

コミュニケーションロボットの 移動機能の注意喚起能力評価

鈴木雄介[†] 福島寛之[†] 深澤伸一[†] 竹内晃一[†]

筆者らは遠隔コミュニケーションで失われる参加者の身体による情報表現を、物理的に補完するためのロボット技術に注目している。コミュニケーションの契機となる、遠隔参加者の気づきを喚起することに着目し、ロボットの移動機能の注意喚起に対する効果を確認する評価実験を実施した。結果、ロボットの移動機能が参加者への注意喚起を向上させる可能性があることを確認したので報告する。

Evaluation of attention drawing capability of Communication robots with mobility.

YUSUKE SUZUKI[†] HIROYUKI FUKUSHIMA[†]
SHINICHI FUKASAWA[†] KOICHI TAKEUCHI[†]

We have been developing a teleconference supporting system with robots that represent meeting participants' presence and orientation of mind. In this paper we explain an overview of the system and an experimental evaluation that aims to confirm a hypothesis that a robot's movement provides a better awareness to the participants than a conventional pan-tilt camera movement.

1. はじめに *

オフィスにおける遠隔コミュニケーション支援ツールは、例えば、人やモノの移動によるエネルギー消費を減らして環境問題の解決に貢献したり、在宅勤務など多様な働き方を支援したりするものとして将来が期待されている。現在でも遠隔コミュニケーションツールは多数開発されているが、多くは映像や音声のみを情報伝達メディアとして用いている。映像や音声は遠隔コミュニケーションで重要だが、それらの情報だけで、空間を共有した状況で行われるようなコミュニケーションをすることは難しい。その原因の一つは、例えば他の参加者の注意を喚起するなど、会議参加者が身体

を通して無意識に行っている情報交換が、遠隔コミュニケーションでは失われているためであるという指摘がある[1]。

失われた「身体による情報」を表現する手段としてロボットを用いた先行研究に、葛岡らによる遠隔作業支援研究がある[2][3]。筆者らは同様の観点からロボット技術に着目し、主に遠隔会議を支援するロボットシステムの研究開発を行ってきた。

システムの主要素であるロボットは、車輪による移動機能、カメラによる映像撮像機能、カメラが搭載された頭部の姿勢変更や、身体そのものの移動によって、操作者の興味を提示する機能を持つ。このロボットは既存のネットワークパンチルトカメラと同様の機能に加えて、移動機能をもつことを大きな特徴としている。

カメラなどの映像取得機器をラジコンなどに搭載して、また遠隔地から操作可能とし、映像取得可能な範囲を広げるという構成には多くの先行研究[4]があるが、映像を取得するロボットが移動できることの遠隔コミュニケーションに対する効果を評価した研究[5]はあまり見られない。ロボットのもつ機能の、コミュニケーションに対する効果を理解することは、ロボットまたはその機能の一部を利用して遠隔コミュニケーションを支援するシステムを開発するために有用であろう。

本論では、ロボットの移動が、通常のパンチルトカメラの姿勢変更と比較して、ロボットと同一空間に存在する会議参加者の注意を喚起する能力が高く、またその注意喚起によって、会議参加などの別個の作業を妨げる副作用が少ないことを、実験室内における評価実験結果から示すことを目標とする。

本論ではまず、筆者らが所属する組織内で実際に遠隔会議を行ううちに明らかとなった諸問題を述べ、参加者の身体性が欠如することによって問題が生じていることを主張する。また身体性の欠如を補完する手段として、ロボットを利用するに至った背景を説明する。次に筆者らが開発中のロボットを利用した遠隔会議支援システムの特徴を紹介する。さらに遠隔会議中でのパンチルトカメラの使用状況から注意喚起能力を評価する背景を説明する。6章でロボットの移動機能と、カメラ姿勢変更機能の注意喚起能力を比較した、実験室環境での実験内容について説明し、7章でその結果について述べる。最後に実験結果の考察と今後の研究について説明する。

2. 課題の背景：遠隔会議状況の分析

先の報告[6]でも説明したように、筆者らが所属する組織は関東地区（埼玉県）と関西地区（大阪府）に分かれた2拠点があり、メンバー全員が直接対面して会議や打ち合わせなどのコミュニケーションを行うことは困難であったため、遠隔会議を定期的に行っていた。実際に行われた会議の状況について表1にまとめた。

* [†]Oki Electric Industry Co., Ltd. Corporate Research and Development Center

沖電気工業株式会社 研究開発センタ

表 1 遠隔会議の状況
 Table 1 Situation of Teleconference.

