

## 時間軸変動発生時のインパルス応答測定における 純白色擬似雑音の有効性の検討\*

☆森健太郎, 金田豊 (東京電機大・工)

### 1 はじめに

インパルス応答測定は、伝達系の線形時不変性を前提としている。従って、大空間測定時の風などによる伝達系の時間変動や、再生系の DA と録音系の AD の標準化周波数の微小なズレなどによる時間軸変動が発生した場合には測定誤差が発生する。そしてこの誤差は測定信号の種類によって異なり、TSP などの掃引正弦波を用いた場合には誤差が小さいが、M 系列などの白色擬似雑音を用いた場合には大きな誤差が発生する[1]。

この問題は、白色擬似雑音のスペクトルが離散点でのみ白色で、それを補間した場合には白色から変動することが原因と考えられた。そこで、筆者らは先に、補間を行っても白色性を維持する純白色擬似雑音を提案し、シミュレーションにより有効性を確認した[2]。本報告では、実際の測定システムで発生する時間軸変動において、純白色擬似雑音の有効性を確認する

### 2. 純白色擬似雑音

従来の白色スペクトルを持った擬似雑音 (M 系列等) は、信号長  $N$  で DFT した場合には、Fig.1 に赤○印で示すように  $F_s/N$  間隔の離散周波数上で平坦な振幅スペクトルを持っている。しかし、このスペクトルを複素値で補間すると、振幅スペクトルは青線に示すように白色から変動する。このような振幅スペクトルを持つ信号にサンプリング周波数のズレが発生すると離散周波数値の変化が発生し、振幅スペクトルは白色から変動してしまう (Fig.1 青□印)。

この問題に対し、筆者らは複素補間を行っても平坦スペクトルを維持し、時間変動に対して耐性を持つ信号として純白色擬似雑音 (Fig.2(a)) を提案した[2]。この信号は補間を行っても振幅スペクトルが平坦であり (Fig.2(b))、時間変動による離散周波数値の変化が発生しても平坦性を保つ。

### 3. 時間軸変動発生環境における実験

ホール等の大空間測定や、遮音測定などにおいて、信号再生と録音位置が離れている場

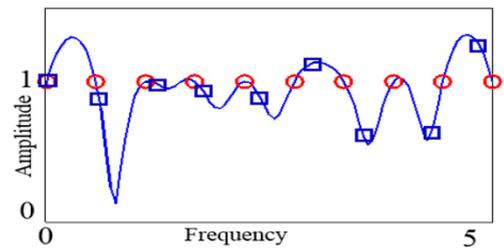


Fig. 1 離散擬似雑音の振幅スペクトル

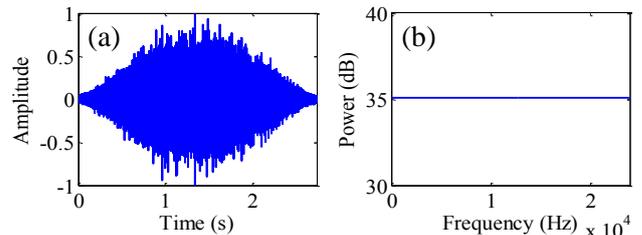


Fig. 2 (a)純白色擬似雑音と  
(b)その補間振幅スペクトル

合、再生・録音側で異なる PC やオーディオインターフェース (以下 AIF) を用いる場合がある。そして PC や AIF の標準化周波数は機器によって個体差が存在し、一般に再生・録音で異なる機器を用いた場合には測定結果に誤差が生じることが知られている。

#### 3.1. 実験条件

実環境における標準化周波数のズレの影響を検討するために、Fig. 3 に示すように、再生・録音に別個の AIF を用いてインパルス応答測定を行った。AIF はローランド社製の UA-1EX、スピーカは BOSE101MM を用いた。

測定系における 2 台の AIF の標準化周波数のズレを測定した結果、標準化周波数を 48kHz とした時、 $1.55 \times 10^{-5}$ であった。この値は、約 1.5 秒の信号長である  $2^{16}$  のデータで、約 1 サンプルの標準化のズレが発生する。

測定信号は従来の白色擬似雑音と純白色擬似雑音および掃引正弦波 (TSP) の 3 種を用いた。掃引正弦波は、非定常な雑音には影響を受けやすいという欠点を持つが、時間軸の変動の影響を受けにくいので、今回は、掃引正弦波の測定結果を真値とみなした。信号長は  $2^{16}$  とした。

\*Study of the effectiveness of pure white pseudo-noise in the impulse response measurement when a variation in the time axis occurs, by MORI, Kentaro and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

## 4.2. スピーカ特性の測定

Fig. 4(a)に、純白色擬似雑音を用いて無響室で測定したスピーカのインパルス応答を示す。また、Fig. 4(b)は Fig. 4(a)に含まれる歪成分を強調するために縦軸を拡大したものである。図より、時間軸が変動した場合、純白色擬似雑音で測定したインパルス応答には左右対称に減衰する低レベルの歪成分が発生する。インパルス応答を切り出す場合には、最大値を中心に、左右対称の長さで切り出す必要がある。

