



単一光ファイバプローブを用いた微小気泡・液滴計測時のプレシグナル/ポストシグナル検知による接触位置判定法

Newly developed method for determining a touch position in sub-millimeter bubble/droplet measurement via a Single-Tip Optical fiber Probe

水嶋 祐基
(Yuki MIZUSHIMA)
静岡大学大学院
(Shizuoka University)

齋藤 隆之
(Takayuki SAITO)
静岡大学大学院 兼 静岡大学工学部
(Shizuoka University)

An optical fiber probe is a very useful device for bubble/droplet measurement of gas-liquid two-phase systems in engineering fields. To measure a sub-millimeter-size or micrometer-size bubbles/droplets, we already developed a Single-Tip Optical fiber Probe (S-TOP). In this study, we rapidly improve the measurement accuracy of the S-TOP. A difficult problem to overcome in the S-TOP measurement is the position which the S-TOP has pierced bubbles/droplets. A pre-signal/post-signal is one of the noises for the S-TOP measurement; however, by using this, we can effectively discriminate the "bubbles/droplets"-S-TOP interaction. Analyzing the properties of the pre-signal/post-signal, we propose a method to detect the touch position. As a result, the difference for the bubble/droplet chord length measurement between the visualization and the S-TOP decreases from 50/30 % to 20/10 % (random error).

Keywords: Single-Tip Optical fiber Probe, Gas-liquid two phase flow, Bubble, Droplet, Measurement accuracy, Pre-signal, Post-signal, Touch position

1. はじめに

気液二相流は蒸気タービン、内燃エンジン、工業プラントなどで広く見られる複雑流動現象である。これら装置の高い効率、安全性を確保するためには、装置内の物質拡散・伝熱の面で最適な流動状態であるかをリアルタイムでモニタリングする必要がある。そこで我々は、装置内の気泡・液滴の流動状態を実時間計測可能な「光ファイバプローブ (OFP) 法^{(1)~(13)}」を独自に開発し、その有効性を示してきた。OFPは接触計測であり、高い時間分解能と即応性から、気泡・液滴の径、速度および数密度をリアルタイムかつ同時に計測することが可能である。また、単一光ファイバプローブ (S-TOP)^{(1)~(4)}の先端を微細に加工することで、水・水蒸気二流体ノズル内の液膜厚さとその変動振幅の計測が可能となる⁽²⁾。S-TOPは構造が単純な上、汎用性に優れたOFPである。

本稿では従来のOFP法を一新し、微小気泡・液滴計測の高精度化に極めて有効な手法を提案する。我々のS-TOPは他のOFPと異なり、先端を楔形に加工している。この楔形面から生じる出力信号の時間変化率から、気泡・液滴接触時の速度を算出する。これにより多点プローブでは構造上困難であった、サブミリ~数十マイクロオーダーの気泡・液滴計測を実現した。しかし計測点が単一であるため、S-TOPと気泡・液滴との接触位置・角度が計測結果に大きな影響を与える。この接触条件と計測精度との関係は、OFPを扱う限り宿命的な問題であった。

我々は、従来のOFP計測^{(9)~(12)}には、「出力信号の定量的な考察が欠如している」と考えている。これまでのOFP計測は気

泡・液滴接触によるON/OFF信号のみが注目され、それ以外はノイズとして除去されてきた。我々はこれらノイズ信号に着目し、その出力値および発生条件からOFP計測の高精度化を実現できると考えている。S-TOPが気泡・液滴に対して液相から気相へ貫入する際に特徴的な信号(プレシグナル^{(3),(4)}・ポストシグナル)が発生する。この、プレシグナル・ポストシグナルはOFP計測時のノイズとして扱われてきた。しかし、これらの信号の大きさは気泡・液滴との接触位置・角度に依存する重要な特性を有している。すなわち、プレシグナル・ポストシグナルの大きさから気泡・液滴とS-TOPとの接触条件を判定することができる。

本稿ではまず、S-TOPによるミリ~サブミリオーダー径の気泡・液滴計測時のプレシグナル・ポストシグナルの特性を実験的に明らかにする。続いてこれらを用い、S-TOPの計測精度を大幅に向上できることを示す。

2. 単一光ファイバプローブ (S-TOP)

2.1 光ファイバプローブ (OFP) の計測原理

この章では、OFPによる相検出の原理について論ずる。OFPは、気相と液相の屈折率の違いにより生じる光の反射量の変化(スネルの法則)を利用した計測法である。Fig. 1にOFPの計測原理の概略を示す。

光ファイバーは光を伝播する「コア」と、コアよりも僅かに屈折率の小さい「クラッド」、光ファイバーを保護する被膜の三層で構成される。光ファイバーの一方から光を入射させると、光はクラッドとコアの界面で全反射を繰り返しながら進み、光ファイバーの他方の端面(センサー部)に達する。今、セン

一部がコアの屈折率に近い液相に覆われているとき、光は両者の屈折率差・先端形状に応じて、その多くが端面を透過し液相に抜ける。一方、プローブ端面が気相中にあるとき、スネルの法則に基づき全反射角が変化し、液相中の場合に比べて戻り光量が増加する。OFPは、戻り光量の強弱を検知し、センサー部分を覆う相を判別して、気泡・液滴計測を行う計測手法である。

