

遠隔作業指示支援ロボットの操作インタフェースが ロボットの志向表現に与える影響の研究

上坂 純一^{†1} 葛岡 英明^{†2}
小山 慎哉^{†3} 山崎 敬一^{†4}

実空間の作業に対する遠隔指示を支援するロボットシステムは、ロボットを操作する指示者と作業者がお互いに頭の志向を観察できるように支援することが望ましい。そこで、筆者らはシステムの開発にあたり、ロボットの頭にパン・チルト機構、および広視野角のカメラを搭載した。これによって、作業者は指示者の志向をロボットの動きから観察することができ、指示者は作業者の志向を広視野で容易に観察することができる。しかし、指示者に広視野を提供すると、ロボットの頭を操作する必要がなくなるため、その志向が作業者から観察しにくくなる。本論文では、実験によってこの問題点を確認し、システムを改善するための設計指針を述べる。

Study on Effect of User Interface on Orientation Expression of a Robot that Supports Remote Instruction

JYUNICHI KOSAKA,^{†1} HIDEAKI KUZUOKA,^{†2} SINYA OYAMA^{†3}
and KEIICHI YAMAZAKI^{†4}

For a robot to support remote instruction, it is desirable for it to support mutual observation between an instructor and an operator. For this purpose, our robot system mounts a camera unit that has wide field-of-view and a head has pan-tilt mechanism. In this way, an operator can monitor an operator's orientation from the robot's head orientation. Also an instructor can monitor an operator's orientation due to the wide field-of-view of a camera unit. When a wide field-of-view camera is used, however, since an instructor does not have to turn the robot's head very often, the robot tends not to show a remote instructor's orientation. In order to verify this phenomenon we have conducted an experiment and analyzed the result. Also we propose some solutions to the problem.

1. はじめに

人間の日常生活では実空間の物体や場所を対象としたコミュニケーション（以下「実空間型コミュニケーション」と呼ぶ）の機会が多い。たとえば、製造業では機械の組み立てや修理、教育分野では授業や実験、その他日常生活においても様々な実空間型コミュニケーションが見られる。したがって、遠隔地にいる対話者と実空間の物体や場所を対象とした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できれば、その有用性は大きい。たとえば、遠隔地にいる専門家（技術者、医師など）から知識や技術的な方法の指導をしてもらうことで、同じ空間に専門家がいないでも、円滑に作業を行うことができるであろう。そこで、本研究では、遠隔地にいる指示者が作業者に作業指示する際の、実空間型遠隔コミュニケーションを支援することを目的とする。

筆者らはこれまで、こうした人と人の実空間型遠隔コミュニケーションを支援することを目的として、ロボットを利用したシステムを開発するとともに、システムの設計指針を明らかにしようとしてきた¹⁾。その中で、システムは、指示者と作業者がお互いの頭（視線）や体の向きなどの身体的志向を観察できるように支援することが望ましいと主張してきた。これは、対面での共同作業における相互行為を分析した研究^{2)~4)}においても示されている。

^{†1} 筑波大学大学院修士課程理工学研究科

Master Program of Engineering, University of Tsukuba

^{†2} 筑波大学機能工学系

Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

^{†3} 通信総合研究所

Communications Research Laboratory

^{†4} 埼玉大学教養学部

Department of Liberal Arts, Saitama University

特に、頭の志向を相互に観察可能であることは、相手の意図を読み取り、次の会話や動作を予測できるという点で、円滑なコミュニケーションを実現するために重要である。たとえば、指示者が作業者に対して本を取るように指示する場面を考えてみる。指示者は指示を始める前に、本のある方向に頭を向ける。作業者はその志向を観察することで、次に示される対象物を予測(限定)することができる。この予測に基づいて作業者は本の方向に頭を向けることになる。そして、指示者は作業者のこの志向を確認することによって、円滑に指示を始めることができるのである。

そこで本論文では、頭の志向の相互観察を支援するという観点から、実空間型遠隔コミュニケーション支援システムにおける問題点を示し、それを改善するためのシステムの設計指針を明らかにする。次章では、関連研究について述べる。次に、著者らが開発した実空間型遠隔コミュニケーション支援システムを考察することによって、問題点を明らかにする。さらに、その問題点を仮説として実験を行い、その結果を分析することで仮説の検証を行う。最後に、問題点を改善するためのシステムの設計指針を述べる。

2. 関連研究

実空間型遠隔コミュニケーションの支援に応用できる研究として、ヒューマノイドロボットがあげられる。TEMSUK04⁵⁾は、腕、指、首、胴、車輪などあわせて27自由度を有しているため、操作者の動作やしぐさを再現できる。HRPプロジェクト⁶⁾では、ヒューマノイドロボットのHRP-2⁷⁾など用いて、介護などの対人サービス分野に利用することを考えており、実空間型遠隔コミュニケーションの支援に応用することは可能である。しかし、これらのプロジェクトでは、センシングや制御など技術的観点での研究は多いが、円滑な実空間型遠隔コミュニケーションのために重要な、頭の志向の相互観察を支援するという観点から、システムの設計指針を見出そうとする研究は少ない。

