

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4373781号
(P4373781)

(45) 発行日 平成21年11月25日(2009.11.25)

(24) 登録日 平成21年9月11日(2009.9.11)

(51) Int.Cl.

GO 1 F 1/84 (2006.01)
GO 1 N 9/00 (2006.01)

F 1

GO 1 F 1/84
GO 1 N 9/00

D

請求項の数 18 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2003-525240 (P2003-525240)
 (86) (22) 出願日 平成14年8月28日 (2002.8.28)
 (65) 公表番号 特表2005-502041 (P2005-502041A)
 (43) 公表日 平成17年1月20日 (2005.1.20)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/027488
 (87) 國際公開番号 WO2003/021206
 (87) 國際公開日 平成15年3月13日 (2003.3.13)
 審査請求日 平成17年8月23日 (2005.8.23)
 (31) 優先権主張番号 09/941,332
 (32) 優先日 平成13年8月29日 (2001.8.29)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592225504
 マイクロ・モーション・インコーポレーテッド
 Micro Motion Incorporated
 アメリカ合衆国コロラド州80301, ボルダー, ウィンチエスター・サークル
 7070
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 松本 一夫
 (74) 代理人 100076691
 弁理士 増井 忠式
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】コリオリ流量計における流管と流体との特性の決定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流管(201)に関連する複数のピックオフ(205、205')からのピックオフ信号を受信したことに応答して、前記流管と該流管を流れる材料との特性を決定するための方法(700)であって、前記ピックオフ信号が、前記流管に関連する駆動装置(204)によって振動させられる前記流管の振動を表す方法において、

a) 前記複数のピックオフから前記ピックオフ信号を受信するステップ(701)と、
 b) 前記ピックオフ信号に基づいて前記流管の測定されたモード形状を決定するステップ(702)と、

c) 流管・流体パラメータに対する1つ以上の値を選択するステップ(703)と、 10

d) 前記流管・流体パラメータに基づいて前記流管の推定されたモード形状を決定するステップ(704)と、

e) 前記推定されたモード形状と前記測定されたモード形状とを比較して、前記流管・流体パラメータに対する値の誤差を決定するステップ(705)と、

f) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にある場合に、前記流管・流体パラメータの値に基づいて前記流管と該流管を流れる流体との特性を決定するステップ(707)と、

を備える方法。

【請求項2】

更に、

g) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にない場合に、前記流管・流体パラメータの新たな値を選択するステップ(708)と、
前記ステップd)～g)を反復するステップと、
を備える、請求項1記載の方法(700)。

【請求項3】

前記流管・流体パラメータに対する前記値に基づいて、前記流管を流れる前記流体の密度を決定するステップを更に含む、請求項1記載の方法(700)。 10

【請求項4】

更に、
既知の密度の第1の流体を前記流管に流して、前記第1の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信して第1の係数を生成するステップと、
既知の密度の第2の流体を前記流管に流して、前記第2の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信して第2の係数を生成するステップと、
前記第1の係数及び前記第2の係数に基づいて密度校正係数を決定するステップと、
を備え、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する前記ステップが、前記流管・流体パラメータに対する前記値と前記密度校正係数とに基づいて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するステップを含む、請求項3記載の方法(700)。 20

【請求項5】

前記密度校正係数のうちの第1の係数が、前記流体の単位長さ当たりの面積と前記流管の曲げ剛性との比を含む、請求項4記載の方法(700)。 20

【請求項6】

前記密度校正係数のうちの第2の係数が、前記流管の単位長さ当たりの質量と前記流管の曲げ剛性との比を含む、請求項5記載の方法(700)。

【請求項7】

前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの第1の値が、前記流管の前記曲げ剛性に対する前記流体と前記流管との単位長さ当たりの質量との比を含み、
前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する前記ステップが、
前記密度校正係数のうちの第2の係数を前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの前記第1の値から引いて、第1の結果を生じるステップと、
前記第1の結果に前記密度校正係数のうちの前記第1の係数の逆を乗じて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するステップと、
を含む、請求項6記載の方法(700)。 30

【請求項8】

前記複数のピックオフが、前記流管に固定されて前記ピックオフ信号を生成するように構成された少なくとも4つの境界条件ピックオフを備える、請求項1記載の方法(700)。 40

【請求項9】

更に、前記複数のピックオフが、前記流管に固定されて基準信号を生成するように構成された少なくとも1つの基準ピックオフを備える、請求項8記載の方法(700)。

【請求項10】

前記流管・流体パラメータに対する前記新たな値を決定する前記ステップが、前記流管の少なくとも2つの振動モードからの前記流管・流体パラメータを比較して、前記新たな値を決定するステップを含む、請求項2記載の方法(700)。

【請求項11】

流管(201)に関連する複数のピックオフ(205、205')からのピックオフ信号を受信したことに応答して、前記流管と該流管を流れる材料との特性を決定するよう構成された計器電子機器(20)であって、前記ピックオフ信号が、前記流管に関連する駆動装置(204)によって振動させられる前記流管の振動を表す計器電子機器において、 50

記憶媒体からの命令を読み出すよう構成された処理ユニット(301)を備え、前記命令が、

- a) 前記複数のピックオフから前記ピックオフ信号を受信し、
- b) 前記ピックオフ信号に基づいて前記流管の測定されたモード形状を決定し、
- c) 流管・流体パラメータに対する1つ以上の値を選択し、
- d) 前記流管・流体パラメータに基づいて前記流管の推定されたモード形状を決定し、
- e) 前記推定されたモード形状と前記測定されたモード形状とを比較して、前記流管・流体パラメータに対する値の誤差を決定し、
- f) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にある場合、前記流管・流体パラメータの値に基づいて前記流管と該流管を流れる流体との特性を決定するよう前記処理ユニットに対して指示する計器電子機器。

【請求項12】

前記命令が、更に、
 g) 前記流管・流体パラメータの新たな値を選択し、
 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にない場合に、前記ステップd) ~ g) を反復する、
 よう前記処理ユニットに指示する、請求項11記載の計器電子機器。

【請求項13】

前記命令が、更に、前記流管・流体パラメータに対する前記値に基づいて、前記流管を流れる前記流体の密度を決定するよう前記処理ユニットに指示する、請求項12記載の計器電子機器。

【請求項14】

前記命令が、更に、
 既知の密度の第1の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信することに応答して第1の係数を生成し、
 既知の密度の第2の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信することに応答して第2の係数を生成し、
 前記第1の係数及び前記第2の係数に基づいて密度校正係数を決定し、
 前記密度校正係数、前記流管の前記値及び流体パラメータに基づいて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する、
 よう前記処理ユニットに指示する、請求項13記載の計器電子機器。

【請求項15】

前記密度校正係数のうちの第1の係数が、前記流体の単位長さ当たりの面積と前記流管の曲げ剛性との比を含む、請求項14記載の計器電子機器。

【請求項16】

前記密度校正係数のうちの第2の係数が、前記流管の単位長さ当たりの質量と前記流管の曲げ剛性との比を含む、請求項15記載の計器電子機器。

【請求項17】

前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの第1の値が、前記流管の前記曲げ剛性に対する前記流体と前記流管との単位長さ当たりの質量との比を含み、
 前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するよう前記処理ユニットに指示するよう構成された前記命令が、更に、

前記密度校正係数のうちの第2の係数を前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの前記第1の値から引いて、第1の結果を生じ、
 前記第1の結果に前記密度校正係数のうちの前記第1の係数の逆を乗じて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する、
 よう前記処理ユニットに指示する、請求項16記載の計器電子機器。

【請求項18】

前記流管・流体パラメータに対する前記新たな値を決定するよう前記処理ユニットに指示する前記命令が、前記流管の少なくとも2つの振動モードからの前記流管・流体パラメ

10

20

30

40

50

ータを比較して、前記新たな値を決定するよう前記処理ユニットに指示する、請求項 1 2 記載の計器電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コリオリ流量計に関するもので、特に、流管と該流管を流れる材料との特性を測定するための方法に関する。

課題の陳述

コリオリ流量計は、該流量計の流管を流れる流体の質量流量その他の情報を測定する。コリオリ流量計はコリオリ・センサとその関連の計器電子機器とからなる。コリオリ流量計の例はJ. E. スミス等に与えられた米国特許第4109524号、米国第4491025号及び米国再発行特許第Re31450号に開示されている。これらの流量計は直線状の又は曲がった1つ以上の流管を備えている。コリオリ流量計における流管の各構成は1組の固有振動モードを有しており、振動は単純な曲げ、捻れ、撓り又は結合された型である。各流管はこれらの固有振動モードの一つにおいて共振して振動するよう駆動される。流体は流量計の入り口側に接続されたパイプから流量計に入り、流管を通過するよう導かれ、流量計の出口側を通って流量計から出る。流体で満たされた振動システムの固有振動モードは、部分的に、流管と該流管を通過して流れる流体との質量の和によって規定される。

