

冷却塔,空気圧縮機およびボイラの能力別パワーレベル調査

Sound Power Level Measurements of Cooling towers, Compressors and Boilers in Different Capacities

特殊公害科 小林良夫 白石英孝

要 旨

県内の工場・事業場に設置されている冷却塔,空気圧縮機およびボイラについて,使用中の状態におけるパワーレベルを,形式別,各種能力別に調査した。その結果,パワーレベルと使用年数との間には相関はなかったが,パワーレベルと各種能力との間には強い相関が認められ,法令に基づく届出等で把握の容易な能力や業界で一般に呼称されている能力を用いて計算しても,パワーレベルを推定できることが明らかになった。また,これらの能力を用いてパワーレベルを求める場合,±4dBの誤差範囲内で対数回帰式から計算できることも分かった。なお,形式別によるパワーレベルの違いは,空気圧縮機において顕著であり,回転式は往復式に比べ14dB(A)程度小さく,防音パッケージの効果と思われるレベルの差があった。

1 はじめに

騒音は,日常生活に関係の深い問題であり,また,その発生源も多種多様であることから,例年,典型7公害に関する苦情のうちで最も多くを占めている。なかでも,騒音に係る苦情のうち,約3割が工場・事業場騒音によるものである。

近年,騒音対策は規制から未然防止へと移行しつつあるが,とりわけ,環境影響評価制度の導入はその有効な手段として注目されている。工場・事業場騒音に関して,この制度を効果あるものにするためには,予測精度上最も影響の大きい騒音源のパワーレベルデータの集積・整理が重要である。しかし,そのデータは,現在のところ測定の煩わしさ^{1)~3)}から,決して十分とはいえない状況にある。また,数少ないデータも系統だった測定がなされておらず,その結果,騒音源に係る能力の大小や使用年数の違いによるパワーレベルを,ほとんど同一視して使用することを余儀なくされている。

本稿は,工場・事業場に多数設置されている冷却塔,空気圧縮機およびボイラについて,現に使用中の状態におけるパワーレベルを能力別に調査し,その結果についてとりまとめたものである。

なお,この報告は,環境影響評価技術的事項調査研

究事業(環境審査課)のひとつとして行われた「騒音源のパワーレベルに関する調査研究」の一部をまとめたものである。

2 調査施設

県内の工場・事業場に設置されている冷却塔,空気圧縮機およびボイラについて,表1に示すとおり,調査を実施した。また,このほか,表2に示す各能力や使用年数についての調査もあわせて行った。

表1にみられるとおり,冷却塔については向流式と直交流式に分類し,特に設置台数の圧倒的に多い向流式を中心として,原動機の定格出力が0.75KW,2.2KW,3.7KW,5.5KWおよび7.5KWの5能力別に調査した。

空気圧縮機にあつては,定置式で,しかも設置台数の多い容積形のなかから,往復式と回転式のうちのねじ式でパッケージに格納されているものについて,原動機の定格出力が7.5KW,22KW,37KW,55KWおよび75KWの5能力別に調査した。

ボイラにあつては,設置台数の大半を占める炉筒煙管式と水管式のうち,液体燃料を使用するものについて,伝熱面積が10~30m²,30~50m²,50~70m²,70~90m²および90~110m²の5能力別に調査した。

表1 調査施設

施設名	形式	調査施設数	能力※				
			1	2	3	4	5
冷却塔	向流式	15	0.75	2.2	3.7	5.5	7.5
	直交流式	3	0.75	—	—	5.5	7.5
空気圧縮機	回転式	16	7.5	22	37	55	75
	往復式	13	7.5	22	37	55	—
ボイラ	炉筒煙管式	15	10~30	30~50	50~70	70~90	90~110
	水管式	立形	3	10~30	—	—	—
		一般	10	—	30~50	50~70	70~90

※冷却塔, 空気圧縮機は, 原動機の定格出力(KW) ボイラは, 伝熱面積(m²)