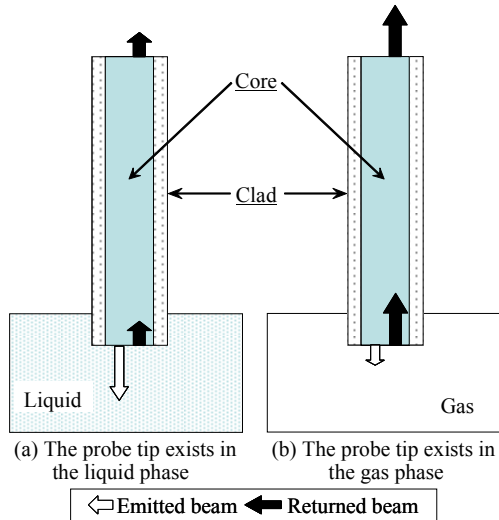
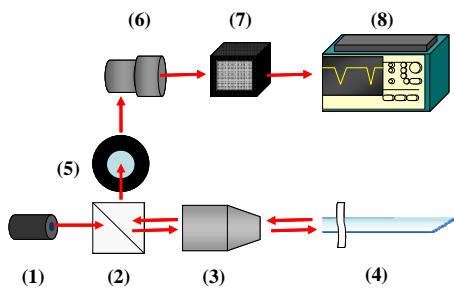


Fig. 1 Principle of the OFP

2.2 OFPの計測システム

OFP法に用いる光学系の概略をFig. 2に示す。光源には半導体レーザー(波長635nm)(1)を用いる。そのレーザー光を、ビームスプリッター(2)を介して対物レンズ(3)によってファイバー端面に集光させ、光ファイバープローブ(4)に入射させる。入射した光は、光ファイバー内を伝播し、光ファイバーの他端(センサー部)に到達する。センサー部で反射した光は同一ファイバーを逆進し、ビームスプリッターにて方向を変える。その後、偏光板(5)を通過することでセンサー部からの反射光のみが光電子増倍管(6)にて検出される。反射光は光電子増倍管にて光電変換後、アンプ(7)を通してレコーダー(8)にて電圧信号として検出する。



- (1)Laser diode, (2)Beam splitter, (3)Objective lens,
- (4)Optical fiber probe, (5)Polarizer,
- (6)Photo multiplier, (7)Amplifier, (8)Recorder

Fig. 2 Optics for the OFP

2.3 単一光ファイバープローブ (S-TOP)

Fig. 3に本研究で使用したS-TOPを示す。光ファイバー(合成石英, コア径190 μm , クラッド厚5 μm , ジャケット厚15 μm)を引張加工後, 先端を35°の楔状に研磨した。先端径は60 μm である。

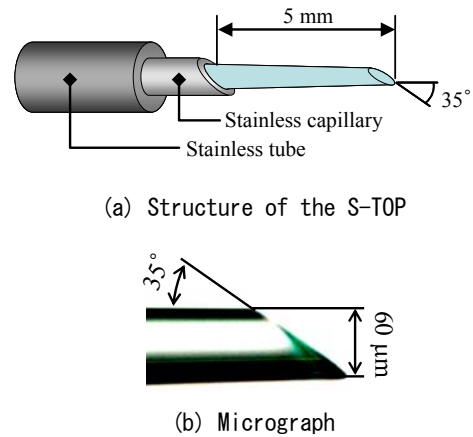


Fig. 3 Schematic of the S-TOP

3. 出力信号と信号処理

3.1 プレシグナル

気泡計測と液滴計測で得られた典型的なS-TOP信号と信号処理方法の概略をそれぞれFig. 4, Fig. 5に示す。気泡計測・液滴計測の両方の出力信号で、プローブが液相から気相へ気液界面を貫く直前に特徴的な信号(プレシグナル・ポストシグナル)が現れていることがわかる。これはプローブの検出部から透過した光が気液界面で反射することによる。この反射光がプローブの検出部分に再び入射するため、出力信号が一時的に増加する。また、S-TOP先端が気液界面に接触する際、プレシグナル・ポストシグナルの大きさが最大になる。

