

複合現実技術を用いた広範囲 3次元音場の可視化

池田 雄介¹ 片岡 優太² 寺岡 航² 及川 靖広²

¹東京電機大学 ²早稲田大学

〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番

e-mail: yusuke.ikeda@mail.dendai.ac.jp

あらまし

これまで多くの実測に基づいた音場の可視化技術が提案されてきた。一方、近年の複合現実技術の発展によって、視覚に自然な奥行き情報を与え、実空間に仮想的な情報を重畳するといった、空間に対して自然な情報提示が可能となってきた。これまで我々は複合現実技術を用いた3次元音響インテンシティマップの可視化システムを提案してきた。手持ちマイクロホンアレイで空間を走査するだけで、リアルタイムに音場が可視化でき、従来システムより高速に広範囲の音場が計測可能となる。そこで、本稿では、これを用いた広範囲の三次元音場の可視化の例として、パーティションによる音波の回折や、廊下から部屋へと室内の音伝搬の可視化を紹介する。

キーワード： 拡張現実, 音響インテンシティ, 騒音源探査, 音伝搬

Visualization of three-dimensional sound field in a broad area by using mixed reality techniques

Yusuke Ikeda¹, Yuta Kataoka²,
Wataru Teraoka² and Yasuhiro Oikawa²

¹Tokyo Denki University, ²Waseda University

5 Senju-Asahi-Cho, Adachi-ku, Tokyo, 120-8551, JAPAN

e-mail: yusuke.ikeda@mail.dendai.ac.jp

Abstract: The rapid development of mixed reality techniques has made it possible to achieve more natural representation of spatial information with binocular disparity and overlapping digital and real objects. Previously, we proposed a visualization system of three-dimensional sound intensity map with mixed reality techniques. By scanning the sound field with a handy four-point microphone array, a three-dimensional sound field can be more rapidly visualized in a broad area than with the conventional system. In this paper, we introduce two visualization examples of sound fields in a broad area: sound diffraction by an office partition panel and sound propagation in a corridor and room.

Key words: AR, Sound Intensity, Noise Source Localization, Sound Propagation

1. はじめに

すべての人にとって快適な音環境を実現するには、音環境/音空間の現状を知る必要がある。特に、実測に基づいた音場の可視化技術は、音空間で実際に生じた問題を捉える上で重要であり、これまでも多くのシステムが提案されている [1, 2, 3]。一方、近年、急速に発展している拡張/複合現実技術 (AR/MR) によって、視覚の奥行き方向を使った情報提示や実空間と連動した情報提示が可能となってきた。そこで、我々はこれまで、AR/MR 技術を利用した三次元音響インテンシティの可視化システムを提案しており、実空間上への測定結果のマッピングの有効性を示してきた [4, 5, 6, 7, 8]。従来手法では、固定点の2次元画像情報へのマッピングであったため、奥行き情報の把握や視点の移動が困難であった。一方、提案システムでは、手持ち4点マイクロホンアレイで対象となる空間を走査するだけで、計測結果が空中に浮いているようにヘッドマウントディスプレイ (HMD) に自動的に情報提示される。観測者には測定データが両眼視差を使った奥行き情報を持つCGモデルとして三次元的な情報提示が行われ、多数の測定データを観測しやすいだけでなく、観測者が空間内を自由に移動し視点を変えながら測定結果を観測できるという利点がある。

このような実空間への測定データのマッピングには、測定点と観測者の位置および向き情報が逐次必要となる。HMD とステレオカメラを組み合わせたビデオ透過型 HMD を用いた可視化システム [4, 5] では、AR マーカをマイクロホンアレイと測定対象となる空間の両方に設置し、HMD に取り付けられたビデオカメラによってマーカの位置や向きを推定し、音源の付近の音場の可視化を行ってきた。しかし、AR

マーカの位置推定は、光量や距離の影響を受けやすいため、特に測定対象となる空間が広くなるにつれ、空間にマーカを多数配置する必要があり、広範囲の音場を可視化するのは困難であった。

そこで、我々は広範囲3次元音場の可視化を目的として、複合現実技術を用いた音場の可視化システムを提案している [6, 7]。近年急速に発展している Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) 技術によって、カメラや距離センサ等の情報を利用して、実空間のマッピングと自己位置推定を同時に行うことが可能になり、実空間への情報のマッピングに積極的に利用されはじめている。提案システムでは、マイクロホンアレイの位置のみを AR マーカを用いて推定し、観測者の自己位置と向きの推定は SLAM 技術を用いることで、空間に AR マーカを多数配置する必要がなく広範囲での音場の可視化が可能となってきた [9]。そこで、本稿では、提案システムを用いた可視化の実例として、パーティションの音場の回折の様子や広範囲の室内音場の可視化の実験例を紹介する。

