

吸音率に対する残響室のちがいの影響

残響室法による吸音率測定に関する実験的研究

子安 勝 (小林理学研究所)
(昭和 32 年 10 月 5 日 受理)

The Effect of Shape and Volume of the Reverberation Chamber on the Absorption Coefficient of Acoustic Materials

Masaru KOYASU
(Kobayashi Institute of Physical Research)
(Received October 5, 1957)

The effects of the shape and volume of the reverberation chamber on the measured absorption coefficient are discussed here.

Reverberation chambers used for this research were the two chambers in our institute, which were constructed in the same manner except for the shape and the volume. Same test specimens and measuring apparatus were used in this research, making it possible to investigate purely the effect of the shape and volume of the chamber.

At first, the absorption coefficient of test specimen was measured in chamber No.1 (volume 513 m^3 , non-parallel walls).

In this case, it was independent to the position of microphone and test specimen, as reported earlier. On the other hand, in the case of chamber No.2 ($6\text{ m} \times 4\text{ m} \times 5\text{ m}$, rectangular parallelepiped), it was shown that the absorption coefficient was affected appreciably by these measuring conditions, especially for large absorption. Thus, in some cases, the absorption coefficients measured in both chambers differ from each other.

Only under the specially selected measuring conditions, the absorption coefficient coincides fairly well, and in general, the coefficient by chamber No.2 is smaller than that of chamber No.1.

By considering the behavior of sound waves in both chambers, it is concluded that the shape of the reverberation chamber plays an important role for the uniform distribution of sound energy.

As to the absorption coefficient defined by Sabine's formula, it should be the coefficient which is unaffected by the position of microphone and test specimen. When such a phenomenon as shown in chamber No.2 occurs in the reverberation chamber, it is necessary to be careful of the measuring conditions; or else it would lead to erroneous results if the mean value of absorption coefficients is simply taken on several microphone positions.

ま え が き

前報までに、あたらしく製作した残響室の概要と、吸音率を測定するときの諸問題について行った検討を報告した。¹⁾²⁾ ここでは、おもに第1残響室についての結果をのべた。ひきつづいて、残響室がちがったとき、その吸音率に対する影響に

ついて、第1、第2両残響室を使ってしらべた結果を報告する。

残響室法で吸音率を測定するとき、その値が残響室によってちがうことは、この測定法が発展したはじめからの問題であった。欧米では最近に至るまで、各所の残響室による比較測定がくりかえされている。³⁾⁴⁾ このように、残響室によって測

定した吸音率がちがうことの原因としては、試料の均一性や取付け方法の問題は別としても、残響室の形状、大きさのちがいや、残響時間の測定法、装置、測定者の影響などの多くの因子が考えられる。

残響室内の音場を均一にするためには、ある程度の数の固有振動が励振されることが必要であり、室容積と測定 of 最小振動数の限界についての式もある。⁵⁾ この意味から低音までの測定には、室容積の大きいことが有利である。一方、数千サイクル以上では、空気中の吸収が大きくなるので、測定精度から比較的小容積のものが都合がよいといわれている。

新設した残響室のうちで、第 2 残響室は第 2 報でのべたようにおもに高音用を目的としたものである。しかし、その容積が第 1 残響室の約 1/4 で、またその形状も直方体になっている。そこで、この第 1、第 2 両残響室を使って、吸音率に対する残響室の容積、形状のちがいの影響をしらべた。ここでは試料はまったく同一のものを使用し、また取付け方法や測定器、測定者なども同一条件にして吸音率を求めることができるので、純粋に残響室のちがいの影響のみをとりあげることができると思われる。

さらにここでは、第 2 残響室を使ったときに、第 1 残響室で求めた吸音率と同じ値をうるための測定条件を見いだすことに注意した。すなわち、第 1 残響室で普通に測定している振動数 (4000 サイクル) 以上の音に対する吸音率を測定するときや、その所要量以下の試料のときには、第 2 残響室を使うことが必要になる。このとき、第 1 残響室で測定すると同じ結果が期待できるかどうかをしらべるのも、この研究の一つの目標となった。

§ 1 . 試料と実験の方法

実験に使用した両残響室の詳細は第 2 報 に示してあるので、ここではあとの考察に必要な諸元のみを第 1 表に示した。

第 1 表 残響室の諸元

	第 1 残響室	第 2 残響室
室 容 積	513 m ³	120 m ³
全内表面積	382 m ²	148 m ²
床 面 積	72.3 m ²	24 m ²
室 形 状	不 整 形	直 方 体 (6m×4m×5m)
残 響 時 間 (500c / s)	22 秒	14 秒

