

# 遮蔽物の位置がポインティングに与える影響

大場洋介<sup>1</sup> 宮下芳明<sup>1</sup>

**概要：**ウェブカメラやマイクなどによって、カーソルの一部や全体が遮蔽されることがある。著者らは以前、ターゲットを挟む遮蔽物が操作時間を増加させることを示した。本稿では、遮蔽物の位置がポインティングに与える影響を調査した。結果、遮蔽物がターゲット間にある場合、ターゲット間の外側にある場合よりも操作時間を増加させる影響が大きかった。位置によって操作の戦略は異なったものの、どちらの場合でも遮蔽物の幅が大きいほど、遮蔽物とターゲットの間隔が小さいほど、操作時間が増加した。また、著者らが以前提案した操作時間予測モデルがどちらの場合にも応用できることを示した。

## 1. はじめに

ディスプレイと重なって配置されたノートパソコンやマイクなどによって、ディスプレイの一部が遮蔽されてしまうことがある（図 1）。遮蔽された領域にカーソルが進入すると、カーソルの一部や全体も遮蔽されてしまう。

ターゲット（ディスプレイ上に配置されたボタンやアイコンなどの対象物）を選択する操作はポインティングと呼ばれ、速く正確に行えることが望ましいとされる。速く正確には、操作時間が短く、エラー率が低いことを意味する。操作時間にはターゲットまでの距離とターゲットの幅が主に影響し [1]、距離が長いほど、幅が小さいほど操作時間が増加する。著者らの先行研究において、MacBook Pro (2021) のノッチ（インカメラを配置する領域。描画が行われず、ディスプレイやカーソルを遮蔽する。）が特定の状況下で操作時間を増加させることが示されている [2-4]。また、一次元タスクで遮蔽物がターゲットの左右両方にある場合、操作時間が増加することが示されている [5]。

本稿では、遮蔽物の位置がポインティングに与える影響を調査した。実験条件に遮蔽物の位置を設定し、遮蔽物はターゲット間の内側、もしくは外側にあった（図 2）。遮蔽物とターゲットの間隔、遮蔽物の幅も実験条件に設定した。

結果、遮蔽物がターゲット間にある場合、外側にある場合よりも操作時間を増加させる影響が大きかった。どちらの場合でも遮蔽物とターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほど操作時間が増加した。また、遮蔽物の位置によって操作の戦略が異なった。参加者は、ターゲット間にある場合は遮蔽物やターゲットを大きく通り過ぎてから戻る戦略をとり、ターゲット間の外側にある場合はター

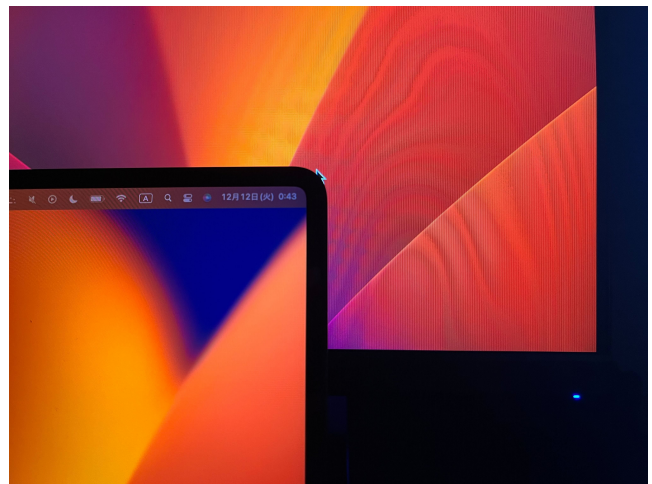


図 1 ディスプレイの一部が遮蔽される例。ノートパソコンによってディスプレイとカーソルが遮蔽されている。

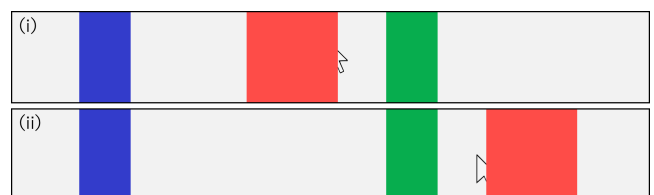


図 2 本実験の遮蔽物の位置。赤い遮蔽物が、青の開始ターゲットと緑の終了ターゲットの (i) 内側 (ii) 外側に位置している。

ゲットに到達する前に早めに減速する戦略をとった。遮蔽物の位置はクリック座標にも影響し、参加者は遮蔽物付近でのクリックを避ける傾向があった。遮蔽物の位置によって異なる影響が観察されたものの、遮蔽物がターゲットの左右両方にある状況を想定した操作時間予測モデル [5] が、どちらの遮蔽物の位置にも応用できることが示された。

<sup>1</sup> 明治大学

## 2. 関連研究

### 2.1 カーソルの遮蔽や見失いによる影響

著者らは、画面上端のターゲットから同じく画面上端の他のターゲットを選択する場合、MacBook Pro (2021) のノッチ (インカメラが設置され、ディスプレイの描画が行われない領域。この領域にカーソルが進入するとカーソルが遮蔽される。) が操作時間を増加させることを示した [2, 4]。また、主にターゲット間にノッチがある条件で、操作時間が増加していた。原因として、参加者がマウス操作で行った主な 2 つの戦略が影響したと考えられた。画面上端にカーソルを沿わせる戦略では、カーソルがノッチに隠れてしまうため、ノッチ内でカーソルの位置が分からなくなり、ノッチを回避する戦略では、経路が長くなることが影響したとされた。著者らは、現行のノッチの仕様 (カーソルが進入できる) に対して、ノッチを回避する戦略が望ましいことを示した [3, 4]。ノッチを回避する戦略の方が画面上端に沿わせる戦略よりも、マウスを移動させる距離は長い傾向にあったが、操作時間はノッチを回避する戦略の方が短かった。ノッチにカーソルが遮蔽されず、常にカーソルを視認できたことが要因と考えられた。

