

「測定環境の創造」

(2) ナノテク時代を迎えた音響対策

はじめに

ナノテクノロジーやバイオテクノロジーに代表される超微細技術による「観察・検査・加工・操作など」を維持するための周辺技術として、防振を含む幾つかの測定環境を整えることとその重要性が指摘されていました。現在のところ、トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) などの走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を用いて、1個ずつの原子や分子を観察することは日常的事項になってきています。現在は、0.1nm (= 10⁻¹⁰m) という極微細スケールである原子や分子を「観察しながら、且つそれらの配列を直接組替える操作」を行い、原子や分子のレベルから「まったく新しい物質を作り出す」という夢のような未来技術「原子・分子操作技術」を実現しています。まず振動を「制する」ことがその第一歩であるため、(1)で振動に関連する用語をわかりやすく整理し、アクティブ型を含む振動対策である防振の最新現場情報をご紹介いたしました。

ここでは、超微細な測定環境を創造するための第二歩目として、音響対策を採り上げます。音響に関連する幾つかの基本的な用語を解説した上で、音響対策が今後の超微細技術への重要な要素に成りうるという認識の元に、音のふるまいやその対策について紹介していきます。

2 音響の概要と防音技術の最新情報

2-1 音響用語

音 (音響) sound

音の定義は、「音波によって引き起こされる聴覚的な感覚」と言われます。一般的な認識では、空気振動という耳に感じる圧力として捉えられています。ここで重要なことは音や音波を伝達するための手段、運び手・媒体が音源の先になければならないという点です。音源という列車があってもレールが敷かれていないために走れないようなものです。ある容器の中で媒体となる気体 (窒素ガスや酸素ガスその他のガス) を徐々に抜いていき、真空状態を高めていくと音の伝播状態はどのように変化するのでしょうか？ また、音や音波は一般的な認識のように大気中の空気など気体という媒体の中だけしか伝わらないのでしょうか？ まず音に関してのさまざまな疑問について考えていきます。

音の大きさ loudness (単位 sone)

音の大きさの定義は、「音の強さに関する聴覚上の性質」と言われます。周波数 1000 Hz、音圧レベル 40 dB の音の大きさを 1 ソーン (sone) と定義しています。かつては、人間が耳で音を聞いた場合の、音の大きさのレベルをホン (phon) としていましたが、次第に使用されなくなってきました。大きな交差点のコーナー付近で phon の数値が掲示されていた時があり、今では懐かしさを覚えます。1 ソーン (sone) を従来のホンと対比するには、次の換算によります。

$$40 \text{ phon} = 1 \text{ sone} \quad 100 \text{ phon} = 2.5 \text{ sone}$$

音の強さ sound intensity I (単位 W/m²)

音の強さの定義は、「音場中ある 1 点において、音波の進行方向に垂直な単位面積 1 m² を単位時間 (1 秒間) に通過する音響エネルギー」と言われます。音波の進行方向 (伝播方向) への音の強さを I、音圧 (実効値) を P、空気の密度を ρ 、音の伝播速度を C、とすると次の関係式が成り立っています。音の強さが「音圧の二乗に比例する」ことがわかります。

$$\text{音の強さ } I = \frac{\text{音圧の二乗}}{\text{空気の固有音響抵抗}} = \frac{P^2}{\rho \cdot C} \text{ WP/m}^2$$

常温の空気中を伝わる音速を 340 m/s、空気の密度 ρ を 1.2 kg/m³、音圧 p を 1 Pa とするときの音の強さ I は、 $2.45 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ になり、音圧レベル 90 dB 付近の非常に騒々しい工場の中に近い状態を示すことがわかります。(後述補足資料をご参照ください。)

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot C} = \frac{1}{1.2 \times 340} = 2.45 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

音圧 sound pressure P (単位 Pa)

音圧の定義は、「媒質中の音波によって生じる、媒質内圧力の静圧からの変化分」と言われます。大気圧に対する交流的な変化分が音圧です。量記号として圧力を表す P を使用し、単位は圧力単位の Pa(パスカル)です。この音圧と音圧レベルとは違います。ここで大気圧のことが出てきましたので以下に参考表を添付します。

1 Pa は、1 m²について 1 N の力を及ぼす圧力です。圧力単位が従来の重力加速度からの表現で使用していた kgf / c m² から国際単位系 (SI) として N / m²へ移行しています。力の単位である N (ニュートン) には、重力加速度 G(9.8m/s²)との積になります。の簡単な計算によって、従来の単位系を SI 単位系であるメガパスカル(MPa)にすることができます。では、天気予報で有名になったヘクトパスカル(hPa)をMPaに合わせたもので、確かに 及び の大気圧が一致します。

