

新残響室による吸音率測定の基礎的研究

残響室法による吸音率測定に関する実験的研究 III

佐藤 孝二・子安 勝 (小林理学研究所)

(昭和32年3月22日受理)

On the Measurements of Absorption Coefficient of
Acoustic Materials by the New Reverberation Chamber

Kozi SATO and Masaru KOYASU

(Kobayashi Institute of Physical Research)

(Received March 22, 1957)

In this paper, several problems concerning the absorption coefficient measurements are mentioned. The new reverberation chamber No.1 (Volume, 513 m^3 ; reverberation time at 500 c/s, 22sec.) was used for this research. The test samples used are fibrous acoustic tiles and mineral wool. These materials were selected from the commercial acoustic materials according to their frequency characteristics of absorption coefficient.

The following results were obtained:

(1) Decay curve shows nearly perfect logarithmic decay even when the test materials are present.

(2) Absorption coefficient of test materials was unaffected by the position of the microphone for the sample area ranging from 10 m^2 to 30 m^2 .

(3) For the sample area 10 m^2 , absorption coefficient was not dependent on the position of the test materials.

These results seem to confirm the presumption of model room experiments (previously reported).

In closing the accuracy of absorption coefficient measurements is discussed. It is stated that, in this chamber, the variation of repeatedly measured decay curves is very small and the reverberation time is scarcely affected by the observers. Thus, it is possible to measure the absorption coefficient with relatively small test materials.

まえがき

われわれは模型室による基礎実験で、室型と室内音場の関連を、とくに残響室として必要な均一音場に対する影響という面からしらべ、その結果をもとにして容積 513 m^3 の不整形残響室を製作した¹⁾²⁾。

完成した残響室の空室の場合の諸性質について

はずでに第2報でのべた。ところが吸音率測定のために試料を入れると残響室の1部の壁面の吸収が変化するので、空室のときと室内の音場が違ってくることが考えられる。そこで試料の面積や位置などが問題になり、これはまた試料の吸音率や音の振動数にも関係してくる。そのために従来の残響室では、試料の位置やマイクロホンの配置などについて種々の考慮がはらわれている。

ここではまず第1残響室について、吸音率測定

* 詳細は小林理学研究所報告7巻1号(1957)に発表。

に関連した基本的性質の検討を行った結果について報告する。音源には、前報と同様に震音を使った。また試料としては吸音率の値やその周波数特性などから、代表的な2例として繊維板（セミハード・テックス）と岩綿保温板をえらんだ。

これら2種類の試料を使って、まずその吸音率に対するマイクロホンの位置、試料面積と取付け位置などの影響をしらべた。そして 10 m^2 (3坪)位の試料を使えば、これらのすべてに無関係な吸音率の測定ができることをたしかめた。これは室内の音場についての基礎実験の結果を裏づけるものである。

さいごに残響時間測定のばらつきや個人差について検討し、吸音率の精度の考察を行った。

§ 1 . 吸音率の算出式

残響室法で吸音率を求めるとき、まず問題になるのはその残響式である。現在一般には Sabine が Eyring の式が使われている。試料を入れたときの残響時間は空気中の吸収の項をのぞいて、それぞれ次式で与えられる。

$$\text{Sabine の式 : } T = \frac{KV}{\bar{\alpha}S} \quad (1)$$

$$\text{Eyring の式 : } T = \frac{KV}{-S \ln(1-\bar{\alpha})} \quad (2)$$

V は残響室の容積、 S は全内表面積である。 $\bar{\alpha}$ は室の平均吸音率で試料の吸音率 α (面積 S_m), 壁面の吸音率を α_0 とすれば

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_0(S - S_m) + \alpha S_m}{S} \quad (3)$$

となる。そこで測定した残響室の残響時間から Sabine の式で算出した吸音率と Eyring の式による吸音率との関係は、だいたい壁の全面積に対する試料の面積の割合でできる。

試料の面積が多くなるほど、吸音率の差は大きくなるが、この第1残響室では 30 m^2 位の試料までに対しては 5% 以下の差である。これはのちのべる測定精度からもほとんど問題にならないことがわかったので、ここでは吸音率の算出はすべて Sabine の式によることにした。

