



# 実空間-VR 環境における同時複数個所での会話を 実現するためのサウンドループバック防止手法

Sound Loopback Prevention Method for Enabling Simultaneous Conversations  
in Multiple Locations between Real-VR Environments

前田新<sup>1)</sup>, 三武裕玄<sup>1)</sup>

Arata MAEDA, and Hironori MITAKE

1) 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

(〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, mitakelab.fms@gmail.com)

**概要** : ある 2 つの空間を繋げるシステムにおいて同時複数個所での音声伝達を試みた際に、スピーカーから出た音をマイクが拾ってしまうことでハウリングや音が二重に聞こえる現象が起きてしまい、コミュニケーションを阻害することがある。本研究では、VR 空間側の音声伝達の ON/OFF を制御することで、通常のエコーキャンセルマイクスピーカー (1 対 1 のエコーキャンセル能力のみを持つ) を複数使うだけでハウリングやループバックを起こさずに VR 空間と現実空間の間で複数の会話が同時に成立可能な環境を作る手法を提案する。

**キーワード** : テレプレゼンス, ソーシャル VR, 音声会話

## 1. はじめに

### 1.1 背景

近年のソーシャル VR の発展に伴い、実世界とソーシャル VR 空間を繋げる試みとして、互いの空間の音声付き映像を届けることで実世界と VR 空間が窓越しに繋がっているかのようにし、VR 空間におけるユーザと実世界におけるユーザが、身体性を用いたコミュニケーションができるような環境システムが登場している。(本稿では以降このようなシステムを窓システムと呼ぶ)



図 1 : 窓システムの例

窓システムは、ソーシャル VR ユーザの参加方法の選択肢を増やし、個々の都合に適した利用方法を可能にする点でメリットがある。実世界から参加するユーザは、HMD や

トラッキングデバイス等の高価な専用機器を用意したり、それらを装着する心理的ハードルなしにコミュニケーションをとることができ、同一空間から複数人が集団で参加することもできる。VR 空間から参加するユーザは、遠隔地からでも時間的・金銭的成本をかけずにコミュニケーションをとることが出来る。

現状において、これらシステムの利用は比較的大規模なイベントや限られた事例にとどまっている。株式会社 Hikky が主催する Real Vket での深度センサーを用いたモーションキャプチャーで VR 空間に入り、VR 側からの参加者とコミュニケーションが取れる AvatarMeets[1]や、畑田ら[2]が行った外出困難者に対してロボットアバターで遠隔接客するカフェにおけるバーチャルアバターでの接客サービスの導入などが挙げられる。

今後は、日々の生活場面や教育・職場環境など、より多くの様々な場面において実世界と VR を空間的に融合させコミュニケーションできる環境の需要が増えていくと予想される。

しかし、こうしたシステムでは、音のループバックにより同時複数個所での会話環境を作ることが容易ではない問題がある。マイクとスピーカーによって 2 空間を相互に接続すると、ハウリングや、自分の喋った声が遅延して自分のスピーカーから再生されるエコー現象が起きる。これ

らの現象はエコーキャンセル機能で抑制できるが、同一空間同士を複数台のマイクスピーカーで接続できるような多チャンネルのエコーキャンセルは台数が増えるほど困難になり、可能であっても特殊な機材を必要とする[3].

## 1.2 現状の窓システムの問題点

現状の窓システムは、同環境内に複数の窓を設置することが出来ず、大きな窓に対しても音声経路は一つであるため、同窓内における複数個所会話が困難である。これによりいくつかの問題が生じる。

第一に、一つの窓に対して、一グループしか会話することが出来ない点である。窓が他のグループに占有されてしまっている場合、もう一方の空間の人と話したくなくてもすぐに話しかけることが出来ない。

第二に、一方の空間からもう一方の空間にいる人に対して話しかけづらい点が挙げられる。投影されている場所から対象人物までの距離が遠い場合、呼びかける際に大声を出す必要があるが、心理的ハードルや環境として不向きな場合がある。また、知覚できる範囲にいない場合、話しかける際に対象人物がどのようなことをしており話しかけてもよい状態にあるのかを判断するプロセスを経ることが出来ない。そもそも相手が空間内にいるのかもわからない場合がある。

