

## 直接的な指さしを支援する書画カメラシステムの構築

井上 直人<sup>1)</sup>, 山下 淳<sup>2)</sup>, 葛岡 英明<sup>3)</sup>, 山崎 敬一<sup>4)</sup>

1) 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科

2) 筑波大学大学院博士課程工学研究科

3) 筑波大学機能工学系

4) 埼玉大学教養学部

近年、コンピュータおよび高速ネットワークが普及してきている。これらの情報基盤の整備によりテレビ会議システムが身近なものになってきている。一般的なテレビ会議システムでは、遠隔地間での書類の共有に書画カメラが用いられている。このシステムではディスプレイを通じて遠隔地の書類を見ることはできるが、直接指さすことができない。著者らはこの問題点をタッチパネルを用いて操作することのできるレーザポインティングシステムを用いて解決した。このシステムでは作業者は遠隔地の書類を直接指さしすることができるので円滑なコミュニケーションを行うことができる。

本論文では、システム構成を紹介しシステムの評価実験について述べる。

## Development of document camera system which supports direct pointing.

Naoto Inoue, Jun Yamashita, Hideaki Kuzuoka and Keiichi Yamazaki

1) Doctoral Programs in Advanced Engineering Systems, Univ. of Tsukuba

2) Doctoral Programs in Engineering, Univ. of Tsukuba

3) Institute of Engineering Mechanics and Systems, Univ. of Tsukuba

4) Faculty of Liberal Arts, Saitama Univ.

Recently, computers and broad band networks are spreading into our daily life. These infrastructures make a teleconference system more common to us. An ordinary teleconference system provides a document camera to share documents with remote participants. Participants can see remote documents on a display, but they can not point at them directly. To solve this problem, the authors add the laser pointing system that can be operated with touch panel. This system enables participants to point directly at remote documents with minimum effort so that they can communicate smoothly.

In this paper, the authors describe the problems of document camera, introduce the system overview, and discuss the preliminary experiments of the system.

## 1. はじめに

近年、ネットワーク技術の発達によりテレビ会議システムを利用した遠隔地間での会議がより一層活発になってきている。

現在、一般的なテレビ会議システムでは遠隔地間で書類を共有する手段として、書画カメラが用いられている。この場合、書画カメラの映像はそのまま相手側に表示されるため映像の流れが一方的であり、共同作業間で書画カメラの映像は分離されている。このため、自分のところにある書類には指さしをすることができるが遠隔地で提示された書類を指さすことはできないといった問題点がある。このとき、もし図 1 のように直接ディスプレイを触れてもお互いに指示を確認をすることができれば遠隔地間での指示はより簡単なものになると考えられる。よって、本論文では直接的な指さしを可能とする書画カメラシステムを構築することを目的とする。

本論文ではシステムの実装方法を述べたあと、システムの性能評価実験を通して得られた結果を述べる。



図 1: 直接的なポインティング

## 2. システムの実装

図 2 に本システムの概要を示す。本章では次の 3 つの節によって、システムの説明を行う。

- 書画カメラ領域
- レーザポインティングシステム
- キャリブレーション

### 2.1 書画カメラ領域

書画カメラ領域とは、遠隔地の共同作業者と書類を共有するための領域である。

書画カメラ領域に置かれた資料は上部に設置された書画カメラで撮影され、その画像が遠隔地に転送される。一方で、同様にして送られてきた遠隔地の書画カメラ領域の画像は、VIDEONICS 社製画像合成器 (MXProDV) によってローカルな画像と合成され画像表示用の液晶タッチパネルに表示される。

書画カメラには SONY 製のデジタルビデオカメラ (SONY DCR TRV20) を用いている。このカメラを机より高さ 1.2m の位置に設置することでおよそ A3 の大きさ (幅 42cm × 高さ 29.5cm) の領域をカバーしている。最低でも MS ゴシックで 18pt 程度の文字であれば十分に認識可能な解像度を持っている。

基本的なシステム構成は TeamWorkStation [1] と同じであるが、2.2 で述べるレーザポインティングシステムを実装することで直接ポインティングを可能にした点が異なっている。

