

ベンチュリスクラバにおける洗浄液滴 分布状況の検知について***

上岡 豊*・川上 靖*・大原 武**

要 旨

前報においてはベンチュリスクラバの捕集効率及び圧力損失について理論的研究結果を述べた。実際の装置においては捕集効率は洗浄水滴の分布状態によって著しく影響を及ぼされるものである。したがって、ベンチュリ部断面において水滴の良好な分布状態を維持することが非常に大切であるにもかかわらず、その良否を検知する方法については現在までほとんどその発表をみない。

この本論文はこの問題を解決するために試みた光学的方法、並びに吸引ノズルによる定量的方法について述べたものである。

それらの方法は実験室的規模においてはかなり成功をおさめることができた。

1. 緒 言

ベンチュリスクラバは従来のスクラバに比して格段に強力な洗浄作用を発揮できるもっとも進歩した新しい方式のものであって、図1はその概要を示したものである。処理すべきガスを相当の高速(60~120m/s)でベンチュリのど部を通過させ、同時にのど部周辺に設けた噴射ノズルから洗浄液(0.3~1.5l/m³ガス)を射出、混入する。洗浄液は高速ガス流とのげしい衝突により霧化

分散し、大きな相対速度をもってガス流と十分接触するという独自の機構のために、ガス中の微粒子(あるいは可溶性ガス)は洗浄液滴にほとんど捕捉される。洗浄液滴の平均粒径は(50~100 μ)程度のかかなり大きいものであるから、これを後続のサイクロンなどの液滴分離装置で分離捕集することは比較的容易である。

洗浄作用全般にわたりきわめて高性能を期待できるので、その用途は多方面に拡大されつつある。とくに適当な手段の乏しかった極微粒子捕集の方面では構造簡単で操作も容易であることと相まって、画期的な湿式方法として急速に発展をとげつつある。また他の集じん装置と異なりガス吸収を行なわすことができる場合もあるので、近来大きな社会問題になって来た大気汚染対策にとって、有力な決め手の一つであると考えられる。

一般的傾向としてはのど部ガス流速が高速になるほど、またある限度までは液ガス比が大になるほど、捕集性能は向上するのであるが、これらの条件は同時に圧力損失をも増大させる結果になり、比較的圧損の大なること(200~1000mmAq)がベンチュリスクラバの唯一の短所となっているのである。したがってこの間の矛盾をいかに妥協させるかはその計画とくに苦心を要するところであるが、ベンチュリスクラバは現象的には必ずしも見かけほど単純ではなく、捕集対象の性状が多様であることも障害になって、現在のところ基礎的研究よりもむしろ実用化の方が先行している観がある。

前報¹⁾においては近来多く用いられている立て形の場合を例にとり、その特性について主として理論的に考察を行ない、その形状寸法、のど部ガス流速、ならびに洗

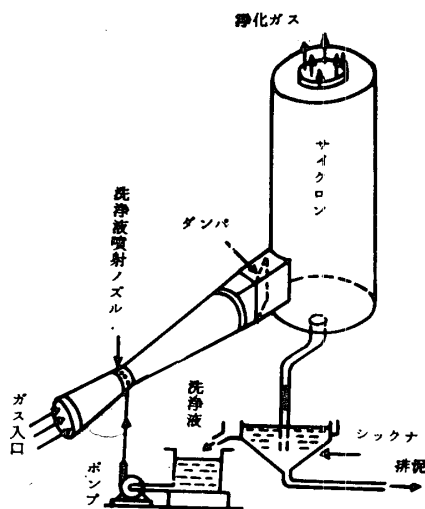


図1 ベンチュリスクラバ

* 機械工学教室

** 宇部工業短期大学

*** 昭和37年10月22日日本機械学会新居浜地方講演会において講演

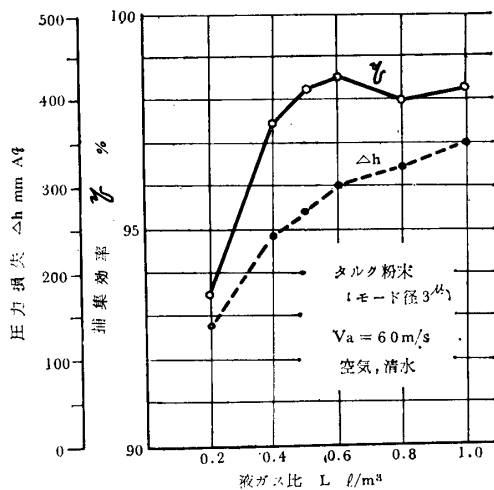
浄液の液ガス比などが捕集性能、圧損に及ぼす影響を明らかにした。

しかし実際問題としては一般に上記の諸因子のほか、断面における洗浄液滴の分布状態の良否が捕集性能を左右する重要な要素になってくるのであって、設計上の基礎資料を得るためにも、また実際の装置の現場調整を行なう際にも、なるべく簡単に分布状況を検知できる実用的な方法の確立が強く要望されている。

