

4 点光ファイバプローブを用いた矩形水槽内流動特性の解明

Clarification of bubble dynamics in a rectangular bubble column via a Four-Tip Optical fiber Probe

○学 樋口 正守 (静大工)

学 宇都宮 千博 (静大院), 学 森川 康一 (静大工), 正 齋藤 隆之 (静大院)

Masamori HIGUCHI, Chihiro UTSUNOMIYA, Koichi MORIKAWA, Takayuki SAITO.
Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8561

Key Words: F-TOP, Bubble column, Two-Phase flow.

1. 緒言

気液二相流は熱交換器や化学反応装置など、様々な工業プロセスでみられる。これらの機器の高効率化や安全性を確保するには、装置内の流動をリアルタイムに計測し、最適な流動状態を保つことが必要である。その計測にはプローブ法が有効である。光ファイバプローブ法は、応答性に優れており、可視化が困難な高ボイド率場や大口径管にも適用が可能である。同法は従来から研究がなされてきた^{[1][2]}が、単一光ファイバプローブ、2点光ファイバプローブ^[3]では、気泡の速度計測の誤差が大きいなどの難点が指摘されていたが、当研究室で開発した4点光ファイバプローブ (Four-Tip Optical fiber Probe, 以下 F-TOP) ^{[4][5]}では、気泡の三次元運動を把握し、高精度な計測を可能とする。また、過去の研究において、気泡流場での精度特性を明らかにしてきた。本実験では、気相の初期流量が 5NL/min の気泡流に F-TOP を適用し、球等価径、ボイド率、気泡上昇速度を計測した。さらに同条件下でサブミリスケール気泡(200-600 μ m)を添加し、気泡運動への影響や水槽内の流動特性を解明する。

2. 実験装置及び方法

2.1 4点光ファイバプローブ

F-TOP の構造を Fig. 1 に示す。使用した光ファイバ (日星電気製) は、コア (直径 190 μ m) とクラッド (厚さ 5 μ m) および皮膜 (厚さ 15 μ m) から成り、外径 230 μ m の合成石英光ファイバである。F-TOP の各プローブ先端はマイクロピペットプラー(サッター社製)を用いて引き伸ばし、Center Probe(CP)を半径 0.45mm の円に内接する正三角形の重心に、Outer Probe1~3 (OP1~3) を各頂点に配置した。また、CP 先端と OP 先端平面との間隔 (L_p) は 2mm とした。

赤色の半導体レーザ (635nm) を光源とし、ファイバ先端での反射光を光電子増倍管 (浜松ホトニクス製) で検出し、A/D 変換器を介して PC に取り込み、信号処理を行った。

2.2 実験装置

実験装置の概略図を Fig. 2 に示す。実験用水槽には矩形アクリル水槽 (400 \times 400 \times 400mm³) を使用し、液相には水道水に 1-Pentanol を 50ppm 滴下した希薄溶液を用いた。気泡発生装置には水槽中央底に設置した焼結金属を用い、5NL/min の純空気を通気しミリ気泡を発生させる。サブミリ気泡 (200-600 μ m) の発生装置はアクリル水槽の下部にアクリル空気室を設け、希薄溶液を 0.6~0.8Pa に加圧して細管より射出させる。気液界面でのエントレインメントによりサブミリ気泡を発生させる (Fig. 3)。Case-1 はミリ気泡のみ発生させる。左記にサブミリ気泡を高密度に添加した場合を case-2 とする。

2.3 プローブ信号の解析方法

PC に取り込んだ F-TOP 信号を、25 点移動平均を用いて平

滑化する。CP に気泡が接触すると CP 出力信号が立ち上がる。気泡がさらに上昇し、OP1~3 に接触すると各々の信号が立ち上がる。得られた信号から気泡の接触開始時刻 t_{is} ($i = c, 1, 2, 3$) および t_{ie} ($i = c, 1, 2, 3$) を求め、接触開始時間差 Δt_s と F-TOP も幾何学的形状から気泡上昇速度を算出し、気泡通過時間 Δt と求めた気泡上昇速度から気泡通過弦長を求める。通過弦長とアスペクト比から気泡径を求め、球等価径を算出する。

