



## 遠隔作業指示のための AR 空間の構築

山口央士朗<sup>1)</sup>, 大槻麻衣<sup>1)</sup>, 葛岡英明<sup>1)</sup>

1) 筑波大学 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, {s1620835@s, otsuki@emp, kuzuoka@iit}.tsukuba.ac.jp)

**概要**: 現地の「作業員」の状況を把握しながら、遠隔地の「指示者」が作業員へ指示を出すことを支援する遠隔作業指示システムが注目されている。しかし、身体や視野の移動を伴うような広い作業環境では、身振り、視線・身体の向きなどの非言語表現が伝達されなければ、対話者の次の動きを十分に予期できず、作業効率が低下するという問題がある。本研究では「広い空間」での作業を対象とし、対話者の身体動作や視線などの非言語表現を伝達でき、動作の予期を支援する AR 遠隔作業指示システムを実装し、作業効率の向上を図る。

**キーワード**: CSCW 遠隔作業指示 行動予期 AR VR

### 1. はじめに

現地の「作業員」の状況を把握しながら、遠隔地にいる「指示者」が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は *collaborative physical tasks* と呼ばれ、これを支援する様々なシステム(以後、遠隔作業指示システムと呼ぶ)が提案されている。

これまでに、テレビ会議システム[1]やロボットに遠隔ポインティング機能を加えるシステム[2]が提案されているが、ロボットが移動できるような整地された環境やテレビ会議システムが設置できる広い空間のみでしか実現できず、汎用性の面で問題があった。これに対し、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 技術を利用するシステムが注目されている[3][4][5][6]。これらのシステムは、作業員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、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、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期できず、作業効率が低下するという問題がある。

コミュニケーションにおいて、相手の視線や身振り手振り、位置関係、体の向きなどの情報は非言語表現と呼ばれる。非言語表現の重要性は古くから指摘されており[7]、特

に「広い空間」で作業支援を行う場合、非言語表現による「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[8]。

そこで本研究では、対話者の全身の映像を表示することのできる遠隔作業指示システムを開発し、全身映像による非言語的表現が動作の予期を支援できるかどうかを調査することを目的とする。そのために、開発したシステムを用いて実験を行い、作業効率、印象、認知的負荷に及ぼす影響を評価する。

### 2. 遠隔作業指示システム

相互の身体動作や視線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作成した。本研究で構築した実験環境の模試図を図 1 に示す。本システムは作業を行う「作業員」と遠隔から作業員の指示を行う「指示者」の 2 名による作業を想定した。作業員の前方には、作業空間となる机 2 台を設置した (図 2)。

作業員はステレオカメラ (Ovrvision) が取り付けられた HMD (HTC Vive) を装着することで、図 3 のように実際の作業空間を観察しながら、AR 提示された仮想の指示者から指示を受ける。

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。指示者は図 4 のように、遠隔地の作業空間、自身の動きに同期するアバタ、そして机の上に重畳描画された指示書を、一人称視点で観察しながら作業員に指示を行う。指示者側の VR 空間の構築、および作業員側の AR 空間の構築には Unity を用いる。作業員側の作業環境の対角線上には、作業員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員の環境を取得す

Ojiro YAMAGUCHI, Mai OTSUKI, and Hideaki KUZUOKA

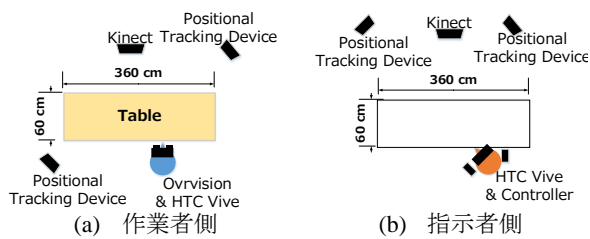


図 1 実験環境



図 2 作業側実験環境

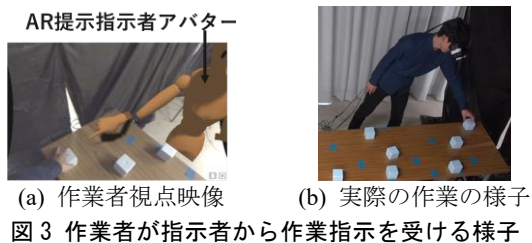


図 3 作業者が指示者から作業指示を受ける様子



図 4 指示者視点映像

るデプスセンサ (Kinect for windows) をそれぞれ設置する (図 1 (a))。Kinect は指示者側の PC に接続され、作業者の環境を逐次取得する。