この論文は実験室的な規模においてではあるが、この問題を推進するために行なった二、三の試みについてその概要を述べたものである。

2. 洗浄液滴の分布状態の影響

図2はのど部の空気平均流速 v_a を一定に保って、ノズルよりの噴射水速 v_w を変えることによって液ガス比 L を種々の値にした場合、タルク粉末について筆者が行なった捕集実験の結果の一例である。



(のど部 { 内径30mm
有効長さ150mm } ディフューザ広がり角4°)

図2 液ガス比と捕集効率、圧力損失の関係

$L=0.2$ l/m³ では混水量が少い上に中心部を吹き抜かれて分布状態も悪く、高い効率を望まれるベンチュリスクラバとしては不十分である。液ガス比の増加とともに効率 η の上昇は著しいが、 $L=0.6$ l/m³ 付近は分布状態も良好である。 $L=0.8$ l/m³ においては混水量は増し、また圧損 Δh も増加しているにもかかわらず、 η が若干低下しているのは中心部に洗浄水滴が集中し分散度が悪くなったためである。

そのほか、空気流速、液ガス比が同一であっても噴射ノズルの寸法、配置により水滴分布状態に差異が生じ、

捕集効率にかなりの影響を与えることも確認された。

結局のど部断面において微粒化された洗浄液滴が速かに断面全面に一樣に分散することが望ましく、一部をガス流によって吹き抜かれて液滴の到達しない部分が生じたり、一部に液滴が過度に集中した部分ができることは極力避けねばならない。設計時においてもこの点に留意して、ノズルの寸法、配置の選定には慎重な考慮が払われているはずである。しかし従来発表されている報告資料の多くはガス速度、液ガス比は重視されているにもかかわらず、噴射方式および噴射条件などによって生ずる液滴の分布状態の差異についてはほとんど触れていない。これは問題が設計上の機微に関するためかと考えられるが、一面高速気流中で液滴の分布状態の実態を正確につかむことが技術的に案外めんどものであることも原因になっているように思われる。

3. 光学的検知方法

実験装置全体は図3に示した構造、配置とし、ガスは空気、洗浄液に水を用い、常温において実験を行なった。送風機は静風圧900mmAq、送风量20m³/mnのものを用い、のど部を通る风量は管路の途中でオリフィスにより測定した。噴射水の加圧には空気タンク(容積10m³)にたくわえた圧縮空気を用い、混水量の調節は給水タンク出口のコックの開閉により行ない、水量測定は小径のオリフィスによった。噴射ノズルは同一内径の注射針(注水量に応じて1~1.5mm)にわたり数種類)を切断して、のど部管壁に適当に配列した。

ベンチュリ部は実験の都合上、幅は一樣に40mmとし、側面形状は100mmから入口角25°で、のど部40mmに絞り、300mmの長さののど部に6°の出口角をもったディフューザが接続している。結局測定を行なうのど部では断面は40mm角の正方形になっており、透明なプラスチック製である。

光学的方法による場合の主要部の詳細を図4に示した。写真電球により適当な方向から強力に照射すれば、洗浄水滴の反射により分布状態を肉眼観察または写真撮影を行なうことができる。

Iの位置から反射鏡を利用して、流れの方向に撮った場合と、IIの位置からのど部側面を通して内部を撮影した場合の一例を図5の写真版に示した。

光学的方法は実感的で、液滴分布状態の概況を知るには便利であるが、濃度をあらわす白黒のコントラストは感光材料および現像処理などによっても若干変化があることはやむを得ない。したがって定量的に精度面であまり多くを期待できない。不透明な管壁の場合には光線の