接続方法	映像、音声を利用する遠隔会議システムを使用、映像の伝送には遠隔操作可能なパンチルトカメラ（SONY 社製 PCS-P1）を利用、パンチルトカメラの操作はリモコンで行われる。
参加人数	13名（関東拠点：11名，関西拠点：2名）（後に16名；5名に増加）
会議時間	週1回 2時間
司会	関東拠点側に存在
内容	進捗状況，個人の活動に対する報告，質疑応答など

実際に会議を行う最中に多数の問題が観察された。

- ・ 関東拠点で議論が白熱すると、関西拠点にいる人の存在を忘れて話が盛り上がりすぎてしまうことがあった。
- ・ 他拠点への議論に介入する方法が音声に限られており、介入しづらい雰囲気があった。
- ・ カメラ位置が固定で、関西拠点側は興味のある部分の映像を自由に見ることができなかった。
- ・ 関西拠点側の音声以外の非言語的な反応が、関東拠点に伝わりにくかった。

このような問題が継続すると、特に少人数の参加者が会議に参加する意欲を失うことにつながるのである。これらの問題点の一部は、先行研究[7]でも指摘されている。

実際に空間を共有している場合には

1. 参加者の存在感は自明である。
2. 参加者は発言しようとする時に挙手を行ったり、身を前に乗り出したりすることで発言意思を積極的にアピールすることができる。
3. 参加者が姿勢、体や視線の向きを無意識に変更する様子から、周囲は参加者の会議内容に対しての興味関心や反応を推定できる。
4. 移動したり視線を変えたりすれば興味のあるものを見ることができる。

であることから、前述の問題は、実際に空間を共有しないこと、物理的、三次元的に存在する参加者の身体によって表現されている情報が、遠隔コミュニケーションでは欠如するために生じる問題とも考えられる。物理的な身体が失われることによって問題が生じるのであれば、それを補う物理的な実体を持つものをシステムに追加すればよいと考えるのは発想としては自然であるといえるだろう。こうした考えから筆者らは、遠隔地に存在する人間の物理的な代替物、分身として動作するものとしてロボットを利用すること、すなわちロボットを身体的な情報を表示するための物理的なメディアとして利用することを考えた。

3. 遠隔コミュニケーションの先行研究

ロボットを遠隔地の人の代理として利用するというアイデアに基づく先行研究は多数存在している。筑波大学グループウェア研究室では、遠隔作業指示用のロボットシステムとして **GestureMan** を開発している。これは遠隔地にいる人に対し熟練者が作業指示をしたり、教育を行ったりする用途に使われるロボットである。自由に移動する台車と、遠隔操作者の視線や興味の方向を表現するための、人間の頭や腕を模した要素が一体化され、ロボットの身体によって“志向”[8]を表現することなどができる。

ATR・大阪大学知能ロボット学研究室では、**Geminoid**[9]を開発している。これは開発者自身の身体から型取りした精巧な人間型ロボットで、遠隔地からの操作によって人間の表情や動作を忠実に表現できる。

4. 開発中のシステム

4.1 システムの特徴とその背景

筆者らが開発中である遠隔会議を支援するロボットシステムは下記のような特徴を持つ。

- ・ ロボットを操作する人間は複数である。会議に参加する全員がロボットを操作可能とする。
- ・ 利用するロボットが小型である。会議卓上での動作を意図した大きさとなっている。

これらの特徴は、開発背景となったオフィス間での遠隔会議支援を意識したものである。オフィス環境で行われる典型的な遠隔会議の例として、複数人同士が遠隔2拠点に存在する状況を仮定して説明する。