【0002】

流量計に流れがないとき、流管に沿う全部の点は、印加される駆動力によって実質的に同相で、又は補正可能な小さな初期固定位相ずれで振動する。流体が流れ始めると、コリオリの力により、流管に沿う点は異なる位相を持たされる。流管の入力側の位相は一般に駆動装置よりも遅れ、流管の出口側の位相は駆動装置よりも進む。流管には、流管の運動を測定して、流管の運動を表す正弦波のピックオフ信号を生成するために、ピックオフが固定される。計器電子機器はピックオフ信号を処理して、ピックオフ信号間の位相差を決定する。ピックオフ信号間の位相差は、流管を流れる流体の質量流量に比例する。

【0003】

コリオリ流量計及び振動管濃度計の重要な構成要素は駆動又は励振システムである。駆動システムは周期的で物理的な力を流管に印加して流管を振動させる。駆動システムは、流量計に取り付けられた駆動装置機構と、該駆動装置機構を動作させる駆動信号を生成する駆動回路とを備える。典型的には、駆動装置機構は、一つの流管に取り付けられた磁石と該磁石に対向する関係で他の流管又はブレース・バーに取り付けられたワイヤ・コイルとのような、多くの周知の装置の一つを含む。

【0004】

駆動回路は周期的駆動電圧を連続的に駆動装置機構に印加する。典型的には、駆動電圧は正弦波状又は矩形である。典型的な磁石とコイルを使った駆動機構においては、周期的駆動電圧によってコイルは連続的な交流磁界を生成する。コイルの交流磁界と磁石により生成される一定の磁界とによって、流管は正弦波パターンで振動させられる。当業者は認識するように、電気信号を機械的な力へ変換することのできる任意の装置が駆動装置としての応用に適している（カーペンタに対して発行されてマイクロ・モーション社に譲渡された米国特許第4777833号参照）。また、正弦波を用いる必要はないが、駆動信号としては任意の周期的信号が適切である（カロティに対して発行されてマイクロ・モーション社に譲渡された米国特許第5009109号参照）。

【0005】

二重管型の流量計においては、振動するようにコリオリ流量計が駆動される典型的なモードは第1逆相曲げモードである。第1逆相曲げモードは、二重管型のコリオリ流量計の2本の流管が互いに逆に振動する基本的な曲げモードである。しかし、これが、第1逆相曲げモードで駆動されるコリオリ流量計の振動する構造に存在する唯一の振動モードではない。高次の振動モードも流管に励振される。例えば、第1逆相捩れモードが、振動する

流管を流れる流体と該流体によって生じるコリオリの力との結果として励振され得る。励振され得る他の振動高次モードは、同相振動モード及び横方向振動モードである。第1逆相曲げモードで振動するよう駆動されるコリオリ流量計で実際に励振される振動モードは数百もある。第1逆相曲げモードに近い比較的狭い周波数範囲内でさえ、駆動システムによる流管の振動によって励振される少なくとも幾つかの追加の振動モードが存在する。駆動装置によって励振されている複数のモードに加えて、流量計の外の振動に起因して、追加の不要な振動モードも励振され得る。例えば、プロセス・ラインのどこかに配置されたポンプによって、パイプラインに沿う振動が生成されてコリオリ流量計に振動モードが励振されることがある。

【0006】

10

上記のように、駆動装置は流管を共振周波数で振動させる。流管の内部の流体の密度が変わるにつれて、共振周波数も変わる。共振周波数の変化の二乗は

【0007】

【数1】

$$\Delta f^2 = \frac{K}{\Delta \rho}$$

【0008】

の式によって記述されるように、密度の変化に反比例する。ただし、 f は共振周波数、 K は比例定数、 ρ は密度を表す。共振周波数の周期()も

20

【0009】

【数2】

$$\Delta \rho = K \Delta \tau^2$$

【0010】

の式に記述されるように使用可能である。ただし、 τ は共振周波数の周期を表す。コリオリ流量計のユーザは流体の密度の相対変化ではなく絶対密度を測定することを望むことがある。コリオリ流量計の校正は、比例定数 K と基準流体密度とを決定するために必要とされる。コリオリ流量計の校正は、既知の流体によって共振周波数及び / 又は共振周期を測定することによって達成される。流体の絶対密度は

30

【0011】

【数3】

$$\rho_{measured} = \left[\frac{\rho_2 - \rho_1}{\tau_2^2 - \tau_1^2} \right] (\tau_{measured}^2 C(T) - \tau_1^2) + \rho_1$$

【0012】

を使用して計算することができる。ただし、 ρ_1 及び ρ_2 は 2 つの既知の流体を用いた管周期を表し、 τ_1 及び τ_2 は 2 つの既知の流体の密度を表す。C (T) はコリオリ流量計の材料の温度に起因する変化に対する温度補償である。

40

【0013】

不幸なことに、流体の温度は流量計の周りの周囲温度とは異なることが多い。コリオリ流量計の流管は温度膨張によって拡大又は収縮する。曲がった管の流量計については、温度膨張は問題にならない。これは、流管が膨張、収縮に対して自由だからである。直線状の管の流量計の場合には、流管の温度膨張は問題となる。これは、流管の軸方向の膨張がケース、ブレース・バーその他の手段によって規制されるからである。温度膨張は、流体密度が変わらないとしても、温度によって共振周波数を変化させ得る。計器電子機器は温度補正を用いて温度膨張を補償することができるが、計器電子機器は温度膨張を信頼性の高い手段で取り扱うようにはなされてきていない。この温度補正是、温度膨張係数を仮定

50

するので、張力及び／又は圧縮の間接的な予測である。

【0014】

一般に、直線状の管の流量計は、曲がった管の流量計よりも境界条件の変化に対して敏感である。境界条件は、振動する流管の動きを規制する力及びモーメントである。逆に、二重管の流量計は当然に平衡が取られているので、2つの流管によって加えられる力とモーメントの和はゼロである。直線状の管の流量計の中には、平衡システムを利用して、単一の流管によって加えられる境界の力及びモーメントに受動的に又は能動的に対抗するものもある。不幸なことに、受動的な平衡システムは流体密度の限られた範囲にわたってしか働かない。能動的な平衡システムは流量計に追加の複雑さを加える。つまり、温度変化及び境界条件の変化によって生じる問題は、直線状の管の流量計に特に顕著である。

10

【0015】

流管と該流管を流れる流体との特性は、流量計から得られる有用な情報である。流管と該流管を流れる流体との特性は、流体密度、流管の張力／圧縮、流管の材料の密度、流管内の圧力及びその他の特性を含む。不幸なことに、流管と該流管を流れる流体との特性の正確な測定は、現在では、温度変化や環境条件の変化等の条件の補償なしに達成することは困難である。

【0016】

解決手段の陳述

上記の及び他の課題並びに当該技術分野の進歩は、流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのシステム及び方法によってなされる。本発明は、直線状の管の流量計における温度変化と境界条件変化について直接補償することなく、流管と該流管を流れる流体との特性を決定する。

20

【0017】

本発明によると、計器電子機器は、流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのプロセスを提供する命令を実施する。該プロセスは、計器電子機器が複数のピックオフからピックオフ信号を受信したときに開始される。計器電子機器はピックオフ信号に基づいて流管の測定されたモード形状を決定する。次いで、計器電子機器は流管・流体パラメータに対する値を選択する。流管・流体パラメータは流管の又は該流管を流れる流体の物理的特性を表す。次いで、計器電子機器は流管・流体パラメータに対する値に基づいて流管の推定されたモード形状を決定する。計器電子機器は推定されたモード形状と測定されたモード形状とを比較して、流管・流体パラメータに対する値の誤差を決定する。計器電子機器は流管・流体パラメータに対する値の誤差が誤差範囲内にあるかどうかを決定する。値の誤差が誤差範囲内にある場合には、計器電子機器は、流体パラメータに対する値の少なくとも1つの値に基づいて、流管の又は該流管を流れる流体の特性を決定する。

30

【0018】

或る例においては、値の誤差が誤差範囲内にない場合に、計器電子機器は流管・流体パラメータの新たな値を選択する。次いで、計器電子機器は新たな値を用いて上記プロセスを反復する。

【0019】

或る例においては、決定された流管と該流管を流れる流体との特性のうちの1つは、流体の密度である。密度を決定するために、計器電子機器は1つ以上の密度校正係数を決定する必要がある。密度校正係数の決定は、既知の密度の第1の流体を流管に流すステップを含む。計器電子機器は、第1の流体が流管を流れるときの流管の運動を表すピックオフ信号を受信する。上記決定は更に、既知の密度の第2の流体を流管に流すステップを含む。計器電子機器は、第2の流体が流管を流れるときの流管の運動を表すピックオフ信号を受信する。計器電子機器は、第1及び第2の流体が流管を流れるときに応答して受信されたピックオフ信号から密度校正係数を決定する。