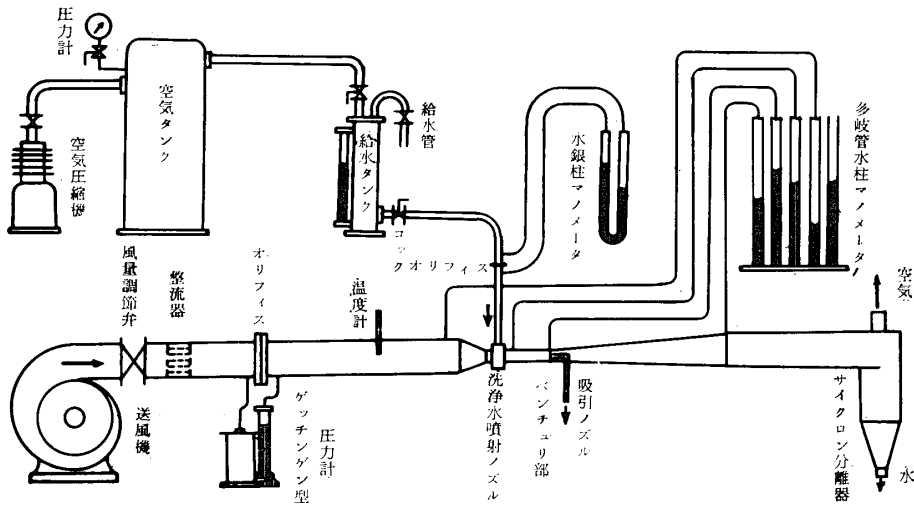


図3 実験装置の概要図

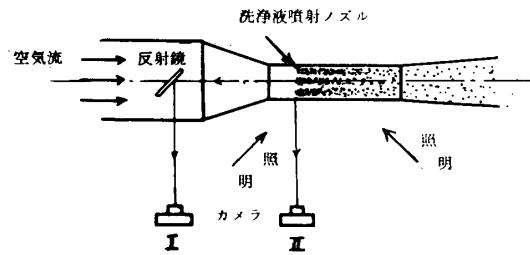
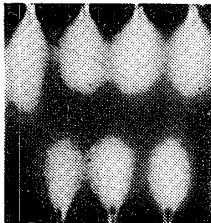


図4 光学的方法の図



(I) 軸方向上流からの図

(II) 側面からの図

[この断面 40mm², 噴射ノズル径 1mm, $v_a=80\text{m/s}$, $L=0.4\text{ l/m}^3$]

図5 液滴分布状態の写真

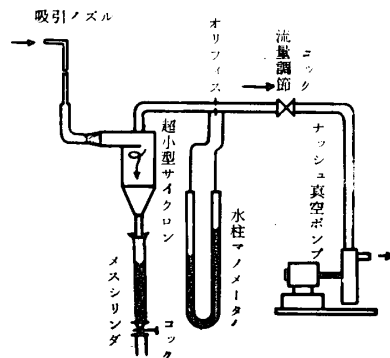


図6 単独吸引ノズルによる方法(一点法)

照射方法については別途の工夫が必要であろう。

4. 吸引ノズルによる検知方法

ダストサンプリングの場合と同様に吸引ノズルによりガス流を等速吸引し、混入している液滴を捕集定量すればよく、この操作を断面全般にわたって繰返せば液滴分布の様相が求められる。

このために水滴の分離に超小型サイクロン(内径30mm)を用いた図6のような装置を用いて好結果を得た。吸引ノズルは3~6mmの円形吸込口のものであるが、いずれも先端での肉厚はきわめて薄く仕上げられており、ノズルは流れの方向に正しく一致させた上、できるだけ注意深く等速吸引を行なう。吸引口の面積は既知であるから、採取時間とメスシリンダの捕集水量の関係から、単位断面積を通過して流れる水滴量は直ちに求めることができる。

また吸引速度の影響があまり大きくなく、実用上若干の誤差が許容される場合は同時に多数点の測定を行なうことにより、所要労力、時間を大幅に軽減、短縮することが可能である。

図7はこの目的のために考案試作した装置であって、吸引ノズルと排風送との中間に図のような気密になった箱を置き、外部からのハンドル操作によってそれら板を開閉させることにより、すべてのノズルについて一斉に採取を行なうことができるようになっている。

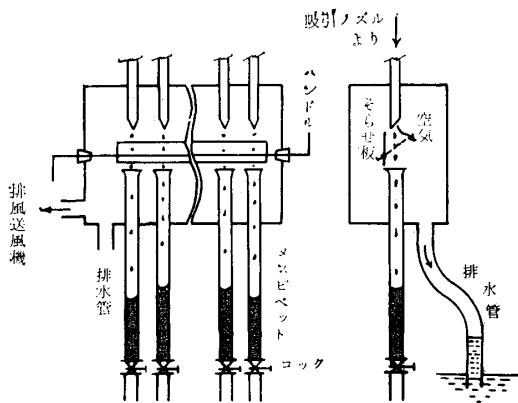
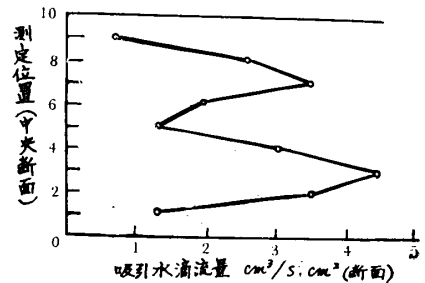