著者らは、ディスプレイと重なって設置されたウェブカメラやマイクがディスプレイの一部や、カーソルの一部もしくは全部を遮蔽してしまうことに着目した [5]。遮蔽物 (タスク中に回避を迫らず、ディスプレイを遮蔽するオブジェクト。Mask。) の幅が大きいほど、遮蔽物とターゲットの間隔が小さいほど操作時間が増加し、それらの条件が操作時間に相互に影響を与えることを示した。なお、この実験では遮蔽物は常にターゲットの左右両方にあった。

カーソルの一時的な見失いが、操作時間を増加させることが知られている。複数のディスプレイ間で解像度の違いによって発生するカーソルの不自然なワープによる影響 [6]、ノッチの左右でワープするカーソルによる影響 [7, 8]、高齢者の視力や継続的な集中力の低下による影響 [9]、画面のトラス設定 (カーソルが画面端に到達すると反対端から出現する設定) による画面端でのカーソルの移動による影響 [10] が調査されている。カーソルを一時的に見失い、カーソルを探索する動作がユーザに求められることが、操作時間の増加の要因とされた。

### 2.2 ポインティングの操作時間予測モデル

ポインティングの操作時間を予測する代表的なモデルにフィッツの法則がある [1, 11]。ターゲットまでの距離  $A$  とターゲットの幅  $W$  で算出されるタスクの難易度 (Index of difficulty,  $ID$ ) から操作時間  $MT$  を予測する (式 1)。

$$MT = a + bID, ID = \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) \quad (1)$$

$a, b$  は回帰定数である。なお、式 1 はオリジナルのモデル [1] ではなく、HCI (Human-Computer Interaction) 分野において広く用いられている、Mackenzie らがフィッツの法則をシャノンの定理に対応させた式である [11]。

ターゲット付近に他対象物 (タスク中に回避を迫らず、ディスプレイを遮蔽しないオブジェクト。Distractor。) が配置されている場合の操作時間予測モデルが提案されている。Blanch らは、ディスプレイに配置された他対象物の密度を変化させる実験を行い、密度が減少すると操作時間が減少することを示した [12]。また、他対象物の密度  $\rho$  が操作時間に与える影響を  $IS$  (Index of Sparseness) として、フィッツの法則に加えたモデルを提案した (式 2)。

$$IS = \log_2 \frac{1}{\rho}, MT = a + bID - cIS \quad (2)$$

$c$  は回帰定数である。 $\rho$  は  $0 \leq \rho \leq 1$  の値をとり、 $\rho = 1$  は他対象物同士に間隔がないことを示し、 $\rho = 0$  は他対象物がないことを示す。 $\rho = 1$  の時、式 1 と等しくなり、密度の減少に伴って操作時間が減少することを  $IS$  を用いて示している。なお、Blanch らの実験では、全ての他対象物とターゲットの  $ID$  が等しくなるように設定されていた。

Usuba らは他対象物とターゲットの間隔  $I$  を考慮できるモデルを提案した (式 3) [13]。

$$MT = a + b_1ID + b_2 \log_2 \left( \frac{1}{I + 0.0049} + 1 \right) \quad (3)$$

$b_1$  と  $b_2$  は回帰定数である。Usuba らはターゲットの選択領域  $W_{click}$  と表示領域  $W_{visual}$  による影響を調査しており、式 3 はターゲットの選択領域と表示領域が等しい状況 ( $W_{click} = W_{visual}$ ) における近似式を示す。式 3 は、他対象物とターゲットの間隔  $I$  が減少すると操作時間が増加することを示している。なお、Usuba らが行った実験では、ターゲットと他対象物の幅が常に同じであり、他対象物は常にターゲットの左右両方にあった。また、Usuba らの実験では  $I$  の定義が  $W_{click}$  と  $W_{visual}$  の条件によって異なり、 $W_{click} > W_{visual}$  の場合はターゲットの選択領域と他対象物の選択領域の間隔、 $W_{visual} > W_{click}$  の場合はターゲットの表示領域と他対象物の表示領域の間隔と定義されていた。本稿の実験では、著者らの先行研究 [5] と同様に、ターゲットや遮蔽物の選択領域と表示領域は常に同じとした。そのため、Usuba らの他対象物とターゲットの間隔の定義と、本稿における遮蔽物とターゲットの間隔の定義が厳密には同一でないことに注意されたい。

著者らは MacBook Pro (2021) のノッチとターゲットの間隔  $I$  を考慮できるモデルを提案した (式 4) [2]。

$$MT = a + b_1 \log_2 \left( \sqrt{c \left( \frac{A}{W} \right)^2 + (1-c) \left( \frac{A}{H} \right)^2} + 1 \right) + b_2 \log_2 \left( \frac{1}{I + 0.0049} + 1 \right) \quad (4)$$

式 4 は、ノッチが画面上端に配置されており、画面上端のターゲットから同じく画面上端にある他のターゲットを選択する状況を想定している。式 4 は 2 次元タスクのモデル [11, 14–16] のうち、画面端から同じ画面端のターゲットを選択する動作の操作時間を予測できるとされる Zhang らのモデル [15, 17] と、Usuba らのモデル (式 3) を組み合わせることで算出されている。ノッチとターゲットの間隔  $I$  が小さいほど、操作時間が増加することを示している。また、式 4 が高い適合を示したことから、ノッチとターゲットの間隔は、他対象物とターゲットの間隔とほとんど同様の傾向で操作時間に影響を与えることが示されている。なお、この実験ではノッチの大きさは常に同じであり、カーソルを遮蔽する領域の幅による影響は調査されていない。

著者らは一次元タスクにおいて、遮蔽物がターゲットの左右両方にある状況で、遮蔽物によるカーソルの遮蔽の影響を考慮できるモデルを提案した (式 5)。

$$MT = a + b_1 \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) + cOW + b_2 OW \log_2 \left( \frac{1}{I + 0.0049} + 1 \right) \quad (5)$$

