

## D-8

## 室内音場における指向拡散度の音響インテンシティによる算出方法の基礎的検討

## A basic study of a calculation method of directional diffusion coefficient by sound intensity in room sound field

○横田雅人<sup>1</sup>, 羽入敏樹<sup>2</sup>, 星和磨<sup>2</sup>, 鈴木諒一<sup>2</sup>\*Masato Yokota<sup>1</sup>, Toshiki Hanyu<sup>2</sup>, Kazuma Hoshi<sup>2</sup>, Ryoichi Suzuki<sup>2</sup>

## 1. はじめに

室内音響設計を行う際に、音場の拡散は重要な項目の一つである。音場の拡散性に関する物理指標として、Thieleによって指向拡散度が定義されている<sup>[1]</sup>。指向拡散度とは定常状態の音場においてパラボラマイクを用いて等立体角ごとにマイクを向けて方向別エネルギーを測定し、そのばらつきを基に音場の拡散性を定量的に評価する指標である。しかし、測定が困難であることと、使用するマイクの指向性が結果に影響するため、あまり普及していないのが現状である。指向拡散度が普及することで多様な音場での拡散性評価が可能になり、音場の拡散性の設計が可能になると考える。

音の方向情報測定法として、カーディオイドマイクを用いたC-C法が提案されている<sup>[2]</sup>。そこで、本報では指向拡散度の測定方法の確立と指標の普及促進を目的に、C-C法により音響インテンシティを測定し、それを用いて指向拡散度を算出する手法について検討した。

## 2. インテンシティによる指向拡散度の算出方法

C-C法は音圧と粒子速度を測定し、瞬時インテンシティを求めることができる。そこで、測定したインパルス応答の瞬時インテンシティから方向別エネルギーを求め、指向拡散度を算出することにした。

## 2.1 エネルギーの分割方法

指向拡散度を算出するには、方向を3次元で等方的に分割する必要がある。分割方法の概念図を図1に示す。

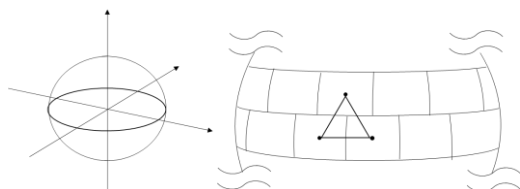


図1 分割方法の概念図

3次元で方向分割するための手法として、まず水平方向の分割数を決め、水平角を均等に分割する。次に

仰角を段階的に変化させた時に水平角を同様に分割する。最終的な3次元での方向分割数を  $n$  とする。

## 2.2 指向拡散度算出

指向拡散度は下式によって求められる。

$$d = 1 - \frac{m}{m_0}$$

ここで、 $m = \frac{\Delta M}{M}$ ,  $M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$ ,  $\Delta M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |M - E_i|$

$m_0$  は一方向のみから音が来た場合の  $m$  の値、 $E_i$  は前項で方向分割した際の  $i$  方向のエネルギーの合計である。

## 3. 解析対象のデータ

解析するデータは過去にC-C法によって測定されたものを用いた<sup>[3]</sup>。図2に測定音場の平面図と拡散体の概要を示す。

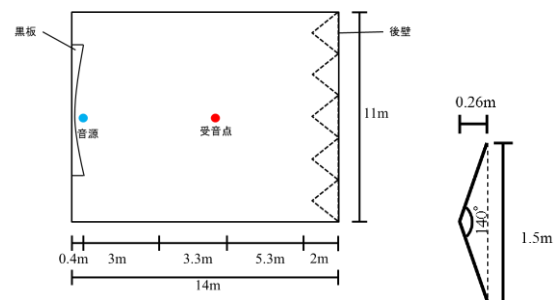


図2 測定音場の平面図と拡散体の概要

サンプリング周波数48kHzでTSP信号を用いてインパルス応答を測定した。なお、音源の高さは1.8m、受音点の高さは1.5mである。測定はフラッタエコーの起きている教室で行われた。教室の後壁に拡散体を設置した場合と設置しない場合の、2種類の測定データを解析する。

拡散体ありとなしのデータに対して、解析範囲を直接音到達後0ms以降、5ms以降、80ms以降、300ms以降とした4種類、さらに方向分割数  $n$  を14、36、88、136とした4種類を組み合わせで解析を行った。表1に解析パターンを示す。また、125Hz~8kHzの各1/1オクターブバンドでフィルタリングして、周波数毎に解析した。

1: 日大理工・院(前)・建築 2: 日大短大・教員・建築

表1 解析パターン

拡散体	解析の時間範囲	方向分割数 $n$
あり	0ms以降	14 36 88 136
	5ms以降	14 36 88 136
	80ms以降	14 36 88 136
	300ms以降	14 36 88 136
なし	0ms以降	14 36 88 136
	5ms以降	14 36 88 136
	80ms以降	14 36 88 136
	300ms以降	14 36 88 136

