

## 1 まえがき

年々各種製品の低騒音化への要求はますます増大している。

低騒音化への検討には、各種製品の振動源、振動の伝達経路及び騒音の発生箇所を解明することが重要なポイントであり、騒音の正確な測定及び周波数分析はその解明に有効な手段である。

特に、モータ単体の騒音の周波数成分には、ベアリングのレース音や電磁音などのモータの組立によって生ずるレベルの低い騒音が含まれているので、測定環境の整備は、データの信頼性を上げるために最も重要なものである。

また近年、騒音の評価として、従来の騒音レベルに代って、音響パワーレベルが採用されることが多くなってきた。これは騒音レベルが、音源から空間に放射された音のある1点におけるA特性で重み付けした音圧レベルを表す量で、音源の性状、測定環境や観測位置により変化する欠点を持っているのに対し、音響パワーレベルは、音源が放射する全音響パワーを表す量で、原理的に音源だけで規定され、騒音低減効果の評価、騒音予測の基本となっているためである。

以上の状況に鑑み、騒音レベル及び音響パワーレベル双方の精密な測定が可能な無響室を導入したので、ここに紹介する。

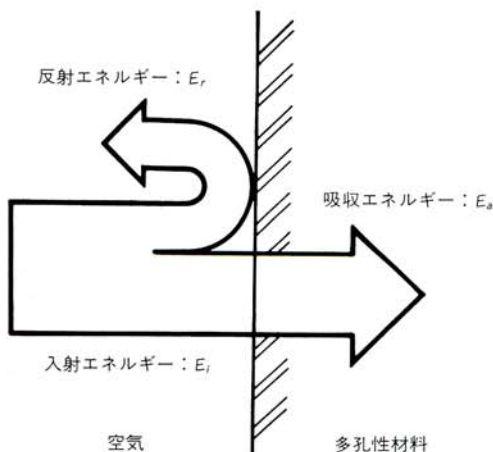


図1/音波の反射と吸収  
Fig. 1/Sound reflection and absorption

## 2 無響室の定義と性能

### 2.1 無響室の定義と位置付け

無響室とは、JISによれば「測定の対象とする周波数範囲内の音波を十分に吸収する境界面で構成され、その内部では自由音場の条件（逆二乗則）が成り立つ試験室」となっている。したがって、外部からの騒音を遮断するのみの防音室と異なり、室内に吸音材を貼り、内部で発生する音の反射の影響をなくすようにしたものが無響室である。

### 2.2 無響室の要求性能

2.1項の定義より、無響室に要求される性能には次の2つがある。

#### (1) 残響がないこと

無響室の内部に設置された音源より発生した音波が空气中を伝搬し、壁面に到達すると図1に示すように反射や吸収を生ずる。

残響をなくすためには、音波を十分に吸収させて、反射をおさえる必要があり、この程度を表すものに吸音率がある。

#### ① 吸音率の定義と測定方法

入射エネルギー、反射エネルギー及び壁に侵入するエネルギーを各々 $E_i$ 、 $E_r$ 、 $E_a$ とすると、吸音率 $\alpha$ は次式のように表される。

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} = 1 - \frac{E_r}{E_i} \dots\dots\dots ①$$

