

# 二重管型懸濁気泡塔におけるガスホールドアップ および液循環速度

材料・化学系（応用化学科）湯口 実

## 1 緒言

気液系を取り扱う化学工学および反応工学の緒操作では、液相中に気体を分散させる方式の接触装置がしばしば用いられる。具体的な装置として、気泡塔、段塔、気泡攪拌槽などが挙げられる。気泡塔は、円筒型の装置内を連続的に接触させる装置であり、古くから吸収塔、気液反応器、発酵器、さらには高い気密性の要求される高圧反応器として使用されてきた。しかし、通常の標準気泡塔では装置内に吹き込まれた気体は、上昇と共に塔中央部に集まるため、壁近傍における熱移動、物質移動が問題になってくる。

これに対し、気泡塔内に内管を挿入した二重管型気泡塔において、その環状部に気体を送り込むという方式は、気体の塔中心部への偏在を妨げ、さらに液体は環状部を上昇、内管部を下降といった循環流になるため、その循環流によって気体が一部内管に巻き込まれ、気体の装置内滞留時間が増大するなどの現象が起こるほか、気体の吹き込み流量によって液の循環速度を容易に調整できるなどの利点を持っている。

本研究では、気液固三相における二重管型気泡塔の基本的な流動特性を検討するため、気体に空気、液体に水、固体に塩化ビニル粉を用いて懸濁液濃度分布、塔全体ガスホールドアップおよび液循環速度を測定した。

## 2 実験装置

装置概略をFig. 1に示す。気泡塔本体は、透明アクリル製樹脂の円筒管を用い、同材質の内管を挿入し、環状部通気の二重管型気泡塔とした。外管および内管の寸法、高さをTable 1に示す。表中における $\kappa$ は内管外径と外管内径の比 $\kappa = d_2/d_1$ である。環状部下部に

Table 1 外管および内管のサイズ、高さ

	内径 [m]		外径 [m]		$\kappa$ [-] = $d_2/d_1$	高さ [m]
外管	$d_1$	0.211	0.225		-	1.71
内管 1	0.050			0.060	0.28	1.47
内管 2	0.100		$d_2$	0.110	0.52	
内管 3	0.130			0.140	0.66	
内管 4	0.150			0.160	0.76	

は円周方向に沿って等間隔に16個のガラスノズルを取り付け、気体はこのガラスノズルを  
通って環状部に通気される。通気された気体によって、液は環状部を上昇、内管部を下降  
する循環流となる。気体には空気、液体には水道水、スラリーとして塩化ビニル粉を使用  
した。

### 3 実験方法、実験条件

#### 3.1 ガス空塔速度の測定

ガス空塔速度 $u_{g0}$  [m/s]は、マスフロー  
メーターによりガス流量 $Q$  [l/min]を  
測定し、外管の断面積 $S_0$  [cm<sup>2</sup>]から

$$u_{g0} = Q \times 10^{-3} / 60 / S_0$$

で算出した。

#### 3.2 懸濁液濃度の測定

懸濁液濃度の測定は、気泡塔上部か  
ら内径5mm、長さ1mのアルミ管で懸濁液  
を吸い上げ、質量、乾燥質量を測定し  
た。懸濁液質量、塩ビ粉質量は水およ  
び塩ビ粉の密度で除することで体積に  
換算し、

懸濁液濃度 =

$$\text{塩ビ粉体積} / \text{懸濁液体積}$$

で算出した。

#### 3.3 塔全体のガスホールドアップの測定

塔全体のガスホールドアップの測定は、塔に液体を満たし、各ガス空塔速度で塔内に気  
体を送り込み、オーバーフローしたところで実験を開始し、3分間通気した後、通気を止  
め、下がった液面の高さから求めた。

#### 3.4 内管内液循環速度を測定

塩化カリウム水溶液をトレーサーとして内管内を流れる液の循環速度を探針電極法で測  
定した。

#### 3.5 実験条件

$\kappa$ は0.28~0.76、ガス空塔速度は0.007~0.070m/s、懸濁液濃度0~0.46cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>の範囲で  
それぞれ変化させた。