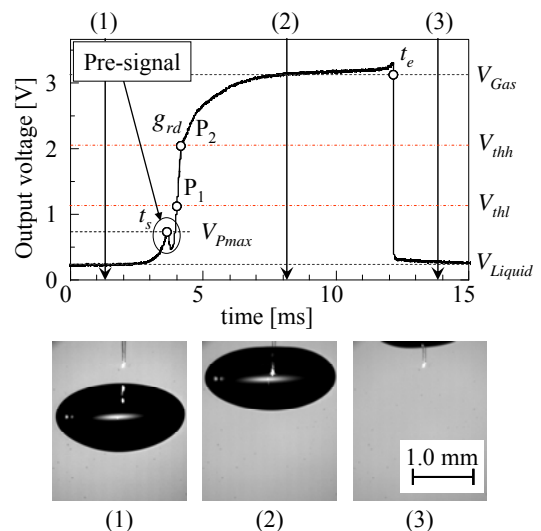


Fig. 4 Typical output signal in a bubble measurement delivered from the S-TOP

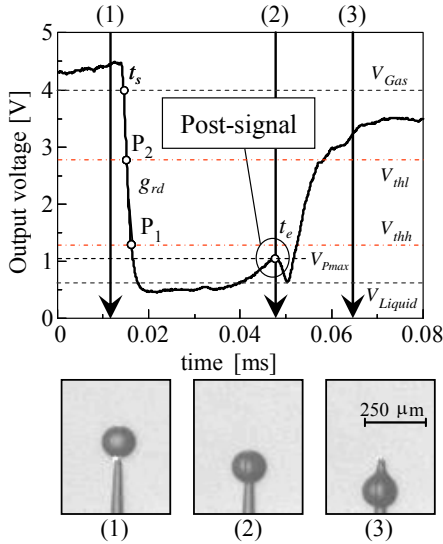


Fig. 5 Typical output signal in a droplet measurement delivered from the S-TOP

3.2 S-TOP の信号処理

S-TOP が気泡・液滴と接触する時、楔状先端端面を気液界面が横切る。この気液界面速度に応じて、相検出の際の出力信号の傾きが変化する。つまり、気液界面速度と出力信号の時間変化率との間には比例関係がある。S-TOP による計測では、この関係をあらかじめ比例係数として求め、出力信号の傾きから気液界面速度を求める。

まず、出力信号に対して 25 点移動平均平滑化処理後、ヒストグラム法⁽¹²⁾を用いて気相レベルの出力電圧値： V_{Gas} と、液相レベルの出力電圧値： V_{Liquid} を決定する。ここで、 V_{Gas} を 100%， V_{Liquid} を 0%として、低閾値： V_{thl} ，高閾値： V_{thh} を決定する。さらに、出力信号と両閾値との交点 P_1 ， P_2 間における最大変化率を信号の傾き g_{rd} とする。 g_{rd} は(1)式により定義される。

$$g_{rd} = \left(\frac{dV}{dt} \right) \frac{1}{(V_{Gas} - V_{Liquid})} \quad (1)$$

気泡・液滴の速度： U は、気液界面貫入実験より事前に求めた信号の傾きと気液界面速度との比例関係 α と(1)式より算出された出力信号の傾き g_{rd} から求める。(2)式で定義される。

$$U = \alpha \cdot g_{rd} \quad (2)$$

次に、プレシグナル・ポストシグナルのピーク位置を気泡(液滴)接触開始(終了)時刻： t_s (t_e)、二点の閾値より求まる信号の立下がり時の直線と V_{Gas} との交点を気泡(液滴)接触終了(開始)時刻： t_e (t_s)とし、気泡(液滴)通過時間： $(t_e - t_s)$ を得る。気泡・液滴の弦長： L は気泡(液滴)通過時間と(2)式より算出した U より求める。(3)式で定義される。

$$L = U \cdot (t_e - t_s) \quad (3)$$

3.3 プレシグナル・ポストシグナルの信号処理

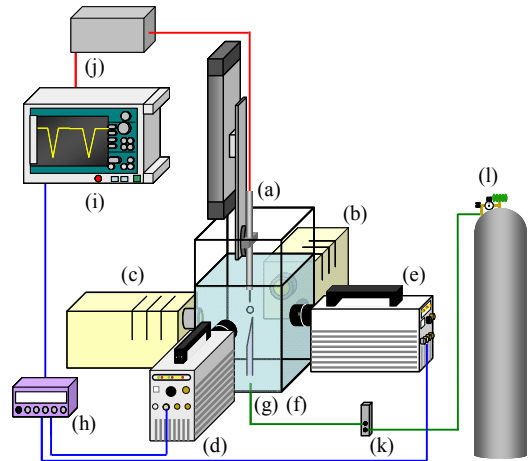
本研究では、プレシグナル・ポストシグナルの無次元強度： V_P を V_{Gas} ， V_{Liquid} ，プレシグナル・ポストシグナルの最大出力電圧値： V_{Pmax} を用いて、以下の式で定義する。

$$V_P = \frac{(V_{Pmax} - V_{Liquid})}{(V_{Gas} - V_{Liquid})} \quad (4)$$

4. 実験装置と実験条件

4.1 気泡計測

実験装置の概略図を Fig. 6 に示す。150×150×300 mm³の亚克力水槽(f)にイオン交換水を満たした。ガスボンベ(l)から純空気を微小流量計(k)を介して、注射針(27G)(g)に送り込み、一定の間隔で単一気泡を発生させた。気泡が鉛直上昇しながら S-TOP に接触するように、S-TOP(a)の位置を注射針先端から約 20 mm 上部に設置した。



(a) S-TOP, (b) Halogen light source 1, (c) Halogen light source 2, (d) High-speed video camera 1, (e) High-speed video camera 2, (f) Acrylic water vessel, (g) Needle, (h) Function generator, (i) Recorder, (j) Optical system, (k) Flow meter, (l) Cylinder

Fig. 6 Experimental apparatus for the bubble measurement

4.2 気泡計測の実験条件

Fig. 7 に気泡計測における S-TOP の向きと、計測位置を示す。同図に示すように計測位置を気泡の中心を基準とし、気泡の長軸方向長さの 0%(case 1)，±10%(case 4, case 5)，±30%(case 3, case 6)，±45%(case 2, case 7)とし、プレシグナルが発生する計測領域を定量的に特定した。その計測過程を 2 台の高速ビデオカメラ(d),(e)を用いて 2 方向から可視化(フレームレート：5000 fps, 画像サイズ：2800×2800 μm²)し、気泡と S-TOP の接触位置を特定する。さらに、S-TOP の出力信号と高速ビデオカメラをファンクションジェネレータ(h)を用いて同期させた。

