

影を利用したポインティングシステムの開発 Development of a Pointing System using a Shadow

土江田 織枝^{*} 財原 ちひろ[†] 林 裕樹^{*} 宮尾 秀俊[‡]
Oriie Doeda Chihiro Saihara Hiroki Hayashi Hidetoshi Miyao

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マウス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り、かつユーザにとっても余計な移動が必要となる欠点がある。プレゼンテーション用として、ページ送り機能やレーザーポインタがついた、手軽で便利な小型のワイヤレスリモコンなどの製品が販売されているが、それらの製品では通常のパソコン操作を行うことはできない。

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操作や説明の中断なく説明を行うことができるようになる。そこで著者らは、パソコンの画面が投影されたスクリーン上の、ユーザの手の動きでパソコン操作を行うことができるポインティングシステムの開発を行った[1] (以後、従来システムと呼ぶ)。このようなシステムの先行研究ではデバイスを持して操作を行う方法として、レーザーポインタを入力に用いる手法[2]や、ペンライトを用いた手法[3]などが提案されている。また、デバイスを持たずに操作を行う方法としては、スクリーン前にセットされた椅子に座った状態で操作を行う、指差し画像を重回帰モデルとして扱った手法[4]が提案されている。これに対し、従来システムはできるだけユーザがシステムを意識せずに操作できることを考え、反射光を使用した。そのため、ユーザは反射シートを指に装着するだけで、スクリーン上を指差す程度の動作でマウス操作を行うことができる。

しかし、従来システムの問題点として、ユーザの指が指示棒の役割をするため、ユーザの手の届く範囲の比較的小規模なスクリーン画面での使用となり、大型のスクリーンでは使えない点や、スクリーン上の指先の位置にカーソルが合っているため、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)。システムの評価実験の際には被験者からは、スクリーン前から移動できないので拘束感がある、スクリーン上部を指示するときは手が非常に疲れるなどの意見があった。

そこで、スクリーン上の手の影でポインティング操作を



図 1 従来システムの操作の様子

行えば、ユーザはスクリーンから離れた場所からの操作が可能となり、大型のスクリーンでも使用できると考えた。本研究では、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ことで、スクリーン上の手の指先の影を使ってマウス操作を行うことができる、ポインティングシステムを提案する。

2. システムの概要

システムの全体の構成を図 2 に示す。システムは、プロジェクト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 Wii リモコンに搭載された CMOS センサーが感知し、位置座標を示す値や感知した光の個数などのデータを取得する。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、それらのデータからマウスイベントの操作を実現した。

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必要があるため、スクリーン上の指先の影の位置の値が必要となる。

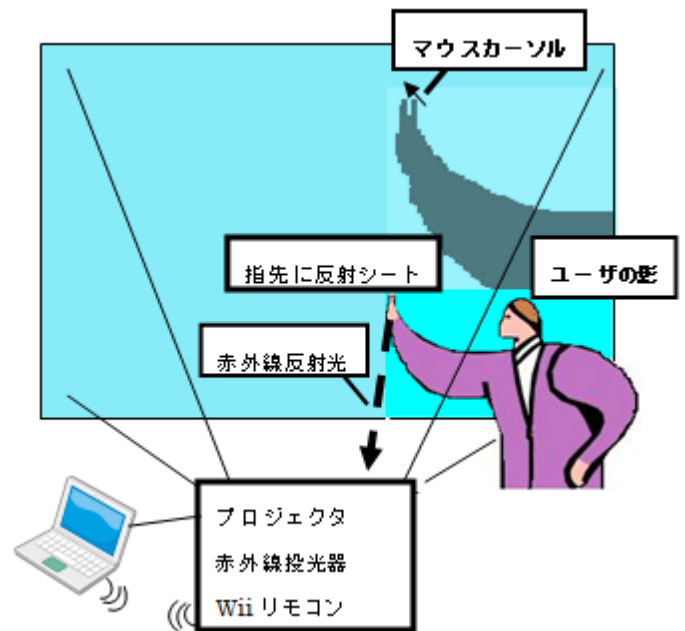


図 2 システムの全体図

3. 影の位置

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。この状態

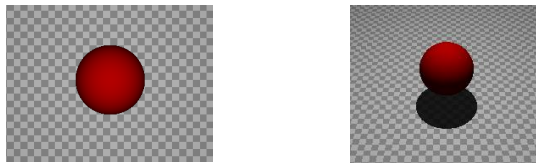
* 釧路工業高等専門学校, Kushiro National College of Technology

