

2006 年度 修 士 論 文

室内騒音源に対する局所吸音対策の効果について
Effect of local arrangement of absorbing surfaces for a noise
source in rooms

石 上 英 輔
Ishigami, Eisuke

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系 社会文化環境学専攻

目次

第 1 章 はじめに

| | |
|-----------------|---|
| 1.1 研究の背景..... | 1 |
| 1.2 既往関連研究..... | 3 |
| 1.3 研究の目的..... | 4 |
| 1.4 本論文の構成..... | 5 |

第 2 章 室内音響エネルギー密度の予測式の補正

| | |
|----------------------------------|----|
| 2.1 拡散音場の性質と残響理論..... | 6 |
| 2.1.1 室内音場について..... | 6 |
| 2.1.2 拡散音場の性質..... | 6 |
| 2.1.3 残響理論..... | 7 |
| 2.2 Eyring の音響エネルギー密度予測式の補正..... | 9 |
| 2.3 立体角平均反射率の補正..... | 11 |

第 3 章 実験概要

| | |
|--------------------|----|
| 3.1 実験構成..... | 13 |
| 3.2 実験システム..... | 14 |
| 3.2.1 再生系と集音系..... | 14 |
| 3.2.2 吸音面..... | 15 |
| 3.2.3 実験室仕様..... | 17 |
| 3.3 実験方法..... | 21 |
| 3.3.1 実験の流れ..... | 21 |
| 3.3.2 実験 1 概要..... | 22 |
| 3.3.3 実験 2 概要..... | 25 |

第 4 章 実験 1

| | |
|------------------------------|----|
| 4.1 実験 1 概要 (再)..... | 29 |
| 4.2 実験結果と考察..... | 30 |
| 4.2.1 吸音面パターン別の音圧レベル減衰量..... | 30 |
| 4.2.2 立体角と音圧レベル減衰量の関係..... | 36 |
| 4.2.3 結果と考察..... | 38 |
| 4.3 まとめ..... | 41 |

第5章 実験2

| | |
|---|----|
| 5.1 実験2 概要(再) | 42 |
| 5.2 実験結果と考察 | 44 |
| 5.2.1 室内に吸音面が無い状態を基準とした室内平均音圧レベル | 44 |
| 5.2.2 結果と考察 | 48 |
| 5.2.3 室内に吸音面が無い状態を基準とした室内平均音圧レベル(カタログ値吸音率を用いた予測値) | 50 |
| 5.2.4 結果と考察 | 58 |
| 5.3 まとめ | 59 |

第6章 総括

| | |
|-----------------|----|
| 6.1 研究の総括 | 60 |
| 6.2 今後の課題 | 61 |

参考文献

謝辞

付録 A 修士論文要旨

付録 B 学会発表論文

第1章 序論

1.1 研究の背景

建築物内部では、さまざまなものが騒音源となりうる。例えば機械室であれば機械・ダクト、オフィスであればOA機器といったものであり、それらに対して次に述べる騒音対策が行われる。

室内騒音源に対する騒音対策は基本的に「1 騒音源対策 2 配置計画 3 遮音計画 4 吸音計画」の順序で、騒音源に近いところから行われる^[13]。

具体的にはまず、騒音源対策として騒音の発生を抑制させる。次に配置計画として、問題となる音源と静かな環境を要求される室とはできる限り距離を離す。さらに遮音計画として音源から受音点への伝達経路に、必要減衰量を十分満足するような障壁、消音器などの有効な遮音施設を計画する。最後に吸音計画として、音源、受音室およびその伝達経路となる廊下などの空間に、吸音処理によって騒音のエネルギーを吸収させるといった具合である。

吸音処理の例として、壁面を吸音性にしたり、天井から吸音体を吊り下げるなどがあり、反射音や拡散音を吸音して室内の音圧レベルを低減させることが目的である(図 1.1)。

実際に室内で騒音防止設計として吸音処理を行うときには音源のパワーレベルおよび基本設計時の室内の総吸音力を求め、計算式により騒音を目標値まで低減するために必要な吸音力を算出し、吸音材料を決定する方法がとられる(図 1.2)。

このとき、室内を拡散音場と仮定した音響エネルギー密度予測式が用いられる。拡散音場の仮定とは

1. 音響エネルギーが室内全体に均一に分布している。
2. どの点においても音の進行方向はあらゆる方向に一様である。

というものである。

この仮定が成り立つとき、室内では音源から供給されるエネルギーと壁面が吸収するエネルギーが常に等しい。この関係から室の音響エネルギー密度を低減させるためには、室の吸音力を大きくする必要があることがわかる。そのため、実際の吸音処理でも音源室または受音室の室表面全体を吸音材で覆い、吸音力を増大させることもある。

一方で当然ながら、室の一部への局所的な吸音処理も一般的に行われている。このとき、音源と吸音面の位置関係は室の吸音効果に影響を及ぼすことが予測される。具体的には音源に吸音面が近いほど吸音効果は大きくなるというもので、実務でも経験的に音源近傍に吸音面は施工される。

しかし、前述した拡散音場の仮定に基づく室内音響エネルギー密度予測式だと吸音面が室内のどの位置に配置されていても、等しい吸音力をもつことになるので、音源と吸音面の位置関係が吸音効果に与える影響を定量的に予測することができない。

そこで藤井らは、室内の無指向性音源からの直接音は、音源から吸音面を見込む立体角の割合で吸音面に入射するという考え方から、Eyringの残響理論に基づく音響エネルギー密度予測式に新たなパラメータ(立体角)を用いた補正式を提案した^{[1][2][3]}。この予測式では、室内の音源と吸音面との位置関係を考慮することで、定量的な室内の吸音効果の予測を可能にしている。

しかし、補正した予測式の検証実験では、基礎的な検討にとどまっており、音源や吸音面の関係について考えられるさまざまな場合を想定した検討を行い、実空間への適用可能性を考える必要がある。

また、騒音源となる物体は、室の壁面や床面近傍に設置されることが多い。その周辺に吸音処理をした場合、壁・床からの反射音の吸音面への入射は吸音効果に大きく影響をもたらすものと考えられる。

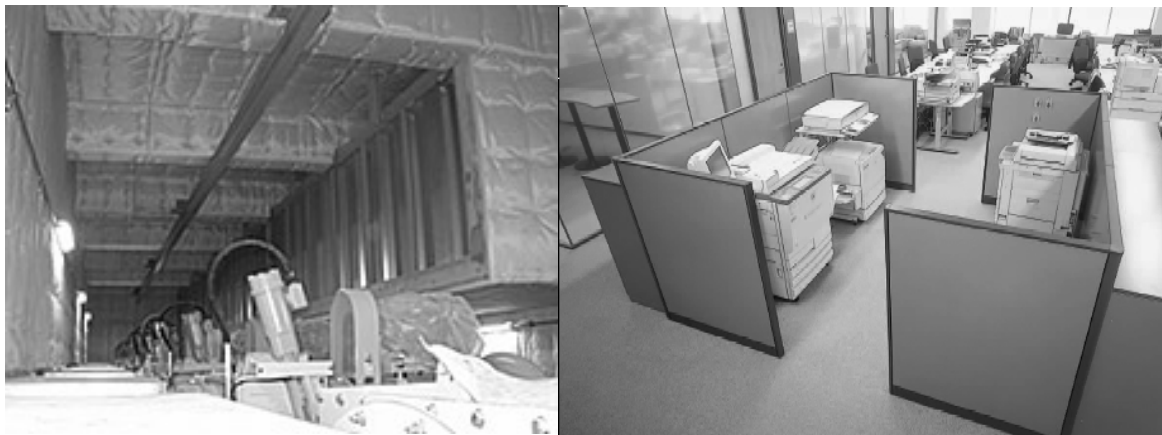


図 1.1：吸音対策例（左：機械室の吸音、右：オフィスの吸音）

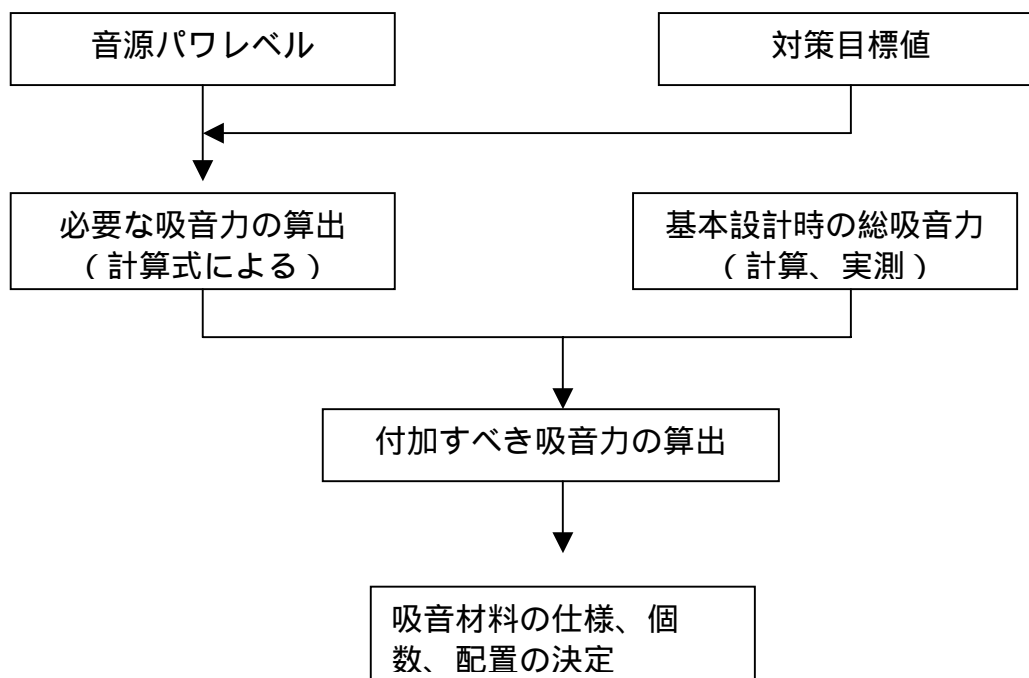


図 1.2：吸音材料の使用計画フロー図

1.2 既往関連研究

拡散音場の仮定は全ての室内で成り立つものではない。また、一般に室内で騒音が問題となる場合、天井は吸音処理が施されることが多く、床には機械や什器などの障害物が置かれるなど、拡散音場の仮定が成立しにくい。よって、そのような部屋での室内音場の予測についてさまざまに研究がなされている。

(平行二平面間での特殊な場合の研究) Kuttruff は工場のように機械などが配置された床や凹凸のある天井面での反射を Lambert の余弦法則に従う散乱反射面と仮定したときの実用的な計算式を提案している^{[9][15]}。伝搬モデルは

- ・ 天井と床からなる平行 2 平面モデル
- ・ 天井高は部屋の奥行と幅に比べて十分に低い
- ・ 天井と床の表面で音は鏡状反射せず、表面の凹凸により拡散的に反射するという仮定のもとに提案された。

畑中ら^[5]はこの伝搬モデルの予測式と拡散音場を仮定した Beranek の予測式とを 4 つのオフィスで実測した音圧レベルと比較し、その中の 3 つの音場で Kuttruff の伝搬予測式とよい対応が見られた。

(音源と吸音面の位置関係についての研究) 音源と吸音面との位置関係が室内音場に与える影響については、前述した藤井ら^{[1][2][3]}の研究がある。Eyring の音響エネルギー密度予測式に、音源から吸音面を見込む立体角をパラメータとして補正した予測式を提案している。またその実証実験を行い、予測式の妥当性を示している。

(室内の吸音材配置と残響時間についての研究) 牛山ら^{[7][8]}は床、床・天井、全面吸音と吸音部位を変化させて残響時間に及ぼす影響を検討した。床や床・天井を吸音した室では中高音域において低音域より残響時間が長くなる傾向があり、壁面を傾斜させたり拡散体の設置することなどで回避できることを述べている。

また、小林ら^{[5][6]}は矩形室において天井・壁・床で吸音部位を変化させて残響時間に及ぼす影響を実験室実験によって検討した。同量の吸音材を用いても、設置位置や分散させることにより残響時間は変化し、カタログ値吸音率の効果を得られない場合もあることが確認された。

1.3 研究の目的

以上の背景から、本研究の目的を以下のように設定する。

- 1) 既往研究で提案された、音源から吸音面を見込む立体角をパラメータとした室内音響エネルギー密度予測式の実空間での適用可能性の検証
- 2) 吸音面形状や、音源に対する吸音面角度といった立体角以外の要因が室の吸音効果に影響を与える可能性の検証
- 3) 音源位置を考慮した新たな予測式を提案し、その適用可能性の検証

1.4 本論文の構成

第1章では、室内音響における吸音対策の役割、現在の幾何音響による室内音響エネルギー密度の予測式・予測手法の問題点など研究の背景を整理し、研究の目的を設定する。また、本論文の構成を示す。

第2章では、残響理論、室内音響エネルギー密度の予測に用いられている Eyring の予測式と既往研究で提案されている予測式の導出について述べる。その後、室内の音源の位置に着目した予測式の改良部分について述べる。

第3章では、二つの実験の概要について述べる。また、実験システムについて詳細に記す。

第4章では、実験1の結果を述べる。その上で音源から吸音面を見込む立体角の違い、吸音面形状、吸音面角度が室の吸音効果に与える影響を検討する。

第5章では、実験2の結果を述べる。その上で室の壁面や床面近傍に音源を配置した上で、吸音面を見込む立体角を一定として図3.2に示す配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を検討する。さらに、第2章で改良した予測式との対応を検討する。

第6章は、総括であり、本論文の成果、及び今後の課題について述べる。

第 2 章 室内音響エネルギー密度の予測式 の補正

2.1 拡散音場の性質と残響理論

2.1.1 室内音場について

室内で音を発生すると、受信点には音源からの直接音のほかに周囲の壁や天井から数多くの反射音が到来する。すなわち、室内の音場は直接音と反射音群で構成される。この反射音は直接音に対して必ず送れて到達するが、その入射方向、レベルはまちまちである。このような複雑な音場を拡散音場という理想的な音場を仮定することによって、単純化して取り扱うことができる。この音場の性質について次項に述べる。

2.1.2 拡散音場の性質

拡散音場とは第1章で述べたように、

- 1.音響エネルギーが室内全体に均一に分布している。
- 2.どの点においても音の進行方向はあらゆる方向に一様である。

という特徴を持つ音場である。

このように仮定すると音の波動性を無視できるので、音の伝搬を幾何学的に扱うことができる（幾何音響）。この仮定のもとでは回折、屈折、干渉は生じない。

また、拡散音場の基本となる音場内のエネルギー収支は

音場に供給されるエネルギー = 音場から消失するエネルギー
である。

単位時間に全境界面に入射するエネルギーは $cES/4$ である。平均吸音率が $\bar{\alpha}$ であるから、単位時間に全境界面によって吸収されるエネルギーは $cES\bar{\alpha}/4$ である。一方、単位時間に音源から供給されるエネルギーを W とする。

この関係から

$$W = cES\bar{\alpha}/4 \quad (2.1)$$

c : 音速、 S : 室内表面積

定常状態のエネルギー密度を E_0 とすれば

$$E_0 = \frac{4W}{c\alpha S} \quad (2.2)$$

とあらわすことができる。

2.1.3 残響理論

残響理論とは室内の音場を前述した拡散音場や平均自由行路の概念を用いて、単純なモデルとして扱ったもので、現在でも室内音響学のひとつの大きな柱である。

しかしその反面、単純なモデルゆえに実際の音場に対して適用限界が生じてくる。

ここでは、Eyring の残響理論における定常状態の音響エネルギー密度の考え方について示す。

Eyring の残響理論では拡散音場の仮定を発展させ、室内音場を音源からの直接音と境界面からの反射音（鏡像からの寄与）の和として扱う。さらに、反射音を音源の境界面に対する鏡像から放射された波として解釈している。

Eyring は、壁からの反射音は音源の鏡像から出てくるものと考えた。したがって無限に続く反射は、無限に遠くまで鏡像が存在することを意味する。音源が停止すればすべての鏡像も同時に停止するが受音点ではまず音源からの直接音が消え、次に近い鏡像から伝搬してくる音がなくなり、逐次遠方の鏡像からの音が消えていくため段階的に減衰することになる。Sabine が連続的に減衰する（指数減衰）と考えたのに対してこの点が異なる特徴である。

また、Eyring は、音がひとつの壁で反射し、次の壁で反射するまでの統計的な平均値である平均自由行路(mean free path) を導入し、室内の音の反射音の強さを反射回数と吸音率で表した。

すなわち、平均自由行路を p とすると、一つの反射から次の反射までの平均時間は $p/c[s]$ となる。その間に出力 W の音源から発生するエネルギーは $W \cdot p/c$ である。壁の平均吸音率を $\bar{\alpha}$ とすれば、 n 回目の反射音の鏡像の出力は $W(1-\bar{\alpha})^n$ であるから、次の反射までの間に $W(1-\bar{\alpha})^n \cdot p/c$ のエネルギーを発生する。

そこで、室容積 V とすると n 回目の反射音までを含む室内の音響エネルギー密度は

$$E_n = \frac{1}{V} \left\{ \frac{p}{c} W + \sum_1^n \frac{p}{c} W (1-\bar{\alpha})^n \right\} = \frac{Wp}{Vc\bar{\alpha}} \left\{ 1 - (1-\bar{\alpha})^n \right\} \quad (2.3)$$

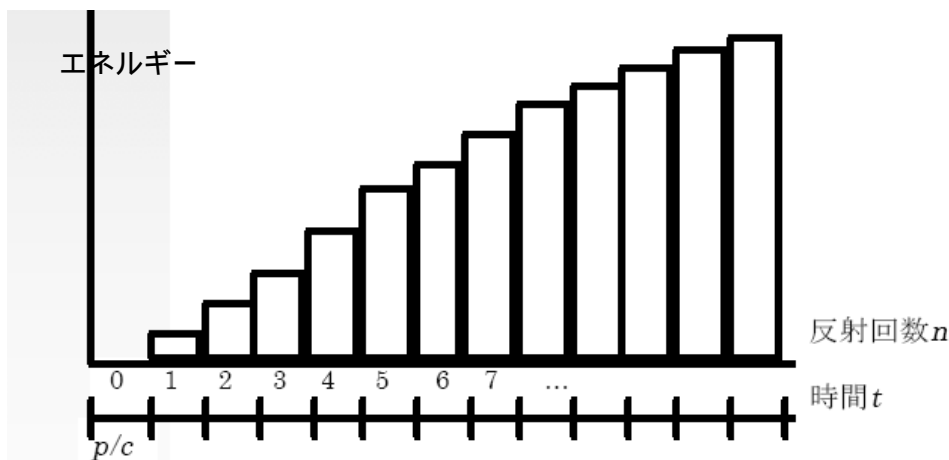


図 2.1 Eyring の残響式の成長過程

定常状態の音響エネルギー密度を E_0 とすると n として $(1-\bar{\alpha})^n$ 0なので

$$E_0 = \frac{Wp}{Vc\bar{\alpha}} \quad (2.4)$$

これは、式(2.2)と対応して

$$\frac{Wp}{Vc\bar{\alpha}} = \frac{4W}{cS\bar{\alpha}} \quad (2.5)$$

ゆえに平均自由行路は

$$p = \frac{4V}{S} \quad (2.6)$$

音がある壁に入射し、そこで反射して次の壁に入射するまでの距離は、一つ一つの反射音それぞれで異なるが、その統計的な平均は式(2.6)のように室容積と室表面積だけから定まり、室の形状には関係しない。室の平均自由行路は室の平均吸音率と共に、室の響きを決める重要な量である。

2.2 Eyring の音響エネルギー密度予測式の補正

完全拡散状態の室内に無指向性点音源を置いた場合の室内平均音響エネルギー密度 E は式(2.3)、(2.4)より下の Eyring 式で表される。

$$E = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + \bar{r} + \bar{r}^2 + \bar{r}^3 + \dots \right) = \frac{Wp}{Vc \cdot (1 - \bar{r})}$$

$$= \frac{Wp}{Vc \cdot \alpha} \quad (2.7)$$

W : 音響出力、 p : 平均自由行路 ($= 4V/S$)、 V : 室容積、 S : 室内表面積、 α : 室内表面平均吸音率、 r : 室内表面平均反射率 ($= 1 - \alpha$)、 S_m : 吸音面の面積 (m^2)、 α_m : 吸音面の吸音率、 r_m : 吸音面の反射率 ($= 1 - \alpha_m$)、 $\bar{\alpha}$: 室内表面平均吸音率 ($= (\alpha \cdot S + \alpha_m \cdot S_m) / (S + S_m)$)、 \bar{r} : 室内表面平均反射率 ($= (r \cdot S + r_m \cdot S_m) / (S + S_m)$)、 c : 音速

音源近くに吸音面がある場合、音源からの直接エネルギーは、吸音面には音源から吸音面を見込む立体角の割合 ($\omega_m / 4\pi$) で入射し、室内表面には室内表面を見込む立体角の割合で入射する。したがって直接エネルギーに対する立体角平均反射率 (一次反射率) r_d は次式で表される。

$$r_d = \frac{(4\pi - \omega_m) \cdot r_0 + \omega_m \cdot r_m}{4\pi} \quad (2.8)$$

α_m : 吸音面の直接音に対する吸音率

r_m : 吸音面の直接音に対する反射率 ($= 1 - \alpha_m$)

α_0 : 室内表面の直接音に対する吸音率

r_0 : 室内表面の直接音に対する反射率 ($= 1 - \alpha_0$)

ω_m : 音源から吸音面を除いた室内表面を見込む立体角 (sr) ($= 4\pi - \omega_m$)

一次反射に対しては立体角平均反射率 r_d を、二次以降の反射には室内平均反射率 \bar{r} を使って、式(2.7)を書き直すと、室内平均音響エネルギー密度は次式となる。

$$E = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + r_d + r_d \cdot \bar{r} + r_d \cdot \bar{r}^2 + r_d \cdot \bar{r}^3 + \dots \right) = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + \frac{r_d}{1 - \bar{r}} \right)$$

$$= \frac{Wp}{Vc} \left(1 + \frac{r_d}{\alpha} \right) \quad (2.9)$$

吸音面の存在が及ぼす室内音圧レベル低下を見積もるために、式(3)を式(1)で除してレベル表示し、減衰量を L とすると下式(2.10)になる。

$$L = 10 \log(\bar{\alpha} + r_d) \quad (2.10)$$

式(2.10)を整理すると

$$\begin{aligned} L &= 10 \log \left[\frac{(\alpha S + \alpha_m S_m)}{(S + S_m)} + \frac{\{(1 - \alpha)\omega + (1 - \alpha_m)\omega_m\}}{(\omega + \omega_m)} \right] \\ &= 10 \log \{1 - (\alpha_m - \alpha) \cdot (\beta - \phi)\} \end{aligned} \quad (2.11)$$

：吸音面の全表面に対する立体角比(= $\omega_m / (\omega_m + \omega)$)、 ϕ ：吸音面の全表面に対する面積比(= $S_m / (S_m + S)$)

と表すことができる。この予測式(2.11)から、吸音面が音源に近く、吸音面の吸音率と室内平均吸音率の差が大きい場合には、室内音圧レベル低減効果が大きくなることがわかる(図2.2)。

