

小形エンジン騒音実験用簡易無響室の製作 および性能について

小林 啓二*・小嶋 直哉*・福田 基一*

Design of Anechoic Room for Engine Noise Test and Its Performance

Keiji KOBAYASHI, Naoya KOJIMA
and Motokazu FUKUDA

Abstract

An anechoic room for engine noise test was constructed.

In constructing it, the sound absorbing wall with its supporting structures was carefully designed because their strong influence on the performance of the anechoic room.

The back ground noise, the inverse square law and the mean absorption coefficient of this room were examined in detail. From these experimental results, it was confirmed that this anechoic room showed the sufficient characteristics for the experimental researches on noise generation from running engines.

1. ま え が き

内燃機関は、産業社会の発展とともにその熱効率の高さと汎用性により広範囲に使用されているが、一方では内燃機関から発生する騒音や振動が深刻な社会問題となることが多く、著者らは内燃機関の騒音発生とその制御について一連の研究を行ってきている。

ところで、音響測定を行う場合には、実験室で発生した騒音が壁面から反射したり、また室外からの騒音の透過があると正確な値を測定できなくなる。そこで室外騒音の侵入が少なく、かつ実験室壁面からの音の反射が極力小さい無響室が必要であるが、高価である。

山口大学工学部内燃機関講座では、1972年に無響室(第一無響室)を業者委託により国費により製作したが、その後エンジン騒音の実験テーマも増えたので、今回簡易無響室(第二無響室)を自作することにした。今回製作した簡易無響室は、あらかじめ内燃機関を設置できるように、強固な定盤及び吸排気ダクトを備えたものである。ここでは、無響室の設計要領や製作過程ならびにその性能について報告する。

2. 無響室の設計

2.1 吸音対策

無響室の設計に当たり、まず対策前の実験室について概要を述べる。改造前の部屋は、 $5800 \times 5900 \times 2900$ mm で、ここに水冷横型単気筒ディーゼル機関 ($D \times S \cdot 102 \times 106$ mm, 866 cm^3) を設置し実験を行うと想定して無響室内のコンクリート定盤の寸法 (3500×1650 mm) を決定した。ここで、Fig. 1 に吸音壁装備前の部屋の概略図を示す。

本設計では、 $125 \sim 160 \text{ Hz}$ で吸音率がピークになることを目的として吸音材料の厚さ t は 150 mm 、背後空気層 d を 450 mm とし、これによって吸音材料中心からコンクリート壁面までの距離は $d+t/2$ 即ち 525 mm となり、これは同周波数範囲の音波の波長の約 $1/4$ に相当することになる。

吸音材料には、多孔質材料の一種であるグラスウールを使用した。多孔質材料の主な吸音領域は中・高音域であって、騒音対策を目的とした吸音処理にはもっとも一般的に使われている材料である。

