

1471 矩形気泡塔の流動特性および物質移動特性

A characteristic of flow structure and mass transfer in a Rectangular Bubble Column

○学 宇都宮千博 (静大院), 田中伸宏 (三菱化学エンジニアリング),

正 真田俊之(静大工), 正 齋藤隆之 (静大院)

Chihiro UTSUNOMIYA, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

Nobuhiro TANAKA, Mitsubishi Chemical Engineering Corporation 191-1 shiohama, yokkaichi, Mie, 510-0863.

Toshiyuki SANADA, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

Takayuki SAITO, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

In order to estimate the performance of a bioreactor, it is important to consider a relation between mass transfer and the flow structure. In this paper, we focus on a characteristic of mass transfer in a rectangular bubble column. At first, we measured simultaneously bubble parameter (bubble diameter, velocity and void fraction) and concentration of dissolved carbon dioxide by using an F-TOP (Four-Tip Optical-fiber Probe) and a specific conductivity meter. We evaluate mass transfer capacity coefficients (K_LA). Then mass transfer rates (K_L) were calculated by total specific surface area via an F-TOP and mass transfer capacity coefficients.

Keywords: Gas-Liquid Two-Phase Flow, F-TOP, Specific conductivity meter, Bubble Column

1. 緒言

連続相を液相, 分散相を気相とする気液接触装置は化学プロセスや培養プロセスにおいて幅広く用いられている。装置形式は目的に応じて様々であるが, バイオリアクタもそのひとつである。バイオリアクタには通常, 攪拌槽型気液接触装置を用いる。この装置形式では, スケールアップに伴い, 攪拌を強くすることにより, 攪拌動力の増大につながるため, 単位供給動力当たりの吸収速度に注目すると弱点となる。一方, 気泡塔型気液接触装置では, 一般的に攪拌動力を必要とせず, 気泡浮力が誘起する液相運動により槽内を攪拌するが, 攪拌形式と比較し, 攪拌力が弱く, 吸収速度が低下するとうい弱点を有している。

そこで, 我々はスケールの異なる気泡 (ミリスケール気泡およびサブミリスケール気泡) の混在した気液接触装置を提案し⁽¹⁾, その特性を物質移動特性, 流動特性の両面から実験的に検証してきた。この装置はミリスケール気泡の気泡浮力により攪拌作用を誘起し, サブミリスケール気泡を添加することにより気液界面積を増大させ, 物質移動の促進を図ることができると考えた。

これまで, 物質移動に大きく貢献している流動特性に着目してきた。本稿では気泡塔の物質移動特性について述べる。まず, ミリスケール気泡のみ (サブミリスケール気泡添加なし) の条件での物質移動特性を捉えることを目的とする。気泡塔内の溶存二酸化炭素濃度測定および4点光ファイバースプローブ(Four-Tip Optical fiber Probe, 以下 F-TOP) により気泡運動計測を行い, 物質移動容量係数 (K_LA) および物質移動速度 (K_L) について考察する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。アクリル製正方形断面矩形気泡塔(400×400×400mm), 電気伝導率を応用した濃度計, F-TOP から構成される。ミリスケール気泡発生機構として焼結金属を用いる。液相には 1-Pentanol を 50ppm 添加したイオン交換水を使用し, 気相には炭酸ガスを用いる。気泡塔中央底部に設置した焼結金属へ気相流量 $Q_G=5\text{NL}/\text{min}$ (断面積基準のガス空塔速度 $U_G=5.2\times 10^{-4}\text{m}/\text{s}$) で通気する。

