凝 集 沈 殿 装 置 に つ い て*

——とくに懸濁液の密度流現象にもとづく性能向上について——

吉 野 善 弥**・今 村 忠 夫***

東京農工大学工学部 化学工学科**

緒 言

1935年頃 Spaulding ら¹⁰⁾ によって開発された凝集沈殿槽は、各種の型式の実用装置として、砂層汚過槽などとともに、効果的な清澄装置としての適用分野を急速に広め、それぞれの適用条件下における操業実績なども集積されてきたにもかかわらず、これらに関する系統的な研究報告などがほとんど見られず、必ずしも、実装置の設計法なども一般的に明らかにされてきたとはいえないようである^{3, 4, 17, 20, 21)}。

研究者らは、連続沈降分離に関する研究過程で、懸濁質そのものの集合・分散現象の影響とともに、その除去効率におよぼす分離槽内流動の影響などについても一連の研究考察をつづけてきたが^{7, 8, 18)}、かねてから懸濁液の密度差にもとづいて起こる下降流すなわち密度流 (Density current)^{1, 14)} の影響の著しいことに着目して、このような現象の沈降分離操作への積極的応用による分離性能の向上、ひいては実用装置の開発²⁰⁾ などに関する系統的研究考察をも並行して行なってきた。

本研究報告は、凝集沈殿槽内に形成されたスラッジブランケットの一部を、密度流現象の利用によって濃縮槽部へ流下させてブランケットを安定化することを考えた場合の固液分離機構や装置設計法に関する基礎的考察ならびに一連の連続試験結果などについてまとめたものである。

1. 基礎的考察

一般に、分離槽本体に形成せしめた凝集体群の層 (Fig. 1a 参照——通常スラッジブランケットまたはフロック層などと呼ばれている) の内部

で、流入懸濁液中の固体粒子群やフロック群を捕捉して清澄な溢流液を得んとする固液分離方式たとえば従来のスラッジブランケット型や複合型の凝集沈殿槽などでは、このフロック層内における粒子捕捉効果すなわち清澄効果と関連して、槽内におけるスラッジブランケットそのものの分離機構の如何が、それぞれの固液分離装置としての性能を左右するものと考えられる。

いま、この層内における清澄液の上昇速度あるいはフロック群の沈降速度を R_f とすれば、

$$R_f = v_f \cdot \phi(\bar{w}_B) = v_f / \phi(\varepsilon_B) \\ \approx v_f \cdot \frac{\varepsilon_B^3}{6(1-\varepsilon_B)} = v_f \cdot \frac{(1-\bar{w}_B/\rho_f)^3}{6 \cdot \bar{w}_B/\rho_f} \quad (1)$$

ここで $\phi(\bar{w}_B)$ は濃度補正項で空間率関数 $\phi(\varepsilon_B)$ と逆数関係にあると考えてよい⁹⁾。

などの関係式^{9, 10)} から明らかなように、ブランケット内の粒子濃度 $\bar{w}_B$ あるいは空隙率 ε_B などの如何によって、その分離速度が左右されることが考えられる^{5, 19)}。

したがって、従来の型式の凝集沈殿槽のままで、分離速度すなわち槽内平均上昇速度 R_e を大きく採るためには、上式の R_f が大になるように、前処理工程とくに凝集部において沈降速度の大なるフロック群を生成せしめるとともに、ブランケット濃度 $\bar{w}_B$ を低下させる必要なども起こってくる。しかしながら、このような大なる沈降速度分布を有するフロック群の生成は、通常の運転条

Fig. 1 Models of suspended solids contact sedimentation tank

* <On the Capacity of Suspended Solids Contact Sedimentation Tank (or Sedimentation Tank with Flocculation Compartment)>

Received on March 15, 1969

化学工学協会 引前大会 (昭和42年10月) および

化学工学協会 北海道大会 (昭和43年8月) にて研究発表

** Zenya Yoshino (Tokyo University of Agriculture and Technology)

*** Tadao Imamura (千代田化工建設株式会社・第三開発チームマネージャー Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co.)

件下では装置上ならびに経済上からの制限を受けやすく、しかもブランケットの稀薄化はフロック層内における粒子捕捉効率の低下をまねきやすく (Fig. 5 参照)、凝集沈殿槽本来の清澄機能までそこなわれることも多かった。従来、従来の型式で採り得る分離速度には自ら限界 (せいぜい 6[m/hr] 程度の平均上昇速度^{3, 4, 20, 21)} を置かざるを得なかったようである。

研究者らは、このような凝集沈殿装置の根本的な性能改善をはかるために、次のごとき一連の基礎的研究考察を行なった。

まず、Fig. 1・a のごときスラッジブランケット内に、Fig. 1・b・① のごとき隔壁を挿入して、上段 (凝集沈殿槽としての分離槽部に相当する) と下段 (凝集沈殿槽としての濃縮層部に相当する) とに隔離するとすれば、下段槽内ではフロック群の沈降濃縮現象が起こり、Fig. 1・b のように隔壁 ① の下面からは清澄液層が、下段槽底部からは濃縮層が形成されてゆくことになるから、この下段槽内における清澄液の生成量を q_c' とすれば、

$$q_c' = A_T' \cdot R_f \cdot \eta_s' \quad (2)$$

ここで、 η_s' は濃縮層部としての分離効率なる関係が成立する^{2, 6, 12, 13)}。

次に、この下段槽内の清澄液層部と、上段のスラッジブランケットの上層部とを Fig. 1・c・② のごとき垂直流路 (これを下降管 Down flow tube と呼ぶことにする) で連結すれば、その上下両端近傍における懸濁液の密度差に応じた下降流すなわち密度流なる現象が起こり得るものと考えられる^{7, 8, 14)}。

