

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6796710号
(P6796710)

(45) 発行日 令和2年12月9日(2020.12.9)

(24) 登録日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 L 27/00 (2006.01) G O 1 L 27/00

請求項の数 18 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-515811 (P2019-515811) (86) (22) 出願日 平成29年9月25日 (2017. 9. 25) (65) 公表番号 特表2019-529919 (P2019-529919A) (43) 公表日 令和1年10月17日 (2019. 10. 17) (86) 国際出願番号 PCT/EP2017/001137 (87) 国際公開番号 W02018/054540 (87) 国際公開日 平成30年3月29日 (2018. 3. 29) 審査請求日 令和1年9月11日 (2019. 9. 11) (31) 優先権主張番号 102016118048.3 (32) 優先日 平成28年9月23日 (2016. 9. 23) (33) 優先権主張国・地域又は機関 ドイツ (DE)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 516272869 スペクトラ・シュヴィングングステヒニー ク・ウント・アクスティーク・ゲゼルシャ フト・ミト・ベシュレンクテル・ハフツン グ・ドレスデン ドイツ連邦共和国、01189 ドレスデ ン、ハイデルベルガー・ストラーセ、12</p> <p>(74) 代理人 100069556 弁理士 江崎 光史</p> <p>(74) 代理人 100111486 弁理士 鍛冶澤 實</p> <p>(74) 代理人 100191835 弁理士 中村 真介</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧力センサーを動的に校正する装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

筐体(6)と、この筐体(6)と接続され、第一の開口部(13)を介して流体(11)と接触する第一の圧力センサー(12)と接続可能である、流体(11)を収容するシリンダー(10)と、アクチュエータ(4)と、このシリンダー(10)と協力して動作するピストン(8)とを有し、このアクチュエータ(4)が、この筐体(6)とこのピストン(8)のシリンダー(10)に対して逆の側(15)との間に配置されている、圧力センサーを動的に校正する装置において、

本装置が、より大きな重量物との接続部又は土台との接続部を持たないことによって、筐体(6)とアクチュエータ(4)の一つの接続及びアクチュエータ(4)とピストン(8)の一つの接続だけで静的に位置を決定されることと、

このアクチュエータが圧電式アクチュエータ(4)として構成されることと、
 ピストン(8)が、シリンダー(10)内でパッキン(14)により周囲環境に対して密閉され、このパッキン(14)内を動けるように配置されていることと、
 を特徴とする装置。

【請求項 2】

一次校正に用いられる場合に、筐体(6)に対して相対的なピストン(8)の動きを検出する測定系が配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記の測定系が動的な動きと静的な動きの両方を検出するように構成されていることを

特徴とする請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記の測定系が、校正された振動センサー（16；17）として、或いは速度デコーダ及び行程デコーダを備えたレーザー振動計（21，24）として構成されていることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記のアクチュエータ（4）が、ビーム通過部を有する中空アクチュエータ（23）として構成され、このビーム通過部を介して、レーザー振動計（21）がピストンの方向に向けられていることを特徴とする請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

二次校正に用いられる場合に、流体を収容するシリンダー（10）が、二次校正すべき第二の圧力センサー（20）と接続可能であることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

シリンダー（10）内に静的な予圧を生成するリニアスピンドル（16）が配置されていることを特徴とする請求項 1 から 4 までのいずれか一つに記載の装置。

【請求項 8】

第二のシリンダーが配備され、このシリンダー内には、周囲環境に対して密閉された、この第二のシリンダー内を動かすることができるコントロールピストン（19）が配置されていることを特徴とする請求項 1 から 4 までのいずれか一つに記載の装置。

【請求項 9】

圧力センサー（12）に作用する圧力を表す実際のパラメータが測定されて、それに対応する目標パラメータと比較され、この比較から、実際のパラメータに関する校正値 c が算出され、流体（11）で満たされていて、第一の開口部（13）を介して前記圧力センサー（12）と接触しているシリンダー（10）と協力して動作するピストン（8）を用いて圧力が生成される、請求項 1 に記載の装置によって圧力センサーを動的に校正する方法において、

この実際値に対応する圧力変化 p が、流体に関する圧縮率 K 、有効圧力面積 A_K 、流体（11）を満たされたシリンダー（10）の容積 V_0 、並びにピストン変位 x_K とシリンダー変位 x_Z を用いて、次の式

【数 1】

$$\Delta p = K \frac{A_K (\Delta x_K - \Delta x_Z)}{V_0} .$$

に基づき計算されることを特徴とする方法。

【請求項 10】

異なるピストン変位 $x_K(1) \dots x_K(n)$ 及びシリンダー変位 $x_Z(1) \dots x_Z(n)$ に関して、圧力 p_n が次の式

【数 2】

$$(p_n - p_{n-1}) = K \cdot \frac{A_K \cdot ((x_{K(n)} - x_{K(n-1)}) + (x_{Z(n)} - x_{Z(n-1)}))}{V_0}, \quad n \in \mathbb{N} .$$

に基づき計算されることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記のピストン変位 x_K 及びシリンダー変位 x_Z が動的に、即ち、次の式

【数 3】

$$\dot{x}_K = dx_K/dt \text{ 及び } \dot{x}_Z = dx_Z/dt$$

に基づく時間関数として生成されて、動的な圧力関数

【数 4】

$$\dot{p} = dp/dt$$

が、次の式

10

20

30

40

【数 5】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0}$$

に基づき計算されることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の方法。

【請求項 12】

【数 6】

\dot{x}_K 及び \dot{x}_Z

が周波数 f の正弦関数として生成されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

周波数を変化させた

10

【数 7】

\dot{x}_K 及び \dot{x}_Z

、即ち、

【数 8】

$\dot{x}_K(f)$ 及び $\dot{x}_Z(f)$

と校正値 c が、周波数に依存する圧力の計算

【数 9】

$\dot{p}(f)$

により関数 $c(f)$ として生成されることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

20

アクチュエータ (4) により生成される動的な圧力がシリンダー (10) 内の圧力に重ね合わされることと、

ピストン面積 A 、容積 V_0 、圧縮率 K 、並びに時間に依存するピストン変位

【数 10】

\dot{x}_K

とシリンダー変位

【数 11】

\dot{x}_Z

の量の算出が、

ピストン (8) の直径測定より、この面積 A を計算することと、

30

用いる流体 (11) と文書に記録されたテーブル値に基づき圧縮率 K を確定することと

、

時間に依存するピストン移動量

【数 12】

\dot{x}_K

とシリンダー移動量

【数 13】

\dot{x}_Z

を算出することと、

必ずしも動的に校正されていない圧力センサー (12, 20) を用いて容積 V_0 を計算し、その際、シリンダー (10) での動的な圧力センサー出力信号

40

【数 14】

\dot{U}

の二回の測定が実行されて、それらの間において初期容積が変更されるが、圧力センサー (12; 20) における静的な出力信号 U により表される静的な予圧が等しく設定され、先ずは、第一の測定が実行されて、ピストン移動量とシリンダー移動量

