

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4782327号  
(P4782327)

(45) 発行日 平成23年9月28日 (2011.9.28)

(24) 登録日 平成23年7月15日 (2011.7.15)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>GO 1 F</b>	<b>1/66</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 F	1/66	A
<b>GO 1 F</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 F	1/66	I O I
<b>GO 1 F</b>	<b>15/18</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 F	1/00	G
			GO 1 F	15/18	

請求項の数 16 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2001-283136 (P2001-283136)	(73) 特許権者	500222021
(22) 出願日	平成13年9月18日 (2001.9.18)		大西 一正
(65) 公開番号	特開2002-318144 (P2002-318144A)		新潟県長岡市花園東2丁目121番地35
(43) 公開日	平成14年10月31日 (2002.10.31)	(74) 代理人	100074675
審査請求日	平成20年8月28日 (2008.8.28)		弁理士 柳川 泰男
(31) 優先権主張番号	特願2001-79405 (P2001-79405)	(72) 発明者	大西 一正
(32) 優先日	平成13年2月14日 (2001.2.14)		新潟県長岡市花園東2丁目121番地35
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		審査官 石井 哲

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クランプオン型超音波流量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波振動子が、底面と該底面に対して鋭角をなす少なくとも一つの斜面を備えた楔型超音波伝搬材の該斜面に装着されてなる超音波送受信器であって、該超音波伝搬材が、超音波振動子から超音波伝搬材に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面に対して垂直な方向に伝搬するように構成され、かつ底面に超音波振動子装着斜面と平行な複数の表面が整列形成された第一超音波伝搬材、及び第一超音波伝搬材の底面に密着状態で付設された、弾性材料もしくは可塑性材料からなる第二超音波伝搬材を含むことを特徴とする超音波送受信器。

【請求項2】

第一超音波伝搬材が、樹脂材料シート中に複数本の高弾性繊維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成にあることを特徴とする請求項1に記載の超音波送受信器。

【請求項3】

第一超音波伝搬材が、複数枚の繊維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弾性繊維の整列方向が互いに直角をなすように交互に積層一体化された構成をなしている請求項2に記載の超音波送受信器。

【請求項4】

繊維強化樹脂シートの高弾性繊維の長さ方向の引張弾性率が50GPa以上である請求項2もしくは3に記載の超音波送受信器。

## 【請求項 5】

繊維強化樹脂シートの高弾性繊維が炭素繊維である請求項 4 に記載の超音波送受信器。

## 【請求項 6】

第二超音波伝搬材の、第一超音波伝搬材に接する表面とは逆側の表面が凹状に湾曲している請求項 1 に記載の超音波送受信器。

## 【請求項 7】

第二超音波伝搬材が 1000 ~ 2000 m / 秒の音波伝搬速度を示す弾性材料から形成されている請求項 1 に記載の超音波送受信器。

## 【請求項 8】

第二超音波伝搬材の音波伝搬速度が第一超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さくされている請求項 1 に記載の超音波送受信器。 10

## 【請求項 9】

第二超音波伝搬材が、ポリウレタンゲルから形成されている請求項 1 及び 6 乃至 8 のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器。

## 【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器が一对、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなるクランプオン型超音波流量計。

## 【請求項 11】

請求項 1 乃至 9 のうちのいずれかの項に記載の超音波送受信器が一对、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係にあり、かつ超音波送受信器間の距離を任意に変えることができるように収容されてなるクランプオン型超音波流量計。 20

## 【請求項 12】

第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用である請求項 10 もしくは 11 に記載のクランプオン型超音波流量計。

## 【請求項 13】

フッ素樹脂製管状体の内部を移動する流体の流量測定用である請求項 10 もしくは 11 に記載のクランプオン型超音波流量計。 30

## 【請求項 14】

内部を流体が移動する管状体に請求項 10 もしくは 11 に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。

## 【請求項 15】

第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の、内部を流体が移動する管状体に請求項 12 に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。

## 【請求項 16】

内部を流体が移動するフッ素樹脂製管状体に請求項 13 に記載のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体。 40

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、クランプオン型超音波流量計に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

クランプオン型超音波流量計は、管状体の外周面の一部に装着し、その管状体の内部を移動する流体の流量を、管状体の外側から測定する流量計である。クランプオン型超音波流 50

量計は、主に、伝搬時間差式とドップラー式に分類できる。伝搬時間差式は、超音波を、管状体の内部を移動する流体を斜めに横切るような経路で往復させて、超音波が往路と復路のそれぞれを伝搬するのに要する時間の差から、流体の流量を測定する方法である。一方、ドップラー式は、流体中に含まれる浮遊粒子や気泡が、流体と同じ速度で移動すると仮定して、浮遊粒子などの移動速度から流体の流量を測定する方法である。浮遊粒子などの移動速度は、流体中に超音波を送信して、浮遊粒子などに反射された超音波の周波数がドップラー効果により変化することから、超音波の周波数を検出することにより測定する。

#### 【 0 0 0 3 】

図9は、従来のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。図9に示すクランプオン型超音波流量計は、伝搬時間差式の流量計である。クランプオン型超音波流量計は、一对の超音波送受信器1a及び1bから構成される。超音波送受信器1aは、超音波振動子2aと楔形超音波伝搬材3aから構成される。楔形超音波伝搬材3aは、底面4aと底面4aに対して鋭角をなす斜面5aを備えている。超音波振動子2aは、楔形超音波伝搬材3aの斜面5aに装着される。そして、超音波振動子2aの楔形超音波伝搬材側の面及びその逆側の面には、超音波振動子2aに電圧を印加するために電極とリード線（図示は略する）が備えられている。同様に、超音波送受信器1bは、超音波振動子2bが、楔形超音波伝搬材3bの斜面5bに装着された構成を有する。

10

#### 【 0 0 0 4 】

超音波振動子2a及び2bのそれぞれは、電極に電圧が印加されると超音波を楔形超音波伝搬材に付与（送信）し、逆に超音波が付与（受信）されると電極に電圧を生じる。従って、超音波振動子が備えられた超音波送受信器1a及び1bのそれぞれは、超音波の送信器でもあり、受信器でもある。そして、超音波送受信器1a及び1bは、管状体6の内部を移動する流体7の移動方向（図9に記入した矢印7の示す方向）に対して斜めに超音波を送受信するように、管状体6の外周面上に装着される。図9に記入した破線9は、超音波の伝搬経路の一例を意味する。