このような密度流速すなわち下降流速 R_d は、Fig. 1・c のごとき装置については、

$$R_d = \left\{ \frac{2(\rho_d - \rho_c)g \cdot L_s}{\rho_d} \right\}^{1/2} \left\{ 1 + 4f_s \cdot \frac{L_s}{D_s} + 4f_r \cdot \frac{L_r}{D_r} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_d} \left(\frac{D_s}{D_r} \right)^4 + \kappa + \dots \right\}^{-1/2}$$

$$= \lambda \cdot R_{d0} = \lambda \cdot \left\{ \frac{(w_d - w_c)(1 - 1000/\rho_s)}{1000 + w_d(1 - 1000/\rho_s)} \cdot 2g \cdot L_s \right\}^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{ただし、} \lambda = \left\{ 1 + 4f_s \cdot \frac{L_s}{D_s} + 4f_r \cdot \frac{L_r}{D_r} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_d} \left(\frac{D_s}{D_r} \right)^4 + \kappa + \dots \right\}^{-1/2}$$

なる関係が得られているから¹⁴⁾、この場合に得られる下降流量を q_d とすれば、

$$q_d = A_s \cdot R_d = \lambda \cdot A_s \cdot R_{d0} \quad (4)$$

なる量で上段から下段槽へ流下することも期待し得る。

すなわち、Fig. 1・c・③ で示される垂直管 (これを清澄液上昇管 Up flow tube と呼ぶことにする) は、上記の下降流量 q_d に相当した量の清澄液が、これを通じて下段槽から上段槽へ円滑に置換されてゆくように設けられたもので、(2)、(4) の両式から、このような分離現象が

連続的に行なわれるための条件として、

$$q_d (= A_s \cdot R_d) = q_r (= A_r \cdot R_r) \leq q_c' (= A_T' \cdot R_f \cdot \eta_s') \quad (5)$$

なる関係式が得られる。

したがって、上段のスラッジブランケット部における見掛け平均上昇速度 $R_c (= q_c/A_T)$ がフロック群の沈降速度 R_f より大なる過負荷な条件下で Fig. 1・c のごとき装置が連続的に作動する場合には、下降管 ② の上端より上方に槽内を上昇してくるフロック群は上述の密度流現象を起こして下段の濃縮層部へ流下するものと考えられるから、

$$\left. \begin{aligned} w_0 \cdot q_0 \cdot F_T = \bar{w}_d \cdot q_d = \bar{w}_B (R_c - R_f) \cdot A_T = A_s \cdot R_d \cdot \bar{w}_d \\ R_c > R_f \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし F_T は槽全体の粒子除去割合 [—]、

なる関係が得られる。

(5)、(6) 両式から、このような密度流現象の積極的応用にもとづく凝集沈殿槽全体としての分離促進効果 E を求めれば、

$$E = \frac{R_c - R_f}{R_f} \leq \frac{A_T' \cdot \eta_s'}{A_T} \cdot \frac{\bar{w}_d}{\bar{w}_B} = \frac{A_T' \cdot \eta_s'}{A_T} \cdot \beta \quad (7)$$

ただし、 $\beta = \bar{w}_d/\bar{w}_B \leq 1.0$ で、フロック群がスラッジブランケットから下降管内へ流入する過程で槽内の上澄液を同伴する場合を考慮した稀釈係数 [—]

Fig. 1 のようにとくに上・下段の槽面積が等しく、下降管内における稀釈効果が無視し得るとともに、上式において

$$A_T = A_T', \quad \beta = \bar{w}_d/\bar{w}_B \doteq 1.0 \quad \text{および} \quad \eta_s' \doteq 1.0 \quad (8)$$

とおける条件下では、

$$\left. \begin{aligned} R_f < R_c \leq 2R_f \\ E = (R_c - R_f)/R_f = R_c/R_f - 1.0 \leq 1.0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

なる関係が得られることから明らかなように、このような分離方式の採用によって、従来の凝集沈殿方式で採り得る平均上昇速度の $(1+E)$ 倍程度 (とくに Eq. (8) のごとき条件下では約 2 倍程度) まで、凝集沈殿装置としての清澄機能を著しく低下するおそれなく、分離性能を向上せしめ得るものと考えられる。

上述の基礎的考察にもとづき、各種の実験装置を組み立て、一連の試験研究ならびに考察を行なったのち、実用装置に関する研究開発を行なった^{15, 16)}。

2. 試験装置ならびに試験法

Fig. 2 は本研究で使用した連続試験装置の概要を例示したものであるが、長時間にわたる連続運転の過程で、分離槽本体とくにブランケット各部の懸濁液をできるだけ、そのまま、光電比色計内に組み込んだ形の沈降管^{6, 16)} に流入せしめて、それぞれの粒子濃度ならびに沈

