

# システム面からみた Mixed Reality 技術の 音響技術への応用可能性

池田 雄介<sup>1,a)</sup> 渡辺 靖明<sup>1</sup> 片岡 優太<sup>2</sup> 寺岡 航<sup>2</sup> 及川 靖広<sup>2</sup>

**概要:** 近年, Mixed Reality (MR) 技術はスマートフォンの高性能化や専用デバイスの登場により, 導入コストが急激に下がり, 身近な技術となってきている. 特に光学透過型ヘッドマウントディスプレイを用いたデバイスは, その場の空間的な見えに対して, 奥行き情報も含めた自然な情報提示が可能となり, 今後, 様々な分野への利用が期待される. 近年, 我々は MR 技術を用いた音場の可視化システムを提案しており, より手軽で大規模な音場の可視化を実現してきた. そこで, 本講演では, MR 技術の特徴を概観しつつ, MR 技術を利用した音響技術の一例として, 我々の提案する音場可視化システムを紹介することで, 様々な音響技術への応用可能性について議論する.

**キーワード:** SLAM, 科学データ可視化, 光学透過型ヘッドマウントディスプレイ, 三次元音場可視化

## 1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality(MR)) 技術は, 現実環境と仮想環境を融合させる技術の総称である [1], [2]. 現実のユーザ周囲環境と仮想環境の融合の方法や程度には様々なものが考えられ, 特に情報支援を目的とした現実環境への仮想環境の重畳は, 拡張現実感 (Augmented Reality(AR)) と呼ばれ, 広く利用されてきた. 特に専用マーカを用いてカメラからのマーカの位置や向きを推定し, マーカを基準としたカメラ画像の位置に仮想環境を重畳するなどの画像処理技術に関する研究開発が盛んに行われてきた.

一方, 近年 Microsoft HoloLens を始めとした光学透過型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) と, 空間マッピングと自己位置推定を同時に行う Simultaneous localization and mapping (SLAM) 技術を組み合わせることで, 視覚情報に関して, 現実環境と仮想環境をより自然に融合させる専用デバイスが登場し, 多くの注目を集めている.

そこで, 本稿では, 近年の MR 技術を概観しつつ, それら MR 技術を音響技術への利用を議論する上, その一例として, 我々の提案する三次元音響インテンシティ可視化システムを紹介し, 現在のシステム的な課題や今後について議論する. なお, 実際の計測データ例は, 及川らによる

招待講演 [3] にて, レーザを用いた音場計測技術の話とともに多数紹介されるため, そちらも合わせて参照いただきたい.

## 2. Mixed Reality 技術の概要

現実環境と仮想環境の融合には, 現実環境と仮想環境が相互に影響を及ぼし合う必要がある. その際, 重要となるのは, ユーザへの仮想環境情報の提示と現実環境に対するセンシングの問題である.

### 2.1 ディスプレイ

ユーザへの視覚情報提示デバイスであるディスプレイには, MR 技術に関連するという観点からは, 両眼視差を考慮した HMD とスマートフォンのようなセンサ付きディスプレイに分けられる. 後者は非常に手軽に利用できる反面, 画角の問題や奥行き情報を理解するためには, ディスプレイがユーザに対して外部デバイスになってしまうため, システム没入感に乏しいという問題がある. 一方前者は, システム規模がより大きくなり, 頭部への装着が必要になるというユーザに対する煩雑さは増加するものの, 奥行き情報も含めて映像を提示可能で, システム没入感も高い.

特に HMD を用いて現実世界とインタラクションするために, ビデオ透過型 HMD (図 1 左図) と光学透過型 HMD (図 1 右図) が存在する. ビデオ透過型は, HMD の前面に配置したステレオカメラの映像情報をそのまま左右の眼に対するディスプレイに投影することで, 現実環境を仮想環

<sup>1</sup> 東京電機大学  
TDU, Adachi-ku, Tokyo 120-8551, Japan

<sup>2</sup> 早稲田大学  
Waseda University, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan

a) yusuke.ikeda@mail.dendai.ac.jp



図 1 ビデオ透過型 HMD(左図) と光学透過型 HMD(右図). (文献 [4] より引用)