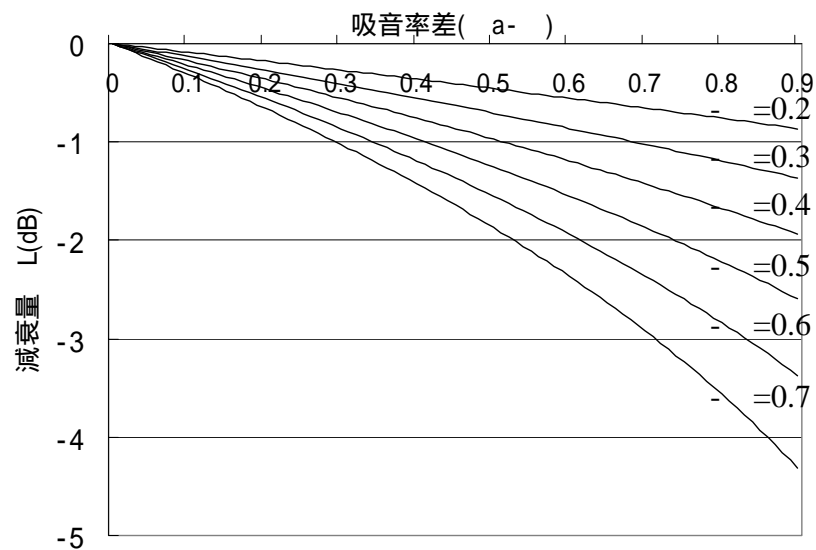


図 2.2 (5)式の吸音率差と減衰量 L の関係

2.3 立体角平均反射率の補正

本研究では拡散音場の仮定の上で、室内で音源が壁や床の近傍にある場合を想定して予測式の補正を行う。

一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角の割合(図 2.3)を、式(2.8)の吸音面に入射する直接音と同様に扱えると考え、立体角平均反射率を次のように補正する。

$$r_d = \frac{(4\pi - \omega_m - \omega_m') \cdot r_0 + \omega_m \cdot r_m + \omega_m' \cdot r_0 \cdot r_m}{4\pi} \quad (2.12)$$

ω_m' : 一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角 (sr)

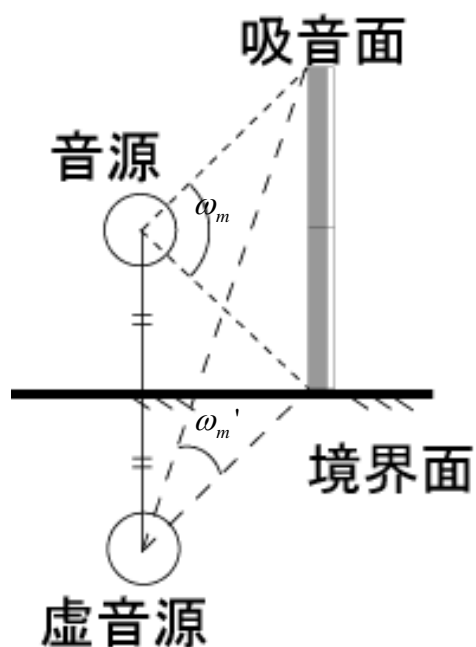


図 2.3 一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角

< 備考 > 音源から吸音面を見込む立体角の求め方

下図のように音源と吸音面が配置されていた場合、音源から吸音面を見込む立体角を計算する。

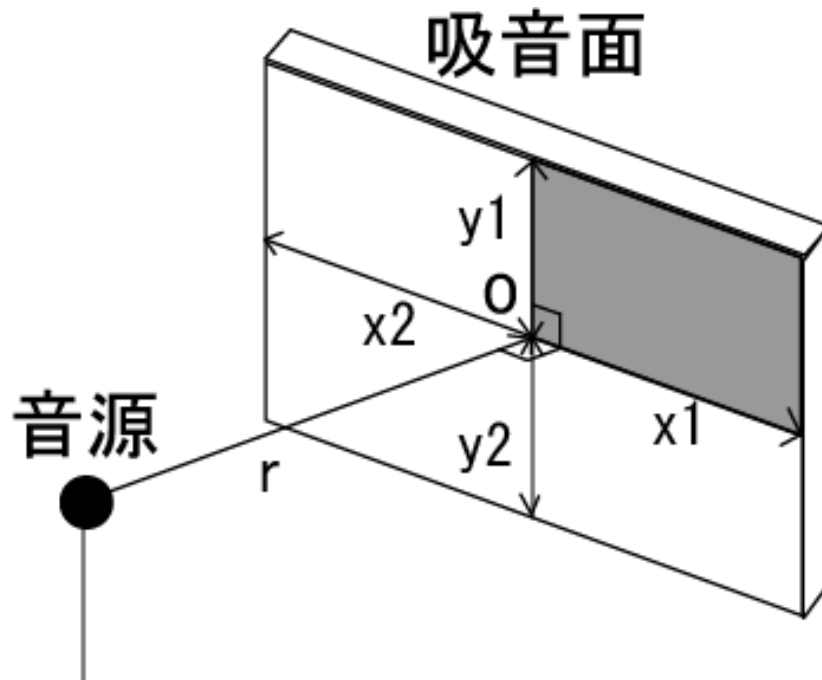


図 2.4 立体角の求め方

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^x \int_0^y \frac{Z}{(X^2 + Y^2 + Z^2)^{\frac{3}{2}}} dx dy \\
 &= \arcsin \frac{XY}{\sqrt{X^2 + Z^2} \sqrt{Y^2 + Z^2}} \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

式(2.13) (導出過程は省略^[14]) の(X,Y,Z)に(x1,y1,r)を代入すると、図 2.4 の灰色部分の立体角を求めることができる。同様に(x1,y2,r)、(x2,y1,r)、(x2,y2,r)を代入し、それぞれのを求めて足し合わせることで吸音面全体の立体角を求めることができる。

第3章 実験概要

3.1 実験構成

二つの実験を残響室（拡散音場の仮定に近い部屋）と一般居室（実空間）でそれぞれ行う。

実験 1：音源を中央に固定して、図 3.1 に示す 3 種類の吸音面の配置パターンで音源 - 吸音面間距離を 0.3m ~ 2.4m に変化させる。その上で、吸音面を見込む立体角ならびに吸音面形状、吸音面への入射角が室内の音圧レベルに及ぼす影響を検討する。

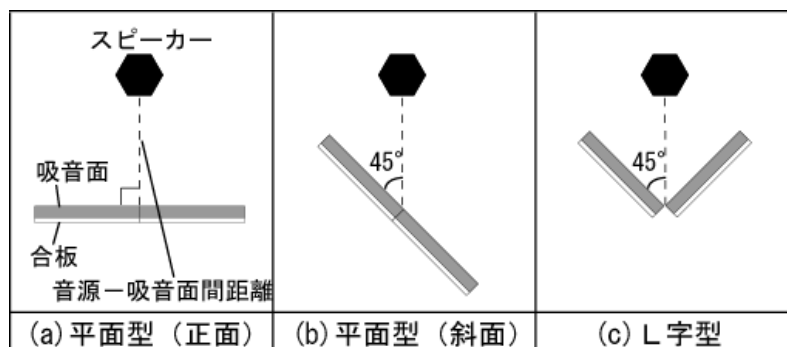


図 3.1：実験 1 の吸音面配置パターン（平面図）

実験 2：室の壁面や床面近傍に音源を配置した上で、吸音面を見込む立体角を一定として図 3.2 に示す配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を検討する。さらに、第 2 章で改良した予測式との対応を検討する。

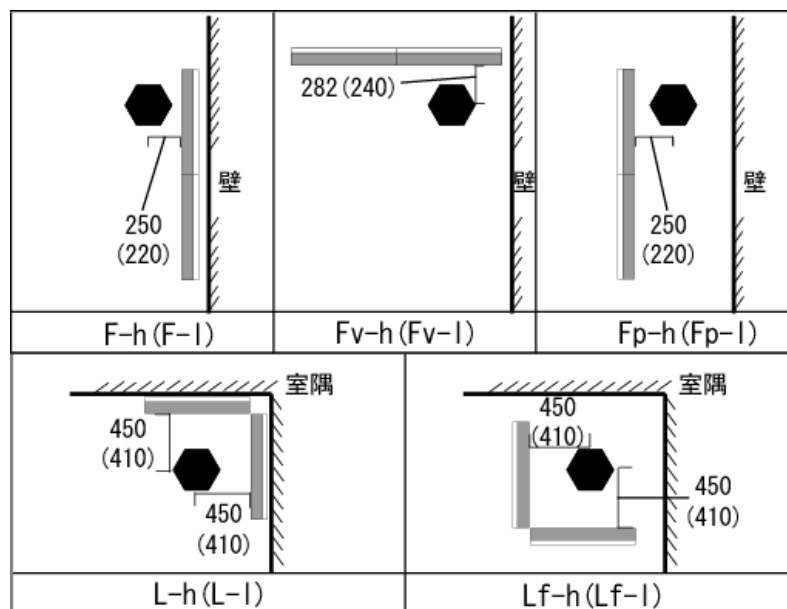


図 3.2(1)(2)：実験 2 の吸音面配置パターン（平面図）

3.2 実験システム

3.2.1 再生系と集音系

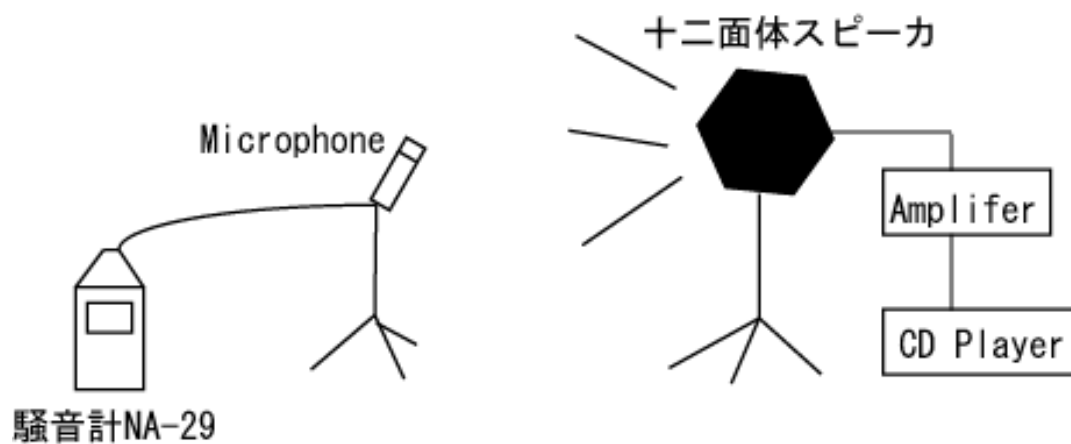


図 3.3 : 再生系と集音系

再生系として以下の機材を用いた。

- ・ CD デッキ DCD - 755 (DENON DCD - 755)
- ・ 無指向性 12 面体スピーカ (Bruel & Kjaer)
- ・ 12 面体スピーカ用パワーアンプ (Bruel & Kjaer)

集音系として以下の機材を用いた

- ・ 精密騒音計 NA-29 (リオン)
- ・ 1/2 インチマイクロフォン (リオン)

3.2.2 吸音面

以下に吸音面の概要を述べる。

- ・ 吸音面には合板（厚さ 12mm）に 32K グラスウール(厚さ 100mm)を接着したパネルを用いた。
- ・ 平面型、L字型の二つの吸音面を使用した。どちらも二つの吸音面（寸法は 900mm × 1200mm）を接合したものであり、表面積は等しい(2.16 m²)。
- ・ 吸音面の寸法は実際にオフィスなどで用いられているパーティションを想定した。
- ・ 実験 1 と実験 2 の-hのパターンでは吸音面中心高さは 1.3m、実験 2 の-lのパターンでは吸音面中心高さは 0.6m となる。このとき吸音面はアングルから外されて下部が床についた状態となる。

使用したグラスウールのカタログ値^[13]の吸音率と、残響室で実寸大の実物を測定した吸音率を表 3.1 に示す。実物実測値の値は 1 を超えているが、これは面積効果によるものであると考えられる。

表 3.1：吸音面の吸音率

| | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| カタログ値 | 1.00 | 0.98 | 0.85 | 0.70 | 0.80 |
| 実物実測値 | 1.43 | 1.33 | 1.40 | 1.39 | 1.40 |

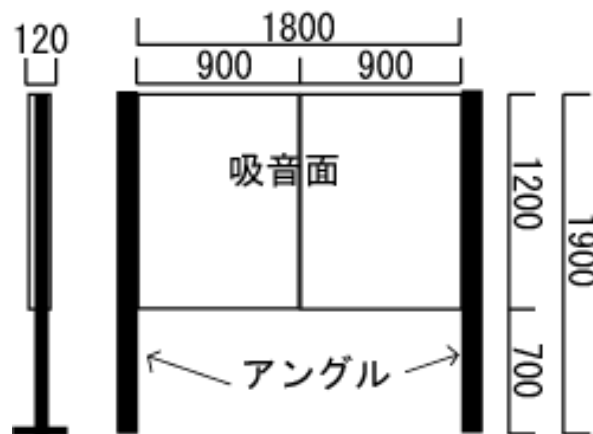


図 3.4：吸音面寸法

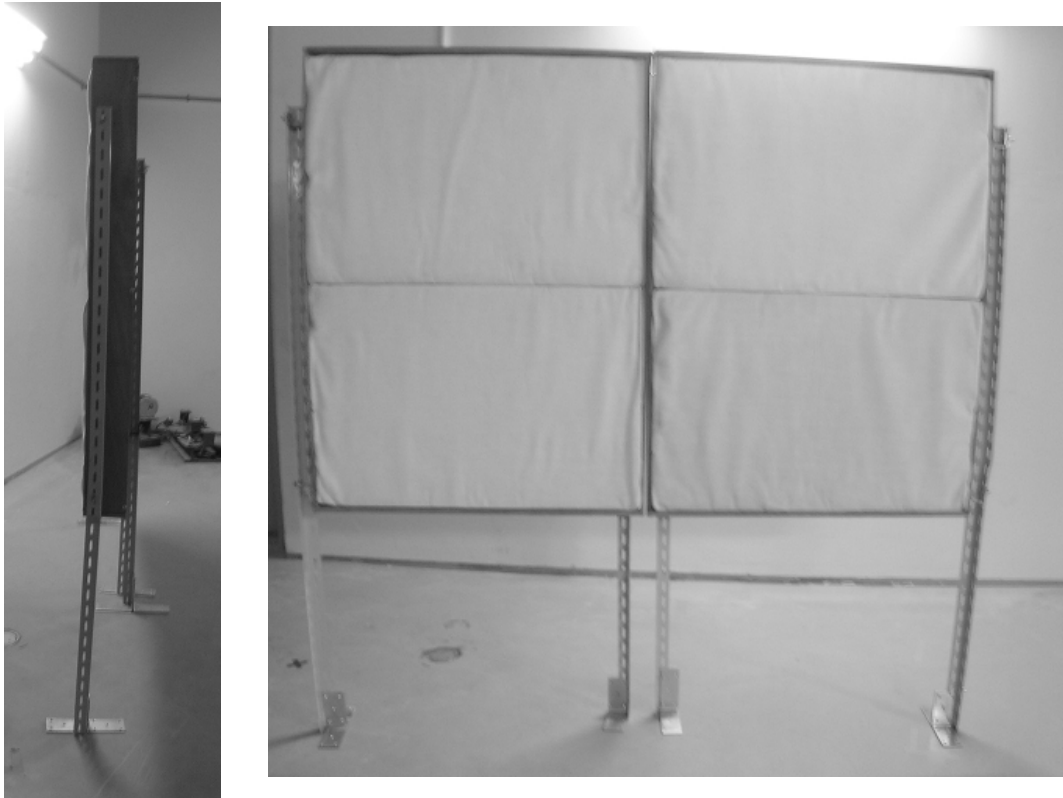


図 3.5 : 吸音面 (左 : 側面、右 : 正面)

<補足> 残響室における吸音率測定・・・JIS A 1409「残響室法吸音率の測定方法」を参考に実験に用いた残響室で測定を行った。測定は図 3.6 のように吸音面を床面に配置して行った。

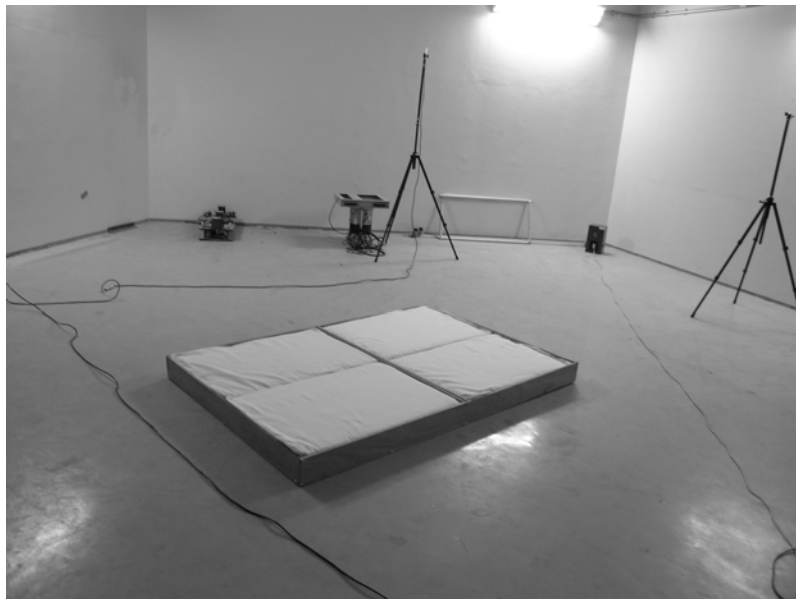


図 3.6 : 吸音率測定の様子

3.2.3 実験室仕様

(1) 残響室

残響室は、三井住友建設技術研究所音響実験棟内の残響室 1(図 3.7、図 3.8)を使用した。

室形状は不整形 8 面体であり、室の寸法は、床面積 59 m²、容積 322 m³、表面積 282 m²である。内面仕上げはウレタン塗布型枠打放しである。天井には拡散のための回転翼を設置している。

室の音響性能については表 3.2 に示す。

なお、この残響室は残響室法吸音率測定にかかわる JIS 規定値を満足している。

表 3.2：残響室の音響性能

| 残響時間(s) | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|---------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 5.84 | 6.15 | 6.02 | 5.50 | 3.75 |

| 室内平均吸音率 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|---------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 |

| 吸音力 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-----|-------------------|------|------|------|-------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 8.79 | 8.36 | 8.53 | 9.33 | 13.57 |

| 室定数 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-----|-------------------|------|------|------|-------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 9.07 | 8.61 | 8.80 | 9.65 | 14.26 |

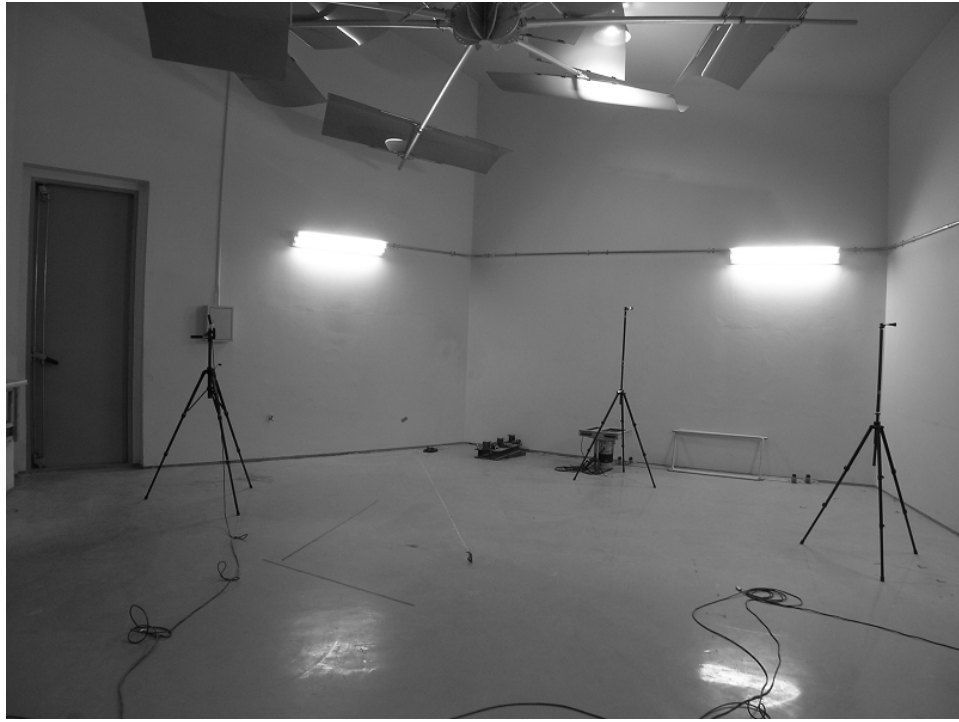


図 3.7 : 残響室内部

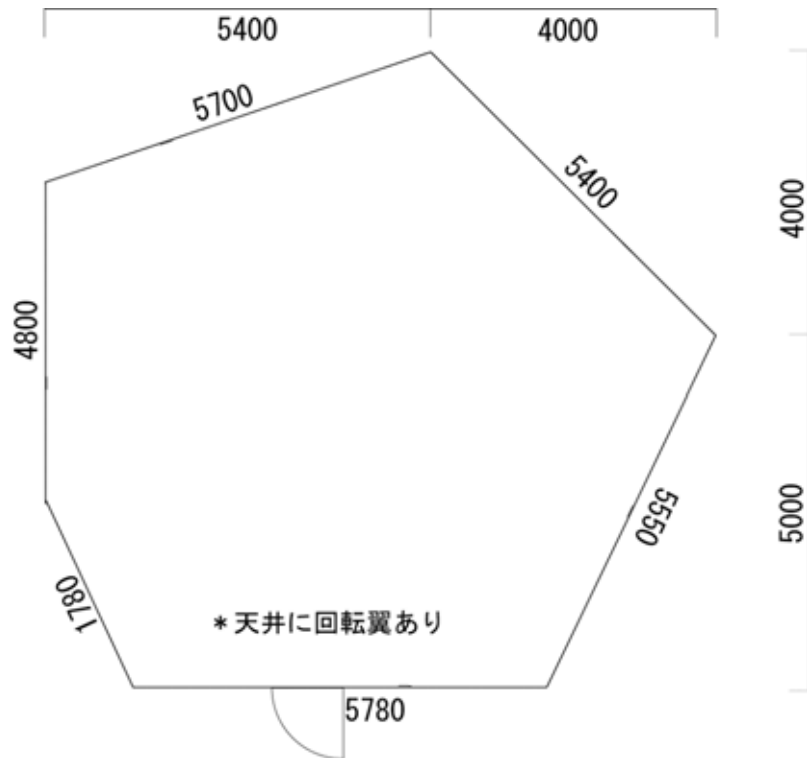


図 3.8 : 残響室平面図

(2) 一般居室

一般居室として、東京大学新領域創成科学研究科 環境学研究棟 1階 社会文化環境学専攻共通実験室（図 3.9、図 3.10）を使用した。

室形状は整形の直方体であり、室の寸法は、床面積 24.2 m²、容積 72.8 m³、表面積 107.56 m²である。天井面に岩綿吸音板による吸音処理がなされている。

