

## インパルス応答に及ぼすスピーカの非線形歪の影響

☆佐々木長閑, 金田豊 (東京電機大・工)

## 1 はじめに

音響測定や音響信号処理を行う際に、スピーカに含まれる非線形特性は誤差を発生させる要因となる。したがって、スピーカの出力に含まれる非線形成分を測定・評価することは大変重要である。従来、スピーカの非線形成分は主として正弦波を入力した際に発生する高調波歪によって評価がされてきた[1][2]。本報告では、入力した周波数成分に対する応答の変化に着目して、非線形特性の影響を評価した結果を述べる。

## 2 時不変系の非線形歪

時不変非線形系に対して、周期  $T$  の正弦波信号  $s(t)$  を入力すると、出力も同じ周期  $T$  を持った信号  $y(t)$  となる。フーリエ級数の原理によれば、 $y(t)$  は

$$y(t) = a_0 + a_1 \cdot \sin(2\pi f_0 t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} a_n \cdot \sin(2\pi n f_0 t + \theta_n) \quad (1)$$

と表される。ただし、 $f_0 = 1/T$  である。 $a_0$  は直流成分であるが、音響系では通常  $a_0 = 0$  となる。第3項は高調波歪成分で、 $a_n$  は  $n$  次高調波歪の大きさを表す。第2項は入力した周波数成分に対する出力で、これを基本波応答と呼ぶことにする。非線形系ではこの  $a_1$  の値と入力信号の大きさが比例関係を持たない。

高調波歪は、入力していない周波数成分が発生するので影響が大きく、これまで注目されてきたが、基本波応答の入力依存性については十分な評価がされておらず、本研究の検討課題とした。

## 3 スピーカの非線形歪測定

## 3.1 測定条件

Log-SS(Log-TSP)信号を使用し、無響室にてスピーカの非線形歪を測定した。実験環境を

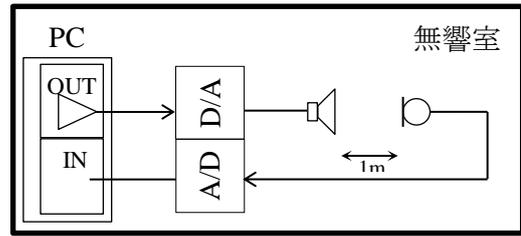


Fig. 1 実験環境

Fig.1に示す。Log-SS信号をPCから再生し、スピーカから出るLog-SS信号を1m離して設置したマイクで受音し、PCに入力する。スピーカはBOSE101MMを使用した。また、安定した測定結果を得るためにバスレフポートは閉鎖して測定を行った。

振幅調整はPC内のデジタル信号に対して行った。Log-SS信号の音圧はスピーカ正面から1mの位置で、50dB~95dBまで5dB刻みで変化させた。音圧95dBの時、入力電力は約45Wであった。

## 3.2 測定量

Fig.2は音圧が95dBの時の測定結果である。基本波応答(=インパルス応答)に加えて、2次、3次高調波歪が分離され測定されている。本検討では、再生音圧による基本波応答の変形による誤差、及び高調波歪を次式のように定義した。

基本波応答の誤差

$$\varepsilon_{i(n)} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{k=1}^K ((S_n(k) - S_{50}(k))^2)}{\sum_{k=1}^K (S_{50}(k))^2} \quad (2)$$

高調波歪

$$\varepsilon_{i(n)} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{k=1}^K D_{in}^2(k)}{\sum_{k=1}^K S_{50}^2(k)} \quad (3)$$

ここで  $S_n(k)$ ,  $D_{in}(k)$  はそれぞれ音圧が  $n$ [dB]の時の基本波応答信号と、 $i$ 次高調波歪信号を表す。今回は基本波応答の誤差が最小となった50dBの基本波応答の大きさで、各誤差を正規化した。

\* Effect of nonlinear distortion of a loudspeaker on an impulse response, by SASAKI, Nodoka and KANEDA, Yutaka(Tokyo Denki University).

### 3.3 測定結果

Fig.3 に式(2)(3)に基づいて計算した基本波応答誤差値と、2次、3次高調波歪を示す。横軸に音圧レベル、縦軸に誤差値、歪量を取っている。

Fig.3 より基本波応答の誤差は2次、3次歪に比べ25dB程度大きなものであることがわかった。また、2次、3次歪ともに音圧約90dB以上で歪量が-40dB(1%)を超えている。なお、低音圧レベルの歪量増加は、測定SN比の低下に伴う雑音成分の増加によるものである。

### 3.4 基本波応答誤差の検討

log-SS法を用いて測定した場合、Fig.2に示すように高調波歪は分離測定できるので、高調波歪を除去した基本波応答の測定が可能になる。しかし、この基本波応答には、高調波歪を大幅に上回る誤差成分(基本波応答誤差)が含まれることがわかった。

