

小型ロボットを利用した作業支援システムの研究

板原達也* 葛岡英明* 中村裕一** 尾関基行**

*筑波大学機能工学系

**京都大学学術情報メディアセンター

本研究の目的はコンピュータによる作業教示システムの補助として小型ロボットを用いることによって円滑な教示ができるシステムを構築することである。本論文ではそのシステム構築のために小型ロボットがどのように動作すれば効果的に作業を支援できるのかということ、実験に基づいて考察する。まず人が作業指示を行う際に共通して見られる行為を明らかにするため、ミニチュアの家具を使った実験を行った。次にその結果をもとに作業支援システムに利用する小型ロボットの効果的な動作のさせ方について考察し、実験を行った。

Study on a Task Support System which Used a Robot Assistance

Tatsuya Itahara* Hideaki Kuzuoka* Yuichi Nakamura** Motoyuki Ozeki**

*Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

** Kyoto University Academic Center for Computing and Media Studies

The purpose of this study is to develop an automatic instruction system that uses a small robot as an assistance. At first, based on the observation of human to human instruction, we devised what kind of bodily actions are effective to support task instruction. Then, we derived the effective actions for an assistive robot. Finally an experiment showed that such actions are effective in improving efficiency of an automatic instruction system.

1 はじめに

二者間の対話では、言葉によって伝えられるメッセージは全体の35%にすぎず、残りの65%は、話しぶり、動作、ジェスチャ、相手との間の取り方など、言葉以外の手段に伝えられるという[1]。こうした身体的な動作の中では、ある具体的な行為の前に見られる動作を観察することで、対話者の次の会話や行動を予測することができる。例えば、指示者が作業者に対して作業指示を行っている場合を考えてみよう。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、頭や視線をその対象物の方向に向ける。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。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[2]。

さて、料理番組や化学実験などの机の上で行う作業や説明(机上作業シーン)を題材として、自動的に対話型の教示映像をつくるシステムとして尾関らが開発した映像提示システムがある[3]。これは作業者の作業状態を認識し、その都度適切な指示を映像で提供するシステムである。

本研究ではこのようなシステムを用いた教示映像の補助として小型ロボットを用い、作業教示システムの性能を向上させることを目的とする。

本論文では、まず人が作業指示を行う際に共通して見られる行為を実験によって明らかにする。

次に、この実験で見られた行為を、ロボットに行わせても同様の効果を果たすことを実験により確認する。

2 人による作業指示

まず、人による作業指示において重要な動作を明らかにするために実験を行った。

2.1 実験の設定

本実験で用いた課題は、ミニチュアの家具の配置である。実験環境を図1に示す。指示者と作業者は机を挟んで対面してもらい、机の両脇にミニチュアの家具をランダムに配置した。指示者には図2のような数字の書かれた家具の配置の完成図を渡しておき、その番号の順番通りに作業者に指示を出して家具を配置してもらった。指示者は言葉や身振り手振りで配置を作業者に説明し、家具には触れないようにしてもらった。

2.2 観察的評価

本実験において以下のような指示者、作業者の動作が観察された。

動作 1：作業者は指示者の顔や体の向きから指示される対象物がどの方向にあるか予測する。

指示者が具体的な指示をする前であっても指示者がその対象物のある方向へ体向けたり、その対象物を見たりすると作業者もほぼ同時にそれと同じ方向を見て対象物を探す動作が観察された。一方、指示者が誤って指示する対象物と反対の方向を向いた時にも、作業者はまず対象物のない反対の方向を向いてしまう動作が観察された。指示者が反対の方向を向いていたため作業者は混乱してしまい、間違った対象物を手にとったりしてしまう場面も見られた。図3



図1：実験環境



図2：完成図

は作業者が間違った対象物を選択しようとした例である。指示者は奥側にある机を指示しようとしたが、指示を出したとき指示者の体や顔の向きが図の手前側を向いているため作業者はその付近から対象物を選択しようとした。

動作 2：指示者は、詳細な指示がなくても作業者が分かると予想した対象物に対しては、作業者がそれを配置するのを最後まで確認せず次の動作に移る。

学習机とその椅子、ピアノとその椅子、といったように関連度の高い対象物の組み合わせに関しては、既に学習机やピアノが配置されていればそのセットである椅子は細かく指示を出さなくてもどこに配置すべきかを簡単に予想ができ



図3：作業者の誤解の例

る。指示者はそのような対象物に指示を出すとき、詳しく配置する場所を説明することはなかった。また指示者は指示を出した後作業者の配置する動作を最後まで確認することなく、すぐに完成図を見て次の探すべき対象物確かめていた。逆に置くべき場所が自明でない対象物に関しては、指示者は一度配置の指示した後も作業者の動作を見続け何度も細かく修正の指示を与えていた。そして作業者の動作がほぼ終わる時まで次の対象物を完成図から探すことはなかった。