また、この領域は他の領域と区別するために約 2cm 程度高くしてある。

### 2.2 レーザポインティングシステム

直接ポインティングを実現するためのシステムは次の 4 つの部分から構成されている。

- タッチパネル
- GestureLaser
- 制御用 PC
- コントローラ

#### 2.2.1 タッチパネル

書画領域画像の表示、および指先位置検知を行うためにタッチパネルシステムズ社製 18.1 型液晶タッチパネル (9418TD18/H2) を用いている。

このタッチパネルは押された座標の他に圧力を検知することができる。直接ポインティングを行うためにタッチパネルを指で触れるとタッチパネル上

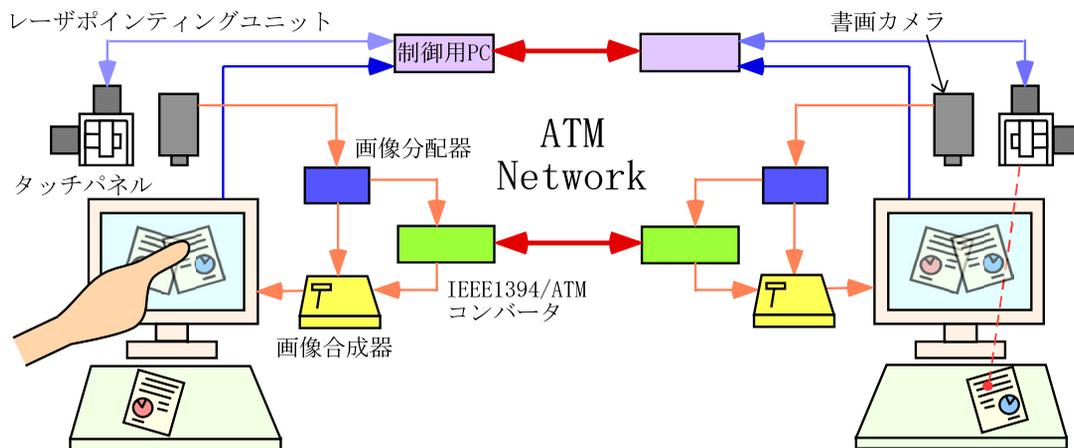


図 2: システムの概要

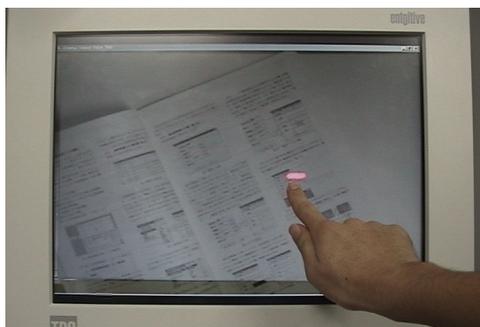


図 3: タッチパネル

での座標と押された圧力を制御用 PC へ RS-232C 経由で出力する。これによって、タッチパネルが検知した圧力に比例してレーザーの輝度を変化させることができる。

また、タッチパネルには相手の書画カメラ領域の画像とローカルな書画カメラ領域の画像が混合比 1:1 の割合で合成され表示される。

### 2.2.2 GestureLaser

レーザーポインティングユニットとして GestureLaser(図 4) [2] を用いている。

GestureLaser はレーザー本体と、ステッピングモータで回転させることのできる 2 枚の鏡で構成されている。2 枚の鏡は互いに直交するように配置され、ステッピングモータで回転させることにより任意の方向にレーザー光線を照射させることができる。GestureLaser は机より高さ 1.2m の位置に設置されており、モータの分解能 (1 パルスあたりのモータの回転角) は 0.0288 度に設定してあるので、

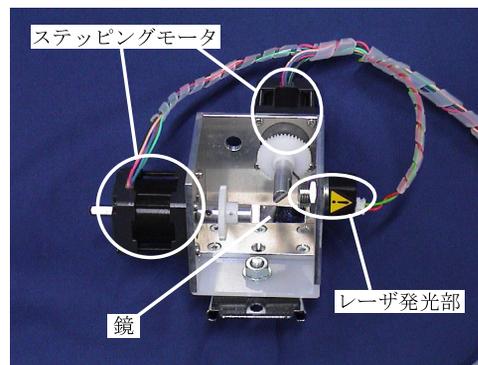


図 4: GestureLaser

次の計算式より 1 パルスあたりの移動量を求めることができる。

$$\begin{aligned}
 (\text{移動量}) &= 1.2m \times \tan(0.0288^\circ \times 2) \\
 &= 1.2 \times 10^{-3}m \\
 &= 1.2mm
 \end{aligned}$$

