

論 文

電気集じん装置における Deutsch の式の修正式の検討

藤 村 謙 祐*, 足 立 宜 良**

(1982年1月18日受理)

Discussion on the Correction Formula for Deutsch Formula in
an Electrostatic Precipitator

K. FUJIMURA* and T. ADACHI**

(Received January 18, 1982)

Deutsch formula as dust particle-collecting efficiency in an electrostatic precipitator (EP) is very famous, but no useful in the wide range of the specific collecting area (SCA) for the actual EP. New corrected formula on the base of Deutsch formula and Matts formula is introduced under some performance data from the actual EP in order to correct the performance in the region of the high value of SCA. The exponential term of this formula consists of the migration velocity and SCA, and the power term of this exponent has the power of the ratio of SCA to the constant of the same dimension of SCA instead of the constant of Matts formula. This corrected formula almost agree with experimental performance data, and it is thought that this formula is available for performance study in hot side EP and cold side EP.

1. ま え が き

電気集じん装置（以下 EP と略す）の集じん率に関する要素はダストやガスの性状、印加電圧や電流などの電気的条件、ガス流速や流れのパターンなどの流体力学的条件、逆電離現象や再飛散現象などの異常現象あるいは装置の構造や寸法など、きわめて多岐にわたっている。したがって、集じん率を正確に予測計算することはむずかしく、経験にたよっている面が非常に多い現状である。

一方、EP の性能に対する社会的要望は近年ますますきびしくなってきており、それに対応するためにかなり大がかりな計算モデルにより正確な計算をしようとする研究開発が進められ、すでに多くの論文も発表されている¹⁻³⁾。しかし、これらの手法はまだどこでも自由に使えるという状態になっているとはいはず、EP の集じん率を簡便に概略計算をする場合には半実験式として有名

な Deutsch の式⁴⁾あるいはダスト粒子の見かけ移動速度と比集じん面積 (SCA) だけに着目して Deutsch の式を実用的に修正した Matts の式^{5,6)}などがよく用いられている。Deutsch の式は多数の仮定のもとに理論的に導出されたが、半実験式ともいわれるよう予想外に实用 EP の低性能データの一部に一致したにすぎない。一方、その修正式である Matts の式もまだ使いにくい点や実際の性能データとなじまない点も多く残っている。

そこでわれわれはできるだけ簡単で实用の EP に適用できる計算式について種々検討を行なった結果、Matts の式と同様にダスト粒子の移動速度と比集じん面積の二つのパラメータだけに主眼をおいて比集じん面積の広い領域にわたって現実の性能データに一致する新しい修正式を確立した。この式を計算して得られた計算値曲線と二、三の实用 EP の性能データによる実測曲線との比較検討の結果非常によい一致が得られた。

2. Deutsch の式と Matts の式について

2.1 Deutsch の式

EP の集じん率に関する比例式としては Deustch⁴⁾-Anderson⁷⁾の式（以下たんに Deustch の式と記す）が古くから有名であり次のような形にまとめられている。

$$\eta = 1 - \exp(-\omega_0 f) \quad (1)$$

ただし、 η はダスト粒子の集じん率、 ω_0 はダスト粒子の集じん電極方向への移動速度、 f は比集じん面積で集じん面積 A をガス流量 Q で割った A/Q であり SCA

* 宇部興産株式会社中央研究所

現在：山口大学工学部生産機械工学科 (755 宇部市常盤台)

Central Research Laboratory, Ube Industries Ltd.

Present address : Department of Industrial Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube, 755 Japan

** 大分大学工学部電気工学科 (870-11 大分市旦野原 700)
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Oita University, 700, Dannoharu, Oita, 870-11 Japan

(specific collecting area) と略されることが多い。

この式を簡単に導出するために Deutsch は EP の形を単純な円筒式とし、次の仮定をおいた^{4,8)}。

- 1) EP 内のガスの進行方向に垂直な任意の断面において、ダスト粒子は常に均一濃度で分布している。
- 2) 集じん電極近傍の境界層を除いてガスの平均流速は均一で一定である。
- 3) 集じん電極表面近傍のすべての粒子移動速度は一定でガスの平均速度より小さい。
- 4) 電気集じん装置内の異常現象である粒子の再飛散、逆電離、粒子の凝集、コロナ放電の不均一、イオン風によるガスの流れの乱れ^{9,10)}などは存在しない。