また、実験の試料は、第 1 残響室の基礎実験と同様に、繊維板 (セミハードテックス) と岩綿保温板 (厚さ 25mm) を使った。これらの吸音率をまず第 1 残響室で測定し、つぎに第 2 残響室に移して吸音率を求め、さきの結果と比較した。第 1 残響室では吸音率はマイクロホンの位置にほとんど無関係であり、また 10m² 程度の試料面積のときには、それをとりつける位置にもよらないことは、第 3 報²⁾ にのべた通りである。これら 2 種類の試料について、第 1 残響室で測定した吸音率を Fig. 1 に示した。

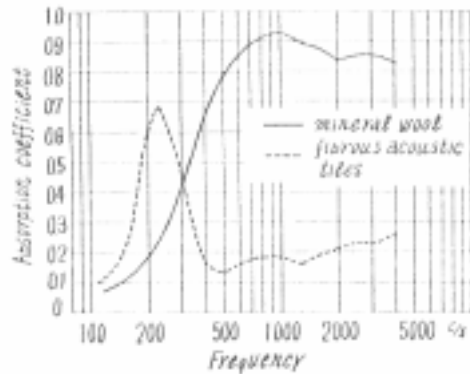


Fig.1 Absorption coefficients of mineral wool and fibrous acoustic tiles measured by reverberation chamber No.1.

さらに第 1 残響室では、試料面積も 10m² から 30m² の間では吸音率に関係しない。実際の測定には 10m² の試料を使っているのので、この研究で第 2 残響室の測定には、まず残響室の全表面積に対する試料面積の割合が、これと同程度になる面積を使って行った。

吸音率に対する残響室のちがいの影響

測定の音源としては、前報までと同様に震音を使った。

§ 2 . 第 2 残響室による吸音率の測定

スピーカーは、室の 1 つの隅 (床上) におき、マイクロホン室の他の 3 つの隅と室中央に順次移して、それぞれの位置に対する減衰曲線を求めた (Fig . 2) 。そしてこの結果から試料の吸音率を算出した。

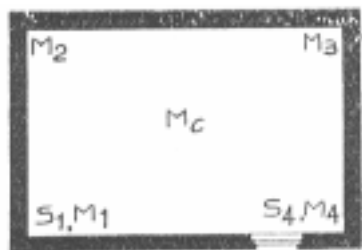


Fig.2. Position of loudspeaker and microphone in chamber No.2.

空室の場合には、第 2 残響室でも同一条件で測定した各減衰曲線のばらつきは十分小さいことを第 2 報でのべた。ところが、試料が入ったときには、各減衰曲線のばらつきがかなり大きくなるのがわかった。一例として岩綿の場合に、各振動数で 10 回の減衰曲線の測定から求めた残響時間の平均値と標準偏差を第 2 表に示した。この例の

第 2 表 試料を入れたときの減衰曲線のばらつき (第 2 残響室)

振動数	10回の測定の平均残響時間	標準偏差
サイクル	秒	秒
125	14.0	1.1
250	10.0	1.3
500	4.2	0.6
1000	4.1	0.2 ₆
2000	3.2 ₈	0.1 ₁
4000	2.5	0.0 ₇

ように、各減衰曲線のばらつきが大きくなるので、第 1 残響室と同一程度の精度で吸音率を測定するためには、第 1 残響室で 3 ~ 5 回の測定の平均をとったのに対して、さらに多くの減衰曲線が

らその平均をとることが必要になった。

2 . 1 . 岩綿の吸音率

岩綿については、第 3 表に示すように、試料の面積、取付け位置の 4 状態について吸音率を測定した。

第 3 表 岩綿の吸音率測定条件

試料面積	試料面積 / 全内表面積	試料取付け位置
3.3m ²	2.2%	床中央
3.3	2.2	床隅, 1辺を6m辺に接しておく
3.3	2.2	床隅(同上)と1つの壁(6m×5m)
5.0	3.4	床隅(同上)と2つの壁各1.66m ²

まず空室場合とちがって、マイクロホンの位置によって残響時間がかなりちがうので、算出した吸音率の値がマイクロホンをおく位置に関係することがわかった。試料のそれぞれの位置について、マイクロホンの位置による吸音率の変化を Fig . 3 から Fig . 5 に示した。

