

小空間音場の拡散性に室仕様が及ぼす影響について

-波動音響数値解析による検討-

The Acoustical Effect of Room Specifications on Diffusivity in Small Enclosures

学籍番号 086739
氏名 江田 和司 (Eda, Kazushi)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. 序

1.1 研究背景 音響に特別な配慮が必要な空間は音楽ホールのような大規模なものだけでなく、スタジオのような小規模なものも存在する。小空間音場では固有モードの影響が大きく、低周波数域の制御が室内音響設計時の大きな課題となる。固有モードへの影響要因として室形状、吸音面配置、壁面形状等が挙げられる。室形状の影響は特に大きく、室寸法比の最適化に関する検討は多数存在する[1]。しかし乍ら室形状の変更は建築時の負担となる為、室仕様の比較的軽微な配慮で音場を改善することが望まれる。それには、吸音面配置、壁面形状、家具配置といった室仕様が小空間音場に及ぼす影響に関する仔細な知見が必要である。

1.2 研究目的 小空間の室内音響設計スキームの確立を目指し、室仕様が音場に及ぼす影響に関する知見を、音場の拡散性に着目しながら先進的技術である波動数値解析を用いて定量的に得ることを目的とする。尚、本研究における検討対象の容積は 100 m^3 程度までとする。

2. 壁面拡散・吸音面偏在が音場に及ぼす影響

小空間における音響拡散の現象把握のため、拡散性が低いとされる吸音面偏在室を対象に、拡散体の有無・サイズの影響に関する検討を行う。

2.1 検討方法 直方体室と点音源からなる解析モデルを Fig. 1 に示す。境界条件は、全面剛 (rigid: 垂直入射吸音率 $\alpha = 0.01$ 相当の実音響インピーダン

ス)、天井のみ吸音 (absorp: $\alpha = 0.5$ 相当) の2つを設けた。拡散体は、Fig. 2 に示す矩形拡散体 (small: 高さ 0.1 m, 周期 0.2 m)、及びその周期が2倍 (middle)、4倍 (large) の拡散体を設けた。拡散体を音波が鉛直方向に拡散する向きに設置することとし、拡散体なし (noDiff)、長手方向壁面2面に設置したもの (2wallDiff)、全壁面に設置したものの (4wallDiff) の3条件を設けた (middle, large は 4wallDiff のみ)。周波数応答のための受音点 R と空間分布のための受音面3面 (XY, XZ, YZ) を設定した。計算には、定常応答解析には高速多重極BEMを、過渡応答解析には有限体積法を用いた。

2.2 結果と考察

拡散体周期と解析周波数の関係 受音点 R における周波数応答を Fig. 3 に示す。一般に拡散体の周期に対し音波の波長が同程度かそれ以下となる場合に散乱されると言われるが、本計算例では拡散体周期に対応する周波数 (small: 1719, middle: 859, large: 429 Hz) より低域においても拡散体の有無による影響がみられる。また、その差は応答のずれだけでなくピーク・ディップの有無としても現れている。特に天井吸音時に 80 cm 周期の拡散体を設置した場合に応答の平坦性が極めて向上している。

音場の拡散性評価 室内音場の音響エネルギーの偏在の程度を評価する指標として分散値を音源の強さで基準化した指標 $NV[2]$ を算出した。受音面 XY に対する NV をポテンシャルエネルギーの $1/3$

オクターブバンド値から算出した (Fig. 4). 天井剛では拡散体の影響は小さいが, 天井吸音時では 80 cm 周期の拡散体の設置による影響が見られる.

3. 柱・梁・家具が音場に及ぼす影響

前章では波長に比べて著しく小さな凹凸でも小空間音場に影響を及ぼすことがわかった. 本章では特に家庭の居室を想定し, 柱・梁・家具の形状が小空間音場に及ぼす影響について検討する.

3.1 検討方法 直方体室とスピーカーを模擬した音源からなる基本解析モデル (Normal) を Fig. 5 に示す. 柱・梁・家具の種類及び配置方法は Fig. 6 に示す. 境界条件は, スピーカーの全面に $\alpha = 0.01$ 相当, 振動面に振動速度を与えた. その他は $\alpha = 0.15$ 相当とした. 計算には高速多重極 BEM を用いた. 評価は, 代表受音点 R の周波数応答関数 (FRF) 及びその平坦性 (SD_{FRF} , 式(1)), 音圧レベル分布及びその平坦性 (SD_{space} , 式(2)) で行った.

$$SD_{FRF} = \sqrt{\frac{1}{N_b} \sum_j^{N_b} (L_{ij} - \bar{L}_j)^2}, \quad \bar{L}_j = \frac{1}{N_r} \sum_i^{N_r} L_{ij} \quad (1)$$

$$SD_{space} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_i^{N_r} (L_{ij} - \bar{L}_i)^2}, \quad \bar{L}_i = \frac{1}{N_b} \sum_j^{N_b} L_{ij} \quad (2)$$

但し, L_{ij} : 受音点 i における j 番目のバンドレベル値, N_b : バンド数, N_r : 観測点数. 評価は全て 2 Hz 毎に求めた応答から算出した 1/12 オクターブバンド値を基にした.

