

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

高田 真也^{1,a),b)} 西岡 大¹ 齊藤 義仰¹

受付日 2020年4月8日, 採録日 2020年10月6日

概要: YouTubeをはじめとするインターネット生放送サービスで、全方位カメラに対応した360度インターネット生放送サービスが開始された。しかし、360度インターネット生放送では従来の放送と異なり、カメラのレンズ方向から視聴者の視聴方向やその範囲を把握することができなくなった。コミュニケーション相手の視線が向いている方向は、相手の興味や関心を示す重要な情報である。相手の視線を把握できない場合、会話の中心が把握できなくなり、円滑なコミュニケーションが行えない可能性がある。この問題は360度インターネット生放送においてコミュニケーションエラーの原因になる。視聴者のPOVを放送者に提示することでコミュニケーションエラーを減少させることができるという仮説のもと、視聴者の視聴方向(POV)を可視化して放送者に提示可能な「POVヒートマップ」について提案する。POVヒートマップは視聴者のPOVを球体状のヒートマップで表現することで放送者に対し可視化する。放送者はPOVヒートマップを確認することで、直感的に視聴者のPOVを把握することができる。放送者は得られたPOVから視聴者の関心や話題の中心を把握することで、コメントの意味や意図を正確に理解することができるようになる。提案システムの有効性を評価するため、プロトタイプの実装を行った。本研究では、球体状ヒートマップの実装にAndroid用のARアプリを用いた。スマートフォンのAR機能を用いることで、特殊な機材を用いずに実装することができ、一般的な放送者でも簡単に利用することができる。評価実験を実施した結果、POVヒートマップを用いて視聴者のPOVを可視化することで、コミュニケーションエラーを減少させることができることが分かった。

キーワード: インターネット生放送, 全方位カメラ, POV

Proposal of the Viewer's "POV Heat Map" in 360-degree Internet Live Broadcasting

MASAYA TAKADA^{1,a),b)} DAI NISHIOKA¹ YOSHIA SAITO¹

Received: April 8, 2020, Accepted: October 6, 2020

Abstract: YouTube has been able to use omnidirectional cameras. However, in Internet live broadcasting using omnidirectional cameras, it is difficult to know viewer's direction information by checking the camera lens direction. The viewer's gaze information is important to indicate viewer's needs and interests for broadcasting. If the broadcasters cannot understand viewer's gaze, they cannot understand viewer's needs and difficult to communicate with the viewers smoothly. We propose the "POV Heat Map" which supports the communication between the broadcasters and viewers using viewer's POV. The POV Heat Map visualizes the viewer's POV as a spherical heat map to the broadcasters. The broadcasters can accurately understand the meanings and intentions of comments by grasping the viewer's interests and center of topics based on the POV Heat Map. We developed a prototype system to verify the effectiveness of the proposed system. In this research, an AR application on Android devices was used in order to implement the spherical heat map. It can realize the POV Heat Map without special equipments by using the AR function of the smartphone so that general users can use it. From results of evaluation experiments, we found that the POV Heat Map reduces the communication errors that occur between the broadcaster and viewers.

Keywords: internet live broadcasting, omnidirectional cameras, POV

1. はじめに

近年、インターネット生放送サービスが多くのユーザに広く利用されるようになってきている。インターネット生放送は、放送者と視聴者がコメントベースで、リアルタイムなコミュニケーションを楽しむことができる。また、コミュニケーションの結果を即座に放送内容へフィードバックできるという利点もある。また、YouTube の収益化機能の 1 つである Super Chat^{*1}や、ツイキャスのアイテム収益機能^{*2}など放送者とのコミュニケーションに現実の金銭をとまなう付加価値を与えるサービスもある。放送によっては 1 分あたり 400 ドルもの利用があることが報告されており、コミュニケーションに対する視聴者のニーズは他のリアルタイム型の映像サービスにない特徴である^{*3}。現在、インターネット生放送最大手である YouTube^{*4}では新たな機能として全方位カメラに対応したインターネット生放送やオンデマンド動画の投稿機能が提供されている。これは 360 度動画や 360 度インターネット生放送と呼ばれる形式で、映像上でのカーソル操作を行うことで、全方位カメラを中心とした 360 度全方向に視聴方向を変更することができる。これらのサービスは YouTube のほかにも、Twitter^{*5}や Facebook^{*6}などでも提供が開始されており、今後も爆発的な普及が期待される。

しかし、360 度インターネット生放送では、視聴者の POV を放送者が把握できないという問題が発生する。本研究では、POV を Point Of View の意味で使用し、視聴者が視聴者クライアントを用いてどの方向の映像を見ているのかという情報を示す。従来のインターネット生放送では Web カメラが持つ単一のレンズと撮影方向が対応しており、視聴者の視聴可能範囲は必然的にレンズが撮影する矩形の範囲内に限定されていた。それに対し、360 度インターネット生放送では、全方位カメラが持つ複数のレンズで同時に撮影を行っているため撮影範囲が広く、視聴者が撮影範囲内のどこを見ているのか、全方位カメラのレンズ方向から推測することができない。コミュニケーションにおいて、コミュニケーション相手の視線情報はコミュニケーション相手の興味や関心、話題の中心など重要な情報の伝達を担うことが、すでに多くの研究で明らかにされている [1], [2]。視聴者がどこを見ているのか、すなわち視聴者の興味はどこに向けられているのかを把握できない場合、相手の発言が何に向けられたものなのかを補完できず、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。本研究においてはこの現象をコミュニケーションエラーと呼ぶ。また、放送者が周

囲の物への注目を視聴者に指示した際に視聴者が POV を変更し終えたかを確認する手段がないため、話を始めるタイミングがつかめないとといった問題点もあげられる。

そこで、POV を用いたコミュニケーション支援ツール「POV ヒートマップ」を提案する。視聴者が現在視聴している範囲は、視聴者クライアントの POV から求められる。360 度インターネット生放送では全方位映像を球体にマッピングし、球の中心点にカメラを配置することで実現されている。視聴者クライアントにおける POV は、現在視聴している映像の中心を球表面の極座標系 (φ, θ) によって表現されている。本研究では視聴者の視線とは 360 度インターネット生放送における視聴者クライアントの POV と同一のものであると定義する。

POV ヒートマップは全方位カメラを中心とした視聴者の POV を、球体状ヒートマップにより放送者に可視化するシステムである。放送者はヒートマップの表示を基に、撮影範囲のどこに POV が集中しているのか、分散している POV がどのようなものに向けられているのかを把握することができる。これにより、放送者は視聴者の興味や関心はどこに向けられているのかを把握しながらコミュニケーションをとることができ、コミュニケーションエラーを低減させる効果が期待できる。

本研究ではどうすれば 360 度インターネット生放送におけるコミュニケーションエラーを減少させることができるかをリサーチクエスションとして位置づけている。放送者が視聴者の POV を把握できるようにすることでコミュニケーションエラーが減らせるのではないかという仮説のもと、POV の提示によるコミュニケーションエラーの減少を目指す。本稿では 360 度インターネット生放送における問題点と、それを解決する POV ヒートマップの実装と評価について述べる。本稿における貢献は以下に要約される。

- 新しいコミュニケーション環境である 360 度インターネット生放送において、視聴者の POV が不足しているためコミュニケーションエラーが発生するという問題点を発見した。
- 視聴者の POV を可視化し放送者に提示する POV ヒートマップを実装し、評価実験によってコミュニケー

^{*1} Super Chat と Super Stickers で収益を得る: YouTube, <https://creatoracademy.youtube.com/page/course/superchat-and-superstickers> (参照 2020-07-23)。

^{*2} アイテム収益・ヘルプ (配信者向け): ツイキャス, https://twitcasting.tv/helpcenter.php?pid=HELP_ITEM_REVENUE (参照 2020-07-23)。

^{*3} YouTube Creator Blog: Introducing Super Stickers: Another way to help you earn money while connecting with your viewers, <https://youtube-creators.googleblog.com/2019/11/introducing-super-stickers.html> (参照 2020-07-23)。

^{*4} YouTube, <https://www.youtube.com/> (参照 2020-07-23)。

^{*5} Periscope, <https://play.google.com/store/apps/details?id=tv.periscope.android&hl=ja> 2020-07-23。

^{*6} Live 360: Facebook 360, <https://facebook360.fb.com/live360/> (参照 2020-07-23)。

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 and Information Science, Iwate
Prefectural University, Takizawa, Iwate 020-0693, Japan

a) g236q002@s.iwate-pu.ac.jp

b) t.masaya.iwate@gmail.com

ションエラーが低減できることを明らかにした。

- 360度インターネット生放送において、POV ヒートマップを用いたコミュニケーションがPOV提示のない場合と比較してコミュニケーションを行いやすいことを明らかにした。

2章ではユースケースについて述べ、本研究における対象範囲と実際の利用条件について示す。3章では関連研究について述べ、本研究の必要性とこれまでに行われた研究との関連について説明する。4章では提案システムについて、その目的と概要、期待される効果を示す。5章では実装したシステムについて述べる。6章では実装システムの評価について、目的と概要、その結果について示す。7章では考察について説明し、8章でまとめについて示す。

