

## 鉛直円管内における発達した気泡乱流の流動特性

## Structure of developed bubbly flow via F-TOP and LDV

○学 石飛 正規 (静大工) 学 落合 康敬 (静大院)

学 橋口 論 (静大院) 正 齋藤 隆之 (静大工)

Masaki ISHITOBI, Yasutaka OCHIAI, Rin HASHIGUCHI, Takayuki SAITO

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8561

**Key Words;** Bubbly Flow, LDV, F-TOP, Multi-Phase Flow, Developed Flow

## 1. 緒言

気液二相流は、例えば化学プラントにおける化学反応器や熱交換器など様々な工業装置で見られる。装置の高度化と高い安全性への要求から気液二相流に関するより正確な知識が必要となり、広く研究されている。気液二相流はボイド率、気泡径、流動様式の違いにより異なる流動構造を呈し非常に複雑であることから、流動状態を正確に予測するには様々な流動様式における諸特性を精密な実験により把握しておく必要がある。

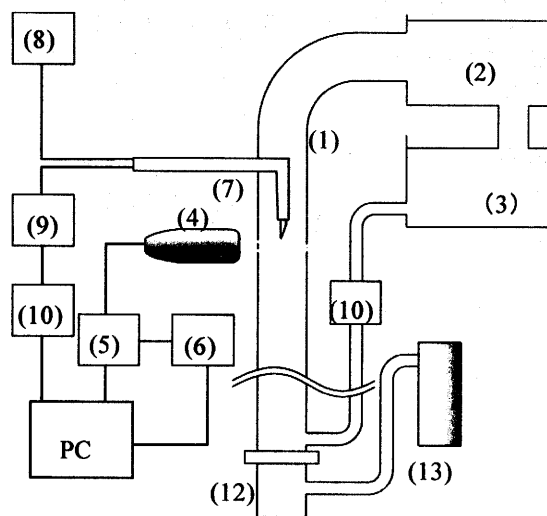
大規模流動構造<sup>[1]</sup>を解明していくために鉛直円管内における気泡流の実験は数多く行われているが、十分に発達した大口径管内の気液二相流に関する実験は少ない。本研究では、内径 149mm、鉛直高さ 18,000mm の鉛直円管を用いて十分に発達した気液二相流流れを作り、気相には F-TOP、液相には LDV を用いて、その流動特性を計測した。得られた流動構造について、報告する。

## 2. 実験装置および計測方法

Fig. 1 に実験装置の概略を示す。内径 (R)149mm、高さ 18,000mm のアクリル製鉛直円管を用いる。管内に水を満たし、遠心ポンプにより、液相を任意流量で循環させることができる。本研究では、みかけ液相速度  $U_L = 0m/s, 0.11m/s$  とした。気相には空気をを用い、ボイド率  $\alpha = 1.0\%$  となるように注入し、格子状の(12)を介して分散性の高い気泡群を作った。高さ 13,440mm の位置において F-TOP を用いて気泡径、気泡上昇速度を計測し、LDV で液相速度を計測した。

F-TOP (4 点光ファイバプローブ)には、コア径 200 $\mu m$ 、クラッド厚さ 25 $\mu m$ 、外径 250 $\mu m$  の POF を 4 本使用した<sup>[2][3]</sup>。一方から入射された光は気泡接触時に F-TOP 先端において反射し、他方の光電子増倍管 (浜松ホトニクス製) により増倍後、A/D 変換器 (ELMEC 製 : サンプル周波数 20kHz) を介して PC に取り込む。F-TOP 計測は  $r/R = 0, 0.1, \dots, 0.9, 0.94$  の位置で 1 点につき 900s 間計測した。

LDV は  $r/R = 0, 0.1, \dots, 0.9, 9.1 \dots 0.97$  の位置で 1 点につき 120s 間計測した。COLORLINK (TSI 社製) からの信号を LDV と同期させた高速 A/D 変換器 (ELMEC Model EC-6900 : サンプル周波数 1MHz) を介して PC に取り込む。気泡界面に LDV レーザーが照射されることにより生じる気泡散乱ノイズがある場合、Fig.2 の(B)示すようなピーク電圧信号が観測され、これはトレーサー粒子の Doppler 信号に比べ高い値を示す。(B) は気泡中心部と LDV 計測点が重なっている状態で、(A)、(C) は気泡上下端部に LDV 計測点がある場合である。これらの特性を利用して適切なしきい値を決定して(B)を検出し、さらに  $T_c$  を求める。(A)、



(1)Acrylic Cylinder, (2)Knock out Vessel, (3)Buffer Vessel, (4)LDV-Probe, (5)LDV System, (6)High Speed A/D converter, (7)F-TOP, (8)Halogen light, (9) Photo multiplier, (10)A/D converter, (11)Pomp, (12)Grid Filter, (13)Air Cylinder

Fig. 1: Experimental setup.

