

複数人が同時利用するテレプレゼンスロボットが効果的に視線提示を行う手法の提案

An effective gaze presentation method for a telepresence robot placed diagonally from users

若林 大聖^{1*} 松村 耕平¹ 岡藤 勇希^{1,2}
Taisei Wakabayashi¹ Kohei Matsumura¹ Yuki Okafuji^{1,2}

¹ 立命館大学

¹ Ritsumeikan University

² 株式会社サイバーエージェント

² CyberAgent, Inc.

Abstract: テレプレゼンスロボットを複数人で同時利用するときロボットと対面する人にとって、遠隔者の視線方向を推定することは、特にロボットを斜めから見た場合に難しいことが知られている。本研究では地面に複数の三角形を投影し対象に向けることで視線方向を提示するという手法を提案する。投影する三角形と遠隔者の視線方向を、色で対応づける条件と開始地点を変えることで対応づける条件の2種類を提案した。1台のテレプレゼンスロボットを複数人で利用する状況にて、視線提示方法、ディスプレイを見る角度を条件として、視線推定への影響を実験的に調査した。10名の参加者による視線推定を行う実験を行い、正答率、回答時間から評価を行った。結果として、正面から見た際にはすべての提示条件で正確に推定ができた。一方、斜めから見た際には従来手法が推定が困難であったのに対して、提案法は正確に推定ができることがわかった。回答時間では、提案法は従来手法に比べて回答時間が長くなる傾向が見られた。

1 はじめに

テレプレゼンスロボットとは、世界中から遠隔操作可能なコミュニケーションロボットである。ディスプレイ・カメラ・マイク・スピーカーを利用したビデオコミュニケーションや、遠隔者の操作でロボットを動かすことができ、遠隔で自分の見たいもの、行きたいところに自由な操作を行うことができる。そのため現地のテレプレゼンスロボットと対面している人（以降では現地参加者と呼称する）とリアルタイムに幅の広いコミュニケーションをとることが可能となり、現地にいるかのようなコミュニケーションを行うことができる。そのためテレプレゼンスロボットは遠隔での幅の広いコミュニケーションを行うことができるとして注目を集めており、テレプレゼンスロボットを利用したサービスがいくつか存在している。例えば、iPresence 合同会社¹ではロボットを使って病院や自宅から学校へ通い友達とコミュニケーションを行うことのできるサービスや、世界中からオンラインで現地に疑似訪問体験

することのできる遠隔ツアーサービスを提供している。コロナ禍においても人々の外出という行動が制限され、以前のような実際に会って行うコミュニケーションをとることが難しくなり、ビデオや通話によるオンライン上でのコミュニケーションが増えている。しかし、お互い集まって会話する状況と比べて相手の表情や感情、雰囲気といった情報が伝わりにくい。そのためディスプレイを介してのビデオコミュニケーションや遠隔者の思い通りに動くことができ、自由度の高いコミュニケーションツールとして関心がより高まっている。

テレプレゼンスロボットの普及に伴って、テレプレゼンスロボットの増加による問題が生じると考えられている。遠隔者と現地参加者が1対1で会話をおこなう際に1台のロボットを利用しているため、ロボット利用者が増えることでロボットの台数も増加し、現地参加者とロボット、ロボット同士での衝突や、動きの妨げといった空間的な問題が生じる [1]。この問題に対して岸本ら [2] は、ロボット1台を複数人の遠隔者と現地参加者が共有することで、ロボットの数を減らすという解決法を提案した（図1）。

コミュニケーションロボットであるテレプレゼンスロボットにとって、非言語的な情報はコミュニケーション

*連絡先：立命館大学情報理工学部
滋賀県草津市野路東 1-1-1
E-mail: is0531hv@ed.ritsumei.ac.jp

¹<https://ipresence.jp/>

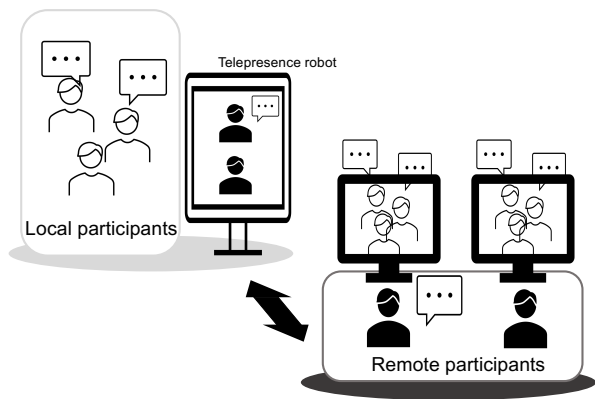


図 1: テレプレゼンスロボットを介した複数人の遠隔参加者と現地参加者

ンにおいて重要な手がかりとなっていることがわかっており、非言語情報の中でも視線は重要な要素の一つである [3]。視線は相手との発話のターン取り、アイコンタクト、共同注意のように、円滑なコミュニケーションを行うにあたって重要視されており [4, 5]、コミュニケーションロボットを利用するにあたってロボットと利用者での視線情報のやり取りは必要である。しかし、複数人の遠隔者の視線方向をそれぞれ同時に示すことが難しいという問題が生じる。テレプレゼンスロボットは視線方向を提示する際に遠隔者の見る対象の方向にディスプレイの正面を向けることで視線方向が表現されている [6, 7, 8]。そのため、複数人で1つのディスプレイを同時に利用しようと考えた際、複数人の遠隔者の見たい方向がそれぞれ異なれば、別々の方向にディスプレイを向けることができず視線方向を提示することができない。

