

代理ロボット対話システムにおける顔表示の効果に関する研究

古澤洋将^{*1} 友野達也^{*1} 葛岡英明^{*2} 山下淳^{*2} 山崎敬一^{*3}

Study on effect of human face display on a surrogate robot

Yosuke Furusawa^{*1}, Tatsuya Tomono^{*1}, Hideaki Kuzuoka^{*2}, Jun Yamashita^{*2}
and Keiichi Yamazaki^{*3}

Abstract - The purpose of this paper is to verify reproducibility of indicating orientation toward physical objects of head. Because of we suppose to obtain the suggestion of future works. To confirm the effects of indicating orientation, we conducted user tests with three conditions which are displaying a face image, a mannequin head mounted on robot head with capability of pan/tilt and both conditions. The results show that there are significant differences in completion times between each three conditions in order of showing a head, displaying a face image and displaying both conditions.

Keywords: Robot, Projectability and Face Effect

1. はじめに

人々が対面で対話するときには、非言語情報が音声情報以上に情報を伝達すると言われている^[1]。ロボットも身体を持っていることによって、音声情報以上に情報伝達を行うことができ、さらにはコミュニケーションの質を変え得ると言える^[2]。

著者らはこれまで、ロボットを介して人と人の遠隔コミュニケーションを支援するシステムを構築してきた。特に、身体性を考慮したシステムの設計指針を明らかにしてきた^[3]。具体的には、指示者と作業者がお互いの頭の向き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^[4]においても示されている。特に、頭の向き（以下、頭部志向と呼ぶ）を相互に観察可能であると、相手の意図を読み取り、会話や動作を予測できる点で、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。例えば、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のある方向を予測（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ある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。

これまでも、身体性を考慮した遠隔操作ロボットが多数開発されてきた。例えば、東京大学が開発した TELESAR II は、ロボットの体表面に操作者の映像が投影され、操作者が遠隔に存在するロボットをあたかも遠隔の環境にいるような感覚で精密な作業を行うテレグジスタンスを目指しているものである^[5]。InTouch Technologies 社の RP-7 は、ロボットの頭部に液晶モニタを備え、ロボットの操作者の顔を表示できるシステムである^[6]。しかし、これらのロボットは、操作者の表情を提示することを目的としており、操作者の自然な頭部志向を表現できるように設計されていなかった。

そこで本論文の目的は、ロボットに顔映像を表示した場合の頭部志向の再現性の検証を行い、今後の研究に対する示唆を得ることである。本実験では、人の頭部志向を再現するためのロボットの頭部（頭部模型）と、顔映像を表示するための液晶モニタを1つのシステムに備えた遠隔操作型のロボットを用いる。そして、これら2つのシステムを比較し、頭部志向の再現性を検証する。

2. 実験

2.1 実験システム

実験で用いる遠隔コミュニケーションロボットとして、著者らが開発した GestureMan-3 を用いた（図1）。

GestureMan-3 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。3眼カメラの映像は、指示者の前にある3面ディスプレイに映し出される（図2）。この3眼カメラによって、指示者は広い視野角の映像を、左右に頭を振るだけで容易に確認すること

*1: 筑波大学大学院博士前期課程システム情報工学研究科

*2: 筑波大学大学院システム情報工学研究科

*3: 埼玉大学教養学部

*1: Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba.

*2: Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba.

*3: Faculty of Liberal Arts, Saitama University.

ができる。3面ディスプレイの正面には、指示者の顔を撮影するためのカメラを取り付けた。また、指示者の頭部に3次元磁気センサを装着し、指示者の頭部志向をGestureMan-3の頭に連動させることで、指示者の頭部における予備的な動作を作業者に伝えることができる。

さらに、GestureMan-3の胸部には、液晶モニタの大きさが160×210mmのタッチパネル付きタブレットPCを搭載している(以下、胸部モニタと呼ぶ)。胸部モニタには、ウェブブラウザを用いて指示者の顔や俯瞰映像などを個別または同時に表示させることができる^[7]。本実験システムでは、映像のビットレートを1.2Mbpsに設定した。フレームレートは10fpsであった。映像の遅延は、約300ミリ秒であった。

