

気泡塔の物質移動

本 間 清 士*・平 沼 充 安**

Mass Transfer in Bubble Columns

Kiyoshi HONMA and Mitsuyasu HIRANUMA

要 旨

塔径 10 cm, 塔高 44~107 cm の塩化ビニール製気泡塔を用いて, 気液向流接触によって液中より気泡への炭酸ガスの放散実験を行なった。

又気泡の混合特性を調べるため, インパルス応答によって混合拡散係数を求め, 塔入口・出口の炭酸ガス濃度より未反応率, 容量係数を計算し, 合せて塔の主たる部分以外で起る物質移動すなわち端効果を求め, 混合拡散係数, 容量係数等と共に考察した。

1. 緒 言

気液接触装置の一つである気泡塔の設計にあたっては, 物質移動に影響をおよぼす混合特性と装置因子及び操作因子などを良く知る必要がある。

装置因子としては, 塔径・塔高・多段化等があり, 又操作因子としては, ガス流速・液流速・濃度・温度・圧力・物性等多くの因子がある。

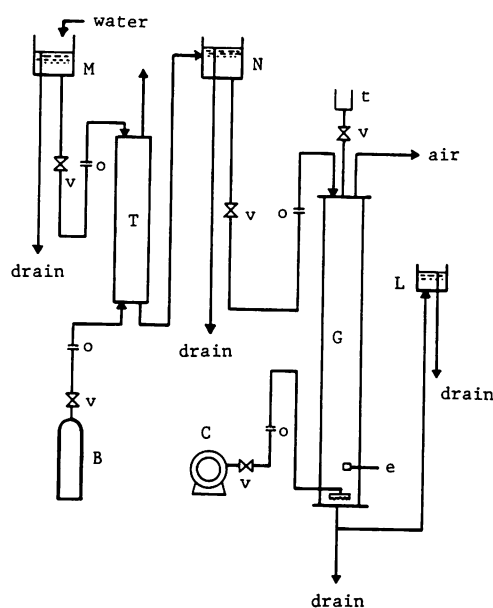
筆者らは, 水-空気系気泡塔において, 混合拡散係数・容量係数・ガスホールドアップ・端効果等について検討を行なった。

2. 実験装置及び操作

装置の大略は Fig. 1 に示す。気泡塔本体は内径 100mm, 長さ 200mm の透明塩化ビニール樹脂製の塔を 6 段積み重ね高さを変えられる様にしてある。今回の実験では塔の高さを 44 cm から 107 cm と変えて実験を行なった。

又連続相に水道水, 分散相には空気を使用した。なお水温は約 11℃であった。

水道水は液ヘッドタンク M へ入り, 流量計を通りラシヒリング充填塔 (塔径 100 mm, 塔高 400



B : carbon dioxide bomb M, N: water head tank
C : air compressor o : orifice
e : conductivity electrode T : absorption column
G : gas bubble column t : tracer
L : level controller v : valve

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

* 助手 工業化学科

** 教授 工業化学科

mm) でポンプBより送入された炭酸ガスと向流接触してレベル調整用ヘッドタンクNへと入り、さらに流量計を径て気泡塔本体へ供給される。

空気はコンプレッサーCからガス流量計を通り塔底の気泡分散器より気泡塔に入る。ここで水と空気は向流接触し水中の炭酸ガスは、気泡中へ放散される。炭酸ガスを放散した水は塔底より液面コントローラーLを径て排出される。

この操作が定常状態になったなら、気泡塔の液入口・出口の炭酸ガス濃度を水酸化バリウムを用いて逆滴定を行なった。

混合拡散の測定のために塔底には、電気伝導度測定用の白金ブラック電極eが設置されてある。混合拡散はインパルス応答によって求めた。トレーサーとして1N塩化カリウム溶液を用い、塔頂よりインパルス状に供給し塔下部の濃度変化を白金電極で検出し記録した。

ガス中の炭酸ガスはガスクロマトグラフィーによって分析した。

又濃度測定後気泡塔入口・出口の水を瞬時に止め、気泡塔高さ・液のみの高さを測りガスホールドアップを算出した。

3. 混合拡散係数と諸因子の関係

3・1 液空塔速度 u_L

Fig. 2 に混合拡散係数 E_z と液空塔速度 u_L の関係を示した。この図を見ると u_L の増加に伴って、 E_z の値はわずかが大きくなっている。データのパラツキが大きいのははっきりした事は言えないが、他のガス空塔速度の場合も同様な結果が得られたので、混合散係数 E_z は液速度 u_L にある程度影響を受けるのではないだろうかと思われる。