2. 光学透過型 HMD を用いた音響インテンシティ可視化システム [9]

システムの概要図を図-1 に、システム利用の様子を図-2 に示す。まず、事前準備として、計測者は光学透過型 HMD (Microsoft HoloLens) を装着し、計測対象となる空間において周囲を見渡すことで、SLAM による空間マップの作成を行う。ただし、空間マップは逐次更新されるため、この時点で完全な空間マップを得る必要はない。次に、空間基準マーカのマーカ認識を行い、その位置を空間マップの原点座標とする。これは使用時に一度だけ行う必要がある。空間基準マーカ位置に対して測定データの位置を関

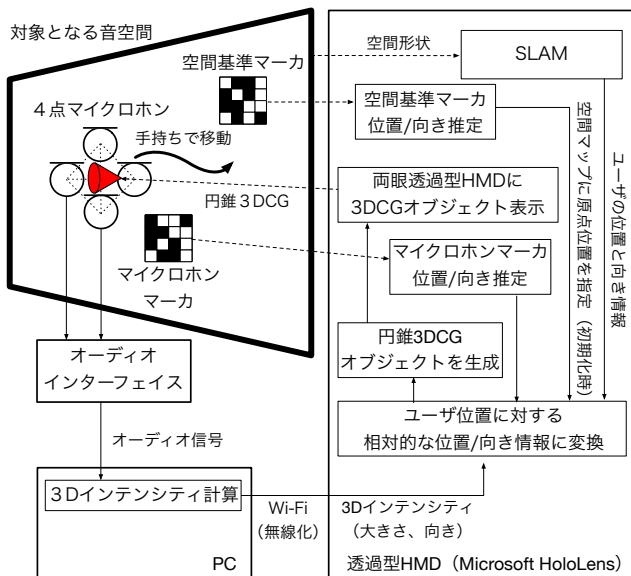


図-1 システム概要図

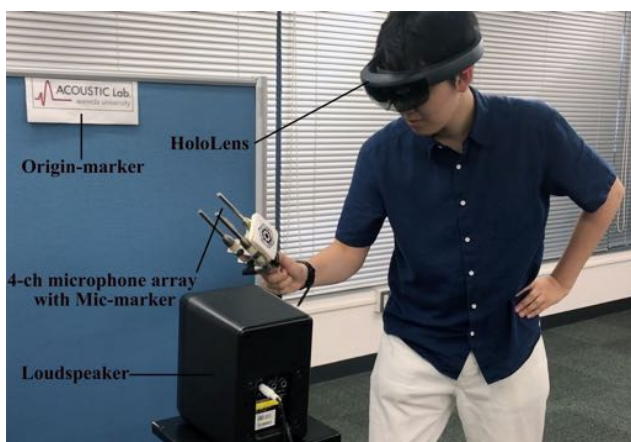


図-2 システム利用の様子

連付けて保存することで、再度データをマッピングする際に完全な空間マップが必要とならないという利点がある。例えば、音源付近の情報が重要で周囲環境にあわせマッピングする必要がない場合などは、マーカさえあれば任意の場所に情報提示することも可能となる。

測定は、マーカ付き4点マイクロホンアレイを用いて、測定対象となる音場を手でゆっくりと走査する。計測は逐次行われており、マイクロホンマーカが認識された状態で、かつ、すでに計測された測定点に対して一定の距離以上離れた場合に自動的に測定結果がマッピングさ

れる。したがって、計測者はマイクロホンアレイを可視化したい場所に対して動かすだけで良い。ただし、ドップラ効果などの影響が小さい範囲の速度でマイクロホンアレイを動かす必要がある。また、マイクロホンマーカは、常に手の届く範囲にあるため、マーカの認識精度を下げるような距離になることがなく安定した測定が可能である。

取得されたオーディオ信号から、PC上でクロススペクトル法 [10] を用いて2点間のインテンシティを求め、それらを合成することで三次元音響インテンシティを算出する。算出結果は、即座にUDP通信でWi-Fiを経由して光学透過型HMDに送信される。光学透過型HMD側では、データの受信時の画像フレームから光学透過型HMDに対するマイクロホン位置/向き情報を得る。その後、観測者の視点に合わせるために、三次元音響インテンシティベクトルの座標変換と回転を行う。円錐3DCGオブジェクトの色にはインテンシティレベルを反映させ、円錐の頂点方向がインテンシティの向きを表す。

