

空間型協同作業における位置表現の支援

葛岡 英明[†] 石母田 玄[†]

機器の操作指示を指示者が被指示者に対しておこなう場合、指示者は機器上の様々な位置を被指示者に見せる必要がある。対面でコミュニケーションがおこなわれる場合、被指示者は指示者の視線から次に示される位置をあらかじめある程度予測することができる。そして、さらに指さしによって厳密に位置が表現される。従って遠隔から作業指示をおこなう場合、指示者の視線と、指さしを支援することが重要である。GestureCamは三自由度の小型アクチュエータに、小型テレビ・カメラとレーザー・ポインタを搭載したシステムであり、指示者がこれを遠隔操作することによって、指示者の視線伝達と指さしの支援が期待される。そこで、これを確認するために実験をおこない、その有効性を確認した。

Supporting Position Expressions for Spatial Workspace Collaboration

HIDEAKI KUZUOKA[†] and GEN ISHIMODA[†]

While an instructor gives instruction on how to operate machinery to an operator, an instructor needs to express positions many times to show various objects to an operator. During face-to-face communication, an operator can predict next position to be expressed from an instructor's field of view. Then finger pointing specifies an exact position. Thus, when instructions is given remotely, it is important to support transmission of an instructor's point of view and direct pointing. The GestureCam is a small actuator which has three degrees of freedom. A small camera and a laser pointer are mounted on the actuator and an instructor controls it remotely. The GestureCam is expected to support transmission of instructor's gaze and direct pointing. Some experiments were conducted to show its effectiveness.

1. はじめに

筆者らは三次元的な環境内で三次元的な動作や表現を伴う協同作業を空間型協同作業と名付け、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。そして、空間型協同作業の例として、機械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作業を観察した^{3),4)}。この作業の中では、指示者が被指示者に対して、機械のある位置を指でさし示しながら、その部分の操作方法や動作方向を指示するという動作が繰り返された。従って、遠隔地からの機器操作指示を円滑におこなうためには、適切な実画像を見せることだけでなく、位置の表現、操作・動作の表現を支援することも重要であると考えられる。本論文では、特に位置表現の伝達に関して考察をおこない、これを支援する手法を提案する。

2. 位置表現におけるコミュニケーション

2.1 対面での位置表現

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やダイヤル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。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、被指示者は視点をその位置へ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、これにともなって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。手振りと視点の協調動作の例を図1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。

この観察から、被指示者が指さされた場所を素早く見ることができるのは、まず、指示者の視線等の情報によって、あらかじめ指示される場所をある範囲に限定することが可能であり、その後に厳密な位置情報

[†] 筑波大学構造工学系

Institute of Engineering Mechanics, University of Tsukuba

会話	指示者		被指示者	
	視野	手振り	視野	手振り
30 ええ、 じゃあ今オフな んで、えーと、 このボタン しばらく押して 放していただ けますか？ これですか？ はい。	ボタン 被指示者 ボタン	移動 指さし 押す身振り 手を引っ込 める ドアの把手 ドアを閉める	ボタン	下に降ろ している 移動 ボタンを押す
35 え、放してくだ さい。	ワーク方面 被指示者	手を耳へ	ワーク パネル ワーク	放す
40 秒				

図1 手振りと視線の協調

Fig. 1 Coordination of gestures and field of view.

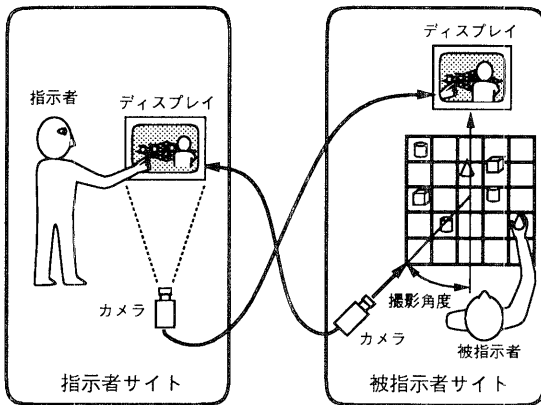


図2 手振りを利用した遠隔作業指示

Fig. 2 Remote instruction using gestures.

