

## スピーカのインパルス応答長短縮の検討\*

☆伊藤巧, 金田豊 (東京電機大・工)

## 1 はじめに

スピーカのインパルス応答を測定し、フーリエ変換を行うことで周波数特性を得ることができる。通常、スピーカのインパルス応答測定においては、一般室内での反射音の影響を避けるため、無響室(または無響箱)を用いての測定が必要である。しかし、無響室はコストとスペースを必要とする。反射音の影響の問題に対し、スピーカのインパルス応答長を短縮し、直接音を反射音から分離するという解決法が考えられる。本報告ではその実現可能性検討の第一歩として、スピーカの周波数特性が推定できるものと仮定し、それを用いた逆位相フィルタの有効性を検討する。

## 2 一般室内でのインパルス応答測定の問題点と解決策の方針

Fig. 1 に部屋の特徴(反射音)が付加された一般室内でのインパルス応答のモデル図を示す。直接音(スピーカのインパルス応答)の一部に反射音が重畳するため、正確なスピーカのインパルス応答を求めることが出来ない。

この解決方法の1つとしてスピーカのインパルス応答を時間圧縮し、直接音を反射音から分離する方法が考えられる。信号の時間圧縮としては、マッチトフィルタなどの逆位相特性の適用が代表的である。そこで、本研究では Fig. 1 における $T_1$ の区間(スピーカインパルス応答の第一反射音が到来するまでの時間で、直接音のみが存在する区間)を用いて、スピーカの周波数特性 $G(f)$ (または等価的に群遅延特性)が推定できるものと仮定し、それを用いた逆位相フィルタ $G^{-1}(f)$ の有効性を検討する。

## 3 シミュレーションによる検討

## 3.1 逆位相フィルタの適用

Fig. 2 (a)に無響室で録音したスピーカインパルス応答のスペクトログラムを示す。(b)

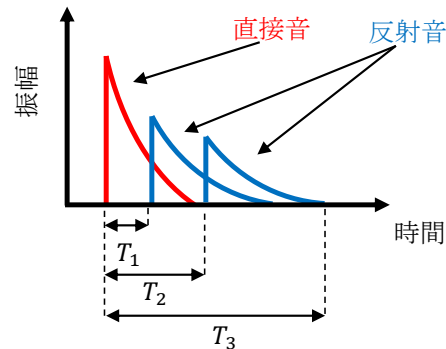


Fig. 1 一般室内でのインパルス応答モデル図

にシミュレーションのため、反射音を2つ付加したインパルス応答のスペクトログラムを示す。直接音からの遅れ時間はそれぞれ $T_1 = 3\text{ms}$ ,  $T_2 = 5\text{ms}$ である。低域を始めとしたいくつかの帯域(直接音の応答が長い部分)では直接音が反射音と重なり、影響を受けている。

測定したインパルス応答(b)に逆位相フィルタを適用したスペクトログラムを Fig. 2(c)に示す。(b)と比較すると直接音の反射音からの分離は改善されているが十分ではないと考えられる。Fig. 2(c)の上段に示すように(1)直接音を中心に第1反射音が到来するまでの $\pm 1.5\text{ms}$ の区間、(2)同 $\pm 4\text{ms}$ の区間を切り出して周波数振幅特性を計算した結果を Fig. 3に示す。(1)(2)いずれの場合も得られた特性は誤差が大きい。

## 3.2 提案する方法

Fig. 4 に逆位相フィルタを適用したインパルス応答波形を示す。逆位相フィルタは波形をゼロ位相化するので、直接音および各反射音はピークに対し対称の波形となっている。この時直接音のピーク値から左の部分に注目すると、反射音の影響は小さい。そこで(赤)の直接音の前半部を切り出し、左右反転させた波形を前半部と合成する。そのスペクトログラムを足し合わせたものを Fig. 5に示す。この波形においては、反射音の影響がないの

\* A study of impulse response length compression of loudspeaker. by ITO, Takumi and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

でインパルス応答の長い区間を利用して周波数特性を求めることが出来る. Fig. 6 に提案した手法によって求めた周波数振幅特性を示す. 低域部分も含めて, 真値に近い周波数振幅特性が得られている.

#### 4 むすび

本報告では, シミュレーションにより, スピーカの周波数位相特性を推定することが出来れば, 逆位相フィルタを用いることで, 一般室内においてもスピーカの周波数振幅特性を求めることが可能であることを示した. 今後は短時間の直接音に基づいた位相 (または群遅延) 特性の推定方法を検討する.

