

360 度インターネット生放送における MR を用いた放送者支援システムの開発

佐藤京¹ 齊藤義仰¹

概要：放送者が可搬式の全方位カメラを用いて移動しながら行う 360 度インターネット生放送では、放送者はリアルタイムなコミュニケーションを行う際に、視聴者の視聴方向を把握できない。そのため、放送者と視聴者の円滑なコミュニケーションが阻害される可能性がある。この問題は、スタンプを用いた 360 度インターネット生放送システムにより解決された。しかし、新たにコミュニケーションエラーを引き起こす、3 つの問題点が考えられる。本稿では、360 度インターネット生放送における放送者のコミュニケーション支援を目的とした、MR を用いた放送者支援システムの実装と評価の結果について報告する。

キーワード：360 度インターネット生放送, MR, 放送者支援

Development of a Broadcaster Support System using MR in 360-degree Internet Live Broadcasting

KEI SATO^{†1} YOSHIA SAITO^{†1}

1. はじめに

近年、YouTube を始めとした様々な動画配信サービスにおいて、周囲 360 度を一度に撮影できる全方位カメラを用いたライブ動画配信サービスが提供されている。この映像形式は 360 度動画や 360 度インターネット生放送と呼ばれ、視聴者が自身の興味に合わせて視聴方向を変更できる特徴を持つ。360 度インターネット生放送には 2 つの放送形態がある。1 つ目の放送形態は、全方位カメラを固定して放送する定点放送である。この放送形態では、カメラを固定した場所の周囲 360 度の様子を視聴することが可能であり、その場所の時間経過によって変化する景色などを楽しむことができる。2 つ目の放送形態は、放送者が可搬式の全方位カメラを用いて動きながら行う放送である。この放送形態では、放送者は観光地などのエリアで自身の興味に従って動きながら放送を行う。また、放送者自身の興味だけではなく、視聴者からの方向転換や移動を指示するコメントなどの文字情報をもとにエリア内を探索することもある。全方位カメラを固定した定点放送と異なり、放送者と視聴者の間で音声・映像の他、コメントを用いたリアルタイムなコミュニケーションが可能となる。

しかし、全方位カメラを用いたインターネット生放送では、視聴者は視聴方向を自由に変更することが可能であるため、通常の Web カメラを用いたインターネット生放送とは異なり、放送者は視聴者の視聴方向を把握できない。放送者は、視聴者の言及内容をコメントから推測しコミュニケーションをとるが、視聴者の視聴方向を把握できない

め、視聴者の言及内容を正確に把握できない。これによりコメントによる言及内容の推測が困難となり、放送者と視聴者の間でコミュニケーションの齟齬（以下、コミュニケーションエラー）が発生する可能性がある。

齊藤らの研究[1]では、コミュニケーションエラーの低減のために、スタンプを用いた 360 度インターネット生放送システム（以下、既存システム）を実装した。スタンプを画面上に表示させることで、視聴者の興味や言及内容の視覚的な提示が可能となる。評価の結果、視聴者から放送者へのコミュニケーションエラーは低減したが、新たにコミュニケーションエラーにつながる問題点が 3 つ見つかった。

本研究では、既存システムから考えられる 360 度インターネット生放送の問題点に対して、MR (Mixed Reality, 複合現実) を用いて現実空間にスタンプを表示・固定する手法を提案した。既存システムをベースとし、透過型 HMD(Head Mounted Display)の MR デバイスを組み合わせ、視聴者からのコメント・スタンプと現実空間を重畳させ表示できる。そのため、放送者は視聴者からのコメント・スタンプを確認し意図を理解するのが容易になり、コミュニケーションエラーの低減が期待できる。

2. 先行研究

本章では、本研究の土台となっている既存システムについて、概要と評価の結果を述べる。既存システムでは、全方位カメラを用いて 360 度インターネット生放送を実施する。全方位カメラは、RICOH 社の THETA S[2]を用いる。映像配信には、HTML5 で再生可能な WebRTC を採用し、

¹ 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所
Graduate School of Software Information Science,
Iwate Prefectural University.

WebRTC に対応した Kurento Media Server[3]を利用して実装している。THETAS から取得した映像は、放送者側ではエクイレクタングラー形式で再生され、視聴者側では複数の広角レンズから取得された映像をパノラマ状に加工した 360 度形式で再生される。360 度形式の映像の座標は、THETA_GL[4]の 3D 空間に構成された球体の中心に、カメラを設置することで取得している。球体の内側表面には 360 度形式の映像がマッピングされており、球体の中心のカメラを通すことで、360 度形式の映像を実現している。

既存システムでは、コメントのような文字情報だけでは、口語的な表現を補完することが難しく、円滑なコミュニケーションが阻害されると指摘している。この課題に対し、「Look」と「Go」の 2 種類のスタンプを利用できるスタンプ機能を新たに実装した。スタンプ機能とは、LINE[5]などのチャットアプリで利用されるコミュニケーション手段の 1 つであるスタンプを、エクイレクタングラー形式の映像上に表示する機能である。スタンプは、コメントサーバで各形式の映像に対応した座標に変換され、各クライアントに送信される。コメントについても同様に、コメントサーバを介して、各クライアントに送信される。既存システムを用いた評価実験を行ったところ、スタンプを用いた方が、視聴者は放送者とコミュニケーションを取りやすくなるという結果が得られた。

