(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3715647号
(P3715647)
(45)発行日　平成17年11月9日(2005.11.9)　(24)登録日　平成17年9月2日(2005.9.2)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01F 1/66　G01F 1/66　Z

請求項の数 7　(全 27 頁)

(21)出願番号　特願平7-519035
(86)(22)出願日　平成7年1月3日(1995.1.3)
(65)公表番号　特表平9-508202
(43)公表日　平成9年8月19日(1997.8.19)
(86)国際出願番号　PCT/US1995/000043
(87)国際公開番号　WO1995/019559
(87)国際公開日　平成7年7月20日(1995.7.20)
審査請求日　平成13年12月3日(2001.12.3)
(31)優先権主張番号　08/176,930
(32)優先日　平成6年1月3日(1994.1.3)
(33)優先権主張国　米国(US)
(31)優先権主張番号　08/206,861
(32)優先日　平成6年3月4日(1994.3.4)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者
パナメトリクス　インコーポレイテッド
アメリカ合衆国　０２１５４－３４９７
マサチューセッツ，ウォルサム，クレセント　ストリート　２２１
(74)代理人
弁理士　倉内　基弘
(74)代理人
弁理士　風間　弘志
(72)発明者　リンワース，ロレンス　シー.
アメリカ合衆国　０２１５４　マサチューセッツ，ウォルサム，グレイモー　ロード　７７

審査官　白石　光男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】一時的クロストーク分離手段を持つ超音波変換装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

音響変換器を作動して信号エネルギーを伝播させるように送信信号を発生するための送信手段と、前記信号エネルギーを受信する変換器からの電気信号を処理するための単一チャンネル信号受信手段とを有する単一チャンネル測定装置、

前記信号エネルギーの伝播により測定すべき流体を収容する流体領域を形成する手段、及び

前記信号エネルギーによる前記流体の音響的質問のために複数個の音響変換器を取りつける取付手段よりなる流体測定装置において、

前記取付手段は変換器のうち少なくとも２つを前記測定装置が単一の伝達信号を送信する時に別個の非干渉的な時間間隔で前記信号エネルギーを受信するように受信経路に受信変換器として配置しており、それにより前記信号チャンネルに信号受信手段が前記受信変換器より前記信号エネルギーを処理して流体測定を完了するようにし、かつ、

ハウジングと、該ハウジングに取りつけられて前記流体に信号エネルギーを送信する前記変換器の中の１つの変換器と、前記ハウジングに支持された前記変換器の中の１つの基準受信変換器と、前記送信及び基準変換器を互いに結合する、流体圧力による伝達特性を変える材料とを含み、前記基準変換器が前記流体を通じて伝達される信号を受け取る前の初期時間間隔に流体圧力を表す信号を受け取るようにした流体測定装置。

【請求項２】

前記取付手段は、前記受信変換器を前記信号エネルギーにより同時に駆動される１個以上

の他の受信変換器とは異なった経路長を有するように配置する締着式取付手段である請求項１の流体測定装置。
【請求項３】
前記受信経路の前記受信変換器は軸線流、交差流、圧力、温度、液体レベル、及び循環の測定より選択した異なった少なくとも２つの測定を行う請求項１の流体測定装置。
【請求項４】
前記受信経路の前記受信変換器は主として固定ターゲットから反射された音響エネルギーを受信する変換器と主として流体と共に移動する散乱物からの散乱された音響エネルギーを受信する変換器との少なくとも２つの変換器を含む請求項１の流体測定装置。
【請求項５】
散乱セルを有し、受信変換器が前記散乱セルの先方、後方に配置され、それによりこれらの受信変換器が単一送信変換器からの音響エネルギーを、軸線流及び交差流の両方を決定するために、前記散乱セルにより分散される音響エネルギーとして異なった経路に沿って受信するものである請求項１の流体測定装置。
【請求項６】
前記取付手段はフランジと、測定軸の方向に押しつけられた少なくとも１つのＯリングとよりなり、それにより音響的な接触を阻止する請求項１の流体測定装置。
【請求項７】
前記少なくとも１つのＯリングは前記フランジをサンドイッチする２個のＯリングである請求項６の流体測定装置。
【発明の詳細な説明】
関連技術
本出願は１９９２年にWO92/00507として公開されたPCT/US91/04563の関連出願である。
発明の背景
本発明は、電気的に作働される信号源（代表的には圧電結晶）がハウジング、楔、または導管に固定し得る取付構造体に取りつけることができる、導管中の媒質を通して超音波信号を伝播する型の超音波変換器及び測定装置に関する。より詳しくは、本発明は媒質がガスのような低密度を有し、対象の信号が低エネルギーを有するような超音波変換器及び測定装置、あるいは導管の寸法あるいは媒質を通る信号路の長さがクロストークに関する考慮を要するような装置に関する。
このような状況下では、媒質を通して受信できる信号エネルギーの量は比較的少ないかあるいは識別することが困難である。例えば、ガス中を伝播する信号の速度は固体構造の導管中の伝播速度とは違い、一般にそれよりもはるかに遅い。そのため、受信した信号を、導管の壁中を一般に大きい振幅で直接伝播するリンギングその他のエネルギーから信頼度良く分離（隔離）できる適当なタイミングウインドーを見いだすことが困難である。
信号強度の問題は或る程度までは適当なインピーダンス整合と、結晶を媒質に結合するための大面積の膜（ダイヤフラム）の使用とにより処理できる。しかし、適当な分離は、特に固体経路の雑音帯に含まれている比較的大きいエネルギーから見て、問題が残る。
この問題を解決する一つの方法は、先に引用した本発明者によるＰＣＴ公報に検討されている。すなわち、特にその図１５Ａには、送信側結晶及び受信側結晶の間の固体音響経路に介在している音響的に重質の（massive）リングまたはらせん体を具備した構造が示されている。またインピーダンスの急激な変化が薄壁導管、ハウジング、取付手段、または分離部材を含む経路に沿って生じる多数の関連した構造も示されている。詳しい説明は上記ＰＣＴ公報を参照されたい。本発明は変換、分離および取付の他の実際的な具体例を備えた関連構造、更なる分離構造、および測定装置に関する。
発明の簡単な説明
本発明の一実施例によると、変換器は信号を流体質問interrogation経路に沿って伝播させるように、ハウジング、フレームまたは容器に取りつけられており、またハウジングまたは容器の固体部分を通るノイズ伝播経路は、多数のサンプル抽出ウインドーにおいて、流体を伝播する信号が信頼性良く受信されるように固体部の信号の伝送を遅延または減衰

させるように構成されている。
本発明の一実施例によると、基礎、フレームまたは格子構造物が送信側および受信側変換器を正確に整列させて保持することにより流体質問経路を形成し、一方では、単純なスペーサがフレームからの各変換器を減結合する。異なった経路長が信号チャンネルの電子装置により実時間で処理し得る分離した受信ウインドーを形成し、また多数対の変換器が信号チャンネルに対して並列に結合し得る。
一つの減結合の実施例では、特別な構成のＯリング分離取り付け手段がシステムノイズを減少するために固体経路に挿入される。異なった構成でもこの分離構造を使用し、また変換素子はＯリングにより固定され且つ分離されるような構造部材に固定され得る。特に有利な分離特性は取り付けフランジを特定の減衰材料のリングに軸方向から挟み付けるとかあるいはそれらの間に配置することにより得られる。感知すべき流体は金属箔ベローその他それ自体では充分な寸法安定性を有しないため正確な超音波質問経路を形成できないが、適当な流れ室を形成し、壁内の信号電波が流体中の信号音響速度よりも遅いように選択された壁厚を有する薄壁容器又は導管に収容されるか又は拘束される。別個のホルダーまたはフレームが次に変換器を正確に位置付けて支持し、それらを薄壁導管の内部を通るように向ける。ベローは導管に沿って直接伝達されるエネルギーバースとの一時的な分離（isolation）を行い、一方フレームはある程度の音響分離と、物理的及び寸法的な剛性を提供する。この場合の音響分離は延長された経路、インピーダンス不整合、減衰Ｏリングの挟持、またはこれらの技術の組み合わせにより得られる。ＰＶＣ管のような著しくインピーダンスの低い導管材料も固体により伝播される信号の低い伝播速度を確保するために使用できる。
Ｏリング分離部材を使用する本発明の特定の系は、通常の絶縁碍子、減衰器、空間分離器などを必要としないので小型となる。特に、多くの変換器は単一穴ブラグマウントに取りつけて、多経路の、または多範囲の、または多方向の超音波質問や反射計測を行うことができ、あるいは変換器は異なった軸線の方向に向けられ且相互に有効に分離されたアーム、格子、あるいは端ぐり穴に取りつけることができる。多数のプラグまたはフレームに取りつけた変換器よりなる系は、導管中であるいは開放領域で動作して、風速計や流量計、風洞内の構造物の周りを流動する、上昇する、または循環する流体の測定装置、導管内のうずを測定する装置、単一の開放煙突またはダクトの気体密度または流量を測定する装置等の測定目的に使用できる。
薄壁を有する閉鎖構造物の異なった脚部、あるいは流動する流体中の異なった長さの経路を使用する気体流動系は、受信した信号の一時的な分離を可能とするもので、一個以上の変換器が同時に付勢されて異なった長さの経路に沿って同時に伝送し、その結果エネルギーが数個の異なった時間ウインドー中に複数の異なった変換器により受信され、そして複数の受信信号が計器の単一チャンネルにより処理されるような複合多重測定装置を含む。
本発明のこれらの及び他の特徴は、本発明の各種の実施例例示する以下の説明から理解されるであろう。
【図面の簡単な説明】
図１Ａ～１Ｂは音響測定装置における変換器の取り付けと機械的分離（分離）を示す図である。
図２Ａは図１Ａの装置におけるリングスペーサを示す断面図である。
図２Ｂは図１Ａの流動室内の有効な分離を示す信号波形である。
図３は分離部を有する混成装置を示す図である。
図４は分離部を有する混成装置を示す図である。
図５はＯリングで挟持した変換器分離を示す図である。
図５Ａ～５Ｄはそれぞれ Ｏリング分離を使用した装置を示す。
図５Ｅは変換器分離を使用する自己基準１ポート装置を示す。
図６は小径の長い薄壁を有する流動室における信号分離を示す。
図７は閉鎖していない測定装置における図５ないし図５Ｄの変換器を示す。
図７Ａ～７Ｄは循環及び速度成分を測定するための関連システムの詳細を示す。

図８及び図８Ａはフランジを取りつけた単一開口三重中間半径パスセンサを示す。
図９は三重中間半径パスセンサの他の例を示す。
図１０及び図１０Ａ～１０Ｂは、風洞循環センサを示す。
図１１及び図１１Ａはある形状の風洞中の弦状の循環センサを示す。
図１２はリフトの超音波測定に使用する空気力学的諸量を測定するための閉じた経路積分を例示する。
図１２Ａ～１２Ｂは異なった変換器取り付け構造を示す。
図１２Ｃは電気的に並列な微分経路測定装置を示す。
図１３及び図１３Ａ～１３Ｃはクランプオン型弦上測定装置を示す。
図１３Ｄはいずれも軸線方向及び横断方向流れ測定を行う２個のクランプオン型変換器装置を備えた装置を示す。
図１３Ｅは外部クランプオン型変換器装置を備えた弦状の質問装置を示す。
図１４は他の一時分離式音響装置を示す。
図１５は電気的に並列の多数の測定装置を備えた多重導管系を示す。
図１５Ａは並列な軸方向及び横断方向流れ測定装置を備えた単一導管測定装置を示す。
図１６は複数の分散経路信号を使用した装置を示す。
図１７は複数の分散経路信号を使用した装置を示す。
図１８は２つの電気的に並列の導管装置を示す。
図１９、１９Ａ～１９Ｂは感圧流動測定装置と特殊な変換器装置の構造を示す。
図２０は異なった導管中に異なった流体を有する複合系を示す。
図２１はホッパー又は貯蔵タワーに置ける材料の充填監視装置を示す。
図２２は流動室及びバイパス経路を同時に監視する電気的に並列の装置を示す。
図２３は循環測定装置を示す。
図２４Ａ～２４Ｂは直線及び屈折型の導管又は容器に関する電気的に並列の測定装置を示す。

詳細な説明

本発明は音響測定装置における信号分離に関し、更に詳しくはガス測定に関する。測定装置の構造の詳細は例えば先に引用したＰＣＴ公報の図１５Ａに関連して説明したので、それを参照されたい。

上記ＰＣＴ公報には、導管又はハウジングの壁が薄壁により構成して横波を低速で伝播させると共に、複数の重いリングを壁に沿って離間して設けて伝播エネルギーを減衰させるようにした構造が開示されている。

図１Ａは上記ＰＣＴ公報に示された原理を具体化する他の測定装置を示す。図１Ａにおいて、質問経路はＵ字形チャンネルに沿って曲がっている。Ｕ字形チャンネルの底脚部は充分に重質であり且つｎ／４反射面を有する。Ｕ字形チャンネルの側脚部は代表的には０．２５ｍｍの厚さを有するステンレス鋼パイプ剤ＳＳ３１６の薄壁管より構成され、各端部で溶接されてより重質の部分をに形成している。重質のリングが間隔をもって管に締着されており、これらは上記ＰＣＴ公報に記載のリングに対応するカラーであり、好ましくはπ／２だけ交互に回転されてそれらの分割リングスロットが食い違いになるようにし、それにより音響ができるだけ薄壁を通る音響経路を遮断するようにする。