3・2 ガス空塔速度 u_G

Fig. 3 に E_z とガス空塔速度 u_G の関係を示した。これを見ると u_G の増加につれて E_z も上昇しているが、 u_G が大きくなると E_z の増加がにぶっている。これは Fig. 9 で u_G 対ガスホールドアップの関係を示したが、吹きぬけによって気泡による混合が抑制されるためではなかろうか。

3・3 塔高 Z の影響

Fig. 2 Fig. 3 で示した様に、塔高が低い方が混合拡散係数 E_z が小さい。したがって塔高が

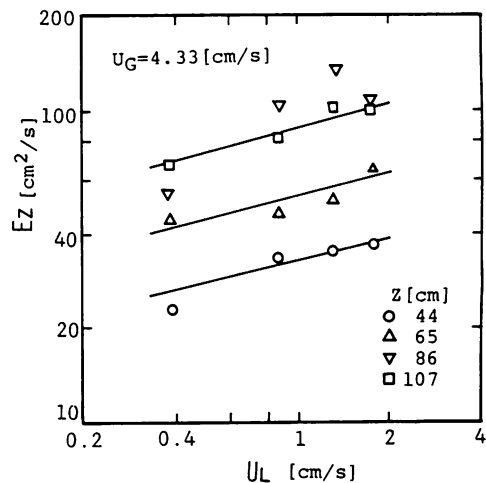


Fig. 2 E_z vs. u_L

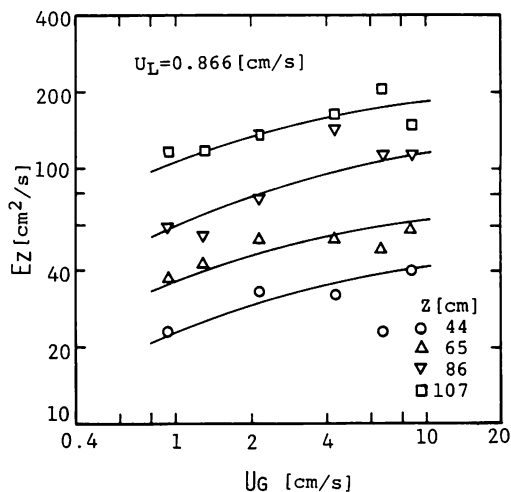


Fig. 3 E_z vs. u_G

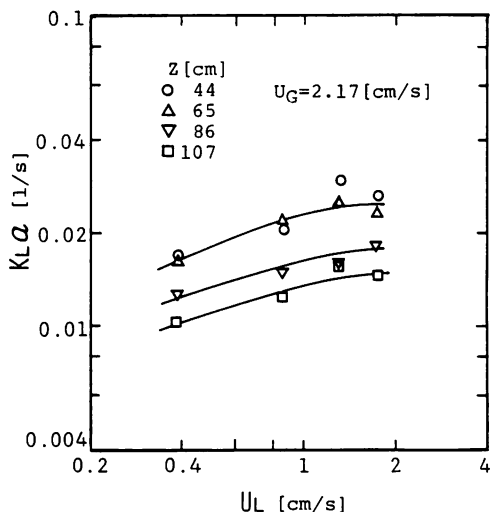


Fig. 4 $k_L a$ vs. u_L

低いほど押し出し流れに近い。これは塔高が低いと液や気泡による攪拌が行なわれにくいためではなかろうか。又塔高が86 cm以上ではほぼ同じ E_z の値を示している事から見て、塔高が高くなると E_z は塔高にかかわりなく一定の値を取るのではなかろうか。

4. 容量係数の諸因子による影響

4-1 液空塔速度 u_L

Fig. 4 に容量係数 $k_L a$ と液流速 u_L の関係を示した。 $k_L a$ は液流速 u_L の増加に伴って値が大きくなっている。これは気液の向流接触によって物質移動を行なっているため、液とガスの相対速度が増加する事によってガスホールドアップの増加 (Fig. 8) すなわち接触面積 a の増加によって $k_L a$ が増加したのではないかと考えられる。

4-2 ガス空塔速度 u_G

Fig. 5, Fig. 6 にガス流速 u_G と容量係数 $k_L a$ の関係を示した。ガス速度の増加に伴って容量係数 $k_L a$ も大きくなっている。ここで液側の物質移動係数 k_L が一定であると仮定すると $k_L a$ の増大はガス流速 u_G が増大する事によってガスホールドアップが増し (Fig. 9) それによって気液の接触面積 a が大きくなったためではないかと思われる。

4-3 塔高 Z の影響

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 7 で示した様に塔高が低くなると $k_L a$ が大きくなっている。これはFig. 2 Fig. 3 で示した様に塔高が低くなると流れの状態が押し出し流れに近づき混合拡散が小さくなりそのために $k_L a$ が大きくなったのだらうと思われる。その外に塔高が高くなる事によって気液接触界面のよごれの増大⁽³⁾等も考えられる。