一方、人とコミュニケーションすることを目指して開発されたヒューマノイドロボットに、ATRが開発したRobovieがある⁸⁾。小野らは、このロボットを用いて、ある建物の来場者に道案内をするという実験を行い、ロボットのアイコンタクトや腕によるジェスチャー、身体の向きなどの身体的な表現をとまなわせることで、道案内における来場者の理解度が上がることを実証した⁹⁾。この結果は、実空間型コミュニケーションにおいて、ロボットの身体表現の重要性を示している。しかし、これらの研究は、人とロボットのコミュニケー-

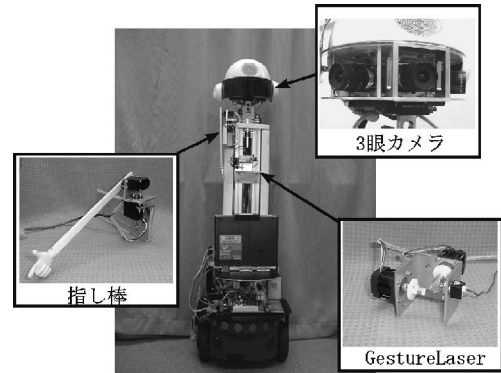


図1 ロボットの外形と装備

Fig. 1 An aspect and the equipment of a robot.

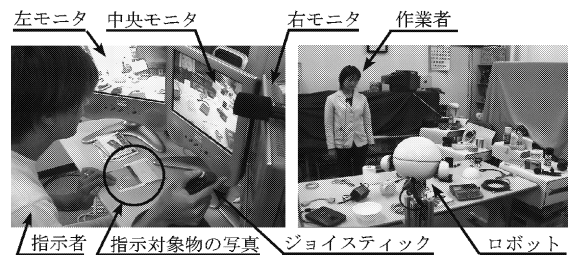


図2 実験環境(左)指示者側(右)作業側

Fig. 2 Experiment of environment. (left) Instructor's side, (right) operator's side.

ションを目指したロボットシステムに関する研究であり、人と人のコミュニケーションメディアとしてのロボットシステムに関する研究ではない。

3. 実空間型遠隔コミュニケーション支援システムにおける問題点

実空間型遠隔コミュニケーション支援システムとして、筆者らが開発したGestureMan¹⁰⁾がある。ロボットの外形と装備を図1に示す。

ロボットの頭にはパン・チルト機構があり、その上に三眼カメラを搭載しているため、指示者はロボットの視点を能動的に変えることができる。三眼カメラは、視野角60度のカメラ3台を放射状に配置しているため、合わせて水平方向に180度(垂直方向に50度)の視野角を持つことになる。このため、作業者がロボットの真横に立ってもカメラは作業者の様子を撮影することが可能となる。頭部のこれらの機能より、指示者は作業者の志向を容易に観察することができる。さらに、遠隔地にいる指示者がどこを見ているのか、ロボットの志向から観察することができる。

指示者は水平方向に並べられた3台のモニタの前に座り、ジョイスティックでロボット本体の前後左右の

移動や頭のパン・チルト動作を制御する(図2). こうした方法は, 遠隔操作型ロボットの操作インターフェースとしては一般的である. しかし, GestureMan を利用した実験を通して, このように指示者に広視野を提供すると, 指示者の志向を作業員から観察しにくくなる場合があることが経験的に分かってきた. なぜなら, 指示者はロボットの頭を操作しなくても広視野で指示すべき対象物を発見できるため, ロボットの頭を操作する必要がなくなるからである. Robovie による研究でも指摘されているように, ロボットが志向を示すことは, コミュニケーションにおいて対話者の理解を向上させる要因となっている. したがって, 本システムにおいて, ロボットの志向が表現されなくなるという現象がどの程度発生し, コミュニケーションに対してどのように影響を与えるのかということの詳細に検討することは, 今後のロボット操作用のインターフェースの設計指針を明らかにするうえで重要であると考えられる.

そこで本論文では, ロボットを操作する指示者に提供する視野の広さを変えたときの, 指示者と作業員のコミュニケーションを比較する実験を行い, 視野角の違いがコミュニケーションに与える影響を明らかにすることを目的とする. 本実験における仮説は, 指示者に広視野を提供すると, 指示者の志向を作業員から観察しにくくなるということである.

4. 実験

4.1 実験設定

GestureMan を用いて, 遠隔地の指示者が空間にある様々な対象物について説明を行い(以後, 指示と呼ぶ), その対象物に作業員が触れるという実験を行った. 実験環境を図2に示す.

指示者に提供する視野の広さの条件として, 中央のモニタだけ表示する1画面条件と3つのモニタを表示する3画面条件を設けた. ロボットの頭部が正面を向いた(ピッチ角 $0[\text{deg}]$, ヨー角 $0[\text{deg}]$) 時の, 三眼カメラの各水平視野と対象物の配置を図3に示す. 作業員側の空間には機械, 人形, ケーブル, 時計, 本など計60個の指示対象物が混在した(図3内の番号位置).