40

【0020】

本発明の1つの特徴は、

流管に関連する複数のピックオフからのピックオフ信号を受信したことに応答して、前

50

記流管と該流管を流れる材料との特性を決定するための方法であって、前記ピックオフ信号が、前記流管に関連する駆動装置によって振動させられる前記流管の振動を表す方法において、

- a) 前記複数のピックオフから前記ピックオフ信号を受信するステップと、
 - b) 前記ピックオフ信号に基づいて前記流管の測定されたモード形状を決定するステップと、
 - c) 流管・流体パラメータに対する値を選択するステップと、
 - d) 前記流管・流体パラメータに基づいて前記流管の推定されたモード形状を決定するステップと、
 - e) 前記推定されたモード形状と前記測定されたモード形状とを比較して、前記流管・流体パラメータに対する値の誤差を決定するステップと、
 - f) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にある場合に、前記流管・流体パラメータの値に基づいて前記流管と該流管を流れる流体との特性を決定するステップと、
- を備える方法を含む。

【0021】

好ましくは、上記方法は、更に、

- g) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にない場合に、前記流管・流体パラメータの新たな値を選択するステップと、

前記ステップd) ~ g) を反復するステップと、
を備える。

10

20

【0022】

好ましくは、前記方法は、前記流管・流体パラメータに対する前記値に基づいて、前記流管を流れる前記流体の密度を決定するステップを更に含む。

好ましくは、上記方法は、更に、
既知の密度の第1の流体を前記流管に流して、前記第1の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信して第1の係数を生成するステップと、
既知の密度の第2の流体を前記流管に流して、前記第2の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信して第2の係数を生成するステップと、
前記第1の係数及び前記第2の係数に基づいて密度校正係数を決定するステップと、
を備え、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する前記ステップが、前記流管・流体パラメータに対する前記値と前記密度校正係数とに基づいて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するステップを含む。

30

【0023】

好ましくは、前記密度校正係数のうちの第1の係数は、前記流管の単位長さ当たりの面積と前記流管の曲げ剛性との比を含む。

好ましくは、前記密度校正係数のうちの第2の係数は、前記流管の単位長さ当たりの質量と前記流管の曲げ剛性との比を含む。

40

【0024】

好ましくは、上記方法において、前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの第1の値は、前記流管の前記曲げ剛性に対する前記流体と前記流管との単位長さ当たりの質量との比を含み、

前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する前記ステップが、
前記密度校正係数のうちの第2の係数を前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの前記第1の値から引いて、第1の結果を生じるステップと、
前記第1の結果に前記密度校正係数のうちの前記第1の係数の逆を乗じて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するステップと、
を含む。

50

【0025】

好ましくは、前記複数のピックオフは、前記流管に固定されて前記ピックオフ信号を生成するように構成された少なくとも4つの境界条件ピックオフを備える。

好ましくは、前記複数のピックオフは更に、前記流管に固定されて基準信号を生成するように構成された少なくとも1つの基準ピックオフを備える。

【0026】

好ましくは、前記流管・流体パラメータに対する前記新たな値を決定する前記ステップは、前記流管の少なくとも2つの振動モードからの前記流管・流体パラメータを比較して、前記新たな値を決定するステップを含む。

【0027】

10

本発明の他の特徴は、

流管に関連する複数のピックオフからのピックオフ信号を受信したことに応答して、前記流管と該流管を流れる材料との特性を決定するよう構成された計器電子機器であって、前記ピックオフ信号が、前記流管に関連する駆動装置によって振動させられる前記流管の振動を表す計器電子機器において、

記憶媒体からの命令を読み出すよう構成された処理ユニットを備え、前記命令が、

a) 前記複数のピックオフから前記ピックオフ信号を受信し、

b) 前記ピックオフ信号に基づいて前記流管の測定されたモード形状を決定し、

c) 流管・流体パラメータに対する値を選択し、

d) 前記流管・流体パラメータに基づいて前記流管の推定されたモード形状を決定し、

e) 前記推定されたモード形状と前記測定されたモード形状とを比較して、前記流管・流体パラメータに対する値の誤差を決定し、

f) 前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にある場合、前記流管・流体パラメータの値に基づいて前記流管と該流管を流れる流体との特性を決定するよう前記処理ユニットに対して指示する計器電子機器を含む。

【0028】

好ましくは、上記命令は、更に、

g) 前記流管・流体パラメータの新たな値を選択し、

前記流管・流体パラメータに対する値の前記誤差が誤差範囲内にない場合に、前記ステップd) ~ g) を反復する、

30

よう前記処理ユニットに指示する。

【0029】

好ましくは、前記命令は更に、前記流管・流体パラメータに対する前記値に基づいて、前記流管を流れる前記流体の密度を決定するよう前記処理ユニットに指示するよう構成される。

【0030】

好ましくは、前記命令は更に、

既知の密度の第1の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信することに応答して第1の係数を生成し、

既知の密度の第2の流体が前記流管を流れるときの前記流管の運動を表す前記ピックオフ信号を受信することに応答して第2の係数を生成し、

40

前記第1の係数及び前記第2の係数に基づいて密度校正係数を決定し、

前記密度校正係数、前記流管の前記値及び流体パラメータに基づいて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する、

よう前記処理ユニットに指示するよう構成される。

【0031】

好ましくは、前記密度校正係数のうちの第1の係数は、前記流管の単位長さ当たりの面積と前記流管の曲げ剛性との比を含む。

好ましくは、前記密度校正係数のうちの第2の係数は、前記流管の単位長さ当たりの質量と前記流管の曲げ剛性との比を含む。

50

【0032】

好ましくは、前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの第1の値は、前記流管の前記曲げ剛性に対する前記流体と前記流管との単位長さ当たりの質量との比を含み、

前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定するよう前記処理ユニットに指示するよう構成された前記命令は更に、

前記密度校正係数のうちの第2の係数を前記流管・流体パラメータに対する前記値のうちの前記第1の値から引いて、第1の結果を生じ、

前記第1の結果に前記密度校正係数のうちの前記第1の係数の逆を乗じて、前記流管を流れる前記流体の前記密度を決定する、

よう前記処理ユニットに指示するよう構成される。

10

【0033】

好ましくは、前記流管・流体パラメータに対する前記新たな値を決定するよう前記処理ユニットに指示する前記命令は更に、前記流管の少なくとも2つの振動モードからの前記流管・流体パラメータを比較して、前記新たな値を決定するよう前記処理ユニットに指示するよう構成される。

【0034】

本発明の上記の及び他の特徴は詳細な説明と図面を読むことによって理解され得る。

詳細な説明

図1～図3は、本発明を実施するための実施の形態を示している。本発明は図1～図3の実施の形態に限定されるものではなく、請求項によってのみ規定される。

20

【0035】**二重管型のコリオリ流量計 図1**

図1は、コリオリ・センサ10及び計器電子機器20を備える二重管型のコリオリ流量計5を示している。計器電子機器20はリード線100を介してコリオリ・センサ10と接続され、質量流量、体積流量、総合質量流量及びその他の情報を経路26に提供する。流量計5について記述するが、当業者には明らかなように、本発明は、流体の特性を測定する振動管を備える任意の装置とともに実施し得る。こうした装置の他の例は、コリオリ質量流量計によって提供される追加の測定能力を持たない振動管濃度計である。

【0036】

コリオリ・センサ10は、一対のフランジ101、101'、マニフォールド102と、流管103A、103Bとを備えている。駆動装置104及びピックオフ105、105'は流管103A、103Bに取り付けられる。プレース・バー106、106'は各流管が振動する軸W、W'を規定するように働く。当業者であれば理解するように、本発明を実施するには追加のピックオフが必要になることもある。図1は発明を実施するための例としての実施の形態を示しているにすぎないので、本発明は図1の構成に限定されるものではない。

30

【0037】

コリオリ・センサ10は、測定されているプロセス流体を運ぶパイプライン・システム(図示せず)に挿入される。流体はフランジ101を通ってセンサ10に入る。流体はマニフォールド102を通過して流管103A、103Bに入る。流体は流管103A、103Bを通って流れマニフォールド102に戻り、フランジ101'を通ってセンサ10から出る。

40

【0038】

流管103A、103Bは軸W-W'、W'-W'に関して実質的に同じ質量分布、慣性モーメント及び弾性率を有するように選択され、マニフォールド102に適切に取り付けられる。流管103A、103Bは本質的に平行にマニフォールド102から外方へ延びる。

【0039】

流管103A、103Bは、駆動装置104によって、いわゆる第1逆相曲げモードで曲げ軸W、W'に関して逆方向に駆動される。駆動装置104は、流管103Aに取り付

50

けられた磁石と、流管 103B に取り付けられていて交流電流が流されると流管 103A, 103B を振動させる対向コイルとのよう、多くの周知の装置のうちの一つを備え得る。計器電子機器 20 はリード線 110 を介して駆動信号を駆動装置 104 に供給する。

