

既存の PC アプリを用いた遠隔共同作業を 身体動作を伴って行うためのメタバース環境

A Metaverse Environment for Remote Collaboration
Using Existing PC Applications with Physical Interaction

石川寛¹⁾, 長谷川晶一²⁾

Kan ISHIKAWA, Shoichi HASEGAWA

1) 東京工業大学 工学院 (〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259, k.ishikawa@gs.haselab.net)

2) 東京工業大学 工学院 (〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259, hase@haselab.net)

概要: 多様な身体動作を伴うコミュニケーションが行えるメタバースは、テレワークにおける身体動作を伴うコミュニケーションの欠落を解消しうが、メタバース内で既存の PC アプリケーションを用いた共同作業を行った際に、どのような身体動作を伴うコミュニケーションが観察され、どのような役割を果たすのか調査した研究はほとんど存在しない。そこで本研究では、メタバース内で共同作業を行なった際の問題点を発見・整理し、「メタバース技術を用いて同時遠隔における身体動作を伴うコミュニケーションを支援するグループウェアシステム」を提案し、質的に評価した。結果、相手と画面双方に同時に意識を向けることが困難という既存手法の問題を解決することで、自然な指差し動作や相手の頭の動き（思考）を把握しながらの PC 操作が可能になったと言える。

キーワード: メタバース, CSCW(Computer-Supported Cooperative Work), 身体動作, 質的評価

1. はじめに

テレワークは労働を時空間的制約から解放する新たな仕事形態として注目されているが [1], 情報の伝達形式が限定されることにより、共同作業時の身体動作を伴うコミュニケーションが欠落してしまう [2].

メタバースは、遠隔の人々が多様な身体動作を伴うコミュニケーションが行えるシステムであり [2], この問題の解決手段になると期待される。しかし、実際にメタバース内で既存の PC アプリケーションを用いた共同作業を行った際に、どのような身体動作を伴うコミュニケーションが観察され、どのような役割を果たすのか調査した研究はほとんど存在しない。

そこで本研究では、メタバース内で共同作業を行なった際の問題点を発見・整理し、「メタバース技術を用いて同時遠隔における身体動作を伴うコミュニケーションを支援するグループウェアシステム」を提案し、質的に評価した。

2. 研究背景と関連研究

2.1 身体動作を伴うコミュニケーション

メタバース内でよく観察される非言語動作コミュニケーションである、Kinesics と Proxemics を併せて「身体動作を伴うコミュニケーション」として研究した。ここで Kinesics とは、体の運動、特にジェスチャー、頭の動きと姿勢、視線、および顔の表情の非言語コミュニケーションとしての利用のことを指し、位置や大きさなど、情報を視覚的に示す Illustrator 等の役割を持つ [3]。また、Proxemics は、空間と距離がコミュ

ニケーションに与える影響を表す [3]。Public Space(12 Feet or More), Social Space(4–12 Feet), Personal Space(1.5–4 Feet), Intimate Space(0–1.5 Feet) に分類され、後者ほど相手の影響及び、誘起される感情（幸福感や不快感など）も強くなる [3].

2.2 メタバース内の身体動作を伴うコミュニケーション

メタバースでは、アバターを通して手・足・頭・全身の身体動作 (Macro Kinesics) や、表情・視線の反映 (Micro Kinesics) が可能である [2]。表情は手指のジェスチャーと顔表情を連動させ手指で表情を操作している利用者が多く視線情報は頭部の動きを手がかりに把握する場合が多い [2]。また、アバタに眼球運動を反映させる技術 [4] も存在し、今後の普及が期待される。さらに Proxemics の観点では、アバターは Public Space, Social Space, Personal Space, Intimate Space いずれの領域も持つことができ、他のアバターとの交流に応じて、これらの領域が影響を与え、かつ使い分けられる [5]。図 1 は、その例である。



