

空間型共同作業の実画像通信支援における独立した視点の支援

葛岡英明

筑波大学構造工学系

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として、1) 視点の独立性、2) 予測可能性、3) 情報の到達の確認・伝達の確信、4) 直感的な操作性が必要である。これらの要件を満たすためにマスタ・スレーブ方式の三自由度のリモート・コントロール・カメラを試作中である。このカメラにはレーザ・ポインタが取り付けられており、これによって遠隔地の対象物をポインティングすることができる。また、カメラをコントロールする手段として、タッチ・パネルを利用した方法も実験をおこなっている。将来的には、電話機のように汎用の実画像通信システムを構築することを目指している。

Independent Views Support 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 space: "spatial workspace collaboration" is introduced and an approach supporting it via a video mediated communication system is described. Based on experiment results, independency of a focal point, predictability, ability to confirm communication, and intuitiveness of a system control were determined to be a system requirements. Then a newly developing camera system is introduced. The camera is mounted on the three degrees of freedom actuator. The actuator is controlled by master-slave method. Also, laser pointer is mounted to assist remote pointing. Touch sensitive display is also being tested to control the actuator.

1 はじめに

テレビ会議システムや在籍会議システムに代表されるような、実画像通信を利用したグループウェアが多数開発されている。一方、実画像通信は共同作業に本当に有効なのかどうかという議論も盛んである(例えば[6])。これらの議論から明らかなことは、共同作業には実画像通信が有効に利用されるものとそうではないものとが存在すること。さらに、単に実画像通信があるだけではなく、いかにそれを利用するか(どの画像をどのように伝達・表示するか)によって、その有効性が大きく異なるということである。

筆者らは実画像通信が有効に利用される共同作業として、三次元的な環境内で三次元的な動作や表現を伴う共同作業を空間型共同作業と名付け、これを支援することのできるシステムの開発を試みている。空間型共同作業の代表的なものとして、遠隔地からの機器操作指示が考えられる。このような作業では機器の様々な場所やその動作方向、そして操作方法を伝達しなければならず、一定の場所に固定して設置され、単に対話者の顔画像や書画のみを伝達するだけのシステムでは不十分である。

筆者らはこれまでの研究で、空間型共同作業の具体的な例として、指示者が被指示者に対して機器の操作方法を指示するという作業を解析し、システムに要求される機能として以下の項目をあげた。

システムのポータビリティ 機器の様々な方向を見たり見せたりするために、できるだけ希望通りに撮影したい対象物を撮影できる機能。

視点の共有機能 言語表現や手振りの利用を簡単にするために同一の対象物を同一の方向から見られる機能。

非言語的コミュニケーションの支援 手振りの有無はコミュニケーションの円滑さに大きく影響する。従って、手振り等の非言語的な表現手段を支援する機能。

確認 対話者の視線や動作、そして機器の動作を確認できる機能。

これらの機能を支援するシステムとして視線に追従する機構を持つ頭部搭載型カメラ(Shared-Camera)と頭部搭載型ディスプレイ(HMD)を組

み合わせた実画像通信システム: SharedView(図1)を開発し[1, 2]、被指示者に装着させた。

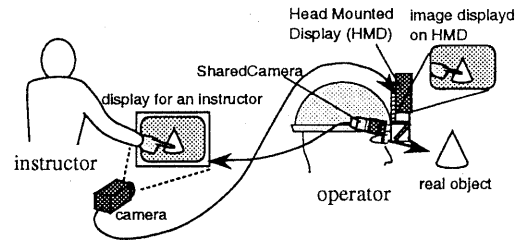


図 1: SharedView 実画像通信システム

このシステムを利用した実験から、空間型共同作業におけるその有効性を確認することができた。この研究で得た重要な知見として、単に実画像通信をおこなうだけでは実画像の有効性は低いが、手振りのスーパーインポーズ、視点の共有、システムのポータビリティの高さといった要因を加えることによって、その有効性が大きく増加することがわかった。

しかしながら、SharedViewを利用することによって、解決すべき新たな問題点が明らかになった。これらの問題点はSharedViewに固有のものではなく、従来の大半のシステムに共通した問題点であると考えられる。次章ではそれらの問題点を示す。

