

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560012

研究課題名(和文)音場再生システム性能評価の一般化による臨場感向上に関する研究

研究課題名(英文) Attempt of improvement of presence by generalization of performance evaluation of sound field reproduction system

研究代表者

尾本章(Omoto, Akira)

九州大学・芸術工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：00233619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：音楽や環境音など、様々な音が存在する音場の特徴を精密に再現するシステムが提案され、一部は実用化されている。異なる原理に基づくシステムの場合、その性能に関しては、統一的な評価指標が存在せず、音が聞こえる方向の正確性などで論じられることがほとんどであり、再生されるコンテンツに依存した評価など、詳細が検討されているわけではない。

本研究は、一つの収録・再生システムで複数の音場再生手法を実現し、移動する音源を対象にしてその性能評価を一般化することを試みた。結果として人間の頭を模したダミーヘッドを使った評価指標の有効性が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：There are many kinds of sound field reproduction system, that reproduce the characteristics of primary field, and several systems are installed for practical use. The performance of the systems based on the different principles are, however, hardly evaluated in uniform manner. The detailed discussion, such as considering dependance on the reproduced contents, would be valuable. The present research realized two different type of reproduction system in the same combination of microphones and loudspeakers and examined their performance by the measurement of binaural quantities measured with dummy head microphones.

The results of inter-aural time and level differences clearly indicated the difference of the principles of the systems. The validity of using dummy head microphone has been verified and continuous and further discussion would be expected for more general evaluation method.

研究分野：応用音響工学

キーワード：音場再生 マイクロホンアレイ 鋭指向性 境界音場制御 ダミーヘッド

1. 研究開始当初の背景

現在音響学の分野においては、耳元での音圧を精密に再現する方式や、波面を再現する方法など、多くの音場再生手法が提案され、一部実用化されている。

しかし、その再現性能の評価に関しては、確固たる手法が確立している訳では無く、基本的な音像定位実験の結果のみ示されていることが多い。また対象音場をホールなどに限定し、いわゆる音響物理指標を用いた評価、あるいは被験者を用いた主観評価実験において「再現できている」との内観報告等が添えられることもある。いずれも音場再現性能の一面を評価していることに間違いはないが、当該システムがどの程度の臨場感を再現できているのかなど、高次の印象評価には至っていないのが現状である。また再現対象がホール・劇場などの閉空間以外の音場である場合や、閉空間においても居室など通常的生活空間の場合には、指標が確立されている訳では無く、被験者の主観評価によるしかない。

申請者は、CREST「音楽を用いた創造・交流活動を支援する聴空間共有システムの開発」において、BoSCの原理を用いた高性能音場再生システムにおける各種音場のデータベース構築を推進してきた。これまでに千名を超える方々にデモンストレーションを行なう機会を得ているが、総じてホール等でのオーケストラやバンドの演奏音の再生よりも、一般居室や、屋外の音場を再生するコンテンツの評価が高い。

このようにコンテンツとしては価値の高い音場の再現性能を評価する手法は確立されておらず、十分な性能であるのか、補うべき点があるのか、手探りの状態である。

2. 研究の目的

本研究は、ホール・劇場等、建築音響学で取り扱われることの多い音場に限定せず、広く一般的な音場を対象にして、その再現性能を評価する手法ならびに指標を構築することを目的としている。

特に、音を受聴する位置において、到来する音波の「方向・時間情報」の総合的な分析が重要であると考えている。

2年間の研究期間内では、この目的達成のための物理情報取得センサーおよび評価システムの構築と実証実験、さらには被験者を用いた主観評価実験を行い、評価手法の確立と臨場感向上に資するパラメータの特定を目指したい。

広く一般的な音場を対象として、厳密な評価手法を確立することで、音場再生システムにおいて改良すべき点も明らかになることが期待される。これは音場再生システムの高次のデザイン指針確立に寄与するものである。

3. 研究の方法

(1) システムの構築

① 収録システム

本研究においては、愚直であるが挑戦的な方法として、基本的性能が優れた鋭い指向性のマイクロホンを、多くの数用いて全空間をカバーする収録装置を構築した。

このような方法は、1940年代から考案されて各種測定に用いられてきたが、マイクロホンの周波数特性や波形再現の精密さなど、基本的な性能が飛躍的に向上した現在、洗練された手法で再現するインパクトは非常に大きく、斬新である。当初37チャンネルのマイクを想定したが、予備的な測定によって得られた実際の指向性の「鈍さ」などを考慮し、24チャンネルのショットガン型鋭指向性マイクロホンを利用したシステムを構築した(以下、本システムを鋭指向性マイクアレイと称する)。音質に少なからず影響を及ぼす複雑な後処理を必要とせず、4 π 空間から到来する音波を高品質で収録できるマイクロホンシステムは他に存在せず、本研究の独自性を示すものである。実際の鋭指向性マイクアレイを図1に示す。

