高速気流による微粒化*

佐賀井 武**・佐藤 正之**

はじめに

液体微粒化装置は、圧力噴霧、気流噴霧および回転噴霧の3種に大別できる。それらは本質的には液の振動および液と気体との相対的運動のエネルギーを用いて微粒化をするのであるが、気流による微粒化においては、容易に微細な粒子がえられることが特徴である。

すなわち、微粒化に利用される気流のエネルギーの量を液体の流量に無関係に変えられ、微粒化の困難な高粘度の液体や、濃厚なサスペンションの場合でも、比較的低い噴霧圧力で広範囲の液流量にわたり良好な噴霧をえることができる。液体、気体ともに比較的低い圧力で微粒化が可能であるため周辺の機器が小容量のものでまにあう、などの長所をもっており古くから実用化され、かつ多くの研究がなされている。

しかし、気流による微粒化に関しては、平均粒径に関する実験的研究がほとんどであり、分裂機構および分布関数に関する研究もなされているが、まだ理論的には

完全に解明されたわけではなく、今後かかる理論的な面も検討されなければならないものと思われる。ここでは、これまでの多くの研究者によってなされた研究成果のうち興味ある点を概説したい。なお、水蒸気による微粒化が広く実用化されているが、研究発表がほとんどみられないので省いた。

1. 2流体噴霧器の種類

流出する液体を気流で吹きちぎるという基本的原理は共通であるが、多くの形式が使われている。2流体噴霧器は大きく内部混合形と外部混合形に分けることができる。内部混合形は噴霧器内部で液体と気体とを混合して、あわ状に噴出するもので、噴出速度が比較的低いため噴出速度の大きい並行2流体噴霧器にみられるような火炎保持のむずかしさがなく、かつ使用1次空気量も1/10以下ですむため実用的にはかなり多く用いられている。残念ながら、解析が困難なためか報告は少ない。

表1 2流体噴霧器の分類

形式	微粒化の方法		分類番号	文献
外部混合形	液柱を気流で吹きちぎる	並行気流	1-1-1	10) 15) 16) 23) 26) 27) 34) 36) 38) 39)~43) 45) 49) 50) 56)
		傾斜気流	1-1-2	25)
		直角気流	1-1-3	2) 8) 23) 32) 34) 53)
		逆向き気流	1-1-4	24) 32) 37)
		旋回気流	1-1-5	7) 19) 46) 56)
	液膜を気流で吹きちぎる	旋回液流による液膜	1-2-1	3) 13) 56)
		衝突による液膜	1-2-2	16) 31) 32)
	回転により噴出した液を気流で吹きちぎる	回転コップよりの液膜	1-3-1	14)
		回転円盤よりの液膜	1-3-2	1)
内部混合形			2-1	4) 6)

注) 分類番号は図1および表4と共通である。

気流噴出口については converging nozzle と venturi nozzle の区別は特に行っていない。

* 昭和46年9月22日受理

** Takeshi Sakai (正会員) and Masayuki Sato (正会員) 群馬大学工学部 化学工学科

図1 2流体噴霧器の概略図

図2 液柱分裂のモデル図

並行2流体噴霧器は抜糸・棚沢をはじめとして、多くの研究がなされており、液の噴出方法および気流の方向

などの異なる他の2流体噴霧器の基本的なものと考えられる。表1に2流体噴霧器の大まかな分類を、また図1にそれらの略図を示した。

2. 液流分裂機構の遷移

液柱をある相対速度をもった気流で吹きちぎる場合、どのような分裂機構によって微粒化がおこなわれるかを知ることは、噴霧の粒度分布および平均粒径にたいする考察をするうえで重要である。

