

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4107685号  
(P4107685)

(45) 発行日 平成20年6月25日 (2008. 6. 25)

(24) 登録日 平成20年4月11日 (2008. 4. 11)

(51) Int. Cl. F I  
G O 1 F 1/66 (2006. 01) G O 1 F 1/66 A

請求項の数 10 (全 52 頁)

(21) 出願番号	特願平10-520598	(73) 特許権者	パナメトリクス インコーポレイテッド
(86) (22) 出願日	平成9年10月27日 (1997. 10. 27)		アメリカ合衆国 02154-2719
(65) 公表番号	特表2001-527639 (P2001-527639A)		マサチューセッツ, ウォルサム, クレセント
(43) 公表日	平成13年12月25日 (2001. 12. 25)		ストリート 221
(86) 国際出願番号	PCT/US1997/019238	(74) 代理人	弁理士 松本 研一
(87) 国際公開番号	W01998/019296	(74) 代理人	弁理士 小倉 博
(87) 国際公開日	平成10年5月7日 (1998. 5. 7)	(74) 代理人	弁理士 伊藤 信和
審査請求日	平成16年10月27日 (2004. 10. 27)	(74) 代理人	弁理士 倉内 基弘
(31) 優先権主張番号	60/029, 282	(74) 代理人	弁理士 風間 弘志
(32) 優先日	平成8年10月29日 (1996. 10. 29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	08/879, 690		
(32) 優先日	平成9年6月20日 (1997. 6. 20)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波バッファ／導波管

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

壁の測定用に、超音波源 ( 1 5 ) からの超音波エネルギーを前記壁の一面から他面へつなげるための導波管 ( 1 0 ) において、

前記導波管 ( 1 0 ) は、ハンドル部分 ( 1 2 )、中間部分、及び脚部分 ( 1 4 ) を有し、

前記ハンドル部分 ( 1 2 ) は、前記超音波源を取り付ける取付面を有し、

前記中間部分は、0 から 4 5 度の角度になっている反射面 ( 1 8 ) を含み、前記エネルギーを前記ハンドル部分 ( 1 2 ) から前記脚部分 ( 1 4 ) に沿って伝搬し、

前記脚部分 ( 1 4 ) は、前記中間部分から受けたエネルギーを発射するため、出口面 ( 1 6 ) を有し、

前記取付面に対して、前記反射面と前記出口面とは所定の角度をなし、

前記出口面からのエネルギーが細いビームとして発射されるように、前記ハンドル部分 ( 1 2 )、中間部分、及び脚部分 ( 1 4 ) の矩形の断面の厚さ寸法と横方向寸法との比率で定義される縦横比が 2 : 1 より大きく、

前記脚部分 ( 1 4 ) は、前記反射面 ( 1 8 ) から反射されるビームより上の位置に穴 ( 1 7 ) を備えている、導波管。

【請求項 2】

前記ハンドル部分 ( 1 2 ) は、前記取付面のトランスデューサを熱的に保護するために熱隔離として効果的な長さを有する、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 3】

前記エッジ面と前記末端部表面が、湾曲された表面である、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 4】

前記中間部分及び前記脚部分（１４）は共通平面をなし、前記ハンドル部分（１２）が前記平面から飛び出している、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 5】

前記導波管が折り畳まれた薄板の金属スタンピングから形成される、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 6】

前記反射面（１８）から発射されるエネルギーが、選択された角度で前記反射面（１８）から連結される、請求項 1 に記載の導波管。

10

【請求項 7】

前記脚部分（１４）は、選択された音速で前記エネルギーを連結する材料を含み、前記材料は、前記ハンドル部の材料とは異なる、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 8】

前記脚部分（１４）は、入射するねじれ波面と平行な方向に向き、前記穴（１７）の中心線が前記出口面（１６）と交差する線上に設けられたスロット（１７b）を含み、前記ハンドル部分（１２）は、その側面に複数のタブ（１３）を備えており、前記ダブは、超音波入射を散乱させる丸い表面を有している、請求項 1 に記載の導波管。

【請求項 9】

前記反射面（１８）は、互いに異なる角度に配置された複数の反射面を含む、請求項 1 に記載の導波管。

20

【請求項 10】

1つのプレートを含み、前記エネルギーが前記プレート内で伝搬するように、前記プレート内に形成され、基準エコーを供給するための位相的な部品を少なくとも1つさらに有し、前記プレート内でエネルギーを分散させずに出口面（１６）へ移動するように、前記位相的な部品が配置される、請求項 1 に記載の導波管。

【発明の詳細な説明】

発明の技術分野

本発明は、超音波流れ測定システムに関し、更に詳細には、変換器を流体測定を遂行するためのパイプまたは導管壁に結合させるために用いるウェッジまたはバッファロッドに関する。

30

発明の背景

一般に、正確な超音波流れ測定は、導管の直径経路または求積システムにおいて、使用されるような弦状経路に沿った質問の経路が、方程式を正確に流れ計算に適用するために十分に定義されることが必要であると言われているだろう。従来技術の締め付けシステムにおいて、これは、導管に軸方向中央に配置されるウェッジを取り付けること、または特殊な導波管を受け入れるために導管内に精密機械加工された内径を達成することをたびたび必要とした。明確な経路は、半径の真ん中の円の外側に位置している直径以外の経路に対して特に重要であり、そこにおいて、流れ分布は鋭くカーブさせられる。この種の経路は、まっすぐな導波管を保持している精密な内径によって、一般に成し遂げられた。確かに、それは超音波の屈折させられたビームを使用して明確な経路を得ようとする場合、目的の否定と思われる。

40

出願人は、垂直に偏波されたねじれ波が流れを測定するために使用された測定システムを以前に提案した。システムは、垂直に偏波されたねじれ波がパイプに伝えられる半インチ平方の横断面を有するバッファロッドを含んでいた。他のバッファロッド構造は、Karplusに発行された米国特許第 3,973,152 号に示される。その構造は、ウェッジを作るために一緒にプレスされる多数のシートを利用する。この設計は、熱いパイプおよび冷めたままでなければならぬピエゾトランスデューサの間に長いバッファまたは熱を放散させている長い部材を挿入する概念を特には取扱わない。むしろ、層を重ねて作られた構造を提案する際に、米国特許第 3,973,152 号は、固体ウェッジ設計で起こるリン

50

ギングを減少させることを意図している。他のバッファロッド構造は、1971年4月13日に発行された出願人の以前の米国特許第3,575,050号で見かける。特殊な機械加工なしでパイプに留められるトランスデューサを可能にするウェッジのための、または過熱せずに、熱いパイプに接続するトランスデューサを可能にするバッファロッドのための種々の他の設計のどちらかが公知である。しかし、バッファロッドを良い導波管にするまさしくその特徴は、また、リングングに結びつくか、周波数または波型の限られた数にバッファを限定するか、不十分に配向された出力ビームという結果になるだろう。同様に、据え付けウェッジは、一般に固有のセットアップを必要とするか、またはパイプの1サイズまたは範囲のために構成され、一般に直径の経路に沿って壁部を通して屈折された波を発射する。

10

従って、超音波トランスデューサのための、特に高度な精度および制御を有する信号を発射するための種々のパイプ配向に適応できる緩衝されたカップリングまたは導波管のための、より用途が広く効果的なカップリングの必要性が残る。

#### 発明の要約

本発明は、ねじれ波の波源、及び流体を含んでいる導管の流体または壁部の間に挿入するためのバッファ導波管を提供する。バッファ導波管は、固いが比較的薄く、ある程度ホッケーステックのように側面を形成され、ホッケーステックハンドルに対応する細長い引込線またはバッファ部分、及び一般にステックのブレードに対応する更に短いシート/ラジエータ部分により特徴づけられる。バッファの下へ伝わるエネルギーは、内部表面により誘導されるか、または内部表面からはずれた方向に配向し直され、ブレード内をパイプまたは流体に対してぴったり合う出口表面の方へ、ねじれ波として分散なしで伝搬する。それが好ましくは $X_1 < X_2 < X_3$ の比較的高縦横比の中心部矩形の横断面を有するように、導波管は長さ $X_3$ 、厚さ $X_1$ 、及び中心部幅 $X_2$ により特徴づけられる。厚さ $X_1$ は、そこにて伝播される超音波エネルギーのねじれ波の波長と同等で、ラジエータ部分（好ましくは平坦で矩形である）の出口表面が、パイプに直接留められるかまたは溶接されるブレードを可能にする指向性支持表面を提供するために、好ましくは十分に大きい。タブを取り付けている熱電対のような小さい位相的な特徴は、中心部長方形の外側に加えられるだろう。中心部幅 $X_2$ は、そこにおいて、ねじれ波長より非常に大きく、好ましくはまた、ねじれ波束の半分の長さより大きい。

20

バッファは、小さいフランジ、溶接ビーズ、1または複数の反射ノッチ、または主要な光線経路の外側にバッファに沿って位置する穴を含むことができ、それはまた、装置が溶接されるパイプ壁を通るシート部分の挿入の深さを制御する厚さのステップを含むことができる。一般に、導波管の主要な境界表面または主要な表面は平らで平行であり、その一方で、幅が狭いエッジ表面は斜めに配向されることができ、ハンドルの下へブレードの出口表面に進行しているエネルギーを反射するか、またはスプリアス経路エネルギーを偏向させるのに役立つことができる。実施例において、平行面内のいくつかの斜めの表面は、ブレード部分に沿ってエネルギーの拡張放射になるために入ってくるエネルギーを複数の角度で反射する。他の実施例において、入射の連続的に変化する角度は、出口表面に沿って内部湾曲された反射表面により提供される。結合を改良するかまたはパイプまたは流体の中への屈折の角度を制御するために、出口表面は、更に低音速材料を含むことができ（または低音速材料を含んでいるスロットにおいて、静止することができ）、バッファのアクティブな（圧電気またはトランスデューサ）端部は、高パルス繰り返し周波数が使われることを可能にするタングステン入りのプラスチックまたはシリコンゴム減衰材料を含むことができる。

30

スプール部品内のスロットの中に溶接されることにより、または特化されたジグの中かスプール部品に対して留められる標準パイプライザークランプに溶接することにより、導波管は都合よくスプール部品に取り付けられる。特化されたスプール部品は、適切に方角を定められたバッファ/導波管アセンブリをパイプセグメントに取り付ける単純な手段により、局部的に組み立てることができる。この装置は、特にパイプ軸に対して垂直な平面内の標準のパイプ上の測定（例えば渦測定）に役立つ。他の実施例において、バッファは中

40

50

心軸のまわりに巻きつけられるシート金属スタンピングで形成され、スタンピングの内部または凹エッジにより形成される反射表面を有する。典型的な実施例において、バッファは6ミリメートルの厚み、3~6センチメートルの幅、約15~20センチメートルの長さ、及び約4~8センチメートルのブレード長さを有する。6ミリメートルの幅である出口表面は、少なくとも8~10インチの範囲の直径を有するパイプに対して実質的に平らに位置する。パイプ表面の小さなプレパレートは、留め据え付けでバッファを使用することを必要とする。表面溶接または内部溶接取付けにのために、フラットまたはスロットは機械加工され、導波管はパイプに溶接される。バッファのアスペクト比の高い矩形の横断面は、小さなリングングまたはモード変換を有する伝搬性の高いねじれ波信号になる。ブレードの出口表面から出ているエネルギーは、正確な経路に沿ったパイプ内部の1または複数のうまく定められた受信位置に伝搬し、従って、測定精度を改良し、例えば分布補正または断層撮影のイメージングのために問い合わせられる直径以外の経路を許容している。スロットまたは凹部は、正確にバッファを設置してその出力を流体内で定義される平面に沿って配向するための導管またはスプール部品壁部内の場所を準備するために、一方向及び反対方向に機械加工できる。

10

シートまたはプレートストックでできた好適な実施例において、バッファは、隔離碍子及びブレードを形成している三角形及び1または複数の多角形の拡張部から成る本体として概念化できる薄く固いシートである。三角形は、バッファ部分からのねじれエネルギーを受け入れて、その斜辺に沿ってエネルギーを放射する一体化されたウェッジである。三角形の外側のホッケーシュックブレードの領域は、波動関数を減衰させることなしにクランプまたはフックを適応させるために信号経路の外に配置される穴を含むことができ、主要な光線経路の外側の引込線またはバッファ区画の部分は、較正及び動的な温度補正のための基準エコーを提供するために隔離された散乱機能を含むことができる。ブレード部分では、経路中心線に垂直である第1基準反射体、及びブレードの先端における第2反射体からのエコーが時間情報及び振幅情報を含み、その情報からブレード内の音速、及びパイプまたは流体への結合の効力が計算される。

20

#### 【図面の簡単な説明】

図1は、流れ、液体の存在若しくはレベル、または他の流体の特性を測定するためにパイプ、導管または他の固体上に取付けるための本発明の細長い非分散性方向性導波管を示す。図1Aは、導波三角形のウェッジ脚部分及び圧電材料への多角形境界導波拡張部の組合せに図形的に分割される多素子構造の圧電素子を有する、図1と類似の他の実施例を示す。図1Bは、ウェッジまたは脚部分に関してバッファ部分との間の考察される角度の範囲を示している概念図である。図1Cは、入射の3つの角度が単一の導波管センサにおいて、提供される複数角度の実施例を示す。図1Dは、湾曲された反射表面がねじれ波入射の角度の連続多様性を発生する他の複数角度の構造を示す。図1Eは、流体内の音速の広く予測できない範囲に対するシステム耐性増加し、開口部を拡大するために複数の全く同じ導波管が続けて配置されるシステムを示す。図1Fは、非平面湾曲し鋭く曲げられた導波管形成するために、バッファがブレードに結合する実施例を示す、図1Gは、第1の及び第2の反射表面がゴミへの露出を減少させる汚れから守られる導波管の実施例を示す。図1Hは、第1および第2の表面を有するシート金属スタンピングを示す、ここで、半空胴は囲い中心線について対称形であるパターンで第1表面に形成され、そうすると、鋭く180度の角度でその中心線のまわりに巻きついた後、互いに接触する第1表面の2つの部分として半空胴は隣接し、それにより、図1Gと機能的に類似のシールドされた反射表面を提供し、前期反射表面は第2表面から見えず、巻きつかれた構成の境界となる。図1Iは、反響を減衰させるために蓋をかぶせられた端部付近に減衰ポッティングを有する実施例を図示する。図1Jは、パイプ上の5つの位置における本発明の導波管の組合せを有するシステムを示す。図1Kは散乱体を有する流体を含むパイプの端面図を示し、反射測定を本発明の2つのバッファ導波管で図示している。図1Lは、本発明の導波管を有する熱いパイプ及び冷えたパイプに、有機物の液体及び2つの流速測定に対するラオの規則を結合する有機物の液体のための質量差流量計を示す。図1Mは、地面に掘った穴の測定を実

30

40

50

行するための実施例を示す、図 2 は、正確に制御された深さ及び位置における永久的な取付けのために、パイプ区画に溶接される本発明のいくつかの導波管を示す。図 2 A 及び 2 B は、本発明の導波管を使用している肺活量計システムの図を示す。図 2 C は、図 2 A 及び 2 B に示される構造を有する速い応答のための処理を例示する。図 2 D は、埋められた導管測定システムを示す。図 2 E は、パイプライザークランプにより、平行の及びパイプ軸に対して垂直な平面内のパイプに一時的に結合される本発明の導波管を示す。図 2 F は、( a ) 着脱性、( b ) 複合導波管を利用することにより成し遂げられる低音速パイプのための耐爆設計、及び( c ) 流体内の音速に対するパイプ材料の音速により課される限度以上の、含まれた流体内の屈折角度を提供するいくつかの複合型構造を示す。図 3 は、直径以外の弦状測定が、明確な対称に配置された内側の及び外側の平面において、全部がスプール部品の 1 つの側面(正面)上にある幅が狭い長方形のスロットに最小嵌入法で溶接される図 1 で示す 8 つの導波管を使用してなされる、ガウス - チェビシェフ( G C ) 多重通路フローセルの正面の外側及び背面の一部の内側を示している斜視図である。図 3 A は、トランスデューサの反対側、及び反射体の平面に壁部に取り付けられる 4 つの反射体をより明瞭に示す、図 3 のスプール部品の斜視図である。図 3 B は、上面及び底面でいくつかの表面に締め付けられたトランスデューサを示している G C スプール部品の部分的に切断された側面図を示す。図 3 C は、シートスタンピングが円筒状に巻かれるか、低コストのシート金属からできた G C 及び直径経路スプール部品を形成するために一直線に並ぶ特徴を有する円筒に形成されるシステムを示す。図 4 は、左右対称の波を伝えているプラスチックチューブ、モード変換されたねじれ波を伝えている薄い区画、及び(着脱性の実例となるためのためにフランジに取り付けられた)永久的または着脱可能なトランスデューサを有する一体構造の実施例である。図 4 A は、部分的には管状で部分的にはシートであるモード変換実施例を示し、管状部分はアセンブリの拡張部分の大部分から成り、前記管状部分は薄い壁部であり、従って、実質的に分散なしで準外延的または準 -  $S_0$  な左右対称のプレート波最低次モードの圧縮波を伝えることができ、ここで、これらの波は容易に結合された、容易に着脱可能な疎密波トランスデューサから発射され、これらの波はシートの中にねじれ波として漏れ、図 1 の導波管の角度に類似の入射角で垂直に偏向される。図 4 B は他の一体構造の実施例(それは図 4 のプラスチックの実施例に幾何学的に類似である)であるが、ステンレス鋼から作られ、 $S S$  に対するより小さいボアソン比のために、入射の類似した角度(約  $60^\circ$ )を達成するために、円筒形の部分はより後ろに傾けられる。図 4 C は、部分的にパイプに巻きつけられるときに、同じ材料または脚部と同じ音速のパイプの区画のまわりに水平方向に偏波されたねじれ波を発射すること、加えて異なるパイプにおいて、導波管より低音速のパイプ(例えば、 $S S$  導波管からの真鍮のパイプ)に結合できるレイリー波の表面-結合されたトランスデューサから垂直に偏波されたねじれ波を発射することに特に適した他のモード変換構造である。図 4 D は、ロッドバッファを有する他のモード変換導波管である。図 5 は、パイプの中へ 2 つの異なるモード、斜め入射角のねじれ波、及び垂直入射角の疎密波を導くために構成されるバッファ導波管の実施例を示す。図 6 は、導波管の 1 または複数の対に適している差動信号処理を例示する。図 7 は、流れの方向に対して強い十分な信号伝達を考慮に入れない通過時間法により流れを測定する手段として、順方向及び横方向の風はあるが逆方向の風はない通過時間を測定するために構成される非侵入性の、外部に取り付けられた実施例を示す。図 7 A は、図 7 の濡れたトランスデューサの一種である。図 8 は、逆方向の風に費やされる質問時間が信号対雑音比に応答する順方向のより大きい非対称の動作周期を示す。図 8 A は、本発明の 2 つの全く同じバッファ導波管を有するシステムを図示し、1 つは 6 時の位置において、パイプの外部に取り付けられ、同時にそれは「濡れた」一種であり、12 時の位置において、長方形の穴を通過する。

好ましい実施例の詳細な説明

本発明は、超音波源またはトランスデューサからの信号、信号の非分散性伝達のための本体、及び一般に制御された経路に沿う定められた屈折角度で本体外部の信号をパイプ壁の中、または直接流体における何れかへ結合させる出口表面のための遠隔カップリング表面

10

20

30

40

50

を提供するためにバッファとして作用する導波管であり、ここで、屈折角度は、部分的には流体媒体内の音速によって、決まる。導波管は薄くて、大きな向かい合った面を有し、その結果、それはプレート状である。それは、おおよそホッケースティックの形を有する。種々の実施例は、構造上の特徴のため、パイプの中への流れが共存できる貫入のため、そして、特別な状況での信号強化のためにこの形状を利用する。

一方、もし明言されていなければ、我々がパルスと言うとき、導波管の大きな表面に平行な粒子運動を有するねじれ波パルスを指す。流体において、波は疎密波である。バッファまたはトランスデューサアセンブリが濡れているとき、溶接した高圧取付けのために、好ましくはバッファの厚さはパイプ壁の厚さの少なくとも約半分である。内部に溶接されたバッファに対して、パイプ壁と比較してバッファがあまりに薄い場合、コードまたは通常の溶接により必要とされる比較的厚い溶接は信号の等級を下げ、短絡を増やすだろう。導波管の厚みが約6ミリメートルであるときに、標準のフィレット溶接が十分な信号を生ずることは、厚さ約3/8インチまたは10ミリメートルのパイプ壁を有する、40本のパイプを予定する10インチのSS上のテストにおいて、分かった。(濡れた容器において、)流体にさらされる圧力-ベアリング領域が1平方インチ未満で、約2/3平方インチでありえるように、溶接にかかる力はポンドで流体圧力の数値(例えば1500ゲージpsiまたはkg/平方インチ)より少なく、1000のポンドまたはkgとする。締め付けモードにおいて、同じ小さい領域は1000ポンドまたはkgの適度な結合力を意味し、それぞれ1500ゲージpsiまたはkg/平方インチの高結合圧力を生ずる。したがって、新しい設計は、締め付け及び濡れたアプリケーションに適切である。

これらの特徴及び結果的に生じる明確な伝達ビームは、導波管を、能動または受動信号モードの伝送、反射、距離ゲートされた反射、及び他のモードにより、導管内の液体を測定するためだけでなく、単相または二相流体、及び質問のために役立てる。

表1は、本発明の異なる実施例に取り入れられることが可能である構造上の特徴の要約した概要、これらの導波管を用いて実施されるシステムまたは処理プロトコル、及び導波管を作る異なる方法を提供する。

10

20

表 1 実施例の概要

表面締め付け、濡れ、ハイブリッド（ちょうつがいに取り付けられた、着脱可能な拡張部（溝内の低 $c$ 挿入物））	1, 1 A, 2 F	
一般的なプレート形状： 通常平らで、湾曲させられることが可能であるかまたは曲がっている。 鋭く曲げられた場合、ねじの角度は135度を上回らなければならない：	1 F	10
導波管の材料： 通常鋼鉄であるかステンレス鋼。 隔離碍子は、全てまたは部分的にプラスチックセラミックでありえる。	1, 1 M, 2 A	
一般的なアプリケーションのための温度範囲： 通常、-40～+125度（摂氏） 拡張部の長さによる限界温度は、-196度～+300℃までである。	1	
温度補正： 測定値 $T$ からまたは時間 $t$ における基準エコーから導かれる。 他のエコーは、 $T$ の分布に関する追加の情報のために発生されうる。 温度センサタブは、SN比の等級を下げることのなしに主ビームの外側に置くことができる。	1, 1 G, 1 H	20
軸方向の流れ（ $V_z$ ）は、主な対象物である。 第2の流れが、第2の対象物であるが、 $V_z$ を高精度にするために必要不可欠なものとなりうる。第2の流れが、渦、渦角度 $\Psi$ 、循環 $\Gamma$ 及び直角の構成要素 $V_n$ 及び $V_m$ を持つ直交流れベクトル $V_s$ を含む。現在の発明が、音速 $c$ および（または）パイプ軸に垂直な平面の第2の流れの構成要素を測定するために従来の技術または出願中の新しい測定テクニックと組み合わせられることが可能である。 例えば、 $c$ はチューブ導波管またはチューブ内の小さい直径のワイヤーの束を高温で使用したときや、または直径の各端部でわずかに分散した導波管で測定できる。	2 E	30
アプリケーション： 主に流れ、それだけではなく液体のレベルまたは液体が存在している。	1 J	40

<p>流れ測定の原理：</p> <p>主に反対方向への伝播、それ以外には反射、タグクロス - 相関関係、速い反応のための差動のモード、コストの低い流れスイッチ、渦の離脱支柱の通過時間による上流から及び下流に得られる循環変動周波数。</p> <p>特別な質問信号の方法は、高度に乱流の流れにおいて、特に流体が圧縮可能な場合、必要とされることができる。</p> <p>できるだけ速く信頼できる示度を得るために、特別な方向における質問信号の数は、特別な示度の可能性、または区別された示度の S N 比の平均に依るのだが、訂正されるだろう。</p> <p>示度は、重み付けされた S N 比とっていい。</p> <p>1つのよい示度（高 S N 比）は、多くの S N 比の低い示度より重要である。</p> <p>特別な構造内の騒音は、流速またはレノルズ数 <math>Re</math> の関数である。</p>	6	10
<p>流体：</p> <p>まずは液体について。</p> <p>高温液体、または極低温の液体。</p> <p>気体、鉄鋼のパイプ内の気体（例えば蒸気）、低ものでのプラスチックのパイプ内の適度な圧力とガス、プラスチックパイプ内における低圧から中圧の気体、多相の流体。</p>	3, 8 A	20
<p>測定される音の伝播パラメータ：</p> <p>時刻及び振幅、</p> <p>振幅対周波数、</p> <p>振幅対経路長さ（異なった経路を取る複数の受信機の位置）、</p> <p>騒音スペクトル、</p> <p>マルチ周波数測定値のためのチャープ励振、</p> <p>異なる周波数のトランスデューサが異なる経路の端部にある時経路をソートするためにチャープを使う。例としては内側と外側の G C 経路。</p>	1 A, 3 B, 6	30

