

# 旋回流トレイの液側流量係数に関する一考察

赤木 靖 春\*・岸 本 民 也\*・高 橋 照 男\*\*

昭和48年9月30日 受理

## 緒 言

ガス吸収や蒸留などの操作には泡鏝板、多孔板<sup>1,2)</sup>などの段塔が多く用いられている。これらの装置では上昇するガスあるいは蒸気が棚段に設けた分散孔で細分化されて、段上の停滞液中へ分散され、泡沫層が形成される。段塔には堰および溢流管を持つ十字流型のトレイと、これらを持たない向流型のトレイとがある。十字流型トレイではガスのみが棚段に設けた分散孔を通るのに対して、向流型のトレイでは気液が向流に同時に分散孔を通る。

旋回流トレイ<sup>3,4)</sup>は向流型のトレイであり、半楕円形の孔と同形のガイドを有している。このガイドによってキッテルトレイ<sup>5,6)</sup>、ジェットトレイなどと同様、上昇するガスを特定の方向に流すことができる。さらに段上の泡沫層がガスの運動エネルギーで旋回するように孔が配列されているので物質移動効果が高められる。

本研究は旋回流トレイに関する基礎的な研究として単一孔および3つの孔を持つトレイを用いて、液がトレイ孔を流下するさいの流量係数におよぼす孔径、ガイドの角度および液物性などの影響を実験的に考察したものである。

## 1. 理論的考察

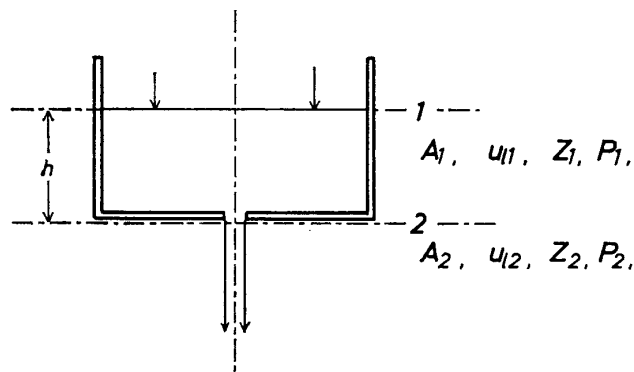


Fig. 1 Downflow model

流体を満してある容器の底にあけた小さな孔から流体を流出させる場合を考えると (Fig. 1), Bernoulli の式および連続の式から噴出速度は次式で与えられる。

$$u_{12} = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2gh} \quad (1)$$

\* 岡山理科大学応用化学科 (岡山市理大町1-1) \*\* 岡山大学工学部工業化学科 (岡山市津島)

いま、孔の面積が容器の断面積にくらべて非常に小さいとすれば  $A_2/A_1 \approx 0$  となるから

$$u_i = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

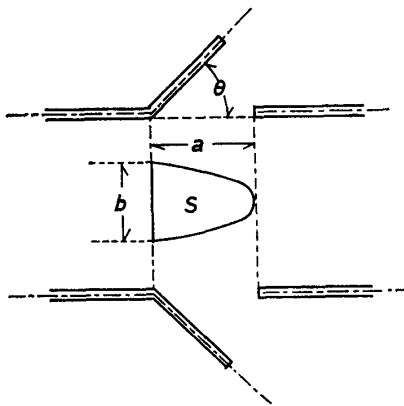
実際の噴流速度は摩擦、表面張力による噴流の収縮などの影響のために(2)式の値より小さくなるので流量係数  $C$  を用いて

