

室内インパルス応答測定用純白色擬似雑音の 実環境測定における検討*

☆宮内達也, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

室内インパルス応答は、被測定系の特徴を表す重要な物理量である。インパルス応答測定信号として、M 系列などの擬似雑音は掃引正弦波に比べて、非定常雑音への耐性が強いことが知られている。しかし、その測定において、円状畳み込みが要求されるため、2 周期の再生が必要とされる。本報告では、筆者らが提案した純白色擬似雑音(以下 PWN: Pure-White-Noise)を用いることで、1 周期再生を行い、逆信号の直線畳み込みによる測定が可能であることを示す。

2 インパルス応答測定原理

Fig.1 に周波数表現による室内インパルス応答の測定原理を示した。測定信号 $S(k)$ を被測定系に入力し、その出力 $H(k) \cdot S(k)$ に、測定信号の逆特性 $1/S(k)$ を乗じることで、インパルス応答の等価量である系の周波数特性 $H(k)$ を得る。Fig.1 の下段には対応する時間領域表現を示した。 $s(n)$, $h(n)$, $s^{-1}(n)$ はそれぞれ $S(k)$, $H(k)$, $1/S(k)$ の逆 DFT 信号である。離散周波数領域での乗算は時間領域の円状畳み込み(Fig.1 内の \otimes)に対応する。物理系で円状畳み込みを実現するためには、測定信号を2周期入力して出力の2周期目を取り出す操作が行われる[1]。

3 従来信号の課題(直線畳み込み)

$s(n)$ と $s^{-1}(n)$ の直線畳み込みがインパルス $\delta(n)$ となるならば、Fig.1 の測定は直線畳み込みを用いても成立し、測定信号は1周期のみの再生で良いことになる。Fig.2(a)(b)に TSP 信号 $tsp(n)$, その逆信号 $tsp^{-1}(n)$ を示す。それらの直線畳み込みの結果(Fig.2 (c))はほぼ $\delta(n)$ となっている。一方、Fig.3(a)に代表的な擬似雑音である M 系列信号 $m(n)$, (b)に逆信号 $m^{-1}(n)$ を示す。それらの直線畳み込みの結果(Fig.3(c))は全区間に渡って誤差成分が発生している。この様に擬似雑音では逆信号との直線畳み込みは $\delta(n)$ とならず、2周期再生が

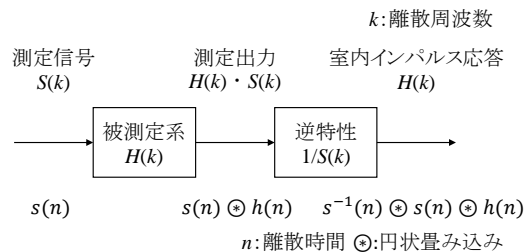


Fig. 1 室内インパルス応答測定原理

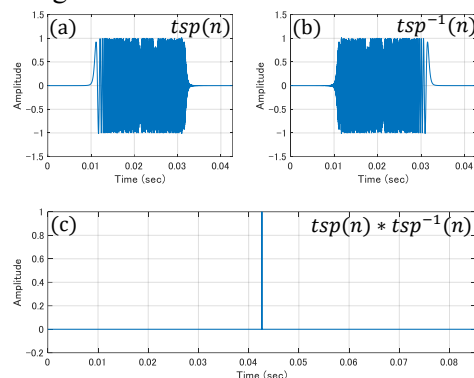


Fig. 2 TSP 信号の直線畳み込みの結果

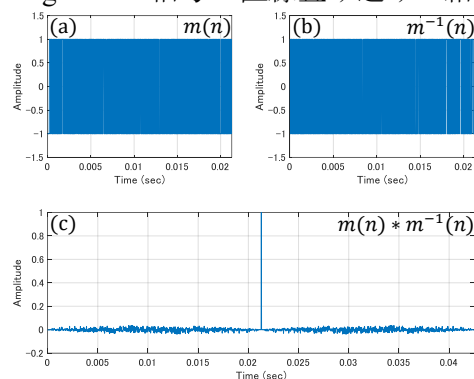


Fig. 3 M 系列の直線畳み込みの結果

必要となる。

4 理論検討

直線畳み込みは、無限時間信号の周波数スペクトルの積に対応する。測定信号 $s(n)$ に 0 を付加して無限時間信号として求めた周波数スペクトルを $S(\omega)$ と表す。 $S(k)$ を白色信号と考えるとその逆信号は時間反転信号 $s^{-1}(n) = s(-n)$ となり、それに 0 を付加して求めたスペクトルは $S^*(\omega)$ となる。直線畳み込みの結果はこれらの積 $S(\omega) \cdot S^*(\omega) = |S(\omega)|^2$ となるため、 $|S(\omega)|^2 = 1$ となれば、その時間波形は $\delta(n)$ となる。TSP 信号に 0 を付加を行って求

*A study of pure white noise for room impulse response measurement, by MIYAUCHI, Tatsuya and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

めたスペクトル(離散スペクトルの補間スペクトル)は Fig. 4 の青線に示す様に, 白色性が維持されるが, M 系列の補間スペクトルは赤線に示すように大きく変動する. このことが, Fig. 3(c)の誤差の要因と考えられる.

