

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-517

ファンエンジン用運転試験装置の消音特性

武田克己・島崎忠雄

1983年9月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 運転試験装置の消音構造 .....	1
3. スピーカ音源による減音特性試験 .....	7
a. 吸気側消音器 .....	7
b. 排気側消音器 .....	8
4. 実機エンジンによる消音器の減音特性試験 .....	9
5. 音源の違いによる減音量の比較と許容音響パワーレベル .....	11
6. まとめ .....	12

# ファンエンジン用運転試験装置の消音特性

武田 克己\*\* 島崎 忠雄\*\*\*

## 1. まえがき

高バイパス比ターボファンエンジン運転試験装置（以下運転セルと言う）の完成にともない、運転セルに付属する吸気及び排気消音器の消音特性試験を行った。本運転セルの消音器は、ダクト及びスプリッタ消音器の組合せによる吸気側消音器と、ダクト、プリナムチャンバ、ブラストサプレッサ及びセル型ダクトを結合した排気側消音器とによって構成されている。

実機エンジンの運転に先立って、本運転セル消音器の減音特性が、設計目標値を達成しているかいかの確認試験を行う必要がある。そこで、消音器全体及び各構成部分の減音特性確認試験は、最も手軽なスピーカ音源を使用し行った。その測定結果では、所期の減音特性を有し、実機エンジン運転が可能であることが判明した。さらに、実機エンジン運転時の消音器全体及び各構成部分の減音特性を測定すると共に、当研究所敷地境界上の騒音レベルの計測を行い、運転セルの減音効果を評価した。またスピーカと実機エンジン運転時との減音特性の違いについても比較し、さらに運転可能なエンジンの音響パワーレベルを予測した。

## 2. 運転試験装置の消音構造

運転セルは、ターボファンエンジン（推力10トンクラス以下）の性能テストを行う事を目的とし、エンジン運転時における吸気及び排気消音器開口部での騒音レベルが60ホン以下となる様、減音量が設定されたものである。また運転セル外壁面からの透過騒音を少なくする目的で半地下方式とし、かつ吸気

及び排気の騒音放射面が、上空に向くL型運転セル方式が採用されている。本運転セル消音装置の全体図を図1に示す。

エンジン運転時の騒音レベルは、ファンや空気流量最大150m<sup>3</sup>/secの高温高速ジェットにより、130～135dB（エンジンインテーク及びジェットノズル端面より1mの距離）に達する。従って運転セルの減音は、大量の空気の吸排気を伴う条件下で達成されなければならない。そこで本運転セルの消音器は、周波数に対して異なる減音特性を有する消音器の組合せとした。

運転セルに使用されている吸音板は、図2-a, bに示すような前面に鋸歯形状の多孔板を有し、かつ多孔質吸音材（グラスウール及びロックウール）を充填した構造である。この吸音板の吸音率及び透過損失は、吸音板仕様書（サン・アロ化学株式会社）より転載し図3, 図4にそれぞれ示す。吸音板は、片面及び両面の2種類で、その使用状態を図5に示した。一方多孔質吸音材及びその保護材は、周囲温や風速条件を考慮し選定された仕様を表1に示す。

吸気側消音器は、図1のA部詳細に示されるような波形スプリッタを14列配置した構造を有し、ここに使用している吸音板は、厚さ160mmの両面吸音板で、多孔質吸音材上部に0.25μmポリエチレンフィルムで保護されている。さらにスプリッタ消音器出口以後で、減音効果を高<sup>1)</sup>める目的で180°ベンド吸音ダクトを通りセル内部に空気を導く構造としている。

運転セルは、半地下方式でかつ地上部分は二重壁が採用され内部は床を除き吸音板を全面に取り付け、吸音及び遮音に十分な対策が施されている。

排気側消音器は、高速且つ高温ジェットに対し圧力損失が少なく、所要の減音量を得る必要がある。また、一方ジェット騒音のスペクトルについて考え

\* 昭和58年4月27日 受付

\*\* 航空機公害研究グループ

\*\*\* 原動機部

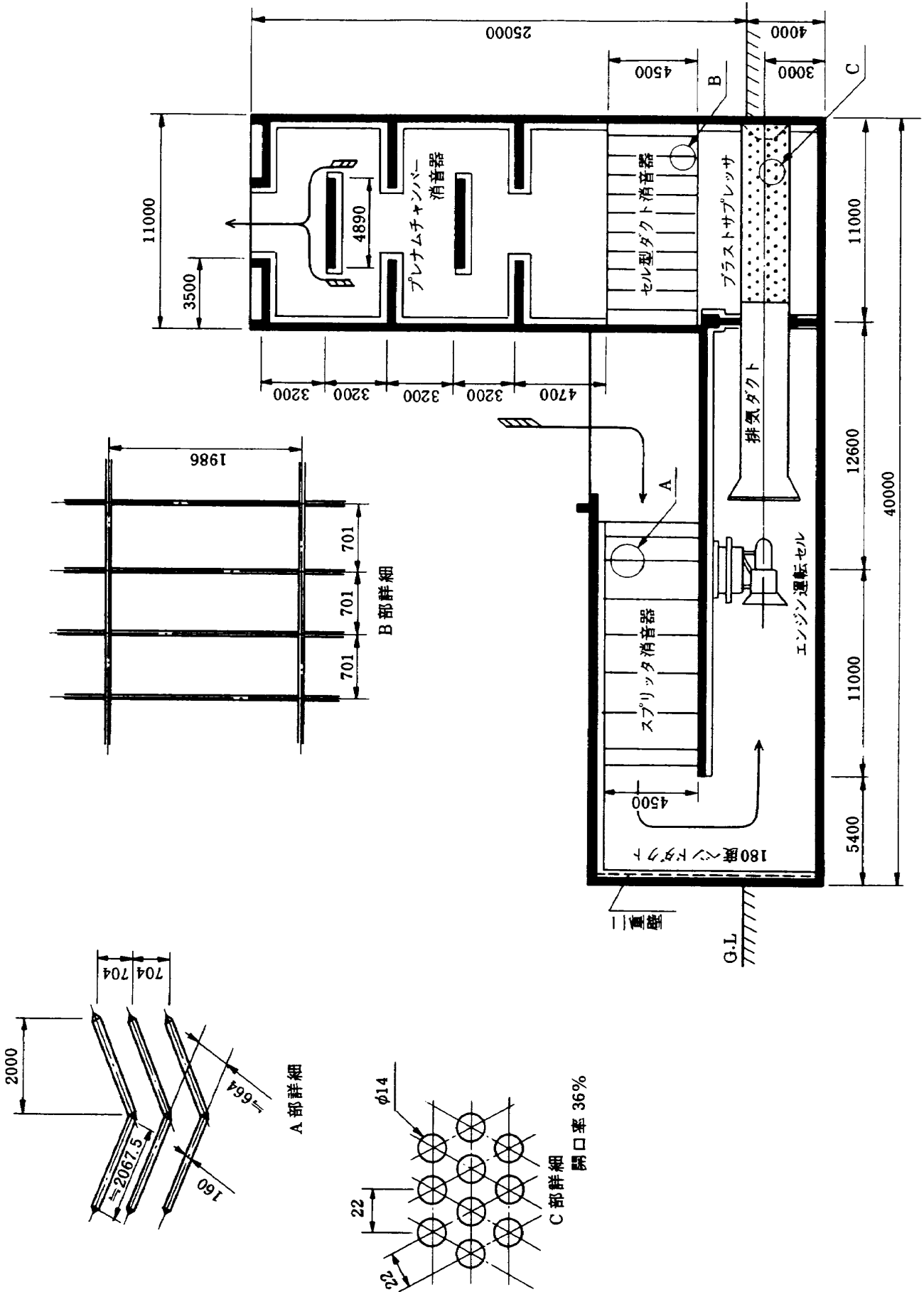


図 1 エンジン運転装置全体図 (mm)

