

床材料の吸音特性

小沢あつみ, 南澤 明子
日本女子大学理学部数物科学科

(2002年10月11日受理)

要 旨 より住みよい生活環境を騒音の観点から検討する目的で、一般住宅における床材料の吸音率測定を $10^2 \sim 10^4 \text{Hz}$ 程度の可聴周波数領域で行った。カーペットはウール、ポリエステルなど、周波数が高くなると吸音率が顕著に増大した。これに比べて畳は周波数依存性が小さく、低周波ではカーペットより吸音率が高いことがわかった。また、一般的な広さでは居室面積による吸音率の違いは見られなかったが、室内にベッドなどの家具があると高音域での吸音率が高くなること、カーペットを敷いた室内では吸音率が高く、防音効果が高いことが明らかにされた。

キーワード：吸音率, 遮音, 残響時間, 音波, 畳

1. はじめに

現在の都市環境の中では住まいの音環境を考えると、交通騒音、近接騒音、生活騒音などの騒音問題は多い。これらの音源を対象として音を遮音、または低減する目的で、吸音材料・構造が活用されている。窓では、二重窓のガラス間の空気層を厚くとったり、ゴムを介して周囲と接するようにすることにより遮音機能を高めている。壁材も厚くしたり、2層にしたりして、また、防振ゴムや吸音材と併用するなどして工夫されている。一方、スタジオや音楽ホール、会議室などでは、適度の残響が必要となり、過度な吸音材料の使用は利用者に不快感を感じさせることもある。しかし、一般的な住環境の中では、騒音対策としては、室内の吸音性能が大きいほうが有効である。そこで、より快適な住環境のために、床仕上げ材の吸音率、および一般住宅での吸音性能について測定を行った。

2. 吸音率

吸音性能を表わす量として吸音率がある。図1に示すように、入射エネルギー I と反射エネルギー R との比 R/I を反射率と呼び r で表わす。この $1-r$, つまり $1-R/I$ が吸音率で、これを一般には α で示す。 α は0から1の間の値をとる。したがって、 $\alpha=0$ は完全反射、 $\alpha=1$ は

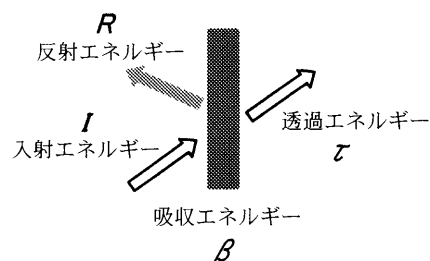


図1. 吸音率の定義

完全吸音となる。透過エネルギーを減少させるには、つまり防音効果には反射と同様に吸収も重要な役割を果たす。これらの性質は壁の材質によっても異なり、遮音性能がよいとはよく反射する材質をいい、吸音性能がよいというのはよく吸収する材質ということになる。

室内の音場を完全な拡散音場と仮定する。これは音響エネルギーが室内全体に均一に分布しており、どの点においても音の進行方向はあらゆる方向に一樣であるということである。このような拡散音場でエネルギー密度を E とすると、周壁の単位面積 (1 m^2) に1秒間入射する音響エネルギー I は

$$I = \frac{c}{4} E \quad (1)$$

となる。ただし、 c は空気中の音速である。

室の周壁の全表面積を S とすれば、全周壁に入射するエネルギーは (1) 式より $cES/4$ 、周壁の平均吸音率を

$\bar{\alpha}$ とし、容積 V 、音源の出力を W とすれば、

$$V \frac{dE}{dt} = W - \frac{cES\bar{\alpha}}{4} \quad (2)$$

(2) 式を $t=0$ で $E=0$ という初期条件のもとに解くと

$$E = (4W/cS\bar{\alpha}) [1 - e^{(cS\bar{\alpha}/4V)t}] \quad (3)$$

となり、 $t \rightarrow \infty$ のとき $E \rightarrow E_0$ とおけば

$$E_0 = 4W/cS\bar{\alpha}$$

となるので、(3) 式は

$$E = E_0 e^{(cS\bar{\alpha}/4V)t} \quad (4)$$

となる。これは減衰式である。したがって減衰率 D は

$$D = 10 \log_{10} e^{(cS\bar{\alpha}/4V)} \quad (\text{dB/s}) \quad (5)$$

残響時間 T は 60dB 減衰する時間であるから

$$T = \frac{60}{D} = \frac{6 \times 4V}{cA \log_{10} e} = \frac{55.26V}{cS\bar{\alpha}} \quad (6)$$

