

プロジェクト画像の影による遠隔ポインティングシステム

土江田 織枝*, 財原 ちひろ**, 林 裕樹*, 宮尾 秀俊***

Remote Pointing System using a Hand Shadow on a Projector Screen

Orie DOEDA*, Chihiro SAIHARA**, Hiroki HAYASHI*, Hidetoshi MIYAO***

Abstract

This paper proposes a hand shadow-based pointing system for a large projector screen and describes its development and evaluation. In the system, a dichroic mirror is used to adjust a cursor to the on-screen shadow of a fingertip based on the principle that a shadow created by a point light source cannot be seen from the source. A user has only to attach a reflection sheet to the fingertips of the index and middle fingers without attaching any other devices. By using fingertip shadows, the user can easily point all places of a large screen and can perform mouse operations.

Key word: スクリーン上の手の影, 赤外線, ポインティングシステム, ダイクロイックミラー

1. はじめに

講義などでパソコン画面をスクリーンに投影して使用する際, 一般的にはマウスやキーボードなどを使ってパソコンの操作を行う. そのため, スクリーン画面の内容をレーザーポインタや指示棒などで指示しながら説明を行っている場合には, その指示動作を一旦止めてパソコン操作を行う必要がある. このような操作環境では, 講演者の説明が途切れてしまうため, 聴衆にとっては説明内容がわかりにくくなるおそれがある. そこで, ユーザのスクリーン上の手の指示動作がそのままマウスのポインティング操作として反映されれば, 直接的なポインティング操作となるとともに, 講演者は余計な移動や中断なく説明を行うことができるようになると思われる.

大画面ポインティングの先行研究では, デバイスを把持して操作を行う方法として, レーザポインタやペンライトなどを入力に用いる手法 [1]~[3] が提案されている. 一方, デバイスを持たずに操作を行う方法としては, カーソルの移動を顔の向きを使って行う手法 [4] や, 指差し画像から指示動作を推定する手法 [5] があるが, システムには固定したカメラを使用するため利用環境に制限が生じる.

そこで我々は, パソコン画面が投影されたスクリーン上で, 再帰性の反射シートで作った指サックを装着

した指を動かすだけで, パソコン上での主なマウス操作が行えるポインティングシステムの開発を行った (以後, 従来システムと呼ぶ) [6]. これにより操作のためにユーザは机などに戻る必要がなく, 特殊なデバイスを持たずにパソコンを操作できる環境を構築した. しかし, 従来システムの問題点として, ユーザの指先にマウスカーソル (以後, カーソルと呼ぶ) を合わせているため, ユーザの手の届く範囲の比較的小規模なスクリーン画像での使用に限定され, 大型のスクリーンでは使えない点や, 使用中はスクリーンの前から自由に移動することができないなどの制約があった (図1). そこで, スクリーン上の手の影でポインティング操作を行うことで (図2), ユーザはスクリーンから離れた場所からも操作が可能となり, 大型スクリーンでも使用できると考え開発を行っている [7]. 影を使ったポインティングシステムは, 従来システムと同様に, 赤外線 (IR) 投光器と再帰性の反射シートで作成した指サックを使用する. また, 利用する室内環境の制限を少なくするため, カメラなどを使用せずにダイクロイックミラーを用いて, 指先の影の位置にカーソルの位置を合わせる手法を使った. 本稿では影を使ったポインティングシステムの概要と, スクリーン上を手の影で指示したときの指示位置の精度の評価結果やシステムの使いやすさに関する評価結果について報告する.

