



聴触覚共有型バイブロスケープによる存在感共有手法の基礎検討

A Preliminary Study on Telepresence Method Using Shared Auditory and Haptic Vibroscape

沈 家宜¹⁾, 彭 涵睿¹⁾, 山村 風子²⁾, 香川 凌也²⁾, 横井 勝²⁾, 吉田貴寿¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Jiayi SHEN, Hanrui PENG, Fuko YAMAMURA, Ryoya KAGAWA, Masaru YOKOI, Takatoshi YOSHIDA,

Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, kagishen22, phanrui, yoshida, koutasec@kmd.keio.ac.jp)

2) 株式会社テレビ朝日 (〒 106-8001 東京都港区六本木 6-9-1, fuko, kagawa, mar@tv-asahi.co.jp)

概要: 近年、メタバースを介した遠隔コミュニケーションが注目されているが、映像やロボットなど、依然として視覚情報を用いたアバターの表現が主流である。本研究では、視覚情報を用いずに聴覚と触覚を用いた遠隔ユーザーの存在感を伝達・共有する手法を提案する。ユーザーの位置・頭部追跡システムと、空間音響と振動フィードバックを統合し、複数人に見えない存在感を共有させる聴触覚環境を実装し、公開展示においてフィードバックを得た。

キーワード: テレプレゼンス、聴覚、コミュニケーション、アバター、バイブロスケープ

1. はじめに

メタバースを介した遠隔コミュニケーションが注目を集めており、より深い没入感が求められている。単なる画面内の VR 空間にとどまらず、ユーザーの身体が実在する物理空間と、メタバースとを結びつける手法も研究されている。映像やロボットとしてアバターを表現するなど、視覚中心のコミュニケーションを用いるアプローチが主流であった。

現在、聴覚と触覚を用いた研究が盛り上がりを見せている。例えば、Vibroscape[1] とは、サウンドスケープの概念に触覚を加え、足裏などの触覚を記録・再生する体験であり、視聴覚に触覚を統合してより強い臨場感をもたらした。本来、私たちはこうした多感覚統合を通じて日常的に周囲を認識し、「誰かがそこにいる」ことを知覚している。しかし、私たちは姿が見えなくとも、振動や物音といった感覚を通して周囲を知覚できる。そこで、アバターにおいても、視覚以外の感覚でも存在感を伝える可能性があると考えた。

本研究では視覚情報を使わず、聴覚と触覚を統合した共有型バイブロスケープ (Shared Vibroscape) による存在感共有手法を提案する。聴覚と触覚によって仮想空間と物理空間をシームレスに接続することで、複数のユーザーが同じ物理空間にいながら、目に見えない存在感を知覚、共有し、見えないオブジェクトとのインタラクションを可能とする。このようなシステムを通じて、複数のユーザーが同時に、周囲を歩き回る巨人の存在を感じられたり、第三者が遠隔地により見えない気配を操作したり、現実空間において不可能な体験が可能となる。

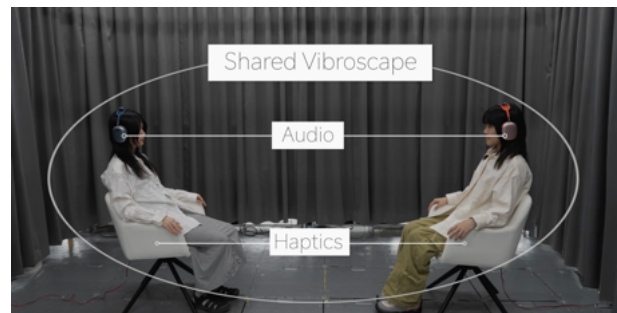


図 1: ヘッドホンと振動椅子による共有型バイブロスケープ

2. 関連研究

2.1 聴触覚による感覚的統合

HaptoRoom[2] では、聴触覚を用いて、人間の体験を記録・再生した。聴覚と触覚の統合による新たな経験の創造としての可能性を示した。また、Haptic Afterimage[3] や Reality Jockey[4] では、聴触覚を用いて、他者の存在感を記録・共有した。聴覚と触覚の組み合わせによる存在感の提示において可能性が示された。これらの研究は、聴触覚による感覚的統合が、視覚を情報を用いずに、没入的に存在感と経験を提示できることを示唆している。

2.2 空間音響インタフェース

音響デバイスの発展や普及とともに、空間音響によるインタラクションが注目を集めている。BoomRoom[5] では、コントローラや視覚インタフェースを介した間接的な操作ではなく、音と直接的に触れ合うインタラクションを提案した。これにより、ユーザーの身体的関与を高める新たなアプローチが明らかになった。Sound Holo[6] では、音の存在感