§ 2 . 吸音率測定に影響する諸因子の検討

基礎実験の試料としては、まず低音で吸音率の大きい材料の例として、200 サイクル附近に板振動による吸収の極大がある繊維板をつかった。試料

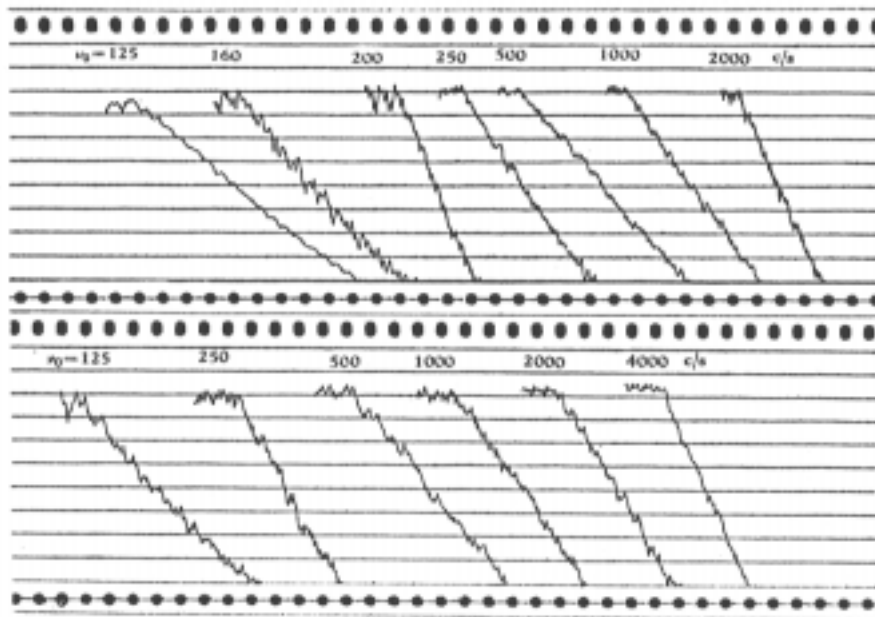


Fig. 1. Decay curves for the sample present.
 upper : fibrous acoustic tiles, 10 m^2 (floor)
 lower : mineral wool, 16.5 m^2 (floor and two walls)

の取付けは 30mm×45mm 角材で 1 尺間隔につくった木枠を使い、これに 1 尺角試料の周辺 4 箇所を釘止めにした。またこれとは逆に振動数の少い音に対しては吸音率が小さいが、振動数が多いところで吸音率の大きくなる場合をしらべるために、厚さ 25mm の岩綿保温板を使った。

(i) 減衰曲線の形

まず 2 種類の試料をそれぞれ残響室の 4 面または 3 面に、最大 30m² までとりつけたときの減衰曲線に対する影響をしらべた。このときにも空室と同様に、125 サイクルから 4000 サイクルの振動数範囲でほぼ完全な対数的減衰を示して、これから一義的に残響時間を決定できることがわかった。とくに繊維板で吸音率の極大に相当する 200 サイクルの音や、岩綿で吸音率の大きくなる高音でも、異常な減衰は観測されなかった。前頁の Fig. 1 はそれぞれの減衰曲線の 1 例である。

(ii) マイクロホンの位置の影響

25 または 30m² の試料をとりつけて、吸音率に対するマイクロホンの位置の影響をしらべた。その結果が Fig.2,3 で、いずれの試料でも、吸音率はマイクロホンの位置にはほとんど関係しないことがわかった。このため測定にあたってはマ

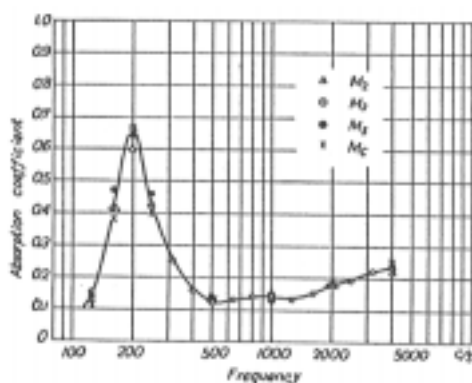


Fig. 2. Effect of microphone position on absorption coefficient of fibrous acoustic tiles. sample area 25 m² (floor and two walls)