室の音響性能については表 3.3 に示す。

表 3.3：一般居室の音響性能

| 残響時間(s) | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|---------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 1.38 | 1.19 | 1.13 | 1.04 | 0.93 |

| 室内平均吸音率 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|---------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.11 |

| 吸音力 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-----|-------------------|------|------|-------|-------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 8.21 | 9.48 | 9.96 | 10.73 | 11.93 |

| 室定数 | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-----|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| | 8.88 | 10.40 | 10.98 | 11.92 | 13.42 |



図 3.9：一般居室内部

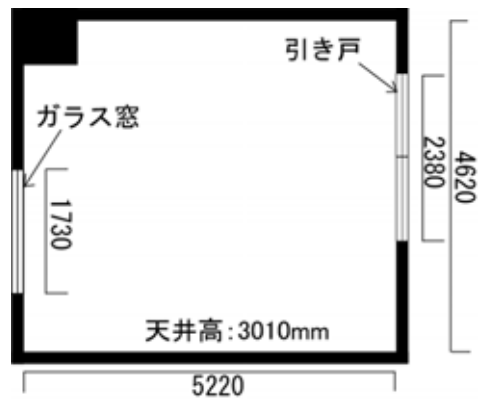


図 3.10：一般居室平面図

3.3 実験方法

3.3.1 実験の流れ

二つの実験に共通した実験の流れを下に示す。

音源、吸音面、集音系を配置

音源からピンクノイズを放出し、室内の等価音圧レベルを 10 秒間測定 (F 特性)

最初に戻る

- ・測定は 1/1 オクターブバンド中心周波数 250,500,1k,2k,4kHz の 5 周波数帯域で行う。
- ・測定値は室内 5 地点の音圧の測定結果から平均音圧レベルを求めた。

* 平均音圧レベルの求め方

5 地点の音圧レベルをそれぞれ L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 とすると平均音圧レベル \bar{L} は下記の計算式によって求めた。

$$\bar{L} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} + 10^{\frac{L_4}{10}} + 10^{\frac{L_5}{10}} \right) \text{ dB}$$

3.3.2 実験 1 概要

実験 1 では音源を室の中央に固定して、図 3.1 に示す 3 種類の吸音面の配置パターンを用いる。それぞれの配置パターンで音源 - 吸音面間距離を 0.3m ~ 2.4m に変化させ、吸音面を見込む立体角ならびに吸音面形状、吸音面への入射角が室内の音圧レベル変化に及ぼす影響を検討する。

なお、以下の仮説から吸音面パターンを設定した。

[仮説 1] L 形状の吸音面では面間の多重反射が見込まれるため、音源から見込む吸音面が等しくても、平面形状のものよりも吸音効果が高くなるのではないか？

平面型と L 字型の二つの吸音面形状

[仮説 2] 音源からの吸音面への入射角が異なると、等立体角でも吸音効果が異なるのではないか？

平面型に (a) 正面と (b) 斜面の二つの吸音面の向き

残響室、一般居室における音源位置、吸音面配置（移動方向）、受音点位置を図 3.11 に示す。受音点高さは、残響室では 1.6m ~ 2.0m、一般居室では 1.0m ~ 1.6m とした。受音点は室の表面、音源、吸音面から十分遠ざけて配置し、音源と受音点の間を吸音面が妨げないように注意して配置した。

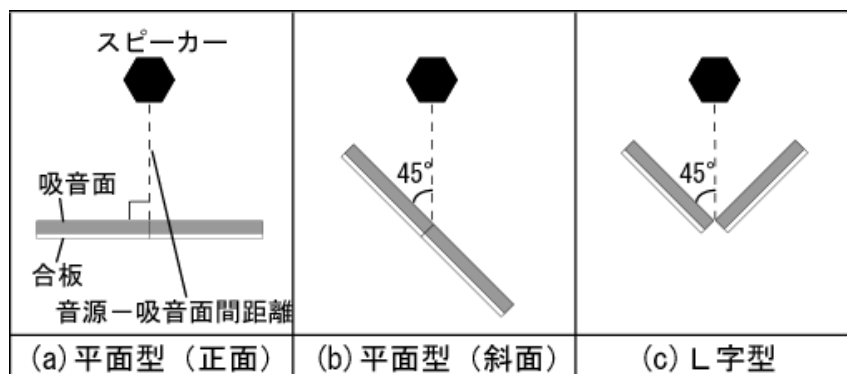


図 3.1：実験 1 の吸音面配置パターン（平面図）（再）



(a)平面型（正面）



(b)平面型（斜面）



(c)L字型

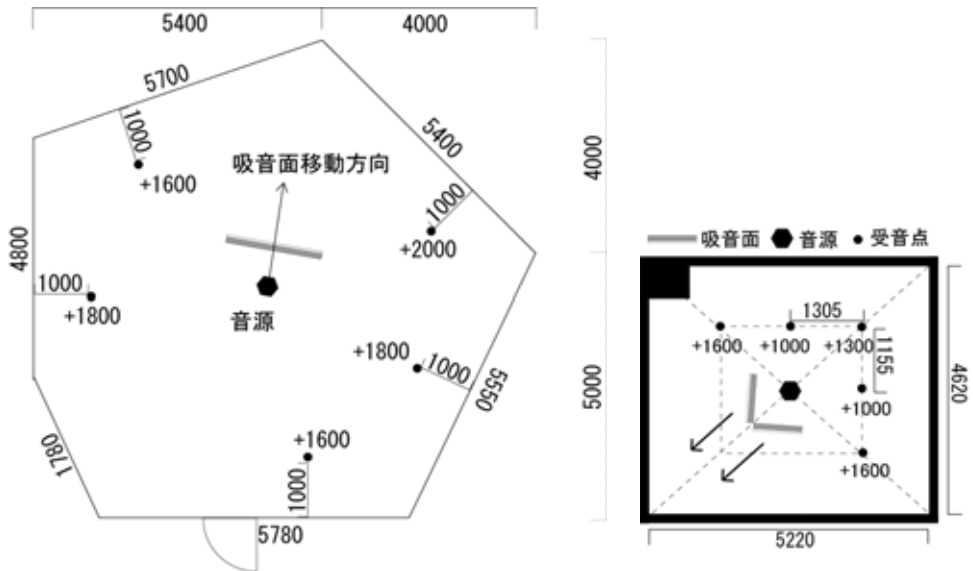


図 3.11 : 実験室内の音源・吸音面・受音点配置 (左: 残響室、右: 一般居室)

音源 - 吸音面間距離と音源から吸音面を見込む立体角の関係について表 3.4 に示す。音源 - 吸音面間距離が 0.3m ~ 2.4m の間を変化するとき、L 字型は平面型と比較して立体角の変化が大きくなることわかる。

表の * 印が付いた箇所は、一般居室では測定していない (室の大きさの都合上吸音面をそれ以上移動できなかつたため) 配置パターンである。

表 3.4 : 実験 1 の音源 - 吸音面間距離と立体角の関係 (* は一般居室では測定なし)

| 立体角(sr) | | 吸音面形状、配置パターン | | |
|-----------------|-------|--------------|-------|------|
| | | 平面型 | | L字型 |
| | | 正面 | 斜面 | |
| 音源 - 吸音面間距離(mm) | 300 | 4.05 | 4.61 | 7.41 |
| | 400 | 3.46 | 4.08 | 6.64 |
| | 500 | 2.95 | 3.57 | 5.85 |
| | 600 | 2.52 | 3.09 | 5.08 |
| | 700 | 2.16 | 2.65 | 4.35 |
| | 800 | 1.86 | 2.25 | 3.68 |
| | 900 | 1.61 | 1.90 | 3.09 |
| | 1000 | 1.41 | 1.61 | 2.59 |
| | 1100 | 1.23 | 1.36 | 2.17 |
| | 1200 | 1.09 | 1.16 | 1.82 |
| | 1400 | 0.86 | 0.86 | 1.31 |
| | 1600 | 0.69 | 0.66 | 0.97 |
| | 1800 | 0.57 | 0.51 | 0.74 |
| | 2000 | 0.47 | 0.41 | 0.58 |
| | 2200 | 0.40 | *0.34 | 0.47 |
| 2400 | *0.34 | *0.28 | 0.38 | |

3.3.3 実験 2 概要

実験 2 では、室の壁面や床面近傍に音源を配置した上で、吸音面を見込む立体角を一定として配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を検討する。さらに、第 2 章で改良した予測式との対応を検討する。

(1) 壁際・平面型

壁際に音源を配置し、吸音面配置が吸音効果に与える効果について検討する。配置パターンは図 3.2(1)、表 3.5 に示すとおり、壁面に対する配置 3 パターン × 音源高さ 2 パターンの計 6 パターンである。音源からこの 6 パターンの吸音面を見込む立体角は全て等しい。音源と吸音面との位置関係は図 3.13 に示す。

F-h(F-l)は壁に沿って、Fv-h(Fv-l)は壁と垂直に、Fp-h(Fp-l)は壁と平行に配置され、音源は高さ方向にのみ移動する。

なお、音源高さが低くなる際に吸音面との距離が小さくなるのは、-h のときと異なり、音源高さ(+0.3m)と吸音面中心高さ(+0.6m)が異なるためである(図 3.12 を参照)。

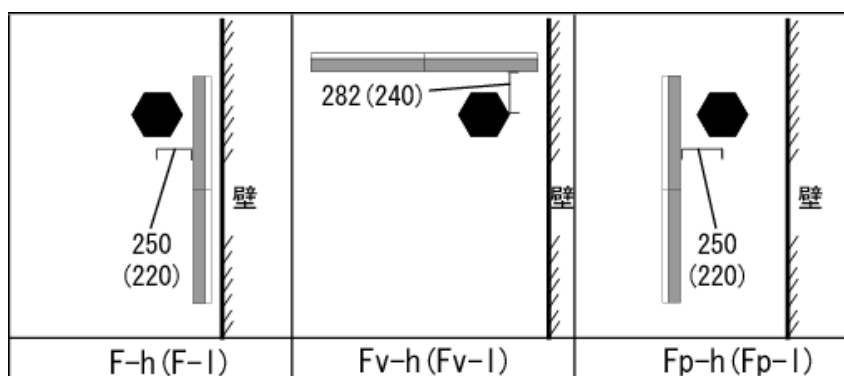


図 3.2(1)：実験 2 (壁際)の吸音面配置パターン(再)

表 3.5：実験 2 (壁際)の測定パターン詳細

| 吸音面形状 | ω_m (sr) | ω_m' (sr) | 吸音面パターン | 吸音面高さ(m) | 音源高さ(m) |
|-------|-----------------|------------------|---------|----------|---------|
| 平面型 | 3.81 | +0.03 | F-h | 1.3 | 1.3 |
| | | +0.39 | Fv-h | | |
| | | +1.16 | Fp-h | | |
| | | +0.65 | F-l | 0.6 | 0.3 |
| | | +1.05 | Fv-l | | |
| | | +1.60 | Fp-l | | |



図 3.12 : -h と-l のときの音源・吸音面配置の違い (左 : F-h、右 : F-l)

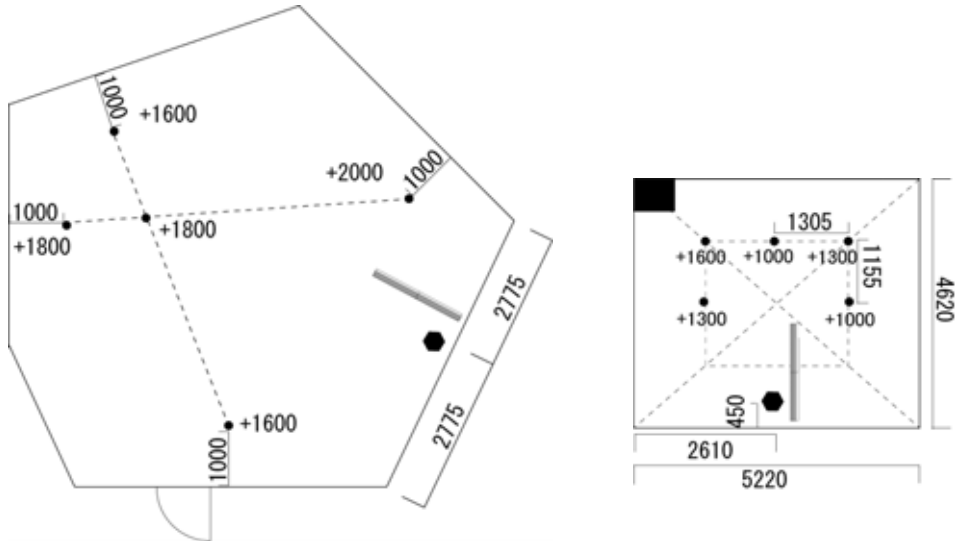


図 3.13 : 実験室内の音源・吸音面・受音点配置 (左 : 残響室、右 : 一般居室)

(2) 室隅部・L字型

室隅部に音源を配置し、吸音面配置が吸音効果に与える効果について検討する。配置パターンは図 3.2(2)、表 3.6 に示すとおり、隅部に対する配置 2 パターン×音源高さ 2 パターンの計 4 パターンである。壁際るときと同様に、音源からこの 4 パターンの吸音面を見込む立体角は全て等しい。

L-h(L-l)は隅部に沿って、Lf-h(Lf-l)は隅部を囲うように配置されている。

残響室では直交する壁面がなかったため、角度が最も直角に近い隅部(=105°)に音源・吸音面を配置した(図 3.14)。

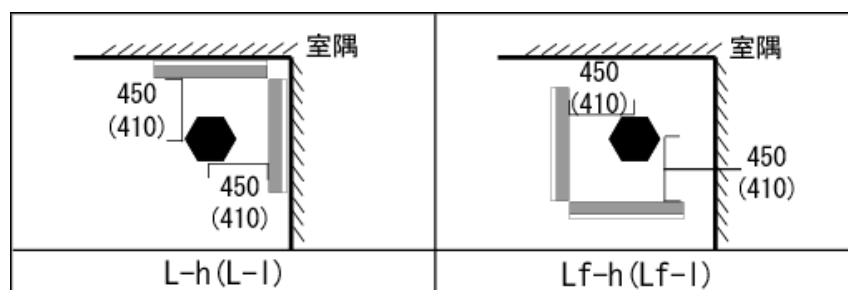


図 3.2(2)：実験 2 (隅部) の吸音面配置パターン (再)

表 3.6：実験 2 (隅部) の測定パターン詳細

| 吸音面形状 | ω_m (sr) | ω_m (sr) | 吸音面パターン | 吸音面高さ(m) | 音源高さ(m) |
|-------|-----------------|-----------------|---------|----------|---------|
| L字型 | 4.8 | +0.06 | L-h | 1.3 | 1.3 |
| | | +1.36 | Lf-h | | |
| | | +1.37 | L-l | 0.6 | 0.6 |
| | | +3.10 | Lf-l | | |

$\approx 105^\circ$



図 3.14 : Lf の場合の吸音面と壁との隙間 (左 : 残響室、右 : 一般居室)

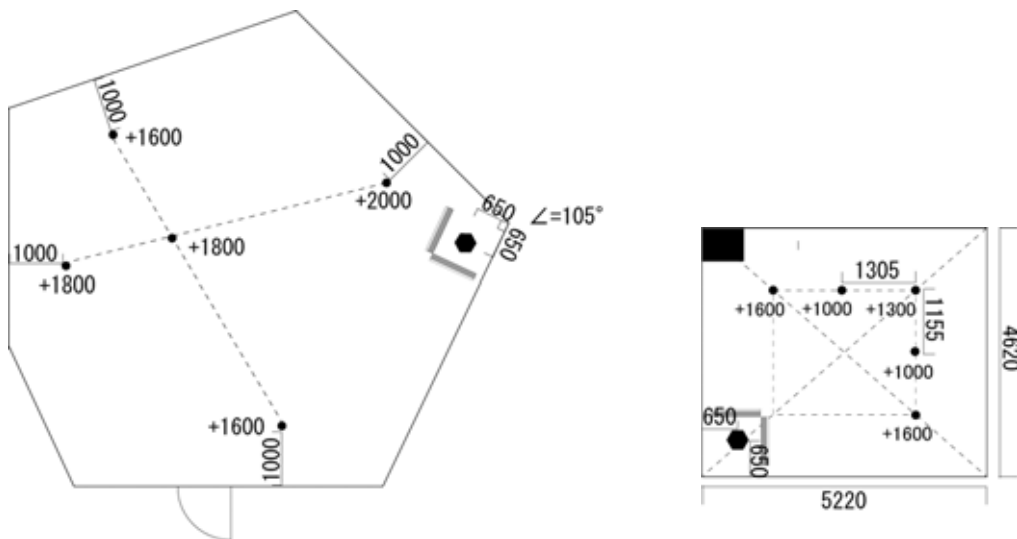


図 3.15 : 実験室内の音源・吸音面・受音点配置 (左 : 残響室、右 : 一般居室)

第 4 章 実験 1 結果

4.1 実験1概要 (再)

以下に示す3つの吸音面配置パターンで、音源 - 吸音面間距離を 0.3m ~ 2.4m に変化させ、

- ・ 音源から吸音面を見込む立体角
- ・ 吸音面形状
- ・ 吸音面への入射角度

が室内の音圧レベルに及ぼす影響を検討する。

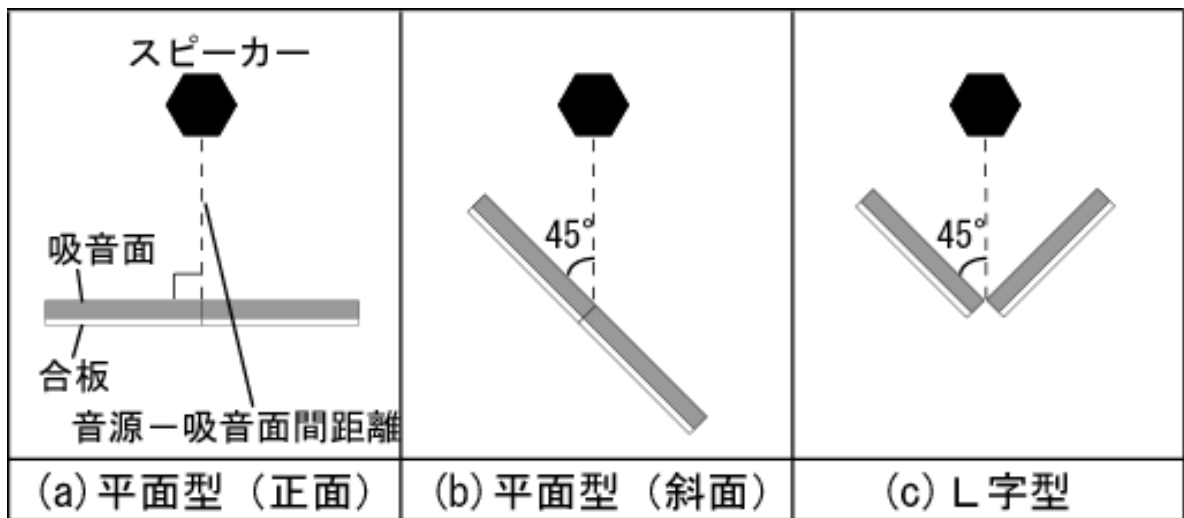


図 3.1 実験1の吸音面配置パターン(平面図)(再)

表 3.4 実験1の音源 - 吸音面間距離と立体角の関係(*は一般居室では測定なし)(再)

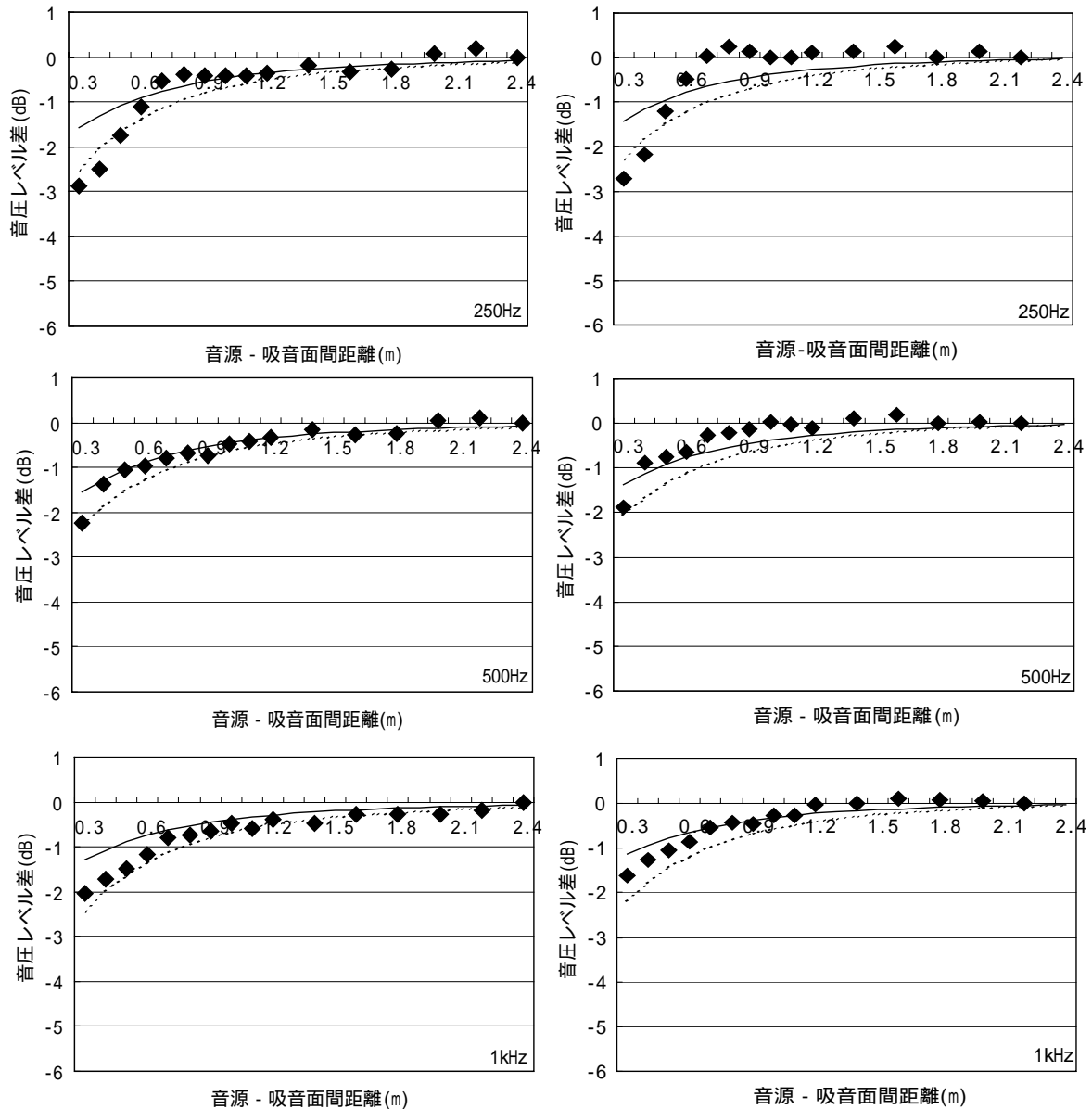
| 立体角(sr) | | 吸音面形状、配置パターン | | |
|-----------------|------|--------------|-------|------|
| | | 平面 | | L字 |
| | | 正面 | 斜面 | |
| 音源 - 吸音面間距離(mm) | 300 | 4.05 | 4.61 | 7.41 |
| | 400 | 3.46 | 4.08 | 6.64 |
| | 500 | 2.95 | 3.57 | 5.85 |
| | 600 | 2.52 | 3.09 | 5.08 |
| | 700 | 2.16 | 2.65 | 4.35 |
| | 800 | 1.86 | 2.25 | 3.68 |
| | 900 | 1.61 | 1.90 | 3.09 |
| | 1000 | 1.41 | 1.61 | 2.59 |
| | 1100 | 1.23 | 1.36 | 2.17 |
| | 1200 | 1.09 | 1.16 | 1.82 |
| | 1400 | 0.86 | 0.86 | 1.31 |
| | 1600 | 0.69 | 0.66 | 0.97 |
| | 1800 | 0.57 | 0.51 | 0.74 |
| | 2000 | 0.47 | 0.41 | 0.58 |
| | 2200 | 0.40 | *0.34 | 0.47 |
| | 2400 | *0.34 | *0.28 | 0.38 |