【0040】

計器電子機器 20 はピックオフ 105 から信号線 111 に現れる左速度信号を受信し、ピックオフ 105' から信号線 111' に現れる右速度信号を受信する。計器電子機器 20 は駆動信号をリード線 110 に生成して駆動装置 104 により流管 103A, 103B を振動させる。計器電子機器 20 は左右の速度信号を処理して、センサ 10 を通る流体の質量流量と密度とを計算する。計器電子機器 20 はこの情報を経路 26 を介して補助電子機器（図示せず）に転送する。

10

【0041】

当業者に知られているように、流量計 5 は振動管濃度計によく似ている。また、振動管濃度計は、流体が流れる振動管、又は、サンプリング型の濃度計の場合には流体を内部に保持する振動管を利用する。また、振動管濃度計は流管を励振して振動させるための駆動システムを採用する。典型的には、振動管濃度計は単一のフィーバック信号を利用する。これは、濃度測定には周波数の計測のみが必要であり、位相の測定は不要だからである。本明細書における本発明の記述は振動管濃度計にも等しく当てはまる。

【0042】

直線状の管のコリオリ流量計 図 2

図 2 は直線状の管のコリオリ流量計 25 を示している。直線状の管のコリオリ流量計 25 はコリオリ・センサ 200 とその関連の計器電子機器 20 とからなる。コリオリ・センサ 200 は単一の流管 201 を備える。流管 201 は左端部 201L と右端部 201R とを有する。流管 201 とその端部は、流管 201 の入力端から流管 201 の出力端まで、流量計 25 の全長にわたって延びる。バランス・バー 220 の両端はプレース・バー 221 によって流管 201 に接続される。

20

【0043】

流管 201 の左端部 201L は入り口フランジ 202 に固定される。右端部 201R は出口フランジ 202' に固定される。入り口フランジ 202 と出口フランジ 202' とはコリオリ・センサ 202 をパイプライン（図示せず）に接続するよう構成される。

【0044】

周知の従来の方法で、駆動装置 204、左ピックオフ 205 及び右ピックオフ 205' は流管 201 及びバランス・バー 220 に結合される。駆動装置 204 は、経路 210 を介して計器電子機器 20 から信号を受信し、流管 201 及びバランス・バー 220 を、流体を満たされた流管 201 の共振周波数で且つ逆相で振動させる。振動する流管 201 とそこを流れる流体とが振動することにより、周知の方法で流管 201 にコリオリの偏向が誘導される。ピックオフ 205, 205' はコリオリの偏向を検知し、コリオリの偏向を表す信号を導体 211, 211' を介して計器電子機器 20 へ伝送する。計器電子機器 20 は流体の質量流量や密度などの情報を経路 26 を介して補助電子機器（図示せず）へ伝える。当業者は理解するように、直線状の二重の管も図 2 と同様に使用可能である。

30

【0045】

計器電子機器 図 3

図 3 は、計器電子機器 20 の構成要素を示している。計器電子機器 20 は図 2 においてセンサ 200 に接続されるものとして図示されている。経路 211, 211' はセンサ 200 からの左右の速度信号を計器電子機器 20 へ伝送する。速度信号は計器電子機器 20 のアナログ・デジタル（A/D）コンバータ 303 で受信される。A/D コンバータ 303 は左右の速度信号を処理ユニット 301 によって使用できるようデジタル信号に変換し、該デジタル信号を経路 310 - 310' を介して伝送する。A/D コンバータ 303 は別個の構成要素として図示されているが、クリスタル・セミ社によって製造される CS4218 ステレオ 16 ビット・コーデック・チップのような単一のコンバータであってよい。このデジタル信号は経路 310 - 310' によって処理ユニット 301 へ運ばれる。

40

50

当業者は認識するように、任意の数のピックオフと流管の温度を決定するための R T D センサのような他のセンサとを処理ユニット 301 に接続してもよい。

【 0 0 4 6 】

駆動信号は経路 312 を介して伝送され、デジタル・アナログ (D/A) コンバータ 302 に印加される。また、D/A コンバータ 302 は経路 340 を介してピックオフ 205 - 205' のうちの一つから電圧を受け取る。駆動信号は経路 340 から受け取った電圧を修正してアナログ駆動信号を生成するための命令を含む。D/A コンバータ 302 はアナログ・デバイセズ社によって生産されている AD7943 チップのような普通の D/A コンバータである。D/A コンバータ 302 からのアナログ信号は経路 391 を介して増幅器 305 へ送られる。増幅器 305 は適切な振幅の駆動信号を生成し、該駆動信号を経路 210 を介して駆動装置 204 へ伝える。増幅器 305 は電流増幅器又は電圧増幅器であってよい。経路 26 は、計器電子機器 20 がオペレータとの間でデータを送受信することができるようとする信号を補助電子機器 (図示せず) に運ぶ。10

【 0 0 4 7 】

処理ユニット 301 は、メモリから命令を読み出して該命令を実行し且つ流量計の種々の機能を実施するマイクロプロセッサ、プロセッサ又はプロセッサ群である。好ましい実施の形態においては、プロセッサ 301 はアナログ・デバイセズ社により製造された ADSP-2185L マイクロプロセッサである。実施される機能は、経路 321 を介してリード・オンリ・メモリ (ROM) 320 から、流体の質量流量、流体の体積流量及び流体の密度を計算することを含むが、これに限定されるものではない。データや種々の機能を実施するための命令はランダム / アクセス / メモリ (RAM) 330 に記憶される。プロセッサ 301 は、経路 331 を介して RAM330 における読み出し書き込み操作を実施する。20

【 0 0 4 8 】

一般的な概観

本発明は、流管と該流管を流れる流体との特性を決定することに關係する。一般的な概観の後、流管と該流管を流れる流体との特性を決定するのに使用されるプロセスの詳細を記述することにする。

【 0 0 4 9 】

流体が流れている流管を観察する一つの方法は、張力の下でのオイラ / ベルヌーイのビームとしての方法である。当業者は理解するように、チモシェンコ・ビーム・モデル等の他のモデルを使用することもできる。コリオリ流量計の流管のようなビームの同次微分方程式は30

【 0 0 5 0 】

【 数 4 】

$$EI_{tube} \frac{\delta^4 y(x,t)}{\delta x^4} + \rho A \frac{\delta^4 y(x,t)}{\delta t^2} - S \frac{\delta^2 y(x,t)}{\delta x^2} = 0 \quad (1)$$

【 0 0 5 1 】

によって表される。ただし、 $E I_{tube}$ は流管の曲げ剛性、 S は流管の張力、 A は流管と流体との単位長さ当たりの質量である。40

式 (1) の左辺の第 3 項は流管の張力 / 圧縮項である。慣例により、 S は張力に対しては正、圧縮に対しては負である。変数分離を $y(x, t)$ に適用すると、

【 0 0 5 2 】

【 数 5 】

$$y(x, t) = \sum_{r=1}^{\infty} \phi_r(x) \eta_r(t) = \sum_{r=1}^{\infty} \phi_r(x) e^{j \omega_r t} \quad (2)$$

【 0 0 5 3 】

の形の解を得ることができる。ただし、 r は空間座標に関するモード形状を記述する関数、 $r(t)$ は時間の関数としてのモード応答である。

ここで検討のために、モード解析の総計は省略される。したがって、「モード当たりの」微分方程式は

【0054】

【数6】

$$\Phi_r(x) = e^{\lambda_r x} \quad \eta_r(t) = e^{j\omega_r t} \quad (3)$$

【0055】

となる。ただし、 $r(x)$ は r 次モードの固有ベクトル、 λ_r は r 次モードの固有値、 ω_r は r 次モードの減衰された固有周波数である。

式(2)及び(3)を式(1)に代入すると、

【0056】

【数7】

$$\left(\lambda_r^4 - \frac{S}{EI_{tube}} \lambda_r^2 - \frac{\rho A}{EI_{tube}} \omega_r^2 \right) e^{\lambda_r x} e^{j\omega_r t} = 0 \quad (4)$$

【0057】

となる。 λ_r の根について解いて任意のモード形状に対する式を得ることは可能である。
 λ_r について解くと、

【0058】

【数8】

$$\lambda_r = \pm \sqrt{\frac{-b_r \pm \sqrt{b_r^2 - 4c_r}}{2}}$$

$$b_r = -\frac{S}{EI_{tube}} \quad (5) \quad 30$$

$$c_r = \frac{\rho A}{EI_{tube}} \omega_r^2$$

【0059】

が得られる。上記の式から、 λ_r は 2 つの実数根と 2 つの虚数根とを有し、それらは

【0060】

【数9】

$$\lambda_{1r} = \pm \sqrt{\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2}}^{1/2} \quad (6) \quad 40$$

$$\lambda_{2r} = \pm \sqrt{\frac{b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2}}^{1/2} \quad (7)$$