式 5 は、遮蔽物の幅  $OW$  が大きいほど、遮蔽物とターゲットの間隔  $I$  が小さいほど操作時間が増加することを示している。また、 $b_2$  の項は  $OW$  と  $I$  が操作時間に相互に影響を与えることを示し、 $c$  の項は  $OW$  が操作時間に独立して影響を与えることを示している。

### 3. 実験

#### 3.1 機材

PC (Intel Core i9-12900KF, GeForce RTX 3070 Ti, 32GB RAM, Windows 10 Home) に外部ディスプレイ (AOPEN, 25XV2QFbmiiprx, 24.5 inches, 1920×1080 pixels) を接続した。システムは Hot Soup Processor 3.6 で実装され、外部ディスプレイにフルスクリーン、360 Hz で表示された。マウスは有線マウス (Logicool, G300s, 1500 dpi) を使用した。カーソルに関する設定は Microsoft Windows のデフォルト設定を参考に、カーソル速度はスライダの中間、「ポインターの精度を高める」はオンであった。

#### 3.2 参加者

情報系の大学生・大学院生 12 名 (平均 21.7 歳, 標準偏差 1.44 歳) が参加した。全員がマウスの利用に慣れており、利き手の右手で操作を行った。

#### 3.3 タスク

タスクの概要図を図 3 に示す。灰色の背景に青色の開始ターゲットと緑色の終了ターゲットが表示された。参加者は青色の開始ターゲット内でクリックし、試行を開始した。

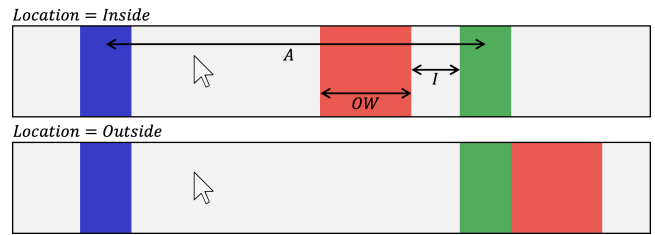


図 3 タスクの概要図。(上) 遮蔽物がターゲット間にある条件  $Location = Inside$  (下) 遮蔽物がターゲット間の外側にある条件  $Location = Outside$  を示す。

開始ターゲットの消滅により、参加者は試行が開始されていることを知らされた。その後、参加者は緑色の終了ターゲットを目指した。システムは、参加者による次のクリックが終了ターゲット内で行われた場合を成功、それ以外の場合を失敗として記録し、成否に関わらず試行を終了した。試行の成否に対応した音のフィードバックを提示した。

#### 3.4 デザイン

開始ターゲットと終了ターゲットの間、もしくは外側に赤い遮蔽物があることがあった。黒色で縁取られた白色のカーソルが遮蔽物とどの程度重なっているか明確にするため、遮蔽物の色は赤色とした。遮蔽物の位置  $Location$  は、ターゲット間  $Inside$ 、ターゲット間の外側  $Outside$  の 2 条件を設定した。遮蔽物と終了ターゲットの間隔  $I$  は 0, 20, 40, 70 pixels (0, 5.64, 11.3, 19.7 mm) の 4 条件を設定した。 $I = 0$  では、遮蔽物と終了ターゲットが隣接し、間隔はなかった。遮蔽物の幅  $OW$  は 0, 20, 60, 129, 180 pixels (0, 5.64, 16.9, 36.4, 50.8 mm) の 5 条件を設定した。開始ターゲットから終了ターゲットまでの距離  $A$  は 600, 800 pixels (169, 226 mm) の 2 条件、終了ターゲットの幅  $W$  は 20 pixels (5.64 mm) の 1 条件を設定した。著者らの先行研究 [5] と比較した議論を行うため、 $I$ ,  $OW$ ,  $A$ ,  $W$  は同様の値とした。開始ターゲットは終了ターゲットと同じ幅であった。カーソルは一般的な矢印の形状であった。

#### 3.5 手順

参加者は  $Location$  ごとに実験を行った。40 試行 (=  $2A \times 1W \times 4I \times 5OW$ ) を 1 set とし、初めに片方の  $Location$  で、練習 1 set と本番 10 set を行った。本番後、2 分間の休憩を取らせた。その後、もう片方の  $Location$  で練習 1 set と本番 10 set を行った。1 set 内の条件の提示順序はランダムであった。 $Location$  の順序は 12 名の参加者間でカウンターバランスをとった。つまり、12 名の参加者のうち、6 名が  $Location = Inside$  から、他の 6 名は  $Location = Outside$  から実験を開始した。参加者は (1) できる限り正確に、かつ速くタスクを完了させること、(2) タスク中にできる限りクラッチ (マウスを持ち上げて置き直す動作) を行わな

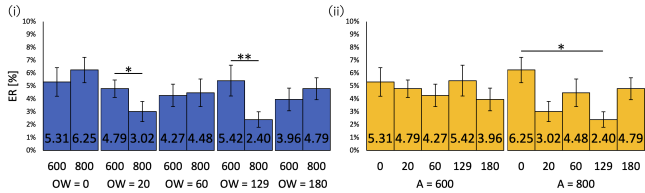


図 4 エラー率  $ER$  に対する (i)  $OW \times A$  (ii)  $A \times OW$  の影響.

いこと, (3) タスク開始前に条件の確認を行うこと, の 3 点が教示された. 実験は 1 名あたり約 30 分であった.

### 3.6 計測値

タスクの成否, 試行の開始から次のクリックまでの操作時間  $MT$ , 試行中のカーソル座標を記録した.

## 4. 結果

9,600 試行 (=  $2A \times 1W \times 4I \times 5OW \times 2Location \times 10 \text{ set} \times 12 \text{ 名}$ ) のデータが計測され, 429 試行が失敗であった ( $ER = 4.47\%$ ). 独立変数は  $A$ ,  $I$ ,  $OW$ ,  $Location$  であり, 従属変数はエラー率  $ER$  (失敗と記録された割合), 操作時間  $MT$ , 操作時間の標準偏差  $SD_{MT}$ , 終了ターゲットの中心に対する X 軸クリック座標  $X_{click}$  であった. グラフ中のエラーバーは標準誤差, \*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ  $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  を示す. 分析は IBM SPSS Statistics 29 を用いて, 繰り返しのある分散分析,  $p$  値の調整に Bonferroni の方法を用いた多重比較を行った.

