繊維集合体の吸音特性*

(昭和38年7月27日受理) 会 員 浅 生 貞 夫**

木 下 陸 肥 路

→ 摘 要 ←

目 的

繊維集合体を構成するいろいろな要因が、吸音作用に及ぼす影響を究明する。

成 果

(1) 吸 音 特 性

繊維集合体の吸音特性には周知の型の粘性抵抗型 (I 型) のほかに、低音域で共鳴吸収があり、それより高音域で粘性抵抗型の吸音を行なう繊維質共鳴型 (II 型) とその中間型 (III 型) があることが判明した。

(2) 繊維の配列状態

音波の進行方向と平行に繊維を配列すれば吸音特性は I 型のみで、そのほかの配列をとれば多孔度によって3つの型があらわれる。繊維集合体中の空気も吸音作用に関係し、この含有空気を細分化するように配列すれば少量の繊維で吸音率は大きい。

(3) 総 表 面 積

繊維集合体の吸音機構は繊維表面と空気の粘性に基づく摩擦作用が主体をなすことが推察されてきたが、これに実験的証明を与え、繊維の太さ長さが異なっても総表面積を揃えれば、繊維集合体の吸音特性が一致することを見出した。

(4) 厚 さ

低音域の吸音率を増すには低多孔度 (繊維量増加) によるより、厚さを増大した方が有利である。一定周波数に対して各多孔度とも吸音率を極大にする有効厚さがある。

(5) 多 孔 度

ある周波数 f に対し、吸音率を極大にする有効多孔度 P_e があり、両者の関係はつぎの実験式で表わされる。

$$f = K(100 - P_e)^{-1.3}$$

K は繊維の種類、太さ、配列状態、試料の厚さなどによって定まる定数であり、厚さの変化に対しては一定の比を持つ。実験的に任意の周波数で極大吸音率を示す有効多孔度を求めて K を算出すれば、他の周波数に対して吸音率を極大にする多孔度が定まる。なお各周波数に対する極大吸音率の中、最大吸音率を示す最適有効多孔度 P_{me} があり、試料の総表面積が大きいほど、 P_{me} は高多孔度であり、その周波数は低い。

1. ま え が き

繊維集合体の吸音機構および吸音特性については、すでに多くの理論的研究がなされてきたが、これらは実際の繊維集合体の吸音特性の一部を説明しているだけである。なお実験的な研究も吸音特性を支配する特定の要因についてだけ行なわれ、求められた吸音特性も断片的なものがほとんどである。一方市販されている繊維質吸音

材料については発表された吸音特性は非常に多い²⁾。しかしこれらの繊維は長さ、太さに分布を持ち、要因を規定することが困難なために組織的な研究は少なく、わずかにグラス ウール³⁾、ロック ウール⁴⁾などについて系統的な実験結果の報告がなされているだけである。そこでわれわれは条件を規定できる化学繊維を用いて、吸音特性に影響を及ぼすいろいろな要因を究明するために本実験を開始し、すでに部分的には発表してきたが⁵⁾、基礎的な実

* Sound Absorption Characteristics of Fiber Assemblies.

** S. Aso, R. Kinoshita, Member. 東京農工大学

験が終了したのでここに結果を整理して報告する。

繊維集合体の吸音特性を支配する要因として考えられるものは、繊維自体に関する長さ、太さ、表面形態および弾性率と集合体としての多孔度（繊維量、かさ密度）、繊維の配列状態および厚さと試料の取付け条件、周波数などがあるが、今回は繊維の太さ、配列状態、多孔度と厚さなどの要因を変化させて、それぞれの吸音特性を求め、これらの要因がどのように吸音作用に影響しているかを実験的に考察した。

2. 実験方法と測定結果

吸音率の測定法には定常波法と残響室法とがあるが、理論的な考察に便利な定常波法によって垂直入射吸音率 α_0 （以下単に吸音率と略す）を求めた。測定理論および装置は既報⁶⁾の繊維の吸音率を測定したときと同一で、管の一端に試料を音波に対して垂直に置き、ある周波数の定常波を作り、試料面から数えて第一番目の極大音圧と極小音圧の比 N を抵抗減衰器で求め、次式に代入してその周波数の吸音率とした。

$$\alpha_0 = 4 / (N + N^{-1} + 2)$$

測定周波数は原則として 250 c/s から 1/3 オクターブ間隔に 2000 c/s までとし、必要なときにはそれらの間の周波数についても吸音率を測定した。測定リングは第 1 図に示すような内面仕上