40

<p>パイプの材料：</p> <p>通常は、鋼鉄かＳＳ、プラスチックであるか他の材料でもよい。</p> <p>プラスチックのパイプによって、トランスデューサがパイプを貫通することなしに直径からはずれたＧＣ経路を使うことができる。</p> <p>このケースでは、端が平らで狭い反射体、軸方向に細長い溝内の凸または凹の部分は、好んで反射に使われ、ＧＣ平面を選択して存在する広がるその光線の一部を利用する。</p> <p>溝に対応するパイプの領域が、圧力ベアリングウインドウの位置を変えず、それが各々の外部の変換器と結びついているままで、外部及び内部から壁部を通して穿孔することを可能にする。また、パイプ内部の流体の中へ放射される。他のケースとして、パイプは金属シートで作ることができる。それは通常は丸いのであるが、フランジまたは、断面積検索を修正するための他のカットアウトによって、強化するのが好ましい。</p>	<p>2, 2 F, 3, 3 A, 3 B, 3 C</p>	10
<p>ピエゾ素子：</p> <p>ピエゾ素子または隔離碍子の相互関係、多様性。</p>	<p>1 A, 1 E, 5, 6, 7, 7 A</p>	20
<p>測定値モード、エレクトロニクス：</p> <p>多様な様々なモードを含む様々な能動的、または受動的なモード、呼びかけ信号モード、または受信モード。</p> <p>受動モードは、固有のノイズ信号をつくり出すために弁ボディまたは弁フランジにブラッフボディに付け加えることを含む。そのノイズ信号のスペクトルを分析すると、流速、レノルズ数、または他の流れに関連した情報を明らかにすることができる。</p>	<p>2 C, 2 D, 3 B, 5, 6, 7, 8</p>	30
<p>特別な他と異なる装置：</p> <p>コストを少なくするための、高速反応エレクトロニクスのための装置。</p>	<p>6</p>	
<p>高度に乱流のメディアのための好ましい動作周期：</p> <p>流体が非常に減っている解き、特に流れ（流れを有する対）の方向に対して逆向きに送信される波のためにより多く減っているときにときに、呼びかけ信号勧告。</p>	<p>8</p>	
<p>着脱性部品：</p> <p>電気音響トランスデューサの着脱性または圧電か磁気ひずみトランスデューサのための励起コイル。</p>	<p>2 F, 4 A, 4 D</p>	40

#### 実施例の概要

図１は、流れ、液体の存在またはレベル、または他の流体特性を測定するために、パイプ、導管、または他の固体上の取付けに適している細長い非分散性方向性導波管１０を示す。下記のような取付けは、例えば表面締め付け、表面鉗付け、表面溶接、または濡れた据え付け（圧力境界を貫通すること）のように非貫通性かつ非侵入性であるが、必ずしもその境界の内部表面を越えて貫通する必要はなく、濡れた据え付けでさえ表面締め付け、内部締め付け、内部鉗付け、及び内部溶接を含むことができる。導波管は、一体化の所望の

経路によって、特定領域におけるパイプ内に形成される窓に、取り外し可能に締めつけられるか、永久に接着される。(この詳細の図は、図2Fで現れ、ここで、着脱可能なホッケースティック10rmvは、窓10wに対して締めつけられる)。

図1に示すように、導波管10は超音波源(即ち、1つの端部に連結され、他の端部でシューまたはウェッジ14に通じるトランスデューサ15)を有する細長いバッファ12を含み、シューまたはウェッジ14は、超音波源から受信される超音波エネルギーを発射するための出口面16を有する。バッファは、非分散的に水平偏波されたねじれ波として、まっすぐな非モード変換経路に沿ってエネルギーを伝播し、その一方で、エネルギーが入射角の定義された角度で出口面16にぶつかるように、面18はバッファ12に沿って進行しているエネルギーを内部に向け直す。主要な射線経路から離れてバッファに沿って位置する複数の部品13は、公知の空間的起源の基準温度信号を出力し、バッファ内の通過時間の直接の校正を可能にする。これらは、後述する複合模式的な図1Aにおいて、例示される。バッファ12及びより低い部分14は、それらのホッケースティック形への類似により、ここで「ハンドル」及び「ブレード」と一般に呼ばれる。両方とも、高縦横比の矩形またはプレート状の横断面を有する。これは、バッファ部分の比較的大きな表面領域をもたらして、それを受動的に冷やされた熱隔離碍子として特に効果的にし、エッジ面16の比較的小さい表面域をもたらして、それを流体内の信号波長と比較して広いフットプリントを有する簡単に連結され高度に効率的なエミッタにする。エッジ面16の小さい領域は、好ましくはその長さの二乗のおよそ1/10未満の数値である。この小さい領域は、流体またはパイプから隔離碍子の中への伝熱を最小にする。高縦横比は、1つの平面の流体内で幅が広い方向性のビーム、及び横方向に大きな発散を示す当初は幅が狭いビームを生ずる。

特に、ブレード部分は、斜めの比較的小さい経路に沿って、出口面16の近くで面18を向け直すことからエネルギーを受ける。トランスデューサから面18まで及び面16までの面18からの射線経路が各々実質的に線形であるように、この領域(導管と接触する面16により制限する)は実質的に等温でもよい。バッファ内の伝達がまた屈折なしで進むように、バッファ12は導管表面において、熱源に対して一般に垂直に向けられる。

更に図1を参照すると、図はこの装置の共通に使用する1つの形状を示す。数多くの初期のモデルは、厚さ1/4インチの炭素鋼または316型SS(ステンレス鋼)プレートから、狭い厚さx、全体の幅z+w、及び高さyを有する、一般にホッケースティック形の導波管10を形成するために機械加工された。導波管(それは場合によってはホッケースティックと呼ばれる)は、ブレードまたは脚部分14、及び反射表面18がそれに入射する入射ねじれ波をモード転換なしで実質的に全て反射するというような方法で結合される拡張部分12から成ると言われる。寸法wはまた、 piezo素子15が取り付けられる導波管の最上部の近似幅である。その端部は、piezo端部と呼ばれる。高温アプリケーションのための好ましい形状は、 $y \gg z \gg x$ である。脚部分の高さは、wの約2倍である。数値例は、 $x = 6.4$ ミリメートル、 $z = 70$ ミリメートル、 $y = 200$ ミリメートル、及び $w = 35$ である。およそこれらの寸法に従って作られた初期の鋼のホッケースティック導波管モデルは、幅6.4ミリメートル、長さ25.4ミリメートル、厚さ0.5、1.0及び2.0ミリメートルのねじれ波piezo素子を利用した。piezo素子厚さは、基本周波数における共振厚さである。yに対する好ましい値は、主に導波管のために選ばれた材料の予期された温度範囲及び熱及び音の特性に依存する。導波管材料は、例えば、ニッケルメッキされたCS(炭素鋼)、SS(ステンレス鋼)、チタン、真鍮、アルミニウムのような金属、セラミック、高温のためのポリアミドイミドまたはフェノールのプラスチックを含むプラスチック、より普通の温度のためのCPVCまたはPEEK(poly ether ether ketone)、及び黒鉛または複合物を含む。

一般に35度と70度の間の、最も多くの場合45度または60度の適当な角度の斜め入射角で垂直に偏波されたねじれ波を導くために、脚またはホッケースティック状のブレード端部は音響ウェッジの機能を提供する。piezo素子15は、導波管10の大きい方の表面と平行で、拡張部12内のねじれ波経路と垂直な粒子運動を有する、PZTのような

10

20

30

40

50

じれモード圧電材料であり、上記したような大きさである。

その中央平面がパイプ軸に平行な状態でホッケースティックがパイプの上に置かれる場合、反射表面 1 8 の角度はパイプの垂線に対して 3 0 度になり、前記垂線はパイプに対して垂直に起こされ、ホッケースティックの底面 1 6 の中点を通る。その表面は、放射斜辺（更に以下で図 1 A と関連して論議される用語）として、時々ここで参照される。ピエゾ端部にピエゾ素子から来ているねじれ波、及びぶつかり表面 1 8 は反射するか誘導され、次に入射角 6 0 度で表面 1 6 にぶつかる。これは、多くの標準の炭素鋼または S S パイプ内の液体に適用される表面締め付け逆伝搬により、超音波流れ測定値を得るための、入射角の望ましい角度であることは公知である。

電気シールドのために、そして、選択的に導管のための接続手段を提供することのために、導管が同軸であるか、トランスデューサから電子回路まで及び他のケーブル手段を保護するために使用される所で、ホッケースティックの上面端は、外部からパイプを貫通する 5 5 3 1 6 アダプタキャップにおいて、終端される。標準の B N C または他の電気コネクタが、そのアダプタキャップの終端に取り付けられる。短い電気リード線ワイヤー（図示せず）は、電気コネクタ上の端子から、ピエゾ素子 1 5 の接地されてない電極側まで接続する。ピエゾ素子を取り付けられる前、キャップはホッケースティックの拡張部 1 2 の上面のまわりを封止するために、一般にフィレットを溶接されている。出願人は、そのジョイントのまわりを溶接することが、溶接領域を通して内部に誘導される超音波ねじれ波を弱めないことが分かった。導管接続が必要でない場合、外部のパイプネジ山は消し去ることができ、アダプタキャップは、例えば標準の 1 インチの 3 0 0 0 # S S 3 1 6 キャップに簡素化される。キャップは、1 つの端部において、次に溶接される導波管横断面に合うために長方形のスロットを付けられる。次に、標準の 1 インチの S S 3 1 6 六角ヘッドプラグが、キャップにはめ込まれる。プラグは、その六角先端で B N C または他の電気コネクタを受けるためにネジ切りされる。

好ましい設計のキャップ領域は、たとえ対向端部が温度 T が 2 6 0 度（摂氏）以上の熱いパイプに連結しても 1 2 5 度（摂氏）未満で、比較的冷たいままである。冷たい端部は、ピエゾ素子、及び隣接する結合の電気特性または電気同調素子（例えば誘導子）が実質的に一定のままであることを保証する。実施例において、ピエゾ素子または電気素子の温度暴走を更に制限するために、熱電気のクーラーがキャップ（図 1 1 の 2 0 2 T E）内に取り付けられる。単純な公知のフィードバック制御によって、キャップ温度が設定値 T（例えば、9 9 度（摂氏））に達しているとキャップ領域熱電対が感知する場合だけ、熱電気クーラーはオンになる。そういうわけで、キャップが T、例えば 9 5 度、摂氏に落ちるまで、クーラーは動作する。この手段により、両方のトランスデューサの電気特性は、（一般的な 2 つのトランスデューサ逆伝搬経路で）ほとんど同一に保たれることができ、一方、このことにより熱的に誘導された非相互依存性のために発生するかもしれない如何なる流れ測定値誤差も最小にすることができる。

垂直に放射している斜辺 1 6 の中心に整列する点、及び表面 1 8 から反射されるビームより上で、約 1 2 . 7 ミリメートルの直径の穴 1 7 はが脚 1 4 によって、開けられる。これは、いくつかの目的にかなう。製造の間、機械加工のために、それは所定の位置にストックを保持する。アプリケーションでは、高結合圧力（少なくとも 1 0 0 0 p s i）を加える場所を提供する。以下で、図 3 A 及び 3 B にて図示したように、それはまた、対応する穴を有するヨーク内に表面締め付け型を配置する。

穴より上に、放射斜辺の反対側の表面上に、小さいドリル点またはくぼみ 1 7 a があり、それは結合圧力の加圧または整列のための他の点である。

他の位相的な特徴（タイミング基準反射体として導入される）は、それに入射するねじれ波面と平行な方向に向く浅いスロット 1 7 b である。穴の中心線が底面 1 6 と交差する所で、その反射エッジは始まる。それらの同一のホッケースティックが放射斜辺端部でぶつかり、整列する穴 1 7 の中心線について点対称である場合、このスロット（深さ約 1 / 4 ~ 1 / 2 ミリメートル、幅 3 ミリメートル）は、ねじれ波が経路中心線に沿ってピエゾ素子 1 5 からスロット 1 7 b、及びピエゾ素子 1 5 の背面まで伝わる、 $t_w$  と表される時間が

10

20

30

40

50

、超音波が2つのピエゾ素子間の中心線経路に沿って伝わる時間と全く同じであるように配置される。 $t_w$ 基準エコーの振幅を増加させるために、浅いスロットのほぼ中心点を通して、他の穴（それについて、2つの実施例が図1Bに示される）は、穴17と平行に穴をあけられるか機械加工される。

この「 $t_w$ 穴」は、丸くても正方形でもよく、一般に浅いスロット17bの幅とほぼ同じサイズ（即ち、本実施例では約3ミリメートル）である。面18から反射されるねじれエネルギーの小パーセンテージだけが、浅いスロットにより反射される。底面16から内部に反射している大部分のエネルギーは、このエネルギーを散乱させるために丸くされる端面からはね返る。しかし、それにもかかわらず、比較的強い端部エコーはピエゾ素子15により検出可能で、 $t_w$ エコーの後のその到着時間は脚部14内の音速及び温度により解釈されることができる。スロットまたは穴、及び丸い端部からの2つのエコー信号の振幅の比率は、放射が配向される隣接媒体の中への結合効率の標準化された測定である。スロットエコーの振幅はまた、ピエゾ素子（k31）の電気音響的強さの尺度、及び導波管内の経路に沿った減衰である。しかし、導波管内の信号式はまた、導波管減衰の尺度として使用できる。いずれにしても、これらのエコー信号は、測定値の時間または振幅値を訂正するための基準点、及びシステム内のプロトコルを提供する。

底面端部に最も近いその端部が、底面部分14がスロットに挿入される深さに適切な高さで、機械加工によって、かなり精密に実現される浅いビードとして、溶接ビードは、選択的に設けることができる。これは、内部溶接取付けを簡素化する。この同じ機能は、脚部の1または両側を0.005インチ/側だけ適切な高さまで薄くすること、またはその高さで中心に穴を開けることにより実現可能である。

いくつかの丸いタブ13は、拡張部12の右側境界面から外へ突出して示される。その表面は、ちょうど反射表面18（図1）と平行して引き出される端部表面18aのように、その上に超音波入射を散乱させるために好ましくは丸くされる。さらに丸くされたタブが主ビームの外側に並ぶので、熱電対または他の温度検出装置を保持する短い（3/16インチの長さ）標準の鍋型SSネジの取付けのために、各々は、例えば#8-32に、ネジ切りされる。高温アプリケーションで、これは拡張部に沿って温度分布の情報を得続けるために役に立つ。キャップ領域が例えば100度（摂氏）上回らないことをモニタするために熱電対をそこに取付けるために、類似したブラインドねじ穴がキャップ内にネジ切りされることができる。再び丸くされた表面に言及して、それは反射表面18及びピエゾ端部の間の平坦なエッジ表面と一般に平行して延びると共に、その外形は光線中心線経路に関して非対称の境界条件をつくり出す。これは、干渉する多重通路伝達を阻止するのを助ける。

本質的にこの説明によって、できた部品は、米国特許4,286,470番（1981年9月）にて説明したように、登録商標「SONOCLAMP」の下でPanametrics社により販売されるクランプにある程度類似したヨークおよびクランプ装置を使用して10インチのスケジュール40SSパイプに圧力結合され、放射斜辺とパイプの間にはCu、Snまたは他の接触媒質を有するか、または全く何の接触触媒も有しないかである。（同じように作られる）他の部品は、他の10インチスケジュール40SSパイプの外部に溶接された。放射面の各側面上のフィレット溶接は、放射斜辺（底面16）領域の、ほとんど100%の接着を提供するためにするのに十分溶けた。これは薄いブレード（厚さ約6ミリメートル）の利点の一つを示し、表面溶接型の表面締め付けでの完全な貫通溶接（各側面に必要とされる約3ミリメートル貫通）を得ることは容易である。この小さい溶接は、壁の厚さが9ミリメートルであったパイプのゆがみを実質的には意味しない。放射端で溶接されるにもかかわらず、長い拡張部はトランスデューサ（ピエゾ）端を冷たく保った。さらに他のホッケースティックがスプール部品内の長方形のスロットに溶接され、そのことは図2および3と関連して説明される。

図1Aは図1のそれと同様の導波管の複合概略図を示す。但し、圧電素子が多素子構造15b、15aの形で示される場合は除く。これは、製作の容易さを達成するために、またはマルチ周波数動作のために、または1つのセンサ内部に幅の広い光線をつくり出すのた

10

20

30

40

50

めになされ、放射表面 16 における大きな開口部をもたらす。文字入りの点は、重要な頂点および他の重要な点を超音波経路に沿って示す。装置は、文字 A、B、C により示される装置の脚部内の導波三角形ウェッジ部分 14'、及び圧電材料が配置されるところに外へ伸び、文字 B H D E F C により描かれる多角形境界導波拡張部 12 の組合せであるとして理解できる。ファントムバッファ BCE.prime.D' は、主要な反射点 Q5 で中央に配置される反射面 18 に関して、バッファの「仮想」位置を示す。他の実施例において、拡張部分は実際に 12' により示される位置を占めることができ、全導波管は出口面に対してまっすぐな経路を提供する。この場合、横の D.prime.B に沿ったエッジは、エネルギーを誘導するが、偏向させない。一般に、向け直している面に波エネルギーを導く実施例において、使用されるときに、拡張部分は多くの異なる角度の向きを占めることができ、角度が出口面における入射角の所望の角度に基づいて、含まれる導管または流体 / 速度に対して選択できることを本発明は意図する。

図 1 A はまた、ねじれ波トランスデューサ位置を検出するかまたは制御するためのある程度の位相的な特徴、ねじれ波伝達、及び隣接するパイプ上にアセンブリを配置または連結することに加えて、直角三角形ウェッジ A B C ( 網掛けされている )、及び点 C B D E により一般に定義される導波多角形の拡張部を示す。ウェッジの脚部 B C は、入って来るねじれ波面 15 e と平行である。トランスデューサ S は、経路に垂直で第 1 および第 2 の大きい方の面 A B H D E F J A 及び A A . . . J J , A A に平行な粒子運動 ( 両頭の矢印により示された ) を有する水平に偏波されたねじれ波の波源 ( または受信機 ) である。 ( 合字は、隠された平行な第 2 大きい方の面上の対応する頂点を指す )。位相的な特徴は、導波管において、形成される。これらは、Q4 において、小さいブラインド穴反射体を好ましくは含む。Q4 における穴は、Q2 を通過する Q1 Q2 に垂直な平面の下に描かれ、平面にほぼ接触する。他の位相的な特徴は、Q1 及び Q3 間の浅いスロットとして描かれるスロットを反映している小さな  $t_w$  基準である。項  $t_w$  は、S 及び Q1 の間の中心線経路に沿った往復の通過時間である。このスロットは、入って来るねじれ波面 15 e に平行に指向される。隔離碍子 12 では、ねじれ射線経路は隔離碍子中心線 15 f に平行な断続線区分 15 c , d として描かれる。任意の突起 T C 1 . . . T C 5 が、信号伝達経路の横にあり主ビームから多少離れた小さなネジ切りされたタブとして、本体 12 において、形成できる。それらの目的は、熱電対、抵抗温度検出器、または他の温度検出手段を取付けることにあり、そこから、経路に沿った温度分布及び対応する音速分配が決定できる。実施例において、タッブドリル穴を余分に深く意図的にあけ、従って、僅かに主ビームの経路の中への穴をあけることにより、基準エコーは隔離碍子に沿って発生する。

他の実施例では、三角形ウェッジ領域 A B C は放射斜辺エッジ A B に隣接して必要とされる特別な導波管特性を有する材料で充填できる。例えば、実施例において、大部分が S S 3 1 6 でできており約 3 1 0 0 m / s のねじれ波速度を有するアセンブリは、幅が厚さ X 1 の約 9 0 % であり、ミリングされるか、鋳造されるか、または A B C 領域において、形成する空洞を有する。次に、アセンブリが「濡れた」トランスデューサとして使用されるとき、隣接する流体の中へ大きな屈折角  $\theta_3$  の放射に適当な入射角で非常に低い垂直偏波されたねじれ波の音速 ( 1 6 1 0 m / s ) を提供するために、この空洞は銀 ( A g ) または他の材料で充填される。エネルギーは通常の入射角で面 B C において、充填された領域に入り、その音速は減少する。銀の A B C 空洞領域だけを作ることにより、アセンブリの全体のコストは、合理的な限度内に保たれる。

図 1 A と関連して上記のように、本発明のホッケースティック構造はいくつかの周波数で作動できる。それは、ブロードバンド導波管である。2 つまたはそれ以上のピエゾ素子が 1 つの端に取り付けられてもよく、例えば 0 . 5 及び 1 M H z、または 1 及び 2 M H z のような非常に異なる中心周波数を有するパルスを発射できる。これらのパルスは、同時にまたは連続して発射することができ、放射斜辺の方へ薄いブレードに沿って共通に使用するステンレス鋼の 3 0 0 - 系列合金に対するねじれ波位相速度約 3 1 0 0 m / s で伝搬する。更に寸法が小さいホッケースティック導波管では、いくつかの順番 ( 例えば、交互に 1 つの周波数からもう一方へ跳び、再び元に戻る周波数 ) で 2 及び 4 M H z の中心周波数

10

20

30

40

50

を有するパルスを発射できる。

これらの導波管により意図される他の変調方式は、それぞれサインまたはコサイン関数の二乗に従う各々の2つの周波数を同時に振幅変調することである。初め、これは、より低周波数成分（例えば2 MHz）から100パーセント形成できる複合波を発生させることができる。次に、この成分の振幅は初期値からゼロまで、コサイン2乗包絡線に従って、例えば、例証として  $\pi/4$  に対応する5マイクロ秒の信号間隔にわたって、減少する。この同じ5マイクロ秒の間隔の間、より高次の周波数成分（例えば4 MHz）は、同じ要旨のサイン2乗によって、増加する。包絡線の総和が定数であることを注意する。なぜならば、 $\sin^2.\theta + \cos^2.\theta = 1$ だからである。周波数変調のこの方法は、周期がサイクルからサイクルまで明白に変化するチャープ信号を生む。異なる周波数のこれらの波が小振幅なので、上で言及された例えば、3100 m/s の非分散性位相速度で、それらは同時に同じ経路にわたって、または並んでホッケースティックの中を伝搬できる。

図1Bは、ウェッジまたは脚部分14に関して拡張部または脚部分12が作られることが可能である角度の範囲を明らかにしている概念図にある。脚部は、流体Fを通して信号を放出するために、パイプ壁Wの外部を貫通するか、結合される。浅い反射スロット17'は、隔離碍子部分へ後退する基準信号を反射する入射波経路全体にわたって示され、代替または追加の丸い貫通穴17rdh、または四角い穴17sqhが示される。これらは、反射されたエネルギーの振幅を増大できるか、または別にスロットの代わりに使用できる。これらの穴の最先端は、浅いスロットの最先端に接触して配置される。

図1Cは、単一の導波管センサ内の3つの入射角で射線a, b, cを反射している3つの異なる表面18a, 18b, 18cを提供するために再配向面18が段をつけられる、複数次の構造の詳細を示す。異なる流体音速を予想して、これは異なる入射角でねじれ波を導入し、それは例えばこの種の違いを補正することができ、特別な屈折角を生ずることができる。この機能の他の用途は、例えば流体が散乱性であるとき、反射モードを測定するために、流体内で交差する複数の精密に定義されるビームa, b, cをつくり出すことである。

図1Dは、反射面18が、30度から80度までのねじれ波入射角  $\theta_1$  の連続多様性を発生する湾曲反射面である、他の複数次の構造を示す。湾曲反射面に対して垂直及び正接な角度は、それぞれ、 $\theta_B = 15$ 度及び  $\theta_H = 40$ 度の間で変動し、即ち要求される入射角の半分である。線E-Eの延長線上に、図1A内の点Bに対応する点Bが底面にある。これは、E-E-Bが直線であることを意味する。

図1Eは、連続して置かれるn個の複数の全く同じ導波管が、流体内の音速の広く予測できない範囲に対するシステム耐性を増加させることを示す。これはまた、ゼロから放熱器長さのX4（即ち出口面16の長さ）のオーダの導波管間のギャップによって、少なくともn倍だけ、開口部を増加させる。送信機及び受信機としての同じ導波管の上面及び底面位置での例示された取り付けは、ピエゾトランスデューサ相互関係能力を高める。即ち、各圧電素子は、送信機または受信機として使用できるか、または振動を電気信号エネルギーに交互かつ効果的に、どちらの方向でも変換（即ち、変形）するのに役立つ。以下で図4Dに関して論議される磁気ひずみトランスデューサはまた、相互（送信/受信）装置である。単一の本体が、各々1または複数のトランスデューサを保持している3つの隔離碍子を有する一体構造のアセンブリが、右に示される。

