回転円板型噴霧器によるヒモ状分裂について*

紙 屋 保**・茅 野 昭**

工学院大学 化学工学コース

結 言

従来、微粒化の結果としてあらわれる粒径に物理的意義を与える目的で、大山ら³⁾の円板周端での液深を基準にした研究、Hinze ら²⁾の円板周端を囲む液柱の厚みを基準とした研究がある。しかし本研究の場合のように、円板上で液膜が分裂しヒモ状の流れに変わり、ヒモは、さらに微粒化される過程が円板周端でも起るという実験の知見からは、Hinze らの円板を囲む液柱がヒモに分裂するという考え方は認めにくい。本研究では、円板上の液膜の分裂に着目し、発生するヒモ数を実験により求め、ヒモ数の理論的解釈を行ない、この理論を円板周端での液膜の分裂にあてはめ、ヒモ数から導びかれるヒモ幅を基にして、粒径の推論を行なうと同時に諸家の粒径に関する実験結果と対比し、回転数、円板径、流量等の諸因子と粒径の関係に解釈をあたえることを主目的とした。

1. 実験装置と方法

Fig. 1 に実験装置を示した。回転円板③は1/2HP 電動機①によって、約 2500~6000rpm の範囲で回転する。駆動はベルト掛けで、変速機②は手動式の無段変速できるものを用いた。回転数の測定は、実験のつど、ストロボ・スコープ⑤を同調させて行なった。実験に使用した回転円板は直径 100, 80, 60mmφ の 3 種の周端が 45° に切削されたステンレス製平板である。円板上へ供給するノズル⑩はガラス管をしぼったもので、円板上へ連続的に給水するために 1.6~9mmφ の範囲で流量によって使いわけた。流量は実験のたびに、一定時間ノズルから液をメスシリンダーに受けて測定した。ヘッドタンク⑧は高さを一定にして、常にオーバーフローしている状態で実験を進行させた。

1.1 ヒモ数の測定

回転する円板の中心へ供給する流体の流量、回転数の条件を適当に選べば、流体は円板上を薄い円形膜をなして広がり、膜端で液膜の分裂が起り、ヒモ状の流れに変

化する。さらに、ヒモ状の流れは円板周端に到達して、円板を離れるさい、微粒化の作用を受ける。この実験の場合には 100mmφ の円板を使用した。ヒモ状の流れを発生する位置での膜径、および回転数、流量を測定し、円板上の流動状態を円板上方に設置されたカメラ④に 3μsec の単発マイクロ・フラッシュ⑥を接続し撮影した。現像したフィルムをプロジェクターで拡大し、直接ヒモ数を数えた。膜径はノギス状の刃を持った物差で測定した。一般に、ヒモ数の少いときには、膜は円形から偏奇する傾向があるが、この場合には長径、短径の平均を膜径とした。とくに、円板上でヒモ数を数えねばならなかったのは、円板周端ではヒモ状の流れが密集し、微粒変化が起りヒモ数を数えることが困難であったためである。この実験の流量の範囲は 0.3~0.8cc/sec で、これ以上の流量では回転数をさげても円板周端からヒモを発生し、上に述べた理由によりヒモ数を数えることが困難であった。

1.2 粒径分布

円板上および周端でヒモ状の流れが発生する場合、および、円板外での膜状分裂に着目して、粒径分布が多重か単一かを判定する実験を行なった。多重粒径分布については、この分布を示すさいの液滴の飛しょう軌路に分歧が起る性質を利用し、大山ら⁴⁾の方法に似せて、円板直下から、水平に置いたモソウ紙の上へ液滴を降らし、ぬれ具合に帯状のむらのあることから多重粒径分布を判別した。

Fig. 1 Experimental apparatus

* <On the Ligament Type Disintegration by the Rotating Disk Atomizer>

Received on May 31, 1969

化学工学協会第 34 年会 (東京, 1969 年 4 月 2 日) にて研究発表

** Tamotsu Kamiya and Akira Kayano (Dept. of Chem. Eng., Kogakuin Univ., Tokyo, Japan)

Fig. 2 Flow pattern at film edge

2. 理 論

回転円板上の液膜が分裂しヒモ状の流れを発生する過程は、速度ポテンシャルを導入して説明すれば理解は容易である。円筒座標 (r, θ, z) で速度ポテンシャルをあらわし、 r, θ 面の二次元流れとして扱えば、次式が与えられる。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{\partial \phi}{r \partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{r^2 \partial \theta^2} = 0 \quad (1)$$

Eq. (1) の解は固有値を K とすれば、 $\phi \sim r^K \cos K\theta$ の形で与えられる。円板上で、膜の半径 r_0 の位置で S 個の山（半径方向に凸になった所）が発生し、 S 本のヒモ状の流れが発生してゆく過程を考え、速度ポテンシャルとして次式を与える。このとき固有値 K の値は S と一致する。

$$\phi = A \frac{r^S}{r_0^S} e^{\beta t} \cos S\theta - \frac{Q}{2\pi z_0} \log r \quad (2)$$