遠隔参加者の失われる身体の機能を補完するという目的から考えると、会議参加者の人数と同数のロボットを配置することが自然である。しかし

- ・ 会議参加者数は多くの場合不定である。
- ・ 居室の空間的な制限がある。
- ・ ロボットを用意するコストに制限がある。

などの問題からロボットの配置数には制限があると考えられる。この制限から会議に参加する人数とロボットの台数が常には一致しないことになる。1台のロボットに対して複数人が操作権をもち、ロボットは適宜、複数人の身体表現を行う必要があり個人性に依存しない身体要素を表現できる必要がある。開発するロボットは人間の身体を忠実に再現することより“志向”を表現するのに重要度の高い動作を表現するための単純化された機構と、ディスプレイなどの表示機能によってロボットが現在誰の身体を表現しているのかを提示する機能を有する。

4.2 システムの要素説明

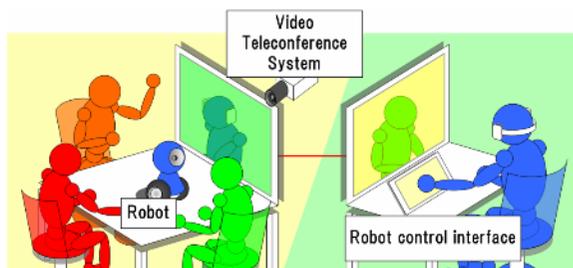


図 1 2 拠点間での遠隔会議

Fig 1 Image of Teleconference between two remote cites.

本システムは、遠隔会議を行う 2 拠点双方に存在し (図 1)、各拠点の会議参加者に共有される。映像と音声を利用する通常の遠隔会議システムと併用される。ロボットは人間の頭部を模した形状のパンチルト動作するカメラと台車から構成され、遠隔地における自身の分身として働く。また映像撮影機能を有する。

図 2 に実験で使用したロボットの外形と特徴を示す。ユーザはロボットを使って遠隔地側の興味のあるものを「見る」ことができ、その「見る」ための行為がロボットの身体的の動作として表現され、遠隔地側に伝わる。遠隔参加者の「見る」という行為と、それに伴うロボットの移動やロボットカメラの姿勢変更という行為によって、自然に存在感が提示され、また何に対して興味を持っているのかといった表現を自然に行なうことができると考えた。



- ロボットの持つ機能
- ・本体そのもの (三次元に存在する実体)
 - ・2 輪による移動機能
 - ・映像取得機能
 - ・カメラ姿勢変更機能など

図 2 実験用のロボットの外形

Fig.2 Appearance of prototype robot.

5. 仮説とその背景

5.1 背景

従来の遠隔会議システムにおいて物理的実体によって情報提示をしていると考えられるものとして、遠隔操作可能なパンチルトカメラがある。実際の遠隔会議の状況を撮影した映像を観察し、特にパンチルトカメラの使い方を理解することで、ロボット導入の利点、利用のされ方について検討し、以下の仮説を立てた。

仮説 1 ロボットの移動機能によって注意喚起能力を強化できる

参加者の注意をパンチルトカメラの動作に一旦ひきつけることができれば、パンチルトカメラの姿勢や会議の文脈などから、比較的短期間で操作者の意図を推量できる事例が観察された。このことから第一に注意を喚起する能力が重要であると考えた。

また、この注意喚起能力は、現状のパンチルトカメラの姿勢変更よりも参加者の視界内での動きを大きくすることができるロボットの移動機能によって強化されるだろうと推測した。

また次の仮説を追加した。

仮説 2 ロボットの移動は会議参加者の会議参加の妨げとなる

会議中に参加者は、話者の発話を聞くなど、遠隔参加者へ注意を向ける以外の作業も行っているが、ロボットの動作によって注意を奪われるなどの理由で、そうした作業への影響があると推測した。