【数 15】

\dot{x}_{K1} , \dot{x}_{Z1}

が測定され、圧力センサー (12; 20) において周波数 f_1 での動的な出力パラメータ

【数 1 6】

 \dot{U}_1

が算出された後、シリンダーの容積が V だけ変更され、それに続いて、同じ周波数 $f_2 = f_1$ での動的な出力パラメータ

【数 1 7】

 \dot{U}_2

の第二の測定が行なわれて、圧力センサーで同じ動的な出力パラメータを得る、即ち、

【数 1 8】

 $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$

となるのに必要なピストン移動量とシリンダー移動量

10

【数 1 9】

 $\dot{x}_{K2}, \dot{x}_{Z2}$

が測定され、次に、容積 V_0 が、次の式

【数 2 0】

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{(\dot{x}_{K2} + \dot{x}_{Z2})}{(\dot{x}_{K1} + \dot{x}_{Z1})} - 1} .$$

に基づき計算されることと、

により行なわれることを特徴とする請求項 9 から 1 3 までのいずれか一つに記載の方法。

20

【請求項 1 5】

前記のピストン面積 A 、容積 V_0 、圧縮率 K 、並びに時間に依存するピストン移動量とシリンダー移動量

【数 2 1】

 \dot{x}_K, \dot{x}_Z

の算出が、

ピストン (8) の直径測定より、この面積 A を計算することと、

用いる流体 (1 1) と文書に記録されたテーブル値に基づき圧縮率 K を確定することと

、

時間に依存するピストン移動量

30

【数 2 2】

 \dot{x}_K

とシリンダー変位

【数 2 3】

 \dot{x}_Z

を算出することと、

必ずしも動的に校正されていないが、必ず静的に校正された圧力センサー (1 2 ; 2 0) を用いて容積 V_0 を計算し、その際、

この容積 V_0 を算出するために、液状の流体がガス状の流体に置き換えられ、

シリンダー内の静的な圧力 p_1 及び p_2 の二回の測定が実行されて、それらの間において初期容積が V だけ変更され、まずは、第一の測定が実行されて、その測定から、圧力センサー (1 2 ; 2 0) における静的な出力パラメータ U_1 が算出されて、シリンダーの容積が V だけ変更され、静的な出力パラメータ U_2 の第二の測定が実行されて、容積 V_0 が、次の式

40

【数 2 4】

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{p_2 - 1}{p_1}} .$$

に基づき計算されることと、

により行なわれることを特徴とする請求項 8 から 1 3 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 1 6】

50

調整行程 x_{v_k} による調整移動を実行する、ピストン面積 A_{v_k} を有する別個のコントロールピストン (19) を用いて、容積 V_0 が変更されて、次の式

【数 25】

$$V_0 = \frac{A_{v_k} \cdot \Delta x_{v_k}}{\frac{p_2}{p_1} - 1}$$

に基づき計算されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記の時間に依存するピストン移動量

【数 26】

$$\dot{x}_K$$

とシリンダー移動量

【数 27】

$$\dot{x}_Z$$

が生成されて、測定系 (17, 18) を用いて検出され、動的な圧力関数

【数 28】

$$\dot{p}$$

が次の式

【数 29】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_K + \dot{x}_Z),$$

に基づき計算され、ここで、 C_1 が、ピストン変位 x_K 及びシリンダー変位 x_Z に関する必ず静的に校正された圧力センサー (12; 20) の二回の静的な圧力測定により算出されて、その測定から、圧力差 p 、ピストン変位 x_K 及びシリンダー変位 x_Z が算出され、 C_1 が、次の式

【数 30】

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_K + \Delta x_Z}$$

に基づき計算されることを特徴とする請求項 9 から 13 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 18】

一次校正された後の今や校正值 c が既知であるセンサー (12) が、第二の圧力センサー (20) を二次校正するための第一の圧力センサー (12) として使用されることを特徴とする請求項 9 から 17 までのいずれか一つに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、筐体と、この筐体と接続され、第一の圧力センサーと接続可能である、流体を収容するシリンダーと、アクチュエータと、このシリンダーと協力して動作するピストンとを有する、圧力センサーを動的に校正する装置に関する。この場合、アクチュエータは、筐体とピストンのシリンダーに対して逆の側との間に配置されている。

【0002】

この場合、用いられるアクチュエータは、入力信号を機械的な動きに変換する。例えば、それは、電圧の印加により機械的に変形する圧電式アクチュエータであることができる。そして、この機械的な変形は、ピストンに対する機械的な動きとして伝達することができる。

【0003】

また、本発明は、圧力センサーに作用する圧力を表す実際のパラメータを測定して、それに対応する目標パラメータと比較する、圧力センサーを動的に校正する方法に関する。この比較から、実際のパラメータに関する校正值 c が算出され、流体で満たされたシリンダーと協力して動作するピストンを用いて、圧力が生成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

ここで考察する種類の圧力センサーは、流体の圧力を検出する役割を果たす。それは、例えば、自動車の油圧又はブレーキ液の圧力を検出するために使用することができる。この場合、圧力センサーでは、その出力に、圧力に対応する物理的な出力量、例えば、圧力に対応する電圧値が生成される。

【 0 0 0 5 】

製造条件に起因して、出力量に対する圧力の比率が圧力センサー毎に異なる可能性が有る。それは、異なる静圧での異なる挙動である静的な比例変動にも、動的な挙動における違い、即ち、圧力が動的に変化する場合は異なる圧力センサー間における周波数応答に関する違いにも関係する。

10

【 0 0 0 6 】

従って、出力量を正しく判断するためには、静的な挙動と動的な挙動の両方に関する圧力センサーの校正が必要である。以下で述べる発明は、圧力センサーの動的な挙動の校正に関する。

【 0 0 0 7 】

「校正」とは、第一の工程で、標準状態からのセンサーのずれを検出して、第二の工程で、センサーを次に使用する場合に備えて、この検出されたずれを使用して、そのセンサーにより検出される値を補正する方法であると理解する。

