- 6) Scheele, G. F. and B. J. Meister: *A. I. Ch. E. Journal*, 14, 9 (1968)
 7) Takahashi, T. and Y. Kitamura: *Memoirs of the School of Engineering, Okayama Univ.*, 4, 57 (1969)
 8) Tanazawa, Y. and S. Toyoda: *Trans. J. S. M. E.*, 20, 299,

- 306 (1954)
 9) Tomotika, S.: *Proc. Physico-Math. Soc. Japan*, 18, 550 (1936)
 10) Tomotika, S.: *Proc. Roy. Soc., A* 150, 322 (1935)
 11) Weber, C.: *Z. Angew. Math. Mech.*, 11, 136 (1931)

固形分をふくむ単一滴の乾燥特性に関する実験的研究*

三浦 邦夫** · 大内 功***
 新谷 浩介**** · 大谷 茂盛**

東北大学工学部 化学工学科**

緒 言

食品、洗剤および農薬など諸製品の粒状化、粉状化の要求にともない噴霧乾燥法が注目されてきた。この噴霧乾燥法は(1)液状物質の輸送およびその微粒化(2)気流中における噴霧滴群からの熱および物質移動(3)乾燥室内における滴群の流動および固気系の分離など種々の単位操作が組み合わされたものである。噴霧乾燥装置の合理的な設計ならびに操作上の資料を得るためには、一つ一つの現象をよく把握し、それらの相互関係を明らかにすることが必要である。

本報は噴霧乾燥に関する基礎的研究の一環として、上記(2)の機構を解明するため、気流中における数種の静止単一滴の乾燥特性について実験を行なったものである。

単一滴からの移動現象に関しては、それがたとえば水、アルコールおよびベンゼンなど一応純粋液滴とみなせる場合については多くの実験があり⁵⁻⁷⁾、また定量的解析も行なわれている。しかし固形分をふくむ場合は種々の因子の影響を受け²⁻⁴⁾、定量的取り扱いがむずかしい。

液滴中にふくまれる固形分については、乾燥過程における滴の性状変化の点からここでは(a)食塩、芒硝、塩化アンモニウムなどのように表面に結晶が析出し殻が生成するもの(b)ゼラチン、脱脂乳などのように表面に皮膜が生成するもの(c)ベントナイトのように固形分と水分が遊離して、乾燥とともに滴径が単調に減少し、

殻、皮膜の生成が見られないものの三つに分類した。

これらの滴の乾燥過程における重量変化および滴温度変化を測定するとともに、滴の写真撮影および肉眼観察の結果をもとに、固形分をふくむ滴の乾燥特性の考察を行なった。なお(a)、(b)についてはそれぞれ結晶析出時間および生成皮膜の厚さについての検討も試みた。

1. 結晶析出および皮膜生成についての考察

滴の乾燥速度は液滴中にふくまれる固形分の種類によって異なるが、一応乾燥の初期においては恒率乾燥でありしだいに減率へと移行する。この乾燥機構の変化は滴表面への結晶析出あるいは皮膜の生成にあると考えられるので、この点について簡単な考察を試みた。

1.1 結晶析出時間

Marshall ら⁸⁾は種々の仮定および近似のもとに液滴内の拡散方程式を解き、結晶析出時間 θ_c を次式で与えている。

$$\theta_c = \frac{(r_{p0}^3 / D_1) \ln(c_s / c_0)}{\gamma^2 + 2\beta \ln(c_s / c_0)} \quad (1)$$

ここに γ は $\tanh \gamma = \gamma / (1 + \beta)$ を満足する正根 β は

$$\beta = \frac{D_p}{p_{BM}} \cdot \frac{M_w}{M_m} \cdot \frac{\rho_{gm}}{\rho_w} \cdot \frac{D_g}{D_1} \cdot \frac{Sh}{\phi_{AB}}$$

すなわち初滴径、初濃度、諸物性値および乾燥条件を与えれば、 θ_c を計算することができる。

* <Experimental Study on Drying Characteristics of Single Drop Containing Solids>

