

最近の騒音測定方法

子安 勝*

1. まえがき

最近の騒音測定方法における特徴は、JIS-Z-8731-1983（騒音レベル測定方法）に代表される環境騒音の測定に加えて、騒音源の性状あるいは遠距離伝搬性状などの解析のための測定に重点が置かれていることである。しかもこれらの測定においては、デジタル信号処理技術の急速な発達、普及が、大きな役割をしているといえる。

ここでは、これらの問題を中心にして、実用化の段階にある主要な測定方法の基礎事項、適用方法などについて解説する。

2. 音響パワーレベルの測定方法

2.1 音響パワーレベルの定義と主な用途

音源から放射される全音響パワー P_w 、基準の音響パワー $P_0 = 1 \text{pw} = 10^{-12} \text{w}$ から、音響パワーレベル $L_w(\text{dB})$ は次式で定義される。

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

パワーレベルは各種音源の性状を表示する基本量として重要な位置を占めている。さらに屋外あるいは室内における音の伝搬を取り扱う理論のなかには、音源のパワーレベルから出発しているものが多い。こうして、機械類から発生する騒音のパワーレベルは、

- 1) 騒音低減効果の評価、
- 2) 機械の発注、検収のための騒音仕様、
- 3) 騒音予測のための基礎データ、

など多くの用途をもっている。

2.2 パワーレベル測定方法の原理

(1) 音圧測定から算出する方法

現在実用されている測定方法は、音場の性質による測定原理からみて、表1の各種類に区分される。

自由音場による方法においては、音源からある程度以上派なれた閉曲面上の音圧を p としたとき、 $p^2 / \rho c$ (ρ は空気の密度、 c は音速) がその点の音の強さになるとして、これを閉曲面全体にわたって加算することによって、音響パワーを算出するものである（図-1）。

一方拡散音場による方法においては、音源から放射される音響パワー P が、壁で吸収される全パワーと等しくなった状態で、室内の平均音圧レベル（エネルギー密度 E ）が決まるものとして、音響パワーを算出するものである。

実際のパワーレベル測定では、音場の条件が明確に規定されている実験室だけでなく、機械などの設置されている現場での測定を必要とすることが多い。こうした場合には、現実の音場に応じて自由音場あるいは拡散音場による方法に準じた取り扱いが行われる。

(2) 音響インテンシティ測定から算出する方法

前項の方法では、直接の測定量は自由音場あるいは拡散音場における音圧であって、それぞれの音場における音圧と音の強さあるいはエネルギーとの関係を使って、音響パワーを算出するものである。

これに対して、約10年前から2マイクロホン技術を使った音響インテンシティの測定方法が、急速に実用

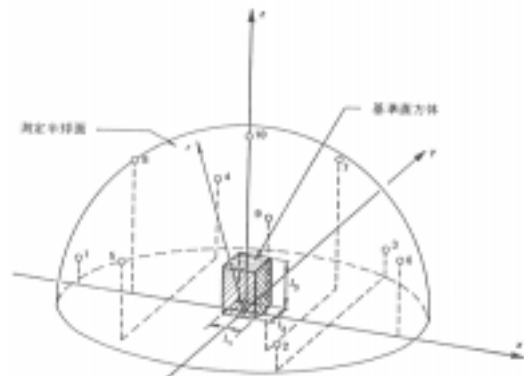


図-1 半自由音場法における音圧測定のためのマイクロホンの基本的な配置

* 音響工学研究所所長
日本騒音制御工学学会

表1 音圧測定による音響パワーレベル測定方法の種類

方法の区分	音場	測定場所	主要測定点	音響パワー算出の原理
自由音場法	自由音場	無響室	球面上	$P = \int \frac{p^2}{\rho c} dS$
	半自由音場	半無響室	半球面上・直方体面上	同上
	準・半自由音場	屋外・大きな室	同上	同上
拡散音場法	準拡散音場	一般室	音響から離れた室内	$P = \frac{c\alpha SE}{4}$
	拡散音場	残響室	同上	同上

備考：記号の説明

- P: 音響パワー (W)
- p: 音圧 (Pa)
- E: 音のエネルギー密度 (W/s/m³)
- ρ: 空気の密度 (kg/m³)
- c: 空気中の音速 (m/s)
- α: 吸音率
- S: 面積 (m²)

