

4点光ファイバプローブによる鉛直円管内気泡流の 気泡キャラクタリゼーション

Characterization of bubbles in bubbly flows using 4-tip optical fiber probe

○学 石垣 豊 (静大院) 学 水野 泰宏 (静大工)
学 安間 優 (静大院) 正 齋藤 隆之 (静大工)

Yutaka ISHIGAKI, Yasuhiro MIZUNO, Suguru ANMA, Takayuki SAITO,
Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8561

Key words; Multiphase flow, 4-tip optical fiber probe, bubbly flow

1. 緒言

気液二相流の深い理解は、大気・海洋間の物質移動メカニズム等の地球環境分野において極めて重要であり、また CO₂ の海洋固定技術の開発に向けて必要不可欠である。GLAD システム^{[1],[2]}による CO₂ 海洋固定の実用化を目指して基礎研究に取り組んでいる。同システムを運転・制御し、高効率化を図るには気泡流の流動構造を詳細に把握する必要がある。気液二相流を計測する方法として高ボイド率でも有効なプローブ法がある。本研究では、鉛直円管内の気泡流を高速ビデオカメラにより可視化し気泡特性の統計量を求め、研究室で開発した4点光ファイバプローブ^[3] (以下 F-TOP) による気泡計測結果と比較検討することにより、同プローブを用いて計測した結果の統計的特性を考察する。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置の概略を Fig.1 に示す。アクリル製の実験水槽 (高さ 800mm, 直径 149mm) を高速ビデオカメラによる可視化時の画像の歪みを除去するため、矩形のウォータージャケットで覆った。質量流量計 (Oval 製) により流入空気 (純空気) の量を調節し、流入空気は 0.8NL/S とした。気泡は水槽底部にある 10 μ の金属焼結フィルター (SMC 製 10 μ) から注入される。精密光学ステージに固定した F-TOP により水槽底上部 600mm, 半径方向に $r=0$ mm, 25mm, 50mm, の3点において気泡群を計測した。また同位置において同期された2セットの高速ビデオカメラ (Red Lake 製) とストロボ (nac 製) により直交する2方向から気泡群を透過光撮影した。

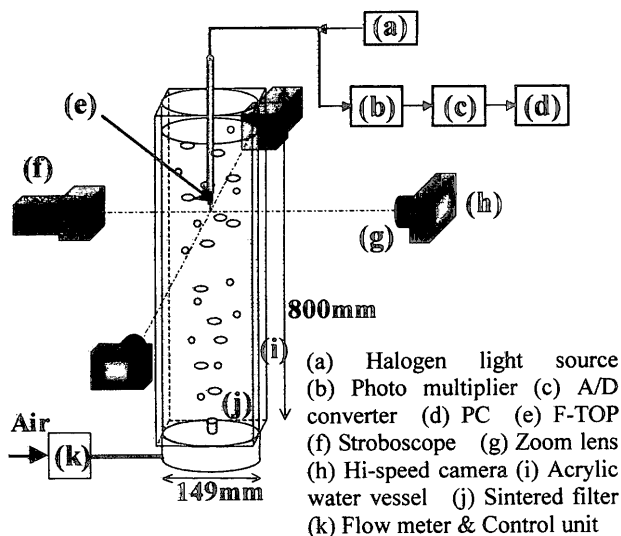


Fig.1: Experimental setup.

2.2 4点光ファイバプローブ

F-TOP を構成する単一光ファイバプローブの先端は 30° に楔状にカットされており、気泡検出用光ファイバ、光電子増倍管用光ファイバ、光源用光ファイバから構成される^[4]。F-TOP は4組の単一光ファイバプローブを Fig. 2 ように配置、構成したものである。センタープローブとアウタープローブとの先端間距離を 1mm とした。使用した光ファイバは、コア径 200 μ m, クラッド厚 25 μ m, 外径 250 μ m のプラスチック製で、疎水性である。F-TOP からの光信号を光電子増倍管 (浜松ホトニクス製) によって光電変換し、増幅後、A/D 変換器 (ELMEC 製) を介して、PC に保存する。4本のプローブ全てに信号が検出された気泡を有効としデータ解析を行う。計測時間は5分×12回とした。

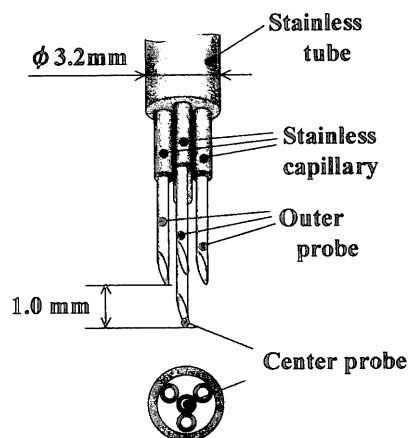


Fig.2: Structure of F-TOP.

