多分散粒子群に対する集じん効率の理論的考察*

A Theoretical Consideration of the Collection Efficiency for Polydispersed Particles

田 畑 則 一**

Norikazu Tabata

1. 緒 言

除じん装置の集じん効率に対するじんあい粒子径の影響は重要な問題であり、単分散粒子群（粒子径均一）の場合には集じん効率測定法の相違による問題はあまりないが、多分散粒子群（粒子径分散）の場合には測定法により集じん効率が大きく変化する。すなわち、じんあい量を粒子径に関係なく粒子個数で測定する場合、粒子径の二乗に比例する光散乱法などで測定する場合、粒子径の三乗に比例する重量法などで測定する場合により、集じん効率が大きく異なることになる。

本報告は二段荷電形電気集じん器の理論的粒子径別透過率に対応して、対数正規分布をもつ多分散粒子群を対象とした集じん効率の測定法による差を理論的に計算して具体例として示した。次に各測定法間の比較法として、ここで述べる平均粒子径を基準として集じん効率を比較すれば、測定法による差が除かれることを示した。各種測定法による集じん効率の検討および評価に役立つものと思う。

2. 多分散粒子群に対する集じん効率

粒子径が分布をもっている粒子群に対して、除じん装置の透過率を次のように定義する。すなわち、一定の粒子径に対する透過率を粒子径別透過率とし、全粒子群に対する透過率を総合透過率、 $(1 - \text{総合透過率})$ を集じん効率とする。したがって粒子径別透過率は粒子径の関数であり、総合透過率あるいは集じん効率は粒子径の分布形、平均粒子径、分布のひろがり、および測定法の関数である。なおここでは球形粒子の粒子径が対数正規分布をする場合について考える。

2.1 各種じんあい濃度測定法と粒子半径との関係

総合透過率の測定は除じん装置の流入側と流出側の空

気中に含まれるじんあい量を測定して、その比を求めることになるが、じんあい量を測定する方法により、じんあい量と粒子径との関係が異なる。じんあい量の指示値を粒子半径 r の関数 $m(r)$ とし、次式であらわされるとする。

$$m(r) = Kr^n \quad K : \text{Const.} \quad \dots\dots(1)$$

すなわち、じんあい量が粒子半径の n 乗に比例する方法で測定されるとする。

1) $n=0$ の場合

粒子径とは無関係にじんあい量を示す場合が $n=0$ となり、個数法がこれに相当する。個数法によるじんあい量の測定は、一般に粒子径の範囲をあらかじめ決めておき、その範囲内の粒子について個数測定を行なうことになる。個数測定には Royco 社製の Particle Counter がよく使われる。

2) $n=2$ の場合

粒子径の 2 乗、すなわち断面積に比例する量でじんあい量を測定する方法である。

Dill Dust Spot Tester、労研式ロ紙じんあい計などを使用した場合がこれに相当する。すなわち光透過性のない球形粒子が重ならずロ紙上に捕集され、透過光量の減少でじんあい量を測定するとしゃ光断面積に比例してじんあい量が測定される場合である。実際にはミスト状のじんあいがロ紙に浸透することや、微細粒子に対しては幾何断面積としゃ光断面積が一致しないことのために、この方法は粒子径の 2 乗には正確に比例しないであろうが、近いものと思われる。

柴田化学製のデジタル粉じん計、ペネトロメータなど光散乱式じんあい計を使用した場合もこれに相当する。粒子径が数ミクロン以上の粒子の散乱断面積は粒子径の 2 乗に比例するが、粒子径が光の波長と同程度の微細粒子では異なってくるのはしゃ光断面積の場合と同じである。

* 昭和44年5月12日受理

** 三菱電機(株)中央研究所(尼崎市南清水字中野80)
TEL 06-491-8021

図1 対数正規分布

3) $n=3$ の場合

粒子径の3乗、すなわち体積に比例する量でじんあい量を測定する方法である。また粒子の比重が一定とみなせる場合の重量法によるじんあい測定もこれに相当する。放射性じんあいに応用した場合の放射線強度によるじんあい測定法もまたこれに相当する。

