

# ロボットを介した人間-コンピュータインタラクションの研究

## Study on Robot Mediated Human-Computer Interaction

○鈴木祐也（筑波大） 板原達也（筑波大学） 葛岡英明（筑波大）

Yuya Suzuki, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki  
Tatsuya Itahara, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki  
Hideaki Kuzuoka, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki

There are some researches that index 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 support a user in finding required objects from the real world. Based on the survey of the previous studies, we derived the effective actions to for an assistive robot to support projectability in communication. Finally, an experiment showed that such actions are effective in improving efficiency of an automatic instruction system.

*Key Words*: Automatic Task Instruction System, CSCW, Robot

### 1. はじめに

コンピュータを利用した映像の加工が容易になるのにもない、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付加する（インデキシング）研究が盛んになっている<sup>9) 10)</sup>。さらに、作業者の作業状態をコンピュータによって認識し、インデキシングされた映像の中から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。

このような、机上作業教示システム（以後、「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。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に示すことができる。ところが、あらかじめ撮影された映像を利用する作業教示システムでは、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期待できる。

small robot instruction video

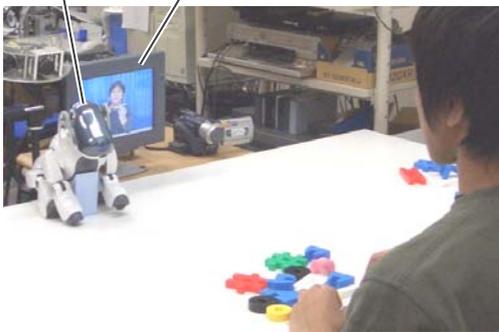


Fig. 1 System overview.

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。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<sup>10)</sup>。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。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、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<sup>4)7)</sup>。

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。

次節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期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、次の行動を予測し、ロボットによってその行動を支援させるシステムの開発を行っている<sup>1)</sup>。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おこなわれている<sup>2) 5)</sup>。しかしこれらの研究では、ロボットのような実体によるポインティングは扱っていない。また、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。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、あくまでも予め撮影された教示映像に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<sup>3) 8) 12)</sup>。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<sup>4)7)</sup>。

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教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. 小型ロボットの遠隔操作システム

「はじめに」で述べたように、指示者が指示対象物の方向に顔を向ける動作は、作業者が次の指示対象物の位置を予期する重要な資源となっている。本節では、教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果た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。

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手法(WOZ法)を採用することとした。WOZ法では、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、実験をおこなう。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上に、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得るかどうかを確認することである。従って、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。



Fig. 2 System configuration of an instructor's site (left) and a robot's site (right)

図2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眼カメラが配置されている。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る。この3眼カメラによって、水平方向180[deg]、垂直方向60[deg]が指示者に提供されることになる。

指示者が遠隔地の様子を見回すときには、3面のディスプレイに対して首を左右に振ることになる。このときの指示者の頭の向きを検出するために磁気センサを用いた。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た。磁気センサの情報とこのタッチパネルの情報は、サーバPCに送られる。他のPCはネットワークを通じこのサーバPCにアクセスすることでこれらの情報を得ることができる。指示者の頭の動きと指差しが小型ロボットに反映されるように、無線を介して小型ロボット制御用PCで制御を行う。サーバPCから取得した指示者の頭部とタッチパネルのデータから、小型ロボットの首と腕が、指示者の頭部と指差し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3面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具合である。このシステムによって、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差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。

### 4. 小型ロボットを用いた予期支援実験

#### 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3-左のように置かれたブロックから被験者は完成(図3-右)のようにブロックを組み立てる。課題は課題Aと課題Bの二種類用意した。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手順を説明した教示映像のみを見ながらブロックを組み立てる
2. 作業手順を説明した教示映像に加え、4節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。

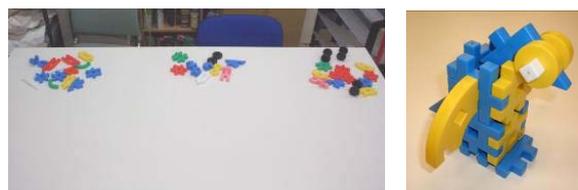


Fig. 3 Task space (left) and an assembled block (right).

