

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4953001号
(P4953001)

(45) 発行日 平成24年6月13日(2012.6.13)

(24) 登録日 平成24年3月23日(2012.3.23)

(51) Int. Cl.	F I	
GO1F 1/66 (2006.01)	GO1F 1/66	Z
GO1F 1/712 (2006.01)	GO1F 1/66	IO1
GO1F 1/00 (2006.01)	GO1F 1/712	
GO1P 5/22 (2006.01)	GO1F 1/00	V
	GO1P 5/22	E

請求項の数 12 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2007-88850 (P2007-88850)	(73) 特許権者	000003687
(22) 出願日	平成19年3月29日(2007.3.29)		東京電力株式会社
(65) 公開番号	特開2008-249400 (P2008-249400A)		東京都千代田区内幸町一丁目1番3号
(43) 公開日	平成20年10月16日(2008.10.16)	(74) 代理人	100101742
審査請求日	平成21年3月25日(2009.3.25)		弁理士 麦島 隆
		(74) 代理人	100101384
			弁理士 的場 成夫
		(72) 発明者	森 治嗣
			東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東
			京電力株式会社内
		(72) 発明者	手塚 英昭
			東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東
			京電力株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流量計測装置、流量測定方法およびコンピュータプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いることができる流量計測装置であって、

トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手段と、

そのエミッショントリガ発振手段からのトリガ信号の出力を受けて超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一トランスデューサと、

その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定して超音波パルスを送受信する第二トランスデューサと、

その第二トランスデューサおよび前記第一トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手段と、

その信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法・算出手段を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手段と、

前記信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、変動探索窓・算出手段および相互相関法・算出手段を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手段と、を備え、

前記伝搬時間差法・算出手段は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一

トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓・算出手段は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定し、前記相互相関法・算出手段は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とする流量計測装置。

【請求項 2】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いることができる流量計測装置であって、

超音波パルスを被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一トランスデューサと、

その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定して超音波パルスを送受信する第二トランスデューサと、

その第二トランスデューサおよび前記第一トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手段と、

その信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法・算出手段を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手段と、

前記信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、変動探索窓・算出手段および相互相関法・算出手段を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手段と、を備え、

前記伝搬時間差法・算出手段は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓・算出手段は、所定のまとまった発振周期で、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定し、

前記相互相関法・算出手段は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とする流量計測装置。

【請求項 3】

前記変動探索窓・算出手段は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 のいずれかに記載の流量計測装置。

【請求項 4】

前記流速分布・流量算出手段が算出した流速分布データと前記平均流速算出手段が算出した平均流速とを関連付けて蓄積する流速分布データベースを備え、

前記流速分布・流量算出手段は、前記流速分布データベースから所定の平均流速データに対応する流速分布データを抽出することによって、被測定流体の流速分布または流量を算出可能としたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の流量計測装置。

【請求項 5】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法であって、

10

20

30

40

50

トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手順と、

そのエミッショントリガ発振手順によるトリガ信号の出力を受けた第一トランスデューサが超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、

その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、

前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、

その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、

10

前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、を備え、

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定することとし、

20

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とする流量計測方法。

【請求項6】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法であって、

第一トランスデューサが超音波パルスを被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、

30

その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、

前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、

その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、

前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、を備え、

40

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓は、所定のまとまった発振周期で、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定し、

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前

50

記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とする流量計測方法。

【請求項 7】

前記変動探索窓は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする請求項 5 または請求項 6 のいずれかに記載の流量計測方法。

【請求項 8】

前記流速分布・流量算出手段が算出した流速分布データと前記平均流速算出手段が算出した平均流速とを関連付けて流速分布データベースに蓄積する流速分布データベース作成手順と、

前記流速分布データベースから所定の平均流速データに対応する流速分布データを抽出することによって、被測定流体の流速分布または流量を算出する蓄積データ利用算出手順と、を備えたことを特徴とする請求項 5 から請求項 7 のいずれかに記載の流量計測方法。

【請求項 9】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムであって、

そのプログラムは、トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手順と、

そのエミッショントリガ発振手順によるトリガ信号の出力を受けた第一トランスデューサが超音波パルスを送受信する第一超音波送受信手順と、

その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、

前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、

その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、

前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、をコンピュータに実行させるものであり、

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定し、

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とするコンピュータプログラム。

【請求項 10】

被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムであって、

10

20

30

40

50

そのプログラムは、第一トランスデューサが超音波パルスを送受信する被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、

前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、

その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、

前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、をコンピュータに実行させるものであり、

10

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出することとし、

前記変動探索窓は、所定のまとまった発振周期で、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定し、

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とするコンピュータプログラム。

20

【請求項 1 1】

前記変動探索窓は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする請求項 9 または請求項 1 0 のいずれかに記載のコンピュータプログラム。

【請求項 1 2】

前記流速分布・流量算出手段が算出した流速分布データと前記平均流速算出手段が算出した平均流速とを関連付けて流速分布データベースに蓄積する流速分布データベース作成手順と、

30

前記流速分布データベースから所定の平均流速データに対応する流速分布データを抽出することによって、被測定流体の流速分布または流量を算出する蓄積データ利用算出手順と、コンピュータに実行させるための請求項 9 から請求項 1 1 のいずれかに記載コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、超音波を利用して金属配管の内部を流動する種々の流体の流量を非接触にて測定可能な流量計測装置、流量計測方法の技術に係る。

40

【背景技術】

【0 0 0 2】

超音波パルスを利用した超音波流量計としては、特許文献 1 に開示された技術がある。

【0 0 0 3】

この超音波流量計は、ドップラ式と呼ばれ、トランスデューサから超音波パルスを流体配管内の測定線に向けて発射し、流体配管内を流れる流体内の懸濁微粒子からの反射波である超音波エコー信号を解析して懸濁微粒子の位置と速度から測定線に沿う流体の流速分布および流量を求める装置である。測定線はトランスデューサから発射される超音波パル

50

スのビームにより形成される。

【0004】

超音波流量計は、不透明流体・不透明配管内に適用することができ、流体配管内を流れる流体を非接触測定でき、測定線に沿う線測定で流体配管内の流速分布や、流量が測定できる一方、不透明流体の流速分布や流量測定にも適用でき、水銀・ナトリウム等の液体金属の流動測定にも利用できる利点がある。

【0005】

しかし、流体中に超音波を反射できる反射体、例えば気泡などがある程度存在しないと使えない。この欠点を補う技術は、図13に示すような伝搬時間差法による超音波流量計である。これは、超音波トランスデューサを上流側と下流側とで向かい合わせ、互いに送受信する超音波は、上流側から下流側に発振される超音波のほうが流れに乗るので速くなる、という流速に応じて変化する原理を用いて、流速を決定するものである。

10

【0006】

更に、超音波の発振と受信との時間差から平均流量を測定する前述したドップラ式や伝搬時間差法以外の超音波流量計としては、図14に示すように、反射波の時間差から相互相関によって流速分布を求める流量計もある。

