

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4496258号
(P4496258)

(45) 発行日 平成22年7月7日(2010.7.7)

(24) 登録日 平成22年4月16日(2010.4.16)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 F 1/66 (2006.01)

G O 1 F 1/66

Z

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2008-67543 (P2008-67543)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成20年3月17日(2008.3.17)		パナソニック株式会社
(62) 分割の表示	特願2003-39490 (P2003-39490) の分割		大阪府門真市大字門真1006番地
原出願日	平成15年2月18日(2003.2.18)	(74) 代理人	100101454
(65) 公開番号	特開2008-151812 (P2008-151812A)		弁理士 山田 卓二
(43) 公開日	平成20年7月3日(2008.7.3)	(74) 代理人	100081422
審査請求日	平成20年3月18日(2008.3.18)		弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100091524
			弁理士 和田 充夫
		(72) 発明者	斉藤 幸一
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内
		(72) 発明者	橋本 雅彦
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波流量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

都市ガスの流路(9)を規定する内壁(40)を有する流量測定部(4)と、前記流量測定部の前記内壁に設けられ、超音波の送信及び/又は受信を行う少なくとも1つの超音波振動子(1a, 1b)を備えた、ガスメータ用の超音波流量計であって、

前記内壁における、前記都市ガスの流路の上流(9A)から前記超音波振動子が備えられている箇所までの間で、かつ前記都市ガスの境界層が発達した流れとなる区間より前であって、前記境界層が発達しつつある助走区間に、徐々に高くなるように配置されて、前記助走区間内において前記内壁内を前記都市ガスが流れる事で生じる前記内壁付近の発達しようとする前記境界層を破壊して前記都市ガスを一定流速分布とする、複数の凹凸部(21)と、

前記内壁上において、前記超音波振動子(1a, 1b)により発生される超音波が通り抜ける位置に備えられ、前記超音波の反射波を、反射又は散乱させることで、前記超音波振動子(1a, 1b)が前記反射波を受信することを防ぐ、凹凸部(22)と、
を有するとともに、

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部の高さが、前記内壁からの前記都市ガスの境界層の厚さの1/3以上であり、前記複数の凹凸部(21)で形成された前記都市ガスの一定の流速分布を測定して前記都市ガスの速度を計測する、超音波流量計。

【請求項 2】

10

20

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部が、前記内壁に形成された凸状構造体である請求項 1 に記載の超音波流量計。

【請求項 3】

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部が、前記内壁に形成された凹状構造体である請求項 1 に記載の超音波流量計。

【請求項 4】

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部が、前記都市ガスの流れ方向に直交する方向沿いに凹凸をなすように構成されている、請求項 1 に記載の超音波流量計。

【請求項 5】

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部の断面形状が円形又は半円形である、請求項 1 に記載の超音波流量計。

【請求項 6】

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部の断面形状が長方形である、請求項 1 に記載の超音波流量計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波により流体（例えば、水などの液体、又は、都市ガスなどの気体）の流量を計測する超音波流量計に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、所定の伝搬路を超音波が伝達する時間を計測することにより、流体の移動速度を測定し、その測定値から流量を計測する超音波流量計がガスメータや化学反応の制御等に利用されつつある。

【0003】

以下、図 3 を参照しながら、従来の超音波流量計の測定原理を説明する（特許文献 1 参照）。図示されている超音波流量計では、管内の流体が速度 V にて図中の矢印で示す方向に流れている。超音波流量計の管壁 103 には、一対の超音波送受波器 101 及び 102 が相対して設置されている。超音波送受波器 101 及び 102 の各々は、電気エネルギーを機械エネルギーに変換するとともに、機械エネルギーを電気エネルギーに変化する変換素子（トランスデューサ）を備えている。この変換素子は、例えば、圧電セラミック等の圧電振動子で構成され、圧電プザーや圧電発振子と同様に共振特性を示す。

