

## BMN-SS インパルス応答測定法による残響時間測定の短時間化について\*

☆飯山陽平, 金田豊 (東京電機大)

## 1 はじめに

室内インパルス応答から残響時間算出を行う場合、各周波数帯域で一定以下の雑音レベルであることが要求される。しかし、従来の測定方法により得られる測定結果は雑音レベルが帯域ごとに異なるため、全帯域で雑音レベルを抑圧するには長時間の測定時間が必要となる場合があった。この問題に対し、筆者らは各帯域ごとの雑音レベルを一定に制御できる Band-wise Minimum Noise Swept Sine (BMN-SS) 信号を提案した [1, 2]。本報告では、複数の音場条件における BMN-SS 信号の性能評価結果を報告する。

## 2 残響時間の測定条件

残響時間  $T_{30}$  を測定するとき、そのインパルス応答は各オクターブ (または 1/3 オクターブ) バンドにおける雑音レベルが、インパルス応答の瞬時パワーの最大値から  $-45\text{dB}$  以下である必要がある [3]。しかし、従来の固定スペクトルを持った TSP や Log-SS などの測定信号を用いた場合、その雑音レベルは帯域ごとに異なる (図 1)。この例では、125Hz 帯域の雑音レベルが  $-45\text{dB}$  (赤破線) を大きく上回っており、この雑音レベルを  $-45\text{dB}$  以下にするためには、長時間の信号を用いた測定が必要となる。

## 3 BMN-SS 測定信号の原理

図 2 に周波数表現によるインパルス応答測定原理のブロック図を示す。インパルス応答の測定結果に含まれる雑音成分  $(N(k)/S(k))$  は測定信号の周波数特性  $S(k)$  に依存することがわかる。BMN-SS 信号は雑音のパワースペクトル  $|N(k)|^2$  と室内音響系の大まかな特性  $\hat{H}(k)$  (およびインパルス応答  $\hat{h}(n)$ ) を事前に測定し、それらの特性を反映させた適応スペクトルを持つ測定信号である。BMN-SS 信号のパワースペクトル  $|S(k)|^2$  は次式で表される。

$$|S(k)|^2 = \frac{E_H(p)}{10^{-4.5} \cdot L} \cdot \frac{\sum_{k \in f_p} |N(k)|^2}{\sum_{k \in f_p} |\hat{H}(k)|^2} \cdot |N(k)| \quad (1)$$

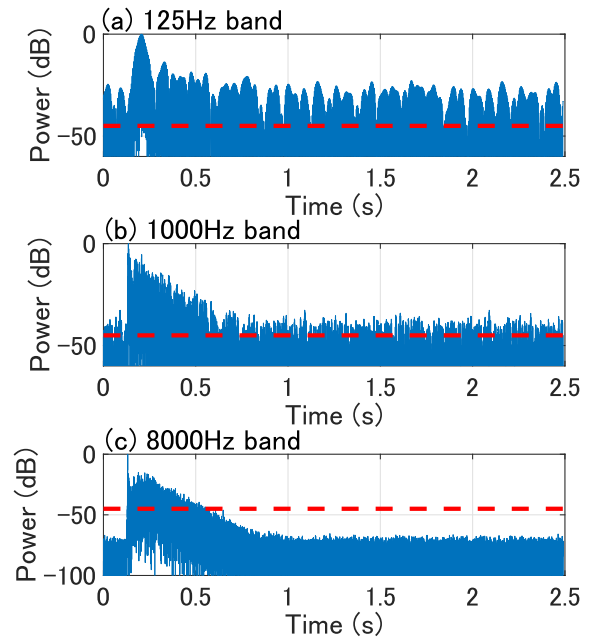


図 1 固定特性の信号で測定したインパルス応答の帯域ごとの瞬時パワー波形

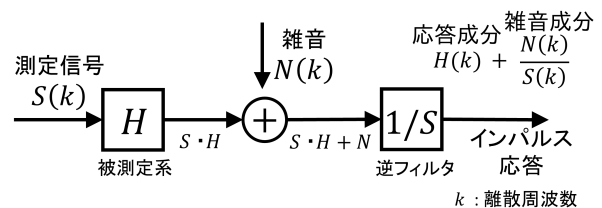


図 2 周波数表現によるインパルス応答測定原理

ただし、 $E_H(p)$  は第  $p$  番目のオクターブバンドのインパルス応答のエネルギー、 $L$  は測定信号の信号長である。この信号は、対象の全帯域において測定したインパルス応答の雑音レベルを  $-45\text{dB}$  一定とする最短の測定信号である [1]。

## 4 実験

BMN-SS 信号の性能評価のために複数の音場条件で残響時間測定の実験を行った。測定にはフルレンジスピーカ (BOSE MM-101) およびサブウーファ (YAMAHA NS-SW300) を用いた。再生音圧は音源から 5m 地点で  $80\text{dB}$  とした。

\* A study on measurement time reduction of reverberation time using BMN-SS impulse response measurement method, by IYAMA, Yohei and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

#### 4.1 条件①：室容積 460m<sup>3</sup> の会議室

図 3(a) に、測定環境の系の周波数特性  $|H(k)|^2$ 、および雑音のパワースペクトル  $|N(k)|^2$  を示し、図 3(b) に、BMN-SS 信号および従来法である TSP 信号、Log-SS 信号による測定結果の帯域別インパルス応答の雑音レベルを示す。BMN-SS 信号では、対象帯域である 63Hz から 8kHz までの各 1/3 オクターブバンドで雑音レベルがほぼ -45dB 一定になっていることが確認できる。

