

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-226703

(P2006-226703A)

(43) 公開日 平成18年8月31日(2006.8.31)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 N 21/17 (2006.01) GO 1 N 21/17 B 2 GO 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-37501 (P2005-37501)	(71) 出願人	000002118 住友金属工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(22) 出願日	平成17年2月15日 (2005.2.15)	(71) 出願人	304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
		(74) 代理人	100108800 弁理士 星野 哲郎
		(74) 代理人	100101203 弁理士 山下 昭彦
		(74) 代理人	100104499 弁理士 岸本 達人
		(72) 発明者	坂本 明洋 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

最終頁に続く

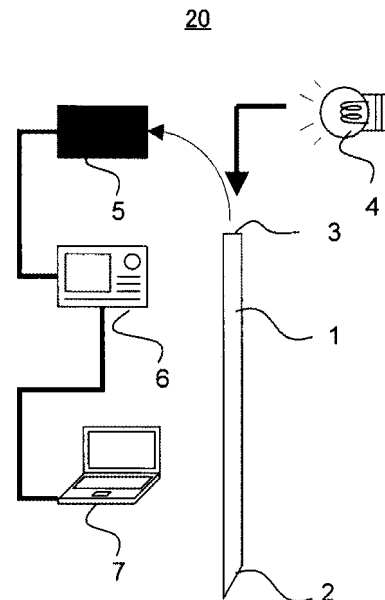
(54) 【発明の名称】 光ファイバーを利用した屈折率の異なる光透過性流体の混相流動状態の計測方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバースローブにより得られた計測信号から、屈折率の異なる光透過性流体の混相流動状態に関する情報を高精度に把握することが可能な測定方法及びその装置を提供する。

【解決手段】 軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーと、傾斜する端面とは反対側の端面から光ファイバー内に光を入射する光源と、光のうち傾斜する端面で反射された光を反対側の端面から検出して電気信号に変換する光検出器と、電気信号を所定の時間に区分して、その区分内の検出出力に関するヒストグラムを求め、その最大頻度及び準最大頻度に対応する検出出力を抽出するとともに、これら抽出された検出出力から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値とを比較することにより傾斜する端部が二相のいずれに接しているかを判定する処理を少なくともも行い得る演算装置と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光透過性を有し、かつ異なる屈折率を備えた二相の、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、前記一方の相と他方の相との体積率を、同時に計測しうる方法であって、

軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーを、該端面を前記二相の移動する方向の上流側に向けて配置する工程と、

前記傾斜する端面とは反対側の端面から前記光ファイバー内に光を入射する工程と、

前記光のうち、前記傾斜する端面で反射された光を前記反対側の端面から検出して電気信号に変換して蓄積する工程と、

前記電気信号を所定の時間ごとにその最大値及び最小値を抽出するとともに、該最大値、及び最小値から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値とを比較することにより、前記傾斜する端部が前記二相のいずれに接しているかを判定する工程と、

を含む計測方法。

【請求項 2】

光透過性を有し、かつ異なる屈折率を備えた二相の、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、前記一方の相と他方の相との体積率を、同時に計測しうる方法であって、

軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーを、該端面を前記二相の移動する方向の上流側に向けて配置する工程と、

前記傾斜する端面とは反対側の端面から前記光ファイバー内に光を入射する工程と、

前記光のうち、前記傾斜する端面で反射された光を前記反対側の端面から検出して電気信号に変換して蓄積する工程と、

前記電気信号を所定の時間に区分して、その区分内の検出出力に関するヒストグラムを求め、その最大頻度及び準最大頻度に対応する検出出力を抽出するとともに、これらの検出出力から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値と比較することにより前記傾斜する端部が前記二相のいずれに接しているかを判定する工程と、

を含む計測方法。

【請求項 3】

前記二相は、気相と液相とである請求項 1 又は 2 に記載の計測方法。

【請求項 4】

液相と気相とがなす、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、前記一方の相と他方の相との体積率を、同時に計測しうる計測装置であって、

軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーと、

前記傾斜する端面とは反対側の端面から前記光ファイバー内に光を入射する光源と、

前記光のうち、前記傾斜する端面で反射された光を前記反対側の端面から検出して電気信号に変換する光検出器と、

前記電気信号を所定の時間に区分して、その区分内の検出出力に関するヒストグラムを求め、その最大頻度及び準最大頻度に対応する検出出力を抽出するとともに、これら抽出された検出出力から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値とを比較することにより前記傾斜する端部が前記二相のいずれに接しているかを判定する処理を少なくともも行い得る演算装置と、

を備えた計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈折率の異なる光透過性流体の混相流動状態を計測する計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