【0004】

まず、超音波送受波器 101 を超音波の送波器として用い、超音波送受波器 102 を超音波の受波器として用いる場合について、超音波流量計の動作を説明する。

【0005】

超音波送受波器 101 の共振周波数近傍における周波数を持つ交流電圧を超音波送受波器 101 の圧電振動子に印加すると、超音波送受波器 101 は管内の流体中に超音波を放射する。この超音波は、伝搬経路 L_1 に沿って伝搬し、超音波送受波器 102 に到達する。超音波送受波器 102 の圧電振動子は、この超音波を受けて電圧信号を出力する。

【0006】

この後、超音波送受波器 102 を超音波の送波器として動作させる。具体的には、超音波送受波器 102 の共振周波数近傍における周波数を持つ交流電圧を超音波送受波器 102 の圧電振動子に印加することにより、超音波送受波器 102 は管内の流体中に超音波を放射する。超音波は伝搬経路 L_2 に沿って伝搬し、超音波送受波器 101 に到達する。超音波送受波器 101 の圧電振動子は、この超音波を受けて電圧信号を出力する。

【0007】

このように、超音波送受波器 101 及び 102 は、それぞれ、1 つの超音波振動子でありながら、受波器としての機能と送波器としての機能を果たすことができる。この超音波

10

20

30

40

50

流量計では、連続的に交流電圧を印加すると超音波送受波器から連続的に超音波が放射されて伝搬時間を測定することが困難になるので、通常はパルス信号を搬送波とするバースト電圧信号を駆動電圧として用いる。

【 0 0 0 8 】

駆動用のバースト電圧信号を超音波送受波器 1 0 1 に印加して超音波送受波器 1 0 1 から超音波バースト信号を放射すると、この超音波バースト信号は距離が L の伝搬経路 L 1 を伝搬して t 時間後に超音波送受波器 1 0 2 に到達する。

【 0 0 0 9 】

超音波送受波器 1 0 2 では伝達して来た超音波バースト信号のみを、高い S / N 比で電気バースト信号に変換することができる。この電気バースト信号をトリガとして、再び超音波送受波器 1 0 1 に駆動用バースト電圧信号を印加して超音波バースト信号を放射する。

10

【 0 0 1 0 】

このような装置を「シング・アラウンド装置」と呼ぶ。また、超音波パルスが超音波送受波器 1 0 1 から超音波送受波器 1 0 2 に到達するまでに要する時間を「シング・アラウンド周期」といい、その逆数を「シング・アラウンド周波数」という。

【 0 0 1 1 】

図 3 の超音波流量計において、管の中を流れる流体の流速を V、流体中の超音波の速度を C、流体の流れる方向と超音波パルスの伝搬方向の角度を θ とする。更に、超音波送受波器 1 0 1 を送波器、超音波送受波器 1 0 2 を受波器として用いたとき、超音波送受波器 1 0 1 から出た超音波パルスが超音波送受波器 1 0 2 に到達する時間（シング・アラウンド周期）を t_1 、シング・アラウンド周波数 f_1 とする。このとき、次式（ 1 ）が成立する。

20

【 0 0 1 2 】

（数 1）

$$f_1 = 1 / t_1 = (C + V \cos \theta) / L \quad \cdots (1)$$

【 0 0 1 3 】

逆に、超音波送受波器 1 0 2 を送波器として、超音波送受波器 1 0 1 を受波器として用いたときのシング・アラウンド周期を t_2 、シング・アラウンド周波数 f_2 とすれば、次式（ 2 ）の関係が成立する。

30

【 0 0 1 4 】

（数 2）

$$f_2 = 1 / t_2 = (C - V \cos \theta) / L \quad \cdots (2)$$

【 0 0 1 5 】

上記式（ 1 ）及び（ 2 ）に基づいて、両シング・アラウンド周波数の周波数差 f は、次式（ 3 ）で示される。

【 0 0 1 6 】

（数 3）

$$f = f_1 - f_2 = 2 V \cos \theta / L \quad \cdots (3)$$

【 0 0 1 7 】

40

式（ 3 ）からわかるように、超音波の伝搬経路の距離 L 及び周波数差 f から、流体の流速 V を求めることができる。そして、流路断面積 S が決まっているため、流速 V から流量 Q を決定することができる。

【 0 0 1 8 】

（数 4）

$$Q = S \cdot V \quad \cdots (4)$$

【 0 0 1 9 】

【特許文献 1】特開平 9 - 2 1 6 6 6 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 2 0 】