図１Ａの各変換器装置は４分の１波長整合部材３を具備し、これはエポキシ樹脂により膜（上記ＰＣＴ公報の図１５Ａの膜４に相当）へ直接接着されている。これは膜を室の排気中にも所定位置に保持する。変換ハウジングは室内のガス圧力に抵抗するように充填されているが、パッキングとロックは上記公報のものとは異なった設計となっている。シリコーン又は弗素シリコーン製の減衰用Ｏリングよりなるバックアップシールを、変換器ハウジングとその近傍の円筒壁の間に入れても良い。ＭＯＣＶ（有機金属化学蒸着法）においては測定室を温度を０．１℃程度の一定温度に保持した水浴に浸漬することにより測定温度を維持するのが一般的な方法である。図１Ａの室がこのような浴に浸漬される場合には、プラスチック包装を使用して水が分離リングを音響的に短絡しないようにする。プラスチックは収縮包装用のものでよい。上記ＰＣＴ公報に記載したように、リングは実施例で

は分離（isolation）のために使用されるものであり、変換器ハウジングはそれ自体が分離構造を有する。その場合に、変換器ハウジングは薄壁の隔離手段を有し、図２Ａのように薄壁の変換器ハウジング内には複数の重質のチタン鋼又は炭素鋼のリング６０ａ、６０ｂ、６０ｃを有する。故えらのリングは間に約１．５ｍｍの径を有するＯリングを介在させて互いにわずかだけ離間させ所定位置に圧ばめされている。重質リングはそれらを所定位置に固定するためにハウジングに溶接されている。

この構造によると、高度の音響的分離が提供できることが分かった。図２Ｂは図１ＡのＵ字形室に対する実地試験の結果を示す。すなわち、不完全な分離導管中の空気を通して伝播した、理想的には存在しないクロストークレベル（領域Ａ）を示す信号と、ＳＮＲが１００対１程度であるガスを通して伝播した信号（領域Ｂ）を示す。

上記の例は弾性部材（金属リングと薄いシェルを交互に直列にしたもの）がノイズの電波を減衰させる固体部減衰器を例示するものである。

本発明の主たる目的は、減衰用材料よりなるＯリングを、鋼鉄又は高弾性のフランジ又は高強度プラスチック固体の周りに低接触圧で軽く挟持した比較的単純な構造の分離構造体を提供することにある。さらに、導管又は測定室が非常に薄い構造的に剛性でない壁（例えば金属ベロー）から構成され、一方別個のフレーム又は外側ハウジングが寸法的な正確さと構造的な剛性を付与して変換器を特定の位置に固定するような混成構造も可能である。これらの構造はさらに以下で説明するであろう。

図３は２つの使用構成部材、すなわち薄壁の閉じ込め容器２５０と剛性フレーム２８０とより構成される混成装置３００を例示する。フレーム２８０は容器２５０の一端部に嵌合したヨーク１８４ａと、他端部に嵌合した第二のヨーク１８４ｂと、これらのヨークを離間する剛性の細長いレール又は本体２８２とよりなる。変換器２６０は各ヨークに嵌合され、閉じ込め容器２５０の軸線方向に配向されている。容器は柔軟で可撓性を有する管であり、好ましくは波形をなし、厚さと信号周波数（材料中の基本横波（a_0）の速度に対応）との積がたとえば１ＭＨｚ－ｍｍ以下となるような非常に薄い壁厚を有する。これにより、容器２５０ないのノイズはガスを伝播する信号よりも遅く進行し、ガス測定信号が、容器を伝播するノイズ信号よりも前に検出される。

図３に示したように、各ヨーク２８４ａ、２８４ｂを構成する固体フレーム部材は、第一及び第二のＯリング２９１、２９３の間に配置され、剛性カラー２８５、２９６を締着することによりレール２８２の所定位置にしっかりと取りつけられている。波形のベロー状容器２５０は各端部でヨークに好ましくは溶接又は密封フェルール、ガスケット、又はシール材でヨークに固定されている。適当な可撓性管は米国オハイオ州Macedonia, のThe SwagelokCompany, の事業部であるThe Cajon Companyより、３２１ＳＳ可撓性ステンレスチューブとして、ガラス又は溶接金属端部取付材（カフス）と一緒に市販されている。これらのベローは比較的低い圧力のガス巣測定に適している。化学工業及び多くの有機金属化学蒸着法で汎用されるシステムでは一般用の３２１ＳＳ製品よりも３１６ステンレス鋼のベロー又は波形チューブが使用されている。

Ｏリングの材料の選択には若干の注意が必要である。好ましくはＯリングは音響減衰作用を有し且つ化学的環境又は熱的環境に適した材料から選択される。シリコーン、弗素化シリコーン、ネオプレン、およびブナＮが適当であり、弗素化シリコン樹脂は高温度および炭化水素に対して優れた抵抗性を有する。数種のＯリング材料、特にテフロンおよびヴィトン（Ｖｉｔｏｎ）は非常に貧弱な分離性能しか与えないの不適当であることが分かった。Ｏリングの厚さの選択にも注意が必要である。例えば図３の装置の組み立てに当たり、Ｏリングを直径１０ｍｍの棒２８２の周りにＯリングを嵌合する場合に、厚さ２．３ｍｍのシリコーン製Ｏリングは最良の分離を可能にし、一方ネオプレン又はブナＮの場合には２倍の厚さが必要である。各場合に、リングは剛性を得るように締着されるが、Ｏリングが封止目的に使用される通常の場合よりも緩く締着される。例えば４０％程度よりは充分に低い圧縮、好ましくは約１０％の圧縮が適当であり、固体フレーム２８４と取付板２９５、２９６が互いに接触しないように注意する必要がある。細いワイヤ又は突起を板２９５、２９６の表面に蝋付けすることにより停止部材として作用させても良い。上に述べた

他の分離手段もまたレール２８２へ取りつけて更に音響的な短絡を抑制しても良い。例えば、図３に示した実施例のように、複数個の重質の減衰リング２９８をレール２８２に沿って所定間隔で取りつけても良い。
図４は寸法的に安定な取付板が、ベローを保持する一対の端部柱からＯリングにより分離されるようなＯリング分離構造を示す。
重質の減衰リングで見られたように、個のＯリング分離構造は変換器にも直接適用できる。
図５は結晶３１１を有する変換器３１と、適当なカップリングと、膜とが、フランジ３１６を備えた適当なカートリッジ状のハウジングないしケース３１５に収納された構造を示す。ケース３１５は導管室の孔３２０に嵌合され、フランジ３１６が一対のＯリング３２１ａ、３２１ｂの間に挟持される。パッキングナット３２２によりこれらを締着して固定を行い、変換器軸に沿った位置のわずかな調整を行う。このようにして、変換器自体が流体閉じ込め構造物の固体部から隔離される。この例に示すように、この分離取付けは特にコンパクトであり、２個以上の変換器を単一固体３２５の内部の別個の孔に互いに分離して配置することを可能にする。単一固体としては例えば厚壁パイプ、パイプのフランジ、あるいは図示のフランジ付カバー等であり得る。ロックナットを使用する場合にはパッキングの締着後に締める。
図示の孔３２０は垂直入射として示してある。このＯリング取付により得られる音響分離度では充分に明確な信号が得られるので、これを各種のガス導管やその他排気管、パイプ、ヘッダ、煙突等の公知の各種導管中の流体中での流れ測定において、煙突又は導管の直径よりもかなり小さい距離Ｌに離間した変換器を使用することにより、またプラグ又はキャップに対して垂直又はほぼ垂直に入射するように配置することにより使用できる。例えば、煙突又は導管中に図５Ａのように小さな反射光Ｒを配置すると、小直径の同じプラグ又は板に垂直入射角度に取りつけた変換器のうち、下流側の変換器３１０ｂは上流側変換器３１０ａからの反射信号を捕捉することができる。より小さい導管では、変換器は導管壁の別個の穴に取りつけても良いし、あるいは壁の孔又は薄壁位置の上の単一の締着式取付ブロックに取りつけても良く、残りは互いに実質的に分離される。好ましい単一ポート構造では、反射器への往復の質問経路にわたって平均化された流れ測定は、導管内の平均流れ速度にほぼ等しくなり、少なくとも充分に発達した乱流特性に対してはレイノルズ数Ｒｅに対して比較的鈍感となる。図５の例はこの特性を有する。
単一導管における変換器のより複雑な配置はこうして可能になる。例えば、図５Ｂに示したように、４チャンネルドライバ／間隔測定装置４００、例えばPanametrics Model 6068 or GP68の各チャンネルを、切替えなしに４つの管中の４つの送受信変換器（Ａ１－Ａ４およびＢ１－Ｂ４）に接続でき、各管中の変換器はリングダウン時間よりも大きい通過時間差を有する異なった長さの経路を提供し、それにより、変換器が並列に接続された状態で各管の各経路から単一チャンネル内で異なった時間間隔で信号を受信できる。この型の装置は図１３～１４に関連して更に説明するであろう。
Ｏリング取付には融通性があり、上で述べたように結晶ハウジングあるい剛性を付与する外部フレーム内で使用するのに加えて、変換器結晶とガス質問に対するインピーダンス整合構造体の間に位置したバッファ棒又は分離手段に適用することができる。図５Ｃはこの構造を例示する。すなわち、変換器結晶４２２はバッファ棒４２４により４分の１波長ブロック４２３に結合されているが、棒の重心にほぼ位置付けされたフランジ４２４はＯリングの間に分離取付されている。これにより、結晶は、導管及び流体から多くの波長と５以上の管直径まで、導管及び流体からの熱的及び音響的な分離に対する備えを有する。
図５Ｅには、図５Ａに示したものと類似した導管、ダクト、又は煙突に垂直な質問のための他の単一ポートノズル装置５１０が示されている。図５Ｅではしかし流れを測定すべきダクト６００の内面の直近に調節可能な状態で配置された基準反射器５１２が存在する。この反射器は基準エコーを与え、その通過時間はダクトを横切る自由流れ中の通過時間の補正を与えるが、これは温度勾配が存在する時にますます重要となる。基準エコーの振幅は本書のどこかで言及しているようにガスの音響インピーダンスに比例するものであり、

従って、ガス圧力とガス密度を得るために処理できる。このエコーの大きさは他の状況でも変換器装置の清浄性と完全性を監視するために使用できる。図５Ｅはまた２個の導波管又はパイプ５２０ａ、５２０を示し、各軸は各変換器の軸線と同心状をなし、自由流れ方向に延びている。この構造はノズル内のビーム広がりを回避し、ノズルから自由流れ中に出てくる前に、この構造がなければ信号を減衰したはずの乱流の大部分を回避する。
導波管はそれぞれスロット５２５ａ、５２５ｂを有し、それらは各管内の所定の少量のエネルギーを故意にＶ形路に沿って基準反射器に向けてリークし、次いで他方の管の同様なスロットに受信させる。変換器は、各自の変換器ポートに設置されて変換器開口の小さい倍数の波長、例えば約１５～３０ｍｍの開口に対しては２５、５０又は１００ｋＨｚで動作され、図示のＶ形路を使用して基準情報をえるように充分なビーム広がりを得ると共に、ダクト自体の破線で示したＶ形路に沿った流れ情報も得る。この型の基準及び自由流れ質問に関連した波形は、図面の下側に単純化して示した重要な基準Ａ及び流れエコーＢで表す。
最初に説明した分離構造、すなわち交互に設けた質量に戻ると、図６には他の実施例他が例示されている。この装置４５０は長さＬの測定経路を有し、超音波信号を流れ軸に沿って差し向ける反射板４５１を備え、複数個の重質カラー４５５が導管の周りに配置され、それと共にあるいはそれに代わり厚いスリーブ４５８が導管内部に配置されている。スリーブはダクト内部からの反射をよりよく分離するために異なった厚さ（つまりは異なった内径）を有することができる。一定、漸進、あるいは不規則ピッチを有することができるらせんコイル４３０は導管壁中において、流体から壁に対して反射されるエネルギーを分散させ、それにより流体中に本質的に純粋な軸線方向の波が伝播するようにする。この構造は超音波信号と共に伝播するが軸線方向には伝播しない高次モード振動及び疑似多重経路振動を消去することにより信号のトレースを効果的に濾波しまた鮮鋭にする。
上記の説明は容器又は導管の端部間に達成される分離、あるいは容器又は導管を取り囲む変換器を中心にしたが、記載した分離構造物はまた自立した、外部に取りつけた、又は閉じ込められていない変換器及び測定装置にも適用できる。その場合には、図５Ｄに示すような単純な端ぐりヨーク又はブラケット４４０をフレーム、棒又は既存の構造体に取付け、その信号を周囲の空気に差し向けあるいは周囲の空気から受信することができる。
このような点状のガス励起変換器の一つの応用は図７及び図７Ａに示したような超音波風速計４５０である。３個の音響的に隔離した送信変換器４５１、４５２、４５３が剛性の回転しないフレーム４５６に保持されており、フレームは３つの独立した、ｘ、ｙ、ｚ成分を有する経路ａ、ｂ、ｃに沿って変換器を受信変換器４５１、５４２、４５３の方へそれぞれ指向させ、それぞれの送信変換器からの信号を感知して、風向き又は風速が容易に誘導できる逆伝播通過時間間隔を与え、あるいは他の測定値を与える。一対の変換器のＯリング分離部材は図７Ａ示されている。経路ａ，ｂ，ｃを充分に異なった配置にすることで、すべての３つの経路はそれぞれの変換器を並列させることにより即座に質問することができる。突風は非常に早いので、実質的に同時に風の３成分を質問することにより得られる早い応答は、同時ではなくて数秒離れて感知した風の成分に対する同期化における実質的な遅延や不確実性が存在する場合に比して、より意味のある結果を生じる。
このガス変換器信号技術の一つの具体的な用途は、一つ以上の変換器及び／又は反射器を含む閉じた経路の信号ループを設けて対象となっている積分経路に対応した物理量の測定を行う場合である。図８及び図８Ａは図５Ｄの変換器３１０のような分離した変換器を具備した管フランジの正面図及び側面図を示す。
変換器取付孔５０５、５０６はフランジ５００に角度を以て形成され、環状フランジの内周における単一開口５１０で交差しており、環状フランジ５００は２５．４ｃｍの鋼管中の測定カラーとしてその管のフランジ部の間に締着又はボルト付けされるか、又は管の一部の周りに、管に形成した開口又は薄壁が開口５１０の下に整列するようにして、嵌合される。変換器の経路は管の半径の中点を通り、軸線を中心にした管の半径の半分の円筒に対して切線方向を指向している。その結果、超音波ビームは導管の内面で２度反射されて内接２等辺三角形の経路を送信変換器５０５と受信変換器５０６との間に形成する。信号

