

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-500557

(P2006-500557A)

(43) 公表日 平成18年1月5日(2006.1.5)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
GO 1 F	1/74	(2006.01)	GO 1 F	1/74	2 F O 3 O
GO 1 F	1/00	(2006.01)	GO 1 F	1/00	2 F O 3 5
				H	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2004-537328 (P2004-537328) (86) (22) 出願日 平成15年9月18日 (2003.9.18) (85) 翻訳文提出日 平成17年5月23日 (2005.5.23) (86) 国際出願番号 PCT/GB2003/004134 (87) 国際公開番号 W02004/027350 (87) 国際公開日 平成16年4月1日 (2004.4.1) (31) 優先権主張番号 0221782.6 (32) 優先日 平成14年9月19日 (2002.9.19) (33) 優先権主張国 英国 (GB)	(71) 出願人 502096808 ザ ユニバーシティ オブ サセックス イギリス イースト サセックス ビーエヌ1 9 エスビー プライトン ファルマー (74) 代理人 100099759 弁理士 青木 篤 (74) 代理人 100092624 弁理士 鶴田 準一 (74) 代理人 100102819 弁理士 島田 哲郎 (74) 代理人 100113826 弁理士 倉地 保幸 (74) 代理人 100108383 弁理士 下道 晶久 <div style="text-align: right;">最終頁に続く</div>
---	--

(54) 【発明の名称】 2相の流体の流れの検出および測定

(57) 【要約】

導管に関連する流量計の使用によって、閉じた導管内の、流量計を通る流体の流れを監視する方法が、流体の流れの少なくとも1つの特性を示す信号を生成し何らかの変動を含む信号成分を測定するステップと、感知信号の少なくとも1つの成分を分析して第2の相の存在または不在を決定し、かつ/または、少なくとも1つの相の大きさを決定するステップとを有する。

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

導管に関連して配置された流量計を含む閉じた導管内の流体の流れを監視する方法であって、前記流量計が、ベンチュリ形流量計と、くさび形の差圧流量計と、ノズル形の差圧流量計と、可変面積形の差圧流量計と、超音波形流量計と、タービン形流量計と、コリオリ形流量計と、電磁形流量計とを含むグループから選択され、使用される流体が前記流量計を通して前記導管内を流れ、前記方法は、

流体の流れの少なくとも 1 つの特性を示す信号を生成するステップと、無調整の感知信号中のいずれかの変動を含むような前記感知信号の振幅および周波数成分の少なくとも一方を測定するステップと、

10

第 2 の相の存在または不在を決定し、かつ / または、流体の流れの少なくとも 1 つの相の大きさを決定するために前記感知信号の少なくとも 1 つの成分を分析するステップとを有することを特徴とする、閉じた導管内の流体の流れを監視する方法。

【請求項 2】

流体の流れの少なくとも 1 つの特性を示す信号を生成するステップと、無調整の感知信号中のいずれかの変動を含むような前記感知信号の振幅および周波数成分の少なくとも一方を測定するステップと、流体の流れにおける第 2 の相の存在または不在を決定するために、前記感知信号の少なくとも 1 つの成分を分析するステップとを有し、流体の流れにおける第 2 の相の存在を検出していることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 3】

流体の流れの少なくとも 1 つの特性を示す信号を生成するステップと、無調整の感知信号中のいずれかの変動を含むような前記感知信号の振幅および周波数成分の少なくとも一方を測定するステップと、流体の流れの少なくとも 1 つの相の体積流量または質量流量を決定するために、前記感知信号の少なくとも 1 つの成分を分析するステップとを有し、流体の流れにおける少なくとも 1 つの相を計測していることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

流体の流れの各々の相の体積流量または質量流量を決定するために、前記感知信号の少なくとも 1 つの成分を分析するステップを有することを特徴とする、請求項 3 に記載の方法。

30

【請求項 5】

前記流量計は、センサが 1 次変換器に関連し、体積流量との二乗関係または他の周知の関係を有する差圧測定信号を生成するのに適合したグループから選択されることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記流量計が、センサが 1 次変換器に関連し、周波数領域にあって周波数が体積流量に比例するような測定信号を生成するのに適合したグループから選択されることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記流量計が、センサが 1 次変換器に関連し、周波数成分が体積流量にほぼ比例するような振動測定信号を生成するのに適合したグループから選択されることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 8】

前記流量計が、センサが 1 次変換器に関連し、流体の流れの密度および質量流量の複素関数であるような振動測定信号を生成するのに適合したグループから選択されることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記流量計を較正するステップを有することを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

50

【請求項 10】

2つの別個の相成分の流れが混合されて2相の流れを形成し、該2相の流れが選択された単一相流量計を通過する前に測定されるような別個の導管に2つの基準単一相流量計を配置することを特徴とし、前記選択された流量計の動作範囲を通じて各々の前記基準単一相流量計を通るそれぞれの流量を測定および記録し、これと同時に、試験対象の前記選択された流量計に関連するセンサが生成する全測定信号を各点で測定および記録し、これによって、無調整の感知信号全体の信号振幅の二乗平均平方根値 (r m s)、信号電力、およびスペクトル周波数成分を含むがそれらに限定されない信号データを復元し、個々の流体の流れの相の流量と全測定信号との間の関係を決定しひいては前記基準単一相流量計のデータに対して前記選択された流量計を校正するステップを特徴とする、請求項9に記載の方法。 10

【請求項 11】

前記選択された流量計と1次相および2次相と共に使用するのに適した2つの基準流量計を組み込んだ導管を装置内に含めることを特徴とし、2相の流体の流れを前記導管に送り込み、前記選択された流量計の動作範囲を通じて選択された点で前記選択された流量計の1次変換器に関連するセンサが生成する全信号を測定し、これによって、1次相の流量とそれぞれの前記1次変換器に関連する全測定信号との間の関係を決定しひいては前記基準流量計のデータに対して前記選択された流量計を校正するステップを有することを特徴とする、請求項9に記載の方法。

【請求項 12】

前記選択された流量計と液体の1次相の流体および気体の2次相の流体に適した2つの基準流量計を組み込んだ導管を装置内に含めることを特徴とし、2相の流体の流れを前記導管に送り込み、前記選択された流量計と、液体相の1次相の流体に適した基準流量計と、気体の2次相の流体に適したさらに別の基準流量計との動作範囲を通じて選択された点で基準流量計の1次変換器に関連するセンサが生成する全信号を測定し、これによって、流体の流れにおける液体および気体の相の組み合わせの流量とそれぞれの前記1次変換器に関連する全測定信号との間の関係を決定しひいては前記基準流量計のデータに対して前記選択された流量計を校正するステップを有することを特徴とする、請求項9または10に記載の方法。 20

【請求項 13】

前記選択された流量計の上流の前記流体の流れ導管に流れ調整装置が含まれることを特徴とする、請求項10から12のいずれか一項に記載の方法。 30

【請求項 14】

前記選択された流量計の上流の前記流体の流れ導管に渦発生器が含まれることを特徴とする、請求項10から12のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 15】

気体を含む液体相に基づく2相の流体の流れによって校正を行うことを特徴とする、請求項9から14のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 16】

液体を含む気体相に基づく2相の流体の流れによって校正を行うことを特徴とする、請求項9から14のいずれか一項に記載の方法。 40

【請求項 17】

前記感知信号の振幅の変化を2次相の存在に関する決定要因として使用することを特徴とする、請求項16に記載の方法。

【請求項 18】

計測すべき蒸気を伝える導管内に配置された流量計を含む閉じた導管内の蒸気の流れを計測する方法であって、前記流量計が、ベンチュリ形流量計と、くさび形の差圧流量計と、ノズル形の差圧流量計と、可変面積形の差圧流量計と、超音波形流量計と、タービン形流量計と、コリオリ形流量計と、電磁形流量計とを含むグループから選択され、前記方法は、 50

蒸気の流れの少なくとも１つの特性を示す信号を生成するステップと、
前記信号の振幅および周波数成分および電力を含むがそれらに限定されない成分を測定するステップと、

前記信号に関連する変動を保持するステップと、

前記信号の前記成分を分析して流体の流れの少なくとも１つの相の体積流量を決定するステップとを有することを特徴とする、閉じた導管内の蒸気の流れを計測する方法。

【請求項 19】

請求項 9 または 10 に記載の方法によって選択された流量計を校正するステップをさらに有することを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記信号に関連する変動が 2 相の流体の流れの決定要因であることを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】

導管内を流れる蒸気の品質を決定するようになっていることを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 22】

液体を含む液体相に基づく 2 相の流体の流れによって校正を行うことを特徴とする、請求項 9 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

固体を含む液体相に基づく 2 相の流体の流れによって校正を行うことを特徴とする、請求項 9 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 24】

水を含む蒸気相に基づく 2 相の流体の流れによって校正を行うことを特徴とする、請求項 9 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2 相の流体の流れの監視における改善、またはそれに関連する改善に関し、特に、流れにおける第 2 の相成分の存在を検出し、1 つまたは 2 つ以上の成分の流量を測定することに関するものである。

【背景技術】

【0002】

石油産業のような、いくつかの産業においては、流動流体は単一の成分でないことがある。例えば、流動流体は、かなりの割合の炭化水素気体を含む炭化水素液体である場合があり、また一方で、主要な成分が炭化水素気体であり、この炭化水素気体がかかなりの割合の炭化水素液体を液滴の形態で保持するような逆の場合もある。あるいは、単一成分の流体が、液体にも気体にもなり得る圧力および温度の条件下で流れることもある。多くの産業では、（気体としての）蒸気が、伝熱媒体または滅菌媒体として使用される。蒸気を発生させる際、湿度（液体の水が存在する割合）に関する蒸気の品質は、熱エネルギー源としての商業的価値、および、ひいては関連するプラント全体の性能と効率に影響を与える重要な特性である。

【0003】

一般に、流れにおける第 2 の相成分の存在は、1 次測定信号と、第 1 の相成分または主要な相成分との間の関係を変化させる。第 2 の相成分の存在を予想していなかった場合、第 1 の相成分の流量の指示値の誤差は非常に大きくなることがあり、場合によっては、流量計の動作が停止してしまうことがある。

【0004】

本発明は、流れにおける第 2 の相成分の存在の検出と、従来の単一相流量計の 1 次変換器に関連するセンサの無調整信号全体の分析による 2 相の気体を含む液体または液体を含む気体といったような流れ様式における各相の相対的な大きさの決定とに関する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

製造プラントの大部分はその操業のため、プロセスの操業および処理手順に関与する様々な装置間の流体の輸送に依存している。一般に、関与するのは単一相の液体であり、この目的のために開発された計装は高い精度と信頼性を達成している。しかしながら、実際には、プラントの運転が不規則になり、単一相の流れに第2の流体が混ざることがある。こうした状況では、ほとんど全ての種類の流量計の動作は信頼性の低い不正確なものとなるため、製品が品質仕様を満たさなくなり、その結果製品の損失が生じたり、プロセスが停止したりすることになる。

【 0 0 0 6 】

産業界においては、流量計または他の測定システムに対する主要な要求は、プロセス制御システムへの入力のための信号を提供すること、あるいは、所定の量の流体を測定することである。このような要求を達成するために、測定信号が、「ノイズ」としても知られる不規則な低レベルの変動のない流量の定常平均値を提供するような調整を行うことが通例である。単一相の流れの動作では、センサ信号による感知信号は通常、計器と適用業務に応じて、数分の1秒から数分の時間にわたって平均化される。これによって、プロセスまたは他の設備上の影響による流れ様式の乱れや歪みによって発生する不可避的な変動の影響が減少し、プロセス制御および管理のために必要なより安定した示度を得られる。

【 0 0 0 7 】

本発明では、単一相流量計を使用した2相の流れの監視を可能にするため、変動に起因する追加情報を、1次流れ変換器に関連するセンサ信号（感知信号）から復元するようにしている。

【 0 0 0 8 】

実験室での研究が示したところによれば、流体が閉じた導管内を流れる場合、観察対象の流体が流れる通路となる多くの様々な種類の流量計内の1次センサの信号には、基本的なバックグラウンドレベルの変動が存在する。流体がパイプや、フランジ、エルボ管、バンド管および弁といったようなパイプ取付部品を通して流れる際に流体中に発生する乱流の影響を含め、こうした変動にはいくつかの原因がある。さらに、ポンプ、フィルタおよび混合機といったような製造機器の動作に起因する影響もある。

【 0 0 0 9 】

単一相の流体の流れにおけるこうした変動の大きさは、通常、測定信号の平均レベルより少なくとも1桁低く、さらに上記測定信号の平均レベルよりはるかに低いことも多い。上記の変動は、一般的に「ノイズ」として識別され、従来は抑制すべき有害物または捨てるべき有害物とみなすのが通例であった。しかしながら、実験室での測定が示したところによれば、偶然にせよ意図的にせよ、第2の相が流れに導入された場合、この「ノイズ」のレベルは即時的かつ劇的に増大する。こうした状況で発生する様々な流れ様式には、測定システムの1次センサの無調整信号全体の分析によって対処することが可能である。センサ信号の比較的高い周波数、すなわち、約3 Hz（ヘルツ）から5 kHz（キロヘルツ）またはそれ以上の周波数までであるが、同時に非常に低いレベルの成分、すなわち、「ノイズ」の分析によって復元される信号によって、気体を含む液体または液体を含む気体といったような流れ様式の各相の相対的な大きさを決定することができる。

【 0 0 1 0 】

本出願の同時係属出願である英国特許出願第0 2 1 2 7 3 9 . 7号では、渦流量計を使用して単一相および2相の流体の流れを測定する方法を説明しているが、ここでは1次センサの信号全体の分析によって様々な流れ様式に対処している。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

