

ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間のための メニューデザインの検討

前野恭平^{*1}, 藤田誠司^{*1}, 木村朝子^{*2,*3}, 柴田史久^{*1}, 田村秀行^{*1}

^{*1} 立命館大学大学院 理工学研究科, ^{*2} 科学技術振興機構 さきがけ,

^{*3} 立命館大学 総合理工学研究機構

概要 我々は、広視野ディスプレイとジェスチャを組み合わせた広視野電子作業空間の設計・実装を行ってきた。本稿ではこのようなシステムに適したメニューデザインを検討するため、メニュー操作の入力として使用しうる3種類のジェスチャに関する基礎実験を行った結果を報告する。また、実験結果からジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間に適したメニューデザインについて議論する。

Examination of Menu Design for Wide-view Electronic Working Space Using Gesture Operation

Kyohei Maeno^{*1}, Seiji Fujita^{*1}, Asako Kimura^{*2,*3}, Fumihisa Shibata^{*1}, Hideyuki Tamura^{*1}

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University, ^{*2} JST PRESTO,

^{*3} Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract We have developed a system named “Wide-view electronic working space” which realizes a gesture action combined with a wide-view arch display. In this paper, we discuss on preliminary experiments for three types of gestures to be used as the input for a menu operation. Using the results of experiments, we investigate a menu design suitable for “Wide-view electronic working space” using the gesture operation.

1. はじめに

コンピュータの高機能化により、一度に処理可能なデータ量が増大し、また複数のアプリケーションを並列処理することも可能になった。これにより、デスクトップ型モニタの限られたサイズでは満足できず、広い作業空間を確保できる大型スクリーンや壁面ディスプレイを利用したシステムが増加している[1][2]。

こうした広い作業領域でのデータ操作には、マウスやキーボードではなく、作業者にとってより直観的なインタフェースの採用が期待される。筆者らは、これまでにポスト WIMP 型の

インタフェースとしてジェスチャ操作を選択し、広い空間に配置された電子データを、ハンド・ジェスチャを用いて操作できる「広視野電子作業空間」の研究開発を進めてきた[3]。

入力にジェスチャを用いるシステムでは、作業者がジェスチャコマンドを記憶している必要がある。しかし、作業者が記憶できるジェスチャの数には限界があり、利用頻度の低いコマンドに個別のジェスチャを割り当てるのは得策ではない。また、システムに不慣れた作業者にとって、システムを利用するためにすべてのジェスチャを覚える必要があるとすると、システム導入時に大きな障害となる。

従来のグラフィカル・ユーザインタフェース (GUI) では、キーボードによるショートカットとメニューを併用することで、類似の問題を解決している。一旦メニューの選択方法を覚えれば、メニューを利用することで全てのコマンドを実行することができる。

従来の広視野ディスプレイとジェスチャを併用するシステムの中で、メニューインタフェースを活用しているものには、テーブルトップ型のディスプレイを用いる X-menu[4]や、壁面ディスプレイ用に開発された fresbee[5]などがある。しかし、操作方法は、ブルダウンタイプもしくは、作業空間の4隅に配置されたメニュー項目をタッチ、もしくはポインタを重ねクリックするようなジェスチャを行うなど従来のマウスによるメニュー選択操作と同様のものがほとんどであり、ほとんどの研究では広視野ディスプレイやジェスチャの特性を考慮してメニューを設計してはいない。

そこで本研究では、広視野電子作業空間とジェスチャの特性を考慮した上で、基礎実験を行い、ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間に適したメニューデザインについて議論する。

2. 広視野電子作業空間とジェスチャ入力 の特性

2.1 広視野電子作業空間の特性

・広視野電子作業空間では、従来のデスクトップ型モニタとは異なり、表示領域が作業者の視野を覆うため、作業者が一目で作業領域全体を見渡すことができない。そのため、作業に関連する操作メニューは、作業空間の隅に固定された状態で提示されるよりは、作業者の作業場所に適宜提示される方が適当と考えられる。

・広視野電子作業空間への入力のスタイルとして、例えば、Bezerianos らのシステム[2]のよう

に作業者がディスプレイにタッチしながら作業するもの、Put-That-There[6]のようにディスプレイから離れた位置で指し示して操作するものがあるが、ジェスチャと併用されるのは後者のシステムがほとんどなので、本研究では後者を研究対象とする。

