

家具・柱・梁が小空間音場に与える影響

50075 木村亮祐

1. 研究の背景と目的

近年、音響機器の家庭への普及に伴い、音場の質の向上が求められている。住宅居室のような小空間では、室の固有モードの影響により、特に低周波数域の制御が問題となる。低音域の制御には吸音を用いることも多いが、既往研究では、小さな凹凸が低域に影響を及ぼすことも示唆されている。そこで、あまり影響の考慮されていない家具・柱・梁に着目し、その大きさによる拡散効果や、モードへの影響による音場改善の可能性を波動数値解析により検討し、効果的な家具の配置や、既存の柱・梁に対する適切な配置計画を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 検討方法

2.1 解析モデル 検討対象は Fig. 1 に示す六畳間 (2.7m × 3.6m × 2.4m) とし、実際の音の再生・聴取を想定した設定をする。音源形状はスピーカーを模擬し (Fig. 2)、振動面に振動速度 1 を与えた。境界条件は、壁面、家具・柱・梁、一律で吸音率 0.15、スピーカーは全面 0.01 とした。観測領域は代表受音点 (聴取点) を通る z = 1.2 平面に設け、聴取点近傍を聴取エリアと見なし (area_N)、area_N を含むその外側の矩形観測領域を area_W として、観測点は area_W 内に 20cm 間隔で 117 点設けた。計算には高速多重極 BEM を用い、解析周波数域は 56Hz (63Hz 1/3 oct. band 下限) ~ 280Hz (250Hz 1/3 oct. band 上限) とした。

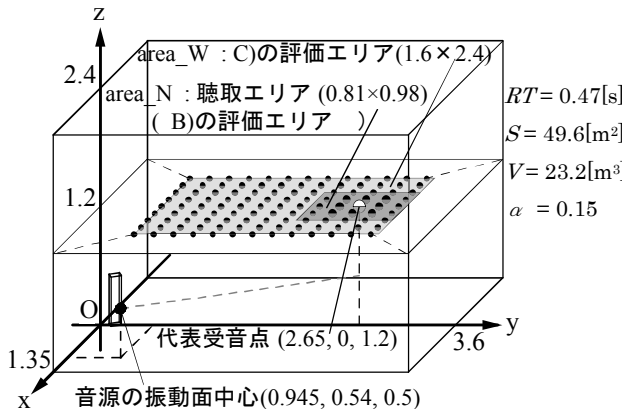


Fig. 1: 解析基本条件

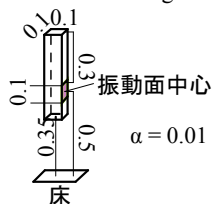


Fig. 2: 音源モデル

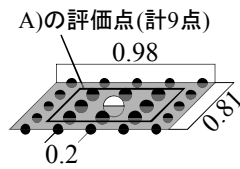


Fig. 3: area_N

2.2 解析ケース 柱や家具などの厚み・張り出しは 20cm を基準とした。家具は volume 系と shelf 系の 2 タイプについて、更に volume 系については、40cm 厚のものをいくつか解析した。解析を行った全ケースを Fig. 4 に示す。

2.3 評価方法 音の聴取という目的に沿えば、A) 聴取点における周波数応答のフラットさ、B) 聴取エリアにおける音圧分布の均一さ、の 2 つについて評価するべきであるが、今回は C) 室広範囲の音圧の均一さについても評価する。空間的な音圧分布の平坦さの指標を “空間偏差”、ある点での周波数応答の平坦さの指標を “周波数応答偏差” と定義し、その算出法を示す。

$$j \text{ 番目のバンドの空間偏差} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (L_{ij} - \bar{L}_j)^2} \quad (1)$$

$$\text{観測点 } i \text{ の周波数応答偏差} = \sqrt{\frac{1}{B} \sum_j (L_{ij} - \bar{L}_i)^2} \quad (2)$$

$$\bar{L}_j = \frac{1}{N} \sum_i L_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{L}_i = \frac{1}{B} \sum_j L_{ij} \quad (4)$$

ただし、 L_{ij} : 観測点 i における j 番目のバンドレベル値、 B : バンド数 (1/12 oct. band で 27)、 N : 対象観測点数、である。そして、評価指標を以下のように決定した。

- A) Fig. 3 の 9 点における 1/12 oct. band 周波数応答偏差
- B) area_N の 1/3 oct. band 空間偏差 (25 観測点)
- C) area_W の 1/3 oct. band 空間偏差 (117 観測点)

3. 結果と考察

3.1 家具が空間偏差に与える影響

3.1.1 壁面中央配置同士の比較 20cm 厚 volume 形状の 3 ケースで area_W の分布図を比較したところ、家具がモードの腹にある場合に応答のずれが生じ、節にある場合生じない傾向だった。これより、常にモードの腹になる室隅部にある家具は音場への影響が大きい可能性が示された。