2.3 可視化計測および画像処理

2台のカメラは計測対象の遠近による誤差を抑えるために水槽中心から 1m 離れた位置に設置し、ズームレンズ (Canon 製) により拡大撮影した。125Hz で連続 200 フレーム (撮影時間: 約 1.6 秒間) を撮影した。トレーシングペーパーによりストロボ光を散乱させて光強度を均一にした後、透過光によるシャドウイメージとして気泡を撮影した。PC に取り込まれた画像を 8bit-grayscale へと変換、median filter を施し残留するノイズを除去する。次に、バックグラウンド画像と気泡画像との間で各ピクセル間の絶対値演算処理を行い気泡以外の背景などを除去する。最後に、二値化処理して気泡のみを抽出し、気泡の二値化処理画像から気泡弦長、軸長比、重心の位置、ボイド率を算出する。F-TOP により計測可能な計測領域内に気泡の重心が存在する気泡のみを抽出して、F-TOP 近傍の局所的な気泡数密度を求めた。

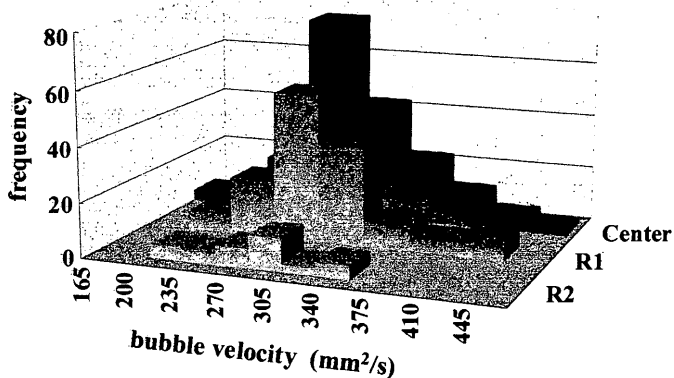


Fig.3 Histogram of bubble velocity

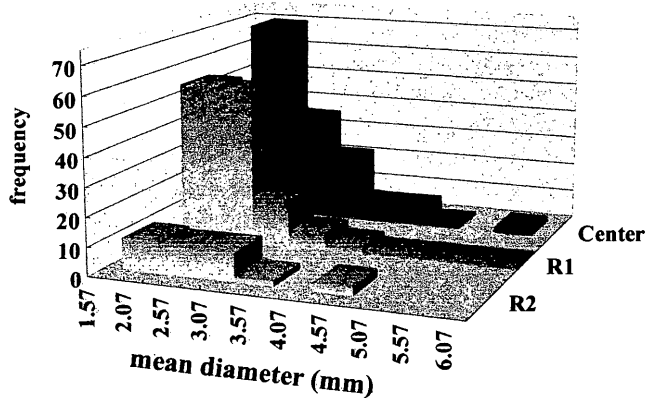


Fig.5 Histogram of bubble mean diameter

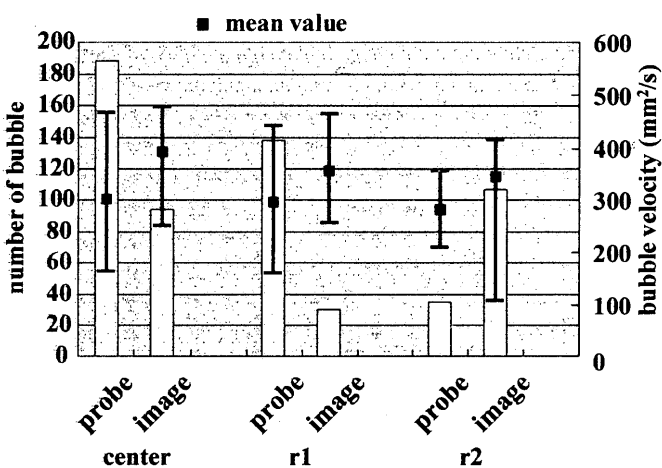


Fig.4 Comparative figure of bubble velocity

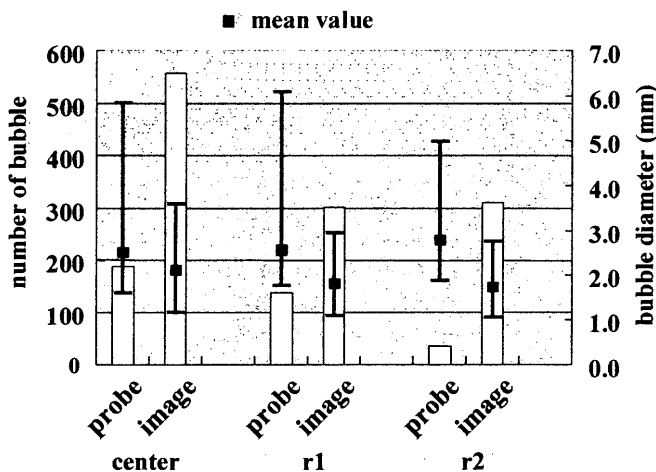


Fig.6 Comparative figure of bubble mean diameter

3. 実験結果および考察

F-TOP による気泡速度の計測結果を Fig.3 に示す。このヒストグラムは奥行き方向に計測点を示し、水平方向に気泡速度の範囲、高さ方向に頻度を表す。計測点の違いにより気泡数に差異が見られるが、分布形状に大きな違いは見受けられない。また、画像処理により得られた結果と F-TOP による結果の比較を Fig.4 に示す。線グラフで最大値、最小値、平均値を、棒グラフで気泡数を表した。画像処理による気泡速度は、三時刻追跡法を用い三次元速度として求めた。全ての計測点において F-TOP による気泡速度は、画像処理による結果より過小に計測されることがわかる。その要因として、F-TOP による速度は二次元投影速度として求めていることが挙げられる。また管壁に最も近い計測点 r2 に着目すると、速度の小さい気泡は F-TOP で検出されていないことがわかる。F-TOP で検出できない気泡が存在する要因として、以下が考えられる。