2 実画像通信システムの問題点

2.1 位置指定表現に見られる問題点

機械の操作指示実験では、指示者は機械の操作パネル上にある様々なボタン等を被指示者に見せるためにその位置を表現する必要があった。遠隔指示ではSharedViewを利用すれば効率的に位置表現がおこなえたが、対面の場合と比較すると依然として困難な面があった。対面でのコミュニケーションを詳細に観察すると、多くの場合指示者が位置表現を開始するごく初期の段階から、被指示者は視点を移動し始めることがわかった。すなわち、指示者が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たり、指さしをするために腕を動かし始めた段階で、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。これは

周辺視野で指示者の動きを察知しているからであると考えられる。

位置指定表現におけるもう一つの問題点は視点の独立性である。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うように指示しなければならなかった。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しすることができた。

2.2 確認に見られる問題点

実験に利用した機械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することを非常に恐れた。そのため、指示者は機械が安全に動作し、被指示者が正しく操作をしていることを目で見て確認する必要があった。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色々な場所を見ることができたが、SharedView を利用している場合には、被指示者の視線に追従した画像しか送られないため、指示者が不安をおぼえることが多かった。

3 システムに要求される機能

3.1 視点の独立性

前章の考察からわかるように、SharedView による視点共有と同時に独立した視点も提供する必要がある。SharedView とともに、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カメラも必要となる。

3.2 予測可能性

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ことである。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意識せずに察知できるように対話者の行動を提示し、次の行

動を予測可能にする機能が必要である。位置指定の場合、指示者が言語的に表現する以前に被指示者がその位置を予測できるためには、指示者がカメラを通して見ている場所を被指示者に伝達できる必要がある。しかもこの情報は被言語的な手段で表現され、いつでも何となく意識されるような情報でなくてはならない。

3.3 情報の到達の確認・伝達の確信

筆者らは以前リモート・コントロール・カメラを製作し、これを操作者の視線や指さしの代用として利用するという実験をおこなった。実験では指示者がカメラを遠隔操作し、被指示者がこのカメラの動きを見ながらコミュニケーションをおこなった。ここで期待したのは、指示者がカメラの向きを指さしのように利用して、「そこ」などの言葉を多用して円滑に位置を表現することであった。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さほど効果がなかった。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、作業時間を短縮することができた。この実験からこのシステムの有効性の如何は、単に指さし機能の実装のみならず、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、操作者に対して「利用しよう」と思わせることが重要である。そのためには、カメラが位置表現手段として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。

対面で指さしが有効に利用されるのは、指さし動作が対話者から見える場所でおこなわれていることが確認できて、さらに指さしが対話者に見られていることが確信できるからであると考えられる。遠隔地間コミュニケーションで指さし機能を有効に利用させるためには、位置情報が確実に遠隔地へ送られていること（到達）が確認可能で、その位置情報が対話者に認識されていること（伝達）が確信できる必要がある。

3.4 直感的な操作性

これまでの研究より、空間型共同作業を支援するためには、カメラが撮影する方向とカメラが設置される位置を自由に変更できる（視点の可変性）必要があることが明らかになっている。リモート・コントロール可能なカメラによってこれを実現する場合、カメラのアクチュエータはできるだけ多くの自由度を持ち、高速に向きを変更できることが望ましい。さらに、このようなシステムを直観的に操作できるインタフェースの構築が必要である。前述のリモート・コントロール・カメラでは操作インタフェースとしてマウスを利用し、マウスを前後左右に移動させた距離に比例してカメラも上下左右に動くようにした。ところが、マウスを前方に動かした時に画面が上下どちらの方向に動くかと期待するかがユーザによって異なり、操作を誤る例が多く見られた。既存のシステムではジョイスティックを利用したインタフェースが多いが、同様の問題点があると考えられる。

4 独立した視点を支援するシステム

本章では以上の要求を満たすために構築中のシステムに関して述べる。便宜上指示者から被指示者への情報伝達を考えるが、最終的にはそれらの区別の無い、双方向的なインタフェースを目指している。