またこれらの諸条件からみてダストの粒子径はみな等しく、スニーケージ (sneakage, 有効集じん電極面を通過しない洩れ気流) などの無効流は存在しないなどが条件となっている。このような理想的な条件下（実験室規模）では Deutsch の式は実測値とよく合うといわれている。しかし、実際の EP においてはこれらの仮定はほとんど満足されないので（1）式を実用 EP に適用するために次のような解釈の変更が行なわれた。

- 1) 実際の集じん対象のダストは単一粒径ではないが代表値として一つの移動速度 ω がある。
- 2) 集じん率に影響を及ぼす要因で ω と f 以外のすべてのものはこれらを変化させても一定である。

実用平行板型 EP ではスニーケージのために集じん率が低下しており、これは ω 値とは本質的に別問題であるが実質的にはこのために ω 値が低下したために集じん率が低下したものと考える。このような ω は本来の粒子移動速度の ω_0 とは定義も数値も違ったものになるから「見かけの粒子移動速度 ω 」とよばれ、（1）式は次式となる。

$$\eta = 1 - \exp(-\omega f) \quad (1)'$$

この ω は直接に算定はできないので η と f の実測値から逆算して求めることになる。たとえば SCA が f_1 のとき集じん率が η_1 であれば、そのときの ω_1 は

$$\omega_1 = -\ln(1 - \eta_1)/f_1 \quad (2)$$

として求められる。したがって SCA が f_2 に変わった場合に他の条件がすべて同じであれば、その集じん率 η_2 は（2）式で求めた ω_1 の値を用いて次式で計算できる。

$$\eta_2 = 1 - \exp(-\omega_1 f_2) \quad (2)'$$

以上のように Deutsch の式として一般に簡易比例計算に用いられているものは上記の（1）'式であり、 f と $(1-\eta)$ の関係は図 1 に示すように直線的になる。なお、Anderson¹¹⁾ はボルトランドセメント工場での EP の性能測定値に基づいて（1）'式と類似の実験式を確立した

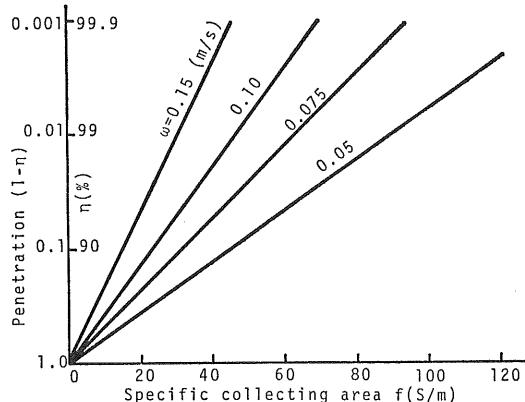


図 1 Deutsch の式の特性

Fig. 1 Characteristics of Deutsch formula.

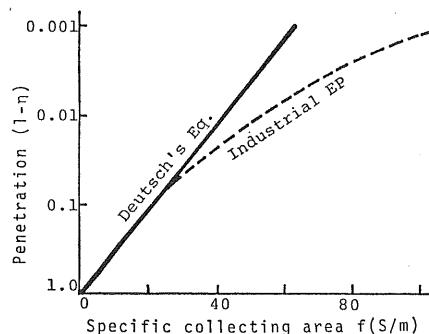


図 2 Deutsch の式と工業用 EP の性能特性

Fig. 2 Characteristics of Deutsch formula and performance of industrial EP.

