

ハイブリッド業務環境におけるカメラ操作インタフェースが  
遠隔参加者に与える影響の分析Analysis of Impact of Camera Operation Interface on Remote Participants  
in Hybrid Work Environment石川 拓海<sup>1)</sup> 馬田 一郎<sup>2)</sup> 加藤 恒夫<sup>1)</sup>

Takumi Ishikawa Ichiro Umata Tsuneo Kato

## 1 はじめに

2020 年の新型コロナウイルスの感染拡大により、リモートワークは急速に普及した。在宅勤務は多くの人にとって現実的なワークスタイルの 1 つの選択肢となっている。実際に、令和 5 年度テレワーク人口実態調査によれば、コロナ禍以降の直近 1 年間のテレワーク実施率は減少しているが、コロナ流行前時点でのテレワークをしたことがある人の割合と比べて高い水準を維持している [1]。首都圏では、コロナ流行前が 19.1% に対して、令和 5 年は 28.0% となっている。また、テレワークの継続意向アンケートでは、「継続意向あり」が 71.7%、「継続意向なし」が 28.3% となり、継続意向が強いことがわかる。テレワークでのオンラインツールを用いたリモート会議では、場所に縛られないことや記録・再生が容易といったメリットがある。一方で、オンラインツールを用いた遠隔共同作業では、インタラクションが一方的になりがちであることや遠隔地間に「壁」ができてしまうこと、集団での創造的な作業が困難であるといった問題が指摘されている [2]。そのため、オフィスワークとテレワークが混在したハイブリッド業務環境の効果的な運用方法の検討が行われている。

これまでのヒューマン・コンピュータ・インタラクションや心理学の研究において、遠隔コミュニケーションは対面コミュニケーションとは異なる特徴が示されている。Olson は、遠隔コミュニケーションでは対面よりも信頼構築において劣っていると報告している [3]。Short は、遠隔コミュニケーションでは視覚的情報が欠如している場合に誤解や情報の不足が生じる可能性が高くなると報告している [4]。Strickland は、オンライン上のコミュニケーションではリーダーシップの出現が対面よりも顕著でないと報告している [5]。Heath と Luff は、ビデオコミュニケーションは対面と比較して視覚的な手掛かりが不足することで、対話の流れや意図の理解が難しくなると指摘している [6]。Ruppel らは、遠隔コミュニケーションは対面よりも社会的存在感が低くなるため、浅い自己開示になると報告している [7]。

先行研究として、視覚的情報の欠如を補うために 360 度カメラを設置し、その 360 度映像を遠隔側から操作できるようにすることで、拠点側の状況を把握しやすくし、遠隔参加者の隔絶感を軽減するデザイン研究が行われてきた [8]。視点が自由に設定できるため、従来の web 会議に比べて、遠隔参加者が会話の流れを理解しやすいことや発言順序が予測しやすい。一方で、システムに不慣れた参加者同士の対話において困難な場面や遠隔側が視点

を自由に設定できるためにプライバシーに配慮すべき場面が確認された。これらを踏まえ、6 人の大学生の協力のもと評価セッションが行われた。5 人が対面で対話し、1 人が遠隔から映像の視点を操作しながらグループワークに参加した。セッション後の分析から、発話者へのズームなどの自由な視点設定の利点があったが、マウスによる視点操作の扱いづらさにより、マウス操作は自身のタスクに従事していない状況に限られた行動であった。また、マウスによる視点操作は操作性が悪いことが報告された。

本研究では、タッチパネルとジェスチャー認識の 360 度映像インタフェースを開発し、視点操作のインタフェースを改良する。360 度映像は、拠点側で作業しているかのように、遠隔側が任意に視点を操作して視覚情報を得ることができる。そのため、遠隔側の視覚的要素の欠如を web カメラ映像よりも低減させることができる。視覚情報の得やすさを改善することで、遠隔参加者の負担の軽減と会話の流れや発言順序の様子の把握の促進を図り、遠隔地間で共同創作活動がしやすくなるのかを評価するセッションを行う。そして、遠隔地にいる人がペアで参加する 6 つの共同作業グループについての結果報告を行う。

2 360 度映像で接続したハイブリッド業務  
環境とカメラ操作インタフェース

## 2.1 360 度映像で接続したハイブリッド業務環境

従来のハイブリッド会議では、web カメラを使用する場合、画角が限られているため遠隔の拠点間で相手がメモを取っていることや発話のタイミングなど、拠点間の状況を把握するのが困難である。また、web カメラの限られた画角内では協調作業ではなく、報告会議が多いと考えられる。