Eq. (2) の第二項目は強さ Q/z_0 の原点からの吹出しによるポテンシャルを重ね合わせた。ある瞬間の r_0 からの半径方向の相対変位 ζ を次のように定める。 $t=0$ で $r=r_0$, $t=t$ で、

$$r = r_0 + \zeta + \frac{Qt}{2\pi z_0 r_0} \quad (3)$$

速度は $r=r_0$ で、次式で与えられる。

$$u_{r_0} = \frac{\partial r}{\partial t} = - \left. \frac{\partial \phi}{\partial r} \right|_{r=r_0} = - \left[\frac{AS}{r_0} e^{\beta t} \cos S\theta - \frac{Q}{2\pi z_0 \cdot r_0} \right] \quad (4)$$

ある瞬間の相対変位 ζ は Eq. (3), Eq. (4) から次式で与えられる。

$$\zeta = -A \frac{S}{r_0 \beta} e^{\beta t} \cos S\theta \quad (5)$$

β については、Eq. (3) で $r_0 + Qt/2\pi z_0$ をあらたに r_0 において r_0 および $r=r_0+\zeta$ の位置での表面力、慣性力を考えて、さらに、流体の加速度を考慮した力の釣合い式をたてる。

$$\rho \zeta \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = \left[\frac{1}{2} \rho u_{r_0}^2 - \frac{\sigma}{r_0} \right] - \left[\frac{1}{2} \rho u_r^2 - \frac{\sigma}{R} \right] \quad (6)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0^2} \left[\zeta + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \theta^2} \right] \quad (7)$$

Eq. (5) から

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} &= - \frac{AS\beta}{r_0} e^{\beta t} \cos S\theta = \beta^2 \zeta \\ \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \theta^2} &= \frac{AS^3}{r_0 \beta} e^{\beta t} \cos S\theta = -S^2 \zeta \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

また、 $r_0, r_0+\zeta$ 間の流速の差は Eq. (4) から次式で求める。

$$\begin{aligned} \Delta u_r &= - \frac{1}{r_0} \left[AS e^{\beta t} \cos S\theta - \frac{Q}{2\pi z_0} \right] + \frac{1}{r_0[1+\zeta/r_0]} \\ &\quad \times \left[AS e^{\beta t} \cos S\theta - \frac{Q}{2\pi z_0} \right] \\ &\doteq - \frac{\zeta}{r_0^2} \left[AS e^{\beta t} \cos S\theta - \frac{Q}{2\pi z_0} \right] = \frac{\zeta}{r_0} u_{r_0} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{\rho}{2} [u_{r_0}^2 - (u_{r_0} - \Delta u_r)^2] \doteq \rho u_{r_0} \Delta u_r = \rho \frac{u_{r_0}^2}{r_0} \zeta \quad (10)$$

Eq. (6) に、Eqs. (8), (10) を代入する。

$$\rho \zeta \beta^2 = \rho \frac{u_{r_0}^2}{r_0} + \frac{\sigma}{r_0^2} [1 - S^2] \quad (11)$$

β は正の実数で、 $\zeta > 0$ となり流れが拡がってゆく条件は、

$$S^2 - 1 < \frac{\rho u_{r_0}^2 r_0}{\sigma} \quad (12)$$

$\zeta < 0$ で流れが収縮する条件は

$$S^2 - 1 > \frac{\rho u_{r_0}^2 r_0}{\sigma} \quad (13)$$

現に、円板上で液膜の分裂が進行するという意味からは、 β の値は正の実数であり、ある瞬間の変位 ζ は Eq. (3) で定義したのだから、 $\zeta > 0$, $\zeta < 0$ はそれぞれ液膜の拡大、縮小の現象を意味する。Eq. (6) で、 $\partial^2 \zeta / \partial t^2 = 0$ とおき、単に動圧力の差と表面力が釣り合うと考えるときは、 S^2 に対し 1 を無視して、ヒモ数が得られる。

$$S \doteq \left[\frac{\rho u_{r_0}^2 r_0}{\sigma} \right]^{1/2} \quad (14)$$

Eq. (14) までは速度ポテンシャルを入れて導びいた結果である。大山ら³⁾ が回転円板上の流体の運動について、Von-Karman⁷⁾ の方法と関連させて行なった解析で、無次元化してあらわした円板上の液深 $\xi_0 = z_0 \sqrt{\omega/\nu} > 1$ の場合の液深についての平均流速 Eq. (15) の値を Eq. (14)

$$u_r = 0.233 \omega r \quad (15)$$

に代入してヒモ数を求めるとヒモ数は Eq. (16) で与えられる。

$$S = 0.233 \left[\frac{\rho \omega^2 r_0^3}{\sigma} \right]^{1/2} \quad (16)$$

次に、流量がヒモ数におよぼす影響を見るため、Eq. (14) から出発する。 $Q = 2\pi r_0 u_{r_0} z_0$ の関係から

$$u_{r_0} \propto Q / r_0 z_0 \quad (17)$$

Eq. (17) を Eq. (14) に代入すると

$$S^2 \propto \frac{\rho Q^2}{\sigma r_0 z_0^2} \quad (18)$$

Fig. 3 Number of ligaments as a function of Weber number

Table 1 Typical results of experiment

Rnu No.	Q[cc/sec]	N[rpm]	r ₀ [cm]	S	Re × 10 ⁻⁴	We × 10 ⁻⁴	(S/We ^{1/2}) × 10 ²	(ρQ ² /σr ₀ ³) × 10 ⁵
7	0.33	2860	0.9	13	2.52	0.0956	4.20	193.6
12	0.35	4240	3.7	180	61.4	13.98	48.1	3.27
25	0.40	2930	1.6	35	9.40	0.695	42.0	41.1
26	0.40	2940	0.7	8	1.55	0.0467	37.0	615
31	0.40	3170	3.5	116	40.4	6.46	45.7	5.18
64	0.55	3900	4.8	288	92.2	24.6	58.0	3.88
71	0.65	2620	3.4	92	31.4	4.02	45.9	14.98
76	0.75	2930	4.4	140	5.83	10.75	42.7	8.13
77	0.75	5110	4.7	228	118.2	41.0	35.6	7.45