† SEIKO EPSON 株式会社, SEIKO EPSON Corporation

‡ 信州大学工学部, Faculty of Engineering, Shinshu University 85

を POV-Ray により実現した図を図 3(a)に示す. この状態はプロジェクタのレンズの焦点からは, 対象物の影は見えないことと同様の意味となる. 光源の位置とカメラの位置が少しでもずれると図 3(b)のようにカメラから影が見える.

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と, Wii リモコンから見た指先の位置と, 指先の影の位置を一致させることができる. この状態を実現させることで, 実際には指先の影の位置の値を使わなくても, スクリーン上の指先の影の位置にカーソルを合わせる事が可能となる. 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.

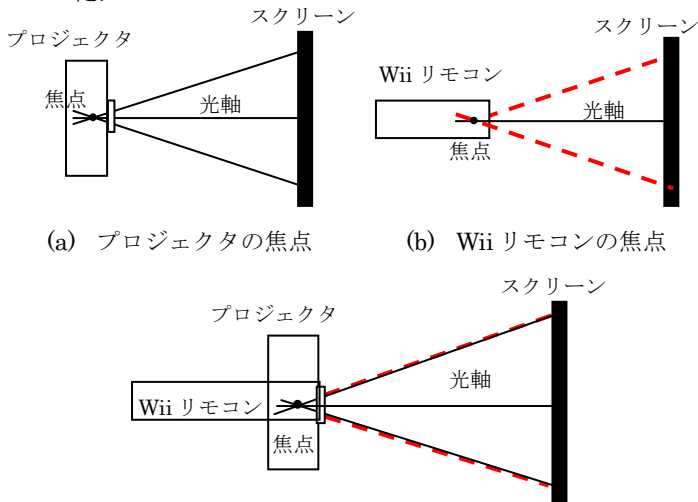


(a) 光源とカメラの位置が一致している (影は見えない) (b) 光源とカメラの位置は一致していない (影が見える)

図 3 点光源と影の関係

3.2 焦点の一致

Wii リモコンから見た指先の位置と指先の影の位置を一致させるためには, プロジェクタのレンズの焦点 (図 4(a))と Wii リモコンの受光部のレンズの焦点(図 4(b))を, 同じ位置 (図 4(c)) 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 つの焦点の位置を疑似的に一致させることとした.



(c) プロジェクタと Wii リモコンの焦点の位置を物理的に合わせる

図 4 焦点の一致

4.ダイクロイックミラーを使ったシステム

4.1 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 (図 5). 可視光線はミラーを透過するため, プロジェクタのレンズの前に設置しても, プロジェクタからの投影画像には支障はない.

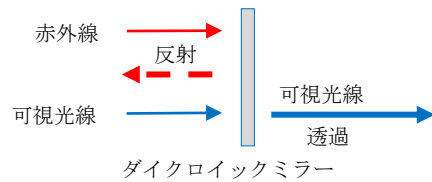


図 5 ダイクロイックミラーの動作

4.2 ダイクロイックミラーの設置

ダイクロイックミラーを使って, 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一致させた様子を図 6 に示す. 図では赤外線の投光器は省略しているが, ダイクロイックミラーのスクリーン側に設置する. 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, 赤外線投光器からの赤外線はダイクロイックミラーで反射するため, 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を一致させる状態を疑似的に作るためには, ユーザの指に装着した反射シートにより反射した赤外線光が, プロジェクタのレンズへ入射する位置と, Wii リモコンの受光部のレンズへ入射する位置が同じ位置になるように, ダイクロイックミラーを設置する必要がある. プロジェクタとダイクロイックミラー, Wii リモコンの位置の調整は手作業で行った. ダイクロイックミラー周辺の実例の様子を図 7 に示す. プロジェクタは VT440K(NEC)を用いた.