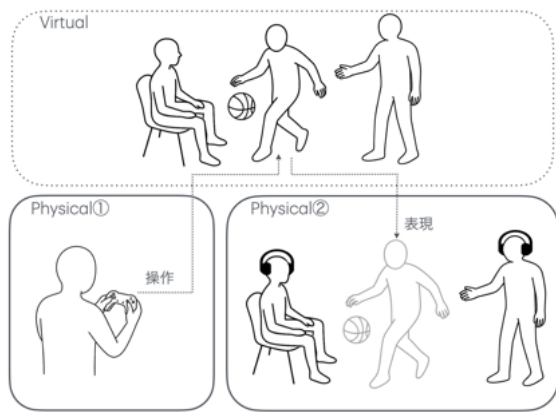


図 2: コンセプトスケッチ

が身体性を伴うインタラクションを提案し、空間音響が身体
の知覚と行為に深く関与することを明らかにした。Florian
Heller ら [7] が、共有型空間音響が、共同体験、共通注意の
形成を促進することを示し、空間音響が社会的コミュニケー
ションの媒介として機能する可能性を示した。Jing Yang ら
[8] は、空間音響を介した物体とのインタラクションを提案
し、ユーザーによる音源定位の精度の実験を行い、ヘッド
ホンを通じた体験者が歩き回れる空間音響システムで体験
者に音源の位置を知覚させる手法として有効であることを
実証した。

2.3 マルチユーザーによる非言語コミュニケーション

GravField[9] は MR 環境におけるマルチユーザーの動
作を通じた共創的なインタラクションを提案した。その結
果、非言語的な複数人インタラクションにおいて、サウン
ドフィードバックや他者の行動は、フィードバックであると
同時に、行動を誘発できることが示された。

以上を踏まえて、本研究ではインタラクティブな共有型
バイブロスケープにおける複数人体験に着目し、複数のユー
ザーが現実世界で共存しながら、仮想空間にある目に見え
ないオブジェクトや遠隔の他者の存在を知覚する体験を提
案する。複数人で共有することを通じて、お互いの動作か
ら空間音響および触覚の認識を高め、コミュニケーション
の形成が期待される。

3. コンセプト

本研究は、空間音響と触覚フィードバックによって現実
空間に仮想体験を重ね合わせ、インタラクティブな共有型
バイブロスケープ体験（図 1）を提案する。このシステム
を Ambient Avatar と呼ぶ。共有型バイブロスケープとは、
複数の体験者が同じバイブロスケープを介して、同一の仮
想空間を共有して体験している状態を指す。

たとえば、ユーザーが音を通じて、見えない存在感（ゴ
ースト）とボールをパスしたり、奪い合ったりする。そのゴ
ーストが遠隔地により、第三者のユーザーに操作されている。
ヘッドホンから聞こえる空間音響や、椅子や床から伝わる
触覚フィードバックによって、そのゴーストがまるで本
当にそこに存在しているかのように感じられる（図 2）。

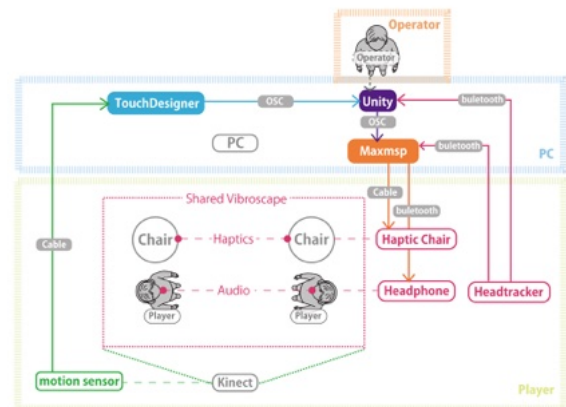


図 3: システム実装

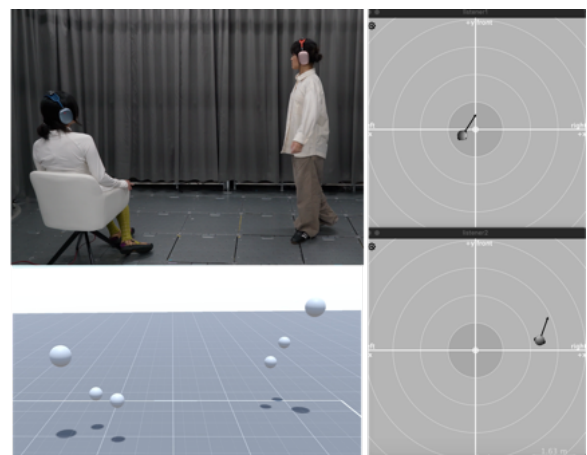
4. システム実装

本章では、システム実装について述べる。2×3m のス
ペースにて、最大 2 名のユーザーの位置や動作に基づいて空
間音響および触覚フィードバックを提供するシステムを実
装した（図 3）。以下にて、ハードウェアとソフトウェアに
分けて説明を行う。

