

遠隔作業指示における身体動作と視線提示の効果

大槻麻衣^{*†1} 山口央士朗^{†1} 今田昇吾^{†1} 葛岡英明^{†1} 鈴木雄介^{†2}

概要：複数の参加者が現実世界の実オブジェクトに対して協調的に作業を行うことは「物理的協調作業 (collaborative physical task)」と呼ばれている。今日ではモバイル端末などを用いて、離れた場所にいる参加者同士がネットワーク越しに、実オブジェクトに対して作業を行う「遠隔物理的協調作業」が可能である。本研究では、特に、遠隔地にいる「指示者」が現地の「作業員」の状況を把握しながら、作業員へ指示を出すことによって、ものの操作に関する知識や技能を伝達する作業に着目し、これを支援する遠隔作業指示システムの開発を行う。

本研究では拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 技術によって対話者の全身の映像を作業員・指示者両方に提示し、身振り・手ぶり・視線といった非言語情報を伝達することによって、この問題を解決することを目的とする。本稿では、システムの構築と、提案手法による非言語表現の伝達が作業効率、印象、認知的負荷に及ぼす影響を評価する実験を行ったので報告する。

キーワード：CSCW, 遠隔物理的協調作業, 遠隔協調作業, 予期, 拡張現実感

1. はじめに

複数の参加者が現実世界の実オブジェクトに対して協調的に作業を行うことは「物理的協調作業 (Collaborative physical task)」[1] と呼ばれている。今日ではモバイル端末などを用いて、離れた場所にいる参加者同士がネットワーク越しに、実オブジェクトに対して作業を行う「遠隔物理的協調作業」が可能である。本研究では、特に、遠隔地にいる「指示者」が現地の「作業員」の状況を把握しながら、作業員へ指示を出すことによって、ものの操作に関する知識や技能を伝達する作業に着目し、これを支援する遠隔作業指示システムの開発を行う。

会話中に実オブジェクトを参照する際の視線や、身振り手振り、指差しなどは「非言語表現」と呼ばれ、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たす[2][3]。参加者は相手の非言語表現から次の行動を予期することで、円滑に作業を進めることができる。

これまでに、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 技術によって、これらの非言語表現を提示し、遠隔作業を支援する指示システムが提案されてきた [4]–[7]。これらのシステムは、作業空間を観察している指示者の手振りやポインティングを作業員のヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) やタブレットに提示することによって、遠隔作業指示を実現している。

従来の研究では、卓上の組み立て作業などの比較的狭い環境での作業に注目していたため、単なるマウスポインタや手先の映像などの単純な指示映像で十分であった。しかし、大型プラントの保守のように、作業員や指示者が頭部や体を動かすことで視野を移動させなければ作業対象の観察ができないような「広い空間」で作業をする場合には、

手ぶりやポインティングのみの提示では、対話者の場所や指示している場所を見失うことが多くなり、広い空間のどの部分で作業を行おうとしているのかが予期できず、作業効率が低下するという問題がある。モバイル端末・HMD等は、可搬性の高さから広い領域に対応できると考えられがちであるが、実際には端末に組み込まれているカメラやディスプレイの視野角が限られるためである。

この問題に対し本研究では、対話者の手先だけでなく、全身映像を作業員・指示者両方に AR 提示することによって解決することを目的とする。さらに、実験によって非言語表現が作業効率や印象、認知的負荷に及ぼす影響を調査する。

2. 関連研究

コミュニケーションにおいて、相手の目線や身振り手振り、位置関係、体の向きなどの情報は非言語表現と呼ばれ [3], [8], その重要性は古くから指摘されている [9]。特に社会学においては、身体的な志向 (orientation) と予期の関係が議論されてきた [10]。通常、指示者が作業員と対面して作業指示を行う場合には、相手の身振り・手振り、相互の位置、顔・体の向きなど様々な非言語表現を観察することによって、例えば、視線や腕の移動の軌跡から、「次にどの作業領域に行き、何をしようとしているのか」といった「予期」を行っており、この「予期」の有無が作業効率や質に大きな影響を与えるとされている [11]。

これまでに、遠隔作業指示システムとして、ウェアラブル機器を使用した遠隔作業支援システムが提案されている。Sakata らは、指示者が、指示対象の映像にスケッチして作業員に提示したり、レーザーポインタを遠隔操作して指示対象を直接指し示したりすることによって、作業支援を行う

*†1 筑波大学
University of Tsukuba
†2 沖電気工業株式会社
Oki Electric Industry Co., Ltd.