を施した厚さ $T = 1.25, 2.5, 5 \text{ cm}$ の真鍮リングで、その中に繊維を詰めて測定管に装てんした。前面の金網は直径 0.8 mm で、空間 5 mm 平方である。この金網の吸音率は検出できないほど小さく、金網を必要としない成型吸音材料について吸音率を求めたところ、測定音域では金網の有無はまったく関係なかった。

試料は某工場の好意により、同一条件で紡糸した 1, 3, 5 d のビスコース人絹をトウのまま受け取り、所定の長さに切断したものを用いた。（なお比較のためにほかの繊維についても同様な測定を行なった）

（実験 I）

主として繊維の配列状態すなわち空けぎの分布状態の

吸音特性への影響をみるために、1, 5 d を選び繊維長 2.5 cm に切断し、測定リング $T = 2.5 \text{ cm}$ につぎの 2 通りに、それぞれ多孔度 P を変えて詰めた。

（1）繊維配列；平行（繊維の長さの方向が音波の進行方向に平行）

（2）繊維配列；垂直（繊維の長さの方向が音波の進行方向に垂直）

これらの配列状態では多孔度が大きいと測定リングの

（第 2 図）1 d 厚さ 2.5 cm の吸音特性
繊維方向：平行配列

（第 3 図）1 d 厚さ 2.5 cm の吸音特性
繊維方向：垂直配列

(第4図) 5d厚さ 2.5 cm の吸音特性
繊維方向：平行配列

(第5図) 5d厚さ 2.5 cm の吸音特性
繊維方向：垂直配列

中で繊維全体が下方に片寄って均一な分布が保持できない。そこで 5d では $P=97\%$ まで、1d では $P=95\%$ までとした。多孔度の小さい方は平行配列では $P=82.5\%$ 、垂直配列では 1d $P=80\%$ 、5d $P=82.5\%$ から測定した。測定結果は第2～5図にそれぞれの多孔度について吸音の周波数特性曲線(吸音特性)として示す。第3図では図を簡素化するために $P=90\%$ より大きい吸音特性はその型が第5図の同一多孔度のそれと似ている

ので省略した。

(実験 II)

繊維集合体の総表面積と吸音率の関係をみるために、3, 5d の繊維長 2.5 cm を用い、試料の厚さ 2.5 cm で繊維配列を平行、垂直の場合につき、総表面積が等しくなるように採量して吸音特性を求めた。つぎにナイロンの $8 \times 2\frac{1}{2}$ in, 5×3 in と 3×2 in を用いて、繊維配列をランダムにするためハンドカードで開毛して、 $T=2.5$ cm で同一総表面積にして吸音特性を求めた。結果の一部を考察の項で図示する。(第17, 18図)

(実験 III)

主として試料の厚さと繊維の太さの影響を調べるために、1, 3, 5d を 2.5 cm に切断し、ハンドカードで開毛して繊維方向をランダム配列とし、 $T=1.25, 2.5, 5$ cm の測定リングを用い、それぞれ多孔度を変化させて吸音特性を求めた。繊維方向がランダムであるから、繊維相互のからみ合いで平行、垂直の場合のようにリング内で片寄らず $P=99\%$ まで均一に詰めることができた。しかし多孔度が小さいと金網が湾曲するので、この心配のない $P=90\%$ から測定した。結果は第6～14図に示す。

多孔度 $P(\%)$ に対する繊維の採取量 $W(g)$ は次式によった。

$$W = V\rho(1 - P/100)$$

ここに V は測定リングの容積、 ρ は繊維の密度である。

また、繊維集合体の総表面積 $S(\text{cm}^2)$ は次式によった。

(第6図) 1d厚さ 1.25 cm の吸音特性
(第6～14図ランダム配列)

$$S=2W(l+r)/\rho rl=2W/\rho r$$

ここに l は繊維長, r は繊維半径で $r=(d/\pi L\rho)^{1/2}$ より計算した. (d ; デニール, $L=9\times 10^5\text{cm}$)

3. 考 察

3.1 吸 音 特 性

上述の実験結果に基づく吸音特性を総合的にみると, 曲線の型には繊維質材料の吸音特性として知られているほかに, 特異な曲線の型をしたものがある. いまこれら

の中から典型的な例を抜きだすと第15図のように3つの型がある.

