

## 赤外線反射光を用いた直感的UIシステムの開発 Development of Intuitive UI System using Infrared Light Reflection

土江田 織枝\* 池田 晶子† 林裕樹\* 宮尾 秀俊‡  
Orië Doeda Akiko Ikeda Hiroki Hayashi Hidetoshi Miyao

### 1. はじめに

近年、携帯用ゲーム機や携帯電話などに採用されているタッチパネルは、ディスプレイに表示されたアイコンやウィンドウを直接指で触れて操作することができる。そのため、操作が直感的でわかりやすく、幅広い年齢層で利用されることが期待されている。また、入力装置と表示装置が一体化されているため、装置全体を小型化できるなどの利点をもつ。しかし、通常のディスプレイをタッチパネルにすることはできず、タッチパネル専用のディスプレイを使用しなければならない。

本研究では、パソコンの通常のディスプレイを使って、タッチパネルを使ったシステムのように、ディスプレイ上で指を動かすだけの直感的な操作で、パソコンの操作を行うシステムの開発を目指している。ただし、タッチパネルのように、実行したい操作のアイコンなどを、画面上に予め用意することはせずに、指の動きでカーソルなどを自由に扱い、マウスを使って行うパソコンの操作を実現する。現在既存のパソコンシステムでは、マウス操作を想定したアプリケーション、OS がいまだに多く使われており、タッチパネル用の操作を想定していないアプリケーション・OS が多い。このような状況では、アプリケーション・OS をタッチパネル対応に書き換えるよりも、既存のマウス操作をより簡単にできるようにすることが重要である。よって、マウス操作を指の動作で行えるようにして、タッチパネル上での指操作のように、より直感的に各種操作ができるようにすることを発想した。

手や指の動きなどの情報を用いたインターフェースの研究には、指先情報をキーボード入力とするインターフェース[1]、手のジェスチャーを認識して利用するインターフェース[2,3]などが提案されている。これらのインターフェースは、操作が直感的であるという特長をもつが、手や指先の情報を得るためには画像処理による複雑な処理が必要とされ、照明条件の変動や背景に人間の肌とよく似た領域がある場合には、正しく手領域を得ることが困難となるなどの欠点がある。また、ジェスチャーによる入力は、操作に対応したジェスチャーを予め覚えておく必要があるため、ユーザの負担が大きいという欠点がある。しかし、最近のタッチパネルを使った携帯電話やタブレット型のパソコンでは、ジェスチャーを使った操作も実装されており、操作に合った直感的なジェスチャーであれば、ユーザにとって負担ではなく逆に使いやすいのではないかとと思われる。

タッチパネルを使用したシステムには、専用のペンを使うものもあるが、本システムでは、ユーザの使いやすさを考えて、デバイスを持たずに、指の動作だけでパソコンを操作できるシステムが望ましいと考えた。指の動作を認識するために、光を発光するデバイスをユーザが把持する方法[4]が提案されているが、本システムは、指に反射シート

を装着し、その反射シートが反射した反射光を使用することとした。これにより、装置によってユーザの動作を妨げることが無い点が本システムの 1 つの特長である。反射光を使用したシステムの研究として、著者らは、赤外線反射光を使ったシステムで、スクリーン上にプロジェクターから投影されたパソコンの画面を使って、スクリーン上の手の動きでパソコン操作を行うポインティングデバイスの開発を行った[5]。赤外線の反射光を使う手法では、画像処理を用いる手法に比べて、周囲の照明条件や背景色の影響も受けず安定して、より簡単に指先位置を抽出できる。本システムの開発にあたり、赤外線の反射光の利用の仕方については、前回の研究を参考にしたが、ユーザが立って使用する大画面のスクリーンを対象にしたシステムと、ユーザが座った状態で、机上のパソコンディスプレイを使用することを想定した本システムとでは、ユーザの手の動かし方や使用中の手や身体の向きが異なるため、従来法をそのまま利用することはできない。このため本システムでは、ユーザの使いやすさの観点からユーザインターフェースを見直し、手の動作とポインタ操作の対応づけについても新たな方法を提案する。前回のシステムでは、反射光の数を使い、操作の判定をしていたが、今回は、直感的なジェスチャーを導入することを考慮した。更に、時系列の指の状態も操作判定に利用することにより、誤動作の軽減を図った。