2. ユースケース

本研究におけるユースケースは、インターネット生放送サービスの利用動向を調査した津田ら [3] の報告を基に定義した。調査ではインターネット生放送サービスの視聴と放送について、それぞれのサービスを利用した経験がある500人にアンケートを行っている。アンケートでは、放送内容や視聴者規模、放送の目的などを聞いている。その結果、回答者が行ったインターネット生放送のジャンルでは、視聴者参加放送、動物、エンタテインメント、音楽などが上位にあげられた。視聴者参加放送は、放送者が多数の視聴者と雑談などのコミュニケーションを行う放送である。エンタテインメントはゲーム、音楽は楽器の演奏や歌唱などを行う放送である。本研究におけるユースケースは視聴者とのコミュニケーションをメインとした放送内容の中で最も上位にあげられた視聴者参加放送を配信する放送とし、特に放送者と視聴者の雑談に着目する。

また、多くの利用者がサービスを利用している現状を鑑みて、一般的な利用者が1人でインターネット生放送を行うことを想定することとした。そこで、放送環境は特殊な機材が存在しない一般家屋の室内とし、放送者の正面に全方位カメラを三脚などにより固定設置するものとする。津田らの報告では、個人で行われている放送において視聴者数が100人を超えるものがごく少数であり、最頻値は10人以下のごく小規模であることが報告されている。よって、本研究のユースケースにおける視聴者は10人以下の不特定ユーザとし、同時接続数も同程度とした。

本ユースケースにおいて放送者は視聴者と雑談を行う。その際に視聴者は放送者の周囲にある物や周囲で起きた出来事に対するコメントを投稿する。放送者は視聴者のコメントを基に雑談の話題を変更する。また、放送者が視聴者に対して特定の物への注目を指示することも考えられる。これらの状況においてPOV提示を行うことで、視聴者の興味が向けられている対象や、注目の度合いを放送者が確認することができるようになる。

3. 関連研究

ここでは本研究の関連研究について述べる。まず、コミュニケーションにおける視線情報の役割に関する研究からコミュニケーションエラーの原因を説明する。その後、遠隔コミュニケーションにおける視線情報提示手法に関する研究と360度動画の視線分析に関する事例から、POVを提示する際の要件について説明する。

3.1 コミュニケーションにおける視線情報の役割

これまでにも、コミュニケーションにおけるノンバーバル情報の重要性に関して様々な研究が進められてきている。特に、コミュニケーションにおける視線情報はお互いの意図を伝える重要な役割を担っていることが明らかにされており、遠隔コミュニケーションにおいて、視線情報を付加することで相手が何に何に興味を持っているのかを感じることができるようにする研究も進められている。

コミュニケーションにおける視線情報の研究としてThe GAZE Groupware System [1]がある。当該研究では、多人数参加型の遠隔会議システムにおける、ノンバーバル情報の伝達について検証している。コミュニケーション相手の注視方向がどこに向けられているのかを付加することで、多人数参加型の遠隔会議システムにおいて誰と誰が話しているのか、誰が何についての話をしているのかを分析することが可能であると結論付けている。

また、ビデオ会議システムを用いた相互凝視に関する研究 [2]では、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かかわる重要な要因であるとしている。さらに、視線情報の提示方法について、視線情報を提示する際にコミュニケーション相手の目を含む画像を直接提示する方法では、一定以上の画像サイズを必要とすると結論付けている。

360度インターネット生放送において、視聴者POVとは視聴者の視聴方向および視聴範囲を確認するための情報であり、遠隔コミュニケーションにおける視線と同等の役割を担う情報である。このことから視線に関する研究で明らかにされた役割や知見がPOVにも適用可能だと考える。

3.2 遠隔コミュニケーションにおける視線情報提示手法

遠隔コミュニケーションにおける視線情報の提示手法について、これまでに様々な研究がなされてきている。具体的には、ディスプレイの形状や素材に関する検討を行う研究や平面状ディスプレイに対して注視点を表現する研究、ロボットの身体性を用いた提示方法などがあげられる。

半透明のガラス板を用いた視線情報の提示手法 [4]では、遠隔共同作業における作業形態を3つのメタファに分類して分析を行っている。その結果、協同作業中に他の作業者の視線が作業画面のどこに向けられているのかを提示する

ことで、コミュニケーションを円滑にすることが可能であるということを見出すとともに、gaze awareness という特性の重要性について見出した。また、ThirdEye [5] では、繊維状の樹脂を切削して半球状の眼球型ディスプレイを作成し、視線情報の提示に用いている。底面部より入射した目の画像が半球の球状表面に投影されることで人間の目の動きを再現することができる。評価実験では、ThirdEye を用いた場合、対面状態とほとんど変わらない精度で視線情報の提示が可能であることが明らかにされた。これらの研究では、半透明のディスプレイや半球状のディスプレイを用いることで現実空間上への立体的な表示を可能としており、平面状のディスプレイを用いる方法よりも方向や距離感といった情報を表現できることを示唆している。一方で、樹脂構造を持った半球状のディスプレイや、一定の大きさを持った半透明のディスプレイパネルなど、特殊な機材を必要としているため、本研究におけるユースケースには合致しにくいと考えられる。

ロボットを用いた視線情報の表現としては、GestureMan という研究がある [6]。当該研究は遠隔コミュニケーションにおいて、コミュニケーション相手の周囲に存在する物への指示行為を遠隔操作者がロボットにより行うというものである。遠隔コミュニケーションにおける指示行為を再現するために、対面型コミュニケーションから必要な知見を分析しており、再現には5つの要件が存在することが明らかになった。遠隔コミュニケーションにおける指示行為の要件では、言語情報のほかにジェスチャが情報伝達で重要な役割を担っていることが示されている。また、ジェスチャについても単独で成り立つものではなく、視線情報や身体各部分の方向などの身体性が情報伝達を補助していることに言及している。遠隔コミュニケーションの身体性については同様にロボットを用いた Matsumura らの研究 [7] でも言及されている。視線情報やジェスチャなどの身体性は、周囲のコミュニケーション参加者の注意や関心を惹くため、参加者間でのコミュニケーションを誘発させる可能性がある。このことから、円滑な遠隔コミュニケーションを実現するためには、遠隔参加者が言葉以外にも自身の身体性を表現する方法が必要であるといえる。これらの研究では身体性を表現するためにロボットが用いられていることから、新体制の表現には物理的、または立体的な表現が望ましい。

先にあげた研究のほかに、平面状ディスプレイにマーカーを用いて注視点を表現することで、コミュニケーション相手の視線情報を提示する手法も存在する [8], [9]。これらの研究は先に述べたような特殊なディスプレイ機材を必要としない点で、本研究におけるユースケースでも応用することが可能である。しかし、これらの研究は参加者が対等な関係で遠隔コミュニケーションを行う状況を扱っており、インターネット生放送のような1対多かつ放送者対視

聴者という非対称のコミュニケーションは想定されていない。そのため、これらの手法は複数のコミュニケーション相手の情報を要約することを想定していない。これらの手法を用いて視聴者のPOVを可視化した場合、放送者は多くの注視点を確認し、粗密の度合いやクラスタなどのデータ分析を自身で行う必要があり、認知的負荷の増大が予測される。このことから、放送者に対してはデータ分析手法やデータ可視化手法などを用いて、複数視聴者のPOVを要約して提示する必要がある。

3.3 360度動画の視線分析

1対1の遠隔会議システムなどでは視線情報の提示手法について、コミュニケーション相手の映像を提示することで、一定の視線情報を提示することが可能である。それに対して、インターネット生放送のような1対多の遠隔コミュニケーションにおいては、複数ユーザの視線情報を同時に提示する手法が必要となる。そのため、データ分析手法の1つであるヒートマップを用いた表現が好まれる。具体的な例として、YouTubeがアナリティクス機能の1つとして2017年6月に提供を開始した360°ヒートマップ*7がある。360°ヒートマップはYouTubeに投稿したオンデマンド形式の360度動画をヒートマップ表示で解析することができるツールである。投稿者は、このツールを用いることで、動画を視聴したユーザがどの方向にPOVを向けていたのかを時間経過による変化とともに確認できる。

このほかにも、株式会社ジョリーグッドが開発しているVRCHEL*8というシステムがある。当該システムは360°VRのコンテンツ解析とユーザ行動のパターン解析を人工知能により行うというものである。視聴中の360度動画のリアルタイム解析を動画にオーバーレイ表示することで、人物や物体、話されている言語、雰囲気、シーン構成、ストーリーなどの様々な動画の構成要素を認識することができる。当該システムはビジネスに活用されるVRコンテンツについて、視聴者のニーズ分析やより質の高い360度動画の作成を支援することが目的とされている。

これらの分析手法は、分析を事後的に行っており、オンデマンド形式のみを想定しているため、リアルタイムのコミュニケーションに適用するためには課題がある。視聴者から周囲の物に対してのコメントが投稿された場合、放送者は対象物へのインタラクションを行うことが予想される。360°ヒートマップのようにエクイレクタングラ形式の映像に情報を重畳表示する方法では、全方位映像を平面状に加工しているため、歪みを考慮したうえで現実空間上の方向や位置を推測する必要がある。それに対し、3.2節

*7 YouTube Creator Blog: Hot and Cold: Heatmaps in VR, <https://youtube-creators.googleblog.com/2017/06/hot-and-cold-heatmaps-in-vr.html> (参照 2020-07-23).

*8 VRCHEL, <https://vrchel.com/> (参照 2020-07-24).