作業手順を説明した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ったことに気付いた場合、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1.5m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。こうすることによって被験者は、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に向け、教示映像で指示された直後に腕を次の手にするべきブロックのほうに向かせる。

- 作業者が間違っただ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、指さしをしなおしたりする。

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、課題の順序及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。

## 4.2. 実験結果

### 4.2.1. 探索時間

作業者がブロックを探すのにか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個当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ついていないのに手に取らず、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、あるいは間違っただブロックをつかんだ場合などである。

図4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る。t検定の結果、2条件間で有意な差が確認された( $p < .01$ )。

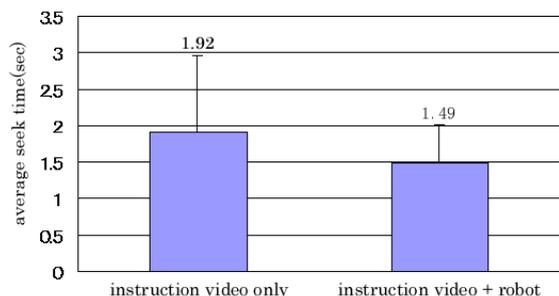


Fig. 4 Comparison of average search time.

### 4.2.2. 首振り回数

作業者は、指示されたブロックを探す時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、作業者が指示されたブロックを探すために、左右に首を振った数を数えた。

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個当たりの平均首振り回数を算出した。

図5は2条件の平均首振り回数を比較したものである。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( $p < .01$ )。

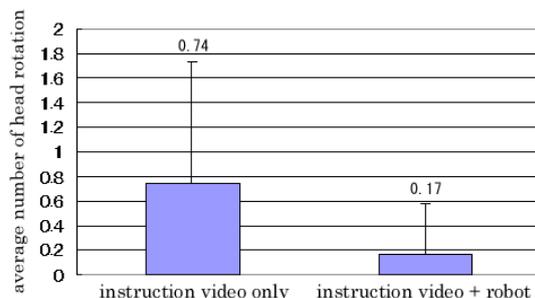


Fig. 5 Comparison of average number of head rotation.

### 4.2.3. 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の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、また巻き戻した場合や、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6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。t検定の結果、2条件間で有意な傾向が確認された( $p < .1$ )。

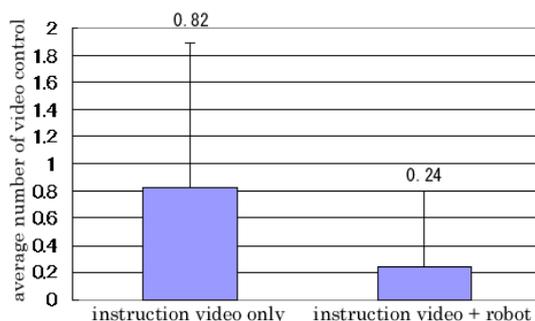


Fig. 6 Comparison of average number of video control.

### 4.2.4. 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時の特徴的な動作について考察する。図7は作業者がロボットの指示に従い、作業者が作業をした時の一連の動作である。前述したように、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、対象物がある方に頭を向けて、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無かった。さらに作業者は小型ロボットを注視していないにも関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次元的な身体性や動きがアウェアネス(存在感、実在感)として作業者が感じたためと考えられる。



Fig. 7 An operator's head movement.

#### 4.3. 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。

これまでも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<sup>4)</sup>。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 Wizard of Oz 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。

観察的評価で述べたように小型ロボットが頭を動かした時や作業員がブロックを探し始める時、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。

## 5. 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。そうして、頭の向きによる予期の支援に注目し、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。今後は、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。

## 6. 謝辞

本研究は総務省、戦略的情報通信研究開発推進制度「視覚情報に基づく人間とロボットの対面およびネットワークコミュニケーション」、日本学術振興会2004年科学研究費補助金基盤(B)(課題番号16300261)、沖電気工業の支援を受けている。

## 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, *Proceedings of CHI 2003*, pp. 513-520 (2003).
- 3) 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).
- 4) 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).
- 5) Kuzuoka, H.: Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration Capability, *Proc. of CHI'92*, pp.533-540 (1992).
- 6) 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).
- 7) 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: 頭部運動と遠隔ポインタの評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.187-196 (2005).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) Schegloff, E.: Body Torque, *Social Research*, Vol. 65, No.5, pp.535-596 (1998).
- 11) 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).
- 12) 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).