$$u_i = C\sqrt{2gh} \quad (3)$$

で与えられる。

## 2. 実験装置および方法

使用したトレイはすべて銅製でオリフィス形状を **Fig. 2** に示す。オリフィスは長径と短径の



**Fig.2** Structure of orifice

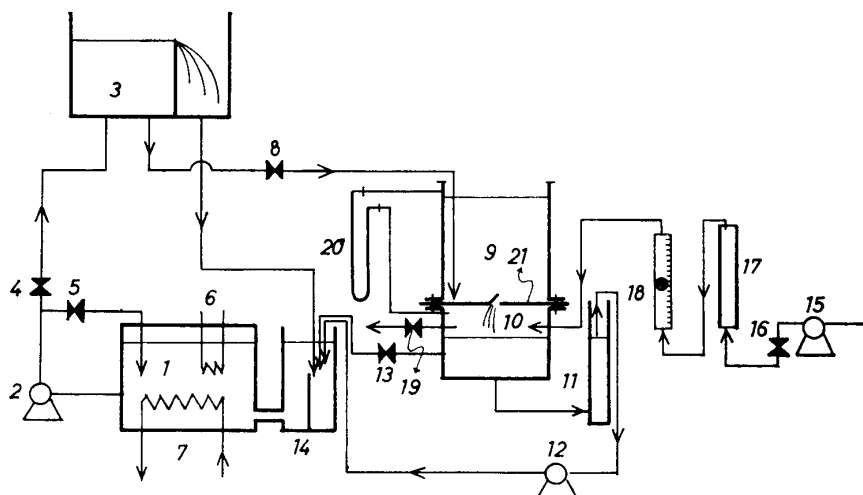
**Table 1** Dimensions of orifices

orifice No.	$a$ [cm]	$b$ [cm]	$S$ [cm <sup>2</sup> ]	$d_0$ [cm]
No. 1	0.900	0.600	0.424	0.6030
No. 2	1.175	0.785	0.725	0.7966
No. 3	1.465	0.985	1.133	0.9962
No. 4	1.535	1.070	1.290	1.0688

比が 3 : 1 の楕円の半分で同形のガイドのついたものである。このガイドの角度を 15~90° に変化させ、またガイドが上向きの場合 (upper guide) と下向きの場合 (down guide) とについて実験した。ガイドの角度はトレイ面からの傾斜角で表わしている。孔形状については **Table 1** に示している。No. 2 オリフィスではガイドの角度を 15, 30, 45, 60, 90° に変化させたが、他は 45° である。また孔径は水力相当径を用いた。ほとんどの実験は単一孔で行なったが複数孔での孔間の相互干渉を考察するために No. 2 オリフィスと同じ孔を 3 つ持つトレイを使用した。

実験装置のフローシートを **Fig. 3** に示す。貯槽①からポンプ②によって定水位槽③に揚げられた液はトレイ④上に静かに流入し、オリフィスを通して蓄気室⑩へ流下する。流下液はサイフォンで蓄気室体積を一定に保ちながら抜かれ、除泡タンク⑭を通り、貯槽へもどり循環する。貯槽にセットされたヒーター⑥およびクーラー⑦によって液温度が一定に保たれる。液流量はストップウォッチとメスシリンダーで測定した。オリフィスを液が流下する推進力としてトレイ上に液が停滞する。この停滞液深が(3)式の  $h$  である。この  $h$  はスケールによって測定した。液流量が小さくて  $h$  が小さいときは測定誤差が大きくなるので蓄気室へ空気を送入して圧力を高くしてトレイ上の液深を大きくした。

コンプレッサー⑮からの空気は緩衝管⑰を通して脈動を抑制され、ロータメータ⑱で流量を測



1. Base tank    2. Pump    3. Head tank  
 4, 5, 8, 13, 16, 19 Valve    6. Heater    7. Cooler  
 9. Measurement section    10. Chamber    11. Siphon  
 12. Gear pump    15. Compressor    17. Buffer tube  
 18. Gas flow meter    20. Göttingen manometer  
 21. Tray

Fig. 3 Experimental apparatus

定されたのち蓄気室へ流入する。そして蓄気室の圧力を高めたのち系外へ排出される。蓄気室の圧力はゲッチングン微圧計<sup>20</sup>で測定した。この場合はトレイ上の液深から蓄気室内の圧力を差し引いたものを(3)式の  $h$  として用いた。

