

令和 2 年 4 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16097

研究課題名（和文）広い空間での遠隔作業指示に有効な予期を可能にする非言語表現の伝達手法

研究課題名（英文）A Non-verbal Expression Transfer Method that Enables Effective Anticipation for AR-Based Remote Instruction in Large Spaces

研究代表者

大槻 麻衣 (Otsuki, Mai)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：30609095

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、コミュニケーションにおける予期を可能にする、身振り手振りなどの非言語的な情報の検出と拡張現実感（AR）による提示を実現した。また、遠隔地の作業者に提示する情報を段階的に変化させる実験において、手先だけ、あるいは腕+手先をCGで提示する条件よりも、全身のCGを提示する場合の方が作業者の心的負荷の低減に寄与すること、および、「相手が次に何をするか」という動作予期を支援するため作業効率が向上することを確認した。以上より、AR遠隔作業指示システムの実用性を飛躍的に高めることに貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

OA機器、工作機械、大型プラントなどの修理保守作業のために作業員を現地に派遣することは日々行われている。しかし遠隔地への派遣は、作業遅延やコスト増につながる。このため、熟練の「指示者」が現場の「作業員」に対し、遠隔指示を行えるシステムが求められている。

本研究では、卓上など比較的狭い空間を作業空間とする既存研究とは異なり、大型プラントの保守など、作業員が動き回る必要のある広い空間を対象とし、こうした点で重要性の増す、視線や身振り手振りなどの「非言語表現」に着目し、どのように拡張・あるいは抽象化して伝達するかを検討した点に特長がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed the system which can capture and provide the user's non-verbal behaviors such as body languages and hand gestures by augmented reality (AR) to enable anticipation (e.g. what the other person going to do next) in communication.

We investigated the effect of the body representation level of the avatar on the quality of AR-based remote instruction. Drawing on the avatar designs of previous works, three different avatar designs ("Hand only", "Hand + Arm", and "Body"), representing three body representation levels, were created. The results of the experiment indicate that an AR-based remote instruction system with a "Body" avatar exhibits higher usability and can enable the participants to have a lower workload and higher efficiency.

In conclusion, we have contributed to dramatically improve the practicality of the AR-based remote instruction system.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：CSCW 遠隔作業指示 予期 非言語表現 拡張現実感 Augmented reality

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

オフィス機器、工作機械、大型プラントなど、小規模な機器から大規模な機器まで、その修理保守作業のために熟練作業員を現地に派遣するといったことはしばしば発生する。しかし遠隔地への派遣は、作業遅延やコスト増につながる。このため、熟練の「指示者」が現場の「作業者」に対し、本部から遠隔で指示を行えるシステムが求められている。また、最近発表されているモバイル/ウェアラブル端末の主なアプリケーションとしても、遠隔作業指示が挙げられている。具体的な実現例として、モバイル端末や頭部搭載型ディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) 越しに、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 技術によって、指示内容や指示者の手ぶり (図 1) を実風景に重畳描画して作業者に提示するシステムがある [1][2]。しかし、多数のシステムが提案されているにも関わらず、未だに実用段階に至ったシステムは存在しない。



図 1. 卓上の遠隔協調作業において、モバイル端末上に (a) 手の 3 次元形状、(b) 指先の軌跡を表示した例 [1].

その要因の一つが、支援可能な作業領域の広さである。従来の研究では、作業者が着座し、卓上でブロックを組み立てるような、比較的「狭い領域での作業」を対象としたものが多く、そうした限定的な状況では図 1 の手法の有効性が示されてきた。しかし実際の遠隔作業指示では、プラントの大型制御盤に対する操作や、大型工作機械の保守のように、「広い領域を移動しながら行う作業」が多数存在する。

通常、指示者が作業者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」が可能となる。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期の有無が、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 [3]。ただし、こうした非言語表現は周辺視野部分に提示されることが多く、遠隔作業指示でこれを支援するためには、大型のディスプレイを使用するなど、周辺で発生する非言語情報を検出・提示する仕組みが必要である [3]。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、「狭い領域」での遠隔作業指示にしか対応できない。 広い領域で利用しようとする、予測が困難になることから、指示者の場所や指示している場所を見失うことが多くなり、作業効率・質の低下につながる。