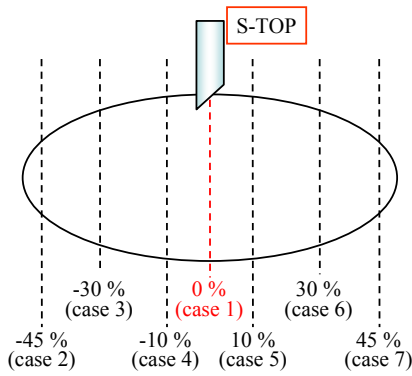


Fig. 7 Experimental condition for the pre-signal

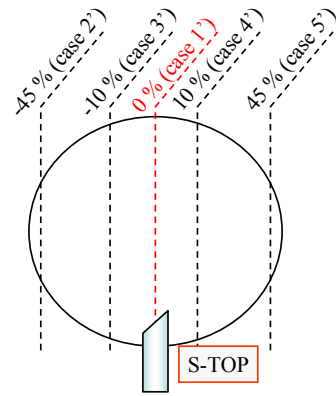
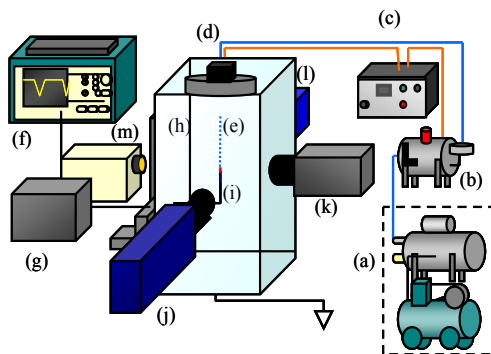


Fig. 9 Experimental condition for the post-signal

4.3 液滴計測

液滴計測に使用した実験装置の概略図を Fig. 8 に示す. 実験装置は, 微小液滴と S-TOP を接触させるため, S-TOP を 3 軸ユニット(h)に設置し, 精密にその位置を制御した. 液滴は, 加圧したイオン交換水を微小直径液滴ノズル(e)により噴射させることで連続的に発生させた. 本研究ではプローブの先端をノズル下方約 80 mm の位置に設置し, 微小液滴と接触させた. 本研究の実験条件はノズル径を 200 μm , 加圧圧力を 100 kPa とし, 液滴計測におけるプレシグナルの観察を行った. また, レコーダーと高速ビデオカメラ(j), (l)を同期させ, S-TOP と微小液滴の接触を可視化撮影(フレームレート: 200000 fps, 画像サイズ: 480 \times 1080 μm^2)し, レコーダーより得られる S-TOP の出力信号と可視化画像をそれぞれ対応できるようにした.



(a) Pressurization, (b) Water tank, (c) Pressure controller, (d) Electromagnetic valve, (e) Nozzle, (f) Oscilloscope, (g) Optical system, (h) 3-axis unit, (i) S-TOP, (j) High-speed video camera 1, (k) High-speed video camera 2, (l) Strobe light, (m) Halogen light source

Fig. 8 Experimental apparatus for the droplet measurement

4.4 液滴計測の実験条件

液滴計測の S-TOP の向きと, 計測位置を Fig. 9 に示す. 計測位置は液滴の中心を基準とし, 液滴の長軸方向長さの 0 % (case 1), ± 10 % (case 3, case 5), ± 45 % (case 2, case 4) の位置とし, ポストシグナルが発生する計測領域を定量的に特定した. 液滴と S-TOP との接触位置・計測過程は 2 台の高速ビデオカメラ(d),(e)を用い, 2 方向から可視化して特定した.

5. 実験結果及び考察

5-1 気泡計測

5.1.1 出力信号とプレシグナル S-TOP と気泡の接触位置ごとの典型的な出力信号と対応する可視化画像を Fig. 10 に示す. S-TOP と気泡の接触位置の違いで S-TOP の出力信号の形状が異なっていることが分かる. まず, case 1 (Fig. 10 (a)) の場合, S-TOP が気泡に接触する直前にプレシグナルが顕著に見られる. プレシグナルの最大無次元出力電圧値の大きさ V_P はおよそ 0.2 である. 次に case 6 (Fig. 10 (b)) では, case 1 の信号に比べて, プレシグナルが発生していないことが分かる. ただし, 気泡を検出したことによる信号形状は, 矩形波を保っている. case 7 (Fig. 10 (c)) の場合, 気泡を検出したことによる気相レベルの出力電圧値が安定せず, 気泡径・速度の算出が困難である. 従って, 気泡を検出する上で有効な信号が得られる S-TOP 接触位置の範囲は, 気泡中心部より ± 30 % 以内である. この範囲内での気泡短軸長と S-TOP 計測による気泡通過弦長の計測結果を Table 1 に示す. 同表より, 気泡信号として検出される接触範囲 ± 30 % 以内において短軸長と通過弦長との差異は最大で 50 % の過小評価となる.