として、指さしが利用されるからであると考えられる。

2.2 遠隔地からの位置表現

作業指示を実画像通信を利用して遠隔地からおこなう場合、厳密な位置を伝達できることが重要である。筆者らが過去におこなった実験では、被指示者の作業環境を撮影した画像に指示者の手振りをスーパーインポーズし、この画像を被指示者に見せることによって、指示者が手振りを使って対象物をさし示すことができるようにした(図2)。指示する作業は、立体の移動と回転をおこなわせるという単純なものであった。この実験から、手振りをスーパーインポーズしない場合と

比較して作業を伝達するための時間、および指示者が位置を表現するために利用した語数が大きく減少することがわかった。しかし、指示者と被指示者が対面し、手振りを自由に利用して作業指示をおこなった場合と比較すると、作業伝達時間および語数ともに依然として大きい値を示していた。また、この実験で、図中の撮影角度を0度から90度へと変化させるに従って、手振りをスーパーインポーズしているにもかかわらず、指示者が位置を表現するために利用した語数と作業伝達時間が増加することがわかった⁴⁾。

作業伝達の効率が悪くなる原因として、ディスプレイ上で示された対象物と実際の対象物の対応をとることが困難であることが考えられる。さらに、撮影角度が0度以外の場合には、指示者による言語表現が被指示者に理解しづらくなる(例えば撮影角度が90度の場合、指示者にとって「右」は被指示者にとって「手前」である)ために、これも作業伝達効率の悪化の要因となる。

3. システムに要求される機能

以上の実験結果および観察結果に基づき、空間型協同作業の遠隔指示を支援するシステムに必要とされる機能を提案する。

3.1 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¹⁴⁾。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、いつでもなんとなく意識されるような情報でなくてはならない。

この予測可能性を支援する手段として、リモート・コントロール式のカメラを利用することが考えられる。このカメラを被指示者の近辺に置き、その視野にはいるようにしておけば、指示者がどの場所を見ているかをおおよそ知ることができる。ただしカメラを被指示者の近くに置くためには、カメラの駆動機構を十分小さく設計しなければならない。

3.2 直接的な位置表現

指さしのような厳密な位置表現を伝達する場合、前章で述べたように、手振りのスーパーインポーズは有効な手段となるが、画面上の対象物と実際の対象物との対応をとる必要がある上、撮影角度によっては、手振りの効果が大きく減少することになる。

この問題を解決するためには、対面における指さしのように、位置を表現される対象物を直接指し示すことが有効である。このための手段として、カメラだけではなく、レーザ光線やスポットライトの向きを指示者が遠隔操作することによって、対象物に直接光を照射し、これを指さしの代用とする方法が考えられる。

対話者の視線と指さしの両方を支援することのできるシステムとしては、石井・小林による ClearBoard がある²⁾。しかし、このシステムの対象としている作業は平面上の描画作業であり、三次元空間内に配置された様々な対象物を自由に撮影することはできない。この点で、空間型協同作業を支援するためには小型のリモート・コントロール・カメラとレーザ・ポインタの利用が効果的であると考えられる。

3.3 その他

ここまでは、主に被指示者側の要因に関して考察してきたが、本来は指示者側の要因も考えなければならない。例えば、カメラの視野角、リモート・コントロール・カメラの操作性などが、位置表現の伝達に大きく影響すると考えられる。しかし、これらの指示者側の要因に関しては別課題とし、本論文では扱わないものとする。

