

光学透過型ヘッドマウントディスプレイを用いた 音圧分布可視化システムの開発 —システム構成および適用実験によるシステム有効性の検討—

Development of Sound Pressure Distribution Visualization System
using an Optical See-Through Head-Mounted Display
(System Configuration and Results of Application Experiments on System Effectiveness)

佐藤 考 浩^{*1} 岩 根 康 之^{*1} 小 林 真 人^{*1}
Takahiro Sato Yasuyuki Iwane Masahito Kobayashi
及 川 靖 広^{*2} 井 上 敦 登^{*2} 寺 岡 航^{*2}
Yasuhiro Oikawa Atsuto Inoue Wataru Teraoka

【要旨】

これまで音の可視化技術として様々な手法が提案されている。その中でもビームフォーミング法では、任意断面の音圧レベル分布を計測することができ、音の到来方向や音源位置の探査に適用されている。しかし、現状の手法では計測結果はディスプレイ上で提示されることが多く、奥行方向の計測断面位置を把握しにくいという課題がある。この課題の解決方法として、本研究では奥行方向を使った情報提示が可能である光学透過型ヘッドマウントディスプレイ (OST-HMD) を用い、ビームフォーミング法で算出した音圧レベル分布をカラーマップとして実空間上に重畳するシステム「OTOMIRU」を開発し、屋内外での適用実験を行った。

適用実験では、奥行方向の計測断面位置が把握しやすく、より正確に音源位置を探査できるシステムであることを確認した。一方、屋外での計測時はOST-HMDでの空間形状認識が機能しにくくなり、物体の形状に沿ったカラーマップの投影が行われない点やカラーマップに欠損が生じる点が課題として抽出された。

【キーワード】 複合現実技術 ビームフォーミング 音場可視化 音圧レベル分布 騒音源探査

1. はじめに

騒音に関する適切な対策を実施するためには音の発生箇所の特定が重要となり、その発生源をよりわかりやすく特定するため、これまでに様々な音の可視化技術が開発されている。その中の一つであるビームフォーミング法は、ある方向からの音が複数設置されたマイクロホンに到達するときの時間差を求め、それぞれで収録した信号に遅延などの処理を行うことにより、特定の方向における音圧レベルを求める手法である¹⁾。この処理を任意断面上の各計算メッシュで行うことにより、音圧レベル分布をリアルタイムで計測することができるため、音の到来方向や音源位置の探査に適用されている。しかし、現状の手法では計測結果がPCなどのディスプレイ上で提示されることが多く²⁾、奥行方向の計測断面位置を把握しにくいという課題がある。

一方近年では、拡張・複合現実技術 (AR・MR) といった、現実世界にCGなどのデジタルな情報を重ね合わせる技術が開発されており、空間の3次元形状の認識と自己位置の推定を同時に行うSLAM (Simultaneous

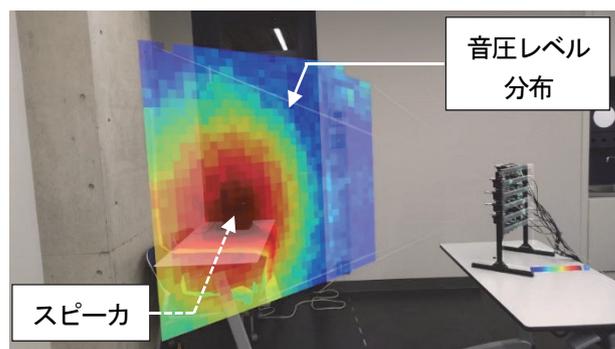


図-1 OTOMIRUによる音の可視化状況

Localization and Mapping) 技術と組み合わせ、自由な位置や方向からCGモデルを閲覧・操作できるデバイスが登場している³⁾。さらに、目の位置に透明なディスプレイが取り付けられた光学透過型ヘッドマウントディスプレイ (OST-HMD) を用いることで、より自然にCGモデルを実空間上に重畳することが可能となっており、様々な分野でこの技術が応用されている。

