

推薦論文

対話型作業支援システムにおけるロボットの補助効果に関する研究

板原 達也^{†1}, 葛岡 英明^{†2} 山下 淳^{†2}
山崎 敬一^{†3} 中村 裕一^{†4} 尾関 基行^{†4}

あらかじめ撮影された作業教示映像にインデキシングし、後に作業者の作業支援のために再利用しようとする研究がさかんにになっている。これらの研究の中には、作業者の状態をリアルタイムに認識し、適宜適切な映像を提示しようとする研究がある。本研究の目的は、そうしたシステムにおいて、作業者が実空間の中から作業対象物を探し出すことを、補助的に設置された小型ロボットによって支援することである。まず、人同士の作業指示から作業を円滑に支援するための動作について考察した結果、予期を支援する予備的な動作が重要であることが確認できた。そこで、教示映像の補助として、小型ロボットにそれらの動作を行わせることによって、作業指示が円滑になるかどうかを確認するための実験を行った。実験の結果、教示映像と併用して小型ロボットを利用することで作業の間違いが減り、指示対象物を探す時間が短くなることが分かった。

Study on Effect of a Robot Assistance for Interactive Media

TATSUYA ITAHARA,^{†1} HIDEAKI KUZUOKA,^{†2} JUN YAMASHITA,^{†2}
KEIICHI YAMAZAKI,^{†3} YUICHI NAKAMURA^{†4} and MOTOYUKI OZEKI^{†4}

There are some research that indexes a desktop manipulation videos and reuse it for automatic task instruction system. The purpose of this study is to use a small robot as an assistant and to support a user in finding required objects from the real world. At first, based on the observation of human to human instruction, we devised that preliminary actions that enables prefiguration is important to support task instruction. Then, we have conducted the experiment to examine if the similar actions displayed by a small robot is effective in supporting automatic task instruction. The result showed that such actions have effects in decreasing task error and improving task efficiency.

1. はじめに

計算機の性能とネットワーク環境の発達にともない、映像を手軽に撮影、蓄積できるようになった。これにともない、料理、園芸、工作、理科実験などの、再利用価値が高い机上作業教示映像に対して、その各部分

の内容に対応した様々な意味情報を自動的に付加する(インデキシング)研究がさかんにになっている^{11),13)}。さらに、作業者の作業状態をコンピュータによってつねに認識し、インデキシングされた映像の中からそのつど適切な場面を再生することによって、作業を支援しようとする研究も進められている⁶⁾。

このような、机上作業教示システム(以後、「作業教示システム」)を見ながら作業を進める作業者は、映像の中で示される様々な道具や材料を自分の周囲の空間から探し出す必要がある。仮に似かよった対象物が複数存在する場合には、正しい対象物を探すのに時間がかかったり、誤った対象物を選択してしまったりすることもありうる。指示者と作業者が対面して教示をする場合には、指示者は対象物を指さしによって容易

†1 筑波大学理工学研究科

Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba

†2 筑波大学システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

†3 埼玉大学教養学部

Faculty of Liberal Arts, Saitama University

†4 京都大学学術メディアセンター

Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

現在、トヨタ自動車株式会社

Presently with Toyota Motor Corporation

本論文の内容は2005年11月のグループウェアとネットワークサービスワークショップ2005にて報告され、GN研究会主催により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

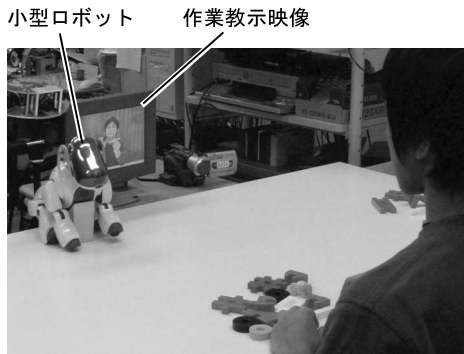


図 1 システム外観
Fig. 1 System overview.