実際は周辺部に向かうほど移動量は大きくなるが、周辺部においても 1 パルスあたりの移動量は約 1.3mm 程度であるのでその差は無視することができる。レーザーの可動範囲は書画カメラ領域内に限定しているので、最大で横方向に 19.9 度、縦方向に 14.3 度となっている。

### 2.2.3 制御用 PC

タッチパネルから送られてきた座標と圧力はクライアント PC が受け取りデータを解釈した後にサーバ PC へ UDP で送信される。

サーバ PC はデータを受け取ると 2.3 で述べる

キャリブレーションを行って算出した変換式を用いてタッチパネル上の座標を GestureLaser の座標に変換し、GestureLaser コントローラに座標データや圧力データなどのコマンドを送信する。

また、指さしを行っていない時にレーザを照射したままにしておく、レーザスポットに注意が注がれ指さしを行っているのものと誤解を招くおそれがある。この問題を解消するため、一定時間データを受信しないとレーザを減光させ、さらにデータを受信しないとレーザを消灯させることができる。減光まで時間は0.5秒、消灯までの時間は5秒間に設定してある。

#### 2.2.4 コントローラ

GestureLaser の制御は Microchip 社のマイクロコントローラ PIC16F877 内蔵の専用コントローラを介して行われる。このコントローラには以下の機能が実装されている。

- データの受信
- 専用コマンドの解析
- モータ駆動のためのパルス生成
- レーザの輝度設定
- GestureLaser 座標系の座標データの送信 (キャリブレーションのため)

GestureLaser のステッピングモータは割り込みを用いて生成したパルスを用いて駆動させている。制御用 PC から RS-232C 経由、通信速度 9600bps で専用のコマンドを送信すると、PIC16F877 はコマンドを解釈し必要パルス数を計算する。

パルスは PIC16F877 のタイマ 0 割り込みを使って通常の処理とは並列的に生成されるため、モータの駆動とデータ受信を並列に行うことができる。本システムでは PIC16F877 を 20MHz のセラミック振動子で駆動させ 0.1024msec ごとに割り込みを行っている。ステッピングモータを駆動するために必要な最小パルス幅は 1μsec なので十分に条件を満たしている。実際は、割り込み 5 回につき 1 回パルスを生成しているため、2.0kHz の周波

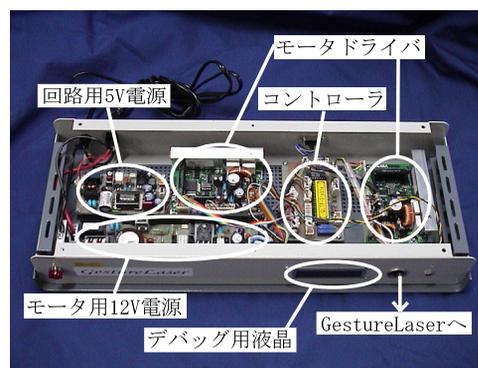


図 5: コントローラ全景

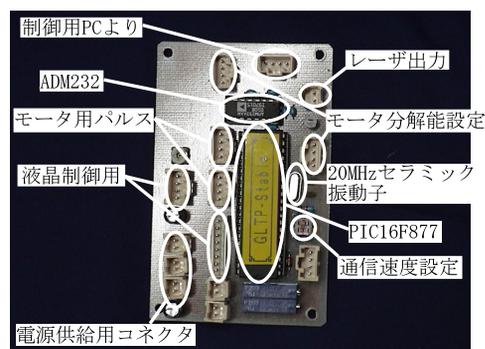


図 6: コントローラ拡大図

数でモータを駆動している。パルス生成の頻度はプログラムで変更することができ、最大 4.9kHz で駆動させることができる。

生成したパルスをステッピングモータ用ドライバ (オリエンタルモータ社製 PMD07CV) に送ることにより、ステッピングモータを指定した角度まで駆動させる。

また、レーザの輝度は PIC16F877 の PWM を用いることにより 1024 段階で調整することができる。この機能を用いることで、タッチパネルを押した圧力に応じて輝度を変化させたり、一定時間経過後の減光および消灯を行っている。

#### 2.3 キャリブレーション

図 7 に示すようにタッチパネルを押した場所に対応して、相手の書画カメラ領域にレーザを照射するためにキャリブレーションを行っている。

本来は GestureLaser 固有の座標軸、レーザが照射される平面の座標軸、そしてカメラ系の座標軸と 3 つの座標軸が存在するが、ここでは GestureLaser の座標軸とレーザが照射される平面の座標軸は同一