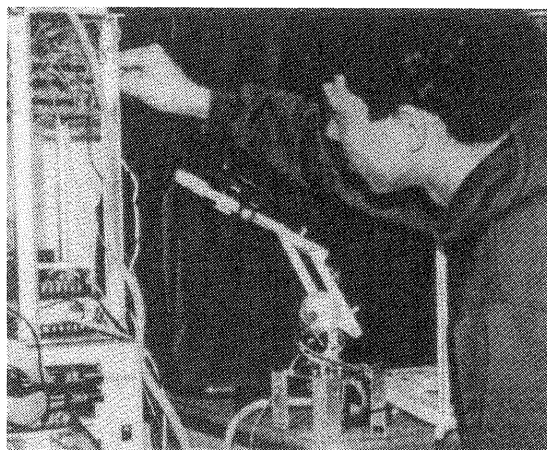


図3 GestureCamを利用した作業指示の様子
Fig. 3 Using the GestureCam for remote instruction.

4. GestureCam システム

筆者らは空間型協同作業を支援するための実画像通信システムとして、GestureCam システムを試作中である³⁾。GestureCam システムは、指示者が被指示者の環境を自由に見回しつつ、位置、動作・操作の表現を円滑に伝達できることを目指したシステムである。本章では特に、位置表現の伝達に関する機能を概説する。

4.1 GestureCam

三自由度の小型アクチュエータに小指大の小型カメラとレーザ・ポインタを搭載し、これを GestureCam と名付けた(図3)。このアクチュエータは小型に設計されているため³⁾、被指示者の近辺に容易に設置可能であり、従って、被指示者の視野に入りやすい。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ことが望ましい。

このシステムではカメラ・ヘッドが向いている方向を認識しやすいため、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。

レーザ・ポインタはカメラ同様、アクチュエータに固定して取り付けられており、点灯時はカメラの視野内にその赤い点が見える。安全性から、レーザは通常は点灯しておらず、点滅は指示者が遠隔コントロール

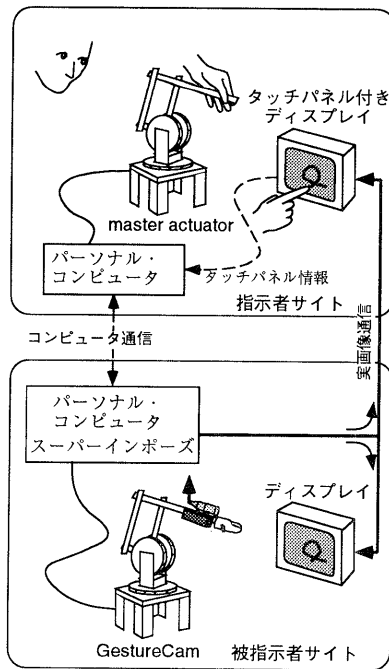


図4 GestureCam システムの例

Fig. 4 An example of the GestureCam system.

することができる。

4.2 周辺装置

GestureCam を利用して作業指示をおこなうために、各種の周辺装置を試作し、実験をおこなっている。これら、周辺のハードウェア、ソフトウェアを含めたシステム全体を GestureCam システムと呼ぶこととする。

GestureCam を遠隔操作する手段として、GestureCam と同様の三自由度のアクチュエータを利用してマスタ・スレーブ方式で操作するインタフェースと、タッチ・パネルを利用して、テレビ画面に直接触れることによって操作するインタフェースとを試作している。それぞれの方式の利点、欠点に関しては現在検討中である。

情報伝達手段の一つとして、コンピュータ画面のスーパーインポーズ機能を利用している。これと、タッチ・パネルを利用することによって、指示者は実画像上に手書きの線画を重ねて、これを被指示者に見せることができる。従って、位置表現の手段としては、レーザー・ポインタで直接対象物を指示する方法と、画面上で対象物を手書きの線で丸く囲むなどの方法とを利用することができる。

図4に GestureCam システムの例を示す。被指示者のサイトには GestureCam とディスプレイが設置さ

れ、指示者のサイトにはタッチ・パネルを組み込んだディスプレイ、マスタ・アクチュエータが設置される。指示者と被指示者のディスプレイには、通常、同一の映像が表示される。