境に取り込むことが可能になる。現実環境に合わせて仮想環境の情報を変更することで、現実と VR の融合が可能となる。近年の VR 用の HMD は視野角が広く、また視覚全体を覆うことが可能なため、没入感の高いシステムが構築可能である一方、ステレオカメラで撮影された動画像を表示するため、現実環境の情報が劣化するという問題がある。

一方、光学透過型 HMD は、図 1 右図のようにユーザ側から光学透過型ディスプレイを介して現実環境を直接見ることが可能となっている。ここに仮想環境を重畳することで、2つの環境の融合を行う。したがって、現実環境の情報は非常に自然であるが、屋外のようにディスプレイ側の出力に対して現実環境の光が強すぎる場合はあまり適さない。また、仮想環境を提示可能な視野角が狭く、提示する情報は、視野角に収まるよう一定の距離離れた場所であることが望ましい。しかし、ディスプレイ技術の発展とともに将来的には、視野角の問題は改善されることが期待される。

## 2.2 Positional tracking and spatial mapping

現実環境と仮想環境の融合には、現実環境の適切なセンシングが重要である。仮想環境のみであれば、主に必要な情報は、ユーザの向いている向きのみであったが、現実環境との融合には、自分が部屋のどこをいるかをリアルタイムに知る必要がある。ユーザの位置を知る方法には、Oculus Rift もしくは、HTC Vive で用いられているように、赤外線カメラもしくはレーザースキャン等の外部センサを配置する方法がある。しかし、外部センサを設置するには、十分に広い設置スペースが必要になる他、システム規模も大きくなり、検出範囲も設置時に限定されるなどの問題がある。

さらに現実環境とのインタラクションを実現するには、現実の部屋の形状や室内に置かれたものの形状などが必要となる。仮想環境における部屋の形状と一致させることで、現実世界の床や机に置かれているかのように、CG オブジェクトを配置することが可能になる。

近年、特にロボット制御の分野で、自己位置と空間マッピングを同時に行う SLAM 技術が注目を集めている。SLAM では、カメラ映像から認識された特徴点の登録と更新を繰

り返ししながら、それら特徴点の対応関係からカメラの自己位置と空間マッピングを実現しており、使用するカメラも RGB-D カメラからステレオカメラ、単眼カメラまで、幅広く研究が行われている。また、近年のスマートフォンや Microsoft HoloLens のような MR 専用デバイスでは、これらの処理を行う専用の SoC が搭載されており、リアルタイムに自己位置と空間マッピングを行いつつ、その他の処理を行うことが容易になってきた。

## 3. 音場の可視化技術への適用例

### 3.1 ビデオ透過型 HMD を用いた音場の可視化

MR 技術を音響技術に利用した一例として、これまでに我々が構築してきた三次元音響インテンシティ可視化システムについて紹介する [5], [6]。図 2 に、ビデオ透過型 HMD を用いた三次元音響インテンシティ可視化システムの概念図を示す。右図は現実環境、左図は仮想環境である。HMD の前面につけられたステレオカメラによって、観測したい音場の付近に設置された AR マーカを認識する。音場情報を表す CG オブジェクトは、そのマーカ座標に対して相対的に対応付けられているため、現実空間で AR マーカを認識することで、適切な位置に音場情報を提示するが可能である。

したがって、本システムでは、空間マップを作ることなく、マーカのみ認識されればよいが、逆にマーカの認識が外れると現実と仮想環境の同期が難しくなる。近年のステレオカメラは、SLAM も可能となっているため、空間に設置されるマーカがなくとも、現在位置情報の取得が容易になってきている。一方で、空間形状にデータが直接対応づけられると、同様の音源を別の場所に設置した場合にデータを再配置する必要がある。AR マーカを利用することで、直感的にデータと場所を対応付けられるという利点もある。シミュレーションデータの可視化の場合、計算結果となる CG オブジェクトをどの場所に配置しても問題なければ、ユーザが好きなのところに配置すれば良い。多くの科学データは、データを見る場所とデータ自体が無関係であるが、音のように現実環境と音のデータが対応させたい場合に、ユーザがマーカを用いて直感的に配置を変更可能である。

また、我々の提案システムでは、リアルタイム音響インテンシティ計測を可能にする。図 3 にシステム概念図を示す。測定対象が定常的な音場であると仮定する。ユーザは 4ch マイクロホンアレイを手で持ち、空間を走査する。計測点の座標は、HMD のステレオカメラからマイクロホンに設置された AR マーカを認識することで、ユーザ位置を基準とした局所的なマイクロホン座標を取得する。現実環境におけるユーザ位置は、前述のように AR マーカや SLAM を用いて取得可能なため、局所的なマイクロホン座標をグローバル空間座標系にマッピングし直すことは容易である。