したがって、本発明の目的は、2相の流体の流れの発生または存在を確実に検出する方法を提供し、いくつかの種類の流量計の無調整1次センサ信号全体を測定し分析することによって、2成分流体の流れの各成分の体積流量もしくは質量流量か、または単一成分で

2 相の流れの各相の相対的な大きさかのいずれかを得ることである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明によれば、導管に関連して配置された流量計を含む閉じた導管内の流体の流れを監視する方法であって、上記流量計が、ベンチュリ形流量計と、くさび形の差圧流量計と、ノズル形の差圧流量計と、可変面積形の差圧流量計と、超音波形流量計と、タービン形流量計と、コリオリ形流量計と、電磁形流量計とを含むグループから選択され、使用される流体が上記流量計を通して導管内を流れ、前記方法は、流体の流れの少なくとも1つの特性を示す信号を生成するステップと、無調整の感知信号中のいずれかの変動を含むような上記感知信号の振幅および周波数成分の少なくとも一方を測定するステップと、第2の相の存在または不在を決定し、かつ/または、流体の流れの少なくとも1つの相の大きさを決定するために上記感知信号の少なくとも1つの成分を分析するステップとを有することを特徴とする方法が提供される。

10

【0013】

また一方で、本発明の方法は、選択された単一相流量計からの1次信号と、上記1次信号中の変動と、個々の相の流量との間の関係を決定するために、個々の成分を混合して前記選択された単一相流量計の測定対象となる2相の流れを形成する前に、個々の成分の流量を正確に確立することができるように、各々の相に対して1つであって2つの基準の単一相流量計を使用することによって上記選択された単一相流量計を較正する予備的なステップを有する。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

流量計の種類

多様な流量計が存在するが、それらの全てが、2相の流れの発生または存在を検出し2成分の流体の流れの各成分の体積流量または質量流量を決定するための以下説明するような信号分析技術に適した測定信号を提供するわけではないことを認識するのは重要である。本発明に関する説明の目的で、適切な測定信号を提供するような一般的な種類の流量計を以下の4つのグループに分類する。

【0015】

グループ1は、1次変換器が、体積流量と二乗関係を有する上部圧力測定信号または差圧測定信号を生成する流量計を含む。

30

【0016】

グループ2は、1次変換器が、周波数領域にあって周波数が基本的に体積流量に比例するような振動測定信号を生成する流量計を含む。

【0017】

グループ3は、1次変換器が、センサ信号の位相シフトが基本的に質量流量の関数であり周波数が流体密度の関数であるような複素振動測定信号を生成する流量計を含む。

【0018】

グループ4は、電磁形流量計を含むが、当該グループは2つの主要な制限または限界を有する。第1の制限または限界は、気体に対して機能せず、さらに、ある程度の低レベルの導電性を有するものでないならば液体に対しても機能しないということである。第2の制限または限界は、電極と流動液体との間の界面で発生するスプリアス信号(spurious signals)に対処するために必要な信号処理が、実際には、電極信号の全ての「ノイズ」成分を除去してしまうということである。それにもかかわらず、上記の問題に対する妥協的な解決法を提供する信号処理技術が利用可能である。

40

【0019】

下記の〔数1〕に示されている表1は、本発明で必要となる分析の種類を決定する1次センサ信号の特性によってグループ分けされた、本発明が適用可能な様々な種類の流量計のリストを示すものである。

【0020】

50

【数 1】

表 1

グループ	1 次変換器信号	流量計の種類
グループ 1	差圧	可変面積形 ターゲット形 V コーン形 ベンチュリ形 ノズル形 くさび形
グループ 2	流量に比例した 周波数の振動信号	タービン形 超音波ドップラー形
グループ 3	質量流量および流体密度の 複素関数である振動信号	コリオリ形
グループ 4	誘導電圧	電磁形

10

20

【0 0 2 1】

全てのグループに共通の特性

産業上の適用業務では、流量計の種類と適用業務に応じて、数分の 1 秒から数分までのある値に予め設定される見込みのある時間にわたってセンサ信号を平均化するのが通例である。これによって、プロセスまたは他の設備上の影響に起因する流れ様式の外乱による変動の影響が減少し、プロセス制御および管理のために好適なより安定した信号が得られるが、同時に、センサ信号のより高い周波数の成分が除去される。実際には、2 相の流れの発生または存在を識別し各相の大きさを決定するための情報を伝えるのはこうした成分である。

30

【0 0 2 2】

一般に、流れへの第 2 の相成分の導入または存在は、1 次測定信号と第 1 の相成分の流量との間の関係を大きく変化させ、かつ、場合によっては劇的に変化させる。第 2 の相の存在が予想または認識されなかった場合、こうした関係の変化によって 1 次成分の測定された流量に誤差が生じることがあり、この誤差は大きなものとなる。

【0 0 2 3】

2 相の流れの存在を識別し相の相対的な大きさを決定するための全てのグループに共通の処理手順

2 相の流れの存在または発生を識別するための処理手順は、表 1 に記載の全ての一般的な単一相流量計について基本的に同じである。それには 1 次および 2 次両方の相の流れの全範囲にわたって流量計を較正するステップが含まれる。これは過剰な要求のように思われるかもしれないが、かなりの数のデータ点の取得が必要になるものの、上記の全ての流量計の製造が完了した際に行われるような、流量計を較正して流量計の「計器係数」または「較正定数」を決定するための処理手順の反復にすぎない。ただ、ある範囲の一定の流量の 2 次相が存在する状態で、予め選択された各々の 1 次流量について較正曲線を得るようにしている点が異なっている。

40

【0 0 2 4】

以下、添付図面（図 1 ～ 図 3 8）を参照しながら、本発明の好ましい実施例について詳述する。

【0 0 2 5】

50

図 1 は、ポンプで水の制御流れを発生させ、そこに空気を注入して 2 相の流れを形成することができるような試験流れ装置を示す図である。必要な較正を実現するために、流量計を図 1 に示すような構成の流れ装置に設置しなければならない。これはもちろん、選択された流体によって動作しなければならない、主要な研究のために、発明者は 1 次相に水を使用し、2 次相に空気を使用した。低流量および中流量に関する試験では、1 次相の水 (1) は重力送りによってリザーバから引き込まれ、流れループに含まれるポンプ (2) は通電しない。個々の試験のための望ましい流量を一般的なプロセス制御装置 (4) への設定点として適用し、プロセス制御装置 (4) によって上記の望ましい流量を基準流量計 (6) が測定した流量と比較する。そして、制御装置は、実際の流量が望ましい値となるように制御弁 (7) の設定を調整するように制御弁 (7) に印加する出力信号を生成する。重力送りの「水頭 (head)」が試験のために必要な流量を提供するのに不十分な場合、弁 (7) を全開に設定し、制御装置 (4) の出力信号を弁 (7) から可変速駆動装置 (3) に転送すると、可変速駆動装置 (3) は、望ましい流量が達成され一定に保たれるまでポンプ (2) の速度を調整する。

10

【0026】

流れループ中の第 1 の流量計は、可動型の標準流量計 (6)、すなわち、試験プログラムのために必要な精度と可動範囲を有するものである。実際の性能を仕様に準拠したものとするために、特に流量計の上流 (8) および下流 (9) の両方における直線形パイプの推奨長さの規定について、設置および使用に関する製造業者の指示を厳守することが必須である。

20

【0027】

2 相の流れ試験の場合、第 2 の相の圧縮空気 (10) の供給は、水の供給の場合と同様の機構を介して建築設備から得る。これには十分な精度で試験プログラム中の流量の範囲をカバーする基準流量計 (11) と、制御装置 (12) と、制御弁 (14) とを必要とした。動作の際に、制御装置は、流量の望ましい値を表す信号 (13) を基準流量計の信号 (11) と比較し、制御弁 (14) に適用されたときに空気の流量を望ましい値にする信号を生成した。

【0028】

必要な場合、好適には、1 次相の基準流量計 (6) の下流の点 (15) の配管の中央に配置されるノズルであって、その結果当該基準流量計の性能にほとんど影響しないノズルを介して、空気を流れループに注入する。試験対象の流量計 (17) は、空気の注入点から下流に推奨長さの直線形パイプ (16) を隔てて流れループ中に設置する。試験対象の計器の先には、ある長さの直線形パイプ (18) がさらに提供され、液体リザーバに排出される前に流れを安定化させるようにしている。

30

【0029】

流量計を較正するには、試験プログラムを行って、単一相および 2 相の流れについて所定の範囲の流量にわたる性能データを得ることが必要である。これによって、測定信号の特徴に関するグラフによるデータの行列が得られ、選択された流量計を使用して、単一または 2 相の流れの存在 (または不在) を決定し、単一成分の流れの体積流量もしくは質量流量、または、2 相の流れのいずれか一方もしくは両方の成分の体積流量または質量流量を決定することができるようになる。発明者は、第 2 の相に圧縮性である空気を使用しているため、試験対象の流量計の近くの管路圧力に注意することは必須である。試験対象の流量計自体が大きな圧力降下をもたらした場合、上流と下流の両方の圧力を測定し、1 次変換器での実際の圧力を推定することができるようにしなければならない。

40

【0030】

試験処理手順は、望ましい動作範囲にわたって測定信号と 1 次流体の実際の流量との間の正確な関係を確立するために、可動型の標準流量計または基準流量計に対する試験対象の流量計についての十分な較正点を収集することから始める。そして、予想される範囲のプロセス条件をカバーする一連の所定の流量のうち最も低い流量で 2 次相を導入し、同じ一連の 1 次流体の流量について処理手順を繰り返す。予想される範囲のプロセス条件を十

50

分にカバーする十分なデータ点が収集されるまで、2次流体の他の予め選択された流量について処理手順を繰り返す。

【0031】

各々の試験は通常、十分な時間をかけてループ内の流れを安定させてから、例えば14ビットといったような高解像度のA/D変換器を使用し、例えば64秒といったような統計的に有意の期間、例えば8kHzといったような高いサンプリングレートで試験対象の流量計の無調整のセンサ信号全体をサンプリングすることを含む。そして、データの各ブロックを高速フーリエ変換を使用して分析すればよい。こうした一連の測定の結果を図7～図11に示す。

【0032】

上記で説明した較正手順は、2相の空気を含む水の流れについてのものであったが、2相の水を含む空気の流れについて実行してもよい。この場合、1次相の基準流量計で測定された制御されている状態の流量の1次流体（空気）が、空気タービンポンプから較正装置に送り込まれ、測定された流量で流れる2次相（水）が、2相の流れの測定のために較正対象の流量計の上流における空気の流れに注入される。

グループ1の流量計への適用

グループ1に含まれる種類の流量計、すなわち、ターゲット形流量計、ベンチュリ管形流量計、ノズル形流量計、くさび形流量計、および可変面積形流量計は全て、次の〔数2〕の式に示すようなベルヌーイの法則に従って動作する。

【0033】

【数2】

$$P/(\rho g) + V^2/(2g) + z = \text{一定}$$

【0034】

上記の〔数2〕の式は、基準点の上の高さzにおいて、単一相の流体の流れの中のある点における圧力Pと平均流速Vとの間の関係を表しており、ここで、 ρ はその点での流体密度であり、gは重力加速度である。

【0035】

（可変面積形流量計を除く）これらの全ての流量計では、体積流量 q_v は、次の〔数3〕の式の関係を使用して、1次変換器の上流と下流の推奨される距離にある2つのタップ点間の差圧Pを測定することによって得られる。

【0036】

【数3】

$$q_v = K (\Delta P / \rho)^{1/2}$$

すなわち、

$$\Delta P = K' q_v^2 \rho, \text{ただし、} K' = 1/K^2$$

【0037】

ここで、 K は、レイノルズ数 Re を介して流体特性に依存する較正定数である。

【0038】

質量流量 q_m は、 $q_m = q_v \cdot \rho$ によって与えられる。

【0039】

可変面積形流量計では、差圧と流量との間の2次関係は、以下説明するような基本的に直線的な関係によって置き換えられる。

【0040】

こうした種類の流量計は、1次変換器（差圧を発生させる装置）の上流と下流の所定の距離での管路圧力の差を測定することを必要とするが、これは2つの別個の圧力発信器ではなく差圧発信器を使用して達成される。その理由は、流量計自体が管路圧力で動作することはほぼ確実であるが、これはセンサの対応範囲よりはるかに大きく4桁ほど大きいことがあり、センサを損傷または破壊することが明らかであるからである。経験が示したところによれば、整合された1対の圧力発信器を使用しても、必要な精度を達成するために十分な安定性または感度は提供されない。したがって、二重ダイヤフラム装置を使用して差圧（ P ）を管路圧力から隔離し、対応範囲が狭い圧力センサであって、本発明の特許の関係では、周波数応答性の広い単一の圧力センサを使用することができるようにする。

10

【0041】

現在プロセス産業で使用されている P 測定システムの大部分は、プロセス管理または制御の目的で正確で安定した信号を提供することを主眼とする適用業務のために設計・開発されたものである。また一方で、上記の P 測定システムは、それらが動作しなければならないこともある苛酷な環境に耐える頑丈な構造を有し、危険な環境で使用するための認証を受けなければならない。

20

【0042】

この結果、市販の P 測定システムの大部分は応答時間が数分の1秒から数分までの間で調整可能になっている。このため、プロセスおよび他の設備上の影響によって発生する流れ様式の外乱による変動の影響はほぼ除去され、プロセス制御および管理のために好適なより安定した信号が得られる。しかしながら、センサ信号のより高い周波数の成分も除去されるが、実際に2相の流れの発生または存在を識別し各相の大きさを決定することができるような情報を伝えるのはこうした成分である。

