

実物体ベースの遠隔指示装置における複製画像インタフェースの提案

高野健太郎 内橋真吾

富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部

概要 我々は遠隔地の物体を映像として共有し、該物体にプロジェクタ光による直接的な指示を可能とすることで、実物体を対象とした遠隔コミュニケーションを支援するシステムの研究を行っている。このシステムの試用を通じて、指示後に対象物を移動させることにより指示と対象物がずれ、指示参照できない問題があることを確認した。この問題を解消するため、移動前に対象物の複製画像を作成し対象物と同位置に投影することで、対象物移動後も複製画像上で指示を継続参照できる手法を提案する。提案手法のプロトタイプを実装し、期待動作の確認を行った。また、作成したプロトタイプを用いた試用により提案手法への概ね肯定的な意見と検討すべき課題の示唆を得ることができた。

Proposal of copy image interface for projecting remote annotations system

Kentaro Takano Shingo Uchihashi

Fuji Xerox Research & Technology Group

Abstract: In this paper, we proposed a method to interact with physical workspace from remote and local sites by using copy image of the workspace. We implemented the proposed method and evaluated its effectiveness through preliminary experiments. Positive feedback and suggestions for improvement were provided from initial test users.

1. はじめに

我々は遠隔地の物体を映像として共有し、遠隔地からの指示を該物体にプロジェクタ光により投影することで、実物体を対象とした遠隔コミュニケーションを支援するシステムの研究を行っている[1]。我々のシステムにより、例えば製造業において、熟練者が遠隔地で生産されたトラブル品に対する指示をトラブル品に重ね合わせて投影し現地スタッフが容易に理解できる提示を行うことで、円滑なやりとりが可能となる。これにより、映像と音声のみによる遠隔会議システム利用時に比べ原因箇所特定時間の短縮をすることが期待できる。

試用実験を通して本システムの使用感を確かめた際に、指示後に対象物を移動することで指示と対象物がずれ、指示参照ができない場面が確認された。このずれに対応する方法の一つとして、対象物の移動を検知し情報を対象に追従させる手段が考えられるが、推定精度の頑健性や追従速度など、実利用に適用するには追求すべき点が多く残っている[2]。

そこで、我々はより簡単な方法でこの問題に

対処する手法を提案する。対象物が移動する前に対象物の複製画像を作成し対象物と同位置に投影することで、対象物移動後も複製画像上で指示を継続して参照出来るようにする。

以下、2節で関連研究について述べ、3節で我々が提案してきた遠隔指示装置について説明する。次に4節にて本研究で新たに実装したインタフェースについて述べ、5節でインタフェースのプロトタイプ試用を通してユーザから得られたフィードバックについて述べる。6節でこの試用結果についての考察を行い、最後に7節で、まとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

遠隔地間コミュニケーションでは、対面時に比べ視線・表情・ジェスチャーなどのコミュニケーションにおける手がかりを得ることが難しい。そのため、円滑なコミュニケーションを実現するため、これらの手がかりを効果的に遠隔地へ伝達する様々な方法が提案されている。特に、物を対象とした遠隔協業の場面においては、対象に対する指示の有効性が示され、多くの研究

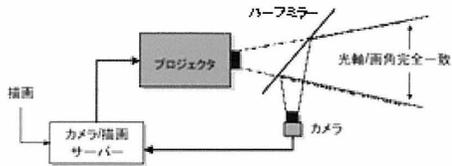


図 1 遠隔指示システムのサーバ構成

がなされている[3][7][8][9].

実物上に重ね合わせて提示する情報と対象物の位置合わせは重要な課題とされており、拡張現実感などの研究領域において様々な提案がなされている[2]. 位置合わせには、実物体の3次元位置および姿勢を推定し、推定結果に合わせて提示する情報を設定することで行われる. この3次元位置の姿勢・位置の推定には、必要とするセンサがカメラのみであり他の方法に比べコストが安いことから、画像処理による推定を行うものが多く研究されている. こうした画像処理を用いる研究では、カメラにより撮像されたマーカなどの対象物を手がかりに位置や推定を行っており、推定精度の頑健性や追従速度の向上などに向けた様々な手法が提案されている[4][5][6].