実験中に, 指示者は Joystick でロボットの頭だけを操作することができた. ロボットの頭の操作, 指示の仕方は指示者の自由とした. ただし, 指示者の志向に対する作業員の反応に注目したいため, 指示者に指示対象物をモニタで観察(発見)した後で指示を開始させた. 実際には, 作業空間を熟知している指示者であれば, 指示対象物を観察しなくても経験的知識を用い

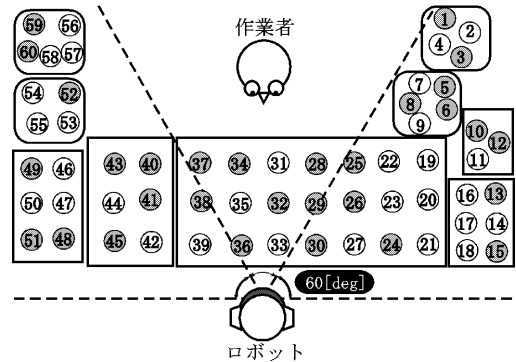


図3 三眼カメラの各水平視野と対象物の配置

Fig. 3 Horizontal field of view of three-camera unit and an arrangement of objects.

て指示できるが, つねにそういった空間に指示者がいるとは限らない. そのため実験では, 指示者の知らない空間で指示する場面を想定した. また, 作業員に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.

4.2 実験の手順

実験の具体的な手順は以下のとおりである.

- 手順1. 指示者は指示対象物の写真(図2)を見て, その指示対象物をモニタで探す.
- 手順2. 指示者は指示対象物を見つけた後, 作業員に指示を行う.
- 手順3. 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3までを1回の作業として, それを30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, 30回すべて指示対象物は異なり, 指示対象物の順番はランダムに決定した.

4.3 被験者の配置

実験では, 男女の大学生16名を指示者(8名), 作業員(8名)として採用した. また指示者の指示能力, 作業員の指示に対する理解力など個人能力と, ペア(指示者と作業員の対)の相性によって実験結果に差が出ると考えられる. そのため, 被験者内配置法により2条件, 2種類のタスクを同じペアに割り当て, 指示条件の順序, タスクの順序を変えることで持ち越し効果¹¹⁾, 順序効果の相殺を意図した. 指示条件順, タスク順ごとの指示者と作業員の性別構成, 年齢構成は表1のとおりである. タスクAの指示対象物は図3の灰色の番号位置(30個)にあり, タスクBの指示対象物は図3の白色の番号位置(30個)にある. タスクAとBの難易度は同程度と仮定した.

表 1 被験者の配置

Table 1 Arrangement of a subjects.

No.	指示者(年齢) + 作業者(年齢)	試行順序 (1回目→2回目)	タスク順序 (1回目→2回目)
1	男(21)+女(20)	1画面→3画面	A→B
2	女(22)+女(23)		A→B
3	男(22)+男(21)		B→A
4	女(20)+女(20)		B→A
5	男(21)+男(22)	3画面→1画面	A→B
6	男(22)+女(21)		A→B
7	女(21)+男(21)		B→A
8	女(23)+女(23)		B→A

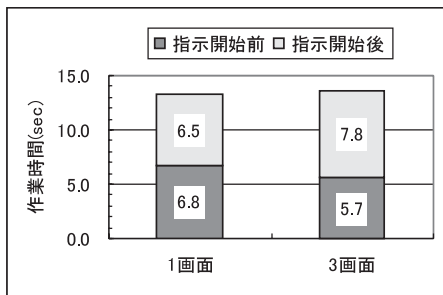


図 4 作業時間の平均と標準偏差

Fig. 4 Average and standard deviation of work time.

5. 実験結果

実験中に録画したビデオより、指示者と作業者の言語表現や行動を観察した。また、実験データを計測する際に、以下に定義する時間を基準とした。

- 作業の開始：指示者が指示対象物の写真に目を落とし、それを探するために顔を上げた瞬間。
- 指示の開始：指示者が指示における最初の言葉を発した瞬間。
- 作業の終了：作業者が正しい指示対象物に触れた瞬間。

5.1 作業にかかった時間

1回のタスクにおいて、作業開始から指示開始までの時間の平均を指示開始前の時間、指示開始から作業終了までの時間の平均を指示開始後の時間、作業開始から作業終了までの時間の平均を作業時間とした。すなわち、指示開始前の時間と指示開始後の時間の和が作業時間である。各条件における作業時間の平均を図4に示す。

この計測結果が示すとおり、作業時間において条件間で差が見られなかった。一般的に広視野の方が、指示者は指示対象物を早く発見できるため、作業時間が短くなると考えられる。確かに、3画面条件の方が1画面条件よりも指示開始前の時間は短いため、指示者

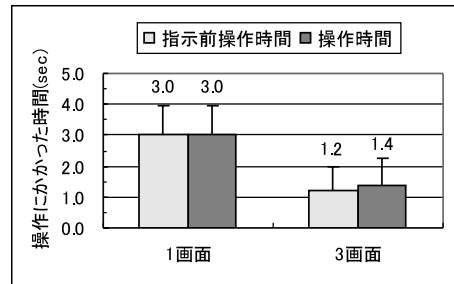


図 5 操作時間の平均と標準偏差

Fig. 5 Average and standard deviation of operation time before instructions.

