

## sPieMenu: 敢えて隠すパイメニュー

栗原一貴<sup>†</sup> 永野直<sup>††</sup> 渡辺裕太<sup>†††</sup> 藤村裕一<sup>††††</sup>  
皆月昭則<sup>†††</sup> 林秀彦<sup>††††</sup>

ダイレクトタッチを用いた電子黒板は聴衆の不要な視線移動、操作者による資料コンテンツの遮蔽が起こる点が問題である。そこで我々は、特殊なパイメニューを備えたマルチタッチ電子黒板を開発した。このパイメニューは従来のものと異なり、操作者の手のひらによって聴衆の視線から隠されるという特徴がある。これにより、提案手法が操作者への操作支援を行うとともに、聴衆の不要な視線移動を抑制できることを示す。

## sPieMenu: A Knowingly Occluded Pie Menu

Kazutaka Kurihara<sup>†</sup> Naoshi Nagano<sup>††</sup>  
Yuta Watanabe<sup>†††</sup> Yuichi Fujimura<sup>††††</sup>  
Akinori Minaduki<sup>†††</sup> Hidehiko Hayashi<sup>††††</sup>

Direct-touch interfaces such as touch-sensitive electronic whiteboards have two serious problems. First, the presenter's hand movement for manipulation tends to distract the audience's attention from contents. Second, the presenter tends to occlude contents. In this paper we developed a new electronic whiteboard system with multi-touch gestures and a special pie menu interface. This pie menu is shown behind the presenter's palm and thus invisible to the audience. It allows both novice and expert users to manipulate the contents and minimizes distraction of the audience's attention on the contents.

### 1. はじめに

近年、大画面ディスプレイおよびダイレクトタッチ入力デバイスの普及により、授

業、プレゼンテーション、会議などにおいて不特定多数の聴衆に対し、直接画面上に提示している資料とインタラクションを行いながら議論を進める電子黒板システムが普及してきている。これは、黒板（白板）とチョークによる資料作成および提示を行いながら議論を進めるという、旧来から洗練されてきた手法と似通ったコミュニケーションスタイルを実現できるとともに、マルチメディア資料の提示や予め作成した資料の呼び出しなど、ICT 技術ならではの恩恵を受けることもできるため、非常に効果的なコミュニケーション手法であると考えられる。

大画面ディスプレイにダイレクトタッチ入力デバイスを組み合わせた電子黒板システムを構築する場合、HCI の視点からは、インタフェースデザインにおいて考慮すべき問題が存在する。それは、機能選択インタフェースの局所化（localizing）である[14]。旧来のデスクトップアプリケーションのように、機能切り替えツールボタンがアプリケーションウィンドウの周辺部に配置されていると、画面サイズが大きくなればなるほどそこにフォーカス（たとえばカーソルなど）を移動するコストが大きくなる。これは大画面ディスプレイだけでなく、フォーカス移動にエネルギーを多く消費する、タブレット PC などのダイレクトタッチインタフェースにおいても同様に見られる現象である。

この問題に対し、Callahan ら[2]、Ramos ら[12]、Grassman ら[13]などは、パイメニューや Pressure widget, Hover widget, といった、現在のカーソル位置からの相対的な移動量や、ペンの圧力、ペンの高さといったモダリティの活用した機能選択インタフェースを実現してきた。これらは、操作者の現在いるカーソル位置に依存しない操作性を提供することで、インタフェースの局所化を達成したのと言えよう。

本研究では、インタフェースの局所化の概念を継承し、発展させた思想として「聴衆の視線の局所化」という概念を提案する。上記先行研究では、アプリケーションと操作者が1対1で向きあっており、その環境下で操作者の利便性を最適化するという点が目標であった。しかし授業用電子黒板、プレゼンテーションツール、会議支援ツールなどにおいては、アプリケーションを通じて（通常）一人の操作者が、不特定多数の聴衆とコミュニケーションをとるという状況でのインタフェースデザインを考えなければならない。そこでは操作者の利便性の最適化に加えて、「操作者によるツール操作が、聴衆に与える悪影響の最小化」を考慮することが必要である。たとえば、操作者がアプリケーションの機能選択のために、画面上で体幹、腕、指を頻繁に移動していると、聴衆はディスプレイ上の情報よりも操作者の動きに注目してしまう可能性がある。あるいは、操作者が機能選択のためにディスプレイ上に大きなメニューを表示させてしまうと、本来聴衆に提示したい資料が遮蔽されてしまい、またメニュー操作に聴衆の関心が推移してしまう可能性がある。

聴衆の視線の局所化はそのための対策の一つであり、操作者によるツール操作に伴う身体動作やディスプレイ上の提示情報の変化により、聴衆の不必要な視線移動が促

<sup>†</sup> 産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)  
<sup>††</sup> 鳴門教育大学大学院  
Graduate School of Naruto University of Education  
<sup>†††</sup> 釧路公立大学  
Kushiro Public University of Economics  
<sup>††††</sup> 鳴門教育大学  
Naruto University of Education

