

拡散体の設置が音場に与える影響についての基礎検討*

松本鮎美, 山内源太, 尾本章 (九大芸工)

1 はじめに

室内音響において、重要な設計項目の一つとして壁面の拡散性があげられる。壁面の拡散性を評価する方法は現在、その理論体系が整備され、測定法についても AES や ISO で規格化が進んでいる [1]。また、これまでに音場の拡散性を評価する指標も様々に提案されてきている。そうした中で、拡散性の反射面を設置した場合の室内音場のふるまいにも関心が集まっており、数値シミュレーションや主観評価実験などで定量化する試みも行われている [2]。しかし、音場のふるまいを拡散体の反射性能と関連付けて評価するための有効な手法は未だ確立されていないのが現状である [3]。最近では、羽入らによって壁面の拡散性を表す散乱係数 (Scattering Coefficient) をパラメータとし、統計的理論に基づき音場の拡散性をあらかず試みも行われている [4]。今後、このような理論とともに実測データとの対応についての検討が進むことで、壁面の反射性能と音場の拡散性を関連付けた評価を行うための指標が確立されることが望まれる。

本研究では、ホールなどの大空間で用いられる既存の評価指標では評価が難しいとされている小空間において、拡散体を設置した際の音場の変化を記述するための指標を提案することを最終的な目的としている。

本報では、拡散体を設置した際の音場のふるまいを記述する指標として、反射波の到来方向の分布に着目した検討を行ったので報告する。具体的には、拡散体の設置条件を変化させて音の強さとその向きを測定できるインテンシティの測定を行い、それぞれの条件において反射音の到来方向を推定し、そのヒストグラムを導出することで拡散体を設置した

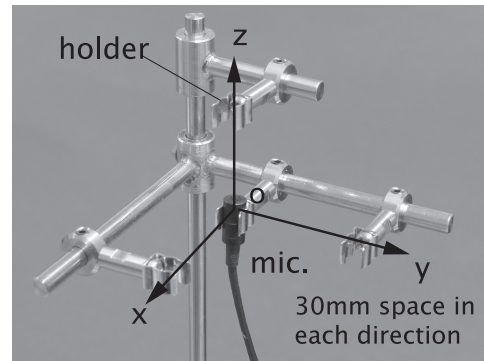


Fig. 1 Microphone probe used for measurement.

際に起こる音場の変化を反射音の到来方向という観点から記述することを試みた。

2 音響インテンシティ法を用いた反射音の到来方向の推定

音響インテンシティとは、音響エネルギーの流れを直接的に観測できる、大きさと方向をもつベクトル量である。実際の測定に用いたマイクロホンプローブを Fig.1 に示す。このプローブの各マイクロフォン間の間隔は 3 cm である。直交軸座標上の近接する 4 点 (o, x, y, z) にマイクロホンを配置し、有限差分近似を用いて各点間での音圧と粒子速度を求める。求めた音圧と粒子速度から各方向 ($o-x, o-y, o-z$) の瞬時インテンシティが計算できる [5]。本研究では、反射音の推定のために、瞬時インテンシティをヒルベルト変換して算出されるエンベロープインテンシティを用いた。包絡をとることで、反射音の大まかなエネルギーの流れをつかむことが目的である。

2.1 反射音の到来方向の均一性

反射音の到来方向の均一性は室内音場の拡散の度合いを示すひとつの手がかりとなる。

* A effect of diffuser's setting on the enclosed sound field. by MATSUMOTO, Ayumi, YAMAUCHI, Genta, and OMOTO Akira (KYUSHU University)

そこで、本報では、拡散体の反射指向性の均一性を定義する Diffusion Coefficient を参考に、反射音の到来方向の均一性を示す指標を以下の式により定義した。

反射波の2次元の方向別到来度数の自己相関係数を平均することにより反射音の到来方向の均一性 (Uniformity of Arrival Directions : UAD) が求められる。

$$UAD = \frac{\left(\sum_{i=1}^n H_i\right)^2 - \sum_{i=1}^n (H_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n (H_i)^2} \quad (1)$$

ここで、 H_i は各方向での反射音の到来度数、 n は方向分割の数である。UAD は 0~1 の値をとる。この値が 1 に近いほど各方向の反射音到来確率が等しくなり、0 に近いほど特定の方向からの反射が支配的であることになる。本件ではこの UAD を用いて拡散体の設置による反射音到来方向分布の検討を行った。