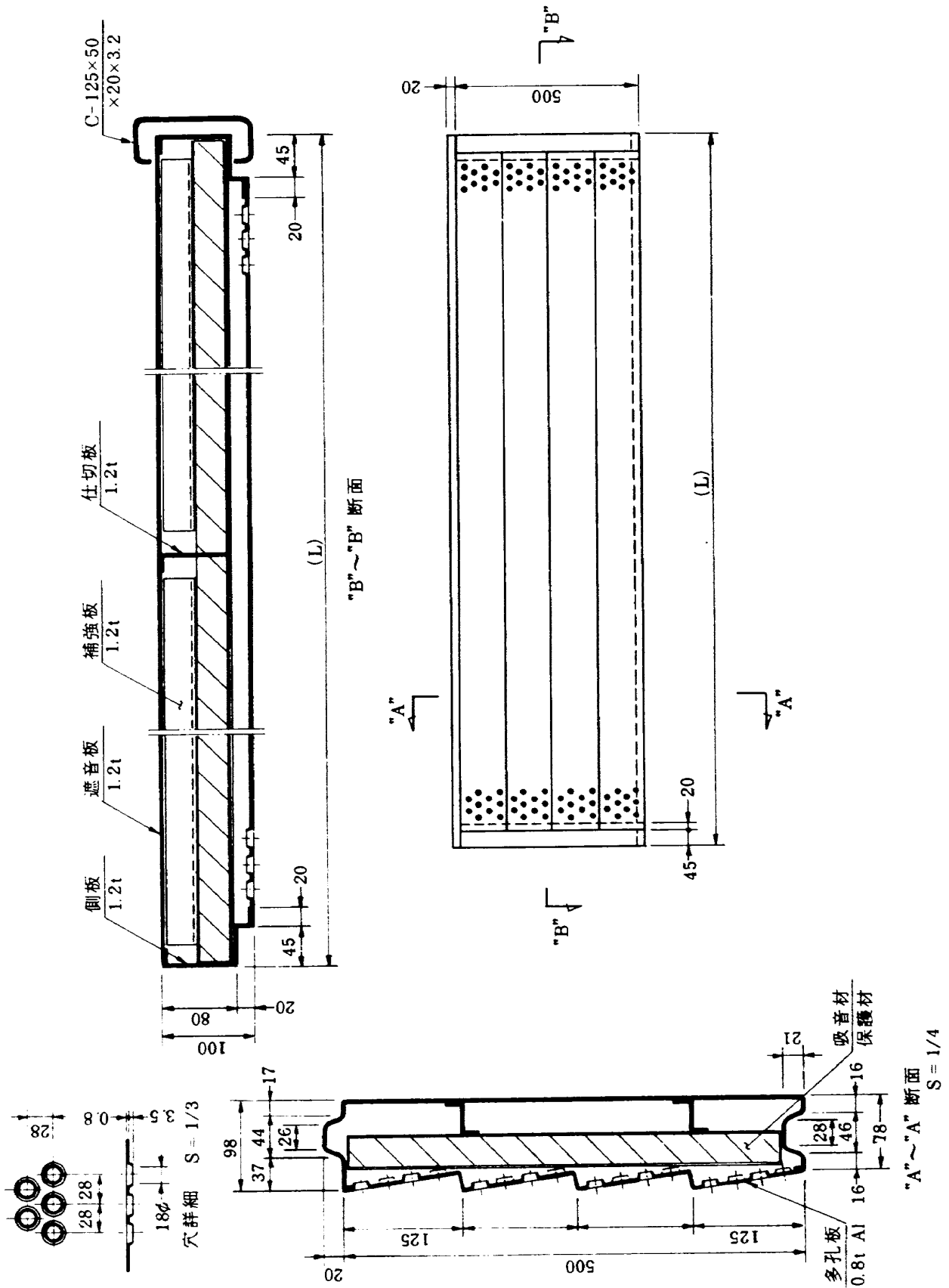


図 2-a 片面吸音板構造図 (mm)

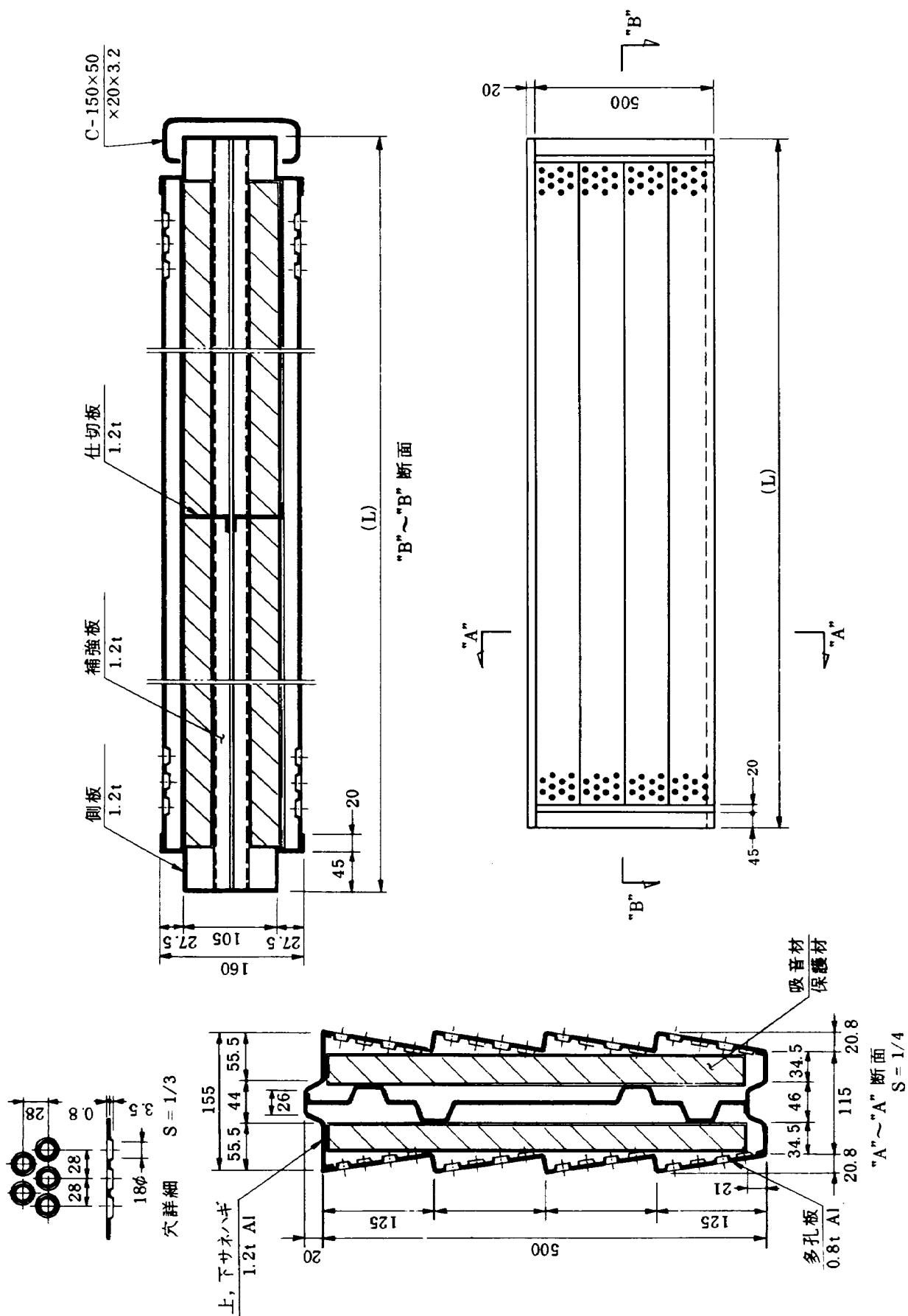


図 2-b 両面吸音板構造図 (mm)

た場合は、比較的low周波数で音圧の増加<sup>2)</sup>する傾向を示す。エンジン排気は、排気ダクト、ブラストサプレッサ、セル型ダクト及びプレナムチャンバ型消音器を通り大気中に排出される。ブラストサプレッサ消音器は、図1 C部詳細に示すように直径2600mmφ円筒の外周に直径14mmφで開口率36%の小さな穴をあけた構造であり、この効果は、高速ジェットを減速させ、かつ低周波数の騒音を高周波数側