またこの鋭指向性マイクアレイは、MADI規格によって信号を伝送する形式とした。このために数百mの遠距離に置いたアレイからリアルタイムで24チャンネルの信号を伝送するなど、自由度の高い利用が可能となった。

② 再生システム

鋭指向性マイクアレイで収録した方向情報を含む音信号は、同数のスピーカアレイによって再生するものとした。この再生システム



図1: 鋭指向性マイクロホンアレイ



図 2: 鋭指向性マイクロホンアレイと 24 チャンネル再生システム

は、平成 25 年度科学研究費・基盤(B)「音場再生における工学的手法と芸術的手法の合理的融合に関する研究(課題番号 25282003)」(以下「再生手法の研究」と称する)によって構築したものであり、3 本のスピーカを取り付けたユニット 8 台で構成される。スピーカ位置とほぼ対応する方向のマイクロホンで収録したおとを「そのまま」再生する方法を基本的な再生手法とするが、境界音場制御の原理に基づく再生も可能である。本研究では、双方の再生手法を用いながら、再生精度の検証を行うこととした。鋭指向性マイクロホンアレイとの組み合わせの様子を、図 2 に示す。

(2) 評価手法に関する検討

① これまでの経緯と評価手法の実際

当初の計画では、収録した音を同じ鋭指向性マイクロホンによって再収録し、波形の変化の度合いなどを検討対象にすることを想定していた。しかし予備的な収録・再生などを通して、多チャンネルの時間波形を直接比較することの煩雑さや、処理の困難さが明らかになった。

さらに、CREST で取り組む研究における様々なコンテンツを再生した場合の評価を通して、音場再生システムにおいては必ずしもコンサートホールなどでの音楽の再生が好まれるわけではなく、屋外での様々な環境音や、音源の移動を伴うコンテンツで高い評価が得られることが明らかになっている。

また、本研究と対を成す「再生手法の研究」において、再生システムの評価には音源の定位性能が大きな要因となり得る、という知見も得られていた。このために、音場再生システムの性能評価においては、定常的な音の周波数特性や物理指標のみではなく、移動音源に対する定位性能が重要な指標であると設定した。より実践的な評価手法の再設定である。

これを客観的に評価する物理的な測度として、ダミーヘッドマイクによって算出できる両耳感時間差(ITD)、ならびに両耳感レベル差(ILD)が知られており、本研究においてもこれ

らを採用することとした。

② 検討の条件

無響室内に鋭指向性マイクアレイを設置し、ターンテーブルで回転させながらノイズを収録する。これを再生システムで再生しながら、ダミーヘッドによって収録し、ITD, ILD を算出する。またダミーヘッドを無響室内に設置して、同様に測定を行い、ここから算出した ITD, ILD を参照データとして、これらとの比較を行った。

音場再生の手法に関しては、鋭指向性マイクロホンアレイで得られた信号を、特段の処理をせずに 1 対 1 に対応させた 24 チャンネルのスピーカから再生する「簡易再生手法」と、24 チャンネルマイクと 24 チャンネルスピーカの組み合わせで逆フィルタを算出し、「境界音場制御」を実現した。

当初の計画では、マイクで収集した信号に適宜変更を加えながら再生しつつ、評価の手がかりを得る計画であった。しかし、予備的な検討や「再生手法の研究」との連関により、相互に発展可能でより実践的な内容へと方法を若干変更し、異なる二つの再生方式の性能比較を題材として、音場再生システムの性能評価の一般化を試みるものである。

4. 研究成果

(1) 物理的な測定結果

図 3 に、代表的な測定結果を示す。左側が ITD、右側が ILD である。また赤線がダミーヘッドを無響室内に設置して得られた参照データ、実線が「簡易再生手法」、破線が「境界音場制御」による再生である。

ITD, ILD を用いることで、システムの違いが明確に認識可能であることが明らかである。さらに、125Hz から 500Hz 程度までの低周波数域では境界音場制御が非常に優秀な性能を示しており、ITD, ILD とともに参照データとほぼ一致している。

しかし、1kHz を境にして、双方とも複雑な様相を見せ始め、特に 8kHz などの高周波数では、「簡易再生手法」の方が ILD では参照データに近い。これは境界音場制御で用いたマイクアレイ内の最短間隔によって定まる空間エリアジングの影響で、高域での精密な再生が不可能になったためであると考えられる。ちなみに本研究で用いたアレイの場合、限界周波数はおよそ 850 Hz である。

