

遠隔者の側面表情を視認可能なテレプレゼンスロボット

梶 克彦^{†1} 河口 信夫^{†1}
石川 幹^{†2} 滝 和也^{†2}

対人コミュニケーションに影響を及ぼす要素のうち、顔の表情などの視覚情報の割合が最も高いといわれている。しかし、ロボットの顔や胴体部分にユーザの正面映像を表示するディスプレイを備える既存の遠隔操作ロボットでは、ロボットの向きや人との位置関係によっては遠隔者の表情を確認することができない場合がある。そこで本稿では、ローカルにいる人からも遠隔者の表情を視認可能なテレプレゼンスロボット (TPR) を提案する。TPR はロボットの正面と側面に3枚のディスプレイを備え、遠隔者を正面から撮影した映像と側面から撮影した映像をそれぞれ対応したディスプレイに表示する。よって、TPR の正面に座っている人も、隣に座っている人も、遠隔者の表情を視認可能である。複数人の会議に一人の遠隔者が参加する会議を題材とし、TV 会議と TPR を比較する評価実験を実施した。その結果、TPR の方が TV 会議よりも遠隔者の存在感が高く感じられ、かつ遠隔者の意見が通りやすいことが示された。

A Telepresence Robot that Displays Side-Face Expression

KATSUHIKO KAJI,^{†1} NOBUO KAWAGUCHI,^{†1}
KAN ISHIKAWA^{†2} and KAZUNARI TAKI^{†2}

In human interaction, non-verbal information such as face expression is very important. Traditional systems that combine robot and video have only one screen to display remote user's face. Therefore, remote user's emotion is not always visible in certain direction of the robot and physical relationships between robot and local user. We propose a telepresence robot named TPR. Three screens are placed on front and both sides of the robot. Remote user's front face and both side faces are shown in correspondent screen. Therefore, both of users who sit in front of TPR and next to TPR are able to look at remote user's emotion. We compared TPR and normal teleconferencing system, and found TPR has advantage in terms of remote user's presence. Additionally, opinions of remote user using TPR tends to go through than normal teleconferencing system.

1. はじめに

対人コミュニケーションにおいて、人に影響を及ぼす要素のうち顔の表情などの視覚情報の割合が最も高いといわれている⁷⁾。近年では、通信網の発達、高品質なビデオカメラや音響設備の普及により、お互いの人物等の映像を通信しあいながらコミュニケーションを行うことが可能になってきており、TV 会議システムを用いた遠隔会議が頻繁に行われるようになった。しかし、一般的なテレビ会議システムを用いた場合、遠隔地の3次元空間を限定的にしか伝送できておらず、それにより存在感が低下するといった問題が存在する²⁾。

遠隔者の存在感を高める手法として、以下の2種類の方向性がある。1つ目は、高画質の映像を大型ディスプレイに等身大で表示する方法である^{1),10)}。2つ目は、空間を占有するロボットと映像コミュニケーションを組み合わせる方法である^{12),13)}。ロボットの顔や胴体部分にはディスプレイが備えられ、遠隔者の顔または上半身の映像が表示されるため、ローカル側の人はディスプレイを見れば遠隔者の表情を確認できる。本研究では、大型のディスプレイを必要とする前者と比較して、モビリティの高いロボットと映像を組み合わせる手法に着目する。

複数人での協調作業を円滑に行うためには、互いに共通のものを認識する WYSIWIS (What you see is what I see) を実現することが重要である¹¹⁾。遠隔間で WYSIWIS を実現するために、互いの志向を共有するシステムが提案されている^{4),5),8),13)-15)}。これらのシステムでは、人の視線の向きやジェスチャから、注目している箇所を直感的に推測できる。

ロボットと映像を組み合わせた手法の多くは、ディスプレイが遠隔操作者の正面映像を表示する1枚のみである。よってロボットの体の向きによってはローカルにいる人が遠隔者の表情を認識することができない。ロボットと人が1対1の場合であれば、互いの位置関係を適宜正対するように変更することで対応可能であるが、ローカル側に複数人が存在し、かつ注目方向が頻繁に変化するような状況ではこの問題が避けられない。

我々は、複数人のミーティング環境に遠隔から参加する会議を支援するため、ローカルにいる人からも遠隔者の表情を視認することのできるテレプレゼンスロボットを研究開発

^{†1} 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

^{†2} ブラザー工業株式会社
Brother Industries, Ltd.