5. ガスホールドアップについて

ガスホールドアップ ϵ_G と液空塔速度 u_L の関係をFig. 8, ガス空塔速度 u_G の関係をFig. 9 に示した。ガスホールドアップは液流速の増加と共に増大する傾向が見られるが、あまり大きく影響されていない。しかしガス流速に対してはガスホールドアップが流速に比例して増大している。またガス速度が6 [cm/s] を越えた付近に山が見られる。このあたりがガスの吹きぬけの起きる限界であろうと推測される。

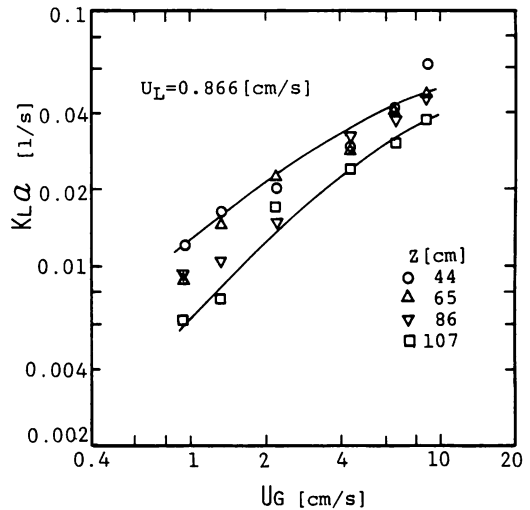


Fig. 5 $k_L a$ vs. u_G

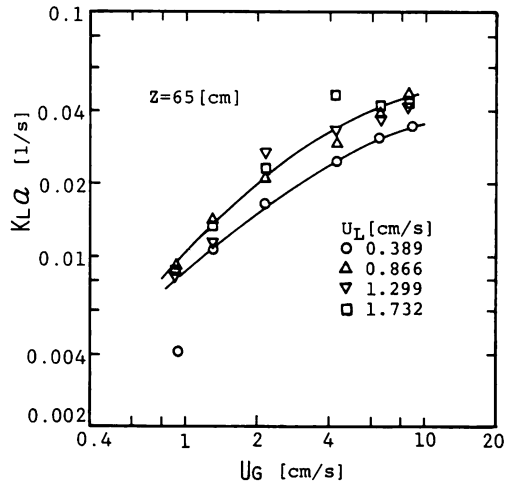


Fig. 6 $k_L a$ vs. u_G

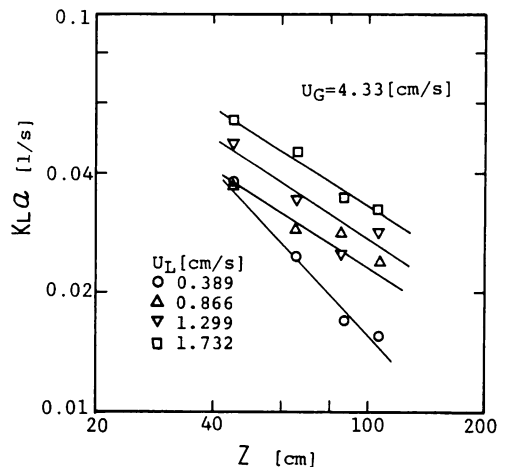
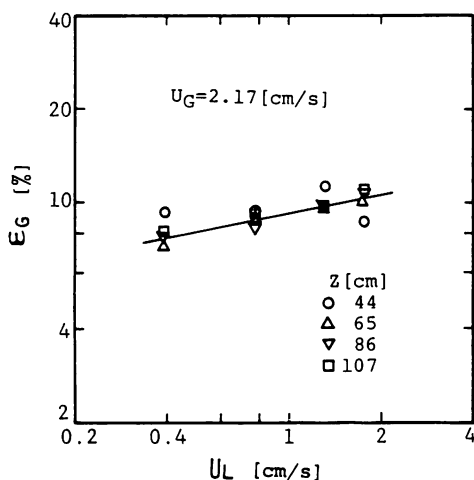


Fig. 7 Effect of column height on $k_L a$

Fig. 8 Gas holdup vs. u_L

次に塔の高さによる影響を見ると、塔高の低い方がガスホールドアップが大きいが高さによる差はあまり見られなかった。

6. 端効果について

気液接触装置の容量係数は

$$K_G a = \frac{G_m}{Z} N_{OG}, \quad K_L a = \frac{L_m}{Z} N_{OL}$$

総括値と各個境膜値の間には次の式で示される。

$$\frac{1}{K_G a} = \frac{1}{k_G a} + \frac{H}{k_L a} = \frac{H}{K_L a}$$

本実験においてはガス側の抵抗は液側の抵抗に比べて十分に小さい⁽⁹⁾と思われるので

$$\frac{1}{K_G a} \approx \frac{1}{k_L a} \approx \frac{H}{K_L a}$$

と見なされそれによって整理した。

そこで気泡塔の主たる接触部分以外、すなわち気泡塔の入口・出口付近で起る物質移動である端効果を調べるために、塔の高さ Z を 107, 86, 65, 44 cm と変えて実験を行なった。

