

操作手法とポインタ形状によるホットスポット認識位置の差異 Differences of Hotspot Recognition Positions by Pointing Methods and Pointer Shapes

小山 惇之介¹ 山田 俊哉² 中道 上^{1,3}
Koyama Junnosuke Yamada Toshiya Nakamichi Noboru

1. はじめに

日常生活において、GUI 環境は欠かせない存在となっている。マウスポインタやタッチパネルなどのポインティングデバイスを用いた操作は直感的で使いやすく、ユーザーがコンピュータと対話するために多くの人々が日常的に利用している。

情報技術の発展に伴い、デジタルコンテンツは急速に多様化が進んでいる。その用途は娯楽だけでなく教育や医療など様々な分野で新しいコンテンツが生まれている。これに伴い、コンテンツに適したポインタの設計が求められている。また、デジタルコンテンツの利用媒体も多様化が進んでいる。従来の PC だけでなく、スマートフォンやタブレット端末などのタッチディスプレイ、VR ヘッドセットや AR グラスなど様々なデバイスでコンテンツが利用されている。これに伴い、コンテンツの操作手法も多様化が進んでいる。

ポインタがターゲットの選択を行う際にはポインタに設定されている、オブジェクトを選択したと判定される点(ホットスポット) [1]を移動させることで実現される。ポインタのホットスポットをユーザーが正しく認識していると、ユーザーは自身の思い通りにポインティングすることが可能であると考えられる。しかし、ポインタのホットスポットとユーザーのホットスポット認識位置に差異があるとユーザーの思い通りのポインティングが実現されない場合がある。例としてユーザーはボタンをクリックしたつもりでも、実際にはボタンの隣や周囲のエリアをクリックしてしまうことが考えられる。

現在のポインタデザインはコンテンツやデバイスごとにデザインされており、発散に向かっていく状況であり、今後収束に向かうと考えられる。デザインを行うプロセスに共通する特徴として、発散と収束が繰り返されていることが知られている。デザインを行う際のプロセスの進行についてはブリティッシュ・デザイン・カウンシルが発表したダブルダイヤモンドを用いて説明される。図 1 にダブルダイヤモンド[2,3]と呼ばれる図形を示す。ダブルダイヤモンドによると、この発散収束は 4 つのステップに分けられ、それぞれ Discover, Define, Develop, Deliver と呼ばれる。現在のポインタを取り巻く環境は Develop と呼ばれる機会に対する様々なアプローチを見つけ出すフェーズにあると考えられる。しかし収束に向かう Deliver に移行すべき時期にあると考える。

本研究ではユーザーのホットスポット認識位置の記録実験を行い、操作手法とポインタ形状がホットスポット認識位置に与える影響について分析する。その上で、ポインタデザインの収束に向かうことが可能であるか考察する。

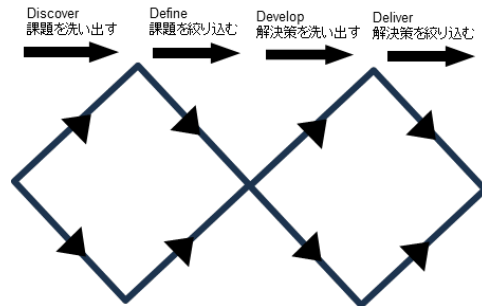


図 1 The Double Diamond

2. 関連研究

GUI 環境において、ポインティング操作に対するフィードバックは極めて重要である[4,5]。代表的なフィードバックの例としてポインタが挙げられる。ポインタに関する従来の研究では、特定の利用シーンを想定し、そのシーンに適した機能を実装するという技術面に着目して研究が進められてきた。これらの従来の研究において、ポインタの評価はフィッツの法則[6]を用いて行われている。