* 釧路高専情報工学科

** セイコーエプソン

*** 信州大学工学部

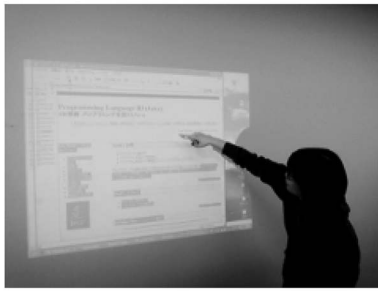


図 1: 従来システム [6] の操作の様子

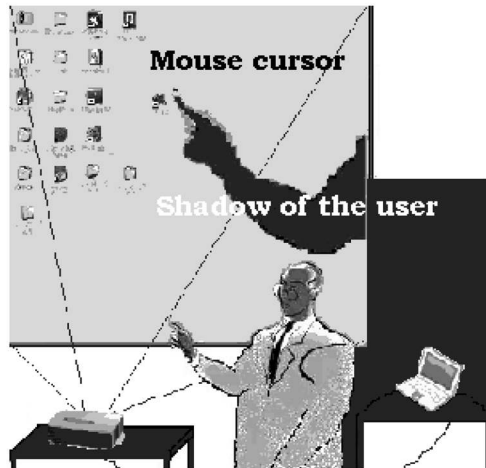


図 2: 影によるポインティング操作

2. システムの概要

システムは、プロジェクタ側に設置した赤外線投光器からスクリーンに向けて赤外線を投光し、その赤外線をユーザの人差し指と中指の指先に装着した反射シートで反射させる。その反射光は任天堂の Wii リモコンに搭載された CMOS センサーが感知し、光点の位置座標や個数などのデータを取得することができる。それらのデータは Wii リモコンから Bluetooth によってパソコンに無線伝送され、その情報からマウスイベントの操作を実現する。本システムは、スクリーン上の指先の影の位置にカーソルの位置を合わせることが必要なので、スクリーン上の指先の影の位置の情報が必要となる。

3. システムの光学系

3.1 物体と影

スクリーン上の手の指先の影の位置にカーソルの位置を合わせるためには、「点光源によってできる物体の影は、光源の位置からは見えない」という原理を使う。これは、プロジェクタのレンズの焦点から見ると、対象物の影が見えないということである。光学的には、

プロジェクタのレンズの焦点と、Wii リモコンの受光部のレンズの焦点を同じ位置にする（図 3）と、Wii リモコンから見た指先の位置と、スクリーン上の指先の影の位置を一致させることができる。この状態を実現することで、直接的に影の位置を計測しなくても、スクリーン上の指先の影の位置にカーソルを合わせることが可能となる。なお、ここでの「焦点」とは、プロジェクタや Wii リモコンの光学系をピンホールカメラでモデル化した場合の焦点とする。Wii リモコンから見た指先の位置とスクリーン上の指先の影の位置を一致させるためには、双方のレンズの焦点を同じ位置にしなければならない。しかし、これはプロジェクタの内部に Wii リモコンを組み込むことになり、物理的に実現が困難である。そこで、ダイクロイックミラーを用いて、2つの焦点の位置を光学的に一致させる。

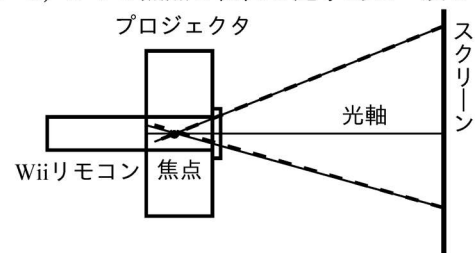


図 3: 焦点の一致

3.2 ダイクロイックミラー

今回使用したダイクロイックミラーは、表面に誘電体多層膜がコーティングされており、ミラーに入射した可視光線は透過し赤外線は反射する性質を持つ。可視光線がミラーを透過する（図 4）ため、プロジェクタのレンズの前に設置しても、投影画像に支障はない。

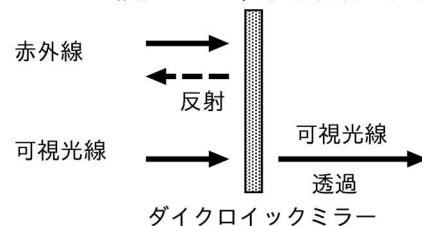


図 4: ダイクロイックミラーの動作

プロジェクタからの投影光は、ダイクロイックミラーを透過してスクリーンに投影されるが、赤外線はダイクロイックミラーで反射されるため、赤外線投光器自身はダイクロイックミラーを避けて設置する。プロジェクタのレンズと Wii リモコンの受光部のレンズの焦点が一致した状態を光学的に作ると、ユーザの指に装着した反射シートで反射した光線の軸が、プロジェクタのレンズの焦点と、Wii リモコンの受光部のレンズの焦点を同時に通るようになる。プロジェクタとダイクロイックミラー、Wii リモコンが図 5 のような位置関係になるように、これらの位置を手作業で調整した。