以上のように、指示者が頭を右に向ければ、GestureMan-3の頭も右に動き、胸部モニタには指示者の右を向いた顔映像が表示されるようになった。

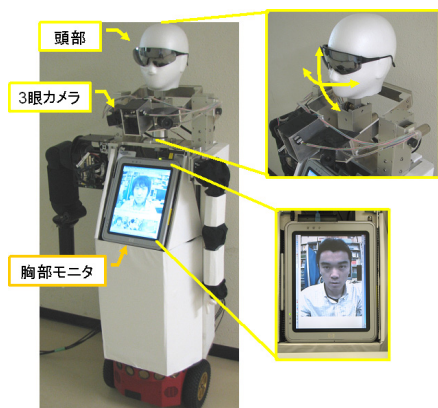


図1: GestureMan-3

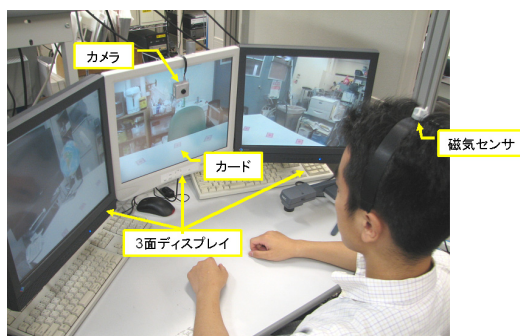


図2: 指示者ブース

2.2 実験

離れたところにいる指示者が、作業側にある対象物を指示し、作業側はその対象物にレーザーポインタを照射するという実験を行った。作業側がレーザーポインタを用いるのは、作業側の立ち位置が変わることによって、ロボットの頭部や胸部モニタを見え方が変わるのを防ぐためである。

作業側の部屋にテーブルを置き、その上に同じデザインのカードを対象物として扇状に9枚貼り付けた(図3)。また、作業側がカードの位置をずらせないようにするた

め、両面テープを用いてテーブルに固定した。

実験では、ロボットの正面に立った場合(正面条件)と、ロボットから見て右側30度の位置に立った場合(ななめ条件)の2つ条件を設けた(図3)。ななめ条件を設けたのは、モナリザ効果[†]の影響を調べるためである。

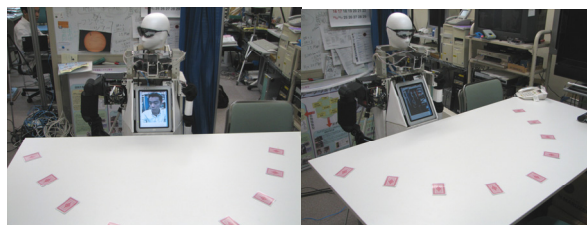


図3: 作業側から見たロボットとカードの配置
正面条件(左)、ななめ条件(右)

これら2つの条件に対して、「ロボットの頭部のみ」、「胸部モニタのみ」、「ロボットの頭部と胸部モニタ」という3種類の動作条件を設けた。「ロボットの頭部のみ」動作条件のときは胸部モニタを作業側から隠し、「胸部モニタのみ」動作条件のときは、ロボットの頭部の動作を停止して実験を行った。実験前にキャリブレーションを行い、頭部の向きがカードの方向を示すようにした。

実験の手順は、以下の通りである。

1. 指示者は、指示書を見て、指示すべきカードを認識する。
2. 指示者は、3面ディスプレイを見て、作業空間にあるカードを確認する。
3. 指示者は、作業側に指示を行う(頭をカードの方向に向ける)。
4. 作業側が、正しいカードにレーザーポインタを照射するまで、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5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、カードは5回すべて異なり、その順番はタスクごとにランダムに決定した。実験は、まず、全被験者とも「ロボットの頭部のみ」または「胸部モニタのみ」での試行を行い、その後、「ロボットの頭部と胸部モニタ」の試行を実施した。これにより、順序効果を分散させた。

本実験では、21から28歳の男性6名の被験者が作業側となった。また、ロボットの操作に熟練した1名が、指示側となった。実験の開始前にトレーニングタスクを設け、それぞれの条件におけるシステムの動作の違いを観察させ、作業側に慣れさせた。

実験の様子は、ビデオカメラを用いて撮影し、作業時間や作業間違い、作業側の視線を分析した。実験終了後に、作業側に対してアンケート調査を行った。

[†]: モナリザの前を歩いた場合、彼女の目が観察者を見続けているように(どこからみても見つめられているように)感じる効果。

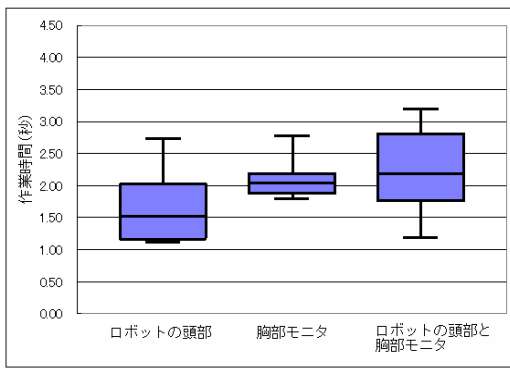


図 4: 正面条件の作業時間 (秒)