図 1: メタバースにおける身体動作を伴うコミュニケーション

2.3 メタバース内で既存の PC アプリケーションを操作する方法

メタバース内で PC 画面を共有する方法はストリーミングが主であり、共有者がマウスなどで入力を行ってから、反映されるまでに遅延が存在する。この遅延は数十秒に及ぶこともあり、共有者の PC に対する操作感や作業効率を著しく低下させる。そのため、作業者は PC 操作において通常は「VR オーバーレイ (以下オーバーレイ)」という VR 映像に HMD の接続元の PC 画面を上書きする技法を用いる。ストリーミング方式ではないローカルな処理のため遅延はないが、表示させた本人しか見ることができない。

したがって、メタバース内で既存の PC アプリを用いた共同作業を行う場合、操作者は自分の PC 画面をメタバースの共有スクリーンにストリーミングし、自分は他の人には見えないオーバーレイ画面を見ながら操作することになる。この時、他の人 (以下指示者という) は操作者の PC 画面が遅延して共有された共有スクリーンを情報共有画面として用いて状況を把握するため、操作者と指示者で異なる画面を見て共同作業を行うことになる。以下、これを既存手法と呼ぶ。

3. 問題点の発見と整理

本研究では、まず予備実験を通し、既存の PC アプリケーションを用いたメタバースにおける共同作業時の問題点を発見、整理した。予備実験には、成人男性 8 名、成人女性 3 名、計 11 名にご協力いただいた。

その結果、既存手法を用いた場合、身体動作を伴う共同作業において以下の問題が生じることがわかった。

1. WYSIWIS(What-You-See-Is-What-I-See) の不成立：操作者と指示者に見える景色が異なる。

- 画面上での WYSIWIS 不成立：
遅延等により操作画面と情報共有画面の表示内容が異なる。
- 位置姿勢の問題：
操作画面と情報共有画面の位置姿勢が異なるため、共同作業時に操作者とそれ以外の指示者の視線の向き、身体や頭の位置、姿勢が揃わなくなり、身体動作伝達を困難にする。
- 視覚遮断：
オーバーレイに上書きされたメタバース領域が見えなくなる、この領域で指示者が身体動作を行っても操作者は見ることができない。
- 操作画面の追従、移動：
オーバーレイは現実の頭の位置姿勢を基準に追従する形で表示され、さらにメタバースとオーバーレイでは座標系が全く異なるため、操作画面であるオーバーレイの表示位置をメタバースへ固定することが困難である。操作画面と情報共有画面の位置姿勢とサイズが同じならば、遅延を考えなければ指示者は操作者が見ている画

面に対し、指差し動作等を行い指示をすることができ、操作画面の追従、移動はこれを困難にしている。

● 操作画面の位置姿勢合わせ問題：

操作画面が操作者に追従するため、複数操作者の場合、互いの操作画面の位置姿勢を合わせようとすると、異なる見えない画面同士を合わせる必要があり、位置合わせが困難である。さらに、操作者 1 人が少しでも移動すれば、再び位置合わせをやり直す必要が生じ共同作業の障害になる。

2. カーソル操作権の譲渡が不可能：

操作者しか PC を操作できない。指示者が PC 操作を一次的に代行すれば即座に解決する問題を、操作者に言葉や動作のみで説明する必要があるが出てきて、作業効率が低下する可能性が高いなどの弊害がある。

3. マウスカーソルの操作が無効化される：

既存のオーバーレイアプリケーションを用いると、多くはマウスカーソルより VR コントローラーをカーソル入力として優先するため、マウスカーソルによる PC 操作を行うことが困難になる。