なお, 同表において気泡中心に S-TOP が接触時 (0 %), 短軸長の過大評価が生じる. これはファイバーの親水性に起因する, S-TOP 計測時の接触影響による偏り誤差である. Vejražka らによると, S-TOP が気泡と接触中に, 気泡界面が凹型に変形, 気泡上昇速度が減速する⁽⁸⁾. その結果プローブの気泡滞在時間が大きくなり, L_b が過大評価をきたす. これは気泡の慣性力が, 自身の表面張力によってプローブから受ける力で一部打ち消されることによる. この効果の大小は気泡径・プローブ先端径によって一意に決まる. Fig. 11 に S-TOP が気泡接触時の様子を示す. 同図より気泡界面が大きく変形している様子が見て取れる. S-TOP による界面速度計測時(プローブ先端面に接触直後)はこの効果が小さいため, 速度算出にはほとんど影響しない.

続いて, Fig. 12 に S-TOP と気泡との接触位置ごとのプレシグナルの大きさを示す. 同図より, 接触位置が気泡中心部 (case 1) の時, プレシグナルの大きさ V_P は最大となる. 一方, 接触位置が気泡端近く (case 6, case 7) になるごとにプレシグナルの大きさ V_P は減少する. これは, プレシグナルが気液界面での表面反射によることに起因する.

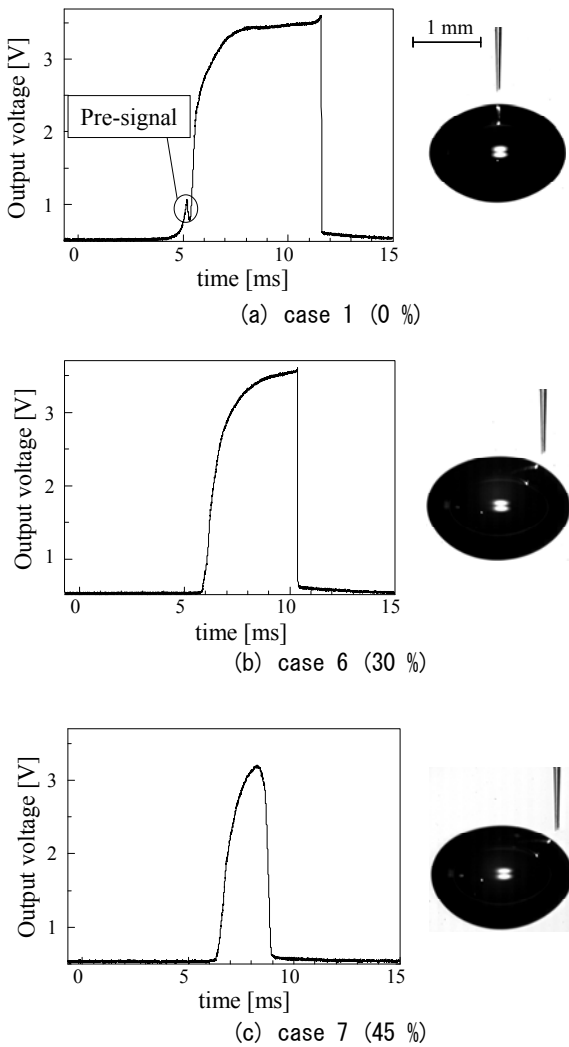


Fig. 10: Typical output signals in the bubble measurement

Table 1 Bubble chord length measurement result

	L_b [mm]	L_{minor} [mm]	Difference [%]
0 %	1.65	1.54	7
10 %	1.29		-16
30 %	0.81		-47
45 %	-		-

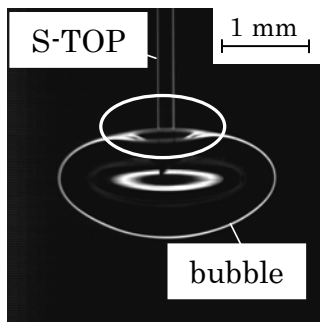


Fig. 11: Visualization of the bubble deformation during the S-TOP piercing

Fig. 13 に S-TOP 先端から水中へ透過する光を可視化したものを示す. 気泡中心付近 (0 %, 同図 (a)) に S-TOP が接触した場合, 気泡界面で反射した光の方向成分は S-TOP 軸方向のみである. 一方, 気泡端近く (45 %, 同図 (b)) に接触した場合は, S-TOP 軸方向以外に反射光が向いている. この違いが, 各接触位置のプレシグナルの大きさの違いに寄与している.

5.1.2 気泡計測でのプレシグナルによる接触位置判定
S-TOP による気泡通過弦長の計測では, 弦長が気泡短軸長に等しいほど, 気泡径を精度良く算出できる. ゆえに, S-TOP が気泡中央付近に接触している場合を理想的な接触条件とする. 先ほどの結果より, 気泡径・速度を算出可能な S-TOP の接触位置の範囲は, 気泡短軸を中心として, 長軸方向長さの ± 30 % 以内である. この場合の気泡短軸長と S-TOP 通過弦長の差異は最大で 50 % である. この接触位置のずれにより生じる計測誤差は, 接触位置が気泡ごとに不規則に変化するため, 取り除くことが難しい. この問題を低減するために上記のプレシグナルの特性を利用した S-TOP と気泡の接触位置判定を行う.