Fig. 5 は 3 種の信号で測定した周波数特性を示す。図より、白色擬似雑音の周波数特性(青線)は、高域にいくにつれ、真値(緑線)と比べてパワーが最大約 7dB 程度低下している。この高域低下の傾向は、時間揺らぎに対する白色擬似雑音の欠点として知られている。対して、純白色擬似雑音(赤線)は全周波数帯域において真値とほぼ同等の値をとっており、白色擬似雑音に対する優位性が示される。

## 4.3. 室内音響周波数特性の測定

実際の室内で測定を行うと、測定誤差に室内騒音の影響が混入してしまう。これを防止するために、あらかじめスピーカと室内インパルス応答を畳み込んだ測定信号を AIF1 の DA 端子から発生させ、AIF2 の AD 端子に直結して測定した。

Fig. 6(a)に、白色擬似雑音と純白色擬似雑音で測定した周波数特性をそれぞれ青線、赤線で示す。しかし、この図では、室内特性の変動が大きく、評価が困難である。そこで移動平均により平滑化したパワースペクトルを Fig. 6(b)に示す。図より Fig. 5 の時と同様に白色擬似雑音の周波数特性の高域部分は純白色擬似雑音と比較してパワーが下がっていることが確認できる。

さらに周波数特性の真値と雑音系信号 2 種で求めた周波数特性の dB 値の差分を取ったものを Fig. 7 に示す。Fig. 7 より高域にいくにつれて両信号とも差分が大きくなっているが、全周波数帯域において純白色擬似雑音の周波数特性の方が白色擬似雑音よりも差分が少ないことが分かる。また、各差分の標準偏差を求めたところ、白色擬似雑音は約 2.8dB、純白色擬似雑音は 1.5dB と約 2 倍の差があることを確認した。

## 5. むすび

測定信号の再生・録音で異なる機器を用いた場合、各機器の標準化周波数のズレが測定誤差を発生させる。この問題に対し擬似雑音、

純白色擬似雑音を用いた比較実験を行ったところ、スピーカの周波数特性の測定においては、純白色擬似雑音を用いるとほぼ誤差は生じず、擬似雑音に対する優位性があることを確認した。また、室内周波数特性を測定すると純白色擬似雑音を用いても誤差が発生するが、その量は白色擬似雑音の約 1/2 であった。

### 参考文献

[1]中島他, 音響学会講演論文集, 1-9-2 (1992-9).

[2]森他, 音響学会講演論文集, 1-P-14 (2015-9).

**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。

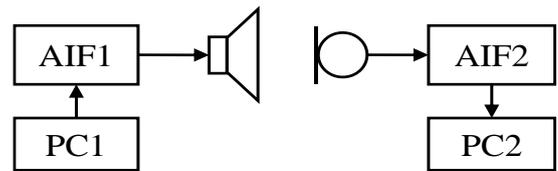


Fig. 3 測定配置図

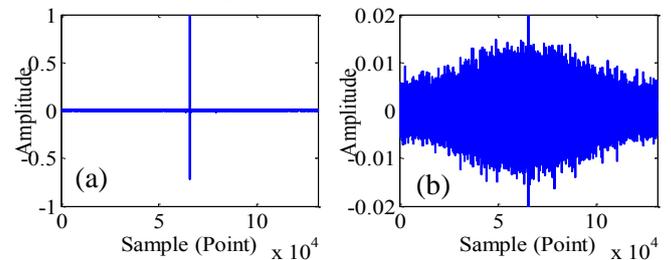


Fig. 4 (a)純白色擬似雑音で測定したスピーカのインパルス応答(b)歪成分拡大図

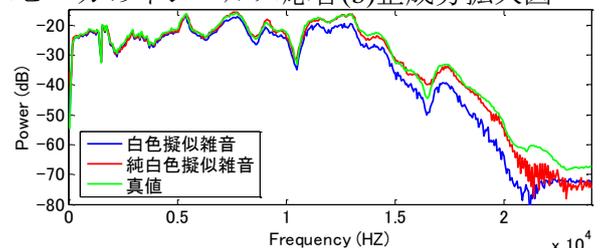


Fig. 5 3種の信号によるスピーカの周波数特性

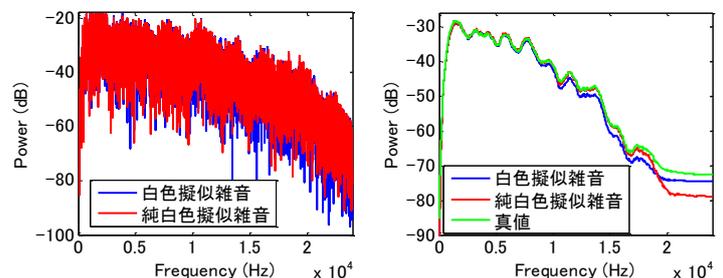


Fig. 6(a)室内音響周波数特性測定結果

(b)平均パワースペクトル

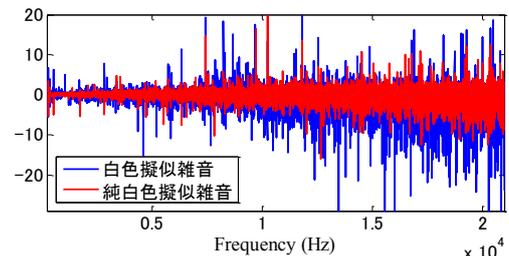


Fig. 7 雑音系信号2種と真値との差分