1 sedimentation basin 1.1 separating plate 1.2 Downflow tube 1.3 Upflow tube
2 water inlet 3 kaolin tank 4 feed tank 5 feed pump 6 flow meter 7 alkali
tank 8 alum tank 9, 10 plunger pump 11 flocculation part 12 by path 13 sam-
pling taps 14 overflow 15 underflow

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 3 Solid content distribution in sedimentation basin

降速度分布などを測定して、(1) 槽本体内の粒子濃度分布状態、(2) スラッジブランケットの形成状態および形成速度などを求めるとともに、下降管内に挿入した注射針からフルオレッセンスナトリウムなどの染料を混入して、(3) 管内における下降流速などを求めるための測定実験を、それぞれの連続運転条件たとえば供給懸濁液中の固体粒子群の種類・性状とくに粒子濃度や粒子径分布（本研究で使用したカオリンの沈降速度分布を Fig. 7 点線で例示した）、添加凝集剤の種類や添加量（本研究では、主として硫酸ばん土を使用して Fig. 7 実線のごとき沈降速度分布のフロック群を前処理部すなわち凝集部であらかじめ形成せしめてから¹⁶⁾分離槽本体へ連続的に流入せしめた）ならびに槽内上昇速度 R_c や下降管の槽本体に対する面積比 A_d/A_r などを系統的に変化させながら繰り返した。

さらに、本実験は比較的長時間（30～50 hr 程度）にわたる連続運転になることが多かったので、この間における実験条件の変動をできるだけ抑えるために、定量ポンプやバイパスなどを利用するとともに（Fig. 2 参照）、

各経過時間（30～60 min）ごとに、上記の測定事項と並行して、(4) 供給懸濁液の流入量 q_0 、粒子濃度 w_0 、pH ならびに沈降速度分布、(5) 処理水としての溢流懸濁液の流出量 q_e ならびに粒子濃度 w_e 、(6) 排泥としての抜き出し量ならびに粒子濃度（本実験では連続的な排出は量的にも困難なので回分的に引き出した）などに関する測定実験も行なった。

3. 結果ならびに考察

1) Fig. 3 は、凝集部などであらかじめ一定条件下に調製された供給懸濁液（本研究では Fig. 7 実線で例示したような沈降速度分布を保つように前処理条件をできるだけ統一した¹⁶⁾）が分離槽本体に流入しはじめてから、各経過時間ごとに測定した槽内粒子濃度分布状態を例示したものであるが、何れの結果も、フロック層の界面が徐々に槽内を上昇して下降管の上端に達したのち、この近傍でスラッジブランケットの界面は停滞し徐々に一定の粒子濃度勾配のフロック層が形成されてゆく過程を明

Fig. 4 Solid content distribution in the sedimentation basin

Fig. 5 R_c vs. w_s , R_f and w_B

Fig. 6 R_c vs. t_B

らかにしている。

Fig. 4 は、このように定常化したのちのスラッジブランケットの粒子濃度勾配を、それぞれの槽内平均上昇速度 R_c の運転条件下で測定した結果を例示したものであ

り、Fig. 5 中の点線群は、Fig. 4 から求めたブランケット各部の粒子濃度 w_B と R_c との関係であるが、何れも、槽内平均上昇速度 R_c の増大につれて、稀薄でしかも一様な粒子濃度分布状態のフロック層が形成されてゆくことを明らかにしている。このことは、スラッジブランケット内における微細粒子群の捕捉効果にも影響し、Fig. 5 中の鎖線のように R_c の増大に伴うブランケットの稀薄化に応じて溢流中の粒子濃度 w_e が増大するという測定結果は、基礎的考察でも述べたように、スラッジブランケットの形成過程の如何によって凝集沈殿槽としての清澄効果が左右されるということを示すものである。

なお、Fig. 6 は、上述のブランケットの粒子濃度勾配が定常化するまでの経過時間 t_B を Fig. 3 などから求めて、それぞれの R_c に対して点綴したものであるが、 R_c の増大とともにスラッジブランケットの形成時間が短縮してくるという傾向は、上記の考察結果とも対応するものであるが、粒子量の収支から求めた次の関係式

$$t_B \approx \frac{A_r \cdot \bar{w}_B \cdot L_s}{q_0 \cdot w_0} = \frac{L_s}{R_c} \cdot \frac{\bar{w}_B}{w_0} \quad (10)$$

とも対応するもので、上式から算出した結果 (図中鎖線) と大略一致している。

この結果は、実際の凝集沈殿装置としての初期運転条件などを設定する際の目安の一つともなり得るものと考えられる。

2) Fig. 7 は、各条件下におけるブランケット内の粒子群の沈降速度分布に関する測定例であるが、凝集部から分離槽本体に流入する供給懸濁質の沈降速度分布 (図中実線) に比較すれば、著るしく狭い速度分布すなわち比較的に一様な沈降速度を有するフロック群がスラッジブランケットを構成していることを明らかにしているが、これから求められる界面沈下速度 $\bar{R}_f$ をそれぞれの平均上昇速度 R_c に対照させれば、Fig. 5 中の実線のように、明らかに R_c より著るしく小さい値を採るとともに、ブランケットの粒子濃度 $\bar{w}_B$ の減少に伴って $\bar{R}_f$ の値も増大するという傾向は Eq. (1) の基礎的考察結果とも対応するものである。

