水平気流中に置かれたワイヤメッシュデミスタの分離特性*

石谷 清幹**・ 中西 重康***・ 杉田 英昭****

Separation Performance of Wire-mesh Demister
being held perpendicular to the Horizontal Air Flow

By Seikan Ishigai, Shigeyasu Nakanishi, Hideaki Sugita

In this paper, separation of water droplets from air including water droplets by wire-mesh demisters is investigated through experiments.

Wire-mesh demisters used here are constructed by galvanized iron wires which are held perpendicular to the air flow direction and which have one layer. Moreover, the demisters have three different specific surface area, 11.06, 14.43 and 39.78 cm²/cm³ respectively. For all of the demisters mentioned above, mean air velocity is varied over the range of 1.0 to 6.0 m/s, with the size of water droplets being varied over the range of 5 to about 200 μm.

The values of separation efficiencies of these demisters are larger by those predicted by theoretical analysis which has been presented by A. Bürkholz, et al. or C. Carpenter, et al.

Characteristics of size distribution of water droplets at the inlet and the outlet to the demister, and furthermore resistance coefficients of these demisters are also investigated.

1. ま え が き

気体や蒸気の流れにおける液滴のエントレインメントは船用プラントはもとより、各種工業プラントにおいて普通よく見られる現象である。しかし、これらの液滴は一般に機械の損傷や製品の質の低下をもたらす。たとえば、ボイラの蒸気ドラムからの液滴は蒸気タービンのブレードのエロージョンやコローションの原因となり、また、船用ガスタービンの吸気中に含まれる液滴もタービン内部に悪影響を及ぼす。したがって、各種プラントにおいてこれらの液滴を除去するために、サイクロン、折れ板形エリミネータ、ワイヤメッシュデミスタ、ウォッシュ、エレクトロフィルタ等種々の分離器が使用されている。これらの分離器はそれぞれその最適使用範囲がある。そのうち最もよく用いられている折れ板形エリミネータに関して、すでに筆者らはその分離特性を理論的に解析し¹⁾、空気-水を用いた実験によってその有効性を検証した²⁾。一方、このエリミネータと同じ慣性力形分離器であるワイヤメッシュデミスタは構造が簡単で装置

への取り付けが容易であるうえに、他の分離器と比較して圧力損失はかなり小さい。また、1~10 μmの範囲の液滴分離については一般にエリミネータよりも有利であるといわれている³⁾。実際の使用にあたって、このデミスタは数mmの間隔で20~100層で組み立てられており、垂直上昇気流中に水平に取り付けられているのが普通である。

これまでに多層のデミスタの捕集効率や圧力損失に関する実験的研究はかなり行われてきているが^{4)~8)}、最も簡単な1層のデミスタの捕集効率や圧力損失、およびデミスタによって液滴の粒度分布がどのように変えられるかについてはこれまであまり研究は行われていないようである。そこで、筆者らは空気-水系の水平気流中に1層のデミスタを置き、その前後におけるエントレインメント量を測定するとともに粒径測定も行いデミスタの分離特性を調べて、これまでに発表されている理論との比較を行った。さらに、デミスタの圧力損失を測定し、乾燥時と液滴を噴霧したときの比較を行った。

使用したデミスタは3種類で、それぞれワイヤ径やメッシュなどを異にしておりこれらの影響についても考察できるようにデミスタを選んだ。

2. 実験装置および実験方法

本実験の装置および方法はすでに発表した折れ板形エ

* 原稿受付 昭和55年6月25日

昭和55年春季学術講演(昭和55年5月28日)