【0061】

のように表される。

S/EI 、 A/EI 及び ω_r は固有値を決定するのに使用されるので、これらの項を

固有値パラメータと呼ぶことができる。また、S/EI及びA/EIは流管・流体パラメータ(flow tube and fluid parameters)と呼ぶことができる。任意のモードのモード形状又は固有ベクトルを決定するための関数は

【0062】

【数10】

$$\Phi_r(x) = C1_r e^{\lambda 1_r x} + C2_r e^{-\lambda 1_r x} + C3_r e^{j\lambda 2_r x} + C4_r e^{-j\lambda 2_r x} \quad (8)$$

【0063】

で与えられる。ただし、C1_r、C2_r、C3_r、C4_rはr次モードに対する境界条件係数を表す。代わりに、式(8)は

【0064】

【数11】

$$\Phi_r(x) = \begin{bmatrix} e^{\lambda 1_r x} & e^{-\lambda 1_r x} & e^{j\lambda 2_r x} & e^{-j\lambda 2_r x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \end{Bmatrix}_r = \exp\left(\begin{bmatrix} \lambda 1_r x & -\lambda 1_r x & j\lambda 2_r x & -j\lambda 2_r x \end{bmatrix}\right) \begin{Bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \end{Bmatrix}_r \quad (9)$$

【0065】

のようにドット積の形で表され得る。

この式は境界条件を決定するために後で使用される。典型的には、モード周波数の解は、流管の2つの端部における4つの境界条件が知られていることを必要とする。これらの境界条件はモード周波数に対する式、すなわち、式(8)及び(9)から解かれる。

【0066】

境界条件を決定するために、流管の物理的特性及び流体特性に対しては名目上の値が知られていると仮定して、モードの周波数が「p」個の離散した距離で測定される。境界条件を解くためには、さらに4個のピックオフを使用してモード形状を測定するが、これらのピックオフは境界条件ピックオフと呼ばれる。基準ピックオフと呼ばれる1個以上のピックオフは基準値を測定するために使用される。基準値は推定されたモード形状と比較され、モード形状の誤差が決定される。これらの基準ピックオフは、境界条件ピックオフと一致するところを除いて任意の場所に配置され得る。{x}を、流管に沿う境界条件ピックオフの場所と仮定する。したがって、

【0067】

【数12】

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{Bmatrix} \quad (10)$$

(10)

【0068】

が成り立つ。ただし、p=4である。

{x}の上記記述から、式(9)を拡張してマトリクス形式

【0069】

10

20

30

40

【数13】

$$\begin{Bmatrix} \Phi_r(x_1) \\ \vdots \\ \Phi_r(x_p) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{\lambda_{1r}x_1} & e^{-\lambda_{1r}x_1} & e^{j\lambda_{2r}x_1} & e^{-j\lambda_{2r}x_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{\lambda_{1r}x_p} & e^{-\lambda_{1r}x_p} & e^{j\lambda_{2r}x_p} & e^{-j\lambda_{2r}x_p} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C1_r \\ C2_r \\ C3_r \\ C4_r \end{Bmatrix} = [B]_r [C]_r \quad (11)$$

【0070】

を作ることができる。

固有値 λ_{1r} 及び λ_{2r} が既知であれば、境界条件は最小二乗適合技法を用いて、

10

【0071】

【数14】

$$\{C\}_r = [B_r]^+ \{ \Phi_r(x) \} \quad (12)$$

【0072】

のように $[B]_r$ の擬似逆を取りことにより定量化される。

オイラ／ベルヌーイのモデルによると、各モードの固有値は3つの変数、すなわち S/EI 、 A/EI 及び r から作られる。 S/EI は張力の曲げ剛性に対する比であり、

A/EI は単位長さ当たりの質量の曲げ剛性に対する比であり、 r はモード周波数である。モード周波数は境界条件ピックオフに信号の解析を用いて極めて正確に測定することができる。また、 S/EI 及び A/EI は名目上は知られている。換言すると、これら2つの変数の推定値は、教科書や他の出版された基準に見出される公表された名目値から決定され得る。次いで、最適化技法を用いて、これらの変数の最適値を許容誤差範囲内で見出す。 S/EI 及び A/EI を解くと、流管と該流管を流れる流体との特性を以下に述べるように決定することができる。

20

【0073】

図4のグラフ400は S/EI 及び A/EI の推定値間の関係を示している。線402は振動の r 次モードの測定されたモード形状である。測定されたモード形状はピックオフ信号から生成される。グラフ400において、モードは流管の第1曲げモードである。線401は、流管・流体パラメータ S/EI 、 A/EI の推定値に基づいて推定されたモード形状である。点403は、式(12)を用いて境界位置 $\{C\}_r$ を決定するのに使用される、境界条件ピックオフからのピックオフ値である。点404は実際の測定された基準ピックオフ値である。点405は、 S/EI 及び A/EI の推定値に基づいて推定された基準ピックオフ値である。

30

【0074】

図5は、流管の第1曲げモードに対する推定値の範囲についての誤差表面の誤差面502を示す3次元グラフ500を示している。グラフ500は流管の第1曲げモードに対するものである。面501はゼロ誤差面である。誤差面502とゼロ誤差面501との交差が誤差曲線となる。誤差曲線上の S/EI 及び A/EI の任意の値は有効な推定値である。これは、これらの解に対する基準ピックオフ誤差がほぼゼロだからである。潜在的な推定値を更に狭め、 S/EI 及び A/EI の最適値を見出すために、流管の振動の他のモードに対する情報を用いることができる。有効推定値を誤差曲線上の値へ制限したとしても、誤差曲線には無限の数の値が存在する。

40

【0075】

図6は「捩れ」モードと呼ばれる流管の第2曲げモードに対する誤差曲線602のグラフ600を示している。面601はゼロ誤差面である。グラフ500とグラフ600とを比較すると、ゼロ誤差面との交差の誤差曲線に相違があることがわかる。したがって、2つの誤差曲線の S/EI 及び A/EI の推定値は両モード形状の誤差を最小にする。誤差曲線が小さくなつてゼロに収束するにつれ、流管・流体パラメータの推定値は最適にな

50

る。

【0076】

数学的には、2つの誤差面と1つのゼロ誤差面との交差は点である。したがって、S/EI及びA/EIの正しい値は3つの面の交差の計算から決定され得る。S/EI及びA/EIの各推定がなされた後でも、何らかの誤差が存在し得る。しかし、この誤差は低減し得る。誤差の更なる改善は、新たな推定領域でのS/EI及びA/EIの値を再び推定し、最後の値よりも良い値を得ることによって見出すことができる。こうした繰り返しにより、良好な推定値が求まって、最終的には誤差は許容可能なレベルになる。S/EI及びA/EIの最適値が決定されると、振動モードの固有値が決定されて境界条件が決定される。これらの値が決定されると、流管と該流管を流れる流体との特性が決定されることになる。10

【0077】

流管と流体との特性を決定する方法 図7～図13

図7は、流管と該流管を流れる流体との特性を上記の理論に基づいて決定するためのプロセス700を示している。プロセス700は例えば計器電子機器20を用いて実施される。この例においては、流管は図2の流管201を指す。ステップ701において、プロセス700は複数のピックオフ205, 205'からピックオフ信号を受信する。或る例では、プロセス700は流管に接続された駆動装置の既知の励振信号をも受信する。ステップ702において、プロセス700はピックオフ信号に基づいて流管201の測定されたモード形状を決定する。ステップ703において、プロセス700は流管・流体パラメータの値を選択する。流管・流体パラメータは、流管又は流管を流れる流体の物理的特性を表す任意のパラメータである。例えば、流管・流体パラメータは、流管の張力と曲げ剛性との比、及び/又は流管の単位長さ当たりの質量と曲げ剛性との比であつてよい。ステップ704において、プロセス700は、流管・流体パラメータの値に基づいて流管201の推定されたモード形状を決定する。ステップ705において、プロセス700は、推定されたモード形状と測定されたモード形状とを比較して、流管・流体パラメータの値に対する誤差を決定する。ステップ706において、プロセス700は、流管・流体パラメータの値に対する誤差が誤差範囲内にあるかどうかを決定する。誤差範囲の一例はほぼ±0.1%である。20

【0078】

流管・流体パラメータの値に対する誤差が誤差範囲内であれば、プロセス700はステップ707において、流管・流体パラメータの値のうちの少なくとも1つの値に基づいて、流管と該流管を流れる流体との特性を決定する。30

【0079】

若干の例においては、値に対する誤差が誤差範囲内にない場合には、プロセス700はステップ708において、流管・流体パラメータに対する新たな値を選択する。次いでプロセス700は新たな値を用いてステップ704、706を反復する。