ここで、試料を残響室の 1 面または 2 面にとりつけた状態では、吸音率は 3 つのグループに大別される。すなわち、マイクロホンが室中央、スピーカーに近い隅、スピーカーから離れた 2 つの隅の 3 つの位置のいずれにあるかによって、吸音率はかなりちがっている。スピーカーとマイクロホン

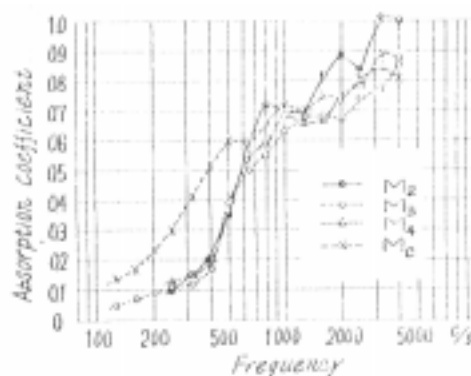


Fig.3 Absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.2. sample : 3.3 m², center of floor.

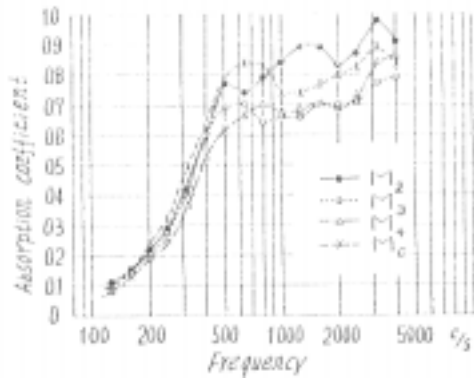


Fig. 4. Absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.2.
sample : 3.3 m², edge of floor.

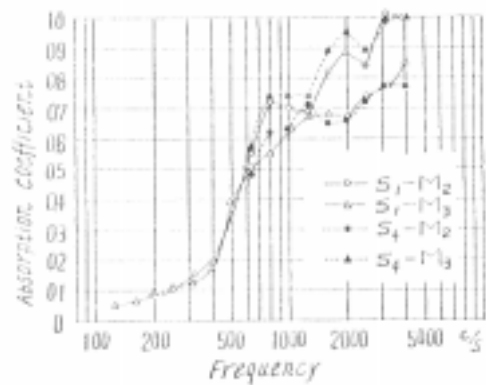


Fig.6 Effect of the relative position of loudspeaker and microphone on absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.2.
sample : 3.3 m², center of floor.
S and **M** shows the position of loudspeaker and microphone, respectively.

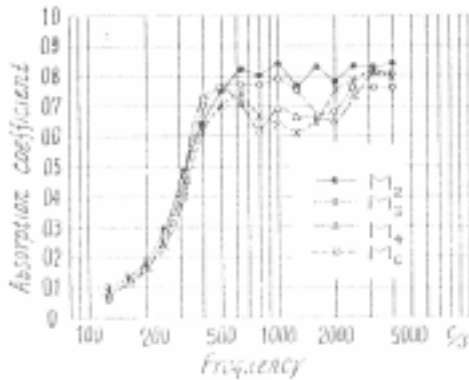


Fig. 5 Absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.2.
sample : 5 m², floor and two walls.

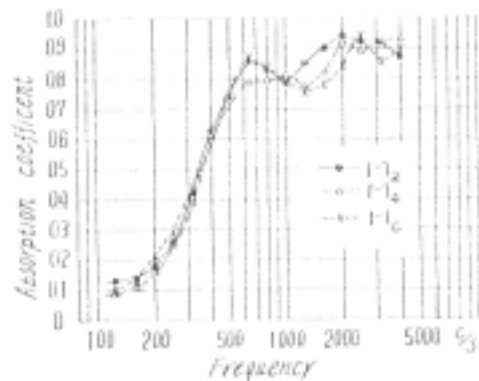


Fig. 7 Absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.2.
sample : 3.3 m², edge of floor.
two loudspeakers placed on diagonal corner.