そこで本研究では、ビームフォーミング法の課題の解決策として、奥行方向を使った情報提示が可能である

1.技術研究所 研究開発G 第二研究室 2.早稲田大学 基幹理工学部 表現工学科/株式会社INSPIREI

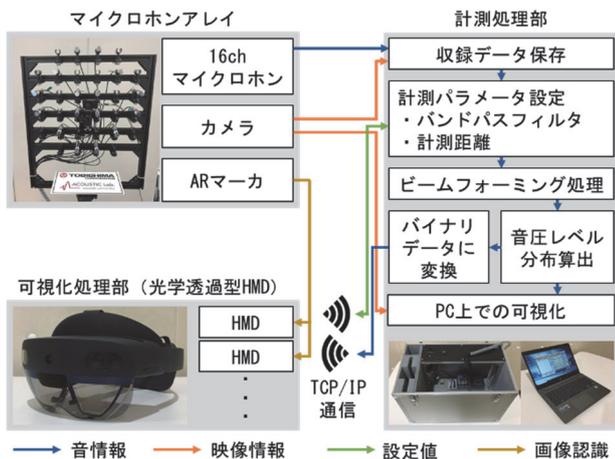


図-2 システム構成

OST-HMD を用い、ビームフォーミング法で算出した音圧レベル分布を実空間上に重畳する可視化システム「OTOMIRU」(以下、本システム)を開発した。本システムによる音の可視化状況を図-1に示すが、OST-HMDによって音圧レベル分布を表すカラーマップを実空間上で観測することができ、計測断面の3次元的な奥行情報を直感的に把握することができるシステムとなっている。本稿では、本システムの構成および屋内外での適用実験によるシステム有効性の検討結果を報告する。

2. 開発システムの概要

2.1 システム構成

本システムの全体構成を図-2に示す。本システムでは、計測と可視化で処理部分に分かれており、両者はWi-Fiを用いたTCP/IP (Transmission Control Protocol) 通信によりリアルタイムで連動する。

計測処理部では、平面的に配置された16chのマイクロホン(マイクロホンアレイ)で収録した音をビームフォーミング処理し、任意断面上の音圧レベル分布を算出する。この音圧レベル分布の情報はバイナリデータとして可視化処理部であるOST-HMDに転送される。ビームフォーミング処理に必要な計測距離(マイクロホンアレイからカラーマップまでの距離)・バンドパスフィルタの設定値や計測開始・停止の状態は、計測・可視化処理部間のTCP/IP通信により同期されており、計測処理部、可視化処理部のどちらでも計測操作が可能となっている。

また、本システムでは計測システムに複数台のOST-HMDを同時に接続することができるため、複数人で操作や情報を共有することができ、観測者はそれぞれの視点から計測結果を確認することができる。

2.2 可視化処理部での処理フロー

可視化処理部での処理フローを図-3に示す。可視化処理部では、計測処理部から転送される音圧レベル分布のバイナリデータをカラーマップに変換し、空間上に計測結果が重畳される。なお本システムで用いたOST-HMD

