

1 対多の遠隔指示における指示者の作業負荷の評価

代表研究者	大槻 麻衣	産業技術総合研究所 人間拡張研究センター 主任研究員
共同研究者	王 子洋	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系 助教
共同研究者	葛岡 英明	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

1 はじめに

遠隔協調作業は、長年、人間とコンピュータのインタラクションにおける重要な研究テーマであり、これまでに AR 技術を用いて、遠隔地にいる熟練者や指示者が現地の作業者を支援するための様々なツールが提案されてきた[1]–[4]。しかし、過去の研究では、1 対 1 の遠隔協調作業に焦点を当てたものが多かった[5], [6]。近年では熟練者不足により、1 人の熟練者が複数の作業者を支援する場面も増加している。そのため、1 対多の遠隔協調作業の支援が注目されると予想される。例えば、Lee らは、このような協調作業を支援するための様々な視点共有 AR 技術を提案し、評価している[7]。

1 対多の遠隔協調作業の場合、1 対 1 の遠隔協調作業と比較して、遠隔地の指示者はより多くの精神的なリソースが要求される可能性がある。例えば、遠隔地の指示者は、各作業者の状況を並列して把握し、それぞれに適切なタイミングで適切な支援を行う必要がある。つまり、1 対多の協調作業における指示作業は、マルチタスクの一種である。一般的に、マルチタスクは、タスク切り替え時に作業効率が大きく低下すること[8]や、マルチタスク中の精神的負荷が高くと、タスク管理エラーが発生する[9]ことが知られている。

しかし、対面の協調作業とは異なり、遠隔協調作業では指示者と作業者の間にモバイル/ウェアラブル端末等の情報機器が介在するため、情報提示方法を工夫することで、指示者の負荷を低減し作業効率を向上できる可能性がある。

我々は、1 対多の遠隔協調作業において、指示者を支援し、作業効率を向上する AR システムの開発を目標とする。本研究では研究の初期段階として、産業現場における、卓上での組み立てや修理、メンテナンスタスクを想定し、遠隔地の指示者が、複数の現地作業者を並列に観察し、指示を行う場合において、作業者の人数によって作業負荷がどのように変化するかを調査した。また、その結果に基づき、1 対多遠隔協調作業システムにおいて、遠隔地の指示者をどのように支援すべきかを検討した。

2 関連研究

2-1 AR 遠隔協調作業

2-1-1 : 1 対 1 AR 遠隔協調作業

AR 遠隔協調作業システムの典型的な利用シーンとして、遠隔地の専門家が情報機器を介して、現地の非熟練者に指示をするシーンがあげられる[10]–[12]。

本研究で対象とする組み立てや修理、メンテナンス作業のように、物理的なオブジェクトを扱うタスクとしては、遠隔地から、指示者が現地作業者に対して、物理的なオブジェクトの探索・配置を指示する例が多数見られる。そうした研究では、視線とジェスチャを指示者と作業者と共有したときの効果を評価[13]したり、作業者の見ている光景を 360 度ビデオで遠隔の指示者に共有した場合の効果を評価したり[14]、遠隔の指示者がどのような視点で作業者の見ている光景を観察するのを好むかを評価したもの[15]がある。また、小型プロジェクタで作業対象の物理的なオブジェクトに AR 指示を投影可能なシステム[16]や、タブレットごとに実物体に追従する AR 注釈を付与し、指示を伝達できる[17]システムがあり、指示者と作業者の間で、何をどのような形で、どんなデバイスを用いて共有するかを中心に議論されてきた。また、これらは広い空間を、歩き回りながら作業することを想定している。

一方で、卓上での作業、特に組み立て作業を対象にした AR 協調作業システムも多数提案されている。例えば、アイトラッキング機能付きの HMD で、作業者の見ている箇所を可視化して共有する[18]、遠隔の指示者の手振りを作業者の卓上へプロジェクションするシステム[19]などがある。Gibson らは移動タスクと卓上タスク両方を対象に、Handheld デバイス (タブレット) と Handsfree デバイス (HMD) でジェスチャや表情を共有し、デバイスごとの特性を調査した[20]。

これらの研究に倣って、本研究でも卓上で組み立てや修理、メンテナンス作業を対象に、指示者は音声やジェスチャを用いて作業者に指示可能なシステムを構築し、テストベッドとする。