大気圧 = 1 気圧 = 1 kgf/cm ² = 98000 N / m ² = 約 105 Pa = 約 0.1 MPa

大気圧 = 1 気圧 = 1013 mbar = 1013 hPa = 101300 Pa = 約 105 Pa = 約 0.1 MPa
--

基準音圧 P₀ (dB)

基準音圧の定義は、「正常な聴覚を有する人間の 1 0 0 0 Hz の純音を聞くことのできる最小の音圧」としてしています。この基準音圧は、2 × 1 0⁻⁵ Pa で、この基準音圧を 0 dB とします。(1)でふれたように、振動の場合の基準振動加速度 a₀ に相当します。この基準音圧と音圧実効値との関係で次項の音圧レベルが求められます。

音圧レベル Sound Pressure Level L_p (dB)

音圧レベルの定義は、「ある音の音圧実効値の二乗と基準音圧の二乗との比の常用対数の 1 0 倍」としてしています。通常使用される用語である SPL は、この英訳の略からきています。

$$L_p = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} \text{ dB}$$

音圧レベル L_p は、音の強さからも求めることができます。音の強さを I (W / m²)、基準の音の強さを I₀ (I₀ = 1 0⁻¹² W / m²) とします。音圧レベルの数値と音の強さのレベルの数値は一致します。

$$L_p = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

音場 sound field

音場とは、音や音波の存在する空間を指します。数ある音響用語の中でも、使用頻度が高く「音場」という用語を知らなければ、音響分野の話に加われないと言われるほど概念的に重要なものです。音響測定を行う場合には、壁やガラス、天井の構造や高さ、風の向きや風速など音場を形成する室内空間の状態によって正確な音場を測定する困難さがあります。特に低周波や超低周波帯域で顕著になります。この困難さの原因は、風向きや空気対流の変化は勿論のこと、場を形成する室内空間の状態によって音波の二次反射や吸音・吸収が非線形に生じるためと考えられています。建物の外で音響測定する場合でも、建物の反射や反響が影響下に入らないように規定の距離と高さを保って測定を実施することが求められています。

音源 sound source

音源とは、音を発生するものを総称して指します。室内には人の会話や電話音・インターホーンや 社内放送、圧搾空気を製造する各種コンプレッサー・空調設備全体・真空ポンプ・イオンポンプ・レーザー用電源・その他周辺設備音などが無数に存在しています。複数の音源が存在している場合、人間ならば「総量で現在何 dB だから、これを何 dB まで抑えれば周辺への環境基準や衛生基準・ILO に抵触しない」となります。相手が精密機器類である場合には、総量のみで結論付けられないことが多く、しかも装置ごとにまったく異なっていきます。音響の影響を最も受けられる重要な部位及びその周辺の共振点をずらすため、部材の強化や補強など装置の改造を計画してこれを実施したり、装置の設置場所を移したり、或は防音対策を行う場合があります。

音の波長 (m、cm、mmなど)

音が媒質中を伝播する速度(音速)を C、周波数を f、波長を λ とすると、次の関係式が成り立っています。空気中の音速を 340m/s 一定として、可聴周波数付近を表にして見ます。音速が一定の時、周波数が低くなるほど波長が正比例で長くなるのがわかります。

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

音速 C 一定の時

周波数 f	200000	100000	5000	3400	2000	1000	500	340	200	100	50	34	20
波長	17	34	68	10	17	34	68	1	1.7	3.4	6.8	10	17
	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	m	m	m	m	m	m

2-2 音響周波数の区分

可聴周波数

一般音響周波数の区分で言う可聴周波数とは、正常な聴覚能力を持った人間が耳で感じ取れる周波数を指します。またその範囲を可聴周波数範囲と呼んでいます。一般的に言われる可聴周波数範囲は 20 ~ 20000 Hz となっていますが、これは中耳部位での聴覚能力です。内耳部位では 50000Hz までとしています。

超低周波

正常な人間が聞くことのできる最低可聴周波数と言われる 20Hz 以下の周波数を当社では超低周波と呼んでいます。近年になってから、24時間フル稼働している特定の工業団地から発生する超低周波による深夜騒音公害が問題になっています。昼間の定時間内でこの超低周波が発生していても、他の周波数と混在し、さらに自らが活動している場合には気づかないかもしれません。機械装置自身がこの事に「気づいているのかいないのか」は、人間から見てわかりません。環境測定では、この 20Hz 以下の超低周波音も無視できないほどの量になっていることがわかります。

