

## 残響時間測定に最適な測定信号の検討

A-5

Study of optimal measurement signal for reverberation time measurement

中原 優樹<sup>†</sup> 金田 豊<sup>†</sup>Yuki Nakahara<sup>†</sup> Yutaka KANEDA<sup>†</sup><sup>†</sup> 東京電機大学工学研究科<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

## 1. はじめに

残響時間の算出には、被測定系のインパルス応答が用いられ、その測定条件は ISO3382 に規定される。本報告では、要求される測定条件を満たすための最適な測定信号の検討結果を述べる。

## 2. 帯域毎の雑音レベルを一定とするための必要 SN 比

残響時間測定の要求条件は、各帯域の雑音レベルが帯域別インパルス応答の最大値と比べて -45dB 以下というものである。Fig. 1 にその条件を満たす際のモデル図を示す。 $E_p$  は第  $p$  番目の帯域のインパルス応答のエネルギーを表し、 $E_N$  は雑音レベルが -45dB の定常雑音のエネルギーを表している。測定信号の長さを  $L$  とした時、図のような -45dB の雑音レベルを実現するためには SN 比が、

$$D_{SN}(p) = \frac{E_p}{E_N} = \frac{E_p}{10^{-4.5} \cdot L} \quad (1)$$

となるように測定を行えばよい[1]。

## 3. 必要 SN 比を実現する効率的な測定信号

帯域  $p$  毎の必要 SN 比を離散周波数で表すと次式のように表せる。

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

ただし、 $k$  は離散周波数番号、 $H(k)$  は被測定系の周波数応答、 $P_N(k)$  は測定環境雑音のパワースペクトル、 $S(k)$  は測定信号のスペクトルをそれぞれ表し、 $\sum_p$  は帯域  $p$  に対応する離散周波数範囲での総和を意味する。

ここで測定結果の SN 比を定められた値とする最短時間の測定信号である MN-SS (Minimum Noise Swept Sine) 信号[2]に着目した。これを帯域  $p$  に適応すれば、式(2)の必要 SN 比を与える最短時間の測定信号が得られる。

具体的には、帯域  $p$  に対する MN-SS 信号のパワースペクトルは  $|S(k)|^2 = C_p \cdot \sqrt{P_N(k)}$  と与えられる。この関係を式(2)に代入することで、帯域別定数  $C_p$  は

$$C_p = D_{SN}(p) \cdot \frac{\sum_p \sqrt{P_N(k)}}{\sum_p |H(k)|^2} \quad (3)$$

と求められる。この信号は、各対象周波数帯域で  $D_{SN}(p)$  の SN 比を実現する最短時間の信号となり、時間効率的に最適な測定信号である。この測定信号を Band-wise Minimum Noise Swept Sine (BMN-SS) と呼ぶことにする。

## 4. シミュレーションによる検討

比較のため、従来広く用いられるインパルス応答測定信号である TSP 信号、Log-SS 信号と、今回提案する BMN-SS 信号を用いてインパルス応答測定シミュレーションを行った。それぞれの測定信号が、すべての帯域において測定結果の雑音レベル -45dB 以下を達成するときの雑音レベルと、測定信号長を求め比較した。

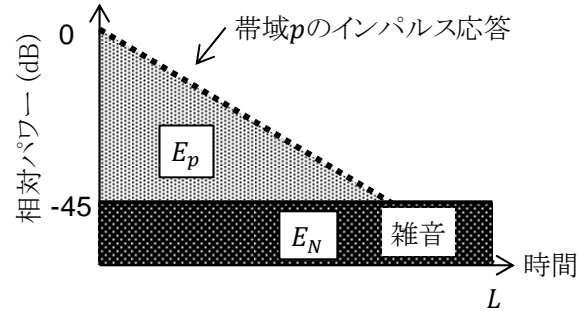


Fig. 1 帯域別インパルス応答と雑音成分の短時間パワーモデル

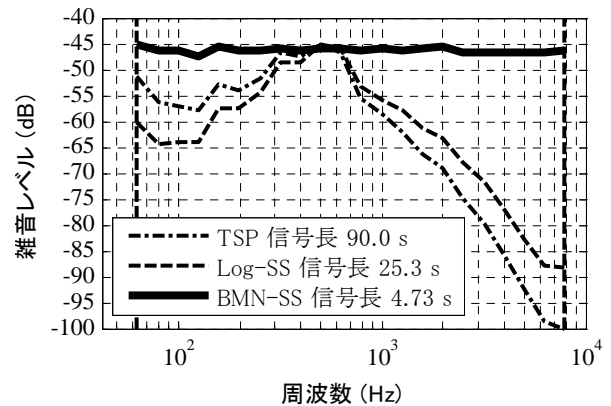


Fig. 2 シミュレーション結果の雑音レベル

Fig. 2 に測定結果の雑音レベルと、それを達成するために要した測定信号長を示す。従来信号 (TSP, Log-SS) は雑音レベルが各帯域で異なって得られている。対して BMN-SS 信号の測定結果は雑音レベルがほぼ -45dB で一定となっている。また BMN-SS 信号の信号長は、TSP に対して約 1/18、Log-SS に対して約 1/5 となり、時間効率的に、BMN-SS 信号は残響時間測定に最適な測定信号といえる。

## 5. まとめ

本報告では、残響時間測定において必要となる SN 比を満たす最短の測定信号 BMN-SS 信号を提案した。検討の結果、BMN-SS 信号は従来の測定信号よりも短時間で残響時間測定の条件を満たし、その有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] 中原, 他, 音講論集 (春), 1-Q4-7 (2014).  
[2] 守谷, 他, 音学誌, 64(12), 695-701 (2008).

## 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。