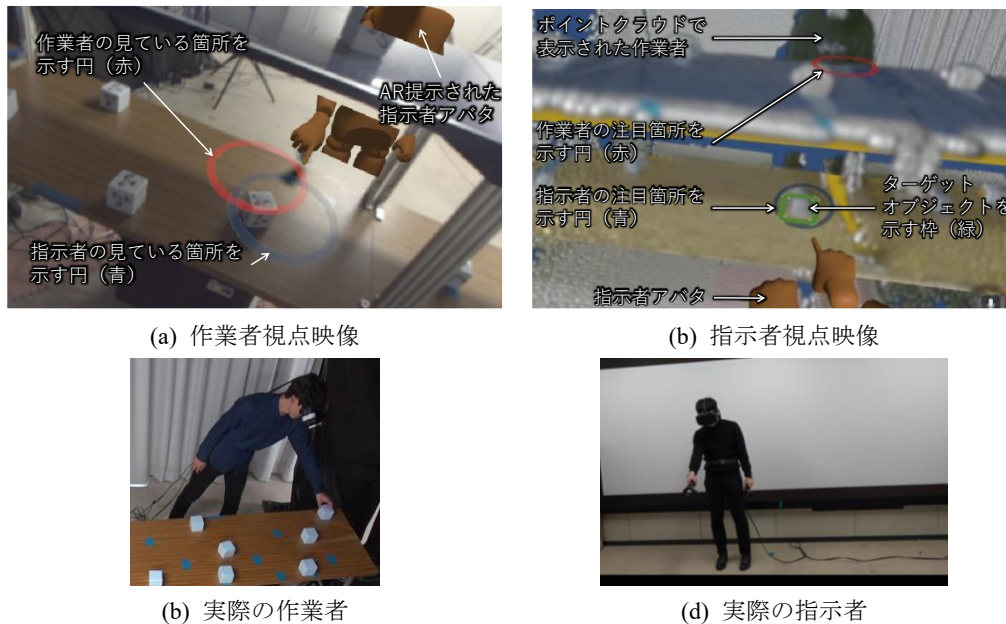


図 1 作業者が指示者から作業指示を受ける様子

ことができるウェアラブルデバイス、WACL/CWDを開発した[12]. この研究では、そうした機能が作業指示の効率化や心理的な側面に効果があることが明らかになった. しかし作業によっては、ポインティングだけではオブジェクトの指定には有用であるものの「そのオブジェクトを 45 度回転させてはめ込む」といった動作表現を伝達するには不十分であることが示されている [13].

これに対し、AR 技術を利用したシステムも注目されている. Gauglitz らは作業空間を観察している遠隔地の指示者が描いた線が作業者が持っているタブレットに重畳する (Gauglitz et al., 2014) ことによって指示を行う. また、作業空間を観察している指示者の手先を作業者に提示することで、動作を含めた指示を行うシステムも提案されている [4]-[6].

従来のこうした研究では、卓上の組み立て作業などの比較的狭い環境での作業に注目していたため、ポインタや手先の映像などの単純な指示映像で十分であった. しかし、大型プラントの保守のように、作業者や指示者が頭部や体を動かすことで視野を移動させなければ作業対象の観察ができないような「広い空間」で作業をする場合には、対話者が広い空間のどの部分で作業を行おうとしているのかが予測できず、作業効率が低下するという問題がある.

Yamashita らによれば、特に広い作業領域でおこなわれる遠隔作業指示では、こうした非言語表現による予測の有無が、作業効率や質に大きな影響を与えることが指摘されている[14]

これらより、本研究では「広い空間」での作業を対象とし、指示者の身振りや手ぶりなどの、体全体を使った指示を作業者が観察できるような遠隔作業指示システムを実現する、さらに、実験によって非言語表現が作業効率や印象、

認知的負荷に及ぼす影響を調査する.

3. 遠隔作業指示システム

3.1 システム構成

本研究では、相互の身体動作などの非言語表現を提示することによって、動作の予期を支援するシステムを開発した. 本システムは作業を行う「作業者」と遠隔から作業指示を行う「指示者」の 2 名が、機等をはさんで向き合って行う作業を想定した. 図 1 に、作業者、指示者が見る映像と、作業の様子、図 2 に作業環境の模式図を示す.

作業者はステレオカメラ (Ovrvision) が取り付けられた HMD (HTC Vive) を装着することで、実際の作業空間を観察しながら、AR 提示された指示者アバター (仮想の指示者) から指示を受ける (図 1 (a)). 作業者側の作業環境の対角線上には、作業者の頭部の動きをトラッキングするためのベースステーション (HTC Vive 付属)、机の前方上部に作業者の環境を取得するデプスセンサ (Kinect for windows)

