二点光ファイバプローブによる液滴計測における
プローブ先端形状の影響*羽 入 広 大^{*1}, 齋 藤 隆 之^{*2}Influences of Tip Shapes on a Two-Tip Optical Fiber Probing
in Droplets MeasurementKodai HANYU and Takayuki SAITO^{*3}^{*3} Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University,
3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561 Japan

Optical fiber probing is one of efficient and reliable measurement methods for the gas-liquid two-phase flows. We already reported the excellent performance in small or medium size bubbles/droplets measurement by using a Four-Tip Optical fiber Probe (F-TOP). In this study, we newly developed a Two-Tip Optical fiber Probe (T-TOP) for the practical purpose of tiny droplets measurement. We demonstrate the simultaneous measurement of the velocities and diameters of tiny droplets using this probe; these results are compared with those obtained from the visualization by using a high-speed video camera. As a result, the differences of measurement results in droplets velocity between T-TOP and visualization are less than 10%. The differences of measurement results in droplets diameter is less than 20%. Based on the results, we discuss the tip shape of Optical Fiber Probe (OFP) for the purpose of highly accurate measurement.

Key Words: Two-Tip Optical Fiber Probe, Gas-Liquid Two-Phase Flow, Liquid Droplet, Flow Measurement

1. 緒 言

気液二相流は、発電プラントなど、多くの工業装置で見られる。地球温暖化が深刻化しつつあり、工業装置の高効率化は喫緊の課題である。それを実現するための方法として、装置内の流動をリアルタイム計測し、最適な流動に制御することが挙げられる。それらを実現する計測方法として、光ファイバプローブ法^{(1)~(4)}が有効であり、我々は本計測手法に注目し、研究を行ってきた。本研究では二点光ファイバプローブ(T-TOP)⁽⁵⁾を用いて、発電プラントで見られる液滴速度が数百 m/s、液滴径が数百 μm の微小液滴を高精度に計測することを目的とする。さらに、プローブの先端形状が計測精度に与える影響についても考察する。

2. 光ファイバプローブ法

2.1 二点光ファイバプローブ

石英光ファイバ(直径 125 μm , コア径 50 μm , クラッド厚 37.5 μm)の先端をマイクロピペットプラーを用いて、コーン状に引き伸ばし、2本のプローブ

Fig. 1: Structure of the T-TOP.

を図1のように配置し、T-TOPを製作した。T-TOPを構成する2本のプローブのうち、突き出たプローブをTP(Top Probe)、他方をBP(Bottom Probe)とする。本研究では、プローブの先端形状が計測精度に与える影響を考察するため、2本のプローブとも先端形状がコーン状のT-TOP 1(図1(a))と先端形状が楔状で先端径が約10 μm のT-TOP 2(図1(b))を用いて実験を行った。

2.2 T-TOPの信号処理

T-TOP信号と信号処理方法の概略図を図2に示す。T-TOPの典型的な出力信号は同一液滴がTP及びBPに順次接触することにより、得られる。気液界面速度： U_D はTP、BPと液滴の接触時間差： Δt_l と、両者の軸方向距離： L_p を用いて、式(1)より算出される。

$$U_D = \frac{L_p}{\Delta t_l} \quad (1)$$

* 原稿受付 2009年9月18日。

^{*1} 学生員, 静岡大学工学研究科(〒432-8561 浜松市中区城北3-5-1)。^{*2} 正員, 静岡大学創造科学技術大学院。
E-mail: ttsaito@ipc.shizuoka.ac.jp

Fig. 2: Signal processing of the T-TOP.

Fig. 3: Experimental setup.

液滴通過弦長: L_D は液滴と TP の検出部との接触開始時間と接触終了時間の差: Δt_2 の間の液滴移動距離に等しい。よって, L_D は式(2)より算出される。

$$L_D = U_D \times \Delta t_2 \quad (2)$$

上記の信号処理により, T-TOP による液滴速度及び径の算出を行う。

3. 実験装置

本実験で使用した実験装置の概略図を図3に示す。微小液滴はイオン交換水を加圧し, オリフィスノズル(e)より噴射させることで発生させた。高速ビデオカメラ(j)と CCD カメラ(k)を用いて, 2 軸方向から液滴の運動と T-TOP の位置を可視化した。本研究では, 液滴速度と径の違いが計測精度に与える影響を考察するために, ノズル径を $150 \mu\text{m}$ と $200 \mu\text{m}$, 加圧圧力を $30 \sim 500 \text{ kPa}$ として実験を行った。出力信号用のデジタルオシロスコープ(f)と高速ビデオカメラを同期させ, プローブと微小液滴の接触を高精度に可視化撮影した。

4. 実験結果及び考察

T-TOP と可視化による液滴速度の計測結果を図4に示す。T-TOP 1 と T-TOP 2 の液滴速度の計測結果を比

較すると, T-TOP 1, T-TOP 2 と可視化結果との差異は全計測域で 10%以下と精度良く計測できた。計測結果のばらつきに関しては, 全計測域において, T-TOP 2の方が T-TOP 1 よりも小さく, T-TOP 1 より精度良く計測できていることがわかる。この違いは, プローブから漏れる光(検出部)の分布の仕方が大きく影響していると考えられる。先端形状がコーン状のプローブは, プローブの先端から約 $100 \mu\text{m}$ 後方まで, プローブから光が漏れている。一方, 先端径が $10 \mu\text{m}$ のプローブは, プローブから漏れる光は先端に集中している。そのため, 先端径が $10 \mu\text{m}$ のプローブは, 先端形状がコーン状のプローブよりも, 液滴が検出部を完全に覆うまでの時間が短く, 出力信号の傾きは鋭くなる。出力信号の傾きが鋭い方が, 液滴とプローブの接触開始・終了時間の判断が容易であるため, 出力信号から算出する接触時間差の算出誤差が小さくなり, 計測精度向上に繋がった。

5. 結 言

本研究では, 液滴速度が $5 \sim 30 \text{ m/s}$, 液滴径が $200 \sim 500 \mu\text{m}$ の液滴計測を行った。液滴速度計測に関して, 可視化結果との差異は, 全計測域で 10%以内である。これより, 本計測手法による高速で運動するサブミリ液滴計測の有効性を示している。プローブの先端形状が計測結果に与える影響として, プローブの先端に漏れた光が集中しているプローブほど液滴とプローブの接触開始時間などの判断が容易で, 計測精度が向上することがわかった。

Fig. 4: Measurement results of the T-TOP.

文 献

- (1) T. Saito and R. F. Mudda, *ICMF*, in CD-ROM(2004).
- (2) T. Saito, M. Kitamura, T. Kajishima and H. Hatano, *Japan Soc. Mech. Eng. B65* 2619-2715(1999).
- (3) T. Saito, Japanese Patent No. 3018178(2000).
- (4) T. Saito, K. Matsuda, S. Oishi and S. Aoshima, *Meas. and Sci. Technol.*, *IOP*, in print(2009).
- (5) T. Saito, K. Matsuda, Y. Ozawa, *ICONE*, in CD-ROM(2009).