

# マルチタッチ電子黒板による教材提示性能の改善

永野 直\*, 栗原一貴\*\*, 渡辺裕太\*\*\*, 藤村裕一\*\*\*\*, 皆月昭則\*\*\*\*\*, 林 秀彦\*\*\*\*\*

近年、一部のコンピュータや携帯型音楽プレイヤーで実装されているマルチタッチインタフェースは、人間の直観的な動作によって ICT 機器を操作できる可能性を持つ。コンテンツ操作時に起きる被提示者の不要な視線移動を減少させることを目的とし、マルチタッチインタフェースを採用した電子黒板ソフトウェアを開発した。実験結果から、本ソフトウェアによって、被提示者の視線移動量の減少とともに、教材コンテンツ以外の部分への視線停留を減少させる効果があることが示された。

[キーワード: ユーザインタフェース, マルチタッチ, タッチパネル, ]

## 1. はじめに

一部のコンピュータや電化製品で採用されるようになってきたマルチタッチインタフェースは、人間の認知的行動とコンピュータ操作の関連付け[Norman 1990]をしやすくさせた。電子黒板などの教具においても、マルチタッチを用いれば新たな操作性や教育的効果をもたらす可能性は十分考えられる。

また、従来のインタフェース研究は主に操作性という観点について述べられているものが多い。しかし教育利用を前提としたインタフェースにおいては、操作性とともに、それらを見ている生徒（被提示者）への影響を重視した研究を行う必要がある。

本研究は、開発したマルチタッチ電子黒板ソフトウェアを用いて、被提示者の視線行動軌跡を分析することにより、マルチタッチ電子黒板の被提示者への有効性を明らかにする。このことにより、教育現場へ普及に先駆け、授業におけるマルチタッチインタフェースの有効な活用に寄与することを目的とするものである。

## 2. 従来の電子黒板の問題

電子黒板のような、提示場所と操作場所が同一であるダイレクトタッチインタフェースは、被提示者にとって指先の目標を視認しやすいという評価がある[ELROD *et al.* 1992]。しかし一方で、操作者の腕が教材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[小國・中川 1996]。

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行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、腕が教材コンテンツを遮ったり、視線が教材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、被提示者の「腕の動きがあわただしい」、「腕で写真が隠れて見にくい」という印象を裏付けている[永野ほか 2009a]。

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

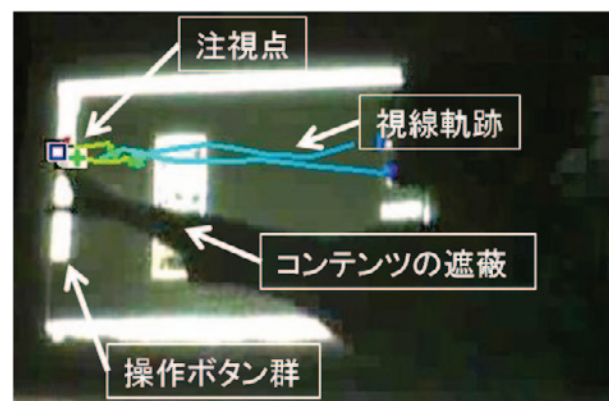


図1 従来電子黒板における被提示者の視線移動

## 3. 提案インタフェースの概要

### 3.1 ハードウェア

[HAN 2005] による FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) は、安価にマルチタッチパネルを作成でき

\* 鳴門教育大学 大学院（修士課程）教科・領域教育専攻 生活・健康系コース（技術・工業・情報）

\*\* 産業技術総合研究所

\*\*\*\*\* 釧路公立大学 情報センター

\*\*\* 釧路公立大学 経済学部

\*\*\*\*\* 鳴門教育大学 大学院 自然・生活系教育部

\*\*\*\* 鳴門教育大学 大学院 人文・社会系教育部

る原理である。アクリル板の内部で赤外線を全反射させ、表面を指で触ることで全反射を妨害する。指の接触点で起こる乱反射によりアクリル板外部に漏れる赤外線光をWebカメラで捉え、接触点を認識する(図2)。この原理を用いれば、市販品と比較して非常に安価かつ、使用環境に合わせてサイズを自由に設計できる[永野ほか2009b]。本研究では、FTIR原理によって動作するスタンド型マルチタッチパネルを製作し、それを用いて各実験や検証を行った。