3 拡散体の設置による反射音到来方向の分布についての基礎検討

3.1 模型室における測定

実験条件

1/5 スケールの模型室に拡散体を複数個設置し、その配置や設置個数を4通りに変化させて反射音の到来方向の変化を検討した。使用する室の寸法は 0.84 m × 0.87 m × 0.39 m であり、室の残響時間は 1 kHz で 0.35 sec、5 kHz で 0.28 sec である。1/5 スケールであるので、実寸に戻すとそれぞれ 200 Hz、1 kHz に対応する。使用した拡散体は 0.2 m × 0.2 m × 0.03 m、半円柱形の周期構造をもつ。高さとの比は $H/L = 0.5$ である。反射の均一性を表す Diffusion coefficient は 1 kHz で 0.66、5 kHz で 0.17 であった。この拡散体は木製であり、表面にラッカー塗装を行った。このときの拡散体の吸音率は 1 kHz で 0.10 であった。これと比較して室の壁面材料の吸音率は 1 kHz で 0.09 であった。このように設計した拡散体を個数や位置を変えて設置し、ある壁面付近でのインテンシティを測定する。拡散体の設置条件を Fig.2 に示す。

測定法

Fig.1 に示すインテンシティプローブを用い、位相による誤差を避けるため、一つのマイクロフォンを順次動かすことで近接する4点 ($0, x, y, z$) のインパルスレスポンスを測定し、3次元の各軸方向のエンベロープインテンシティを合成することにより反射音方向を推定する。壁面の midpoint を o 点とし、 x - y 平面の室の床面からの高さは 10 cm とした。測定に用いた音源は、次数 17 次、サンプリング周波数 48 kHz の TSP 信号であり、同期加算回数は 3 回とした。

結果の処理

反射波の到来方向の推定にあたり、まず、各条件において、室内の 5 点をランダムに選定してインパルス応答を測定し、各点の応答について残響曲線を導出した。残響曲線のピークから -30 dB までに到来する音を反射波の推定に有効とみなし、各応答が 30 dB 減衰する時間を求め、その平均値をその条件の減衰時間としてインパルス応答を切り出し、サンプルごとに逐次到来方向の推定を行った。スケールモデルではあるが、インテンシティプローブの間隔による制限により高周波になると誤差が大きくなるため今回は 1/3 oct.band, 中心周波数 500 Hz ~ 4 kHz で検討を行った。

Fig.3 に各条件において推定された方位角方向の反射音到来度数を示す。また、反射音の到来方向を視覚的に確認するために、到来度数を 18 ° 間隔でまとめ、最大度数で正規化したものを極座標でプロットした。ヒストグラムは 5 ° 間隔で導出し、グラフ内の数値は式 (1) を用いて算出した度数の均一性を示す値である。設置条件 No.2 や No.3 において UAD が 1 に近い値となっている。No.4 では UAD の値は低いですがピーク方向が変化していることが読み取れる。また、UAD の値と極座標表示との主観的な対応が見られる。このことから、到来度数の均一性を示す係数として UAD を用いることは適当であると考えられる。

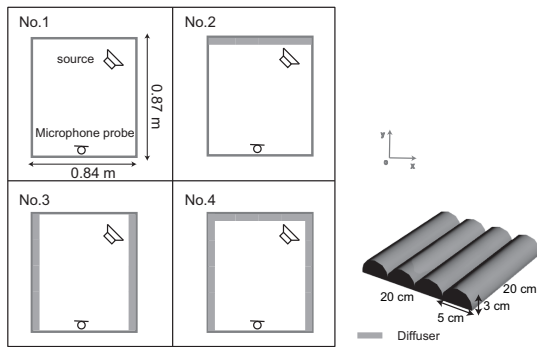


Fig. 2 Diffuser setting for measurement in scale modeled room (left) and Diffuser used for measurement(right).