であげたような特殊なディスプレイを用いた方法は直接実空間上に立体的に方向を提示できるためリアルタイムなコミュニケーションを行う場合は望ましいと考えられる。

以上のことから 360 度インターネット生放送において、POV を提示する手法に求められる要件は、次の 3 に整理される。1 つ目は実空間上に POV を立体的な方向として提示する手法であること。2 つ目は認知的負荷を軽減するためにデータ分析手法やデータ可視化手法を用いていること。3 つ目は特殊な機材を必要としない手法であること。

4. 提案システム

この章では、提案システムの目的およびシステムの概要、期待される効果について述べる。提案システムの目的では本研究での実装およびユースケースにおいて必要となる条件について述べ、提案システムの概要では具体的な提案内容について述べる。期待される効果では、本研究において達成すべき評価項目について述べる。

4.1 提案システムの目的

360 度インターネット生放送におけるコミュニケーションでは、視聴者の行うコメントのほかに、視聴者が撮影範囲内のどの方向を見ているのかという情報が重要になる。現時点において、放送者は各視聴者の視聴方向を知る方法がないため、コメントから推測して放送を行う必要がある。しかし、インターネット生放送において交わされるコメントでは口語的な表現が多用され、主語や目的語、述語などが省略されたコメントが多く見られる。このような口語的表現は Grounding [10] というコミュニケーションの過程によって発生する。Grounding とは対話の中でコミュニケーションの前提となる互いの共通基盤を形成していく過程の 1 ことを指し、非言語情報も含めた様々な情報を基に話題の中心や現在の状況などを相手が理解していることを互いに確認しあう重要な過程である。円滑なコミュニケーションには、Grounding による共通基盤の形成が重要だが、放送者は視聴者とのコミュニケーションはコメントによる文字情報に限られる。放送者が視聴者との共通基盤を形成することできないまま、コミュニケーションを行うことでコミュニケーションエラーが発生してしまう。コメントに加えて POV を提示することで共通基盤を形成するための手がかりが増えコミュニケーションエラーを低減させることができる。放送者は複数人の視聴者と並列でコミュニケーションを行っているため、複数のデータを分かりやすく表示する必要がある。この点について、データ可視化手法の中でも一般的に用いられるヒートマップ [11], [12] を利用することで改善が可能だと考えた。このことからヒートマップを用いた可視化手法を用いた POV 提示を行うことで、課題を解決することができると思った。また、遠隔コミュニケーションシステムにおける口語的な表現や指示語の使用

はこれまでの研究でも多数報告されている [13], [14], [15]。遠隔の環境で指示やリクエストを行うという点とシステムのインタフェースが類似していることから、同様の現象が 360 度インターネット生放送においても発生することが予想される。このことから、提案システムでは複数視聴者の POV を放送者に対して、1 度に把握できる表示方法により提示する必要がある。提案システムでは、リアルタイムなコミュニケーションを妨げることなく、複数視聴者の POV を 1 度に提示、放送者に把握してもらうことを目的とする。

4.2 提案システムの概要

360 度インターネット生放送における、視聴者の POV を放送者に可視化し提示する、POV ヒートマップについて説明する。POV ヒートマップは、視聴者の POV を収集、集計して全方位カメラを中心とした仮想球体の表面にヒートマップとして表示することで、POV の粗密を可視化する。POV ヒートマップのモデルを図 1 に、POV ヒートマップの表示例を図 2 に示す。

球体状のヒートマップは新しい概念で、既存の手法にはない利点を持っている。それは、球体状ヒートマップを用いることで 3 次元空間上における特定の座標を中心とした複数のベクトルに重み付けを行いながら可視化することが可能である点である。その結果、平面で表示する方法に比べ、歪みの少ない表現が可能になる。入力データとして視聴者の POV をベクトルとして与えることで、全方位カメ

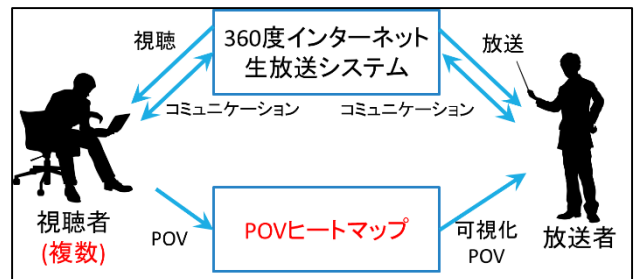


図 1 POV ヒートマップのモデル
Fig. 1 The model of POV Heat Map.



図 2 スマートフォンを用いた POV ヒートマップの表示例
Fig. 2 The example of POV Heat Map using smartphone.

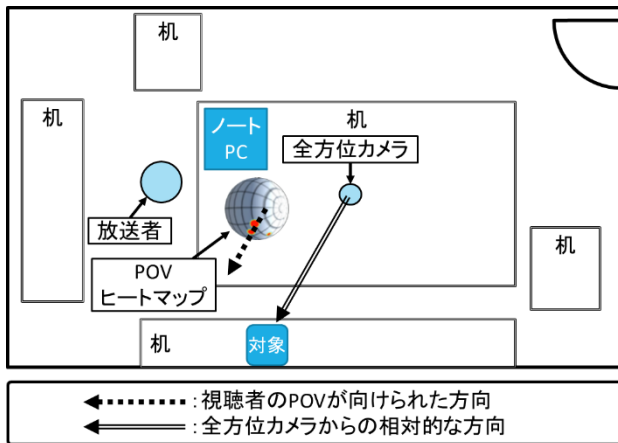


図 3 POV ヒートマップと現実空間の対応

Fig. 3 Corresponding of POV Heat Map and a real space.

ラを中心とした視聴者の POV を可視化できる。図 3 に POV ヒートマップの表示と現実空間の対応を示す。図中の点線矢印で示す方向は視聴者の POV が向けられた方向である。二重線矢印で示す方向は全方位カメラからの相対的な方向である。今回の想定環境は 7m 四方程度の大きさの室内において、部屋中央に全方位カメラを設置しての利用であり、放送者から壁までの距離は 4m 前後である。POV ヒートマップと全方位カメラは 60cm 程度までの距離を想定している。使用方法として、放送者は POV ヒートマップを確認して、視聴者 POV の集中を把握する。その後、放送者は球体を中心としたヒートマップの表示方向に目を向けることで、視聴者が撮影範囲のうち何に興味や関心を向けているのかを確認する。この際、方向提示の始点が異なるため、POV ヒートマップと全方位カメラの距離に等しい 60cm 程度の差異が発生する。人間が眼球運動のみで無理なく情報を受容できる有効視野は 30 度といわれているため [16]、放送者から壁までの距離が約 4m とすると、壁際での有効視野の範囲は水平方向約 1m となる。そのため、60cm ほどの差異であれば、対象物の存在する方向を放送者の有効視野の境界付近にとらえることが可能であり、放送者自身での補正が可能である。

球体状ディスプレイを用いた遠隔コミュニケーションに関する研究 [17], [18], [19] において、球体状のディスプレイの方が、曲面を利用するため距離感や方向といった実空間上の情報を明確に提示でき、直観的に空間の把握が可能になる効果が示されている。このことから、我々は球体状の表示方法を用いることとした。ユースケースで想定している放送者が球体状ディスプレイのような特殊な機材を用意することは困難であるため、球体状ディスプレイと同様の効果を得るためには AR 機能などの利用が必要になる。

また、POV はシステム上の視聴方向を表現する情報であるため、視聴者が視聴する映像の中心がどこに向けられているかを示している。そのため、視聴者が映像の中央以外

を注視している場合は POV と対象物の方向にズレが発生する可能性がある。一方で、放送者は従来のインターネット生放送において、カメラが持つ単一のレンズ方向のみで視聴者の視聴可能な範囲を把握しており、POV の提示でも同様の効果が得られると考えられる。そのため、POV の提示のみを本研究では扱うこととし、放送者が視聴者の正確な視聴方向を厳密に把握可能にすることについては研究の目的としない。

4.3 球体状ヒートマップと AR を用いた実装の利点

提案システムの検討にあたり、POV 提示にはいくつかの方法があげられる。まずは、レーザーポインタなどを用いた物理的な方向の提示である。この方法は POV の提示に特殊な機材を必要とする。今回のユースケースでは、特殊な機材を持たないユーザを対象としているため、物理的な提示手法は利用が困難である。次に、全方位カメラで撮影する映像をエクイレクタングラ形式のような平面状にし、POV を重畳表示する方法である。これまでに行われた全方位映像の分析に関する取り組み^{*7,*8}ではこの方式が採用されている。しかし、これらの取り組みはオンデマンド形式の動画に対して事後的に用いられるものであり、リアルタイムに利用することは想定されていないため、コミュニケーションへの利用には課題がある。コミュニケーションにおいて、指示詞などを用いた表現は直示と呼ばれる [20]。省略や言い換えをされた言葉を補完し、コミュニケーション相手の示す対象を確認する過程を照応と呼び、物に対しては指差しや触れることで行う。360 度インターネット生放送のコメントで直示表現が用いられた場合視聴者は放送者が照応を行動として行うことを期待するため、放送者は周囲の対象物に対してインタラクションを行う必要がある。このとき、平面映像に POV を重畳表示する方法では、実空間上の対象物の位置や方向を表現することができない。球体状ヒートマップは AR 機能によって実装することで、実空間上での方向を立体的に表現することができるため、関連研究にあげられた球体状ディスプレイと同様の効果等特殊な機材を必要とすることなく得ることが可能になる。