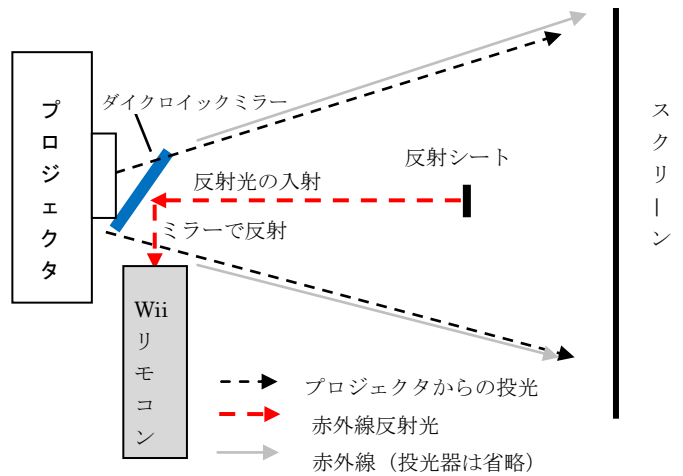


図 6 ダイクロイックミラーを通した反射光の様子

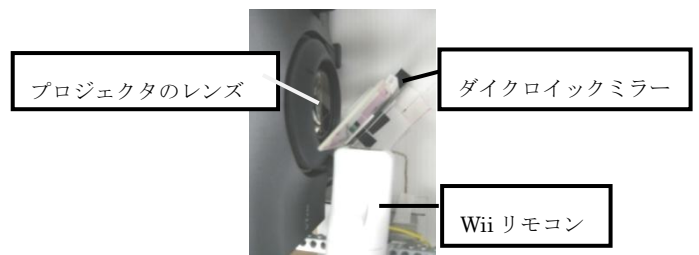


図 7 ダイクロイックミラーの設置 (上からみた状態)

5. 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。

5.1 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 本から構成した。これを 5 台使用し、図 8 のように設置した。設置した個数と箇所については、投光がなるべく広域な範囲となるように、個数と箇所を変更しながら検討を行った結果である。

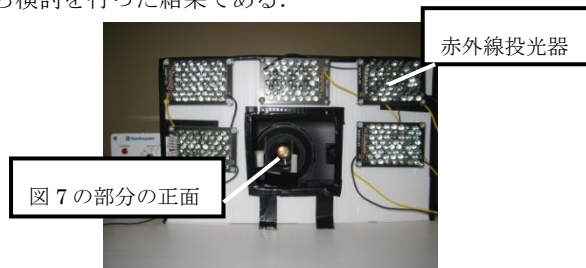


図 8 赤外線投光器の設置

5.2 CMOS センサー

赤外線の感知を行うために、Wii リモコンに搭載された CMOS センサーを使用した。このセンサーは低解像度の CMOS で、視界に入った赤外線の光の強度の重心位置を、4 つまで取得することができるデバイスであり、ビデオカメラのようなカラー画像を取得するものではない。データの取得については、通常のビデオカメラが 1 秒間に 30-60 枚程度の撮影を行っているのに対し、この CMOS センサーは秒速 200 フレーム以上の高速で取得処理を行うことができる[5]。

5.3 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、入射した光がそのまま光源の方向へ反射する性質の、再帰性反射シートを使用した。反射光は 1 から 2 個だけ使用する。そのため、1 つの反射シートから複数の反射光が出ては支障があるため、その点も考慮してシートの大きさを 15mm×18mm の大きさとし、指先から第一関節までの大きさとし、付けていて邪魔にならない大きさとした。装着は、人差し指と中指の指先とした(図 9)。



図 9 反射シート装着時

6. マウス操作の仕様

本システムは、ディスプレイ上の手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。マウス操作の中でもあまり用いない右クリックの操作は除外した。