表2 調査能力項目

能力	施設名	冷却塔	空気圧縮機	ボイラ
原動機の定格出力(KW)		○	○	○
冷却容量(冷却トン=RT)		○		
送風機の直径(mm)		○		
定格体積流量(m ³ /min)			○	
伝熱面積(m ²)				○
定格蒸発量(kg/h)				○
バーナの燃焼能力(l/h)				○
使用年数(年)		○	○	○

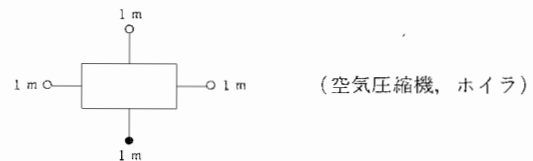


図2-2 測線配置

3 調査方法

3.1 測定システムおよび測線配置

原則として, 図1に示す機器を用いたシステムにより, 図2-1, -2に示す測線にマイクロホンを設置して測定した。

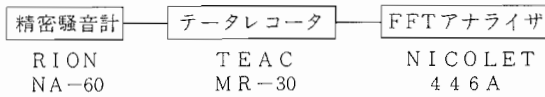


図1 測定システム

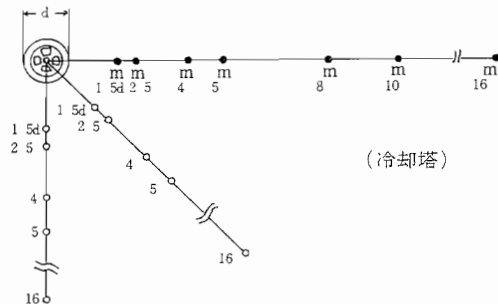


図2-1 測線配置

3.2 測定方法

3.2.1 冷却塔

冷却塔は, 設置場所が屋外で, しかも, ほとんど床面が反射性のコンクリートの屋上にあることから, 「自由音場法(半自由音場)」によることとし, 原則として, 周囲に大きな反射物がなく, また, 暗騒音のない状態で, ほぼ全負荷状態について行った。

冷却塔から法線方向に半径 r_1, r_2, \dots, r_n の測定点を数測線選び, それぞれのオクターブバンド音圧レベル(SPLoct)を測定し, オクターブバンドごとに距離 r_1 のSPLoct(r_1), r_2 のSPLoct(r_2), \dots , r_n のSPLoct(r_n)から, 対数回帰計算により測線ごとに距離 r のSPLoctを求めた。次に, これをパワー平均して, 平均オクターブバンド音圧レベル(SPLoct)を算出した。これから, 次式によりオクターブバンドパワーレベル(PWLoct)を計算した。

$$PWLoct = \overline{SPLoct} + 20 \log r + 8 \quad (\text{dB})$$

更に, 各PWLoctからオーバーオールパワーレベル(PWL), A補正パワーレベル(PWL(A))を求めた。

3.2.2 空気圧縮機およびボイラ

空気圧縮機とボイラは, 設置場所が室内であることなどの理由から, 「近接音場法」を用いた。ただし, この測定法では正確なパワーレベルの測定が困難であるため, 「見掛けのパワーレベル」として求めることにした。

原則として、暗騒音のない、広い室内に設置された空気圧縮機、ボイラ（音源）について、音源から1m地点の \overline{SPLoct} を数点測定し、これをパワー平均して \overline{SPLoct} を求め、次式により PWL_{oct} を計算した。

$$PWL_{oct} = \overline{SPLoct} - 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (\text{dB})$$

ここに、Q 音源の方向係数（床上に音源がある場合、 $Q=2$ ）

R 室定数 ($R = S\bar{\alpha} / (1 - \bar{\alpha})$)

ただし、S：室内表面積

$\bar{\alpha}$ ：平均吸音率

ここで、広い室内に設置された音源の場合には、 $r = 1 \text{ m}$ とすると

$$PWL_{oct} = \overline{SPLoct} + 8 \quad (\text{dB})$$

となる。

次に、各 PWL_{oct} から PWL と $PWL(A)$ を求めた。

4 調査結果および考察

4・1 パワーレベルと各能力および各能力間の関係

表3は、調査施設数の少なかった直交流式冷却塔と立形水管式ボイラを除き、 $PWL(A)$ と PWL を目的変数とし、使用年数と各能力を説明変数とした相関係数マトリックスを示したものである。なお、有意性の検定はF検定により行った。