に示すことができる．ところが，作業教示システムでは，提示される教示映像は過去に撮影された映像であるために，作業者の目の前の対象物に対して，その映像が指さしをすることはできない．もし何らかの方法によって，システムが実際の机の上の対象物の場所を示すことができれば，より作業がしやすくなると考えられる．

一方，コミュニケーションにおけるノンバーバルな表現の重要性は古くから指摘されてきた¹⁴⁾，特に社会学においては，身体的な志向 (orientation) と予期 (projection) の関係が議論されてきた¹²⁾．すなわち，ある具体的な行為の前に見られる予備的な動作を観察することで，対話者の行動を予測することができるのである．たとえば，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，まずそちらの方向に視線を向ける．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期することができる．こうした予期がコミュニケーションを円滑にし，作業を効率的にする要因になっていると考えられる^{5),9)}．

そこで本論文では，上述した教示映像生成システムの補助として，次の対象物の位置を予期させるような動作を小型ロボットに行わせることによって，より対象物を発見しやすい作業支援システムを構築することを目指す (図 1)．ここでロボットを利用する理由は，3 次元的な方向を明確に示すことができるからである．ロボット以外にも補助ディスプレイや画面に，指さしをする CG エージェントを表示する方法も考えられるが，本研究では研究の初期段階として，最も効果的に 3 次元的な方向を表現できるデバイスであるロボットを利用することとした．また，ロボットで指さしをするのではなく，対象物に直接ライトやレーザを照射する方法も考えられるが⁸⁾，光が急に対象物に照

射されても，その光を発見しにくい場合があることが想像される．将来的には，ロボットと光による指示を組み合わせることも考えられるが，本論文ではまず，ロボットの動作のみによる効果を確認することにした．

次章においてまず関連研究について述べた後，人の作業指示における予備的な動作を確認するための予備実験について説明する．次に，その知見を活かしたシステムを紹介する．最後に，実験の結果に基づいて，提案システムの有効性について議論する．

2. 関連研究

福田らはユーザのキッチンにおける現在の行動を検出することによって，ユーザの次の行動を予測し，ロボットにその行動を支援させるシステムの開発を行っている¹⁾．このシステムでは，ユーザが次にすべきことや必要となる物の場所を，ロボットの音声とジェスチャにより示すことができる．しかし，この研究では，対象物の探索におけるロボットのジェスチャの効果は詳細に検討されていない．

CSCW の分野では，遠隔作業教示に関する研究が行われている．たとえば Fussell らや Kuzuoka らは，遠隔地にいる熟練教示者が，作業者の状況を確認しながらリアルタイムで指示をするシステムの場合に，コミュニケーションに利用できるモダリティを変えることによって，作業時間や言語数にどのような影響があるかということを分析している^{2),7)}．しかしこれらの研究では，共有するビデオ映像に対して画面上でポインティングしており，ロボットのような実体によるポインティングではない．またこれらの研究では，人間である指示者自身が発話しながらポインティングをするため，発話とポインティングが高度に連携している．たとえば，「これを取ってください」という発話と同時にポインティングが行われ，作業者が間違えそうになれば，すぐに「それではなくて，これ」といった修正が行われる．これに対して，本研究が対象とする作業教示システムでは，あくまでもあらかじめ撮影された教示映像とタイミングを合わせてロボットがポインティングするのみであるため，その連携は限定的である．そのような映像とロボットとの弱い連携においても，ロボットの予備的な志向表現が有効に機能するかどうかは自明ではない．

身体性を持つロボットと人とのコミュニケーションについては，多くの研究が行われている^{4),10),15)}．特に小野らは，道案内をするロボットと人間との同調的な行動を詳細に分析した結果，ロボットが人と同じ方向を向くこと，手振りを使うこと，そして，視線を人