屈折率の異なる光透過性流体（以下「二相」と記す）、例えば気体および液体および/または微小固体の混在する流動現象を有する産業機器あるいは配管の内外部の流動状態を計測する手法として超音波式気泡検出装置、中性子ラジオグラフィ、電極プローブ法、P

10

20

30

40

50

IV法等が知られているが、いずれも気泡あるいは液滴の径、運動速度、およびホールドアップの同時計測が困難であったり計測コストが高価であったりする問題がある。以下では説明の簡略化のため二相のうち一方を気体、他方を液体として説明する。

【0003】

かかる問題を解決し、二相流動状態を計測する方法として、光ファイバプローブによる気泡の計測方法、及びその装置が特許文献1及び非特許文献1により開示されている。

【特許文献1】特開2000-136962号公報

【非特許文献1】CHEN W, TSUTSUMI A, OTAWARA K, SHIGAKI Y, Can J Chem Eng, VOL. 81 NO. 6; PAGE. 1139-1148; (2003/12)「異なるスケールの気泡塔での局所気泡動力学と巨視的流れ構造」

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、非特許文献1に開示されている方法、及び装置によると、光ファイバーの先端に気泡があつたときに、気泡の移動速度が減速して、正確な測定が困難であるという問題があつた。特許文献1は、この点を光ファイバーの先端に傾斜を形成することにより解決しているが、検出された信号をどのように処理して正確な測定データが得られるかについては開示がない。

【0005】

そこで本発明は、光ファイバプローブにより得られた計測信号から、気泡群または液滴群および/または気液界面運動に関する情報を高精度に把握することが可能な測定方法及びその装置を提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明者らは、光ファイバプローブにより得られた計測信号の所定時間内における最大値及び最小値を抽出するとともに、これら最大値/最小値から所定の閾値を導出して、この閾値と各時点における計測値とを比較することにより、精度良く気液界面運動に関する情報を得ることができると見出した。また、計測信号にスパイク状の大きなノイズが入る場合には、計測値のヒストグラムを作成するとともに、最大頻度、及び準最大頻度に対応する計測値から所定の閾値を導出して、この閾値と各時点における計測値とを比較

30

【0007】

以下、本発明について説明する。なお、本発明の理解を容易にするために添付図面の参照符号を括弧書きにて付記するが、それにより本発明が図示の形態に限定されるものではない。

【0008】

請求項1に記載の発明は、光透過性を有し、かつ異なる屈折率を備えた二相の、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、一方の相と他方の相との体積率を、同時に計測しうる方法であつて、軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーを、該端面を二相の移動する方向の上流側に向けて配置する工程と、傾斜する端面とは反対側の端面から光ファイバー内に光を入射する工程と、光のうち傾斜する端面で反射された光を反対側の端面から検出して電気信号に変換して蓄積する工程と、電気信号を所定の時間ごとにその最大値及び最小値を抽出するとともに、該最大値、及び最小値から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値とを比較することにより、傾斜する端部が二相のいずれに接しているかを判定する工程とを含む計測方法である。

40

【0009】

請求項2に記載の発明は、光透過性を有し、かつ異なる屈折率を備えた二相の、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、一方の相と他方の相との体積率を、同時に計測しうる方法であつて、軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーを、該端面を二相の

50

移動する方向の上流側に向けて配置する工程と、傾斜する端面とは反対側の端面から光ファイバー内に光を入射する工程と、光のうち傾斜する端面で反射された光を反対側の端面から検出して電気信号に変換して蓄積する工程と、電気信号を所定の時間に区分して、その区分内の検出出力に関するヒストグラムを求め、その最大頻度及び準最大頻度に対応する検出出力を抽出するとともに、これらの検出出力から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値と比較することにより傾斜する端部が二相のいずれに接しているかを判定する工程と、を含む計測方法である。

【0010】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の計測方法において、二相は、気相と液相とであることを特徴とする。

10

【0011】

請求項4に記載の発明は、液相と気相とがなす、相間界面移動速度、一方の相の径、及び、一方の相と他方の相との体積率を同時に計測しうる計測装置であって、軸芯方向に対して傾斜する端面を有する光ファイバーと、傾斜する端面とは反対側の端面から光ファイバー内に光を入射する光源と、光のうち傾斜する端面で反射された光を反対側の端面から検出して電気信号に変換する光検出器と、電気信号を所定の時間に区分して、その区分内の検出出力に関するヒストグラムを求め、その最大頻度及び準最大頻度に対応する検出出力を抽出するとともに、これら抽出された検出出力から閾値を導出して、該閾値と各時点における検出出力値とを比較することにより傾斜する端部が二相のいずれに接しているかを判定する処理を少なくとも行い得る演算装置と、を備えた計測装置である。

20

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、光ファイバースローブにより得られた計測信号から、気泡群または液滴群および/または気液界面運動に関する情報を高精度に把握することができる。本発明のこのような作用及び利得は、次に説明する発明を実施するための最良の形態から明らかにされる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下本発明を図面に示す実施形態に基づき説明する。