表3 パワーレベルと能力および各能力間の相関係数

a 向流式冷却塔

N=15

	原動機の 定格出力	冷却容量	送風機の 直径	使用年数
原動機の 定格出力				
冷却容量	※※ 0.984			
送風機の 直径	※※ 0.924	※※ 0.965		
使用年数	0.332	0.243	0.150	
$PWL(A)$	※※ 0.732	※※ 0.711	※※ 0.667	0.351
PWL	※※ 0.622	※※ 0.608	※※ 0.566	0.421

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

d 往復式空気圧縮機(無負荷)

N=13

	原動機の 定格出力	定格 体積流量	使用年数
原動機の 定格出力			
定格 体積流量	※※ 0.965		
使用年数	-- 0.440	-- 0.385	
$PWL(A)$	-- 0.062	-- 0.004	0.370
PWL	-- 0.274	-- 0.221	0.236

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

b 回転式空気圧縮機

N=16

	原動機の 定格出力	定格 体積流量	使用年数
原動機の 定格出力			
定格 体積流量	※※ 0.998		
使用年数	0.417	0.402	
$PWL(A)$	※※ 0.707	※※ 0.699	※ 0.516
PWL	※※ 0.775	※※ 0.785	0.452

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

e 炉筒煙管式ボイラ

N=15

	伝熱面積	定格蒸発量	バーナの 燃焼能力	押込送風機 の定格出力	使用年数
伝熱面積					
定格蒸発量	※※ 0.876				
バーナの 燃焼能力	※※ 0.895	※※ 0.984			
押込送風機 の定格出力	※※ 0.733	※※ 0.874	※※ 0.818		
使用年数	-- 0.141	-- 0.255	-- 0.186	-- 0.427	
$PWL(A)$	※※ 0.813	※※ 0.550	※※ 0.614	※※ 0.422	0.023
PWL	※※ 0.818	※※ 0.607	※※ 0.676	※※ 0.431	0.084

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

c 往復式空気圧縮機(負荷)

N=13

	原動機の 定格出力	定格 体積流量	使用年数
原動機の 定格出力			
定格 体積流量	※※ 0.980		
使用年数	-- 0.450	-- 0.401	
$PWL(A)$	※※ 0.880	※※ 0.855	-- 0.323
PWL	※※ 0.889	※※ 0.848	-- 0.389

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

f 水管式ボイラ(一般)

N=10

	伝熱面積	定格蒸発量	バーナの 燃焼能力	押込送風機 の定格出力	使用年数
伝熱面積					
定格蒸発量	※※ 0.940				
バーナの 燃焼能力	※※ 0.936	※※ 0.984			
押込送風機 の定格出力	※※ 0.880	※※ 0.961	※※ 0.944		
使用年数	-- 0.522	-- 0.572	-- 0.534	-- 0.622	
$PWL(A)$	※※ 0.808	※※ 0.832	※※ 0.830	※※ 0.919	-- 0.439
PWL	※※ 0.975	※※ 0.951	※※ 0.944	※※ 0.901	-- 0.519

※※ 危険率1%で有意
※ 危険率5%で有意

この結果、使用年数とPWL(A),PWLとの相関は、ほとんど認められなかった。つまり、必ずしも使用年数が長いほどパワーレベルは大きくなるわけではなく、むしろ施設の騒音は、設置後の保守管理の良否に影響されるものと推測される。また、各能力間には極めて強い相関があり、すべての施設において危険率1%で有意であった。

向流式冷却塔のパワーレベルと各能力との相関は、同表 a に示すとおり、原動機の定格出力>冷却容量>送風機の直径の順に相関が良く、PWL(A)は危険率1%、PWLは危険率5%でそれぞれ有意であった。