これが Sabine の残響式である。

また吸音率 α は等価吸音面積 A を用いると

$$A = \alpha \times S \quad (7)$$

で示される。(6)、(7) 式より、試料を設置したときの吸音率は

$$\alpha = \frac{55.3V}{S_2} \left\{ \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \left(1 - \frac{S_2}{S} \right) \right\} \quad (8)$$

となる。ただし、 S_2 は試料の表面積、 c_2 、 T_2 は試料設置時の音速および残響時間である。 c_1 、 T_1 は試料がないときの音速及び残響時間を示す。また、(7) 式を用いて等価吸音面積レベル L_{abs} は

$$L_{abs} = 10 \log_{10} A$$

で示され音圧を知ることができる。

3. 測定方法

測定に使用した残響室は容積 224m^3 ・表面積 227m^2 の直方体残響室と容積 198m^3 ・表面積 203m^2 の不整形七面体残響室の 2 つで図 2 に示す。試料を床面に設置した室内と何も置いてない室内での残響時間をノイズ断続法により測定した。ノイズ断続法は音源スピーカよりホワイトノイズを断続して出力し、これを記録計で受音する。残響時間の求め方は、音源停止前の定常状態のレベルから、音源停止後の残響減衰曲線で $-5\text{dB} \sim -35\text{dB}$ の範囲を最小二乗法により直線近似し、その傾きより残響時間を求める。これを用いて (8) 式より吸音率を求めた。

用いた床材料は本畳、ウールカーペット、ポリエステルカーペットの 3 種類であり、サイズは表 1 に示すが、

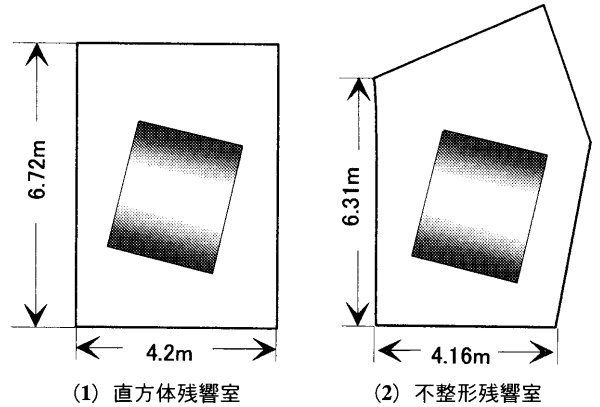


図 2. 使用した残響室

表 1. 測定に用いた床材料

試料	表面積 [m ²]	厚さ [10 ⁻² m]	重さ [kg]	密度 [10 ² kg/m ³]
畳	9.72	5.77	178.8	3.19
ポリエステルカーペット	9.72	0.41	17.04	4.31
ウールカーペット	9.72	0.63	9.79	1.6

いずれも 6 畳分のサイズである。直方体残響室、不整形残響室のどちらの広さも、床材料がすんなりと収まるほどのスペースである。

また、一般居室での吸音率測定として、実験の対象とした部屋は、晴海トリトンスクエア内にある入居前の洋室 4 部屋と集会室 2 部屋である。

4. 測定結果

音の拡散性を高めるためには、室形状を整形よりも不整形にしたほうがよいとされる。そこで、図 2 に示す 2

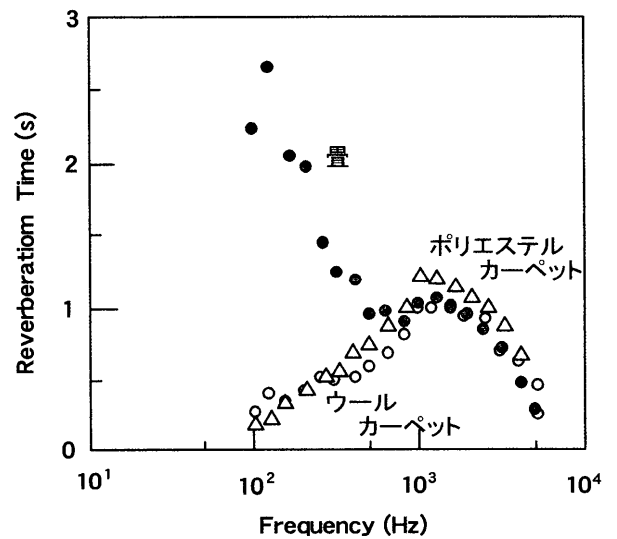


図 3. 残響時間の周波数依存性

種類の残響室にて吸音率を測定したが、その違いは観測されず、ほとんど同様な傾向が見られた。

図3は3種類の測定試料の残響時間と周波数の関係を示す。畳の残響時間は500Hz以下の低周波域ではカーペットに比べて非常に長い。これはカーペットよりも畳の方が、表面が密で硬いために音が畳表面で多重反射されやすいからと考えられる。

