θ : dimensionless temperature
 θ_{∞} : dimensionless temperature where heat transfer is fully developed
 θ_d : dimensionless difference temperature
 θ_w : dimensionless wall temperature
 $\Xi_i(\xi)$: radial eigenfunction
 ξ : dimensionless radial coordinate
 ρ : fluid density

τ_{rz} : rz-component of shear stress tensor
 τ_w : wall shear stress
 φ_0 : constant in Ellis model
 φ_1 : constant in Ellis model

Subscript
 L: outlet

Literature cited

- 1) Bird, R. B. and Lyche, B. C.: *Chem. Eng. Sci.*, **6**, 35 (1956)
- 2) Michiyoshi, I. and Matsumoto, R.: *Trans. Japan Soc. Mech. Eng.*, **29**, 1344 (1963)
- 3) Schechter, R. S. and Wissler, E. H.: *Chem. Eng. Progr.*, **55**, No. 29, 203 (1959)
- 4) Schechter, R. S. and Wissler, E. H.: *Nucl. Sci. Eng.*, **8**, 371 (1959)
- 5) Schenk, J. and Van Laar, J.: *Appl. Sci. Res.*, **7**, 449 (1958)

非ニュートン流体の撹拌槽壁における伝熱に関する実験的研究*

水 科 篤 郎**・伊 藤 竜 象**
 村 上 泰 弘***・田 中 資 俊****
 京都大学工学部 化学工学科

ま え が き

撹拌槽伝熱操作は他の伝熱操作に比較して体系化が非常に遅れているとはいえ、ニュートン流体に関してはかなりの実験的集積がある。われわれもニュートン流体について若干の検討を行ない実用的と思われる実験相関式をえている⁵⁾。最近ニュートン流体の槽内流動状態に関する知見も数多く発表されつつある現状である。槽内の流動的挙動は撹拌槽伝熱の体系化に有効に利用される可能性が大きい。しかし、非ニュートン流体については所要動力にかなりのデータの集積がみられるだけで、伝熱特性に関しては公表された報告がみあたらず、T. Blanchard ら¹⁾によるものが紹介されているにすぎないと思われる。

本報告では乱流域の撹拌操作に伴う熱伝達の問題を Power law に従う擬塑性流体について CMC (カルボキシメチルセルロース) 水溶液、ポリスチレン・トルエン溶液を例として検討した結果とセメント原料スラリーによる塑性流体の特性解析についてまとめた。

1. 実験装置および方法

擬塑性流体 実験のフローシートはニュートン流体について行なった実験と同一である⁵⁾。冷却管を設置して定常実験を行なった。実験に用いた槽は Fig. 1 に示すように槽底も熱伝達に寄与している。壁表面温度の推定法に用いる凝縮量は垂直面のみで凝縮した量が必要であるから、凝縮が底面も垂直側面も平均して起こると仮定し、全凝縮量を垂直面、底面の面積比でわりふって前者を求めた。

このような取り扱いの信頼性をみるために権型翼でニュートン流体の場合よく引用される Chilton ら²⁾の結果と比較した予備実験結果を Fig. 2 に示すが、よく一致している。撹拌翼および冷却管は Fig. 3 に示す寸法のものを用いた。実験試料は主として CMC 水溶液を使用した一部ポリスチレントルエン溶液を用いた。Power law の成立を仮定した場合の実使用流体特性として構造粘性指数 (n) を取り上げ試料濃度との関係を Table 1 に示した。ここで留意すべきことは CMC が実験中に相当変質することである。

撹拌槽内 bulk 温度が 70~80°C とかなり高いことも原因であろう。Power law 係数 m の時間経過、温度による変化はいちじるしい。Fig. 4 に実測例を示す。われわれは各実験でテスト開始後 30 分程度ごとに試料を

* <Experimental Study of the Heat Transfer of Non-Newtonian Fluids to the Wall of an Agitated Vessel>
 Received on December 22, 1965

** Tokuro Mizushima, Ryuzo Ito (Kyoto Univ., Kyoto)
 *** Yasuhiro Murakami (東洋レーヨン Toyo Rayon Co.)
 **** Suketoshi Tanaka (旭化成 Asahi Kasei Co.)