ポインティングの評価における利用シーンとして様々な操作手法が用いられているが本研究ではマウス操作、タッチ操作、ジェスチャの 3 手法を対象とする。マウス操作に関して、Grossman らは、小さいターゲットを選択するのが難しい問題を解決するためにカーソルの有効範囲目標までの距離に応じて動的に変化させることで小さなターゲットでも選択しやすくなるかつ常に 1 つのターゲットのみがアクティブ領域内に含まれる Bubble Cursor[7]の提案を行った。タッチ操作に関して、Baudisch らはタッチスクリーンやペンによる入力システムにおいて画面上の離れた位置にあるコンテンツにアクセスする Drag-and-Pop と Drag-and-Pick の提案を行った[8]。Bezerianos らは Drag-and-Pick の間違っただけで動かしにくいターゲットが選択されてしまう問題を解決し、複数の対象を操作するのに優れる Vacuum[9]の提案を行った。ジェスチャに関して、Shoemaker らは、大型ディスプレイに対して自分の影をポインタとすることで、ディスプレイ全体への直感的なインタラクションを可能にし、単一のユーザーでの作業とグループでの協同作業の両方のサポートを可能にする Shadow Reaching[10]の提案を行った。また、画面等に触れずに指差しなどのジェスチャにより機器を操作するジェスチャによるポインタの移動を利用したポインティングシステムとして、Remote Touch Pointing[11]の研究が進められている。

図 2 に示す Remote Touch Pointing は指差しジェスチャの延

1 福山大学 Fukuyama University

2 NTT テクノクロス株式会社 NTT TechnoCross Corporation

3 アンカーデザイン株式会社 ANKR DESIGN Inc.

長線上をポインティング位置としてポインタを表示する。本論文では、表示画面に対して直接指で触らずに指示を行う非接触操作をジェスチャとして対象とする。

このように従来の研究においては、個々のユースケースを想定して研究を進めており、様々なアプローチが提案されている。そのため図 1 における Develop フェーズにあると考えられる。今後、解決策を絞り込む Deliver フェーズに移行して収束していくことが考えられる。そのため本研究ではポインタのデザイン面に着目し利用場面やユーザーを限定しないポインタデザインの検討を行う。

3. 操作手法とポインタ形状

3.1 ポインティング時の操作手法

本研究では、PC 利用時の操作手法として 2 章で述べたマウス操作、タッチ操作、ジェスチャの 3 手法を対象に記録実験を行う。マウス操作は間接入力型のなかの移動量入力型のポインティングデバイスであり、机上で扱いやすく位置入力の精度も高く連続的な操作に優れる[12]。マウス操作はデスクトップコンピュータの標準的なポインティングデバイスになっている。

タッチ操作は直接入力型ポインティングデバイスであり、特殊なペンなどを必要とせず、表示画面を直接指で触って指示を行う。タッチスクリーンは初心者でも扱いが容易であり、近年ではスマートフォンなどのモバイルデバイスなどに広く採用されている。また、タッチスクリーンにおける高精度なポインティングを行うためにポインタによるフィードバック[13]を行う場合がある。

ジェスチャはあらかじめ決められた動きの入力によって直感的に項目の選択を行う操作である。そのため、画面に直接触ることなく直観的にポインティングを行うことが可能である。

3.2 ポインタ形状

本研究では実験参加者が違和感なくポインティング可能かつ複数のポインティングデバイスで使用されているポインタを選ぶ。その中で図 3 示す上下左右非対称なデザインの Link 型、Arrow 型に加えて図 4 示す上下左右対称なデザインの Circle 型、Cross 型の 4 種類のポインタに着目した。Link 型と Arrow 型の名称に関しては Windows11 のマウスポインタのスタイルファイル名を参照した。

図 3(a)に示す Link 型のポインタは指差しを行う手を模したデザインであり、リンクやその他の対話型要素に使用される。記録実験では 126px に設定した。図 3(b)に示す Arrow 型のポインタは矢印を模したデザインであり、クリック可能な要素に常に利用される。記録実験では 126px に設定した。

図 4(a)に示す Circle 型のポインタは円を模したデザインであり、タッチ操作におけるフィードバックとして使用される。記録実験ではマウスユーティリティ[14]のスポットライトの半径を参考に 100px に設定した。図 4(b)に示す Cross 型のポインタは円の内部に十字が入ったデザインである。記録実験では 100px に設定した。記録実験ではマウスユーティリティ[14]のスポットライトの半径を参考に 100px に設定した。

