

単一光ファイバプローブによる気液界面速度計測

Measurement of air-water interfacial velocities via a single optical fiber probe

○学 浦川 智 (静大工)

学 水野泰宏 (静大院) 正 齋藤隆之 (静大工)

Satoshi URAKAWA, Yasuhiro MIZUNO, Takayuki SAITO,
Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8561

Key words: single optical fiber probe, interfacial velocities

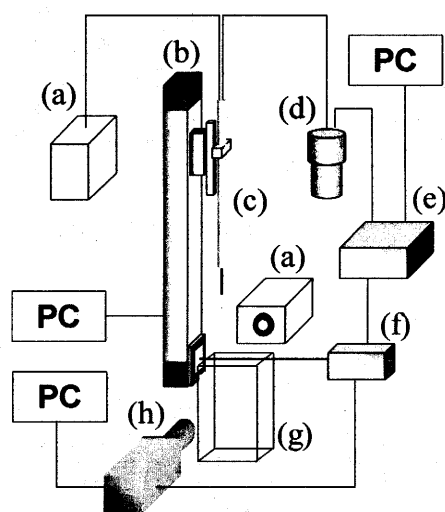
1. 緒言

気液二相流を扱う装置の高効率化には、装置内の流動をリアルタイムかつ高精度に計測し、最適な流動状態に制御する必要がある。また、産業面からも低コスト、シンプルで信頼性の高い計測システムが望まれている。この二つを満たす気液二相流計測方法としてプローブ法^[1]が挙げられる。従来は研究室で開発した4点光ファイバプローブ^[2](Four-Tip Optical-fiber Probe, 以下F-TOPと呼ぶ)により得られる信号の時間差を用いて界面速度を求めていた。しかし、4本の光ファイバを束ねたものであるため、計測できる最小の気泡径や液滴径には限界がある。本研究では、より径の小さな気泡や液滴を単一光ファイバプローブ^{[3],[4]}により計測することを目的とし、気液二相流界面運動を可視化するとともに単一光ファイバプローブより得られる界面検出信号^{[5],[6]}と界面速度との関係を明らかにする。

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

実験装置の概略をFig.1に示す。PCにより制御されたサーボアクチュエータ(ストローク500mm, SUS製)に単一光ファイバプローブを設置し、沸騰脱気したイオン交換水で満たされたアクリル製矩形水槽(150×150×300mm³)の気液界面



(a) Halogen light source, (b) Servo actuator, (c) Single optical fiber probe, (d) Photo multiplier, (e) A/D converter, (f) Laser optic sensor, (g) Acrylic water vessel, (h) High-speed video camera

Fig.1: Experimental setup.

に同プローブを空気から水、水から空気の二通りで速度をもたせ突き刺した。プローブは空気から水の場合にはステンレス管部が真直ぐなものを、水から空気の場合にはステンレス管部をJ字型に曲げたものを使用した。プローブ移動速度は50,100,150,200,250,300,350,380mm/sでそれぞれ行った。また、A/D変換器(ELMEC製)と同期させた高速ビデオカメラ(Phantom V9.0)を界面に対して6°傾けて、界面を可視化撮影した。光源にはハロゲン光(ケンコー製)を用いた。

2.2 単一光ファイバプローブ

単一光ファイバプローブの先端構造をFig.2に示す。先端は30°の楔状にカットされており、界面検出用光ファイバ、光電子増倍管用光ファイバ、光源用光ファイバの三本で構成される。使用した光ファイバ(三菱レーヨン社製, エスカ)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、疎水性を有する。入射された光はプローブ端面において反射する。この反射光を光電子増倍管(浜松ホトニクス製)により光電変換後、A/D変換器を介してPCに取り込んだ。

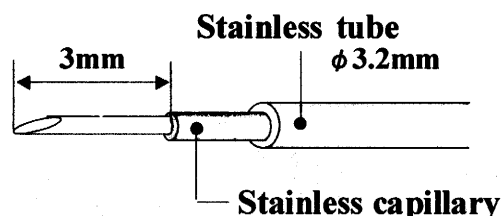


Fig.2: Structure of single optical fiber probe.

2.3 可視化計測および画像処理

カメラにはズームレンズおよび接写リングを取り付けた。カメラのフレームレートは5000fps, 解像度480×480pixel², 露光時間180 μ sとした。ピクセルサイズは3.123 μ mである。

カメラの傾きを校正するため、ロンキー(100 pairs/inch)を用いた。画像上方部では81.33 pix/pairであり、画像内水面近傍では81.4 pix/pairであった。誤差は0.815%であることから、今回の実験においては無視する。

撮影した画像はmedian filter処理した後、背景画像とプローブ画像との間で各ピクセル間の絶対値演算処理を行い、プローブのみを抽出し、二値化処理した。この二値化画像からプローブ先端座標を求めた。その後、二画像間のプローブ移動量よりプローブ移動速度を求めた。得られたプローブ画像例をFig.3に示す。



(a) Air to water.