4.1 マスタ・スレーブ・コントロール

指示者の意思に基づいた視点を提供するためには、リモート・コントロール式のカメラが有効であると考えられる。前章の考察に基づき、カメラ操作の方法としてマスタ・スレーブ方式を採用した三自由度のカメラ・アクチュエータを試作した(図2)[3]。このアクチュエータは小型に設計されているため、自由に設置場所を変更できる。従ってカメラのすぐ近くに見たい対象物が無くても、対話者にカメラを適当な位置に持って行かせれば良い。機構を大型化すれば多くの自由度を持たせることができるが、特定の設置場所や特定の対象物の撮影にしか利用できなくなる可能性が高い。また、その機構のそばで人間が作業をおこなうことを考えると、人間に危害を加えるほど大きかったり重かったりしてはいけない。従って、できるだけ小型にしつつ自由度を増すように改良していく

計画である。

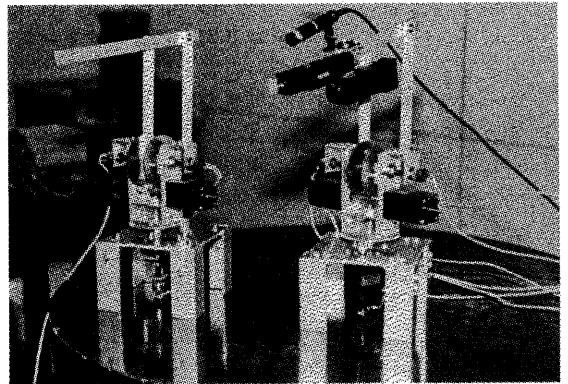


図 2: マスタ・スレーブ制御カメラ (マスタ: 右, スレーブ: 左)

実際のコミュニケーションにおいては指示者が見たいものを見るためにカメラをコントロールするだけではなく、被指示者が指示者に見せたいものを見せる場合も考えられる。このときは被指示者がスレーブ・カメラを対象物の方向へ向けることになり、マスタはそれに伴ってスレーブと同様の姿勢に変化しなければならない。さらに、スレーブが何かにぶつかってそれ以上動かなくなるという状況も考えられ、このときマスタはそれ以上動かされることに抵抗するように力を出さなければならない。これらの要求に対応するために、スレーブ側からもマスタをコントロールできるような双方向型の制御も実験中である。

このシステムではカメラ・ヘッドが向いている方向が良く見えるため、被指示者は周辺視野でカメラの動きを感じることで、早い段階で指示者の視点の動きを察知することが期待できる。指示者が被指示者の視点を確認する場合は、SharedViewを被指示者に装着させ併用すれば良い。これによって、指示者が伝達しようとした情報が正しく被指示者に受け取られたかどうかを確認することができる。

4.2 レーザ・ポインタ

指示者が位置を伝達する時に「これ」という言語表現を利用する気にさせるためには、対面で会話をする時の指さしに対応する、厳密に位置を指

示できる手段が必要である。試作中のシステムでは、スレーブ側のアクチュエータにカメラと光軸がほぼ一致するように小型のレーザ・ポインタを取り付けられており、操作者はこれで遠隔地の特定の対象物をポインティングすることができる。レーザ・ポインタを利用することで、指示者は位置情報が確実に到達していることを確認することができる。SharedViewを併用していれば、到達した位置情報が被指示者に伝達されているかどうか確認できる。

筆者らによる予備的な実験では、カメラから数十センチメートル以内の対象物であれば、少ない違和感でレーザ・ポインタを利用した位置表現がおこなえそうであった。しかし、数メートル離れた対象物は、レーザ光が画面内で発見しづらくなるため、利用しづらさを感じた。

レーザ光の問題点として、人の目に向けられた場合に危険であるということがあげられる。この解決策として、マスタ側に押しボタンスイッチを用意し、必要なときだけ点灯することを計画中である。

4.3 タッチ・パネル

タッチパネルを利用したインタフェースも試作中である(図3)。タッチ・パネルは指示者側のディスプレイに組み込まれており、画面には被指示者側のカメラ・アクチュエータからの画像が表示される。タッチ・パネルの代わりにマウスを利用しても同様の機能は実現できるが、直接手でポインティングする場合と比較して、マウスに手を伸ばす時間が余分にかかってしまう。一見わずかな時間差であるが、人間はわずかでも簡単に短時間にできる方法を選択するため、言葉での表現を選択してしまう可能性が高くなる。ただし、ユーザの好みで選択できるように両方の手段を用意しておくことが好ましい。