20

#### 【 0 0 0 5 】

管状体6の内部を移動する流体7の流量は、以下の様にして測定される。まず、超音波送受信器1aの超音波振動子2aに電圧パルスを印加して、超音波を送信する。超音波は、図9に示す破線9の方向に沿って、楔形超音波伝搬材3a、管状体6、流体7、管状体6、そして楔形超音波伝搬材3bの順に伝搬して、超音波送受信器1bの超音波振動子2bにより受信されて電圧信号が出力される。超音波送受信器1aが超音波の送信を開始してから、超音波送受信器1bが超音波を受信するまでの時間（ $T_1$ ）を検出する。次に、超音波送受信器1bの超音波振動子2bに電圧パルスを印加して、前記とは逆の伝搬経路で超音波を伝搬させ、超音波送受信器1aの超音波振動子2aにより超音波を受信する。超音波送受信器1bが超音波の送信を開始してから、超音波送受信器1aが超音波を受信するまでの時間（ $T_2$ ）を検出する。

30

#### 【 0 0 0 6 】

超音波が、超音波送受信器1a及び1bの間を伝搬するのに要する時間（ $T_1$ 及び $T_2$ ）は、超音波の伝搬する方向（図9に示す矢印9a及び9bの示す方向）により異なる値となる。超音波送受信器1aから超音波送受信器1bに（矢印9aが示す方向に）向かう超音波は、いわば流体の流れに乗って流体中を伝搬するので、伝搬時間（ $T_1$ ）は、流体が静止している場合と比べると短い値となる。一方、超音波送受信器1bから超音波送受信器1aに（矢印9bが示す方向に）向かう超音波は、流体の流れに逆らって流体中を伝搬するので、伝搬時間（ $T_2$ ）は、流体が静止している場合と比べると長い値となる。これらの伝搬時間の差（ $T_2 - T_1$ ）は、流体7の移動速度と相関があり、この伝搬時間の差から流体7の移動速度が算出される。そして、得られた流体の移動速度、管状体6の流水断面積などから流体7の流量を算出することができる。

40

#### 【 0 0 0 7 】

このようなクランプオン型超音波流量計には、流体に非接触で流量の測定が可能であると

50

いう大きな利点があるところから、その利点を生かすために、流量計の測定感度をさらに高める検討がされている。

【0008】

クランプオン型超音波流量計の測定感度を高める手段の一つとして、流体中における超音波の伝搬距離を長くすることが挙げられる。流体中における超音波の伝搬距離を長く設定できると、小さな流量に対しても、大きな伝搬時間から流量の測定ができるために、流量計の測定感度を高くすることができる。

【0009】

超音波振動子から送信された超音波は、楔形超音波伝搬材、管状体、そして流体の順に伝搬する。超音波は、スネルの法則により、楔形超音波伝搬材と管状体の界面において、両者の音波伝搬速度の比に基づき屈折する。同様に、超音波は、管状体と流体の界面において、両者の音波伝搬速度の比に基づき屈折する。超音波の伝搬経路は、楔形超音波伝搬材、管状体、および流体の音波伝搬速度の値を用い、前記の各界面における超音波の入射角と屈折角を、スネルの法則を用いて計算することにより定まる。この様な伝搬経路の計算により、流体中における超音波の伝搬距離を大きくするための、適切な楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度と、管状体外周面における超音波の入射角が定まる。詳しくは後に記載するが、楔形超音波伝搬材は、管状体の音波伝搬速度の値にほぼ等しい音波伝搬速度を示す材料から形成することが好ましい。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

従来から用いられているクランプオン型超音波流量計では、管状体とほぼ等しい音波伝搬速度を示す材料から楔形超音波伝搬材を形成した場合でも、超音波流量計の測定感度は、ある程度以上には高くすることはできない。これは、超音波振動子から楔形超音波伝搬材に付与された超音波が、楔形超音波伝搬材の内部を伝搬する際に減衰してしまうためである。一般に、流体を移動する管状体を形成する材料としては、鉄、ステンレススチール、塩化ビニル樹脂、およびフッ素樹脂などが用いられている。このうち、フッ素樹脂は、特に超音波を減衰させ易い材料として知られている。フッ素樹脂製管状体の内部を移動する流体の流量を測定するために、楔形超音波伝搬材をフッ素樹脂から形成しても、流量計の測定感度を充分高くすることは困難である。

【0011】

楔形超音波伝搬材の内部における超音波の減衰は、縦波として伝搬する超音波の一部が横波となったり、超音波が熱エネルギーに変換されたりするために生じると考えられる。超音波の減衰の程度は、楔形超音波伝搬材を形成する材料の種類により個別に定まる。従って、楔形超音波伝搬材を、管状体とほぼ等しい音波伝搬速度を示し、且つ超音波が減衰し難い材料から形成することにより、流量計の測定感度を高くすることができる。ところが、本発明者の検討によると、材料選定を工夫しても、十分に測定感度の高いクランプオン型超音波流量計を得ることは困難であることが判明した。

本発明の目的は、測定感度の高いクランプオン型超音波流量計を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明者は、楔形超音波伝搬材を、互いに異なる材料からなる第一超音波伝搬材および第二超音波伝搬材の二つの伝搬材から構成することにより、測定感度の高い流量計を提供できることを見出した。

【0013】

本発明は、超音波振動子が、底面と該底面に対して鋭角をなす少なくとも一つの斜面を備えた楔型超音波伝搬材の該斜面に装着されてなる超音波送受信器であって、該超音波伝搬材が、超音波振動子から超音波伝搬材に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面に対して垂直な方向に伝搬するように構成され、かつ底面に超音波振動子装着斜面と平行な複数の表面が整列形成された第一超音波伝搬材、及び第一超音波伝搬材の底面に密着状態で付設された弾性シート製の第二超音波伝搬材を含むことを特徴とする超音波送受信器にあ

10

20

30

40

50

る。本発明の超音波送受信器の好ましい態様は、下記の通りである。

【0014】

(1) 第一超音波伝搬材が、樹脂材料シート中に複数本の高弾性繊維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成にある。

(2) 第一超音波伝搬材が、複数枚の繊維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弾性繊維の整列方向が互いに直角をなすように交互に積層一体化された構成をなしている。

(3) 繊維強化樹脂シートの高弾性繊維の長さ方向の引張弾性率が50GPa以上である。

【0015】

(4) 繊維強化樹脂シートの高弾性繊維が炭素繊維である。

(5) 第二超音波伝搬材の、第一超音波伝搬材に接する表面とは逆側の表面が凹状に湾曲している。

(6) 第二超音波伝搬材が1000～2000m/秒の音波伝搬速度を示す弾性材料から形成されている。

(7) 第二超音波伝搬材の音波伝搬速度が第一超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さくされている。