グラスウールの厚さと密度は、材料と同様に吸音特性を左右する大きな要素である。採用したグラスウール

* 機械工学科

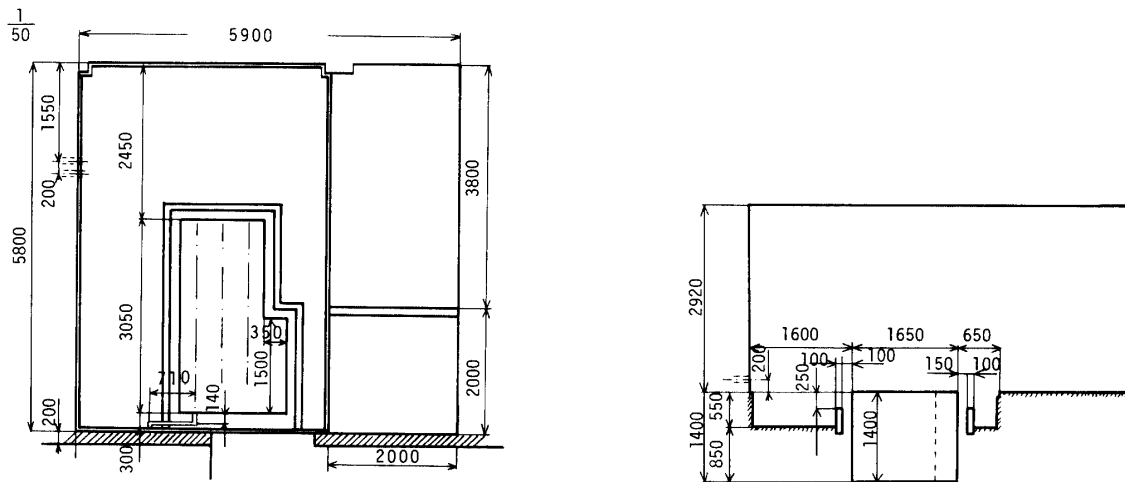


Fig. 1 Schematic view of the room without sound absorbing walls

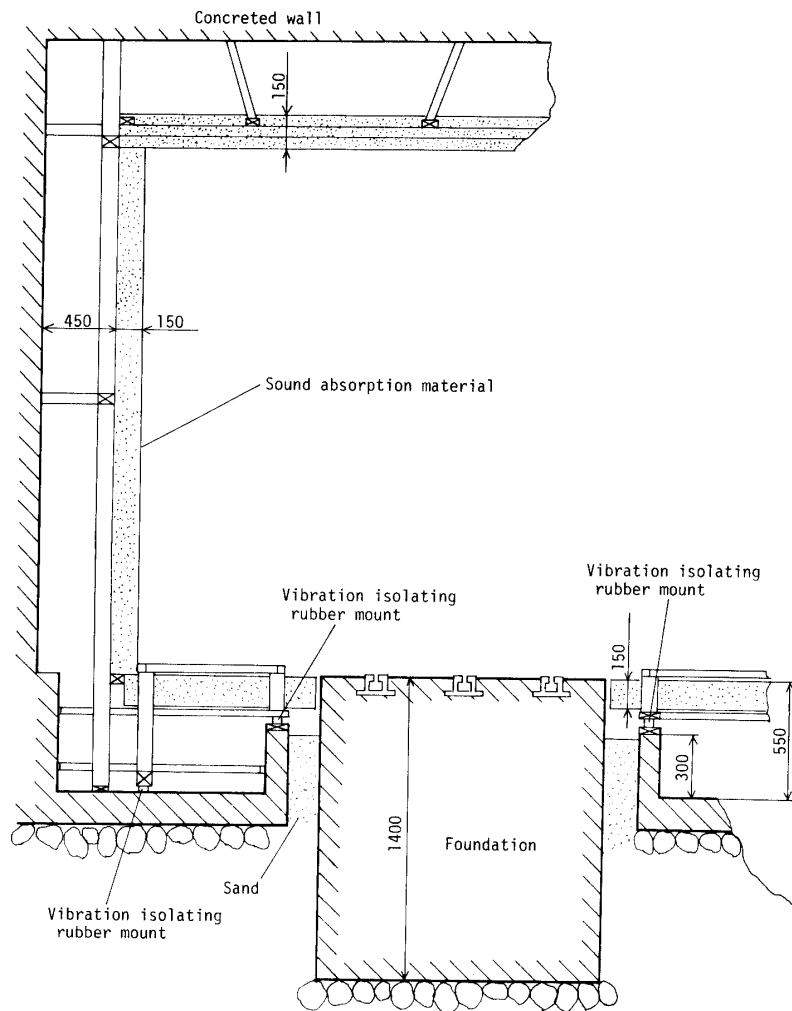


Fig. 2 Anechoic room (reconstructed).

