九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

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

柏﨑, 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：

（様式６－２）

氏　　名	柏﨑　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
論文調査委員	主　査　　九州大学　　教　授　　尾本　　章 副　査　　九州大学　　教　授　　鏑木　時彦 副　査　　九州大学　　准教授　　鮫島　俊哉

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

ある音場の特徴を複数のマイクロホンで収録し，やはり複数のスピーカによって再現する技術は，一般的に音場再生，あるいは音場再現技術と呼ばれている。この技術は，創り手の芸術的な感性に依存しながら，自由に創造的な場を再現する手法と，何らかの物理的な原理に基づいて，客観的物理量の再現を目指す手法に大別できる。前者は主として各種メディア制作などで用いられ，後者は科学的，あるいは工学的に様々な研究の課題を提供する。本研究では，両者の良さを併せ持つ，総合的に性能が高いシステムの実現を大きな目的としている。このために，具体的な達成の指針として，A) 再生が何らかの物理的原理に基づくこと，B) 聴取者の存在などの外乱に対して頑健であること，C) 再生時に，何らかの意図に対応した演出を導入しやすいこと，D) 映像情報との親和性が高いこと，の 4 つを掲げて，その実現を目指している。

論文ではこの目標のために，録音現場などで用いられる高品質かつ鋭い指向性をもつマイクロホンを 24 本用いたアレイでの収音と，同数のスピーカによって再生を行うシステムを基本的なプラットフォームとし採用している。このシステムで最も基本的かつ簡易的な再生手法は，収録した音を，対応する方向に配置したスピーカから直接的に再生する方法である。しかし，マイクロホンの指向性は特に低周波数において十分に鋭いとは言い難く，過剰な出力や定位の曖昧さなどが問題となる。このために，いくつかの処理方法を試みて，その効果を整理している。

まず，音場の基本的な方程式である Kirchhoff-Helmholtz 積分方程式を出発点として，任意の閉曲面境界上の音圧分布を再現することで，原音場と合同な内部音場を再生する境界音場制御を対象とした検討を行っている。この制御では，離散的に配置した音源から，所定の逆フィルタを経由して音を出力する必要がある。論文中ではこの逆フィルタの規模を積極的に削減する方法に関して，削減の手法やパターンについて詳細に検討して性能比較を行っており，削減によって用いるスピーカを限定することが，全数を用いた場合より有効な手法となり得ることなどを明らかにしている。これは，総合的な性能向上の指針における A)と B)の項目に対応する検討である。

続いて，音場を球面調和領域において表現することで，高次アンビソニックスやビームフォーミングを導入することを試みている。再生側ではなく収音側における信号処理によって指向性の鋭さを向上させることで，例えば再生時における付加的な音のミキシング操作や各種演出的要素の導入を原理的に容易にする方法の検討であり，主に指針の C)に対応する内容である。この問題に関しては，これまでに鋭指向性マイクアレイを用いて球面調和関数に展開したモデルが存在せず，本研究において新しく提案されている。本研究のオリジナリティを強く主張できる点の一つである。また提案手法の有効性に関しても，数値シミュレーションによって丁寧な検証が行われており，今後も発展が期待できる成果の一つである。

音場再生に効果的な信号処理手法を提案しつつ，その評価方法についても画期的な手法を示している。MEMS マイクアレイを用いた波面の可視化がその代表例であり，これまでにない規模の領域での波面再生性能で直感的な評価を可能としている。また音響物理指標やダミーヘッドでの両耳間時間差，レベル差などから定量的な評価も行っている。

さらに，円筒状のスクリーンを用いて映像情報を提供することも試みている。この中で，複数のプロジェクタを用いて 360 度円周映像を提示するワークフローについても，非常に有効な提案を行っている。従来円周映像制作には，手作業で長い時間をかけて映像を合成することが行われてきた。本研究では，パノラマカメラを導入して自動でキャリブレーションおよび映像の修正を行うシステムを構築し，画期的な時間短縮を実現している。この技術の提供によって，音と映像の親和性に関する課題など，さらなる研究課題などが多く見いだされ，性能向上の指針 D)の実現にも大きく貢献している。

上述のように，本研究で示された音場再生手法は，従来の芸術的な手法と物理的な手法を高次に融合させる可能性を持つものであり，斬新かつ極めて有効なものである。本論文において提案される手法は，学術的なユニークさとともに，コンサートホールなどの音場再現に関連する建築音響の分野をはじめとして，騒音制御に関連する課題発見のための音場シミュレータなど，社会において広く用いられる可能性が非常に高い。従って，本研究が広く環境音響分野に対して与える貢献度は極めて大きいと判断される。このため，論文調査委員全員一致で，本論文は博士（芸術工学）の学位に値するものと認める。