しかし、既存システムには新たにコミュニケーションエラーを発生させる可能性のある問題点が 3 つ存在する。1 つ目の問題点は、放送者の移動に伴い、提示していた場所からスタンプがずれてしまい、放送者と視聴者の間で認識の齟齬が発生することである。スタンプは、取得した際の座標に応じた THETA_GL の球体に表示されるのであり、映像に直接スタンプが表示される訳ではない。そのため、360 度形式の映像やエクイレクタングラー形式の映像が更新されても、スタンプの座標は更新されずに映像と異なる場所に表示されているように見えてしまう。2 つ目の問題点は、生放送中はノート PC の画面を見て、視聴者からのコメント・スタンプを確認する必要があることである。確認の手間が発生することにより、円滑なコミュニケーションが阻害される可能性がある。3 つ目の問題点は、想定された位置にスタンプが表示された場合も、現実のものや場所とスタンプの位置関係を正確に把握することは難しいということである。放送者がスタンプを確認する際に視聴する映像はエクイレクタングラー形式の映像は、球を平面に引き延ばした映像であるため、特有の歪みが生じており現実の位置関係の把握を困難にしている。以上の 3 つの問題点に対して、本来想定していた場所にスタンプを表示・固定させる仕組みと、視聴者からのコメント・スタンプと周囲の様子を同時に確認できる手法が必要となる。

3. 提案システム

本章では、最初に 2 章で述べた 3 つの問題点を解決するための手法について述べる。前章で挙げた問題点を解決するために、本研究では MR を用いて現実空間上にスタンプ・コメントを表示・固定させ、放送者に対して位置関係の把握を効果的にする、放送者支援システムを提案する。

3.1 MR を用いた遠隔ユーザ支援に対する有効性

MR とは、現実空間上に仮想オブジェクトであるホログラムを表示し、相互作用をもたらすことができる技術である。近年、AR や VR に続く新たな XR 技術として注目されており、実際に利用されているケースや、新たな環境を構築するため利用が提案されているケースが増加している。XR 技術は、現実空間上にホログラムを表示し、遠隔による指示や説明を効果的に行うことができると示されている。Ohan ら[6]は、AR と VR を用いたリモートガイドシステムの実装と評価を行い、ホログラムを用いた遠隔の指示が有効であると示した。実際に現場で作業をするエンジニアと、遠隔で映像を確認しながら指示を送る専門家の間で利用されるユースケースを想定している。遠隔で指示を送る専門家が、現場の物体と同じ形状のレプリカをホログラムで用意し、どのような操作をすればいいか実際に作業を提示できる。現場のエンジニアは、専門家が提示するホログラムで作業内容を共有することで、作業内容の視覚的な理解ができる。複雑な作業が必要となるケースでは、音声・文字情報よりも理解が容易であり、音声情報よりも作業を円滑に行うことが可能という結果が得られた。

また、MR によるホログラムの表示・共有を行うことで、リモートユーザ間のコミュニケーションが円滑になることが明らかになっている。Gun ら[7]は、1 対 1 で 360 度ライブ映像を共有する、MR リモートコラボレーションシステムの開発を行った。このシステムにおける非言語コミュニケーションの手段として、ハンドジェスチャのホログラムを、MR デバイスを通し現実空間上に表示させる。その結果、ハンドジェスチャのホログラムは、リモートユーザ間の意図の伝達が容易になったと述べている。このことから、ホログラムを表示・共有することにより、リモートユーザ間のコミュニケーションが円滑になることが分かる。

3.2 提案システムの概要

MR を用いた放送者支援システム(以下、提案システム)では、コメント欄とスタンプ表示の機能から構成されている。これらの機能は、MR デバイス内のスタンプ表示アプリケーションに集約されており、視聴者から送られてくるスタンプ・コメントの情報をもとにホログラムを表示する。提案システムのモデルを図 1 に示す。コメント表示は、視聴者から送られてくるコメントを、MR で表示されたコメント欄に表示する。スタンプ表示は、視聴者から送られてくる情報をもとに、現実空間の対応する場所に座標を変換