### 2. システム

本システムの構成を図 1 に示す。本システムでは赤外線を使用する。赤外線投光器からディスプレイ上に赤外線を投光する。ユーザは、操作する手の人差し指と中指に反射シートを装着する。ディスプレイ上を操作する手と、反対側後方に赤外線投光器などの装置を設置することで、ユーザの手の動きが赤外線の投光や、反射光の感知を妨げないようにする。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は、CMOS センサーで感知し、ディスプレイ上の指の位置を検出する。赤外線の反射光の感知とディスプレイ上の指の位置座標の取得には、Wii リモコンに搭載されている CMOS センサーを使用した。CMOS センサーで取得した反射光の数と、その位置座標情報は、Wii リモコンからパソコンへ Bluetooth を用いて無線伝送し、パソコ

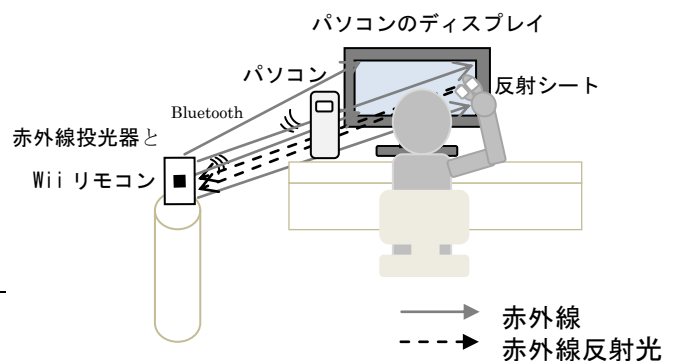


図 1 システム構成

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

† 明星大学教育学部, Faculty of Education, Meisei University

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

ンではそのデータを元にマウス操作を実現する処理を行った。プログラムはC#言語で開発し、Wiiリモコンの制御にはフリーソフトとして公開されている WiimoteLib[6][7]を使用した。

タッチパネルを使ったシステムは、操作画面を寝かせた状態か、それに近い斜めの状態で使用することが多いが、本システムは、通常のパソコン操作を行うことを目的としたため、ディスプレイは、机上に垂直に置いた図1の状態での使用とした。

## 2.1 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。

## 2.2 CMOSセンサー

Wiiリモコンに搭載されたCMOS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複数点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[8]。このことからWiiリモコンのCMOSセンサーが非常に高性能であり、本システムのように、取得した指の位置をリアルタイムにカーソルの位置へと対応させるためには、適したデバイスである。

## 3. システム構築のための実験

### 3.1 実験の目的

本システムでは、ポインティング操作を行うために必要な1本または2本の指先位置の情報で、それをCMOSセンサーが正確に感知でき、かつ余計な反射光を感知しないシステムの状態を見つけたい。また、システムの使いやすさを考え、できるだけシステムの小型化を行うことを目的として実験を行った。図2の設置状態で実験を実施した。

CMOSセンサーで受光した赤外線の反射光の位置と受光した数を確認するため、このCMOSセンサーが同時に計測できる最大数の4点を、パソコンディスプレイ上に、異なる色のマーカー点で描画するプログラムを作成し、このプログラムを用いて受光状況の確認を行った。感知するのは2つまだが良いため、2つ以上を感知したときには、適切ではない状況であると判断した。



図2 システムの概観

### 3.2 投光器の設置位置

実験の結果、ユーザの動作の邪魔にならずに、赤外線がディスプレイ上に均等に投光できる場所は、投光器からディスプレイまでの距離が約1.2mで、高さは約1.1mが適当であり、操作をする手とは違う方向に設置すると良いことがわかった。ディスプレイ装置は、画面の大きさが40cm×35cmのものを使用し、床から高さ74cmの机の上に高さ6cmの台を置き、その上に設置した。机上から画面下端までの距離は18cmである。今回はユーザが右手で操作したので左後方の位置に設置した。

### 3.3 投光器の使用台数

本システムの開発当初は、投光器を4台使用してシステムを構築していたが、赤外線の投光が必要なのはパソコンのディスプレイ上であり、小さい範囲を投光するだけで良いので、投光器の数を減らせる可能性がある。また、投光器とディスプレイとの距離も、比較的短くして設置できると予想される。

