

頭部動作が困難な重度障害者のための 眼球運動のみによる目入力装置の開発

大藪 勇希[†] 高野 博史[†] 中村 清実[†]

[†] 富山県立大学大学院 工学研究科 知能デザイン工学専攻 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180

E-mail: †toyabu@neu.pu-toyama.ac.jp, ††{takano,nakamura}@pu-toyama.ac.jp

あらまし 従来の目位置情報を利用した目入力装置は、主に頭部動作を伴った入力装置であり、頭部が動かせない重度障害者にとっては扱いが難しい。一方、頭部動作の必要のない視線入力装置もあるが、計測した視線方向の補正を行うためのキャリブレーションが必要であり、操作の煩わしさがある。本研究では、頭部動作が困難な患者に対して、瞳孔の位置情報を用いて PC のマウスカーソルを操作する目入力装置を開発した。瞳孔の相対的な移動量を利用することで、頭部動作やキャリブレーションが不要なマウスカーソル制御を可能とした。本目入力装置の操作性を評価するために、クリック実験とユーザビリティ評価を行った。実験結果より、操作にかかる時間は使用回数を重ねるごとに短くなり、学習効果が見られた。更に、各設定値が操作性において重要であることが明らかとなった。

キーワード マウスカーソル制御、瞳孔検出、筋萎縮性側索硬化症

1. はじめに

近年、インターネットなどの情報伝達技術の発展、パソコンの普及が進み、誰もがどんな場所でも容易に情報交換が行える時代となった。また、一般家庭での使用増加に伴い、パソコンを容易に操作するためのインタフェースも発達してきた。しかし、マウスやキーボードなど、一般的に使用されるインタフェースは、どれも手を使って入力する接触型の装置であり、手を動かすことが困難な人に対しては使用が難しい。

そこで、手を使わずにパソコンの入力や操作ができる入力装置の開発が行われており、その内の 1 つとして目を使った目入力装置が挙げられる [1]~[6]。従来の目を利用した入力方法には、黒目(虹彩+瞳孔)の位置を検出してその位置の動きで操作する手法や、視線方向を検出して操作する手法がある。しかし、従来の目の位置を利用した目入力装置では、主に頭部動作を伴ってカーソルを操作するため、筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) など筋力低下によって手以外にも頭や体の殆どが動かせない重度障害者に対しては、扱いが難しい問題がある。一方、頭部動作の必要のない視線入力装置では、計測した視線方向の補正を行うためのキャリブレーションが必要であり、操作の煩わしさがある。

本研究では、頭部動作が困難な患者に対して、視界が遮らない遠方からカメラ撮影を行い、患者が頭部移動させることなく眼球の動きのみでパソコンのマウスカーソルを操作できる目入力装置を開発した。また、在宅療養者の使用や病室内での使用を想定し、装置の設置や設定が容易で、キャリブレーションなどの特殊な設定を必要としないマウスカーソル操作法を開発した。

本論文では、瞳孔検出法及びマウスカーソルの操作方

法について述べた後、操作実験とユーザビリティ評価の結果について述べる。

2. 目入力装置の概要

本研究で用いる目入力装置の構成を図 1 に示す。視界を遮ることによるストレスの発生や目の疲労を避けるため、ディスプレイとカメラを遠方 (0.7~1.0m) に設置して使用する。なお、目による入力操作は片方の目のみを用いる。また、眼球運動を捉えるために、カメラ撮影は片方の目のみをズームレンズによって拡大して撮影する。目入力装置には瞳孔と虹彩部分を区別するため、ユーザの目に近赤外光を照射し、レンズには短波長カットフィルタを装着する。近赤外照明用 LED として、浜松ホトニクス株式会社製「L7558」を用い、14 個を並列に並べたものを使用した。図 2 に近赤外照明用 LED の外観を示す。

ディスプレイは 17 インチのモニタを使用する。USB カメラは、株式会社アルゴ「USB2.0 カメラ (LU100M-WOIR)」を使用する。なお、本研究で使用するカメラの取り込み画像サイズは 640 × 480 pixels、フレームレートは 30 fps とする。

3. 瞳孔検出

本節では、パソコンに取り込んだカメラ映像の目の情報から、瞳孔を検出する方法を述べる。この検出方法では兼松らの提案した手法 [7] を利用する。この手法は、2 値化された画像中から黒画素の塊である瞳孔を検出する。その後、その楕円の中心を求め、瞳孔中心とする。以下に 2 値化、瞳孔中心位置の検出の順に瞳孔検出の流れを簡潔に述べる。