(8) 第二超音波伝搬材が、ポリウレタンゲルから形成されている。

【0016】

本発明はまた、前記の超音波送受信器が一对、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなる、クランプオン型超音波流量計にもある。

【0017】

本発明はまた、前記の超音波送受信器が一对、底面に開口を有する細長い形状のケースに、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された斜面が互いに対向しないような位置関係にあり、かつ超音波送受信器間の距離を任意に変えることができるように収容されてなるクランプオン型超音波流量計にもある。

【0018】

前記の二種類の本発明のクランプオン型超音波流量計の好ましい態様は、以下の通りである。

(1) 第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用である。

(2) フッ素樹脂製管状体の内部を移動する流体の流量測定用である。

【0019】

本発明はまた、内部を流体が移動する管状体に前記のクランプオン型超音波流量計が、そのケースの長さ方向と管状体の長さ方向とが一致するように装着固定されてなる流量測定構造体にもある。本発明の流量測定構造体は、音波伝搬速度の小さい既設の配管に対して好ましく用いることができる。このような場合、本発明の流量測定構造体の管状体としては、既設の配管を形成する材料と対応させて、第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の管状体、2000m/秒より小さな音波伝搬速度を示す樹脂製の管状体、もしくはフッ素樹脂製の管状体を好ましく用いることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】

まず最初に、超音波送受信器の超音波振動子により送信された超音波の伝搬経路について、添付の図面を用いて説明する。図10は、管状体の外周面と内周面のそれぞれにおける、超音波の伝搬経路を説明する図である。図10において、超音波振動子(図示は略する)から送信された超音波は、楔形超音波伝搬材3、管状体6、そして流体7の順に伝搬する。破線9は、楔形超音波伝搬材3と管状体6の界面、および管状体6と流体7の界面のそれぞれにおける超音波の伝搬経路の一例を示す。

【0021】

10

20

30

40

50

[ 管状体の内周面における超音波の伝搬 ]

図 10 に示すように、流体中における超音波の伝搬距離は、管状体の内周面における超音波の屈折角  $\theta_2$  の値が大きい程長くなることがわかる。管状体の内周面においては、スネルの法則により下記式 (I) で示される関係が成立する。

$$(I) \sin \theta_2 / \sin \theta_2 = C_2 / C_3$$

式 (I) において、 $C_2$  は、管状体の音波伝搬速度を表し； $C_3$  は、流体の音波伝搬速度を表し； $\theta_2$  は、音波の入射角を表し；そして  $\theta_2$  は、音波の屈折角を表す。

【 0 0 2 2 】

上記式 (I) からわかるように、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  と流体の音波伝搬速度  $C_3$  の比により、入射角  $\theta_2$  と屈折角  $\theta_2$  の上限値が定まる。入射角  $\theta_2$  と屈折角  $\theta_2$  の上限値は、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  と流体の音波伝搬速度  $C_3$  の大小関係により、下記のように定まる。

【 0 0 2 3 】

[  $C_2 < C_3$  の場合の、管状体の内周面における超音波の伝搬 ]

管状体の音波伝搬速度  $C_2$  が流体の音波伝搬速度  $C_3$  より小さい場合には、ある入射角（臨界角）以上の値で、超音波が管状体の内周面で全反射をしてしまい、流体中に超音波を伝搬させることができない。臨界角  $\theta_{2max}$  は、式 (I) の  $\theta_2$  を 90 度とすることにより、下記式 (II) で示される。

$$(II) \theta_{2max} = \sin^{-1} (C_2 / C_3) : (\text{但し、} C_2 < C_3)$$

従って、管状体の内周面における超音波の入射角  $\theta_2$  を、全反射が生じない程度に  $\theta_{2max}$  に近い値とすることで、流体中における超音波の伝搬距離を最大にすることができる。従って、管状体の外周面における屈折角  $\theta_1$  が、 $\theta_{2max}$  に近い値となるよう、入射角  $\theta_1$  を設定することにより、流体中における超音波伝搬距離（流量計の測定感度に対応する）を最大に設定できる。

【 0 0 2 4 】

[  $C_2 > C_3$  の場合の、管状体の内周面における超音波の伝搬 ]

一方、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  が流体の音波伝搬速度  $C_3$  のより大きい場合には、管状体の内周面における超音波の全反射は生じないが、入射角  $\theta_2$  を 90 度にしても屈折角  $\theta_2$  は 90 度にはならず、ある最大値（ $\theta_{2max}$ ）を示す。屈折角の最大値  $\theta_{1max}$  は、式 (I) の  $\theta_2$  を 90 度とすることにより、下記式 (III) で示される。

$$(III) \theta_{2max} = \sin^{-1} (C_3 / C_2) : (\text{但し、} C_2 > C_3)$$

従って、管状体の内周面における超音波の入射角  $\theta_2$  をどんなに大きな値に設定しても、流体中における超音波の伝搬距離は、 $\theta_{2max}$  により定まる伝搬距離以上にはできない。この場合、管状体の外周面における屈折角  $\theta_1$  を極力大きな値に設置することにより、流体中における超音波伝搬距離を、 $\theta_{2max}$  で定まる最大の距離に設定することができる。

【 0 0 2 5 】

[ 管状体の外周面における超音波の伝搬 ]

一方、スネルの法則は、管状体の外周面においても成立する。管状体の外周面における、超音波の入射角  $\theta_1$  と屈折角  $\theta_1$  には、下記式 (IV) 及び (V) で示される上限値が存在する。

$$(IV) \theta_{1max} = \sin^{-1} (C_1 / C_2) : (\text{但し、} C_1 < C_2)$$

$$(V) \theta_{1max} = \sin^{-1} (C_2 / C_1) : (\text{但し、} C_1 > C_2)$$

式 (IV) 及び (V) において、 $C_1$  は、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度を表し； $\theta_{1max}$  は、管状体の外周面における入射角  $\theta_1$  の最大値（臨界角）を表し；そして  $\theta_{1max}$  は、管状体の外周面における屈折角  $\theta_1$  の最大値を表す。

【 0 0 2 6 】

[  $C_1 < C_2$  の場合の、管状体の外周面における超音波の伝搬 ]

楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度  $C_1$  が、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  より小さい場合（式 (IV) の関係が成立する場合）には、入射角が  $\theta_{1max}$  以下となる範囲において、超音波の

10

20

30

40

50

送信方向（楔形超音波伝搬材の斜面の角度）を調節することにより、屈折角  $\theta_1$  を任意の値に設定することができる。従って、流体内における超音波の伝搬距離が最大となるように、管状体の内周面に超音波を伝搬させることができる。但し、 $C_1$  と  $C_2$  の値の差が大きいほど、 $\theta_{1max}$  が小さくなるために、屈折角  $\theta_1$  を精度良く設定することが難しくなる。従って、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度  $C_1$  と、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  の値の差は小さい方が好ましい。

【0027】

[  $C_1 > C_2$  の場合の、管状体の外周面における超音波の伝搬 ]  
一方、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度  $C_1$  が、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  より大きい場合（式（V）の関係が成立する場合）には、入射角  $\theta_1$  を極力大きく設定しても、屈折角  $\theta_1$  の最大値  $\theta_{1max}$  が存在する。

10

【0028】

従って、管状体の内周面において式（II）の関係が成立する場合に、管状体の外周面における屈折角の最大値  $\theta_{1max}$  が、管状体の内周面における臨界角  $\theta_{2max}$  より小さい値であると、流体中における超音波の伝搬距離を最大とするように入射角  $\theta_2$  を設定できない（入射角  $\theta_2$  を、 $\theta_{2max}$  に近い値に設計できない）ために、高感度の流量計を設計することが難しい。

【0029】

一方、管状体の内周面において式（III）の関係が成立する場合にも、入射角  $\theta_2$  を、 $\theta_{1max}$  の値にまでしか大きく設定できない。このため、流体中における超音波の伝搬距離を最大とするように入射角  $\theta_2$  を設定できないので、高感度の流量計を設計することが難しい。

20

【0030】

但し、式（V）により  $\theta_{1max}$  が定まる場合にも、 $C_1$  と  $C_2$  の値の差が小さいほど、 $\theta_{1max}$  が大きな値となるため、管状体の内周面において式（I）または（II）の関係が成立する場合にも、高感度の流量計を設計し易くなる。従って、楔形超音波伝搬材の音波伝搬速度  $C_1$  と、管状体の音波伝搬速度  $C_2$  の値の差は小さい方が好ましい。

【0031】

以上のように、楔形超音波伝搬材を形成する材料としては、管状体を形成する材料の音波伝搬速度を考慮して、適切な音波伝搬速度を示す材料（好ましくは、管状体の音波伝搬速度に近い値の音波伝搬速度を示す材料）が選定される。また、楔形超音波伝搬材と管状体の音波伝搬速度の差の値が大きくなるにつれ、両者の音響インピーダンスの差により、管状体の外周面において超音波の反射量が大きくなる。従って、通常は、楔形超音波伝搬材を形成する材料としては、管状体の音波伝搬速度にほぼ等しい値を示す材料が選定される。即ち、簡便には、楔形超音波伝搬材を、管状体と同一の材料から形成すればよい。そして、流体中における超音波の伝搬距離が最大（即ち、 $\theta_2$  が最大）となるように、管状体外周面における超音波の入射角  $\theta_1$ （即ち、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度）を設定することにより、測定感度の高い流量計が得られる。なお、音響インピーダンスは、音波の伝搬媒体となる材料の、音波伝搬速度と密度の積により定まる。

30

【0032】

ところが、超音波振動子から送信された超音波は、楔形超音波伝搬材を形成する材料の内部を伝搬する際に、材料の種類により程度の差はあるものの減衰してしまう。例えば、管状体を形成する材料の一つであるフッ素樹脂は、超音波を減衰させ易い材料として知られている。このようなフッ素樹脂製の管状体の内部を移動する流量を測定するために、楔形超音波伝搬材をフッ素樹脂から形成しても、超音波が楔形超音波伝搬材を伝搬する間に大きく減衰するために、流量計の測定感度を高くすることができない。楔形超音波伝搬材に必要とされる適切な音波伝搬速度の値は、上記のようにスネルの法則を用いて計算は可能である。しかし、計算された音波伝搬速度に近い値の音波伝搬速度を示し、且つ超音波を伝搬し易い材料の選定は困難である。

40

【0033】

50

なお、流量測定の際には、楔形超音波伝搬材と管状体の間に、超音波伝搬経路から空気を排除するためのグリースなどの接触媒質が存在するが、上記においてはこれらを無視して簡略に説明をした。実際の流量計は、このような接触媒質の存在も考慮して、楔形超音波伝搬材を形成する材料を選定し、上記の様にスネルの法則を用いて超音波の伝搬経路を設定（即ち、管状体の外周面における超音波の入射角を設定）することにより設計される。

【0034】

次に、本発明の超音波送受信器を、添付の図面を用いて説明する。図1は、本発明の超音波送受信器の構成を示す斜視図である。図1に示す本発明の超音波送受信器11は、超音波振動子12と楔形超音波伝搬材13から構成される。楔形超音波伝搬材13は、底面14と底面14に対して鋭角をなす斜面15を備えている。超音波振動子12は、楔形超音波伝搬材13の斜面15に装着される。そして、超音波振動子12の楔形超音波伝搬材側の面及びその逆側の面には、超音波振動子に電圧を印加するために電極とリード線（図示は略する）が備えられている。

10

【0035】

楔形超音波伝搬材13は、第一超音波伝搬材16及び第二超音波伝搬材17から構成される。第二超音波伝搬材17は、弾性材料もしくは可塑性材料から形成され、第一超音波伝搬材16の底面18に密着状態で付設される。そして、超音波振動子12から楔形超音波伝搬材13に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面15に対して垂直な方向に伝搬するように、第一超音波伝搬材16の底面18には、超音波振動子装着斜面15と平行な複数の表面19が整列形成されている。

20

【0036】

超音波振動子12により送信された超音波は、超音波振動子装着斜面15と平行な複数の表面19に垂直に入射する。従って、第一超音波伝搬材16と第二超音波伝搬材17との界面における超音波の屈折や反射が防止される。超音波が、前記の界面において屈折して、超音波振動子装着斜面15に垂直な方向以外に伝播すると、受信される超音波の強度が低下するために測定感度が低下する。また、超音波を超音波振動子装着斜面15と平行な複数の表面19に垂直に入射させることにより、第一超音波伝搬材16と第二超音波伝搬材17との音響インピーダンスの差により両者の界面において生じる超音波の反射量を最低にすることができる。このため、第一超音波伝搬材16から第二超音波伝搬材17に超音波を十分伝搬させることができる。