進され、本来の目的であるコミュニケーションへの集中・関心が損なわれないようにインタフェースデザインを行なう指針である。

我々は、聴衆の視線の局所化を実現するものとして、マルチタッチ技術を用いた電子黒板システムを開発する。機能選択インタフェースとしては、よく用いられる手法であるマルチタッチジェスチャと、新たに提案する特殊なパイメニュー「sPicMenu」を組み合わせたものを採用する。sPicMenuは通常のパイメニューとは異なり、操作者の手のひらによって聴衆の視線からメニューが隠されるという特徴がある。この特徴により、幅広いユーザ層に対しマルチタッチジェスチャでは完結できないような多様な操作を可能とし、また同時に聴衆の視線の局所化を図る。

本研究は以下の構成から成る。まず、2章において研究背景を概説する。次の3章において提案するマルチタッチ電子黒板システムの実装について述べる。4章では提案システムの性能を評価、考察し、5章に成果をまとめる。

## 2. 研究背景

### 2.1 ダイレクトタッチインタフェース

電子黒板システムのインタフェース設計においては、操作者の操作性とともに聴衆にとって操作者の操作行動やその結果がどのように認識されているかが重要である。前者について、ダイレクトタッチインタフェースは、ポインティングやドラッグ操作においてタッチパッドやマウスよりも速く正確に入力が可能である場合があることが明らかになっている[7]。また、後者について、ダイレクトタッチによる資料提示は、聴衆にとって指先の目標を視認しやすいという評価がある[3]。しかし一方で、操作者の腕が資料コンテンツを遮蔽したり、大画面になるにつれ、腕を画面上で大きく動かしたりしなければならないという問題が明らかになっている[9]。

従来の電子黒板の操作では、周辺部に配置された書き込み、移動などのツールボタンをタッチすることによって機能の切り替えを行うものが通常である。このような操作について、アイマークレコーダーを用いて被験者の視線移動を記録し観察したところ、画面の端に配置されているツールボタンを操作する際に、腕が資料コンテンツを遮ったり、視線が資料コンテンツ以外の部分で激しく移動（不要な視線移動）したりしていることが確認された（図1）。この結果は、聴衆の「腕の動きがあただしい」、「腕で写真が隠れて見にくい」という印象を裏付けている[7]。

資料の提示を目的とした場合、操作の際に意図せず資料コンテンツを隠してしまうことや、聴衆の関心を操作そのものに向け、資料コンテンツから奪うことは避けられるべきである。

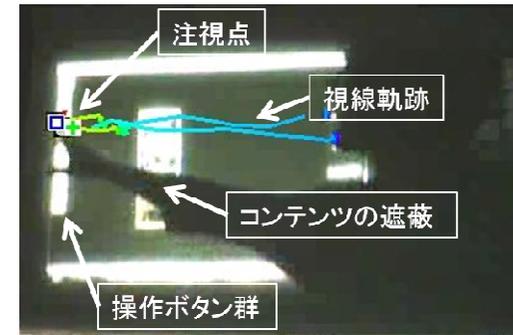


図 1 電子黒板における聴衆の視線移動

### 2.2 マルチタッチジェスチャ

マルチタッチインタフェースは、複数の指の検出と豊富なジェスチャの活用により、少ない操作の移動量で多様な機能が実現される可能性をもっていると考えられ、電子黒板システムの入力インタフェースとして有望である。

小國ほか[9]もシングルタッチ電子黒板システムにおけるジェスチャ活用の可能性について述べているが、採用はしていない。その理由として、ジェスチャの形状が自明でなく、操作が記憶しにくいことを挙げている。シングルタッチによるペンや指の入力では、単純な1点の動きしか認識できないため、多くの機能を利用するには、ジェスチャの動きを複雑にして対応する以外なかったからである。このような複雑な動作は、人間の自然な動きとジェスチャ操作が乖離していくこととなり、操作の覚えにくさにつながる。

マルチタッチインタフェースを用いれば、複数の指や両手を使った複数点の入力、複数方向への同時入力が可能なことから、その組み合わせにより、自然かつ単純な動きを複数の機能に割り当てることができる。人間の「こうしたい」という認知行動と、機能を実行する操作行動を関連づける[8]ことで、操作者はジェスチャを覚えやすくなる。また自分が操作したという実感[8]を得やすいことも利点となる。これに照らして考えると、操作対象の状態を過去へ、未来へ、上下左右方向へ、拡大させる、縮小させるといった、「方向」、「時間」、「大きさ」を表す物理量を操作する作業は、手を広げる、縮めるなどの人間の自然な動きと関連付けやすく、ジェスチャとして覚えやすい。反対に、ペンの色変更や、印刷など「方向」、「時間」、「大きさ」の物理量に換言できない操作については、ジェスチャに割り当てても覚えやすいとは言えない。通常電子黒板で利用される機能だけを見ても、ストロークによる描画、ペンの色と太さの変更、写真オブジェクトなどの拡大縮小、移動、コピー&ペースト、描画エリア全体の拡大縮小、スライド切り替え、アンドゥ、リドゥ、印刷など、多くの機能を要する。操作