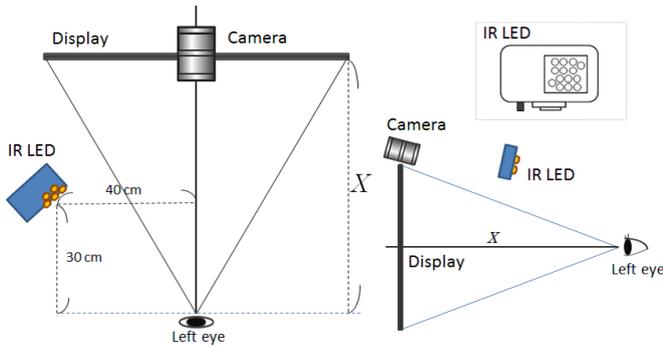


図 1 目入力装置の構成

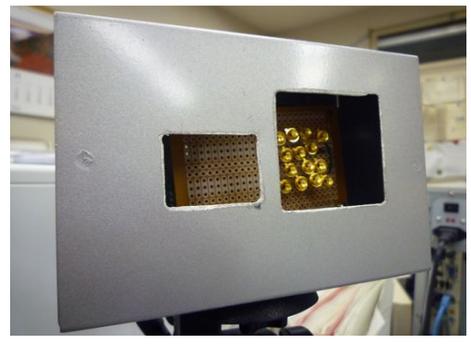


図 2 近赤外照明装置

3.1 2 値 化

瞳孔検出は、2 値化処理を行った画像を用いて行う。図 3 に 2 値化領域を示す。2 値化する領域は、瞳孔が検出される前は画像上の固定した領域 (400 × 200 pixels) とする。次に、瞳孔が検出されると、2 値化に要する計算量を減らすため、瞳孔中心を基準に、200 × 200 pixels の領域のみを 2 値化する。

3.2 瞳孔中心位置の検出

瞳孔検出は、2 値化した画像中の黒画素情報を用いて行う。図 4 に連続した黒画素の探索方法を示す。まず、2 値化領域において、x 軸方向に黒画素が連続する場所を特定する。この時、連続した白画素が 4 pixels 以上存在した場合は黒画素の連続が途切れたとみなす。探索ライ

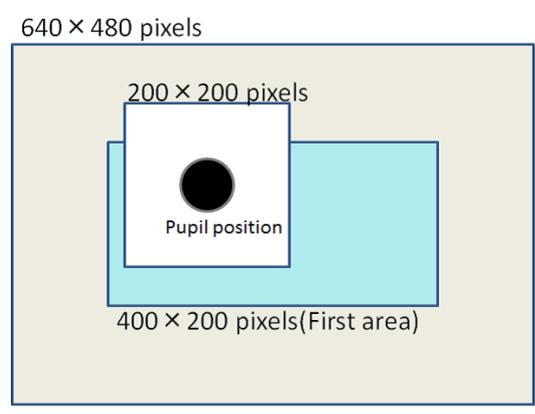


図 3 瞳孔中心を基準とした 2 値化領域

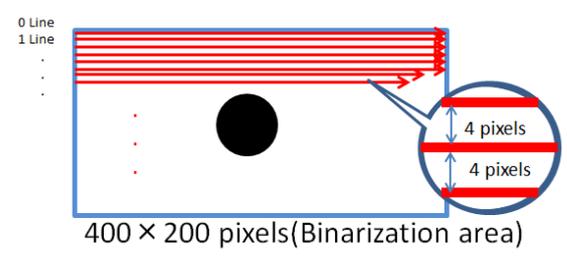


図 4 黒画素列探索方法

ン上に存在する 10 pixels 以上の黒画素列の中から黒画素連続数が多い上位 2 つの開始位置、終了位置、ライン番号を保存する。この操作を、垂直方向に 4 pixels ずつ下降しながら最下部まで探索する。なお、探索した黒画素の連続成分を黒画素列と呼ぶものとする。次に、黒画素列をクラスタリングし、各クラスにおける黒画素列の特徴から瞳孔クラスを特定する。以下に、黒画素列のクラス分けと瞳孔クラスの特定について詳しく述べる。