このような条件下でも、本試験装置が凝集沈殿槽として安定なスラッジブランケットを保持しながら清澄な溢流 (Fig. 5 鎖線) が得られているということは、分離槽部のフロック群が、濃縮槽の清澄液部との密度差に応じた密度流現象を起こして連続的に下降管を通じて濃縮槽部へ流下することによって、スラッジブラ

Fig. 7 Distribution of settling rate

ソケットの分離ならびに安定化が効果的に行なわれていることを示すものと考えられる。

上記の推論は、下降管内に染料を注入して測定した流下速度 R_{d-ob} (Fig. 10) が、フロック群の有する沈降速度 (Fig. 7) などとは比較にならないほど大であるということからも、実験的に裏づけ得るものである。

3) Fig. 8 は、下降管内各点の深さまで注射針を上方から挿入して測定した管内粒子濃度分布状態を例示したものであるが、それぞれの実験条件たとえ分離槽内平均上昇速度とフロック群の沈降速度との関係や槽本体と下降管との面積比 $A_T/A_d (=D_T^2/D_d^2)$ などによって影響を受けるようである。

すなわち、それぞれの測定結果から、下降管内の平均粒子濃度 $\bar{w}_d$ を求め、ブランケットの平均粒子濃度 $\bar{w}_b$ との比 β を算出して、Fig. 9 のごとき点綴を行なえば、何れの場合も、 A_T/A_d の増大すなわち下降管が槽径に比して細くなるにつれて、 β の値が 1.0 すなわち $\bar{w}_d = \bar{w}_b$ なる状態に近づくことが分かる。

このことは、粒子量の収支から導かれる関係式

$$\bar{w}_d/\bar{w}_b = \frac{A_T}{A_d} \cdot \frac{R_c - R_f}{R_d} = \beta \leq 1.0 \quad (11)$$

とも対応するものである。

したがって、それぞれの連続運転条件下において起こる下降管内の流下速度 R_{d-op} は、Eq. (6), (7) および (11) から、

$$R_{d-op} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{A_T}{A_d} (R_c - R_f) = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{A_T}{A_d} \cdot R_f \cdot E \quad (12)$$

なる関係で求められる。

Fig. 10 は、各試験結果について、Eq. (3) より算出した密度流速 $R_{d-calc.}$ と、Eq. (12) などから求めた下降流速 R_{d-op} ならびに染料注入によって測定した R_{d-ob} との関係を図示したものであるが、何れも大略近似した

Fig. 8 Solid content distribution in the settling tube

数値を採ることを明らかにしており、上述してきた推論ならびにこれにもとづく装置開発の方向がほぼ妥当であるということが実験的にも検証され得たものと考えても良いようである。

結 言

凝集沈殿槽内における固液分離機構に関する基礎的考察を行なったのち、槽本体内に分離板を挿入して、分離槽部と濃縮槽部とに上下二段に分離し、この間に下降管と清澄液上昇管を設けることによって起こる両槽間の密度流現象の積極的な応用から、凝集沈殿装置本来の清澄

Fig. 9 β vs. A_r/A_s

効果を著しくそこなうことなく大なる分離速度（平均上昇速度）が得られることを明らかにした。

さらに、これにもとづく分離促進効果に関する関係式を導くとともに、実際の下降管内における下降流速が、

Fig. 10 R_{d-calc} vs. R_{d-op} & R_{d-obs} .

同一条件下について算出した密度流速と大略一致するというを明らかにした。

【付 記】 長期にわたって、本研究に御協力いただいた千代田化工建設株式会社・開発グループの方々ならびに東京農工大学・工学研究科および卒業研究の諸君に深謝の意を表します。

Nomenclature

A_r, A_s, A_T, A_T' = area of upflow tube, downflow tube, tank and concentrator respectively	[m ²]	q_o = flow rate of over flow	[m ³ /hr]
D_r, D_s = diameter of upflow tube and downflow tube respectively	[m]	R_c = apparent upward current or overflow rate (= q_c/A_T)	[m/hr]
E = increment ratio of capacity	[—]	R_d = down flow rate in the down flow tube	[m/hr]
F_T = fraction of solid removed	[—]	R_f = subsidence rate of flocculated suspensions	[m/hr]
f_r, f_s = friction factor of upflow tube and downflow tube respectively	[—]	R_r = rising rate in the upflow tube	[m/hr]
g = gravitational acceleration constant	[cm/sec ²]	v_f = free settling rate of flocs	[m/hr]
L_r, L_s = length of upflow tube and downflow tube respectively	[m]	$\bar{w}_B, w_c, \bar{w}_d$ = solid content of sludge blanket, clarified water, suspensions in the down flow tube respectively	[kg/m ³]
q_c = flow rate in the sedimentation tank	[m ³ /hr]	w_e, w_o = solid content of overflow and feed suspensions respectively	[kg/m ³]
q_c' = flow rate of clarified water from concentrator	[m ³ /hr]	β = ratio of solid content (= w_d/w_B)	[—]
q_d = flow rate of flocculated suspensions in the donwflow tube	[m ³ /hr]	ϵ_B = porosity of blanket	[—]
q_o = feed rate	[m ³ /hr]	κ = dissipation coefficient	[—]
q_r = flow rate of clarified water in the upflow tube	[m ³ /hr]	$\rho_c, \rho_d, \rho_f, \rho_s$ = density of clarified water, suspensions in the downflow tube, floc and solids	[kg/m ³]

