

守谷直也 金田豊(東京電機大・工)

## 1. はじめに

音響インパルス応答の計測において、小さな信号レベルで測定を行うと、SN 比が低く、測定誤差が大きくなる。一方その影響を軽減するために、過度に信号レベルを上げると、系に非線形が生じ、測定誤差が上昇してしまう(図1)。したがって、ある最適な信号レベルで誤差の最小値が決まり、それが測定の限界を与えると考えられた[1]。

しかし近年検討されている Logarithmic TSP 信号(以下 Log-TSP とする)を用いれば、理論的には非線形の影響が除去できることが報告されている[2][3]。この非線形の影響が除去できれば、従来の誤差の限界値を超えた測定が可能になる。これを実験的に検討した。

## 2. Log-TSP 信号

代表的なインパルス応答計測信号である TSP 信号は、周波数を真数軸上で等速スウィープさせたものである。一方 Log-TSP 信号は、対数軸上で等速スウィープさせたものである。Log-TSP 信号の DFT 上での定義を式(1)に示す。

$$H(k) = \begin{cases} 1 & (k=0) \\ \frac{\exp(-jak \log k)}{\sqrt{k}} & (k=1,2,\dots,N/2) \\ H^*(N-k) & (k=N/2+1,\dots,N-1) \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 $a = 2m\pi / \{(N/2)\log(N/2)\}$  ( $m$ : 整数)

## 3. 高調波歪の発生とその影響

非線形歪の代表は、スピーカなどで発生する高調波歪である。TSP 信号および Log-TSP 信号を過大レベルで入力したときの、スピーカのインパルス応答測定結果を図2、3に示した。図2では、高調波歪の影響による誤差(以下、高調波歪とする)が時間軸上で主インパルスと重なってしまい、識別が不可能である。一方図3では、高調波歪は主インパルスとは独立したパルス状に発生する。よって、図2

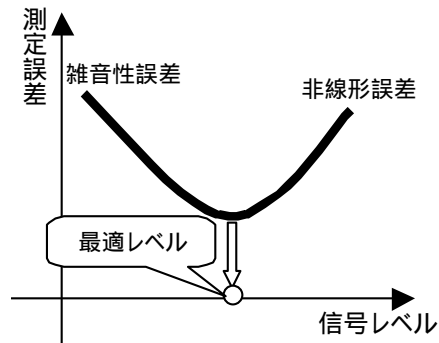


図1 信号レベルとインパルス応答測定誤差の関係

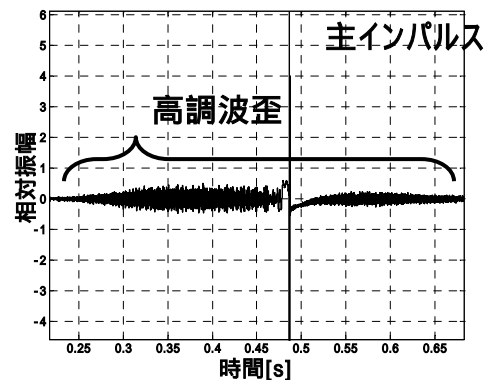


図2 TSP 信号による高調波歪

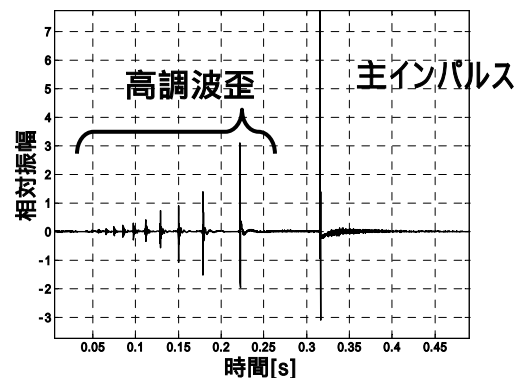


図3 Log-TSP 信号による高調波歪

の TSP 信号による高調波歪は、除去が困難であるが、図3の Log-TSP 信号による高調波歪は、主インパルスと識別が可能で、主インパルスの立ち上がり以前の部分を切り捨てれば、歪の除去が可能と考えられる。

\* A study of harmonic distortions on impulse response measurement with logarithmic TSP.

By Naoya Moriya and Yutaka Kaneda (Tokyo Denki Univ.).