2.2 じんあい粒子径分布の対数正規表示

大気じんとかじんあい発生器などよりのじんあいの粒子径分布は対数正規分布で最もよく近似されるといわれている。粒子径の対数正規分布としては、横軸に粒子径の対数、縦軸にじんあい量をとった座標系で正規分布形となる分布であるが、じんあい量の測定基準により異なったものがある。一般によく用いられるのはじんあい量を粒子個数で示す個数基準分布と、重量で示す重量基準分布である。

1) 個数基準分布(number-size distribution)¹⁾

個数基準の分布は前節の $n=0$ に対応する分布であり、頻度分布関数 $f(r)$ は次式で与えられる。

$$f(r)dr = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \ln \sigma_g \cdot r} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln r - \ln r_{g0}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dr \quad \dots\dots(2)$$

ここで r_{g0} は個数基準 (r^0 基準) の50%半径、あるいは幾何平均半径 (geometric mean radius) であり、 σ_g は幾何標準偏差 (geometric standard deviation) である。 r_{g0} 、 σ_g は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \ln r_{g0} &= \frac{\sum_{i=1}^N n_i \ln r_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \\ \ln \sigma_g &= \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (\ln r_i - \ln r_{g0})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

図1は対数確率紙上に幾何平均半径 $r_{g0}=0.5\mu$ 、幾何標準偏差 $\sigma_g=2, 4$ について対数正規分布例を示したものである。50%半径は縦軸が50%のところに对应する粒子半径であり、 σ_g は84.13%に对应する粒子半径を50%半径で除したものである。

2) 重量基準分布 (weight-size distribution)¹⁾

重量基準分布は粒子の比重 ρ が一定と仮定すると $n=3$ に対応する分布であり、頻度分布関数 $f_3(r)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} f_3(r)dr &= \frac{\rho r^3 f(r) dr}{\rho \int_0^\infty r^3 f(r) dr} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g \cdot r} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln r - (\ln r_{g0} + 3 \ln^2 \sigma_g)}{\ln \sigma_g} \right\}^2 \right\} dr \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g \cdot r} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln r - \ln r_{g3}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dr \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \ln r_{g3} &= \ln r_{g0} + 3 \ln^2 \sigma_g \\ r_{g3} &= r_{g0} \exp(3 \ln^2 \sigma_g) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(5)$$

したがって個数基準分布を重量基準分布に変換すると50%半径が r_{g0} から r_{g3} に大きくなり、幾何標準偏差 σ_g は変化しないことがわかる。

図1は粒子径が対数正規分布をする2つの粒子群A、Bを個数基準分布と重量基準分布で示したものである。個数基準分布で $r_{g0}=0.5\mu$ 、 $\sigma_g=2$ の粒子群を重量基準の分布に変換すると $r_{g3}=2.1\mu$ 、 $\sigma_g=2$ となり、また、個数基準分布で $r_{g0}=0.5$ 、 $\sigma_g=4$ の粒子群を重量基準の分布に変換すると $r_{g3}=160$ 、 $\sigma_g=4$ となることを示している。

一般に個数基準分布を r^n 基準分布に変換した時の50%半径 r_{gn} は次式で示される(付録(I)参照)。

$$\left. \begin{aligned} \ln r_{gn} &= \ln r_{g0} + n \ln^2 \sigma_g \\ r_{gn} &= r_{g0} \exp(n \ln^2 \sigma_g) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(6)$$

2.3 各種のじんあい測定法による除じん装置の総合透過率

除じん装置の粒子径別透過率を $p(r)$ 、じんあい量測定の指示値を $m(r)$ 、個数基準対数正規分布の頻度分布

関数を $f(r)$ とすると、総合透過率 P_{Tn} は次式で与えられる。

$$P_{Tn} = \frac{\int_0^\infty m(r)p(r)f(r)dr}{\int_0^\infty m(r)f(r)dr} \dots\dots(7)$$