また、事前に行った 360 度インターネット生放送のテスト放送において、放送者がカメラの周囲を移動して室内の対象物にインタラクションする様子が確認できた。これは、従来の放送形態のようにカメラ画角を気にする必要がなくなったためである。そのため、AR によって表現する球体状ヒートマップは様々な方向から確認されることが予想され、立体的な表現が望ましいと考えられる。

4.4 期待される効果

提案システムにより期待される効果は 2 点ある。1 点目は、視聴者のコメントに対する補完と理解にかかる時間の

短縮と正確性の向上である。POVを付加することで、放送者は視聴者が何に関心を示しているのかを確認しながら視聴者のコメントを受け取ることができる。これにより、指示代名詞や省略を含むコメントであっても、その発言の意図や話題の中心が何かを把握できる。2点目はPOVを必要とするコミュニケーションの円滑化である。ヒートマップ表示を用いているため、多数の視聴者が関心を示している方向や少数の視聴者が関心を示している方向を直観的に理解することができる。そのため、放送者は注目などを指示した際に視聴者のうちの程度が指示に従っているかを球体状ヒートマップにより把握できる。また、例として視聴者からのコメントで現実空間の対象物をより近くで見たいとリクエストされた場合、放送者は視聴者に代わって対象物をカメラに近づける必要がある。現実空間の対象物にインタラクションする必要がある場合、ARで表示された方向を確認するだけで現実空間上の位置を把握することができる。平面映像を用いる手法と比較し、実空間における方向を直接表示できるため、放送空間に対しての慣れや把握が不要になる。また、今回は放送者にのみPOVヒートマップを提示した場合の影響を調査しており、視聴者に大きな影響を与えないと考えられるが、視聴者に対してPOVヒートマップを提示した場合、視聴者間でのコミュニケーションを円滑化する効果が期待できる。

5. システム実装

ここでは360度インターネット生放送システムとPOVヒートマップの実装について述べる。本研究におけるシステムの構成要素は、360度インターネット生放送システムとPOVを収集するPOVサーバ、POVヒートマップの3つである。システムの構成を図4に示す。まず、360度インターネット生放送システムについて述べ、POVサーバとPOVヒートマップについて説明する。

5.1 360度インターネット生放送システム

本研究では、既存の360度インターネット生放送サービスの利用やシステムの独自開発などを検討した。その結果、コードの変更や機能追加などが容易に行えることから、360度インターネット生放送システムを構築、使用した。

動画配信・共有サービスで進められているHTML5対応に合わせ、本研究においてもHTML5で再生可能なWebRTC技術を採用し、WebRTCの動画配信に対応したKurento Media Server^{*9}を利用した実装を行った。WebRTCはリアルタイムコミュニケーションに必要な音声、映像の配信やファイル共有などの機能を、プラグインを必要とせずに行うためのAPIで、特別なソフトウェアのインストールなどが不要なことから、ユーザが容易に利用できる。

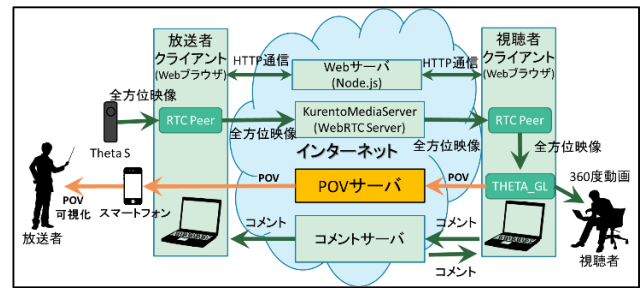


図4 360度インターネット生放送システムの構成図

Fig. 4 The diagram of system configuration.

また、360度動画の再生に関しては、Theta_GL^{*10}というライブラリを使用した。THETA_GLは、THETA Sで撮影されたDual Fisheye映像をWebGLの3D空間における球体表面にマッピングすることで、360度動画としてWebブラウザ上で再生することができる。再生する映像のソースをWebRTCサーバから取得することで、インターネット生放送にも対応することができる。Theta_GLでは、WebGLの3D空間上に球体オブジェクトとカメラを設定している。球体の内側表面には360度動画の映像がマッピングされており、球体の中心点にカメラ位置が設定されている。カメラの方向は球体表面の座標を表現するために一般的に使用される極座標系によって示されており、2つの偏角変数 φ 、 θ と球体半径 z の3つの変数を組み合わせた (φ, θ, z) の形式で定義される。

本研究では、360動画を再生しているプレイヤーから視聴者のPOVを (φ, θ) の座標として取得し、POVを集計するPOVサーバに送信するようにした。POVは視聴者クライアントで読み込んだTheta_GL内でカメラ操作の変数として管理されている座標情報を取得しており、100ミリ秒ごとに取得と送信が実行される。POVサーバで集計されたPOVはヒートマップを作成するための点座標および半径、強度の情報に変換される。また、POVをインターネット生放送の映像や音声と対応付けるために、POVに対し、その情報を取得した時間の時刻情報を付与して送信することとした。Webサーバの実装ではnode.js^{*11}、通信部分の実装に関してはSocket.io^{*12}を使用した。

5.2 POVサーバ

POVサーバの役割は、複数の視聴者クライアントから送信されてくるPOVを集計し、ヒートマップ作成用の情報に変換することである。3D空間におけるヒートマップ作成には、熱を持つ点の座標 (x, y, z) および点が影響を及ぼす範囲(点からの半径)、点が持つ熱量の情報が必要になる。今回の実装において、視聴者は全員同じ条件で視聴

^{*10} Theta_GL, https://github.com/mganeko/THETA_GL (参照 2020-07-23).

^{*11} Node.js, <https://nodejs.org/ja/> (参照 2020-07-23).

^{*12} Socket.io, <https://socket.io/> (参照 2020-07-23).

^{*9} Kurento, <http://www.kurento.org/> (参照 2020-07-23).

を行うこととし、放送者も視聴者を平等に扱うこととしたため、点の持つ熱量は等倍とした。今回、POV が持つ影響範囲については視聴者のカメラ画角が 75 度に設定されているため、視聴可能範囲と人間の視覚特性を基に決定した。今回視聴者が使用するディスプレイのサイズとインタフェースの表示から視聴者が注視できる範囲が水平方向 20 度分の範囲であることが確認できたため、この範囲に等しい影響範囲を設定している。また、熱量に関しては既存のヒートマップ生成手法に倣い [11], [21], POV の重複度合いととどまっている時間による累積を基に算出される。POV サーバでは、送られてきた WebGL 空間上の極座標情報 (φ, θ) から POV ヒートマップアプリケーションの球体状ヒートマップにおける表面の座標 (x, y, z) を算出し、そのリストを保持する。リストは POV (時間, 偏角変数 Φ , 偏角変数 θ , ユーザ ID) を格納するクラスを 2 次元配列化したもので、視聴者 1 人あたり 60 秒分の POV を保持することができる。このとき、リアルタイム性を意識し、受信から 60 秒が経過した POV は新しい POV で上書きされる。POV サーバが POV ヒートマップのスマートフォンアプリからのリクエストを受信すると、POV ヒートマップのスマートフォンアプリ用に変換した POV に関する情報のリストをアプリに対して送信する。この時情報は 3 次元座標 (x, y, z) と影響半径 (r), 重みづけ (w), タイムスタンプ (t) によって構成されるデータフォーマット (x, y, z, r, w, t) としてリスト化している。

5.3 POV ヒートマップ

POV ヒートマップを実装するうえで、球体や半球、円筒状のディスプレイ、複数のプロジェクタを使用した投影など様々な手法が考えられる。しかし、これらの手法では使用する機材が特殊かつ高価であり、個人ユーザが放送を行う場合には入手が困難である。また、専門知識のない個人ユーザがキャリブレーションを容易に行うためには、前述のキャリブレーション方法が最も現実的であると考えた。そこで、本研究では Android 用 AR アプリとして実装することとした。これは、Android 端末は放送者が一般的に持ち得るデバイスであり、キャリブレーションに必要な AR 機能を容易に実装できるからである。POV ヒートマップは、放送者が PC で放送者クライアントを用いて放送の開始操作と終了操作を行い、手元でアプリによって視聴者の POV とコメントを確認する利用方法を想定している。

POV ヒートマップでは、POV サーバから受信したリストをもとにヒートマップデータを作成し、放送者に対する可視化を行う。アプリの実装は Unity を用いて行っており、ヒートマップの作成にはシェーダを用いた方式^{*13}を使

用した。この方式では、3D 空間上における中心座標と半径、熱量のデータリストから透明な球体を複数配置する。シェーダを設定したオブジェクトが配置した透明球体と重なった場合、オブジェクト表面に緑から赤までのカラースケールでヒートマップが表示される。POV ヒートマップの実装では、球体の位置関係を分かりやすくするために、白い背景に黒い直線を複数描いた画像をマッピングした球体オブジェクトを用意した。この球体オブジェクトには、シェーダを適用した一回り大きい透明な球体が重ねてあり、ヒートマップがベースとなる球体の表面に表示されるようにした。POV ヒートマップアプリでは、POV サーバに対し 1 秒に 1 回のペースでリクエストを行い、POV の座標リストを更新していく。シェーダを用いて実装しているため、リストが更新されると即座に球表面にヒートマップとして反映され、視聴者の POV をリアルタイムに可視化できる。また、視聴者がコメントを送信した際は、送信時に POV が向けていた部分を始点にしてアプリ内でユーザ名とコメントが表示される。各ヒートマップデータにはユーザ名を示すアノテーションを付加していないため、コメントを送信していないタイミングでは視聴者の POV は区別されない。

