

インパルス応答測定信号の帯域制限効果の検討*

☆茂木宏太, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

音響系の周波数特性や残響時間を求めるためにインパルス応答の測定は重要である。そしてインパルス応答測定用信号として掃引正弦波 (SS:Swept Sine) 信号が広く利用されている。その中にはスペクトルが固定である信号 (TSP, Log-SS) や、環境に依存しスペクトルが変化する信号 (MN-SS[1]) があげられる。これらを使用してインパルス応答を測定する場合、全周波数帯域で測定するのが基本的だが、測定の目的には必要のない周波数帯域も存在する。そこで不要な帯域を制限することでインパルス応答測定結果に及ぼす効果に対して検討した。

2 帯域制限の効果

2.1 帯域あたりのエネルギー増加

掃引正弦波の測定信号を帯域制限したときに得られる効果として時間短縮が見込める。Fig. 1 は掃引正弦波信号の時間-周波数特性の例を示す。図において、この信号は f_{min} (ほぼ 0 の値)から f_{max} までを時間 T_0 で掃引する。この時、この信号の周波数 f_1 以下をカットし $f_1 \sim f_{max}$ で帯域制限すると、信号長は T_1 に短縮される。その後 $f_1 \sim f_{max}$ の帯域の掃引時間を T_1 から T_0 に拡張すると各周波数あたりの信号エネルギーは T_0/T_1 倍に増加し、その分、測定結果に含まれる雑音レベルの低下が見込める。

測定信号のパワースペクトルを $P_s(f)$ とすると、帯域に含まれる信号のエネルギーとその帯域を掃引する時間 (T_0 や T_1) は比例するので、第一の雑音低減効果 NRR_1 (Noise Reduction Ratio) は

$$NRR_1(f_1) = \frac{T_0}{T_1} = \frac{\int_0^{f_{max}} P_s(f) df}{\int_{f_1}^{f_{max}} P_s(f) df} \quad (1)$$

となる。

2.2 帯域外雑音の除去

測定環境における雑音パワースペクトルを $P_N(f)$ と表すと、測定されたインパルス応答に含まれる雑音成分は

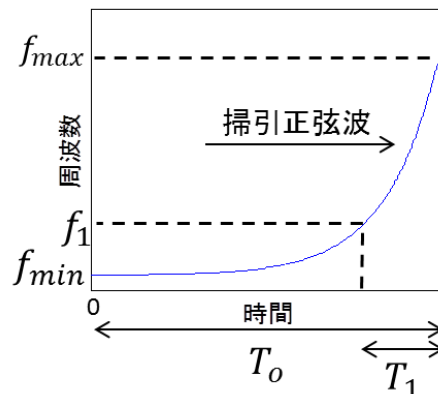
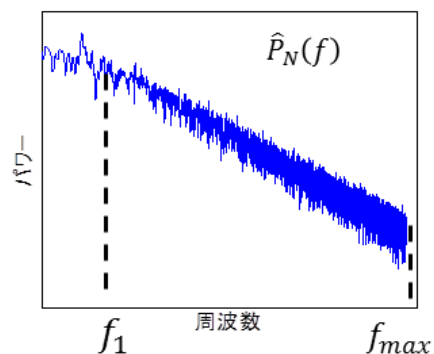


Fig. 1 掃引正弦波の時間-周波数特性の例

Fig. 2 $\hat{P}_N(f)$ のパワースペクトルの例

$\hat{P}_N(f) = P_N(f) / P_s(f)$ となる (Fig. 2)。これを帯域制限し、 f_1 以下の雑音成分をカットすることで得られる第二の雑音低減効果は、帯域制限前後の雑音成分エネルギー比として

$$NRR_2(f_1) = \frac{\int_0^{f_{max}} \hat{P}_N(f) df}{\int_{f_1}^{f_{max}} \hat{P}_N(f) df} \quad (2)$$

となる。

2.3 総合的雑音低減効果

個々の測定信号のスペクトルによる全帯域における雑音低減効果[1]を NRR_0 と表す。すると 2.1、2.2 で示した二つの帯域制限効果を合わせた総合的な雑音低減効果は