液深 z_0 とヒモ幅 δ の間に

$$z_0/\delta = k_1 \quad (19)$$

の比例関係を仮定する*。ヒモ幅 δ とヒモ数 S の間には、

$$\delta = \frac{2\pi r_0}{S} \propto \frac{r_0}{S} \quad (20)$$

の関係があるから、Eqs. (19), (20) から

$$z_0 \propto r_0/S \quad (21)$$

の関係が導びかれる。Eqs. (21), (18) から $(\rho Q^2/\sigma r_0^3)$ の無次元項がヒモ数と無関係となって導びかれる。

3. 実験結果と考察

3.1 ヒモ数

Table 1 に実験結果の一部を、Fig. 3 にヒモ数の関係を示した。測定された膜径は半径で、0.7~4.8cm であ

る。 $S \propto We^{1/2}$ の直線を引くことができ、Eq. (16) と一致する。Bär¹⁾、並びに、Walton ら¹⁾ が少流量、非粘性流体について行なった実験で、最大粒径について与えた関係、Eq. (22) は、本実験の結果、

$$D_{\max} = \frac{c}{n} \left[\frac{\sigma}{r\rho} \right]^{1/2} \quad (22)**$$

$$[c=0.525 \cdots \text{Bär ら}, c=0.428 \cdots \text{Walton ら}]$$

で、ヒモ数 S を r_0/δ でおきかえた関係 Eq. (23) と一致する。

$$\delta \propto r_0 We^{-1/2} \quad (23)$$

δ が粒径に比例する量であることを考えあわせれば***、本実験ならびに、理論の結果を Eq. (22) はよく支持している。

3.2 写真による観察

Fig. 4a, 4b, 4c. に写真撮影の結果を示した。一般に、

* Eq. (21) の関係は Eq. (19) の仮定のもとに成立するが、実験で $\rho Q^2/\sigma r_0^3$ がヒモ数に無関係になることを示したことで仮定は立証された。

** Eq. (22) の単位、 r : 円板半径 [ft], ρ : 密度 [lb/cuft], σ : 界面張力 [lb/min²], n : 回転速度 [ft/min]

*** Rayleigh の液柱の分裂理論によれば、液柱の切れる長さ l と液柱の径 d の間に $l=k_2 d$ の関係がある。ヒモが切れたときの液柱の体積 V とすると、 $V \propto l d^2$ および $d^2 \propto z_0 \delta$, $z_0/\delta = k_1$ の関係から、 $\delta \propto V^{1/3}$ の関係がえられて δ は液滴の体積を基準とした直径とあらわす。

回転数が大きいほど、ヒモ数も多い。膜径が大きいときはヒモ数が多い。流量と膜径の間には、関連性が認められないことを示している (Fig. 4a, 4c)。流量が膜径と無関係でありうるのは、流動の模様と関連した慣性力と表面力の力関係のみでヒモ数が確定してしまうためであろう。流量に比べて、ヒモ数が少ないときは、ヒモ径の

太いことも観察される (Fig. 4b)。Fig. 5 に、 $\rho Q^2/\sigma r_0^3$ と $S/We^{1/2}$ の関係を点綴し、流量とヒモ数は無関係であることを示した。これから、次式の関係がえられた。

$$S = 0.42 We^{1/2} \quad (24)$$

3・3 粒径の推論と大山らの実験結果との比較

本実験の円板上で起きた液膜の分裂理論を、そのま

ま、円板周端でヒモが発生する場合に適用すれば、Eq. (16) で、 r_0 は円板径 D_0 におきかえられる。流量がヒモ数に無関係なこと、および、ヒモの切れ方について、Rayleigh⁶⁾ の液柱分裂の理論を入れて、 δ が粒径をあらわすことを許せば^{*}、Eq. (16) から、粒径について、

$$d_0 \propto \omega^{-1} D_0^{-0.5} Q^{1/3} \quad (25)**$$

Eq. (25) の関係が推論できて、大山ら⁵⁾ の水での実験結果 ($Q=0.36 \sim 8.26$ cc/sec) Eq. (26) と比較的良く一致する。

$$d_{av} \propto \omega^{-1} \cdot D_0^{-0.3} Q^{0.2} \quad (26)$$

粒径に関して、Eq. (26) は流量を含んで、Eq. (22) は流量に無関係に示されていることが注目されるが、これは、円板径 D という定まった位置で、ヒモを発生する場合と、少流量で、円板上で一意的には定まらない膜径からヒモを発生する場合の差と考えられる。粒径分布に関しては、実際には余滴の影響が考えられるが、ヒモ幅 δ が体積基準の粒径という意義をもつことからみて、粒径の小さな余滴の平均粒径に対する影響は少いと考えられる。また、発生するヒモの径が必ずしも、みな、同一の径をもたないにしても、平均粒径が受ける微粒化の機構と同じ機構で分裂するとすればヒモ幅 δ は、平均粒径をあらわすと考えてよい。