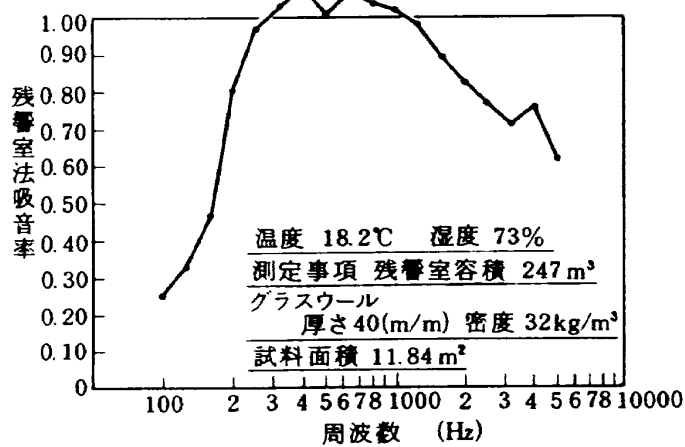


図3 片面吸音板の残響室法による吸音率

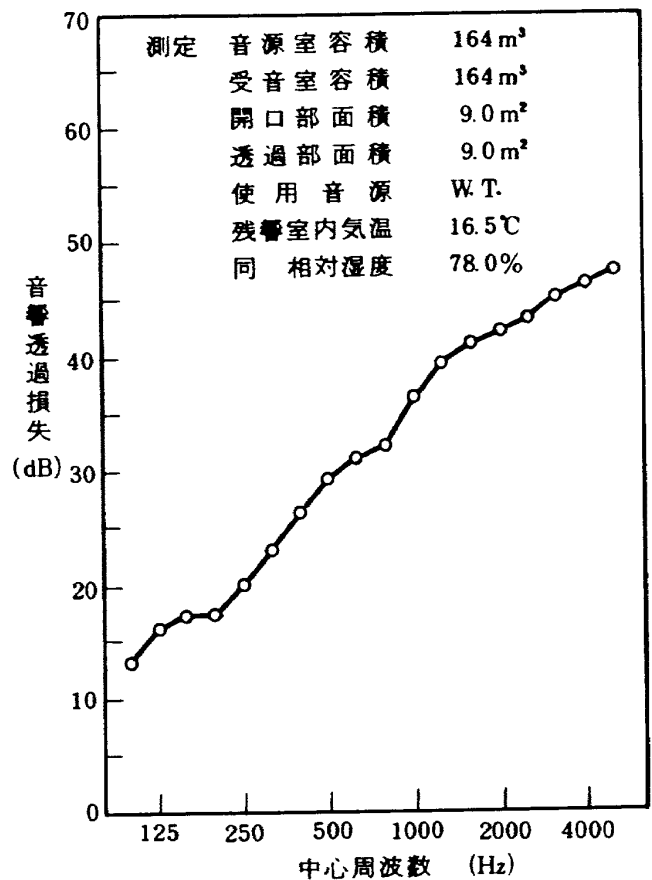


図4 吸音板(片面)の音響透過損失特性

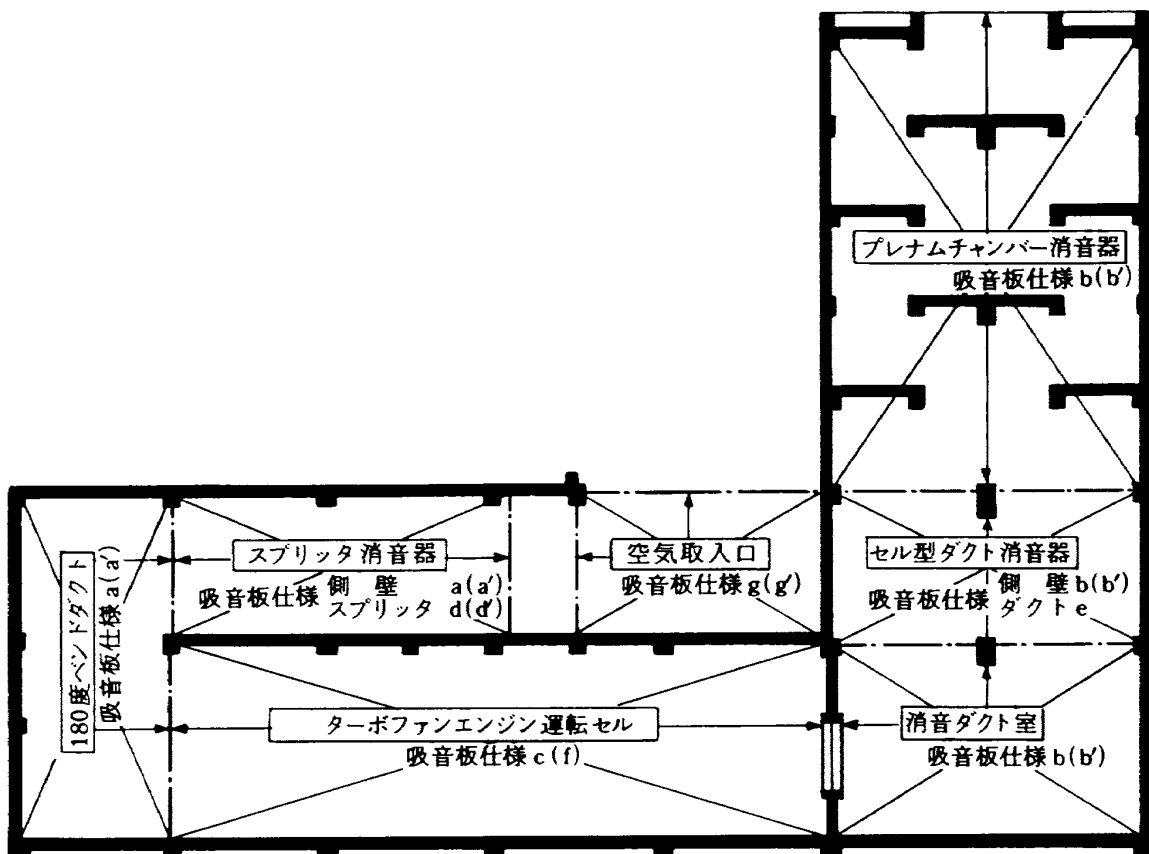


図5 吸音板使用区分図

(表-1) 吸音板仕様一覧表

仕様	形状	寸法		材					質		重量	備考
		厚み	高さ	多孔板	遮音板	吸音材	保護材	厚み	高さ			
a a'	片面吸音型	100m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	亜鉛鉄板 1.2m/m	グラスウール 32kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ポリエチレン フィルム 25μ	100m/m	500m/m	23kg/m <sup>2</sup>	a'は上部サネハギなし	
b b'	片面吸音型	100m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	アルミニウム板 1.2m/m	ロックウール 80kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ガラスクロス 0.1m/m	100m/m	500m/m	12kg/m <sup>2</sup>	b'は上部サネハギなし	
c	片面吸音型	100m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	亜鉛鉄板 1.2m/m	ロックウール 80kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ガラスクロス 0.1m/m	100m/m	500m/m	24kg/m <sup>2</sup>		
d d'	両面吸音型	160m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	亜鉛鉄板 1.2m/m	グラスウール 32kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ポリエチレン フィルム 25μ	160m/m	500m/m	28kg/m <sup>2</sup>	d'は上部サネハギなし	
e	両面吸音型	160m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	アルミニウム板 1.2m/m	ロックウール 80kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ガラスクロス 0.1m/m	160m/m	500m/m	17kg/m <sup>2</sup>		
f	片面吸音型	100m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	亜鉛鉄板 1.2m/m	ロックウール 80kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ガラスクロス 0.1m/m	100m/m	500m/m	24kg/m <sup>2</sup>	上部サネハギなし	
g g'	片面吸音型	100m/m	500m/m	アルミニウム板 0.8m/m	アルミニウム板 1.2m/m	グラスウール 32kg/m <sup>3</sup> ×40m/m	ポリエチレン フィルム 25μ	100m/m	500m/m	11kg/m <sup>2</sup>	g'は上部サネハギなし	



に変換する作用をもっている。セル型ダクト消音器は、両面吸音板を使用し、図1のB部詳細のように701×1980mmの長方形にしきられている。この消音器の減音特性は、長方形の短辺の長さに比例する周波数<sup>3)</sup>でピークを示し、そのかたちは、山型である。プリナムチャンバ消音器には、片面吸音板が全面に取りつけられており、さらに減音効果を増すよう曲りを多くして入口より出口までに90°の曲りを9回もうけてある。

