

360度インターネット生放送における MRを用いた視聴者 POV 提示手法の提案

齊藤 義仰¹ 平野 雄哉¹

概要: 本研究では、MR (Mixed Reality) を用いて視聴者の POV を可視化し、直感的に POV を把握可能にする手法を提案する。提案手法では、視聴者が視聴している方向にマーカを表示させることで、コミュニケーションエラーを減らす。また、MR デバイスを用いて、視聴者の POV を示すマーカを現実空間上に重畳表示することにより、応答までにかかる時間を短くする効果が期待できる。実装したプロトタイプシステムを用いて評価実験を行った。その結果、MR による POV マーカの提示により、応答時間の減少が確認され、対象物の素早い発見が可能になり、放送者の負担を軽減できることがわかった。

A Proposal of a Presentation Method for Viewers' POV using MR in 360-degree Internet Live Broadcasting

YOSHIA SAITO¹ YUYA HIRANO¹

1. はじめに

近年、インターネット上での 360 度動画のライブ配信(以後、360 度インターネット生放送と呼ぶ)が、様々なシーンで利用されるようになってきた。360 度インターネット生放送では、放送者は全方位カメラを用いて 360 度全体を撮影した動画をライブ配信することができる。視聴者は、360 度動画を視聴する方向 (Point of View: POV) を変更しながら、放送者とチャットなどを用いてコミュニケーションを行うことができる。

一方で、360 度インターネット生放送には、視聴者の POV を、放送者が把握することができないという問題がある。従来の Web カメラや単眼カメラを用いたインターネット生放送であれば、放送者はカメラのレンズが向いている方向が視聴者の POV であると把握できる。一方で、全方位カメラを用いた 360 度インターネット生放送では、放送者はカメラのレンズの向きによって視聴者の POV を把握できない。例えば、ある視聴者が放送者の視野外の対象についてコメントで言及すると、放送者は何についてのコメントか理解できない可能性がある。コメントが理解できない場合、応答までに時間がかかってしまうことや、誤ったものへの応答を行ってしまう可能性がある。この現象を、本稿ではコミュニケーションエラーと定義する。

この問題を解決するため、我々はこれまで、視聴者の

POV を球状のヒートマップにより可視化し、AR (Augmented Reality) 技術を用いて放送者に提示する手法である POV ヒートマップを提案してきた[1-2]。POV ヒートマップを用いることで、コミュニケーションエラーが低減されることがわかった。しかし当該手法では、スマートフォンの画面を通して、AR を用いて実装された球体状のヒートマップにより、視聴者の POV を視認する必要がある。そのため、その作業と同時にインターネット生放送を継続するのは、放送者に大きな負担をかけてしまい、応答までにかかる時間が増加するという課題があった。

本研究では、MR (Mixed Reality) を用いて視聴者の POV を可視化し、直感的に POV を把握可能にする手法を提案する。提案手法では、視聴者が視聴している方向にマーカを表示させることで、コミュニケーションエラーを減らす。また、MR デバイスを用いて、視聴者の POV を示すマーカを現実空間上に重畳表示することにより、先行研究での POV ヒートマップの確認作業を省き、応答までかかる時間を短くする効果が期待できる。

本研究の貢献を以下のまとめる。

- MR デバイス (HoloLens 2) を用いて、全方位カメラを中心として視聴者の POV を示すマーカを、現実空間上に重畳表示して可視化するプロトタイプシステムを開発した。

¹ 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

- プロトタイプシステムを用いた評価により、提案手法は、放送者の応答時間を短くすることができることを明らかにした。
- さらに、視聴者の POV を示すマーカの表示方法によって、放送者支援の性能に差が生じることを明らかにした。

本稿の構成を以下に示す。2 章では、関連研究と先行研究である POV ヒートマップについて述べる。3 章では、提案システムについて述べる。4 章では、プロトタイプシステムの実装について述べ、5 章では、プロトタイプシステムを用いた評価及び結果について述べる。6 章で評価結果について考察する。最後に、7 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