3・4 粒径分布

ヒモが生成された場合、多重粒径分布を、膜状分裂のときには、単一分布が判定

Fig. 4 Photographic observation

Fig. 5 Relation between number of ligaments and flow rate

* 既出図注参照

** この場合には膜径が定まっているのだから角速度を固定して考えれば δ は $Q^{1/3}$ に比例する。

Fig. 6 Multi modal drop size distribution curve

された。Fig. 6 に測定した多重粒径分布の一例を示した。ヒモの生成が多重粒径分布と結びつくことから、たとえば、Rayleigh の液柱分裂の理論をあてはめれば、一定の法則にしたがって切れる主滴と、そのような法則にしたがわない余滴が考えられて、別々に、それぞれの粒径分布を持つ結果として、多重粒径分布が確立すると考えられる。大山ら⁹は液滴の飛しょう軌路の実験で、流量の少いほど、高回転で飛しょう軌路が二つに分れる傾向があり、流量の多い場合には、比較的低回転で飛しょう軌路が二分する傾向のあることを報じているが、ヒモが発生するときの傾向と比較するため、Fig. 7 に、ヒモが発生する時の傾向を示した。これは、100, 80, 60mmφ の円板について、膜状分裂と観察される実験を繰返し行ない、その下限を $\rho Q^2 / \sigma D_0^3$ と We 数で示したもので、流量は 13cc/sec 以上である。たとえば、100mmφ の円板については、回転数 2500~6000 rpm で、流量約 0.8~9cc/sec の範囲では、円板の周端でヒモ状分裂の起っている状態で、さらに、流量を増して初めて膜状分裂に移行する傾向がみられた。Fig. 7 はヒモの発生と飛しょう軌路の二分の現象を同義に解釈すれば、全く同じ傾向を示している。

結 言

- (1) 回転円板上で、ヒモ数は $S = 0.42 [\rho \omega^2 r_0^3 / \sigma]^{1/2}$

Fig. 7 Tendency to ligament formation

で与えられ、液膜の分裂の理論をよく支持した。

(2) 円板上の液膜の分裂理論を、円板周端での微粒化にあてはめて、大山らの実験結果ともよく一致する平均粒径についての関係 $d_v \propto \omega^{-1} D_0^{-0.5} Q^{1/3}$ を推論できた。

(3) 一般的には、少流量で回転数の広い範囲で、ヒモ状分裂が行なわれ、高回転になるほど少流量でヒモ状分裂が行なわれる。その傾向は Fig. 7 に示した。

Nomenclature

A	= constant in Eq. (2)	[cm ² /sec]	r_0	= radius of liquid film	[cm]
D_0	= diameter of rotating disk	[cm]	r	= distance in radial direction from the origin at time $t=t$	[cm]
d_{av}	= mean drop diameter	[cm]	R	= radius of curvature	[cm]
d_v	= $\delta \propto d_v$ mean drop diameter by volume base	[cm]	S	= number of ligaments	[—]
k_1, k_2	= constants	[—]	t	= time	[sec]
Q	= volumetric flow rate	[cc/sec]			

u_{r_0}	= radial velocity at $r=r_0$	[cm/sec]	ζ	= relative displacement in radial direction of film	[cm]
u_r	= radial velocity at $r=r_0+\zeta$	[cm/sec]	ν	= kinematic viscosity	[cm ² /sec]
z_0	= depth of free surface of liquid from rotating disk	[cm]	ρ	= density of water	[g/cm ³]
We	= Weber number $= \rho \omega^2 r_0^3 / \sigma$	[—]	σ	= surface tension of water	[dyn/cm]
β	= time rate of growth of disturbance	[sec ⁻¹]	ϕ	= velocity potential	[cm ² /sec]
δ	= width of ligaments	[cm]	ω	= angular velocity	[sec ⁻¹]

Literature cited

- 1) Friedman, S. J., Gluckert, F. A. and W. R. Marshall, Jr.: *Chem. Eng. Progr.*, **48**, 181 (1952)
- 2) Hinze, J. O. and H. Milborn: *J. Appl. Mech.*, **17**, 145 (1950)
- 3) Oyama, Y. and K. Endou: *Kagaku Kōgaku*, **17**, 256 (1953)
- 4) Oyama, Y., M. Eguti and K. Endou: *Kagaku Kōgaku*, **17**, 296 (1953)
- 5) Oyama, Y., M. Eguti and K. Endou: *Kagaku Kōgaku*, **17**, 269 (1953)
- 6) Rayleigh, L.: *Phil. Mag.*, S5, **34**, No. 207 (1892)
- 7) Schlichting, H.: *Boundary Layer Theory* 214 (1966)

