

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-9111

(P2020-9111A)

(43) 公開日 令和2年1月16日(2020.1.16)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO5D 16/20 (2006.01)	GO5D 16/20	Z 5H316
GO1F 22/02 (2006.01)	GO1F 22/02	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2018-129154 (P2018-129154)	(71) 出願人	000001993 株式会社島津製作所 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
(22) 出願日	平成30年7月6日(2018.7.6)	(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀
		(72) 発明者	平田 伸幸 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内
		Fターム(参考)	5H316 AA01 BB01 DD01 EE02 EE07 FF01 FF37 HH12

(54) 【発明の名称】 推定装置および圧力制御バルブ

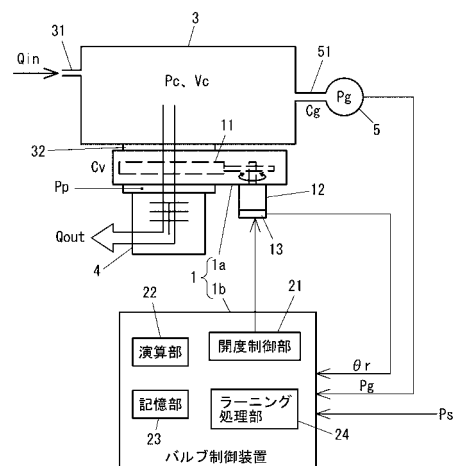
(57) 【要約】

【課題】実際の装置条件を反映したより適切なプラントパラメータを推定することができる推定装置の提供。

【解決手段】演算部22は、真空チャンバ3のプラントパラメータ(例えば、真空チャンバ3の容積Vcや時定数Vg/Cg)を推定する。演算部22は、真空チャンバ3に所定流量Qinのガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第1開度から第2開度に減少させた場合の圧力計測値Pgの圧力上昇時定数Tupと、真空チャンバ3に所定流量Qinのガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第2開度から第1開度に増加させた場合の圧力計測値Pgの圧力下降時定数Tdownとに基づいて、真空チャンバ3の容積Vcを推定する。

【選択図】図1

【図1】



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

チャンバ内圧力を計測する真空計を備えると共に圧力制御バルブを介して排気される真空チャンバのプラントパラメータを推定する推定装置であって、

前記プラントパラメータは前記真空チャンバの容積を含み、

前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを第 1 開度から第 2 開度に減少させた場合の前記真空計の圧力計測値の圧力上昇時定数と、前記真空チャンバに前記所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを前記第 2 開度から前記第 1 開度に増加させた場合の前記真空計の圧力計測値の圧力下降時定数とに基づいて、前記容積を推定する、推定装置。

10

【請求項 2】

チャンバ内圧力を計測する真空計を備えると共に圧力制御バルブを介して排気される真空チャンバのプラントパラメータを推定する推定装置であって、

前記プラントパラメータは、前記チャンバ内圧力に対する前記真空計の圧力計測値の遅れ時定数を含み、

前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを第 1 開度から第 2 開度に減少させた場合の前記圧力計測値の圧力上昇時定数、または、前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを前記第 2 開度から前記第 1 開度に増加させた場合の前記圧力計測値の圧力下降時定数に基づいて、前記遅れ時定数を推定する、推定装置。

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載の推定装置において、

複数の異なる前記所定流量に対する複数の前記遅れ時定数を推定し、推定した複数の前記遅れ時定数に基づいて流量と遅れ時定数との相関関係または圧力と遅れ時定数との相関関係を推定する、推定装置。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載の推定装置を備え、

前記推定装置で推定された前記プラントパラメータに基づいてバルブ開度を制御する、圧力制御バルブ。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】**【0001】**

本発明は、推定装置および圧力制御バルブに関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、排気経路のコンダクタンスを自動調節するためのバルブとして、バルブコンダクタンスを調整できる自動圧力制御バルブ（以下では、APCバルブと呼ぶことにする）が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。例えば、プラズマエッチング装置では、プロセス時に、マスフローコントローラによって一定流量の処理ガスを真空チャンバ内に供給しながら、APCバルブによって排気経路のコンダクタンスを調節し、所望のプロセス圧力に制御する方法が採用されている。