4.2 実験結果と考察

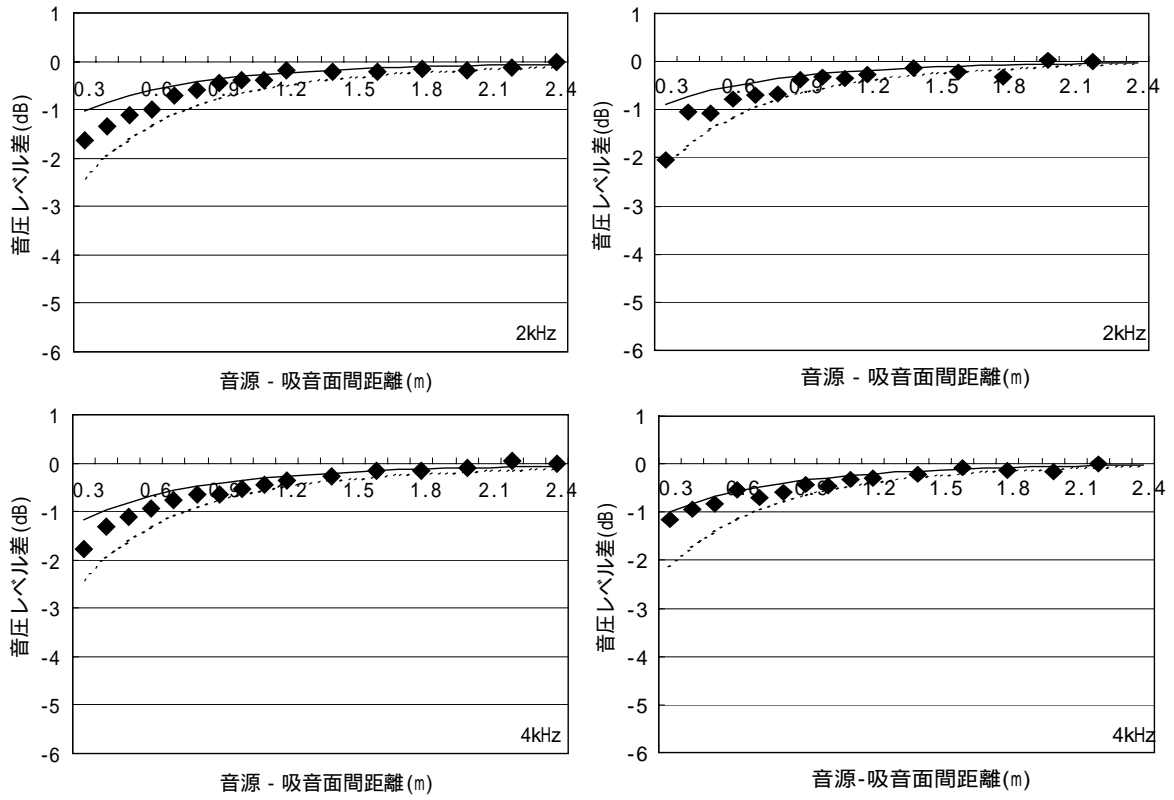
4.2.1 吸音面パターン別の音圧レベル減衰量

吸音面の各配置パターン別の室内平均音圧レベルを、吸音面が最も離れた状態を基準としたレベル差として図 4.1、4.2、4.3 に示す。図中の予測値は吸音率のカタログ値と実物実測値によるものであり、式(2.9)から算出した。

(a) 平面型 (正面)



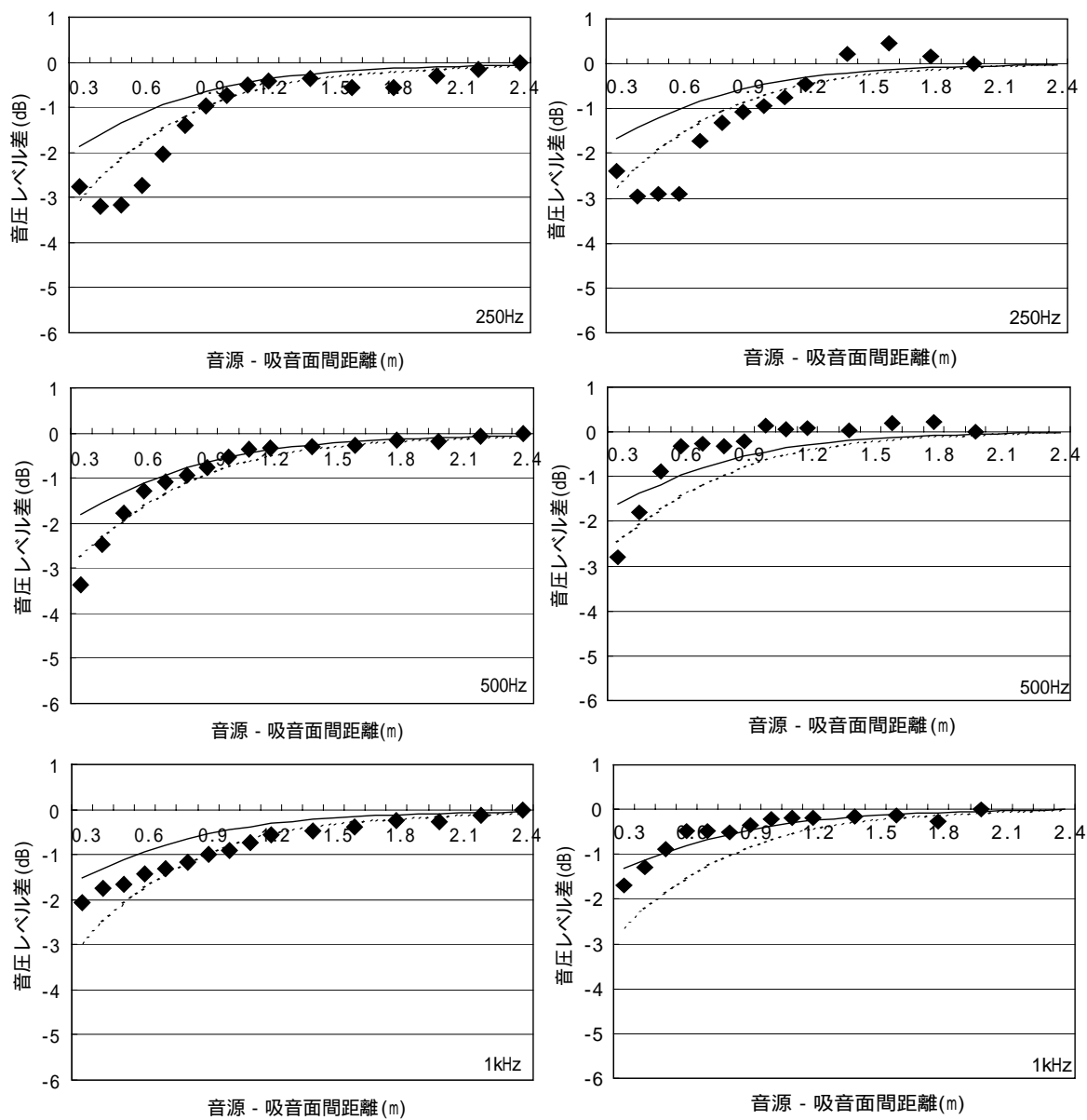
* ・・・実測値、点線・・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・・カタログ値吸音率による予測値



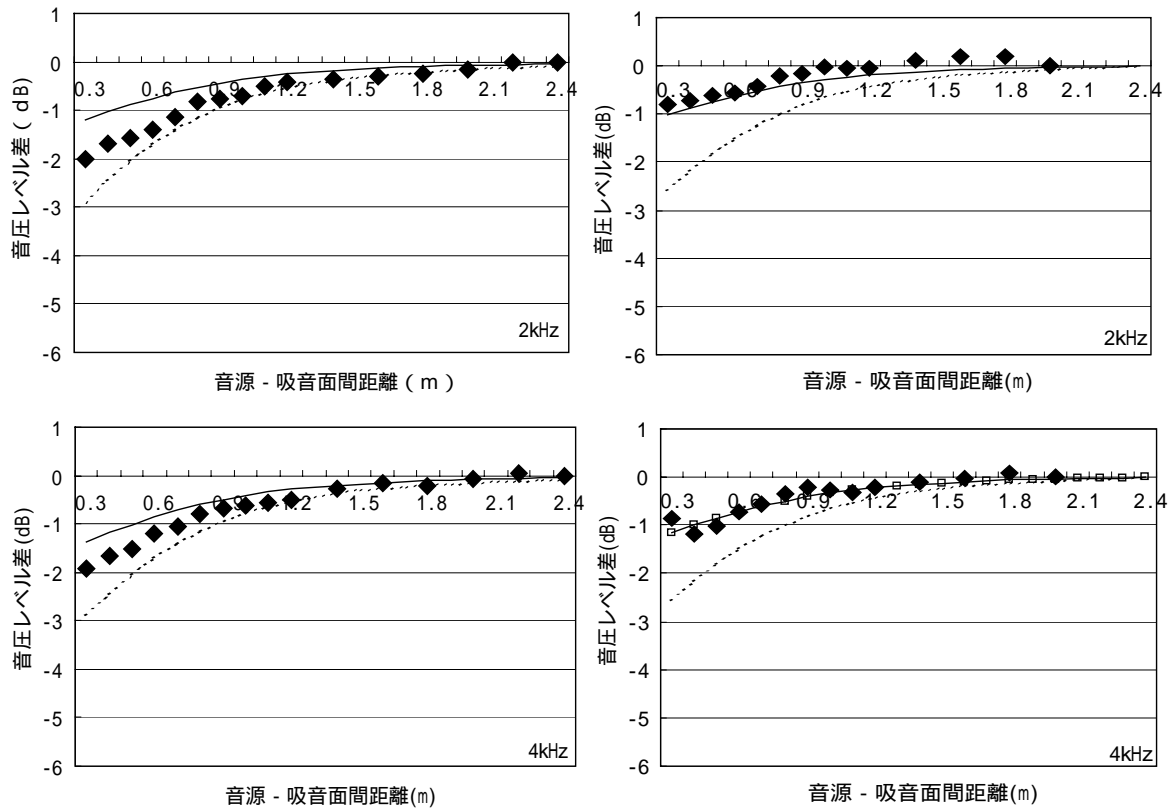
* ・・・実測値、点線・・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・・カタログ値吸音率による予測値

図 4.2 平面型（正面）の各帯域の室内平均音圧レベル（左：残響室、右：一般居室）

(b)平面型 (斜面)



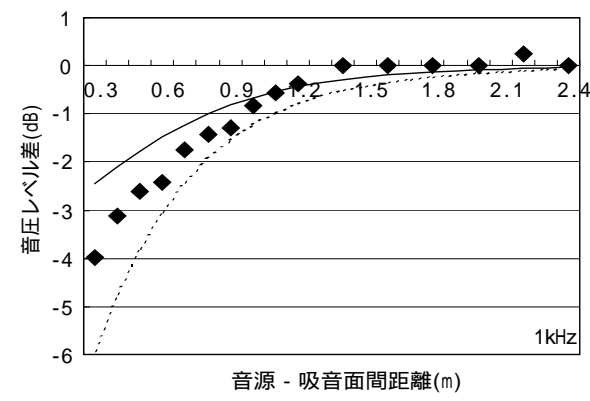
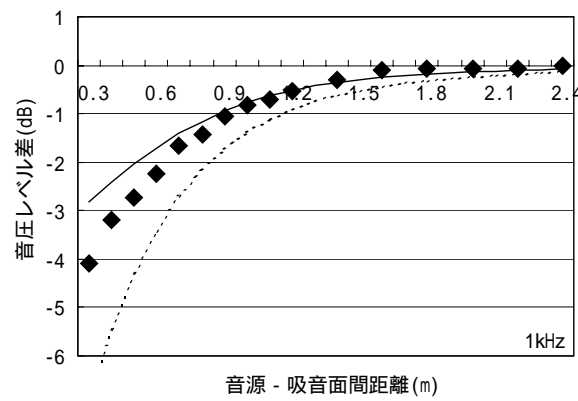
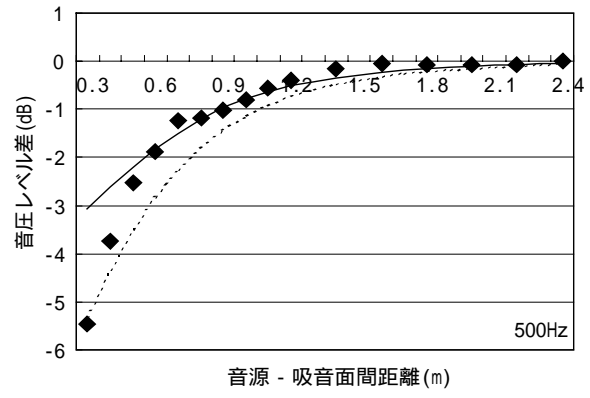
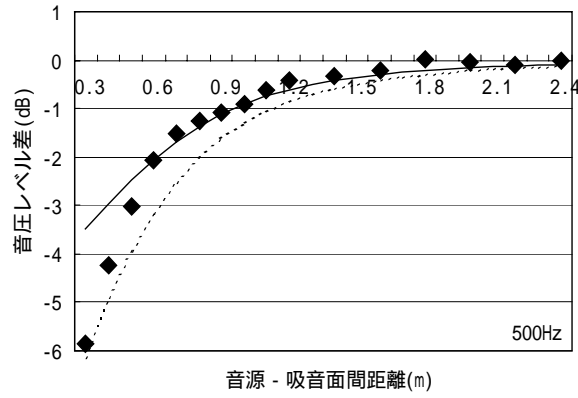
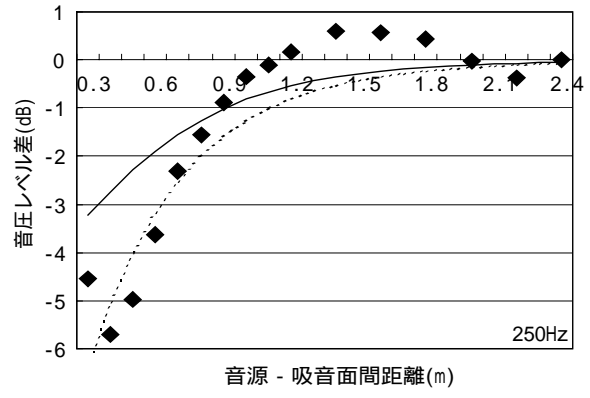
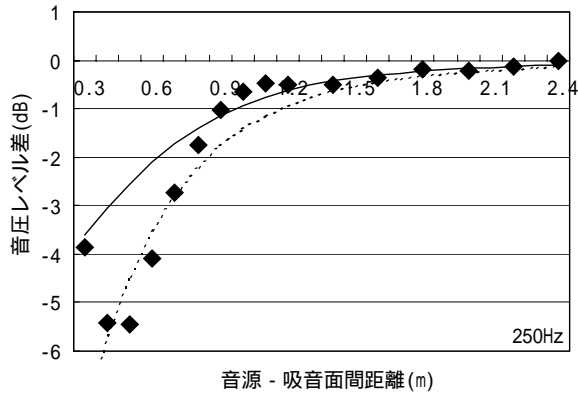
* ・・実測値、点線・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・カタログ値吸音率による予測値



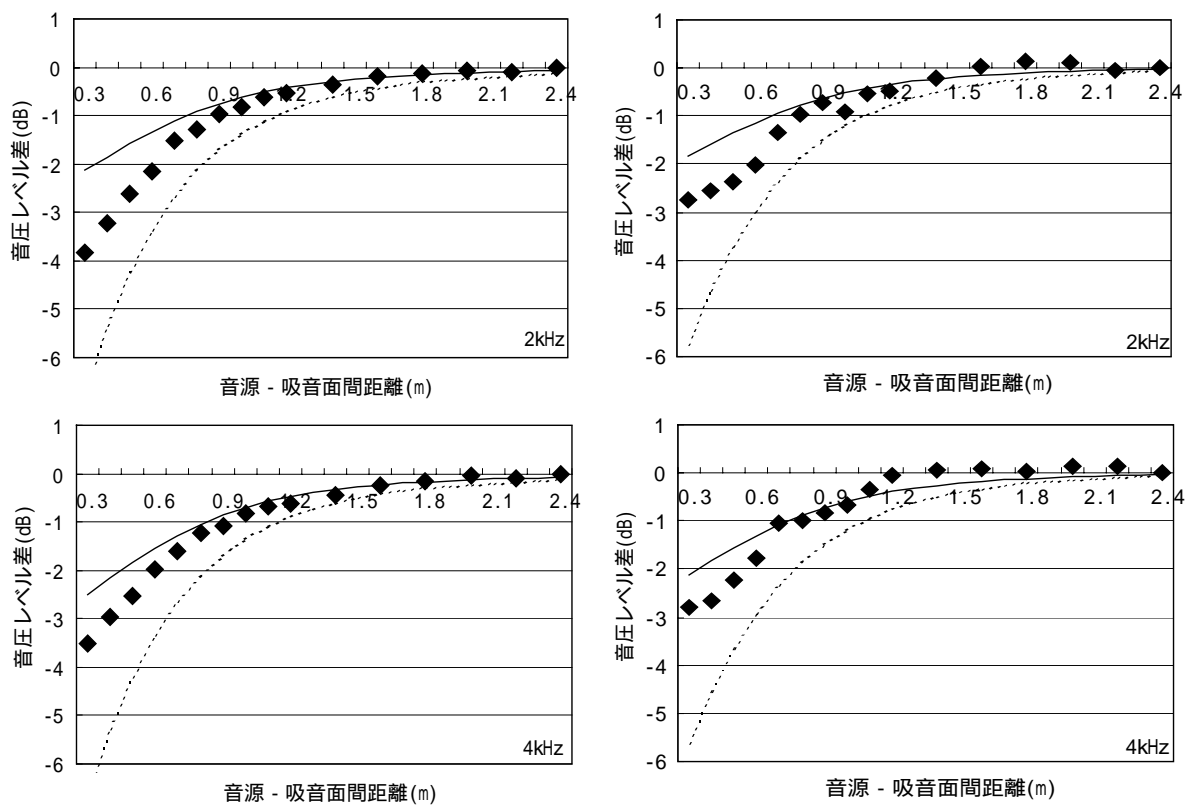
* ・・実測値、点線・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・カタログ値吸音率による予測値

図 4.3 平面型（斜面）の各帯域の室内平均音圧レベル（左：残響室、右：一般居室）

(c) L字型



* ・・実測値、点線・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・カタログ値吸音率による予測値

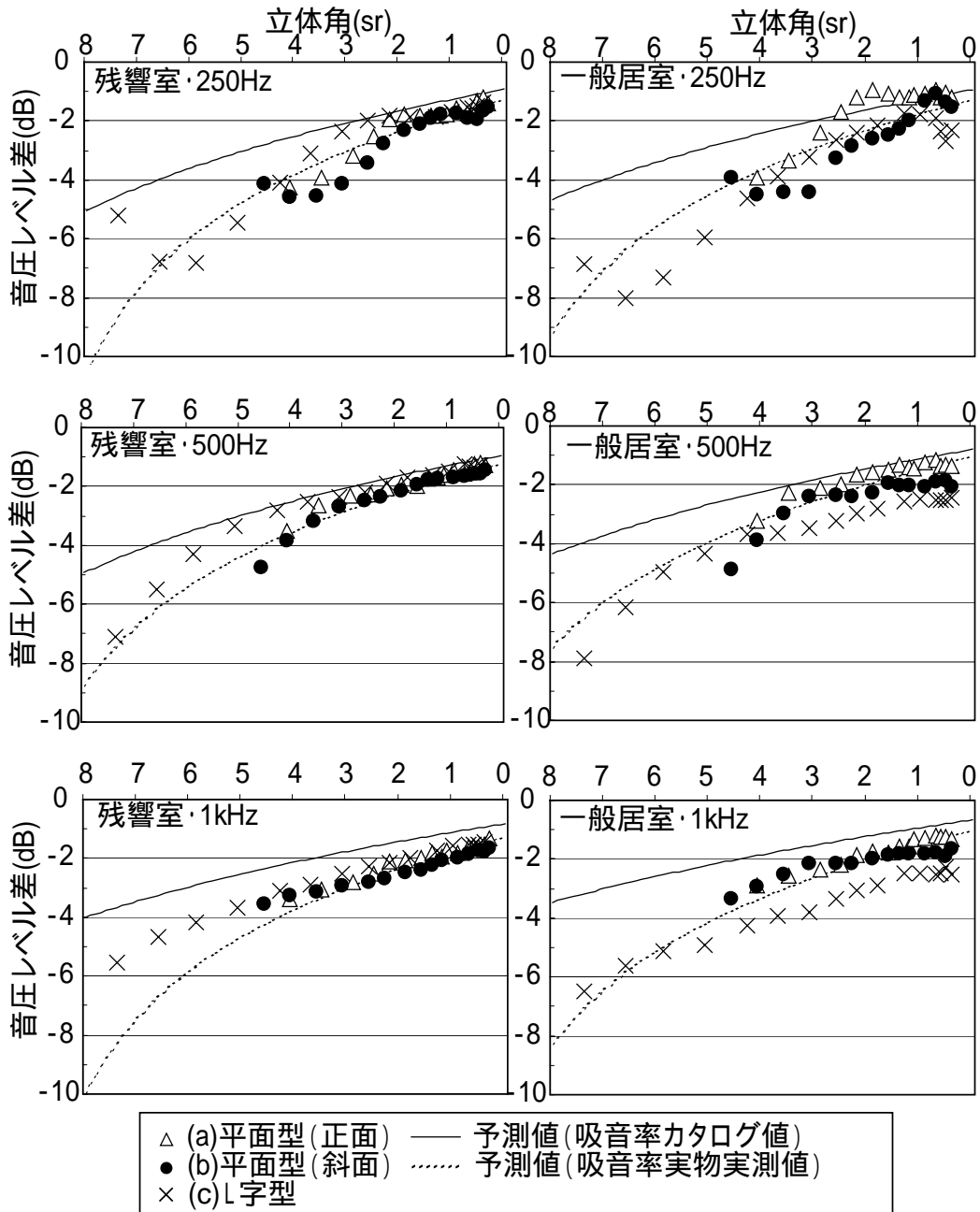


* ・・・実測値、点線・・・実物実測値吸音率による予測値、実線・・・カタログ値吸音率による予測値

図 4.4 L字型の各帯域の室内平均音圧レベル（左：残響室、右：一般居室）

4.2.2 立体角と音圧レベル減衰量の関係

吸音面の各配置パターンにおける室内平均音圧レベルを、吸音面が無い場合を基準としたレベル差として図に示す。また、図中の予測値は吸音率のカタログ値と実物実測値によるものである。