5. GestureCam による位置表現実験

GestureCam に期待される、位置の予測可能性と直接的な位置表現における効果をそれぞれ確認するために2種類の実験をおこなった。

5.1 位置予測可能性実験

GestureCam の位置予測可能性に対する有効性を明らかにするための実験をおこなった。すなわち、カメラの視線情報が対象物の発見に有効であるかを確認することがこの実験の目的である。仮に GestureCam が対象物の方向を向いていても、被指示者がそれを視線情報として認識せず、有効に利用しない可能性も考えられたので、その点を確認することは重要な目的の一つである。以後、実験の被験者を被指示者と呼ぶ。

GestureCam と小型の液晶ディスプレイを被指示者の前に置き、GestureCam のカメラからの映像を映した。また、このディスプレイ画面の中央にはコンピュータで描いた十字をスーパーインポーズしておいた。最初被指示者には目を閉じてもらい、この間に指示者は室内のあらかじめ決められた対象物が十字に重なるようにカメラの向きを調整した。次に、指示者が「はい」と言った直後に被指示者に目を開けてもらい、ディスプレイ上で十字が重なっている対象物の実体を探させ、発見したら直ちに「はい」と言わせた。その後、被指示者にレーザー・ポインタでポインティングさせて、指示した対象物と合っているかどうかを確認した。個々の対象物発見に要した時間として、指示者が「はい」と言ってから被指示者が「はい」と言うまでの時間を測定した。一人につき作業1、作業2の順で、2回の作業をおこない、1回の作業につき、あらかじめ決められた順番で9個の対象物を探させた。作業1と2では異なる対象物を選択した(図5)。

作業の条件として、GestureCam が被指示者に見えるようにした場合と、見えないようについでで隠した場合の2通りで実験をおこなった。被指示者は2つのグループに別れた。グループ1は、作業1では GestureCam を見せ、作業2では見せなかった。もう片方のグループ2は作業1では GestureCam を見せず、作業2では見せた(表1)。各グループとも被指示者は7名であった。グループ1のうちの4名、グループ2のうちの3名の被指示者は過去数回、実験に利用された室内に入ったことがあり、他の被指示者は一度も部屋

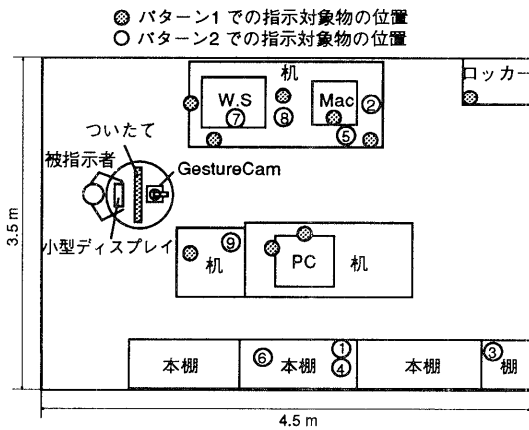


図5 実験室の状況と対象物の配置
図中の数字は作業2で指示された対象物の順番

Fig. 5 An overview of the laboratory and places of objects. Numbers in the figure shows the order of objects specified in task 2.

表1 GestureCamが見える場合と見えない場合の実験条件
Table 1 Conditions of the position finding experiment.

	作業1	作業2
グループ1	見える	見えない
グループ2	見えない	見える

に入った経験はなかった。この実験で期待したのは、GestureCamが見えた方が、カメラの向きから対象物のおおよその場所を予測することができるため、対象物を短い時間で発見できることである。今回の実験では、GestureCamは被指示者の近くに設置されていたため、GestureCamが撮影する対象物の映像と、被指示者が見る実際の対象物とは、ほぼ同じ方向から見た情景となり、照合が比較的容易であった。この点で、GestureCamの有効性を示すためには比較的不利な条件を選択したとすることができる。