通常、流体の流量が少なく流速が遅い場合、つまり、レイノルズ数が小さいとき流体流れは層流となる。層流は、流体の粘性抵抗の影響を大きく受け、流体の流れ方向に対して直交する面内において、流路内壁近傍と流路中心近傍とで流速に顕著な差が出てくる、いわゆる、中心流速が最大値をとる層流速度分布となる（図4の湾曲した実線100参照）。また、流体の流量が増大し流体の流速が速くなると、レイノルズ数が大きくなり乱流となる。乱流では、流体の主流は慣性項が支配的となり、粘性項の影響が小さくなる。これにより、流体の流れ方向に対して直交する面内において層流の速度分布とは違う、トップハットの速度分布である乱流速度分布となる。乱流の場合、トップハットの速度分布を持っており、また、境界層が薄く流路内壁からの速度勾配が非常に大きいため、主流の流速は平均流速に近似し、流量は実流量に近似してくる。しかし、層流の場合、流路内部の主流の流速を測定しただけでは、流路内部の平均流速を決定できず、流量が正確に導出できない。つまり、流量が変化する系において、主流の流速を測定する場合、層流か乱流かによって測定流量と実流量との比である流量係数が大きく変化するという問題点があった。

10

【 0 0 2 1 】

また、流量導出の精度低下をもたらす要因として、超音波の流路内壁での反射波の影響がある。通常、流体の流速は、シング・アラウンド周波数の周波数差から求める。この場合、超音波送波器からの直接波だけを受波できれば、計測精度は高くなる。しかし、超音波は発散角を持ち、流路に内壁があるため、超音波はこの内壁により反射され、超音波受波器では直接波と反射波の両方を受波する。反射波の遅れ時間が短い場合、直接波の波尾と重なり合って受波されるため信号の分離が難しくなるという問題点があった。さらに、反射波は、流路内壁で反射するため、流路内壁近傍の流速の遅い部分を通過する。流速の遅い部分の速度、厚み等の分布は、流速によって変化する。つまり、流量によって、反射波の遅れ時間が異なり、シング・アラウンド周波数の周波数差を正確に測定することが難しくなるという問題点もあった。

20

【 0 0 2 2 】

この問題点に関連して、流路内に送信された超音波が、管壁などで反射を繰り返し、いつまでも残響波として残り、その残響波が超音波振動子で受信されて誤差の要因となることから、面粗さの振幅は0.5～2mm程度となるように粗した粗面状の内壁面を有する管状の流路を形成し、振動子から送信された超音波が、粗面状の管状流路の管壁に到達して反射し、大きく散乱するかもしくは吸収されることにより、残響波を少なくなるすることが提案されている（特開平9-21665号公報）。しかしながら、この公報には、先に記載した問題である、層流か乱流かによって測定流量と実流量との比である流量係数が大きく変化するという問題点は残ったままであった。

30

【 0 0 2 3 】

本発明の目的は、上記の課題を解決するもので、流れ主流の流速測定により、高精度に流体の流量を測定することができる超音波流量計を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 4 】

上記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

40

【 0 0 2 5 】

本発明によれば、都市ガスの流路を規定する内壁を有する流量測定部と、前記流量測定部の前記内壁に設けられ、超音波の送信及び／又は受信を行う少なくとも1つの超音波振動子を備えた、ガスメータ用の超音波流量計であって、

前記内壁における、前記都市ガスの流路の上流から前記超音波振動子が備えられている箇所までの間でかつ前記都市ガスの境界層が発達した流れとなる区間より前の前記境界層が発達しつつある助走区間で徐々に高くなるように配置されて、前記助走区間内において前記内壁内を前記都市ガスが流れる事で生じる前記内壁付近の発達しようとする前記境界層を破壊して前記都市ガスを一定流速分布とする、複数個の凹凸部と、

50

前記内壁において、前記超音波振動子により発生される超音波が通り抜ける位置に備えられ、前記超音波の反射波を、反射又は散乱させることで、前記超音波振動子が前記反射波を受信することを防ぐ、凹凸部と、
を有するとともに、

