

## 予期を考慮した遠隔作業指示システムの研究

古澤 洋将\*<sup>1</sup> 葛岡 英明\*<sup>2</sup> 山下 淳\*<sup>3</sup> 山崎 敬一\*<sup>4</sup>

Study on remote instruction robot which supports projectability of instructor

Yosuke Furusawa,\*<sup>1</sup> Hideaki Kuzuoka,\*<sup>2</sup> Jun Yamashita,\*<sup>3</sup> Keiichi Yamazaki\*<sup>4</sup>

**Abstract** – The aim of our study is to develop a system to support remote instruction. Especially the aim of this study is to support projectability of communication for remote pointing. The system supports remote communication using a mobile robot as communication medium. By supporting projectability, a worker can predict a referent object before an instructor explicitly describe the object. The experiments showed that supports projectability of communication is effective.

**Keywords** : Projectability, Remote instruction, CSCW, Robot

### 1. はじめに

遠隔地にいる対話者と、実空間内の物や場所を対象とした円滑なコミュニケーション(以下、「実空間型遠隔コミュニケーション」と呼ぶ)を支援するシステムが実現できれば、その有用性は大きい。例えば、遠隔地にいる専門家から、機器の修理や医療行為に関する技術的な方法や知識を指導してもらうことで、円滑に作業を行うことができる。

一方、対面的な共同作業では、指示者は言葉と共に身振りや手振りをを用いながら作業指示をする。こうした身体的な動作の中では、ある具体的な行為の直前に見られる予備的な動作を観察することで、作業者は指示者の次の会話や行動を予測することができる。例えば、ある対象物を説明していた指示者が、次の対象物を説明しようとするときには、指差しを次の対象物に向けようとする。作業者は、指示者のこうした動きを観察することで、具体的な説明が始まる前に、次に指示される対象物を予測することができる。実は、こうした予測がコミュニケーションを円滑にする要因になっている<sup>[1]</sup>。従って、ロボットと人の共同作業においても、ロボットの指差しの動きが、その行動を予測させるように動作することで、コミュニケーションが円滑に行われると期待できる。

本論文では、まず遠隔地からの作業指示を作業者に

効率よく伝達できるようにすることを目的とし、指示者の指差しにおける予備的な行動を支援するという観点から、従来の遠隔作業指示システムの問題点を指摘し、それを解決するためのシステムの設計指針を述べる。次に、システムの実装について解説し、最後に実験による評価と考察を述べる。

### 2. 研究の背景

#### 2.1 GestureMan3

空間内にある実物体に対して遠隔から指示をすることを支援するシステムとして、上坂らが開発したGestureMan3がある<sup>[2]</sup>(図1)。

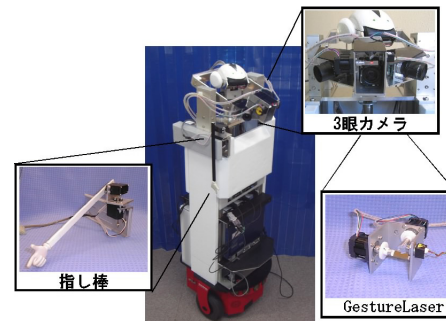


図1 GestureMan3  
Fig.1 GestureMan3

これは、遠隔操作型のロボットで、前後移動と回転ができる。ロボットの頭部には、指示者の志向を表現するための頭と3眼カメラ(水平視野角170度、垂直視野角46度)を独立して搭載している。また、上坂らは、コミュニケーションメディアとしてのロボットは、予期の支援を考慮すべきであると主張しているが<sup>[2]</sup>、GestureMan3では指示者が頭部に3次元磁気センサを装着し、指示者の志向の変化にロボットの頭を連動させることで、指示者の頭部における予備的な

\*1: 筑波大学大学院修士課程システム情報工学研究科

\*2: 筑波大学機能工学系

\*3: 筑波大学大学院システム情報工学研究科

\*4: 埼玉大学教養学部

\*1: Master Program of Engineering, University of Tsukuba

\*2: Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

\*3: Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

\*4: Faculty of Liberal Arts, Saitama University

動作を作業者に伝えることができる。さらに、3面用意されている指示者側の中央のディスプレイはタッチパネルになっている。指示者はそれに触れることで、作業員側にある対象物を指し示すことができる。このとき、ロボットに搭載された遠隔操作型のレーザーポインタ (GestureLaser) と指差し棒が連動する<sup>[4]</sup>。また、指差し棒は単にレーザーポインタの照射されている方向を作業者に示すだけでなく、作業員が指示者の行為や志向を観察できる機能として動作する<sup>[4]</sup>。