図1Fは、種々の弦状または直径経路に応答指令信号を送るために複数の本発明の導波管が取付けられるスプール部品を示す。これらは、急激に曲げられてパイプに溶接されるか固定される導波管10aまたは10a'、穏やかにカーブさせられて溶接または固定される導波管10b、10b'、まっすぐな（即ち平らな）導波管10、及び流体における方向に沿って信号を直接発射するための貫通導波管10cを含む。半径中点円MRCは、パイプの内部半径の半分に等しい半径で示される。

図1Gは、第2反射体18'、18''が出口面16の有効長さ16'を制限し、覆うことまたはあり得るゴミの源に対する露出を減少させることにより第1及び第2反射面が汚れから守られる導波管100を示す。細長い曲げられた四辺形のスロットは、これらの面を

10

20

30

40

50

形成するシートと部分的につながる反射空洞を形成する。穴 20 は、貫通する。脚部部分の「先端」及び「かかと」は、平行でありえる。これは、濡れた型（例えば、図 1 F のトランスデューサアセンブリ 10 c、または図 3、3 A、若しくは 3 B の装置）に類似したスロットに合わせ、取り付けを簡単にする。

図 1 H は、図 1 G の実施例を実施する金属シートスタンピングを示す。スタンピングは、図面の面と平行な第 1 および第 2 の面を有する、ここで、半空洞が実例として折り目中心線のまわりに対称なパターンで第 1 表面上に形成されることができるので、180 度の角度だけその中心線のまわりにきちんと巻きついた後、半空洞は互いに接触する第 1 表面の 2 つの片割れとして隣接するようになり、それにより第 2 表面からは見えない、図 1 G のそれらに機能的に類似した反射面を提供し、現在、それは外部表面を形成し、巻き付けられた構成の境界となる。結果的な外部の継ぎ目は、溶接で塞げる。2 つの隣接する半分は、線 L、L' により示される射線経路の外側の（星印により示された）種々の点で、一緒にスポット溶接できる。

図 1 I は、本発明の導波管 200 を通る断面図を例示する、ここで、トランスデューサ端部のキャップアセンブリ 202 は、バッファのキャップをはめられた端部の近くで、反響を減衰させるためのタングステン入りのエポキシのような減衰ポッティングをおおふ。放射斜辺 16 からポッティングまでの距離 ( $X_p$ ) は、バッファ長さ  $X_3$  からバッファ幅  $X_2$  を引いた長さにほぼ等しい。したがって、トランスデューサ（ファントムに示す）及びポッティング材料は、熱い導管から緩衝される。

図 1 J は、パイプ 1 上の 5 つの位置で、導波管の組合せを使用している典型的なシステム 210 を示す。パイプ 1 は、水平セクション及び、それに対して後退 L 型曲がり管 1 a により接続された垂直ライザーセクション V を有する。パイプの水平セクションは、部分的にだけ液体でいっぱいのもので示している部分的なセクションに示す。一組の表面溶接導波管 10 d 及び 10 d' は、第 1 の位置でパイプの下に溶接される。残存物 10 r が、パイプの底面に存在してもよい。残存物 10 r が無く、液体が比較的汚染されていないとき、液体の面 S からのエコーを計時することにより液体のレベルを測定することが可能であると思われる、提供されたものは、液体内の音速の合理的な評価を有する。多くの残存物がある場合、一組の導波管 10 e、10 e' によって、上記から質問することにより面 S の位置を測定することは、より正確で、より信頼できる。

ほかの時は、水平区画 H はいっぱいでもよく、液体は垂直ライザー区画 V に上がることができる。点示された  $H_R$  でレベルを測定するために、1 対の第 3 導波管は水平面に締めつけられ、即ち、導波管 10 f、10 f' は、その領域内のパイプの軸に垂直な面内のライザーの側面に固定される。これらの導波管は、それらが Lynnworth, Seger and Bradshaw, U.S. Patent No. 4,320,659 (March 23, 1982) で説明してある方法によって、壁内のジグザクのねじれ波の伝達を感知するか、または弦状経路に沿って感知するかによって、色々に向けられることが可能である。

液体内の音速  $c$  の合理的な評価を有する場合、図 1 J の液体のレベルの有効な測定は簡単である。より一般に  $c$  が公知でない場合を含むために、出願人は、パイプ ID または濡れたホッケースティックの放射斜辺のどちらかまたは両方で液体終点を有するマルチパスを利用する。

基礎的な観念は、液体内の長さにおいて、相違する音の経路を使用している液体面に応答指令信号を送ることであり、ここで、経路長さの相違は公知であるか、またはパイプの形状、並びにトランスデューサの特性及び位置から計算可能である。そういうわけで、2 つの独立の経路 P1 及び P2 にわたって測定された通過時間  $t_{P1}$  及び  $t_{P2}$  に基づいて、2 つの未知のもの、音速  $c$  及び液体のレベル  $H$  を解く。経路長さの相違  $P$  は、通過時間の相違

$t = t_{P1} - t_{P2}$  で割られる  $c$  をもたらす。そういうわけで、 $c$  倍の各通過時間は、液体表面までの、及び受信トランスデューサまでの対応する V 経路に沿う液体距離をもたらす。超音波が液体に入って出る所で経路は屈折させられるが、この軽微な複雑さはスネルの法則を使用して取扱われる。希望する場合、ホッケースティック内の音速は、材料（例えば、室温近くの 316 SS に対して 3200 m/s）から、または基準ノッチから、そのノッ

10

20

30

40

50

チと平行で公知の距離（例えば25ミリメートル）だけ間隔を置いた自由端までエコーを計時することにより決定される。

導波管が適切な軸または円周の位置に置かれるときに、特定レベルにおける液体の存在は信号の存在から決定されることができる。

図3、3A、または3BのGCスプール部品は、 $c$ が未知のときに $H$ を測定するために経路差が非常に良く定義された異なる経路を如何に使用するか具体的な実施例とみなされることができる。液体のレベル $H$ が共有のビーム内にある限り、内側の上流及び下流のトランスデューサの間の $V$ 経路にわたって通過時間の第1の測定を実行することができ、次に、外側の上流の及び下流のトランスデューサの間の $V$ 経路にわたって通過時間の第1の測定を実行する。加えて、パイプ底またはその近くで、上流及び下流の表面締め付けトランスデューサの間の更なる測定を実行することができ、図1Eに示されるように、並んでいる配置または異なる軸の間隔によって、適当な間隔を有する前記表面締め付けトランスデューサを達成した。 $c$ が決定されたならば、所定の温度 $T$ で、組成が実質的に2つの異なる温度での同じものである限り、他の温度でのその値が $T$ の以降の測定値から多くの場合計算可能であることは、理解される。これは、 $c$ が公知であるならば、液体表面は1つのトランスデューサから他のトランスデューサへ1つのビームだけを反射することを必要とすることを意味し、他と異なる経路をもはや必要としない。これは、図1Jにおいて、ホッケースティックの単一のペアにより測定される液体のレベルの最初の議論に、また複雑さを減少させる。

そういうわけで、本発明の本態様によれば、 $c$ 、 $H$ 、及び上流から下流を引いた通過時間の差から流速 $V$ を解く。

更に図1Jを参照すると、この種の測定値を適応させるために、水平方向に連続するパイプの左右の端に、並んでいる追加の導波管10h、10h、及び重ねて配置された本発明の導波管10g、10gが設けられる。これらの図は、図1Fのものに関する。2つの異なる導波管部品10d、10d、及び10g、10gの軸の間隔および出口角度は、上記のように $c$ を決定するための違う長さの2つの流体経路P1およびP2を提供し、流体表面から離れた反射または二重の反射経路で図示される。導波管は、わずかな円周のオフセットによって、環状に隣接できるか軸方向に隣接することができて、各ウエッジ部分の中央平面の両側の流体の中に発する方向性であるが、広がっているビームのために、例示された送信/受信経路を更に効果的に利用できる。長い放射斜辺が、指向性センスの流体であるか隣接する固体での方向性ビームを生ずることは、理解される。これは、ビームの広がり角が、斜めに入射するねじれ波のために、スネルの法則により計算される屈折角 $\theta_3$ について、比較的小さいことを意味する。しかし、薄いホッケースティックの結果、側面から側面まで広がる非常により大きなビームが存在する。これは、側面から側面への配置に役立つように使用される。たとえ、2つの並んでいるホッケースティックが同じ流体素子を示しているように見えないとしても、共通領域が応答指令信号を送られることが可能であるために、それらのビームは十分に重なる。本図において、変化する液体のレベルは、共通のビーム内に反射表面を設ける。二相の流体において、散乱体は2つの並んでいるホッケースティックアセンブリにより検出されることができ、その両方は、例えば、同じ一般的な流れ方向を示す。

ホッケースティック中央平面のまわりにビームを広げる更なる結果は、それにもかかわらず、並んでいないが、環状にある程度分離されるペアの平らな部材は互いに通じることができる。例えば、図3Aに示される環状に間隔を置かれたアセンブリに一時的に飛ぶと、以下で、図3Cに示されるように、平面外トランスデューサと呼ばれるものの間に検出可能かつ有用な信号がある。トランスデューサアセンブリがパイプの対向側に配置される場合、この通信は散乱体を中継して、または反対側壁部からの反射を中継して、または直接的な伝送を中継してすることができる。これが達することは、少数のトランスデューサ、多数の質問経路を備える新しい方法である。数値例として、GC V字形-経路フローセル（図3C）の図を参照すると、主軸方向のスロットはA及びAAで示され、反射体 $R_A$ を利用し、スロットB及びBBは、それらの反射体 $R_B$ 、その他を使用している。ところ

10

20

30

40

50

で、Aに設置されるトランスデューサは、A AだけでなくB B、C C、及びD Dとも通信できる。これは、断層撮影の再構成により流れの分布を測定して流れを撮像するC Tスキャンへの方法を提供する。類似した意見は、反射モード測定に適用される。Aにより流体に送信されるパルスは、Aの背面と同じく、多くの受信位置B、C、またはDで受信できる。したがって、本発明は多くの平面スプール部品の追加の質問経路のための新しい及び役に立つ機会を提供する。

図1 Kは、散乱体s（例えば気泡を加えた水）を有する流体を含み、導波管端と端を接したエコーA及びB（オシロスコープ上の下部トレース）間の静かな時間 $t_Q$ の間、散乱体速度の反射測定を描写するパイプ1の端面図を示す。通過時間 $t_{sc}$ の変化は、Jacobson et al., U.S. Patent No. 4,787,252 (November 29, 1988)の方法により2（以上）の

10

伝送を使用して、散乱セルにおいて、散乱体の集合からのエコー（上部トレース）をストロボスコープ的に計時することにより得られる。システム内の他の主要な構成要素は、市販のパルサー／受信機、及び調整できるプリアンプである。散乱セルまたは質問量は、ビーム交差及び範囲ゲートタイミング時間帯により定義される。

図1 Lは、ディーゼルエンジンに対する熱い及び冷えたパイプに、有機的な液体のためのラオの法則、及び2つの流速測定を結合する、有機的な炭化水素（HC）液体のための大規模な流量計を示す。冷えた入力及び熱い出力の流れは同じ組成であるが、温度（T）、密度（ $\rho$ ）、音速（c）、及び容積測定流れ率（Q）において、違う。分数の密度差 $\rho_1/\rho_2$ が $(1/3)$ （分数の音速差の $1/3$ ）のように正確に推定されることができるように、“M. R. Rao, Indian J. Physics, Vol. 14, p. 109 (1940), cited in A. B. Bhatia, Ultrasonic Absorption, p. 24, Dover Publ. (1967)”の関連に基づいて温度それ自体が測定される必要はない。

20

下付き文字1及び2により第1および第2のパイプ内のパラメータをそれぞれ示し、大規模な流れ率（及びディーゼルエンジン内の燃焼により消費されるディーゼルエンジン燃料に通常帰される）の差は、 $M_F = M_{F1} - M_{F2}$ である。各大規模な流れ率は、形式 $M_F = V_{AVG} A = Q$ の式により与えられている、ここで、 $V_{AVG}$  = 領域-平均された流速及びA = 領域である。消費されない燃料は、エンジンを冷やし、プロセスにおいて、加熱される。熱膨張のために、より熱い有機的な液体の密度は、量だけ、より冷えた液体より小さく、ここで、 $\rho_1/\rho_2$ は、ラオの規則に従う音速から獲得できる： $c_1/c_2 = (1/3)$ 。領域 $A_1$ 及び $A_2$ が等しい場合、大量の流れ率の比率が、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $c_1$ 、及び提

30

供される $c_2$ の単純な関数に簡素化し、メートル係数 $K_1$ 、 $K_2$ は、十分正確に質問形状、 $c_1$ 、及び $c_2$ から、または多分他の情報からも推定できる。例えば、cは運動学的な粘性 $\nu$ を決定するのに十分正確に温度を表すことができ、そこから、K及びReは通常決定される。時々、減衰係数は、Reを推定するために用いられ、再びKに至る。類似した議論は、有機的な液圧流体に適用され、ここで、 $M_F$ は、リークの性質であると考えられる。

図1 Mは、地面に掘った穴のツール400に適しているホッケースティック構造を示す。本実施例において、ホッケースティック導波管410a、410bはツールの壁部401を通して延びるために取り付けられ、それらのブレード414a、414bは貫通溶接によって、それに対して溶接される。その一方で、それらのシャフト412a、412bは内部のツール内で延びる。地面に掘った穴の環境では熱制御が難しいか実行可能ではなく、この問題は、セラミック製で低い導電率（熱膨張の低い係数と同じ）を有する第1金属部分4、及び第2部分4のシャフトを形成することにより、本発明の更なる態様によって、取り組まれ、それは金属トランクから延び、トランスデューサに取り付けられる。セラミック部分4は、部分4に、セラミックのジョイントJMCにフランジを付けられた金属で締め付けられる。従って、ブレード414はツール表面に垂直の半径方向外側にエネルギーを放射するために配置され、粘性及び密度の1つ以上または周囲の材料の機能を決定するために、ツールを囲んでいる環状の掘削泥水領域内の状態を表す信号を検出する。真空外装VJは、電子回路モジュールEMを絶縁する。

40

図2は、制御された位置での永久的な取付けのために、特にスロット内の挿入の正確に制御された深さで、パイプ区画の表面または中へ溶接されるいくつかの導波管のための挿入

50

深さを保持するかまたはセットするために、内部クランプジグ 150 に装填されるスプリングを示す。簡単にいうと、一組のスプリングバイアスをかけられた円筒形の本体 151、152 は、パイプの内側の壁に接触したままであり、導波管 10 または反射体 R は、それらが溶接される前に、ジグに接するように挿入される。

図 2 A 及び 2 B は、スプール部品 250 に永久的に鋳造される導波管の 2 つの図を示す。そして、それはこの場合、呼吸の活力を測定するためにコンパクトに構成される肺活量計である。側面図、端面図、及び図 2 A、2 B、及び 2 C 内の電気概略図にそれぞれ示されるように、装置は一体構造のプラスチックのフローセルとして組み立てられることが可能である。

肺活量計は、直角の平面内のおよび / または 1 つの平面内の同時測定のための正方形ダクト、及び 4 つのまたは 6 つのトランスデューサから成る。この多重通路肺活量計の拡張部分は、J-J で殺菌手順に適合するように分離可能でもよい。肺活量計フローセル本体、または少なくともシュノーケルマウスピースは、低コストの消耗品であってもよい。それは、マウスピース端 250 b につながる。対向端部はホース端 250 c である。そして、それは標準のホース接続 250 d で終端する。トランスデューサ自身がそれらが消耗品もとみなされることができ、安くされることができない限り、トランスデューサは好ましくは他の肺活量計本体用としての再使用できる品目である。小型化の理由で、1 つの好ましい高速反応構造は 4 つのトランスデューサだけを使用し、1 つの平面内に 4 つ全てを配置する。それらの長方形のキャップを含む、4 つのトランスデューサは、正方形区画の外壁の拡張部により形成される平面との間にフィットした。これらの境界平面は、端面図 (図 2 B) で断続線の拡張部 B B により示される。1 または複数の選択的に着脱可能な及び再結合可能な部分については、一体構造の形態で組み立てられて、拡張部トランスデューサアセンブリを加えたウェッジは、表面締め付け気流トランスデューサのように機能する。ある時間にわたって、一定の温度、湿気または組成で必ずしも残っているというわけではない患者の吐き出された息にもかかわらず、c がその長さに沿って本質的に一定であるために、軸方向の相互作用長さ L は短くしておかれる。高周波 (例えば  $f = 500 \text{ kHz}$ ) の使用は短絡騒音を減少させると同時に、それによって、適切な精度が短い L にもかかわらず得られることが可能である。単一の横断線が図 2 A または 2 C に示される一方、(点線信号経路により示される) 横断線の数 2 または 3 であることができ、それにもかかわらず、L を内径 (ID) のオーダ以下に保っている。図 2 C の上流方向及び下流方向の経路は、それぞれラベル  $P_U$  及び  $P_D$  である。図 2 A 及び 2 B において、任意の側面のトランスデューサ 250 e、250 f の「フットプリント」288、289 は、側面図で長方形として示される。

好ましくはこの一体構造であるか一体化されたフローセルにおいて、ホッケースティック材料は室温付近で水のおよそ 10 パーセントの範囲内のねじれ波速度 (即ち、およそ  $1350 \sim 1650 \text{ m/s}$ ) を有し、 $500 \text{ kHz}$  で  $3 \text{ dB/cm}$  より低い比較的低減衰係数を有し、水の 2 倍以下の比較的低い密度 (即ち、 $2 \text{ g/cc}$  以下) を有し、フローセル導管は実質的に直線または正方形の横断面を有するので、角は導管の隣接する及び直径方向に反対の側面上のトランスデューサ間の音の漏話をブロックする傾向がある。低密度及び低ねじれ波音速と漏話の角-ブロッキングとの組み合わせによって、導管内部の空気中で比較的大きな屈折角を利用して普通の温度及び圧力での空気の高信号対雑音比超音波流れ測定を実行できる。例えば、屈折角  $\theta_3$  は  $\sin \theta_3$  が 0.2 を上回るように、即ち空気内の音速の比が水内のそれに上回るように、または、 $\theta_3$  はおよそ  $10^\circ$  より大きくセットされる。例えばブレーキライニングの製造において、使用されるようなフェノールのプラスチックが適切な材料であるとわかっており、十分にこのために機能する。

図 2 C は、図 2 A - 2 B のトランスデューサ構造を有する、 $t_u$ 、 $t_D$  及び  $t$  の測定のための速い反応を得て、送信機実施例のために  $100 \text{ Hz}$  のパルス反復周波数 (prf) で、4 サイクルのトーンバースト @  $f = 500 \text{ kHz}$  を使用する方法を例示する。図示するように、オシロスコープは、好ましくは送信パルスによりトリガーされる遅延した時間ベースを有し、受信された信号はブリアンプに送られる 2-チャンネルオシロスコープであ

10

20

30

40

50

り、プリアンプは調整されていてもよい。

図2Dは、導波管が埋められた導管内の流れを測定するための永久的な構造を形成する他の役に立つ実施例を示す。一組の軸方向に間隔を置かれた導波管は、一般に湿ったか汚い最下部表層からの反射を避けるために、垂直ではない平面内の経路に応答指令信号を送るために締めつけられる。クランプは、例えば米国特許第4,286,470号に示される装置であってもよい。

図2Eは、普通の表面締め付けアプリケーションのために適当な経済的な実施例のパイプライザークランプにより、パイプ軸に平行なまたは垂直な平面内のパイプに一時的に連結する導波管を示す。左上のユニットにおいて、導波管はクランプ内のスロットを通過し、それに対して溶接される。左下において、導波管はクランプの外側の表面に溶接され、内部表面上の矩形の溶接強化はトランスデューサ及びパイプ間の金属経路の継続を提供する。他の装置（例えば右手の一組）において、クランプは導波管の本体内のスロットまたはカットアウトを通過し、溶接される。各使用ケースにおいて、中断されない導波管の経路等価物を提供するために、クランプ及び導波管は突き合わせ溶接によりまたはスロット内の貫通溶接により組み立てられる。

図2Fは、システム内の本発明の導波管を適応させているいくつかの複合型構造が以下の1つまたは複数を提供することを示す：

(a) 着脱性、

(b) ウェッジまたは脚部、及び拡張部が低音速である複合導波管を利用することにより達成される、低音速パイプのための防爆形設計。これは、プラスチックのパイプでの大きな屈折角を生ずる。パッファ拡張部分のピエゾ端部は一般的な比較的高音速の金属であり、この金属はめ込まれ、キャップをはめられ、封止され、同時に防爆形のアセンブリを作るために組み立てられる。脚部内の低音速材料の使用は、流体内の音速と比較して、パイプ材料の音速により課される限度を越えて、含まれる流体内の屈折角を提供する。示すように、構造はシステム構成要素の空間的レイアウト及び構成要素への接触のために有利な傾けられ湾曲された据え付け形状を許容する。図2Fは、また、それが垂直（示されるように）平面に沿って正確に狙いを定められるようにパイプ表面にミリングされるスロット内のクランプ（図示せず）により固定されている、着脱可能な導波管10rmvを示す。受け取るスロットの床として、導管壁内の均一な厚さのウインドウ10wから出て、対応する反対方向に機械加工されたフラットは、パイプ内部表面に形成される。これは、信号が流体の中へ正確な方向に沿って発射されて、そのうえ除去を許容する圧力境界及びフィールド内の導波管の置き換えを維持することを保証する。

図3は正面側の8つのスロットを示している斜視図であり、ガウス・チェビシェフ多重通路フローセルとしての用途のために設計したパイプの特別に溝をつけられた区画の後ろ側の反射体を適応させるための4つのスロットは、直径以外の弦状測定がうまく定められ対称に配置された内側の及び外側の平面において、作られる。図1に示される型の8つの導波管は、スプール部品の一側面に位置する全てであり、便宜のために、「正面」側と称される例示された幅が狭い長方形のスロットに最小嵌入法で溶接される。4つの反射体は最小嵌入法で後ろ側のスロットの中へ溶接され、本発明の3つの追加の導波管は、1つまたは2つのトラバース使用して、内側及び外側の間の直径平面通路の流れを測定するように締めつけられることが可能である。スプール部品は、渦、循環、音速またはクロス流れを独立して測定するために追加のセンサを取り付ける機会を提供するサイズである。これは、軸方向の及び第2流れ成分を検出するために構成される一体化されたスプール部品をつくり出す。この構造は、都合よく1つの位置に受動反射体を配置し、その位置は、例えば、スプール部品がプラント内に一旦設置されると接触しにくい。

図3のスプール部品の図3Aは、トランスデューサの反対側の壁内の4つの反射体Rの最も重要なものをより明らかに示す。内部にミリングされた反射フラットは、平面外の測定を容易にするために、トランスデューサの平面の内側の壁からも、更にこれらの平面の間でもまたミリングされることができる。正面側に我々の注意を戻して、本発明はまた厚さ数ミリメートルの（図示せず）圧力-境界ウインドウを提供するために、内部にミリング

10

20

30

40

50

された送信フラットを、底面が平坦で外向きにミリングされたブラインドスロットにより形成することを意図する。そこで、ウインドウはトランスデューサを配置する。そして、それは取り外し可能に締めつけられることが可能であるか、またはそれに対してエポキシ樹脂で接着されることができる。

図3Bは、上面及び底面でいくつかの表面に締め付けられたトランスデューサを示しているGCスプール部品の部分的に区分された側面図を示す。上面中心線付近及び底面で、ヨークYが、明快に示される。そうすると、表面に締め付けられた導波管は、高温および/または乱された流れ状態で、基準としてGCマルチパス導波管を使用して調整できる。流体が重い導管を必要としない状況において、本導波管の改良された指向性のビーム-形成構造が、単純なシート構造によって、高度に正確な測定を提供するために使うことができる。

10

図3Cはこの種のGCのためのレイアウトを示し、直径経路スプール部品は低コストのシート金属スタンピングから作られる。スロットは、位置A、AA、B、BB...X、XX、X、X、X、Xにおけるトランスデューサに対して示される。反射体スロットは、位置RA、RB、その他で示される。直円柱の中へ形成されるときに、GC及び図3Aのスプール部品実施例に示されるそれらに類似した直径経路を提供するために、スロットはシート金属または他のトランスデューサ及び反射体を適応させる。上面継ぎ目が、エッジT、スタンピングのTを中心線スロットX、Xについて結合し、従って、底面での線に沿って配置する。向こう側(導管軸に沿って、端部から見るように)上の全ての反射体については、全てのトランスデューサは、導管の一方(左)に配置される。

20

図4は、対称形である波を伝達しているプラスチックのチューブPT、モード変換されたねじれ波を伝達している薄い区画T、及び(着脱性の実例となるためのためにフランジに取り付けられた)永久的であるか着脱可能なトランスデューサTxから成る他の一体構造の実施例を示す。図4Bは、SSから作られる、他の一体構造の型である。それは幾何学的にプラスチック版と類似であるが、SSに対するより小さいポアソン比のせいで、60度付近で類似した入射角を成し遂げるために、円筒形の部分はより後ろに傾けられる。屈折させられた角度のサインは、 $[\text{ポアソン比} + 1]$ の平方根の0.707倍に等しい。