(b) Water to air.

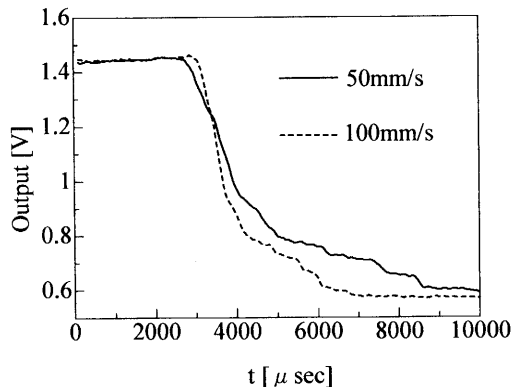
Fig.3: Typical pictures during piercing from air to water and from water to air.

2.4 プローブ信号の解析方法

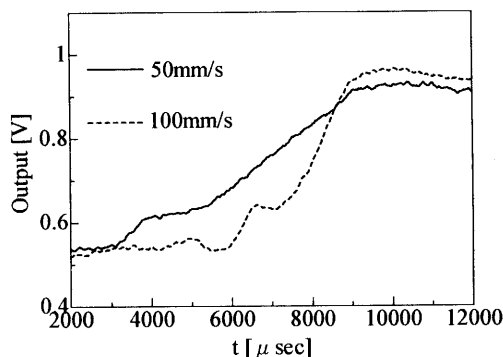
得られた信号を、信号の最小値を0%, 最大値を100%としたときの30%および70%の2つのしきい値により処理した。この2点を通過する直線を求め、信号の上昇時および下降時の傾きとした。信号の一例をFig.4に示す。

3. 実験結果及び考察

得られたプローブ速度と信号の傾き (dV/dt) との関係を図5に示す。両者の間には比例関係が認められる。これは、速度が大きくなるにつれて端面がもう一方の相に覆われる時



(a) Air to water.



(b) Water to air.

Fig.4: Typical signals obtained from a single optical fiber probe.

間が短くなり、傾きが大きくなるためと考えられる。また、プローブが空気から水に移動する方が、水から空気に移動する時よりも傾きが大きく表れている。これは、プローブにできるメニスカスによると考えられる。前者では、先端が水に触れた瞬間にメニスカスができて、端面が水に一気に覆われるために信号が鋭い落ち込みを見せる。一方、後者でもメニスカスができるが、プローブ先端に付着した液膜の排除の過程が上記よりも遅くなるために、信号が徐々に増加していく。この違いから、信号の傾き (dV/dt) が異なると考えられる。

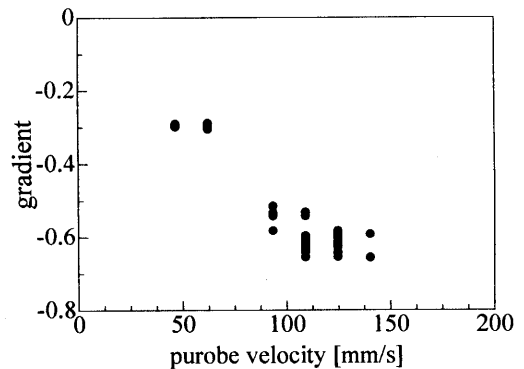
4. 結言

今回の実験によりプローブ速度とプローブ信号の傾きにはほぼ直線的な関係があることがわかった。また、高速ビデオカメラを用いた可視化撮影により、プローブの界面接触時における界面状況を捉えることができ、界面状況とプローブ信号には関係があることがわかった。

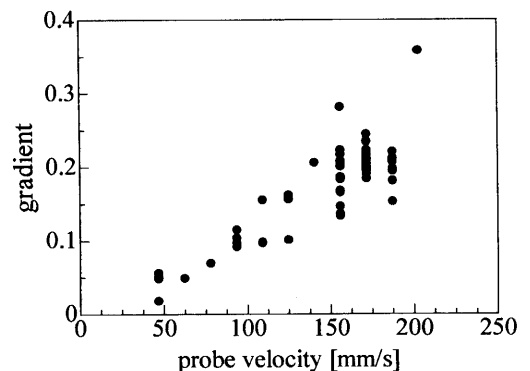
今後、水の表面張力やプローブにできるメニスカスを定量化し、プローブ信号と気液界面速度の関係を明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 齋藤他3名; *機論B編*, 1999, 65, 2619-2626.
- [2] R. F. Mudde and T. Saito; *J.F.M.*, 2001, 437, 203-228.
- [3] 齋藤, 梶島; *機論B編*, 2000, 68, 2719-2726.
- [4] 齋藤; 日本国特許第3018178, 2000.
- [5] A.Cartellier,EBarrau;*Int.J.Multiphase Flow*, 1988,24,1265-1294
- [6] A.Cartellier,EBarrau;*Int.J.Multiphase Flow*, 1988,24,1295-1315



(a) Air to water.



(b) Water to air.

Fig.5: The relationship between interfacial velocity and the gradient of probe signal