図7 多数の吸引ノズルによる方法(多点法)

いずれにしても光学的方法に比べてはるかに定量的であって、図8は図5の場合ののど部末端において直中心線にそい、一点法によって求めた実測結果であり、図9は同じくディフューザ出口において多点法によって測定した結果である。

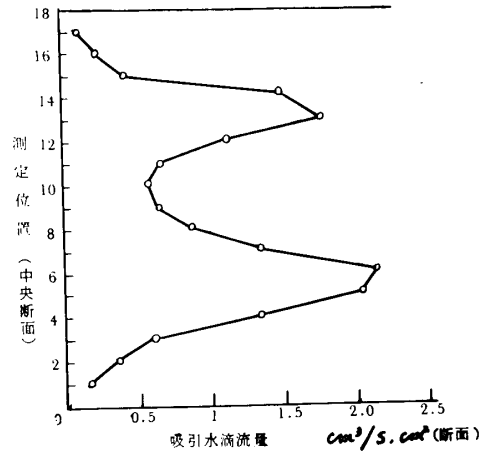
図5と対照すれば、のど部長さ十分とってあるにもかかわらず、中心部を吹き抜かれたための分布状態の不均

一さがはっきりわかり、しかもこの傾向はディフューザ出口に至るまで相当顕著に持続していることを示している。



(のど部断面40mm², 有効長さ300mm)
($v_a=80$ m/s, $L=0.4$ l/m³)

図8 のど部出口における洗浄水滴の分布



(ディフューザ広がり角10°, 出口幅100mm)
(図8と同一条件)

図9 ディフューザ出口における洗浄水滴の分布

5. 非等速吸引による誤差の検討

等速吸引が理想であるが図10に示したように、ガス流速よりノズルの吸引速度の方が大、あるいは小になった場合、きわめて微小な粒子はほぼ流線にそって運動する

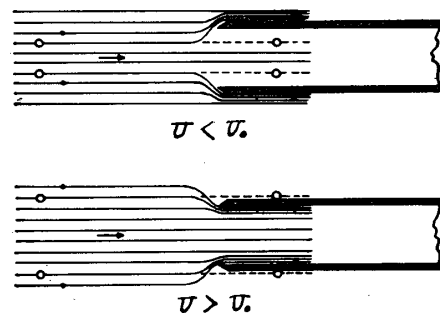


図10 非等速吸引の場合の粒子の運動

が、粒子径が大きになるとその慣性により流線を外れて直進するようになる。

このため捕集粒子量と吸引ガス量とより粒子濃度を求める普通のダストサンプリングにおいては非等速吸引による誤差が生じ、測定精度に影響を及ぼすことになる。

管壁の内外に静圧口を有する平衡型吸引ノズル²⁾は等速吸引を行なうために工夫されたものであるが、この実験のような小形ノズルでしかも対象が水滴である場合は製作、使用がすこぶる困難である。

したがって前述のような単純な吸引ノズルを用いる場合、あらかじめガス流速を知って等速吸引する必要があるわけであるが、水滴を含有するためガス流速の測定自体が必ずしも正確を期し難いことも多い。

いまの場合は非等速吸引の状態においてもなるべく採取水量に変化のないことが望ましく、この意味では通常のダストサンプリングの希望と全く逆であるが、本質的には共通の問題である。

気流中に存在する抵抗物体に対する浮遊粒子の衝突効果と類似の現象と考えられるが、この問題に関する研究はきわめて乏しく、いちおうの根拠を与えるものとしては Watson^{3,4)}らの提示した

$$\left. \begin{aligned} \frac{C}{C_0} &= B\left(\frac{U_0}{U}\right) + A \\ A &= 1 - B \\ &= \frac{1}{1 + 4K} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

あるいは

$$\frac{C}{C_0} = \frac{U_0}{U} \left[1 + f(K) \left\{ \left(\frac{U}{U_0} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\}^2 \right] \quad (2)$$

の諸式があるに過ぎない。

ここに

C : 測定された粒子濃度

C_0 : 真の粒子濃度

U_0 : 外部のガス流速

U : ノズル口における吸引速度

である。また K はいわゆる分離数と呼ばれる無次元数であって

$$K = \frac{D_s^2 \rho_s U_0}{18 \mu D_n} \quad (3)$$

である。式中

D_s : 粒子直径

ρ_s : 粒子真密度

D_n : ノズル口の内径

μ : ガスの粘性係数

また(2)式中の $f(K)$ は K の関数であって、両者の関係は実験的に求められており、Hemeon⁵⁾ からもガス流速 30m/s くらいまでの実験においてではあるが、この関係