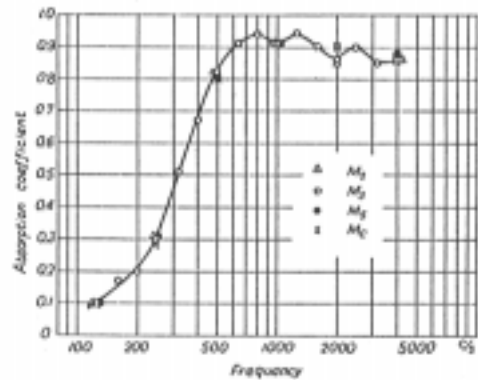


Fig. 3. Effect of microphone position on absorption coefficient of mineral wool. Sample area 30 m² (floor and three walls)

イクロホンは 1 個を任意の位置に置けば十分であると考えられる。とくに室の隅だけでなく、中央ではかっても吸音率に影響がないのはいちじるしいことである。(ここでマイクロホンの位置を示すのは、第 2 報の Fig.8 の符号によった)

ただここで、繊維板で 160 サイクルに対する吸音率のばらつきが比較的大きくなっている。これは (iii) で面積を変えたときにも同様であるが、はっきりした規則性はみられない。そこでこの附近で震音の中心周波数を少しずつずらしてしらべた結果、共鳴吸収の振動数に近いために、振動数の少しの変化に対する吸音率のちがいが、相当大きいためであることがわかった。

(iii) 試料の面積の影響

つぎにマイクロホンを 1 箇所に固定して、吸音率に対する面積の効果をしらべた。ここで繊維板では 25m² から 10m² までを残響室の 3 面にとりつけた。また岩綿では面積を 30m² から 3.3m² まで変えたが、30m² のときは残響室の 4 面に、3.3m² では床だけに、その他は残響室の 3 面にとりつけた。吸音率の測定結果が次頁の Fig.4,5 である。また 125 サイクルからオクターブ間隔にとった振動数で、岩綿の面積と吸音率の関係を次頁の第 1 表に示した。

新残響室による吸音率測定の基礎的研究

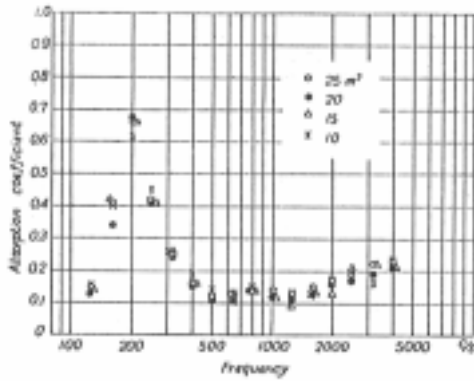


Fig. 4. Effect of sample area on absorption coefficient of fibrous acoustic tiles.

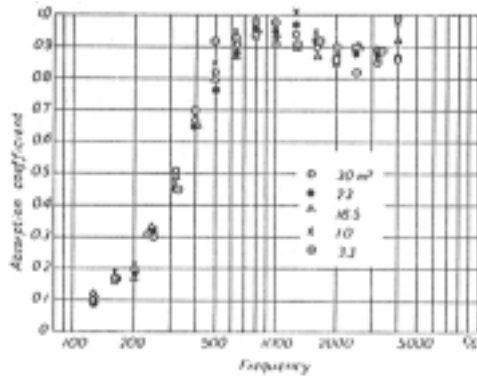


Fig. 5. Effect of sample area on absorption coefficient of mineral wool.

岩綿で 500 サイクル以上（吸音率 0.8 以上）の振動数では， 3.3m^2 の試料から求めた吸音率が大きくなっている。これは Chrisler などの実験³⁾でも示されている面積効果と考えられるが，あとでのべるようにこの程度まで面積を少くすると，吸音率測定の精度がわるくなるので，さらに

第 1 表 岩綿の吸音率（面積の影響）

振動数	面積				
	30m^2	23	16.5	10	3.3
サイクル					
125	0.10	0.09	0.12	0.10	0.10
250	0.30	0.32	0.33	0.32	0.31
500	0.82	0.77	0.80	0.85	0.92
1000	0.91	0.95	0.94	0.92	0.98
2000	0.86	0.85	0.88	0.85	0.90
4000	0.86	0.87	0.92	0.98	0.99

詳細な検討を行っている。ただ 10m^2 以上の面積の変化に対しては，両試料とも吸音率に実験誤差以上の差はみとめられなかった。

(iv) 試料の取付位置の影響

10m^2 の試料を室の 3 面に分散したときと，床 1 面に集中しておいたときの測定からえられる吸音率を比較した。その結果が Fig.6,7 で，この程度の面積ではすべての振動数で，取付け位置にもほとんど関係しないことがわかった。