材料の吸音性能を示すものとしては、垂直入射吸音率や、残響室法吸音率があり、その測定法はそれぞれJIS A 1405、JIS A 1409に定められている。

#### ② 代表的な吸音のメカニズム

材料内にある小さな隙間や孔の表面付近における空気の粘性による摩擦のため、音のエネルギーが熱エネルギーに変換される。

これは多孔質材料の吸音メカニズムであり、中・高音をよく吸収する特徴がある。その代表的な材料にグラスウール製吸音楔がある。

また、音波が比較的薄い板にあたった場合、板が

振動するために、音のエネルギーが機械エネルギーに変換されるメカニズムがあり、これには低音で吸収が大きい特徴がある。

無響室では、これらのメカニズムを組み合わせることにより、低音から高音まで広範囲にわたって吸音率を上げている。

(2) 騒音レベルを0ホンにすること

被測定音源の音波を正確に測定するためには、それ以外の音源より発生する音波の影響を抑制する必要がある。

これを遮音といい、その程度を表すものに透過損失がある。

① 透過損失の定義と測定方法

ある厚さの隔壁に音波が入射する場合の様子を図2に示す。

入射エネルギーを $E_i$ 、反射エネルギーを $E_r$ 、吸収エネルギーを $E_a$ 、透過エネルギーを $E_t$ とすると透過損失TLは次式のように表される。

$$TL = 10 \log_{10} \frac{E_i}{E_t}$$

$$= 10 \log_{10} \left[ \frac{E_i}{E_i - (E_r + E_a)} \right] \dots\dots ②$$

遮音の程度を示す透過損失の測定は JIS A 1416 で定められている。

② 遮音のメカニズム

一重壁に音波が入射した場合、壁がその周波数で一樣にピストン運動をすることにより損失を生ずる。

この場合、透過損失は壁体の面密度と入射音の周波数との積の対数によって与えられる。これを遮音に関する質量則という。

一方、ある周波数以上では、上記ピストン運動に伴う屈曲振動により透過損失が低下する現象があらわれる。これをコインシデンス効果という。

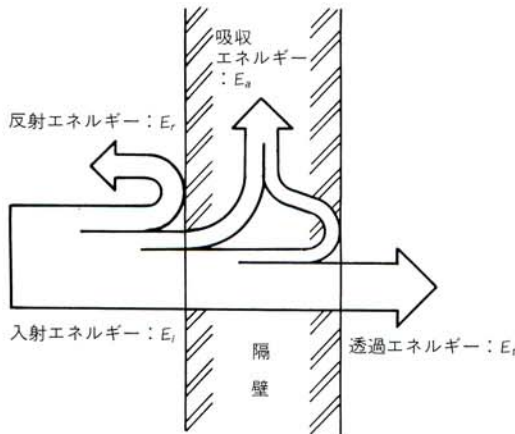


図2/隔壁による吸音と遮音

Fig. 2/Sound absorption in board and its insulation effect

無響室では、遮音特性を改善するため、厚みや材質を変えた板を複数組み合わせ使用している。

## 2.3 無響室の評価

2.2項で説明したように、無響室には自由音場と防音室の2つの性能が要求される。

それらの実現状況を評価する特性には、良好な吸音性能により得られる逆二乗特性と、各周波数の透過損失を表す遮音特性がある。

(1) 逆二乗特性

自由空間に置かれた点音源により発生する音の強さは、距離の2乗に反比例する。

これを逆二乗法則といい、この時の波面は同一球心面をなす球面波である。

無響室は、小形・軽量の音源又は設置条件が特定できない音源を対象としており、一点音源とみなすための必要条件として音源の大きさは室容積の0.5%以下、測定球面半径は音源の最大寸法の2倍以上で最低1mとすることが必要である。

上記測定条件を前提として、無響室の音圧レベルの距離減衰特性と逆二乗法則との偏差をJISで規定している(表1)。

(2) 遮音特性

測定の精度確保のため暗騒音レベルと測定される音圧レベルには、6dB以上の差が必要であり、精度のよい測定のためには15dB以上の差が望ましい。

暗騒音を低くするためには、外部の騒音を侵入させない遮音特性が必要であるが、設置場所により必要となる特性が違うので、特にJISでは規定されていない。なお、音源として通常反射面上に設置される音源を対象とする場合は、半無響室が望ましく、これは無響室の床など一面を垂直入射吸音率0.06以下の反射媒体に変えることで実現できる。