塔本体は直径 16cm, 高さ 30cm の透明塩ビ製で外部からの肉眼観察が可能である。蓄気室体積は  $1910\text{ cm}^3$  一定とした。トレイ上で液の旋回, 渦などを生じないこと, また塔本体を垂直にセットすることなどに細心の注意を払った。

### 3. 実験結果および考察

ガイドを持った半楕円のオリフィスから液が流出する様子を観察するとガイドが上向き, 下向きのいずれの場合も液流量が大きい領域では液がガイドに沿って噴出するのに対し, 液流量が小さくなるにつれてこの傾向がなくなり, トレイの裏面に附着し, オリフィスから離れた場所から流下する傾向が強くなる。

実測した液流量から通孔液流速を求め, これと液深の実測値とを用いて(3)式から流量係数  $C$  を求める。

液流量が小さい場合はトレイ上の停滞液深が小さくなり, 測定誤差が大きいので蓄気室へ空気を送入して圧力をあげた。この送入空気量の流量係数に対する影響をみたのが Fig. 4 である。この図より流量係数は空気量に影響されないことが明らかである。したがって停滞液深の小さい場合には  $250\text{ cm}^3/\text{sec}$  一定の空気量で実験した。

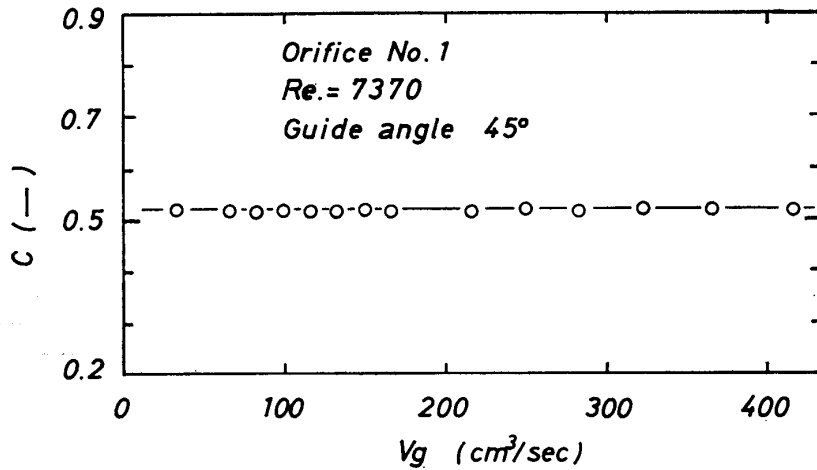


Fig. 4 A example of relation between  $C$  and gas flow rates on orifice No.1 down guide.