ルの仕様は、密度 24 kg/m^3 、厚さ 50 mm である。

角材 ($50 \times 50 \text{ mm}$) で支持構造を作り、天井はグラスウールを直接張り付け壁及び床はグラスウールをつめたパネルを作成しこれをはめ込む方法を採用した。吸音対策後の部屋の寸法は、 $4500 \times 2800 \times 2400 \text{ mm}$ で

ある。Fig. 2 に改造後の部屋の断面図を示す。

2.2 防振対策

振動を発生する機械を防振支持する場合、あるいは外部から振動を精密機械などに影響を及ぼさないよう

に防振支持するとき防振ゴムが用いられる。

エンジンより発生する振動で無響室の壁や床が振動しないように、支持柱とコンクリート床の間に防振ゴムを使用した。減衰を無視したときの振動数比と振動伝達率の関係を参考までに Fig. 3 に示す。本例では、振動伝達率を7%以内を目標として防振ゴムを選定した。ここで採用した防振ゴムの仕様を Table 1 に示す。

また荷重が極端に小さい場所では、防振パッドを使用した。この特長は、荷重の小さい場所でも固有振動数を比較的に低く設定できることにある。採用した防

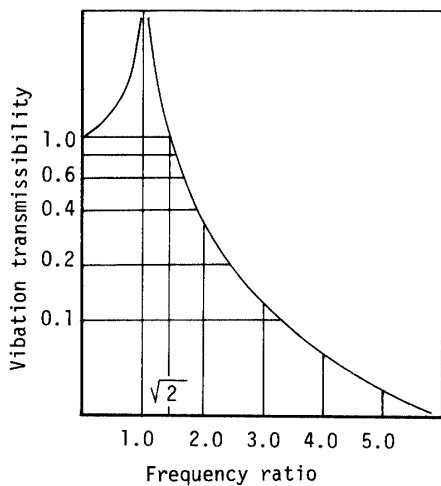


Fig. 3 Vibration transmissibility.

Table 1 Main specifications of vibration isolating rubber mounts

Vibration isolating rubber mount	Allowable load kgf	Spring constant kgf/cm	Rigidily ratio $\kappa \times /kZ$
KLB-3545	60	85	0.18
KLB-5030	90	90	0.16

振パッド KHS-40 の仕様は、ゴムかたさ JIS 40°, 許容荷重 50N, 固有振動数最小値 13 Hz, 遮断周波数最小値 18.4 Hz である。

3. 無響室の音響特性の評価

3.1 暗騒音試験

騒音の測定環境条件として、まず考えねばならないものは暗騒音である。これは、ある場所において特定の音を対象として考える場合に、対象の音がないときのその場所における騒音をいう。暗騒音の目安として既設の無響室との比較を行った。

Fig. 4 に示すように、第一無響室、第二無響室ともマイクロホンの位置は、実際の実験の際に騒音の測定位置になるような場所を選び、高さは床面より 1 m とした。ここで無響室内に露出している定盤や動力計や計器盤などは、実際に実験を行う際吸音材料などで覆ってしまうのでグラスウールで作ったマットを敷きつめた。

暗騒音の測定は、コンデンサマイクロホン (B & K・Type 4145) を用い、前置増幅器 (B & K・Type 2607) 周波数分析器 (B & K・Type 2107) に接続し、1/3オクターブ周波数分析器 (RION・SA 21・TK60) で解析・記録した。Fig. 5 に測定装置と解析装置のブロック図を示す。なお音の較正にはピストンホン (B & K・Type 4236) を用い 1 kHz の正弦波 (rms 94 dB, re 20 μ Pa) により行った。

Fig. 6 は、第一無響室と第二無響室の暗騒音の測定結果を示したものである。図において、第二無響室は第一無響室に近い特性を示した。

なお、低周波数域において暗騒音の音圧レベルが大きくなるのは、遮音及び吸音効果が低下しているためであると考えられる。しかし、両方とも低周波数域の一部を除いては 20 dB 以下であり、また中・高周波数

