

実画像通信の可能性を探って
-空間型共同作業支援システム:SharedView-

葛岡英明
筑波大学構造工学系

三次元的な環境でおこなわれる共同作業を「空間型共同作業」と名付け、遠隔地間の空間型共同作業を実画像通信を利用して支援するための要件に関して考察をおこなった。まず、システムに要求される機能として、1) 三次元的な位置的可変性、2) 視点の共有機能、3) 非言語コミュニケーションの支援、4) 可確認性を挙げ、この要求に基づいて SharedView を試作し評価した。次に SharedView の利用経験によって明らかになった問題点より、新たに要求される機能として、5) 視点の独立性、6) 視野角の広さと解像度の高さ、7) 予測可能性を挙げた。本研究で得られた知見は、実画像通信を利用した従来の研究に対しても有用であると考えている。

Aiming at Better Video-Mediated Communication System
-SharedView System for Spatial Workspace Collaboration-

Hideaki Kuzuoka
Institute of Engineering Mechanics
University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Collaboration in three-dimensional(3D) space: "spatial workspace collaboration" is introduced and requirements for supporting spatial workspace collaboration are discussed. At first, 1) 3D movability of a focal point, 2) sharing focal points, 3) supporting non-verbal communication, and 4) the ability to confirm were determined to be system requirements. In order to satisfy those requirements, the SharedView system was developed and tested. Next, additional requirements are described based on the experience with the SharedView. They are; 5) independency of a focal point, 6) width of field of view and resolution of the image, 7) predictability. The author believes that the results from this study are useful for existing studies on video mediated communication systems.

1 はじめに

人間の共同作業におけるコミュニケーションは定型化することが困難であり、コンピュータを利用して強制的に定型的な会話をおこなわせようとしても必ずしも成功しないことが知られている [1]。一方、電子メールはコミュニケーションの手段として広く利用されている。電子メールは利用したいと思った時にすぐに利用することが可能であり、伝達できる情報の内容も自由である。いわば自由に「言いたいことが言える」システムである。電子ニュースはこれと比較すれば定型化されたシステムであると言えるが、電子メールと並行して利用されるため、非定型的なコミュニケーションが必要な場合にはすぐに電子メールへ移行することができる。このアナロジーより、コミュニケーション支援システムが利用される要因の一つとして、迅速に利用可能で、情報の内容を限定しないコミュニケーション基盤(下位レベル)がまず用意される必要があると考える。コミュニケーションを定型化するようなアプリケーション(上位レベル)はその基盤の上に、あるいは並行して構築すれば良い。ただし、アプリケーションの利用者が非定型的なコミュニケーションを欲した場合には、すぐに下位レベルへ移行できるようにしておかなければならない。すなわち、コミュニケーション基盤は非定型的な利用を十分に許容できるほど広帯域に設計されていることが重要である。

実画像通信システムは人間の多様かつ自由なコミュニケーション行動をそのまま遠隔地へ伝達できるため、コミュニケーション基盤として有効であると考えられる。しかし、CSCWにおける既存のシステムでは人間の非定型的な視覚的コミュニケーション行動を十分に支援できていない。すなわち、自由に「見たいものを見、見せたいものを見せる」[5] ことができない。本論文では、以下に述べる「空間型共同作業」の研究を通して、視覚的コミュニケーションの下位レベルを提供するための要件について論ずる。あらかじめ強調しておくが、本研究は後述するような空間型共同作業の支援にのみ有効なシステムを構築することが目的ではなく、共同作業あるいはコミュニケー

ションの機構を明らかにすることを目的としている。従って本研究で得られた知見は、実画像通信を利用して共同作業を支援しようとするその他の研究に対しても応用可能であると考えている。

2 空間型共同作業

従来 CSCW において実画像通信を利用した研究は、遠隔地間会議や共同描画などのオフィス・ワークを支援するためのシステムがほとんどであった(例えば [7, 8])。これらの共同作業では、デスクトップでの二次元平面的な作業や、着席してのコミュニケーションを支援していた。しかしながら、生産現場とオフィスとの共同作業のように、産業界を含めたもっと広範囲の共同作業を考慮した場合、新たに試作した機械の不具合を現場からオフィスの設計者に説明したり、機械の故障の修理を熟練者が遠隔地のオフィスから指示するなどといった状況が考えうる。このような場合には三次元空間内に配置され、三次元的な動作を伴う対象物に関するコミュニケーションが必要となり、二次元的な共同作業では目立たなかった問題点をあきらかにすることができる。そこでこのような環境内での共同作業を「空間型共同作業」と呼び、これを支援するための実画像通信システムに関して研究をおこなっている [6]。