【背景技術】

【 0 0 0 8 】

特に、本出願人のサービス提供により、振動センサーの動的な校正が知られる。その場合、校正すべき振動センサーは、狭帯域又は広帯域の信号により励起される。狭帯域による励起では、振動センサーは、出来る限り乱れの無い正弦波形状の信号によって励起される。広帯域による励起では、振動センサーは通常衝撃によって励起される。

20

【 0 0 0 9 】

正弦波形状の信号による励起では、振動センサーの応答、例えば、電圧出力 U を測定することができる。それは、既知の励起、即ち、加速度 a を用いて比率に置き換えられて、センサーの感度が次の通り得られる。

【数 1】

$$S = \frac{U}{a} = \left[\frac{V}{m/s^2} \right]$$

30

【 0 0 1 0 】

しかし、これは、振動センサーの製造方式の理由から周波数に依存する。励起の周波数を変化させた場合、図 1 に図示された通り、振動センサーの周波数応答を記録することができる。この周波数応答は、如何なる周波数まで振動センサーを実際の測定用途に使用できるのか、測定値のずれにより如何なる周波数以上を計算できるのかを評価するのに役に立つ。

【 0 0 1 1 】

計測学では、二次校正と一次校正の二種類の校正の間を区別している。

【 0 0 1 2 】

この振動センサーの周波数応答の既知の検出は一次校正により行なわれる。

40

【 0 0 1 3 】

一次校正では、求める物理量が別の量から計算される。例えば、液体の重量を一次的に決定する場合、その密度 ρ を測定するか、或いは表から材料定数として確定するとともに、液体の体積 V を測定することができる。次の式により、

$$m = V \cdot \rho$$

重量 m を計算することができる。この場合、式に代入される量は、一般的に非常に精密に決定可能であり、確定すべき量を非常に精密に計算することに役立つ。

【 0 0 1 4 】

二次校正では、単に二つの量が互いに比較される。即ち、比較校正である。それは、図

50

2に図示された例と関連して、求める重量 m_2 を決定するための槌子秤の使用が比較測定であること意味する。上方の秤桿1が水平である場合、それは、槌子の腕が同じ長さであるとして、重量 m_2 が既知の重量 m_1 と同じ大きさであることを意味する。そして、重量 m_2 が決定され、測定系の公差において、次の式で表すことができる。

$$m_2 = m_1$$

【0015】

そのような圧力センサーの周波数応答を確定するための二次校正が知られている。

【0016】

それに関して、常に比較センサーを備え、それを用いて、上述した通り二次校正する役割を果たす動的な圧力発生器が知られている。そのような動的な圧力発生器は、複数の非特許文献1～6から周知である。

【0017】

これらの解決策は、図3の図面に模式的に集約することができる。

【0018】

ここでは、ピストン容積2内において、圧力 p が膜3を介して生成される。その膜3には、ピストン8を介して、圧電式アクチュエータ4が繋がっている。圧電式アクチュエータ4に電圧を加えると、それは伸びる。この伸びは、膜3の移動を引き起こす。この膜3は、コントロール容積2を満たす油を圧縮して、圧力を上昇させる役割を果たす。

【0019】

圧電式アクチュエータ4の特性のために、この方法により、上述した開発目的を達成することができる。発生させる圧力 p の周波数は、印加するアクチュエータ電圧の周波数により変更することができる。圧力 p の振幅は、電圧の振幅により制御することができる。

【0020】

既に述べた通り、この構成においても、比較センサー5が配備されている。この比較センサー5は未知の動特性を有する。しかし、その構成のために、比較センサー5には、非常に良好な動特性が想定される。図1と関連して、そのことは、感度のずれが全ての周波数に渡って0%に相当することを意味する。その参照値は、比較センサー5の静的な検知感度である。

【0021】

その既知の圧力発生器が二次校正のために配備されるとの事実以外に、筐体が静止している、即ち、土台と接続されていることを前提とする構成は、筐体が、制御が難しい大きな変動を加えて、それにより、その圧力計算を大きく乱す影響のために、圧力 p を計算しなければならない一次校正への採用が許容されなくしている。図4による機械的な代替構成図に図示されている通り、筐体6は土台7と固く接続されている。それにより、ピストン8の動きだけを可能とすることが実現されている。ピストン8と筐体6の互いの側への動きは、土台7と、例えば、梁9を介した、土台7への筐体6の接続とによって阻止されている。この場合、土台7は、少なくとも筐体6の重量よりも一桁大きな重量を有する。

【0022】

しかし、図5に模式的に図示される通り、実際には、筐体6と梁9の重量物も一緒に変動する。それは、非常に制御が難しいように思われ、そのため、一次校正に適していない。

【0023】

圧力センサーの動的な挙動に関して、標準化された一次校正方法は知られていない。そのため、二次校正に使用できる動的に校正された圧力標準器も存在しない。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0024】

【非特許文献1】Kuhn; Werthschuetzky: Analysis of Dynamic Characteristics of Pressure Sensors, EMK TU Darmstadt

10

20

30

40

50

【非特許文献2】Stefan Sindlinger: Einfluss der Gehäusung auf die Messunsicherheit von mikrogehausten Drucksensoren mit piezoresistivem Messelement, Dissertation, EMK TU Darmstadt, 2007

【非特許文献3】Sven Kuhn: Messunsicherheit elektromechanischer Wirkprinzipien zur Druckmessung und Optimierung von Verfahren zur Fehlerkorrektur, Dissertation, EMK TU Darmstadt, 2001

10

【非特許文献4】Timo Kober: Analyse des Übertragungsverhaltens von Differenzdrucksensoren durch dynamische Druckkalibrierung, Artikel Technisches Messen 2/2010

【非特許文献5】Luca Tomasi: A new micromachined piezoresistive pressure sensor with dual range and self-test functionalities, Dissertation, 2007

【非特許文献6】Adam Hurst: An Experimental Frequency Response Characterization of MEMS Piezoresistive Pressure Transducers, Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, 2014