に向けることなどの要因によって、人はロボットに同調した動作を行うこと、ロボットに対する主観的評価が高くなること、目的地への到達時間が短くなることを示した¹⁰⁾。作業指示にロボットを利用する研究もいくつか行われている。葛岡らは、ロボットを遠隔コミュニケーションメディアとして利用した研究において、頭部の予備的な動作をロボットに再現させることによって、コミュニケーションにおける予期を支援できることを示した⁹⁾。

小野らの研究と葛岡らの研究は、いずれもロボットの身体表現が人とのコミュニケーションに対して有効であることを示している。しかし、いずれの研究もロボットがコミュニケーションの主体となっているため、対話者は必然的にロボットの動作に注目すると考えられる。これに対して、本研究のようにディスプレイに作業指示映像が表示されている場合に、その補助として設置されているロボットの身体動作が作業員から注目され、有効に利用されるかどうかは自明ではない。

3. 人による作業指示の方法

小型ロボットを利用して予期の支援を行うためには、まず人同士の作業指示において指示者のどのような動作が、予期を可能にしているのかを明らかにする必要がある。特に、本研究が支援対象とする机上作業において、人同士の作業指示に共通して見られる動作、重要な動作を確認するためにミニチュアの家具の配置実験を行った。

3.1 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2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3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、その番号の順番どおりに作業員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を利用して家具の配置を作業員に説明した。ただし指示者は家具には触れないようにしてもらった。本実験では、被験者は5組10名で、ほとんどの組が4分程度で作業を終えることができた。

3.2 観察結果

本実験の様子をビデオに撮影し、これを観察した結果、作業員は指示者の身体や頭の向きから指示される対象物がどの方向にあるか予測していることが分かった。すなわち、指示者が言葉や指さして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身体を向けたり、その対象物を見たりすると、作業

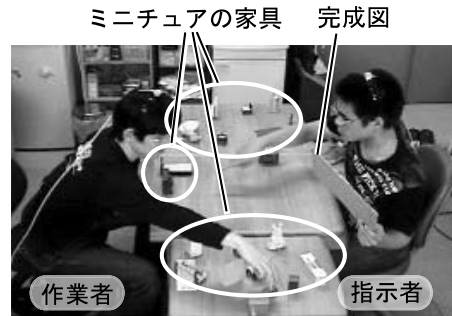


図2 実験環境

Fig. 2 Experimental environment.



図3 完成写真

Fig. 3 Photo of completed alignment.

者もそれと同じ方向を見るのである。

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ときにも、作業員はまず対象物のない反対の方向を向いてしまっていた。指示者が反対の方向を向いていたため作業員は混乱してしまい、間違った対象物を手に取ったりしてしまう場面も見られた。このことから、指示者の身体や頭の向きは、作業員が指示者の指示を誤解してしまうほどの情報を与えることができる。

3.3 考察

作業員の身体や頭の向きが作業員に与える影響は大きい。作業員は指示者が具体的な言葉で指示を出す前に、身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。作業員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ると考えられる。

4. 小型ロボットの遠隔操作システム

前章では、人同士の共同作業において重要だと思われる動作を明らかにした。本章では、指示映像の補助として設置された小型ロボットが同様の動作をした場合でも、それらが同様の効果をもたらすかどうかを確認

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。

1章で述べたように、本研究では、ロボットを補助とした対話型作業支援システムを構築することを目的としているが、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コンピュータが自動的に生成できるような形式で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 法 (WOZ 法) を採用することとした³⁾。WOZ 法とは、システムが実装される前に、ある機能が本当に有効であるかどうかを確認することを目的として使われる手法である。被験者にはその機能が実装されていると仮定してもらったり信じさせたりして、実験を行う。設計段階で有効なフィードバックを得ることができるため、システム開発を効果的に進められるという利点がある。そこで本研究においては、システムが作業者の状態を自動認識し、ロボットも自動的に制御されていると信じさせ、実際には実験者が遠隔操作することとした。