4. 提案手法

前述した問題点を解決するため、以下の提案手法を開発した。まず、全員から見て、表示される位置姿勢が、メタバー

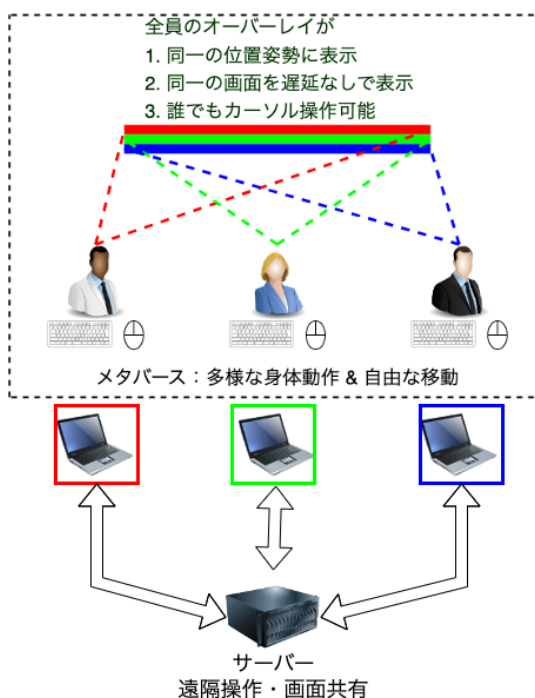


図 2: システム構成

ス内の同じ 1 箇所に統一されるオーバーレイを開発した。これはメタバース内で表示したい位置姿勢とメタバース内のユーザの位置姿勢から、メタバース座標系におけるユーザと

オーバーレイの相対位置姿勢を獲得し、その値をメタバース座標系からオーバーレイ座標系に変換することで実現した。この時、オーバーレイへの入力手法をPCの入力デバイスに限定させることで、マウскарソルの無効化を防いだ。このオーバーレイには各自のPC画面が映っているが、これらのPCを遅延なしの遠隔操作アプリで1つの共有画面へ接続することで、オーバーレイに映る画面を全員で同じにする。最後に、オーバーレイを半透明にすることで、オーバーレイ画面により相手が見えなくなってしまう遮蔽問題を防いだ。

その結果、全員が互いの動作を眺めながら、同じ場所で、遅延なしに、同じPC画面を眺めて、操作することができる様になった。いわば、メタバース内に「全員で使えるPCを設置した」と言える。

5. 評価実験

5.1 実験

成人男性8名に対し、メタバース内で既存手法、提案手法各々について、既存のPCアプリケーションを用いた同じ共同作業を行っていただき、身体動作を伴うコミュニケーションを比較する実験を実施した。共同作業は、ゲームエンジンアプリケーションを用いたワールド生成を選択した。各手法における実験時間は30分程度で(10分程度の誤差あり)、データ収集は観察とインタビューのトライアングレーションにより行った。観察は、参与・非参与観察とビデオ撮影による観察の併用を選択した。このうち、1組(3人)分のデータについては、提案手法、既存手法の順で共同作業を行なったのだが、既存手法における共同作業において、誤って提案手法と既存手法を混合した方法を用いて実験を行った実験参加者がいたため、提案手法におけるデータのみを評価の対象とした。

6. 結果

6.1 質的評価

得られた結果をGTA(Grounded Theory Approach, グラウンデッド・セオリー・アプローチ)を用いて質的に評価した。この際、観察データを中心に、インタビューで補足情報を補う形でテキストを構築した。