3.2.1 黒画素列のクラス分け

各黒画素列の情報から黒画素の塊となる部分を条件に従ってクラス分けを行う。クラス分けは、黒画素列の中心座標の位置を指標として行う。クラス分けの手順を以下に示す。

- (1) 黒画素列 A を 1 つのクラスに属させる。このとき、他の黒画素列をこのクラスに属させる条件として、ある黒画素列 B の x 軸中心座標 C_B が、 $C_A - (L_A / 4) \leq C_B \leq C_A + (L_A / 4)$ であることとする。この条件を連結範囲条件と呼ぶ。ただし、 C_A は黒画素列 A の x 方向の中心座標、 L_A は長さとする。
- (2) クラスに新しい黒画素列が属した場合、クラスの連結範囲条件はその新しく属した黒画素列の連結範囲条件に更新する。
- (3) ただし、黒画素列 X の x 軸中心座標 C_X がクラス Y の連結範囲条件を満たした場合であっても、クラス Y 内で連結範囲条件を算出した黒画素列と、黒画素列 X が垂直方向に 3 ライン (12pixels) 以上離れていればクラス Y には属さない。
- (4) 全ての黒画素列について (1) ~ (3) の処理を行う。

3.2.2 瞳孔クラスの特定

瞳孔クラスとノイズクラスを判別した例を図 5 に示す。作成されたクラス群から、瞳孔と思われる瞳孔クラス、瞳孔の特徴を持たないノイズクラスを判別する。瞳孔クラスとする条件を以下に示す。

- クラス内の黒画素列数が 7 本以上および 25 本以下。
- クラス内の黒画素列について、その中心座標の標準偏差が一定値以内。
- クラスの縦横比 (クラスの縦の長さ / クラスの横の長さ) が一定範囲内。

瞳孔クラスが見つかったら、その瞳孔クラスの中心座標を仮瞳孔中心とする。中心座標は、クラスの横の長さの

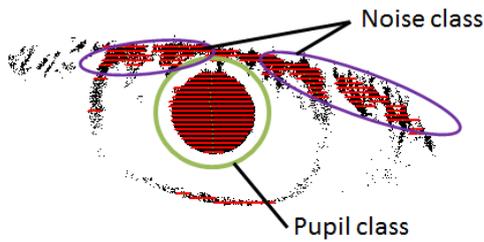


図 5 瞳孔クラスとノイズクラス

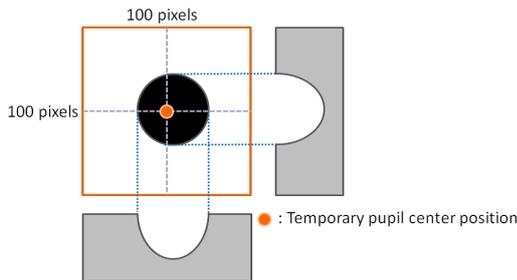


図 6 白画素の総和ヒストグラム

中心を仮瞳孔中心の x 座標，縦の長さの中心を仮瞳孔中心の y 座標とする．クラスの縦の長さは，クラスの保持する黒画素列数が N 個のとき $N \times 4$ となる．クラスの横の長さは，クラスの黒画素列数が奇数の場合，上から数えて $(N/2)-0.5$, $(N/2)+0.5$, $(N/2)+1.5$ 番目の黒画素列の長さの平均とする．黒画素列数が偶数の場合，クラスの横の長さは，上から数えて $N/2$, $(N/2)+1$ 番目の黒画素列の長さの平均とする．その後，正確な瞳孔中心を求めるためにヒストグラムを用いて中心補正を行い，瞳孔中心位置とする．

仮瞳孔中心を基準とした白画素の総和ヒストグラムを図 6 に示す．黒画素列情報から計測した仮瞳孔中心位置を基準に， 100×100 pixels の領域で， x 軸， y 軸それぞれに対して白画素の総和ヒストグラムを作成し，白画素の総和が最小の位置を計測する．しかし，ヒストグラムにはノイズが多く残っているため，最小値が常に瞳孔中心と一致するとは限らない．そこで，ヒストグラムの形状を最小 2 乗法を用いて 2 次曲線近似を行う．この 2 次曲線の頂点を瞳孔中心とする．以上の操作により，画像中の瞳孔中心を求める．