作業1、作業2のそれぞれについて、被指示者が対象物を発見するまでに要した時間を測定し、その平均値と標準偏差を求めた。その結果をグラフに表したのが図6である。過去に室内に入った経験が実験結果に影響を与えているおそれがあったため、過去に室内に入ったことのある被指示者とそうでない被指示者別に図示した。今回の実験では、対象物を間違えた被指示者はいなかった。

GestureCamを隠した場合とそうでない場合について、平均発見時間を有意水準0.05で検定をおこなった。その結果、作業1、作業2とも有意な差が見られた(それぞれ $t=2.0$, $t=12$)。過去に室内に入った経験がある被指示者とそうでない被指示者とは、発見時

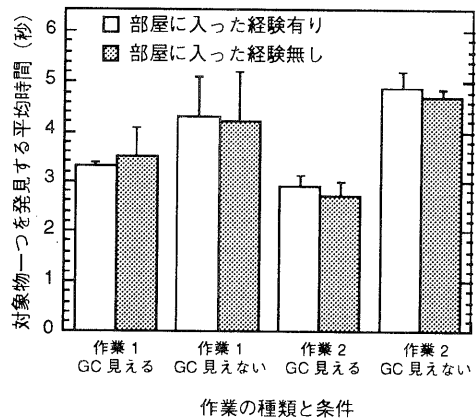


図6 室内の位置探索実験の結果

Fig. 6 The result of the position finding experiment.

間の平均値にほとんど差は認められなかった。従って、本実験に関しては過去の経験はほとんど影響がなかったと考えられる。これは、部屋が(3.5m×4.5m)と狭く、初めて部屋に入った被指示者でも、すぐに室内の物品の配置を認識できるため、多少の経験の差が影響しづらかったためであると考えられる。

2種類の作業のうち、作業2の方がGestureCamの有効性が高かった原因は不明であるが、作業1では、GestureCamが無くても簡単に発見できる対象物が多かった可能性も考えられる。しかしながら、グラフからわかる通り、いずれの作業についても、被指示者がGestureCamを見ながら作業をおこなえる時の方が、平均して対象物を早く発見することができた。作業の観察からも、GestureCamが見える場合、被指示者はカメラの方向を見ながら対象物を探しており、GestureCamが指示者の視線の代用として認識され得ることが確認できた。GestureCamが特に有効なのは、指示対象物をディスプレイに映した際、背景が一緒に撮影されていない時、および被指示者が正面を向いている時に視界に入っていないものが指示された時である。被指示者に対する感想から、GestureCamが見えていない時、被指示者はディスプレイ内の対象物の背景を頼りに大体の場所を判断していることがわかった。従って、例えば対象物として、カメラの比較的近くにあるコンピュータ・ディスプレイが選ばれた時、背景があまり入らなかったため、室内にいくつかある、同様のディスプレイの間で迷ってしまうことが度々あった。また、正面を向いている時に視界内にあるものは、GestureCamを隠していても比較的容易に見つけることができていたのだが、視界の外にあるものの場合、周囲を見回す必要があるため、その分余計に時間がかか

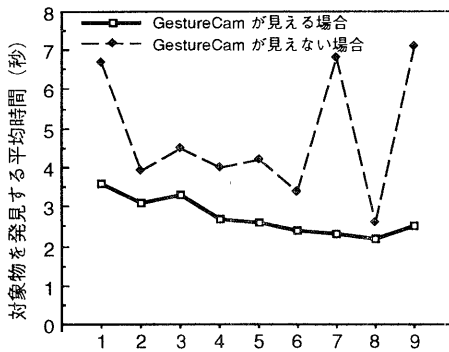


図7 室内の位置探索実験：作業2における対象物別の発見時間
Fig. 7 Position finding experiment: time spent to find each object.

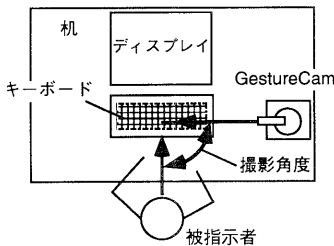


図8 レーザ・ポインタによる直接位置表現実験の様子
Fig. 8 An overview of direct pointing experiment using a laser pointer.