2-1-2 : 1 対多 AR 遠隔協調作業

近年では熟練者不足により、1 人の熟練者が複数の作業者を支援する場面も増加している。複数人が参加可能な AR 協調システムとして、Schott らは医学生向けの肝臓手術の学習システムとして、VR ユーザと AR ユーザが混在し、相互にインタラクション可能なシステムを開発した[21]。ただし本研究とは異なり、物理的なオブジェクトを扱うものではない。Lee らは物理的なオブジェクトの探索・配置タスクにおいて、1 対多の協調作業を支援するための様々な視点共有 AR 技術を提案し、その効果を評価している[7]。Norman らは MR で家具配置タスクを行った際、役割の割り当てがグループタスクの調整と関与にどのように影響するかを調査し[22]、遠隔の参加者が現地作業員 2 人の調整役を担う場合は、全員で議論する場合よりも有意に負荷が高くなったことを示した。どちらも、1 対 2 の構成で視点共有方法ごと、役割ごとの作業時間や負荷を評価しているが、現地側の作業員数が増減したときに、作業時間や作業負荷がどのように変化するか、またその限界については議論されていない。

2-1-3 : マルチタスキングの負荷

本研究で対象とする、卓上で組み立てや修理、メンテナンス作業を 1 対多の遠隔協調作業で支援する場合、遠隔地の熟練者は、各作業者を並列して監視し、状況を把握し、各作業者に適切なタイミングで適切な指示を行う必要がある。つまり、1 対多の協調作業における指示作業は、複数の作業員の監視・作業の進行状態把握を並列に行う点、および Primary task である「指示」と、Secondary task である「監視・把握」とを適宜 Switching する点において、マルチタスクの一種である。一般的に、マルチタスクは、タスク切り替え時に作業効率が大きく低下すること [8]や、マルチタスク中の精神的負荷が高いと、タスク管理エラーが発生する[9]ことが知られている。

Fan らは、参加者に対して、複数のメーターを監視し、正常範囲から外れたらキーを押すという課題を課し、負荷を計測した[23]。監視対象を 2 個、4 個、6 個、と変化させたときに、主観的な負荷は有意に高くなり、反応時間は増加し、異常値の発見精度は大幅に低下した。一方、Nuamah らの研究では、放射線療法士を対象に、監視対象のモニタ数を 2 台の場合と 3 台の場合とで比較し、生理的・主観的な精神的負荷を評価したが、有意な差は確認されていない[24]。

1 人が同時に複数人を監視するという点では、1 人の教員が複数人の学生のプログラミングを同時に教育するというニーズもある。画面上で、相互の視線を可視化する[25]、あるいはチャットによってサポートする[26]といったシステムが提案されている。しかし、人数と作業負荷の関係については言及されていない。Parallel eyes, Parallel Ping-Pong[27], [28]では、HMD を用いて、複数人で視点を共有するシステムを開発している。これも、ワークショップの結果から、参加者の認知不可は高い、と言及されているが、定量評価はされていない。

本研究では、マルチタスクとして、監視だけでなく状況に合わせた指示を都度行う点、空間把握力の必要な 3D の組み立て作業を対象とした指示を行うため、より負荷が高くなると想像されるが、それを裏付ける研究はまだ例がなく、これを定量的に明らかにするという点に新規性がある。

3 実験

3-1 仮説

2 章で述べた通り、1 人の熟練者が多数の作業者に並列して指示をすることはマルチタスクの一種であると考えられる。そのため、指示者役の参加者が現地作業員と対話する際に、相手作業員の人数が増え、稼働率が高くなった場合により高い作業負荷を感じるという仮説を立てた。

3-2 システム構成

仮説を検証するために、1 対多の遠隔協調作業システムを開発した (図 1)。現地作業員はステレオカメラ (ZED mini) 付き HMD (htc vive pro) を用いて現地環境を観察し、遠隔指示者は液晶モニタ (BenQ gw2255, 21.5 インチ) を通じて最大 4 人の現地作業員の視界を同時に観察することが可能である。また、発話だけでなく、遠隔指示者の手振りを Leap motion で取得し、現地作業員の視界に AR で重ねて指示することが可能で