指示者側も同様に、作業環境の前方にベースステーション、前方上部に、作業側 PC に接続された Kinect を設置し (図 1 (b))、指示者の位置と手先の位置・姿勢を作業側 PC へ送信する。

### 3. 実験

#### 3.1 実験目的

実装したシステムを用いて、移動が伴う広い空間で作業を行い、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。いずれの条件においても、指示者は作業者と向かい合うように、机の反対側に立って指示を行う。

【条件 1 (提案手法) : 指示者の全身アバタを提示】指示者の身体動作を同期した全身アバタ (図 5 (a)) を提示する

【条件 2 : 手先情報のみを提示】アバタの手先のみ (図 5 (b)) を提示する

【条件 3 : 対面条件】実際に机をはさんで向かい合って、同じ空間で作業を行う

条件 1 と条件 3 において、アバタの手は両手とも常に指さしの形状とした。

#### 3.2 タスク

作業者は、指示者の指示に従って机上のオブジェクトを正しい青いポイントまで移動させる。オブジェクトの移動 10 回を 1 セットとし、各条件 1 セットずつ、計 30 回の移動を行わせる。

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する。具体的には、条件 1、2 では、図 6 に示すような指示書が作業空間に重畳描画され (図 4)、指示者はそれを見ながら作業者に指示を行う。指示書は右手コントローラのトリガーボタンによって次の手順、左手コントローラのトリガー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、指示者にカメラ付き HMD を装着させ、実際の作業空間に指示書を重畳することによって (図 7) 指示を行わせる。作業者は何も身に着けない。

#### 3.3 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する。
- (2) タスクの説明：前節に記述したタスク内容を説明する。
- (3) 実験：各条件において、練習、本番、アンケート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る。練習では、オブジェクトの移動を 10 回行わせ、オブジェクトの移動パターンは練習用のものを別途用意する。本番で用いたオブジェクトの移動パターンも練習とは異なるものを 3 種類用意し、ランダムに各条件に割り当てる。
- (4) 主観評価：作業終了後、作業者にアンケートに回答させる。アンケート項目は表 1 のように NASA-TLX[9] による 6 つの尺度に加え、「相手の存在を感じたか」と「システムの有効性」に関して 7 段階のリッカート尺度によって回答させる。また、システム・実験に関するコメントを回答させる。本実験では指示者側の条件は変更しなかったため、指示者にはシステムや実験に関するコメントのみを回答させる。
- (5) インタビュー：実験終了後、口頭によるインタビューを行う。

#### 3.4 実験結果

本実験は筑波大学の男子学生 14 名 (年齢 21~24) を参加者とし、作業者、指示者各 1 名を 1 ペアとし、7 ペアに分けて実施した。実験結果の分析には、すべての結果について 1 要因分散分析を行った。ビデオ映像より、各条件で行われた作業の平均完了時間を計測した。作業平均完了時間を図 8 に、作業者に対するアンケートの結果の平均値を図 9 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

## 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2017 年 9 月)

間に有意差が見られた ( $F(2, 29) = 5.3057, p < 0.05$ )。条件間で Bonferroni の手法を用いて多重比較を行った結果、手先情報のみと対面の比較において有意差が見られ ( $p < 0.05$ )、対面では手先情報のみより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分散分析を行った結果、各条件間に有意差が見られた ( $p < 0.05$ )。条件間で Bonferroni の手法を用いて多重比較を行った結果、

