

# スプレータワの集じん性能に関する理論的考察

上 岡 豊\*・川 上 靖\*

Theoretical studies on the collection efficiency in spray tower

Yutaka UEOKA and Yasushi KAWAKAMI

## Abstract

The spray towers are widely used for the purpose of dust and mist collection, gas absorption and humidification.

The scrubbing processes in the spray towers are among the oldest and simplest known to man. A liquid is employed to achieve or assist in the removal of dispersoids from gases.

Water is generally employed as the scrubbing agent, and atomized by spray nozzles.

A dust-laden gas flows upwards slowly and sprays descend gravitationally.

When the gas impinges on a spray sphere, it will be deflected around the spray, where as the dust particles, by virtue of their greater inertia, will tend to be collected on the surface of the spray.

The basic principles of impingement can be presented in terms of so-called "target efficiency".

Target efficiency represents the fraction of particles in the gas volume swept by the spray which will impinge on the spray.

Thus, for flow around a spray sphere, as shown in Fig. 1, all particles that are inertially carried in the gas between streamlines A and B will be collected on the body and the target efficiency will be  $(b/D)^2$ .

It can be shown that the target efficiency  $\eta$  will be a function of the dimensionless group K. (eq. (2)).

While the relationships given by the investigators are somewhat conflicting, the recent values reported by Langmuir and Blodgett are believed to be reliable. (Fig. 2).

Applying the conception of target efficiency, authors derive the new calculating formula for the collection efficiency by scrubbing in the spray tower.

Calculations are performed for some illustrations, and the results reveal that the most effective spray will be 0.5 mm in diameter at air stream.

## 1. ま え が き

スプレータワは水滴によりガスの洗浄作用を行なうために主として化学工場において古くから用いられ、現在も広く普及している装置である。

ベンチュリスクラバなどの新式のものに比べれば性能は劣るが、集じん、ガス吸収、冷却、熱回収、調湿など洗浄作用の目的全般にわたってかなりの効果を期待でき、とくに集じんとガス吸収を同時に兼ね行なうことのできる点はこの種湿式方法の特長であって、大気汚染対策上においても重要な意義をもっているものと考えられる。上部において圧力噴霧して一様に分散

した洗浄水滴群が自由落下する間に上昇ガス流と相対速度を持ち、十分接触することにより洗浄作用を行なうというもっとも単純な機構であって、ガスの圧力損失も低く、所要動力も比較的少なくて済むことはスプレータワの利点である。

しかし現象的にはかなり複雑であって、その研究も従来ほとんど実験的なものに限られ、解析的な取扱いはあまりなされていないように思われる。たとえば集じんの場合についても捕集対象の性状は広範囲に異なり、しかもこの微粒子および洗浄水滴はそれぞれ固有の粒径と、粒度分布を有している上、両者の親和性なども影響することを思えば捕集効率についても厳密な

\* 機械工学教室

\*\* 昭和39年1月25日 日本機械学会 広島地方講演会において講演

理論計算を望むことは現段階においてはきわめて困難な問題であろう。

筆者<sup>1)</sup>の一人はかつて降雨の大気浄化作用についての計算結果を報告したが、この考え方を導入すれば、スプレータワの場合も集じん性能についてはいちおうの計算理論を立てることができたので、これについて紹介し、また条件を単純化した場合ではあるが計算結果を述べて考察を行なった。

### 2. 捕集効率の計算理論

[主な使用記号]

- $b$  : Fig. 1. 参照
- $D$  : 水滴球の直径
- $d$  : 微粒子の直径
- $h$  : 垂直長さ
- $I$  : 微粒子の濃度 (単位体積のガス中に含まれる重量)
- $K$  : 分離数
- $L$  : 液ガス比 (体積)
- $N$  : 単位空間当りの水滴の個数
- $t$  : 時間
- $u_r$  : ガス流と水滴の相対速度
- $v_a$  : ガス流の絶対速度
- $\varepsilon$  : 衝突効率
- $\mu_a$  : ガスの粘性係数
- $\rho_d$  : 微粒子の密度

### 2. 捕集効率の計算理論

スプレータワにおいてもミクロン以上の粒子径の微粒子に対しては洗浄水滴との衝突効果に基づく捕集作用が支配的であると考えられる。Fig. 1 のように相対速度  $u_r$  をもって水滴球にガス流が当たる場合、ガス流に含まれている微粒子の中  $AB$  間にあるものは  $A'B'$  間において水滴表面に衝突し、捕捉される。