### 4.1 エラー率 $ER$

主効果は,  $OW$  ( $F_{4,44} = 2.72$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.198$ ) で見られた. 交互作用は  $A \times OW$  ( $F_{4,44} = 3.38$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.235$ ) で見られた (図 4). 一部の  $OW$  の条件で,  $A$  が短いと  $ER$  が高い傾向が見られた.  $A = 800$  において, 著者らの先行研究 [5] と同様に,  $OW = 0$  で  $ER$  が高い傾向が見られた.

### 4.2 操作時間 $MT$

エラーの試行を除いた 9,171 試行に対して分析を行った. 主効果は,  $A$  ( $F_{1,11} = 107$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.907$ ),  $I$  ( $F_{3,33} = 28.4$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.721$ ),  $OW$  ( $F_{4,44} = 40.1$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.785$ ),  $Location$  ( $F_{1,11} = 13.1$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.544$ ) で見られた (図 5).  $A$  が大きいほど,  $I$  が小さいほど,  $OW$  が大きいほど  $MT$  が増加する傾向が見られた. また,  $Location = Inside$  の方が  $Location = Outside$  よりも  $MT$  が大きい傾向が見られた. 交互作用は,  $I \times OW$  ( $F_{12,132} = 5.28$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.324$ ) (図 6),  $OW \times Location$  ( $F_{4,44} = 12.0$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.522$ ) (図 7) で見られた.  $I$  が小さいほど,  $OW$  が大きいほど  $MT$  が増加する傾向が見られた. また,  $I$  と  $OW$  は操作時間に相互に影響を与え,  $I$  が小さいほど  $OW$  の,  $OW$  が大きい

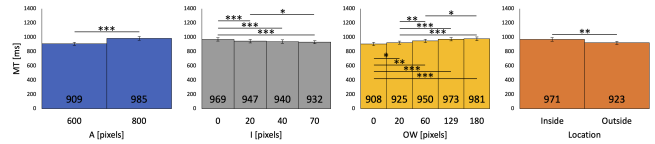


図 5 操作時間  $MT$  に対する  $A$ ,  $I$ ,  $OW$ ,  $Location$  の影響.

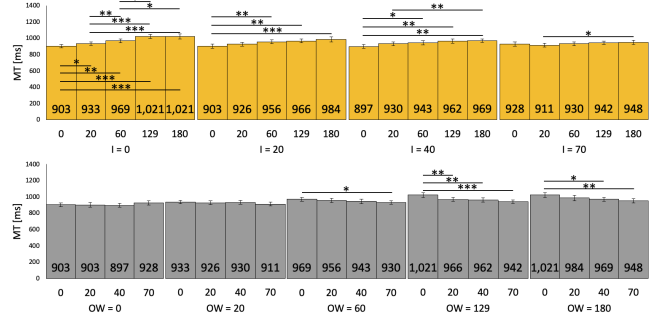


図 6 操作時間  $MT$  に対する (上)  $I \times OW$  (下)  $OW \times I$  の影響.

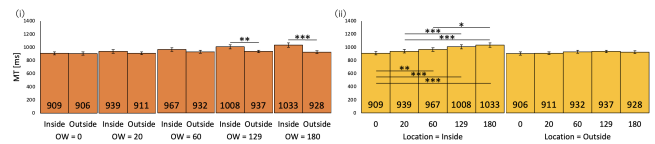


図 7 操作時間  $MT$  に対する (i)  $OW \times Location$  (ii)  $Location \times OW$  の影響.

ほど  $I$  の影響が大きくなる傾向がわずかに見られた.  $OW$  が大きいほど,  $Location = Inside$  と  $Location = Outside$  の  $MT$  の差が大きくなる傾向が見られた. また, どちらの  $Location$  においても  $OW$  が増加するほど  $MT$  が増加する傾向が見られたが,  $OW$  の条件ごとに有意差が見られたのは  $Location = Inside$  においてのみであった.

### 4.3 操作時間の標準偏差 $SD_{MT}$

エラーの試行を除いた 9,171 試行に対して分析を行った. 主効果は,  $A$  ( $F_{1,11} = 12.8$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.537$ ),  $I$  ( $F_{3,33} = 8.30$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.430$ ),  $OW$  ( $F_{4,44} = 19.2$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.636$ ),  $Location$  ( $F_{1,11} = 12.0$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.522$ ) で見られた.  $A$  が大きいほど,  $I$  が小さいほど,  $OW$  が大きいほど  $SD_{MT}$  が大きい傾向が見られた. また,  $Location = Inside$  の方が  $Location = Outside$  よりも  $SD_{MT}$  が大きい傾向が見られた. 交互作用は,  $A \times I$  ( $F_{3,33} = 2.93$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.210$ ),  $I \times OW$  ( $F_{12,132} = 2.16$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.164$ ) (図 8),  $OW \times Location$  ( $F_{4,44} = 3.87$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.260$ ) (図 9) で見られた. 交互作用は見られたものの, 各条件が  $MT$  に与える影響は主効果とほぼ同じ傾向であった.  $I \times OW$  から,  $I$  が小さいほど  $OW$  の影響が大きくなり,  $OW$  が大きいほど  $I$  の影響が大きくなる傾向が見られた.  $OW \times Location$  から,  $Location = Inside$  の方が  $Location = Outside$  よりも,  $OW$  による影響が大きい傾向がみられた.