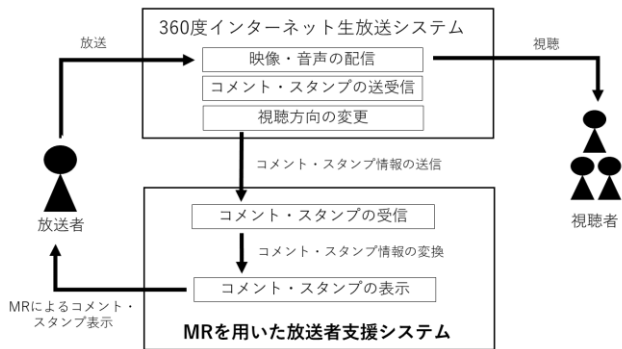


図 1：提案システムのモデル

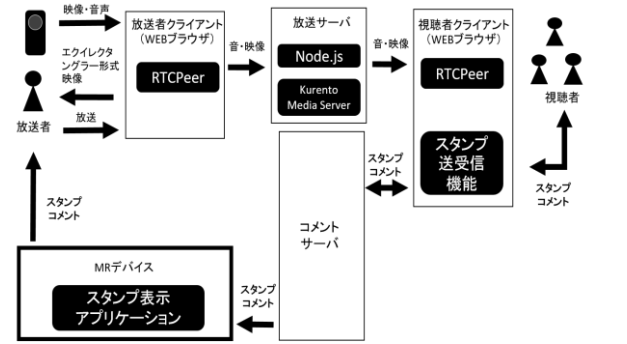


図 2：提案システムの構成

し、MR のスタンプを表示させる。

3.3 ユースケース

先行研究では、可搬式の全方位カメラを用いた、屋外における 360 度インターネット生放送をユースケースとして想定していた。しかし、本研究では全方位カメラを任意の位置に固定した、屋内における 360 度インターネット生放送を想定している。このようにユースケースを変更した理由は、MR デバイスを用いた本研究のファーストステップとして、屋内における生放送で提案システムの有効性を確かめるためである。将来的には、可搬式の全方位カメラを用いた屋外における 360 度インターネット生放送を想定している。

提案システムで想定している放送内容は、ショールームの紹介や展示会などの、屋内で放送者が展示物を紹介する生放送である。視聴者は、自分が見たい場所にある展示物に対して視聴方向を変更することが可能であり、生放送であるためリアルタイムに放送者や展示物に対してコメントを送ることができる。2020 年から 2021 年にかけて、新型コロナウイルス(COVID-19)の影響によりオンライン開催のイベントの開催数が増加しており [8]、展示会などの生放送の需要は増加している。既にオンラインの展示会で全方位カメラを用いるケースは存在しており [9]、部屋の中心に全方位カメラを設置し、放送者が視聴者に対して設置してある展示物の紹介を行うという内容である。このようなオンラインのイベント開催は費用の削減や現地開催のイベントとは異なる参加者層にリーチできるが、イベント中にコメントなどを用いて双方向性を持ったコミュニケーションの実現が難しいという意見が多く [8]、実現を望んでいる意見も多い [10]。既存システムを用いて本ユースケースの問題点を解決する場合、視聴者からの反応をコメントなどの文字情報に依存してしまい、放送者にコメントの意図が伝わらず、双方向性を持たせることは困難と考えられる。また、既存システムでエクイレクタングラー形式の映像上に 2D のスタンプを表示させる場合も、その度に映像を確認する必要があり、円滑な双方向性を持ったコミュニケーションが阻害される。提案システムを用いることで、放送者は視聴者からのコメント・スタンプを、MR デバイス越しに

確認することで、円滑なコミュニケーションが期待できる。

3.4 期待される効果

提案システムでは、前章で述べた 3 つの問題点に対して、以下の効果が期待できる。1 つ目の問題点の、放送者の移動によるスタンプの位置の変化については、MR で現実空間に直接スタンプの表示・固定を行うことで解決が可能と思われる。MR のスタンプは、全方位カメラを始点とした座標に更新し表示されるため、放送者の移動に影響されず視聴者が提示した場所にスタンプを表示・固定させることが可能である。2 つ目の問題点の、ノート PC の画面を見て視聴者からの反応を確認する必要があることについては、HMD 型の MR デバイス越しに視聴者からの反応を確認することで解決が可能である。視聴者からの反応をノート PC で確認する手間を省略することにより、より円滑なコミュニケーションが期待できる。3 つ目の問題点の、現実空間とスタンプの位置関係の把握が難しいことについては、現実空間のものや場所に直接スタンプを表示させることで、位置関係の把握が容易になると考えた。MR を用いて現実空間上に MR のスタンプを表示させることで、放送者はスタンプで提示された場所の視覚的な理解が容易になることが期待できる。また、スタンプの形状も提示したいものや場所を 3D の枠の中に収めるデザインにすることで、スタンプが現実空間に重畳し、本来提示したかったものや場所が見えなくなることも解消される。

4. 実装

本章では、提案システムの実装に関して、本研究で用いる MR デバイスと、提案システムを構成する機能の詳細について述べる。

4.1 実装

提案システムは既存システムがベースとなっている。既存システムの構成要素は、放送者クライアントと視聴者クライアント、映像を仲介する放送サーバ、スタンプやコメントの情報を仲介するコメントサーバである。提案システムでは新たな構成要素として、スタンプ表示アプリケーションを搭載した MR デバイスを追加した。スタンプ表示アプリケーションの実装は、Unity を用いた。提案システムの