移動音源を用いて、さらに ITD, ILD を指標として用いることで、システムの差、つまりは音場再生システムの性能の差を明示可能であることが明らかになった。

(2) 主観的評価による検証

物理的な測定結果の妥当性を検証するため

に、被験者に対して「簡易再生手法」と「境界

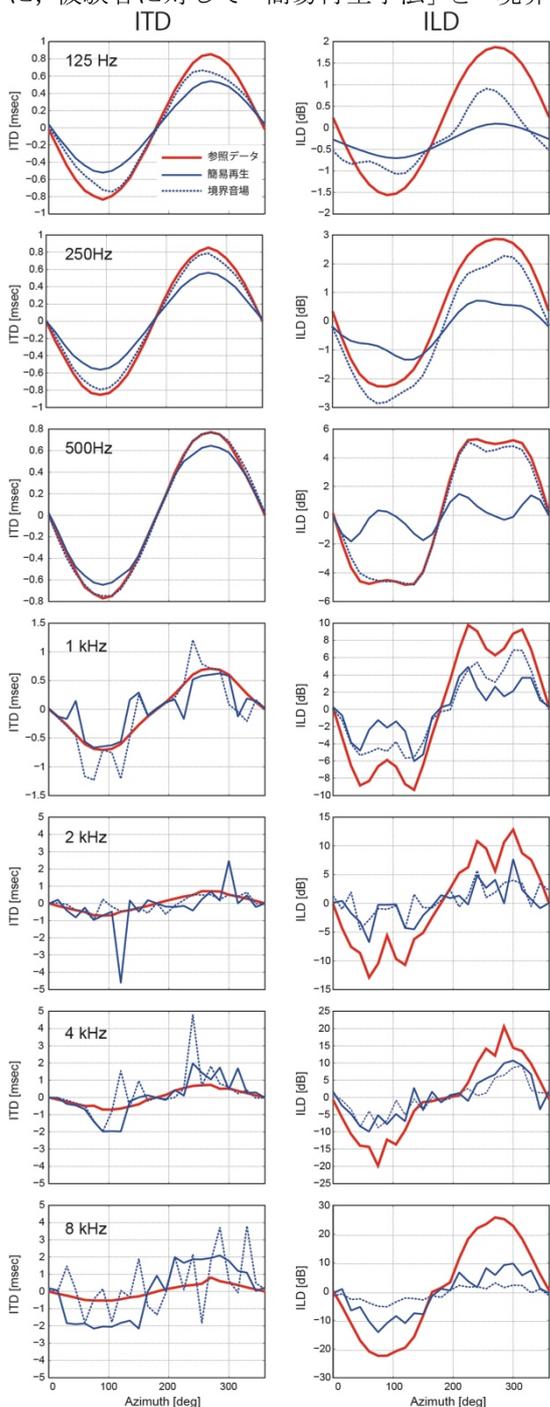


図 3: ITD, ILD の測定結果

音場制御」のうち、音源がよりなめらかに移動していると感じられるのはどちらか、という質問を行い、回答を得た。被験者は 12 名である。

有意水準 5% の二項検定を行った結果、8kHz の高周波数のみ、簡易再生手法と境界音場制御での移動音の連続性に差異はない、という仮説が棄却された。その他の帯域においては有意な差は検出できなかったが、1kHz 以下では境界音場制御、2kHz 以上では簡易再生手法を選択した被験者が半数を超えるなど、ある程度の傾向は生じていた。

(3) まとめと今後の課題

今回行った検討では、ダミーヘッドを用いて ITD, ILD を算出することで、システムの性能の違いを明確に示すことが可能であった。極めて一般的な測度を用いたことで、広く様々な音場再生手法の性能検証へ応用することが可能である。

しかし、収録用のマイクロホンアレイを無響室などリファレンスとなる音場に設置することが必要となり、必ずしも全ての場合に対応が可能なわけではない。今後は、収録を行う原音場において音源信号が持つ方向情報を定量化し、再生音場での情報と直接的に比較可能な、より一般化した指標の構築が必要である。今回製作したマイクアレイの活用や、音響インテンシティなどのエネルギー到来の方向情報を勘案して、どのような音源信号にも対応できる指標の提案が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

・ Yuto Saito, Akira Omoto, “Introduction of amplitude panning into physically assured sound field reproduction system,” Proc. RIEC International Symposium on Ultra Realistic Interactive Acoustic Communication 2016 (ISURAC 2016), Zao (Fukushima, Japan), 2016.5.20.

・ 斎藤悠人, 尾本 章, “3次元音場再生システムの性能向上に関する研究,” 日本音響学会建築音響研究会資料 AA2016-09, キャンパスイノベーションセンター (東京), 2016.4.22

・ 尾本 章, “音場の計測・評価・制御に関する研究,” 日本音響学会建築音響研究会資料 AA2015-43, 京都大学 (京都), 2015.10.29

・ 斎藤悠人, 石橋敬彦, 星加 慧, 尾本 章, “多チャンネル鋭指向性マイクを用いた音場情報収集センサー –スピーカと組み合わせた簡易音場再生システムの構築–,” 1-6-6, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会公演論文集, 会津大学 (福島), 2015.9.16.

・ 尾本 章, “いい音をつくる: いい音・いい響きの工学的な再生と芸術的な創造,” 日本音響学会 2015 年春季研究発表会特別企画 (招待講演), 2015.3.15.

〔図書〕(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾本 章 (OMOTO, Akira)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：00233619

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

亀川 徹 (KAMEKAWA, Tohru)