そこで本研究の目的として、遠隔者と現地参加者がテレプレゼンスロボットを用いてコミュニケーションを行う上で複数人の遠隔者と現地参加者が1台のロボットを利用する環境を考え、遠隔者の視線の代わりとして利用することのできる視線提示手法の提案を行う。

岸本ら [2] の研究では複数人の遠隔者の視線を提示するための手法として、1つの平面ディスプレイ内の仮想空間に画像パネルを複数枚配置し、遠隔者の見たい方向にパネルを回転させることで視線方向を提示する手法を提案している。しかし、この手法では正面からディスプレイを見た際の視線方向の推定を正しく行えたが、斜めからディスプレイを見た際の視線方向の推定が困難という結果が得られた。ディスプレイが回転しないために、常に正面から見ることができ環境であるなら問題なく利用することができるが、多人数での利用を考えた際に斜めからでの視線方向を正確に推定することが必要だと考えられる。

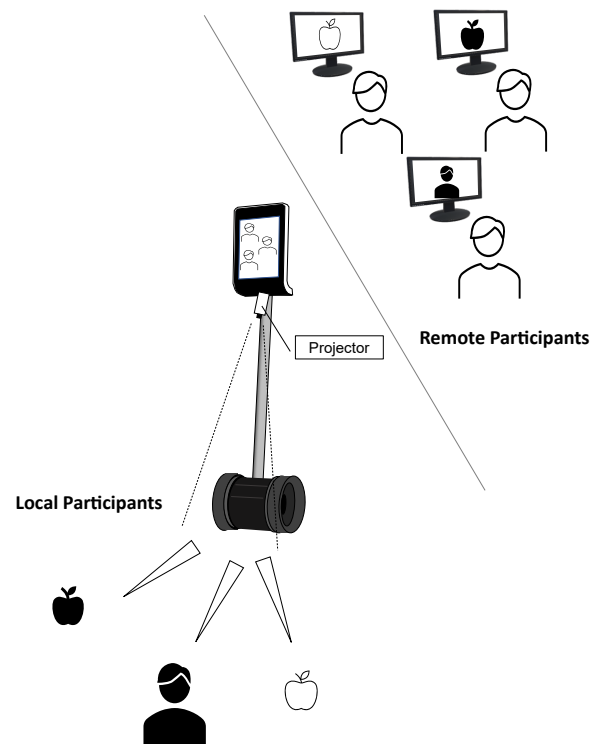


図 2: 提案手法概要

2 提案手法

本研究では、テレプレゼンスロボットを複数人で同時利用を行うために複数人の視線方向を提示する手法について模索することを目的とする。この目的に対し、岸本ら [2] は、画像パネルを複数枚配置し回転させることで問題解決を行ったが、ロボットを斜めから見た際の視線方向の推定が難しいという問題があげられた。そのため、現地参加者がロボットを見る位置にかかわらず正確な視線方向の推定を行うことのできる視線提示手法の提案が必要である。

そこで、遠隔者の視線方向をロボットの足元に投影することで遠隔者の視線方向の提示を行う手法を提案する。この提案手法の概要を図 2 にて示す。プロジェクタで床に三角形を投影し、三角形の向いている先を遠隔者の見ている方向とすることで視線の表現を行う。三角形には視線の誘導性、指向性があるため [9] 視線の対象物へ向けることが簡単にでき、より直感的に視線方向を推定することができるのではないかと考えられる。また、平面ディスプレイを介さずに方向の推定を行うためモナリザ効果の影響を受けず、ディスプレイを見る位置にかかわらず視線方向を正しく推定することが出来るのではないかと考えられる。さらに、プロジェクタ 1 台で複数人の視線を同時に表現することが

出来るために安価で簡単に実装を行うことが出来る。

複数人での利用の場合に三角形を増やす必要があり、どの遠隔者の視線がどの三角形であるかを結びつける必要がある。この結び付けによる視線推定への影響があるか、斜めから視線推定を行った際において正しく視線情報を現地参加者に伝えられるかどうかはわかっていない。そこで、実際に提案手法の実装を行い本提案手法が視線の代替として利用することができるのか調査する。

3 実験

実験の目的は提案した手法が遠隔者の視線方向を提示するための手法として有益であるかの調査である。具体的な手法としては、同時に複数人の遠隔者が視線方向を表現した際に、現地参加者はロボットを正面、斜めから見た際に遠隔者がどの方向を向いているか推定可能かを調査する。想定している環境としては、遠隔者を複数人とし現地側では1人の現地参加者(実験参加者)が、遠隔者の視線方向を推定している想定である。3人の遠隔者をディスプレイに表示し、そのうちの1人を話者として話者の視線方向を回答してもらう。話者とほかの遠隔者を区別するために、ディスプレイに表示された話者を拡大縮小し強調表現を行うことで判別する。複数人での利用を考えた際に、複数の視線方向が床に投影されるが遠隔者の視線がどの三角形かわからなければ、遠隔者の視線方向を推定することは不可能である。そのため、遠隔者と三角形を紐づけるための条件を提案する。

3.1 実験環境

提案手法を実装した際の実装の構成を図3にて示す。本実験では、ロボット(SuitableTechnologies社の移動型テレプレゼンスロボット Beam)を設置し、上部にはディスプレイ(ASUS ZenScreen MB16AMT 15.6型フルHDポータブルIPS液晶ディスプレイ)を取り付けた。地面への三角形を投影する手法としてプロジェクタ(BenQ TH671ST)を利用して、鏡で光を反射させることで地面への投影を可能とした。