Literature cited

- Anderson, N. V.: *Sewage Works J.*, 17, 50 (1945)
- Coe, H. S., et al.: *Trans. Am. Inst. Mining Engrs.*, 55, 356 (1916)
- Committee Report: *Trans. Am. Water Works Assoc.*, 47, 263 (1951)
- Ide, T.: *Kagaku Kōgaku*, 30, 187 (1966)
- Ōyama, Y. and Yoshino, Z.: *Kagaku Kōgaku (Chem. Eng., Japan)*, 17, 103 (1953)
- Ōyama, Y. and Yoshino, Z.: *Ibid.*, 18, 314 (1954)
- Ōyama, Y. and Yoshino, Z.: Preprint for Chem. Eng. Meeting at Hamamatsu (1962)
- Ōyama, Y. and Yoshino, Z.: Preprint for 28th Chem. Eng. Meeting at Tokyo (1963)
- Shirai, T.: "Ryudoso" p. 115 Kagakugijutsusha (1961)
- Spaulding, C. H.: *J. Am. Water Works Assoc.*, 27, 327 (1935)

- 11) Steinour, H.H.: *Ind. Eng. Chem.*, **38**, 618, **36**, 901 (1944)
- 12) Talmage, W.P.: *Ibid.*, **47**, 38 (1955)
- 13) Yoshioka, N.: *Kagaku Kōgaku (Chem. Eng., Japan)*, **21**, 66 (1957)
- 14) Yoshino, Z. and Imamura, T.: *Ibid.*, **34**, 339 (1970)
- 15) Yoshino, Z. and Imamura, T.: Preprint for Chem. Eng. Meeting at Sapporo (1968)

- 16) Yoshino, Z. and Okajima, H.: *Ibid* at Sapporo (1968)
- 17) Yoshino, Z.: *Kagaku Kōgaku (Chem. Eng., Japan)*, **18**, 138 (1954)
- 18) Yoshino, Z.: *Ibid.*, **28**, 319 (1964)
- 19) Yoshino, Z.: *Ibid.*, **30**, 205 (1966)
- 20) Yoshino, Z.: *Ibid.*, **33**, 120 (1969)
- 21) Yoshino, Z.: "Gyoshu Chinden" Kōgaku Toshō (1967)

攪拌槽における高粘性液の混合について*

弓 削 耕***・大 島 栄 次**

東京大学工学部 化学工学科**

緒 言

攪拌槽において高粘性液を攪拌する場合には流れは層流領域の流れとなり、液中の拡散速度も小さい。したがって、槽内の均質な混合状態をすみやかに得るためには、混合、なかんずく流体塊同志を衝突・均一化させる対流混合のもつ重要性が大きくなる。このことは高粘性物質を取り扱う操作、例えば重合反応などにおいて、とくに考慮せねばならぬ問題である。

高粘性液の混合過程および混合時間についての研究は槽内に着色物質を投入し、その着色の過程を観察し槽内が均一に着色された時間から混合時間を知るもの^{1,4,11)}、電気伝導度や温度の異なるトレーサーを投入したり^{3,5)}、 $I_2-Na_2S_2O_3$ などの酸化還元反応を適用し^{3,7,8)}、混合状態と混合時間を検知するものであるが、いずれの場合も混合時間—槽内均一時間—の定義、実験上の判定方法がいまいであり、測定者間の実測値の変動も大きい。

著者らは先に対流混合に着目し、高粘性液をかい型・タービン型翼で攪拌したときの攪拌槽内の混合状態（流動状態）を追跡粒子法を用いて観察し、また循環時間分布を測定した¹⁰⁾。そこで、さらにこの循環時間分布から槽内の混合過程を推察し、槽内が均質になる過程を表現するものとして「混合時間指数」と「混合時定数」を定義した。この混合時間指数と混合時定数を用いれば、攪拌槽の混合の良し悪しと混合の律速過程が判定できると考えられるので、その結果について報告する。

1. 混合時間指数と混合時定数

攪拌槽内の混合状態を知るためには、槽内へ槽内の物質と物理的性質（電気伝導度、温度、pH など）の異なる物質をトレーサーとして投入し、槽内が均質に到るまでの変化を槽内の濃度変化に換算し測定することがよく行なわれる^{2,3,5,6,9)}。

Fig. 1 はこれらの測定結果の 1 例で系（攪拌槽）にステップ入力（トレーサー）を加えたときに系が安定状態（槽内が均一の濃度になった状態）に達するまでの出力の変化（濃度変化）を示すインディシャル応答である。この応答に対する評価法には 整理時間、制御面積、振

Fig. 1 Response curve of concentration in mixing

* <On Mixing of Viscous Liquid in a Mixing Vessel>

Received on July 19, 1969

** Eiji O'Shima (Dept. of Chem. Eng., Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan)

*** Koh Yuge (東レ (株) Toray Industries Inc.)

高分子水溶液における拡散と電気伝導 (星野定司, 化学工学, 34, 393~397 (1970)) 高分子水溶液における電解質の当量伝導度と拡散係数との関係を研究して次の結論を得た。