視聴者が視聴する映像はインターネットブラウザを用いて視聴する都合上、WebGL 空間上の仮想球体にマッピングされたもので、球体状ヒートマップに入力されるベクトル情報も WebGL 空間における座標をもとに取得される。しかし、放送者が POV ヒートマップを確認する際に WebGL 空間上の座標と現実空間の座標がどのように対応するのか分からなければ、POV ヒートマップによって可視化された POV が実際に何に向けられているのかを把握することができない。本研究では、キャリブレーションのための AR 機能実装に Vuforia^{*14}を用いた。Vuforia は AR マーカに使用したい画像を Web 上から登録しておくことで認証キーを入力したアプリで AR 機能を容易に実装することができる。POV ヒートマップアプリを起動すると、カメラが起動して AR 表示を行う状態になる。この状態でカメラの撮影範囲に登録したマーカを設置することで AR マーカ上に AR オブジェクトが表示される。キャリブレーションは AR マーカを水平方向に回転させることで行うことができる。キャリブレーション時の基準方向を表現するために、POV ヒートマップは基準矢印を表示しており、POV ヒートマップの基準方向と全方位カメラの基準方向が一致することでキャリブレーションは完了する。キャリブレーションを行うことで、現実空間上に視聴者の POV がどの方向に向けられているのかを提示することが可能になる。

POV ヒートマップは立体表示を行っているため、1 方向から確認した場合背面範囲の確認が困難であるという課題

^{*13} Arrays & shaders: heatmaps in Unity, <http://www.alanzucconi.com/2016/01/27/arrays-shaders-heatmaps-in-unity3d/> (参照 2020-07-23).

^{*14} Vuforia | Augmented Reality, <https://www.vuforia.com/> (参照 2020-07-23).

がある。そこで、スマートフォンの特徴であるタッチパネルを用いた回転機能を実装した。回転操作にはスワイプ操作を用いており、指を画面に当ててから離すまでの間だけ回転するようにした。回転中にどの程度の回転をしている状態なのかを確認できるようにするため、球体の中心に、X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸をそれぞれ赤、緑、青の線で示すマーカを設置した。これは 3D モデリングソフトウェアで見られる手法に倣ったものである。指を画面から離れた時点で回転はリセットされ、WebGL 空間と現実空間の座標が同期状態に戻る。キャリブレーションを行った状態を崩すことなく、AR オブジェクトの背面が確認できる。

6. 評価

実装した POV ヒートマップを用いて、放送者と視聴者の間で行われるコミュニケーションの円滑化を行うことができるかを評価するために実験を行った。ここでは、実施した評価実験の目的と概要、その結果について述べる

6.1 評価実験の目的

評価実験の目的は、POV ヒートマップを用いた POV 提示による効果の検証である。期待される効果は、コミュニケーションエラーの減少、視聴者のコメントに対する理解度の向上、視聴者のコメントに対する理解にかかる時間の短縮、注目指示後の発言までの待機時間減少である。評価実験では、放送者と視聴者間でのコミュニケーションにおける応答や次の発言までの時間の計測と、アンケートによるコメント伝達精度に関する主観評価を行うことにした。時間計測を用いた実験手法は Web ページ上の注視対象の分析に使用されている [22]。特定の要素に対する気づきにかかる時間を計測することで、システムで意図した情報の提示がどの程度有効かを評価できる。今回の実験における特定の要素とは POV ヒートマップによる視聴者の POV 提示である。時間の計測により、コメントの補完と理解にかかる時間と、POV のヒートマップによる提示の影響の関係性を示す。

6.2 評価実験の概要

評価実験は大学研究室で、計 4 回実施した。評価実験の協力者は各回 6 人の計 24 人で、放送者 1 人、視聴者 5 人に分けて実装したインターネット生放送システムを使用しての放送を実施した。視聴者数はユースケースにおける視聴者数の中央値である 5 人を設定した。放送は放送者と視聴者は別室で実験に参加することとし、放送者が放送を行う部屋と視聴者 5 人が視聴のために使う部屋の 2 部屋を用意した。視聴者は相互の影響を減らすためお互いの画面が見えない位置で放送を視聴した。視聴者は映像と音声、視聴者から送信されたコメントを視聴者用のインタフェースを用いて確認することができるが、POV に関する情報は確



図 5 放送用共通インタフェース

Fig. 5 The diagram of interface for broadcasting.

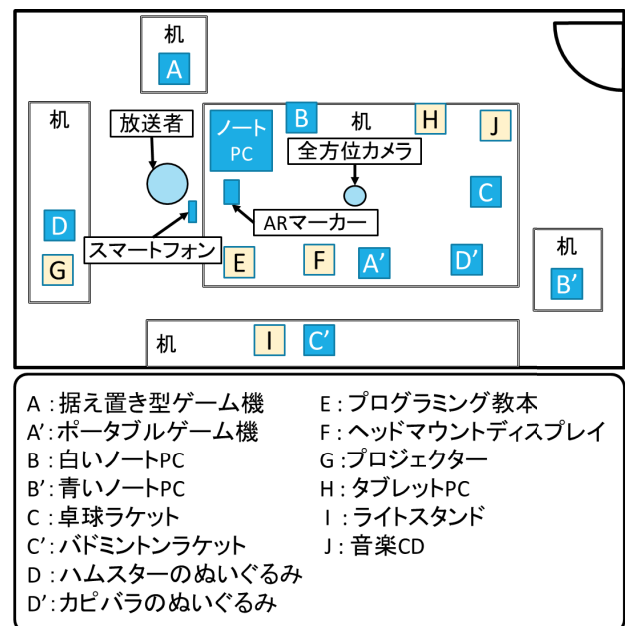


図 6 設置物の配置図

Fig. 6 The deployment diagram of items.

認することができない状態である。放送者はこれらの情報に加えて POV ヒートマップを用いた場合のみ POV に関する情報をシステムから提示される。実験において、視聴者と放送者は共通の放送インタフェースを利用している。図 5 に使用したインタフェースを示す。

室内にはあらかじめ次のような設置物を用意した。「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を 2 つずつ、それぞれの設置物が同時に放送者の視界に入らないように配置した。「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、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。設置物と放送者の位置関係を図 6 に示す。放送者が放送を行う部屋は 7m 四方で、中央に 3m 四方の机が設置されている。放送者の正面には手前から順に AR マーカ、ノートパソコン、全方位カメラが設置されており、POV ヒートマップを表示するためのスマートフォンも用意してある。図 2 はスマートフォンを

表 1 評価項目と評価方法

Table 1 Evaluation items and methods.

評価対象	評価項目	評価方法	対応する仮説
視聴者から放送者	視聴者のコメントから応答までの時間	ログを基に計測	視線情報を可視化することで視聴者からのコメントを理解しやすくなる
	視聴者のコメントへの理解度	アンケート(主観評価)	
放送者から視聴者	放送者からの指示から次の発言までの時間	ログを基に計測	視聴者の視線情報を可視化することで放送者の指示への反応を容易に確認できる
	指示後の発言タイミングがどの程度揃ったか	アンケート(主観評価)	
放送に対する満足度	放送に対する視聴者の満足度	アンケート(主観評価)	視線情報でコミュニケーションを支援することで放送に対する満足度を向上できる

表 2 指定コメントの一覧

Table 2 List of specified comments.

放送区分	対象	コメント内容
POV ヒートマップなし	据え置き型ゲーム機	このゲーム機では何のソフトができるの？
	卓球ラケット	このラケットはどこで買ったの？
	ハムスターのぬいぐるみ	このぬいぐるみは何の動物？
	白いノートパソコン	このノートパソコンって新しい奴？
POV ヒートマップあり	青いノートパソコン	このノートパソコンって軽い奴？
	ポータブルゲーム機	ここにゲーム機あるけど、好きなジャンルって何？
	バドミントンラケット	このラケットって何のやつ？
	カピバラのぬいぐるみ	このぬいぐるみってどこで売ってるの？

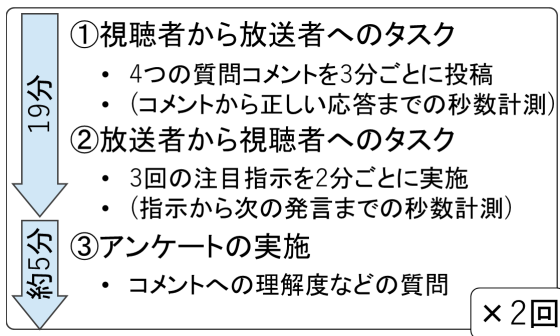


図 7 実験の手順

Fig. 7 The diagram of experiment flow.