投光器を1台から4台まで使い、Wiiリモコンの上側のみに1台から2台設置した場合、下側にのみ1台から2台を設置した場合、Wiiリモコンを挟んで左右に1台ずつ設置した場合、Wiiリモコンを挟んで上下に1台ずつ設置した場合、Wiiリモコンの上側、下側、更にWiiリモコンを挟んで左右に1台ずつ合計4台を設置した場合、Wiiリモコンの上側に2台、下側に2台の合計4台を設置した場合について実験を行った。その結果、Wiiリモコンを挟んで上下に2台並べて設置(図3)すると、パソコンのディスプレイ上の全ての場所へ赤外線が投光され、CMOSセンサーの反射光の受光についても適切な状態が得られることがわかった。



図3 Wiiリモコンと赤外線投光器の設置

## 4. 反射シート

反射シートは、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。今回は、3M社のスコッチライト反射シート(高輝度)を使用した。反射シートは、シートを円柱状にして指に装着する。このようにすることで、手や指の角度に関係なく安定して反射光を生成できるようになり、ほぼどの方向からも同じ大きさのシートが見えることになる。

本システムでは、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決定した。

まず、人差し指の反射シートは、15mm×18mmの大きさとした。これは、指先から第一関節までの大きさで、付けていて邪魔にならない大きさである。中指のシートは、当初は、人差し指と同じ位置に同じ大きさの反射シートを

装着していたが、2本の指の同じ位置に反射シートを装着すると、反射光が2個と感知できにくくなる現象が起きた。本システムは、「2本の指が閉じた状態」もイベント処理を行うときの判断として使用しなかったため、反射シートの位置を離すため、中指の反射シートの装着場所を第二関節の上に付けることとした。この位置に15mm×18mmのシートを装着すると、指が動かしにくくなり操作の妨げとなるため、確実に赤外線を反射することが可能な、一番小さいサイズの7mm×18mmのシートとし、図4のように中指に装着した。この位置に反射シートを装着することで、CMOSセンサーが赤外線の反射光の個数を正しく認識できるようになった。

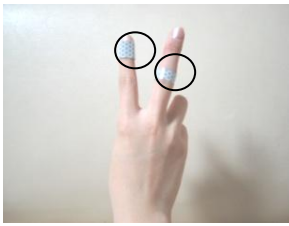


図4 反射シートの位置

## 5. キャリブレーション

ディスプレイ上の指の位置を、パソコンの画面上への位置へと変換を行うため、キャリブレーション処理が必要となる。キャリブレーションには、ディスプレイ上の使いたい範囲の4隅の位置の入力が必要となる。本システムでは、起動と同時に4隅の位置を入力するソフトウェアがディスプレイに表示される(図5)。①の画面には次に入力する4隅の位置にマーカー点が表示される。これにより、システムを初めて使うユーザでも、4点座標の順番を間違えて入力することはない。ユーザは、反射シートを付けた人差し指で、①の画面のマーカー点のある位置の、ディスプレイ上の隅を指す。次に、②のボタンを選択することで、ディスプレイの座標の入力の確定ができる。③では、入力値を表示しているため、確認することができる。間違えて適切ではない値を確定してしまったときには、クリアボタンを選択することで、再度座標の値を入力することが可能となる。入力した4つの座標の値から、内分比を使ったキャリブレーション処理を行った。

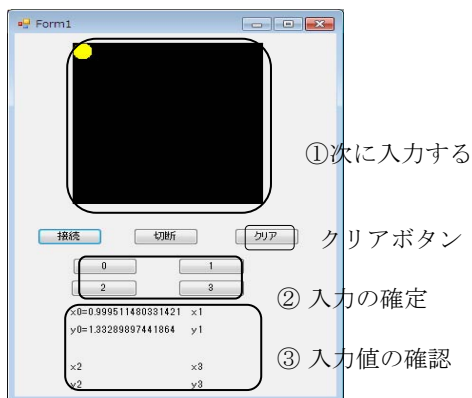


図5 4点の座標の入力

## 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 ディスプレイ上の座標への変換

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。

### 6.2 カーソルの移動

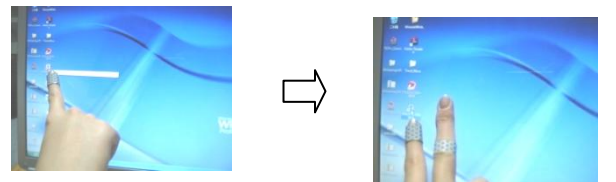
カーソルの移動は、指1本で行う(図6)。指をディスプレイ上で移動させると、指先と同じ場所にカーソルが移動する。指先にカーソルが追従して移動するので、直感的にカーソルを移動することができる。この動作は、カーソルの位置を反射光の位置に、置き換える処理を行うことで実装した。



