

ダミーカーソル環境における アイトラッカーを用いた自身のカーソル発見プロセスの調査

相澤裕貴[†] 樋口文人[†] 渡邊恵太[†]

概要: 複数のダミーカーソルの中からマウスと連動した操作者自身のカーソルを発見するマルチダミーカーソル実験がある。この実験は、自身の操作するマウスの動きとの連動がカーソル発見に寄与していることを示唆している一方でそのプロセスについては明らかになっていない。そこで本研究では、アイトラッカーを用いて操作者が自身のカーソルを発見するプロセスを調査する。我々はマルチダミーカーソル実験環境を構築し、操作者の視線座標データとカーソルの座標データを取得し分析した。本稿では、2つの実験を通じて、視線と自身のカーソルの関係性について報告し、ダミーカーソル環境における自身のカーソル発見プロセスの特徴について考察する。

1. はじめに

渡邊らは、自身のカーソルを発見する要因を調べるためマルチダミーカーソル実験を行った[1]。画面上に自身の動かしやすいマウスカーソルとともにそれと同じ色・形をしたダミーカーソルを複数表示し、各々のカーソルは無作為な動きをする。実験参加者は、その中から1つだけあるマウスと同じ動きのカーソルを探す。この実験は、カーソルの動きだけで自身のカーソルを発見できることを明らかにした。しかし、操作者がカーソルのどのような動きに着目して発見しているかについて十分に説明されていない。

そこで本研究では、アイトラッカーを用いて操作者が自身のカーソルを発見するプロセスを調査する。

2. 関連研究

2.1 GUI環境におけるカーソル操作と視線

Huang らは、SERP(Search Engine Results Pages)¹における視線とカーソルの動きの関係性を調査した[7]。この研究は、SERPにおける視線とカーソルの関係性を知ること、検索エンジンのUIの改善を目的としている。しかしながら、我々はHuangらの研究報告の中でカーソルと視線の関係に注目した。図1は彼らの論文にある図を模したものである。この図では、カーソルが視線の移動経路と全く別の経路を通っている。そして、カーソルが操作者の中心視野の外にあるにもかかわらず、操作者はカーソルを正確に操作していることが分かる。これについては本研究で確認実験を行ったので後に記述する。

2.2 GUIに対する自身のオブジェクト発見

GUIに対する自身のオブジェクト発見を調べた研究がある[1, 5]。1章でも述べたように渡邊らは、同じ色・形をしたカーソルが複数あってもそれぞれのカーソルの動きが異なれば、自身のマウスと同じ動きをするカーソルを発見で



図1 Huang らの論文にある図の再現[7]

SERPにおける視線とカーソルの軌跡

△: 視線の始点. ▲: 視線の終点.

□: カーソルの始点. ■: カーソルの終点.

きることを明らかにした[1]。またマウス操作者は自身のカーソルを見つめることができるが、マウスを操作していない第三者は操作しているカーソルを見つめることができないことが分かった。

渡邊らはこの特徴を利用したパスワードシステムを作成した[2, 3]。また、Luca らも同じ手法を用いたパスワードシステムを提案している[4]。

斎藤らは回転運動においても自身が操作しているオブジェクトが特定できるか調査した[5]。実験参加者は、画面に提示された6つのオブジェクトをクランクハンドルで操作する。6つのオブジェクトのうち1つだけクランクハンドルと同じ回転をするオブジェクトがあり、実験参加者はその自身のオブジェクトを探す。この実験では、平均正答率が70%であった。

これらの研究は、同じ見た目のオブジェクトが複数あっても、動きの連動によって自身のオブジェクトを発見できることを示している。一方、自身のオブジェクトを発見するときにオブジェクトの動きと操作者の視線の動きに関係性があるかは分かっていない。

[†] 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

¹ 検索エンジンの検索結果ページのこと

2.3 視線とカーソルの動きの関係性

視線とカーソルの動きの関係性を分析する研究が多くある[6, 7, 8, 9, 10]. Chen らは視線とマウスの動きに大きな相関があることを明らかにした[6]. smith らは決まった位置に出現するターゲットをクリックするとき、視線とカーソルの動きの関係性を調べた. 彼らは、視線とカーソルの動きの関係を以下の3パターンに分類した.