30

【0037】

そして、楔形超音波伝搬材13の第二超音波伝搬材17を、スネルの法則を用いた計算により得られる適切な音波伝搬速度を示す材料から形成する。一方、第一超音波伝搬材16は、超音波の減衰量が小さい材料から形成する。超音波が材料の内部を伝搬する際の減衰量の大小は、例えば、二種類の材料を円柱状に加工し、その両端のそれぞれに超音波送受信器を装着して超音波を送受信し、得られた受信信号の大きさを比べることにより簡単に測定することができる。

【0038】

楔形超音波伝搬材13の内部における超音波の伝搬経路において、超音波が、適切な音波伝搬速度を示す材料から形成された第二超音波伝搬材17を伝搬する距離は、従来のように楔形超音波伝搬材の全体を同じ材料から形成する場合よりも短い。このため、第二超音波伝搬材17を形成する材料が超音波を減衰させ易い材料であっても、超音波がその材料中を伝搬する距離が短いために、従来よりも楔形超音波伝搬材の内部における超音波の減衰量を小さくすることができる。

40

【0039】

第一超音波伝搬材16を形成する材料としては、超音波の減衰量が小さい材料を用いれば特に制限はない。例えば、従来の楔形超音波伝搬材を形成する材料から第二超音波伝搬材17を形成し、第二超音波伝搬材より超音波の減衰量が相対的に小さい材料から第一超音波伝搬材16を形成することにより、容易に流量計の測定感度を高くすることができる。

【0040】

50

このように、楔形超音波伝搬材を上記のような構成とすることにより、第一超音波伝搬材については、超音波の減衰量のみ注目して材料の選定ができ、一方、第二超音波伝搬材については、音波伝搬速度のみ注目して材料の選定ができる。従って楔形超音波伝搬材を形成する材料の選定が容易となり、測定感度の高い流量計を容易に得ることができる。

【0041】

また、第一超音波伝搬材を形成する材料としては、繊維強化樹脂材を用いることが好ましい。本発明者の研究により、繊維強化樹脂材が、特に、繊維の長さ方向に垂直な方向に伝搬する超音波を減衰させ難い材料であることがわかった。繊維強化樹脂材は、樹脂材料シート中に複数本の高弾性繊維がシート平面に沿って平行に整列配置された構成の繊維強化樹脂シートが複数枚積層一体化された構成を有する。一般に、超音波は、媒質中を縦波として伝搬するが、媒質が固体の場合には、その一部が横波となり減衰することが知られている。繊維強化樹脂材が、繊維の長さ方向に垂直な方向に伝搬する超音波を減衰させ難い理由は、繊維強化樹脂材の内部に、振動を抑制する高弾性繊維が間欠的に整列配置しているために、繊維強化樹脂の内部を伝搬する横波が励起され難いためと推測される。

10

【0042】

第一超音波伝搬材16を繊維強化樹脂材から形成する場合、超音波振動子12から楔形超音波伝搬材13に付与された超音波が、超音波振動子装着斜面15に対して垂直な方向に伝搬するように、高弾性繊維20の長さ方向は、斜面15（超音波振動子12の振動面）と平行な方向に整列配置させる。このように高弾性繊維を整列配置することにより、超音波振動子の、高弾性繊維の長さ方向に沿った振動の励起が抑えられ、繊維に垂直な方向に指向性に優れる超音波が送信できる。超音波振動子と繊維強化樹脂材の積層体における、超音波の伝搬方向の制御については、特開平7-284198号公報に詳しく記載されている。第一超音波伝搬材16は、市販の繊維強化樹脂材を切削加工して形成することができる。

20

【0043】

高弾性繊維20が整列配置する方向は、楔形超音波伝搬材13の斜面（超音波振動子の振動面）に平行であれば特に制限は無いが、製造のし易さ、コストの面で、前記の斜面15に平行な、一方向または二方向に整列配置させることが好ましい。

【0044】

楔形超音波伝搬材13の斜面15に平行な一方向のみに高弾性繊維20を整列配置させる場合は、図1に示すように、高弾性繊維20の長さ方向を楔形超音波伝搬材13の底面14に投影した線と、斜面15の法線を前記の底面に投影した線とが平行であることが好ましい。高弾性繊維を斜面15に平行な一方向のみに整列配置した場合、（斜面と平行で）高弾性繊維と直交する方向には、高弾性繊維による制振効果が小さいために、若干の振動の励起を生じてノイズの原因となる場合がある。このような振動の励起があった場合にも、図1に示すように高弾性繊維20を整列配置すると、励起された振動による音波は、伝搬方向が楔形超音波伝搬材13の側面に垂直な方向であるために、管状体6には伝搬し難い。逆に、高弾性繊維を、斜面15と平行で、側面に垂直な一方向に整列配置すると、（斜面と平行で）高弾性繊維と直交する方向に励起された振動による音波は、伝搬方向が、先の場合の繊維の長さ方向と同方向となり、管状体に伝播してノイズとなり、測定感度を低下させる場合がある。

30

40

【0045】

楔形超音波伝搬材13の斜面15に平行な二方向に高弾性繊維20を整列配置させる場合は、楔形超音波伝搬材13を、複数枚の繊維強化樹脂シートが、隣接する各シート内の高弾性繊維の整列方向が互いに直交をなすように交互に積層され、一体化された構成とすることが好ましい。

【0046】

超音波振動子の振動面に沿った方向の振動の励起を抑制するため、高弾性繊維20の長さ方向の引張弾性率は、50GPa以上であることが好ましく、100GPa以上であることがより好ましい。高弾性繊維の例としては、炭素繊維、炭化ケイ素繊維、ナイロン繊維

50

、ポリアミド繊維、およびアラミド繊維などが挙げられ、炭素繊維もしくは炭化ケイ素繊維を用いることが好ましい。また、繊維強化樹脂シートの樹脂材料21の例としては、エポキシ樹脂、ナイロン樹脂、ポリイミド樹脂、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、フェノール樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリアミド樹脂、ポリカーボネート樹脂、およびポリアミドイミド樹脂などが挙げられ、エポキシ樹脂を用いることが好ましい。

