

SN比向上を目指したインパルス応答測定波形の切り出し方法の検討*

☆渋谷功, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

インパルス応答はスピーカや室内の音響特性についての情報を数多く含んでいる。そのため、インパルス応答の測定は大変重要である[1]。しかし、測定環境において室内騒音などが付加されてSN比が低下するという問題がある。この問題に対してこれまで様々な方向からの改善が試みられてきた[2]。本研究ではSN比の向上を目指し、計測したインパルス応答波形を時間軸上で切り出す手法の検討を行った。

2 なぜ切り出しが必要か

インパルス応答(以下IR)の測定結果の例を図1に示す。一般にIRの測定は十分に長いデータ長で行われるので、測定結果の後半は雑音区間(もしくはIRが雑音より十分に小さい区間)となっている。この測定結果をそのまま使うと不要な雑音が入りSN比が悪くなる。そのため、雑音部分を切り捨て必要な部分のみを切り出す操作が必要となる。

3 時間波形切り出しの問題点

図1は低周波雑音が付加されたインパルス応答波形である。この波形を図1に示した時刻で切り出す場合のスペクトログラムを図2に示した。図において、全周波数成分が同一の時刻で切り出されている(以降これを「全帯域での切り出し」と呼ぶ)。このため、図の矢印で示すように、黒破線で示した切り出し線の右側の高い周波数成分の応答が切り捨てられるため、誤差要因となる。

そこで、本研究ではIRを周波数成分に分割し、周波数帯域別に適切な長さで切り出し(図3)、その後再合成することを検討する。

4 最適な切り出し時刻の検討

まず最初に、最適な切り出し時刻の検討を行う。高いSN比で室内インパルス応答(残響時間0.6秒)を測定し、これを「真値」と呼ぶ。次に、これに白色雑音を付加する。その波形、および振幅2乗波形のdB値を図4,5

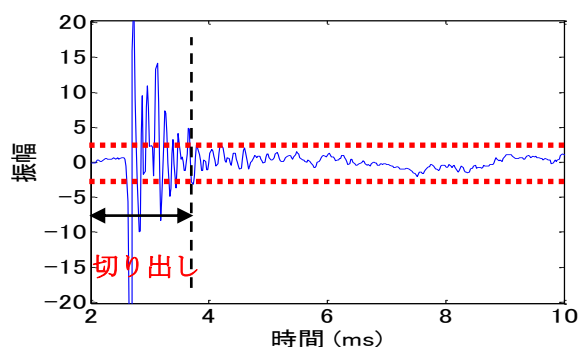


図1 雑音の加わったインパルス応答波形と切り出し

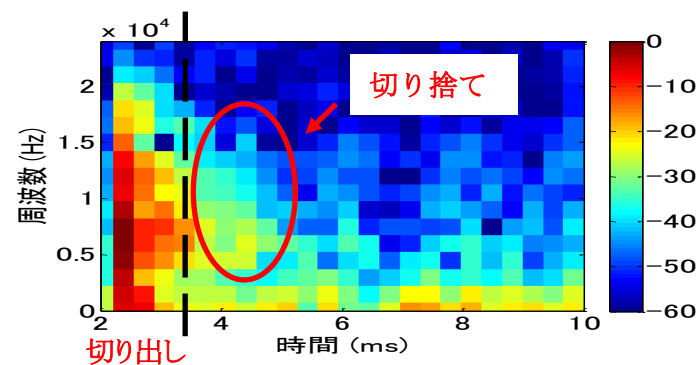


図2 図1の切り出しを示すスペクトログラム

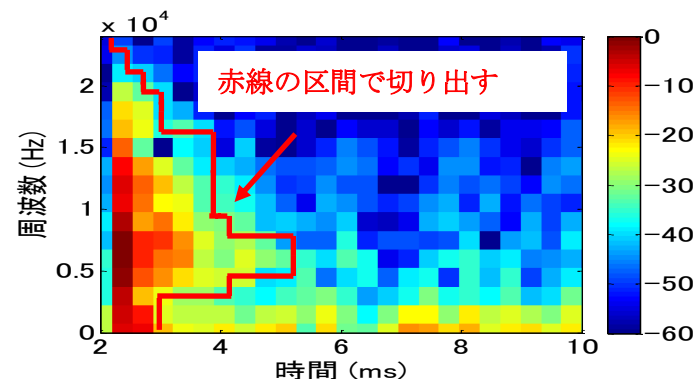


図3 周波数帯域別の切り出し手法

に示す。図5において、赤線は白色雑音の振幅二乗波形の平均値(パワーレベル)を表す。また、黒線は真値の振幅2乗値の移動平均を表す。

Faiget らは、良好な残響曲線を得ることを目的とした場合、IRと雑音のパワーが等しくなる点(2本の線の交点)が適切な切り出し時刻であることを示した[3]。本稿では、IRを

* A study on impulse response waveform extraction for SNR improvement by SHIBUSAWA, Isao and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

フーリエ変換した周波数振幅特性の誤差に関して最適な切り出し時刻を実験的に検討した。

図6は、図4のIRの切り出し時刻を横軸に、縦軸をその切り出し時刻における周波数振幅特性の誤差E

$$E = \sum_{\omega} \left(|H(\omega)| - |\hat{H}(\omega)| \right)^2 / \sum_{\omega} |H(\omega)|^2$$