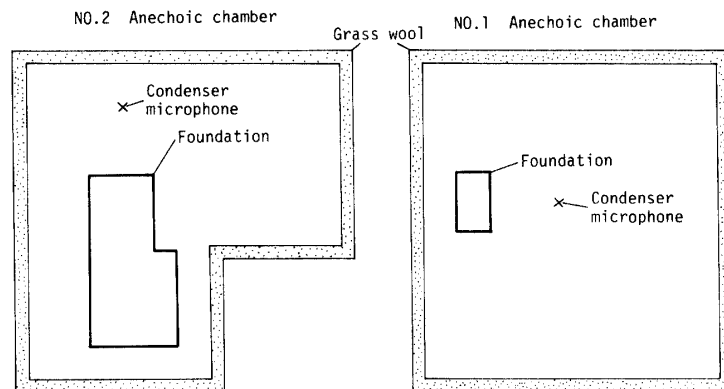


Fig. 4 Position of microphone (back ground noise test).

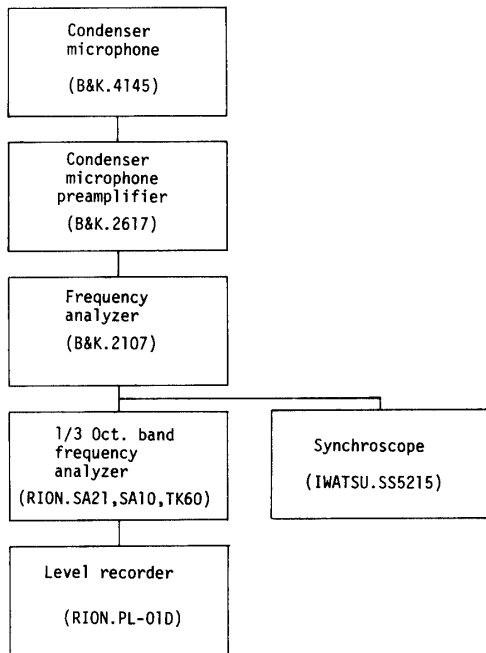


Fig. 5 Block diagram: measurement and analysis apparatus (back ground noise).

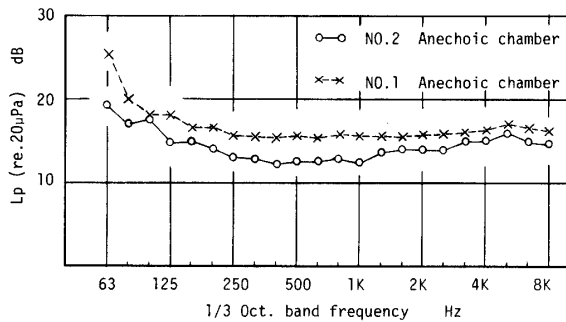


Fig. 6 Back ground noise.

域では、15 dB 付近より低い値を示していることから暗騒音は測定対象音よりも十分低いことが確認できた。

3.2 逆2乗則試験

自由空間での音圧は、音源からの距離が2倍になると6dB減衰していくことになる。

逆2乗則試験の音源として、ホワイトノイズ（白色雑音）を得るために、FMチューナよりノイズを取り出した。次にアンプ（ONKYO・INTEGRA・A815）で増幅しデジタルイベントレコーダ（B & K・Type 7502）で信号波形を繰り返し出力させ、バンドパスフィルタ（B & K・Type 2120）に接続し、データレコーダ（TEAC・A-41010S）に録音した。さらに録音波形をアンプで増幅し、スピーカ（EAS-20PL98S）から流した。そのブロック図をFig. 7に示す。

マイクロホンの位置は、Fig. 8に示すように第二無響室の対角線上にスピーカより0.4mから0.2mおき

に音圧を測定していった。また音源はできるだけ点音源に近づけるために、鉛の箱を利用してスピーカからの音を遮断し、その上部にあけた直径20mmの穴のみから音を放射するようにした。音の測定は、コンデンサマイクロホンおよび指示騒音計（B & K・Type 2203, RION・NA-08）を用い暗騒音の測定と同様に行った。

記録には、データレコーダ（KYOWA・RTP-160A）を用いた。解析には、バンドパスフィルタ（B & K・Type 2120）によりデータレコーダからの信号を増幅し、シンクロスコープ（IWATSU-SS5125）で波形を確認するとともに、1/3オクターブバンド周波数分析器を用いて分析し、レベルレコーダ（RION・LR-01D）で記録した。Fig. 9に測定装置と解析装置のブロック図を示す。

