

## CSN-SS信号による残響時間測定効率化の検討\*

☆中原優樹, 金田豊 (東京電機大学)

## 1 はじめに

室内音響の代表的評価量である残響時間を測定する際には対象とする系のインパルス応答を用いるのが一般的となっているが、その際広い帯域において一定以上の SN 比が求められている。一方、筆者らは測定環境の雑音と周波数特性の推定値を利用して対象とする周波数帯域で SN 比を一定としてインパルス応答を測定する CSN-SS(Constant SN ratio – Swept Sine)信号[1][2]を提案した。本報告では、CSN-SS 信号の考え方を利用して残響時間測定の効率化の検討結果を述べる。

## 2 CSN-SS 信号の測定原理

Fig. 1 はインパルス応答測定の原理を周波数領域で表したものである。掃引正弦波などの測定信号 $S(k)$  ( $k$ は離散周波数番号を表すが図では省略している)を被測定系に入力することで、インパルス応答の等価量である系の周波数特性 $H(k)$ が測定されるが、測定結果には $N(k)/S(k)$ で表される雑音成分が含まれる。

この測定結果の周波数ごとの SN 比は $H(k)$ と雑音成分 $N(k)/S(k)$ のパワー比として、

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

と表される。ただし、環境雑音は定常であるとし、そのパワースペクトルを $P_N(k)$ と表す。

各周波数成分において所望する SN 比を $D_{SN}(k)$ とする。式(1)を信号のパワースペクトル $|S(k)|^2$ について解いて

$$|S(k)|^2 = D_{SN}(k) \cdot \frac{P_N(k)}{|H(k)|^2} \quad (2)$$

である測定信号を用いれば所望の SN 比を実現できる。

ただし、実際の測定では系の応答 $H(k)$ は未知であるので、簡単な事前測定を行い、その予測値 $|\hat{H}(k)|$ から $|S(k)|^2$ の計算を行う。これが CSN 信号における SN 比制御原理である。

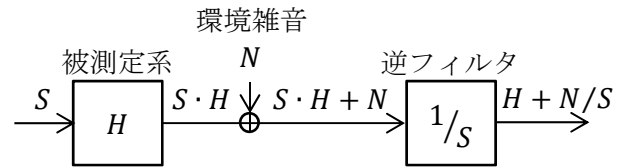


Fig. 1 インパルス応答の測定原理

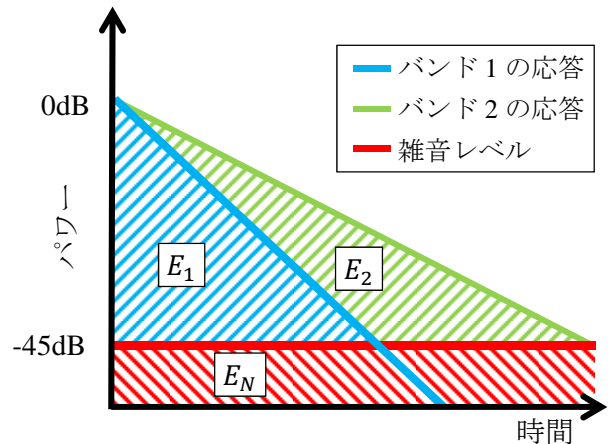


Fig. 2 応答と雑音の瞬時パワーモデル

## 3 残響時間測定時の必要 SN 比

ISO3382 によれば帯域 (オクターブまたは 1/3 オクターブバンド) ごとの雑音レベルは帯域ごとのインパルス応答の最大値より 45dB 以上小さくなくてはならないと定められている ( $T_{30}$ 測定時)。この条件を満たす時の、帯域別インパルス応答と雑音成分との瞬時パワーのモデル図を Fig. 2 に示す。応答は最大値が 0dB となるように正規化してある。

図より、最大値を正規化した時の帯域別インパルス応答のエネルギー ( $E_1$ や $E_2$ の面積: ただし、図の $E_2$ は $E_1$ を包含する) は各帯域の減衰特性によって異なることがわかる。一方、雑音成分のエネルギー $E_N$ は帯域によらず一定である。

以上より、各バンドの所望 SN 比を

$$D_{SN}(k) = E_i/E_N \quad i = 1, 2, \dots \quad (3)$$

と設定すれば Fig. 2 のように帯域によらず一定 (-45dB) の雑音レベルを持った測定結果を得ることができる。

系の応答 $|H(k)|$ や各バンドのインパルス応答エネルギー $E_i$ の予測値は、雑音レベルを

\* A study of effective measurement method of reverberation time using CSN-SS signal, by NAKAHARA, Yuki and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

-20dB 程度とした予備測定により求める。この場合、雑音レベルを-45dB とする本測定の1/100 程度の測定信号長で実行できる。

#### 4 シミュレーションによる評価

系の応答として実際の部屋の応答を、付加雑音は一般的な室内雑音に近い Hoth 雑音を用いた。比較のために、CSN-SS に加えて従来信号である TSP 信号と Log-SS 信号を用いた。3つの信号はどれも同一のエネルギー (=同一の信号長の掃引正弦波) とした。対象とする帯域は1/3オクターブバンドで125~4000Hz の16バンドとした。