** 正会員 大阪大学工学部(吹田市山田上)

*** 大阪大学工学部(吹田市山田上)

**** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

リミネータの分離性能に関する実験とはほぼ同じである。したがって、ここでは概略を説明するにとどめ、詳細については文献 2) を参照されたい。

2.1 実験装置 長さ 4.23 m, 有効断面 120×120 mm の水平ダクトは厚さ 10 mm の透明アクリル板でできており、ノズルの噴霧状態やデミスタにおける液滴の付着状態を観察することができる。空気はダクト後端に取り付けたシロッコファンによって吸引流入され、ダクト前端に取り付けた JIS 規格による入口ノズルによってこの空気流量を測定した。一方、空気に同伴される液滴はダクト前端から 40 cm の位置に気流に向けて設けた噴霧ノズルから加圧ポンプによって発生させた。この液滴を同伴した空気は 2.5 m 後方にダクトの断面全体を覆うようにしてはめ込んだワイヤメッシュデミスタに流入し、そこで液滴の一部は捕集される。さらに、空気は残りの液滴を同伴してファンを通り外部へ流出する。また、デミスタ前後のダクト上面には液滴捕獲器および質量流量測定用液滴捕集器の挿入孔が設けられている。

実験は平均空気速度 U を 1.0 m/s から最大 6.0 m/s まで変化させ、噴霧圧力 p_n も 2, 4 および 6 atg の 3 段階に変えて行った。

2.2 供試デミスタ 使用したデミスタは 1 層で、3 種類のワイヤメッシュを図 1 に示すようにそれぞれ、厚さ 5 mm の 2 枚のアクリル板でできた枠の間に各 1 枚はめ込んで固定したものである。

図 1 デミスタの概略図

ワイヤメッシュデミスタは普通、次式で定義される比表面積 a とボイドフラクション ϵ によって指定される。

$$a = \frac{\text{ワイヤの表面積}}{\text{デミスタの容積}} \quad (1)$$

$$\epsilon = 1 - \frac{\text{ワイヤによって占められる容積}}{\text{デミスタの容積}} \quad (2)$$

また、相対投影面積 p_1 は次式で定義される。

$$p_1 = \frac{\text{ワイヤの投影面積}}{\text{デミスタの投影面積}} \quad (3)$$

3 種類の供試デミスタの要目を表 1 に示すが、No. 1 と No. 2 デミスタは相対投影面積とボイドフラクションはほとんど同じで、ワイヤ径、比表面積およびメッシュが異なる。No. 3 デミスタは他のものよりも極端にワイヤ径を小さくしてメッシュを大きくしている。

2.3 同伴液滴の粒度分布の測定 液滴粒子の寸法を測定する方法はいろいろ提言されているけれども、本実験では液浸法を採用して液滴粒子の顕微鏡写真から直接寸法測定を行った。液滴は少し劣化させた特 3 号シリンドラ油を塗布したガラス板に捕獲されるが、このシリンドラ油は十分な高粘度を有しており、これを塗布したガラス板を垂直に立ててもシリンドラ油が流下する速度はきわめて遅く、ほとんどこの流下速度の影響は無視できた。この液滴を受け止めるガラス板は液滴捕獲器²⁾の所定の位置に取り付けられ、背後の押えばねによって固定される。捕獲器には $\phi 6.5$ mm の窓が気流方向に向かってあけられており、前面のシャッターを開けることによって液滴はこの窓を通りガラス板に捕獲される。一方、シャッターの下端は上流側に曲げられており、シャッターに付着した液滴が流下して窓から内部に入るのを防いでいる。シャッターによる液滴の捕獲時間は実験条件に応じて 1 秒から 30 秒まで変化させて液滴粒子数密度が過大にならないようにした。捕獲した液滴の顕微鏡写真は印画紙上に 100 倍に焼き付け、 $5 \mu\text{m}$ ごとに粒径区分を設けて寸法を測定した。したがって、それぞれの区分範囲に含まれる 1 個の液滴粒子の平均質量 w_p と平均直径 D_p をそれぞれ次式で定義した。

$$w_p = \frac{\rho_p}{5} \int_{D_1}^{D_2} \frac{\pi}{6} D_p^3 dD_p = \frac{\rho_p}{120} \pi (D_2^4 - D_1^4) \quad (4)$$

$$D_p = \left(\frac{D_2^4 - D_1^4}{20} \right)^{1/3} \quad (5)$$

ここで、 ρ_p : 液滴の密度、 D_1, D_2 : 液滴粒子径区分の下限および上限の粒径、

2.4 同伴液滴の質量流量の測定 液滴の質量流量は顕微鏡写真から得られる液滴粒子の直径と個数から

表 1 供試デミスタの要目

デミスタ	ワイヤ径 D	相対投影面積 p_1	ボイドフラクション ϵ	比表面積 a	メッシュ
No. 1	850 μm	0.30	0.765	11.06 cm^2/cm^3	5.03
No. 2	650	0.30	0.766	14.43	6.51
No. 3	300	0.38	0.702	39.78	18.14