気泡計測結果から, Fig. 12 に示すように気泡中央でのプレシグナルの大きさが他の接触位置に比べて大きい. そこで, プレシグナルの最大電圧値 $V_p = 0.15$ を閾値として, $V_p \geq 0.15$ のプレシグナルを含む信号のみを抽出する. この信号処理を行うことで, S-TOP が気泡中心付近 (気泡の短軸から少なくとも長軸方向長さの ± 10 % 以内) に接触した場合の信号のみを簡便かつ確実に抽出することができる. この時 Table 1 から, 気泡中心計測時の通過弦長と短軸長との差異は偏り誤差であることから, ランダム誤差はおおよそ 20 % となる.

本手法は幾何形状が比較的安定な球等径 5 mm 未満の気泡に対し有効である. ただし, 球等径 1 mm 以下の気泡は, 慣性力に対し表面張力が大きいため, S-TOP が刺さらず接触計測が難しい. 従って気泡計測において本手法が適用可能な気泡径は 1~5 mm (球等径) である.

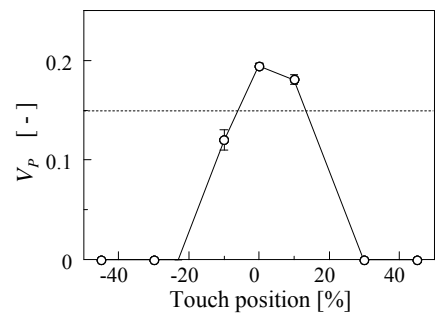
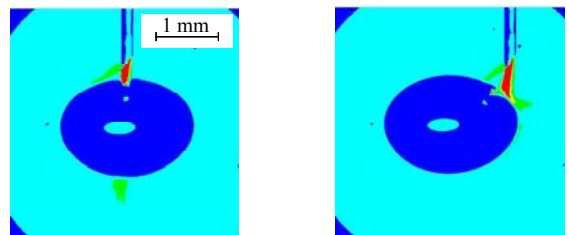


Fig. 12: Comparison of V_p at respective touch positions



(a) case 1 (0 %) (b) case 7 (45 %)

Fig. 13: Visualization of the discharged beams from the S-TOP tip in water

5-2 液滴計測

5.2.1 出力信号とポストシグナル Fig. 14 に液滴計測で得られた典型的な S-TOP の出力信号と対応する可視化画像を示す。S-TOP と液滴の接触が終了する直前に一時的な電圧上昇（ポストシグナル）が見られる。液滴計測の場合は気泡計測と異なり、液滴が接触を終了する際に S-TOP のセンサー部分が液相から気相へ貫入する。ゆえにポストシグナルは液滴との接触終了間際に発生する。次に、接触位置の違いによる出力信号の形状の違いについて考察する。まず液滴中心に S-TOP が接触（0 %、同図(a)）した場合、ポストシグナルの大きさ V_P は全条件の中で最大となる。一方、S-TOP の接触位置が少しでも中心からずれると（10 %、同図(b)）、ポストシグナルが発生しない。ただし、液滴を検出したことによる信号形状は比較的矩形波を保っている。さらに case 5' (Fig. 14 (c)) の場合では、ポストシグナルが見られない。液滴を検出したことによる信号形状が矩形波から大きく崩れている。実験の結果、S-TOP 液滴計測において有効な信号が得られる S-TOP の接触位置の範囲は、液滴中心より ± 30 %以内であることが分かった。この範囲内での液滴短軸長と S-TOP 計測による気泡通過弦長の計測結果を Table 2 に示す。同表より、液滴信号として検出される範囲内での液滴短軸長と S-TOP 計測による液滴通過弦長の差異は最大で 30 %である。

なお、同表において液滴中心に S-TOP が接触時（0 %）、短軸長の過小評価が生じる。これは気泡計測と同様、S-TOP 計測時の接触影響による偏り誤差である。Fig. 15 に S-TOP 先端側面が液滴界面に覆われる様子を示す。同図より、液滴界面は親水性のファイバー側面へわずかに引張られている。S-TOP と液滴の接触が進むにつれ、液滴上界面の速度が増加、プローブの液滴滞在時間が小さくなり、 L_d が過小評価をきたす。この効果の大小は液滴径・プローブ先端径によって一意に決まる。S-TOP による界面速度計測時（プローブ先端面に接触直後）はこの効果が小さいため、速度算出にはほとんど影響しない。

次にポストシグナルの接触位置ごとの違いに注目する。先の実験結果より、S-TOP による液滴計測時のポストシグナルは、気泡計測時のプレシグナルと比較して接触位置ごとの大きさの違いが顕著であることが分かった。これは気液界面の曲率が影響していると考えられる。Fig. 13 より、プレシグナル・ポストシグナルは、S-TOP に対して気液界面が平坦であるほど大きく出力される。すなわち、接触位置ごとのプレシグナル・ポストシグナルの大きさの違いは、気液界面の曲率の大小によって決定される。例えば、球等径 5 mm 未満の気泡形状は扁平楕円体であり、中心付近での界面の曲率の違いは小さい。ゆえに、接触位置が多少中心からずれても界面での反射方向は変わらず、プレシグナルの値も大きく変わらない。一方、液滴計測時の液滴形状はほぼ球形であり、中心付近での界面の曲率変化は気泡よりも大きい。そのため、接触位置が中心から少しでも離れると、即座に表面反射の方向が変わり、ポストシグナルが発生しなくなる。この点が、液滴中心（0 %）では顕著だったポストシグナルが、中心付近（10 %）では発生しなくなった理由である（Fig. 16）。