4.1 ハードウェア

本システムでは、ユーザーの身体動作や位置・方向の情
報を取得するため、ヘッドトラッキングシステムとボディト
ラッキングデバイスを用いる。Waves Audio 社の Waves NX
Head Tracker を用いて、ユーザーの頭部の向きを取得する。
Microsoft 社の Azure Kinect DK を用いて、ユーザーの身
体位置と姿勢を取得する。

聴触覚出力に反映させるため、ヘッドホンと触覚提示椅
子を用いる。Apple 社の AirPods Max を用いてユーザー
に空間音響を提示する。触覚提示椅子にはバイプロトラン
スデューサ Vp6 シリーズ振動アクチュエーターを設置し、
アンプには Foster Electric 社の Fostex AP15 mk2 を用い
た。これらを用いて、ユーザーに触覚フィードバックを提
示する。

図 4: システム概要：（左上）体験の様子、（左下）計測され
ている姿勢、（右）計測されている頭部方向

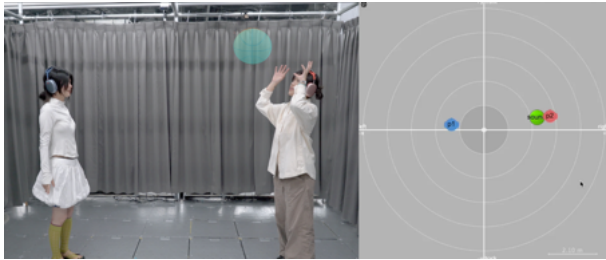


図 5: 見えないボールとのインタラクション

また、遠隔ユーザーはコントローラー、Sony Interactive Entertainment 社の DualSense Wireless Controller を用いてアバターを操作する。

4.2 ソフトウェア

取得されたデータは PC に送信される（図 4）。まず、TouchDesigner で座標変換やフィルタリングを行う。Unity で視覚レンダリングおよびアバター制御の処理を行い、Maxmsp で音響処理および出力の制御を行う。Open Sound Control (OSC) プロトコルでこちらのソフトの間でリアルタイム通信を行う。

5. 体験

ここでは、本システムを応用し、ユーザーがオブジェクトやアバターとインタラクションを行う体験について説明する。

5.1 見えないボールとのインタラクション

図 5 に示すように、ユーザーは共有された空間音響を通じてキャッチボールを行うことができる。システムは手の位置を検出し、投げるおよび受け取る動作を判定するとともに、その方向やタイミングに基づいて成功か失敗かを判断する。ユーザーがお互いの動きと空間音響の方向からボールの位置と状態を感じる。

5.2 遠隔で操作されているアバターとのインタラクション

図 6 と図 7 に示すように、遠隔ユーザーはゲームコントローラーを使って鳥型または人型アバターを操作できる。ユーザーたちは、共有された空間音響を通じてアバターの「見えない存在感」を知覚する。さらに、お互いの反応を通じて、アバター存在を確かめる。鳥型アバターは 2 人の間で飛び回り、叫び、アタックのアクションを行える。人型アバターは 2 人の間で歩き回り、ジャンプ、そして身体サイズを変えることができ、身体サイズの変化に合わせて、触覚椅子の振動強度が変化し、体験者に伝わる。