液流の分裂に関する理論的研究は、古く Rayleigh⁴⁷⁾ によってなされた。図2-2のごとき振動のモデルより、振動の不安定性におよぼす液柱の直径 D と波長 λ の関係を求め、 λ/D が4.51の値をもつときに、最も不安定となり滴に分裂することを示し Colburn⁴⁹⁾ により渦巻圧力噴霧器について実験的に確認された。Rayleigh 理論をさらに Weber⁵⁴⁾ が粘性流体に適用して、液流基準のウェーバー数を用い、液流の分裂に要する時間を求めた。分裂時間と分裂に最適な λ/D は液体の粘度および表面張力の増加により増すことを示し、Haenlein¹⁸⁾ の実験値との一致がたしかめられた。Weber はまた、気流と液流との相対速度が増した場合の図2-3のごとき旋回対称振動について解析し、波のできはじめの最小の相対速度が存在することを示した。2次元液膜においても同様の振動についての解析がおこなわれた³⁵⁾。

さらに相対速度が大きい場合、すなわち2流体噴霧器においては気流が高速、および圧力噴霧器においては噴霧圧力が大きくなると、液の噴出直後に分裂が起こり、多くの液滴を生ずるようになる。Castleman⁵⁾ は2流体噴霧器についてこの状態を研究し、相対速度のために液流表面にひもができ、分裂にいたるものとし、Rayleigh の理論を適用した。

さらに基礎的な研究として、単一液滴および水平方向の液膜をある相対速度をもった気流で吹きちぎる研究が行なわれた^{17,20,21,33,48,57)}。たとえば Lane³³⁾ は単一液滴を定常および非定常気流中にさらした場合の分裂のようすを観察し、限界速度を用いて説明しており、高速気流における液流分裂のモデル的な実験として注目される。

すなわち、定常気流中にさらした場合には、滴はまず偏平になり、滴と気流との限界相対速度 $V_{crit.}$ においては袋状に変形する。この袋は破れて非常に細かい滴を生じ、残った縁は、その後大きな滴に分裂する。液滴径 D を0.5~5.0mmに変えた実験により $V_{crit.}$ と D との関係式がえられた。また、相対速度のより大きい実験が非定常気流において行なわれた。その結果、衝撃波の通過により、定常気流の場合とは反対に液滴は下流向き

図 3 並行 2 流体噴霧器における分裂模様の変化

に皿状に変形され、縁がうすくはがされ小さい滴へと分裂するのが観察された。同時に、粒径測定によれば、約 10 気圧* までは圧力を増すともなつて粒径は小さくな

るが、実験における最高速度である超音速においては、低速空気流のときの結果から外挿した値より大きくなり、限界最小粒径が存在するという結論がえられた。

Ingebo²⁰⁾ は Lane の限界相対速度より最大粒径の計算

* 非定常高速気流をえるための空気タンク圧力

図4 回転噴孔噴霧器による体面積平均粒径の変化（使用液体：水）

表2 遷移点の文献値

測定者	遷移点 $V_{r,i}$ [m/sec]	試料	噴霧器
Haenlein ¹⁹⁾	40~73	軽油	圧力噴霧器
Holfelder ²⁰⁾	40~50	水	圧力噴霧器
倉林 ²⁰⁾	40~60	グリセリン水溶液	回転噴霧器
佐賀井 ⁴⁰⁾	80~100	重油	並行2流体噴霧器
Scheubel ²⁰⁾	55	エチルアルコール	圧力噴霧器

表3 分裂機構の分類

分裂機構	Holfelder ²⁰⁾	倉林 ²⁰⁾	抜山・棚沢 ⁴⁰⁾	Ohnesorge ⁴⁰⁾
滴下状態 (図2-1)	滴下	滴状分裂		
軸対称振動分裂 (図2-2)	滴状流	平滑流	滴状分裂	第I領域
旋回対称振動分裂 (図2-3)	波状振動流	波状流	ひも状分裂	第II領域
旋回対称振動分裂と噴霧状態との中間領域（たとえば図3-7~8）		部分噴霧流		
噴霧状態	噴霧拡散流	噴霧流	膜状分裂	第III領域

をおこない実験値との一致をたしかめた。しかしながら Lane が行なった非定常気流中での巨大液滴の分裂は、液柱から発生した液滴の再分裂について適用されるというており、液柱の分裂機構のすべてを説明するには問題が残ると思われる。

一方、Ohnesorge⁴⁰⁾ はウェーバー数とレイノルズ数から Weber が導いた無次元安定数を用いて分裂機構を分類できるとした。すなわち、軸対称振動による液柱分裂がおこる第I領域、さらに液流速が増すとヘリコイド状振動による分裂がおこる第II領域、さらに高速にな