30

【0043】

しかしながら、数 kHz までの周波数応答性を有する P 発信器もいくつか存在し実験室での試験で使用されているが、これらの P 発信器の構造は、産業プラントの大部分に存在する苛酷な環境に耐えるには頑丈さが不十分である。同様に、10 kHz までの周波数応答性を備えた圧力発信器も利用可能であるが、これらの圧力発信器の構造も一般に、産業界に存在する苛酷な条件には適していない。

【0044】

差圧式の流量計のさらに別の例は図3に示すVコーン（登録商標）形流量計である。この場合、1次変換器は、図示する方向に流れる流体（1）の通路となる導管（4）内に同軸状に設置されたコーン（6）であり、コーンの頂点が上流を向いている。このコーンは、当該コーンの下流側表面で圧力が低圧ポート（3）と流通する通路となるパイプによって定位置に保持され、その一方で高圧ポート（2）は短い距離だけさらに上流に配置される。コーン（6）の底面と導管（4）の内壁との間の比較的小さな半径方向の間隙（7）は、必要な比を提供するように設定される。コーンの全体にわたって増大した差圧は流量との二乗関係を提供するが、下流ポートの圧力信号は特に、2相流れの発生による「ノイズ」レベルの増大に応答する。

40

【0045】

可変面積形流量計は、測定信号と流量との間の二乗関係によるグループ1の流量計の範囲の制限を克服するために開発された。可変面積形流量計（図2）はその一例である。これは、ばね（6）によって負荷をかけられ、（1）に示す方向に流れる流体の力の作用に

50

よって導管（７）とオリフィス板（４）との中で同軸方向に動くよう強制された、起伏を有するコーン（５）を備えている。これによって、オリフィスの有効範囲が変化するので、高圧ポート（２）と低圧ポート（３）との間で測定された差圧 P は、他の差圧を発生させる種類の流量計の場合のような q_v に対する P の２次依存によるのではなく、体積流量 q_v に対してほぼ直線的に変化する。

【 0 0 4 6 】

これらの結果は主成分が蒸気であるような水を含む蒸気の流れにおける２つの相の流量の測定を可能にするセンサ信号中に存在するノイズに関する情報の利用を例示するが、主成分が液体であるような気体を含む液体の流れにも同じ処理手順が適用できることが認識されるであろう。液体を含む気体の流れの場合、例えば、ローズ，E．M．（L a w s ， E．M．）著の論文「流れの調整 - 新しい展開（“Flow conditioning - a new development”）」、「流れの測定、計装（Flow Measurement. Instrumentation）」誌、１９９０年、第１巻第３号、１６５～１７０頁に記載のようなローズ流れ調整装置の使用によって、２つの成分が流量計の入り口でよく混ざるようにすることは、一定した性能のために特に有益である。

10

【 0 0 4 7 】

一例としてのみ、以下、２相の気体を含む液体からなる流体の流れの２つの成分の体積流量を示す信号を生成するための、ギルフロア（登録商標）の商標で市販されている可変面積形流量計の利用法を説明する。

【 0 0 4 8 】

この可変面積形流量計は、気体と液体の相が流量計に近づく際に混合されていない場合でもオリフィスの両側に形成される乱流が有効な混合を生じさせるので、他の種類の流量計に対して特に有利である。さらに、ギルフロア（登録商標）流量計では、例えば歪みゲージによって、ばねに作用する機械力を測定することによって差圧変換器を除去してもよい。混合が達成されたことにより、この計器は、蒸気の品質や、天然ガスに含まれる凝縮炭化水素の比率の重要な測定に特に適している。蒸気の品質は、水と蒸気の混合物の全体積における蒸気の（体積）百分率であるので、蒸気の体積流量を蒸気と水の流量の合計で除算したものに等しい。蒸気の品質は、製造プロセスの熱源として蒸気を使用される場合は常に重要な測定値である。

20

【 0 0 4 9 】

液体と気体の両方の流量を測定するために、センサ信号中の変動をセンサ信号の通常の前平均値と共に測定する。この変動は、信号サンプルの前平均値についての二乗平均平方根信号の変動を計算することによって求めればよい。多くのサンプル値の前平均信号値 / x （現行の電子出願形式では x の上部に線を付記することはできないので、ここでは、 / x の形式でサンプル値の前平均信号値を表すこととする）は、まず、次の〔数４〕に示す式によって算出される。

30

【 0 0 5 0 】

【 数 ４ 】

$$\overline{x} = \frac{\sum_{n=1}^N x(n)}{N}$$

40

【 0 0 5 １ 】

ただし、 N は、サンプリングがなされるデータ点 $x(n)$ の数である。

【 0 0 5 2 】

50

そして、平均値についての変動の二乗平均平方根値 x_{rms} は、次の〔数 5〕に示す式によって算出される。

【 0 0 5 3 】

【 数 5 】

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2}{N}}$$

10

【 0 0 5 4 】

ただし、N は、サンプル信号値 $x(n)$ の（最大）数である。 x_{rms} は、データサンプルの標準偏差と同じである。

【 0 0 5 5 】

あるいは、変動はサンプリングがなされるルセンサ信号の周波数スペクトルから得てもよい。

20

【 0 0 5 6 】

以下のグラフでは、全ての圧力および差圧は 4 ~ 20 mA の電流ループで動作する発信器を使用して測定し、関連する信号調整回路は、測定された圧力および差圧を、発信器の範囲に対応する 0 ~ + 10 V の信号に変換する。縦の目盛りはゼロ流量での 0 V から最大流量での + 10 V まで変化する電圧で表される差圧を表す。データは毎秒約 4,000 サンプルの差圧信号をサンプリングすることによって得た。

【 0 0 5 7 】

図 7 ~ 図 11 では、一定の蒸気の流量と 7 つの異なる水の流量について、平均値に対する差圧センサ信号の変動を示す時間領域グラフが示されている。また一方で、各々の時間変動グラフには変動の周波数スペクトルを併記しているが、これは信号の FFT（高速フーリエ変換）を行い、1,400 Hz までの電力スペクトルをグラフに表すことによって得たものである。二乗平均平方根値（rms）の圧力変動は、スペクトル中の全ての個別の周波数のスペクトル電力を合計し、この合計結果の平方根を取って計算すれば結果 P_{rms} が得られる。さらに、スペクトル内のいずれかの有限の範囲の「ノイズ」を合計してもよいが、流れを駆動するポンプに起因する圧力の脈動は避けなければならない。

30

【 0 0 5 8 】

図 7 ~ 図 11 は、圧力信号中の変動が蒸気の流れの湿り度と共に増大することを明らかに示しているが、図 5 は、蒸気の品質が平均差圧降下にほとんど影響しないことを示している。図 6 は、二乗平均平方根値（rms）の圧力変動が、可変面積形流量計の場合は蒸気の湿り度に対してほぼ直線的に増大することを示しているので、湿り度を測定するために直接使用することができる。

40

【 0 0 5 9 】

2 相様式における個々の流れの相対的な大きさを決定するために、まず流量計の対象となる 1 次流体の単一相の流れの範囲の 1 次および追加のセンサ信号の測定とグラフ化により、流量計を校正しなければならない。そして、1 次流体の流量を一定に保持しつつ 2 次流体の流量を対象範囲全体にわたって段階的に変化させて処理手順を繰り返さなければならない。

【 0 0 6 0 】

いずれかの値の蒸気の流量に対して、二乗平均平方根値（rms）の変動は、注入された水の流量に比例して激しく変化する。センサ信号の二乗平均平方根値（rms）の変動

50

の増大によって、1次相（蒸気）に導入された2次相（水）の量に応じたセンサ信号の弁別がなされることは明らかである。

【0061】

4つの変数（蒸気の流れ、水の流れ、1次信号、および追加信号）の間の関係は非直線的であるが、多層ニューラルネットワークは、複雑な非直線データを適合させることができるので、観察可能なデータを処理することによって1次および2次の両方の相の流量について良好な測定値が得られるシステムを生成する方法を提供する。

【0062】

ここでは、4つの入力データ値をニューラルネットワークへの入力として使用すればよい。4つの入力データ値とは、1次信号（差圧 P ）と、追加信号すなわち rms 信号変動 P_{rms} 、二乗変動 $(P_{rms})^2$ 、および、 P における変動の対数電力スペクトルの平均値である。4つの入力値から1次相（蒸気）の流量と2次相（水）の流量という2つの出力値を生成するように、ネットワークをトレーニングすることができる。

【0063】

ネットワークをトレーニングするため、同じ2相の流れ条件下でデータの2つの別個の集合を収集しなければならない。一例として、タービン形流量計についてトレーニングおよび試験を行った後のニューラルネットワークの出力を図17に示す。トレーニングと試験のデータ点が一致していることは測定の反復性が良好であることを示している。点が一致しない箇所は再現性の尺度であり、おそらくは、試験装置中の流れ様式の不安定性により生じたものであり、かつ、平均および rms 信号値を推定するのに十分な時間をかけなかったために生じたものである。

【0064】

グループ2の流量計への適用

タービン流量計がグループ2の主要な形式である。これは中心軸によって支持された軸受上で動作するブレード付きロータ組立体からなる。流れ整流装置の役目も果たす上流と下流のハンガによって、組立体全体が、流量計の本体内の中央に設置される。ロータの角速度は、流量計を通過する流体の体積流量に比例する。

【0065】

こうした流量計の大部分では、1次センサは、個々のロータブレードがセンサに近づき通過する際の磁気抵抗の変化によって準正弦波電圧信号が発生するように周囲にコイルを巻いた強力な磁石を備えている。しかしながら、これは低流量時に流量計の性能に有害な影響を与えるロータのごく小さな減速力をロータに加えることになる。このような問題は、各々のブレードがセンサに近づき通過する際にパルス形の過渡電圧信号を生成するような可聴周波数以上で動作する誘導センサを使用することによって対処すればよい。

【0066】

どちらの場合でも、信号は通常、各々のパルスが個別の量の流体の通過に対応するように、関連する信号調整回路によってパルスの列に変換される。流れが一定の場合、ブレードに衝突する流体によって発生する駆動トルクは、ロータに作用する粘性力の結果として生じる抗力、およびセンサに起因する減速力と正確に均衡する。

【0067】

非理想的な挙動についての小さな補正は別として、ロータの回転周波数 f_1 またはブレードの通過周波数 f_b から、次の〔数6〕の式に示す流量が得られる。

【0068】

10

20

30

40

【数 6】

すなわち、

$$q_v = K f_b = K f_1 N_B$$

【0069】

10

ここで、 N_B はロータのブレードの数であり、 K は較正定数である。

【0070】

このカテゴリに入る別の種類の流量計は超音波ドップラー形流量計である。

【0071】

一例としてのみ、以下、2相の気体を含む液体の流体の流れにおける2つの成分の体積流量を示す信号を生成するための、タービン形流量計の利用法を説明する。

【0072】

タービン形流量計の場合、1次信号はタービンブレード通過周波数 f_b であり、センサの種類に応じて各々のブレードが基準位置を通過することに関連する準正弦波または一連のパルスのいずれかとして認識される。周波数 f_b は、ある数のパルスが発生する時間間隔を測定することによって得ればよい。追加信号は、連続パルス間隔における変動の二乗平均平方根値から導出すればよい。すなわち、 N 個のパルスが時間 T の間に発生したならば、周波数 $f_b = N / T$ であり、発生したパルス間の平均期間 τ (現行の電子出願形式では τ の上部に線を付記することはできないので、ここでは、 τ の形式でパルス間の平均期間を表すこととする) は $1 / f_b$ である。連続パルス間の時間間隔が一連の時間 $t(n)$ であれば、発生時間における二乗平均平方根値 (r_{ms}) の変動 r_{ms} は次の【数7】に示す式から計算すればよい。

20

【0073】

【数 7】

30

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (t(n) - \tau)^2}{N}}$$

【0074】

40

図12は、タービン流量計の基本較正曲線を示すグラフである。 x 軸は流体の流量(水)を示し、 y 軸は対応するセンサ信号周波数を示す。ここでは、良好な比例関係が示されている。

【0075】

図13は、各々のブレードがセンサを通過する際に生成された連続パルス間の時間間隔のグラフを示すものである。時間間隔の平均は5ミリ秒であるが、5つのブレードロータを備えたタービン形流量計のブレードの連続する対についての間隔はわずかに不均等であることがわかる。これはブレードの間隔のわずかな差のためである。すなわち、一番上の線はブレード4が到達する前の(すなわち、ブレード3とブレード4のパルスの間の持続期間の)パルス間隔のグラフを示す。このグラフは約5.05ミリ秒の平均時間間隔を示

50

しているが、約 ± 0.02 ミリ秒の変動も示している。全てのブレードの550番目と575番目の回転サイクルの間の変動を見ると、同じ変動（パルス期間の一時的な低下とそれに続く上昇）が5つのブレード全てに影響していることがわかり、これが流れ様式の変動によって発生したものであることを示している。

【0076】

図14は、タービン流量計に対する2相の流れの影響を示すグラフである。各点は、変化する空気の流量が存在する状態での水の流量 q_v に対する測定タービン周波数 f_v の比 f_v/q_v を示す。x軸に最も近い点は全て水だけ（空気の流れなし）による測定から得たものであり、単一相計器としての流量計の挙動を表す。この比は当然、リットル/分当たり約1.42パルス/秒で基本的に一定である。しかしながら、水の流量を一定に保持したまま流量計の上流を流れる水に空気を注入すると、比はかなり大きく（水の流れが最低の場合1.42から1.96に）変化し、流量計は第2の相（空気）が存在する状態では水の流れについて良好な示度を提供できないことを示している。