化されている。これを適用すれば直接にパワーレベルを算出することができる。

2.3 測定方法の実際と規格化の動向

(1) 基本規格の構成

欧米では、古くからパワーレベルの実用化が進み、データの信頼性向上のための測定法規格化が行われてきた。

ISOでは、約10年前から「騒音源のパワーレベル決定方法」という共通名称をもった9種類の規格 (ISO 3740 ~ 3748) が逐次制定されてきた。これらの規格は、試験場所や精度などによって表2のように区分されており、測定対象音源の種類やデータの用途などに応じて、適当な方法を選定し、適用するようになっている^{1),2)}。

一方わが国では、これまで一部を除いて実用面にパワーレベルが使われることは少なかったが、輸出機械の検査規定との関係などから、その測定方法の規格化が具体的な課題として取り上げられるようになってきた。その第一歩として、本年2月にはJIS-Z-8732 (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、公布された³⁾。

これに引続いて、本年3月には「一般の音場における音響パワーレベル測定方法」についてのJIS原案が答申されることになっている。この規格は屋外あるいは工場内試験室、機械の設置現場などを含めた広い範囲の測定場所での実用的な測定方法を規定するものである。さらに61年度には、残響室における測定方法の規格原案作成がスタートする予定である。

(2) 個別規格

前項の基本規格は、機械の種類などを特定していないので、個別の機械の設置又は運転条件に騒音の発生に関連した特徴があるときには、基本規格を補足する

表2 パワーレベル測定方法に関するISO規格の測定場所及び精度による区分

測定場所 精度	実験室				特定試験場 (屋外及び室内)	現場 (屋外及び室内)
	残響室	無響室	半無響室	特殊残響試験室		
精密	3741 3742	3745	3745	-	-	-
実用	-	-	3744	3743	3744 3748*	3744 3748*
簡易	-	-	-	-	-	3746 3747*

* 現在審議中

個別規格を作成することになっている。

ISOでは、回転電気機械、土木機械、電算機及び事務機械などのパワーレベル測定方法について、規格の作成が進められている。また各国においても、国家規格や業界団体規格などの形で、各種機械についての測定方法標準化が行われている。

3. 音響インテンシティ測定方法

3.1 騒音測定における音響インテンシティの役割

音響インテンシティ (音の強さ) は、音場内の1点において音の進行方向に垂直な単位面積を1秒間に通過する音のエネルギー、すなわち単位面積あたりの音響パワーとして定義されている。パワーレベルの測定に音源を囲む閉曲面上の音響インテンシティを使うことは、その定義を直接に適用することになる。

実務的な騒音問題のなかで、音響インテンシティは次にあげつようないくつかの用途を持っている。

- 1) 暗騒音が大きな割合を占める現場での音源のパワーレベル測定
- 2) 機械など音源の部分ごとの発生騒音の寄与の同定

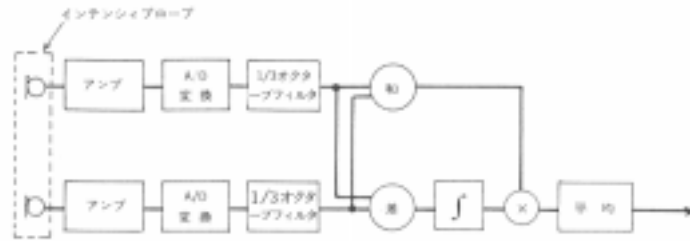


図-2 直接法による音響インテンシティ測定システムの構成

- 3) 音源近傍における測定による遠距離音場推定
 - 4) 遮音構造（建築物の壁，機械のエンクロージャなど）における音もれの探査⁵⁾
- 3.2 測定方法の原理と実際

音響インテンシティは、原理的には音圧 $p(t)$ とその点における音の粒子速度 $u(t)$ とから、次式によって算出される。

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot u(t) dt \quad (2)$$

この方法による音響インテンシティの測定は、数10年前から試みられてきたが、粗子速度の直接測定が非常にむずかしいために、簡単には実用化されるに至らなかった。

これに対して、2マイクロホン技術が開発され、さらにデジタル信号処理技術の急速な発達を背景にして、1970年代後半から音響インテンシティが実際面で広く使われるようになり、計測器の製品化も進められてきた。

2マイクロホン技術は、近接した2点（距離 d ）に置かれた2個マイクロホンによって測定された音圧を $p_1(t)$ 、 $p_2(t)$ としたとき、この2点を結ぶ方向の音の粒子速度が、近似的に次式で与えられるとするものである（有限差分近似）

$$u(t) = \int_0^t \frac{p_1(\tau) - p_2(\tau)}{\rho d} dt \quad (3)$$

ここで使われる2個のマイクロホンは、位相まで含めて特性のそろったものであることが必要で、その間隔は測定周波数範囲に応じて定められる。こうした組み合わせマイクロホンが、インテンシティ・プローブの名称で製品化されている。