一方で、より簡易な構成で遠隔から実物に対して指示を行うシステムが提案されている. 葛岡らはレーザーポインタによる実物への指示システムと併用して、指示者が任意の時点で撮影した現地映像の静止画と静止画になされた指示を被指示者が身につけている装着型ディスプレイに表示する構成を検討している[7]. 該構成では静止画を用いているため、対象物の移動や装着者の動きにあわせて指示を提示する位置を追従させる必要がない.

本研究で提案する手法でも同様に静止画を用いており、実空間へ対象物の複製画像を提示することで対象物と静止画との間の関連付けがスムーズに行えるようにしている.

3. 実物体ベースの遠隔指示システム

本節では、これまでに我々が提案している実物体ベースの遠隔指示システムについて簡単に述べる. また、システムの使用感を確認するために実施した試用実験についても述べる.

3.1. システム構成

我々が提案するシステムはサーバ・クライア

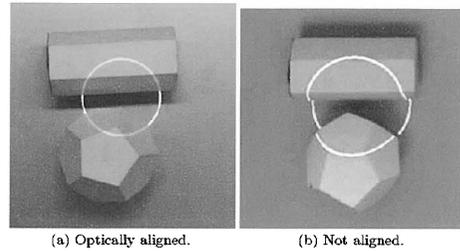


図 2 通常光学系と光軸一致光学系の見えの比較



図 3 ブロック組み立て課題を用いた試用実験 (左: 実験者による指示風景, 右: 被験者による組み立て風景)

ント型の通信システムであり、サーバは図1のようなプロカムユニットとカメラで撮像された画像を遠隔地へ配信するソフトウェアおよび遠隔地からの指示を描画するソフトウェアが動作するPCで構成される. このプロカムユニットはハーフミラーを用いてプロジェクタとカメラの光軸と画角が一致するように調整がなされている.

3.2. システムの試用実験結果

我々の遠隔指示システムの使用感を確かめるため、従来研究で多く用いられているブロック組み立てタスクによる試用実験を行った結果を簡単に紹介する[3][7][8][9].

図3のように実験者が口頭と遠隔指示システムによる指示で組み立て手順を被験者に伝達し、テーブル上にあるブロックを組み立てさせた. この試用を通して、実物上に指示が投影されることに対し、「直感的である」「作業空間に指示がなされるのが良い」などの肯定的な意見が得られた. 一方で改善が必要と思われる点も観察された.

特に、本システムではブロックを手にとってしまうと投影した指示は追従せず書き込み時の状態のまま机上に残るため、ブロックと指示の関連性が途切れてしまうことの影響が観察され

た。

まず、多数の指示がなされた場合に、被指示者が組み立て途中において口頭で指示の確認を要する場面が確認された。この様子から、1つのブロックに対して全ての指示が完了した後に、指示内容を記憶しブロックを手に取り作業を行うことが事実上の利用手順となっており、システム利便性が被指示者の記憶力に頼ることになってしまっていると考えられる。

また、多くの被験者が実験開始直後にはブロックへの1つ目の指示により組み立て対象を把握した後、すぐに対象となるブロックを手にとってしまい指示が継続出来ない場面が観察された。机に戻した際も、元の位置から移動しプロジェクタの指示可能範囲外になってしまうと、指示者側から口頭でプロジェクタの指示範囲内に戻すことを指示される場面も見られた。これらから、被指示者の行動に対して制約があると判断出来る。

以上のように、被指示者は組み立て作業における必要や自然な振舞いとして対象物を移動させる動作を行おうとするが、一方でこの動作が指示の参照や指示者からの指示の必要によって制約を受ける場面が認められた。また、この制約によりシステムの有効性が被指示者の記憶力に依存してしまう弊害も見られた。

4. 複製画像インタフェース

3.2 節の観察結果より被指示者が指示対象物を動かすことと、遠隔から継続して指示を行うことを両立させる必要があることが示唆された。本節では、これに対応し対象物の移動後も継続して指示参照ができるインタフェースを提案し、詳細について述べる。

4.1. 複製画像の実物への重畳投影

提案システムでは3節で述べたシステムと同軸光学特性を利用し、対象物でなされた指示を複製画像上で継続して参照することを實現する。図4(a)のように指示を行う前に対象物の複製画像を作成し実物上に重畳投影する。この実物上になされた指示は、実物と光学特性により重畳投影された複製画像上に投影される(図4(b))。このため、実物を移動しても、複製画像上に実物に対する指示と同じ見えが保持される(図4(c))。