2.3 考察

本実験で人と人の共同作業を円滑に進めるために以下のことが重要であると考えられる。

- ・ 指示者は指示をする前から対象物を見る。
- ・ 対象物の種類、状況によって作業者に与える指示の量や対象物を見る度合いを調整する。

作業者は指示者が具体的な言葉で指示を出す前に、体や頭の向きで大まかに次に指示される対象物の位置を予測していると考えられる。作業者が作業を終える前に指示者が次の対象物のある方向を向くことによって円滑な共同作業ができていていると考えられる。

一方、今回の実験では、比較的自明な対象物に関しては指示が減るとともに、作業者が対象物を配置するのを慎重に確認しなくなり、指示者が次の対象物の指示に移るのも早くなった。作業者のこうした行動は単に作業者の手間を省いているのではなく、その対象物の配置場所が自明であることを暗に伝える役割を果たしていると考えられる。従って対象物とそれを配置する状況によって指示の多少、次の動作に移るまでの時間を変化させることが重要であると考えられる。

3 小型ロボットのシステム

前章で人同士の共同作業において重要だと思われる行為を明らかにした。本章では人とロボットの共同作業においてもそれらの行為が同様の効果を果たすことを確認するために構築した遠隔操作型の小型ロボットについて述べる。

最終的なシステムは、作業者の作業状態をコンピュータが認識し、その都度適切な作業指示を映像によって提供する。小型ロボットはその作業指示を補助する目的で設置され、やはりコンピュータによって自動的に制御される。しかし現段階では作業者の状態を完全に自動認識できておらず、小型ロボットがすべき動作も完全にモデル化されていない。そこで、作業者の行為の認識とロボットの操作の役割を人間が果たすことによってシステムを模擬する、Wizard of Oz手法を採用することとした。

指示者が違和感なく小型ロボットを操作するために直感的な操作が可能なシステムを構築した。

図4,5はそれぞれ小型ロボット側のシステムと指示者側のシステムを示したものである。小型ロボットには、ソニー社製のAIBO(ERS-7)を利用した。

小型ロボットの後ろには画角が60 [deg] のカメラを3台、画角が水平方向に連続するように設置した。この3眼カメラにより指示者には180 [deg] の視野角が提供される。これによって、指示者は広い視野角の映像を、左右に頭を

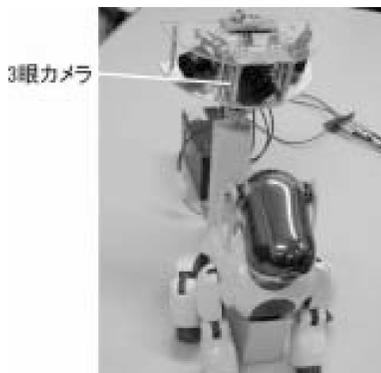


図4：小型ロボット側システム



図5：指示者側システム

振るだけで容易に確認することができる。

このときの指示者の頭の向きを検出するために Polhemus 社の磁気センサを用いた。これは磁気を用いて位置(x,y,z)と角度(Yaw,Pitch,Roll)を検出できるセンサである。このセンサ情報を利用して、小型ロボットの首の角度(Yaw,Pitch)が指示者の頭部の角度(Yaw,Pitch)に連動するようにした。指示者が頭を右に向ければ小型ロボットの頭も右に動き、指示者がうなずけば小型ロボットもうなずくといった具合である。

さらに、指示者の前にある3面ディスプレイをタッチパネルとし、指示者がディスプレイに触れ指差しをすれば、小型ロボットもその方向を指差すようにした。このようなシステムを用いることによって、作業者が指示対象物を探すときの自然な頭部の動きや指差しの自然な動作が小型ロボットの頭や腕の動作に反映されるようになった。

4 小型ロボットを用いた共同作業

本章では同士が円滑に共同作業をするための動作、行為が、指示者がロボットに代わっても同様の効果を果たすか調べるために行った予備的な実験について述べる。

4.1 実験の設定

本実験で用いた課題は、ブロックの組み立てである。図6のように置かれたブロックから被験者は完成図(図7)のようにブロックを組み立て

る。ブロックの組み立て方を説明するために、作業手順を示したビデオを作成した。作業者はこのビデオを見ながら作業をおこなう。ただしビデオの中のブロックの配置は図6の配置とは異なるため、ビデオの映像の中の指示者の動作から、次に使うべき対象物を予測することはできない。ビデオの停止、巻き戻し、再生は、リモコンを利用して作業者が自由におこなえるようにした。