ので、（1）'式は Deutsch-Anderson の式と呼ばれている。

2.2 Matts の式

図 1 のように Deutsch の式では f と $(1-\eta)$ の関係は直線的だが、実用 EP では図 2 の破線のように f が大きくなるにしたがって $(1-\eta)$ は η が悪くなる方向に直線からはずれる傾向を示す。この原因はダストが広範囲の粒径分布をもっていることによる。したがって、本来の Deutsch の式の（1）式を基本にしてこの粒径分布を考慮に入れて、より正確な性能計算をしようとする研究が多数行なわれている現状である^{1-3,11,12)}。しかし、このような計算方法では計算が複雑になり、また入力でデータも完全に揃わないことが多いので、粒径分布にはふれずに Deutsch の式の（1）'式を基本としてこれを多少修正することによって、できるだけ実状に合った計算をしようと Matts および Öhnfeldt⁶⁾ が試みた。その結果次式（以下 Matts の式と略す）が最近ではよく用

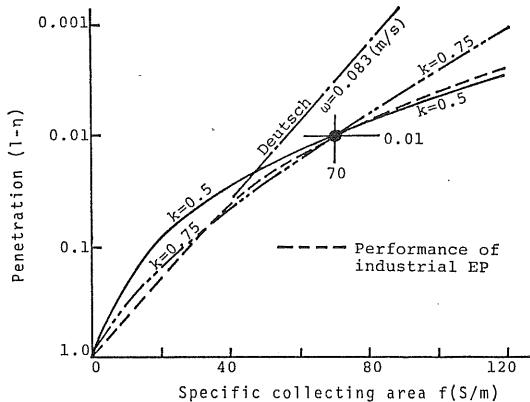


図 3 Matts の式の特性

Fig. 3 Characteristics of Matts formula.

いられる。

$$\eta = 1 - \exp[-(\omega_K f)^k] \quad (3)$$

ただし、 k はダストの種類などで決まる定数で一般に $0.5 \sim 0.75$ がよいとされている。 ω_K は同じ f と η の値に対しても k の値が違えば異なる値になる。

この修正により (3) 式の実用性は高くなつたが k が小さい場合に f の大のところで実際の性能データとよく合うが小のところでは誤差が大きく、逆に k が大きい場合に f の大のところでは合わない場合がある。つまり、Matts の式は k が一定の場合に f の広範囲に適用できない場合が見られる。たとえば、 $f = 70 \text{ s/m}$ で $(1-\eta) = 0.01$ の点を通る $k = 0.5, 0.75$ の曲線は図 3 となり、図中の実測値による破線と比較すれば上述の問題点が理解される。これらの場合の ω_K は (3) 式から計算してそれぞれ $0.303, 0.109 \text{ m/s}$ となって違った値になる。

3. 新しい修正式

3.1 修正式の構成

以上のとく Deutsch の式よりも Matts の式のほうがかなり実用的であるが不便な点があるので、この式の改善を検討した結果、次式を考えることにした。

$$\eta = 1 - \exp[-(\omega_F f)(f_0/f)^k] \quad (4)$$

ただし、 ω_F は見かけの粒子移動速度、 f_0 は f と同じ次元の定数、 k は無次元定数である。この式と Deutsch および、Matts の式との関係を比較検討する。

- 1) 定数は 2 個もっているが変数は Deutsch および Matts の式と同じように、 η と f と ω_F の三つである。
- 2) $k \rightarrow 0$ とすれば、 $(f_0/f)^k \rightarrow 1$ となるから Deutsch の式になる。
- 3) $f = f_0$ のときは常に $(f_0/f)^k = 1$ となるから

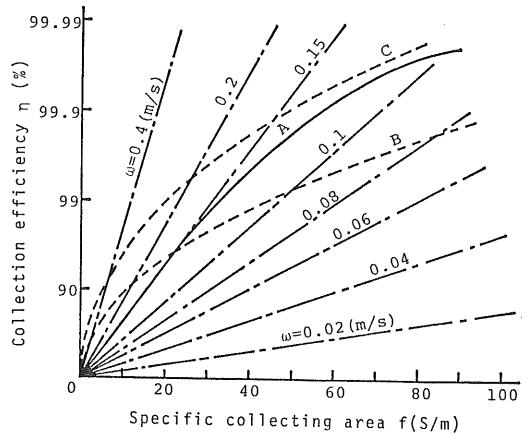


図 4 SCA と効率の関係 (文献 3) 参照)

Fig. 4 Relation between SCA and efficiency (See reference 3).

