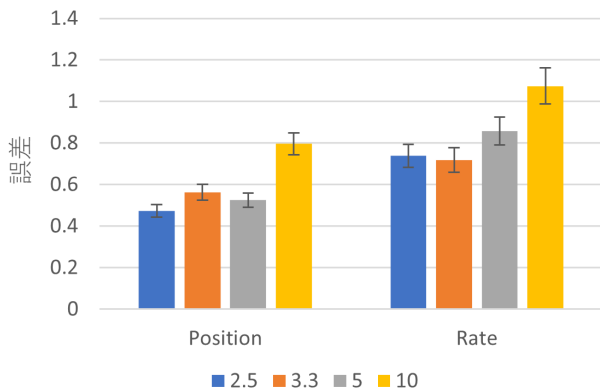


図 9 ‘手法と操作感度’に対する誤差

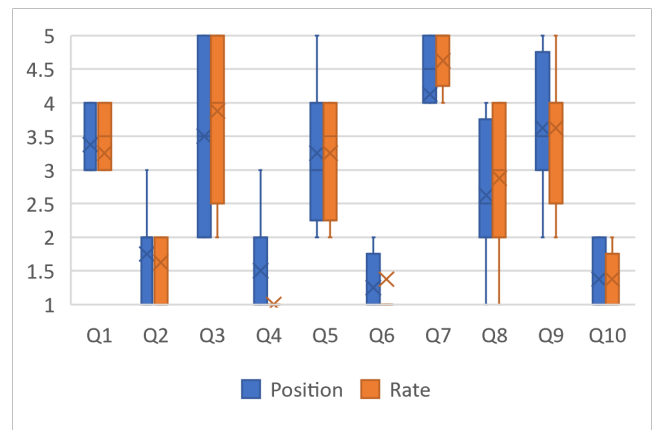


図 10 SUS スコア

#### 4.5.3 System Usability Scale(SUS)

得られたスコアに対して、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて分析した。Position 手法と Rate 手法の平均 SUS スコアはそれぞれ 73.4 と 75.9 であった。すべての項目において有意な差は確認されなかった。SUS の質問項目ごとの結果を図 10 に示す。

#### 4.5.4 NASA Task Load Index(NASA-TLX)

NASA-TLX によって得られた 6 つの項目に対するスコアと Overall スコアに対して、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて分析した。Position 手法と Rate 手法の平均 Overall スコアはそれぞれ 44.4 と 41.0 であった。すべての項目において有意な差は確認されなかった。NASA-TLX の項目ごとの結果を図 11 に示す。

#### 4.5.5 順位付け

実験参加者は Position 手法と Rate 手法のそれぞれについて、4 つの操作感度の順位付けを行った。1 位を 4 点、2 位を 3 点、3 位を 2 点、4 位を 1 点として重み付けをした合計点を評価点としたものを表 1 に示す。

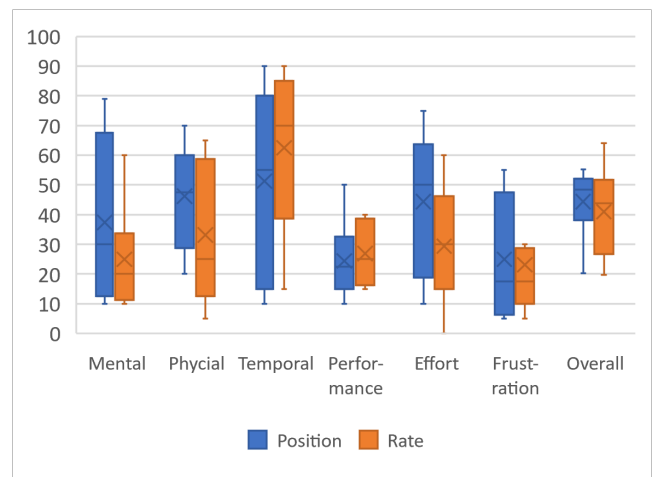


図 11 NASA-TLX スコア

実験参加者に Position 手法と Rate 手法のどちらが利用しやすかったかを尋ねたところ、5 名が Position 手法、3 名が Rate 手法が使いやすかったと回答した。