者にとって見た場合、電子黒板に必要なこれらの機能すべてをジェスチャに割り当てることは決して使いやすいものでないことを示している。よって、以下に述べるような機能選択インタフェースとの融合を検討した。

### 2.3 機能選択インタフェースの局所化

ダイレクトタッチインタフェースにおける局所化されたメニュー選択方式として、パイメニューインタフェースが挙げられる。これは、指やペンでタッチした点を中心として、円状にメニューを表示させ任意の位置で機能を実行できるものである。上下に直線的に並ぶプルダウンメニューなどのメニュー選択方式に比べ、円を分割した扇状のメニューを操作するため、各機能へのアクセスはすべて等距離となり、操作者の腕の動きを小さくできる[2]。また、操作に熟練に合わせて、メニューを表示しないジェスチャ入力（マーキングメニュー）へと滑らかに移行できる点が優れている。

機能選択インタフェースの局所化は、使用可能なハードウェアの余剰自由度を用いても行われてきている。Pressure widget[12]は、スタイラスペンの圧力検知を用いた機能選択を行なっている。また Hover widget[13]は、スタイラスペンの中空状態（Hover state）を検出することにより機能選択を行っている。

電子黒板における機能選択インタフェースとしてこれらのインタフェースを採用する際は、メニュー表示自体が聴衆の注意を奪ってしまう可能性を検証するとともに、次節で述べる遮蔽問題について検証する必要がある。

### 2.4 遮蔽問題への対策

ダイレクトタッチインタフェースにおける問題点として、「遮蔽問題」が挙げられる。これは、操作者の身体部分が機器操作のためにディスプレイ上に来ることによって、ディスプレイ上の情報が隠れて見えなくなる問題である。Vogel らは、TabletPC 上でのペン操作によってどの程度の領域が遮蔽されるかをモデル化した[11]。また Brandl ら[10]は、操作者の手の位置をマルチタッチディスプレイへの接触面から推測し、遮蔽領域に入らないようにメニューを動的配置するインタフェースを提案した。

本研究はこれに対し、遮蔽を逆に活用する立場をとる点が独創的である。電子黒板システムでは、ディスプレイ上の資料コンテンツを聴衆に提示する。その際、提示者（操作者）はコンテンツを身体により指示することがあるが、これは聴衆にとってのコンテンツの遮蔽を引き起こす。しかし通常は提示者が指し示す点と遮蔽領域は異なるため、聴衆にとって問題になることは比較的少ないと考えられる。この、操作者にとっては可視であり、聴衆にとっては遮蔽が生じている領域に情報を提示しインタラクション手法を整備することで、聴衆に見られることなく機器操作を行なうことが可能となる。

## 3. 提案するマルチタッチ電子黒板

本節では、提案するマルチタッチ電子黒板システムについて、その構成と実装方法について述べる。提案システムは、マルチタッチを実現するハードウェアと、基盤となる電子黒板ソフトウェア、およびその操作を司るインタフェース部から成る。

ハードウェアには、Han[4]による FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) を採用し、マルチタッチパネルを作成した。電子黒板ソフトウェアとして、オープンソースプレゼンテーションプラットフォーム「ことだま」[5]を採用した。

### 3.1 インタフェースの概要

ダイレクトタッチを用いた電子黒板システムにおいて、操作者の腕の動きを減らし、聴衆の関心を資料コンテンツに向けさせることを両立するには、ジェスチャによるオペレーションが有効である。また覚えにくいジェスチャもあることから、操作者のジェスチャ記憶を軽減するための支援機能が必要である。ただし、その支援機能が聴衆にとって余計な関心を与えないことと、資料コンテンツの遮蔽をなるべく起こさないことが求められる。

そこで我々は以下に述べるジェスチャ操作と新たに提案する sPieMenu を組み合わせた電子黒板操作インタフェースを提案する。

#### 3.1.1 ジェスチャによる操作

電子黒板による資料提示を行う際に、必要と思われる機能のうち、画面への書き込みとオブジェクトの移動、オブジェクトの拡大縮小が、最も使用頻度の高いものである。それらの機能を、2.2 で述べたように人間の認知的な行動との親和性を考慮して 1 本指、2 本指によるタッチジェスチャに割り当てた。それ以外に必要なと思われる機能を 3 本指のジェスチャ及び sPieMenu に割り当てた。

- 1 本指の移動：ストロークによる書き込み（図 2）
- 2 本指の平行移動：オブジェクト上ではオブジェクトの移動、背景上では描画エリア全体の視点移動（図 3）
- 2 本指の開閉：オブジェクト上はオブジェクトの拡大縮小、背景上は描画エリア全体の拡大縮小（図 4）
- 3 本指の回転：アンドウ、リドゥ（図 5）