(1)式の $m(r)$ と(2)式の $f(r)$ を(7)式に代入すると、(付録Ⅰ参照)

$$P_{Tn} = \frac{\exp(\frac{n^2}{2}\ln^2\sigma_g - n\ln r_{g0})}{\sqrt{2\pi\ln\sigma_g}} \times \int_0^\infty P(r)^{n-1} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln r - \ln r_{g0}}{\ln\sigma_g}\right)^2\right\} dr \dots\dots(8)$$

したがって総合透過率 P_{Tn} は除じん装置の性能たる粒子径別透過率 $p(r)$ のほかに、じんあい量測定が粒子半径の何乗に比例するか、すなわち、 n の値に関係していることがわかる。

3. 各種じんあい測定法による総合透過率計算例

粒子径別透過率として二段荷電形電気集じん器の単純なモデル化による理論値を用いて、各種測定法による総合透過率の相違を、幾何平均半径 r_{g0} と幾何標準偏差 σ_g をパラメータとして求めた。

3.1 二段荷電形電気集じん器の粒子径別透過率²⁾

二段荷電形電気集じん器の集じん機構として次のようなモデルを考える。じんあい粒子はイオン化部で電界荷電による飽和電荷量 q まで荷電され、集じん部で捕集電界により w の移動速度を得る。集じん板間で空気流は乱流であり、 w が空気流速に比して小さければ、集じん板の流速方向単位長さ当りの粒子捕集確率は一定となり、この捕集確率は粒子が境界層流域に入る確率と等しいとみなせる。かかる場合には粒子径別透過率 $p(r)$ は次式となる (付録Ⅱ参照)。

$$p(r) = \exp(-X) \left. \begin{aligned} X = 0.328 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right) E_0 E_P \frac{A}{V} (0.086 + r) \end{aligned} \right\} \dots\dots(9)$$

A : 集じん板面積(cm^2), V : 空気流量(cm^3/sec)
 E_0 : 荷電電界(kV/cm), E_P : 捕集電界 (kV/cm)
 r : 粒子半径 (μ), ε : 粒子の比誘電率

図2 二段荷電形電気集じん器、粒子径別透過率(理論値)

今 $A/V=1.12 \times 10^{-1}$, $E_0=6$, $E_P=12.5$ として、じんあい粒子を D. O. P. 粒子($\varepsilon=2.2$) とすると $p(r)$ は次式となる。

$$p(r) = \exp(-0.37 - 4.3r) \dots\dots(10)$$

導体粒子($\varepsilon=\infty$) に対しては次式となる。

$$p(r) = \exp(-0.708 - 8.23r) \dots\dots(11)$$

図2に、上に示した二段荷電形電気集じん器の粒子径別透過率の計算値を示す。

3.2 二段荷電形電気集じん器の総合透過率

粒子径別透過率 $p(r)$ の形は(10)式、(11)式のように決まったが、(8)式の P_{Tn} は解析的に解くことができないので、近似数値計算を行なった。粒子径の対数正規分布は表1に示す離散分布に置換して計算を簡単にした。幾何標準偏差 σ_g が2以下の場合には比較的分布も小さく、連続分布の場合と離散分布の場合とで差はほと