I型は繊維の吸音特性として知られている型で, 繊維集合体中の空げきに音波が伝わり, その中の空気を振動させると空気の粘性によって繊維表面との摩擦で音のエネルギーの一部は熱エネルギーに変換される吸音作用が主体であるので, これを粘性抵抗型とする. この型に属する吸音特性は高多孔度の試料にあらわれるから, 繊維集合体内部では一定音速であるとみなせば, 試料内の定常波

(第7図) 1d厚さ 2.5 cm の吸音特性

(第9図) 3d厚さ 1.25 cm の吸音特性

(第8図) 1d厚さ 5 cm の吸音特性

(第10図) 3d厚さ 2.5 cm の吸音特性

の粒子速度 U は次式で示される⁶⁾。

$$U = k(A_i^2 + A_r^2 - 2A_i A_r \cos 2kx)^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに k : 波長定数, x : 試料後面からの距離, A_i, A_r : 入射波, 反射波の速度ポテンシャルの振幅である。 U は $x = \frac{1}{4}$ 波長で極大値 $U = k(A_i + A_r)$ であるから, $k = 2\pi f/c$ (f : 周波数, c : 音波) で置換すれば明白なように, $\frac{1}{4}$ 波長以下の厚さでは, f の大きいほど, 試料中に粒子速度の大きい部分が入ってくるので, 上述の吸音機構に従って, 周波数が高くなるほど, 吸音率が大きくな

る。

II型はピークがあらわれているが, ヘルムホルツの共鳴器で代表される空気の共鳴とか, 膜, 板の共鳴吸収の吸音特性と異なり, ピークの周波数より高い音域で吸音率が周波数とともに増加している。この部分の吸音はI型と同様な吸音機構が主体である。この型は低音域でピークがあり, 高音域で吸音率が増加する吸音特性で, 繊維集合体に独特な特性であるから, ピークを共鳴吸収と考えてII型を繊維質共鳴型とする。この型は繊維配列が

(第11図) 3d厚き 5 cm の吸音特性

(第13図) 5d厚き 2.5 cm の吸音特性

(第12図) 5d厚き 1.25 cm の吸音特性

(第14図) 5d厚き 5 cm の吸音特性

(第15図) 繊維集合体の吸音特性の型

- I : 粘性抵抗型 (1 d 多孔度 87.5 % 平行配列)
 II : 繊維質共鳴型 (1 d 多孔度 82.5 % 垂直配列)
 III : 中間型 (5 d 多孔度 82.5 % 垂直配列)

垂直、ランダムで、低多孔度るとき顕著であり、平行配列では測定範囲の多孔度では現われていない。この事実から繊維集合体内部の空けきが前面から後面まで直通して、繊維相互の摩擦が小さい状態ではピークは起りがたく、繊維間の摩擦が大きい、あるいはからみ合いで繊維集合体が曲げ剛性を有する板状となり、測定リングに周縁が固定されたと同様な状態になったとき、共振周波数を持ち共鳴吸収が起きると考えられる。

Ⅲ型はⅠとⅡの中間であり、共鳴吸収があるが、共振周波数より高音域で粘性抵抗型の吸音率が大きく、ピークが現われない場合である。したがってこの型を中間型とする。この型は第10、14図の $P=90\%$ にも明瞭に現われているように共振周波数よりわずかに低い周波数で吸音率が極度に低下し、それより低音域で吸音率の山が現われ、あたかも共鳴吸収のような特性を示している。そこでこの低音域の山が共鳴によるかつぎの実験で検討した。

公称かさ密度 32 kg/m^3 、厚さ 50 mm のグラスウール (ガラス繊維に樹脂加工を施し板状に成型したもの) を直径 10 cm の真円にカットで打抜き、測定リングにきちんとはめ込んだ状態 (A) で吸音特性を求め、つぎにこの試料の周囲をわずかに削り落とし、測定リングに一部だけ接した状態 (B) で吸音特性を求めた。A 試料は 12.67 g 、B 試料は 12.07 g で 0.6 g 削り落しただけであ

(第16図) グラスウールの吸音特性 (厚さ 50 mm 公称かさ密度 32 kg/m^3)