3DCGオブジェクトの表示は、その空間自体にオブジェクトが存在するように、観測者の移動に応じて変更される。したがって、一度測定したデータを距離や角度を自由に変えて観察することができる。また、両眼視差を利用して奥行き情報を用いて可視化され、特に可視化したデータが密集している場合でも、視認が容易であるという特徴がある。その他にも光学透過型HMDの特徴として、ビデオ透過型HMDに比べ実空間の見えが自然であり、実際の空間と測定結果との関係を自然に観測できる利点がある。

ただし、本手法は、マイクロホンアレイを走査して音場を計測するため、可視化可能な音場は

定常的と仮定可能な音場となる。したがって、スピーカのように制御可能な音場や、エンジン音などの定常的な雑音に対して適用が可能である [8]。

3. 実空間における可視化例

提案システムは、広範囲の三次元音響インテンシティを手軽に計測・可視化が可能であるという特徴を持つ。そこで、広範囲三次元音場の可視化の例として、スピーカから放射された音波がパーティションによって回折する様子を可視化した例（実験1）と、廊下に設置したスピーカからの音波が廊下や部屋へ伝搬する様子の可視化例（実験2）を示す。実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件

条件	実験 1	実験 2
データオブジェクトの表示間隔 [m]	0.03	1.1
測定音源	白色雑音	
分析周波数帯域 [Hz]	707-1414	
サンプリング周波数 [Hz]	44100	
解析時間 [ms]	92.9	
暗騒音 (A 特性)[dB]	28.3	34.2
音圧レベル [dB] (スピーカ正面 1.0 m)	80	

3.1. パーティションによる回折の可視化

一般的な室内（早稲田大学 59 号館 4 階ゼミ室）において実験を行った。パーティション (0.9 m × 1.5 m × 0.015 m) の片側にスピーカ (YAMAHA MSP5) を設置し、音波がパーティションを回折する様子を観測する。スピーカからパーティションまでの距離は 1.0 m に、パーティションは窓からの距離約 2 m に設置した。可視化結果を図-3 に示す。計測点数は合計 1141 点、計測に要した時間は 1 時間程度であった。

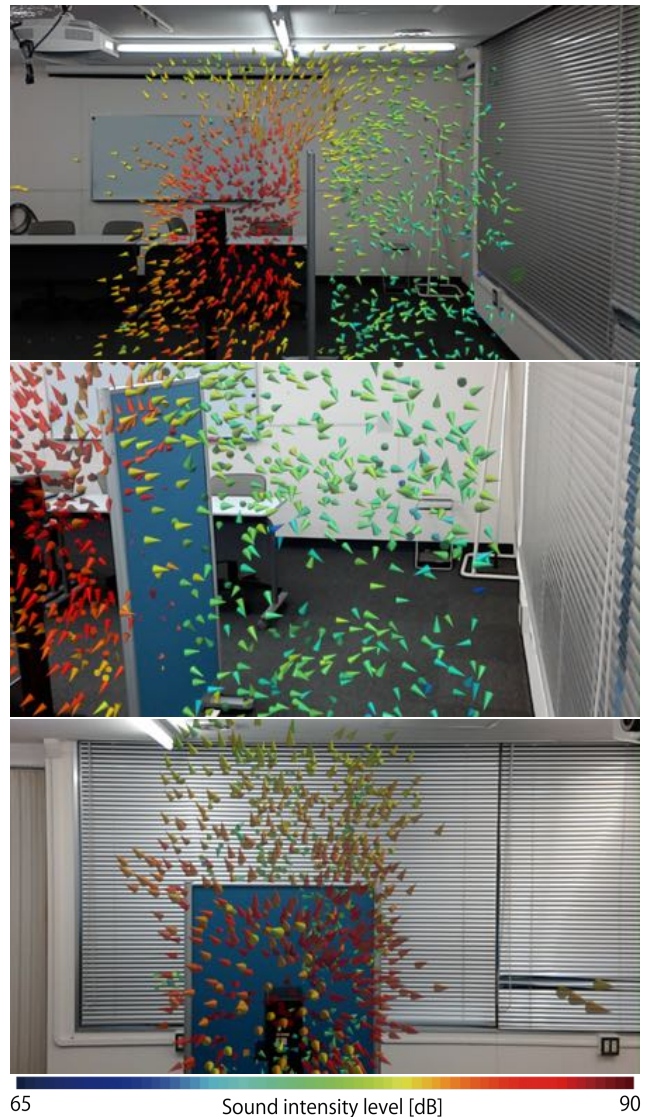


図-3 パーティションによる音波の回折の観測例

円錐 3DCG オブジェクトの色は音響インテンシティの強さを表し、円錐の頂点方向が音響インテンシティの向きを表す。図からスピーカより放射された音響エネルギーがパーティションを迂回しながら 20 dB 程度減衰する様子が見て取れる。また、窓や床付近では、境界面の音響反射の影響とみられる音響インテンシティの向きに乱れが観測された。