図4Aは、管状部分及びシート部分から成る他のモード変換構造を示し、管状部分はアセンブリの拡張部分の大部分を構成する。この管状の部分は薄い壁からできており、従って、できる分散(準外延的であるか準 $S_0$ 対称形であるプレート波最低次モード内の圧縮波)を有する、実質的には伝達する。これらの波は、容易に結合された、簡単に着脱可能な疎密波トランスデューサから発射されることができる。これらの波は、シートにねじれ波として漏れ、シートの大きな表面に関して水平方向に偏向され、それが結合されるパイプに関して垂直に偏向され、漏洩は図1の導波管において、得られる類似した入射角で起きる。関連した実施例において、チューブは薄い固体ロッドと取り替えられることができ、加えて、それは図4Dで示す直接的な起動を許容するために磁気ひずみである。

30

図4Dにおいて、ブレードに隣接した固体ロッドは、超音波エネルギーの源である。ロッド直径が、そこにおける圧縮波の波長の約10分の1の「細いロッド」状態よりある程度大きいとき、最初にブロードバンドパルスが、より高周波数より速く進行している低周波数により散乱する(広がる)。この挙動は、Pochhammer及びChreeの細いロッド式により記述され、ゼロオーダーの左右対称のプレート波のそれに類似しており、Lambにより分析されて、それゆえに、プレート波のグループの部分がLamb波と呼ばれる。この考慮は、我々を図4Dの装置のための2つの作動モードに導く。第1に、中でまたは長い波長限度付近で作動するとき、固体ロッドはブレードにブロードバンドパルスを提供する。しかし、第2に、分散的であるかわずかに分散的な方法(出願人の米国特許第5,159,838号で述べたように)で作動するとき、ソレノイドで発射されるときに比較的広帯域のパルスは徐々に広がり、そのより低周波数の成分が最初にブレードに届き、より高いが後に続く。これは、図4A内のロッドのそばに描かれる波形により、象徴的に示される。さらに、より低い周波数がより速く進行するので、ブレード内のその漏洩波の屈折角は、より高次の周波数に対する屈折角未満である。出願人は、図1Dに示される湾曲反射体により起

40

50

きるように、ブレード内の拡散波をつくり出すためにこの分散を大いに使用する。図4のTxのようなトランスデューサがロッドの1つの端部で500kHzブロードバンドパルスが発生させる場合、そしてロッドが3ミリメートルの直径を有するチタンでできていて長さが約125ミリメートル(5 )である場合、パルスは、その第1サイクルが第5サイクルと約2倍の長さであるバーストに広がる。従って、ロッドは、ブレードにチャープ変調されたパルスを発射できる「機械的な」(非電子回路)チャープジェネレータとして作動する。チタンの位相速度に類似した圧縮波に対する位相速度を有する他の材料(例えばSS、ニッケル、またはパーメンジウム)のロッドに対して、類似の結果が予想され、後者2つの材料は更に磁気ひずみを有する。

圧縮導波管が図4Aで示すようなチューブであるときに、これらの効果がまた生じることができる。チューブ実施例における波の異なる伝達特徴を達成するために、波長と比較される壁厚さは、図4Dと関連して記載されている波長と比較されるロッド直径のそれと、類似の役割を演ずる。

図4Bは、シート金属(例えばSS316、厚さおよそ1~2ミリメートル)の1つの部品から作られる一体構造のアセンブリを例示する。準外延的(約 $S_0$ )波を導く円筒形のシェルに、中央「胴体」は、カーブさせられる。各側上の「ウィング」は、短い本実施例における拡張部をプラスしてウェッジとして機能する。本発明は、また、部分的にパイプに巻きつけられる他のモード変換構造を意図しており、特に脚部と同じ材料または同じ音速のパイプの区画のまわりに、水平方向に偏波されたねじれ波を発射することに適切である。加えて、異なるパイプでは、例えばSS導波管及び真鍮のパイプで起きるように、導波管より低音速のパイプと結合できるレイリー波を導波管がさらに伝達する場合、垂直に偏波されたねじれ波を発射できる。この種の実施例は、図4Cに示される。レイリーウェッジ(図4C)は、壁Wに連結され流体Fで発射される、速度 $C_R$ で伝搬している波を発射する。

図5は、本発明のホッケースティック導波管を利用している他のシステムが特に効果的なプロトコル内の流体に応答指令信号を送ることを示す。このプロトコルは、2つの異なるモード、斜めの入射角のねじれ波、及びに垂直入射の疎密波をパイプに導入し、大部分のまたは全ての経路にわたって独立に発生して独立にパイプの外部に導波管で誘導し、流体内の経路の共通部分で測定するために、媒質の流れはアプリケーションの第1モード内に散乱体を含んでいる。交差の共通の体積は、範囲ゲート制御により更に限定されることができる。アプリケーションの第2モードにおいて、ステップ1では流れが図1に示される型の一对の斜めのねじれ波トランスデューサを使用している従来の傾けられた直径反対方向への伝搬により $V_{DIAM}$ であると見積もられる所で、流れは3ステップのプロセスにより決定される、ステップ2において、壁から垂直距離 $y/R$ で各々がパイプの半径Rと比較して短い半径Rの範囲に制限されるゲート制御されたウィンドウの連続した範囲の流れの不安定な成分( )と関連したジッタをサンプリングすることによって、メートル係数Kを推定することにより、測定は更に正確にされる。ステップ2は、電力法に基づくレイノルズ数 $Re$ が' サンプルに合ったと見積もることを含み、第1近似において、'の分布は実際の軸方向の速度分布 $V(y/R)$ の形と一致すると仮定する、 $K=1/[1.119-0.011 \log Re]$ を計算し、ステップ3で流速に対するより正確な値が $K V_{DIAM}$ として計算される。放射状のジッタの判定によって、パイプ直径全体の軸方向の流れの安定した成分の分布を更に正確にすることができる。メートル係数Kの他の改良点は、スペクトル、または最初は反射するか導波管を取り付けている位置の間の導管壁を通過するかまわりを回るジグザクの垂直に偏波されたねじれ波の振幅からの導管表面粗さの測定を開発することにより、本発明の導波管を使用して達成される。Paiの式(それは、例えばUltrasonic Measurements for Process Control of L. Lynnworth (Academic Press 1989) p.250において、見られる)は、平均の流れ分布に対して導管表面粗さCgの関係を提供する。本発明の本態様によれば、システムはこの関係を利用して、壁または流体内の減衰、 $y/R=0$ および/または $y/R=2R$ での散乱の安定した成分の1つまたは複数を解析することにより、粗さの概算を出す。粗さ/反射の関係をパイプ/液体のインタフェースにおいて、分

10

20

30

40

50

析することは、散乱の周波数及び角度依存を考慮することを一般に必要とする。しかし、与えられた形状及び媒体に対して、壁、流体、または両方のエネルギー減衰または信号式特性の明らかな率は、1パーセント以内でKを計算するのに十分な精度と $\theta_g$ を生ずることができる。以前の米国特許第4,320,659号において、流体インピーダンス及び液体の存在を分析するかまたは水平になるために利用されるように、垂直に偏波されたジグザクのねじれ波の早い到着と関連がある短絡「騒音」は、本発明の本態様に従って表面粗さを表すスペクトルの成分の過剰な減衰を検出するために分析されることができる。導管が空のときに、この測定はジグザクの伝送特性を最初に測定することにより更に正確にされることができる。ジグザクの信号はまた、パイプスケジュールまたは壁厚さを示すスペクトルの情報を含む。

10

交差ビームの幅（圧縮モードトランスデューサ直径 $d_x$ 、ねじれ導波管拡張部幅 $w$ 、及び流体内の屈折角 $\theta_3$ に依存する）に依存して、与えられたウインドウ幅（例えば1マイクロ秒）に対して、ウインドウの半径方向の範囲は一般に、パイプに垂直な単一のビーム（ $R$ を参照のこと）より2つのビームの交差（ $R_3$ を参照のこと）の方が2～4倍長い。従って、範囲ゲート幅のマイクロ秒当たり、垂直のビームは、原則として、流れ分布の4または2倍優れた空間的分解能を生ずることができる。これは、特に壁付近で重要である、ここで、分布は最大限に湾曲され、流れる横断面の中へのより深いより、壁から反対方向に、多くの流体がマイクロ秒当たりの表される所で。しかし、垂直の入射角で、効力または精度は、乱流または流体内の散乱の他の源からの後方散乱された強度だけでなく、乱流の半径方向の不安定な流れ成分が流速の時間平均された軸方向の成分に、その $y/R$ でどれくらい十分に関係づけられることが可能であるかに依存する。

20

したがって、導波管はビームの狙いを定めるための正確な構造を提供し、それは、プログラム可能なインターパロメータ/流量計と共に完全に流れを特徴づける一組の流体測定を正確に組み立てることができる。

送信されたビーム、範囲-ゲート制御（ウィンドーイング）、及びフィルタ受信機の狙いを正確に定めるこの特性は、渦の離脱測定のような不利な測定条件または特別な測定状況に適している多くの新しい構成を許容する。

図6は、本発明の、導波管の1または複数の対に適している差動信号処理を使用しているシステムを例示する。これらは短いパイプ区画に取り付けられ、できるだけ共通のモード騒音（漏話）を等しくするために左右対称に配置される。それから、かなり単純な信号処理が交差した経路と平行または斜めに適用され、これは流れ測定または流れ切替アプリケーションにとって十分である。減算及びろ過プロセスを耐えている差信号 $S$ は、実質的にビームドリフト、乱流誘導された減衰（ $\mu - \rho$ ）、渦の離脱の1つまたは複数に応答する。渦の離脱の場合、流体内の好ましい経路の1つのセットはブラッフボディ及びパイプ軸を通過している平面に対して垂直であり、90度回転した後、図示するようにパイプを調査する。速い反応測定システムは、バッファ反響間の静かな時間の間、1チャンネルの計測器での信号受け入れを許容している、意図的に同じでない隔離碍子長さを有する電氣的に近似されたトランスデューサアセンブリA、B、C及びDのパルス-エコー質問を使用している図6の上の部分において、例示される。隔離碍子A及びBは、流体において、交差する同時に発射された信号の時間-分離を保証するために、ペアC及びDより長くされる。 $SS316$ 隔離碍子のために、全長における1.25インチの差は、時間 $t_{AB}$ 及び $t_{CD}$ で約10マイクロ秒だけ流れの効果をプラスあるいはマイナスしたオシロスコープの遅延した時間ベースに示される受信信号を分離する。軸方向に移動されたトランスデューサBでのファントム位置（出口表面の軸方向の長さの約半分まで移動される）は、等しい長さの隔離碍子の時間-分離使用の他の方法を示す。（ $t_{CD}$ 及び $t_{AB}$ で）各受信された信号は、流速、早く到着している最先端、後に到着している後縁に比例して広くなる。パルサー/受信機（P/R）電子回路アセンブリ607は、パルス-エコーまたは透過モードで、その正面パネルトグルスイッチまたはノブを通して使用できるPanametrics Model 5055PRまたは類似の市販の装置であってもよい。

30

40

上記のように図2Cのための透過モードにおいて、送信接合点607a（図6）は受信接

50

合点 607b から切り離される。次に、受信接合 607b はその代わりに P/R 607 入力ジャックに接続し、その結果、時間  $t_{CD}$  及び  $t_{AB}$  で時間で区切られた信号の変化はオシロスコープで観測できる。電子回路励起源 607e は、スイッチ 605sw が開いているか閉じているかにより、1 つまたは 2 つのトランスデューサ 607t、607t をそれぞれ駆動する。音響中央射線（各トランスデューサを通る中心線として描かれ、パイプの壁 607p を屈折させられた射線 604a、604b として伝搬する）は、好ましくは平行である。それらが半径中点円 606mrc 内部を通過することを注意する。ブラッフボディまたは支柱 601s は、支柱 602a または 602b と類似でもよい。あるいは、その壁が 607p で示されるパイプに横向きの平面について対称形である形の流れ方向が横向きの平面にまたは平面からあるかどうかは落ちるために、かまたは一方形成されると、それがあってもよい。全体にわたってこの種の双方向性のシェダーの音響センサを配置することにより、双方向性の渦の離脱流量計は得られる。本発明はまた、2 つの異なる横断面を含む支柱を意図する。第 1 横断面は流れに関して第 1 方向から垂直であり、その一方で、第 2 横断面は流れに関して第 2 方向から垂直である。これらの横断面は、交互に  $0.2 \sim 0.5D$  の間隔で支柱の直径寸法に沿って配置されることができる。測定システムのために、超音波ビームは、これらの横断面の 1 つまたはもう一方からの跡と明白に影響し合うように配向される。発明はまた、第 1 の明確なエッジで流れに対して第 1 方向から分離し、第 2 の明確なエッジで流れに対して第 2 方向から分離する支柱を意図する。これらのエッジは支柱の最上部及び最下部エッジであってもよく、この場合、それは支柱の全直径の寸法に沿って均一な横断面を有することができる。2 つの流れ方向は、一般に前方及び後方の流れ方向である。

図 7 は、通過時間  $t$  及び流体音速  $c_3$  を測定するために垂直な（クロスフロー  $V_X$ ）経路を使用し、流速  $V$  が原因となる音速（ $V \sin \theta_3$ ）への徐々に増加する寄与を測定するために、流れの方向に  $\theta_3$  で入射する斜めの経路を使用しているシステムを例示する。太い矢印は、流れに対して斜めまたは垂直な質問の方向を示す。流れ方向が逆になる場合、斜めの経路に沿った質問の方向は逆にされるだろう。この 2 経路または差経路方法は流れの方向と反対に送信する必要を避け、それにより、マッハ 0.1 に接近するかまたは上回るとしてその方向と関連がある更に高次の減衰  $\mu$  を避ける。断続線の位置  $V_X$  及び  $V_X$  は、クロスフロー経路を斜めの（斜辺）経路により近く置くクロスフロートランスデューサのための代替の位置を表す。導波管の横または内で、両端に矢印を有する線は、バッファ内の縦方向（圧縮）またはねじれ（横向きの）粒子運動を示す。これらのバッファにおいて、パイプ付近で音速は、それぞれ、 $c_B$  及び、 $c_2$  である。 $V$  と命名された広い矢印は、軸方向の流れを左から右に象徴する。

流体内の傾斜した経路長  $P = D / \cos \theta_3$ 。ここで、屈折角（ $\theta_3$ ）が、スネルの法則、形状及び  $c_2$ （パイプに隣接するウェッジ部分のねじれ波速度）についての知識から計算可能である。流体内の通過時間は、 $t_f = P / (c_3 - V \sin \theta_3) = (D / \cos \theta_3) / (c_3 - V \sin \theta_3)$  である。これから、 $V = (c_3 / \sin \theta_3) - D / t_f \sin \theta_3 \cos \theta_3$  である。 $c_3$  が流体組成、温度及び圧力に基づいて十分な精度で公知の場合、 $c_3$  の垂直経路測定は削除できるか、またはシステムの一般的な自己テストとみなされる。数値例として、 $c_3 = 1500 \text{ m/s}$ 、 $D = 100 \text{ ミリメートル}$ 、及び  $\theta_3 = 30$  度である場合、 $V = (3000 \text{ m/s}) - 1/4.33 t_f$  であり、 $t_f$  の単位は秒である。

このように決定される  $V$  の絶対精度は、2 つの大きい数の間の比較的小さい差に依存する。例えば、第 2 項が  $2998 \text{ m/s}$  である場合、 $V = 3000 - 2998 = 2 \text{ m/s}$  である。この結果は、 $c_3$  に非常に敏感である。しかし、 $c_3 =$  定数である場合、及び特に  $V$  が  $0.1 c_3$  または  $0.2 c_3$  に近づくような場合、 $c_3$  が正確に知られていなくても、 $V$  の相対測定は合理的に正確でありえる。一般的に言って、 $c_3$  の不確定性に起因する  $V$  の誤差を最小にするために、通常の反対方向への伝搬方法で、双方向に質問しようとしなければならない。しかし、いくつかの直径の 2 分の 1 だけ離れて間隔を置かれた 2 つの斜めの経路に沿ったタグクロス-相関測定は、都合よく一方向の質問を利用し、蒸気の流れ、または他の高度に荒れ狂うガスまたは流体と反対の伝送を避ける。

非分散性方向性ねじれ波バッファの濡れたバージョンは、図 7 A で示す 2 つの異なる経路（どちらが流れに反して配向されない）に沿って、通過時間を測定するために、圧縮波トランスデューサと組み合わせられることが可能である。この図において、発射点  $P_0$  は、垂直な及び斜めの射線のための点と同じである。軸と垂直な平面内の 3 倍の半径中点経路はまた、軸に対して垂直な  $c_3$  を測定するために使用され、同様に流速  $V$  を決定するために一方向の with-the-wind 斜め測定と組み合わせることができる。

上流の質問経路を避けるために構成されるシステムに加えて、本発明はまた、受信信号が上流及び下流の質問動作周期を、減少した上流の信号受け入れを補正することにより改良されるシステムを意図する。図 8 は、順風方向の質問時間が逆風方向に対して時間をかけられる質問時間より長く、それゆえに、動作周期が非対称で、測定された信号を改良するために  $SNR$ （信号対雑音比）にตอบสนองする動作周期に対する時間線図を示す。重み付けば、信号振幅にตอบสนองできるかまたは単位時間当たりの各方向内の成功した伝送のほぼ等しい数を生ずるために設定されることができる。

図 8 A は、1 つがパイプの外部に 6 時の位置で締めつけられるという点で、2 つの全く同じ HS バッファ 801 a、801 b と異なる他の新しい構造を例示し、もう一方は 12 時の位置で「濡れて」いて、ID で蒸気に直接放射されるように長方形の穴を通過する。濡れたガイドは、減衰シールにより音響的に隔離されている。高蒸気圧力で、各々が導波管 801 b と全く同じである 2 つの表面締め付け導波管は、有効な表面締め付け蒸気流量計になる。図において、3 時、9 時、及び 12 時の位置で、ID からの環状のギャップ及び凹部は、明快さのために過大視して描かれる。これらはスリーブをつけられた束を含むことができ、出願人及び Yi Liu により 1995 年 6 月 7 日に出版され、Ultrasonic Path Bundle and Systems と表題を付けられたアメリカ特許出願番号第 08 / 477761 号に記載される型の 9 時の位置に示される。

そこにおいて、記載されている束構造は、図 4 A 及び 4 D と関連して記載されているように、わずかに分散的に作動するように修正されることができ、即ち、そうすると、チャープパルスは、数サイクル（例えば、5 サイクル）内の 2 つの係数の期間（または周波数）の変化を有して生じる。これは、比較的大きい直径ロッドの外に束を形成することによりされる。チューブの ID に依存して、それぞれの直径 3 ミリメートルの約 30 ロッドの束が、25.4 ミリメートル（1 ）のチューブ OD に適合されることができる。

この分散的なチャープ束は、時々速く流れるが、他の時は非常にゆっくり流れる蒸気または他のガスの音速および / または流速を測定する際の興味あるアプリケーションを有する。高フロー条件（それは、一般に非常に乱流である）で、0.1 またはそれ以上のオーダ上のマッハ数を有する場合、主要なサイクルは低周波であり、それゆえに、より高次の周波数サイクルが生き残らない場合であっても、ビームドリフト及び散乱にもかかわらず、乱流により保存されそうである。流れが高いときに、低周波サイクルにより提供される時間分解能は適切である。低周波時間分解能が不適当でもよい低速流れでは、しかし、高周波成分の後のサイクルが低乱流、低流速、低マッハ数のガス（または流体）の横断に容易に耐え、通過時間の必要なより高い分解能を提供する。これらの利点は、5 または 10 サイクルと同程度に短いパルスにおいて、さえ得られる。存在する場合、後のサイクルが多く（多分、大部分の）の例において、無視できる。ホッケースティックに関して、一般に約 25 または 30 ミリメートルの数値である芯幅  $X_2$  は、タイミングのために使われるパルスのはじめの部分で干渉問題を導くことなく、容易にチャープを適応させる。

この伝達発生チャープの更に別の特徴は、導波管バッファのチャープ発生部分の分散的な特徴によって、各主要サイクルがやがては次第に幅が狭くなるということである。これは上流及び下流の伝達を相関させようとするときに、サイクルスキッピングの古典的な問題を避ける比較的小さい方法を提供する。そして、それぞれは異なる減衰及び波形ひずみを経験できる。したがって、我々は反対のスキップ部品を有する。チャープについては、その期間によって、特別なサイクルが確かに、例えば、第 2 または第 4 のサイクルではなく第 3 のサイクルであると確信できる。ロッド長さ及びロッド直径を波長比率に調節することにより、どれだけの分散が得られるか、即ち、サイクル間の変化がいくらであることを予

10

20

30

40

50

め決定できる。サイクルの信頼できる明確な識別のために、各関心のあるサイクルの期間は、5または10パーセントだけ好ましくはその隣り合うものと異なる。差は、その米国特許第5,139,838号の図1の曲線に沿って動作点を選ぶことにより、米国特許第5,139,838号に示される方法により制御可能である。非常に鋭い最先端(急速な増加)を有するパルスをつくり出す通常の目的とは対照的に、低周波のリーディングエッジを有するパルスを発生させるために結晶は取り付けられ、またはエネルギーを与えられ、それらが必要とされるように保存される際だった特性を含む。米国特許第5,139,838号の図1(そこでは、グラフで示される関数の最も左または細いロッド部分で始まる)で描写される分散関係の結果として、期間の変化が単調に減少する方法で起こる点に注意する。加えて、低周波リーディング部分は、通過時間(通過時間のより高い分解能に10 対しての以降の高い周波数成分を使用することにより精度を上げることが可能な)の粗い測定を提供する。いかなる所定の状況においても、流体の伝達特性、及び利用される電子回路は、チャープ変調されたパルスがどれだけ有用かについて決定する。生き残るスペクトルの部分がより大きいほど、分解能は良くなる。

ここで記載されているチャープ部品は、市販の500kHzのブロードバンドNDT接触トランスデューサ及びチタンロッドを使用して立証され、商用として製造できる素子及び材料を使用して実施が実用的であることを確認した。

前述の説明は、基礎的な構造、バッファ/導波管の数多くの新しい実施、及びこの種の本発明の導波管を使用しているシステムを例示する。これらは、ただ熱いシステムのためのでなく、正確な経路定義が重要である測定システムの大きい変化に対しての実用性を有する20 種々の状況において、また更に導波管を更に正確にするか、または調整することは望ましく、いくつかの部品及びそれらの音響特性の一般的な議論はその目的に役立つ。

今、上で論議した縦横比に戻ると、出願人は、ねじれ波結晶またはピエゾ素子がバッファの大きい方の表面に、粒子運動が平行に並ばない場合、ラム波のスプリアスの不必要な発生があることを観測した。これらの波を分散させるために、周波数-厚さ製品は、 $A_0$ 波が分散的であるように、または、そのマルチモードが $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ その他のように存在するように指定できる。しかし、この方法への制限は、それらが従来技術装置において、あったように、マルチパスが厄介になるほど、厚くなって欲しくないということである。ラム波の位相速度対、例えば、鋼のための周波数-厚さ製品のグラフは、約1MHz-mm以下で $A_0$ モードが強く分散的であることを明らかにし、次の非対称のプレートモード30 ( $A_1$ )は、約1.5及び2.5MHz-mmの間で強く分散的である。そこでは、 $A_0$ モードに対する小さな分散を有する周波数-厚さ製品(例えば1~1.5MHz-mm)の小さい領域があるように見える一方、実際、この種の領域内のブロードバンドパルスで動作することはかなり難しく、それらの同じ領域において、分散的である対称形モード(例えば $S_0$ モード)を励起しない。液体のための実際の超音波テスト周波数(例えば、0.5~5MHz)で、約1~約6ミリメートルからの鋼の厚さは、前述の分散/マルチモードの目標を満たす。厚さがたった2、3ミリメートルであることにもかかわらず、ホッケースティック形成された導波管が適切な信号をパイプまたは流体と結合し、多くの状況のために、流体内で横に広がるビームから過度の損害を受けないことが分かった。したがって、幅が狭い開口部は十分である。出願人は、薄いシート金属導波管が容易に湾曲され、40 または曲げられ、更に高効率で(即ち、ほとんど追加の分散がない)状態で、大きい方の表面と平行な粒子運動を有するMHz単位のねじれ波を伝達する。この結果は、ウェッジ領域の長い拡張部が湾曲されるか曲げられるを可能にし、半径方向において、スペースが制限され、または、半径方向外側の突出が危険を及ぼす状況のために、過度に突き出ない。拡張部を湾曲させるかまたは曲げることにより、求められたブロードバンド伝達特性を保持すると共に、薄型は達成される。

図1において、例示される(湾曲、屈曲のない)基礎的な平らな形状のために、表面締め付けのための最小限の厚み下は、圧力結合における座屈、非常に薄いブレード及び壁が厚いパイプの間のずれ、または線源から発生する壁が厚いパイプ内のビーム広がりのような要因により、実質的な意味で制限される。座屈は、結合が利用できる圧力を制限すること50