【0014】

本発明が提供する二相流動状態計測装置の基本構成を図1に示す。二相流動状態計測装置20は、光ファイバー1、光ファイバー1の一方の端面側に形成された検出端2、検出端2の他端側に配置された分光端3、光ファイバー1内に分光端3側から光を入射する光源4、光ファイバー1内に入射された光のうち検出端2で反射されて分光端3に至った光を検出する光検出器5、光検出器5により検出されたデータを取得するデータ取得装置6、及び該データを演算して、検出端2が気相にあるか、液相にあるかを判断するデータ演算装置7を含む。構成要素の一部または全部は単体または複数の筐体に収められ、それぞれの構成要素は光学的または電気的手段で直接的、又は間接的に接続される。検出端2を被計測対象内に挿入することで計測を実施する。以下においては、液相が水相である場合について説明する。

30

40

【0015】

光ファイバー（以下においては単に「ファイバー」ということがある。）1の検出端2は図1に示されているように、ファイバーの軸芯に対して傾斜を有している。

【0016】

光源4からファイバー内に導入された光は検出端2まで到達する。検出端2では、スネルの法則により、光の一部はファイバーの外部に放射され、残りの光は検出端2において全反射されてファイバー内部に戻り、分光端3に達する。その戻り光量を光検出器5で測定する。

【0017】

検出端2が水相（液相）内にある場合は、ファイバーと水の屈折率がほぼ等しいため光

50

の大部分は水相に放射され、ファイバー内へ反射されて戻る光は僅かである。一方検出端 2 が気相内にある場合は、ファイバーと水の屈折率が大きく違うため大部分の光がファイバー内に反射され、戻り光量が増加する。この光量変化を光検出器 5 で時系列計測することにより検出端 2 が挿入されている被計測点の気相 / 液相状態を知ることができる。

【0018】

単一気泡が検出端 2 に衝突した際に光検出器 5 で測定される信号の例を図 2 に示す。信号レベルが鋭く立ち上がっている時刻が気泡衝突時刻、下がっている時刻が気泡離脱時刻であり、この間は検出端 2 が気相に曝されていると判定される。検出端 2 が気相に曝されている合計時間を総計測時間で除することにより、検出端 2 が挿入されている被計測点の気液混合状態における気相の体積率（以下において「ホールドアップ」という。）を知ることができる。

10

【0019】

さらに検出端 2 を含む光ファイバー 1 を二本以上使用することにより、前記ホールドアップに加え、気泡の速度と径も計測可能となる。例として検出端 2 の位置を少しずらした状態で 2 本のプローブを構成した場合に光検出器 5 で測定される信号の波形を図 3 に示す。検出端位置のずれにより、それぞれのプローブの立ち上がり時刻に差が生じている。先端位置のずれ長さを該時刻差で除することにより、気液界面速度が判明する。気液界面速度は気泡速度と強い相関がある。また一方のプローブが気相状態にある時間差に該気泡速度を乗じることにより、気泡の通過弦長が判明する。通過弦長は気泡径と強い相関がある。液滴を計測する際は、信号波形のうち山と谷の扱いを逆にすれば良い。

20

【0020】

光ファイバー 1 の材質は計測対象の圧力、密度、温度、流動状態、光学的特性、化学的特性に応じて任意に選択可能である。例えばプラスチック、ガラス、サファイヤ等である。また光ファイバー 1 の途中に 1 つまたは複数の光学コネクタを含んでいても良い。

【0021】

光ファイバー 1 の外径は、計測対象に気泡が含まれる場合、好ましくは平均気泡径の 0.1 ~ 2 倍、さらに好ましくは 0.2 ~ 1 倍である。スラグ流など気泡を含まない気液二相流を計測する際のファイバー径は、好ましくは 0.05 ~ 2.0 mm、さらに好ましくは 0.1 ~ 1.0 mm である。

【0022】

検出端 2 の端面は、前記したようにファイバー軸に傾斜するように形成されている特徴を有する。検出端 2 をファイバー軸に対し垂直に切断した形状のセンサーとして、前記非特許文献 1 等に記載されているものが知られているが、そのような形状では気泡衝突時に気泡速度を減速しやすく、計測誤差が大きくなるという問題がある。

30

【0023】

検出端 2 の端面とファイバー軸のなす角度は、好ましくは 5 ~ 45°、さらに好ましくは 20 ~ 30° である。該角度が 45° を上回ると気泡衝突時の気泡速度の減速効果が大きくなるため計測精度が低下し、また 5° を下回ると該端面が脆弱で折れやすくなってしまふ。