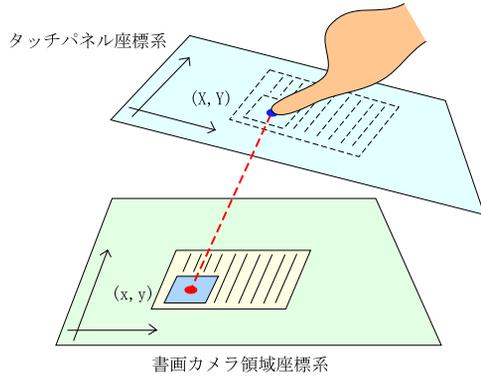


図7: キャリブレーション

のものとして仮定する。タッチパネル上の座標  $(X, Y)$  と平面に照射されたレーザーのスポットの座標  $(x, y, 0)$  を対応させるには、タッチパネル上での座標系に対し、ある並進・回転運動による透視変換を行う必要がある。レーザースポットの座標系は三次元座標系であるが、書画カメラ領域に提示されるものは紙であると考えるとその高さは無視してよいので常に  $z = 0$  の平面に投影されるものと考えることができる。このとき、両者の間には

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + 1} \quad (2)$$

という関係がある。ここで  $a_1, \dots, a_8$  は未知の係数で、カメラの外部パラメータ (位置や方向)、および焦点距離などの内部パラメータである。未知数の数は8個なので、タッチパネル座標系に対応する GestureLaser 座標上の点を4つ求めればこれらの未知数は歴本らの示した方程式 [3] を解くことで求めることができる。

実際のキャリブレーションでは、タッチパネルの画面の四隅にレーザースポットを照射しそのスポットをタッチパネル上で指で触れることによって、書画カメラ領域に照射されたレーザースポットの座標  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$  の4点に対応するタッチパネル上での座標  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$  を求める。これらの座標を用いて連立一次方程式を解くことで未知数  $a_1, \dots, a_8$  を求める。計算にはガウス消去法を用いる。次に、ここで求めた  $a_1, \dots, a_8$  をもとに、タッチパネル

上での座標  $(X, Y)$  を GestureLaser 座標系での座標  $(x, y)$  に変換する。式 (1),(2) を変形すると以下の式になる。

$$x = \frac{(Y - a_6)(a_8X - a_2) - (X - a_3)(a_8Y - a_5)}{(a_7X - a_1)(a_8Y - a_5) - (a_7Y - a_4)(a_8X - a_2)} \quad (3)$$

$$y = \frac{(Y - a_6)(a_7X - a_1) - (X - a_3)(a_7Y - a_4)}{(a_8X - a_2)(a_7Y - a_4) - (a_8Y - a_5)(a_7X - a_1)} \quad (4)$$

この式によりタッチパネル座標系  $(X, Y)$  に対応する GestureLaser 座標系  $(x, y)$  を求めることができる。これらのソフトウェアはFreeBSD上で実現した。

### 3. システムの評価と考察

システムの基本的な性能と、今後解決すべき問題点を明らかにするために評価実験を行った。評価実験は 3.1 に説明する既存の遠隔会議システム Agora [4] に本システムを導入し、ディスプレイを見ながら机を指さす間接ポインティングと、本システムを使いディスプレイを直接触れることで指示を行う直接ポインティングに要する時間と正答率による比較を行った。本論文では、レーザーポインティング部について評価を行う。

#### 3.1 遠隔会議システム Agora

遠隔会議システム Agora(図8) は以下の3つの部分から構成されている。

- 遠隔作業用投影スクリーン
- 半共有領域
- 書画カメラ領域



図8: Agoraの概要

このシステムは、遠隔地にいる共同作業者を等身大で投影することが可能なスクリーンに加え、共

同作業者が実物体や文書を映像として共有しつつ相互に指さしが可能な書画カメラ領域と、詳しい作業内容までは分からないが、なんとなく作業内容をつかむことのできる半共有領域を備えている。これらの領域は、正面のスクリーンに投影された遠隔地の共同作業者の画像との身体的な配置関係を考慮して配置されているため、視覚的な臨場感だけではなく、作業者らの興味に応じて変化する身体の向きを正確に表現することも可能となっている。