低周波

可聴周波数範囲の中で、20Hz から 80Hz までを低周波と呼びます。一般の周波数区分で「20Hz から 80Hz まで」を低周波として明確に区分けした上で、可聴周波数範囲に含めています。環境測定では、この低周波が変動の激しい中心的な音響範囲を占めています。尚、(1)の振動対策としての防振を考えた場合には、10Hz 以下を低周波と呼ぶことに一般的になっていますので混同を避けなければなりません。

中周波

低周波の上限とする 80Hz から始まって途中の 800Hz までの範囲を、当社では便宜的に中周波と呼んでいます。2-2-6 表でわかるように、一般的な設定(周波数区分)が正常な聴覚能力を持った人間を中心にして考えられているため、中間の周波数範囲が広すぎてしまうからです。装置への音圧影響を考えた場合、経験則から 20Hz 以下と 100Hz 以下及び 1000Hz 以下、1000Hz 以上に分けられており、単純に 20 ~ 20000Hz 或は 20 ~ 50000Hz という可聴周波数という広域で音響現象を捉えることが困難になっています。ナノテクノロジー - という超微細技術を推し進める上で、必要とする設備や周辺機器に影響を与えるような音響対策で、その尺度が人間と一緒にして論じることはできません。当社の設けた周波数区分は、あくまでも音響対策に限った区分です。低周波と高周波の間にあるという音響対策としての「当社独自の位置付け」です。

高周波

一般的には人間の最高可聴周波数範囲以上、つまり中耳で 20000Hz 以上、内耳で 50000Hz 以上を指しています。当社では、便宜的に中周波と規定している 800Hz 以上の周波数を考えています。中周波と同様にあくまでも音響対策に限った「当社独自」の区分です。音響対策に限定した当社の独自区分の必要性とその理由は、さまざまな測定データが証明しています。人間ではなく機器類への音響対策として、このような区分と手法が standard になる時代です。

音響周波数の区分と一般区分

以上、解説した区分内容を、一般的な音響周波数区分とで対比させた表にすると理解が深まります。

区分の仕方	超低周波	低周波	中周波	高周波
ナノテク対象音響対策	3～20Hz	20～80Hz	～800Hz	800Hz以上
騒音など人間を対象	可聴周波数以下	可聴周波数範囲		可聴周波数範囲以上
	可聴周波数範囲	20～20000Hz	中耳部位	
		20～50000Hz	内耳部位	

超低周波の原因と実例

超低周波は、人間が聞くことのできる最低の周波数（最低可聴周波数）である20Hz以下の低い周波数を指します。かつては、内耳にも中耳にもまったく聞こえない音域であるため人間生活にとってどうでもよい存在に過ぎませんでした。海の波音や風のざわめきなどの自然現象、上空や高速道路を移動する飛行機や車両などの人工現象、大型の送風機などの脈流現象、空調用として天井やフリーアクセス床下に設営される長いダクトを伝わる反響音、低周波で稼動する特殊な装置など考えられる要因はいくらでも存在します。人間が長い期間にわたってこの超低周波音にさらされると、50dB程度から不眠症になり頭痛などの原因になります。また70dBを超えると耐えられないほどの苦痛を感じると言われます。20Hz以上の周波数の場合には、次第に慣れてしましますが20Hz以下では逆に敏感になり被害感が増大されます。超低周波は、音波の波長が長くなるためコンクリート壁や壁など簡単に回り込んだり通過したりするやっかいなものと考えられています。「振動」も「音」も、人間の体を構成しているさまざまな部材（骨や臓器など）の固有振動数の多くが20Hz以下（1～2Hz、4～8Hz、8～15Hzその他）にあるため、当該周波数帯域のどこかで共振点或は共振領域に入ると影響されることが科学的に証明されています。

2-3 音波のふるまい

音波

音波の定義は、「媒質中（固体・半固体・液体・気体）を伝わる弾性波という物理現象であり、且つ特定の場所や空間（音場）における圧力の微量で速い変動」です。微量とは一体どの位の量なのでしょう？音圧レベルLpで0dBから120dB範囲内で、音圧Pは 2×10^{-5} から20Paです。大気圧（1気圧）が0.1MPa(=105Pa)ですので、両者を比較すると実に1/5000から1/50億という比較値になってしまいます。確かに大気という自然の圧力と比較すれば、とてつもなく微量です。