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0025】

以上のことから、本発明の課題は、圧力センサーの動的な挙動の一次校正を可能にする方法及び装置に関する解決策を提示することである。

【課題を解決するための手段】

30

【0026】

この課題は、筐体とアクチュエータの一つの接続及びアクチュエータとピストンの一つの接続だけで位置が静的に決定され、ピストンがシリンダー内で周囲環境に対してパッキンより密閉されるとともに、このパッキン内を動けるように配置されている冒頭で述べた種類の装置により解決される。これによって、特に、図4に図示されている従来技術と異なり、土台との接続が省かれて、自由な二重振動子が得られる。この自由な二重振動子の重量物は、流体とアクチュエータの二つの部材を介して互いに接続されている。流体とアクチュエータの二つの部材の剛性と減衰率が加算される。二つの重量物は意図的な動きを許容する。土台との繋がりが無いために、この動きを定義して簡単に測定することができる。ピストンと筐体の位置は、密閉のために金属膜を使用する従来技術と異なり、専らアクチュエータ又はアクチュエータの筐体を介して静的に決定される。これによって、この系が静的に調節される、即ち、筐体とピストンの重量物の互いの位置が、一つの接続部(アクチュエータの筐体)ではなく、二つの接続部(圧電式アクチュエータの筐体+金属膜)により定義される。

40

【0027】

パッキン、特に、エラストマー製パッキンを使用する利点は、油を圧縮するために、より小さい調整力が必要なことである。そのため、圧電式アクチュエータは、より小さいサイズにすることができ、この系が、一般的に、よりコンパクトになり、そのため、振動が一層良好に定義される。

【0028】

50

第一の圧力センサーを収容するために、筐体は、筐体外側とシリンダーの間に開口部を備えることができる。この場合、開口部は、ねじ込み用開口部として構成することができる。

【0029】

本発明の別の実施形態では、一次校正に用いられる場合に、筐体に対して相対的なピストンの動きを検出する測定系が配置されると規定される。それが自由な二重振動子であるので、有利には、ピストンと筐体の動きを検出することにより、この相対的な動きを検知しなければならない。これらの動きは、本発明の目的に適うこととして、流体と直に接するピストンと筐体の所で直に測定される。

【0030】

この場合、測定系が動的な動きと静的な動きの両方を検出するように構成されるのが有利である。圧力と容積の両方の計算のために、ピストンの静的な動きと動的な動きを測定しなければならないので、そのような実施形態により、複数の測定系を省くことができる。

【0031】

別の実施形態では、この測定系は、校正された振動センサーとして、或いは速度デコーダ及び行程デコーダを備えたレーザー振動計として構成することができる。

【0032】

この場合、アクチュエータは、レーザー振動計をピストンの方向に向けるためのビーム通過部を有する中空アクチュエータとして構成することができる。

【0033】

本発明により、動的に一次校正された圧力センサーを提供できるので、その圧力センサーは、精確な二次校正を実施することもできる。そのために、二次校正で用いられる場合、流体を収容するシリンダーが二次校正すべき第二の圧力センサーと接続可能であると規定される。基準センサーとして一次校正された圧力センサーを用いて二次校正する場合、負担を大幅に軽減することができる。

【0034】

この場合、第二の圧力センサーを収容する、筐体外側とシリンダーの間の第二の開口部を有する筐体を配備することができる。この第二の開口部は、又もや同様にねじ込み用開口部として構成することができる。

【0035】

本発明による方法を実施するために、シリンダー内に静的な予圧を生成するリニアスピンドルを配置することができる。

【0036】

このリニアスピンドルに代わって、第二のシリンダーを配備することもでき、その中には、周囲環境に対して密閉された、第二のシリンダー内を動くコントロールピストンが配置される。

【0037】

本発明による課題は、実際値に対応する圧力変化 p が、流体に関する圧縮値 K 、有効圧力面積 A_K 、流体で満たされたシリンダーの容積 V_0 、ピストン変位 x_K 及びシリンダー変位 x_Z を用いて、次の式

$$\Delta p = K \frac{A_K (\Delta x_K - \Delta x_Z)}{V_0}.$$

に基づき計算される、冒頭で述べた通りの圧力センサーを動的に校正する方法によっても解決される。

【0038】

そして、この圧力変化は、圧力を、そのため、圧力変化を加えられる校正すべき圧力センサーの圧力を表す値と比較することができる。次に、この比較から、校正値を算出することができる。そのため、この圧力センサーは、比較によってではなく、検出すべき値を

10

20

30

40

50

用いて直に校正される、即ち、一次校正される。

【 0 0 3 9 】

この圧力 p_n は、異なるピストン変位 $x_K(1) \dots x_K(n)$ とシリンダー変位 $x_Z(1) \dots x_Z(n)$ に関して、次の式

【 数 3 】

$$(p_n - p_{n-1}) = K \cdot \frac{A_K \cdot ((x_K(n) - x_K(n-1)) + (x_Z(n) - x_Z(n-1)))}{V_0}, \quad n \in \mathbb{N}$$

に基づき計算することができる。

【 0 0 4 0 】

従って、本発明による方法により、異なる静圧を用いた校正を実施することが可能である。 10

【 0 0 4 1 】

これらのピストン変位 x_K とシリンダー変位 x_Z は、動的に、即ち、時間関数

【 数 4 】

$$\dot{x}_K = dx_K/dt \quad \text{及び} \quad \dot{x}_Z = dx_Z/dt$$

として生成することができる。次に、動的な圧力関数

【 数 5 】

$$\dot{p} = dp/dt$$

が、次の式

【 数 6 】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0}$$

20

を用いて計算される。

【 0 0 4 2 】

動的な圧力関数を生成する変化形態では、

【 数 7 】

$$\dot{x}_K \quad \text{及び} \quad \dot{x}_Z$$

を周波数 f の正弦関数として生成することができる。

【 0 0 4 3 】

この場合、周波数を変更させた

30

【 数 8 】

$$\dot{x}_K \quad \text{及び} \quad \dot{x}_Z$$

、即ち、

【 数 9 】

$$\dot{x}_K(f) \quad \text{及び} \quad \dot{x}_Z(f)$$

と校正値 c を、周波数に依存する圧力

【 数 1 0 】

$$\dot{p}(f)$$

を計算することにより、関数 $c(f)$ として生成することも可能である。そのため、センサーの完全な周波数応答を決定することが可能である。 40

【 0 0 4 4 】

本方法の第一の変化形態では、アクチュエータにより生成される動的な圧力をシリンダー内の圧力に重ね合わせると規定される。周波数 f の正弦関数として、

【 数 1 1 】

$$\dot{x}_K \quad \text{及び} \quad \dot{x}_Z$$

が生成される場合、周辺圧力を上回る静的な予圧がシリンダー内に生成された後、それに動的な圧力が重ね合わされる。

【 0 0 4 5 】

次の式

【数 1 2】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0}$$

による圧力計算に必要な、ピストン面積 A_K 、体積 V_0 、圧縮率 K 、並びに時間に依存するピストン移動量

【数 1 3】

$$\dot{x}_K$$

とシリンダー移動量

【数 1 4】

$$\dot{x}_Z$$

の値は、以下の通り算出される。

【0 0 4 6】

a) 面積 A_K の計算は、ピストンの直径の測定により行なわれる。

【0 0 4 7】

b) 圧縮率 K は、用いる流体と文書に記録されたテーブル値に基づき確認される。

【0 0 4 8】

d) 時間に依存するピストン移動量

【数 1 5】

$$\dot{x}_K$$

とシリンダー移動量

【数 1 6】

$$\dot{x}_Z$$

が算出される。これは、それらの加速度

【数 1 7】

$$\ddot{x}_K \text{ 及び } \ddot{x}_Z$$

を別個に測定して、次の式

【数 1 8】

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \text{ 及び } \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$$