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Comparison of author's experimental results with Chilton's data

Table 1 Materials used in this experiment

Material	η
water	1.0
0.5% CMC-water solution	1.0
2.0% CMC-water solution	0.65-0.82
2.5% CMC-water solution	0.59-0.67
3.0% CMC-water solution	0.57-0.65
3.5% CMC-water solution	0.51-0.58
4.0% CMC-water solution	0.44-0.55
25% polystyrene-toluene solution	0.85-0.95

Fig. 3 Impellers and coils used in experiment

Fig. 4 Change of n and m during the experiment

槽内より採取し、その採取時刻より試料の実験中の変化を把握し、実験データの取得時刻により内挿して実験時の m, n の point value を求めた。この方法によって実験の正確度をいちじるしく向上できた。

塑性流体 実験に用いた槽の基本的構成と寸法は Fig. 1 と同様であるが、底がベークライトの断熱板にな

っていること、伝熱面高さが38cmであることが Fig. 1 の場合と若干異なる。第1章で説明したように槽底のある場合でも凝縮が側面、槽底とも同様に起こると仮定すると槽底の影響はないとみなしうる。試料はセメント原料スラリーで後述の流動特性から塑性流体とみなしうるものである。

2. 擬塑性流体の槽壁側熱伝達係数

2.1 試料流体の工學物性値

[A] 粘度 島津のユニバーサルレオメータを用いた。single-bob method により Maron & Krieger⁶⁾ の関係式から次のようにして Power law 係数と指数を求めた。

$$\frac{f(\tau_1)}{\tau_1} = \phi_a \left\{ 1 + k_1 \left(\frac{d \log \phi_a}{d \log \tau_1} \right) + k_2 \left(\frac{d \log \phi_a}{d \log \tau_1} \right)^2 \right\} = \phi_a K \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{\kappa^2 - 1}{2\kappa^2} \left(1 + \frac{2}{3} \ln \kappa \right)$$

$$k_2 = \frac{\kappa^2 - 1}{6\kappa^2} \ln \kappa$$

$$\phi_a = \frac{2\Omega}{\tau_1 \left(1 - \frac{1}{\kappa^2} \right)} = \frac{1}{\eta_a} = \xi \frac{\Omega}{\theta}, \quad \tau_1 = \zeta \theta \quad (2)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \kappa$$

Power law が成立すると仮定すると

$$\frac{d \log \phi_a}{d \log \tau_1} = \frac{d \log \frac{\Omega}{\theta}}{d \log \theta}$$

は一定となるはずである。故に Eq.(1) の { } 中を K (Const.) とおけば Power law の関係から

$$\tau_1 = m \{ f(\tau_1) \}^n \quad (3)$$

Eq.(1), Eq.(2) からレオメータについて両対数紙に θ/Ω 対 θ のプロットから m, n を求める。その関係は次式で示される。

$$\log \frac{\theta}{\Omega} = \frac{1}{n} \log m (K\xi)^n \zeta^{n-1} + \left(\frac{n-1}{n} \right) \log \theta \quad (4)$$

実測値の一例を Fig. 5 に示す。

[B] 熱伝導度 Fig. 6 に示す装置で実測した。Fig. 6 に示す関係で定常となれば

$$\frac{\lambda_1}{x_1} (t_0 - t_1) = \frac{\lambda_2}{x_2} (t_1 - t_2) = \frac{\lambda_3}{x_3} (t_2 - t_4) = \frac{\lambda}{x} (t_2 - t_3) \quad (5)$$

$\left(\frac{x_2 \lambda_1}{x_1 \lambda_2} + \frac{\lambda_1 x_3}{x_1 \lambda_3} \right) = \text{Const.}$ であり次式から求められる。
 $\frac{t_1 - t_4}{t_0 - t_1} \sim x$ のプロットより勾配 $\frac{\lambda_1}{x_1} \frac{1}{\lambda}$ を求める。

$$\frac{t_1 - t_4}{t_0 - t_1} = \frac{\lambda_1}{x_1} \frac{1}{\lambda} x + \text{Const.} \quad (6)$$

Fig. 5 An example of measurement of flow characteristic of CMC solution

① dial gauge	⑥ brass plate
② screw stopper	⑦ hot water
③ spring	⑧ rubber plate
④ O-ring	⑨ cold water
⑤ heat insulator	⑩ brass plate
⑥ brass plate	⑪ material used
⑦ material	⑫ rubber plate
⑧ bakelite heat insulator	