により、および/または、堅くなること（例えば、拡張部またはウェッジをアイビームの形で作ること）により防がれる。非常に薄いブレードは、一般に幅が少なくとも１ミリメートルのオーダで、多分１０ミリメートルまでのピエゾ素子から入手可能なエネルギーのたった一部を抽出する。ここで報告される大部分の実験は、両方とも１／４インチまたは６．４ミリメートルであった水晶の幅及びバッファ幅を使用して作られた。しかし、２５．４ミリメートルの水晶の直径ねじれ波についてさえ、よいエコーは、厚さ１ミリメートル未満でテストシートのために得られた。実際のガイドラインは、最小限の厚さとして約０．５ミリメートルを採用し、バッファ長さに対しては１５．０ミリメートルのオーダが、及びバッファ材料としてＳＳを使用する。アイビームまたは他のより固い形がアプリケーションに合う場合、または全長が１５０ミリメートル未満である場合、より薄い最小の横断面が効果的に機能する（例えば、０．２５ミリメートル）。フランジ環状寸法に対する半径方向の突出

10

本発明が表面締め付け構造に十分に適しているにもかかわらず、濡れたバージョンのための、例えばＧＣ（ガウス・チェビシェフ）スプール部品の一部として多数のアプリケーションがある。スプール部品は、パイプの区画の両端に、標準のフランジを溶接することにより一般に組み立てられる。例えば、図３ＢのＧＣスプール部品は、いわゆる１０インチのスケジュール４０のパイプの１６インチ長さ区画の両端に溶接された、１０インチの１５０＃溶接ネックフランジ突き合わせを示す。そのフランジのＯＤは、パイプのための１０．７５インチのＯＤと比較して、１６インチである。環状の差異は、この例では２．６３インチである。公称のパイプサイズ、及び公称の圧力評価（例えば、１５０、３００、．．．、２５００ｐｓｉパターン）の関数として、組織的に環状の差異の一覧を示す場合、公称の直径及び圧力が増加するにつれて差異も増加することを見いだす。１０-インチ２５００＃に対して、それは７．８８インチであり、２４-インチ１５０＃に対して、それは４．００インチ（１０１．６ミリメートル）である。熱状態（フィンまたは冷たい空気流により多分援助される）がＦＰＡＤ（フランジ-パイプ環状の差）未満の全体のトランスデューサ長さ $X_{OL}$ （ウェッジ領域＋拡張部＋キャップ）を許容するとき、それは好ましい寸法の制約と確認される。この制約は、スプール部品が床に沿って転がされるとき、トランスデューサが床にさわらないという結果を有し、即ち、フランジはトランスデューサ／導波管アセンブリを半径方向に保護する。この制約を満たしているアセンブリをスプール部品フランジと比較して、「薄型」と称することができる。

20

30

図３Ａ及び３Ｂから明白であるように、一体成形の固体拡張部のために、制約 $X_{OL} < FPA D$ を満たすことは必ずしも可能でない。１つの対策は、図２Ｆの蝶番Ｈにより示されるように、拡張部を蝶番で取り付け、ぶつけられた接合（例えば圧力結合）において、ねじれ波結合が導かれるように準備することである。代替の対策は、２つの区画（短い拡張部が $X_{OL}$ と解釈される、ちょうど今言及された不等式を満たすのに十分背が低いもの）内の拡張部を作ることである。トランスデューサは着脱可能であり、同時に、拡張部の一部も着脱可能である。この明細書内のどこか他の所で示したように、偏波されたねじれ波の結合を一系列に並べて援助するために、大きい方の表面から見たとき、接合部はがＶ字形であってものごり歯状であってもよい。１ミリメートルのオーダのピッチを有する４５度のＶ字形溝が適当である。１つの大きいＶ字形も、十分である。結合は、公知の液体の接触媒質（Arenberg, 1948, pp. 20 and 22 or other Known references cited in Applicant's 1989 book, Ultrasonic Measurements for Process Control, Academic Press, section 3.3による）を利用できる。

40

今、バッファのための１つの初期動機即ち、２３０～３００度（摂氏）の範囲内の過熱した水のようなアプリケーションのための流れの表面締め付けの正確な測定の達成に戻ると、音速がこの範囲において、減少することは公知であり（MeDade et al., J. Acoust. Soc. Am. 31 (10) 1380-1383, Oct. 1959）、そして、密度も減少する。温度が増加するにつれてどれくらい両方とも減少するかについて示しているプロット線は、出願人の本（Ultrasonic Measurements for Process Control, Academic Press, 1989, page 424）の中に現れる。２５０度（摂氏）で、水の密度は、その普通の値の約８０％まで既に減少し、

50

288度(摂氏)で75%以下に落ちる。その温度で、音速は、普通の値1500 m/s付近と比較して1000 m/s以下まで減少し、33%以上の低下である。(McDade他のデータは、この本においても、230ページに現れる。)図1-1Eにおいて、現れる導波管の実施例は、cのこの種の大きい変化を取扱い、更に信号を受信することが可能な多くの方法を提供するか、または受信トランスデューサに正確に信号の狙いを定める。従って、この範囲において、作動しているとき、水の固有の音響のインピーダンスZは、288度(摂氏)で、その普通の値から係数 $(3/4)(2/3)=1/2$ だけ減少し、即ち、50%減少する。一般的なバッファ/ウェッジ/パイプ材料の音速及び密度にいくらかの補正減少があるが、しかし、増加するずれのために、室温と比較して、288度(摂氏)に対して信号の約50%(6 dB)の減少を見積もることができる。詳細な計算は、Lynnworth and Chen, pp. 575-578, in the IEEE Proc. Ultrasonics Symposium, 1975のそれらのようなグラフに至る。

流体圧力に依存して、過熱した水は、288度(摂氏)で蒸気に変化するかもしれない。我々は、流体を用いて減少した密度(即ち、1グラム/立方センチメートル以下の密度)で、できるだけ効率的に作動させるために、バッファをどの方法で構成すべきかを調査することができ、 $1 \text{ mg/cm}^3 = 1 \text{ kg/m}^3$ の目的を有すし、それはおおよそ普通の空気の密度である。これは、普通の水と比較して約3桁の密度減少である。人が主に流れ測定に興味を持っている場合、匹敵するレノルズ数、マッハ数、及び流速の圧縮できない流体と比較して高度に乱流である圧縮可能な低密度流体において、伝搬した後に、信号がどんな方法で違うか、また尋ねなければならない。これらの考慮は、バッファが好ましくは熱い流体への露出に耐えるだけでなく、求められた流れ情報を抽出するいくつかの特別な、時には新しい信号処理手段と互換性がなければならないことを出願人に認識させた。

本発明のトランスデューサを利用して、蒸気流れを測定するために特に設計した1つのスプール部品が図8Aに示される。その図の断続線の円801cの中に示される特別な据え付けガasketは、蒸気内で信号を直接発射して及び受信するためにパイプ貫入を許容するが、安全な封止及び高度な音響の隔離をパイプで運ばれる短絡騒音及びリングングに対して提供する。短絡は、トランスデューサ間の、またはトランスデューサ及びパイプの間の音響的隔離により防がれ、例えば柔らかい減衰ガasket材料またはO-リングを広げられた区画の下に設置することにより、1996年5月14日に出された出願人の米国特許第5,515,733号にて説明したように防ぐことができる。

高度に乱流の流体、特に圧縮可能な流体のために上記で示唆されたような特別または新しい信号処理に関して、出願人及び何人かの彼の同僚が、上流及び下流の伝達の間の周知の非相互依存性を除いて、流れの逆方向と比較して、流れの方向に伝搬するときに、質問の任意の瞬間に強い信号を受信する可能性がより大きいことに、最近気づいた。特に、ある固定パルス反復周波数("prfs")では、明確な信号が時折だけ検出されることに気がついた。任意の瞬間に「スナップショット」を撮ることは、普通、高SNRを有するパルスを取り込むことができない。しかし、取り込まれるときに、それは通過時間のよい尺度を生じ、そこから、流れは決定されてもよい。これらの観察は、普通の研究室条件で空気に対してなされ、12インチのパイプ区画を流れ、約マッハ0.1または34.3 m/sまでの乱流の流れを発生する制限を有する。

信号の不確実さについてのこれらの観察、及び許容範囲内の精度を有する流速を測定する比較的従来の平均プロトコルの無力は、反応の精度及び速度を改良するいくつかの方法に出願人を導いて。これらは、以下を含む：

- i) prfを変化させること、
- ii) 主な衝撃点火を流れ測定の領域付近で感知される圧力に関係づける、
- iii) 各方向のパルスの等しい数だけ任意に点火しない、むしろ、多分、許容範囲内である標準偏差を有する有効な示度を十分得る各方向において、点火するだけであり、ここで、おそらく有効な示度は、必ずしも変化している信号対雑音比(SNR)の多くのパルスの算術平均ではなく、むしろ、例えば、各個々のパルスの信号強さSまたはSNRにより割り当てられる重みを有する、重み付けされた平均である。シンプル及び第1の数値例

として、利用される各パルスの重みは、その S N R でありえる。より識別力がある重み付け公式は、S N R (例えば、四角にされる S N R) の電力による重みを割り当てることである。これは、非常に強い、高 S N R パルスが強く平均に影響し、その理由のために、十分に強い場合、おそらく有効な示度として直ちにに取り込むことができる。その場合、プロセッサが直ちに最終的な示度を発生させることができ、即ち、その方向の更なる質問を受け取らず、または標準偏差要求の範囲内で測定を発展させようとする。それらの乏しい「品質」(低 S N R) に基づく多数の質問を無視することは、この S N R 識別法の一部である。最も強い信号だけが流れの次の計算に影響するために生き残るという意味で、我々はこの重み付け法をダーウィンの S N R 重み付け方法と称する。渦の最小減衰セット、または他の散乱源、射線曲がり、または流体内の他の減衰プロセスに遭遇するように、特別なパルスが偶発的な時間に発射されることは、運の問題である。光学からの類似は、霧において、駆動するとき、比較的透明な時間の間に得られる視覚的な手がかりに基づいて、駆動体が彼または彼女のコースを設定し、修正する。

いくらかの適当に強い、中 S N R から高 S N R 受信された信号があれば、どちらもそれらを放棄することを正当化するほど低くなく、それらの通過時間は次式のように電力重み付けされた S N R m s である。

$$t_{rms} = \sqrt{[t_1(SNR)_1^n]^2 + [t_2(SNR)_2^n]^2 + [t_i(SNR)_i^n]^2} \quad (1)$$

ここで、 $n = 1, 2$ 、または他の番号であり、 $t$  は通過時間である。これを、 $rms$  S N R 重み付けと称する。

流れに対して測定する、反対方向への伝搬方法は沿って軸と垂直な直径経路(第1の通過時間)を測定するために修正されることができ、そこから、音速  $c$  は決定される。そういうわけで、通常の傾斜したか傾けられた直径経路に沿って、流れの方向にだけ、その速度は  $V$  であり、流体経路  $P$  の測定値を  $c + V \cos$  で割った大きさである第2通過時間が測定され、 $\theta$  は軸に対する経路の角度である。そういうわけで、 $V$  は形式  $V = K c^2 t / L$  の式により計算され、ここで、 $L$  = 流体内の  $P$  の軸方向の射影、及び  $K$  は流れ分布考慮することを目的とするメートル因子である。 $K$  は一般に定数ではなく、パイプ粗さ、レイノルズ数  $Re$ 、及び流れが安定か不安定かに依存する。 $K$  の不確定性は、実際には、おそらく半径中点弦を使用している多重通路フローセル、または軸方向の成分を有している  $GC$  弦の使用の背後の主な誘因である。

液体と比較して、乱流の流れる条件のガスは、主にそれらのより大きい圧縮性のために、超音波信号の実質的により大きな変調の原因となる。特に周波数が高く、伝搬が流れの方向と反対である場合、発生する実質的により大きいジッタは、流れ測定のタグクロス相関法を適用することにより活用されることができ、この測定は直径または傾けられた直径経路を通じて実行できる。出願人は、この実現を、圧縮可能なガスの特別な場合(例えば、1 パールまたはそれ以上の蒸気)に適應された新しい測定システムに適用し、圧縮可能なガスは産業プラント内を  $10 \sim 100 m/s$  の速度で流れ、最大流れで多くのジッタ及びビームドリフトに遭遇する。上記のように、反射測定は、蒸気内のドロップレットを検出するために用いてもよい。本発明の1つのシステムは、タグクロス相関を加え、無秩序な乱流の媒体に起因するノイズ、および/またはパイプの下に運ばれる遊離した湯あかのような粒子に起因するノイズを分析することにより更に流れ検出を改良する。これらの4つのモードを有する4モード流量計の一般的な実施は、Jacobsonその他の共有の米国特許第4,787,252号(1988)において、開示される。本発明の導波管は、この種のシステムの実施に特に好都合なトランスデューサ取り付けを提供し、蒸気のような流体に適用されたとき、以下のように一定の利点が達成される。

低速流れでの蒸気は、通過時間を使用して最もうまく正確に測定される。品質が下がるにつれて(例えばドロップレット形式)、反射方法は役に立つ情報を供給する。更に、速度が  $40 \sim 50 m/s$  をいくらか上回るとき、流れがマッハ0.1に接近して上回るように、押し流されたビームは軸方向に移動されたトランスデューサにより受信され、好都合な

10

20

30

40

50

ことに上記の2つの方法により緩衝される。それは、即ち、斜め入射角及び検出のためのホッケースティック導波管、及び垂直入射角の信号経路のための米国特許第477,761号の束にされたアセンブリである。検出された信号は、タグクロス相互関係方法により解析され、識別特性が関係付けをなくし、判読しがたくなる前に、これらの条件で高速の蒸気が渦、またはランダムな中間の様々な直径の下流の固有の他の識別特性を搬送する。ジッタは、高周波を使用することにより、および/またはビームが受信される前に蒸気が2回以上横断することを許容することにより、意図的に増加させることができる。また、種々の音響的短絡または漏話ノイズ寄与は、いくつかのテクニックの何れによっても減少させられ、テクニックの選択は測定モードに依存する。したがって、差動モードテクニックは、固定ノイズを相殺するために用いてもよい、平均することは、ランダムなノイズを減少させるために用いてもよい、及び、矩象はJacobson et al. published in Ultrasonics (May, 1985) pp. 128-132の方法に従うタグクロス相関測定の漏話を減少させるために使用されることができる。1つの提案された漏話減少方法では、受信トランスデューサにまたがっている漏話ピックアップが平均化され、重み付けられ、移相され、それらの間の漏話と非常に類似した信号を生じ、中間の受信トランスデューサで信号と絡み合うか、または組み合わされる。Yi Liu及び出願人による、上記で参照された出願中の特許出願に記載されている相関減算方式もまた利用できる。他の役に立つテクニックは、米国特許第5,600,073号に記載される、Foster-Miller会社のWayne Hillの方法に従うカオス分析により測定を改良することである。各場合において、上記した導波管の使用によって、十分に定義される信号が発射し、蒸気導管で確実に受信することを可能にする。

今、プラスチックパイプ内で搬送される空気または他のガスの表面締め付け流れ測定に戻ると、第1に、大部分のガスの特別に低い $c$ が特別な問題を提起し、第2に、いくつかのプラスチック内のねじれ波速度は $c$ の2~4の係数の範囲にであることを注意しておく。いくつかの数値例として：空気中の $c$ を343 m/s、@20度、摂氏として、いくつかの一般的なプラスチック内のねじれ波速度は、ALPハンドブック図表によると、以下の通りであるアクリル、1100 m/s、ナイロン6-6、1070 m/s、(低密度)ポリエチレン、540 m/s、テフロン、501 m/s。屈折のスネルの法則によれば、プラスチック内のねじれ音速がガス中の $c$ に接近につれて、屈折角は入射角の角度(大部分の我々の実施例に対して、ここでは一般に60度)に接近する。2~1の音速比率に対して、入射角が60度である場合、屈折角は約23度であるだろう。これは、鋼及び水の表面締め付けに対する射線経路に類似の射線経路を生じる。

一般に、ガス内の縦方向のモードに対するのと同じく、減衰係数はプラスチック内のねじれ波に対して比較的高いと認識されなければならない。(数値例：普通の乾いた空気中500 kHzで  $= 10 \text{ dB / ft}$  または約30のdB/m)。両方の問題は、500 kHz以下の周波数(多分、50 kHz)を使用することにより緩和されてもよい。しかし、この種の低周波を使用することは、この周波数でのねじれ波のための適当な発生手段を見出す問題をまねく。出願人は、図4にて図示したように、薄い壁のチューブに容易に油脂結合されるか永久的にエポキシ結合される着脱可能な低周波の圧縮波源を組み合わせることによりこの問題を解き、薄い壁のチューブにおいては、対称な $S_0$ 波が。拡張速度に近いが同じ材料内のねじれ波速度よりは早い速度で伝搬する。これらの2つのモード(ねじれ波に拡張的な)の速度の比率は、 $E/G$ である。ここで、 $E$ 及び $G$ は各々ヤング率とねじれ率である。その比率は、ポアソン比  $= E/2G - 1$  に依存する。図4のアセンブリのウェッジ部分の屈折させられたモード変わるねじれは、計算可能な角度に沿ってに関して伝搬する。ポアソン比と、チューブ/シートインタフェースでねじれ波に関して垂直に屈折させられた角 $\theta_s$ の関係は

$$\sigma = \frac{1}{2 \sin^2 \theta_s} - 1 \quad \text{and} \quad \theta_s = \sin^{-1} \sqrt{\frac{1}{2(\sigma + 1)}} \quad (2)$$

である。

プラスチックにおいて、 $\theta$  に対する一般的な値は、 $0.4$  である。対応する  $\theta_s$  は、約  $36$  度である。管状部分を約  $6$  度後ろに傾けることにより、パイプまたは流体インタフェースで、 $60$  度の入射角のねじれ波角度は実現可能である。

アセンブリは、プラスチックパイプの短い区画に結合されるまたはモールドされることができ、またはモールドされた一体構造のバージョンにおいて、実施できる。

着脱性を達成する方法の更なる図は、図 4 D において、現れる。そこで、チューブは磁気ひずみ性の細い固体ロッドと取り替えられる。その場合、磁気ひずみ性ロッドに対する作動ソレノイドは、好ましくは着脱可能である。

今、ガス流れを測定するより一般的な問題に戻ると、非常に広い範囲のレノルズ数のカバーする必要がある状態が発生する。例えば、従来の反対方向への伝搬方法は低速流のために最良と思われ、それによって、両方向に公平な相互伝搬を対応付ける。多くのノイズまたはビームドリフトは、存在しない。速度が増加するにつれて、（流れ方向に対する質問と比較して）反対方向の流れに対して  $2$ 、 $3$ 、または  $4$  倍の質問を取り込み、各方向で同等の標準偏差または測定の信頼性を達成する。これは、「更なる議論」と見出しをつけられた節において、更に以下で論議される。流れと反対方向に伝搬しようとすることの大きな困難を認識して、（流れの軸と垂直な）ダクト全体の音速  $c$  を考慮し、加えて流れと同じ方向にだけ測定する。これは、およそ  $V = K c^2 t / L$  として流速  $V$  を生じ、ここで、 $L = ct$  が測定される軸方向の距離で、 $K$  は、以前に記載されたように、メートル因子である。上流に対下流に伝搬する際に同等の特性を維持する 1 つの方法は、波長が各方向にほとんど等しくなるように調整することである。入射の周波数及び角度を、積  $f M \sin \theta$  ( $M =$  マッハ数) のように、ほとんど定数として維持できるように選択するための手段が利用可能である場合、波長はほぼ一致する傾向があり、そのように選ぶことができる。巨視的  $L$  の乱流によりこれらの波長と関連する散乱も一致し、各方向に同じ散乱外観を提供する。しかし、双方向の対称性は、多分例外（規則でない）だろう。

さらにより高い流速では、乱流の非常に高いレベルのために、通過時間を測定することは実用的でない。ここで、タグクロス相関のための間隔の公知のガイドラインによって、クロスフロー経路、または 2 つの直径の 2 分の 1 離れた傾斜した経路をと使用して、タグクロス相関方法が使うことができる。最後に、スペクトルのバンドを通じて、ノイズは聞かれることができる。これらの最後の 2 つの方法は、Jacobson ほか、1988、米国特許第 4,787,252 号に一般に記載されている。上記のどこかで言及されたように、Petermann 及び他により開発された高速におけるビームドリフト法、研究者からの  $ca. 1960$  が、今、本発明については都合よく適用できる。ホッケースティックバッファは、この種の初期の概念を高温流体測定システムにおける新しい用途まで広げる。

発明は、また前述のタグクロス相関方法の改良を意図する。ジッタ信号を、同じ方向の所定の経路上の 2 つの連続した示度の間の差として定義するか、または描写させる。経路は傾けることができ、質問の方向は流れの方向に傾けることができる。2 つの連続した示度の間の差をとることにより、パイプ（前述の Jacobson 他、1995 年、の記事内のフェーザ線図に示される）のまわりの漏洩のための静止コヒーレントなノイズは相殺される傾向があり、いうわけで、ジッタは乱流及び散乱体の非定常効果を表す。そういうわけで、タグクロス相関法は、2 つの軸方向に離れた位置（例えば図 6 内のホッケースティック位置示された  $UU$  及び  $DD$ ）で観測されるジッタを使用して、それらの間の物理的なブラッポディまたは如何なる本体も必要とせずに行うことができる。軸方向の移動または軸方向の距離は、パイプ直径のオーダー（例えば、パイプ直径の  $1/2 \sim 2$  倍）であってもよい。静止ノイズの抑制を有するこのタグ方法は、更に詳細には、表面締め付けアセンブリ（図 8 A）による蒸気流れを測定に十分適しており、ここで、圧縮可能な流体の流速はたびたびマッハ  $0.1$  を上回り、流れの反対方向に信頼性の高い送信をすることを非常に困難にする。流れの方向に対して成分を有する質問経路を使用しないので、この方法は好都合である。高いマッハ数のためのドリフトは両方の経路と共通であるので、ドリフトはクロス相関の等級を下げない。非常に低速流速で、全く同じ傾斜した経路は、反対方向への伝搬形状を有する流速を生ずるために双方向に応答指令信号を送られることが可能である。

10

20

30

40

50

また、導波管の出口表面を構成している薄い放熱器は、本質的に測定の幅が狭い平面において、測定を詳細に描写する新しい機会を提供し、これは次にビームドリフト振幅に基づく流れの測定方法の精度を改良を調査する方法を提供し、それは今、通過時間測定と比較してその一般的な不定性が原因で、実際的には放棄された。

流れと反対方向に送信するよりも、流れと同じ方向に送信する方が容易であるという認識は、2つの他の関連した測定の基礎をなす。即ち、

(a) 2つの平行な経路以外を有する上述のタグクロス相関構成は、直径及び流れの方向にある両方の経路のための検出方向に傾き、及び

(b) 支柱(ブラッフボディ)(例えばMeasurement & Control June 1996, pages 228-231、及び1992年6月16日発行のLewによる米国特許第5,121,658号、及び従来技術内のどこか他で描写される)から離れた所の渦の離脱周波数を決定する。決定(b)の実行において、信号処理が非常に単純であること以外に、(a)に対して記載されているように、我々はまた我々自身を1つの質問形状に制限する。最も単純なものの一つの場合、差動増幅器及び帯域通過フィルタを、図7で示す2つの受信トランスデューサからの開口周波数を抽出するために使用できる。支柱が鋳造されるか、溶接されるか、またはメートル本体の不可欠な部分として形成され、その上、トランスデューサウェッジ及び拡張部アセンブリを含むとき、我々は一体構造の流量計フローセルの他のバージョンを有する。

上記した測定の1つのアプリケーションは、例えば、各々の数多くのモード内の信号品質を早く検出し、SNRおよび/または標準偏差(統計の)基準に基礎を置いて利用可能な複数の質問モードの最高の用途を選ぶようにプログラムされるニューラルネットワーク法を有する流量計を提供することである。その結果、最もありそうな正しい答えが流量計により提供される。

熱い蒸気を測定する際に遭遇する問題の議論に一旦戻って、(周知のように)流体密度が減少するにつれて、音響的短絡がある程度増加し、流体で運ばれた信号がおおよそ密度に比例して減少し、信号対雑音比(SNR)は同じように、おおよそ密度に比例して減少することを注意しておく。短絡をキャンセルできるか、または出願人の上記の米国特許第5,515,733号で説明したように、トランスデューサ(例えば、広がられた区画の下のかんがひ減衰O-リング)の間の音響的隔離により防ぐことができない限り、普通の空気の密度と同等の密度まで下げて役に立つ結果を得ることは難しい。しかし、250度(摂氏)の蒸気及び約30バールまたは約450ゲージpsiの圧力のような高圧で、通常搬送される0.5、1、または2MHzの超音波を持続させることができる高温の流体の特別な場合は、測定に対してより修正可能でもよい。この種の環境において、水密度以下の3つの桁の代わりに、流体は密度スケールで僅か1.5桁下がる。熱い蒸気、@250度(摂氏)の音速は、普通の空気内より約50%速い。従って、同じ入射条件に対して、屈折角は空気中より約50%大きい。

