



WebRTC 活用型リアルタイム拡張仮想と 複合現実の融合システム開発

Development of integrated system using WebRTC-based real-time augmented virtuality and mixed reality

元村慎太郎¹⁾, 井原章之¹⁾
Shintaro MOTOMURA, and Toshiyuki IHARA

1) 情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 (〒651-2492 神戸市西区岩岡町岩岡 588-2)

概要: 我々は近年、仮想空間や複合現実を扱うシステムを独自に開発し、研究活動やアウトリーチ活動など様々な場面に応用してみる活動を進めている。特に最近では、全天球カメラ映像と仮想物体の映像を合成するリアルタイム拡張仮想のシステムを開発し、複合現実と組み合わせ、一般公開イベントや展示会などで活用してきた。今回は新たに、遠隔地へのカメラ映像の送信を実現するために、全天球カメラ映像を WebRTC で配信する機能を実装した。これにより、ユーザーが複合現実を扱う状況において、遠隔地のユーザーが PC を使ってその世界にアクセスする技術を低遅延化することが可能となった。

キーワード: 複合現実, リアルタイム拡張仮想, WebRTC

1. はじめに

近年、一般に広く知られている仮想現実 (VR ; Virtual Reality) や拡張現実 (AR ; Augmented Reality) に加えて、複合現実 (MR ; Mixed Reality) のテクノロジーが注目を集めている。複合現実とは、リアルな世界とバーチャルな世界を高度に融合し、リアルタイムで相互に影響し合う空間を構築するテクノロジーである。複合現実とは「現実空間にデジタルな情報を合成する SF 映画のような世界」を、ゴーグル装着者がリアルタイムに扱えるようにする技術であり、人間とコンピューターとの間のインタラクションの在り方を変革する極めて高い可能性を秘めている。しかし、複合現実を扱うアプリケーションやシステムを構築するのに高度な技術を要するため、様々な場面で役立つソフトウェアが不足している。そのため、複合現実が実際にどのような場面で有用性を発揮するのかについて、明確な答えは得られていないのが現状である。

我々は近年、複合現実用のソフトウェアが不足している問題の解決に資することを視野に入れながら、仮想空間や複合現実を扱うシステムを独自に開発し、研究活動やアウトリーチ活動など様々な場面に応用する活動を進めている [1-3]。特に最近では、離れた場所にいる複数のユーザーが遠隔でコミュニケーションをとるような場面で使用できる、複合現実システムの開発に力を入れている [3]。システムにアクセスするユーザーは、複合現実の世界に表示す

る仮想オブジェクトの情報を共有することで、それらを使用してコミュニケーションをとることができる。手のひらサイズの仮想オブジェクトを共有してもよいし、ゴーグル装着者自身を覆うようなバーチャル空間を共有してもよい。後者の場合は、VR を使ってメタバースにアクセスする場合とほぼ同じ構成となる。一方で、複合現実とはリアルを扱うテクノロジーでもあるため、ゴーグル装着者の姿や、周囲のリアル空間を共有することにも高い価値がある。一般的なウェブ会議システムでカメラ映像を共有する場合と同じように、ゴーグルを装着しているユーザーが扱う複合現実の世界を遠隔で共有すれば、活用シーンが大きく広がる可能性がある。

2. 先行研究と本研究との比較

2.1 デジタルツインとリアルタイム拡張仮想

先行研究では、リアル空間を共有する場合のアプローチとして、リアル空間の「デジタルツイン」を作成し「非対称型システム」の中で使用する方法が報告されている [4,5]。デジタルツインとは、現実世界の情報をデジタル空間で再現し、シミュレーションや分析を行う技術である。また、非対称型のシステムとは「片方のユーザーが複合現実を使用する一方で、もう片方のユーザーは複合現実ではなく VR の技術を使用するシステム」を意味する。3D の現実空間をデジタル化することで得られるデジタルツイ

