β	= constant, reference to Eq. (14)	[—]	μ_c	= viscosity of continuous phase	[poise]
ϵ_c	= volume fraction of continuous phase	[—]	μ_p	= viscosity of dispersed phase	[poise]
ϵ_p	= volume fraction of particle phase	[—]	ν_c	= kinematic viscosity of continuous phase	[cm ² /sec]
ϵ_{pf}	= ϵ_p for packed bed condition	[—]	ρ_c	= density of continuous phase	[g/cc]
η_t	= $l_t/\bar{l}_t$, dimensionless particle size	[—]	σ_r^2	= variance of dimensionless residence time	[—]
η_{tc}	= dimensionless critical particle size, $l_{tc}/\bar{l}_t$	[—]	τ	= dimensionless residence time, θ/θ_T	[—]
θ	= residence time	[sec]	ϕ	= slip velocity modulus, Equation 1	[—]
θ_T	= mean residence time	[sec]	Γ	= gamma function	[—]
λ	= reference to Equation 29, $\bar{u}_p/\bar{u}_c$	[—]			
μ	= apparent viscosity of mixed phases	[poise]			

Literature cited

- 1) Brinkman, H.C.: *J. Chem. Phys.*, 20, 571 (1952)
- 2) Lapidus, L. and J.C. Elgin: *A. I. Ch. E. Journal*, 3, 63 (1957)
- 3) Gal-Or, B. and H.E. Hoelscher: *A. I. Ch. E. Journal*, 12, 499 (1966)
- 4) Handley, D., A. Doraisamy, K.L. Butcher and N.L. Franklin: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 44, T 260 (1966)
- 5) Hiram, Akio: Will be published
- 6) Hu, S. and R.C. Kintner: *A. I. Ch. E. Journal*, 1, 42 (1955)
- 7) Haughey, D.P. and G.S.G. Beveridge: *Can. J. Chem. Eng.*, 47, 130 (1969)
- 8) "Kagaku-Kōgaku Benran", Chap. 14, 3rd ed. (1968), Maruzen Pub. Co., Tokyo
- 9) Laan, E. Th. van der: *Chem. Eng. Sci.*, 7, 187 (1958)
- 10) Miyauchi, T., H. Mitsutaka and I. Harase: *A. I. Ch. E. Journal*, 12, 508 (1966)
- 11) Miyauchi, T. and T. Yamada: *Kagaku Kōgaku*, 35, 71 (1971)
- 12) Oliver, D.R.: *Chem. Eng. Sci.*, 15, 230 (1961)
- 13) Pratt, H.R.C., R. Gayler and N.W. Roberts: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 31, 57 (1953)
- 14) Phillips, C.R. and T.N. Smith: *Chem. Eng. Sci.*, 24, 1321 (1969)
- 15) Richardson, I.J.F. and W.N. Zaki: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 32, 35 (1954)
- 16) Roscoe, R.: *Brit. Appl. Phys.*, 3, 267 (1952)
- 17) Robinson, J.V., Ref. to T. Vermeulen: *Chem. Eng. Prog.*, 51, 85-F (1955)
- 18) Smith, T.N.: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 43, T 69 (1965)
- 19) Taylor, G.I.: *Proc. Roy. Soc., A* 148, 141 (1932)
- 20) Tazuka, Makoto: B.S. Thesis, Dept. Chem. Eng., Univ. of Tokyo, Mar., (1968)
- 21) Thornton, J.D.: *Chem. Eng. Sci.*, 5, 201 (1956)
- 22) Zuber, N.: *Chem. Eng. Sci.*, 19, 897 (1964)

スラッキング輸送層における接触反応について*

巖 崎 光 彦**・近 藤 貞 夫***
岩 崎 光 彦***・越 後 谷 悦 郎**
森 川 清***

東京工業大学 資源化学研究所**

緒 言

輸送層反応管における気固系1次接触反応はピストン流れに近い反応成績が得られ、反応転化率はガスの反応管内における滞留時間分布関数より推算できることをすでに前報で報告した¹⁾。

* <Estimation of the Conversion of 1st Order Catalytic Reaction in Slugging Transport Reactor>
Received on November 7, 1969

** Sheng-hwa Yen (Research laboratory of resources utilization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan)
Etsuro Echigoya (Dept. of Chem. Eng., Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan)

*** Sadao Kondo, Mitsuhiro Iwasaki, Kiyoshi Morikawa (日本揮発油(株) Japan Gasoline Co., Ltd.)

輸送層反応管におけるキャリアーガスの線速度が比較的小さい場合、触媒粒子はキャリアーガスによって反応管内に分散されて輸送されず、むしろスラッキング層を形成しながら輸送される。このような現象は透明な反応管を用いて触媒粒子を輸送した場合に観察することができ、また差圧マノメーターの水面のはげしい揺れからも推察される。本研究ではスラッキング輸送層を用いて接触反応を行ない、その結果、反応転化率は輸送層におけるそれよりも低い値が得られるが、この場合反応に有効な時間は輸送層の場合と異なり反応ガスの反応管内における滞留時間によるのではなく、ガスと触媒粒子との接触時間によるものと考えて解析を行なった。スラッキン