本章では、まずコミュニケーションにおける視線の重要性について述べる。次に、先行研究として我々が行ってきた POV ヒートマップとその問題点について述べる。

2.1 コミュニケーションにおける視線の重要性

Roel らは、多人数参加型のビデオを用いたグループウェアシステムにおける、非言語的コミュニケーションの伝達について述べている[3]。仮想的な空間を作成し、言葉以外の手段を用いたコミュニケーションも用いることでより実空間でのコミュニケーションに近づけることが出来るのかを検証した。その中で、参加者が存在する空間が異なることから、視線情報の提示方法が困難であるという問題点が発見された。この問題点から、コミュニケーションにおいて注視方向を提示することで、誰が誰と何について話しているのか分析することが可能であると結論付け、視線は相手の意図を伝達する重要な情報であることを発見した。また、David らは、ビデオ会議システムを用いた遠隔コミュニケーションの研究[4]にて、遠隔コミュニケーションにおけるコミュニケーション相手の視線情報は協調作業における作業の成果に関わる重要な要因であるとしている。これらの研究によって、遠隔コミュニケーションにおける視線情報の重要性が明らかになっている。

視聴者の POV は全方位カメラが設置された空間のどこに注視しているのかを示す情報であり、遠隔コミュニケーションにおける視線の役割と同様の役割を持つと考えられる。本研究では、360 度インターネット生放送における視聴者の POV と、遠隔コミュニケーションにおける相手の視線情報を同義として扱う。

2.2 POV ヒートマップ

本研究の先行研究として、我々は 360 度インターネット生放送における POV ヒートマップを開発してきた[1-2]。当該研究では、全方位カメラを用いたインターネット生放送において、放送者と視聴者の間で円滑なコミュニケーションが行えるように、放送者に対して視聴者の POV をヒートマップによって可視化する、POV ヒートマップを提案している。POV ヒートマップでは、視聴者の POV が向けられた方向から、球状のヒートマップを AR によって生成し、現実の放送空間と対応付ける。放送者はスマートフォンを通して、AR により表示された POV ヒートマップを確認することで、視聴者の POV を直感的に把握できる。

我々は、POV ヒートマップを用いたシステムと、POV ヒートマップを用いないシステムを比較する評価実験を実施した。評価実験の目的として高田らは、「POV ヒートマップを用いた POV 提示についての有効性評価である」とし、期待される結果は、「視聴者が送信したコメントにおいて用いられた指示代名詞や省略された語の補充にかかる時間の短縮、および正確性の向上、および POV を用いたコミュニケーションの円滑化である」としている。これらを確認するため、評価では放送者と視聴者の間で行われるコミュニケーションにおける応答時間の計測や、コメント伝達精度に関する評価等を行った。放送内容はあらかじめ室内に用意した設置物に関する雑談である。結果としては、POV ヒートマップを用いたシステムの方が、コミュニケーションエラーを減少できることが分かった。また、放送者が視聴者に対して室内の設置物への注目指示を送り、次に発言するまでの待機時間については減少した。

一方で、先行研究では POV ヒートマップの確認が放送者の負担となるという新たな課題が明らかになった。視聴者から対象物の提示がされてから、放送者がその対象物を見つけ、言及するまでを計測した応答時間は POV ヒートマップを用いていない放送に比べて 10 秒程度の増加が見られた。これは、POV ヒートマップの確認が放送者の負担となっている可能性がある。また、AR アプリケーションをスマートフォンで操作する関係上、両手が塞がってしまうなどの制約も大きな負担となるという結果となった。

以上の結果から、360 度インターネット生放送ではより放送者の負担を軽減し、視聴者の POV を容易に確認できる手法が必要である。

3. 提案システム

POV ヒートマップでは、視聴者の POV の確認が放送者の負担となる課題があった。これは AR アプリケーションで実装された POV ヒートマップを、スマートフォンで確認する必要があったためである。この課題を解決するため、MR デバイスを用いて POV を可視化する手法を提案する。

提案手法のモデルを図1に示す。放送者および視聴者は既存の360度インターネット生放送を介して360度動画の配信・視聴を行い、文字チャットを用いたコメントによりコミュニケーションを行うことができる。視聴者は、配信されてきた360度動画を、POVを自由に変更しながら視聴する。各視聴者のPOV情報はリアルタイムに提案システムに送信される。提案システムは受信したPOV情報を現実の放送空間にマッピングし、放送者に対してPOVマーカとしてMRデバイスを通して提示する。

POVマーカを表示させることで、コメントでは説明が困難なものや、誤解が生じるものであっても放送者の混乱を防ぐ。MRデバイスを用いて現実空間上に、視聴者のPOVを示すマーカを重畳表示することで、先行研究におけるPOVの確認作業の負担を軽減できる。ヘッドマウントディスプレイ型のMRデバイスを用いることで、両手が塞がるという問題も解決することができ、360度インターネット生放送における放送者の負担を軽減できると考える。また、360度インターネット生放送の特性上、放送の際に周囲を動き回ることや作業を行うことが予測される。そのため、コメントもMRデバイスで表示することで、放送者と視聴者間で円滑なコミュニケーションが行える。提案手法を用いることで、従来よりも自由度の高い360度インターネット生放送を行えることが期待できる。