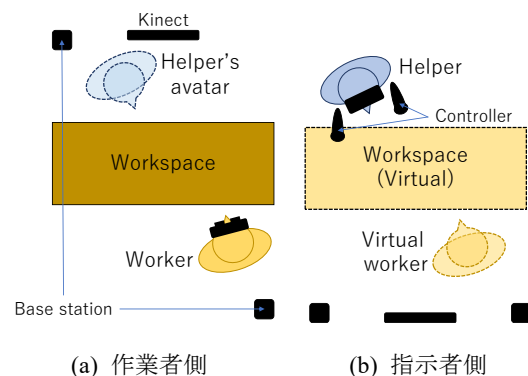
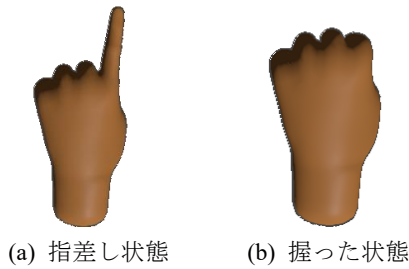


図 2 作業環境



図 3 全身アバタの方向を示す矢印
(画面左)



(a) 指差し状態 (b) 握った状態
図 4 手形状

をそれぞれ設置する。HTC vive によって取得された作業者の頭の位置姿勢は指示者側 PC へ送信される。また、Kinect は指示者側の PC に接続され、作業者の環境を逐次取得、送信する。作業者側 HMD は作業者側 PC と TPCAST によって無線で接続する。

指示者は HMD を装着し、手先の位置・姿勢を取得するためのコントローラ (HTC Vive 付属) を持つ。指示者は、ポイントクラウドで表示された作業者環境、および自身の動きに同期するアバタを VR (Virtual reality) 空間内で観察しながら、作業者に指示を行う (図 1 (b))。作業者環境と同様に、指示者環境の前方に、指示者の頭部の動きおよび指示者が持つコントローラの動きをトラッキングするためのベースステーション、前方上部に、指示者の身体位置・向きを取得するための作業者側 PC に接続された Kinect を設置する。指示者の位置と手先の位置姿勢は作業者側 PC へ送信される。作業者側に AR 提示される指示者アバタは、ここで取得された指示者の各部位の位置姿勢に同期して動く。

作業者側 PC は CPU: intel Core i7-7700, メモリ : 16GB, GPU: NVIDIA GeForce GTX1080 / 8GB を搭載した Windows 10 PC, 指示者側 PC は CPU: Intel Core i7-6700, メモリ : 16GB, GPU: NVIDIA GeForce GTX1060 / 6GB を搭載した Windows 10 PC を使用した。指示者側の VR 空間の構築、および作業者側の AR 空間の構築には Unity を用いた。

3.2 機能

視線情報提示 (作業者, 指示者両方) : 机上のどこを見ているかを示す円を提示する (図 1 (a), (b))。指示者・作業者の両目の間から正面方向に視線を示す線を伸ばし、机およ

び棚との交差判定を行い、交差した点を中心に半径 30cm の円を描画する。

アバタ位置提示 (作業者のみ) : 指示者の全身アバタが作業者の視野外に存在するときその方向を示す矢印を表示する (図 3)。

手形状の変更 : 指示者がコントローラのトリガーボタンを押している間は、作業者が観察する指示者の全身アバタの手形状を指差しに、それ以外は手を握った状態にして表示する (図 4)。

4. 実験 : 指示者の全身アバタおよび両者の視線情報の提示の効果

4.1 実験目的

全身アバタおよび視線情報による非言語表現が作業に及ぼす影響を調査する。本実験では、以下の 3 条件について被験者内配置で比較する。

【条件 1 (提案手法) : 全身アバタ+視線】作業者に、指示者の身体動作に同期する全身アバタ (図 5 (a)) を提示する。また、3.2 節で述べた視線情報機能によって、互いの視線を提示する。

【条件 2 : 手先のみ】アバタの手先のみ (図 5 (b)) を作業者、指示者にそれぞれ提示する。関連研究[4]-[6]に基づいている。視線提示は行わない。

【条件 3 : 対面】実際に机をはさんで向かい合い、同じ空間で作業を行う

4.2 実験環境

本実験では、図 2 中の作業空間を机、およびその上に置かれた棚とした。具体的には、作業者の前方には作業空間となる机 (奥行 60 cm x 幅 300 cm x 高さ 70 cm) を配置



(a) 全身アバタ (条件 1) (b) 手先のみ (条件 2)

図 5 実験条件 (作業者視点映像)

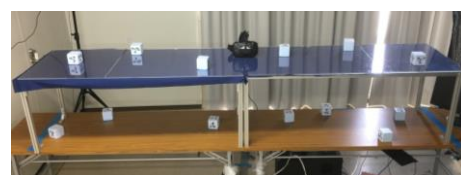


図 6 作業者側実験環境

し、さらに、視線や体を上下させることによる影響を調べるために、机の上に棚（床からの高さ 130 cm）を設置した（図 6）。

4.3 タスク

文献 [7] の実験を参考にタスクを設定した。作業者は、指示者の指示に従って机上または棚の上にあるオブジェクト（図 7）に書かれている数字を読み上げさせた。読み上げ作業 20 回を 1 セットとし、各条件 1 セットずつ、計 60 回の読み上げを行わせた。