PC(OMEN by HP laptop 17-cb0xxx)をディスプレイ、プロジェクタに接続し投影を行った。システムの実装はゲームエンジンであるUnity(version2021.3.6f1)を用いて行う。仮想空間に表示させるパネルは3Dオブジェクトから直方体を作成し、顔画像のイラストを貼り付ける。パネルのスケールはUnity内の仮想空間にて10.0×1.0×15.0(幅×奥行×高さ)[m]とする。実空間上では図4で示すように、ディスプレイに8.0×12.0(幅×高さ)[cm]となるようにパネルを表示させる。ディ

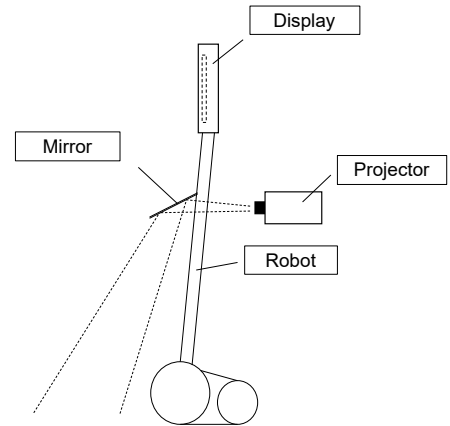


図3: 提案手法の構成

スプレイ間隔を3.0[cm]あけて表示を行う。地面に投影する三角形はMesh機能を利用してワールド空間上にて2.0×20.0(幅×高さ)[m]とする。三角形のMaterialは統一で透明度を0.5に設定する。

実験環境では図5のようにテレプレゼンスロボット、実験参加者、ターゲットと並ぶように配置される。実験参加者がディスプレイを見る角度を θ 、ターゲットの設置する角度を ϕ とする。ディスプレイと地面への投影箇所の回転軸までを $l = 10.0$ [cm]、地面への投影箇所から実験参加者の座る位置までを $r = 1.5$ [m]、投影箇所から遠隔者が視線を向けるためのターゲットまでを $d = 2.0$ [m]とする。地面に投影する三角形は底辺 $b = 4.0$ [cm]、高さ $h = 40.0$ [cm]となるように調整を行う。加えて、三角形の角度を $\theta = 3^\circ$ ずつ左右に動かすことで実際の視線を想定された躍動感を表現する。

視線を向ける角度(図5の ϕ)は、ロボットの正面を 0° として、 30° 間隔で $\pm 60^\circ$ までの5つをターゲットとして地面に設置する。ターゲットとして1辺5.0[cm]の正三角形を底面とした高さ30.0[cm]の三角柱を紙で作成し配置する。三角柱の上部にはターゲットに割り振られた番号が書かれており、番号はディスプレイの方向に向けられている。それぞれのターゲットには番号0, 1, 2と数字が割り振られている。中央を0, 左右に1, 2と端に行くに連れて数字を増やす。これは中央を基準に考えることができ、左右に1, 2と増えることで数字によっての回答時間への影響を小さくすることを目的としている。例えば、左端から1~5という風にターゲットを設置した際に、5のターゲットを数える際、1, 2, 3, 4, 5と数える可能性があり数字によって回答時間に影響を及ぼすと考えたからである。回答にはワイヤレスマウス(Logicool G G304rWH)を用いた。

ディスプレイを見る位置として角度 θ はロボットの正面から見る $\theta = 0^\circ$ 地点、ロボットの斜めから見る -60° 地点とする。岸本ら[2]の研究にて -40° 条件と

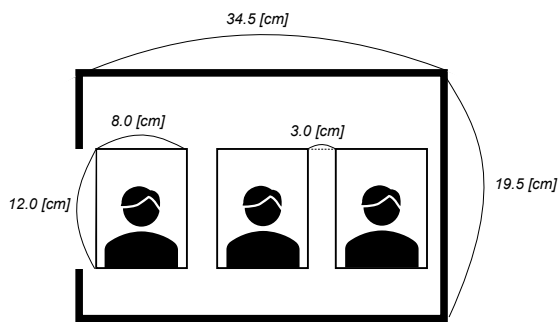


図 4: ディスプレイに表示される構成

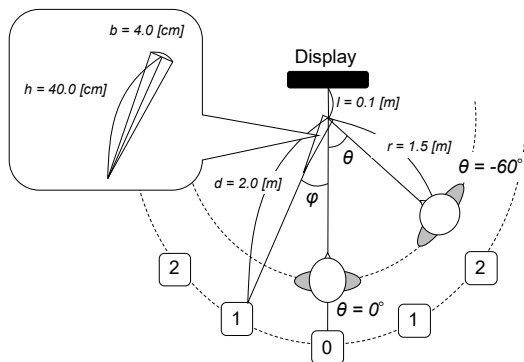


図 5: 実験環境

-60° 条件での正答率の変化がなかったため、本実験では斜めからの推定は -60° 地点のみで行う。ディスプレイを見る角度による影響は左右でないものとし指定する角度を片側のみとする。