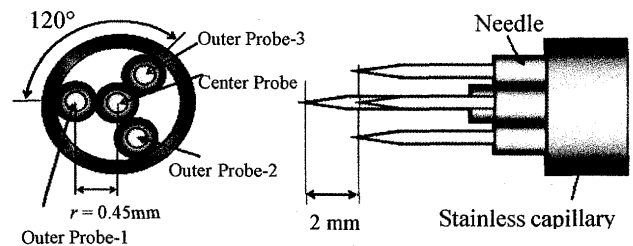


Fig. 1 Structure of F-TOP

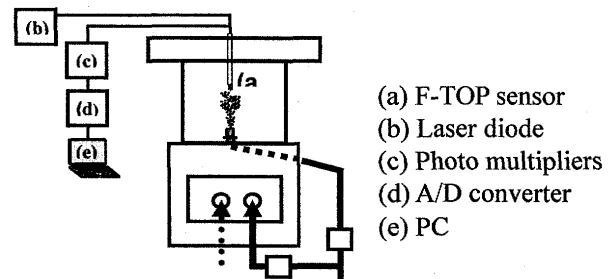


Fig. 2 Experimental set up

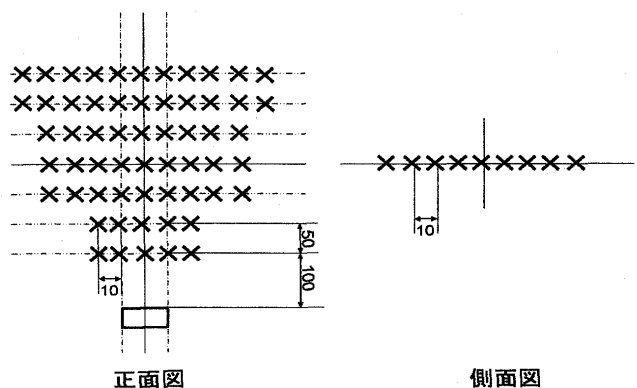


Fig. 3 Point of F-TOP measurement

2.4 F-TOP の計測点

F-TOP の計測点を Fig. 3 に示す. 気泡流の可視化画像 (Fig. 4) を用いて各断面での気泡分布幅を算出し計測点を決定し, 各点で 5 分間計測し, 検出した気泡の各パラメータの平均値について評価する.

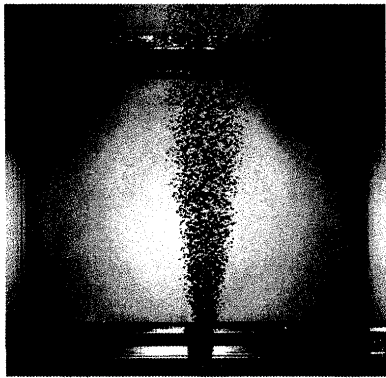


Fig. 4 Image of the bubble column (5NL/min)

3. 実験結果及び考察

3.1 平均気泡速度について

平均気泡速度を Fig. 5 (a) に, 平均気泡径を (b) に, サブミリ気泡を添加した平均気泡速度を Fig. 6 (a) に, 平均気泡径を (b) に示す. 矩形水槽中央底を座標 $(x, z) = (0, 0)$ とし, z は鉛直上向きを正とした. Fig. 5(a) より, 平均気泡速度の分布形状はどの断面においても焼結金属直上で最大となり, 左右対称な形状を示す. しかしながら, サブミリスケール気泡を添加すると $z = 100\text{mm}$ では顕著な変化は観測されなかったが, $z = 200\text{mm}$ において平均気泡速度が焼結金属周囲において最大となる分布形状に変化した. これはサブミリスケール気泡の

分布に偏りが生じ, 気泡流が $x < 0$ 方向に傾いたと考えられる. 更に, $z = 350\text{mm}$ では平均気泡速度分布がなだらかな形状になった.

3.2 平均気泡径について

サブミリ気泡を添加することで平均気泡径の若干の増加が観測された. これはサブミリ気泡とミリ気泡の合一が生じ, 気泡径が増加したと推察される. また, 各断面での分布形状は微小気泡を添加することにより, $z = 200\text{mm}$, $z = 350\text{mm}$ においてなだらかな分布形状に変化した.

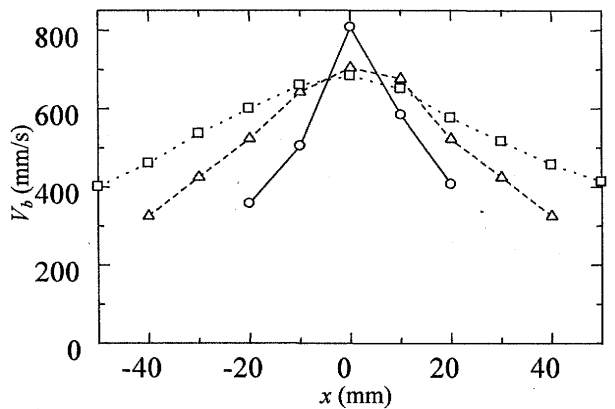
ボイド率に関しての分布特性は発表の際に報告する.