5 PWN

筆者らは先に, 離散周波数に補間を行っても白色性を維持する PWN[2]を提案し測定時の時間軸変動耐性に対する耐性を示した. この特性は前記の直線畳み込みによるインパルス応答算出の条件を満たすので, 1 周期の再生でインパルス応答が測定可能な擬似雑音であることが予想される. 次にこのことを実環境実験から確認した.

6 実環境測定

実験条件を Table 1 に示す. 測定信号として PWN と M 系列の 2 種類を用い, 直線畳み込みによって室内インパルス応答を求めた. また, M 系列で円状畳み込みによって求めたインパルス応答を基準波形とした.

上記の実験条件で測定したインパルス応答の時間波形(縦軸を拡大したもの)とその瞬時パワー波形を Fig. 5, Fig. 6 に示す. Fig. 5 より, M 系列の直線畳み込み用いた場合(青線)は, 全区間において, 誤差成分が発生している. これに対し, 直線畳み込みを行った PWN(黄線)では, 誤差はほぼ発生しておらず, 基準波形(赤線)と重なった波形となっている.

円状畳み込みにより得られた基準波形には直線畳み込み起因する誤差(以下, 畳み込み誤差)は含まれていない. よって, Fig. 6 の赤波形の 1 sec 以降の値は雑音(または非線形誤差)によるものと考えられる. Fig. 6 から, PWN による黄波形の誤差レベルは, 雑音レベル以下であることがわかり, 畳み込み誤差はほぼ発生していないことが確認される. なお, PWN による雑音レベルが時間とともに減少しているのは, 直線畳み込みを行う区間の減少によるものである.

7 むすび

本報告では, 純白色擬似雑音(PWN)信号を用いれば, 逆信号の直線畳み込みを行っても, ほぼ誤差のないインパルス応答測定が出来ることを理論的, 実験的に確認した. よって, PWN 信号は擬似雑音であっても, 測定時の 2

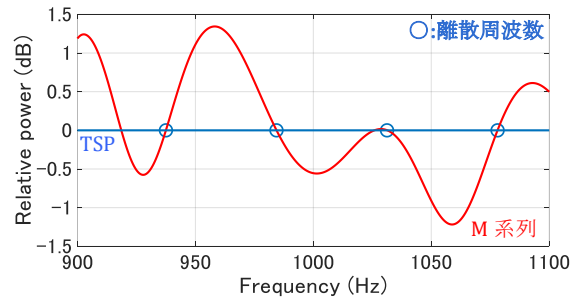


Fig. 4 補間パワースペクトル

Table 1 実験条件

測定信号	PWN, M 系列
サンプリング周波数	48 kHz
再生音圧	70 dB
測定室内容積	100m ²
残響時間(500 Hz)	1.3 sec
測定信号長	2 ¹⁸ : 5.5 sec

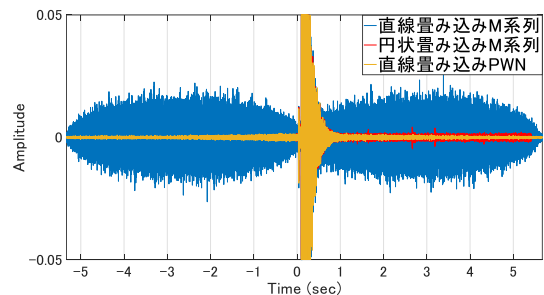


Fig. 5 実環境測定における直線畳み込みで求めたインパルス応答

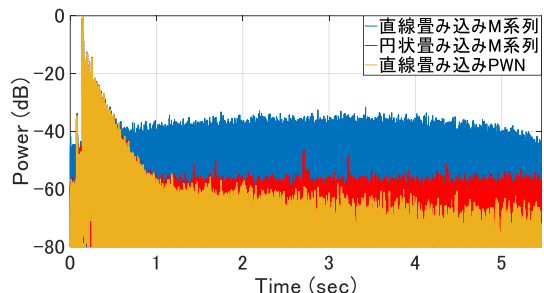


Fig. 6 実環境測定における直線畳み込みで求めたインパルス応答の瞬時パワー波形

周期再生は必要ではなく, 1 周期再生によりインパルス応答の測定が可能である.

参考文献

- [1]電子情報通信学会 知識の森 2 群-6 編 (音響信号処理),
- [2]森, 他, 音講論(秋), 1-P-14(2015)