フィン付管冷却凝縮器の計算法*

水 科 篤 郎**・井 内 哲***
大 島 敏 男***・伊 藤 郁 雄**
浜 浦 武 志**

京都大学 工学部 化学工学科**

緒 言

冷却凝縮器の伝熱管にフィン付管を用いれば、単位容積当りの熱交換量を増大することができるが、処理ガスの湿度が高くなるほどフィン効率は低下するので設計に

Fig. 1 The location of coefficients and temperatures in longitudinal finned tube

* <Calculation on Finned Tube Cooler Condensers>

Received on July 24, 1969

縦フィンに関する部分は化学工学協会第34年会(東京, 1969年4月3日)にて発表

横フィンに関する部分は第6回日本伝熱シンポジウム(札幌, 1969年5月29日)にて発表

** Tokuro Mizushima, Ikuo Ito and Takeshi Hamaura (Dept. of Chem. Eng., Kyoto Univ., Kyoto, Japan)

*** Satoru Iuchi and Toshio Oshima (姫路工業大学 Himeji Institute of Technology, Himeji, Japan)

当ってはフィン効率を正確に求める必要がある。フィン上で熱と物質の同時移動が起こる場合の伝熱特性については空調を対象とした新津ら⁹⁾、内田ら¹⁰⁾、Bryan²⁾などの報告があるが、極めて低湿度の空気の脱湿実験であり、フィン効率も含めた見掛けの伝熱係数あるいは物質移動係数として結果を整理しているにすぎない。筆者らはさきに凝縮を伴う熱伝達におけるフィン効率を伝熱係数と分離して計算する方法を提案し、管軸方向の混合ガスの状態変化が無視できるような短かい縦フィン付管冷却凝縮器において、伝熱量およびフィン部温度分布の実測値が計算値とよく一致することを確認した。本報告では、まずさきの報告⁴⁾においてフィン効率算出の際に用いた仮定が適当かどうかを検討し、つぎに管軸方向に長い縦フィン付管および横フィン付管を伝熱管とする冷却凝縮器を用いて、混合ガスの冷却凝縮実験を行ない、前報のフィン効率算出法を用いた計算値と実測値がよく一致することを確認した。

1. フィン効率算出法の検討

1・1 前報のフィン効率算出法

前報⁴⁾におけるフィン効率算出法を M-1 とする。M-1 ではまずフィン効率 Ω を適当な値に仮定し、Fig. 1

攪拌式移動層並びに流動層における供給管の粒子移動特性 (東松節治・須田隼介・大竹伝雄, 化学工学, 34, 281~286 (1970)) 多段槽形羽根による攪拌式移動層並びに流動層において, 供給管の粒子流速が空気流量, 羽根回転速度, 粒子層高などの操作条件に対して測定された。

攪拌式移動層における実験結果は, 管口における粒子波面の周期的運動によって影響される粒子流動モデルを適用して整理された。攪拌式流動層において, 管口での上昇気泡によって惹起される粒子流速の変化を考慮して, 新しい流動モデルが提出された。このモデルに基づいて, 上昇気泡の頻度と径の関係が得られ, 粒子流速の流動と操作条件が相関された。

回転円板型噴霧器によるヒモ状分裂について (紙屋 保・平野 昭, 化学工学, 34, 287~292 (1970)) 回転円板上で液膜が分裂しヒモ状の流れを発生する現象を実験ならびに理論により研究し, この理論を, 円板周端のヒモ状分裂にあてはめた。その結果, 大山らの粒径に関する実験結果と比較的よく一致する粒径についての関係 $d_p \propto \omega^{-1} D^{-0.5} Q^{1/3}$ を得た。

フィン付管冷却凝縮器の計算法 (水科篤郎・井内 哲・大島敏男・伊藤郁雄・浜浦武志, 化学工学, 34, 292~298 (1970)) フィン付管冷却凝縮器のフィン効率算出法として, 新たにフィン部気液界面条件が飽和蒸気圧曲線を厳密にたどる場合の計算を行なったが, 伝熱面積算出値は前報の簡略計算法により求めた値とはほとんど同じなので, フィン効率算出法は前報の方法で充分であるとする。さらに縦フィン付管冷却凝縮器と横フィン付管冷却凝縮器による実験結果と計算値がよく一致したので, 前報によるフィン効率算出法を基礎としたフィン付管冷却凝縮器の設計法は充分実用性があると考えてよい。

不連続湧出源からの物質移動 (遠藤 敦・鈴木 陸・大谷 茂盛, 化学工学, 34, 299~304 (1970)) 物質移動の起きる面と起きない面とが共存するいわゆる不連続湧出源からの物質移動機構を解析するため, フェリシアンイオンの還元反応を利用した実験および水の蒸発実験を行なった。いずれの実験でも, 有効面積比が減少しても, 物質移動係数比の減少はさ程大きくないという結果が得られた。これは先に著者の一人が提出したモデルのうち, 濃度分布を有する境界モデルの理論解と比較的良好な一致を示している。

アセトン中の微量水分の共沸蒸留による除去 (広瀬泰雄・加野 正, 化学工学, 34, 305~309 (1970)) アセトン中の微量水分を普通の蒸留で 2000 ppm 以下まで除去することは困難なことであるが, 困難な問題である。なぜなら, このアセトン中の2成分系はアセトン高濃度の部分で Tangent azeotrope をつくるからである。そこで種々の脱水法を検討した結果, 塩化メチレンを添加剤とする蒸留法が良好なことがわかった。それゆえ共沸蒸留塔設計のための蒸留データを次のごとく測定した。1) アセトン-水,

2) 成分系のアセトン高濃度部分の気液平衡, 2) 塩化メチレン-水の2成分系の塩化メチレン高濃度側の気液平衡 3) 塩化メチレン中の水の溶解度, 共沸蒸留の際に塔頂から塩化メチレン-水の共沸混合物が留出するが, 微量の水相は大量の塩化メチレン相の上にわずかに浮ぶ程度なので従来のデカンターではこの2相を分離できない。そこで新しい脱水器を工夫した。その結果, 原料中の水分は 200 ppm 以下まで除去できることがわかった。