表面締め付けトランスデューサシステムが気圧調節をされた蒸気において、働くために、我々の処理において、音響的短絡ノイズまたは漏話の大きいパーセンテージをキャンセルする手段を有することは望ましい。従って、図2Cの2-経路(または、X構成内部に再配置された4つの表面締め付けU及びD斜めトランスデューサを有する図6の2-経路)(X構成)が、差動モードでの動作に適當である。(AB及びCDで示される)2つのパイプで運ばれる金属経路はほとんど同一であり、それらが同一である範囲で、2つの受信トランスデューサで信号を減ずることは漏話を相殺する傾向がある。残された信号は、蒸気内の上流及び下流の間の伝搬の差である。その差信号の振幅は、蒸気流速に関係づけられる。蒸気で搬送される信号が正弦波の場合、流速及び差信号が同様に増加するにつれて位相差が増加し、線形ではないが、三角法の恒等式により大体予測できる方法である。

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos (1/2)(\alpha + \beta) \sin (1/2)(\alpha - \beta). \quad (3)$$

質問の各方向において、流れに起因する位相シフトとして をここで扱うことができる。他角度( )は、流れがゼロである場合、発生するであろう蒸気経路全体の通過時間に依

存する。通過時間流量計内の音速及び流速（ $c$  及び  $V$ ）の類似として、 $c$  及び  $V$  について考えることができる。流速が十分に小さい場合、この方法は適用されるが、それは大きい流れまたは変化している音速  $c$  に対して機能しなくなる。

更に振幅測定に依存して、共通のモード漏話及び共通のモード流れノイズを更に相殺する、より良い差経路法が、図 6 に現れる。この構成は、軸と垂直な平面についてわずかに左右対称に移動される平面において、検出されるように応答し、各バッファの物理的に狭い方向性開口部を利用するので、小さいドリフトが差動信号振幅において、比較的大きい変化を発生させる。経路は、直径を横断しないが〔及び、このことにより、Petermann、米国特許第 2, 874, 568 号、1959 と異なる〕、実際には弦を横断する横切り、一般に多くの弦はほぼ同じ通過時間を発生する。従って、流れのセクターは各受信トランスデューサで比較され、差は流速の測定を提供する。この方法が、多分低コストの流れスイッチに最も適しており、ノイズにも、2、3 ナノ秒または 2、3 マイクロ秒の通過時間差にも基づかない。説明の容易さのために、DA（差動増幅器）は好ましい極性の 2 つの piezo 素子に接続しているように示される。piezo 素子の 1 つが 180 にわたって度物理的にはじかれた場合、他に対してその極性を反転し、DA は加算素子により置き換えられ、最も単純な場合、piezo 素子からの 2 本のワイヤ間の接続から成り、一方は他方に対して 180 度はじかれることが理解される。

図 8 A で示す蒸気流量計実施例は、パイプ内のスロットより大きいフランジによって、またはその関連する部材によって、組み立てられる。この構成において、出願人の米国特許第 5, 515, 733 号（1996 年 5 月 14 日）における音響的隔離は達成され、上流の及び下流の通過時間は交替に測定される。音速  $c$  は、同じように隔離された束バッファを使用して、直径経路を横切って別に測定されていてもよく、前記束バッファは、例えば、出願中の米国特許出願番号 1995 年 6 月 7 日に出願の第 08 / 477761 号に示される構造に従って組み立てられる。あるいは、直径経路バッファは、1992 年 11 月 3 日に発行された出願人の米国特許第 5, 159, 838 号に示される型のわずかに分散的な導波管であってもよい。より大きいフランジは、バッファの排除を防ぐ。適切な隔離がペアの 1 つのトランスデューサで達成される場合、他はスプール部品の中へ溶接してもよい。速い反応のために、高い反復周波数を必要とする。これは、バッファの減衰を意味する。これは、通常 100 度（摂氏）未満で、piezo 素子を囲むキャップの下または内部のクーラー端部付近で、最も容易になされる。レノルズ数  $Re$  がガス密度に依存し、傾けられた直径経路に対する乱流の流れメートル因子  $K$  が  $Re$  における変化 1 桁当たり 1% 変化するので、大体の密度を決定するためだけには、 $K$  を推定することに関して、それは大抵十分である、このために、受信された信号の強さは、ガス密度の測定としてとられることが可能である。これは、（例えば、トランスデューサエージングを説明するための）ガス内の音速に対する較正、及び補正を時折必要とする。差動経路減衰測定は、精度改良をガス密度のこの粗い決定に加えることができる。エコーが 1 つでまたは複数の直径横断線に対して検出可能な場合、内側の及び外側の GC 経路の間の経路差は、これに関して、または第 1 の及び 3 倍の通過において、利用できる。渦シェダー差動経路

上記したように、図 2 E と関連して記述したバッファは、渦のような第 2 流れ成分、及び導管軸に垂直な平面内の循環を測定することに関して役に立つ。図 1 J において、軸に対して垂直な平面内の超音波の伝達が液体の有無（即ち、個々の点での液体のレベル）、及び粘性（液体が搬送する信号の減衰に基づいて）に関して判断できることがわかった。

流体媒体（液体の、高圧のガス、2 相の媒体）が導管により伝達される一般に干渉する信号と比較して適切な伝達レベルを有する超音波を伝達する場合、実用的になる他の様々な測定がある。例えば、媒体がガスである場合、導管雑音レベルと比較されるガス信号強度はガス圧力に関する情報を生ずることができる。他のアプリケーションは、ブラッフボディまたは流れにおける他シェダーにより、渦の離脱の周波数を測定している。従来、これは Joy 及び Colton、米国特許第 3, 680, 375 号、1972 により例証されるように、1 つまたは一対のトランスデューサを使用して、シェダーのちょうど下流で行われる。しかし、特に流体が普通の空気のようなガスである場合、トランスデューサは明白に濡れ

10

20

30

40

50

ていなければならなかった、でなければ、受信機は漏話により圧倒される。

図 6 は、導管ノイズがどこで主にキャンセルされるかについて、差動測定のいくつかの形式を示す。上流及び下流の（ブラッフボディと比較して）信号の間の小さい差は、今、ブラッフボディ 602a（垂直な台形）、または 602b（垂直な T）、または 601s（支柱、端面図に示す）からの循環及び発散による。多くの場合、これらの差動構成は反対方向への伝搬通過時間法により流れを測定するのに十分正確ではないが、本例においては、渦が発散する周波数を決定することにだけ関係するか、または、循環方向（ $cw - ccw$ ）の反転と関連した周波数とだけ関係する。パイプのまわりの短絡信号は、この周波数情報を含まない。騒音の周波数は、固定されるままである。それゆえに、周波数分析により追跡される差動経路（上流の及び下流の）の組合せは、流速と、ストルーハル数  $S$  によって、順番に関係づけられる渦の離脱周波数  $f$  を生ずる：

$f = S V / d$ 。ここで、 $d$  = ブラッフボディの直径。好ましい実施例において、工場または現場のどちらにおいても、ホットタップ手順を経て、支柱はパイプに結合させられる。トランスデューサは、好ましくは、導管圧力境界の完全に外側であり、即ち、表面に締め付けられている。これは、普通は  $f$  を検出するために使用される圧力または温度センサからの通常の電気貫通接続を避ける。再び、両方の傾斜した経路は、流れの反対方向よりはむしろ流れの方向に応答指令信号を送られる。流体に搬送される到着時間に関して漏話到着時間に一部依存して、2つの傾斜した経路は、同時に応答指令信号を送られることが可能である（実用的な場合、好ましい方法）か、または約  $1 \sim 10 \text{ ms}$  間隔で、かなり接近した時間において、1つに応答指令信号を送られる。

従来の渦シェダー超音波流量計技術は、鑄込ブラッフボディ及び外部の正反対に向かい合った超音波トランスデューサを含んでいるプラスチックの本体を含む。そして、その両方はシェダーの下流である。（実施例：川崎市のトキコ社、日本、ポリエステル繊維エーテルエーテルケトン樹脂でできた Model GS-F3030E 超音波渦流量計（PEEK 系列）。これは、明白に Joy 及び Colton の基礎的な渦の離脱超音波流量計、米国特許第 3,860,375 号、1972 の類を、多く動かす。追加の従来技術は、1992 年 6 月 16 日に発行された H. S. Lew の米国特許第 5,121,658 号、及び雑誌 *m&c* (Measurement and Control) June 1996, page 228-231 において、現れた一般に渦の離脱流量計に関する最近の要約した記事を含む。好ましくはパイプ直径の 25% 未満の支柱直径  $d_{strut}$  については、本構成は、従来型であるか、従来型でないシェダーを使用できる。ノイズが渦の離脱流量計内の主要な制限因子の 1 つであることは、文献において、報告される。図 6 に表現される測定の差動方法は、所定の  $d_{strut}$  及び流速  $V_1$  から  $V_2$  の公知の範囲に対してノイズを相殺し、予め選択された計算可能な渦の離脱周波数と関連がある周波数のバンドだけに応答する傾向がある。

支柱 601s のまわりの上流対下流の循環を比較するためのより対称的でそれゆえにより更に良い方法が、図 6 の最下部の最も右の部分に描写される。ここで、上流の及び下流の測定は、軸に対して垂直な平面において、各々実行される。出口表面 603a, b は、パイプ湾曲に適合させるために輪郭をつけられる。上流（約 U）及び下流（約 D）の位置における  $cw$  及び  $ccw$  質問（それぞれ、604a 及び 604b）は、いかなる渦効果も相殺する傾向がある。閉じるとき、スイッチ 605sw は、 $ew$  及び  $ccw$  質問を同時に発射させる原因となる。差動モードは、そういうわけで、より完全に共通のモードノイズを取り除き、渦の離脱周波数を表す差信号を生ずる。多分初めて、これが、生ずる。最初（壁が厚い鋼のパイプ内の渦の離脱周波数を検出する全く外部の方法）のための及び高温と拡張可能な方法でまたは極低温の温度（圧力境界の電気浸透を有する 1 つの装置を有する全て）と。全体にわたって循環を測定することにより、いわばまたは少なくとも全体にわたって循環の差を測定することにより、実際の発散が発生する前にさえ流れを測定できることを注意しておく。リフトがある限り、がある。この方法は、ここで簡潔さのために、差動渦方法または DVM と呼ばれる。端面図において、トランスデューサの全体の絵は重ね合わされて、トランスデューサ 606 及び 607 における U 及び D 質問と類似であると考えられることができる。

反対方向への伝搬軸方向の流れ測定と比較して、好ましい屈折角に興味ある詳細が、DVMにたいして存在する。DVMのために、我々は渦ストリートまたは渦シートに垂直な直径または近い直径経路に沿って測定したい。例示された形状において、これは入射角の小さい角度が好ましいことを意味する。しかし、どれ位小さいのか？Arenberg (1948) によれば、入射角の角度が約35度を上回る場合、入射ねじれは約0.2より大きいポアソン比を有する材料のために変わるモードでない。入射の公称中心角のまわりに広がるビームがあるということを知することは、入射の中心角として45度をとると仮定すると、2つの場合（鋼/水及び鋼/空気）に対してビームをプロットする。この種のプロット線から、出願人は屈折させられた射線が水に対する直径よりも空気に対する直径に近いことを見いだした。その意味において、DVMは液体よりガスに適切と思われる。設定しているとき、0~90度までの、発散された渦を有する相互作用の最高の角度を決定するために、輪郭をつけられた表面締め付けトランスデューサは支柱（垂直なT）に関して円周上に回転できる。

10

目的は、渦が発散するとき、渦の離脱周波数を過し、リフトを検出することであり、発散の開始より前の低流速で、経路に沿って検出することであるように、シートと必ずしも垂直は絶対の必要条件でない。これは、信号強度及びSNRは、おそらく、一般に、非常にゼロ（直径経路）に近い屈折角をつくり出すことより重要であることを意味する。MHzの範囲で作動させることにより比較的容易に高いSNRを達成できるので、液体は、測定するのがより簡単である。ガスに対して、およそ0.5MHzの周波数が、一般に必要とされる。しかし、ガス中の測定は流れの方向に対して必要ないので、例えば、少なくとも小さいパイプに対して1MHzの通常の質問周波数より高く、多分、高いガス圧に対して300ミリメートル程度の直径であり、それによりガス表面締め付けシステム構成で高いSNRを得る。出願人が既に500kHz、1および2MHzで、ホッケースティックトランスデューサを有する10インチのSSパイプ内の水の流れの有効な測定値を確かめたように、これは、500kHzまたは多分1MHzと同じ程度の動作周波数を有する、1つの解決策が2つの問題（液体およびガスに対するDVM）のために実行可能なことを意味する。

20

#### チャープ及びGC複数経路

再び濡れたGCトランスデューサを示している図3Aを参照すると、一般的な装置において、内側の経路は全く同じ長さであり、外側の経路は同じ長さであるがより短いことを注意しておく。全ての4つの上流トランスデューサが電氣的に並列に接続されており、4つの下流トランスデューサも同様であると仮定すると、更なる条件に関しては、各経路が他経路から少なくとも1オクターブ異なるトランスデューサを有することである。1つの解決策は、0.5, 1, 2及び4MHzに設定される4つの周波数である。今、システムがチャープにより応答指令信号を送られ、0.5~4MHzの鋸波または階段波でスイープされたと仮定する。連続した各ペアの共振近傍を通過すると、主に1つの経路からの測定、及びその経路だけは、連続した間隔で作られる。チャープが1秒あたり1回再チャープされる場合、各経路は1秒あたり1回応答指令信号を送られるだろう。受信ウィンドウは、各予期された共振が利用されるように、内側及び外側の送信時間の2つの予想された範囲の間を切り換えるために、前もってセットできる。または、全ての経路をカバーして、ウィンドウは広くなることができ、トランスデューサの各ペアの周波数選択（共振）は連続して各経路のための情報を分離するために頼られることが可能である。したがって、我々は今、時間分離の代わりに、または加えて、1996年5月14日の出願人の特許（それは、異なる時間に受信するために同時にN個の信号を発射した）に記載されている周波数領域バリエーションシステムを有する。幅およそ6ミリメートルのホッケースティックトランスデューサ（長方形のGCスロットへの挿入の深さを調整するためにウェッジが僅かに薄い以外、全て同じ形状）は、0.5~4MHzまでのブロードバンド伝搬を満足させる。このシステムもまた、圧電結晶の周波数を除く全ての点で同一である一組の表面締め付けトランスデューサアセンブリを使用することにより、実施できる。

30

40

ウェッジ及び拡張部内の経路に沿った温度勾配

50

重み付けされた平均温度は、図 1 及び 1 A において、例示した様々なタブ T C 1、T C 2 . . . における局所的な温度 T を測定することにより決定できる。勾配があまりに激しくない場合、単に線形重み付け平均をとることができる。

$$T_{avg} = \frac{x_1 T_1 + x_2 T_2 + \dots + x_i T_i}{\sum x} \quad (4)$$

鋼に対して、音速は温度変化と一緒に余り変化せず、最高 3 0 0 度（摂氏）でたった約 5 % であり、特別な状況に対して、経験はどのタブが真の平均 T にかなり近い T を生ずるかを指図する。線形の勾配のために、中心点はその平均の T を生ずる。c の変化が 5 % と推定される場合、平均温度の小さい誤差は、1 % の  $t_w$  誤差につながるかもしれない。実際のバッファ遅れ  $t_w$  が 1 0 0  $\mu$  s に等しいことを意味する場合、これは 1 マイクロ秒である。ねじれ入力と平行な基準反射体（例えば Q 1 から Q 3 へのスロット）波面は、往復時間がバッファ遅れに等しいエコーを生ずる。小さい穴 Q 4 は、ウェッジより上の拡張部分の通過時間、及びそれゆえに、平均温度を示す。

プラスチックは、温度に関する音速のより大きい分数係数  $(1/c) dc/dT$  を有する。セラミック及び耐火性合金は、より小さい  $(1/c) dc/dT$ （いくつかの場合、例えば融解石英、はほとんどゼロ）を有する。黒鉛が、またゼロに近い  $(1/c) dc/dT$  を有する。複合型構造のための着脱性版

今、図 2 F を参照して、着脱可能なトランスデューサから成り、パイプに永久的に固定され、それにより永久的な圧力境界を形成している複合型アセンブリの概念を考慮する。ハイブリッドは、実際に図 2 F を含んでいる図の 2 つの目的にかなう。第 1 に、着脱性は達成される。第 2 に、好ましい屈折角（3 0 度）が達成され、一方、パイプ及び以下の実施例では仮定される、鋼、水液体に対して実行可能でない。

最初に目的として、螺旋形になっている 3 倍の半径中点経路に沿った質問を考える。トランスデューサ位置は、一般に  $z_1$  及び  $z_2$  と記録される軸方向に移動された位置にある。スネルの法則により課される屈折に対する制限のため、表面締め付けパイプが厚く、液体より実質的に大きい音速を有する場合、その経路は表面締め付けのそばに到達できない。例えば、鋼内のねじれ波速度は水中の疎密波速度の 2 倍以上であり、3 0 度で屈折させられた波は実用的でない。

c 3（液体内の音速）とほとんど等しいか全く同じねじれ波音速 c 2 を有しているプラグを用いて、この問題に対すると複合型解決策が、図 2 F において、描写される。黒鉛、フェノール、及び錫の形態は、1 5 0 0 m / s 付近のねじれ波速度を有する。他の 2 つは銀及びプラチナであるが、大部分のアプリケーションに対してあまりに高価である。プラグ内のねじれ波速度が 1 0 % だけ液体における縦方向の速度にまさる場合、スネルの法則により、入射角の角度は従って補正されなければならない。これは、入射角の角度が 3 0 度（適合させられた速度に対して）から、約 3 3 度まで増加しなければならないかもしれないことを意味する。時々、ビーム広がり、この補正をするために十分であり、それは、プラグの軸を近づけることはできるが、しかし、必ずしもスネルの法則により計算される値に正確に従う必要はない。

図 2 F において、プラグ 1 0 h 及び着脱可能な部材 1 0 j は、ボルトクリアランス穴の位置を表している整列中心線、及びこれらの素子を接続するためのネジ切りされた穴を有する対応するフランジを有する。液体に放射されている疎密波は、この端面図では、矢印により、y 軸に沿って下方を向くことが示される。3 つの半径中点螺旋形の横断線の後、射線は x 軸に対して 3 0 度でパイプ壁に接近する。プラグ及び着脱可能な部材は再び屈折問題を解決するが、それらは第 1 の向きに関して 6 0 度時計回りに回転させて設置してある。左側の 2 つのトランスデューサは、スプール部品上の向きのバッファ / 導波管に向けられた蝶番アセンブリ H により取り付けられている。各蝶番 H は、そのようにトランスデューサ / 蝶番プレート外側の部材が完全にあることができる 1 0 h p が分離して、取り外した着脱可能な蝶番ピンを含む。選択的に、シーリングガスケットはそれらの清潔を保存する結合面のまわりを封止するために提供されてもよい。ネジは、部品と一緒に保持し、ね

じれ波の効果的な伝達のための結合圧力を提供する。

たとえ2つの部品が異なる音速を有しても、または、この領域内に強い温度勾配がある場合でも、射線は屈折せずに、(曲がることなく)インタフェースをまっすぐ横断し、それは勾配に対して垂直である。2つの部品が等しい速度である場合、インタフェースは鋸歯状でもよい。

挿入プラグに頼らないで、表面締め付けにより水中で半径中点弦を得ることはまた、壁が薄いプラスチックである場合、鋼のパイプにおいて、また可能である。そういうわけで、本発明の幅が狭いウェッジは、この種の導管の周囲に向けられる。

多分、リップまたは周りを囲むフランジを加えることによりパイプ形状を維持するために補強を用いて、ガウス・チェビシェフ法をプラスチックパイプに適用することにより、高い精度スプール部品のコストの相当な減少が実現可能である。空調ダクト及び、他の低圧空気アプリケーションのために、薄いトランスデューサ及び圧力境界を最小限に通っている薄い反射体を有する鋳造されたプラスチックのスプール部品は、更に安く正確に流れを測定する改良された方法を提供する。この種のアプリケーションでは、漏話が問題である場合、シリコンO-リングを使用している漏話隔離方法は、都合よく本薄い導波管(広げられたノズルを通して設置される)の矩形の横断面に適應させることができる。スタンピングから作られた、図3Cに示されるシート金属GCスプール部品は、最小のコストで精度を達成する他の方法である。

出願人は、データが集められて分析されるように、CFD(計算流体力学)の進歩とともに、ちょっと傾けられた直径経路を使用し、非理想的な入射条件の関数としてメートル因子Kを計算するか参照することが実用になると予想する。分布補正のための直径以外の経路が不必要になり、第2流れ成分が直接測定される必要がなくなるので、これは更なるコスト減少を可能にする。この種のデータを得る1つの方法は、例示されるそれらと類似のスプール部品を使用することであり、ここで、傾けられた直径及び他の経路は含まれる。図3Cのシート金属スタンピングを再度参照すると、直径経路は、ポートX、XX、X、XXを通してトランスデューサ(ホッケースティック)を設置することにより得られ、直径以外の経路は、他の長方形のポートA、AA、...D、DDを使用して得られる。トランスデューサポートA...XXに従って下付文字を付けられたスロットRの内部に設置される反射体はまた、それらの各トランスデューサペアと共に使用される。端面図に示すように、円形のスプール部品内のGC装置に対して、長方形のスロット中心線を定義している構造線は平行で、GC経路の間で $360^\circ / 10 = 36^\circ$ に対応するD/10の間隔で等距離で離される。

ねじれウェッジに対する一体構造のシート金属拡張チューブ

本発明から1つの一体構造のバージョンを作る特に低コストの方法は、図4A及び4Bに示される。一般に最大厚さ1ミリメートル、飛行機の方形化胴体及び翼断面に似ている、均一であるか段をつけられたのシート金属予成形品は、一体構造のチューブ及びウェッジアセンブリとして機能するために、その図において、示されるように形成される。このアセンブリは、出願人の実験に基づいている。これらの実験は、0.5または1MHzの圧縮パルスが、長さ2~3インチ、直径1/2インチ、壁の厚さ0.035インチのSSチューブ内を、同じまたは類似の厚さの隣接してハンダ付けされたウェッジ区画の中に非常に広帯域のねじれ波として効率的に漏れる外延波に類似したモードまたは $S_0$ モードとして伝搬することを示した。上記でプラスチックに対してされたように、ねじれ角は計算できるが、プラスチックに対するポアソン比が約0.4であるのと比較してSSに対するポアソン比は約0.3なので、正確な角度は、ある程度違う。SSに対しては、角度はほぼ39度より大きい。これらのテストにおいて、波源(商用のNDTブロードバンド縦方向接触トランスデューサ)がゲルによりチューブ端に容易に連結されてもよいことがわかった。したがって、拡張的な部分は、実際の電気音響的トランスデューサの簡単な着脱性を提供する。SSチューブが磁気ひずみ性のチューブまたは固体ロッドと図4Aまたは4Dのように取り替えられる場合、励起コイルは取り外し可能に取り付けられたコイルであってもよい。

10

20

30

40

50

2つのモードの1つの他の興味ある組合せは、ここで言及される。それは、レイリー及びねじれの組合せである。実施例は、図4Cに示される。レイリー波は、非分散的に厚いプレート中を伝搬する。それゆえに、レイリーバッファは、波の拡張源としてレイリー速度 $C_R$ で想定されることができる。レイリーバッファは、ここで記載されているねじれバッファ導波管のように産業システム及びプロセス測定に一般に有用であるとはまだ思われていないが、それが都合よくねじれバッファと組み合わせられることが可能である臨時の状態ある。レイリーバッファは、ねじれバッファより簡単にパイプの円周のまわりに巻きつく。軸方向の拡張源が、直線または円弧の接触を作るために使用できる。拡張源または拡張受信機として、正確な到着点が予測できないアプリケーションのために、いくつかの別々のホッケースティックを交換する。しかし、ホッケースティックと違って、レイリーバッファは一般に隣接するパイプのそれと異なる材料でできていなければならない。その結果、有用な屈折角でねじれ波と効率的に結合するために、その速度は約5~15%だけ、パイプ壁内のねじれ波のそれを上回る。SSレイリーバッファは真鍮のパイプと共に機能してもよく、溶解された二酸化珪素バッファはSSパイプと共に機能してもよい。「機能する」により、必要な速度比率がこの種の材料組合せを用いて実現可能であることを意味する。出願人は、周波数で約1MHzにおけるこれらの特別な組合せで予備試験を作った。

更なる議論を経由して、以下は、SNR-重み付け伝搬測定及びSNR-重み付け動作周期が、前の方法より信頼できる情報をより少ない時間で生ずるべきである理由を説明する有用な類似である。