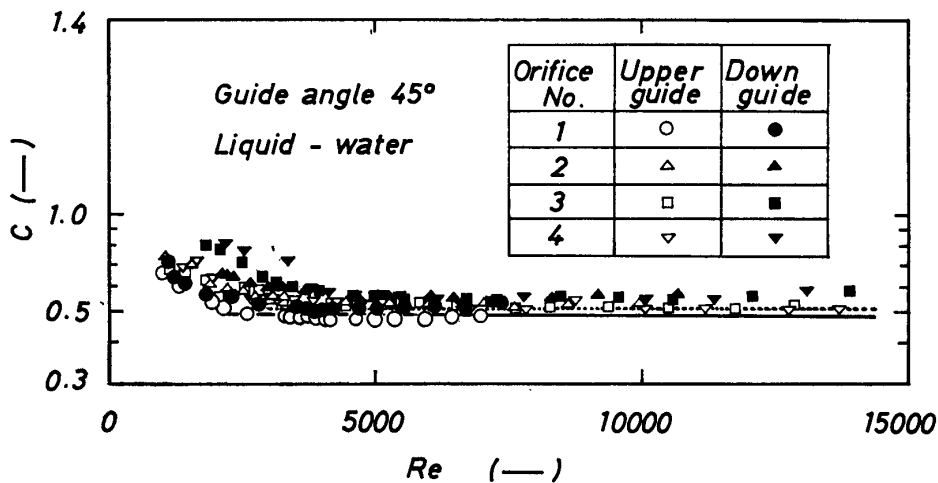


Fig. 5 Relations between  $C$  and Reynolds number based on orifice

Fig. 5 は流量係数 ( $C$ ) とオリフィス基準のレイノルズ数 ( $Re$ ) との関係を示す。パラメータはガイドの向きおよび孔径である。 $C$  は  $Re$  数の小さい領域では  $Re$  数によって変化するが、 $Re$  数が大きくなると一定値となる。 $C$  の変化する領域ではオリフィスを通った液がトレイの裏面に附着し離れた場所から流下しているようであり、この液の附着現象がなくなると  $C$  は一定値になるようである。孔径が大きくなるにつれて  $C$  の変化する領域が広くなり、また高  $Re$  数での  $C$  は孔径に影響されない。ガイドの向きで比較すると down guide の方が  $C$  は大きくなる。これは下向きについたガイドが液の流下を助けるためであろう。

Fig. 6 はガイドの角度の影響を示している。ガイドの角度が減少すると  $C$  は小さくなる。これはガイドの角度の減少につれて液通過のオリフィスの実面積が減少するためである。またどの角度においても  $Re$  数の増加につれて  $C$  の変化する領域と一定値の領域が存在する。そしてこの2つの領域の遷移点の  $Re$  数は角度とともに減少する。 $C$  をガイドの向きで比較するといずれ