している。ディスプレイをロボットの正面だけでなく側面にも配置し、遠隔者の側面映像を表示することで、ロボットと人の位置関係や注目方向にかかわらず遠隔者の表情を視認可能にする。本稿の構成は以下のとおりである。まず2章では関連研究を挙げ、ロボットと映像を組み合わせた遠隔コミュニケーションシステムの問題点を整理する。3章ではその問題点を解決するために構築したテレプレゼンスロボット TPR について述べる。4章では遠隔会議の場面での TV 会議システムとの比較実験について述べ、5章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では、遠隔コミュニケーションにおいて遠隔者の存在感を高める手段の一つである、ロボットと映像を組み合わせたコミュニケーションシステムについて述べ、問題点を指摘する。

複数人での協調作業を円滑に行うためには、互いに共通のものを認識する WYSIWIS (What you see is what I see) を実現する必要がある¹¹⁾。ロボットと映像を組み合わせたシステムとしては、Texai¹²⁾ や GestureMan3.5^{13),15)} 等がある。これらのロボットの上部にはカメラが取り付けられており、その映像が遠隔側のディスプレイに表示される。遠隔者が別の方向を注目しようとする際にはロボット自体の向きを変更する。ロボットの向きが遠隔者の志向と一致するため、ローカル側の人は遠隔者の志向をロボットの向きから直感的に確認できる。GestureMan3.5 は、さらに細かい志向を伝達できるよう、ロボットアームを用いた指さしジェスチャ機能が備えられている。

コミュニケーションにおいて互いの顔の表情を認識可能であることは重要性の高い項目であることから、遠隔コミュニケーションにおいては、ローカルの参加者全員が、遠隔者の表情を認識できることが望ましいと考える。Mehrabian は、コミュニケーションにおいて他人から受け取る情報のうち 50%以上が顔の表情などのノンバーバルな情報によるものであり、声や話す言葉の内容よりも大きな割合を占めることを実験により示している⁷⁾。Texai や GestureMan3.5 は、ロボットの顔にあたる部分または胴体部分のディスプレイに遠隔者の正面映像を表示するため、ロボットの向きや人との位置関係によっては遠隔者の表情を見ることができなくなる場合がある。たとえば図1のように、複数人の会議にロボットを用いて参加する場合を考える。この図は、遠隔者参加者 R はロボットの向きを変更し、ローカル参加者 A を注目している場面である。ローカル参加者 A~E は、ロボットの向きから R が A に注目していることを認識できる。しかし D はロボットのディスプレイを見ること

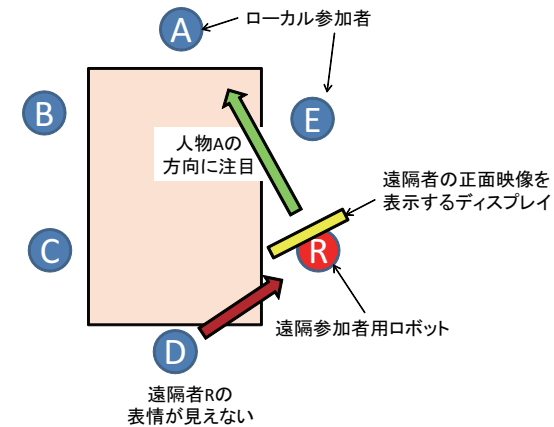


図1 ロボットの正面ディスプレイに表示された遠隔者の表情が見えない状況
Fig. 1 A scene that a local user cannot recognize remote user's expression.