10

【0077】

しかしながら、特定の1対のブレードに関連するパルス間隔の二乗平均平方根値（ r_{ms} ）の変動（例えば、図13のいずれか1つのトレースの変動）を測定すると、これは第2の相の流量と共に激しく変化していることがわかる。この変動を図15でグラフにより表している。各線は各対のブレードについて計算した r_{ms} の値を示すが、これは図13の各トレースから計算できる。水の流量を一定に保持したまま注入する空気の流量の値を変えてこれを繰り返す。変動のレベルは第2の相（空気）の流量を明らかに示す。

20

【0078】

2相様式における個々の流れの相対的な大きさを決定するために、まず流量計の対象となる1次流体の単一相の流れの範囲における無調整センサ信号全体の測定により、流量計を校正しなければならない。そして、1次流体の流量を一定に保持しつつ2次流体の流量を対象範囲全体にわたって変化させて処理手順を繰り返さなければならない。図14および図16は、2相の流れの下でのこうした校正の例であり、2相の流れの条件下でタービン流量計を校正するための1次信号 f_v と、同じ条件下の追加信号 r_{ms} との挙動を表す。

【0079】

可変面積形流量計の場合、4つの変数（水の流れ、空気の流れ、1次信号、および追加信号）は非直線的である。この場合も、多層ニューラルネットワークは非直線データを適合させ、観察可能なデータを処理して1次および2次の両方の相の流量について良好な測定値を得るシステムを生成する方法を提供することができる。

30

【0080】

ニューラルネットワークをトレーニングするために、同じ2相の流れの条件下でタービンデータの2つの別個の集合を収集しなければならない。トレーニングおよび試験を行った後のニューラルネットワークの出力を図17に示す。トレーニングと試験のデータ点が一致していることは測定の反復性が良好であることを示している。点が一致しない箇所は再現性の尺度であり、おそらくは、試験装置中の流れ様式の不安定性により生じたものであり、かつ、平均および r_{ms} 信号値を推定するのに十分な時間をかけなかったために生じたものである。

40

【0081】

さらに、グループ2には、高周波の音波を使用してパイプ内を流れる流体の速度を決定する超音波流量計も含まれる。超音波流量計には2つの基本的な種類があり、1つは流体の速度によって反射音波の周波数が変化するドップラー効果を使用するものであり、もう1つは流体の流れに逆らって伝播する場合と流体の流れと共に伝播する場合との音波の時間差を使用するものである。

【0082】

ドップラー効果形流量計は、流体の流れと共に移動する小さな粒子または気泡といったような音響反射材料の存在を必要とする。流れのない条件では、パイプに伝わる超音波と流体からの反射との周波数は同じである。流れのある条件では、反射波の周波数はドップ

50

ラー効果によって変化する。流体の移動速度が速くなると、ドップラー周波数シフトは流体速度と共に直線的に増大する。電子発信器は、伝達波の信号とその反射波の信号とを処理して流量を決定する。

【0083】

走行時間超音波形流量計は、パイプ内の上流および下流の両方の方向の変換器間の超音波を送受信する。流れのない条件では、変換器間で上流および下流に伝播するのにかかる時間は同じである。流れのある条件では、上流方向の音波は、（より速い）下流方向の音波よりゆっくり伝播し、より多くの時間がかかる。流体の移動速度が速くなると、上流と下流との間の時間差は流体速度と共に直線的に増大する。電子発信器は、上流と下流の時間を処理して流量を決定する。

10

【0084】

どちらの種類の超音波流量計も、流体が均質であるという想定に依存している。音響特性の異なる第2の相が導入されるや否や、未処理のセンサ信号の振幅および周波数の両方の領域の変化が生じる。こうした変化を使用して第2の相の存在を決定し相対流量を測定すればよい。より詳しくいえば、ドップラー周波数の変動は第2の相の存在を示し、変動の度合の尺度は2つの相の相対的な流量を示す。走行時間超音波形流量計は、2相の流れが存在する状態でタービン形流量計が示す特性変化の多くを呈示し、上流と下流との走行時間の間のパルス間隔の二乗平均平方根値（ r_{ms} ）の変動 r_{ms} は第2の相の流量と共に激しく変化する。さらに、どちらの種類の超音波流量計の場合も、第2の相の存在は液体の音響特性に対する制動作用を有するので、センサ信号の振幅が変化する。

20

【0085】

グループ3の流量計への適用

コリオリ形流量計がグループ3の主要な形式である。1次変換器の設計には多くの変形があるが、最も単純なものは、両端を堅固に固定し、管の固有周波数で共振するように中央で電磁的に駆動される直管である。また一方で、様々な設計の曲管変換器も存在する。

【0086】

上記のコリオリ形流量計の動作原理は、コリオリ効果または流体ストリームのコリオリ加速度による角運動量の保存である。コリオリ形質量流量計中の1次変換器を形成する管の多くの様々な構成が、チューブを励振しその運動を感知する代替方法と共に開発され商業的に利用されているが、近年は1次変換器として直管を使用することが開発の主眼となっている。各々の端を堅固に固定した直管の中央で軸に垂直な励振力を印加して直管を振動させると、管を通して流れる流体のコリオリ加速度は、印加された駆動力のいずれかの側の反対方向の管に作用する力を発生させる。振動の前半の半サイクルの間、管の前半分の変位は減速し、管の後半分の変位は加速する。このため、駆動力の印加点と管の2つの固定端との間の中間に配置したセンサの信号の位相のシフトが生じる。振動の後半の半サイクルの間、管の前半分の変位は加速し、管の後半分の変位は減速する。このため、2つのセンサの信号の間の位相差の逆転が生じる。この位相シフトの大きさは質量流量の関数であり、共振の周波数は流動流体の密度の関数である。

30

【0087】

第2の相の存在を検出し測定する手段を提供するような少なくとも3つの方法が存在する。第1に、駆動周波数の変動は、気体の百分率（第2の相）が増大するに連れて激しく増大するので、これを使用して第2の相を測定してもよい。第2に、2つのセンサ信号の間の位相差は、液体の質量流量を測定するために使用される基本量であるが、気体の百分率が増大するに連れて激しく増大する変動も示すので、これを使用して気体の百分率を測定してもよい。

40

【0088】

最後に、管の共振を維持するために必要な駆動力は、液化ガスの流れの中に存在するガスの百分率と共に増大する空気とガスの混合物の中の粘性損失に直接影響される。ガスの百分率が増大するにつれて、センサ信号の所定の振幅を得るために必要な駆動力は増大する。実際の適用業務では、機械的励振の振幅による疲労応力といったような様々な制約や

50

、固有の電気的安全性に対する要求を満たすために必要な電力の制限によって駆動力を制限しなければならないことがある。しかしながら、センサ信号に対する駆動力の比を使用してガスの百分率を決定してもよい。

【 0 0 8 9 】

図 3 0 ~ 図 3 8 は、2 相の流れ条件下（空気を含む水）でコリオリ形流量計によってなされた測定を示すものである。図 3 0 は、水の質量流量を一定に保持しつつ流量計が機能し得る最大の空気の百分率までの 6 段階の空気を流量計の上流に注入した一連の運転からコリオリ形流量計が表示した質量流量を示す。これを 1 9 6 ~ 2 9 5 リットル / 分の間の 6 つの異なる水の流量について繰り返した。表示された示度は小さな誤差を示している。

【 0 0 9 0 】

図 3 1 は、駆動周波数から導出され、流量計によって測定された混合物の密度を示す。これは、流量計が混合物の平均密度を測定した場合は直線になるので、密度の変化から空気の流れの正しい値を推論することはできない。しかしながら、管内の気泡の寸法と位置の無作為性によって発振管の共振周波数が変動するので、駆動周波数の値もサンプリングし、周波数値の標準偏差（ f_{rms} ）を計算した場合（これは平均周波数の二乗平均平方根値の偏差と同じである）、二乗平均平方根値（ rms ）の周波数変動は空気の百分率（標準偏差）と共にほぼ直線的に変化することがわかる。注入した空気の百分率に対する f_{rms} の変化を図 3 3 でグラフ化している。較正処理手順は、 f_{rms} を使用して空気の百分率を測定し、測定された液体の質量流量の誤差を訂正することを可能にする。

【 0 0 9 1 】

同様に、センサ信号間の位相差の変動をサンプリングしてもよく、較正後の空気の百分率の測定を可能にするその標準偏差を図 3 4 に示す。

【 0 0 9 2 】

駆動電力、センサ電力（振幅の平方）、およびセンサ振幅に対する駆動電力の比のデータサンプルは全て実験の際に収集し、図 3 5 ~ 図 3 7 で、平均値を空気の百分率に対してグラフに表している。この比は空気の百分率のみならず圧力と共に変化する。次の〔数 8〕に示す量を参照されたい。

【 0 0 9 3 】

【 数 8 】

（駆動電力／センサ電力）＊圧力

【 0 0 9 4 】

上記の〔数 8〕の量を図 3 8 のようにグラフに表すと、空気の体積百分率を表す 1 本の曲線が得られる。この場合も、2 相の流れ条件下で正しい液体と気体の流量を得るため、2 つの流量がデータから直接得られるように較正処理手順を実行しなければならない。

【 0 0 9 5 】

グループ 4 の流量計への適用

グループ 4 は電磁形流量計を対象とするが、これは、1 次相が液体で少なくともわずかに導電性である流体の流れに対してだけ満足に機能し、1 次流体が気体の場合は全く機能しないという欠点を有する。しかしながら、実験室での試験が示したところによれば、従来の磁界の変調を定常状態の励振によって置き換えれば、単一相（導電性）の液体の流れに気体相を導入することによって電極信号の電力と周波数スペクトルに明確な変化が現れるので、この変化を流れにおける第 2 の相の存在および大きさと関連させればよい。

【 0 0 9 6 】

標準動作モードでは、この種の流量計の磁界は約 12 Hz といったような比較的低い周波数で変調されるので、流動流体と金属電極との間の界面で発生する電気化学的効果および他のスプリアス効果が除去できるということを認識するのは重要である。これを実現するために、信号処理回路は信号の低周波数および非常に低レベルの成分を除去するが、第 2 の相の流れの存在による変化の検出はこうした成分に依存している。

【0097】

したがって、(導電性)流体における 2 相の流れの発生または存在を検出する処理手順を適用するためには、大部分の時間は標準モードで動作するが、必要に応じて、または所定の間隔で、電磁石の変調を中止し電磁石の定常状態励振によって置き換え、その一方で、例えば 32 秒といったような短い期間について電極からデータを収集した後、前述のよう

10

【0098】

この処理手順は信号調整回路にだけ影響し、流管の設計、構造または固有の安全事項には影響しないことに注意されたい。

【0099】

図 19 ~ 図 25 は、液体の流れに注入される空気の百分率が増大する際の増幅後の電磁流量計の無調整センサ信号のノイズ変動の時間的なグラフを示す。データを収集するために使用された流れ装置は図 1 に示したものと基本的に同じである。図 18 に示すように、変更された部分は空気注入点 (15) と試験対象の流量計 (17) との間の部分だけである。以前に説明したように、供給源から制御された流量で引き込んだ水を所定の長さの直線形パイプ (9) を介して空気注入点 (15) に供給し、そこでやはり以前に説明したように制御された流量で供給された空気の流れ (10) と混合する。空気注入点から、パイプの直径の約 40 倍の所定の長さの直線形パイプ (16) を介して、試験対象の流量計 (17) からパイプの直径の約 3 倍分上流に配置された流れ調整装置 (20) に流体を送り込む。流量計の先では、十分な長さのパイプ (18) を介してリザーバに流動流体を供給し、試験対象の流量計の動作に有害な影響を与えるのを避けるようにしている。

20

【0100】

図 26 は、水の中の空気の割合が増大するにつれて二乗平均ノイズ電力が安定して増大することを示す。このノイズを直接使用して空気の百分率を測定すればよい。ここでは、図 19 ~ 図 25 の時間的なグラフに添付して、ノイズ信号データの FFT を行うことによ

30

【0101】

より再現性の高い結果を得るために、2 相混合物は流量計に入る前に混合機を通しておくことが有利である。この目的で、図 18 に示すように、ローズ流れ調整装置が流量計の流れループの上流に含まれている。代替的なアプローチは、図 27 に示すように流量計の上流に渦発生器を含めることであるが、図 27 は、流れ調整装置が削除され空気注入点 (15) の出口に隣接して渦発生器 (21) が挿入されていること以外は基本的に図 18 と同じである。このような構成は、2 相の空気を含む水の流れに対して全ての空気をパイプの中心に沿った渦を巻く螺旋流れの中に集中させる作用を有するので、流量計のセンサ電極の近くは水だけが流れるようになる。図 26 と図 29 とを比較することからわかるように、センサ電極が拾うノイズ変動の振幅は、螺旋流れの場合の方が、空気がパイプ全体にわたって均一に分散しているときより大きく、渦がない場合の $1.8 \text{ ボルト}^2 (V^2)$ と比較して渦がある場合の電力は 5.8 ボルト^2 である。渦がある場合に生成されたノイズ信号の電力スペクトルを図 28 でグラフに表しているが、非常に滑らかである。ノイズ電力が大きくなることは、分析が他のノイズ発生源の影響を受け難くなるという利点を有する。