この際、衝突効率  $\varepsilon$  は次式で定義される。

$$\varepsilon = \left(\frac{b}{D}\right)^2 \quad (1)$$

ただし、 $b$  は  $AB$  間の距離、 $D$  は水滴直径である。また  $\rho_d$  を微粒子の密度、 $\mu_a$  をガスの粘性係数とした場合、 $\varepsilon$  は

$$K = \frac{d^2 \rho_d u_r}{18 \mu_a D} \quad (2)$$

で表わされる分離数と呼ばれる無次元数によって決まるものであって、Langmuir & Blodgett<sup>2)</sup> の理論計算の結果によれば、両者の関係は Fig. 2 のようである。

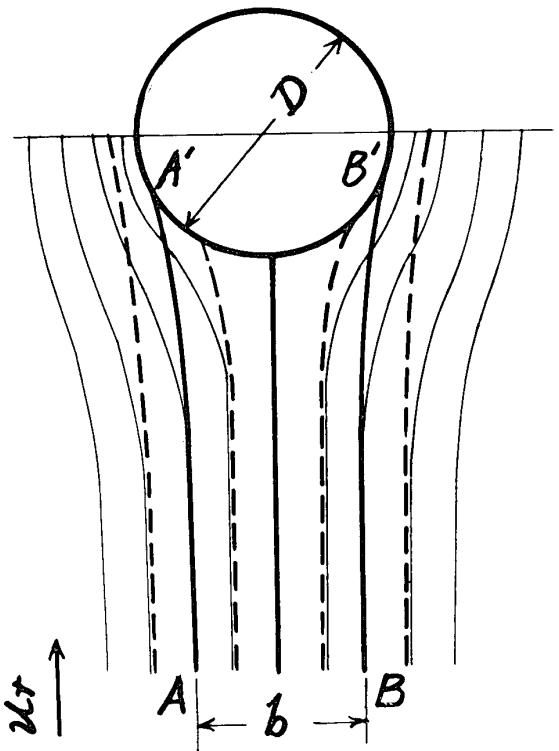


Fig. 1. Impinging separation of small particles by a spray sphere.

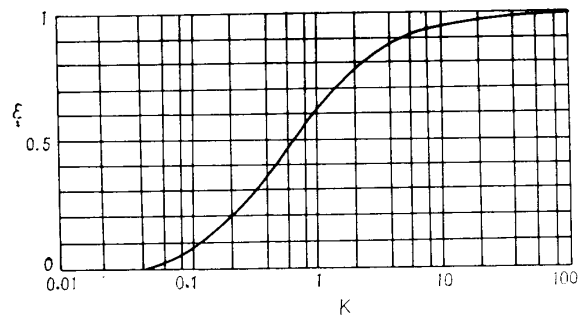


Fig. 2. Relation between target efficiency and separation number.

スプレータワにおいてガスは流速  $v_a$  で上昇し洗浄水滴は速度  $v_s$  で垂直に下降するものとする。すなわち両者の相対速度  $u_r$  は  $(v_a + v_s)$  になり、また微粒子の沈降速度は無視してガス流と等速に運動しているものとする。

いま単位断面を有する垂直柱状のガスにおいて  $dh$  なる微小高さの部分を考える。(Fig. 3)

この中に含まれる水滴の濃度 (単位空間当りの個数) を  $N$  とし、 $dt$  時間内に浮遊微粒子の濃度  $I$  が水滴への捕集により  $(I + dI)$  に変化するものとする、次式が成立つ。

$$Idh = (I + dI) dh + I \varepsilon N dh - \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt \quad (3)$$

$$\frac{Id}{I} = - \varepsilon N \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt \quad (4)$$

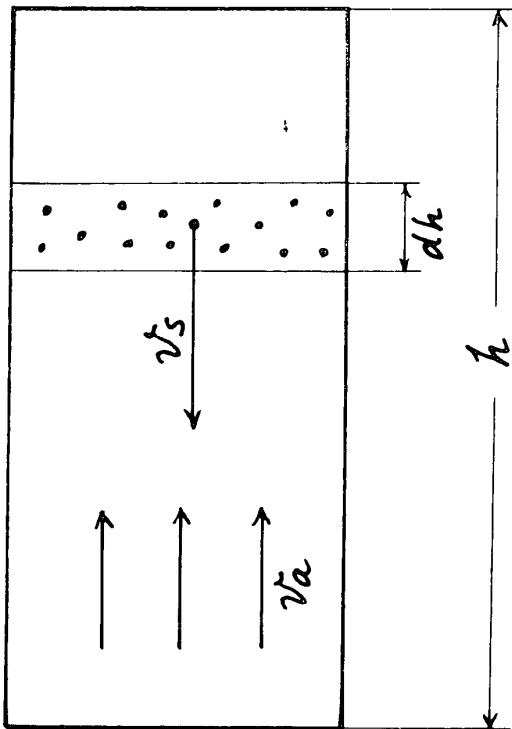


Fig. 3. The explanation of collection mechanism by scrubbing.