り、これによる粘性抵抗型の吸音率への影響はきん少である。この両吸音特性を第16図に示す。Aは中間型の吸音特性で 400 c/s で極大、 450 c/s で極小値の吸音率となっている。Bではこの谷が消え、典型的な粘性抵抗型である。もしAの 400 c/s 付近の山が共鳴に起因するならば、試料の周縁を自由にしたBでは共鳴が起きないから吸音率が低くなるべきである。しかるにBでは同じ位の吸音率である。したがってこの低音域の山は共鳴によらず粘性抵抗型の吸音である。しかし試料の周縁が固定された状態で生じる。この谷がなぜ現われるか現在ではあきらかでない。

3.2 繊維の配列状態

実験Ⅰの結果の第2～5図のほか、第7～13図も繊維配列のみをランダムとし、その他の条件は実験Ⅰとまったく同一の試料の吸音特性を示している。まずこの配列条件で注目すべきことは平行配列であれば両デニールとも $P=82.5\%$ まで繊維量が増しても共鳴吸収が現われず粘性抵抗型の吸音特性を示している。これに比べて垂直配列では 1 d 、 $P=85\%$ でⅡ型、 5 d 、 $P=85\%$ でⅢ型、ランダム配列では 1 d 、 $P=96\%$ でⅢ型、 $P=90\%$ でⅡ型、 5 d 、 $P=90\%$ でⅡ型の吸音特性を示している。前述のように、この配列によって共鳴吸収の有無が決まることがピークが共鳴吸収であると推論される一つの理由である。

さて同一多孔度 (繊維量、かさ密度) でも配列条件に

よって吸音特性を異にしているので定性的にこれらの原因を考察する。音波の進行方向に平行に配列された試料では、空気が背面まで直通しているが、垂直、ランダム配列では同じ空気量でもそれが細分されて分布している。したがって繊維集合体中の音波の進行に対して平行配列では繊維表面との摩擦以外の抵抗が少ない。一方垂直、ランダム配列では急収縮あるいは急拡大などの繰返しがあ、繊維表面との摩擦以外に音波の減衰が大きい。したがって含気量の多い高多孔度の繊維集合体では同一繊維量でも平行配列の方が吸音率が小さい。しかし低多孔度の繊維集合体では垂直ランダム配列の方が高い周波数で吸音率が小さいのは、含気量が少なくなると平行配列では内部まで音波が入りうる状態でも、垂直、ランダム配列では音波の進行に対して抵抗が多過ぎて、内部に入る割合が少なくなり吸音率が下ると考えられる。この低多孔度における抵抗の増加は平行配列でも当然生じるが、その増加割合が垂直、ランダム配列の方が大きいために、このような吸音特性の違いとなって現われている。低多孔度の吸音特性が高音域で多孔度の低下とともに吸音率が下るに反して、低音域では増加しているという実験結果から、音波の進行に対する抵抗は周波数に依存しており、同一条件では高い周波数に対する方が抵抗が大きいと推察される。上述の結果から所定の吸音率をうるには、含まれている空気を細分するように配列した方が繊維量が少なくてすむ。いま、垂直と平行の場合の吸音率を比較すると、1, 5dとも平行配列の $P=82.5\%$ が垂直配列の $P=90\%$ とほとんど一致する。

3.3 総表面積

粘性抵抗型の吸音機構が繊維表面と空気の摩擦に起因しているならば、繊維集合体の総表面積の大小が吸音率に大きく作用することが当然考えられる。逆に同一総表面積であれば吸音率も同じであると期待される。そこで実験Ⅱの結果を第17, 18図に示す。第17図はビスコース5d, $P=90\%$ の試料と、その総表面積に3dの総表面積を一致させるように採量した $P=92.25\%$ の試料をそれぞれ配列状態を垂直、平行にして求めた吸音特性である。第18図は太さと長さが異なるナイロンを3d, $P=99\%$ と $P=97\%$ の総表面積に揃えるように採量してランダム配列にした試料の吸音特性である。これらの試料は総表面積を等しくしたために繊維本数が異なり、配列が同じでも含有する空気量とその分布状態が違っている。したがって細空げきによる吸音への影響があり、吸音特性がまったく一致するわけではないが、両図ともか

(第17図) 総表面積を一定にした吸音特性
(ビスコース) 多孔度90% (5d)

(第18図) 総表面積を一定にした吸音特性
(ナイロン) ランダム配列

なりよく一致している。この結果は粘性抵抗型の吸音機構の推論が正しいことを証明するものであるが、これは細空げきの影響が小さいことが条件であるから、極端に太い繊維と細い繊維の総表面積を一定に採量しても吸音率は等しくならない。

