

音響インパルス応答測定における測定限界についての検討*

☆森谷晃行, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

インパルス応答は系の音響特性を表す重要な測定量であり、残響時間を始めとした各種室内音響特性の算出や、線形系を対象とした様々な信号処理に利用される。インパルス応答測定品質を低下させる誤差要因には様々なものがあるが、要求される測定精度は応用によって異なる。本稿では、測定結果に含まれる誤差要因の影響をどこまで低減できるかについて検討し、その結果を報告する。

2 インパルス応答測定時の誤差要因

2.1 雑音

雑音には測定室の環境による音響的雑音のほか、測定機器による電氣的雑音がある。これらの影響は、測定信号長を長くしたり、雑音のスペクトルに応じた測定信号[1]を用いたりすることで低減が可能である。

2.2 非線形歪

雑音の影響はスピーカの再生音圧を大きくすることで低減できるが、スピーカの非線形特性に起因する非線形歪が生じる。このため、雑音による誤差と非線形歪による誤差は再生音圧に対してトレードオフの関係にある[2]。したがって、再生音圧を決定するときはこのトレードオフを考慮する必要がある。

2.3 系の時変特性

室温の変化などによって系の特性が時間的に変化した場合、インパルス応答の時間軸上のずれが代表的な変化となる。例として、実測したスピーカのインパルス応答を時間軸上でずらし、ずらさなかった場合との誤差を計算した結果を Fig.1 に示す。横軸は時間、縦軸はインパルス応答のエネルギーで正規化した誤差のエネルギーを表す。図より、0.5 μs の時間ずれで約-30 dB の誤差を生じることが分かる。

室温の変化やスピーカキャビネットのずれは、音速や距離の変化となってインパルス応

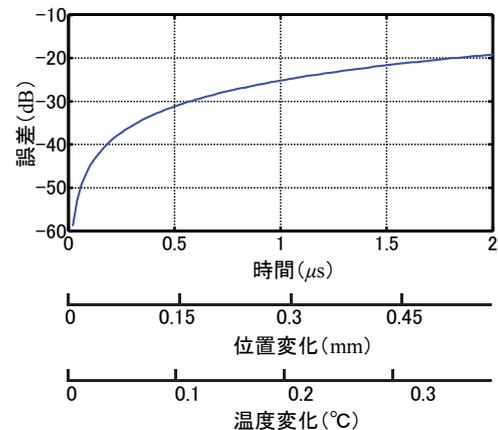


Fig.1 時間ずれに対する誤差 (計算結果)

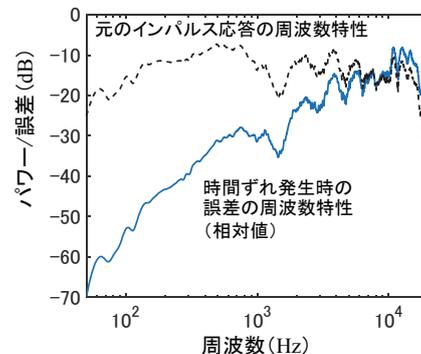


Fig.2 時間ずれによる誤差の周波数特性

答の時間ずれを生じる。Fig.1 の横軸に、時間変化に対応する温度変化およびキャビネットの位置変化を示す。ともに、微小な変化が大きな誤差の要因となる。また、Fig.2 に示した誤差の周波数特性の例より、高周波成分ほど誤差が大きいことが分かる。

3 スピーカの時変特性の測定

音響測定には必須となるスピーカの時変特性を調査した。実験は、前節で述べた誤差要因の影響が十分小さくなるように配慮し、Table 1 に示す条件で行った。スピーカのインパルス応答を 1600 回 (約 70 分) 測定し、1000 回目 (基準時刻) の測定結果と各回の測定結果との誤差量を求めた。Fig.3 の青太線に測定結果を示す。横軸は測定回数、縦軸は誤差を表す。

* A study on measurement error limit of acoustic impulse response measurement, by MORITANI, Akiyuki and KANEDA Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

このスピーカのインパルス応答を調べた結果、時間軸上のずれが大きな誤差要因となっていることが分かった。Fig.4に、測定回数に対する時間ずれを示す。図より、測定開始直後は時間ずれの変動が大きい、800回目以降から時間ずれの変化がほぼ一定となっている。この時間ずれを補正した場合の誤差をFig.3に赤細線で示す。時間ずれを補正すると誤差は最大で15 dB減少した。

