

# 全帯域でSN比を一定とするインパルス応答測定アルゴリズムの 特性評価\*

○金田豊（東京電機大・工）

## 1 はじめに

インパルス応答、およびそれをフーリエ変換することで得られる周波数特性は、音響系の重要な基本特性である。筆者らは先に、所望の帯域で周波数特性のSN比が一定となるインパルス応答測定法を提案した[1]。本稿では、SN比の事前予測値、ならびに、実測におけるSN比の評価について報告する。

## 2 SN比を一定とする測定信号

図1にインパルス応答測定の原理図を示す。図は周波数領域の表現で、未知系のインパルス応答と等価な周波数特性  $H(\omega)$  を求めるものとする。ただし、図中および以下の本文では簡単のため変数  $\omega$  は省略した。

図1に示すように測定用信号  $S$  を用いた測定結果  $\hat{H}$  には  $N_0/S$  の特性を持った雑音成分が付加される。このとき、 $S$  のエネルギーが一定であったとしても、そのスペクトルを変化させると、雑音成分のエネルギーやスペクトル  $N_0/S$  を制御することができる。特に、 $|N_0|/|H|$  に比例したスペクトルを持つ周波数掃引信号 (CSN-TSP 信号) を用いることで、対象とする周波数範囲内でSN比が一定となる測定結果を得る[1]。ただし、 $|N_0|$  は雑音の振幅スペクトルを表す。

## 3 測定アルゴリズム

雑音が定常であれば前記  $|N_0|$  は事前に測定することができる。しかし、 $H$  は未知であるので、図2に示すような繰り返し測定アルゴリズムにより測定を行う。

図2において、①で  $|N_0|$  を事前測定する。

②で周波数特性  $H$  の推定値  $\hat{H}$  の初期値を設定する。③で、 $C \cdot |N_0|/|\hat{H}|$  ( $C$  は比例定数) の振幅スペクトルを持つ信号  $S$  を合成し、未知系に入力する。未知系の出力信号を逆フィルタに通して推定値  $\hat{H}$  を得る。推定された測定結果は、評価され(現在は目視による評価)、

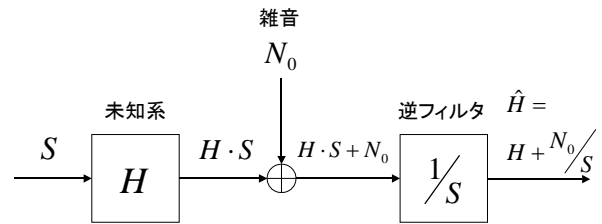


図1 インパルス応答測定の原理図

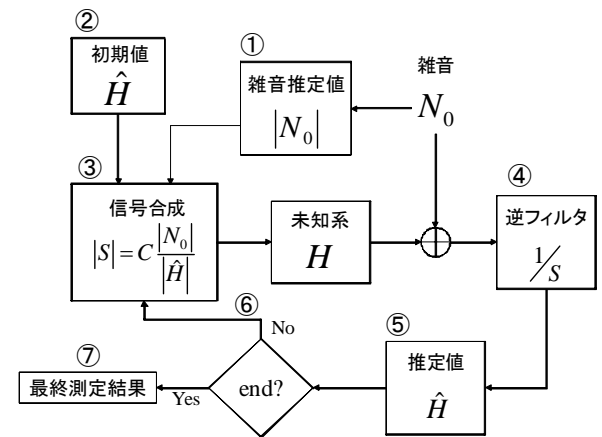


図2 CSN-TSP法の測定手順

SN比の一定性が不十分であれば、得られた推定値  $\hat{H}$  を用いて③からの手順を繰り返す。満足のいくものであれば測定を終了する。

## 4 SN比の事前予測

③における比例定数  $C$  は、信号  $S$  のエネルギーを一定値  $E_s$  に保持するためのもので、

$$\sum_{\omega} |S(\omega)|^2 = \sum_{\omega} \left( C \cdot |N_0(\omega)| / |\hat{H}(\omega)| \right)^2 = E_s$$

を満たす値として定められる。一方、③式の関係を用いると、雑音成分振幅スペクトルは

$$|N_0/S| = |N_0| / \left( C \cdot |N_0| / |\hat{H}| \right) = |\hat{H}| / C$$

となる。n 回目の推定結果と n+1 回目の推定結果に大きな差がないとすると、測定結果のSN比は、 $|\hat{H}| / (|\hat{H}| / C) = C$  となり、 $C$  の値が測定結果のSN比の予測値を与えることになる。この結果を利用し、測定前に求めた  $C$  の値が所望の値より小さい場合には、測定対象帯域を狭めてSN比の改善を図る[2]。

\* Performance assessment of impulse response measurement algorithm with constant SNR over frequencies, by KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

## 5 実環境実験

室内騒音環境下においてスピーカの周波数応答測定を行った。騒音は定常な空調騒音で、サンプリング周波数は 32 kHz、CSN-SS 信号長は  $2^{15}$  とした。また今回は、室内反射音の影響を軽減するためにスピーカとマイクロホンの距離を近づけて 5 cm とした。