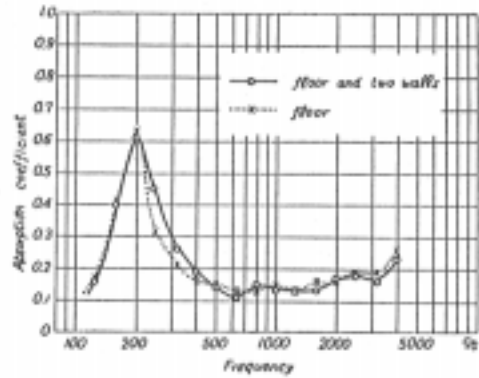


Fig. 6. Effect of sample position on absorption coefficient of fibrous acoustic tiles. Sample area 10m^2 .

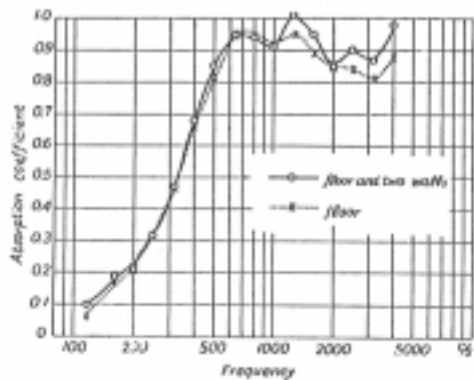


Fig. 7. Effect of sample position on absorption coefficient of mineral wool. Sample area 10m^2 .

(v) 床 1 面に多量の試料をおいたとき

つぎに (iv) の特殊な場合として岩綿 30m^2 を床 1 面にとりつけると，1000 サイクルから 2000

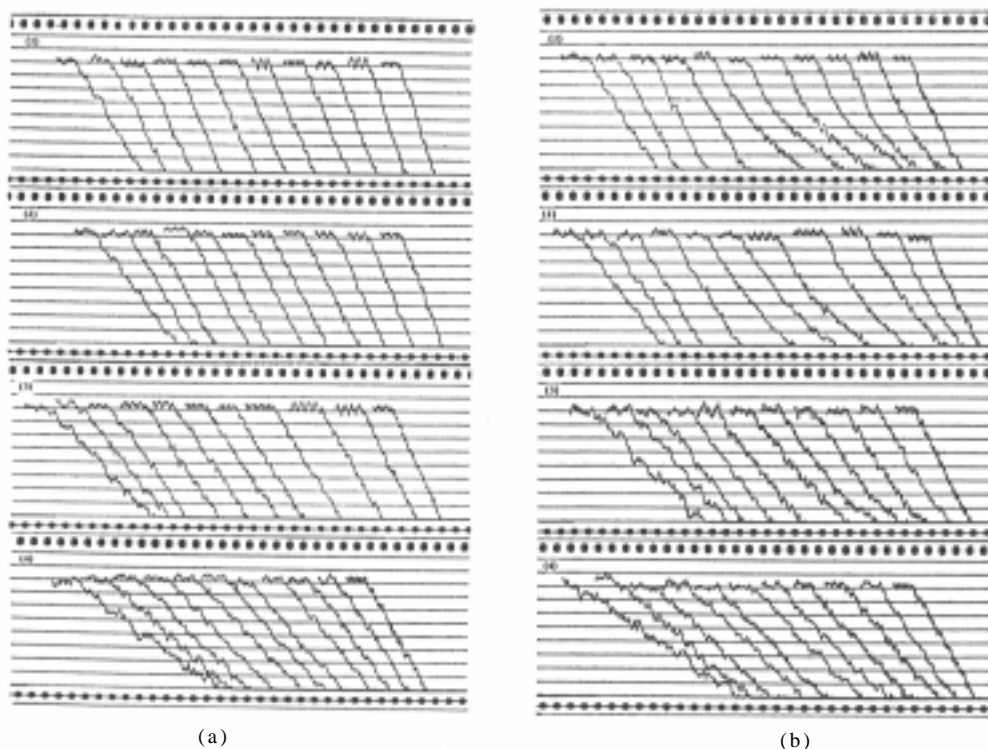


Fig. 8. Decay curves between 400 and 4000 c/s (1/3 octave apart.)