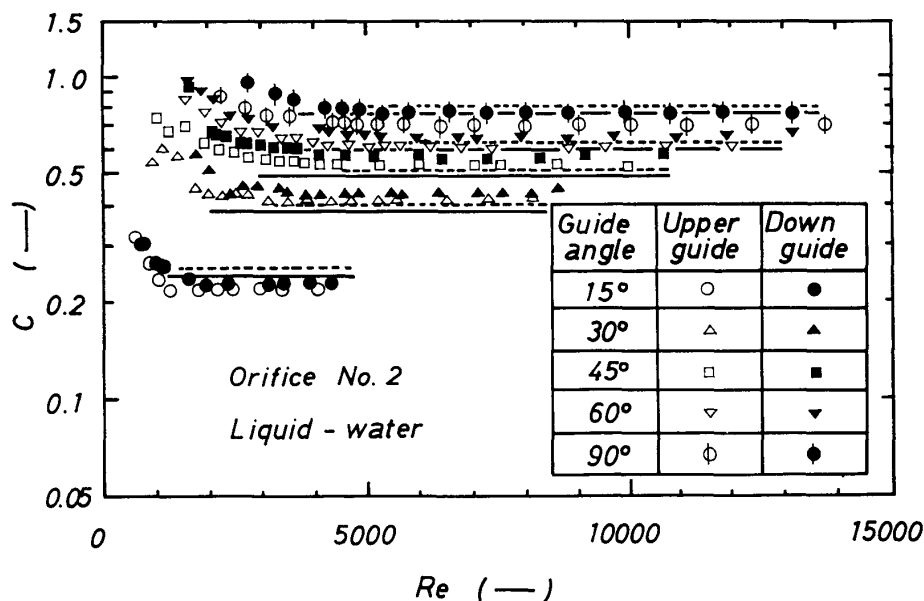


Fig. 6 Effects of orifice guide angle for  $C$

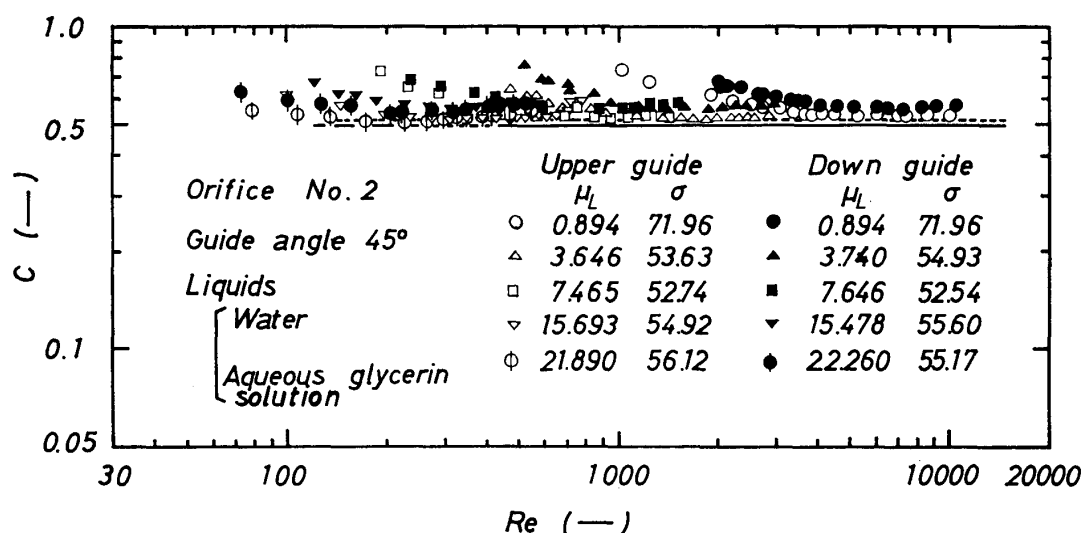


Fig. 7 Effects of liquids viscosity for  $C$

の角度においても down guide の方が大きくなる。したがって同一の条件で比較すると down guide の方がトレイ上の停滞液量が小さくなる。

Fig. 7 は水およびグリセリン水溶液を用いて液粘度の影響をみたものである。いずれの液粘度においても  $C$  は  $Re$  数の増加につれて最初変化し一定値となる。 $C$  の一定値は液粘度に影響されない。しかし  $C$  が  $Re$  数の増加につれて変化する  $Re$  数領域および一定値領域との遷移点の  $Re$  数は液粘度の増加につれて減少する。

Fig. 8 は液としてメタノールを用いたときの実験結果を水を用いた結果と比較したものである。ガイドの各角度において  $C$  が一定の領域では表面張力の影響は認められないといえる。な

