

# 残差パワーを最小化する直線回帰区間に基づく残響時間測定

A-5 Reverberation Time Measurement Based on the Linear Regression Section Minimizing Residual Power

西村 英樹<sup>†</sup>  
Hideki NISHIMURA<sup>†</sup>

金田 豊<sup>†</sup>  
Yutaka KANEDA<sup>†</sup>

陶山 健仁<sup>†</sup>  
Kenji SUYAMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京電機大学 工学部 電気電子工学科

<sup>†</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Engineering, Tokyo Denki University

## 1 はじめに

残響時間とは、室内における音の響きの長さを表した値である。残響時間  $T_{30}$  は、測定した室内インパルス応答から音エネルギーの減衰曲線である残響曲線を読み、残響曲線の  $-5$  [dB] ~  $-35$  [dB] の  $30$  [dB] 回帰区間で求めた回帰直線が  $60$  [dB] 減衰する時間であると、国際規格 ISO によって定められている (以下 ISO 法) [1]。しかし、残響曲線の初期減衰区間が直線にならない場合があり、誤推定が発生する。本研究では、その解決方法を検討する。

## 2 ISO 法の問題点

測定時における音源・マイクロホン配置によっては、直接音や初期反射音の影響で残響曲線が直線にならない初期減衰区間が長く、図 1 に示すように、ISO 法で用いる  $-5$  [dB] ~  $-35$  [dB] の回帰区間では回帰直線が残響曲線から乖離する可能性がある。その結果、残響時間の誤推定が発生する。

## 3 提案する回帰区間設定法

誤推定を防ぐ方法として、直接音や初期反射音の影響が少ない回帰区間の探索を検討した。そこで、残響曲線上で最も直線的な  $30$  [dB] の減衰区間を直線回帰区間と定めることを提案する。具体的には、図 2 に示すように、 $30$  [dB] 減衰の回帰区間を、 $1$  [dB] ずつずらしながら直線回帰を行う。そして、式 (1) を使って残響曲線と回帰直線の差の二乗平均である回帰残差パワー  $P_E$  を計算する。

$$P_E = \frac{1}{N_2 - N_1 + 1} \sum_{i=N_1}^{N_2} (E(i) - \hat{E}(i))^2 \quad (1)$$

ここで、 $i$  は離散時間、 $N_1$  と  $N_2$  は回帰区間の始点と終点を表す。また、 $E(i)$  は  $30$  [dB] 減衰区間の残響曲線、 $\hat{E}(i)$  は最小二乗法で求めた回帰直線を表す。 $P_E$  が小さいということは残響曲線が直線に近いことを意味するので、最も  $P_E$  の値が小さい区間を直線回帰区間と定める。

## 4 有効性の検証

音源・マイクロホン間距離を  $d$  とし、直接音や初期反射音の影響が大きい  $d=1$  [m] と影響の小さい  $d=4$  [m] での測定結果を比較することで、提案法が直接音や初期反射音の影響を受けずに残響時間を測定できることを検証する。ISO 法と提案法で求めた残響時間 ( $4$  [kHz] オクターブ帯域) の測定結果を表 1 に示す。

表 1 より、 $d=4$  [m] の場合、ISO 法と提案法の結果は、ほぼ等しく、許容誤差  $5\%$  の範囲で正しく残響時間が推定できていると考えられる。一方、 $d=1$  [m] の場合、ISO 法では  $0.58$  [s] と測定誤差が約  $20\%$  となっているのに対して、提案法では距離  $d$  の値によらず、許容誤差範囲内で正しい結果が得られた。

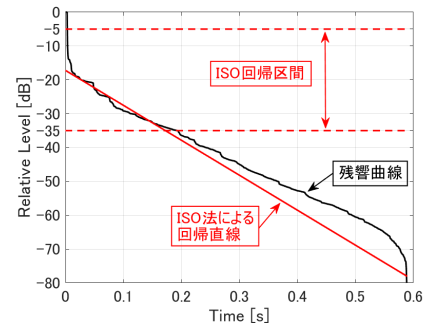


図 1 初期減衰区間が非直線の残響曲線と ISO 法による回帰直線

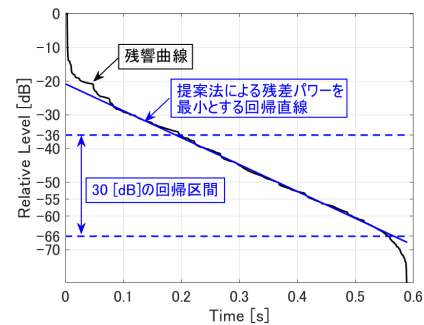


図 2 提案法で求めた直線回帰区間とその回帰直線

表 1 音源配置を変えたときの ISO 法と提案法による残響時間

	$d=1$ [m]	$d=4$ [m]
ISO 法	0.58[s]	0.73[s]
提案法	0.75[s]	0.77[s]

## 5 まとめ

残響曲線と回帰直線の残差パワーが最小となる直線回帰区間を設定することで、残響曲線の先頭部の非直線部分が多い場合も許容誤差範囲内で残響時間が求まることを示した。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] ISO 3382-1:2009(E), Acoustics — Measurement of room acoustics parameters — Part 1: Performance spaces.