音や音波の道

音や音波（音の波）を形成するには、音や音波が伝播するための道が必要です。この道は媒質と呼ばれ、空気や窒素などのような気体や油や水などの液体・ガラスや金属などの固体、ゲル材や硬さの小さな弾性体など半固体です。「音は、空気振動である。」と言われるように、とかく空気だけが音を伝播するように考える人がいますが、仲を取り持つ媒質があれば液体であろうが固体であろうが伝播します。音波は、空気をゆさぶり、液体をゆさぶり、固体をゆさぶるのです。音源からの途中にある物質（気体・液体・固体）などがレールや道となって音を伝えるのです。但し、音波という波の性質や伝わり方が物質によって変化しますので、次の項で補足的な解説をしていきます。

空気中の音波

縦波（P波）のみの形態をとります。つまり、空気中の構成粒子（窒素ガス・酸素ガス・その他の含有ガス）が媒体粒子となって音波の進行方向と同じ方向に振動する縦波しか存在しません。子供の頃にあった「階段を自分で降りるコイルばね玩具」を机の上に水平に置き、端部をアコーディオンのように押したり引いたりした時のばねの挙動に似ています。ある場所（大気圧）に音波が伝播された時、大気圧内で縦波（＝粗密波）による粗の部分（圧力が大気圧よりもわずかに下降）と密の部分（圧力が大気圧よりもわずかに上昇）が生じます。音波の影響する空間（音場）では、大気圧がわずかに変動して交流的に繰り返される状態（物理現象）になっています。

液体中・固体中の音波

空気から水、空気から固体へ伝播する音波は、縦波（P波）だけではなく横波（S波）も存在します。横波は、構成粒子が波の進行方向と垂直な方向に振動するものです。前述のコイルばね玩具の端部を水平に振った時に生じるばね挙動に似ています。両波は、地震の震源から時間と共に伝播到達するP波やS波・L波などと同じ呼び方であり同じ概念です。空気中から液体或は固体へ媒質を移した音波は、縦波と横波の複合波となって複雑に伝播していきます。

超精密機器内の音波

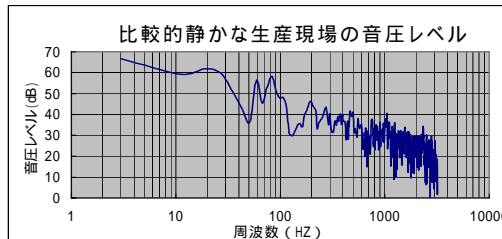
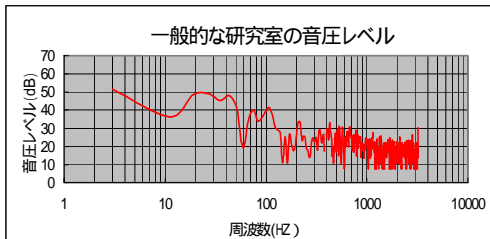
音源から空気中に伝播する音波が、実際に精密機器などの重要な部材（固体）に直接的或は間接的に継続的なふるまいを起こしている場合について考えてみます。重要部材や周辺の部材に音波の反射現象や透過現象・屈折現象などが生じ、共振点や共振領域に合致するような場合（形状や材質・構造・重量・固定方法などで変化）に支障がでる恐れがあります。音波の伝播速度は空気中（常温で 340m/s）よりも液体中（1500m/s）の方が速く、さらに固体中（鉄材で 6000m/s・ガラス材で 5400m/s）で速まります。媒質密度により通過する早さが異なります。速度が速まれば、単位時間あたりの変動である加速度も大きくなるはずで

2-4 音圧の影響予測

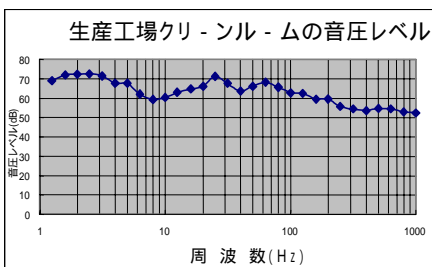
超微細技術を行うナノテク関連施設では、色々な実験設備が集中していることが予測できます。通常の実験室や研究室の音圧レベルと考えると、その音圧レベル L_p の予測は、最低でも 50 ~ 60 dB であり、場所によっては 55 ~ 65 dB になっているものと考えられます。高度な空調設備がある室内では、室内の空気をクリーンなものに変換し循環させる風速も速く、又真空系の各種ポンプ類からの振動や音の発生も十分に想像がつかます。仮にこれらの音圧を木の葉が触れ合う程度（20 dB）まで減少させるには、少なくとも 1/60 から 1/100 以下にしなければなりません。周波数区分によっては、単純なアクリル材などの遮へい物で対処できる場合がありますが、研究目的や装置内容によっては並大抵のことではありません。（2-6 表 ご参照）