6. 実験

6.1 実験全体

仮説を検証するための実験について説明する。実験参加者に遠隔会議参加状況を模した副課題を課した状況で、ロボットに移動、またはパンチルトカメラと同様の姿勢変更を行わせ、参加者がロボットの動作に気づいて反応するまでの時間を計測し、動作による反応時間の差を検討する。ロボットが動作したことに気づき、ボタンを押して反応することが主課題となる。以下、本論でロボットの「移動」とは車輪による体全体の移動、「姿勢変更」とはカメラ部分のパンチルト回転を意味する。(図 3)。

6.2 音声課題

副課題として音声課題を採用した。遠隔会議は聴覚、視覚を利用する複雑な作業であり、ロボットの動作に反応する作業は主として視覚的な情報処理であると考えられる。副課題として音声課題を加えることで、主課題と副課題で負荷が加わる情報経路を別にでき、また実際の会議に近い作業を模擬できると考えた。

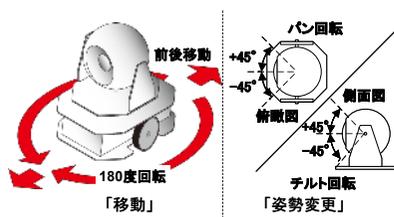


図 3 ロボットの「移動 (左)」と「姿勢変更 (右)」
 Fig.3 Robot's Movements (left) and Camera's Movements(right).



図 4 音声復唱課題の概略
 Fig. 4 Overview of Sound Task.

6.2.1 単語復唱課題

定量評価に適した音声課題として、西本ら[10]によるインタフェース評価研究を基に課題を設定した。図 4 に概略を示す。参加者は一定時間毎に提示される音声を記憶し、その数秒後に提示されるピープ音による指示にあわせて復唱する。復唱順序は提示順序と同一でなくてもかまわないとした。実験では音声刺激として 1 秒間隔で 4 単語を提示、刺激の提示後に 2 秒間隔で 4 回のピープ音を提示した。参加者応答は実験者によって記録され、正答数の全セット平均値を点数とした。実験終了まで 5~7 セットの提示が行われた。

練習時に単独課題として参加者に行わせた場合には、参加者は平均的に 4 点獲得できたため、4 点からの得点差によって主課題による音声課題への影響、すなわち作業への副作用を評価できる。

6.2.2 課題に利用する音声データ

単語復唱課題の語彙サイズは 270 単語とした。音声単語親密度[11]5.0 以上の語の中から、単語の頭文字が濁音を除く 50 音としてバランスよく出現するように 2~5 モーラの普通名詞をランダムに選択し、聞き取りにくいものなどを除いた。音声データは

テキスト音声変換ソフトウェア「OKI SMARTTALK3.0[a]」を使用して作成した。

6.3 ロボット反応課題

実験参加者が机上のノート PC に提示される注視点を注視しながら音声復唱課題を実施中、5~15 秒のランダム時間経過ごとにロボットが動作（「移動」または「姿勢変更」）する。参加者はロボットの動作に気づいたら、できるだけ早くボタン押しで反応する。

参加者との位置関係の影響を調べるためロボットの配置を複数定めた。注視点からの距離は 1200mm で一定、正面から左右に 45 と 90 度の角度の異なる 5 つの位置に配置し、ロボットが注視点の方向を向くようにした。距離は一般的な会議卓（1800mm）の両端に人が並んで座った状況を基にして定めた（図 5 参照）。

予測反応を避けるため、条件を満たす刺激に対しては反応し、それ以外には反応しないという Go/No-Go タスクを採用した。ロボットの各動作条件で複数種類の動作を行なわせ、視覚による判断を行わせる。「移動」（図 3 左）では前後移動と 180 度の回転を行わせた、前後移動の方向はロボットが配置される机の長手方向に制限した。「姿勢変更」（図 3 右）ではパン回転とチルト回転を行わせた。

Go 刺激は前後移動とパン回転でこれらの場合だけ参加者に反応動作を行わせた。1 試行毎にロボットに 12 回の「移動」または「姿勢変更」を行わせた、No-Go 刺激である 180 度回転、チルト回転は 2 回混入した。順序効果を防ぐため刺激の提示順序はランダムとした。