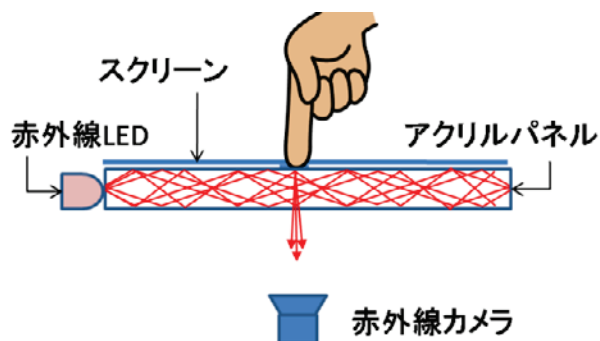


図2 FTIRの概念図

### 3.2 電子黒板ソフトウェア

「ことだま」は大きな模造紙のようなキャンバスを自在に動かし、その空間に自由に教材コンテンツを配置、移動、書き込みが可能なソフトウェアである[栗原ほか2006]。提示する情報の順序や加工の自由度が高く、授業において電子黒板としての利用価値は非常に高く、千葉県総合教育センターでの実践事例研究も多い。学校現場でも定評があり、小・中・高等学校で広く利用されている。また、オープンソースプロジェクトであり、機能拡張の開発が容易である。この「ことだま」をFTIRマルチタッチパネルで操作するインタフェースを実装することにより、自然な教材提示を可能にする。

### 3.3 マルチタッチ操作インタフェース

電子黒板による教材提示を行う際に、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、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。それ以外に必要と思われる機能を3本指のジェスチャに割り当てた。

- ・1本指の移動：ストロークによる書き込み
- ・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
- ・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

- ・3本指の回転：アンドゥ、リドゥ

## 4. 被提示者の視線行動計測実験

### 4.1 実験の目的と方法

#### (1) 目的

1章に記したように、従来の電子黒板インタフェースでは、画面周囲のツールボタン操作時に、被提示者の不要な視線移動が起こる。マルチタッチインタフェースを用いて任意の位置で操作を行うことにより、不要な視線移動を減らし、従来インタフェースに比べ教材コンテンツへの関心を高めることが可能になると考える。この効果について検証するため、被提示者の視線移動量と停留点軌跡(視線行動)を計測する。

#### (2) 方法

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インタフェース(図3)と、我々の提案するマルチタッチインタフェース(図4)のそれぞれを用いる。

写真オブジェクトの拡大縮小、スライド切り替え、ア



図3 ツールボタンインタフェース



図4 マルチタッチインタフェース

ンドゥ、リドゥの各操作を含む、模擬的な教材提示の場面を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、視聴した被提示者の視線行動を計測する。

操作行動の違いによる被提示者の視線行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。

ツールボタンによる操作映像をA、マルチタッチによる操作映像を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15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。

## (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5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。

次に、視線移動量の減少と、被提示者が視線を留めている場所(停留点)の関係について考察するため、被提示者の視線停留点軌跡映像について考察を加える。被験者15名をa~oとする。90秒間の視線停留軌跡画像では、軌跡の重なりが多く、被提示者の視線行動の把握が困難になる。この対策として1結果映像ごとに4区間に分け、それぞれt1~t4とし、各区間の映像を観察する。

図6~9に結果映像の例を示す。図6~図9の各左側

の画像はツールボタンインタフェース(A)、右側の画像はマルチタッチインタフェース(B)によるものである。各図はそれぞれ同一被験者、同一区間における、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。

## (3) 考察

視線行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7、図9左)。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7、図9右)。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6、図8)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(図3)の操作位置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4)、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。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」などが上げられている。

本結果は、被提示者の視線は「操作者の手の動きを追従する」(視線の追従)という傾向を示している。この現象そのものについては、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」[ELROD *et al.* 1992]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。ただし、視線の追従には教材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べきである。つまり、教材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る。マルチタッチインタフェースが「意味のない視線の追従」、つまり不要な視線移動を減少させたことは実験結果から明らかである。また、視線移動量の少なさと、コンテンツへの関心の度合いを直接結びつけて述べることはできないものの、Bは実験過程において、教材コンテンツ付近、かつ最小限の遮蔽で操作を行うことが可能であった。よって操作時の被提示者の視線を、少なくとも教材コンテンツ付近に留めていると言うことはでき、コンテンツ上の停留点面積もAより大きい傾向を示している。

電子黒板システムのインタフェースの違いによる被提示者の視線移動量を論ずる観点はいまだに少ないといえ、視線移動量にどれだけの差が出るかを示したことは意義があることであると考えている。