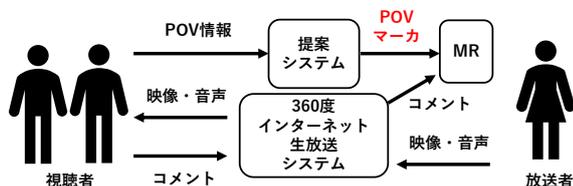


図1：提案手法のモデル

4. プロトタイプシステム

本章では、プロトタイプシステムの概要と、実装したPOVマーカ表示アプリケーションについて述べる。

4.1 概要

プロトタイプシステムの実装では、MRデバイスにMicrosoftのHoloLens 2[5]を使用し、全方位カメラにはRICOH THETA S[6]を使用した。図2にプロトタイプシステムのアーキテクチャを示す。360度インターネット生放送システムは、Kurento Media ServerとNode.jsを用いた先行研究の放送システムを利用した。放送者は、Webブラウザ上の放送者インタフェースを用いて360度動画のライブ配信を行うことができる。視聴者は、Webブラウザ上の視聴者インタフェースを用いてPOVを自由に変更しながら360度動画を視聴し、コメントを放送者および他の視聴者に対

して送ることができる。視聴者のPOVの情報は、リアルタイムにPOVサーバを介して、放送者のHoloLens 2に送信される。HoloLens 2上には、POVマーカ表示アプリケーションが動作しており、受信したPOVを現実空間上に対応付けてマーカが表示される。放送者は、HoloLens 2を通してPOVマーカを確認することができる。また、コメント欄も常に放送者に追従する形で表示し、視聴者からのコメントを常時確認できるようになっている。

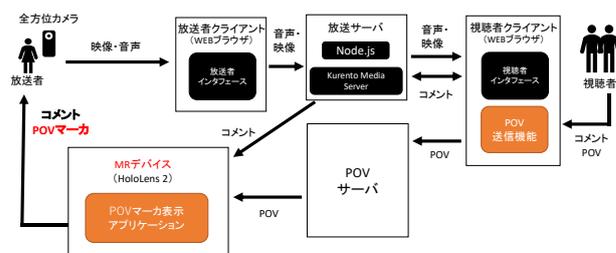


図2：プロトタイプシステムのシステムアーキテクチャ

4.2 POVマーカ表示アプリケーション

POVマーカ表示アプリケーションは、2種類実装した。1つ目は、Unityの機能であるRaycastによる衝突判定を行うものである。衝突判定を行うことで、対象物に直接マーカが表示される。2つ目は、Raycastによる衝突判定を行わないもので、全方位カメラを中心として、一定の距離を球状にマーカが移動する。実際に、放送者が見ている画面を図3に示す。2種類実装した理由としては、視聴者が見ている方向だけマーカで示せば放送者支援として十分なのか、それとも視聴者が見ているだろうと予想される対象物に対して、直接的にマーカを表示した方がわかりやすいのかを検証するためである。

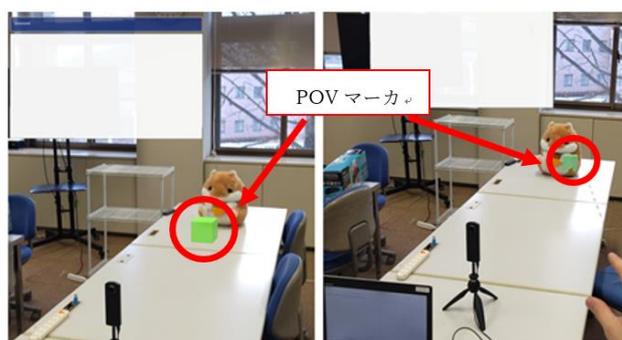


図3：2種類のPOVマーカ表示アプリケーション（Raycastなし（左図）、Raycastあり（右図））

5. 評価

提案システムの有効性を検証するための評価実験を行った。本章ではまず、実験環境について述べ、続いて先行研究と比較した評価結果について述べる。

5.1 実験環境

本実験は先行研究と同じ条件に揃えて、提案システムの有効性を検証する目的で実施した。各回、放送者1名、視聴者2名で計4回実施した。実験協力者は岩手県立大学の大学生である。場所は2部屋用意し、片方が放送者用で、もう片方が視聴者用とした。