### 3. スピーカ音源による減音特性試験

スピーカを音源として使用した場合は、音場が広範囲に無指向性で、かつ、高い音圧を得る事が困難である。そこでスピーカは、ある程度の無指向性を犠牲にしても、より高音圧レベルを発生するように、30cmフルレンジスピーカを2個用いた。この場合、高周波数域での指向性が多少強い事が予想されるので、多点計測を行い、平均音圧レベルを算出する方

法によった。ただし同一断面の測定点相互の音圧レベル差は、大きい場所もあるが、しかし平均値からの偏差は1dB以内であり、特にここでは修正しない値として取扱った。また図1の排気ダクトは、まだ取付けていない状態であり、この部分を壁で仕切り吸気側と排気側の測定は、個々にスピーカを置き、それぞれ単独で行った。この試験におけるマイクロホン位置とスピーカ位置の関係は、図6に示した。また試験に使用した音源発生回路及び音圧レベル測定系は、図7に示すブロックダイアグラムの通りである。

#### a) 吸気側消音器

本運転セル内に音源(図6の音源1)を設置し、180°ベンド吸音ダクトの前後断面(A及びB断面)における平均音圧レベルの差よりベンド吸音ダクト減音量を、同様に図6の音源2にスピーカを設け、スプリッタ入口(C断面)及び出口断面(B断面)の平均音圧レベル差から波形スプリッタ減音量をそれぞれ算出した。この吸気側消音器の減音特性は、

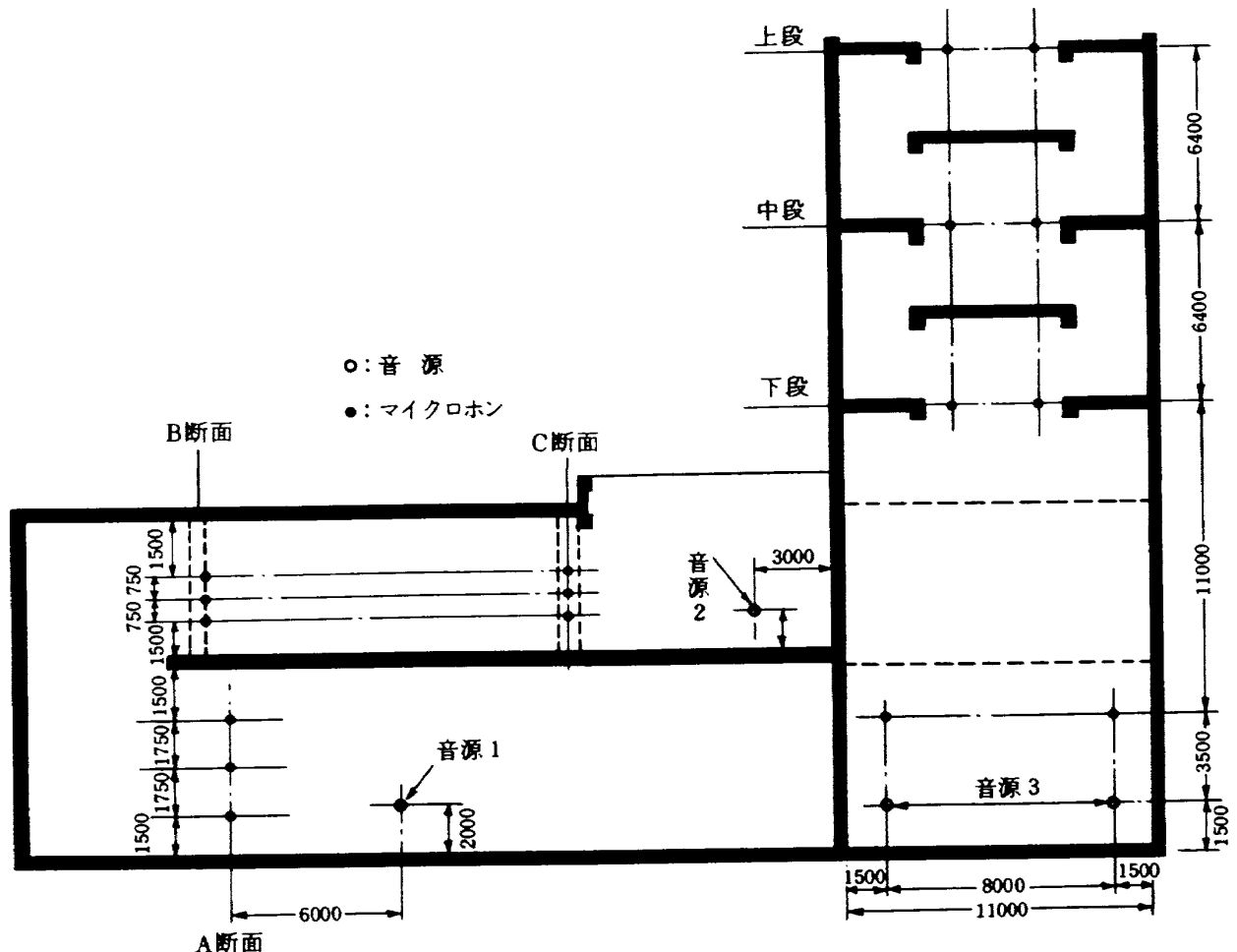


図6 スピーカ試験におけるマイクロホン位置及び音源位置

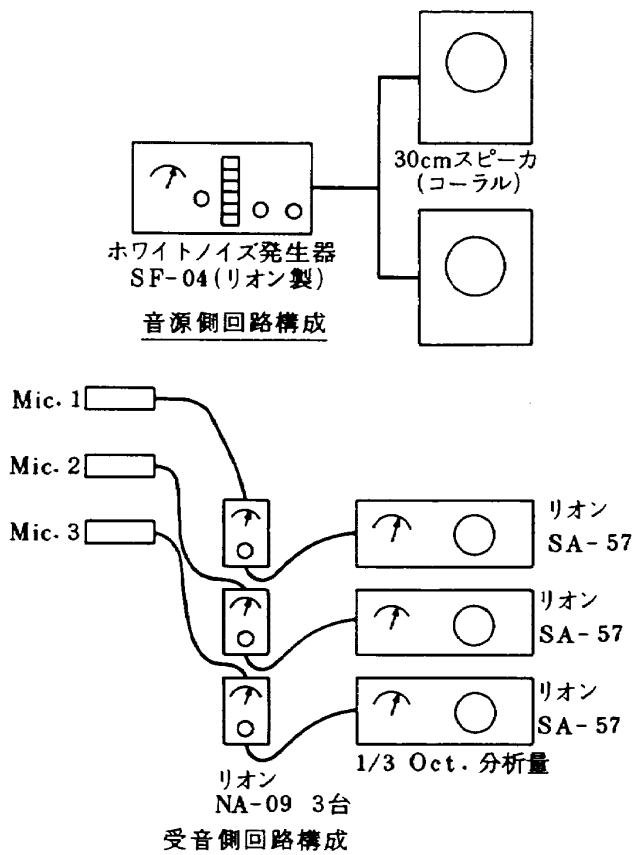


図7 スピーカ試験における騒音計測システム

1/3 オクターブバンド中心周波数に対する減音量の変化として、図8に示す。そしてこれらの測定された減音量は、180°ベンドダクトでは8~15dBであり、スプリッタ消音器においては中心周波数が、500Hz から8kHz までは40~47dBで、中心周波数125Hz から500Hz においては20dB/Oct.の割合で減音量が増加している。さらに消音器の総合減音量としては、中心周波数が250Hz から10kHz までの範囲で48dB~61dBであり、中心周波数が63Hz ~125Hz では15dB~18dBであることが判る。

b) 排気側消音器

図6に示すように排気消音器下部(音源3)に2個のスピーカを置きセル型ダクト消音器下部、プレナムチャンバ消音器の下段、中段、上段にそれぞれマイクロを取付け、音圧レベルの測定を行った。セル型ダクト消音器の下段とプレナムチャンバ消音器下段の平均音圧レベルの差からセル型ダクト消音器の減音量を、同様にプレナムチャンバ消音器においては、中段と下段及び上段と中段の平均音圧レベル差より各段の減音量を求めた。ただし4点の計測点