位置の関係をしらべるために、スピーカーを他の隅に移して吸音率を求めた結果が Fig. 6 である。

この図では、スピーカーの位置が変わると各マイクロホンの位置に対する吸音率の関係は完全に逆転しており、マイクロホンの位置による吸音率のちがいは、スピーカーとの相対位置に関することを示している。そこで、つぎに室の1組の対角線をなす2つの隅に、スピーカーをそれぞれ1個おいて吸音率を求めた。その1例が Fig. 7 で、さきの結果とくらべるとマイクロホンの位置による吸音率の差は小さくなっており、だいたいスピーカー1個のときのもっとも大きい値がえられることがわかる。

また Fig. 3 ~ 5 からわかるように、試料の取付け位置によっても吸音率はかなりちがっている。たとえば、試料を床中央にとりつけたときには、マイクロホンが室中央にあるときのほかは、1000 サイクル以下の振動数でも吸音率は他の試料取付け位置でえられる値よりも、とくに小さくなっている。

吸音率に対する残響室のちがいの影響

2.2. 繊維板の吸音率

繊維板の 5m² を、第 4 表に示すような 3 つの取付け位置で吸音率を測定した。この場合には、Fig.1 に示すように 200 ~ 250 サイクルの附近に板振動による吸音の極大があるが、その他の振動数では、吸音率は 0.1 ~ 0.2 の程度である。岩綿

第 4 表 繊維板の吸音率測定条件

試料面積	試料面積 全内表面積	試料取付け位置
5.0m ²	3.4%	床中央
5.0	3.4	床隅, 1 辺を 6m 辺に 接しておく
5.0	3.4	床隅(同上)と 2 つの壁 各 1.66 m ²

のときと同様に、試料の各取付け位置について、マイクロホンを 4 ヶ所に移して吸音率を求めた。その結果が Fig. 8 ~ 10 である。このときには、200 ~ 250 サイクル附近をのぞいては、吸音率は試料の取付け位置やマイクロホンの位置に関係なく、その値は第 1 残響室の結果とほぼ一致している。

つぎに 200 ~ 250 サイクル附近の吸音率に注目してみると、マイクロホンを室中央においたとき以外には、試料の取付け位置がきまれば、吸音率はマイクロホンをどの隅においてもほとんど変わらない。ただマイクロホンが室の隅にあるときには、吸音率は試料の取付け位置によってかなり変

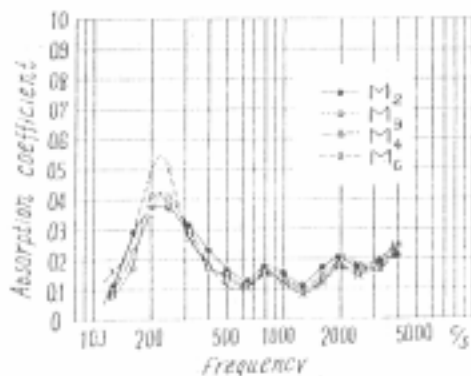


Fig. 8 Absorption coefficient of fibrous acoustic tiles measured by chamber No.2. sample : 5 m², center of floor.

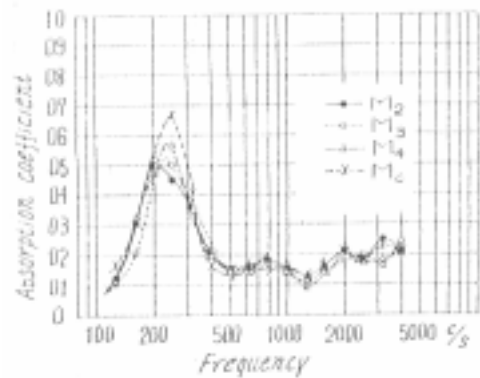


Fig. 9 Absorption coefficient of fibrous acoustic tiles measured by chamber No.2. sample : 5 m², edge of floor.

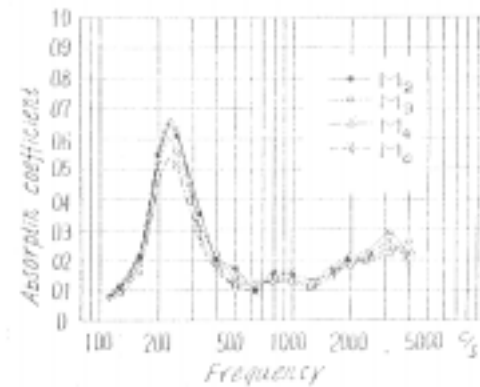


Fig.10 Absorption coefficient of fibrous acoustic tiles measured by chamber No.2. sample : 5 m², floor and two walls.