ができないため、R の表情を認識できない。ローカル側の人とロボットが1対1であれば、互いの位置関係を適宜正対するように変更することで対応可能であるが、ローカル側に複数人が存在し、かつ注目方向が頻繁に変化するような状況ではこの問題が避けられない。

板原らは固定されたディスプレイと、その近くに置かれた首振り可能な小型ロボットを用いた遠隔教示システムを提案している¹⁷⁾。本システムでは、小型ロボットが首を動かすことで、ローカル側の作業者が現在注目すべき物体を探し出しやすくなる。ディスプレイは遠隔者の志向にかかわらず固定されているため、遠隔者の表情を常に確認することができる。しかし本システムでは、ロボットとディスプレイが分離されているため、ロボットとディスプレイが一体化しているシステムに比べて遠隔者の志向を直感的に認識できると考える。

3. TPR

我々は、複数人のミーティング環境に遠隔から参加する会議を支援するため、ローカルにいるのから人も遠隔者の表情を視認できるテレプレゼンスロボット (TPR) を研究開発している。遠隔会議では、会議参加者、資料の表示されたスクリーン、ホワイトボードなど様々な箇所を、議論の進行に応じて注目する必要がある。そこで、机や椅子に据え置きし、首の向きのみを遠隔から自由に変えられるロボットとして設計した。以降、TPR 本体が置かれている側の地点をローカル側と呼び、TPR 操作者がいる地点を遠隔側と呼ぶこと



図 2 TPR の概要
 Fig.2 Abstract of TPR

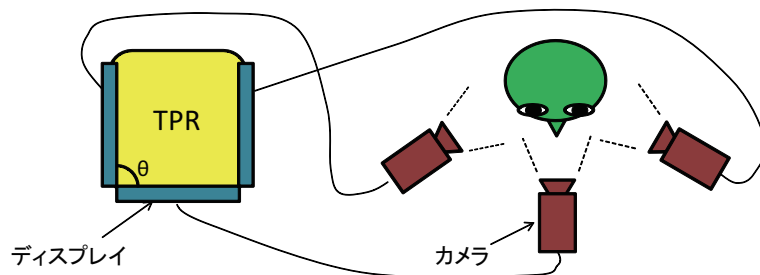


図 3 TPR のディスプレイと遠隔側カメラの配置と接続関係
 Fig.3 Arrangement and connection of screens on local site and cameras on remote site.

にする。

図 2 に TPR の概要を示す。遠隔側では図 2 右のように、3 台のカメラで操作者の正面映像と側面映像が撮影される。TPR 本体には図 2 左のように 3 つの縦型ディスプレイ (6 インチ) が張り付けられており、それぞれのディスプレイに遠隔操作者の正面映像と側面映像が表示される。TPR の正面ディスプレイの上部にはカメラが内蔵されており、遠隔操作者は TPR 側の様子を閲覧することができる。また、TPR には雲台が備えられており、操作



図 4 遠隔操作インターフェイス
 Fig.4 Remote control interface

インターフェイスより上下左右に首の向きを回転することができる。ロボットの側面にも遠隔者の顔を映すディスプレイを備えることで、例えば図 1 のような位置関係の場合でも、ローカル参加者 D は遠隔者 R の表情を視認可能となる。また、ローカルの人には遠隔者の志向を、ロボットの向きとディスプレイに表示された顔の向きから認識できるようになるため、従来のロボットと映像を組み合わせたシステム^{12),13),17)} よりも直感的に志向を認識できると考える。

カメラとディスプレイの配置と接続関係を図 3 に示す。正面ディスプレイと側面ディスプレイのなす角度 θ は 90 度であり、側面カメラは遠隔者の真横からではなくやや斜め前方から撮影している。側面ディスプレイとカメラの配置を完全に対応させるためには、遠隔者を真横から撮影することになる。しかし、実際にこの配置で遠隔者の映像を表示したところ、目や口元が見づらく、側面映像からの表情の視認が困難であった。逆に、斜め前方からの映像を本来の位置関係で表示するために、 θ を 90 度より大きくした場合、その分ローカル側の人々が TPR の正面ディスプレイも側面ディスプレイも見えなくなる範囲が増加することになる。そこで、真横からの映像よりも表情を確認しやすく、かつローカル側で遠隔者の表情が見えなくなる範囲を狭めるよう、図 3 のようにカメラとディスプレイを配置した。