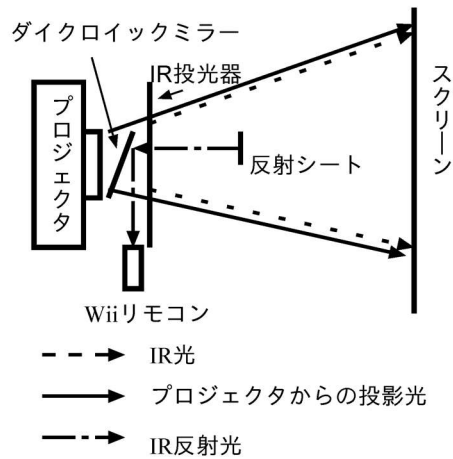


図 5: 機器の位置関係

4. ハードウェアの構成

システムに使用した赤外線投光器、CMOS センサー、反射シートについて説明する。

4.1 赤外線投光器

赤外線投光器は、1 台につき、赤外線発光ダイオード 56 本と、抵抗 8 本で構成した。これを 5 台使用し、図 6 のように配置した。発光ダイオードの個数と位置については、投光がなるべく広範囲となるように、試行錯誤を繰り返して決定した。

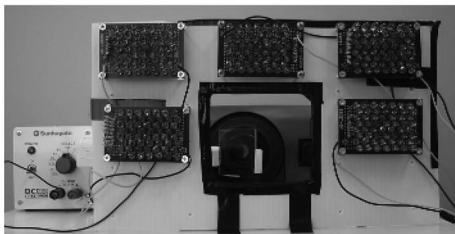


図 6: 赤外線投光器の設置

4.2 赤外線センサー

本システムではスクリーン上の赤外線の検知とそれをマウス操作に置き換える処理をリアルタイムに行う必要がある。そこで、赤外線の検知とデータの扱いには、高速処理が行える Wii リモコンが適切であると判断し使用した。このリモコンに搭載されているセンサーは低解像度の CMOS で、視界に入った赤外線の強度が強い位置を、4 点まで取得することができる。データの取得速度については、通常のビデオカメラが 30 から 60 フレーム/秒程度であるのに対し、このセンサーは 200 フレーム/秒以上で高速にデータを取得できる [8]。

4.3 反射シート

本システムは投光器の場所に Wii リモコンを設置するので、反射シートには、入射した光が光源の方向へ反射する再帰性反射シートを使用した。本システムでは、シートの大きさを赤外線センサーが 1 つの反射シートから複数の光点を検知せず、かつ操作の邪魔にならないようにするために 15mm × 18mm とし、人差し指と中指の指先に装着するようにした（図 7）。



図 7: 反射シート装着の様子

5. マウス操作の仕様

本システムは、スクリーン上の指先の影の動きだけでマウスで行える操作を実現することを目指し、「カーソルの移動」と、マウスの左ボタンを用いた「クリック」・「ドラッグ」・「ダブルクリック」を実装した。右クリックの操作は除外した。

Wii リモコンの制御で使用している WiimoteLib には、マウスのイベント処理を行う API が用意されていない。そのため、Win32 プラットホーム SDK の Windows ユーザインタフェースサービスの DLL に含まれる API などを使用してマウスのイベント処理の実現を行った。

5.1 カーソルの移動

カーソルの移動は、指を 1 本の状態でスクリーン上を移動させる。指先の影にカーソルが追従するので、直感的にカーソルを移動させることができる（図 8）。この動作は、検知した反射光の位置に、カーソルを移動することで実装した。

5.2 クリック動作

指を 1 本の状態でカーソルを移動し、クリックしたいアイコンの上にカーソルを合わせる（図 9 左図）。この状態から、指を 2 本の状態にする（図 9 右図）ことによって、クリック動作を行う。この動作は、検知した反射光の数が 1 個から 2 個へ変化することによって実装した。

5.3 ドラッグ動作

クリック動作で選択したアイコン上で、2 本の指でアイコンをはさむ動作（図 10 (a) 左図）を行い、そのまま 2 本の指を付けた状態（図 10 (a) 右図）で手