空気圧縮機のパワーレベルと各能力との相関は、同表 b, c, d に示すとおり、無負荷状態の往復式空気圧縮機を除き、PWL(A)およびPWLとも原動機の定格出力、定格体積流量との間に強い相関があり、危険率1%で有意であった。

ボイラのパワーレベルと各能力との相関は、同表 e, f に示すとおり、炉筒煙管式ボイラでは、PWL(A)およびPWLとも伝熱面積、定格蒸発量、バーナの燃焼能力との間に相関があり、特に伝熱面積との間には強

い相関が認められ、危険率1%で有意であった。水管式ボイラでは、PWL(A)およびPWLとも伝熱面積、定格蒸発量、バーナの燃焼能力とのほか押込送風機の定格出力との間にも強い相関があり、すべて危険率1%で有意であった。

以上の結果、能力別のパワーレベルを求める場合、実用上、表1で分類した法令に基づく届出書等から、自治体において把握の容易な能力(冷却塔、空気圧縮機=原動機の定格出力、ボイラ=伝熱面積)および業界で一般に呼ばれている能力(冷却塔=冷却容量、空気圧縮機=原動機の定格出力、ボイラ=定格蒸発量)を用いて計算しても、パワーレベルの推定ができることが明らかになった。

4・2 能力別パワーレベル

図3は、各施設を形式別に、能力とPWL(A)やPWLとの関係について、相関係数、標準誤差および対数回帰式で示したものである。なお、この場合の能力は、前述の結果から、「把握の容易な能力」と「業界で一般に呼称されている能力」とを選んだ。

冷却塔は、直交流式冷却塔の調査施設数が少なかっ

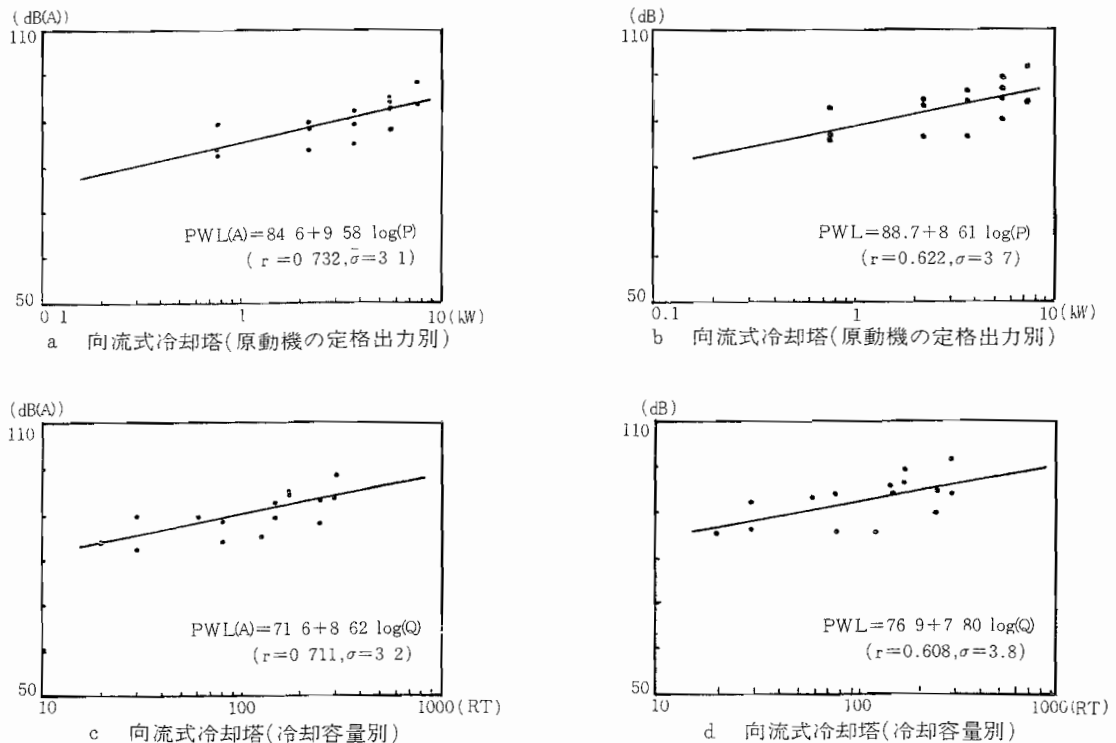
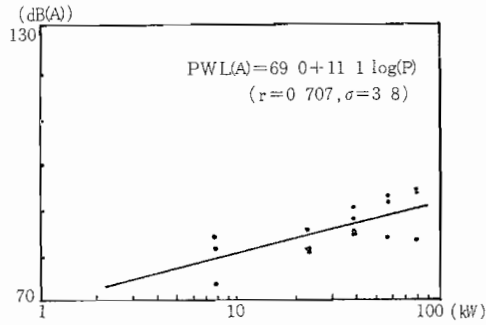
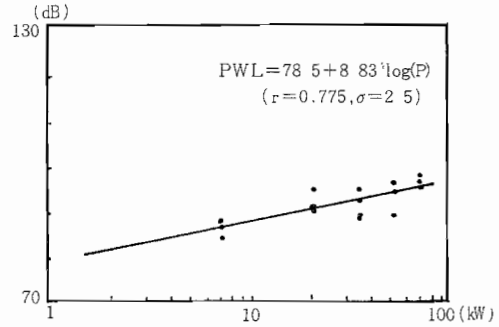