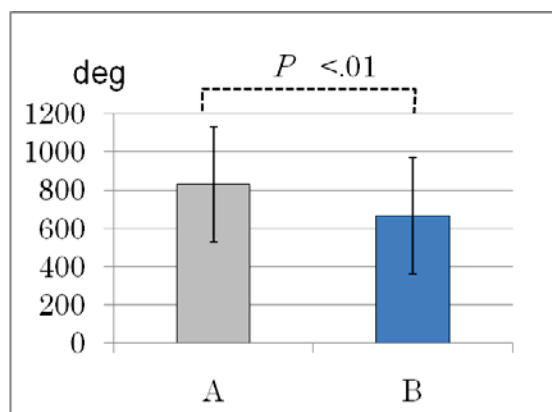
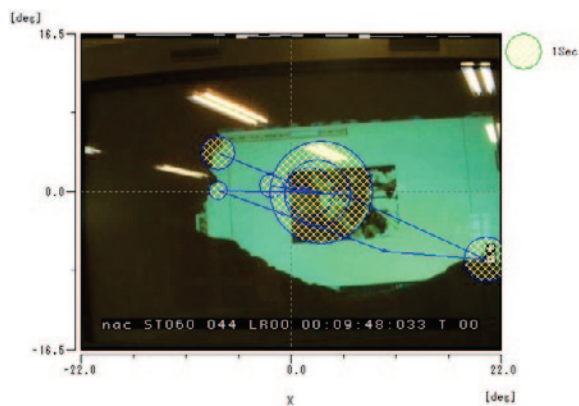


図5 インタフェースによる視線移動量の比較



ボタンインタフェース



マルチタッチインタフェース

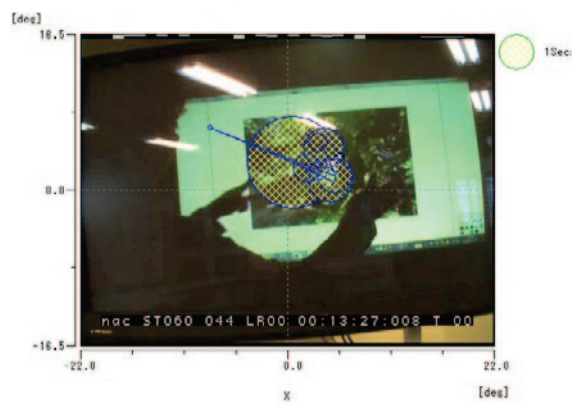


図6 被験者 o, t1 区間の視線停留点軌跡 (視線映像+停留点軌跡のオーバーレイ)

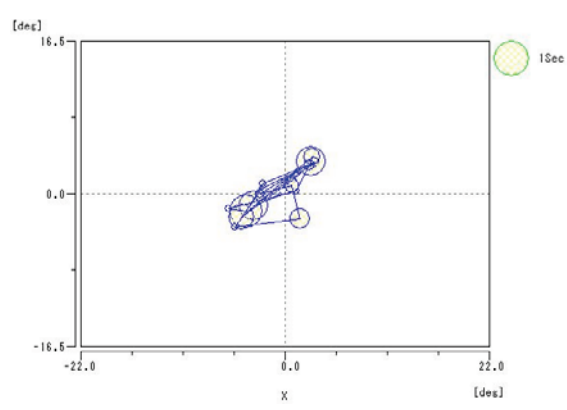
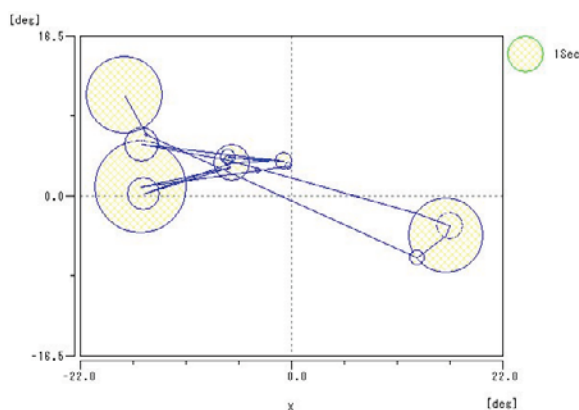


図7 被験者 j, t2 区間の視線停留点軌跡 (停留点軌跡のみ)

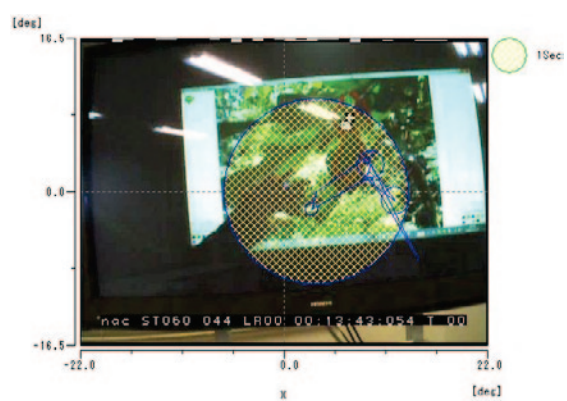
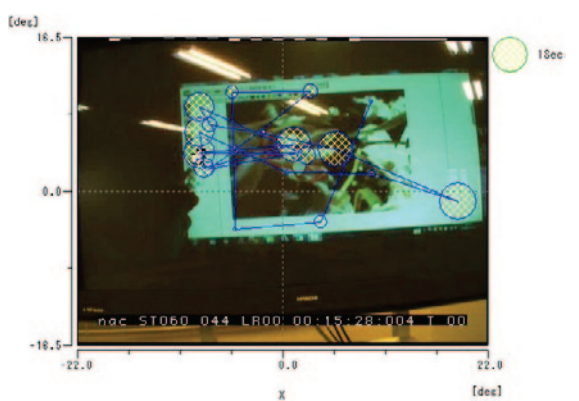