は指示対象物を早く発見できたことが分かる。しかし、3画面条件の方が1画面条件よりも指示開始後の時間は長い。そのため、指示開始前までの広視野の効果が相殺され、作業時間において差が見られない結果となった。そこで、3画面条件の方が1画面条件よりも指示開始後の時間が長かった理由、作業時間において条件間で差が見られなかった理由を実験における指示者と作業者それぞれの行動を分析することで明らかにする。

5.2 指示者の言語表現と行動

5.2.1 指示者の行動

1回のタスクにおいて、作業開始から指示開始までジョイスティックを操作していた時間の平均を指示前操作時間、作業開始から作業終了まで操作していた時間の平均を操作時間とした。各条件における指示前操作時間および操作時間の平均と標準偏差をそれぞれ図5に示す。

指示者の指示前操作時間において、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、1画面条件の方が3画面条件よりも指示者は指示を開始する前にジョイスティックを長く操作していた ($p < .01$)。これは、3画面条件の場合は、表示される視野角が広いため、ロボットの頭を操作しなくても指示対象物を発見できたのに対して、1画面条件では、ロボットの頭を操作しないと指示対象物を発見できないことが多かったためと考えられる。また、図5から、両条件で指示者は指示開始後にほとんどジョイスティックを操作していなかったことが分かる。指示者にとってロボットの頭を操作するということは、指示対象物を探すためであり、それ以外で操作するということは少なかったのである。次に、3画面条件の場合、指示開始や作業終了時点で、指示者はどの方向の画面で指示対象物を観察していたのかを計測した。1回のタスクにおいて、指示開始および作業終了時点で指示対象物が映っていた画面の方向別の割合をそれぞれ方向別画面観察率とし、それら

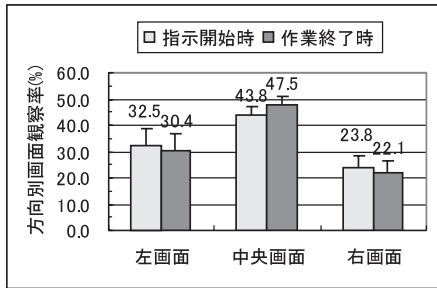


図 6 方向別画面観察率の平均と標準偏差

Fig. 6 Average and standard deviation of screen observation rate according to a direction.

の平均と標準偏差を図 6 に示す。

この計測結果と指示者が指示開始後にほとんどジョイスティックを操作していなかったということを考慮すると、指示者は左(右)の画面で指示対象物を発見した場合、その画面を見ながら指示をしていたことが分かる。そのため、3画面条件の方が1画面条件と比べて、指示者の指示の間に、ロボットの頭が指示対象物のある方向に向いていないことが多かった。

5.2.2 指示における言語表現

両条件で、指示者は指示対象物の位置を説明するとき、主に以下の言語を単独および組み合わせて使用していた。また、指示対象物の名前だけを発して説明する場面も観察された。

- 方向を表現する言語(「右にある～」など)
- 他の対象物との位置関係を表現する言語(「隣の～」など)

指示者は左右を表現する言語(「右手」、「左側」など)を用いるとき、作業者の配置から見た方向に言い換えていた。遠近を表現する言語(「手前」、「奥」など)を用いるとき、どちらの配置から見た方向かは指示者それぞれで異なっていた。

5.3 作業者の行動

実験中、作業者は発話する機会が少なかったため、作業者の行動のみ分析した。特に、条件間で大きく異なる「予測反応」「誤予測反応」「左右の首振り」という作業者の行動を計測して比較を行った。これらの行動を順に説明する。

5.3.1 予測反応

予測反応とは、指示者が指示を開始する前に、作業者がロボットの頭の志向(向き)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。ここでは、指示対象物のある方向を左右に限定

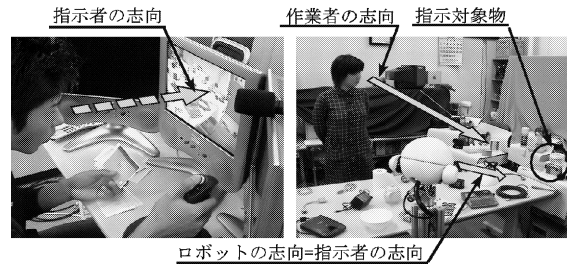


図 7 予測反応(左)指示者側(右)作業者側

Fig. 7 Anticipatory reaction. (left) Instructor's side, (right) operator's side.