経路の通過時間、並びにフランジの既知の寸法により、管軸を取り囲む３本の脚部上の閉ループ経路積分Ｖ・ｄｓがえられる。これにより、管軸周りの循環Γｚの直接的な尺度が得られる。２つの変換器は固体フランジ内に互いに近接して配置されている。図示の２５．４ｃｍのフランジでは、循環経路の長さはＬｃ＝１５×４．４０ｃｍであり、全ガス経路はほぼＰ＝Ｌ＋８．２８ｃｍである。２つのポートが一つになる箇所でのガス伝播部のクロストークを防ぐために、充分に高い超音波周波数を使用するか、又は領域５１０ａ、５１０ｂの箇所のポートにねじ切りをしたり、荒らしたり、修正したりして、共通の経路を経由しての第一のポートからの分散が隣接した第二のポートに対して起きないようにしなければならない。

この経路に対する循環Γｚは$c^2 r \Delta t / 2$（ｃ＝音速）の計算が必要であるので、流量計はｃに依存する流体の他の特性を計算できることが明らかである。温度Ｔがそのような特性の一つであることは、ガスに対してＴがc^2に比例することから分かる。多くの流体に対して、Ｔは音速の一次関数Ｔ＝Ａｃ＋Ｂ（Ａ，Ｂは定数）として計算できる。

図９は管軸の周りの半径中点の循環経路測定を行う装置の他の例を示す。この例では、一対の分離し角度付けられた２個の変換器が外部ブロックに取りつけられ、管の開口を通る弦経路に沿って指向される。時計方向及び反時計方向の経路に沿って交互に伝播を行うことにより、軸線周りのうず又は循環Γzの大きさ尺度が得られる。

他の応用において、分離した変換器は別個の反射要素又は対立した変換器を設けて異なった閉じた経路を形成するか、又はほぼ平面状の閉じた経路を設けて特定の特性を決定したり、あるいは流体循環の他の成分を導出しても良い。

図１０は風洞内に配置した試験物体６０１の周りの循環Γ_xを検出するために例示する閉じた経路の他のセンサ構造６００を示す。一対の変換器６０５、６０６がビーム分割反射器６１０（又は一対の単一ビーム反射器）に差し向けられ、ビーム分割反射器は反射器６０１ａ、６１１ｂ・・・６１１ｎと共に閉じた多角形音響経路を物体６０１の周りに形成する。変換器の距離はトンネルと試験物体の大きさに比して小さく選択され、その結果経路は実効的に閉じた経路となる。反射器の代わりにより多くの信号の処理が必要となる場合に別個の変換器により各部の終点を形成することができる。反射器は、境界層の熱的勾配あるいは流れ勾配に起因して生じる曖昧さ及び不正確さを避けるため、好ましくは余り壁に近接させない。

図１０Ａに示したように、ビームスプリッター６１０に代えて、試験物体の周りに完全に閉じた経路（Δｚ＝０）を形成するために、一対の反射器を近接した平面内に位置付けたものを使用することができる。図１０Ｂは端面図であり、通常の空気流を所定の平面内で風洞軸線に沿って流れさせながら近接した２つの平面内に測定経路を形成する羽根付き反射器を示す。

図１１に示した他の実施例では、普通のトンネル状の入口及び出口から滑らかに拡大する球状又は円筒状の試験室５５０を使用することにより、単一の開口５５５（図１１Ａ参照）が室壁を信号反射鏡として半径中点を通る３本の質問経路を可能にしている。これにより空気流中に集中した少数の経路で済み、突出する反射鏡は不要となる。図１１Ａに示したように、室の開口は円滑な空気力学的な流動特性を維持するために壁の内面に沿った網５５６を有することができる。

図１２はこのようにして達成される可能な経路の積分測定を例示する。ｘ方向に延びるモデルの周りの循環Γｘは、平行であるが若干ずれている平面内で行われる経路の測定から組み立てることができる。例えば、適当な連続性の仮定の下に、注目している積分経路ＡＢＣＤは、一つの平面の区分Ａ”Ｂ”とＣ”Ｄ”、及び近接平面のＢ’Ｄ’とＤ’Ｅ’とで近似できる。ここに’と”は注目している平面に近接していることを示す。これにより注目している平面における変換器や反射器の流れに対する空気力学的な影響を抑制することができる。

同様な多角形経路は試験物体の前面にも設定できる、それにより入口のうず速度やｚ軸周りの循環をΓｚを決定することができる。このようにして、揚力（ｌｉｆｔ）を計算するのに必要はすべての関数が超音波信号質問と単純な信号処理により直接決定することがで

きる。揚力＝ρＶｚΓｘであり、（ａ）受信信号の振幅はガス密度ρを与え、また（ｂ）通常の逆伝播がＶｚを与え、（ｃ）時計方向及び反時計方向の経路の測定がΓｘを与えるから、これらの３つの積は求めている揚力を与える。

図１２を再び参照すると、これらの平面内での測定が本来の循環測定に必要な閉じた経路の積分に充分接近するように’及び”で示した充分に近接した平面を利用するためには、Ａ’とＡ”、Ｂ’とＢ”等にある極く近接して設けた変換器が分離（音響的に）していなければならない。

閉じた経路の積分の別の近似は、図１２Ａに示した隅部変換器装置により得ることができる。この設計では、一対の変換器３１０が、Ｏリングフランジサンドイッチ法を使用して一つの平面内にこれらの変換器の軸線が存在するようにして所定位置に封止され保持される。２つの変換器のためのハウジング３１９はそれ自体で風洞の内部の、代表的には４か所でｙｚ平面内に取りつけられて、ｘ軸の周りすなわちｘ軸方向に向いたモデルの周りの循環を測定する。各変換器は図５のように保持される。

Ｏリングフランジサンドイッチ法により２個の近接した変換器を分離する能力はまた図１２Ｂのブロック状のハウジング３３０においても利用される。このブロックはサンドイッチ管に溶接又は封着されるように設計されている。

このブロックの従来の構造よりも優れた利点は、変換器の間隔が、別々の角度をなす結合部材又はノズルを管に取りつける場合よりもより正確に調整できることである。間隔の正確な調整は、例え管の孔が大き過ぎても、小さ過ぎても、又は細長くても、あるいは孔が管壁に直角な軸線を有しても、より正確に調整できることである。従来は分離を達成するために標準の設計法に従ってしばしば別個のブロックを選択した。

流れ特性その他のガス特性を測定する周波数ｆを減少させると、信号ビームの広がりが大きくなり、あるいは信号が疑似（望ましくない）ガス経路に伝播する傾向が強まる。この問題の解決法は、反射が望まれない表面上で分散器を適正に使用することが含まれる。らせん又は挿入スリーブの使用はすでに述べた。他の解決方法には無反響性の粗い部分又は波形部を設けるとか、若しもそれが円筒形ならば表面にねじを切るとか、タッピングねじ切りをするとか、通常使用されるらせん状の「ねじ挿入物」を挿入するなどが含まれる。

図１２Ｃのプラスチック製の正方形又は長方形チャンネル型流れ室では、プラスチック壁が周期的に波形にされ、同様に図示しないカバー板にも波形にされる。直列に接続された２つの室区分はスイッチを使用しない迅速応答流れ測定に適した形状を有し、この構成は所要の電気系統を著しく単純化する。

音響経路の分離を行い、あるいは長い経路に対してはクロストークの一時的分離を行う上述の技術は、超音波ドライバー／間隔測定の装置が目的の信号を信頼性良く識別するような装置を構成することが可能となる。

図５Ｂに関連して上に検討した本発明の他の面に従うと、装置の構成部材は複数個の送信及び受信変換器が装置の単一チャンネルに対して平行に接続されるように配置され、信号は分離した副間隔又はタイミングウインドーで受信され、その結果変換器のスイッチング又はマルチプレクシングが不要となる。代表的な実施例は多重経路感知に場合、例えば風洞うず測定、３倍半径中点弦測定、軸流れ測定法、及び横断流れ測定等に関して説明する。

種々の異なった遅延経路が以下に例示される。これらの場合、各経路に対する時間間隔ウインドーは、変換器リングダウンからの寄与又は短い経路からの経路反響を回避するために、離間している。この型の若干の実施例に従って、変換器の間隔は受信信号が引き続く素数に比例した時間間隔で引き続くウインドーに集中するようにセットされ、こうして、サンプリング間隔に干渉的な反響を許すような共通因子を回避する。例えば、４経路ガウ求積流れ室では、４つの経路信号の各々が図５Ｂの異なった４つのウインドーＷ１、Ｗ２、Ｗ３、Ｗ４と同様な別々のウインドーに到着するように定める。数値例として、適当な質問周波数がリングダウン時間がt_{rd}＝１０μｓ以下（すなわち１０サイクル以下）で抑制される充分に減衰した変換器で１ＭＨｚであるような、水を収容した直径１０インチ（２５．４ｃｍ）の鋼管に対しては、ガウス－チェビシェフ経路は、インチで表した最も短

い経路Ｐ１が１０よりも大きい第１素数（つまりＰ１＝１１インチ＝２７．９ｃｍ）を有し、他の経路は長さＰ２＝１３インチ（３３，０ｃｍ）Ｐ３＝１７インチ（４３．２ｃｍ）、Ｐ４＝１９インチ（４８．３ｃｍ）を有する。室温では、対応した通過時間はｔ１＝１７６μｓ、ｔ２＝２０８μｍ、ｔ３＝２７２μｓ、及びｔ４＝３０４μｓである。これらの各「素数」は互いに少なくとも２インチ（５．１ｃｍ）異なり、通過時間の受信ウインドーの中心は３t_{rd}以上分離され、またどの通過時間ｔｉも、素数順のせいで、任意の他の時間の整数倍にはならない。これは実質的に変換器の重畳と他の経路反響を回避する。

低周波例えば１００ｋＨｚ以下で使用するためのガス変換器は、図１Ｂのようにもしも剛性の高インピーダンス結晶から製作されるならば、シリコーンゴム等の柔らかい減衰性注型剤で減衰されたとしても５０～１００Ｈｚでリングダウンする傾向がある。従って、もしも変換器の固有周波数（振動数）ｆの周期Ｔｘ＝１／ｆ＝１０μｓとすると、リンギングの５０サイクルに対するリンギング時間t_{rd}は（５０）（１０μｓ）＝５００μｓ＝０．５ｍｓとなり、またｆ＝１００ｋＨｚでのリンギングの１００サイクルに対してはその２倍、つまり１ｍｓになる。これらの変換器リングダウン時間に対応する空気経路は約０．５～１フィート（１５～３０ｃｍ）になる。従って、１００サイクルでリングする変換器に対する素数空気経路は３、５、７、１１フィートになる。これらの範囲は市販の１００ＫＨｚ超音波装置（例えばEPRI Heat Rare Improvement Conference, November 1992で発明者らにより発表されたもの）の実施能力の範囲に入る。ｆ＝５０ｋＨｚでは、空気中でより小さい減衰があり、そのためこの範囲は５０フィートに増加し、更に大きい素数空気経路例えば１３、１７、１９、２３、２９．．．．４７フィートを使用できる。これらの任意の３つの素数を使用して、図７に示したように電気的に並列な経路を有する３成分音波風速計に対する変換器の間隔を定めることができる。

図７Ｂは３つの独立した閉ループ信号経路に沿った音響的質問を最低の処理手段を使用して実質的に同時に行うように取りつけた１８個の変換器の配列を示す。各輪郭は３：４：５の比率の直角不等辺三角形であり、各三角形は異なった直交平面内にあり、その最も短い辺は次のより小さい三角形の斜辺よりも長い。各三角形の頂点に配置した２個の変換器は他の三角形の２つの頂点に向いており、その結果三角形の周りの通過時間の差がその６個の変換器から得られ、それが三角形の平面に垂直な軸の周りの循環成分Fx，Fy，又はFzが得られる。図７Ｃはドライバ／間隔計に平行な２組の９個の変換貴意として接続された変換器Ａ－Ｒのチャンネル割当を例示している。

図７Ｄは受信した経路長信号の分離したタイミングウインドーをプロットしたものである。図示の構成は周りの空気流中に変換器を固定するのに細いフレームしか必要としない風測定うず計に対するものである。すべての斜辺経路は異なった方向に向いており（スキュー）、開放した空気流の反響はなんらの問題も生じないので、上に述べた「相対的に素数である」受信間隔を設けることを必要としない。異なったｘ経路、ｙ経路、ｚ経路はまたＶｘ，Ｖｙ，Ｖｚ測定を与える。本発明はまた、より小型の装置で同一寸法のフレームと直角二等辺三角形とを各変換器の組に使用し、別々の処理チャンネルを各循環測定に割り当てることを意図している。

