

CSN-SS信号を用いた残響時間測定法における性能向上の検討*

☆中原優樹, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

残響時間は室内音響の代表的な評価量であり、その算出には通常、測定対象系のインパルス応答が用いられる。その測定条件については ISO3382 に定められているが、高い SN 比が求められるため長時間の測定が必要となる場合がある。この問題に対し筆者らは constant signal-to-noise ratio swept sine (CSN-SS) 信号を用いた効率的な測定方法を提案した[1]。本報告では、提案する残響時間測定法での信号合成に必要な周波数特性の平滑化方法について検討し、性能の向上を確認したことについて述べる。また、提案法を用いて残響時間を測定した結果についても述べる。

2 提案する残響時間測定法

2.1 CSN-SS 信号を用いた測定原理

図 1 にインパルス応答測定の原理を周波数領域で表す。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) を被測定系に投入し、出力に逆フィルタをかけることで、インパルス応答の等価量である系の周波数特性 $H(k)$ が得られる。この時、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 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。

残響時間の算出においては、インパルス応答の各周波数バンドの雑音レベルが、ピークレベルに比べ -45dB 以下であることが求められている (ISO3382)。この要求に応えるために周波数毎の必要 SN 比[1]を $D_{SN}(k)$ と表し、式(1)を $D_{SN}(k)$ とおいて $|S(k)|^2$ について解くと CSN-SS 信号のパワースペクトル $|S(k)|^2$ は

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

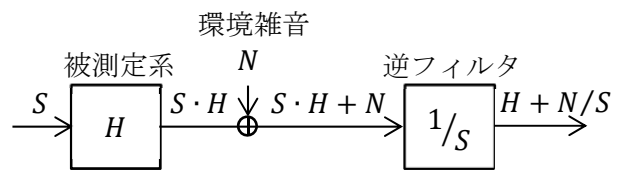


図 1 インパルス応答の測定原理

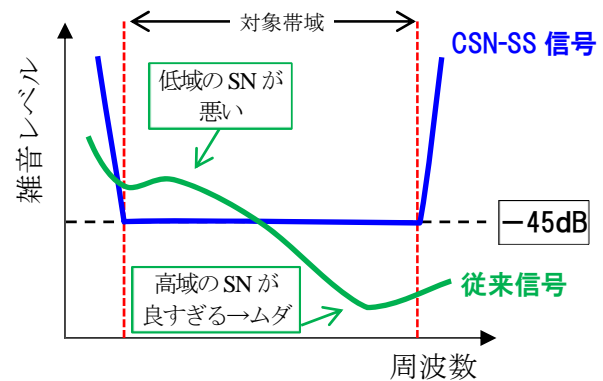


図 2 測定したインパルス応答の各周波数バンドの雑音レベルのモデル

と求められる。ただし、 $P_N(k)$, $H(k)$ は事前には未知であるので、予備測定によってその推定値を求める必要がある。

図 2 に従来信号と CSN-SS 信号の測定結果における各周波数バンドの雑音レベルのモデル図を示す。従来信号の場合、高域については雑音レベルが -45dB よりも小さいが低域では -45dB よりも大きくなっている。それに対し提案法では各帯域の雑音レベルを一定にすることで、どの帯域でも -45dB の雑音レベルを実現している。

3 実環境測定における問題点

提案法について、従来はシミュレーションによりその有効性を確認していたが、実環境測定において図 3 に示すように最低周波数付近で雑音レベルの上昇が発生した。この原因を調査した結果、実環境雑音には図 4 の緑線に示すような周期性の強い低域雑音のピークが存在するためと考えられた。従来は雑音の自己相関関数を短時間で切り出すことで雑音スペクトルを平滑化していたが、その結果、本来存在する雑音のピ

* Study of performance improvement of reverberation time measurement using CSN-SS signal, by NAKAHARA, Yuki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

ークが図 4 の青線に示すように過小評価され雑音レベルの制御に失敗したと考えられた。

4 提案するスペクトル平滑化法

提案する雑音スペクトルの平滑化法では 2 つの平滑化法を組み合わせる。

低域は周期性の強い雑音のピークを正しく推定するために線形予測を用いてスペクトル包絡を求めた。この方法で低域の狭帯域の中でも正しくスペクトルを推定することが可能である。

高域は雑音の自己相関関数を短く切りだすことで平滑化を行った。この方法では細かなピーク、ディップはならされてしまう。しかし高域では残響曲線を求める 1/3 オクターブバンドの帯域幅が広がるため一つひとつのピーク、ディップの影響は小さくなるため、帯域内の平均的な大きさをとらえることで十分な推定結果となる。