して考える。具体的には、図 3 の 1 から 33 の領域と 34 から 60 の領域の 2 つに分ける。このとき、作業者から見て、1 から 33 の指示対象物は左方向にあるという。予測反応は、ロボットの頭が指示対象物のある方向に向いていることを前提として、以下の行動を計測した。

- 行動 1. 指示の開始前、作業者の頭(視線)が指示対象物のある方向に向いている。
- 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「ええっと」「白い」「奥の」「正面にある」など、左右の方向を特定できない最初に発した言葉のことである。ここで、行動 2 を予測反応とした理由を述べる。指示者が指示対象物を探している間(ロボットの頭を操作している間)、作業者はつねにロボットの頭の向く方向に頭を向けるわけではない。指示者の探す時間が長いと作業者は顔(頭)を正面に向けて指示が行われるのを待つ。そして、指示の開始と同時に作業者はロボットの頭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。つまり、指示者が指示を開始すると同時に作業者が指示対象物のある方向を見るということは、ロボットの頭の志向を認知して、指示対象物のある方向を予測していた可能性が高い。そこで、行動 2 を予測反応とした。1画面条件で観察された予測反応を図 7 に示す。

図 7 で見られる指示者を A、作業者を B として具体的にどのように予測反応が行われていたか説明する。まず、A はロボットの頭を操作して指示対象物(白いビニールテープ)を発見する。A が指示を始めようと「ええっと」と発話したと同時に、B は指示対象物のあ

面状に置かれているため、ロボットの頭の上下の志向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た。

作業者側にあるすべての指示対象物はほぼ(地面に対して)水平

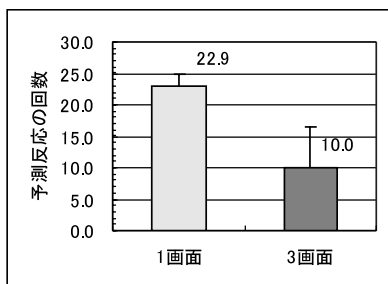


図 8 予測反応の回数の平均と標準偏差

Fig. 8 Average and standard deviation of number of times of anticipatory reaction.

る方向に頭を向けるという予測反応を行った(図7)。続けて、Aが「黒いキャップのスプレーの横にある」と発話した後、Bが黒いキャップのスプレーのある方向に移動する。そして、Aが「白いビニールテープ」と発話することでBが指示対象物に触れる。ここで、特に注目すべき点は、Aが指示の際に方向を表現する言語を用いなかったにもかかわらず、Bは円滑に指示対象物に触れたことである。そのBの行動はロボットの頭の志向による効果を明確に示している。各条件で予測反応が起きた回数の平均と標準偏差を図8に示す。

作業者の予測反応の回数に関して、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、1画面条件の方が3画面条件よりも作業者による予測反応の回数が多かった($p < .01$)。これは、指示者の方向別画面観察率の結果から分かるとおり、3画面条件の場合、指示者は指示を開始する時点で中央の画面で指示対象物を観察した割合が少なく、ロボットの頭が指示対象物の方向に向いていることが少なかったためと考えられる。

5.3.2 誤予測反応

誤予測反応とは、指示者の頭の志向とロボットの頭の志向が一致していない場合、指示者が指示を開始する前、作業者がロボットの頭の志向を観察することで指示対象物のある方向を誤って予測した事象をいうものとする。誤予測反応はロボットの頭が指示対象のある方向の逆に向いていることを前提として以下の行動を計測した。

- 行動1. 指示開始前に、作業者が頭(視線)を指示対象物のある方向の逆の方向に向けている。
- 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、作業者が頭(視線)を指示対象物のある方向の逆の方向に向けた。

ここで、3画面条件で観察された作業者の誤予測反応を図9に示す。

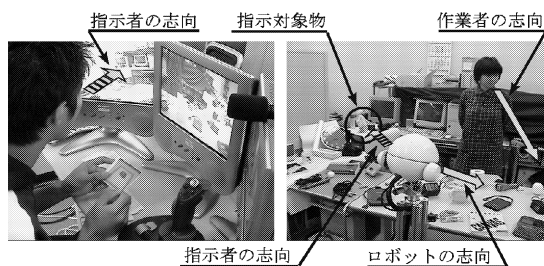


図 9 誤予測反応(左)指示者側(右)作業者側

Fig. 9 False anticipatory reaction. (left) Instructor's side, (right) operator's side.

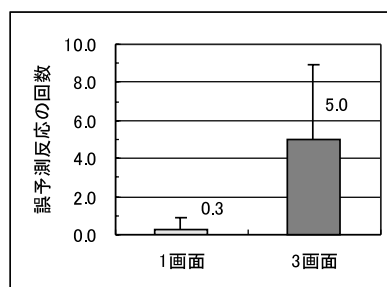


図 10 誤予測反応の回数の平均と標準偏差

Fig. 10 Average and standard deviation of number of times of false anticipatory reaction.

