

気泡計測における4点光ファイバプローブの構造フォーミュレーション

Formulation of Four-Tip Optical Fiber Probe for Characterization of Bubbles

○学 水野泰宏 (静大工) 学 石垣 豊 (静大院) 正 齋藤隆之 (静大工)

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

Key words; four-tip optical fiber probe, bubble velocity, bubble diameter, interfacial motion

1. 緒言

気液二相流における気泡特性を計測する方法の一つにプローブ法がある。同法は高ボイド率における計測において最も有効である。プローブ法に関する研究は数多く行われてきたが^{[1],[2]}, 多くの問題が未解決のままである。例えば, 接触弦長, 接触位置, 気泡の傾斜, 気泡の界面変形などがある。従来, 気泡速度を計測する場合は, 2点プローブが用いられていたが, 気泡の傾斜の影響を無視している。そこで, 我々はプローブを4本組み合わせ, 気泡の3次元運動を捉えることができる4点光ファイバプローブ^{[3],[4]} (Four-Tip Optical fiber Probe, 以下 F-TOP) を開発した。更に, この F-TOP を用いることによって, 接触不良の気泡が選別可能となり, より計測精度を高めることができる。

より高精度な計測を行うには, プローブ接触時の気泡の界面運動や重心運動への影響を明らかにしなければならない。これらの気泡運動は, プローブ形状や大きさ (配置) に大きく左右されることから, 高精度計測には, その影響度の解明は必要不可欠である。しかし, これらを定量的に明らかにした研究は行われていない。本研究では径の異なる3種の気泡を用い, F-TOP 接触時の気泡運動への影響を定量的に明らかにした。さらに, この結果を基に幅広い気泡径に適用できる最適な F-TOP サイズの決定方法を確立した。

2. 実験

2.1 4点光ファイバプローブ

F-TOP 先端の概略構造を Fig. 1 に示す。使用した光ファイバ (三菱レイヨン製) は, コア (径 $200\mu\text{m}$) とクラッド (厚さ $25\mu\text{m}$) を持つ外径 $250\mu\text{m}$ のプラスチック製で疎水性のものである。F-TOP の各プローブ先端端面は同じ方向に配置した。入射された光は, 気泡接触時に先端で反射され, 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) を介して PC に取り込んだ。

2.2 実験装置

実験装置の概略を Fig. 2 に示す。150×150×300mm のアクリル製水槽に脱気したイオン交換水を満たした。気泡径の違いによる F-TOP の気泡運動への影響度ならびに気泡径の相違による F-TOP 出力信号の特性を考察するために, 3種類の注射針を用いて径の異なる気泡を発生させて実験を行った (Table 1)。さらに, 気泡の傾きが気泡運動と F-TOP 信号に及ぼす影響を明らかにするために, 気泡の上昇方向と F-TOP 軸との角度を 0, 15, 30, 45, 60 度に設定して, 気泡が F-TOP と接触する過程を高速ビデオカメラ (10,000frames/s) により可視化撮影した。なお, レーザー式通過センサーを用いることによって, F-TOP 計測と可視化計測を同期させて, 可視化精度を向上させた。気泡接触過程における F-TOP 信号と各時刻に対応する画像の一例を Fig. 3 に示す。

3. 結果及び考察

3.1 F-TOP の気泡運動に対する影響

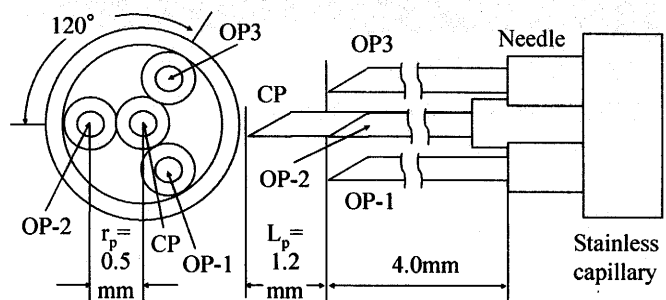
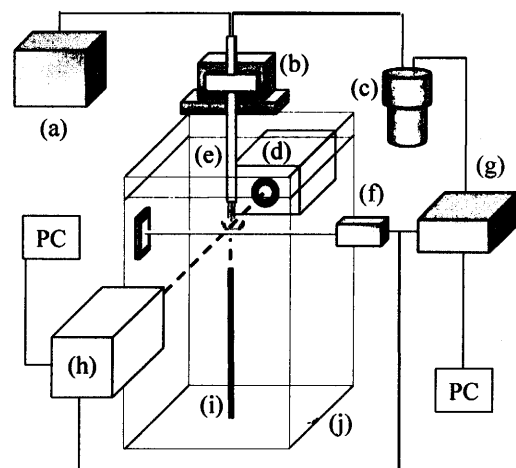