に基づき実行することができる。

【0 0 4 9】

c) 容積 V_0 の算出は、必ずしも動的に校正されていない圧力センサーを用いて行なわれる。容積 V_0 は、液状の流体、有利には、油で満たされる。それにより、シリンダー内の動的な圧力センサー出力信号

【数 1 9】

$$\dot{U}$$

の二回の測定が実行される。しかし、これらの測定の間において、初期容積が変更されるが、圧力センサーの静的な出力信号 U により表される静的な予圧は、初期容積の変更前と同じに、即ち、同じ値に設定される。これらの工程は、一層詳しく説明することができ、先ずは、第一の測定が実行され、ピストン移動量とシリンダー移動量

【数 2 0】

$$\dot{x}_{K1} \text{ 及び } \dot{x}_{Z1}$$

が測定されて、圧力センサーにおける周波数 f_1 の動的な出力パラメータ

【数 2 1】

$$\dot{U}_1$$

が算出される。次に、シリンダーの容積が V だけ変更される。それに続いて、同じ周波数 $f_2 = f_1$ での動的な出力パラメータ

【数 2 2】

$$\dot{U}_2$$

の第二の測定が行なわれて、圧力センサーにおいて同じ動的な出力パラメータ、即ち、

10

20

30

40

【数 2 3】

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2$$

を得るのに必要なピストン移動量とシリンダー移動量

【数 2 4】

$$\dot{x}_{K2} \text{ 及び } \dot{x}_{Z2}$$

が測定される。次に、この容積 V_0 が、次の式

【数 2 5】

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{(\dot{x}_{K2} + \dot{x}_{Z2})}{(\dot{x}_{K1} + \dot{x}_{Z1})} - 1} \cdot$$

10

に基づき計算される。

【0 0 5 0】

本方法の第二の変化形態では、次の式

【数 2 6】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0}$$

に基づく圧力計算に必要なピストン面積 A_k 、容積 V_0 、圧縮率 K 、並びに時間に依存するピストン移動量

【数 2 7】

$$\dot{x}_K$$

20

とシリンダー移動量

【数 2 8】

$$\dot{x}_Z$$

の値が、以下の通り算出される。

【0 0 5 1】

a) 面積 A_k の計算は、ピストンの直径の測定により行なわれる。

【0 0 5 2】

b) 圧縮率 K は、用いる流体と文書に記録されたテーブル値に基づき確認される。

【0 0 5 3】

d) 時間に依存するピストン移動量

30

【数 2 9】

$$\dot{x}_K$$

とシリンダー移動量

【数 3 0】

$$\dot{x}_Z$$

が算出される。これは、それらの加速度

【数 3 1】

$$\ddot{x}_K \text{ 及び } \ddot{x}_Z$$

を別個に測定して、次の式

【数 3 2】

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \text{ 及び } \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$$

に基づき実行することができる。

40

【0 0 5 4】

c) 容積 V_0 の算出は、必ずしも動的に校正されていないが、必ず静的に校正された圧力センサーを用いて行なわれる。容積 V_0 を算出するために、液状の流体をガス状の流体に置き換える。それにより、シリンダー内の静的な圧力 p_1 及び p_2 の二回の測定が実行され、これらの測定の間において、初期容積が V だけ変更される。この場合、先ずは第一の測定が実行され、その測定から、圧力センサーにおける静的な出力パラメータ U_1 が算出される。次に、シリンダーの容積が V だけ変更され、それに続いて、静的な出力パラメータ U_2 の第二の測定が行なわれる。次に、容積 V_0 が次の式

50

【数 3 3】

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{p_2}{p_1} - 1}$$

に基づき計算される。

【0 0 5 5】

本方法の一つの実施形態は、調整行程 x_{VK} による調整移動を実行する、ピストン面積 A_{VK} の別個のコントロールピストンを用いて、容積 V_0 が変更されて、次の式

【数 3 4】

$$V_0 = \frac{A_{VK} \cdot \Delta x_{VK}}{\frac{p_2}{p_1} - 1}$$

に基づき計算されると規定する。

【0 0 5 6】

本方法の第三の変化形態では、本方法の第一及び第二の変化形態で必要な、容積 V_0 の負担のかかる算出を省くことができる。この場合、時間に依存するピストン移動量

【数 3 5】

$$\dot{x}_K$$

とシリンダー移動量

【数 3 6】

$$\dot{x}_Z$$

が生成されて、測定系を用いて検出される。動的な圧力関数

【数 3 7】

$$\dot{p}$$

は、次の式

【数 3 8】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_K + \dot{x}_Z),$$

を用いて計算され、全ての定数が、 C_1 に、即ち、次の式

【数 3 9】

$$C_1 = K \cdot \frac{A_K}{V_0}.$$

の通り集約される。

【0 0 5 7】

ここで、個別量を別個に算出すること無く、 C_1 が全体として算出される。これは、同様に測定される各ピストン移動量 x_K とシリンダー移動量 x_Z に関する必ず静的に校正された圧力センサーの二回の静的な圧力測定により行なわれる。その測定から、圧力差 p 、ピストン移動量 x_K 及びシリンダー移動量 x_Z が算出されて、 C_1 が次の式

【数 4 0】

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_K + \Delta x_Z}.$$

に基づき計算される。

【0 0 5 8】

ピストン移動量 x_K とシリンダー移動量 x_Z は、 $x_K \gg x_Z$ となるように選定することもでき、その差は少なくとも一桁である。次に、時間に依存する圧力関数

【数 4 1】

$$\dot{p}$$

が次の式

【数 4 2】

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K \cdot \dot{x}_K}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_K)$$