遠隔側のディスプレイには、TPR 本体に取り付けられたカメラの映像、ローカル側の全方位映像、TPR を遠隔操作するためのインターフェイスが表示される (図 2 右)。TPR カメラは TPR が向いている方向の様子が撮影される。全方位カメラの映像は、ローカル側の空間の位置関係を把握しやすくするために表示する。全方位映像には TPR 自身も映っているので、注目すべき人やものが TPR の左右どちらにあるかを認識できる。

図 4 に、TPR の遠隔操作インターフェイスを示す。左側のグレーの領域は TPR の設置されたローカル側の位置関係を表わしている。中央が TPR の初期位置であり、ローカル側の人やホワイトボードなどが TPR の左右どちら側に位置するのかが把握できる。また、この領域をクリックすることで、TPR の向きを操作できる。また、ローカル側の人やホワイト

ボードのように、頻繁に注目するであろう箇所、またはスムーズに注目することが必要な箇所があらかじめ分かっている場合、容易にその方向を注目できるよう、各箇所への注目方向の変更操作をプリセットボタンに割り当てることができる。

さらに TPR は、同意する際に首を縦に振る、否定する際に首を横に振ることのできる機能を備える。操作インターフェースの「うなずき」「いやいや」ボタンを押すことで TPR が首を数回振る動作を行う (図 4)。対人コミュニケーションにおいて、うなずき等、頭の動きのような身体動作の重要性が指摘されている⁹⁾。映像コミュニケーションでは 3 次元空間を 2 次元映像に縮退させるため、存在感が低下する²⁾。よって、TPR に表示された遠隔者が首を振る動作を行っていても、ローカル側の人気が気づかない可能性がある。ロボットの本体が首の動作を真似て動作することで、存在感が高まり、首振り動作に気付きやすくなると考えられる。

TPR は小型かつ軽量であるため、会議場間を持ち運びできるモビリティを備える。協調作業において、目的に応じ座席配置換えが自然に行われるが³⁾、ローカル側の人気が TPR を移動させることで、低い負担で会議中の座席配置換えを行うことも可能である。

現時点では遠隔者がローカル側の細部をポインティングしたりジェスチャするための可動式レーザーポインタやロボットアームは備えていないが、今後これらの機能の導入を検討中である。また、遠隔者の首振りを自動認識し、TPR に同様の首振り動作をさせる機能も、今後導入する予定である。

4. 評価実験

本実験は、TPR と TV 会議について、遠隔者の存在感やローカル側の人へのふるまいを比較分析することが目的である。今回は TPR の操作性等の遠隔者の立場からの評価を対象外とした。被験者は成人男性 5 人である。

4.1 実験設定

実験設定は以下のとおりである。被験者は TPR と TV 会議の 2 種類の配置 (図 5) で 4 人グループの議論を行う。多くの会議の場合、何らかの方法で資料共有が行われることが多い。特に、議論進行の過程をホワイトボードに記入することは多いことから、本実験ではホワイトボードを配置し、書記が随時議論の過程を記入していくことにした。今回は TV 会議のディスプレイ上部に備えられたカメラは操作できないものを使用したため、遠隔者がホワイトボードの状態を把握できるようにするために、ホワイトボードを撮影するカメラを別途配置した。