化している。まず、試料を床中央においたとき、吸音率をもっとも小さく、それから試料を室の床隅、3面に分散した位置に移すにしたがって、吸音率が大きく測定される。これに対して、マイクロホンを室中央においたときには、試料が床中央にあるときに吸音率がやや小さくなる程度で、試料の位置にあまり関係しないことがわかった。

吸音率の極大附近に相当する 250 サイクルの振動数について、記録した減衰曲線の一例を Fig. 11 に示した。この例のなかにもみられるように、減衰が完全な対数減衰にならないで、減衰曲線が折線になるときがある。このときには、減衰のはじ

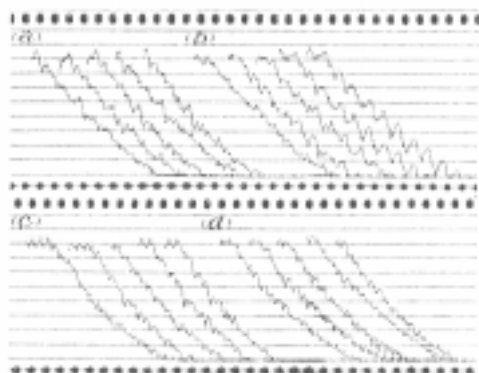


Fig. 11 Decay curves observed in chamber No.2. (250 c/s warble tone)
 test specimen : fibrous acoustic tiles
 (a) sample : center of floor , microphone M_C
 (b) sample : center of floor , microphone M_3
 (c) sample : floor and two walls , microphone M_C
 (d) sample : floor and two walls , microphone M_3

めの部分 (減衰の速いところ) から求めた残響時間を使って吸音率を算出した。

§ 3 . 両残響室で測定した吸音率の比較

すでにわかったように、第 2 残響室ではいずれの試料でも、吸音率の大きいところでは試料の取付け位置やマイクロホンの位置によって吸音率が相当に変化する。そのため、それらの位置によっては、両残響室で測定した吸音率の不一致はかなり大きくなることが考えられる。試料とマイクロホンの代表的ないくつかの位置で求めた吸音率を第 1 残響室で測定した吸音率と比較して Fig. 12, 13 に示した。

これらの結果から、第 2 残響室で吸音率を測定するときには、試料を 1 面にまとめてとりつけるよりは、たがいに直交する 3 つの壁面の中央からはずれた位置に分散してとりつけた場合に、第 1 残響室でえられた結果に近いことがわかる。また、マイクロホンの位置としては、室の隅よりも中央にあるときの方が、とくに低音でも、試料の取付け位置による大きな差のない結果がえられる

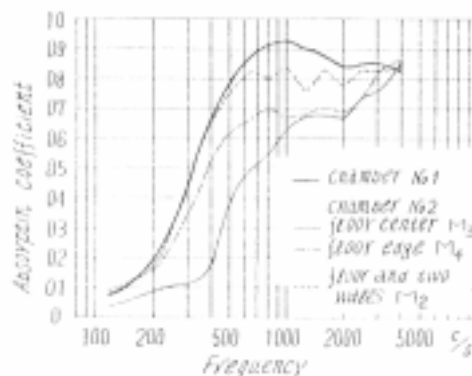


Fig. 12 Comparison of absorption coefficient of mineral wool measured by chamber No.1 and No.2.

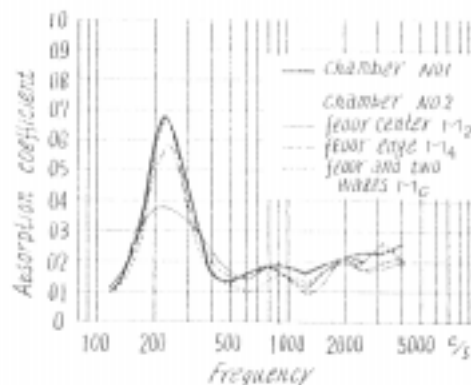


Fig. 13 Comparison of absorption coefficient of fibrous acoustic tiles measured by chamber No.1 and No.2.

ことを示している。そして一般に第 2 残響室で測定した吸音率の値は、第 1 残響室で求めた値よりも小さくなっている。

このように両残響室で同一試料の吸音率を測定したとき、その値が一致しないのは、室容積と室の形状の相違が原因であると考えられる。第 2 残響室で吸音率が試料やマイクロホンの位置に関係するのは、この状態では室内の音場がもはや均一であると考えられないことを示している。これが室容積と形状のどちらに大きく関係するかを考えるために、まず、ある振動数範囲内に含まれる固有振動の数が同じになるように両残響室の振動数

をえらび、さらにそれぞれの振動数に対する吸音率が同じ位の値になるところで比較すれば、一応室形の影響のみを検討することができると考えられる。そのためには、ここで第1残響室のある振動数を、第2残響室でその2倍の振動数の附近に対応させることが必要である。