ンを非対称型のシステムで使用すれば、複合現実を使用しているユーザーの世界に VR ユーザーが遠隔でアクセスし、コミュニケーションをとることができる。しかし、この方式には「現実世界のリアルタイムな変化を捉えにくい」という弱点がある。つまり、現実世界をスキャンしデジタル化した世界を構築するまでに時間がかかってしまうため、VR ユーザーに対して、時々刻々と変化する周辺環境をリアルタイムに伝えることができないのである。

デジタルツインの構築に時間がかかってしまう問題を回避するために、我々は近年「複合現実・Google と連携できる、PC 用のリアルタイム拡張仮想テクノロジー」を開発した [3]。拡張仮想とは、仮想世界に現実世界の情報を重ねて表示する技術のことで、仮想空間を基盤として現実世界の要素を取り込む形態を指す。リアルタイム拡張仮想の場合は、現実世界のライブ映像を背景として描画し、そこに仮想オブジェクトを重ねて表示する。全天球カメラと呼ばれる 360 度全方位を撮影できる特殊なカメラを使ってライブ映像を撮影すれば、PC 上に表示した仮想世界の中で、現実の周辺環境を見回すことができる。ちょうど、Google ストリートビューの背景が現実のライブ映像になり、そこに仮想オブジェクトが重ねて描画されているような状況となる。我々が開発したシステムでは、PC を使って複合現実の世界を映像として出力することや、遠隔地から PC を使って仮想物体を操作することが可能となる。複合現実を活用することによって、全天球カメラの映像と仮想物体の位置関係を整合させるプロセスを簡略化している点が、システムの持つ重要な特徴のひとつである [6]。

2.2 リアルタイム拡張仮想を構成する 2 つの方法

全天球カメラで撮影した映像を PC に送信し、リアルタイム拡張仮想の世界を構築する方法には、2 つの選択肢がある。ひとつ目は、PC とカメラを USB ケーブルで接続し、PC 側で受信した映像をそのままアプリで描画する方法である。ウェブカメラを PC に接続して使用するような構成になるため、気軽に利用することができ、遠隔コミュニケーションを行うための機材構成としても十分に力を発揮することが分かっている [7]。もうひとつは、USB ケーブルで受け取ったカメラの映像を PC からサーバーに送信し、そのサーバーから多数の PC にカメラ映像を配信する方法である。こちらの場合は、1 台の全天球カメラ映像を全ての PC に配信できる。

今回我々は、多数の PC に全天球カメラ映像を配信する方法を実現するために、全天球カメラ映像を WebRTC で配信する機能を実装した。WebRTC とは Web Real-Time Communication の略で、ブラウザ間でリアルタイムの音声やビデオの通信を可能にする技術である。WebRTC の活用により、Google 装着者が複合現実を扱う状況において、遠隔地のユーザーが PC を使ってその世界にアクセスする技術を低遅延化することが可能となった。本論文では、我々が開発しているリアルタイム拡張仮想テクノロジー

に関して、WebRTC を使用しない「従来型」のシステム構成を説明した上で、今回開発した「WebRTC 活用型」のシステム構成を説明する。実際の活用事例も紹介し、WebRTC を使用することによって得られるメリットについて議論する。

3. システム構成

3.1 従来型システムの機材構成と課題

我々が開発し活用してきた「従来型」のリアルタイム拡張仮想と複合現実の融合システム機材構成を図 1 に示した。左側の Room A において、全天球カメラを USB で接続した PC を用意し、内製で開発したアプリを起動した。全天球カメラとしては、リコー社の RICOH THETA z1 を使用した。アプリはゲームエンジン Unity で開発し、複合現実デバイス (Microsoft 社 HoloLens2) にも同等のアプリをインストールし起動した。ネットワークを介して通信する機能をアプリに実装し、仮想オブジェクトの位置情報を同期した。PC 側アプリにのみ生成した球体形状の仮想オブジェクトに対し、全天球カメラで撮影したリアルタイム映像を描画した。この球体オブジェクトの中心位置を、全天球カメラが存在する位置に一致させ、両者の向きも適切に調整した。これにより、複合現実 Google 装着者が見る仮想オブジェクトの位置が、PC 側でも正しい位置に描画されるようになった。この状況で、アプリを起動した PC において、Zoom あるいは Teams 等のウェブ会議システムを立ち上げ、PC アプリの画面をコンテンツ共有した。