また、人間の作業を認識しながら適切な映像を提示することのできる教示システムはまだ開発されていないため、あらかじめ撮影された作業教示映像を単純に再生するのみとした。今回選択した作業は、本来支援対象となる料理、理科実験、工作などの作業と比較すると非常に単純であるうえに、インタラクティブな作業教示システムと比較すると、システムの動作ははるかに単調である。しかし本研究の目的は、教示映像の補助として存在するロボットが示す志向動作が、実対象物発見の支援となりうるかどうかを確認することである。したがって、この点に関して、将来開発される高度な作業教示システムに共通した知見が得られると考えた。

システム構成を図 4 に示す。また図 5 は指示者側のシステムと小型ロボット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 3 眼カメラを配置した。この 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た。3 眼カメラは、各々が 60 [deg] の画角を持つ 3 台のカメラが、映像が水平方向に連続するように設置された。したがって、この 3 眼カメラによって、水平方向 180 [deg] の映像が指示者に提供されることになった。

これにより、指示者が遠隔地の様子を見回すときには、3 台のディスプレイに対して首を左右に振ることになった。このときの指示者の頭の向きを検出す

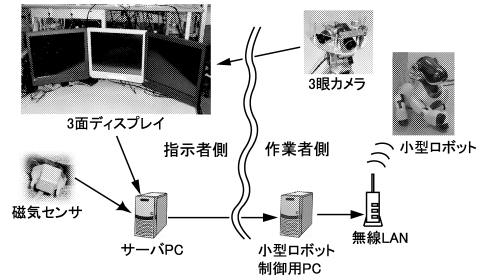


図 4 システム構成
Fig. 4 System configuration.



図 5 指示者側システム (左) と小型ロボット側システム (右)
Fig. 5 Systems of an instructor's site (left) and a small robot's site (right).

るために磁気センサを用いて、位置 (x, y, z) と角度 (Yaw, Pitch, Roll) を検出した。

指示者の前にある 3 面ディスプレイはタッチパネルとし、ディスプレイに対する指さしを検出できるようにした。このタッチパネルの情報と先述の磁気センサの情報は、サーバ PC に送られた。小型ロボット制御用 PC はこのサーバ PC にアクセスすることで、磁気センサとタッチパネルの情報を獲得し、無線 LAN を介して、小型ロボットの首と腕が指示者の頭と腕の動作に連動して動くように制御した。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 3 面ディスプレイに触れて指さしをすれば、小型ロボットもその方向を指さす、といった具合である。この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志向や指さしの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。

5. 小型ロボットを用いた予期支援実験

本章では、ロボットの志向表現の有効性を確認するための実験について述べる。本実験では主に 3.2 節で述べた、指示者の顔や体の向きによる予備的動作が、自動化されたロボットによって提示されても有効であるかどうかを調べる。



図 6 課題 A の組み立て前
Fig.6 Before assembling task A blocks.

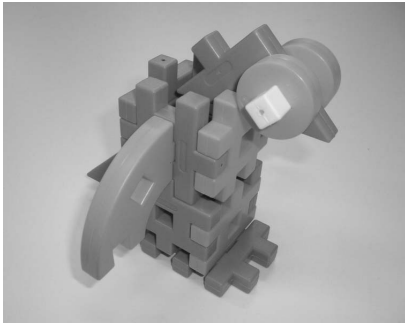


図 7 課題 A の完成図
Fig.7 Photo of assembled blocks of task A.

5.1 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。課題は課題 A と課題 B の 2 種類用意した。実験条件は以下の 2 通り設定した。

- (1) あらかじめ作成しておいた作業教示映像のみを見ながらブロックを組み立てる。
- (2) 作業教示映像に加え、4 章で述べたシステムを利用して、実験者が小型ロボットを操作して指示を与えながらブロックを組み立てさせる。

作業教示映像は実験者が作成した。なお、両条件ともブロックの組み立て方が分からなくなった場合や組み立てを間違えたことに気付いた場合は、リモコンを使って自由に教示映像を一時停止や巻き戻しをしてもらった。