実験Ⅲの繊維の太さによる吸音率の相違は、この表面積の効果と空げきの細分化によって説明される。すなわ

ち高多孔度では細い方が吸音率が高いのは、同一多孔度でも総表面積が大きく、かつ本数が多いので空けきが細分化されているためである。低多孔度では細い繊維ほど音波の進行に対して抵抗が多過ぎるために、吸音率が低下してくる。

3.4 厚 さ

繊維集合体の総表面積が等しければ、厚さと配列状態が同一な試料については吸音特性が一致することが判明したが、つぎに総表面積が一定で、試料の厚さが異なる場合を考えてみる。1d では総表面積 $S=16.3 \times 10^8 \text{cm}^2$ 、5d では $S=7.28 \times 10^8 \text{cm}^2$ に採用して、繊維の配列状態をランダムにして厚さ $T_1=1.25$, $T_2=2.50$, $T_3=5.00$ cm の試料として求めた吸音特性を並記すれば、第19図の通りである。すなわち繊維表面積が同じでも試料の厚

(第19図) 一定総表面積で厚さを変化させた吸音特性 (厚さ: $T_1=1.25$, $T_2=2.5$, $T_3=5$ cm)

さが変れば吸音率は大きく変化する。試料が厚くなると薄い試料の吸音特性を低音域の方へ移動させたような吸音特性となる。したがって繊維を少量用いて低音の吸音率を大きくするためには厚さを増すことが有利である。これは(1)式にあきらかのごとく、厚くなれば同一周波数で、試料中に粒子速度の大きい部分が入ってくるからであり、粘性抵抗型の吸音機構をとる試料については普遍的にいえる。しかし試料の厚さが波長以上になれば、その周波数に対する吸音率は当然低下する。いま、ある周波数で極大吸音率を示す厚さを有効厚さとするれば

(第20図) 試料の厚さと吸音率との関係
(1d ビスコース 2.5 cm cut 繊維方向: ランダム配列)

有効厚さは試料の繊維量によって左右される。各多孔度について厚さと吸音率の関係を 1000 と 2000 c/s についてみると第20図の通りである。高多孔度では厚さとともに吸音率が増加する。多孔度が小さくなると有効厚さが現われ、より低多孔度では有効厚さは 1.25 cm 以下になる。図からあきらかのように有効厚さは繊維量が多く、周波数が大きいほど小さく、かつ空気中の音速から計算される波長より短い。これは繊維集合体中の伝播定数や音速が異なるためである。

3.5 多 孔 度

多孔度が小さくなると繊維量が多くなるので一定周波数では吸音率は増加する。しかし高い周波数ではある多孔度で極大吸音率 α_m を示し、これより低多孔度では徐々に減少する。いまこの傾向を明確にするために一例として、1d, $T=2.5$ cm, 周波数 1000, 2000 c/s について

(第21図) 多孔度 ($P\%$) と吸音率の関係
(試料厚さ 2.5 cm, ビスコース 1d)

て多孔度と吸音率の関係を図示すると第21図の通りである。この例では繊維配列が平行の場合、2000 c/s で $P=92.5\%$ のとき $\alpha_m=0.99$ 、1000 c/s で $P=87\%$ のとき $\alpha_m=0.74$ を示している。この傾向は配列のいかんを問わず現われ、低い周波数ほど、小さい多孔度で極大吸音率を示す。この極大吸音率を示す多孔度を、その周波数 f の有効多孔度 P_e とする。いろいろな条件の試料の吸音特性から第21図と同様にして、各周波数に対する有効多孔度を求め両者の関係をみると第22図のごと

(第22図) 周波数 (f c/s) と有効多孔度 (P_e %) との関係

くなる。試料の厚さ 5 cm で、1 と 3 d の場合は高い周波数で有効多孔度が $P=99\sim 98\%$ の間にあるが、測定を $P=99, 98\%$ についてだけ行なったために、 α_m を決めることができないので省略した。図から周波数と有効多孔度との関係は

$$f = K(100 - P_e)^{-a} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で示される。この関係はナイロン、ビニロン、アセテートなどの測定結果についてもみられる。したがって a は繊維の種類、配列状態、繊維の太さにかかわらず一定で $a=1.3$ である。ただし $T=1.25$ cm では P_e が、測定範囲の音域で現われなかったので $T=2.5, 5.0$ cm の結果によった。 K は繊維の種類、太さ、配列状態と試料の厚さなどによって定まる定数である。第22図から推察すれば繊維が細いほど K は小さい。配列状態が平行であると K は大きい、垂直とランダムでは一義的に決まらない。試料の厚さについては薄い方が K は大きい、1, 3, 5 d のランダム配列 $T=2.5$ cm の $K=K_{2.5}$ 、 $T=5.0$ cm の $K=K_{5.0}$ とすれば $K_{2.5}/K_{5.0}=3.2$ で一定である。したがって繊維の太さと配列状態を定めた試料につ