図 8: カーソルの移動

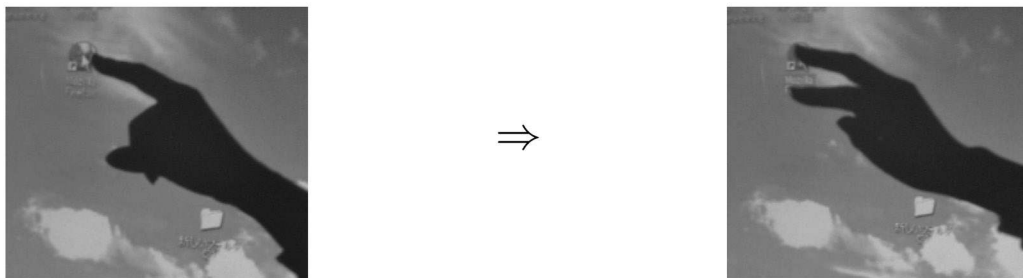


図 9: クリック動作



(a) アイコンをはさむ



(b) アイコンを離す

図 10: ドラッグ動作



図 11: ダブルクリック

を移動することで、ドラッグ操作となる。アイコンを移動させたいところまで移動し、アイコンの選択を止めるときには、閉じていた2本の指を離しアイコンを離す(図10(b))動作を行う。

5.4 ダブルクリック動作

目的のアイコンの上にカーソルを移動させ(図11左図)、2本の指を閉じたまま(図11右図)2秒間停止することで、ダブルクリックの動作となる。この動作は、指が停止してからの時間を判定として使用した。

6. 使用環境に関する検証

本システムの使用環境について、操作が可能な位置関係の検証を行った。検証は、プロジェクタ・赤外線投影器・Wiiリモコン・ダイクロイックミラーで構成されたハードウェア部を、スクリーンの前から次第に離し、使用可能な距離を計測することによって行った。ハードウェア部にはプロジェクタが含まれるため、ハードウェア部を移動させると、スクリーン上に投影される画面の大きさも変化する。検証の結果、本システムでは、スクリーンからハードウェア部の距離が305cm以内であれば、スクリーンに触れながらの使用も可能であり、従来システムと同様の操作に加えて、影を使った操作も行えることが分かった。しかし、ハードウェア部とスクリーン間の距離が短く、投影された画面の大きさは小さくなった。今回の検証に用いたスクリーンでは、スクリーンとハードウェア部の距離が約430cmで、投影された画面の大きさが縦135cm横200cmでスクリーンに対して最大になった。この距離の場合は、ハードウェア部の直前から約305cmの範囲であれば、システムが正常に動作し、影を使う操作を投影画面の大きさには関係なく使用できた(図12)。ただ、反射シートからの反射光をCMOSセンサーが正しく感知できる最長距離がハードウェア部から約305cmであったため、ハードウェア部とスクリーンが離れるほど、ユーザはスクリーンから離れて使用する必要があった。



図12: スクリーンから離れての使用

7. 指示位置の精度評価

本システムは、スクリーン上に映った手の影の指先の部分にマウスマウスの位置を合わせている。そこで、スクリーン上の場所によって影とマウスマウスの位置に生じるずれをスクリーンからの距離を変えて測定することで、指示位置の精度について評価を行った。

7.1 評価環境

窓のブラインドを閉め、照明を消した室内で、ハードウェア部を床から108cmの高さ、スクリーンから305cmのところを設置した。このとき、投影画面の大きさは縦104cm横140cmであった。

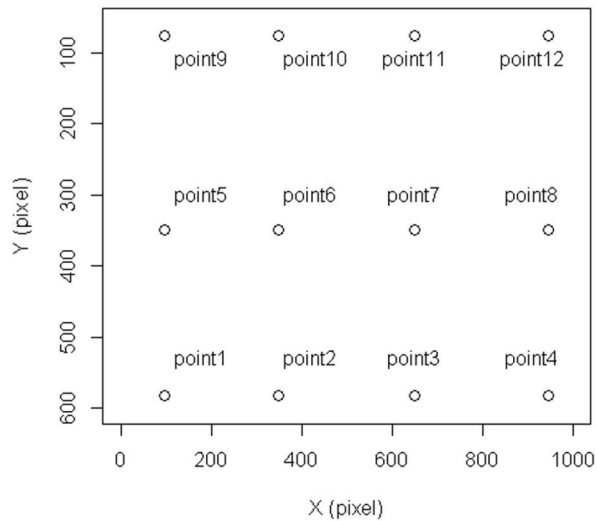
評価は、スクリーン上の目標点(図13(a))を、指先の影で指したときのカーソルの実際の位置のバラつきを測定した。スクリーンから指示者までの距離は0cm, 100cm, 200cmとし、12個の目標点それぞれについて20回の指示動作を行った。