【0024】

分光端 3 の構成方法としては、光源 4 から入射された光の一部または全部が検出端 2 まで到達し、かつ検出端 2 からの戻り光の一部または全部が光検出器 5 まで到達できる構造であれば特に限定されない。例えば特許文献 1 で開示されている方法や、ハーフミラー法などを採用することが可能である。

40

【0025】

光源 4 は、検出端 2 の周辺の光強度に比べ十分明るい光源で有れば任意の光源を選択できる。例えばハロゲンランプやレーザダイオード等を挙げることができる。

【0026】

光検出器 5 は、検出端 2 からの反射光の光量変化を十分な時間解像度で計測できる能力を有していれば任意の装置を選択可能である。例えば光電子増倍管やフォトダイオード等

50

を挙げることができる。

【0027】

データ取得装置6は、光検出器5からの信号データを十分な速度でサンプリングできる能力を有していれば任意の装置を選択可能である。サンプリング速度は1kHz以上あれば十分である。さらに好ましくは10kHz以上である。例えばパーソナルコンピュータに設置可能なA/D変換カードや汎用データロガなどが使用可能である。データ取得装置6は、必ずしもデータ保存能力を有する必要はないが、有していても良い。

【0028】

データ演算装置7は、データ取得装置6で取得された信号データから気泡運動状態を推定するアルゴリズムを含んだソフトウェアを内包していれば任意の装置を選択可能である。例えばパーソナルコンピュータやデータ処理専用ハードウェアなどを使用することができる。データ演算装置7も、必ずしもデータ保存能力を有する必要はないが、有していることが望ましい。

10

【0029】

(第一実施形態)

さて、データ演算装置7において気泡衝突時刻および気泡離脱時刻を自動判別する第一実施形態にかかるアルゴリズム(以下において「アルゴリズムA」という。)を図4および下記に示す。

【0030】

<アルゴリズムA>

20

(A1) データ取得装置6から受信したデータの最大値と最小値を抽出し、それぞれ V_{Max} 、 V_{Min} とする。

(A2) V_{Max} と V_{Min} との間に閾値を1つまたは2つ設定し、それぞれ V_1 、 V_2 とする。ただし

$$V_{Max} > V_1 \quad V_2 > V_{Min}$$

である。

(A3) V_1 以上の信号を抽出し、その平均値を V_{Gas} とする。

(A4) V_2 以下の信号を抽出し、その平均値を V_{Liquid} とする。

(A5) V_{Gas} と V_{Liquid} の間に閾値を2つ設定し、それぞれ V_3 、 V_4 とする。ただし

30

$$V_{Gas} > V_3 \quad V_4 > V_{Liquid}$$

である。

【0031】

光検出器からの出力値が V_3 を上回った場合は検出端2が気相状態にあると判定する。光検出器からの出力値が V_4 を下回った場合は検出端2が液相状態にあると判定する。

【0032】

V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 の計算式として、第一実施形態においては次式が使用される。

$$V_1 = V_{Min} + \alpha_1 (V_{Max} - V_{Min}) \quad (1)$$

$$V_2 = V_{Min} + \alpha_2 (V_{Max} - V_{Min}) \quad (2)$$

$$V_3 = V_{Liquid} + \alpha_3 (V_{Gas} - V_{Liquid}) \quad (3)$$

40

$$V_4 = V_{Liquid} + \alpha_4 (V_{Gas} - V_{Liquid}) \quad (4)$$

【0033】

ここで α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 は二相流動状態計測装置のチューニングパラメータである。

$$\alpha_1 = 0.005 \sim 0.5、$$

α_2 は α_1 の1~5倍かつ V_2 が V_{Max} を超えない範囲、

$$\alpha_3 = 0.01 \sim 0.9、$$

α_4 は α_3 の1~5倍かつ V_4 が V_{Gas} を超えない範囲である。

【0034】

(第二実施形態)

50

上記パラメータ群は計測前に設定する必要があるが、第一実施形態による方式では適当な値を事前に決定することが困難であるという問題がある。特に τ_1 と τ_2 の値の予測が困難である。この理由を次に詳細に説明する。

【0035】

平均気泡径 = 約 4 mm、平均気泡上昇速度 = 約 0.8 m/秒、ホールドアップ = 約 10% の気泡流に検出端 2 を挿入した場合について、データ演算装置 7 に保存されたデータの中から抽出した信号波形の例を図 5 に示す。なおデータ演算装置 7 で高周波ノイズをカットしているため、図 3 や図 4 に比べ滑らかな曲線になっている。

【0036】

気泡群を計測する場合図 5 の (C) に示すようなスパイクノイズが発生することが頻繁にある。この原因は、検出端 2 の形状では屈折率の影響で先端の鋭角部に光が集中しやすく、気泡衝突時に該先端部で気液界面形状がレンズ状になると戻り光量が際だって増大するためと推定される。