Fig. 10は、第二無響室における音源からの距離に対する音の低下を示したものである。これにより、音源からの距離が2倍になれば、ほぼ6dB減衰していることがわかる。ただ80Hz, 400Hzについては距離が大きくなるに従い減衰の仕方に多少のばらつきが認められる。これは、マイクロホンが壁に近い場合吸音

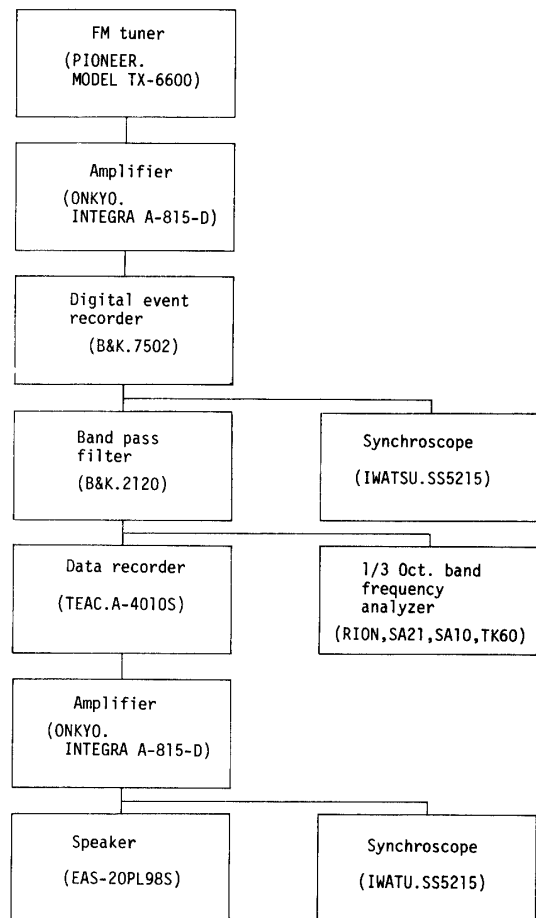


Fig. 7 Block diagram: sound source.

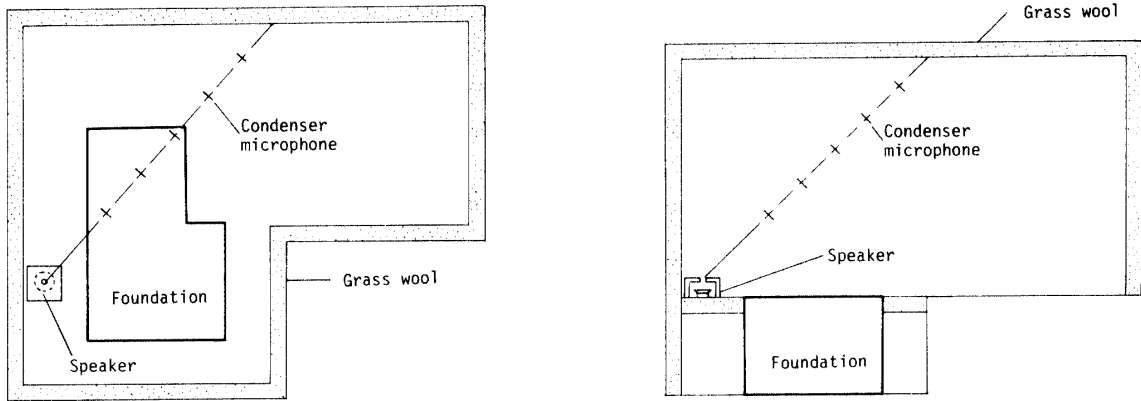


Fig. 8 Position of microphone (inverse square law test).