本研究では瞳孔クラスが見つかった場合を開眼状態，一方，見つからない場合を閉眼状態とした．

4. マウスカーソル制御アルゴリズム

瞳孔の相対的な移動量から，マウスカーソルを制御する方法を提案した．以下にマウスカーソル制御アルゴリズムについて述べる．

4.1 マウスカーソル移動制御

マウスカーソルの移動制御は，ある位置に定められた

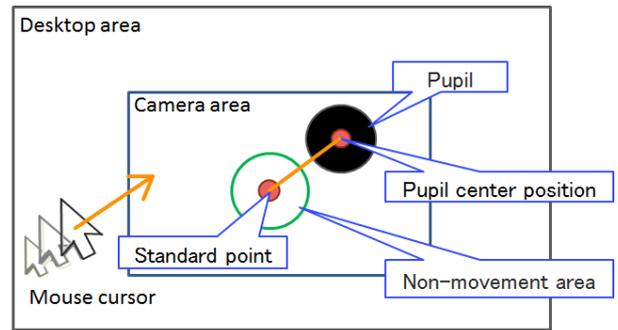


図 7 マウスカーソル移動制御

基準点から現在の瞳孔中心位置へ向かう線分の方向を移動方向，距離を移動速度に換算して行う制御法である．図 7 にマウスカーソル移動制御法の概要を示す．基準点周辺部分には，基準点を中心とした円形の不感帯と呼ばれる領域が存在する．基準点位置から瞳孔中心位置までの距離が，この不感帯領域内にある場合，マウスカーソルの移動を行わない．すなわち，目位置が基準点から不感帯領域よりも外側に位置する場合，マウスカーソルは移動し続け，不感帯領域よりも内側に位置する場合，マウスカーソルは静止し続ける．この制御方法では，不感帯の外側に目位置を出すだけでカーソルが移動し続けるため，目の大きな移動を必要とせず，画面隅々までカーソルの移動が行える利点がある．よって，わずかな目の動きによる眼球運動での操作に適している．

4.2 マウスカーソル停止動作

4.2.1 一時的な停止動作

マウスカーソルの停止は，ユーザがカーソルを停止したいと意識した瞬間に停止できることが重要となる．カーソルを停止させたいと意識してから，実際にカーソルが停止するまでにタイムラグが発生する場合，停止したい位置にカーソルを停止させることが困難となり，操作性が低下する．そこで本目入力装置では，瞬時に行える閉眼動作をマウスカーソルの一時的な停止動作とした．マウスカーソルは，閉眼を行うと同時に停止し，閉眼中は停止し続ける．

4.2.2 基準点移動動作

閉眼によって，マウスカーソルを瞬時に停止させることが可能となった．しかし，停止位置やディスプレイ画面を確認するためには開眼する必要があり，開眼することによりカーソルは再び動き出してしまう．そこで，開眼を行った場合でもカーソルを停止状態にしておく処理として，基準点を開眼後の瞳孔中心位置に移動させる機能を導入した．基準点が開眼後の瞳孔中心位置に移動することによって，瞳孔中心位置が不感帯領域内に存在することとなるため，カーソルは開眼状態でも停止したままとなる．また，意図しない頭部の位置ずれが生じた場合でも，基準点を開眼後の瞳孔中心位置に移動することで，瞳孔検出範囲内であればカーソルの操作が可能とな

る．基準点を移動させる方法を以下に示す．

- 基準点を移動させる動作のトリガーとして，一定時間以上の閉眼を行う．これは，自然の瞬きと区別するためである．閉眼時間は，1秒（初期値）とする．この動作が完了すると，マウスカーソル制御を一時的に無効とし，それを知らせるための音を鳴らす．

- 開眼して瞳孔検出が再び行われてから N 秒後の瞳孔中心位置に基準点を移動させる．基準点移動後，無効としていたマウスカーソル制御を有効にし，移動したことを知らせるための音を鳴らす．

開眼後の瞳孔検出時から基準点が移動するまでの N 秒間は，マウスカーソル制御を一時的に無効としているため，カーソルが動かないようになっている．また，基準点は N 秒経過と同時に移動し，ユーザはそれまでにカーソルを注視する方式とする．カーソルを注視する理由として，以下の利点がある．

- カーソルを注視した時の瞳孔中心位置に基準点が移動するので，カーソルを注視した状態のままカーソルは停止し続け，カーソルを見失ってしまうといった事態を回避できる．