得られたインパルス応答の1/3オクターブバンド毎の雑音レベルを Fig. 3 に示す。図より、CSN-SS 信号の場合、対象とする帯域内(赤破線の間)で雑音レベルがほぼ-45dB を達成している。これに対して TSP や Log-SS では雑音レベルが一定せず、元々の環境雑音レベルの大きい低周波域において、雑音レベルが上昇した。

Log-SS と CSN-SS では、対象とする帯域内で最大となる雑音レベルの差は約 8dB である(125Hz バンド)。これより、対象とする帯域内での雑音レベルを-45dB 以下とするために必要な CSN-SS の信号長は、Log-SS に比べて約1/6であることがわかる。

Fig. 4 に、125, 500, 2000Hz の3つのバンドの応答の瞬時パワー特性を、測定信号ごとに示した。(a)TSP, (b)Log-SS 信号で得た応答はバンドによって雑音レベルが異なっているのに対して、(c)CSN-SS 信号で得た応答は、どのバンドの雑音レベルもほぼ等しいことがわかる。

#### 5 むすび

本報告ではインパルス応答の帯域別エネルギーにより CSN-SS 信号の SN 比を変化させることで、帯域によらず雑音レベルを一定としたインパルス応答が測定できる方法を提案した。この方法を用いれば、残響時間測定のための信号長を Log-SS に比べて約1/6に短縮できることをシミュレーションで示した。

#### 参考文献

- [1]落合, 他, 音講論集(春), 3-P-4, (2010).
- [2]中原, 他, 信学技報, EA2013-83, (2013).

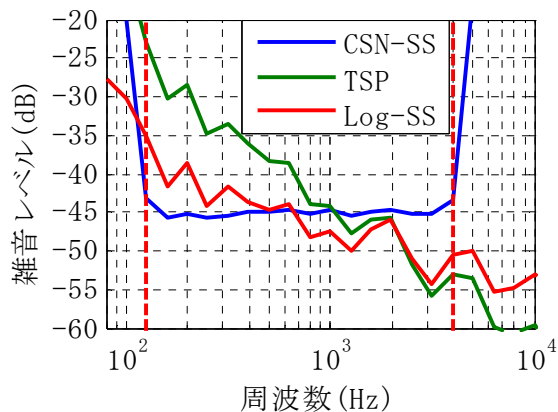


Fig. 3 インパルス応答のバンド毎雑音レベル

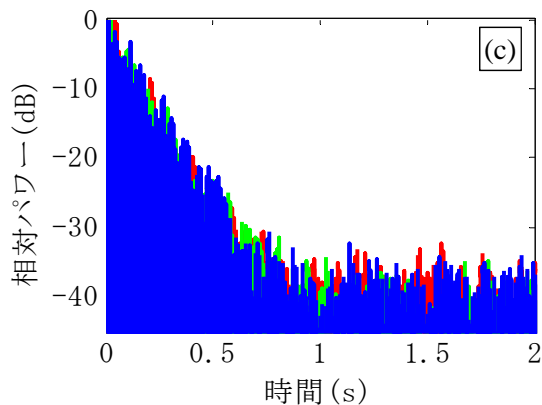
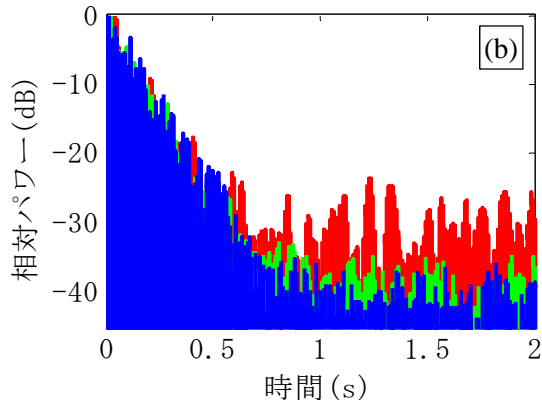
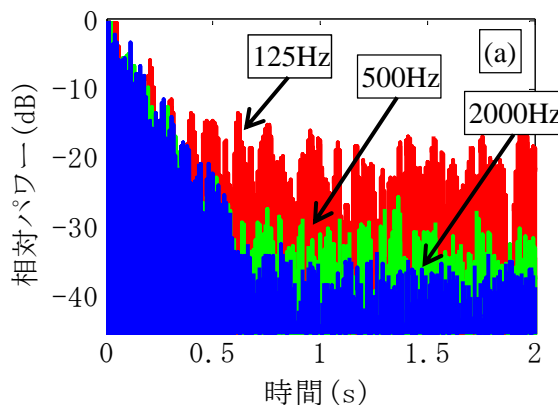


Fig. 4 信号による雑音レベルの違い  
(a) TSP, (b) Log-SS, (c) CSN-SS