構成を図2に示す。提案システムに用いるMRデバイスとしてMicrosoft社が販売している透過型HMDのHoloLens 2[11]を使用している。

既存システムから一部変更を加えた箇所として、コメントサーバがある。コメントサーバでは、放送者クライアントや視聴者クライアントから送信されてきたコメントやスタンプの情報を、各クライアントに送信している。提案システムでは、放送者クライアントへのスタンプやコメントの情報の送信を無くし、HoloLens 2のスタンプ表示アプリケーションに送信されるように変更した。コメントやスタンプの情報の送信は、node.jsとSocket.ioを用いて実現している。送信される情報について、スタンプに関する情報は座標(x, y, z)の値とスタンプの種類が送信される。コメントに関する情報は、コメントを送信したユーザの名前とコメントの内容が送信される。次節からは、スタンプ表示アプリケーションを構成する機能について説明する。

4.2 提案システムを構成する機能

コメント表示は、コメントサーバから送信されてきたコメントの情報をもとに、現実空間上に表示されたMRのコメント欄にコメントを反映することで実現する。コメントの内容は昇順でMRのコメント欄に表示され、コメント欄に収まりきらなくなった場合は古いコメントから削除されていく。MRのコメント欄は、Unity向けのMR作成ツールであるMRTK[12]を用いて作成した。また、コメント欄は放送者の動きに合わせて、常に同じ場所に表示されるよう追従する機能を持つ。放送者が現実空間のものや他に表示されるホログラムを確認しやすくするため、コメント欄が表示される場所は放送者の視界の左上に固定している。

スタンプ表示は、送信されてきた座標を現実空間の座標に合うように変換を行い表示する。座標変換は、コメントサーバから送信されてきたスタンプの情報をもとに、実現している。視聴者クライアントから送信されてくる座標情報は、THETA_GLで構成された球体の座標であるため、適切な現実空間の座標とは合致しない。そのため、送信されてきた座標の値を、現実空間に対応するように変換する必要がある。スタンプを適切な座標へ表示するための座標の変換手法として、Unityの衝突判定を検知する機能のRaycastを用いた。Raycastとは任意の座標から方向ベクトルを用いて仮想の光線を照射し、衝突判定を検知する機能である。Raycastを用いて現実空間のものや場所に向けて光線を照射し衝突判定を検知させることで、MRのスタンプを表示する座標を取得が可能となる。仮想の光線を照射する方向は、THETAが設置されている箇所を始点(0, 0, 0)とし、送信されてきたスタンプの座標から方向ベクトルを計算し決定する。決定された方向をもとに照射された仮想の光線が、現実のものや場所に衝突した場合、衝突を検知した座標を取得する。取得した後は、コメントサーバから送信されてきたスタンプの座標の値を、取得した座標の値に

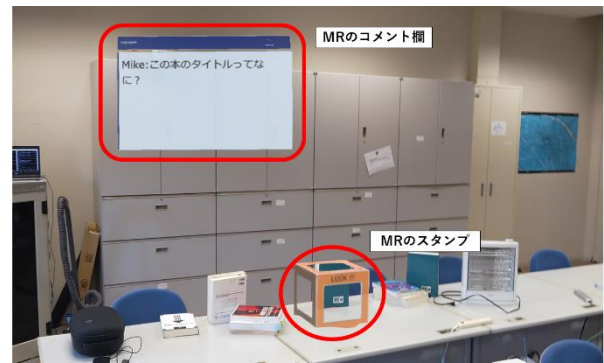


図3：コメント欄とスタンプ

更新する。Raycastを用いた手法により、本研究のユースケースを想定する場合、高い確率で視聴者が提示したいものや場所にスタンプを表示させることが期待できる。現実空間でも衝突判定を有効化させるために、SLAMと空間マッピングを用いる。SLAMとは、自己位置推定と環境地図作成を担う機能であり、Wi-FiからHoloLens 2自身の座標と移動量を取得することで周囲の環境を読み取ることができる。空間マッピングとは、現実空間を仮想環境に融合させる機能であり、SLAMで読み取った現実空間を仮想環境として融合することで、現実空間を仮想環境のように扱うことを可能としている。変換が終了した後は、その座標をもとにMRのスタンプを現実空間に表示する。コメント欄とスタンプが表示されている様子を図3に示す。

5. 評価

本章では、提案システムの有効性を検証するための評価実験について述べる。初めに、提案システムと既存システムを比較する評価実験の目的と手順について説明する。次に評価実験の結果について説明する。最後に、評価実験の結果から得られた考察と課題について説明する。

5.1 評価実験の目的

評価実験の目的は、放送者が視聴者の提示したいものや場所を発見しやすくなったかどうかについて、MRのスタンプを用いる提案システムと、従来の2Dスタンプを用いる既存システム間で比較する。期待される効果は、提案システムを用いることで、2章で述べた既存システムで発生し得る3つの問題点が解決されていることである。これらを確認するために、評価実験では視聴者から送信されるスタンプをもとに、提示したいもの（以下、対象物）を発見するまでの時間（以下、発見までの時間）や誤った対象物を示した回数（以下、誤りの回数）の計測、アンケートによるMRを用いた対象物の発見しやすさに関する放送者の主観評価を実施した。