この相互相関法は、同一の反射体からの異なる複数のパルスに対するエコー信号の時間差から当該反射体の速度を求めるのが測定原理である。流速分布に基づく精密な流量測定が可能であるが、相互相関処理に時間が掛かるという欠点がある。このため、時間分解能を向上させての効率的な相互相関処理が望まれている。

20

【0007】

特許文献2においては、探索窓を設定して相互相関処理を実行する領域を特定して処理速度を向上させる技術が記載されている。これは、反射体からのエコー信号の周波数特性を導出し、この平均値および標準偏差から、探索窓を設定するものである。

同一の反射体からのエコー信号を見つけるため、最初の発振パルスを「参照波」、二番目の発振パルスを「探索波」とし、参照波と探索波との相関値が大きい場合に、同一の反射体からのエコー信号として特定するのであるが、探索波ではない反射波を探索波であると誤認してしまうことがあるという従来技術の欠点に対し、探索窓の範囲で探索波を探すことによって誤認を減らすことができる。

30

【0008】

【特許文献1】特開2000-97742号公報

【特許文献2】特許3795510号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献2に記載の技術では、周波数特性を正確に導出するためには相当数の系列の測定データを取り入れる必要があり、結果としては処理時間が多く掛かってしまっていた。

【0010】

本発明が解決しようとする課題は、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する技術を提供することにある。

40

請求項1から請求項4に記載の発明の目的は、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測装置を提供することにある。

請求項5から請求項8に記載の発明の目的は、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測方法を提供することにある。

請求項9から請求項12に記載の発明の目的は、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

(請求項1)

請求項1に記載の発明は、被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流

50

速測定と相互相関法による流速測定とを用いることができる流量計測装置に係る。

すなわち、トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手段と、そのエミッショントリガ発振手段からのトリガ信号の出力を受けて超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる流体配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一トランスデューサと、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置に固定される第二トランスデューサと、その第二トランスデューサおよび前記第一トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手段と、その信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法・算出手段を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手段と、前記信号処理手段において処理されたエコー処理信号を、変動探索窓・算出手段および相互相関法・算出手段を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手段と、を備える。

10

前記伝搬時間差法・算出手段は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

前記変動探索窓・算出手段は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する。

前記相互相関法・算出手段は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出することとしたことを特徴とする。

20

【0012】

(作用)

まず、エミッショントリガ発振手段がトリガ信号を一定の発振周期で出力する。第一トランスデューサは、そのエミッショントリガ発振手段からのトリガ信号の出力を受けて超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる流体配管内の測定線に沿って出力する。第二トランスデューサもまた、エミッショントリガ発振手段からのトリガ信号の出力を受けて超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる流体配管内の測定線に沿って出力する。

30

その第二トランスデューサおよび前記第一トランスデューサが受信した超音波エコーは、信号処理手段がエコー処理信号に信号処理する。

その信号処理手段において処理されたエコー処理信号から、平均流速算出手段が、伝搬時間差法・算出手段を用いて配管内の平均流速を算出する。すなわち、その前記伝搬時間差法・算出手段は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

40

算出された配管内の平均流速は、前記変動探索窓・算出手段において、前記トリガ信号の発振周期ごとに、探索窓の大きさを設定するのに用いる。それによって、探索窓を効率的、効果的に決定することができる。

一方、前記信号処理手段において処理されたエコー処理信号は、流速分布・流量算出手段が変動探索窓・算出手段および相互相関法・算出手段を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出する。探索窓の決定が効率的、効果的になされているので、正確で迅速な被測定流体の流速分布または流量を算出が可能となる。

【0013】

50

(請求項2)

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の流量計測装置の構成を少々変更した、被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いることができる流量計測装置に係る。

請求項1に係る流量計測装置との相違点は、トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手段を必須構成としていない点、および変動探索窓・算出手段における探索窓の大きさの設定方法を異ならせた点である。すなわち、請求項2に係る流量計測装置の変動探索窓・算出手段は、伝搬時間差法・算出手段を用いて算出した平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する点は共通するものの、所定のまとまった発振周期で、設定することとしている点で相違する。

10

【0014】

ここで、「所定のまとまった発振周期」とは、例えば、0.1秒～1秒分である。この範囲は、経験的に把握されたものである。0.1秒未満だと乱流の変動を受けやすく、1秒より大きいとポンプの出力変動等の流量そのものが変化してその影響を受けやすいからである。例えば「0.1秒をまとまった発振周期」とし、エコー信号をまとめて取得した後に流速分布・流量を算出する場合、1回だけ平均流速を算出した後、100回分のトリガ信号を発生させ、100の超音波エコーを取得し、平均流速から得られた同一の探索窓を用いて99の流速分布・流量を算出する。

【0015】

(作用)

変動探索窓・算出手段は、伝搬時間差法・算出手段にて別途算出した平均流速を用いて探索窓の大きさを設定するが、所定のまとまった発振周期で設定する。

探索窓の決定が効率的、効果的になされているので、正確で迅速な被測定流体の流速分布または流量を算出が、流速分布・流量算出手段が変動探索窓・算出手段および相互相関法・算出手段を用いて可能となる。

20

【0016】

(請求項3)

請求項3に記載の発明は、請求項1または請求項2のいずれかに記載の流量計測装置を限定したものである。

すなわち、前記変動探索窓・算出手段は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする。

30

【0017】

(用語説明)

「所定倍数」とは、各測定現場で経験的に特定される数値を採用する。たとえば、流速が速い場合や配管径が太いような場合には小さめの数値とした方が、流速分布または流量の算出を速くすることができる。逆に、流速が遅い場合や配管径が細いような場合には大きめの数値としたほうが、流速分布または流量の算出を正確することができる。

なお、探索範囲を前記平均流速値の二倍に設定すること、すなわち所定倍数を2とすることが合理的であることが、多くの測定現場から経験的に把握されている。

40

【0018】

(請求項4)

請求項4に記載の発明は、請求項1から請求項3に記載の発明において、伝搬時間差法・算出手段によってリアルタイムに算出した平均流速と相互相関法・算出手段で算出した流速分布データとを関連づけて蓄積することによってデータベース化しておき、伝搬時間差法・算出手段によって算出した平均流速を用いて、そのデータベースから流速分布データを抽出して用いるということの特徴とする流量計測装置に係る。

【0019】

(作用)

伝搬時間差法・算出手段によって平均流速データをリアルタイムに算出する。また、その平均流速データを用いた相互相関法・算出手段で流速分布データを算出する。そして、

50

当該平均流速データと当該流速分布データとを関連づけて蓄積することによってデータベース化する。

伝搬時間差法・算出手段によって平均流速データはリアルタイムで算出できるものの、相互相関法・算出手段をリアルタイムで活用して流速分布または流量を出力するのに適さないような場合、予め構築されたデータベースから、当該平均流速データに関連する流速分布データを抽出し、流速分布または流量を算出して出力することができる。