空間型共同作業の特徴を明らかにするために、具体例として、マシニング・センタ (MC) の操作方法を指示者が被指示者に対して指示をするという実験をおこなった。MC はフライス加工やドリル加工など、様々な機能を合わせもった工作機械である。指示者は MC の利用方法に精通しており、被指示者は初心者であった。

3 システムに要求される機能

MC 操作指示実験を通して、空間型共同作業を支援する実画像通信システムには以下に示すような機能が必要であることがわかった。

3.1 三次元的な位置的可変性

機械の操作指示の様子をビデオに撮影し、これを解析した結果、指示者、被指示者とも視点を頻繁に変更しながらコミュニケーションをおこなっていることがわかった。この視点変更は1秒間に2回以上おこなわれることもあった。また、被験者らは単に見る対象を変更するだけでなく、対象物を見る方向も自在に変更していた。ここでは、「どこを見るか」と「どこから見るか」の両方の意味を持った言葉として「視点」という言葉を使う。すると、実画像通信システムは三次元空間内での視点の位置的な可変性を支援する機能が必要であると言える。しかも、この可変性は利用者の意志に可能なかぎり従っていなくてはならない。従来のシステムではカメラは固定して設置されているため、この点で人間の視覚的な行動に対応できない。

3.2 視点の共有機能

従来の様にテレビカメラが固定して設置されている場合、テレビカメラが機械を撮影する方向(指示者が機械を見る方向)と、被指示者が機械を見る方向とが異なる場合が多い。仮に指示者と被指示者が互いに反対方向から対象物を見るとすると、指示者にとって「右側」は、被指示者にとっては「左側」になるため、お互いに双方の視点を考慮しつつ、「君から見て左側」というように表現しなければならない。実際、筆者らの実験からも見る角度が異なる場合にはコミュニケーションが円滑ではなくなることが観察された。従って、実画像通信システムは、単に同一の対象物を見せることができるというだけでなく、同一の方向から見せることができるという意味も含めて、視点を共有させる機能が必要である。

3.3 非言語コミュニケーションの支援

三次元的な動作や三次元空間内の位置を表現するために、手振りは非常に有効な手段であることが知られている。筆者らの実験からも手振りの有無が空間型共同作業の効率に大きく影響することが示された。従って、実画像通信システムは手振

りを含め、非言語的なコミュニケーション手段を支援する機能が必要である。

3.4 可確認性

視点を頻繁に変更する原因となっているのが確認である。例えば指示者は以下のような確認をおこなっている。

- 自分の指示した場所を正確に見ているかどうかを確認するために被指示者の視点を見る。
- 教えた通りに作業をおこなっているかどうか、被指示者の手もとを見る。
- 機械が正しく安全に動作しているかどうか、機械自身の動作を見る。

実画像通信システムは以上のような確認が可能であることが必要である。

4 SharedView の開発と利用

4.1 SharedView

前述の問題点を解決するシステムとして、SharedViewを試作した(図1)。SharedViewは頭部搭載型のカメラ(SharedCamera)と頭部搭載型ディスプレイ(HMD)を組み合わせたシステムである¹。ただし、カメラを単純に頭部に搭載したのでは装着者の視点に対応した映像が得られないことがわかった。人間は身体の正面に対して横の方向を見る場合、頭部だけではなく眼球もその方向に回転させることによってその方向を見る²。従って、カメラが頭部に固定して設置されていたのでは、実際に見ている方向を正しく撮影することはできない。そこで、眼球の頭部に対する回転角と頭部の身体に対する回転角とがほぼ比例することから、頭部の身体に対する回転角を検出して、カメラの向きを補正する機構を備えたカメラがSharedCameraである。HMDにはSharedCameraで撮影された画像がフィードバックされるが、Tangらの提案した手法[8]を応用