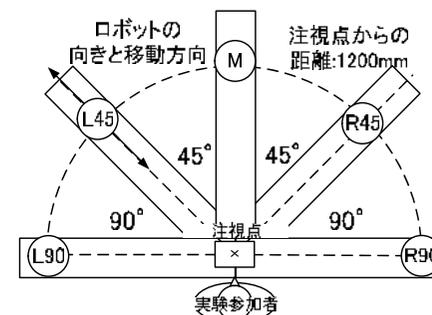


図 5 ロボットと実験参加者の位置関係
 Fig. 5 Relative Positions of a subject and the Robot.

6.4 実験環境

実験環境を図 6 に示す。

[a] OKI SMARTTALK は沖電気工業(株)の登録商標。

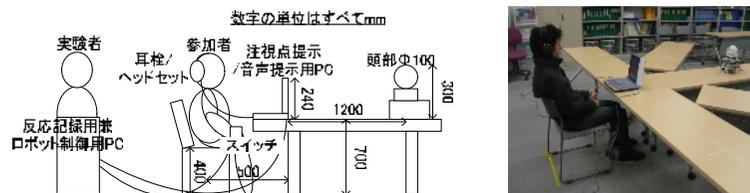


図 6 実験環境

Fig.6 Setup of Experiment.

実験参加者は机の前に座り、カナル型イヤホン (Etymotic Reserch 社製 ER-6i) を装着し、その上からヘッドホン型の耳栓 (PELTOR 社製 OPTIME2) を装着する。イヤホンと耳栓によってロボットの動作音、外部雑音を遮蔽する。イヤホンは机上のノート PC に接続され、ノート PC で動作するプログラムにより音声刺激が提示される。またノート PC のディスプレイ上には注視点が表示される。

参加者はロボット動作に反応するためのボタンを手にもつ。持ち方は自由とした。ボタンは USB インタフェースデバイスとして、参加者の後方に配置される反応時間記録用 PC に接続される。また反応時間記録用 PC は机上に配置されたロボットに対して無線信号を送信して、ロボットを動作させる役割も持つ。

4 章のロボットを実験に使用した。ロボットの仕様は、高さ約 300mm、頭部の直径約 100mm、体全体の前進速度が 66mm/秒、移動距離が前後 1 回毎に 200mm、体全体の回転速度が 60 度/秒、移動角度が 1 回毎に 180 度、頭部の回転速度が垂直方向に 30 度/秒、回転角度が 1 回毎に水平方向に 45 度、垂直方向に 45 度であった。

6.5 実験参加者と実験手順

実験は都内大学の教室で行った。男女 23 名が実験に参加した。平均年齢は 22±4 歳、男性 15 名、女性 8 名であった。平均視力 (自己申告式、矯正後) は 1.0±0.4 であった。Chapman の利き手テスト[12]を実施した結果 20 名が右利き、3 名が左利きと判定された。

参加者は、実験室に入り利き手テストを行った後、実験全体について説明を受けた。続いて音声課題についての説明と、出力音声の調整、音声課題の練習を行い、ロボットの動作についての説明ビデオを見た後、実験に参加した。説明ではロボット反応課題を音声復唱課題より優先するよう強調した。図 5 の配置 5 条件、動作 2 条件 (「移動」/「姿勢変更」) の組み合わせで計 10 条件の試行を行った。各条件の実施順序は参加者毎にランダムに変更した。5 条件の試行終了後 1 回 5 分程度の休憩を取らせた。実験終了後に口頭による主観評価への回答とインタビューを行った。

分析した主観評価の質問は 2 種 4 問であり、

A) 「ロボットの動作への気づきやすさを 5 段階で評価してください」 (評価値 1: 最も

気がつきにくい～5: 最も気がつきやすい)

Q1 「首の動きは」、Q2 「体全体の動きは」

B) 「ロボットの動作による音声課題への影響、集中力をそがれた程度を 5 段階で評価してください」 (評価値 1: 最も影響がない～5: 最も影響がある)