求めることができるが、実際には粒径は $5\mu\text{m}$ 区分で測定しており、また、微小液滴は気流の偏向によりガラス板にあらずにそれてしまったり、捕獲されても小さ過ぎて写真によるカウントが困難である。さらに、捕獲時間が1秒とか2秒といった短時間の場合が多く、その捕獲時間に誤差が入りやすい等のために本実験では液滴捕集器²⁾にはさんだガーゼに液滴を付着させ、ガーゼの質量増加を 0.1mg まで測定できる精密級化学天びんにて計量することによって質量流量を求めた。なお、この測定にあたっては正確にガーゼが液滴を捕集しており、蒸発の影響による質量変化のないことをあらかじめ確かめている。

3. 実験結果および考察

3.1 デミスタ前後における液滴の粒度分布

デミスタ前後における液滴粒子の顕微鏡写真の一例を図2と図3に示す。図2は平均空気速度 U が 5.0 m/s で、噴霧圧力 p_n が 2 atg のときの写真で、液滴の捕獲時間はいずれも2秒である。No.1とNo.2デミスタを比較するとあまり差はみられないが、No.3デミスタは他のデミスタよりも粒子数密度は小さくなっている。しかし、いずれのデミスタの場合も液滴の最大粒径はデミスタ前のそれと大差はない。平均空気速度をそのままにして噴霧圧力を 6 atg まで高めたときの写真を図3に示す。捕獲時間はすべて1秒である。図2に比べて明らかに液滴の粒子数密度はデミスタ前後とも増えていることが分る。No.2デミスタのときの写真はNo.1デミスタのときの写

真とはほとんど同じであった。なお、後掲の図8に示すように噴霧圧力が高いことは同伴液滴流量が多いことを意味している。

次に、これらの顕微鏡写真から液滴粒径を測定して求めたデミスタ前後における液滴の個数ひん度をヒストグラムに表わした結果を図4に示す。ただし、個数ひん度 n_p は次式で定義される。

$$n_p = n_i / \sum_i n_i \quad (6)$$

図4は噴霧圧力が 6 atg のときのヒストグラムであるが、他の噴霧圧力のときもその傾向は全く同じであった。粒径は先にのべたように $5\mu\text{m}$ ごとに測定しているが、図では粒径の分布が一見しやすいように $10\mu\text{m}$ 間隔でヒストグラムを描いている。各平均空気速度に対してデミスタ前の液滴粒子のヒストグラムの下方に No.1, No.2 および No.3 の順にデミスタ通過後の液滴粒子のヒストグラムをそれぞれ示している。まず、本実験の最小の平均空気速度である 1.0 m/s の場合、噴霧圧力を変えてもほとんどすべてのデミスタにおいて、デミスタ通過後の $0\sim 30\mu\text{m}$ の小粒径液滴個数の占める割合がデミスタ前のそれに比較して大幅に増加している。したがって、逆に $40\mu\text{m}$ 以上の液滴個数の占める割合が減少しており、この傾向は平均空気速度が 2.0 m/s の場合にも見られる。しかし、この両方の速度に対しても捕獲液滴の最大粒径にはほとんど変化はなかった。さらに、平均空気速度が 3.0 m/s になると約 $50\mu\text{m}$ 以上の粒径の大きい液滴の占める割合がやや増加してくる。また、このときの最大粒

図2 液滴の顕微鏡写真

図3 液滴の顕微鏡写真

径も $100\text{ }\mu\text{m}$ を超えるようになり、再同伴によってデミスタ前の最大粒径よりも通過後の最大粒径の方が大きい場合も生じている。