40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開 2011-117488 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

上述の APCバルブは、真空チャンバの圧力値に基づいてバルブ開度を調整してバルブコンダクタンスを変更することで、真空チャンバの圧力を所望のプロセス圧力に制御して

50

いる。この圧力制御を正確に行うためには、真空チャンバ側の装置条件（以下では、プラントパラメータと呼ぶ）を正確に把握してそれを制御に反映させることが重要である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の好ましい態様による推定装置は、チャンバ内圧力を計測する真空計を備えると共に圧力制御バルブを介して排気される真空チャンバのプラントパラメータを推定する推定装置であって、前記プラントパラメータは前記真空チャンバの容積を含み、前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを第1開度から第2開度に減少させた場合の前記真空計の圧力計測値の圧力上昇時定数と、前記真空チャンバに前記所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを前記第2開度から前記第1開度に増加させた場合の前記真空計の圧力計測値の圧力下降時定数とに基づいて、前記容積を推定する。

10

本発明の好ましい態様による推定装置は、チャンバ内圧力を計測する真空計を備えると共に圧力制御バルブを介して排気される真空チャンバのプラントパラメータを推定する推定装置であって、前記プラントパラメータは、前記チャンバ内圧力に対する前記真空計の圧力計測値の遅れ時定数を含み、前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを第1開度から第2開度に減少させた場合の前記圧力計測値の圧力上昇時定数、または、前記真空チャンバに所定流量のガスが流入している状態で前記圧力制御バルブを前記第2開度から前記第1開度に増加させた場合の前記圧力計測値の圧力下降時定数に基づいて、前記遅れ時定数を推定する。

20

さらに好ましい態様では、複数の異なる前記所定流量に対する複数の前記遅れ時定数を推定し、推定した複数の前記遅れ時定数に基づいて流量と遅れ時定数との相関関係または圧力と遅れ時定数との相関関係を推定する。

本発明の好ましい態様の圧力制御バルブは、前記推定装置を備え、前記推定装置で推定された前記プラントパラメータに基づいてバルブ開度を制御する。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、実際の装置条件を反映したより適切なプラントパラメータを推定することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0007】

【図1】図1は、圧力制御バルブを用いた真空システムの概略構成を示すブロック図である。

【図2】図2は、ラーニング処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図3】図3は、ラーニング処理時における開度 r およびチャンバ内圧力 P_c を示す図である。

【図4】図4は、開度 r を100%から0%と変化させた場合のシミュレーション結果を示す。

【図5】図5は、開度 r を0%から100%と変化させた場合のシミュレーション結果を示す。

40

【図6】図6は、圧力領域と配管コンダクタンスとの関係を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。図1は、本実施の形態の圧力制御バルブを用いた真空システムの概略構成を示すブロック図である。種々の反応プロセスが行われる真空チャンバ3には、排気系として圧力制御バルブ1のバルブ本体1aおよび真空ポンプ4が装着されている。図1では、真空ポンプ4にターボ分子ポンプが用いる場合を例に示したが、真空ポンプ4としてはターボ分子ポンプに限らず種々の真空ポンプを用いることができる。また、真空チャンバ3には、プロセスガス等のガスを流入させるためのガス流入部31、および、真空チャンバ3のチャンバ内圧力 P_c を計測

50

するための真空ゲージ5が設けられている。真空ゲージ5はゲージ配管51を介して真空チャンバ3に連通している。

【0009】

圧力制御バルブ1は、真空チャンバ3のチャンバ排気口32に装着されるバルブ本体1aと、バルブ本体1aを駆動制御するバルブ制御装置1bとで構成される。バルブ本体1aには、バルブコンダクタンスを調整するための弁体11と、弁体11を駆動するモータ12と、弁体11の開度を計測するためのエンコーダ13とが設けられている。バルブ制御装置1bは、開度制御部21、演算部22、記憶部23およびラーニング処理部24を備えている。弁体11の開度はバルブ制御装置1bの開度制御部21によって制御される。