グ輸送層反応に使用した反応管は20mmφガラスパイプ反応管(20mmφ管と略す)である。一方、前報と同じ輸送層条件で11mmφステンレスパイプ反応管(11mmφ管と略す)および20mmφ管を用い、イソプロピルアルコール(IPA)の脱水反応を行ない、前報の解析結果の妥当性を検討した。

1. 解析法

流動層接触反応装置において、岩崎らは非吸着性ガスおよび吸着性ガスをトレーサーとして用い、それらの応答曲線を解析することによって、粉体一流体間の接触時間分布を求め、これより反応転化率の推算法-接触時間分布モデルを提出した³⁾。

スラッグ輸送層(Slugging transport reactor)の場合、ある時刻における反応管内のキャリアガスおよび触媒粒子はスラッグ層を形成しながら輸送される。この際、キャリアガスと触媒との間にスリップが生じ、反応ガスが触媒に接触、吸着されてはじめて、反応が起こる。接触反応において有効な反応時間は通常time factor (W/F_t)を用いる。したがってこの場合反応ガスが触媒上に吸着されている時間(吸着保持時間)は W/F_t に比例するものと考えて、接触時間分布モデルの理論をこの系に適用して解析を行なった。

吸着性ガスがスラッグ輸送層内を通過する場合、ガス分子の層内滞留時間 τ は、流体中に滞留する時間 a と触媒上における吸着保持時間 τ との和になる。

$$t = a + \tau \quad (1)$$

いま反応管入口にインパルス波形のアルゴンおよびプロパンを注入した時の出口応答波形をそれぞれ $y(t)$ および $z(t)$ とするとEq.(2)が得られる³⁾。

$$z(t) = \int_0^t y(a) c(t-a) da = c(t) * y(t) \quad (2)$$

関数 $y(t)$ 、 $z(t)$ について合成関数の定理を適用し、time factorに岩崎らと同様 W/F_t の値を用いると、気固系1次接触反応の未反応率 $1-\alpha$ の値をEq.(3)より求めることができる。

$$1-\alpha = \frac{\int_0^\infty e^{-k \frac{t}{\tau_{av}} \frac{W}{F_t}} c(t) dt}{\int_0^\infty e^{-k \frac{t}{\tau_{av}} \frac{W}{F_t}} y(t) dt} = \frac{\int_0^\infty e^{-k \frac{t}{\tau_{av}} \frac{W}{F_t}} z(t) dt}{\int_0^\infty e^{-k \frac{t}{\tau_{av}} \frac{W}{F_t}} y(t) dt} \quad (3)$$

ここで、

$$\int_0^\infty y(t) dt = \int_0^\infty z(t) dt = 1 \quad (4)$$

$$\tau_{av} = \int_0^\infty t \cdot z(t) dt - \int_0^\infty t \cdot y(t) dt = \bar{t}_z - \bar{t}_y \quad (5)$$

本実験では固定層で得られた速度定数 k の値をEq.(3)に適用しスラッグ輸送層における1次接触反応

(1) Transfer function of fluid flow
(2) Transfer function of adsorption on catalyst

Fig. 1 Impulse and its response

の反応転化率の推算を試みた。

このモデルを実験的に考えるとFig. 1に示された形で理解することができる。Fig. 1における(a)は反応管入口にアルゴンのインパルス $\delta(t)$ を加えたときの反応管出口の応答が $y(t)$; (b), (c)は反応管入口にプロパンのインパルス $\delta(t)$ を加えたときの反応管出口の応答が $z(t)$ であることを示す。(1)は流れの伝達関数、(2)は吸着の伝達関数を表す。

2. 実験

2.1 固定層流通法反応

実験方法 Eq.(3)を用いて反応転化率を推算する際、この反応の速度定数が必要となる。この反応速度定数を固定層流通式反応法により調べた。スラッグ輸送層および輸送層反応の実験では大量の触媒を用いるため、FCC用未焼成触媒(触媒化成KK製品、 Al_2O_3 13wt.%, 200~250mesh)を用いた。触媒活性は温度140~200°C, $W/F_t = 1.0 \sim 18.0$ [g·hr/g·mol], 原料対キャリアガス水素モル比は $n = H_2/IPA = 10$, 触媒量 $W = 1 \sim 3$ (g)の実験条件下で調べた。