粒度分布を以上のように個数ひん度のヒストグラムで表わしたが、さらに定量的に粒度分布を解析するために次式に示す Rosin-Rammler 分布関数を用いた。

$$R=100 \exp(-D_p/D_e)^n \quad (7)$$

ここで、 n は分布指数で分布のばらつきの程度を表わしている。この n の値は Rosin-Rammler 線図の直線の傾きから求めることができる。 D_e は一種の平均粒径で、この式(7)が成立すれば $R=36.8\%$ のときの D_p の値が D_e になる。 R は積算残留率で、ある粒径 D_p 以上の液滴の質量が全液滴の質量に対して占める割合である。この積算残留率 R は式(8)で定義される質量ひん度 f_p から式(9)を用いて計算することができる。すなわち、

$$f_p = \frac{w_i}{\sum_i w_i} = \frac{n_i D_{pi}^3}{\sum_i n_i D_{pi}^3} \quad (8)$$

$$R=1-\sum_{D_p=0}^{D_p} f_p \quad (9)$$

ここで、 w_i ：粒径が D_{pi} である液滴の質量、 n_i ：粒径が D_{pi} である液滴の数。

デミスタ前における液滴の積算残留率を Rosin-Rammler 線図上にプロットし、得られた Rosin-Rammler 線図から分布指数 n と平均粒径 D_e を求めた結果を図5に示す。噴霧圧力によって多少のばらつきはあるが全体としては平均空気速度が大きくなるにつれて平均粒径は大きくなっており、反対に分布指数は小さくなっている。すなわち、デミスタ前において平均空気速度が大きくなると同伴できる液滴粒径も大きくなり分布の幅も広がってくる。しかし、この傾向は平均空気速度が 3.0 m/s 付近まででそれ以上の速度になるとノズルの特性に対応する分布指数と平均粒径になってしまっている。

次に、各デミスタ前後における液滴粒子の質量分布の比較を図6に示す。平均空気速度は 1.0 m/s と 3.0 m/s で代表させている。デミスタ通過後に対する Rosin-Rammler 線図はよい直線性を示しているが、デミスタの種類による区別はあまりはっきりしない。 $U=1.0\text{ m/s}$ のときは噴霧圧力がいずれの場合にもデミスタ通過後の直線はデミスタ前のそれよりも最大粒径の点を支点にして傾きがゆるやかになっており、分布の幅が広がっていることを示している。そして、 $U=3.0\text{ m/s}$ になると噴霧圧力が 4 atg と 6 atg のときは逆にデミスタ通過後の直線は最小粒径の点を支点にして傾きが急になっており、分布の幅が狭くなり分布が均一になっていることを示している。いずれの場合も平均粒径の値は小さくなっている。しかし、 $U=3.0\text{ m/s}$ で同伴液滴流量の少ない $p_n=2\text{ atg}$ のときはデミスタ後に対して明確な分布の区別がつかず、破線で示す範囲内に点がばらつき直線を引くことができなかった。

次に、デミスタ通過後の液滴に対する Rosin-Rammler 線図から分布指数と平均粒径を求めてプロットすると図7のようになる。これによると全体としてデミスタの種類によって異なった分布はみられない。一方、同伴液滴の流量に対する影響をみると、噴霧圧力が 4 atg と 6 atg のときは平均空気速度が 3.0 m/s 以上で飽和の状態になっているが噴霧圧力が 2 atg のときは平均空気速度が 4.0 m/s 以上でそれが認められる。すなわち、飽和点は同伴液滴の流量によって異なることを示している。この飽和点に達したときの Rosin-Rammler 分布式は各デミスタとも同じでほぼ次のように表わされる。

図4 液滴の個数ひん度

図5 デミスタ前の n と D_e の値

$$\left. \begin{aligned} p_n = 2 \text{ atg のとき} \quad R &= 100 \exp \left(- \frac{D_p}{91.7} \right)^{3.7} \\ p_n = 4 \text{ atg のとき} \quad R &= 100 \exp \left(- \frac{D_p}{72.1} \right)^{3.8} \\ p_n = 6 \text{ atg のとき} \quad R &= 100 \exp \left(- \frac{D_p}{71.6} \right)^{3.6} \end{aligned} \right\} (10)$$