6.1 マウスイベント処理の実装

Wii リモコンの制御で使用している WiimoteLib[6][7]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 ユーザー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。例として、マウスの左ボタンが押されたときの、マウスイベントを発行させるコードを以下に示す。

```
Input[0].mi.dwFlags = 0x0002; // 左ボタンダウン
SendInput(1,input,Marshal.Sizeof(input[0]));
//マウスイベント送信
```

「0x0002」は、WinUser.h に記述されている左ボタンが押されたことを表すマウスイベント定数である。

6.2 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して移動するので、直感的にカーソルを移動させることができる(図 10)。この動作は、カーソルの位置を反射光の位置に、置き換える処理を行うことで実装した。

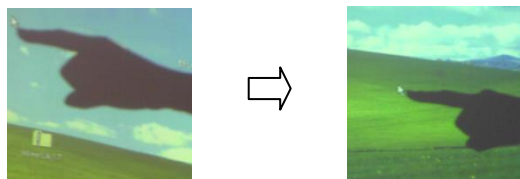
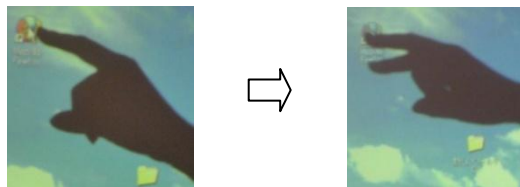


図 10 カーソルの移動動作

6.3 クリック

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 11(a))。この状態から、指を 2 本の状態にする(図 11(b))ことによって、クリック動作を行う。この動作は、CMOS センサーの感知する反射光の数が 1 個から 2 個へと変化した状態を検知することにより実装した。



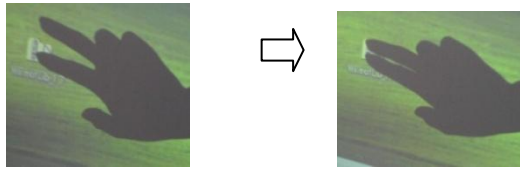
(a)アイコンの上にカーソルを移動する (b)アイコンをクリック

図 11 クリックの動作

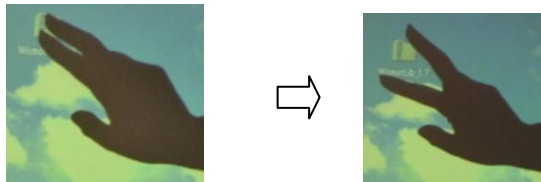
6.4 ドラッグ

6.3 節の動作で選択したアイコン上で、2 本の指でアイコンを掴む動作(図 12(a))を行い、2 本の指を付けた状態(図 12(a)右側)のまま手を移動すると、ドラッグ操作となりアイコンの移動を行う。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 12(b))動作を行う。



(a) アイコンを掴む



(b) アイコンを離す (選択解除)

図 12 ドラッグの動作

6.5 ダブルクリック

2 本の指を閉じたまま (図 13) 2 秒間停止の状態ダブルクリックの動作となる。この動作は、指が停止してから時間を判定として使用した。



図 13 ダブルクリックの動作

6.6 指の位置とカーソルの位置の対応

指を 2 本使った動作のときには、最初の指先の位置をカーソルの位置とし、2 本目の指先の位置にカーソルを移動させることはしない。

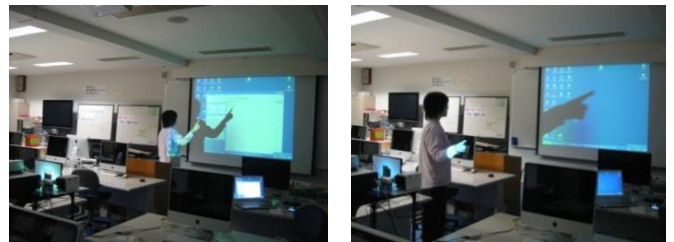
7. システムの使用環境に関する実験

システムの使用環境について実験し検証を行った。実験は、プロジェクタ・赤外線投光器・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、スクリーン前から数十センチ単位で移動させて、使用可能な距離について検討した。ハードウェア部は床から 97cm の高さの移動式の台に設置をした。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。

