

音響インパルス応答測定における測定時間短縮方法の検討*

☆田中阿子, 森谷晃行, 金田豊(東京電機大)

1 はじめに

インパルス応答は、音響系の周波数特性や残響時間を求めるための重要な特徴量である。Fig. 1に、周波数領域におけるインパルス応答の測定原理を示す。ただし、 k は離散周波数である。測定信号 $S(k)$ に対する系の出力は $H(k) \cdot S(k)$ と表され、これに測定信号の逆特性 $1/S(k)$ を乗じれば、インパルス応答の等価量である系の周波数特性 $H(k)$ が求まる。この時、測定出力 $H(k) \cdot S(k)$ は離散周波数の乗算であるため、時間領域では測定信号とインパルス応答の円状畳み込みとなっている必要がある。従来は、測定信号を2周期再生し、出力波形の2周期目を切り出すことで円状畳み込みを実現していた[1]。

2 円状畳み込みの実現

Fig. 2に、測定信号を2周期再生した場合の出力波形のモデル図を示す。 N は測定信号の1周期の長さである。図より、3周期目にはみ出した2周期目の応答(ハッチ部分)と同一の波形が、1周期目の応答として2周期目の先頭に含まれているため、2周期目を切り出した波形は円状畳み込みの結果と等価である。しかし、高SNの測定を行うためには N を大きくする必要があり、その場合、2周期再生を行うと測定時間が長くなってしまふ。

3 提案法

前述の問題点を解決するために、測定信号1周期と2周期目にはみ出した応答が含まれる部分を測定する方法を提案する。Fig. 2の出力波形において、2周期目の時刻 $N+Lh \sim 2N$ の部分は、1周期目の時刻 $Lh \sim N$ の部分と同一である。従って、後述する手順で円状畳み込みの波形を再現すれば、2周期目の時刻 $N+Lh \sim 2N$ の部分を再生する必要はない。Fig. 3に提案法の流れを示す。インパルス応答長を Lh と表した時、測定信号を $N+Lh$ だけ再生する。その時の出力波形(Fig. 3(a))から $Lh \sim N+Lh$ の部分を切り出し(Fig. 3(b))、その波

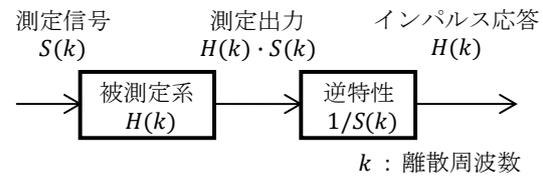


Fig. 1 インパルス応答測定の実理

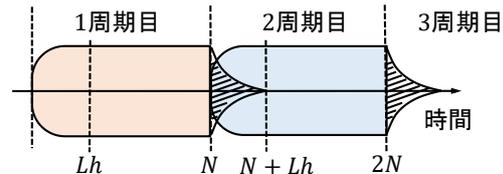


Fig. 2 測定信号を2周期再生した場合の出力波形モデル図

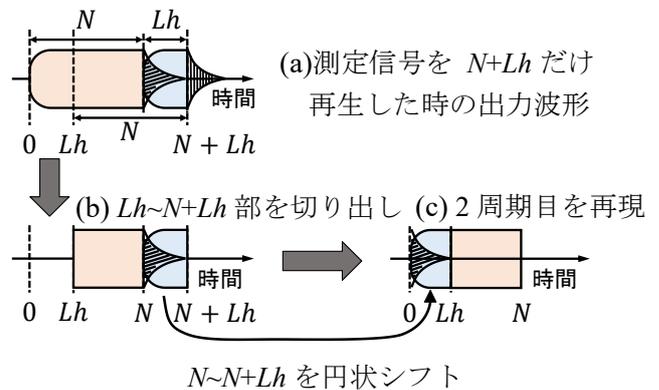


Fig. 3 提案法の流れ

形の時刻 $N \sim N+Lh$ の部分を先頭に円状シフトすることで、測定出力の2周期目(円状畳み込みの波形)を再現できる(Fig. 3(c)). このようにすることで、 $N \gg Lh$ の時には、2周期再生する場合と比較して測定時間を半分近くに短縮できる。

4 提案法の有効性の評価実験

提案法の有効性を示すため、インパルス応答測定の実音場実験を行った。実験条件をTable 1に示す。測定信号を3周期再生し、その応答を録音した。3周期目の応答(円状畳み込み結果となっている)から算出したインパルス応答を基準のインパルス応答 $h_T(n)$ とする(n は離散時間)。録音信号を $L \sim N+L$ (L は切り出し開始時刻)の区間で切り出して、

*A study on measurement time reduction of room impulse response, by TANAKA, Ako, MORITANI, Akiyuki, and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

Fig. 3 の Lh を L とした操作で Fig. 3(c) に相当する波形を求めて、インパルス応答 $h_L(n)$ を算出する。そして、 $h_L(n)$ と基準インパルス応答 $h_T(n)$ との誤差 E_L を次式より求める。

$$E_L = 10 \log_{10} \frac{\sum_n \{h_L(n) - h_T(n)\}^2}{\sum_n \{h_T(n)\}^2} \quad (1)$$