3.2 ワイヤメッシュデミスタの捕集効率

デミスタの捕集効率 η は次式によって定義することが

できる。

$$\eta = 1 - \frac{G_a}{G} \quad (11)$$

ここで、 G および G_a はそれぞれガーゼによる方法で求めたデミスタ前および通過後の同伴液滴の質量流量である。図8に G と U の関係を p_n をパラメータにして示す。図9は式(11)で計算して求めた捕集効率と平均空気速度の関係を各噴霧圧力に対して表わしたもので、デミスタの種類をパラメータにしている。平均空気速度が3.0 m/sあたりまでは捕集効率は平均空気速度の増加とともに急激に増えているが、平均空気速度がそれ以上になると捕集効率は逆にゆっくりと減少し始めている。これは同図のすべての場合に見られる現象である。この捕集効率が途中で減少することはワイヤに付着した液滴やメッシュの目を覆っている液膜が高速の気流によって再同伴されるためである。ワイヤメッシュにおける液滴の捕集状況を観察すると、まず、ワイヤに衝突した液滴同士が合体してワイヤに大きな滴となって付着し、ついには垂直位置のワイヤに沿って流下する。一方、水平位置のワイヤに付着して大きくなった液滴はやがてワイヤから離脱するが、液滴の大きさとメッシュの目の大きさによってはその液滴が離脱せずにメッシュの目を覆う液膜となる。そして、この液滴がデミスタの捕集効率に大きく寄与している。たとえば、図9の $U=1.0$ m/s のときの捕集効率に注目すると、流入同伴液滴流量の少ない $p_n=2$

図6 デミスタ前後のRosin-Rammmler線

atg の場合はどのデミスタも液膜が生じなかったが、同伴液滴流量の多い $p_n=6$ atg の場合はすでにこの空気速度で液膜が生じ始めており、かなり効果は上昇している。また、No.2 および No.3 デミスタとメッシュの目の一番大きい No.1 デミスタとははっきりと捕集効率に差がでている。しかし、 $U=3.0$ m/s になると $p_n=2$ atg の場合も液膜が生じ、No.1、No.2 デミスタと No.3 デミスタの捕集効率に差が生じている。このことは他の噴霧圧力の場合には $U=2.0$ m/s のときにみられる。すなわち、この平均空気速度以上になると No.3 の目の細かいデミスタは他のデミスタよりもはるかに液膜が生じやすくなっており捕集効率が高い。なお、高速域で噴霧圧力の低い方が

高効率なのは同伴液滴流量が少ないとワイヤや液膜での液滴の合体する率が低くなり、それだけ長く捕集作用を続けることができるためと考えられる。

次に、ワイヤメッシュデミスタの理論捕集効率について考察する。デミスタの理論捕集効率の基礎となる理論は1個の円筒、すなわち、1本のワイヤにおける粒径捕集効率 η_d である。これは図10に示すように、液滴を同伴した空気がこのワイヤに衝突するとき空気は実線で示されるようにその表面に沿って偏向して流れるが、液滴粒子は破線で示されるように慣性のためにワイヤ面に衝突して捕集される。したがってこの図の場合、 D' で示される範囲に存在する液滴はすべて捕集されるからワイヤ

図7 デミスタ後の n と D_e の値

図8 デミスタ前の同伴液滴質量流量

図9 デミスタの捕集効率

図10 1本のワイヤの液滴捕集

径を D とすれば η'_d は D'/D で表わされる。この η'_d の値はこれまで多数の理論的および実験的研究によって発表されているが、ここでは図11に示す有名なBrunら⁹⁾の線図を用いる。縦軸が η'_d 、横軸が慣性パラメータ K_0 で、無次元数 φ をパラメータにしている。 K_0 と φ はそれぞれ次式で定義される。

$$K_0 = \frac{\rho_p D_p^2 \cdot U}{9 \mu_a D} \quad (12)$$

$$\varphi = \frac{Re_p^2}{K_0} = \frac{9 \rho_a D \cdot U}{\rho_p \cdot \nu_a} \quad (13)$$

ここで、 ρ_a ：空気密度、 D ：ワイヤ径、 μ_a ：空気の粘性係数、 ν_a ：空気の動粘性係数、 Re_p ：液滴粒子の

 図11 1本のワイヤに対する慣性パラメータと粒径捕集効率の関係 (Brunら⁹⁾による)