Fig.1: Structure of F-TOP.



(a) Halogen light, (b) Precision optical stages, (c) Photo multipliers, (d) Halogen light, (e) F-TOP, (f) Laser optic sensor, (g) A/D converter, (h) High-speed video camera, (i) Needle, (j) Acrylic water vessel

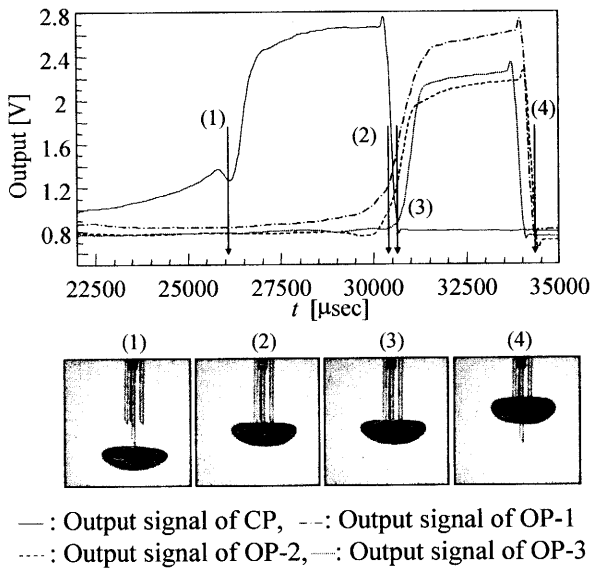
Fig.2: Outline of experimental setup.

Table.1: Internal Diameters of needles and corresponding bubble properties.

Needle In. Dia. (mm)	Bubble			
	Velocity (mm/s)	Major axis (mm)	Minor axis (mm)	
0.22	Bubble-1	339.3	3.03	1.31
0.40	Bubble-2	318.7	3.69	1.40
0.66	Bubble-3	289.3	4.19	1.61

Fig.4 に F-TOP 接触過程における気泡の重心速度変化を示す。 ΔU_{CG} は自由気泡に対する F-TOP 接触時の気泡速度である。時刻 $t=0$ において気泡は CP (Center Probe) 先端に接触し, CP が気泡に突き刺さるにつれて, プローブの表面と気泡界面との摩擦により徐々に速度は減少する。そして, 気泡が CP

先端から抜ける時に、速度減少はすべての気泡において最大となる。また、その減少率は小さい気泡程大きくなる。この



(1) The CP hits the upper bubble interface; (2) The OP-1 hits the frontal bubble interface; (3) The CP hits the bottom interface; (4) Every tip of the F-TOP slips out of the bubble.

Fig.3: Characteristics of output signals of F-TOP and the corresponding bubble situations.