用いた POV ヒートマップの表示例である。AR マーカのサイズは 8.8 cm × 6.3 cm で、全方位カメラとの距離は約 40 cm である。

評価実験では、放送者と視聴者の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して POV ヒートマップが与える影響の評価項目を用意した。評価項目とその評価方法の一覧を表 1 に示す。それぞれの評価項目を用いて、POV ヒートマップによる視聴者からのコメントに対する理解度の向上、視聴者からのコメントに対する理解にかかる時間の短縮、注目指示後の発言までの待機時間減少を評価した。

今回の実験の手順を図 7 に示す。放送時間は 1 回あたり 19 分で、POV ヒートマップの提示を行う放送と POV ヒートマップの提示を行わない放送の 2 セットを行う。各放送が終わるたびにアンケートによる調査を実施した。放送内容はあらかじめ室内に用意した設置物に関する視聴者との雑談である。視聴者は放送中自由にコメントを投稿し、放送者とのコミュニケーションを行うことができる。また、放送者に関しても投稿されたコメントはすべて読み上げるといふ指示以外には発言に関する制限を設けていない。また、POV ヒートマップに関しての情報は放送者にも提示し、視聴者には POV が放送者側に提示されていることや、2 回のうちどちらが提案システムを用いたものであるかは伝えていない。放送では、はじめに 1 分の操作確認時間を用意し、放送者から視聴者に対して放送に関する注意事項や POV の変更方法について説明を実施した。操作確認時間が終了したら視聴者から放送者へのコミュニ

ケーションタスクを実施する。操作確認時間が終了したタイミングで、指定された視聴者は指定コメントを投稿する。以降は 3 分ごとに異なる視聴者が指定のコメントを投稿する。放送者は視聴者からのコメントを基に雑談を行う。4 つの指定コメント投稿とコメントに対する雑談が終了したら、放送者から視聴者へのコミュニケーションタスクを実施する。放送者は室内の指定された設置物に対する注目を視聴者に指示し、視聴者の POV が集中したと感じた時点で対象物に関する雑談を 2 分程度行う。これを 3 回実施したら放送を終了する。

視聴者から放送者へのコミュニケーションの分析では、2 つずつ用意した設置物 4 種類に関する指定のコメントを投稿している。評価で使用した指定コメントの一覧と対象を表 2 に示す。時間計測はコメントが投稿されてから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を計測する。放送後のアンケートではコメントがどの程度正しく伝わった、または理解できたと感じたかを、視聴者と放送者それぞれ主観評価を実施した。

放送者から視聴者へのコミュニケーションの分析では、6 種類の設置物のうち指定した 1 つに対しての注目を放送者が視聴者に指示する。視聴者の注目が集まったと感じた時点で対象物についての雑談を行った。また、視聴者には放送者が実施する注目指示についての事前説明は行わなかった。時間計測は、放送者の注目指示から次の発言までの時間を計測した。アンケートでは放送者が話し始めるタイミングがどの程度早いまたは遅いと感じたかを視聴者に聞いた。放送者に対してはどの程度話始めるタイミングをつかめたかを聞いた。

実験では、この放送手順で POV ヒートマップを用いた放送と用いない放送のそれぞれを 1 回ずつ、計 2 回実施した。また、2 回目の放送では先に行った放送により放送の進行や視聴者の発言の理解に一定レベルでの慣れが発生し、放送におけるコミュニケーションが POV の有無に関係なく円滑に行われる可能性があるため、POV ヒートマップ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。前半の 2 回が POV ヒート

マップを用いた放送を後に行ったものであり、後半の2回がPOVヒートマップを用いた放送を先に行ったものである。また、システム提示の有無を視聴者に提示した場合、社会的なバイアスが発生する可能性があるため、アンケート内では先に実施する放送を放送A、後に実施する放送を放送Bと表現しており、アンケートへの回答は各放送終了直後にそれぞれ実施した。

6.3 評価実験の結果

ここでは評価実験の結果について、放送者から視聴者へのコミュニケーションの結果、視聴者から放送者へのコミュニケーションの結果、提案システムの提示有無の比較結果の順で結果を述べる。本研究では実験で得られたデータを統計分析するために、Mann-WhitneyのU検定を実施して提案システムを用いた放送と用いていない放送のデータを比較している。また、有意水準に関しては、評価実験での各放送の質が異なるCGMの特性とサンプル数が少ないことから5%の水準での検定を行うこととした。

6.3.1 放送者から視聴者へのコミュニケーションの結果

放送者から視聴者へのコミュニケーションでは、注目指示から次の発言までの時間を計測するとともに、放送者に対して発言タイミングがどの程度つかめたかについて5段階のアンケート評価を実施した。表3は実施した4回の放送実験において放送者が視聴者に対して注目指示を行ってから次の発言までの待機時間を示したものである。注目指示から次の発言までの待機時間はU値が $44.0 > 37$ (5%棄却限界)となり、その後のz検定についてもP値が $0.106 > 0.05$ となったため有意差が確認できなかった。表4は放送者に対する5段階評価のアンケート結果をまとめたもので、表中の括弧内に示した数字は5段階評価における評価点である。注目指示後の発言タイミングのつかみやすさに関する5段階評価はU値が $1.0 > 0.0$ (5%棄却限界)となったが、その後のz検定についてはP値が $0.001 < 0.05$ となったため有意差が確認できた。また、視聴者に対しては放送者の発言タイミングが早いまたは遅いと感じたかについて「早い(1)、少し早い(2)、適切(3)、少し遅い(4)、遅い(5)」の5段階によるアンケート評価を実施した。視聴者に対するアンケートは最も評価点の高い、適切(3)に対する絶対値を基に表5を作成した。U値が $7.5 > 0.0$ (5%棄却限界)となったが、その後のz検定についてはP値が $0.312 < 0.05$ となったため有意差が確認できなかった。

時間の計測結果について、POVヒートマップを用いた放送と用いていない放送それぞれで得られたデータ群をU検定によって分析したところ、計測結果に有意差が見られなかった。POVヒートマップを用いて注目状況を確認しながら待機した放送では待機時間が平均16.67秒であるのに対し、POVヒートマップを用いていない放送では平均

表3 待機時間の計測結果

Table 3 Measurement results of standby time.

対象	注目の対象物	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目	対象平均	全体平均
POVヒートマップなし	設置物H	33秒	35秒	14秒	10秒	23秒	23.167秒
	設置物I	26秒	22秒	36秒	22秒	26.5秒	
	設置物E	34秒	16秒	12秒	18秒	20秒	
POVヒートマップあり	設置物J	10秒	18秒	24秒	22秒	18.5秒	16.67秒
	設置物G	23秒	15秒	20秒	20秒	19.5秒	
	設置物F	12秒	11秒	13秒	12秒	12秒	

表4 放送者に対する発言タイミングのアンケート結果

Table 4 Results of questionnaires on the timing of talking to the broadcaster.

対象	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目
POVヒートマップなし	つかめなかった (5段階評価: 1)	どちらともいえない (5段階評価: 3)	つかめなかった (5段階評価: 1)	少しつかめた (5段階評価: 4)
POVヒートマップあり	少しつかめた (5段階評価: 4)	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)

表5 視聴者に対する発言タイミングのアンケート結果

Table 5 Results of questionnaires on the timing of talking to viewers.

対象	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目	全体平均
POVヒートマップなし	3.2 (+0.2)	3.4 (+0.4)	2.6 (-0.4)	2.8 (-0.2)	3.0
POVヒートマップあり	3.4 (+0.4)	2.8 (-0.2)	2.6 (-0.4)	3.0 (±0)	2.95
絶対値差分	-0.2	+0.2	±0	+0.2	+0.05

23.167秒であることが確認された。また、視聴者へのアンケートの結果から視聴者はPOVヒートマップの有無による待機時間の変化に対して遅いまたは早いと感じていないということが分かった。放送者へのアンケートの結果において、POVヒートマップを用いた放送の方が、どの放送者についても発言タイミングがつかみやすかったと回答していた。また、U検定によって有意差が確認されたことから、放送者は注目指示後の発言タイミングをつかむ手がかかりとしてPOVヒートマップが活用できていることが分かった。これらの結果から、放送者は注目指示後の発言タイミングをつかむための手がかかりとしてPOVヒートマップを利用できることが分かった。

6.3.2 視聴者から放送者へのコミュニケーションの結果

視聴者から放送者へのコミュニケーションでは、放送者が視聴者からの指定コメントを受けてからコメントに対しての正しい応答を行うまでの時間を計測した。その他、特定のコメントに対してどの程度理解できたか、伝わったと感じたかについて5段階のアンケート評価を放送者と視聴者に実施した。表6は4回の放送実験において、視聴者から特定の設置物に対するコメントが投稿されてから、放送者が正しい設置物に関する応答を返すまでの時間を計測した結果である。応答時間についてU検定を実施した結果、

表 6 応答までの時間の計測結果

Table 6 Measurement results of response time.

対象	対象物	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目	対象平均	放送平均
POVヒートマップなし	設置物A	21秒	22秒	6秒	24秒	18.25秒	20.875秒
	設置物C	9秒	39秒	13秒	26秒	21.75秒	
	設置物D	43秒	33秒	12秒	19秒	26.75秒	
	設置物B	4秒	24秒	19秒	20秒	16.75秒	
POVヒートマップあり	設置物B'	45秒	39秒	46秒	38秒	42秒	30.875秒
	設置物A'	29秒	26秒	29秒	16秒	25秒	
	設置物C'	35秒	32秒	24秒	32秒	30.75秒	
	設置物D'	29秒	33秒	13秒	28秒	25.75秒	

表 7 放送者に対するコメント理解度のアンケート結果

Table 7 Results of questionnaires on comment comprehension degree to the broadcaster.