を用いて決定され、ここで、 C_1 は、各ピストン移動量 x_K に関する必ず静的に校正さ

10

20

30

40

50

れた圧力センサーの二回の静的な圧力測定により算出され、その測定から、圧力差 p と C_1 が次の式

【数 4 3】

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_K}$$

に基づき計算される。

【0059】

本発明は、圧力センサーを動的に一次校正することを可能にする。それにより、本発明による解決策は、そのような今や校正値 c が既知である一次校正されたセンサーを、第二の圧力センサーを二次校正するための第一の圧力センサーとして使用することも規定する。従って、装置及び方法に関する負担が大幅に軽減される。

10

【0060】

以下において、実施例に基づき本発明を詳しく説明する。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図 1】 160 Hz において感度に関するずれを有する振動センサーの周波数応答グラフ

【図 2】 二次校正の機能原理の模式図

【図 3】 従来技術による圧電動作式圧力発生器の模式図

【図 4】 従来技術による圧力発生器の機械的な代替接続図

【図 5】 従来技術による土台接続を実現した模式図

20

【図 6】 本発明による解決策の機能原理の模式図

【図 7】 本発明による校正装置の第一の実施例の構成図

【図 8】 校正すべき圧力センサーの動的な圧力印加時の圧力・時間推移グラフ

【図 9】 本発明による校正装置の第二の実施例の構成図

【図 10】 本発明による校正装置の第三の実施例の構成図

【発明を実施するための形態】

【0062】

図 6 は、本発明による解決策の原理図を図示している。この装置は、筐体 6 と、この筐体と接続された、流体、特に、油圧オイルなどの油を収容するシリンダー 10 とを有する。このシリンダー 10 は、第一の圧力センサー 12 と接続することが可能である。第一の圧力センサー 12 は、第一の開口部 13、特に、ねじ込み用開口部を介して、シリンダー 10 と接続することができ、それにより、流体 11 と接触する。第一の圧力センサー 12 は、一次校正すべきセンサーである。

30

【0063】

更に、シリンダー 10 と協力して動作するピストン 8 が配備され、シリンダー内でパッキン 14 により周囲環境に対して密閉され、このパッキン 14 内を移動可能なように配置されている。そのため、ピストン 8 は、流体 11 に直に圧力を加えて、シリンダー 10 内の圧力を設定する。ピストン 8 は、筐体 6 と、ピストン 8 のシリンダー 10 とは逆の側 15 との間に配置された圧電式アクチュエータ 4 により駆動される。

【0064】

40

この装置は、大きな重量との接続部、特に、土台との接続部を持たない。そのため、アクチュエータ 4 と筐体 6 の接続部とピストン 8 とアクチュエータ 4 の接続部だけで静的に位置を決定される。

【0065】

使用するアクチュエータ 4 は、詳しく図示されていない信号の形の入力信号を機械的な変形に変換して、ピストン 8 に機械的な動きとして伝達する。

【0066】

図 7 に図示されている本発明による装置の構成は、図 6 による原理図に図示されている全ての構成要素を有する。同じ符号は、筐体 6、ピストン 8、シリンダー 10、流体 11、第一の圧力センサー 12、第一の開口部 13、パッキン 14 及びピストン 8 のシリンダ

50

ーに対して逆の側 15 などの同じ構成要素を表す。更に、シリンダー 10 内の予圧を設定できる、アクチュエータ 4 に作用するリニアスピンドル 16 が配備されている。そして、この予圧には、アクチュエータ 4 により生成される動的な圧力が重ね合わされる。そのため、図 8 に図示された圧力プロファイルを生成することができる。

【0067】

影響が異なるために、構造の精度を高めるためには、油の容積が非常に小さいことが望ましい。しかし、それは、逆に、ピストン行程が非常に小さい ($0.1 \mu\text{m}$) 場合でも十分に高い圧力が生成されることを意味する。この行程を十分な精度で測定することは、製造要件を高くすることを意味する。そのため、本発明は、振動センサー 17, 18 を利用することを規定している。それらは、非常に精密に校正することができる。そして、測定した加速度により、求める行程を計算することができる。

10

【0068】

従って、筐体に対して相対的なピストンの動きを検出する測定系は、ピストンと接続された第一の振動センサー 17 と、筐体と接続された第二の振動センサー 18 とから構成される。そして、ピストン行程の決定は、本発明による方法に基づき、振動センサー 17, 18 から出力される出力信号を用いて行なわれる。時間に依存するピストン移動量

【数 4 4】

\dot{x}_K

の決定は、第一の振動センサー 17 の加速度に等しい出力信号を用いて算出され、シリンダー移動量

20

【数 4 5】

\dot{x}_Z

は、第二の振動センサー 18 の加速度に等しい出力信号を用いて算出される。それは、これらの加速度

【数 4 6】

\ddot{x}_K 及び \ddot{x}_Z

を別個に測定した後、次の式

【数 4 7】

$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K$ 及び $\dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$

に基づき行なわれる。

30

【0069】

センサーの感度に応じて、十分に高い周波数以上において、漸くこの行程の測定が可能である。ピストン内の構造空間が制限されているために、非常に小さいセンサーしか使用できない。

【0070】

この実施例では、第一の圧力センサー 12 を校正するための圧力計算は、「本方法の第一の変化形態」で述べた通りに行なわれる。

【0071】

第一の圧力センサー 12 が動的に一次校正されると、それは、第二の圧力センサー 20 を二次校正するための基準センサーとして使用することができる。

40

【0072】

図 9 に図示されている本発明による装置の構成は、図 6 による原理図に図示されている全ての構成要素を有する。同じ符号は、筐体 6、ピストン 8、シリンダー 10、流体 11、第一の圧力センサー 12、第一の開口部 13、パッキン 14 及びピストン 8 のシリンダーに対して逆の側 15 などの同じ構成要素を表す。更に、シリンダー 10 内の予圧を設定できる、シリンダー 10 に作用するコントロールピストン 19 が配備されている。そして、この予圧には、アクチュエータ 4 により生成される動的な圧力が重ね合わされる。そのため、図 8 に図示された圧力プロファイルを生成することができる。

【0073】

この実施例でも、時間に依存するピストン移動量

50

【数 4 8】

 \dot{x}_K

の決定は、第一の振動センサー 17 の加速度に等しい出力信号を用いて算出され、シリンダー移動量

【数 4 9】

 \dot{x}_Z

は、第二の振動センサー 18 の加速度に等しい出力信号を用いて算出される。それは、これらの加速度

【数 5 0】

 \ddot{x}_K 及び \ddot{x}_Z

を別個に測定した後、次の式

【数 5 1】

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \text{ 及び } \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$$