3.2 実験条件

複数人での利用に際して、それぞれの三角形がどの遠隔者であるかを判断するために紐づけを行う必要がある。そこで、今回は紐づけるための条件として2つの条件の提案を行った。1つ目は遠隔者のパネルの背景に色を割り振り三角形にも色付けを行うことでの紐づけを行う条件である。以降では「Color 条件」と呼称する。2つ目は三角形の表示させる位置に間隔を置き、遠隔者のパネルの直下から三角形を投影することによって三角形の位置での紐づけを行う条件である。以降では「Position 条件」と呼称する。

この提案手法を岸本ら [2] が提案した仮想空間上でパネルを回転させる従来手法 (今後、Panel 条件と呼称する) と比較することでの調査を行う。Panel 条件と比較する理由としては、既存の提案手法の中で多数人を

想定した環境での調査を行っており、斜めから見た際の正答率が悪かったという結果があった。そのために、正面と斜めでの視線推定を比較することで、提案手法を評価することができるのではないかと考える。

これら2つの条件に Panel 条件を加えた3条件での比較を行う。それぞれの条件において、遠隔者側が3人の想定で行われ、実際の様子を図6にて示す。それぞれの条件について詳しく述べていく。

(1) Color 条件では、それぞれの三角形に赤、青、緑の色付けを行い、ディスプレイの遠隔者の背景にも三角形と対応した色を設定することで遠隔者と視線の紐づけを行う。また、遠隔者同士が同じ方向を向いた際に、三角形がかぶってしまい判断が困難になるといった問題がある。そのため色の Material の透過度を 0.5 に下げることで、色が混ざり三角形の色を推測を可能にする。また、三角形の角度が細かく左右に動いているために、色がずれて表現されるタイミングができ元の色を確認することができる。

(2) Position 条件では、三角形の開始位置を変えることで遠隔者との紐づけを行う。三角形の開始位置を左右 10.0 [cm] 間隔をあけた。ディスプレイにそれぞれ分割された遠隔者の画像が表示されており、それぞれ対応した三角形を遠隔者のパネルの直下から表示する。三角形が表示され始めている場所を変えることで紐づけを可能とした。

(3) Panel 条件では、仮想空間内にて作成したパネルを回転させてパネルの向きによって視線方向提示する手法で行った。これは岸本ら [2] が提案した従来手法で、パネルの回転をディスプレイの回転と見立てることで視線方向をパネルの方向に向けることで提示する手法である。

同じ条件、ターゲットが続いた際に結果に影響が出ることを防ぐために、回答後に地面への投影、ディスプレイでの表示を 2.0 [s] 消し、そのあと刺激を再度提示する。Position 条件、Panel 条件では左右の遠隔者の視線の回転軸は実験環境の中央に回転の中心が位置していない。加えて、Panel 条件においては回転軸がディスプレイ地点にあり、奥行 $l = 1.0$ [m] の長さだけ ϕ の値にずれが生じる。そのため三角形とパネルの角度に補正を加えることで、すべての遠隔者はターゲットを見ることを可能とする。視線提示条件をディスプレイを見て判断できるように、視線提示条件ごとの遠隔者の背景色を設定する。Color 条件においては3色の背景色を設定しているが、Panel 条件、Position 条件での区別を行うことが難しい。そのため遠隔者の背景色を Color 条件と異なる、Panel 条件が黄色、Position 条件に白色を設定する。