### 2. 研究の目的

本研究では、広い領域での遠隔作業指示においても、対面の場合と同等の作業効率・質を実現するために、(課題 1) コミュニケーションにおける予期を可能にする非言語情報の検出と提示機能を備えたシステムを実現し、モバイル/ウェアラブル端末を利用した遠隔作

業支援の実用性を飛躍的に高める。そして、開発したシステムを用い、実際の作業を想定した実験を繰り返すことによって、(課題 2) コミュニケーションにおける対話者の行為の理解・予期に関するメカニズムを解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

H28 年度はまず、指示者が仮想的な作業空間に対して移動しながら指示が行える遠隔指示システムを構築する(課題 1)。続いて、限られた視野内に情報を提示するため、作業効率への影響が大きいと思われる非言語表現の抽出を行う(課題 2-a)。

続いて H29 年度は、各動作の単純化の度合いを変更したり、視線や指先が指し示す先など、そもそも目には見えないものを可視化して提示する場合に作業効率にどのように影響をおよぼすのかについて調査する(課題 2-b)。H30 年度中に、提案システムとそれ以外のシステム構成との比較検討をおこない、非言語情報の提示方法とシステム構成法について検討する。

### 4. 研究成果

#### 課題 1

「移動を伴う広い空間」において、作業員、指示者ともに HMD を用いて、相互の身振りや手ぶりなどの身体動作や身体配置を伝え合うことで遠隔作業を支援するシステムを構築した(図 2)。さらに、実験によって身体配置や身体動作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。その結果、指示者の身体動作をトラッキングしたアバタを表示することでタスクの作業完了時間短縮、作業員の作業負荷低減に寄与することが示された(図 3, 図 4)。これは、身体動作を伝えることで指示者の志向を作業員に伝えることが可能となり、その結果、作業員が指示者の動作を予期することによって指示された場所を迅速に見つけることができたためであると考えられる。当該成果は、第 167 回 HCI 研究会(2016)にて口頭発表を行ったほか、国際論文誌 *Multimodal Technologies Interact.*にて紙上発表(2018)を行った。

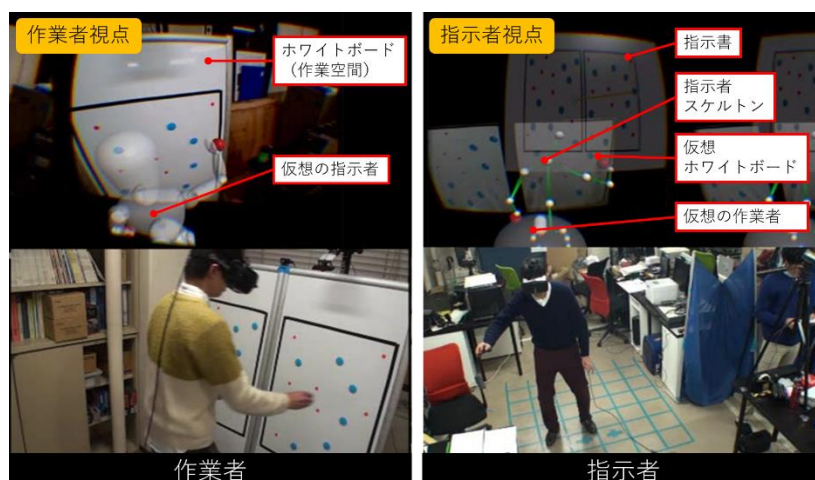


図 2. 構築した AR 遠隔協調作業システムを用いて作業する様子

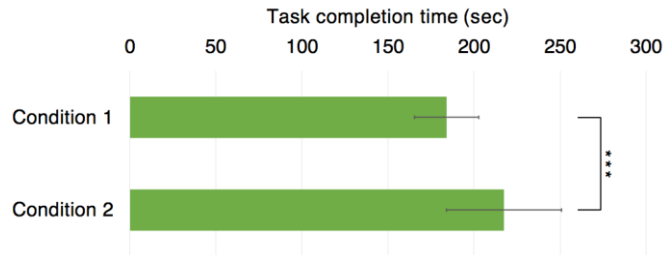


図 3. 平均タスク完了時間.