図3 能力別パワーレベル

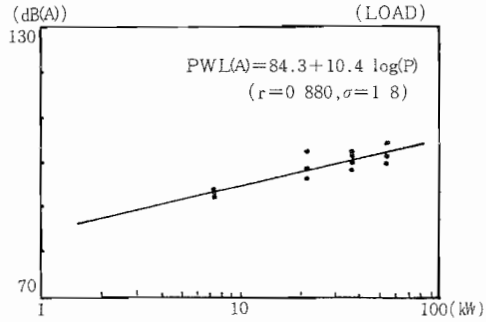
冷却塔, 空気圧縮機およびボイラーの能力別パワーレベル調査



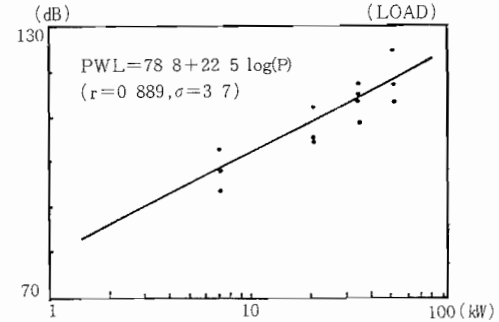
e 回転式空気圧縮機(原動機の定格出力別)



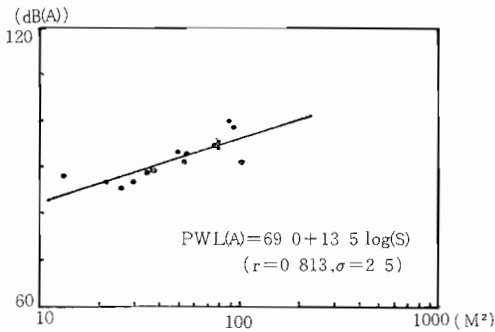
f 回転式空気圧縮機(原動機の定格出力別)



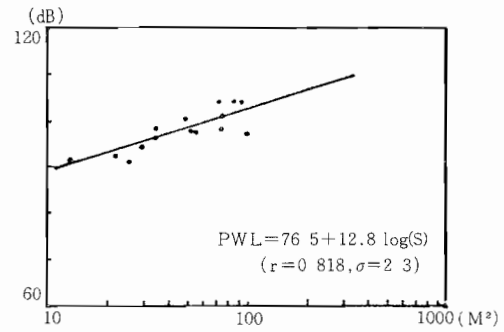
g 往復式空気圧縮機(原動機の定格出力別)



