

同期加算を用いたインパルス応答測定における伝達系変動の影響の検討*

☆花房宏昭, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

インパルス応答は被測定系の周波数特性を始め、さまざまな情報を含んだ重要な特性量である。インパルス応答を高いSN比で測定する方法としては、掃引正弦波などの適切な測定信号を選び[1]、長時間信号として再生して測定する方法、および、複数回の短時間再生による測定結果を平均化(同期加算)する方法がある。本報告では同期加算法に注目して、その問題点と改善策について検討を行った。

2 同期加算と長時間信号測定

2.1 雑音低減効果と測定時間

N回の同期加算を行うと測定時間は約N倍となる。一方、信号長をN倍にした測定も測定時間は約N倍となるが、これらはともに $10\log N$ [dB]の雑音レベル低減効果をもつ[1][2]。従って、同期加算と長時間測定は測定時間の観点からは差異は少ない。

2.2 同期加算の利点

長時間信号を利用した場合、測定中に衝撃音などの非定常雑音加わった場合には、長時間測定のやり直しが必要となる。(この問題の解決策は現在検討中である[3]) また、長時間信号測定では大量のデータ処理が必要なので、大量の計算機メモリ量が要求される。

これに対して、短時間の測定信号で多数回測定する同期加算法では、衝撃音が発生した時刻のデータを平均処理から除外することで、その影響を回避することができる。また、データ量も大きくないので、メモリに対する制約も小さい。

2.3 同期加算の欠点

同期加算では、対象とする被測定系の特性が時間的に変化せず、複数回のインパルス応答測定結果がすべて同一であることが前提条件である。しかし現実には、測定対象が時変特性を持つ場合も少なくない。例えば、室内

音響特性の測定では温度変化や、風などによる経路特性変化などがあげられる。

時変系で得られた複数のインパルス応答を同期加算すると、異なったインパルス応答波形が加算されるので、場合によっては正負が打ち消しあって応答が小さくなったり、また、特定の周波数成分が減衰することがある。もちろん長時間信号であっても時変性の影響はうけるが、掃引正弦波を用いた場合には同期加算の場合と比べるとその影響は小さい。

以下、同期加算に及ぼす時変系の影響とその改善策について検討した。

3 無響室測定

無響室測定においても電氣的雑音をできる限り低下させたい場合には、同期加算を利用することがある。そしてその際、測定機器や照明の発熱で、室温が上昇する場合がある。

温度が上昇すると音速が増加し、音は速く到着するので、インパルス応答は図1に示すように時間軸左方向に移動する。従って、これを単純に同期加算すると劣化が生じる。

一例として、スピーカのインパルス応答を長さ 2^{20} のTSP信号で200回の測定を行った。スピーカとマイクロホン間の距離は1m、測定時間は約1時間で、その間 16.5°C から 20°C への温度上昇があった。図2の青線が1回目の測定結果、赤線が200回目の測定結果を示す。温度上昇の結果、インパルス応答は左方向にずれていることがわかる。ずれ量 τ は約 15μ 秒で、理論値

$$\tau = \frac{1}{331 + 0.6 \cdot 16.5} - \frac{1}{331 + 0.6 \cdot 20} \text{ [s]}$$

とほぼ一致している。

緑線は同期加算の結果を示す。同期加算で得られた波形は、個々の測定のものと同様に見えるように見え、実際、波形の相関は0.999程度であった。しかし、周波数特性は図3の赤線に示すように、原周波数特性(青線)と

* Study on the influence of transmission system fluctuation in impulse response measurement using synchronous averaging, by HANAFUSA, Hiroaki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

比較して、特に高周波数域では、2dB 程度低下したものとなった。

この問題を解決するために、個々のインパルス応答の時間ずれを補正した後、同期加算を行った。ずれ補正は、インパルス応答を分解能 0.5μ 秒で補間して、最大値の時刻を一致させた。図 1 のイメージ図に示すように、無響室での温度変化の影響は、インパルス応答自体は変化せず、単純な時間ずれのみが起きるので、時間ずれを補正するとほぼ理想的な同期加算が行える。その結果を図 3 の緑線に示す。図より、同期加算後の周波数特性は原周波数特性(青線)とほぼ一致していることがわかる。またこの時、同時に雑音レベルは約 22.7dB 低下したことが確認できた。