以上、無響室の概要について説明した。以下に今回導入した無響室の具体的内容について述べる。

## 3 無響室の仕様

無響室の外観及び内部を図3、4に示す。

・無響室本体

形式 組立式無響室〈楔形吸音層〉KM・P-2

表1/無響室の音圧レベルの距離減衰特性の許容最大偏差

周波数 (Hz)	許容最大偏差 (dB)
100, 125, 250, 500	±1.5
1 k, 2 k, 4 k, 5 k	±1.0
6.3k, 8 k, 10k	±1.5

形状 外形寸法 2,460×2,460×2,560mm  
 内形寸法 1,800×1,800×1,900mm  
 図5に平面図, 図6に断面図を示す。

重量 2,000kg

構造 遮音層: 合板サンドイッチ構造

化粧合板仕上げ

ボルト組立式

吸音層: 楔形吸音層〈先端カット〉

グラスウール 32kg/m<sup>3</sup>

遮音層・吸音層の詳細断面構造を図7に示す。

防音扉 木製 800×1,800mm

ローラハンドル〈両面式〉

出入口踏台寸法 900×450×450mm

本体架台 防振ゴム付: YA-200型×13個

・付属設備

電気設備 照 明: 白熱灯60W×2灯

コンセント: 1個所 (コネクタプレートに取付)