Received on July 4, 1970

化学工学協会東北大会(弘前)(昭和42年10月)および化学工学協会北陸大会(富山)乾燥工学シンポジウム(昭和44年11月)にて研究発表

** Kunio Miura and Shigemori Ohtani (Dept. of Chem. Eng., Tohoku University, Sendai)

*** Isao Ohuchi (昭和電工(株) Shōwa Denko Co.)

**** Kōsuke Atarashiya (東京芝浦電気(株) Toshiba Electric Co.)

¹ D_1 の値は化工便覧、 c_0 は化学便覧および D_g は文献値⁹⁾ を参照し、たとえば初濃度 $c_0 = 0.22$ 、初滴径 $d_{p0} = 1.9$ mm の滴を空気温度 $t_a = 72^\circ\text{C}$ 、水蒸気分圧 $p_a = 11.0$ mmHg ($H_a = 0.015$) なる条件下で乾燥を行なった場合、その滴の湿球温度は約 31°C 、 $D_p = 21.0$ mmHg、 $D_1 = 1.5 \times 10^{-8}$ cm²/sec、 $D_g = 0.267$ cm²/sec、 $Sh = 4.84$ 、 $\phi_{AB} = 1.012$ となり、 $\beta = 0.84$ および $\gamma = 1.73$ が得られ、 θ_c としては Fig. 6 中 ⊙ 印の約 110 sec が得られる。

Fig. 1 Schematic representation of skin formation

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

1.2 固体皮膜の厚さ

ゼラチン、脱脂乳などでは乾燥過程において表面に皮膜が生成するが、この皮膜のおおよその厚さを知るために、大胆な仮定*のもとに算術的な計算を行なった。

液滴が乾燥過程において Fig. 1 のように初半径 r_{p0} から r_p へ収縮したときの物質収支をとり、滴半径、滴の濃度 c および皮膜の厚さ a をそれぞれ次のように $X=r_p/r_{p0}$, $Y=c/c_0$, $A=a/r_{p0}$ と無次元化すると次式が得られる。

$$Y-1 = \frac{1-X^3}{3AX^2-3A^2X+A^3} \quad (2)$$

Eq.(2) より A (膜厚) をパラメータとして、 X (滴径) と Y (濃度) の関係を求めると Fig. 14 がえがける。

一方液滴内の固形分平均濃度を $\bar{c}$ 、初期含水率を φ_0 と

* 物質収支をとるに当たり次の仮定をおく。

- (1) 固形分の大きさは充分小さく、重力による沈降は無視できる。
- (2) 固形分は拡散などによって液滴内を移動しない。
- (3) 固形分は最初液滴内に均一に分布している。
- (4) 表面固体系の厚さが a 、濃度が c_s となったとき試料が固化する。

なお、Fig. 14 において a および c_s はいかなる値をとるかは決定できないが、非常に大胆な仮定、たとえば c_s を乾燥条件に平衡な含水率を示すときの滴の濃度と仮定すると膜厚 a が算出できる。

Fig. 3 Details of test section

すれば

$$X^3 = c_0/\bar{c} \quad \text{なる関係より}$$

$$Y_1: Y_2: \dots = (\rho_w/\rho_s + \varphi_{10}) : (\rho_w/\rho_s + \varphi_{20}) : \dots \quad (3)$$

となる。皮膜の濃度は乾燥温度および湿度により定まり、膜厚 a は初濃度によって影響されないとすれば、同一滴径で初期含水率を変化させた乾燥実験と Eq.(2) のグラフより膜厚 A を求めることができる。

2. 実験装置および測定方法

2.1 装置本体

実験装置のフローシートを Fig. 2 に示した。送風機 ① より送られた空気は ② で脈動を除去した後、オリフィス ③ で計量、④ で調湿し、ヒーター ⑧ で所定の温度まで加熱され測定部へ送られる。

2.2 測定部

測定部を拡大して Fig. 3 に示した。②~④ は二重のガラス管 (20φ×50) で、その周囲を断熱材でおおい測定部における空気温度の低下を防いだ。空気温度は熱電対 ⑤ で測定した。測定部における空気の流れは充填物 ⑨ および絞りノズルによりほぼ均一になるようにしてある。

液滴温度の測定は Fig. 3 とは別の Fig. 4 に示した装置にとりかえて行なった。液滴の中心にマンガン・コンスタンタン熱電対 (40μφ) の接合部をセットし、その起電力をペン書きオシロに画かせた。

乾燥過程における液滴の形状変化の状態は ⑫ より写真撮影および肉眼観察した。

2.3 蒸発速度の求め方とその精度

石英ガラス細線 (約 0.3φ×300) の一端をカセットメー

Fig. 4 Apparatus for measuring a droplet temperature

タ ④ に固定し、他の先端に液滴を吊るし、望遠鏡 ② でのぞきながら液滴の中心が常に一定の位置にあるようにカセットメータを調節し、15~20 秒毎に移動量を求めた。そのたわみ量から滴の各時間における重量を算出した。

なお石英ガラス細線のたわみ量と重量の関係はあらかじめ検定してある。両者の関係は良い直線性が成り立ち、0.2mg/mm 前後の量的関係にあるような寸法の細線を用意した。

この測定においては気流のガラス細線ならびに液滴に対する浮力の影響を考慮する必要がある。滴径は時間とともに変化するので液滴が最初に受けた浮力と径が一定となったときに受けた浮力の差を時間で比例配分して補正した。