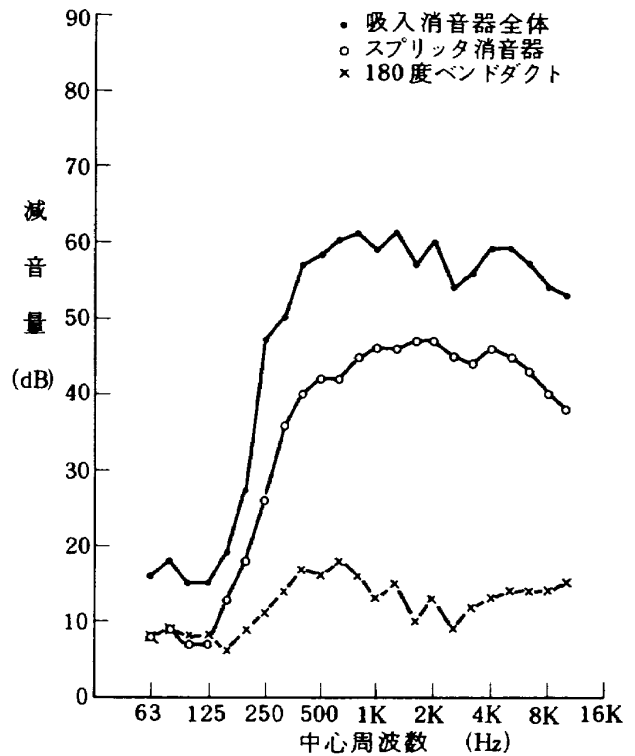


図8 スピーカ音源による吸気側消音器の減音特性

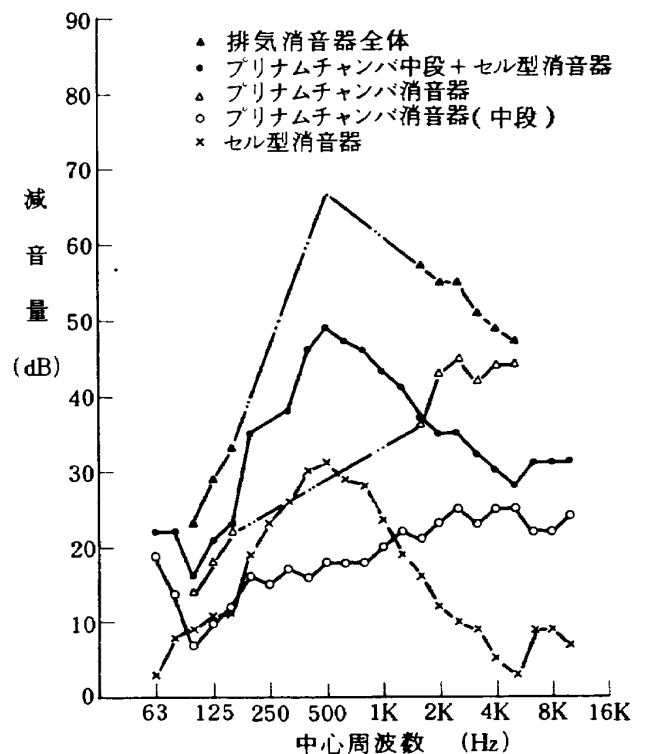


図9 スピーカ音源による排気側消音器の減音特性

により平均音圧レベルを求めた。このようにして測定された排気側消音器の減音特性結果を、図9に示す。セル型ダクト消音器の減音量は、中心周波数が500Hz において約30dBであるが、この中心周波数500Hz より低周波側(500Hz ~125Hz)及び高周

波数側 (500Hz ~ 2.5kHz) においては、それぞれ -10dB/Oct. に近い曲線に沿って減少し、中心周波数が 125Hz 以下及び 2.5kHz 以上の領域では、10 dB以下の減音量しか期待できない。次にプレナムチャンバ消音器単体での 1/3 オクターブバンド中心周波数に対する減音量変化は、ほぼ 3 dB/Oct. の曲線に沿って高周波数側ほど増加している。ただしプレナムチャンバ消音器の上段での計測音圧レベルは、中心周波が 200Hz から 1.25kHz までの9点では音源に使用したスピーカの出力不足のために測定不能であったので、中段までの減音量変化と同様であると仮定した。

#### 4. 実機エンジンによる消音器の減音特性試験

スピーカ試験と同様に各消音器の減音量を得る為に、図10のマイクロホン位置にそれぞれ1個のマイ

クロホン (B&K: 1/2") を取りつけ音圧レベルを計測した。ただしマイクロホン位置 9 及び 10 のマイクロホンは、ノーズコーンを取り付け風切音<sup>4)</sup>の影響を少なくした。一方屋外計測点は、消音器の出口より最も近い当研究所敷地境界線上と中間点の2点とした。騒音測定時のエンジン回転速度は、9500, 12500, 13200, 13700 RPMの4段階とエンジン停止時(暗騒音の計測)で行った。各マイクロホンからの音圧信号は、図11に示すように一度13チャンネルデータレコーダ (FR-1300) に約3分間記録し、騒音分析装置 (TDA-31) で 1/3 オクターブバンドの分析を行った。ここで使用したデータレコーダの周波数特性は、0 ~ 10 kHz において ±0.1dB であり、かつ S/N比は 45dB が保証されている。また分析装置 (TDA-31) の周波数特性は、5 ~ 20kHz において ±0.5dB であり、S/N比は 70dB である。