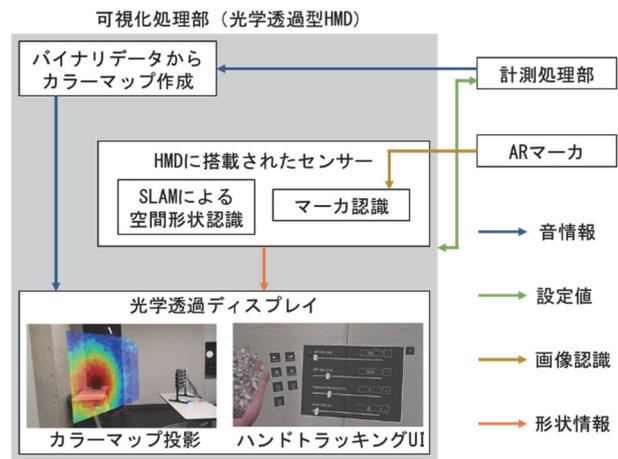


図-3 可視化処理部での処理フロー

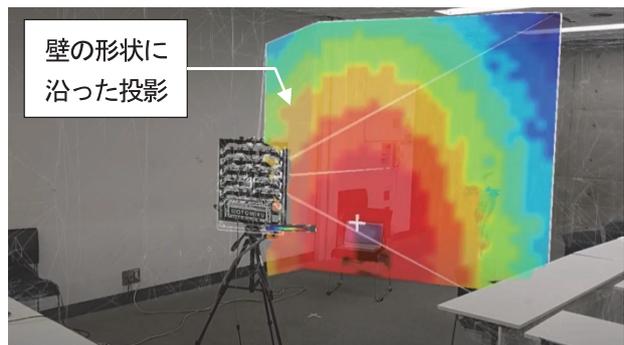


図-4 空間形状に沿ったカラーマップの投影

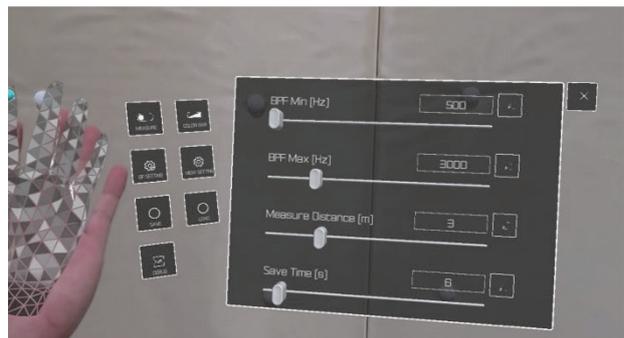
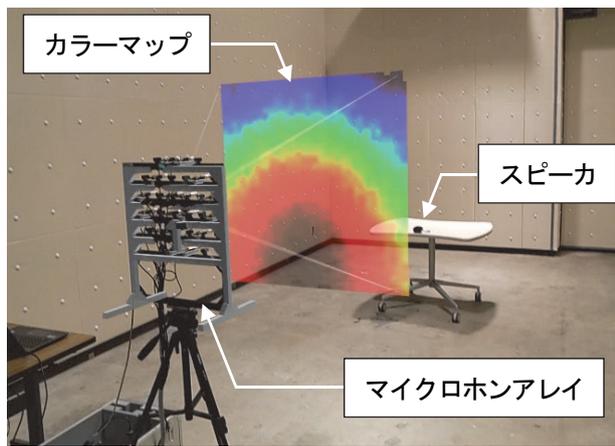


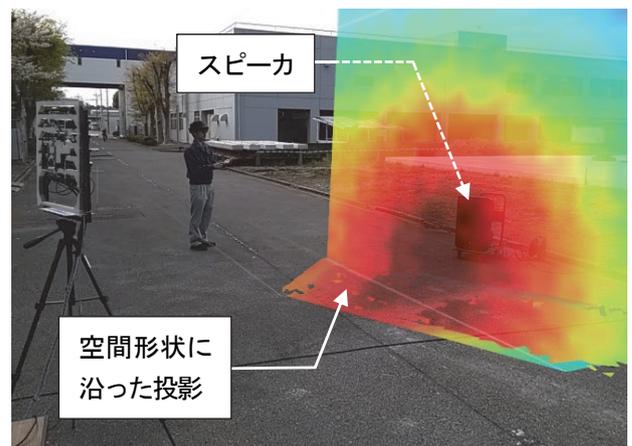
図-5 ハンドトラッキングUIによる操作・設定変更

では、搭載された深度センサ・RGBカメラによってSLAMやマーカ認識が行われ、空間形状を把握するとともに、マイクロホンアレイに設置されたARマーカからマイクロホンアレイの設置位置が定義される。これにより、認識した空間内のどの位置からも計測結果を観測することが可能となる。さらにSLAMにより空間形状を認識しているため、カラーマップの投影範囲内に壁や床などの空間形状がある場合は、その表面上にカラーマップを投影することも可能である(図-4)。

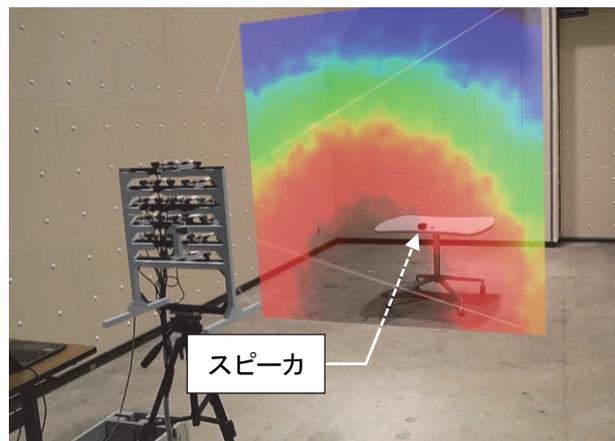
また本システムで用いたOST-HMDではハンドトラッキング機能も有しており、表示されるCGモデルに手を触れて操作することができる。図-5に示すように、本システムでは計測開始/停止ボタンや計測パラメータの設定パネルをCGモデルとしており、視野角内に片手を出すと表示されるハンドトラッキングUIで計測操作を行うことによりハンズフリーな計測を実現する。