Deutsch の式になる。

3.2 修正式の定数決定

(4) 式の定数 f_0 および k を決定するには図 2 中の破線で示した信頼できる実測値の性能データが必要であるが、広範囲の f に対する η の特性はほとんど発表されていない。ただし、滝本が発表³⁾した図 4 (参考文献 3) の中の図 5) 中に A で示された η 曲線 ($f = 0 \sim 90$) は実測値をもとに解析的に求められたもので実測データともよく合うから信頼性は高いものと考えられる。この曲線の座標値は表 1 となり以下においてはこれを基準曲線とする。なお、図中の破線 B および C は Matts の式より得たもので比較のために記入してある。

次に、 f の大きい領域については Matts の式の k を 0.5 とすれば実測値とよく合うといわれているのでそれを基準にする。この二つの基準曲線の乗替え点を $f = 80$ とすると、 f が 80 以下では表 1 の曲線、80 以上では Matts の式で k を 0.5 とした曲線にできるだけ近似するように f_0 および k を決定する。この点を (4) 式の曲線が通るように k の値を決めるにはその点の f と η の値を用い、 f_0 および ω_F を指定すると k は次式で算出される。

$$k = \ln \left[\frac{\ln \{-\ln(1-\eta)\}}{\ln(\omega_F f)} \right] / \ln \left(\frac{f_0}{f} \right) \quad (5)$$

そこで指定点を表 1 の $f = 80$ で $(1-\eta) = 0.00026$ とし、 ω_F は基準曲線が接している Deutsch の式の直線の ω 値である 0.15 m/s (図 4 参照) として、 f_0 を $15 \sim 35 \text{ s/m}$ とした場合の k の計算値は表 2 となる。この組合せで $f = 0 \sim 150$ の間の $(1-\eta)$ を計算し、その曲線が前記の二つの基準曲線によく一致する $f_0 = 25, k = 0.140$ と $f_0 = 30, k = 0.166$ の二つの組合せを選出

表 1 図 4 の A 曲線の座標値

Table 1 Value of A-curve in Fig. 4.

f (s/m)	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
$(1-\eta)$ (-)	0.22	0.10	0.051	0.013	0.0042	0.0016	0.00076	0.00041	0.00026	0.00019

表 2 表 1 中の $f=80$ における新修正式の定数 f_0 と k の関係Table 2 Relation of the constant f_0 and k of new corrected formula at $f=80$ in Table 1.

f_0 (s/m)	15	20	25	30	35
k (-)	0.0975	0.118	0.140	0.166	0.197

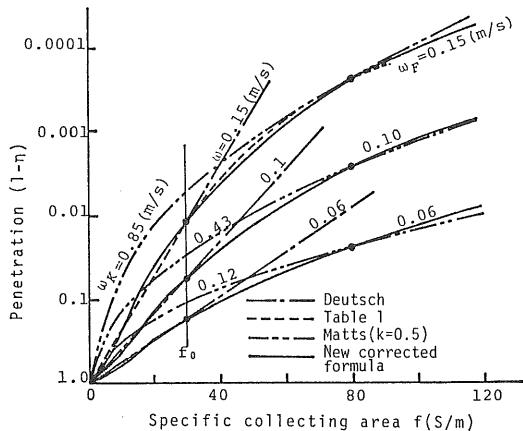


図 5 Deutsch, Matts の式と新修正式の比較

Fig. 5 Comparison of new corrected formula with Deutsch and Matts formula.

し、さらに総合的に検討して次のように定めた。

$$f_0 = 30 \text{ s/m}, k = 0.166$$

これらの定数を(4)式に代入すると次式となる。

$$\eta = 1 - \exp[-(\omega_F f)^{0.166}] \quad (6)$$

またこの式から次の計算式が得られる。

$$(1-\eta) = \exp[-(\omega_F f)^{0.166}] \quad (7)$$

$$\omega_F = \{-\ln(1-\eta)\}^{(30/f)^{0.166}} / f \quad (8)$$

$\omega_F = 0.06, 0.10, 0.15 \text{ m/s}$ について(6)式の計算結果は図5の実線で示され、基準曲線(表1)とよい一致が得られた。また $f = 0 \sim 150 \text{ s/m}$, $\omega_F = 0.04 \sim 0.2 \text{ m/s}$ の範囲で(6)式を図表化すると図6となる。

4. 修正式と実測性能データとの比較検討

以上により Deutsch の式に対する新しい修正式が確立されたので、この式が実際の EP の性能データとどの程度合っているかを実例について比較検討する。

表 3 3基の EP (A, B, C) の測定データ

Table 3 Measurement data of three EP (A, B, C).