図中右側の Room B にいる遠隔地ユーザーも、PC を使ってウェブ会議システムに接続し、共有されたアプリ画面を表示した。遠隔地ユーザーはウェブ会議システムを使って「画面を操作するための権限」をリクエストし、承諾を得ることによって、アプリを遠隔操作できるようにした。アプリ画面はマウスやキーボードを使って操作できる仕様であり、複合現実の空間を見回したり、仮想オブジェクトを選択して動かしたりすることが可能となった。

3.2 WebRTC 活用型システムの機材構成

今回我々が開発した「WebRTC 活用型」のリアルタイム拡張仮想と複合現実の融合システム機材構成を図 2 に示

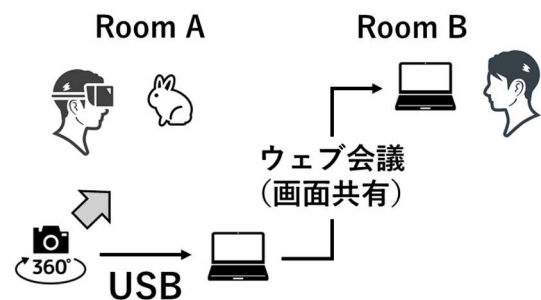


図 1: 従来型のリアルタイム拡張仮想と複合現実の融合システム機材構成。

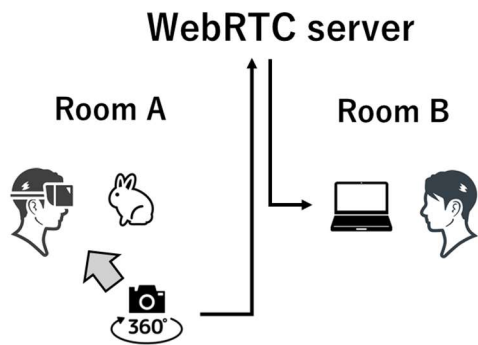


図 2：新たに開発した、WebRTC 活用型のリアルタイム拡張仮想と複合現実の融合システム機材構成。

した。図中左側の Room A において、全天球カメラをネットワークに接続し、撮影されるリアルタイム映像を WebRTC サーバーに送信した。今回の実験では、時雨堂社が開発した sora WebRTC SFU (Selective Forwarding Unit) サーバーをライセンス契約し使用した。図中右側の Room B において、遠隔地ユーザーは自身の PC でアプリを立ち上げ、WebRTC サーバーから配信される全天球カメラ映像を受信し、仮想空間内に生成した球体形状の仮想オブジェクトにその映像を描画した。Room A のユーザーが装着した複合現実ゴーグルにおいても同種のアプリを起動した。従来型システムと同様に、球体オブジェクトの中心位置および向きを、全天球カメラが存在する位置および向きに一致させ、複合現実ゴーグル装着者が見る仮想オブジェクトの位置が、遠隔地の PC 側でも正しい位置に描画されるようにした。生成した仮想オブジェクトの位置情報を PC アプリと同期することで、複合現実の世界を共有した。

3.3 従来型と WebRTC 活用型の比較

表 1 に、従来型システムの特徴と WebRTC 活用型システムの特徴をまとめた。従来型の場合はサーバーの設置が不要であり、手軽に使用できる点が大きなメリットであった。これに対し、WebRTC 活用型システムの場合はサーバーの設置が必要となる点がデメリットであるが、従来型に課せられていた制限を取り除くことができることが分かった。ネットワーク環境が整っている状況であれば、遅延を減らしたりフレームレートを向上させたりできるようになった。また、PC 1 台あたり複数のカメラを使用できる点や、アプリを操作できるユーザーを増やせる点が、WebRTC 活用型のアドバンテージであった。

表 1：従来型と WebRTC 活用型の比較		
	従来型	WebRTC 活用型
サーバーの設置	不要	必要
遅延の制御	困難	可能
フレームレートの制御	困難	可能
PC 1 台あたりのカメラ台数	1	複数
アプリ操作者の人数	1	複数

