

# 反射音環境におけるスピーカ周波数特性測定手法の検討\*

☆森谷晃行, 金田豊 (東京電機大)

## 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 (Fig.1 赤太線) を一般室内で測定すると, 反射音の影響を受け劣化する (Fig.1 灰細線). 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, Fig.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, 測定装置 (スピーカ-マイクロホン) が壁や床に近いなどの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 (Fig.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なるため, この方法は必ずしもうまくいかな

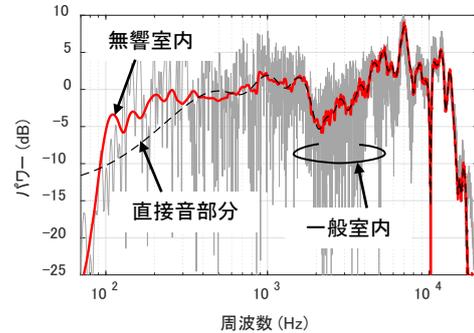


Fig.1 一般室内で測定したスピーカの周波数特性

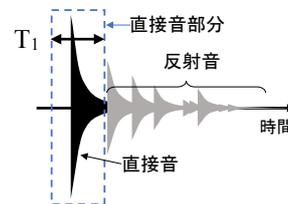


Fig.2 一般室内で測定したインパルス応答の波形のモデル

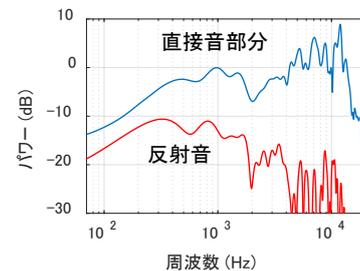


Fig.3 反射音と直接音部分の周波数特性の例

い. Fig.3 赤線に, 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. 青線は直接音部分の周波数特性である. 図より, 反射音は直接音部分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, 壁や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, 過剰に減算した高域成分が負の振幅をもって付加されてしまう.

ここで, Fig.1 の破線に着目すると, 高域部分については直接音部分のみでもほぼ良好な特性が得られていることが分かる. この事実から, 高域は直接音部分をそのまま利用し,

\* A study on frequency characteristic measurement of a loudspeaker in a reflective environment, by MORITANI, Akiyuki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

低域で直接音部分のみを使って反射音を打ち消す方法を検討する。

Fig.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。図より、200 Hz 以下の低域の応答は高域に比べて立ち上がりが遅い。例として、150 Hz 付近の応答の立ち上がりは 400 Hz 付近の応答に比べて 5~10 ms 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  $T_1$  が短い場合（例： $T_1=3$  ms）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

Fig.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。高域では直接音部分を切り出す。低域では①直接音部分（長さ  $T_1$ ）とインパルス応答全体の相関を取り、②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②を使い、③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、④直接音部分を長さ  $T_1$  だけ延長する。④を使い、上記を数回繰り返して低域の直接音部分を延長する。最後に⑤低域と高域とを接合する。

#### 5 実環境実験

一般室内におけるスピーカ周波数特性の測定実験を行い、提案法の有効性を検討した。Table 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。Fig.6 赤太実線に、提案法で得たスピーカ周波数特性を示す。黒細実線は真値、青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、150~400 Hz 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。低域の直接音部分を使って反射音を打ち消す手法を提案し、実環境実験により有効性を確認した。

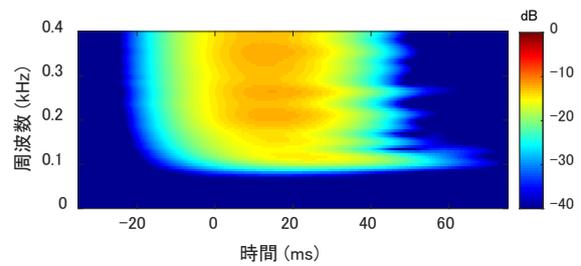


Fig.4 無響室で測定したインパルス応答のスペクトログラム(窓長 85 ms の Hanning 窓)

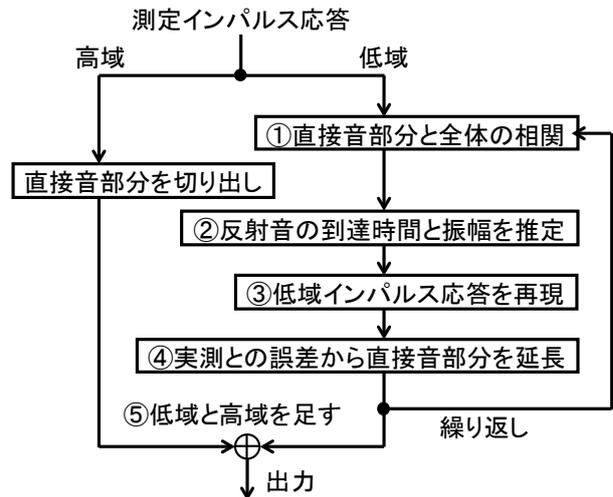


Fig.5 提案法の流れ

Table 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	1 m
スピーカ	BOSE 101MM
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	500 Hz
サンプリング周波数	48 kHz

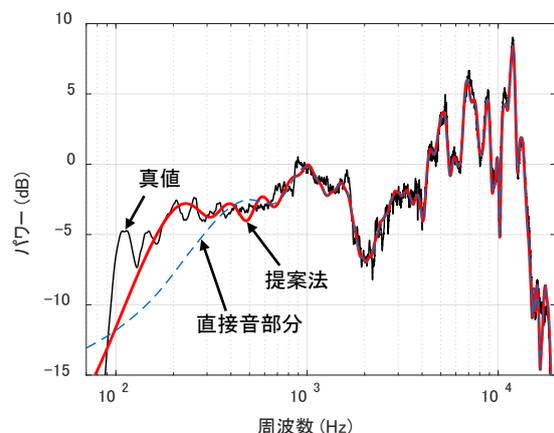


Fig.6 提案法で得たスピーカ周波数特性

#### 参考文献

- [1] 森谷, 金田, 音響論(秋), 459-460, 2019.
- [2] Olsen, Guastavino, Intersound2010, 1-10, 2010.