このように密集した多数のデータを可視化する際、両眼視差を用いた奥行き情報が視認性を高めることに役立つ。また、図-3 の中段・下段では、パーティションの片側に着目するため観

測者が移動した例を示している。この時、空間マッピングによって得られているパーティション形状情報を用いて、パーティションの反対側のデータは非表示となっており、観測者の視点に応じたより自然な情報提示を行っている。

3.2. 広範囲室内音場の可視化

実験は早稲田大学西早稲田キャンパス 59 号館 4 階にて行った。図-4 に Microsoft HoloLens の空間マッピングによって作成された室内形状モデルとスピーカ配置を示す。図-4 の左上のスペースがゼミ室であり、その隣に、途中で分岐する廊下がまっすぐに伸びている。スピーカはゼミ室横の廊下に高さ 0.92 m で設置し、空間基準マーカはスピーカの近くに設置した。廊下及びゼミ室入り口付近の可視化を行った結果をそれぞれ図-5, 6, 7 に示す。なお、計測の合計点数は 1165 点、計測時間は 2 時間程度であった。

図-5 は、スピーカの正面方向に最大で距離 12 m まで離れた場所の可視化の様子を示している。図から廊下に沿って音響エネルギーが遠方まで伝搬していく様子が可視化されていることがわかる。

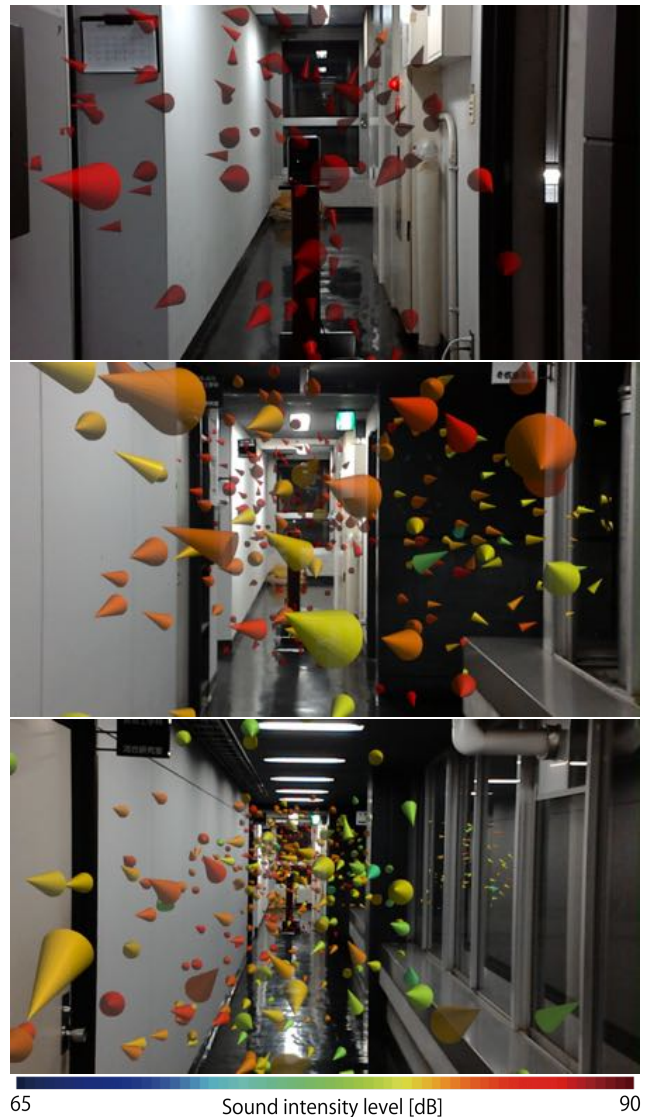


図-5 廊下を伝搬する音場の観測例
(上段から順にスピーカからの距離 1.0 m, 4.5 m, 12.0 m)



図-4 計測場所の空間マッピング結果とスピーカ配置

同様にして、図-6 は、スピーカの設置位置から廊下を曲がった場所の可視化結果である。スピーカ自体は直接視界に入らないが、曲がり角の右奥から音響エネルギーが流れてる様子が把握できる。図-7 は、廊下から部屋へと流れ込んでくる音響エネルギーの様子である。このように空間マッピングが作成可能な範囲で、自由に音場を可視化することができる。