Condition 1 : 提案手法, Condition 2 : 手先ポインタのみ表示. (\*\*\*:  $p < 0.01$ ).

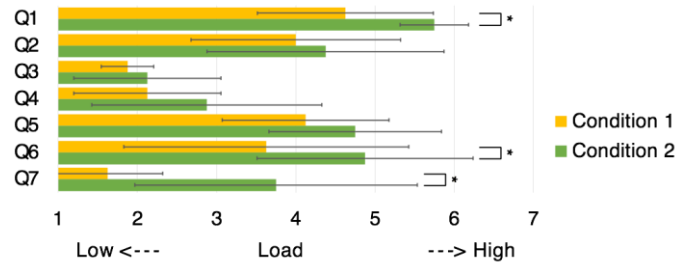


図 4. 作業者の平均作業負荷. Q1-6 は NASA-TLX [4] の設問, Q7 は「共同作業者の存在を感じましたか?」.

Condition 1 : 提案手法, Condition 2 : 手先ポインタのみ表示 (\*:  $p < 0.05$ ).

## 課題 2

既開発のシステムを発展させ、対話者の全身の映像を作業者・指示者両方に提示し、身振り・手ぶりに視線（注視箇所）を含めた非言語情報を伝達できるようにし（図 5）、実験によってその影響を調査した。この結果、作業時間や作業負荷に有意な差は見られなかったが、インタビューより、(1) 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、(2) 作業者と指示者の注視箇所を可視化して提示することで、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。



図 5. 対話者の身振り手振り、視線（注目箇所）を伝達可能な AR 遠隔協調作業システム.

当該成果は、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会（2017）、および第 177 回 HCI 研究会（2018）にて口頭発表を行った。

つづいて、当該システムで提示する指示者アバタのデザインについて、(1) 全身提示、(2) 手先と腕のみ、(3) 手先のみを提示する 3 条件 (図 6) を比較し、作業効率、ユーザビリティや、作業者に与える印象を評価した。その結果、手先のみ・腕のみの提示に比べ、全身を提示する場合は作業者の心的負荷の低減に寄与すること、および、動作予期を支援し、作業効率を向上させることを実験によって確かめた (図 7, 図 8)。

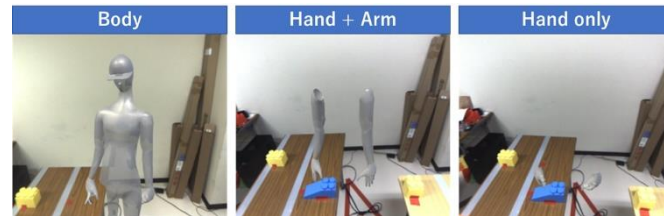


図 6. 実験条件. 左から、全身提示, 手先と腕のみ, 手先のみ.

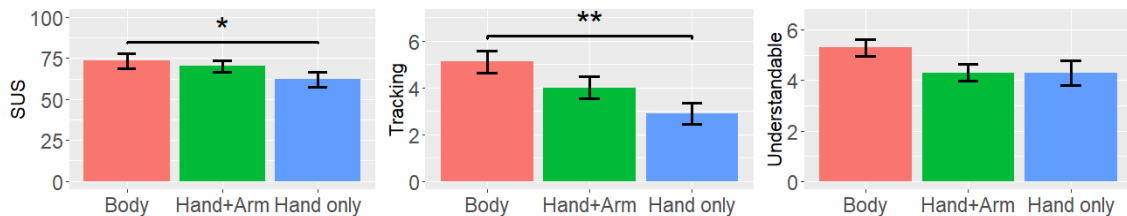


図 7. 実験結果. 左から SUS [5], 指示者の指示への追従のしやすさ, わかりやすさ.