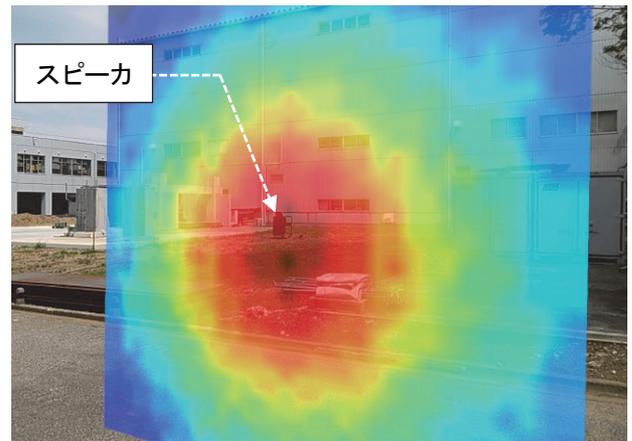
a) 計測距離 : 1 m



a) 計測距離 : 5 m



b) 計測距離 : 3 m



b) 計測距離 : 20 m

図-6 実験室内における音圧レベル分布の可視化結果

図-7 屋外における音圧レベル分布の可視化結果

3. 適用実験によるシステム有効性の検討

本章では、開発システムの有効性や課題を検討することを目的とした実験室内および屋外での適用実験の結果を報告する。

3.1 実験室内における検証

実験室内での試験計測は、マイクロホンアレイ前から3 mの位置に設置したスピーカーからホワイトノイズを発生させ、計測距離を変えながら実施した。計測結果を図-6に示す。計測距離を1 mに設定した場合に比べ、3 mに設定した条件のほうが音源近傍に断面が設定されていることを視覚的に把握できることがわかる。従来手法では計測断面位置を変更してもディスプレイ上での見え方に変化はないことから、本システムは奥行方向の断面位置情報を把握しやすく、より正確に音源位置を探索できる手法であるといえる。

3.2 屋外における検証

(1) スピーカを用いた屋外計測

屋外に設置したスピーカーから3.1節と同様のホワイトノイズを発生させ、断面の距離を変えながら計測した。計測結果を図-7に示す。2.2節で述べた通り、本システムではカラーマップの投影範囲に床や壁がある場合は、

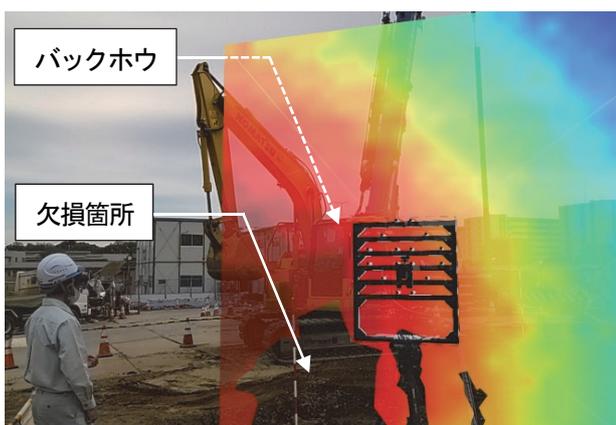
その形状に沿ってカラーマップを投影するようになっており、図-7 a)のように計測距離が近い場合は、地表面で上記の投影手法が機能することがわかった。しかし図-7 b)のように計測距離が離れた場合は、OST-HMDによる広範囲の空間形状認識が困難となり、物体の形状に沿った投影が機能しないことによって、計測断面の奥行情報が認識しにくくなることが明らかとなった。また屋外での計測時は、太陽光の影響によりOST-HMDで表示される計測断面等の映像が見えにくくなることも把握した。この課題はOST-HMDのレンズ外側に遮光フィルムを貼りつけることで対処できることを確認した。