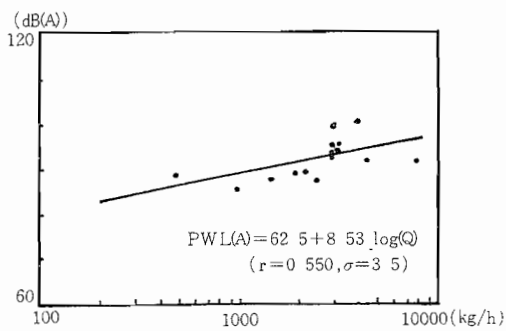
h 往復式空気圧縮機(原動機の定格出力別)



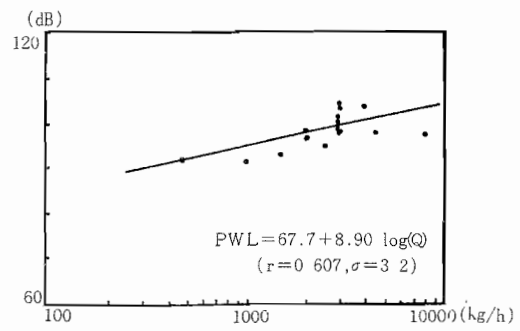
i 炉筒煙管式ボイラ(伝熱面積別)



j 炉筒煙管式ボイラ(伝熱面積別)



k 炉筒煙管式ボイラ(定格蒸発量別)



l 炉筒煙管式ボイラ(定格蒸発量別)