2.2 ジェスチャ入力の特性

一方、筆者らがこれまでシステムを運用してきた経験から、ジェスチャ入力には以下のような特性がある。

- ・精密な動作が難しい
 - ・利き手で行う作業の方が他方の手で行うより精度がよい
 - ・腕や手首といった関節部に可動限界がある
 - ・動作の大きいジェスチャほど作業者が疲れやすい
 - ・身長、手の長さや大きさに個人差がある
- これらに加え、ジェスチャによる入力は様々なバリエーションが考えられるため、ジェスチャごとの特性も考慮する必要がある。

メニュー操作の入力として使用されるジェスチャには、位置入力、回転入力、方向入力の3つが考えられる。

- (1) 位置入力：手で特定の位置を指し示す
- (2) 回転入力：手首の回転角度を入力とする
- (3) 方向入力：腕を特定の方向に一定距離以上移動させ、その方向を入力とする

本稿では、実験を行いこれらの入力方法をメニュー操作に利用する場合の特性を調査する。

3. 実験

3.1 実験目的

メニュー選択に前述の3種類の入力方法を利用した場合について、ここではその特性調査を目的とし実験を行う。実験では、メニュー全体、および個々のメニュー項目の領域の大きさを変更した場合に、選択のしやすさ・疲れやす

さ・入力速度・入力精度がどのように変化するか評価する。またメニューを表示するスクリーンと利用者との距離が、操作性に与える影響についても合わせて調査する。

3.2 実験環境

本実験で使用するシステムの構成を図1に示す。ジェスチャ認識には VICON 社モーションキャプチャシステムを用い、被験者は手に再帰性反射材マーカを取り付けたグローブ状デバイス（図2）を、胸の中央に再帰性反射材マーカをそれぞれ装着する。

本実験ではこの胸のマーカとグローブ状デバイスの手の甲のマーカを結ぶ直線がスクリーンと交わる点を被験者のポインティング位置とし、この位置に矢印型のポインタを矢印の先端がポインティング位置となるように表示する。実験の様子を図3に示す。

3.3 実験内容

3種類のメニュー選択方法それぞれについて、図4~6に示すメニューの中から指定された領域（ターゲット）を選択するというタスクを課し、入力が終わるまでの時間、およびエラー数を測定する。ターゲットは赤色で提示され、指定されたターゲット以外を選択した場合はエラーとなる。

スクリーンに向かって掴むジェスチャを被験者が行うと、そのときのポインティング位置を中心に図4~6のメニューが表示される。一旦表示されると、掴むジェスチャをしている限りポインティングしている位置が移動してもメニューの位置は変わらない。手を開くジェスチャをするとメニュー表示は終了する。表示位置による影響を避けるため、実験中、被験者にはスクリーン正面中央にメニューを表示するよう指示した。また、入力は全て利き手で行われた。

位置入力、回転入力、方向入力によるメニュー

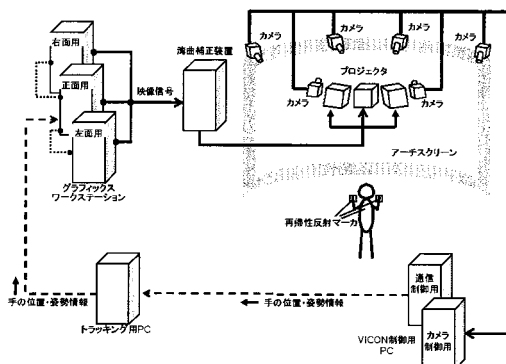


図1 システム構成



図2 グローブ状デバイス

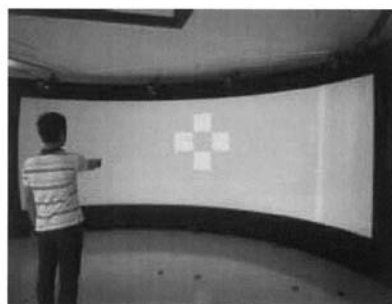


図3 実験風景

一選択方法はそれぞれ以下の通りである。

(1) 位置入力

位置入力の特徴を調査するために4つの正方形を図4のように配置したメニューを利用する。ターゲットの大きさが選択のしやすさにどのように影響するかを調査するため、正方形のサイズは0.25, 0.5, 1.0[feet]¹の3種類とした。

被験者はポインタの位置をターゲットに重ねることでターゲットの選択を行い、ポインタをターゲット内にそのまま2秒間留めることで、

¹ 1[feet]=0.3048[m]