10

【0037】

例として $\tau_1 = 0.21$ 、 $\tau_2 = 0.64$ とした場合の閾値 V_1 、 V_2 を図 5 に示す。この場合、気相信号レベル V_{Gas} を正常に決定できないため、次に続く気液流動状態計算（気泡速度など）が破綻してしまう。

【0038】

該問題を解決する方法として、

(1) 記録されたデータの中からスパイクノイズを含む気泡信号を除去する。

20

(2) τ_1 と τ_2 の値を小さくする。

等、が考えられる。しかし (1) について、人間が確認しながら除去する作業は非常に時間がかかるため、計算機による自動処理に比べ測定気泡数を減らさざるを得ない。その結果として計測精度が悪化するという問題がある。また (2) について、スパイクノイズの大きさは予測困難であるため、 τ_1 と τ_2 として適当な値を計測前に予想することは非常に難しい。

【0039】

第二実施形態では、光ファイバセンサ信号のヒストグラムを利用することにより、信号に含まれるスパイクノイズによって生じる計測誤差を回避する。

【0040】

30

当該実施形態においては、図 5 に例示されるスパイクノイズの信号レベルは大きいものの、その発生時間は全体に比べ非常に小さいという性質に着目した。すなわち、図 5 について信号レベル V のヒストグラムを作成すると図 6 となる。ヒストグラムの作成に当たり、具体的には、デジタルサンプリングする。例えば、サンプリング周期 50 kHz で 10 秒間計測した場合、 $50 \text{ k} \times 10 = 100,000$ 個の出力値データが得られる。このデータの N 数を信号レベル V の区間ごとにカウントしてヒストグラムを作成する。

【0041】

図 6 では、最大頻度を「1」として、他の頻度をこれに対する比として表している。図 6 における最大頻度が液相信号レベルにほぼ等しく、準最大頻度が気相信号レベルにほぼ等しい。そして、スパイクノイズの情報は準最大頻度の右側の平坦部に隠される。この性質を利用し、次に示すアルゴリズム B を導き出した。

40

【0042】

<アルゴリズム B>

(B1) 信号処理器 6 に蓄積されたデータのヒストグラムを作成し、最大頻度に対応する出力値を $V_{Liquid-H}$ 、準最大頻度に対応する出力値を V_{Gas-H} とする。ここで

$$V_{Gas-H} > V_{Liquid-H}$$

である。

(B2) $V_{Liquid-H}$ と V_{Gas-H} の間に閾値を 1 つまたは 2 つ設定し、それぞれ V_1 、 V_2 とする。ただし

50

$V_{Gas-H} > V'_1$ $V'_2 > V_{Liquid-H}$
である。

(B3) V'_1 以上の信号を抽出し、その平均値を V_{Gas} とする。

V'_2 以下の信号を抽出し、その平均値を V_{Liquid} とする。

(B4) V_{Gas} と V_{Liquid} との間に閾値を2つ設定し、それぞれ V_3 、 V_4 とする。

ただし

$$V_{Gas} > V_3 \quad V_4 > V_{Liquid}$$

である。

(B5) 光検出器からの出力値が V_3 を上回った場合は検出端2が気相状態にあると判定する。一方、光検出器からの出力値が V_4 を下回った場合は検出端2が液相状態にあると判定する。

10

【0043】

アルゴリズムBにおけるB4、B5は前述のアルゴリズムAにおけるA4、A5と同じである。

V'_1 、 V'_2 、 V_3 、 V_4 の計算式として、次式を使用する。

$$V'_1 = V_{Liquid-H} + \alpha_1 (V_{Gas-H} - V_{Liquid-H})$$

(5)

$$V'_2 = V_{Liquid-H} + \alpha_2 (V_{Gas-H} - V_{Liquid-H})$$

(6)

20

$$V_3 = V_{Liquid} + \beta_3 (V_{Gas} - V_{Liquid}) \quad (7)$$

$$V_4 = V_{Liquid} + \beta_4 (V_{Gas} - V_{Liquid}) \quad (8)$$

【0044】

(7)式は(3)式と、(8)式は(4)式と同じである。

【0045】

ここで α_1 、 α_2 、 β_3 、 β_4 は二相流動状態計測装置のチューニングパラメータである。

30

$$\alpha_1 = 0.005 \sim 0.5、$$

α_2 は α_1 の1~5倍かつ V'_2 が V_{Gas-H} を超えない範囲、

$$\beta_3 = 0.01 \sim 0.9$$

β_4 は β_3 の1~5倍、かつ V_4 が V_{Gas} を超えない範囲である。

好ましくは、

$$\alpha_1 = 0.4 \sim 0.5$$

$$\alpha_2 = 0.4 \sim 0.6$$

$$\beta_3 = 0.1 \sim 0.5$$

$$\beta_4 = 0.2 \sim 0.9$$

である。

【0046】

40

以上のようにアルゴリズムを構成すれば、信号に含まれるスパイクノイズの大きさに殆ど影響を受けずに気相信号レベル V_{Gas} および液相信号レベル V_{Liquid} を決定できる。