結果と考察 未焼成触媒の経時変化の一例をFig. 2に示した。図に示すように、この触媒活性の実験結果にバラツキが見られるが、反応の初期から時間100分までの触媒活性はほぼ一定値を取り、その後反応するにつれて徐々に活性が上昇する。したがって以後の解析には活性がほぼ一定値をとる範囲で行なわれた。Table 1に固定層実験結果を示した。

IPAの脱水反応は次式に示すように進行し、

反応中、体積変化が見られるので、反応中のIPAの濃度 C_I は

$$C_I = \frac{1-\alpha}{1+n+\alpha}$$

Fig. 2 Data obtained from differential reactor for dehydration of IPA

Fig. 3 Verification of 1st order reaction

Table 1 Experimental data (Fixed bed)

Reaction temp. [°C]	W/F_t [g-hr/g-mol]	α [%]	$f(\alpha)$ [—]	k [g-mol/g-hr]
140	3.23	2.41	0.024	0.0125
"	4.66	4.91	0.050	
"	6.77	7.81	0.083	
"	8.56	7.85	0.084	
"	18.70	13.00	0.138	
160	2.08	11.60	0.124	0.063
"	3.01	22.20	0.251	
"	4.37	17.30	0.320	
"	5.52	31.40	0.378	
170	2.26	21.50	0.243	0.107
"	3.62	34.10	0.416	
"	4.75	38.00	0.480	
"	6.00	46.50	0.626	
180	1.03	23.90	0.273	0.24
"	1.48	32.40	0.396	
"	2.16	40.70	0.523	
"	2.73	48.70	0.668	

となり、したがって1次速度式は

$$r = kC_I = k \frac{1-\alpha}{1+n+\alpha}$$

と書ける。これを流通法の基礎式 $\frac{W}{F_I} = \frac{1}{n+1} \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{r}$ に代入すると Eq.(6) が得られる。

$$k \frac{W}{F_I} = f(\alpha) = \ln \frac{1}{1-\alpha} + \frac{1}{1+n} \ln \frac{1}{1-\alpha} - \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad (6)$$

各温度において W/F_I と $f(\alpha)$ をプロットすると Fig. 3 に示すように直線が得られ、この反応が擬1次反応として取り扱えることがわかり、直線の勾配より、反応速度定数 k の値が求まる。得られた k の値を Table 1 に示した。実験範囲では副反応はほとんど無視できた。

2・2 スラッキング輸送層および輸送層反応

実験方法 IPA の脱水反応を長さ1,000mm の11mmφ管、および20mmφ管を用いて実験した。11mmφ管のフローシートならびに実験方法は前報と全く同じである。20mmφ管のフローシートおよび各付属装置は11mmφ管とほとんど同じである。20mmφ管中心部に外径5mmφの反応温度測定用熱伝対管が設けられており、反応管外部には加熱用のリボンヒーターが巻いてあり、その上にアスベストでさらに保温してある。触媒ホルダーアップ量は前報 Fig. 1 と同様、反応管入口αの上流にあるバルブを瞬時的に閉め、管内の触媒を触媒取出口より取り出し、秤量し、反応管長に相当するホルダーアップ量に換算して求めた。

キャリアガスは市販ボンベ入り水素を使用した。

反応生成物のサンプリングは反応管上部に内径1mmφの注射針をそう入し、真空ポンプで定量的に吸引を行ない、ドライアイスメタノールで未反応 IPA と水をトラップし分析した。分析条件はつぎのとおりである。

分離カラム: Dibutyl Sevacate

カラム長さ: 1.8m

カラム温度: 54°C

キャリアガス流速: 水素 100cc/min

原料 IPA は市販の特級試薬を用いた。

結果と考察 スラッキング輸送層および輸送層実験条件を Table 2 にまとめた。反応 (1) は前報に報告した実験結果である。反応 (2), (3) の触媒粒子径、反応管径を変えた実験結果をそれぞれ Table 3~4 および Fig. 4 に示した。Table 3~4 および Table 5 の k の値は Table 1 より得られた反応速度定数 k の値を用いる。反応 (1), (2), (3) は輸送層の実験結果である。Table 3, 4 および Fig. 4 より実験範囲では輸送層における1次不可逆接触反応の反応成績は触媒粒子径、管径によらずピストン流れに近いことがわかりかつその反応転化率はガス流れの滞留時間分布関数により推算可能であるという前報の実験結果を確かめた。スラッキング輸送層の

Fig. 4 Comparison of estimated conversion with chemical reaction data

Table 2 Working conditions

No. Reaction	Temp. range	Reactor	Cata. [mesh]	Carrier gas velocity [cm/sec]
**(1) Catalytic Cracking of Cumene	400	SUS 27	100	75.0
	500	Stainless to 11 mm × 1000 mm	150	180.0
**(2) Dehydration of Isopropyl Alcohol	160 to 200	SUS 27 to Stainless 11 mm × 1000 mm	200 to 250	80.0 to 190.0
	170 to 210	Pyrex 20 mm × 1000 mm	200 to 250	40.0 to 55.0
*(4) Dehydration of Isopropyl Alcohol	200 to 210	Pyrex 20 mm × 1000 mm	200 to 250	below 40.0