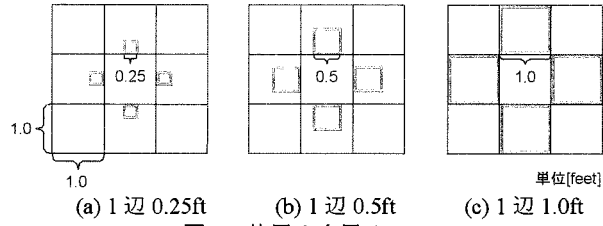


図 4 位置入力用メニュー

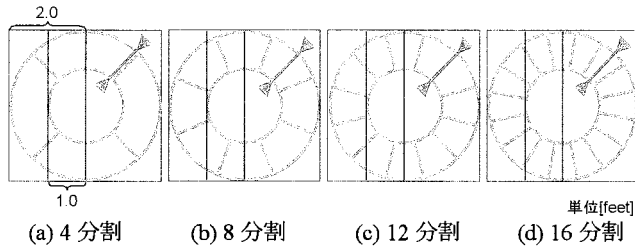


図 5 回転入力用メニュー

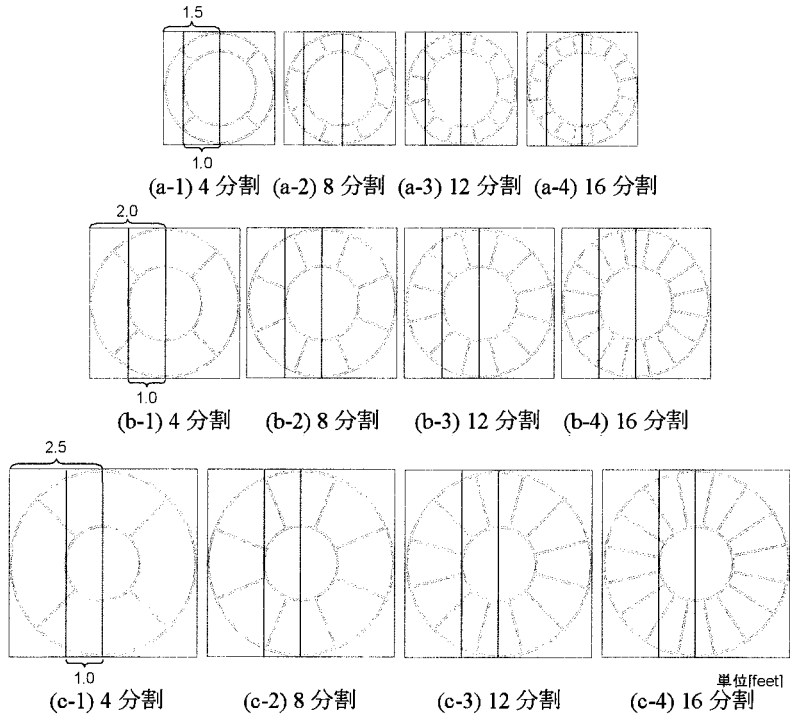


図 6 方向入力用メニュー

そのターゲットの選択を確定する。このターゲット確定操作には、様々なジェスチャを対応付けることが可能であるが、今回は最初のステップとしてこのジェスチャを採用した。確定に必

要な 2 秒は、本実験で利用するシステムにおいてターゲット選択中に誤確定しない最短の時間である。

(2) 回転入力

回転入力の特徴を調査するために図5のようなドーナツ型のメニューを利用する。

回転入力の場合は、メニューが表示されるとポインティング位置に表示されていたポインタは消え、別にメニュー上に赤い線分と三角形で構成されるポインタが表示される。メニューが表示された直後は、ポインタはメニューの上端に配置されている。ポインタは、このときの手首の角度を0度とし、手首の回転角に比例して回転する。人の手首は構造上360度以上回転できないためポインタの回転量は手首の回転量の4倍とした。この倍率は事前に行った予備実験で1, 2, 4, 8倍の場合を比較し、最も評価が高かったものを採用した。また、ターゲットの角度幅が選択のしやすさにどのように影響するかを調査するため、ターゲットの角度幅は360度を4, 8, 12, 16分割で等分する4種類とした。

位置入力同様、ポインタの位置をターゲットに重ねることでターゲットの選択を行い、ポインタをターゲット内にそのまま2秒間留めることで、そのターゲットの選択を確定する。