### 3.2 レーザポインタを用いた直接ポインティングの有効性

システムの有効性を確認するために、本システムを使って遠隔地の書類に対し指示を行い、相手にメモを取らせる実験を行った。

#### 3.2.1 実験設定

実験は2人1組で行い、一方を指示者、他方を被指示者とする。実験で用いた課題は、4, 6, 8, 12mm 間隔の格子が印刷された紙を被指示者側の書画カメラ領域に置き、指示者は指示書に指定された交点を1つの間隔に対して5点ずつ間接ポインティングによる指さしとレーザポインタを用いた2つの条件で指示を行い、一方で、被指示者は指示された点に印を書き込むというものである。被験者として工学システム学類の学生を中心に5組10人が参加した。実験では、まずはじめに指示者、被指示者ともに図9のように机の上に設定されたホームポジションに指示を行う手、および書き込みを行う手を置かせた。ホームポジションから書画カメラ領域の中心までは約55cm、タッチパネル画面の中心までは約70cmである。指示者は係の「はい」という合図で指示を開始し、目的の場所を指示することができたと感じたら「ここです」と言わせた。被指示者は「ここです」という合図の後に書き込みを開始し、書き込みが終了したら「はい」と言わせた。このように作業の区切りで合図を出すことで、指示者が指示に要した時間と、被指示者が書き込みに要した時間を測定した。実際には、録画したビデオテープから音声を取りだし、

その音声波形を参考に時間を測定した。



図9: 実験機材の位置関係

#### 3.2.2 実験結果の評価

ここでは、エラーによる影響を減らすために5回の測定値の中央値を各被験者の代表値として議論する。図10、11に1回の指示に要した時間と1回の書き込みに要した時間の平均値および標準偏差を示す。

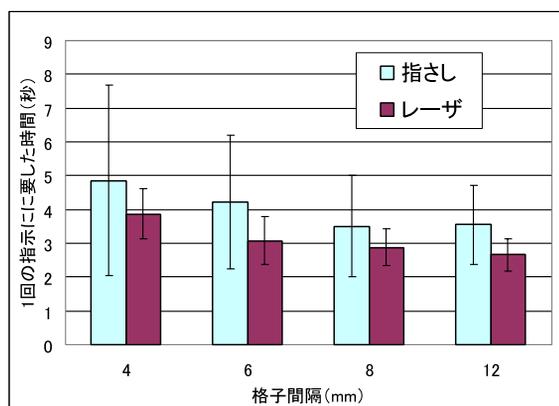


図10: 1回の指示に要した時間と標準偏差

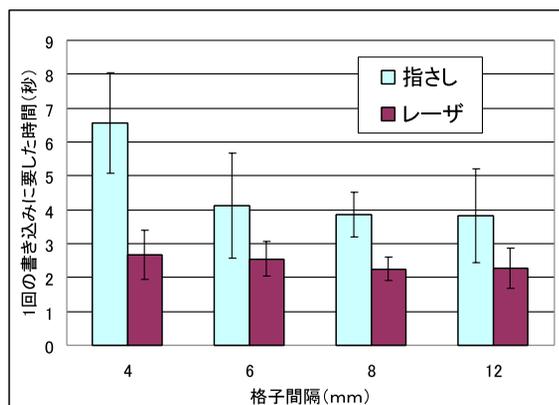


図11: 1回の書き込みに要した時間と標準偏差

本実験では、被験者数が少なく母集団が正規分布に従っているか不明である。そこで、測定データの尺度水準を間隔尺度から順序尺度に下げてノンパラメトリック検定を行う。また、指示および書き込みには運動能力等の個人差が考えられるため、これらの影響を排除するために同一被験者に両方の条件で指示を行わせ、両条件で得られた対のデータを Wilcoxon の符合順位和検定を用いて比較した。

検定の結果、すべての間隔において指示に要した時間および書き込みに要した時間の両方とも 2 条件間で母集団の分布に差があった (1 回の指示に要した時間の 4, 6, 12mm と書き込みに要した時間の 6mm に関しては  $p < .05$ 、その他に関しては  $p < .01$ )。

ここで書き込み時間に注目してみると、レーザースポットによる指示は格子間隔に関係なくほぼ一定であるのに対して、指さしによる指示は 4mm 間隔の場合、特に長い時間を要している。録画したビデオから観察したところ間隔が狭いほどしばらくディスプレイを見つめた後、何度も手元とディスプレイを照らし合わせながら書き込むといった動作が確認された。すなわち間接ポインティングによる指さしの場合、小さな対象物に対して指示を受けるときは相手の指さしの意味を確認し書き込む場所を決定するという動作に非常に時間がかかることが考えられる。