を表している。ただし、 $H(\omega), \hat{H}(\omega)$ はそれぞれ真値および切り出したIRから求めた周波数振幅特性である。

図より、最小誤差となる切り出し時刻は図5の2本の線の交点付近となり、従来の結果とほぼ一致することがわかった。

5 シミュレーションによる評価

今回は真値が既知という条件で帯域別切り出しの効果を確認するシミュレーションを行った。まず、前節で使用した室内インパルス応答に、標準的な室内騒音である Hoth 雑音 [4] を付加し、図6と同様の誤差計算を行って最適な切り出し時刻を求めた。そして、その時の周波数振幅特性の誤差を、周波数帯域ごとに計算し、その結果を図7の青線に示す。

一方、図7の赤線は、雑音が付加されたインパルス応答を17の周波数成分信号に分割し、各周波数帯域ごとに最適切り出し時刻を求めて、切り出した周波数成分を再合成したインパルス応答から求めた周波数振幅特性の誤差を示す。図より、帯域別に最適切り出しを行うことで、3k~12kHzにおいて10dB程度誤差が減少することがわかる。

6 まとめ

本稿では、計測したインパルス応答波形を切り出す場合、周波数帯域ごとに最適な時刻で切り出しを行う方法の検討を行った。その結果、周波数振幅特性の誤差を最小にする切り出し時刻は、インパルス応答成分が雑音成分と等しくなる付近で切り出せばよいことを確認した。そして、シミュレーションにより周波数帯域ごとに切り出すことの有効性を確認した。

参考文献

- [1] 橘, 音学誌 49, pp. 97-102 (1993).
- [2] 落合ほか, 音講論 pp. 747-748 (2009.9).
- [3] L. Faiget 他, J. Audio Eng. Soc. 46, 9, (1998).
- [4] IEEE P269/D9, pp. 80-82, Jan. 2002.

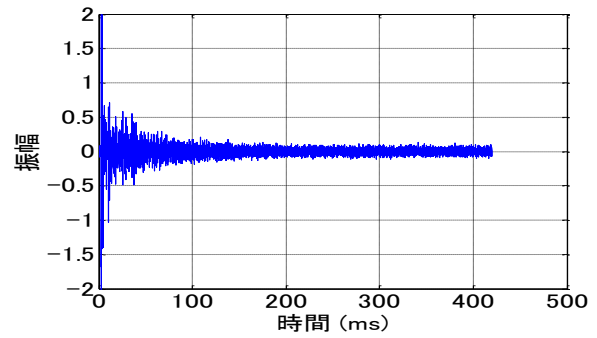


図4 白色雑音を加えたIR波形

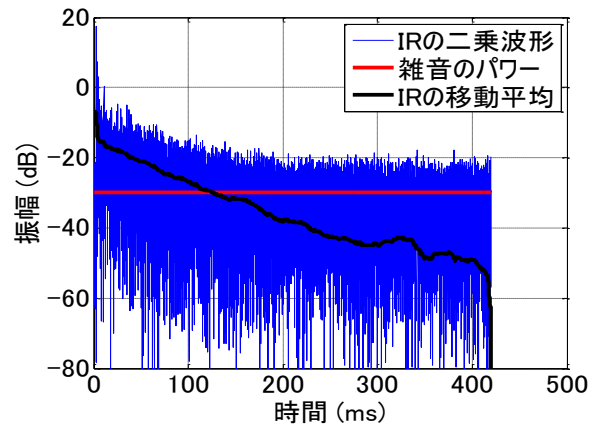


図5 図4の振幅二乗波形

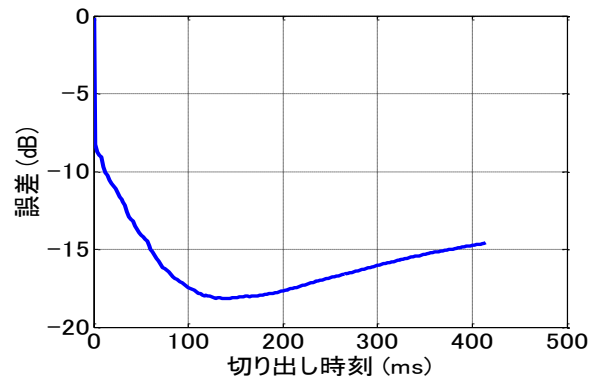


図6 切り出し時刻と振幅スペクトル誤差

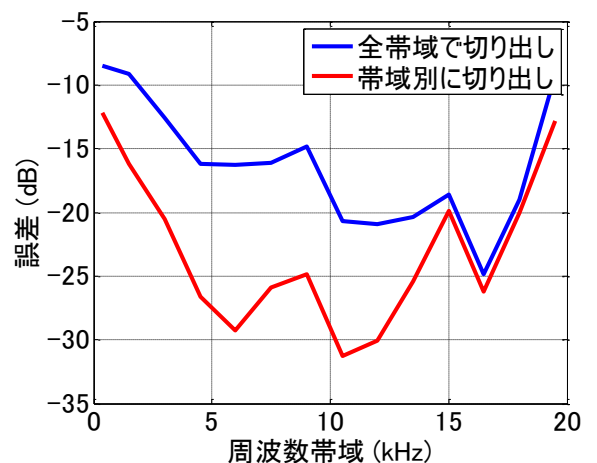


図7 周波数振幅特性の周波数帯域ごとの誤差