前記境界層を破壊する凹凸部又は前記反射波の受信を防げる凹凸部の高さが、前記内壁からの前記都市ガスの境界層の厚さの $1/3$ 以上であり、前記複数の凹凸部で形成された前記都市ガスの一定の流速分布を測定して前記都市ガスの速度を計測する、超音波流量計を提供する。

【発明の効果】

【0026】

10

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、流路内都市ガスの境界層の発達を制御すること、及び、流路内都市ガスの境界層の発達を制御しかつ流路内壁における超音波の反射波を制御することにより、高精度に都市ガスの流量を測定できるという有利な効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する前に、まず、本発明の種々の態様について説明する。

【0028】

20

本発明の第1態様によれば、被測定流体の流路を規定する内壁を有する流量測定部と、前記流量測定部の前記内壁に設けられ、超音波の送信及び／又は受信を行う少なくとも1つの超音波振動子を備えた超音波流量計であって、

前記内壁における、被測定流体の流路の上流から前記超音波振動子が備えられている箇所までに、前記内壁内を前記被測定流体が流れる事で生じる前記内壁付近の境界層に応じて高くなる、少なくとも2つの凹凸部を有し、前記凹凸部は、前記境界層を破壊する、超音波流量計を提供する。

【0029】

本発明の第1態様により、流体の粘性の影響を強く受ける境界層を破壊し、主流を極めて平均流速に近似させ、流体の流量が変化しても高精度にガス流量を測定できる。

30

【0030】

本発明の1つの態様によれば、上記流量測定部の上流側の上記流路内壁の上記凹凸部は、上記流量測定部の上流側の、上記凹凸部が無いときに境界層が発達しうる境界層発達区間の流路内壁に配置されている第1の態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0031】

本発明の前記態様により、上記凹凸部が、上記凹凸部が無いときに境界層が発達しうる境界層発達区間の流路内壁に配置されることにより、発達し始める境界層を確実に破壊することができて、主流を極めて平均流速に近似させ、流体の流量が変化しても高精度にガス流量を測定できる。

【0032】

40

本発明の1つの態様によれば、上記超音波振動子の数は複数であり、

上記複数の超音波振動子のうち、第1の超音波振動子は、上記複数の超音波振動子のうち、第2の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置され、

上記第2の超音波振動子は、上記第1の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置されている、前記態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0033】

本発明の前記態様により、超音波振動子を複数個用いることにより、計測精度を向上させることができる。

【0034】

本発明の1つの態様によれば、上記凹凸部が、上記流量測定部の少なくとも超音波伝播

50

経路内に設けられ、上記測定用超音波の上記流路内壁での反射波を上記凹凸部により反射又は散乱させるよう配置する、第1～3のいずれか1つの態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0035】

本発明の前記態様により、計測の精度低下の要因である超音波の流路内壁での反射波を反射又は拡散し、超音波受波器では直接波のみを受波するようにするし、計測精度を向上させることができる。

【0036】

本発明の第2態様によれば、前記凹凸部が、前記内壁に形成された凸状構造体である第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

10

【0037】

本発明の第2態様により、流路内壁面に凸状構造体を付加させることにより、容易に凹凸部を実現可能である。

【0038】

本発明の第3態様によれば、前記凹凸部が、前記内壁に形成された凹状構造体である第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0039】

本発明の第3態様により、流路内壁に溝等の凹状構造体を形成することにより、精度良く凹凸部を実現可能となる。

【0040】

20

本発明の1つの態様によれば、上記凹凸部が周期的に配置されている、第1～6のいずれか1つの態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0041】

本発明の前記態様により、境界層の除去を効率よく行うことができる。

【0042】

本発明の1つの態様によれば、上記凹凸部が、上記流路内壁にランダムに凹凸に形成したものである、前記いずれか1つの態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0043】

本発明の前記態様により、流路内壁を機械的、化学的に荒らすことにより、効率よく凹凸部を実現できる。また、境界層を除去する凹凸部が多数できるため、境界層除去効果が高くなる。