ここで、本研究では、実空間同士の遠隔会議環境等と異なり、VR環境と実空間との接続を対象とすることに着目する。VR空間では音声伝達を制御することが可能となるため、複数エコーキャンセルの機能を容易に実現することが出来る。

## 1.3 目的

本研究では、VR空間内の音声伝達のON/OFFを制御することで、一般的に普及しているエコーキャンセルマイクスピーカー（1対1のエコーキャンセル能力のみを持つ）を複数使うだけでハウリングやループバックを起こさずにVR空間と現実空間の間で複数の会話が同時に成立可能な環境を作る手法を提案する。また、提案手法による環境を実際に検証して判明した課題について議論する。

## 2. 提案手法

### 2.1 実空間とVR空間を繋げる窓システムの基本設計

提案手法の説明をする前に、提案手法における実空間とVR空間を繋げる窓の基本システムについて述べる。また、本研究の実装・実験環境のソーシャルVRプラットフォームとしてVRChatを用いる。図2に基本的な窓システムの構成図を示す。

#### 2.1.1 実空間の音声映像をVR空間へ送信

実空間の映像は配信用カメラの映像をOBS等の配信ソフトを用いて配信し、その映像をVR空間上で再生することで届ける。VRChatでは、動画や配信映像の再生ができるメディアプレイヤー機能が存在し、これを用いることにより、配信されている実空間の映像をVR空間で受信し再生することができる。なお、メディアプレイヤーの仕様上

1秒程の遅延が発生する。

音声はマイクスピーカー（1対1のエコーキャンセル能力のみを持つ）から入力されたものを、VRChatのプレイヤーとしてVR空間上に存在するアバター（以降、中継アバター）を経由して伝達する。この際、音声が二重に伝わらないように、メディアプレイヤーに映す配信映像の音声は配信ソフト側でOFFにしておく。

#### 2.1.2 VR空間の音声映像を実空間へ送信

映像・音声共に、VR空間上に存在する中継アバターを経由して伝達するようにする。この際に中継アバターはメディアプレイヤーの裏側に設置し、VR空間内のユーザが見えるようにする。

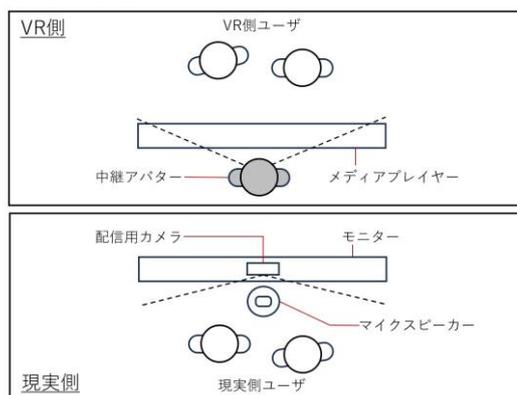


図2：基本的な窓システムの構成図

## 2.2 提案システム設計

同時複数個所で音声伝達を試みる際に発生する問題は、ある空間で発せられた音声がもう一方の空間を経由することで元の空間の別のスピーカーから出力されることで引き起こされる。これにより、元のマイクに音声が入力されてしまうことでハウリングが発生しコミュニケーションがとれなくなったり、自身の発した音声がループバックして聞こえ不快感を生む原因となる。

この問題を解決するために、VR空間内の音声伝達を制御することを考える。一般的な窓システムにおいては図3のような2つの音声伝達経路が考えられるが、先述した通り、実空間で複数のエコーキャンセルを実現する環境を用意することは難しく、現実出力 - 現実入力の経路を遮断することは困難である。したがって、両経路におけるVR出力 - VR入力の経路を遮断することを考える。

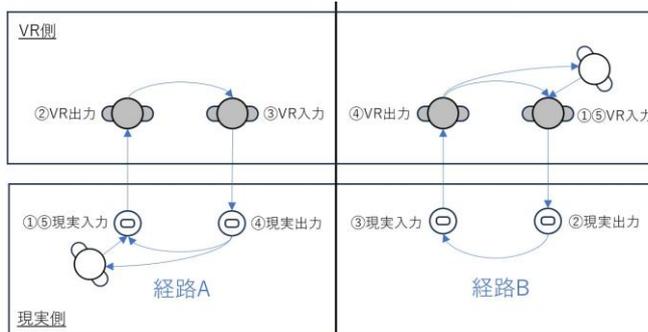


図3：ループバック発生時の音声伝達経路

実空間で発した音声が入ループバックしない環境は、VR空間側で複数エコーキャンセル機能を作ることによって実現できる（経路AにおけるVR出力 - VR入力を遮断）。具体的には、全ての中継アバターに関して、VR空間上に存在する他の中継アバターからの音声伝達をOFFにすることで実現することができる。これによって、中継アバターはVR空間上に存在するユーザに対してだけ音声伝達を行うことが可能になり、ハウリングを防ぐことが出来るようになる。

