

各種インパルス応答測定信号の雑音低減効果について*

☆中重亮太, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

インパルス応答は、音響系における最も重要な特徴量の一つであるが、その測定時、雑音（室内騒音や電氣的雑音など）の影響を受けるという問題がある。この雑音の影響を低減する目的でTSPを始め様々な測定用信号が提案されてきたが、その効果に対する評価は十分にはなされていない。本報告では、代表的なインパルス応答測定信号を用いて雑音低減効果の比較を行った結果を報告する。

2 インパルス応答測定信号

2.1 インパルス応答測定原理

Fig. 1 にインパルス応答の等価量である周波数特性測定の実験原理図を示す。まず、測定信号 $s(k)$ (信号は周波数領域で表し、 k は離散周波数。ただし図中では (k) を省略) を被測定系に入力する。被測定系の周波数特性を $H(k)$ とすると出力は $H(k) \cdot s(k)$ となる。実環境では、これに雑音 $N(k)$ が付加されて観測される。

観測された信号に逆フィルタ $1/S(k)$ をかけることで被測定系の周波数特性が得られるが、 $N(k)/S(k)$ の雑音成分が付加される。よって、測定信号に含まれる雑音成分は測定信号のスペクトル $S(k)$ に依存する。

2.2 各種測定信号とその特徴

従来の代表的測定信号は、そのパワースペクトル $|S(k)|^2$ によって以下のように分類できる。(ただし、 $C_i, i=1, 2, 3, 4$ は定数)

(a) 白色信号: $|S(k)|^2 = C_1$

周波数に依存しない一定のパワースペクトルを持つ信号で、TSP や M 系列など。

(b) ピンク信号: $|S(k)|^2 = C_2 / k$

周波数 k に逆比例したパワースペクトルを持つ信号で、Log-SS (ピンク TSP) [1] など。

(c) 雑音白色化信号: $|S(k)|^2 = C_3 \cdot P_N(k)$

付加された雑音のパワースペクトル $P_N(k) = E\{|N(k)|^2\}$ (ただし、 $E\{\cdot\}$ は期待値) に比例したパワースペクトルを持つ信号。雑

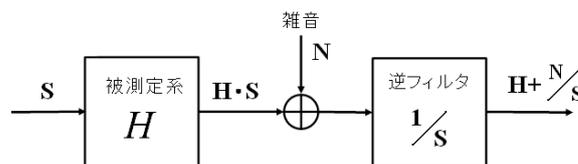


Fig. 1 周波数特性測定原理

音成分は白色化され、雑音の影響は周波数均一になる。ただし、雑音は定常雑音であると仮定し、 $P_N(k)$ は事前測定によって求める。

(d) 雑音最小化信号[2]: $|S(k)|^2 = C_4 \cdot \sqrt{P_N(k)}$

雑音のパワースペクトルの $1/2$ 乗に比例したパワースペクトルを持つ信号。測定結果に含まれる雑音成分のエネルギー

$$\sum_k E\{|N(k)/S(k)|^2\} = \sum_k \{P_N(k)/|S(k)|^2\} \quad (1)$$

(各周波数の雑音成分パワーの総和) が最小となる。

2.3 測定信号と雑音抑圧効果の理論検討

(a) 白色信号と雑音白色化信号の雑音抑圧効果は等しい。このことは、式(1)に両信号の定義式を代入し、信号エネルギー $\sum |S(k)|^2$ 一定の条件を適用することで証明される。

(b) 付加される雑音のパワー $P_N(k)$ が $1/k^2$ (-6dB/Oct.) の場合は、雑音最小化信号はピンク信号と一致する。室内騒音のパワーは -6dB/Oct. に近いものも多く、室内騒音に対するピンク信号の有効性の裏付けとなる。

3 雑音低減効果のシミュレーション

各測定信号の雑音低減効果を比較するために測定シミュレーションを行った。未知系の周波数特性はスピーカ特性を用い、付加雑音は Hoth 雑音に加え、3種の環境騒音 (Fig. 2) を用いた。測定信号は4種のスペクトルを有した掃引正弦波 (SS 信号) とし、信号実効長は 2^{15} とした。受信 SN 比は約 8 dB とした。

各測定信号を用いた測定結果に含まれる雑音成分のパワーを Table 1 に示す。数値は白色信号 (TSP) の場合の雑音パワーを基準として dB 値で表示した。Table 1 より、白色信号と雑音白色化信号の場合の雑音成分のパワーは

* Noise reduction effects of various impulse response measurement signal, by NAKASHIGE, Ryota and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

ほぼ等しいことが確認できた。また、雑音最小化信号は4信号の中で雑音パワーを最小化し、白色信号より雑音を10~20 dB 低減している。ピンク信号は、-6 dB/Oct. 特性に近い Hoth 雑音や騒音 A, B に対しては、雑音最小化信号に近い雑音抑圧効果を持つ。