ディスプレイを見る角度による条件として、ロボットの正面から見る 0° 条件、ロボットの斜めから見る -60° 条件の2条件とする。

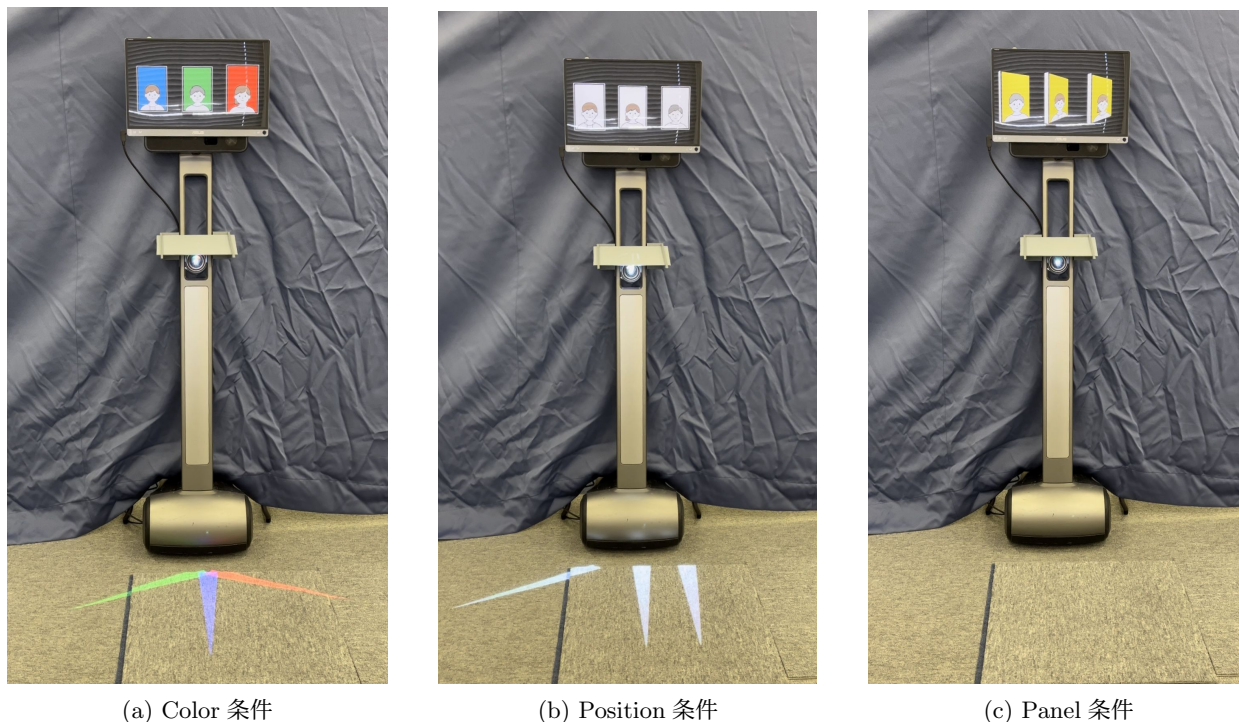


図 6: 視線提示条件

3.3 実験方法

被験者は 21 歳～24 歳の大学生 10 名である。各被験者はすべての実験条件にて視線推定を行う。

実験の流れは以下のとおりである。まずは実験環境を満たすように指定した位置に座り、ディスプレイの中央に目線が来るように椅子の高さを調整する。刺激の提示後、話者が視線を向けていると思ったターゲット番号を回答し、回答後 2.0 [s] のインターバルを挟み再度刺激の提示が行われる。これを練習フェーズとして 30 問繰り返す。60.0 [s] の休憩後、本番フェーズとして 50 問回答 60.0 [s] 休憩を 1 セットとして 3 セットを行う。座る位置を変更後、練習フェーズ、本番フェーズを再度行う。

回答方法は、参加者はマウスをクリックすると同時にターゲット番号を口頭で答えるよう指示し、実験者がシステムに回答番号を入力する。口頭での回答を行った理由としては、キーボードを用いての回答を行った場合にターゲット番号によって回答時間に影響が出る可能性を考え、ターゲット番号による回答への影響を少なくするために採用した。練習フェーズにて、マウスをクリックすると同時に口頭で答えられるように指導し、発声とマウスクリックとの間に時間的な差が出ないようにした。回答時間があまりにも早すぎる 200 [ms] 未満のものは誤クリックと判断して、マウスクリック後に悩んだり、考えたりしたもの、聞き取ることができなかったものは回答エラーとして分析からは除外する。

言い直したものに関しては、初めに認識したターゲットの番号を記録し時間の計測を行うために、一度目に発言した回答を入力し分析を行った。

全体の試行数は (視線提示方法) × (ディスプレイを見る角度) × (遠隔者が視線を向ける角度) の組み合わせで行う。視線提示方法は 3 種類、ディスプレイを見る角度は 2 種類で行う。遠隔者が視線を向ける角度 ϕ は 5 つあり、遠隔者が 3 人いるために遠隔者それぞれの視線を向ける角度は 5 つある。そのため組み合わせは $5^3 = 125$ 通りで 1 つの角度当たり 25 回の試行数である。しかし、実験の進行の都合上試行数を減らす必要があり、ラテン方格法によって試行回数を減らした。そのため、1 つの角度当たり 10 回の試行数として、遠隔者が視線を向ける角度の組み合わせは、 $10 \times 5 = 50$ 通りとする。そのため、全体の試行数は $3 \times 2 \times 50 = 300$ となり 1 人当たり 300 回の試行を行う。連続して同じ視線提示条件を出にくくするために重み付き確率によって毎回抽選を行う。この確率を以下の式 (1) にて示す。

$$1 \text{ つの提示条件が出る確率} = \frac{(1 \text{ つの提示条件での残りの回数})}{(\text{すべての提示条件での残りの回数})} \quad (1)$$

はじめは 1 つの角度にて視線提示条件を 50 回の試行数としており、1 つの視線提示条件が選ばれるごとにその条件での残りの試行回数が減っていき、その条件が出る確率も減っていく。そのため、残りの試行回数が少ない条件は表示される確率が低くなり、表示さ

れていない条件は選ばれやすくなるようになる。同様に、話者がディスプレイの左右、真ん中の3つのどの位置に来るかについても同じ方法で抽選を行う方法をとった。

ディスプレイを見る角度は $\theta = 0^\circ$, $\theta = -60^\circ$ の2か所から視線推定を行うが、順序効果を考慮するために実験参加者ごとに座る順序を前後させた。

3.4 評価指標

評価指標としては、正答率と回答時間からの評価を行う。まず、正答率の値によって視線方向を正しく推定することが可能か評価をおこない、回答時間の値によって認知的な負荷や直感的に遠隔者の視線方向を推定することができるかを評価することを目的としている。認知的な負荷が高いと対象を認識までに要する時間が長くなるため [10], 回答時間を短くすることによって認知的な負荷を軽減させることができると考えられる。また、地面の視線方向と遠隔者の紐づけを円滑に行うことが出来るかを調べる事が出来る。

本実験では、Panel 条件と複数の三角形を投影し紐づけの条件を変えることでディスプレイを見る位置による正答率、回答時間への影響を調査する。

3.5 結果

3.5.1 正答率

正答率の結果について述べていく。表1に各視線提示条件での正答率、図7にてディスプレイを見る位置ごとの各視線提示条件の正答率を示す。グラフのエラーバーは標準誤差を示す。視線提示方法ごとの正答率は、ディスプレイを見る角度 $\theta = 0^\circ$ のとき Panel が 0.98, Color が 0.99, Position が 0.95 となった。Color, Panel 条件での正答率は同程度であり、Position 条件ではわずかに正答率が低下している。ディスプレイを見る角度 $\theta = -60^\circ$ のときにおいては、Panel が 0.78, Color が 0.98, Position が 0.97 となり、Color, Position 条件での正答率は同程度であったが、Panel 条件での正答率が低下していた。