(3) 方向入力

回転入力同様、ドーナツ型のメニューを利用する(図6)。ターゲットの大きさ・角度幅が選択のしやすさにどのように影響するかを調査するため、メニューのサイズは外円の半径が1.5, 2.0, 2.5[feet]の3種類(内円の半径はすべて1.0[feet])、ターゲットの角度幅は360度を4, 8, 12, 16分割で等分する4種類の計12種類とした。

方向入力では、被験者はポインタの位置をターゲットに重ねることでターゲットの選択を行い、ポインタがターゲットの外円の境界線を通過することでそのターゲットの選択を確定する。

また、上記(1)~(3)のすべての入力方法につい

て、スクリーンと被験者の距離の影響を調査するため、被験者とスクリーンの距離が5.0[feet](位置A)と10.0[feet](位置B)の場合について実験を行った。

3.4 実験手順

被験者は大学生12名とし、実験は被験者ごとに以下の手順で行う。

(1) 事前に、位置入力・回転入力・方向入力の3種類の入力方法に被験者を十分慣れさせる

(2) 位置入力に対しては図4(a)~(c)の3種類、回転入力に対しては図5(a)~(d)の4種類、方向入力に対しては図6の12種類のメニューを、それぞれ各10回提示し(3×10+4×10+12×10=190試行)、被験者はターゲットを選択・確定するタスクを実行する。このときターゲットはランダムに指定される。これを被験者とスクリーンの距離が5.0, 10.0[feet]の場合についてそれぞれ行う。また、実験順序が結果に影響しないよう、被験者ごとに実験順序(入力方法の順序、および提示するメニューの順序)を入れ替えて行う。

(3) (2)で1種類のメニュー選択・確定(10試行)が終了するたびに、被験者に3段階で疲れやすさ(1: 疲れる, 2: やや疲れる, 3: 疲れない)、選択しやすさ(1: 選びにくい, 2: やや選びにくい, 3: 選びやすい)を評価させるとともに、入力方法に関して自由にコメントさせる。

3.5 結果と考察

【疲れやすさ・選びやすさ】

疲れやすさの実験結果を図7に、選びやすさの実験結果を図8に示す。図7より疲れやすさの評価では、位置入力と回転入力はほとんどの被験者が少なからず疲労を感じているのに対して、方向入力は2/3が疲れないと回答していることがわかる。選びやすさの評価でも、ほとんどの被験者が、方向入力は選びやすいと回答

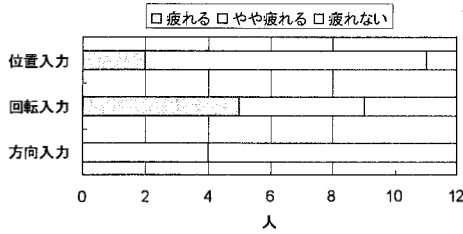


図7 疲れやすさ

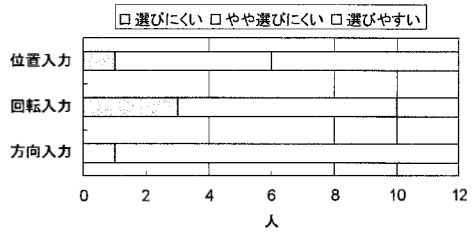


図8 選びやすさ

しており、位置入力は半数が、回転入力はほとんどの被験者が選びにくいと回答している。また被験者のほとんどが、位置入力と回転入力におけるターゲットの確定に、2秒間腕を静止しなければいけないのが疲れるとコメントしている。これらの結果から一概に、位置入力・回転入力よりも方向入力が優れているとは言い切れないが、確定時に腕を静止しなくてもよい点が好まれていることがわかる。

【エラー率】

各入力方法を利用する場合のエラー率は、位置入力と回転入力についてはメニューのサイズに関わらず 0%であった。これは、位置入力と回転入力はターゲットの確定に2秒間要するため、被験者が誤りを修正する時間があつたと考えられる。一方、方向入力の場合、表1に示す通り、被験者の立位置に関わらず、分割数が12を超えるとエラーが発生しており、8方向までなら正確に入力できていることがわかる。また、実験当初ターゲットの大きさが小さくなるほど、また被験者の立位置がスクリーンから離れるほど、被験者から見たターゲットのサイズが相対的に小さくなるため、エラー率が増加すると予想していた。今回の実験では16分割の場合はターゲット半径が小さくなるとともにエラー率が増加しているが、予想に反してそれほど顕著な違いは現れなかった。