実機エンジン運転時における吸気及び排気消音器

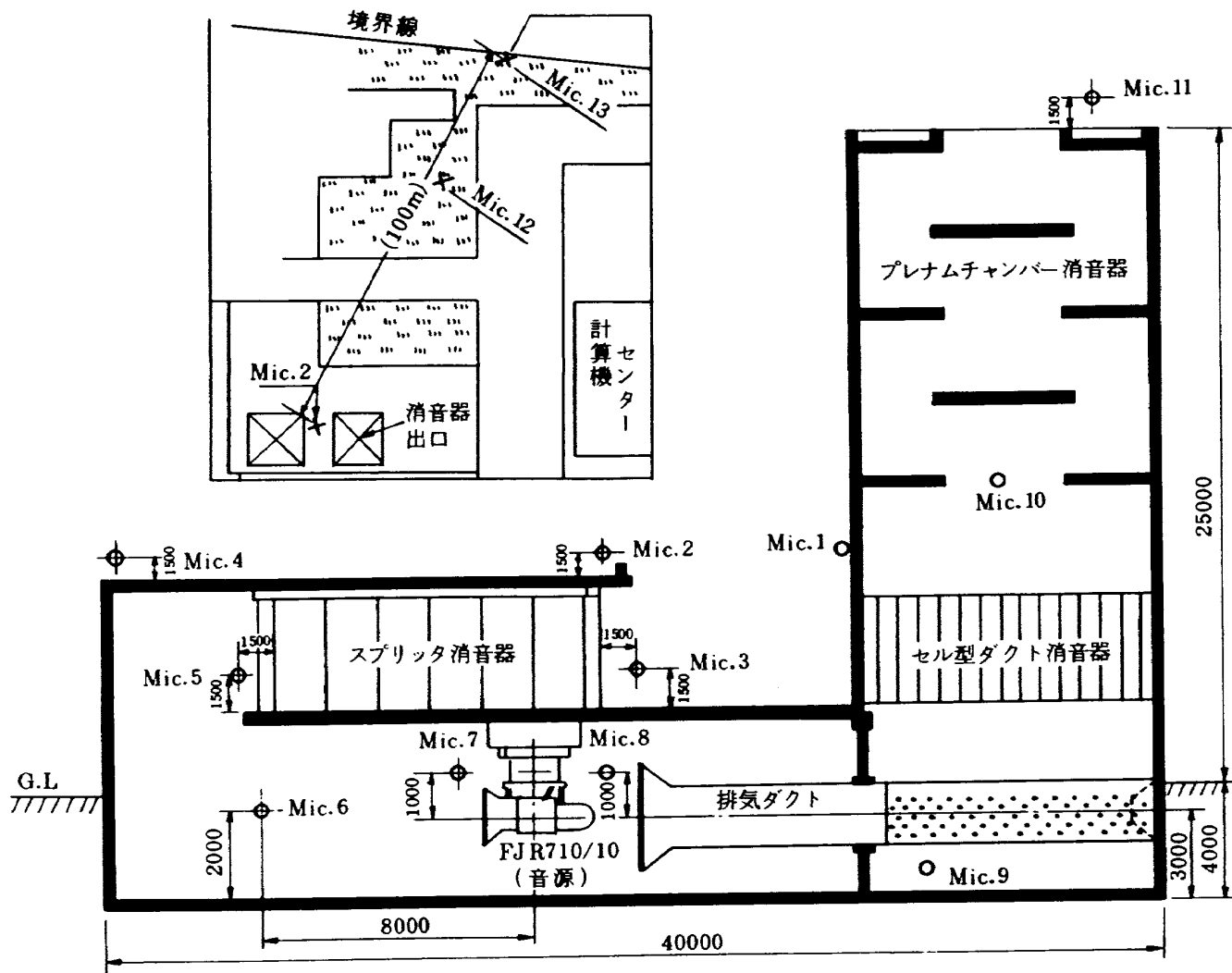


図 10 実機エンジン試験におけるマイクロホン位置

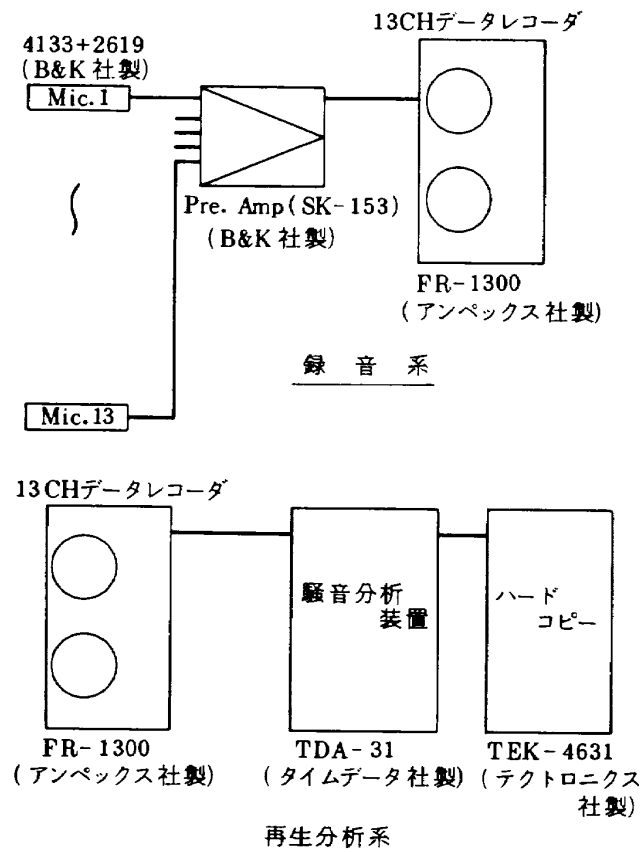


図 11 実機エンジン試験における減音量計測システム

のそれぞれの計測位置での音圧スペクトル(1/3Oct.)を図 12-a, b に示す。エンジン最大回転時(回転速度 13700 RPM)の Mic. 7 での音圧レベルは、低周波数から高周波数にかけて 106dB 以上であるが、特に中心周波数 3kHz 近傍ではファンから発生する騒音<sup>5)</sup>(回転数×ファン翼枚数とその整数倍の周波数)の影響によりピーク値音圧が 130dB ( $2 \times 10^{-5}$  pa 基準)に達している。一方吸気消音器入口(Mic. 3)の音圧レベルは、一部の周波数をのぞき中心周波数が 250Hz から 8kHz までがもっとも低く、その値は 60dB 前後である。エンジン排気より 1m の距離に置かれた Mic. 8 の音圧レベルは、Mic. 7 と比べてファンから発生する騒音の周波数で 9dB 低くなっているものの、ジェットに起因する騒音の周波数(中心周波数 125Hz の前後)では、5dB 増加している。

図 13 には、エンジン回転速度 13700 RPM での吸気消音器入口(Mic. 2)、屋外境界線上(Mic. 13)と境界線上での暗騒音の三者の音圧スペクトル(1/3Oct.)をそれぞれ示す。この計測結果から屋外境界線上での騒音レベルは、暗騒音レベルとはほぼ同程度である

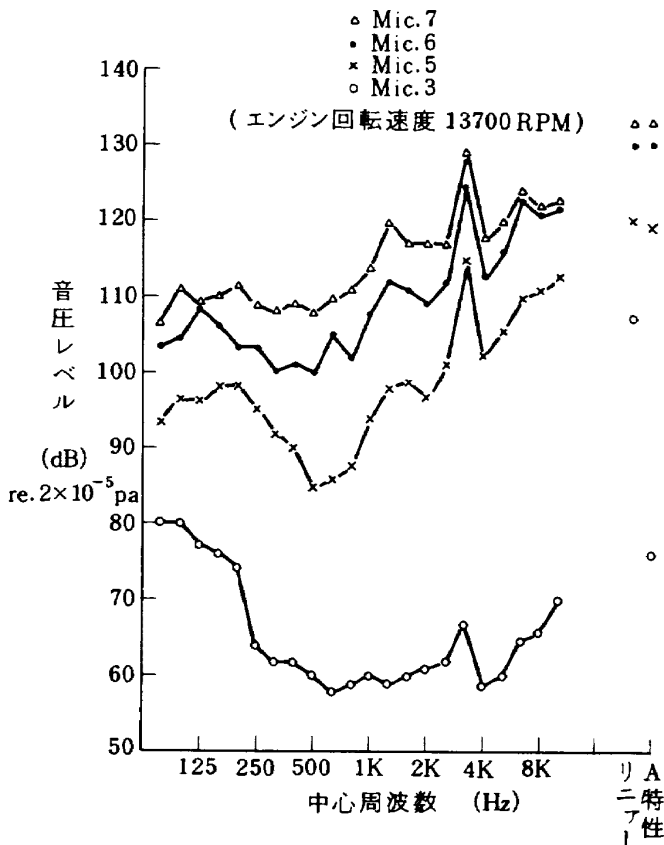


図 12-a 実機エンジン運転時の吸気側騒音スペクトル(1/3オクターブバンド)

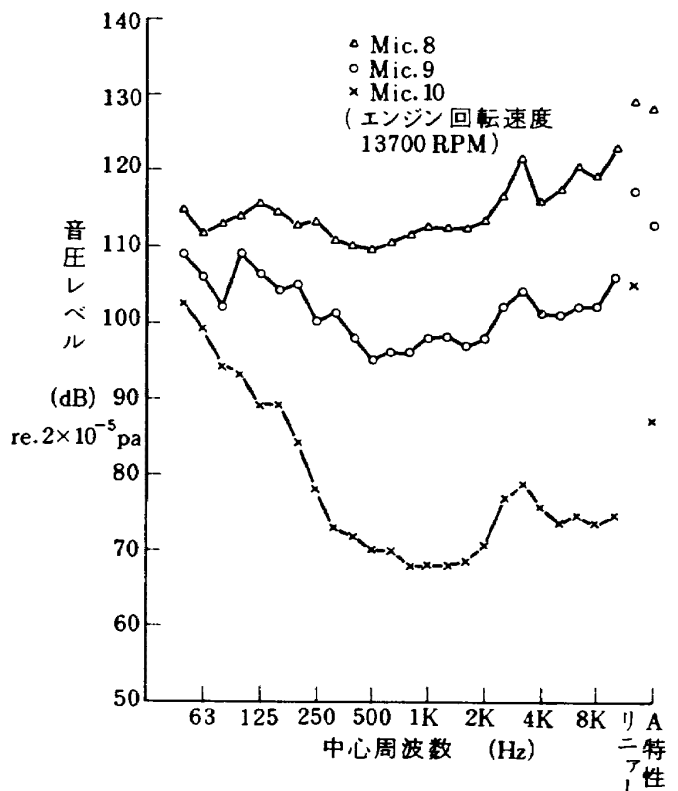


図 12-b 実機エンジン運転時の排気側騒音スペクトル(1/3オクターブバンド)