実験の結果、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、スクリーン前での使用も可能であり、従来システムのスクリーン前の操作に加えて、影を使った操作も行える。しかし、ハードウェア部とスクリーン間の距離が短くなるためスクリーンの大きさは小さくなる。

また、スクリーンとハードウェア部の距離が約 430cm、スクリーンへの投影画面の大きさが縦 135cm 横 200cm (図 14 のスクリーン投影画面の大きさ) が、実験に使用したス

クリーンでの最大の大きさであった。ハードウェア部から約 305cm の場所から、ハードウェア部前までの使用範囲であれば問題なく使用することができた (図 14(a))。スクリーンへの投影画面は、ハードウェア部からスクリーンを離すほど大きな投影画面となるが、影を使う操作そのものは投影画面の大きさには問題なく使用することができる (図 14(b))。ただ、本システムでは反射光を使っているため、ハードウェア部から約 305cm が、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のため、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近くでは使用することができなくなる。



(a)スクリーンから近距離で使用 (b)スクリーンから遠距離で使用

図 14 実験時の様子

8. システムの評価

本システムについて、スクリーン前だけの使用が可能な従来システムとの使いやすさの比較と、実装した操作について、操作しやすさと、動作の正確性などについての評価を行った。

8.1 評価環境と被験者

図 15 は、システムの評価中の様子である。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た。天井の室内灯は付けた状態で行った。スクリーンは 162.5cm × 120cm の大きさを使用した。

被験者は、17～53 歳までの 14 名を対象とした。評価は以下の手順で行った。

- ・システムについての説明をする(2分程度)。
- ・操作について説明を行い5～10分程度操作。
- ・従来システムの操作。
- ・本システムの操作。

8.2 評価内容と評価基準

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、MindstormsNXT のソフトウェアの起動や操作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について、以下の 5 段階の基準で評価をしてもらった。

- 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)



図 15 システムを操作中の様子

9. 結果と考察

図 16 の結果から「カーソルの移動」の操作については、「非常に使いやすい」「使いやすい」との評価を合わせると 92%であり、「普通」が 7%で、「使い難い」と「非常に使い難い」との回答は 0%であった。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。そのため、ユーザは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」の操作については、「非常に使いやすい」との回答は 14%で、「普通」の回答は 71%だった。

「使い難い」との回答が 14%であった。「使いやすい」と「非常に使い難い」との回答は無かった。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。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をドラッグする距離が少なく済むので便利との意見もあった。また、アイコンを掴む、離すという動作については、直感的な操作であるため、わかりやすいとの好感的な意見も多かった。評価の結果から、ドラッグの操作としては問題ないと考えられる。「クリック」の操作については、「非常に使いやすい」「使いやすい」との評価を合わせると、57%であり、「普通」の回答は 14%だった。クリックの操作は、指を 1本の状態から 2本の状態にすることで実行できるので操作としては簡単である。しかし、「使いにくい」との回答が 28%あった。これは、被験者の全員がスクリーンに向かって手を横向きにして使っていたため、1本指にしたときに、中指に付けた反射シートが完全に隠れておらず、1本指の状態をシステム側が正確に検出できなかったことが主な原因である。これにより、クリック操作に時間がかかった被験者が多かった。「ダブルクリック」の操作については、「非常に使いやすい」「使いやすい」との評価を合わせると 57%、「普通」が 29%だった。「非常に使い難い」の回答はなし、「使い難い」が 14%だったが、ダブルクリックの操作は、2本の指を 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なので、操作に支障はないと感じた被験者が多かったと考えられる。

次に、図 17 の動作の正確さについての評価結果であるが、「カーソルの移動」については、評価の回答が「非常に正確に動作する」と「正確に動作する」との評価が 93%で、「普通」が 7%だった。「あまり正確に動作しない」「ほとんど正確に動作しない」の回答は無かった。評価の結果から、カーソル移動の操作は正確に動作していると考えられる。CMOS センサーの処理速度が速いため、指の速い動きにもカーソルの移動を対応させることができた。次に「ドラッグ」については、「非常に正確に動作する」と「正確に動作する」の評価を合わせると 29%であり、「ほ