5.2 評価実験の手順

評価実験は岩手県立大学の居室2部屋にて、2021年8月18日、2021年9月8日、2021年9月10日、2021年10月7日の計4回実施した。評価実験の協力者は、1回あたり3

名で、放送者1名、視聴者2名に協力してもらい、放送者には対象物の発見に関するアンケートを実施した。放送時間は約30分で、三脚を用いて全方位カメラを定位置に固定し、予め室内に360度インターネット生放送を実施する。本節では、放送内容の流れについて説明する。初めに両システムの放送に慣れてもらうための、5分間のテスト放送の時間を設ける。テスト放送が終了した後、放送者は視聴者からのコメントに反応を返しつつ、送信されてくるスタンプをもとに対象物を探索、発見してもらう。視聴者は予め指定された対象物へスタンプを送信してもらい、放送者が正しく対象物を発見できた場合は「YES」というコメントを送信する。誤ったものを示していた場合は「NO」というコメントを送信し、再度対象物の探索を促す。

評価項目について説明する。評価実験では、発見までの時間と誤りの回数の計測を行い、各放送終了後に放送者へアンケートを実施する。アンケートでは各放送で、対象物の発見は容易だったかという質問と、どちらの放送の方が対象物を発見しやすかったかという質問に回答してもらう。アンケートでは質問への回答の他に、便利・不便だった点を自由記述形式で解答してもらう。提案システムが、2章で述べた3つの問題点を解決しているかどうかについて、以下のように評価項目から判断できる。1つ目の問題点である、放送者の移動に伴うスタンプの位置の変化については、誤りの回数を比較し少なくなっていれば解決したと言える。2つ目の問題点である、ノートPCによる反応の確認の手間については、発見までの時間を比較し短縮されていれば解決したと言える。3つ目の問題点である、現実空間とスタンプの位置関係の把握の難しさについては、発見までの時間と誤りの回数から総合的に判断し、それぞれの評価値が良ければ解決したと言える。

評価実験では、提案システムを用いた放送と既存システムを用いた放送のそれぞれを1回ずつ、計2回実施する。2回目の放送では先に行った放送により一定レベルでの慣れが発生し、対象物の発見がMRの有無に関係なく円滑に行われる可能性があるため、提案システムを用いた放送を先に行う実験と後に行う実験の2パターンを実施することにした。実施日において日付の早い2つが後に提案システムを用いた放送を実施し、日付の遅い2つが先に提案システムを用いた放送を実施した。

視聴者には、スタンプを送信する役割とコメントを送信する役割を与える。本研究の生放送におけるコミュニケーション手段として、スタンプとコメントの2つを用いるため、コミュニケーションを実行できる最低限の人数を設定した。コメントを送信する視聴者は、放送の内容や流れに逸脱しない程度に、自由なコメントを送信しコミュニケーションをとってもらう。スタンプを送信する視聴者は、予め指定された対象物へスタンプを送信し、放送者へ探索を促す。対象物は対象物A, B, C, Dの4種類を設定している



図4: 対象物 A, B, C, D

他、ダミーの対象物となる設置物を4種類設定した。対象物A, Cは単一で発見が容易な対象物、対象物B, Dは複数の類似した設置物の中にある特定の1つの設置物を対象物とする。360度インターネット生放送において、文字情報だけでは提示が難しいものとして、対象物B, Dを設定した。対象物A, B, C, Dを図4に示す。

5.3 評価実験の結果

現地で行った計測をもとに、発見までの時間と誤りの回数の結果を表1に示す。発見までの時間の計測は、放送者のノートPCの画面上、またはHoloLens2のディスプレイ越しにスタンプが表示された瞬間に計測を開始し、放送者が対象物を指さして「これですか?」と視聴者に質問した瞬間に計測を終了する。誤りの回数は、放送者が対象物とは異なる設置物に対して「これですか?」と視聴者に質問した場合の回数を計測する。表1の「対象物」の項目にある「単一」は、単一で発見が容易な対象物(対象物A, C)について、「複数」は複数の類似した設置物の中にある特定の1つの対象物(対象物B, D)についての計測結果を記述している。表1では、被験者ごとに計測した値を、両システムと対象物の属性ごとに計算した平均値と、両システムごとに計算した平均値を記述している。対象物の発見しやすさを明らかにするため、両システムの平均値より、有意水準を0.05に設定したt検定を実施した。その結果、発見までの時間のp値が $0.98 > 0.05$ 、誤りの回数のp値が $0.62 > 0.05$ となり、有意差が見られなかった。