図12 1本のワイヤの粒径捕集効率

レイノルズ数。

本実験では φ の値はきわめて小さく、 $\varphi=0$ の効率曲線を用いることができる。いま、式(12)から各ワイヤ径に対して K_0 を計算し、図11によって η'_d を求めた結果を図12に示す。1本のワイヤの粒径捕集効率は液滴粒径と空気速度が大きいほど、また、ワイヤ径が小さいほど大きくなることが分る。

この η'_d を用いて1層のデミスタの理論粒径捕集効率 η_d を次式から求めた。

$$\eta_d = p_1 \cdot \eta'_d \quad (\text{Bürkholz らの式}^{3)}) \quad (14)$$

$$\eta_d = F p_1 \eta'_d \quad (\text{Carpenter らの式}^{5)}) \quad (15)$$

ここで、 F は定数($=2/3$)である。

図13に本実験の供試デミスタに対する理論粒径捕集効率を示す。実線が式(14)、破線が式(15)をそれぞれ用いて計算した結果である。

デミスタへ流入する液滴の質量ひん度 f_p は既知であるからデミスタの理論捕集効率 η_{th} は次式で計算することができる。

$$\eta_{th} = 1 - \sum \frac{f_p}{D_p} (1 - \eta_d) \quad (16)$$

しかし、図13によると粒径が約 $40 \mu\text{m}$ 以上の液滴の理論粒径捕集効率はNo.1とNo.2デミスタに対して30%または20%で、No.3デミスタに対しては38%または25%である。したがって、理論捕集効率がこれらの値以上にならないことは明らかである。本実験で得られた捕集効率と比較するとかなり差が大きい。その原因としては次のようなことが考えられる。

① 実際にはワイヤのまわりに液膜が生成されているために液滴の付着が容易になっている。

② 理論式はその式の形から上限値が定まってしまう。

③ 理論では液滴粒子径がワイヤ径よりも小さいとしているが、実際には液滴は微粒

図 13 供試デミスタの理論粒径捕集効率

子だけではない。

④理論ではメッシュ間隔の影響や同伴液滴の流量の影響が入っていない。

3.3 許容空気速度 ワイヤメッシュに付着した液滴に作用する力は空気速度による力、重力、表面張力の3種の力で、これらの力のバランスがくずれると液滴は流下したり再同伴したりする。もし、空気速度による力が他の二つの力よりも大きくなると液滴は再同伴されることになるが、この再同伴の生じない最大の空気速度を許容空気速度とよぶ。フラidding等を考慮して水平に置かれたワイヤメッシュデミスタに対する許容空気速度 U_c は次式で表わされる。

$$U_c = c \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a}} \quad (17)$$

ここで、 c は定数でデミスタの形状や運転条件によって種々の値をとる。

いま、文献6)に示されている定数 c の値から U_c を計算すると 3.0 m/s となった。本実験では平均空気速度が

3.0 m/s 以上になると Rosin-Rammler 線図でその分布の区別ができなくなってくることが示された。

3.4 ワイヤメッシュデミスタの圧力損失

ワイヤメッシュデミスタの圧力損失 Δp はデミスタの前方 140 mm、後方 500 mm の位置におけるベッツ型マノメータで測定した静圧差から、デミスタの無いときの同じ場所における静圧差を差し引いたものとして定義した。いずれのデミスタも液滴を噴霧せずに空気のみを流す乾燥時圧力損失と、液滴を噴霧したときの圧力損失は一致しない。一方、同じ空気速度範囲でエリミネータの場合はこの両者の間には全く差は認められなかった²⁾。エリミネータはその構造上、折れ板に付着した液膜が著しく流路を狭くするというのではないが、デミスタの場合はワイヤメッシュに付着した液滴によりワイヤ径が大きくなったことと同じ効果が生じるとともに、条件によってはメッシュの目を液膜が覆ってしまい流路面積を著しく狭くすることが観察された。図 14 に乾燥時と噴霧圧力を変えたときの各種のデミスタに対する圧力損失の測