ある。

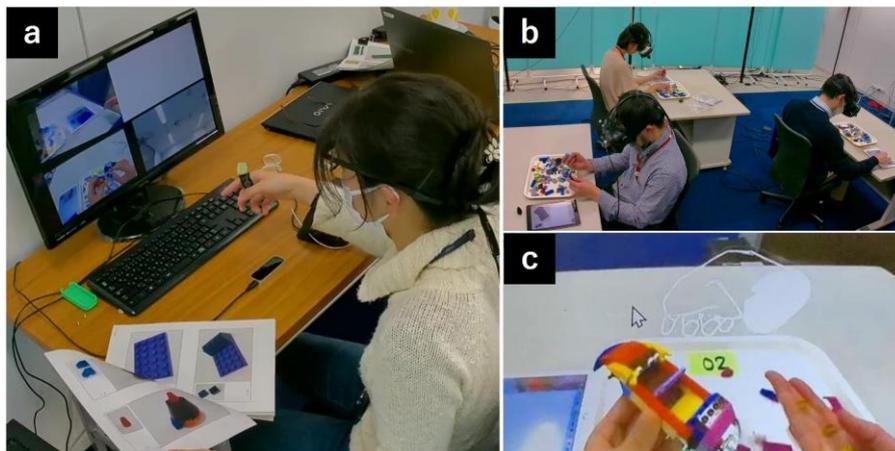


図1：本研究で使用された1対多の遠隔協調作業システム。(a) 遠隔指示者：ディスプレイを介して音声および手のジェスチャで指示できる。各ディスプレイには、作業者の視点映像が表示される。(b) 現地作業者：ブロックを組み立てる様子。(c) 作業者視点：指示者のジェスチャがARで重畳描画される。

3-3 実験デザイン・タスク

本研究で模擬する状況として、「複数拠点で、現地作業者がそれぞれ同じシステムに対して作業を行う」状況を取り扱う。この状況において、現地作業者は、作業プロセスがある程度定まっています、それに従って作業するが、作業中に不明な項目に直面したときに、遠隔地にいる指示者 (=熟練者) に指示を仰ぐ。具体的には組み立て作業、修理作業、メンテナンスタスクなどが含まれる。

本実験でのタスクは、遠隔協調作業研究で特によくみられるレゴの組み立てタスクを採用した。実験は、作業者人数 (1~3 人) を要因とする 1 要因被験者内配置とした。

1 セッションの作業には指示者 1 名と作業者 1~3 名 (条件によって異なる) が参加し、指示者と作業者の双方に、組み立て手順が書かれたマニュアルが配布され、作業者はマニュアルに沿って独立して組み立て作業を行った。作業者が指示者の支援を必要とする状況を模擬するため、作業者には全体の 15% の手順をランダムにマスクしたマニュアルを、指示者には完全版のマニュアルを配布した。

作業者は、マスクされた手順に遭遇した際に、指示者に指示を求めた。この実験では、指示者の負荷を調査することが目的であるため、各作業者の違いによるバイアスを最小にするために、事前に十分訓練を行い、遅滞なく一定速度で一連の作業を遂行可能な 3 人の作業者グループがすべての実験セッションに参加した。

3-4 実験手順

実験参加者は、同意書にサインし、遠隔協調作業システムの使用練習をした後、参加者は液晶モニタの前に座り、計 3 セッションの実験に参加した。各セッションで、実験参加者は指示者として完全版のマニュアルを受け取り、作業者の求めに応じて適宜指示を行った。組み立てタスクの制限時間は 25 分とし、所要時間は 25 分より十分に長く設計した。1 セッションのタスク終了後、参加者は 2 種類のアンケート (後述) に記入した。

アンケート回答後は、10 分間休息した後、次のセッションを開始した。3 回のセッションで作業者の人数 (1 人, 2 人, 3 人) とレゴモデルの種類はすべて異なるものとし、また、カウンターバランスをとった。

3 回のセッションがすべて終了した後は、人数による違い、指示をするにあたって工夫した点や難しかった点、システムの使い勝手などについて、半構造化インタビューを行った。

3-5 実験参加者

11 名が実験に参加した。男性 6 名、女性 5 名で、平均年齢は 26.27 歳 (SE=4.9) であった。参加者は全員日本語を母国語とし、報酬として一人あたり 5000 円を受け取った。