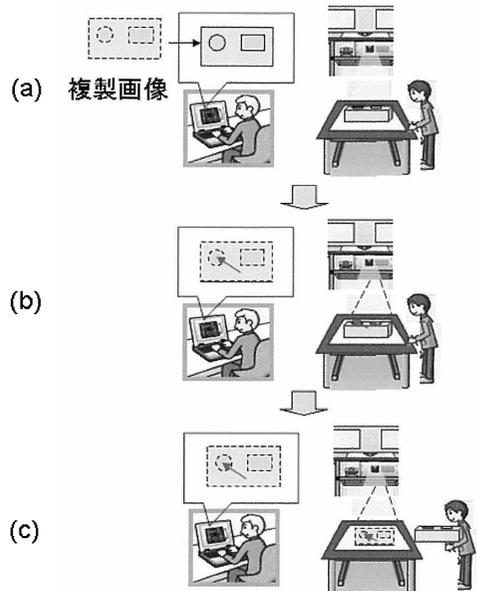


図4 実物への複製画像の重畳投影と指示

このように、被指示者は実物移動後も複製画像上で指示を確認でき、指示者も必要に応じて複製画像上に指示を継続して行うことができる。また、移動前の実物と同位置に複製画像が残るため、実物から迷い無く複製画像へ視線を移させることが期待できる。

4.2. マウスクリックへの複製画像作成動作割り当て

クライアントソフトウェアを使って指示をする遠隔地側ユーザの操作負荷の増大を避けるため、投影対象物の指定と重畳投影の操作を半自動化する実装を行った。

図5に処理の流れを示す。サーバ側でテーブル上に置かれた指示対象物を含むカメラ画像と予め撮影しておいた背景画像との差分を求め、差分の大きい画素が密集している矩形領域を検出する。遠隔地側ユーザは投影対象物の指定をクライアントソフトウェアの画面上を右クリックすることで行う。右クリックにより指定された座標が背景差分で検出された領域内であった場合に同領域の複製画像を撮影像から切り出し投影させる。操作結果を図6に示す。

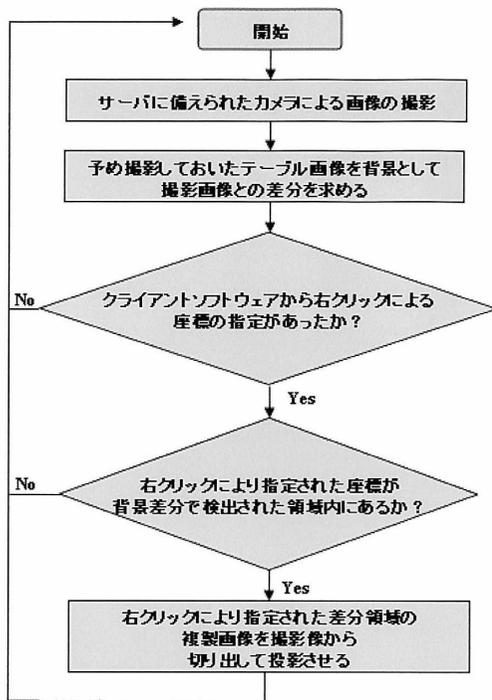


図 5 複製画像作成動作の半自動化実現フロー

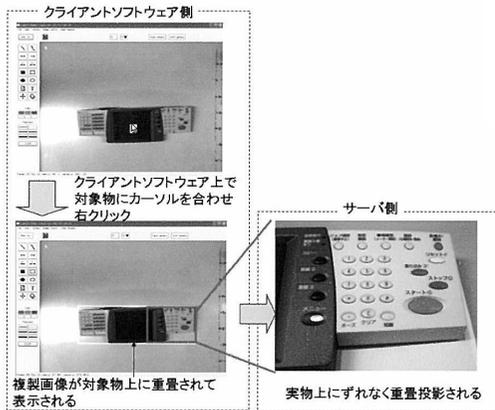


図 6 実装した複製画像の半自動化作成機能の動作図

背景差分と領域抽出は画像処理ライブラリ OpenCV[10]を用いて実装した。

複製画像を使った指示の例を図 7 に示す。図 7(上)のように複製画像が重畳投影された対象物上に行った指示は対象物と同じ位置にある複製画像上に投影されるため、図 7(下)のように対象物を移動した後も指示を継続参照することができる。