放送内容は、あらかじめ室内に用意した設置物に関する雑談である。設置物は「ノートPC、ぬいぐるみ、ゲーム機、ラケット」の4種類について色や用途などの条件を変えたもので、2つずつ用意し、同一種類の設置物が同時に視界に入らないように配置した。4種類の設置物と全方位カメラの位置関係を図4に示す。この他にも、「プログラミング教本、ヘッドマウントディスプレイ、プロジェクター、タブレットPC、ライトスタンド、音楽CD」の6種類を設置した。6種類の設置物と全方位カメラの位置関係を図5に示す。

評価実験では、放送者と視聴者の間で行われるコミュニケーションを分析するために、放送者から視聴者へのコミュニケーションと、視聴者から放送者へのコミュニケーションを切り分けて、それぞれに対する評価項目を用意した。評価実験の流れを図6に示す。放送は、はじめに10分の放送操作確認時間を用意し、その後視聴者から放送者へのコミュニケーションとして、指示代名詞を含むコメントを3分おきに4回送信し、放送者から視聴者へのコミュニケーションとして、注目指示を2分おきに3回実施する。この手順を、Raycastを用いて衝突判定を行うアプリケーションと、Raycastを用いず衝突判定を行わないアプリケーションでそれぞれ1回ずつ、計2回放送を行う。

視聴者から放送者へのコミュニケーションとして、「このゲーム機では何が遊べるの?」というように、設置物の種類と指示代名詞を含んだコメントを視聴者が送信する。このとき、送信するコメント、POVを向ける対象物は、手順書において指定しており、送信タイミングも口頭で「指定コメントの送信をお願いします」と指示を行った。放送者は、送信されたコメントを元に室内の設置物のうち、どれに対してのコメントなのかを判断し、視聴者へと応答する。視聴者が何を視聴しながらコメントを送信しているのか把握している場合、応答までにかかる時間は短くなると予想される。放送者がそのコメントに対する正しい応答を行うまでの時間計測とコメントがどの程度正しく伝わったか、または理解できたと感じたかについて放送者にアンケートで主観評価を行ってもらい、本研究では、放送者がコメントに対する正しい応答を行うまでの時間を、「応答時間」と呼ぶ。

放送者から視聴者へのコミュニケーションでは、放送者に指定された設置物を指差してもらい、視聴者に「皆さん、これを見てください」と指示を出してもらい、このとき、

放送者には「視聴者のPOVが集まったタイミングで注目を指示した設置物に関する雑談を行ってください」と手順書により指示をしている。放送者が視聴者の視聴方向の動きを把握できている場合、視聴者のPOVが集まったと同時に雑談を開始できることが予想される。このとき、放送者が話し始めるタイミングがどの程度早かったのか、または遅かったのかを、注目指示から次に話し始めるまでの時間計測と放送者に対するアンケートによる主観評価を実施することで評価する。本研究では注目指示から次に話し始めるまでの時間を、「待機時間」と呼ぶ。

実験では、2回目の放送が先に行った放送によって慣れが発生し、放送におけるコミュニケーションがRaycastによる衝突判定の有無に関係なく、円滑に行われる可能性があるため、Raycastを用いて衝突判定を行うアプリケーションでの放送を先に行う実験と、後に行う実験の2パターンで、各実験協力者に対して順序をランダムで実施した。

