

# 複合現実技術を用いた過渡的な音場の可視化

## Mixed reality visualization for transitional sound field

5119E006-7 片岡 優太 指導教員 及川 靖広 教授

KATAOKA Yuta

Prof. OIKAWA Yasuhiro

**概要：**過渡的な音響伝搬の可視化は、音響エネルギーの反射、回折などを直感的に把握する手助けとなることから、音響設計や音響教育に利用される。これまで提案された複合現実技術（MR）を使った可視化システムは、定常的な音場であるという制約のもと、三次元音場を実空間に重畳した。そこで、過渡的な音場の可視化を目的に本研究では従来システムを拡張し、MR を使って時間変化を伴う音響インテンシティ分布を可視化するシステムを提案する。計測は、測定音源の再生と録音を同期させ、手持ちマイクロホンで音場を走査することによって行われる。計測結果は、光学透過型ヘッドマウントディスプレイを介して実空間に重畳される。音響インテンシティ分布の時間変化を三次元コンピュータグラフィックスのアニメーションとして表現することで音響伝搬は可視化される。可視化実験を通じて、実空間における音の伝搬、反射、回折を示し、提案システムの有効性を示す。

**キーワード：**計測手法、音場の可視化、拡張現実、アンビソニックス、マーカ認識

**Keywords:** Measurement method, Sound field visualization, Augmented reality (AR), Ambisonics, Marker detection

### 1. はじめに

過渡的な音響伝搬の可視化は、音響エネルギーが壁面などの境界によって反射、回折といった影響を受ける様子を明らかにすることから、音響設計や音響教育に活用されている。近年、本研究室では複合現実技術（MR）を使った音場の計測、可視化システムを提案してきた。身体周辺に重畳された音場情報は現実の空間に干渉し、ユーザが三次元である音場と実空間との関係性を直感的に把握できる。特に、光学透過型ヘッドマウントディスプレイ（OSTHMD）を使った三次元音響インテンシティの計測、可視化システム [1] は、音の方向と大きさを明確にし、音の伝搬方向や回折現象を明らかにした。ただし、従来の可視化システムは音場が定常であるという制約がある。これは過渡的な音響エネルギーの追跡や、音が空間によって反射している様子などを可視化することが困難であることを表す。

そこで本研究では、過渡的な音場を可視化するためにMRを用いた時間変化を伴う音響インテンシティ分布の計測、可視化システムを提案する。計測は、測定音源の再生と録音を同期して、手持ちマイクロホンで音場内を走査することで行われる。計測結果は、OSTHMDを介して実空間に重畳され、音のエネルギー伝搬は三次元コンピュータグラフィックス(3DCG)のアニメーションとして表現されたインテンシティ分布の時間変化によって可視化される。可視化実験を行い、スピーカから放射した音響エネルギーがパーティションによって反射、回折されることを確認することで提案システムの有効性を示す。



図-1 計測データの共有。左上がユーザの配置位置を示し、右上が計測者の視界、下図が観測者の視界を示す。

### 2. システム

#### 2.1 システムプラットフォーム

本研究で採用する時間変化を伴う音響インテンシティ分布のみならず、多様な音の物理量を容易に可視化するためのシステムプラットフォームを提案した。このシステムプラットフォームは、従来手法 [1] をベースにしている。提案したシステムプラットフォームではデータのラベルを変更することで、多様な音の物理量を効率的に計測することができ、図-1 のように可視化結果を複数のユーザ間で共有することができる。加えて、ユーザは測定環境の条件をインタラクティブに変更することが可能となり、MR 技術を使った可視化システムとしての利点を活かした音場の可視化が可能となる。

#### 2.2 計測概要

システムプラットフォームを基に本研究で作成したシステムの概要を図-2 に示す。計測には、アンビソニックマイクロホン（Sennheiser 社 AMBEO VR MIC）、ス