ると噴出直後に分裂する第III領域となることを示した。このように液柱の分裂機構が諸条件によって変化することが、各種の噴霧器について定性的にたしかめられた。

第I領域（図2-2）および第II領域（図2-3）についての理論的研究は若干なされているが¹¹⁾、2流体噴霧器の特徴であり、かつ実用的操作条件である第III領域についてはあまりみられない。

一方、2流体噴霧器について現象論的な研究を、瞬間写真を用いて抜山・棚沢³⁹⁻⁴³⁾ らが行なった。すなわち、並行2流体噴霧器における微粒化模様の観察⁴³⁾ より、(1) 滴状分裂、(2) ひも状分裂、(3) 膜状分裂とに分類した。これらはそれぞれ、Ohnesorge の第I、第II、第III領域に相当するものと考えられる。

図3に並行2流体噴霧器における微粒化機構の変化を示した。写真は筆者らの撮影によるものである。図3-1より図3-5は波状流よりのひも状分裂であって、気流によってひきのばされたひもの先端より滴が分裂し、膜の生成はみられない。図3-6ごろから膜ができはじめ図3-8において膜が破れはじめる。この点が膜状分裂の開始点であって、図3-9以後は膜状分裂を主とした噴霧流へ移行する。

倉林²⁸⁻³²⁾ は回転噴霧器を用いて、瞬間写真による分裂機構と平均粒径との関係を検討した。図4に倉林の結果²⁹⁾ の一例を示した。図4からわかるように、3の部分の波状流から5の部分の噴霧流へ移行する際の4の部分においてはバラツキもいくぶん多く、どちらの部分にも属さない部分であることから、部分噴霧流と名づけた。平均粒径実験式は3の部分、5の部分について、それぞれ別に報告している。筆者ら⁴²⁾ は、並行2流体噴霧器を用いて重油について行なった実験において波状流より噴霧流へ移行する不連続な部分のあることを平均粒径で示した。

表2に、ある特定な液体、噴霧器、操作条件における波状流より噴霧流への遷移点の生ずる相対速度の文献値を示した。より一般化するために筆者らは瞬間写真により遷移点の推算式を提案した⁵¹⁾。以上に述べた分裂機構の変化を表3に大まかに示した。