教示映像は作業者の前方約 1.5 m の位置に配置し、小型ロボットは教示映像を映したディスプレイの斜め前に配置した。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。被験者は、自動制御されたシステムを相手にしていると思いながら作業を行うため、実際のシステムの運用状態に近い状況でのデータが得られると期待できる (WOZ 手法)。

小型ロボットの動かし方は以下のようにした。

- 教示映像においてブロックが指示される前に、小型ロボットの頭部を次に指示されるブロックの方

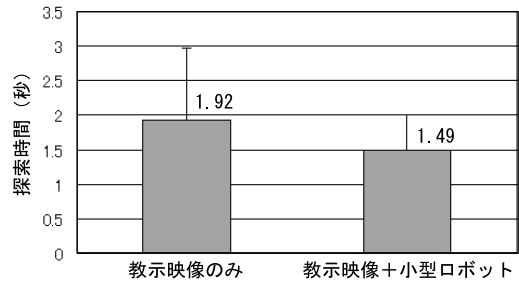


図 8 平均探索時間の比較
Fig.8 Comparison of average search time.

に向け、教示映像で指示された直後に、腕を次に手にするべきブロックのほうに向かせる。

- 作業者が間違えたブロックを取ったり、組み立てを誤った場合は首を横に振り、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。

このような実験の設定で、2 条件間で作業効率の比較を行うことにした。

実験では男女の大学生 20 名を被験者として採用した。被験者内配置法により、2 条件を同一の被験者で行い、課題の順序および条件の順序を変えることで持ち越し効果、順序効果、課題自体が持つ難易度の違いの相殺を意図した。

5.2 実験結果

5.2.1 探索時間

作業者がブロックを探すのにかった平均探索時間を 2 条件で比較した。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。作業を円滑に進めるためには探索時間が少ない方が望ましい。計測不能だったブロックを除いた、のべ 601 個のブロックの探索時間を計測し、各々の条件でブロック 1 個あたりの平均探索時間を算出した。計測不能だったブロックとは、作業者が明らかに指示されているブロックに気が付いているのに手に取らず、後でまとめて取った場合や、視線を机の上に移動させずに手の感触をたよりにブロックを取った場合、あるいは間違えたブロックをつかんだ場合などである。

図 8 は 2 条件間の平均探索時間を示したものである。このグラフから教材映像と小型ロボットを併用した教示法のほうが教示映像のみを用いた教示法よりブロックの平均探索時間が短いことが分かった。また t 検定

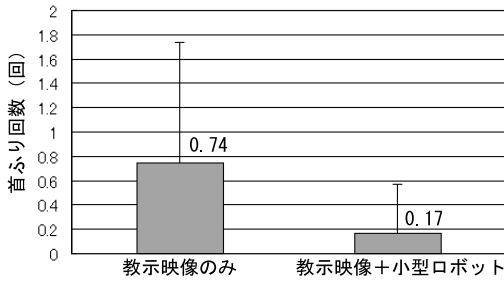


図 9 平均首振り回数の比較

Fig. 9 Comparison of average number of head rotation.

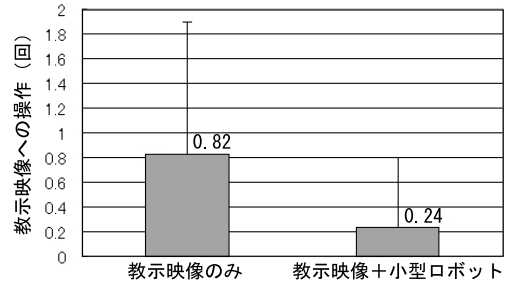


図 10 教示映像への操作の比較

Fig. 10 Comparison of average number of video operation.

の結果, 2 条件間で有意な差が確認された ($p < .01$)

5.2.2 首振り回数

作業者は, 指示されたブロックを探すときにそのブロックのある方向に迷わずに向くことが望ましい. そこで, 作業者が迷わずに指示されたブロックのある方向に頭を向けることができたかどうかを調べるため, 以下の作業者の行動を計測した.