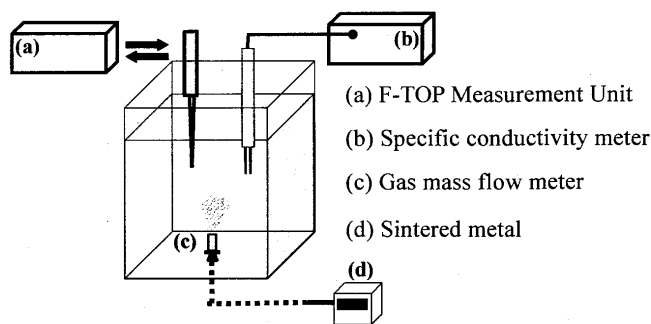


Fig. 1: Experimental setup

2. 1 F-TOP 計測

気相運動を F-TOP により計測した。光源には半導体レーザーを使用し, 光ファイバー(石英: 外径 230 μm)内を通過する光は伝播し, 4 本のプローブ先端へ到達する。気相, 液相間の屈折率の差により, 相検出を行う。プローブを通過した光は, 検査用光ファイバー先端で反射し, 反射光はファイバーを伝播し, 各々光電子増倍管に送られ, 光信号が電圧信号に変換される。その電圧信号は A/D 変換器を介して PC に取り込まれる。電圧信号より, 体積球等価径, 気泡速度を算出する。

2. 2 電気伝導率を応用した濃度計測

溶液の抵抗を測定し伝導率を求める。電極に交流電圧を加え, 溶液と電極面における分極抵抗をさげ, 測定誤差を小さくする。出力電圧と溶存二酸化炭素濃度の較正曲線を用いて気泡塔内の局所の溶存二酸化炭素濃度を計測する。

以上の F-TOP, 濃度計により気泡の体積球等価径および溶存二酸化炭素濃度を算出し, 液側物質移動容量係数(K_LA) および物質移動係数(K_L)を求める。

3. 物質移動容量係数(K_LA), 物質移動速度(K_L) 算出式

炭酸ガス射出直後から 10 分間を計測時間とし, 溶存二酸化炭素濃度と F-TOP により気泡径を同時計測し算出した。(1)式により物質移動容量係数 (K_LA) を算出する⁽²⁾。ここで, V [m^3] は単位体積とする。濃度 C [mol/m^3] および無限遠点濃度 C_∞ [mol/m^3] は濃度計により計測する。 C_S

[mol/m³]は気泡近傍の飽和濃度とする。

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = K_L A (C_s - C_\infty) \quad (1)$$

(1) 式より求めた $K_L A$ および F-TOP により求めた気液全界面積 A により K_L を求める。

4. 結果と考察

4. 1 F-TOP 結果

F-TOP により体積球等価径を算出した。Fig.2 に気泡径分布を示す。気泡径 3-6mm でピークを示すが、気泡径にばらつきが大きい。この気泡径のばらつきを考慮に入れ、気液全界面積 A を算出した。

4. 2 濃度計測結果

Fig.3 に気泡塔断面中心より半径方向 50mm の位置における溶存二酸化炭素濃度の時間変化の結果を示す。高さ方向に 7 断面計測した。これらの計測点では気相から液相へ二酸化炭素が溶解し、溶存二酸化炭素濃度が上昇する。また、濃度勾配は位置に依存せず、ほぼ等しい。これは二酸化炭素が気泡塔下部で液相に溶解し、溶解した液相が気泡の誘起する上昇流により上部へ移送されたためと考える。

4. 3 $K_L A$ および K_L 算出結果

以上 (1) 式を用い、溶存二酸化炭素の濃度時間変化より $K_L A$ を算出した。また、F-TOP の結果より気液全界面積 A を用い、 K_L を求めた。Fig.4, Fig.5 に示す。ある程度のばらつきを有するが、時間平均 $K_L A$ は 1.92×10^{-4} [1/s]、時間平均 K_L は 1.21×10^{-4} [m/s] となる。

5. 結言

F-TOP により球等価直径を求め、気液全界面積 A を算出した。また、電気伝導率を用いた濃度計により気泡塔内の溶存二酸化炭素濃度の時間変化を捉え、 $K_L A$ を算出した。以上の 2 つのパラメータにより K_L を実験的に求めた。ガス空塔速度 5.2×10^{-4} m/s において時間平均 $K_L A$ は 1.92×10^{-4} [1/s]、時間平均 K_L は 1.21×10^{-4} [m/s] 程度となった。講演時には微小気泡添加時と比較検討結果について報告する。

参考文献

- (1)特許申請中、齋藤隆之他
- (2)T.Saito, T.Kajishima. *Environ. Sci. Technol.* 34, 4140-4145 (2000).