【実施例】

【0047】

本発明の実施例を図7に示す。

【0048】

検出端群8は検出端を4つ含み、各検出端の先端は下向き三角錐の頂点になるよう配置される。略中央に配置されたセンタープローブ9の検出端11がその他の周囲プローブ10の検出端12よりも1.38mm突き出した構造になっている。周囲プローブ10の検

50

出端 1 2 の先端はほぼ同じ高さに配置されており、その中心点を通る円の半径は 0 . 2 5 mm である。

【 0 0 4 9 】

検出端を 4 つ含む構成にすることにより、気泡速度の 3 次元計測が可能となる。ある気泡が検出端群 8 に衝突した際、センタープローブ検出端 1 1 への衝突時刻と他 3 つの周囲プローブ検出端 1 2 との衝突時刻との差をそれぞれ t_1 、 t_2 、 t_3 とすれば、気泡速度ベクトルの大きさ

【 0 0 5 0 】

【 数 1 】

$$|\vec{v}_v|$$

10

およびファイバー軸に対する相対角度

【 0 0 5 1 】

【 数 2 】

$$\theta_v$$

は次式で計算される。

【 0 0 5 2 】

【 数 3 】

$$\tan \theta_v = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{h_2}{h_1} \times \frac{1}{3} \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1 + t_2} + \frac{t_2 - t_3}{t_3} + \frac{t_3 - t_1}{t_3} \right) \quad (9)$$

20

【 0 0 5 3 】

【 数 4 】

$$|\vec{v}_v| = \frac{1}{3} \left(\frac{h_2 \cos \theta_v - \frac{\sqrt{3}}{2} h_1 \sin \theta_v}{t_1} + \frac{h_2 \cos \theta_v + \frac{\sqrt{3}}{2} h_1 \sin \theta_v}{t_2} + \frac{h_2 \cos \theta_v}{t_3} \right) \quad (10)$$

30

【 0 0 5 4 】

平均気泡径 3 . 1 mm、平均上昇速度 0 . 3 3 4 m / 秒、ホールドアップ 7 . 9 % の水-空気系鉛直気泡塔の内部に該計測装置を設置した。計測装置のチューニングパラメータを表 1 に示す。

【 0 0 5 5 】

気泡上昇速度の計測結果を図 8 に示す。横軸にチューニングパラメータ β_3 の値を、縦軸に気泡上昇速度を示している。

【 0 0 5 6 】

図 8 より、計測精度を確保する β_3 のチューニング範囲が第一実施形態の方式では狭いため、計測前に予測することが比較的難しいといえる。しかし、第二実施形態の方式によれば、概して $\beta_3 = 0 . 2 \sim 0 . 4 5$ の範囲にあれば良い。従って、第二実施形態のアルゴリズムを備えた二相流動状態計測装置の方がより安定的に計測を実施可能であるといえる。

40

【 0 0 5 7 】

【表 1】

パラメータ	第一実施形態	第二実施形態
α_1	0.2	
α_2	0.6	
α'_1		0.4
α'_2		0.6
α_3	0.01~0.4	0.01~0.4
α_4	$\alpha_4 = 2 \times \alpha_3$	$\alpha_4 = 2 \times \alpha_3$

10

【0058】

以上、現時点において、もっとも、実践的であり、かつ、好ましいと思われる実施形態に関連して本発明を説明したが、本発明は、本願明細書中に開示された実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲および明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う光ファイバーを利用した二相流動状態の計測方法および装置もまた本発明の技術的範囲に包含されるものとして理解されなければならない。

20

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】本発明に係る二相流動状態計測装置の構造を示す図である。