図 6: 鳥型アバターとのインタラクション

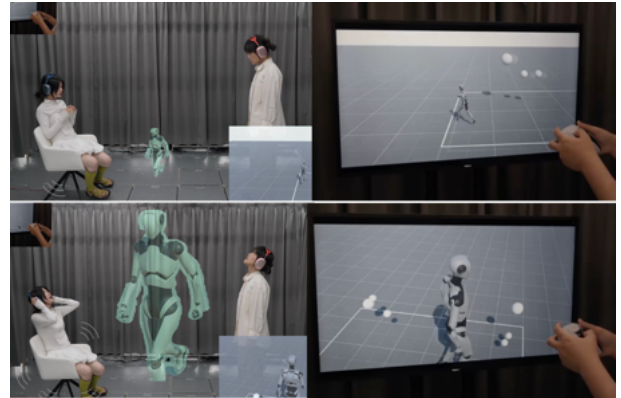


図 7: 人型アバターとのインタラクション

6. 美術館における公開展示

2025 年 3 月、東京の美術館にて、本システムをベースとしたインスタレーションを展示した（図 8）。体験者に「アバターの存在感」を空間的に提示することで、現実世界と雨が降り止まないアバターの世界の曖昧な境界を表現した。

6.1 体験展示のデザイン

本体験は 3 段階に分かれる。そのため、美術館に 3 つの体験エリアを設けた。まず、体験者が前組の体験者の体験様子を観察する。そして振動椅子に座ってヘッドホンを被り、人型アバターの存在感を感じる。最後に、隠された操作スペースに入り、後組の体験者に向けて、アバターを操作する。こうした 3 段階に分けて、体験者に存在感の定義について問いかける。

6.2 コメント

当日は 200 名以上の方が体験し、次の設問にて、アンケートを実施した。「気配を見て何かを感じましたか？」では「対話したい」、「あまり感じなかった。何が起きているのかわからず、ただ観察していた。」、「展開に驚いた」が見られた。「気配を感じていかがでしたか？」では「臨場感がある」、「AI の声が移動して本当に後ろにいるように感じた」、「振動と音の連動が印象的だった」と「音と振動の関係に気づけなかった」が見られた。「気配を操作していかがでしたか？」では「楽しい・面白い」、「自分が支配しているように感じた」、「他人を驚かせられて楽しかった」、「機能の幅をもっと増やしてほしい」が見られた。さらに、自由記述の中では「観客の対話と空間の対話の形式がとても楽しい」との意見も見られた。エンタテインメントとしてのアプリ



図 8: 美術館での展示風景：（左）アバターの存在感を感じている様子、（右）アバターを操作している様子

ケーションの可能性や、今後体験を向上させる可能性が示された。

7. おわりに

本研究では、聴覚と触覚を用いて仮想空間と物理空間をシームレスかつ没入的に接続する Ambient Avatar というコンセプトを提案した。見えないボールとのインタラクションと、遠隔ユーザーが操作しているアバターとのインタラクションを実装し、体験の可能性を広げた。さらに、今後はエンタテインメントやリモートコミュニケーションでのアプリケーションを開発していく。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット研究開発プログラム（JP-MJMS2013）の支援を受けた。

参考文献

- [1] Kakagu Komazaki and Junji Watanabe. Vibro-scape, 2024. <https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/vibro-scape-2024/> (Accessed: 2025/7/18).
- [2] Kiryu Tsujita, Takatoshi Yoshida, Kohei Kobayashi, Arata Horie, Nobuhisa Hanamitsu, and Kouta Minamizawa. Haptoroom: Using vibrotactile floor interfaces to enable reconfigurable haptic interaction onto any furniture surfaces. 2024.
- [3] Kakagu Komazaki and Junji Watanabe. Haptic afterimage, 2019. <https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/haptic-afterimage/> (Accessed: 2025/7/18).
- [4] Kevin Fan, Hideyuki Izumi, Yuta Sugiura, Kouta Minamizawa, Sohei Wakisaka, Masahiko Inami, Naotaka Fujii, and Susumu Tachi. Reality jockey: lifting the barrier between alternate realities through audio and haptic feedback. p. 2557–2566, 2013.
- [5] Jörg Müller, Matthias Geier, Christina Dicke, and Sascha Spors. The boomroom: mid-air direct interaction with virtual sound sources. p. 247–256, 2014.
- [6] Daniel Rosenberg Munoz. Soundholo: Sonically augmenting everyday objects and the space around them. p. 1–14, 2025.
- [7] Florian Heller, Thomas Knott, Malte Weiss, and Jan Borchers. Multi-user interaction in virtual audio spaces. p. 4489–4494, 2009.
- [8] Jing Yang, Yves Frank, and Gábor Sörös. Hearing is believing: Synthesizing spatial audio from everyday objects to users. p. 1–9, 2019.
- [9] Botao Amber Hu, Yuemin Huang, Mingze Chai, Xiaobo Aaron Hu, and Yilan Elan Tao. Gravfield: Towards designing an inter-bodily live-coding performance system within collocated mixed reality field. p. 124–130, 2024.