図 14 供試デミスタの圧力損失

定結果を示す。縦軸に圧力損失 Δp (mmAq)、横軸に平均空気速度 U (m/s)をそれぞれ両対数グラフにとっている。全体的に、No.1とNo.2デミスタにおいてはNo.2デミスタの方がわずかに圧力損失が大きい程度で、ほとんど両者は1本の直線で表わすことができる。それに対して、No.3デミスタの圧力損失はかなり大きくなっている。また、両直線の傾きは乾燥時の場合には少し異なるが、各噴霧条件においてはお互いにほとんど等しく、噴霧圧力が大きくなるにつれてわずかに小さくなっている。

次にデータのばらつきについて考察する。乾燥時と噴霧圧力が2 atgのときの圧力損失は各デミスタともによい直線性を示していることが分る。しかし、噴霧圧力が4 atg以上になると平均空気速度の小さい範囲ではよい直線性を示すが、平均空気速度が約3.0 m/s以上になるとデータのばらつきが目立つ。このように平均空気速度と噴霧圧力がともに大になるにつれてデータがばらつくことは、デミスタに付着する液滴の量が多くなってワイヤメッシュの目を覆う液膜が生じては、また、再同伴されることによって消滅するといった具合にデミスタの表面の状態が変動しやすいためと考えられる。このことはデミスタの捕集効率を考察するうえからも重要な現象である。このように p_n を一定にして Δp と U の関係が得られたが、実際には図8に示したように平均空気速度が変化すると同伴液滴流量も変化する。したがって、厳密には各平均空気速度に対して同伴液滴流量が一定になるように噴霧圧力を調整して圧力損失を測定する必要がある。

図15はNo.1, No.2デミスタとNo.3デミスタに対する圧力損失を噴霧圧力をパラメータにして描き直したもので、噴霧圧力すなわち同伴液滴流量の影響は目の細かいNo.3デミスタの方に大きくあらわれていることがよく分る。

図15 供試デミスタの圧力損失

エリミネータの場合は、圧力損失 Δp がほぼ完全に平均空気速度 U の2乗に比例するとして圧力損失係数 ζ を算出することができたが²⁾、このデミスタの場合は、 Δp が U の k 乗に比例するとして次式から ζ を求める。

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_a \cdot U^k / 2g} \quad (18)$$

ここで、 g は重力加速度で、指数 k は直線の傾きから求める。

表2に各デミスタに対する指数 k と圧力損失係数 ζ の値を示す。噴霧圧力が4 atgおよび6 atgになるとNo.3デミスタの ζ はNo.1およびNo.2デミスタの ζ の約3倍にもなっている。

いま、液滴を噴霧したときの圧力損失と乾燥時の圧力損失との比を圧力損失比と呼び、この値を計算すると表3のようになる。それぞれ最低値は $U=1.0$ m/sのときで、最高値は $U=6.0$ m/sのときの値である。乾燥時の圧力損失をベースにした比較的一定な損失比を有しているのはNo.1とNo.2デミスタに対する $p_n=6$ atgのときでは乾燥時の2倍程度におさまっており、次いで同じデミスタの $p_n=4$ atgのときである。No.3デミスタはメッシュの目が小さいために液滴がそこを覆いやすく他のデミスタに比べて圧力損失比はきわめて大きい。

表2 圧力損失係数

デミスタ	条 件	k	ζ
No.1	乾燥時	1.899	0.7838
	$p_n=2$ atg	2.289	0.7683
	4	2.125	1.2541
	6	2.045	1.5151
No.2	乾燥時	1.899	0.8383
	$p_n=2$ atg	2.289	0.8147
	4	2.125	1.3438
	6	2.045	1.6262
No.3	乾燥時	1.694	1.6334
	$p_n=2$ atg	2.289	1.3438
	4	2.125	3.7781
	6	2.045	4.7245

表3 圧力損失比

圧力損失比 p_n	No.1, No.2			No.3		
	最低値	最高値	比	最低値	最高値	比
2 atg	1.00	1.89	1.89	1.00	2.86	2.86
4	1.64	2.30	1.40	2.19	4.79	2.19
6	1.95	2.43	1.25	2.86	5.24	1.83