に基づき行なわれる。

【0074】

ここで、シリンダー移動量は、ピストン移動量よりも、時として非常に小さく、場合によっては、十分な精度に関して無視できる程小さくできることに言及しておきたい。この場合、シリンダー移動量

【数 5 2】

 \dot{x}_Z

の算出を省くことができる。この場合、第二の振動センサー 18 も省略することができる。

【0075】

図 9 による実施例では、第一の圧力センサー 12 を校正するための圧力計算は、「本方法の第二の変化形態」で述べた通りに行なわれる。

【0076】

図 10 に図示されている本発明による装置の構成は、図 6 による原理図に図示されている全ての構成要素を有する。同じ符号は、筐体 6、ピストン 8、シリンダー 10、流体 11、第一の圧力センサー 12、第一の開口部 13、パッキン 14 及びピストン 19 のシリンダーに対して逆の側 15 などの同じ構成要素を表す。更に、シリンダー 10 内の予圧を設定できる、シリンダー 10 に作用するコントロールピストン 19 が配備されている。そして、この予圧には、アクチュエータ 4 により生成される動的な圧力が重ね合わされる。そのため、図 8 に図示された圧力プロファイルを生成することができる。

【0077】

図 10 による実施例の目的は、これまで図 7 及び図 9 による実施例で用いられている振動センサー 17, 18 により制限される周波数範囲を拡大することである。特に、 $f = 0$ Hz までの低い周波数まで周波数範囲を拡大する。圧力センサーの静的な校正のための校正方法が存在するので、 $f = 0$ Hz まで周波数範囲を拡大することにより、動的な方法を静的な方法に繋げること、そのため、算出された値を比較することも可能である。

【0078】

それを実現するために、図 10 による実施例では、図 7 及び図 9 における振動センサー 17, 18 をレーザー振動計 21 と第二のレーザー振動計 24 に置き換えている。これらは、前述した振動センサー 17, 18 よりも非常に小さい加速度を測定することが可能である。

【0079】

レーザー振動計 21 のレーザービーム 22 を直にピストンに当てることができるように、アクチュエータは、中空アクチュエータ 23 として構成されている。第二のレーザー振動計 24 のレーザービーム 25 は直に筐体 6 に当たる。

【0080】

更に、レーザー振動計 21 は、非常に高い精度でピストン変位の静的な測定を実行する

10

20

30

40

50

こともできる。それは、前述した実施例に対する大きな利点である。それは、第二のレーザー振動計 24 にも言えることである。

【0081】

図10の実施例では、第一の圧力センサー12を校正するための圧力計算は、「本方法の第三の変化形態」で述べた通りに行なわれる。

【0082】

ここでも、第一の圧力センサー12の動的な一次校正が存在する場合、第二の圧力センサー20を動的に二次校正することが可能である。そのような二次校正では、レーザー振動計21及び24を省くことができる。

【0083】

本発明の特徴は、以下の通り要約することができる。

ア ピストンホン（ピストン - シリンダー系）が使用される。

イ 自由二重振動子系が実現される。

ウ ピストン8と筐体6に対する動きが実現される。

エ 二つの測定点で、ピストン8と筐体6の変位が測定される。

オ ピストン8と筐体6が、筐体6又はアクチュエータ4自体を介してしか接続されていないので、位置が静的に決定される系である。そのために、パッキン14、特に、エラストマー製パッキンが使用される。

カ コントロールピストン19が配備され、それを用いて、静的な圧力上昇を生成することが可能である。この静的な圧力上昇は、

1 パールよりも大きな圧力振幅を生成し、

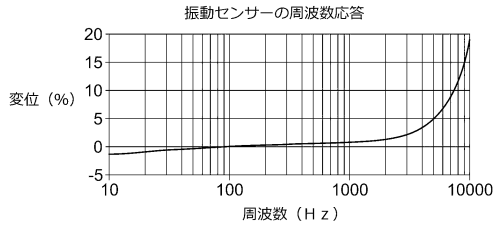
本構成において所定の校正条件を構築する（特に、所定の圧縮率Kを実現する）、ために必ず必要である。

【符号の説明】

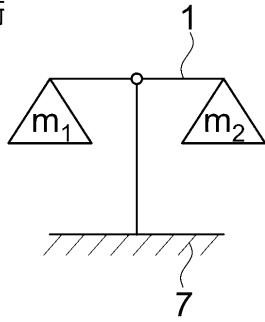
【0084】

- | | | |
|----|--------------------|----|
| 1 | 秤桿 | |
| 2 | コントロール容積 | |
| 3 | 膜 | |
| 4 | アクチュエータ | |
| 5 | 比較センサー | 30 |
| 6 | 筐体 | |
| 7 | 土台 | |
| 8 | ピストン | |
| 9 | 横梁 | |
| 10 | シリンダー | |
| 11 | 流体 | |
| 12 | 第一の圧力センサー | |
| 13 | 第一の開口部 | |
| 14 | パッキン | |
| 15 | ピストンのシリンダーに対して逆の側 | 40 |
| 16 | リニアスピンドル | |
| 17 | 第一の振動センサー | |
| 18 | 第二の振動センサー | |
| 19 | コントロールピストン | |
| 20 | 第二の圧力センサー | |
| 21 | レーザー振動計 | |
| 22 | レーザービーム | |
| 23 | 中空アクチュエータ | |
| 24 | 第二のレーザー振動計 | |
| 25 | 第二のレーザー振動計のレーザービーム | 50 |