「Q1: 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?」の質問項目に関して、全身アバタと対面、手先情報のみと対面での比較の両方において有意な差が見られた (全身アバタと対面:  $p < 0.05$ , 手先情報のみと対面:  $p < 0.01$ )。「Q2: どの程度の身体的活動を必要としましたか?」の質問項目に関して、手先情報のみと対面での比較において有意な差が見られた ( $p < 0.05$ )。

「Q3: 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?」の質問項目に関して、手先情報のみと対面での比較において有意な差が見られた ( $p < 0.05$ )。「Q4: 操作のために感じる時間的切迫感はどの程度でしたか?」

の質問項目に関して、全身アバタと対面、手先情報のみと対面での比較の両方において有意な差が見られた (全身アバタと対面:  $p < 0.05$ , 手先情報のみと対面:  $p < 0.01$ )。「Q5: 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が?」

の質問項目に関して、全身アバタと対面、手先情報のみと対面での比較の両方において有意な差が見られた (全身アバタと対面:  $p < 0.05$ , 手先情報のみと対面:  $p < 0.01$ )。「Q6: 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?」

の質問項目に関して、全身アバタと対面、手先情報のみと対面での比較の両方において有意な差が見られた (両方  $p < 0.001$ )。「Q7: 共同作業者の存在を感じましたか?」

の質問項目に関して、全身アバタと手先情報のみ、手先情報のみと対面での比較において有意な差が見られた (全身アバタと対面:  $p < 0.01$ , 手先情報のみと対面:  $p < 0.001$ )。

の質問項目に関して、全身アバタと手先情報のみ、手先情報のみと対面での比較において有意な差が見られた (全身アバタと対面:  $p < 0.01$ , 手先情報のみと対面:  $p < 0.001$ )。

#### 4. 考察

平均作業完了時間 (図 8) に着目すると、対面では手先情報のみと比べ、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より「HMD をつけないため視界が広い」「対面は他の条件と比べ、HMD の解像度、遅延、重さによるストレスがなかった」という意見が得られた。指示者からは「他の条件では、自分の指示が本当に伝わっているか不安があったため、作業を確認してから次の指示に移った。対面条件では指示が伝わっているという安心感があったため他の条件のように作業を確認しなかった」という意見が得られた。ビデオによって確認を行ったところ、対面以外の条件では、作業者が箱を取った、あるいは箱を置いたときに次の指示に移ったが、対面条件では作業者の

動きを確認しないで、あるいは作業者が手を伸ばした瞬間に次の指示に移る場面が見られた。HMD をつけるというストレスや、指示が伝達されているかという不安による指示の行いかたの違いが、作業完了時間の差につながったと考えられる。

提案手法である全身アバタ条件と、手先情報のみ条件については、作業完了時間に有意な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」「体の向きで次の動きが予測出来る」「オブジェクトの大まか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。これらの意見より、アバタによる身体動作の提示が作業者の予期を支援していると考えられる。また「手先情報のみでは、どちらの手でオブジェクトを指しているのかがわからなかった」という作業



(a) 全身アバタ (条件 1) (b) 手先情報のみ (条件 2)

図 5 全身アバタ

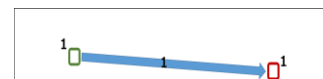


図 6 指示書の例 (条件 1、2)



図 7 条件 3 で指示書を重畳描画した例

表 1 アンケート項目

Q1: 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?
Q2: どの程度の身体的活動を必要としましたか?
Q3: 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?
Q4: 操作のために感じる時間的切迫感はどの程度でしたか?
Q5: 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が?
Q6: 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?
Q7: 共同作業者の存在を感じましたか?
Q8: 作業を行う上でこのシステムは有効でしたか?