4. 従来型システムと WebRTC 型システムの併用

4.1 併用方式の活用シーン

今回我々が開発した WebRTC 活用型のシステムは、ユーザーが遠隔地から参加する場合にメリットがある。しかし、現地開催型の体験会のような場面など、従来型のようにネットワークを使わずに映像を描画する方が適しているケースも多い。我々は最近、内製システムを展示会に出展する際には、従来型と WebRTC 活用型を組み合わせた「併用方式」を採用している。本節では、2つの方式を併用する場合の機材構成の事例を2つ紹介する。

4.2 併用方式の事例 (1)

併用方式の事例の1つ目について、その機材構成と映像出力の様子を図3に示した。図中左側 Room A において、全天球カメラを USB で接続した PC でアプリを起動した。カメラ映像を背景として、仮想オブジェクト（動物）を重ねたりリアルタイム拡張仮想の映像を出力したのが左下の映像である。画像の右側に別の全天球カメラが映っており、このカメラの映像を WebRTC で遠隔地に送信した。図中右側の Room B（遠隔地）の PC においてアプリを起動し、WebRTC で受信した映像を背景として使用した映像出力が、右下の映像である。従来型と同様に、仮想オブジェクト（動物）と背景（カメラ映像）が合成されたリアルタイム拡張仮想の映像が出力されている。なお、図3の場合は、従来型システムと WebRTC 活用型システムとでは使用したカメラが異なるため、別アングルの映像になっている。なお、この事例の場合は全天球カメラが2台であるが、さらに増やし、PC 上のアプリにおいて使用するカメラを切り替える機能を実装することも試した。この機能を使用することにより、遠隔地から参加するユーザーが自分の意志で視点を変えられるようになり、カメラが1台の場合よりも効果的な空間共有型コミュニケーションを実現できるようになった。

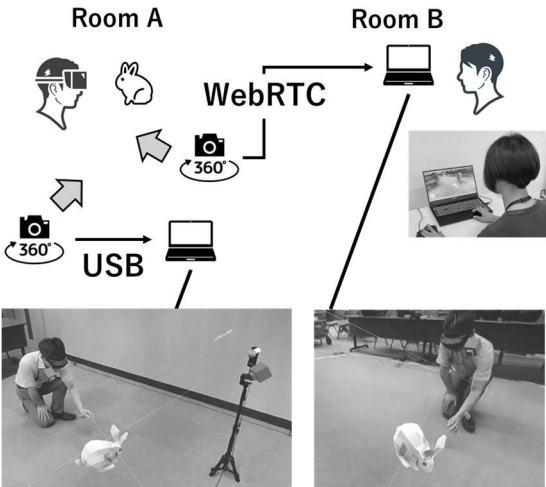


図 3：従来型(USB)システムと WebRTC 活用型システムを併用した場合の機材構成と、リアルタイム拡張仮想の映像出力。

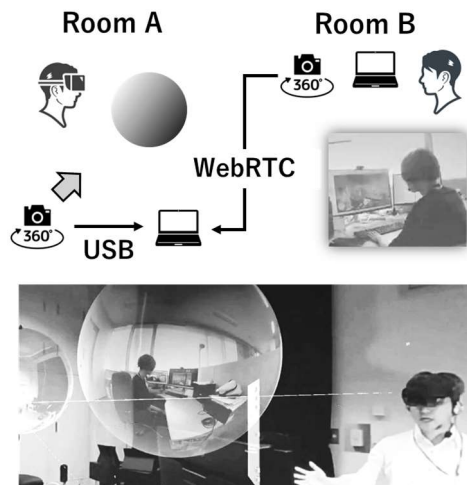


図 4:従来型(USB)システムと WebRTC 活用型システムの組み合わせ方を変えて、それらを併用した場合の機材構成と、リアルタイム拡張仮想の映像出力。

4.3 併用方式の事例 (2)