図4は吸音率の測定結果を示す。ポリエステルカーペットとウールカーペットではわずかにポリエステルの吸音率が高いが、ほぼ同じ傾向を示し、低周波で小さく高周波で高い。これは多孔質型材料の吸音特性と似た傾向である。多孔質型の吸音では、入射した音のエネルギーの一部が細孔中の摩擦抵抗により熱エネルギーとして消費される。つまり抵抗損失は速度圧に比例する。したがって定在波の $\lambda/4$ で粒子速度が最大となることから、 $\lambda/4$ の厚さのカーペットを敷けば吸音効果は最大

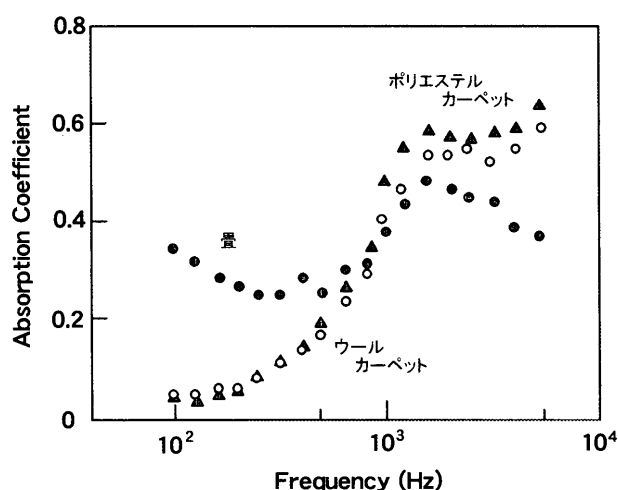


図4. 吸音率の周波数依存性

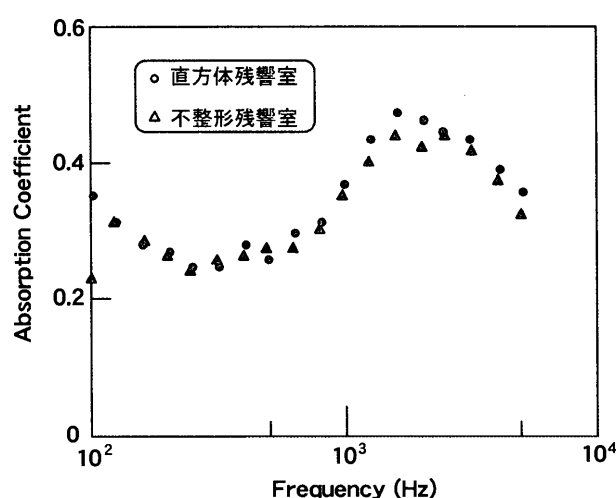


図5. 本畳における残響室の形状の違いによる吸音率と周波数の関係

になる。図4より1kHzで $\lambda/4$ とすれば、これに相当するカーペットの厚さは約6cmが有効と考えられる。また、畳はカーペットと比べると周波数による吸音率の差が小さく、1kHz以上ではカーペットでより小さいが、低周波域ではカーペットより大きい点では注目したい。畳は厚さがあるために、ある程度の吸音率は維持できるが、構造的には密であり表面上の変化がカーペットに比べて著しく異なるためこのような結果となったものと思われる。1kHz以下の騒音は電気や機械による振動による騒音が主であるのに対し、1kHz以上は話し声や、戸外の様々な騒音である。

また、残響室としては、我国では従来、平行壁面をもたない不整形室が広く用いられている。これは壁同士が平行でないほうが拡散性が高く吸音率が高いからである。しかし、建築床面積の有効利用を考慮すると、直方体形状が有利となる場合もある。そこで、不整形と直方体の残響室に畳を設置して両者の吸音率を比較した結果を図5に示す。一般的には不整形残響室の方が直方体残響室よりも高周波側では吸音率が高いと言われているが、畳の場合はその差異は見られなかった。

次にこの不整形残響室において3種類の畳による吸音率を測定した結果を図6に示す。3種類の畳のサイズは表2に示す。

表2. 3種類の畳のサイズ

試料	表面積 [m ²]	厚さ [10 ⁻² m]	重さ [kg]	密度 [kg/m ³]
本畳	9.72	5.77	178.8	319
建材畳	9.72	5.32	11.25	22
薄畳	9.72	2.93	13.75	48