Remarks: ** Transport reactor
 * Slugging transport reactor
 Temp. = (°C)
 Cata. = FCC catalyst
 Carrier gas = Hydrogen gas

Table 3 Experimental data obtained from 11mmφ transport reactor for IPA dehydration

Reaction temp. [°C]	IPA [g-mol/hr]	Carrier gas (H ₂) [g-mol/hr]	W [g]	k·W/F _t [—]	Conv. X [%]
160	0.788	8.788	6.47	0.0468	4.32
164	"	10.538	4.13	0.0291	1.62
183	"	"	3.4	0.075	6.0
195	"	15.5	6.27	0.27	22.0
"	"	14.5	6.3	0.29	23.7
161	"	10.52	8.9	0.0532	12.3
197	"	10.75	4.9	0.425	28.8
175	"	"	16.2	0.206	19.2
177	"	13.5	12.0	0.164	22.1
190	"	12.5	10.7	0.378	30.6
186	"	12.1	11.8	0.338	29.3
198	"	15.25	7.96	0.432	35.2
200	0.473	12.0	8.08	0.774	55.4

Table 4 Experimental data obtained from 20mmφ transport reactor for IPA dehydration

Reaction temp. [°C]	IPA [g-mol/hr]	Carrier gas (H ₂) [g-mol/hr]	W [g]	k·W/F _t [—]	Conv. X [%]
204	1.26	12.6	19.3	1.72	83.0
175	1.57	15.74	43.6	0.378	29.0
"	"	"	49.6	0.43	39.0
189	"	"	6.81	0.205	28.0
194	"	"	6.82	0.268	30.0
192	"	"	6.39	0.22	28.0
200	"	"	10.7	0.741	56.0
199	"	"	11.0	0.7	50.0
197	"	"	11.3	0.552	52.0

Table 5 Experimental data obtained from 20mmφ slugging transport reactor for IPA dehydration

Reaction temp. [°C]	IPA [g-mol/hr]	Carrier gas (H ₂) [g-mol/hr]	W [g]	k·W/F _t [—]	Conv. X [%]
206	1.05	10.5	3.76	0.489	34.0
205	"	"	7.94	1.03	55.0
"	"	"	10.6	1.377	58.0
206	"	10.96	12.5	1.56	70.0
"	"	10.44	11.9	1.554	70.0
209	"	8.25	6.89	1.44	61.0

Table 6 Unreacted conversion 1-α, estimated by Eq. (3) for slugging transport reactor

Run No.	k·W/F _t [—]	1-α [—]	Run No.	k·W/F _t [—]	1-α [—]
001	1.5	0.336	0031	4.73	0.044*
007	2.13	0.193	"	"	0.054*
003'	4.00	0.115	"	"	0.076*
003	4.73	0.079	"	"	0.103*
081	3.84	0.036	0032	2.00	0.186*
005	5.1	0.036	"	"	0.208*
002	6.24	0.031	"	"	0.219*
061	6.92	0.013	"	"	0.253*
006	10.8	0.006			

with*: estimated from original curve
 without*: estimated from mean curve

Fig. 5 Representative mean pulse response curve for slugging transport reactor

場合 (Table 5, Fig. 4 の●印), 混相流の流れが比較的不安定で実験値にバラツキが見られるが, ビストン流れと完全混合との中間の反応成績が得られた。Fig. 4 の中に反応転化率の低いところを拡大した図も示してある。

2.3 トレーサー実験

実験方法 トレーサーガス (アルゴン, プロパン) を Solenoid valve を用いて反応管入口に瞬時的に注入した。反応管は内径 12mmφ, 長さ 1,500mm のガラスパイプを使用し, 出口波形の測定は前報と同じ方法を用いた。

結果と考察 スラッシング輸送層は圧力損失の測定からわかるように定常流輸送状態で運転することは困難であった。したがって濃度パルス実験では同じ操作条件で実験を数回行ない, 得られた応答曲線の平均値を採用した。平均化された応答曲線の代表例を Fig. 5 に示した。Fig. 5 に示すように吸着遅れ時間が観測される原因はガスの流体中における滞留時間とガスが触媒上における吸着遅れ時間とが Fig. 1(c) に示すように直列にあ