#### 3.1.2 sPieMenu による操作

sPieMenu は、パイメニューを操作者の手のひらの中に表示させ、ジェスチャ方向を操作者に明示するものである（図 6）。マルチタッチパネルを利用することで、操作者は定められた指の本数で画面をタッチすることで sPieMenu を表示させることができる。sPieMenu の目的は、操作者にとっては手のひらの中を目視することで実行する機能を確認でき、聴衆に対しては、操作による余計な関心を奪わず、また資料コンテンツの遮蔽を少なくすることである。操作者の習熟度が増すにつれ、メニューの目視が

必要なくなり、単なるマルチタッチジェスチャ操作と融合するような設計となっている。通常のパイメニューがマーキングメニューに移行する際とは異なり、明示的なメニューの表示、非表示の切り替えが必要ない。これは、「授業中に学生・生徒が発表する」といったような多様な熟練度の複数ユーザによる使用が想定される電子黒板システムにとっては利便性が高いと考えられる。

具体的な操作は以下のように行う。3本指で画面にタッチすると、3点の形から手の向きを算出し、手のひらの中にパイメニューが表示される。指がパネルに接している間、指から一定の距離に追従する。これにより、パイメニューは腕が移動しても手のひらの中に常に隠れることとなり、聴衆からは隠された状態となる(図6)。なお、タッチ点からの距離、メニューの直径はパラメータで変更可能である。

3本指でタッチした後、以下の方向にスライドさせることによって、各機能を実行する。

- 左：前のスライドを表示 (Back)
- 右：次のスライドを表示 (Next)
- 上：全コンテンツを画面内に表示 (Overview)
- 下：選択したコンテンツをコピー&ペースト (Copy)

多くの機能を支援するには、パイメニューの分割数を多くすることで可能となるが、それは同時にパイメニューにおける1機能あたりの角度(即ち扇型の面積)の減少に対応するため、厳密な方向への入力を要求することになる。著者1名を被験者として分割数を2,4,8,16とし、操作性を検証する簡易な予備実験を行ったところ、実際の授業・発表などで実用的な精度で使用するには、分割数が4の場合が上限であるという結果を得て、上記のようなデザインとした。

なお、パイメニューによる実行可能な機能数を増やすためには、メニューの階層化も有効である[6]。しかし階層化は操作を複雑化し、また実行可能な機能セットの一覧性に欠け、初心者ユーザにとって利便性を欠くことが予想されるため、本研究では取り扱わないこととした。

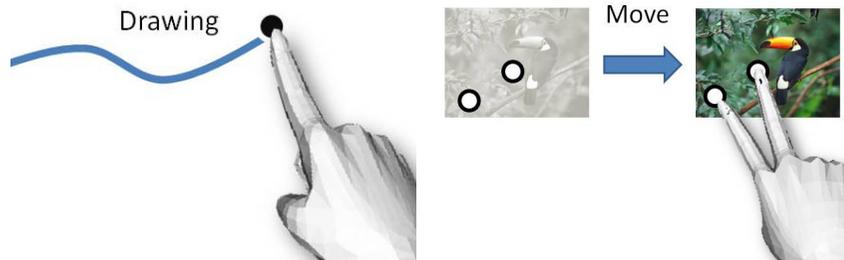


図2 手書きの書き込み (1本指) 図3 オブジェクトの移動 (2本指)

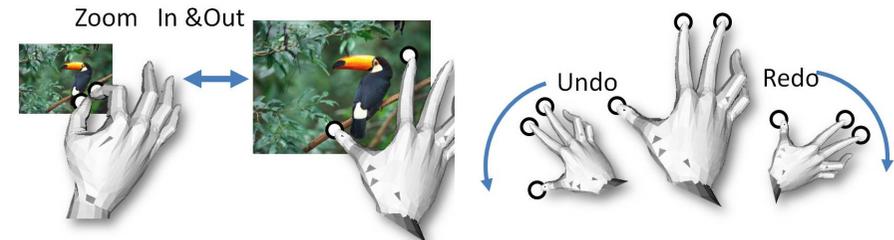


図4 オブジェクトの拡大縮小 (2本指) 図5 アンドゥ・リドゥ (3本指)

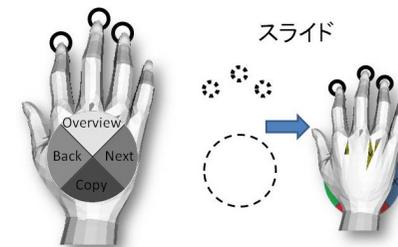


図6 sPieMenu

## 4. 実験

3章で記したマルチタッチ電子黒板システムの特徴を明らかにするための2つの実験を行った。通常のパイメニュー (PM と記す) と sPieMenu (SPM と記す) のユーザビリティ比較実験、およびツールボタンによる電子黒板インタフェースと提案インタフェースの視線移動量比較実験である。以下に順に詳細を述べる。