式の正しいことを確かめている。

いまの場合、粒子は水滴であり

G : 単位時間についての実験の水滴採取量

G_0 : 等速吸引したときに得られる単位時間についての正しい水滴採取量

とすれば

$$\begin{aligned} \frac{C}{C_0} &= \left(\frac{4G}{\pi D^2 U} \right) / \left(\frac{4G_0}{\pi D^2 U_0} \right) \\ &= \frac{U_0}{U} \cdot \frac{G}{G_0} \end{aligned} \quad (4)$$

となり(3)式と(1)式、(2)式を比較すれば、それぞれ

$$\frac{G}{G_0} = A \left(\frac{U}{U_0} \right) + B \quad (5)$$

$$\frac{G}{G_0} = \left[1 + f(K) \left\{ \left(\frac{U}{U_0} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\}^2 \right] \quad (6)$$

が得られる。

普通のダストサンプリングを対象とした、ガス流速 U_0 の比較的低い範囲については、 U/U_0 と G/G_0 の関係について井伊谷⁶⁾の実験結果の報告がある。

(5)式の関係を計算して図示すれば図11のようになる。

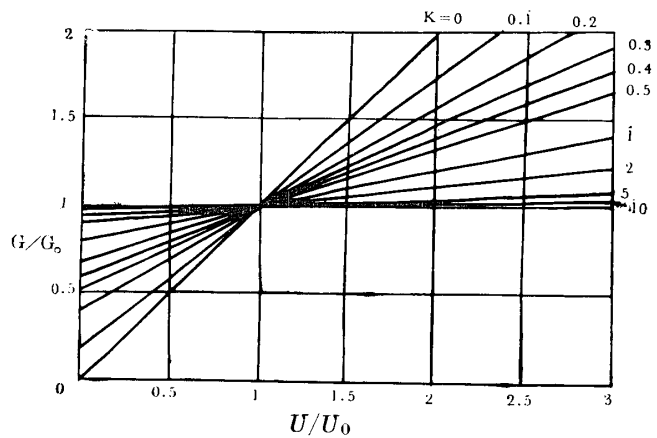


図11 種類の K についての U/U_0 と G/G_0 の関係

ベンチュリスクラバで生ずる液滴の平均粒径 D_s はのど部ガス流速、液ガス比などで左右されるが、 50μ より大きく、のど部ガス流速も 60m/s より大にとられる。

いま一例として吸引ノズル口の内径 D_n を 5.5mm、 $U_0 = 80\text{m/s}$ 、水滴径 $D_s = 70\mu$ としてみると $K = 220$ となり、 G/G_0 の値は U/U_0 が 2 あるいは 0 の場合、それぞれ ± 0.00114 だけ 1 より差異を生ずるに過ぎないことになる。

筆者らは U_0 および U を種々に変えて、実験的にもこの点を確かめてみたが、 G はほとんど実験誤差の範囲程度に G_0 に近似し、上記理論計算の結果を確認することができた。(未発表)

したがって本研究の目的のような場合にはかなり非等速吸引が行なわれても精度的にあまり問題にするには当らないと思われる。

6. 結 語

重要な課題であるにもかかわらず、従来ほとんど発表をみていない洗浄液滴の分布状態の検知方法として行なった試みについて概略を述べた。

とくに吸引ノズルによる多点法は現場調整時などにおいては好適ではないかと思われる。

実際の装置について行なうには実験装置と異なり、吸引管の挿入、その他種々の制約を受ける場合も多く、実情に則して適当に工夫、改変される必要もあると考えられる。

なお液滴捕集用平衡型吸引ノズルの実用化についても引き続き検討を進めている。

本研究に当って熱心に実験に協力して頂いた中村岩生、牧弘之、徳田一昭、安達隆、加治敬文、壇上忠良、若松章の諸君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 上岡, 川上: 山口大学工学部学報 13, No. 1 95, (昭和38—3)
- 2) JIS Z 8808: 煙道排ガス中のバイジン量の測定方法 (日本規格協会)
- 3) 井伊谷, 八木: 集塵装置 (日刊工業新聞社), 65~72.
- 4) Watson H. H., : Am. Ind. Hyg. Assoc. Quart., 15, 21 (1954)
- 5) Hemeon W. C. & Haines G. F., : Jr., J. Air Pollution Control Assoc. 4 (1954)
- 6) 井伊谷: 化学工学 19, No. 7 356, (1955)