なお、デミスタのメッシュの孔を通る流れは面積が急に狭くなる部分と急に広がる部分を通ることになる。この流れは板にけた孔を通る流れに似ているので、管路中にオリフィス板を置いたときの圧力損失を計算で求め、デミスタの圧力損失と比較した結果を図14の乾燥時圧力損失に示している。破線および一点鎖線はそれぞれNo.1, No.2デミスタおよびNo.3デミスタの相対投

影面積を用いて計算したものである。オリフィス板として計算した結果とデミスタの実験結果とは本空気速度範囲ではかなりよく合っていることが分る。

4. ま と め

形状の異なる3種類の1層のデミスタに対して得られた実験結果を簡潔にまとめると次のようになる。

(1) デミスタ前の液滴の粒度分布は噴霧圧力によって多少のばらつきはあるが、いずれの場合も平均空気速度の増加とともに平均粒径は大きくなり、分布の幅も広がる。しかし、平均空気速度が3.0 m/s以上になると粒度分布は噴霧ノズルの特性に対応する。

(2) デミスタ後の液滴はデミスタ前の液滴と同様に Rosin-Rammler 分布をしている。

(3) 平均空気速度が小さくてもデミスタ後の液滴の最大粒径はデミスタ前のそれとあまり変らない。速度が大きくなると再同伴によってデミスタ前の液滴の最大粒径よりも大きな液滴が生ずる場合がある。

(4) デミスタ後の液滴の Rosin-Rammler 線図はほとんどデミスタ前の線図よりも粒径の小さい左側にある。

(5) デミスタ後の液滴の分布指数は平均空気速度に関係せず一定で、平均粒径はある飽和点に達する速度になるまでは増加するがそれ以上は一定である。この飽和点に達するときの空気速度はデミスタ前の同伴液滴の流量に影響される。

(6) 本実験に用いた程度の形状の差ではデミスタの種類による粒度分布の顕著な影響はあらわれなかった。

(7) デミスタの捕集効率はある平均空気速度までは急激に大きくなるが、それ以上に速度が大きくなると再同伴の影響で効率は減少し始める。

(8) 平均空気速度が小さい場合、デミスタ前の同伴液滴の流量が少ないとデミスタの種類による効率の差は見られないが、流量が多くなると3種類とも効率の差が見

られる。しかし、空気速度が大きくなるといずれの同伴液滴流量の場合も比表面積が最大であるNo.3 デミスタの方が他の2種類のデミスタよりもかなり効率は大きくなる。

(9) 従来発表されているデミスタの捕集効率の理論式による値は本実験値よりもかなり小さい。その原因は本文にのべたように理論には同伴液滴流量の影響が入っていないこと等が考えられる。

(10) デミスタの圧力損失は乾燥時よりも液滴を噴霧したときの方が大きく、同伴液滴流量が多い程その影響は強い。

(11) No.1 と No.2 デミスタに圧力損失の差は少し見られるが、No.3 デミスタは他のデミスタよりも圧力損失係数で2~3倍も大きい。このことから、デミスタの圧力損失は比表面積によって大きく影響を受けることが分る。

(12) デミスタの乾燥時圧力損失は管路内のオリフィス孔を通過するときの圧力損失によく合っている。

文 献

- 1) 石谷・中西・杉田・長沢, 舶機誌, 12-6 (1977), 387.
- 2) 石谷・中西・杉田, 舶機誌, 15-3 (1980), 244.
- 3) Bürkholz, A., Müschelknautz, E., Chemie-Ing.-Techn., 44-8 (1972), 503.
- 4) York, O. H., Chem. Engng. Prog., 50-8 (1954), 421.
- 5) Carpenter, C. L., Othmer, D. F., A.I.Ch.E. Journal, 1-4 (1955), 549.
- 6) York, O. H., Poppele, E. W., Chem. Engng. Prog., 59-6 (1963), 45.
- 7) Bradie, J. K., Dickson, A. N., Proc. Instn. Mech. Engrs., 184-3C (1969), 195.
- 8) Bürkholz, A., Chemie-Ing.-Techn., 42-21 (1970), 1314.
- 9) Brun, R. J., Lewis, W., Perkins, P. J., Serafini, J. S., NACA Report, 1215 (1955), 141.