相対速度が遷移点以上となる場合の分裂機構および粒径分布あるいは平均粒径にたいする理論的な研究は今後の課題であろう。

3. 平均粒径に関する実験式

平均粒径に関する実験式は数多く報告されている。噴霧器の種類が多岐にわたっているが、代表的な実験式を表4に示した。これらの実験式のうちには次元的に不完

表 4 平均粒径実験式

研究者	実験式	噴霧器	備考
Baryshev, Yu. N. ¹⁾	$\frac{\bar{D}_{10}}{\bar{D}_{d,isc}} = 1.01 \left(\frac{Q_g \rho_l}{D_{d,isc} \mu_l} \right)^{0.10} \left(\frac{V_g D_{d,isc} \rho_g}{\mu_g} \right)^{-0.10} \left(\frac{D_{d,isc}^3 \omega \rho_g}{\mu_g} \right)^{-0.35} \left(\frac{\sigma}{D_{d,isc}^3 \omega^2 \rho_l} \right)^{0.05}$	1-3-2	すべて MKS 単位 $\bar{D}_{10}$: arithmetic mean diameter ω : radians/sec
Conroy, E. H. Jr. ¹⁰⁾	$\bar{D}_{32} = 687 \left(1.5 + \frac{W_l}{W_g} \right) W_g^{-0.9}$	1-1-1	垂直速 $\bar{D}_{32}$: [μ] W_g : [lb/hr]
	$\bar{D}_{32} = 29900 \left(1.5 + \frac{W_l}{W_g} \right) W_g^{-1.63}$	1-1-1	音速
Eisenklam, P. ¹²⁾	$\bar{D}_{32} = \frac{585}{V_r} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + \frac{725}{\rho_l^{1.72}} \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma}} \right)^{0.45} \left(\frac{W_l}{W_g} \right)^{1.5}$	1-1-1	$\bar{D}_{32}$: [μ] V_r : [m/sec] その他は cgs 単位
Gretzinger, J. ¹⁶⁾	$\bar{D}_{med} = 2600 \left[\left(\frac{W_l}{W_g} \right) \left(\frac{\mu_g}{\rho_g V_g D} \right) \right]^{0.4}$	1-1-1	$\bar{D}_{med}$: mass median diameter [μ]
Kim, K. Y. ²⁷⁾	$\bar{D}_{med} = 249 \frac{\sigma^{0.41} \mu_l^{0.32}}{(V_r^2 \rho_g)^{0.57} A^{0.36} \rho_l^{0.16}} + 1260 \left(\frac{\mu_l^2}{\rho_l \sigma} \right)^{0.17} \frac{1}{V_r^{0.34}} \left(\frac{W_g}{W_l} \right)^m$	1-1-1	$\frac{W_g}{W_l} < 3$ のとき $m = -1$ $\frac{W_g}{W_l} > 3$ のとき $m = -0.5$ $A = \frac{\pi}{4} (D_g^2 - D_l^2)$ [in] V_r : [ft/sec] $\bar{D}_{med}$: mass median diameter [μ] μ : [c. p.] ρ : [lb/ft ³] σ : [dynes/cm]
Mugele, R. A. ³⁰⁾	$\frac{\bar{D}_{32}}{D_l} = 1140 \left[\frac{D_l \rho_l V_r}{\mu_l} \right]^{-0.87} \left[\frac{\mu_g V_r}{\sigma} \right]^{-0.45}$	1-1-1	$\frac{Q_l}{Q_g} \leq 0.0001$ のとき
披山-棚沢 ⁴²⁾	$\bar{D}_{32} = \frac{585}{V_r} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + 597 \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma \rho_l}} \right)^{0.45} \left(1000 \frac{Q_l}{Q_g} \right)^{1.5}$	1-1-1	$\bar{D}_{32}$: [μ] V_r : [m/sec] その他は cgs 単位
佐賀井 ⁵⁰⁾	$\frac{\bar{D}_{32}}{D_l} = A \left(\frac{D_l \rho_l V_r}{\mu_l} \right)^B \left(\frac{D_l \rho_l V_r^2}{\sigma} \right)^C \left(\frac{Q_g}{Q_l} \right)^D$	1-1-1	すべて cgs 単位 $\frac{Q_g}{Q_l} > 1500$ のとき $A = 1790$ $B = -0.35$ $C = -0.29$ $D = -0.33$ $\frac{Q_g}{Q_l} < 1500$ のとき $A = 66.6$ $B = -0.093$ $C = -0.41$ $D = -0.096$
Wigg, L. D. ⁵⁶⁾	$\bar{D}_{med} = 200 \left(\frac{\mu_l}{\rho_l} \right)^{0.5} W_l^{0.1} \left(1 + \frac{W_l}{W_g} \right)^{0.5} \left(\frac{D_g}{2} \right)^{0.1} \sigma^{0.1} \rho_g^{-0.1} V_r^{-1}$	1-1-5 1-2-1	$\bar{D}_{med}$: mass median diameter [μ] V_r : [m/sec] その他は cgs 単位

注) 噴霧器は表 1 を参照

全なものも多いが、Gretzinger¹⁶⁾ や Mugele³⁸⁾ によって代表されるように、無次元実験式によって平均粒径の推算式をあらわそうとする傾向がみられる。

並行 2 流体噴霧器については披山・棚沢の式は次元的に不完全ではあるが、実験値とよい一致がみられることから、古くから用いられてきており、他の研究は、その追試あるいは範囲延長を行なっている場合が多い。

披山-棚沢式との比較検討を行なった研究としては、まず Lewis³⁴⁾ のベンチュリ形 2 流体噴霧器を用いて、気体の密度と粘度を変えて行なった実験がある。それによると、窒素とエタンにより気体の粘度を 60% 減少させたところ、体面積平均粒径が同程度減少し、同じくへ