これらの各実施例において、本発明は図７ＢのＦｙ変換器対ＩＨ、ＧＬ、ＪＫにより図式的に示されているような良く整列した隅部変換器を提供することを意図している。これらは好ましくは以下に述べる図１２Ａに示したと同様な構造のモジュールブロックの形に構成されるもので、各ブロックは一対の正確に整列した孔を有し、そこに孔の軸線に沿って指向している変換器を収容している。有利には、ブロックは直角をなすブロックであるか、正確にいずれかの直角な変換器配列に指向される３７～５３度の角度で配向された孔を有するか、あるいは３：４：５の三角形の頂点の一つに配置される。別法として、各隅部ブロックは各々が変換器を具備した２つのブロックを互いに枢着し、それによりそれぞれの伝達角度が現場で所望の幾何学形状に合わせて調整でき、ブロックは次いでその位置に定着される。このようにして、一時的に分離した信号受信ウインドーを形成し、多数の変換器が単一のプロセッサに並列入力を与え、複合測定を達成する。

更に背景を説明するに、最近の超音波装置は代表的には単一計器ボックスで動作し、その回路は一方では送信変換器をエネルギーバーストで付勢するドライバー部と、ドライバーバーストに同期したデジタル的に作働して受信変換器が受けた信号を処理する信号受信器／分析部を含む。米国特許第４７８７２５２号には、このような装置で行うことができる、デジタル的に行われる信号サンプリング、相関付け、及び時間又は周波数ドメイン分析が記載されている。例えば、受信機／処理器は数ミリ秒の測定時間中に受信変換器に現れる電圧を数百回サンプル抽出し、デジタル化し、そして信号の調整を行い、伝送時間差、信号の品質の尺度、その他のシステムデータを決定することができる。従来の装置では、処理シャンネルは数個の異なった変換器にスイッチすることにより間欠的に接続され、異なった管上の測定を可能にし、あるいはより一般には多チャンネル測定器が各受信変換器に接続された単一処理チャンネルを有する。これは特別なインターフェースと記録装置とを使用して、異なった測定結果が単一プロセスの各部分を形成する場合にそれらを結合し結果を表示するが、典型的にはこれは高度に特種化下受信器／処理器の限定された帯域の使用を非能率にする。

本発明の主たる特徴に従って、受信変換器は単一チャンネルに並列に接続され、また複数の受信信号は関係する変換器のリングダウン特性よりも好ましくは大きい伝達経路遅延に起因して分離されるサンプリング間隔でデジタル分析器により処理される。この構造は閉路循環測定、またはうず測定、あるは図７Ｂ～図８～１２に示した型の高度に拘束性の環境での測定をを行うのに特に有用である。これらの図では装置が単一の短時間における副間隔ですべての経路を単一の装置で測定することを許容するように異なった長さの経路脚部（辺）が選択できる。

従って、装置は流れ及びその他の流れ特性を計算するに要するすべてのデータを短時間Ｔｃ＜ｎＴｆ（ここにＴｆは流体中の信号伝達時間、ｎは１０より小さく好ましくは１～３）に取得することができる。処理装置は１ｍ秒の間に処理を完了できるが、これは上述の各種の感知構造に対しても同様であり、すべての信号取得と処理は実質的に音響信号が最長の感知経路を伝播するのに要する時間の１ｍ秒の間に完了する。このようにしてすべての測定は最長の伝達時間と同じか短い時間間隔のうちに達成される。電気的に並列な構造はまた図１２Ｃに示した装置などの他の流れ測定にも有用である。この場合に、長い多重反射経路は異なった信号遅延のために２つの受信機に異なった時間の信号の到達を行わせる。他の例は反射信号、分散信号、又は遅延信号が異なった時間間隔に到着して測定の精度を上げるような以下に説明する例である。

うず及び循環を測定する図１２の例に戻ると、閉じた経路ＡＢＣＤ又はＥＦＧＨはそれぞれＹＺ平面又はＸＹ平面で任意の閉じた経路であり得る。しかし、好ましくはこれらは経路ＡＢ、ＣＤがＢＣ、ＤＡとは長さが次のように異なっている。すなわち、一つの隅を同時に出発する波に対する伝達時間差が、受信回路の信号サンプリング間隔よりも大きく、最も短い経路（例えばＢＣ）に沿った伝達時間が変換器質問経路のリンギング時間よりも大きいようにする。経路長にこの制限を加えると、図１２Ａにおける隅部変換器の両者、又は一つの隅部の別個の一対の送信変換及び受信変換器は、単一チャンネルの受信機が２つの隣接した隅部で受信した信号を処理している間に同時に作働できる。こうした測定系を本出願では異なった経路と電気的に並列な変換器を有するものとして記載している。従来の装置に比較すると、かかる構成は複雑な多重化又は同期化回路を必要とせず、内部の測定ソフトウエアで定義される処理間隔を使用する。以下に詳しく説明するように、この構成によると、必要な測定チャンネルが減少する。

図７Ｂ、図８、図１１、図１２に示したような閉路積分によらないで、弦状区分を時計方向及び反時計方向に質問し、次いで時間差Δｔを測定することによりうずを近似することにより良好なうずの尺度を得ることができる。Ｖ・ｄｓの閉路積分により与えられる循環は$5c^2\Delta t$（ここにΔｔは半径中点近くを通る弦に沿った２つの反対方向の信号伝播の時間差）により近似される。

他の実施例でそうであったように、これらの近似は流れに沿った異なった部分で行われるか、あるいは異なった導管内で同時に電気的に並列な差分経路構造を使用して行われる。

これらの構成は、例えば湿った変換器で質問されるガス中のような適当な一時的な分離が達成できるような、より遅い音響速度の質問に対して有用である。このような応用では、一個又は二個の開口の弦状の質問が、図１３の例で示したように締着（clamp-on）形式の変換器装置を使用して行われる。

図１３はこの型の感知装置５００における大型管又は導管５０１の断面図である。一般に鍛造管クランプ、延長管クランプ又は立ち上がりクランプとして使用されているような多部片よりなるクランプ装置５０４ａ、５０４ｂが、その上に変換器取付具を有するように修正され、あるいはブロックをその上に有するようにより正確に溶接され、あるいは図示の位置においてそれに締着される。第１対の２個の変換器５１０ａ，５１２ａがクランク本体に溶接されたくさび５１０、５１２に固定される。これら両変換器はクランプ５０４ｂの同一の半部片に固着されており、管を流通する流体中で半径中点を通る弦に沿って信号を送りまた受信するような角度で配向されている。それらの取付角度が注目している流体の音速に従い、且つ管直径、壁厚さ、及び屈折効果にを考慮して選択されることは当業者には容易に理解できるであろう。他の変換器５１４は異なった経路に沿って対向する変換器に対して質問し、更に管の軸線に沿い、軸線方向の流れ測定を行うような角度でクランプに取りつけられている。最後に、一対の変換器取付手段５１５、５１６が管の開口５２０を挟んで角度付けられ、それにより図８に示したような閉じた弦経路に類似した閉路の逆伝播信号測定を行うように指向されている。ただしこの例ではクランプは単純な帯状金属ストラップクランプであり、大きい正確な鋳造又はスプール部片ではない。管の開口５２０に対応して、クランプを貫く傾斜孔が形成されている。この孔はその縁部がねじ切りされて２つの近接した変換器５１５、５１６の間の実質的な可干渉性の散乱又はクロストークを消去することができる。一般に、これらの後者の２つの変換器及びそれらの閉じた弦状経路の質問は空気等のガスに有効である。クランプ装置はこれらの三重半径中点弦変換器を、あるいは液体の質問に適する締着式の変換器５１０、５１２を装着しうる。この図に詳細に示されているように、締着式変換器はクランプ５０４ｂを貫通して延びるくさびに付着しており、クランプを締めるにつれて音響接触を形成するように管に対して押しつけられる。これらの棒状くさびは結合剤によりぬらされていても良い。

図１３Ａはこの装置の締着式うず感知器の例を示す。この例では２個の管クランプ半部分５０５ａ、５０５ｂはそれぞれ対応したまたは同一位置にくさびを取りつけているので、管を完全に取り囲んで取りつけられた時に、くさびは管の直径を挟んで対向した位置又はその近傍に来る。くさびは導管中の液体に関しては特別な注意を払った向きにはなく、液体の音速はc_3であるので、くさびから出た波エネルギーは内部屈折し、回折により広がり、図示のように管壁内で何度も反射する。音波は円周に沿った細長い領域で何度も管壁を出て反対側の変換器に進む。この場合に、逆伝播弦は同一ではないが、対称性のためにΔｔが充分に定義され多数の弦に対してほぼ同一であり、感知器の位置はこうして余り重要でない事を充分に保証する。これにより、装置は異なったc_3を有するクランプ半部分を変換器のために単一くさび取付部を備えるように製造すれば良い。図１３に戻るに、ガス測定環境では、漏洩波が変換器の間を伝播してガス圧力に依存する振幅の或る程度のクロストークを生じる得ることに注意しよう。ストラップはこのような漏洩を受け入れる中空部を有し、動作圧力を決定するためにノイズレベルを独立に監視できるガス経路を変換気の間に設けることができる。うずの存在を検出するにはΔｔがゼロでないかを決定するだけで充分である。従って、すべての弦は同一のΔｔを与えないが、すべてのΔｔは同様な符号を有し、そのためうずがゼロでなければ加算的であり、うずの存在の単純で信頼性のある決定を可能にする。

図１３Ｅはうず感知弦を正確に半径中点経路に沿ったものにする数種の理論的な方法を示す。この図では、管は内径Ｒ、外径R_{od}、壁厚ｗ＝R_{od}－Ｒを有する。図は中間寸法の導管に対する寸法比率と、大直径又は小直径の管に対する外面の位置（よって直径に対する相対的な壁厚）をそれぞれ線OD_1、OD_2により示した。半径中点弦はＭＲにより表され、導管の内壁に垂直に交差する線をＮで表す。管直径Ｄは半径中点弦ＭＲに対して平行である。管は音速ｃ＝１５００ｍ／ｓの水で満たされ加圧されている。例を挙げると、図中

の表に示した音速を有するＰＴＦＥ、Ｃｄ、Ｃｕ、Ｎｉのような管材料に対しては、管壁への入射角θ_2と、直径に平行でそれからＲ／２だけ離れた半径中中点経路に沿った屈折を行うために各材料に必要な信号入口点の箇所ＥＰを計算した。図の管ＯＤのおける入口点の位置は、各材料毎にまた与えられた管壁厚ごとに異なる。例えばＰＴＦＥ（テフロン）に対しては、縦波速度は水のそれよりも小さく、入口点は外径の半径中点弦の延長線よりもやや上にある。Ｃｄに対しては、そのc_sは水中のｃつまり１５００ｍ／ｓに等しく、入口点は正確に半径中点弦の延長上にある。Ｃｕ，Ｎｉのようなより一般的な金属に対しては、入口点は半径中点の延長線よりも下にあり、Ｎｉに対しては正確に直径ＣＤの上にある。

この直径上の入口は非常に特殊な例であり、結果は若干大きいまたは小さい外径の管、２９６０ｍ／ｓよりも異なる音速を有する管、あるいは内部の液体が１５００ｍ／ｓとは異なる音速を有する管を考慮する時一般に異なっている。しかし、所望の弦に沿って質問を行うための変換器位置を確認する方法は極く一般的なものであり、同様な注意事項が半径中点弦とは異なる弦に沿ったうずの弦上質問にも当てはまる。この型の分析に基づく結論は、時計方向（ＣＷ）及び半時計方向（ＣＣＷ）に質問すべき水平弦に対する好ましい入口点は、代表的にはうず感知弦よりも下側に管壁厚の少なくとも２倍の箇所で、あるいは約１０倍まで可能であると言うことである。水を収容した代表的な鉄鋼、ステンレス鋼、アルミニウムに対しては、スネルの法則がうず感知弦を半径中点弦よりもやや中心に近い位置に制限する。これにより、これらの組み合わせに対しては、うず感知変換器の位置はＲ／２の弦の下側、約２ｗ～１２ｗの箇所に定めるという経験則が導かれる。また、もしも管寸法と組み合わせたこの第一の法則がちょうど管直径をまたぐならば、直径が好ましい入口点になるという経験則も推定される。この経験則は直径を挟んだ位置での直径を横切っての結合を、例えば簡易クランプを使用して容易に行えることを示しており、更にうず感知に対する直径を挟んた点がが交差流を検知するための好ましい入口点であることを示している。従って、同一の交換器ブロックにうず及び交差流感知変換器の圧電素子を収容することができる。

図１３Ｂは図１３に示した管の軸線に平行な、一部を断面で示した立面図である。この実施例では、２個のストラップクランプ５０４、５０５が導管の周りに、空気流の方向に離間されて設けられ、ストラップクランプ５０４に取りつけた傾斜した変換器５１４ａ（図１３の変換器５１４と同様な配向ではあるがこの例では軸線方向に対して傾斜している）が傾斜経路５２５に沿って他方のストラップクランプ５０５に斜めに取りつけられた変換器５１４ｂを指向している。図示のように、斜めのクランプ－クランプ変換器取付構造が、大きい３軸取付けブロック５２０に形成されており、各ブロックはまた２個の弦方向に向いた変換器Ｃ、Ｄを図１３の変換器５１５、５１６と同様に取りつけて、クランプの平面にある閉じた経路に沿って弦経路測定を行うようになっている。単一チャンネル逆伝播流量計５３０が変換器に固定されている。

