

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6187661号
(P6187661)

(45) 発行日 平成29年8月30日 (2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日 (2017.8.10)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 F 1/66 (2006.01) GO 1 F 1/66 A
GO 1 F 25/00 (2006.01) GO 1 F 1/66 1 O 1
 GO 1 F 25/00 Q

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2016-184558 (P2016-184558)	(73) 特許権者	000006507
(22) 出願日	平成28年9月21日 (2016.9.21)		横河電機株式会社
(62) 分割の表示	特願2013-127652 (P2013-127652) の分割		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
原出願日	平成25年6月18日 (2013.6.18)	(72) 発明者	田中 宏明
(65) 公開番号	特開2016-212123 (P2016-212123A)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
(43) 公開日	平成28年12月15日 (2016.12.15)	(72) 発明者	寺尾 美菜子
審査請求日	平成28年9月21日 (2016.9.21)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		(72) 発明者	田中 仁章
			東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		審査官	森 雅之

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】

測定対象流体が流れる管路の外壁に取り付けられて超音波信号を送受する複数の超音波素子を含み、

前記超音波素子の少なくとも1つは超音波送信素子であって、超音波送信面が前記管路の管軸方向と平行になるように管路の外壁に取り付けられていて、

前記超音波素子の他の少なくとも1つは超音波受信素子であって、超音波受信面が前記管路の管軸方向と平行になるように取り付けられており、

前記超音波送信素子とこの超音波送信素子を挟んで配置された二つの前記超音波受信素子とが管軸方向に沿って配列されて前記超音波送信素子は音響レンズを含み可撓性を有するフェーズドアレイ素子で構成され、

前記管路の管軸方向と直交する方向に進行する超音波信号に基づいて測定対象流体の管軸方向の進行距離および測定対象流体の流速を演算する自己校正部と、

前記自己校正部の演算結果に基づき測定対象流体の流量を演算する流量演算部を有し、前記流量演算部は、次式により流量Vを求めることを特徴とする超音波流量計。

$$V = KSF = \pi K \left(\frac{d_w}{2}\right)^2 F$$

K : 流量補正係数

S : 管路 18 の断面積

F : 流速

d w : 管路 18 の内径

【請求項 2】

前記超音波受信素子は、超音波受信面が平坦に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波流量計。

【請求項 3】

前記複数の超音波素子の相対的な位置関係を固定するための一体化部材を有することを特徴とする請求項 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、超音波流量計に関し、詳しくは、クランプオン型の超音波流量計における設置コストの低減に関する。

【背景技術】

【0002】

クランプオン型の超音波流量計は、既存の管路であっても後から設置できること、超音波信号を送受するトランスデューサ部を管路の外側に取り付けるので圧力損失を生じることなく、腐食性流体や高圧流体であっても容易に測定できることなどから、各種の分野で広く用いられている。

【0003】

図 10 は従来のクランプオン型の超音波流量計の一例を示す構成説明図であり、特許文献 1 に記載されているもので、(A) は全体構成を示し、(B) は(A) のトランスデューサ 4 の部分断面を示している。図 10 (A) において、管路 1 の上部には、管軸方向に沿って、フードに覆われた第 1 の超音波トランスデューサ 2 が取り付けられた第 1 のブラケット 3 とフードに覆われた第 2 の超音波トランスデューサ 4 が取り付けられた第 2 のブラケット 5 が、所定の位置関係を保つようにしてそれぞれ金属バンド 5、6 を介して固定されている。

【0004】

図 10 (B) において、フードに覆われたトランスデューサ 4 の内部には、所定の傾斜面が形成されたベース 8 が収納されていて、その傾斜面には超音波変換素子 9 が取り付けられている。

【0005】

このような構成において、第 1 の超音波トランスデューサ 2 と第 2 の超音波トランスデューサ 4 は、管路 1 の上部に固定された第 1 の超音波トランスデューサ 2 の超音波変換素子から管軸に対して斜めに放射される超音波を第 2 の超音波トランスデューサ 4 の超音波変換素子が最適な位置で受信できるように、第 2 の超音波トランスデューサ 4 を管路 1 の上部でスライドさせながら最適な位置を探索して固定する。