Fig. 6 Experimental apparatus for thermal conductivity

Fig. 7 An example of measurement of $(t_1 - t_0)/(t_0 - t_1)$ vs. x

Fig. 8 Correlation of heat transfer coefficient on the wall with the dimensionless number of Eq. (8)

Table 2 Specific heat of polystyrene-toluene solution

Temperature [°C]	c_p [kcal/kg·°C]
60-65	0.405
75-80	0.425

Table 3 Density of polystyrene-toluene solution

Temperature [°C]	ρ [gr/cm³]
60	0.875
70	0.865
80	0.855
89	0.845

ここで $\alpha = \lambda_1/x_1\lambda$ とし標準物質の λ を α_0, λ_0 とし未知物質のそれを $\alpha_x\lambda_x$ から

$$\lambda_x = \frac{\alpha_0}{\alpha_x} \lambda_0 \quad (7)$$

として求めることができる。Fig. 7 に実測例を示すが、CMC 水溶液、ポリスチレントルエン溶液のいずれも溶媒の熱伝導と同一とみなした。

[C] 比熱 冷却法で実測した。CMC 水溶液は 4% 程度までであれば水と同一とみなしうる。ポリスチレンの場合は Table 2 の値を用いた。

[D] 密度 ビクノメータで実測した。CMC は水の値を用いて大差なく、ポリスチレンの場合は Table 3 のようになった。

2.2 乱流域実験結果の整理 (鋸型攪拌翼)

実験にはニュートン流体も同時に試料水準として選び、非ニュートン流体の実験結果と連続的に整理しうる見掛け粘度を探索するという方法で実験結果

をまとめることにした。その場合導入された非ニュートン流体の見掛け粘度は壁面における見掛け粘度であると推定される。もっとも簡単な整理方法は次元解析によって導かれる無次元項によるものである。すなわち、見掛け粘度 η_a として次式を用いた無次元項によって実験結果の整理を行なった。

Fig. 8 に結果を示す。

$$\left. \begin{aligned} \eta_a &= m_b N^{n-1} \\ Re &= \frac{L^2 N^2 - \rho}{m_b} \\ Pr &= \frac{c_p m_b N^{n-1}}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

この Eq. (8) で示される無次元項には攪拌装置系のディメンションを含まず不合理である。次に攪拌翼の先端と槽壁間の速度分布が直線的であると仮定し、この速度勾配に対応する見掛け粘度を用いた場合を考えてみる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_a &= m_b \left(\frac{2\pi LN}{D-L} \right)^{n-1} = m_b \left(\frac{2\pi}{\frac{D}{L}-1} \right)^{n-1} \cdot N^{n-1} \\ Re &= \frac{L^2 N^2 - \rho}{m_b \left(\frac{2\pi}{\frac{D}{L}-1} \right)^{n-1}} \\ Pr &= \frac{c_p m_b \left(\frac{2\pi}{\frac{D}{L}-1} \right)^{n-1} N^{n-1}}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

図は省略するが整理結果はニュートン流体の伝熱特性と非ニュートン流体の特性で二つのグループにわかれた。しかし、Eq. (8) に比較すると相当よいまとまりを示すことがわかった。

そこで Fig. 9 に示す関係において壁面における速度勾配を次のように補正した。

$$\text{速度勾配} = \beta \frac{2\pi}{L} N \quad (10)$$

よって

$$\left. \begin{aligned} \eta_a &= m_b \left(\beta \frac{2\pi}{L} N \right)^{n-1} \\ Re^* &= \frac{L^2 N^{2-n} \rho}{m_b \left(\beta \frac{2\pi}{L} N \right)^{n-1}} \\ Pr^* &= \frac{c_p m_b}{\lambda} \left(\beta \frac{2\pi}{L} N \right)^{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$\beta=14$ において整理すると Fig. 10 のようによくまとまった。この結果は Uhl¹⁷⁾ の鋸型攪拌翼によるニュートン流体の結果とよく一致している。相関式として次式がえられた。