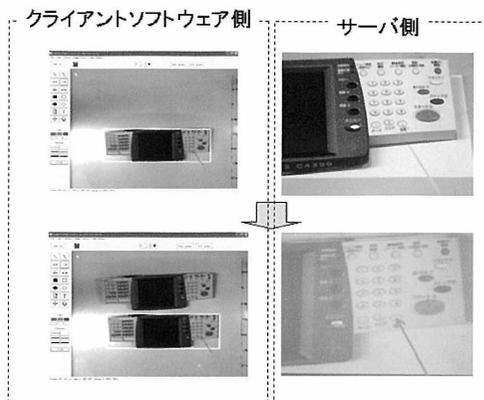


図 7 重畳投影後された対象物への指示(上)と指示後の対象物移動時の結果(下)

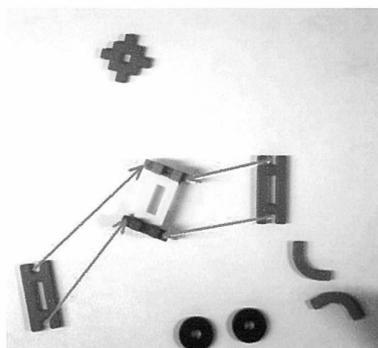


図 8 試用に用いたブロック

5. ユーザテスト

プロトタイプを用いたデモおよびユーザによる試用を通じて意見を収集し、使用感を確認した。

5.1. 試用内容

試用に参加した被験者は 5 名であり、内 4 名が 3.2 節で述べた試用にも立ち会っている。被験者には図 8 のようなブロックを組み立てるタスクに被指示者として参加することを依頼した。実験者である指示者は指示を行う際に、指示対象物の複製画像を作成し、その上に指示を行うものとした。

また、他に実験室内に存在した物品を対象として提案手法による指示を指示者および被指示者として自由に試用してもらいコメントをもらうものとした。

5.2. 試用者によるフィードバック

提案手法により対象物移動後も複製画像で指

示が参照できることについて、試用を通して感じたことへのヒアリング結果について示す。次に被験者に自由に発言してもらったコメントから主なものを以下の分類に大別して述べる。それぞれ、我々が意図していなかった効果と考えられるコメントを「副次的効果」とし、現行の実装に起因すると考えられる意見を「システムとしての課題」とし、さらに複製画像を積極的に用いようとする提案を「複製画像の応用提案」として述べる。

5.2.1. 複製画像での指示継続への意見

複製画像上に指示が継続できることについて肯定的な意見として「指示が残像に残っているのはよいと思う」「今まで指示対象物を動かせないという制約をとったのがよい」というコメントを得た。

一方で、提案手法を支持しない意見として「指示が追従した方がより良い」「行ったタスクくらいでは記憶することに問題がない」という意見も得た。後者のコメントをした被験者からは、指示に応じてリモコンのボタンを押す操作において「このタスクの場合は良い、良し悪しがタスクに依存する」とのコメントも受けた。

試用に関わった被験者5人中3人から本提案について肯定的な意見を得、他1人からはタスク依存を示唆されつつも部分的には肯定的な意見を得た。上記4名の被験者は3.2節の試用参加者でもあるため、総じて従来システムの改善として肯定的な意見が得られたといえる。

5.2.2. 副次的効果

複製画像を重畳投影する際に、実装したプロトタイプでは複製画像を包含する矩形の領域として投影される。そのため、被指示者には複製画像作成時に対象が矩形で囲まれるように見える。この事に対し「矩形で「これ」が指定されたが、以前より心なし早く対象の同定ができた気がする」との意見が聞かれた。

また、「立方体や空白の空間をはじめとして、実物への指示が見にくい時があるが、複製画像は平面で見えるのでみやすい」との意見が聞かれた。加えて、複製画像の投影場所についてもコメントが得られたが「モニタ画面で平面的に見えるのではなく、作業空間で見ることがするのがよい」「上からの投射に対し被指示者は斜めから見ている。立たないとわかりにくい」のように作業空間に指示や複製画像が投影され