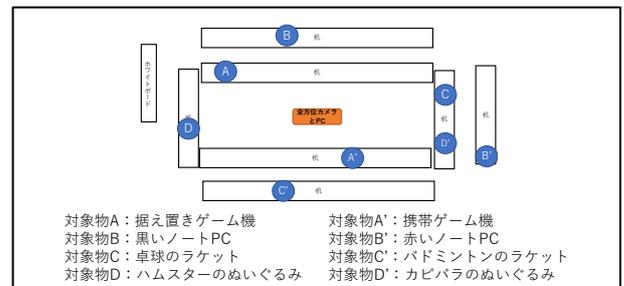


図4：4種類の設置物と全方位カメラの位置関係

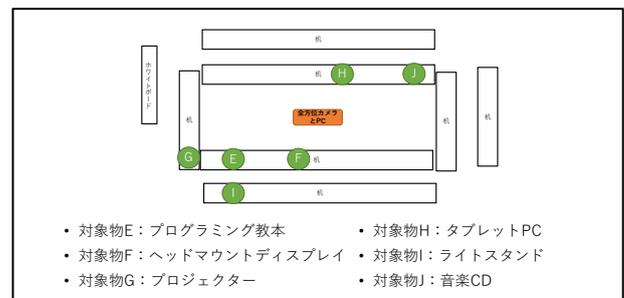


図5：6種類の設置物と全方位カメラの位置関係

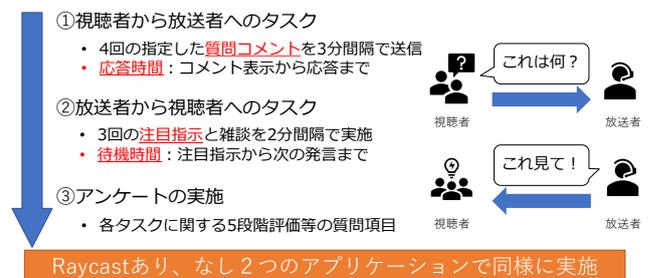


図6：評価実験の流れ

5.2 評価結果

本研究で評価実験に用いる評価方法は、応答時間の計測、待機時間の計測とアンケートによる主観評価の3種類である。それぞれについて、4回実施した評価実験の結果を述べる。まず、視聴者から放送者へのコミュニケーションを分析するために計測した応答時間とコミュニケーションエラーの発生回数の結果について述べ、次に放送者から視聴者へのコミュニケーションを分析するために計測した待機時間の結果について述べる。最後にその他のアンケート結果について述べる。

視聴者から放送者へのコミュニケーション

応答時間を計測した結果を表1に示す。応答時間が長いと、視聴者のコメントに対するレスポンスが遅れてしまう。応答時間が短い場合は視聴者に対するレスポンスが早くなり、円滑なコミュニケーションを実現できる。また、この応答時間を先行研究と比較し、短くなっていれば放送者の負担が軽減されていると考える。先行研究の結果を表2に示す。また、コミュニケーションの取りやすさを評価するために、各実験の放送者に対してアンケートを用いて、主観評価でコメントがどの正しく放送者に伝わったか、またどの程度理解できたかを5段階評価で調査した。5段階の調査結果を点数化し、Raycastによる衝突判定の有無による変化を評価した。放送者に実施したコメントに対する理解度の主観評価結果を表3に示す。

表1：応答時間の計測結果（提案手法）

| 対象 | 対象物 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均(秒) |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 衝突判定を行わない (Raycastなし) | 対象物A | 4.03 | 46.34 | 4.28 | 7.27 | 12.4375 |
| | 対象物B | 9.71 | 5.96 | 34.73 | 25.98 | |
| | 対象物C | 3.41 | 3.51 | 6.34 | 5.78 | |
| | 対象物D | 2.92 | 11.63 | 10.62 | 16.49 | |
| 衝突判定を行う (Raycastあり) | 対象物A' | 4.61 | 30.69 | 10.07 | 32.13 | 15.540625 |
| | 対象物B' | 20.58 | 3.39 | 4.25 | 35.22 | |
| | 対象物C' | 8.95 | 31.55 | 3.1 | 2.78 | |
| | 対象物D' | 25.26 | 3.24 | 22.8 | 10.03 | |

表2：応答時間の計測結果（先行研究）

| 対象 | 対象物 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均(秒) |
|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|
| POVヒートマップ 無し | 対象物A | 21 | 22 | 6 | 24 | 20.875 |
| | 対象物B | 4 | 24 | 19 | 20 | |
| | 対象物C | 9 | 39 | 13 | 26 | |
| | 対象物D | 43 | 33 | 12 | 19 | |
| POVヒートマップ 有り | 対象物A' | 29 | 26 | 29 | 16 | 30.875 |
| | 対象物B' | 45 | 39 | 46 | 38 | |
| | 対象物C' | 35 | 32 | 24 | 32 | |
| | 対象物D' | 29 | 33 | 13 | 28 | |

表3：放送者によるコメントに対する理解度の主観評価

| 対象 | 実験 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均(点) |
|--------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 衝突判定を行わない (Raycastなし) | 対象物A | 3 | 5 | 5 | 5 | 4.25 |
| | 対象物B | 2 | 5 | 3 | 4 | |
| | 対象物C | 3 | 5 | 5 | 5 | |
| | 対象物D | 3 | 5 | 5 | 5 | |
| 衝突判定を行う (Raycastあり) | 対象物A' | 2 | 5 | 5 | 5 | 3.75 |
| | 対象物B' | 3 | 4 | 2 | 5 | |
| | 対象物C' | 3 | 5 | 2 | 5 | |
| | 対象物D' | 3 | 5 | 1 | 5 | |