測定結果を図 3~6 に示す。図 3 は、従来広く利用されている TSP 信号[3]を用いた周波数振幅特性の測定結果  $|\hat{H}|$  および、測定結果に含まれる雑音成分スペクトルを示す。TSP 信号のスペクトルは周波数によらない一定値なので、雑音成分  $N_0/S$  は録音した雑音のスペクトルと一致する。図 4 は、 $|\hat{H}|$  と雑音成分の SN 比を 1/3 オクターブごとに計算した結果である。図より、3kHz 以上の高周波域では、30dB 以上の SN 比を持つが、100Hz 以下の SN 比は 0 dB 以下に低下している。

図 5 は、提案アルゴリズムを 3 回繰り返して測定した結果を示している。測定対象とする周波数帯域は 80Hz 以上と制限した。また、図 6 は、その時の SN 比を表す。図 4 の TSP 信号の結果と比較すると、図 6 の CSN-TSP 信号による測定結果では、高域の SN 比は低下しているが、対象とする全帯域にわたって約 18dB 程度で一定の SN 比が得られている。その結果、図 3 の TSP 法では不明であった 80~200Hz の周波数特性が図 5 では明確になっている。

このように、本測定法は、必要以上に高い SN 比の周波数帯域の SN 比を低下させることで、低い SN 比の帯域の SN 比の向上を図るものである。例えば図 3 と図 5 では、100Hz 付近の SN 比は 20dB 程度向上している。この向上を、SN 比向上の他の手段である同期加算で得るためには、100 回の同期加算が必要となる。

## 6 むすび

本報告では、CSN-TSP 信号を用いたインパルス応答測定アルゴリズムに関して、SN 比の事前予測指標を示し、実環境測定における SN 比が周波数に依存することなく一定となることを示した。

## 参考文献

[1] 落合 他, 音講論集, pp. 879-880 (2010. 3).

[2] 落合 他, 音講論集, pp. 621-622 (2010. 9).

[3] 鈴木 他, 信学技報, EA92-86 (1992).

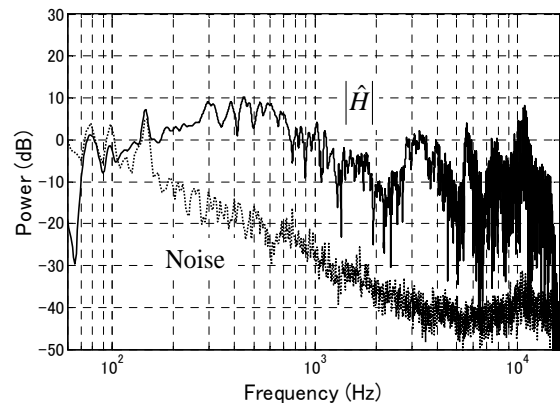


図 3 TSP 信号による周波数振幅特性

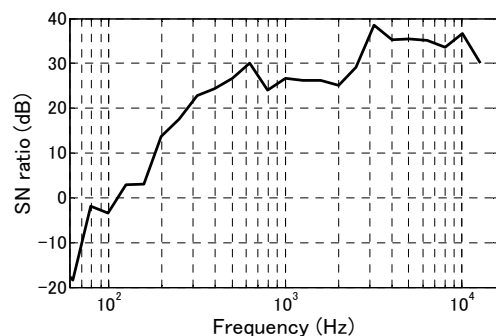


図 4 図 3 の測定結果の SN 比

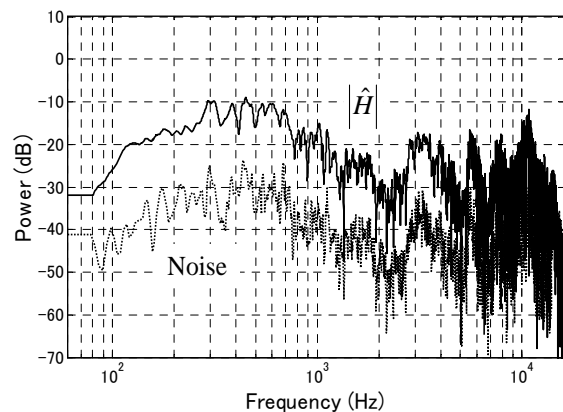


図 5 CSN-TSP 信号による周波数振幅特性

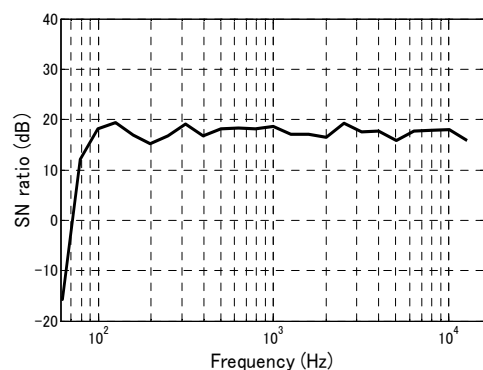


図 6 図 5 の測定結果の SN 比