指示者は実際にシステムを運用する場合に全行程を把握した熟練者が指示することを模擬した。具体的には、条件 1, 2 では、指示書として対象オブジェクトを示す枠と HMD の右下隅にパーツ名を重畳描画し（図 8）、指示者はそれに基づいて作業者に指示を行わせた。この仮想の枠が指示者の視野外に移動したときにはその方向を示す矢印を表示した（図 9）。指示書は右手コントローラのボタンによって次の手順、左手コントローラのボタンによって前の手順へ戻ることができる。

条件 3 においては、指示者にステレオカメラ付き HMD を装着させ、実際の作業空間に指示書とパーツ名を重畳することによって指示を行わせる（図 10）。作業者は何も身に着けない。

4.4 実験手順

- (1) 遠隔作業指示システムの説明：参加者に、本システムを用いることで、各条件において、指示者、作業者の双方にどのように作業空間が見えるかを説明した。
- (2) タスクの説明
- (3) 実験：各条件において、練習、本番の順番で実験を行う。条件の実施順は、参加者グループ間でカウンタバランスを取った。練習では、オブジェクトの数字の読み上げを参加者が満足するまで行わせた。オブジェクトの指示パターンは練習も含めて毎回ランダムとし、実験内において、2 回以上、同じ位置のオブジェクトに記載された同じパーツ名は読み上げられないようにした。
- (4) 主観評価：1 条件終了後、作業者と指示者にアンケートに回答させる。アンケート項目は 7 段階のリッカート尺度によって NASA-TLX [15] による 6 つの尺度（1：負荷が低い，7：負荷が高い）に加え、作業困難度（1：簡単，7：困難）、作業ペース（1：遅い，7：早い）、相手の存在を感じたか（1：感じた，7：感じなかった）、システムの有用性（1：高い，7：低い）に関して回答させた（表 1）。また、システム・実験に関するコメントを回答させた。
- (5) 全体アンケート：実験終了後、参加者に全体アンケート

ートを回答させる。アンケート項目は表 2、表 3 に示すようにシステムの全体評価、機能について、作業員、指示者で別のアンケートを用いて行った。どちらの参加者も Q1 から Q3 は条件を選択させ、Q4 から Q6 は 7 段階のリッカート尺度によって回答させる（1：有用性が高い，7：有用性が低い）。また、作業員は Q7, Q8、指示者は Q7 から Q9 は記述式でそれぞれ回答させた。



図 7 オブジェクト



図 8 指示者画面に
パーツ名を重畳描画した例

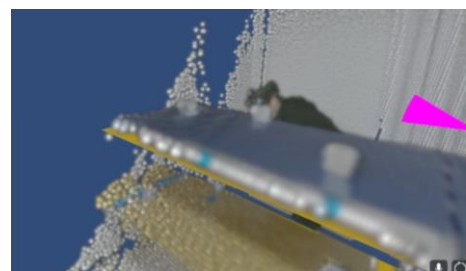


図 9 対象オブジェクトを示す
枠の方向を示す矢印（画面右）



図 10 条件 3 で指示者の HMD に
指示書を重畳描画した例

- (6) インタビュー：全条件終了後、口頭によるインタビューを行い、アンケートの回答理由やその他コメントを収集した。

4.5 実験結果

本実験は筑波大学の男子学生 20 名，女子学生 2 名（年齢 19～25 歳）を参加者とし，作業者，指示者各 1 名の計 2 名を 1 ペアとし，11 ペアに分けて実施した。作業完了時間はビデオ映像より計測した。平均作業完了時間を図 11，作業者に対するアンケートの結果の平均値を図 12，指示者に対するアンケートの結果の平均値を図 13，作業者全体アンケートの Q4 から Q6 のアンケートの結果の平均値図 14 に，指示者全体アンケートの Q4 から Q6 のアンケートの結果の平均値を図 15 にそれぞれ示す。

作業完了時間に関して分散分析を行った結果，各条件間に有意差が見られた ($F(2, 32)=23.4990, p<0.001$)。条件間で Bonferroni の手法を用いて多重比較を行った結果，全身アバタ+視線と対面，手先のみと対面の比較の両方において有意差が見られ（両方 $p<0.001$ ），対面では他の条件より有意に短い時間で作業を完了できることが分かった。