図6 カーソルの移動の動作

### 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7(a))。この状態から、指を2本の状態にする(図7(b))ことによって、クリック動作を行う。指を2本の状態のまま、ディスプレイ上の複数のアイコン上を指が移動すると、カーソルが通ったアイコンを複数選択することが可能となる。この動作は、反射光の数の変化により実装した。



(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7 クリックの動作

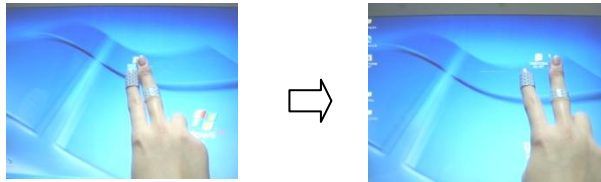
### 6.4 ドラッグ

6.3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8(a))を行い、2本の指を付けた状態(図8(a)右側)のままで手を移動すると、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8(b))動作を行う。(マウスの左ボタンを押してドラッグして、アイコンの無いところで左ボタンを押した状態)。この動作は、2つの反射光のX軸方向の距離を判定に使用して実装した。Y軸方向の距離は使用していない。



(a) アイコンを掴む



(b) アイコンを離す (選択解除)

図8 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9左側)2秒間停止の状態ですぐダブルクリックの動作となる。(図9右側は、ソフトウェアのアイコンをダブルクリックして起動した様子)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。

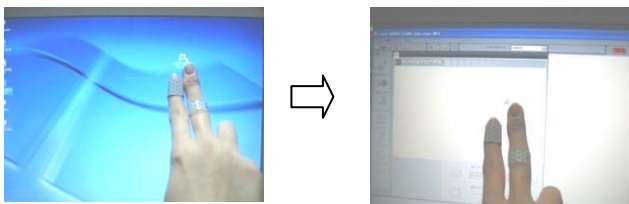
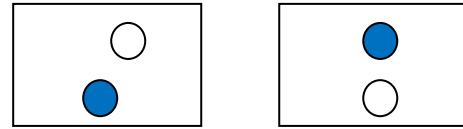


図9 ダブルクリックの動作

### 6.6 指の位置とカーソルの位置の対応

ディスプレイ上に1本の指が存在するとき(反射光が1つだけ感知されたとき)には、その反射光の位置がカーソルの位置となる。ディスプレイ上に2本目の指が存在するとき(2つ目の反射光を感知したとき)には、2つ目の反射光の位置にカーソルを移動させることはせずに、2つの反射光を感知した状態だけを覚えておく。2本の指を開いた状態で移動を伴う操作はない。そのため、2つ反射光が存在する場合でも、どちらが1つ目でどちらが2つ目に出た指からの光かを区別はしていないが、2つの反射光を感知した場合には、2つの反射光のうち、より左側の光

を選択する(図10(a))。ただし、2つの光が垂直方向に並ぶ場合は、より上側の光を選択する(図10(b))。早い動きで上下左右にドラッグをした時などには、カーソルが追従する指が入れ替わることが考えられるが、ドラッグ操作は、2本の指を付けた状態で移動するため、反射光は非常に近い距離に存在し、カーソルとして感知する反射光が途中で変わっても、操作に大きな支障はきたさない。



(a) 左側選択

(b) 上側選択

図10 2つの反射光とカーソルの位置

## 7. システムの評価

本システムについて、実装した操作(「カーソルの移動」・「クリック」・「ドラッグ」・「ダブルクリック」)の使いやすさや、動作の正確性などについての評価を行った。

### 7.1 評価環境

図11は、システムの評価中の様子である。今回は被験者全員が利き手は右手であり、操作を右手で行ったため、システムの赤外線投射器とWiiリモコンはユーザの左斜め後ろ、ディスプレイから約1.2m離れた場所に設置した。室内の環境は、窓からの太陽光などによる赤外線感知の誤動作を避けるため、システムの横にある窓のブラインドは閉め、太陽光が直接CMOSセンサーに当たらないようにした。天井の照明は付けたままの状態とした。



図11 システムを操作中の様子

### 7.2 評価実験

17～53歳までの、ほぼ毎日パソコンを利用する15名を被験者とした。評価実験の手順を以下に示す。

1. 操作の仕方を説明する(3分程度)。
2. システムの操作に慣れてもらう(4分程度)。
3. 普段行っているパソコンの操作を、本システムで実行する(5分程度)。