対象	実験	設置物A	設置物C	設置物D	設置物B	実験平均	全体平均
POVヒートマップなし	1回目	1	2	1	3	1.75	2.8125
	2回目	3	3	3	2	2.75	
	3回目	1	2	3	2	2.0	
	4回目	4	5	5	5	4.75	
POVヒートマップあり	1回目	1	4	4	3	3.0	3.5625
	2回目	5	3	2	3	3.25	
	3回目	4	4	5	3	4.0	
	4回目	5	4	4	3	4.0	

表 8 視聴者に対するコメント伝達度のアンケート結果

Table 8 Results of questionnaires on the degree of comment transmission to viewers.

対象	実験	設置物A	設置物C	設置物D	設置物B	実験平均	全体平均
POVヒートマップなし	1回目	3.8	3.4	4.0	3	3.55	3.6625
	2回目	3.2	4.2	3.8	4.2	3.85	
	3回目	3.2	4.0	3.6	4.0	3.7	
	4回目	3.0	3.6	3.8	3.8	3.55	
POVヒートマップあり	1回目	3.8	4.4	4.0	3.6	3.95	3.8875
	2回目	4.2	3.8	4.4	4.6	4.25	
	3回目	3.4	3.8	4.8	3.2	3.8	
	4回目	2.4	5.0	3.4	3.4	3.55	

U 値が $57.0 < 75$ (5%棄却限界) となり、その後の z 検定についても P 値が $0.007 < 0.05$ となったため有意差が確認できた。表 7 は放送者に対する 5 段階評価のアンケート結果をまとめたものである。U 検定を実施した結果、U 値が $83.5.0 > 75$ (5%棄却限界) となり、その後の z 検定についても P 値が $0.093 > 0.05$ となったため有意差が確認できなかった。一方で、P 値の値から有意傾向があると考えられるため、システムの改良により理解度の向上を目指すことは可能だと考えられる。表 8 は視聴者に対する 5 段階評価のアンケート結果をまとめたものである。U 検定を実施した結果、U 値が $99.0 > 75$ (5%棄却限界) となり、その後の z 検定についても P 値が $0.274 > 0.05$ となったため有意差が確認できなかった。

今回の実験では予想に反して POV ヒートマップを用いた放送での計測時間は 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、5%水準での有意差も確認できた。放送者に対して行ったアンケート後のインタビューでは、3 人の放送者が POV ヒートマップの確認に関する負担に言及しており、POV ヒートマップの確認が放送者に対して負担になっている可能性がある。

表 9 放送者に対する 2 回の放送の主観による比較結果

Table 9 Questionnaire on comparison of broadcasting to the broadcaster.

対象	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目
放送者	どちらかといえばあり (5段階評価: 4)	どちらかといえばあり (5段階評価: 4)	どちらともいえない (5段階評価: 3)	どちらかといえばあり (5段階評価: 4)

表 10 視聴者に対する 2 回の放送の主観による比較結果

Table 10 Questionnaire on comparison of broadcasting to viewers.

対象	実験1回目	実験2回目	実験3回目	実験4回目	全体
POVヒートマップなし	1人	2人	2人	2人	7人
POVヒートマップあり	4人	2人	2人	0人	8人
どちらともいえない	0人	1人	1人	3人	5人

る。また、放送者に対するアンケートの結果と視聴者に対するアンケートの結果ではともに POV ヒートマップを用いた放送のほうが評価点は高いものの、U 検定による有意差は確認できなかった。これらの結果から、コメントの伝達精度を向上させる傾向は示唆されたものの、現状のシステムでは表示の確認が放送者に対して負担になってしまっている可能性が考えられる。POV ヒートマップの表示方法や操作性を改良し、確認にかかる時間を短縮することができれば、この点についても解決できる可能性がある。

6.3.3 実施した 2 回の放送の比較

放送者には、POV ヒートマップを用いた放送と用いてい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とりやすかったかを「POV ヒートマップありの放送、どちらかといえば POV ヒートマップありの放送、どちらともいえない、どちらかといえば POV ヒートマップなしの放送、POV ヒートマップなしの放送」の 5 段階でのアンケート回答を求めた。放送者の主観による 5 段階評価の結果を表 9 に示す。視聴者に対しては実施した 2 回の放送のうちどちらの放送のほうがコミュニケーションを行いやすいと感じたかを「1 回目の放送、2 回目の放送、どちらともいえない」の 3 択で評価してもらった。視聴者による評価を表 10 に示す。視聴者の主観評価結果において、POV ヒートマップの有無による差はほぼなかった。しかし、放送者の主観評価では POV ヒートマップを用いた放送の方が高い評価点だった。評価の理由について各放送者に尋ねたところ、「注目指示に対する反応を見る際などに有用であった」という意見が多かった。また、どちらともいえないと回答した放送者についても「総当たりで見ているものを探す負担と、POV ヒートマップで探す負担は同程度であった」と POV ヒートマップの確認に対する負担を理由にあげていた。この結果から、POV ヒートマップの有無による影響は視聴者に対しては少ないということが分かった。一方で、放送者は 4 人中 3 人の放送者が POV ヒート

マップを用いた放送の方がコミュニケーションをとりやすいと答えており、残りの1人についてもPOVヒートマップの確認のみを理由にあげており、POVヒートマップがない放送を有利としていないことから、提案システムはコミュニケーションをとりやすくする効果があると考えられる。

7. 考察

放送者から視聴者に対するコミュニケーションの評価では、放送者に対する効果が確認できた。注目指示後の待機時間については有意差が確認できなかったものの、アンケートを用いた主観評価においても放送者が発言タイミングをつかみやすくなっていることが分かった。これは、POVヒートマップを用いることにより、各視聴者のPOVが注目指示を行った設置物に向けられたタイミングを放送者が把握できるようになったためであると考えられる。また、アンケート後のインタビューにおいて、「視聴者がコメントを打つ前にPOVから見ている対象を把握できた」という意見が得られた。放送者は注目指示を行う際以外にもPOVを確認することで、コメントが投稿される前に視聴者の興味を把握できることが分かった。加えて、このことは、コメントを積極的に投稿しない視聴者の興味やニーズも放送内容に反映可能になることにつながる。

視聴者から放送者へのコミュニケーションではPOVヒートマップ確認に対する負担が明らかになった。視聴者からのコメントに対する応答時間について、予測に反して大幅な増加が見られたためである。増加の原因はPOVヒートマップの確認にかかる時間が、トライアンドエラーで設置物を列挙する方法よりも長くなってしまったためだと考えられる。1回目の実験と3回目の実験の計測結果における10秒未満のデータは、放送者が設置物に対して「当てずっぽう」の反応を返した結果、正しい対象物に対する反応であったため発生した。逆に4回目の実験における計測結果では、反応時間には他の実験に比べ大きな増加が見られるが、これは推測が外れたために発生した。それに対し、POVヒートマップを用いた放送全体における計測時間には有意差が見られないことから、視聴者からのコメントを受けてからPOVヒートマップの表示を確認し、応答するまでにかかる時間が一定であることが考えられる。

今回の評価実験で投稿されたコメントについて代表的なものを表11に示す。指定コメント以外にも設置物に対するコメントがPOVヒートマップなしの放送では6回、POVヒートマップありの放送では5回の計11回投稿されており、POVヒートマップを用いていない放送では誤った対象への応答が6回中4回見られた。それに対し、POVヒートマップありの放送では誤った対象への応答は5回中0回だった。指定コメントに対する放送者の理解度については、放送者と視聴者両方において有意差を確認すること

表 11 各評価実験で投稿された主なコメント

Table 11 Part of the comment posted in the experiment.

実験	POVヒートマップなし	POVヒートマップあり
1回目	<ul style="list-style-type: none"> ・反対側ね (ラケットへの応答に対して) ・これつけて放送やろ (ヘッドマウントディスプレイに対して) 	<ul style="list-style-type: none"> ・こういうの家に欲しい (プロジェクターに対して) ・ノートパソコン持っていない (プログラミング環境の話題について)
2回目	<ul style="list-style-type: none"> ・ハムスターのぬいぐるみの隣? (プロジェクターへの応答に対して) ・ノートパソコンの上の方 (ホワイトボードへの落書きに対して) 	<ul style="list-style-type: none"> ・うにtyの教科書やん (プログラム教本に対して) ・こっちのグローブどっち利き? (野球のグローブに対して)
3回目	<ul style="list-style-type: none"> ・演習で使ってるやつだよ (教科書の話題について) ・アンドロ使ってるからなあ (スマートフォンの話題について) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ふれあい動物園でたまに見る (カピバラのぬいぐるみに対して) ・キッチン暗いから似たの使う (電気スタンドの話題について)
4回目	<ul style="list-style-type: none"> ・青いほうです (ノートパソコンに対して) ・これ何に使われる奴なん (電子部品に対して) 	<ul style="list-style-type: none"> ・スマブラ下敷きになってない? (ゲーム機の話題について) ・スポーツ歴をどうぞ (バドミントンの話題について)

ができなかったものの、コミュニケーションエラーについては減少していることが確認できた。

また、2回の放送のうちどちらの方がコミュニケーションをとりやすいかという視聴者への質問について、POVヒートマップを用いていない放送の方をあげる協力者が一定数いた。また、放送者についても4人中1人がPOVヒートマップの確認に対する手間を理由にどちらの放送もコミュニケーションのとりやすさが同程度と回答している。このことから、現状のままでは実用性については課題があると考えられる。評価実験後のインタビューでは、「回転操作が難しい」という意見や、「POVが分散しているときにどのPOVを意識した放送をすればいいかわからなかった」という意見が得られた。このことから、POVヒートマップの回転操作に関する課題とPOVの重みづけに関する課題が明らかになった。これらの課題に対策を行うことで、POVヒートマップ実用性に関する課題を解決できると考える。回転表示の操作性改善については回転速度や回転の向きをオプションから放送者に合わせて変更することができるようにすることが考えられる。また、POVの重みづけへの改善案としては、コメントの投稿頻度やPOVの移動量などから視聴者間に適切な重みづけを算出する手法の検討があげられる。

