

## 全帯域でSN比を一定とするインパルス応答測定法の検討\*

☆落合裕一, 金田豊 (東京電機大・工)

## 1 はじめに

音響インパルス応答の測定には、高い SN 比が望まれており、TSP 信号など測定用信号の改良が進められている[1][2]。そのような中で、守谷らは、測定結果に含まれる雑音成分を最小化する掃引正弦波信号（以下最小雑音-TSP）を提案した[3]。しかしこの方法では、周波数によって SN 比が異なるため、用途によっては不満足な場合もあった。そこで本報告では、全帯域で SN 比を一定とするインパルス応答測定法について検討する。

## 2 インパルス応答測定原理

図 1 にインパルス応答測定原理を周波数領域で示す（簡単のため、変数 $(\omega)$ は省略する）。スペクトル  $S$  を持った測定信号を、伝達関数  $H$  の未知系に入力する。測定される出力には、雑音  $N_0$ （騒音や電氣的雑音など）が加わり、 $HS + N_0$  となる。この出力を特性  $1/S$  の逆フィルタに通すことで、伝達関数の推定値  $\hat{H} = H + N_0/S$  を得る。（伝達関数はフーリエ変換を通してインパルス応答と等価である）

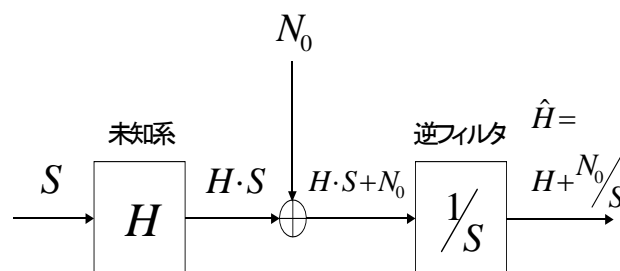


図 1 インパルス応答測定の原理図

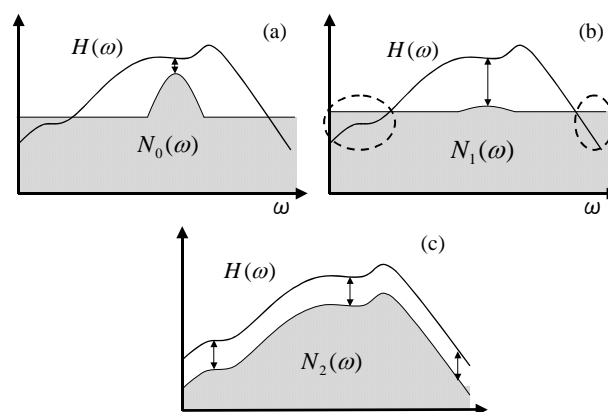


図 2 各種測定方法と測定結果に含まれる雑音成分のモデル図 (a) TSP、(b)最小雑音 TSP、(c)全帯域で SN 比を一定とする測定方法

## 3 測定結果に含まれる雑音成分

$\hat{H}$  に含まれる雑音成分は  $N_0/S$  と表されるので、TSP 信号のように平坦スペクトル ( $S(\omega)=1$ ) を持った測定信号を用いると、測定結果に含まれる雑音成分は、付加された雑音  $N_0$  と同一スペクトルを持つ(図 2 (a))。最小雑音 TSP[3]を利用した場合は、図 2 (b)のように雑音のピーク部分が抑圧され、雑音成分の最小化が実現される。しかし、SN 比は周波数によって異なり、図 2 (b)破線部のように伝達関数の応答レベルの小さい周波数では、弱い雑音成分でも影響を受けてしまう。

測定用途によっては、小さい応答レベルの特性把握が重要な場合があり、そのために、図 1 (c)のように、全帯域を積分した雑音レベルは上昇しても、広い帯域で SN 比を一定とする測定方法を提案する。

## 4 SN 比を一定とする測定法

SN 比を一定にするには、測定結果に含まれる雑音成分スペクトル  $N_0/S$  が伝達関数スペクトル  $H$  と等しく、

$$N_0(\omega)/S(\omega) = H(\omega) \quad (1)$$

となればよい。これより、測定信号に

$$S(\omega) = N_0(\omega)/H(\omega) \quad (2)$$

というスペクトルを持たせればよいことがわかる。（そのようなスペクトルを持つ掃引正弦波の作成方法は文献[3]を参照）ただし、事前に  $H$  は未知なので、本手法では、 $H$  の測定値（推定値） $\hat{H}$  を利用した測定を繰り返すことで測定精度を上げていく。提案手法のブロック図を図 3 に示す。

最初に、①雑音は定常雑音であると仮定し、雑音スペクトルの推定値  $\hat{N}_0$  を求める。次に② $H$  の推定値の初期値として適当な特性を与

\* A study of impulse response measurement with constant SN Ratio over all frequency bands, by OCHIAI, Hirokazu and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

え、③測定用信号  $S$  を合成する（例えば  $\hat{H} = \hat{N}_0$  とすると、 $S=1$  の TSP 信号となる）。次に、合成した測定信号で測定を行い、④⑤推定値  $\hat{H}$  を求め、⑥これをフィードバックして再度信号合成し、測定を繰り返す。そして、⑦所望の推定値が得られた時点で繰り返しを終了して測定結果とする。