滴重量 W を時間 θ に対してプロットし、そのグラフより単位時間、単位面積当たりの乾燥速度 ($-dW/d\theta \cdot S$) を求めた。なお蒸発面積 S は次のようにして決定した。食塩、芒硝などのような可溶性固形分をふくむ液滴についてはあらかじめ含水率・密度・温度の関係を求めておき、この線図より液滴内の濃度を均一と仮定して滴表面積を決定した。またベントナイトなどの不溶性固形分の場合は水と固形分の体積に関する加成性を仮定して、恒率期間における滴表面積を決定した。同時に写真撮影からも S の値をチェックした。 $t_a=144^\circ\text{C}$ のような高温の場合は固体皮膜完成後液滴が膨張するときがあるが、その場合場合に応じて写真撮影によって決定した。

純粋液滴の蒸発速度に関する実験は文献⁵⁻⁷⁾にも見られる。ここでは本装置により蒸留水滴の蒸発速度を測定し、輻射伝熱、細線からの熱伝導およびアッカーマン効果を考慮して、単一水滴の平均熱伝達係数および平均物質移動係数を求めた。これらの結果を Fig. 5 に示した。測定値を実験式で表わすと次式のようにになる。

$$Nu(\text{or } Sh)=2+0.625 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}(\text{or } Sc^{1/3}) \quad (4)$$

Fig. 5 Correlation of $\frac{Sh-2}{Sc^{1/3}}$ or $\frac{Nu-2}{Pr^{1/3}}$ vs. Re

本式は文献値^{5,7)}とほぼ一致しており、データのバラツキは $\pm 10\%$ 程度なので本測定方法は一応妥当であると考えられる。

3. 試料および測定範囲

試料としては

(a) に属するもの：食塩、芒硝、塩化アンモニウム、尿素肥料

(b) に属するもの：ゼラチン、脱脂乳

(c) に属するもの：ベントナイト

試料初期含水率 $\varphi_0=1\sim 10\text{kg-H}_2\text{O/kg-solute}$

試料初期濃度 $c_0=0.1\sim 0.5\text{g-solute/cm}^3\text{-solution}$

初滴径 $2r_{p0}=1.6\sim 2.3\text{mm}$

空気温度 $t_a=50\sim 150^\circ\text{C}$

空気湿度 $H_a=0.01\sim 0.1\text{kg-mol H}_2\text{O/kg-mol dry air}$

空気流速 $u_a=0.15\sim 5\text{m/sec}$

滴レイノルズ数 $Re=7\sim 200$

4. 実験結果とその考察

4.1 結晶が析出する場合

食塩、芒硝などのような結晶性の固形分をふくむ液滴は乾燥が進行して表面が飽和濃度になると結晶を析出し表面に固体殻を形成する。この殻が水分蒸発のための抵抗になり乾燥速度の急激な減少をきたす。

食塩水滴の乾燥実験から得た結晶析出時間と Eq.(1) による計算値とを比較して Fig. 6 中に示した。

析出時間は実測値の方が計算値よりやや多目に出ているが、これは肉眼観察による結晶析出時をその時間としたことによるズレが考えられるほかに、Eq.(1) の計算において滴内の物質移動が分子拡散のみで起こると仮定しているためと思われる。実際は滴表面近くの液が回転

Fig. 6 Comparison between calculated value and experimental data for the time of appearance of the crystals

Fig. 7 Correlation of R vs. ϕ of a aqueous sodium sulphate drop

し滴内部で液の対流が起こっていることも想像され、液滴内部の物質移動が大きくなり濃度分布が均一化していると考えられる。

Fig. 7, 8 および Fig. 9 に滴径減少を考慮した単位面積当たりの芒硝の乾燥特性曲線およびそのときの液滴温度上昇曲線を示した。

空気温度が高い場合 ($t_a = 150^\circ\text{C}$) ははじめ 恒率乾燥を続けるが、殻完成後は乾燥速度は急激に減少し減率乾燥となる。殻完成後は Fig. 9 のごとく内部の液温が上昇し一種の沸騰が起こり殻が破れて水分が表面に現われ再び乾燥速度一定の期間が現われる。この沸騰現象が終了する頃には液滴内の水分はほとんどなくなり乾燥速度が減少して乾燥は終了する。この場合の液滴の形状の時間的变化を Photo. 1 の写真によって示した。80 秒後に殻で表面がおおわれ、100 秒後に内部で沸騰が起こりさらに 120 秒で殻の破裂が見られている。