3-6 計測項目

(1) 主観的尺度

経験した作業量を測定するための NASA-TLX[29]、およびコミュニケーション経験品質を測定するための QCE[30]に回答させた。

(2) 客観的尺度

指示者・作業者のふるまいや発話は部屋に固定したビデオカメラによって記録を行った。今回のタスクでは、作業者が指示書のマスク部分に到達する都度、指示者（実験協力者）が指示を行った。指示者が指示していた時間を「指示時間」と呼称する。また、作業者が2人以上の時には、複数の作業者から同時に問い合わせが発生し、1人の作業者に指示をしている間、ほかの作業者は指示を待つ時間が発生する。これを「待機時間」と呼称する。さらに、議論の一般化のために、指示者の指示時間合計を試行時間（25分）で割ったものを「稼働率」として算出した。これらはビデオカメラの映像より、ビデオアノテーションソフトウェア ELAN を使用して算出した。ELAN は 25 fps の動画データをサポートしているため、分析における最大の時間分解能は 40 ms となる。

4 結果

4-1 主観評価

(1) NASA-TLX

NASA-TLX の結果を図 2 に示す。分析のため線形混合モデルを構築した。Satterthwaite の方法による第 III 種分散分析表から、作業員数の違いにより NASA-TLX スコアに有意差が見られた ($F(2, 20) = 25.166, p < .001$)。ボンフェローニ補正による事後検定では、1人条件の NASA-TLX スコアは2人条件のスコア ($t(20) = 4.92, p < .001$) および3人条件のスコア ($t(20) = 6.89, p < .001$) に比べ、有意に低かった。

さらに、NASA-TLX の各サブスケールの結果を分析するため、線形混合モデルを構築した。その結果、すべてのサブスケールのスコアに条件間で有意差が見られた。ボンフェローニ補正による事後検定では、「パフォーマンス」以外のサブスケール得点は、1名作業者条件では2名および3名条件の同サブスケール得点より有意に低いことが示された。また、「努力」と「フラストレーション」についても、2名条件の方が3名より有意に低いことが示された。

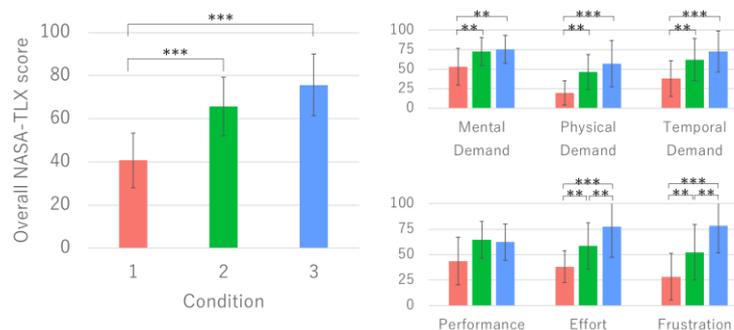


図 2 : NASA-TLX 結果 (***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, .: $p < 0.1$)

(2) QCE

QCE の結果を図 3 に示す。オリジナルの因子構造に沿って、3つの因子（明瞭性、応答性、快適性）をそれぞれ線形混合モデルで分析した。その結果、明瞭度と応答性については、条件によって有意差がみられた（それぞれ、 $F(2, 20) = 6.06, p = .008$, および $F(2, 20) = 9.62, p = .001$ ）。また、1人条件のスコアは3人条件のスコアより有意に高いことが示された（それぞれ $t(20) = 3.43, p = .008$, および $t(20) = 4.37, p < .001$ ）。

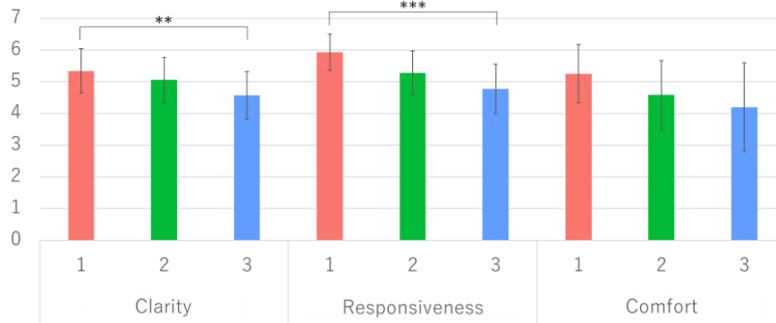


図3：QCE結果（***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, .: $p < 0.1$ ）