3.1.2 室隅部配置と壁面中央配置の比較 後壁の 20cm 厚家具が音場に与える影響を比較した。v20_bs は、家具体積が等しい v20_bc より広範囲、広帯域に作用している (Fig. 5)。また area_W の分布図では、体積の異なる W20 と v20_bs とが類似していた。Fig. 6 に分布図を数例載せた。

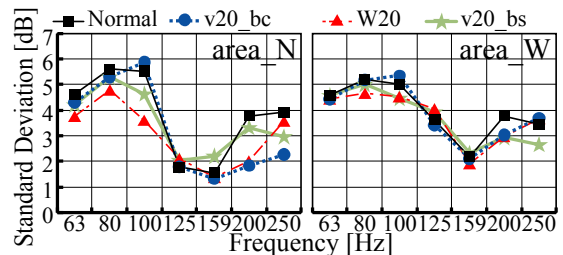


Fig. 5: 1/3 oct. band 空間偏差 (後壁 20cm 厚家具)

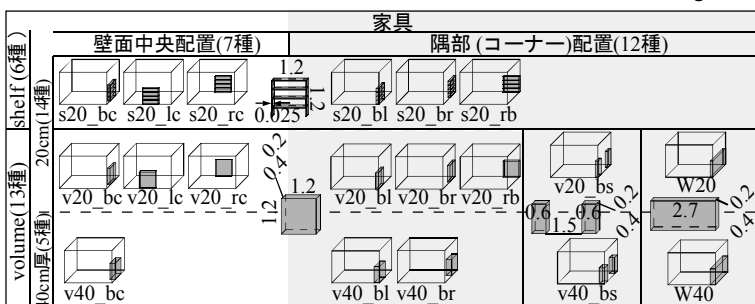
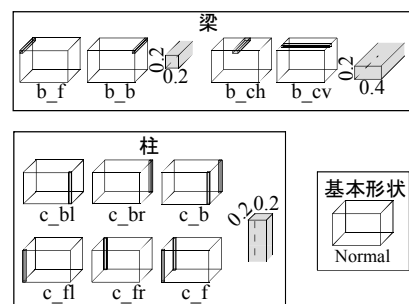


Fig. 4: 解析ケース



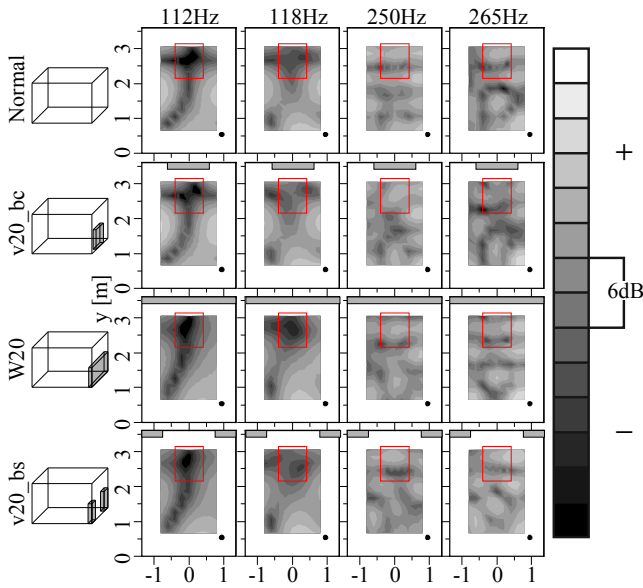


Fig. 6: area_W の 1/12 oct. band 相対音圧レベル分布

3.1.3 厚みによる影響 いずれも後壁面中央配置の v20_bc (20cm 厚) と、v40_bc (40cm 厚) とで空間偏差を比較したところ、v40_bc では area_N の低域にも影響を与えている (Fig. 7)。しかし依然、area_W への影響はそれほど大きくない。

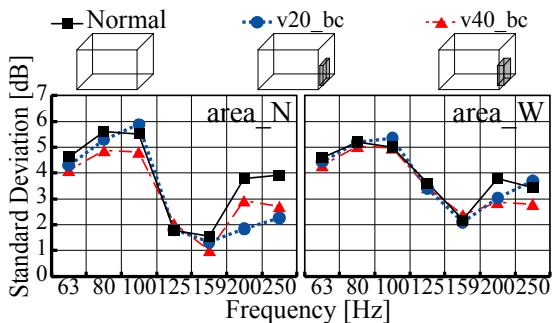


Fig. 7: 1/3 oct. band 空間偏差 (後壁面中央 20, 40cm 厚家具)

3.1.3 shelf 形状と volume 形状の比較 shelf 形状は、同外形の volume に比べ大幅に影響度が低下した。しかし、音源近くである左側壁中央配置の s20_lc のみ例外で、v20_lc と極めて類似した空間偏差の挙動を示した。