っていた。図7に作業2における対象物別の平均発見時間を示す。対象物は指示された順番に並べられている。作業2では、対象物1, 4, 6のように視野外にある対象物が作業1よりも多かった。対象物1は本棚の天井に近い場所であり、特に視野に入りづらいと考えられる。対象物7はワークステーションのディスプレイ、対象物9はマウスであり、カメラに近い映像に背景があまり入っていなかった例である。このような理由で、GestureCamが見えない場合には、最高で15.3秒を要した例もあったが、GestureCamが見える場合には最高でも6.4秒であり、いずれの場合にも比較的短時間で対象物を発見することが可能であった。以上の結果を総合的に判断し、GestureCamは被指示者に認識され、かつ対象物の位置の予測に対して有効であることを示すことができたと考えられる。

図7では、作業が進むに従って、GestureCamを利用した場合の平均発見時間が短くなる傾向が見られる。作業1においてもある程度同様の傾向は見られた。対象物に応じて発見しやすさが異なるため、明確な結論を出すことはできないが、学習による効果が現れている可能性がある。従って、室内の対象物の位置を熟知

した被指示者を採用すれば、今回の実験のような設定ではGestureCamの効果が少ない可能性がある。しかし、通常利用される場合は、GestureCamが対象物を撮影するために動いていく過程が見えるため、実際に対象物が示される前に対象物の位置を予測することができる。すなわち、作業環境に対する慣れに関係なくGestureCamの予測可能性の支援が有効に働くことが期待できる。この点からは、GestureCamが移動する過程を見せた実験をおこなうべきであるが、カメラの操作インタフェースの要因や、スーパーインポーズ用のインタフェースの要因が実験結果に影響するために本論文ではおこなわなかった。今後、学習効果の問題も含めて、実験が必要であると考えられる。

5.2 直接位置表現実験

これは、レーザ・ポインタによる直接的な位置表現の有効性を明らかにするための実験である。

被指示者の前にキーボード、ディスプレイ、GestureCamを図8のように配置した。GestureCamのカメラでキーボードを撮影し、ディスプレイにその映像を映した。最初被指示者には目を閉じてもらい、この間に指示者は、レーザ・ポインタで直接キーボード上のキーを照射するか、ディスプレイ画面にスーパーインポーズされたマウス・カーソルを利用して、画面上でキーのポインティングをおこなった。指示者が「はい」と言った直後に被指示者に目を開かせ、ディスプレイとキーボードを見ながら指定したキーを探してもらい、発見したらそのキーに触って「はい」と言ってもらった。指示者が「はい」と言ってから被指示者が「はい」と言うまでの時間を測定した。1回の実験あたり、10箇所のキーをあらかじめ決められた順番にしたがって連続的に示した。マウス・カーソルをスーパーインポーズする場合は、カメラの向きは、被指示者の視線との角度差(撮影角度)が90度、45度、0度の3通りに設置した。レーザ・ポインタを利用した場合は、撮影角度による影響が少ないと考えられるため、撮影角度は90度のみで実験をおこなった。このようにカメラの向きを変化させたのは、筆者らが過去におこなったGestureCamによる遠隔作業指示実験において、通常カメラは被指示者の視線と異なる方向から撮影していたため(GestureCamが被指示者の正面にあったのでは、作業の妨げになってしまう)、この影響を確認するためである。従って、本実験では90度、45度の方が0度よりも自然な設定である。本来は指示者と被指示者がコミュニケーションをし、かつレーザ・ポインタの照射位置を連続的に変化させながら、実験をおこなうことが好ましいが、レーザ・ポインタの操作性の要

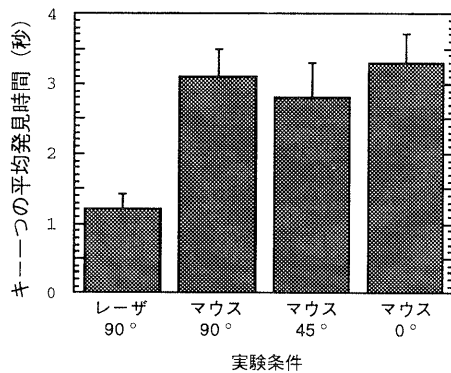


図9 直接位置表現実験の結果

Fig. 9 The result of the laser pointing experiment.