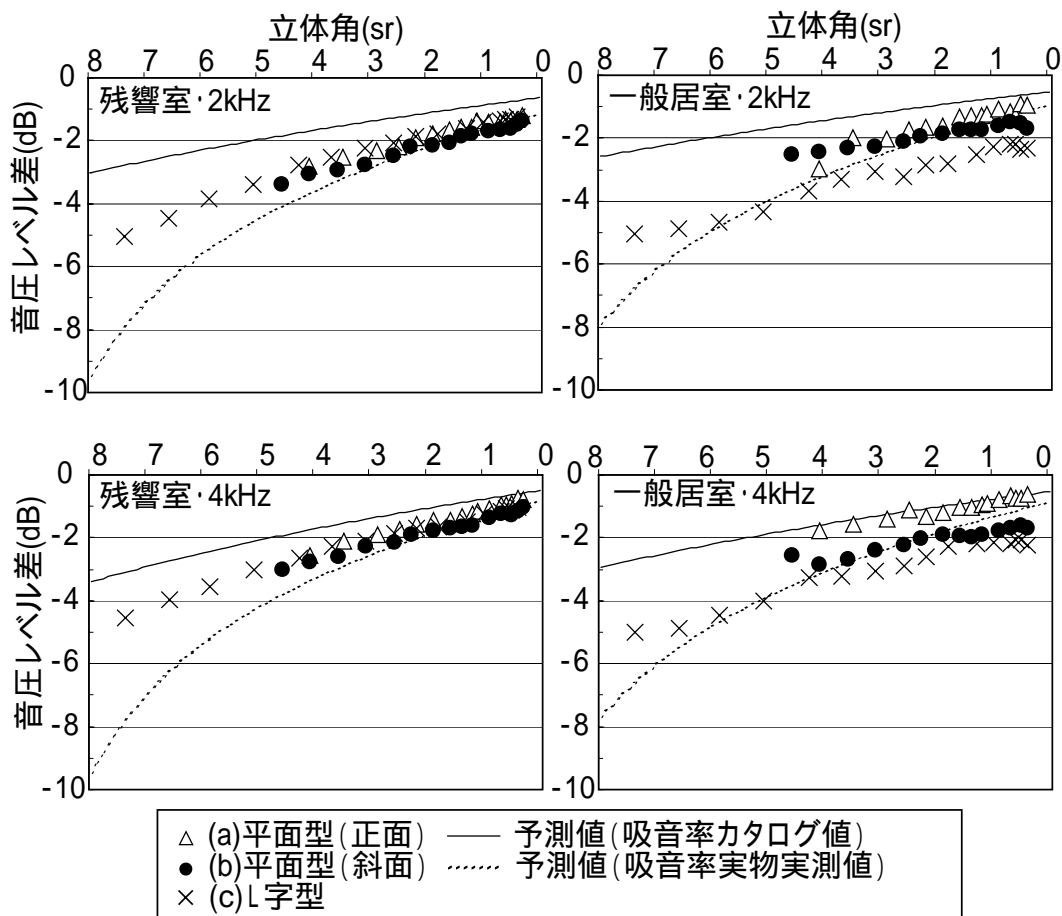


図 4.5 立体角と吸音効果の関係

4.2.3 結果と考察

全体的な傾向として、吸音面を見込む立体角が大きいほどレベル差が大きくなり、局所吸音の効果が確認できる。また、残響室、一般居室共に局所吸音の効果は出ていた。

次にいくつかの観点から結果について整理、考察する。

< 吸音面の向き >

吸音面の向きが室の吸音効果に及ぼす影響について、(a)平面型（正面）と(b)平面型（斜面）の同形状の二パターンの実測値から検討する。

- ・ 残響室では、5 測定周波数帯域で二つの配置パターンはほぼ同じ挙動を示す。
- ・ 一般居室では、250Hz で立体角 1 ~ 4(sr)の場合に 1 ~ 2dB のレベル差が現れ、パターン(a)より(b)の吸音効果が大きい。4kHz では測定した全立体角に渡って約 1dB のレベル差が現れ、パターン(a)より(b)の吸音効果が大きい。他の測定帯域でもパターン(a)より(b)がグラフの下側に位置しているが、レベル差はほとんどない。

< 吸音面の形状 >

吸音面の形状が室の吸音効果に及ぼす影響について、パターン(a)平面型（正面）・(b)平面型（斜面）と(c)L字型の違いを各々の実測値から検討する。

- ・ 両室で 250Hz では、どの配置パターンでも立体角の増加に対する吸音効果は線形には表れず、揺らぎが生じている。
- ・ 両室で 500Hz では、立体角が大きくなるとともに、傾斜が大きくなる傾向がある。傾斜の増加の開始がパターンごとに異なり、若干レベル差も生じる。
- ・ 残響室の 1kHz ~ 4kHz では、形状の影響はほとんど見られない。各配置パターンで傾きもほぼ等しい。
- ・ 一般居室の 1kHz ~ 4kHz では、パターン(a)に比べて(c)の場合に 1~2dB 吸音効果が大きくなっている。パターン(b)と(c)を比較すると、1、2kHz では同じように 1 ~ 2dB の吸音効果の差が見られる。一方、4kHz であるとその差は若干小さくなり、レベルはほぼ等しくなる。各配置パターンで傾きはほぼ等しい。

一般居室の 1kHz ~ 4kHz において二つの吸音面形状で吸音効果の差が生じた要因として、3.3.2 で仮定として挙げた(1)吸音面への入射角の影響、(2)吸音面間での多重反射の影響を考える。

(1)吸音面への入射角の影響

まず、一般居室では二つの吸音面形状の実測値間にレベル差が生じて残響室では差が生じなかった原因として、吸音面に入射する音に対する直接音の割合が異なるからではないかと考えた。その上で、拡散音に対する直接音の割合が残響室よりも多いと推測される一般居室では、吸音面への直接音の入射角度の影響がより顕著に表れたのではないかと考えた。

1kHz ~ 4kHz における吸音面に入射する直接音と拡散音の割合を図に示す。割合は下に示す音響エネルギー密度予測式の括弧内の第 1 項と第 2 項の比である。式中の r は音源から吸音面への距離(m)、 R は室定数 ($= S\bar{\alpha}/(1-\bar{\alpha})$) である。

$$E = \frac{W}{c} \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (4.1)$$

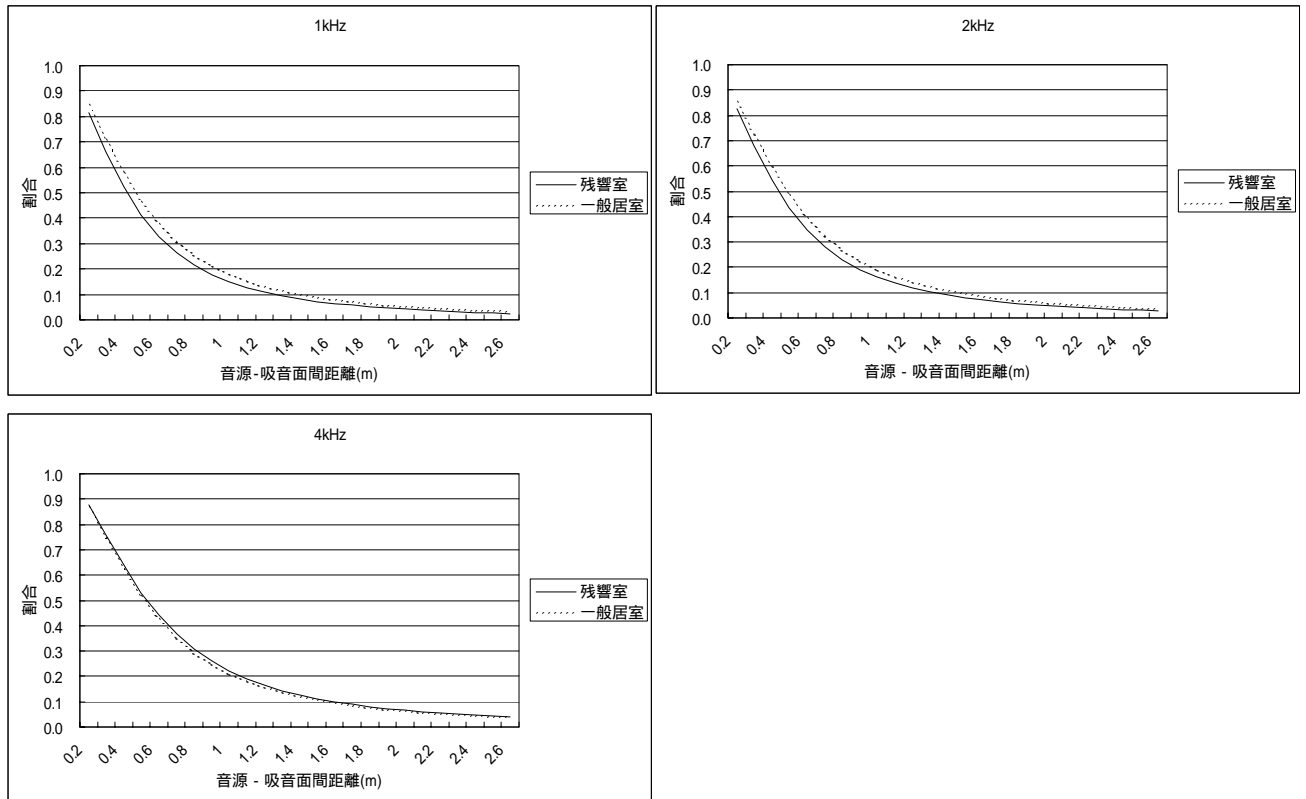


図 4.6：吸音面に入射する音に対する直接音の割合（1～4kHz のグラフ）

両室は平均吸音率は異なるものの、1k、2k、4kHz における室定数はほぼ等しく、拡散音場の仮定のもとでは吸音面に入射する直接音と拡散音の割合はほとんど変わらない。4kHz に至っては残響室のほうが吸音面へ直接音が入射する割合は大きくなっている。

また、一般居室でのパターン(a)と(c)の実測値のレベル差は今回測定した全立体角にわたってほぼ等しい。それに対して、図 4.7 のように直接音の入射角の大きさは $\approx 1,2$ 前後で入れ替わる（L字型は距離が大きくなるにつれ垂直入射から遠ざかるが、平面型だと遠ざかるにつれて垂直入射に近づいていく）ため、そもそも吸音面への入射角という要因の可能性は考えにくい。

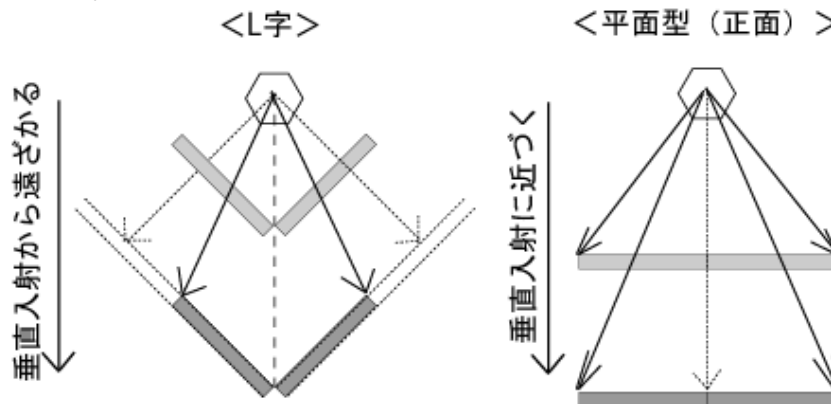


図 4.7：音源 - 吸音面間距離と直接音の入射角の関係

(2)吸音面間での多重反射の影響

吸音面の実寸大実測の吸音率は全測定帯域で1を超えるので、吸音面に入射した音が反射して交差した吸音面に入射することは考えにくい。また、一般居室のみに影響が現れることの説明もできない。

以上の考察より、上に挙げた二つ以外の要因が考えられるが要因の特定には至らなかった。

<周波数帯域>

測定周波数帯域別に実測値の挙動について述べる。

- ・ 250Hz では前述したように、他の帯域と比べて、顕著に変動（揺らぎ）が生じている。このために音源 - 吸音面間距離が短くなっても、吸音効果が増加しないケースも見られる。これはこの帯域の波動性により、室内モードや吸音面寸法の影響が出たのだと考えられる。また、音源 - 吸音面間距離の変化に伴う周期的なレベルの変動の様子からは、音源 - 吸音面間の波動性の影響もうかがえる。具体的には音源と吸音面の間に定在波が生じ、音源 - 吸音面間距離の変化に伴い、音源からの出力を強めたり弱めたりしていることが考えられる。
- ・ 500Hz では、250Hz の場合のような変動は小さくなる。しかし前述したように 1kHz ~ 4kHz とは異なり、パターン(b)と(c)では、立体角が大きくなるとともに、実測値グラフの傾斜も大きくなる傾向がある。傾斜の増大は音源 - 吸音面間距離が共に 0.6m 付近から始まっており、この 2 パターンは音源 - 吸音面間距離が等しければ、最短の音源 - 吸音面間距離も等しくなる。音源 - 吸音面間の最短距離がこのような傾斜に関係していることから、この帯域でも 250Hz と同様に波動性の影響がうかがえる。
- ・ 1kHz ~ 4kHz では、同じような変動の傾向を示している。その傾斜は立体角の大小に関わらず一定である。

<予測式との対応>

二つの吸音率を用いた予測値と実測値との対応について述べる。

- ・ 250Hz・500Hz では吸音率に実物実測値を用いた場合と比較的対応しているのに対して、1kHz ~ 4kHz ではカタログ値を用いた場合と傾斜が合致する傾向が見られる。
- ・ パターン(c)では 1kHz ~ 4kHz の立体角が 4 以上の場合には、立体角が大きくなるにつれて実物実測値を用いた予測値と実測値の傾斜の違いが大きくなる。

4.3 まとめ

本章では、音源に対して3つの吸音面の配置パターンで音源・吸音面間距離を変化させ、音源から吸音面を見込む立体角ならびに吸音面の向き・形状が室内の音圧レベルに及ぼす影響を検討した。

その結果、残響室、一般居室ともに音源が室中央にある場合、室内平均音圧レベルに及ぼす局所吸音の効果は音源から吸音面を見込む立体角とともに大きくなることが確認された。

250Hz・500Hzでは、波動性が影響し、立体角の増加に伴う実測値の揺らぎが大きい。

吸音面の向きの影響は、一般居室の4kHzで若干現れたが残響室では見られなかった。

吸音面形状の影響は、一般居室の1k~4kHzでは吸音面形状の影響が若干現れたが、残響室の1k~4kHzでは見られなかった。

このことから、拡散性が高い音場で吸音処理を行う場合、音源に対する吸音面の向き・吸音面形状について考慮する必要性がないことが示唆された。

予測値との対応関係を見ると、250Hz・500Hzで実物実測値を用いた場合と比較的対応しているのに対して、1kHz~4kHzではカタログ値を用いた場合と傾斜が合致する傾向が見られた。

第 5 章 実験 2 結果

5.1 実験 2 概要(再)

実験 2 では図・表の通り音源を室内の壁際または隅部に固定した上で、吸音面を見込む立体角を一定として配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を検討する。また、音源が壁・床近傍に配置されている場合の補正を加えた室内音響エネルギー密度の予測式の適用可能性について検討する。

(1) 壁際 (吸音面 : 平面型)

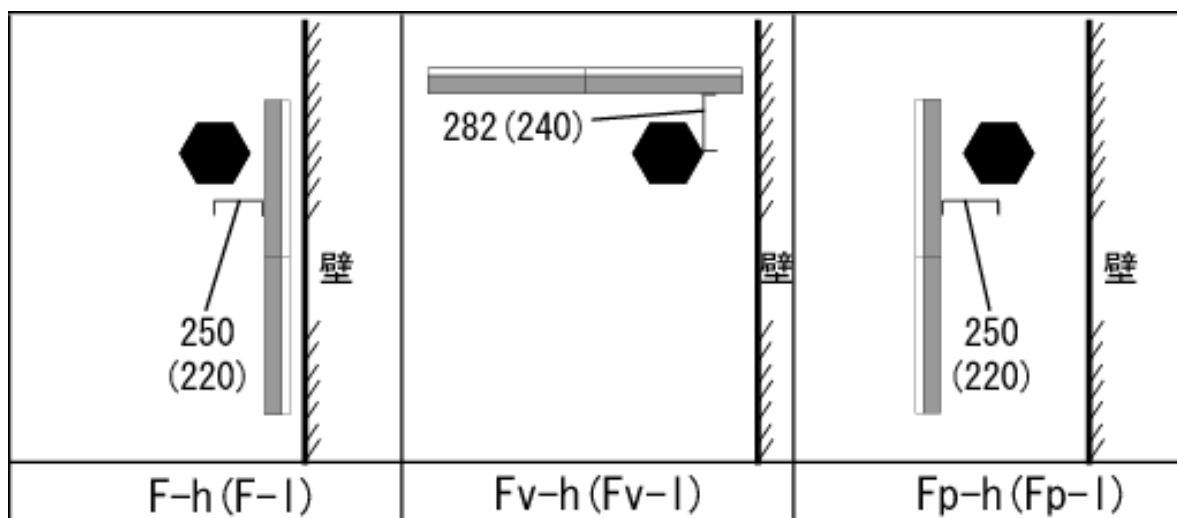


図 3.2(1) 実験 2 (壁際) の吸音面配置パターン (平面図) (再)

表 3.4 : 実験 2 (壁際) の測定パターン (再)

| 吸音面形状 | ω_m^R (sr) | ω_m^I (sr) | 吸音面パターン | 吸音面高さ(m) | 音源高さ(m) |
|-------|-------------------|-------------------|---------|----------|---------|
| 平面型 | 3.81 | +0.03 | F-h | 1.3 | 1.3 |
| | | +0.39 | Fv-h | | |
| | | +1.16 | Fp-h | | |
| | | +0.65 | F-l | 0.6 | 0.3 |
| | | +1.05 | Fv-l | | |
| | | +1.60 | Fp-l | | |

(2) 隅部 (吸音面 : L 字型)

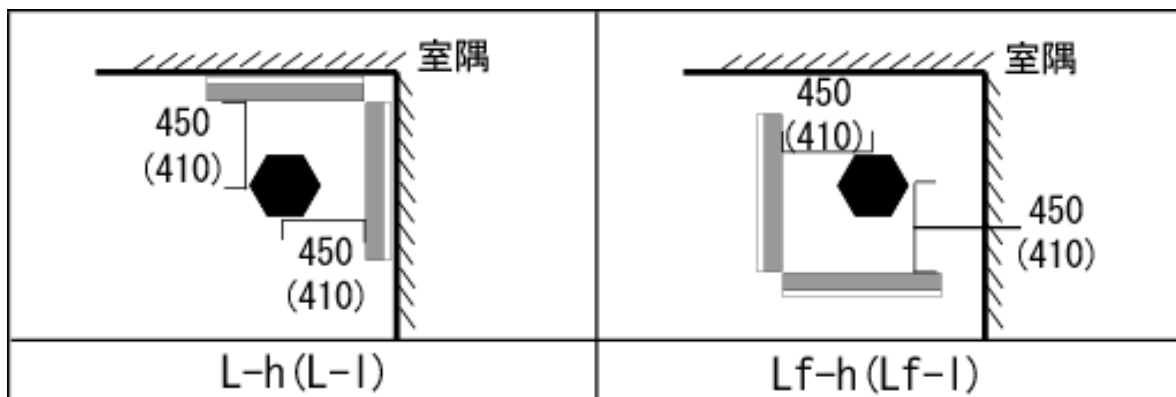


図 3.2(2) 実験 2(隅部)の吸音面配置パターン (平面図) (再)

表 3.5 : 実験 2(隅部)の測定パターン (再)

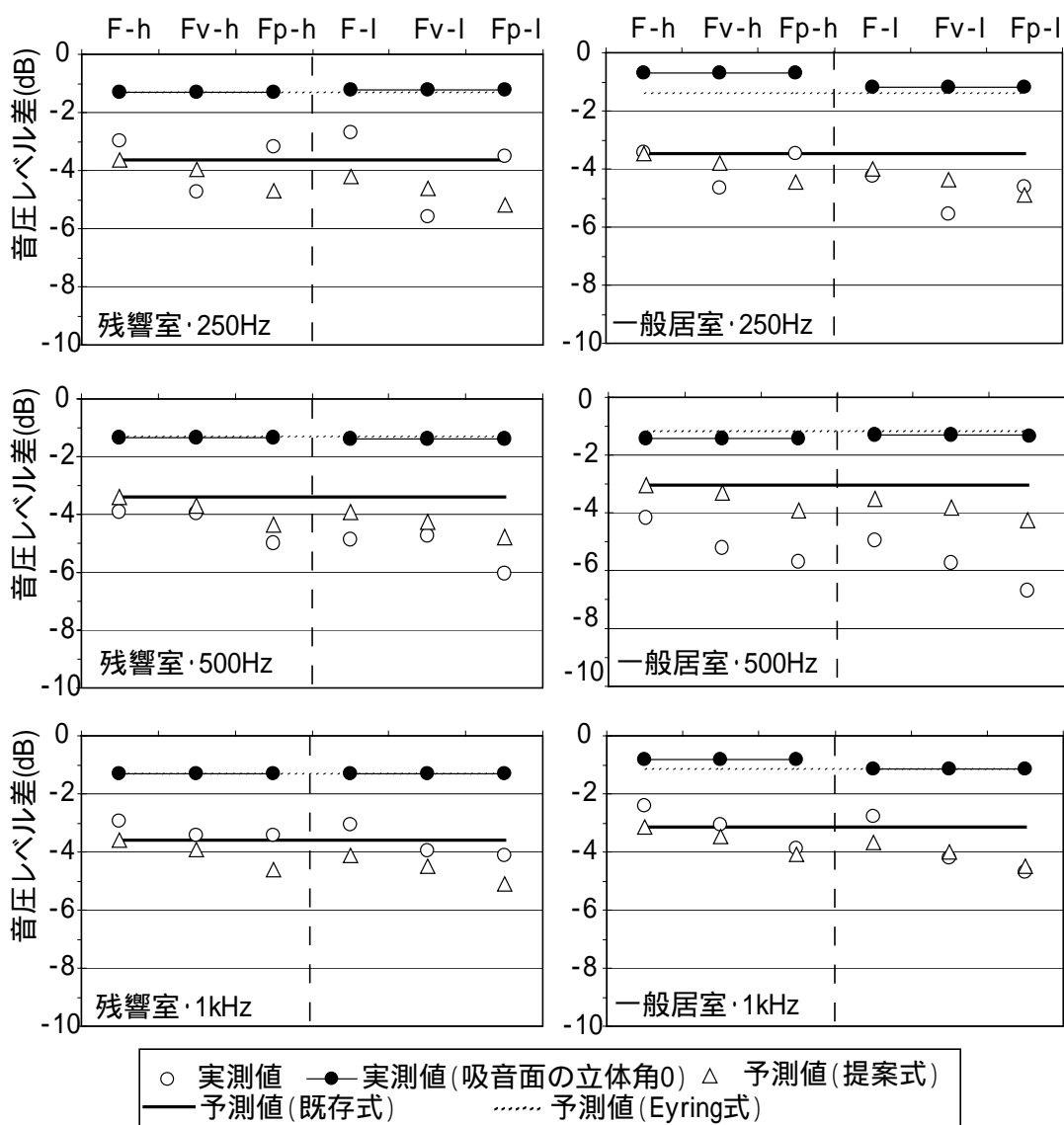
| 吸音面形状 | ω_m (sr) | ω'_m (sr) | 吸音面パターン | 吸音面高さ(m) | 音源高さ(m) |
|-------|-----------------|------------------|---------|----------|---------|
| L字型 | 4.8 | +0.06 | L-h | 1.3 | 1.3 |
| | | +1.36 | Lf-h | | |
| | | +1.37 | L-l | 0.6 | 0.6 |
| | | +3.10 | Lf-l | | |