- 1) 視線がカーソルに追従しながらターゲットへ移動
- 2) カーソルが視線を追従しながらターゲットへ移動
- 3) 視線がターゲットとカーソルを往復

Huang らの研究では、ターゲットをクリックするまでの視線の軌跡とカーソルの軌跡における RMSE (Root Mean Square Error) を計算し、カーソルが視線を追従しながらターゲットに向かうことを明らかにした[7].

3. ダミーカーソル環境における視線計測実験

3.1 実験1：単一カーソル時の視線計測

Huang らの論文にある図(図1)では、視線がカーソルを中心視で見ることなくリンクをクリックしていた. このことから中心視を使わないでカーソルを発見し、操作できる可能性がある. しかし、Huang らはこのことに関して主張しているわけではない. そこで我々は、無作為な場所に出現するカーソルを発見し、そのカーソルでターゲットをクリックするときに、操作者の視線とカーソルの位置関係を調査した.

3.1.1 実験構成

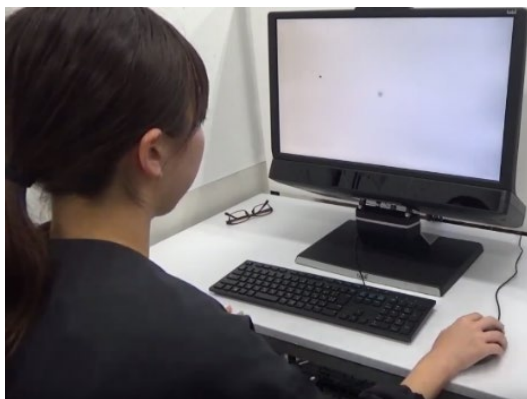


図2 実験の様子

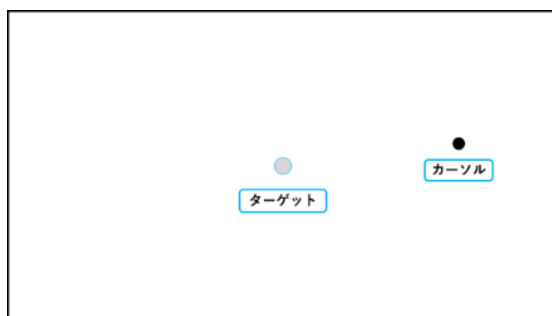


図3 実験アプリケーション

参加者がどのように無作為な位置に出現するカーソルを発見するかの実験を行った. 参加者は12名(男性5名, 女性7名)で、主にコンピュータサイエンスを専門とする大学生である. 彼らは正常な視力または矯正視力を持っており、全員右利きであった.

図3のように画面中央にターゲット、無作為な位置にカーソルをディスプレイに表示する. 参加者はそのカーソルで中央のクリックをする. 参加者はこのタスクを5セット試行した. このときディスプレイの大きさは23インチで、解像度は1920×1080(60Hz)であった.

実験アプリケーションは openFrameworks で実装しており、描画すると同時にカーソルの位置座標を60Hzで計測している. 視線計測には Tobii TX-300 Eye Tracker (計測精度0.4度)を使用し、300Hzで視線の位置座標を計測する. このとき各々の位置座標を取得するサンプリング周波数が違うため、視線とカーソルの位置座標を直接比較することができない. Huang らは元の視線のデータから、カーソルのデータと比較できるような視線の位置座標を計算している[7]. たとえば、あるカーソルのx座標と比較する視線のx座標を次のような計算式で求めている.

$$x_i = x_0 + (x_1 - x_0) \frac{t_i - t_0}{t_1 - t_0}$$

このとき t_i はあるカーソルの位置座標を取得した時間である. t_i の直前に取得した視線のx座標を x_0 とし、 t_i の直後に取得した視線のx座標を x_1 としている. また、取得した時間をそれぞれ t_0 , t_1 としている. この計算をy座標でも用いて、あるカーソルを取得した時間の視線の位置座標を求めることができる. 本稿では、この計算で求めた視線の位置座標と計測したカーソルの位置座標を比較した.