表1 対数正規分布近似

粒子半径分布範囲 Δr			代表粒子径 r	分布% $f(r)\Delta r$
∞	$\sim$	$r_g \times \sigma_g^{3.25}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{3.5}$	0.06
$r_{g0} \times \sigma_g^{3.25}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{2.75}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{3.0}$	0.24
$r_{g0} \times \sigma_g^{2.75}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{2.25}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{2.5}$	0.92
$r_{g0} \times \sigma_g^{2.25}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{1.75}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{2.0}$	2.79
$r_{g0} \times \sigma_g^{1.75}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{1.25}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{1.5}$	6.55
$r_{g0} \times \sigma_g^{1.25}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{0.75}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{1.0}$	12.07
$r_{g0} \times \sigma_g^{0.75}$	$\sim$	$r_{g0} \times \sigma_g^{0.25}$	$r_{g0} \times \sigma_g^{0.5}$	17.50
$r_{g0} \times \sigma_g^{0.25}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{0.25}$	r_{g0}	19.74
$r_{g0} / \sigma_g^{0.25}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{0.75}$	$r_{g0} / \sigma_g^{0.5}$	17.50
$r_{g0} / \sigma_g^{0.75}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{1.25}$	$r_{g0} / \sigma_g^{1.0}$	12.07
$r_{g0} / \sigma_g^{1.25}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{1.75}$	$r_{g0} / \sigma_g^{1.5}$	6.55
$r_{g0} / \sigma_g^{1.75}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{2.25}$	$r_{g0} / \sigma_g^{2.0}$	2.79
$r_{g0} / \sigma_g^{2.25}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{2.75}$	$r_{g0} / \sigma_g^{2.5}$	0.92
$r_{g0} / \sigma_g^{2.75}$	$\sim$	$r_{g0} / \sigma_g^{3.25}$	$r_{g0} / \sigma_g^{3.0}$	0.24
$r_{g0} / \sigma_g^{3.25}$	$\sim$	0	$r_{g0} / \sigma_g^{3.5}$	0.06

表2 二段荷電形電気集じん器の集じん効率(%) (D. O. P. 粒子)

粒子径別透過率 $\exp(-0.37-4.3r)$

σ_g r_{g0} n		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
0.05 μ	0	44.3	44.3	44.4	44.6	44.8	45.1	46.5	47.8	49.0	50.0	50.8	52.1
	1	44.3	44.5	48.0	45.5	46.3	4.73	53.7	61.1	68.1	74.0	78.7	85.5
	2	44.3	44.6	45.3	46.4	47.9	49.7	62.5	76.6	86.8	92.8	96.1	98.7
	3	44.3	44.7	45.7	47.4	49.6	52.4	71.8	88.6	96.2	98.8	99.58	99.942
0.15 μ	0	63.8	63.8	63.9	64.0	64.2	64.4	65.1	65.6	65.9	66.0	66.2	66.3
	1	63.8	64.0	64.7	65.7	65.8	68.2	75.3	81.2	85.6	88.8	91.2	94.3
	2	63.8	64.2	65.5	67.3	69.6	72.1	84.7	92.7	96.6	98.4	99.20	99.77
	3	63.8	64.4	66.3	69.0	72.3	76.0	91.8	97.9	99.50	99.87	99.962	99.996
0.25 μ	0	76.4	76.4	76.4	76.3	76.3	76.2	75.7	25.1	74.6	79.2	73.8	73.2
	1	76.4	76.6	77.2	78.1	79.0	80.1	85.1	88.9	91.5	93.5	94.8	96.7
	2	76.4	76.9	78.1	79.7	81.7	83.7	92.2	96.6	98.5	99.31	99.67	99.910
	3	76.4	77.1	78.9	81.4	84.2	87.1	96.6	99.29	99.85	99.962	99.990	99.999
0.50 μ	0	92.0	91.9	91.6	91.3	90.9	90.5	88.4	86.7	85.3	84.2	83.3	82.0
	1	92.0	92.0	92.2	92.4	92.7	93.0	94.5	95.7	96.6	97.3	97.8	98.6
	2	92.0	92.2	92.7	93.5	94.3	95.1	97.9	99.11	99.61	99.82	99.915	99.977
	3	92.0	92.3	93.3	94.4	95.6	96.7	99.34	99.88	99.98	99.994	99.998	99.999 ^{以上}
1.00 μ	0	99.06	99.00	98.8	98.6	98.3	98.0	96.2	94.4	93.0	91.7	90.7	89.0
	1	99.06	99.04	98.9	98.9	98.8	98.8	98.7	98.8	98.9	99.08	99.23	99.45
	2	99.06	99.08	99.11	99.16	97.23	99.30	99.64	99.83	99.924	99.964	99.982	99.995
	3	99.06	99.11	99.23	99.37	99.51	99.62	99.925	99.986	99.997	99.999	99.999 ^{以上}	99.999 ^{以上}