風に逆らって砂嵐に駆け込むことが、風と共に砂嵐に駆け込むことより困難であることは、直観的に明らかである。特別なスケールまたは乱流の強度により強く散乱されることができる波長の音波のために、または渦または速度勾配により回転させられることが可能である波面を有する音波のために、波が風の中へ向かうとき、風と同じ一般的方向に向かうよりも、この種の効果をがより明確になることを予測する個他が合理的に思われる。高いマッハ数では、風と同じ方向対風と反対方向の相対速度は、有意な方向依存性を示す。それゆえに、波長と関係がある乱流のスケールは、有意な方向依存性を有する。流れの方向（風の方）と関係がある波の方向の関数としての乱流による減衰の厳密な説明は、多分、今は利用できず、多数の研究者が、風と同じ方向と比較して良い信号を得るのが困難な風と反対方向の観察を報告したことで十分である。これらの観察は、CEMアプリケーション〔連続放出のモニタ、J. Matson and R. Davis, Ultrasonic Flowmeters Offer Reliable Solution to Stack Monitoring, I&CS, 67(2), pp. 67-69 (February 1994) で要約〕で、及びより初期の研究において、生じた。事例となる模式的な実施例は、マッハ0及びマッハ1という場合は出願人の本(150ページ)において、現れる。本発明を蒸気または高流速の他のガスに適用しようとする際に、類似の乱流により誘発された非相互依存性が予想できる。関連した議論は、引用された本(pp. 145-150)において、現れる。

流体を運搬しているパイプラインでは、流体交通または流体流れ率は、多分、長い時間平均ベース(秒)では均一であるが、短い時間の尺度では均一でない(ミリ秒)。これは、タグクロス相互関係のより初期の研究から公知である。軸方向に直径の約1/2~2だけ離れて移動された位置で送信される超音波は、クロス関連付けされる乱流による変調効果に遭遇する。〔(非超音波測定は、このより一般的な側面上の相関可能なジッタであってもよいことをまた示す、適切なテキストはBeck and Plaiskowski, Cross Correlation Flowmeters-Their Design and Application, Hilger, Techno House UK (1987).) これらの変調は、最終的には分散させられる。それが、直径の約2倍を超えない2つの位置に一般に注目する理由である。超音波パルスに課される変調は、時間(または位相)及び振幅で出現する。系(明白に認識されもしないし、以前に使用されもしない)は、乱流の流れを横断して送信される信号が瞬間から瞬間まで変化する場合、信号がほかの時はより少ない変調(すなわち乱流により起こされるより少ない減衰)で伝搬する一定の時間がなければならないということである。特別な場合は、関心のある乱流の渦がブラッフボディによ

り故意につくり出され固有のものであるとき、変調が流速に比例する周波数で出現する場合である。これも系を有し、再度、明白に、認識されもしないし、以前に使用されもしない。回転、散乱が全く若しくは殆ど無しに、または変調効果の減衰が殆ど無しに超音波信号が経路を横断するとき、渦シートの間に小止みがある。

精度及び応答時間及び製品との関係

大部分の流量計仕様が、主要な構成要素として精度を有する。いくつかの場合において、定まった精度が得られる時間はまた、一覧を示される。例えば1秒の応答時間の1%精度。10秒の1%またはそれ以上の精度を得ることは、答えが有用であるには余りに遅れるようになったことを意味する。他方、余りに早く答えを得ることは（例えば、0.1秒）、答えが信頼できないことを意味する。いくつかの点で、超音波流量計は、誤差の大きさがy軸に沿ってプロットされ、時間の平方根がx軸に沿ってプロットされる場合、性能は（x及びy軸と漸近の）第1の四分円内の双曲線により近似される性能特性を有する。ハイゼンベルグ不確定性原理に粗く類似させると、余りに短く時間を特定する場合、流れの不確定性は大きくなければならない。逆に、我々が非常に小さい誤差を必要とする場合、非常に長い時間はそれを得ることを要求される。

測定値を変化させることの、またはSNRの関数として、流れの方向に関して各々の2つの異なる方向において、費やされる質問時間の本概念は、ユーザの要求に関する精度及び応答時間の接合積を最適化する試みである。信号振幅Sは予め定められた時間ウィンドウ内に最も強い信号の振幅としてとられることができ、一定の他必要条件は応じられると仮定する（例えば周波数、サイン）。ノイズは、点または領域での波形（通常その振幅N）として、信号の開始のちょっと前にとられることが可能である。信号（ $t_{onset}$ ）の「開始」は、信号の包絡線（時間において、後ろ向きに推論される）が時間軸と交差する時間の点として、順番にとられることが可能である。「包絡線」は、区分的線形曲線、ガウス曲線、またはアナログまたはディジタル濾過された信号と関連がある他の一般的曲線であってもよい。信号よりちょっと前の「ノイズ領域」は、パルスの中心周波数において、少なくとも1～10サイクルを含んでいる間隔としてとられることが可能である。その間隔は、パルス形、及びアプリケーションにより課される他条件に従って好ましくは調節される。その間隔を送信されたパルスの幅に等しく設定することは、好都合かもしれない。他の便利な選択は、ノイズ検出間隔をその最大値につくるために受信されたパルスと考える時間に等しく設定することである。 $t_U$ 及び $t_D$ をMRI/S〔最高に信頼できる（SNR重み付けされた）情報/秒〕方法による決定

（1）伝達特性がU及びD方向で同じものになるように、方法は各方向の質問と等しい数にデフォルトでなる。

（2）重み付け平均法は、絶対最大要求応答時間 $t_{abs,max,goal}$ で $t_U$  ' s及び $t_D$  ' sを受け入れ可能であり、及びその間隔のためのSNR情報を報告する。

（3）より短いより長い時間 $U t_{abs,max,goal}$ の重み付け平均法で1 U 10であり、Uは、SNRの関数として計算できる。

実施例：

（a） $U = 1 / SNR$ 。

（b） $U = \quad / SNR$ 。（c） $U = 定数 * \ln(1 / SNR)^n$ 。（4）重み付けは、SNRの関数である。

（5）通常 $(SNR)_D$   $(SNR)_U$ であるように、通常、上流試みに費やされる時間の一部分 下流の試みに費やされた時間の一部分である。

（6）方法は送信された電力、周波数、スペクトル、コーディングまたは変調方法を制御または調節することができ、観測された平均またはピークのSNR、信号強度S、許容範囲内である受信信号 $N_{OK}$ の数と試み $N_{TRY}$ の数との比率（すなわち $N_{OK} / N_{TRY}$ ）の関数として、上流（U）及び下流（D）方向の受信機処理モードはこの種の伝送と関連する。

（7）我々の実施例はSNRを使用しているが、簡略化として、我々が8を使用したことは理解される。いくつかのアプリケーションで、主要なノイズNは音響的漏話に起因し、スタートアップの間、または規則正しくスケジュールを作成されたメンテナンスの間、測

10

20

30

40

50

定できる。そういうわけで、 $S$ は $N$ （例えば $5N$ 、 $10N$ 、 $30N$ または $50N$ 、その他）の実際的な倍数として特定されることができる。重要なステップ：

1.0下流への送信は、 $t_D$ を得るまで、または、時間 $K_D t_{abs.max.goal}$ を使い果たすまで信頼できる。 $K_D$ は、最初に $0.5$ に等しくなることができるが、 $S_D$ 、 $S_D / S_U$ 、 $\rho_D / \rho_U$ の関数として、または $SNR_D / SNR_U$ の関数として、調節されることができる。例えば、 $K_D$ は、値 $SNR_U / SNR_D$ に設定されることができる。 $t_D$ 、 $\rho_D$ 、 $SNR_D$ 、 $PSD$ （電力スペクトルの密度）情報、および/または他の有意な統計情報を報告する。

2.0上流への送信は、 $t_D$ を得るまで、または $K_D t_{abs.max.goal}$ を使い果たすまで信頼できる。 $K_D$ は、最初に $0.5$ に等しくなることができるが、 $\rho_D / \rho_U$ の関数として、または $SNR_D / SNR_U$ の関数として、調節されることができる。例えば、 $K_U$ が、 $K_U = 1 - K_D = 1 - (SNR_U / SNR_D)^n$ と設定されることができ、ここで、 $n = 1, 2, \dots$ 、またはいくつかの他の番号である。 $t_U$ 、 $\rho_U$ 、 $SNR_U$ 、 $PSD$ （電力スペクトルの密度）情報、および/または他の有意な統計情報を報告する。

3.0流れと反対方向の時間（または振幅）の測定が非常に難しい場合2つの異なる方向の測定の何れも流れと反対方向の成分を有する。例えば、流れに垂直な方向及び流れの方向を測定する。または、垂直に対して $15$ 度及び $30$ 度での測定は、差別的に流れの方向に傾いた。

4.0 $SNR$ に基づいて、複数の及び潜在的に非常に速いルートが、 $t_U$ または $t_D$ に対する最終的な答えであり得る。例えば、単発の決定の1つの可能性は、 $SNR_{single-shot}$ を値（例えば $10$ ）に設定することにより提供される。そういうわけで、 $SNR = 10$ を有するパルスが検出されるときはいつでも、その到着時間はその方向に対する到着時間（例えば $t_U$ ）として、直ちにとられる。そういうわけで、測定は進むか、または $t_D$ を得るために、他に方向を切り換える。

5.0 $SNR_{single-shot}$ に対する値は、伝搬条件の変化に応答して、それを、例えば、最も最近の3つの測定間隔内の $SNR$ の最も高い3つの平均と等しく設定することにより作られる。

6.0多重通路アプリケーションで、全ての経路及び方向が応答指令信号を送られるまで、 $U-D$ プロセスは対称形であるかランダムな形態を続行できる。そういうわけで、プロセスは繰り返す。

1つの最後の類似は、高度に乱流の流れ条件、例えば高速度ガス流れ、またはいくつかの液体の流れ条件（特に2相であるか複数の位相流れ）の下に新しいトランスデューサの用途を説明するために有用かもしれない。

固体内の音の伝搬、及び特に種々の熱処理に従う多結晶鋼の減衰の周波数依存を示している周知のグラフを簡単に参照する（出願人の1989年の本「Ultrasonic Measurements for Process Control」の76ページにおいて、引用したBabikov（1960）による）。

グラフは、音の吸収が非線形な方法で周波数と共にどのように増加し、更に、吸収がどのように微細構造に依存するかを示す（クエンチ、通常アニール、過熱）。他の著者は、減衰対周波数を粒サイズ、粒度組成または微細構造と同じように関連づけた。結晶材料が異方性であることは、また周知である。この用語は、異なる水晶の軸に沿う通常音速内の変化に適用される。繊維補強された複合物のような不均一な材料において、減衰が方向の関数でもあることは、周知である。そのように、我々は、音速および/または減衰を意味する、一般に伝搬の方向感度を含むために異方性をとることができる。

散乱が一般にと散乱体横断面の超音波波長に対する率、そのうえ、入射及び散乱させられたビームの方向にも依存することはまた、周知である。我々が $\lambda_x$ より散乱体のサイズを表し、 $\lambda_x$ により超音波波長を表す場合、散乱はそれらの比率 $\lambda_x / \lambda$ のいくつかの電力に依存する。

今、乱流の流体（例えば、マッハ $0.1$ のガス）では、有効な波長は、風と反対方向では $10\%$ 短く、風と同じ方向では $10\%$ 長い。差は $20\%$ である。風と反対方向への散乱対風と同じ方向への散乱は異なり、風と反対方向の方が高いことはまことしやかに見える。何故ならば、 $20\%$ 高い周波数が、多結晶の固体において、より散乱させられるように、

10

20

30

40

50

より短い波長はより散乱されるからである。(吸収が約  $1 \text{ dB/cm}$  または  $100 \text{ dB/m}$ 、通常にアニールされた鋼、これら 2 つの周波数に対する Babikov の数値例の  $12 \text{ MHz}$  対  $10 \text{ MHz}$ )。乱流の流体の散乱体サイズは、乱流のスケールである。しかし、散乱体の形は、2 つの方向内の波長内の差より重要かもしれない。

このモデルは、流れの軸と垂直にそれを横切るより風と同じ方向の方が、及び、風と反対方向より流れに対して垂直な方がより少ない減衰を予測する。我々は、これを  $\text{upstream direction} > \text{perpendicular direction} > \text{downstream direction}$  のように表すことが

できる。これは、2 つの経路を使用している非常に乱流の流れの測定のための支持に至り、1 つの経路は流れに垂直で、他の 1 つは流れと同じ方向である。音速及びクロスフローを測定するために垂直な経路を使用することは便利であり、より高い流速に測定の範囲を拡大するという他の理由を、我々は認識する。比較的低い流速で、上流及び下流の減衰係数はあまり相違せず、双方向に応答指令信号を送信される従来の傾けられた直径斜め経路を使用できる。流れがマッハ 0.1 に接近するにつれて、経路長さ、超音波周波数、及び乱流 ( $\chi/\lambda$ ) に依存して、垂直な直径及び下流の方向だけに移るが必要になり、質問の上流方向を放棄する。 $t$  効果は双方向性の  $t$  の半分だけであるにもかかわらず、高いマッハ数において、適切な精度で測定するのに十分な大きさである。風に逆らって  $t$  の 2 倍だけ不確実な測定値を得るよりは、むしろ、通過時間の信頼できる測定値を得た方がよい。(f) (吸収の周波数依存性) を測定することにより、乱流の尺度の測定値を得る。

図 8 A と関連して参照される蒸気流れは、同時に流量計デザイナーをいくつかの技術的困難を提示する流体の興味ある実施例を提供する。これらは、

- (1) 高温、
- (2) 高圧、
- (3) 高流速、
- (4) 高マッハ数  $M_F$ 、及び

(5) ドロップレットが存在する場合、質問の方向によって、超音波を異なって散乱させる第 2 位相を含む。この最後の複雑化は、下流方向の波長  $\lambda_D$  と比較してより短い上流方向の波長  $\lambda_U$  の結果であると認識される。0.1 のオーダーの  $M_F$  のために、 $\lambda_U > \lambda_D$  の強い可能性については、上流の及び下流の減衰係数  $\alpha_U$  及び  $\alpha_D$  が相違すると現在認識される。そのとき、(単相の圧縮可能な流体内に) 流体条件は蒸気におけるドロップレット、水中の気泡、または乱流の平均スケールを有する非球形の非対称乱流渦  $\chi$  のような個々の散乱体を含む。

Babikov のデータグラフを再び参照すると、吸収 (と呼ぶ) は周波数  $f$  と共に増加するだけでなく、高い  $f$  において、更に早く増加する。これは、凹形に形成されている曲線において、見られ、「過熱」に対して湾曲がより明白になり、多分、波長に関してより大きな粒子サイズである。

本解釈は、我々をいくつかの設計ガイドに導く：

(1) 流れの中に (即ち、流れの方向と反対に) 送信したい場合、与えられた  $M_F$  に対して、 $f$  及び経路長さ  $P$  に従って、より短い  $L$  及びより小さい  $\lambda_3$  を使用する。

(2)  $\lambda_3$  は  $f_n$ 、 $n = 1$  に依存するので、送信された信号のバンド幅はより大きくなり、より多くの歪みが予想され、流れと同じ方向よりも流れと反対方向も更にそうである。

(3) 乱流、 $P$ 、及び  $f$  が増加するにつれて、個別にまたは共同で、 $\lambda_3$  が増加することにより、 $\lambda_3$  が効果的に「引っ張られる」ので、 $\lambda_3$  が増加するにつれて、 $\lambda_3$  が実際に減少できると考える。目的は、 $1/n(\lambda_D P)$  を最小にすることである。

(4) 時間分解能及び  $1/n(\lambda_D P)$  の間には、トレードオフがある。

(5) 特に  $U$  及び  $D$  質問信号を相関させようと努力する場合、バンド幅を減少させるために、コードは修正されなければならないかもしれない。多くの情報を含む広帯域コードは、通常、騒音の中に埋められた信号を区別する好ましい方法なので、これはジレンマを配置する。1 つの妥協策は、狭帯域信号が影響を受けやすいサイクルスキップ曖昧さを避けるために、近いが異なる 2 つの搬送周波数で 2 回送信される狭帯域コードを使用すること

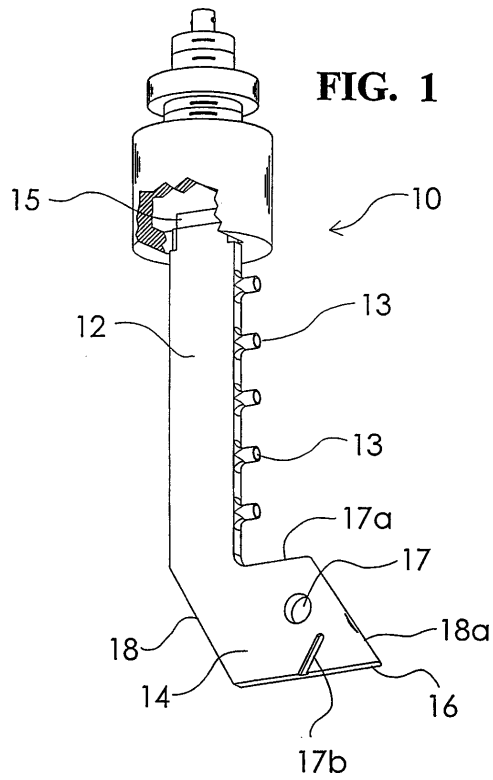
である。

いくつかの対策はまた、高速流で異方性の減衰を補正できる。範囲と単に波長  $\lambda_U < \lambda_D$  だけが原因で  $\lambda_U > \lambda_D$  なので、1つの対策は、適当に低い周波数で上流に送信することである。散乱が比率  $\chi /$  と正比例する場合、対策は数値的に、低周波数では風と反対方向に、高周波数では風と同じ方向に、周波数を  $c \pm M_F$  と比例して保つことから成るだろう。いくつかの特別な解決策が出現する。1つは、 $f_U / f_D = 1 / (1 + M_F)$  と設定しなければならない。他は、 $f_U / f_D = 1 / 2$  または  $1 / 3$  と設定しなければならない。整式は、圧電トランスデューサ共振を利用することができ、および / または適切にサンプルをとられた波の到着時間を解釈する機会を提供できる。これらの方向が整式  $f$  を有するとき、コードは容易にU及びD方向に適応させることができる。これにより、より高次の、例えば2倍にされた(2 MHz)周波数において、コード110000111100はベース搬送周波数  $f = 1 \text{ MHz}$  における100110に対応することを意味する。このように、たとえ異なる搬送周波数が風と反対方向に、及びその反対方向に送信されたとしても、2つの異なるコード化された波の包絡線は互いに似ている。減衰は、全面的にはではないが、搬送周波数に対応する波長により大きく影響される。散乱または他の減衰プロセスによる減衰の周波数依存のために、バンド幅もまた減衰及びパルス歪みにまたする。これらの最後のアイデアは、積  $f M \sin \theta_3$  を出来るだけ一定に維持しようとしなければならないという規則により、要約されることができる。ここで、 $\theta_3$  は、流体内の屈折させられた経路角度である。

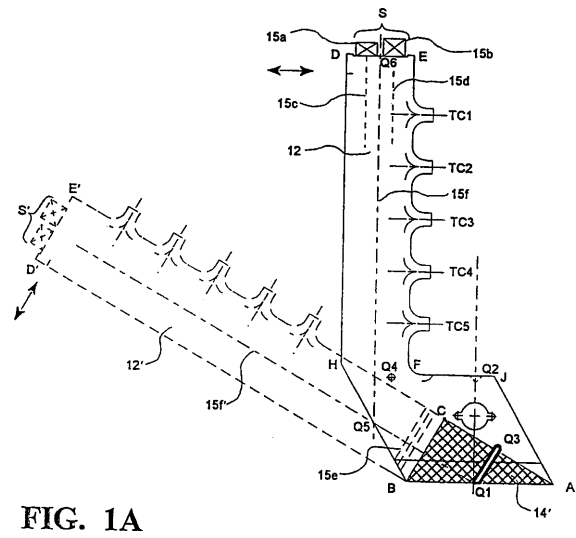
屈折させられた角度が約10または15度未満の場合、 $\sin \theta_3$  を  $\theta_3$  と取り替えることができ、シンプルな規則になる。積  $f M \theta_3$  が殆ど一定なように維持しようとするので、 $f M \theta_3 = \text{const}$  である。この式は、図1に続く図のグループのいくつかの型における関連を示す考えであることができ、ここで、多数のピエゾ素子( $f$ )、 $M$ に従って反応しやすく選択できる多数の角度、及び、順番に、3つの異なる角度を付けられた面、または湾曲された反射「面」の使用に起因して、異なる入射角で発射される結果として屈折される信号を拾い上げる多数の間隔が示される。

前述の説明は、本発明の基礎的な機能を記載して及び、高温、変化しているかまたは予測できない流体または流れ条件を含むことができる多くの環境内の、一般的な及び高度に専門的な超音波測定構成及び他の因子に基礎的な構造を適応させている多くの詳細を詳しく述べる。本発明の導波管は、それらの信号伝搬及び結合特性により、超音波の能動発射及び発射された信号または流体システム内の固有のノイズの受動モニタリングでさえ受け入れるように十分に適応される。発明の測定システムでは、個々の導波管は複数の機能を実行することができ、送信または受信トランスデューサとして全く共通に作動し、そのビーム範囲内で1つまたは複数のこの種のトランスデューサと組み合わせることができる。従って、開示されている発明及び記載されている、他の変更態様は当業者が思い付き、これらの変更態様は、この文書に追加される請求項に記載の、発明及びその等価物の範囲内であるとみなされる。

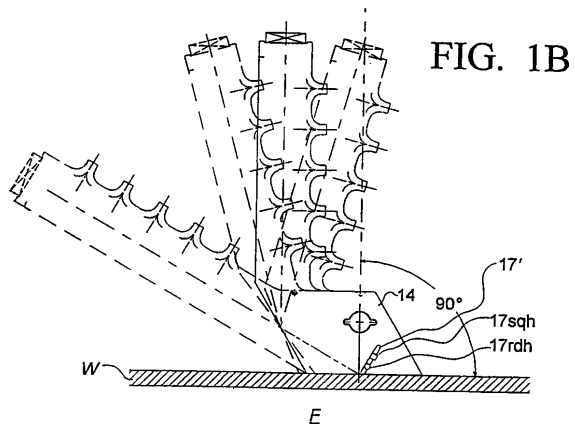
【図 1】



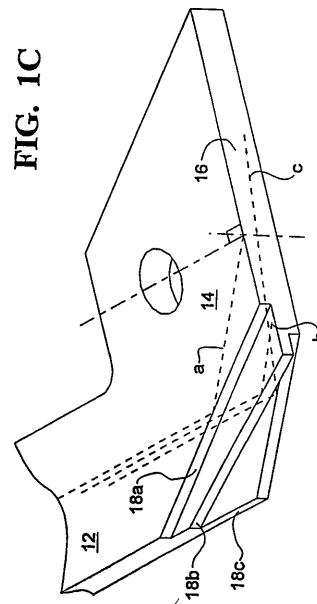
【図 1 A】

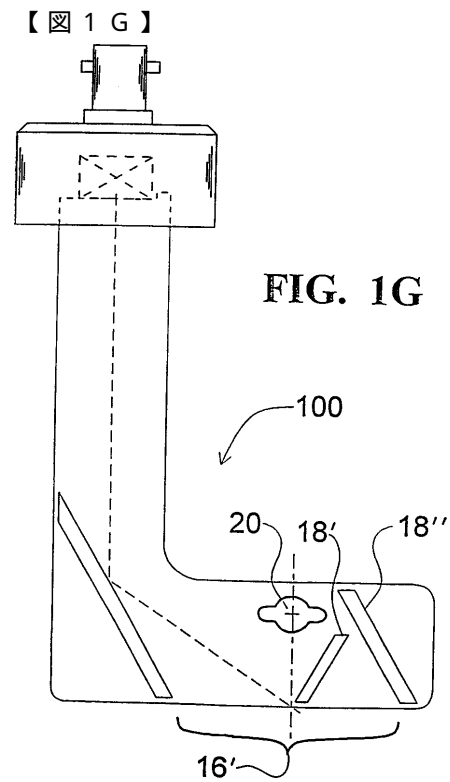
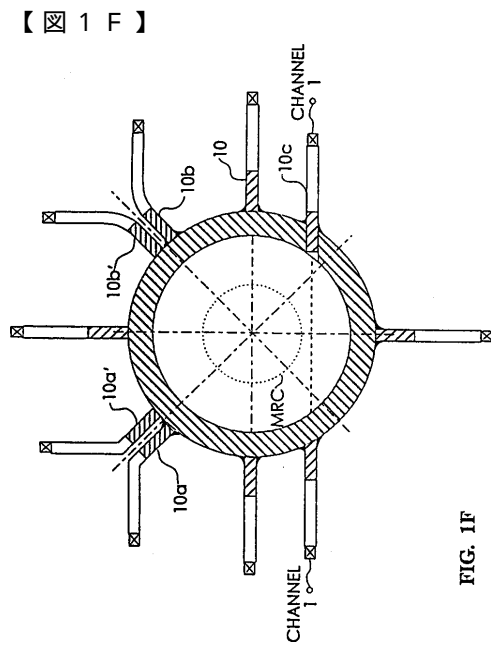
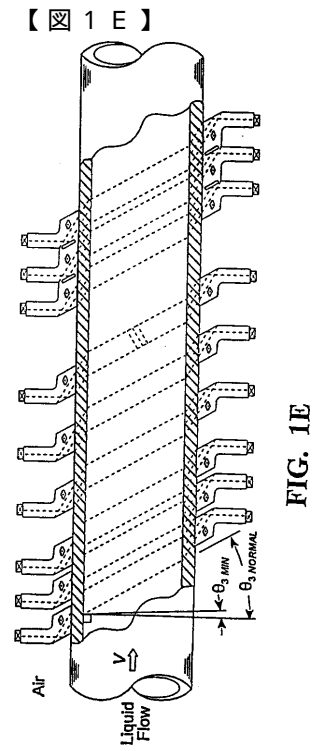
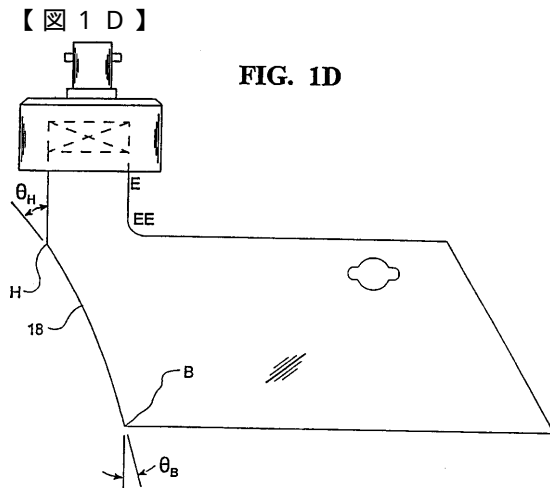