したがって初期における濃度を  $I_0$  とすると、 $t$  時間後の濃度は

$$I = I_0 e^{-\int_0^t \varepsilon N \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt} \quad (5)$$

となり、捕集効率を  $\eta$  とすれば

$$\eta = 1 - e^{-\int_0^t \varepsilon N \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt} \quad (6)$$

である。一方ガス流に対する洗浄水滴の液ガス比を  $L$  とすると、1s 当り  $L v_a$  の体積の水滴が  $v_s$  の空間に拡がることになるので

$$N = \frac{6L}{\pi D^3} \frac{v_a}{v_s} \quad (7)$$

となる、(6)式右辺にある積分記号の部分の値が大になるほど捕集効率はよくなるわけであるが、この値を  $\psi$  とおけば

$$\begin{aligned} \psi &= \int_0^t \varepsilon N \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt = \int_0^t \varepsilon \frac{6L}{\pi D^3} \cdot \frac{v_a}{v_s} \frac{\pi}{4} D^2 u_r dt \\ &= \int_0^t \frac{3}{2} \varepsilon \frac{L}{D} \frac{v_a}{v_s} u_r dt \quad (8) \end{aligned}$$

洗浄水滴は普通、噴射後間もなく一定の自由沈降速度になると考えられるが、等速沈降している定常状態においては(8)式中の積分値内のすべての値は時間  $t$  に無関係に一定になるので、この場合は

$$\psi = \frac{3}{2} \varepsilon \frac{L}{D} \frac{v_a}{v_s} u_r t \quad (9)$$

スプレータワにおいては  $t$  は塔内におけるガスの滞留時間を考えればよく、塔の有効高さを  $h$  とすると、 $t$  は  $h/v_a$  になるから

$$\psi = \frac{3}{2} \varepsilon L \frac{u_r}{D} \frac{h}{v_s} \quad (10)$$

となる。

すなわち、 $\psi$  は  $\varepsilon$ ,  $L$ ,  $u_r$  および水滴の落下時間  $h/v_s$  に比例し、 $D$  に反比例する。

$v_a$  が大になるとガスの滞留時間は反比例的に短くなるが、水滴濃度は大になるので、結局  $v_a$  は  $(u_r - v_a)$  の形で  $v_s$  に含まれて影響を与えることになる。(2)式の  $K$  および(10)式の  $\psi$  はともに  $u_r/D$  を含み、 $\varepsilon$  および  $\psi$  を大にするにはこの値をなるべく大にすればよいことがわかる。しかし水滴の各種粒径に応じて自由沈降速度  $u_r$  は定まっているわけであって、常温の空気中における  $D$  と  $u_r$ 、および  $D$  と  $u_r/D$  の関係を示せば、Fig. 4 のようになる。

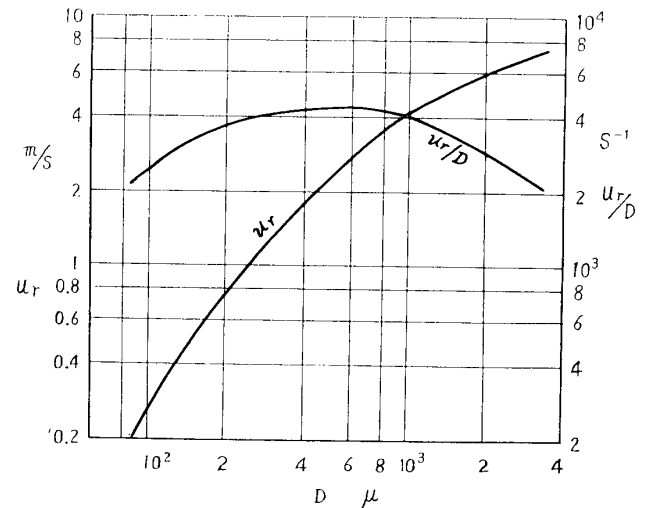


Fig. 4. Relation between  $D$  and  $u_r$ , or  $u_r/D$ .