表3 二段荷電形電気集じん器の集じん効率(%) (「導体粒子」)

粒子径別透過率 $\exp(-0.708-8.23r)$

σ_g r_{g0} n		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
0.05 μ	0	67.4	67.4	67.5	67.6	67.8	68.0	68.9	69.7	70.3	70.8	71.1	71.6
	1	67.4	67.5	67.9	68.6	69.4	70.3	75.7	80.9	85.0	88.2	90.6	93.8
	2	67.4	67.6	68.4	69.6	71.1	72.8	82.9	90.9	95.5	97.7	98.8	99.66
	3	67.4	67.8	68.9	70.6	72.8	75.4	89.2	96.8	99.11	99.75	99.923	99.991
0.15 μ	0	85.7	85.6	85.6	85.5	85.4	85.3	84.7	84.0	83.5	83.1	82.8	82.2
	1	85.7	85.8	86.2	86.7	87.3	87.9	91.0	93.3	94.9	96.0	96.9	98.0
	2	85.7	86.0	86.8	87.9	89.1	90.4	95.6	98.1	99.17	99.62	99.82	99.951
	3	85.7	86.1	87.3	89.0	90.9	92.6	98.2	99.6	99.922	99.981	99.995	99.979
0.25 μ	0	93.7	93.6	93.5	93.3	93.3	92.7	91.2	90.0	89.1	88.3	87.7	86.8
	1	93.7	93.8	93.9	94.1	94.3	94.6	95.7	96.7	97.4	97.9	98.4	98.9
	2	93.7	93.9	94.3	94.9	95.5	96.1	98.3	99.30	99.70	99.86	99.934	99.982
	3	93.7	94.0	94.7	95.6	96.5	97.4	99.47	99.903	99.980	99.995	99.999	99.999 ^{以上}
0.50 μ	0	99.20	99.15	99.00	98.8	98.6	98.4	97.0	95.8	94.7	93.8	98.1	91.9
	1	99.20	99.18	99.14	99.09	99.04	99.00	98.9	99.03	99.17	99.30	99.41	99.58
	2	99.20	99.21	99.24	99.30	99.36	99.42	99.71	99.87	99.939	99.971	99.986	99.996
	3	99.20	99.24	99.34	99.46	99.58	99.68	99.938	99.988	99.998	99.999	99.999 ^{以上}	99.999 ^{以上}
1.00 μ	0	99.987	99.983	99.970	99.946	99.908	99.85	99.36	98.7	97.9	97.3	96.6	95.6
	1	99.987	99.984	99.977	99.964	99.948	99.930	99.84	99.80	99.79	99.80	99.82	99.84
	2	99.987	99.985	99.981	99.977	99.972	99.969	99.971	99.983	99.991	99.995	99.998	99.999
	3	99.987	99.986	99.985	99.985	99.986	99.987	99.996	99.999	99.999 ^{以上}	99.999 ^{以上}	99.999 ^{以上}	99.999 ^{以上}

んどないと考えてよいが、 σ_g が2より大きい場合は対数正規分布と考えるよりは、対数正規分布に近い離散分布と考えなければならない。

近似式は次式を使った。

$$P_{Tn}=\frac{\sum r^n p(r) f(r) dr}{\sum r^n f(r) dr} \qquad \cdots \cdots (12)$$

