

一般室内におけるスピーカ周波数特性測定の反射音低減の検討

A study on reflection reduction for measuring frequency characteristic of a loudspeaker in an ordinary room

森谷晃行† 金田豊†

† 東京電機大学大学院工学研究科

Akiyuki MORITANI† Yutaka KANEDA†

† Tokyo Denki University

1 はじめに

スピーカ周波数特性は、スピーカのインパルス応答をフーリエ変換することで得られる。通常、スピーカ周波数特性の測定は無響室や無響箱において行われる。しかし、これらの設備は高価であるため、一般室内でスピーカ周波数特性を測定する手段が望まれる。スピーカ周波数特性（図1太線）を一般室内で測定すると、反射音の影響を受け劣化する（図1細線）。このため、反射音の影響を取り除く必要がある。

音声への反射音低減手法は多数研究されており、我々はその1つである Semi-blind-MINT をスピーカ周波数特性測定に適用し、有効性を検討した[1]。しかし、断続的に発生する音声と減衰する単発信号であるインパルス応答の違いのため、十分な効果は得られなかった。そこで本稿では、単発信号の特性を反映した反射音低減手法を検討した。

2 反射音到達までの直接音の切り出し

一般室内で測定したインパルス応答は、図2のモデル図に示すように、スピーカのインパルス応答の直接音と、直接音が壁や床などで反射することで遅れて到達する反射音からなる。インパルス応答測定における従来法では、第一反射音の到達時刻までを切り出したもの（以降、直接音部分と呼称する）を代用とする[2]。しかし、壁や床との距離が近いといった理由で直接音と第一反射音との時間間隔 T_1 が短い場合には、低域の特性が劣化する（図1破線、 $T_1=3\text{ms}$ の場合）。このため、反射音に埋もれた部分を回復させる必要がある。

3 直接音部分を利用した反射音の除去

考えられる単純なアプローチとして、直接音部分を利用して反射音を打ち消す方法がある。しかし、直接音部分と反射音はスペクトルが異

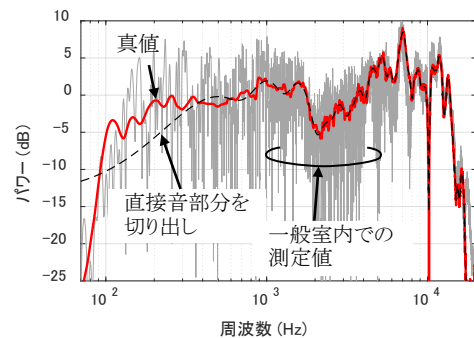


図1 一般室内で測定したスピーカの周波数特性

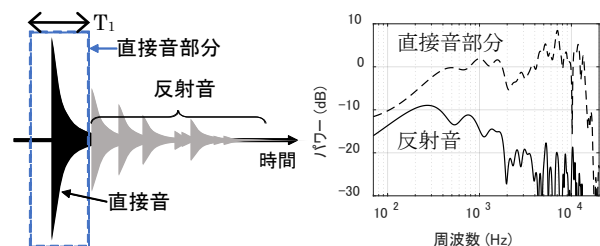


図2 一般室内で測定したインパルス応答の波形のモデル

図3 反射音と直接音部分の周波数特性の例

なるため、この方法は必ずしもうまくいかない。図3実線に、一般室内でインパルス応答を測定したときの反射音の周波数特性の例を示す。破線は直接音部分の周波数特性である。図から分かるように、反射音は直接音と比較して高域のパワーが下がる。これは、スピーカの指向性や、壁・床などの吸音によって起こる現象である。このため、直接音部分をそのまま使って反射音を打ち消そうとすると、過剰に減じた高域成分が残ってしまう。

そこで我々は、反射音に埋もれている直接音は低域が中心であることに着目した。これは、図1の太線と破線の比較から分かる。この事実から、低域で直接音部分を使って反射音を打ち消し、高域は直接音部分をそのまま利用する方法を提案する。

図4は、無響室で測定したインパルス応答のスペクトログラム（低域部分の拡大）である。横軸は時間、縦軸は周波数である。色の濃淡はパワーの大きさを表し、色が薄いほどパワーが大きい。図より、200Hz以下の低域の応答は高域に比べて長く、また立ち上がりが遅い。例として、100Hz付近の応答の立ち上がりは400Hz付近の応答に比べて5~10ms程度遅れている。このため、直接音と第一反射音との時間間隔 T_1 が短い（例： $T_1=3\text{ms}$ ）場合には、反射音が到達した時刻において低域の応答が立ち上がっていない。従って、提案法により初期反射音を数個打ち消すだけでも、低域の特性を大きく回復できると考えられる。