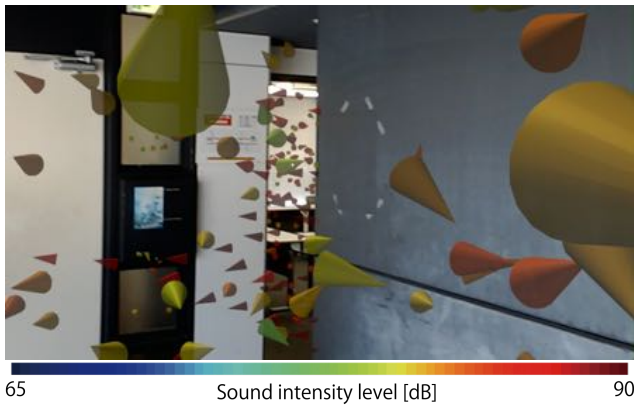


図-6 廊下の曲がり角における音場の可視化例
(図-4の緑色円の位置)

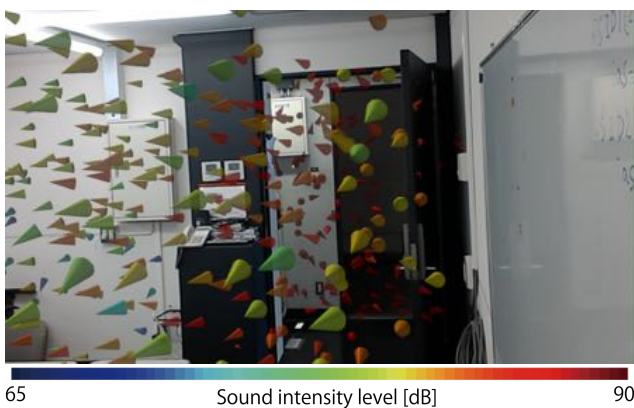


図-7 入り口から室内に入射する音場の観測例
(図-4の黄色円の位置)

4. まとめ

本稿では、既報の三次元音響インテンシティ可視化システムを用いた広範囲音場の測定例として、パーティションによる音場の回折の様子や廊下や室内への伝搬の様子など、広範囲の室内音場の可視化の例を紹介した。今後は、本システムを用いた音源の音響パワーの計測や多数の計測データを用いた位相情報の推定など、広範囲の音場を高速に多点計測できるという特徴を活かした応用を試みる。

参考文献

- [1] 尾本章, 中原雅考, 高島和博, “音の可視化技術,” 映像情報メディア学会誌, vol.65, no.4, pp.453-458, Apr. 2011.
- [2] Tijs, Emiel, Hans-Elias de Bree, and Steven

- Steltenpool, “Scan & paint: a novel sound visualization technique,” Inter-noise 2010, June 2010.
- [3] 吉住夏輝, 中村健太郎, 上羽真行, “手持ちマイクホンによる音場可視化システム,” 日本音響学会誌, vol.62, no.3, pp.282-289, 2006.3.
- [4] 井上敦登, 池田雄介, 矢田部浩平, 及川靖広, “シースルー型ヘッドマウントディスプレイを用いた三次元音場情報呈示システム,” 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI2016-3-03, Oct. 2016.
- [5] A. Inoue, Y. Ikeda, K. Yatabe and Y. Oikawa, “Three-dimensional sound-field visualization system using head mounted display and stereo camera,” Proc. Mtgs. Acoust., vol.29, no.1, 25001, Dec. 2016.
- [6] A. Inoue, K. Yatabe, Y. Oikawa and Y. Ikeda, “Visualization of 3D sound field using see-through head mounted display,” SIGGRAPH '17 Posters, July 2017.
- [7] 井上敦登, 矢田部浩平, 及川靖広, 池田雄介, “透過型ARデバイスによる三次元音響インテンシティ可視化システム,” 日本音響学会講演論文集, pp.635-636, Sept. 2017.
- [8] Atsuto Inoue, Yusuke Ikeda, Kohei Yatabe and Yasuhiro Oikawa, “Visualization system for sound field using see-through head mounted display,” Acoust. Sci. & Tech., (accepted).
- [9] 片岡優太, 寺岡航, 及川靖広, 池田雄介, “透過型Mixed Realityデバイスによる三次元音響インテンシティの計測表示システム,” 日本音響学会講演論文集, pp.587-588, Sept. 2018.
- [10] 橘秀樹, 矢野博夫, “環境騒音・建築音響の測定,” 音響テクノロジーシリーズ, コロナ社, pp.20-23, 2004.