図9に見られる指示者(A)、作業者(B)を再び例にとり、誤予測反応がどのように行われていたか説明する。まず、Aはロボットの頭を操作して左の画面に指示対象物(ラジオ)を見つける。これ以後、Aはロボットの頭を操作しないで、左画面を見ながら指示を始める。このとき、ロボットの頭は指示対象物のある方向の逆の方向に向いている。Aが「白い」と発話したと同時に、Bが指示対象物のある方向の逆の方向に頭を向けるという誤予測反応を行った(図9)。続けてAが「熊のぬいぐるみの手前にある」と発話した後、Bが白い熊の人形(おおよそラジオ)のある方向へ向き直す。そして、Aが「ラジオ」と発話することでBが指示対象物に触れる。「熊のぬいぐるみの手前にある」という方向を表現する言語を用いない指示の中で、Bが指示対象物のある方向に向き直すことができたのは、作業中にBが白熊の人形のある場所を覚えていたからと考えられる。各条件で誤予測反応が起きた回数の平均と標準偏差を図10に示す。

作業者の誤予測反応の回数に関して、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、3画面条件の方が1画面条件よりも作業者による誤予測反応の回数が多かった($p < .01$)。これは、指示者の方向別画面観察率の結果から分かるとおり、3画面条件の場合、指

示者は指示を開始する前に左右の画面で指示対象物を観察することが多く、指示者とロボットの志向の不一致が多かったためと考えられる。

5.3.3 左右の首振り

指示者が指示をしている間、作業者の志向が指示対象物のある方向に集中していることが望ましい。なぜなら、指示者が指示をしているときに作業者が指示対象物のある方向以外に志向していると、作業者の指示の聞き逃しなどで指示が円滑に伝わらない可能性が考えられるからである。そこで、指示者が指示をしている間、作業者が指示対象物のある方向に志向し続けているかを調べるため、以下の作業者の行動を左右の首振り（指示対象物のある方向の逆の方向に志向した行動）として計測した。左右の首振りは指示開始から作業終了までの間で計測を行った。

行動1. 作業者が2回以上の頭（視線）の動きで指示対象物のある方向に向いた。

行動2. 指示が行われている間、作業者が指示対象物のある方向の逆の方向に頭を向けた。

左右の首振りは様々な状況での作業者の行動が含まれている。以下にそれをいくつか示す。

行動1. ロボットの頭が正面を向き（左右の志向がない）、指示者が指示対象物のある方向を特定できない指示をしたため、作業者が左右を見回して指示対象物を探した。

行動2. ロボットの頭が指示対象物のある方向に向いているが、作業者はその逆の方向を見て指示対象物を探した。

行動1は3画面条件で多く観察された。これは、3画面条件の場合、指示者はロボットの頭を正面に向けると多くの指示対象物が観察できるため、指示者がロボットの頭を正面に向けてが多かったからである。行動2も3画面条件で多く観察された。ここで、3画面条件で観察された行動2における左右の首振りを図11に示す。

図11で見られる指示者をA、作業者をBとして具体的にどのように左右の首振りが行われていたか説明する。まず、Aはロボットの頭を操作して中央の画面の右下に指示対象物（マイク）を見つける。Aはこれ以後、頭を操作せず、中央の画面の右下を見ながら指示を開始する。このとき、ロボットの頭は指示対象物のある方向に向いている。Aが「マイク」と発話したと同時に、Bは指示対象物のある方向を向いてすぐに、その逆の方向へ向くという左右の首振りを行った（図11）。Aが続けて「入り口」と発話することで、Bは実験室の入り口のある方向（指示対象物のある方向）へ向き

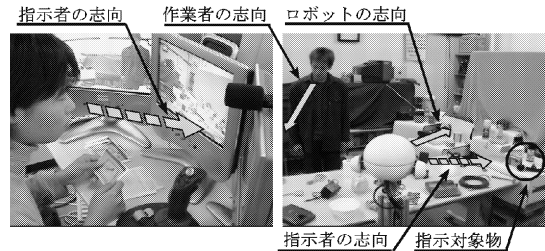


図11 左右の首振り（左）指示者側（右）作業者側
Fig. 11 Swing a neck from side to side. (left) Instructor's side, (right) operator's side.

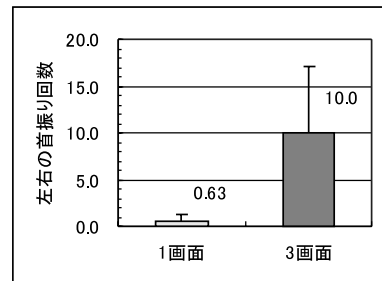


図12 左右の首振り回数の平均と標準偏差
Fig. 12 Average and standard deviation of number of times of swing a neck from side to side.