4-2 定量評価

条件ごとの1回あたりの指示時間と待機時間の平均を図4に示す。指示時間について、作業人数を要因とする1要因分散分析を行った結果、有意差が見られた ($F(2, 20) = 5.18, p < .05, \eta^2 = .34$)。Bonferroni法による多重比較を行った結果、作業人数が2人から3人に増えた時に有意に指示時間が増加していた ($p < .05$)。

また、作業人数が増えた時の作業効率がどのように変化するかを見るために、25分間での1人の作業員に対する指示回数と待機回数の平均を算出した(図5)。理想的には、作業人数が増えても一定の指示回数をキープできることが望ましいが、理論的には、指示対象の作業員人数が増えるに従って、1人あたりの待ち時間が増えるため、単位時間あたりの指示回数は減少することが予想できる。結果より、作業人数が2人から3人に増えた時に指示回数が下降していることがわかる。稼働率を図6に示す。作業員1人の場合は、指示時間は全体の3割程度であるが、3人の場合は8割を超え、記録した映像からも絶えず指示をしている状態が確認できた。

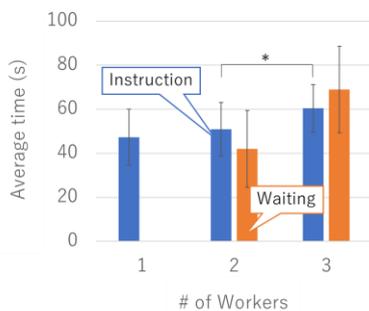


図4：指示時間と待機時間平均

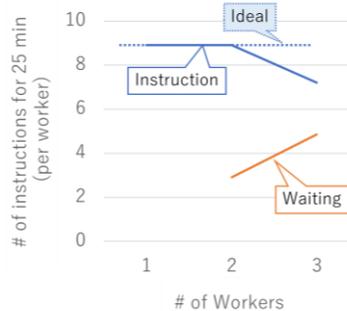


図5：25分間での1人の作業員に対する指示回数と待機回数の平均

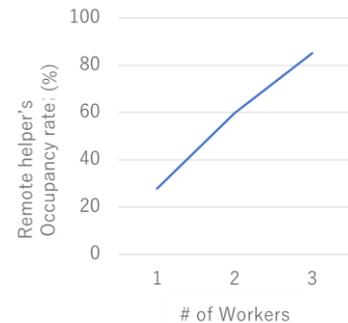


図6：指示者の稼働率

5 議論

実験結果より、参加者（指示者）は、作業員人数が増えるにつれ、より強い作業負荷を感じていた、インタビュー結果と合わせると、目配りが必要になることから「心的要求」「努力」「身体的要求」、作業員を待たせることによるストレスから「時間的要求」「フラストレーション」において、作業員の数が増えるほど、作業負荷が有意に高くなることが分かった。また、指示者の稼働率の観点からは、指示者の稼働率が約60%（作業員人数2人）を超えると1回あたりの指示時間が有意に長くなり、指示回数もキープできなくなっていた。これらの結果は、我々の仮説を支持するものである。

インタビュー結果より、「1-2名であれば作業員の進捗が追えるが3名になると追えなくなる」というコメントが複数の参加者から見られた。ビデオからも、3名の場合には問い合わせがあるたびに作業員の現在の進捗を確認の様子が確認され、指示時間の増加、さらには待機時間の増加につながり、結果として単位時間当たりの指示回数の低下につながったとみられる。

QCE の結果から、作業者を待たせているというストレスはコミュニケーションの理解度を低下させ、協調作業時のコンフリクトをより多く発生させる可能性があることがわかった。

以上より、システムで指示者を支援するために解決すべき課題として、以下の2点が考えられる。

- (1) 課題：作業者数が増えると各作業者の進捗が追えない
- (2) 課題：1回あたりの指示時間を低減したい

(1)については、作業者の状況把握支援を行うことが考えられる。具体的には、作業者の進捗を画面上に提示する、次に指示すべき人が誰かを明示／指示相手の自動切換え、作業者の見ている箇所を可視化する、といった方法が考えられる。

(2)については、言語的なサポートを可能にすることが考えられる。具体的には、音声認識と組み合わせる(e.g., 赤い、と発話すると該当ブロックが強調される)方法の他、語彙の引き込み[31]を加速し、参加者間の共通理解を早い段階で確立するためのARラベルの付与[32]。また、指示者のストレスを低減するために待機状態をシステムで隠蔽するなどの方法が考えられる。また、過去の研究に基づき[13], [18], アイトラッカを使用し、指示者がどこを見ているかを可視化し、指示者に提示することで、より指示が容易になると考えられる。