表2、表3にはそれぞれ(11)式、(12)式の $p(r)$ に対応する各種測定法による集じん効率を示している。

表中、 $n=1$ に相当する測定法は思いあたらないが、参考までに示した。

4. 各種測定法間の関係

表2、表3に示した例からも明らかなように、 n が2、3に相当する測定法による集じん効率は、 n が0に相当する個数法に比して、幾何標準偏差 σ_g の大きなところすなわち粒子径分布の大きいところでは非常に大きくなっている。

一方除じん装置の性能は本来測定法によって変化するべき性質のものではなく、理想的には粒子径別透過率 $p(r)$ によって評価されるべきものである。しかし実測により $p(r)$ を求めるためには、粒子径の均一な粒子群を発生させるか、粒子径別に粒子個数を測定する必要がある、簡単には行なえない。したがって大抵の場合には粒子径分布をもつ粒子群により、2.1 節に述べた方法で集じん効率を測定することになる。かかる場合にじんあい濃度測定法の相違、粒子径の幾何平均半径、幾何標準偏差の相違により生ずる集じん効率の相違を除いて、除じん装置の性能を比較評価する方法について考える。

今測定法が(1)式であらわれ、 $n=0$ すなわち個数法に相当する場合を考えると、総合透過率 P_{T0} は(8)式より次のようになる。

$$P_{T0}=\frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \cdot \int_0^\infty \frac{P(r)}{r} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln r - \ln r_{g0}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dr$$

$\ln r = x$ において

$$P_{T0}=\frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \cdot \int_{-\infty}^\infty p'(x) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x - \ln r_{g0}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dx \qquad \cdots \cdots (13)$$

$n=n$ に相当する測定法の場合の総合透過率 P_{Tn} も

図3 粒子の平均半径と総合透過率

(8)式より、 $\ln r = x$ において次式となる。

$$P_{Tn}=\frac{\exp(-n^2/2\ln^2\sigma_g-n\ln r_{gn})}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \cdot \int_{-\infty}^\infty p'(x) \exp \left\{ nx - \frac{1}{2} \left(\frac{x - \ln r_{gn}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \cdot \int_{-\infty}^\infty p'(x) \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x - (\ln r_{g0} + n \ln^2 \sigma_g)}{\ln \sigma_g} \right\}^2 \right] dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \cdot \int_{-\infty}^\infty p'(x) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x - \ln r_{gn}}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right\} dx \qquad \cdots \cdots (14)$$

(13)式の P_{T0} と(14)式の P_{Tn} を比較すると、 P_{T0} における r_{g0} が P_{Tn} では r_{gn} とかわっていることになる。すなわち個数法で総合透過率を求めた場合には個数基準分布の50%径 r_{g0} を平均半径とし、 r^n に比例する測定法で総合透過率を求めた場合には r^n 基準分布の50%径 r_{gn} を平均半径として用い、両者を比較すれば測定法の相違による差が除かれる。

幾何平均半径 r_{g0} 、幾何標準偏差 σ_g の粒子群に対して、たとえば重量法で総合透過率を求めると、個数法で求めた場合よりも小さくなるが、これは重量法の場合の方が平均半径が大きくなったと解釈する ($r_{g0} \rightarrow r_{g3} = r_{g0} \exp(3 \ln^2 \sigma_g)$) ことになる。

表2の結果を使って、図3によって具体的に説明すると、図3の実線は表2において σ_g が2.0、の時の r_{g0} に対して個数法で測定した総合透過率を示したものである。同様に破線は r_{g0} に対して重量法で測定した総合透過率を示したものである。両者には大きな差がある。ところが重量法による測定の場合を、次式であらわされる r_{g3} に対して総合透過率をプロットすると実線に一致する。