4.3.1 カメラのコントロール

タッチ・パネルをカメラのコントロールに利用しているが、以下の様にいくつかの方法を検討中である。大きなカメラの移動はマスタでおこない、細かい移動にはタッチ・パネルを利用することになると考えている。

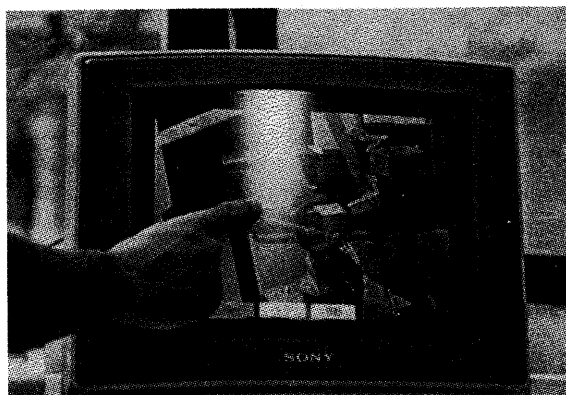


図 3: タッチ・パネルの利用

ジョイスティック方式 操作者が見たい方向を画面上でポインティングする方法である。カメラの移動方向と距離は画面中央からの方向と距離によって決定される。画面をポインティングし続けている間カメラは移動し続ける。この方式では、カメラを移動したい方向を画像上でポインティングするだけで良いため、認知的な負担は少ない。しかし正確な操作は難しく、レーザ・ポインタで任意の対象物をポインティングすることは困難である。

直接指示方式 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、その対象物をレーザ・ポインタがポインティングするようにカメラの方向を制御する方式である。

ドラッグ方式 画面にタッチしてそのまま指を移動させると、画面も指の移動と同様に移動するようにスレーブ・アクチュエータを制御する方式である。画面にタッチした場所と同じ場所で指が離れれば直接指示方式とみなし、タッチしたまま指を移動させればドラッグ方式とみなすことにすれば、二つの方式を連続的に利用可能となる。

4.3.2 手による位置指定、描画

手でタッチした位置に矢印が表示されたり指で画面上に絵を描き、これらをスーパーインポーズできるようにしたインタフェースも試作している。被指示者側にディスプレイを設置してこの画像を表示すれば、レーザ・ポインタ以外の位置指示手

段として、あるいは描画による情報伝達手段として利用できる。

5 今後の課題

現在積極的に検討中のシステムの構想に関して述べる(図4)。

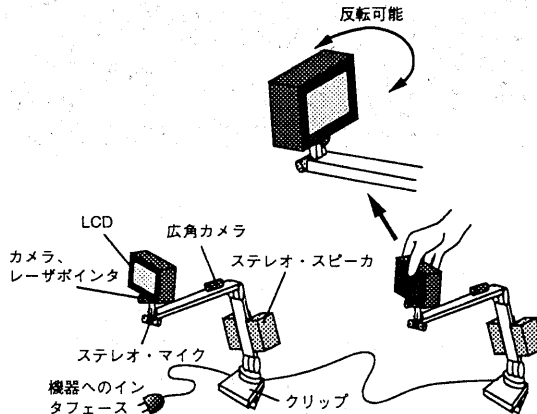


図4: システムの将来像

5.1 小型液晶ディスプレイの搭載

指示者が机の上に置かれたディスプレイを見ながらマスタを操作する場合、マスタを動かす方向と画面が動く方向とが一致しないことが多い。このために指示者はカメラの操作を誤る可能性がある。この問題を解決するためにマスタに3インチ程度の小型液晶ディスプレイ(LCD)を搭載する予定である(図5)。指示者は小さな窓を通して遠隔地を覗き見る感覚でカメラをコントロールできるため、体勢感覚に合致したコントロールが期待できる[4]。ただし、ディスプレイの向きに合わせて指示者自身が大きく動かなければならないという問題点がある。特に上方を見る場合には人間が不自然な姿勢にならざるを得ず、非常に不便である。この点に関しては、ディスプレイ搭載の効果自身の有無も含めて検討が必要である。