【図2】検出端に単一気泡が衝突した際に光検出器の出力値の例を示す図である。

【図3】検出端の位置を少しずらした状態で2本のプローブを構成した場合に光検出器の出力値の例を示す図である。

30

【図4】データ取得装置で取得したデータから気相信号レベルおよび液相信号レベルを決定するアルゴリズムの説明図である。

【図5】本発明に係る光ファイバーを気泡群に挿入した場合の信号の例を示す図である。

【図6】図5のヒストグラムを示す図である。

【図7】本発明の実施例を示す図である。

【図8】本発明の第一実施形態及び第二実施形態の計測方法によって計測される気泡群の平均速度を示す図である。

【符号の説明】

【0060】

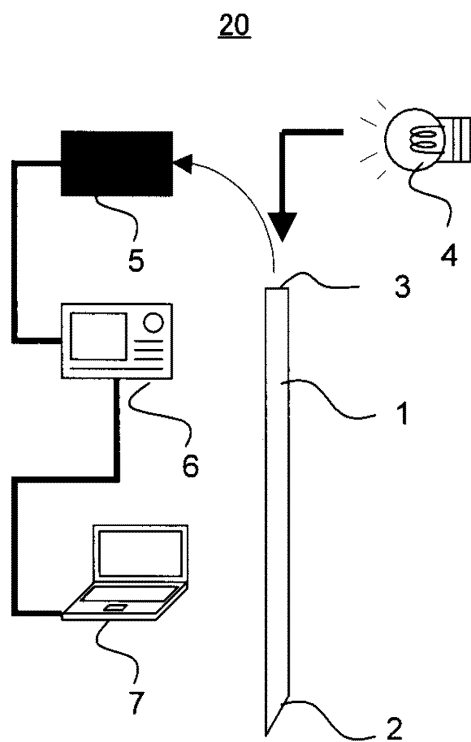
- 1 光ファイバー
- 2 検出端
- 3 分光端
- 4 光源
- 5 光検出器
- 6 データ取得装置
- 7 データ演算装置
- 8 検出端群
- 9 センタープローブ
- 10 周囲プローブ
- 11 センタープローブの検出端