【0006】

図 11 は従来のクランプオン型の超音波流量計の他の例を示す構成説明図であり、特許文献 2 に記載されているものである。図 11 において、装置 10 は、互いに離間して配置されかつパイプ 11 の所定の部分 12 の外周面 13 と接触するように構成された複数の脚部分 14 を含む。脚部分 14 の間にダイヤルゲージ 15 が設けられている。ダイヤルゲージ 15 は、外周面 13 に沿って測定基準点から周囲方向に測定される複数の位置の各々における曲率半径を指示するように構成されている。ダイヤルゲージ 15 で測定された複数の位置に関する曲率半径データおよび別途測定された配管厚さデータはプロセッサ 16 へ伝送され、たとえばパイプ 11 の所定の部分 12 における横断面の面積を判定するための計算に使用される。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第3043758号公報

【特許文献2】特表2011-501191号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、特許文献1に記載されている測定装置では、超音波トランスデューサ2、4を管路1に設置するのにあたって、超音波トランスデューサ2、4を管路1の上部でスライドさせながら最適な位置を探索する作業を行わなければならないという課題がある。

10

【0009】

一方、特許文献2に記載されている測定システムでは、流量を求めるのにあたって、事前に配管の厚みや曲率を測定するための別の作業が必要になるという課題がある。

【0010】

本発明は、これらの課題を解決するものであって、その目的は、比較的簡単に管路に設置できるクランプオン型の超音波流量計を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

このような課題を達成するために、本発明のうち請求項1記載の発明は、測定対象流体が流れる管路の外壁に取り付けられて超音波信号を送受する複数の超音波素子を含み、

20

前記超音波素子の少なくとも1つは超音波送信素子であって、超音波送信面が前記管路の管軸方向と平行になるように管路の外壁に取り付けられていて、

前記超音波素子の他の少なくとも1つは超音波受信素子であって、超音波受信面が前記管路の管軸方向と平行になるように取り付けられており、

前記超音波送信素子とこの超音波送信素子を挟んで配置された二つの前記超音波受信素子とが管軸方向に沿って配列されていて、前記超音波送信素子は音響レンズを含み可撓性を有するフェーズドアレイ素子で構成され、

前記管路の管軸方向と直交する方向に進行する超音波信号に基づいて測定対象流体の管軸方向の進行距離および測定対象流体の流速を演算する自己校正部と、

30

前記自己校正部の演算結果に基づき測定対象流体の流量を演算する流量演算部を有し、前記流量演算部は、次式により流量Vを求めることを特徴とする超音波流量計である。

$$V = KSF = \pi K \left(\frac{d_w}{2} \right)^2 F$$

K : 流量補正係数

S : 管路18の断面積

F : 流速

d_w : 管路18の内径

40

【0012】

請求項2記載の発明は、請求項1に記載の超音波流量計において、

前記超音波受信素子は、超音波受信面が平坦に形成されていることを特徴とする。

【0013】

請求項3記載の発明は、請求項1に記載の超音波流量計において、

前記複数の超音波素子の相対的な位置関係を固定するための一体化部材を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

50

これらにより、比較的簡単に管路に設置できるクランプオン型の超音波流量計を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施例を示す構成説明図である。

【図2】本発明の他の実施例を示す構成説明図である。

【図3】本発明の他の実施例を示す構成説明図である。

【図4】本発明に基づく超音波流量計の測定動作説明図である。

【図5】流体中で広がりながら伝播する超音波信号の伝播状態説明図である。

【図6】流体中を複数回反射しながら伝播する超音波信号の伝播状態説明図である。

10

【図7】本発明に基づく全体構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の他の実施例を示す構成説明図である。

【図9】本発明の他の実施例を示す構成説明図である。

【図10】従来のクランプオン型の超音波流量計の一例を示す構成説明図である。

【図11】従来のクランプオン型の超音波流量計の他の例を示す構成説明図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。図1は本発明の一実施例を示す構成説明図であって、管路を管軸方向TAに沿って断面した状態を示している。図1において、測定対象流体17が流れる管路18の外壁上部には、管軸方向TAに沿って、超音波信号を送受する複数の超音波素子19～21がそれぞれの超音波送受面が管軸方向TAと平行になるようにして所定の位置関係で配列されている。