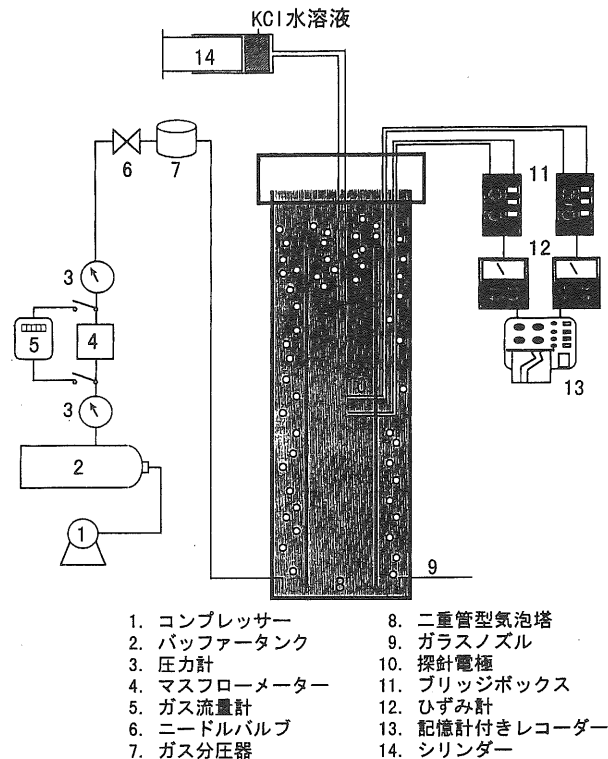


Fig. 1 実験装置図

## 4 結果および考察

### 4.1 懸濁液濃度の分布

Fig. 4.1.1、4.1.2にそれぞれ $\kappa=0.28$ 、 $0.76$ における塔各所の懸濁液濃度を示した。この場合のガス空塔速度は $0.029\text{m/s}$ である。 $\kappa$ に関係なく塔底からの距離 $0.85\sim 1.275\text{m}$ の位置においては、高さ方向、半径方向について濃度は一定であった。Fig. 4.1.3に $\kappa=0.76$ におけるガス空塔速度と懸濁液濃度の関係を示した。この時のサンプル箇所は半径方向塔中心で、塔底から $1.275\text{m}$ の位置である。懸濁液濃度はガス空塔速度に関係なく一定の値を示した。

従って、測定を行った塔底からの距離 $0.85\sim 1.275\text{m}$ の範囲では塔内における懸濁液濃度は、ガス空塔速度、塔内の半径方向及び内管部と環状部の違いに関係なく一定である。