$u_r/D$  の値は  $D = 500\mu$  付近で最大になっており、これは雨でいえば微雨と称せられる範囲のものである。

### 3. 計算例および考察

洗浄水滴は噴射方式、噴射条件などにより平均粒径も異なり、またそれぞれ固有の粒度分布をもっているため事情は複雑になるが、例えばガス流中の微粒子(比重2)について、種類の粒径の水滴球の自由沈降時における  $\varepsilon$  の値は Fig. 5 のようになり  $d = 50\mu$  では  $\varepsilon \doteq 1$  になっている。

処理空気量に対し  $L = 1l/m^3$  の液ガス比で洗浄水を噴霧したとき  $d$  と  $3/2 \cdot \varepsilon \cdot L \cdot u_r/D$  の関係を算出すれば Fig. 6 のようになる。 $D = 500\mu$  付近の粒径が最適条件になっているが、 $\psi$  としては(10)式のように

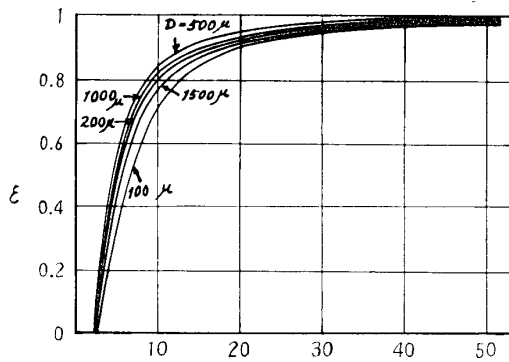


Fig. 5. Relation between  $\epsilon$  and  $d$ .

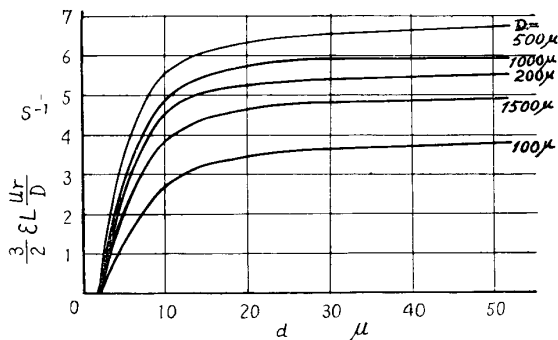


Fig. 6. Relation between  $\frac{3}{2}\epsilon L \frac{u_r}{D}$  and  $d$ .

さらにこれに  $h/v_s$  を乗じることになるので、この意味では  $h$  の大なるほど、 $\psi$  が比例的に大になると同時に、 $v_s$  はなるべく小であることが有効で  $u_r$  よりやや小さい  $v_a$  で空気を流せばよいことがわかる。

きわめて微細なサブミクロンの粒子になるとブラウン運動による拡散作用に基づいた水滴表面への捕捉が期待できるが、衝突効果としては限界があり  $d < 2\mu$  の範囲では衝突による捕集は困難であり、しかも  $d < 10\mu$  になると捕集性能が急激に劣化することも明らかになった。

微粒子および洗浄水滴双方の粒度分布を考慮すれ

ば、スプレータワの場合も他の湿式集じん器と同様、上述の所論により求められた部分分離効率をもとに積算的に全体としての捕集効率を算出することができる。この全捕集効率をできるだけ大にすれば水滴への微粒子の捕集は十分行なわれ、ガスの洗浄効果はいちおうあげたことになる。しかし一部の微小水滴の範囲で  $u_r < v_a$  となり、上向きの  $v_s$  をもつときは微粒子を捕捉、含有したこれらの水滴群は浄化ガスとともに出口より逸出することになるので、これらの水滴を再捕集しない限りスプレータワとしての集じん効率はそれだけ低下するわけである。

実際問題としては上昇水滴はより大径の下降水滴に衝突、統合されて落下することもちろんかなり強力に行なわれているはずであるが、最適な  $v_a$  の決定に当っては要求される捕集性能に応じて上記の点をも考えて慎重を期する必要がある。

#### 4. む す び

スプレータワの集じん性能について理論的な計算方式を述べ、簡単に考察を行なった。しかし実際の装置としては他の洗浄作用をも組み合わせて同時に行なう目的の場合も多く、総合的に検討の上設計する必要があることはいうまでもない。またタワ内の段数、ガス温度、湿度の変化をはじめ、洗浄水滴に対する微粒子の濡れ易さ、水滴相互の衝突などの要因が複雑にからんで来るので、これらの問題についても引き続き解明していきたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 上岡：山口大学工学部学報 6, 11 (1955)
- 2) I. Langmuir & K.B. Blogett: Perry, Chemical Engineers' Handbook (3rd ed.), p. 1022.