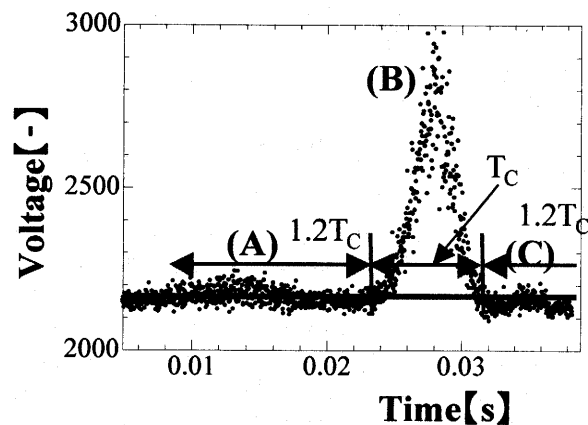


Fig. 2: Typical original burst signal from bubble surface.

(C)を  $1.2 T_c$  とすることで、気泡散乱ノイズが含まれる時間内にある流速データを除去した。なお、トレーサーはポリスチレン粒子 (粒径  $15 \pm 5 \mu m$ 、密度  $1100 kg/m^3$ ) である。

## 3. 結果および考察

## 3.1 F-TOP 計測結果

Fig. 3 に F-TOP 計測により得られた半径方向の平均気泡径プロファイル, Fig. 4 に  $r/R=0, 0.5, 0.94$  における PDF を示す. 両図から  $U_b = 0, 0.11\text{m/s}$  の場合, とともに  $4\sim 11\text{mm}$  径の気泡が多く存在し, 管壁に近づくにつれ, わずかに径の小さい気泡が集まる傾向であることが分かる.

Fig. 5 に半径方向の平均気泡上昇速度分布を示す.  $U_L = 0.11\text{m/s}$  の場合,  $U_L = 0\text{m/s}$  に比べ  $r/R < 0.5$  の範囲でややばらついた値となった. 計測誤差である可能性もあるため, 計測間隔を狭め計測する必要がある. また,  $U_L = 0, 0.11\text{m/s}$  の場合, 共に管壁に近づくにつれ上昇速度は小さくなり, Fig. 6 の平均液相速度分布と対応している.

### 3.2 LDV 計測結果

Fig.6 に気泡ノイズ処理をした鉛直方向平均液相速度の半径方向分布を示す. 図中には見掛け液相流速における液単相の LDV 計測結果も示してある.  $U_L = 0\text{m/s}$  の場合, 管壁付近 ( $r/R \geq 0.7$ ) では下降流が存在する. このことから気泡塔(Fig.1 (a))内において, 壁面付近に下向きの流れ, 管中央部に上向きの流れの循環流ができていると考えられる.

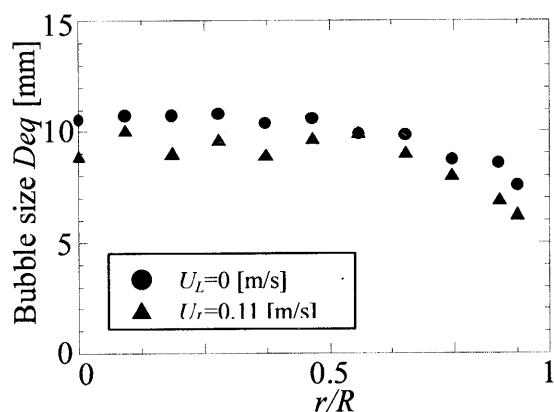


Fig. 3: Radial profiles of bubble size.

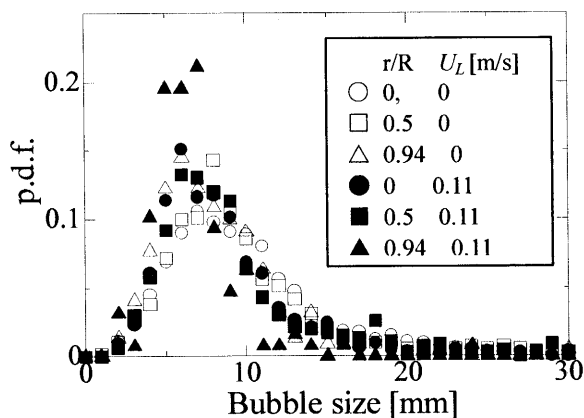


Fig. 4: PDF of bubble size.