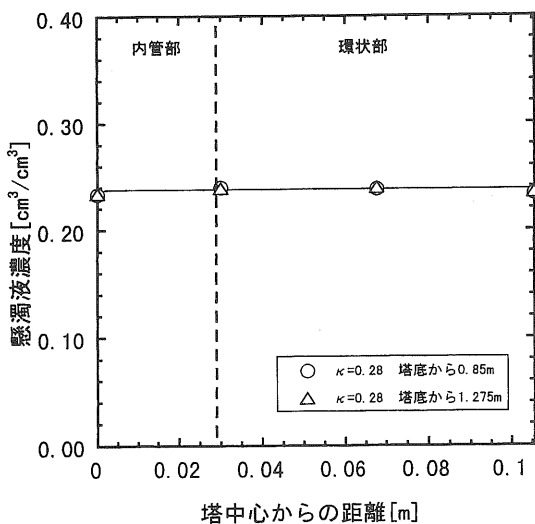


Fig. 4.1.1  $\kappa=0.28$ における懸濁液濃度分布

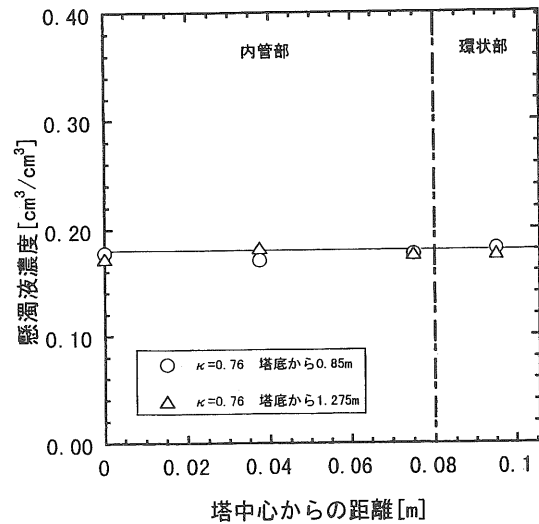


Fig. 4.1.2  $\kappa=0.76$ における懸濁液濃度分布

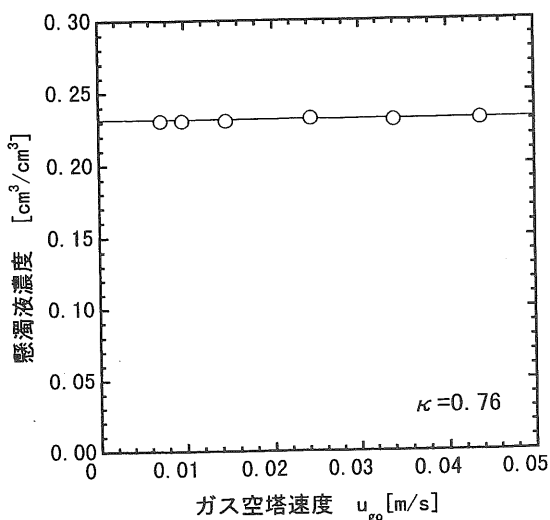


Fig. 4.1.3 ガス空塔速度と懸濁液濃度の関係

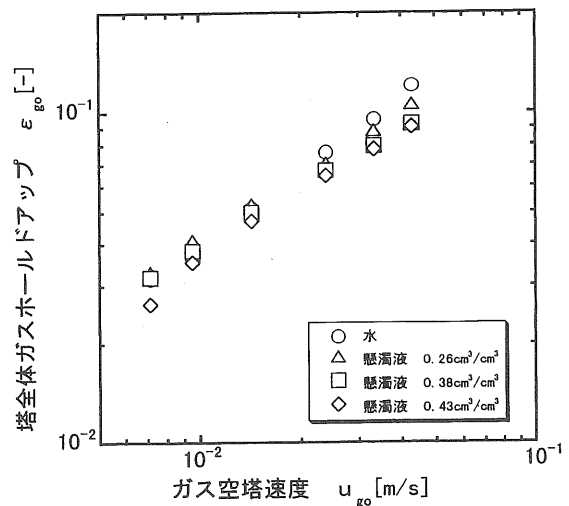


Fig. 4.2  $\kappa=0.28$ における塔全体ガスホールドアップ

#### 4. 2 塔全体ガスホールドアップ

Fig. 4. 2に内径0. 05m ( $\kappa=0. 28$ ) の内管を使用した場合における水と懸濁液の塔全体ガスホールドアップ $\epsilon_{go}$ を示した。各懸濁液は懸濁液粒子濃度に関係なく、ガス空塔速度 $u_{go}$ の増加とともに $\epsilon_{go}$ は大きくなる傾向を示した。他の3種類の内管 $\kappa=0. 52$ 、 $0. 66$ 、 $0. 76$ においても同様の傾向が見られた。

#### 4. 3 塔全体ガスホールドアップに及ぼす懸濁液濃度の影響

Fig. 4. 3に懸濁液濃度に対する $\epsilon_{go}$ を示した。いずれの $u_{go}$ においても懸濁液濃度の増加とともに $\epsilon_{go}$ は低下する傾向にある。特に懸濁液濃度 $0. 43\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 以上になるとスラッキングが起こるため、その低下が顕著に現れる。これは、粒子濃度が濃くなると粘度が高くなるため、懸濁液中の気泡径が大きくなり、気泡の上昇速度が増加するので気泡が内管に巻き込まれず、塔内に滞留しにくくなり $\epsilon_{go}$ が低くなったものと考えられる。

#### 4. 4 塔全体ガスホールドアップに及ぼす内管径の影響

Fig. 4. 4に内管径に対する $\epsilon_{go}$ を示した。水および各懸濁液濃度のいずれの場合においても $\kappa$ の増加とともに $\epsilon_{go}$ は若干低下した。これは、内管径の増加に伴い、環状部の面積が小さくなるので、よりスラッキングが起こりやすくなり、気泡径も大きくなるためと考えられる。

#### 4. 5 水および懸濁液の液循環速度

Fig. 4. 5に水および懸濁液の内管内液循環速度 $u_L$ を示した。水、懸濁液いずれにおいてもガス空塔速度 $u_{go}$ の増加とともに $u_L$ は増加する傾向がみられた。さらに、水におい