各放送終了後に放送者に回答してもらった、対象物に発見しやすさに関する5段階評価の結果を表2、対象物の発見しやすさに関するシステム比較のアンケート結果を表3に示す。アンケートでは、放送ごとに「最初に(または次に)示された対象物について、スタンプによる発見は容易に感じたか」という質問の形式を取り、5段階の評価を行った。また、「どちらの放送の方が、対象物を発見しやすかったか」という質問の形式を取り、「放送1」、「放送2」、「どちらでもない」という選択肢を用意し回答をもらった。表2では、被験者ごとのアンケートの値を、両システムと対象物の属性ごとに計算した平均値と、両システム

表 1：発見までの時間と誤りの回数

被験者	システム	対象物	発見までの時間 (秒)	誤りの回数 (回)
被験者1	既存システム	単一	13	0
		複数	35	1
	提案システム	単一	8	0
		複数	16	1
被験者2	既存システム	単一	15	1
		複数	24	1
	提案システム	単一	18	1
		複数	13	0
被験者3	既存システム	単一	8	0
		複数	5	0
	提案システム	単一	19	0
		複数	9	0
被験者4	既存システム	単一	9	0
		複数	17	0
	提案システム	単一	27	0
		複数	15	0
平均	既存システム	単一	11.25	0.25
		複数	20.25	0.5
		全体	15.75	0.375
	提案システム	単一	18	0.25
		複数	13.25	0.25
		全体	15.625	0.25

表 2：5段階評価のアンケートの結果

被験者	システム	対象物	対象物の発見は容易と感じたか(5段階評価の値)
被験者1	既存システム	単一	少し感じた(4)
		複数	あまり感じなかった(2)
	提案システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	少し感じた(4)
被験者2	既存システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	あまり感じなかった(2)
	提案システム	単一	少し感じた(4)
		複数	あまり感じなかった(2)
被験者3	既存システム	単一	少し感じた(4)
		複数	大いに感じた(5)
	提案システム	単一	どちらとも言えない(3)
		複数	少し感じた(4)
被験者4	既存システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	少し感じた(4)
	提案システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	大いに感じた(5)
平均	既存システム	単一	4.5
		複数	3.25
		全体	3.875
	提案システム	単一	4.25
		複数	3.75
		全体	4

ごとに計算した平均値を記述している。放送者が対象物を発見しやすく感じているか明らかににするため、両システムの平均値より、有意水準を 0.05 に設定した t 検定を実施した。その結果、p 値が $0.83 > 0.05$ となり、有意差が見ら

表 3：発見しやすさに関するアンケート結果

質問	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
どちらの(システムを用いた)放送の方が、対象物を発見しやすかったか	提案システム	提案システム	既存システム	提案システム

れなかった。また、「どちらの放送の方が、対象物を発見しやすかったか」という質問については、提案システムを選択した被験者が 3 名、既存システムを選択した被験者が 1 名という結果になった。

5.4 考察

発見までの時間と誤りの回数の計測、アンケートの結果から、MR を用いることで、2 章で述べた 3 つの問題点を解決することは難しいことが明らかになった。しかし、アンケートの「どちらの放送の方が対象物を発見しやすかったか」という質問から、対象物を発見しやすいと感じている放送者が多いということも明らかになっている。t 検定の結果と放送者の主観評価にずれが生じている理由として、スタンプの発見しやすさと対象物の発見しやすさは、同一のものではない。両システム間で、対象物の発見しやすさについて有意差が見られなかった原因として挙げられるのが、アンケートの自由記述で多くあった「MR のスタンプが発見しづらい」という問題である。両システムでは、スタンプが画面上もしくは現実空間上に表示される際に、表示されたことを放送者に伝える短い効果音が鳴る。しかし、効果音は表示されたことを伝えるだけであり、表示された位置の情報までは放送者に伝えられない。また、既存システムではエクイレクタングル形式の映像で確認するため、全方位カメラがとらえている範囲をすべて確認することが可能であるが、提案システムでは、現実空間上に直接スタンプが表示されるため、放送者自身の視界を変更しスタンプを発見する必要がある。スタンプの発見に関しては、空間全体を 1 つの画面で見渡せる既存システムの方が容易であるため、提案システムの方が発見に時間がかかる場合が存在する。以上のことから、放送者が MR のスタンプを発見するための補助機能が必要である。そのため、本研究ではスタンプが表示された方向や位置を、放送者へ提示する機能を追加で実装する。

6. 方向提示機能の実装

本章では、5 章で述べた評価の結果をもとに、提案システムに必要な機能の実装と、その有効性を検証するための追加の評価について述べる。

6.1 空間音響つき MR スタンプの実装

MR のスタンプが表示された方向を提示する補助機能として、空間音響を追加した MR スタンプを実装した。Titus ら[13]の研究では、空間音響を用いることで、オブジェクトが設置されている方向の把握に有効だと述べている。HMD を装着し目隠しをしたユーザが、マーカが設置された位置を空間音響のみで把握が可能かどうかを検証した研究であ