ると考えられる。これに対して輸送層の場合, 吸着遅れ時間が観測されないのは触媒が均一に, 流体中に分散されており, しかも触媒量が少ないためと思われる。Eq. (3) を用い, 平均化された応答曲線から未反応率 $1-\alpha$ を計算し, その結果を Table 6, Fig. 4 (▼印) に示した。計算は TOSBAC 5400 Computer を使用した。なお, 生の応答曲線のみ取り誤差を検討する目的で応答曲線を平均化せずに, それぞれの実測曲線を Computer で計算した。その結果を Table 6, Fig. 4 (▽印) に示した。Fig. 4 からわかるようにスラッシング輸送層による接触反応の反応転化率 (Fig. 4 ●印) は反応ガスの反応管内における滞留時間のみで定まらず, 輸送中に触媒粒子と反応ガスがスリップし, その際に生じる遅れ時間, すなわち接触時間分布を用いて推算した値 (Fig. 4 ▼印) の内挿線上に反応結果がよくのることから, よく理論にあてはまる結果が得られたことがわかった。

結 言

輸送層反応管の管径および反応種類 (クメンの分解反応およびイソプロピルアルコールの脱水反応) を変えて気固系 1 次接触反応を行なった結果, いずれもビストン流れの反応成績が得られ反応転化率は流体の滞留時間分布関数より推算可能である前報の実験結果を確かめた。また反応成績は触媒粒子径によらないことがわかった。

スラッシング輸送層の場合の反応成績はビストン流れと完全混合との間にあるが, W/F_t の小さいところでの反応転化率は Eq.(3) より推算した値とほぼ同じであることがわかった。

Nomenclature

α	= residence time	[sec]		the reactor	[-]
C_I	= concentration of Isopropyl Alcohol in gas phase	[g-mol/cc]	$z(t)$	= pulse function of adsorbate tracer at exit of the reactor	[-]
$c(t)$	= function of contact time	[sec]	τ	= effective contact time	[sec]
F_t	= total gas feed rate	[g-mol/hr]	α, x	= reaction conversion	[-], [%]
k	= reaction rate constant	[g-mol/g·hr]	r	= reaction rate	[g-mol/g·hr]
t	= time	[sec]	τ_{av}	= average retention time of adsorbate on catalyst	[sec]
W	= catalyst hold-up	[g]	$\bar{t}_v$	= mean residence time of Argon gas	[sec]
$x(t)$	= pulse function of input gas tracer	[-]	$\bar{t}_i$	= mean residence time of Propan gas	[sec]
$y(t)$	= pulse function of inert gas tracer at exit of				

Literature cited

- 1) Echigoya, E., S.H. Yen and K. Morikawa: *Kagaku Kōgaku*, **33**, 1002 (1969)
- 2) Iwasaki, M., I. Furuoya, H. Sueyoshi, T. Shirasaki and E. Echigoya: *Kagaku Kōgaku*, **29**, 892 (1965)
- 3) Iwasaki, M., E. Echigoya: *Kagaku Kōgaku*, **34**, 548 (1970)

回転円板によるヒモ状分裂について——円板上のヒモ状分裂の円板周端での適用性——（紙屋 保・茅野 昭，化学工学，35，541～546（1971））

円板上と円板周端のヒモ状分裂では，ヒモの合併現象で代表される相違があるが，低粘度の流体の円板周端の滴状分裂の場合には，実用上，円板上のヒモ状分裂で成立した $Sa[\rho\omega^2r_0^3/\sigma]^{1/2}$ の関係を延長して適用できるが，高粘度の流体の円板周端のヒモ状分裂では，ヒモの合併現象のため，ヒモ数に対する表面張力の影響は軽減され，円板径の影響は強められる。ヒモ数には流量も関係する。ヒモの合併が活発に行なわれるが，その程度は $\rho Q^2/\sigma r_0^3$ の値による。ここで， Q ：流量， r_0 ：円板径， S ：ヒモ数， ρ ：密度， σ ：表面張力， ω ：角速度である。

均一な流動状態にある分布粒径粒子群の相対運動と拡散現象——連続抽出塔内液滴の混合拡散への応用——（宮内照勝・山田健夫，化学工学，35，547～554（1971））

連続向流抽出塔内の液滴群の混合拡散現象を，その流体力学的な挙動に基づいて扱うため，まず，定常流動状態にある粒径分布をもつ粒子群に対して，均一粒径粒子群に対する空間率関数が適用できるための平均径のとり方を規定した。そして，これとスリップ速度因子とを用いることにより混合粒径粒子群の沈降速度の実測値をよく説明できた。つぎに粒子の拡散現象について考察をすすめ，また，流体泡に対する空間率関数の近似表現をえた。これらを総括して，連続抽出塔における液滴の混合拡散係数を与える関係を導びき，R. D. C. での実測と比較して実用に耐えると思われる結果を得た。