しかし、VR空間で複数エコーキャンセルを実現するだけではVR空間内から発した音声のループバック（経路BにおけるVR入力 - 現実出力 - 現実入力 - VR出力）を防ぐことはできず、不十分である。この方法ではVR空間内のユーザが発した音声は実空間を経由してVR空間に戻ってきてしまい、VR空間内のユーザは自身の声が聞こえてきたり、他のユーザの音声が二重に聞こえる状況のままである。

そこで、図4のようにVR空間を中継アバターを一つずつ配置した複数エリアに分割し、全てのアバター（中継アバターとユーザのアバター）の音声伝達のON/OFFをエリアごとに分割制御することで、エリアごとの音声伝達可能なプレイヤーを制限する。具体的には、あるエリア内にいる場合は、そのエリア以外にいる中継アバター及びユーザの音声を聞こえないようにする。（図4中の黄色の経路）これにより実空間だけでなく、VR空間にいるユーザも音声が入ループバックして聞こえないようになる。

また、先述した通り現実出力 - 現実入力の経路を遮断することは困難であるため、このシステムにおけるVR空間内のユーザは、別エリアにいるユーザの音声をVR空間内で直接聞くのではなく、実空間経由で聞くことになる。

（図4中の赤色の経路）

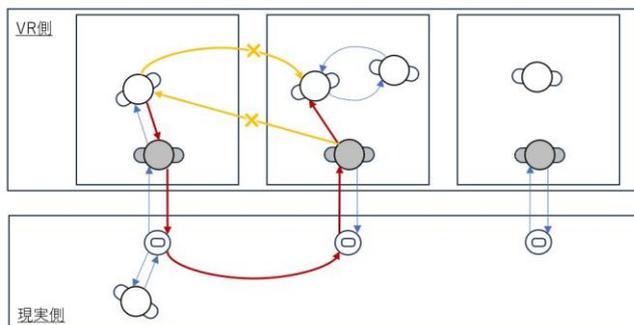


図4：提案システムにおける音声伝達経路

### 3. 検証実験

提案手法による環境を実装し、予備的な検証実験を行った。本検証実験では、環境を4つの窓によって実装する。実空間は縦5m、横5.5mほどの作業スペースであり、そのスペースの四隅に窓となるカメラ内蔵ノートPCとマイクスピーカーを設置する。VR空間は4つに分割したエリアを用意し、実世界の窓の位置と鏡像となる各エリア位置にメディアプレイヤー及び中継アバターを配置する。図5に

本実験環境の構成図を示す

この状況で、実験参加者はVR空間・実空間に分かれ、自由に場所を移動して同時複数個所で相互に会話することを試みてもらった。また、会話中に隣接エリアでの会話を傍聴することも試みてもらった。参加者には実験中・実験後に使用感について聞き取りを行った。

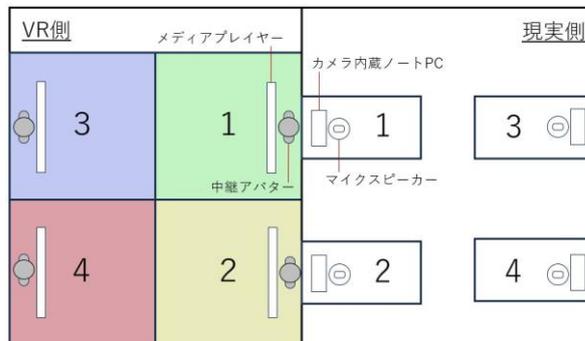


図5：検証環境における窓の位置対応及び構成図

### 4. 実験結果

検証実験の結果、実空間 - VR空間環境において、同時複数個所会話が可能であることを確認した。実空間及びVR空間内のユーザは自由に移動し会話することができ、他のグループが窓を使用している別の窓での会話が可能になった。