Fig.3の矢印で示した区間は、基準時刻から時間ずれ補正後の誤差が-60 dBを超えるまでの時間を表す。この時間の範囲であれば、時変特性による誤差が-60 dB以下となる測定ができる。

基準時刻を変化させて、-60 dB および-50dB以下の測定誤差が確保できる時間を調査した。Fig.5にその結果を示す。横軸は基準時刻、縦軸は誤差が-60 dB および-50 dB 以下となる時間（測定精度継続時間）を表す。図より、スピーカの使用開始直後は測定精度継続時間が短い、時間の経過とともに徐々に長くなる。例えば、-50 dB の測定精度継続時間は基準時刻10分のとき約20分である。すなわち、スピーカ使用前に10分程度のウォーミングアップを行えば、20分間は時変特性の影響を-50 dB 以下に低減できる。

4 スピーカの非線形歪の測定

測定信号の再生音圧を変化させてインパルス応答を測定し、基準再生音圧（55 dB）による測定結果との誤差量を求めた。測定信号長は 2^{24} （約6分）として実験を行った。Fig.6に結果を示す。横軸は再生音圧、縦軸は誤差を表す。再生音圧が55 dB以下の部分は雑音性誤差が主体であり、再生音圧に比例して減少している。再生音圧が60 dB以上の部分は非線形歪（基本波歪）の影響である。図より、非線形歪の影響は約-50 dBまで低減できる。

5 まとめ

本稿では、インパルス応答測定における測定限界について検討した。今回の測定条件においては、スピーカ使用開始から10分間のウォーミングアップを行うことで、20分間時変特性の影響（雑音の影響も含む）を-50 dB以下に低減できることを示した。また、非線形歪を約-50 dBまで低減できた。

Table 1 測定条件

測定場所	無響室
スピーカ	TANNOY 600
アンプ	B&K 2734
測定信号	雑音最小化擬似雑音[1]
サンプリング周波数	48kHz
信号長	2^{17} （約2.7秒）
1m地点の再生音圧	80 dB

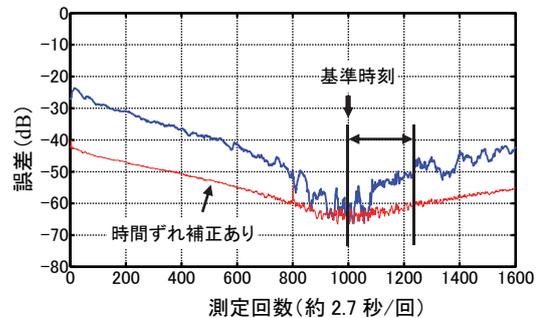


Fig.3 測定誤差の時間変化

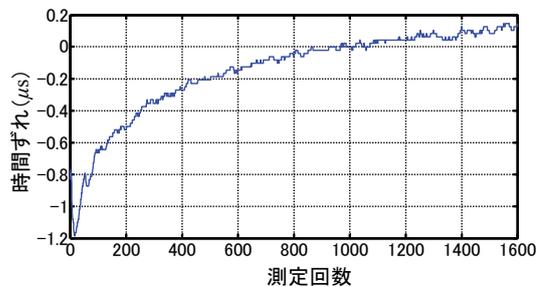


Fig.4 測定結果の時間ずれ

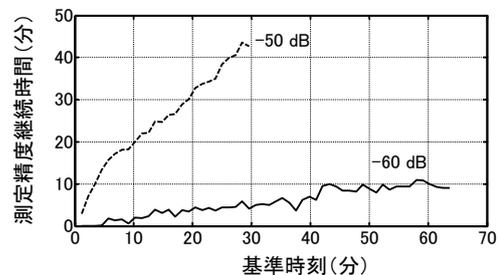


Fig.5 測定精度継続時間曲線

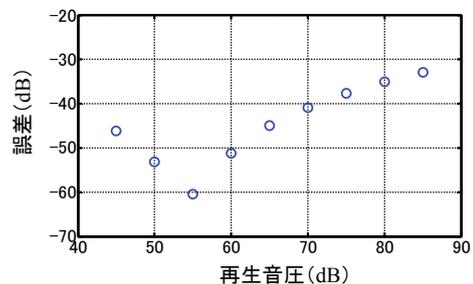


Fig.6 再生音圧に対する測定誤差
(基準再生音圧：55 dB)

参考文献

- [1] 守谷, 金田, 音学誌, 64 (12), 695-701, 2005.
- [2] 小林, 金田, 音講論 (秋), 431-432, 2016.