ポインタがターゲットの選択を行う際にはポインタに設定されているオブジェクトを選択したと判定される点 (ホ

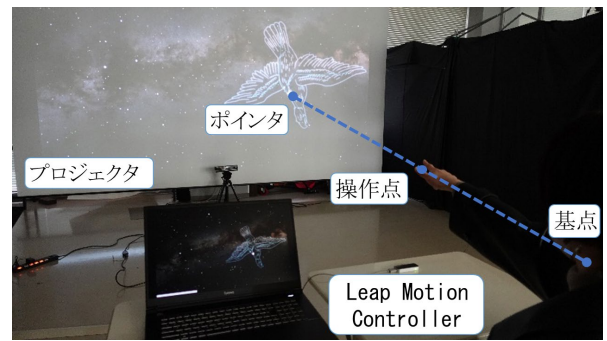
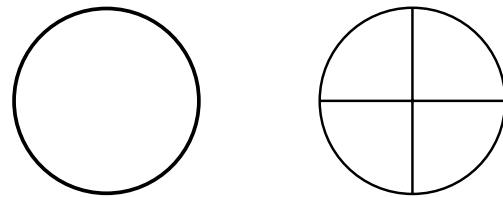


図 2 Remote Touch Pointing のシステム



(a) Link 型ポインタ (b) Arrow 型ポインタ

図 3 上下左右非対称ポインタ



(a) Circle 型ポインタ (b) Cross 型ポインタ

図 4 上下左右対称ポインタ

ットスポット)を移動させることで実現される。ホットスポットの認識位置がポインタを利用するユーザーのクリック・タップしたい位置になるためユーザーはホットスポットを直感的に理解できることが望ましい。

4. ホットスポット位置の認識差異

操作手法とポインタデザインの組合せごとのホットスポット位置の認識差異[15]に関する研究において、我々はユーザーの間にポインタのホットスポット位置に認識差異があることを確認した。

操作手法としてマウス操作、タッチ操作、ジェスチャの 3 手法、ポインタ形状として Link 型、Arrow 型、Circle 型、Cross 型の 4 種類を対象にホットスポット位置の認識差異について分析した。その結果、どの操作手法においても Circle 型と Cross 型に比べて Hand 型と Arrow 型のポインタに多くのホットスポット位置の認識差異が見られた。

Hand 型では指先の先端位置だけでなく手の甲の位置にもホットスポット認識位置が存在し、Arrow 型では矢印の先端位置だけでなく矢印の中央位置にもホットスポット認識位置が存在していることが確認された。

これにより、ホットスポット位置に認識差異があることが確認された。本研究では、さらにホットスポット位置の認識差異について研究を進める。具体的にはホットスポット認識位置の上下左右の方向に対してどのように差異があるのか、操作手法とポインタ形状の交互作用があるのかを確認するために次章で述べる記録実験を行う。

5. ホットスポット認識位置の記録実験

5.1 実験方法

操作手法間、ポインタデザイン間の差異を確認するために、ホットスポット認識位置を記録する。

記録実験対象とする操作手法とポインタデザインの組合せを選択する。操作手法としてマウス操作、タッチ操作、ジェスチャの 3 手法を用意する。ポインタデザインとして Link 型、Arrow 型、Circle 型、Cross 型の 4 種類を用意する。これらを掛け合わせた 12 パターンの操作項目を対象とする。

記録実験においては、大学生 71 名を対象に行った。また、参加者間のポインティングに対する慣れの影響を排除するために PowerPoint 上[16]で仮想的にターゲット選択タスクを行う。

ターゲット選択タスクでは、12 パターンの操作項目ごとにターゲットをクリック・タップすることを想定し、実験参加者は自身がクリック・タップを行う座標位置にポインタを移動する。この時の実験参加者ごとのポインタの座標位置を記録する。この座標位置の単位は pixel で集計する。

図 5 にターゲット選択タスクに用いるターゲットの画像を示す。実験参加者はターゲットの十字の交わる中心をそれぞれのポインタを用いて選択する。

図 6 に基準座標位置を示す。ポインタ形状間でサイズが異なるため、ポインタ形状間でのホットスポット認識位置の差異を見るのではなく、各パターン基準となるホットスポット認識位置である基準座標位置を用意する。この基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置との差異を確認する。

図 7 にターゲット選択タスクの実験開始前の状態を示す。

本研究で用いたポインタ間で形状が異なるため、基準となるホットスポット認識位置である基準座標位置を用意し、基準座標位置との差異を比較することでホットスポット認識位置の差異の分析を行う。