¹以前の論文では、SharedCameraがSharedViewと呼ばれ、SharedViewがMultiViewと呼ばれていた

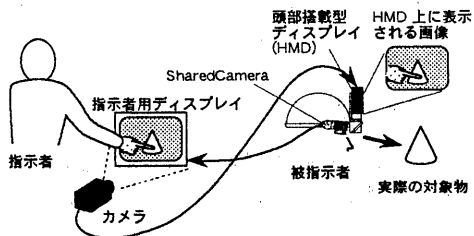


図 1: SharedView System

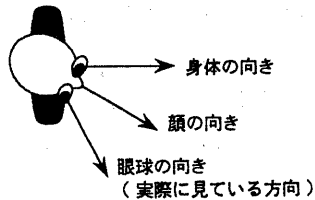


図 2: 身体、頭部、眼球の角度の関係

して、遠隔地の人間の手振りがスーパーインポーズされる。

4.2 SharedView の利用

SharedView を MC の遠隔操作指示に利用した。また、比較のためにテレビ・カメラとディスプレイを固定して設置して MC の全体像を撮影した場合と、対面で指示をおこなった場合の実験もおこなった (図 3)。図 4 に MC の持つ座標系の説明において利用された、方向表現のための修飾語数と、作業時間の比較を示す。座標系説明の際には両者とも MC の工具部分を見る必要があるが、カメラを固定して設置した場合には、指示者が遠隔からカメラを通して見る方向と被指示者が見る方向が約 90 度食い違ってしまう。そのために会話が困難となり、結局言語表現を多用せざるをえなかったと考えられる。事実、指示者が「(被指示者から見て) 左右」と表現したにもかかわらず、被指示者は指示者から見て左右であると勘違いするような例も見られた。SharedView を利用した場合には視点を共有しているためにこのような方向表現に関する問題はおこらなかった。この実験を通して、従来の固定的なシステムと比較した SharedView の利点として、

- 視点の可変性が高いので、ドリル部、各種スイッチ類など、三次元空間に分散した様々な場所を素早く変更して見ることができる。
- 視点を共有できるので、位置、方向表現が楽である。
- 指示者、非指示者とも手振りを利用できるので、位置、方向表現が楽である。
- 被指示者の視点、作業を確認できる。

という点が確認された。ただし、以下に述べるように、位置表現に関しては対面でのコミュニケーションと比較すると問題点が多い。

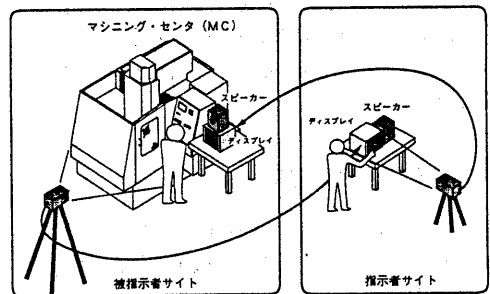


図 3: カメラとディスプレイを固定した場合

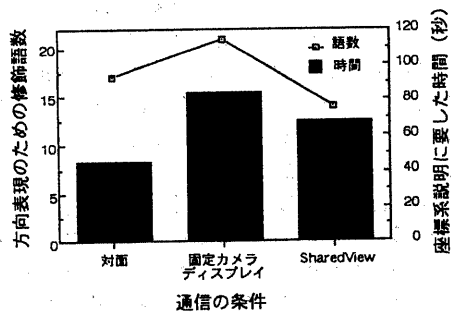


図 4: 方向表現のための修飾語数と作業時間の比較

5 SharedView の問題点

SharedView は 3 章で述べた機能を満たすことに成功したが、さらに新たな問題点も明らかになってきた。

5.1 位置指定表現に見られる問題点

MC 操作指示実験では、指示者は MC の操作パネル上にある様々なボタンをやスイッチを被指示者に見せる必要があった。SharedView を利用した場合には、対面の場合と比較して、明らかに位置指定作業が困難であった。対面でのコミュニケーションを詳細に観察すると、指示者は以下のような手順で位置指定をおこなっていることがわかった。

1. 指示者は次に被指示者に見せるべき対象物の方向へ頭を回転させ、その対象物を視認しようとする。
2. 対象物を視認すると、その位置へ手を持っていきつつ、手の形状を指さしに変える。
3. 実際にその対象物を指さす。

会話	教示者		被教示者	
	視野	手振り	視野	手振り
ええ、 じゃあオツなん で、えーと、 ごめボタン じばく押して	0:29:51 ボタン	0:30:70 拳銃 0:31:26 指さす 0:31:39 指さす	0:30:31	下に降ろし ている
兼していただけま すか？ これですか？ はい。	0:31:53 被指示者 0:32:23 被指示者 ボタン	0:31:53 押す手振り 0:33:51 ドアの把手 0:34:01 ドアを閉める 0:35:00	ボタン 0:32:24 拳銃 0:33:08	ボタンを押す
え、兼してくださ い。	0:34:16 ワーク方面	手を耳へ	0:36:58	ワーク 0:38:38 0:39:37
	0:36:57 被指示者		0:38:10	指さす ワーク
	0:39:45			