$$\frac{h_f D}{\lambda} = 0.4 Re^{*2/3} Pr^{*1/3} \left(\frac{m_b}{m_w} \right)^{0.14} \quad (12)$$

$$8 \times 10^5 > Re^* > 3 \times 10^2$$

$$1 > n > 0.45$$

粘度補正は通常のニュートン流体について求められている関係にならって $(m_b/m_w)^{0.14}$ とおいた。

2・3 擬塑性流体の攪拌槽特性解析用レイノルズ数について

ニュートン流体は速度勾配によって粘度変化がないが非ニュートン流体では速度勾配による見掛け粘度変化がいちじるしいので、その系を支配している見掛け粘度によって、攪拌所要動力、混合、伝熱各操作で異なった無次元表示が可能であると考えられる。この報告で示した Eq.(11) の Re 表示は現在までに発表されている非ニュートン流体の解析用 Re とは異なっており若干の説明補足を行なうことにする。Metzner ら¹⁾ は層流域の攪拌所要動力の整理に次のような Re を用いている。

$$Re = \frac{L^2 N^{2-n} \rho}{m_b k^{n-1}} \quad (13)$$

$$\eta_a = m_b (kN)^{n-1}$$

ここで k について Fat-bladed turbine の場合 11.5 ± 1.4 , Fan turbine の場合 13 ± 2 , Marine propeller の場合 10 ± 1 をえている。この Re は所要動力においてはよい相関を与えるが、攪拌翼の寸法を考慮していないので彼らの実験条件と大幅に異なる場合は注意すべきであろう。ちなみに、Eq.(13) の場合について、この報告の条件ではどの程度の k を与えるかを試算してみる。 $D=29.6$, $L=18$ の場合 $k=136$, $D=29.6$, $L=25$ の場合は $k=488$ となる。Metzner らの速度勾配対象域はあくまで翼付近でしかも層流域で

あると考えられる。最近, Blanchard らは擬塑性流体の櫓型翼による実験結果を速度勾配無限大に対応する粘度を用いて整理した。しかし, 伊藤²³⁾ によって指摘されているように攪拌槽壁において速度勾配が最大であるが, それを正確に把握できないため, 便宜上無限大の速度勾配に対応する粘度をもってきたことは多少いさぎずであった, このための補正を粘度補正項の指数を Re の関数として表示することにより行なっている。すなわち, 最終相関式として次式をえている。

$$\frac{h_f D}{\lambda} = 0.4 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu_{\infty}} \right)^{2/3} \left(\frac{c_p \mu_{\infty}}{\lambda} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_{\infty}}{\mu_0} \right)^{-s} \quad (14)$$

μ_{∞}, μ_0 は

$$\tau = \left(\frac{\tau_0}{a + \dot{\gamma}} + \mu_{\infty} \right) \cdot \dot{\gamma} \quad (15)$$

から求める。 Z は $L^2 N \rho / \mu_{\infty}$ の関数であり Fig. 11 に示す。以上二, 三の例から明らかなように, 現状では動力・伝熱特性を統一的に表示できる無次元項は見出されていないように思われる。

3. 塑性流体の槽壁側熱伝達係数

3・1 試料流体の工学的物性値

Fig. 9 Schematic diagram of velocity distribution in agitated vessel

Fig. 10 Final correlation of heat transfer coefficient on the wall with the dimensionless number in Eq. (11)

セメント原料スラリーで Table 4 にその主な性状を示す。

[A] 粘度 降伏値、塑性粘度は次式から求めた。測定は島津のユニバーサルレオメータによる。

$$\eta = \frac{s}{2\eta} \left(1 - \frac{1}{\kappa^2}\right) - \frac{s_0}{\eta} \ln \kappa \quad (16)$$

$\left(\frac{\kappa^2-1}{2\kappa^2}\right) = 2.5 \times 10^{-2}$ の bob と cup を用いた。測定例を Fig. 12 に示す。

[B] 熱伝導度 次式により推定した。温度変化は考慮しなかった。

$$\lambda = \lambda_c \frac{2\lambda_s + \lambda_c - 2\phi(\lambda_s - \lambda_c)}{2\lambda_s + \lambda_c + \phi(\lambda_s - \lambda_c)} \quad (17)$$

$\lambda_c = 0.545 [\text{kcal/m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}] \cdots \cdots \text{水}$