$t_a = 99^\circ\text{C}$ の場合は殻形成までは高温の場合とほぼ同様の現象を示すが、沸騰による殻の破裂は起こらない。

Fig. 8 Correlation of R vs. ϕ of a aqueous sodium sulphate drop

Fig. 9 Temperature change with time for a aqueous sodium sulphate drop

しかし減率乾燥がある程度進行した後に殻にヒビが入り表面に水分が出、乾燥速度は再び増す。この現象をくり返して乾燥は終了する。

$t_a = 70^\circ\text{C}$ と比較的低温の場合には固体殻が膜型に形成する場合としない場合とがある。初期含水率 ϕ_0 が大きい場合は内部の水分拡散が充分迅速に行なわれ、表面蒸発による恒率乾燥期間が続く、殻完成後は乾燥速度は減少している。 ϕ_0 が小さい場合は乾燥速度は乾燥初期より漸次減少し表面に膜型の殻の生成は見られない。

殻形成の現象は液滴表面からの水分の蒸発速度と内部の水分の拡散速度のかね合いによって起こる。つまり空気温度が高い場合は蒸発速度が大きく滴表面近くの濃度勾配が急となるため、内部の濃度がうすいうちに表面は飽和濃度となり殻が生成されやすいと思われる。

一方空気温度が低くかつ ϕ_0 が小さい場合は蒸発速度が遅く、滴内部における濃度勾配も小さいので固成分が析出するとそれがしだいに発達して塊となり、いわゆる殻の生成は見られない。

4.2 皮膜が生成する場合

試料として脱脂乳滴を使用した場合の乾燥速度曲線お

Fig. 10 Correlation of R vs. φ of an aqueous skim milk drop

Fig. 11 Correlation of R vs. φ of an aqueous skim milk drop

Fig. 12 Correlation of R vs. φ of an aqueous skim milk drop

Fig. 13 Temperature change with time for an aqueous skim milk drop

および液滴温度上昇曲線の例を Figs. 10, 11, 12 および 13 に示した。

図からわかるごとく、初期含水率 φ_0 が大の場合には明確に固体皮膜の生成が恒率乾燥から減率乾燥への遷移点になっており、これは空気温度の高低によらず同じ傾向を示している。 φ_0 が小さくなるにつれて恒率から減率への移行が不明確になり Fig. 12 のように φ_0 が 2 前後になると乾燥の初期から減率乾燥が起こっている。

膜形成後の滴の形状変化については高温 (100°C 以上) の場合、 φ_0 が大のときは急激に膨張し破裂のおこることが観察される。初期含水率 $\varphi_0=4$ で、初滴径 1.4mm の場合の形状変化を表す写真の例を Photo. 2 に示した。40 秒から 60 秒にかけて滴の膨張するようが見られる。一方、 φ_0 が比較的小のときは徐々に膨張し続け初滴径の約 2 倍くらいに達し、乾燥が終了した後も変形、収縮はほとんど起こらず、形はほぼ真球である。低

Photo. 2 Photographs of skim milk drop ($\phi_0=4$, $d_{p0}=1.4$, $t_a=145$)

Fig. 14 Correlation of X vs. Y

Fig. 15 Relations of temperature change and weight loss vs. time for a bentonite suspended drop

温 (100°C 以下) の場合は、膜形成後滴径がほぼ一定の場合と収縮し、しわがよる場合とがある。

上述のように脱脂乳、ゼラチン溶液などの試料は表面に皮膜が生成する。この皮膜の厚さは厳密な意味では規定できないが、その大体の厚さを知るために 1・2 で述べた方法に基づいて、脱脂乳およびゼラチン滴について実験を行ない、その結果を Fig. 14 中にプロットした。脱脂乳の膜厚は $2r_{p0}=2\text{mm}$ のとき約 30~40 μ 程度と考えられる。ゼラチン滴については空気湿度を変化させ空気湿度の膜厚に及ぼす影響を見た。図より空気湿度 H_a

がの方が膜厚は大であることが推察される。

4・3 殻および皮膜の生成が見られないもの

ベントナイト (SiO_2 70%, Al_2O_3 15% その他 Fe_2O_3 , CaO , MgO などからなる) は液滴中に分散状態で存在しており、乾燥の進行にともない固形分は滴内部に集まり、表面は常に水分でぬれている状態になっていると思われる。このため新たに殻および皮膜の生成は見られない。

ベントナイトをふくむ水滴の蒸発量と時間の関係およびその時の温度上昇曲線を Fig. 15 に示した。図からわかるように、蒸発量および温度の時間的変化は純粋液滴とほとんど変わりがなく、上述の乾燥過程をたどることが確かめられた。この現象は空気湿度、初期含水率によらず同じような結果を示した。