表示 灯: 10W×1灯

延長ケーブル: 4 m

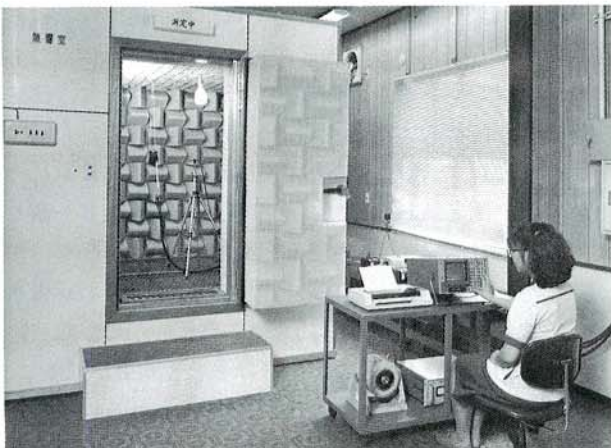


図3/無響室外観

Fig. 3/Front view

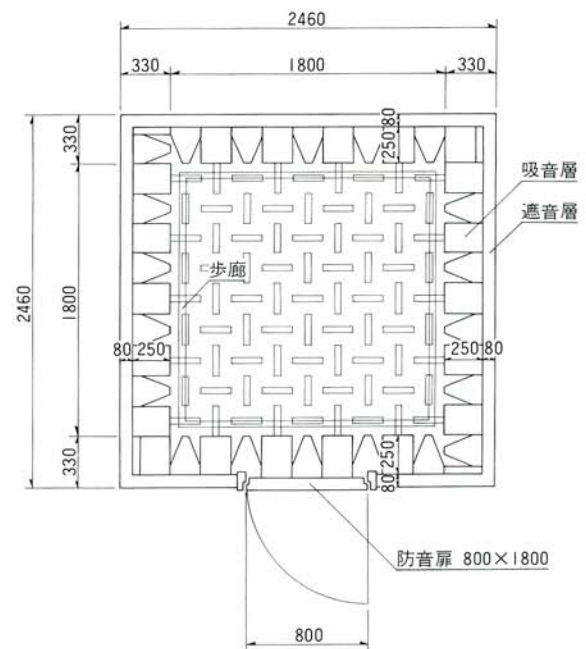


図5/無響室平面図

Fig. 5/Top view of the anechoic room



図4/無響室内部

Fig. 4/Inside of the anechoic room

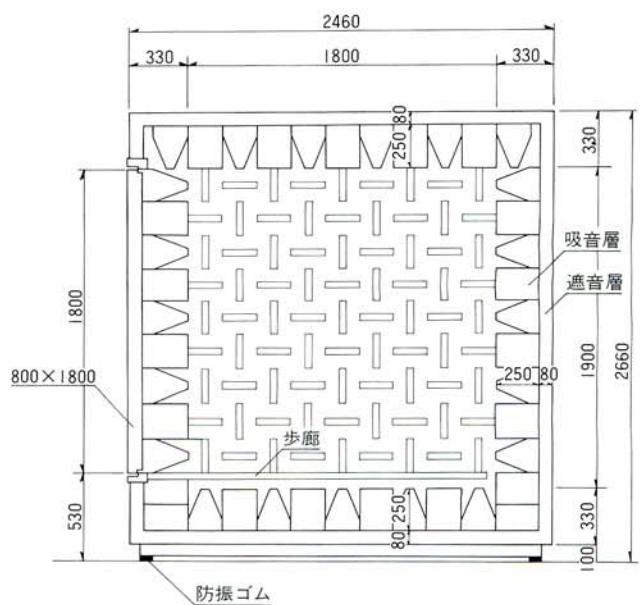


図6/無響室断面図

Fig. 6/Sectional view of the anechoic room

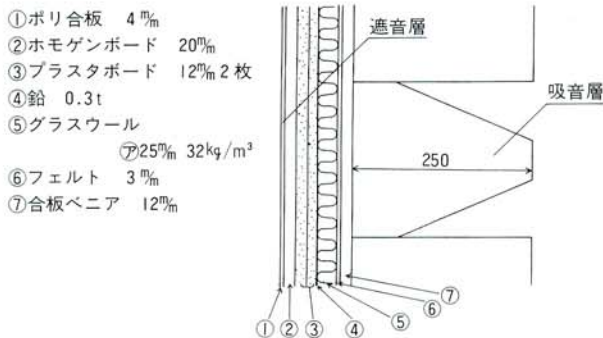


図7/遮音層・吸音層の断面構造  
Fig. 7/Sectional structure of sound absorption and insulation Layers

コネクターボックス	
BKコネクタJJ0723	2個
5Pコネクタ	1個
BNCコネクタ	3個
通線用パイプ	1本
吊り下げ用フック	5箇所
のぞき窓	

## 4 無響室の性能

無響室の性能を、従来の防音室の性能と比較しながら紹介する。