る。検証した結果、マーカの正確な位置の把握は、空間音響のみでは精度が不足していたが、マーカが設置されている方向を把握するには、空間音響は十分であるということが明らかになっている。本研究で用いるMRのスタンプは、ある程度の方向提示が実現できればスタンプの発見は容易になり、対象物の発見も容易になることが期待できる。

空間音響つきMRスタンプの実装について述べる。MRスタンプを実装したときと同様に、UnityおよびMRTKを用いて空間音響を組み込んだ。音の方向は、MRTKのSpatial Audioを組み込むことで実装ができた。音の大きさも、音の方向の実装と同じくSpatial Audioを組み込むことで実装が可能であるが、本研究ではそれに加え、距離に応じた音量調整の方法を、シームレスな調整ではなく極端な調整にした。Titusらの研究の通り、空間音響のみでは正確な位置までを把握できないため、表示されたMRのスタンプが近くに表示されたか、遠くに表示されたかの違いさえ把握できればよい。新たに実装したMRスタンプでは、ある一定の距離より遠く表示される場合は、急激に音の大きさが小さくなる調整をしている。距離に応じたシームレスな音量調整ではなく、表示された位置が近いか遠いかを大まかに伝える音量調整の方が、放送者にとって表示された位置の把握が容易になると考えられる。また、デバイスへの実装については、HoloLens 2は空間音響を再生可能なスピーカが搭載されているため、スタンプ表示アプリケーションを更新することで実装が可能となっている。

6.2 追加の評価実験

空間音響を追加した提案システムと既存システムを比較するための、追加の評価実験を施した。2021年12月8日と12月9日に行い、実験の目的、評価方法、場所、協力者の人数、および手順は、前回の評価実験と同様である。12月8日の評価実験は3回実施し、最初の2回の評価実験は先に提案システムを用いた放送を実施し、最後の1回は後に提案システムを用いた放送を実施した。12月9日の評価実験は、後に提案システムを用いた放送を実施した。

追加の評価実験でも同様に、発見までの時間と誤りの回数の計測、放送終了後に放送者へのアンケートによる主観評価を実施した。

6.3 追加の評価実験の結果

初めに、発見までの時間と誤りの回数の計測結果を表4に示す。表4では、放送ごとに計測した値を、両システムと対象物の属性ごとに計算した平均値と、両システムごとに計算した平均値を記述している。対象物の発見しやすさを明らかにするため、両システムの平均値より、有意水準を0.05に設定したt検定を実施した。その結果、発見までの時間のp値が $0.01 < 0.05$ 、誤りの回数のp値が $0.08 > 0.05$ となり、発見までの時間に関しては有意差が見られた。また、誤りの回数では有意な差は見られなかったが、提案システムを用いることで、誤りの回数を減少させることがで

表4：発見までの時間と誤りの回数

被験者	システム	対象物	発見までの時間 (秒)	誤りの回数 (回)
被験者1	既存システム	単一	9	0
		複数	23	1
	提案システム	単一	4	0
		複数	5	0
被験者2	既存システム	単一	9	0
		複数	17	0
	提案システム	単一	4	0
		複数	5	0
被験者3	既存システム	単一	40	1
		複数	29	1
	提案システム	単一	4	0
		複数	5	0
被験者4	既存システム	単一	12	0
		複数	10	0
	提案システム	単一	8	0
		複数	5	0
平均	既存システム	単一	17.5	0.25
		複数	19.75	0.5
		全体	18.625	0.375
	提案システム	単一	5	0
		複数	5	0
		全体	5	0

きる傾向が確認できた。

次に、対象物に発見しやすさに関する5段階評価の結果を表5、対象物の発見しやすさに関するシステム比較のアンケート結果を表6に示す。表5では、放送ごとのアンケートの値を、両システムと対象物の属性ごとに計算した平均値と、両システムごとに計算した平均値を記述している。放送者が対象物を発見しやすく感じているか明らかにするため、両システムの平均値より、有意水準を0.05に設定したt検定を実施した。その結果、p値が $0.0007 < 0.05$ となり、有意差が見られた。また、「どちらの放送の方が、対象物を発見しやすかったか」という質問については、提案システムを選択した被験者が4名、既存システムを選択した被験者が0名という結果になった。

6.4 追加の評価実験からの考察

前節の結果から、空間音響を追加した提案システムを用いることで、2章で述べた3つの問題点を解決できることが明らかになった。発見までの時間については、方向提示の補助を行うことによってMRスタンプの発見が容易になっていることが分かる。スタンプの表示された位置や方向が分かるようになり、放送者は素早く対象物を発見できるようになっていることが分かる。このことから、2章で述べた「ノートPCによる反応の確認の手間」という2つ目の問題点は、MRを用いることで解決が可能である。誤りの回数に結果については、既存システムの誤りの回数が平均0.375回であるのに対し、提案システムの誤りの回数は0回だった。両システム間で誤りの回数についての有意差は見られなかったが、既存システムに比べ誤りの回数は低減していることが確認できた。このことから、空間音響つ