## 5 測定シミュレーションによる検証

シミュレーションにより、本手法の検証を行った。未知系の伝達関数  $H$  は無響室で測定したスピーカの伝達関数を用いた。付加雑音  $N_0$  はホス雑音を SN 比 12 dB になるように付加した。また、SN 比の極端に悪い帯域を対象から除外するために周波数下限を約 70 Hz と定めた。

最初に、初期値を  $\hat{H} = \hat{N}_0$  とした TSP 信号による未知系の測定結果を図 4 に示す。図 4 の青線は未知系の推定結果  $\hat{H}$ 、黒線は推定値に含まれる雑音成分  $N_0/S$ 、赤線は正解の伝達関数を示す。低周波域においては、雑音の影響が強く推定結果は不良であることがわかる。

次に、図 4 の推定値  $\hat{H}$  を用いて合成した信号での測定結果を、図 5 に示した。図 5 の青線の推定値は、図 4 の青線と比べ 1000 Hz 以下の精度が向上している。また青線と黒線より、広い帯域で SN 比が一定となっていることが確認できる。しかし、200 Hz 以下ではまだ SN 比が悪い。

測定を 5 回繰り返したときの結果を図 6 に示す。青線と黒線を比較すると、70 Hz 以上の帯域ではほぼ SN 比が一定となっており、提案手法の有効性が確認できた。そしてその結果、伝達関数の応答レベルが小さい帯域においても伝達特性の概形を把握することが可能となった。

## 6 むすび

本報告では、伝達関数の応答レベルの低い帯域での特性把握をねらいとして、全帯域で SN 比を一定とするインパルス応答測定法を提案し、その効果を確認した。

### 参考文献

- [1] 藤本, 音講論集, pp.555-556, (2000.3).
- [2] 森勢ほか, 信学論, J89-A, 7-14 (2006).
- [3] 守谷ほか, 音学誌, 64, 695-701, (2008).

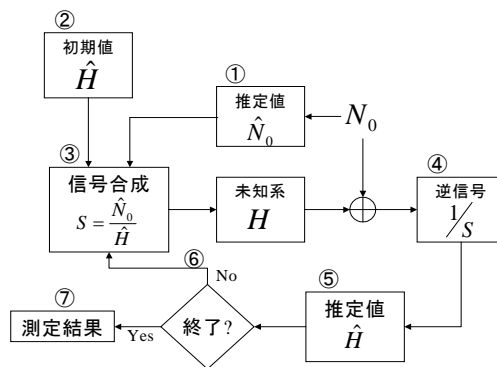


図 3 本手法の測定ブロック図

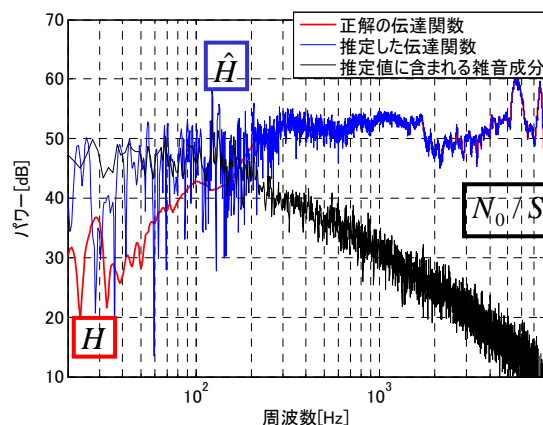


図 4 本手法による測定結果（1回目）  
(TSP 信号( $S=1$ )による測定で、 $N_0/S = N_0$ )

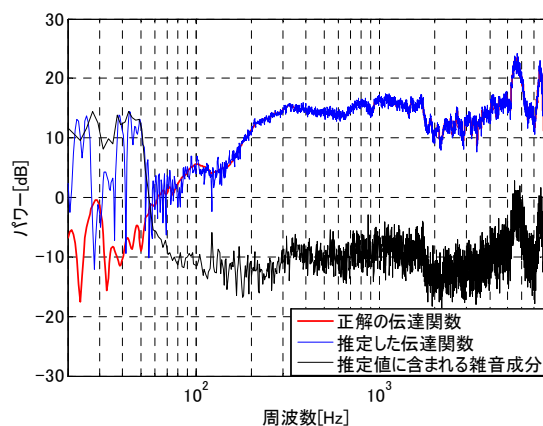


図 5 本手法による測定結果（2回目）

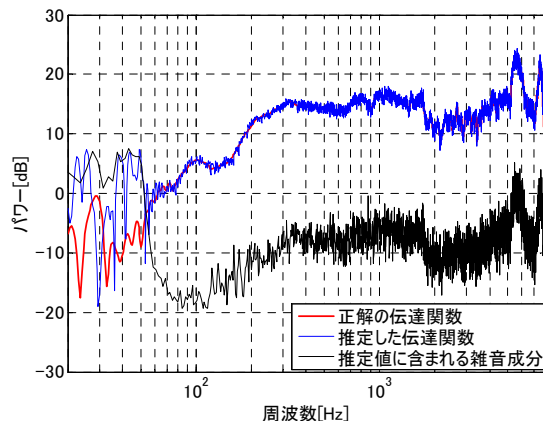


図 6 5 回繰り返し測定した結果