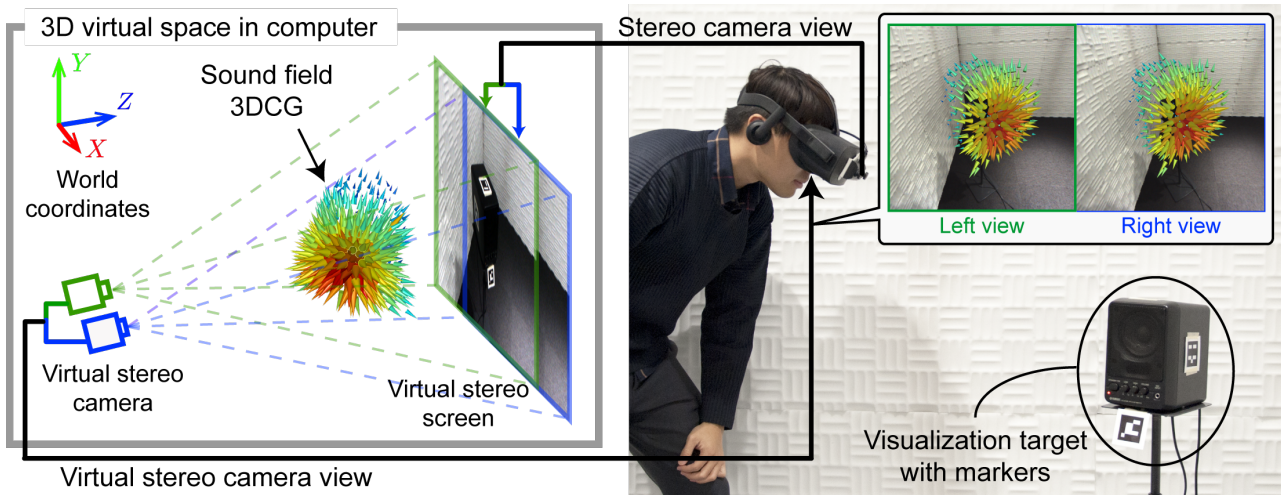


図 2 ビデオ透過型 HMD を用いた音場情報提示システム (文献 [6] より引用)  
 Fig. 2 Sound field display system using by video see-through HMD[6]

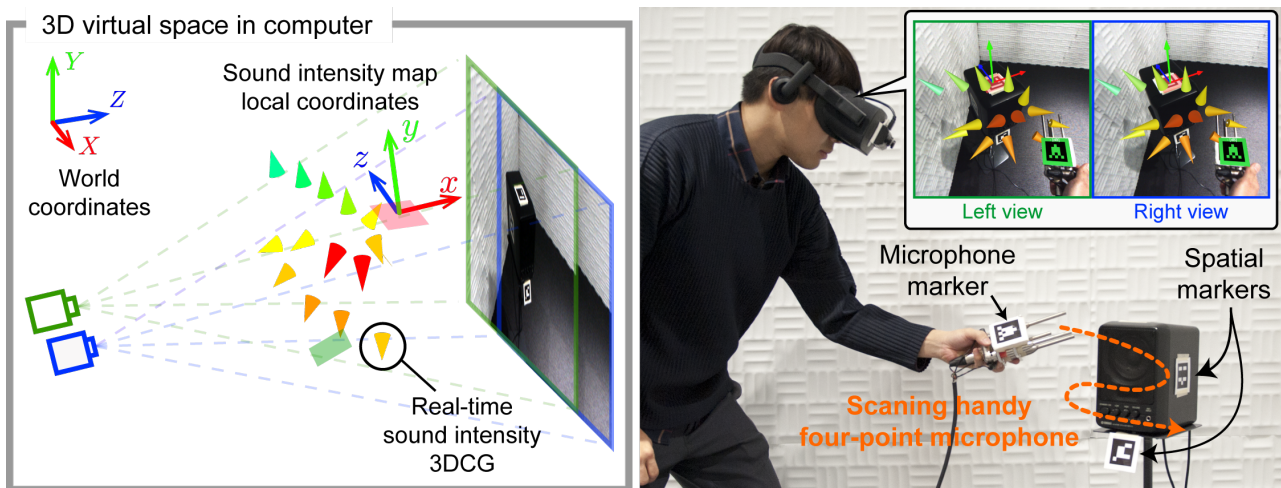


図 3 ビデオ透過型 HMD を用いたリアルタイム三次元音響インテンシティ可視化システム  
 (文献 [6] より引用)  
 Fig. 3 Sound field display system using by video see-through HMD[6]