Fig. 1で、繊維板の200～250サイクルの吸音率と岩綿の400サイクル附近の吸音率がほぼ等しい。そこで、第1残響室での繊維板の吸音率極大の附近と、第2残響室で測定した岩綿の400サイクル附近の吸音率を比較してみた。第1残響室では、この吸音率の極大の値も試料やマイクロホン位置でほとんど変わらない。これに対して、第2残響室で求めた岩綿の400サイクル附近の吸音率は、Fig. 3～5の例でもわかるように、これらにかなり影響される。この結果からみると、残響室内の音場については、室形が重要な役割をはたすものであると考えられる。そして上の結果は、第1報の模型室実験でのべたように⁶⁾、第1残響室ではっきりした *axial mode* の数が少なくなると考えられることから説明される。これはまた第2残響室でマイクロホンを室中央においたときに差が小さくなることから了解できることである。

ただ、このような固有振動の数の比較だけからは説明できない現象もある。すなわち、固有振動の数からは十分とみられる程度に振動数が多いところでも、第2残響室では音場の不均一の影響がみられる。これは、最近 N.B.S. で行っている室内音場の *interference pattern* についての一連の研究⁷⁾⁸⁾⁹⁾にも関連することと考えられるが、われわれはさらに模型室などを使って、詳細な検討を行っている。

またここにのべた結果から、室の形状さえ適当ならば、室容積はまったく無関係であると考えるのは不十分である。振動数の少い範囲では、固有振動の数そのものが重要であることはもちろんであり、振動数の少いところまで測定を行うためには、ある程度の容積はどうしても必要であると考えられる。

む す び

残響室法で吸音率を測定するとき、室の容積や形状が吸音率にどのように影響するかをしらべるために、2つの残響室によって同一試料の測定を行った。

第1残響室(容積 513m³, 不整形)では、吸音率は試料はマイクロホンの位置によらないことは第3報にのべた通りである。これに対して第2残響室(容積 120m³, 直方体)では、試料の吸音率が大きいとき、マイクロホンや試料の位置で吸音率が相当に変化することがわかった。そして一般に第1残響室で測定したのよりも、吸音率は小さくなり、試料とマイクロホンの特別な位置をえらんだときに、ほぼ第1残響室の結果に近い値がえられた。

このように、第2残響室ではマイクロホンや試料の取付け位置によって吸音率がちがって測定されることは、室内の音場が不均一になるためである。両残響室の容積のちがいを、固有振動の数という面で補正してしらべた結果、室の形状を適当な不整形にすることが、残響室内の音場を均一にするために有効であることがたしかめられた。これは、第1報でのべた基礎実験の結果に対する一つの裏付けとなると考えられる。

残響室で吸音率を測定するときには、ここで2つの残響室をつかってしらべたように、その容積や形状のちがいによって、測定値の不一致がおこる場合がある。このとき、少なくとも Sabine などの残響式によって残響室法吸音率と定義された吸音率としては、第1残響室のように均一とみなされる音場で測定してえられたものをとるのが一般的であると考えられる。そこで、ここに第2残響室を例にして示したような現象がおこった場合には、さきにのべたようにマイクロホンや試料の取付け位置などについての注意が必要である。そして、いくつかのマイクロホン位置に対する測定値を簡単に平均すると、かえって誤った結果を示すことになる場合があると考えられる。

おわりにあたり、御指導いただいた佐藤孝二先生に感謝する。

文 献

- 1) 佐藤孝二・子安勝：日本音響学会誌13(1957) 212
- 2) 佐藤孝二・子安勝：日本音響学会誌13(1957) 249
- 3) F.G.Tyzzar and H.A.Leedy：J.Acoust. Soc.Amer. 26(1954) 651
- 4) A.Eisenberg：Acoustica AB 1(1951)109
- 5) 例えば P.V.BrueI："Sound Insulation and Room Acoustics"(1951)p.190
- 6) 佐藤孝二・子安勝：日本音響学会誌13(1957) 231
- 7) R.V.Waterhouse：J.Acoust.Soc.Amer. 27(1955) 247
- 8) R.K.Cook, R.V.Waterhouse, R.D.Berendt, S.Edelman and M.C.Thompson, Jr.：J. Acoust.Soc.Amer. 27(1955) 1072
- 9) R.V.Waterhouse：J.Acoust.Soc.Amer. 29(1957) 544