【0047】

第二超音波伝搬材17は、弾性材料もしくは可塑性材料から形成する。弾性材料もしくは可塑性材料としては、前記のように、管状体を形成する材料の音波伝搬速度を考慮して、適切な音波伝搬速度を示す材料が選択される。そして、弾性材料もしくは可塑性材料の音波伝搬速度の値と、管状体の音波伝搬速度の値の差は小さいほうが好ましい。簡便には、第二超音波伝搬材は、管状体を形成する材料と同一の材料から形成することができる。弾性材料の例としては、金属材料、樹脂材料、およびゲル状の弾性材料などが挙げられる。金属材料の例としては、一般に管状体の形成に用いられる、鉄、ステンレススチールなどの金属材料が挙げられる。樹脂材料の例としては、一般に管状体の形成に用いられる、塩化ビニル樹脂およびフッ素樹脂、そして、従来の楔形超音波伝搬材の形成に用いられる、エポキシ樹脂、アクリル樹脂などが挙げられる。ゲル状の弾性材料には、軟質エラストマーが含まれる。ゲル状の弾性材料の例としては、シリコーンゲル、ポリウレタンゲル、ポリウレタンエラストマーなどが挙げられる。可塑性材料の例としては、グリースが挙げられる。

【0048】

また、楔形超音波伝搬材13の底面14が、管状体6の外周面と密着するように、第二超音波伝搬材17の、第一超音波伝搬材16に接する表面とは逆側の面（楔形超音波伝搬材の底面14）を凹状に加工することも好ましい。ただし、第二超音波伝搬材17を金属や樹脂材料などの弾性材料から形成する場合、前記の面を曲面に加工することは手間がかかるため、第二超音波伝搬材17は、ゲル状の弾性材料もしくは可塑性材料から形成することが好ましい。ゲル状の弾性材料としては、ポリウレタンゲルを用いることが好ましい。可塑性材料としては、グリースを用いることが好ましい。第二超音波伝搬材を、グリースなどの可塑性材料から形成する場合、管状体6に可塑性材料を厚めに塗布して、可塑性材料の上から超音波振動子が備えられた第一超音波伝搬材を押し付けることにより、簡便に超音波送受信器を形成することができる。

【0049】

また、楔形超音波伝搬材13と管状体6との間に空気（隙間）が存在すると、空気の音響インピーダンスが小さいために、超音波が楔形超音波伝搬材と空気の界面で反射してしまうため、楔形超音波伝搬材13と管状体6との隙間には、接触媒質を充填することが好ましい。管状体6の外周面上に接触媒質を塗布してから超音波送受信器11を管状体6に押し付けることで、前記の隙間に接触媒質を充填することができる。このような、超音波の伝搬経路から空気を排除するために用いる接触媒質としては、公知の材料を用いることができる。接触媒質としては、気泡が残りにくい液体またはペースト状の材料が用いられ、一般には、水、油、水ガラス、グリース、ワセリンなどが用いられる。超音波送受信器を管状体に固定して、継続的に流体の流量を測定する場合には、接触媒質としてはグリースを用いることが好ましい。また、接触媒質として液状の高分子材料を用いることもできる。なお、前記の様に、第二超音波伝搬材を可塑性材料から形成する場合には、接触媒質は用いなくてもよい。

【0050】

次に、本発明の超音波送受信器の別の態様について説明する。図2は、本発明の超音波送受信器の別の一例の構成を示す斜視図である。図2に示す超音波送受信器11は、楔形超音波伝搬材13の形状が異なる以外は、図1に示した超音波送受信器と同様の構成である。超音波を、超音波振動子装着斜面に垂直に伝搬させるためには、図1に示した構成の楔形超音波伝搬材の形状で十分であるが、図2に示すように、第一超音波伝搬材16の上側に、水平面を設けることが好ましい。このような水平面に、超音波送受信器を固定するた

10

20

30

40

50

めのボルト穴 22 を設けることで、超音波送受信器 11 の管状体 6 の外周面に対する位置を、ボルトを用いて容易に固定できる。具体的な固定の方法については、後述する。また、このような第一超音波伝搬材 16 の一例の構成の具体的な寸法（単位：mm）を、図 3 に記載する。図 3 において、図（a）は、第一超音波伝搬材 16 の側面図であり、そして図（b）は、背面図である。

#### 【0051】

前述のように、クランプオン型超音波流量計には、伝搬時間差式、ドップラー式のように多くの種類があり、用いられる超音波送受信器の数も様々である。クランプオン型超音波流量計については、「流量計測 A to Z」（日本計量機器工業联合会編、第 8 章、1995）に詳しく記載がある。本発明の超音波送受信器は、様々な種類のクランプオン型超音波流量計のいずれにも好ましく用いることができる。図 4 に、本発明の超音波送受信器を用いた V 式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成の断面図を、図 5 に、Z 式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成の断面図を示す。図 4 および図 5 に示すクランプオン型超音波流量計は、いずれも伝搬時間差式の流量計である。Z 式、V 式とは、流体中での超音波の伝搬経路 9 の形状から命名されている。V 式のクランプオン型超音波流量計は、Z 式に比べて、超音波伝搬経路 9 が長いために測定感度が高く、管状体 6 を挟んで超音波送受信器を配置する必要がないために設置が容易であるという利点がある。

#### 【0052】

流体の移動に用いられる管状体を形成する材料の例（括弧内に音波伝搬速度の値を示す）としては、ステンレススチール（約 5000 m / 秒）、塩化ビニル樹脂（約 2200 m / 秒）、もしくはフッ素樹脂（約 1200 m / 秒）などが挙げられる。一般に、音波伝搬速度が特に小さい値を示す樹脂材料から形成された管状体に対して、高感度の流量計を設計することは難しい。これは、この様に音波伝搬速度が特に小さい材料が、超音波の減衰量が大きい材料であった場合に、これに変えて、管状体と音波伝搬速度が近い値を示し、且つ超音波の減衰量が小さい楔形超音波伝搬材形成用の材料を探すことが難しいためである。このような、音波伝搬速度が特に小さく、超音波の減衰量が大きい材料には、上記に挙げた例のうちのフッ素樹脂が該当する。

#### 【0053】

本発明の超音波送受信器を用いた流量計は、音波伝搬速度が小さい管状体の内部を流れる流体の流量測定用に好ましく用いることができる。音波伝搬速度が小さい管状体に対しては、第二超音波伝搬材は、1000 ~ 2000 m / 秒の音波伝搬速度を示す弾性材料もしくは可塑性材料から形成することが好ましく、特にポリウレタンゲル（音波伝搬速度：約 1400 m / 秒）またはグリース（音波伝搬速度：約 1500 m / 秒）を用いることが好ましい。また、第二超音波伝搬材の音波伝搬速度が、第一音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さいことが好ましい。第一超音波伝搬材を形成する材料として、例えば、エポキシ樹脂と炭素繊維から構成される繊維強化樹脂材を用いる場合、繊維強化樹脂材の音波伝搬速度の値は、炭素繊維の長さ方向に垂直な方向で、3000 m / 秒程度である。