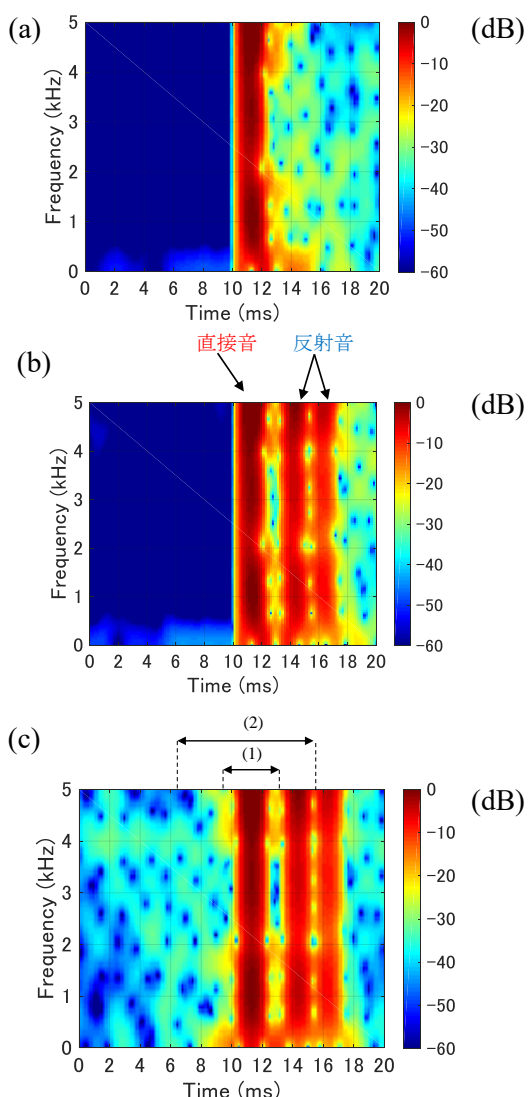


Fig. 2 インパルス応答のスペクトログラム  
 (a) 無響室で測定したスピーカのインパルス応答  
 (b) 反射音を2つ付加したもの (シミュレーション)  
 (c) 逆位相フィルタの適用結果

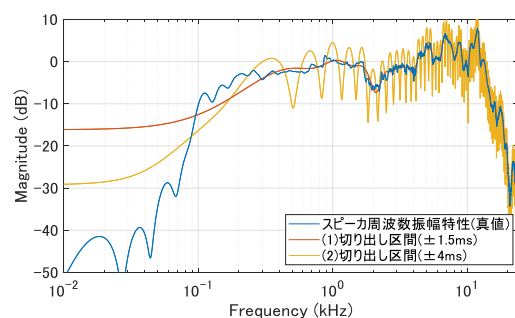


Fig. 3 各切り出し区間による周波数振幅特性

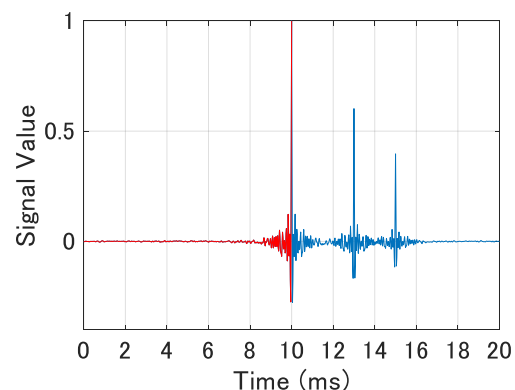


Fig. 4 逆位相フィルタを適用したインパルス応答波形

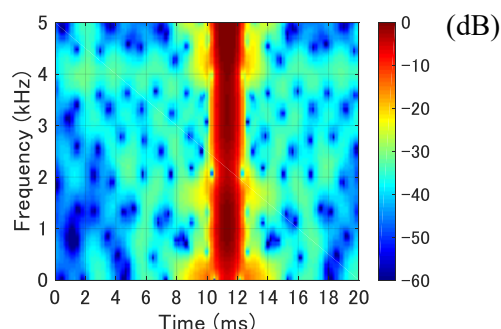


Fig. 5 Fig. 4 の赤部分を利用した合成波形のスペクトログラム (提案法)

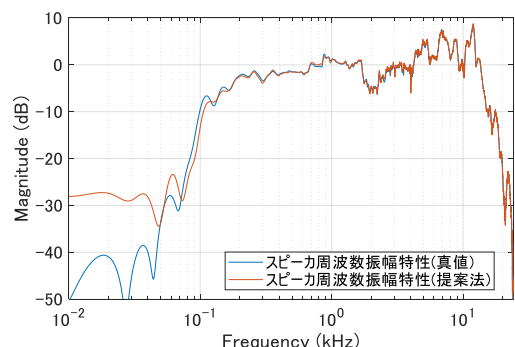


Fig. 6 スピーカの周波数振幅特性