クランプ変換器５１４ａを変換器Ａとし、５１４ｂを変換器Ｂとすると、流量計は変換器Ａ、Ｃに平行同時に伝達し、変換器Ｂ、Ｄから受信した信号を処理するように固定される。斜め経路５２５は垂直線から３０度に設定され、経路長を半径の２．３倍にする。変換器ＣとＤの間の３つの半径中点弦経路の和は半径の約５．２倍であり、これにより単一チャンネルが変換器ＢとＤから変換器のリングダウン時間よりも大きい時間だけ異なる別々の時間間隔に信号を受信することを保証する。送信及び受信は交互に切替えられて上流／下流の差を生じて流速を与え、また時計／反時計周りの差により導管のうず循環分を与える。

図１３Ｂにおいて、右側のストラップには更に垂直に延びるバッファ管５１４ｂが取りつけられ、その頂部には第１の交差流交換器Ｅが示されている。交差流交換器Ｅは直径を横切って下側ブロック５２０に取りつけた第２の交差流交換器Ｆと通信する。常圧の空気交差流測定に対しては、ストラップと管壁に貫通孔を設け、それにより超音波ビームが変換器Ｅから管内の空気中に効果的に入るようにする必要がある。ＥからＦへ、次いでＦからＥへの逆伝播測定は交差流速度Ｖｘを与える。バッファ管５１４ｂは、交差流質問信号が

図１３Ｂに示したようなうず信号の後充分に経ってから到着するように、充分に長くされるか、あるいは軸方向信号とうず信号の間に到着するようん充分長くされ、リングダウンを許容する。
図１３Ｃは図１２Ｂの３軸取付ブロックの詳細を示す。ブロックは変換器Ｃ、Ｄ、及び５１４ａのためのねじ孔を有する。変換器Ｃ、Ｄは管軸に直角な平面内で垂直線から３０度ずれている。一方反歓喜５１４ａは軸線方向の沿った平面に沿って３０度の方向に向いている孔に取りつけられる。
図１３Ｃに示した法線ｎを中心とするタップ孔には交差流変換器の一方すなわち図１３Ｂに示した変換器Ｆを収容する。この変換器は、うず及び軸流変換器と同様に管の同一の孔を通して通信する。液体に対する対応した装置に対しては、単純な締着式質問手段が実用的な場合には、交差流変換器は両側で管に直角に締着すれば良い。締着式の場合には、好ましい締着くさびは、うず感知及び交差流感知用の圧電素子の両者を一つのモジュールに具備する。しかし、管直径、材料、及び壁厚は、ある場合にはうず感知及び交差流感知用の圧電素子の両者を一つのモジュールに具備させることは、上に検討したように分離受信ウインドーを得るのに充分な経路長が取れないために、不可能であろう。
交差流を測定する他の方法は図１３Ｄに示されている。この図は導管の同じ側に互いに接近して送信及び受信変換器Ａ、Ｂが取りつけてあり、平行な経路に向けて指向されている。小径で（例えば２．５～５．４ｃｍ）導管よりもはるかに小さい管がよどみ導波管として作用し、信号を隅部反射器ＣＲと変換器の一つとの間に信号伝え、これにより変換器ＡとＢの間を進行する信号の遅延が交差流の存在時に各方向で異なるようにする。この構成によると、導管の片側から交差流を検知することが可能となる。同様な隅部反射器と一つの脚によどみ導波管を設ける同様な例は、流れ軸線に対して４５度に配向されたフランジに取りつけた一対の変換器Ｃ、Ｄにも示されている。
他の変換器及び他の感知系も可能である。図１４は３個の変換器Ａ、Ｂ、Ｃが導管に沿って配置され、変換器Ａ、Ｂが導管の同一側にあって反対側の壁から可干渉的に鏡面反射された信号を受信するように構成され、また変換器Ｃが変換器Ａの反対側にしかしその伝達突起の中心から充分に離れた位置に設けられて、散乱セルＹ２に位置した流れ中の散乱からの送信エネルギーを優先的に受け取る。これにより、伝達及び反射経路はすべて一つの管にあるが、充分に異なり、外部整合をしないで変換器Ｂ、Ｃ出力を電気的に平行化して単一処理ユニットにし得る。
図１４において、散乱セルＹ１は半径中点箇所近傍にあり、そのため後方散乱は変換器Ｃ’で受信され、前方散乱は変換器Ｃ”により受信され、その到達時間は量変換器Ｃ、Ｃ’でほぼ同一であるが、変換器Ｃ”に対してははるかに早い。送信／受信信号の変化は同図に示されている。もしもＣ’とＣ”が並列に接続された受信器だけであると、時間に対してＹ１、Ｃ’で示した散乱は主として軸線流れに応答し、交差流に対しては比較的鈍く、一方変換器Ｃ”により受信される散乱（早い到達）は主として交差流に応答性となり、軸線流れに対して比較的敏感になる。換言すると、図示の構造では後方散乱は軸線流れに対して応答性であり、前方散乱は交差流に対して応答性である。Ｙ２のような軸線上またはそれに近い散乱セルは、もしも前方散乱及び後方散乱に対する到達時間が散乱セル中のどこかからのリングダウンよりも大きく分離しているならば、すぐ上に述べた方法で軸線流れを交差流から分離するのに適している。一つの解決手段は２つの平行な２つの受信器が散乱セルの周りに対象配置されていないこと、つまり両散乱受信器が散乱セルから、リンギング時間t_{rd}よりも大きい距離だけ異なって距離にあり、さらに一方は散乱セルの前方に、他方は後方（軸線流れ方向に関して前後を定めるもので図１４で管の左端に矢印で示した）に配置することである。
より複雑な構造も可能であり、異なった管を検査するが変換器は並列に接続して共通の信号処理装置または流量計を利用することも可能である。図１５はこのような装置５４０を示す。この装置には３本の管５４１、５４２、５４３を含み、各々は各自を検査するに図示のように異なった変換器構造を有する。導管５４１は小径Ｃ１を有し、送信及び受信変換器を管の両側の斜め方向に有し、信号を管の流体を通じて直接い伝達する。一つの変換

器は流量計の送信側に接続され、他方は受信側に接続される。これらの接続線は好ましくは流量計自体の内部で行われて最終的には各変換器に対して送受信し、これにより逆伝播測定を行う。導管５４２は同一寸法の管であるがしかし管の同じ側に変換器が配置されて信号を管の内壁面からの反射点までの長さの約２倍の経路に沿って信号を送信自身するようになっている。

図１５Ａは管５４１の端面図であり、単一及び二重横断経路を有し、変換器は変換器Ａは変換器Ｃと、変換器Ｂは変換器Ｄと電気的に並列に接続されている。これは管５４１と同一の管５４２に対して示された変換器の並列接続と等価であるが、この例では交差経路が流れの形状の対称性を検出するために使用されており、それによりより正確な流れの尺度を得るものである。これは管の多重経路質問の他の例であり、流れの形状に関連した不正確さを減じて精度を向上するものである。

図１５には他の変換器の例が管５４２の底部に想像線で示されており、３つの脚の反射経路が対向した変換器の間に形成されている従来型の構成を示す。しかし、変換器はこの位置には使用されない。なぜなら第１の管５４１の二重反射、三重横断経路が、流動方向に少しだけずれた信号による実質的な干渉を生じるからである。最後に第３の管５４３は他の２つの管よりもはるかに大きい径を有する。この導管では、３対の変換器が示され、左端から右端の対まで異なった設計により、信号がはっきり異なった時間ウインドーに到着するようにし、それにより管５４１、５４２からの変換器信号と同一のチャンネルで処理されるようにする。左端の対の送受信器では、変換器は直径$3D_1$の管を横断して一方の送信変換器から他方の受信変換器に直接信号を送るように適宜のくさびにより取りつけてある。次の対では、変換器はバッファ棒を介して取りつけてあり、それにより信号線と管及び流体への信号入口との間に時間遅延を導入する。これにより、第２対の変換器に対する更に大きい時間分離が可能となる。第３対の変換器（右端）では、変換器はくさびの中に、レイリー波に似た表面波が管壁に入射し、次いで流体中に放射され、更に変換器くさびの端部から少しずれた経路に沿って受信されるような角度で取りつけられている。

くさびと管壁を通るこの伝播は、異なった変換器の信号を一時的に分離する追加の遅延を導入する。

上のすべての場合に、送信は送信変換器中で同時に起きるが、受信側への遅延時間は異なり、単一の信号チャンネルで６つの異なった測定のためにすべての受信信号を処理することができる。これらの伝達時間の各変化は、締着式変換器装置に導入され、装置全体を融通性あるものにする。一般に、受信時間は導管の直径、入射角、管壁を進行する波の型（すでに横波（屈伸波）の伝達に関して上に詳しく検討した）、横断の数、液体中の音速、入射経路長（例えば短いくさび、長いバッファ）等を変えることにより調整できる。加えて、導管は液体中の経路長を変化するように変形しても良い。

管５４１及び５４２は同一の燃料断面、航空機の油圧流体、又は冷却水供給及び排出部の組み合わせを表示するものと考えることができる。言い換えると、両方の管内に同一の液体組成物が存在する。この状態では液体中の音速ｃは管の各質問箇所の瞬間平均温度Ｔを正確に表し、特に密度の差を表す。供給管及び戻り管の流速と音速を同時に測定することにより、質量漏れの即応性の尺度を得ることができる。密度補正がない場合には、速度Ｖの差は温度上昇によるものであり、漏出のためではないであろう。逆に、温度上昇は、補正がなければ、速度Ｖが質量流量の差にもかかわらず両導管で同一になるので、漏れを押し隠す。

もしも流体がガスのように圧縮性ならば、質量流量の決定はＶとＴに依存するだけでなく、更に圧力Ｐにも依存する。すべての減衰効果及び他の非圧力効果が消去されるならばガス圧力は原理的にガスを伝播する信号の振幅に依存する。流体圧力を得るための他の方法は、流体中の圧力依存性の伝播とは独立に、図１９に関連して後で説明する。

図１７は複数の分散手段Ｙ１、Ｙ２、Ｙ３、Ｙ４が送信変換器Ｔから順に経路に沿って導管の直径を横切る異なった箇所に位置付けられている測定装置を示す。各反射器は流量系の処理部に並列に接続されている受信変換器Ｒ１’、Ｒ２’、Ｒ３’、Ｒ４’へと信号を反射する。この構成によると、引き続く受信機への次第に長くなる一連の経路が確保され

、それにより各信号は分散手段Ｙｉに固有の区別された時間間隔で受信される。流速Ｖを壁でゼロと取ると、平滑な流れ形態が構成され、管の中身は各部での速度とその周りの環状領域の積とで表すことができ、管の全質量流量を得ることができる。この計算では、軸線の周りに対称に配置された分散セルまた分散部において得られた速度を平均することになる。大きい管及び／又は非常に減衰性の流体では、分散部から中心線を越えての分散を得ることはできないであろう。その場合には、すでに検討したように、軸線方向成分及び交差流成分を定量したければ、前方及び後方法散乱により時間分離した分散信号を得ることができる。

図１６は類似の実施例を示し、追加の受信変換器Ｒ５、Ｒ６、Ｒ７、Ｒ８を導管の反対側に設ける。各分散手段Ｙｉはこのようにして先方及び後方散乱信号を生じることができる。しかし、経路Ｔ－Ｙ１－Ｒ５の経路はＴ－Ｙ２－Ｒ６の経路に等しいことに注意されたい。従って、Ｒ５～Ｒ８を並列にすると、オッシロスコープ図形に示したように、一つのウインドーにすべての複合分散信号が発生する傾向がある。この構成ではＹ１、Ｙ２等からの分散を区別できない。信号を時間分離するには、任意の構成を使用できるわけではない。一つの適当な時間分離配置は図１７の管の頂部に設けてあるものに類似の構成の受信機Ｒ１～Ｒ４から得ることができる。

経路を等遅延するように電気的に並列化する考えは新規ではない。この考えの例は本出願人が１９８９年の著書で触れており、一対の半径中点弦使用する。等遅延的に並列化する場合の問題は、意図しないのに経路が各経路に使用される変換器の電気機械的変換効率に比例する重み付けを受けることである。すべての変換器は同一に製造できないので、あるいは一つの変換器は他の経路に使用される変換器とは異なった変化あるいは劣化をするので、すべての経路の結果は信号が追加されるとか平行化される時に影響される。

本発明に従って各経路からの信号を時間分離することにより、等遅延の問題は回避される。

しかし、等遅延経路の異なった平行な対に対して許容される妥協があり得る。例えば全体の軸線方向及び半径方向の長さを最低にすると言う拘束の下に製造すべきガウス－チェビシェフの４経路スプール片を考える。この拘束は４つの充分に異なった経路を見いだすことを実際上不可能にするが、唯２つの経路なら見いだすことができる。このようにして、一つの解決はすべての４つの経路を電気的に平行にすることであるが、内部（inboard）対と外部（outboard）対をリングダウン時間だけ互いに異なる実質的に等遅延を提供するように設定する。これは並列の多重経路の早い応答特性を維持しながら、電子装置が内部経路信号と外部経路信号を区別することを可能にする。

図１８は流れが単一チャンネル流量計を使用して別個の２つの管路に沿って同時に測定される他の実施例を示す。この場合に、一つの導管に対する質問変換器Ａ、Ｂは第２の導管の変換器Ｃ、Ｄのそれよりも異なった経路長を有し、送信信号は同時に開始されて送信器と受信器の両者が並列に作働する。図１９において、伝達時間は一つの変換器から流れラインに位置付けられた反射器への異なったバッファー経路長を設けることにより調整される。この方法は、広範囲の調整を可能にするから、別個の導管は異なった時間間隔で動作するように容易にセットすることが可能である。同様に、図２０に示したように、異なった音速を有する完全に異なった材料を収容した異なった導管は、一つの信号を異なった時間間隔に遅延するより低音速で並列に質問することができる。