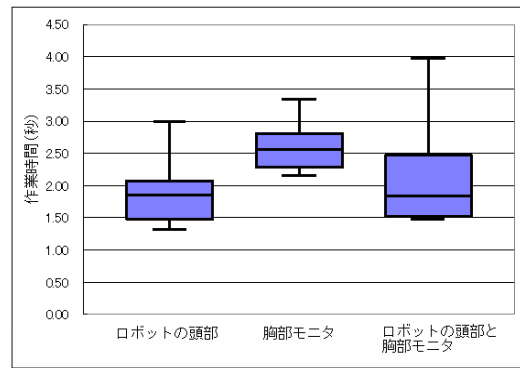


図 6: ななめ条件の作業時間 (秒)

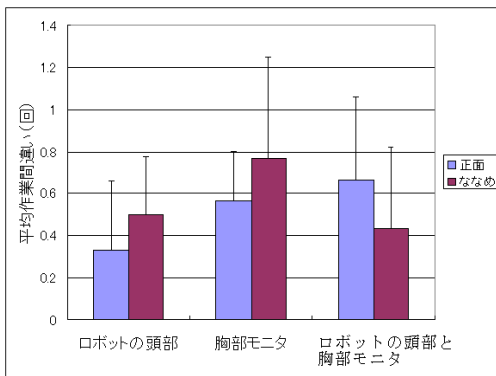


図 5: 平均作業間違い (回)

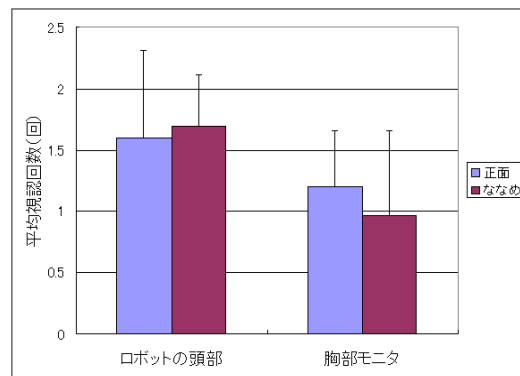


図 7: “ロボットの頭部と胸部モニタ”動作条件における平均視認回数 (回)

2.3 実験結果

実験のビデオデータから、各条件の違いを解析した。以下に、作業時間、作業間違い、作業者の視線、アンケートによる評価を述べる。

2.3.1 作業時間の評価

1回の作業において、手順3から4までを作業時間とした。作業時間の箱ひげ図[‡]を、図4,6に示す。

また、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、正面条件とななめ条件ともに、3種類の動作条件間において有意差が認められた ($p < .05$)。

2.3.2 作業間違いの評価

1回の作業において、作業者が指示対象カードではないカードにレーザーポインタを照射したことを作業間違いとした。全被験者の平均作業間違いを、図5に示す。また、正面条件とななめ条件に対してそれぞれフリードマン検定を行ったが、有意差が認められなかった。

2.3.3 作業者の視線

作業者が、どちらの頭部志向に注目するかを調べるため、正面条件とななめ条件のそれぞれにおいて、“ロボットの頭部と胸部モニタ”動作条件のときの作業者の視線を調べた。ビデオデータから、作業者がロボットの頭部

表 1: 1対比較アンケート

番号	内容
o-1	ロボットの頭と人の顔が映っているモニタのうち、どちらを注目しましたか？
o-2	指示が分かりやすかったのは、どちらですか？

表 2: 1対比較アンケートの結果 (正面条件)

番号	ロボットの頭部	胸部モニタ	P < .05
o-1	3 / 6 人	3 / 6 人	
o-2	5 / 6 人	1 / 6 人	*

表 3: 1対比較アンケートの結果 (ななめ条件)

番号	ロボットの頭部	胸部モニタ	P < .05
o-1	5 / 6 人	1 / 6 人	*
o-2	6 / 6 人	0 / 6 人	*

または胸部モニタを視認した平均回数を求めた (図 7)。また、正面条件とななめ条件に対して、それぞれ t 検定を行ったが、有意差が認められなかった。

2.3.4 1対比較アンケートの評価

2つの提示方法を比較するため、正面条件とななめ条件の実験終了後、作業者にそれぞれ1対比較法によるアンケートを回答させた (表 1)。

[‡]: 箱ひげ図は、上のひげが最大値、下のひげが最小値、箱の中の線が中央値、箱の上の線が上側四分位数、箱の下の線が下側四分位数を表している。

また、2 択の質問に関して、作業者がロボットの頭部（胸部モニタ）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 検定を両側条件で行った。アンケート結果と検定結果を、表 2,3 に示す。