表 5 : 5 段階評価のアンケート結果

被験者	システム	対象物	対象物の発見は容易と感じたか(5段階評価の値)
被験者1	既存システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	どちらともいえない(3)
	提案システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	大いに感じた(5)
被験者2	既存システム	単一	あまり感じなかった(2)
		複数	あまり感じなかった(2)
	提案システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	少し感じた(4)
被験者3	既存システム	単一	どちらともいえない(3)
		複数	あまり感じなかった(2)
	提案システム	単一	少し感じた(4)
		複数	大いに感じた(5)
被験者4	既存システム	単一	あまり感じなかった(2)
		複数	あまり感じなかった(2)
	提案システム	単一	大いに感じた(5)
		複数	少し感じた(4)
平均	既存システム	単一	3
		複数	2.25
		全体	2.625
	提案システム	単一	4.75
		全体	4.625

表 6 : 発見しやすさに関するアンケート結果

質問	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
どちらの(システムを用いた)放送の方が、対象物を発見しやすかったか	提案システム	提案システム	提案システム	提案システム

き MR スタンプを用いて対象物を提示することで、2 章で述べた「放送者の移動によるスタンプ位置の変化」という 1 つ目の問題点による、コミュニケーションエラーの発生を防ぐことができると考えられる。また、発見までの時間と誤りの回数を総合的に見ると、発見までの時間は短縮され視聴者の興味を素早く判断することが可能となり、誤った設置物も示さなかったことから視聴者の興味を正確に判断することも可能ということが分かる。このことから、2 章で述べた「現実空間とスタンプの位置関係の把握が困難」という 3 つ目の問題点は、MR を用いることで解決が可能である。また、方向提示手段として空間音響を用いることは有効であることも明らかになった。

7. まとめ

本研究では、360 度インターネット生放送において、MR を用いた放送者支援を目的とするシステムの提案と実装を行った。1 回目の評価実験では、対象物の発見しやすさにおいて両システム間で有意差が見られず、原因として MR スタンプそのものの発見が困難であるということが挙げら

れた。この問題点を解決するために、空間音響を追加した新たな提案システムを実装し、2 回目の評価実験を実施した。その結果、対象物を発見するまでの時間に有意差が見られ、誤りの回数を 0 回にすることができた。このことから、MR を用いたスタンプ・コメント表示は、既存システムの 3 つの問題点を解決することが可能であり、更なるコミュニケーションエラーの低減が実現できる。

今後の課題として、放送者の見ているものを確認する視聴者向けの機能実装が挙げられる。MR スタンプは放送者のみ確認ができるプログラムであり、視聴者は放送者がどのように見えているか把握できない。これにより、放送者と視聴者のスタンプや対象物の見え方に差異が生じ、話題の食い違いが発生する可能性がある。そのため、放送者の見ているものを確認できる視聴者向けの機能が必要となる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費の JP20K11794 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 齊藤義仰, 葛巻葵伊, 八幡恭大, 西岡大 : 360 度インターネット生放送におけるスタンプを用いたコミュニケーション支援システムの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル 2019, pp.895 – 900 (2019).
- [2] RICHOTHETA S : 製品紹介, 入手先 <<https://theta360.com/ja/about/theta/s.html>> (参照 2020-02-08).
- [3] Kurento, available from <<http://www.kurento.org/>> (参照 2020-02-08).
- [4] THETA_GL, available from <https://github.com/mganeko/THETA_GL> (参照 2020-02-08).
- [5] LINE, available from <<https://line.me/ja/>> (参照 2021-04-21).
- [6] Ohan, O. Carmine, E. Mengu, S. et al.: Virtual Replicas for Remote Assistance in Virtual and Augment Reality, Proc. UIST'15, pp. 405-415 (2015).
- [7] Gun, A. L. Theophilus, T. Seungwon, K. et al.: Mixed Reality Collaboration through Sharing a Live Panorama, Proc. SA'17, pp.1-4 (2017).
- [8] 2021 年 イベント調査レポート Peatix Blog, 入手先 <https://blog.peatix.com/featured/2021_event_survey.html#h.xaimkobtflfx> (参照 2021-12011).
- [9] ITOKI : 大阪ショールーム | ショールーム, 入手先 <<https://cs.itoki.jp/showroom/osaka/>> (参照 2021-04-26).
- [10] StateOfVirtualEvents2021, available from <<https://s3.amazonaws.com/media.mediapost.com/uploads/StateOfVirtualEvents2021.pdf>> (参照 2021-12-14).
- [11] HoloLens 2 – 概要, 機能, 仕様 | Microsoft HoloLens, 入手先 <<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware>> (参照 2021-04-18).
- [12] MRTK-Unity 開発者向けドキュメント, 入手先 <<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/mrtk-unity/?view=mrtkunity-2021-05>> (参照 2021-12-10).
- [13] Titus, J. J. T. Wai-Ho, Li.: An Assistive EyeWear Prototype that interactively converts 3D Object Locations into Spatial Audio, Proc. ISWC'14, pp.119-126 (2014).