直す。そして、Aが「の方の台の上にある」と発話している間にBは指示対象物に近づいてそれに触れた。このように、Bはロボットの頭の志向をあてにせず、指示者の指示だけを頼りに指示対象物を探していた。これは、3画面条件の場合、ロボットの頭の動きが少ないことや、指示者とロボットの志向の不一致が多いことで作業者がロボットの頭の志向に不信感を持ったためと考えられる。各条件で左右の首振りが起きた回数の平均と標準偏差を図12に示す。

作業者の左右の首振り回数に関して、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、3画面条件の方が1画面条件よりも作業者による左右の首振り回数が多かった ($p < .01$)。一方、1画面条件では、指示者の指示における言語表現に依存せず、作業者が指示対象物のある方向に志向していた（左右の首振りが少なかった）のは注目すべき点である。

5.4 指示者と作業者の印象結果

指示者や作業者が各条件で感じた印象を求めるため、2回のタスクを終えた後、アンケートに回答してもらった。アンケートに使用した質問項目を表2に示す。

質問 i-1, o-2, o-4 は二択式であり、質問 i-2, o-1, o-3 は自由記述方式である。また、二択式の質問の回答を表3に示す。ただし、表3は被験者の回答を条件

表 2 指示者と作業者への質問項目

Table 2 An item of a question to instructor and operator.

項目番号. 作業者への質問項目	
o-1.	ロボットの頭の動作に関して 1 回目と 2 回目の実験の相違点をお答えください。
o-2.	指示者の指示した物(場所)がわかりやすかったのは何回目の実験ですか？
o-3.	o-2 で答えた理由をお書きください。
o-4.	指示者がどこを見ているのか分かりやすかったのは何回目の実験ですか？
項目番号. 指示者への質問項目	
i-1.	作業者に指示を行いやすかったのは何回目の実験ですか？
i-2.	i-1 で答えた理由をお書きください。

表 3 指示者と作業者の印象結果

Table 3 An impression result of instructor and operator.

		1 画面	3 画面	回答不能
指示者への質問項目	i-1. 作業者への指示の行い易さ(†)	1/8 人	7/8 人	—
作業者への質問項目	o-2. 指示者の指示した物の分かり易さ(*)	7/8 人	0/8 人	1/8 人
	o-4. 指示者の頭の向きの分かり易さ	6/8 人	1/8 人	1/8 人

(* は 5%水準で有意(p<.05), † は有意傾向(p<.10))

選択として読み替えてある。

質問 o-1 において、作業者 7 名がロボットの頭の志向に関しての条件間の違いを認めていた。しかし、作業者 1 名は「1 回目(3 画面)、2 回目(1 画面)の頭の動作の違いが分からない」と回答して、それ以降の質問の回答を行わなかった。事実、その作業者のペアの指示者は 3 画面条件でも指示の開始前に中央の画面で指示対象物を観察していた割合が 94%と高いため、1 画面条件と比べても差が小さく、条件間で作業者の予測反応の回数も同じであった。そのため、その作業者はロボットの頭の動作に違いを認めることができなかったと考えられる。

二択の質問に関して、指示者や作業者が 3 画面(1 画面)を 2 分の 1 の確率で選択することを帰無仮説として母比率の F 検定¹²⁾を両側条件で行った。ここでは、質問に回答した被験者のデータに対して検定を行った。

質問 i-1 において、指示者が 2 分の 1 以上の確率で 3 画面条件を選択したことに有意傾向であった。質問 i-1 の回答理由(質問 i-2 の回答)として、大きく分けて 2 通りの意見を得た。回答 1 は 3 画面条件を肯定する意見であり、回答 2 は 1 画面条件を肯定する意見である。

回答 1. 視野が広いため、操作しなくても目的の対

象物を見つけやすかったから。

回答 2. 1 回目(1 画面)は目的の対象物を見つけるまでに時間がかかったが、作業者がロボットの頭で大体の見当をつけていた。対して、2 回目(3 画面)は頭を操作せずに見つけることができるため、説明を多くしなければならなかったから。

質問 i-2 において、指示者 7 名から回答 1 のような意見を得た。統計的に有意ではなかったが、多くの指示者が 3 画面条件を選択した理由として、ジョイスティックを操作しなくても指示対象物を発見できたことがあげられる。しかし、質問 i-2 において、指示者 1 名が回答 2 の意見を持ったのは、3 画面条件の方が 1 画面条件よりも、指示者の志向が作業者に伝わっていないということを、指示者が作業者の行動から感じたと考えられる。

質問 o-2 において、作業者が 2 分の 1 以上の確率で 1 画面条件を選択した(p < .05)。質問 o-2 の回答の理由(質問 o-3 の回答)として作業者 7 名から「1 回目(1 画面)は頭の動きに合わせて見ていれば目標物が見つかったが、2 回目(3 画面)は頭の動きがあてにならなかったから」というような意見を得た。これより、質問 o-2 において、すべての作業者が 1 画面条件を選択したのは、1 画面条件は指示対象物を事前に予測できたのに対して、3 画面条件はロボットの頭の志向が伝わりにくかったためと考えられる。

6. 考 察

指示者の指示前操作時間、方向別画面観察率の計測結果より、3 画面条件の方が 1 画面条件よりも、指示者はロボットの頭を操作しなくても指示対象物を発見でき、指示を早く開始できたことが分かる。アンケートの結果からも、多くの指示者は 3 画面条件の方が指示対象物を見つけやすかったため、指示をしやすかったと回答していた。それに対して、作業者の予測反応、誤予測反応、左右の首振りの計測結果より、1 画面条件の方が 3 画面条件よりも、ロボットの志向が伝わりやすく、作業者は指示対象物を早く特定できたことが分かる。アンケートの結果からも、多くの作業者は 1 画面条件の方がロボットの志向が分かりやすく、指示対象物の位置が分かりやすかったと回答していた。これらの結果によって仮説は検証された。