リウムと窒素により密度を 1/7 に下げたところ、気流の速度の増加にもかかわらず平均粒径は窒素による場合の 2 倍程度となった。また、気流と液流の容積流量比 Q_g/Q_l の大きい場合には、ともに温度の高いほど微粒化に効果があった。ベンチュリ形 2 流体噴霧器にも披山-棚沢式が適用できることがわかったと報告している。

Conroy¹⁰⁾ もまた、ベンチュリ形噴霧器を用いて熔融イオウにより披山-棚沢式との一致をたしかめた。Hrubecky²³⁾ は、水を使って液流の噴出方向と噴出場所を変えた実験を行なった。液流は空気流と並行に、また空気流の最大速度の付近に液噴出口を設けた場合に最も

よく微粒化され、結果は拔山-棚沢式とほぼ一致した。

また、Ingebo²⁴⁾、Wetzel⁵⁵⁾ とも異なった噴霧器を用いて検討しており、液柱微粒化方式の2流体噴霧器には一般的に拔山-棚沢式が適用され得るものとみられている。

拔山-棚沢らの操作条件範囲を越えた領域についての研究としては、Bitron²⁷⁾ などによる超音速気流、Chen⁶⁾、Conroy¹⁰⁾、Hrubecky²³⁾ および Kim²⁷⁾ による亜音速気流、筆者ら⁵⁰⁾ による遷移点前後の相対速度領域についての微粒化実験がある。Bitron は、ベンチュリ形噴霧器を用いて超音速においても拔山-棚沢式とよく一致することを示した。しかし、空気流速あるいは Q_a/Q_l の低い部分およびごく高い部分、たとえば Q_a/Q_l が 1500 以下および空気流速が音速以上については、良好な一致がみられないという報告もある。

すなわち、Hrubecky²³⁾ によれば $1000 < Q_a/Q_l < 5000$ の音速までは拔山-棚沢式との一致はよいが、気流の速度 $V_a > 140$ m/s で $Q_a/Q_l > 10000$ では拔山-棚沢式による計算値より実験値の方が小さくなり、特に $V_a > 280$ m/s で $Q_a/Q_l > 5000$ の音速に近い部分で不一致がみられた。また、筆者ら⁵⁰⁾ は、拔山-棚沢式が気液の相対速度の低い場合に一致が十分でないことから、 Q_a/Q_l を 1500 以上と以下とにわけ、無次元実験式をそれぞれに

について求め、Bitron らのデータとともに整理し、良好な一致をみた。最近では、Kim²⁷⁾ が、質量流量比を 3 以上と以下、すなわち Q_a/Q_l を約 2400* でわけて実験式の係数をそれぞれについて求めている。

2つの領域にわけた Q_a/Q_l が 1500 と 2400 という値には理論的根拠はなく、あくまでも便宜的なものと思われるが、領域をわけるといふこと、そしてその値として Q_a/Q_l が 2000 前後であるということの物理的意味の検討は分裂機構の理論的解明に関連して、今後の2流体噴霧器による微粒化の解析を行なううえで興味のあることと思われる。

おわりに

以上、2流体噴霧器の一般的形式および実用にあつての平均粒径の推算式などとともに、液柱の分裂機構の変化について、おおまかな記述を行なった。

はじめに述べたごとく、2流体噴霧器は噴霧流領域がたやすくえられるという特徴をもっているが、その機構は必ずしも明確にはされていないのが現状である。今後、平均粒径のみならず、微粒化機構および分布に関する研究が期待される。

使用記号

D = 直径	[L]	σ = 表面張力	[M/T ²]
$\bar{D}$ = 平均粒径	[L]	<添え字>	
Q = 容積流量	[L ³ /T]	a = 空気	
V = 流速	[L/T]	g = 気体	
W = 質量流量	[M/T]	l = 液体	
μ = 粘度	[M/LT]	r = 相対	
ρ = 密度	[M/L ³]	s = 遷移	