- カーソルを注視した位置が基準点となるため，そこから再び動かしたい方向に視線を動かすことで，カーソル移動が行える．

4.2.3 基準点移動のタイミング

基準点移動に N 秒間のタイムラグを設ける理由を次に述べる．閉眼状態から，目を開けてカーソル位置を注視する場合，多少の時間を要する．そこで，基準点を移動する時間を少し遅らせる必要がある．目を開けた瞬間に基準点が移動してしまえば，カーソル位置を確認する前に基準点が瞳孔中心位置に移動してしまい，開眼後のカーソル停止動作が上手くいかない場合がある．その対策として，目を開けて瞳孔検出が行われてから基準点が移動するまでに N 秒間のタイムラグを設けた．初期値は 1 秒とし，ユーザが任意に変更できるものとした．

4.2.4 カーソル移動から停止までのまとめ

本節で述べたカーソルが目的の位置に移動した後にを行う一連の動作と処理の流れを以下に示す．また，この流れをカーソル移動動作から順に図 8(a)～図 8(d) に示す．

(1) カーソルが目的の位置に移動したら閉眼を行い，カーソルを一時的に停止（図 8(b)）．

(2) 一定時間以上の閉眼動作（図 8(b)）．

動作が完了すると，カーソル制御を無効とし，音を鳴らす．

(3) 開眼後カーソルを注視（図 8(c)）．

(4) 基準点が移動（図 8(d)）．

その後，カーソル制御を有効にし，音を鳴らす．

本論文では，これら（1）～（4）の動作を今後，基準点移動動作と呼ぶ．

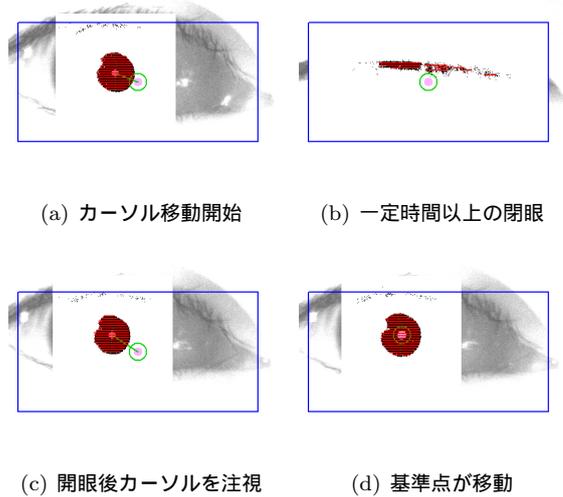


図 8 カーソル操作の流れ

4.3 クリック制御動作

4.3.1 停留クリック動作

基準点移動動作に閉眼動作を用いるため，クリック制御動作は，一定時間同じ位置に瞳孔中心位置が停留していればクリックとする停留方式を用いた．本目入力装置では，停留と見なす範囲を不感帯領域と同一とした．更に，クリック動作完了時は，音を鳴らすことで停留動作の完了を知らせるものとした．

4.3.2 クリック動作のタイミング

マウス操作を行う流れは通常，クリックしたい目的の位置までマウスカーソルを移動させた後，カーソルを停止させ，クリックを行う．よって，カーソル移動後に基準点を移動させた直後から，一定時間カーソルを停止し続けた場合に，クリック動作成立とする．

4.3.3 停留時間

クリックを行うための停留は，使用者によって最適な時間が異なる．停留時間が短すぎればクリック動作が容易となるが，同時に，意図しないクリックが行われる頻度も高くなる．停留時間は，初期設定値を 2 秒とし，ユーザが任意に変更できるものとした．

4.4 カーソル（移動，クリック）制御の無効化

クリックが完了した場合，カーソル移動は次にクリックしたい場所が現れるまで不要となる．また，長時間カーソルを停止させておきたい場合もある．そこで，クリック後はカーソル移動と停留クリック動作が機能しない「カーソル（移動，クリック）制御 OFF」状態に切り替える．再び「カーソル（移動，クリック）制御 ON」に切り替えて操作を行いたい場合は，一定時間以上の閉眼を行い，基準点を移動させる基準点移動動作を行う．

5. 操作設定パラメータ

本目入力装置のマウスカーソル制御方法において，ユー

ザが任意に変更できるパラメータが設けられている．以下に変更可能な 5 種類のパラメータについて述べる．

(1) 不感帯領域サイズ

不感帯領域サイズとは，基準点周りに存在する円形状の不感帯領域の半径である．初期値は 15 pixels とする．

(2) マウスカースル移動速度

マウスカースルの移動速度は，感度係数を変更して設定する．初期値は 100 とする．

(3) 基準点移動動作に用いる閉眼時間

基準点移動動作を行う際には，一定時間以上の閉眼時間で判定する．この閉眼時間の初期値は 1 秒とする．設定値が短い程，自然な瞬きでの誤動作が行われてしまい，設定値が長い程，操作にストレスが溜まる．