EP	f (s/m)	$(1-\eta)$
A (1)	41.3	0.040
	50.1	0.025
B (1)	49.5	0.018
	78.5	0.005
C (1)	39.4	0.076
	76.4	0.014

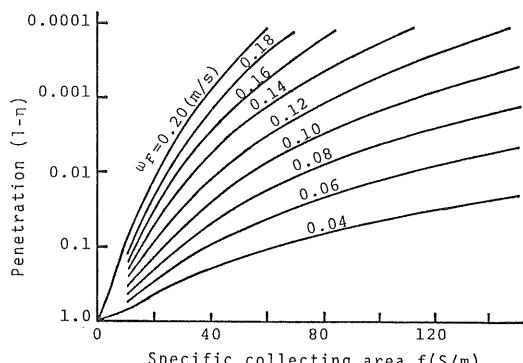


図 6 新修正式の特性

Fig. 6 Characteristics of new corrected formula.

4.1 比較検討 (その 1)

使用した実際の EP の性能データは表3に示す構造や運転条件の異なる A, B および C の三つである。A は 1 区構成でガス温度 350°C, B は 3 区構成でガス温度 130°C の EP におけるものであり, C は Southern Research 研究所の Nichols¹⁸⁾ が Fig. 5 として示されたもので図7中の Plant B である。この測定値は I 字形記号で幅をもたせてあるので図上での中点の値を用いた。またこの三つの性能データはすべて低硫黄炭のフライアッシュに対するものである。

比較検討は次のように行なった(表3参照)。

- 各データの(1)および(2)の測定値から(8)式により ω_{F1} と ω_{F2} を逆算する。計算値と測定値とは完全に一致していないので比較の目安として ω_{F1}/ω_{F2} を計算する。

表 4 3基のEPの実測データに基づく Deutsch, Matts ならびに新修正式による計算結果

Table 4 Calculated results by Deutsch, Matts and new corrected formula on the measurement data of three EP (A, B, C).

EP	No.	f (s/m)	$(1-\eta_M)$ (-)	Formula	Calculation						
					No.	ω_0 (m/s)	ω_{02}/ω_{01}	$(1-\eta_c)$	$(1-\eta_c)/(1-\eta_M)$		
A	(1)	41.3	0.040	Deutsch	(1)	0.0779	0.94	0.0479	1.20		
					(2)	0.0736		0.0202	0.81		
	(2)	50.1	0.025	Matts	(1)	0.251	1.08	0.0350	0.88		
					(2)	0.272		0.0288	1.15		
				New	(1)	0.0831	0.995	0.0405	1.01		
					(2)	0.0827		0.0246	0.98		
B	(1)	49.5	0.018	Deutsch	(1)	0.0812	0.83	0.354	1.97		
					(2)	0.0675		0.0017	0.34		
	(2)	78.5	0.005	Matts	(1)	0.326	1.10	0.0149	0.83		
					(2)	0.358		0.0064	1.27		
				New	(1)	0.0911	0.987	0.0192	1.07		
					(2)	0.0900		0.0048	0.95		
C	(1)	39.4	0.076	Deutsch	(1)	0.0654	0.82	0.120	1.57		
					(2)	0.0538		0.0055	0.40		
	(2)	76.4	0.014	Matts	(1)	0.169	1.36	0.0496	0.65		
					(2)	0.229		0.0257	1.84		
				New	(1)	0.0683	1.004	0.0752	0.99		
					(2)	0.0686		0.0147	1.05		

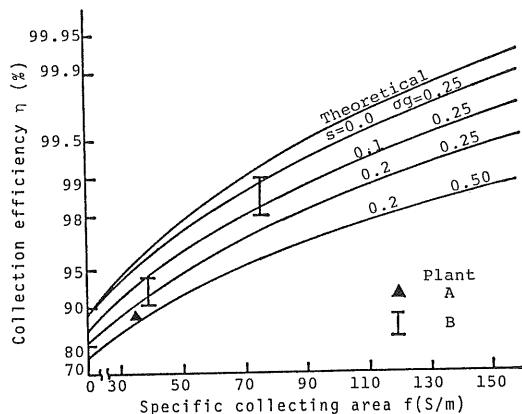


図 7 サザン・リサーチ研究所のEPの測定値の例(文献13)参照)

Fig. 7 Example measurement data of EP measured by Southern Research Institute (See reference 13).