5.2 実験結果と考察

5.2.1 室内に吸音面が無い状態を基準とした室内平均音圧レベル

平面型・L字型吸音面の各配置パターンにおける室内平均音圧レベルを、吸音面が無い場合を基準としたレベル差として図 5.1、5.2 に示す。図中に、平面型吸音面を音源と反対方向に向けた場合（吸音面の立体角 0）の実測値を示すとともに、実物実測値の吸音率を用いた予測値を示している。

(1) 壁際・平面型



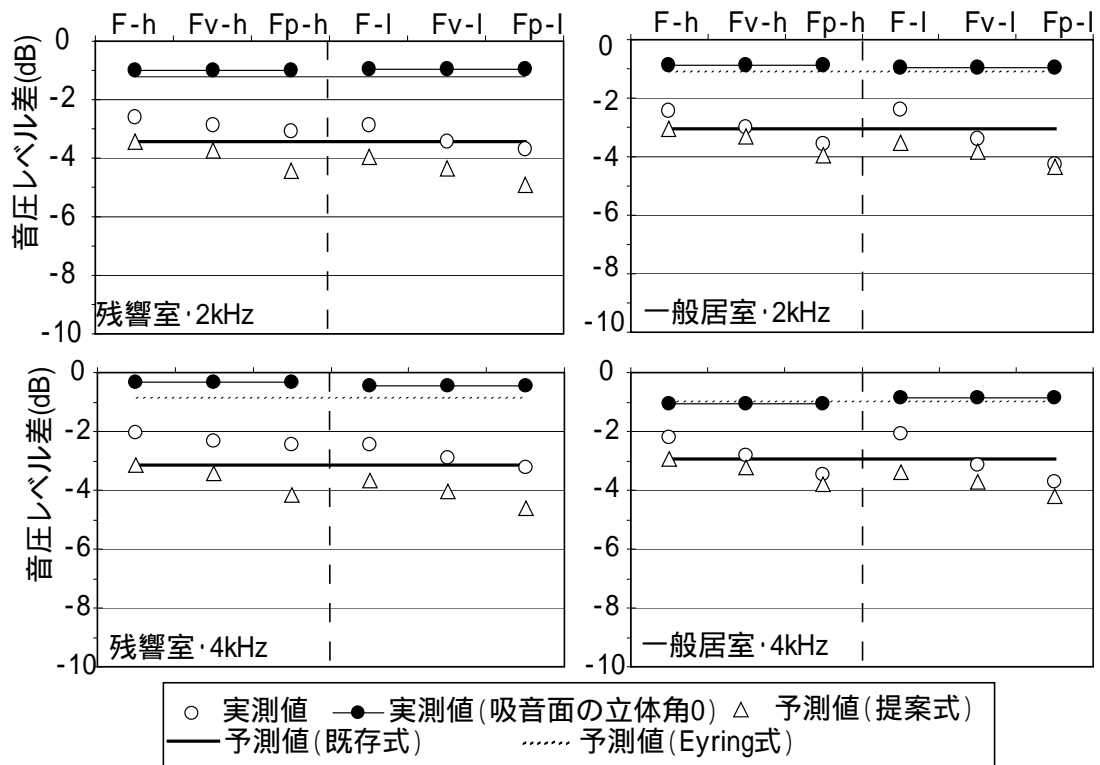
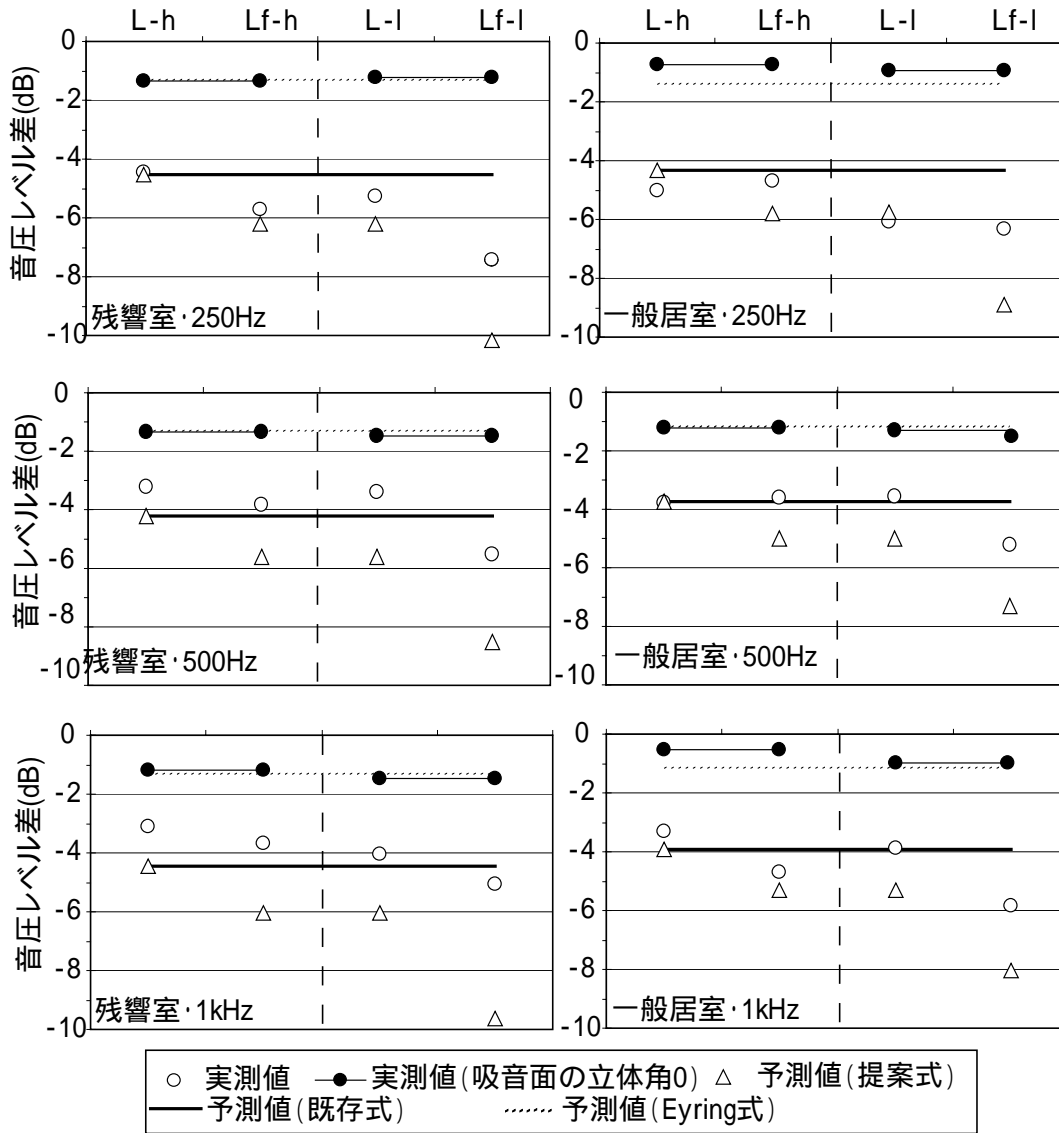


図 5.1 : 吸音面なしの状態を基準とした各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値

(2) L字・隅部



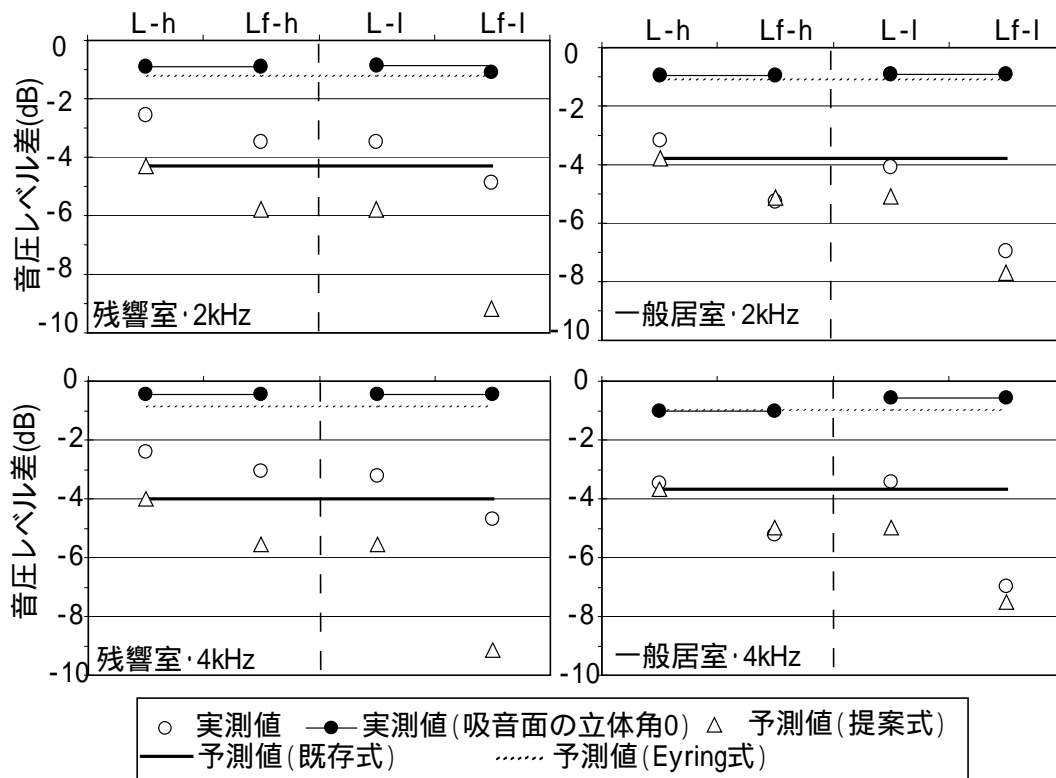


図 5.2 : 吸音面なしの状態を基準とした各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値

5.2.2 結果と考察

全体的に実験 1 同様に、局所吸音効果は生じていた。また、残響室より一般居室の方が吸音面配置の変化によるレベル変動が大きい。

実測値を見ると、全体的に局所吸音効果が 2~6dB 生じている。それに加えて吸音面配置の影響が見られ、床面に近接した場合にその影響がより顕著になっている。特に L 字型吸音面を隅部に向けて音源を覆うように配置した場合、最大の効果が生じている。

次に (1) 壁際、(2) 隅部に分けて、実測値の変化について整理する。

(1) 壁際 (吸音面: 平面型)

残響室、一般居室ともに、局所吸音効果が生じていた。

両室で吸音面配置の影響を見ると、250Hz 以外の帯域ではパターン F、Fv、Fp の順に吸音効果が大きく現れる。250Hz 帯域では他の帯域と異なり、パターン Fv の配置の吸音効果が最も大きく現れる。実験 1 でも述べたようにこの帯域では波動性が大きく影響し、幾何的に扱えない部分もあることが他の帯域と異なる結果となる要因の一つと考えられる。また、実験 1 の 500Hz では音源と吸音面との最短距離が吸音効果に関係していた。パターン Fv は 3 配置パターンの中で音源と吸音面の位置関係が唯一違い (パターン F と Fp は音源に点対称で吸音面が配置) 最短距離も異なるため、パターン Fv のみにパターン F、Fp との効果量の差が生じたのだとも考えられる。

500Hz 帯域では他の帯域と比較して、局所吸音の効果量が大きく現れている。

残響室と比較して、一般居室では吸音面配置変化が吸音効果に与える影響が大きい。特に一般居室の 250Hz 以外の帯域では効果量が大きく、パターン F-1 と Fp-1 の間には約 2dB のレベル差が見られた。

(2) 隅部 (吸音面: L 字型)

残響室、一般居室ともに、局所吸音効果が生じていた。

残響室の 500Hz、一般居室の 250Hz・500Hz を除いて、パターン L よりもパターン Lf のほうが吸音効果は大きい。特に、音源下部 (-1) のときにパターン間の吸音効果の差は大きい。

また、吸音面配置の影響は (1) と同様に、一般居室で効果が大きい。特に、高周波数帯域では L-1 と Lf-1 の間に、吸音面配置の影響による吸音効果の差が顕著に見られた。

残響室と一般居室で効果量に差が出る要因として、隅部の状態が異なる (残響室は不整形であり壁面が直交しない) ため、直交した壁面からの反射音が吸音面へ入射する量と比較して少なくなり、効果の差が生じたと考えられる。L-1 と Lf-1 の予測式を比較すると、虚音源から吸音面に入射する反射成分の差は壁面からの反射分で、床面からの反射分の立体角は両パターンとも等しいこともその裏づけとなる。よって隅部の角度を残響室のものとしたとき、虚音源から吸音面を見込む立体角の変化とそれに伴う残響室の予測値の変化を検討する。

残響室の隅部の角度は 105° と直角よりも 15° 大きい。パターン Lf-1 で隅部が直角の場合に、片方の壁面の虚音源から吸音面を見込む立体角は $0.87[\text{sr}]$ である。立体角の計算が煩雑になるため、 $15^\circ/90^\circ=1/6$ より、この立体角の反射音の $1/6$ が吸音面に入射しないと仮定する。このとき、4kHz の予測値は実物実測値吸音率を用いた場合約 0.3dB 小さくなり、カタログ値の場合は約 0.1dB 小さくなる。

上述した検討から、隅部の形状は要因の一つとしては考えられるが、主要因とはならないことが示唆される。

その他の要因としては、室のスケールの違いが考えられる。残響室の天井高さは約 5m であるのに対して、一般居室の天井高さは約 3m である。パターン Lf の吸音面を音源と受音点を隔てる壁のように考えた場合、吸音面上部から天井までの部分の面積が広い残響室では、遮音の効果が相対的に小さくなるために一般居室ほどのレベル差が生まれなかったのではないかと考えられる。

< 予測式との対応 >

グラフ上の「予測値（既存式）」は式(2.9)の予測式を用いた値を表し、式(2.9)に式(2.12)の補正を加えた値を「予測値（提案式）」とする。また、以下の文章でもそのように記す。

500 ~ 4kHz 帯域において吸音面配置の影響傾向が予測値（提案式）の変化と対応する様子が見られる。しかし、特に隅部では予測値（提案式）の変化量は過大となる傾向がある。これは、予測値（提案式）に用いた実物実測値の吸音率の測定方法に原因があると考えられる。つまり、ここで使用した吸音率は吸音面を実際実験に用いたように立てた状態で測定したのではなく、3.2.2 で示したように床に置いて測定したため面積効果が大きく生じて、本来の吸音率と異なる値になったためだと考えられる。

また、全体として予測値は過大であるが、実験 1 でもこの立体角（壁際なら 3.81[sr]、隅部なら 4.8[sr]）の場合に、実物実測値の吸音率を用いた予測値は実測値を過大に予測している。よって、予測値（提案式）の補正の影響をほとんど受けない配置パターン F-h や L-h のときにすでにズレが生じ、結果として全体的に予測値（提案式）が過大となる。

次に、予測値（既存式）と、予測値（提案式）を比較して各々の有用性を考える。前述したように、予測値（提案式）は 500 ~ 4kHz 帯域における吸音面配置の影響傾向とよく対応している。しかし、残響室で Lf などの配置で予測値（提案式）が大きく見込まれる場合、実際には予測値（既存式）が実測値と近い場合もある。

室の状態によっても実測値と予測値の対応は変化し、残響室では予測値（提案式）は実測値と大きなズレを生じるものの、一般居室では高周波数帯域で生じる大きな吸音効果量を捉えている。

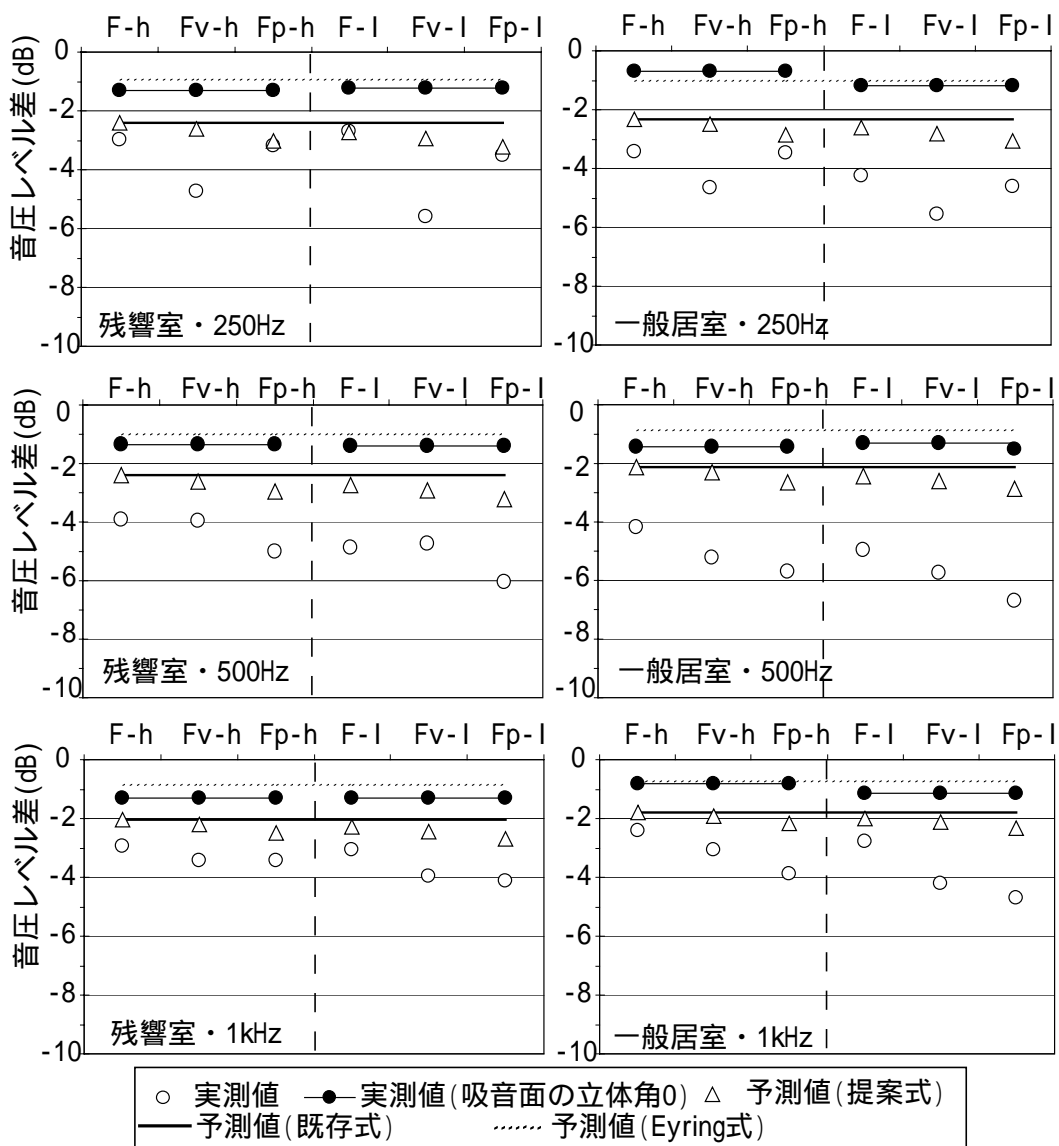
次節では、実験 1 の高周波数帯域で予測値と実測値の傾きが良く対応していた、カタログ値吸音率を用いた予測値をプロットし、実測値との対応を検討する。

5.2.3 室内に吸音面が無い状態を基準とした室内平均音圧レベル(カタログ値吸音率を用いた予測値)

5.2.1 と同様に、平面型・L字型吸音面の各配置パターンにおける室内平均音圧レベルを、吸音面が無い場合を基準としたレベル差として図 5.3、図 5.4 に示す。5.2.1 と同様に図中に、平面型吸音面を音源と反対方向に向けた場合（吸音面の立体角 0）の実測値を示す。ただし、吸音率としてカタログ値を用いた予測値を示している。

また、図 5.5、図 5.6 に実物実測吸音率とカタログ値吸音率を用いた予測値を比較したグラフを示す。

(1) 壁際



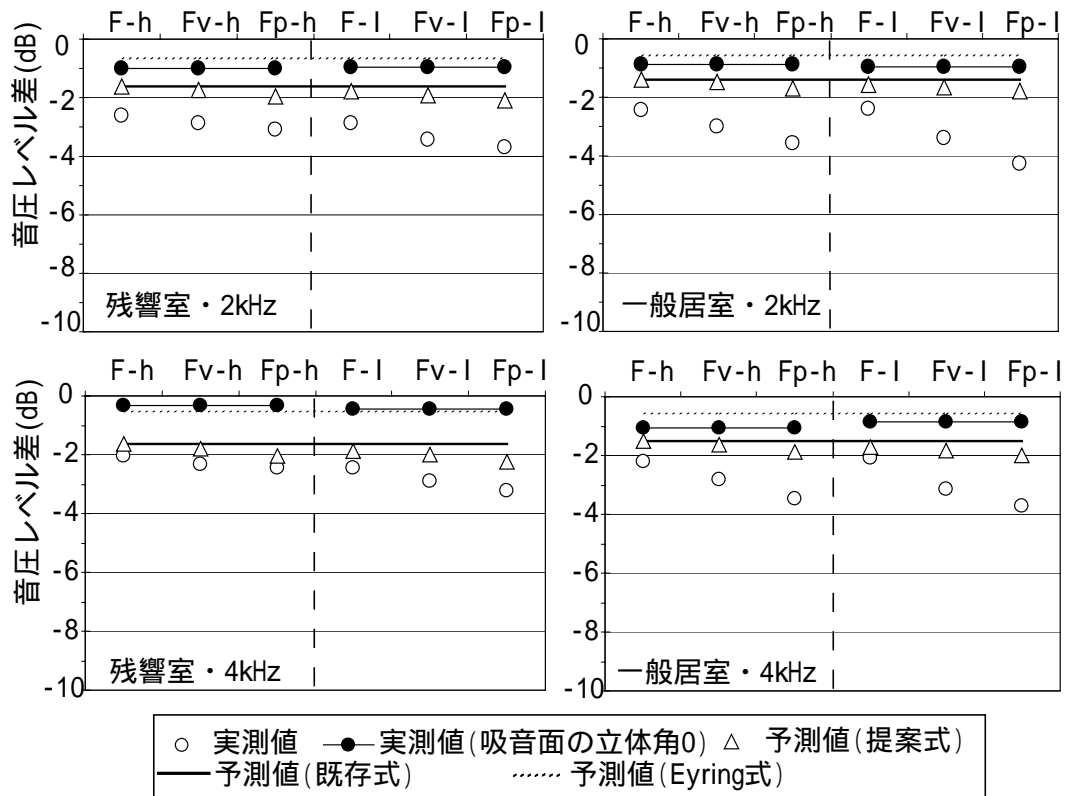


図 5.3：吸音面なしの状態を基準とした各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値（カタログ値吸音率を用いて予測値を算出した場合）