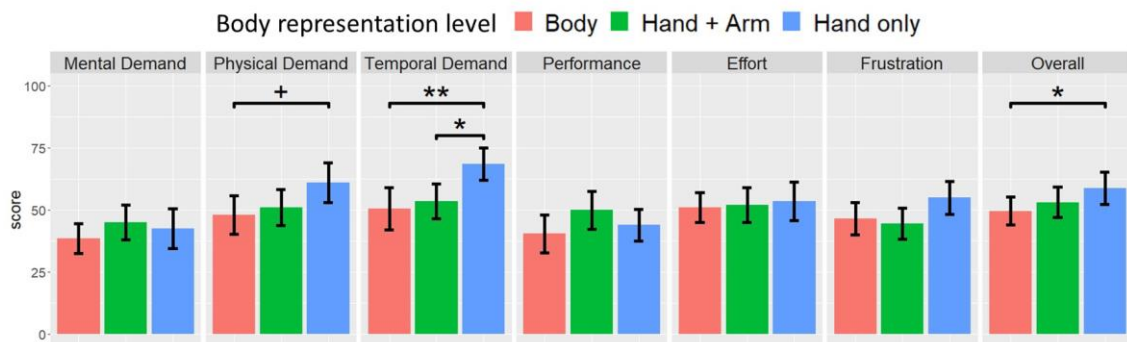


図 8. 心的負荷実験結果.

当該成果は、国内シンポジウム インタラクション 2019、および国際会議 IEEE-VR 2019 にてポスター発表を行ったほか、国際論文誌 Multimodal Technologies Interact. にて紙上発表 (2020) を行った。

#### [参考文献]

- [1] R. Sodhi, et al, "BeThere: 3D mobile collaboration with spatial input," Proc. CHI '13, pp. 179–188, 2013.
- [2] W. Huang, et al. "HandsIn3D: Augmenting the shared 3D visual space with unmediated hand gestures," SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies, Article 10, 2013.
- [3] N. Yamashita, et al., "Supporting fluid tabletop collaboration across distances," Proc. CHI'11, pp. 2827-2836, 2011.
- [4] S. G. Hart et al. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research," In Advances in Psychology, pp. 139–183, 1988.
- [5] J. Brooke. "SUS - A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry," CRC Press: pp. 189–194, 1996.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yamamoto Takuya, Otsuki Mai, Kuzuoka Hideaki, Suzuki Yusuke	4. 巻 2
2. 論文標題 Tele-Guidance System to Support Anticipation during Communication	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Multimodal Technologies and Interaction	6. 最初と最後の頁 55 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mti2030055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Tzu-Yang, Sato Yuji, Otsuki Mai, Kuzuoka Hideaki, Suzuki Yusuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Effect of Body Representation Level of an Avatar on Quality of AR-Based Remote Instruction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Multimodal Technologies and Interaction	6. 最初と最後の頁 3 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mti4010003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大槻麻衣, 王子洋, 佐藤勇二, 葛岡英明, 鈴木雄介
2. 発表標題 AR遠隔協調作業における指示者アバタのデザインが作業者に与える印象に関する検討
3. 学会等名 インタラクション2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tzu-Yang Wang, Yuji Sato, Mai Otsuki, Hideaki Kuzuoka, Yusuke Suzuki
2. 発表標題 Effect of Full Body Avatar in Augmented Reality Remote Collaboration
3. 学会等名 the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口央士朗, 大槻麻衣, 葛岡英明
2. 発表標題 遠隔作業指示における身体動作提示の効果に関する研究
3. 学会等名 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大槻麻衣, 山口央士朗, 今田昇吾, 葛岡英明, 鈴木雄介
2. 発表標題 遠隔作業指示における身体動作と視線提示の効果
3. 学会等名 情報処理学会研究報告 2018-HCI-177
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Webサイト <a href="http://otsuki.emp.tsukuba.ac.jp/">http://otsuki.emp.tsukuba.ac.jp/</a>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考