この誤差は、入力信号と同一の周波数成分の低下として現れるもので、高調波歪とは違い、聴覚的影響は小さいものと考えられる。しかし、音場制御などを行う場合には、制御誤差に影響するものと考えられる。

一方、Fig.4は音圧50dBの時の基本波応答(=系の周波数特性)と音圧95dBの時の基本波応答ならびに基本波応答誤差、高調波歪の周波数特性を示したものである。Fig.4より、基本波応答の値が大きい周波数ほど、誤差や歪が大きいという傾向がわかる。また、Fig.4の上に、基本波応答誤差が最大となる7kHz付近の拡大図を示した。図より、非線形特性の影響の小さい音圧50dBの場合の測定結果と比べ、音圧95dBの場合の基本波応答は、約2.0dB低い測定結果となっていることが分かる。

## 4 おわりに

本報告では、スピーカの非線形特性により発生する入力した周波数成分の振幅変化(基本波応答誤差)を調べた。その結果、今回の計測条件では、基本波応答誤差は高調波歪に比べ、約25dB大きく、周波数特性の測定結果にも影響を及ぼす場合があることがわかった。

### 参考文献

- [1] A. Farina, 108th AES Convention, 5093, D-4, (2000. 2).
- [2] 守谷直也, 他, 音講論集(春), 637-638, (2004).

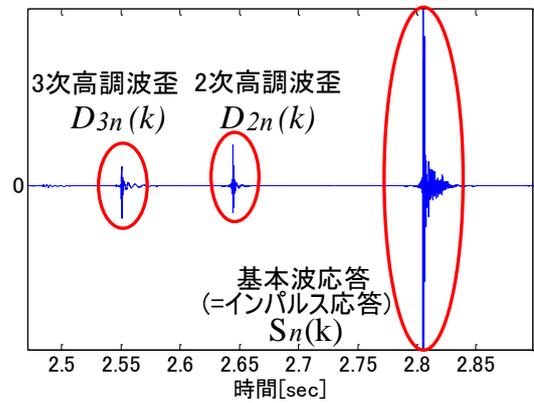


Fig. 2 基本波応答と高調波歪

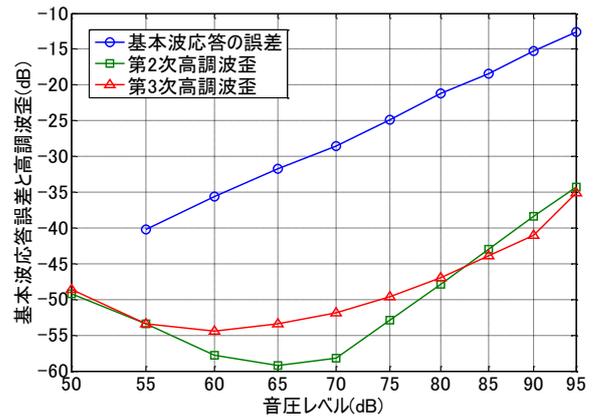


Fig. 3 基本波応答誤差と高調波歪

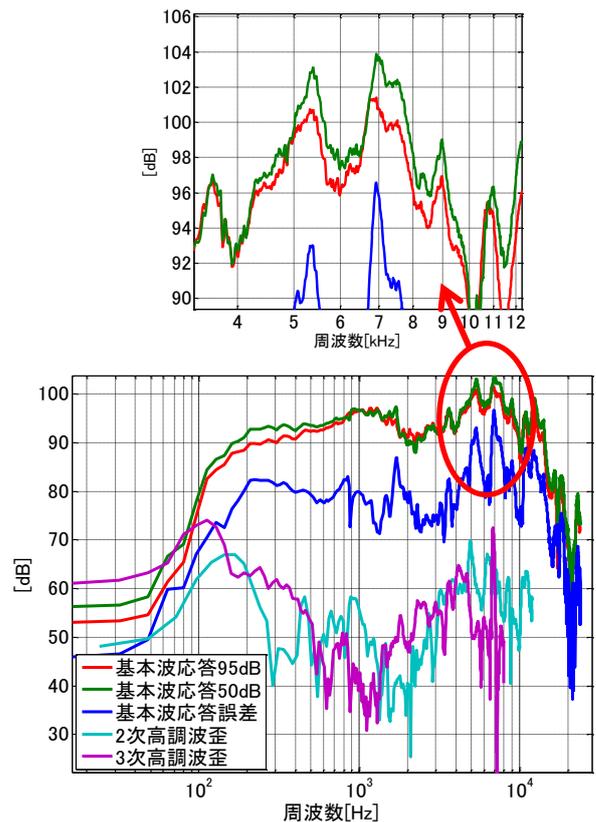


Fig.4 基本波応答とその誤差、高調波歪の周波数特性