360 度映像で接続することで、画角の制限が解消される。視覚的なフィードバックにより拠点間の状況把握がしやすくなる。発言の順番の管理が容易になり、コミュニケーションの質の向上と協調作業の支援が期待できる。

## 2.2 360 度映像操作システム

360 度映像操作において、ハンドトラッキングデバイスの Leap Motion Controller 2 (以下 LMC) とタッチパネルを使用する。360 度映像の操作には、マウスの操作であるカーソル移動と左クリック、右クリックの機能が必要である。360 度映像の視点を移動させるためには、左クリックをホールドしながらカーソルを動かすことで可能である。360 度映像の拡大縮小を行うためには、右クリックをホールドしながらカーソルを上下に動かすことで可能である。

タッチパネルでの 360 度映像操作方法は、指での操作になる。タッチパネルに 1 本の指で触れることで左ク

1) Doshisha University, Kyotanabe-shi, Kyoto, 610-0321, Japan

2) KDDI Research, Inc., The Okura Prestige Tower, 2-10-4 Toranomom, Minato-ku, Tokyo, 105-0001, JAPAN

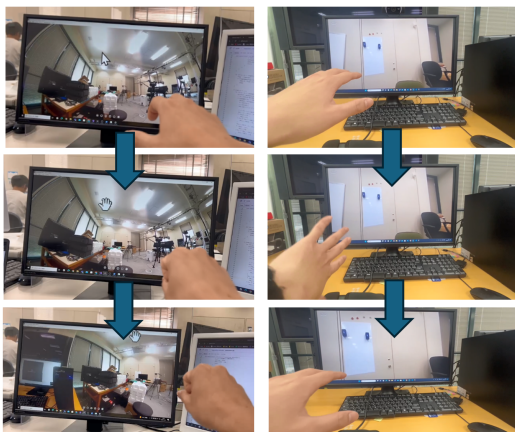
リックの動作となる。触れている状態から指を任意の方向にスライドすることで、視点操作が可能である。2本の指で触れることで、右クリックの動作となる。触れている状態から指先同士を離していくことで、任意の倍率に拡大縮小が可能である。

360度映像操作を LMC で実装するために、左クリックと右クリック、カーソル操作を複合して、機能として (1) カーソル操作、(2) 映像操作、(3) 切り替え操作のシステムを提案した。(1) カーソル操作は、画面上のカーソルを移動するために必要な機能である。(2) 映像操作は、360度映像の視点移動と拡大縮小を行う機能である。視点操作の時に左クリック、拡大縮小操作の時に右クリックを行う操作である。(3) 切り替え操作は、(2) 映像操作を同一動作で行うために必要な機能である。左クリックと右クリックの切り替えを行う機能である。以下に、LMC を用いて (1) カーソル操作、(2) 映像操作、(3) 切り替え操作を実装した内容を示す (図 1)。

(1) カーソル操作：手のひらを認識して PC のカーソルを操作するものである。LMC の座標はデバイスの中心が原点であり、ディスプレイの座標は画面の左端が原点であるため、互換性がない。そのため、LMC の座標をディスプレイの座標にスケールしてマッピングをした。また、変換後の座標がディスプレイの座標の範囲を超えないように制限を行った。

(2) 映像操作：握りこぶしを認識することで、左クリック (視点操作) または右クリック (拡大縮小操作) をする操作である。手のひらが開いている状態を 0、握っている状態を 1 として、0.8 以上の閾値を超えた場合に握りこぶしと認識をする。

(3) 切り替え操作：手のひらの傾きを認識することで、左クリック (視点操作) と右クリック (拡大縮小操作) の切り替えるシステムである。手のひらが下を向いている状態を 0 とし、内側に傾けるほど 1、外側に傾けるほど -1 となる。閾値が 0.9 以上で左クリック、-0.9 以下で右クリックに切り替える。



グループ&ドラッグで映像操作 手のひらの傾きで切り替え操作  
(視点操作→拡大縮小操作)

図 1 ジェスチャー認識の映像操作風景

### 3 実験概要

本実験では、提案手法と従来手法、および普及型システムでオンライングループワークを行い、遠隔参加者のパフォーマンスへの影響を確認するための比較実験を行った。

### 3.1 実験協力者

比較実験を行うために 1 組 3 名でグループワークを行った。12 組 36 名のデータを収録予定であり、現在 6 組のデータ収録を完了している。本発表では、既収録の 6 組分についての分析結果を報告する。実験協力者は、6 組の計 18 名に協力をしていただいた。実験協力者の内訳は、男性 15 名、女性 3 名である。1 組ごとの内訳は、男性だけの組が 5 組、女性だけの組が 1 組であり、異性同士が混じっている組はない。