20

【0019】

図2は本発明の他の実施例を示す構成説明図であり、超音波素子19～21として可撓性を有するものを用いている。超音波素子19～21が可撓性を有していることにより、管路18の所望部分へ巻き付けることができる。そして、素子面が平坦面状に形成されていることから、超音波を広い素子面で送受信することができる。

【0020】

これにより、受信信号の減衰を抑えることができるため、流量測定をより正確に行えるという効果が得られる。また、超音波素子として広帯域の周波数特性を有するPVDF（ポリフッ化ビニリデン樹脂）素子で構成されたものを用いれば、自己校正における超音波共鳴法においても繰り返し周波数が高い周波数帯にまでも現れるので、より正確に管路18の厚さを測定でき、流速をより正確に求めることができる。

30

【0021】

図3も本発明の他の実施例を示す構成説明図であり、超音波素子19～21の相対的な位置関係を一体化部材22により固定したものである。これにより、前述の特許文献1に記載されているような超音波送信素子および受信素子として用いる超音波トランスデューサ2、4の管路1上における取付位置の調整は不要となり、取付作業の効率が向上する。

【0022】

図4は、本発明に基づく超音波流量計の測定動作説明図である。図4(A)において、管路18内における流体17の管軸方向の進行距離をdx、流速をF、流体の音速をCwとし、流体から管路18への入射角をwとすると、上流と下流における超音波の伝播時間T1、T2の差Tは以下ようになる。

40

【0023】

$$T1 = \frac{L_p}{C_w - F \sin \theta_w}$$

【0024】

$$T2 = \frac{L_p}{C_w + F \sin \theta_w}$$

【 0 0 2 5 】

$$\Delta T = T1 - T2 = \frac{L_p}{C_w - F \sin \theta_w} - \frac{L_p}{C_w + F \sin \theta_w} = \frac{2L_p \sin \theta_w}{C_w^2 - F^2 \sin^2 \theta_w} F$$

【 0 0 2 6 】

$$C_w^2 \gg F^2 \sin^2 \theta_w \text{ より}$$

【 0 0 2 7 】

$$\Delta T \approx \frac{2L_p \sin \theta_w}{C_w^2} F = \frac{2d_x}{C_w^2} F \quad (1)$$

【 0 0 2 8 】

よって、以下に説明する自己校正により、流体 17 の管軸方向の進行距離 d_x と流体の音速 C_w を求めれば、流速を求めることができる。この自己校正を流量計設置時に自動で行うことにより、特許文献 2 に示すような管のサイズや配管厚を事前に測定するための複雑な作業が不要となる。また、超音波流量計の設置後、この自己校正をインラインで行うことにより、長期的な測定安定性が向上する。

【 0 0 2 9 】

自己校正にあたっては、図 4 (A) に示した管路 18 の音速 C_s 、流体の音速 C_w 、管路 18 の外径 d_l 、内径 d_w 、厚さ d_s を超音波の伝播時間および周波数スペクトルから求める。管路 18 の音速 C_s は、図 4 (A) に示すように、超音波伝播パス 1 の管壁を伝わる超音波信号に基づき、送受信素子間の距離 L_s と伝播時間 T_1, T_2 より求める。

【 0 0 3 0 】

図 4 (B) において、超音波伝播パス 2 は管路 18 の外周をまわる超音波信号の経路であり、超音波伝播パス 3 は管路 18 の内壁に反射して往復する超音波信号の経路である。超音波伝播パス 2 の伝播時間と音速 C_s より管路 18 の外周の長さを求め、それにより管路 18 の外径 d_l を求める。また、管路 18 の厚さ d_s は、超音波共鳴法により求める。

【 0 0 3 1 】

すなわち、図 4 (B) に示す超音波伝播パス 3 の超音波の周波数スペクトルに現れる繰り返し周波数 f と音速 C_s に基づき、管路 18 の厚さ d_s を、 $d_s = C_s / 2f$ として求める。内径 d_w は、先に求めた外径 d_l と厚さ d_s に基づき、 $d_w = d_l - 2d_s$ より求める。