因を実験結果から排除するため、今回のような設定とした。

被指示者は4グループに分かれ、グループ1(9名)はレーザーを利用した指示を受けた。残りの3グループは全てマウス・カーソルを利用した指示を受け、撮影角度はグループ2(5名)が90度、グループ3(4名)が45度、グループ4(4名)が0度であった。キーボードのキーの位置によって、キー上の文字が読みとれるものと読みとれないものがあったので、キーによる差を少なくするため、どのキーの文字も読みとれない程度にカメラの焦点を少々ぼかした。これは、被験者のタイピングの熟練度による差を少なくする効果もある。被指示者はすべて工学系の学生であり、授業や研究においてコンピュータのキーボードを利用した経験が相当あった。この実験で期待したのは、レーザー・ポインタを利用した方が、マウス・カーソルを利用する場合よりも、短時間で対象物を発見できることである。

各グループごとに、被指示者がキーを確定するまでの時間の平均を求めた(図9)。レーザー・ポインタを用いたグループとマウス・カーソルを用いた3グループ各々で得られた平均値を有意水準0.05で検定をおこなった結果、撮影角度90度、45度、0度の各々に対して $t=10, 6.9, 10$ となり、いずれの場合も有意な差が認められた。図から、レーザー・ポインタに比べマウス・カーソルを用いて指示をおこなった方が、発見までに平均で2倍以上の時間を要していることが分かる。レーザー・ポインタを用いた場合、被指示者はキーボード以外の物を見る必要が無く、ほとんどディスプレイに目を向けることは無かった。これに対しカーソルを用いた場合、被指示者はまずディスプレイでカーソルの位置を見てキーボード上の適当な位置に指を置き、そ

れからディスプレイを見ながら指を滑らすように動かして目標の位置に持っていくという方法を採用していた。被指示者からは、画面上の位置と実際の位置を照合するのが困難であったという感想が多く、これがレーザー・ポインタを利用した場合よりも長い時間を要した原因であると考えられる。また、撮影角度が90度であったグループ2の被指示者からは、被指示者が指を動かす時にディスプレイで見て左の方向に動かそうとしても、実際には手前に動かすことになったため、なかなか思ったところに指を動かすことができなかったという感想も得られた。ただし、今回の実験では、カメラの角度差と作業時間の相関は得られなかった。撮影角度の影響を調べるためにはより多くの被指示者による実験が必要であると思われる。また、撮影角度は会話における言語表現の認識に影響を与えられ、会話を伴った位置指示実験が望まれるが、これにはGestureCamの制御性の要因も含まれてしまう。現在各種の制御手法を研究中であり、また、前述の通り指示者側の要因は本論文では扱っていないため、ここでは会話を伴った位置指示の実験はおこなわなかった。筆者らの過去の実験からは、スーパーインポーズの指さしを利用して位置指示をおこなった場合でも「右の方」といったような説明的な表現が、対面での説明の場合以上に利用されていた。しかし、レーザーで容易に対象物を遠隔から照射することのできるインタフェースが実現できれば、言語表現は「あれ」、「これ」といった代名詞がより多く利用されることが予想され、会話を伴った位置指示における撮影角度の問題に対しても有効に働くことが期待できる。

今回の実験では、キーの文字を読みとれないように調整したが、キーが読みとれる場合にはマウス・カーソルを利用しても、もっと早く対象物を発見できると考えられる。しかし、キーボードのブラインド・タイピングができない被指示者の場合にはやはりレーザー・ポインタが有効であることが想像できる。また、現実の環境で様々な対象物の位置を示す場合、必ずしも対象物に文字が書いてあるとは限らず、プリント基盤のように似通った形状の対象物が並べられている場合も多く、少なくとも熟知していない環境に対しては有効であると考えられる。