また、自身が会話している場所の隣接エリアで他のグループのユーザが会話しているのを聞き、その会話に参加するようなシチュエーションについても可能になった。

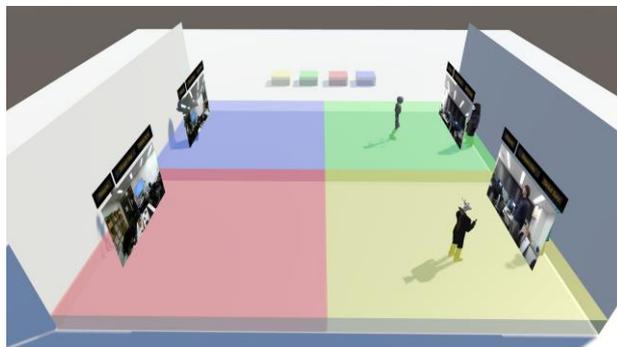


図6：検証実験のVR環境

### 5. 今後の課題

最初に、感覚的認識と窓の位置との齟齬についてである。本実験環境では鏡像関係をとるように、ユーザの前後を挟む位置に窓を設置したが、この際に視覚的情報と実際に話すことが出来る窓の位置関係に齟齬が生じる。具体的には、一方の空間からもう一方の空間映像を見て、映像中の奥の方にいるユーザに対して話しかけようとする際に、そのユーザを目掛けて前進するのではなく、自身の後方にある窓に向かう必要がある。このため、感覚的認識と実際の会話可能位置の違いによる違和感が発生してしまう可能性がある。

また、VR空間内の別エリア間音声が実空間を経由することに起因する問題が複数ある。

第一に、音声を經由するための実空間内のマイクスピーカー設定に関する問題である。VR空間内における別エリア間の音声を実空間で經由するために、実空間では各マイクスピーカーの音量を大きくするか、收音性能を上げる必要がある。マイクスピーカーの出力音量を上げすぎると実空間にいるユーザの不快感に繋がったり、VR空間内のユーザは意図しない音量で発声してしまう可能性がある。逆に、收音性をあげると環境音やノイズを拾いやすくなってしまいう可能性がある。

第二に、VR空間内における別エリア間の音声の劣化と遅延による話しづらさである。実空間を經由しているため音声の遅延や品質劣化が発生し、別エリア間の音声が聞こえにくい場合がある。何かを話しているということまではわかるが、その内容までは聞こえない場合があるので、その際には別エリア間での会話を避け、腰を据えて話す場合は移動して同エリアで話すという流れをとる必要がある。

第三に、VR空間における音像定位感の欠如についてである。VR空間では他のエリアの音声は実空間を經由するが、その音声は実際にその音声を発声しているユーザが存在するエリアの方向からではなく、自身の正面にいる中継アバターを介して聞こえてくる。そのため、VR空間内では別エリア間での音声については音像定位が中継アバター位置に固定されてしまい、聴覚による位置認識ができない。

これらの問題の内、音声の遅延及び音像定位の問題に関しては、実空間を經由する遅延時間を計算し、実空間經由

で届く音声と、VR空間内で直接届く音声と同タイミングで届くようにVR側の音声を遅延させる仕組みを作ることによって改善されると考えられる。しかし、このような処理の実装は既存のソーシャルVRプラットフォームでは容易ではない可能性があるため、新しく実験環境プラットフォームを作る必要性があることも考慮したい。

## 6. まとめ

本稿では、実空間-VR環境における同時複数個所での会話を実現するためのサウンドループバック防止手法の提案と課題について報告した。

今後は、よりコミュニケーションを円滑に行える環境にするため、判明した課題に対する改善案を試作したい。また、本研究の実験結果は当研究室での限られた環境下のものであり、一般的な生活空間や共有作業スペースでの長期間の導入・実験を実施し、有効性について検証したい。

## 参考文献

- [1] VkeyReal AvatarMeets, Hikky.
- [2] 畑田裕二, 武内一晃, 加藤寛聡, 吉藤健太郎, 鳴海拓志: パーチャルアバターを用いた自己表現が外出困難者の長期就労に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会第28回大会論文集, 2023.
- [3] 羽田陽一: 音響エコーキャンセラ, 電子情報通信学会「知識の森」2群-6編-5章, 2011.