2-5 音響環境

3つの音響環境



音響環境の代表例として、一般的な研究室 静かな生産現場 クリーンルーム等の3例をご参照ください。縦軸に音圧レベル L_p を取り、横軸に周波数を対数表示



示しています。0 dB は、人間の可聴限界である基準音圧 P_0 (2×10^{-5} Pa) の比を表しています。このデータに共通して言えることは、第1に周波数が高域になるにつれ右下がり傾向の曲線を示している点。第2に最低可聴周波 20Hz 以下の超低周波帯域での音圧レベルが高い点。第3に低周波帯域である 20 ~ 80Hz において変動が激しい点。第4に当社が振動対策としての防音を行う上で提案し、独自で「中周波」と規定している周波数帯 80 ~ 800Hz において、幾分音圧レベルの減少傾向を示すものの依然として高いレベルに位置している点。第5に 800Hz 以上高周波帯域に向かうほど音圧レベルが下がる傾向にある点などがあげられます。

音響環境の検証から生まれた新たな周波数区分

このような音響環境への研究調査による傾向から、弊社独自の周波数区分を規定し公表している理由がご理解いただけるものと思います。さまざまな実際の音響環境を知ることの重要性は言うに及びませんが、周波数解析のできるアナライザーと高感度マイクロホンの有効利用を推奨しています。20Hz 以下の超低周波数帯域が測定不可能であったり、測定できてもその信頼性が著しく低下していたり、操作上での問題点（無理な周波数上の重み付けや補正を行う）があれば、そのデータに価値が見出せません。

2-6 音の強さ・音圧レベル・音圧・音響出力の例

最終ページの表で、音の強さ及び音圧レベル・音圧・音響出力の4項目を対比させています。表中で、音圧レベルと音響出力の一般例に興味深いものがあります。音響環境のデータを理解するための参考になりますので利用価値は高いものと考えられます。

2-7 音圧レベルと人間の感覚

音圧レベル L_p の変化（つまり dB 値の変化）に対して、人間の感覚（聴覚）がリニアに追従することはありません。レベルの最小変化分をどのように感じているかを示す表があります。表によれば、3 dB 以下の変化ではまったく感覚として感じず、さらに 10 dB までの変化までは幾分鈍感になっていることがわかります。人間を対象とする騒音計での計測では、こうした感覚のズレ「鈍感さ」をレベル差に応じて補正值を使用することにより対応させています。対象が人間ではなく機械装置類である場合には、補正值（0 ~ -3 dB）を使用することは問題です。

音圧レベルの変化 dB 差	変化に対する人間の感覚	実際の倍率
0 dB	変化無し (=感じない)	1.0 倍
1 dB 差	変化はあるのに感じない	1.1 倍
2 dB 差	変化はあるのに感じない	1.2 倍
3 dB 差	変化を確認できる限界	1.4 倍
4 dB 差	変化を確認できる	1.6 倍
5 dB 差	変化をはっきり認識できる	1.8 倍
6 dB 差		2.0 倍
7 dB 差		2.3 倍
8 dB 差		2.5 倍
9 dB 差		2.8 倍
10 dB 差	変化の大きさを 2 倍に感じる	3.16 倍

2-8 点音源からの距離減衰（音圧レベル L_p の差）

点音源からでる音のエネルギー（音響エネルギー）は、音源からの距離の二乗に比例して距離減衰すると言われています。つまり距離が 2 倍になるごとに音圧レベル L_p は、6 dB ずつ低下するという逆二乗則からきています。静かな池に小石を落とした時の波紋のように、音源からでた音が幾何学的に拡散されるため、距離と共にその強さ・エネルギーが小さくなるのです。音のエネルギーが、球状や半球状に放射される空間全体の音場を考えずに、単純に平面状における音源からの距離 r_1 と r_2 の 2 点間での距離減衰を求めてみましょう。