### 4.1 PM と SPM のユーザビリティ比較 (実験1)

初心者と熟練者のそれぞれについて、タッチパネルに対する立ち位置が、PM と SPM の入力操作にどのように関係するかを調べるための実験を行った。ここでの仮説は、以下の2つである。

- 仮説1 熟練者においては、SPM は PM と遜色のない性能を発揮する。
- 仮説2 初心者においては、立ち位置によっては PM と SPM に性能の差が表れる。



図 7 立ち位置と操作者・聴衆の視点

#### 4.1.1 方法

整数番号の割り振られたパイメニューに対し、無作為に課題となる番号を提示し、被験者が1操作を完了するまでの時間（課題実行時間）と正解・不正解を記録するプログラムを用いて実験を行った。ここでのパイメニューの分割数は4である（図8）。次に実験に用いた各条件について説明する。熟練度（初心者・熟練者）については、パイメニューの4分割された領域に割り振られた1から4までの番号の配置を記憶していることが熟練者、記憶していないことが初心者と定義する。熟練者は番号の配置を記憶しているため、パイメニューを目視することなく操作が可能となり、一方初心者は毎回目視が必要である。

この条件を人工的に作り出すために、熟練者条件については図8のように番号の配置を時計回り昇順に固定したうえで十分に被験者に操作に慣れてもらうことで実現した。一方初心者条件については、毎回の試行で番号の配置をランダムに変更することで、配置の記憶ができないようにすることで実現した。

立ち位置（正面、利き手順側、利き手逆側）には3種類がある。利き手逆側とは右利きの場合は画面に向かって左側に立ち、利き手順側とは画面に向かって右側に立つことである（図7）。利き手が左の場合は逆になるが、本実験では被験者はすべて右利きであった。

正面条件については、そもそも操作者の身体により聴衆の視線を大きく遮ることから実際の運用場面では有益ではないが、どの程度差が現れるかを確認するために条件に含めることとした。

最後に、メニューの表示位置（PM・SPM）については、パイメニューの直径を被験者の手のひら裏側に隠れるサイズに設定し、PMにおいてはその中心座標が中指のタッチしている座標、SPMにおいては手のひらの中心になるよう調整した。

実験は12人の被験者により各条件群の実施順を無作為化して提示し、全12種類の各条件群をそれぞれ20回ずつ、合計240試行ずつ行った。ただし、各被験者について、熟練者としての条件を損なわないように、熟練度のみ熟練者条件が先、初心者条件が後となるよう提示順を固定した。被験者には、パイメニューの操作および各立ち位置、熟練度条件についてあらかじめ説明した上で充分練習を行った。

分析は、熟練者条件の方が初心者条件に比べて課題実行時間が短いことはおよそ想像に難くないため、熟練度（初心者・熟練者）を別々に取り扱い、それぞれにおいて立ち位置（正面・利き手順側・利き手逆側）とメニュー表示位置（PM・SPM）を独立変数とし、課題実行時間を従属変数とした3×2の分散分析により行った。多重比較にはBonferroni法を用いた。なお、分散分析においては課題正解時、不正解時のケースを全て含めて行い、総合的な操作性の比較を行った。

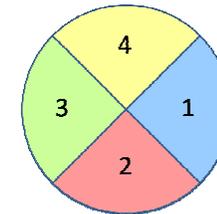


図 8 実験に用いた PM および SPM の形式

#### 4.1.2 結果

実験の結果を表1、表2に示す。

##### a. 課題正解率

本実験全体における課題の正解率は98.5%と高い数値であった。

##### b. 熟練者条件

分散分析の結果、立ち位置の主効果が有意であり( $F(2,1434) = 3.090, p < .05$ )、メニュー表示位置の主効果は有意ではなかった。また有意な交互作用は認められなかった。立ち位置について多重比較を行ったところ、5%水準で有意な差は認められなかった。

##### c. 初心者条件

分散分析の結果、メニュー表示場所の主効果は有意であり( $F(1,1434) = 35.379, p < .001$ )、立ち位置の主効果も有意であった( $F(2,1434) = 12.207, p < .001$ )が、交互作用も有意であ

ったため( $F(2,1434) = 32.515, p < .001$ ), これらの主効果は有意な交互作用により限定される。

交互作用が有意であったため, 単純主効果の検定を行った。その結果, 利き手順側条件においては, SPM 条件に比べ, PM が有意に速かった ( $p < .001$ )。また, 利き手逆側条件においては有意に SPM 条件が速く ( $p < .01$ ), 正面条件においては有意に PM 条件が速かった ( $p < .001$ )。さらに SPM 条件において, 利き手順側条件よりも利き手逆側条件が有意に速く, ( $p < .001$ )。正面条件よりも利き手順側条件が有意に速かった ( $p < .01$ )。また利き手逆側条件は正面条件よりも有意に速かった ( $p < .001$ )。その他の条件では, 5%水準では有意な差は認められなかった。