30

【0044】

本発明の第4態様によれば、前記凹凸部が、前記被測定流体の流れ方向に直交する方向沿いに凹凸をなすように構成されている、第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0045】

本発明の第4態様により、前記凹凸部を、前記被測定流体の流れ方向に直交する方向沿いに凹凸をなすように配置するため、流れに伴い成長する境界層に対しての抵抗が最大となり、効率的な境界層除去ができる。

【0046】

本発明の第5態様によれば、前記凹凸部の断面形状が円形又は半円形である、第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

40

【0047】

本発明の第5態様により、前記凹凸部の断面形状が円形又は半円形であることにより、前記凹凸部をワイヤー、円柱体又は半円柱体の汎用的で安価な材料で構成でき低コスト化できる。また、凹状構造体は、回転ブレード等で容易に加工可能となり低コスト化できる。

【0048】

本発明の第6態様によれば、前記凹凸部の断面形状が長方形である、第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0049】

50

本発明の第6態様により、前記凹凸部の断面形状が長方形であるため容易に高精度で流路内壁に取り付け可能となる。また、凹状構造体は、フライス等で容易に高精度で加工可能となる。

【0050】

本発明の第7態様によれば、前記凹凸部の高さが、前記内壁からの前記被測定流体の境界層の厚さの $1/3$ 以上である、第1態様に記載の超音波流量計を提供する。

【0051】

本発明の第7態様により、凹凸部の高さを境界層厚さの $1/3$ 以上とすることにより、効率良く境界層を除去可能となる。

【0052】

以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0053】

(第1実施形態)

以下、本発明の第1実施形態の超音波流量計であって流路内壁に凹凸部を有する超音波流量計について図面を参照しながら説明する。

【0054】

まず、図1(a)及び(b)を参照しながら、本発明の第1実施形態による超音波流量計を説明する。図1(a)は、第1実施形態における超音波流量計10の長手方向に沿って超音波送受波器を含む断面を示し、図1(b)は、超音波流量計10の図1(a)側面の断面を示している。

【0055】

図示されている超音波流量計10は、被測定流体の流路を規定する内壁40を有する流量測定部4と、流量測定部4の内壁40に囲まれた断面矩形の流路空間9の外側に設けられ、超音波の送信及び/又は受信を行う一対の超音波送受波器(超音波振動子)1a及び1bが配置されている。被測定流体は、流量測定部4の内壁40に囲まれた流路空間9の内部を矢印5の方向に流れるものとする。また、超音波送受波器1aの上流側の内壁40の所定範囲の全周には、流路空間9内に半径方向に所定高さだけ突出し、かつ、上記被測定流体の上記流路内の内壁40沿いの境界層を破壊して流速分布を制御することにより被測定流体の流れを制御する、環状凸状構造体21が配置されている。凸状構造体21の配置位置は、例えば、図4に示すように、一定の流速分布を持つ被測定流体が流路空間9内に入るとき、その入り口9Aから境界層が発達して発達した流れとなる区間より前であって、境界層が発達しつつある助走区間内に配置する。この助走区間内において発達しようとする境界層を凸状構造体21により破壊して、図5のように一定流速分布となるようにしたのち、その一定の流速分布を測定して流体の速度を高精度に測定しようとするものである。よって、凸状構造体21の所定高さは、境界層を破壊できる程度の高さであればよく、例えば、少なくとも、上記流路内の上記被測定流体の境界層の $1/3$ の高さ(例えば、数ミリメートルの高さ)があれば十分である。数ミクロンメートル以下の凹凸の場合には、上記流路内の上記被測定流体の境界層を十分に破壊することができない可能性があることから、凹凸部の高さHは、少なくとも、数ミリメートル、より具体的には $2\text{ mm} < H < 3\text{ mm}$ 、又は、 $2\text{ mm} < H < 5\text{ mm}$ の高さの凹凸が好ましい。

【0056】

具体例としては、都市ガス用の $40\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ の矩形の流路空間9において、幅1 mmで高さH(但し、 $2\text{ mm} < H < 3\text{ mm}$)の環状の凸状構造体より構成される凹凸部21を配置する。