3.1 結果と考察 受音点 R における FRF 及びリスニングエリアにおける SD_{space} を Fig. 7 に示す. **柱の影響** 前壁配置 (c_f) の場合には高い周波数域に影響を及ぼし, 200 Hz 帯域以上で拡散性が向上している. 一方の後壁配置 (c_b) では影響が小さいため, 音源に近い位置の影響が大きいと考えられる. **梁の影響** 配置位置によらず FRF はピーク・ディップの位置は変化するが影響は小さい. SD_{space} への影響は柱と同程度だが, 影響の良否は言えない. **家具の影響** 箱型家具 (volume) は位置によらず広帯域に影響がある. 家具の厚さの違いによる影響は傾向が類似するが, 程度は厚い程大きい.

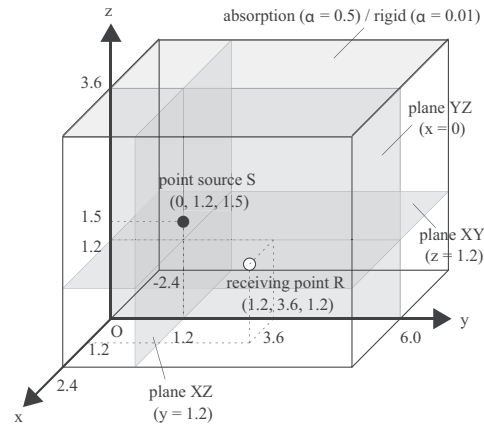


Fig. 1: A rectangular room with a point source.

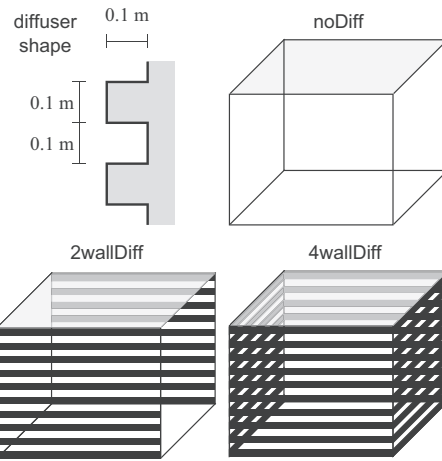


Fig. 2: Diffuser shape and configuration of diffusers.

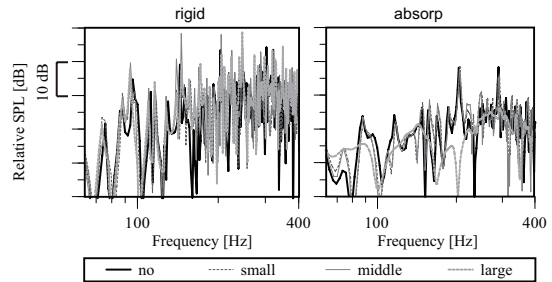


Fig. 3: Comparison of FRF at R on size of diffusers.

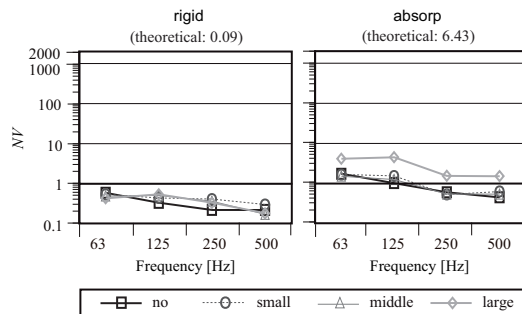


Fig. 4: NV for the receiving plane XY.

配置位置の影響は、隅部と全幅で類似した傾向を示し、中央配置とは異なる。Normal からの SD_{space} 変化量を全帯域で平均すると、v20_bc で-0.44, v20_bs で-0.27, v20_w で-0.60dB と隅部より中央で改善した。また、棚型家具は図を省略するが影響は微小だった。尚、FRF の平坦さの程度 SD_{FRF} については、代表受音点 R とその近傍の 8 点で算出した。Normal からの変化量を評価したが、既述の検討結果と概ね同様の傾向を示した。

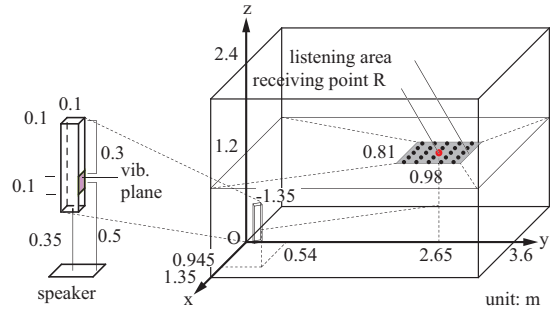


Fig. 5: A rectangular room with a source.