【操作時間】

各ジェスチャ入力手法の平均操作時間を図9

表1 方向入力のエラー率

| ターゲット半径 [feet] | 分割数 [個] | 立位置 | |
|----------------|---------|-----------|------------|
| | | A (5feet) | B (10feet) |
| 1.5 | 4 | 0.00% | 0.00% |
| | 8 | 0.00% | 0.00% |
| | 12 | 0.83% | 3.33% |
| | 16 | 4.17% | 5.00% |
| 2.0 | 4 | 0.00% | 0.00% |
| | 8 | 0.00% | 0.00% |
| | 12 | 0.83% | 0.00% |
| | 16 | 3.33% | 2.50% |
| 2.5 | 4 | 0.00% | 0.00% |
| | 8 | 0.00% | 0.00% |
| | 12 | 2.50% | 1.67% |
| | 16 | 1.67% | 0.83% |

に示す。位置入力と回転入力についてはターゲットの確定に必要な2秒も操作時間を含む。

位置入力では、ターゲットの大きさが小さいほど選択・確定に時間がかかっている (t検定により棄却率 0.01%で有意差あり)。これは、ターゲットのサイズが小さいとポイントを重ねることが困難になるためと考えられる。一方、被験者の立位置がスクリーンから離れると、ターゲットサイズが小さいほど、選択・確定に時間がかかっている (一辺の長さが 0.25, 0.5feet の場合に t 検定により棄却率 0.05%で有意差あり)。これは、被験者がスクリーンから離れることで、わずかな手の動きでポイントが大きく動き、選択・確定に時間がかかるためと考えられる。

回転入力に関しても、同様に分割数が多くなりターゲットの角度幅が小さくなるほど、ターゲットの選択・確定に時間がかかっている。また、回転入力に関しては、被験者の立位置がスクリーンから離れても、操作時間にはほとんど

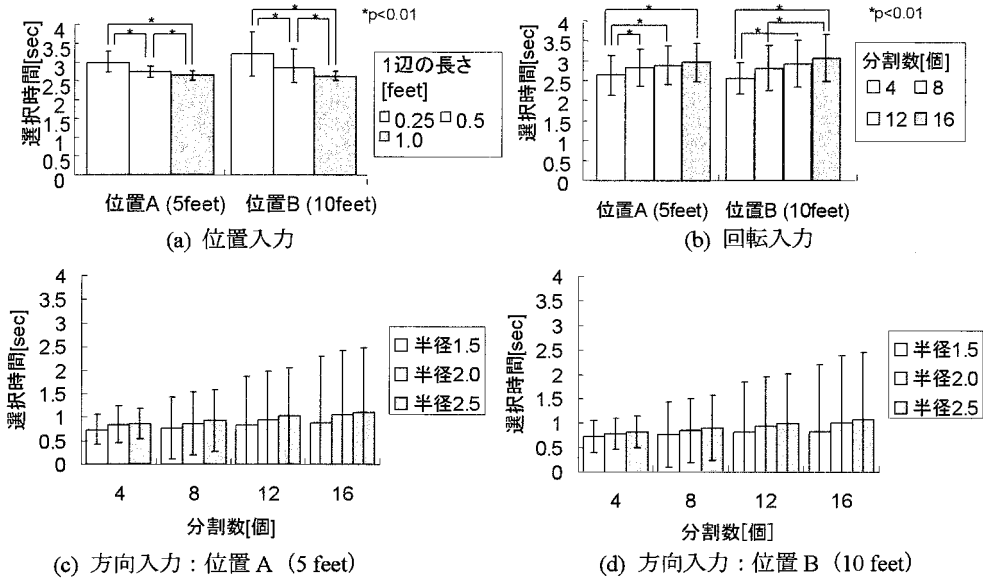


図9 各入力方法の平均操作時間

影響なかった。

方向入力に関しては、分割数が多くなりターゲットの角度幅が小さくなるほど、操作時間の分散が大きくなっていることがわかる。同時に操作時間そのものも少しずつではあるが増加する傾向にあった。また、ターゲットの大きさ（外円の半径）が大きいほど操作時間が増加する傾向にあった。一方、回転入力の場合と同様被験者の立位置がスクリーンから離れても、操作時間にはさほど影響なかった。

【被験者からのコメント】

前述の通り、位置入力と回転入力では、ターゲットを確定するために2秒間腕を静止する動作が疲れるという意見が多かった。また、方向入力においてメニューの直径が長いと腕を動かす距離が長く入力しづらいという意見があった。このように腕を長時間中に浮かせる動作は、やりづらい、疲れると評され、あまり好まれなかった。