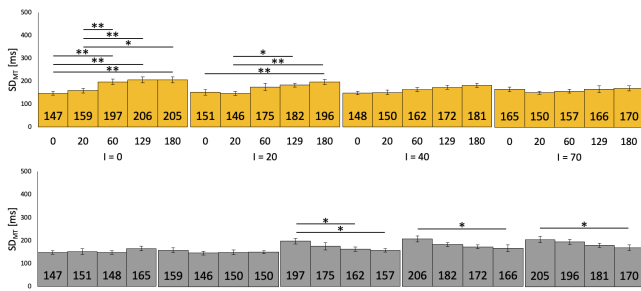


図 8 操作時間の標準偏差  $SD_{MT}$  に対する (上)  $I \times OW$  (下)  $OW \times I$  の影響。

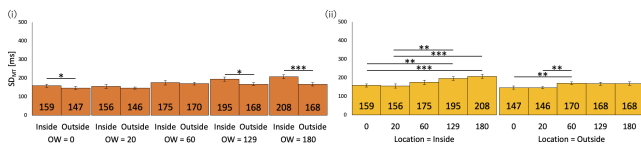


図 9 操作時間の標準偏差  $SD_{MT}$  に対する (左)  $OW \times Location$  (右)  $Location \times OW$  の影響。

#### 4.4 X 軸クリック座標 $X_{click}$

Yamanaka [18] はタッチポインティングにおいて、他対象物がターゲットの片側のみにある場合、ターゲットに対して他対象物がない側をタップする傾向があることを示した。そこで、遮蔽物の位置がクリック座標に影響する可能性があると考えた。終了ターゲットの中心に対する X 軸のクリック座標  $X_{click}$  について、エラー試行を含めた 9,600 試行に対して分析を行った。クリックが行われた座標が終了ターゲットの中心よりも左側の場合は負の値で、右側の場合は正の値で示した。主効果は、 $A$  ( $F_{1,11} = 18.4, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.625$ ),  $Location$  ( $F_{1,11} = 41.0, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.789$ ) で見られ、 $I$  ( $F_{3,33} = 2.24, p = 0.102, \eta_p^2 = 0.169$ ),  $OW$  ( $F_{4,44} = 2.23, p = 0.082, \eta_p^2 = 0.168$ ) では見られなかった (図 10)。 $A$  が長いほどクリック座標が左に偏る傾向がみられた。 $Location = Outside$  では  $Location = Inside$  よりもクリック座標が左に偏る傾向がみられた。交互作用は、 $A \times I \times Location$  ( $F_{3,33} = 3.37, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.235$ ) (図 11),  $I \times Location$  ( $F_{3,33} = 6.85, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.384$ ),  $OW \times Location$  ( $F_{4,44} = 11.9, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.521$ ) (図 12) で見られた。 $A \times I \times Location$  から、主効果と同様に  $Location = Outside$  では  $Location = Inside$  よりもクリック座標が左に偏る傾向が見られた。また、 $Location = Inside$  では、 $I$  が小さいほどクリック座標が右に偏る傾向が見られたが、 $Location = Outside$  では  $I$  による影響は見られなかった。 $OW \times Location$  から、遮蔽物がない  $OW = 0$  においてのみ  $Location = Inside$  が  $Location = Outside$  よりクリック座標が有意に左に偏っていた (図 12 (i))。また遮蔽物がある  $OW = 20-180$  の時、 $Location = Inside$  では右に、 $Location = Outside$  では左に偏る傾向が見られた (図 12 (ii))。

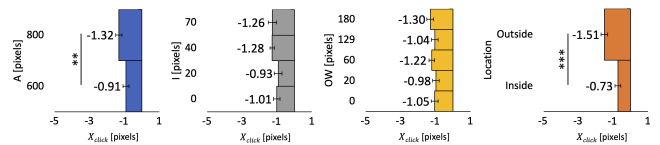


図 10 終了ターゲットの中心に対する X 軸クリック座標  $X_{click}$  に対する  $A, I, OW, Location$  の影響。

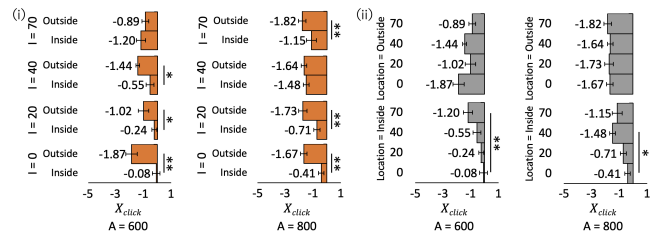


図 11 終了ターゲットの中心に対する X 軸クリック座標  $X_{click}$  に対する (i)  $A \times I \times Location$  (ii)  $A \times Location \times I$  の影響。

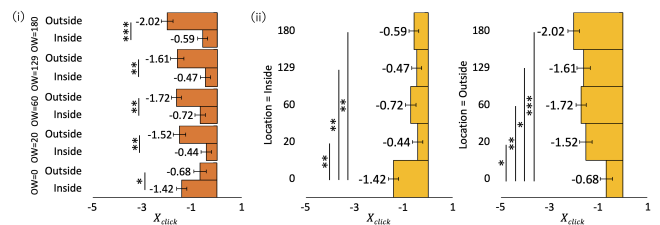


図 12 終了ターゲットの中心に対する X 軸クリック座標  $X_{click}$  に対する (i)  $OW \times Location$  (ii)  $Location \times OW$  の影響。

#### 4.5 参加者アンケート

$Location = Inside$  に対して参加者全員が、 $Location = Outside$  に対して参加者 12 名中 9 名が遮蔽物による影響を感じたと回答した。 $Location = Inside$  では「必ず遮蔽物を通過しないとイケないため、邪魔と感じた」「遮蔽物の幅が大きいほどカーソルを見失うことが多かった」「間隔がなく、遮蔽物とターゲットが隣接している時に最も邪魔と感じた」といった回答があった。 $Location = Outside$  では「間隔が小さいほど、ターゲットを通り過ぎてしまった時に邪魔と感じた」「ターゲットを通り過ぎないように、カーソルを速く動かさなかった」といった回答があった。対して、 $Location = Outside$  で遮蔽物による影響を感じなかった回答した 3 名からは「経路中、カーソルが常に見えるから気にならなかった」と回答があった。なお、 $Location = Outside$  で感じた影響は、 $Location = Inside$  で感じた影響よりも小さかったと全員が回答した。また、操作の戦略について、遮蔽物内でカーソルが止まってしまうように、 $Location = Inside$  では一度終了ターゲットを大きく通り過ぎてから戻る戦略で、 $Location = Outside$  では終了ターゲットの手前で減速する戦略で操作したといった回答があった。