【0020】

(請求項5)

請求項5に記載の発明は、請求項1に記載の流量計測装置に対応する方法発明であって、被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法に係る。

10

すなわち、トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手順と、そのエミッショントリガ発振手順によるトリガ信号の出力を受けた第一トランスデューサが超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、を備える。

20

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

前記変動探索窓は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する。

30

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出する。

【0021】

(請求項6)

請求項6に記載の発明は、請求項2に記載の流量計測装置に対応する方法発明であり、被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法に係る。

40

すなわち、第一トランスデューサが超音波パルスを被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、を備える。

50

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

前記変動探索窓は、所定のまとまった発振周期で、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する。

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出する。

【0022】

(請求項7)

請求項7に記載の発明は、請求項5または請求項6のいずれかに記載の流量計測装置を限定したものである。

すなわち、前記変動探索窓は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする。

【0023】

(請求項8)

請求項8に記載の発明は、請求項5から請求項7のいずれかに記載の流量計測方法を限定したものである。

すなわち、前記流速分布・流量算出手段が算出した流速分布データと前記平均流速算出手段が算出した平均流速とを関連付けて流速分布データベースに蓄積する流速分布データベース作成手順と、前記流速分布データベースから所定の平均流速データに対応する流速分布データを抽出することによって、被測定流体の流速分布または流量を算出する蓄積データ利用算出手順と、を備えたことを特徴とする。

【0024】

(請求項9)

請求項9に記載の発明は、請求項5に記載の流量計測方法をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムに係り、被測定流体の流れる配管に対して、伝搬時間差法による流速測定と相互相関法による流速測定とを用いた流量計測方法をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムである。

そのプログラムは、トリガ信号を一定の発振周期で出力するエミッショントリガ発振手順と、そのエミッショントリガ発振手順によるトリガ信号の出力を受けた第一トランスデューサが超音波パルスを一定周期で生成し、被測定流体の流れる配管内の測定線に沿って出力するとともに、超音波エコーを受信する第一超音波送受信手順と、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、をコンピュータに実行させるものである。

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

10

20

30

40

50

前記変動探索窓は、前記トリガ信号の発振周期ごとに、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する。

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出する。

【 0 0 2 5 】

(請求項 1 0)

請求項 1 0 に記載の発明は、請求項 6 に記載の流量計測方法をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムに係る。

10

すなわち、第一トランスデューサが超音波パルスを送受信する第一超音波送受信手順と、その第一トランスデューサが固定された配管の下流側に対向する位置へ固定した第二トランスデューサが超音波パルスを送受信する第二超音波送受信手順と、前記第一トランスデューサおよび前記第二トランスデューサが受信した超音波エコーをエコー処理信号に信号処理する信号処理手順と、その信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、伝搬時間差法を用いて配管内の平均流速を算出する平均流速算出手順と、前記信号処理手順にて処理されたエコー処理信号を、変動探索窓および相互相関法を用いて、前記測定線に沿った前記反射体の位置と速度とを算出し、被測定流体の流速分布または流量を算出する流速分布・流量算出手順と、をコンピュータに実行させるものである。

20

前記伝搬時間差法は、前記第一トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第二トランスデューサで受信された超音波パルスと、前記第二トランスデューサから発振された超音波パルスが被測定流体内を透過後に前記第一トランスデューサで受信された超音波パルスとの時間差を解析することによって配管内の平均流速を算出する。

前記変動探索窓は、所定のまとまった発振周期で、前記平均流速を用いて探索窓の大きさを設定する。

前記相互相関法は、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが発振するとともに、被測定流体内の反射体にて反射されて生成される超音波エコーを、前記第一トランスデューサまたは前記第二トランスデューサのいずれかが受信し、前記信号処理手段が信号処理したエコー処理信号について、前記探索窓における参照波および探索波の相互相関から被測定流体の流速分布または流量を算出する。

30

【 0 0 2 6 】

(請求項 1 1)

請求項 1 1 に記載の発明は、請求項 7 に記載のコンピュータプログラムを限定したものであり、

前記変動探索窓は、前記平均流速値から得られる変動窓の探索範囲を仮設定したら、その仮設定の所定倍数に探索範囲を設定することを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

(請求項 1 2)

請求項 1 2 に記載の発明は、請求項 9 から請求項 1 1 に記載のコンピュータプログラムを限定したものである。

40

前記流速分布・流量算出手段が算出した流速分布データと前記平均流速算出手段が算出した平均流速とを関連付けて流速分布データベースに蓄積する流速分布データベース作成手順と、

前記流速分布データベースから所定の平均流速データに対応する流速分布データを抽出することによって、被測定流体の流速分布または流量を算出する蓄積データ利用算出手順と、コンピュータに実行させることとしたことを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

50

請求項 1 2 にて限定した手順は、例えば、伝搬時間差法・算出手段によって平均流速データはリアルタイムで算出できるものの、相互相関法・算出手段をリアルタイムで活用して流速分布または流量を出力するのに適さないような場合において、選択的に実行される。

【 0 0 2 9 】

請求項 9 から請求項 1 2 に記載のコンピュータプログラムを、所定の情報処理端末にインストールし、第一および第二トランスデューサを設定すれば、請求項 1 から請求項 4 に記載する流量計測装置を提供することとなる。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 0 】

請求項 1 から請求項 4 に記載の発明によれば、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測装置を提供することができた。

請求項 5 から請求項 8 に記載の発明によれば、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測方法を提供することができた。

請求項 9 から請求項 1 2 に記載の発明によれば、相互相関処理の時間を短縮して使いやすい流速分布または流量を測定する流量計測プログラムを提供することができた。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 1 】

本願発明を、実施形態および図面を参照して説明する。ここで使用する図面は、図 1 から図 1 2 である。図 1、図 3、図 4 および図 5 は、本願発明の実施形態を示すブロック図である。図 2 は、本発明の原理を示す概念図である。図 6 は、ハードウェア構成図である。図 7 から図 1 2 は、相互相関法の処理手順を説明した図である。

【 0 0 3 2 】

(図 1)

図 1 は、本発明の第一の実施形態をブロック図で示している。すなわち、第一の実施形態は、伝搬時間差法・算出システムにて平均流速を算出し、相互相関法・算出システムにおける探索窓の設定において前記平均流速を用い、相互相関法によって被測定流体の流速分布または流量を算出するものである。

【 0 0 3 3 】

伝搬時間差法・算出システムは、上流および下流で対向する超音波トランスデューサからの超音波を送信し、各トランスデューサにて互いの超音波を受信する。上流に設置されたトランスデューサから下流に設置されたトランスデューサに向かう超音波のほうが、下流に設置されたトランスデューサから上流に設置されたトランスデューサに向かう超音波よりも速い。流体の流れに沿って進むからである。その伝搬時間の差を捉えることで流速分布を算出するのが、伝搬時間差法・算出システムである。