(a) mineral wool, floor and two walls
 (1) 30 m² (2) 23 m² (3) 16.5 m² (4) 10 m²

(b) mineral wool, floor only
 (1) 30 m² (2) 23 m² (3) 16.5 m² (4) 10 m²

サイクルの振動数で減衰曲線が折線になった。そこで 400 から 4000 サイクルの範囲で 1 / 3 オクターブ間隔で面積を変えて減衰曲線を測定した。その結果を Fig. 8 に示す。面積が少くなると折線になる範囲は次第にせまくなって、16.5 m² 以下ではほとんどわからなくなる。比較のために 3 面に分散して試料をとりつけたときを同じ図に示した。このときには面積や振動数に関係なく、減衰曲線はいつも直線的になっている。

減衰曲線が折線になるときは、室内の音場は均一とは考えられなくなるが、こころみにその減衰曲線ではじめの減衰の速い部分の残響時間を使って吸音率を求めてみた。500 サイク以上で吸音率が大きいところでは、面積を増すとともに吸音率が小さくなる。(Fig. 9)。すなわち 1 面のみに多量の試料をおいたときには、吸音率の大きい振

動数で減衰曲線が折れまがり、その吸音率も 3 面に分散したときとちがってくる (Fig. 6 参照)。これは残響室の 1 面の大部分が 100 % 近い吸音

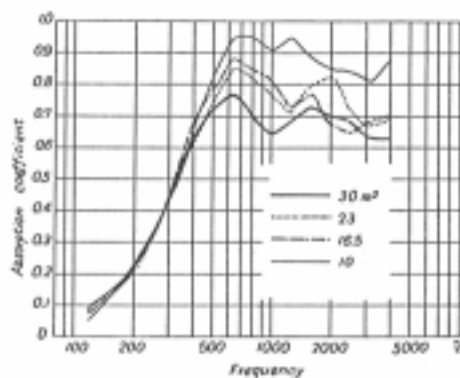


Fig. 9. Effect of sample area on absorption coefficient of mineral wool (sample placed on the floor only)

率のために，その部分の壁が無限遠に動いたのに近い状態になり，室内の音場がまったく変わるために当然考えられることである。

以上の結果から試料の面積が 10m² 程度するときには，試料の取付け位置やマイクロホンの位置などの影響はまったくうけないで吸音率の測定ができることがわかった。

§ 3 . 吸音率測定の精度について

残響室法による吸音率の測定誤差として考えられるものをあげると

- (1) 残響時間の測定装置系統に含まれるもの
- (2) 減衰曲線の記録から残響時間を求めるときの誤差
- (3) 試料を入れたときの残響時間から求められる吸音率は試料と壁面の面積荷重平均で，これから試料の吸音率を求めるときの誤差

などがあげられる。

いま(1),(2)による相対誤差を r とすると，試料の吸音率の誤差は次式で与えられる⁴⁾

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = r \left\{ 1 + \frac{2S}{S_m} \frac{\alpha_0}{\alpha} \right\} \quad (4)$$

上式から試料の面積が少く，またその吸音率が小さいほど誤差は大きくなる。これは空室と試料を入れたときの差が小さくなることから，当然考えられることである。これらがきまったとき，吸音率の精度を決定するのは r すなわち残響時間の測定精度である。これは，何回も同一条件で測定したときのばらつきや，測定者による個人差などから見当がつけられるものと考えてその検討を行った。

繰返し同一条件で測定したときの標準偏差などについては，すでに第2報で空室の場合について述べた。つぎに第2表に空室と試料を入れたときのそれぞれ同一の減衰曲線(5本)から，5人の測定者が求めた残響時間の平均値のちらばりを示した。各減衰曲線によるばらつきの程度は，さきの第2報に示したのと同程度であった。このときの5人の測定者には，このような減衰曲線の測定

第2表 残響時間測定の個人差

空室					
測定者 振動数	H	K ₁	K ₂	N	S
サイクル					
125	46秒	46	47	45	47
250	37	37	38	37	37
500	23	22.5	22.3	23	22
1000	14.2	14.0	14.0	14.5	14.0
2000	10.0	10.0	10.0	10.5	10.6
4000	5.6	5.4	5.4	5.3	5.4

試料を入れたとき(岩綿 30 m²)

測定者 振動数	H	K ₁	K ₂	N	S
サイクル					
125	14.5	14.2	14.5	13.5	15.0
250	7.1	7.2	7.5	7.5	7.0
500	3.2	3.0	3.0	2.9	3.0
1000	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7
2000	2.7	2.5	2.6	2.6	2.5
4000	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