Q3 「首の動きは」、Q4 「体全体の動きは」

というものであった。実験終了まで休憩を含めて 1 時間程度の時間を要した。

6.6 分析方法

ロボット反応課題の反応時間、反応エラー回数 (5 秒以内に Go 刺激に反応できなかった、または No-Go 刺激に反応した回数)、音声課題の正答数を用い各試行の平均値について統計解析を行った。動作条件と配置条件によって各データの平均値間に差があるかを見るため、それらを 2 条件とする二元配置反復測定分散分析を行なった。また同様に主観評価値も分析した。

7. 実験結果

図 7 に配置ごとの反応時間、反応エラー率、音声課題の得点の平均値のグラフを示す。横軸はロボットの配置を示し、縦軸はそれぞれの値、バーは標準偏差を示す。本実験での有意水準は 5% とした。

7.1 反応時間の結果

平均反応時間は、「移動」条件が 0.931 秒、「姿勢変更」条件が 1.100 秒であった。両条件について対応のある t 検定を実施した結果、有意差が見られた ($t(114)=5.215, p<.01$)。分散分析の結果、交互作用および配置要因主効果は有意ではなかった (交互作用: $F(4,88)=0.573, p=0.683$, 配置位置条件: $F(4,88)=0.445, p=0.776$)。

7.2 反応エラー率の結果

反応エラー率は「移動」条件が 5.9% (12 回の刺激中平均 0.704 回)、「姿勢変更」条件が 11.1% (同: 1.330 回) であった。反応エラー率の平方根を、逆正弦関数で角変換して正規化した値について分散分析した。結果、動作条件に対し有意な主効果が見られ、交互作用及び配置条件主効果は有意ではなかった。(交互作用: $F(4,88) = 0.888, p = 0.475$, 動作条件: $F(1,22) = 7.150, p = 0.014$, 配置条件: $F(4,88) = 0.854, p = 0.495$)。反応回数に関しても同様の結果を得た。

7.3 音声課題の結果

音声課題の得点の平均値は「移動」条件が 3.427、「姿勢変更」条件が 3.352 であり、両条件データについて平均反応時間を対応のある t 検定で評価した結果、有意差が見られた ($t(114)=2.051, p=0.043$)。

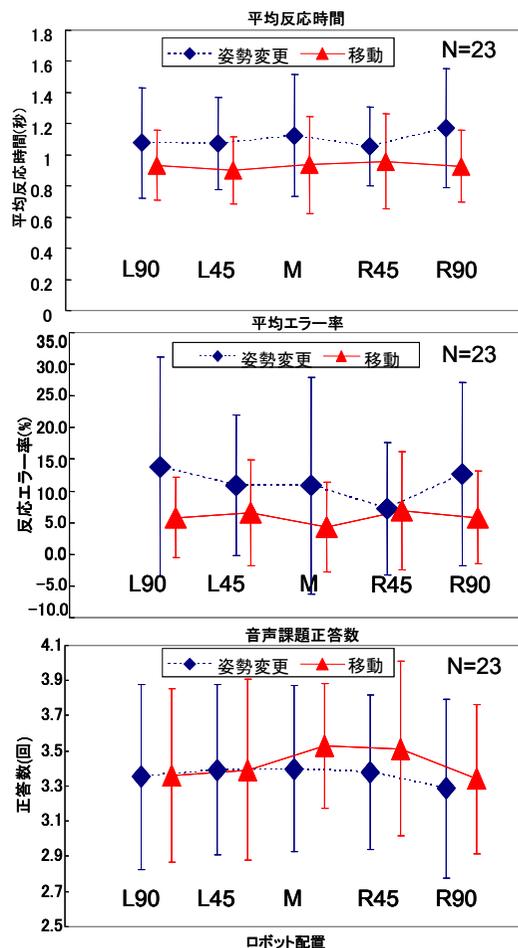


図7 ロボット配置毎の各データ
Fig.7 Each data on configurations.