5.2 機器とカメラの接続

ある機器の操作方法、修理方法の指示を受ける場合、その機器の内部状態や設計図などがその機

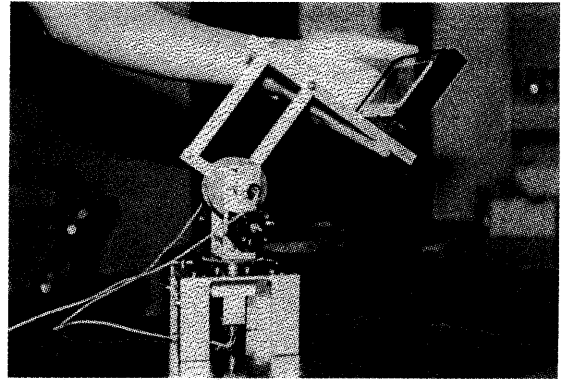


図5: 小型液晶ディスプレイの搭載

器の実画像にスーパーインポーズされていると便利である。また機器を遠隔地から操作できれば、被指示者に操作の例示をしたり遠隔制御をおこないつつ実画像で確認することができる。

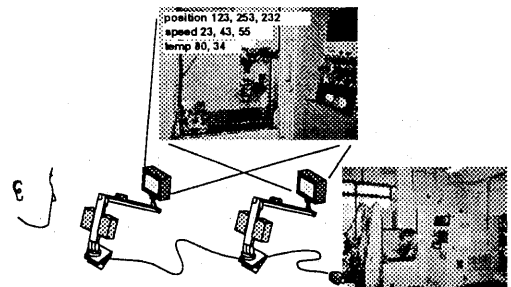


図6: 機器への接続

このような機能を実現する手段として、機器とカメラ・アクチュエータ間で情報を授受できるインタフェースを用意することを検討している。これが実現すれば、カメラを目的の機器のそばに持って行き接続することで、その機器に関する各種情報を得たり遠隔操作をすることが可能となる。また、必ずしも遠隔に限らず、目の前にある機器の内部状態を知るための手段としても利用できる(図6)。

5.3 広角カメラの併用

視野角を広げつつ、注視点の解像度を保つ手段として、広角カメラを併用することが考えられる。広角画像と通常画像とを別々のディスプレイに表示する方法、画像合成によって通常画像の周囲に広角画像を表示する方法などが考えられる。これによって被指示者の視点と行動の確認が可能となる。また、指示者が対象物を発見しやすくなるため、位置指定が簡単になることが期待できる。

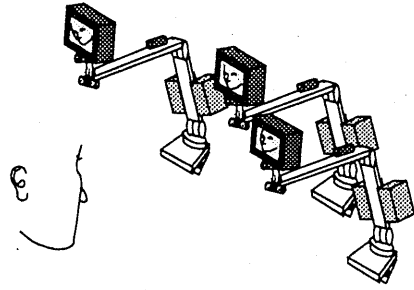


図 7: 多人数会議への利用

5.4 Audio cue

市販のテレビ・カメラを利用する限り、視野角の広さには限界があり、カメラを動かす自由度にも限界がある。従って、カメラの視野外に被指示者がいる場合にはどの方向にカメラを動かせば被指示者を撮影することができるかわからない。そこで、音声情報の利用を検討中である。スレーブ側にステレオ・マイクを装備し、マスタ側にステレオ・スピーカを装備すれば、音声の方向によって対話者の位置を察することができる。

5.5 双方向型への対応

ここまでは便宜上、指示者から被指示者への情報伝達を考えてきたが、実際のコミュニケーションでは、指示者と被指示者とが途中で入れ替わることも考えられる。従って、マスタとスレーブを全く対等とすることを計画している。アクチュエータはクリップなどによって机でも機械にでも取り付けられるようにすることが望ましい。また、液晶ディスプレイは180度向きが変わるようにすることも検討中である。単に対話者がお互いの表情を見つつ会話をするのであれば、ディスプレイとカメラのレンズを同じ方向に向ければ良い。ただし、この時はマスタ・スレーブ・コントロールをおこなわず、互いの顔を撮影するようにする。Hydra [5] のように対話者の数だけシステムを用意すれば、多視点一致とローカル・トークが可能な多人数のテレビ会議システムとして利用することが可能となる(図7)。作業対象物を撮影し、指示を受けつつ作業をするのであれば、逆の方向に向ければ良い。この時は双方のLCDに被指示者側の画像を表示することになる。