## 2.2 実空間型遠隔コミュニケーション支援システムの問題点

指示者がレーザーポインタと指差し棒を使う指示を行う場合、指でタッチパネルに触れなければならない。そのとき、指示者はタッチパネルに触れようとして、手と腕を持ち上げタッチパネルに運ぶ動作が起こる。そのため、手と腕を持ち上げてからタッチパネルに触れるまでの予備的な動作が、レーザーポインタと指差し棒の動作に反映されていないという問題が発生する。

また、指示者の身体表現は指示者の行動によってその意味は大きく変化する。例えば、指示者が指示以外の行動をするとき、それは作業員にとって意味を持つ動作 (身体表現) ではない。指示者が指示をしようと行動したときに、初めて意味を持つ動作となる (図 2)。



図 2 資料を読む指示者 (左) と指示をする指示者 (右)

Fig.2 Instructor who is reading document and instructor who is making an instruction

従って、本研究では指示者の動作のうち、予期に有用な動作 (指示者が遠隔地に対して指差しをしたいとき) のみを検出し、ロボットの動作に反映させるべきであると考えた。そこで、指示者が指示を行うためにディスプレイを見たときに、指示者の指差し動作を検出してロボットの動きに反映させ、これによって予期の支援を行うこととした。

## 2.3 指示者の頭部志向と指差しの検出

指示者の頭部志向と指差しを検出するために、Polhemus 社の 3SPACE FASTRAK を用いた。これは磁気を用いて、位置 (x,y,z) と角度 (Yaw,Pitch,Roll) を検出できる。このセンサを、指示者の頭部と手の甲に取り付けることで、頭部志向と指差しの検出を行った。

## 3. 実験

### 3.1 実験設定

GestureMan3 を用いて、同じ部屋にいる指示者が作業員側にある対象物を指示し、作業員はその対象物に触れるという実験を行った。指示者と作業員は同じ部屋にいるが、ロボットの操作環境は、パーティションで囲まれているため、作業員は指示者を見ることができない。指示物体の配置を図 3 に示す。

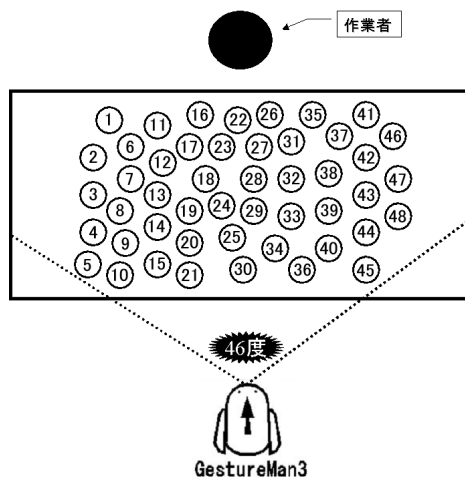


図 3 指示物体の配置

Fig.3 Placement of object

作業員側の空間には、色の付いた三角錐 (大小)・円錐 (大小)・立方体・直方体など計 48 個の指示対象物が混在していた。その中で、色・形・大きさすべて同じ特徴を持つ指示対象物はない。指示者は GestureMan3 を操作しなくとも、すべての指示対象物を正面ディスプレイから観察できる。指示者には指示対象物表示用のタブレット PC を用意し、すべての指示対象物の位置と色・形・大きさが分かる俯瞰写真を表示させた。指示対象物は、俯瞰写真中に赤丸で表され、赤丸の位置はランダムに表示させた。写真の表示には、広く普及しているウェブブラウザを用いた。

また、GestureMan3 には、ロボットの体の向きと頭の向きによる予期の支援の機能が既に備わっている。本実験では、指差し棒による予期の支援を確かめたいため、これらの機能を停止して実験を行った。

#### 実験の手順

1. 指示者はタブレット PC を操作して、俯瞰写真に写っている指示対象物と位置を見る
2. 指示者は正面ディスプレイを見て、作業空間にある指示対象物を確認する
3. 指示者は指示対象物を確認した後、作業員に指示を行う
4. 作業員が正しい指示対象物に触れるまで、指示者

は指示を行う

手順1から4までを1回の作業として、それを10回繰り返して1回のタスクとした。1回のタスクにおいて、指示対象物は10回すべて異なり、指示対象物やその順番はタスク毎にランダムに決定した。作業者はロボットの正面に立ってもらい、指示対象物に触れに行く以外に、その位置を動かさないようにしてもらった。