図２０において、空気通路は水変換器をリングダウするに充分な時間を与え、また水の３又は５等の反響経路に鎮静化するに充分な時間を与えるに充分な程度に長い。

図１９Ａ液体又はガスと共に使用するための、特にガス圧Ｐｇを測定しなければならない場合に特に重要な変換器の拡大図である。これは図１Ｂのガス変換器とは数個の重要な点で異なる。図１９Ａの変換器の内部には、伝達時間が図１９のガス経路Ｐ１９よりもはるかに短い固体経路を含んでいる。図１９Ａの固体経路には平滑な接合されていない乾燥界面２９１が存在しており、この界面は図１９Ｂに示されたくさび及びチャンネル形状により例示されているように自己整列が可能であるか、又は図１９Ａに示されているように、係合部材が相互に音響的に分離した又は非伝達性のスリーブ２９２により互いに整列され

できる。電気コネクター２９５ａを介して付勢されると、圧電素子２９３に発生した音響エネルギーの一部は、右方に進行し、ガス圧力Ｐｇに依存しほぼそれに比例する量だけ界面を横切って圧力結合される。圧力Ｐｇが大きいほど、第２の圧電素子２９４に電気接続された導体２９５に現れる圧力信号の振幅は大きくなる。界面２９１のような界面を複数個直列に結合することができ、それによりＰｇに対する感度を増すことができるが、複雑さを増すという望ましくない出費を伴う。超音波の圧力結合の現象は周知であり、本出願人がその１９８９年の著書で引用した例があるが、図１９Ａに例示した流体質問変換器装置内での圧力結合のガス圧力Ｐｇの測定への使用は新規である。更に、一個以上の圧力結合界面を含む圧力感知経路を、変換器２９３、２９４と電気的に並列に接続された変換器により質問される流体経路に比較して非常に短かくすることは従来存在しなかった。

厳密にいうと流体ではないかも知れないが、サイロへの粉体等の流れを図２１の頭頂部の変換器装置により監視することができる。この場合、第１対の変換器はサイロの側面のオーバーフロー開口に横から指向され、また第２対の変換器は垂直に指向されて送信し、サイロに蓄積された産物の頂部で反射された音響信号を受信する。産物は不規則に積み込まれるので貧弱な反射時であるが、最小の伝達時間は達成された最大高さの表示を与え、サイロ側面のオーバーフローのための開口を閉塞は２つの経路長の突然の明確な変化と、第２対の変換器が見る反射の品質とを与える。垂直経路と傾斜経路もまた異なった長さであるので、これらの２対の送受信変換器は単一の送信器／受信器のに結合して高さ計として、おそらくは非反射性であるサイロ中の粒状あるいは粉末材料に使用できる。変換器に近接して配置した上側組立体の基準反射器は最初の戻り信号を与え、時間基準、過剰充填限界として役立ち、あるいは増幅利得制御の設定に役立つ。

図２２は並列な複数の測定を行う単一チャンネル装置の更に他の例を示す。この例では一次ガス流は変換器Ｃ、Ｄが通常の小径の導管を通る軸線流れに沿った低速流路に質問する低速流れセルを流れる。より大きな流れの条件下で、フラップないし阻止弁が大径の導管に開放しており、そこでは変換器Ａ、Ｂが導管中の流れに質問している。これら両方の変換器の組は単一計測器に接続され、経路長は送信が同時の起きる時に異なった時間ウインドーにおいて受信信号を与えるように定められている。

図２３は循環又はうずの測定が別個の導管に沿って行われ、あるいは異なった寸法形態に沿って行われ、あるいは２つの別個の変換器対が各導管で時計方向及び半時計方向に測定されるような装置の例を示す。これらの構成は循環を流れ線に沿って異なった箇所で測定するとか、あるいは各管ごとに管に沿った単一箇所での実質的に同時の反時計及び時計周りの測定が必要な場合に有用である。この場合に、１つの２チャンネル測定器が使用されるので、従来の循環測定装置に比してはるかに経済的である。

図２４Ａはテーパ付き樋又はホッパ等の液体の存在、液体流、又は他の液体の特性の測定が導管の高さに沿って異なった箇所で同時に実行される場合に使用される装置を示す。

図２４Ｂは長方形のチャンネルに対する正面図及び端面図を示す。この例では、何対かの送受信変換器が、受信信号の分離を行うに充分な経路長の差を得るような次第に傾斜が大きくなる角度で配置されている。

以上により本発明の説明を行ったが、本発明の範囲内で多くの変形例が可能なことは当業者には明らかであろう。

【図１Ａ】

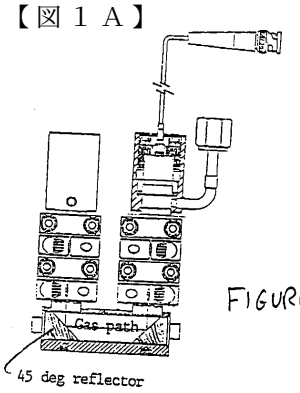


FIGURE 1A

【図１Ｂ】

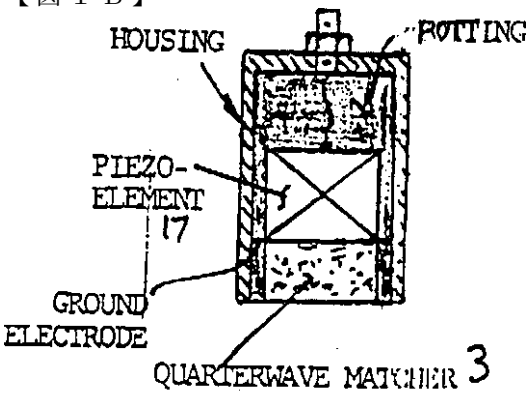


FIGURE 1B

【図２Ａ】

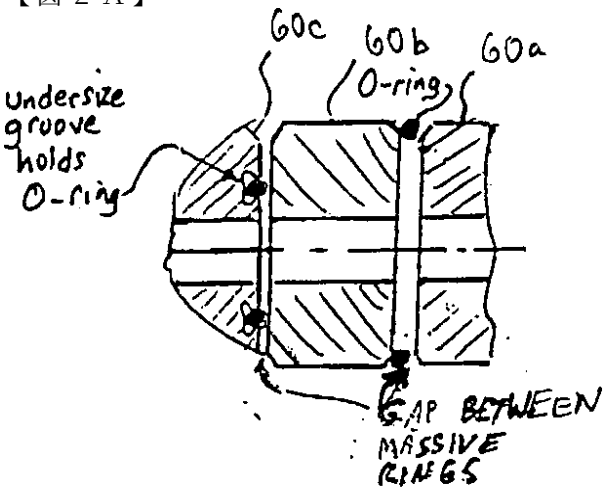


FIG. 2A

【図２Ｂ】

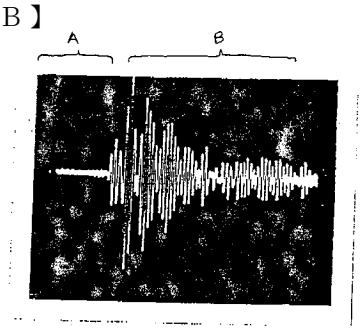


FIG. 2B. Oscillogram of the received waveform, obtained with the cell of Figure 1A (U-shaped cell). It is seen that there is relatively little crosstalk in the "A" portion of the trace, compared to the signal strength in the "B: portion of the trace. In this test the gas was air at ordinary conditions of temperature and pressure.