表 1 操作感度の評価点

操作感度	2.5	3.3	5.0	10
Position 手法	13	23	28	16
Rate 手法	15	20	26	19

## 5. 議論

### 5.1 実験結果のまとめ

操作完了時間において、Position 手法では操作感度の違いによる有意な差はなかった。Rate 手法では Rate-2.5 が Rate-10 に比べて有意に低速であった。Rate-2.5, Rate-3.3 はいくつかの Position 手法と操作感度の組み合わせに比べて有意に低速であった。移動距離が長くなると Rate-2.5, Rate-3.3 はいくつかの手法と操作感度の組み合わせに対して有意に低速であった。誤差において、手法と操作感度の違いによる有意な差はなかった。SUS, NASA-TLX において、手法の違いによる有意な差はなかった。操作感度についての順位付けの結果、Position 手法では操作感度 5.0, Rate 手法では操作感度 5.0 が好まれていた。手法について、5 名が Position 手法を使いやすかったと回答した。

### 5.2 考察

#### 5.2.1 操作完了時間

実験結果より、Position 手法において操作感度の違いによる有意な差はなかった。低い操作感度ではスライダーを目標位置まで近づけることに時間がかかるが微調整が容易であり、高い操作感度では早く目標位置に近づけることができるが微調整が難しいということが理由であると考えられる。Rate 手法では操作感度 2.5 が操作感度 10 に比べて有意に低速であった。移動距離 85.7 のとき操作感度 3.3 が操作感度 10 に比べて有意に低速であった。このことから Rate 手法は操作感度が低いほど操作完了時間が長くなる傾向があると考えられる。

#### 5.2.2 誤差

すべての「手法と操作感度」で、誤差の平均は 1.10 (19.8px, 1.13mm) 以下であった。Position 手法において、平均値と比較すると操作感度 10 の誤差が大きい傾向が見られたが、有意差は認められなかった。Rate 手法においては、平均値と比較すると操作感度 5,10 で誤差が大きくなる傾向が見られたが、有意差は認められなかった。どちらの手法においても操作感度が高くなると、微調整が難しくなり、誤差が大きくなる傾向があると考えられる。また、有意差は認められなかったものの、平均値では Rate 手法は Position 手法に比べ誤差が大きい。このことから、Rate 手法のほうが微調整が困難である可能性が考えられる。

#### 5.2.3 SUS, NASA-TLX について

SUS, NASA-TLX において、Position 手法と Rate 手法の間に有意な差はなかった。操作完了時間と誤差において

手法間で有意な差が全体的に少なかったこと、各手法の 4 つの操作感度を総括してアンケートを取ったことから、実験参加者は 2 つの手法の操作のしやすさなどに大きな違いを感じなかったと考えられる。

#### 5.2.4 アンケート結果について

操作感度についての好みによる順位付けでは、Position 手法、Rate 手法ともに操作感度 5.0,3.3,10,2.5 の順に好まれていた。記述式のアンケートによる順位付けの理由を含めて考察する。Position 手法において、「高い操作感度では微調整が難しく、低い感度ではスマートフォンを大きく傾ける必要があり大変である」という意見があった。このことから、微調整のしやすさと必要な傾きのバランスがよい中程度の操作感度が好まれたと考えられる。スマートフォンを大きく傾けた際は手首の動きなどの身体的な辛さを感じさせる問題と、画面が傾いて見にくくなるという問題があると考えられる。Rate 手法においても同様に、微調整のしやすさと必要な傾きのバランスがよい中程度の操作感度が好まれたと考えられる。

手法の好みについては 5 名が Position 手法、3 名が Rate 手法が使いやすかったと回答した。自由記述のアンケートにおいて、Position 手法について、「Position 手法は微調整がしやすい」、「傾きとスライダーの変化に対応があり調整しやすい」という意見があげられた。また、Position 手法は「移動距離が長い場合に身体的に困難である」という意見が挙げられた。Rate 手法について、「必要な傾きが小さく身体的に楽」、「直感的に理解しやすい」という意見が挙げられた。Position 手法を使いやすいと回答した実験参加者においても、Rate 手法のほうが身体的に楽という意見をあげたものもいた。また、Rate 手法は「微調整が難しい」、「ホールドを始めたときの傾きがわからないため、調整が難しい」といった意見が挙げられた。また、全体を通じた意見として「傾き操作自体が難しい」という意見も挙げられた。