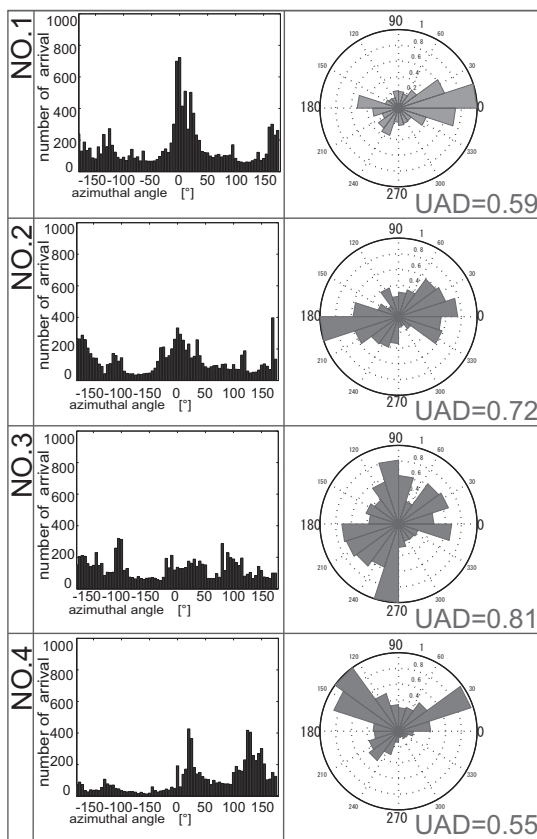


Fig. 3 Histogram of direction-of-arrival estimation on scale modeled room and Polar plot of normalized histogram at 18 °angular interval, 1 kHz(1/3 oct.band).

3.2 小規模空間における測定

実験条件

5.95 m × 5.85 m × 2.68 m の小規模空間において、音源の背後に拡散体を設置し、反射波の到来方向についての検討を行った。後壁と側壁は開孔率 5.6 % の穴あき吸音板であ

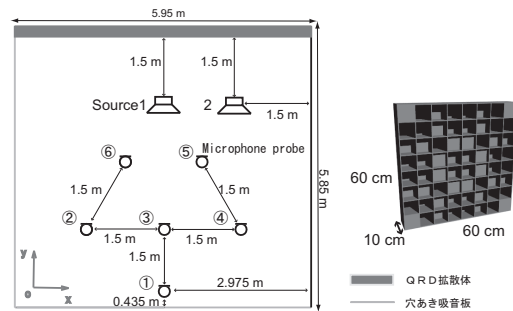


Fig. 4 Diffuser and microphone setting for measurement in small room (left) and Diffuser used for measurement(right).

り、他の面は剛壁である。この室の残響時間は 500 Hz で 0.64 sec , 1 kHz で 0.76 sec であった。使用した拡散体は 0.6 m × 0.6 m × 0.1 m であり、吸音率は 500 Hz で 0.23 , 1 kHz で 0.27 , 拡散指向度は 500 Hz で 0.49 , 1 kHz で 0.53 であった。この拡散体を 18 個使い、複数の測定点において、拡散体の設置の有無での反射音の到来方向の変化についての検討を行った。拡散体と測定用マイクロフォンの設置条件を Fig.4 に示す。

測定法と結果の処理

模型実験と同様の条件・手順で行った。ただし、インテンシティプロープの x-y 平面の床面からの距離は 1.33 m とし、音源用スピーカには無指向性の 12 面体スピーカを用いた。

Position1 と Position4 の結果を Fig.5 ~ Fig.8 に示す。Fig.5, Fig.7 は式 (1) を用いて算出した 500 Hz ~ 4 kHz の到来度数の均一性 (UAD) であり、Fig.6, Fig.8 は UAD との比較のために、式 (1) の H_i を各方向のインテンシティに置き換えて算出したインテンシティの大きさの均一性である。Fig.5 と Fig.6 を比較すると、Fig.5 では Fig.6 に比べて、拡散体の有無での差異が結果に大きく現れている。このことより、評価指標に UAD を用いた場合、壁面付近において音場の変化が見えやすくなる可能性が示唆される。しかし、Fig.7 と Fig.8 においてはその差異があまり顕著に見られないように、測定位置に大きく依存し、室全体の特性を評価するものではないことに注意が必要である。

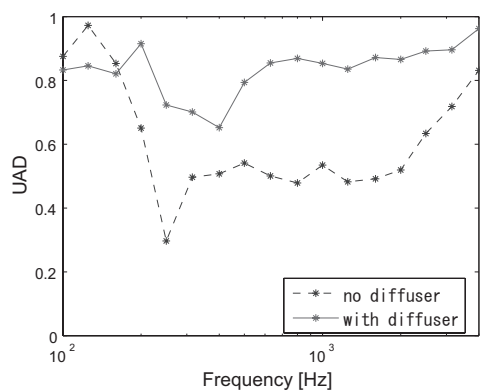


Fig. 5 Uniformity of number of arrival (UAD) at microphone position 1, azimuthal angle .

