

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500203

研究課題名(和文)自由聴点音響技術のための収録・再生システム

研究課題名(英文)A study of recording and reproducing system for selective listening audio

研究代表者

西野 隆典(Nishino, Takanori)

三重大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40329769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：聴取者が空間内における音像位置を自由に制御できる音場再生システムにおける集音と再生の両技術の検討を行った。集音技術においては、くぼみ付き球状マイクロホンバッフルを提案し音響特性の評価を行った。評価結果から、提案機器は音源方向ごとに異なる音響特性を付与可能であり、音源信号強調や立体音響収録が可能であることが示唆された。再生技術では、超指向性スピーカや振動式スピーカといった従来のダイナミック型スピーカとは異なる機構の再生機器を用いた音場再生技術の検討を行い、効果を検証した。

研究成果の概要(英文)：Methods of recording and reproducing sound field were investigated for the novel spatial audio system called as the selective listening audio. A spherical microphone baffle with hollows was proposed and evaluated by the numerical analysis and the actual measurement. The results show that the acoustic transfer function between the proposed device and a sound source is changed in a direction of sound source, and the device can be applied to an emphasis of a sound source and the binaural recording. The method of sound reproduction with the parametric speaker and the vibration speaker were also investigated.

研究分野：音響工学

キーワード：立体音響 マイクロホンアレイ 数値解析 超指向性スピーカ 振動式スピーカ

1. 研究開始当初の背景

高臨場感通信技術は、任意の音響空間の情報を観測し伝送することで、別空間に存在する利用者に音響空間を再現し提示できる技術である。この技術に関連し、音響空間に存在する音源をそれぞれ分離し、それらの位置をユーザが自由に決定して再生する方式として、自由聴点オーディオが提案されている。この自由聴点オーディオ技術では、音場の収録技術と、収録された音響信号の分離技術が重要となる。また、分離信号の統合にもとづく音響空間の提示を行うために、複数のスピーカを高度に制御する技術や新たな再生機器の利用が必要要素となる。これらの収録、分離、統合の各要素技術においては、システムが大規模となるため、品質を劣化させずにシステムを簡略化する技術が望まれている。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、自由聴点オーディオ技術における新たな収録機器の開発と、一般的なダイナミック型スピーカによらない音場再生方式の検討である。これらの検討により、従来技術よりも小規模な収録システムの実現や、新たな音場再生技術の確立を目指す。収録機器の開発においては、従来法では多数のマイクロホンを利用したシステムの検討がなされている。ここで、小規模マイクロホンシステムを考えた場合、人間が両耳での音圧差や時間差を高度に利用し、空間内の音源位置を処理していることに着目すれば、このような両耳特性に基づいた収録装置を利用することは合理的である。しかし、ダミーヘッドマイクロホンのような特殊な機器を用いることは高コストにつながるため、より簡易な形状で両耳音響効果が得られるシステムが期待される。また、音響空間の再生では、スピーカの設置場所の問題や、スピーカ位置が視認できることによる知覚上の影響を解決する必要がある。そこで本課題では、耳介形状を模擬した機構を球形バッフルに形成することで、所望の音響特性を実現する収録システムを検討する。また、指向性の強い音波の反射波を利用する音像制御手法や振動式スピーカの周波数特性の改善を検討し、問題解決を図る。

3. 研究の方法

本課題は、主に新たな収録機器の設計および評価、ならびに超指向性スピーカなどの再生機器を用いた音場再生の検討の2課題により実施した。

- (1) 空間内の音の収録においては、球体に耳介腔を模擬したくぼみをほどこした形状のマイクロホンバッフルを検討した。このマイクロホンバッフルは、音源と耳道内の一点との間で決定される音響特性である頭部伝達関数との比較により設計、ならびに評価を行った。さら

に、3Dプリンタにより実機を製作し、実機による目的音の強調や、立体音響効果の有無についての予備検討を行った。

- (2) 音場再生の検討においては、超指向性スピーカによる反射波の音圧レベル差を用いた音像制御の検討結果を発展させるとともに、振動式スピーカと呼ばれる再生機器が利用可能か検討を進めた。振動式スピーカは、振動対象ごとに音響特性が変わるため、周波数特性を平坦にする補正処理の検討を行った。

4. 研究成果

本課題により得られた成果は、音源方向ごとに異なる音響特性を付与するマイクロホンシステムの実現、ならびに超指向性スピーカや振動式スピーカを用いた音場再生への寄与である。