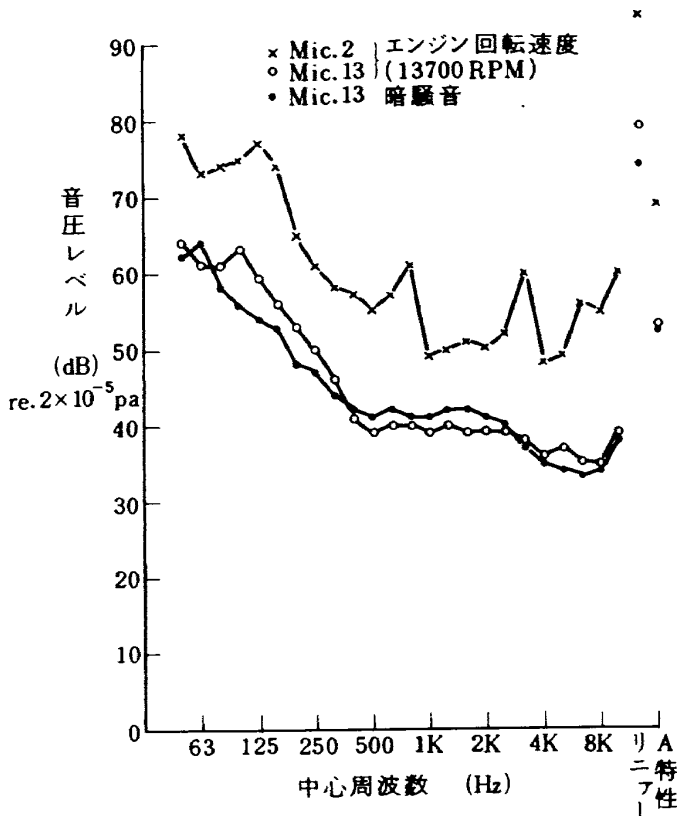


図13 実機エンジン運転時屋外騒音スペクトル (1/3 オクターブバンド)

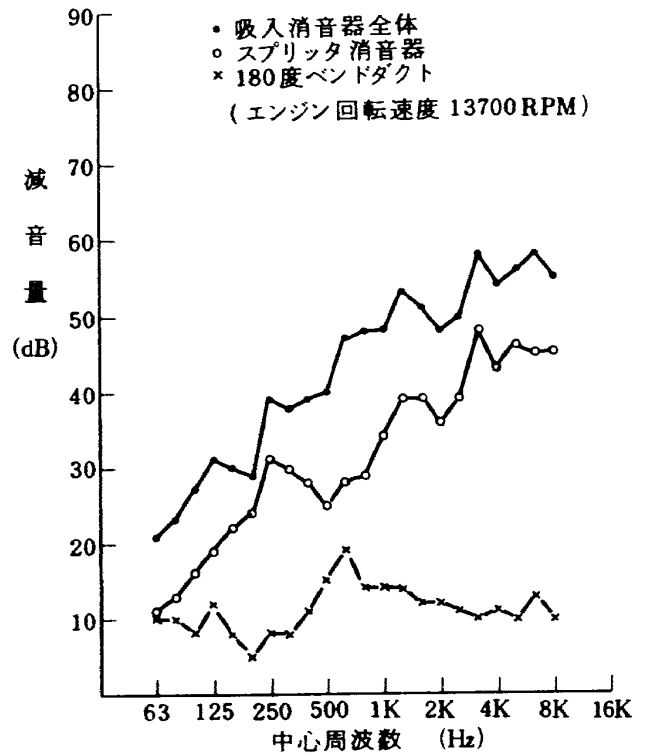


図14 実機エンジンの吸気側消音器の減音特性

事が判明した。

エンジン回転速度 13700 RPMにおける音圧スペクトルから求めた吸気及び排気消音器の減音特性を図14, 15にそれぞれ示す。まず吸気側消音器の各要素の減音量は、180°ベンドダクトについては5 dB～19 dBの範囲であり、スプリッタ単体では最大値が48 dBで周波数の増加と共に増大する傾向にあった。また吸気側消音器の減音量は、最大58 dBで、かつ周波数増加と共に大きくなっている。一方排気側消音器の減音特性は、セル型ダクト消音器について周波数が250Hzから8kHzまでは20 dB～30 dBであり、ブラストサプレッサ消音器もセル型ダクトと同様な周波数範囲で10 dB～20 dBであった。