また参加者がカーソルまたはターゲットを中心視で見ているのか周辺視で見ているのかを明らかにするために、中心視野の範囲を求めた. 中心視野は視角が約1~2°の範囲であることが分かっている. 目からディスプレイまでの距離を ℓ とすると、ディスプレイ上での中心視野は視線から最大 $\ell \times \tan 2^\circ$ の範囲であることが分かる. またアイトラッカーの計測精度が0.4°であるため、計算誤差が $\ell \times \tan 0.4^\circ$ 起こる. さらに固視微動による誤差も起こる. 固視微動は、最大瞬間角速度が1°になるランダムな運動である[14]. これをTobii TX-300で検出できる1/300秒あたりに換算すると最大約0.003°になる. これら誤差を含めると、アイトラッカーで取得した視線から $\ell \times \tan(2 + 0.4 + 0.003)^\circ$ 内に中心視野が存在する. これを実験1の環境(目からディスプレイまでの距離60cm, ディスプレイサイズ23インチ, ディスプレイ解像度1920×1080)に当てはめると、誤差を含めた中心視野の範囲は視線から約99pxとなる. 今回は、視線から99px以内にカーソルまたはターゲットがあるとき、それらを中心視で見ているとした.

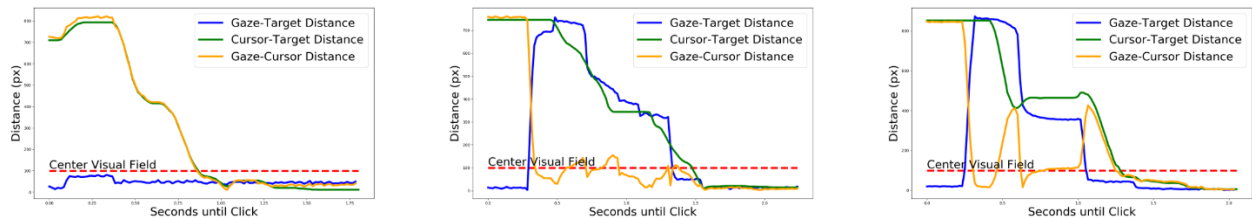


図4 実験1の視線、カーソル、ターゲットのそれぞれの距離

左から「1) 常にターゲットを凝視」、「2) 常にカーソルを凝視」、「3) カーソルを一瞥してすぐにターゲットを注視」

表1 実験1における参加者ごとのパターンの使用数

Participant	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	All
Number of Pattern1	3	5	0	0	0	3	0	2	0	5	0	5	23
Number of Pattern2	0	0	5	3	0	0	1	0	0	0	0	0	9
Number of Pattern3	2	0	0	2	5	2	4	3	5	0	5	0	28

3.1.2 結果

実験で取得したデータから、「1. 視線とターゲットの距離」、「2. カーソルとターゲットの距離」、「3. 視線とカーソルの距離」を求め、図4に示した。我々は、このデータと図から視線の動きを以下の3パターンに分類した。

- 1) 常にターゲットを注視
- 2) 常にカーソルを注視
- 3) カーソルを一瞥してすぐにターゲットを注視

1) 常にターゲットを注視

パターン1のとき、常に視線とターゲットの距離が99px以下になる。つまり視線がターゲットを常に注視しているのだ。このとき、タスクスタート時は視線とカーソルの距離が99px以上離れているにもかかわらず、時間が経つごとにカーソルとターゲットの距離が小さくなっていく。このことから、パターン1のとき参加者は、カーソルを中心視で見なくても、カーソルを発見・操作していることが分かる。

2) 常にカーソルを注視

パターン2のとき、1秒足らずで視線とカーソルの距離が99px前後になる。このときに参加者はカーソルを中心視で見ていることが分かる。そのあと視線とカーソルの距離を保ち続けながら、視線（カーソル）とターゲットの距離が小さくなっていく。つまり、視線でカーソルを注視しながらターゲットに移動しクリックしていることを表している。

3) カーソルを一瞥してすぐにターゲットを注視

パターン3の場合は、視線とカーソルの距離が99px以下になったあと、約1秒で視線とカーソルの距離が大きくなっている。これは一瞬カーソルの位置を識別したあと、

カーソルを中心視で見ることなく操作していることを示唆している。

また参加者ごとのパターンの使用数を表1に示した。5回とも同じパターンを使う参加者もいたが、複数のパターンを使う参加者もいた。一方、パターン1とパターン2を併用する参加者はいなかった。