2 点の音圧レベル L_p を各々 L_{p1} , L_{p2} とするとき、次の関係式があります。

$$\begin{aligned} L_{p1} - L_{p2} &= 10 \log \frac{(r_2)^2}{(r_1)^2} \\ &= 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad \text{dB} \end{aligned}$$

仮に、音源からの基準距離が $r_1 = 1 \text{ m}$ 、その場所での音圧レベル L_{p1} が 75 dB である時、音源からの距離が 2 倍の $r_2 = 2 \text{ m}$ の場所での音圧レベル L_{p2} を求めます。計算上 6.02 dB 減衰の 68.98 dB となります。逆二乗則の確認です。

$$\begin{aligned} L_{p2} &= 20 \log \frac{r_2}{r_1} - L_{p1} \\ &= 20 \log \frac{2}{1} - 75 \quad \log 2 = 0.3010 \text{ を代入} \\ &= (20 \times 0.3010) - 75 = 6.02 - 75 = -68.98 \quad \text{dB} \end{aligned}$$

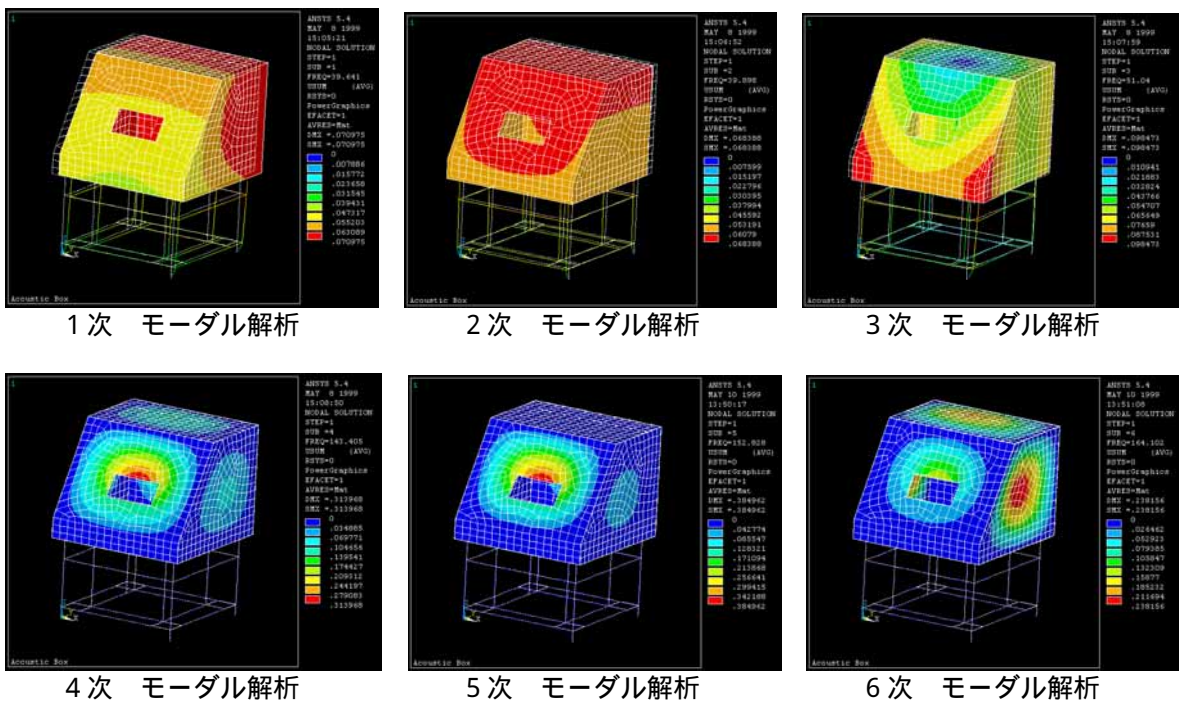
実際の距離減衰は、上記のような単純直線的な条件ではなく、音圧が回り込んだり、反射・吸収したりと複雑になっているために、このような単純計算のようにはいきません。