5.2 実験結果

基準認識位置から実験参加者のホットスポット認識位置がどれだけ離れているかを基準認識位置からの距離として示す。操作手法とポインタ形状によってホットスポット認識位置の上下の差異に影響を与えるのかを確認するために基準認識位置との上下位置の差異として示す。また、操作手法とポインタ形状によってホットスポット認識位置の左右の差異に影響を与えるのかを確認するために基準認識位置との左右位置の差異として示す。

上下位置の差異については値が負の値であれば基準座標位置から上に、値が正の値であれば基準座標位置から下にずれていることを示す。左右位置の差異については値が負の値であれば基準座標位置から左に、値が正の値であれば基準座標位置から右にずれていることを示す。また、差異が無く基準座標位置に重なっている状態の値は 0 である。

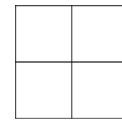


図 5 ターゲット

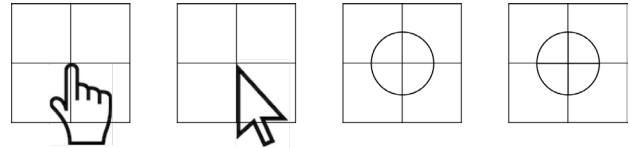


図 6 基準座標位置

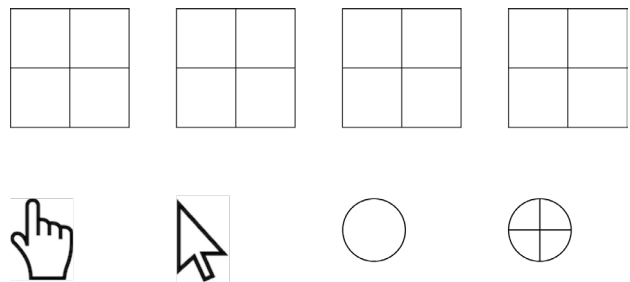


図 7 実験開始前

表 1(a)にマウス操作における基準座標位置との上下のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から、Link 型および Arrow 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が上方にずれていることを確認した。表 1(b)にマウス操作における基準座標位置との左右のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型、Arrow 型、Circle 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が左方にずれていることを確認した。表 1(c)にマウス操作における基準座標位置との距離の平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型と Arrow 型は Circle 型と Cross 型に比べて基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置との距離が大きいことを確認した。図 8 にマウス操作による記録実験における基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置の平均座標位置に各ポインタ形状の画像を配置したものを示す。

表 2(a)にタッチ操作における基準座標位置との上下のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から、Link 型および Arrow 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が上方にずれていることを確認した。表 2(b)にタッチ操作における基準座標位置との左右のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型、Arrow 型、Circle 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が左方にずれていることを確認した。表 2(c)にタッチ操作における基準座標位置との距離の平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型と Arrow 型は Circle 型と Cross 型に比べて基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置との距離が大きいことを確認した。図 9 にタッチ操作による記録実験における基準座標位置と

表 1 マウス操作の基準座標位置からの差

(a) 上下位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-10.0	-14.5	1.4	2.5
S.D.	15.3	17.6	7.8	9.3

(b) 左右位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-2.2	-4.1	-1.6	0.2
S.D.	8.6	11.8	7.0	8.1

(c) 距離の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	12.6	17.4	4.7	4.4
S.D.	16.0	19.5	11.7	9.8

表 2 タッチ操作の基準座標位置からの差

(a) 上下位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-18.1	-20.7	4.1	3.1
S.D.	24.0	21.5	15.8	15.8

(b) 左右位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-4.9	-6.4	0.3	0.0
S.D.	14.1	12.5	9.4	8.6

(c) 距離の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	26.1	27.0	8.5	9.3
S.D.	21.2	19.0	16.3	16.5

表 3 ジェスチャの基準座標位置からの差

(a) 上下位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-21.6	-22.6	2.4	0.3
S.D.	21.8	21.0	12.0	8.9

(b) 左右位置の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	-21.6	-22.6	2.4	0.3
S.D.	21.8	21.0	12.0	8.9

