

CSN-SS周波数応答測定法における所望SN比実現の検討*

☆北嶋哉也, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

インパルス応答, およびそれをフーリエ変換した周波数特性は音響系における最も重要な特徴量の一つであり, 高い精度で測定する事が望まれる. しかし現実には, 雑音の影響により応答が把握しにくい周波数帯域が存在する場合がある. この問題に対して落合らは, 雑音成分と周波数特性推定値に応じて測定信号のスペクトルを変化させ, どの周波数帯域においてもSN比が一定となるCSN-SS (Swept Sine Signal for Constant SNR measurement)測定法を提案した[1]. 本報告では, CSN-SS測定法におけるSN比を所望の値に設定するための方法を提案する.

2 CSN-SS 測定方法

2.1 周波数特性測定原理

Fig. 1に周波数特性測定の原理図を示す. 測定信号 $S(k)$ (信号は周波数領域で表し, k は離散周波数を表す. ただし図中では (k) を省略する. 以下同様)を被測定系に入力する. 被測定系の周波数特性を $H(k)$ とすると出力は $H(k) \cdot S(k)$ となり, そこに雑音成分 $N(k)$ (騒音や電気雑音など)が付加されて観測される. 観測された信号に逆フィルタ $1/S(k)$ をかけることで被測定系の周波数特性が得られるが, $N(k)/S(k)$ の雑音成分が付加されている.

2.2 CSN-SS 法

測定結果の周波数 k 毎のSN比は, 系の2乗応答 $|H(k)|^2$ と雑音成分のパワー $P_N(k)/P_S(k)$ ($P_N(k)$, $P_S(k)$ はそれぞれ雑音 $N(k)$ と測定信号 $S(k)$ のパワースペクトル)の比として表される.

$$SNR(k) = \frac{|H(k)|^2}{P_N(k)/P_S(k)} \quad (1)$$

この時, SN比を周波数によらず一定とする測定信号のパワースペクトル $P_S(k)$ は, 次式のようにならされる[1].

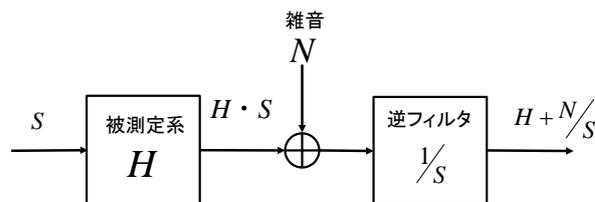


Fig.1 周波数特性測定原理

$$P_S(k) = C^2 \cdot \tilde{P}_S(k) \quad (2)$$

但し,

$$C^2 = E_S / \sum_{k=0}^N \tilde{P}_S(k) \quad (3)$$

$$\tilde{P}_S(k) = P_N(k) / |\hat{H}(k)|^2 \quad (4)$$

また, E_S は信号のエネルギー, $\hat{H}(k)$ は $H(k)$ の推定値を表す. この $\hat{H}(k)$ は事前知識または予備測定により与えられる.

2.3 SN比の予測値

式(2)の $P_S(k)$ を用いて測定した場合のSN比は, 式(3)の C^2 の値として事前予測される[2]. 所望のSN比($dSNR$)が予測値より大きい場合($dSNR > C^2$)には, 式(3)の E_S を大きくするか分母項を小さくして, C^2 の値を大きくする必要がある. しかし, E_S を大きくするためには信号の継続時間を大きくする必要があり測定時間の増大を伴う.

3 帯域制限による所望SN比の実現

式(3)の分母項を小さくするためには, いくつかの周波数 k における $\tilde{P}_S(k) = P_N(k) / |H(k)|^2$ の値を小さくすればよい. (その場合 $\tilde{P}_S(k)$ の値を変化させた周波数 k では, 式(4)の関係が満たされないためSN比の一定値は確保されない) この操作は信号 $P_S(k)$ に対する帯域制限に相当する.

一例として, 低周波数の帯域を制限する場合

$$\tilde{P}_S(k) \cong 0 \quad (0 \leq k < k_1) \quad (5)$$

として式(3) C^2 を計算し, 所望SN比 $dSNR$ と

* A study of frequency response measurement with desired constant SNR value over frequencies, by KITAJIMA, Kanaya and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

予測値 C^2 が一致する，すなわち，

$$dSNR = C^2 = E_s / \sum_{k=k_1}^N \tilde{P}_s(k) \quad (6)$$

を満たす k_1 を求めればよい．式(5)(6)を式(2)に代入して得られた測定信号を用いることで所望の SN 比の測定が実現される．(パワースペクトル $P_s(k)$ を持つ掃引正弦波信号を合成する方法は文献[3]を参照)

4 シミュレーションによる検証

以上の原理を確認するために測定のシミュレーションを行った．未知系の周波数特性は無響室で測定したスピーカ特性．付加雑音は Hoth 雑音(典型的なオフィス騒音)を使用した．所望 SN 比は 20 dB とした．