- 1) Eyring の拡散式は Walden の法則に相当し、強電解質の拡散係数と当量伝導度は比例する。
- 2) Walden の法則における粘度は媒体のマクロ粘度ではなく、ミクロ粘度であるべきである。
- 3) 強電解質の当量伝導度の測定から高分子溶液のミクロ粘度を得ることができる。そして、このミクロ粘度は拡散係数の測定から得られるミクロ粘度にほぼ等しい。
- 4) 高分子溶液のミクロ粘度は高分子の種類、溶質の種類、およびマクロ粘度 (分子量又は重合度) に無関係であり、高分子の濃度の増加と共に多少増加するが、溶媒自身の粘度の値にほぼ等しい。

高速気流中の火炎の安定性に対する変形カルロピッツ

理論の適用 (城塚 正・酒井清孝・又木登司, 化学工学, 34, 397~402 (1970)) 高速気流中の火炎の安定化に対して変形カルロピッツ理論の適用を試み、R. Z. が火炎の安定性に重要な役割を果たしている保炎器に対して実験的にすでに得られている着火遅れ時間 τ_B の理論的裏付けを行ない、同時に τ_B に物理的意味を持たせ、また τ_B に及ぼす圧力および可燃混合気の予熱温度の影響についても考察を加えた。

固定触媒層によるベンゼンの水素添加反応 —— 反応の基

本的挙動について —— (山崎 徹・野口義夫・赤塚武昭・岩村孝雄・大谷精弥, 化学工学, 34, 402~406 (1970)) 触媒存在下気相でベンゼンを水素添加シクロヘキサンを合成する反応につき、高圧下においてその基礎的挙動の検討を行なった結果、反応の反応速度は Houghen-Watson の速度式にまとめられた。シクロヘキサン中に含まれる不純物パラフィン類の副生は反応速度に支配的であることを確かめた。さらに触媒活性は反応期間中にその触媒で処理したベンゼンの総量に対して対数的に低下することに基づいて、寿命の推定を行なった。

固定触媒層によるベンゼンの水素添加反応 —— 反応器の

シミュレーションについて —— (山崎 徹・野口義夫・赤塚武昭・岩村孝雄・大谷精弥, 化学工学, 34, 407~413 (1970)) ベンゼンの高圧気相水素添加を固定触媒層で行ない、温度分布を測定した。Crank-Nicolson 法にもとづくシミュレーションによる理論計算は実測値を統一的によく説明できることを確認した。特に触媒層の一部の活性を変えることにより温度分布の形を変え、触媒活性の経時変化を考慮した温度分布、転化率の変化について知見を得た。

液相管型反応器における自然対流の効果について (白石

英紀・中塩文行・精浩一郎・坂井 渡, 化学工学, 34, 414~420 (1970)) 直立および傾斜管型反応器において無水酢酸の加水分解反応を行ない、自然対流が反応率に及ぼす影響をおよぼすかについて検討した。管径、管長、入口および出口構造の異なる7種類の反応器を用い、管内の Reynolds 数が3~38の範囲で実験を行なったが、反応に伴う密度増加のため管内に吹き抜け流が発生し層流とは全く異なる流動状態となった。また反応率が吹き抜け領域の大きさおよび安定性によって著しく影響されることを示した。

多孔板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, 421~426 (1970)) 多段の多孔板塔による蒸発缶からの同伴飛沫除染係数(D.F.)を塔内径124mm、5段の実験塔を用いて水蒸気-水系で測定した。各段毎の(D.F.)を区別してもとめた結果、最下段が効果的な飛沫除染性能を示すこと、および最下段で捕集されずにこの段を通過した飛沫は引きつづき可成りの分率で各段を通過するため段番号が大きくなるほど一段あたりの(D.F.)は減少することを実験的に確かめた。また、除染係数と飛沫量、塔内蒸気速度、段間隔および板条件との相関についても考察を行った。

円形ノズルカスケード・インパクターの分離機構 (湯

普一・井伊谷鋼一, 化学工学, 34, 427~432 (1970)) カスケード・インパクターの粒子衝突効率を中心としたインパクターの分離機構を基礎的に検討する研究は重要であるが、円形ノズルを用いたインパクターの分離機構に関しては実験的な研究が2, 3あるのみである。そこで筆者等は Strand がポテンシャル流で求めた気体速度分布式を用いて間隔比を考慮に入れた衝突効率の値を計算し、実験結果と比較検討した所両者はほぼ一致した。通常のインパクターの操作条件においてこのモデルが分離機構をある程度正しく説明しているものと思われる。また間隔比が小さくなるほど分離曲線の勾配が大きくなり、鋭い分級が可能になることも明らかとなった。

凝集沈澱装置について —— とくに懸濁液の密度流現象に

もとづく性能向上について —— (吉野善弥・今村忠夫, 化学工学, 34, 433~439 (1970)) 凝集沈澱槽内における固液分離機構に関する基礎的考察を行なったのち、槽本体内に分離板を挿入して分離槽部と濃縮槽部との上下二段に隔離し、この間に下降管と清澄液上昇管を設けることによって二槽間に起こる密度流現象の積極的応用から、凝集沈澱装置本来の清澄効果をそこなくことなく大なる分離速度(平均上昇速度)が得られることを明らかにした。