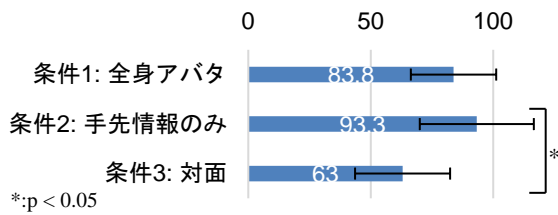


図 8 各条件における平均作業完了時間 (秒)

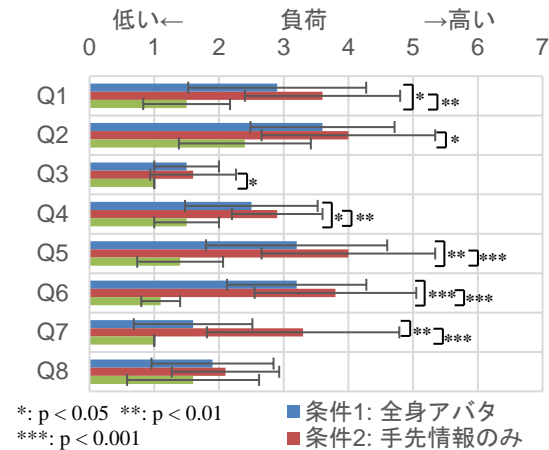


図 9 アンケート結果の平均値

者の意見があった。これに対し、全身アバタを提示した条件では「アバタの視線からどちらの手を指しているのか予測した」という作業者の意見があった。すなわち、視線の情報を AR 提示することによって、より積極的に予期を支援できる可能性がある。また手先情報のみにおいて、なぜどちらの手で指しているのかわからなかったかということについて参加者に質問したところ、手の形が常に指さして固定されているためという意見が得られた。したがって作業をより円滑に行うために、全身アバタの手の形を変えられるようにする必要があると考えられる。

作業者に対するアンケート (図 9) より「Q7:共同作業者の存在を感じましたか?」という質問項目に関して有意な差が見られ、指示者アバタを表示した方が、手先情報のみを用いて指示を行うより存在感を感じたという結果が得られた。これについて作業者にインタビューを行ったところ「手先情報のみでは誰かとやっているというより、手の動きに従っているという感覚であった」「全身アバタでは指示者に見られている感じがした」というコメントが得られた。以上より、身体動作や視線を提示することによって、手先情報のみを提示する手法と比べて、指示者の存在感を向上させられたと考えられる。

今後は全身アバタの手の形をコントローラの操作によって変えられるようにする、指示者が見ている位置を作業側 HMD に AR 提示する、全身アバタが作業側 HMD の視野外に移動したときに、全身アバタがいる方向を作業側 HMD に矢印で AR 提示するなど、遠隔作業をより円

滑に進めるための拡張機能を追加し、効果を確かめる。

## 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、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。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K16097、および沖電気工業株式会社の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] N. Yamashita, K. Kaji, H. Kuzuoka, K. Hirata: "Improving Visibility of Remote Gestures in Distributed Tabletop Collaboration", CSCW '11, Proceedings of the ACM 2011 conference on Computer supported cooperative work, pp. 95-104.
- [2] N. Sakata, T. Kurata and H. Kuzuoka: "Visual assist with a laser pointer and wearable display for remote collaboration", CollabTech2006, pp. 66-71, 2006.
- [3] K. Robert, D. Zhu, W. Huang and L. Alem: "MobileHelper: Remote guiding using smart mobile devices, hand gestures and augmented reality", SIGGRAPH Asia 2013 Symp. Mobile Graphics and Interactive Applications, Article 39, 2013.
- [4] F. Tecchia, L. Alem and W. Huang: "3D helping hands: a gesture based MR system for remote collaboration", VRCAI'12, pp. 323-328, 2012.
- [5] W. Huang, L. Alem and F. Tecchia: "HandsIn3D: Augmented the shared 3D visual space with unmediated hand gestures", SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies, Article 10, 2013.
- [6] S. Gauglitz, B. Nuemberger, M. Turk and T. Höllerer: "In touch with the remote world: Remote collaboration with augmented reality drawings and virtual navigation" Proc. VRST '14, pp. 197-205, 2014.
- [7] M. F. Vergas: "LOUDER THAN WORDS - An Introduction to Nonverbal Communication", Iowa State University Press, 1987.
- [8] E. Sceglolf: "Body Torque", Social Research, Vol. 65, No5, pp. 844-853, 2005.