Fig. 3 に $\hat{H}(k)$ を求めるための予備測定の結果を示す．雑音は定常でそのパワースペクトル $P_N(k)$ は事前測定できるものとして，測定には最小雑音信号 MN-SS[3]を使用した．この測定結果 $\hat{H}(k)$ より，求めた式(4)の相対信号パワー $\tilde{P}_s(k)$ を Fig. 2 赤線に示す． $\tilde{P}_s(k)$ は式(4)より，SN 比 $(|\hat{H}(k)|^2 / P_N(k))$ の逆数であるので，SN 比の小さい低周波域では大変大きな値になっている．

この $\tilde{P}_s(k)$ に対する C^2 の値を求めると 0.9 dB となり所望 SN 比を大幅に下回る．そこで式(6)の関係を満たす k_1 の値を求めると，約 85 Hz となった．この 85 Hz で帯域制限した $\tilde{P}_s(k)$ (Fig. 2 青線)を用いて測定した結果を Fig. 4 に示す．

図より 100 Hz 以上の全帯域にわたってほぼ 20 dB で一定の SN 比が実現できていることが確認される．Fig. 3 と 4 とを比べると，Fig. 4 では 100 Hz 付近および 15 kHz 付近の SN 比が 20 dB に確保されており，系の応答の小さな部分の特性も正確に把握できることが理解できる．Fig. 5 は TSP ($\tilde{P}_s(k)=1$) を用いた場合の測定結果である．7-8 kHz 付近の SN 比が 40 dB と高い反面 100 Hz 付近では 0 dB 以下とバランスの悪い測定結果となっている．

5 まとめ

周波数によらず一定の SN 比を実現する CSN-SS 法において，SN 比を指定した値とするための方法を示した．雑音レベルが高く全体の SN 比が小さい場合には帯域制限を用いることにより測定可能周波数帯域は減少するが，従来

法では測定困難であった帯域の特性把握を可能とした．

参考文献

- [1] 落合ほか，音講論集，pp.621-622(2010/09)．
- [2] 金田，音講論集，pp.1203-1204(2011/09)．
- [3] 守谷ほか，音学誌，64，pp.695-701(2008/12)．

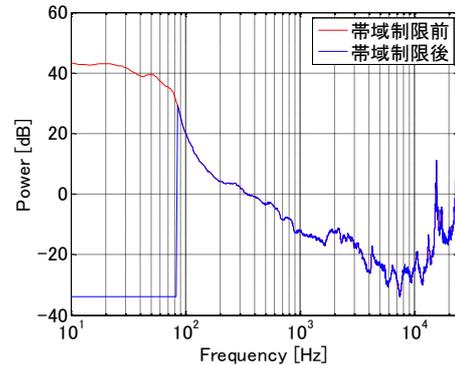


Fig.2 $\tilde{P}_s(k)$ の値と帯域制限

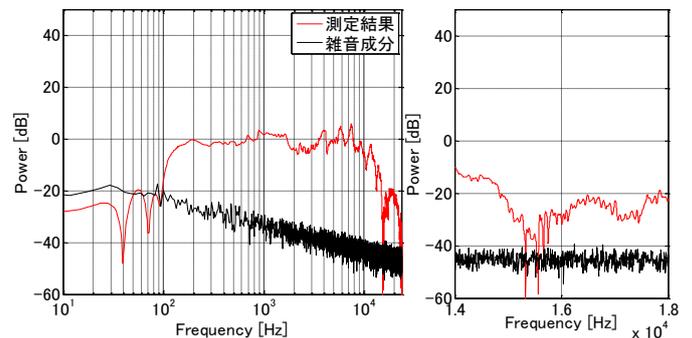


Fig.3 $\hat{H}(k)$ を得るための予備測定結果

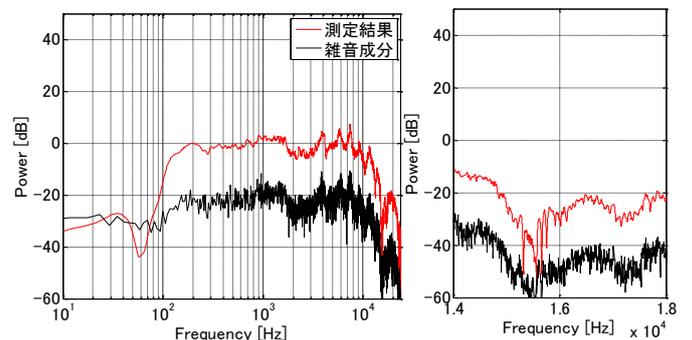


Fig.4 CSN-SS による所望 SN 比(20 dB)の実現

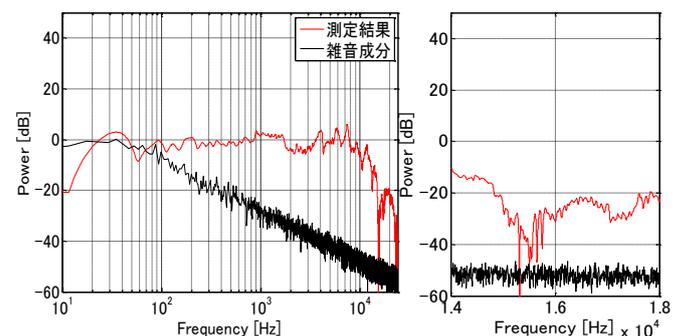


Fig.5 TSP による測定結果