結 論

噴霧乾燥における基礎的研究の一環として、固形分をふくむ単一滴について滴の重量および温度の時間的変化などを測定することによって、滴の乾燥特性を殻の生成および皮膜生成の点から実験的に考察した。ふくまれる固形分の種類によってまた乾燥条件によって結晶が析出し殻ができるもの、皮膜が生成するものおよび殻、皮膜の生成が全く見られないものの 3 つに分類できた。

水滴中にふくまれる成分の種類によって、滴の乾燥特性はそれぞれ異なった挙動を示すことが予想されるが、今後多くの種類の滴の乾燥特性のデータの集積がまつれる。

また本実験の範囲外の滴径について、滴の乾燥特性がいかなる挙動を示すかは本研究からはにわかに判断できない問題であり、今後の興味ある問題と思われる。

【付 記】 本研究を行なうにあたり有効なご助言をたまわった本学教授前田四郎先生、実験に際しご助力をいただいた丹野庄二技官、小野実信、山田忠明、大原忠、篠原健二、今野進諸氏ならびに試料を提供していただいた関係会社に、心から感謝の意を表します。

Nomenclature

A = dimensionless thickness of skin	[—]	Re = Reynolds number	[—]
a = thickness of skin	[mm]	r_p = radius of droplet	[mm]
c = concentration of solute	[g-solute/mm ³ -solution]	r_{p0} = initial radius of droplet	[mm]
c_0 = initial concentration of solute	[g-solute/mm ³ -solution]	S = surface area of droplet	[m ²]
c_s = saturated concentration of solute	[g-solute/mm ³ -solution]	Sc = Schmidt number	[—]
$\mathcal{D}_g$ = diffusivity of water vapor in air	[mm ² /sec]	Sh = Sherwood number	[—]
$\mathcal{D}_l$ = diffusivity of solute in water	[mm ² /sec]	t = temperature of droplet	[°C]
d_p = droplet diameter	[mm]	t_a = temperature of air	[°C]
d_{p0} = initial droplet diameter	[mm]	u_a = velocity of air	[m/sec]
H_a = humidity of air	[kg-mol H ₂ O/kg-mol dry air]	W = weight of droplet	[kg]
M_m = average value of molecular weight in transfer path for gas mixture	[g/mol]	X = dimensionless diameter	[—]
M_w = molecular weight of water	[g/mol]	Y = dimensionless concentration	[—]
Nu = Nusselt number	[—]	Greek letters	
p_a = partial pressure of vapor in air surrounding droplet	[mmHg]	θ = time	[sec]
p_s = vapor pressure corresponding to t	[mmHg]	θ_c = time of appearance of first crystals	[sec]
Δp = vapor pressure difference ($p_s - p_a$)	[mmHg]	ρ_{gm} = average value of density in transfer path for gas mixture	[g/mm ³]
p_{BM} = mean partial pressure of non-diffusing gas in gas film	[mmHg]	ρ_s = density of solute	[g/mm ³]
Pr = Prandtl number	[—]	ρ_w = density of water	[g/mm ³]
R = evaporation rate	[kg/m ² ·hr]	φ = moisture content	[kg-H ₂ O/kg-solute]
		φ_0 = initial moisture content	[kg-H ₂ O/kg-solute]
		ϕ_{AB} = effect of mass transfer rate on mass transfer coefficient	[—]

Literature cited

- Atarashiya, K., I. Ohuchi and S. Ohtani: Preprint of local meeting of Soc. Chem. Engrs., Japan (Hirosaki) Oct.(1967), p.18
- Charlesworth, D.H. and W.R. Marshall, Jr.: *A. I. Ch. E. Journal*, 6, 9 (1960)
- Crosby, E. J. and W.R. Marshall, Jr.: *Chem. Eng. Progr.*, 54, 56 (1958)
- Duffie, J. A. and W.R. Marshall, Jr.: *ibid.*, 49, 417, 480 (1953)
- Frössling, N.: *Gerlands Beiter. Geophys.*, 52, 170 (1938)
- Ranz, W.E. and W.R. Marshall, Jr.: *Chem. Eng. Progr.*, 48, 141, 174 (1952)
- Toei, R., M. Okazaki, K. Kubota, K. Ohashi, K. Katsoka and K. Misuta: *Kagaku Kōgaku*, 30, 43 (1966)

液・液異相系における層流液柱長さについて——軽液相中に重液を分散させた場合——(高橋照男・北村吉朗, 化学工学, 35, 637~643 (1971))

軽液相中に重液をノズルから分散させて、液柱長さや臨界流速などにおよぼすノズル径や両相液の物性の影響を実験的に調べ、また両相ともに非粘性液および高粘性液の場合の各々の表面乱れの最大成長速度を用いて液・液異相系の液柱長さに対する相関式を得た。実験結果から層流液柱は、両相液の粘度比により、滴状に崩壊する場合と波状に崩壊する場合とに分けられ、滴状に崩壊する液柱の長さは相関式とよく一致することを確かめた。