- (a) 気泡径の小さい気泡は F-TOP 先端で弾かれてしまう。
- (b) 気泡は F-TOP の軸に対してある角度をもって上昇してくる。そのため軌道が不安定な気泡は検出困難である。管壁に近い領域では下降流が生じており、その影響を受けた気泡は左右に大きく揺れながら運動すると考えられる。特に速度の小さい気泡はこの揺れが大きいため検出できなかったものと思われる。

Fig.5, 6 は平均気泡径の計測結果について、気泡速度と同様に表したものである。Fig.5 において、center と r1 では気泡速度の計測結果と同様に分布形状に大きな違いはない。一方 r2 において、気泡径が小さな気泡(約 2mm 以下)の検出数が減少していることがわかる。この要因として気泡速度で述べたように、管壁近傍の下降流の影響が挙げられる。下降流

の影響を受けた気泡は上昇方向と F-TOP の軸方向とのなす角度が大きくなると考えられる。特に気泡径の小さな気泡ではこの相対角度が大きくなり、4 本のプローブ全てで検出できなくなる。そのため気泡径が小さな気泡の検出数が減少したものと考えられる。また Fig.6 に示すように、F-TOP では気泡径が約 1.57mm 以下の気泡の検出が不可能であった。全ての計測点に言えることであるため、F-TOP の製作精度、形状、信号処理方法にさらなる改良が必要と考えられる。

4. 結言

本研究では高速ビデオカメラにより気泡特性の統計量を求めることで、F-TOP 計測の統計的特性を考察した。これにより F-TOP 計測では気泡速度を過小に、気泡径を過大に計測することがわかった。また F-TOP との相対上昇角の大きな気泡では正確な計測が困難であった。さらに F-TOP による各パラメータの計測には、計測可能な気泡径範囲が存在することが障害となっていることも明らかになった。

今後、F-TOP 形状(微細化、ファイバー端面処理)の改善や信号処理方法の見直しによる計測精度の向上を目標とし、更なるデータの積み重ねにより気泡特性の統計量の妥当性を高めていく。経済産業省地域新生コンソーシアム事業により実施したことを付記する。

参考文献

[1] T. Saito et al.: *Environmental Science and Technology*, **34**, 4140-4145, (2000).
 [2] T. Saito et al.: *Energy & Fuels*, **15**, 285-292, (2001).
 [3] T. Saito, R. F. Mudde; *ICMF 2001*, in CD-ROM
 [4] 齋藤, 梶島: *機論B編*, **68**, 2719-2725, (2002).