Fig. 11 Relation between Z and $L^2 N \rho / \mu_\infty$

Fig. 12 An example of flow characteristics of plastic fluid used in experiment

Table 4 Some properties of plastic fluid

Sample	Concentration		S_0 [dyne/cm ²]	λ [kcal/m·hr·°C]	c_p [kcal/kg·°C]	ρ [gr/cm ³]
	[wt %]	[Vol. %]				
S-2	54.0	28.1	25.1	0.721	0.56	1.56
S-3	49.4	25.5	10.6	0.704	0.61	1.47
S-4	55.3	29.8	36.6	0.733	0.57	1.57
S-5	56.8	31.0	53.1	0.741	0.56	1.60
S-6	50.4	26.0	13.03	0.705	0.61	1.51
S-7	46.1	24.5	7.24	0.707	0.62	1.47

Fig. 13 Final correlation of heat transfer coefficient on the wall for plastic fluid

Fig. 14 Schematic diagram of stagnant layer at the wall of agitated vessel

h^* (静止層・流動域間熱伝達係数) を含む Nu^* は次式で示されることがわかっているので

$$Nu^* = 0.4 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (20)$$

と Eq. (19) から

$$\frac{l}{D} = \frac{Nu^* - Nu}{Nu Nu^*} = \frac{1 - \frac{Nu}{Nu^*}}{Nu} \quad (21)$$

$Re(L^2 N \rho / \eta_b)$ に対し Eq. (21) の右辺を点綴すると Fig. 15 のようになり、 $Re^{-3/2}$ に比例する。次に $(l/D) Re^{3/2}$ と $He(L^2 S_0 \rho / \eta_b)$ を点綴すると Fig. 16 のようになり次式をえた。 S_0 は降伏値である。

$$\frac{l}{D} = 1.11 \times 10^3 He^{0.1} Re^{-3/2} \quad (22)$$

Eq. (20) の μ を塑性粘度 η に変えて Eq. (21) に Eq.

Fig. 15 Relation between l/D and $Re(L^2 N \rho / \eta_b)$

Fig. 16 Relation between $l/D Re^{3/2}$ and $He(L^2 S_0 \rho / \eta_b^2)$

(22) と共に考慮すると

$$\frac{Nu\left(\frac{\eta_w}{\eta_b}\right)^{0.14}}{Pr^{1/3}} = \frac{Nu^*\left(\frac{\eta_w}{\eta_b}\right)^{0.14}}{Pr^{1/3}} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{D}\right) \frac{Pr^{1/3}}{\left(\frac{\eta_w}{\eta_b}\right)^{0.14}} \frac{Nu^*\left(\frac{\eta_w}{\eta_p}\right)^{0.14}}{Pr^{1/3}}}$$

$$= \frac{0.4 Re^{2/3}}{1 + 4.44 \times 10^3 He^{0.1} Pr^{1/3} Re^{-5/6}} \quad (23)$$

ただし、 $(l/D)Pr^{1/3}(\eta_w/\eta_p)^{-0.14}$ の粘度補正は無視している。Fig. 13 中の計算線は $He^{0.1}Pr^{1/3}$ をパラメータとして示したもので $2 \times 10^5 > Re > 10^4$ の範囲でかなり実験結果をよく説明できる。

Nomenclature

a : constant in Eq.(15)	[1/sec]
b : impeller width	[cm]
c_p : specific heat of fluid	[cal/gr·°C]
CMC : carboxymethylcellulose	[—]
D : vessel diameter	[cm]
E : height of impeller as shown in Fig. 1	[cm]
$f(\tau_1)$: rate of shear	[1/sec]
H : height of heat transfer surface	[cm]
h_j : heat transfer coefficient based on inside wall of agitated vessel	[cal/cm ² ·sec·°C]
h^* : heat transfer coefficient between stagnant layer and agitated liquid	[cal/cm ² ·sec·°C]
K : constant in Eq. (1)	[—]
k_1, k_2 : constants in Eq. (1)	[—]
L : impeller diameter	[cm]
l : thickness of stagnant layer	[cm]
m : constant in power law equation	[dyne·sec ^{n} /cm ²]
N : impeller speed in r.p.s.	[1/sec]
n : constant in power law equation	[—]
n_p : impeller blades	[—]
q : rate of heat transfer based on the outside wall of agitated vessel	[cal/cm ² ·sec]
R_2 : radius of cup in rheometer	[cm]
R_1 : radius of bob in rheometer	[cm]
T_b : bulk temperature of agitated fluid	[°C]
T_w : wall temperature of agitated vessel	[°C]
t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 : temperature shown in Fig. 6	[°C]
w : weight percent of solid particle in the material used	[%]
x, x_1, x_2, x_3 : thickness shown in Fig. 6	[cm]