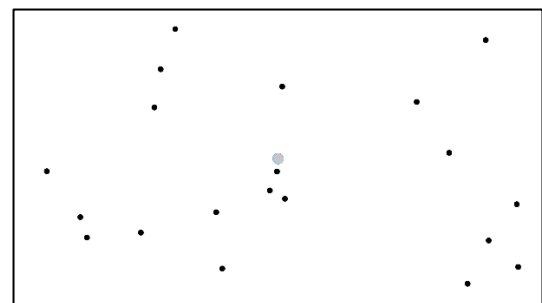


図5 実験アプリケーション

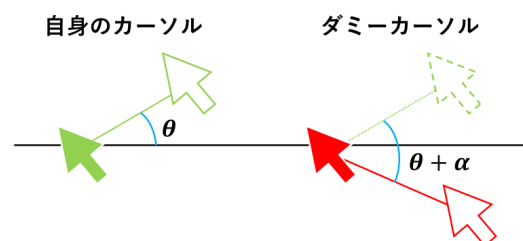


図6 ダミーカーソルの動きの設計
塗りつぶし矢印：移動前のカーソル
白抜き矢印：移動後のカーソル

3.2 実験2：マルチダミーカーソル時の視線計測

次に、マルチダミーカーソル実験と同じ複数のカーソルから自身のカーソルを発見するときの視線とカーソルの位置関係を分析し、発見パターンを定性的に測定する。

3.2.1 実験アプリケーションの設計

実験2では実験1と同じアプリケーションを使用する。さらに、自身のカーソルだけでなく複数のダミーカーソルを表示し、渡邊らのマルチダミーカーソル実験と同じ画面を左右上下にループする Torus desktop[13]にした。

ただし、ダミーカーソルの動きは先行研究[1]とは異なる。渡邊らは事前に実験者が操作したカーソルの軌跡ログデータをひとつひとつ記録し、その軌跡ログデータを同時に再生することで複数ダミーカーソルを表示していた。この方法は、軌跡データに実験者の意図や操作の特徴が入り込む可能性がある。そこで今回は、ダミーカーソルの動きをコンピュータアルゴリズムで自動生成した。これによって、ダミーカーソルが実験者の意図した動きや特徴的な動きを排除できる。ダミーカーソルの動きの設計は次の通りである。ダミーカーソルは、自身のカーソルと異なる方向でかつ同じ移動量で進む(図6)。たとえば自身のカーソルが角度 θ の方向に10px進んだときに、ダミーカーソルは角度 $\theta + \alpha$ ($30^\circ < \alpha < 330^\circ$)の方向に10px進むようになっている。

3.2.2 実験構成

実験1と同じ参加者に実験を行った。参加者は、複数のダミーカーソルの中から自身のカーソルを探し出し、そのカーソルでターゲットをクリックする。自身のカーソルでターゲットをクリックしたら成功とし、ダミーカーソルでターゲットをクリックしたら失敗とした。自身のカーソルを含むカーソル数は5, 10, 20の3パターンで、参加者は各々5回ずつタスクを行った。

3.2.3 結果

正答率や平均クリア時間を表2にまとめた。カーソル数が増えると正答率が下がり、平均クリア時間が長くなった。多くの参加者は10秒以内にタスクをクリアしていた。一方、カーソルが20つのときは20秒以上時間がかかる参加者もいた。

さらに我々は、クリアしたときのログデータから視線とカーソルの動きをアニメーション化し、ターゲットクリックまでの動きの関係を観察した。その結果から、我々は複数ダミーカーソルの中から自身のカーソルを発見するプロセスを以下の3パターンに分類した。

- 1) 自身のカーソル視線追従移動操作(図7)
- 2) 自身のカーソル見ず移動操作(図8)
- 3) 自身のカーソル瞬間確認操作(図9)

表2 正答率や平均クリア時間

Number of cursors	5 cursors	10 cursors	20 cursors
Median time (s)	3.7	4.4	7.1
SD of time (s)	2.4	2.7	5.2
Success ratio	93%	85%	77%