次に，作業者に対するアンケート結果に関してフリードマン検定を行った結果，Q3, Q10 以外の質問で各条件間に有意差が見られた ($p<0.05$)。条件間で Scheffe の手法を用いて多重比較を行った結果，「Q1: 作業は簡単でしたか？困難でしたか？」について，全身アバタ+視線と対面，手先のみと対面間に有意な差が見られた（両方 $p<0.05$ ）。「Q2: どの程度の認知，知覚的活動（考える，記憶する，見るなど）を必要としましたか？」および「Q4: 課題の目標（タスクの完了）を，どの程度達成できたと思いますか？」について，全身アバタ+視線と対面間に有意差が見られた（両方 $p<0.05$ ）。「Q5: 操作のために感じる時間的切迫感はどの程度でしたか？」について，全身アバタ+視線と対面間に有意傾向が見られた ($p<0.1$)。「Q6: タスクを行うために精神的・身体的にどの程度一生懸命に作業しなければなりませんでしたか？」について，全身アバタ+視線と対面，手先のみと対面間の両方に有意差が見られた（両方 $p<0.05$ ）。「Q7: 操作中に，不安感，落胆，イライラ，ストレス，悩みをどの程度感じましたか？」について，全身アバタ+視線と対面間に有意差が見られた ($p<0.001$)。「Q8: 作業ペースは遅かったですか？早かったですか？」について，全身アバタ+視線と対面，手先のみと対面間の両方に有意差が見られた（両方 $p<0.01$ ）。「Q9: 共同作業者の存在感を感じましたか？」について，全身アバタ+視線と手先のみ間に有意傾向が，手先のみと対面間に有意な差がそれぞれ見られた（全身アバタ+視線と対面: $p<0.1$ ，手先のみと対面: $p<0.05$ ）。

同様に，指示者に対するアンケート結果に関してフリードマン検定を行った結果，Q1, Q2 の各条件間に有意差が見られた ($p<0.05$)。条件間で Scheffe の手法を用いて多重比

表 1 アンケート項目

Q1: 作業は簡単でしたか？困難でしたか？
Q2: どの程度の認知，知覚的活動（考える，記憶する，見るなど）を必要としましたか？
Q3: どの程度の身体的活動を必要としましたか？
Q4: 課題の目標（タスクの完了）を，どの程度達成できたと思いますか？
Q5: 操作のために感じる時間的切迫感はどの程度でしたか？
Q6: タスクを行うために精神的・身体的にどの程度一生懸命に作業しなければなりませんでしたか？
Q7: 操作中に，不安感，落胆，イライラ，ストレス，悩みをどの程度感じましたか？
Q8: 作業ペースは遅かったですか？早かったですか？
Q9: 共同作業者の存在感を感じましたか？
Q10: 本条件のシステムはタスク達成に有用でしたか？

表 2 作業者全体アンケート項目

Q1: 一番良いと思った条件を回答してください
Q2: 二番目に良いと思った条件を回答してください
Q3: 一番良くないと思った条件を回答してください
Q4: 指示者（アバタ）の視線提示（円）は役に立ちましたか？
Q5: 指示者（アバタ）が視野外になった場合に提示される矢印は役に立ちましたか？
Q6: 作業者（自身）の視線提示（円）は役に立ちましたか？
Q7: システムを体験して危険な点や改善点があれば教えてください
Q8: その他コメントがあれば記述してください

表 3 指示者全体アンケート項目

Q1～Q3: （作業者全体アンケート Q1～Q3 と同様）
Q4: 作業者の視線提示（円）は役に立ちましたか？
Q5: 指示者（自身）のアバタ提示は役に立ちましたか？
Q6: 指示者（自身）の視線提示（円）は役に立ちましたか？
Q7: 各条件で、指示を行う際の工夫があれば教えてください
Q8: 各条件で、次の指示にうつるタイミングについて説明してください
Q9, Q10: （作業者全体アンケート Q7, Q8 と同様）

較を行った結果，「Q1: 作業は簡単でしたか？困難でしたか？」について，手先のみと対面間に有意差が見られた ($p<0.05$)。「Q2: どの程度の認知，知覚的活動（考える，記憶する，見るなど）を必要としましたか？」について，全身アバタ+視線と対面間に有意差が見られた ($p<0.05$)。

作業者に対する全体アンケートの Q1 から Q3 の回答をもとに，良いと思った条件の順番に関してフリードマン検

定を行った結果、各条件間に有意差が見られた ($p < 0.05$). 条件間で Scheffe の手法を用いて多重比較を行った結果、全身アバタ+視線と対面、手先のみと対面間の両方に有意な差がみられた (全身アバタ+視線と対面: $p < 0.01$, 手先のみと対面: $p < 0.001$). 一方、指示者に対する全体アンケートに同様の検定を行った結果、各条件間に有意差はみられなかった.

作業者に対する全体アンケートの Q4 から Q6 の回答に対して、評価が 1, 2, 3 のものを評価高, 4 のものを評価中, 5, 6, 7 の3つにわけて、カイ二乗検定を行った結果、「Q5: 指示者 (アバタ) が視野外になった場合に提示される矢印は役に立ちましたか?」の項目において、役に立たないという回答に有意差がみられた ($\chi^2(2) = 4.66, p < 0.001$). 指示者に対する全体アンケートに同様の検定を行った結果、「Q5: 指示者 (自身) のアバタ提示は役に立ちましたか?」の項目において有意差が ($\chi^2(2) = 4.23, p < 0.001$) 見られ、自身のアバタ提示が有意に役立ったことが分かった.