#### 4.1.3 考察

4 方向のジェスチャと機能を関連付けて覚えている熟練者にとっては, 課題の実行にメニューの目視が不要なため, メニューの視認性が悪化する可能性のある SPM でも操作性が低下していないと考えられる(仮説 1)。分析の結果 PM が有意に速いという結論が得られなかったことから, SPM は熟練者にとっては PM と同様の操作性をもっていると判断でき, 仮説 1 は支持される(表 1)。

初心者条件では, 目視の必要があるため立ち位置によっては SPM と PM で性能に差が表れる可能性がある(仮説 2)。実験の結果から, 仮説 2 は支持された(表 2)。詳しく分析結果を見ていくと, 正面および利き手順側では PM に比べ, SPM の課題実行時間は増加した。しかし, 立ち位置が利き手逆側の場合は, PM よりも SPM の方が速く入力が可能という結果になった。これは, 操作者は利き手逆側で SPM を操作する場合のみ, 手のひらの中が完全に目視可能となるため(図 7), 速やかに指示方向を確認できるからであると考えられる。一方で PM は利き手逆側に立つと, 指の影になって目視できない部分があることが速度低下につながったと推測される。

さらに, 被験者からのコメントも分析結果と整合性のあるものであった。SPM 条件について利き手順側では成績が悪くなる傾向があるが, 被験者からも「この位置からは操作がしにくかった」という意見が多く聞かれた。これは右利きの場合, 画面に向かってに右側に立ち, 親指を下に向けて操作を行うこととなり, いわゆる「逆手」の状態となっている。結果のばらつきが大きいことから, すべての被験者にとって SPM の操作を行いやすい姿勢とはいえ, 利き手順側での SPM 操作は得意・不得意が分かれやすいと言える。

また, 初心者条件の場合, SPM 条件について成績が正面, 利き手逆側, 利き手順側の順に向上した。SPM は手のひらの裏側にメニューが表示されるため, 初心者・正面・SPM の組合せ条件では操作性が最も悪くなることを想定しており, 実験結果でも裏付けられた。これに対応し, 正面から操作する場合には最も見にくくなるというコメントが多く聞かれた。利き手順側については, メニューの全部が隠れるわけではないが, 一部が指に隠れて見にくい場所がある。利き手逆側は手のひらの裏側に表示されても,

斜め方向から見ているため, 指に隠れる部分は全くなく, 3つの立ち位置の中で, 最もメニューが見やすいというコメントが多かった。

表 1 熟練者条件における平均課題実行時間(単位:秒)

熟練者	PM 平均(SD)	SPM 平均(SD)
利き手順側	1.270(0.414)	1.342(1.041)
利き手逆側	1.284(0.473)	1.180(0.347)
正面	1.238(0.478)	1.202(0.441)

表 2 初心者条件における平均課題実行時間(単位:秒)

初心者	PM 平均(SD)	SPM 平均(SD)
利き手順側	1.578(0.458)	1.799(0.550)
利き手逆側	1.668(0.555)	1.534(0.341)
正面	1.563(0.516)	1.984(0.737)

## 4.2 聴衆の視線移動計測(実験 2)

現在電子黒板のインタフェースで主に採用されているシングルタッチによるツールボタンと, 我々の提案するマルチタッチ SPM のそれぞれを用いた資料提示によって, 聴衆の視線移動量にどのような違いがあるかを調べた。ここでの仮説は, ツールボタンインタフェースより, 提案インタフェースでの操作が, 聴衆の視線移動量が少なくなることであり, すなわち, 提案インタフェースにより「聴衆の視線の局所化」が実現されることである。

### 4.2.1 方法

写真オブジェクトの拡大縮小(図 4), スライド切り替え(図 6), アンドゥ, リドゥ(図 5)の各操作を含む, 模擬的な資料提示の場面を 2 種類のインタフェースを用いてそれぞれビデオ撮影し, 視聴した被験者の視線移動を計測する。

使用したインタフェースは, シングルタッチによるツールボタンでの機能切り替え(図 9)と, マルチタッチによるジェスチャ及び SPM での機能切り替えである(図 10)。操作行動の違いによる聴衆の視線移動の影響を明らかにするため, 両インタフェースとも注視すべきコンテンツを常に画面中央付近に表示されるように操作する。

操作を撮影した映像は, 両インタフェースによる操作はともに 90 秒であり, 実行している機能の種類とその順序についても両インタフェースで同様である。

撮影したビデオはインターレースフルハイビジョン画質(1080i)であり, 37 インチハイビジョンディスプレイに投影する。被験者はディスプレイから 140cm の位置に座り,