蒸留塔内蒸気濃度の新測定法 (細田喜久子・高島 巖・幡野佐一, 化学工学, 34, 310~314 (1970)) 蒸留塔内蒸気濃度の新しい測定法を考案した。これは基準物質と塔内蒸気との凝縮温度差 (ΔT) を同一圧力下で測定し, 基準物質の凝縮温度と ΔT とから塔内蒸気濃度を求める方法で, 微小の圧力変化に対してはその影響を受けない。二成分系の凝縮温度と組成の関係が既知であれば蒸気組成を求めることができる。実際のメタノール-水系の精留実験にこれを応用した結果, 蒸留水を基準にとると大気圧変動率が2%以内の時, 蒸気濃度の最大測定誤差は 1 mol % 以下となった。

液-液系における単一液滴の連続相側物質移動について (宝沢光紀・只木楨力・前田四郎, 化学工学, 34, 315~320 (1970)) 液-液系における運動中の単一液滴の連続相側物質移動について, 連続相には水, 分散相にはアニリンおよびフルフラールを用いて研究を行なった。物質移動係数 k_c は, 溶解による滴体積の減少速度をカメラで追跡する方法により測定した。液滴赤道における界面速度と滴の運動速度の比 u_0/U を Chao および Taylor らの研究から推定することにより, Ruckenstein の理論と実測値を比較した結果, 実測値の傾向をよく説明することができた。

濃厚火災の安定限界について一吹き消え (城塚 正・酒井清孝・又木登司, 化学工学, 33, 320~325 (1970)) 炭化水素燃料の化学量論比率 X が1より小さい時に, プンゼン火災の安定限界を予測できることがすでに筆者らによって報告されている。そこでこの研究は変形カルロピツ理論が, 炭化水素燃料の化学量論比率 X が1より大きいブンゼン火災の安定限界を説明できるかどうかについて検討を加えた。そして, 大気中の開放濃厚火災の場合, 水素原子の再結合反応の度合を示す B' の値を過剰燃料の熱分反応によって生ずる水素の量から求め, さらに燃焼速度 u_0 の値を化学量論比の可燃混合気の燃焼速度にすることによって, 吹き消えをうまく説明できることがわかった。また密閉火災の場合には稀薄火災の場合と同じく, 火災の安定性に対する燃焼速度の寄与が大きい。

<化学工学データ>

メタノール・エタノール・塩化カルシウム系の気液平衡データ (大江修造・横山公彦・中村正一, 化学工学, 34, 325~328 (1970)) メタノール・エタノール系に塩化カルシウム系を 16.7 wt %, 23.1 各 wt % および飽和 (室温) に溶解させた場合の気液平衡を大気圧下で測定し, $x-y$ 曲線を得た。塩効果によりメタノールのエタノールに対する比揮発度は減少し, もっとも効果の大きいときは比揮発度が逆転することが明らかとなった。

酢酸+1,2-ジクロロエタン+水系の液液平衡 (井口昭洋・布施憲司, 化学工学, 34, 328~330 (1970)) 酢酸+1,2-ジクロロエタン+水系の液液平衡を 25°C で測定し, 溶解度とタイラインのデータを得た。プレートポイントは

$$\log x_w = \frac{y_w - x_w}{x_w}$$

のプロットによる相関関係を利用して求めた。低濃度の部分は平田プロット

$$\log \frac{x_w}{1-x_w} : \log \frac{y_w}{1-y_w}$$

によって相関される。ここで, x_w は有機相内の酢酸の重量%で y_w は水相内の酸の重量%である。

<技術報告>

ラシヒリング充填塔による同伴飛沫の除去について (下浦一邦・金川 昭・筒井天尊, 化学工学, 34, 330~334 (1970)) ラシヒリング充填塔による蒸発缶からの同伴飛沫除染特性を塔内径 124 mm の実験塔を用いて, 水蒸気-水系で測定した。充填物としては 1/2-in. 磁製ラシヒリング等を用い, 単位蒸気量あたりの同伴飛沫量が 10^{-4} ~ 10^{-5} の条件で, 主として充填層高 Z (10~40 cm), 空塔蒸気速度 u_1 (0.6~1.7 m/sec) が充填塔の除染係数 (D.F.) におよぼす影響について検討を行なった。その結果 (D.F.) は $u_1 \geq 1.0$ ではほぼ一定値となること, $z \geq 20$ では除染性能が類似することが明らかになった。

<寄書>

Neumann 問題における未凍結層温度分布の近似解 (円柱) (小森友明・平井英二, 化学工学, 34, 335~337 (1970)) 一般に Neumann 問題は溶解試料が冷却され表面において凍結層ができてはじめてから適用される。したがって Neumann 問題としての初期条件は冷却時における初期条件と異なっている。そこで筆者らは円柱状試料において初期条件が異なる例についての未凍結層の温度分布を求める近似解を検討してみた。

リング状触媒有効係数について (笠岡成光・阪田祐作, 化学工学, 34, 337~339 (1970)) リング状触媒有効係数の基礎解析式として, 等温1次反応系に対して, さきに, 二重級数型のものを提出したが, 本報では, リング内の半径方向と軸方向の有効拡散係数がそれぞれ異なるものとし, 別の解法で, より簡便な一重級数型の解析式を導出した。