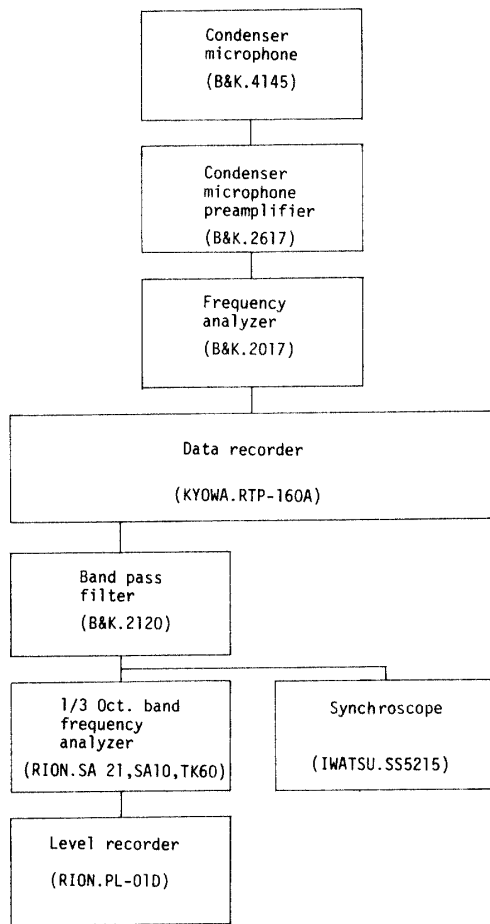


Fig. 9 Block diagram: measurement and analysis apparatus (inverse square law).

材料が音を吸収しきれないで、反射した音が一部透過するためであると考えられる。しかし音源からの距離を考え合わせてこの程度のばらつきであれば、自由空間に近い音場が得られたものと思われる。

3.3 平均吸音率試験

室内の吸音率 α は、無響室の体積を $V(m^3)$ 、表面積を $S(m^2)$ 、残響時間を $T(s)$ としたときの Eyring の式

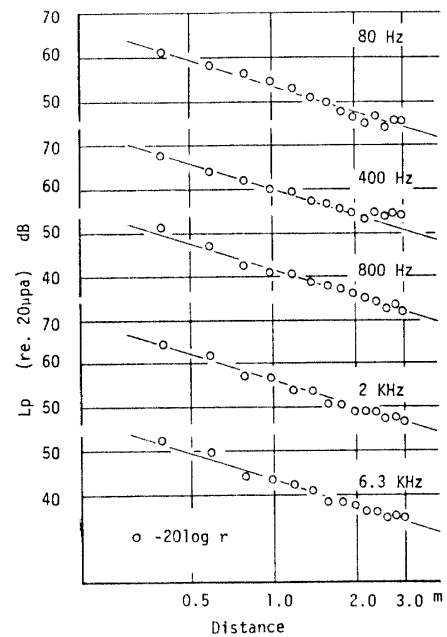


Fig. 10 Inverse square law.

すなわち

$$T = 0.16 \cdot V \{-2.3 \cdot S \cdot \log(1 - \alpha)\} \dots (1)$$

から求められた。

残響時間は、室内に一定の強さの音を出し定常状態に達してから音源を停止させ室内の音響エネルギーが定常状態の値の 10^{-6} になるまでの時間、すなわち 60 dB 減衰する時間を求めた。

吸音率の試験で用いた音の波形は、逆 2 乗則と同様である。マイクロホンの位置は、Fig. 11 に示すように無響室の対角線を 6 等分した 5 点とした。ここで残響時間を測定するためにスピーカからの音を極めて短時間に止めなければならない。またスイッチを切る際のノイズも極力避ける必要がある。そこでアンプからスピーカへ出力する際並列に抵抗 (400Ω 程度) を入れて、スイッチを切るときのノイズ防止を行った。

残響時間の測定は、逆2乗則のときと同様にコンデンサマイクロホンおよび指示騒音計を用いて行った。解析には、バンドパスフィルタによりデータレコーダからの信号を増幅し、シンクロスコープにより波形を確認するとともにレベルレコーダ(B & K・Type 2305)で記録した。Fig. 12 に測定装置と解析装置のブロック図を示す。