【図３】

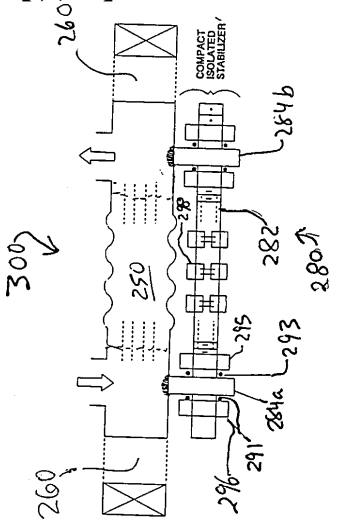


FIGURE 3

【図４】

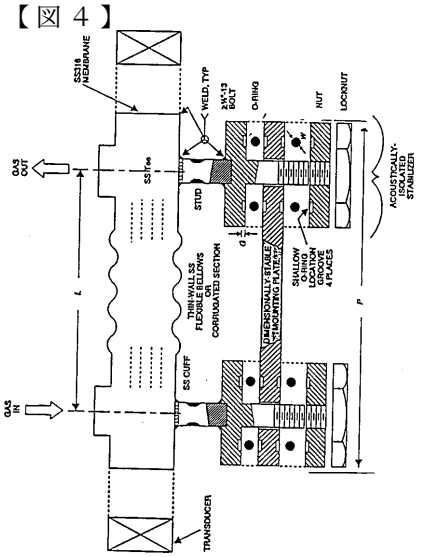


FIGURE 4

【図５】

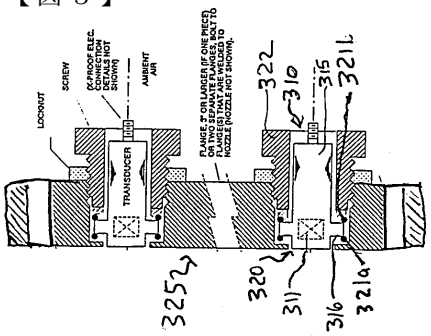


FIGURE 5

【図５Ａ】

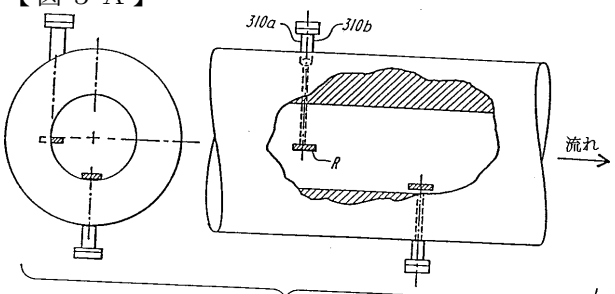


FIG. 5A

【図５Ｂ】

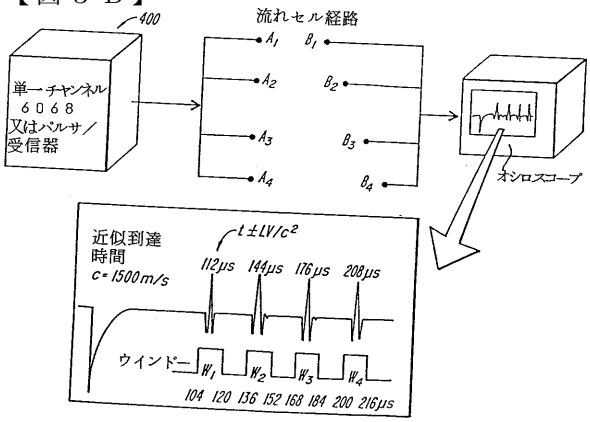


FIG. 5B

【図５Ｃ】

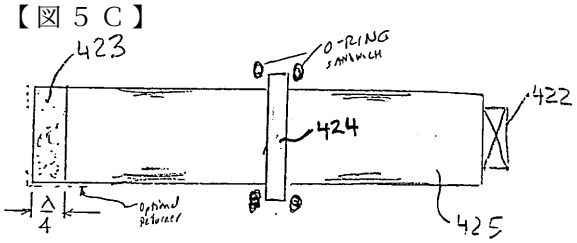


FIGURE 5C

【図５Ｄ】

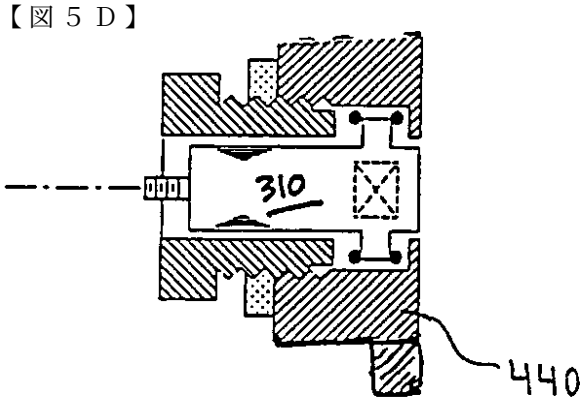


FIGURE 5D

【図５Ｅ】

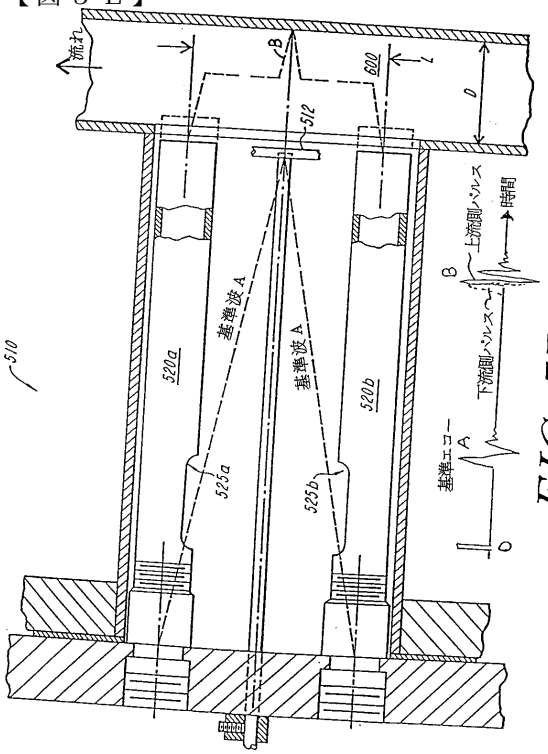


FIG. 5E

【図６】

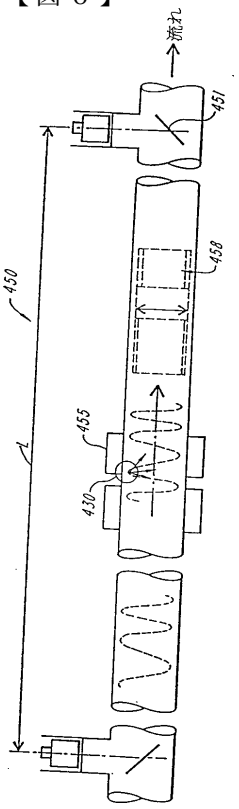


FIG. 6

【図７】

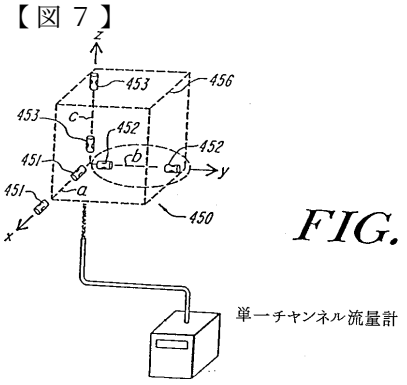


FIG. 7

【図７Ａ】

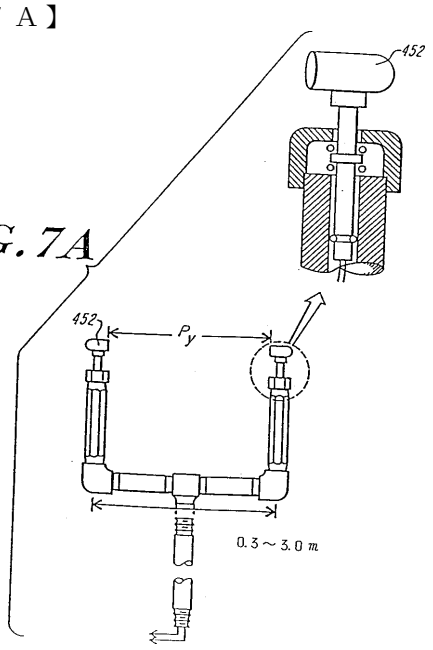


FIG. 7A

【図７Ｂ】

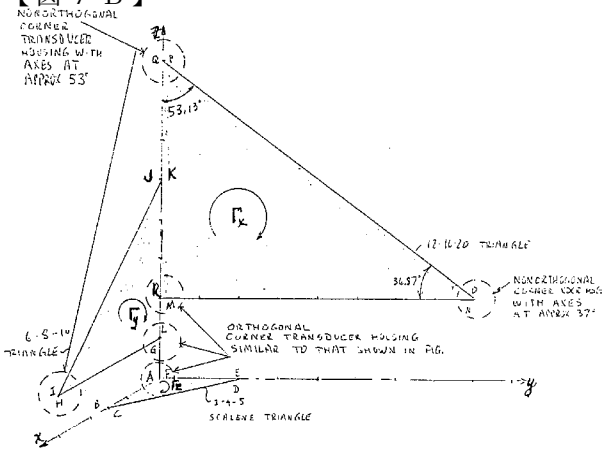


FIGURE 7B

【図７Ｄ】

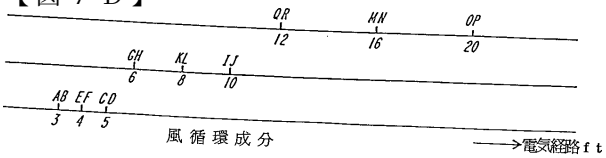


FIG. 7D

【図７Ｃ】

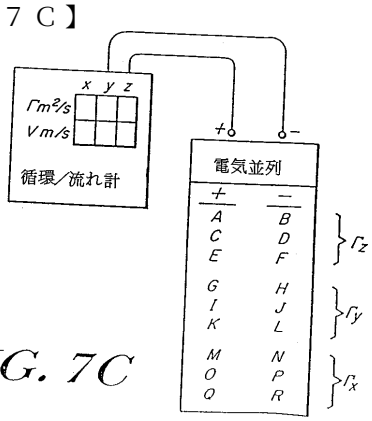


FIG. 7C

【図８】

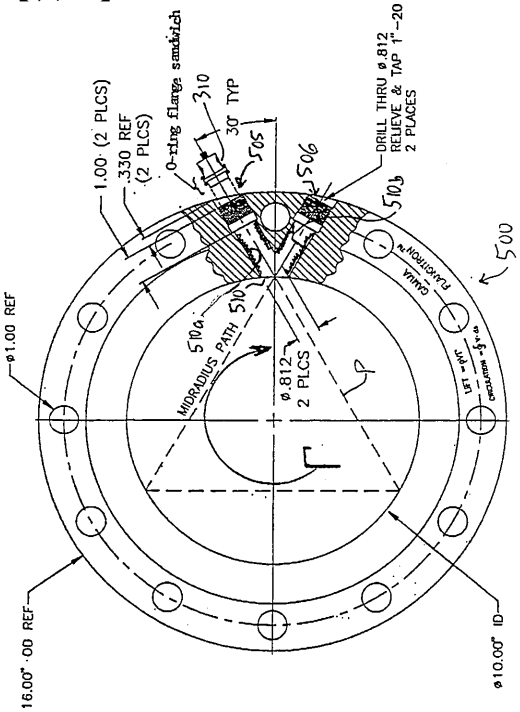


FIGURE 8

【図８Ａ】

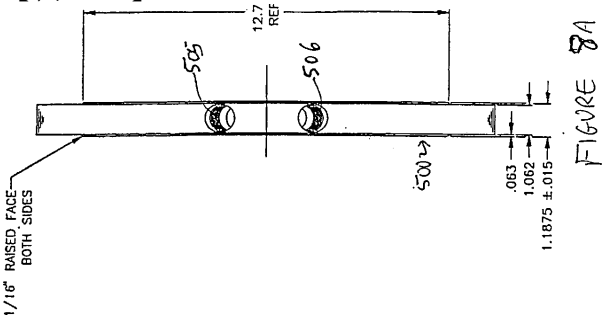


FIGURE 8A

【図９】

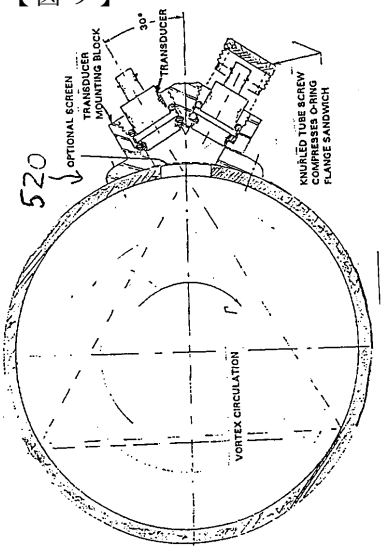


FIGURE 9

【図１０】

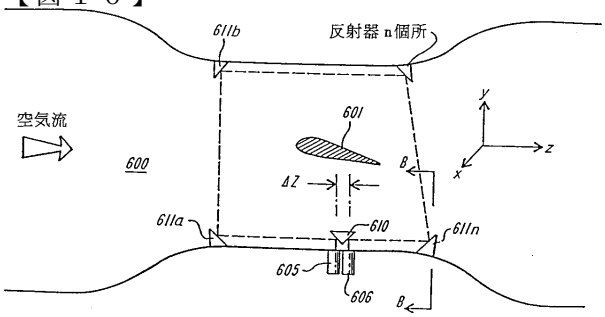


FIG. 10

【図１０Ａ】

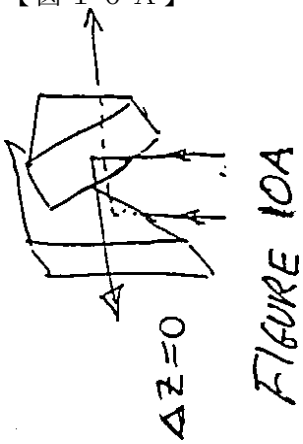


FIGURE 10A

【図１０Ｂ】

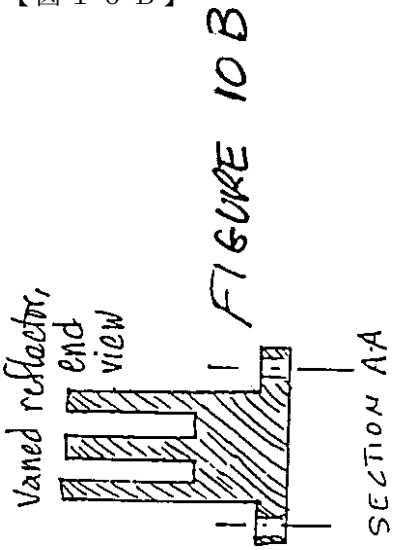


FIGURE 10B

【図１１】

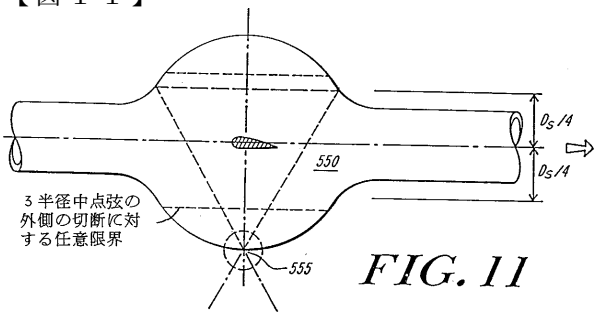


FIG. 11

【図１１Ａ】

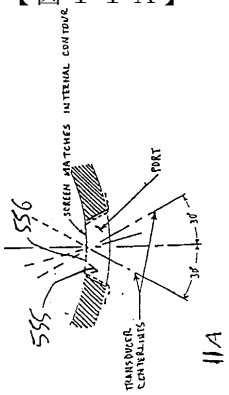


FIGURE 11A

【図１２】

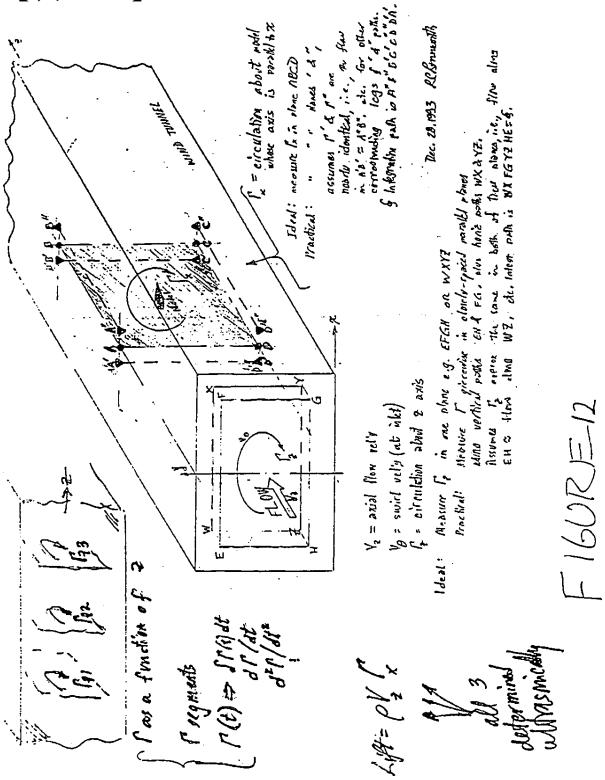


FIGURE 12

【図１２Ａ】

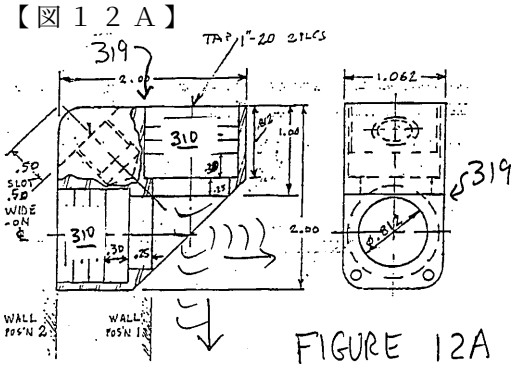


FIGURE 12A

【図１２Ｂ】

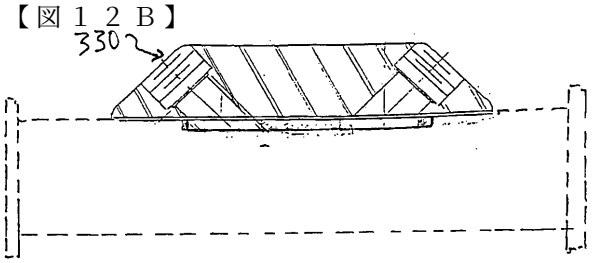


FIGURE 12B

【図１２Ｃ】

