

インパルス応答測定におけるスピーカの基本波歪の検討*

○小林正明, 金田豊 (東京電機大)

1. はじめに

インパルス応答の測定において, 系の非線形性の影響で誤差が発生する. 測定信号が掃引正弦波(SS:SweptSine)の場合, この非線形誤差としては, 高調波歪と基本波歪(主応答歪)が発生する. これらのうち, 高調波歪は, Log-SS(ピンク TSP, ESS)信号などを用いれば分離除去できる. しかし, 基本波歪は除去が困難であり, また誤差としての大きさも高調波歪と比べて, 20dB 以上も大きい[1]. 本稿では, この基本波歪の性質を検討した結果を報告する.

2. 基本波歪

図1はLog-SS信号で測定した, 非線形誤差を含むインパルス応答を示す. 図において, ①は, 基本波応答(インパルス応答)を表し, ②, ③はそれぞれ2次, 3次の高調波歪を表す.

図に示すように2次歪, 3次歪は歪の発生が明確であり, 時間軸上で分離されているので除去することができる. しかし, 見た目では分かりづらいが, 基本波応答①にも歪成分が発生している. 入力信号レベルが小さく, 歪が小さい場合と比べるとその大きさが変化している. この基本波応答①の変形を基本波歪と呼ぶ.

3. 基本波歪の測定

基本波歪の特性を把握するために, 測定信号の種類, 再生音圧, 信号長を変化させて測定を行った.

3.1 測定条件

測定は, 図2に示すように, 無響室において, 測定信号をスピーカから再生し, 1m 離して設置したマイクで受音し, PCに入力して, インパルス応答を測定した. 測定信号は, TSP, Log-SS, M 系列の3種類を使用した. スピーカは BOSE101MM, アンプは BOSE 1705 II を使用した. 測定信号の音圧は, 受音点で 30dB~100dB まで 5dB 刻みで変化させ

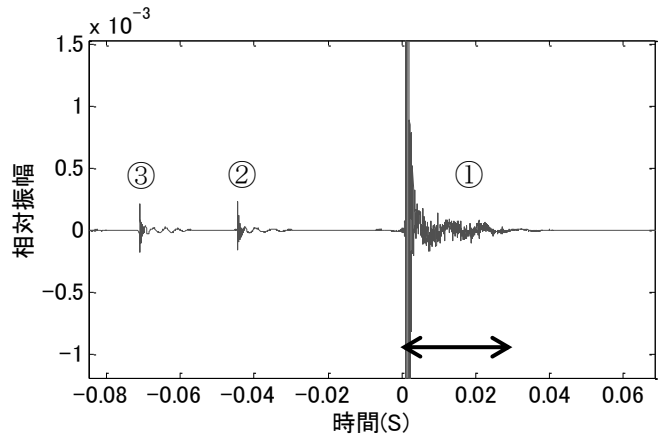


図1 Log-SSで測定したインパルス応答の波形

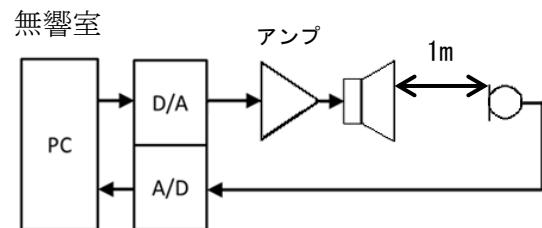


図2 測定のブロック図

た. サンプル周波数は 48kHz とした. 各測定信号の実効長は 2^{15} , 2^{13} の2種とし, 同一の実効値を持つように振幅調整した.

3.2 基本波歪

測定されたインパルス応答に含まれる誤差 E_m を次式のように定義した.

$$E_m = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N (h_m(n) - \hat{h}(n))^2}{\sum_{n=1}^N (\hat{h}(n))^2} \quad (1)$$

ここで, $h_m(n)$ は音圧が m [dB] で測定した時のインパルス応答を表し, $\hat{h}(n)$ は基準となる高 SN 比のインパルス応答 (音圧 55dB, 実効長 2^{19} の Log-SS 信号で測定) を表す. また, n は離散時間を表し, $n=1 \sim N$ の区間はインパルス応答の存在区間 (図1の矢印) とする.

E_m には雑音性誤差と基本波歪が含まれている. LogSS 以外の TSP や M 系列での測定では, この区間に高調波歪等が一部含まれるが, 高調波歪等の大きさは基本波歪と比較すると十分小さいので, その影響は無視するものとした.

* Study of fundamental distortion of the loudspeaker in an impulse response measurement. by KOBAYASHI, Masaaki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

4. 測定結果

4.1 基本波歪量

図3, 及び図4に各測定信号による誤差の比較を示す. 図は横軸に出力音圧, 縦軸に式(1)の誤差 E_m を示している. 図3は信号実効長が 2^{15} の場合, 図4は 2^{13} の場合である. 図において, 横軸が60dB以下の部分は, 雑音性誤差が主体である. 雑音性誤差は測定信号のスペクトルや長さに依存し, 再生音圧に逆比例する[3]ことがわかる.

