

残響時間算出のための適切なインパルス応答切り出し区間推定方法の検討*

☆飯山陽平, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

残響時間は、室内インパルス応答を測定し、それより計算される残響曲線から求められる。しかしインパルス応答測定結果には環境雑音が含まれている。そのため、残響曲線を計算する際のインパルス応答切り出し時刻の設定が、残響曲線の形状に大きく影響する。この切り出し時刻の設定指針は確立していないため、残響時間測定結果のあいまいさの原因となっている。本稿ではこの問題に対して検討した結果を報告する。

2 インパルス応答切り出し時刻と残響曲線

残響曲線 $r(t)$ はインパルス応答 $h(t)$ から次式で計算される。

$$r(t) = \frac{\int_t^{t_0} h^2(\tau) d\tau}{\int_0^{t_0} h^2(\tau) d\tau} \quad (1)$$

式 (1) において、積分の終端時間 t_0 をインパルス応答切り出し時刻と呼ぶ (以降、「切り出し時刻」と略称する)。

残響曲線のレベルが -5dB から -35dB まで減衰する区間を直線回帰し、その直線の -5dB から -35dB までの時間を 2 倍した時間が残響時間の推定量 T_{30} である。そして、 T_{30} を求める際には、インパルス応答瞬時パワーのピークから雑音レベルが -45dB 以下であることが求められている [1]。

図 1 に残響時間が 1 秒、雑音レベルが -45dB である場合のインパルス応答瞬時パワー $h^2(t)$ のモデル図を示す。この時、切り出し時刻を $t_0 = 0.3, 0.72, 1.5$ 秒とし、このモデルから算出した残響曲線 $r(t)$ を図 2 に示す。 t_0 の値によって残響曲線が大きく異なっている。次に、切り出し時刻を細かく変化させて得られた残響曲線より T_{30} を計算した結果を図 3 に示す。 T_{30} の計算値が切り出し時刻によって変化していることがわかる。

3 切り出し時刻決定における問題点

インパルス応答の適切な切り出し時刻は、雑音を含まないインパルス応答瞬時パワーと雑音レベルとが交差する時刻 (図 1 太矢印の時刻) が適切とされている [2]。しかし、実際のインパルス応答の

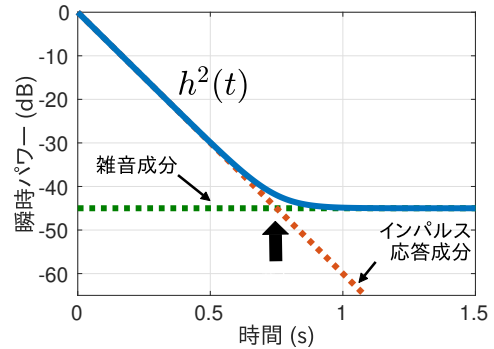


図 1 理想瞬時パワーモデルの波形

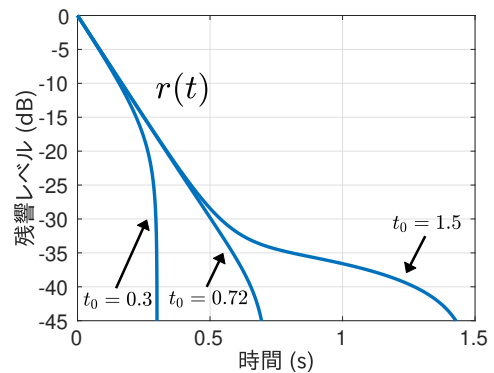


図 2 切り出し時刻に対する残響曲線の変化

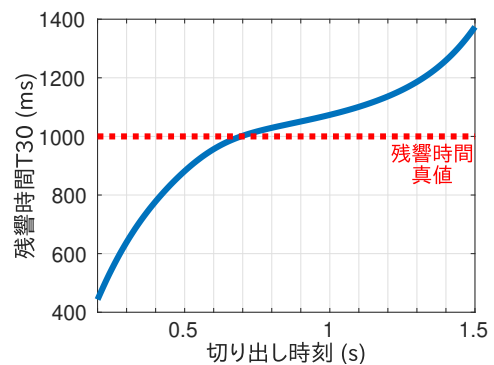


図 3 切り出し時刻に対する残響時間 T_{30}

瞬時パワー (図 4) は変化が大きく、交差時刻は不明確である。例えば、雑音の定常性が不良なとき、その雑音レベルは、平均計算する時間区間の定め方によって変化する。そのため、同じインパルス応答に対しても、測定者の判断によって T_{30} の算出結果にばらつきが生じるという問題点があった。