### 3.2 ハイブリッド業務環境のシステム構成

実験セットを図 2 と図 3 に示す。図 2 に示す通り、360度カメラは円形テーブルの中心に設置した。また、拠点参加者のアイデアなどを書き込めるようにホワイトボードも設置した。参加者全員に遠隔側のアイデアも伝わりやすいように、オンラインホワイトボードでアイデア共有が行えるようにした。図 3 のように遠隔側のシステム構成は、各実験条件に使用するタッチパネルとハンドトラッキングデバイス、マウスの設置を行った。また、拠点側が見る映像のために、web カメラをディスプレイ上に設置した。

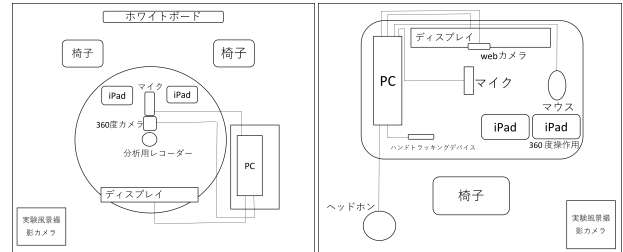


図 2 拠点側セットアップ 図 3 遠隔側セットアップ

### 3.3 実験課題

実験課題として、トーランスの創造性テストの 1 つである「Picture-Completion」を採用した [9]。本実験では、ハイブリッド業務環境で創造性にかかわる共同作業課題で議論を行えるタスクであると考えられるため、この実験課題を採用した。トーランスの創造性テストは、心理学者の E. Paul Torrance によって 1962 年に開発された創造性テストである。これは、図 4 のように未完成の絵に線を加えて絵を完成させるものであり、出来上がった絵をパフォーマンスとする。絵画技能や能力に関わらず、完成した絵の独創性などの指標によって採点がされるテストである。

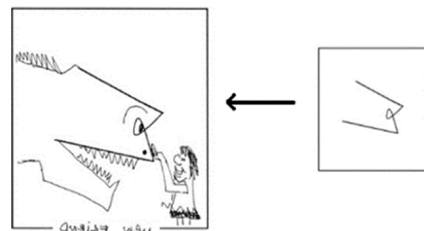


図 4 Picture-Completion の例題

### 3.4 実験条件

本実験では、4 つの条件の比較実験を行った。すべての条件において、拠点側に 2 人、遠隔側に 1 人が参加するハイブリッド形式である。遠隔側の実験風景をまとめて図 5 に示す。以下の (1) から (4) に比較条件を示す。ただし拠点側はすべての条件において普及型システムを使用

し、遠隔側の web カメラ映像を見ながらグループワークを行う。

#### (1) 普及型会議システム

普及型会議システムを使用し、一般的なオンライン会議形式

#### (2) マウス操作

遠隔参加者が拠点側の 360 度映像をマウスで操作する

#### (3) ハンドトラッキング操作

LMP を用いて、遠隔参加者が拠点側の 360 度映像を手で操作する

#### (4) タッチパネル操作

遠隔参加者が拠点側の 360 度映像をタッチパネルで操作する



図5 実験条件の遠隔側実験風景

### 3.5 実験手順

以下の (1) から (4) の手順で実験を行った。

- (1) 未完成図の練習問題を用いて約 5 分間練習を行う
- (2) 遠隔参加者がマウスとハンドトラッキングデバイス、タッチパネルの操作方法の練習を約 10 分間行う
- (3) 10 分間ごとに 4 条件の実験を行う
- (4) 条件ごとにアンケートの回答を行う

### 3.6 評価方法

総発話時間とオーバーラップ率をパフォーマンス比較の指標になると仮定して、評価指標として採用した。総発話時間は、グループワーク中に遠隔参加者が発話した時間である。オーバーラップ率は、各グループ  $g$  における各遠隔参加者  $r$  と拠点参加者ペア  $p$  のすべての発話  $l$  の重複  $O(g, r, p)$  は以下のように計算される。 $u$  は遠隔参加者  $r$  の  $x$  番目の発話であり、 $o$  は  $u$  の区間中の  $r$  と  $p$  のオーバーラップである：

$$O(g, r, p) = \sum_{x=1}^l o_x / u_x \quad (1)$$

オーバーラップ率は、遠隔参加者と拠点参加者の発話の重複を表すものである。激しい議論のような衝突的なやり取りにおける発話の衝突だけでなく、協力的な対話における相槌や同意の応答も含んでいる。

また、ユーザビリティの評価を行うために実験後にアンケートを実施した。アンケートは 7 項目を 5 段階で評価するものである。各操作に対する有用性と利便性を評価する。アンケート内容を表 1 に示す。