図 5: 手振りと視点の協調動作の例

指示者のこのような行動に対応して、被指示者は対象物の方向へ視点を移動した。このとき被指示者は非常に早い段階から視点を移動し始めることが多いことがわかった。すなわち、指示者が上記の 1 や 2 の段階にあるときに、既に次に表現される位置を予測し、視点を変更し始めたので

ある。手振りと視点の協調動作の例を図 5 に示す。図中の矢印は、指示者の視点移動のみによって、被指示者も視点を移動した例を示している。

被指示者は視点を変更し始める直前に、必ずしも指示者の頭部、視線、手の動きなどを見ているわけではなく、説明されている対象物を見ていることが多い。にもかかわらず、被指示者が次の対象物の方向へ視点を変更できるのは、周辺視野で指示者の動きを察知しているからにほかならない。対面でのコミュニケーションが円滑である要因の一つは、無意識に得られる様々な視覚的情報によって、対話者の行動を事前に予測できるからにほかならない。従って、実画像通信システムには、被指示者が常に指示者の手振りや視点の動きを特に意識せずに察知できるように、対話者の行動を表示し、次の行動を予測可能にしておくことが必要である。

一方、指示者は次々と説明する対象物を変えていくが、次の対象物を発見するためには、被指示者とは独立して視点を自由に変更できる必要がある。しかし、SharedView を利用している場合には、指示者は常に被指示者とほとんど同一の対象を見なければならない。指示者が見たい対象物が表示されていない場合には、指示者は被指示者に、対象物の方向を見てもらおうように指示しなければならない。そして、対象物が画像の中に入ってからようやく対象物を指さすことができた(もともと、従来のシステムと比較すれば利点であると言える)。

5.2 確認に見られる問題点

MC は数千万円もするため、指示者は被指示者の誤操作によって機械が故障してしまうことを非常に恐れていた。そのため、指示者は MC が安全に動作していることを確認する必要があった。例えば、MC に附属しているディスプレイに表示される座標値や実際に動いているドリルを見ることは、ドリルの移動速度が速すぎないか、不適当な場所に衝突しないかどうかを確認する上で有効な情報である。対面で操作指示をおこなっているときには、被指示者がどこをみているかにかかわらず自由に MC の動作部分を見ることができ

たが、SharedView を利用している場合には、この点で不都合な場合が多い。すなわち、被指示者がドリルを移動させようとしてハンドルを回す場合、被指示者は自分が操作しているハンドルのみを見ている場合がある。SharedView を利用している場合にはハンドルの映像が送られてくることになり、指示者は自由に動作部分を見ることができなかつた。実際、指示者はこの点で不安であったという感想を述べていた。

6 次のシステムに要求される機能

6.1 視点の独立性

前述した通り、視点の共有が効果的ではない場合があることがわかった。従って、SharedView と同時に、指示者の意志に従って自由に対象物を見ることができるようなカメラも必要となる。

6.2 視野角の広さと解像度

カメラの視野角が広ければ、被指示者にある方向を見るように指示しなくてもすでに対象物が撮影されている可能性が大きいため、位置指定がしやすくなる。また、必要な箇所が撮影されている可能性が高いため、確認もおこないやすくなる。しかし、視野角が広すぎると、撮影されている対象物あたりの解像度が悪くなることになる。解像度が悪すぎる場合には、例えば操作パネル上のスイッチ類の文字や、MC の状態を示すランプの点灯状況が見えなくなってしまうため、位置指定にも、確認にも不便になってしまう。逆にズームアップして対象物を見ると細かい部分まで見ることが可能であるが、視野角が狭くなるために、やはり位置指定や確認が困難になる。以上の考察から、視野角と解像度にはトレードオフが存在することがわかる。この点に関して Gaver[2] も同様の意見を述べている。