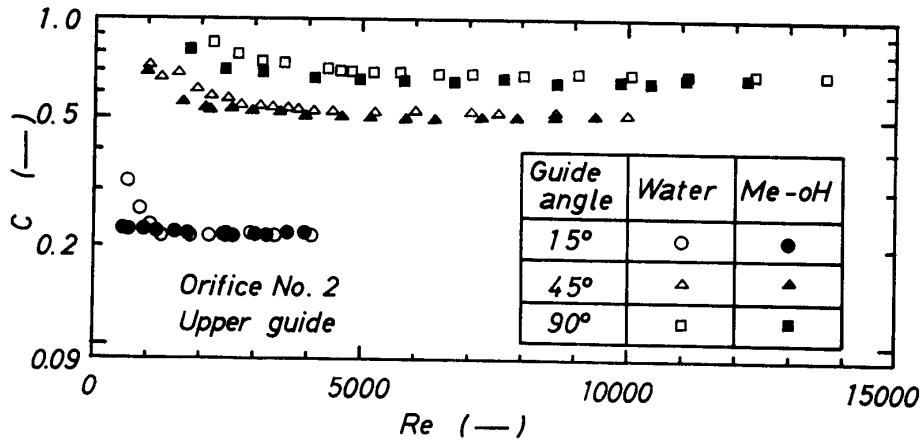


Fig. 8 Effects of surface tension of liquid for discharge coefficients

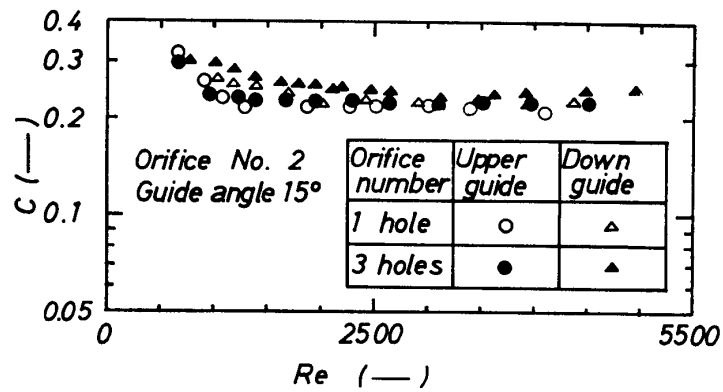


Fig. 9 Effects of orifice number

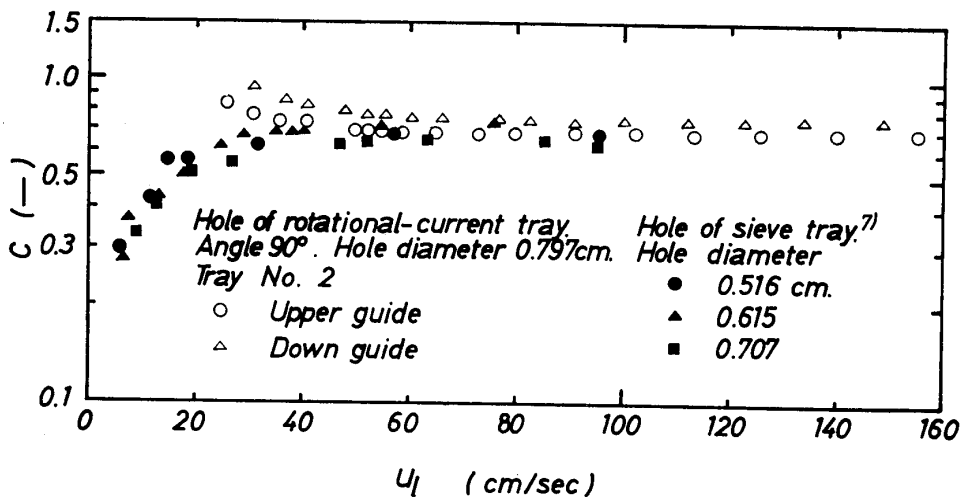


Fig. 10 Comparisons of discharge coefficients in present work and that in hole of sieve tray

お表面張力は水, メタノールそれぞれについて 72.5 dynes/cm および 27.5 dynes/cm である.

Fig. 9 は単一孔および3つのオリフィスを持つトレイでの結果の比較を試みたものである.

オリフィス間の相互干渉の有無を考察しているが、ほとんど存在しないようである。

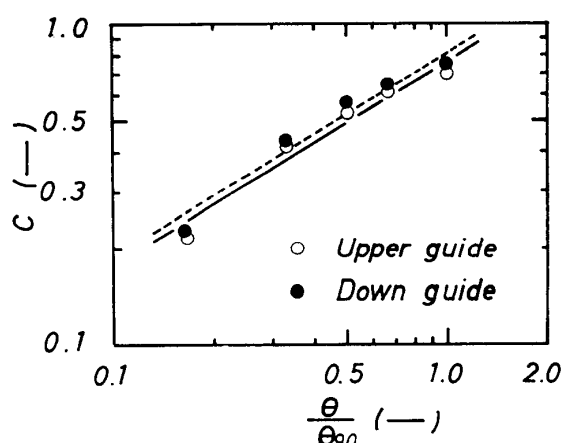
**Fig. 10** はガイドの角度  $90^\circ$  での結果を既往の円孔での結果<sup>7)</sup>と比較したものである。液流速の小さい領域では液流速の増加につれて  $C$  が減少する旋回流トレイ孔に対して円孔では増加する。旋回流トレイ孔はガイドを持っているため、液流速が小さくなるにつれて液がトレイの裏面に附着しやすくなり、 $C$  が大きくなるのであろう。しかし旋回流トレイ孔では液流速の充分小さい範囲での結果がえられていないため厳密な比較はできない。液流速が増加するといずれも  $C$  は一定値となるが、一定値になる液流速は大体同じである。また一定値の領域での  $C$  は旋回流トレイ孔の方がやや大きい。