攪拌槽における高粘性液の混合について (弓削 耕・大

島栄次, 化学工学, 34, 439~445 (1970)) 高粘性液を攪拌槽で混合するときの混合過程について検討し、混合過程の状態を表わすものとして、「混合時間指数」と「混合時定数」を定義した。混合時間指数と混合時定数から判定すれば、循環時間分布曲線の尖鋭度は小さい方が混合状態はよい。低攪拌レイノルズ数領域では混合の機構は対流と拡散とに大別され、いずれが支配的になるかは混合時定数から推定することができる。

<寄書>

標本重量平均径の統計的偏りの意義 (森 芳郎・菅沼

彰, 化学工学, 34, 445~447 (1970)) n 個の標本粒子の粒径から求めた標本重量平均径 $x_W(n) = \sum x_i^4 / \sum x_i^3$ の期待値 $E[x_W(n)]$ は X_W と n のみならず粒径分布にも依存し、 $X_{WA} > X_{WB}$ であっても $E[x_W(n)_A] < E[x_W(n)_B]$ になることがあり、 $x_W(n)_A \geq x_W(n)_B$ となる確率が $1/2$ よりもはるかに小さいこともある。 $x_W(n)$ を単なる比較値として用いる場合でもその偏りを考慮する必要がある。

水平回転円錐型容器内の偏析現象 (杉本益規, 化学工学,

34, 447~448 (1970)) 水平回転円錐型容器内の粒子群が偏析現象を生ずることをみいだした。同容器の小口径側に大粒子群が、大口径側に小粒子群が偏析する。この偏析現象を利用し、同容器を流通式に用い、連続分級操作の一実験を試みた。

On the Capacity of Suspended Solids Contact Sedimentation Tank. Zenya Yoshino and Tadao Imamura (Tokyo Univ. of Agriculture and Technology)

Kagaku Kōgaku, **34**, 433~439 (1970)

The capacity of a suspended solids contact sedimentation tank is studied from sedimentation phenomena and flow characteristics of flocculated suspensions.

Based on these general considerations, we have developed a high efficiency solid contact sedimentation tank with the settling tube and rising tube which connect the sludge blanket and the clarification zone in the concentrator separated from sedimentation compartment for the use of the phenomena of density current.

On Mixing of Viscous Liquid in a Mixing Vessel. Koh Yuge (Toray Ind. Inc.) and Eiji O'Shima (Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, **34**, 439~445 (1970)

Based on the investigation of the mixing process of viscous liquid in a stirred vessel, "mixing time index" and "mixing time constant" are defined for indicating the response to a concentration pulse in the vessel.

According to the calculation of the response with the circulation time distribution curve, it is shown from "mixing time index" and "mixing time constant" that the mixing of the liquid is favorable when the distribution curve is broad.

In the range of low Reynolds number, the mixing is achieved by two kinds of mechanisms, i.e. those due to convective flow and diffusive flow. The contribution of both mechanisms can be estimated with the use of "mixing time constant".

<Short Communications>

Significance of Statistical Bias of Sample Weight Mean Particle Diameter. Yoshiro Mori and Akira Suganuma (Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, **34**, 445~447 (1970)

A Sample weight mean particle diameter calculated from a list of sample particles' diameters,

$$x_W = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^4}{\sum_{i=1}^n x_i^3}$$

is a biased estimator of a true weight mean diameter of powder, X_W . Its expectation, $E[x_W(n)]$, depends not only on X_W and n but also on the particle diameter distribution of powder, so that $X_{WA} > X_{WB}$ does not always mean

$$E[x_W(n)_A] > E[x_W(n)_B].$$

According to several results of Monte Carlo simulation of random sampling of particles, probability that $x_W(n)_A$ is larger than $x_W(n)_B$ is in some cases much less than 1/2. Therefore, $x_W(n)$ may not be used without consideration of its statistical bias, even as a relative index or a means of qualitative comparison.

The Segregation of Particles in a Horizontal Rotating Conical Vessel. Masunori Sugimoto (To-yama University)

Kagaku Kōgaku, **34**, 447~448 (1970)

To observe the behavior of particles in a horizontal rotating conical vessel under lower speed of rotation, experiments were carried out. It was found that the larger silica sands segregated near the end of the small inside diameter of the conical vessel and that the smaller sands did so near the other end.

This phenomenon was used to classify silica sands with a continuous rotating conical vessel, operating under an open-circuit system.

Hydrogenation of Benzene to Cyclohexane in Fixed Bed Reactor — Studies of Reactor Simulation —. Toru Yamazaki, Yoshio Noguchi, Takeaki Akazuka, Takao Iwamura and Seiya Otani (Toray Ind. Inc.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 407~413 (1970)

For hydrogenation of benzene accompanying high heat of reaction, temperature profiles of catalytic fixed-bed reactor were measured in a test plant. With the information obtained on the rate and physical properties of the fixed bed, it was possible to analyze the reactor performances by simulation based on a two-dimensional differential model. In the computations, Crank-Nicolson's finite difference method was employed and the results were in good agreement with experiments for various operating conditions.

