

鋭指向性マイクロホンアレイを用いた音場再生システムに関する研究

柏崎, 紘

<https://hdl.handle.net/2324/4475139>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 柏崎 紘

論 文 名 : 鋭指向性マイクロホンアレイを用いた音場再生システムに関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

音場再生は様々な音が存在する場の特徴を別の場所で精密に再生する技術である。音場再生手法は大きく 2 つに分類される。1 つは心理音響的手法で、各スピーカ出力の振幅や位相を調整することで音像の位置を操作し、所望の音場の「感覚」を再生する。音楽録音において行われているように、数多くのマイクロホン信号をミキシングして制作者の意図する音場を創作することもでき「芸術的」な側面がある。もう 1 つは物理音響的手法で、物理モデルに基づいて音圧や音圧勾配などの情報を再現する手法である。音場の球面調和関数展開表現に基づく「高次アンビソニックス」や、Kirchhoff-Helmholtz 積分方程式に基づく「境界音場制御」などの手法がある。波面の精密な再現が可能であることから、様々な音環境のシミュレータとしての応用や、音響材料の物理特性計測への応用が試みられている。また、エンターテインメント用途としては、技術的ハードルが高いためデモンストレーションなどで体験されるにとどまる場合が多いものの、近年 Virtual Reality への関心の高まりに伴い、Head Mounted Display 等の映像情報と共に、より高い没入感を備えた音場再生手法を応用する機運も高まっている。

このような動向を踏まえ音場再生に求められる要件として、(A)物理的な再生性能、(B)聴取者の存在などの外乱へのロバスト性、(C)芸術的な演出導入の余地、(D)映像情報との融合、の 4 つを設定した。既往の研究において、これらの要件を満たすシステム具現化のため、鋭指向性マイクロアレイを用いた收音再生システムが構築されている。このシステムでは、録音の現場などで用いられる高音質かつ指向性の鋭いマイクでアレイを構成し、信号処理などを用いずに簡易に方向情報を再生することができる。

このシステムの性能向上のため継続的な検討が行われており、本研究はその一部である。本研究では具体的に次の 3 つに取り組んだ。(1)この收音再生システムに境界音場制御を適用すること。(2)この收音再生システムに高次アンビソニックスを適用すること。(3)映像呈示のためのシステムを構築し、本システムの音場再生と同時に呈示する手法を確立すること。

本論文は 7 章から構成される。第 1 章では、研究の背景として音場再生の研究動向について概説した後、本研究で扱う鋭指向性マイクロホンアレイおよびスピーカアレイについて述べ、研究の目的およびそれに対するアプローチを述べる。第 2 章では、本研究で用いる 3 種類の音場再生手法の原理について解説する。第 3 章では、物理音響的手法の 1 つである「境界音場制御」に関して、その逆フィルタ設計手法について議論する。まず、逆フィルタ行列の任意要素をゼロにすることで、処理すべきフィルタ数を削減する手法を提案する。ここで非ゼロ要素の選択方法については、伝達関数の振幅特性に基づく選択方法を提案するほか、 s -スプース近似と呼ばれる最適化問題に当てはめ既存の最適化アルゴリズムを適用する。これらの選択方法を数値シミュレーションにより比較したところ、マイクが指向性を有するとき、低い周波数帯域では、いずれも類似した選択パターンが得られることがわかった。また、フィルタ数削減により制御に使用するスピーカが限定されるため、

鋭い指向性のマイクと組み合わせることで高い周波数帯域で再生性能が向上する結果を得た。第 4 章では、物理音響的手法のもう 1 つの主流である球面調和関数展開に基づく手法の適用を試みる。まず、鋭指向性マイクアレイでの球面調和関数展開を可能にするため、高次音圧勾配を含んだモデル化手法を提案し数値実験および測定実験によりモデルの妥当性を確認する。また、球面調和関数展開に基づくビームフォーミングを適用し合成された指向性を評価する。第 5 章では、第 4 章までの 5 種類の手法を使って実際に音場再生を行い、それぞれ物理計測によって評価する。まず、空間的に広範囲の音圧分布を計測するための、MEMS マイクロホンアレイおよびその移動装置を製作する。これにより再生音場の約 2 メートル四方の水平面の波面を可視化し、定性的に評価する。また、ダミーヘッドマイクを用いた収録により、両耳間時間差およびレベル差を算出することで定量的な評価も行う。第 3, 4 章で適用した各再生手法は約 1500 Hz 以下の周波数帯域で有効で、それより高い周波数では「簡易音場再生」が有効であるという結果を得た。第 6 章では、音場再生システムと同時に 360 度パノラマ映像を呈示する方法について述べる。従来の円筒型ディスプレイをベースに、マニュアル作業だった歪み補正処理について、全天球カメラを使ってオートマティックかつ高精度に行う改善を加える。最後に、コンテンツの制作ワークフローおよび制作例を示す。第 7 章では、第 1 章から第 6 章までで得られた知見をまとめ、課題と展望を述べ、本論文の総括とする。