また、指示者全体アンケート Q8 の次の指示書に切りかえるタイミングについて「作業者が番号を読みあげたとき

に次の指示にうつった」「作業者がオブジェクトを手を取ったら次の指示にうつった」といった意見が得られた. 条件間によって指示書を切りかえるタイミングに差はみられなかった.

4.6 考察

平均作業完了時間 (図 11) に着目すると、対面では他の条件に比べ、有意に短時間で作業を完了している. 作業者のインタビュー、アンケートのコメントより「そこに実物があるし、自分は HMD をつけていないので、視認性が良く、立体感も得られたので、かなり楽に行えた」「(対面以外の条件で) HMD が重い、視野が狭い」という意見が得られた. 11 組中 2 組の実験参加者のビデオを分析したところ、対面条件で文字を読み取っていた時間を 1 としたとき、アバタ+視線と対面では 2.14 倍、手先のみでは 2.66 倍、文字の読み取りに時間が長くかかっていた. HMD をつけることによって発生する文字の見づらさや視野の狭さなどのストレスが、作業完了時間の差につながったと考えられる.

また、対面条件においては作業者から「大体の場所は体を見ていた、棚の上下も体を見ればわかった」、指示者からは「相手が意図をくみ取ってくれると感じた」という意見が得られ、行動の予期が確認できた.

提案手法である全身アバタ+視線条件と、比較条件である手先のみ条件間について、作業完了時間に有意差は見られなかったが、全身アバタについて、作業者からは「顔があるからどこに行こうとしているかがわかる」「体の向きで

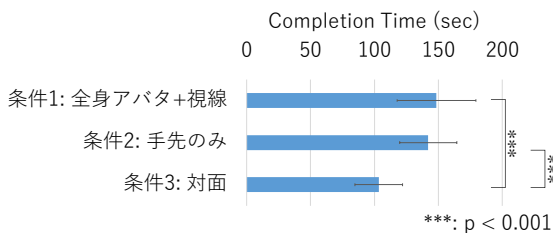


図 11 各条件における平均作業完了時間

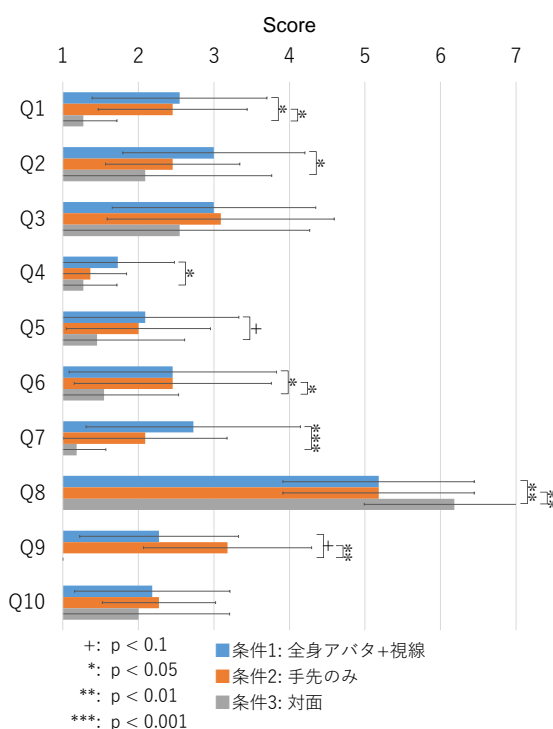


図 12 作業者アンケート結果

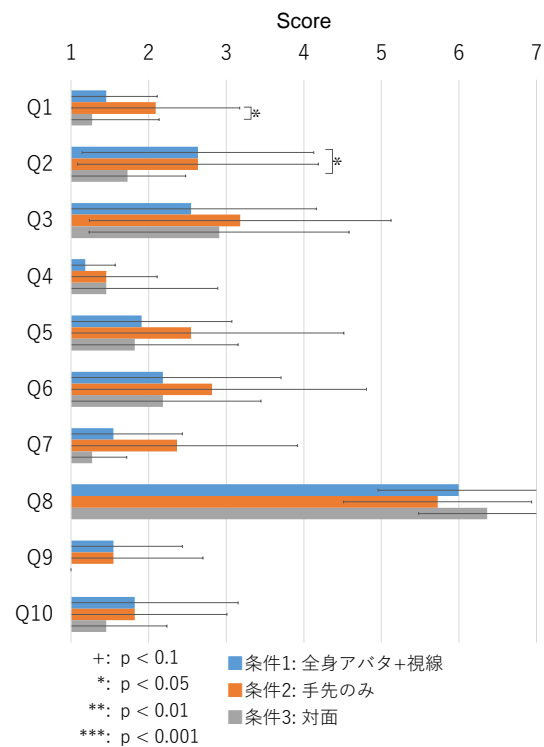


図 13 指示者アンケート結果

次の動きが予測出来る」「オブジェクトの大きな場所を全身アバタから予測していた」といった意見が、指示者からは「自分が動いたときに、作業者がついてきている感覚があった」という意見がそれぞれ得られた。