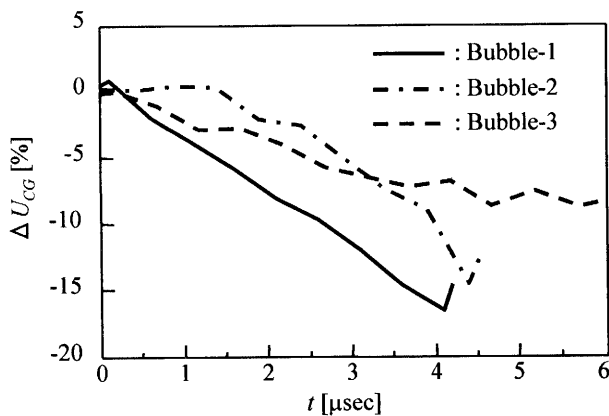
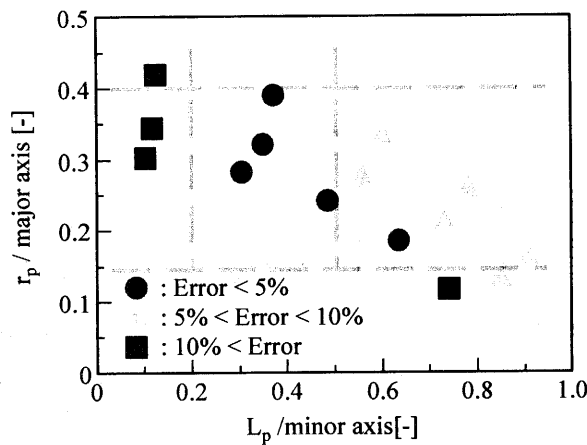
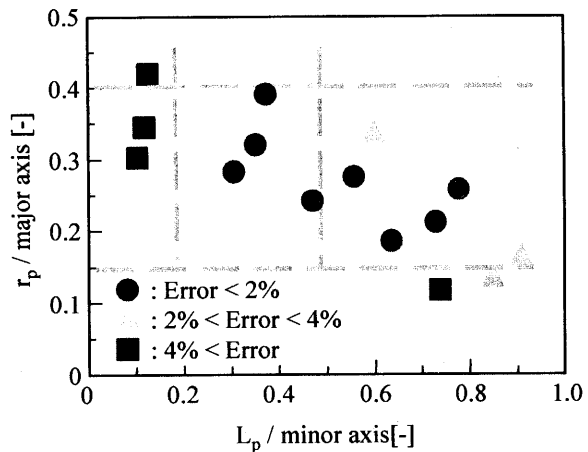


Fig.4: Time series rate of Velocity change ΔU_{CG} during the contact



(a) Bubble velocity



(b) Bubble minor axis

Fig.5: Measurement accuracy distribution against F-TOP configuration

現象は表面張力による気泡圧力に依存するものと考えられる。つまり、気泡の表面張力圧力は、気泡径が小さいほど高くなるため、気泡下部界面をプローブが突き抜ける時の抵抗が大きくなったと考えられる。

3.2 構造フォーミュレーション

気泡径に対する F-TOP サイズと F-TOP 計測精度の関係を図5に示す。画像解析で得られた結果から接触開始時間、離脱時間を校正して得られた F-TOP 計測結果である。つまり、信号処理による誤差を取り除いたプローブ計測結果を示している。 r_p を気泡の長軸、 L_p を気泡の短軸で無次元化したものをそれぞれ縦軸、横軸とした。また、Errorは自由気泡との差である。計測精度の減少は次のような場合に見られる。①短軸に対して L_p が約20%以下の場合、②同じく約50%の場合、③ r_p が長軸に対して約15%以下の場合、④同じく約40%以上の場合である。これらは次のように説明できる。① L_p が短いため、CPとOPs (Outer probes)の接触開始時間差のわずかな誤差が増大した。②CPに接触している時間が長くなり、気泡速度が減少した。③CPが気泡界面上端に突き刺さる際に生じたCP周りの気泡の窪みにより、OPsの接触開始時刻が遅れた。④OPsが気泡エッジ部に接触する。

したがって、これらの結果を考慮し、以下のように最適 F-TOP サイズを決定する。 L_p /気泡短軸=(20~50%)、 r_p /気泡長軸=(15~40%)の範囲に F-TOP サイズを設定すれば、気泡速度は誤差 5%、気泡短軸径は誤差 2%以内で計測可能である。

4. 結言

本研究では、気泡重心運動・界面運動に対する F-TOP の影響を定量的に明らかにした。気泡重心速度は、F-TOP との接触の進行とともに減少し、その減少率は小さい気泡ほど大きい。また、気泡短軸径については大きい気泡ほど接触による影響が大きかった。

しかしながら、提案する最適 F-TOP サイズを用いることにより高精度計測が可能となった。

[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] R. F. Mudde and T. Saito; *J.F.M.*, 2001, 437, 203-228.

[4] T. Saito, Y. Ishigaki, Y. and Mizuno, Y.; *ICMF-2004*, in CD-ROM