被験者は2つのグループに分けた。片方のグループは作業手順を説明したビデオのみを見ながら作業を行ってもらった。作業手順を説明した教示映像は作業者の前方約1.5mの位置に配置した。もう片方のグループは作業手順を説明したビデオに加えて、前述のシステムで実験者が小型ロボットを遠隔操作しながら作業を行ってもらった。また今回の実験は被験者に小型ロボットを遠隔から操作していることは知らせなかった。(ただし、今回の予備実験の被験者は研究室内の学生もいたため、その被験者にとってはロボットが遠隔操作されていることは自明であった)。小型ロボットはディスプレイの斜め横に配置した。教示映像と小型ロボットを用いた実験環境を図8に示す。

実験者の指示の出し方(小型ロボットの動かし方)は以下のようにした。

ビデオの映像が次に使うべきブロックを示すのほぼ同時に、小型ロボットの頭部、腕を次の手にするべきブロックの方に向かせる。

作業者が間違ったブロックを取ったり、組み立てを誤った場合首を横に振り、正しいブロックを取ったり、組み立てが正しかった場合は首を縦に振る。

作業者が指示をよく理解できなくて小型ロボットの方を見るような動作が見られたらもう一度取るべきブロックを見たり、指さしをしない。なお組み立てに使うブロックは20個であり、被験者は1つのグループにつき4人、合計8人で行った。



図6:組み立て前のブロック



図7:完成図



図8:実験環境

4.2 実験結果

4.2.1 作業者の探索時間

作業者がブロックを探すのにかかった探索時間を2条件で比較する。ここでいう探索時間とは、作業者がブロックを探し始めるために視線を机に移動させた時刻から目的のブロックをつかむまでの時刻とした。計測不能だったブロックをのぞき、1グループ62個計124個のブロックを計測した。図9は2グループの平均探索時

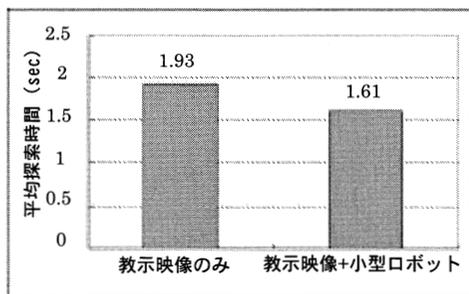


図9：平均探索時間の比較

間を示したものである。このグラフから教材映像+小型ロボットを用いた教法のほうが指示映像のみを用いた教法よりブロックの平均探索時間が短いことが分かる。この実験結果からt検定を行ったところ、2条件間で有意な差が確認された($p < 0.05$)。

4.2.2 観察的評価

実験時のビデオ映像で観察的評価を行った。まず、指示映像のみで指示を与えた場合、作業者はどこにブロックがあるか分からず左右に首を振り、ブロックを探すのに迷う動作が多く見られた。一方、小型ロボットを使った場合小型ロボットの頭部や指差しの向きからどの方向に指示されているブロックがあるかあらかじめ予測できるため、ブロックを探すのに迷う動作がほとんどなかった。

一方、指示映像のみで指示を与えた場合、作業者はブロックを間違えたり間違えそうになる動作が観察された。小型ロボットを使った指示ではこのような動作は観察されなかった。

4.3 考察

本実験の探索時間の比較から指示映像のみの教法より小型ロボットを併用した場合のほうが作業員に対して円滑に指示をできた。また観察的評価により、指示者が人からロボットに代わった場合においても、ロボットの顔の向きや手の動きをブロックの位置を探すための手がかりとして利用していることが分かった。このような結果から、作業員が小型ロボットを指示者の代理として見なして作業を行っていると考えられる。

しかしながら、小型ロボットが有効に機能していない場面も確認されたのも事実である。小型ロボットの動作のタイミングが遅くなると作業が遅れることがあった。今後はどのタイミングで指示を出すのが効果的か明らかにしていく必要がある。また小型ロボットの指差しはおおまかな方向しか示すことができないため、正確にブロックを指示することはできなかった。これについてはレーザーポインタやスポットライトを用いることによって正確に指示を与えることができるようにすると、より効果が高くなると思われる。

4 おわりに

本論文では自立型ロボットでの作業支援を実現するために、まず人による作業指示で重要と思われる行為を実験で明らかにした。そして指示者がロボットに代わっても、それらの行為が同様の効果をもたらすことを調べるために遠隔操作型の小型ロボットのシステムを構築し、予備的な実験を行った。その結果、小型ロボットを使って指示をすると指示映像だけで指示するよりも作業員が目的のブロックを探す時間が短くなり、ブロックを探す時に迷うことが少なくなることがわかった。今後はこれらの実験をもとに指示映像の補助として効果的に作業支援する自律ロボットシステムを構築し、その有用性を実験によって明らかにしていく必要がある。

参考文献

- [1] マジョリー・F・ヴァーガス:”非言語コミュニケーション”, 新潮選書, 1987
- [2] Goodwin, C.: Professional vision. *American Anthropologist* 96, pp.606
- [3] 尾関基行, 中村裕一, 大田友一: 机上作業シーン映像の自動撮影・編集手法に関する研究, 2004