6.3 予測可能性

指示者の位置指定以前に被指示者がその位置を予測できるためには、指示者によってリモート・コントロールされるカメラが撮影している方向を

被指示者が察知できることが望ましい。ただし、このようなカメラの設計には注意を要する。著者らは以前、指さしや視線の代用としてリモート・コントロール・カメラを利用しようと試みた [4]。このカメラは、比較的素早くその向きを変えることが可能なように設計された。カメラの向きは、マウスを前後左右に移動させるのにもなって、上下左右に動くようにした。このカメラを利用した実験では、被験者を指示者と被指示者にわけた。指示者は遠隔地からカメラの向きを操作しながら、被指示者のいる部屋にある対象物の位置を指示した。このとき、指示者はどのような言語表現を利用しても良いこととした。また、カメラは被指示者にその動作や向きが良く見えるように設置してあったため、指示者に「被指示者は指示者が見ている方向を、カメラの向きから知ることができる」ということを伝えてあった。

この実験で筆者らが期待したのは、指示者がカメラの向きを指さしのように利用して、少ない言語表現数で円滑に位置を表現できることであった。ところが実際には、指示者は対象物を見るためにその方向へカメラを向けているにもかかわらず、むしろ言語的に「君から見て右側の机の上にある**」といった表現を多用したため、非指示者からカメラが見えないようにした場合と比較して、作業時間はあまり短縮できなかった。一方、筆者ら自身が指示者となって、カメラの向きを利用して、「この方向にある**」といった表現を積極的に利用した場合には、作業時間を短くすることができた。従って、このシステムの有効性の如何は、カメラ側のインタフェース設計のみならず、操作者側のインタフェース設計に大きく依存することがわかった。すなわち、被指示者のみならず、指示者に対して「利用しよう」と思わせることが重要であることがわかった。そのためには、カメラが有効であるということを指示者に意識させなければならない。この実験の場合、カメラの動作を被指示者が見られること、そしてカメラが確実に対象物の方向を向いていることを指示者が意識できることが必要である。

6.4 将来システムの提案

以上の考察から、今後は SharedView のみではなく、さらに複数のカメラやディスプレイを並行して利用するようなシステムが必要であると思われる。新たに追加されるシステムでは以下のような機能が実現される必要がある。

- 被指示者とは独立した視点を提供する。
- 指示者の意志に基づいて自由に「見たい対象物を見る」ことができる。
- カメラの動作が被指示者に見える。
- カメラの動作が被指示者に見えることを指示者に実感させる。

この機能を実現するためには、リモートコントロール可能なカメラを利用する必要がある。このカメラは指示者のコントロールする通り、素早く方向を変えられなくてはならない。カメラの方向を制御するインターフェースとしては、一般的にはジョイスティックで回転方向を決定するが、高速でカメラを回転させるのには適さない。マウスを利用してカメラをコントロールした実験では、特に上下方向のコントロールの場合、マウスを上にした動かし時に画像も上の方向へ移動するのか（画像の上下方向に対応させた場合）、下の方向へ移動するのか（カメラの回転方向に対応させた場合）迷う例が多数見られた。このため、マスタースレーブ方式の採用を検討している（図 6）。指示

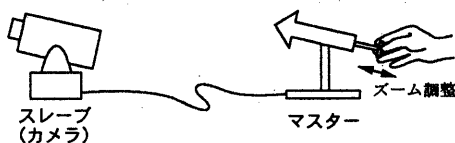


図 6: マスター・スレーブによるカメラのコントロール

者はマスターを手で動かし、カメラはマスターの向いている方向を向くように制御すれば良い。カメラの視野角と解像度の問題を解決する一つの手段として、素早いズームが可能でカメラを利用することが考えられる。マスタースレーブ方式

でこのズームを調整するためには、ピストンのような機構をマスターに付けて、これを押したり引いたりすることによってズームを変化させれば良い。

タッチスクリーンを利用して、指示者が見たい対象を画面上で直接ポインティングすることによって、その対象物が画面の中央に来るようにカメラの方向を変更することも考えられる。画面上に見たい対象物が表示されていない場合には、画面の外周をポインティングすることによってカメラをその方向へ移動させることにし、画面内に入ってから直接その対象物をポインティングする。

カメラの視野角の問題を解決する方法として、ATR において実現されている、広角で粗い画像と狭角で精細な画像とを合成する手法が考えられる。このためには、広角カメラと狭角カメラの二台を用意する。指示者の前に大型のスクリーンを用意しておき、全体に広角カメラで撮影された画像を表示しておく。狭角のカメラは指示者が見ている場所に追従するように制御する。これによって、被指示者は指示者の位置表現をより迅速に予測することが可能となる。

被指示者側のインターフェースとしては、カメラを被指示者の見やすい位置に配置して、その向いている方向を気づきやすくする必要がある。カメラを半固定的に設置する場合には位置的な可変性が損なわれるため、カメラはいろいろな場所に複数設置されなければならない。