スラッキング輸送層における接触反応について（飯盛華・近藤貞夫・岩崎光彦・越後谷悦郎・森川 清，化学工学，35，554～558（1971））

スラッキング輸送層を用いて，FCC 用シリカアルミナ触媒によるイソプロピルアルコールの脱水反応を行なった結果，ピストン流れと完全混合との間の反応成績が得られた。接触時間分布モデルの理論に基づいて，非吸着性ガス（アルゴン）および吸着性ガス（プロパン）を用いてトレーサ実験を行ない，その応答曲線を解析することによって上記反応結果を説明することができた。さらに，輸送層で得られた反応成績を比較検討した。

テーブルフィーダの特性（増田弘昭・増田富良・井伊谷鋼一，化学工学，35，559～565（1971））

テーブルフィーダの静的および動的特性に関して検討した。その結果，静特性は堆積粉体層の形状を考慮することにより，広い操作範囲で精度よく推定できること，また定量性を向上させるためには，スクレーパをテーブルの同心円に接する方向に挿入すべきであることがわかった。一方，スクレーパ位置を操作量とするステップ応答には，粉体の種類によって微分動作の応答と比例動作の応答があり，これらはいずれも理論的に説明できた。

傾斜型流動層における軸方向の粒子混合について（新井紀男・架谷昌信・杉山幸男，化学工学，35，565～569（1971））

傾斜型流動層における軸方向の粒子混合について，混合係数を考えた拡散モデルを適用し，実験的に次のような結論を得た。

- 1) 軸方向の粒子の混合状態は相関式(12)により定量的にみつめることができる。
- 2) 相関式(12)に含まれる粒子の平均線速度に $\bar{u}_s$ について相関式(13)を得た。

液-液多孔板抽出塔の分散相ホルドアップの動特性（城塚正・荒川秀夫・曾根 勇，化学工学，35，570～577（1971））

水（連続相）- ケロシン（分散相）を使い，多孔板抽出塔（塔径 8 cm，段間隔 30 cm，3 段）の分散相ステップ流量変動に対する分散相液厚みの動特性を実験から求めた。その実験結果と理論計算結果とはよく一致した。その結果，塔頂段は他段と比較して変動の絶対量が大きく，応答速度も遅い。さらに他の段で発生しない応答初期の逆応答現象がある。塔頂段の応答波形には多孔板の開孔比などと共に，連続相および分散相の出口管路抵抗が影響する。とくに後者の影響が大きい。

熱線法による同伴飛沫の粒径測定（下浦一邦・金川 昭・筒井天尊，化学工学，35，577～582（1971））

気流中に同伴する微小液滴を迅速かつ自動的に測定するために，応答性の優れた電力補償回路により一定温度を維持する微細熱線を検出端として用いる計測法について検討を行なった。本測定法は個々の微小液滴が熱線に衝突した場合における熱損失をパルス信号として検出しその波高分析値より液滴分布を得る方式で，実験の結果，局所的な同伴飛沫の検出法として有効なほか相対的な分布変化に対応した計数結果を示すことがわかった。

<化学工学データ>

アセトン+メタノール+水系の気液平衡（越智健二・小島和夫，化学工学，35，583～586（1971））

三成分系アセトン+メタノール+水系および構成二成分系である，アセトン+メタノール，アセトン+水，メタノール+水系のそれぞれ 760 mm Hg における気液平衡を測定した。また三成分系液相活量係数を Nagata によって修正された Chao 式および Wilson 式で表わし，十分な精度で表現できることを示した。

<技術報告>

新しいプレート型熱交換器の試作とその伝熱特性（岡田克人・小野実信・富村俊雄・大隈寿一・今野宏卓・大谷茂盛，化学工学，35，587～591（1971））

前報までに得られた知見にもとづき，新しい形状の伝熱板からなるプレート型熱交換器の開発を試みた。流路が二次元的な単純波型プレートで伝熱係数が極大を示すもの 1 種類と三次元的な流路をもつ多点接触の傾斜波型プレート 6 種類を試作した。いずれの伝熱板もそのプレス型の機械加工は容易であり，前者の伝熱特性は前報までの知見をほぼ満足し既存の伝熱板にくらべ優れていることを確認した。後者のプレートは多点接触の構造をもち流体の高い圧力にも耐える特徴を有しており，傾斜角度および波の間の距離の伝熱係数におよぼす影響を検討し，最適なプレート形状を決定した。

<寄 書>

モンテカルロ法による円管内希薄気体流れの解析（南波伸一・品川秀夫・河村祐治，化学工学，35，592～594（1971））

複雑な形状の流路内や遷移真空領域における希薄気体の流動機構を解明するための第 1 段階として，分子間衝突を考慮した場合の直円管に対する通過確率をモンテカルロ法により求めた。