文 献

- 1) Baryshev, Yu. N., K. D. Vachagin and V. S. Nikolaev: *International Chem. Eng.*, **9**, 579 (1969)
- 2) Bitron, M. D.: *Ind. Eng. Chem.*, **47**, 23 (1955)
- 3) Briffa, F. E. J. and N. Dombrowski: *A. I. Ch. E. Journal*, **12**, 708 (1966)
- 4) Burton, E. J. and J. R. Joyce: *J. Inst. Fuel*, **30**, 395 (1957)
- 5) Castleman, R. A. Jr.: *J. Res. Nat. Bur. Standards*, **8**, 369 (1931)
- 6) Chen, J. and V. Kevorkian: *Ind. Eng. Chem. (PDD)*, **7**, 586 (1963)
- 7) Clare, H. and A. Radcliffe: *J. Inst. Fuel*, **27**, 510 (1954)
- 8) Clark, B. J.: *NASATN*, **D-2424** (1964)
- 9) Colburn, A. J. and H. H. Heath: *British N. G. T. E.*, **M-88**, May (1950)
- 10) Conroy, E. H. Jr. and H. F. Johnstone: *Ind. Eng. Chem.*, **41**, 2741 (1949)
- 11) Dombrowski, N. and W. R. Johns: *Chem. Eng. Sci.*, **18**, 203 (1963)
- 12) Eisenklam, P.: *J. Inst. Fuel*, **34**, 130 (1961)
- 13) Fraser, R. P.: *6th Symp. Comb.*, 687 (1956)
- 14) Fraser, R. P., N. Dombrowski and J. H. Routley: *J. Inst. Fuel*, **38**, 316 (1963)
- 15) Golitzine, N., C. R. Sharp and L. G. Badham: *Nat. Aeronaut. Establishment (Canada), Report*, **14**, ME-186, Ottawa (1951)
- 16) Gretzinger, J. and W. R. Marshall: *A. I. Ch. E. Journal*, **7**, 312 (1961)
- 17) Haas, F. C.: *A. I. Ch. E. Journal*, **10**, 920 (1964)
- 18) Haenlein, A.: *Forsh. Geb. Ing.-wes.*, **2**, 139 (1931)
- 19) Heath, H. and A. Radcliffe: *British N. G. T. E.*, **R-71**, June (1950)
- 20) Hinze, J. O.: *Appl. Sci. Res.*, **A 1**, 273 (1949)