表3 カーソルごとのパターンの使い分け

Number of cursors	5 cursors	10 cursors	20 cursors
Number of Pattern 1	42	39	42
Number of Pattern 2	6	3	1
Number of Pattern 3	5	6	2
Number of the other	3	3	1

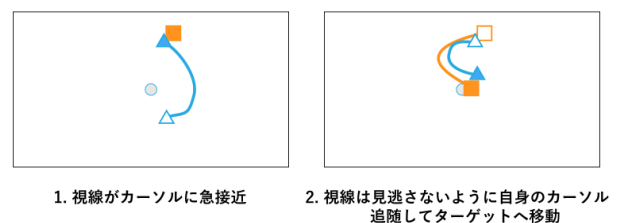


図7 自身のカーソル視線追従移動操作

△：視線の始点。▲：視線の終点。
□：カーソルの始点。■：カーソルの終点。



図8 自身のカーソル視線追従移動操作

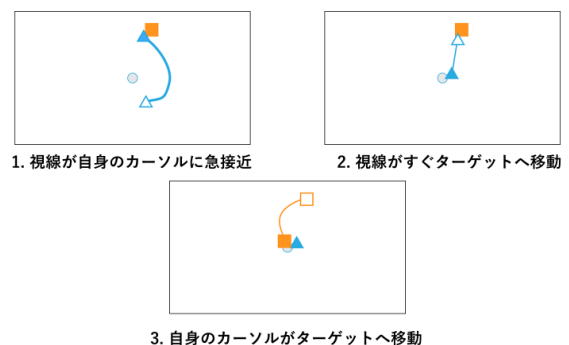


図9 自身のカーソル瞬間確認操作

1) 自身のカーソル視線追従移動操作 (図 7)

図 7 に示すようにダミーのカーソルの中から自身のカーソルを発見すると、そのカーソルへ視線を向け、見逃さないように追従させながら、ターゲットへ視線とカーソルを移動させた。

2) 自身のカーソル見ず移動操作 (図 8)

図 8 に示すように、視線は自身のカーソルに一切向かず、突然ターゲットの方向へ自身のカーソル動かす。

3) 自身のカーソル瞬間確認操作 (図 9)

図 9 に示すように、ダミーのカーソルの中から自身のカーソルを発見すると一瞬、自身のカーソルに視線を移動させるが、直後には視線はターゲットに向かい、その後自身のカーソルがターゲットに向かう。

また、ダミーのカーソル数ごとのパターンの使い分けを表 3 に示す。単一のカーソルのときと同じく中心視でカーソルを見ることなく、自身のカーソルを発見している参加者がいた。カーソル数が増えるごとにパターン 2 を使用する回数が減っていった。視線がカーソルを追従するパターン 1 が最も多く観察された。しかし我々は、この追従によって自身のカーソルを発見しているのではなく、その前に発見していると考えている。このことについては後ほど考察する。

4. 考察

本研究ではマルチダミーカーソル実験において、アイトラッカーを用いて、複数ダミーカーソルの中から自身のカーソルの発見プロセスについて 2 つの実験を行った。1 つ目の実験は、Huang らの論文にある図が自身のカーソルを注視せずともターゲットをクリックしているデータを示していることから、我々はその確認実験を行った。この確認実験を行ったのは、複数のダミーカーソル中の自身のカーソル視線を計測する場合に、注視せずとも発見しているとなれば、アイトラッカーでは発見のプロセスを可視化できない可能性があるためである。実験の結果、操作者はターゲットをクリックするタスクに対して必ずしも自身のカーソルを見ないことを確認した。ただし場合によって見る場合もあり今回の実験ではパターンは 3 つとした。

実験 2 では複数のダミーカーソル中において自身のカーソル発見とターゲットクリックまでの視線と自身のカーソル軌跡の関係を可視化、アニメーション化し分析を行った。その結果、今回は自身のカーソル発見には 3 つのパターンがあることを確認した。