4. 解析結果と考察

図3に分割数の比較、図4に解析の時間範囲の比較を示す。解析範囲が0ms以降、5ms以降、80ms以降、300ms以降の結果を図5～図8にそれぞれ示す。

図3を見ると、分割数が増えると、指向拡散度の値が小さくなる傾向がある。しかし、88分割の値と136分割の値ではその差が小さくなっており、さらに分割数を増やしても値があまり変動しないことが推測できる。そこで以降、88分割の結果を用いることとする。分割数に関しては、今後、最適な分割数を検討する必要がある。

図4を見ると、解析の時間範囲の開始時間を0ms以降、5ms以降、80ms以降と遅らせるほど、指向拡散度の値が大きくなる傾向がある。これは後期になるほど音が拡散し、音の到来方向が一様になることや、その時間までの直接音や初期反射音の影響がなくなったことが原因と考えられる。しかし、300ms以降の値は80ms以降の値より小さくなっている。その理由として300ms以降の残響が、室の吸音の偏在などによって、方向別に偏っていることが考えられる。

図5および図6を見ると、解析の時間範囲を0ms以降、5ms以降とした結果は、allpass または各オクターブバンドで見ても、拡散の変化を明確に捉えることが

出来ていない。理由として考えられるのは、直接音および初期反射音のエネルギーが大きく、後期反射音による拡散の影響が現れにくいとと考えられる。

図7、図8の解析の時間範囲が80ms以降、300ms以降の結果を見ると、2000Hzを中心に拡散の変化を捉えることが出来ており、解析の時間範囲を時系列後半にしていくほど、その差が顕著に現れている。これは直接音や初期反射音の影響がなくなり、時系列後半に生じるフラッタエコーの有無による音場の拡散性の変化が指向拡散度に明確に反映されるためと考えられる。300ms以降の結果を見ると1000Hz帯域から顕著に差が現れていることから、フラッタエコーは1000Hz、2000Hz、4000Hz帯域付近で発生していることが推測できる。このように、本手法によって拡散体の設置によるフラッタエコー解消の効果を定量的に評価できる可能性が示された。

5. まとめ

音響インテンシティによる指向拡散度によって、フラッタエコーの有無、すなわち音場の拡散性の変化を捉えることができた。今後、様々な音場において検証していくつもりである。

【参考文献】

- [1] R. Thiele, "Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallruckurfe in RaunenT" Acustica, 3 (1953) p. 291-3D2
- [2] 羽入, "カーディオイドマイクの指向特性と音場測定への応用" 音響技術, No.173,30-33,2016
- [3] 羽入他, "減衰除去インパルス応答を用いた室内音場における仮想音源の解析", 日本音響学会講演論文集, 2-9-8,2014.

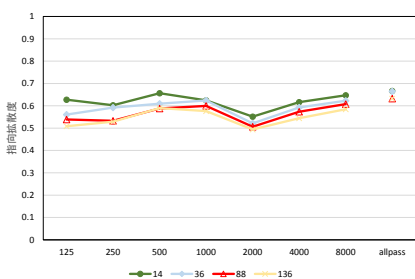


図3 分割数の比較

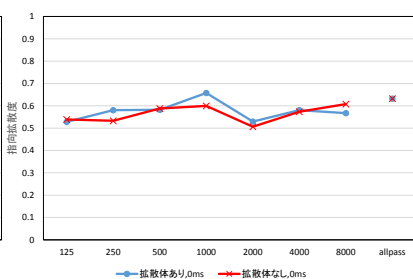


図5 時間範囲が0ms以降の結果

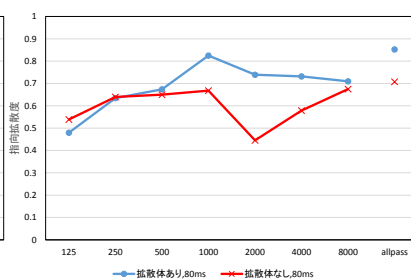


図7 時間範囲が80ms以降の結果

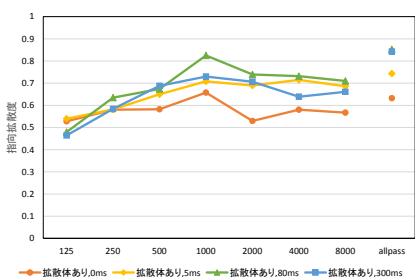


図4 解析の時間範囲の比較

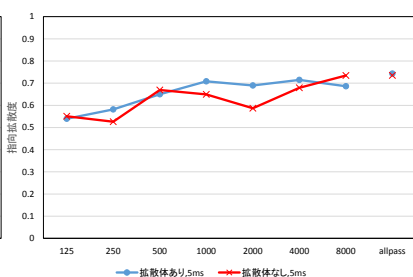


図6 時間範囲が5ms以降の結果

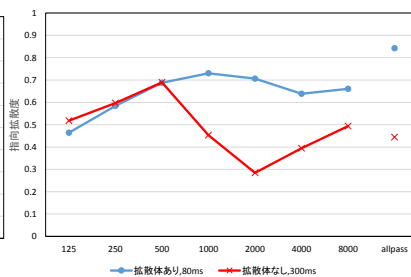


図8 時間範囲が300ms以降の結果