通過確率より得られたコンダクタンスは有限長管に対する Bar-
rer-Nicholson の式とかなり良好に一致した。

溢流管のない多孔板上の液停滯量——液物性の影響——（高橋照男・田中三男，化学工学，35，595～596（1971））

本研究は前報の水-空気系での研究にひきつづき，溢流管のない多孔板上の液停滯量について，液停滯量の推算式中の種々の係数におよぼす液物性の影響をグリセリン水溶液およびメタノール水溶液を用いて実験的に研究し，実測の液停滯量を比較的よくあらわす推算式をえた。

単一球からの物質移動に及ぼす超音波の影響（原 弘・島田浩次・遠藤一夫，化学工学，35，597～599（1971））

超音波真空処理脱気した静止液体中に，安息香酸をコーティングした単一球を挿入し，超音波を照射した場合の物質移動について検討を行なった。

超音波中におかれた球からの物質移動は，粒子変位 a を振巾とし，周波数 ω をもつ正弦流れのうちにおかれた円柱近傍の流れに関する解析的相関関係と実験的相関とは一致し，次式であらわされる。

$$Sh_a = 8 \cdot Re_a^{1/2} (a/d)^{2/3} Sc^{1/3}$$

<Technical Report>

Designs of the New Type Plate Heat Exchangers and their Heat Transfer Characteristics, K. Okada, M. Ono, T. Tomimura and T. Ohkura (Morinaga Milk Industry Co.), H. Konno and S. Ohtani (Tohoku Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 587~591 (1971)

Based on the previous fundamental investigations the new type heat exchangers with heat transfer surface of waving plates were designed. The press dies for waving plates could be easily manufactured. One type of them had the two dimensional flow channels partitioned with the progressive waves, and it showed, as expected, a larger heat transfer coefficient than the conventional one. The another type had the three dimensional flow channels formed by arranging the plates with the oblique wave patterns. This type is strong against the high pressure because the plates contact each other at many points of wave peaks of them. The most suitable configuration of the heat transfer plate was determined based on the results of the investigation on such factors as the distance of waves, and the oblique angle of the wave pattern.

<Short Communications>

Analysis of Rarefied Gas Flow through Cylindrical Tubes by Monte Carlo Method, S. Nanba (Idemitsu Kosan Co.), H. Shinagawa and S. Kawamura (Hiroshima Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 592~594 (1971)

As the first step of elucidating the mechanism of rarefied gas flow in complex geometries and in transient flow regimes, the transmission probabilities for cylindrical tubes were calculated by Monte Carlo method with molecule-molecule interaction consideration.

The conductances obtained from the transmission probabilities are in good agreement with Barrer-Nicholson's equation for tube of finite length.

Liquid Hold-up on a Perforated Plate without Downcomer—Effect of Physical Properties of Liquid—, T. Takahashi (Okayama Univ.) and M. Tanaka (Okayama College of Sci.)

Kagaku Kōgaku, 35, 595~596 (1971)

Succeeding the previous work for water-air system, effect of physical properties of liquid on some coefficients in the theoretical equation of liquid hold-up on a perforated plate without downcomer were investigated with glycerine water solution and methanol water solution experimentally. It was found that measured liquid hold-up agreed well with calculated liquid hold-up.

Effect of Ultrasonics on Mass Transfer from a Sphere in Liquid, H. Hara, K. Shimada (Muroran Inst. of Tech.) and K. Endoh (Hokkaido Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 597~599 (1971)

Experiments were performed on rate of mass transfer from a sphere in ultrasonic field.

Experimental correlation on mass transfer was similar to the analytical relation of mass transfer due to the flow in the vicinity of cylinder in sinusoidally vibrating liquid.

Experimental expression was

$$Sh_a = 8 \cdot Re_a^{1/2} (a/d)^{2/3} \cdot Sc^{1/3}$$

Axial Mixing of Particles in Inclined Fluidized Bed, N. Arai, M. Hasatani and S. Sugiyama (Nagoya Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 565~569 (1971)

According to the diffusion model, coefficients of axial mixing of particles in an inclined fluidized bed were measured experimentally. The following conclusions of discussion were obtained.

- 1) Mixing coefficients were correlated by Eq. (12) in this experimental condition.
- 2) Correlation of Eq. (13) was obtained on average linear velocity of particle, u_s included in Eq. (12).

The Dynamics of Dispersed Phase Hold-up in Liquid-Liquid Perforated Plate Extraction Column, T. Shiotsuka, H. Arakawa (Waseda Univ.) and I. Sone (Mitsui Chemical Industries Ltd.)

Kagaku Kōgaku, 35, 570~577 (1971)

The experimental responses of dispersed phase that stayed on the liquid-liquid perforated plate column were obtained for step change in dispersed phase flow rate by using water (continuous phase)-kerosene (dispersed phase) system. The column consisted of three plates and each diameter was 8 cm i.d. and plate spacing was 30 cm long.

The deviations and the time constants of the top plate hold-up are larger than that for the other plates. The phenomenon of inverse response is found out in the top plate. The free area of the perforated plate and the pressure drop due to the outlet flow of continuous and dispersed phases influence upon the responses. Especially, the pressure drop due to outlet flow of continuous phase much influences the response patterns.