表 1 アンケート内容

評価項目
(1) グループワークほどの程度うまくいったか。
(2) 自分の意見をどの程度伝えることが出来たか。
(3) 相手の意見をどの程度理解することが出来たか。
(4) カメラの操作性はどうだったか。
(5) グループワークでの主導権ほどの程度取れていたか。
(6) グループにどれだけ貢献できていたか。
(7) グループワーク中に疎外感を感じたか。

## 4 実験結果

### 4.1 遠隔参加者の総発話時間

4 つの実験条件の総発話時間について有意水準 5% でフリードマン順位と検定を行った。その結果、条件間で有意差が認められた ( $\chi^2 = 9.31, p < .05$ )。しかし、Bonferroni 法により  $p$  値を調整した Wilcoxon 符号付順位検定による一対比較では、有意差が認められなかった。遠隔参加者の平均総発話時間は、普及型システムが 162 秒、マウス操作が 239 秒、ハンドトラッキング操作が 147 秒、タッチパネル操作が 299 秒となった。タッチパネル操作が最も長く、ハンドトラッキング操作が最も短い平均発話時間であった。表 2 に各グループの総発話時間を、図 6 に各実験条件における総発話時間の平均値を示す。

表 2 各グループの総発話時間

グループ	(1) 普及型	(2) マウス	(3) ハンド	(4) タッチ
1	159	203	203	151
2	279	284	278	415
3	125	249	114	450
4	172	228	161	195
5	195	238	109	259
6	158	229	165	323

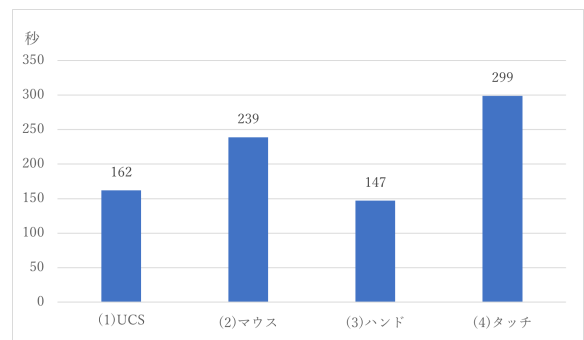


図 6 遠隔発話の平均発話時間

### 4.2 遠隔参加者のオーバーラップ率

4 つの実験条件間でオーバーラップ率について有意水準 5% でフリードマン順位と検定を行った。その結果、条件間で有意差が認められた ( $\chi^2 = 19.134, p < .05$ )。Bonferroni 法により  $p$  値を調整した Wilcoxon 符号付順位検定による一対比較では、普及型システムとタッチパネル操作間で有意差 ( $p < .05$ )、タッチパネル操作とハンドトラッキング操作間で有意差 ( $p < .01$ )、マウス操作とハンドトラッキング操作間で有意差 ( $p < .01$ ) となった。図 7 にオーバーラップ率の平均値を示す。

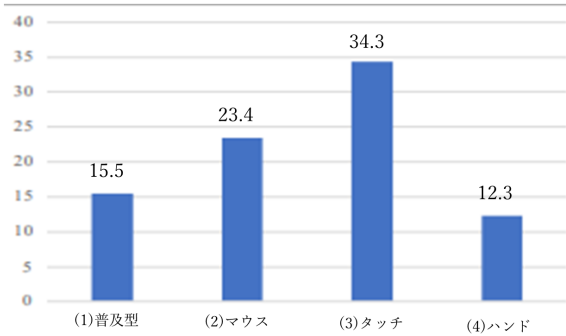


図7 遠隔発話のオーバーラップ率

#### 4.3 評価アンケート

遠隔側アンケート結果からタッチパネル操作とマウス操作において高いスコアが確認できた(図10)。一方で、ハンドトラッキング操作は、他の3条件と比較して全ての項目において低いスコアとなった。普及型システムに関しては、全条件の平均的スコアとなった。拠点側アンケート結果はすべての条件において均一なスコアとなった。また、各質問においてマウス操作と比較したマン・ホイットニーのU検定を行った。その結果、ハンドトラッキング操作とマウス操作の「主導権を取れていたか」( $p < .05$ )と「カメラの操作性」( $p < .05$ )で有意差が認められた。タッチパネル操作とマウス操作において有意差は見られなかった。

360度映像操作に関する自由記述では、タッチパネル操作に関して「映像操作はタッチパネルが一番操作しやすかった」、「マウスとタッチパネルはホワイトボードと相手が見やすくてよかった」などの肯定的な意見が寄せられた。ハンドトラッキング操作に関しては、「手での操作が初めてで難しかった」、「カーソルの速度が速いため、視点の細かい調整が難しかった」などの操作性を指摘する意見が寄せられた。