に熟練したもの以外のものも含まれているが，その値の偏差が十分小さいのは，減衰曲線がいつもほぼ対数減衰に近いことによると考えられる。

最近，伊達によって，いくつかの場合の残響時間の測定精度の検討が報告されている⁵⁾。その結果と比較すると，この残響室では残響時間測定の

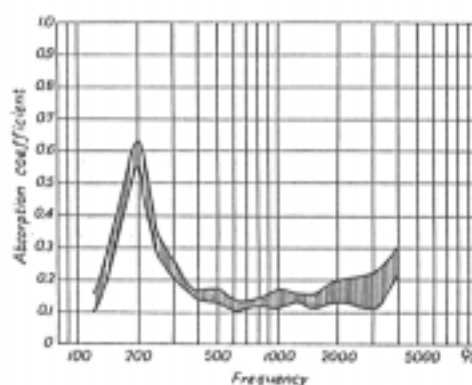


Fig. 10. Variation of absorption coefficient due to the difference of reverberation time measured by five members from the same decay curve.

Sample : fibrous acoustic tiles 10 m²

ばらつきはかなり小さくなっている。これは主としてその音場（室の形状、大きさなどに関連した）のちがいによるものと考えられる。以上の結果から我々の残響室では数回の減衰曲線の平均をとれば、残響時間の測定誤差は $\pm 2\%$ 程度におさえられると考えた。

つぎに実際に 5 人の測定者が、それぞれ求めた残響時間から計算した、試料の吸音率のばらつきの 1 例を示したのが Fig. 10, 11 である。高音で吸音率が小さい繊維板では、試料面積が少いとばらつきが大きくなるのは (4) 式からも予想される通りである。

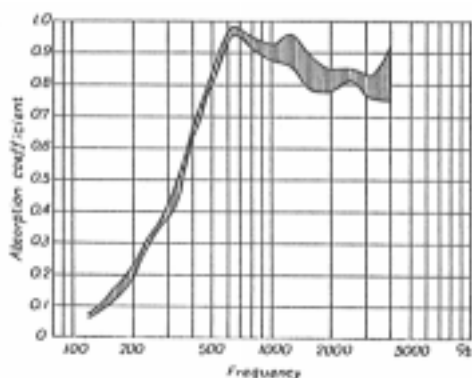


Fig. 11. Variation of absorption coefficient due to the difference of reverberation time measured by five members from the same decay curve.

Sample : mineral wool 10 m²

む す び

第 2 報でのべた新設残響室を使って吸音率測定を行うときに、その吸音率に関係すると考えられる諸因子、すなわちマイクロホンの位置、試料の面積、取付け位置などの影響をしらべた。ここではまず第 1 残響室について行った結果をのべた。

繊維板と岩綿を例としてしらべた結果では、吸

音率はマイクロホンの位置には関係しないので、ただ 1 個のマイクロホンを任意の場所におけば十分である。また 10 m² 位の試料を使えば、取付け位置にもまったく関係しないことがわかった。これは、従来の残響室でスピーカーやマイクロホンを多数使ったり、試料の取付け位置などについて特別な注意が必要であったのにくらべて、残響室内の音場が改善されていることを示すものである。

つぎに、吸音率測定の精度について検討した。繰返し測定した減衰曲線のばらつきや、残響時間をはかるときの個人差は十分小さく、そのため残響時間は $\pm 2\%$ 程度の精度で測定できることがたしかめられた。これと空室の残響時間が非常に長いことから、残響室が大きくても、10 m² (3 坪) 程度の試料で十分実用的な精度での吸音率測定ができることがわかった。

この基礎実験に協力された坂上丈寿氏、学習院大学学生中村俊一、平林良次、黒瀬百合子の諸君に感謝する。またこの実験に使った試料は日本音響材料協会加盟の各社から提供されたもので、その好意に謝意を表す。

文 献

- 1) 佐藤孝二, 子安勝 : 日本音響学会誌 13 (1957) 231
- 2) 佐藤孝二, 子安勝 : 日本音響学会誌 13 (1957) 242
- 3) V.L.Chrisler : J. of Research, National Bureau of Standards 13 (1934) 169
- 4) 係数をのぞいて同様の式は "無線工学ハンドブック" (オーム社) (1954) p.871
- 5) 伊達玄 : 電気音響理論研究専門委員会資料 (1957 年 1 月).