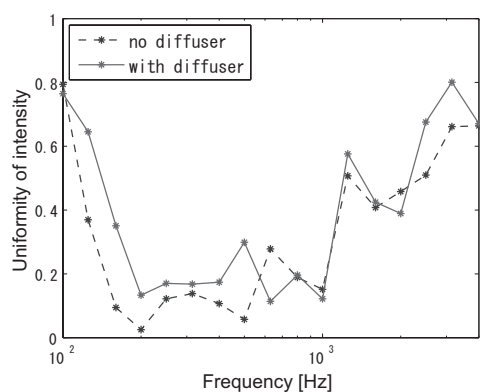


Fig. 6 Uniformity of intensity at microphone position 1, azimuthal angle .

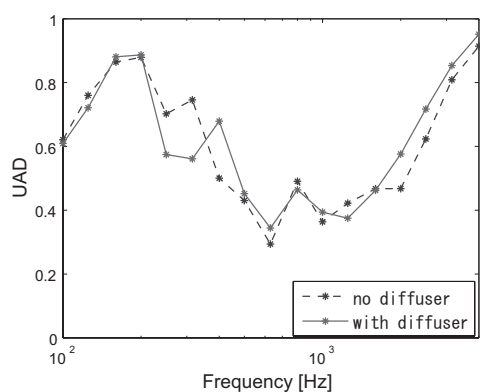


Fig. 7 Uniformity of number of arrival (UAD) at microphone position 4, azimuthal angle .

4 まとめと今後の課題

拡散体の設置による音場の変化についての検討をインテンシティを用いた反射音到来方向推定により行った。到来方向の均一性を示

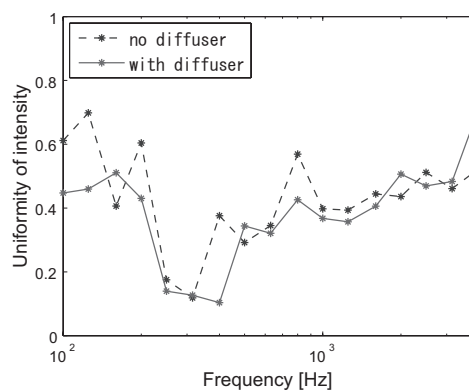


Fig. 8 Uniformity of intensity at microphone position 4, azimuthal angle .

す指標 UAD を導入し、これがヒストグラムの極座標表示と感覚的に対応する可能性が示された。また、評価指標として UAD を用いた場合、インテンシティの大きさを用いた場合に比べて壁面付近の測定点においては拡散体の有無による差異が見えやすくなった。これは、今回実験を行った室が小空間であること、拡散体の吸音率が高かったことなどが影響していると考えられる。今回は室全体の評価ではなく、ある測定点における特性の変化について検討を行った。今後は、拡散体を設置した場合、音場全体がどのように変化するのか、また小空間においてどのような指標が適当であるのかについて実験を通して明らかにしていく必要がある。

参考文献

- [1] 佐久間俊哉, 壁面の拡散性の解析及び評価法, 日本音響学会誌, Vol. 61(1), pp.39-44, 2005 .
- [2] 坂本慎一他, ホールの室形および壁面形状の違いによる音響効果の差異 その1, その2, AES 東京コンベンション 2001 予稿集, p.64-67, p.68-71, 2001 .
- [3] 藤原恭司, 音場の拡散性と壁面の拡散反射性, 日本音響学会誌, Vol. 53(4), pp. 301-305, 1997 .
- [4] 羽入敏樹他, 壁面の拡散性と室内音場の拡散性の関係, 建築音響研究会資料, AA2007-19, 2007 .
- [5] F.J.Fahy 著, 橋秀樹訳 “サウンドインテンシティ,” オーム社, 1998 .