【 0 0 3 4 】

一方、相互相関法・算出システムは、単独の超音波トランスデューサからの超音波を送信し、反射体に反射された反射波を受信する。送信する超音波は、参照波と探索波があり、探索窓の範囲でそれを探索する。この探索窓の範囲設定が大きければ間違いが少なく、流速分布の算出も正確になるが、範囲が大きすぎると計算時間が多く掛かる。

そこで、前述の伝搬時間差法・算出システムにて算出された平均流速を用いて探索窓を設定することで、合理的な探索範囲とし、流速分布または流量を算出して、出力手段に算出結果を出力させるものである。単位時間の流量ではなく、流速分布を出力する場合を示すため、図 1 において二点破線にて示している。

【 0 0 3 5 】

(図 2)

図 2 では、参照窓およびその参照波のエコー信号、探索窓および探索窓のエコー信号を図示するとともに、それらから平均流速を用いて探索範囲を決定する手順を、概念的に示したものである。

従来、探索窓の大きさをエミッショントリガの発振周期 ごとに設定する変動探索窓法

10

20

30

40

50

では、各においてデジタル超音波エコー信号をFFTにより算出する平均周波数 f_G 及びから、統計学のいわゆる3ルール(正規分布において、平均値 ± 3 の範囲に全体の99.7%が包含される)により、出現し得る周波数帯を平均周波数 $f_G \pm 3$ の範囲とみなし、存在し得る超音波反射体の速度の最小値 u_{min} 及び最大値 u_{max} を $f_G + 3$ 、 $f_G - 3$ から求め、探索窓の大きさ min 及び max を決定しこの範囲の中で探索波を探るようにする(図中(a)の範囲)。

この探索窓の大きさを求める計算は、3ルールを用いて範囲を限定しているものの、膨大な計算が必要となっていた。

【0036】

一方、本発明では、伝搬時間差法により算出した平均流速から予測される位置及びその予測される位置(図中(d)にて示す位置および範囲)を中心とし、探索範囲をその平均流速の整数倍と設定することにより、探索窓の大きさを決定するものである図中(b)の範囲)。これにより、探索範囲を3ルールよりも小さくすることが可能になる。

なお、流れ方向が特定されるため一方の探索窓は不要となり、探索窓の一方を特定できる(図中(c)の範囲)。

【0037】

(図3)

図3において、データの流れを数字で示し、以下の説明にて用いる。

図3に示す第二の実施形態は、伝搬時間差法・算出システムにおいて平均流速データを算出したら、相互相関法・算出システムに送る(1)という点は、第一の実施形態と同じである(第一の実施形態と同じ処理手順の場合については、二点破線にて示している)。

伝搬時間差法・算出システムにて流速分布データが算出できたら、それを、前述の平均流速データとともに流速分布データベースに蓄積することでデータベース化するのである(2,3)。

そして、この流速分布データベースから適切な関連データを抽出し、流速分布または流量を算出する(4)。

【0038】

この実施形態によれば、伝搬時間差法・算出手段によって平均流速データはリアルタイムで算出できるものの、相互相関法・算出手段をリアルタイムで活用して流速分布または流量を出力するのに適さないような場合であっても、流速分布または流量を算出して出力することができる。

【0039】

(図4)

図4においては、前述の第一の実施形態を実線で、第二の実施形態のみに関わる部分を二点破線で示している。

エミッショントリガ発振手段が、第一および第二のトランスデューサにトリガ信号を発振する。すると、それぞれのトランスデューサに設けられた超音波パルス発振手段が配管内の被測定流体に向かって超音波パルスを発信する。そして、各トランスデューサにて互いが発振した超音波パルスを受信するとともに、必要な反射波を受信する。この図示例では、第一トランスデューサが自らの発振した超音波パルスによる反射波(超音波エコー)と、第二トランスデューサが発振した超音波パルスとを受信する。第二トランスデューサは、第一トランスデューサが発振した超音波パルスのみを受信する。

【0040】

各トランスデューサが受信した超音波パルス、超音波エコーは、信号処理手段によって適切な信号処理がなされる。図5にて示すこととしてこの図では図示を省略するが、ローパスフィルタによるフィルタリング、ADコンバータによるアナログデジタル変換、ウォールフィルタによるウォールフィルタリング処理などである。

【0041】

前記信号処理手段によって処理された処理信号は、平均流速算出手段および流速分布・流量算出手段に、それぞれ必要なデータが送られる。

10

20

30

40

50

平均流速算出手段では、伝搬時間差法算出手段によって平均流速データが算出される。平均流速データを蓄積するための平均流速データベースが設けられている場合には、関連データとともにデータベース化される。

【 0 0 4 2 】

流速分布・流量算出手段では、変動探索窓・算出手段が、探索波と参照波とを、探索窓の範囲で探索する。この探索窓の範囲設定において、前述の平均流速データを用いる。そして、相互相関・算出手段によって流速分布または流量を算出し、出力手段を介して算出結果を出力するのである。

【 0 0 4 3 】

(図 5)

図 5 には、第一の実施形態における信号処理手段について詳細に説明したものである。すなわち、信号処理手段は、ローパスフィルタ 3 0 b、A D コンバータ 3 2、ウォールフィルタ処理部 3 3 を備えて構成されている。ローパスフィルタ 3 0 b によって不要な周波数成分を取り除き、A D コンバータ 3 2 にてアナログデジタル変換を実行する。そして、ウォールフィルタ処理部 3 3 のウォールフィルタによりクラッタノイズを除去する。

以上のようにして処理された処理信号が、平均流速算出手段および流速分布・流量算出手段 3 7 にて用いられることとなる。

【 0 0 4 4 】

(図 6)

図 6 は、前述してきた第一または第二の実施形態のシステム構成を概略にて示している。

パソコン (図中「 P C 」 1 1) と、そのパソコン 1 1 が読み出し実行可能な超音波流速分布および流量測定プログラムとが協働し、被測定流体が流れる配管 1 8 に対して、超音波流速分布計および流量計として機能する。すなわち、パソコン 1 1 に内蔵されるハードディスクには、超音波流速分布および流量測定プログラムがインストールされている。

【 0 0 4 5 】

配管 1 8 には、上流側において第一トランスデューサ 1 5、それに向かい合う下流側に第二トランスデューサ 1 5 a が固定される。

超音波トランスデューサ 1 5, 1 5 a は、配管 1 8 に所定の設置角度をなして外側から設置される。第一トランスデューサ 1 5 から発信された超音波パルスは、図 1 に示される測定線 M L に沿って、配管 1 8 内を流れる被測定流体 1 7 中に入射され、懸濁する (混在する) 超音波反射体により反射される。超音波反射体 (気泡 4 8) によって反射された反射波は、超音波トランスデューサ 1 5 に戻る。また、第二トランスデューサ 1 5 a から発信された超音波パルスも受信する。