懸濁液の濃度差にもとづく下降流すなわち密度流現象について (吉野善弥・吉田 靖・野田勝嗣・今村忠夫・岡島裕明, 化学工学, 34, 339~342 (1970)) (1) 懸濁液を処理する過程で, しばしば問題になる密度流なる現象に関する基礎的考察を行ない, 関係式を導いた。(2) 水-四塩化炭素・ベンゼンなどの液-液系について一連の測定実験を行ない, 密度流に関する実験的検証を行なうとともに, 上記の関係式が大概成立することを明らかにした。(3) 水-炭酸カルシウムの懸濁液系についても同様な実験を行ない, 液々系の場合と同様な結果が得られた。

Liquid-Liquid Equilibria of the System Acetic acid+1,2-Dichloroethane+Water. Akihiro Iguchi (Musashi Inst. of Tech.) and Kenji Fuse (Tokyo Inst. of Tech.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 328~330 (1970)

Mutual solubility curve and tie-lines were determined for the system acetic acid+1,2-dichloroethane+water at 25°C.

For smaller concentration range, the tie-line data were correlated by Hirata plots.

$$\log x_W/(1-x_W) \text{ vs. } \log y_W/(1-y_W)$$

where x_W is solute concentration (wt %) in organic phase and y_W is solute concentration (wt %) in water phase.

For higher concentration range, the data were correlated by author's plots.

$$\log x_W \text{ vs. } (y_W - x_W)/x_W$$

and the solute concentration at plait point was obtained from extrapolation of the correlated line.

Entrainment Removal by Rashig-Ring Packed-Column Separator. Kazukuni Shimoura, Akira Kanagawa and Tenson Tsutsui (Res. Reactor Inst., Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 330~334 (1970)

The efficiency of Raschig rings of 1/2-in. size as an entrainment eliminator has been experimentally determined in a 124 mm diameter column and the steam-water system. Bed depth from 10 to 40 cm and superficial velocity in column from 0.6 to 1.7 m/sec were studied as variables.

The results illustrate that about 96% of entrainment was removed by packings of 20 cm depth. Bed depth in not so effective in improving removal efficiency of the packed column if bed depth is more than 20 cm.

Analytical Solutions of Temperature in the Liquid Phase for Neumann's Problem (cylinder.) Tomoaki Komori and Eiji Hirai (Kanazawa Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 335~337 (1970)

A solution of Neumann's problem can be generalized to the case in which the temperature at the surface in the liquid phase is at the melting point by cooling. Therefore, the initial condition for Neumann's problem is different from the usual cases, such as cooling or heating. This paper presents the few analytical Neumann's solutions of the temperature in the liquid phase for a cylinder for several different initial conditions.

Effectiveness Factor of Ring-Type Catalyst Pellet, Shigeaki Kasaoka and Yusaku Sakata (Okayama University)

Kagaku Kōgaku, **34**, 337~339 (1970)

In the previous paper, an analytical expression of effectiveness factor for an isothermal first order reaction was derived in the form of double series by applying the expansion of the Fourier-Bessel series with respect to the product of the respective solutions for the radial and axial coordinate of a ring type catalyst.

In this work, assuming that radial and axial intraparticle effective diffusivity are different, the more tractable analytical expression in the form of single series was derived by applying the Bessel transformation with respect to the reactant concentration.

Studies of Density Current, Zenya Yoshino, Yasushi Yoshida, Katsuji Noda, Tadao Imamura and Hiroaki Okajima (Tokyo University of Agriculture and Technology)

Kagaku Kōgaku, **34**, 339~342 (1970)

The phenomenon of density current of suspension was studied theoretically and experimentally.

Density of suspensions of CaCO_3 ranged from 1.01 to 1.40 g/cc and the maximum subsidence rate as density current was 2500 m/hr.

As a result, it was recognized that the observed subsidence rate in a settling tube R_d accords with the calculated values.

tower.

1) Vapor-liquid equilibria of the binary system acetone-water in the region of more than 99.8 wt. % acetone.

2) Vapor-liquid equilibria of the binary system dichloromethane-water in the immiscible region of dichloromethane rich side.

3) Solubility of water in dichloromethane at -10.0, 0.0, 10.0, 20.0, 30.0, 39.0°C.

As a result, it has been found that micro water in the feed stock can be reduced to less than 200 ppm by azeotropic distillation.

A New Method of Determining Vapor Concentration in a Distillation Column. Kikuko Hosoda, Iwao Takashima and Saichi Hatano (Science Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, **34**, 310~314 (1970)

A new method of determining vapor concentration was developed by means of measurement of differential temperature ΔT between a selected substance (A) as reference and the binary mixture (B) as sample, under the operating pressure in the distillation column.

Assume $(dT/dp)_A$ is nearly equal to $(dT/dp)_B$ at a given pressure, then the condensation temperature of B, $(T_B)_0$, will be obtained from the exact value of A, $(T_A)_0$, and the data of ΔT within a narrow range of pressure change δp .

$$(T_B)_0 = (T_A)_0 + \Delta T$$

Consequently, without the correction of pressure fluctuation, the concentration of the binary mixture will be obtained by using the correlation between condensation temperature and concentration.