【 0 0 3 2 】

流体の音速 C_w は、超音波伝播パス 3 の伝播時間 T_d が、

【 0 0 3 3 】

$$T_d = \frac{2d_s}{C_s} + \frac{2d_w}{C_w} \quad (2)$$

【 0 0 3 4 】

となるので、先に求めた内径 d_w 、厚さ d_s 、管路 18 の音速 C_s より流体の音速 C_w を求めることができる。

【 0 0 3 5 】

以上により、管路 18 の音速 C_s 、流体の音速 C_w 、管路 18 の外径 d_l 、内径 d_w 、厚さ d_s が求められる。

【 0 0 3 6 】

次に、図 4 (A) の管軸進行距離 d_x を求める。

ここで、送受信間素子距離 L_s は、

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

$$L_s = 2d_s \tan \theta_s + 2d_w \tan \theta_w \quad (3)$$

【 0 0 3 8 】

と表せる。またスネルの法則より、

【 0 0 3 9 】

$$\frac{\sin \theta_s}{\sin \theta_w} = \frac{C_s}{C_w} \quad (4)$$

【 0 0 4 0 】

となる。以上の式(3)および式(4)から、入射角 θ_w が求められる。よって、管軸進行距離 d_x は、

【 0 0 4 1 】

$$d_x = 2d_w \tan \theta_w$$

【 0 0 4 2 】

で求めることができる。

【 0 0 4 3 】

このように管軸進行距離 d_x と流体の音速 C_w が自己校正により求められるので、最終的に式(1)により流速を求めることができる。

【 0 0 4 4 】

また、流量 V については、流量補正係数を K 、管路 18 の断面積を S とすると、

【 0 0 4 5 】

$$V = KSF = \pi K \left(\frac{d_w}{2} \right)^2 F \quad (5)$$

【 0 0 4 6 】

となり、流量 V が求められる。

【 0 0 4 7 】

図5は、流体中で広がりながら伝播する超音波信号の伝播状態説明図である。送信素子 19 から入射した超音波は、流体中を球面状に広がって管路 18 の内壁で反射を繰り返しながら管路 18 の上下流に広がり、受信素子 20、21 に届く。ここで波面の形状は、反射の回数が増えると、(1)から(6)に示すように球面波から平面波に近づいていく。

【 0 0 4 8 】

図6(A)は、流体中を複数回反射しながら伝播する超音波信号の伝播状態説明図である。これより、反射の回数が増えると、超音波の進行方向は、管軸に対して垂直に近づいていくことが分かる。図6(A)において流体中を進行する超音波の管軸進行距離 d_x に着目すると、反射回数の増加に応じて送受信素子間距離 L_s に近づいていく。すなわち、反射回数が増えると、式(1)で示される通り、流速の感度は一般的な斜め放射の超音波流量計で得られる感度に近づき、素子面を管軸に対して斜めに設置する一般的な場合と同等の精度での測定が可能となる。

【 0 0 4 9 】

図6(B)は反射回数の違いによる受信波形例図である。反射回数が1回よりも2回、2回よりも3回と増えるのにしたがって、電圧振幅は縮小している。

【 0 0 5 0 】

図7は、本発明に基づく全体構成を示すブロック図である。対管軸垂直超音波検出部 23 は送受切替可能な超音波素子 19 で検出される管路 18 の管軸に対して垂直な超音波信号を取り込み、配管部材内音速測定部 24、周波数スペクトラム測定部 25 および流体内部音速測定部 26 に出力する。

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

配管部材内音速測定部 24、周波数スペクトラム測定部 25 および流体内音速測定部 26 は、それぞれの処理結果をインライン自動制御部 28 により制御される自己校正部 27 に出力する。自己校正部 27 は、これら配管部材内音速測定部 24、周波数スペクトラム測定部 25 および流体内音速測定部 26 の出力信号に基づいて前述のような自己校正演算を行い、演算結果を流量測定演算部 31 に出力する。

【0052】

対管軸非垂直超音波検出部 29 は超音波素子 20 および 21 で検出される管路 18 の管軸に対して非垂直な超音波信号を取り込み、複数回反射伝播時間測定部 30 に出力する。複数回反射伝播時間測定部 30 はその演算結果を流量測定部 31 に出力する。流量測定部 31 は、自己校正部 27 の演算結果および複数回反射伝播時間測定部 30 の演算結果に基づき、管路 18 を流れる流体の流量を演算出力する。