提案手法の応答時間は、Raycastなしの場合は平均12.4秒、先行研究のPOVヒートマップありは平均30.8秒であり、比較して約18秒減少された。一方で、Raycastありの場合は平均15.5秒、POVヒートマップありと比較して、約15秒減少した。また、結果に対してマンホイットニーのU検定を実施した結果、RaycastなしとPOVヒートマップありで有意差が見られた。また、RaycastありとPOVヒートマップありでも有意差が見られた。

実験後のアンケートについて、質問は「示された対象物について、質問の意図はどれくらいわかりましたか」とし、主観評価でコメントがどの正しく放送者に伝わったかを調べた。結果として、Raycastなしが4.25点、Raycastありが3.75点であり、Raycastなしの方が0.5点高い結果となった。これは応答時間の傾向から、RaycastなしはRaycastありに対して3秒ほど早いからであると考えられる。

コミュニケーションエラー（誤った対象物の選択）の発生回数は、Raycastあり/なしともに3回だった。先行研究ではシステムなしで4回、システムありでは0回だったため、提案システムは3回の増加となった。

放送者から視聴者へのコミュニケーション

待機時間を計測した結果を表4に示す。また、この待機時間を先行研究と比較し、短くなっていれば放送者の負担が軽減されていると考える。先行研究の結果を表5に示す。放送者に対してのアンケートでは「どの程度タイミングを掴めたか」という質問の形式を取り、5段階の評価を行い、Raycastによる衝突判定の有無による変化を評価した。放送者に実施したコメントに対する理解度の主観評価結果を表6に示す。

提案手法の待機時間は、Raycastなしの場合は平均11.8秒、先行研究のPOVヒートマップありは平均16.6秒であり、比較して約5秒減少された。一方で、Raycastありは平均26.3秒、POVヒートマップありと比較して、約10秒の増加した。また、POVヒートマップなし（システムなし）の平均23.1秒と比較してもRaycastありの方が3秒ほど遅いという結果が得られた。この結果に対して、マンホイットニーのU検定を実施した結果、RaycastなしとPOVヒートマップありで有意差が見られた。対して、RaycastありとPOVヒートマップありでは有意差は見られなかった。

実験後のアンケートについて、質問は「視聴者に対して発言するタスクについて、発言のタイミングはつかめましたか」とし、主観評価で放送者が発言タイミングをどの程度掴めたのかを調べた。結果として、全員がRaycastなしとRaycastありで同じ点数を付けた。平均は4.25点で、主観評価では全く差が見られなかった。

表 4：待機時間の計測結果（提案手法）

| 対象 | 対象物 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均（秒） |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 衝突判定を行わない （Raycast なし） | 対象物E | 8.53 | 41.63 | 4.61 | 8.97 | 11.8125 |
| | 対象物F | 8.31 | 8.36 | 7.03 | 14.81 | |
| | 対象物G | 9.74 | 13.84 | 6.08 | 9.84 | |
| 衝突判定を行う （Raycast あり） | 対象物H | 37.14 | 9.65 | 16.52 | 9.44 | 26.37 |
| | 対象物I | 19.25 | 99.95 | 5.98 | 29.12 | |
| | 対象物J | 8.19 | 19.56 | 38.9 | 22.74 | |

表 5：待機時間の計測結果（先行研究）

| 対象 | 対象物 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均（秒） |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|---------|
| POV ヒートマップ 無し | 設置物E | 34 | 16 | 12 | 18 | 23.167秒 |
| | 設置物F | 12 | 11 | 13 | 12 | |
| | 設置物G | 23 | 15 | 20 | 20 | |
| POV ヒートマップ 有り | 設置物H | 33 | 35 | 14 | 10 | 16.67秒 |
| | 設置物I | 26 | 22 | 36 | 22 | |
| | 設置物J | 10 | 18 | 24 | 22 | |

表 6：発言タイミングに関する放送者の主観評価

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 平均（点） |
|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------|
| 衝突判定を行わない （Raycast なし） | どちらでもない (5段階評価：3) | つかめた (5段階評価：5) | 少しつかめた (5段階評価：4) | つかめた (5段階評価：5) | 4.25 |
| 衝突判定を行う （Raycast あり） | どちらでもない (5段階評価：3) | つかめた (5段階評価：5) | 少しつかめた (5段階評価：4) | つかめた (5段階評価：5) | 4.25 |