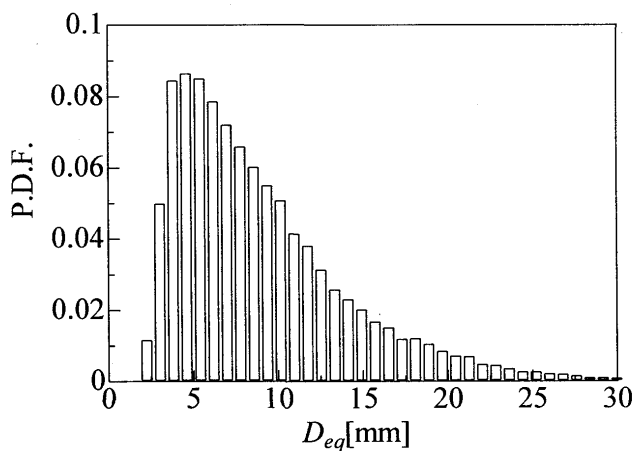


Fig. 2: Dispersion of equivalent bubble diameter

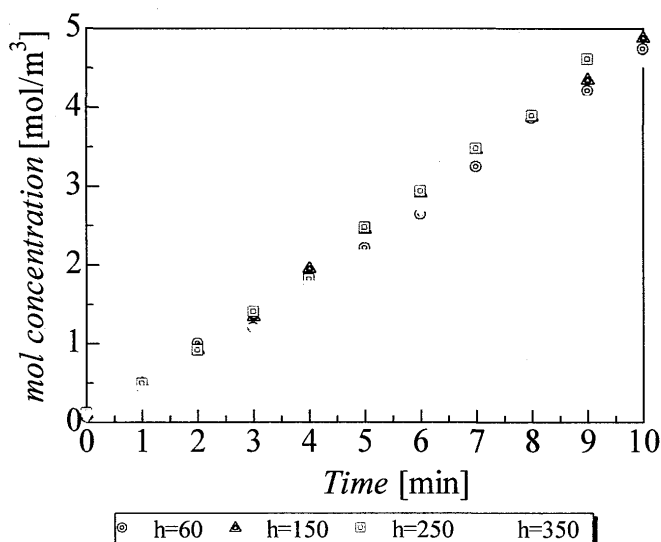


Fig. 3: The relation between time and mol concentration

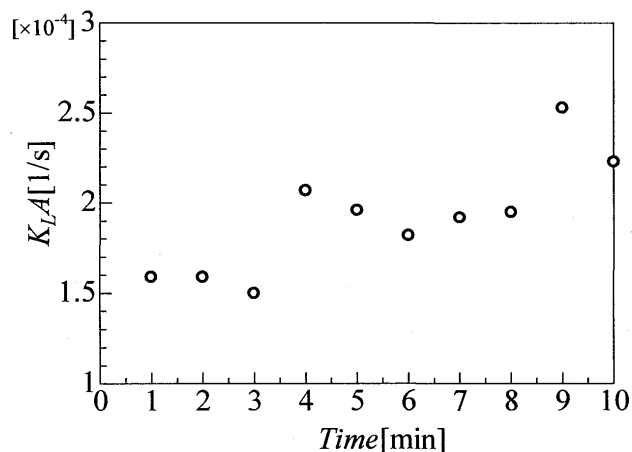


Fig. 4: The relation between time and $K_L A$

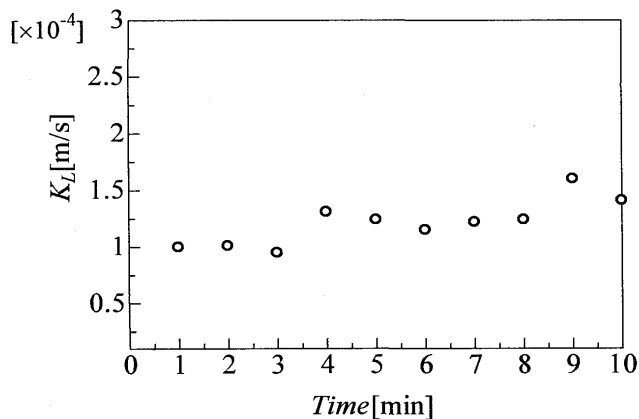


Fig. 5: The relation between time and K_L