徳島県立工業技術センター研究報告 vol.31 2022

車載用スピーカーの振動板の音質評価に関する研究

麻植　雄樹[*1], 中岡　正典[*2], 佐藤　宏亮[*3], 水谷　孝一[*4], 若槻　尚斗[*4]

抄　録

本研究では，車載用スピーカーの付加価値の向上を目的とし，スピーカー振動板の材料と人が感じる音の嗜好性の関連性について検証を行った．その結果，振動板の材質を変えた時に生じる音質の変化によって，音源の嗜好性の差異に影響を及ぼすことが示された．ターゲットカスタマーが高頻度で聞く音源に合わせて，振動板の選定を行う必要があることが明らかとなった．

1　はじめに

スピーカーは自動車など様々な移動用機械に搭載されており，利用者に報知音などの情報を伝える機能を有するため，聞き取りやすさが求められる．一方で，音楽により，人に快適性を与える付加価値を有する．上質感を重視する車両に搭載されるスピーカーは，低コストである量産品に対し，快適性の向上による付加価値が重要となる．その音質は振動板の材料特性に依存するため，振動板の材料特性に伴う音質の違いについて把握する必要がある．しかし，振動板の材料特性と人が感じる印象についての関連性は定量的に示されていない．

本研究では，車載用スピーカーの付加価値の向上を目的とし，スピーカー振動板の材料特性と人が感じる音の印象の関連性について明らかにする．具体的には，近年，用途開発が進んでいる繊維強化複合材料[1)]を用いてスピーカーの振動板を試作し，音の嗜好性と振動板の材質との相関関係について検証した．

2　評価方法

2・1　評価に用いる振動板

振動板の材料特性の中でも，材質は周波数特性に影響すると言われている．そこで，材質の異なる振動板の試作を行った．振動板の材質は，炭素繊維，アラミド繊維，高弾性炭素繊維及びガラス繊維を用いた繊維強化複合材料の計 4 種類とした．図 1 に試作品の一例（炭素繊維）を示す．振動板は，振動板以外の機械特性を統一にするため, 同一のエンクロージャー（Fostex 製 BK85WB2）に組み込んだ．

図１　試作品

2・2　主観評価

図 2 に，主観評価を行った際の評価環境を示す．実験参加者には，スピーカー開口の正面 1.5m の位置に着座してもらい，嗜好性（音の好き嫌い）についてのアンケートに回答してもらった．アンケートは，Scheffe の一対比較法[2)]を用いて，任意の 2 つのスピーカーから流れる音楽の好き嫌いの度合いについて相対比較を行った．相対比較を行うスピーカーは，ターンテーブル上に設置し，ラインセレクターにより，評価対象のスピーカーを即座に選択できるようにした．評価尺度は, 7 段階（-3: 非常に嫌い, -2: かなり嫌い, -1: やや嫌い, 0: 同等である, 1：やや好き, 2 :かなり好き, 3 :非常に好き）とした．実験参加者に呈示する音楽は，ピアノ演奏（久石譲「Summer」のサビ），ドラム演奏（Sonny rolllins「St.Thomas」のイントロ）とした．音源の再生方式は，ステレオであったため，モノラルに変換したものを用いた．音源のサンプリング周波数は 44.1kHz，ビット数は 16 ビットとした．計測した評点は, 2 つの試験体の相対値であったため，各試験体固有の平均嗜好度に変換した．

*1 電子・情報技術担当，　*2 生活科学担当，
*3 阿波製紙（株），*4 筑波大学

図２　実験環境

２・３　音響計測

スピーカーの音響特性として，無響室で，ポータブル音響振動マルチ分析装置（B&K 製 3560 型 PULSE）とマイクロフォン（B&K 製 4192 型）を用いて，周波数スペクトルの計測を行った．スピーカーの入力電力は 1W とし, 20Hz～20kHz において周波数掃引を行った．マイクロフォンは，スピーカーの開口から 1m の位置とした．なお，周波数掃引時の FFT ライン数は 1600, 掃引速度は 156.6Hz/sec.，オーバーラップ率は 66.67%とした.

３　結果と考察

図 3 に平均嗜好度の結果を示す．平均嗜好度の評点が正に大きいほど，嗜好性が大きいことを示している．ピアノ演奏において，アラミド繊維は，嗜好性が大きく, 炭素繊維は嗜好性が小さかった. また，ドラム演奏においては，ピアノ演奏と比べて，嗜好性の違いが顕著でないものの，高弾性炭素繊維の評点が最も大きく，アラミド繊維の評点が小さいことがわかった．以上のことから，音の嗜好性は振動板の材質と音楽の種類に依存することが示された.

図 4 に周波数スペクトル特性の結果を示す．ピアノ演奏で最も嗜好性の評点が高かったアラミド繊維とドラム演奏において最も嗜好性の評点が高かった高弾性炭素繊維の周波数スペクトルに着目する．中低中音域（20Hz～2kHz）は，アラミド繊維と高弾性炭素繊維の差異は認められないものの，高音域（4kHz 以上）においては，周波数特性の差異が認められた．アラミド繊維は，人間の最も聴覚特性の感度が良い周波数帯である 2kHz～4kHz 付近の周波数のエネルギーが多く含まれるが, 6kHz 以上の周波数のエネルギーは小さかった．一方で，高弾性炭素繊維は，2kHz～6kHz 付近の周波数のエネルギーが小さく, 6kHz 以上の周波数のエネルギーが大きかった.