Measurement of the Liquid Entrainment by a Hot-wire Method, K. Shimoura, A. Kanagawa and T. Tsutsui (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 577~582 (1971)

The use of a constant-temperature hot wire anemometer to measure droplet size is discussed.

Heat loss caused by a droplet hitting on hot wire is a function of droplet size. The electric pulse corresponded to droplet properties is overlapped on the heat compensation current which maintain hot wire temperature. The size analysis of pulses give the droplet size analysis of entrainment. The pulses were amplified, sorted by a discriminator circuit, and counted.

The results show that the hot wire method is effective to detect droplet in flow, and counting data show the droplet size distribution of liquid entrainment relatively.

<Chemical Engineering Data>

Vapor-Liquid Equilibria for the System Acetone+Methanol+Water, K. Ochi and K. Kojima (Nihon Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 583~586 (1971)

In the ternary system acetone+methanol+water and its three associated binary systems: acetone+methanol, acetone+water and methanol+water, the vapor-liquid equilibrium data at 760 mm of Hg have been measured.

The liquid activity coefficients for the ternary system were correlated with Nagata's modified Chao equation and with the Wilson equation, each of which gave satisfactory agreements.

On the Ligament-Type Disintegration by the Rotating Disk—Applicability of the Ligament-Type Disintegration on the Disk to that at the Edge of the Disk—, T. Kamiya and A. Kayano (Kogakuin Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 541~546 (1971)

For the drop-wise disintegration of the fluid having low viscosity at the edge of the disk, the relation: $S \propto [\rho \omega^2 r_0^3 / \sigma]^{1/2}$ which was established for the ligament-type disintegration on the disk can be applied approximately. But for the ligament-type disintegration of the fluid having high viscosity, due to the adhesive phenomenon of ligaments, effect of the surface tension on the number of ligaments was reduced and that of radius of disk was increased. The number of ligaments was connected with volumetric flow rate. Adhesive inclination of ligaments was controlled by the numerical value of the dimensionless item $\rho Q^2 / \sigma r_0^3$, where Q is volumetric flow rate, r_0 : radius of disk, S : number of ligaments, ρ : density, σ : surface tension, ω : angular velocity.

On the Relative Movement and Diffusive Behaviour of Particles with Size Distribution, under Steady Homogeneous Flow—As Applied to Axial Dispersion of Liquid Droplets in Continuous Column Extractors—, T. Miyauchi and T. Yamada (Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, 35, 547~554 (1971)

A mean particle size effective to the swarm of particles with size distribution is presented to apply the usual voidage function to the flow behaviour of them, when the particles are under steady homogeneous flow like the droplets in a continuous counter-current extraction column. With this mean size, the observed rate of hindered settling of mixed size particles is well described by applying the slip velocity modulus. The properties of observed slip velocity modulus and particle diffusion are discussed, and an approximate expression is developed for the voidage function of fluid bubbles. Finally, longitudinal dispersion of liquid droplets in continuous counter-current extraction columns is formulated, showing moderate agreement with the observed data for R.D.C.

Estimation of the Conversion of First Order Catalytic Reaction in Slugging Transport Reactor, S. Yen and E. Echigoya (Tokyo Inst. of Tech.), S. Konno, M. Iwasaki and K. Morikawa (Japan Gossoline Co., Ltd.)

Kagaku Kōgaku, 35, 554~558 (1971)

The dehydration of Isopropyl Alcohol over Silica-Alumina FCC catalyst (a pseudo-first order reaction) was done at atmospheric pressure, a carrier gas velocity below 40.0 cm/sec, and in the temperature range between 200°C and 210°C in a slugging transport reactor. In this reaction study, close sized Silica-Alumina FCC catalyst of 200~250 mesh are used.

It was found that the results of the reaction fall into between those of piston flow and complete mixing.

The conversion calculated from Eq. (3) based on the "contact time model" for describing reaction results reached a conclusion that agreed well with the experimental reaction data.

Besides, a comparison of the reaction results in a slugging transport reactor and those in a transport reactor is presented.

On the Characteristics of a Table Feeder, H. Masuda, T. Masuda and K. Inoya (Kyoto Univ.)

Kagaku Kōgaku, 35, 559~565 (1971)

The static and dynamic characteristics of a table feeder were studied. As the results, it was found that the static characteristics could be estimated with good accuracy if the shape of the powder bed was taken into consideration, and that the scraper should be inserted along the tangent of a concentric circle on the table to get a constant feed rate of high stability. On the other hand, experimental study on the step response of the table feeder following the step change in the position of the scraper revealed two types of responses according to the kind of powder materials, one was the derivative type and the other proportional. These responses were also analyzed.