3. 考察

胸部モニタを正面から観察した場合とななめから観察した場合を比較すると、指示者の視線や表情を正しく伝えられず、作業者が正しく対象物を認識できない（作業間違いが増加する）ことは見られなかった。さらに、実験結果から、ロボットの頭部と胸部モニタで、作業間違いに有意差が認められなかった。しかし、今回は対面でのコミュニケーションに限定した。作業者がロボットの横に立った場合や複数の作業者を前にした場合は、胸部モニタを正面から観察することができず、ロボットの頭部の方が有意に作業を進められると予想できる。

3.1 頭部志向の再現性

液晶モニタを用いて、指示者の顔映像表示による頭部志向の再現を試みた。

実験結果から、対象物のある方向を予測するのに時間は掛かったものの、頭部志向の正確さに差は見られず、顔映像でも頭部志向を再現が可能なが分かった。

3.2 ロボットの頭部と胸部モニタの併用

作業者の視線を観察した結果、ロボットの頭部も胸部モニタも観察していることが分かった。しかし、アンケート結果からは、「（胸部モニタの）顔が見づらい」という回答が得られた。作業者に対して、ロボットの頭部と胸部モニタを併用しながら実験を行った。ロボットの頭部では指示者の表情を作業者に伝えられず、胸部モニタでは 3 次元的な頭部志向が表現できない。そのため、両方を併用した場合は、作業者が無意識のうちに両方の利点を捉え、作業時間は増加するものの作業間違いは減少すると予想される。実験の結果、他の動作条件（“ロボットの頭部のみ”及び“胸部モニタのみ”）に比べ、作業時間は有意に長くなったが、作業間違いが有意に減少しなかった。

ビデオデータを観察したところ、作業者は、頭部志向を確認するために胸部モニタを観察したのではなく、指示者とのコミュニケーションのために観察していた。よって、ロボットの頭部と胸部モニタを併用した場合、胸部モニタの頭部志向の表現としての役割は薄れてしまう可能性があることが分かった。

4. おわりに

本論文では、液晶モニタに顔映像を表示した場合についての頭部志向の再現性の検証を行い、今後の研究に対する示唆を得ることを目的とした。

実験では、人の頭部志向を再現するためのロボットの頭部と、顔映像を表示するための液晶モニタを 1 つのシ

ステムに備えた遠隔操作型のロボットを用いた。

実験結果から、液晶モニタにはぼ向き合った状態では、モニタに効果が発生しにくく、頭部志向を表現できる可能性があることが分かった。しかし、ロボットの頭部と顔映像を同時に提示した場合、顔映像による頭部志向の役割が薄れてしまう可能性があることも分かった。

今回の実験では、液晶モニタの視野角を考慮し、狭い範囲でのみの実験であった。ロボットをコミュニケーションメディアとして用いたシステムでは、作業者がロボットの横に並んでしまうことや複数の作業者を前にするも考えられる。そのため、実際の使用においては、指示者の顔が見づらいあるいは全く見えないことも考えられる。今後ロボットに顔表示を行わせる場合は、広視野角の液晶モニタを用いるか、Real World Video Avatar^[8]のように、どこからでも視認できるシステムの検討も必要である。

謝辞

本研究は、総務省「戦略的情報通信研究開発推進制度」（SCOPE）、独立行政法人情報通信研究機構（NICT）、及び沖電気工業株式会社の支援を受けている。

参考文献

- [1] マジヨリー・F・ヴァーガス：非言語コミュニケーション、新潮選書、1987.
- [2] 神田崇之、石黒浩、小野哲雄、今井倫太、中津良平：人間と相互作用する自立型ロボット Robovie の評価、日本ロボット学会誌、Vol.20, No.3, pp.315-323, 2002.
- [3] 小山真哉、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.
- [4] Goodwin, C.: Professional Vision, American Anthropologist 96, pp.606-633 (1994).
- [5] 多田隈理一郎、梶本裕之、川上直樹、館章：テレインテグレーションの研究（第 36 報）、TELESAR II スレーブアームの開発、計測自動制御学会第 4 回システムインテグレーション部門学術講演会（SI2003）、pp.592-593, 2003.
- [6] InTouch Technologies, Inc. RP-7
<http://www.intouch-health.com/>
- [7] AjaxStreaming
<http://as.nextfoods.jp/>
- [8] Tomohiro Tanikawa, Yasuhiro Suzuki, Koichi Hirota, Michitaka Hirose: Real World Video Avatar : Real-time and Real-size Transmission and Presentation of Human Figure, International Conference on Artificial Reality and Telexistence 2005 (ICAT2005)