【0057】

第1実施形態では、超音波送受波器1a, 1bの超音波放射面が被測定流体の流れ方向5に対して所定角度で傾斜しており、超音波送受波器1a又は1bから出た超音波は、流量測定部4の内壁に対して斜めに入射し、伝送経路6を通過して一方の超音波送受波器1b又は1aで受波される。伝送経路6を通る超音波には、図1(a), (b)に示すように、大きく分けて超音波送受波器1a, 1b間を直接伝播する直接波60と流路内壁40で

10

20

30

40

50

反射されて送受波される反射波 61 が存在する。

【0058】

次に、流路内の流体の速度分布について説明する。簡単のために、流路が円管であり、入り口流が一様でレイノルズ数が低い層流であるとする。流路入り口では、図4に示すように、一様流速分布で流入してきた流れは流路表面の粘性の影響を受けないので、一様な流速分布である。入り口から流路内を流体が流れるにつれて、流路表面から流体の粘性の影響を受け境界層が成長してくる。これにより、発達した流れになると主流が粘性の影響を大きく受け、速度勾配の小さな放物線状の流速分布となる。このような流速分布になると、図1のような主流を測定するような計測系では、流体の速度の速い、主流の速度を測定することになり平均流速との差が大きくなる。これにより、流量測定に誤差が生じてしまう。計測値に流速分布に対する補正を加えればある程度流量補正が可能であるが、流速分布は被測定流体の条件、流路条件により変化してしまい、すべての条件で補正することは難しい。被測定流体の条件とは、粘性、密度等の物性値、入り口流の流速分布、流量等の流体の初期条件である。また、流路条件とは、入り口形状、流路断面形状、流路断面のアスペクト比、流路断面の大きさ、表面粗さ等の形状条件である。そこで、主流が流路内壁から成長してくる粘性の影響を受けにくくするためには、境界層の発達を阻止すればよい。そのために、図1に示されているような流路内壁40に凹凸部21を設けて境界層が発達しないようにする。

10

【0059】

流路内壁40に設ける凹凸部21としては、流路内壁40に構造体を新たに取り付けて構成する凸状構造体であっても、流路内壁40を加工して構成する凹状構造体であっても、効果は同様である。凹凸部21が凸状構造体の場合、断面形状が円形のワイヤーや棒状の汎用で安価な材料を用いて内壁40に取付けるようにすれば、凹凸部21の低コスト化を図ることができる。また、凸状構造体の断面形状を長方形にする場合には、断面形状を機械加工で高精度に行なうことができ、内壁40に対する取り付けも容易に高精度化できる。凹凸部21が凹状構造体の場合、内壁40を回転ブレード等で削ることにより、凹状構造体の断面形状を半円形に容易に加工可能となり、低コスト化を図ることができる。このとき、フライス等を用いて加工すれば、断面形状が長方形の凹凸部21を容易に高精度で加工可能となる。

20

【0060】

境界層の発達を阻止する効果的な構造の1つは、図5に示すように、入り口9Aから流速測定部4に至るまで境界層を発達させないように、周期的に配置された凹凸部21Aを設けることである。このような凹凸部21Aで、さらに効果的に境界層の発達を阻止するためには、流体流れ方向に対し直交するよう凹凸部21を配する。なお、このとき、図4にハッチングで示すように、凹凸部の高さを境界層に依りて、入り口9Aから流量測定部4に向かうに従い徐々に高くなるように形成してもよい。

30

【0061】

境界層の発達を阻止するもうひとつの効果的な構造は、図5に示すように、流路内壁表面40に広範囲に、上記流路内壁からの上記被測定流体の境界層の厚さの例えば1/3以上の高さを有するような細かい凹凸の凹凸部21Aを設けることである。製作方法は、サンドブラスト等の機械的加工や電解研磨、エッチング、アルマイト処理等の化学的加工である。この方法では、ランダムに凹凸部21が形成できる。

40

【0062】

上記凸状構造体又は上記凹状構造体が等間隔に周期的に配置されるか、又は、広い間隔、広い間隔、狭い間隔、狭い間隔、広い間隔、広い間隔の順に周期的に配置されるなどしてもよい。