- 2) ωF_1 を用いて (2) の f の値での $(1-\eta)$ を計算し (2) の測定値を比べてみる。比較の目安としてその比も計算する。 ωF_2 を用いて (1) の f の値についても計算する。これらの計算は EP のスケールアップおよびスケールダウンの計算精度のチェックに相当する。
- 3) 上記の同様な計算を Deutsch および Matts の式

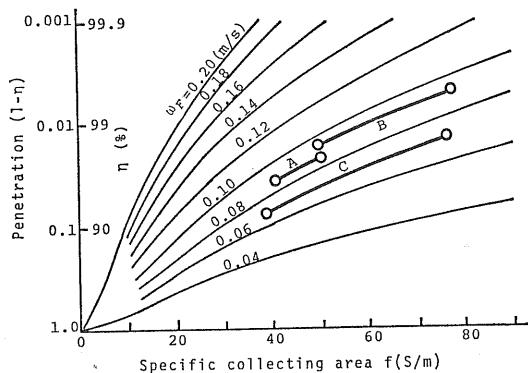


図 8 新修正式と3基(A, B, C)のEPの測定値との比較

Fig. 8 Comparison of new corrected formula and measurement data of three EP (A, B, C).

についても行なって各式の精度を比較する。

なお、重複にはなるが使用する計算式をまとめて示す
Deutsch の式

$$(1-\eta) = \exp[-(\omega f)] \quad (9)$$

$$\omega = -\ln(1-\eta)/f \quad (9)'$$

Matts の式

$$(1-\eta) = \exp[-(\omega_K f)^{0.5}] \quad (10)$$

$$\omega_K = \{-\ln(1-\eta)\}^2/f \quad (10)'$$

表 5 表 1 の $(1-\eta)$ と同一値を取るための Matts の式の k と ω_K の特性Table 5 Characteristics of constant k and migration velocity ω_K of Matts formula for the same value of $(1-\eta)$ in Table 1.

f (s/m)	10~20	~30	~40	~50	~60	~70	~80	~90
ω_K (m/s)	0.153	0.161	0.208	0.250	0.477	0.666	1.68	10.5
k (-)	0.975	0.932	0.801	0.738	0.600	0.535	0.431	0.313

修正式

$$(1-\eta) = \exp [-(\omega_F f)(30/f)^{0.166}] \quad (11)$$

$$\omega_F = \{-\ln(1-\eta)\}(30/f)^{0.166}/f \quad (11)'$$

以上の計算結果を表 4 に示す。また、表 3 の A, B および C の測定値は図 8 の A, B および C の曲線である。この図で明らかなようにそれぞれ別の装置における三つの測定値と計算値とがよく一致したことは、Deutsch あるいは Matts の式よりもかなり実際の性能データに近い計算値が得られたことを意味する。

また f_0 および k の決定基準の表 1 の曲線は $\omega_F = 0.15$ と大きく、これは集じん性がかなりよいダストに対応するものであり、これをベースに決めた f_0 および k の値でも $\omega_F = 0.068 \sim 0.091$ と小さい範囲でよい結果が得られている。したがって本修正式は ω_F のかなり広い範囲について適用できるものと考えられる。

4.2 比較検討 (その 2)

前述のその 1 の検討で本修正式は構造や仕様の異なる別個の EP に対してそれぞれ適用性があることがわかつたので、次に同一 EP において処理ガス量を変えて f の値をかなり大幅に変えた場合について検討する。

対象データは Southern Research 研究所が石炭ボイラのフライアッシュ集じん用 EP について $f = 65 \sim 150$ s/m で行なった測定結果¹⁴⁾ (図 9) である。基準点を図中の 14 の測定点とすると $f = 97.5$, $(1-\eta) = 0.0028$ で、 ω_F は 0.0884 m/s となる。したがって f が $60 \sim 150$ s/m について $(1-\eta)$ を計算しこの結果を図 9 に破線で示す。この曲線と実測値の実線の曲線と比較するとかなりよい一致を示している。