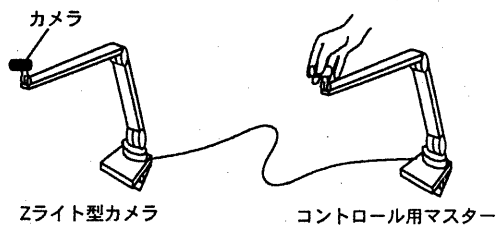


図 7: Zライト式のカメラ

リモート・コントロールされるカメラは単純に二自由度のものを三脚の上に固定するのではなく、クリップや磁石でどこにでも簡単に設置できるようにした方が良い（図 7）。カメラの駆動機構

もスポットライトの様な機構を利用して自由度をなるべく大きくすることが好ましい。当然、指示者側のマスターも同様の機構を有している必要がある。

カメラの位置的な可変性を大きくする手段として、指示者用のカメラも被指示者の頭部に搭載することが考えられる。これは、カメラの位置的な可変性を保ちつつ、独立した視点も提供するためである。このカメラの向きは指示者によって変えられるが、単純にカメラを搭載したのでは、装着者である被指示者が身体を動かすとカメラの向きも変化してしまう。これを防ぐためには加速度計、ジャイロ、距離センサなどによって被指示者の動きを検知するか、画像処理によってカメラが常に同一の対象物を撮影できるように制御しなくてはならない。

被指示者は指示者用のカメラがどの方向を向いているのか、また、カメラが複数ある場合にはどのカメラが利用されているのかがわかる必要がある。このような情報はHMD上に矢印などで表示することが考えられる。また、カメラにスポットライトを取りつけ、撮影している対象を照らすことも考えられる。スポットライトが十分に明るければ、指示者は、被指示者が自分の位置指定を見ているであろうということを意識しやすくと予想される。これによって、指示者は「この* *」といった表現を利用しやすくなることが期待できる。

7 おわりに

本論文では、空間型共同作業を支援する実画像通信システムに必要とされる機能に関して、SharedViewの開発とその利用経験に基づいて考察をおこなった。従来のCSCWにおける実画像通信システムは機械側の制約によって設計されていたため、人間側が機械に合わせて行動しなければならなかった。しかし今後は人間側の視覚的な要求に基づいたシステム設計がなされる必要がある。SharedViewはそのようなシステムの一例である。

CSCWの本来の目的の一つは、人間の共同作業の機構を明らかにすることである。このため

に、様々な種類の共同作業を研究し、異なる観点から共同作業を解析することは非常に効果的であると考えられる。すなわち、このような戦略によって、他の種類の作業研究では目立たなかった問題点が明らかになる可能性が大きく、このようにして得られた知見を総合することによって、より正確に共同作業機構を解明することができると考えられる。この意味で、本研究から得られた知見は決して機械を対象とした共同作業のみに利用されるものではなく、オフィス・ワークを含めたより一般的な共同作業の実画像通信支援に対して応用可能であると考えている。

参考文献

- [1] 会津泉, “グループウェアが米国で関心の的に、グループの共同作業を支援.” 日経バイト, 1989, April, pp. 281-285.
- [2] Gaver, W., “The Affordances of Media Spaces for Collaboration.” In *Proceedings of CSCW '92*, 1992, pp. 17-24.
- [3] Heath, C. and Luff, P., “Disembodied Conduct: Communication Through Video in a Multimedia Office Environment.” In *Proceedings of CHI91*, 1991, pp. 99103.
- [4] 石井威望, 広瀬通孝, 葛岡英明, “リモート・コラボレーションにおけるリモート・コントロール・カメラの利用方法について”, 情報処理学会第37回(昭和63年後期)全国大会論文集, 1988, pp. 2059.
- [5] 葛岡英明, 広瀬通孝, 石井威望, “実画像通信でのコミュニケーション支援システム:MultiView”, 計測自動制御学会第6回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 1990, pp. 257-262.
- [6] Kuzuoka, H., “Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration Capability.” In *Proceedings of CHI '92*, 1992, pp. 533-540.
- [7] Sellen, A. and Buxton, W., “Using Spatial Cues to Improve Videoconferencing.” In *Proceedings of CSCW '92*, 1992, pp. 651-652.
- [8] Tang, J., “VideoDraw: A Video Interface for Collaborative Drawing.” In *Proceedings of CHI '90*, 1990, pp. 313-320.