擬塑性流体、塑性流体の槽壁側熱伝達係数の実験結果を実用的観点からまとめ擬塑性流体の場合 Eq.(12)を、塑性流体の場合 Eq.(23) をえた。

非ニュートン流体の攪拌槽伝熱について発表されている例が皆無に近い、実験結果の整理に主眼をおき、機構的解析は行なわなかった。

おわりにのぞみ本研究をまとめるにあたりご教示をたまわった京大化学工学科永田進治教授に感謝いたします。またセメントスラリー入手については日本セメント(株)に御礼申し上げます。

Z : function of $L^2 N \rho / \mu_{co}$ in Eq.(14)	[—]
α : slope of $\frac{t_1 - t_4}{t_0 - t_1}$ vs. x	[1/cm]
β : velocity coefficient shown in Fig. 9	[—]
$\dot{\gamma}$: rate of shear	[1/sec]
ζ : constant in Eq.(2)	[dyne/cm ²⁰]
η : plastic viscosity	[gr/cm·sec]
θ : the angle of displacement of wire	[°]
κ : ratio defined by R_2/R_1	[—]
λ : thermal conductivity of fluid	[cal/cm·sec·°C]
μ : viscosity of fluid	[gr/cm·sec]
ξ : constant in Eq.(2)	[cm·sec ²⁰ /gr]
ρ : density of fluid	[gr/cm ³]
τ_1 : shear stress	[dyne/cm ²]
ϕ : fluidity	[cm·sec/gr]
Ω : angle velocity	[1/sec]

Subscript

b : bulk temperature
l : liquid
s : solid particle
w : wall temperature

Dimensionless Number

$Nu = h_j D / \lambda$ Nusselt Number	[—]
$Nu^* = h^* D / \lambda$ Nusselt Number	[—]
Re : Reynolds Number	[—]
Re^* : Reynolds Number in Eq.(11)	[—]
Pr : Prandtl Number	[—]
He : Hedström Number	[—]

Literature cited

- Blanchard, T. and Chu, J. C.: Private communication to Ito, R. (1961)
- Chilton, T. H., Drew, T. B. and Jerbens, R. H.: *Ind. Eng. Chem.*, **36**, 510 (1944)
- Ito, R.: *Kagakukikaigijutsu*, **15**, p.1 (1963)
- Metzner, A. B. and Ott, R. E.: *A. I. Ch. E. Journal*, **3**, 3 (1957)
- Mizushima, T., Ito, R., Murakami, Y. and Kiri, M.: *Chem. Eng. (Japan)*, **30**, 827 (1966)
- Onogi, S.: *Reorojiyoron*, p. 29 (1957)
- Uhl, V. W.: *Chem. Eng. Prog. Symp. Series*, **51**, 93 (1954)

溶液の表面張力(平沼充安・久郷昌夫, 化学工学, 30, 797~800 (1966)) 気液界面の分子モデル³⁾に大きい分配関数を用いて溶液表面の性質をみちびいた。Eq (5)~(11)によれば、表面張力および表面濃度が、無限希釈における活量係数と純成分の性質から表わされ、その結果実験値と一致している。任意の濃度で混合しない溶液に対しては、表面張力-液組成曲線は Fig. 2 に示すように極大極小を有する。またこの取り扱いは溶液の表面状態を推測する手がかりを与える。

垂直管内気泡流動および気栓流動での摩擦係数について(小出耕造・久保田宏, 化学工学, 30, 801~806 (1966))

垂直管内気液二相流において、拡散律速の電極反応を用いて、管壁での局所物質移動係数を測定し、この結果を用いて二相流摩擦係数と単相流摩擦係数の比に対する実験的関係式を得た。この結果より、低液流速における気泡流動および気栓流動では、気泡の液に対する相対速度の影響が無視できず、Lockhart-Martinelli の相関式が適用できないことを示した。