2-9 防音技術の最新現場

防音構造のシミュレーション

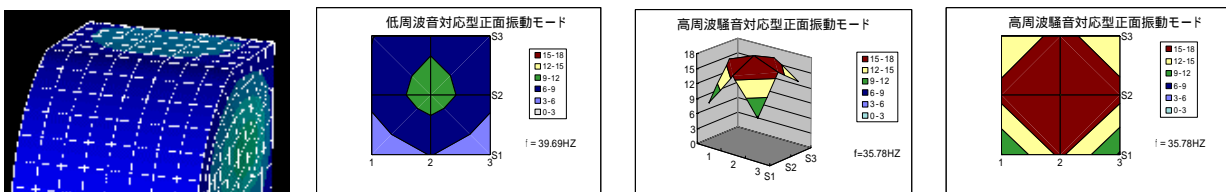
優れた防音性能を維持するためには、構造解析が必須条件になります。当社では、音響環境の代表例として3つのパターンを示し、独自の周波数区分を規定して研究を開始するに至る理由を明確にしています。さらに、これまで述べてきたように「音圧レベルを決定する音波が各物質（気体・液体・固体）の媒体の違いによってふるまう状態に違いがある点」や「音圧と言われる圧力が、大気圧と比較して1/5000から1/50億という微量な圧力である点」並びに「音圧そのものが静圧との微妙な変動差によって生まれている点」に注視しています。

これらの内容を追求していくと、時間と共に常時変化する不特定な音場から精密機器類を守る「防音」という有限な空間（容積）とこれを支持する脚部がいとも簡単に變形し、叩けば共鳴しビビりが生じるようなものであってはならないと考えています。ある程度の厚みと重量を有し、且つねじれやゆがみが極小になるような構造と剛性が必要です。「防音」を極限まで追い詰めていくと時間と手間ひま・必要コストがかかります。以下のデータは、防音を目的に音圧を受けるさまざまな形状の構造体のシミュレーションの一例です。



その他のモ - ダル解析の例

防音周波数範囲

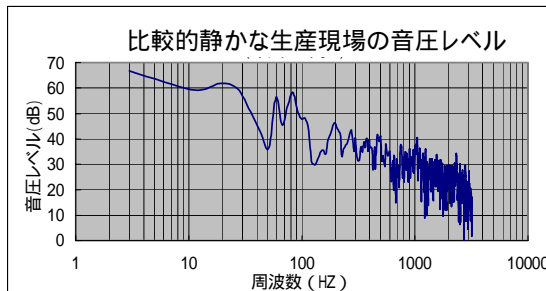


当社では、理想的防音空間を得るために、防振構造のシミュレーションを欠くことはできないと考えています。精密測定機器に対する防音周波数範囲を3 Hzから4 kHzに設定し、特に超低周波領域と定めた3 Hzから20 Hzにおいて、-20 dB以上の防音性能を目標に開発を行い、達成しています。防音周波数範囲の下限、つまり超低周波領域を重視する理由は、20Hz以下でかなりの音圧レベルが存在しているからです。高い周波数は、「右下がりの曲線」となるために「防振」と同様に「防音」も高い周波数帯に大きな技術力を求めません。またメガヘルツ(MHz)という高い周波数帯域が問題となるようなケースでは、電界と磁界の波である電磁波対策にシフトすべきで、別次元の問題と考えられます。技術資料 2006-(3) 改その他の対策で扱うこととします。

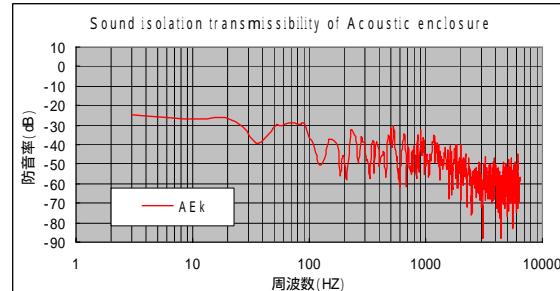
防音率

一般的な音響測定では、可聴限界 (= 基準音圧 $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa) を 0 dB として、音圧実効値 P が増加するにしたがって +dB 値になるような下記のデータのフォームになります。基準を人間の可聴限界点においた測定であるためです。前述の「音響環境の3つの例」で使用したデータの表し方です。特定の音場で正確な防音率を測定するためには、その「未防音な音場」と防音空間としての「防音した音場」を同次元(同時間)で計測しなければなりません。基準を「未防音な音場」におき、「防音した音場」の音圧実効値を対比させたとき、の測定データフォームになり各周波数帯域での防音率が全て - dB 値に入っていないければなりません。