視線情報の提示については、作業者から「視線で大まかなあたりをつけてから手先で正確な位置を把握した」「自分の円と相手の円が重なっているときにここを指しているのだなということがわかった」といった意見が、指示者からは「相手の視線で、相手が何を取ろうとしているかわかる」「自分の視線と手の位置が違くと誤解をするのではないかと考えて（頭の向きを）意識した」といった意見がそれぞれ得られた。以上より、全身アバタによる身体動作と視線情報が指示者の指示動作の予期、および相互の意図の理解を支援していたと考えられる。

また、指示者全体アンケート Q7 の指示を行う際の工夫として、「視線情報がある条件では、視線の円を物体に重ねると伝わりやすいので視線を物体に合わせる工夫をした」という意見が得られた。この意見より、見ている位置を可視化することによって、作業者が視線情報を指示の道具として意図的に使用していることも確認された。

3章で述べた通り、今回の実験では、視線や体を上下させることによる影響を確認するために柵を設置した。全身アバタ+視線条件において、作業者から「体が動き始めるときに柵の上下の位置がわかった」「視線によって、柵の上下がわかった。かがむ必要がなくなった」という意見が得られ、上下移動がある際に提案手法が有用である可能性が示唆された。

一方で、視線情報に関しては、視線提示に関する評価（作業者の全体アンケート Q4、および指示者の全体アンケートの Q4、Q6）では有意差は見られなかった。参加者コメントより、作業者に見える指示者の視線位置が、指示者に見える自身の視線位置とずれていることが指摘された。今回は便宜上、顔の向きを視線の向きとしたが、今後は視線を意図的に使った指示を行うことも考え、HMD に内蔵するタイプのイトラッカを利用するなど、より正確な視線提示が必要である。さらにビデオ分析より、指差し位置と視線位置がずれているケースが見られ、指示者コメントでも「指示を出す際に視線は意識しなかった」という意見が得られた。混乱を避けるために、指示者の好みに応じて視線提示の ON/OFF を切り替えられる機能が必要である。

作業者と指示者のアンケート（図 12、図 13）において、いずれの質問でも提案手法である全身アバタ+視線と手先の間で有意差はみられなかった。作業者から「今回実験した程度の広さであれば、全身アバタは視界から消えてもどこにいるかはある程度把握できる」といった意見が得られた。視線のずれに加えて、作業空間の広さがアンケート結果に影響したと考えられる。本研究では、「移動を伴う広い空間」を想定した実験を行ったが、作業空間をはさん

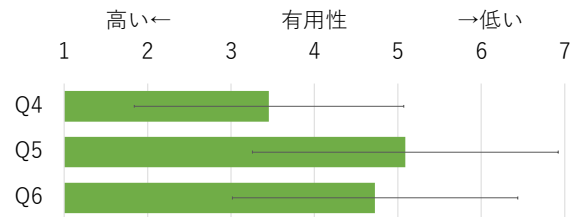


図 14 作業者全体アンケート Q4～Q6 結果

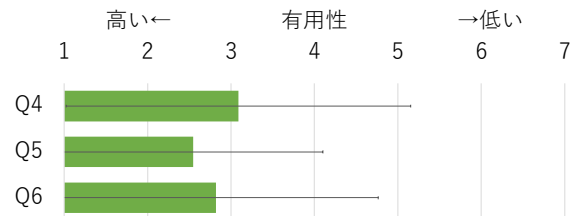


図 15 指示者全体アンケート Q4～Q6 結果

で向かい合って行う実験であり、横移動をするだけで達成できるタスクであった。しかしながら、例えばプラント保守などを想定した場合、向かい合うだけでなく、横並びになる、指示者についていくといった作業も必要となる。したがって、指示者・作業者両方が部屋中を動き回れるような実験にすることが望ましく、今後はそのようなタスクを行うことを検討している。

作業者と指示者の両方の全体アンケート Q1～Q3 の良いと思った条件の順番においても、提案手法である全身アバタ+視線と手先の間で有意な差はみられなかった。作業者からは「全身アバタと視線情報があることで、早い段階から情報共有ができたので作業を行いやすかった」という意見が得られた一方、「全身アバタ+視線情報ありの時も全身アバタの指先だけしか見てなかったので手先のみとさほど差は感じなかった」「全身アバタ+視線情報ありは情報量が多く分かりにくかった」といった意見が得られた。指示者からは「視線で対象物の位置が指示できるため、大まかな方向を手で指示して対象物の指定は視線情報で行える」といった意見が得られた一方で、「全身アバタ+視線情報ありは視線を制御することが、精神的・身体的ともに負担が大きかった」「手先情報だけで大体の方向、言語情報で詳細な位置を正確に伝えられた」といった意見が得られた。全身アバタや視線情報が協調作業に役立ったと感じた参加者がいた一方、それらを活用しなかった参加者がいたこと、全身アバタ+視線情報ありでは情報が多すぎたこと、指示者自身の視線を作業者に伝える負担が全体アンケートに影響したと考えられる。