Position 手法はスマートフォンを静止させればスライダーの動きも止まり、スライダーの値を戻す際にはスマートフォンの傾きを戻せばよい。それに対し、Rate 手法ではホールドを始めた傾きに戻さなければスライダーの動きは止まらず、スライダーの値を戻すには一度ホールドを始めた傾きまで戻した上で、逆方向に傾ける必要がある。このことが微調整のしやすさの差を生んでいると考えられる。また、Position 手法では目標位置に対して必要な傾きが決まっているが、Rate 手法では小さな傾きでも目標位置に移動可能であるということが、身体的な容易さの評価につながったと考えられる。これらのことから微調整のしやすさという点で Position 手法が優れ、必要な傾きの小ささと身体的な容易さという点で Rate 手法が優れていると考えられる。スライダーが見にくいといった意見はなかったことから、Yaw 回転の利用により画面が常に利用者の方を向く

という利点があると考えられる。

### 5.3 適切なパラメータ

以上の考察から、操作感度の違いによる操作完了時間と誤差の関係はトレードオフの傾向があると考えられる。操作完了時間と誤差、実験参加者による評価からスライダー操作においての適切なパラメータを考える。本実験で設定した操作感度のうち、Position 手法においては操作感度 5.0, Rate 手法では操作感度 5.0 が適切であると考えられる。Position 手法と Rate 手法では、Position 手法が適していると考えられる。

### 5.4 今後の課題

Position 手法は微調整がしやすく、Rate 手法は身体的に容易ということから 2 つの優れている点を複合した手法の検討を考えている。本研究では、実験タスクとしてスライダーの操作を用いた。本実験では操作完了時間を短くするか、誤差を少なくするかは実験参加者の感覚によるところがあった。精度が必要かどうかや画面表示の方法などの、タスクの種類によって有効な手法や操作感度が異なる可能性が考えられるため、異なる種類のタスクにおいてどの手法が有効であるかを調査する必要があると考えられる。

## 6. おわりに

本研究ではスマートフォンの Yaw 回転を利用した傾き操作手法として、位置制御の Position 手法と速度制御の Rate 手法の 2 つの手法を提案した。それぞれに対して 4 つの操作感度を設定して、スライダーを使用した 1 次元のポインティングタスクを行った。操作完了時間において低い操作感度の Rate 手法が有意に低速であった。実験参加者に対するアンケートにより、中程度の操作感度が好まれることがわかった。ユーザビリティ、メンタルワークロードの点においては 2 つの手法に有意な差は見られなかった。今後、各手法に対してあげられた問題点の改善や、タスクの種類による適した操作手法の検討などを行っていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] Oakley, I. and O'Modhrain, S.: Tilt to scroll: Evaluating a motion based vibrotactile mobile interface, *First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics Conference*, IEEE, pp. 40–49 (2005).
- [2] MacKenzie, I. S. and Teather, R. J.: FittsTilt: The application of Fitts' law to tilt-based interaction, *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*, pp. 568–577 (2012).
- [3] : Getting Raw Gyroscope Events, [https://developer.apple.com/documentation/coremotion/getting\\_](https://developer.apple.com/documentation/coremotion/getting_)

- [4] Samini, A. and Palmerius, K. L.: A study on improving close and distant device movement pose manipulation for hand-held augmented reality, *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 121–128 (2016).
- [5] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing techniques for mobile interaction, *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 91–100 (2000).
- [6] Chang, Y., L'Yi, S., Koh, K. and Seo, J.: Understanding users' touch behavior on large mobile touch-screens and assisted targeting by tilting gesture, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1499–1508 (2015).
- [7] Teather, R. J. and MacKenzie, I. S.: Position vs. velocity control for tilt-based interaction, *Graphics Interface 2014*, AK Peters/CRC Press, pp. 51–58 (2020).
- [8] Rahman, M., Gustafson, S., Irani, P. and Subramanian, S.: Tilt techniques: investigating the dexterity of wrist-based input, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1943–1952 (2009).
- [9] Eslambolchilar, P. and Murray-Smith, R.: Tilt-based automatic zooming and scaling in mobile devices—a state-space implementation, *International Conference on Mobile Human-Computer Interaction*, Springer, pp. 120–131 (2004).
- [10] Rekimoto, J.: Tilting operations for small screen interfaces, *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 167–168 (1996).
- [11] Browne, K. and Anand, C.: An empirical evaluation of user interfaces for a mobile video game, *Entertainment Computing*, Vol. 3, No. 1, pp. 1–10 (2012).
- [12] Henrysson, A., Marshall, J. and Billinghurst, M.: Experiments in 3D interaction for mobile phone AR, *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia*, pp. 187–194 (2007).
- [13] Brooke, J.: Sus: a “quick and dirty” usability, *Usability evaluation in industry*, Vol. 189 (1996).
- [14] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research, *Advances in psychology*, Vol. 52, Elsevier, pp. 139–183 (1988).