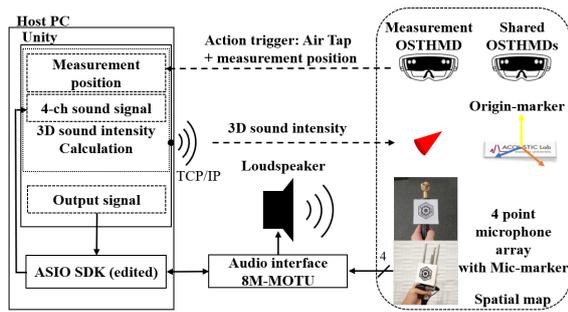


図-2 システムの概要

ピーカがオーディオインターフェイス経由で接続された Host PC と OSTHMD (Microsoft HoloLens 2) を使用している。

手持ちサイズの 4 点マイクロホンで空間を走査し計測を行う。マイクロホンの実空間における座標は、OSTHMD の Simultaneous localization and mapping (SLAM), および拡張現実技術による平面マーカ (Mic-marker) の検出を組み合わせることで取得する。独立したシステムである OSTHMD 上のアプリケーションによって取得された計測座標は、Host PC に TCP/IP プロトコルでネットワークを経由して送信される。計測座標を受け取った Host PC は測定音源の再生と同期して録音することで、非定常音を対象にした音響インテンシティ推定を可能にした。記録した音響信号から推定された音響インテンシティは、計測座標と共に OSTHMD に送信される。時間領域の音響インテンシティとして、アンビソニックマイクロホンを使った Pseudointensity vector (PIV) [2], 瞬時音響インテンシティ[3], 4 点マイクロホンを使った時間周波数領域に拡張した音響インテンシティを採用した。OSTHMD 上では即座に円錐型の 3DCG として計測された音響インテンシティの時間平均が可視化される。円錐の先端方向は音のエネルギーが流れる向きを表し、インテンシティレベルは色によって表す。任意の点で計測を繰り返すことで、時間平均した音響インテンシティの分布図が OSTHMD を通して可視化される。

さらに、時間ごとのインテンシティ分布に合わせて 3DCG を更新することで、音のエネルギー伝搬の時間変化が観測可能となる。各 3DCG オブジェクトに対して時間フレームごとの音響インテンシティを紐付けて保持することで、同じ計測座標の円錐の向き、色、大きさが音響インテンシティの値の時間変化に応じて、即座に更新される。一定の更新頻度で、表示する音響インテンシティ分布の時間フレームを変更することで、スピーカから放射した音波が会場内でどのように伝搬していくかを把握することが可能となる。

### 3. 可視化実験

本提案システムの有効性を明らかにする目的で、可視化実験を行った。一般的な会議室内にスピーカを設置し、

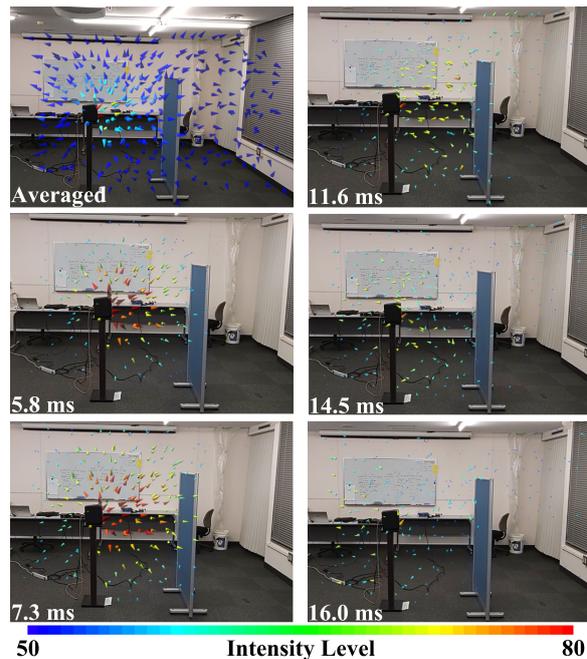


図-3 PIV の分布図。左上図が時間平均を示し、他の図は各時間フレームごとのインテンシティ分布を示す。

正面 1 m にパーティションを配置した。本稿では、測定信号となる過渡音には 10 ms のガウシアントーンバースト波を再生し、PIV の分布図を可視化した。

計測結果を図-3 に示す。PIV の計測点数は 385 点で計測時間は約 25 分であった。左上に時間平均した PIV の分布図を示し、左図から右図にかけて 5.8, 7.3, 11.6, 14.5, 16.0 ms の PIV の分布図を示す。左図では、パーティションを介して音のエネルギーが伝搬している様子を確認できる。時間平均では入射波と反射波が合成されて観測しづらいが、時間変化が反射波のみを観測することが容易となった。例えば、右図では時間が経過するにつれて、パーティションに反射する音響エネルギーが観測でき、加えてパーティション上部を通過した音響エネルギーが下方方向へ向かっていく回折現象を確認できた。

### 4. むすび

本稿では、PIV 分布を時間フレームごとに可視化できる計測システムによって、音響エネルギーの経路を明らかにし伝搬、反射、回折といった音の物理現象を直感的に把握できることを示した。今後は未知の音源に対しても有効な計測システムを検討する。

### 参考文献

- [1] A. Inoue, Y. Ikeda, K. Yatabe and Y. Oikawa, "Visualization system for sound field using see-through head mounted display," *Acoust Sci. & Tech.*, **40**, 1-11 (2019).
- [2] D. P. Jarret, E. A. P. Habets, and P. A. Naylor, "3D source localization in the spherical harmonic domain using a pseudointensity vector," *EUSIPCO*, 442-446 (2010).
- [3] G. Cengarle and T. Mateos, "Comparison of anemometric probe and tetrahedral microphones for sound intensity measurements," *Audio Eng. Soc. Conv.*, **130** (2011).