き、ある周波数で極大吸音率を示す有効多孔度を求めれば、(2) 式より直ちに K が定まり、任意の周波数に対して極大吸音率を与える多孔度が求まる。

つぎに有効多孔度の極大吸音率とそのときの周波数との関係をみると第23図の通りである。ここには一例と

(第23図) 極大吸音率 (α_m) と周波数 (f c/s) との関係

- : 厚さ 2.5 cm ランダム配列 1d
- : 厚さ 2.5 cm 垂直配列 1d
- ▲: 厚さ 5.0 cm ランダム配列 5d

して 1d、 $T=2.5$ cm の垂直とランダム配列および 5d、 $T=5.0$ cm のランダム配列について示してあるが、他の条件のときも同一傾向である。試料の厚さ $T=5.0$ cm についてみると周波数の増加につれて極大吸音率も大きくなり、ある周波数で最大吸音率になりふたたび減少する。この最大吸音率を示す周波数の有効多孔度を最適有効多孔度 P_{me} とする。いま測定周波数範囲に最大吸音率が現われる厚さ 5 cm についてみると、5 d では第23図から最大吸音率を示す周波数 $f=1600$ c/s、この周波数の有効多孔度を第22図から求めれば、最適有効多孔度 $P_{me}=96.6\%$ である。3 d では図は省略するが、同様にして求めれば、 $P_{me}=97.75\%$ (1400~1600 c/s) 1 d では第22図を外そうして推定すると $P_{me}=98.5\%$ (1200 c/s) である。試料の厚さ $T=2.5$ cm の場合は、 $T=5.0$ cm の特性曲線を高音域に移動させた型となっており、測定範囲の周波数では最適有効多孔度が現われず、2000 c/s に対する有効多孔度がもっとも大きい吸音率を示す。

4. む す び

繊維集合体の吸音作用に影響を及ぼすと考えられる要因について、できるだけ独立にその要因を変化させた試料を作り、各周波数の吸音率を測定して吸音特性を求め

た、かくして得られた多数の実験結果に基づき各要因の影響を検討した。これらの結果は摘要に記載したので省略するが、繊維集合体の吸音作用を大きくするためには一口にいて構成繊維の総表面積を大きくし、含有する空気を細分化するように配列することである。

現在市販されている繊維質吸音材は厚さとかさ密度を表示してあるが、今度の実験結果からして、繊維の太さ（分布）も表示することが望ましい。なお厚さとかさ密度（多孔度）には周波数に対して有効値があるので、実際に使用するときはこれに留意する必要がある。

今回は実験結果から考察したが、これらの問題は繊維集合体の音響インピーダンス⁷⁾、伝播定数と音速の方面から理論的に考察する必要もあるので、これらの問題については別の機会にゆずりたい。

本実験について直接ご指導いただいた小林理学研究所建築音響室の子安勝先生に深く感謝する。なおいろいろとご教示下さった同室の久保啓一氏にお礼申し上げる。

また実験Ⅷの測定は高木利之君（現在ブリジストンタイヤ）をわずらわした。ここに記して感謝する。

文 献

- 1) C. Zwicker, C. W. Kosten : Sound Absorbing Materials; Elsevier Publishing Co. (1949)
E. G. Richardson : Technical Aspects of Sound; Elsevier Publishing Co. (1953)
Y. Kawashima : Acustica, 10, 208 (1960)
- 2) 日本音響材料協会編; 建築音響工学; 技報堂 (1963)
- 3) 子安勝: 小林理学研究所報告, 11, 65 (1961)
- 4) 子安勝: 小林理学研究所報告, 12, 7 (1962)
- 5) 浅生, 木下, 子安: 日本音響学会研究発表会 (1960-10)
浅生, 木下: 本学会研究発表会 (1961-5)
- 6) 浅生, 木下: 本誌, 14, 285 (1961)
- 7) 浅生, 木下: 繊維学会研究発表会 (1961-10)