一方、第二トランスデューサ 1 5 a は、第一トランスデューサ 1 5 から発信された超音波パルスを受信する。

【 0 0 4 6 】

図示は省略しているが、前述のトランスデューサ 1 5, 1 5 a は、音響インピーダンスを整合させるため、音響カプラを介して配管 1 8 に設置されることが一般的である。

超音波流速分布および流量測定時において、例えば、トランスデューサ 1 5, 1 5 a が発信する超音波パルスの周波数の制御や反射波を受信する際のゲイン調整等の測定に付随的な処理操作 (以下、「基本処理操作」) は、事前設定される基本処理プログラムによって各種機能の実現される。基本処理プログラムは、例えば、パソコン 1 1 に内蔵されるハードディスク等のパソコン 1 1 が読み出し可能な記録手段に記録され、保存される。

【 0 0 4 7 】

(図 7)

相互相関・算出手段は、流速を算出する処理を実行するのであるが、それを繰り返して流速プロファイルを作成して蓄積することもできる。作成したプロファイルは、算出した流速の誤差修正などに用いる。

10

20

30

40

50

また、流速分布については、関連するデータとともに、データベース化する。流速分布のデータをデータベース化して備えることで、リアルタイムな平均流速データの算出が困難な場合などに用いることができる。

【 0 0 4 8 】

(図 8)

図 8 では、図 5 の信号処理手段を詳述しており、トリガ信号および超音波エコー信号受信波形と A D コンバータ 3 2 のサンプリングのタイミングとの関係を説明している。

横軸は時間軸、縦軸は信号レベルであり、上段はトリガ信号の時間変化、中段は超音波エコー信号受信波形の時間変化、下段は A D コンバータ 3 2 のサンプリングのタイミングが図示される。図 8 の上段に示すようにトリガ信号は、例えば、所定時間 () 間隔毎にパルス状の信号が次々と出力されている。このトリガ信号のタイミングに合わせて超音波エコー信号の受信および A D コンバータ 3 2 のサンプリングのタイミングが制御される。

【 0 0 4 9 】

A D コンバータ 3 2 は、図 8 の下段に示すように、超音波エコー信号を極めて短時間幅、例えば $1 \mu s$ 毎にデジタルサンプリング処理して、デジタル超音波エコー信号を取得、すなわち、所要系列数の時系列データ (例えば、5 1 2 系列分) を取得する。A D コンバータ 3 2 が、所要系列数分の時系列データの取得を完了すると、ウォールフィルタ (W F) 処理工程としてデジタル超音波エコー信号に対してウォールフィルタ処理部 3 3 が W F 処理を実行する。ウォールフィルタ処理部 3 3 はクラッタノイズを低減する。W F 処理が完了した超音波エコー信号は、信号解析手順によって信号解析される。

【 0 0 5 0 】

信号解析とは、相互相関法を用いて超音波エコー信号を解析することにより、配管 1 8 内を流れる流体 1 7 の測定線 (ステンレス管の直径方向線) M L に沿う速度分布を求めること又は M L に沿う速度分布を求め、求めた流速分布を配管 1 8 の内部面積に沿って積分することにより流量を求めることである。

【 0 0 5 1 】

信号解析手順は、流体中の超音波反射体群の位置および速度を算出する反射体位置・速度算出工程と、この反射体位置・速度算出工程で算出した流体中の超音波反射体群の位置および速度から流体の流速分布を算出する流速分布算出工程と、この流速分布算出工程で算出した流速分布を配管 1 8 の内部面積に沿う積分演算を行い、流量を算出する流量算出工程とを備える。

【 0 0 5 2 】

信号解析手順としての超音波エコー信号の信号解析は、まず、反射体位置・速度算出工程として反射体位置・速度算出部 3 6 が、超音波反射体群の位置および速度を算出する。超音波反射体群の位置および速度の算出は、極めて短時間幅、例えば $1 \mu s$ 毎に 5 1 2 系列サンプリングされるデジタル超音波エコー信号の連続する系列、すなわち、 n 番目の系列に含まれる反射波 (参照波) 4 5 と $n + 1$ 番目の系列 (n は、 $1 < n < 5 1 1$ を満たす整数) に含まれる反射波 (探索波) 4 6 との相互相関を計算する。

【 0 0 5 3 】

相互相関計算処理ステップとしての参照波 4 5 と探索波 4 6 との相互相関の計算は、探索窓の大きさを、変動探索窓法を用いて設定し、探索波 4 6 における必要な探索範囲において、参照波 4 5 との相互相関を $n = 1$ から $n = 5 1 1$ まで実行する。そして、参照波 4 5 と探索波 4 6 との相互相関を計算し、相関値がある一定値 (閾値) 以上の場合、同一の超音波反射体からの反射波とみなす位相特定ステップを実行し、続いて、位相差計算ステップにより特定した参照波 4 5 および探索波 4 6 の位相差を求め、その位相差から超音波反射体の位置および速度を算出する位置・速度算出ステップを実行する。

【 0 0 5 4 】

このようにして、参照波 4 5 と探索波 4 6 との相関値がある一定値 (閾値) 以上の場合、同一の超音波反射体からの反射波とみなして、流体 1 7 中で超音波を反射した各超音波反射体の位置および速度を算出していく。そして、流速分布算出工程として算出された超

10

20

30

40

50

音波反射体群の位置および速度から流速分布算出部 37 が被測定流体 17 の流速分布を算出する。

【 0 0 5 5 】

流速分布算出部 37 は、得られた超音波反射体群の位置および速度データから測定対象となる被測定流体 17 の流速分布を算出する。算出する被測定流体 17 の流速分布は、その流速を流体 17 中に懸濁される超音波反射体群の速度とみなして、得られた超音波反射体群の位置および速度データから配管 18 (ステンレス配管) の位置およびその位置における超音波反射体群の速度の関係、すなわち、配管 18 内の流体 17 の流速分布を算出する。

【 0 0 5 6 】

なお、信号解析手順は、反射体位置・速度算出工程と、流速分布算出工程と、流量算出工程とを備えているが、信号解析手順は、反射体位置・速度算出工程と、流速分布算出工程とを備える形態でもよい。この場合、超音波流速分布計および流量計 10 は、配管 18 内の被測定流体 17 の流速分布のみを算出し、流量の算出を行わず、パソコン 11 のディスプレイ等の表示可能な表示手段に流速分布が表示される。

【 0 0 5 7 】

(図 9)

図 9 は、図 1 に示される超音波流速分布計および流量計において、パソコン 11 が超音波流速分布および流量測定プログラムを実行することによりなされる超音波流速分布および流量測定処理方法を説明する処理フロー図である。

すなわち、超音波流速分布および流量測定処理方法は、受信した超音波エコー信号を信号処理する信号処理手順と、信号処理後の超音波エコー信号を信号解析して流体 17 の流速分布および流量を得る信号解析手順とを具備する。