4.1 カーソルは周辺視で発見し操作する可能性について

実験計画以前では、アイトラッカーを用いることでダミーカーソル中の自身のカーソルの発見プロセスを可視化できると考えていた。しかしながら、図 1 が示してきたように、一般的な GUI 環境において操作者は自身カーソルでは

なくターゲットを見て操作するデータがあることから、中心視を利用せずにカーソルの操作を行っている可能性を解釈した。アイトラッカーは視線を計測するため中心視の計測となる。周辺視で発見するとなれば、中心視の周辺で発見できたという計測はできたとしても、厳密な発見位置を特定することができない。実験 1 では、図 1 が示したようなカーソルをまったく直視しないでターゲットをクリックしたことが確認した。このことは、複数ダミーカーソル実験においても、自身のカーソルを直視せずに周辺視でも発見できる可能性を示した。

したがって、これはアイトラッカーを用いて複数ダミーカーソル中の自身のカーソル発見を計測することの困難さを示した。

4.2 ダミーカーソル中の自身のカーソル発見プロセス

実験 2 では、実験 1 の単一カーソル時とは発見のプロセスや戦略が異なる可能性はあった。しかし、実際に実験 2 の結果は、パターンあることを示すに留まった。表 3 から視線追従移動のパターンが多数見られることは分かるが、操作者の中には周辺視で自身のカーソルを捉えているパターンもある。具体的にアニメーションやグラフにすると、ある操作者は視線位置と自身のカーソル位置が遠く離れていたにもかかわらず、瞬時に自身のカーソルに視線を移動したパターンがあった。これが示すのは、まず周辺視によって自身のカーソルに気づき、その後に自身のカーソルを中心視で見て、自身のカーソルであるかの確認を行った可能性である。

したがって今回の実験からは、具体的にどう発見しているのかという複数ダミーカーソル中の自身のカーソル発見の一意的なモデルを明らかにできなかった。しかしながら、図 10 に示す実験結果のデータ (代表的な例) からダミーカーソル中の発見プロセスについて次の 4 ステップに分けられると考える。

- 1) 探索 : 全体を見渡してカーソルを探す
- 2) 気づき : 自身のカーソルに気づく
- 3) 確認 : 視線がカーソルを追従する
- 4) クリック : カーソルをクリックする

この 4 ステップは、4 のクリックのみ明確に計測できるが 3, 2, 1 となるほどに、そのステップの境界は曖昧になる。これは周辺視を使用することがあることが原因である。しかしながら、操作者によっては、一瞬だけ自身のカーソルに視線を向ける場合があることや、視線を追従させることもあるため、3 のステップは特定できることも多い。しかし特に 2 については、今回の実験手法では明らかにすることができないが、3 の確認の前の状態で、徐々に自身のカーソルの位置に視線が近づくことがあり、このプロセスで「気づき」があったと考えることはできる。

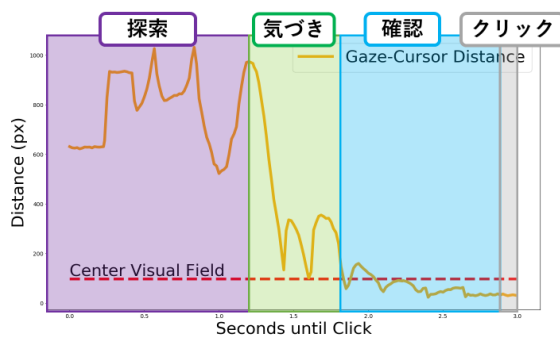


図 10 視線とカーソルの距離から見える
発見プロセスの分類

4.3 有効視野を活用した探索方法

ここでは 4.2 で述べた発見プロセス「1) 探索」について考察する。

実験 1, 2 から、中心視で見なくても自身のカーソルを発見し、操作できることが分かった。このことから我々は、参加者が周辺視でカーソルを発見・操作していると考察する。周辺視は中心視より動きに敏感であり、広い範囲から情報を得ることができる[16]。つまり、自身のカーソルの発見に必要なカーソルの動きを感知しやすく、同時に複数のカーソルの動きを確認できることを示唆している。この特性から、ダミーカーソル環境では周辺視を意識した探索方法が効率的な可能性がある。