指示者側のアバタ提示に関して、指示者の全体アンケート Q5 において有意に役に立ったという評価を得た。指示者から「自分の思ったように動いているかアバタの動きからわかる」「自身が作業者を見て安心するのと同様に、作業

者にもプラスになっていると思う」といった意見が得られ、自身の動きが、全身アバタを通してどのように作業者に伝わっているかわかることが評価に影響したと考えられる。

今回の実験では、全身アバタが作業者の視野外に移動したときに、全身アバタの方向を示す矢印を表示する機能を実装したが、作業者の全体アンケート Q5 において、有意に役に立たないという評価を得た。作業者から「全身アバタの位置があまり大きく移動することがなかったので、視野外に出ることがほとんどなかった」「ほぼ自分の向かい側に全身アバタがいたので今回の作業ではあまり活用できなかった」という意見が得られ、今回の実験環境では、当該機能の有効性を確認できなかった。

5. おわりに

本研究では「広い空間」での作業を対象とし、指示者の身体情報を提示することによって、動作の予期を支援する遠隔作業指示システムを構築した。さらに、実験によって身体配置や身振り・手振り、視線といった非言語表現が作業効率に及ぼす影響を調査した。この結果、有意差は見られなかったが、身体動作を提示することで指示者の動作を作業者が予期できることがわかり、作業効率の向上可能性が示唆された。

今後の実験では、考察で述べた点のほか、より複雑なタスクにおいて予期が作業効率に与える影響について調査することや、視線情報を取得し、詳細な分析を行うことを検討している。

また、非言語表現の伝達による影響を評価することを目的としていたため、遠隔作業指示での会話は、カーテン越しに実際の声で作業を行ったが、実際の遠隔作業指示を想定して音声通話で実験を行うことも検討している。

参考文献

- [1] R. E. Kraut, M. D. Miller, and J. Siegel, "Collaboration in performance of physical tasks," *Proc. 1996 ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '96*, pp. 57–66, 1996.
- [2] C. Goodwin, "Pointing as Situated Practice," in *Pointing: Where Language, Culture and Cognition Meet*, no. December 2014, Sotaro Kita, Ed. Taylor & Francis, 2003.
- [3] J. C. Tang and L. J. Leifer, "A framework for understanding the workspace activity of design teams," in *Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work - CSCW '88*, 1988, pp. 244–249.
- [4] K. Robert, D. Zhu, W. Huang, L. Alem, and T. Gedeon, "MobileHelper," in *SIGGRAPH Asia 2013 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications on - SA '13*, 2013, pp. 1–5.
- [5] F. Tecchia, L. Alem, and W. Huang, "3D helping hands," in *Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry - VRCAI '12*, 2012, p. 323.
- [6] W. Huang, L. Alem, and F. Tecchia, "HandsIn3D," in *SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies on - SA '13*, 2013, pp. 1–3.
- [7] S. Gauglitz, B. Nuernberger, M. Turk, and T. Höllerer, "World-stabilized annotations and virtual scene navigation for remote collaboration," in *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '14*, 2014, pp. 449–459.
- [8] C. Goodwin, *Pointing*, no. December 2014. Routledge, 2003.
- [9] M. F. Vargas, *Louder than words : an introduction to nonverbal communication*. Iowa State University Press, 1986.
- [10] E. Schegloff, "Body Torque," *Soc. Res. (New York)*, vol. 65, no. 3, pp. 535–596, Apr. 1998.
- [11] H. Kuzuoka *et al.*, "Mediating dual ecologies," in *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '04*, 2004, p. 477.
- [12] N. Sakata, T. Kurata, T. Kato, M. Kourogi, and H. Kuzuoka, "WACL: supporting telecommunications using - wearable active camera with laser pointer," *Seventh IEEE Int. Symp. Wearable Comput. 2003. Proceedings.*, pp. 53–56, 2003.
- [13] S. R. Fussell, L. D. Setlock, and E. M. Parker, "Where do helpers look?," in *CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '03*, 2003, no. Figure 2, p. 768.
- [14] N. Yamashita, H. Kuzuoka, K. Hirata, S. Aoyagi, and Y. Shirai, "Supporting fluid tabletop collaboration across distances," in *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11*, 2011, p. 2827.
- [15] S. G. Hart and L. E. Staveland, "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research," *Adv. Psychol.*, vol. 52, no. C, pp. 139–183, 1988.