一方, 横軸で70dB以上の部分は, 基本波歪が主体である. 図3, 図4より, 基本波歪の大きさは, 測定信号の型(掃引正弦波か疑似雑音信号か: TSPとM系列の比較)やスペクトル(TSPとLog-SSの比較), 信号長(図3と図4の比較)にはほとんど依存しない. よって基本波歪を減少するためには, 再生音圧を小さくすることが唯一の方法となる.

4.2 基本波歪波形の特性

図5にインパルス応答基本波形 $\hat{h}(n)$ と, 再生音圧100dBのLog-SSで得られた, 基本波歪による変形を受けたインパルス応答波形 $h_{100}(n)$ を示す. 図より基本波歪はインパルス応答波形に不自然な変形を与えないことがわかる. 基本波歪を受けた波形と基準波形の相関係数を計算した結果0.986であった.

また, 周波数特性も数dB程度のピーク特性の低下であり[1], このような基本波歪の影響は厳密なインパルス応答波形を必要としない残響時間測定等では, 無視できる[2].

図6に再生音圧100dBで3種の測定信号を用いた時の誤差波形($h_{100}(n) - \hat{h}(n)$)を示す. 基本波歪に起因する誤差波形は, 高調波歪と異なって, 測定信号によらず, ほぼ同一となることがわかる.

5. おわりに

基本波歪は高調波歪より20dB以上大きな誤差を与えるが, 高調波歪と違ってインパルス応答波形および周波数特性に不自然な変形を与えない. よって残響時間測定などではその影響を無視できる. 基本波歪は, 測定信号の型やスペクトル, 長さによらず, インパルス応答においてほぼ同一の大きさや形状の誤差を発生する. 基本波歪の影響を軽減するためには, 再生音圧を下げるのが唯一の方法である.

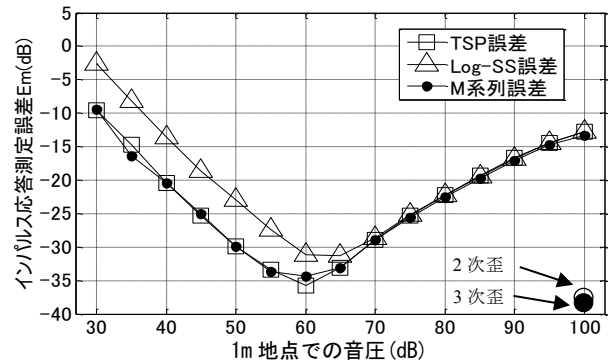


図3 各測定信号による誤差 E_m の比較(2^{15})

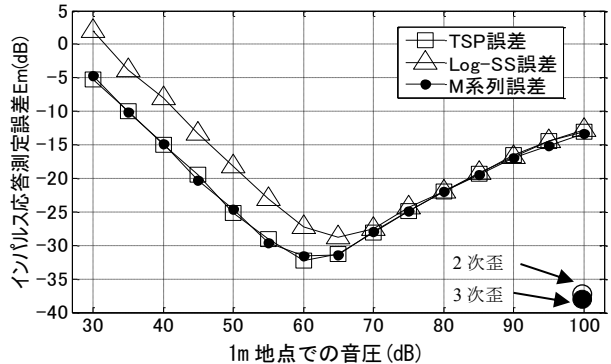


図4 各測定信号による誤差 E_m の比較(2^{13})

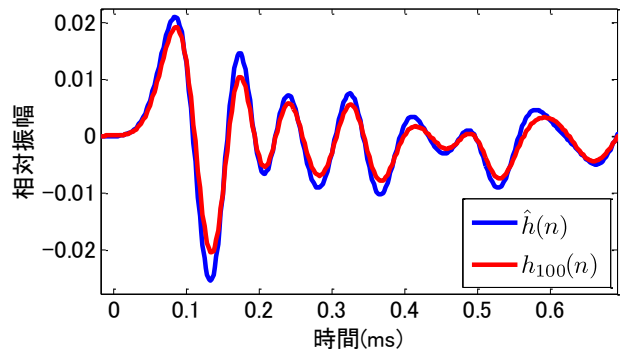


図5 基本波歪による変形を受けたインパルス応答

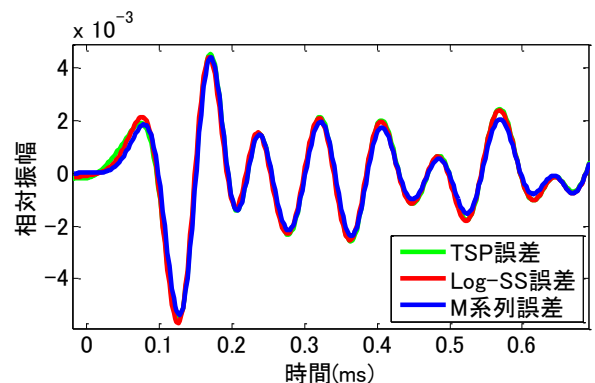


図6 誤差波形の比較

参考文献

- [1]佐々木, 他, 音響学会(秋), 1-Q-27 (2013).
- [2]竹林, 他, 音響学会(秋), 3-P-18 (2016).
- [3] Y. Kaneda, J. A. E. S., 63, 5, 348-357 (2015).

謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 15H02728 の助成を受けたものです.