また、周辺視を使った探索モデルは、「a) 視線を動かしながら探索」、「b) 視線を動かさずに全体をまんべんなく見渡して探索」の 2 パターンが考えられる。実験 2 では、パターン a を用いる参加者が多かった。しかし、パターン b の方がカーソルを即座に発見できる可能性がある。その理由として有効視野[15]がある。有効視野とは、周辺視の中でも比較的解像度が高い部分のことである。この有効視野は場合によって範囲が変化することが分かっている。たとえば混雑した道路を運転しているとき、運転手の有効視野は狭くなり、同時に注視線が迅速に動く。これは目の前のものひとつひとつを深く見ようとするため、各瞬間の有効視野が狭くならざるを得ないためである。逆に、視線を動かさずあまり注意せずにいると有効視野の範囲が広がる。これらのことから、有効視野が広いパターン b の方が短い時間でカーソルを発見できると考えている。

5. おわりに

本研究では、アイトラッカーを用いて操作者が自身のカーソルを発見するプロセスを調査した。単一のカーソル時とマルチダミーカーソル時での視線とカーソルのログデータを分析し、中心視を使わないで自身のカーソルを発見していることが分かった。これは周辺視で発見していること

を示唆していると考えている。そのため今回の実験では、発見プロセスの特徴については考察できたものの、操作者が自身のカーソルを探索する中で、いつどこで自身のカーソルに気づき発見したかを明確にモデル化することはできなかった。そしてこの結果は、ダミーカーソル環境ではアイトラッカーでの自身のカーソルを発見した瞬間を捉えることが困難であることも示唆した。

参考文献

- [1] 渡邊恵太, 樋口文人, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: 複数ダミーカーソル中における自分自身のカーソル特定. 情報処理学会インタラクション 2013, (2013)
- [2] Keita Watanabe, Fumito Higuchi, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. CursorCamouflage: multiple dummy cursors as a defense against shoulder surfing. SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies, (2012)
- [3] SymmetricCursors: 対称的に動くダミーカーソルによる入力操作の隠蔽. 情報処理学会 インタラクション 2013, (2013).
- [4] A. D. Luca, E. von Zezschwitz, L. Pichler, H. Hussmann: Using fake cursors to secure on-screen password entry. ACM CHI 2013, pp. 2399-2402, (2013).
- [5] 齊藤寛人, 福地健太郎: 能動的回転操作における自己帰属感の生起過程の分析. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22 No. 1, 81-90, (2017)
- [6] Chen, M. C., Anderson, J. R., and Sohn, M. H: What can a mouse cursor tell us more?. correlation of eye/mouse movements on web browsing. CHI Extended Abstracts, 281-282, (2001)
- [7] Jeff Huang, Ryan White, Georg Buscher: User see, user point: gaze and cursor alignment in web search. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May 05-10, (2012)
- [8] K. Rodden and X. Fu: Exploring how mouse movements relate to eye movements on web search results pages. Workshop on Web Information Seeking and Interaction at SIGIR 2007, 29-32, (2007).
- [9] Kerry Rodden, Xin Fu, Anne Aula, Ian Spiro: Eye-mouse coordination patterns on web search results pages, CHI 2008 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, April 05-10, (2008)
- [10] Barton A. Smith, Janet Ho, Wendy Ark, Shumin Zhai: Hand eye coordination patterns in target selection. Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications, p.117-122, November 06-08, (2000)
- [11] Qi Guo, Eugene Agichtein: Towards predicting web searcher gaze position from mouse movements, CHI 2010 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, April 10-15, (2010)
- [12] Daniel J. Liebling, Susan T. Dumais: Gaze and mouse coordination in everyday work: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication, September 13-17, (2014)
- [13] Huot, S., Chapuis, O., and Dragicevic, P. TorusDesktop: pointing via the backdoor is sometimes shorter. ACM CHI 2011. p. 829-838, (2011).
- [14] NTT 技術ジャーナル: 固視微動とは何ですか?, Vol. 16, No. 10, (2004)
- [15] 三浦利章: 視覚的注意と安全性—有効視野を中心として—照明. 82(3), 180-184, (1998)
- [16] 福田忠彦: 運動知覚における中心視と周辺視の機能差. テレビ誌, 33, 6, pp.479-484, (1979)