【 0 0 5 8 】

信号処理手順は、受信した超音波エコー信号のうち使用した超音波と同じ周波数帯を抽出する B P F 処理を行なう B P F 処理工程と、超音波エコー信号を A D 変換する A D 変換工程と、超音波エコー信号に重畳するクラッタノイズ成分を低減する W F 処理工程とを備える。

【 0 0 5 9 】

信号解析手順は、測定対象である流体 17 中の超音波反射体群の位置および速度を算出する反射体位置・速度算出工程と、反射体位置・速度算出工程で算出した超音波反射体群の位置および速度から流体の流速分布を算出する流速分布算出工程と、流速分布算出工程で算出した流速分布から流体 17 の流量を算出する流量算出工程とを備える。

【 0 0 6 0 】

まず、パソコン 11 に内蔵される C P U 等の演算処理手段が超音波流速分布および流量測定 P G 1 2 を読み出し実行して、信号処理手順 (ステップ S 1 ~ ステップ S 3) および信号解析手順 (ステップ S 4 ~ ステップ S 6) を実行する。

超音波流速分布および流量測定処理方法における信号処理手順は、ステップ S 1 で B P F 処理工程が、ステップ S 2 で A D 変換工程が、ステップ S 3 で W F 処理工程がなされる。

【 0 0 6 1 】

(図 1 0)

図 10 は、信号解析手順における反射体群位置・速度算出工程 (ステップ S 4) のより詳細な処理ステップを表した処理フロー図を示す。

ステップ S 4 の反射体群位置・速度算出工程は、相互相関計算処理ステップ (ステップ S 2 1) と、位相特定ステップ (ステップ S 2 2) と、位相差計算ステップ (ステップ S 2 3) と、位置・速度算出ステップ (ステップ S 2 4) と、探索完了判別ステップ (ステップ S 2 5) とを備える。

【 0 0 6 2 】

反射体群位置・速度算出工程は、まず、ステップ S 2 1 で相互相関計算処理ステップが

10

20

30

40

50

なされ、相互相関法による参照波 4 5 および探索波 4 6 の相互相関を計算し相関値を算出する。相関値の算出は、探索波 4 6 の探索窓の大きさを変動探索窓法にて設定し、探索波 4 6 の探索範囲において、参照波 4 5 の参照範囲との相互相関を計算することでなされる。相関値の算出が完了すると、相互相関計算処理ステップ（ステップ S 2 1）は完了し、続いて、ステップ S 2 2 で位相特定ステップがなされる。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 2 の位相特定ステップでは、相互相関計算処理ステップ（ステップ S 2 1）で得られた相関値が閾値 s 以上となる関係を有する探索波 4 6 の位相が特定される。閾値 s は、P G 実行前又は実行時に設定する。位相特定ステップ（ステップ S 2 2）は完了し、続いて、ステップ S 2 3 で位相差計算ステップがなされる。

10

【 0 0 6 4 】

ステップ S 2 3 の位相差計算ステップでは、特定した探索波 4 6 の位相と参照波 4 5 の参照した位相との位相差を計算する。位相差の計算が完了すると、位相差計算ステップ（ステップ S 2 3）は完了し、続いて、ステップ S 2 4 で位置・速度算出ステップがなされる。

ステップ S 2 4 の位置・速度算出ステップでは、計算した位相差から探索波 4 6 の探索範囲にある超音波反射体の位置および速度を算出する。探索波 4 6 の探索範囲にある超音波反射体の位置および速度の算出が完了すると、位置・速度算出ステップ（ステップ S 2 4）は完了し、続いて、ステップ S 2 5 の探索完了判別ステップがなされる。

【 0 0 6 5 】

20

ステップ S 2 5 の探索完了判別ステップでは、探索波 4 6 において探索する全ての探索範囲について探索が完了したかを判別する。全ての探索範囲について探索が完了していない場合（ステップ S 2 5 で N O の場合）には、ステップ S 2 1 に進み、ステップ S 2 1 以降の処理ステップを繰り返す。ステップ S 2 1 以降の処理ステップを繰り返すことで、流体 1 7 中を流動する超音波反射体群の位置および速度が算出される。一方、全ての探索範囲について探索が完了している場合（ステップ S 2 5 で Y E S の場合）には、反射体群位置・速度算出工程を終了する。

【 0 0 6 6 】

信号解析手順にて反射体群位置・速度算出工程（ステップ S 4）が完了すると、続いて、流速分布算出工程（ステップ S 5）がなされる。ステップ S 5 の流速分布算出工程では、反射体群位置・速度算出工程で算出された反射体群位置および速度から超音波反射体群の位置と速度との関係、すなわち、流速分布が算出される。流速分布算出の際は、各系列における同じ対応時刻（例えば、対応時刻 1）において同位置で取得された全ての超音波反射体の速度を加算平均又は 2 乗平均して算出する。

30

【 0 0 6 7 】

流速分布が算出されると、流速分布算出工程（ステップ S 5）を完了し、続いて、流量算出工程（ステップ S 6）がなされる。ステップ S 6 の流量算出工程では、算出した配管 1 8 の内の流速分布を配管 1 8 の内部面積に沿う積分演算することで流量を算出する。この時、配管 1 8 の内径 D 等の流速分布以外に積分演算に必要な情報は、超音波流速分布および流量測定処理がなされる前に入力設定しておく。

40

【 0 0 6 8 】

流量の算出が完了すると、流量算出工程（ステップ S 6）は完了し、信号解析手順は全処理工程を完了する。信号解析手順が完了すると、超音波流速分布および流量測定処理方法における全処理手順を完了する。超音波流速分布および流量測定処理結果の表示は、パソコン 1 1 に内蔵される CPU 等の演算処理手段が超音波流速分布および流量測定プログラムの全処理手順を完了後、基本処理プログラムを読み出して実行することでなされる。

【 0 0 6 9 】**（ 図 1 1 ）**

図 1 1 では、流速分布のプロファイルができた場合、測定線の 1 / 4 の地点（直径の 1 / 4 の地点）が平均流速であると仮定できる根拠を示している。

50

すなわち、流体配管における被測定流体は、配管の中央付近で速度が最大となり、配管の内壁においてゼロとなる。したがって、測定線の1/4の地点を平均流速であると仮定して算出しても、大きな誤差を生じない。平均流速のデータは、直接的に流速を算出するのではなく、探索窓の設定に用いるだけだからである。

【0070】

(ウォールフィルタ)

超音波流速分布計および流量計10において、被測定流体17を案内する流体配管に金属配管18を用いた場合、測定対象流体17の流速分布および流量を測定すると、受信した超音波エコー信号には、クラッタノイズと呼ばれるノイズ成分が顕著に重畳する。このノイズ成分によって誤ったトレーサ粒子の位置および速度情報を得る可能性がある。これを避けるため、前述したWF処理部33によるクラッタノイズ低減処理を実行する。以下、WFによるクラッタノイズ低減処理方法について説明する。

10

【0071】

(図12)