3.2 家具による area_N の 9 点の周波数応答偏差の比較

改善・悪化の変化を Fig. 8 に示す。40cm 厚家具では多くの観測点で改善が見られるが、W40 は悪化している点も多く、他形状のようなより凹凸の多い室形状の方が、悪化が生じにくいと思われる。対して、20cm 厚のものでは改善箇所は少ない傾向である。ここで、いずれも偏差 1dB 以上の改善が見られる 40cm 厚家具の、代表受音点における周波数応答を示す (Fig. 9)。△は固有周波数である。細かな凹凸が増えてはいるが、観測帯域全体で見ると、3 ケースともよりフラットな水準に落ち着いている。

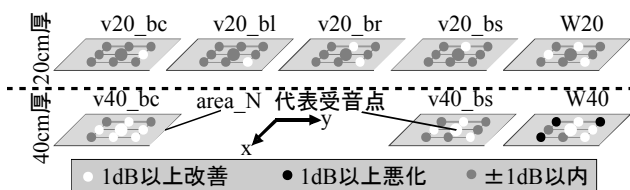


Fig. 8: 周波数応答偏差の Normal からの変動

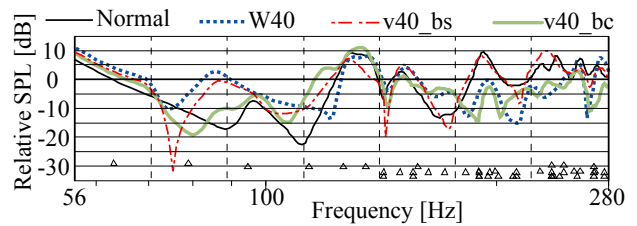


Fig. 9: 代表受音点における周波数応答

3.3 柱による空間偏差の影響 前壁隅部配置の結果を Fig. 10 に示す。200Hz 以上、特に、area_W においても変化が見られ、3.1.2 で見たように、室隅部形状の変化は空間偏差に与える影響が大きいことがわかる。個々のデータでは、音源背後の柱 (c_fl) の影響が大きい。尚、後壁隅部の柱も area_N に影響したが、いずれも c_fl より影響は小さかった。また、後壁左右位置による影響度合いに差は認められなかった。室隅部に柱がある部屋では、柱のある隅にスピーカーを置いたほうが良いと言える。

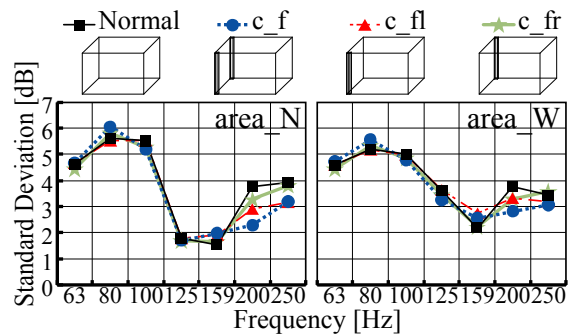


Fig. 10: 1/3 oct. band 空間偏差 (前壁隅部の柱)

3.4 梁による空間偏差の影響

前後の梁の結果を Fig. 11 に示す。まず、前側天井位置 (b_f) の影響が非常に小さい。理由として直接音を受けにくいことが挙げられ、3.3 で、音源に最も近い柱 (c_fl) の影響が大きかったことに対応する。後ろ側天井位置 (b_b) は高域で改善、低域で悪化しているが、いずれも分布図に変化は認められなかった。一方、天井中央の梁 (b_ch, b_cv) を比較したところ、全く改善は見られなかった。

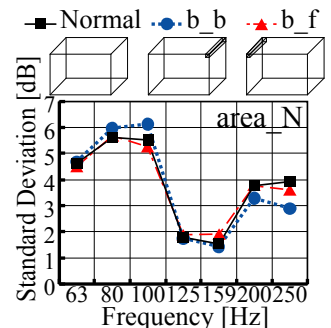


Fig. 11: 1/3 oct. band 空間偏差 (前後の梁)

3.5 柱・梁の配置による周波数応答偏差の比較

全体として変化は僅かで、本検討の張り出し寸法 (20cm 四方程度の断面形状) では効果が無いことがわかった。

4. まとめ

家具・柱・梁が小空間音場に与える影響を確認した。モードの腹の位置における形状変化の影響が大きく、空間偏差については、小さな家具でも室の隅部では広範囲・広帯域に影響を与えやすいこと、対して壁面中央では、かなり厚みのある家具でも音場広範囲への影響は小さいこと、棚形状は音源近く以外では影響が小さいこと、20cm 四方程度の柱の張り出しでも空間偏差に影響し、特に音源に近い位置 (音源の背後) は影響が大きいこと、などがわかった。周波数応答偏差は、やや大型の家具において改善効果が期待できることがわかった。