ここで、ディスプレイを見る位置ごとの各視線提示条件間での正答率について対応のある t 検定を行い、多重比較による問題を解消するために Bonferroni 法にて補正を行った。以下検定における有意水準は 0.05 とし、Bonferroni の調整により、有意水準を $0.05/3 = 0.017$ とする。また、帰無仮説として「それぞれの条件間での正答率において有意な差は存在しない」と設定した。

まず、 $\theta = 0^\circ$ から見た際における正答率の検定を行う。Panel 条件と Color 条件についての両側 t 検定にて $p = .38 (> .017)$ より対立仮説は棄却されず、二

表 1: 各条件ごとの正答率

Position [deg]	Accuracy		
	Panel	Color	Position
0	0.98	0.99	0.95
-60	0.78	0.98	0.97

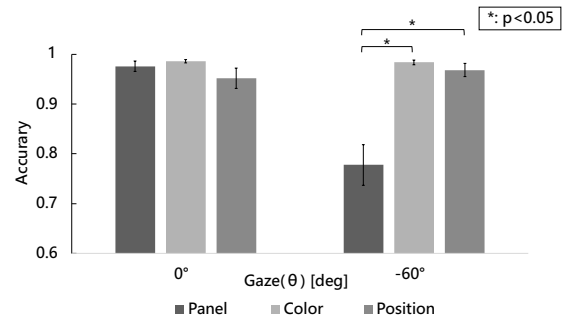


図 7: 各条件ごとの正答率

つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。次に Panel 条件と Position 条件についての両側 t 検定にて $p = .12 (> .017)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。最後に Color 条件と Position 条件についての両側 t 検定にて $p = .13 (> .017)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。次に、 $\theta = -60^\circ$ から見た際における正答率の検定を行う。Panel 条件と Color 条件についての両側 t 検定において $p < .0010$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の正答率に有意な差が現れた。次に、Panel 条件と Position 条件についての両側 t 検定において $p = .0020 (< .017)$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の正答率に有意な差が現れた。最後に Color 条件と Position 条件についての両側 t 検定において $p = .17 (> .017)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。

次に、それぞれの視線提示条件ごとのディスプレイを見る位置 ($\theta = 0^\circ$ 条件, $\theta = -60^\circ$ 条件) による正答率について対応のある t 検定を行う。優位水準は 0.05 とし、帰無仮説として「それぞれのディスプレイを見る位置間での正答率において有意な差は存在しない」と設定した。

まず、Panel 条件での $\theta = 0^\circ$ 条件, $\theta = -60^\circ$ 条件についての両側 t 検定にて $p = .0018 (< .05)$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の正答率に有意な差が現れた。次に、Color 条件での角度条件間についての両側 t 検定にて $p = .67 (> .05)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。

最後に、Position 条件での角度条件間についての両側 t 検定にて $p = .18 (> .05)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の正答率に有意な差が現れなかった。

以上より、正答率では $\theta = 0^\circ$ 条件での視線提示条件間では有意な差は存在せず、 $\theta = -60^\circ$ 条件では Panel-Color 条件間、Panel-Position 条件間での有意な差がみられた。視線提示条件ごとのディスプレイを見る位置による有意な差は Panel 条件にのみ現れた。

3.5.2 回答時間

回答時間の結果について述べていく。表 2 に各視線提示条件の回答時間、図 8 にてディスプレイを見る位置ごとの各視線提示条件での回答時間を示す、グラフのエラーバーは標準誤差を示す。ディスプレイを見る角度 $\theta = 0^\circ$ のとき Panel が 0.98 [s]、Color が 1.32 [s]、Position が 1.51 [s] となった。ディスプレイを見る角度 $\theta = -60^\circ$ 条件においては、Panel が 1.20 [s]、Color が 1.34 [s]、Position が 1.59 [s] となり、どちらの角度条件においても Position、Color、Panel 条件の順に回答時間が速くなった。

ディスプレイを見る位置ごとの各視線提示条件間での回答時間の検定を行う。これは正答率と同じ検定方法で行う。また、帰無仮説として「それぞれの条件間での回答時間において有意な差は存在しない」と設定した。

まず、 $\theta = 0^\circ$ から見た際における回答時間の検定を行う。Panel 条件と Color 条件について両側 t 検定において $p < .0010$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。次に、Panel 条件と Position 条件について両側 t 検定において $p < .0010$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。最後に、Color 条件と Position 条件について両側 t 検定において $p = .0025 (< .017)$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。次に、 $\theta = -60^\circ$ から見た際における回答時間の検定を行う。Panel 条件と Color 条件について両側 t 検定において $p = .098 (> .017)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れなかった。次に、Panel 条件と Position 条件について両側 t 検定において $p = .0034 (< .017)$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。最後に、Color 条件と Position 条件について両側 t 検定において $p < .0010$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。

次に、それぞれの視線提示条件ごとのディスプレイを見る位置ごと ($\theta = 0^\circ$ 条件、 $\theta = -60^\circ$ 条件) による回答時間について対応のある t 検定を行う。優位水準は 0.05 とし、帰無仮説として「それぞれのディスプレイを見る位置間での回答時間において有意な差は存在しない」と