10

【0053】

このように超音波送信素子と超音波受信素子が一体化された構造であることから、従来のクランプオン型で必要であった管路 1 に対する位置調整が不要となり、取り付けやすさが向上する。

【0054】

そして、自己校正により、流量計設置時における事前の配管サイズなどの測定が不要となり、取り付け時の作業工数を削減できる。

【0055】

さらに、インライン自動制御部 28 により定期的に自己校正を行うように制御することにより、長期的な測定の安定性を維持向上させることができる。

20

【0056】

図 8 も、本発明の他の実施例を示す構成説明図である。図 8 において、超音波を発信出力する超音波素子 19 は、音響レンズ 32 を介して管路 18 に取り付けられている。この音響レンズ 32 は、管軸に対して進行方向が垂直でない超音波を生じさせる手段として機能する。

【0057】

音響レンズ 32 を用いなくても管軸に対して進行方向が垂直でない超音波は流体中の拡散により生じるが、音響レンズ 32 を用いることにより発信出力される超音波を拡張させることができ、管軸に対して進行方向が垂直でない超音波の信号強度を高めることができる。

30

【0058】

図 9 も本発明の他の実施例を示す構成説明図であり、(A) は全体図、(B) は要部の拡大図である。図 9 の実施例では、管軸に対して進行方向が垂直でない超音波を生じさせる手段として、フェーズドアレイ素子 33 を用いている。フェーズドアレイ素子 33 を用いることにより、発信出力される波面の角度を適切に調整でき、管軸に対して進行方向が垂直でない超音波の強度を高めることができる。

【0059】

以上説明したように、本発明によれば、比較的簡単に管路に設置できるクランプオン型の超音波流量計を実現することができる。

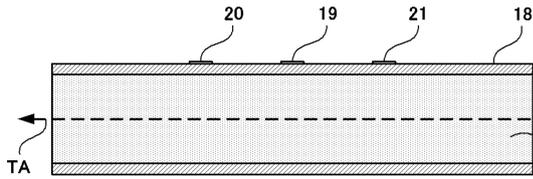
40

【符号の説明】

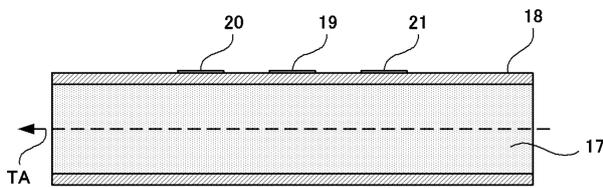
【0060】

- 17 測定対象流体
- 18 管路
- 19 ~ 21 超音波素子
- 22 一体化部材

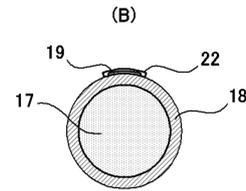
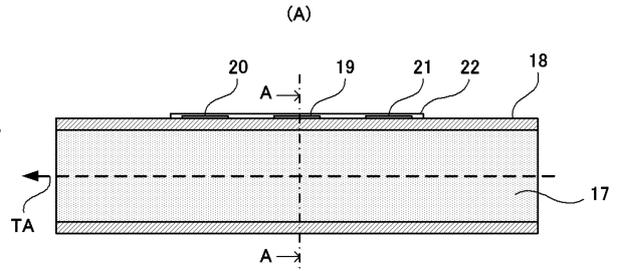
【図1】



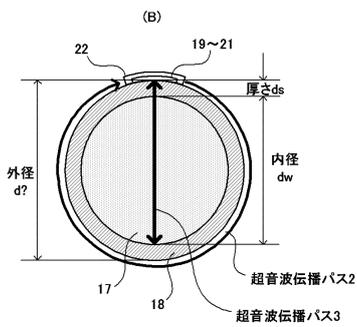
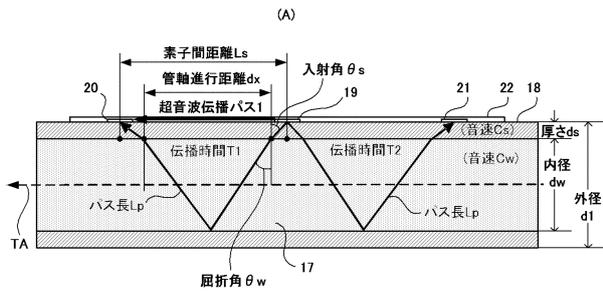
【図2】