#### 【0054】

本発明に従い、第一超音波伝搬材 16 を繊維強化樹脂材、そして第二超音波伝搬材 17 をフッ素樹脂から形成することで、フッ素樹脂製の管状体に対しても測定感度の高い流量計が提供できる。また、フッ素樹脂は超音波の減衰量が大きいため、第二超音波伝搬材を、ゲル状の弾性材料から形成することがさらに好ましく、ポリウレタンゲルから形成することが特に好ましい。

#### 【0055】

次に、本発明のクランプオン型超音波流量計について説明する。図 6 は、本発明のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す一部切欠き斜視図である。本発明のクランプオン型超音波流量計は、基本的には一対の超音波送受信器と、それぞれの超音波送受信器の管状体に対する位置を固定する手段からなる。図 6 に示すように、本発明のクランプオン型超音波流量計は、前記の本発明の超音波送受信器が一対（11a 及び 11b）、底面に開口を有する細長い形状のケース 23 に、各超音波送受信器の超音波振動子が装着された

10

20

30

40

50

斜面が互いに対向しないような位置関係で収容固定されてなる。ケース 23 は、ケース本体 24 とケース蓋 25 から構成される。

【0056】

管状体 6 の寸法（内径および外径）と材質が予めわかれば、超音波送受信器 11a と 11b の最適な位置関係は算出できるので、超音波送受信器のそれぞれを、ケース蓋 25 にボルト 26 を用いて固定する。このように予め一对の超音波送受信器間の位置関係を固定しておくことで、既設の管状体（化学プラントの配管など）にクランプオン型超音波流量計を装着する作業が容易となる。

【0057】

流量計と管状体は、管状体 6 をケース 23 と流量計固定材 27 により挟んで、ケース 23 と流量計固定材 27 をねじ 28 により締め付けることにより、簡便且つ確実に固定することができる。流量計の管状体への固定方法は、前記の方法に限定されず、ゴムバンドなどを用いてケース本体 23 と管状体 6 を締め付けて固定してもよい。

10

【0058】

管状体の寸法（内径および外径）や材質が不明な場合などは、一对の超音波送受信器間の距離を、流量計を管状体に装着する際に設定する必要がある。このため、ケース蓋 25 に、長穴 29 を設けるなどして、流量計を、超音波送受信器間の距離を任意に変更できる構成とすることもできる。

【0059】

本発明の超音波流量計は、第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用として好ましく用いることができる。また、前記のように、本発明の超音波流量計は、音波伝搬速度が特に小さい（概ね 2000 / 秒以下）値を示す樹脂材料製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用として好ましく用いることができ、フッ素樹脂製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用として特に好ましく用いることができる。

20

【0060】

音波伝搬速度が特に小さい値を示す樹脂材料製の管状体の内部を移動する流体の流量を測定する場合には、楔形超音波伝搬材は、繊維強化樹脂材から形成された第一超音波伝搬材、およびポリウレタンゲルから構成された第二超音波伝搬材から構成されることが特に好ましい。この構成の楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度（即ち、管状体の外周の表面における超音波の入射角）は、40 乃至 70 度の範囲にあることが好ましい。

30

【0061】

繊維強化樹脂材とポリウレタンゲルから構成された超音波伝搬材を用いた流量計を、ステンレススチール製管状体もしくはポリ塩化ビニル樹脂製の管状体の内部を移動する流体の流量測定用とする場合には、前記のようにスネルの法則を用いて、流体中における超音波の伝搬距離が最大となるように、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度を設定すればよい。具体的には、ステンレススチール製の管状体に対しては、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度を、5 乃至 25 度の範囲に設定することが好ましい。また、ポリ塩化ビニル樹脂製の管状体に対しては、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度を、25 乃至 45 度の範囲に設定することが好ましい。

40

【0062】

また、化学プラントなどにおける既設の配管が取り外し可能である場合には、予め管状体とクランプオン型超音波流量計とを一体化させた流量測定構造体を用いることもできる。このような構成とすることで、予め超音波送受信器の位置関係を精密に調整した（管状体とクランプオン型超音波流量計が一体となった）流量測定構造体と、既設の配管を交換するのみで、直ちに流量の測定が可能となる。このような本発明の流量測定構造体は、図 6 に示すように、ケース 23 の長さ方向と管状体 6 を、ケースの長手方向と管状体の長さ方向とが一致するように固定することで得られる。このように固定するためには、ケース 23 と流量計固定材 27 により管状体 6 を挟み、ねじ 28 などの固定手段により、ケース 23 と固定材 27 とを締め付け固定すればよい。本発明の流量測定構造体は、音波伝搬速度

50

の小さい既設の配管に対して好ましく用いることができる。このような場合、本発明の流量測定構造体の管状体6としては、既設の配管を形成する材料と対応させて、第二超音波伝搬材の音波伝搬速度よりも小さな音波伝搬速度を示す樹脂材料製の管状体、2000m/秒より小さな音波伝搬速度を示す樹脂製の管状体、もしくはフッ素樹脂製の管状体を好ましく用いることができる。

【0063】

【発明の効果】

本発明の超音波送受信器は、楔形超音波伝搬材を形成する材料の選定が容易である。そして、本発明の超音波送受信器においては、楔形超音波伝搬材の内部における超音波の減衰量が小さい。このため、本発明の超音波送受信器を用いることにより、高感度のクランプオン型超音波流量計を提供することができる。そして本発明の超音波送受信器を一对用いて構成されるクランプオン型超音波流量計は、超音波送受信器の位置関係の設定が容易であり、流量計を簡単に管状体に装着できる。本発明のクランプオン型超音波流量計は、音波伝搬速度の小さい管状体（特にフッ素樹脂製の管状体）の内部を流れる流体の流量測定用として好ましく用いることができる。また、管状体とクランプオン型超音波流量計とを一体化した本発明の流量測定構造体を用いることにより、化学プラントなどにおける既設の配管と、流量測定構造体を交換するのみで高感度の流量測定を行うことができる。

【0064】

【実施例】

[比較例1]