ぼ正確に動作する」は 57%であったため、概ね正確に動作すると考えて良いが、「あまり正確に動作しない」との回答が 14%で、「ほとんど正確に動作しない」との回答はなかった。操作に慣れたユーザが行うと、ほぼ正確に動作させることができるが、初めて操作する被験者は、アイコンを掴む動作に慣れるまでドラッグ操作を正確に実行できないとの意見があった。「クリック」については、「非常に正確に動作する」「正確に動作する」との評価を合わせると 50%であり、「ほぼ正確に動作する」は 36%であった。

「あまり正確に動作しない」との回答が 14%で、「ほとんど正確に動作しない」との回答は 0%であった。結果から、クリックについても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、「非常に正確に動作する」と「正確に動作する」の評価を合わせると、64%であり、「ほぼ正確に動作する」が 14%なので、ほぼ正確に動作していると考えられる。しかし、一方で、「あまり正確に動作しない」との回答が 21%であった。ダブルクリックの動作は、指を 2本の状態で 2秒待つだけの動作なので、操作も単純で簡単であるが、手や指を動かさずに 2秒間停止しなければいけないため、この点が思ったよりもユーザには負担であり、つい微妙に動かしてしまうため、正確に動作しないことがあるとの意見があった。ダブルクリックの動作については今後検討を行う予定である。

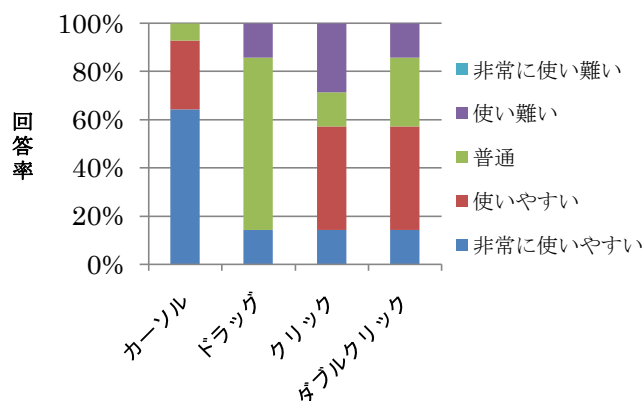


図 16 動作についての評価結果

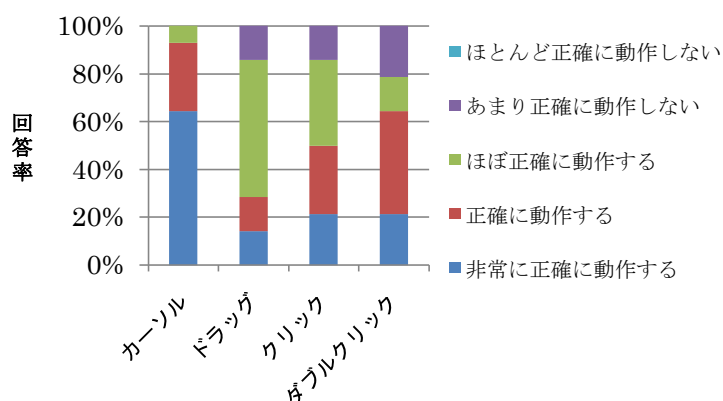


図 17 動作の正確さについての評価結果

次に、従来システムと今回作製した本システムを比較した結果については、被験者の全員が従来システムよりも本システムの方が使いやすいとの回答であった。従来システ

ムでは、操作中、スクリーン前から動けないのは非常に不便であり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ときには、手が届かなかったり届いても操作が大変である、という意見が多かった。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、スクリーンがどんなに大きくてもスクリーン上はどこでも簡単に影が届くので、とても使いやすいとの意見が被験者全員から聞かれた。