結果、身体動作を伴うコミュニケーションのうち、指差し動作(ポインティング)、頭の動作(視線)について以下の仮説が得られた。

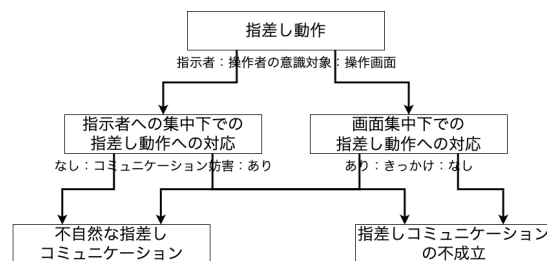
【】はカテゴリ、“ ”はプロパティ、’ ’はディメンションを表す。

6.2 指差し動作

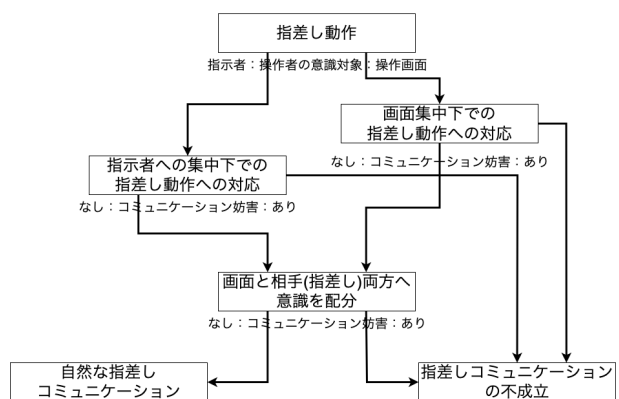
既存手法において、指示者によって【指差し動作】によるコミュニケーションが選択された場合、“ ”操作者の意識対象“ が成功か否かを決定づける。【指差し動作】の“ ”操作者の意識対象“ が‘ 操作画面 ’である場合、【画面集中下での指差し動作への対応】において、指示者の指差し動作に気がつく“ きっかけ” が‘ あり ’ならば、二画面を交互に見返す等の【不自然な指差しコミュニケーション】が、‘ なし ’ならば

【指差し動作コミュニケーションの不成立】が起こる。【強制的な指差し動作】の“ ”意識の対象“ が‘ 指示者 ’である場合、【指示者への集中下での指差し動作への対応】において、緊急事態による中断などの“ ”コミュニケーション妨害” が‘ なし ’ならば【不自然な指差しコミュニケーション】が、‘ あり ’ならば【指差し動作コミュニケーションの不成立】が起こる。

提案手法において、指示者によって【指差し動作】によるコミュニケーションが選択された場合、“ ”コミュニケーション妨害“ が成功か否かを決定づける。【指差し動作】の“ ”操作者の意識対象“ が‘ 操作画面 ’である場合、【画面集中下での指差し動作への対応】において“ ”コミュニケーション妨害” が‘ なし ’ならば【画面と相手(指差し)両方へ意識を配分】が、‘ あり ’ならば【指差し動作コミュニケーションの不成立】が起こる。【指差し動作】の“ ”意識の対象“ が‘ 指示者 ’である場合、【指示者への集中下での指差し動作への対応】において“ ”コミュニケーション妨害” が‘ なし ’ならば【画面と相手(指差し)両方へ意識を配分】が、‘ あり ’ならば【指差し動作コミュニケーションの不成立】が起こる。【画面と相手(指差し)両方へ意識を配分】において、“ ”コミュニケーション妨害” が‘ なし ’ならば、指差しと操作画面双方を同時に目視した【自然な指差しコミュニケーション】が、‘ あり ’ならば【指差し動作コミュニケーションの不成立】が起こる。なお、“ ”コミュニケーション妨害” は‘ なし ’である確率が高く、【自然な指差しコミュニケーション】が起こりやすい。



(a) 既存手法



(a) 提案手法

図3: 指差し動作のカテゴリ関連統合図

6.3 頭の動作 (視線)

提案手法において、相手と画面の間の【意識対象のシームレスな変遷】が可能な状況において、“役割”が‘指示者’ならば、【指示者の対応】を、“役割”が‘操作者’ならば、【操作者の対応】を行う。この際、相手への“確認事項”が‘あり’ならば相手を見ることで【頭の動きによる相手の思考顕在化】が起これ、“確認事項”が‘なし’ならば【画面操作に集中】が起これる。【頭の動きによる相手の思考顕在化】において、自分が確認したい対象、すなわち“確認対象”が‘相手’ならば【相手の思考把握】が、“確認対象”が‘画面と相手’ならば【共同作業状況の把握】が達成される。なお、【相手の思考把握】とは相手の思考や様子のことを広く包含したプロパティである。