10

【0010】

図1に示す例では、弁体11はモータ12によって揺動駆動される構成であるが、揺動駆動以外の構成の圧力制御バルブ1にも本発明は適用可能である。なお、開度とは弁体11のフルストロークに対するパーセンテージを表すものであり、揺動駆動する弁体11の場合、全閉位置での揺動角度0(=0deg)全開位置での揺動角度1とすれば、揺動角度における開度(%)は $=100 \cdot \theta / (1 - 0)$ で算出される。

【0011】

バルブ制御装置1bには、真空ゲージ5で計測された圧力計測値Pgと、エンコーダ13で計測された開度rと、圧力指示値Psとが入力される。圧力指示値Psはチャンバ内圧力Pcをどのような値に設定すべきかを指示する情報であり、上位のコントローラ(例えば、真空システム全体を制御するコントローラ)から入力される。記憶部23には、バルブ制御に関するソフトウェアやデータが記憶される。なお、演算部22およびラーニング処理部24の詳細は後述する。

20

【0012】

プロセス中は、所定流量 Q_{in} [Pa・L/sec]のプロセスガスをガス流入部31から真空チャンバ3内に流入させつつ、真空ポンプ4により真空チャンバ3内を排気し、かつ、弁体11の開度を調整することで、チャンバ内圧力Pcを所望のプロセス圧力に維持する。弁体11の開度を調整すると、バルブ本体1aと真空ポンプ4とで構成される排気系の実効排気速度が変化する。

【0013】

ところで、バルブ制御装置1bの開度制御部21における調圧アルゴリズムには、次式(1)に示すような調圧の式が用いられる。式(1)において、Vcは真空チャンバ3の容積であり、S(Q,)は真空ポンプ4とバルブ本体1aとから成る排気系の排気速度である。真空ポンプ4の排気速度をSp(Q)、バルブコンダクタンスをCv()とすると、排気系の排気速度S(Q,)は式「 $1/S(Q,) = 1/S_p(Q) + 1/C_v()$ 」と表される。圧力制御バルブ1による調圧精度を高めるためには、真空チャンバ3の容積Vcおよび排気系の排気速度S(Q,)を実際の真空システムに応じて精度良く求めておく必要がある。

30

$$Q_{in} = V_c \times (dP_c / dt) + S(Q,) \times P_c \quad \dots (1)$$

【0014】

そのために、一般には図1のような真空システムを組み上げた後に、ガスを流入させた状態で種々の開度における圧力値を測定して、容積Vc等のプラントパラメータや、排気系を装置に装着した状態における排気速度S(Q,)を取得する、ラーニング処理を行う。ラーニングに関する一連の処理は、図1のバルブ制御装置1bのラーニング処理部24において行われる。

40

【0015】

図2は、ラーニング処理手順の一例を示すフローチャートである。また、図3は、ラーニング処理時における開度およびチャンバ内圧力を示す図である。図3においてラインL1は開度を示し、ラインL2は真空ゲージ5により計測される圧力計測値Pgを示す。なお、チャンバ内圧力Pcが安定した状態では、圧力値Pcは真空ゲージ5の圧力計測

50

値 P_g とほぼ一致するが、開度 α を変更した直後は後述するようにチャンバ内圧力 P_c の変化に対して圧力計測値 P_g が遅れて変化する。図 3 では、真空ゲージ 5 の圧力計測値 P_g をチャンバ内圧力として示している。

【 0 0 1 6 】

図 2 のステップ S 1 では、所定流量 Q_{in} のガスをガス流入部 3 1 から真空チャンバ 3 内に流入させ、圧力計測値 P_g が安定するまで待つ。所定流量 Q_{in} としては、例えば、実際に行われるプロセス処理の代表的なガス流入量にほぼ近い流量に設定する。そのように設定することで、実際の使用状況と同様の条件における排気速度 $S(Q, \alpha)$ やプラントパラメータが取得できる。