7.2 指示位置精度の評価結果

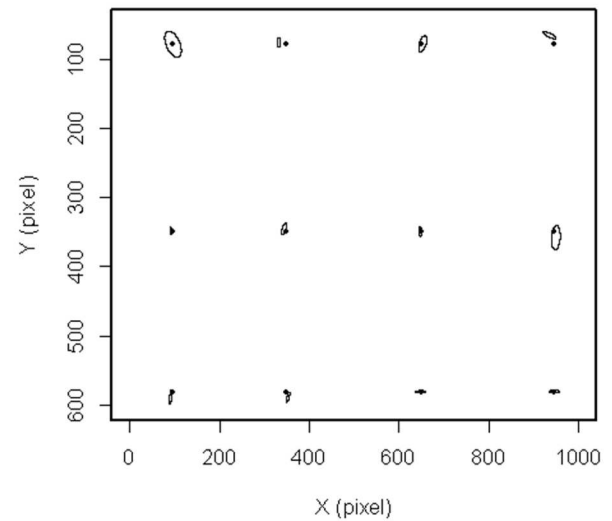
図13に、各目標点に対する指示位置のずれの分散を楕円で示す。図中の黒点は目標点を示す。スクリーンから0cm地点での操作は従来のシステムと同様の条件であり、影を使わずに指先の位置と指示したい位置が一致する状態となっている。図13(b)から、スクリーンの下部と中央部(point1~point7)については指示位置の精度が高いことがわかる。しかし、スクリーンの上部の4点(point9~12)と中央右端のpoint8については、多少の位置のずれが生じている。

スクリーンから100cm地点での評価の結果(図13(c))からは、スクリーンの中央部分について指示位置にずれが生じていることがわかる。スクリーンから100cmの場所ではスクリーン上の影はあまり大きくないため、スクリーンの上部の目標点や、端の目標点は指示し難い。スクリーンから200cm地点での評価の結果(図13(d))からは、スクリーン中央部と下部(point1~8)には指示位置にずれが生じているが、上部(point9~12)は精度が高いことがわかる。スクリーンから200cm離れた位置ではスクリーン上の指先の影の大きさは実際の大きさの約2.5倍になっているため、目標点を指すときにずれが大きくなり、結果としてシステムが読み取った指示位置に誤差が生じたと思われる。

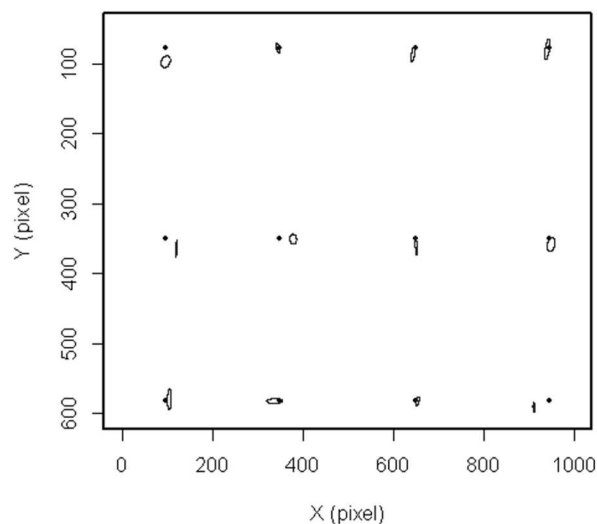
これらの結果から、スクリーンから離れる程指示位置に対する誤差が大きくなるものの、誤差の傾向はスクリーン上の位置にはあまり依存していないことが分かる。今回の実験では、横方向が140cmに1024pixelで7.3pixel/cm、縦方向が104cmに768pixelで7.4pixel/cmであり、投影面が縦方向に若干つぶれている。このこと