回転入力では、ポインタが予想以上に速く回転してしまうという意見や、メニューの上側は

選択しやすいが、下側は選択しづらいという意見があった。今回の実験ではポインタの回転量は手首の回転量の4倍としたが、手首の回転量と同じ方が違和感なく操作できるという意見もあった。また後者については、手首関節の可動範囲を限界まで利用せず、ある程度余裕をもって利用する必要があることがわかった。

4. 議論

・数秒であっても作業者に高い頻度で静止状態を求めることは、大きな負担となることがわかった。作業者はジェスチャを評価する際、入力精度よりも、手を静止する必要がないことや身体動作が少ないことを重視する傾向にあった。具体的には、位置入力と回転入力は疲れやすさ、選択しやすさともに評価が低く、操作時間も長かったが、確定条件が腕を2秒間静止させることであった影響が大きいと考えられる。これら2種類の入力方法に関しては、確定条件を変更した場合について再検討の必要がある。

・ジェスチャは精密なポインティングが難し

いという特徴から、ターゲットのサイズや角度幅が小さいとエラーや操作時間が増加する傾向が見られた。

・位置入力に関しては、作業者がスクリーンから離れるほど、またターゲットサイズが小さくなるほど正確なポインティングが難しくなる。このため、スクリーンとの距離が近い場合に適した入力方法であるが、作業者とスクリーン間の距離に応じてターゲットサイズを大きくすることで対応可能であると考えられる。

・回転入力に関しては、操作時間・エラー率ともに位置入力とほとんど同じであるにもかかわらず、疲れやすさ、選びやすさともに位置入力よりも評価が低い。これは、被験者のコメントにもある通り、手首関節の稼動範囲に制限があるため、手首の可動範囲に余裕をもたせるため、360度メニューを配置するのではなく、メニューを半円形にするなど手首の可動範囲に合わせて調整すべきと考えられる。

・また、回転入力の場合、作業者がスクリーンから離れても操作時間、エラー率ともに変化はなかった。このことから、回転入力はスクリーンから離れた位置から操作する場合に有効であると考えられる。

・方向入力は、被験者の評価が高かった入力手法であるが、分割数が8分割を超えると入力エラーが発生するため、分割数は8分割以下がよいと考えられる。また、この方法は正確な腕の移動が必要となるため、ドーナツ型の内円と外円の差を小さくすると有効と考えられる。

・また、方向入力に関しても、作業者がスクリーンから離れても操作時間、エラー率ともに変化はなかった。このことから、方向入力もスクリーンから離れた位置から操作する場合に有効であると考えられる。

5. むすび

本稿では、ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間に適したメニューデザインを検討するため、まず広視野電子作業空間とジェスチャ操作の特性をまとめた。次にメニュー操作の入力として使用しうる、位置入力、回転入力、方向入力という3つのジェスチャをメニュー操作に利用することを想定した基礎実験を行った。最後に、実験結果からそれぞれの入力方法をメニュー操作に利用する場合の特性をまとめた。

今後は、2秒間静止するという確定方法を再検討するとともに、本稿の実験結果を踏まえてメニューデザインの設計指針をまとめ、メニューを設計し、検証実験を行う。

参考文献

- [1] G. Fitzmaurice, A. Khan, G. Kurtenbach, and G. Binks: "Cinematic meeting facilities using large displays," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 4, pp.17 - 21, 2005.
- [2] A. Bezerianos, and R. Balakrishnan: "View and space management on large displays," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 4, pp.34 - 43, 2005.
- [3] 木村朝子, 柴田史久, 鶴田剛史, 酒井理生, 鬼柳牧子, 田村秀行: "ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間", 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 4, pp. 1327 - 1339, 2005.
- [4] H. Benko, A. D. Wilson, and P. Baudisch: "Precise selection techniques for multi-touch screens," *Proc. of CHI2006*, pp.1263-1272, 2006.
- [5] A. Khan, G. Fitzmaurice, D. Almeida, N. Burtnyk, and, G. Kurtenbach: "A remote control interface for large display," *Proc. of UIST2004*, pp.127-136, 2004.
- [6] R. A. Bolt: "Put-That-There: Voice and gesture at the graphics interface," *Proc. of SIGGRAPH1980*, pp.262 - 270, 1980.