表 2: 各条件ごとの回答時間

Position [deg]	AverageTime [s]		
	Panel	Color	Position
0	0.98	1.32	1.51
-60	1.20	1.34	1.59

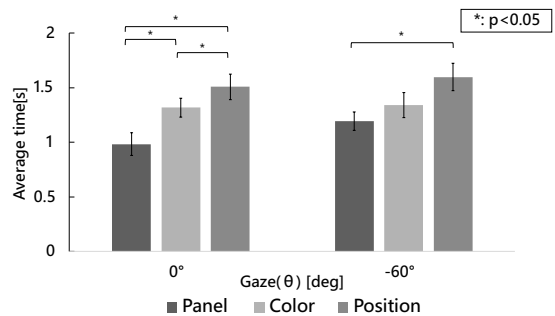


図 8: 各条件ごとの回答時間

設定した。まず、Panel 条件での $\theta = 0^\circ$ 条件、 $\theta = -60^\circ$ 条件についての両側 t 検定にて $p = .033 (< .05)$ より対立仮説は棄却され、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れた。次に、Color 条件での角度条件間についての両側 t 検定にて $p = .73 (> .05)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れなかった。最後に、Position 条件での角度条件間についての両側 t 検定にて $p = .13 (> .05)$ より対立仮説は棄却されず、二つの条件間の回答時間に有意な差が現れなかった。

以上より、回答時間では $\theta = 0^\circ$ 条件ではすべての視線提示条件間にて有意な差が表れ、 $\theta = -60^\circ$ 条件では Panel-Position 条件間、Color-Position 条件間での有意な差がみられた。視線提示条件ごとのディスプレイを見る位置による有意な差は Panel 条件にて $\theta = 0^\circ$ 条件、 $\theta = -60^\circ$ 条件のどちらにも現れた。

4 考察

4.1 正答率

まずは正答率についての考察を行っていく。結果より、 $\theta = 0^\circ$ 条件においてすべての提示手法での正答率が高く、視線提示条件間での差は見られなかった。 $\theta = -60^\circ$ 条件においては本提案手法である地面提示手法による正答率が高かったことが分かり、Panel 条件においては $\theta = 0^\circ$ 条件と比べて、 $\theta = -60^\circ$ 条件での正答率が低下するという岸本ら [2] の結果は本実験でも再現された。

地面への投影手法の正答率が全体的に高くなった理由としては、斜めから見ても三角形の先を答えればよいために、ターゲットまでの視線誘導が可能になったと考えられる。また、ターゲットの選択肢が少なかった可能性があると考えられる。実験の進行の都合上で、ターゲットの数を岸本ら [2] の実験に比べて少なく設定してしまったことにより、回答の選択肢が狭くなり、正答率が全体的に上がってしまった。しかし、視線の大まかな方向であれば、間違えることなく正確に現地参加者は推定することができるということがわかった。地面提示手法の中では Position 条件は Color 条件より全体的にミスが多い傾向を見ることができた。これは、Position 条件での三角形が交差することによって複雑になり間違えたと考えられる。実験後のアンケートにて Position 条件での三角形が交差する際の回答が難しいという意見もあり、三角形の交差がミスを誘発させたのではないかと考えられる。Position 条件では視線方向を推定する際に三角形の始点を見ることによって遠隔者との紐づけを行い、三角形の先にたどって見ることによって視線方向を推定している。三角形の始点から先まで視線をたどる際に交差することによって、三角形の始点から三角形の先を目線でたどる際に交差している他の三角形に目線を奪われてしまいミスを誘発してしまうのではないかと考えた。

4.2 回答時間

回答時間については、Panel 条件と地面提示条件間では $\theta = 0^\circ$ 条件にて有意な差があった。しかし、 $\theta = -60^\circ$ 条件においては Panel-Position 条件間での有意差はあったが、Panel-Color 条件間では有意な差は見られなかった。これは斜めから見た際の Panel 条件は視線の推定が難しく、回答を考える時間があつたために回答に時間がかかったためであると考えられるが有意な傾向が見られた。Panel 条件と地面提示条件間での差が出た原因としては、地面を一度見るためであると考えられる。Panel 条件では、ディスプレイを見て条件を判断しそのまま視線方向の推定を行うが、地面提示条件ではディスプレイを見て条件を判断した後に地面を見て方向の推定を行う。そのためディスプレイから地面に視線を動かす時間がかかってしまい、回答時間が増加したと考えられる。Panel 条件と地面提示条件の中で回答時間が短い Color 条件とは、 $\theta = 0^\circ$ 条件において 0.33 [s]、 $\theta = -60^\circ$ 条件において 0.14 [s] の差があり、コミュニケーションを行う際に違和感を感じる可能性がある。そのため回答時間を短くする手法の提案が必要になる。

次に、地面に投影する提示手法である Color-Position 条件間では $\theta = 0^\circ$ 条件にて有意な差があり、 $\theta = -60^\circ$ 条件では有意な差は見られなかったが減少傾向にあつ