$$r_{g3} = r_{g0} \exp(3 \ln^2 2) = 4.22 r_{g0}$$

すなわち重量法で測定する場合には粒子径が r_{g0} より $4.22 r_{g0}$ に大きくなったとみなすと、個数法で測定した場合と一致することになる。

もう一つの例として幾何平均半径が r_{g0I} 、幾何標準偏差が σ_{gI} の粒子群 I と、 r_{g0II} と σ_{gII} の粒子群 II がある場合を考える。両粒子群間に次の関係があるとする。

$$\sigma_{gI} \sim \sigma_{gII}$$

$$r_{g0I} = r_{g3II} = r_{g0II} \exp(3 \ln^2 \sigma_{gII})$$

この場合に粒子群 I を使って個数法で総合透過率を求めた結果と、粒子群 II を使って重量法で総合透過率を求めた結果も一致することになる。

5. 結 言

現在一般に行なわれている集じん効率測定法は、使われている測定器、じんあいが多くあり、直接比較することがむづかしい。しかし集じん効率測定の際にその測定法に使用されるのと同じ基準で（個数法で集じん効率を測定する際には個数法基準で、重量法で測定する際には重量法基準で）対数確率紙上に粒子径に対する積算じんあい量をプロットし、50%径を求めてそれを平均半径とし、その平均半径を使って集じん効率を比較すると測定器による差は完全に除去される。分散度すなわち幾何標準偏差 σ_g も比較する際の条件になるが、上述した平均半径に換算すると、換算の際に σ_g が大きく平均半径に影響を与えるものの、 σ_g の変化による直接的な集じん効率の変化はあまり大きくないので、平均半径のみを標準として比較を行なってもあまり大きなあやまりをおこさないものと考えられる。

本報告が各種測定法による集じん効率の検討および評価に役立てば幸であると思う。

なお本稿の内容については集じん性能測定グループ会において井伊谷研究室の諸賢をはじめとして多数の方々に御検討いただいた。厚く感謝致します。

付 録 (I)

$$P = \int_0^\infty p(r) r^{n-1} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln r - \ln r_g}{\ln \sigma_g}\right)^2\right\} dr$$

$$\ln r = x, dr/r = dx \text{ とおく}$$

$$\begin{aligned} P &= \int_{-\infty}^{\infty} p'(x) \exp(nx) \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \ln r_g}{\ln \sigma_g}\right)^2\right\} dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} p'(x) \exp\left\{nx - \frac{(x^2 - 2x \ln r_g + \ln^2 r_g)}{2 \ln^2 \sigma_g}\right\} dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} p'(x) \\ &\quad \exp\left\{\frac{x^2 - 2(\ln r_g + n \ln^2 \sigma_g)x + \ln^2 r_g}{-2 \ln^2 \sigma_g}\right\} dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} p'(x) \\ &\quad \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{\frac{x - (\ln r_g + n \ln^2 \sigma_g)}{\ln \sigma_g}\right\}^2\right. \\ &\quad \left.+ n \ln r_g + \frac{n^2}{2} \ln^2 \sigma_g\right] dx \\ &= \exp\left(n \ln r_g + \frac{n^2}{2} \ln^2 \sigma_g\right) \int_{-\infty}^{\infty} p'(x) \\ &\quad \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{\frac{x - (\ln r_g + n \ln^2 \sigma_g)}{\ln \sigma_g}\right\}^2\right] dx \end{aligned}$$

ゆえに

$$\begin{aligned} P &= \exp\left(n \ln r_g + \frac{n^2}{2} \ln^2 \sigma_g\right) \int_0^\infty p(r) \frac{1}{r} \\ &\quad \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{\frac{\ln r - (\ln r_g + n \ln^2 \sigma_g)}{\ln \sigma_g}\right\}^2\right] dr \end{aligned}$$

付録 (II) 二段荷電形電気集じん器の粒子径別透過率²⁾

集じん板間で空気が乱流となり、粒子の電界による移動速度が空気流速に比して小さい場合には、集じん板の流速方向長さを n 等分すると各区分の粒子捕集確率 a は一定とみなせる。