以上の実験結果より旋回流トレイ孔の液側流量係数は  $Re$  数が増加するにつれて最初は  $C$  が変化し、一定値になることが明らかになった。ゆえにここでは  $C$  の一定値領域のみについて定量的に考察する。

$C$  はガイドの角度のみに影響されるので  $C$  に対するガイドの角度と  $90^\circ$  との比、すなわち  $(\theta/\theta_{90})$  の影響をみると **Fig. 11** のようになる。ややばらつきが大きいが図中の直線で近似すると

$$C = k(\theta/\theta_{90})^{0.63} \quad (4)$$

係数  $k$  は upper および down guide に対してそれぞれ 0.76 および 0.80 となる。Figs. 5~7 中の直線は相関式を示し、実線は upper guide、点線は down guide の計算値である、よく一致しているといえる。



**Fig. 11** Correlation of  $C$  in constant region

## 結 言

気相の運動エネルギーによって段上の泡沫層が旋回流する旋回流トレイの液

側流量係数について実験的に考察した結果、つぎのことが明らかになった。

- 1).  $C$  は液流量の増加につれて最初変化し、一定値になる。
- 2). 変化領域では  $C$  はガイドの角度、孔径、液粘度に影響され、一定値領域ではガイドの角度のみに影響される。とくに一定値領域では液の表面張力あるいは孔数の影響は認められない。
- 3). ガイドの向きで比較すると全範囲にわたって down guide の方が  $C$  が大きく、液が流下しやすい。
- 4). 実験結果より、 $C$  の相関式を導出した結果、 $C$  の一定値領域に対して (4) 式がえられた。
- 5).  $C$  の変化領域と一定値領域の遷移点の  $Re$  数は孔径、ガイドの角度とともに小さくなり、液粘度が増加すると小さくなる。

6).  $C$  の変化領域に対しては実験データが充分でなく、とくに液流量の非常に小さい領域での流動状態の観察も含めた考察を継続し、旋回流トレイの特性を明らかにしたい。

#### Nomenclature

$a, b$	: long and short diameter of ellipse	[—]
$C$	: discharge coefficient	[—]
$d_o$	: diameter of orifice	[cm]
$h$	: liquid depth	[cm]
$k$	: coefficient	[—]
$Re$	: $=d_o u_l \rho / \mu_L$ , Reynolds number	[—]
$S$	: area of half ellipse	[cm <sup>2</sup> ]
$u_l$	: liquid velocity based on orifice	[cm/sec]
$V_g$	: gas flow rate	[cm <sup>3</sup> /sec]
$z$	: height	[cm]
$\theta$	: guide angle	[rad.]
$\mu_L$	: viscosity of liquid	[c. p.]
$\rho$	: liquid density	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\sigma$	: surface tension of liquid	[dynes/cm]

#### Literature cited

- 1) Rylek, M and G. Standart : *International Chemical Engineering*, 5, 711 (1964)
- 2) Takahashi, T., H. Sudo and M. Tanaka : *Kagaku Kogaku (Chem. Eng., Japan)*. 34, 744 (1970)
- 3) Takahashi, T. and Y. Akagi : *Kagaku Kogaku*, 31, 600 (1967)
- 4) Akagi, Y. : *The Bulletin of the Okayama College of Science*, No. 4, 13 (1968)
- 5) Pollard, B. : *Trans. Instn Chem. Engrs.*, 35, 69 (1957)
- 6) Hoppe, K., G. Kruger and H. Iker : *British Chemical Engineering*, 12, 1382 (1967)
- 7) Takahashi, T. and M. Tanaka : *Kogaku Kogaku*, 35, 595 (1971)

### Study on Discharge Coefficient of Liquid Phase in Rotational-current Tray

Yasuharu AKAGI\*, Tamiya KISHIMOTO\* and  
Teruo TAKAHASHI\*\*