4. 結言

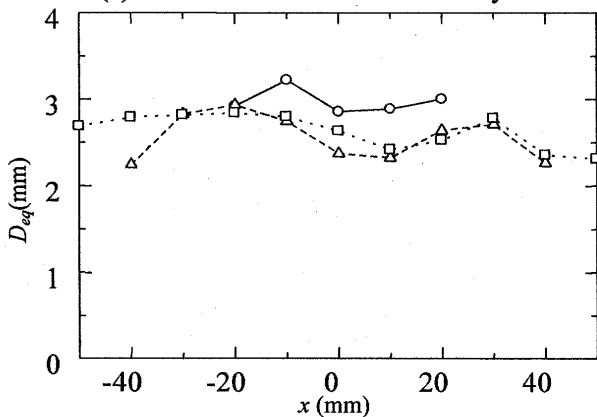
今回, 気泡流に F-TOP を適用し, 平均球等価径, 平均気泡速度について評価した. 更に, 同条件下でサブミリスケール気泡を添加し, 気泡運動への影響や水槽内の流動特性を考察した. サブミリスケール気泡を添加することにより, 気泡速度分布, 平均気泡径分布に顕著な影響が現れた. これはサブミリ気泡の分布に偏りがある事, ミリ気泡に吸収される事が原因と考えられる.

参考文献

[1] Abuaf, N., Jones, O. C. Jr. and Zimmer, A.; *Rev. of Sci. Inst.*, **49**, (1978), 1090-1094.
 [2] Clark, N. N. and Turton, R.; *Int. J. of Multiphase Flow*, (1988), **14**, 413-424.
 [3] H. Chaumat, A.M. Billet-Duquenne, F. Augier, C. Mathieu, H. Delmas; *Chemical Engineering Science*, (2005), **60**, 6134 - 6145
 [4] T. Saito, Y. Ishigaki, Y. and Mizuno, Y.; *ICMF-2004*, in CD-ROM
 [5] R. F. Mudde and T. Saito; *J.F.M.*, (2001), 437,



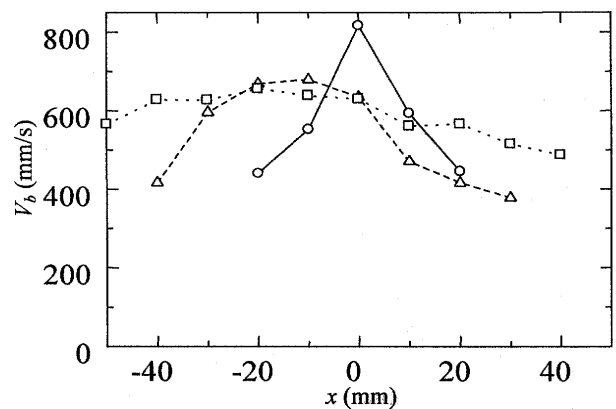
(a) Profile of vertical bubble velocity



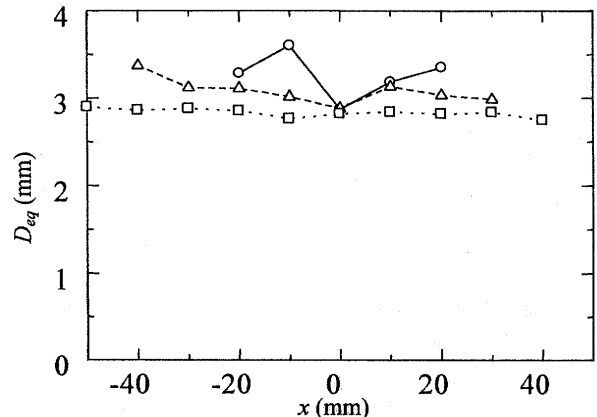
(b) Profile of bubble diameter

○ — $z=100$ △ --- $z=200$ □ $z=350$

Fig. 5 Result of F-TOP measurement (case-1)



(a) Profile of vertical bubble velocity



(b) Profile of bubble diameter

○ — $z=100$ △ --- $z=200$ □ $z=350$

Fig. 6 Result of F-TOP measurement (case-2)