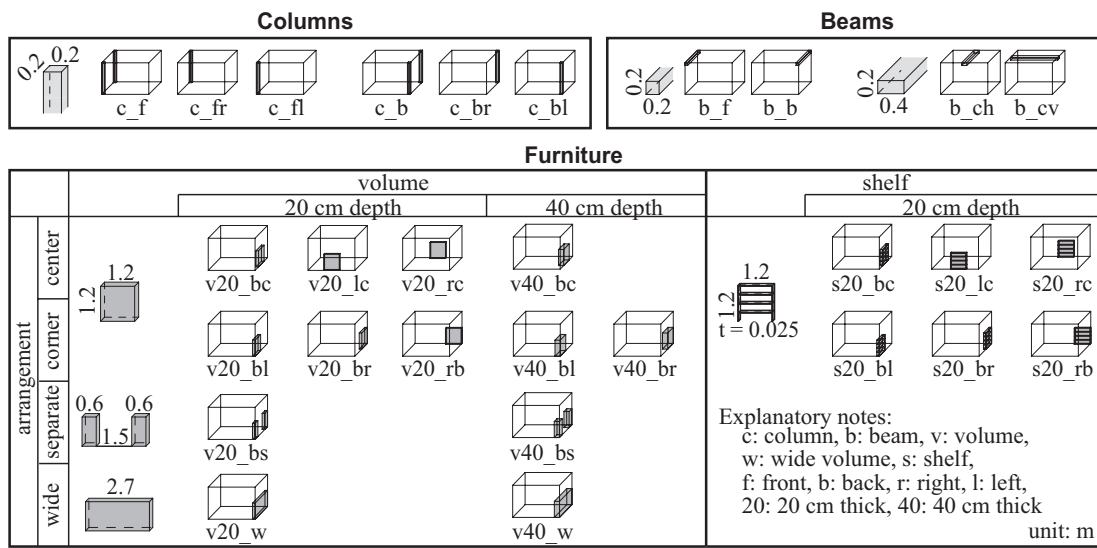


Fig. 6: The analysis cases.

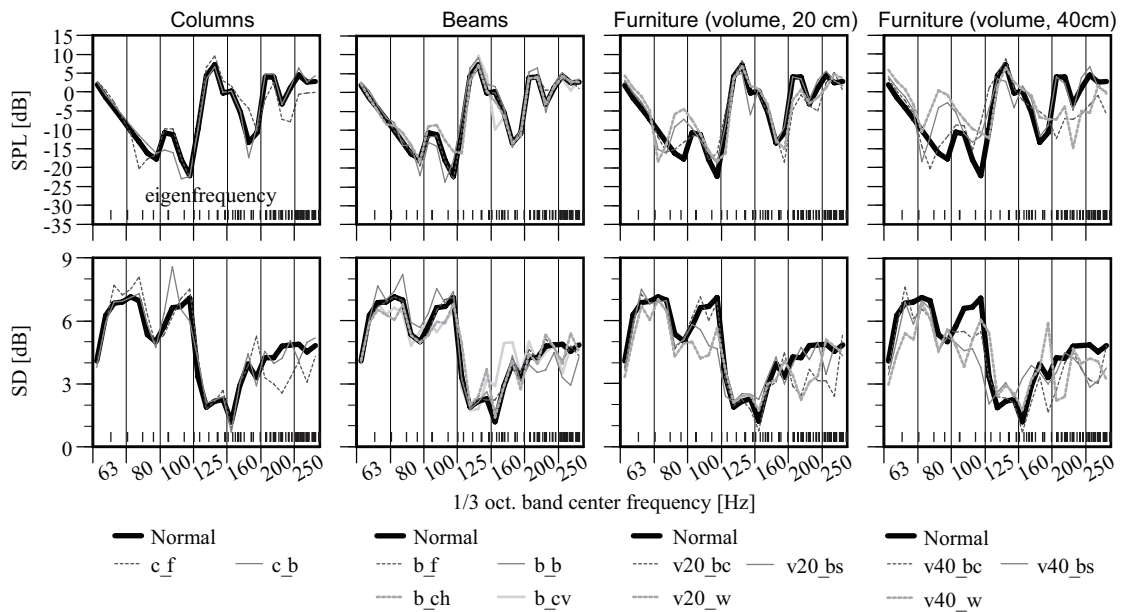


Fig. 7: FRFs at R, and SD_{space} in the listening area.