Fig. 13 は、音圧レベルの時間経過と音圧の時間経過を示したもので、この図から音が減衰していく経過がわかる。また、Fig. 14 は各周波数に対して式(1)から算出した吸音率 α の図である。この図より、160 Hz 付近で急激に吸音率が上がっていることが認められるが、これは吸音材料の中心から壁面までの距離を1/4波長とする周波数が前述のように125~160 Hz になるように設計したためである。

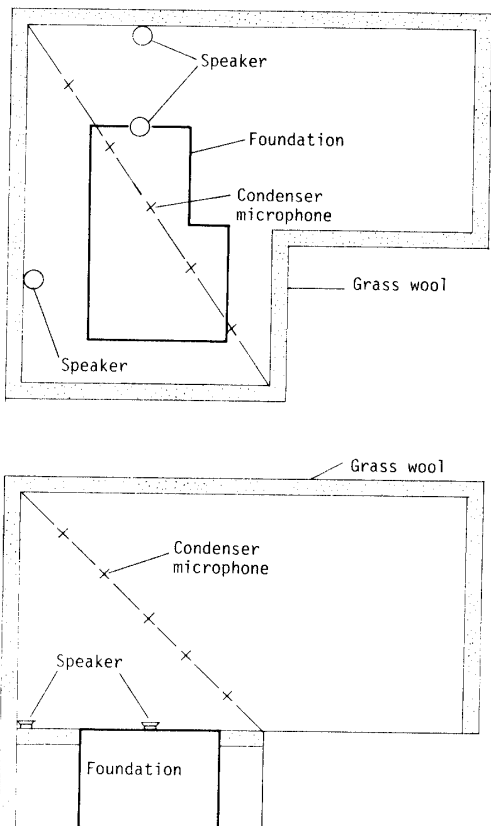


Fig. 11 Position of microphone (absorption coefficient test).

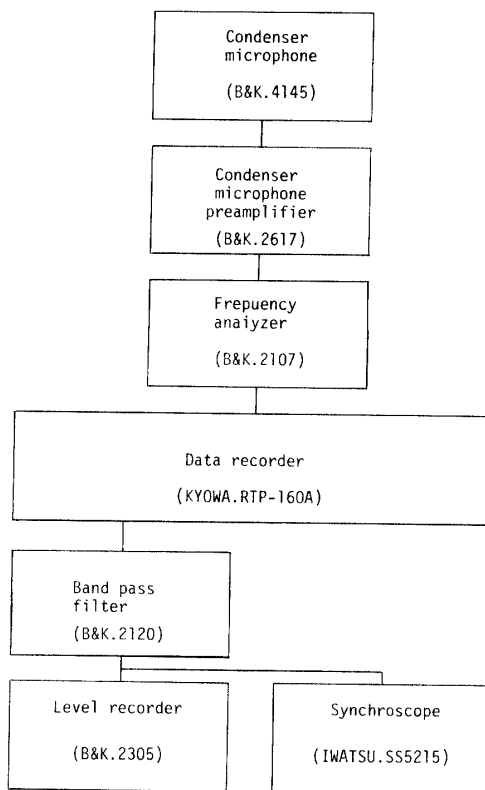
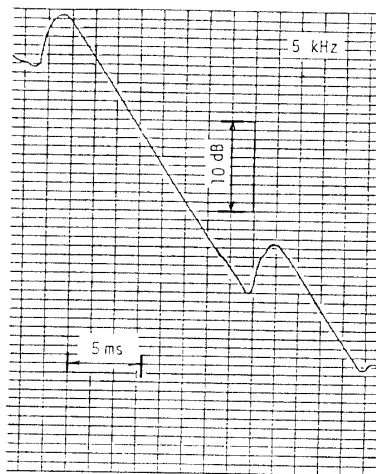
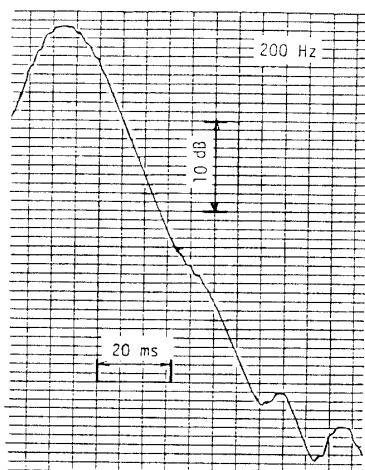
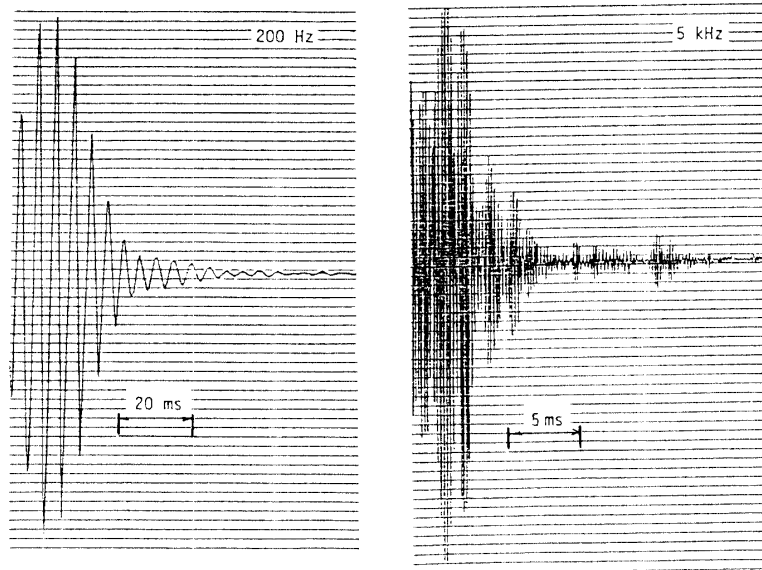