固形分をふくむ単一滴の乾燥特性に関する実験的研究(三浦邦夫・大内 功・新谷浩介・大谷茂盛, 化学工学, 35, 643~649 (1971))

噴霧乾燥に関する基礎実験の一環として、種々の固形分をふくむ液滴について、その重量変化および温度変化などを測定することによって、それぞれの液滴の乾燥特性を実験的に検討した。

ふくまれる固形分の種類によって表面に殻の生成するもの、皮膜のできるものおよびそれらが全くできないものに分類できた。

結晶析出時間および生成皮膜の厚さについても簡単な考察を行なった。

シリカ・アルミナ触媒における炭化水素の高温物理吸着について(レ・ヴァン・タム・宮内照勝, 化学工学, 35, 650~655 (1971))

パルス流通法を用い、炭化水素の吸着平衡分配比を分解温度近くまで測定できた。 n -パラフィン系炭化水素の吸着平衡分配比 m 及び吸着熱が炭素数に比例することがわかった。 m の実測値を使って、ガス・オイルクラッキングの Fluid bed 内の炭化水素の混合状態に対する粒子容量効果を考察した。

O/W型エマルジョンの電場による分離特性(油川 博・金井重正・下山 修・狩野 猛, 化学工学, 35, 656~663 (1971))

エマルジョン内の粒子は ζ -電位を有している。したがって、電気泳動現象が分散粒子の分離速度を増大するのに利用される。エマルジョンからの分離がきわめて困難な微粒子を含むエマルジョンでもこれらエマルジョンに電圧を加えることにより、能率的に分離される。

上述した特性を実際分離装置に応用するためには、この分離法に関するデータを得ることが最も重要である。

この研究においては、エマルジョンから分散粒子を分離する場合の諸特性について、回分式および連続式操作で検討が行なわれた。Benzene, Kerosene, Aniline および Nitrobenzene が水中に分散した O/W 型のエマルジョンがこの実験の試料として用いられた。

実験の結果、エマルジョンに電圧を印加することによって優れた分離効率を得られた。

気泡塔型装置の混合拡散について(徐 嘉男・宮内照勝, 化学工学, 35, 663~668 (1971))

本研究では前報の流動モデルの理論を拡張し、循環速度分布の存在は平均流方向での混合となることに基づいて、Taylor, Titcha-cek らによって論じられた速度分布モデルを適用し、気泡塔装置の乱流域における軸方向混合拡散についての理論式を導いた。この結果に対し、前報で得られた実験式を導入して、気泡塔への適用を試みた。

総括の混合拡散係数を、平均循環速度と塔径基準の Pe 数で表現し、また、混合拡散に対するガス空塔速度と塔径の影響を示す相関式を導いた。

非理想多成分系の平衡フラッシュ計算(西野晴生, 化学工学, 35, 668~673 (1971))

これまでの平衡フラッシュ計算は原料に対する液の割合 q を試行的に仮定することによって、与えられた温度と圧力を満足する解を得る方法であった。

これに対し、本報では逆に平衡係数を仮定し、与えられた圧力と q を満足する温度を計算する新しい汎用的な方法を提出した。計算方法は特別な収束パラメータを必要とせず非常に簡単である。そして、収束の原理も明らかにし、理想系はもちろん非理想系に対しても収束速度の速いことを数値例によって示した。

連続向流分別分離塔の最適流量比(江口 弥・上原秀夫・川端達夫, 化学工学, 35, 673~680 (1971))

連続向流分別分離塔の操作条件を、原料が対象成分を溶解した原溶媒溶液であり、濃縮部および回収部を通じて分配係数が一定である場合について考察し、与えられた設計条件を達成しうる抽利比および洗浄液量比の範囲を明らかにした。さらに、この操作可能領域内で数値探索計算によって、所要理論段数を最小にするような最適抽利比を求め、この最適流量比と与えられた設計条件との関係を統計的手法を用いて実験式で相関した。

Fluid bed 中の気泡の挙動(諸岡成治・田島邦昭・宮内照勝, 化学工学, 35, 680~686 (1971))

内径 79φ, 195φ の Fluid bed において微小な熱線検出端を使用して気泡を検出し解析を行なった。その結果、(1)塔中心軸上で測定した気泡頻度はガス流速の 0.9 乗に比例して増加し、高流速範囲では分散板より十分離れた箇所でも 20~30 個/sec に達すること、(2)気泡上昇速度は塔径、ガス流速とともに増加すること、(3) $u_f \geq 40$ cm/sec の範囲では気泡の算術-, 体積-, 表面積-平均径はそれぞれ約 3, 5, 8 cm となり、気泡の生長が阻げられて層は安定化、均一化すること、など Teeter bed とはかなり異なる挙動を示すことが明らかとなった。