4 提案法の流れ

図5に提案法の流れを示す。まず、一般室内で測定したインパルス応答を高域と低域に分ける。高域では、①直接音部分を切り出す。低域では、②直接音部分とインパルス応答全体の相関を取り、③反射音の到達時刻と大きさを推定する。次に、直接音部分と③を使い、④低域インパルス応答を再現する。これを実測の低域インパルス応答全体から減じると、反射音に埋もれた直接音を取り出せる。取り出した部分を直接音部分に接合し、⑤直接音部分を延長する。⑤を使い、上記を繰り返して低域の直接音部分を延長する。最後に⑥低域と高域とを接合する。

5 実環境実験

実環境実験を行い、一般室内におけるスピーカ周波数特性の測定に対する提案法の有効性を検討した。表1に示す条件で一般室内のインパルス応答を測定し、提案法を用いて反射音低減を行った。図6太実線に、提案法で得たスピーカ周波数特性を示す。細実線は真値、破線は直接音部分の周波数特性である。図より、提案法は従来法と比べ、100~400Hz付近の特性が改善している。

6 まとめ

本稿では、反射音が存在する一般室内におけるスピーカの周波数特性の測定可能性について検討した。実環境実験の結果、低域の直接音部分を使って反射音を打ち消す手法の有効性を確認した。

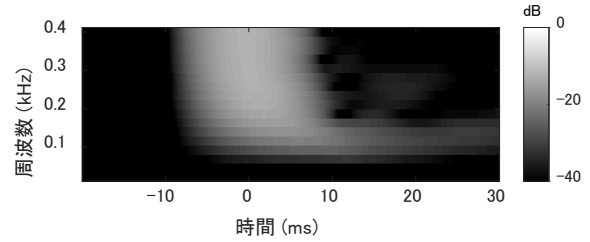


図4 無響室で測定したインパルス応答のスペクトログラム(低域部分の拡大)

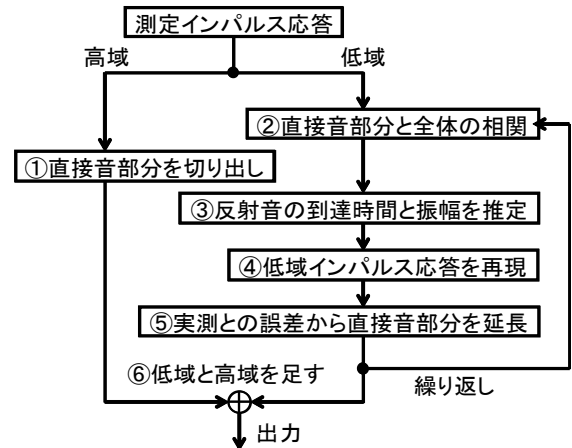


図5 提案法の流れ

表1 実環境測定条件

残響時間	約 1.3 s
室寸法(縦×横×室高)	6 m×9 m×2.7 m
スピーカ-マイクロホン間距離	1 m
スピーカ-マイクロホン設置高さ	0.9 m
スピーカ (再生周波数帯域)	BOSE 101MM (70Hz~17kHz)
直接音部分の切り出し長	3 ms
低域通過フィルタ遮断周波数	800 Hz
サンプリング周波数	48 kHz

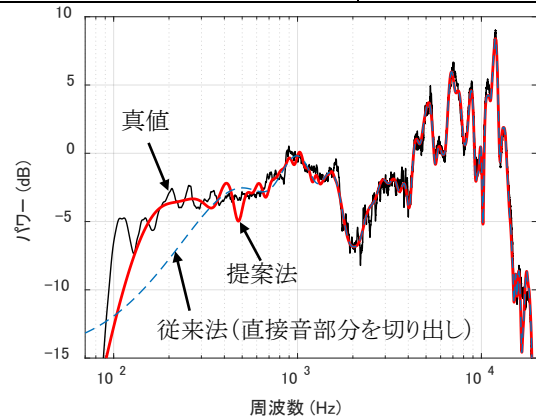


図6 提案法で得たスピーカ周波数特性

参考文献

- [1] 森谷, 金田, 音響論(秋), 459-460, 2019.
 [2] Olsen, Guastavino, Internoise2010, 1-10, 2010.