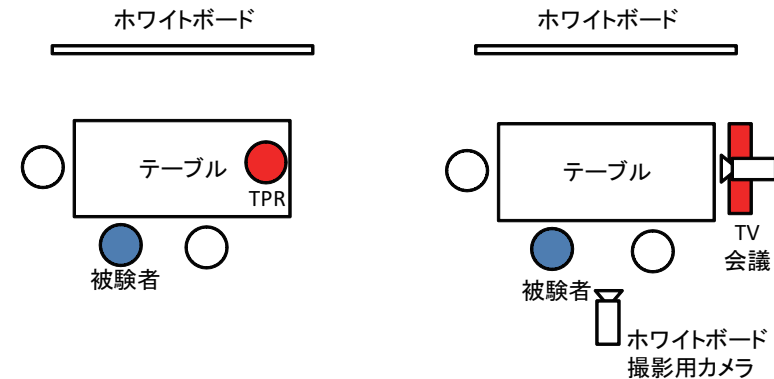


図 5 実験設定 (左: TPR, 右: TV 会議)
Fig. 5 Arrangement of experiments. (Left: TPR, Right: TV conference)

被験者以外の 3 人は、TPR の操作を知っている実験担当者が行った。今回の実験では TPR の操作性についての評価を行うものではなく、TPR の動きが不自然になり議論がスムーズに進行しなくなる状況を防ぐためである。またホワイトボードに最も近い実験者をホワイトボードにグループの意見を書き留める書記役とした。被験者は議長となってもらい、全員の意見を集約してもらった。被験者を議長とすることで、参加者全員に気を配りコミュニケーションする必要性を持たせ、被験者が遠隔参加者とまったくコミュニケーションしないという状況を排除した。図 6 に実験風景を示す。

グループで議論する課題には、意思決定課題である砂漠生き残り問題⁶⁾と、それに類似する宇宙船問題を採用した。これらの課題は、ある困難な状況を解決するために、与えられたリストの項目のうちどれが重要であるかを議論し、重要度の高い順に列挙するというものである。このような課題は、グループ間の合意形成に至るプロセスや被験者の納得度を測るのに適しており、グループコミュニケーション支援システムの評価に用いられている¹⁶⁾。それぞれの問題のリスト項目は、本来、砂漠問題には 12 個、宇宙船問題には 15 個存在するが、その中からランダムに 6 個の項目を選択し、その項目を順位付けすることを課題とした。これは被験者以外の実験者が同様の問題に繰り返し取り組むことを防ぐためである。

実験手順は以下のとおりである。

- 出題された課題について、各会議参加者が個人としての回答を記入する。(5 分)
- グループで議論を行って意見を集約し、グループとしての回答を記入する。(15 分)



図 6 実験の様子

Fig. 6 A scene of experiment

● 再度個人としての解答を記入する (5分)

TPR または TV 会議設定において上記のグループ課題が終了したら、実験設定を変更して再度同様のグループ課題 (砂漠問題または宇宙船問題) を行った。被験者が TPR と TV 会議を体験する順序はカウンターバランスを取った。被験者は各課題の終了時に以下の項目のアンケートに 5 段階評価で回答した。

- (1) 遠隔者の存在を感じられたか
- (2) 遠隔者が発言を理解できているかを認識できたか
- (3) 遠隔者の表情が発言に影響を与えたか
- (4) 遠隔者の注目箇所を認識できたか
- (5) 遠隔者の注目箇所の変化を追従できたか

4.2 実験結果

図 7 に、アンケート結果を示す。存在感に関する質問 1、表情の認識度合いに関する質問 2, 3, 方向感に関する質問 4, 5 の全てにおいて、TPR のほうが TV 会議よりも高いという結果であった。