今 $X = na$ とおくと透過率 p は次式となる。

$$\begin{aligned} p &= \lim_{n \rightarrow \infty} (1 - a)^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{X}{n}\right)^n \\ &= \exp(-X) \end{aligned}$$

各区分の捕集確率 a は粒子が境界層流域に入る確率と等しい。もし空気流速を v 粒子の電界方向移動速度を w 、一区分の長さを l とすると、境界捕集層 δ は次式となる。

$$\delta = \frac{wl}{v}$$

また集じん板の幅を S ，集じん板の間隔を d とすると

$$a = \frac{\delta}{d} = \frac{w \Delta l}{d v}$$

$$X = n a = \frac{l}{\Delta l} \cdot \frac{w \Delta l}{d v} = \frac{s l w}{s d v} = \frac{A}{V} w$$

ここで A は集じん板の面積， V は空気流量である。

次に粒子の移動速度 w は，粒子の荷電量を q ，空気の粘性係数を η ，粒子半径を r ，捕集電界を E_P ，分子の平均自由行程を λ とし，カニンガムの補正を考慮し次式となる。

$$w = \frac{q E_P}{6 \pi \eta r} (1 + 0.86 \frac{\lambda}{r})$$

粒子の荷電量 q として，電界荷電による飽和量をとると次式であらわされる。 ε は粒子の比誘電率であり， E_0 は荷電電界である。

$$q = (1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}) E_0 r^2$$

以上をまとめると次式となる。

$$X = (1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}) \frac{E_0 E_P}{6 \pi \eta} \frac{A}{V} (r + 0.86 \lambda)$$

引用文献

1) Cadle, R. C.: "Particle Size" p. 41, Reinhold Publishing Corporation (1965)

2) White, H. J.: "Industrial Electrostatic Precipitation" p. 166, Pergamon Press (1963)

〔書 評〕

化 学 工 学 通 論

井伊谷鋼一，三輪茂雄 著

本書の著者井伊谷鋼一，三輪茂雄両氏は改めて紹介するまでもなく，化学工学の機械的分離操作，言葉をかえていえば粉体工学の研究者，または指導者としてわが国最前線の方々である。ことに三輪氏はかなり長い工場生活の経験を持って，大学に転ぜられた，わが国の化学工学界にとって貴重な存在のひとりである。

およそ本書のような教科書の専門書を執筆するにあたって，著者として最も苦心することは，定説となっている理論や実験式を述べるとともに，up to date な研究成果をどの程度に盛りこんで読者に興味と意欲を与えるようまとめていくことであろう。どんな工学でも広い全般の分野にわたって同じテンポで研究成果があがっているとは限らない。むしろ部分的，跛行的な進歩発展をとげているものである。

化学工学の場合でも研究が進んでいて記載したい資料がきわめて多い分野と，それに反してその重要性は認められていながら未解決な問題を多く抱えていて，採用できる data の少ない分野もある。本書を通読して，この点長い研究歴と製産実務に経験歴を持つ著者らの組合せ

が巧みにこの配合を解決していると感じられる。

なお，序言にもあるように「操作の解析に入るまえに，実際の機械装置の概説を行い，図や写真を多くして，まず現実を頭に入れ，具体的に理解しやすいにした」という点が大変興味を引いた。古いいわゆる化学機械時代の著書の内容は単なる機械装置の機能説明的な記述が大部分であった。化学工学が進歩するとともに，その後出版される著書は反動的ともいえるように，重点が理論解析に置かれ，ともすれば機械装置機能の説明がおろそかにされる傾向が強くなっている。

著者らは前述のような意図のもとに敢えて本書の限られた紙面のなかに，機械装置の図面，写真を多く挿入する努力をされたことを多としたい。

最後に一寸としたことであるが，術語に英，独の訳語を併記していることに，著者らの読者への親切さを感じる。ただし，なかには独逸語の欠けているものが目につくのは折角の心尽としては残念である。

(大山義年)