【0080】

例によつては、計器電子機器20は流管・流体パラメータに基づいて、流管201を流れる流体の密度を決定する。密度を決定するために、計器電子機器20は密度校正係数を決定する。密度校正係数を決定するために、計器電子機器20は、第1の流体が流管201を流れるときの流管201の運動を表すピックオフ信号をピックオフ205, 205'から受信する。第1の流体は既知の密度を有する。計器電子機器20はこのピックオフ信号に基づいて第1の係数を生成する。次いで、計器電子機器20は、第2の流体が流管201を流れるときの流管201の運動を表すピックオフ信号をピックオフ205, 205'から受信する。第2の流体も既知の密度を有する。計器電子機器20はこのピックオフ信号に基づいて第2の係数を生成する。計器電子機器20は第1の係数と第2の係数とにに基づいて密度校正係数を決定する。計器電子機器20は密度校正係数を用いて、流管201を流れる流体の密度を決定する。40

【0081】

50

或る例においては、密度校正係数のうちの第1の係数は、流体の単位長さ当たりの面積と流管の曲げ剛性との比を含む。密度校正係数のうちの第2の係数は、流管の単位長さ当たりの質量と流管の曲げ剛性との比を含む。流管・流体パラメータの値のうちの第1の値は、流体の単位当たりの質量と流管の曲げ剛性との比を含む。こうした場合、計器電子機器20は、密度校正係数のうちの第2の係数を流管・流体パラメータの値のうちの第1の値から引いて第1の結果を生じることによって流体の密度を決定する。次いで、計器電子機器20は密度校正係数のうちの第1の係数の逆を第1の結果に乗じて、流管201を流れる流体の密度を決定する。上記のプロセスを示す数式については後述する。

【0082】

図8は、許容可能な誤差を有する推定値を決定することによって境界条件と流体の密度を決定するためのプロセス800を示している。プロセス800は、ステップ801において流管201に流体を流すことから始まる。ステップ802において、プロセス800はピックオフ205、205'からピックオフ信号を受信する。ステップ803において、プロセス800はS、I、G、A_{tube}、A_{fluid}、E、I、tube、f_{uid}に対する推定値を決定する。ただし、

Sは流管に作用する張力、

Iは流管の面積慣性モーメント、

A_{fluid}は流管の内径である、流体の面積、

Eは流管の弾性率、

tubeは流管の密度、

f_{uid}は流管を流れる流体の密度

である。

【0083】

図9は、ステップ803における推定値を決定するためのプロセスを示している。プロセス900は、S、E、Iを式S/EIに挿入することでステップ901において開始する。多くの場合、Sの3つの値が与えられて3つの異なる推定値が生じる。ステップ902において、プロセス900はS、G、A_{fluid}、A_{tube}、E、I、tube、waterを式

【0084】

【数15】

$$\frac{\rho_{tube} A_{tube} + SG\rho_{water} A_{fluid}}{EI} \quad (13)$$

【0085】

に挿入する。この式は推定値に対する固有値を生成する。ステップ903において、プロセス900は固有値を記憶する。

図8に戻って、プロセス800は、ピックオフから受信される信号によって測定されるモード・パラメータを用いて境界条件を決定することによって、ステップ804において継続する。境界条件は図10に示すようにして決定される。プロセス1000はステップ1001で始まり、ピックオフ205、205'によって測定された信号から各振動モードに対する固有ベクトルを決定する。ステップ1002において、プロセス1000は推定値から生成された固有値のマトリクス[B]を決定する。固有値マトリクス[B]は式(11)に示される。次いで、固有値マトリクス[B]の擬似逆がステップ1003で決定される。次に、式(12)にしたがって、プロセス1000は、ステップ1004においてr次振動モードの固有ベクトルに固有値マトリクスの擬似逆[B]⁺を乗じることによって、境界条件のマトリクス{C}_rを計算する。ステップ1005において、プロセス1000は境界条件を記憶し、プロセス1000は終了する。

【0086】

図8に戻って、プロセス800はr次振動モードに対するモード形状を計算することによってステップ805において継続する。式

10

20

30

40

50

【0087】

【数16】

$$\Phi_r(x_{ref})_{est} = \exp\left(\left[\lambda 1_{est} x_{ref} - \lambda 1_{est} x_{ref} j\lambda 2_{est} x_{ref} - j\lambda 2_{est} x_{ref}\right]\right) \{C\}_r \quad (14)$$

【0088】

を使用すると、r次モードに対するモード形状又は固有ベクトルが、決定された固有値を用いて決定される。

ステップ806において、プロセス800は、推定されたモード形状をステップ1001からの測定されたモード形状と比較して、誤差が許容可能か否かを決定する。ステップ807において誤差が許容可能であれば、プロセス800はステップ808において推定値を記憶する。誤差が許容可能でなければ、プロセス800はステップ809において新たな推定値を決定し、ステップ804へ戻る。

【0089】

図11は、本発明の例において新たな推定値を決定するためのプロセス1100を示す。プロセス1100はステップ1101において開始し、誤差マトリクスを決定する。誤差マトリクスは式

【0090】

【数17】

$$\varepsilon_r = \Phi_r(x_{ref})_{measured} - \Phi_r(x_{ref})_{est} \quad (15) \quad 20$$

【0091】

から表される、誤差値のマトリクスである。したがって、誤差マトリクスは

【0092】

【数18】

$$\begin{bmatrix} \varepsilon 1_1 & \dots & \varepsilon 1_r \\ \varepsilon 2_1 & \dots & \varepsilon 2_r \\ \varepsilon 3_1 & \dots & \varepsilon 3_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\rho_{tube} A_{tube} + SG_1 \rho_{fluid} A_{fluid}}{EI} & \frac{S_1}{EI} & 1 \\ \frac{\rho_{tube} A_{tube} + SG_2 \rho_{fluid} A_{fluid}}{EI} & \frac{S_2}{EI} & 1 \\ \frac{\rho_{tube} A_{tube} + SG_3 \rho_{fluid} A_{fluid}}{EI} & \frac{S_3}{EI} & 1 \end{bmatrix}_{g,3} \begin{bmatrix} a_1 & \dots & a_r \\ b_1 & \dots & b_r \\ c_1 & \dots & c_r \end{bmatrix}_{3,r} \quad (16) \quad 30$$

【0093】

の形式を取る。代わりに、式(16)は

【0094】

【数19】

$$[\varepsilon] = [G][A] \quad (17) \quad 40$$

【0095】

として表され得る。ただし、[A]は誤差面の係数のマトリクスである。添え字gは推定値の数を表し、添え字rは振動モードの数を表す。

ステップ1102において、プロセス1100は誤差面の係数のマトリクス[A]を計算する。[A]は、推測マトリクス[G]の擬似逆を取って誤差マトリクス[]を乗じることによって計算される。

【0096】

新たな推定値を決定するために、プロセス1100はステップ1103において、適切な誤差面と式

【0097】

【数20】

$$\{0\} = [A]^T \begin{Bmatrix} \frac{\rho A}{EI} \\ \frac{S}{EI} \\ 1 \end{Bmatrix}_{est} \quad (18)$$

【0098】

10

で表されるゼロ誤差面との交差を解く。式(18)の最後の項は推定値の良好な推測である。これは、

【0099】

【数21】

$$\{0\} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 & |D_1| \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_r & B_r & |D_r| \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\rho A}{EI} \\ \frac{S}{EI} \\ 1 \end{Bmatrix}_{est} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ \vdots & \vdots \\ A_r & B_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\rho A}{EI} \\ \frac{S}{EI} \end{Bmatrix}_{est} + \begin{Bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_r \end{Bmatrix} \quad (19)$$

20

【0100】

のように、ステップ1104において $[A]^\top$ を区分化して最後の列を分離することによってなされる。

新たな推定値はステップ1105において計算され、プロセス1100は終了する。プロセス1100は、残りの項の擬似逆に区分化された最後の列を乗じることによって、新たな推定値を計算する。これは

【0101】

30

【数22】

$$\begin{Bmatrix} \frac{\rho A}{EI} \\ \frac{S}{EI} \end{Bmatrix}_{est} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ \vdots & \vdots \\ A_r & B_r \end{bmatrix}^+ \begin{Bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_r \end{Bmatrix} \quad (20)$$

【0102】

として表される。

流体の密度は、以下の前提に基づいて許容可能な推定値が決定されると計算される。その前提の第1は、オイラ／ベルヌーイのビームにおいては

40

【0103】

【数23】

$$\frac{\rho A}{EI_{tube}} = \frac{\rho_{tube} A_{tube} + \rho_{fluid} A_{fluid}}{EI_{tube}} \quad (21)$$

【0104】

が成り立つことである。流管の単位当たりの長さの質量は名目的には知られている。流体の物理的特性も名目的には知られている。つまり、空気と水のような既知の密度の2つの流体を用いて流管が校正されるならば、他の流体の密度が決定される。これは