- (1) 新たな収録機器として、球体にくぼみを付けたマイクロホンバッフルを検討した。このバッフルは、人間の頭部形状を参考として、前後上下で非対称の位置に受音位置を設定した。またバッフルの大きさは人頭程度の直径 18 cm のものと、小型の直径 10 cm の2種類とした。なお、受音位置やくぼみの大きさなどは、100名程度の頭部伝達関数の測定実績を参考に決定した。設計したマイクロホンバッフルの音響特性を音響数値解析により求めた結果、音源方向ごとに異なる音響特性や、耳介腔により生ずる音圧の上昇と同様の特性が得られることが確認できた(図1)。

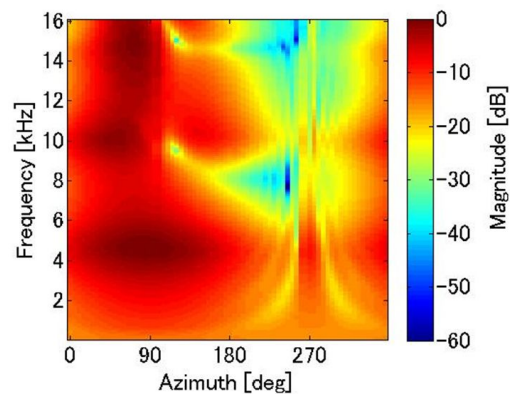


図 1: くぼみ付き球状マイクロホンバッフル(直径 18 cm)の音源方向ごとの周波数振幅特性(横軸は音源方向、縦軸は周波数)

解析結果を踏まえ、3Dプリンタにて実機を作成(図2)し、所望の方向の音源信号が強調可能か調査した。音源強調には従来技術である最小分散法によるアレイ処理を用いた。通常、音声強調などのアレイ信号処理では、入力数(マイクロ

ホン数)は2より多いチャンネル数が用いられるが、本システムでは2chの入力信号をもとに信号処理を行うこととなる。球体アレイとの比較実験を行った結果、提案バッフルは球体アレイよりも SN 比の向上がみられ、くぼみを付与することで高い強調性能が得られたと考えられる(図3)。



図 2: 3D プリントで作成したくぼみ付き球状マイクロホンバッフル(直径 10 cm)

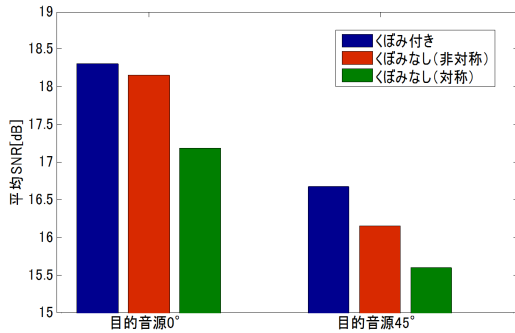


図 3: 音源信号強調の結果(直径 10cm のバッフルを用いた場合。値が大きいほど、強調度合いが高い。)

また、このバッフルを立体音響収録技術の一つであるバイノーラル録音に利用可能か調査した。予備検討結果においては、前後の音源定位は困難であったものの、左右の定位や音像の移動の知覚は可能であったことから、形状の改良や適切な後置フィルタの設計をすることで、バイノーラル録音への利用が可能となると考えられる。ただし、提案バッフルでは、広がり感と対応があると言われている両耳相互相関度がダミーヘッドのものに比べ、変動幅が小さいこと、また周期的な増減が見られた(図4)ことから、ダミーヘッドの両耳相互相関度に近い特性が得られるよう形状の改良などを行うことが今後の課題である。

- (2) 音場再生においては、一般に用いられているダイナミック型スピーカではなく、超音波を利用した超指向性スピーカ、ならびに振動式スピーカと呼ばれるスピーカを設置した対象物を振動させ発

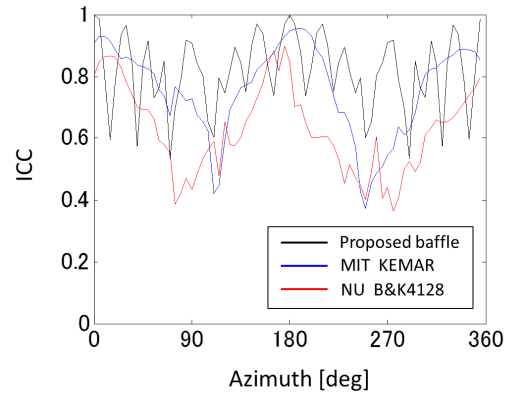


図 4: 提案バッフルとダミーヘッドの両耳相互相関度の比較(横軸は音源方向、縦軸は両耳相互相関度)

