

無響室で測定したインパルス応答に含まれる反射音低減手法

A-5 Reduction of Reflective Sound Included in Impulse Response Measured in an Anechoic Room

小高 綾也[†]

Ryouya ODAKA[†]

金田 豊[†]

Yutaka KANEDA[†]

陶山 健仁[†]

Kenji SUYAMA[†]

[†] 東京電機大学 工学部 電気電子工学科

[†]Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Engineering, Tokyo Denki University

1 はじめに

音響機器の周波数特性は、壁面反射の無い無響室で測定されたインパルス応答をフーリエ変換することで求められる。しかし、壁面のくさびの長さなどに依存した低周波域では、反射音が存在し、測定結果に影響を与える場合がある [1]。本研究では、この反射音の影響を低減する方法を提案する。

2 反射音の影響

図1は、本学無響室で測定したスピーカの周波数振幅特性 $|H(f)|$ の低周波部分を表している。周期的な2~4 [dB] 程度の山谷が発生している。スピーカ・マイクロホン間の距離を1 [m]と固定し、壁からの距離を変えて測定すると、この山谷の周期 F が変化する。したがって、この山谷は反射音の影響と考えられる。

周波数特性の周期的山谷は、単一遅延成分を持つくし型フィルタの特性として知られている [2]。よって、 $F = 50$ [Hz] の周期を持つ図1の山谷は、 $\tau = 1/50 = 20$ [ms] 遅れて到来する顕著な単一反射音成分が原因であり、この反射音を低減すれば、山谷も低減できると考えられる。

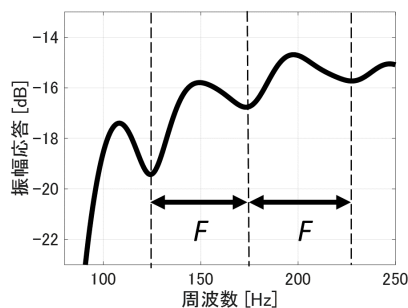


図1 本学無響室で測定した反射音の影響を受けたスピーカの周波数特性 $|H(f)|$

3 提案する反射音低減手法

目的とするスピーカのインパルス応答（直接音）に、時間 τ 遅れた反射音が付加されている場合を考える。この時、式 (1) のように、測定したインパルス応答 $h(t)$ を時間 τ 遅らせ、適切な減衰係数 a をかけて減算することで、時間 τ の反射音を低減する手法を提案する。

$$h(t) - a \cdot h(t - \tau) \quad (1)$$

ただし、壁面での反射の大小は周波数に依存する。そこで、最初に、反射音の存在する時間 τ 以降の区間をフーリエ変換して反射音の周波数特性 $R(f)$ を求め、その絶対値 $|R(f)|$ (図2) を減衰係数の周波数特性とした。実際の処理は周波数領域において、

$$H(f) - a \cdot |R(f)| \cdot H(f) \cdot e^{-j2\pi f\tau} \quad (2)$$

とした。ただし、 $H(f)$ は $h(t)$ のフーリエ変換、 a の値はインパルス応答を20 [ms] までを切り出して反射音の影響を除去した周波数特性と、提案手法適用後の周波数特性の低周波部分 (130 [Hz]~300 [Hz]) が最も近似する値とする。

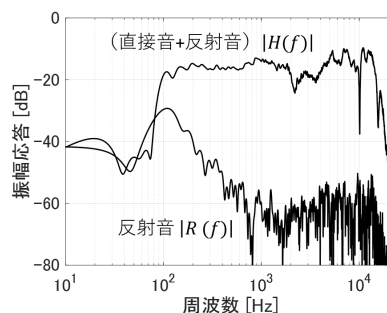


図2 (直接音 + 反射音) と反射音の周波数特性

4 処理結果

図3に反射音低減処理結果を示す。図の細線は、処理前の周波数特性を表す。また、インパルス応答を、反射音が存在する時刻 (20 [ms]) 以前で切り出せば (切り出し法)、反射音の影響を除去できる。比較のために、その結果を灰線で示す。周波数特性の山谷は軽減されているが、100 [Hz] 付近の立ち上がりがなまっている。これは、時間軸の切り出しに対応して、周波数特性が平滑化されるからである。

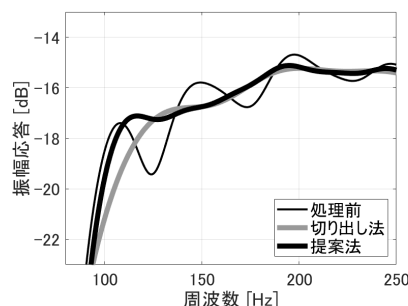


図3 反射音低減処理結果

太線は、提案手法による処理結果である。提案手法を用いることで、反射音を低減し、山谷を抑えることが出来た。また、切り出し法と比較すると、平滑化の影響もない。

5 まとめ

無響室で測定したインパルス応答に含まれる反射音に対して、直接音を遅延させて、反射音の周波数特性を反映させた減衰係数を掛けた波形を減算することで、反射音の影響を低減できることを示した。

なお、本研究の一部は JSPS 科研費 20K11872 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 平原達也, 大谷真, 大森大輔, "無響室での音響計測における反射音の影響," 日本音響学会講演論文集, pp.655-656, 2015.
- [2] 陶山健仁, "デジタルフィルタ-原理と設計法," pp.108-115, 科学情報出版, 2018.