実際に音響インテンシティを算出するための演算処理としては、現在次の2つの方法が使われている。

(1) 直接法⁶⁾

インテンシティ・プローブの2個のマイクロホンで測定された音圧 $p_1(t)$ 、 $p_2(t)$ から、その2つのマイクロホンを結ぶ方向の音響インテンシティ成分 I_x は、



図-3 クロス・スペクトル法による音響インテンシティ測定システムの構成

次式で算出される。

$$I_x = \frac{1}{2\rho d} [p_1(t) + p_2(t)] \int_0^t [p_2(\tau) - p_1(\tau)] d\tau \quad (4)$$

上式に従った演算処理を行うためのシステムの構成を図-2に示す。

この方法の特徴は、実時間処理が可能なことであって、現場などでディスプレイを見ながら測定を行うのに便利である。

(2) クロス・スペクトル法⁷⁾

(4)式を周波数領域で表示、演算処理した次式によって、音響インテンシティを算出する方法である。

$$I_x = \frac{1}{2\pi\rho d} \int_{f_1}^{f_2} \frac{\text{Im}[G_{12}(f)]}{f} df \quad (5)$$

ここで $G_{12}(f)$ は、 $p_1(t)$ と $p_2(t)$ との片側クロス・スペクトル密閉関数、 $\text{Im}[\]$ は虚数部を示す。

この場合には、2チャンネルFFT分析器によってクロス・スペクトル密閉関数を算出し、それ以降の処理を電算機で行って音響インテンシティを求めることができる（図-3）。最近の2チャンネルFFT分析器のなかには、音響インテンシティ算出のソフトウェアを内蔵したものが多くなっている。

3.3 音響インテンシティ測定の今後の動向

音響インテンシティは、音源からの騒音放射性状の解析、音場解析などの面を中心にして、今後さらに広く騒音問題の各分野に利用される方向にあると予測される。

このために、一方においては誤差の解析を含めた測定方法、データの処理方法、音場解析の方法などにつ

いての基礎的な研究の推進がはかられている。こうした問題に関連して、振動面の振動加速度（速度）とその近傍における音圧との測定によって音響インテンシティを算出する方法⁸⁾（表面インテンシティ法）、さらに進んで振動インテンシティ法の開発など、音と振動との総合的な解析のための手法が注目されている。

また他方では、現場での音響インテンシティの測定に重点をおいたポータブル型の簡易な測定器の開発が期待されている。これは、特に実用面での音響インテンシティの普及に対して大きな役割をすることになるであろう。

4. 遠距離伝播性状の測定

環境騒音問題のなかでは、遠距離伝播性状の測定、解析を必要とすることが多い。この場合に測定の精度向上に対しては、次にあげる事項に注意することが必要である。

- 1) 暗騒音の影響の除去
 - 2) 気象条件（風，温度勾配など）の影響の解析
- このために、かなり以前からいくつかの方法が開発され、実用化されている。
- (1) M系列変調相関法

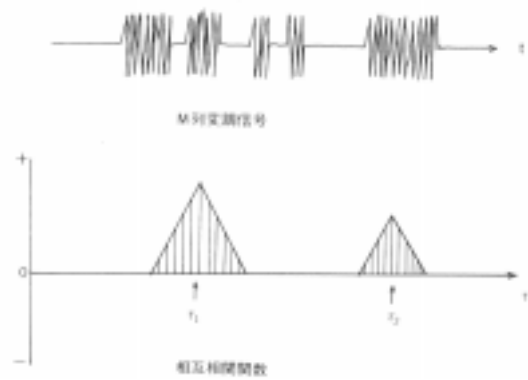


図-4 M系列変調相関法の原理

図-4に示すように、バンドノイズ信号を擬似不規則信号の一種であるM系列信号によって断続してスピーカから発生させる。受音点における信号ともとのM系列信号との相互相関関数を算出することによって、受音点に存在する暗騒音の影響を低減するとともに、音源からいくつかの伝播経路をとって到達する音の強さを、時間軸上で分離して測定することができる⁹⁾。具体的な測定システムの構成例を図-5に示す。