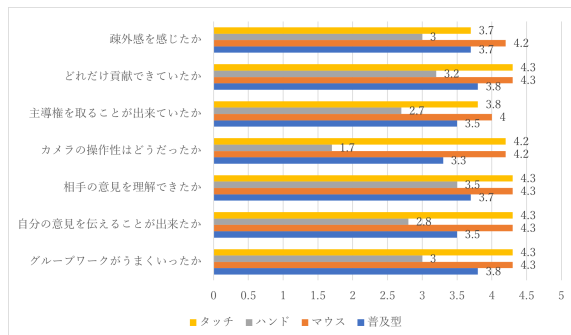


図8 遠隔参加者のアンケート結果

#### 5 考察

現時点ではデータ量が少ないため、十分な結果とは言えないが、視点設定の自由度が高い遠隔コミュニケーションシステムが有望であることを示唆していると考えられる。総発話時間の分析では、4つの条件間で有意な差が見られた。一対比較では有意差が見られなかったが、タッチパネル操作の平均発話時間が最も長く、能動的なインタラクションを支援するシステムであることが示唆された。一方で、ハンドトラッキング操作の平均発話時

間は最も短く、良いインターフェースではないことが示唆された。

オーバーラップ率の分析では、条件間で興味深い結果が得られた。マウス操作では、ハンドトラッキング操作よりも有意に高いオーバーラップ率を示した。タッチパネル操作は、普及型システムとハンドトラッキング操作よりも有意に高いオーバーラップ率を示した。本実験の課題設定では、対立要素がほとんど含まれていないものであった。そのため、課題を完成させるために対立的な対話を行う必要が少なかった。実験中の対話においても協力的な対話や相槌、同意の応答が頻繁に観察されており、会話中のオーバーラップの大部分は、そのような協調的なものであると考えられる。そのため、タッチパネル操作はハイブリッド形式における共同作業の活性化に寄与していると考えられる。

これらの結果から、タッチパネルによる視点操作は能動的なインタラクションや状況把握を促し、作業の活性化に寄与していると考えられる。しかし、現状では正確な評価のためにはデータ数が十分であるとは言えないため、継続してデータ収録を進める予定である。

#### 6 おわりに

本研究では、ハイブリッド業務環境において遠隔オフィスの映像の視点設定の自由度を広げるための360度操作インターフェースの設計と評価プロセスを発表した。先行研究を踏まえ、創造的作業のグループワークにおいて評価セッションを行った。遠隔参加者の総発話時間とオーバーラップ率から提案手法の有効性と今後改善すべき点が示唆された。

#### 参考文献

- [1] 国土交通省. “令和5年度テレワーク人口実態調査-調査結果-”. <https://www.mlit.go.jp/toshi/kankyoo/content/001735166.pdf>
- [2] 筑波大学 働く人への心理支援開発研究センター. “テレワークによる社内コミュニケーションの変化”に関する調査報告”. <https://www.human.tsukuba.ac.jp/counseling/wpcontent/uploads/2020/10/surveyresult20201002.pdf>
- [3] Olson, G. M., & Olson, J. S. (2000). Distance matters. *Human-Computer Interaction*, 15(2-3), 139-178.
- [4] Short, J., Williams, E., & Christie, B. (1976) *The social psychology of telecommunications*. London: John Wiley & Sons.
- [5] Strickland, L.H., Guild, P.D., Barefoot, J.C., & Paterson, S.A. (1978). Teleconferencing and leadership emergence. *Human Relations*, 31(7), 583-596.
- [6] Heath, C. & Luff, P. (1991). Disembodied conduct: communication through video in a multimedia office environment. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '91)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 99-103. DOI: <https://doi.org/10.1145/108844.108859>
- [7] Ruppel, E.K., Gross, C., Stoll, A., Peck, B.S., Allen, M. and Kim, S.Y. (2017). Reflecting on Connecting: Meta-Analysis of Differences Between Computer-Mediated and Face-to-Face Self-Disclosure. *J Comput-Mediat Comm*, 22:18-34. <https://doi.org/10.1111/jcc4.1217>
- [8] Umata, I. & Niida, S. (2022). Perspective Settings in Online Interaction: User Behavior Observation of Online Interaction Support System with Perspective Selection Function. *Human Communication Group Symposium 2022 HCG2022 C-3-3 (In Japanese)*
- [9] Torrance, E.P. (2002). *The Manifest? A Guide to developing a creative career*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, USA.