【 0 0 1 7 】

ステップ S 2 では、複数の開度 $\alpha(i)$ における圧力を取得する処理を行う。なお、 $i = 1 \sim N$ (正の整数) である。図 3 に示す例では、 $\alpha = 100\%$ であって圧力計測値 P_g が安定している時刻 t_1 において、開度 α を 100% から $\alpha(1) = 0\%$ へと変更する。開度変更により圧力計測値 P_g は上昇するが、圧力計測値 P_g が安定してほぼ一定値となったならば、真空ゲージ 5 の圧力計測値 $P_g(1)$ を取得する。取得時にはチャンバ内圧力 P_c は安定しているので、ほぼ $P_c = P_g$ となっている。同様に、複数の開度 $\alpha(2), \alpha(3), \dots, \alpha(N) = 100\%$ に対して圧力計測値 $P_g(2), P_g(3), \dots, P_g(N)$ を取得する。

【 0 0 1 8 】

ステップ S 3 では、図 3 の時刻 t_a において開度 α を $100\% \rightarrow 0\%$ と変更し、その後の圧力計測値 P_g の変化から圧力上昇時定数 T_{up} を計測する。圧力上昇時定数 T_{up} とは、時刻 t_a からの圧力上昇が、圧力安定時の圧力差 ΔP_g に対して約 $0.63 \Delta P_g$ となるまでの時間である。さらに、時刻 t_b において開度 α を $0\% \rightarrow 100\%$ と変更し、その後の圧力計測値 P_g の変化から圧力下降時定数 T_{down} を計測する。圧力下降時定数 T_{down} とは、時刻 t_b からの圧力下降が、圧力安定時の圧力降下の約 63% となるまでの時間である。

【 0 0 1 9 】

ステップ S 4 では、ステップ S 2 で取得した流量 Q_{in} と開度 $\alpha(1) \sim \alpha(N)$ における圧力計測値 $P_g(2) \sim P_g(N)$ とに基づいて、流量 Q_{in} の場合における排気系の排気速度 $S(Q_{in}, \alpha(i))$ を式 (2) により演算する。ただし、 $i = 1 \sim N$ である。

$$S(Q_{in}, \alpha(i)) = Q_{in} / P_c(i) \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 0 】

ステップ S 5 では、ステップ S 3 で取得した圧力上昇時定数 T_{up} および圧力下降時定数 T_{down} に基づいて、プラントパラメータを演算する。なお、ステップ S 4 および S 5 の演算はバルブ制御装置 1 b の演算部 2 2 (図 1 参照) において行われる。

【 0 0 2 1 】

(プラントパラメータの演算)

図 1 に示すように、真空ゲージ 5 はコンダクタンス C_g のゲージ配管 5 1 を介して真空チャンバ 3 と連通しているので、圧力計測値 P_g はチャンバ内圧力 P_c の変化に対して時間的に遅れて変化することになる。例えば、 $P_c = P_g$ の定常状態からチャンバ内圧力 P_c が上昇した場合、時間 t の間にゲージ配管 5 1 を介して真空チャンバ 3 側から真空ゲージ 5 側へ流入するガス量 Q_g は、ゲージ配管 5 1 を含むゲージコンダクタンスを C_g とすると次式 (3) で表される。真空チャンバ 3 側から真空ゲージ 5 側へのガスの流入は、再び $P_c = P_g$ となるまで続く。

$$Q_g = (P_c - P_g) C_g \cdot t \quad \dots (3)$$

【 0 0 2 2 】

ゲージ配管 5 1 を含む真空ゲージ 5 側の容積を V_g とすると、ガス流入量 Q_g による圧力計測値 P_g の増加 ΔP_g は次式 (4) で表され、圧力計測値 P_g の時間変化は式 (5) のように表される。 $P_c > P_g$ のときには圧力計測値 P_g は上昇し、 $P_c < P_g$ のときには圧力計測値 P_g は低下する。そして、圧力計測値 P_g が上昇または低下して $P_c = P$