被験者には実際にWebブラウザの起動や閲覧、リンクページへの移動、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」・「クリック」・「ドラッグ」・「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、評価を行ってもらった。

評価基準は以下の5段階とした。

- 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. 結果と考察

図12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80%であり、「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、ディスプレイ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、ユーザは操作を考えずに実行できるので、高い評価になったと考えられる。「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、47%であり、カーソル移動の操作と比較すると評価は低い。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。「普通」の評価が53%であるのと、「使い難い」との回答は0%であるため、操作としては問題ないものと考えられる。次に、「ドラッグ」の操作については、「使い難い」との回答が20%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。この操作については、被験者からは、操作に慣れていないと使い難いと感じる、との意見があった反面、アイコンを掴む、離すという動作は直観的であるため、わかりやすい動作であるとの好感的な意見も多数あった。これについては、「非常に使いやすい」「使いやすい」の評価が47%であり、「普通」の評価の33%を上回っている結果に反映されていると考えられる。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。「ダブルクリック」の操作については、「使い難い」が13%だったが、「使いやすい」・「非常に使いやすい」との評価を合わせると52%と評価が高かった。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、「使いやすい」との回答が多かったと考えられる。

次に、図13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」との評価だけだったため、非常に評価が高く、カーソル移動の操作が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る。「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」との評価を合わせると59%であり、その他の回答は「ほぼ正確に動作する」であり、「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正確に動作すると判断しても良いと考えられる。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52%であり、「ほぼ正確に動作する」は26%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20%だった。この理由として、アイコンを掴む動作をしたときに、「掴む」の判断が瞬時に出来なかったということが、正確に動作をしなかった原因ではないかと考えられる。被験者からは、この動作については、本システムの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たため、操作に不慣れな面と、人差し指と中指で掴む動作がやりにくい点が影響しているのではないかと意見があった。ドラッグの操作では、2本の指を付けた状態のまま移動を行うが、移動中に指と指が離れてしまうことともあるため、当初、指間の距離の情報だけで状況を判断していたが、誤動作が非常に多かった。そこで、ドラッグを終了し、アイコンの選択を止めるために指を離したと判断するときには、2つの反射光が付いた状態で停止し、ある一定の時間が経過してから、指が離れた状態になると、アイコンの選択の解除の動作とし、ある一定の時間以内であるとドラッグの移動中に、たまたま指が離れてしまったと判断した。このように、指と指との距離の状態と、時間の情報を判断に使用することで、ドラッグ操作の誤動作が非常に少なくなり、正確に動作するようになった。「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、52%であり、「ほぼ正確に動作する」が26%なので、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」との回答が20%であった。ダブルクリックの動作は、指を2本の状態に2秒待ただけの動作なので、ドラッグのように操作に不慣れが誤動作の理由ではない。2秒間の間に微妙に指が動いてしまうのが理由とも考えられるため、2秒間同じ場所で停止の基準の見直しが必要であると考えられる。