* A study on extraction time length of impulse response for reverberation time calculation by IYAMA, Yohei and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

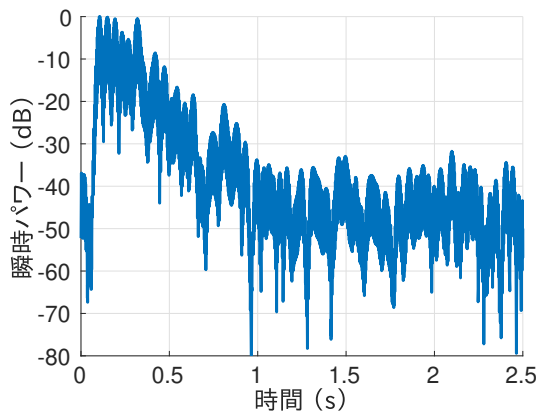


図4 実際のインパルス応答瞬時パワー

4 提案する切り出し時刻の設定方法

本研究での切り出し時刻の設定方法は

1. 人間の判断を含まないアルゴリズムである
2. 十分にSN比が高いインパルス応答より求めた T_{30} に近い計算結果が得られる

ことを目標とした。

第1章で述べた残響時間 T_{30} の算出方法は、残響時間がdB表示で直線的に減衰することを前提としていた。筆者らは、これに着目して残響曲線が最も直線性を持つときが、適切な残響時間を算出できる残響曲線であると考えた。よって提案法では、各切り出し時刻に対して残響曲線とその-5dBから-35dB部分の回帰直線との誤差を求め、その値が最小となる切り出し時刻を、最適な切り出し時刻と設定する。

5 提案方法の評価

5.1 理想モデル

図1に示した理想的なインパルス応答瞬時パワーのモデルに本手法を適用した。図5に、各切り出し時刻に対する残響曲線とその回帰直線との誤差を示す。このとき、誤差が最小になる切り出し時刻 t_0 は0.72秒であった。また、この切り出し時刻で算出した残響時間 T_{30} は1009msであった。真値である1000msとの誤差は0.9%であり、理想的なモデルにおいては十分に適切な切り出しが行えている。

5.2 ベンチマークデータ

室内音響指標ベンチマークとして示されているインパルス応答から残響時間を算出する問題[3]に対して、提案法を利用して T_{30} を算出した。算出

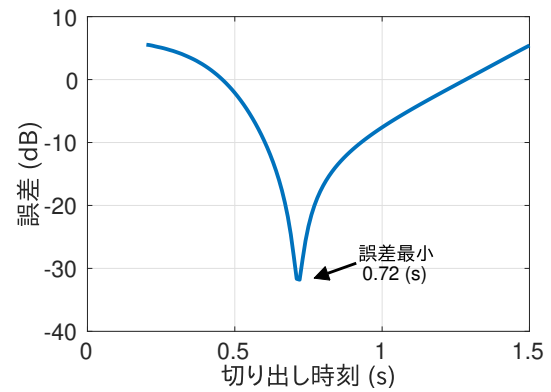


図5 切り出し時刻に対する回帰直線との誤差

した値は複数機関による算出結果から5%以内の範囲であり、適切な切り出し時刻の設定が行えているものと考えられた。

6 提案手法の問題点と課題

提案法について、雑音レベルが-45dBになるように測定したインパルス応答と、長時間測定により十分なSN比を持つように測定したインパルス応答の2つに対し、 T_{30} を算出して比較した。その結果、10%以上の許容範囲に収まらない誤差が生じる場合があった。この誤差は、低周波域などで残響曲線の変動が大きい場合や、残響曲線が直線的でない場合などで生じたもので、その対策は今後の課題とする。

7 むすび

本報告では、残響時間を算出する上で適切なインパルス応答の切り出し時刻を設定する方法について、提案、検討を行った。提案法は、雑音レベルの推定を行わないので定常性の不良な雑音に対しても有効であること、測定者が判断することがないので測定結果が安定なこと、などの利点を持つ。提案法のサンプルプログラムはwebサイト[4]に掲載した。

参考文献

- [1] ISO3382-1:2009(E).
- [2] 大久保, 音響技術 No.169, pp.17-18, (2015).
- [3] 室内音響指標ベンチマーク「実測応答の問題 C-11」(http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s24/benchmark/c11/c11_j.html).
- [4] http://www.asp.c.dendai.ac.jp/IR_mes_01.html.