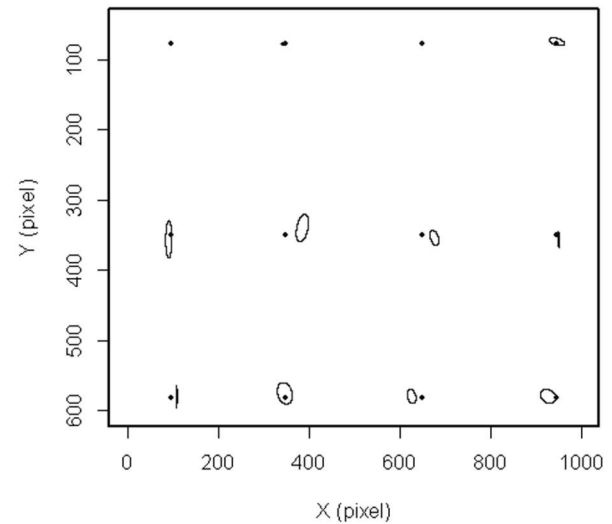
(a) 目標点



(b) 0cm の結果



(c) 100cm の結果



(d) 200cm の結果

図 13: スクリーンからの距離による指示位置の精度

が、pixel 単位で評価した実際の指示位置の分布が縦方向に大きくなった原因の一つと考えられるものの、これを考慮してもまだ縦方向の分散が大きい結果となっている。しかし、このような誤差の傾向に注意すれば、スクリーンから 0cm から 200cm の範囲で横方向で 95%、縦方向で 99% の点のずれが 32pixel 以下であり、これは今回の実験ではスクリーン上で約 4cm 以下の誤差であることから、誤差の傾向が場所によって変わることによって引き起こされるような操作上の混乱もないと考えられ、本システムは実用上十分な精度を備えているといえる。

8. システムの使いやすさに関する評価

実装したポインティング操作についての操作のしやすさと、動作の正確性について評価を行い、従来システム [6] と比較した。

8.1 評価環境と被験者

従来システムを使用した後に、本システムを使用し比較を行った。実験は室内で行い、窓のブラインドを閉め、太陽光が直接 CMOS センサーには当たらないようにし、天井の室内灯は点けた状態にした。また、投影画面の大きさは縦 104cm 横 140cm とした。評価は 17 歳から 53 歳までの 14 名を被験者として、以下の手順で行った。

- システムについて説明する (2 分程度).
- 操作について説明を行い 5~10 分程度習熟のための操作をしてもらう.
- 従来システムを操作してもらう.
- 本システムを操作してもらう.

被験者には、実際に Web ブラウザの起動や閲覧、アイコンの移動やファイルの内容表示などを実行してもらい、「カーソルの移動」・「ドラッグ」・「クリック」・「ダブルクリック」等の操作について、その使いやすさと操作の正確さを、以下の 5 段階の基準で評価してもらった。

5 非常に使いやすい (非常に正確に動作する)

4 使いやすい (正確に動作する)

3 普通 (ほぼ正確に動作する)

2 使い難い (あまり正確に動作しない)

1 非常に使い難い (ほとんど正確に動作しない)

8.2 システムの操作に関する評価結果

図 14, 15, 16 の評価結果は小数点以下第 1 位を四捨五入して求めているため全体で 100%に満たないものもある。

システムの使いやすさについて、図 14 の結果から、「普通」以上の評価は、「クリック」の操作については 71%だったが、それ以外の操作では、「カーソルの移動」は 100%, 「ドラッグ」は 85%, 「ダブルクリック」は 86%と、全て 85%以上だった。「カーソル移動」の操作は、スクリーン上のユーザの指の動きがそのままカーソルの動きとなるため、ユーザが操作方法を考えずに直感的に実行できるので、高い評価になったと考えられる。次に、「ドラッグ」については、「使い難い」が 14%であった。ドラッグは、2本の指でアイコンを掴んだり離したりすることで操作を行っている。被験者からは、影を大きくしてドラッグ操作を行うと、大きなスクリーン上でもドラッグする距離が少なく済むので便利との意見やアイコンを掴む、離すという動作が直感的でわかりやすいとの意見が多かった。「クリック」については、クリックの操作は、指を 1 本の状態から 2 本の状態にするので操作としては簡単である。しかし、「使い難い」が 29%であった。これは、被験者の全員がスクリーンに向って手の甲を上に向けた状態で使っていたため、人差し指 1 本だけで操作している際に中指に付けた反射シートが完全に隠れておらず、システムが 2 本の指で指示していると誤認したために、被験者の意図と異なる動作になってしまうことがあった。