- 作業者が指示されたブロックを探すために正面 → 右, 正面 → 左, 右 → 正面, 右 → 左, 左 → 正面, 左 → 右へ頭を向けた.

1 個のブロックをつかむまで, この行動が起きた回数を首振り回数とした. 作業者が最初から頭の向きを変えずに指示されたブロックをつかんだ場合は 0 回である. これも 601 個のブロックについて計測し, 各々の条件でブロック 1 個あたりの平均首振り回数を算出した.

図 9 は 2 条件それぞれの平均首振り回数を示したものである. このグラフから教示映像と小型ロボットを併用した教示法のほうが教示映像のみを用いた教示法より平均首振り回数が少ないことが分かる. この実験結果に対して 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 ($p < .01$).

5.2.3 教示映像の操作

作業者が教示映像を操作 (止める, 巻き戻す) した回数を条件間で比較した. 作業が分からなくなった場合や, 遅れた場合にこれらの操作を行うので, 回数が少ないほど作業が円滑に進んだことになる. 各課題ごとにこれらの操作が行われた回数を計測し平均を求めることで条件間の比較を行った. ただし教示映像の同一箇所ではこれらの操作が複数回行われた場合は 1 回としてカウントした. これは教示映像を巻き戻しをしたが作業者が意図した場面まで巻き戻らず, 再び巻き戻した場合や, 巻き戻して教示映像を見たが確認のためもう一度巻き戻しをした場合などは, 教示映像への操作を 1 回としてカウントしたということである.

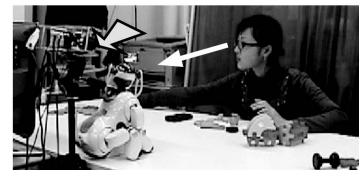
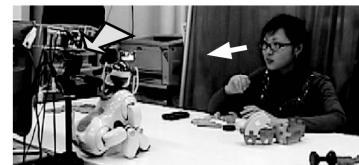


図 11 ブロックの探索

Fig. 11 Search for a block.

図 10 は 2 条件間の教示映像を操作した平均回数を示したものである. このグラフから教示映像と小型ロボットを併用した教示法のほうが教示映像のみを用いた教示法よりも教示映像への操作が少ないことが分かる. この実験結果に対して t 検定を行ったところ, 2 条件間で有意な傾向が確認された ($p < .1$).

5.2.4 観察的評価

教示映像と小型ロボットを併用した教示法でブロックの組み立てを行ったときの特徴的な動作について考察する. 図 11 は作業者がロボットの指示に従って作業をしたときの一連の動作である. 5.1 節で述べたように, 小型ロボットが頭をブロックの方向へ向けるのは教示映像でブロックが指示される前であった. 多くの作業者が実際にブロックを探し始めるのは教示映像

でブロックが明確に示されてからであったが、その直後に開始されるロボットの指さし動作よりも前、あるいは腕が徐々に上がっている間に、対象物の方向に頭を向けて、探し始めることが多かった。また、その際にはブロックのある方向を間違えることはほとんどなかった。さらに作業者は小型ロボットを注視していないにもかかわらず小型ロボットが向いている方向からブロックを探し始めていた。これは小型ロボットの3次元的身体性や動きをアウェアネス（存在感、実在感）として作業者が感じたためと考えられる。

5.3 考 察

2条件のブロックの平均探索時間、平均首振り回数、教示映像への操作の回数から、小型ロボットを教示映像の補助として用いることによって作業指示を円滑にできることが分かった。

これまで遠隔地から指示者がロボットを操作して作業員に対して作業指示を行う研究は行われており、その有用性は示されてきた⁵⁾。本実験では実際のシステムの運用状態に近い状況でのデータを得るためにWOZ法を用いて、作業員に対して小型ロボットは自動で動いていると説明した。実験の結果このような自動化されたロボットの動きであっても作業員は小型ロボットの頭の動きや指さしを信頼すると考えられる。