### 5. 音源の違いによる減音量の比較と許容音響パワーレベル

図16, 17には、音源の違い(スピーカと実機エンジン)による吸気及び排気側消音器の中心周波数(1/3 Oct.)に対する減音量の比較が示されている。

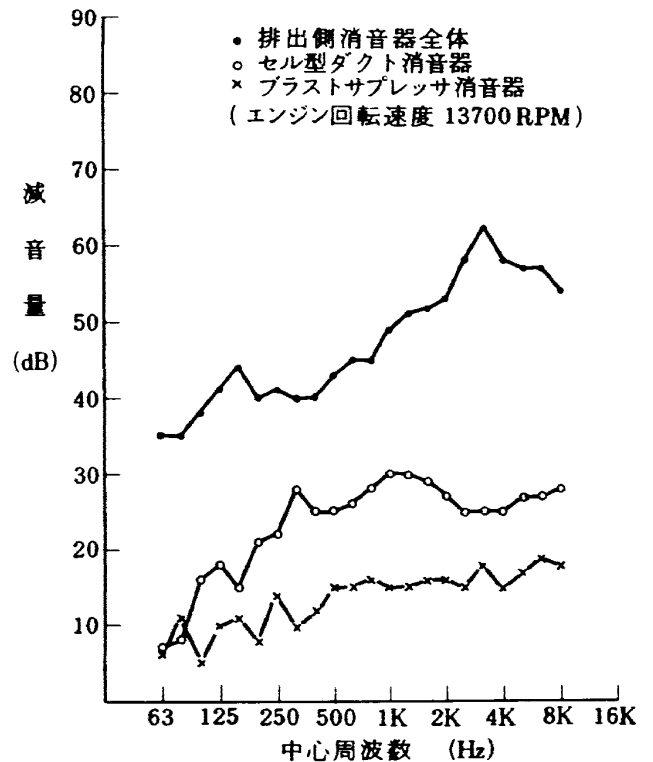


図15 実機エンジンの排気側消音器の減音特性

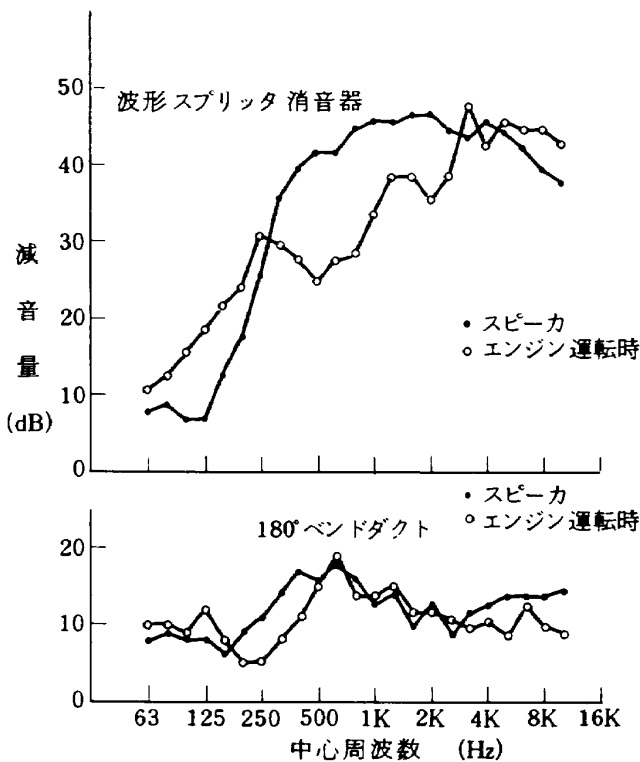


図 16 吸気消音器の音源の違いによる減音量の比較

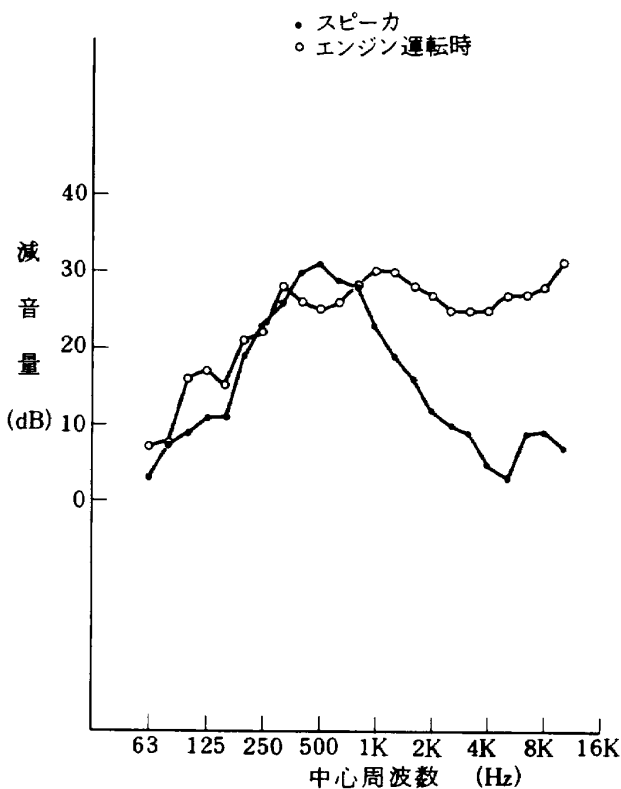


図 17 セル型消音器の音源の違いによる減音量の比較

図16の吸気側消音器は、中心周波数(1/3 Oct.)が315Hz～2.5kHzまでの範囲で減音量の差が大きいものの、180°ベンドダクトの減音量は、音源の違いに関係なくほぼ一致している。同様に、排気側消音器のセル型ダクト減音量は、中心周波数が1kHz以上で差が生じているが、それ以外の周波数では良い一致を得た。

このように異なる音源からの、減音量測定結果の違いが存在するが、ここではスピーカ音源により測定された減音量をもちいて、運転するエンジンから発生する音響パワーレベルの許容最大値の予測をこころみた。予測方法は、消音器出口及び入口の騒音レベルを60ホンに設定し、この値に消音器の減音量を加えることでエンジン運転室内の音圧レベルを計算し、次の式より音源の音響パワーレベルを算定した。

$$PWL = L - 10 \log \left\{ \frac{1}{10^{(2 \log r + 0.8)}} + \frac{10^{0.6}}{10^{\log R}} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし PWL；音響パワーレベル， L；室内音圧レベル， r；音源からの室内音圧レベル設定位置までの距離， R；室定数である。また Rは、

$$R = \frac{\alpha S}{1 - \alpha} \dots\dots\dots (2)$$

で定義される。ただし、 $\alpha$ ；吸音板の吸音率， S；室内表面積である。さらに計算にもちいた距離 r は、吸気側については12m，排気側では2mである。(1)式より計算した結果を図18，19に示すが、今後本セルで他のエンジン(空気流量がほぼ等しい)の運転を行う場合、騒音が問題となるかどうかは、音源の違いによるある周波数帯での減音量の差を考慮する必要があるものの、そのエンジンの発生音響パワーレベルのデータで判定することができる。

### 6. まとめ

音源としてスピーカを用いたときと実機エンジンを運転した時について、運転セルに付属する吸気及び排気消音器の消音特性試験を行った。これらの結果から次のことが判明した。

- 1) スピーカを音源とした時の全体減音量は、吸気消音器の場合、周波数 250Hz～10kHz の範

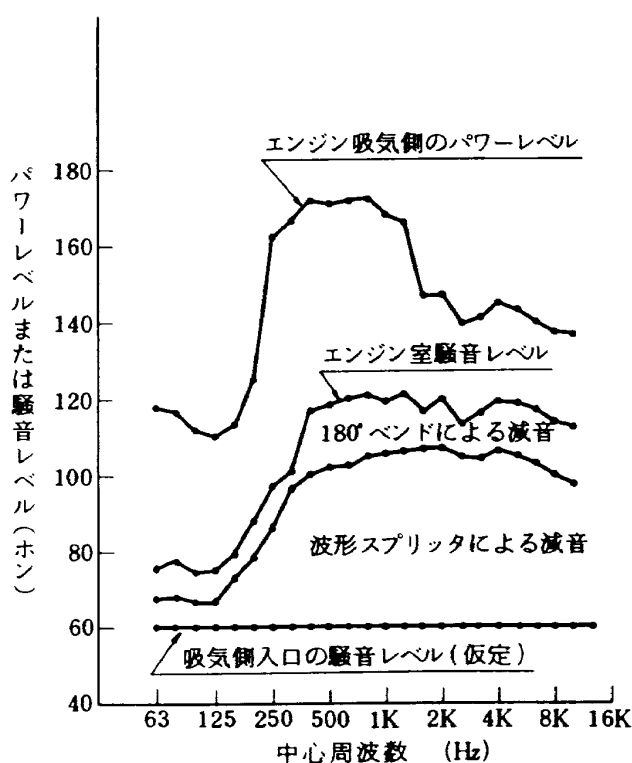


図 18 スピーカ試験より求めたエンジン  
運転可能なエンジン吸気側パワーレベル

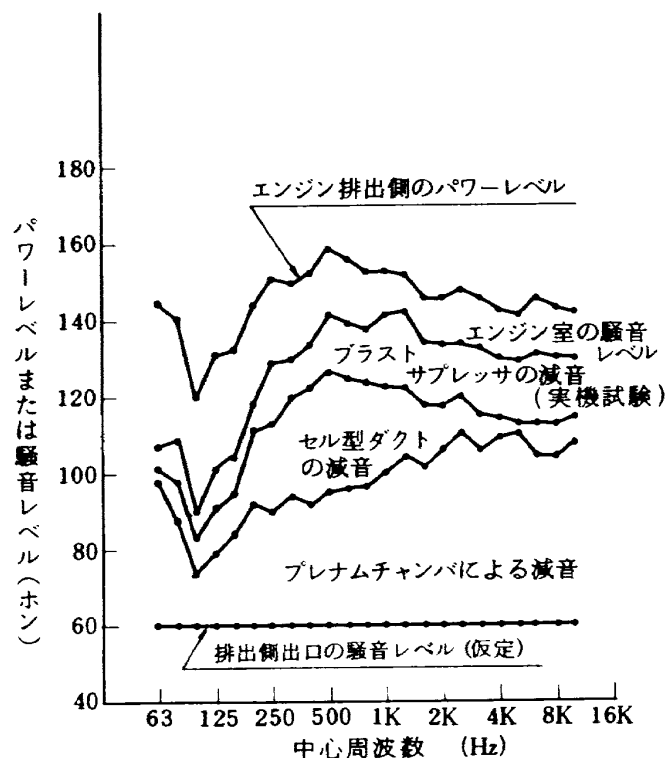


図 19 スピーカ試験より求めたエンジン  
運転可能なエンジン排出側パワーレベル

囲で 50dB～60dB であり、一方排気消音器では、周波数 500Hz で 65dB のピークを持ち、その後で低下している。

2) スピーカ音源と実機エンジン運転時との減音量の比較は、吸気側の 180°ベンドダクトについてはかなり一致したが、セル型ダクト、波形スプリッタ消音器については一致しない所もある。これらの不一致の原因は、マイクロホン位置及び同一測定断面での計測点不足と、主流によってひきおこされる騒音等が考えられる。

3) 実機エンジン運転時の当研究所敷地境界における騒音レベルは、暗騒音レベルと同程度であり、周囲環境にほとんど影響を与えない事が明らかとなった。また音響的に周囲環境をみださない限界、すなわち本消音装置の許容し得る音響パワーレベルを予測した。

本試験を行うにあたり、松本正勝科学研究官(現

在日本工業大学教授)には助言及び御指導を、また吉田晃主任研究官、中山主任研究官にはエンジン運転の御協力をいただいた。さらに音響計測に際しては、(財)小林理学研究所の関係者に御協力いただき厚く謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 中野有朋；騒音対策，情報企画センター p.39～p.40.
- 2) 五十嵐寿一；音響と振動，共立出版 p.199～p.200.
- 3) 中野有朋；騒音対策，情報企画センター p.612～p.615.
- 4) 五十嵐寿一；音響と振動，共立出版 p.204～p.205.
- 5) Aircraft Engine Noise Reduction NASA-SP-311(1972).

---

## 航空宇宙技術研究所資料517号

昭和58年9月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182  
印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---