今回の実験の中で投稿されたコメントでは、指定したコメントのほかにも指示語を用いたコメントや文の一部を省略したコメントなどの口語的表現が複数見られた。これらのコメントは非360度インターネット生放送で使用されていた口語的表現が360度インターネット生放送でも利用されうことを示している。さらに、事前に行った動作検証と評価実験において、視聴者のコメントに対する応答として放送者が移動して周囲の対象物へのインタラクションを行うことも確認できた。従来のインターネット生放送では単一のレンズを持ったカメラを用いていたため、放送者の移動に制限があったが、360度インターネット生放送においてはこの制限がなくなる。これらの従来のインターネット生放送との共通点や差異については、360度インターネット生放送に関する放送者の行動分析につながる知見である。

今後の課題としては、POVの正確性に関する評価や、放送者の設置物に対するインタラクション行動に関する評価があげられる。今回のPOV表示において、全方位カメラとPOVヒートマップの中心が異なることによる誤差は放送者自身で補正した。評価実験前の予備実験などで補正が可能であることが確認できていたが、POVヒートマップの確認時間が増大した原因の1つである可能性もある。将来的には自動でのキャリブレーションを行い、放送者による補正を行うことなく正確なPOVの提示が行えるようにする必要がある。また、今回の評価実験において、視聴者からの設置物に関するコメントに対して、放送者が対象となった設置物を手元に引き寄せて確認する行動が複数回見られた。設置物に対するインタラクション行動についても評価の対象として調査することで、360度インターネット生放送におけるコミュニケーションの特徴を明らかにすることができると思う。また、今回は10人以下の視聴者を対象とした実装であったが、100人以下の規模で利用する場合はコメントの重なりなどの考慮や適切な重みづけの決定などの検討が必要となる。その際には、収益化機能の利用状況やコメントの投稿頻度などの情報を利用することが考えられる。

8. まとめ

本研究ではどうすれば360度インターネット生放送におけるコミュニケーションエラーを減少させることができるかをリサーチクエストとして位置づけている。放送者が視聴者のPOVを把握できるようにすることでコミュニケーションエラーが減らせるのではないかという仮説のもと、POVの提示によるコミュニケーションエラーの減少を検証した。遠隔コミュニケーションにおける視線情報の役割からコミュニケーションエラーの原因を明らかにした。360度インターネット生放送システムとPOVヒートマップの実装を行い、評価実験を実施した。評価実験では、POVヒートマップの有無で2パターンの放送を実施し、放送者と視聴者が行うコミュニケーションを時間計測とアンケートによる主観評価、追加のインタビューにより分析した。評価の結果、コミュニケーションエラーについては減少が確認できた。一方でPOVヒートマップの確認に対する負担が指摘されており、実用的なシステムとして活用するためにはシステムの改良が必要になることは分かった。今後の課題として、POVヒートマップの回転機能の改善や、POVへの適正な重みづけの設定方法の検討が必要になる。また、今回設定したユースケースは360度インターネット生放送における限定的なものであるため、異なるユースケースに対して提案システムが適用可能か、適用する場合に必要な機能や技術は何かについても調査が必要である。

参考文献

- [1] Vertegaal, R.: The GAZE groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration, *CHI '99, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.294–301 (1999).
- [2] Grayson, D.M. and Monk, A.F.: Are you looking at me? Eye contact and desktop video conferencing, *ACM Trans. Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol.10, No.3, pp.221–243 (2003).
- [3] 津田 侑, 上原哲太郎, 森村吉貴, 森 幹彦, 喜多 一: インターネット生放送におけるユーザの活動の分析, システム制御情報学会論文誌, Vol.28, No.10, pp.407–418 (2015).
- [4] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact, *CHI '92, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.525–532 (1992).
- [5] Otsuki, M., Kawano, T., Maruyama, K., Kuzuoka, H. and Suzuki, Y.: ThirdEye: Simple Add-on Display to Represent Remote Participant's Gaze Direction in Video Communication, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.5307–5312 (2017).
- [6] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K. and Mitsuishi, M.: GestureMan: a mobile robot that embodies a remote instructor's actions, *Proc. 2000 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp.155–162 (2000).
- [7] Kohei, M., Sumi, Y. and Gompei, T.: Embodiment of guidance robot encourages conversation among visitors, *Journal of Information Processing*, Vol.25, pp.352–360 (2017).
- [8] D'Angelo, S. and Gergle, D.: Gazed and confused: Understanding and designing shared gaze for remote collaboration, *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2492–2496 (2016).
- [9] Cornell, B.X., Ellis, J. and Erickson, T.: Attention from Afar: Simulating the Gazes of Remote Participants in Hybrid Meetings, *DIS '17, Proc. 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, pp.101–113 (2017).
- [10] Clark, H.H. and Brennan, S.E.: Grounding in communication, *Perspectives on Socially Shared Cognition*, Vol.13, pp.127–149 (1991).
- [11] Blignaut, P.: Visual span and other parameters for the generation of heatmaps, *Proc. Symposium on Eye-Tracking Research & Applications 2010*, pp.125–128 (2010).
- [12] Maurus, M., Hammer, J.H. and Beyerer, J.: Realistic Heatmap Visualization for Interactive Analysis of 3D Gaze Data, *Proc. Symposium on Eye Tracking Research & Applications 2014*, pp.295–298 (2014).
- [13] 小泉敬寛, 小幡佳奈子, 渡辺靖彦, 近藤一晃, 中村裕一: 映像対話型行動支援における頻出パターンに基づいたコミュニケーションの分析, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.3, pp.1068–1079 (2015).
- [14] 石井健太郎: アバタを用いた遠隔コミュニケーションにおけるアバタ操作者の空間認知, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp.1795–1800 (2018).
- [15] 笠原俊一, 暦本純一: JackIn: 一人称視点と体外離脱視点を融合した人間による人間のオーグメンテーションの枠組み, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.4, pp.1248–1257 (2015).
- [16] 畑田豊彦, 矢口博久, 福原政昭, 小笠原治, 郡司秀明, 齋藤美穂, 矢野 正, 五十嵐幹雄, 羽石秀昭, 馬場護郎, 竹村裕夫, 杉浦博明, 谷添秀樹, 津村徳道: 眼・色・光より優れた色再現を求めて, pp.9–10, 日本印刷技術協会

- (2007).
- [17] Li, Z., Miyafuji, S., Sato, T., Koike, H., Yamashita, N. and Kuzuoka, H.: How Display Shapes Affect 360-Degree Panoramic Video Communication, *Proc. 2018 Designing Interactive Systems Conference*, pp.845–856 (2018).
 - [18] Shiro, K., Okada, A., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: OmniGaze: A Display-covered Omnidirectional Camera for Conveying Remote User's Presence, *HAI '18, Proc. 6th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp.176–183 (2018).
 - [19] Oyekoya, O., Steptoe, W. and Steed, A.: SphereAvatar: a situated display to represent a remote collaborator, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2551–2560 (2012).
 - [20] 金水 敏: 日本語の指示詞における直示用法と非直示用法の関係について, *自然言語処理*, Vol.6, No.4, pp.67–91 (1999).
 - [21] Duchowski, A.T., Price, M.M., Meyer, M. and Orero, P.: Aggregate gaze visualization with real-time heatmaps, *ETRA '12, Proc. Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, pp.13–20 (2012).
 - [22] Tullis, T. and Albert, B.: *Measuring the User Experience Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*, Morgan Kaufmann (2008). 篠原稔和, ソシオメディア株式会社 (訳): ユーザーエクスペリエンスの測定 UX メトリックスの理論と実践, 学校法人東京電機大学東京電機大学出版局 (2014).



高田 真也 (学生会員)

平成5年生。平成28年岩手県立大学ソフトウェア情報学部ソフトウェア情報学科卒業。平成30年岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科博士前期課程修了, 平成30年同大学院ソフトウェア情報学研究科博士後期課程入学, 現在に至る。全方位カメラを用いたインターネット生放送に関する研究に従事。



西岡 大

昭和59年生。平成20年岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科博士前期課程修了, 平成24年9月同大学院ソフトウェア情報学研究科博士後期課程修了。博士(ソフトウェア情報学)。平成25年4月より岩手県立大学ソフトウェア情報学部助教。平成26年10月より同大学講師, 現在に至る。情報セキュリティに関する安心感の研究に従事。



齊藤 義仰 (正会員)

平成8年9月静岡大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士(情報学)。平成16~19年独立行政法人情報通信研究機構(NICT)特別研究員・専攻研究員で次世代無線ネットワークの研究に従事。平成19年10月岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。平成23年10月同学部准教授, インターネット放送の研究に従事, 現在に至る。情報処理学会平成26年度シニア会員。情報処理学会コンシューマ・デバイス&システム研究運営委員会幹事(平成23~24年, 平成30年~現在)。情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム編集委員会副編集長(平成26~30年)。