10

20

30

40

50

g の状態になると、圧力計測値 P_g は一定となる。式 (5) において $P_c = \text{一定}$ と仮定すると、圧力計測値 P_g は時定数 C_g / V_g [sec] の一次遅れ系となる。

$$P_g = \{(P_c - P_g) C_g / V_g\} \cdot t \quad \dots (4)$$

$$dP_g / dt = (P_c - P_g) C_g / V_g \quad \dots (5)$$

【0023】

一方、チャンバ内圧力 P_c に関しては、図 1 に示すようにバルブコンダクタンスが C_v で、チャンバ内圧力 P_c に対して真空ポンプ 4 の吸気口圧力を P_p とした場合、真空チャンバ 3 から排出されるガスの流量 Q_{out} は次式 (6) で表される。真空チャンバ 3 へのガス流入量を Q_{in} とすれば、時間 t におけるチャンバ内圧力 P_c の増加 P_c は次式 (7) で算出されるので、チャンバ内圧力 P_c の時間変化は式 (8) のように表される。ここで Q_{in} 、 P_p を一定とすると、チャンバ内圧力 P_c は時定数 C_v / V_c [sec] の一次遅れ系となる。

$$Q_{out} = C_v (P_c - P_p) \quad \dots (6)$$

$$P_c = \{(Q_{in} - Q_{out}) / V_c\} \cdot t \quad \dots (7)$$

$$dP_c / dt = - (C_v / V_c) P_c + Q_{in} / V_c + (C_v / V_c) P_p \quad \dots (8)$$

【0024】

前述した式 (5) を時間微分すると式 (9) となり、式 (9) の dP_c / dt は式 (8) を変形した式 (10) の右辺のように表され、式 (10) の右辺の P_c は式 (5) を変形した式 (11) の右辺のように表される。

$$(V_g / C_g) d^2 P_g / dt^2 = dP_c / dt - dP_g / dt \quad \dots (9)$$

$$dP_c / dt = Q_{in} / V_c - (C_v / V_c) (P_c - P_p) \quad \dots (10)$$

$$P_c = (V_g / C_g) dP_g / dt + P_g \quad \dots (11)$$

【0025】

よって、式 (10)、(11) から次式 (12) が得られ、式 (12) を式 (9) に代入すると、圧力計測値 P_g に関する式 (13) が得られる。

$$dP_c / dt = Q_{in} / V_c - (C_v / V_c) \{(V_g / C_g) dP_g / dt + P_g - P_p\} \quad \dots (12)$$

$$(V_c / C_v) (V_g / C_g) d^2 P_g / dt^2 + \{(V_c / C_v) + (V_g / C_g)\} dP_g / dt = Q_{in} / C_v + P_p - P_g \quad \dots (13)$$

【0026】

式 (13) において $(d^2 P_g / dt^2)$ を含む 2 次の項を無視すると、式 (13) は次式 (14) で近似でき、圧力計測値 P_g は $\{(V_c / C_v) + (V_g / C_g)\}$ のような時定数を持つ一次遅れ系とみなすことができる。式 (14) において、 dP_g / dt の係数の内、 (V_c / C_v) はチャンバ内圧力 P_c の時定数に対応している。一方、 (V_g / C_g) は $P_c = \text{一定}$ と仮定した場合の圧力計測値 P_g の時定数に対応しており、チャンバ内圧力 P_c に対する圧力計測値 P_g の遅れを表す時定数である。

$$\{(V_c / C_v) + (V_g / C_g)\} dP_g / dt = Q_{in} / C_v + P_p - P_g \quad \dots (14)$$