一般的な音響 (+dB) 測定例



防音率 (- dB) を示す音響測定例



防音の基本的な位置付け



空気と言う媒体を介して伝わってくる音波は、さまざまな音源から幾何学的に放射されて伝播されます。音源の位置が天井や床であれば半球状 ($P/2r^2$) で、中空であれば球状 ($P/4r^2$) で波動的に伝播します。これらの音波は、伝播途中にある物体(装置のパネルやパーテーション式簡易壁など制動性の低い物体)にぶつかることで共鳴して二次音源となり増幅することもあります。また硬く平らな天井や床・壁などで二次反射を起こし複雑な音波状態を形成していきます。音波が固体にぶつかって反射・透過・屈折現象が起こることは、既に広く知れ渡っています。気体から固体に音波の媒体物質を移すと、それまで縦波 (P 波) のみであった音波が横波 (S 波) との複合波に変身し影響を及ぼします。防音は、こうした「音波のふるまい」を十分に認識した上で、装置をエンクローズ(enclose)させて音波の伝播する状態から装置を保護する「防音空間を創り出すための技術」として位置付けています。

防音の最新現場

音が空気振動であると同時に、固体に当たれば「固体音」となります。ある部分の音圧は、固体であるエンクロージャの外壁に当たった段階で反射現象を起こし、音響エネルギーを減衰させますが、多くの音圧は外壁を透過・屈折してエンクロージャ内壁をさらに通り抜け装置に対して音響的な悪さを与えます。この悪さを極限まで減衰させて防音効果を向上させるには、外壁の形状や剛性は勿論のこと外壁と内壁との間に計算された減衰部が無ければなりません。減衰部では、音圧という音響エネルギーを有限の壁厚の中で「透過・反射・屈折」を繰り返させて熱エネルギーに変換させる働きをもたせなければなりません。かつては「大きな厚み」と「大きなマス」の必須条件がありましたが、時代と共に防音性の向上した各種の防音材料が市場にあります。これらの選定・有効利用と応用技術が重要になります。構造解析と実際の検証とを繰り返し、確実に進化させなければなりません。

上の写真は、音響研究・構造設計・多くのシミュレーションを経て完成した最新・高防音性を誇るアコースティックエンクロージャ A E k です。

おわりに

当社では、測定環境創造の1つとして「防音空間を創り出すための技術」を多数蓄積し、当該製品として、アコースティックエンクロージャ(Acoustic Enclosure)を世に出しています。既に走査型プローブ顕微鏡 (SPM) に代表されるための防音空間として市場の要請に応え、時代の要請に応じて進化させてきました。本格的なナノテクノロジーの時代に入り、これまでの「原子や分子の観察」から「原子や分子の直接操作」に入ってきました。現在も市場の求める防音のあり方を追求し開発を行っています。

以上
ヘルツ株式会社
営業部 部長 木村 了

補 足 資 料

音の強さ・音圧レベル・音圧・音圧レベルの例

音の強さ I (W/m ²)	音圧 P (Pa)	音圧レベル Lp (dB)	音圧レベルの事例		音響出力 W
10 ⁵		170	ジェット戦闘機		100kW
10 ⁴		160			10kW
10 ³		150			
10 ²	2 × 10 ²	140	立ち入り禁止 (ILO)		1kW
	10 ²	134			100W
10 ¹		130	最大可聴値		
10 ⁰	20	120	近くで聞くジェット機	衝撃音	10W
	10	114	飛行機の離着陸直下	油圧プレス	1W
10 ⁻¹		110	自動車の警笛音	送風機	
			保護具を要する	機械プレス	100mW
10 ⁻²	2	100	ガード下	鍛造機	
	1	94		せん断機	10mW
10 ⁻³		90	非常に騒々しい工場の中	大声の合唱	
			バスや地下鉄の車内	注意制限レベル	1mW
10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻¹	80			
			騒々しい街頭	発電機、ダンプ	10 ⁻⁴ W
10 ⁻⁵		70	一般的な工場、交差点	グラインダー	
			うるさい事務所	ブルドーザー	10W
10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻²	60	静かな街頭、普通の会話	デパートの中	
			平均的な事務所内	体育館	10 ⁻⁶ W
10 ⁻⁷		50	静かな事務所	レストラン	
			静かな住宅街の昼		
10 ⁻⁸	2 × 10 ⁻³	40	住宅、深夜の都市	教室、会議室	
				図書館、病院	10 ⁻⁸ W
10 ⁻⁹		30	静かな住宅地の夜	音楽ホール	
			人のささやき	放送スタジオ	
10 ⁻¹⁰	2 × 10 ⁻⁴	20	時計の振り子の音	木の葉のゆれ	
10 ⁻¹¹		10			10 ⁻¹⁰ W
10 ⁻¹²		0	可聴限界		10 ⁻¹¹ W
					10 ⁻¹² W