

# ベンチュリスクラツバの捕集性能に関する一考察\*

上 岡 豊

## 1. 緒 言

ベンチュリスクラツバは従来コットレルの分野であったガス中のミクロンあるいはサブミクロンの固体微粒子およびミストの捕集に新威力として登場した湿式の方法であって、最近急速に普及しつつある。構造、操作は比較的簡単で汚濁ガスをベンチュリ管を通過させ、のど部の流速を60~120m/sの相当高速に保ち、同時にのど部周辺よりノズルを通して処理ガス1m<sup>3</sup>当り0.2~1.0%の洗滌液を噴射する。液はその際高速ガスに激しく衝突し、微粒化されて分散し、ガスと十分な接触を行つてガス中の微粒子を液滴表面に捕捉する。この場合生ずる液滴の大きさについては今まで詳しく研究<sup>1)</sup>もされており、その平均直径は数十μ程度のものであるから、後に連結されたサイクロン分離器により比較的容易に回収される。しかしその現象の複雑なためか基礎的な研究は現在まであまり行われておらず、設計基準もきわめて不明確である。この報告は液滴への微粒子の捕捉が強力に行われるのど部における捕集性能に及ぼすガス流速および液滴径の影響について考察を試みたものである。

## 2. 理論的考察

微粒子を含有するガス流に対してこれと相対速度を有する単一の液滴が微粒子を捕捉する現象は機械的にはいわゆる衝突効果で説明されるが、この場合衝突効率  $\epsilon$  は

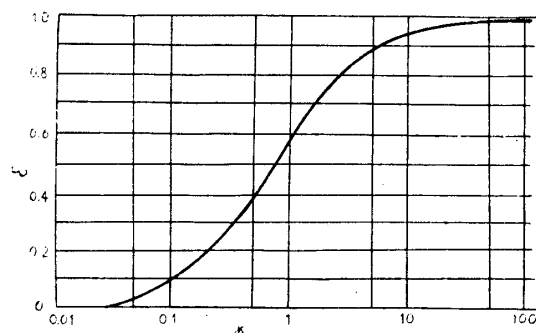
$$\epsilon = \frac{\text{衝突により微粒子が除去される流れの断面積}}{\text{流れの方向の液滴の投射面積}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で定義せられる。液滴、微粒子ともに球形とみなし、  
 $D$  = 液滴直径,  $d$  = 微粒子直径,  $\rho_a$  = 微粒子の密度,  $u_r$  = ガス流と液滴との相対速度,  
 $\eta_a$  = ガスの粘性係数, とした場合  $\epsilon$  は主として

$$K = \frac{d^2 \rho_a u_r}{18 \eta_a D} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる  $K$  なる無次元数の関数になることがわかっており、液滴より上流をポテンシャル流と仮定した場合の Langmuir & Blodgett<sup>2)</sup> の理論計算の結果を示せば第1図の通りである。 $K$  の増加につれて  $\epsilon$  も大になり次第に1に漸近するから、衝突効率を大にするには  $K$  を大にすればよく、そのためには液滴径を小にし、ガス流との相対速度を大にすればよいことになる。また一方定常沈降速度の小なる微粒子になるほど捕捉が困難になる。

さて以上のような衝突理論を適用する場合ベンチュリスクラツバにおいては噴射直後液は急速にガス流より霧化加速されるため液滴



第1図 球に対する衝突効率

\* 昭和29年11月26日機械学会岡山地方講演会において講演

とガスとの相対速度は刻々に減じ、これに応じて $\varepsilon$ も次第に減少することになるので事情はかなり複雑になるのであるが、この点に関してはわずかに平均的な $\varepsilon$ と言うものが抽象的に考えられている程度で従来深くは検討されておらない。

一方ベンチュリスクラツバの捕集効率に関しては Kleinschmidt<sup>3)</sup>の理論に基いて Johnstone<sup>4)</sup>等は捕捉される微粒子の量はガス中の微粒子の濃度および液滴との衝突接触により浄化されたガスの体積に比例するとの仮定のもとに次式を与えた。

$$E=1-e^{-V'} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $E$ =捕集効率  $V'$ =ガスの単位体積あたり液滴群により清浄化される体積

上記の仮定は厳密に考えた場合は若干問題があると思われるが、一応(3)式によって、のど部での捕集効率を求めれば、推論を容易にするため液滴径を一様とした場合次式のようになる。

$$E_x=1-\exp\left\{-\left(Ln\pi D^2/4\right)\int_0^s \varepsilon ds\right\}=1-e^{-LA} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに

$E_x$ =液滴噴射位置より下流軸方向に $x$ だけの距離の点までの捕集効率

$L$ =液ガス比(体積)

$n$ =単位体積の洗滌液が微粒化した際の液滴数

$s$ =ガス流に対する液滴の相対進行距離

また

$$A=(n\pi D^2/4)\int_0^s \varepsilon ds$$

結局 $E_x$ は $LA$ なる値が大になるほど大になり1に近づくことになる。まず問題をのど部に限定し、 $A$ に及ぼすガス流速、液滴径および微粒子径などの影響を検討してみる。