検討その 1 の A はホットサイド、B はコールドサイドの運転条件に相当しており、また以上の他のホットサイド EP のデータについても比較検討を行ないコールドサイド EP と同様に本修正式の計算結果が実測データとよい一致を示すことを確認している。したがって、本修正式はホットサイド EP, コールドサイド EP にかかわらず適用できるものと考えられる。

5. 修正式の特徴について

この修正式の数式としての特徴は 3 章で述べたが、使

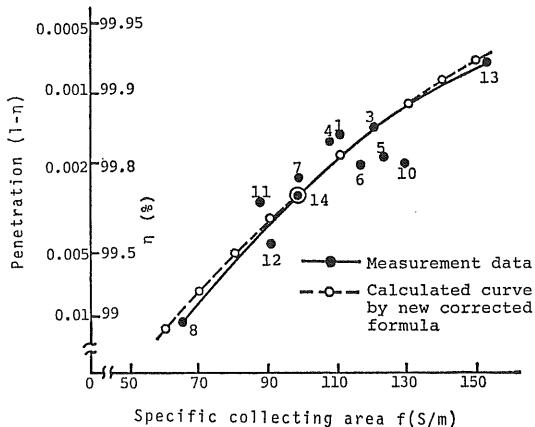


図 9 サザン・リサーチ研究所による工業用 EP の測定値と新修正式の比較 (文献 14) 参照

Fig. 9 Comparison of new corrected formula and measurement data of industrial by Southern Research Institute (See reference 14).

用上での特徴について考えてみることにする。

- 1) 修正式では与えられた ω_F の値で f の変化範囲の全域について $(1-\eta)$ が計算できる。一方、Matts の式を用いて表 1 の曲線を再現しようとすると f の変化に対する ω_K と k の計算値は表 5 となる。しかし、実際の計算では ω_K , k も一定として計算しなくてはならない。たとえば、表 1 の $f = 40$, $(1-\eta) = 0.0042$ を基準にして $f = 80$ の $(1-\eta)$ を計算するには、まず (10)' 式から $\omega_K = 0.782$ m/s を算出して、この値を (10) 式に代入して $(1-\eta) = 0.00037$ が得られる。この値は表 1 の 0.00026 とはかなり違った値となる。

これに対して本修正式では (11)', (11) 式から $\omega_F = 0.149$, $(1-\eta) = 0.00027$ が得られる。表 1 の 0.00026 と少し違うのは基準曲線を近似的にトレースして修正式を作成したためである。

- 2) 本修正式を使用できるのは、(1) 今までのデータや経験をもとにして ω_F の大きさを推定できるとき、および、(2)ある EP において f および η が測定されていて f (A または Q) を変えた場合の η の予

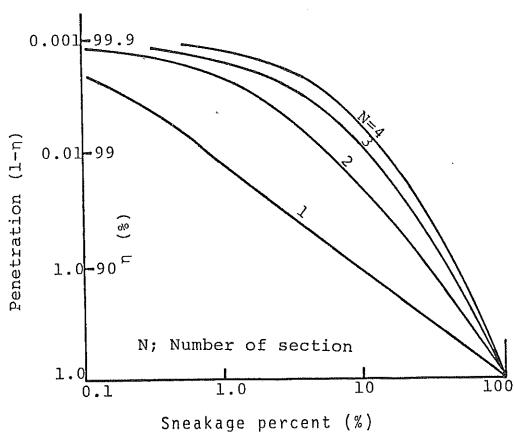


図 10 スニーケージ率に影響される EP の効率
Fig. 10 Efficiency of EP effected by sneakage percent.

表 6 総合効率を 99.9%とした場合の各区の集じん率
Table 6 Collection efficiency of each section at 99.9% of the over all efficiency.