【0063】

凹凸部21の理想的な高さは、凹凸部21位置においての境界層厚さ以上である。しかし、実験的には境界層厚さ1/3程度（例えば、数ミリメートル）から境界層破壊の効果が現れる。

50

【 0 0 6 4 】

上記第 1 実施形態によれば、上記流量測定部 4 の上流側の上記流路内壁 4 0 に配置された上記凹凸部 2 1 により上記被測定流体の上記流路内の境界層を破壊して流速の遅い部分を取り除き、流路内を流れる流体の境界層の発達を制御することができるので、流れ主流の流速を測定することができ、高精度に流体の流量を測定することができる。

【 0 0 6 5 】

また、上記凹凸部 2 1 を、例えば被測定流体の境界層厚さの $1/3$ 以上の外径のワイヤなどにより構成する場合には、1 つの部材で凹凸部 2 1 を形成することができ、簡単な構造でありながら、上記被測定流体の上記流路内の境界層を破壊することにより流速の遅い部分を取り除くことができ、流体の流れを均一化させることができ、流路内流体の流速を制御することができる。

10

【 0 0 6 6 】

(第 2 実施形態)

以下、本発明の第 2 実施形態の超音波流量計であって、流路内壁に凹凸部を有する超音波流量計について図面を参照しながら説明する。

【 0 0 6 7 】

まず、図 2 (a) 及び (b) を参照しながら、本発明の第 2 実施形態による超音波流量計を説明する。図 2 (a) は、第 2 実施形態における超音波流量計 2 0 の長手方向に沿って超音波送受波器 1 a , 1 b を含む断面を示し、図 2 (b) は、超音波流量計 2 0 の図 2 (a) 側面の断面を示している。

20

【 0 0 6 8 】

以下、第 2 実施形態の流路内壁 4 0 に凹凸部 2 1 を有する超音波流量計 2 0 に特徴的な点を説明し、第 1 実施形態における流路内壁 4 0 に凹凸部 2 1 を有する超音波流量計 1 0 と同様の部分については説明を省略する。

【 0 0 6 9 】

流速測定の精度低下をもたらす要因として、超音波の流路内壁 4 0 での反射波 6 1 の影響がある。通常、流体の流速は、シング・アラウンド周波数の周波数差から求める。この場合、超音波送波器 1 a 、 1 b のからの直接波 6 0 だけを受波できれば、計測精度は高くなる。しかし、超音波は発散角を持ち、流路に内壁 4 0 があるため、超音波はこの壁 4 0 により反射され、超音波受波器 1 a 、 1 b では直接波 6 0 と反射波 6 1 の両方を受波する。反射波 6 1 の遅れ時間が短い場合、直接波 6 0 の波尾と重なり合って受波されるため信号の分離が難しくなる。

30

【 0 0 7 0 】

さらに、反射波 6 1 は、流路内壁 4 0 で反射するため、流路内壁 4 0 近傍の流速の遅い部分を通過する。流速の遅い部分の速度、厚み等の分布は、流速によって変化する。つまり、流量によって、反射波 6 1 の遅れ時間が異なり、シング・アラウンド周波数の周波数差を正確に測定することが難しくなる。

【 0 0 7 1 】

そこで、上記凹凸部 2 1 と同様な構造でかつ境界層を破壊する凹凸部 2 2 を超音波伝播経路 6 内に設置し、超音波の反射波 6 1 を反射又は散乱し、受波器側に到達することを阻止する。これにより、受波信号を高精度に受信することができ、流速測定の高精度化が実現できる。上記凹凸部 2 2 は、上記凹凸部 2 1 と同様な構造でかつ同様に形成することができるが、この第 2 実施形態において、上記凹凸部 2 1 と上記凹凸部 2 2 とは同一構造にする必要はなく、互いに異なる高さ、互いに異なる形状を持つようにしてもよい。

40

【 0 0 7 2 】

上記第 2 実施形態によれば、上記流量測定部 4 の上流側の上記流路内壁 4 0 の超音波伝播経路 6 内に配置された凹凸部 2 1 により、上記被測定流体の上記流路内の境界層を破壊するとともに、超音波の反射波 6 1 を反射又は散乱して受波器側に到達することを阻止することにより、流路内流体の境界層の発達を制御しつつ受波信号を高精度に受信することができるので、流れ主流の流速をより確実に測定することができ、高精度に流体の流量を