ガス流中における液滴の加速状況をしらべる必要があるが、いまの場合 $R^* = u_r D \rho_a / \eta_a$ (ただし $\rho_a$ =ガスの密度)で定義されるレイノルズ数は最初数百の程度の値になり、液滴相互の干渉を一応度外視し、球の抗抗係数 $C$ と $R^*$ の間の関係式として次式<sup>5)</sup>

$$C=0.40+40/R^* \quad \dots\dots\dots (5)$$

を用いることにして運動方程式を解くと、 $u_r$ と時間 $t$ の関係式は次のようになる。

$$u_r = \frac{1}{\left(\frac{1}{v_a} + \frac{\alpha}{\beta}\right)e^{\beta t} - \frac{\alpha}{\beta}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし

$$\left\{ \begin{array}{l} v_a = \text{のど部におけるガス流の絶対速度} \\ \rho_s = \text{液滴の密度} \end{array} \right.$$

とし

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0.3 \frac{\rho_a}{\rho_s D} \\ \beta = 30 \frac{\eta_a}{\rho_s D^2} \end{array} \right.$$

また

$$s = \int_0^s ds = \int_0^t u_r dt = \frac{1}{\alpha} \log_e \left\{ 1 + \frac{\alpha}{\beta} v_a (1 - e^{-\beta t}) \right\} \dots\dots\dots (7)$$

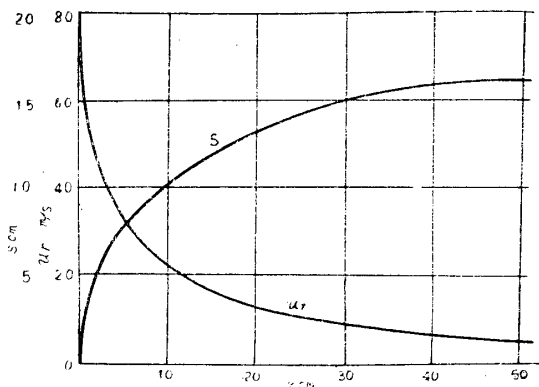
噴射点からの液滴の絶対進行距離  $x$  は

$$x = v_a t - s \dots\dots\dots (8)$$

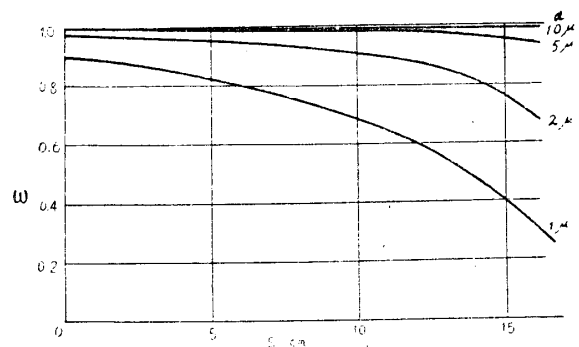
以上の諸関係式を用いて任意の時刻  $t$  に対する液滴の  $u_r$ ,  $s$  および  $x$  の値が計算できる。すなわち  $t$  を媒介として  $u_r$ ,  $s$ ,  $x$  三者の関係が求まったことになる。従ってガス流速、液滴の大きさが与えられた場合任意の  $x$  の値に対して  $u_r$  がわかり、特定の微粒子については  $K$  が決まり  $\epsilon$  が求められる。結局  $A$  の値は計算可能になり  $L$  が決まれば (4) 式より  $E_x$  が計算できることになる。

液滴の平均粒径は従来の研究<sup>1)</sup>によりガス流速のみならず液ガス比によっても影響されることが明かになっており、この意味において  $L$  と  $D$  は無関係ではなく設計上特に考慮を要する点であるが、一般的傾向を把握するために  $v_a=40\sim 120\text{m/s}$ ,  $D=20\sim 150\mu$ ,  $d=1\sim 10\mu$  のあらゆる組み合わせにつきガスは常温の空気、洗滌液を清水とし、微粒子の比重を1とした場合の  $A$  の値を計算してみた。

一例として  $v_a=80\text{m/s}$ ,  $D=50\mu$  の場合を示せば  $x$  と  $u_r$ ,  $s$  との関係は第2図のように



第2図  $x$  と  $u_r$  および  $x$  と  $s$  の関係  
( $v_a=80\text{m/s}$ ,  $D=50\mu$ )

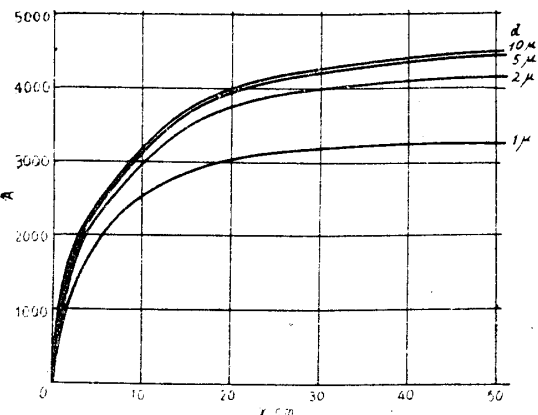


第3図  $s-\epsilon$  の関係  
( $v_a=80\text{m/s}$ ,  $D=50\mu$ )