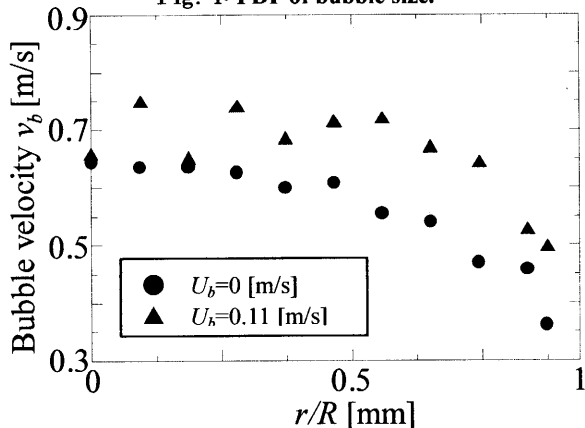


Fig. 5: Radial profiles of bubble velocity.

一方,  $U_L = 0.11\text{m/s}$  の場合,  $r/R < 0.9$  の範囲では半径位置における液相流速は  $U_L = 0\text{m/s}$  におけるそれとほぼ一定の差となっており,

$$u_L(r)_{0.11} = u_L(r)_0 + U \quad (U \doteq U_L)$$

の関係にある. 時間平均で見れば, 管壁付近においても下降流は見られない. しかし, Fig. 7 に示す液相速度の PDF からは,  $r/R = 0.9$  で, 負(下向き)の流速が発生していることがわかる. このことから,  $U_L = 0\text{m/s}$  の液相運動構造に見掛け液相速度を加えて構造になっているものと考えられる.  $U_L = 0.11\text{m/s}$  では,  $r/R > 0.5$  の領域で液単相流のほうが液相速度は大きな値となっている. 十分に発達した液単相乱流の速度分布と比較して, 気泡流の場合, 管中央部をピークとし, 壁面に向かって液相流速が減少する構造を呈している. 気泡群浮力が誘起する液相運動の影響であることが明瞭に理解される.

### 4. 結言

内径 149mm, 鉛直高さ 18,000mm のアクリル製鉛直円管を用い, 発達した気液二相流を F-TOP と LDV により計測することで気泡流の流動構造を捉えることができた.

今後は気相注入方法を改良し, 一様な気泡径で種々の条件下における気泡流の流動特性を解明していきたい. さらに単一気泡, 気泡群の結果を加味して, 気泡乱流の階層構造をより深く理解をしていきたい.

### 参考文献

- [1] R. F. Mudde and T. Saito, *Journal of Fluid Mechanics*, 2001, 437, 203-228
- [2] T. Saito, Y. Ishigaki, Y. and Mizuno, Y.; *ICMF-2004*, in CD-ROM
- [3] Y. Mizuno, Y. Ishigaki, and T. Saito, *ASCON FBR, 2004 講演論文集*, 271-276

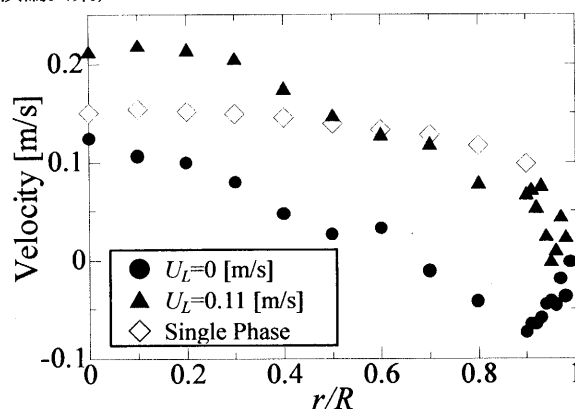


Fig. 6: Radial profiles of liquid-phase velocity.

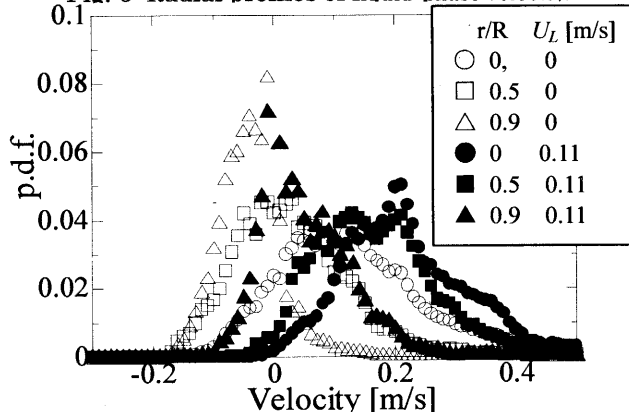


Fig. 7: PDF of liquid-phase velocity.