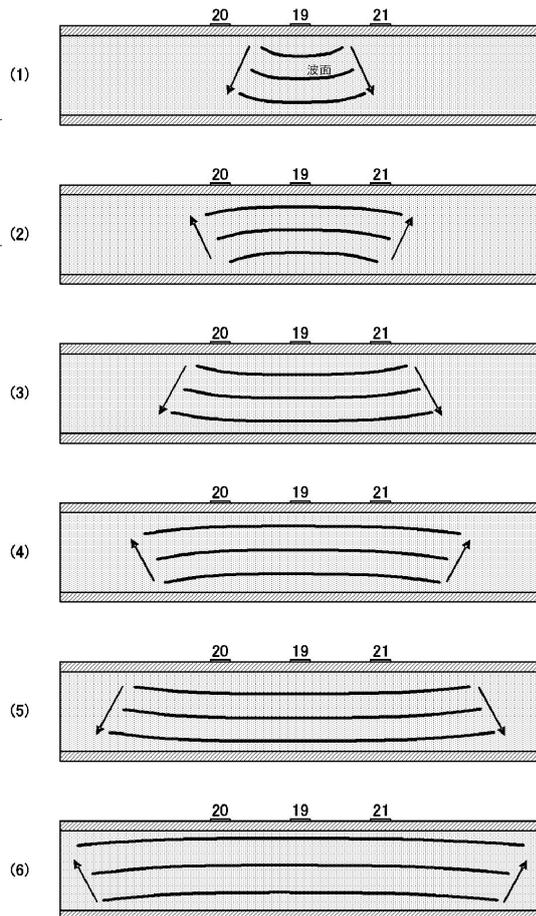
【図3】



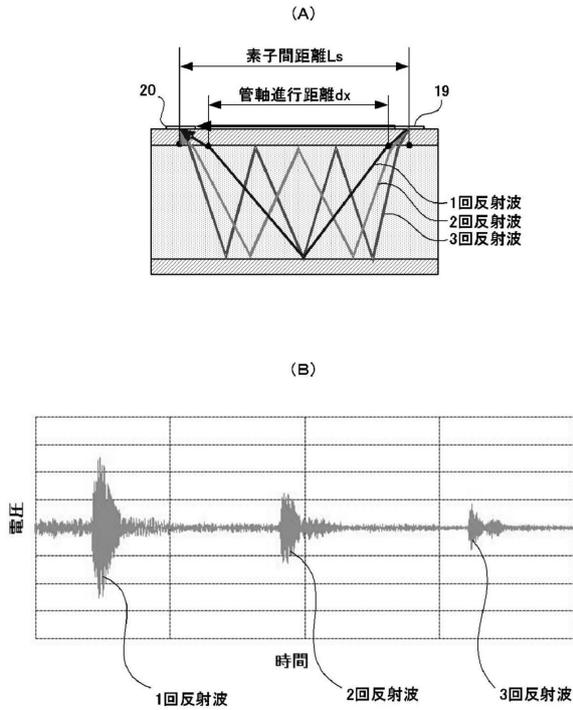
【図4】



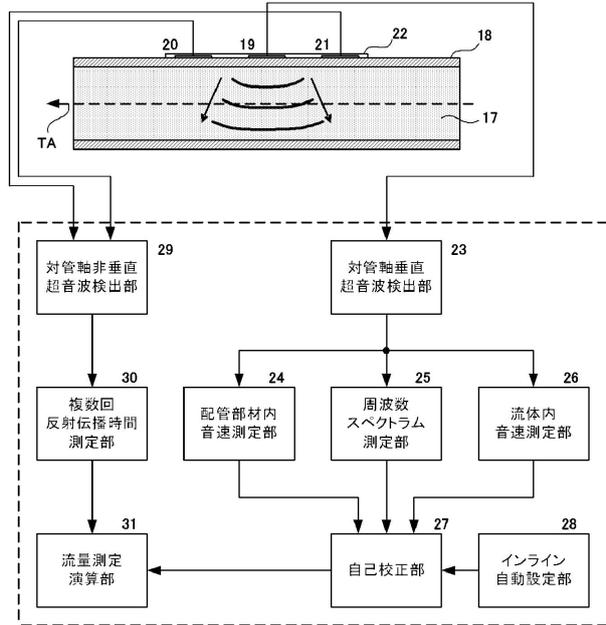
【図5】



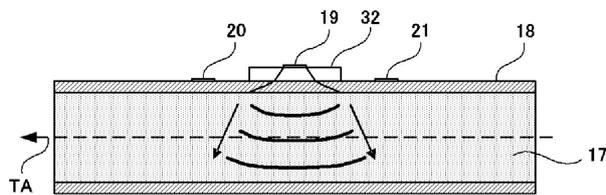
【図6】



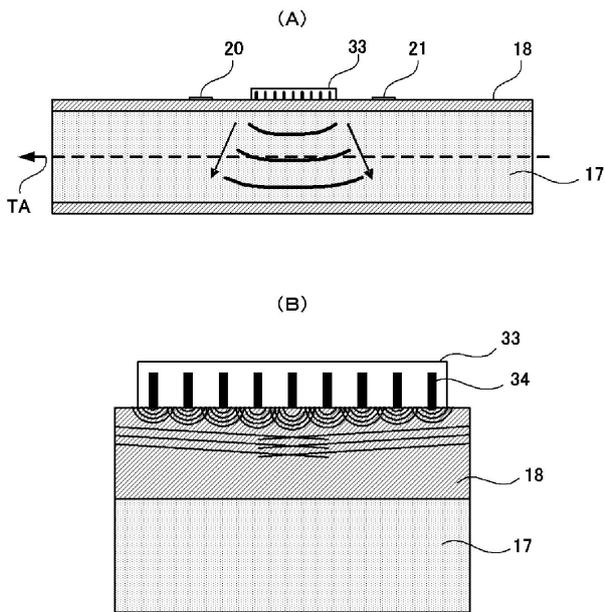
【図7】