<技術報告>

泥水処理に関する研究——湿式ベレット法による過特性の改善——(下飯坂潤三・坂本 宏・須藤勝満・遊佐美津雄・中村克己, 化学工学, 35, 686~690 (1971))

本研究は、容易に沈降濃縮できない泥漿を対象とし、これに少量の高分子凝集剤を添加し機械的回転を与えて肉眼的には認められない程度の微細なベレット状凝集粒子を作ることにより過特性の改善をしようとするものである。本研究により過速度が増大すると共に、ケーキの湿分も低下することが明らかになった。

<寄 書>

H₂-N₂ 系の低温高压における気液平衡関係の測定と推算(頼実正弘・吉村尚真・舛岡弘勝・中 隆幸, 化学工学, 35, 691~693 (1971))

蒸気循環法により不可視式セルを用いた気液平衡測定装置を開発し、-195.8°C と -185.0°C で H₂-N₂ 系について、臨界点付近までの気液平衡関係を測定した。クライオスタット内の液体窒素の蒸気圧を制御することによって、±0.1°C 以内で温度制御が可能であり、低温における気液界面の検知も、浮子による方法で十分であることが確認された。

蒸発冷却器の設計計算法(宮下 尚・水科篤郎, 化学工学, 35, 693~696 (1971))

プロセス流体が相変化を伴わない場合の蒸発冷却器の設計法について3種類の設計計算法を提案した。すなわち、(1)解析解による方法、(2)逐次計算によって操作線と温度-エンタルピー線図上に描き、線分の図積分により求める方法、(3)近似計算法として循環水の高さ方向温度を一定として求める方法を提出した。それらの方法を垂直管型の蒸発冷却器の実験結果より比較した。

Behavior of Gas Bubbles in Fluid Beds, S. Morooka, K. Tajima and T. Miyauchi (Univ. of Tokyo)
Kagaku Kōgaku, 35, 680~686 (1971)

An experimental analysis is presented for the behavior of gas bubbles in fluid beds with diameters of 79 and 195 mm, using a small hot-wire probe. The results obtained are as follows:

(1) Bubbles frequency measured along the center axis of a fluid bed increases in proportion to the 0.9 power of gas velocity, and in a higher gas velocity range the frequency reaches to 20~30 number/sec at the bed section far from the gas distributor. (2) Ascending velocity of bubbles becomes larger with increasing bed diameter and gas velocity. (3) In the range of $u_f \geq 40$ cm/sec, bubble growth due to coalescence is retarded, and arithmetic, volume- and surface-mean diameters of bubbles are found as about 3, 5 and 8 cm, respectively. Under this condition, the flow behavior of the beds is stable and homogenized. These facts show that the behavior of gas bubbles in fluid beds is fairly different from that in teeter beds.

<Technical Report>

Studies on the Treatment of Slurry—The Improvement of Filtration Characteristics by the Formation of Pellet-like Flocs—, J. Shimoiizaka, H. Sakamoto, K. Sudo, M. Yusa and K. Nakamura (Tohoku Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 686~690 (1971)

This paper describes the improvement of filtration characteristics of slurry by the formation of pellet-like flocs the size of which is very fine. Pellet-like flocs are formed with suitable rotation of a drum containing small quantities of high molecular flocculant.

It was found that filtration rate was improved by the formation of pellet-like flocs as the result of decrease of the average specific cake resistance and medium resistance.

The decrease of water content of cake was also confirmed.

<Short Communications>

The Measurement and Prediction of the Vapor-Liquid Equilibrium Relation at Low Temperature and High Pressure for H_2-N_2 System, M. Yorzane, S. Yoshimura, H. Masuoka and T. Naka (Hiroshima Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 691~693 (1971)

An experimental apparatus was developed for measuring the relations of vapor-liquid equilibria at low temperature and high pressure by vapor circulating method. Vapor-liquid equilibrium data for hydrogen-nitrogen system at -195.8°C and -185.0°C were obtained by the apparatus up to nearly the critical region. The temperature control was within $\pm 0.1^\circ\text{C}$ by the controlling the vapor pressure of nitrogen in the cryostat. At low temperature the liquid surface in the equilibrium cell was detected with floating magnetic needle coupled with outside coils.

Methods of Thermal Design of Evaporative Coolers, H. Miyashita (Toyama Univ.) T. Mizushima (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 693~696 (1971)

Three methods of thermal design of evaporative coolers without phase change in process fluid are proposed. That is, (1) analytical solution, (2) stepwise graphical solution, (3) approximate calculation under the assumption that the temperature of circulating water is constant. Those three methods are compared with the experimental results of vertical type evaporative cooler.