Fig. 10 に横軸に塔高 Z 、縦軸に端効果を含んだ移動単位数 N_L の関係を示した。この図を見ると塔高 Z と移動単位数 N_L の間には直線的に変化しているが、どの線も原点を通らない。ここで縦軸 $Z = 0$ における截片が端効果による移動単位数で、横軸の截片が端効果による気泡塔の主たる接触部分の相当長さになる。これによると塔の長さにして約 20~35 cm 位に相当する端効果が見られた。

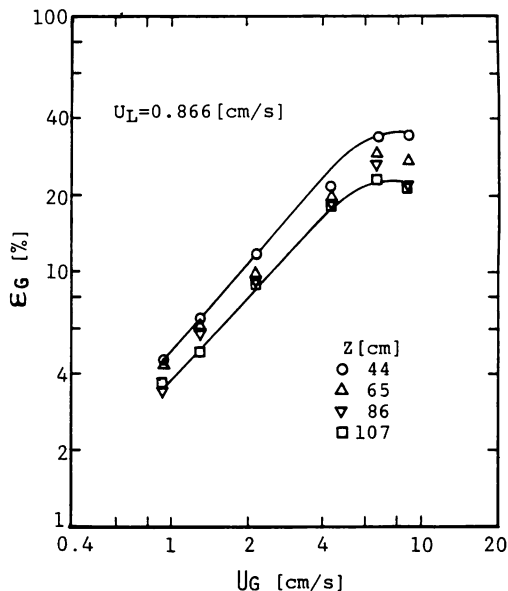
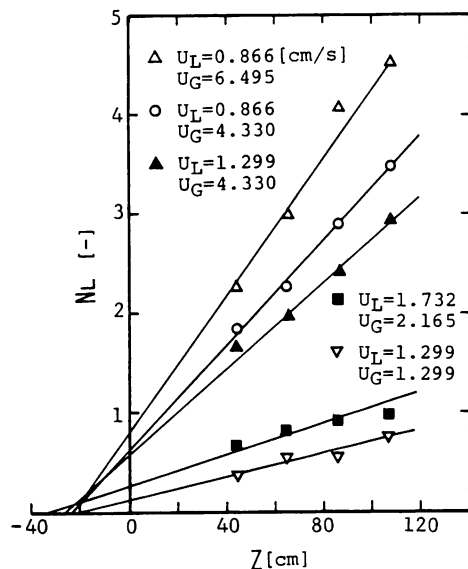
Fig. 9 Gas holdup vs. u_G 

Fig. 10 Number of transfer units vs. column height

7. 結 言

軸方向混合拡散係数 E_z はガス空塔速度 u_G だけでなく、液空塔速度 u_L 、又塔高の低い所では塔の高さ Z にも影響される事がわかった。

又液側の容量係数 $k_L a$ も u_L 、 u_G 及び塔の高さ Z にも影響されている。

端効果に関しては塔の主たる接触部分に相当する長さにして約 20~35 cm に相当する物質移動

が行なわれている事がわかった。

終りに本研究を進めるにあたり、工化第 15 期生
阿部敏雄、高国浩、第 14 期生佐藤則成、橋本伸明、
第 13 期生杉林考弘、黒田悦子諸氏の協力に感謝い
たします。

文 献

- 1) 久保・甲賀・宮内：化学工学，34，856，(1970)
- 2) 宮内・大矢：化学工学，27，322，(1963)
- 3) 只木・前田：化学工学，27，808，(1963)

(昭和 58 年 12 月 1 日受理)

記 号

a	：接触面積	$[1/\text{cm}]$
E_z	：軸方向混合拡散係数	$[\text{cm}^2/\text{s}]$
G_m, L_m	：ガス，液の空塔モル速度	$[\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}]$
H	：ヘンリー一定数	$[\text{mol}/\text{cm}^3 \cdot \text{atm}]$
K_G	：ガス総括物質移動係数	$[\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{atm}]$
K_L	：液総括物質移動係数	$[\text{cm}/\text{s}]$
k_G	：ガス境膜物質移動係数	$[\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{atm}]$
k_L	：液境膜物質移動係数	$[\text{cm}/\text{s}]$
N	：移動単位数	$[-]$
u_G, u_L	：ガス，液空塔速度	$[\text{cm}/\text{s}]$
Z	：気泡塔高さ	$[\text{cm}]$
ε_G	：ガスホールドアップ	$[\%]$

添 字

- G：ガス
L：液
O：総括