垂直管内気泡流動でのガスホールドアップ分布および液速度分布(小出耕造・久保田宏, 化学工学, 30, 806~813 (1966))

空気-0.01 N. KCl 水溶液系の垂直管内気泡流動において、電極法によりガスホールドアップの分布を、また全圧計を用いて液の速度分布を求めた。得られた実験結果を混合長理論を拡張したモデルによる表式化で整理した。実験結果によれば、通常気泡塔として扱われている液流速の小さい気泡流動の範囲では、管内において液速度分布およびガスホールドアップ分布は均一であるとみなしてよい。

エリス模型非ニュートン流体の円管内層流伝熱(三石信雄・宮武修, 化学工学, 30, 813~819 (1966)) 円管内を完全に発達した層流で流れるエリス模型非ニュートン流体の伝熱に関する研究を行なった。物性定数を一定とし粘性消散を無視して解析した。エリス模型は3つのレオロジー定数をもちいせん断応力範囲の非ニュートン挙動を表わすことができよう。パラメータ n (エリス模型の定数) と α ((8) 式で定義) のいくつかの値に対して固有値および固有関数を電子計算機を用いて計算し Nusselt 数と Graetz 数の関係を図示した。

非ニュートン流体の攪拌槽壁における伝熱に関する実験的研究(水科篤郎・伊藤竜象・村上泰弘・田中資俊, 化学工学, 30, 819~826 (1966)) 著者らは乱流域における非ニュートン流体の攪拌槽伝熱について研究した。使用試料は、カルボキニメチルセルロースとセメントロックスラリーであった。非ニュートン流体の流動モデルは擬塑性流体に対して Power law 模型を、塑性流体に対してビンガム模型を用いた。最終的相関式として擬塑性流体について Eq. (12) を塑性流体について Eq. (23) をえた。

攪拌槽内冷却管への熱伝達に関する実験的研究(水科篤郎・伊藤竜象・村上泰弘・桐砥崇, 化学工学, 30, 827~833 (1966)) ニュートン、非ニュートン流体に対する攪拌槽内冷却管への熱伝達研究を行なった。ニュートン流体として水、グリセリン、ヒマシ油を用い、非ニュートン流体としてカルボキシメチルセルロース、セメントロックスラリーを用いた。

非ニュートン流体の流動模型として Power law, Bingham 模型を用いた。最終相関式としてニュートン流体について Eq. (2)、擬塑性流体について Eq. (8)、塑性流体について Eq. (2) をえた。空熱係数と所要動力との関係として Eq. (13) をえた。

連続式攪拌槽型晶析装置の設計法(城塚正・豊倉賢・杉山文彦, 化学工学, 30, 833~839 (1966))

連続式完全混合槽型晶析装置の設計と操作特性を検討するための無次元特性値として晶析特性因子 (C. F. C.) と重量分布の最大を示す I_m による粒径分布の規定法を提出すると同時にこれらを用いた設計法および操作特性の検討法を示した。また小型および中型装置を用いて塩酸ナトリウムの晶析速度を母液結晶の粒径分布より測定し、拡散段階の物質移動係数は式 (3) にて表わされることを示し、また晶品の生成速度式として式 (11) を得た。

異相系反応モデルのパラメータ算出に関する考察(目崎令司, 化学工学, 30, 839~845 (1966))

非線形 Hougen-Watson 反応速度式の速度残差二乗和表面の性状を調査し、速度式中のパラメータの決定および反応モデルの選定を行なう際注意すべきいろいろな表面特性が検討された。

高温における鉄-アルミニウム合金に対する空気、酸素および窒素の作用(高坂彬夫, 化学工学, 30, 845~850 (1966))

各種の鉄-アルミニウム合金を 630~1,030 °C において 1~10 時間空気、酸素、窒素にさらしてその腐食性を腐食による重量変化から研究した。

鋼鉄および鋳へのアルミニウムの添加は、高温における空気、酸素および窒素に対する耐食性を増加させ、一方合金中の炭素はその性質を減少させる。

任意の温度における酸化速度は、合金の炭素含有量の約 3~4 倍のチタンを加えることにより減少する。