ここで、作業時間の結果を再考する。実験結果の分析により、指示開始前の時間が示すのは指示者による指示の開始の早さであり、指示開始後の時間が示すのは作業者による指示対象物の特定の早さであることが

分かる。3画面条件の方が1画面条件よりも、指示者による指示の開始は早かったが、作業者による指示対象物の特定は遅れた。それに対して、1画面条件の方が3画面条件よりも、指示者による指示の開始は遅れたが、作業者による指示対象物の特定は早かった。つまり、指示者が指示を開始する早さと作業者が指示対象物を特定する早さに相反する関係があったため、作業時間において条件間で差が出なかったと考えられる。

そこで、相反する指示者への広視野提供と作業者への指示者の志向の伝達を同時に支援できるシステムがあれば、頭の志向の相互観察における問題点を解決するとともに、3画面条件での指示者による指示開始の早さと、1画面条件での作業者による指示対象物の特定の早さの両方の利点を活かすことができるため、今回用いたシステムよりも効率的なコミュニケーションを期待できる。そのような条件を満たすシステムとして、たとえば、以下のものが考えられる。

- 指示者は作業者側の空間を観察するために広視野HMD(頭部搭載型ディスプレイ)を装着する。そして、指示者の頭の動きとロボットの頭を連動させることで、指示者の志向を作業者に伝える。
 - 作業者側の空間を観察するために指示者の前に可動式の3面ディスプレイを設置する。そして、指示者の頭とロボットの頭の動きを連動させることで、指示者の志向を作業者に伝える。このとき、指示者の頭の動きに3面ディスプレイも連動する。
- 今後、このような手法を検討し、新たなシステムを製作する予定である。

7. ま と め

本論文では、頭の志向の相互観察を支援するという観点から「指示者に広視野を提供すると、指示者の志向を作業者から観察しにくくなる」というシステムにおける問題を、実験を通して明らかにした。その問題を改善するため、相反する指示者への広視野提供と作業者への志向の伝達を同時に支援できるシステムを開発する必要があることが分かった。

参 考 文 献

- 1) 小山慎哉, 上坂純一, 葛岡英明, 山崎敬一: 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, システムインテグレーション部門講演会・講演論文集(III), pp.93-94 (2002).
- 2) Goodwin, C.: Professional Vision, *American Anthropologist* 96, pp.606-633 (1994).
- 3) Heath, C. and Luff, P.: *Technology in Action*, Cambridge University Press (2000).

- 4) 森田聡之: 気にすること・無視することの分析可能性, 語る身体・見る身体, 山崎敬一, 西阪仰(編), pp.99-122, ハーベスト社(1997).
- 5) 株式会社テムザック Web サイト. <http://www.tmsuk.co.jp/>
- 6) 井上博充, 比留川博久: 人間協調・共存型ロボット研究開発プロジェクト, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.1, pp.2-7 (2001).
- 7) 川田工業株式会社 Web サイト. <http://www.kawada.co.jp/ams/promet/index.html>
- 8) 神田崇行, 石黒 浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平: 日常生活型ロボット Robovie の開発, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.251-252 (2001)
- 9) 小野哲雄, 今井倫太, 石黒 浩, 中津良平: 身体表現を用いたロボットの共創対話, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1348-1358 (2001).
- 10) 小山慎哉, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子: ロボットを介した遠隔コミュニケーション支援システムの開発, 第19回日本ロボット学会学術講演会論文集, pp.17-18 (2001).
- 11) 末永俊郎: 社会心理学研究入門, p.82, 東京大学出版会(1987).
- 12) 菅 民郎: EXCEL 統計のための統計分析の本, p.142, 株式会社エスミ(2001).

(平成 15 年 5 月 22 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



上坂 純一

2002年筑波大学第三学群工学システム学類卒業。現在、同大学院修士課程理工学研究科理工学専攻に所属。主に、ロボットを介した遠隔コミュニケーションの研究に従事。



葛岡 英明

1992年東京大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年筑波大学構造工学系(現・機能工学系)講師。現在筑波大学機能工学系助教。主に、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。



小山 慎哉

2002年筑波大学大学院博士課程工学研究科知能機能工学専攻修了。博士(工学)。同年独立行政法人通信総合研究所に入所。現在、同所けいはんな情報通信融合研究センター

ユニバーサル端末グループ専攻研究員。主に、視覚障害者の移動支援に関する研究に従事。



山崎 敬一

早稲田大学大学院文学研究科博士課程単位取得中退。現在、埼玉大学教養学部教授。社会学，エスノメソ

ドロジー，会話分析，CSCWの研究に従事。著書『美貌の陥穽』(ハーベスト社)，共編著『語る身体・見る身体』(ハーベスト社)等がある。
