

木質資源を活用した音響機器の開発 —木製エンクロージャの試作と評価— Development of Audio Equipment Using Woody Resources -Prototyping and Evaluation of Wooden Enclosure of Loudspeaker-

麻植 雄樹*, 室内 聡子*
OE Yuki and MUROUCHI Satoko

抄 録

本研究では、木質資源を用いた付加価値の高い音響機器の開発に繋げることを目的として、材質の異なるスピーカのエンクロージャの音響特性（周波数特性）、心理音響パラメータ、振動特性（実稼働解析）を評価した。その結果、エンクロージャの設置角によっては、材質間で放射音の周波数スペクトルに差異が生じることが分かった。また、エンクロージャの共振周波数において、音響放射が顕著な部位は、後方上端部であることが分かった。さらに、エンクロージャの設置角、音楽の種類の組み合わせによっては、材質間において心理音響パラメータに差異が見られた。

1 はじめに

近年、県内のものづくり企業において、木質資源を用いたスピーカなどの音響機器の開発、製造が行われている。しかし、開発品において、音の客観的指標に基づく検証が行われていない場合がある。付加価値の高い音響機器の開発し、競争力を持つためには、音響特性などを定量的に評価し、差別化を図る必要がある。

本研究では、木質資源を用いた付加価値の高い音響機器の開発に繋げることを目的として、スピーカの筐体（以下、エンクロージャ）を対象とし、材質の違いが音響特性、心理音響パラメータ及び振動特性に及ぼす影響について定量的な評価を行った。

2 評価方法

2・1 試作品

エンクロージャは、一般的に木材が原材料とされていることが多く、スピーカの音質を決定づける重要な部品であると言われている¹⁾。本研究では、材質について、MDF、スギ（徳島県産）、ヒノキ（国産）、マホガニー（海外産）の計4種類を用意した。MDF製のエンクロージャは、市販品（Fostex製BK165WK2）とした。試作品の寸法は、市販品と同一とし、スピーカユニット（Fostex製FF165WK）を組み込んだ。図1に試作品（スギ製）を示す。



図1. 試作品（スギ製）の外観

2・2 音響特性（周波数特性）

スピーカの音響特性に関して、代表的な評価指標である周波数特性²⁾について計測を行った。周波数特性の計測は、データ収集ハードウェア（B&K製3161型）と1/4インチ自由音場型マイクロフォン（B&K製4939型）等から構成される計測システムを用いて、無響室で行った。スピーカの入力電力は1Wとし、20 Hz～20 kHzにおいて周波数掃引を行った。マイクロフォンの位置は、スピーカの開口から1mとした。スピーカの正面だけでなく、側方と後方からの音の放射量を把握するため、水平角の3水準（0°（スピーカ正面）、90°（側方）、180°（後方））についての周波数スペクトルについて評価を行った。水平角は、マイクロフォンの位置を固定した状態で、スピーカをターンテーブル上で回転させ、調整した。

* 生活科学担当

2・3 心理音響パラメータ

音質評価に際しては、人間が聞いた時にどう感じるかを定量化した指標である心理音響パラメータ³⁾⁴⁾⁵⁾による評価を行った。本稿では、主要な心理音響評価パラメータであるラウドネス(音の大きさ)、スペクトル重心(音の高さ)に着目した。評価対象のラウドネスは、時間変動ラウドネス(ISO 532-1:2017 準拠)⁴⁾とした。スペクトル重心⁵⁾は、1/3 オクターブバンド分析(平均値)から算出した相対値とした。2.2と同様に、設置角は水平角の3水準(0°(正面)、90°(側方)、180°(後方))とした。スピーカに入力する音楽信号は2水準(ピアノ演奏:久石譲「Summer」のサビ)、(ドラム演奏:Sonny Rollins「St.Thomas」のイントロ)とした⁶⁾。

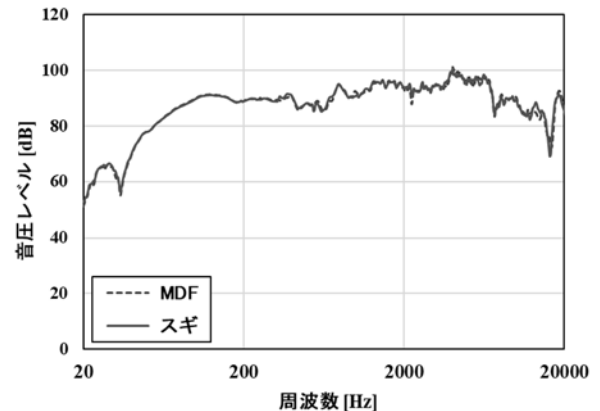
2・4 振動特性(実稼働解析)