その他のアンケート結果

コミュニケーション分析以外に関する主観評価をアンケートで実施した。放送者には、Raycast を用いた衝突判定を行うアプリケーション、Raycast を用いない衝突判定を行わないアプリケーションそれぞれについて、便利に感じたこと、不便に感じたことを自由に記述してもらった。また、最後に Raycast を用いた放送と、用いてない放送どちらの放送の方が視聴者とコミュニケーションを取りやすかったかを「Raycast ありの放送、どちらかと言えば Raycast ありの放送、どちらともいえない、どちらかと言えば Raycast なしの放送、Raycast なしの放送」の5段階で評価してもらった。そしてその理由も自由記述してもらった。放送者の主観評価の結果を表 7 に示す。

Raycast なしに関するポジティブ意見で最も多くみられたのは、「視線を全方位カメラ周辺から移動させなくてよいため、POV の確認が負担となりにくい」であった。対してネガティブな意見としては、「対象物との距離がある場合は判断しにくい」であった。

Raycast ありに関するポジティブな意見では、「対象物にマーカが表示されるため視認すれば対象物が即座に判断できる」であった。対してネガティブな意見としては、「周りを見渡す必要があるため、確認作業が煩わしく感じる」であった。

どちらがコミュニケーションを取りやすいかのアンケートの結果は、どちらかといえば、Raycast なしのほうがコミュニケーションを取りやすいと感じるようだ。その理由として多く見られたのは、「視聴者の POV を見失いにくいから」であった。

表 7：Raycast あり/なしどちらが視聴者とコミュニケーションを取りやすかったか

| 実験1回目 | 実験2回目 | 実験3回目 | 実験4回目 |
|------------|-----------|---------|-----------|
| どちらかと言えばなし | Raycastあり | どちらでもない | Raycastなし |

6. 考察

本章では、評価実験の結果をもとに考察を行う。まず、視聴者のコメントが表示されてから放送者が応答するまでの、応答時間に対する考察を述べる。次に、放送者による注目指示から視聴者の POV が集まったと放送者が認識し、雑談を開始するまでの、待機時間に対する考察を述べる。続いて、先行研究と比較してコミュニケーションエラーが増加したことに対する考察を述べる。最後に、アンケートによる放送者の主観評価に対する考察を述べる。

6.1 応答時間に対する考察

応答時間について、先行研究と比較して Raycast あり、なしともに有意な短縮が見られた。その要因として考えられるのは、先行研究では、POV 確認の際にスマートフォンを操作し、AR アプリケーションによって POV を確認してから雑談へと移行する時間があったが、MR デバイスを用いたことによってその確認作業を省くことができたからと考えられる。また、AR の場合は確認が必要になったタイミングで改めて POV を見る必要があるのに対し、MR で常に視聴者の POV を提示し続け、確認の際もヘッドマウントディスプレイごと視界を動かせば良いという直感的な操作も放送者の負担軽減につながったと考える。

実験前の仮説では、Raycast を用いて衝突判定を行い、対象物に直接マーカを表示させる方が放送者の負担を軽減でき、応答時間も短縮されると考えていた。しかし実際、Raycast なしは 12.4 秒に対し、Raycast あり 15.5 秒と 3 秒ほど増加している。この結果は、Raycast が対象物をすり抜けてしまい、対象物の奥の壁などの別の場所に表示されてしまうことがあるのが原因と考える。視聴者がコメントしたのに対して雑談するという手順では、指示代名詞というヒントが常にあったため、2 種類の対象物のうちどちらかがわかれば良かった。そのため Raycast の有無ではそこまで大きな差にはならなかったのではないかと考えられる。

6.2 待機時間に対する考察

待機時間について、先行研究と比較して Raycast なしは 5 秒ほどの短縮が見られた。その要因として考えられるのは、応答時間と同様に、先行研究でのスマートフォンの操作を省くことができているからと考えられる。また、全方位カメラから一定距離上を移動するという特性上、全方位カメラ周辺に注目していれば POV 把握ができるため、確

認するポイントが少なく抑えられていた点も、放送者の負担軽減につながった。対して Raycast ありに関しては 10 秒ほどの増加が見られた。待機時間の増加の要因として考えられるのは、Raycast のすり抜けや誤作動による衝突判定の機能不全であると考えられる。対象物ではなく、奥の壁や手前の机などにマーカが表示されてしまい、放送者が見失ってしまった。放送者が視聴者に注目ポイントの指示をするこの手順では、視聴者全員（実験では 2 名）の POV が集まることが雑談開始の条件であったため、どちらか片方でもすり抜けや誤作動が起こってしまうことで、POV が集まっていないと考え、ずっと待機してしまうという状態が見られた。事実、先行研究のシステムなしの 23.1 秒と比較しても、ほとんど差がないことから、提案システムを利用せず放送者の自力や、当てずっぽうで放送を継続したとも考えられる。しかし、極端に早く雑談が開始されているケースもあるため、Raycast がうまく対象物に当たることで、Raycast なしの衝突判定を行わないアプリケーション以上に、待機時間が短縮される可能性がある。そのため、Raycast を用いる場合はその表示方法などを考える必要がある。