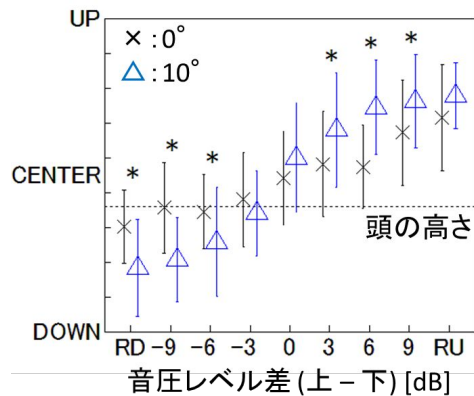


図 5: 超指向性スピーカの反射波による上下の音像定位実験結果(「x」は知覚させたい位置と反射位置が一致する条件、「△」は反射位置を上下にずらした条件。「*」は有意差有を表す。)

音媒体とするスピーカを用いた再生方法を検討した。超指向性スピーカは、狭エリアでの再生を可能とするデバイスであるだけでなく、反射波を利用することで、従来のスピーカとは異なる機器配置が可能となる。また、振動式スピーカは設置する物体の大きさによって、音波の放射特性を変えることができる可能性があり、音場再生への活用が見込まれる。

超指向性スピーカの反射波を利用した上下の音像定位実験においては、知覚させたい位置よりも反射位置を上下にずらすことにより、残響環境下においても正しく定位させることが可能であることが明らかとなった(図5)。

また、振動式スピーカの利用においては、振動式スピーカは設置対象の材質によって周波数特性が大きく変動することから、この周波数特性の改善が可能であるか検討した。実験の結果、客観評価値は材質の不均一さなどに起因する非

線形歪のため、ダイナミック型スピーカほどの改善は達成されなかったが(表1)、主観評価の結果からは十分な改善効果が示された。

表 1: 補正結果 [dB] (数字が 0 に近いほど周波数特性が平坦であることを表す)

計測信号	TSP		Log-SS	
	補正前	補正後	補正前	補正後
檜集成材	7.34	0.60	7.41	0.48
鉄板	3.91	0.70	3.97	0.56
ダイナミック型スピーカ	3.70	0.24	3.71	0.22

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 1 件)

Yusuke Mizuno、Kazunobu Kondo、Takanori Nishino、Norihide Kitaoka、Kazuya Takeda、Effective frame selection for blind source separation based on frequency domain independent component analysis、IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences、査読有、Vol. E97-A, No. 3, 2014, pp.784-791

[学会発表](計 19 件)

中桐大志、山村俊貴、西野隆典、成瀬央、武田一哉、くぼみ付き球状マイクロホンバッフルを用いたバイノーラル録音の検討、日本音響学会 2015 年春季研究発表会、2015 年 3 月 17 日、中央大学(東京)

西野隆典、中桐大志、大谷健登、武田一哉、実空間における音響イベントの分離と再統合による立体音響表示、2014 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、招待講演、2014 年 9 月 24 日、徳島大学(徳島)

Kento Ohtani、Takanori Nishino、Kazuya Takeda、Sound image perception for a sound source moving in musical contents、Forum Acusticum 2014、査読無、2014 年 9 月 12 日、Krakow (Poland)

中桐大志、西野隆典、成瀬央、境界要素法を用いたくぼみ付き球状マイクロホンバッフルの音響特性の調査、日本音響学会 2014 年秋季研究発表会、2014 年 9 月 4 日、北海学園大学(札幌)

奥田陸、西野隆典、成瀬央、聞く位置に対応した音響信号の生成のためのフィルタ設計の検討、平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会、2013 年 9 月 24 日、静岡大学(浜松)

Kumi Maeda、Takanori Nishino、Hiroshi

Naruse、Vertical sound image control using level differences between parametric speakers、21st International Congress on Acoustics (ICA2013)、査読無、2013 年 6 月 4 日、Montreal (Canada)

水野雄介、近藤多伸、西野隆典、北岡教英、武田一哉、有効観測データ選択に基づく FDICA 音源分離に関する検討、日本音響学会 2013 年春季研究発表会、2013 年 3 月 14 日、東京工科大学(八王子) 前田久美、西野隆典、成瀬央、超指向性スピーカを用いた鉛直方向の音像制御の検討、信学技報、2013 年 1 月 24 日、同志社大学(京都)

Yusuke Mizuno、Kazunobu Kondo、Takanori Nishino、Norihide Kitaoka、Kazuya Takeda、Fast source separation based on selection of effective temporal frames、20th European signal processing conference (EUSIPCO 2012)、査読有、2012 年 8 月 29 日、Bucharest (Romania)

Kumi Maeda、Takanori Nishino、Hiroshi Naruse、Horizontal and vertical sound image control using multiple parametric speakers、Acoustics 2012 Hong Kong、査読無、2012 年 5 月 14 日、Hong Kong (China)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

くぼみ付き球状マイクロホンバッフルの音響伝達特性データ

<http://www.pa.info.mie-u.ac.jp/nishinogroup/pubdata/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西野隆典 (NISHINO TAKANORI)

三重大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40329769