(2) 建設工事現場での計測

建設工事現場での計測は、サイレントパイラー、ラフテレーンクレーン、小型バックホウでの作業が行われている環境で実施し、これらを対象音源とした。計測結果を図-8に示すが、ラフテレーンクレーンのエンジン音やバックホウのアーム部分から発生する金属音が騒音源として可視化されており、建設工事現場での騒音管理や音源探索への適用可能性が確認された。一方図-8 b)に示すように、計測を続けるとカラーマップの一部に欠損が生じることを確認した。投影範囲内で建設作業員等の往来があった本計測では、人の形状に合わせた投影が行



a) ラフテレーンクレーンの計測



b) バックホウの計測

図-8 建設工事現場における音圧レベル分布の可視化結果

われており、さらに太陽光の影響により OST-HMD での空間形状認識が更新されにくくなったことから、図-8 b)のような現象が発生したと考えられる。

(3) 屋外計測での課題解決策

前項までの結果より、屋外での計測時は OST-HMD での空間形状認識が機能しにくくなり、物体の形状に沿ったカラーマップの投影が行われない点やカラーマップに欠損が生じる点が課題として抽出された。これらの課題を解決するために、より広範囲・高精度に空間形状を取得できるセンサと OST-HMD を連携させることや、事前に取得した対象空間の 3D モデルを活用するといった対策が考えられる。

Summary Various methods have been proposed as sound visualization techniques, including the beamforming method, which measures sound pressure level distributions for an arbitrary cross section. This method searches for the arrival direction and position of a sound source. However, with current methods, the measurement results are often presented on a display. It can be difficult to grasp the position of the measurement cross section in the depth direction. To address this issue, we developed a system incorporating an optical see-through head-mounted display (OST-HMD) that can present information in the axis of depth. This OTOMIRU system superimposes sound pressure level distributions calculated by the beamforming method onto real space as a color map. We performed both indoor and outdoor experiments. In the application experiments, we were able to confirm that the system readily identifies the measurement cross-sectional position in the depth direction and more accurately locates the sound source position. However, spatial shape recognition functions less effectively with OST-HMD during outdoor measurements. The issues identified include the inability to project the color map properly along object contours and color map errors.

Key Words : Mixed reality technology, Beam forming, Sound field visualization, Sound pressure level distribution, Noise source identification

4. おわりに

本研究では奥行方向を使った情報提示が可能である OST-HMD を用い、ビームフォーミング法で算出した音圧レベル分布を実空間上に重畳する可視化システム「OTOMIRU」を開発し、屋内外での適用実験を行った。適用実験で得られた知見を以下に示す。

- ・ 屋内での適用実験では、計測断面位置を実空間上で確認できることで従来手法よりも奥行方向の情報が把握しやすいことを確認した。
- ・ ラフテレーンクレーンや小型バックホウを対象音源とした屋外での適用実験では、建設工事現場での騒音管理や音源探査への適用可能性がみられた。一方、太陽光によって OST-HMD での空間形状認識が機能しにくくなることに起因するカラーマップ投影面での課題が抽出された。

今後は建設工事現場や建築物内部での実務的な計測への適用に向け、システムの性能を向上させていく。また本システムの汎用性を高めるため、タブレット端末等の他 MR デバイスを使用した可視化システムへの拡張も検討する。さらに現状のシステムを応用して、3 次元的に伝搬していく音の情報をリアルタイムで計測し、実空間上に重畳する可視化システムへの展開を進める。

謝辞：屋外での適用実験に際し、東京都水道局多摩水道改革推進本部をはじめ、東大和作業所の皆様にご協力頂きました。本紙面をお借りしてお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 越川常治：ビームフォーミングの主要なアルゴリズムと方式例について 一直線配列センサによる音源方向検出，日本音響学会誌，Vol.45，No.10，pp.815-822，1989。
- 2) 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.453-458，2011。
- 3) 吉永崇：次世代 AR デバイスの紹介 —Microsoft HoloLens と Google Tango の概要と利用事例—，可視化情報，Vol.37，No.146，pp.20-25，2017。