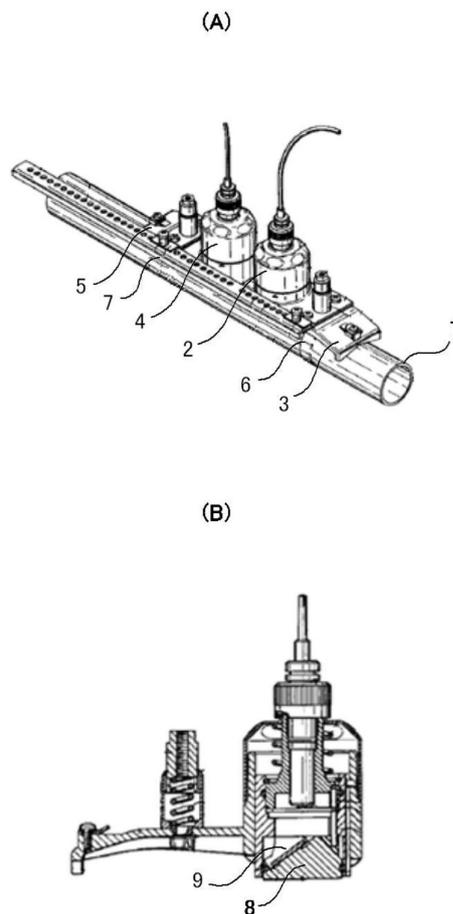
【図8】



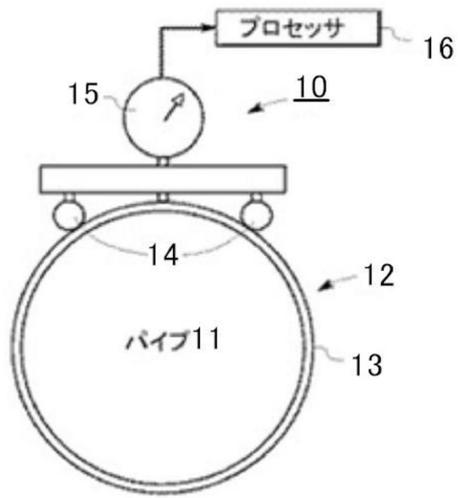
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭55-89769(JP,A)
特開2005-37219(JP,A)
特表2004-520581(JP,A)
特許第2683159(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F1/66