4 一般室測定シミュレーション

温度変化のある一般室での同期加算測定をシミュレーションした。ただし、1 回のインパルス応答測定中は温度変化が無いものとし、200 回の測定中に 16.5°C から 20°C の温度変化があったものと仮定した。インパルス応答は、残響時間が約 0.9 秒の部屋のものを用いた。

図 4 に結果の周波数特性を示す。図中、青線は正しい周波数特性を示し、赤線は単純に同期加算を行ったインパルス応答の周波数特性を示す。赤線の高周波成分が大幅に低下していることがわかる。

一般室のインパルス応答には反射音が含まれており、温度が上昇するにつれてその到来時間が到来時間に比例して短縮するので、インパルス応答の時間軸が圧縮された形に変形する。従って、インパルス応答の最大値を一致させるずれ補正を行ってもインパルス応答波形全体は一致せず、その結果、同期加算を行うと誤差が発生する。

図 4 の緑線はインパルス応答の時間ずれ補正を行って同期加算をした結果を示している。周波数特性の高域が、正しい応答に比べて低下している。ただし、その低下はこのシミュレーションでは数 dB であって、ずれ補正無しの場合と比べると大幅に改善されており、ずれ補正の有効性が示される。

5 まとめ

伝達系が時変特性を持つ環境で、同期加算を用いてインパルス応答測定を行う場合、

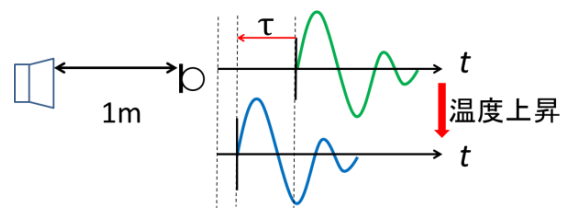


図 1 温度上昇による時間ズレ

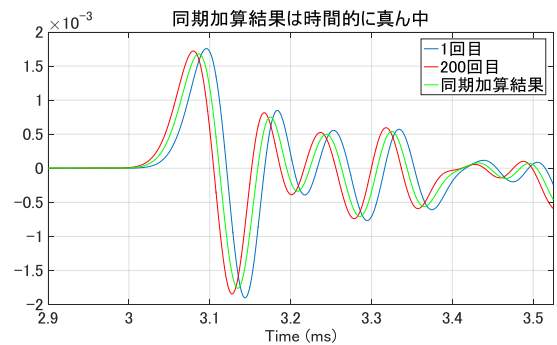


図 2 インパルス応答測定結果

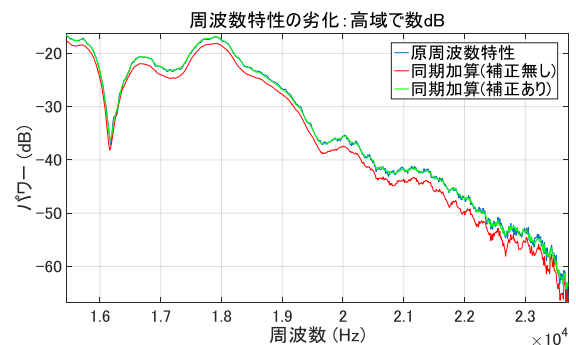


図 3 無響室で測定したスピーカ
の周波数特性

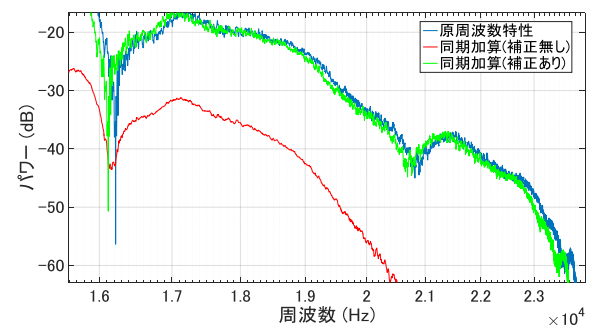


図 4 一般室の周波数特性

時変性によって生じる時間波形のずれを補正することが有効であることを示した。

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。

参考文献

- [1] Y. Kaneda, J. A. E. S., 63, 5, 348-357 (2015).
- [2] 電子情報通信学会編, デジタル信号処理, p.46, コロナ社 (1975).
- [3] 木ノ下, 他, 音響学会(春), 1-P-35, (2017).