ここで，ピアノ演奏とドラム演奏の音源に対する 1/3 オクターブ毎のスペクトログラムの結果をそれぞれ図 5, 図 6 に示す．スペクトル強度は，各演奏における最大値を 0dB としている．図中において，色の濃淡がスペクトル強度の大小を示している．ピアノ演奏においては，中域に集中して分布していることがわかる．一方で，ドラム演奏においては，低域から高域までの広域の周波数でスペクトルが分布している．ドラム演奏は，タムの演奏とハイハットシンバルの演奏で構成されており，タムの演奏部分においては，低域から中域，ハイハットシンバルの演奏については，一定の周期で広域のスペクトルが分布している.

以上より，ピアノ演奏の音源でスペクトル強度が高い周波数帯（2kHz～4kHz 付近）でアラミド繊維のスペクトル強度が大きいことが，嗜好性の差異に影響を及ぼしたこと考えられる．また，ドラム演奏において，低域から高域に至るまでの広域で高弾性炭素繊維のスペクトル強度が大きく，タムとハイハットシンバルの両方の演奏音を忠実に出力されていることが嗜好性の差異に影響したと考えられる.

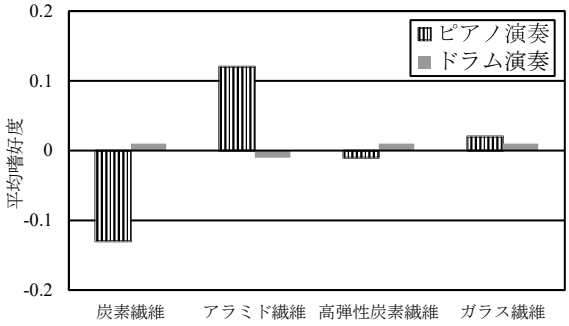

図３　主観評価の結果

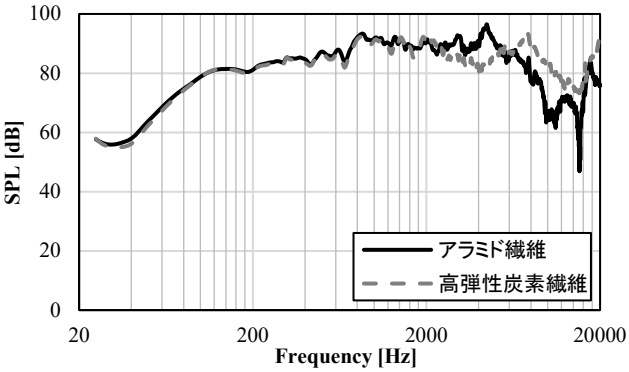

図４　周波数スペクトル特性

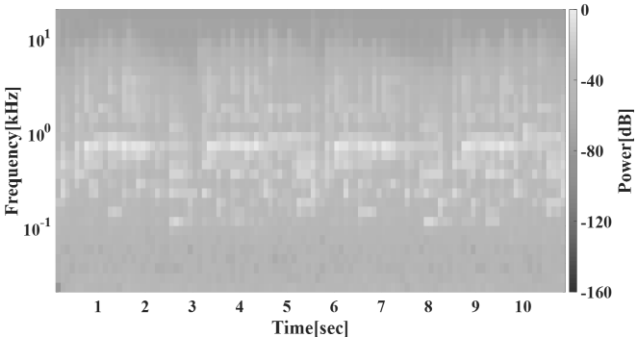

図５　スペクトログラム（ピアノ演奏）

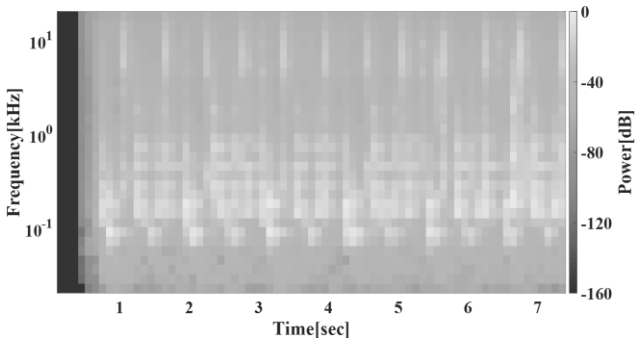

図６　スペクトログラム（ドラム演奏）

４　まとめ

本研究では，スピーカーの振動板の試作品に対して，音質評価を行った結果，振動板の材質を変えた時に生じる音質の変化によって，音源の嗜好性の差異に影響を及ぼすことが示された．このことから，ターゲットカスタマーが高頻度で聞く音源に合わせて，振動板の選定を行う必要があることがわかった．

今後，共同研究企業と連携し，本研究の成果を設計に組み込み，製品化に向けた開発を行う予定である．

謝辞

本研究は，公益財団法人 JKA の助成を受けて実施しました．

参考文献

１）蓮見茂.“自動車部品と複合材料”，表面技術, Vol.42, no.10, p.991-996, 1991.

２）市原茂．“特集③人間工学のための計測手法 第3部：心理計測と解析（2）”,人間工学, 2015, vol.51, no.4, p.234-240.

３）Joe D‘Appolito. “Testing Loudspeaker”, Audio Amateur Pubns, 1998.

４）Leo L.Beranek et al. “Acoustics: Sound Fields, Transducers and Vibration”, Academic Press, 2019.

５）田中基八郎ほか. “静音化&快音化設計技術ハンドブック”，科学情報出版, 2012.

６）石井大策. “スピーカ振動板材料”，日本音響学会誌, Vol.66, No.12, 2012.

７）長沢伸也，川栄聡史. “Excel でできる統計的官能評価法”，日科技連出版社, 2016.