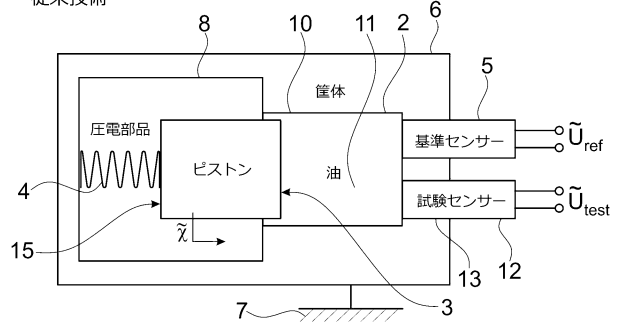
【図1】
従来技術



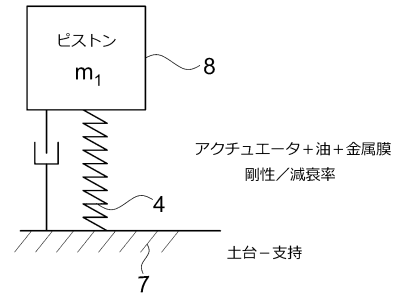
【図2】
従来技術



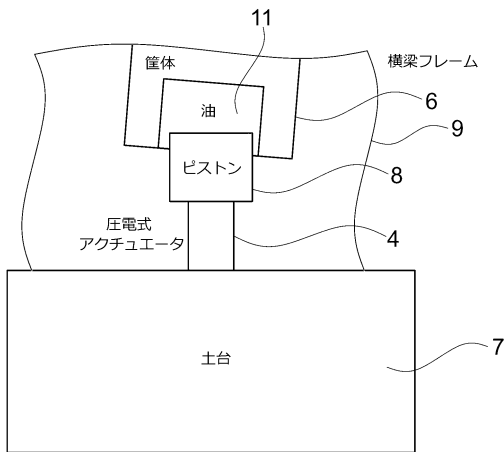
【図3】
従来技術



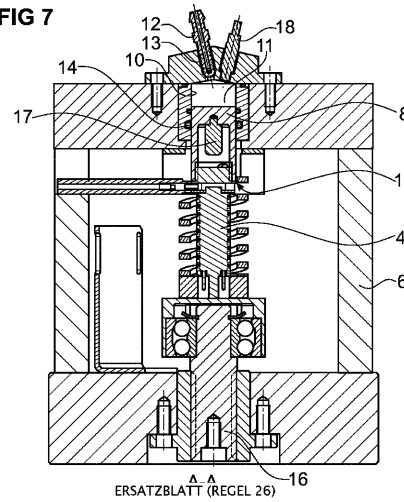
【図4】
従来技術



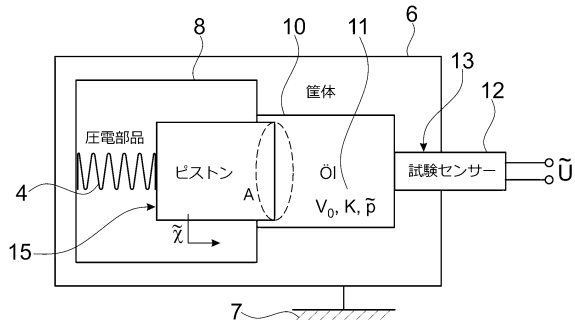
【図5】
従来技術



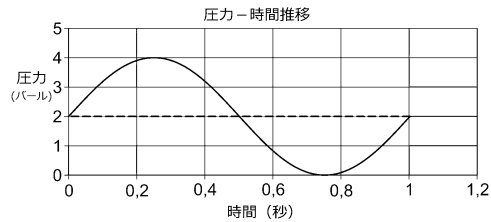
【図7】
FIG 7



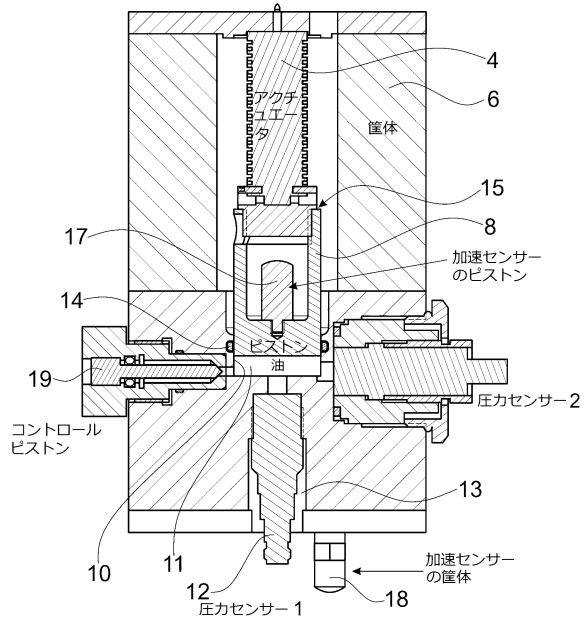
【図6】



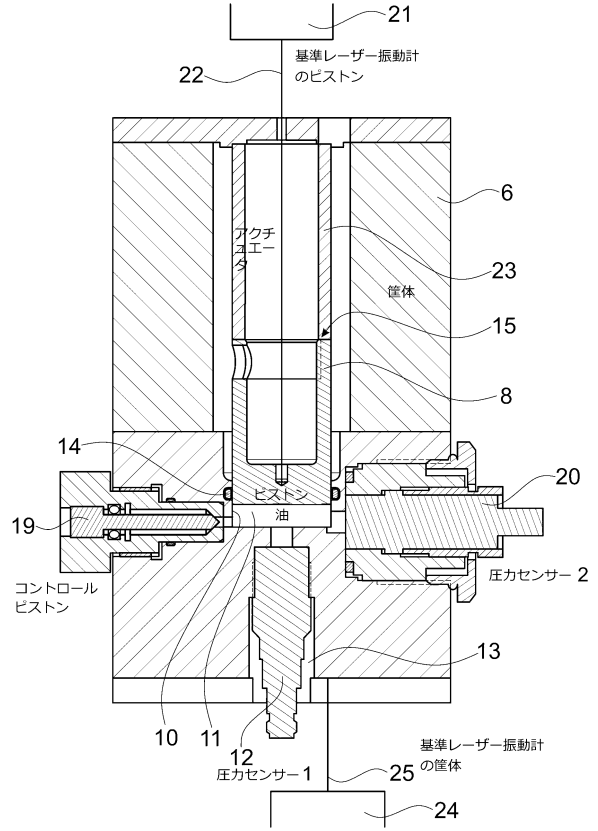
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 ブラッテ・トーマス
ドイツ連邦共和国、01309 ドレスデン、ヴィッテンベルガー・ストラッセ、39
- (72)発明者 ブルッケ・マーティン
ドイツ連邦共和国、01309 ドレスデン、ヤコービストラッセ、13
- (72)発明者 イヴァンツィク・マーティン
ドイツ連邦共和国、01219 ドレスデン、グスタフ-アドルフ-ストラッセ、5

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 国際公開第2013/110255(WO, A1)
独国特許出願公開第102009027624(DE, A1)
特開2009-300383(JP, A)
特開2005-345215(JP, A)
米国特許第3590626(US, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 7/00 - 23/32
G01L27/00 - 27/02