AR マーカを計測位置の検出に使用する場合、AR マーカがカメラから離れすぎると、位置検出精度が下がることに注意が必要であるが、手持ちマイクロホンの位置検出では、カメラはユーザが装着し、マイクロホンが離れる距離も最大で手の長さ程度であることから、距離による検出精度の低下の心配がなく、ユーザが移動することで、広範囲の音響計測が可能となる。

### 3.2 光学透過型 HMD を用いた音場の可視化

より自然で広範囲の音場データの可視化を目的とした光学透過型 HMD を用いた三次元音響インテンシティ可視化システム [7], [8] を紹介する。図 4 にシステムの利用の様子とシステム概要図を示す。提案システムでは、光学透過型 HMD として Microsoft HoloLens[9] を用いた。HoloLens デバイスは、SLAM 用 SoC が搭載されており、別の計算機を必要とすることなく、MR 技術を利用することが可能と

なっている。一方、開発用デバイスということもあり、入力用インターフェイスをほとんど持たないため、無線 LAN もしくは Bluetooth といった無線通信によってデータを送受信する必要がある。したがって、計測には複数のマイクロホン信号を取得し計算結果を HoloLens に無線で送信する必要がある。ここでは単純にオーディオインターフェイスと PC を用いて、音響計測データの取得を行う。得られた計測データをグローバル座標へ対応づけ、可視化する処理に関しては、すべて HoloLens 上で行われる。

これらのシステムを拡張し、複数人数で同時に音場の可視化データを共有するシステム [10] の研究開発も行っており、大規模な計測結果について様々な視点から複数で観測しつつ議論や説明が行うことが可能になった。実用上、複数人数で同時に体験できることは、音響問題の解決や音響教育などに大いに役立つであろう。

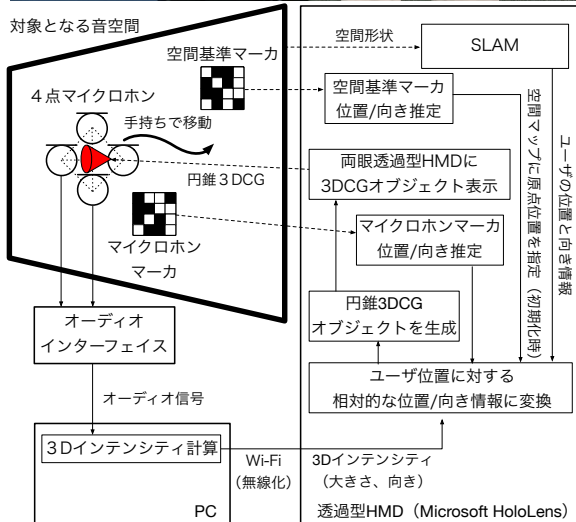
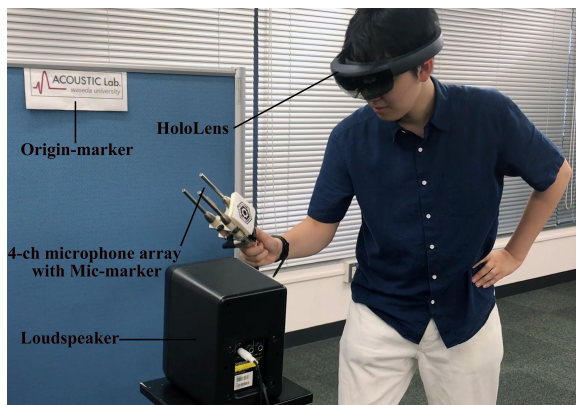


図 4 Microsoft HoloLens を用いたリアルタイム三次元音響インテンシティ可視化システム。上図：システム利用の様子（文献 [8] より引用）下図：システム概要図（文献 [11] より引用）

Fig. 4 Visualization system for three-dimensional sound intensity with Microsoft HoloLens[8], [11]