50

【0105】

【数24】

$$\frac{\rho A}{EI_{tube}} = \begin{bmatrix} \rho_{fluid} & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{A_{tube}}{EI_{tube}} \\ \frac{\rho_{tube} A_{tube}}{EI_{tube}} \end{Bmatrix} \quad (22)$$

【0106】

が成り立つからである。

上記から分かるように、既知の密度の2つの流体を用いる計算は、密度校正係数と呼ばれる A_{fluid} / EI_{tube} と $\rho_{tube} A_{tube} / EI_{tube}$ を測定するために行われる。したがって、 A / EI_{tube} が既知の密度の2つの流体に対して決定されるならば、密度校正係数が決定される。これは

【0107】

【数25】

$$\begin{Bmatrix} \frac{\rho A}{EI_{tube}}|_{fluid 1} \\ \frac{\rho A}{EI_{tube}}|_{fluid 2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{fluid 1} & 1 \\ \rho_{fluid 2} & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{A_{fluid}}{EI_{tube}} \\ \frac{\rho_{tube} A_{tube}}{EI_{tube}} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

10

20

【0108】

が成り立つからである。

密度校正係数が決定されると、条件の物理的特性は変化しないと仮定することができる。つまり、流管を流れる流体の密度は式

【0109】

【数26】

$$\rho_{fluid} = \left(\frac{\rho A}{EI_{tube}} - \frac{\rho_{tube} A_{tube}}{EI_{tube}} \right) \frac{EI_{tube}}{A_{fluid}} \quad (24)$$

30

【0110】

から決定される。こうして、 $\rho_{tube} A_{tube} / EI_{tube}$ からの許容可能な値が決定されると、流管を流れる流体の密度を同じ確実性で見出すことができる。

【図面の簡単な説明】

【0111】

【図1】流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのシステムを組み込んだ二重管のコリオリ流量計を示す図である。

40

【図2】本発明に従って流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのシステムを組み込んだ単一の直線状の管のコリオリ流量計を示す図である。

【図3】本発明に従って流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのシステムを組み込んだ計器電子機器を示す図である。

【図4】本発明にしたがって推定されたモード形状と比較される、流管の測定されたモード形状を示す図である。

【図5】本発明に従うモード解析からの第1曲げモードの誤差面を示す図である。

【図6】本発明に従うモード解析からの捩れモードの誤差面を示す図である。

【図7】本発明に従って流管と該流管を流れる流体との特性を決定するためのプロセスのフロー図を示す図である。

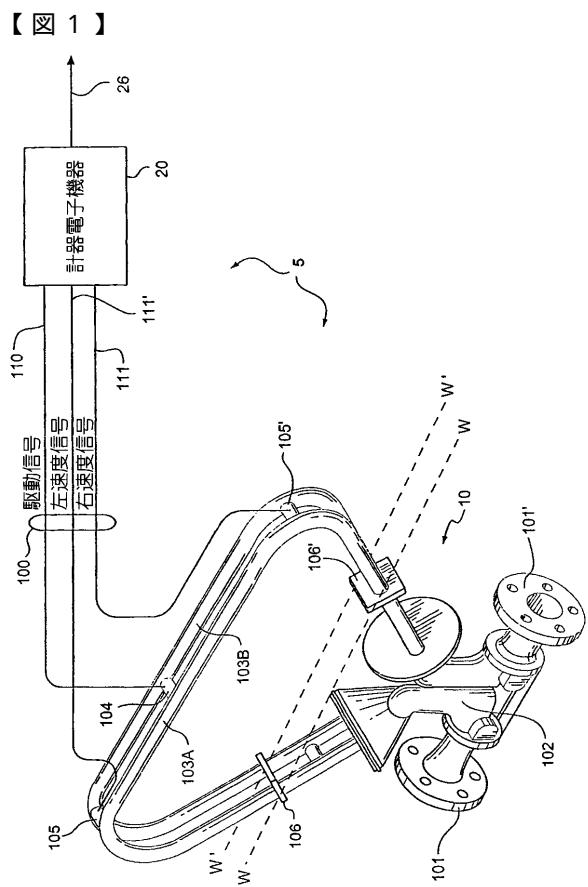
50

【図8】本発明にしたがって境界条件と流管・流体パラメータの推定値とを決定するためのプロセスのフロー図である。

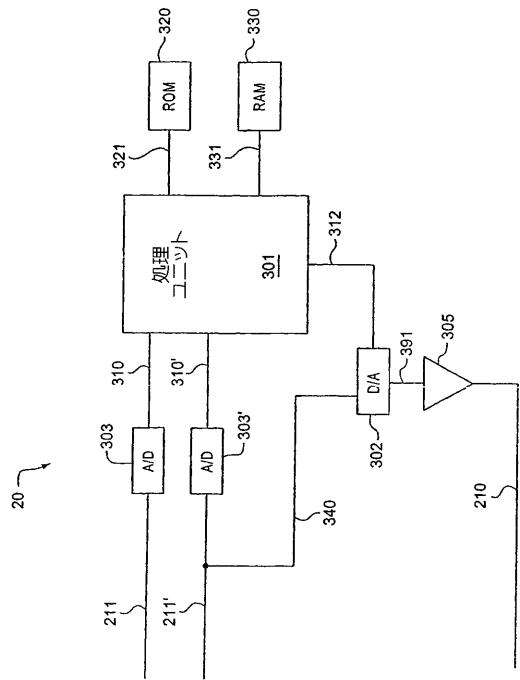
【図9】本発明にしたがって流管の振動モードの固有値を決定するためのプロセスのフロー図である。

【図10】本発明にしたがって境界条件関数を決定するためのプロセスのフロー図である。

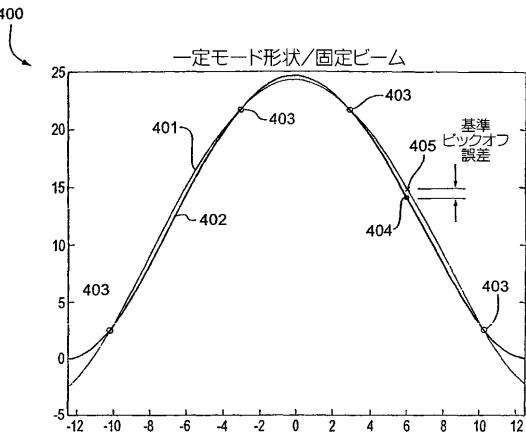
【図11】本発明にしたがって流管・流体パラメータの新たな推定値を生成するためのプロセスのフロー図である。