7.4 主観評価の結果

主観評価結果を図8に示す。「Q1」「Q2」の回答平均値について対応のあるt検定を行った結果、有意差が見られた ($t(22)=9.033, p<.01$)。しかし「Q3」「Q4」間について有意差は認められなかった ($t(22)=1.331, p=0.197$)。

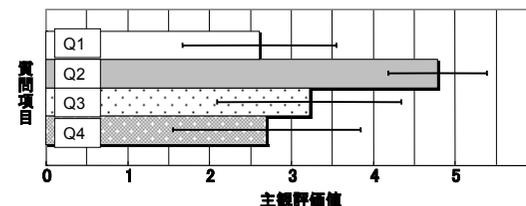


図8 主観評価結果
Fig.8 Subjective Assessment.

7.5 反応データの相関

反応時間と反応エラー回数について両者間の積率相関係数を求めたところ、 $r=0.614$ となり、両者間に有意な正の相関関係 ($p<.001$) が認められた。

8. 考察

すべてのデータについて「移動」と「姿勢変更」間で平均値に有意差があることが示された。反応課題の結果、反応時間、反応エラー回数が「移動」で有意に低く、互いに正の相関があることからロボットの「移動」機能は「姿勢変更」機能と比較して注意を早く喚起でき、また動作種類の区別が容易である事が示唆され、仮説1を支持する結果が得られた。

主観評価の結果では音声課題への影響評価には差が出なかったが、音声課題の点数では「移動」と「姿勢変更」で有意差があった。これは「移動」機能は「姿勢変更」機能と比較して、参加者への注意喚起を行う際の情報処理負荷が低いこと、つまり実験構成では音声課題として模擬した、会議実施時の別作業に対する阻害の程度が低いことを示唆し、仮説2を否定する結果となった。同様に参加者へのインタビュー結果では、「姿勢変更」の条件ではロボットが動作しているどうか分かりづらい、反応するべき動作が区別しづらくて気になり、音声課題への集中がそがれた、などの意見があり、ロボットの「姿勢変更」の気づきにくさが、音声課題中の記憶や、復唱などの作業への悪影響を及ぼした可能性が考えられる。つまり、想定している遠隔会議のように、ロボットの動作に注意する必要がある、また同時に他の作業を行なう必要がある場合には、ロボットの注意喚起能力が不足していると、他作業への悪影響がある可能性がある。

今回の実験結果は、実験環境において以下の「移動」機能の注意喚起に関する有効性を示唆するものである。

- ・ 「移動」によって「姿勢変更」より早く注意喚起できる。
- ・ 「移動」による注意喚起による、音声課題への悪影響は「姿勢変更」と比較して

少ない。

しかし、実際の会議においての有効性を示すには更なる検討が必要になる。例えば、

- ・ ロボットを複数台利用する場合
- ・ 「注意喚起」と同時に行う課題として視覚的課題が与えられた場合
- ・ 実際の会議で利用した場合

などについても、同様の効果が得られるかについては、今後評価実験で確認する必要がある。

遠隔参加者が興味を持っている対象物や、興味の方向の変化を、空間内に物理的に存在する要素、すなわちロボットの動作に反映させて注意を喚起するという方法には一定の有効性がありそうだが、現状では課題も多い。なかでも、遠隔参加者が興味を示す対象物が変わったなどの、興味の変化を、ロボットへの操作指令に変換するための、適切なインタフェースをどう設計するかは重要な課題である。例えば、ユーザの操作ミスなどによる、コミュニケーション上の意味を持たないロボットの動作に対してユーザが反応して、会議の阻害となることがないように、ロボットを必要な時だけ動作させて、不必要なときにはなるべく動かさないようにインタフェースを工夫するなどが考えられる。現状、インタフェースの改善案として拡張現実感技術を用いた(図9)構成を用いて実験を行っている、撮影する対象物との関係でロボットの動作に制限を加え、またその制限をユーザにとって可視化することで上述の問題の解決を目指している。この実験の結果は別途報告する予定である。