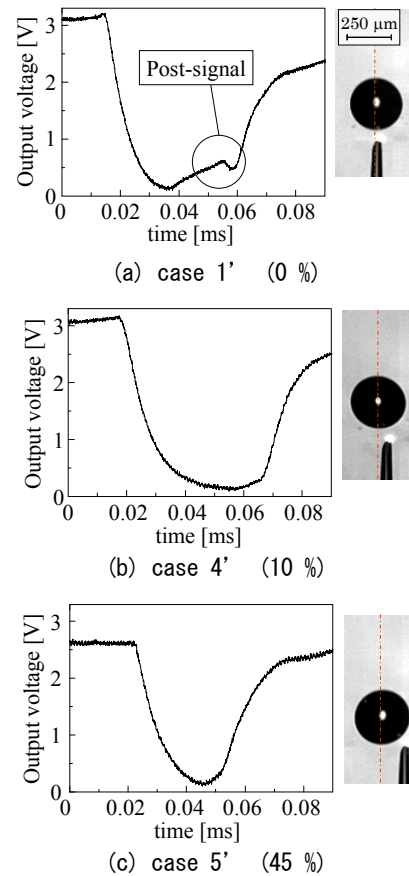


Fig. 14: Typical output signals in the droplet measurement

Table 2 Droplet chord length measurement result

	L_d [μm]	L_{minor} [μm]	Difference [%]
0 %	398	415	-4
10 %	353		-15
30 %	290		-30
45 %	-		-

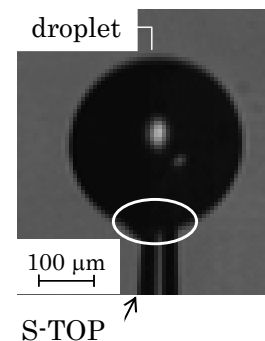


Fig. 15: Visualization of the S-TOP piercing a droplet

5.2.2 液滴計測でのポストシグナルによる接触位置判定
気泡通過弦長の計測と同様、液滴通過弦長の計測もまた、S-TOPが液滴の中心を貫くことが計測上望ましい。しかし、信号形状だけでは理想的な接触条件を抽出することは不可能である。

本節ではポストシグナルの特性を利用し、S-TOPと液滴の接触位置判定法を以下に示す。まず、ポストシグナルは先の実験結果より液滴のごく中心付近($\pm 5\%$)で現れる。そこで、得られた信号の中でポストシグナルが顕著に発生している場合のみを抽出する。この方法を用いることで、S-TOPが液滴の中心付近($\pm 5\%$)以内に接触した場合の信号のみを簡単かつ確実に取得できる。この時Table 2から、液滴中心計測時の通過弦長と短軸長との差異は偏り誤差であることから、ランダム誤差はおおよそ10%となる。ただし、液滴計測においては液滴の運動方向がプローブと平行でない場合が考えられる。この場合は、ポストシグナルに加え信号形状に着目する。液滴の運動方向が平行でないほど、液滴計測時の信号形状はFig. 14(c)のように液相レベルが安定せず矩形波から大きく崩れる。そこでポストシグナルが現れながら、形状が矩形波から崩れた信号が現れた場合、液滴径・速度計測には不要な信号として除去する。

以上がプレシグナル・ポストシグナルを用いた接触位置判定法である。従来の研究では気泡・液滴をOFPによって多数計測し、それらの結果を統計処理することで接触位置による計測の不確かさを低減してきたが、根本的な解決には至っていない。プレシグナル・ポストシグナルの発生に関しても幾つか報告があるものの、単なるノイズとして処理されてきた。しかし、プレシグナル・ポストシグナルの大きさは気液界面の局所の曲率・傾きに依存することが明らかになった。ゆえに界面形状が比較的安定な微小液滴・気泡の計測において、この接触位置判定法は非常に有効な手法と言える。

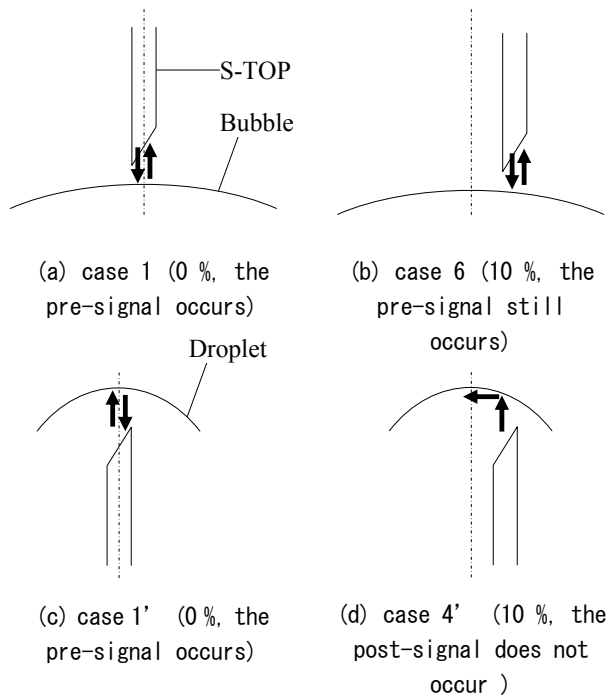


Fig. 16: Effect of the interface curvature on the pre-((a), (b))/post-((c), (d))signal