$$NRR(f_1) = NRR_0 \cdot NRR_1(f_1) \cdot NRR_2(f_1)$$

と表される。式(1)(2)よりこの $NRR(f_1)$ は、測定信号と雑音のパワースペクトルを用いて計算することができる。

*Study of the band limiting effect of an impulse response measurement signal, by

MOTEGI, Kouta and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

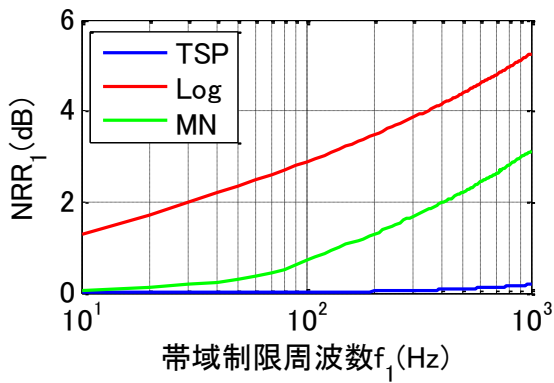


Fig. 3 Hoth 雑音環境下のNRR₁値

3 帯域制限効果の例

3.1 帯域エネルギー増加と雑音除去効果の例

本稿では TSP, Log-SS, MN-SS (雑音最小化信号[1]) の 3 種の測定信号を対象とした。Fig. 3 に Hoth 雑音 [2] を用い、 $f_{min} = 1\text{Hz}$ 、 $f_{max} = 24\text{kHz}$ とした場合の、帯域制限による帯域エネルギー増加による雑音低減量NRR₁を示した。図より、Log-SS は低域の掃引時間が長いため、例えば 100 Hz 以上に帯域制限をすれば約 3dB の雑音低減効果が得られる。しかし TSP や MN-SS では大きな低減効果は得られない。

Fig. 4 は帯域除去による雑音低減効果NRR₂を示した。Log-SS や MN-SS では、パワーの大きい低域雑音成分が抑圧されているため TSP と比べて雑音低減量が小さい。

3.2 総合的雑音低減効果の例

Fig. 5 に、Hoth 雑音、無響室雑音、室内雑音に対する総合的雑音低減量を示す。図における 0dB は TSP で全帯域測定した場合の雑音低減量であり、○印は各測定信号で全帯域測定をした場合の雑音低減量を示す。図より、雑音の種類と測定信号の種類に依存して、帯域制限による雑音低減量はさまざまであることがわかる。

4 むすび

本報告では各種掃引正弦波によるインパルス応答測定の際に帯域制限をすることで得られる雑音低減効果を、測定信号と環境雑音のパワースペクトルで表す理論式を示した。この式より得られる帯域制限周波数と雑音低減量の関係は、測定環境の雑音に対して、適切な測定信号と帯域制限幅の選択を行うための有効な指針となると考える。

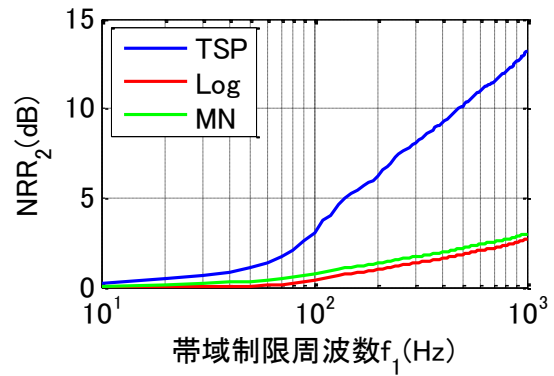


Fig. 4 Hoth 雑音環境下のNRR₂値

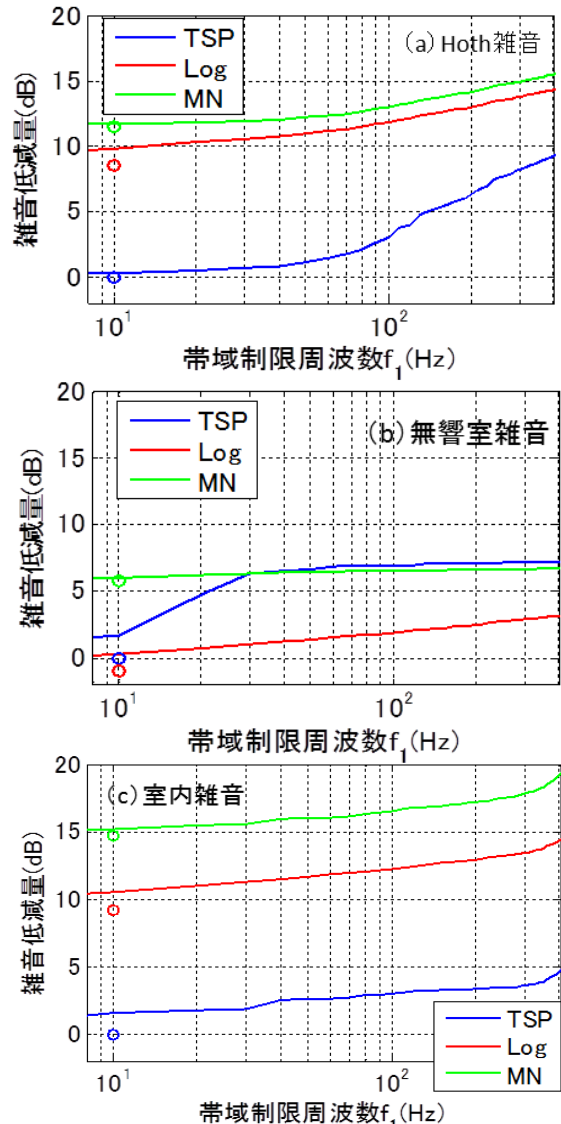


Fig. 5 帯域制限による各種環境雑音の雑音低減量

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。

参考文献

- [1] Y. Kaneda, J. A. E. S., 63, 5, 348-357 (2015).
- [2] IEEE standard P269 / D9 Jan. 2002.