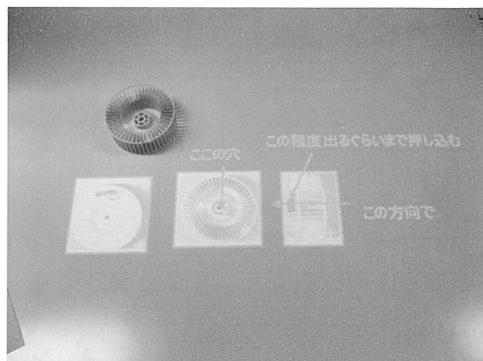


図9 複製画像を利用した複数角度からの見えに対する同時指示

ることの見易さに対しては賛否がわかれた。

以上のように、我々が狙いとしていた対処物移動後の指示継続のみでなく、被指示者が指示対象物を同定する時間や、被指示者にとっての指示の見易さについても影響を与えることが示唆された。

5.2.3. システムとしての課題

複製画像を作成する指示対象の種類により「複製画像の画質が粗い」との指摘を多く受けた。

また、現実装では指示者側は複製画像の移動や拡大縮小などの操作を行うことができるが、被指示者側では現在複製画像を操作することはできない。そのため「サーバ側で複製画像を操作できたらよい。例えば、複製画像の向きを見易い方向に変えたい」とのコメントを受けた。

5.2.4. 複製画像の応用提案

複製画像を用いた応用として「作業をその場に履歴として残せるのでは？」や「別方向からの書込みが同時にできる」といったコメントが得られた。特に後者では、具体的には図9のように三面図のような複数角度からの見え方を同時に確認出来る表現が提案された。

6. 考察

6.1. 被験者コメントについて

提案手法による複製画像の継続指示については5名中4名から肯定的な意見を受けたが、対象物を指示が追従する方法を希望する意見も受けた。今回の試用では指示の追従については行っていないので、比較のためには様々な場面

での試用が必要であると考え。また、複製画像での指示継続の効用についてタスク依存を示唆するコメントがあり、この点についても、より多くの場面での試用による検討が必要と考えられる。

複製画像重畳投影時に指示対象となる物体が同定できることについて肯定的な意見が得られた。話題となる対象が早く同定できることへの安心感などが背景にあると推測されるが、作業への効果や被験者に与える具体的な影響については追加の調査が必要であろうと考える。

空中への指示ができないことを一因とする指示の見づらさと、この見づらさが複製画像の使用により解消できる可能性が示唆された。一方で、3.2節の試用実験から実物体への指示投影が直感的であるとの意見もあるため、この直感的な部分と視認性を両立する改善が望ましいと考えられる。また、指示者の指示方向と被指示者の視点方向との違いも見えに影響するとの言及があった。本システムでは指示者、被指示者間の指示/視点方向について大幅な違いは無いため、足立[11]らが指摘するような指示者と被指示者の指示/視点方向が極端に異なる場合のような指示の誤認は無いと推測するが、具体的な影響は検討を要する。

複製画像の粗さに関して指摘があったが、被指示者は複製画像の基となる実物を持っており、この実物と複製画像を照合することで多少の画像の粗さは問題とならないことも考えられる。改善方法を模索するとともに、具体的な影響も検討していきたい。

また、別の課題として、被指示者側での複製画像の操作が挙げられた。この実現にあたっては、被指示者が複製画像を操作する手段を検討すると同時に、実際に操作した場合の他参加者への影響も考慮しなければならない。例えば、複数の被指示者がいる場合には各人にとって無理なく使用できるものが望ましい。また、遠隔地と現地の両者が対象を操作できるようにした際に生じるであろうコミュニケーションのとり方の変化を予測しておく必要があるだろう。そのためには、試用実験をさらに重ねながら段階的に実現手段を模索する必要であると考え。

複製画像の応用として特に三面図のような複数角度からの見え方を同時に確認出来る表現が提案されたが、この手法により東城[12]らも指摘している単一プロジェクタを用いた指示シ