50

測定することができる。

【 0 0 7 3 】

なお、上記第 1 及び第 2 実施形態のいずれの実施形態でも、一对の超音波送受波器 1 a , 1 b の構成を実質的に同一なものとし、180°の回転対称な配置構成を採用しているが、本発明は、このような構成に限定されない。また、上記実施形態では、超音波振動子 1 a , 1 b を超音波送受波器として用いることより、超音波の送信だけではなく受信をも同じ超音波振動子 1 a , 1 b によって行っているが、本発明はこのような構成に限定されない。送波用及び受波用として、別々の超音波振動子を用いても良い。

【 0 0 7 4 】

なお、上記様々な実施形態のうちの任意の実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 5 】

【図 1】(a) , (b) は、それぞれ、本発明の第 1 実施形態による超音波流量計を流体の流路に設定した状態での流路の長手方向に沿った超音波送受波器を含む縦断面及び横断面図である。

【図 2】(a) , (b) は、それぞれ、本発明の第 2 実施形態による超音波流量計を流体の流路に設定した状態での流路の長手方向に沿った超音波送受波器を含む縦断面及び横断面図である。

【図 3】従来の超音波流量計の断面図である。

20

【図 4】実線は本発明の凹凸部を形成しない場合の流体の層流速度分布を示し、点線は境界層を示すとともに、ハッチング部分は本発明の変形例にかかる凹凸部を示す説明図である。

【図 5】本発明の第 1 実施形態の変形例にかかる超音波流量計の凹凸部を示す横断面図である。

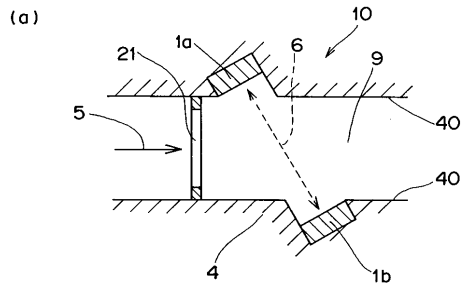
【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

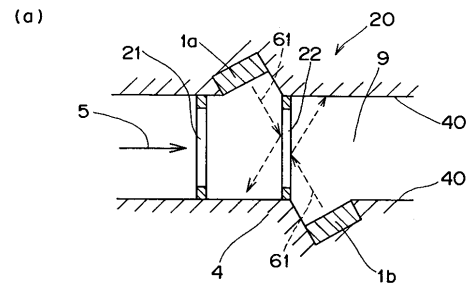
1 a 、 1 b ... 超音波送受波器、 4 ... 流量測定部、 5 ... 流体の流れ方向、 6 ... 超音波の伝搬経路、 9 ... 流路空間、 1 0 ... 超音波流量計、 2 0 ... 超音波流量計、 2 1 、 2 2 ... 凹凸部、 4 0 ... 流路内壁、 6 0 ... 直接波、 6 1 ... 反射波。

30

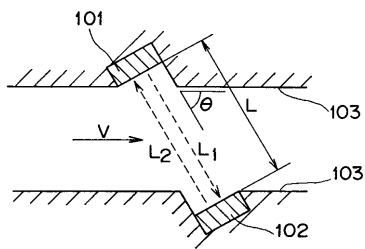
【図 1】



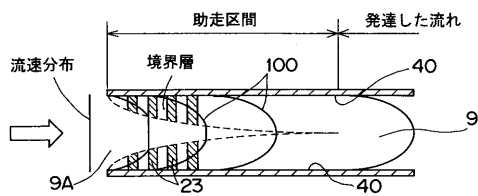
【図 2】



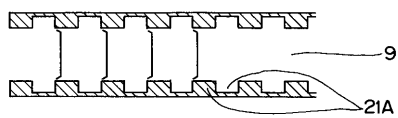
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

審査官 岸 智史

(56)参考文献 特開2001-311636(JP,A)
特開平11-325997(JP,A)
特開2002-228499(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F 1/66