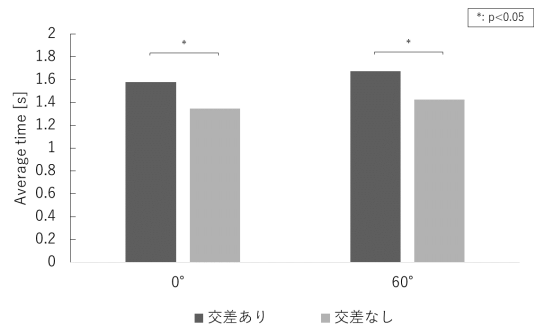


図 9: Position 条件における交差の有無による回答時間の違い

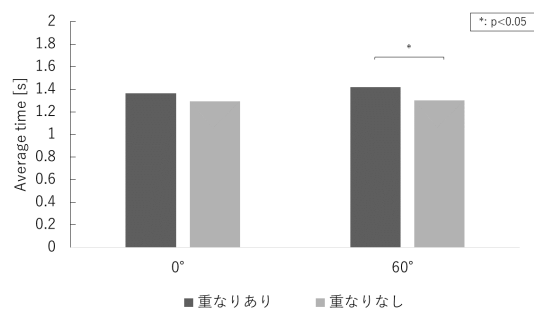


図 10: Color 条件における色の重なりの有無による回答時間の違い

た。これらの差がでた原因として正答率についての考察でも述べたが、Position 条件での三角形が交差する際の回答が難しいということが原因であると考えられる。そこで、Position 条件における交差ありとなしの状態での回答時間を図 9 にて示す。図より座る位置に関係なく交差ありの条件が回答時間がかかっていることがわかる。そのために、三角形が交差することによって複雑になり、認知時間に影響を及ぼすということが分かった。Position 条件において三角形の交差によって差が出たため三角形の重なりが、回答時間に影響があるのではないかと考え、Color 条件でも色が重なることによる回答時間への影響を調査した。そこで、色が重なった際とそうでない状況での回答時間を図 10 に示す。図よりどちらの条件においても 0.1 [s] 程度の遅延があることが分かったが、有意な差はなく非常に小さい値であるため色の重なりでの影響は少ないと考えられる。交差が有ることによって回答時間に遅延が出たが、色の重なりによる回答時間の遅延発生しなかったために Color 条件と Position 条件の回答時間に差が出ているのだと考えられた。

5 おわりに

本研究では、テレプレゼンスロボット1台を複数人で利用することでロボットが空間を占領する空間的な問題を解決し、床に遠隔者の視線を投影することで視線の代替え手段とする手法の提案、調査を行った。複数人の遠隔者と三角形の紐づけを行うために遠隔者と三角形を色で対応させる条件、遠隔者の話すディスプレイの位置の直下から三角形を開始させる条件を提案し、従来手法である仮想空間にてパネルを回転させる条件の3つの視線提示条件間での比較を行った。これらの視線提示条件ごとにディスプレイを正面から見る条件、斜めから見る条件での視線方向を推定する実験を行い、ディスプレイを見る位置によっての視線推定への影響を調査した。その結果、ディスプレイに表示させパネルを回転させる従来手法が斜めから見た際に視線方向の推定が難しかったことに対して、提案手法は正面、斜めから見ても視線方向を正確に推定することが可能であるとわかった。しかし、提案手法は従来手法に比べて視線方向を認知する時間が増加するということがわかった。

認知時間が増加したことによって、コミュニケーションに悪影響を及ぼす可能性がある。視線を推定することにかかる時間がコミュニケーションを行う上でどのような影響があるのか、また、悪影響を及ぼすと考えた際には認知時間を短縮させるための、視線提示方法、ロボットデザインを検証していく必要があると考える。

上記2つの環境を組み合わせて実装することで、認知時間が増加する問題を解消することのできる視線提示方法、ロボットデザインを模索していく。

参考文献

- [1] Irene Rae and Carman Neustaedter. Robotic telepresence at scale. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 313–324, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [2] 岸本和太, 松村耕平, 川口一画, 岡藤勇希. ディスプレイ中の顔画像の方向推定における表示人数や立ち位置の影響に関する調査. *情報処理学会論文誌*, Vol. 64, No. 2, pp. 326–335, feb 2023.
- [3] 菅野重樹, 渋谷恒司. 非言語コミュニケーションのための人間形ロボット. *日本ロボット学会誌*, Vol. 15, No. 7, pp. 975–978, 1997.
- [4] Roel Vertegaal. The gaze groupware system: Mediating joint attention in multiparty communication and collaboration. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, p. 294–301, New York, NY, USA, 1999. Association for Computing Machinery.
- [5] Janet Beavin Bavelas, Linda Coates, and Trudy Johnson. Listener responses as a collaborative process: The role of gaze. *Journal of Communication*, Vol. 52, No. 3, pp. 566–580, 2002.
- [6] Ikkaku Kawaguchi, Hideaki Kuzuoka, and Yusuke Suzuki. Study on gaze direction perception of face image displayed on rotatable flat display. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, p. 1729–1737, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [7] Sigurdur Adalgeirsson and Cynthia Breazeal. Mebot: A robotic platform for socially embodied presence. pp. 15–22, 01 2010.
- [8] Nicole Yankelovich, Nigel Simpson, Jonathan Kaplan, and Joe Provino. Porta-person: Telepresence for the connected conference room. pp. 2789–2794, 04 2007.
- [9] 渡邊秀, 柳原正実, 小根山裕之. 走光型視線誘導システムによる加速挙動時の車頭時間変化要因分析. *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 74, No. 5, pp. 1219–1227, 2018.
- [10] 安部原也, 菊地一範, 岩城亮, 藤井健. ドライバの視覚的な注意に対する認知負荷の影響 (機械力学, 計測, 自動制御). *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 76, No. 767, pp. 1662–1668, 2010.