(c) 距離の差異

	Link	Arrow	Circle	Cross
平均(px)	27.6	29.5	6.4	7.5
S.D.	20.4	20.8	12.6	13.5

実験参加者のホットスポット認識位置の平均座標位置に各ポインタ形状の画像を配置したものを示す。

表 3(a)にジェスチャにおける基準座標位置との上下のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から、Link 型および Arrow 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が上方にずれていることを確認した。表 3(b)にジェスチャにおける基準座標位置との左右のずれの平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型、Arrow 型、Circle 型においては基準座標位置に対して実験参加者のホットスポット認識位置が左方にずれていることを確認した。表 3(c)にジェスチャにおける基準座標位置との距離の平均と標準偏差を示す。この結果から Link 型と Arrow 型は Circle 型と Cross 型に比べて基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置との距離が大きいことを確認した。図 10 にジェスチャによる記録実験における基準座標位置と実験参加者のホットスポット認識位置の平均座標位置に各ポインタ形状の画像を配置したものを示す。

6. ホットスポット認識位置の差異の分析

6.1 5章の実験結果

5章で行った記録実験の結果、図 8、図 9、図 10 を見ると、Link 型、Arrow 型に比べて Circle 型、Cross 型のポインタの基準座標位置からの差異は少ないことが分かった。

記録実験により基準座標位置からの上下位置の差異の平均に着目すると、どの操作手法においても Circle 型、Cross 型と比較して Link 型、Arrow 型のポインタにより大きな差異が見られた。基準座標位置からの左右位置の差異の平均に着目すると、どの操作手法においても Circle 型、Cross 型

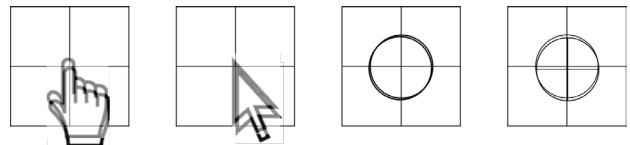


図 8 マウス操作での差異

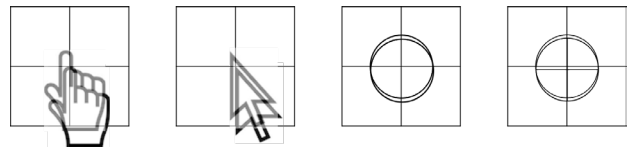


図 9 タッチ操作での差異

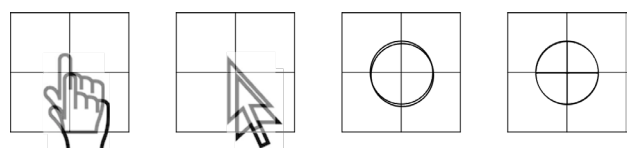


図 10 ジェスチャでの差異

と比較して Link 型, Arrow 型のポインタにより大きな差異が見られた. 基準座標位置からの距離の差異の平均に着目すると, どの操作手法においても Circle 型, Cross 型と比較して Link 型, Arrow 型のポインタにより大きな差異が見られた.

上下位置の差異に関しては, どの操作手法においても Link 型, Arrow 型には上方向の, Circle 型, Cross 型には下方向の差異を確認した. また, 左右位置の差異に関しては, マウス操作, タッチ操作においては Link 型, Arrow 型, Circle 型には左方向の, Cross 型には右方向の差異を確認し, ジェスチャにおいては Link 型, Arrow 型においては左方向の, Circle 型, Cross 型においては右方向の差異を確認した.

しかし, 標準偏差に着目すると値が大きく実験参加者間の差異は統一的であるとは言えなかった. そのためポインタ形状と操作手法がホットスポット認識位置に与える影響とその交互作用に関して分析を行う必要がある. よって 5 章で行った記録実験で集計したホットスポット認識位置を用いてポインタ形状と操作手法の 2 つの因子による 2 元配置分散分析を行う.

6.2 ホットスポット認識位置の分散分析

本研究では操作手法とポインタ形状の 2 つの因子の主効果およびその交互作用がホットスポット認識位置に与える影響を分析するために, 2 元配置分散分析を行う.

ホットスポット認識位置の記録実験では記録した座標位置を用いて基準認識位置からの距離, 上下位置の差異, 左右位置の差異の 3 種類の 2 元配置分散分析を行う.

操作手法因子はマウス操作, タッチ操作, ジェスチャの 3 つの水準で構成し, ポインタ形状因子は Link 型, Arrow 型, Circle 型, Cross 型の 4 つの水準で構成する.