## 4.1 距離減衰特性

### (1) 測定方法

無響室及び防音室の中央にスピーカを設置し、スピーカからマイクの距離を変更して、各周波数の音圧レベルを測定する。

### (2) 測定結果

無響室、防音室各々の距離減衰特性の測定結果を図8、図9に示す。

図8、9の各周波数の直線が、逆二乗特性に基づく、音圧の減衰特性を表す。

その結果を見ると、防音室では距離が遠くなるにしたがい、音圧レベルが逆二乗特性より大きくなっており、反射音があることを示している。したがって、測定に際し、壁からの距離を考慮する必要がある。

それに対し、無響室の方は、500Hz以上の周波数については、測定値がほぼ逆二乗特性の減衰曲線と一致しており、JISの無響室の規格を満足する。

ただし、250Hz、125Hzの低周波領域では偏差が大きい。これは、無響室の有効容積の確保のため、吸音材の寸法が制限され、低周波における吸音効果が低下し、反射音が音場を乱しているためと考えられる。すなわち、本無響室の設計カットオフ周波数340Hz以下では吸音率が低下することを示している。したがって測定の際には、このことを十分認識しておく必要がある。

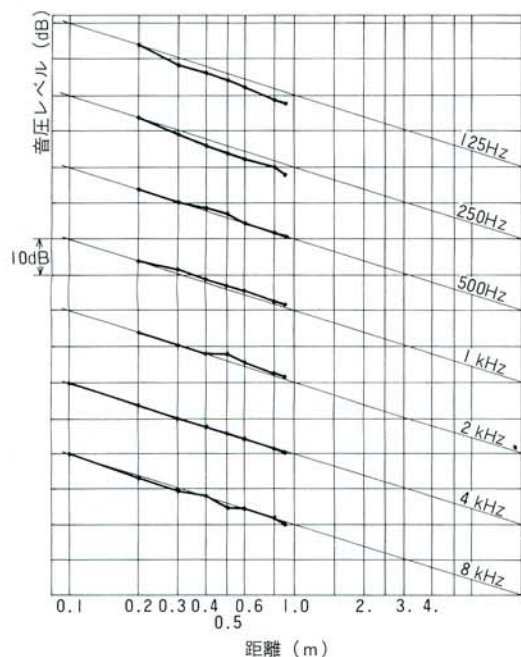


図8/無響室の距離減衰特性  
Fig. 8/Reduction characteristics for distance of the anechoic room