40

【0102】

平均値付近のセンサ信号のノイズ変動の二乗平均信号電力 P_{ms} は、次の〔数 9〕に示す数式によって算出される。

【0103】

50

【数 9】

$$P_{ms} = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2}{N}$$

10

【0104】

ただし、Nは、サンプル差圧信号の値 $x(n)$ の数である。

【0105】

上記で説明した全ての例で、1次相の中の2次流体相の存在が(1次センサの無調整信号である)流れ測定信号の特徴の変化を引き起こすことがわかった。すなわち、例えば、一定の流量で流れる水に空気を導入することによって1次センサ信号の特徴に変化が生じる。可変面積形流量計の場合、それは差圧の変化であり、タービン形流量計の場合、それは流れの平均速度増大の指標となるセンサ信号の周波数の変化である。さらに、1次信号中の二乗平均平方根値(rms)の変動も増大し、この変化は、従来冗長なものであるとみなされてきたが、2相の流れにおける相の百分率に関する重要な情報を提供する。流量計のセンサ信号を分析し操作することによって、液体の中の気体における各相の相対的な大きさが決定され得る。

20

【0106】

本発明の方法は、上記で示した以外の流れ様式に適用してもよく、したがって、液体が不混和性である液体を含む液体の流れ様式、固体を含む液体または気体、および3相の流れ様式に適用してもよいと考えられる。こうした流れ様式の特定の例としては、蒸気を主要な熱エネルギー源とするプラントへの蒸気の流れがある。この場合、蒸気の品質または湿り度の百分率は、プラントの状態と総合性能に影響を与えるために極めて重要である。

【0107】

換言すれば、本発明は、流れの状態の指標、すなわち、単一相または2相のどちらが存在するかの指標を提供するために、無調整センサ信号全体の「ノイズ」成分を分析することによって流体の流れを特徴付け、一方または両方の相の流量を測定する方法を提供する。本発明は、「ノイズ」、すなわち、センサ信号中の小さな低レベルの変動を廃棄しようとするような流れ測定における従来のアプローチから明確に脱却したことを示しており、本出願人は「ノイズ」に含まれる情報が持つ重要性を理解した。

30

【0108】

1次センサが所定の種類の測定信号(例えば、差圧、または周波数、または期間の示度(表1参照))を生成する流量計では、同じ方法を適用して小さな変動から付加的情報を抽出または回復してもよい。

【図面の簡単な説明】

40

【0109】

【図1】ポンプで水の制御流れを発生させ、そこに空気を注入して2相の流れを形成することができるような試験流れ装置を示す図であって、両方の単一相の流れは、混合前に測定し、混合後にも試験対象の流量計によって測定するようになっている図である。

【図2】可変面積形(ギルフロー(登録商標))流量計の概略図である。

【図3】Vコーン(登録商標)形流量計の概略図である。

【図4】蒸気に対する水の質量百分率の関数として、湿り蒸気条件下でのギルフロー(登録商標)流量計の差圧信号の二乗平均変動を示すグラフである。

【図5】蒸気に対する水の質量百分率の関数として、湿り蒸気条件下でのギルフロー(登録商標)流量計の平均差圧信号を示すグラフである。

50

【図 6】湿り蒸気条件下でのギルフロー（登録商標）流量計の差圧信号の標準偏差が蒸気に対する水の質量百分率と共に急激に増大する様子を示すグラフである。

【図 7】乾き度 3 %（蒸気の品質 97 %）の湿り蒸気についてのギルフロー（登録商標）流量計の時間領域信号とその周波数スペクトルを示す図である。

【図 8】乾き度 5.95 %（蒸気の品質 94.05 %）での図 7 と同様の図である。

【図 9】乾き度 11.3 %（蒸気の品質 88.7 %）での図 7 と同様の図である。

【図 10】乾き度 16.95 %（蒸気の品質 83.05 %）での図 7 と同様の図である。

【図 11】乾き度 22.6 %（蒸気の品質 77.4 %）での図 7 と同様の図である。

【図 12】タービン形流量計の基本周波数信号対単一相の液体の流量のグラフである。

【図 13】2" 5 枚羽根タービン形流量計の連続ブレード通過時間の変動を示す図である 10

。【図 14】様々な第 2 の相（空気）の流れが存在する状態で、タービン形流量計の周波数較正係数（液体流量に対する周波数の比）が変化する様子を示すグラフである。

【図 15】2" 5 枚羽根タービン形流量計の連続交差期間の標準偏差が第 2 の相（空気）の流量と共に増大する様子を示すグラフである。

【図 16】様々な水の流量についての羽根通過期間の標準偏差 r_{ms} が第 2 の相（空気）の流量に応じて変化する様子を示すグラフである。

【図 17】ニューラルネットワークの出力のグラフである。

【図 18】電磁形流量計の直前に流れ調整装置を配置することによって、電磁形流量計を通る 2 相の流れを較正するための流れループの概略図である。 20

【図 19】電磁形流量計の上流に流れ調整装置があり、空気の流れが 0 リットル / 分の場合の時間および周波数領域の電磁形流量計信号を示す図である。

【図 20】空気の流れが 5 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 21】空気の流れが 10 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 22】空気の流れが 15 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 23】空気の流れが 20 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 24】空気の流れが 25 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 25】空気の流れが 30 リットル / 分の場合の図 19 と同様の図である。

【図 26】流れ調整装置がある場合の、水中に存在する空気の割合に伴う電磁形流量計信号の交流成分の電力の変化を示すグラフである。 30

【図 27】電磁形流量計の前に 2 つの相を混合する渦発生器を配置することによって、電磁形流量計を通る 2 相の流れを較正するための流れループの概略図である。

【図 28】2 相の流れが強い渦を伴う場合の電磁形流量計信号の電力スペクトルを示す図である。

【図 29】渦流れを伴う場合の水中に含まれる空気の割合に対する電磁形流量計信号の交流成分の信号電力のグラフである。

【図 30】様々な水の流量についての水中に含まれる空気の百分率に対する、単一相コリオリ形流量計によって測定した質量流量のグラフである。

【図 31】測定された混合物密度のグラフを示す場合の図 30 と同様の図である。

【図 32】測定された体積流量のグラフを示す場合の図 30 と同様の図である。 40

【図 33】様々な液体の流量についての水中に含まれる空気の百分率に対する、コリオリ形流量計で測定された周波数値から算出された周波数変動の標準偏差のグラフである。

【図 34】水中に含まれる空気の百分率に対する位相変動の標準偏差のグラフを示す場合の図 33 と同様の図である。

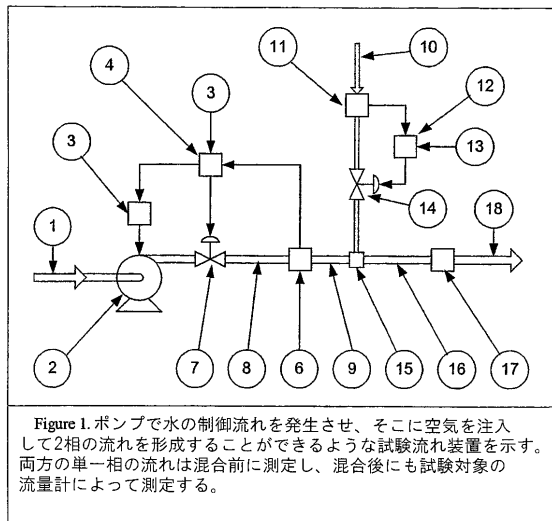
【図 35】様々な水の流量についての水中に含まれる空気の百分率に対するコリオリ駆動信号電力のグラフである。

【図 36】様々な水の流量についての水中に含まれる空気の百分率に対するコリオリセンサ信号電力のグラフである。

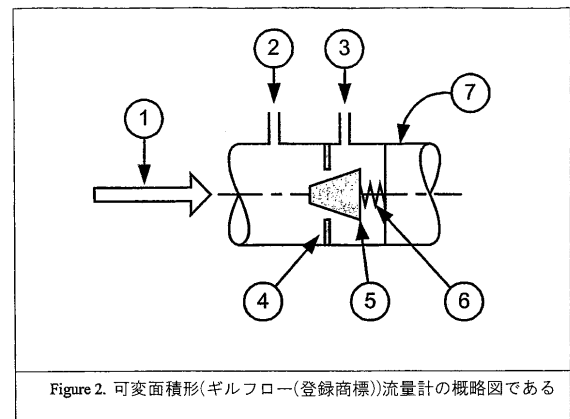
【図 37】様々な水の流量についての水中に含まれる空気の百分率に対するコリオリ駆動信号対センサ信号の比（D o S）のグラフである。 50

【図 3 8】 D o S 信号に補正係数を適用した場合の図 3 7 と同様の図である。

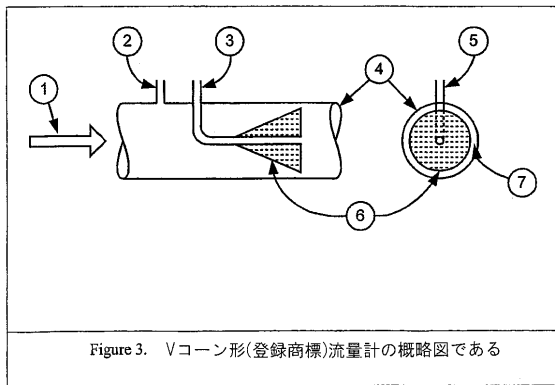
【図 1】



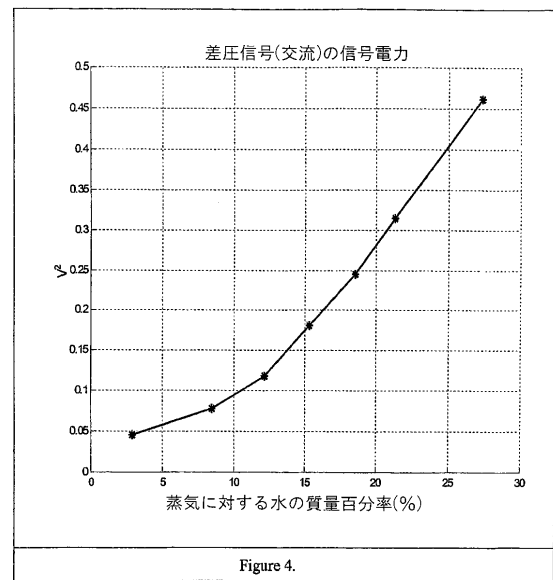
【図 2】



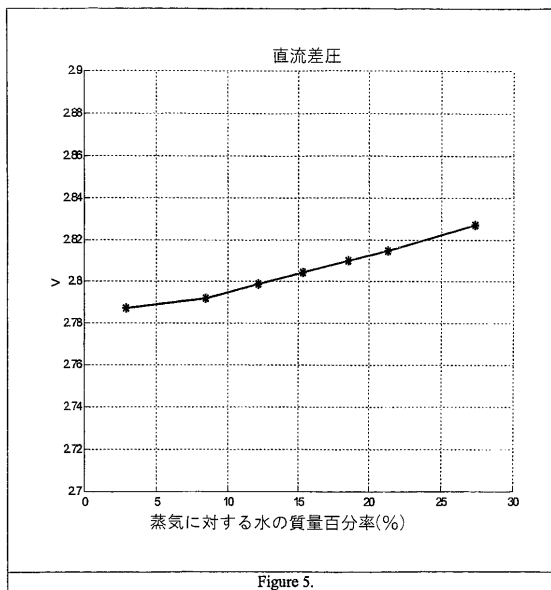
【図 3】



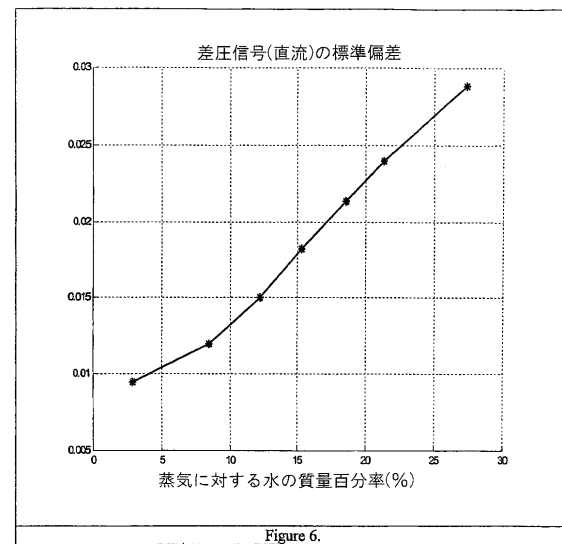
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

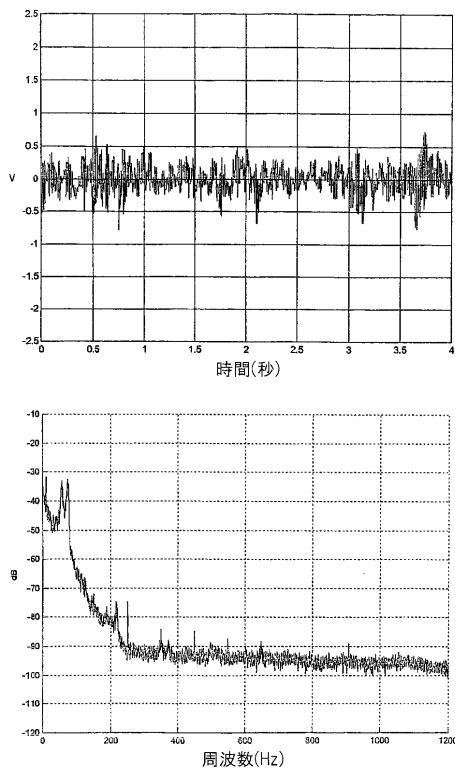


Figure 7.