### 3.3 課題点

データの可視化という観点でみると、視野角は大きな問題の一つである。例えば HoloLens の持つ視野角は横 30 度、縦 17.5 度程度であるが、音場のデータのようにデータが大量に表示されている場合に、データが途中で途切れてしまい、没入感が失われてしまう。しかし、これらは既に発表されている Microsoft HoloLens2 など今後発売が予定されているデバイスで視野角が広がるのが予定されており、今後も継続的に改善されていくであろう。

もう一つの懸念事項は、SLAM の自己位置と空間マッピングの推定精度である。窓のような透明な物体に対して形状を識別することは難しく注意が必要である。自然光など、環境によって精度が異なる可能性がある。また、複数デバイスを利用する場合などにマッピング自体が 10cm 程度ずれることがある。計測位置の誤差の見積りや、それらの誤差に対する許容範囲を明確にした上で、用途を検討する必要がある。さらに、信号処理によって計測位置の誤差による影響を低減することも今後の検討課題である。

## 4. おわりに

本稿では、近年急速に発展する MR 技術を概観し、我々の提案する MR 技術を用いた三次元音響インテンシティ可視化システムを一例として、MR 技術の特徴と音響技術への適用可能性について議論した。今回はスマートフォンを用いたシステム [12] については紹介をしなかったが、手軽で身近なシステムとして、普及が見込まれると考えられる。今後も MR 技術は急速な発展が見込まれ、より高精度で没入感の高い MR システムの登場も近い将来に実現されることが期待される。その際、科学データの可視化を中心として、様々な音響技術にも積極的な利用が可能となるであろう。

## 参考文献

- [1] Paul Milgram, Fumio Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays," IEICE Trans. Information Systems, E77-D,12,1944
- [2] 日本バーチャルリアリティ学会：バーチャルリアリティ学, 2011
- [3] 及川靖広ら, "光学技術や Mixed Reality 技術を用いた音場可視化計測," 音学シンポジウム, 2019
- [4] 井上敦登, 池田雄介, 矢田部浩平, 及川靖広, "光学透過型ヘッドマウントディスプレイによる三次元音響インテンシティ可視化システム," 平成 29 年度第 3 回アコースティックイメージング研究会, 2017.10
- [5] Atsuto Inoue, Yusuke Ikeda, Kohei Yatabe, Yasuhiro Oikawa, "Three-dimensional sound-field visualization system using head mounted display and stereo camera," Proc. Mtgs. Acoust. 29 (5th Joint Meeting ASA/ASJ, J. Acoust. Soc. Am.), 025001, Nov.2016.
- [6] Atsuto Inoue, Yusuke Ikeda, Kohei Yatabe, Yasuhiro Oikawa, "Visualization system for sound field using see-through head mounted display," Acoust. Sci. & Tech., Vol.40, No.1, pp.1-11, 2019.1.
- [7] Atsuto Inoue, Kohei Yatabe, Yasuhiro Oikawa, Yusuke Ikeda, "Visualization of 3D Sound Field using See-Through Head Mounted Display," Proc. SIGGRAPH 2017 Posters, Article No.34, Jul.2017.
- [8] Yuta Kataoka, Wataru Teraoka, Yasuhiro Oikawa, Yusuke Ikeda, "Real-time Measurement and Display System of 3D Sound Intensity Map using Optical See-Through Head Mounted Display," Proc. SIGGRAPH Asia 2018 Posters, Article No.71, Dec.2018.
- [9] Microsoft HoloLens, <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens> (参照 2019-05-29).
- [10] Yuta Kataoka, Wataru Teraoka, Yasuhiro Oikawa, Yasuaki Watanabe, Yusuke Ikeda, "Real-time sharing system for visualization of 3D sound intensity," Proc. SIGGRAPH 2019 Posters. (submitted)
- [11] 池田雄介, 片岡優太, 寺岡航, 及川靖広, "複合現実技術を用いた広範囲三次元音場の可視化," 平成 30 年度第 3 回アコースティックイメージング研究会, 2018.10
- [12] Wataru Teraoka, Yuta Kataoka, Yasuhiro Oikawa, Yusuke Ikeda, "Display System for Distribution of Virtual Image Sources by using Mixed Reality Technology," Proc. InterNoise2018, in18\_1647, Aug.2018.