図8 被験者 o, t2 区間の視線停留点軌跡 (視線映像+停留点軌跡のオーバーレイ)

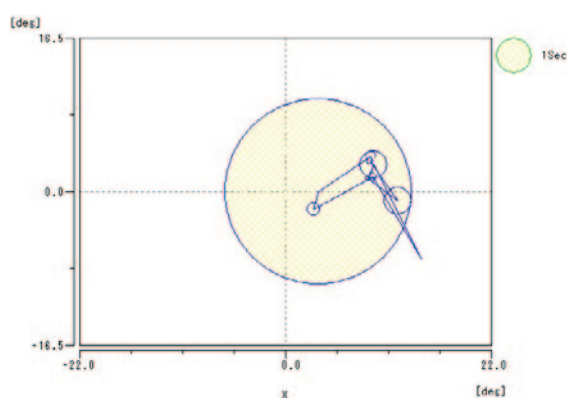
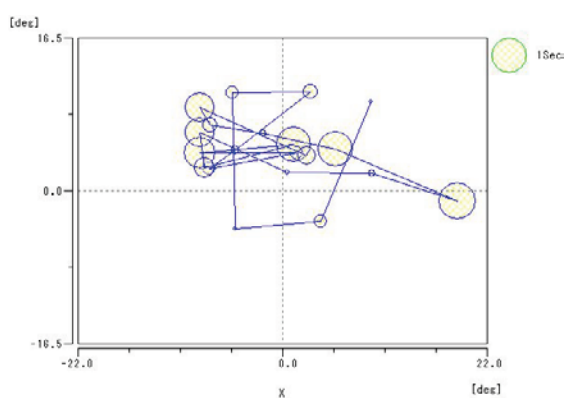


図9 被験者 o, t2 区間の視線停留点軌跡 (停留点軌跡のみ)

## 5. まとめ

本研究ではマルチタッチインタフェースを採用した新たな電子黒板について考察した。これまでの電子黒板の操作時の問題として、モード切り替え時の腕の大きな移動と、教材コンテンツの遮蔽があった。これらの問題は操作者にとっても好ましいことでないことはもちろん、教育利用にあってはそれを見ている者の視線行動に大きく影響を与えていることに注目すべきである。

これらの問題と対策について検証するため、開発マルチタッチ電子黒板ソフトウェアについて評価実験を行い、以下に一定の効果があつた。

①ツールボタン操作に比べ、被提示者の不要な視線移動が少なくなった。

②教材コンテンツの遮蔽を起こしにくく、ツールボタン操作に比べ、被提示者のコンテンツ上での視線の推移が多い。

以上のことから、電子黒板による授業を行う際、本インタフェースは「被提示者に対する教材提示の性能を向上させる」という本研究の目的を達成している。

課題として、本インタフェースによって不要な視線移動は少なくなったが、そのことが生徒の認知的活動にどれだけ影響を与えているかについてはまだ明らかになっていない。今後は、インタフェースの違いにより生じた視線行動の変化が、授業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

- ELROD, S. , BRUCE, R. , GOLD, R. , GOLDBERG, D. , HALASZ, F. , JANSSEN, W. , LEE, D. , McCALL, K. , PEDERSEN, E. , PIER, K. , TANG, J. and WELCH, B. (1992) Live board: A Large Interactive Display Supporting Group Meetings, Presentations and Remote Collaboration, *CHI'92 Conference Proceedings* : 599-607.
- HAN, J. Y. (2005) Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. , *Proc. of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, Vol. 7, No. 2* : 115-118
- 栗原一貴, 五十嵐健夫, 伊東乾(2006) 編集と発表を電子ペンで統一的に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 : 14-25
- 永野直, 栗原一貴, 藤村裕一, 林秀彦 (2009a) マル
- No. 7 (2010)

チタッチインタフェースの認知モデルと教育利用, PC Conference2009 : 505-508

永野直, 野村林太郎, 藤村裕一, 林秀彦 (2009b) 赤外線を用いたマルチタッチシステムの製作, 日本教育工学会研究報告集, JSET09-1 : 149-156

NORMAN, D. A. (著) 野島久雄 (訳) (1990) 誰のためのデザイン?, 新曜社, 東京

小國健, 中川正樹 (1996) 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ング, 情報処理学会研究報告, 96-HI-67 : 9-16.