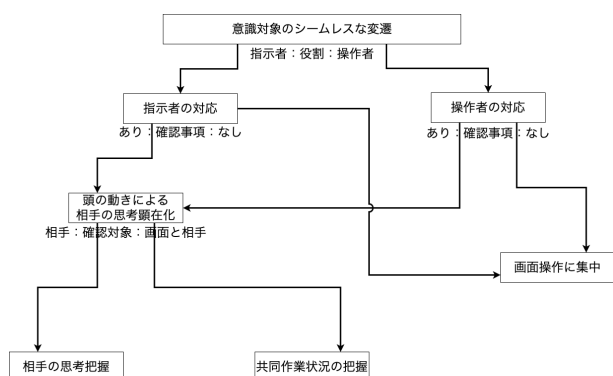


図 4: 頭の動作のカテゴリー関連統合図

7. 考察

既存手法では、意識対象を相手か画面かいずれかに選択する必要がある、双方を同時に意識することが困難であった。これは、操作集中時に指示者の指差し動作を見逃してしまうことや指示者の頭の動きの見逃しを助長しており、身体動作を伴うコミュニケーションを妨げる要因となっている。実際に操作者が操作している際は、口頭によるコミュニケーションに頼る場面が観察された。したがって、既存手法では、身体動作を伴うコミュニケーションが行えるというメタバースシステムのメリットを活かすことができていないと言える。

一方、提案手法によって、操作画面と情報共有画面が同一化され、その画面とともに相手が視野内に同時に入ることにより、相手の頭の動きと画面の両方から状況や思考を把握したり、画面と指差し動作を同時に捉えることができるようになったと言える。すなわち、同じ画面を見ながら、意識対象を、相手、画面、その両方と、操作者や指示者自身の意図に応じて自由に切り替えることができるようになったと言える。この意識の切り替えは、指差し動作や頭の動きによる非言語コミュニケーションを助長し、身体動作を伴うコミュニケーションが行えるというメタバースシステムのメリットを活かすことに貢献したと言える。

以上より、提案手法の意義は、既存手法では断続的であった相手と画面への意識の分配を、連続的かつ同時的にしたこ

とにあると考えられる。

8. 結論

本研究では、身体動作を伴うコミュニケーションの欠如というテレワークの問題に対する解決策として、多様な身体動作を伴うコミュニケーションを行えるメタバースに注目し、メタバース内で既存の PC アプリケーションを用いた際の身体動作を伴うコミュニケーションについて質的に分析評価した。

具体的には、まずメタバースで共同作業を行う際の問題点を発見・整理した。次に、その解決策としてメタバース内に、全員にとって同じ位置に、リアルタイムに、同じ PC 画面が表示されるオーバーレイを構築し、任意のメンバー間で画面への入力用カーソルの操作権を譲渡しあえる様にした。

実験では、提案手法と既存の方法それぞれで同じ共同作業を行ってもらい、主に身体動作を伴うコミュニケーションについて観察とインタビューを通し比較した。それを GTA (Grounded Theory Approach, グラウンデッド・セオリー・アプローチ) を用いて解析し、「メタバースで既存の PC アプリを用いた共同作業を行う際、どの身体動作が観察され、どのような役割を果たすのか」を調査し質的に評価した。

結果、相手と画面双方に同時に意識を向けることが困難という既存手法の問題が改善され、PC 操作を行う共同作業におけるコミュニケーションにおいて、自然な指差し動作や相手の頭の動きの把握ができるようになった。

参考文献

- [1] Julia L. O. Beckel, Gwenith G. Fisher. "Telework and Worker Health and Well-Being: A Review and Recommendations for Research and Practice". International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol.19, No.7, 2022.
- [2] 長谷川晶一. "近接チャットと HMD VR によるメタバースの相違点 (ロング版)". バーチャル学会, 2022.
- [3] Anjali Hans1, Emmanuel Hans. "Kinesics, Haptics and Proxemics: Aspects of Non -Verbal Communication". IOSR Journal Of Humanities And Social Science(IOSR-JHSS), Vol. 20, No. 2, pp.47-52, 2015.
- [4] Alessandro Visconti, Davide Calandra, Fabrizio Lamberti. "Comparing technologies for conveying emotions through realistic avatars in virtual reality-based metaverse experiences". Computer Animation & virtual worlds, Vol. 34, No. 3-4, 2023.
- [5] Liang Men, Nick Bryan-Kinns. "LeMo: Exploring Virtual Space for Collaborative Creativity". C&C '19: Proceedings of the 2019 Conference on Creativity and Cognition, pp.71-82, 2019.