図3 能力別パワーレベル

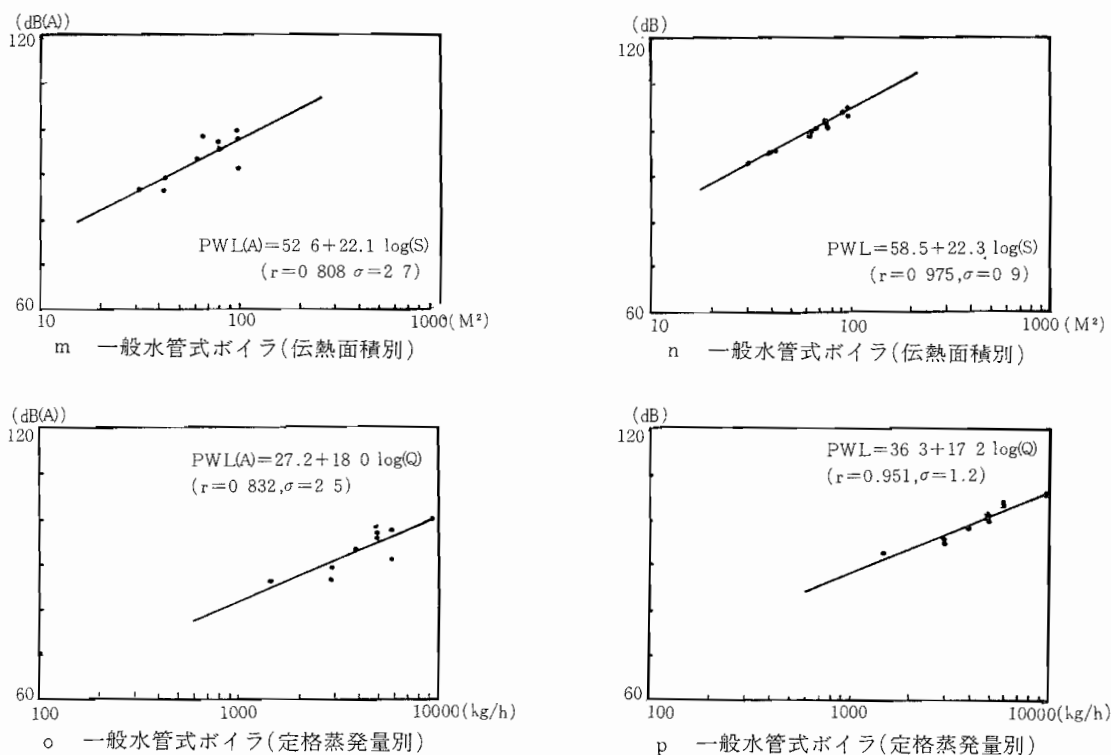


図3 能力別パワーレベル

たので、ここでは、向流式冷却塔のみのパワーレベルを原動機の定格出力別と冷却容量別に、同図 a, b, c, d に示した。図中の回帰式から $PWL(A)$ を求めると、原動機の定格出力別では 83 (at 0.75 KW) ~ 93 (at 7.5 KW) ± 3 dB(A), 冷却容量別でも 83 (at 20 RT) ~ 93 (at 300 RT) ± 3 dB(A) であった。

空気圧縮機は、回転式空気圧縮機と往復式空気圧縮機の負荷時におけるパワーレベルを、原動機の定格出力別に、同図 e, f, g, h に示した。図中の回帰式から $PWL(A)$ を求めると、回転式では 79 (at 7.5 KW) ~ 90 (at 75 KW) ± 4 dB(A), 往復式では 93 (at 7.5 KW) ~ 104 (at 75 KW) ± 2 dB(A) となり、同一能力で比較すると 14 dB(A) 程度回転式の方が小さかった。これは、回転式が防音パッケージに格納されていたためと思われる。(本調査では、すべてパッケージ形を調査した。)

ボイラは、炉筒煙管式ボイラと水管式ボイラのパワーレベルを、伝熱面積別と定格蒸発量別に、同図 i, j, k, l, m, n, o, p に示した。図中の回帰式から $PWL(A)$ を求めると、炉筒煙管式では伝熱面積別で 83 (at 10 m²) ~ 96 (at 100 m²) ± 3 dB(A), 定格蒸発量別で 86 (at 500 kg/h) ~ 97 (at $10,000$ kg/h) ± 4

dB(A) であった。水管式では伝熱面積別で 75 (at 10 m²) ~ 97 (at 100 m²) ± 3 dB(A), 定格蒸発量別で 76 (at 500 kg/h) ~ 99 (at $10,000$ kg/h) ± 3 dB(A) であった。形式の違いによる $PWL(A)$ は、同一能力で比較すると、小能力では水管式の方が小さく、能力が大きくなるとほとんど同じであった。

以上の結果から、調査施設数の少なかったものや無負荷状態の往復式空気圧縮機を除くと、能力が大きくなれば $PWL(A)$, PWL も大きくなり、おおむね $\pm 1 \sim \pm 4$ dB の誤差範囲内で、対数回帰式から計算により求められることが分かった。これは、フィールドにおける調査結果としては、良好な適合性を示したものである。

5 まとめ

冷却塔、空気圧縮機およびボイラについて、形式別のパワーレベルを、特に使用年数や各種能力別に調査した結果、次の知見が得られた。

- (1) 使用年数とパワーレベルとの間に相関はなかったか、能力とパワーレベルとの間には強い相関が認められた。

- (2) 能力別のパワーレベルを計算から求める場合、実用上、届出等から把握の容易な能力や業界で一般に呼称されている能力を用いて算出しても、パワーレベルを推定できることが明らかになった。また、これらの能力を用いてパワーレベルを計算する場合、おおむね ± 4 dBの誤差範囲内で、対数回帰式から算出できることも分かった。
- (3) 形式の違いによるパワーレベルを比較すると、特に空気圧縮機において顕著であり、防音パッケージに格納されている回転式は、往復式に比べ14 dB(A)程度小さかった。

文 献

- 1) 中野有朋：騒音源のパワーレベルと使用上の注意点, 日本音響学会誌, **31** (4), 278 (1975)
- 2) 子安勝：騒音源のパワーレベル測定に関するISO規格審議の現状, 日本音響学会誌, **32**, (3), 172 (1976)
- 3) George M. Diehl: Sound-power measurements on large machinery installed indoors: Two-surface method J. Acoust. Soc. Am, **61**, (2), 449 (1977)