実験条件として、指差し棒の動き方を3通り設けた。いずれの条件も、指示者がタッチパネルに触れたときにレーザーポインタが動作するようにした。

- 予期支援をしない条件 (A 条件)  
指示者がタッチパネルに触れたときに、指差し棒が動作する条件
- 予期支援条件 (B 条件)  
指示者の指差しと、ロボットの指差し棒が連動する条件
- 頭部志向を考慮した予期支援条件 (C 条件)  
指示者がディスプレイを見たときに、ロボットの指差し棒が動作する条件

実験の前にトレーニングタスクを設け、指示者と作業者にレーザーポインタと指差し棒の働きを観察させた。このタスクでは、実験に使う指示対象物を各1回ずつ合計30回練習させた。

実験では、学生24名(21~23歳)を被験者とし、そのうち指示者、作業者にそれぞれ12名(男性7名、女性5名)として採用した。被験者内配置法により3条件を同じペアに割り当て、指示順序を変えることで持ち越し効果、順序効果を相殺した。

### 3.2 時間の評価

1回の作業において、手順1の開始から、手順4の終了までを作業時間とした。1回のタスクにおいて作業時間の和を求め、全被験者の作業時間の平均を求めた。合計作業時間の平均を、図4に示す。

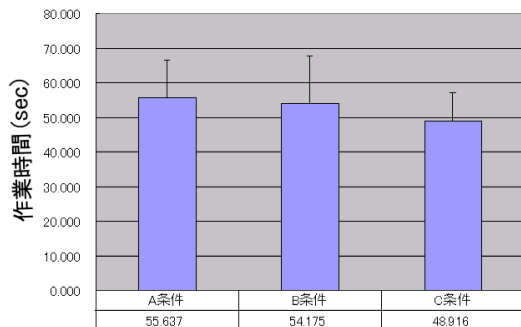


図4 合計作業時間の平均  
Fig. 4 Average of work time in total

実験で得られたデータに対して、フリードマン検定を行った。その結果、やや有意な傾向が認められた

( $p = 0.162$ )。各条件間での比較として、シェッフェの多重比較を行ったところ、予期支援をしない条件と、頭部志向を考慮した予期支援条件の間にやや有意な傾向が認められた(表1)。

表1 シェッフェの検定結果  
Table 1 Result of Scheffe's examination

条件	p 値
A 条件 対 B 条件	0.604
A 条件 対 C 条件	0.161
B 条件 対 C 条件	0.663

以上の結果より、頭部志向を考慮した予期支援条件の方が、予期支援をしない条件よりも、より短い時間で作業が終了する可能性があるという結果が得られた。

一方で、予期支援条件と予期支援をしない条件、頭部志向を考慮した予期支援条件の間に有意差が認められなかった。指示をするとき、手と腕を常に上げて指示を続ける指示者と、各作業ごとに手と腕を上げたり机に置いたりする(手順3の開始のときに手と腕を上げ、手順4の終了のときに手と腕を下げる)指示者がいた(図5)。このような指示者の指差し行動に違いがあるため、差が生じにくかったと考えられる。



図5 手と腕を上げたままの指示者(左)と手と腕を下げる指示者(右)

Fig. 5 Instructor who is keeping one's head and arm up and instructor who is making one's head and arm down

### 3.3 予期反応

予期反応とは、指示者が指示を開始する前に、作業者がロボットの指差し棒を観察することで指示対象物のある方向を予測できた事象をいうものとする。また、作業側にあるすべての指示対象物は、ほぼ地面に対して水平に置かれているため、ロボットの指差し棒の上下に対する作業者の反応はビデオデータで明確に判断できない。そのため、作業者の志向を観察しやすい左右方向に限定して考えることにした。このとき、図3の1から25の領域と、26から48の領域の2つに分ける。作業側から見て、1から25の指示対象物は右方向にあるということにする。予期反応としては、以下の行動が見られる回数を計測した。

行動1 指示の開始前に作業者の頭(視線)がロボットに向いている。

行動2 指示対象物のある方向を特定できない指示の開始と同時に、作業者の頭(視線)が指示対象物のある方向に向いた。

指示対象物のある方向を特定できない指示の開始とは、「これ」「あれ」「白い」「立方体」など、方向を特定できない言葉を最初に発したときである。指示者が指示対象物を探している間、作業者は常にロボットに頭(視線)を向けているわけではない。指示の開始と同時に作業者は指差し棒の向いている方向に頭(視線)を向けることで指示を聞く体勢をとるのである。そこで、行動2を予期反応とした。