次に議論に対する納得の度合いについての比較を行った。議論に対する納得度が高ければ、議論後の個人の意見が議論の結果と近くなると考える。グループとしての回答と、議論

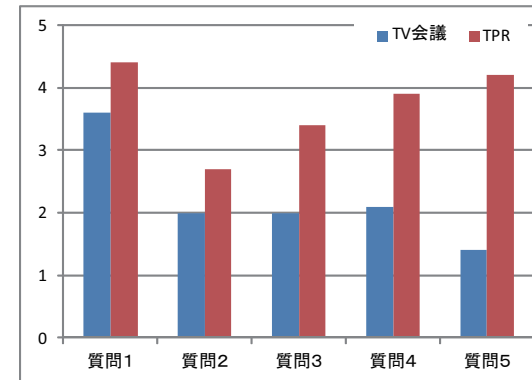


図 7 アンケート結果

Fig. 7 Result of questionnaire

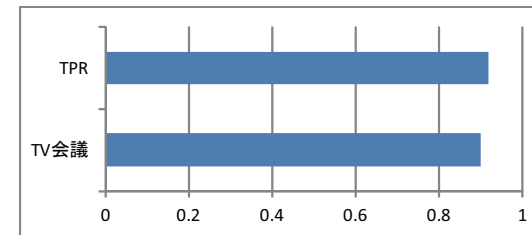


図 8 グループとしての回答と被験者の議論後の回答の相関

Fig. 8 Correlation between answer of group and subject's answer after discussion.

後の被験者の回答を比較した。図 8 にスピアマンの順位相関によって比較した結果を示す。相関度の値が 1 に近いほど、グループ回答と議論後回答が一致していることを示す。図より、わずかながら TPR のほうが TV 会議よりも相関が高かった (TV 会議: $r=0.90$ vs TPR: $r=0.92$)。ただし、TV 会議と TPR の相関の間に有意差はみられなかったため、グループ議論の納得度は TPR のほうが TV 会議よりも高いとはいえないという結果となった。

さらに、遠隔者の意見が議論にどの程度影響するかを比較した。遠隔者の存在感が高ければ、遠隔者の意見が議論に強い影響を及ぼすと考え、議論前の遠隔者の解答とグループ回答の比較を行った。図 9 にスピアマンの順位相関によって比較した結果を示す。t 検定の結果、TPR のほうが TV 会議よりも相関が有意に高かった (TV 会議: $r=0.46$ vs TPR: $r=0.83$ 、

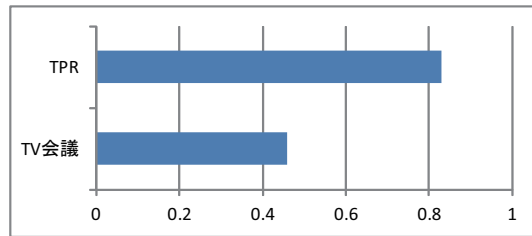


図 9 遠隔者の議論前の回答とグループとしての回答の相関

Fig. 9 Correlation between remote user's answer before discussion and answer of group.

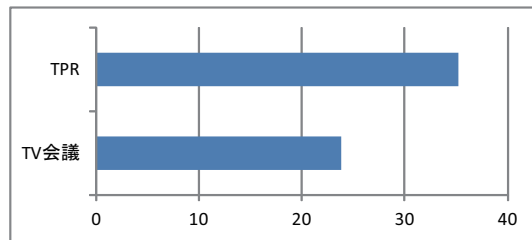


図 10 議論中に被験者が遠隔者を見た回数の平均

Fig. 10 The average of the number that subject glances remote user while discussion.

有意水準 5%)。これより、TPR の方が TV 会議よりも遠隔参加者の存在感が高く、意見が反映されやすいといえる。

実験の様子を撮影したビデオ映像から、被験者のふるまいを分析した。遠隔者の存在感が高ければ、被験者が遠隔者を見る回数が増えると考え、TPR と TV 会議において被験者が遠隔者に目を向けた回数をカウントし、その平均を比較した。図 10 に結果を示す。t 検定の結果、TPR の方が TV 会議よりも遠隔者を見た回数の方が有意に多いことが認められた (TV 会議：平均 23.8 回、TPR：平均 35.2 回、有意水準 5%)。これより、TPR の方が TV 会議よりも被験者が遠隔者を見る回数は有意に多いといえる。

今回の評価実験では、TPR の方が TV 会議よりも遠隔者の存在感が高く感じられ、かつ遠隔者の意見が通りやすいことが示された。ただし、被験者が 5 人と少なかったため、今後被験者を増やして再評価することが必要である。