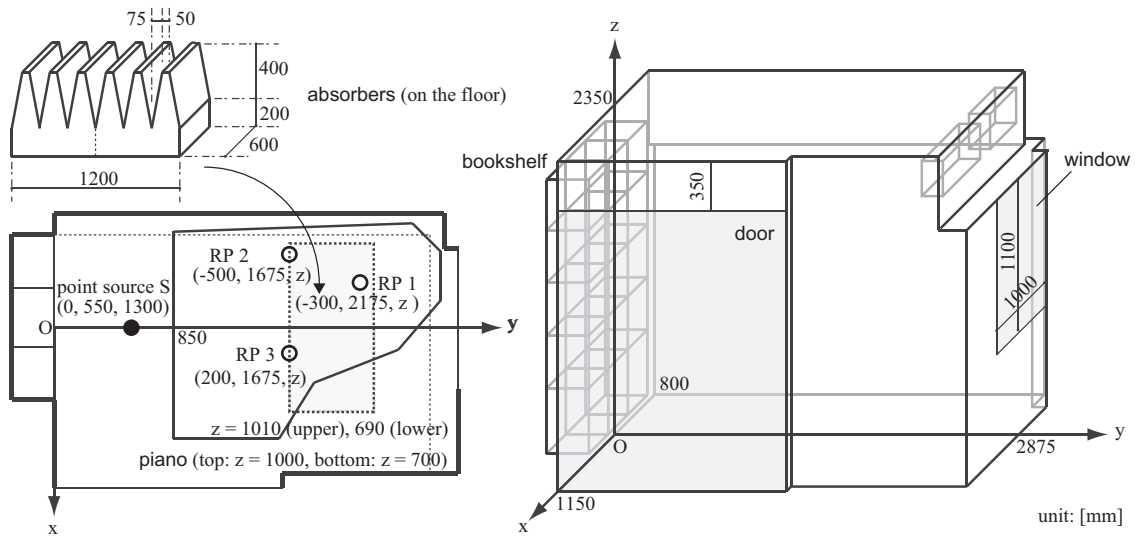


Fig. 8: An analysis model with a piano and absorbers.

4. 実音場における検討

前章までの応用として実音場を対象とした検討を行う。ピアノ練習室を対象としてインパルス応答測定を行う。次に波動数値解析により室仕様が音場に及ぼしている影響について検討を行う。

4.1 検討方法 ピアノと楽譜棚を有する基本室形状 (no) を Fig. 8 に示す。測定は相反則により音源は演奏者頭部位置、受音点はピアノの上下面近傍に3点ずつ設置した。吸音材を配置した場合 (abs) の測定も行った。波動数値解析による検討は高速多重極BEMを用いて、no, absの他に、柱・梁を除いた場合 (cb)、ピアノを除いた場合 (piano)、楽譜棚を除いた場合 (shelf)、吸音材を床4隅に分割して配置した場合 (abs_corner) を計算した。

4.2 結果と考察 周波数応答関数を Fig. 9 に示す。実測と計算の結果 (上段) は概ね一致している。室仕様を変更した場合の結果 (下段) を見ると、それぞれの仕様が音場に影響を及ぼしていることがわかる。吸音材の位置による影響はあまり見られない。

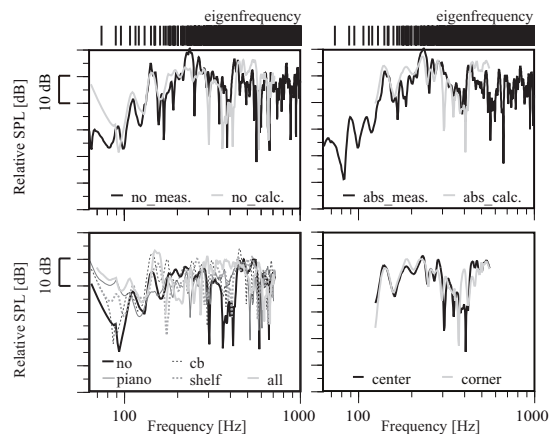


Fig. 9: Frequency responses.

5. 総括

本研究では、小空間の室内音響設計スキームの確立を目指し、室仕様が音場に及ぼす影響に関する知見を得ることを目的として波動音響数値解析を用いて検討した。波長に対して著しく小さな凹凸であっても小空間音場に影響を及ぼすことを示した。さらに、その配置位置によっても影響を及ぼす程度や周波数帯域が異なることがわかった。本研究で得られた物理量と聴感印象評価との関係を解明することは今後の課題である。

参考文献

- [1] 鮫島他, 日本建築学会計画系論文集, **511**, 9-14 (1998).
- [2] T. Yokota, *et al.*, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **21(5)**, 283-285 (2000).