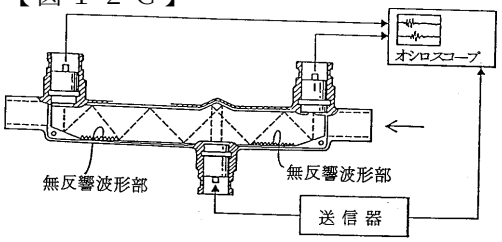


FIG. 12C

【図１３】

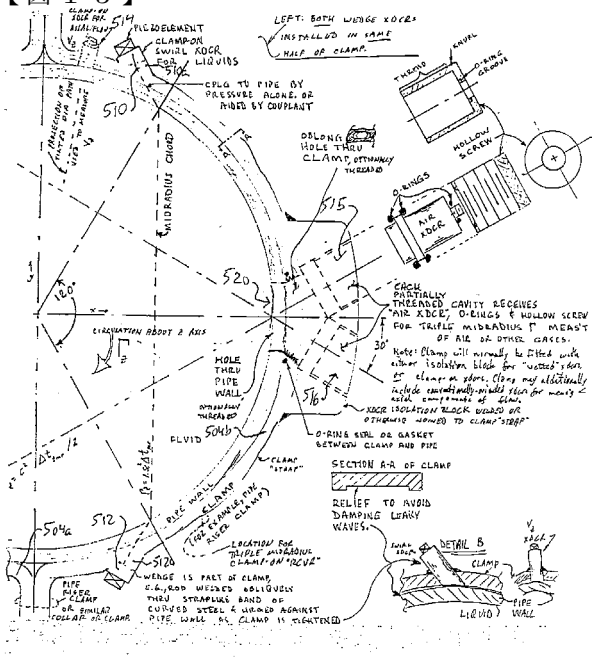


FIGURE 13

【図１３Ａ】

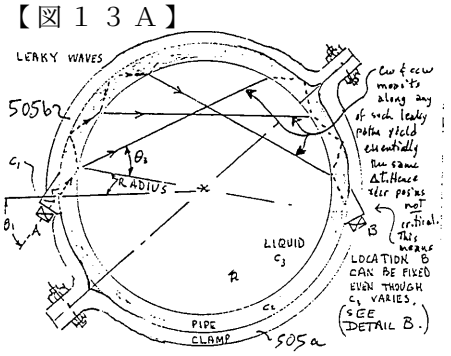


FIGURE 13A

【図１３Ｂ】

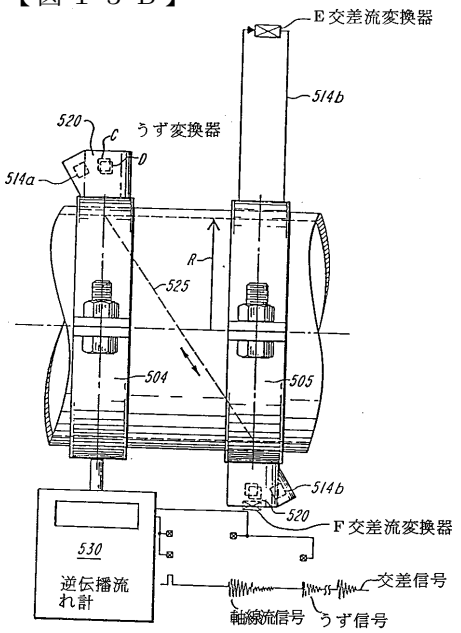


FIG. 13B

【図１３Ｃ】

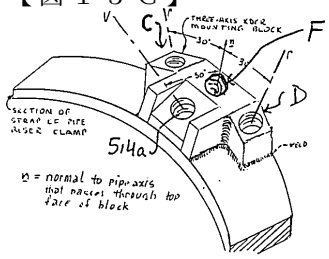


FIGURE 13C

【図１３Ｄ】

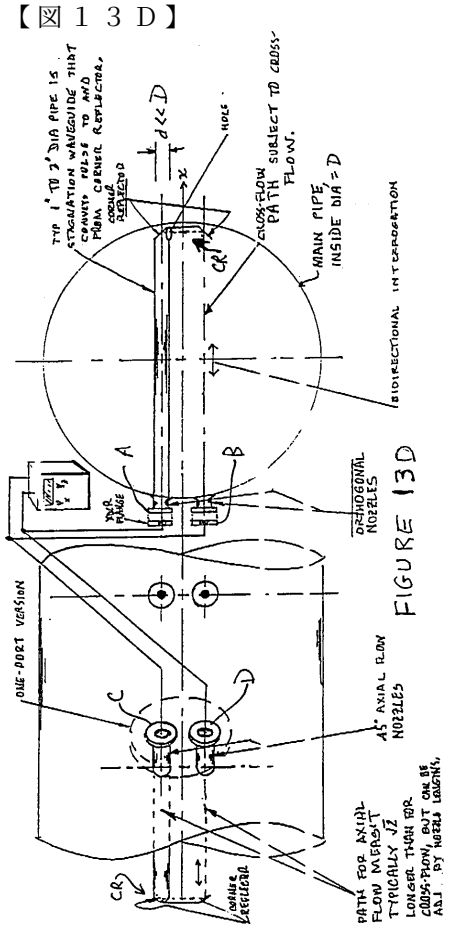


FIGURE 13D

【図１３Ｅ】

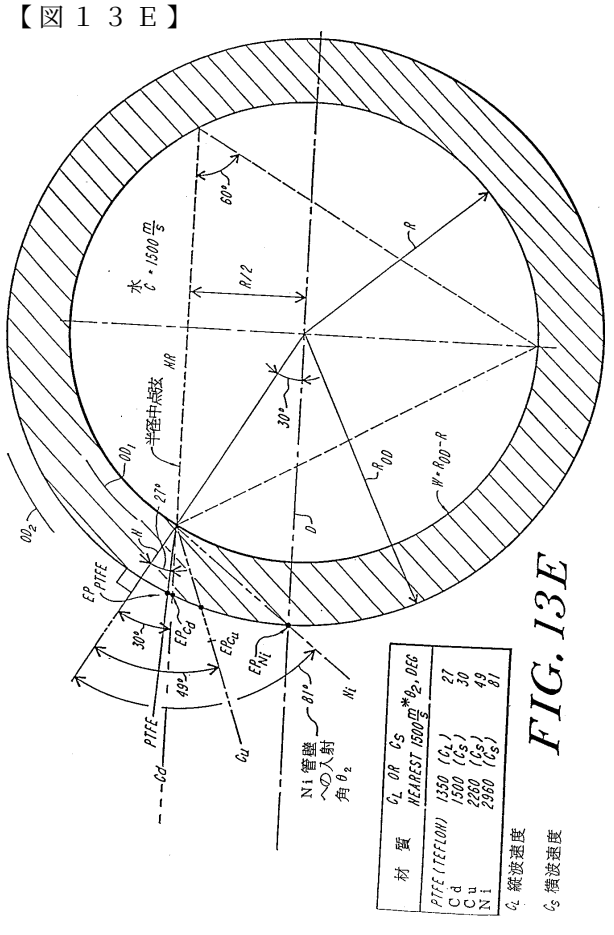


FIG. 13E

【図１４】

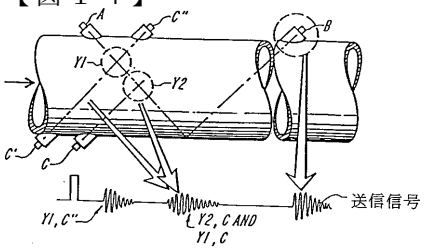


FIG. 14

【図１５】

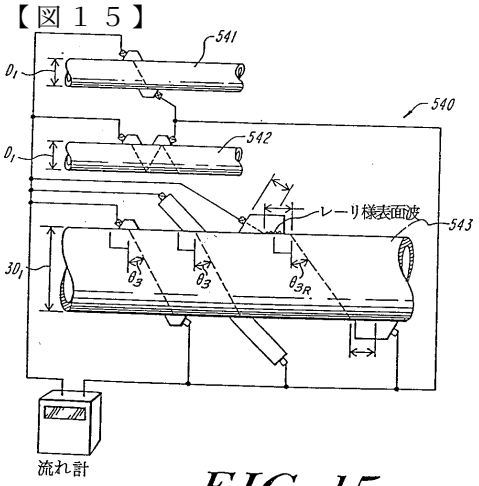


FIG. 15

【図１５Ａ】

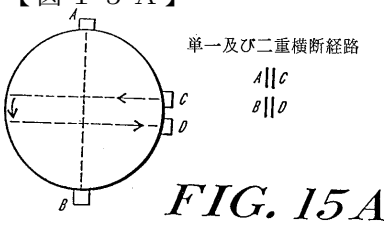


FIG. 15A

【図１６】

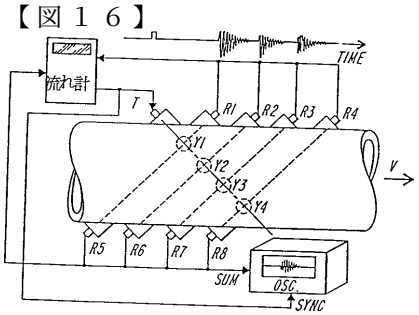


FIG. 16

【図１７】

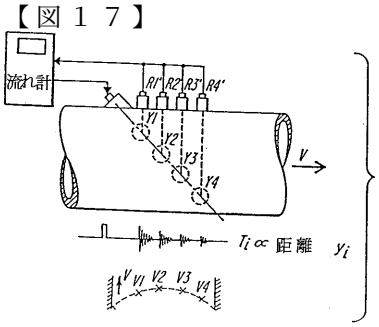


FIG. 17

【図１８】

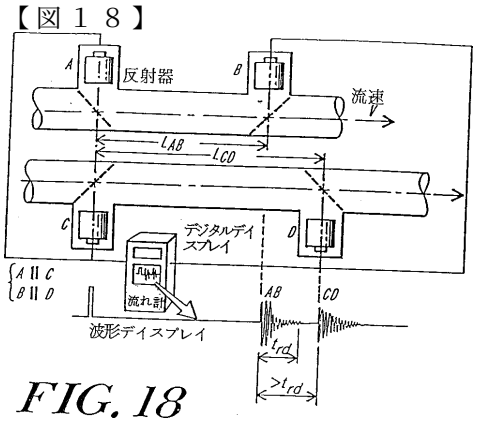


FIG. 18

【図１９】

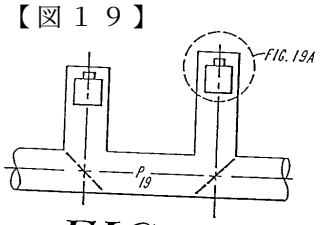


FIG. 19

【図１９Ａ】

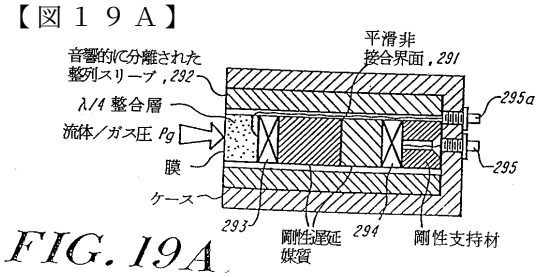
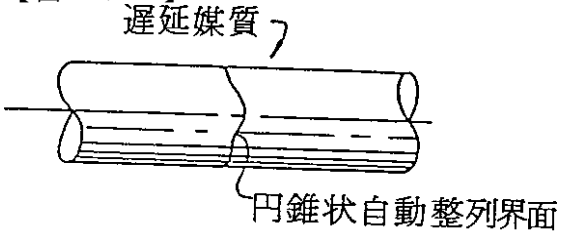


FIG. 19A

【図１９Ｂ】



,291'

FIG. 19B

【図２０】

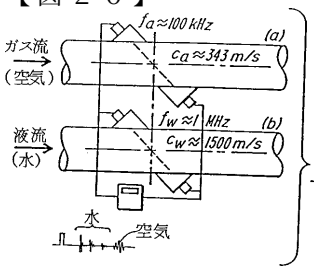


FIG. 20

【図２１】

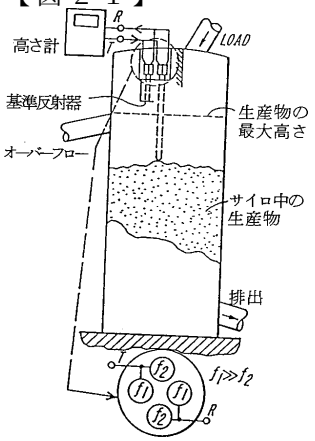


FIG. 21

【図２２】

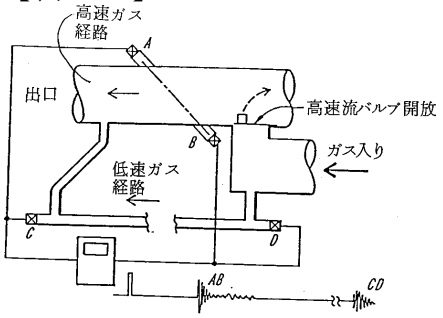


FIG. 22

【図２３】

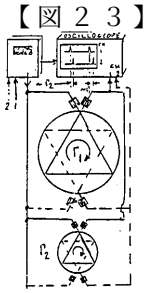


FIGURE 23

【図２４Ａ】

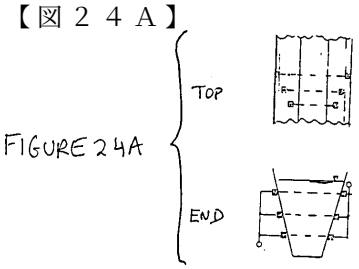


FIGURE 24A

【図２４Ｂ】

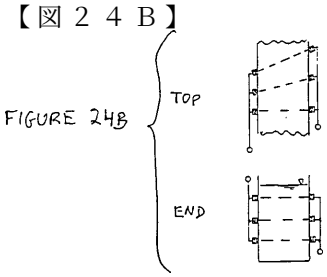


FIGURE 24B

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第９３／００４３４３（WO，Ａ１）
特開昭６４－０２１３２１（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－０９４１０９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01F 1/66