(2) 隅部

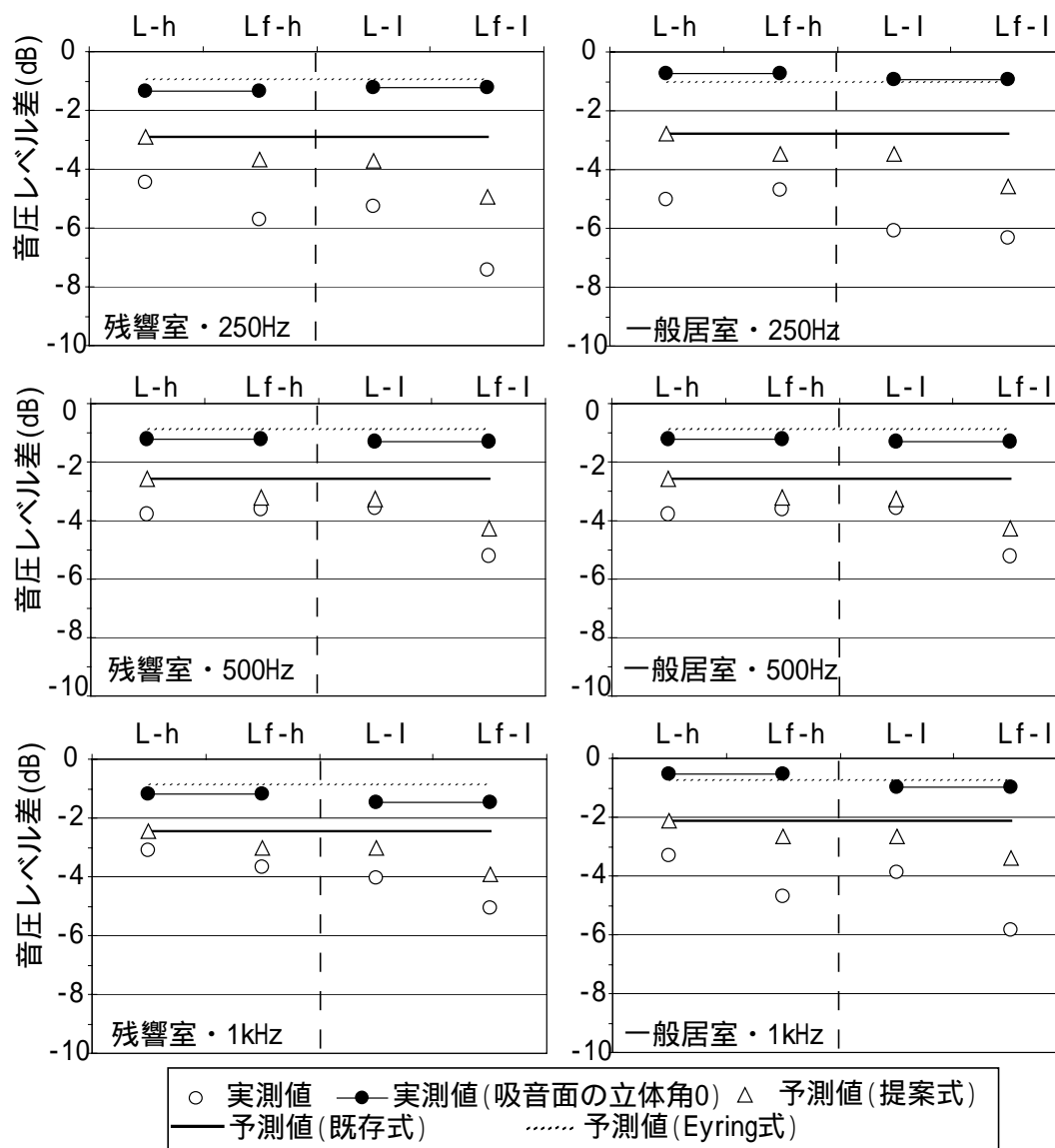
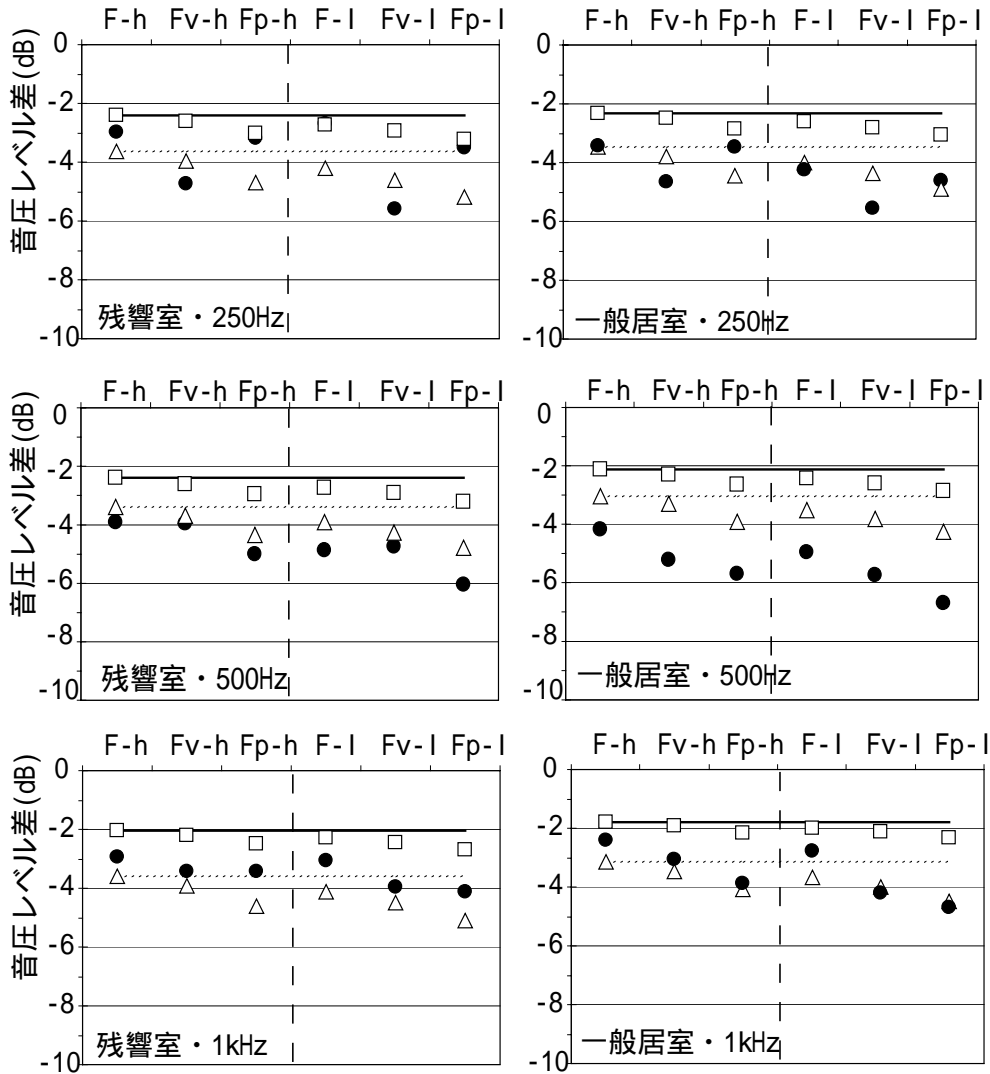




図 5.4：吸音面なしの状態を基準とした各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値（カタログ値吸音率を用いて予測値を算出した場合）

* 実物実測吸音率とカタログ値吸音率を用いた予測値の比較

(1) 壁際



● 実測値 □ 提案式の予測値 (カタログ値) — 既存式の予測値 (カタログ値)
 △ 提案式の予測値 (実物実測値) 既存式の予測値 (実物実測値)

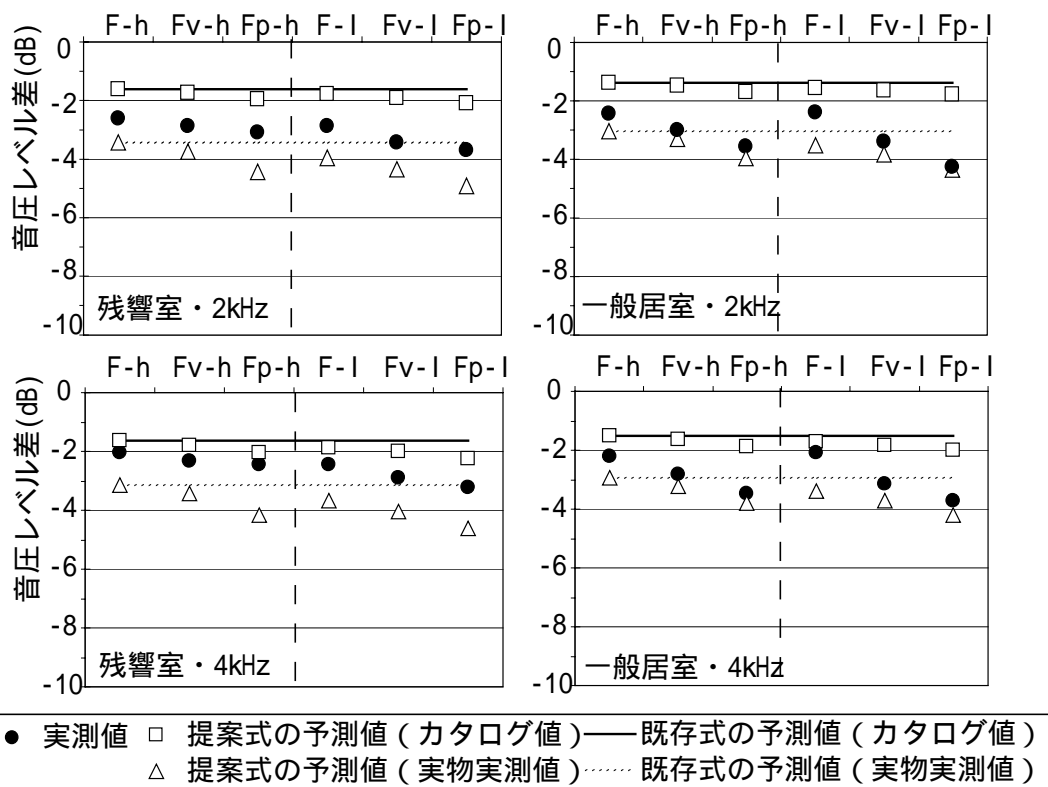
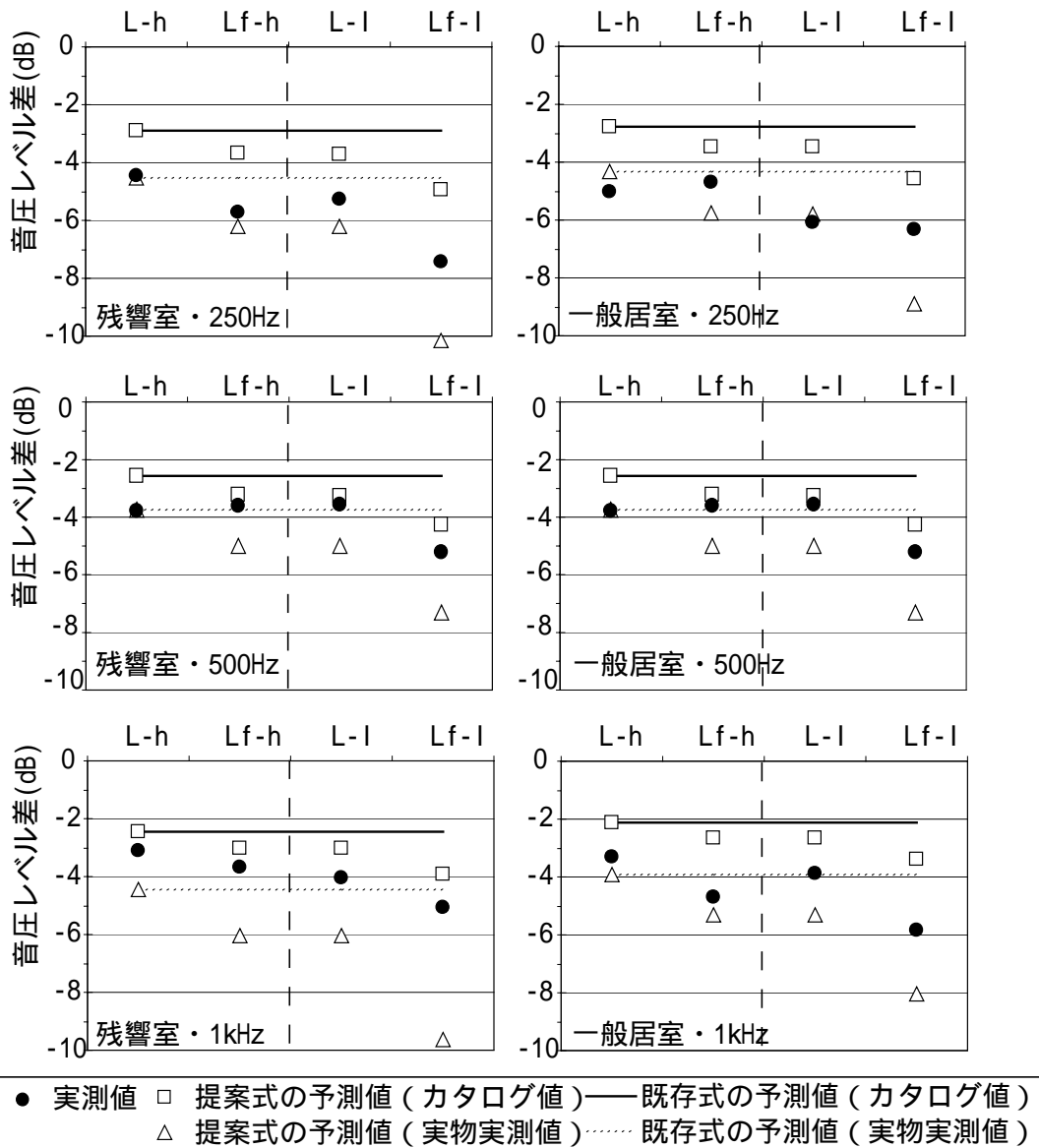


図 5.5 : 実物実測吸音率とカタログ値吸音率を用いた予測値の比較

(2) 隅部



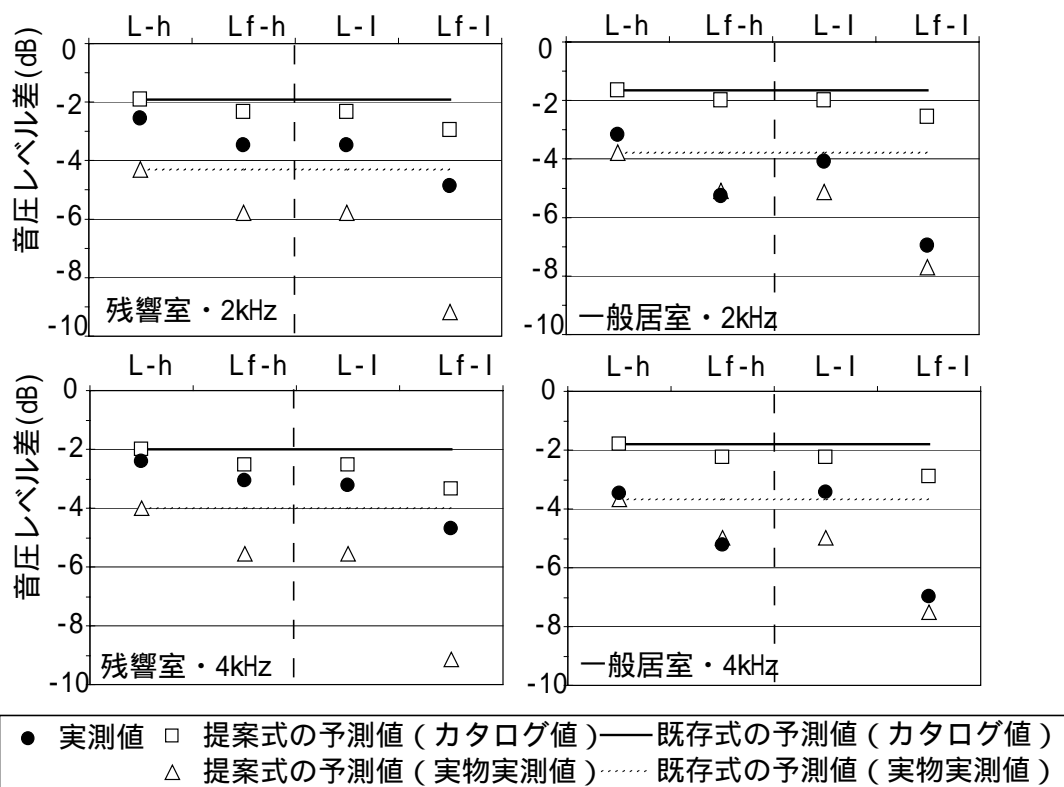


図 5.6 : 実物実測吸音率とカタログ値吸音率を用いた予測値の比較

5.2.4 結果と考察

< カタログ値吸音率を用いた予測値と実測値との対応 (図 5.3、図 5.4) >

- ・ 全体としてカタログ値吸音率を用いた予測値は、常に実測値より小さく吸音効果を予測している。
- ・ 配置パターン間の予測値の変化量は小さく、壁際では予測値(既存式)とほとんど変わらない。これは、実験 1 からわかるようにカタログ値吸音率を用いた予測値は、立体角の増加に伴うレベル変化が小さいことに起因している。

< 二つの吸音率を用いた予測値と実測値との対応関係について (図 5.5、図 5.6) >

吸音率に実物実測値を用いたものに、カタログ値を用いた予測値を加えて実測値との対応を検討する。なお本節ではこれ以降「予測値」という記述は、後ろに括弧がつかない場合、本研究で提案した予測値のことを示す。

全体として 250Hz、500Hz を除いて二つの予測値の間に実測値が収まっていることがわかる。また、残響室ではカタログ値吸音率の予測値と実測値との対応がよく、一般居室では実物実測値の吸音率を用いた方が対応がよい。吸音率にカタログ値を用いた場合、実測値を過大に予測することはないが、パターン間での変化量も少ない。

次に、(1) 壁際、(2) 隅部に分けて予測値と実測値との対応について検討していく。

(1) 壁際

- ・ 残響室の 1 ~ 4kHz を見ると、二つの予測値のほぼ中間に実測値が位置している。つまり、実物実測値吸音率を用いた予測値はやや過大に予測しており、カタログ値吸音率を用いた予測値は逆にやや過小に予測している。
- ・ 一般居室の 1 ~ 4kHz では、同じく二つの予測値のほぼ中間に実測値が位置している。
- ・ 一般居室で、吸音面配置の変化と共に生じるレベル変化は、二つの予測値の変化よりも実測値のほうが大きい。

(2) 隅部

- ・ 残響室の 1 ~ 4kHz を見ると、カタログ値吸音率を用いた予測値は各配置パターンの実測値との差は 1 ~ 2dB に収まっている。しかし、実物実測値吸音率を用いた場合、予測値は実測値を 2dB 以上過大に予測している。
- ・ 一般居室の 1 ~ 4kHz では、実物実測値吸音率を用いた予測値と実測値の対応がよい。
- ・ 吸音面配置の変化と共に生じるレベル変化と予測値との対応は 2 室で異なる。残響室では二つの予測値の中間的なレベル変化をしているが、一般居室では実物実測値吸音率を用いた予測値の変化との対応がよい。カタログ値吸音率を用いた予測値だと実測値の変化を捉えられず、また予測値自体の変化量も 1dB 前後にとどまる。

< 予測値 (提案式) と予測値(既存式)の関係 (図 5.5、図 5.6) >

実物実測値吸音率を用いた場合は、配置の違いによる予測式間のレベル差が大きい。それに対してカタログ値を用いた場合は予測式間のレベル差が小さく、壁際ではほとんど予測式間で差が見られなかった。

よって、虚音源から吸音面を見込む立体角が小さく、吸音材の吸音率も小さい場合には、予測値 (既存式) と予測値 (提案式) はあまり変わらない。吸音面に用いたカタログ値吸

音率は 250 ~ 4kHz で 0.7 以上なので、吸音率がそれ以下の場合や小さい場合は、提案式で予測する必要性も小さくなると考えられる。実際に予測式を用いる際には、その点に留意する必要がある。

吸音面がない状態からの予測はそもそも Eyring 式の予測値と吸音面立体角 0 の実測値の間に差が生じているところからも困難であることが示唆された。

5.3 まとめ

音源を室内の壁際または隅部に固定した上で、吸音面を見込む立体角を一定として配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係が吸音効果に及ぼす影響を検討した。また、音源が壁・床近傍に配置されている場合の補正を加えた室内音響エネルギー密度の予測式の適用可能性について検討した。

実験の結果、音源が壁・床近傍にある場合、吸音面を見込む立体角が等しくても、その配置が局所吸音効果に大きく影響を及ぼすことが確認された。具体的には、一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角の大きさに比例して吸音効果も大きくなる。また、全体的に、残響室と比較して一般居室の方が吸音面配置の変化による実測値の効果量の差は大きい。

予測値（提案式）と実測値の対応は、吸音面の吸音率によって変化する。

吸音率に実物実測値を用いた場合は、虚音源から吸音面を見込む立体角を考慮した予測式は概ね配置の影響を捉えたものの、効果を過大に予測する傾向が見られた。

一方、吸音率にカタログ値を用いた場合は、吸音効果を過大に予測することはないものの、パターン間のレベル変化を小さく予測するため、予測値（既存式）との差が小さくなり、吸音効果量を捉えることができない。虚音源から吸音面を見込む立体角が小さかったり、吸音率が小さい場合には、提案式で予測する必要性も小さくなると考えられる。

また、提案式の有用性については、吸音面なしの状態からの定量的な予測は困難だが、1k ~ 4kHz 帯域で音源から吸音面を見込む立体角が等しい状態であれば、吸音面配置の違いによる吸音効果の影響傾向の把握は可能であり、その場合には有用であることが示唆された。

第6章 総括

6.1 研究の総括

本章では、本研究によって得られた成果を総括し、今後の課題について述べる。

第一章では、室内音響における吸音対策の役割、現在の幾何音響による室内音圧レベルの予測式・予測手法の問題点など研究の背景を整理し、研究の目的を設定した。また、本論文の構成を示した。

第二章では、拡散音場の概要、室内音響エネルギー密度の予測に用いられている Eyring の予測式と既往研究で提案されている予測式の導出について述べた。その後、室内の音源の位置に着目した予測式の改良部分について述べた。