表 4 に上下位置の差異に関する 2 元配置分散分析の結果を示す. ポインタ形状因子と操作手法因子の主効果は有意水準 5% で有意であった. さらに操作手法因子とポインタ形状因子の交互作用も有意水準 5% で有意であった. よって実験参加者間の上下のずれに対しては操作手法とポインタ形状の種類が影響を与えることを示された.

表 5 に実験参加者間の左右位置の差異に関する 2 元配置分散分析の結果を示す. ポインタ形状因子の主効果は有意水準 5% で有意であった. よって実験参加者間の左右のずれに対してはポインタ形状の種類が影響を与えることを示された.

表 6 に基準座標位置からの距離に関する 2 元配置分散分析の結果を示す. ポインタ形状因子と操作手法因子の主効果は有意水準 5% で有意であった. さらに操作手法因子とポインタ形状因子の交互作用も有意水準 5% で有意であった. よって基準座標値からの距離に対しては操作手法とポインタ形状の種類が影響を与えることを示された.

6.3 ホットスポット認識位置の差異の考察

本研究では操作手法とポインタ形状がホットスポット認識位置に与える影響を 2 元配置分散分析により確認した. この結果, ポインタ形状に関しては, ホットスポット認識位置の基準座標位置からの距離の差異に影響を与えることが示された. また, 上下のずれと左右のずれの共に影響を与えることが示された.

表 4 上下位置の差異

	平方和	自由度	F 値	P 値
intercept	52026	1	182.73	***
ポインタ形状	88072	3	103.11	***
操作手法	3857	2	6.77	0.001208
交互作用	4231	6	2.48	0.022166
Residuals	239154	840		

*** = 10^{-6} 以下

表 5 左右位置の差異

	平方和	自由度	F 値	P 値
intercept	6531	1	51.52	***
ポインタ形状	6757	3	17.77	***
操作手法	442	2	1.74	0.1759
交互作用	1260	6	1.66	0.1287
Residuals	106475	840		

*** = 10^{-6} 以下

表 6 距離の差異

	平方和	自由度	F 値	P 値
intercept	194064	1	683.28	***
ポインタ形状	59349	3	59.65	***
操作手法	11946	2	21.03	***
交互作用	4867	6	2.86	0.009268
Residuals	238577	840		

*** = 10^{-6} 以下

操作手法に関しては, ホットスポット認識位置の基準座標位置からの距離の差異に影響を与えることが示された. また, 上下のずれに影響を与えることが示された.

ポインタ形状と操作手法の交互作用に関しては, ホットスポット認識位置の基準座標位置からの距離の差異に影響を与えることが示された. また, 上下のずれに影響を与えることが示された.

ポインタ形状に関して, 上下左右対称なデザインである Circle 型, Cross 型と比較して上下左右非対称なデザインである Link 型, Arrow 型のポインタにより大きなホットスポット認識位置の差異があることが示された. これにより, ポインタ形状の対称性がホットスポット認識位置に影響を与えることが示唆された.

Arrow 型に関しては上下左右対称なデザインではないが対角線に対して線対称なデザインであるが上下左右対称なポインタに比べてホットスポット認識位置に差異が見られた. また, 図 8, 図 9, 図 10 を見ると, Arrow 型のホットスポット認識位置は対角線に沿うように差異があるように見える. この差異には Arrow 型の対角線に対する対称性やポインタの枠線の太さなどが影響していると考えられる. よって対称性や枠線の影響についても研究を進める.

7. 今後の課題と展望

本研究ではホットスポット認識位置の記録実験を行い、ホットスポット認識位置の距離の差異、左右位置の差異、上下位置の差異に関してポインタ形状と操作手法の 2 つの因子の主効果およびその交互作用がホットスポット認識位置に与える影響を分析した。

今回の分析でポインタ形状がホットスポット認識位置に有意な影響を与えることが示され、ポインタ形状の対称性がホットスポット認識位置に影響を与えることが示唆された。よって、ポインタ形状の対称性がホットスポット認識位置に与える影響について研究を進める必要があると考えられる。

また、記録実験の結果を見ると、ポインタの黒い枠線の外側でポインティングしている実験参加者と内側でポインティングしている実験参加者がいた。よって、ポインタの枠線がホットスポット認識位置に与える影響についても今後、研究を進める。