また、標準偏差の値もレーザースポットを用いた方が 1 回の指示に要する時間、書き込みに要する時間ともに小さいことから、誰にでも簡単に指示を行うことができると言える。

さらに、本システムを用いた指示は間接ポインティングによる指さしに対して高い正答率を示した (図 12)。指さしの意味は個人差が激しいことが考えられる。指さしの場合、対象物を指によって隠してしまうを防ぐため対象物から少しずらして指さしを行う必要がある。この時、指のずらし方に個人差が出てしまい、被指示者に間違った意味で解釈された可能性がある。それに対し、レー

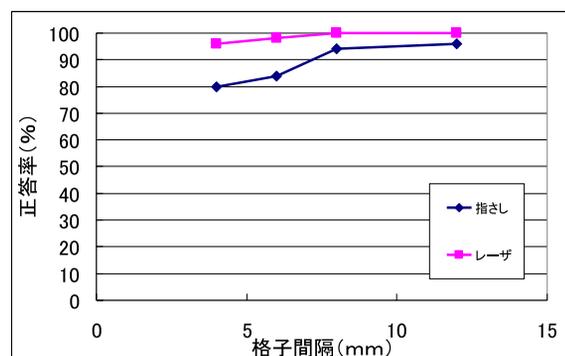


図 12: 格子間隔と正答率の関係

ザでの指示は対象物そのものにレーザーを直接照射することができるため、ポインティングにおける意味の個人差が少なくなり高い正答率を示したと考えられる。また指さしの場合、どのように指を差し出すか、またどのような向きに指さしを行うかで意味の取られ方が異なる可能性がある。

以上のような実験結果から、本システムを導入することで遠隔地間での指示を誰でも正確かつ素早く行うことができる。これにより利用者への負担を軽減することができ、よりスムーズで活発なコミュニケーションが可能になると考えられる。

### 3.3 考察

本システムを Agora に組み込むことにより遠隔地にある共同作業者の書類に対して直接ポインティングをおこなうことを実現し、従来の方法と比較して正確かつ素早い指示を行うことを可能とした。これにより、実際には何も無い書画台の上を指さすという不自然な行為を強制させることがないため、利用者に負担をかけることがなくなり遠隔地間での議論をより円滑なものにすることができると考えられる。一方で、指示を受ける側においても 3.2 が示すように、手元の書類に対し直接指示が行われるので直感的に素早い書き込みを行うことができ、ディスプレイに表示される指示者の手と自分の書類を参照しながら実際には手元にあるの書類に書き込むといった不自然な行為を解消することができる。また、遠隔地の書類に照射された自分のレーザーを見ることができるので、ポインティングがしやすいという報告もある。

#### 4. おわりに

本論文では、一般的なテレビ会議システムに用いられている書画カメラ部に注目し、ディスプレイに触れた点に対応して遠隔地の書類に直接レーザスポットを照射するシステムを開発し、その有効性を確認した。

今後、ネットワークインフラの充実と低価格化が進めば、より一層遠隔地間での会議が活発になることが期待できる。これにより、遠隔会議システムを利用する人々は専門的な知識を持った人だけではなく機械操作に不慣れな人にも広がっていくことが考えられる。様々な人が知識や経験に関係なくシステムを使用できるようにするためには、誰にでも簡単に使うことのできる直感的なインターフェースが必要である。本論文で解決した問題点はその一部であり、今後より一層の改良を行っていく必要がある。

#### 謝辞

本研究を行うにあたって、独立行政法人通信総合研究所、および通信・放送機構つくば情報通信研究開発支援センターのご指導、およびご協力を頂いた。

また、お忙しい中実験に協力いただいた、筑波大学工学システム学類の皆様をはじめとする、被験者の方々に心より感謝する。

#### 参考文献

- [1] Ishii, H., Miyake N.: Toward an Open Shared Workspace: Computer and Video Fusion Approach of TeamWorkstation; In *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 12, pp. 37-50, 1991
- [2] Yamazaki, K., Yamazaki, A., Kuzuoka, H., Oyama, S., Kato, H. and Miki, H.: Gesture-Laser and Gesturelaser Car: development of an Embodied Space to Support Remote Instruction; In *Proc of ECSCW'99*, pp.239-258, 1999.
- [3] 歴本純一: 3次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法, インタラクティブシステムとソフトウェア, 日本ソフトウェア科学会, WISS'96, pp.199-208, 1996.
- [4] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三木弘之: 相互モニタリングが可能な遠隔会議システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 3, pp. 495-594, 1999.