図12では、トリガ信号、超音波エコー信号およびクラッタノイズの時系列変化を説明している。

個々の系列のクラッタノイズは、どの系列においてもその1つ1つは略同様であり、時間の経過に伴い減衰振動するノイズである。このクラッタノイズは、系列数分のノイズが時間差をずつつすライドして重畳したノイズとなるので、様々な周波数成分を有するとともに1番目～n番目の系列の開始時点ごとにn個のピークを有する。

20

【0072】

従来のLPF(ローパスフィルタ)およびHPF(ハイパスフィルタ)を用いたフィルタリング処理やBPF(バンドパスフィルタ)を用いたフィルタリング処理では、様々な周波数成分を有するクラッタノイズを有効にフィルタリング処理できず、クラッタノイズの生じる部分をトレーサ粒子群からの超音波パルスの反射波として捉え、クラッタノイズを誤って有効信号として信号解析がなされていた。

そこで、クラッタノイズを有効信号として捉えるのを防止し、このクラッタノイズを有効信号に対して十分に低減するべくWF(ウォールフィルタ)を使用したフィルタリング処理(WF処理)を実行する。WF処理では、まず、デジタル超音波エコー信号から対応時刻エコーレベル信号が取得される。

30

【産業上の利用可能性】

【0073】

本願発明は、流量計や流速計の製造業、流量計や流速計の販売業やメンテナンス業、プラントの保守・メンテナンス業、プラントの制御に関わるコンピュータプログラムの製作・メンテナンス業などにおいて、利用可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】本発明に係る第一の実施形態を示すブロック図である。

【図2】本発明における探索窓の設定原理を示す概念図である。

【図3】本発明に係る第一の実施形態を示すブロック図である。

40

【図4】本発明に係る第一および第二の実施形態を示すブロック図である。

【図5】本発明に係る第一および第二の実施形態を示すブロック図である。

【図6】本発明に係る第一から第三の実施形態のハードウェア構成を示す概念図である。

【図7】流速プロファイルの作成手順を示す概念図である。

【図8】トリガ信号および超音波エコー信号受信波形とADコンバータのサンプリングのタイミングとの関係を説明する説明図である。

【図9】本発明に係る超音波流速分布および流量測定処理方法の信号処理手順および信号解析手順を示す処理フロー図である。

【図10】本発明に係る流速分布および流量測定処理方法による反射体位置・速度算出工程を示す処理フロー図である。

50

【図11】測定線の1/4の地点(直径の1/4の地点)が平均流速であると仮定できる根拠を示す概念図である。

【図12】トリガ信号(上段)、超音波エコー信号(中段)およびクラッタノイズの時系列変化(下段)を説明した説明図である。

【図13】伝搬時間差法の原理を示す概念図である。

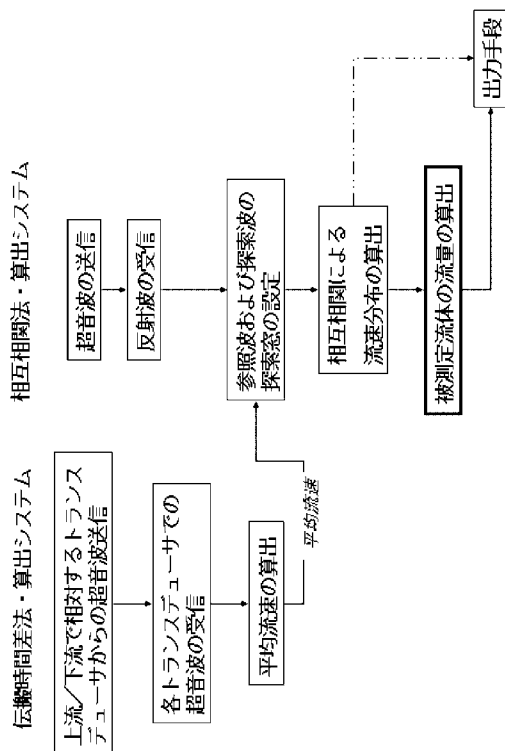
【図14】相互相関法の原理を示す概念図である。

【符号の説明】

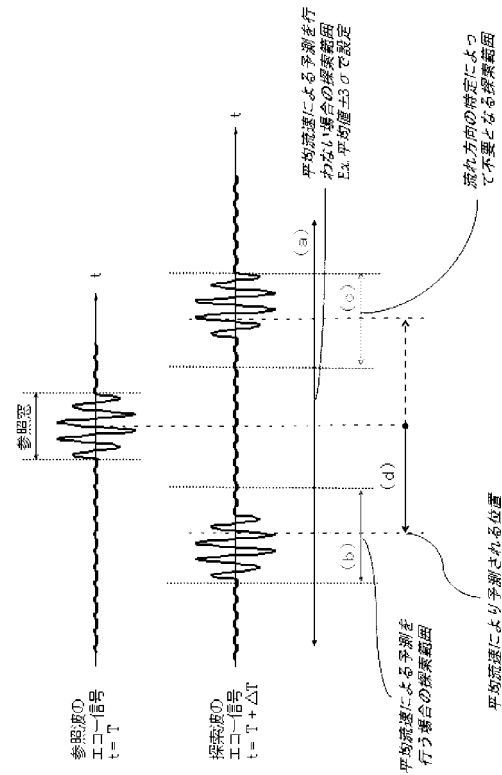
【0075】

- | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|
| 10 | 流量計 | 11 | パソコン(PC) |
| 14 | 信号線 | 14a | 信号線 |
| 15 | トランスデューサ | 15a | 超音波パルス発振機 |
| 17 | 被測定流体 | 18 | 配管(金属配管) |
| 30b | ローパスフィルタ | 32 | A/Dコンバータ |
| 33 | ウォールフィルタ処理部 | 37 | 流速分布・流量算出手段 |
| 45 | 参照波 | 46 | 探索波 |
| 48 | 気泡(反射体) | | |