5.6 プライバシーの保護

従来のテレビ・カメラは見られている、いないにかかわらず同じ方向を向いていることが多いため、いつ覗かれているのかわからず、プライバシー保護の方法が研究の対象となっている。試作中のアクチュエータでは、利用していない時は必ずカメラを下に向けることとし、作動中か否かを容易に確認できるようにしている。プライバシー保護機構に関しては今後も検討が必要である。

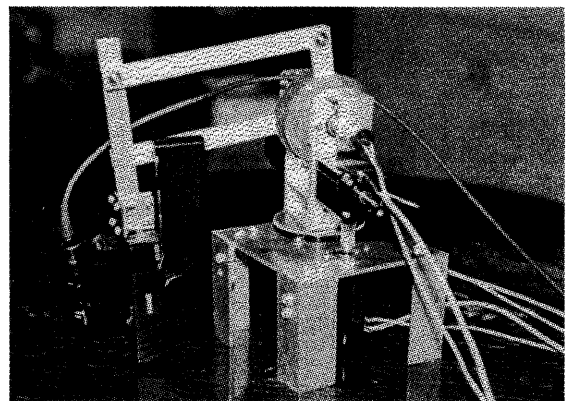


図 8: 非作動時のカメラ

5.7 遅い回線への対策

現時点での実用性を考えると、現在のISDNのような低速な回線を利用して実画像通信をおこなう場合、動画像圧縮に伴う時間遅れと画質の劣化が問題となる。画質の劣化に関しては、静止画像

であれば比較的鮮明な画像が送れるため、必要に応じて画面の一部に機器の静止画像を取り込み、鮮明な機器の静止画像と、被指示者の作業を伝える粗い動画像とを組み合わせた画像を構成するなどの工夫が必要であると考えられる。このような環境が作業指示のようなコミュニケーションに対して与える影響については、今後実験をおこなって明らかにしていく予定である。

6 おわりに

本稿では空間型共同作業に必要な機能を考察し、さらにこれを支援するためのシステムの提案をおこなった。本研究を通して、以下のような知見を得た。

- 単に実画像通信がおこなえれば良いのではなく、どのような画像を伝達するか、どのような情報を付加するかが重要である。
- 人間が複数の表現手段を利用できる場合、少しでも利用しづらい手段は選択されない。したがって単に必要な機能を満たしているだけではなく、利用者の認知的負担が軽く、したいと思った行動をごく簡単に自由に実行できるようなインタフェースを開発する必要がある。

本研究で提案するシステムは、位置情報や視線情報などを非言語的に伝達できるため、指示者と被指示者が異なる母国語を話すような場合には特に有効に利用されることが考えられる。今後、日本の国際貢献の機会が増すことが予想されるが、日本からの遠隔教育などへの応用が期待できる。

今後は、現在開発中のインタフェースを利用することによって視覚的コミュニケーションの機構を明らかにしつつ、さらにインタフェースを向上させ、電話器の様に汎用の実画像通信システムを開発することを目標とする。

7 謝辞

アクチュエータ製作に御協力頂いた筑波大学の岩田洋夫助教授とその学生諸君に感謝いたします。なお本研究は稲盛財団の研究助成金によっておこなわれています。

参考文献

- [1] 葛岡英明, 広瀬通孝, 石井威望. "空間型共同作業における視点の役割". 計測自動制御学会第7回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp. 363-366, 1991.
- [2] Hideaki Kuzuoka. "Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration Capability". In *Proceedings of CHI'92*, pp. 533-540, 1992.
- [3] 前多崇行. 三次元テキストチャディスプレイの開発. 平成四年度卒業論文, 筑波大学基礎工学類, 1993.
- [4] 永嶋美雄, 鈴木元, 瀬戸美樹. "運動型ビジュアルテレホンにおける空間認知支援技術". *Human Interface News and Report*, Vol. 8, No. 2, pp. 235-240, 1993.
- [5] Abigail Sellen and Bill Buxton. "Using Spatial Cues to Improve Videoconferencing". In *Proceedings of CHI'92*, pp. 651-652, 1992.
- [6] Randall B. Smith, Tim O'Shea, Claire O'Malley, Eileen Scanlon, and Josie Taylor. "Preliminary Experiments with a Distributed, Multimedia, Problem Solving Environment". In J. M. Bowers and S. D. Benford, editors, *Studies in Computer supported Cooperative Work*, pp. 31-48. North-Holland, 1991.