【図 8】

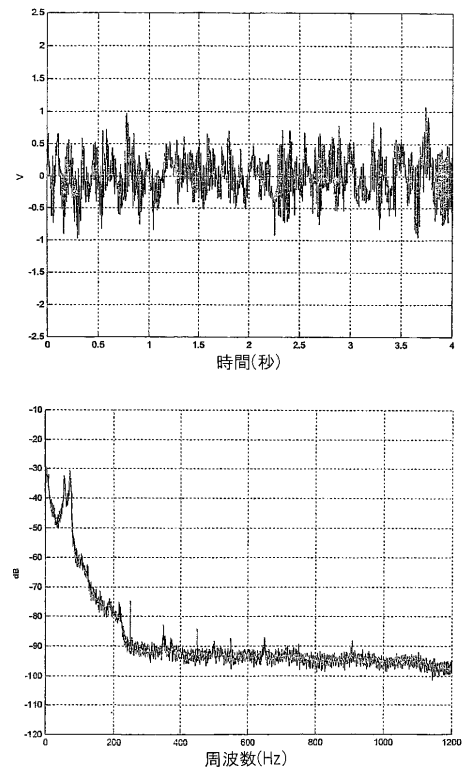


Figure 8.

【図 9】

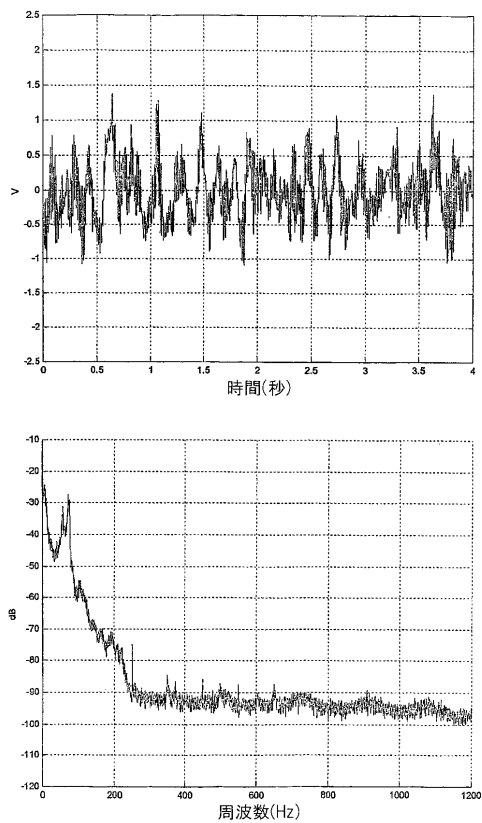


Figure 9.

【図 10】

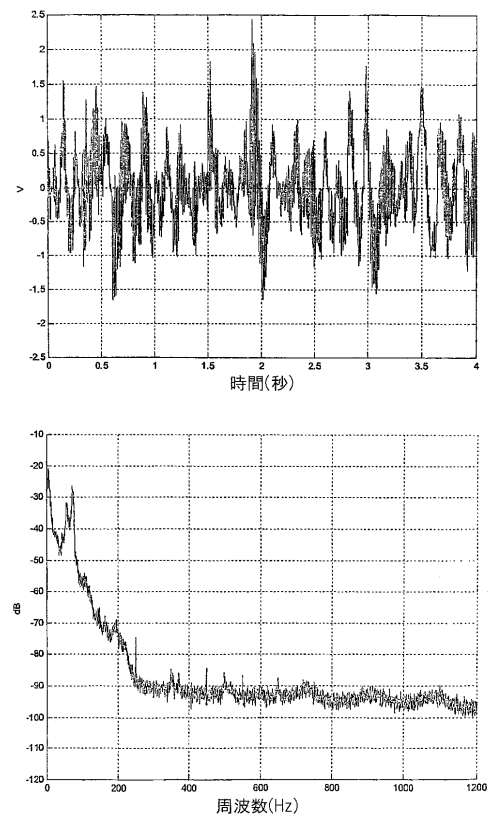


Figure 10.

【図 1 1】

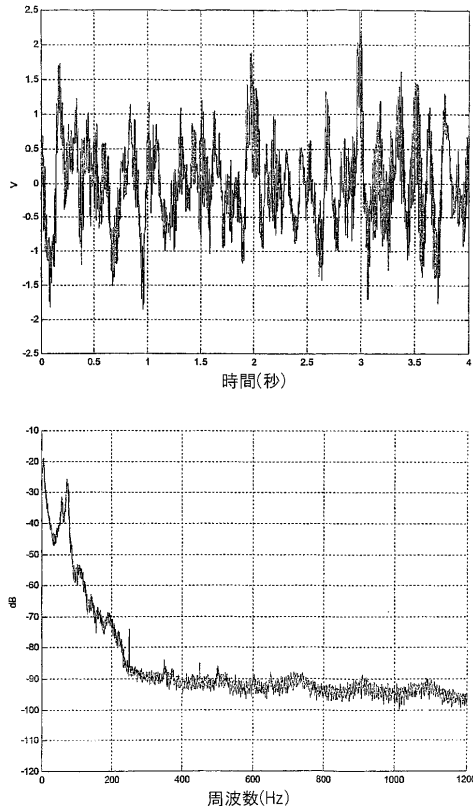


Figure 11.

【図 1 2】

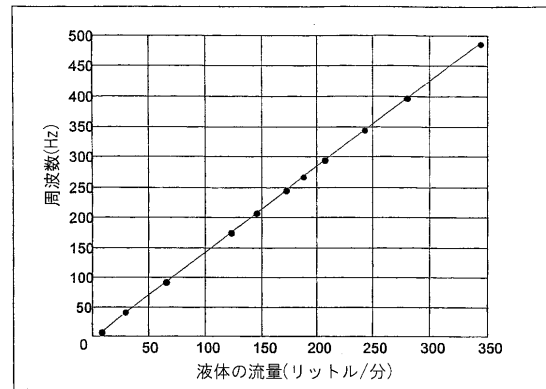


Figure 12.

【図 1 3】

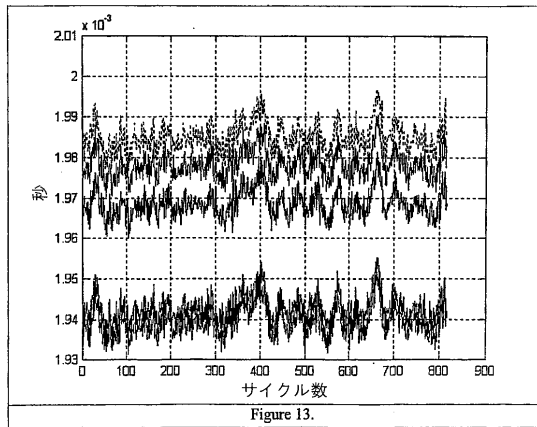


Figure 13.

【図 1 4】

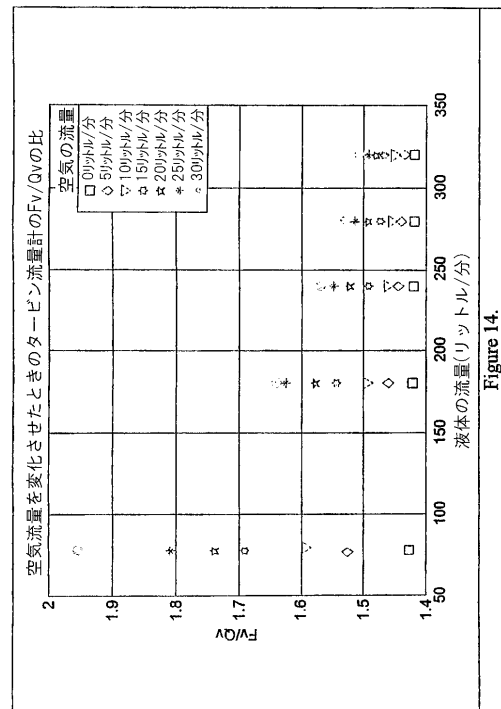


Figure 14.

【図 15】

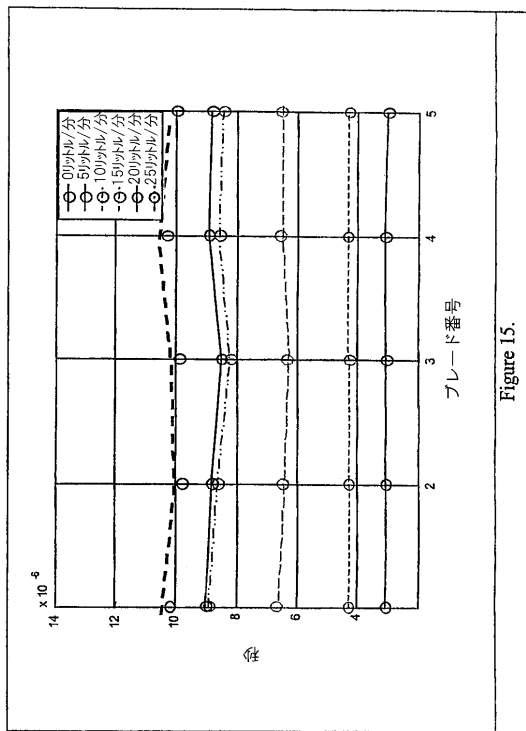


Figure 15.

【図 16】

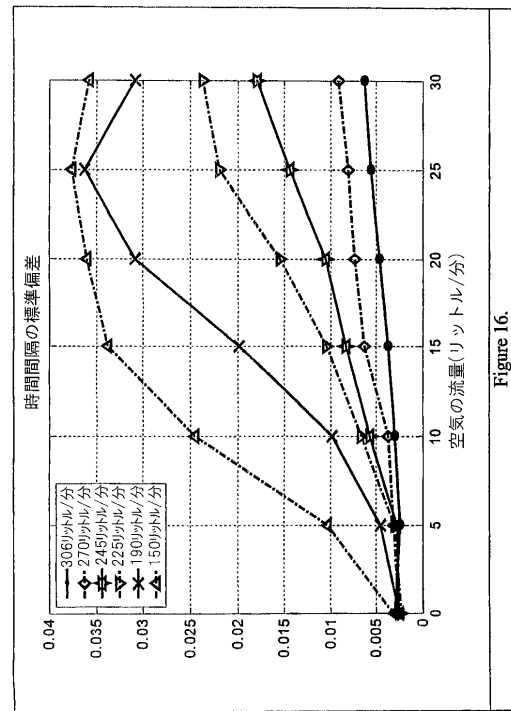


Figure 16.

【図 17】

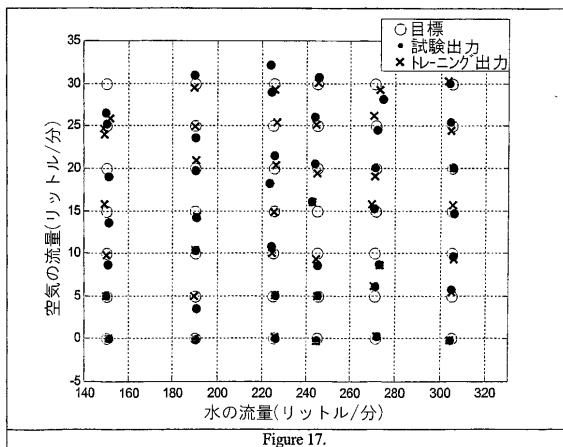


Figure 17.

【図 18】

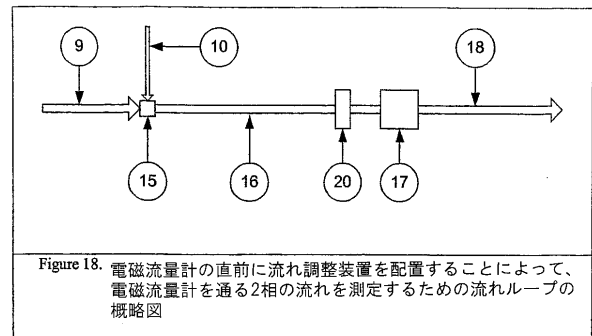


Figure 18. 電磁流量計の直前に流れ調整装置を配置することによって、電磁流量計を通る2相の流れを測定するための流れループの概略図

【図 19】

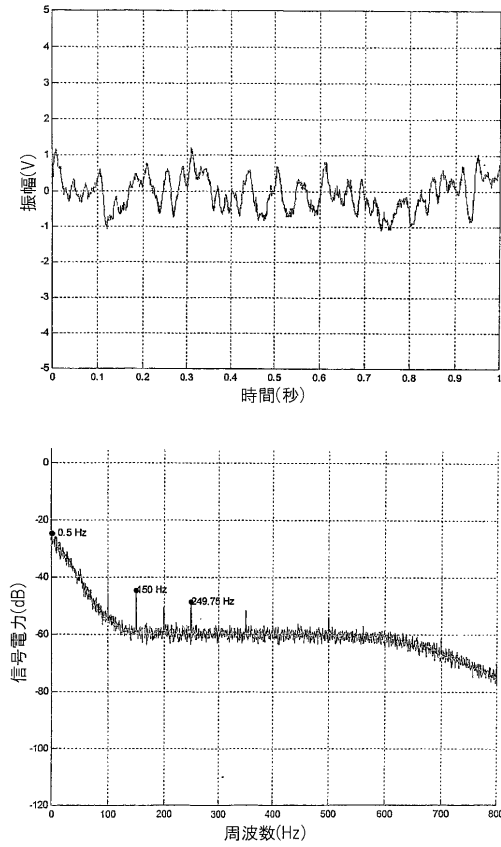


Figure 19.