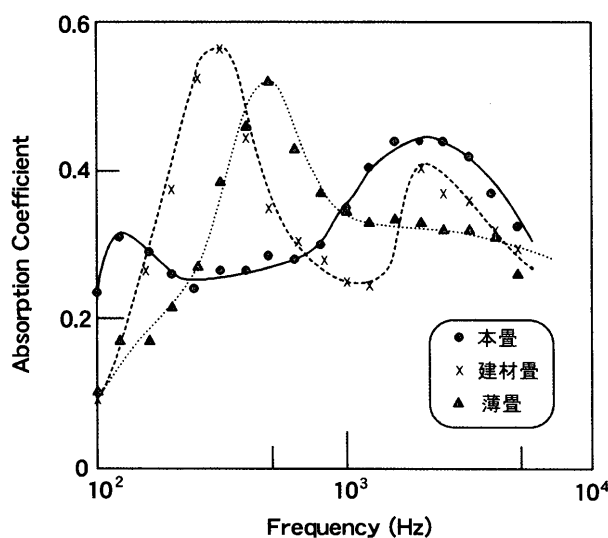


図6. 3種類の畳の吸音特性について

いずれも表面積は同じで6畳に相当する。畳の構造は、稲わらを圧縮して作った畳床に、い草で編んだ畳表を張り、布で畳縁を縫い付けたものである。また、建材畳は畳床に合成樹脂発泡板と稲わらを主な材料として用いたものである。このため、外見は本畳と同じだが、密度が低く非常に軽い。薄畳は本畳の厚さの半分であるが、密度も低く、重量は1/10と非常に軽い。これら3種類の吸音率の結果を図6に示す。本畳は全帯域を平均的に吸音している。これに対して薄畳は低周波域の吸音率は低い、500Hz付近にピークが現われる。このピークは共振周波数と考えられる。また、建材畳では薄畳よりも低周波側にピークが移動し、2つのピークが観測される。これは、 $1/4\lambda$ と $3/4\lambda$ に相当すると考えられる。

住宅の遮音性能を表す指標に等価吸音面積レベルがある。

一般の新築住宅の入居前に等価吸音面積レベルの測定を行い吸音率を求めた。測定した室は表3に示す6室である。表の上3室は広さが大・中・小と異なるが家具無しでフローリングという同じ条件である。4番目は室の

表3. 測定を行った6室の特徴

室	表面積 [m ²]	総評面積 [m ²]	容 積 [m ³]	床 材 料	家 具
1402	97.2	97.2	45.8	フローリング	な し
2508	75.1	75.1	36.5	フローリング	な し
2701	52.8	52.8	22.8	フローリング	な し
2708	75.1	83.3	36.5	フローリング	ベッド
集会室1	219.0	219.0	156.8	カーペット	な し
集会室2	90.0	90.0	51.6	カーペット	な し