5. おわりに

本稿では、ローカルにいる誰もが遠隔者の表情を視認可能なテレプレゼンスロボット (TPR) を提案した。ロボットにユーザの正面映像を表示するディスプレイを備える既存のシステムでは、ロボットとローカルの人との位置関係や向きによっては遠隔者の表情を確認することができない。本稿で提案した TPR は 3 枚のディスプレイを四角柱状に配置し、遠隔者の正面映像と側面映像をそれぞれ対応したディスプレイに表示することで、ロボットの正面にいる人も、側面にいる人も、遠隔者の表情を視認できる。TPR はロボットの首の向きを自由に回転させることができる。ローカルの人々は遠隔者の志向を、ロボットの向きとディスプレイに表示された顔の向きから直感的に認識できる。複数人の会議に一人の遠隔者が参加する会議を題材とし、TV 会議と TPR を比較する評価実験を実施した。その結果、TPR の方が TV 会議よりも遠隔者の存在感が高く感じられ、かつ遠隔者の意見が通りやすいことが示された。

今後は、TPR の側面ディスプレイの有無による比較実験を実施し、TPR に表示される遠隔者の側面映像が遠隔会議に及ぼす影響について詳細に分析する予定である。

参考文献

- 1) Cisco: Cisco TelePresence System, <http://www.cisco.com/>.
- 2) Gaver, W: The Affordances of Media Spaces for Collaboration, *Proceedings of CSCW*, pp.17-24 (1992).
- 3) Greenberg, J.: The Role of Seating Position in Group Interaction: A Review, with Applications for Group Trainers, *Group and Organization Studies*, Vol.1, No.3, pp. 310-324 (1976).
- 4) Hirata, K., Harada, Y., Takada, T., et al.: Basic Design of Video Communication System Enabling Users to Move Around in Shared Space, *IEICE Transactions*, Vol.E92-C, No.11, pp.1387-1395 (2009).
- 5) Ishii, H., Kobayashi, M., and Grudin, J.: Integration of Interpersonal Space and Shared Workspace; ClearBoard Design and Experiments, *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.11, No.4, pp.349-375 (1993).
- 6) Lafferty, J., Eady, P.: The Desert Survival Problem, *Plymouth, MI: Experimental Learning Methods* (1974).
- 7) Mehrabian, A. : Communication Without Words, *Psychology Today*, Vol.2, No.4, pp.52-55 (1968).
- 8) Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Me-

- diated Communication System, *Proceedings of CSCW*, pp.149–158 (1998).
- 9) Ogawa, H., Watanabe, T.: InterRobot: A Speech Driven Embodied Interaction Robot, *Advanced Robotics*, Vol.15, No.3, pp.371–377 (2001).
 - 10) Polycom: RealPresence Experience (RPX), http://www.polycom.co.jp/products/telepresence_video/telepresence_solutions/immersive_telepresence/rpx.html.
 - 11) Stefik, M., Bobrow, D., Foster, S., et al.: WYSIWIS Revised: Early Experiences with Multiuser Interfaces, *Proceedings of CSCW*, pp.147–167 (1987).
 - 12) Willow Garage: Texai Remote Presence System, <http://www.willowgarage.com/pages/texai>.
 - 13) 遠隔作業支援システム: <http://www.grouplab.esys.tsukuba.ac.jp/projects/current/gestureMan/index.html>.
 - 14) 岡田謙一, 松下温: 臨場感のある多地点テレビ会議システム:MAJIC, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.3, pp.775–783 (1995).
 - 15) 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).
 - 16) 山下直美, 平田圭二, 青柳滋己, 葛岡英明, 梶克彦, 原田康徳: 座席配置替えが遠隔ビデオコミュニケーションに及ぼす影響について, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.12, pp.3250–3260 (2009).
 - 17) 板原達也, 葛岡英明, 山下淳, 山崎敬一, 中村裕一, 尾関基行: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.2, pp.949–957 (2007).