Total section	Collection efficiency of the section			
	1	2	3	4
1	0.9990			
2	0.9902	0.8980		
3	0.9684	0.8756	0.7455	
4	0.9346	0.8502	0.7245	0.6296

測計算をする場合などである。このことは EP のスケールアップあるいはスケールダウンの予測計算である。スケールアップ（集じん面積 A を大）で区（section）数が多くなる場合、そのためにスニーケージによる集じん率がよくなるので、見かけ上 ω_F の値が大きくなる。逆にスケールダウンで区数が少なくなると集じん率が計算値よりも悪くなるおそれがある。

たとえば、EP の区数が 1~4 の場合、スニーケージがまったくない η を 99.9% として、スニーケージ率と η の関係を図 10 に示す。この図はまずスニーケージがない場合の各区 ($f=100 \text{ s/m}$) の集じん率を本修正式を用いて表 6 のように算出し、そしてスニーケージによりそれぞれの η が低下するとして総合集じん率を求めたものである。ただし、表 6 の計算は Deutsch や Matts の式では誤差が大きいが本修正式では簡単にできる。この図の詳しい作成法ならびに実用性について後日発表の予定である。

3) ω_F の値は f の変化には無関係で、修正式の曲線

が接する Deutsch の式の直線の ω 値と等しい。しかし図 5 のように多少上下にまつわるので、 f を小さくして直線との最初の交点が $f=f_0$ であり、この直線の ω 値が ω_F である。

6. む す び

新修正式を提案して Deutsch ならびに Matts の式との関係を検討し、式中の定数の決定法を述べ、実用 EP の性能データと比較してこの式の有用性を検討した。これらのまとめは各章で述べたので、ここでは省略する。

今後、EP の集じん率の向上につれて（文献 15）の表 1 参照）本格的な計算は当然高度の数学モデルによるコンピュータ処理の方向で開発されてゆくであろう。しかし、一方では実務上で使用する比例則的な簡易計算の信頼度の向上もまた重要な課題である。本修正式がこの簡易計算の精度の向上に多少でも役立てば幸いであり、さらに経験や解析を加味していけばより有用な式へと発展できると考えている。

最後に、本論文に関してご指導、ご支援いただいた増田閃一教授（東大・工）、滝本健氏（住友金属鉱山㈱）、繩田悟、山口久雄両氏（宇部興産㈱）、大久保利一、河野泰久両氏（大分大・工）に深く感謝する。

記 号 説 明

η : 集じん効率 (-)

A : 集じん面積 (m^2)

Q : 処理風量 (m^3/s)

f : 比集じん面積 ($= A/Q$), SCA (s/m)

f_0 : 定数 (s/m)

ω_0 : 粒子移動速度 (m/s)

ω : 見かけの粒子移動速度 (m/s)

ω_K : Matts の式での見かけ粒子移動速度 (m/s)

ω_F : 新修正式での見かけ粒子移動速度 (m/s)

k : 定数 (-)

参 考 文 献

- 1) J.P. Gooch and J.R. McDonald : AIChE Symp. Ser., 73 (1973) 156
- 2) J.P. Gooch and N.L. Francis : J. Air Pollut. Control Assoc., 25 (1975) 111
- 3) 滝本 健 : 静電気学会誌, 3 (1979) 228
- 4) W. Deutsch : Ann. Physik., 68 (1922) 335
- 5) S.A. Matts : CSIRO Conference on Electrostatic Precipitation, p. 13, Australia (1978)
- 6) S.A. Matts and P.O. Öhnfeldt : Efficient Gas Cleaning with SF₆ Electrostatic Precipitators, Fläkten (1963-1964)
- 7) E. Anderson : Am. Inst. Chem. Eng., 16 (1925) 69

- 8) H.J. White : *Industrial Electrostatic Precipitation*, p. 165, Addisson-Wesly, Massachusetts (1963)
- 9) 足立宜良 : 電気学会論文誌B, 93 (1973) 273
- 10) 川崎元之, 足立宜良 : 静電気学会誌, 5 (1981) 44
- 11) 井伊谷鋼一 : 集塵装置の性能, p. 81, 産業技術セゾン (1976)
- 12) 林 茂宏, 牧野和孝, 井伊谷鋼一 : 粉体工学研究会誌, 12 (1975) 24
- 13) G.B. Nichols : 1981年第1回静電気特別シンポジウムテキスト, p. 10, 静電気学会 (1981)
- 14) G.B. Nichols : J. South. Res. Inst., VA22161 (1980) 219
- 15) 中林恭之 : 電気学会環境・安全研究会資料, ES-82-2, p. 3 (1982)