この方法は、現実の騒音をそのまま対照にすることはできないが、多くの利点をもっているために、遠距

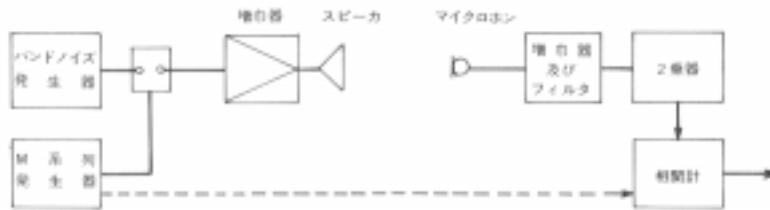


図-5 M系列変調相関法による測定システム構成例

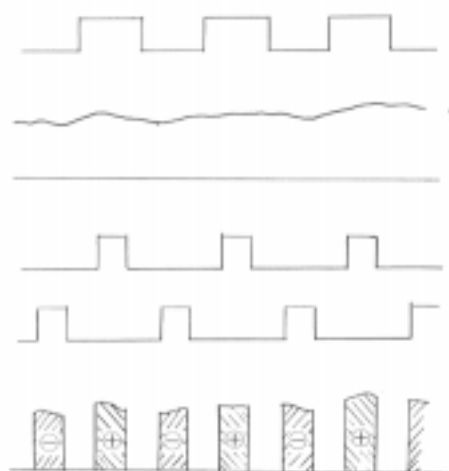


図-6 同期積分法による暗騒音除去の原理

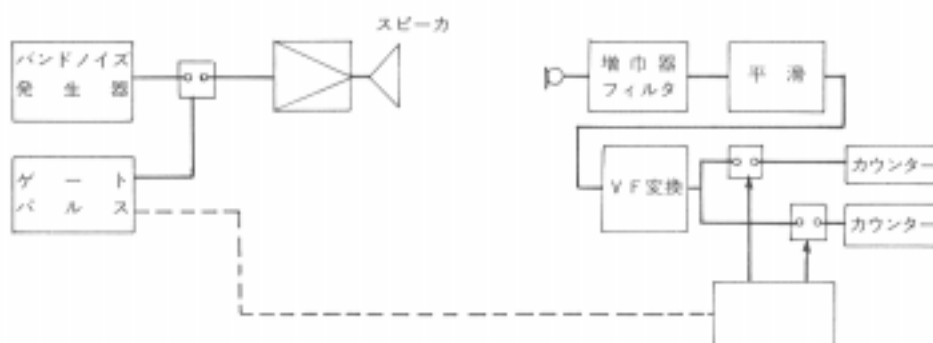


図-7 同期積分法による測定システム構成例

離伝播の測定のほかにも、遮音測定や残響測定など騒音に関連した各種の測定に利用されている。

(2) 同期積分法

バンドノイズを一定周期で断続させてスピーカから発生させる。受音点では、一般に暗騒音の影響を受けるので、極端な場合には図-6に示すような不規則な時間変動性状をもった音になる。

音源から受音点までの音の到達時間遅れを考慮、音源からの信号が確実に含まれている部分と、確実に含まれていない部分とを取り出す(当然サンプルの時間幅は、音源信号の断続時間あるいは休止時間にくらべて十分に短くなる。)それぞれの信号を多数回とってエネルギー加算(2条積分)し、その差をとることによって、音源から受音点に到達した音の強さのレベルが求められる。原理的な測定システムの構成例を図-7に示す。

5. むすび

騒音測定分野における最近の測定器、測定技術の

進歩は目ざましく、大量のデータが急速かつ精度よくえられるようになっている。

こうして、今後重要になるのは目的に適應した綿密な測定計画とデータの的確な解析など、ソフトウェア面の充実にあることを指摘してむすびとする。

参考文献

- 1) 子安 勝, 騒音制御, Vol.7, No.3 (1983) 14
- 2) 子安 勝, 日本音響学会誌, 41 (1985) 322
- 3) 鈴木・橋, 日本音響学会誌, 41 (1985) 546
- 4) M.J.Crocker, Proc.Inter-Noise, 81, p.895 (Amsterdam, 1981)
- 5) 矢野・橋・小川, 建築環境工学論文集, 第5号 (1983)
- 6) 佐藤利和, 松質技報, No.1, (1982) 3
- 7) F.J.Fahy, J.Acoust.Soc.Am., 62 (1977) 1057
- 8) M.C.McGary. 他, J.Noise Control Engineering, Vol.16, No.1 (1968) 26
- 9) 青島・五十嵐, 日本音響学会誌, 24 (1968) 197
- 10) 石井他, 東大宇宙航研報告, Vol.14, No.1 (1978)