6. 結言

本稿では、S-TOPと気泡・液滴の接触位置ごとのプレシグナル・ポストシグナルの大きさを実験的に解明した。

気泡計測では、S-TOPが気泡の中心部分に接触した場合、プレシグナルの出力電圧値が最大となる。また、S-TOPと気泡の接触位置が中心から離れるほど、その値は小さくなる傾向がある。このプレシグナルを用いた処理方法により、可視化による気泡短軸長とS-TOP計測による通過弦長とのランダム誤差は50%から20%まで低減できることが分かった。

また、液滴計測では、S-TOPが液滴の中心付近に接触した場合のみ、ポストシグナルが顕著に現れることが分かった。このポストシグナルのON/OFFを用いることで、気泡計測と同様、可視化結果とS-TOP計測結果のランダム誤差を10%まで低減することが可能である。

文 献

- (1) 齋藤隆之：日本国特許, No. 3018178 (2000)
- (2) 三橋佑規, 齋藤隆之：光ファイバプローブによる水・水蒸気二流体ノズル内の液膜計測, 日本冷凍空調学会論文集, 27-2 (2010), 149-160
- (3) 水嶋祐基, 齋藤隆之：プレシグナルを用いた光ファイバプローブ気泡計測における接触位置判定法, レーザ研究, 39-6 (2011), 432-439
- (4) Saito, T., Matsuda, K., Ozawa, Y., Oishi, S., Aoshima, S. :Measurement of tiny droplets using a newly developed optical fibre probe micro-fabricated by a femtosecond pulse laser, Measure. Sci. Tech., 20 (2009), 114002
- (5) Hanyu, K. and Saito, T. :Dynamical Mass Transfer Process of a CO2 Bubble Measured by LIF/HPTS Visualization and Photoelectric Probing, Can. J. Chem. Eng., 88 (2010), 551-560
- (6) Sakamoto, A. and Saito, T. :Robust algorithms for quantifying noisy signals of optical fiber probes employed in industrial-scale practical bubbly flows, Int. J. Multiph. Flow, 41(2012), 77-90
- (7) Cartellier, A. and Barrau, E. :Monofiber optical probes for gas detection and gas velocity measurements: conical probes, Int. J. Multiph. Flow, 24(1998), 1265-1294.
- (8) Vejražka, J., Večeř, M., Orvalho, S., Sechet, P., Ruzicka, M. C., and Cartellier, A. :Measurement accuracy of a mono-fiber optical probe in a bubbly flow, Int. J. Multiph. Flow 36(2010) 533-548.
- (9) Cartellier, A. :Optical probes for local void fraction measurements: Characterization of performance, Review of Scientific Instruments, 61(1990), 874-886.
- (10) Clark, N. N. and Turton, R. :Chord length distributions related to bubble Size distributions in multiphase flows, Int. J. Multiph. Flow, 14(1988), 413-424
- (11) Liu, W., Clark, N. N., Karamavruc, A. I. :Relationship between bubble size distribution and chord-length

distribution in heterogeneously bubbling systems, Chem. Eng. Sci., 53(1998), 1267-1276

(12) Wu, Q., Welter, K., McCreary, D., Reyes, J.N. : Theoretical studies on the design criteria of

double-sensor probe for the measurement of bubble velocity, Flow Meas. Instrum., 12(2001), 43-51

(13) 坂本明洋, 武石芳明, 齋藤隆之 : 日本国特許, No. 2006-226703 (2006)



水嶋祐基
静岡大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士1年
〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
Tel & Fax:053-478-1762
f0130065@ipc.shizuoka.ac.jp
略歴：2011年静岡大学工学部卒。

同年静岡大学大学院工学研究科機械工学専攻入学。光ファイバプローブの微細加工，光ファイバプローブを用いた微小液滴・気泡の径・速度同時計測，レーザー技術(LDV・光ファイバプローブ)を用いた混相流動流動の解明，光・電気複合センサーによる酸性雨計測(環境計測への応用)，光・温度複合センサー(人体の血流計測への応用)の開発に従事。2011年日本機械学会若手優秀講演フェロー賞，同年日本混相流学会学生優秀講演賞，同年日本液体微粒化学会優秀講演賞。



齋藤隆之
教授，静岡大学創造科学技術大学院エネルギーシステム部門長
〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
Tel & Fax:053-478-1601
ttsaito@ipc.shizuoka.ac.jp
略歴：1978年東北大学工学部卒。

1979年東北大学大学院工学研究科博士前期課程中退(国家公務員試験上級職甲種試験合格のため)。同年通商産業省工業技術院資源環境技術総合研究所(現産業技術総合研究所)研究員。1995年同海底工学研究室長。2000年静岡大学工学部教授。混相乱流のメカニズム解明，混相流の環境・エネルギー技術への応用，混相流のレーザー(フェムト秒レーザー)応用計測，光導波路のセンサー応用(環境計測)の研究に従事。2001年日本機械学会フロンティア賞，2004年化学工学会粒子・流体プロセス賞，2006年文部科学大臣表彰・研究功績賞，2010年英国物理学会 Measurement Science and Technology 誌最優秀論文賞，2010年日本混相流学会技術賞，2011年日本冷凍空調学会学術賞ほか。日本機械学会フェロー。