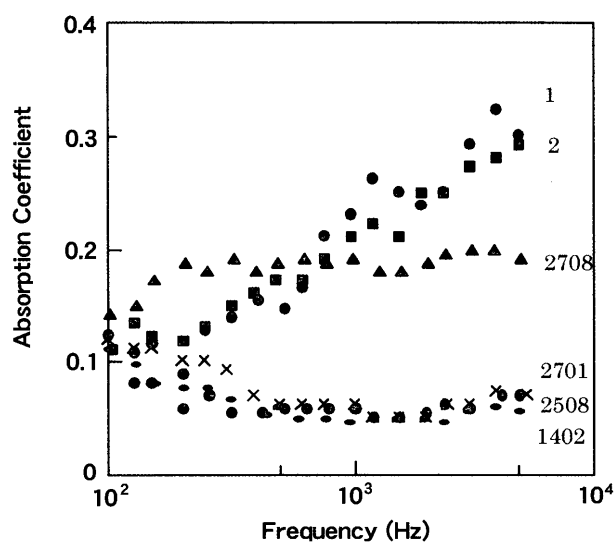


図7. 一般室における吸音率の違い

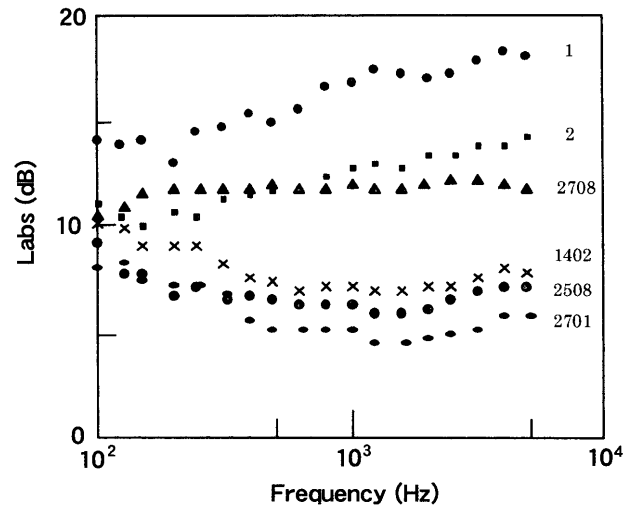


図8. 一般室の吸音レベルの比較

広さは中位で2番目と同じだが、家具としてベッドが2台設置してある。

下の2つは集会室で広さが大・中であり、床はカーペットが敷いてある。これら6室での吸音特性の測定結果を図7に示す。家具無しで、フローリング仕上げの3室はほぼ同様な吸音特性を示す。吸音率は全帯域にわたり低い。また、吸音性能は部屋の面積に左右されないことがわかった。2701室と2708室の違いはベッドの有無であるが、ベッドのある2708室のほうが全体的に吸音率が高い。家具の存在は騒音防止の役割をしていることがわかる。また、1と2は集会室で広さが異なるがほぼ同様な吸音特性を示す。1と2の共通点はカーペットが敷いてあるということである。周波数が高くなるにつれ吸音率は上昇する。これは多孔質吸音材料の吸音特性と同じ傾向を示す。図8は(7)式を用いて図7の縦軸を音の強さであるデシベルで表示したものである。図7と同様な傾向を示すが、図7の吸音率では認められなかった部屋の広さの影響がはっきりとわかる。部屋が広いほど等価吸音面積レベルが高い。フローリングだけではデシベルは低下し、吸音性能は悪くなる。カーペットの敷いてある集会室では周波数が高くなるほどデシベルが上がり、吸音性能が向上することがわかる。これに対し家具が設置してあると全帯域でほとんど変化がない。一般的に人のささやき声や蛍光灯のうなり音などが20dB程度、家庭内の会話が65dB、交通音が70dBといわれている。

5. まとめ

防音の観点から、より住みやすい住居を目指して住宅材料の吸音率測定を行った。畳はカーペットに比べて低周波の吸音率が高いことがわかった。低周波の騒音では電氣的機械的振動があり、これらを防御するのに有効で

あることがわかった。低周波で吸音率効果の高い床材料は数少なく、貴重であると考えられる。しかし、人の話し声などによる kHz 以上の周波数域ではカーペットのほうが吸音率は高く遮音性能がよいことがわかった。また、入居前の新築住宅での測定から、今回使用した部屋の面積程度では面積の大小は吸音率には影響しないことがわかった。部屋に設置した家具としてはベッドがあるだけでも吸音率は高周波域でかなり高くなることがわかった。

以上のことから、畳、カーペット、家具を組み合わせで設置することにより、防音効果が向上することが予想される。

謝 辞

今回の実験は、東京大学生産技術研究所の橋研究室で行われた。研究室や諸設備の使用と暖かいご指導について、橋秀樹教授および坂本慎一助教授に深く感謝の意を表す。この研究をまとめるに当たり実験の協力を得た、現在ソニー勤務の竹村結花さんと IBM 勤務の空 恭子さんに感謝する。なお、実験に用いた畳は増田 勇氏（鹿児島屋畳工業組合）により提供されたものである。

参考文献

- 1) 坂本他, 日本建築学会講演論文集 (2000) 225.
- 2) 牧田他, 日本音響学会誌 第4巻 第6号 (1968).

Studies on Acoustic Absorption Properties of Flooring Materials

Atumi Ozawa and Akiko Minamisawa

Department of Mathematical and Physical Sciences, Japan Women's University

(Received October 11, 2002)

Abstract: To investigate the conditions for better living from a viewpoint of noise reduction, we measured the acoustic absorption coefficients of flooring materials in an audible frequency range from 10^2 to 10^4 Hz. Either wool or polyester carpets showed a distinct rise in absorption coefficients with an increase in frequency.

On the other hand, the acoustic absorption of *tatami* showed a weaker frequency dependence and at low frequencies became higher than that of carpets.

In the case of ordinary size, the room area produced no effect on the acoustic adsorption. Such furniture as beds was found to increase acoustic absorption coefficients at high frequencies.

Key words: acoustic absorption, acoustic, *tatami*, reverberation time, insulation