めであると考えられる。「ダブルクリック」については、「使い難い」が 14%だった。ダブルクリックの操作は、2本の指で指示した状態で 2 秒間停止するだけの操作であるため、操作としてはわかりやすく簡単であることから、操作に支障がないと感じた被験者が多かったと考えられる。

次に、動作の正確さについての評価結果を図 15 に示す。「ほぼ正確に動作する」以上の評価は、「ダブルクリック」の 78%が最低で、「カーソルの移動」は 100%, 「ドラッグ」は 85%, 「クリック」は 86%と、全ての操作について 85%以上だった。「カーソルの移動」についての「ほぼ正確に動作する」以上の評価が 100%だったことについては、CMOS センサーの処理速度が速く、指の速い動きにもカーソルが追従可能であったため、カーソル移動は正確に動作したと考えられる。次に「ドラッグ」については、評価結果から概ね正確に動作すると考えて良い。しかし、「あまり正確に動作しない」が 14%であった。これは、操作に慣れたユーザはほぼ正確に動作させられるものの、初めて操作するとアイコンを掴む動作に慣れるまで正確にドラッグできない場合があったことによるものと考えられる。「クリック」についても、「あまり正確に動作しない」が 14%であったが、概ね正確に動作すると判断して良いと考えられる。「ダブルクリック」については、ほぼ正確に動作していると考えられるが、「あまり正確に動作しない」が 21%であった。ダブルクリックの動作は、指を 2 本の状態ですぐに 2 秒待つだけであるものの、手や指を動かさずに 2 秒間停止しなければならないため、思ったよりもユーザには負担であり、微妙に指先などが動くことで正確に動作しないことがあった。ダブルクリックの動作については、正確ではないとの評価が多かったことから、今後改善策の検討を行う予定である。