第三章では、二つの実験の概要について述べた。

第四章では、音源に対して3つの吸音面の配置パターンで音源・吸音面間距離を変化させ、音源から吸音面を見込む立体角ならびに吸音面の向き・形状が室内の吸音効果に及ぼす影響を実験室実験によって検討した。その結果、残響室、一般居室ともに音源が室中央にある場合、室内平均音圧レベルに及ぼす局所吸音の効果は音源から吸音面を見込む立体角とともに大きくなることが確認された。一般居室では音源に対する吸音面の向き・吸音面形状の影響が若干現れた。一方、残響室ではこれらの影響は見られず、拡散性の高い部屋での吸音処理は吸音面の向き・形状は考慮する必要がないことが示唆された。予測値との対応関係を見ると、二つの吸音率を用いた予測値に対応する実測値の傾斜は周波数帯域によって異なっていた。

第五章では、音源を室内の壁際または隅部に固定した上で、吸音面を見込む立体角を一定として配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を実験室実験によって検討した。また、音源が壁・床近傍に配置されている場合の補正を加えた室内音響エネルギー密度の予測式の適用可能性について検討した。

実験の結果、音源が壁・床近傍にある場合、吸音面を見込む立体角が等しくても、その配置が局所吸音効果に大きく影響を及ぼすことが確認された。具体的には、一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角の大きさに比例して吸音効果も大きくなる。また、残響室と比較して一般居室の方が吸音面配置の変化による実測値の効果量の差は大きかった。これは、室形状、スケールのためだと考えられる。

予測値との対応では、虚音源から吸音面を見込む立体角を考慮した予測式は概ね配置の影響を捉えており、室内に吸音面がある状態で音源から等立体角に吸音面を配置するとき、最も吸音効果が高い配置を知るためには有用となる可能性が示唆された。しかし、虚音源から吸音面を見込む立体角の大きさや、吸音面の吸音率によっては、配置の違いによる吸音効果量を捉えることができず、既存の予測式より有用とはいえない場合も見られた。

6.2 今後の課題

今後の課題として、まず室内音場の違いによる局所吸音効果の変化についてより多くの音場で検討する必要があると考えられる。本研究では残響室と一般居室を対象音場としたが、この2部屋はスケールは異なるものの吸音力がほぼ等しく、また一般居室の平均吸音率は0.1前後と小さく、室間の差異を見るのには不適當であったかもしれない。それにも関わらず局所吸音効果の差ははっきりと表れた。

よって今後、拡散性、スケールなどが異なるさまざまな室内空間で検討しなければ、局所吸音効果が室間で変化する要因を捉えることは困難だと考えられる。

次に、低周波数帯域の予測手法の開発が挙げられる。本研究では幾何音響的に音響エネルギーを扱うことが前提となるため、250Hz以上の周波数帯域での測定であった。しかし、実際に騒音源として問題となるのは低周波音であることも多い。本研究で提案した予測式も250Hzであると実測値との対応が悪くなる。今回の測定周波数帯域以下の帯域での波動性を考慮した局所吸音効果の予測も必要であると考えられる。

また、本研究では音源を無指向性の点音源として予測を行ったが、実際の騒音源はある大きさを持っているため、音源のどこから吸音面の立体角を見込むかで予測値が大きく変化する。今後、実際の状況をより正確に捉えるためには、大きさをもった音源を想定した予測法が求められる。

参考文献

<局所吸音に関して>

- [1] 室内の音源近くに配置した吸音面による減音について
藤井健（呉高専） 建築学会大会梗概集，p23-24，1995年
- [2] 室内の音源近くに配置した吸音面の減音効果に関する実験
藤井健，緒方信一郎（呉高専） 建築学会大会梗概集，p51-52，1999年
- [3] 音源と吸音面の位置関係を考慮した室内平均音圧レベルの計算法
藤井健，緒方信一郎，石井仁（呉高専） 騒音制御，Vol26，No.6，p404-409，2002年
- [4] 紙折機械に対する室内吸音対策事例
日本騒音制御工学会 騒音・振動対策事例集，p96-97

<吸音材配置に関して>

- [5] 矩形室における吸音材配置による残響時間特性について
小林 好人（旭硝子防音システム） 秋季音響学会講演論文集，p845-846，1997年
- [6] 矩形室における吸音材配置による残響時間特性について - その2：その他の音響評価値による比較 -
小林 好人（旭硝子防音システム） 秋季音響学会講演論文集，p923-924，1998年
- [7] 吸音材が偏在した室における残響減衰特性 - 音響模型実験による検討 -
牛山 歩（東大・院）他 秋季音響学会講演論文集，p961-962，2004年
- [8] 吸音材が偏在した室における残響減衰特性 - 数値解析による検討 -
安田 洋介（東大・生研）他 秋季音響学会講演論文集，p963-964，2004年

<拡散音場に関して>

- [9] オフィスにおける音の伝搬性状
畑中尚，吉村純一，小川博正（小林理研） 秋季音響学会講演論文集，p895-896，1992年

<測定法に関して>

- [10] JIS A 1409（1998）残響室法吸音率の測定方法
日本規格協会
- [11] JIS A 1409 残響室法吸音率の測定方法
中川清（清水建設技術研究所） 音響技術<特集> 建築音響関係改正 JIS より，p15-18，2000年9月

<室仕様に関して>

- [12] 三井建設技術研究所の新音響実験室について
安岡博人，赤尾伸一（三井建設技術研究所） 建築学会大会梗概集，p143-144，1983年

<その他・書籍>

[13] 建築・環境音響学

前川純一 他，共立出版，第2版，1990年

[14]最新 建築環境工学

田中俊六 他，井上書院，改訂2版，1999年

[15]騒音制御工学ハンドブック

社団法人 日本騒音制御工学会 編，技報堂出版，第一版，2001年

室内騒音源に対する局所吸音対策の効果について

Effect of local arrangement of absorbing surfaces for a noise source in rooms

学籍番号 56817

氏名 石上 英輔(Ishigami, Eisuke)

指導教員 佐久間 哲哉 助教授

1. 研究の背景と目的

室内における吸音効果の予測には、拡散音場の仮定に基づく Eyring の音響エネルギー密度の予測式（以下 Eyring 式）がよく知られている。また、室内騒音源に対する局所的な吸音効果に関しては、音源から吸音面を見込む立体角により Eyring 式を補正した予測式が提案されている^[1]。一方、音源に対する吸音面の向きや形状が室の吸音効果に及ぼす影響は確認されておらず、既存の予測式で予測することはできない。また、実際の吸音対策では壁・床近傍の騒音源を取り扱う場合が多いが、この場合吸音面に入射する直接音と同様に、壁・床からの一次反射音も吸音効果に大きく影響を及ぼすと考えられる。

以上の背景を踏まえて、本研究では音源から吸音面を見込む立体角ならびに吸音面の向きや形状、音源位置が室の吸音効果に及ぼす影響を検討するため、予測式の改良とその検証実験を行った。

2. 室内音響エネルギー密度の予測式

2.1 Eyring 式の補正

室内を拡散音場と仮定したとき、室内音響エネルギー密度は次式で表される(Eyring 式)。

$$E = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + \bar{r} + \bar{r}^2 + \bar{r}^3 + \dots \right) = \frac{Wp}{Vc \cdot \alpha} \quad (1)$$

室内に無指向性点音源がある場合、直接音に対する立体角平均反射率は次式で表される。

$$r_d = \frac{(4\pi - \omega_m) \cdot r_0 + \omega_m \cdot r_m}{4\pi} \quad (2)$$

ω_m : 音源から吸音面を見込む立体角(sr)

r_0 : 室内表面の反射率 (=1- α_0)

r_m : 吸音面の反射率 (=1- α_m)

(1)式において一次反射に r_d 、二次以降の

反射に室内平均反射率 \bar{r} を用いると、以降室内音響エネルギー密度は次式で表される^[1]。

$$E = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + r_d + r_d \cdot \bar{r} + r_d \cdot \bar{r}^2 + r_d \cdot \bar{r}^3 + \dots \right) = \frac{Wp}{Vc} \left(1 + \frac{r_d}{\alpha} \right) \quad (3)$$

2.2 立体角平均反射率の補正

本研究では、室内で音源が壁や床の近傍にある場合、一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角の割合を、式(2)の吸音面に入射する直接音と同様に扱えると考え、次のように補正を行った。

$$r_d = \frac{(4\pi - \omega_m - \omega_m') \cdot r_0 + \omega_m \cdot r_m + \omega_m' \cdot r_0 \cdot r_m}{4\pi} \quad (4)$$

ω_m' : 一次反射音の虚音源から吸音面を見込む立体角(sr)

3. 実験構成

3.1 実験概要

3.1.1 実験 1

吸音面の配置パターンを図 1 に示す。音源は室中央に固定し、3 つの配置パターンで音源・吸音面間距離を 0.3~2.4m に変化させ、吸音面を見込む立体角ならびに吸音面の向き・形状が室内平均音圧レベルに及ぼす影響を検討する。

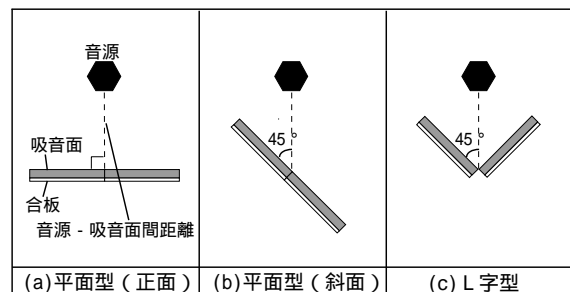


図 1 : 実験 1 の配置パターン (平面図)

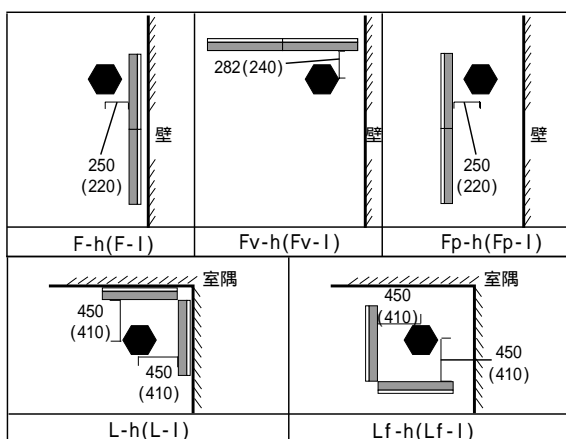


図 2：実験 2 の配置パターン
(括弧内は音源が下部の場合)

表 1：実験 2 の配置パターン詳細

| 吸音面形状 | ω (sr) | ω (sr) | 吸音面パターン | 吸音面高さ(m) | 音源高さ(m) | |
|-------|---------------|---------------|---------|----------|---------|-----|
| 平面型 | 3.81 | | +0.03 | F-h | 1.3 | 1.3 |
| | | | +0.39 | Fv-h | | |
| | | | +1.16 | Fp-h | | |
| | | | +0.65 | F-l | 0.6 | |
| | | | +1.05 | Fv-l | | |
| +1.60 | Fp-l | | | | | |
| L字型 | 4.8 | | +0.06 | L-h | 1.3 | 1.3 |
| | | | +1.36 | Lf-h | | |
| | | | +1.37 | L-l | 0.6 | |
| | | | +3.10 | Lf-l | | |

表 2：吸音面の吸音率

| | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|-------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| カタログ値 | 1.00 | 0.98 | 0.85 | 0.70 | 0.80 |
| 実物実測値 | 1.43 | 1.33 | 1.40 | 1.39 | 1.40 |

表 3：実験室の平均吸音率

| | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|------|-------------------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| 残響室 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 |
| 一般居室 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.11 |

表 4：実験室の吸音力

| | オクターブバンド中心周波数(Hz) | | | | |
|------|-------------------|------|------|-------|-------|
| | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k |
| 残響室 | 8.79 | 8.36 | 8.53 | 9.33 | 13.57 |
| 一般居室 | 8.21 | 9.48 | 9.96 | 10.73 | 11.93 |

3.1.2 実験 2

吸音面の配置パターンを図 2・表 1 に示す。音源を室内の壁際または隅部に固定した上で、吸音面を見込む立体角を一定として配置パターンを変化させ、音源と吸音面の位置関係の影響を検討する。

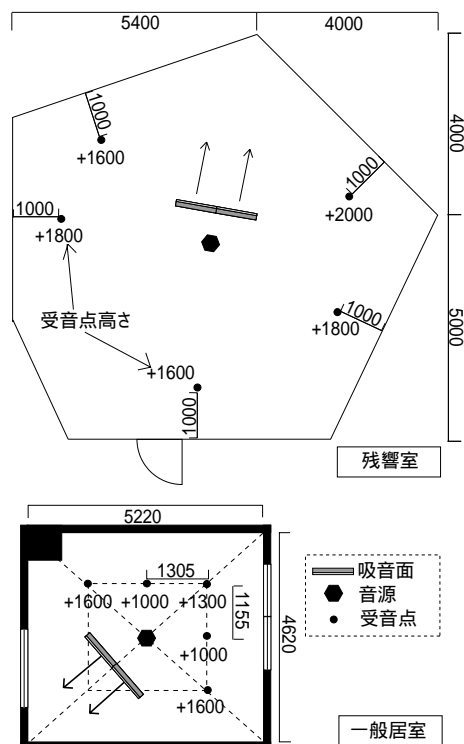


図 3：実験室平面図（図は実験 1 の場合）

表 5：実験室仕様

| | 残響室 | 一般居室 |
|------|-------------------|----------------------|
| 室面積 | 59m ² | 24.20m ² |
| 室表面積 | 282m ² | 107.56m ² |
| 室容積 | 322m ³ | 72.84m ³ |
| 備考 | ウレタン塗布型 枠打放し | 天井に吸音処理 (岩綿吸音板) |

3.2 実験条件

実験 1・2 共に音源として無指向性 12 面体スピーカーを用いてピンクノイズを放射し、室内 5 点の音圧測定値から平均音圧レベルを 250~4kHz の 1/1 Oct.band 毎に求める。

吸音面には合板 (12mm 厚) にグラスウール (32K、100mm 厚) を接着したパネル (0.9m*1.2m) を 2 枚使い、平面型・L字型に接合する (吸音面の吸音率は表 2 参照)。また、実験は図 3 に示す残響室と一般居室の 2 室で行う。実験室の平均吸音率、吸音力、仕様は表 3、表 4、表 5 の通りである。

4. 実験 1：結果と考察

吸音面の各配置パターンにおける室内平均音圧レベルを、吸音面が無い場合を基準としたレベル差として図 4 に示す。また、図中の予測値は吸音率のカタログ値と実物

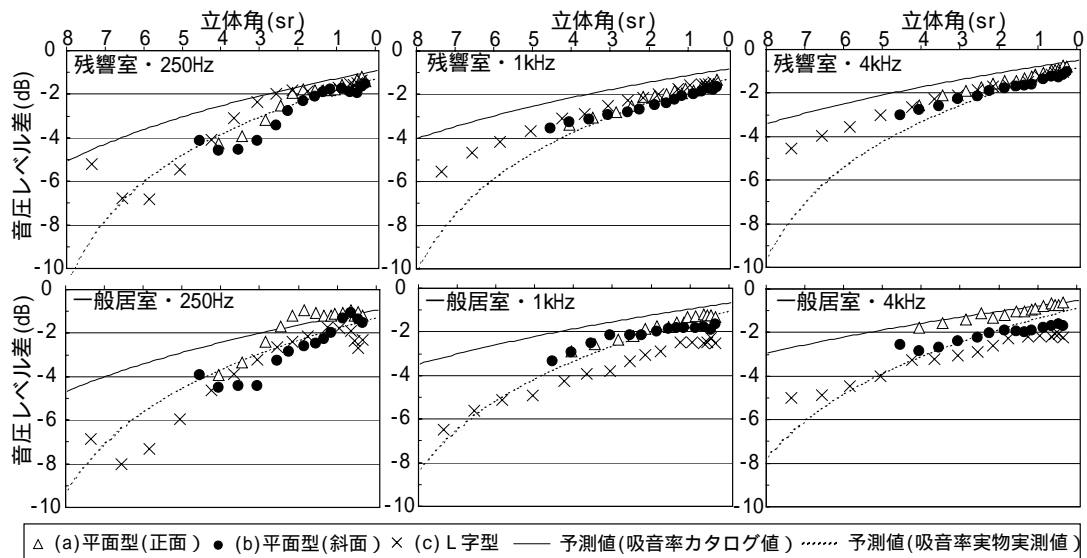


図4：各配置パターンの立体角と吸音効果の関係

実測値によるものである。

<立体角の影響> 全体的な傾向として、吸音面を見込む立体角が大きいほどレベル差が大きくなり、局所吸音の効果が確認できる。ただし、250Hz帯域では顕著に変動が現れており、室内モードや吸音面寸法の影響によるものと考えられる。

<吸音面の向き・形状の影響> これらの影響は残響室の1kHz・4kHz帯域ではほとんど見られない。一方、一般居室では若干の差が見られ、平面型に比べてL字型の場合に1~2dB吸音効果が大きくなっている。

<予測値との対応関係> 250Hz帯域では、実物実測値を用いた場合と比較的に対応しているのに対して、1kHz・4kHz帯域ではカタログ値を用いた場合と傾斜が合致する傾向が見られる。

5. 実験2：結果と考察

平面型・L字型吸音面の各配置パターンにおける室内平均音圧レベルを、吸音面が無い場合を基準としたレベル差として図5、図6に示す。図中には、平面型吸音面を音源と反対方向に向けた場合（吸音面の立体角0）の実測値と3つの予測値を示す。予測値には、実物実測値の吸音率を用いている。

実測値については、全体的に局所吸音効

果が2~6dB生じている。それに加えて吸音面配置の影響が見られ、Fp-1、Lf-1のように床面に近接した場合にその影響がより顕著となっている。特にL字型吸音面を隅部に向けて音源を覆うように配置したLf-1の場合に、最大の効果が生じている。また、全体的に残響室と比較して、一般居室の方が吸音面配置の変化に対する実測値の変化量大きい。

予測値については、1kHz・4kHz帯域における吸音面配置の影響傾向が式(4)の補正による予測値の変化と対応する様子が見られる。しかし予測値の変化量は全体的に過大となる傾向がある。

6. まとめ

室内騒音源に対する局所吸音対策の効果について、吸音面を見込む立体角ならびに吸音面の向き・形状、さらに室内の音源位置の影響を検討した。その結果、以下のことがわかった。

- ・ 残響室、一般居室ともに音源が室中央にある場合、室内平均音圧レベルに及ぼす局所吸音の効果は音源から吸音面を見込む立体角とともに大きくなることが確認され、一般居室では吸音面形状の影響が若干現れた。また、予測式との対応は周波数帯域によって異なる。

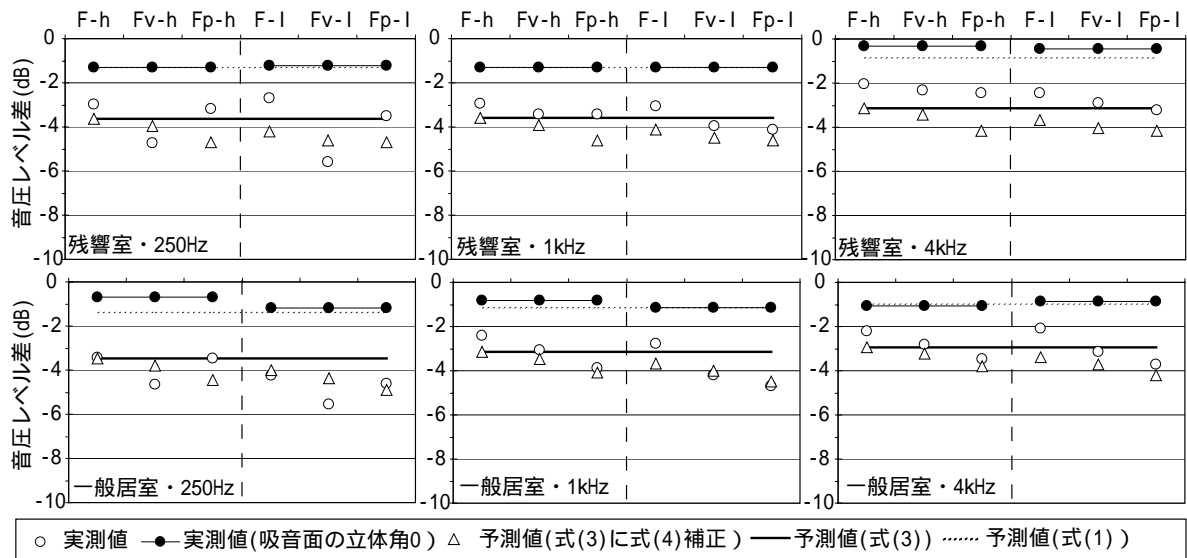


図5：各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値の関係（壁際）

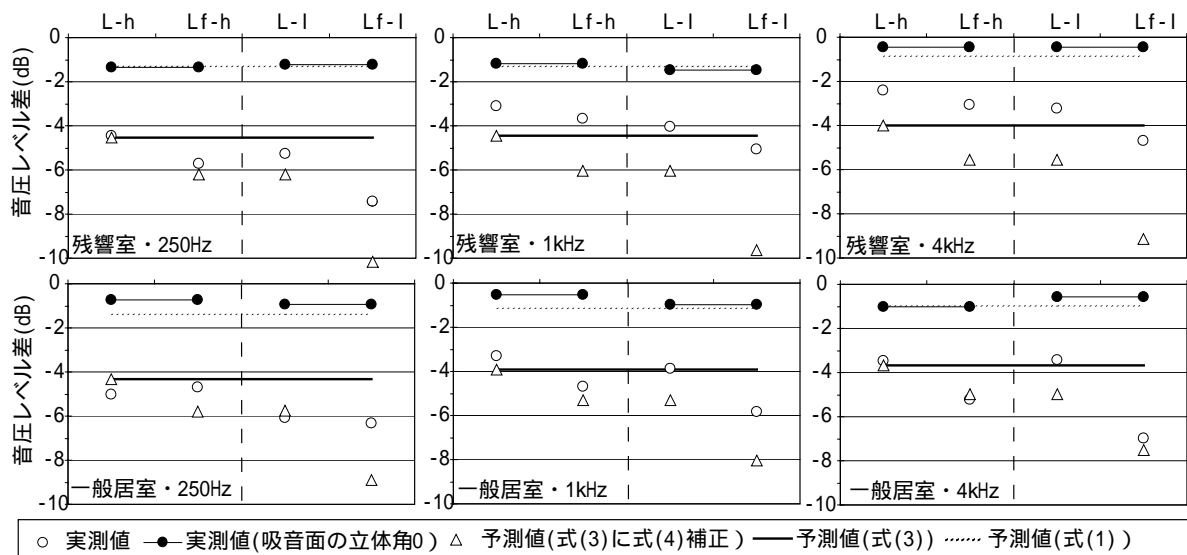


図6：各配置パターンの吸音効果の実測値と予測値の関係（隅部）

- ・ 音源が壁・床近傍にある場合、吸音面を見込む立体角が等しくても、その配置が局所吸音効果に大きく影響を及ぼすことが確認された。
- ・ 虚音源から吸音面を見込む立体角を考慮した予測式は、概ね配置の影響を捉えたものの、効果を過大に評価する傾向が見られた。

謝辞

実験にご協力いただいた(株)三井住友建設技術研究所の赤尾伸一氏、岩本毅氏、嶋田泰氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

[1] 藤井健他, 騒音制御, Vol.26(No.6), 404-409, 2002