システムの全体の使いやすさについての評価結果を図 18 に示す。システム全体の評価についても、他の評価と同じく 5 段階で実施した。評価結果では、「非常に使いやすい」との回答は 14%であった。「使いやすい」は 65%、「普通」は 14%、「使い難い」は 7%だった。「非常に使い難い」との回答は無かった。システムの使いやすさとしては、ほぼ使い勝手が良いと評価できる。「使い難い」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。

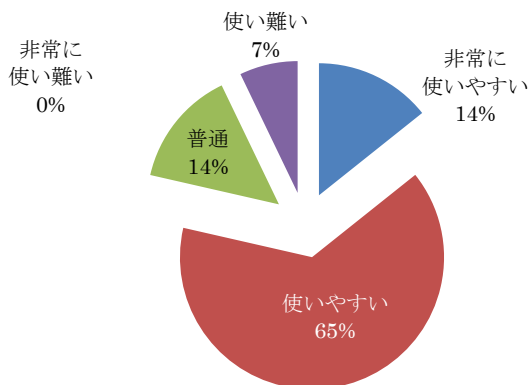


図 18 システム全体の使いやすさについての評価結果

本システムについて行った各操作の評価結果から、使いやすさについては「非常に使いやすい」「使いやすい」「普通」との、プラスと評価して良いと思われる評価が、クリック操作の 71%以上の操作においては、86%以上であった。全ての操作において「非常に使い難い」との回答は 0%だった。

動作の正確さについては、「非常に正確に動作する」「正確に動作する」「ほぼ正確に動作する」との回答が、ダブルクリックの操作の 79%以上は、86%以上だった。「ほとんど正確に動作しない」とのマイナスの評価回答がいずれも 0%であった。

システム全体の使いやすさの評価結果では、「非常に使い難い」との回答が 0%であり、「非常に使いやすい」「使いやすい」「普通」との回答が、93%だった。この結果から、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。

10.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、

赤外線の反射光を利用することで、ユーザは特別なデバイスを持たずに、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。これについては被験者からもシステムを気にせずに操作の邪魔にならないなどの意見が多かった。

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て操作が行えるため、従来システムと比較しても手の移動が格段に少なくて済む点が好評であった。

本システムは、複数のユーザでの使用も可能であり、影の位置と反射光の数がポインティング操作の判断の状況に一致しているときには、正確なポインティング操作を行うことができる。これは評価実験の際、複数の被験者がそれぞれの指に反射シートを装着して、スクリーン画面を見ながら試用してみたが操作に支障もなく使い易かった。被験者からも、マウスを使ったポインティング操作では、複数の人が使用する際はマウスを渡す作業が必要となるが、本システムではタイミングを見計らって、自由に自分の手で操作できるので使い易いとの意見があった。

本システムは、影を利用することで大きなスクリーンでも使用できることを目的として開発したシステムであるため、基本的には従来システムのようにスクリーンから近距離で使用するよりは、スクリーンから離れた場所から使用することで使いやすさを実感できる。スクリーン上には、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上の内容が見えない状況を軽減できる。

本システムのキャリブレーションは、スクリーンとして扱いたい範囲の 4 隅の座標の入力を必要とするため、スクリーンから CMOS センサーまでの距離は、赤外線を CMOS センサーが感知できる範囲内となり、これにより使用できるスクリーンの大きさの範囲が決まる。7 章の環境実験時においては、更に大きなスクリーンでの使用も可能であった。また、本システムでは、スクリーン上の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。

参考文献

- [1] 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, pp105-110(2010)
- [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 年度第 19 回人工知能学会全国大会論文集 (CD-ROM), 2005, 巻:19th, 頁:3D1-01(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, pp126-131(2008)
- [4] 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, [コンピュータビジョンとイメージメディア], Vol.2009-CVIM-167, No.33(2009)
- [5] 白井暁彦, 小坂崇之, くるくる研究室, 木村秀敬, “WiiRemote プログラミング”, オーム社, (2009)
- [6] Brian Peek, “BrianPeek.com”, <http://www.brianpeek.com/> (accessed 2012-03-21)
- [7] CodePlex, “CodePlex”, “Project Hosting for Open Source Software”, <http://www.codeplex.com/> (accessed 2012-03-21)