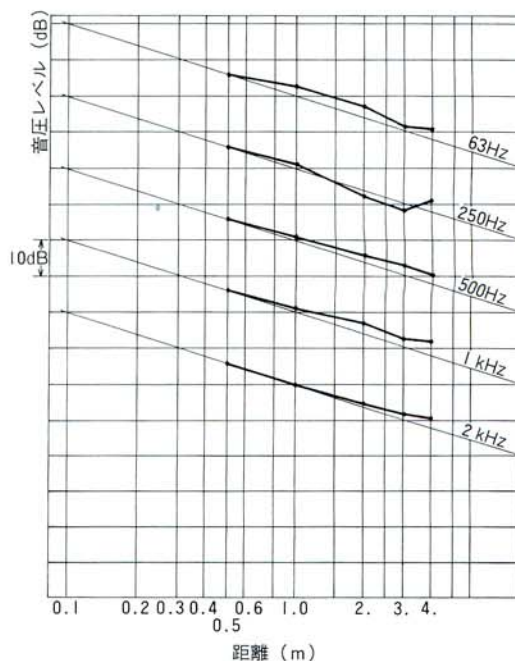


図9/防音室の距離減衰特性  
Fig. 9/Reduction characteristics for distance of the soundproof room

## 4.2 遮音特性

### (1) 測定方法

無響室及び防音室の中心にマイクを設置して、音源側の音圧レベルを測定する。

無響室及び防音室の外側に別のマイクを設置して、音源側の音圧レベルを測定する。

外のマイクから1.8m離れた位置にスピーカを設置して、音を発生する。

音源側の音圧レベルから、受音側の音圧レベルを引いたものが透過損失である。

また、受音側のマイクで、各々の暗騒音を測定する。

### (2) 測定結果

測定結果を図10に示す。無響室及び防音室各々の暗騒音の周波数分析結果を図11、図12に示す。

63Hz, 2 kHz, 4 kHz, では4.5~6.5dB無響室の方が優れている。その他の中間の周波数では、2~3.5dBの差になっている。

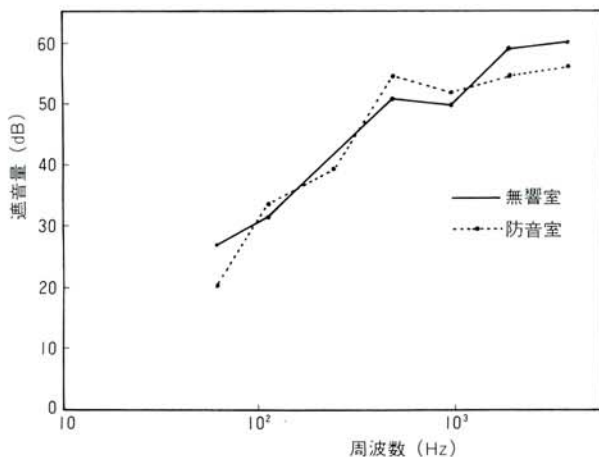


図10/遮音特性測定結果

Fig. 10/Sound insulation characteristics

PWR SPECTRUM	ChA	
1	25.0Hz	5.11dBA
2	65.0	3.05
3	75.0	2.03
4	50.0	1.25
5	120.0	.93
6		
7		
8		
9		
10		

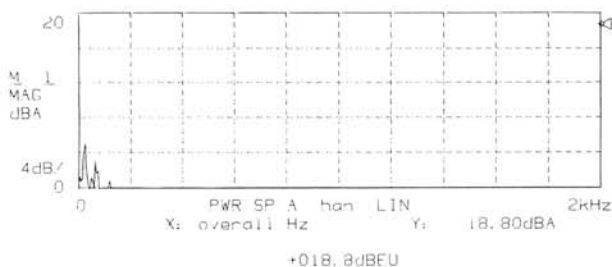


図11/無響室の暗騒音

Fig. 11/Background noise in the anechoic room

低周波で無響室の方が優れているのは、防音室の床面が、防音室周囲と地続きのため、透過損失が小さいためと考えられる。

しかし、両者の暗騒音オーバーオール値は、17.8dB, 18.8dB で特に差はない。

## 4.3 無響室と防音室の相互比較

### (1) 特性について

無響室と防音室の根本的な差は、室内の吸音層である。

防音室は、壁がかなり厚く、しかも、独立建て屋であるため、暗騒音は、20dBA以下であるが、室内側の床、壁面が単純な平面となっているため、反射音が影響し、無響室との距離減衰特性の差になっている。

実際のモータを使用して測定した周波数分析の結果を図13、図14に示す。オーバーオールでの騒音値には、特に差は見られないが、600Hz, 1300Hz付近の周波数で、防音室で測定したものが高くなっており、反射音の影響があると思われる。

### (2) 作業性について

今回導入した無響室は、プレハブタイプでコンパクトであるため、モータ試験室内に設置した。したがって、モータの特性試験と並行して、騒音確認試験ができ、またテストの準備、後片付けに要する時間が大幅に節減できるため、試験の合理化にも寄与すると期待される。

## 5 JIS規格から見た騒音測定

ここで騒音測定を見直す意味で、JIS規格の騒音測定方法について述べる。

PWR SPECTRUM	ChA	
1	125Hz	10.73dBA
2	200	3.28
3	325	1.71
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

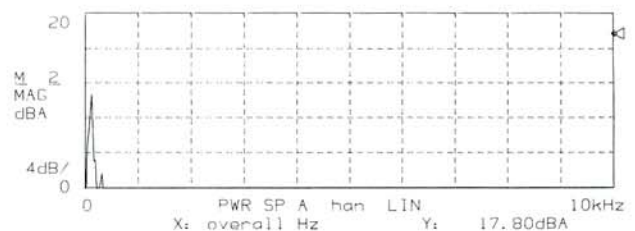


図12/防音室の暗騒音

Fig. 12/Background noise in the soundproof room

PWR SPECTRUM	ChA	
1	1212.5Hz	33.03dBA
2	1250.0	24.59
3	1312.5	21.34
4	1087.5	21.17
5	75.0	18.85
6	1137.5	18.66
7	962.5	17.72
8	675.0	14.79
9	1412.5	14.81
10	1812.5	14.91

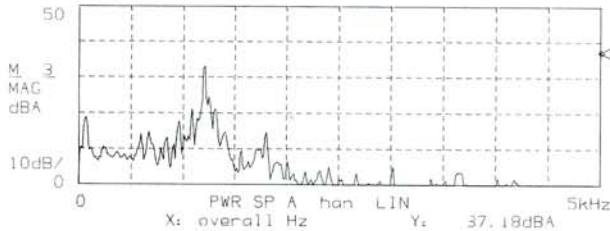


図13/無響室での測定例

Fig. 13/An example measured in the anechoic room

JISの騒音測定には、JIS Z 8731「騒音レベル測定方法」がある。

この規格は、環境騒音に重点を置いているが、モータなどの機械騒音の測定に適用することもできる。

使用する測定器は、JIS C 1505に定める精密騒音計もしくはJIS C 1502に定める普通騒音計、又は、これらと同等以上の性能をもつ機器を用いることになっている。