本研究の結果、左右対称としてポインタデザインにすることで、ホットスポット認識位置の差異が少なくなることが明らかになり、今後このようなポインタを選択することでポインタデザインを取り巻く環境に関わらず収束していくことが期待される。

8. おわりに

本研究ではユーザーのホットスポット認識位置の記録実験を行い、操作手法とポインタ形状がホットスポット認識位置に与える影響を確認した。

ポインタに関する従来の研究においては、個々のユースケースを想定して研究を進めており、限られたポインティング場面を想定して技術を組み込む、もしくは技術を改善することに重点が置かれてきた。本研究ではポインタのデザイン面に着目し利用場面やユーザーを限定しないポインタデザインの検討を行った。

操作手法間、ポインタデザイン間の差異を確認するために、ホットスポット認識位置を記録した。記録実験の結果、Link 型、Arrow 型に比べて Circle 型、Cross 型のポインタの基準座標位置からの差異は少ないことを明らかにした。

また、操作手法とポインタ形状の 2 つの因子の主効果およびその交互作用がホットスポット認識位置に与える影響を分析するために、2 元配置分散分析を行った。その結果、特にポインタ形状に関して、ホットスポット認識位置の上下左右のずれに有意な影響を与えることが示された。ポインタの形状を適切に設計することで、ホットスポット認識位置の差異が減少しポインタデザインの収束に向かうことが期待される。

謝辞

本研究は公益財団法人サタケ技術振興財団の助成を受けて実施した。

参考文献

- [1] 桑原 智大ほか, ゴーストハンティング: 疑似オブジェクト提示によるオブジェクト選択最適化手法, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2011-HCI-144, 12, 1-8, (2011).
- [2] British Design Council, The Double Diamond, <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>
- [3] 木浦幹夫, デザインリサーチの教科書, 株式会社ビー・エヌ・エヌ, (2021).
- [4] Thacker, C. & McCreight, E. & Lampson, Butler & Sproull, R. & Boggs, D. (1981). Alto: a personal computer. *Computer Structures: Principles and Examples*, second edition. McGraw-Hill. 549-572.
- [5] 岡田謙一ほか, ヒューマンコンピュータインタラクション (改定 2 版), オーム社, (2019).
- [6] P. M. Fitts. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47:381391, 1954.
- [7] Tovi Grossman and Ravin Balakrishnan. 2005. The bubble cursor: enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 281–290.
- [8] Baudisch, Patrick & Cutrell, Edward & Czerwinski, Mary & Robbins, Daniel & Tandler, Peter & Bederson, Ben & Zierlinger, A.. (2003). Drag-and-Pop and Drag-and-Pick: Techniques for Accessing Remote Screen Content on Touch- and Pen-Operated Systems..
- [9] Anastasia Bezerianos and Ravin Balakrishnan. 2005. The vacuum: facilitating the manipulation of distant objects. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 361–370.
- [10] Garth Shoemaker, Anthony Tang, and Kellogg S. Booth. 2007. Shadow reaching: a new perspective on interaction for large displays. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '07)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 53–56.
- [11] K. Watanabe, Y. Miyake, N. Nakamichi, T. Yamada and T. Ozeki, "Remote Touch Pointing for Smart TV Interaction," *2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Tokyo, Japan, 2014, pp. 232-235, doi: 10.1109/GCCE.2014.7031227.
- [12] Card, Stuart & English, William & Burr, Betty. (1978). Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT. *Ergonomics*. 21. 601-613. 10.1080/00140137808931762.
- [13] Albinsson, Pär-Anders & Zhai, Shumin. (2003). High precision touch screen interaction. 105-112. 10.1145/642611.642631.
- [14] Mouse ユーティリティ, [https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/powertoys/mouse-utilities\(2024/05/24\)](https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/powertoys/mouse-utilities(2024/05/24))
- [15] 小山 惇之介ほか, 操作手法とポインタデザインの組合せ毎のホットスポット位置の認識差異, *The 25th IEEE Hiroshima Section Student Symposium*, pp.60-63, (2023).
- [16] Espinosa, J. & Nan, Ning & Carmel, Erran. (2007). Do Gradations of Time Zone Separation Make a Difference in Performance? A First Laboratory Study. *Proceedings - International Conference on Global Software Engineering, ICGSE 2007*. 12-22. 10.1109/ICGSE.2007.20.