ステムの短所である「複数角度への指示が出来ない」ことを補完できる可能性がある。他の課題などの事項とともに、応用的な使用方法についても検討を加えていきたい。

6.2. 試用を通して観察された事象について

以上の試用を通して得たコメントの他に、観察をする中でも検討を要する事項が見出された。3.1節の試用にも参加した被験者の中には、組み立てタスク開始後しばらくは意識的に実物上で指示が完遂されるのを待ってから作業を行う者が見受けられた。観察の上では不自然な動作と見え、従来の道具の制限に人が適用した可能性もあるが、自然な振る舞いとして対象をすぐ手に取らなかった可能性も否定できない。今回の実装によりユーザの選択肢が増えることで、どのような行動の変容がなされるかについては追加の調査が必要であると考えられる。

6.3. 実物と複製画像の併用について

コメントや観察から示唆される実物と複製画像がそれぞれ適した場面がある可能性があること、および、複製画像による表現手段の拡張を鑑みると、現物と複製画像の併用および参照先の遷移方法についてのデザインが重要となると考えられる。参照先の遷移としては、例えば、複製画像に行われた指示を再度現物上で確認したい場面が想定される。この場合も、現物から複製画像へ指示参照先を変えるのと同じく、指示参照先を変更するタイミングや、迷いなく指示参照先を遷移させる工夫が必要になるものと考えられる。

7. まとめ

我々が開発した遠隔指示システムの光学特性を利用し、対象物移動後も複製画像上で指示を継続参照できる手法を提案した。また、試用を通して得たユーザの使用感や課題とともに、応用的な利用法についての示唆を得た。

提案手法を通して、複製画像上で指示を継続して参照できることについて概ね肯定的な意見を得ることができた。一方で、有効性についてはタスク依存を示唆する声もあり、追加の検証が必要と考えられる。

また、試用を通して複製画像の画質等、実装上の課題や、三面図のような複数角度からの見え方を同時に確認出来る表現など応用的な指示伝達手段の拡張についても示唆を得た。

今後の課題として、様提案手法によるユーザのコミュニケーション特性の変容についての詳細な調査、ユーザのインタラクション手段のさらなる拡張、実物と複製画像の併用や参照先遷移のデザインについての検討などが挙げられる。

文 献

- [1] 伊與田他, “実物ベース遠隔コラボレーション支援システム”, 富士ゼロックステクニカルレポート, No.16, 54-63, 2006.
- [2] Azuma, R., “A Survey of Augmented Reality”, Presence: Teleoperations and Environments, 6, 4, pp.355-385, 1997.
- [3] Ranjan, A., Birnholtz, J., and Balakrishnan, R. “Dynamic shared visual spaces: experimenting with automatic camera control in a remote repair task”, In Proceedings of ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp1177-1186, 2007.
- [4] H. Kato and M. Billinghurst, “Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system”, In Proc. IWAR99, pp.85-94, 1999.
- [5] 天野敏之, 玉木徹, “Estimation-by-Completion: 3次元物体の線形姿勢推定手法” MIRU2006 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.460-465, 2006.
- [6] L. Vacchetti, V. Lepetit, and P. Fua, “Combining edge and texture information for real-time accurate 3d camera tracking”, ISMAR2004, pp. 48-57, 2004.
- [7] 酒田信親, 蔵田武志, 葛岡英明, “レーザポイントと装着型ディスプレイを用いた遠隔作業指示のための視覚的アシスト”, 第35回 HI学会研究会・日本VR学会ウェアラブルアウトドアVR研究委員会第8回研究会, 第7巻, pp. 11-16, 2005.
- [8] Fussell, S. R., Setlock, L. D., Yang, J., Ou, J., Mauer, E. M., and Kramer, A. Gestures over Video Streams to Support Remote Collaboration on Physical Tasks. In Human-Computer Interaction, 19, 3, pp.273-309, 2004.
- [9] Kirk, D., and Fraser, D. S. Comparing Remote Gesture Technologies for Supporting Collaborative Physical Tasks. In Proc. ACM CHI, pp.1191-1200, 2006.
- [10] OpenCV library official site: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>
- [11] 足立 智章, 小川 剛史, 清川 清, 竹村 治雄, “ライブ映像の3次元実環境モデルへの投影によるテレプレゼンスシステム”, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2004-51, pp.7-12, 2004.
- [12] 東城, 日浦, 井口, “プロジェクタを用いた3次元遠隔指示インタフェースの構築”, VR学会論文誌, Vol.7, No.2, pp169-176, 2002.