アイマークレコーダー(EMR-9 Nac Inc.)を装着して実験映像を視聴する(図11)。  
 ツールボタンによる操作映像をA, マルチタッチSPMによる操作映像をBとし, 被験者は各映像を2回ずつ, 計4回視聴する。その順序は全14名の被験者ごとにA, B, B, Aの順とB, A, A, Bの交互に行うことで, 順序効果を相殺している。



図9 ツールボタンインタフェース



図10 マルチタッチSPMインタフェース



図11 視線移動量測定実験の様子

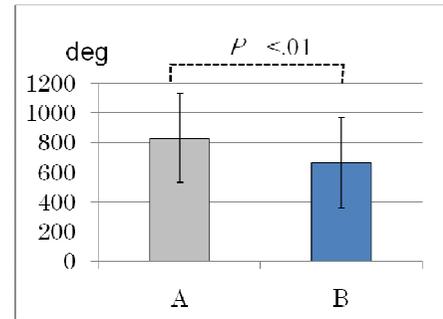


図12 視線移動量の比較

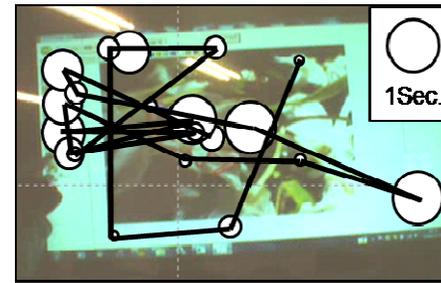


図13 映像Aの視線停留点軌跡

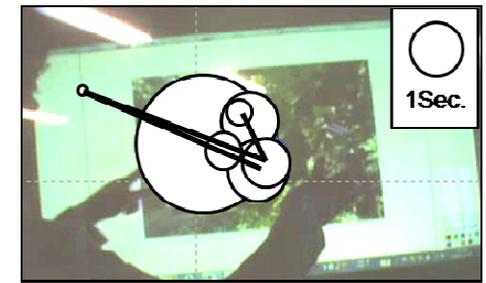


図14 映像Bの視線停留点軌跡

#### 4.2.2 結果

被験者の視線移動量は, 各サンプリング時刻での移動量(視線移動角度[deg])を積算して算出した。

実験の結果を図12に示す。A及びBの視線移動量についてt検定(両側)を行ったところ, 両者の視線移動量に有意な差がみられ( $p < .01$ ), B条件がA条件より少ない結果であった。

#### 4.2.3 考察

実験結果から, 提案インタフェースによる操作が聴衆は視線移動量が小さいことが定量的に示され, 仮説は支持された。以下に「聴衆はどこを見ていたか」について分析を補足する。図13および図14はある同一被験者における, 画面拡大縮小操作時の映像Aと映像Bの視線移動軌跡及び停留点である。直線が視線移動軌跡, 円の面積が視線停留時間の大きさを表している。

この被験者の視線移動が記録された映像を観察すると, Aについては, 被験者の視線移動が大きく, また画面周囲での視線の停留が多い(図13)。対してBは, 視線移動も少なく, 画面中央での視線の停留が長い(図14)。Aでは, 画面左側と右下に特徴的な停留点が見られる。被験者視点とのオーバーレイ画像(図13)を見ると, 画面左側に配置されている機能切り替えモードボタン, 及び右下に位置する拡大縮小ダイヤルの操作位置(図9), で停留が起こっていることが読み取れる。一方, Bではツールボタンやダイヤルは存在せず(図10), コンテンツ付近で各機能の切り替えを行っており, 視線停留もコンテンツ付近で推移していることがわかる(図14)。また, この傾向は全ての被験者に共通して見られるものである。

被験者による実験後のコメントを見ても, 「Aの映像のほうが操作の動きが大きい」, 「Aは動きが多く, 見ていて疲れる」, 「Bの方が一連の動きがスムーズ」, 「Bの方が内容に集中できた」などが挙げられている。

本結果は, 聴衆の視線は「操作者の手の動きを追従する」という傾向を示すもので

ある。この現象はダイレクトタッチインタフェースがマウスポインタなどと比べ、「指示された点への視認性が高い[3]」という特長にもつながっており、一概に問題とは言えない。視線の追従には資料コンテンツを指し示す時などの、「意味のある視線の追従」と、機能切り替え時などの「意味のない視線の追従」の双方が含まれていることに注目すると、まずは「意味のない視線の追従」を最小化することが重要であると考えられる。少なくとも資料コンテンツとは無関係な画面周囲部への注目は、授業本来の目的から考えて不要であることは自明であり、提案インタフェースがそのような「意味のない視線の追従」を減少させたことは明らかである。

一方、操作者の手の動きが資料コンテンツ付近に留まっても、聴衆が資料コンテンツに注目しているとは限らない。場合によっては操作者に気をとられて、資料コンテンツへの注目が阻害されることも考えられる。しかし資料コンテンツ付近においては、操作者の意図のあるなしに関わらず、操作者の動作そのものも資料と複合的に作用してマルチメディアコンテンツを形成し、最終的に聴衆に届けられていると考えられる場合が多いため、操作者の手の動きへの視線追従に意味があるか、ないか、という議論は単純ではない。現時点で我々は、少なくとも操作者の手と資料コンテンツが接近した状態でシステム操作が一貫して行われることは、そのようなマルチメディアコンテンツの形成を阻害しにくいという点において重要であると考えている。