(4) 基準点移動動作における，開眼してから基準点が移動するまでの時間

この時間は，一定時間以上の閉眼後，開眼をしてからカーソル位置を探す時間として設けられている．初期値は 1 秒とする．

(5) 停留クリックのための目の停留時間

停留クリックを実行するために，目を一定範囲内に停留させる時間（停留時間）を設定する．停留時間が短いと，意図しないクリックが起きてしまい，長い程クリックに時間がかかってしまう．初期値は 2 秒とする．

6. 入力操作の評価実験

提案したマウスカースル操作方法の操作性を評価するため，操作性評価実験を行った．また，アンケートによるユーザビリティ評価を行った．操作性を評価するために用いたクリック実験画面を図 9 に示す．クリック評価実験用画面は，1~8 と書かれたボタン 8 つと，画面中央に位置する start ボタンの計 9 つのボタンで構成される．本研究で用いるカーソル移動方法は，基準点から現在の瞳孔中心位置の方向を用いるため，start ボタンを基準とした全方向のカーソル移動操作での評価とする．ボタン配置は，start ボタンを基準にそれぞれ均等に左右，上下，斜めの 8 か所の位置とした．

6.1 統一パラメータ操作性評価実験

クリック実験では，実際に被験者に目を動かしてマウスカースル操作を行ってもらい，各ボタンを順にクリックしてもらった．被験者は，健全な 20 代の男性 5 名である．実験は，start ボタンをクリックすることで実験開始とし，各ボタンを start, 1, start, 2, start, 3 と順にクリックしていく．最後に 8 ボタンのクリックを終えて計測終了とする．この時，各ボタンが押される間の時間をそれぞれ計測する．なお，実験を開始してから，最後の 8 ボタンをクリックして計測を終了するまでの動作を 1 試行とし，これを 1 日 3 試行，計 3 日間行う．クリック実験中では，目の状態が確認できるよう，クリック評価実験用画面を半透明化し，背景に目の状態と基準点を表

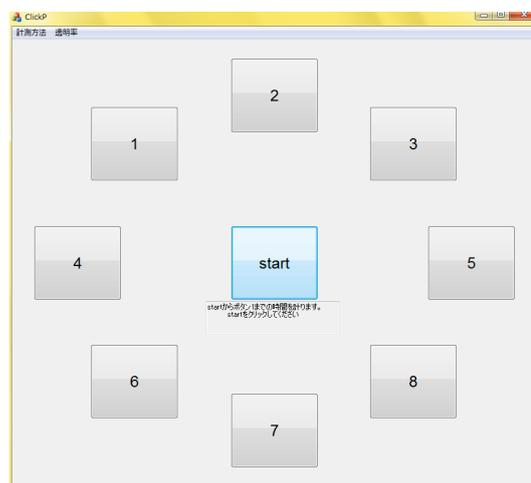


図 9 クリック評価実験用プログラムの実行画面

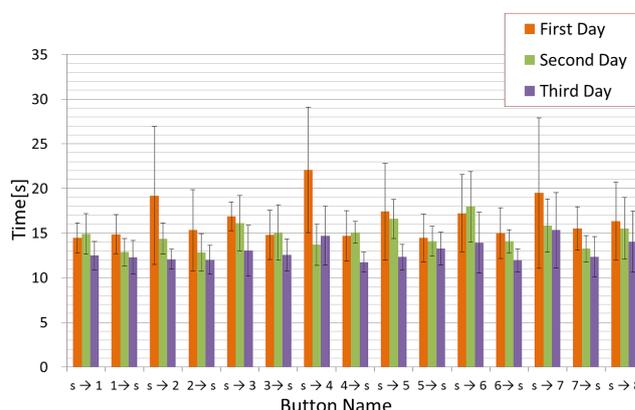


図 10 各ボタンをクリックするのに要した時間（統一パラメータ）

示する．また，操作設定パラメータはそれぞれ初期値に統一して行う．

6.2 統一パラメータの実験結果

実験日ごとにクリックに要した時間を比較した結果を図 10 に示す．図 10 は，被験者ごとに各ボタン間の 3 試行の平均時間を算出し，その後被験者 5 名の平均時間を用いて，平均値と標準偏差を算出した．なお，縦軸をクリックに要した時間とし，横軸は各ボタン間で時間計測した際のボタン名を示している．実験結果より，1 日目から 3 日目までの各ボタン間での経過時間を比較すると，各ボタン間の多くが使用回数を重ねるとともに短縮していることが分かる．