To obtain optimum temperature profile by diminishing the maximum temperature peak, control of the catalytic activity by mixing inactive solid with the catalyst was examined and proved effective.

As the catalytic activity decayed with reaction time, a computation to show time effect on longitudinal temperature profile was made. The results indicate that the maximum temperature peak would diminish with time, while the over-all conversion is kept constant.

Study of Free Convection Accompanied by Homogeneous Liquid-phase Reaction in a Tubular Reactor. H. Shiraishi, F. Nakashio, K. Kusunoki and W. Sakai (Kyushu Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 414~420 (1970)

The authors examined experimentally the effect of free convection accompanied by hydrolysis of acetic anhydride in vertical and inclined tubular reactors. Seven kinds of reactor were used, having different diameter, length and inlet or outlet conditions. The experiments were carried out in the range of low Reynolds ($Re=3-33$). However, it was found that free convection accompanied by the reaction occurred in the reactor, i. e., by-pass, circular and eddy flows occurred due to the increase of liquid density with the reaction. It was shown that the conversion of acetic anhydride was determined by the scale and the stability of by-pass flow region.

De-entrainment in Plate Column. Kazukuni Shimomura, Akira Kanagawa and Tenson Tsutsui (Kyoto University)

Kagaku Kōgaku, **34**, 421~426 (1970)

De-entrainment characteristics of a perforated-plate column with 124 mm diameter and 5 plates have been studied experimentally in steam-water system.

The results illustrate that more than 95% of the entrainment is removed in the bottom plate of the column. De-entrainment efficiency of each plate above the bottom has a considerably lower value than that of the bottom plate, for the bulk of the entrained mist passing through the first plate also passes the other plates in sequence.

Steam rate from 500 to 2500 Kg/m²·hr plate spacing from 10 to 30 cm and entrainment rate per unit steam rate from 10⁻⁴ to 10⁻² were adopted as variable ranges.

Separation Mechanism of Round Nozzle Cascade Impactor — Effect of Clearance Ratio —. S. Yui and K. Iino (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 427~432 (1970)

There are only a few experimental works on the separation mechanism of a round nozzle impactor, though it is very important to study separation mechanism for particle target efficiency of an impactor.

Theoretical target efficiency is herein calculated by use of Strand's velocity potential taking clearance ratio into consideration, and is in fairly good agreement with experimental results. Consequently, the mathematical model seems to represent the separation mechanism of a round nozzle impactor under usual operation conditions. And the smaller the clearance ratio, the larger the slope of partial separation efficiency curve; that is, sharp particle classification can be achieved in small clearance ratio

Diffusion and Electric Conductance in a Polymer Solution. Sadashi Hoshino (Tokyo Institute of Technology)

Kagaku Kōgaku, **34**, 393~397 (1970)

The relation between the equivalent conductance and the diffusion coefficient of electrolytes in a polymer solution has been investigated. The results obtained are summarized as follows:

1) Eyring's diffusion equation is equivalent to Walden's rule, and the diffusion coefficient of an electrolyte is proportionally related to the equivalent conductance.

2) The viscosity term in Walden's rule should be the micro-viscosity of the medium instead of the macro-viscosity.

3) By measurement of the equivalent conductance of a strong electrolyte the micro-viscosity of the polymer solution could be obtained, and this viscosity was nearly equal to the micro-viscosity obtained by measurement of the diffusion coefficient.

4) The micro-viscosity of a polymer solution was independent of both the kinds of polymers and solutes and the macro-viscosity (the molecular weight of polymer or the degree of polymerization), more or less increased with increasing polymer concentration, and was nearly equal to the viscosity of the solvent itself.

Application of Modified Karlovitz Theory to Flame Stability in High-Speed Flow. Tadashi Shirotsuka, Kiyotaka Sakai and Takashi Mataka (Waseda University)

Kagaku Kōgaku, **34**, 397~402 (1970)

The modified Karlovitz theory was applied to flame stability in high-speed flow. In such a flow, the Recirculation Zone plays an important role in the flame stability of the flame holder (for example, bluff bodies). The authors conducted research theoretically and physically to explain the time ignition lag τ_B , and the experimental facts, and carried out further studies of the influence of the preheat temperature on τ_B . The effects of pressure of the combustible gas on τ_B are also discussed.

Hydrogenation of Benzene to Cyclohexane in Fixed-bed Reactors — Studies of Catalytic Reaction Performance —. Toru Yamazaki, Yoshio Noguchi, Takeaki Akazuka, Takao Iwamura and Seiya Otani (Toray Ind. Inc.)

Kagaku Kōgaku, **34**, 402~406 (1970)

Apparent rate of hydrogenation of benzene on the T-61 catalyst (Ni catalyst supported on silica with third components) was measured under various operating conditions in a differential reactor. The rate data were summarized by a Hougen-Watson type expression

$$r = \frac{k_K H^2 K_B P_H^2 P_B}{(1 + K_B P_B + K_H P_H + K_N P_N + K_C P_C)^2}$$

To obtain extremely high-purity cyclohexane, product distribution by side reactions was experimentally studied. It was concluded that the effect of reaction temperature on formation of paraffinic impurities was the most important factor.

Life test on T-61 catalyst with high-purity benzene was made. The catalytic activity was found to decay exponentially with total amount of benzene converted to cyclohexane during the reaction time.