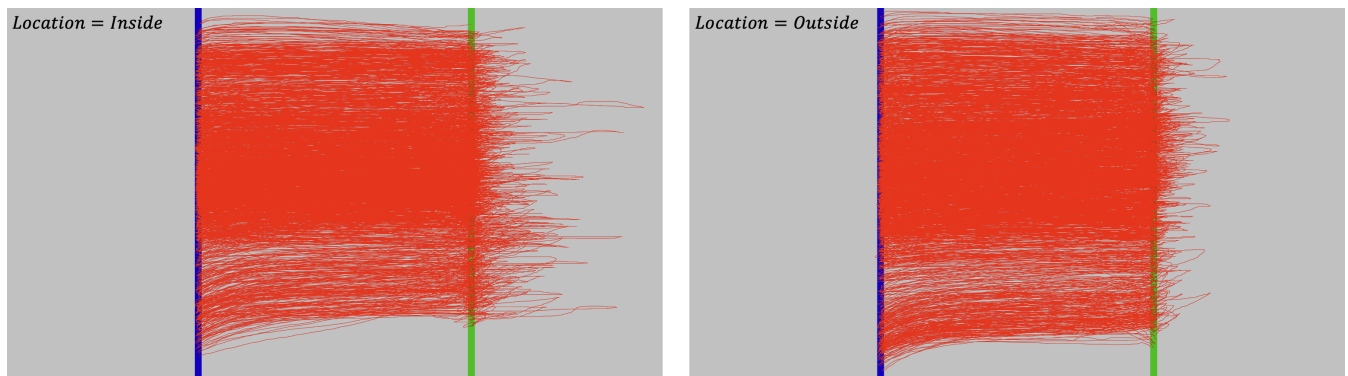


図 13 カースルの軌跡 (例:  $A = 800$ ).  $Location = Inside$  (左) では終了ターゲットを大きく通り過ぎる軌跡が  $Location = Outside$  (右) よりも多く見られる.

## 5. 議論

### 5.1 操作時間 $MT$

どちらの遮蔽物の位置でも操作時間が増加したことから、先行研究 [5, 12, 13, 18–28] と同様、ターゲット付近にオブジェクトが配置されたことによる操作時間の増加が確認された。遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほど操作時間が増加する傾向が見られた。また、遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど遮蔽物の幅が与える影響が大きく、遮蔽物の幅が大きいほど遮蔽物と終了ターゲットの間隔が与える影響が大きくなる傾向が見られた。 $I \times OW$  の交互作用は見られたが、 $I \times OW \times Location$  では見られなかった。そのため、遮蔽物の位置に関わらず、遮蔽物と終了ターゲットの間隔と遮蔽物の幅は操作時間に相互に影響を与えようと考えられる。

$OW \times Location$  から、遮蔽物がターゲット間にある場合、外側にある場合よりも操作時間を増加させる影響が大きい傾向が見られた。また、遮蔽物がターゲット間にある場合、遮蔽物の幅の条件ごとに有意差が見られたペアがあったが、外側にある場合は有意差が見られたペアはなかった。どちらの遮蔽物の位置でも、遮蔽物の幅の増加に伴って操作時間が増加する傾向にあったが、遮蔽物がターゲット間にある場合の方が外側にある場合よりも遮蔽物の幅が操作時間に与える影響が大きいと考えられる。ターゲットの左右両方に遮蔽物があった著者らの先行研究 [5] では、 $OW = 0$  を除いた最も小さい遮蔽物の幅  $OW = 20$  でも、遮蔽物によって有意に操作時間が増加していた。また、最も大きい遮蔽物と終了ターゲットの間隔  $I = 70$  でも、遮蔽物による操作時間の増加が観察されていた。本実験でも  $OW = 0$  と  $OW = 20$  のペアで操作時間に有意差が見られ、 $I = 70$  でも遮蔽物の幅が増加するほど操作時間が増加していた。そのため、遮蔽物がターゲットの片側のみにある場合でも、遮蔽物による影響を最小化するには、20 pixels より小さな遮蔽物の幅、もしくは 70 pixels より大きい間隔が必要である。

### 5.2 操作の戦略

参加者アンケートにて、遮蔽物がターゲット間にある場合は終了ターゲットを大きく通り過ぎてから戻る戦略を、ターゲット間の外側にある場合は終了ターゲットの手前で減速する戦略を取ったと回答があった。参加者は遮蔽物の位置ごとに異なる操作の戦略を取ることで、遮蔽物によってカースルを見失ってしまわないように注力していたと考えられる。この回答はカースルの軌跡からも支持され、遮蔽物がターゲット間にある場合は外側にある場合よりも、終了ターゲットを大きく通り過ぎている (図 13)。つまり、遮蔽物の位置は参加者の操作に影響を与え、遮蔽物の位置によって異なる戦略での操作を強いられると考えられる。

### 5.3 操作時間の標準偏差 $SD_{MT}$

遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほど、遮蔽物の幅が大きいほど、操作時間の標準偏差が増加する傾向がどちらの遮蔽物の位置でも見られた (図 8)。著者らの先行研究 [5] と同様に、参加者はカースルが遮蔽物によってカースルを見失ったり、カースルの探索を行ったりしたと考えられる。また、遮蔽物の幅が操作時間の標準偏差に与える影響は、 $Location = Inside$  の方が  $Location = Outside$  より大きかった (図 9)。これは、 $Location = Outside$  では終了ターゲットを通り過ぎない限り遮蔽物にカースルが遮蔽されないのに対して、 $Location = Inside$  では必ず遮蔽物をカースルが通過しなければならず、試行中に一度はカースルが遮蔽されてしまうことが影響したと考えられる。