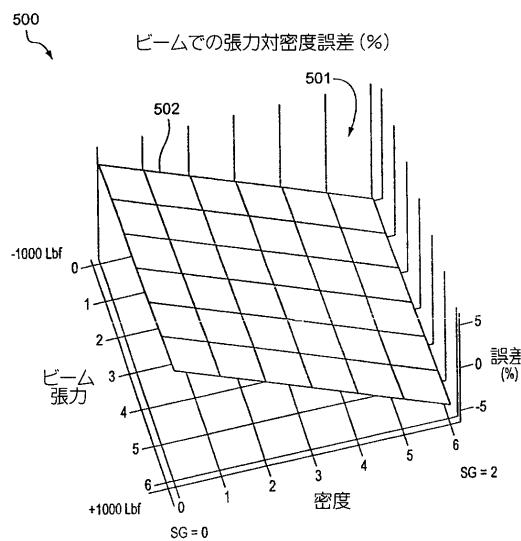
【図3】



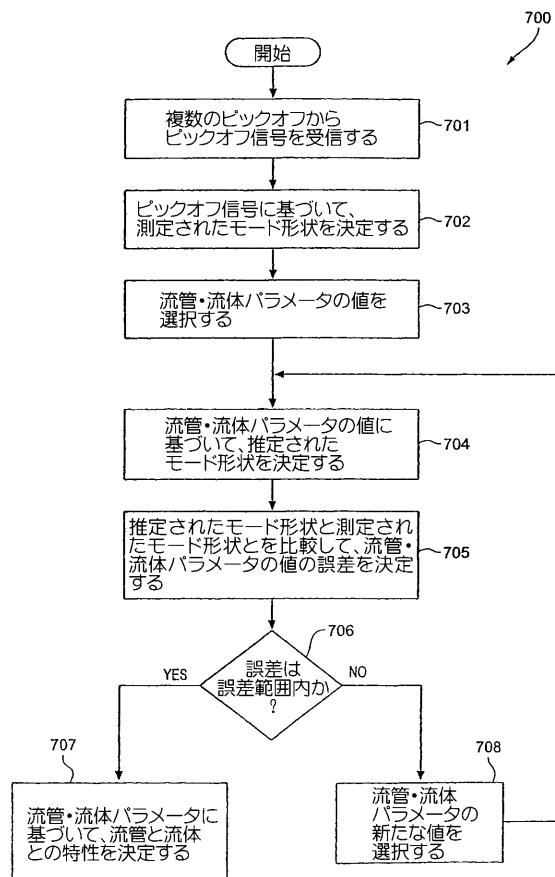
【図4】



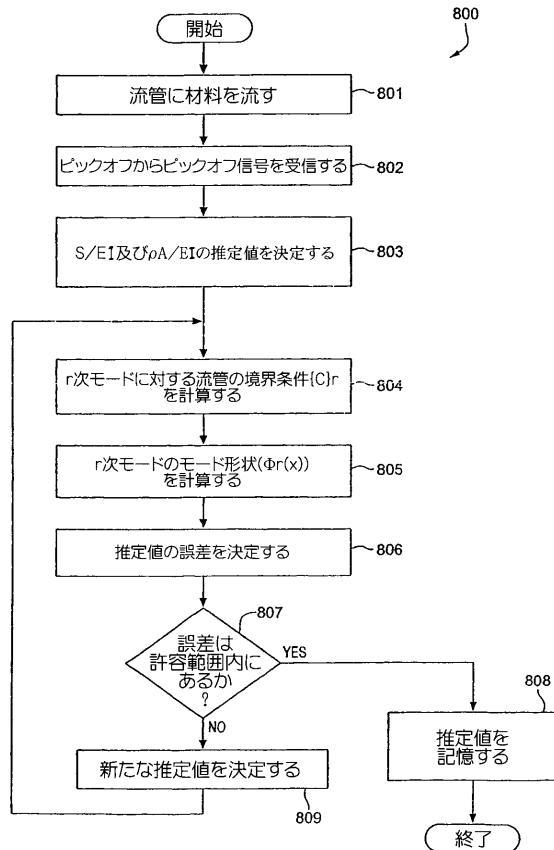
【図5】



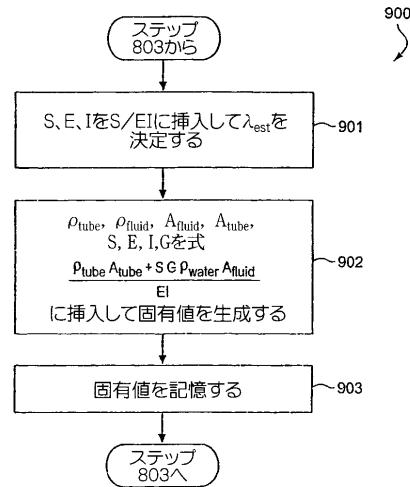
【図7】



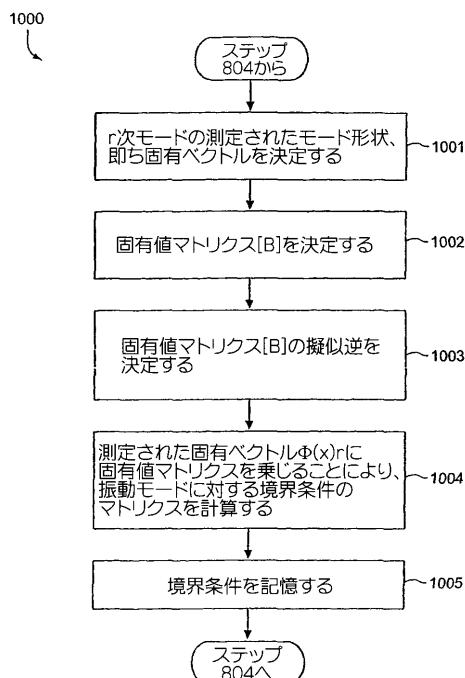
【図8】



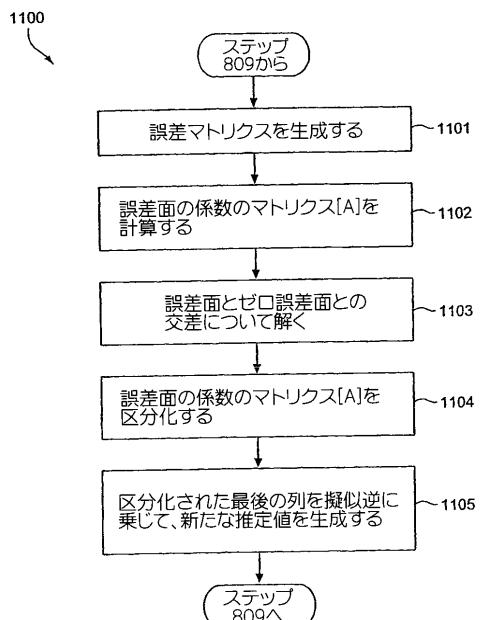
【図9】



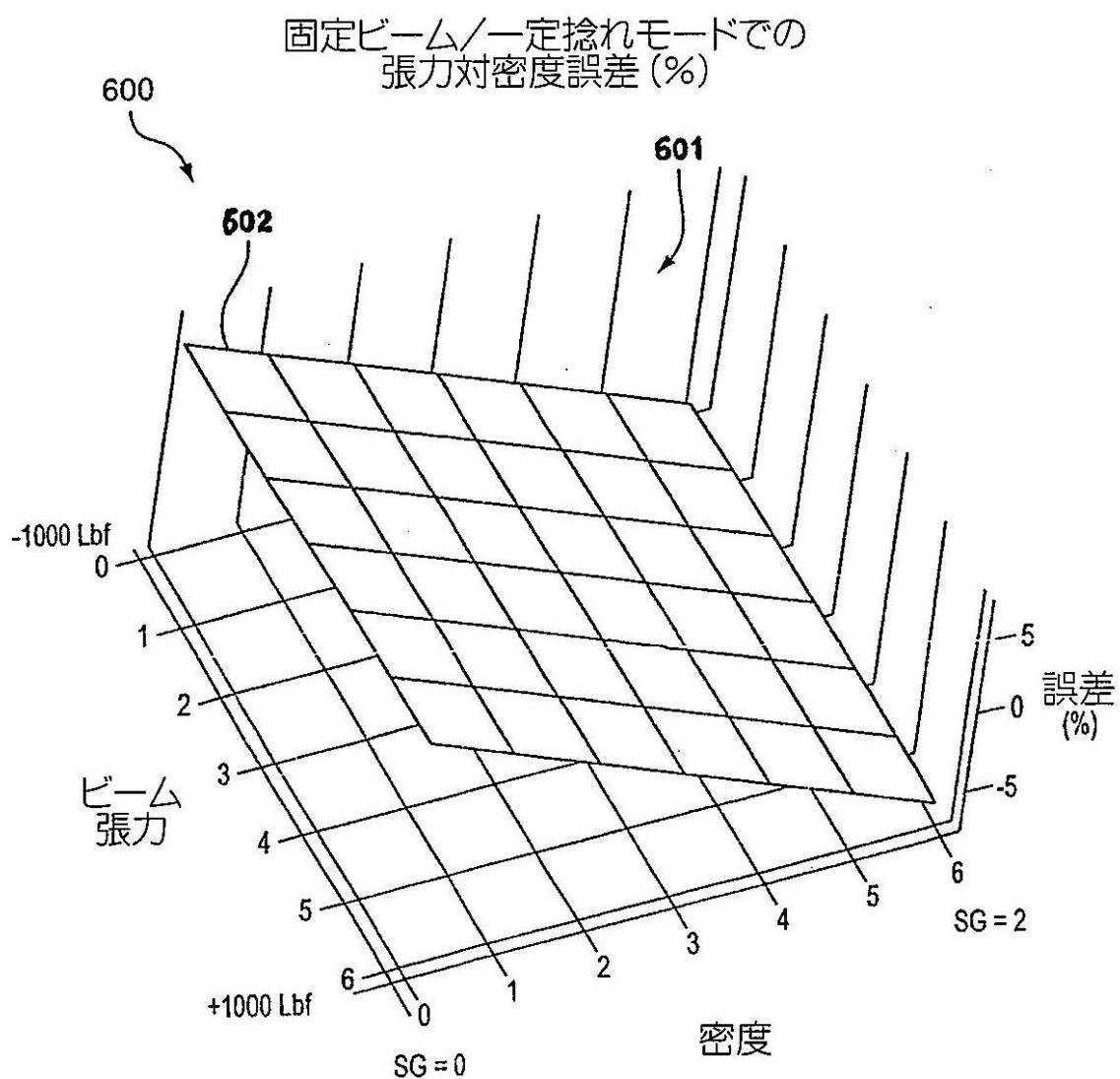
【図10】



【図11】



【図6】



フロントページの続き

(74)代理人 100080137
弁理士 千葉 昭男

(74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行

(74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫

(72)発明者 ノーメン , デイビッド・エフ
アメリカ合衆国コロラド州80027 , ルイビル , タイラー・アベニュー 1818

審査官 岸 智史

(56)参考文献 國際公開第01/001084 (WO , A1)
特開平09-166465 (JP , A)
特開平09-166466 (JP , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01F 1/84
G01N 9/00