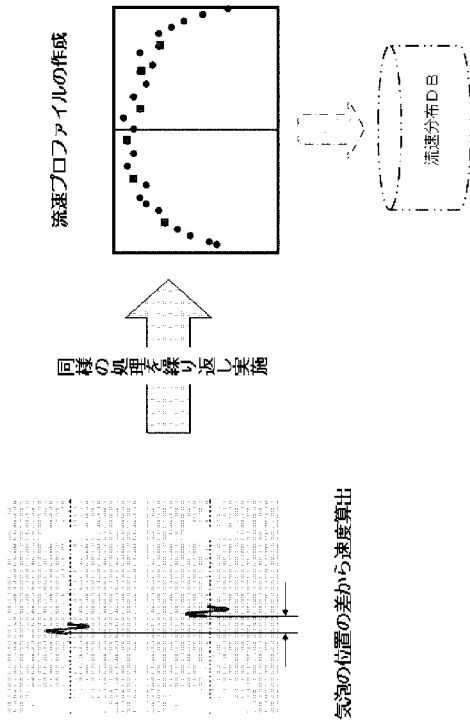
【図1】



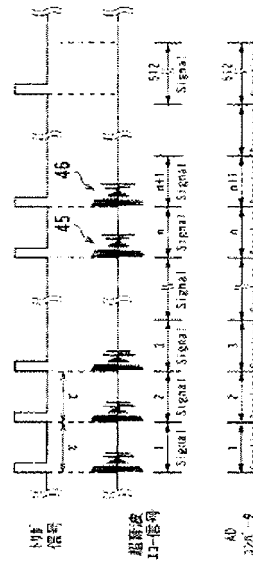
【図2】



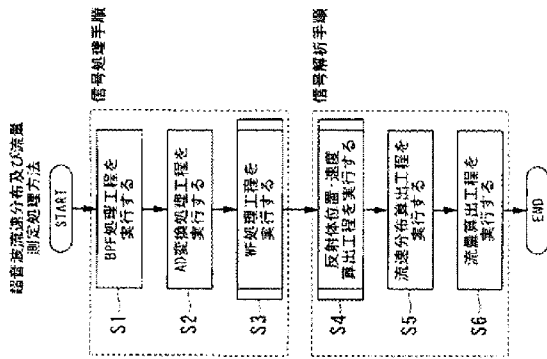
【図7】



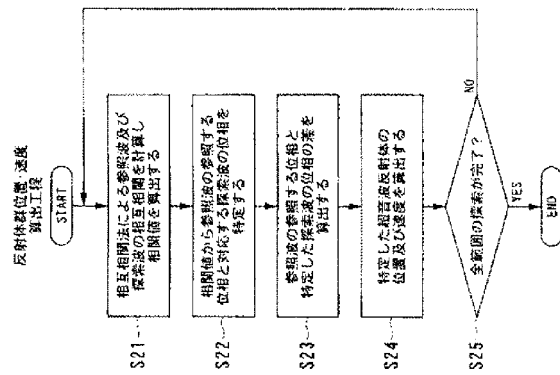
【図8】



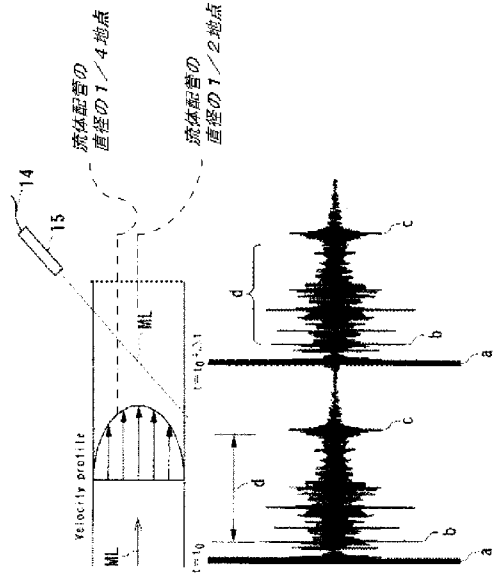
【図9】



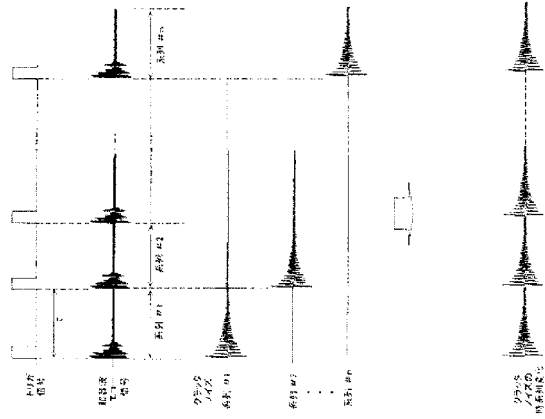
【図10】



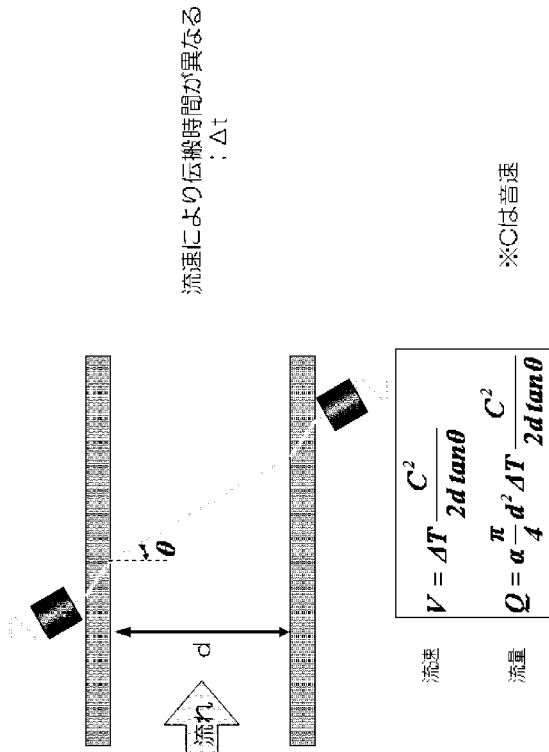
【 図 1 1 】



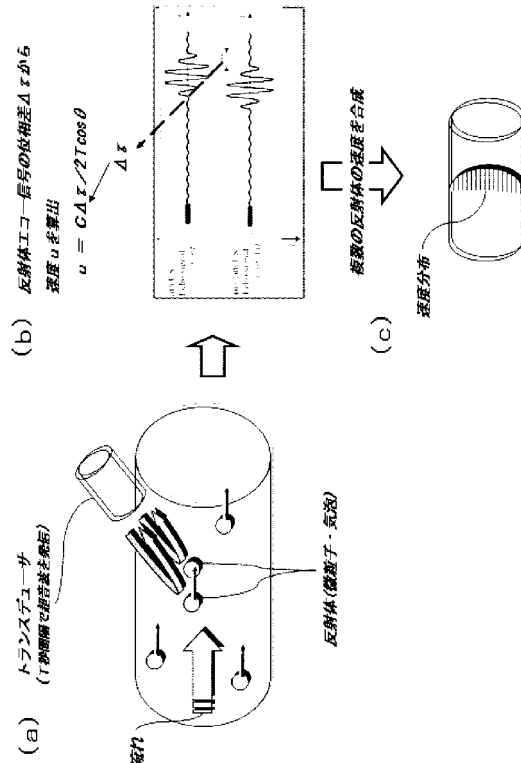
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 中城 陽
東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力株式会社内

審査官 岸 智史

(56)参考文献 特開2003-344131(JP,A)
特開2004-333260(JP,A)
特開2005-208068(JP,A)
井上創, 森治嗣, 菱田公一, 前田昌信, ドップラー法および相互相関法を併用した超音波流速分布計測システムの開発, 日本機械学会論文集(B編), 日本, 社団法人日本機械学会, 2004年12月25日, 第70巻, 第700号, p.3196-3203

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01F 1/66
G01F 1/712
G01P 5/22