【0027】

ここでは、次のようなプラントモデルでシミュレーション計算した。

- ・ V_c : チャンバ容積 [L] = 40 [L]
- ・ $C_v(0)$: 開度 0% のバルブコンダクタンス = 12.66 [L/sec]
- ・ $C_v(100)$: 開度 100% のバルブコンダクタンス = 3000 [L/sec]
- ・ V_g : 真空ゲージ容積 [L] = 0.34 [L]
- ・ C_g : 真空ゲージコンダクタンス [L/sec] = 0.8 [L/sec]
- ・ Q_{in} : ラーニング時のガス流量 (アルゴンガス) = 200 [sccm]
= 2534 [mtorr · L/sec]
= 338 [Pa · L/sec]

【0028】

図 4 は開度を 100% → 0% と変化させた場合のシミュレーション結果を示し、図 5 は開度を 0% → 100% と変化させた場合のシミュレーション結果を示す。図 4, 5 の

いずれにおいても、(a)は圧力 P_c 、 P_g を示し、(b)は開度指令値と開度計測値を示し、(c)はパルブコンダクタンス C_v を示す。

【0029】

図4(a)において、ラインL10はチャンバ内圧力 P_c の変化を示し、ラインL11は真空ゲージ5の圧力計測値 P_g を示す。図4(b)において、ラインL12は開度指令値を示し、ラインL13は実際の開度変化を表している。時刻 t_a において開度指令値が100% 0%と変化するが、ラインL13に示すように実際に開度が0%となるのは時刻 t_a よりも後の時刻 t_{a1} となる。

【0030】

図4(a)の圧力計測値 P_g のラインL11の圧力が $0.63 P_c (= 0.63 P_g)$ となるまでの時間が、上述した圧力上昇時定数 T_{up} である。チャンバ内圧力 P_c のラインL10の圧力が上述した $0.63 P_c$ となるまでの時間が、チャンバ内圧力 P_c の時定数(V_c/C_v)である。そして、圧力上昇時定数 T_{up} から時定数(V_c/C_v)を差し引いた時間が、圧力計測値 P_g の時定数(V_g/C_g)である。

10

【0031】

図5(a)において、ラインL20はチャンバ内圧力 P_c の変化を示し、ラインL21は真空ゲージ5の圧力計測値 P_g を示す。図5(b)において、ラインL22は開度指令値を示し、ラインL23は実際の開度変化を表している。時刻 t_b において開度指令値が0% 100%と変化するが、ラインL23に示すように実際に開度が100%となるのは時刻 t_b よりも後の時刻 t_{b1} となる。

20

【0032】

図5(a)のラインL21の圧力減少値が $0.63 P_c (= 0.63 P_g)$ となるまでの時間が、上述した圧力下降時定数 T_{down} である。チャンバ内圧力 P_c のラインL20の圧力減少値が $0.63 P_c$ となるまでの時間が、チャンバ内圧力 P_c の時定数(V_c/C_v)である。そして、圧力下降時定数 T_{down} から時定数(V_c/C_v)を差し引いた時間が、圧力計測値 P_g の時定数(V_g/C_g)である。

【0033】

(チャンバ容積 V_c の推定)

図4(a)に示す圧力上昇時定数 T_{up} は開度が0%の時のラインL11から求まるので、次式(15)で表される。一方、図5(a)に示す圧力下降時定数 T_{down} は開度が100%の時のラインL21から求まるので、次式(16)で表される。式(15)、(16)から差分 $T_{up} - T_{down}$ は式(17)のようになる。ここで、 $V_c/C_v(0)$ と比べて $V_c/C_v(100)$ は十分に小さいので式(17)の右辺第2項を無視すると、真空チャンバ3の容積 V_c は式(18)で算出されることになる。