In several ways, the vapor concentration of MeOH-H₂O system was determined in a distillation column operated under atmospheric pressure. The error of concentration by this method compared with the specific gravity method was less than 1 mol. %. It was found that the new method was comparable to the refractive index method in accuracy and convenience.

On Continuous-Phase Mass Transfer from Single Drops in Liquid-Liquid System. Mitsunori Hozawa, Teiriki Tadaki and Siro Maeda (Tohoku Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 315~320 (1970)

Mass transfer from a single liquid drop to water was studied, using aniline and furfural as the dispersed phase.

Measuring the change of drop volume by dissolution photographically, the continuous-phase mass transfer coefficient k_c was obtained. The experimental data are successfully explained by Ruckenstein's theory, where the ratio of tangential component of velocity at the interface u_0 to terminal velocity U is estimated from the works of Chao and Taylor.

Stability Limit of the Rich Flame —Blow-off—. Tadashi Shiotsuka, Kiyotaka Sakai and Takashi Mataka (Waseda University)

Kagaku Kōgaku, **34**, 320~325 (1970)

In this report, the applicability of the modified Karlovitz theory is discussed in explaining the stability limit of hydrocarbon Bunsen flame when the fraction of stoichiometric X is larger than unity, just as in the less-than-unity case studied in the author's previous report. In the case of the open rich flame examination, the phenomenon of blow-off is well examined by the following procedure: the value of B' , the degree of recombination reaction of the hydrogen atoms, is calculated from the amount of the hydrogen produced by pyrolysis of the excess fuel and is considered as the burning velocity of the stoichiometric fraction of unity. The flame stability of the closed rich flame is found to be affected mainly by the burning velocity, as is that of the lean flame.

Vapor-Liquid Equilibrium Data of Methanol-Ethanol-Calcium Chloride Systems. Shuzo Ohe, Kimihiko Yokoyama and Shoichi Nakamura (Ishikawajima Harima Heavy Industry Co. Ltd.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 325~328 (1970)

Vapor-liquid equilibrium at atmospheric of the system methanol-ethanol-calcium chloride was observed. The dissolved salt concentrations were 16.7, and 23.1 wt.% and saturation at room temperature. The relative volatility of methanol to ethanol was decreased by salt effect and reversed when the effect was maximum.

Characteristics of Solids Flow through Feed Pipe in Stirred-Moving and Fluidized Beds. Setsuji Tone, Junsuke Suda and Tsutao Otake (Osaka Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 281~286 (1970)

In moving and fluidized beds which were stirred by multiple-paddle impellers, measurements of the flow velocity of solids through the feed pipe were carried out for operating conditions such as air flow rate, rotational speed of impeller and bed height of solids.

Experimental results obtained in stirred-moving beds were rearranged by applying the flow model of solids affected by periodical movement of a solids wave surface near the pipe opening.

In stirred-fluidized beds, a new flow model was proposed, considering the change of solids flow velocity caused by rising gas bubbles near the pipe opening. On the basis of the model, the relation between the frequency and the diameter of rising bubbles was obtained and experimental values of solids flow velocities were correlated with operating conditions.

On Ligament-Type Disintegration by a Rotating-Disk Atomizer. Tamotsu Kamiya and Akira Kayano (Kogakuin Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 287~292 (1970)

The motion of a thin liquid film on a rotating disk, breaking up into ligament-type flow, is investigated experimentally and theoretically. The disintegration theory of liquid film on a rotating disk is applied to ligament-type disintegration at the edge of the rotating disk. As a result, we can derive the theoretical relation of the mean drop size, which shows good agreement with experimental results of water atomization by Oyama and his colleagues.

Calculation of Finned-Tube Cooler Condensers.

Tokuro Mizushima, Satoru Iuchi, Toshio Oshima, Ikuro Ito and Takeshi Hamaura (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 292~298 (1970)

An improved calculation method for designing cooler condensers with finned tubes is presented. The results of calculation by this method, however, do not differ noticeably from the results of calculation by the simplified method in a previous paper. This indicates that the calculation of fin efficiency by the simplified method is satisfactory.

Furthermore, the simplified method is applied to designing longitudinal and cylindrical finned-tube cooler condensers. The results of calculation by this method are in good agreement with the experimental results.

Mass Transfer from Discontinuous Source. Mutsuni Suzuki, Atsushi Endo and Shigemori Ohnuma (Tohoku Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 299~304 (1970)

Two experiments were carried out to analyze the mechanism of mass transfer from discontinuous sources where water surface and dried region coexist. One was by electrode reduction of ferricyanide ion at the cathode and the other was by water evaporation. It was found that the extent of decrease of mass transfer coefficient ratio, k/k_0 , was smaller than that of effective area ratio. That is, the mass transfer coefficient did not change in proportion to the fraction of the wetted area, where k_0 is the mass transfer coefficient for free surface under the same conditions.

These phenomena were well explained by the model of boundary film with linear velocity profile proposed by one of the authors.

Removal of Micro Water in Acetone by Azeotropic Distillation. Tadashi Iino and Yasuo Hirose (Tokyo Metropolitan Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 305~309 (1970)

Removal of micro water from acetone to less than 100 ppm by ordinary distillation is an interesting but difficult problem, because this binary system acetone-water has a negative azeotrope in the region of high acetone concentration. After studying various methods, it has been found that azeotropic distillation using dichloromethane as an azeotropic agent is the most economical. And the following physical properties have been measured for the design of azeotropic