### 5.4 X 軸クリック座標 $X_{click}$

遮蔽物がターゲット間にある場合、遮蔽物と終了ターゲットの間隔が小さいほどクリック座標が右側に偏る傾向が見られた (図 11 (ii))。また、遮蔽物がある条件  $OW = 20-180$  では、遮蔽物がターゲット間にある場合はクリック座標が右側に、ターゲット間の外側にある場合はクリック座標が左側に偏る傾向が見られた (図 12 (ii))。タッチポイントにおける他対象物の影響を調査した先行研究 [18] と同

様に、参加者はターゲットに対して遮蔽物がない側をクリックする傾向を示している。つまり、参加者は遮蔽物を避けた位置でカーソル操作を行うことで、遮蔽物によってカーソルが遮蔽されないようにしていたと考えられる。なお、遮蔽物がない条件を示す  $OW = 0$  では、 $Location = Inside$  が  $Location = Outside$  よりクリック座標が左側に寄っていた (図 12 (i))。これは、遮蔽物を避けた位置で操作をする必要がなくなるという反動から、 $OW = 0$  では  $Location$  によるクリック座標への影響が反転したと考えられる。

図 10-12 において、終了ターゲットの中心に対する X 軸クリック座標は全て負の値を示した。これは、本実験のタスクの進行方向が常に右方向であったことが影響している可能性がある。つまり、参加者は終了ターゲットの左側をクリックすることで、ターゲットまでの距離を短くすることに注力していたと考えられる。

### 5.5 モデル適合

実験条件が操作時間に与える影響の大きさが遮蔽物の位置  $Location$  ごとに異なったため、 $Location$  ごと ( $2A \times 4I \times 5OW = 40$  条件) にモデル適合度を調査する。ただ、傾向はどちらの  $Location$  も同じであったため、同様のモデルで操作時間が予測できることが望ましいだろう。また、今回示された傾向はターゲットの左右両方にある遮蔽物の影響を調査した著者らの先行研究 [5] と同様の傾向であった。そこで、先行研究 [5] で提案したモデル (式 5) に対して、各  $Location$  の適合度を調査した (表 1)。

表 1 式 5 に対する、各  $Location$  のモデル定数の推定値と適合度。

$Location$	$a$	$b_1$	$b_2$	$c$	$R^2$
<i>Inside</i>	-102	198	0.0593	0.540	0.893
<i>Outside</i>	-26.4	182	0.0387	0.0615	0.898

結果、どちらの  $Location$  でも高い  $R^2$  値を示した。そのため、式 5 は遮蔽物の位置に関わらず応用できると考えられる。 $Location = Outside$  では  $OW$  による影響が小さかった (図 7) ことから、式 5 より式 5 から  $c$  の項を除外したモデルの方が適する可能性がある。モデルに含まれる回帰定数の個数が異なるため、 $adj.R^2$  と赤池情報量基準  $AIC$  [29] を用いて比較を行った。結果、式 5 は  $adj.R^2 = 0.886$ 、 $AIC = 174$ 、式 5 から  $c$  の項を除外したモデルは  $adj.R^2 = 0.880$ 、 $AIC = 174$  を示した。式 5 の方が高い  $adj.R^2$  を示し、 $AIC$  に差が見られなかったことから、この懸念は払拭された。

## 6. 制約

本実験は一次元タスクであり、遮蔽物の位置はターゲット間、もしくはターゲット間の外側の 2 種類であった。タッチポインティングにおける他対象物の影響を調査した Yamanaka [18] の先行研究では、本実験と似た一次元タ

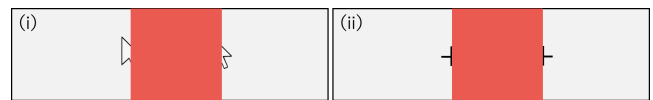


図 14 (i) 矢印の形状のカーソル (ii) 十字カーソルの遮蔽のされ方。

クの実験が行われていたのに加えて、タスクの進行方向に対して垂直方向に他対象物が配置された二次元タスクの実験も行われていた。二次元タスクの場合、ターゲットに対する遮蔽物の位置は本実験で対象とした 2 種類以外にも様々考えられる。実験タスクが一次元であり、遮蔽物の位置の条件を 2 種類に限定したことが本稿の制約と言える。

本実験では矢印の形状のカーソルを用いた。矢印の形状のカーソルは、カーソルが左右非対称であり、矢印の先端で選択する。そのため、遮蔽物の位置によってカーソルの遮蔽のされ方が異なっていた。例えば、カーソルの左側が遮蔽されている場合は矢印の先端が遮蔽されるが、カーソルの右側が遮蔽されている場合は矢印の先端が遮蔽されていない (図 14 (i))。対して、十字カーソルの場合、カーソルが左右対称であるため、カーソルの交点の遮蔽のされ方が左右で同様である (図 14 (ii))。カーソルの形状による影響を調査できていないことが、本稿の制約と言える。

遮蔽物に関する条件 (遮蔽物と終了ターゲットの間隔  $I$ 、遮蔽物の幅  $OW$ 、遮蔽物の位置  $Location$ ) の条件数を多く確保するため、ターゲットの幅の条件は 1 つのみであった。ターゲットの幅がある程度大きい場合、ポインティングを弾道運動で完了できる [30-32]。そのため、ターゲットの幅がより大きい場合、遮蔽物がポインティングのパフォーマンスに与える影響が小さくなるかもしれない。ターゲットの幅の条件を 1 つに限定したことが本稿の制約と言える。

本稿の実験では、遮蔽物はカーソルのみを遮蔽していた。しかし、実環境においてディスプレイと重なって配置されるウェブカメラやマイクなどは、ターゲットの一部を遮蔽することもある。その場合、カーソルがターゲット上にあることを認識できなかつたり、ターゲットサイズを実際よりも小さく見積もってしまったかもしれない。また、カーソルがターゲットに入ったことを示す、ハイライトが行われるターゲットの場合、ターゲットが遮蔽される影響が軽減されるかもしれない。遮蔽物による遮蔽をカーソルのみ限定したことが本稿の制約と言える。