さらに、今回は、システムによる指示者の支援という観点から、指示者を直接支援する方法を挙げたが、作業者を支援することで、間接的に指示者を支援することも可能である。例えば、ある作業者に与えた指示を記録しておき、他の作業者が同じ手順で困った場合には、記録された指示を再生する、といった方法が考えられる。

今後は、先に挙げた機能を1対多の遠隔協調作業システムに追加し、各機能が稼働率の低減にどのように寄与するか、また、低減度合いと作業効率の向上について評価実験を通じて調査していく。

【参考文献】

- [1] R. A. J. de Belen, H. Nguyen, D. Filonik, D. Del Favero, and T. Bednarz, “A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies: 2013–2018,” *AIMS Electron. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 181–223, 2019, doi: 10.3934/ElectrEng.2019.2.181.
- [2] B. Ens *et al.*, “Revisiting collaboration through mixed reality: The evolution of groupware,” *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 131, no. May, pp. 81–98, 2019, doi: 10.1016/j.ijhcs.2019.05.011.
- [3] P. Wang *et al.*, “AR/MR Remote Collaboration on Physical Tasks: A Review,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 72, no. May, p. 102071, 2021, doi: 10.1016/j.rcim.2020.102071.
- [4] M. Sereno, X. Wang, L. Besancon, M. J. McGuffin, and T. Isenberg, “Collaborative Work in Augmented Reality: A Survey,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 2626, no. c, pp. 1–1, 2020, doi: 10.1109/tvcg.2020.3032761.
- [5] T. Y. Wang, Y. Sato, M. Otsuki, H. Kuzuoka, and Y. Suzuki, “Effect of body representation level of an avatar on quality of AR-based remote instruction,” *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/mti4010003.
- [6] S. Kim, G. Lee, M. Billinghamurst, and W. Huang, “The combination of visual communication cues in mixed reality remote collaboration,” *J. Multimodal User Interfaces*, vol. 14, no. 4, pp. 321–335, 2020, doi: 10.1007/s12193-020-00335-x.
- [7] G. Lee, H. Y. Kang, J. M. Lee, and J. H. Han, “A User Study on View-sharing Techniques for One-to-Many Mixed Reality Collaborations,” *Proc. - 2020 IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2020*, pp. 343–352, 2020, doi: 10.1109/VR46266.2020.158116622244.
- [8] S. Monsell, “Task switching,” *Trends Cogn. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 134–140, 2003, doi: 10.1016/S1364-6613(03)00028-7.
- [9] C. D. Wickens, J. G. Hollands, S. Banbury, and R. Parasuraman, “Engineering Psychology and Human Performance,” *Eng. Psychol. Hum. Perform.*, 2015, doi: 10.4324/9781315665177.