そこで，訓練が操作性に影響を与えるかを調べ，同時に，各ボタンの配置位置が操作性に影響を与えているかについて調べた．要因を使用日数と各ボタン間として，2 要因分散分析を行った．結果は，5 % 有意水準で使用日数についての主効果のみ有意差があった ($p < 0.05$)．次に，テューキーの多重比較を，1 日目と 2 日目，1 日目と 3 日目，2 日目と 3 日目の組み合わせで行ったところ，全ての組み合わせで，5 % 有意水準で有意差があるとい

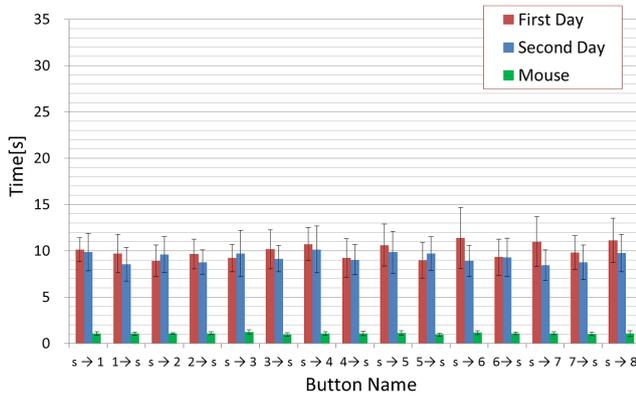


図 11 各ボタンをクリックするのに要した時間（個人パラメータ）

う結果となった。この結果より、操作の慣れによる操作時間の短縮（学習効果）があることが明らかとなった。

6.3 個人パラメータ操作性評価実験

クリック実験の4日目以降では、被験者ごとに使用しやすい操作性になるよう各パラメータの設定値を変更し、同様の実験を2日間行った。

6.4 個人パラメータの実験結果

設定値を変更した1日目と2日目と比較した結果を図11に示す。同時に、通常のマウス操作を手動で15試行を行った時のクリックに要する時間の平均と標準偏差を図11内に示す。

設定値を変更した1日目と2日目でも同様に、要因を使用日数と各ボタン間として、2要因分散分析を行った。結果は、どの要因も有意差がない結果となった。各ボタン間で要する時間は、設定値を変更する前と変更後で平均5.13秒短くなる結果となった。

これらの結果から、各パラメータの設定値が操作性において重要であることが明らかとなった。また、初期値で統一した設定値では、経験が操作性において重要であることが明らかとなった。通常のマウスでは、各ボタン間をクリックするのに1秒で行えるところ、本目入力装置では約10秒近く時間を要している結果となった。

6.5 ユーザビリティ評価

統一した設定値で実験を行った後、被験者に操作性を評価するための評価アンケートに回答してもらった。評価方法は、各項目に対して5を高評価とした5段階評価とした。評価アンケートの内容を以下に示す。また、被験者が4日目以降に変更した5つの設定値に関連した2-3, 3-2, 3-3, 4-2, 4-3項目については、5段階評価の後、どの程度設定値が適切だったか詳しく回答してもらった（アンケート内容の括弧で示した回答）。