併用方式の事例の2つ目について、その機材構成と映像出力の様子を図4に示した。遠隔地に設置した全天球カメラ映像を WebRTC で送信し、ゴーグル装着者がいる部屋の PC で受信した。仮想オブジェクトとして生成した球体(上図の球体)に映像を描画した(下図の球体)。この PC には、別の全天球カメラを USB 接続してあり、その映像を背景として使用した。これにより、ゴーグル装着者と遠隔地の全天球カメラ映像をひとつの画像内に含めることができた。このような映像を使って、現地と遠隔地の両方に設置した全天球カメラで映像を共有し、コミュニケーションをとることができた。

5. 考察

前節では、従来型システムと WebRTC 活用型システムを併用する方式を紹介した。Zoom や Teams も併用することによって、会話やチャットはそちらの機能を使用することができたほか、必要に応じて画面共有を使用することも可能であった。結果的に、非常に効果的な「空間共有型コミュニケーション」を実現することができた。従来型にも WebRTC 活用型にもそれぞれメリット・デメリットがあるため、状況に応じて、片方だけを使用する場合や、他の併用方式を採用する場合もある。図3および図4に示した2つの方式を両方とも使用して、さらに高度な併用方式を使用するような状況も考えられる。様々な場面で役立つ複合現実用のソフトウェアが不足している問題を解決してゆくためには、このような新しいシステムを構築し、その価値を評価してゆくような活動が非常に重要である。

なお、本論文では詳しく議論しないが、WebRTC を使用するのではなく、NICT 内製の高信頼ネットワーク技術を使用して映像を転送することにも挑戦している [8]。この技術を使用する場合、ネットワークの安定度に応じて映像

の品質を調整したり、異なるネットワークに映像を転送するマルチキャストを実現したりすることが可能となる。ライセンスの数を気にせずにサーバーを設置できるため、さらに高度なシステムを構築する際に価値を発揮すると期待できる。

6. むすび

本論文では、我々が近年開発を進めてきた「リアルタイム拡張仮想と複合現実の融合システム」に関して、全天球カメラ映像をネットワークで送信しない従来型と、ネットワークを使用して遠隔地に送信する WebRTC 活用型のシステムを紹介した。また、それらを併用する方式を2種類紹介し、従来型と WebRTC 型がもつそれぞれのメリットを効果的に活用することで生まれる価値について議論した。今後も、独自に開発した複合現実システムを様々な場面で応用してみる活動を進めながら、複合現実用のソフトウェアが不足している問題の解決に資することを目指してゆく考えである。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 23H01006 および JSPS 科研費 25K15223 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 井原章之：XR が拓く RX (リサーチトランスフォーメーション), 情報処理学会誌「情報処理」デジタルプラクティスコーナー, Vol. 64, No. 8, 2023.
- [2] 井原章之：研究現場における XR (クロスリアリティ) 活用事例の紹介, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン B-plus, No. 65, pp. 18–23, 2023.
- [3] 井原章之：マルチデバイス型 Mixed Reality システム：活用事例と将来展望, パテント 特集《2025 大阪・関西万博 (第2弾)》, Vol. 78, No. 2, pp. 51–61, 2025.
- [4] F. Zaman *et al.*, MRMAC: Mixed Reality Multi-user Asymmetric Collaboration, 2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 591, 2023.
- [5] N. Numan *et al.*, Towards Outdoor Collaborative Mixed Reality: Lessons Learnt from a Prototype System. 2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, 113, 2023.
- [6] 井原章之, 仮想物体操作装置およびそのプログラム, ならびに, 仮想物体表示システム, 特開 2024-92551, 特願 2022-208575, 出願日: 2022/12/26.
- [7] 田代徳香, 山中雄生, 井原章之, 元村慎太郎, 瀬戸崎典夫: Web 会議システムと連動する AR コンテンツを用いた遠隔コミュニケーションの利点と課題, 日本教育工学会論文誌, Vo. 48 (Suppl.), 173–176, 2024.
- [8] Y. Hayamizu, T. Ihara, and H. Asaeda, IEEE MetaCom 2025, accepted.