Axial Dispersion in Gas Bubble Columns, Chia-Nan Shyu and T. Miyauchi (Univ. of Tokyo)
Kagaku Kōgaku, 35, 663~668 (1971)

The previous flow model is extended to apply it to the axial dispersion of fluid in bubble columns of turbulent flow regime, by applying the analysis of Taylor and Tichacek.

Axial dispersion coefficients are calculated theoretically by using the data of gas hold-up distribution and effective turbulent viscosity, both obtained previously.

A correlation for axial Péclet numbers in relation to radial Péclet numbers and radial velocity distribution is developed, taking column diameter and superficial gas velocity as variables.

Equilibrium Flash Calculations for Non-ideal Multicomponent Systems, H. Nishino (Chiyoda Chem. Eng. & Const. Co., Ltd.)

Kagaku Kōgaku, 35, 668~673 (1971)

Equilibrium flash has conventionally been calculated by the method obtaining by trial-and-error the fraction of liquid to feed, q to satisfy given temperature and total pressure.

But, here is presented a new general method calculating the temperature to satisfy given pressure and q by assuming equilibrium constants. The present method does not use any special parameter for convergence and is very simple. The principle of convergence is also explained and the speed of convergence is shown to be quick by examples for ideal and non-ideal systems.

The Optimum Flow Ratio in a Continuous Counter-current Fractional Separation Column, W. Eguchi, H. Uehara, and T. Kawabata (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 673~680 (1971)

The operating conditions of a continuous counter-current fractional separation column is discussed for the case in which the feed solution is the mixture of solutes and initial solvent and also the partition coefficients of solutes between initial and intermediate solvents are kept constant through the enriching and scrubbing sections.

The ranges of the practicable flow ratios of extractant and elution to feed, S/F and R/F , for the given design condition were made clear.

The optimum flow ratio which minimizes the number of stages required for the given design condition was determined by the numerical search method and the obtained results were correlated by the empirical correlations.

Laminar Breakup Length of a Liquid Jet in Another Immiscible Liquid—Dispersion of Denser Liquid—, T. Takahashi and Y. Kitamura (Okayama Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 637~643 (1971)

The effect of the nozzle diameter and physical properties of dispersed and continuous liquid upon the breakup length, the critical velocity and the jetting velocity of a liquid jet injected into another immiscible liquid was experimentally investigated. The laminar jet in immiscible liquid-liquid systems breaks into drops or waves. It was observed that this difference of the breakup pattern depends upon the ratio of the viscosity of dispersed liquid to that of continuous liquid. The laminar breakup length of the jet that breaks into drops is correlated by the equation which is obtained from both maximum growth rates of disturbances on the surface of inviscid liquid jet in inviscid liquid and of high viscosity liquid jet in high viscosity liquid.

Experimental Study on Drying Characteristics of Single Drop Containing Solids, K. Miura, I. Ohuchi, K. Atarashiya and S. Ohtani (Tohoku Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 643~649 (1971)

In order to study the drying characteristics and to obtain fundamental data in spray drying, weights and temperature changes of droplets containing solids were measured under various conditions by using a glass filament cantilever and thermocouple. It was found that the condition of a skin or a crust formation depended on solids contained in a droplet.

Theoretical approach was also attempted to determine the skin thickness of a droplet and the time of appearance of the crystals.

High Temperature Physical Adsorption of Hydrocarbons on Silica-Alumina Catalyst, Le Van Tam and T. Miyauchi (Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, 35, 650~655 (1971)

By using the pulse flow technique, the adsorption equilibrium ratios of hydrocarbons, m were measured up to the temperature close to catalytic cracking. It was found that the values of m and heat of adsorption are proportional to the number of carbon in the hydrocarbons. The particle-capacitance effect in the fluid bed reactor was considered concerning the flow pattern of various hydrocarbons.

Separation of Dispersed Particles from Oil-in-Water Emulsions Impressed with Voltage, H. Yukawa and S. Kanai (Gumma Univ.), O. Shimoyama and T. Karino (Yamagata Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 656~663 (1971)

A particle in an emulsion has ζ -potential. Therefore, electrophoresis can be used to increase the separating rate of dispersed particles. Emulsions containing very fine particles which are very difficult to separate from emulsions are effectively separated to two phases by impressing voltage on these emulsions.

In order to apply the above-mentioned characteristics to actual separator, it is very important to obtain the data for this method.

In these studies, characteristics of the separation of dispersed particles from emulsions are investigated for batch operation and continuous operation. Benzene, kerosene, aniline and nitrobenzene-in-water O/W emulsions are used for these experiments.

As the result, very excellent separating efficiency was obtained by impressing voltage on emulsions.