* 使用されている液体が熔融ワックス（密度約 0.8）である。質量流量

比を容積流量比に換算すると：

- 21) Hinze, J.O.: *A. I. Ch. E. Journal*, 1, 289 (1955)
- 22) Holfelder, O.: *Forsch. Geb. Ing.-wes.*, 3, 229 (1932)
- 23) Hruby, H.F.: *J. Appl. Phys.*, 28, 572 (1958)
- 24) Ingebo, R.D.: *NACA TN*, 3265 (1954)
- 25) Ingebo, R.D.: *Chem. Eng. Progress*, 58, 74 (1962)
- 26) Ingebo, R.D.: *NASA TN*, D-4840 (1968)
- 27) Kim, K.Y. and W.R. Marshall, Jr.: *A. I. Ch. E. Journal*, 17, 575 (1971)
- 28) 倉林俊雄: 日本機械学会論文集 (第2部), 25, 1252 (1959)
- 29) 倉林俊雄: 同上, 25, 1259 (1959)
- 30) 倉林俊雄: 同上, 26, 1536 (1960)
- 31) 倉林俊雄, 柄沢隆夫: 同上, 32, 959 (1966)
- 32) 倉林俊雄, 柄沢隆夫: 同上, 35, 1474 (1969)
- 33) Lane, W.R.: *Ind. Eng. Chem.*, 43, 1312 (1951)
- 34) Lewis, H.C., D.G. Edwards, M.J. Goglia, R.I. Rice and L.W. Smith: *Ind. Eng. Chem.*, 40, 67 (1948)
- 35) Miesse, C.C.: *Ind. Eng. Chem.*, 47, 1690 (1955)
- 36) 宮坂芳喜: 日本機械学会論文集, 17, 102 (1951)
- 37) Morrell, G.: *NASA TN*, D-1728 (1963)
- 38) Mugele, R.A.: *A. I. Ch. E. Journal*, 6, 3 (1960)
- 39) 坂山四郎, 棚沢泰: 機械学会論文集, 4, 128 (1938)
- 40) 坂山四郎, 棚沢泰: 同上, 4, 138 (1938)
- 41) 坂山四郎, 棚沢泰: 日本機械学会論文集, 5, 131 (1939)
- 42) 坂山四郎, 棚沢泰: 同上, 5, 136 (1939)
- 43) 坂山四郎, 棚沢泰: 日本機械学会論文集 (第2部), 6, 7 (1940)
- 44) Ohnesorge, W.: *Z. AMM*, 16, 355 (1936)
- 45) 大谷茂盛, 武山敏郎: 化学工学, 25, 608 (1961)
- 46) Radcliffe, A. and H. Clare: *British N. G. T. E.*, R-144, Oct. (1953)
- 47) Rayleigh, L.: *Proc. London Math. Soc.*, 10, 4 (1878)
- 48) Rossum, J.J.: *Chem. Eng. Sci.*, 11, 35 (1959)
- 49) 佐賀井武, 山田実: 工業化学雑誌, 65, 1761 (1962)
- 50) 佐賀井武, 小野源研二, 鬼頭正和, 杉山幸男: 化学工学, 33, 539 (1969)
- 51) 佐賀井武, 佐藤正之, 鬼頭正和, 杉山幸男: 化学工学, 34, 1231 (1970)
- 52) Scheubel, F.N.: *NACA TM-644* (1927)
- 53) 棚沢泰: 日本機械学会論文集 (第2部), 6, 18 (1940)
- 54) Weber, C.: *Z. AMM*, 11, 136 (1931)
- 55) Wetzel, R.H. and W.R. Marshall: *Nat. Meeting Am. Soc. Mech. Engrs.* (1954)
- 56) Wigg, L.D.: *J. Inst. Fuel*, 37, 500 (1964)
- 57) Woodmansee, D.E. and T.J. Hanratty: *Chem. Eng. Sci.*, 24, 299 (1969)

噴霧乾燥装置における微粒化*

中 川 弘 美**

はじめに

噴霧乾燥は長い歴史を持ち、特に第2次世界大戦後ミルクなど食品、合成洗剤、その他化学薬品の分野において発展が著しく、比較的完成された技術として見られている。その基本的な技術である微粒化、微粒化液滴の乾燥速度、乾燥機構、乾燥室内における気流と粒子の flow pattern などについての研究は数多く見られるが、実際の噴霧乾燥操作においてはそれぞれの基本的技術の組み合わせが要求されることとなり、この面から見るとまだ経験に頼るところが多く未完成の技術と思われる。実際未経験の物質を噴霧乾燥で得ようとする場合、その乾燥粒子の形態などを確認するにはパイロットまたは実装置の段階を踏む必要がある。ここではその基本的技術の内、微粒化の問題をとりあげ、得られる製品粒子との相関について問題点などを述べることにしたい。

1. 噴霧乾燥粒子の性状と操作条件

筆者らの合成洗剤に例をとると製品として使用する際に飛散するような微粒子を含まないこと、水への溶解性が良いことなどが品質上要求され、このために比較的粗粒の乾燥粒子を得ることが必要であり、個々の化学的性質の外に商品形態としての乾燥粒子径、粒径分布、bulk density などが重要となる。これらに關係する噴霧乾燥の条件、装置の形式などは非常に複雑であるが、比較的粗粒子を得たい場合は向流型乾燥器(図1)で加圧ノズルによる微粒化を、反対の場合は並流型乾燥器(図2)と噴霧円板の組み合わせが一般的である。乾燥粒子の物理的な性状に影響する因子としては、初期液滴径、乾燥温度、乾燥用空気量、乾燥室の高さ、乾燥室内の flow pattern などがあるが、その中でも大きな因子は初期液滴径であり、したがって微粒化の問題はきわめて重要である。

2. 微粒化型式とその特徴

一般に噴霧乾燥で工業的に用いられる微粒化のための

* 昭和46年11月8日受理

** Hiromi Nakagawa 花王石鹼(株) 産業科学研究所