なり、更に各種粒径の微粒子に対する  $s$  と  $\epsilon$  の関係は第3図、また  $x$  と  $A$  の関係は第4図である。初期の間は相対速度が大で捕集作用も活潑であるが、液滴の加速につれて鈍化し  $x$  が20cm以後は  $A$  の値は飽和の傾向にあることがわかる。このことはベンチユリスクラツバののど部の設計に重要な示唆を与えるものと思われる。

また当然のことではあるが微粒子径が小になるほど捕捉が著しく困難になることも明らかになった。

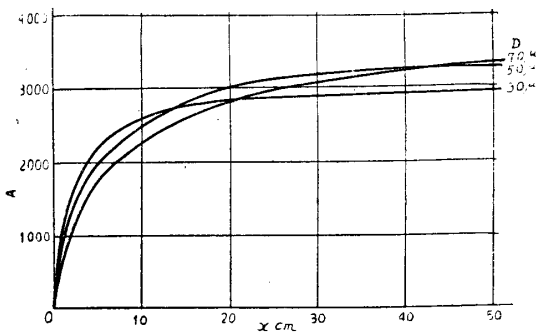
第4図の結果に基づいて参考までに  $L=1.0\text{ l/m}^3$  として求めた  $E_x$  の値を第1表に示した。



第4図  $x$  と  $A$  の関係  
( $v_a=80\text{m/s}$ ,  $D=50\mu$ )

第1表  $x$  に対する  $E_x$  の値

$x$ cm		5	10	20	30	40	50
$E_x$ %	$d=1\mu$	85.7	91.4	95.1	95.7	95.9	96.0
	$2\mu$	89.5	94.8	97.4	98.1	98.3	98.4
	$5\mu$	90.9	95.8	98.0	98.6	98.8	98.9
	$10\mu$	90.9	95.8	98.0	98.7	98.9	99.0

第5図  $x$  と  $A$  の関係 ( $v_a=80\text{m/s}$ ,  $d=1\mu$ )

次に比較のために同じく  $v_a=80\text{m/s}$  に於て  $d=1\mu$  につき  $D=30\mu$ ,  $50\mu$ ,  $70\mu$  の三者につき  $A$  の計算値を示せば第5図になる。液滴径の小なる場合は初期の間は捕集作用が強いが、大径のものに比して速かに加速されるため  $x$  の値がある程度大になるとかえって不利になることを示しており注目すべき結果である。

### 3. 結 論

問題を単純化して取扱うため若干の仮定を設けて推論を行ったが、その結果を用いれば捕集作用が主として行われるのど部での捕集効率を算定することは可能である。液滴、微粒子ともに実際は特有の粒度分布を有しているが、一般的傾向を知るために実用上の範囲

において各種の風速、液滴径、微粒子径の組み合わせについて計算を行った結果によれば、従来漠然と考えられていたように液滴径の小なることは必ずしも捕集上有利とは限らないで、噴射直後は良好な捕集性能を示すが大径のものに比し速かに加速されるためど部がある程度以上長くなるとむしろ不利になり、この傾向は特に微粒子径の小なるものほど、またのど部流速の小なる場合ほど著しいことが明らかになった。

現在用いられているベンチユリスクラツバの構造では一般に液滴の平均直径はのど部流速および液ガス比と密接な関連があるので設計に際しては捕集すべき微粒子の性状に応じて適当な流速、液ガス比を決定することが必要であり、またのど部の長さについても長さの増加に伴う捕集効率の向上割合と圧力損失増加の関係を考慮して慎重に定める必要がある。噴射後の液滴の分散状態は実際上捕集性能に多大の影響を与える重要な要素であると考えられるので、この問題の解明ならびにデフューザー内部の諸現象などについて引続いて研究を進めて行きたい。終りにのぞみ懇切な御指導を賜った東京工大板谷松樹教授、大山義年教授に対し厚く感謝する。また計算にあたっては中西、藤井、益永、森の諸君に協力して頂いたことを附記し謝意を表わす。

### 参 考 文 献

- 1) 拔山, 棚沢: 機械学会論文集, 5巻18号, 68ページ(昭13)  
H.C. Lewis: Ind. Eng. Chem. Vol. 40, No. 1, p. 67 (1948)
- 2) I. Langmuir & K.B. Blodgett: G.E. Research Lab. Report No. RL-225  
Perry, Chemical Engineers' Hand-book (3rd ed.) p. 1022
- 3) R.V. Kleinschmidt, Chem. Metall. Eng. Vol. 46, p. 487 (1939)
- 4) H.F. Johnstone & F.O. Ekman: Ind. Eng. Chem. Vol. 43, No. 6, p. 1358 (1951)
- 5) Dallavalle: Micromeritics (2nd ed.) p. 23