モータの騒音は、レベル変化が小さく、ほぼ一定とみなせる定常騒音と考えられるため、騒音の測定方法は、騒音計の指示値の平均を読みとればよく、またメータの動特性は、速い動特性 (FAST)、遅い動特性 (SLOW) のいずれも大きな誤差はないと考えられる。

暗騒音はできるだけ小さい方が望ましいが、測定対象騒音と暗騒音の差が10dB未満の場合は、補正する必要がある。補正値はJIS規格に記載してあるが、その計算例を下記に示す。

対象の音のエネルギーをP、その時の暗騒音のエネルギーをP<sub>N</sub>とし、対象の音の有無で指示値のレベル差を7dBとする。

$$10 \log_{10}[(P+P_N)/P_N]=7(\text{dB})$$

したがって

$$(P+P_N)/P_N=5.01\text{から}$$

$$P/P_N=4.01$$

故に求める補正値は

$$10 \log_{10}[P/(P+P_N)]=-0.97(\text{dB})$$

となる。

騒音レベルL<sub>A</sub>は、JIS C 1502の普通騒音計またはJIS C 1505の精密騒音計に規定されるA特性で重み付けられた音圧の実効値P<sub>A</sub>の二乗を基準音圧P<sub>0</sub>(20μPa)の二乗で除した値の常用対数の10倍で定義されている。式で表すと

$$L_A=10 \log_{10} \left( \frac{P_A}{P_0} \right)^2 (\text{dBA})$$

となる。

基準音圧は、正弦波1kHzの音を正常の聴力を有する

PWR SPECTRUM	ChA	
1	1325.0Hz	33.94dBA
2	1250.0	27.06
3	1087.5	22.75
4	1212.5	20.99
5	675.0	19.01
6	600.0	17.47
7	1425.0	16.93
8	1012.5	15.45
9	1137.5	14.75
10	712.5	14.43

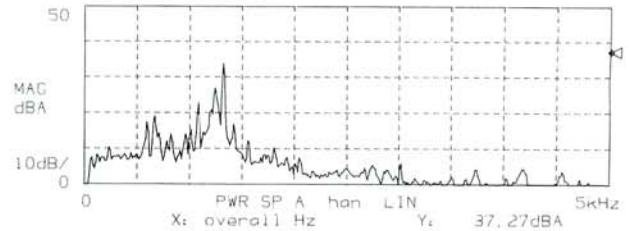


図14/防音室での測定例

Fig. 14/An example measured in the soundproof room

20歳前後の人に聴かせて知覚できる最小音圧の平均として定められている。

音響パワーレベルL<sub>w</sub>は、音源から放射される全音響パワーIを、基準の音響パワーI<sub>0</sub>(10<sup>-12</sup>W)で除した値の常用対数の10倍で定義される。式で表すと

$$L_w=10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) (\text{dB}) \text{となる。}$$

この音響パワーレベルは、欧米諸国では、かなり以前から機械・装置類の実用的な騒音の表示として使われていた。最近日本国内でも音響パワーレベルの意義や有効性が認識されるようになり、JIS Z 8732に「無響室又は半無響室における音響パワーレベル測定方法」が制定された。

音響パワーレベルの精密な測定には、暗騒音が低いことはもちろん、反射が小さいことも要求され、無響室が必要となる。

## 6 あとがき

本報告では、新たに導入した無響室の理論的背景とその概要を防音室と対比しながら解説し、また、騒音測定とのJIS規格との関連について紹介した。

今後は先に紹介した振動分析装置<sup>(3)</sup>とこの無響室を有効に活用し、種々の製品の振動対策や低騒音機器の開発に努力したいと考えている。

最後に本報告を執筆するに際し、ご協力いただいた無響室のメーカーである(株)アコー殿及びその代理店である東海電子計測工業(株)殿並びに関係諸氏に深く感謝する。

## 参考文献

- (1) 騒音・振動 (上) 小林理学研究所 子安
- (2) 音響振動工学 名古屋大学 池谷和夫他
- (3) 愛知電機技報 第8号