40

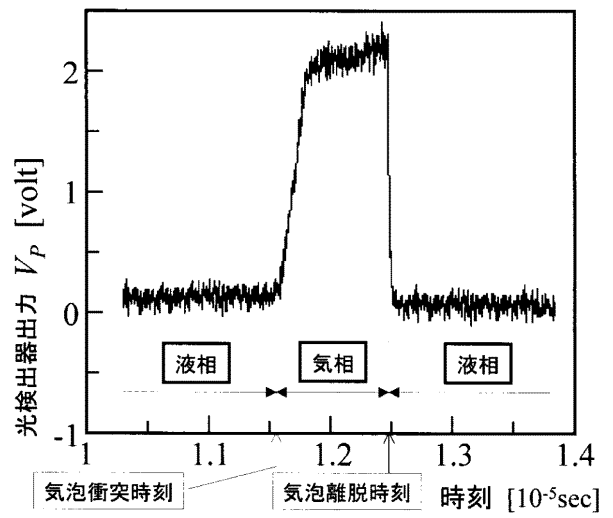
50

- 1 2 周囲プローブの検出端
- 2 0 二相流動状態計測装置

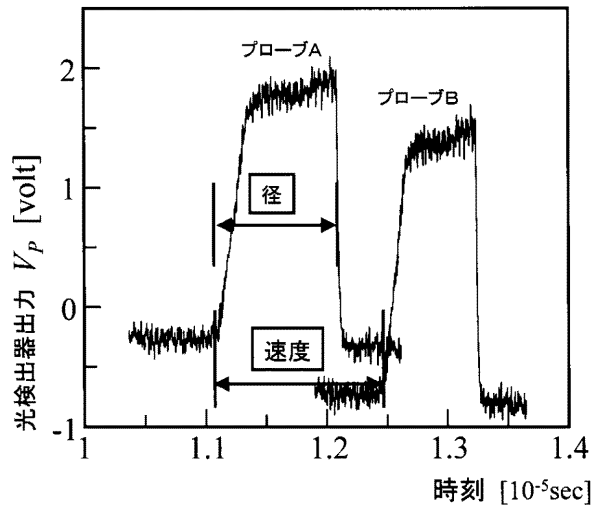
【図1】



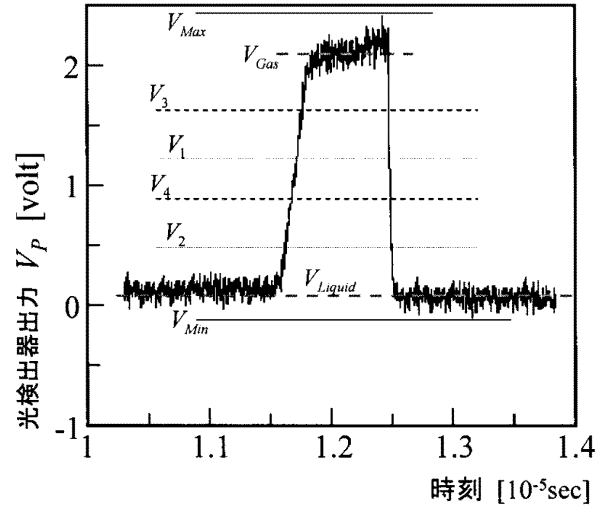
【図2】



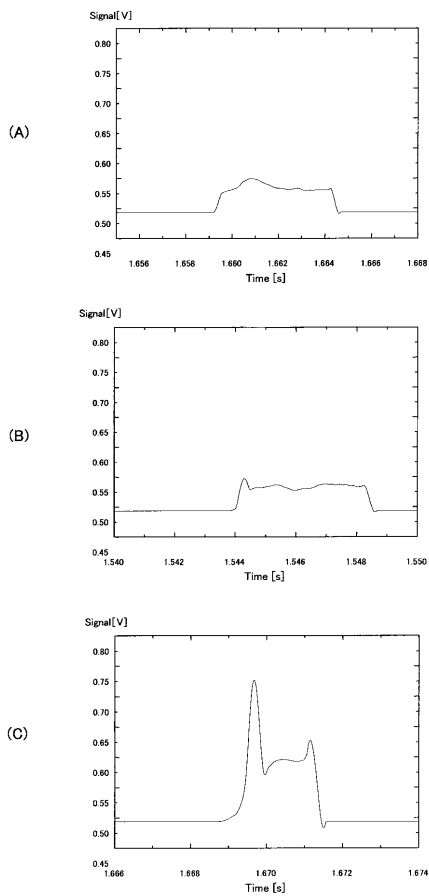
【 図 3 】



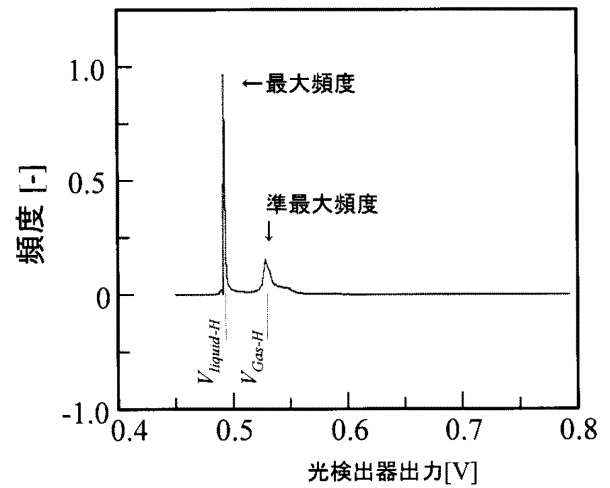
【 図 4 】



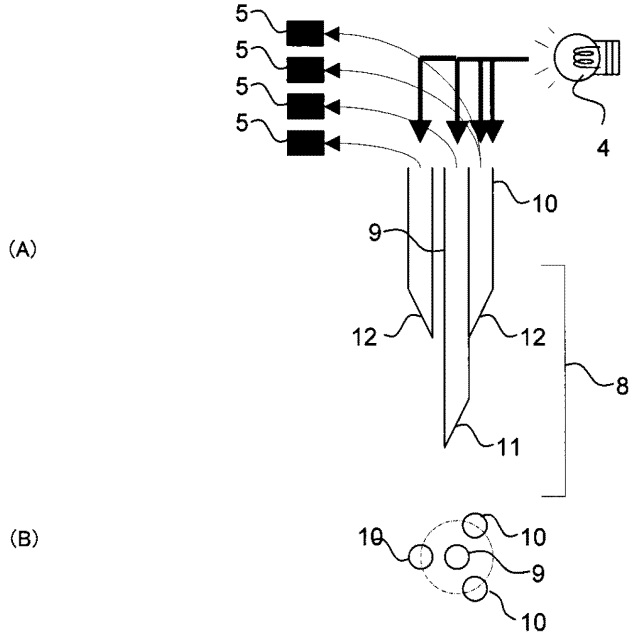
【 図 5 】



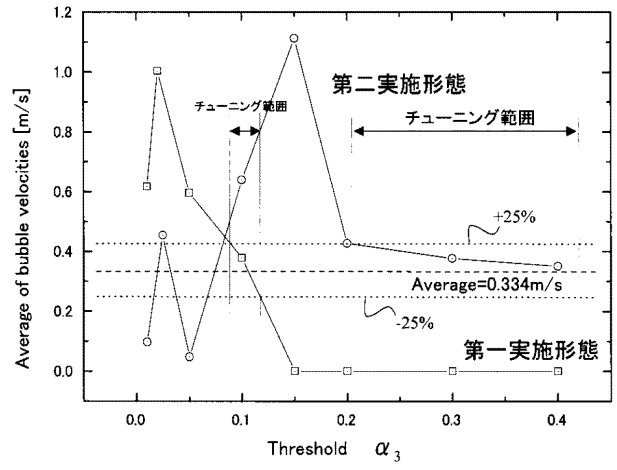
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 武石 芳明

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

(72)発明者 齋藤 隆之

静岡県浜松市城北3-5-1 国立大学法人 静岡大学内

Fターム(参考) 2G059 AA05 BB01 BB04 EE02 JJ17 KK01