振動特性については、エンクロージャの側方と後方で計38点の周波数応答関数(FRF: Frequency Response Function)の測定を行った⁷⁾。入力はいンパルスハンマーでの打撃力、出力はエンクロージャに貼付した加速度センサピックアップで計測された加速度とした。各計測点での周波数応答関数の結果をもとに、周波数による実稼働(ODS: Operating Deflection Shapes)解析を行った⁷⁾⁸⁾。

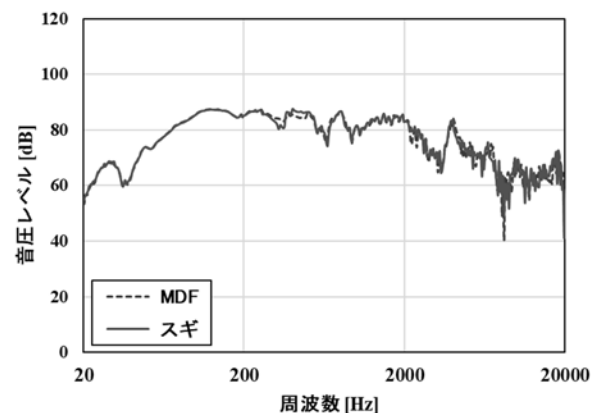
3 結果と考察

3・1 音響特性(周波数特性)の結果

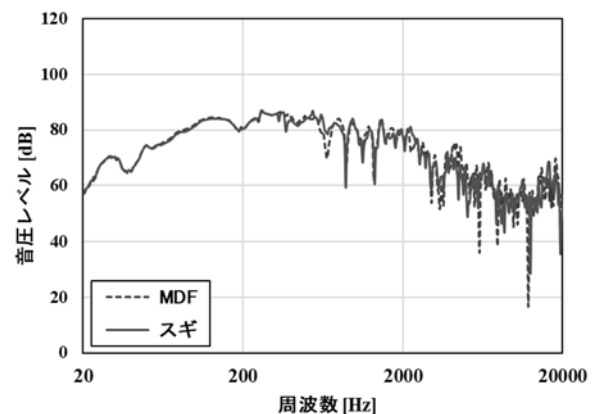
図2にMDF(市販品)とスギ(徳島県産)についての周波数特性の結果を示す。図2に示されるように、水平角が大きいほど、中高音域において材質間の音圧レベルの差が大きくなった。図2(a)に示されるように、水平角が0°(正面)の場合、人間の聴覚の感度が比較的良好とされる2kHz~8kHz程度において、MDF、スギの音圧レベルの差異は認められなかった。一方で、図2(b)(c)に示されるように、水平角が90°(側方)、180°(後方)の場合、8kHz付近において、MDFの音圧レベルは、スギに比べて、20dB以上小さかった。また、スギは、MDFに対して、中音域(800Hz~2kHzで生じるディップ(音圧レベルの低下)の数)が少なかった。従って、正面方向だけでなく、後方から聴取する場合、スギはMDFに比べて、音の明瞭性が高くなると考えられる。



(a) 0°(正面)の場合



(b) 90°(側方)の場合



(c) 180°(後方)の場合

図2. 周波数特性の結果

3・2 心理音響パラメータの評価結果

心理音響パラメータの評価結果の一例として、図3に、ピアノ演奏におけるラウドネス(音の大きさ)のトータル値の結果を示す。ラウドネスのトータル値が大きいほど、音が大きく感じることに対応している。全ての材質において、水平角が大きいほど、ラウドネスは小さくなった。次に、図4にスペクト

ル重心（音の明るさ）の結果を示す。スペクトル重心が大きいほど、音が明るく感じることに対応している。MDF とマホガニーの間のスペクトル重心に関して、0°（正面）の場合、差異は小さかったが、180°（後方）の場合、差異は大きかった。これより、スペクトル重心に関して、水平角によっては、材質の間において差異が生じることがわかる。その他の心理音響パラメータについても評価した結果、エンクロージャの設置角、音楽の種類の組み合わせによっては、材質間において差異が見られた。