#### 4. インパルス応答の評価方法

測定誤差を定量化するためには、「真の」インパルス応答と比較する必要があるが、現実的には「真の応答」を知ることは困難である。そこで、音が高 低とスweepする Down-Log-TSP 信号から得られる測定結果  $h_{down}$  と、低 高とスweepする Up-Log-TSP 信号から得られる測定結果  $h_{up}$  との差をとって、次式 E を定義し、誤差パワーを評価した。

$$E = \frac{(h_{down} - h_{up})^2}{h_{down}^2} \quad (2)$$

図 4 に示すように、 $h_{down}$  と  $h_{up}$  に含まれる非線形誤差  $d_1$ 、 $d_2$  は異なった波形になっていると予想される。また、この波形に無相関な雑音  $n_1$ 、 $n_2$  が含まれているとする。この時、真の応答を  $h_0$  と表すと、

$$h_{down} = h_0 + d_1 + n_1 \quad (3)$$

$$h_{up} = h_0 + d_2 + n_2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \therefore (h_{down} - h_{up})^2 &= (d_1 + n_1 - d_2 - n_2)^2 \\ &= d_1^2 + d_2^2 + n_1^2 + n_2^2 \end{aligned} \quad (5)$$

となって非線形誤差および雑音性誤差が評価できると考えた。なお、図 4 からわかるように応答  $h_{down}$  の歪成分は、因果性を満たすが、 $h_{up}$  の歪成分はそれを満たさない特徴がある。

#### 5. 高調波歪の低減実験

Log-TSP 信号レベルを除々に増加させながら無響室においてスピーカ (BOSE : 101MM) のインパルス応答 ( $h_{down}$ 、 $h_{up}$ ) を測定する。この時の誤差パワー E の値を図 5-(A) に示す。

次に、両応答の主インパルス成分だけを、最大値から  $\pm 75\text{ms}$  の範囲で切り出し (つまり高調波歪成分を除去する) 誤差パワー E を計算した結果を図 5-(B) に示す。

図より、非線形誤差低減の効果は確認できたが、その効果は約 10dB にとどまり、インパルス応答の誤差パワーの向上 (誤差曲線全体の最小値) は、約 3dB にとどまった。

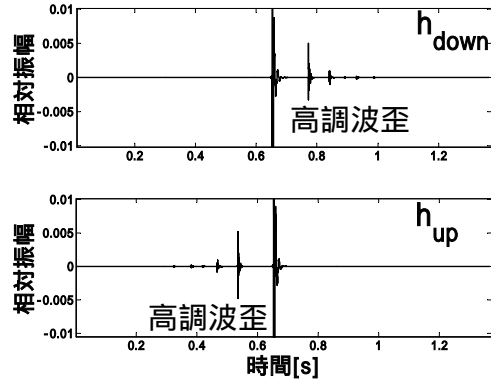


図 4  $h_{down}$  と  $h_{up}$  の高調波歪の様子

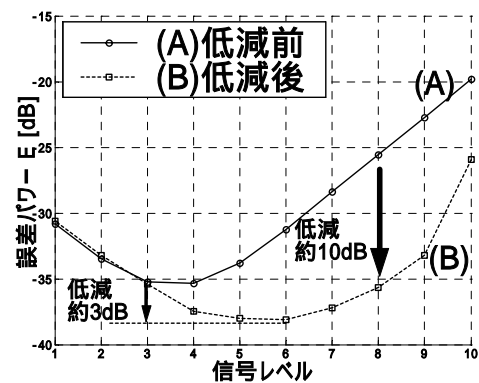


図 5 歪除去前と後の誤差パワー曲線

この原因としては、1)高調波歪の影響が主インパルスの中にも含まれる、2)高調波歪以外の非線形誤差が発生している、などが考えられ今後検討を進めたい。

#### 6. まとめ

Log-TSP 信号を用いることで、高調波歪の成分が簡単に低減でき、非線形誤差の影響を約 10dB 軽減できることを実験的に示した。しかし、この軽減量では、インパルス応答の測定誤差としては約 3dB の向上にとどまった。今後は、低減量の向上について検討を行う。

#### 参考文献

- [1] 金田豊, 音響学会誌 55, 364-369 (1999).
- [2] Angelo Farina, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), vol.48, p.350, D-4, (2000 Apr.).
- [3] 藤本卓也, 音講論集, 555-556 (2000.3).