## 参考文献

- [1] Fitts, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of experimental psychology*, Vol. 47, No. 6, pp. 381-391 (1954).
- [2] 大場洋介, 宮下芳明: ノッチがポインティングの操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, Vol. 2022-HCI-199, No. 2, pp. 1-8 (2022).
- [3] 大場洋介, 宮下芳明: カーソルが進入できないノッチがポインティングの操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-



- HCI-200, pp. 1–8 (2022).
- [4] Oba, Y. and Miyashita, H.: Effect of the Notch a Cursor Cannot Enter for Pointing Movement Time, *Graphics Interface 2023*, available from (<https://openreview.net/forum?id=xDLkyclEc3>) (2023).
- [5] 大場洋介, 宮下芳明: カーソルの遮蔽の影響を考慮したポインティングのモデル化, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2023-HCI-205, pp. 1–8 (2023).
- [6] Baudisch, P., Cutrell, E., Hinckley, K. and Gruen, R.: Mouse Ether: Accelerating the Acquisition of Targets across Multi-Monitor Displays, *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '04, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1379–1382 (2004).
- [7] 大場洋介, 宮下芳明: ノッチの左右でワープするカーソルの効果の検証, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2023-HCI-201, pp. 1–8 (2023).
- [8] Oba, Y. and Miyashita, H.: Effect of a Cursor Warping Left and Right of the Notch, *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3544549.3585766 (2023).
- [9] Hollinworth, N. and Hwang, F.: Cursor Relocation Techniques to Help Older Adults Find 'lost' Cursors, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 863–866 (2011).
- [10] Huot, S., Chapuis, O. and Dragicevic, P.: TorusDesktop: Pointing via the Backdoor is Sometimes Shorter, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 829–838 (2011).
- [11] MacKenzie, I. S. and Buxton, W.: Extending Fitts' Law to Two-Dimensional Tasks, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/142750.142794 (1992).
- [12] Blanch, R. and Ortega, M.: Benchmarking Pointing Techniques with Distractors: Adding a Density Factor to Fitts' Pointing Paradigm, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1629–1638 (2011).
- [13] Usuba, H., Yamanaka, S. and Miyashita, H.: A Model for Pointing at Targets with Different Clickable and Visual Widths and with Distractors, *OzCHI '20*, New York, NY, USA, pp. 1–10 (2020).
- [14] Accot, J. and Zhai, S.: Refining Fitts' Law Models for Bivariate Pointing, CHI '03, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 193–200 (2003).
- [15] Zhang, X., Zha, H. and Feng, W.: Extending Fitts' Law to Account for the Effects of Movement Direction on 2d Pointing, CHI '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3185–3194 (2012).
- [16] Appert, C., Chapuis, O. and Beaudouin-Lafon, M.: Evaluation of Pointing Performance on Screen Edges, *AVI '08*, New York, NY, USA, pp. 119–126 (2008).
- [17] Yamanaka, S.: Mouse Cursor Movements towards Targets on the Same Screen Edge, *GI '18*, Waterloo, CAN, Canadian Human-Computer Communications Society, pp. 115–122 (2018).
- [18] Yamanaka, S.: Effect of Gaps with Penal Distractors Imposing Time Penalty in Touch-Pointing Tasks, *Mobile HCI '18*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3229434.3229435 (2018).
- [19] Jax, S., Rosenbaum, D. and Vaughan, J.: Extending Fitts' Law to manual obstacle avoidance, *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, DOI: 10.1007/s00221-007-0996-y (2007).
- [20] Vaughan, J., Barany, D. A., Sali, A. W., Jax, S. A. and Rosenbaum, D. A.: Extending Fitts' Law to three-dimensional obstacle-avoidance movements: support for the posture-based motion planning model, *Experimental brain research*, Vol. 207, No. 1, pp. 133–138 (2010).
- [21] Hoffmann, E. R. and Sheikh, I. H.: Goal-directed aimed movements with path obstructions, *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2012.681809 (2012).
- [22] Yamanaka, S. and Stuerzlinger, W.: Necessary and Unnecessary Distractor Avoidance Movements Affect User Behaviors in Crossing Operations, *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, DOI: 10.1145/3418413 (2020).
- [23] Grossman, T. and Balakrishnan, R.: The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor's Activation Area, *CHI '05*, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/1054972.1055012 (2005).
- [24] Komarov, S., Reinecke, K. and Gajos, K. Z.: Crowdsourcing Performance Evaluations of User Interfaces, *CHI '13*, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/2470654.2470684 (2013).
- [25] Yamanaka, S., Kinoshita, T., Oba, Y., Tomihari, R. and Miyashita, H.: Varying Subjective Speed-Accuracy Biases to Evaluate the Generalizability of Experimental Conclusions on Pointing-Facilitation Techniques, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3544548.3580740 (2023).
- [26] Bi, X. and Zhai, S.: Bayesian touch: a statistical criterion of target selection with finger touch, *UIST '13*, New York, NY, USA, ACM, DOI: 10.1145/2501988.2502058 (2013).
- [27] Yamanaka, S.: Risk Effects of Surrounding Distractors Imposing Time Penalty in Touch-Pointing Tasks, *Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3279778.3279781 (2018).
- [28] Yamanaka, S., Shimono, H. and Miyashita, H.: Towards More Practical Spacing for Smartphone Touch GUI Objects Accompanied by Distractors, *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3343055.3359698 (2019).
- [29] Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 19, No. 6, pp. 716–723 (1974).
- [30] Gan, K.-C. and Hoffmann, E. R.: Geometrical conditions for ballistic and visually controlled movements, *Ergonomics*, Vol. 31, No. 5, pp. 829–839 (1988).
- [31] 山中祥太, 宮下芳明: 無限大のサイズを持つターゲットのポインティングに関する調査, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1319–1329 (2016).
- [32] 大場洋介, 薄羽大樹, 山中祥太, 宮下芳明: 画面角と画面端のターゲット配置が操作時間に与える影響, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2022-HCI-197, No. 55, pp. 1–8 (2022).