外径1インチのPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）製の管状体に水を流し、市販のクランプオン型超音波流量計（東京計装（株）製）を用いて、超音波の送受信を行った。V法により超音波が送受信されるよう、一对の超音波送受信器を、管状体の表面にグリースを介して配置した。送信側の超音波送受信器の超音波振動子に電圧パルス（パルス幅0.5 $\mu$ s、パルス高さ30V）を印加して超音波を送信し、受信側の超音波送受信器により超音波を受信した。受信側の超音波送受信器において得られた電圧波形を、図7に示す。図7の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、2.02Vであった。

【0065】

[実施例1]

まず、エポキシ樹脂と、炭素繊維（繊維の長さ方向の引張弾性率240GPa）から構成された繊維強化樹脂材を切削加工して、図2に示す形状の第一超音波伝搬材を作製した。次に、二液硬化型のポリウレタンゲルを型枠に流し込んだ後に常温硬化させて、図2に示す形状の第二超音波伝搬材を作製した。第二超音波伝搬材の第一超音波伝搬材に接する面とは逆の面は、管状体の外周面と密着するように凹状に湾曲した形状とした。得られた第一超音波伝搬材と第二超音波伝搬材を貼り合わせて楔形超音波伝搬材を作製した。そして楔形超音波伝搬材の斜面上に、ジルコン酸チタン酸鉛系の市販の超音波振動子（直径10mm、厚さ1mm）を装着した。この様にして、図2に示す構成の超音波送受信器を作製した。

【0066】

繊維強化樹脂材の高弾性繊維は、図2に示すように楔形超音波伝搬材の斜面（超音波振動子の振動面）に平行な一方向に整列配置させた。また、楔形超音波伝搬材の底面と斜面のなす角度（即ち管状体の外周面における超音波の入射角）は、60度であった。

【0067】

作製した超音波送受信器を一对用いる以外は比較例1と同様にして、超音波の送受信を行った。受信側の超音波送受信器で得られた電圧波形を、図8に示す。図8の電圧波形において、横軸は時間、そして縦軸は電圧を表す。得られた電圧波形の最大の振幅は、2.94Vであった。

【0068】

従って、送信側の超音波振動子に同じ電圧パルスを印加して超音波を送信した場合、受信

10

20

30

40

50

側の超音波送受信器の超音波振動子から出力される電圧値は、従来の流量計の1.4倍以上であり、本発明の超音波送受信器を用いたクランプオン型超音波流量計の測定感度は非常に高いことがわかる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の超音波送受信器の一例の構成を示す斜視図である。

【図2】本発明の超音波送受信器の別の一例の構成を示す斜視図である。

【図3】図2に示す楔形超音波伝搬材の一例の構成の寸法を示す図である。

【図4】本発明の超音波送受信器を用いたZ式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。

【図5】本発明の超音波送受信器を用いたV式のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である

10

【図6】本発明のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す一部切欠き斜視図である。

【図7】比較例1において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図8】実施例1において、受信側の超音波送受信器から出力された電圧波形を示す図である。

【図9】従来のクランプオン型超音波流量計の一例の構成を示す断面図である。

【図10】管状体の外周面及び内周面のそれぞれにおける超音波の伝搬経路を説明する図である。

20

【符号の説明】

- 1、1 a、1 b 超音波送受信器
- 2、2 a、2 b 超音波振動子
- 3、3 a、3 b 楔形超音波伝搬材
- 4、4 a、4 b 底面
- 5、5 a、5 b 斜面
- 6 管状体
- 7 流体
- 9 超音波の伝搬経路の例
- 9 a、9 b 超音波の伝搬方向を示す矢印
- 11、11 a、11 b 超音波送受信器
- 12、12 a、12 b 超音波振動子
- 13、13 a、13 b 楔形超音波伝搬材
- 14 楔形超音波伝搬材の底面
- 15 斜面
- 16 第一超音波伝搬材
- 17 第二超音波伝搬材
- 18 第一超音波伝搬材の底面
- 19 楔形超音波伝搬材の斜面に平行な面
- 20 高弾性繊維
- 21 樹脂
- 22 ボルト穴
- 23 ケース
- 24 ケース本体
- 25 ケース蓋
- 26 ボルト
- 27 流量計固定材
- 28 ねじ
- 29 長穴
- 30 リード線

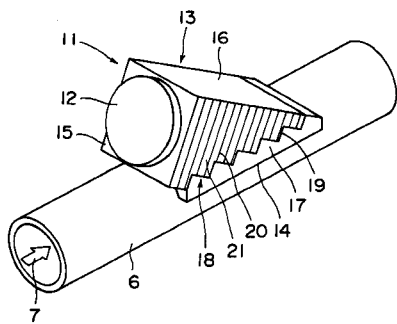
30

40

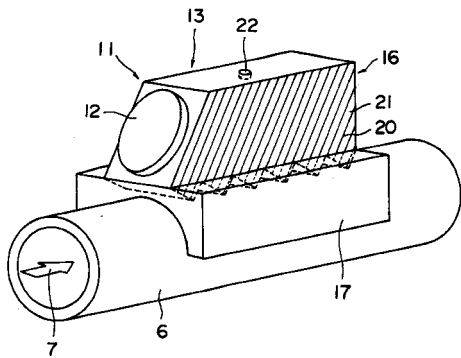
50

3 1 ねじ

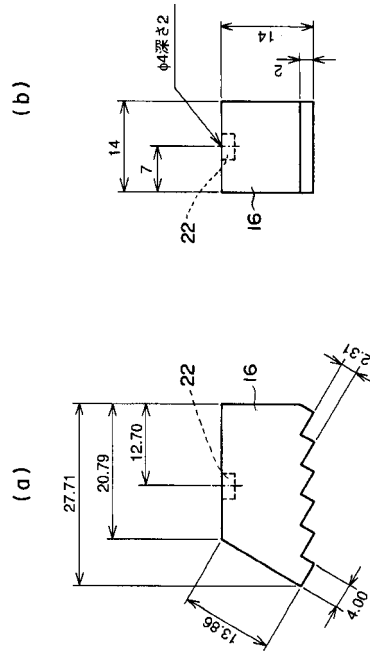
【図1】



【図2】



【図3】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 実開昭56-053889(JP,U)  
特開2000-304581(JP,A)  
特開平07-284198(JP,A)  
特開平05-227595(JP,A)  
実開昭60-148926(JP,U)  
実開昭59-041724(JP,U)  
国際公開第00/003207(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01F 1/66