その際、聴衆の受ける操作への関心について評価の必要がある。もしもメニュー表示インタフェースとしてPMを用いるとすると、操作のたびにコンテンツを遮蔽する形でメニューが表示されるため、聴衆は（コンテンツでも操作者でもなく）メニュー操作に関心を奪われてしまうことだろう。SPMは設計上、コンテンツ遮蔽がなく、また聴衆にはほぼ見えないのでそのような弊害はPMに比べ軽減されることが予想される。しかしながら、SPMといえども操作者の指の間からメニューが垣間見られる場合も無いとは言えず、またジェスチャ入力那不自然な動きになってしまっている場合などに、聴衆の関心を奪ってしまう可能性は否定できない。このような聴衆の受ける操作への関心についてより詳しく検証するには、(1)メニューの出ない自動操作映像、(2)SPM、(3)PMの3者で視線移動量、理解度などを比較検証することが有効であると考えられる。これは今後の課題である。

## 5. まとめ

本研究ではマルチタッチによるジェスチャ及び sPieMenu を採用した新たな電子黒板システムを開発し、聴衆の視線の局所化の実現を図った。また評価実験を行い、以下に一定の効果があつた。(1)ツールボタン操作に比べ、聴衆の不要な視線移動が少なくなった。(2)資料コンテンツの遮蔽を起こしにくい画面横（画面向かって左側）からの操作で、通常のパイメニューと同等もしくはより速やかな操作が可能になった。今

後は、インタフェースの違いにより生じた視線移動の変化が、議論内容への理解度や集中度にどの程度変化をもたらすかを定量的に考察する研究が必要である。

## 参考文献

- 1) 坂東宏和, 根本秀政, 澤田伸一, 中川正樹, “黒板の情報化による教育ソフトウェア,” *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.3, pp.624-632, 2001.
- 2) Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M. and Shneiderman, B. “An Empirical comparison of Pie Versus Linear Menus,” *In Proc. of ACM SIGCHI'88*, pp.95-100, 1988.
- 3) Elrod, S., Brouce, R., Gold, R., Goldberg, D., Halasz, F., Janssen, W., Lee, D., McCall, K., Pedersen, E., Pier, K., Tang, J. and Welch, B. “Live board: A Large Interactive Display Supporting Group Meetings, Presentations and Remote Collaboration,” *In Proc. of ACM SIGCHI'92*, pp.599-607, 1992.
- 4) Han, J. Y. “Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection,” *In Proc. of ACM UIST'05*, pp.115-118, 2005.
- 5) 栗原一貴, 五十嵐健夫, 伊東乾, “編集と発表を電子ペンで統一的行うプレゼンテーションツールとその教育現場への応用,” *コンピュータソフトウェア*, Vol.23, No.4, pp.14-25, 2006.
- 6) 宮本雅勝, 村松邦彦, 寺田努, 塚本昌彦, “アナログジョイスティックのためのパイメニュー型インタフェース,” *情報処理学会研究報告 08-HCI-50*, pp.165-170, 2008.
- 7) 永野直, 栗原一貴, 藤村裕一, 林秀彦, “マルチタッチインタフェースの認知モデルと教育利用,” *PC Conference2009*, pp.505-508, 2009.
- 8) Norman, D. A. (著) 野島久雄 (訳) “誰のためのデザイン?,” 新曜社, 東京, 1990.
- 9) 小國健, 中川正樹, “対話型電子白板システムを用いた種々のアプリケーションのプロトタイプ,” *情報処理学会研究報告 96-HI-67*, pp.9-16, 1996.
- 10) Brandl, P., Leitner, J., Seifried, T., Haller, M., Doray, B. and To, P. “Occlusion-Aware Menu Design for Digital Tabletops,” *In Proc of ACM SIGCHI'09*, pp.3223-3228, 2009.
- 11) Vogel, D., Cudmore, M., Casiez, G., Balakrishnan, R. and Keliher, L. “Hand Occlusion with Tablet-sized Direct Pen Input,” *In Proc of ACM SIGCHI'09*, pp.557-566, 2009.
- 12) Gonzalo Ramos, Matthew Boulos, and Ravin Balakrishnan, “Pressure Widgets,” *In Proc. of ACM SIGCHI'04*, pp.487-494, 2004.
- 13) Tovi Grossman, Ken Hinckley, Patrick Baudisch, Maneesh Agrawala, and Ravin Balakrishnan, “Hover Widgets: Using the Tracking State to Extend the Capabilities of Pen-operated Devices,” *In Proc. of ACM SIGCHI'06*, pp.861-870, 2006.