観察の評価で述べたように、小型ロボットが頭を動かしたときや作業員がブロックを探し始めるとき、必ずしも作業員は小型ロボットの方向に明らかに視線を向けて見るわけではない。それにもかかわらず、小型ロボットの身体性や動きは作業員の作業を支援しており、教示映像の補助として設置されたロボットが、アウェアネス情報として機能し、十分に効果を発揮していることが分かった。さらに、作業員はロボットの指さし動作よりも早く対象物を探し始めることが多いことも確認できた。このことから小型ロボットを利用して予期の支援を行うことによって作業員の作業を邪魔せずに情報を提示できると考えられる。

6. おわりに

本研究では机上作業を支援する教示映像生成システムの補助として設置されたロボットの、対象物探索に対する有効性を確認することを目的とした。特に、頭の向きによる予期の支援に注目し、実験を通して小型ロボットによるこうした動作が対象物の発見に対して有効であることを確認した。

今回の実験ではWOZ法を利用したために、小型ロボットが間違いをおかすことはほとんどなかった。しかし実運用においてはシステムは必ず対象物を認識し

間違えたり、認識できなかつたりすることがあると考えられる。間違いが多い場合には、ロボットに対する信頼が低下し、その効果も低下することが予想される。この点について今後の実験が必要である。

次に、予備的な動作以外の様々な動作の有効性について調べる必要がある。たとえば、自明な作業指示の場合、指示者は作業員の作業を最後まで確認せず、すぐに次の作業指示に移行するということが知られている。これは、その作業が自明で簡単なものであるということを作業者に対して暗に示す効果があるからである。事実、筆者らが実施した人による作業指示実験においても同様の動作が観察された。

また、小型ロボット以外のモダリティについても研究を行う必要がある。たとえばCGのエージェントに視線を表示させる方法、コンピュータ制御のムービングスポットライトで、対象物を直接照射してしまう方法などが考えられる。

そうして、こうした研究結果に基づいて、作業員が少ないミスで、早く作業を完了することを支援できるインタラクティブ作業教示システムの開発を目指す。

謝辞 本研究は日本学術振興会科学研究補助金基盤(B)(16300023)、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度「実空間における人物像の記録・伝送・再生に関する研究開発」、沖電気工業株式会社の研究助成により実施された。

参 考 文 献

- 1) 福田 司, 中内 靖, 野口勝則, 松原 隆: ユビキタスセンサによる調理支援ロボットに関する研究, 計測自動制御学会第5回システムインテグレーション部門講演会, pp.529-530 (2004).
- 2) Fussell, S., Setlock, L. and Kraut, R.: Effects of Head-Mounted and Scene-Oriented Video Systems on Remote Collaboration on Physical Tasks, *Proc. CHI 2003*, pp.513-520 (2003).
- 3) Hudson, S.E., Fogarty, J., Atkeson, C.G., Avrahami, D., Forlizzi, J., Kiesler, S., Lee, J.C. and Yang, J.: Predicting Human Interruptibility with Sensors: A Wizard of Oz Feasibility Study, *Proc. CHI 2003*, pp.257-264 (2003).
- 4) 小嶋秀樹, 高田 明: 社会的相互行為への発達のアプローチ—社会の中で発達するロボットの可能性, *人工知能学会誌*, Vol.16, No.6, pp.812-818 (2001).
- 5) 上坂純一, 葛岡英明, 小山慎哉, 山崎敬一: 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, *情報処理学会論文誌*, Vol.45, No.1, pp.168-177 (2004).
- 6) 小阪拓也, 中村裕一, 大田友一, 亀田能成: さり

げなく作業支援を行う映像メディア, 情報科学技術フォーラム (FIT2004) 予稿集, pp.I-007, 15-16 (2004).