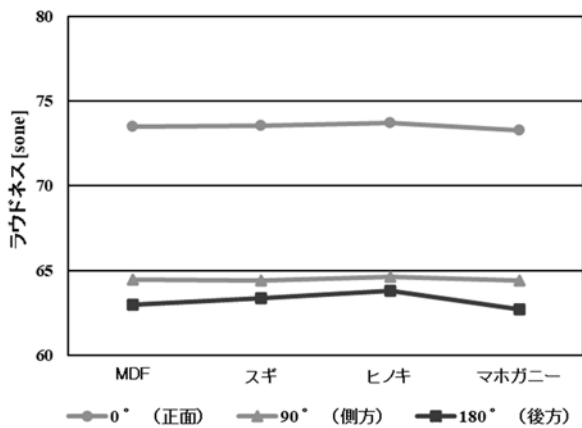


図3. ラウドネスの結果

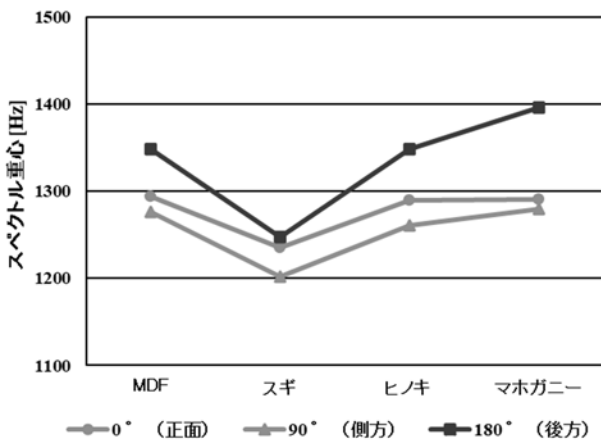


図4. スペクトル重心の結果

3・3 振動特性（実稼働解析）の結果

図4に実稼働解析の結果を示す。同図は、MDFの周波数応答関数における共振周波数についての結果であり、色の濃淡が振動の大小を示している。振動が大きい場所は白く、小さい場所は黒く表示されている。これより、エンクロージャの側方と後方の腹部ではなく、後方上端部の振動が大きいことがわかる。他の材質についても概ね同様の傾向を示した。

ここで、3.1の図2の結果より、スギはMDFに比べて、密度が小さい⁹⁾ことから、振動板の後方のエンクロージャ内部で拡散した音が側方及び後方から透過しやすい傾向があると考えられる。これより、本実験条件に示すエンクロージャの寸法において、スギ等の密度の小さい材質の後方上端部に補強材を設置することで、MDF等の密度の大きい材質では困難であった音の指向性が調整できる可能性があると考えられる。

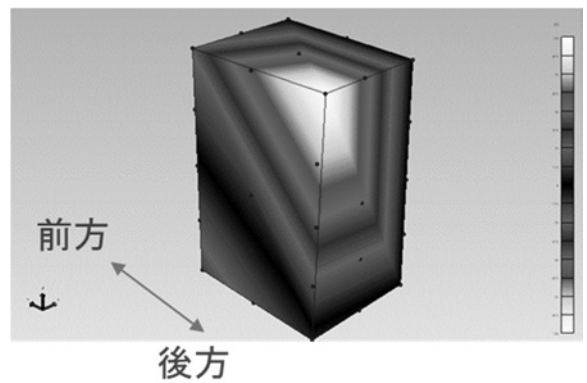


図5. 実稼働解析の結果

4 まとめ

本研究では、木質資源を用いた付加価値の高い音響機器を開発に繋げることを目的として、材質の異なるスピーカのエンクロージャの音響特性、心理音響パラメータ、振動特性を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) エンクロージャの設置角によっては、材質間の周波数特性に差異が生じる。
- (2) エンクロージャの共振周波数において、音響放射が顕著な部位は、後方上端部であった。これより、エンクロージャの後方上端部に補強材を設置することで、放射音の指向性の調整を行うことができる可能性がある。
- (3) エンクロージャの設置角、音楽の種類の組み合わせによっては、木材の材質の間において心理音響パラメータに差異が見られた。

今後、研究の成果を県内企業に技術移転を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 木村裕園. “スピーカエンクロージャの音質への

影響” .日本音響学会誌, 1983, Vol.39, No.2, p.121-125.

2) 駒村光弥, 鶴田一男, 吉田賢. “スピーカの音質と物理特性の関係”. 日本音響学会誌, 1977, Vol.33, No.3, p.103-115.

3) 岩宮眞一郎. “音質評価指標 : 入門とその応用”. 日本音響学会誌, 2010, Vol.66, No.12, p.603-609.

4) ISO 532-1 Acoustics-Methods for calculating loudness Part 1: Zwicker method, 2017.

5) 山田真司, 三浦雅展. “音楽情報処理で用いられる音響パラメータによる音楽理解の可能性”. 日本音響学会誌, 2014, Vol.70, No.8, p.440-445.

6) 麻植雄樹, 中岡正典, 佐藤宏亮, 水谷孝一, 若槻尚斗. “車載用スピーカの振動板の音質評価に関する研究”. 徳島県立工業技術センター研究報告, 2022, Vol.31, p.25-27.

7) O.Dossing. “Structural Testing Part 1&2 : BR 0458-11&BR 0507-11”. Bruel&Kjaer Primers, 1988.

8) 涌井伸二, 羽持満. “精密機器における機械振動のトラブル対策”. コロナ社, 2019.

9) 中岡正典. “県産スギを用いた壁の防音化について (II)”. 徳島県立工業技術センター研究報告, 2012, Vol.21, p.21-26.