それぞれの方法での平滑化結果を図 4 赤、青線に示す。上記の二つの平滑化結果を 150~650Hz にかけてクロスさせたものを最終的な雑音スペクトルの推定結果とした。

5 残響時間の実環境測定結果

提案法の効果を確認するため室の残響時間の測定を行った。対象室は寸法 6.3×9.1×2.8m で室容量は 161m³である。測定用スピーカはフルレンジスピーカ(BOSE, MM-101)とウーファ(YAMAHA, NS-SW200)を用いた。

図 5 に測定結果の雑音レベルを示す。帯域内(63~8kHzの 1/3 オクターブバンド)で、雑音レベルがほぼ -45dB で一定に制御されていることが確認できた。図 6 に測定結果から算出された帯域別の残響時間を示す。図における真値は、Log-SS 信号による長時間(信号時間長 43s)測定により得たものである。CSN-SS 信号で得られた残響時間はこの真値とほぼ同一の結果が得られていることが確認できた。

6 むすび

本報告では CSN-SS 信号を合成する際に必要なスペクトル平滑化について効果的な方法を検討した結果について述べた。提案する方法では低域と高域を別々の方法で平滑化を行うことで、従来の方法にあったような性能の悪化を起こすことなく平滑化を行うことを可能であることを確認した。

参考文献

[1] 中原, 金田, 音講論集 (春), 1-Q4-7, (2013).

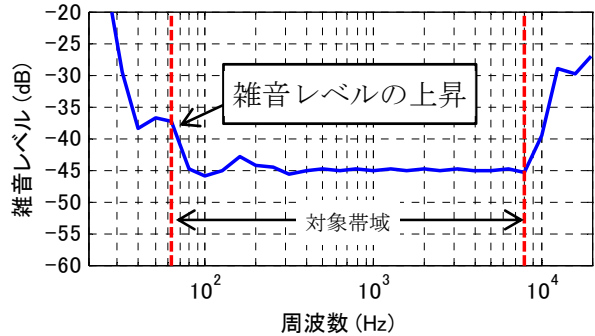


図 3 実環境測定における低域の雑音レベルの上昇

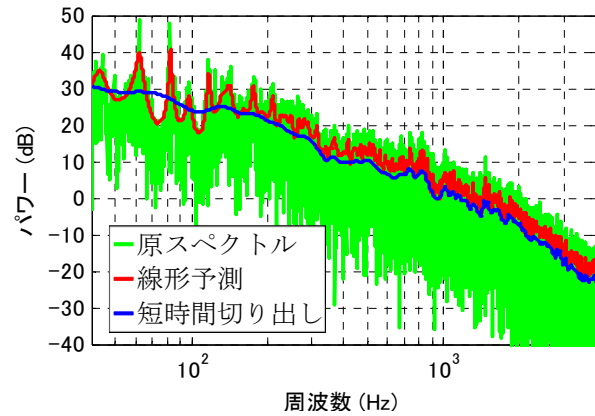


図 4 雑音スペクトルの平滑化結果

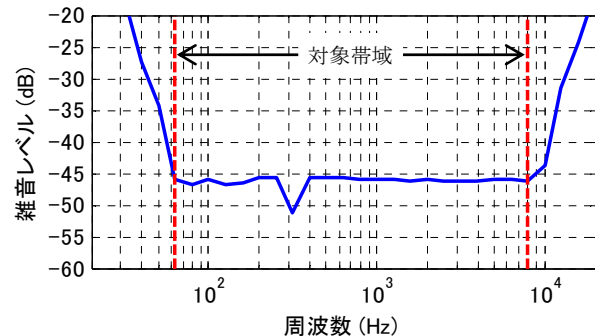


図 5 提案する平滑化法を用いた測定結果の雑音レベル

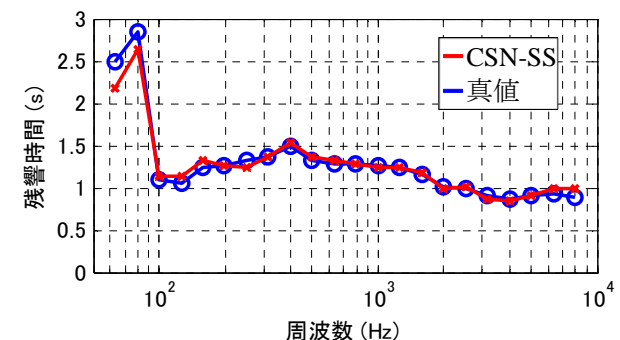


図 6 残響時間測定結果

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。