【図 20】

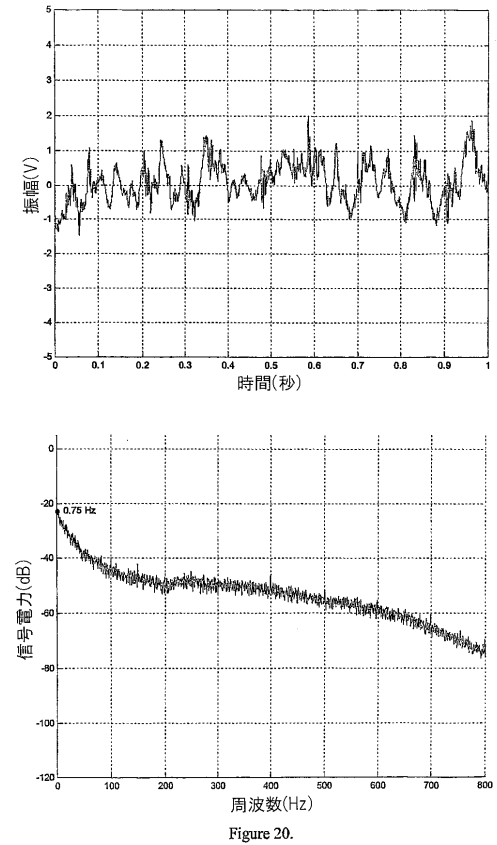


Figure 20.

【図 21】

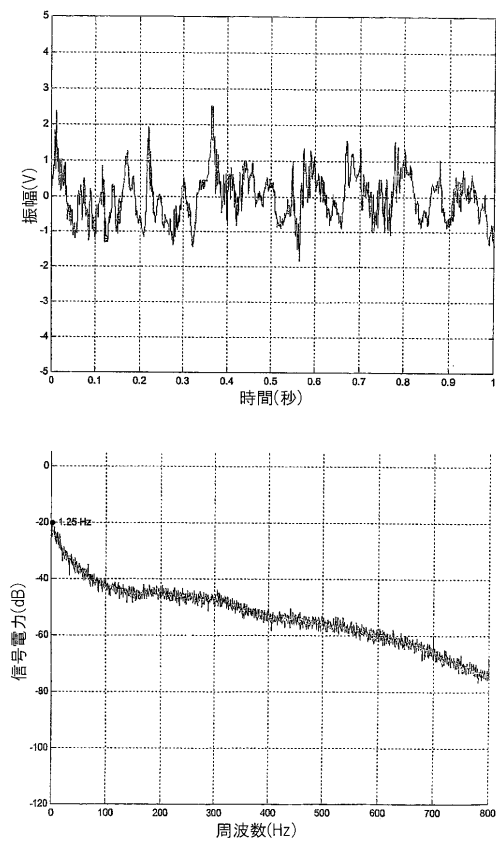


Figure 21.

【図 22】

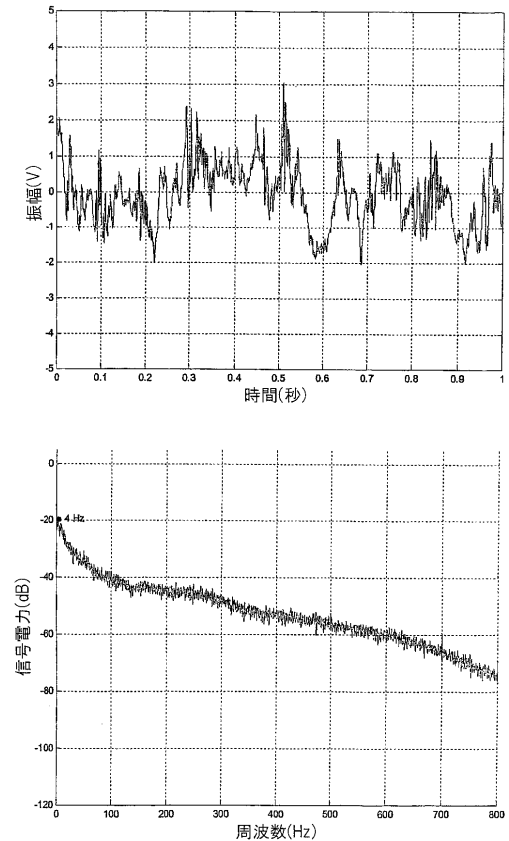


Figure 22.

【図 23】

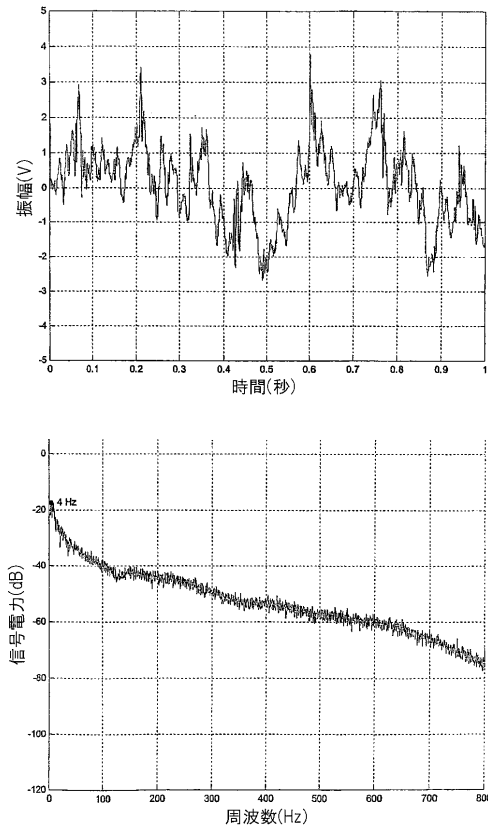


Figure 23.

【図 24】

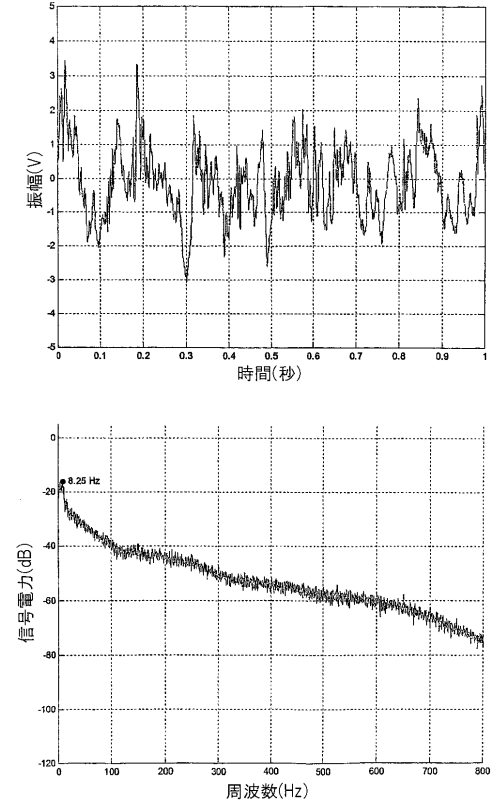


Figure 24.

【図 25】

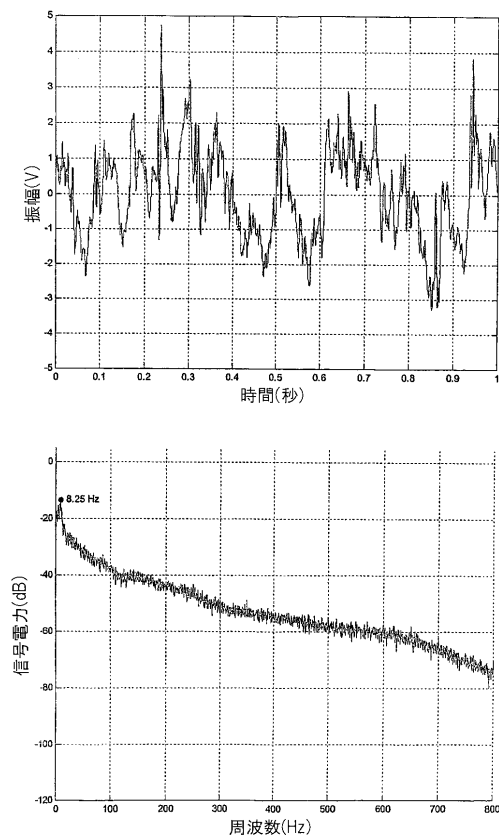


Figure 25.

【図 26】

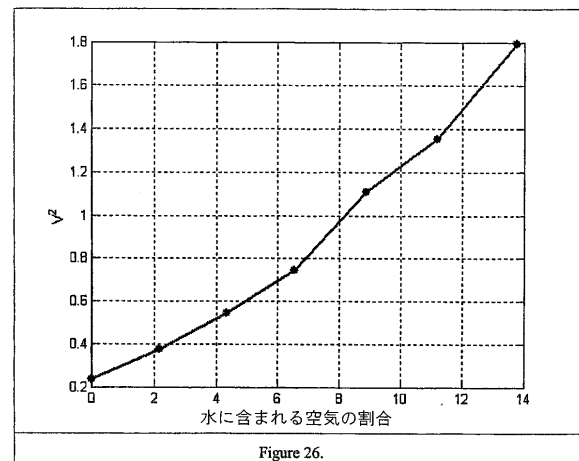
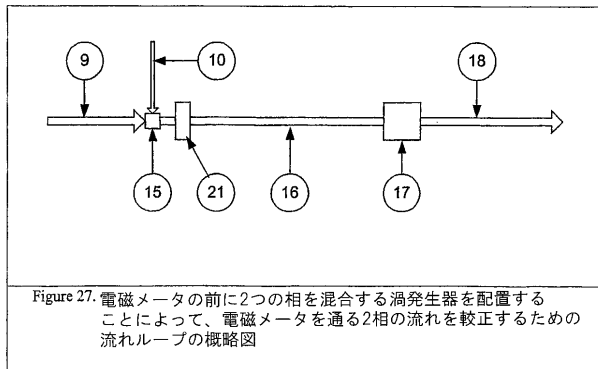
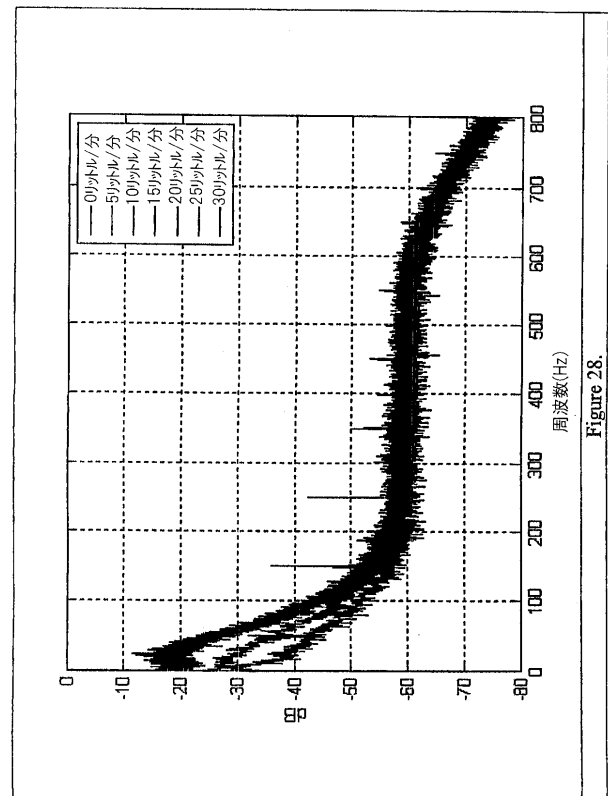


Figure 26.

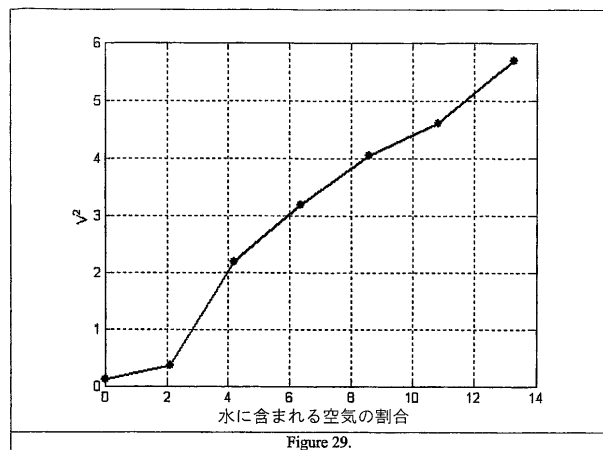
【図 27】



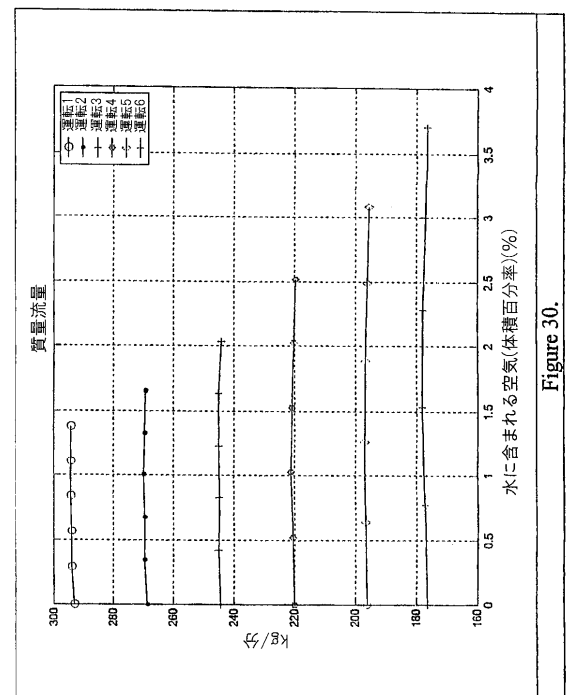
【図 28】



【図 29】



【図 30】



【図 3 1】

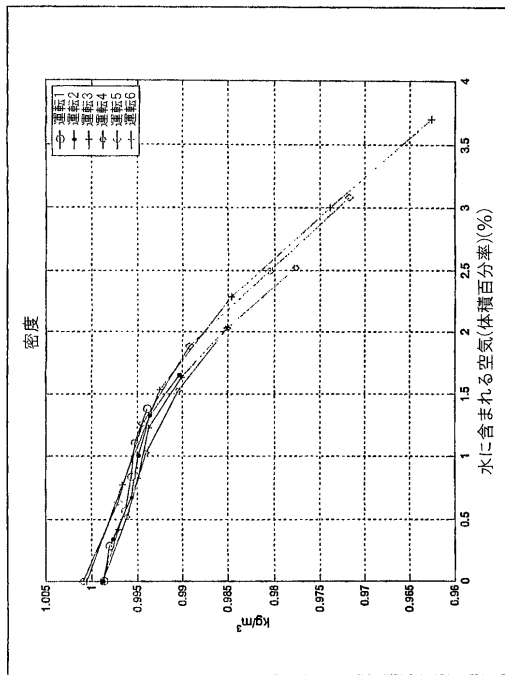


Figure 31.