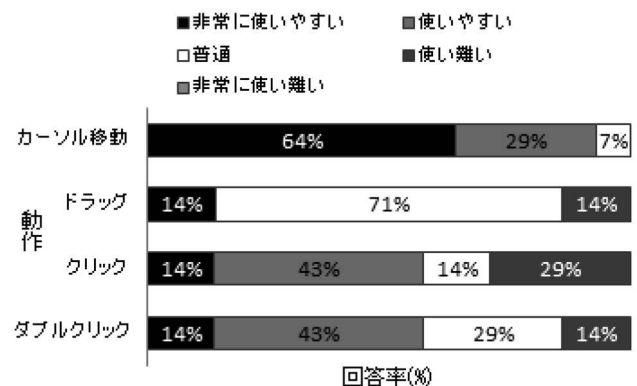


図 14: 使いやすさについての評価結果

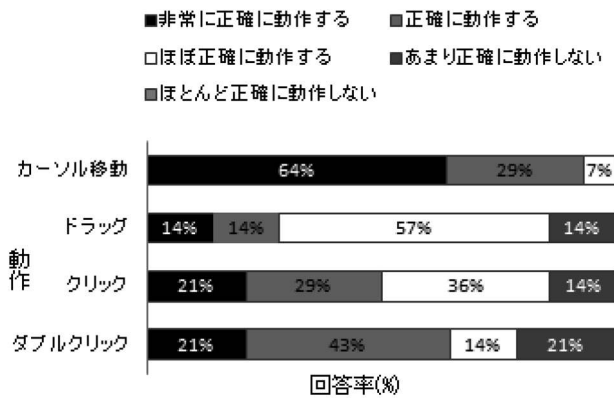


図 15: 動作の正確さについての評価結果

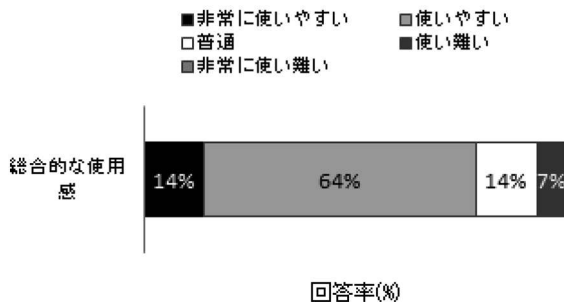


図 16: システム全体の使いやすさについての評価結果

また、従来システムと本システムを比較すると、被験者全員が本システムの方が使いやすいと回答した。従来システムでは、操作中はスクリーンの前から動けない点が非常に不便であり、また、スクリーン上のアイコンや選択したい場所へ手を移動させなければならないため、特に手の届きにくいスクリーンの上部などを指定する操作が難しかった。本システムでは、スクリーン上の影を使って操作を行うことができるため、どんなに大きなスクリーンでも任意の場所を簡単にポイントでき、とても使いやすいとの意見が被験者全員から聞かれた。

このことから他の評価と同じく 5 段階でシステム全体の使いやすさを評価した結果（図 16）では、「普通」以上の評価は 92%、「使いにくい」が 7%だった。この結果より、システムとしては、ほぼ使い勝手が良くと評価できる。「使いにくい」と評価した被験者からは、操作に慣れると使いやすいと感じると思うとの意見があった。

以上より、すべての評価において肯定的なものが大多数で最も否定的な 1（非常に使いにくい、ほとんど正確に動作しない）の評価がなかったことから、本システムはほぼ正確に動作を行い、ユーザの多くは使いやすいと感じながら操作できる仕様になっていると考えられる。また、従来システムとの比較結果からも被験者はポインティング操作に影を利用している本シス

テムの特長を、利点として評価していることが伺えた。

9. おわりに

本研究では、スクリーン上の手の影の動きでマウス操作が行えるシステムの開発と試作を行った。本システムでは、赤外線反射光を利用することで、指に反射シートを装着し、スクリーン近くで指を動かすだけでマウス操作を行うことができるシステムを構築できた。

スクリーン上の影を使ってポインティング操作を行うことについては、スクリーンから離れて使える点や、影を使うことでスクリーンの大きさに合わせて影の大きさを変えられることで、従来システムと比較して手の移動が格段に少なく済む点が好評であった。

本システムは、スクリーン上にユーザの手の部分の影が映る程度で使用することで、影が邪魔でスクリーンの内容が見えない状況を軽減できる。また、ユーザの手の影の大きさは、システムを使用中でも、ハードウェア部とユーザの距離で調整して変更することができる点も本システムの利点である。今後は、より使いやすいシステムへと改良を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費基盤 (C)(No.25330250) の援助による。

参考文献

- [1] C.Kirstein and H. Muller, "Interaction with a projection screen using a cameratracked laser pointer," In Proc. IEEE MMM '98, pp.191-192, Lausanne, Switzerland, Oct. 1998.
- [2] 久松孝臣, 岩淵志学, 三末和男, 田中二郎, "大画面向けインタフェースへのレーザーポインタの応用," 2005 年度人工知能学会全国大会 (第 19 回) 論文集, 3D1-01, pp.1-4, June. 2005.
- [3] 牛田啓太, 村田雄一, "ペンライトを用いた 10 フィート/大画面向けユーザインタフェース," 映像情報メディア学会誌, Vol.62, NO.1, pp.126-131, Jan. 2008.
- [4] 程 浩侃, 高橋伸, 田中二郎, "ProphetCurosr: 顔の向き方向によってカーソル移動を補助する大画面ポインティング手法," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, pp.1087-1092, Sept. 2011.
- [5] 新谷晃市, 間下以大, 清川清, 竹村治雄, "大画面ポインティングシステムのための回帰モデルによる単眼画像からの指差し位置の推定," 情報処理学会研究報告, CVIM, Vol.2009-CVIM-167, No.33, pp.1-8, June. 2009.
- [6] 土江田織枝, 宮尾秀俊, "赤外線反射光を用いたポインティングデバイスの開発," FIT2010, 第 3 分冊, pp.105-110, Sept. 2010.
- [7] 土江田織枝, 財原ちひろ, 林裕樹, 宮尾秀俊, "影を利用したポインティングデバイスの開発," FIT2012, 第 3 分冊, pp.85-90, Sept. 2012.
- [8] 白井暁彦, 小坂崇之, くるくる研究室, 木村秀敬, Wi-Remote プログラミング, オーム社開発局, 株式会社オーム社, 東京都, 2009.