6.3 コミュニケーションエラーの増加に対する考察

先行研究と比較して、Raycast あり/なしともに 3 回の増加となった。その要因として、まず Raycast ありの場合は、Raycast を用いて小さい対象物や透明な対象物にマーカ表示すると、通り抜けるなど、別の場所に表示されてしまい、正しい対象物を判別できず、コミュニケーションエラーが発生してしまうと考えられる。Raycast なしの場合は、全方位カメラから一定距離上をマーカが移動するため、全方位カメラから対象物への方向しか示すことができない。また、本研究では MR デバイスを用いることで、放送者がより自由に部屋の中を移動できるようになっている。そのため、POV マーカを見る位置によっては正しい方向がつかめず、コミュニケーションエラーにつながったと考えられる。

6.4 考察のまとめ

先行研究と比較して、提案システムはスマートフォン操作による AR アプリケーション確認作業を省くことに成功した。また、MR デバイスを頭部に装着して生放送を行うことで、場所に関する制約もなくなり、放送者は自由に移動することができる。その移動先で常に POV を把握できるという点で、放送者の負担を軽減できたと考える。

Raycast なしのアプリケーションが応答時間、待機時間ともに先行研究より短縮されていたのは、上記の負担軽減に加えて、全方位カメラから一定の距離をマーカが移動することによる視認のしやすさであると考えられる。この傾向はアンケート結果にも見られる。

Raycast ありのアプリケーションの待機時間が先行研究と比較して増加した要因は、Raycast のすり抜けや誤作動に

よる衝突判定の機能不全であると考えられる。アンケートにも POV マーカの視認がしづらいという意見があった。

コミュニケーションエラーが先行研究と比較して増加した要因として考えられるのは、Raycast なしでは全方位カメラから対象物への方向しか示せない点、Raycast ありではマーカの誤表示がそれぞれ理由として考えられる。そのためマーカ表示の方法を改め、より認識しやすくする工夫が必要であるとする。

7. おわりに

本研究では、360 度インターネット生放送において、MR を用いて視聴者の POV を可視化し、直感的に POV を把握可能にする手法を提案した。視聴者の POV を視覚化するプロトタイプシステムの実装を行い、先行研究との比較を交えて、有効性や課題を明らかにした。評価実験の結果、MR アプリケーションによる POV マーカの提示で、応答時間の減少が確認され、対象物の素早い発見が可能になった。また、MR デバイスを用いることで、スマートフォン操作により両手が塞がる、コメント確認時に配信用 PC のごく近くに限定されるなど、放送者の負担を軽減できた。一方、Raycast による衝突判定を行う POV 提示の際にはマーカ表示が適切な位置に行われず、かえって放送者の負担となってしまうなど、その特性を活かしきれていない点もあった。また、先行研究の目的であった POV 提示によるコミュニケーションエラーの低減に関しては、提案システムで増加する形となってしまう、POV マーカの提示の方法や Raycast の処理方法などを工夫する必要があることがわかった。今後は、コミュニケーションエラーを減らすため、POV マーカの提示手法の改良と、多数の視聴者がいる場合に対応するためのヒートマップ表示について取り組む予定である。

参考文献

- [1] 高田真也, 西岡大, 齊藤義仰: 360 度インターネット生放送において視聴者の POV を提示する POV ヒートマップの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.1, pp. 145-159 (2021) .
- [2] Masaya Takada, Dai Nishioka and Yoshia Saito: Proposal of a Spherical Heat Map in 360-Degree Internet Live Broadcasting Using Viewers' POV, The 2nd International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications (MUSICAL2019), pp.596-600 (2019).
- [3] Roel Vertegaal : The GAZE groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration, CHI99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp.294-301 (1999).
- [4] David M. Grayson, Andrew F. Monk: Are you looking at me? Eye contact and desktop video conferencing, ACM Transactions on Computer Human Interaction (TOCHI) Volume 10 Issue 3, pp.221-243 (2003).
- [5] Microsoft : Microsoft HoloLens, 入手先
(<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>) (参照 2022-05-18).
- [6] RICOH : 製品紹介, RICOH THETA S, 入手先
(<https://theta360.com/ja/about/theta/s.html>) (参照 2022-05-18).