切り出し開始時刻 L を変化させ、 L の値に対する誤差量を計算した結果を Fig. 4 に示す。横軸が $L=Lh$ の場合は提案法、 $L=N$ の場合が従来法を表す。図より、 $L=0$ 秒付近では誤差が大きいが、 L を大きくするにつれ、誤差が小さくなる。誤差の低下は時間が増加すると小さなものとなり、提案法である $L=Lh$ の時の誤差④は従来法である $L=N$ の時の誤差③とほぼ等しい。

Fig. 4 の曲線における $L=0\sim 0.5$ 秒の区間の減衰③は、切り出し区間からはみ出して欠落する測定信号の応答のエネルギーに依存する。そして、その値はインパルス応答エネルギーの時間反転積分値、すなわち残響曲線に相当すると考えられる。Fig. 5 に測定したインパルス応答を、Fig. 6 にそのインパルス応答から計算した残響曲線を示す。Fig. 6 において、時刻 $0\sim 0.5$ 秒の区間の残響曲線の傾きは約 25dB 減衰しており、これは Fig. 4 の誤差曲線の傾きとほぼ一致している。

一方、Fig. 4 の曲線の④の部分には、切り出しによって生じたインパルス応答の誤差が、雑音(または非線形歪)より小さくなっている部分である。この④の部分の大きさは、測定信号の音量や長さに依存して上下するが、③の減衰量<④の値となるように切り出し時刻を選べば、従来法($L=N$)とほぼ同等の誤差量とすることができる。(周波数による SN 比の違いは、今後の課題である) 通常、事前には③の曲線や④の値が未知であるので、 $L=Lh$ (残響時間の予想値)としておけば、切り出しによる誤差量は -60dB 以下であることが保証される。

5 むすび

本稿では、音響インパルス応答測定における測定時間短縮法として、1周期+インパルス応答長(=予想残響時間)のみを再生する方法を提案した。検証実験より、提案法は従来法と同程度の誤差で測定でき、測定時間短縮に有効であることを示した。例として、1周期の長

Table 1 実験条件

スピーカ	BOSE 101MM
サンプリング周波数	48 kHz
測定信号	ピンクノイズ
信号長	2^{17} (約 2.7 秒)
部屋の容積	$6.3 \times 9.1 \times 2.8 [\text{m}^3]$
スピーカ-マイク距離	3 m
残響時間 Lh	1.1 秒
再生音圧	80 dB

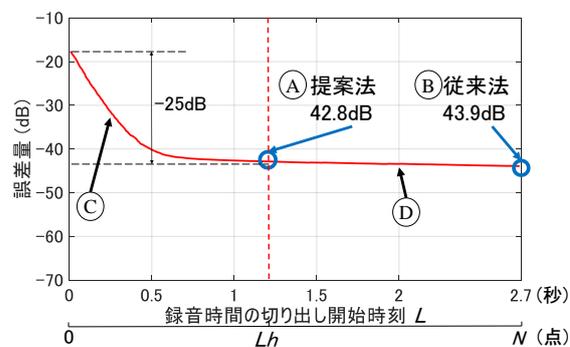


Fig. 4 切り出し開始時刻と誤差の関係

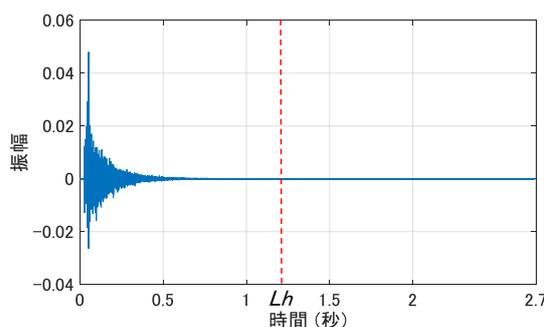


Fig. 5 インパルス応答の時間波形

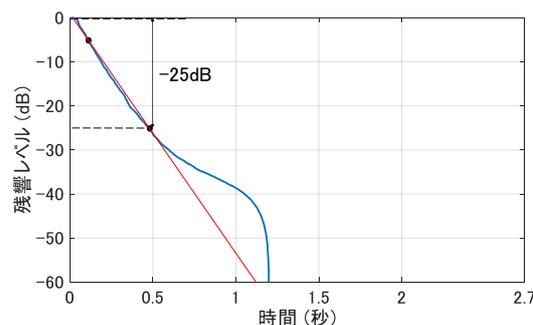


Fig. 6 インパルス応答から求めた残響曲線

さが 30 秒、インパルス応答長が 1 秒のとき、従来法では測定に 1 分を要するが、提案法ではその約半分の 31 秒での測定が可能である。

参考文献

- [1] “インパルス応答計測の基礎,” 日本音響学会第 150 回技術講習会資料, pp.8-9, 2016.