- 7) Kuzuoka, H.: Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration Capability, *Proc. CHI '92*, pp.533-540 (1992).
- 8) 葛岡英明, 石母田玄: 空間型協同作業における位置表現の支援, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.6, pp.1379-1386 (1995).
- 9) 葛岡英明, 山崎敬一, 上坂純一: ロボットを介した遠隔コミュニケーションシステムにおけるエコロジーの二重性の解決: 頭部連動と遠隔ポイントの評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.187-196 (2005).
- 10) 小野哲雄, 今井倫太, 石黒 浩, 中津良平: 身体表現を用いた人と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).
- 11) 尾関基行, 中村裕一, 大田友一: 注目喚起行動に基づいた机上作業映像の編集, 信学論 D-II, Vol.88, No.5, pp.844-853 (2005).
- 12) Schegloff, E.: Body Torque, *Social Research*, Vol.65, No.5, pp.535-596 (1998).
- 13) 柴田知秀, 黒橋禎夫: 料理教示発話の理解と作業構造の自動抽出, 情報処理学会自然言語処理研究会, Vol.2004-NL-164, pp.117-122 (2004).
- 14) Vargas, M.F.: *LOUDER THAN WORDS—An Introduction to Nonverbal Communication*, Iowa State University Press (1987). 石丸 正 (訳): 非言語コミュニケーション, 新潮社 (1988).
- 15) 渡辺富夫, 大久保雅史, 小川浩基: 発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム, 日本機械学会論文集, Vol.66, No.648, pp.251-258 (2000).

(平成 18 年 4 月 25 日受付)

(平成 18 年 11 月 2 日採録)

推薦文

本論文は小型ロボットを教示映像の補助に使う机上作業教示システムに関する研究である。具体的にはブロックを組み立てる際に、単に教示ビデオを見るだけより、遠隔操縦され、必要なブロックの方向を見たり、ブロックが間違っているかどうかを示す小型ロボットを加えた方が、平均探索時間が短いことを明らかにし、ロボットの効果を明らかにした。ユニークで有用性に富んだ論文である。

(グループウェアとネットワークサービス研究会主査
宗森 純)



板原 達也

2006 年筑波大学大学院修士課程理工学研究科理工学専攻修了。修士(工学)。同年トヨタ自動車株式会社に入社。現在、ドライブトレーン分野の生産技術の開発に従事。



葛岡 英明 (正会員)

1992 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。現在、筑波大学大学院システム情報工学研究科教授。CSCW, 人工現実感, ヒューマンインタフェースの研究に従事。共著に『ヒューマンコンピュータインタラクション』(オーム社)等。日本バーチャルリアリティ学会, ACM 各会員。



山下 淳 (正会員)

2002 年筑波大学大学院博士課程工学研究科単位取得退学。同年東京大学先端科学技術研究センター特任助手を経て、2005 年より筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。博士(工学)。テレビ会議システムの開発と評価, 五感インタフェースを備えた博物館ガイドシステム等, コミュニケーションを支援する技術の研究に従事。



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。博士(文学), 社会学, エスノメソドロジー, 会話分析, CSCW の研究に従事。著書に『美貌の陥穽』(ハーベスト社), 共編著『実践エスノメソドロジー入門』(有斐閣)等。



中村 裕一（正会員）

1990年京都大学大学院博士課程修了。同年京都大学工学部助手。1993年筑波大学電子・情報工学系講師。1999年機能工学系助教授，2004年京都大学学術情報メディアセンター教授。現在に至る。博士（工学）。画像理解，映像処理，インタラクティブメディア等の研究に従事。2000年より国立情報学研究所客員助教授，現在客員教授。人工知能学会，ACM，IEEE 各会員。



尾関 基行

2005年筑波大学大学院博士課程修了，同年京都大学学術情報メディアセンター特任助手，2006年同助手。現在に至る。博士（工学）。映像メディア処理，コミュニケーションメディアの研究に従事。電子情報通信学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員。