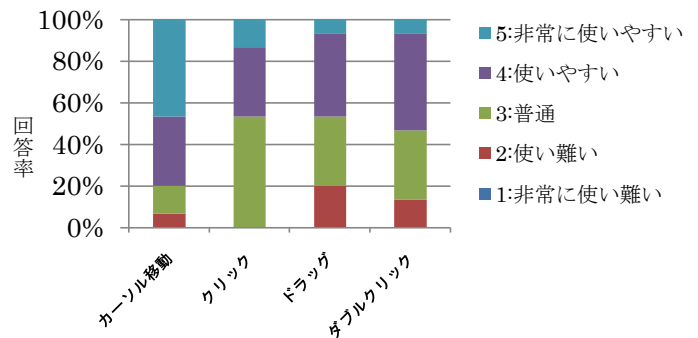


図12: 動作についての評価結果

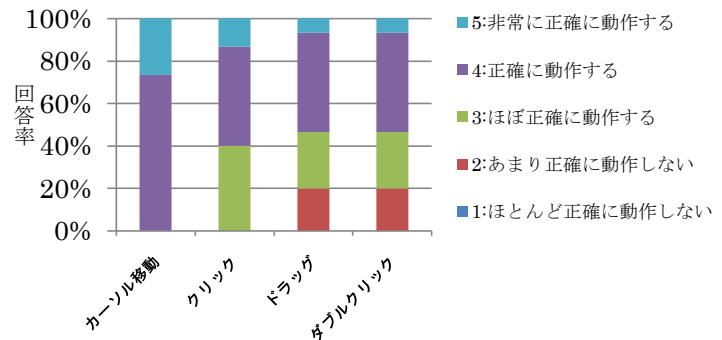


図13: 動作の正確さについての評価結果

1: 非常に使い難い 0%

5: 非常に使いやすい 0%

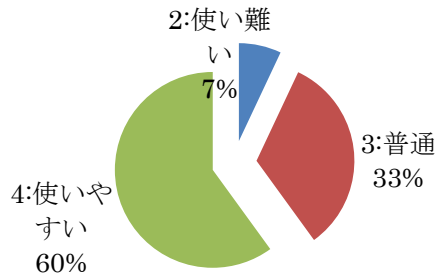


図 14: システム全体的使いやすさについて評価結果

次にシステム全体の使いやすさについての評価結果を図 14 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、「1: 非常に使い難い」と、「5: 非常に使いやすい」との回答は共に 0%であった。「使いやすい」は 60%、「普通」は 33%、「使い難い」は 7%であり、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。

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「非常に使い難い」、動作の正確さについては、「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。これについてはシステム全体の使いやすさの評価結果の、「非常に使い難い」との回答が 0%であったことと一致する結果となった。しかし、各操作についての使いやすさについては、各操作ともに「非常に使いやすい」との評価が、カーソルの移動で 47%、クリック操作で 13%、ドラッグ・ダブルクリックで各 7%であったが、システム全体の使いやすさでは、「非常に使いやすい」との評価が 0%であり、個々の操作については非常に使いやすいと感じても、全ての操作について非常に使いやすいと感じていたユーザがいなかったと考えられる。

## 9. おわりに

本研究では、パソコンのディスプレイ上の指の動きで、マウス操作を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、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、パソコンのディスプレイ上で、指を動かすだけで操作を可能にした。被験者の評価の結果から、「操作に慣れると使いやすい」、「マウスを使わずにマウス操作ができるので、マウスを操作する必要がなくなるため便利である」、「ユーザは反射シートサックを指に付けるだけなので、システムを意識せずに容易に使うことができる」などの好評な意見が多く聞かれた。

一方、「ディスプレイが机上に垂直に設置されており、ユーザはそのディスプレイの前で手を動かし操作を行うので、長い時間操作をしていると手が疲れる」という意見があった。これについては、ディスプレイの向きや、設置の仕方について今後検討を行う予定である。また、8 で報告

した、本システムの全体的な使いやすさの評価実験の結果(図 14)から、本システムが「非常に使い難い」との評価が 0%であり、極端に使い難いシステムではないことが評価できた。

タッチパネルを使ったシステムでは、画面を直接触れることで操作を行うため、タッチパネルの画面が汚れるという欠点がある。一方、本システムは画面に非接触でも操作することができるので、手が汚れた状態でも画面を汚さずに使うことができる。この点も利点として挙げられるだろう。

今後は、システムの使いやすさや操作方法などの見直しや改良を行い、更に使いやすいシステムとなるように検討を重ねる予定である。キャリブレーションについても、今のシステムでは、使いたいディスプレイの範囲の 4 隅の座標の入力を行っているが、簡易的にそして正確に行えるように検討を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 藤本昌宏, “AirGrabber: 小型カメラと傾斜センサを用いたバーチャルキーボード”, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士論文, 2004
- [2] 岡 兼司, 陳 欣蕾, 中西泰人, 佐藤洋一, 小池英樹, “拡張机型インタフェースのための複数指先の追跡とその応用”, 情報処理学会画像認識・理解シンポジウム(MIRU2002)論文集, pp.1-39-48, 2002
- [3] 吉村康弘, 片山 晋, 古谷博史, “指先情報を用いた Vision-based Interface の提案”, 情報処理学会, 火の国情報シンポジウム 2005, b-5-1, 2005.
- [4] Johnny Chung Lee, “Low-Cost Multi-point Interactive Whiteboards Using the Wiimote”, <http://johnnylee.net/projects/wii>. (accessed 2011-03-17)
- [5] 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
- [6] Brian Peek, “Brian Peek.com”, <http://www.brianpeek.com/>. (accessed 2011-03-03)
- [7] CodePlex, “CodePlex”, “Project Hosting for Open Source Software”, <http://www.codeplex.com/>. (accessed 2011-03-03)
- [8] 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)