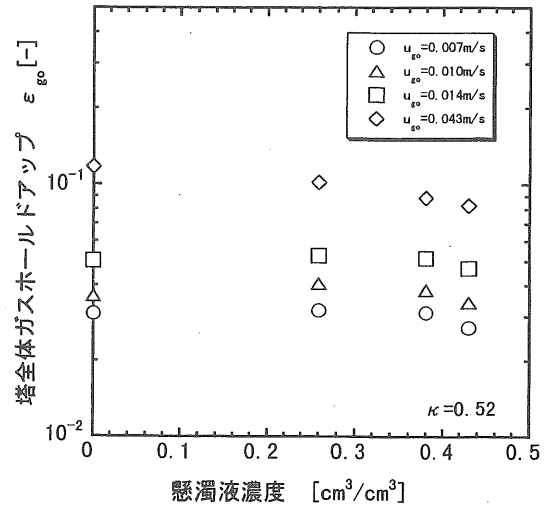


Fig. 4.3 塔全体ガスホールドアップに対する懸濁液濃度の影響

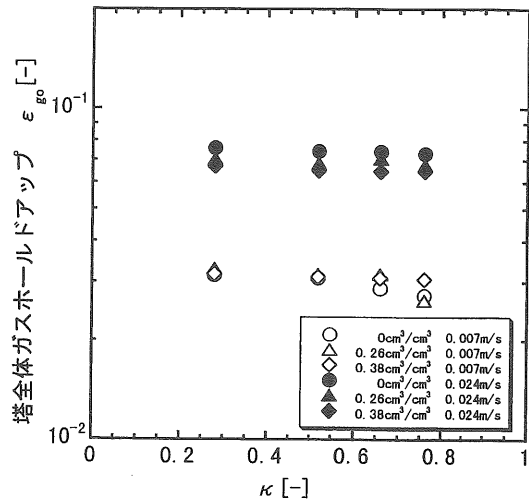


Fig. 4.4 塔全体ガスホールドアップに対する内管径の影響

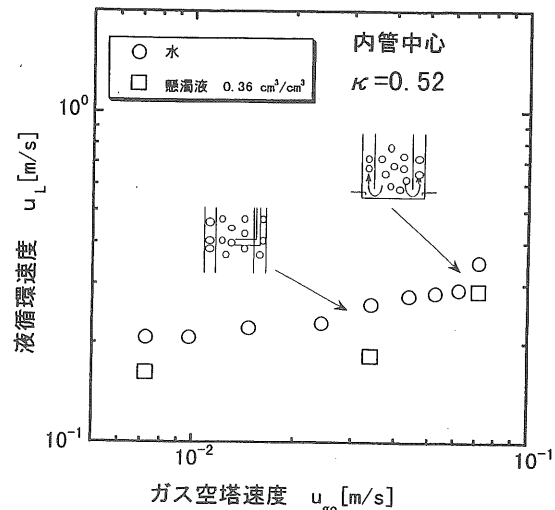


Fig. 4.5 水及び懸濁液における液循環速度

て、 $u_{go}$ が $0.03\text{m/s}$ 、 $0.08\text{m/s}$ 付近の2ヶ所で勾配の変化がみられた。 $0.03\text{m/s}$ 付近における変化は、内管内に巻き込まれた気泡が探針電極の高さに到達したために内管内断面積が小さくなったためと考えられる。 $0.06\text{m/s}$ 付近における変化は、さらに気泡が巻き込まれ、内管下部から再び環状部を上昇する気泡の循環のためと考えられる。

懸濁液における $u_L$ は、水に比べて低くなるが、その傾向は水と変わらなかった。

## 5 結 言

二重管型気泡塔を用いて気液固三相における固体濃度分布、塔全体ガスホールドアップ、液循環速度を測定した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 懸濁液濃度はガス空塔速度、内管径に関係なく塔内一定である。
- (2) 懸濁液における塔全体ガスホールドアップは、懸濁液濃度、内管径の増加に伴い減少する。
- (3) 液循環速度は、ガス空塔速度の増加とともに増加し、固体を懸濁させると減少する。

## 参考文献

今井 敬：二重管型懸濁気泡塔におけるガスホールドアップおよび液循環速度  
室蘭工業大学大学院工学研究科応用化学専攻学位論文、1998

武田憲和：二重管型懸濁気泡塔におけるガスホールドアップおよび液循環速度  
室蘭工業大学応用化学科卒業論文、1998