【図 1 B】

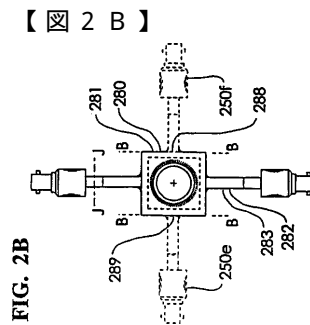
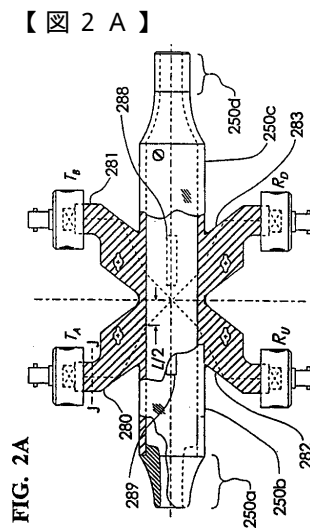
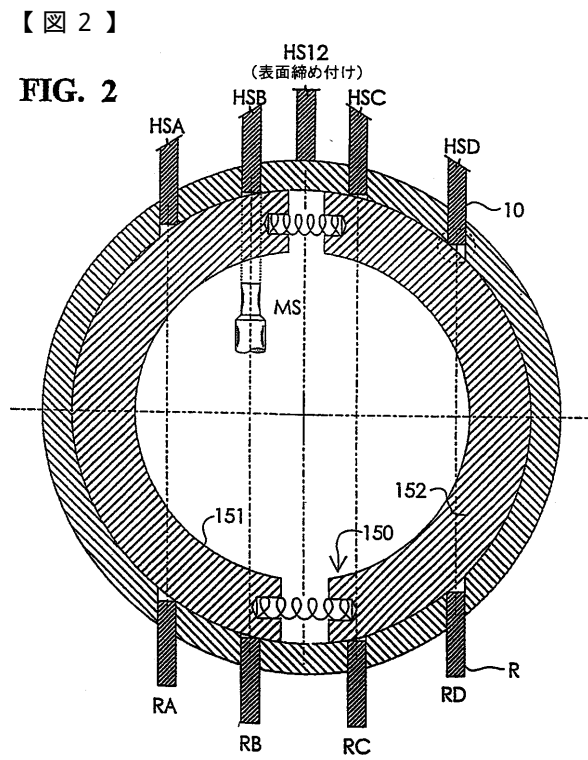
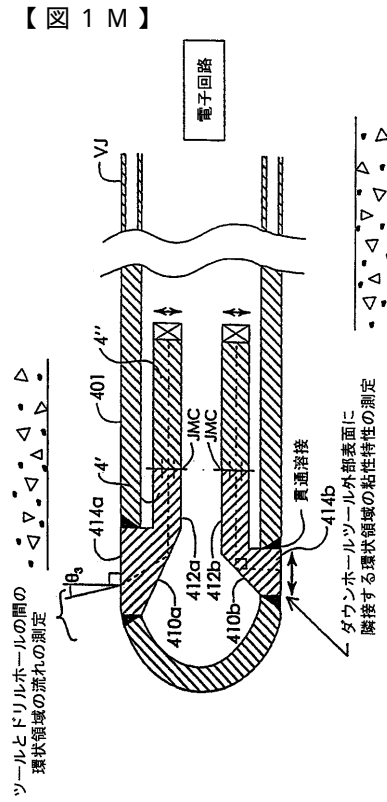
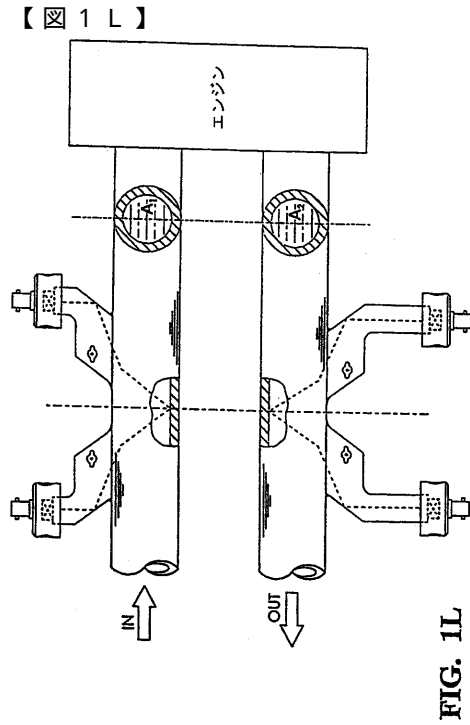


【図 1 C】



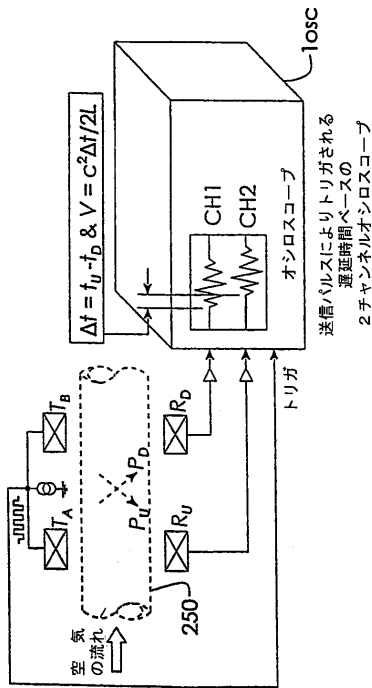






【図 2C】

FIG. 2C



【図 2D】

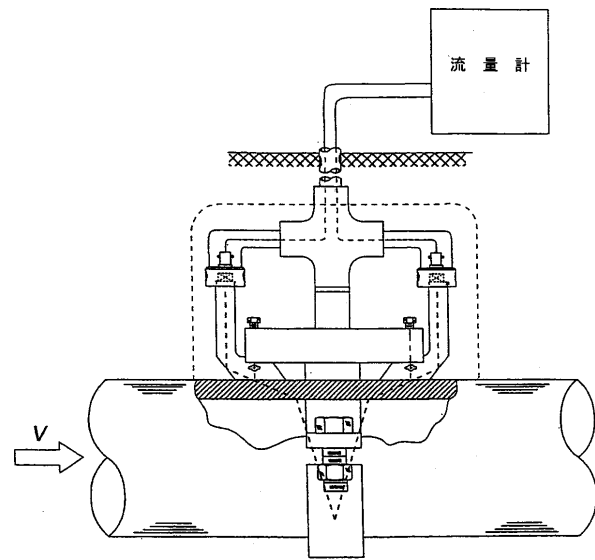
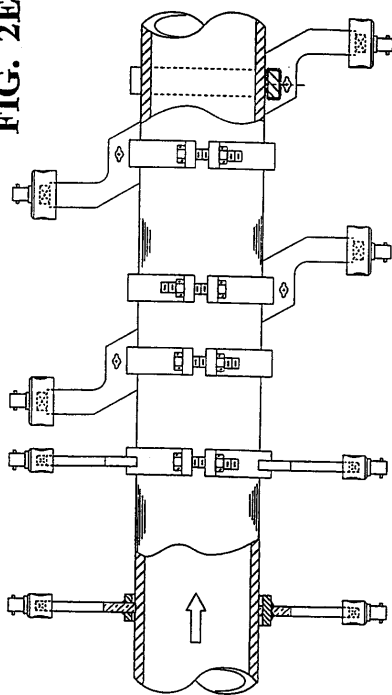


FIG. 2D

【図 2E】

FIG. 2E



【図 2F】

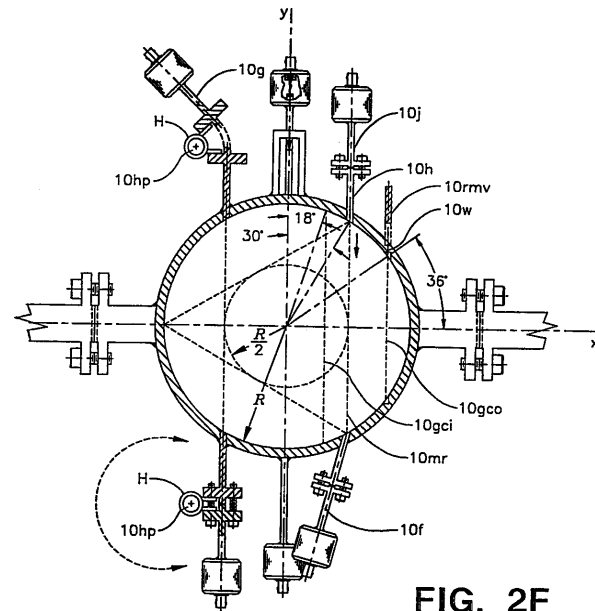
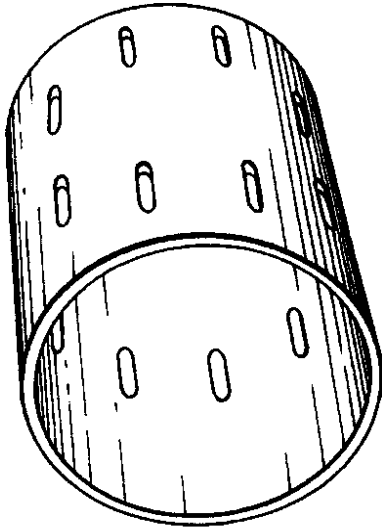


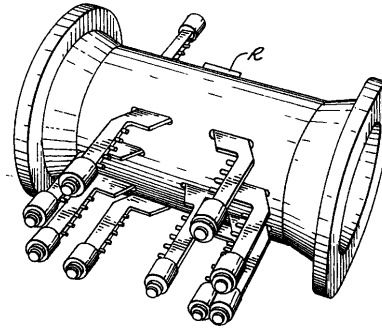
FIG. 2F

【 図 3 】



**FIG. 3**

【 図 3 A 】



*FIG. 3A*

【 ㄨ 3 B 】

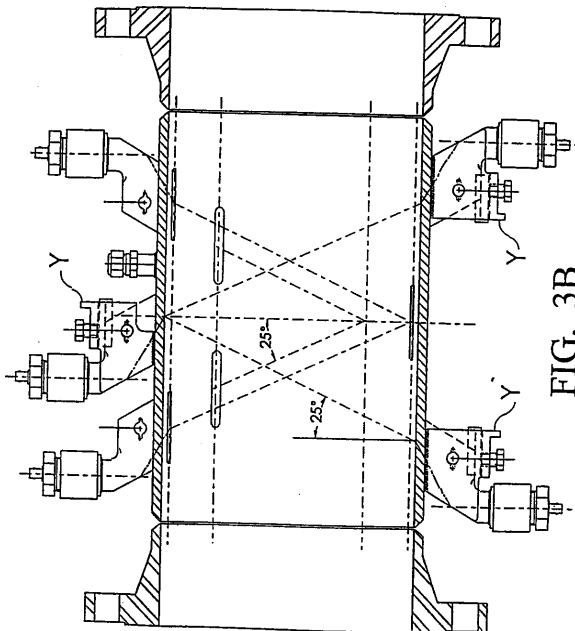


FIG. 3B

【 図 3 C 】

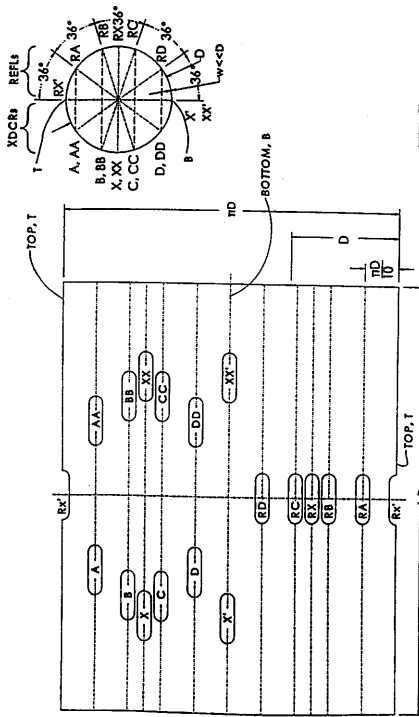
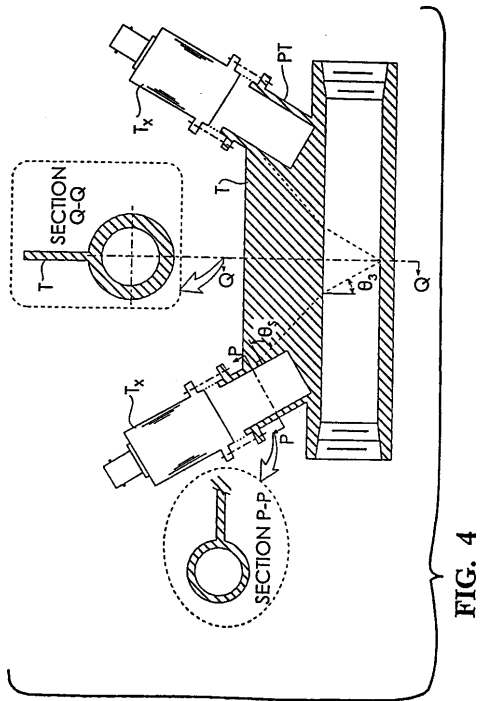
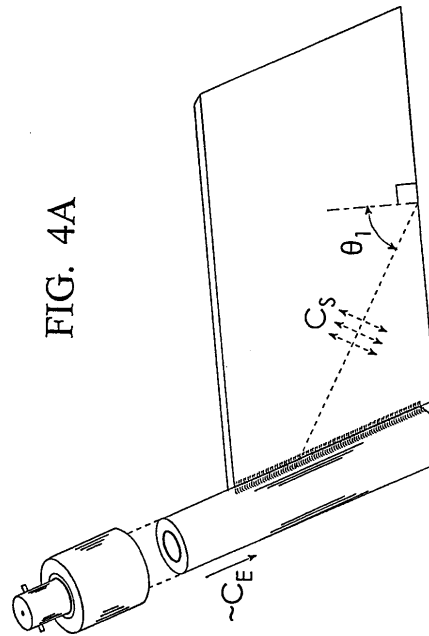


FIG. 3C

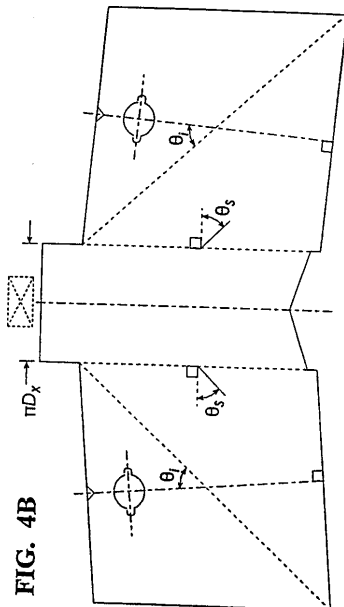
【 図 4 】



【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



【 図 4 C 】

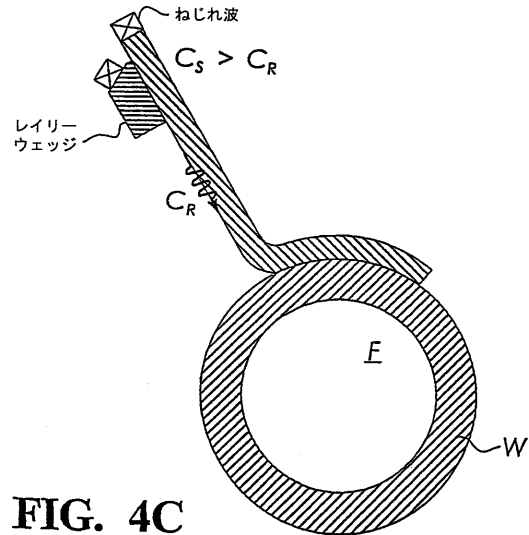


FIG. 4C

【 図 4 D 】

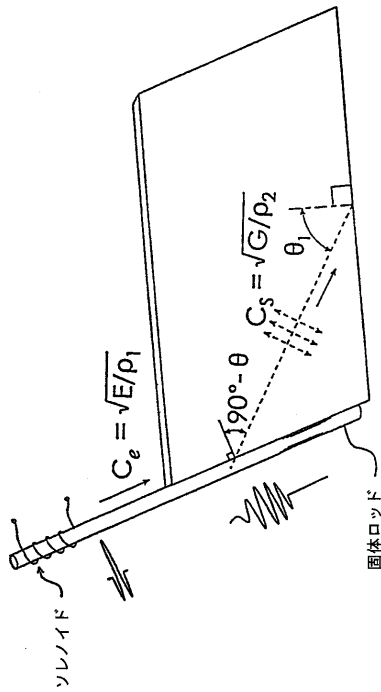
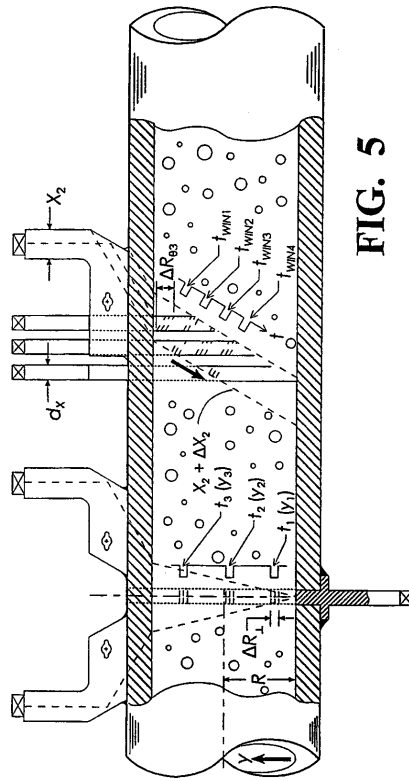


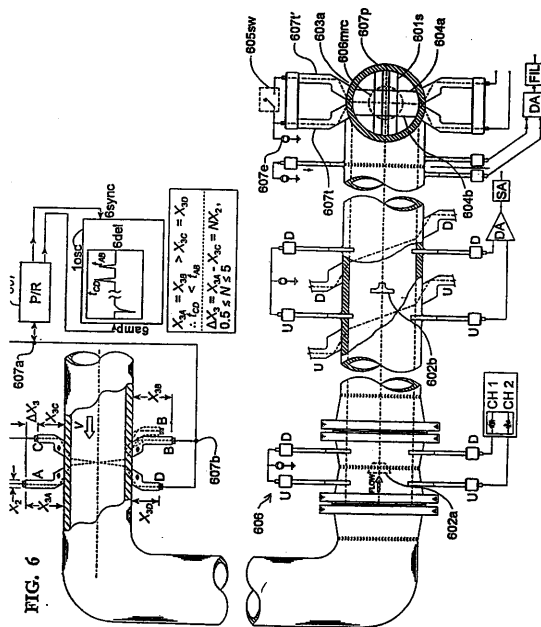
FIG. 4D

【 図 5 】

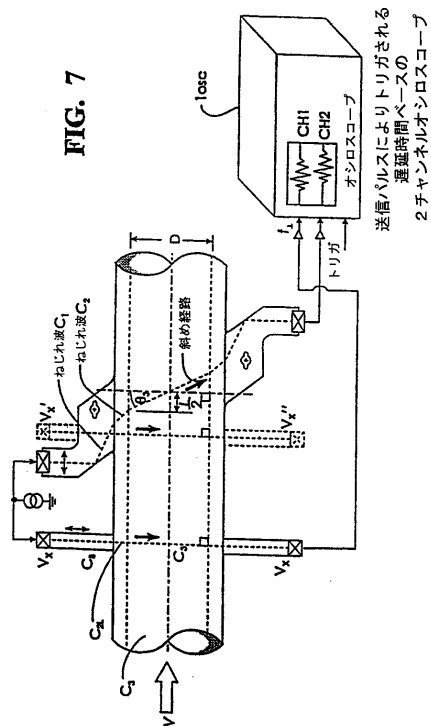


**FIG. 5**

【 図 6 】



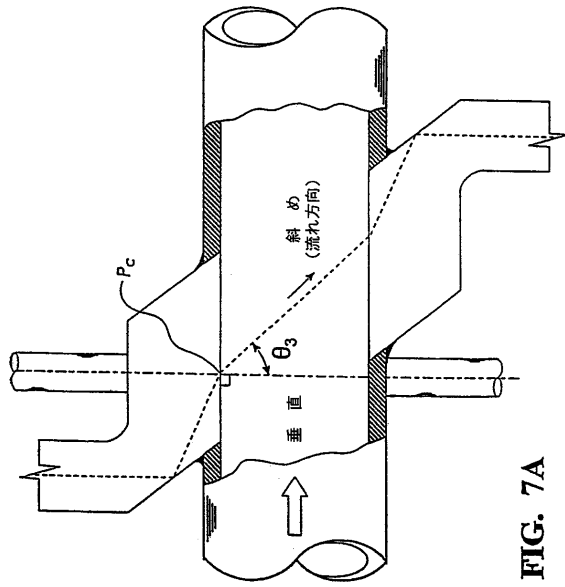
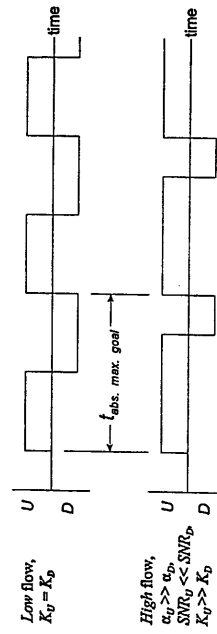
【圖 7】



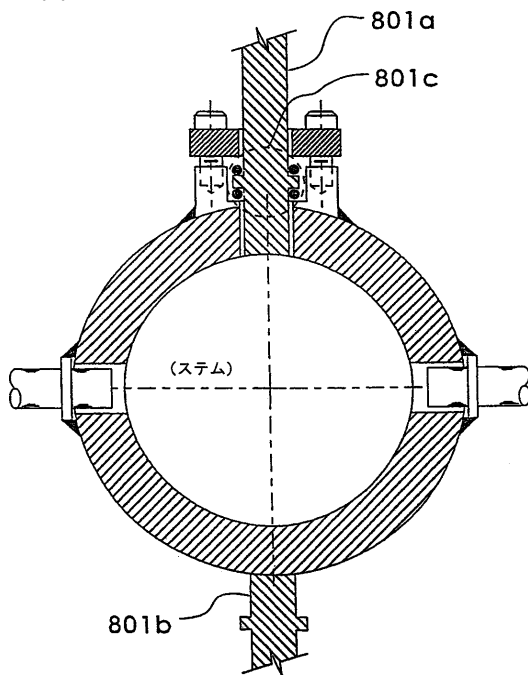
**FIG. 7**

送信パルスによりトリガされる  
遅延時間ベースの  
2チャンネルオシロスコープ

【図 7 A】

FIG. 8  
【図 8】

【図 8 A】



---

フロントページの続き

(72)発明者 リンワース, ロレンス シー .  
アメリカ合衆国 0 2 1 5 4 2 2 0 1 マサチューセッツ, ウォルサム, グレイモーロード  
7 7

審査官 森口 正治

(56)参考文献 特開昭63-265117(JP, A)  
特開平04-172222(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01F 1/00 - 9/02