- [10] D. Gasques *et al.*, “Artemis: A collaborative mixed-reality system for immersive surgical telementoring,” 2021, doi: 10.1145/3411764.3445576.
- [11] E. Oyama *et al.*, “Augmented reality and mixed reality behavior navigation system for telepresence remote assistance,” 2021, doi: 10.1080/01691864.2021.1976670.
- [12] E. Oyama, N. Shiroma, N. Watanabe, and A. Agah, “Behavior navigation system for harsh environments,” vol. 1864, 2016, doi: 10.1080/01691864.2015.1113888.
- [13] H. Bai, P. Sasikumar, J. Yang, and M. Billinghurst, “A User Study on Mixed Reality Remote Collaboration with Eye Gaze and Hand Gesture Sharing,” pp. 1–13, 2020, doi: 10.1145/3313831.3376550.
- [14] G. A. Lee, T. Teo, S. Kim, and M. Billinghurst, “A User Study on MR Remote Collaboration Using Live 360 Video,” *Proc. 2018 IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Reality, ISMAR 2018*, vol. 1, pp. 153–164, 2019, doi: 10.1109/ISMAR.2018.00051.
- [15] L. Gao, H. Bai, M. Billinghurst, and R. W. Lindeman, “User Behaviour Analysis of Mixed Reality Remote Collaboration with a Hybrid View Interface,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 629–638, 2020, doi: 10.1145/3441000.3441038.
- [16] P. Gurevich, J. Lanir, B. Cohen, and R. Stone, “TeleAdvisor: A versatile augmented reality tool for remote assistance,” in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2012, vol. 31, no. 1, pp. 619–622, doi: 10.1145/2207676.2207763.
- [17] 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, doi: 10.1145/2642918.2647372.
- [18] S. R. Fussell, L. D. Setlock, and R. E. Kraut, “Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks,” in *Proceedings of the conference on Human factors in computing systems - CHI '03*, 2003, p. 513, doi: 10.1145/642611.642701.
- [19] D. Kirk, T. Rodden, and D. S. Fraser, “Turn it this way: Grounding Collaborative Action with Remote Gestures,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '07*, 2007, p. 1039, doi: 10.1145/1240624.1240782.
- [20] S. Johnson, M. Gibson, and B. Mutlu, “Handheld or Handsfree? Remote Collaboration via Lightweight Head-Mounted Displays and Handheld Devices,” in *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing - CSCW '15*, 2015, pp. 1825–1836, doi: 10.1145/2675133.2675176.
- [21] D. Schott *et al.*, “A VR/AR environment for multi-user liver anatomy education,” *Proc. - 2021 IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2021*, pp. 296–305, 2021, doi: 10.1109/VR50410.2021.00052.
- [22] M. Norman, G. A. Lee, R. T. Smith, and M. Billinghurst, “The impact of remote user’s role in a mixed reality mixed presence system,” *Proc. - VRCAI 2019 17th ACM SIGGRAPH Int. Conf. Virtual-Reality Contin. its Appl. Ind.*, 2019, doi: 10.1145/3359997.3365691.
- [23] X. Fan, C. Zhao, X. Zhang, H. Luo, and W. Zhang, “Assessment of mental workload based on multi-physiological signals,” *Technol. Heal. Care*, vol. 28, no. S1, pp. S67–S80, 2020, doi: 10.3233/THC-209008.
- [24] J. K. Nuamah *et al.*, “Assessment of Radiation Therapy Technologists’ Workload and Situation Awareness: Monitoring 2 Versus 3 Collocated Display Monitors,” *Adv. Radiat. Oncol.*, vol. 6, no. 1, p. 100572, 2021, doi: 10.1016/j.adro.2020.09.012.
- [25] N. Yao, J. Brewer, S. D’Angelo, M. Horn, and D. Gergle, “Visualizing gaze information from multiple students to support remote instruction,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, vol. 2018-April, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1145/3170427.3188453.
- [26] P. J. Guo, “Codeopticon: Real-time, one-to-many human tutoring for computer

programming,” *UIST 2015 - Proc. 28th Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol.*, pp. 599–608, 2015, doi: 10.1145/2807442.2807469.

[27] S. Kasahara, M. Ando, K. Suganuma, and J. Rekimoto, “Parallel eyes: Exploring human capability and behaviors with paralleled first person view sharing,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, pp. 1561–1572, 2016, doi: 10.1145/2858036.2858495.

[28] K. Takada *et al.*, “Parallel Ping-Pong: Exploring Parallel Embodiment through Multiple Bodies by a Single User,” in *Augmented Humans 2022*, Mar. 2022, pp. 121–130, doi: 10.1145/3519391.3519408.

[29] S. G. Hart and L. E. Staveland, “Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research,” in *Advances in Psychology*, vol. 52, no. C, 1988, pp. 139–183.

[30] L. A. Liu, C. H. Chua, and G. K. Stahl, “Quality of Communication Experience: Definition, Measurement, and Implications for Intercultural Negotiations,” *J. Appl. Psychol.*, vol. 95, no. 3, pp. 469–487, 2010, doi: 10.1037/a0019094.

[31] S. E. Brennan, “Lexical Entrainment in Spontaneous Dialog,” *Proceedings, 1996 Int. Symp. Spok. Dialogue, ISSD-96*, pp. 41–44, 1996.

[32] T.-Y. Wang, Y. Sato, M. Otsuki, H. Kuzuoka, and Y. Suzuki, “Developing an AR Remote Collaboration System with Semantic Virtual Labels and a 3D Pointer,” 2020, pp. 407–417.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Evaluating Workload in One-to-Many Remote Collaboration	PETRA 2022	2022. 6. 29–2022. 7. 1

当該成果は Best poster award を受賞した。