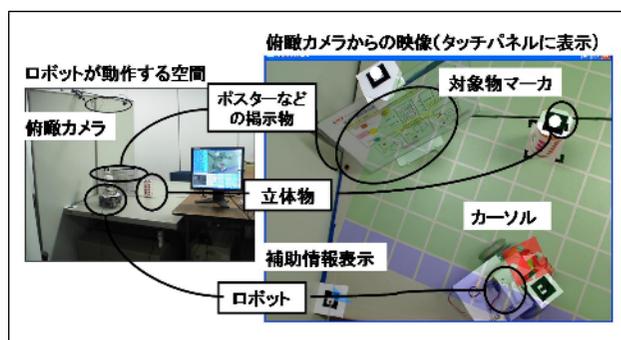


図9 検討中の新規インタフェース

Fig.9 New controlling interface (on experiment).

9. まとめ

本論では開発中の遠隔会議ロボットシステムの概要とその開発背景となった遠隔

会議例について説明した。

ロボット同様に物理的に情報を提示する要素として現状の遠隔会議システムで利用されるパンチルトカメラに着目し、利用状況の観察から空間を共有する参加者の注意を喚起できることの重要性を検討した。

注意喚起能力の強化方法として開発中のロボットの移動機能を検討し、パンチルトカメラの姿勢変更機能との注意喚起能力を比較する評価実験を行った。結果、移動機能が、副課題に対する影響を低くおさえたまま、注意喚起能力を高められるという結果を得た。

今回の実験で得た知見をより有用な遠隔会議ロボットシステムの設計に結びつける。またシステムの利用条件に近い形でロボットの機能を再度評価し、最終的にロボットシステムの導入で遠隔会議の「質」を高めることを目標として開発を進める。

参考文献

- 1) Heath,C.and Luff,P.: Disembodied Conduct:Communication through video in a multi-media environment,Proc. CHI'91,pp.99-103 (1991).
- 2) 葛岡英明, 石母田玄, 西村有史ほか: GestureCam システム: カメラロボットを介した遠隔教育の試み, 放送教育センター研究紀要, No.12, pp.165-173 (1995).
- 3) 小山慎哉, 葛岡英明, 山崎敬一ほか:実空間上の遠隔作業指示を支援するシステムの開発,情報処理学会論文誌, Vol. 40, No.11, pp.3812-3822 (1999).
- 4) Paulos, E. and Canny, J.: PRoP: Personal Roving Presence, Proc. SIGCHI'98, pp.296-303 (1998).
- 5) Nakanishi,H.,Murakami,Y.,Nogami,D.et al :Minimum Movement matters: Impact of Robot-Mounted Cameras on Social Telepresence, Proc. CSCW'08,pp.303-312 (2008).
- 6) 鈴木雄介, 福島寛之ほか: 参加者の身体性を表現する遠隔会議支援ロボットシステムの評価, 情報処理学会研究報告, 2008-GN-69, pp.113-118 (2008).
- 7) Yankelovich, N., Simpson, N., Kaplan, J., and Provino, J.: Porta-person: Telepresence for the connected conference room, CHI 2007 Extended Abstracts, pp.2789-2794 (2007).
- 8) Schegloff,E:Body Torque,Social Reseach,Vol.65,No.5,pp.535-596 (1998).
- 9) Sakamoto,D.,Kanda,T.,Ono,T.,et al :Android as a Telecommunication medium with Human-like Presence,Proc.2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction HRI2007 (2007).
- 10) 西本卓也, 高山元希, 荒木雅弘: 音声インタフェースにおける認知的負荷測定法とその評価, 情報処理学会研究報告, 2002-SLP-45-5, pp.29-34 (2003).
- 11) 天野成昭, 近藤公久 (編著):日本語の語彙特性 第1期 第1巻, 三省堂 (1999).
- 12) 八田武志: 左利きの神経心理学, pp.24-30, 医歯薬出版 (1996)

謝辞 実験にご協力いただいた参加者、筑波大学葛岡研究室、東京大学中邑研究室との有益な議論に感謝の意を表する。