一方、TSP 信号、Log-SS 信号では雑音レベルが周波数によって大きく異なっている。このとき、図 3(a) の雑音のパワースペクトル  $|N(k)|^2$  に注目すると 80Hz 付近にピーク（緑丸）が見られる。この影響により、TSP 信号、Log-SS 信号での測定結果では、雑音レベルの最大値がそれぞれ -18.5dB、-35.4dB となった（図 3(b) 矢印）。これらの信号で残響時間  $T_{30}$  の測定条件を満たすためには、最大の雑音レベルが -45dB となるように信号長を伸張させる必要があり、それぞれ、約 450 倍、約 9 倍の伸張が必要である。言い換えれば、BMN-SS 信号による測定は TSP 信号、Log-SS 信号信号に対しそれぞれ約 1/450、約 1/9 の測定時間短縮の効果がある。

#### 4.2 条件②：室容積 66m<sup>3</sup> の居室

図 4(a) に、系の特性  $|H(k)|^2$  と雑音のスペクトル  $|N(k)|^2$  を示し、図 4(b) に、インパルス応答測定結果の帯域別雑音レベルを示す。このとき、図 4(a) の系の特性  $|H(k)|^2$  に注目すると、150Hz 付近に谷が見られ（緑丸）、測定時の SN 比が低下する。この影響により、TSP 信号、Log-SS 信号では 150Hz 付近に雑音レベルのピークが現れている（図 4(b) 矢印）。この環境では、BMN-SS 信号を用いた測定は TSP 信号、Log-SS 信号に対しそれぞれ、約 1/290、約 1/15 の測定時間短縮の効果があった。

#### 4.3 条件③：Hoth 雑音を用いたシミュレーション

図 5(a) に、シミュレーションで用いた系の特性  $|H(k)|^2$  と Hoth 雑音のスペクトル  $|N(k)|^2$  を示し、図 4(b) にインパルス応答測定結果の帯域別雑音レベルを示す。Hoth 雑音は室内騒音の標準的モデル雑音である。条件③ では、条件①、条件②のように雑音のピークや、系の特性の谷が見られないため、TSP 信号や Log-SS 信号でも他条件に比べ帯域ごとの雑音レベルの差が小さい（図 5(b)）。条件③における、BMN-SS 信号の測定時間短縮の効果は TSP 信号、Log-SS 信号に対しそれぞれ、約

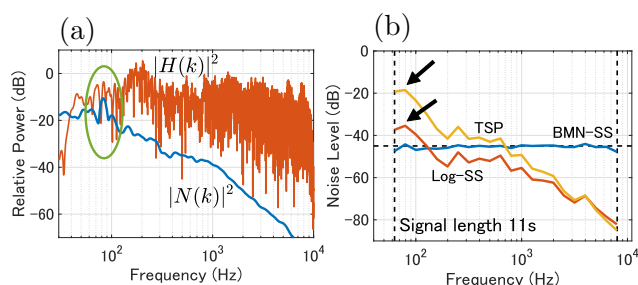


図 3 条件①における実験結果

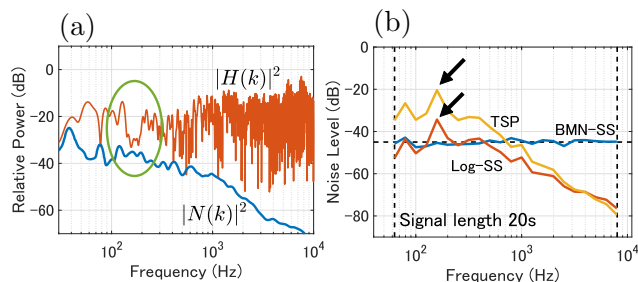


図 4 条件②における実験結果

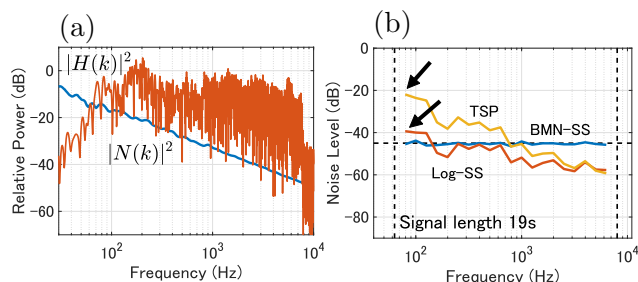


図 5 条件③における実験結果

1/200、約 1/5 であった。

## 5 むすび

本報告では BMN-SS インパルス応答測定法による残響時間測定の短時間化効果の確認を実音場を含めた複数の音場条件で行った。従来の固定スペクトルを持った TSP 信号や Log-SS 信号では、測定時の系や雑音の特性にピークや谷が見られるような環境において特定の周波数帯域の雑音レベルが大幅に上昇し、長時間の測定信号を必要とする場合がある。これに対し、測定系や雑音の特性を反映した、適応形のスペクトルを持つ BMN-SS 信号を用いることで、今回の実験条件下では、TSP 信号に対して 1/200~1/450、Log-SS 信号に対して 1/5~1/15 の測定時間短縮の効果があった。

## 参考文献

- [1] 中原, 金田, 音講論集(秋), 2-Q-2 (2016).
- [2] 飯山, 金田, 音講論集(春), 1-P-38 (2018).
- [3] ISO3382-1:2009(E).