Fig. 12 Block diagram: measurement and analysis apparatus (absorption coefficient test).



(a) Time history of sound pressure level



(b) Time history of sound pressure

Fig. 13 Time histories of sound pressure level and sound pressure.

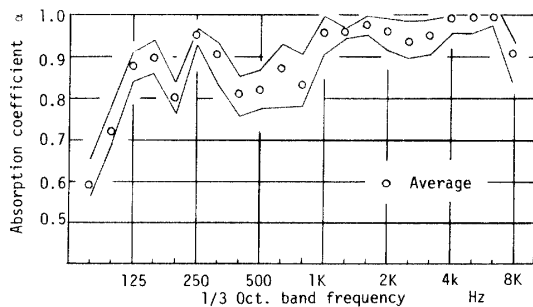


Fig. 14 Mean absorption coefficient of room.

4. あとがき

小形内燃機関から発生する騒音・振動の測定に主眼を置いて簡易無響室を設計・製作したが、性能試験の結果本無響室は期待された性能を示した。

音響効果に関しては、次の結果が得られた。

(1) 暗騒音の音圧レベルは、低周波数域の一部を除いては 20 dB 以下である。実際の測定対象音は、40 dB 以上であるため暗騒音は対象音よりも十分低いこ

とが確認できた。

(2) 無響室内の音圧レベルは、点音源からの距離の 2 倍に対して約 6 dB 減衰しており、ほぼ自由空間に近い音場が得られたと思われる。

(3) 吸音率については、ほぼ設計どおりの吸音率 0.7~0.98 が得られた。

終わりに、簡易無響室を製作するにあたりご協力頂いた機械工場の方々に感謝の意を表します。また装置作成、測定およびデータ整理に当って終始御協力を頂きました伊藤和美君（当時大学院院生）森川元広君、藤田泰君（学部生）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本音響材料協会；騒音対策ハンドブック，技報堂（1975）
 - 2) 福田基一；騒音防止工学，日刊工業新聞社（1978）
- （昭和 58 年 10 月 15 日 受理）