従来のグループウェアでは実画像に手振り等をスーパーインポーズする手法が一般的である。一方、DigitalDesk⁷⁾はコンピュータ画面を実空間に投影するという方式をとっているが、筆者らが支援しようとする作業に対しては、環境が暗くなくてはいけないこと、限定された範囲内で、上向きにおかれた対象物し

かポインティングできないなどの問題点がある。これらに対して、3自由度のアクチュエータに搭載されたレーザ・ポインタによる直接照射は、空間型の協同作業における位置指定に関しては有効であることが本実験から示せたと考えられる。

6. おわりに

本論文では、遠隔地間の空間型協同作業を支援する際に、位置表現の伝達を支援することが必要であるということを提案し、GestureCamがこの点で有効であることを示した。しかし、この機能が効果を発揮するためには、指示者に積極的にこの機能を利用しようと思わせることが必要であり、重要な課題の1つとして現在研究中である。

本論文では、位置表現における予測可能性の支援をおこなったが、様々な行動に対する予測は人間の協同作業を円滑にしている重要な要因である。すなわち、協同作業者がどのような行動をとるかを予測することによって、あらかじめ対応を準備することが可能となる。今後は、どのような行動の予測を支援可能であるかを明らかにしていくことが重要であると考えられる。

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可能性がある。今後、日本の国際貢献の機会が増すことが予想されるが、日本から海外に対する遠隔教育などへの応用が期待できる。

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ました。

参 考 文 献

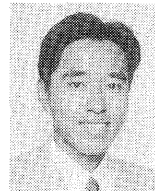
- 1) Gaver, W.: The Affordances of Media Spaces for Collaboration, *Proc. CSCW'92*, pp.17-24 (1992).
- 2) Ishii, H., Kobayashi, M. and Groudin, J.: Integration of Inter-Personal Space and Shared

Workspace: ClearBoard Design and Experiments, *Proc. CSCW'92*, pp.33-42 (1992).

- 3) Kuzuoka, H., Kosuge, T. and Tanaka, M.: GestureCam: A Video Communication System for Sympathetic Remote Collaboration, *Proc. CSCW'94*, pp.35-43 (1994).
- 4) 葛岡英明, 庄司裕子: 空間型共同作業の評価手法の提案とその利用, 電子情報通信学会誌 分冊 A, Vol. J 77-A, No. 6, pp.915-922 (1994).
- 5) 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).
- 6) Nardi, B., Schwarz, H., Kuchinsky, A., Lechner, R., Whittaker, S. and Scلابassi, R.: Turning Away from Talking Heads: The Use of Video-as-Data in Neurosurgery, *Proc. INTERCHI'93*, pp.327-334 (1993).
- 7) Wellner, P.: The DigitalDesk: Supporting Computer-based Interaction with Paper Documents, *Proc. Imagina*, pp.110-119 (1993).

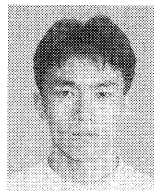
(平成6年8月31日受付)

(平成7年2月10日採録)



葛岡 英明 (正会員)

昭和37年10月10日生。平成4年東京大学大学院情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年、筑波大学構造工学系講師、現在に至る。主としてグループウェア、人工現実感、その他ヒューマンインタフェースの研究に従事。特に人間の協調作業の解明と、実画像・音声通信を利用した遠隔協同作業支援システムの開発に興味を持つ。第8回電気通信普及財団賞受賞。人工知能学会、日本ロボット学会、システム工学会、日本ソフトウェア科学会、ACM各会員。



石母田 玄

昭和46年10月28日生。平成6年筑波大学第三学群基礎工学類卒業。現在、筑波大学大学院工学研究科構造工学専攻在学中。グループウェアの研究に従事。