以上の行動をもとに、ビデオデータからすべての作業者の各条件における予期反応の回数の合計を求めた。その結果を図6に示す。実験で得られたデータに対して、フリードマン検定を行ったところ、各条件間にやや有意な傾向が認められた( $p = 0.068$ )。そこで、作業側側のビデオデータを観察的に評価した。

予期支援条件では、指示者の手の動きと指差し棒が常に連動して動作するため、作業者にとってレーザーポインタがいつ照射されているのか分かりにくいと思われる場面が観察された。そのため、レーザーポインタが照射されていない(指示がまだ始まっていない)にも関わらず、指示対象物の方を向き、どこに照射されているのか探したと考えられる。

一方で、予期支援をしない条件と頭部志向を考慮した予期支援条件は、指示者がタブレットPCを操作するとき(手順1)に指差し棒が下を向くようになっている。そのため、作業者は指示の開始(手順3)と作業の終わり(手順4)が分かりやすく、ロボットを見て待つという動作が起きたと考えられる。

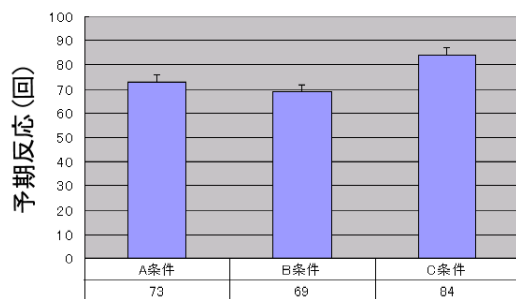


図6 全作業者の各条件における予期反応の合計  
Fig. 6 A total of anticipation reaction in each item matter of all workers

また、他の条件と比べ、頭部志向を考慮した予期支援条件は予期反応の回数が多い。これは、指示の開始(手順3)が分かりやすいことに加えて、指差し棒の動作する時間が長く、作業者は指差し棒から予期の支援を受けられる機会が多かったと考えられる。

#### 4. おわりに

遠隔地からの作業指示を作業者に効率よく伝達できるようにすることを目的とし、ロボットに指差しによる予期の支援を加えることを行った。実験により、頭部志向を考慮した予期の支援をすると、従来の指差しシステムよりも作業時間が短く、より効率的に作業できる可能性がある。また、予期反応においても頭部志向を考慮した予期の支援をした方が、作業者は指差し棒を見る機会が増え、指示を予測しやすくなった。ただし、予期支援において、指示者の指差しとロボットの指差し棒が連動すると、作業者にとって指示をされているのか分かりにくくなる可能性がある。これは、指示者の指示以外の行動も作業者に伝えてしまうためだと考えられる。

今回の実験では、ロボットと作業者の位置を固定したため、作業者がロボットの身体表現を見る角度が一定であった。しかし、遠隔共同作業中はロボットも作業者も自由に動き回るため、作業者がロボットの身体表現を見る角度も様々に変化する。さらに、指示者側インターフェースを1画面に制限したため、指示者の視野角が限定されていた。そのため、今回の実験では、予期を支援していることを部分的にしか検証できなかった。そこで今後は、より自由度の高い遠隔共同作業を行い、予期の支援が有効に行われているか検証する予定である。

また、レーザーポインタに対して指差し棒の角度補正を行っても、指示対象のある空間が複雑だと、レーザーの照射点に対する指差し棒の向きがずれが起る。そのため、作業者にはレーザーポインタの位置を誤解させる可能性がある。今後は、ロボットの頭や指差し棒とレーザーの発射点の位置が近くなる構造にして、照射点と頭や指差し棒の先のずれを小さくする必要がある。

#### 謝辞

本研究は日本学術振興会人文・社会振興プロジェクト研究事業(ミュージアムの活用と未来鑑賞行動の脱領域的研究)の支援を受けている。

#### 参考文献

- [1] Goodwin, C. : Professional vision. American Anthropologist 96, pp.606-633 1994.
- [2] 上坂純一, 葛岡英明 : コミュニケーションメディアとしてのロボットのユーザインタフェースに関する研究, 2004.
- [3] 小山慎哉, 葛岡英明 : ロボットを介した遠隔コミュニケーションに関する研究. 2002.
- [4] 上坂純一, 葛岡英明 : 身体性を利用した遠隔ポイントング支援の研究, 2001.