【図 3 2】

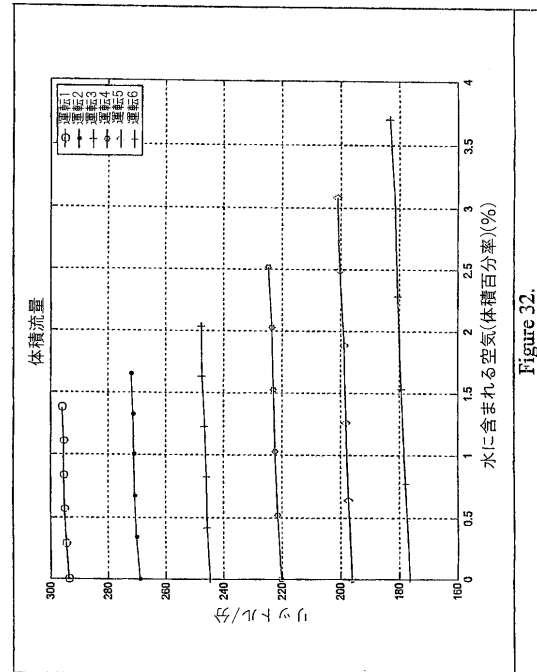


Figure 32.

【図 3 3】

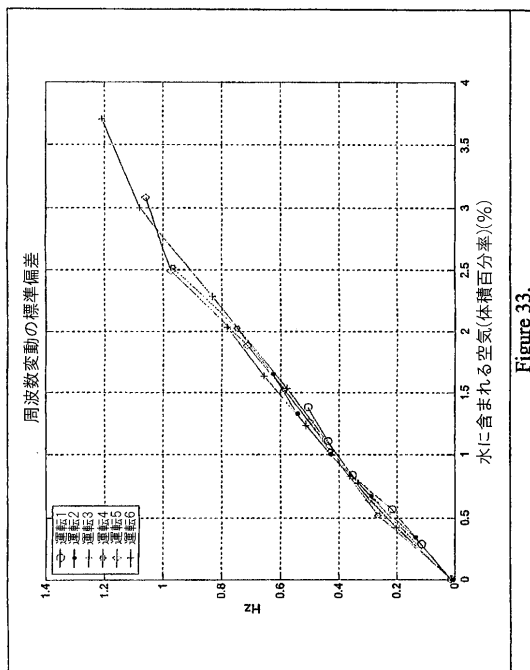


Figure 33.

【図 3 4】

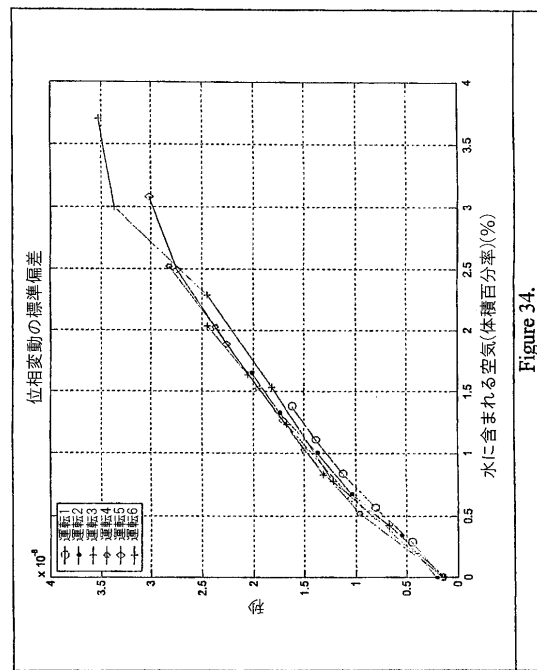


Figure 34.

【図 35】

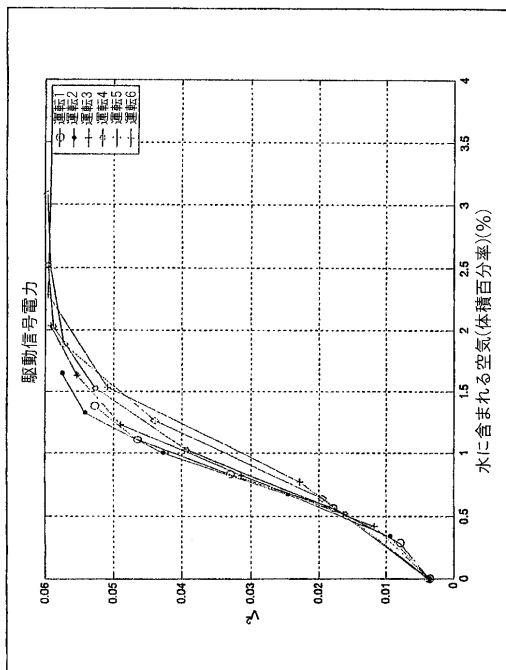


Figure 35.

【図 36】

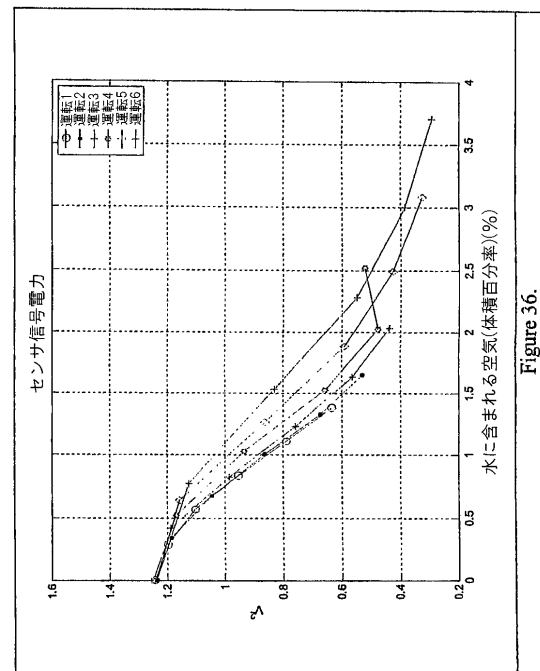


Figure 36.

【図 37】

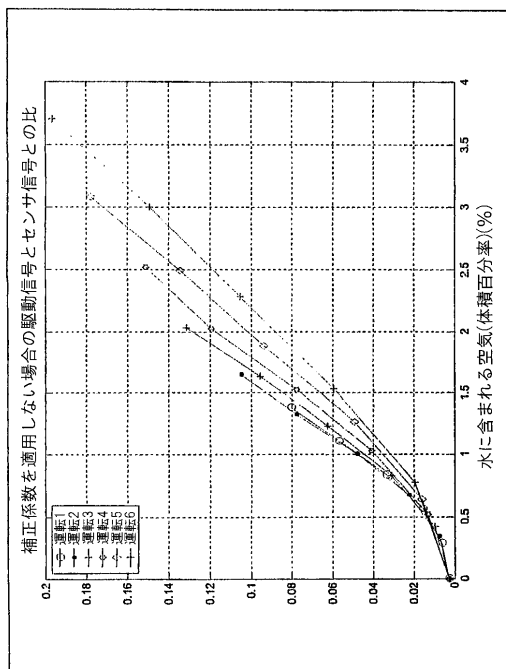


Figure 37.

【図 38】

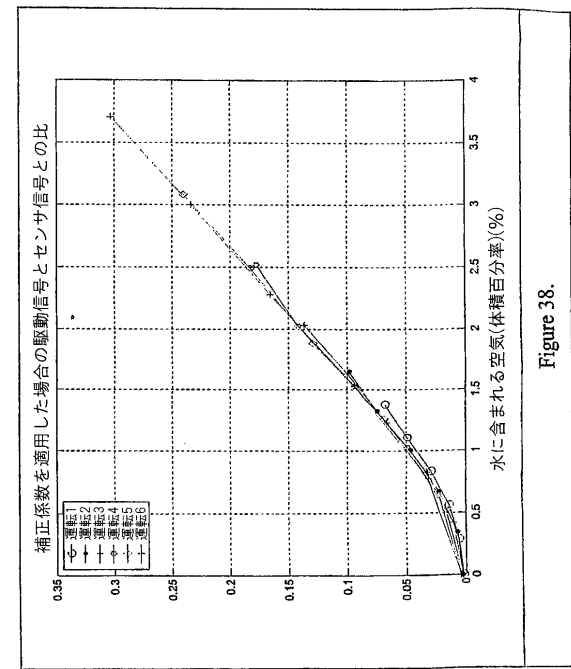


Figure 38.

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		In tional Application No PCT/GB 03/04134
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01F1/74 G01F1/66		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PEROVIC S ET AL: "Fault detection and flow regime identification based on analysis of signal noise from electromagnetic flowmeters" PROC. INST. MECH. ENG. E, J. PROCESS MECH. ENG. (UK), PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, PART E (JOURNAL OF PROCESS MECHANICAL ENGINEERING), 2001, MECH. ENG. PUBLICATIONS FOR IMECHE, UK, vol. 215, no. E4, 2001, pages 283-294, XP009031529 ISSN: 0954-4089	1,2,6-24
Y	section 3.4 "Two-phase flow" - section 5	4
A	"Conclusion"	3,5
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "G" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 2 June 2004		Date of mailing of the international search report 21/06/2004
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 apo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Politsch, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No.
PCT/GB 03/04134

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	PUSAYATANONT M ET AL: "Analysis of the sensor signal from a turbine flowmeter to recover information regarding the flow regimesal vortex flowmeter" PROCEEDINGS 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOW MEASUREMENT, FLOMEKO 2003, 12 May 2003 (2003-05-12), XP002282613	1-3, 6-13, 15-24
A	paper ref. 129 section 4.4 "Two-phase flow" - section 5 "Conclusions"	4,5,14
X	FERREIRA V C S: "Differential pressure spectral analysis for two-phase flow through an orifice plate" INT. J. PRESS. VESSELS PIP. (UK), INTERNATIONAL JOURNAL OF PRESSURE VESSELS AND PIPING, ELSEVIER, UK, vol. 73, no. 1, August 1997 (1997-08), pages 19-23, XP002282614 ISSN: 0308-0161	1-3,5, 15,18, 21,24
Y	the whole document	4
A		7-14,16, 17
A	EP 0 519 752 A (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 23 December 1992 (1992-12-23) column 7, line 55 - column 16, line 15; figures	1-24
Y	US 4 300 399 A (KUIJPERS PETRUS J M ET AL) 17 November 1981 (1981-11-17)	4
A	column 2, line 36 - column 4, line 32; figures	1-24
A	KHAN H J ET AL: "STATISTICAL CHARACTERIZATION OF AIR WATER BUBBLY FLOW USING DIFFERENTIAL PRESSURE DROP MEASUREMENTS" ASME FLUIDS ENGINEERING DIVISION MEETING, vol. 165, 20 June 1993 (1993-06-20), pages 137-144, XP009022351 the whole document	1-24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/GB 03/04134

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0519752	A	23-12-1992	US 5207107 A	04-05-1993
			CA 2069252 A1	21-12-1992
			DE 69209903 D1	23-05-1996
			DE 69209903 T2	14-11-1996
			EP 0519752 A2	23-12-1992
			JP 3200167 B2	20-08-2001
			JP 5172607 A	09-07-1993
US 4300399	A	17-11-1981	GB 2057134 A	25-03-1981
			CA 1139445 A1	11-01-1983

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA ,ZM,ZW

(74)代理人 100082898

弁理士 西山 雅也

(72)発明者 アンスワース,ピーター ジョセフ

イギリス国,イースト サセックス ビーエヌ7 1エイチジー,ルイス,ウインターボーン ミ
ユース 12

(72)発明者 ハイアム,エドワード,ホール

イギリス国,サリー アールエイチ1 6アールエヌ,レッドヒル,オークランド パーク,オー
克蘭ズ ドライブ 6

(72)発明者 プサヤタノント,モンコル

イギリス国,サセックス ビーエヌ1 9キューティー,ユニバーシティ オブ サセックス,ス
クール オブ エンジニアリング アンド インフォメーション テクノロジー

Fターム(参考) 2F030 CA01 CA03 CA04 CC06

2F035 HA03 HB01 HB04 HB06 HB07