Fig. 3 (a)~(d)は騒音 C の場合の、各測定信号に対する測定結果と雑音成分の周波数特性を示す。Fig. 3(a)より、白色信号では、付加された騒音 C のスペクトルがそのまま残っており、1 kHz 以下の SN 比が良好でない。Fig. 3(b)の雑音白色化信号では、雑音が白色化され、低域の雑音レベルは低減されたが、反面、高域の雑音レベルが大きく上昇している。Fig. 3(c)のピンク信号、Fig. 3(d)の雑音最小化信号では、あまり高域を上昇させることなく低域の雑音成分が低下している。しかし、500 Hz 付近の雑音成分は雑音最小化信号の方がより良く抑圧を行っており、このことが Table 1 の雑音パワーの 6dB の差となっている。

4 まとめ

各種インパルス応答測定信号における雑音低減性能の比較を行い、白色信号と雑音白色化信号の雑音抑圧量が等しい事、ピンク信号は、低域成分の大きい環境騒音に対しては、雑音最小化信号に近い効果を持つことなどが分かった。

参考文献

- [1] 藤本, 音講論集, 555-556, (2000.3).
- [2] 守谷ほか, 音学誌, 64, 695-701, (2008).

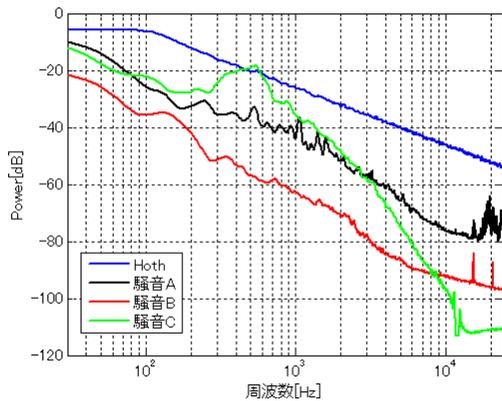


Fig. 2 使用した環境騒音のスペクトル

Table 1 測定結果に含まれる雑音パワー

	Hoth	騒音 A	騒音 B	騒音 C
白色	0 [dB]	0	0	0
雑音白色化	+0.1	-0.8	+2.2	-0.4
ピンク	-8.8	-17.8	-18.1	-9.2
雑音最小化	-10.9	-19.7	-20.3	-15.0

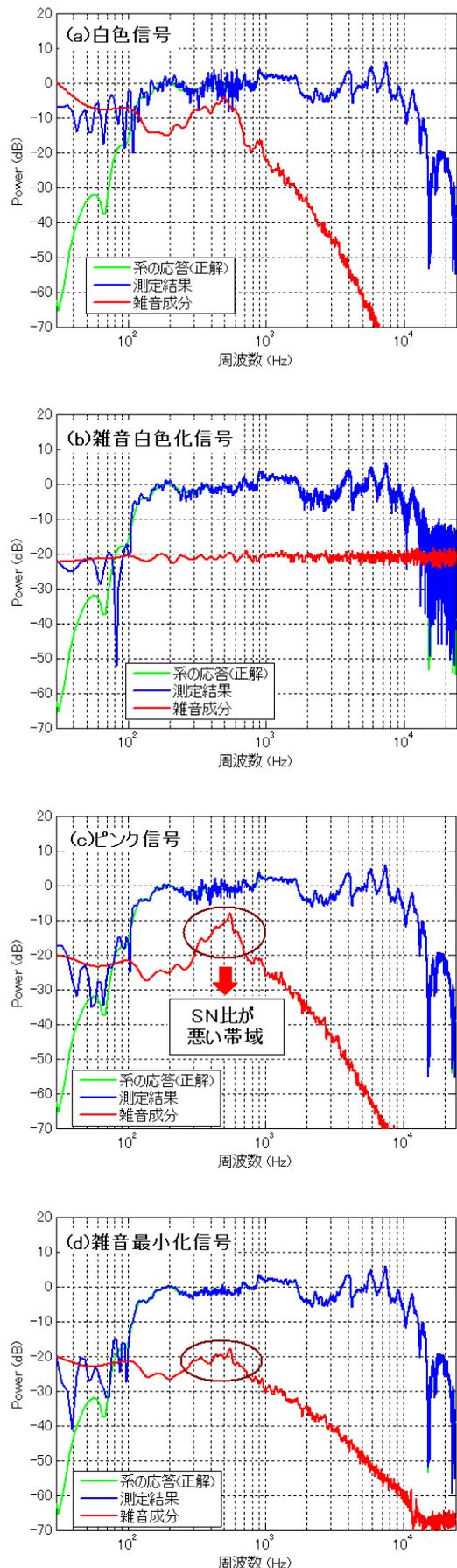


Fig. 3 各種測定信号による測定シミュレーション結果