- アンケート内容

（1：いいえ，2：どちらかといえばいいえ，3：どちらでもない，4：どちらかといえばはい，5：はい）

（1）使用について

- 1-1. 眼球運動で操作することに抵抗は無かった。
- 1-2. 長時間使用できると思う。

（2）カーソル操作について

- 2-1. カーソル制御は行いやすかった。
- 2-2. カーソル停止は、行いやすかった。
- 2-3. カーソル移動の速度は適切だった。

（・遅い・少し遅い・丁度良い・少し速い・速い）

（3）クリック動作について

- 3-1. 停留してクリックする方法は使いやすかった。
- 3-2. クリックされるまでの時間は適切だった。

（・短い・少し短い・丁度良い・少し長い・長い）

- 3-3. 不感帯領域の大きさは適切だった。

（・小さい・少し小さい・丁度良い・少し大きい・大きい）

（4）一定時間閉眼して目を開く動作について

- 4-1. 一定時間閉眼して目を開く動作は使いやすかった。
- 4-2. 一定時間閉眼する時間は適切だった。

（・短い・少し短い・丁度良い・少し長い・長い）

- 4-3. 目を開いてから、基準点が移動するまでの時間は適切だった。

（・短い・少し短い・丁度良い・少し長い・長い）

6.5.1 ユーザビリティ評価結果

ユーザビリティ評価結果を表1、表2に示す。眼球運動で操作することに抵抗が無かったという項目では、平均4.8と高評価であったが、長時間使用できるかという項目では2.6と低く、長時間の使用は難しいと考えられる。項目2-3では、全員が、カーソル速度は少し遅いと回答したため、初期値を速く設定しても問題ないと思われる。項目4では、各設定値は丁度良く、特に違和感なく操作できたと回答する被験者が多い結果となった。

7. おわりに

頭部動作が困難な患者に対して、視界を遮らない遠方からのカメラ撮影を行い、患者が頭部移動することなく眼球の動きのみでパソコンのマウスカーソルを操作で

表1 アンケート結果(a)

	項目	5段階平均
1. 使用について	1-1	4.8
	1-2	2.6
2. カーソル操作について	2-1	3.2
	2-2	4.8
	2-3	2.0
3. クリック動作について	3-1	3.6
	3-2	3.6
	3-3	4.0
4. 一定時間閉眼して目を開く動作について	4-1	4.6
	4-2	4.6
	4-3	4.2

表 2 アンケート結果 (b)

項目	詳細
2-3	少し遅い (5 名)
3-2	丁度良い (3 名), 少し長い (2 名)
3-3	少し小さい (1 名), 丁度良い (3 名), 少し大きい (1 名)
4-2	丁度良い (4 名), 少し長い (1 名)
4-3	丁度良い (4 名), 少し長い (1 名)

きる目入力装置を開発した。また、瞳孔の相対的な移動量を利用することでキャリブレーションが不要なマウスカーソル制御を可能とした。瞳孔中心をマウスカーソル移動制御の基準点とし、この基準点を任意のタイミングで任意の位置に移動することで、頭部動作を行わずに、マウスカーソルの停止動作や停留クリック動作が可能となった。また、意図しない頭部のずれにおいても、瞳孔検出範囲内であればカーソル操作が可能となるため、頭部動作を許容したマウスカーソルの制御法となった。

被験者 5 名で、本目入力装置の操作性評価実験とユーザビリティ評価を行った結果、統一パラメータでは、操作にかかる時間は使用回数を重ねるごとに短くなり、経験が操作性において重要であることが明らかとなった。更に、設定値を個人ごとに変更させて同様の実験を行ったところ、設定値を変更する前に比べて操作時間が平均で約 5 秒短くなった。この結果より、各設定値が操作性において重要であることが明らかとなった。

今後の課題として、ユーザビリティ評価の低かった項目を重点に、マウスカーソル制御の操作方法と、設定値を再検討する必要がある。

文 献

- [1] 望月潤一, 吉田寛, 根本徹, “ 終末位眼振 (end-point nystagmus) の強膜サーチコイル法による研究, ”北里医学会, no.28, pp.254-259, 1998 .
- [2] 久野悦章, 八木透, 藤井一幸, “ EOG を用いた視線入力インタフェースの開発, ”情処学論, vol.39, no.5, pp.1455-1462, 1998 .
- [3] 宮崎翔太, 高野博史, 中村清実, “ 目入力装置のための統計的テンプレートを用いたリアルタイム目検出, ”信学技報 MBE2008, no.126, pp.167-172, 2009 .
- [4] 海老澤嘉伸, 中島彩, 塗壁悠治, “ 2 波長光源による瞳孔検出, ”映像情報メディア学会誌, vol.60, no.12, pp.2019-2025, 2006 .
- [5] 大野健彦, 武川直樹, 吉川厚, “ 2 点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム, ”情処学論, vol.44, no.4, pp.1136-1149, 2003 .
- [6] 阿部清彦, 佐藤寛修, 大山実, “ 視線入力による重度肢体不自由者向けコンピュータ操作支援システム, ”映像情報メディア学会誌, vol.60, no.12, pp.1971-1979, 2006 .
- [7] 兼松真志, 高野博史, 中村清実, “ HMD のための眼球運動を用いた非接触型目入力装置の開発, ”信学技報 MBE2008, no.125, pp.163-166, 2009 .