30

$$T_{up} = V_c / C_v(0) + V_g / C_g \quad \dots (15)$$

$$T_{down} = V_c / C_v(100) + V_g / C_g \quad \dots (16)$$

$$T_{up} - T_{down} = V_c / C_v(0) - V_c / C_v(100) \quad \dots (17)$$

$$V_c = C_v(0) \cdot (T_{up} - T_{down}) \quad \dots (18)$$

【0034】

式(18)に実際に計測された $T_{up} = 3.72$ [sec]および $T_{down} = 0.540$ [sec]を代入すると、容積 V_c は $V_c = 12.66 \times (3.72 - 0.54) = 40.25$ [L]と算出される。シミュレーションでは $V_c = 40$ [L]としているので、40 [L]に近い算出値が得られた。式(18)の $C_v(0)$ としては、予め記憶部23に記憶されているパルブコンダクタンスデータを用いても良いし、図3のようにラーニングにおいてパルブコンダクタンスデータも同時に取得するような場合には、ラーニングにより取得された $C_v(0)$ 値を用いても良い。また、 T_{up} 、 T_{down} にはステップS3で計測された T_{up} 、 T_{down} を使用する。算出された容積 V_c は図1の記憶部23に記憶される。

40

【0035】

(圧力計測値の遅れ時定数 V_g/C_g の推定)

時定数 V_g/C_g は、例えば、式(16)に基づく次式(19)で算出することができ

50

る。式(19)の V_c および $C_v(100)$ については、予め記憶されているチャンバ容積およびバルブコンダクタンスのデータを用いても良いし、ラーニングにより取得された V_c 値および $C_v(100)$ 値を用いても良い。また、 T_{down} には図2のステップS3で計測された値が用いられる。なお、 T_{md} はモータムダ時間(motor delay time)であり、例えば、実際のモータ特性に基づいて設定される。また、 $V_g/C_g = 0$ としてモデルを作製した場合の T_{down} 値を用いても良い。

$$V_g/C_g = T_{down} - V_c/C_v(100) - T_{md} \quad \dots (19)$$

【0036】

なお、式(19)に代えて、式(15)に基づく次式(20)により時定数 V_g/C_g を推定しても良い。ただし、式(15)を使用する場合、図4(a)からもわかるように T_{up} および $V_c/C_v(0)$ の値が近接しているので、測定誤差の影響を受けやすい。

$$V_g/C_g = T_{up} - V_c/C_v(0) - T_{md} \quad \dots (20)$$

【0037】

ところで、時定数 V_g/C_g における C_g はゲージ配管51を含むゲージコンダクタンスであり、一般には圧力 P_c 、 P_g に依存して変化すると考えられる。そこで、図2に示したラーニングにおいて2種類以上の Q_{in} に対して時定数 V_g/C_g をそれぞれ算出し、プロセス中の真空条件(流量 Q_{in} や圧力計測値 P_g など)に応じて時定数 V_g/C_g の値を設定するようにしても良い。

【0038】

図6は、圧力領域と配管コンダクタンス C との関係を示す模式図であり、チャンバ内圧力 P_c とゲージコンダクタンス C_g の間にも同様の関係が成り立つ。一般的に、配管コンダクタンス C の特性は圧力領域によって異なる。配管コンダクタンス C は、図6のラインL30で示すように圧力領域によって傾向が異なり、分子流量域ではほぼ一定であるが、中間流領域、粘性流量域と圧力が高くなるほど(すなわち低真空になるほど)値が大きくなる傾向となる。そのため、ラーニングを複数の流量 Q_{in} について行い、複数の流量 Q_{in} に対して複数の時定数 V_g/C_g を得ることで、時定数 V_g/C_g を用いた制御をより最適に行うことができる。

【0039】

例えば、複数の流量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 に対して時定数 V_g/C_g をそれぞれ算出し、その算出結果に基づいて図6のラインL31のような時定数 V_g/C_g と圧力 P との相関を取得する。なお、式(19)における圧力下降時定数 T_{down} を測定する際には、流量 Q は一定でも圧力計測値 P_g は図5(a)に示すように変化している。そのため、各流量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 に対応する圧力値 P_1 、 P_2 、 P_3 としては、例えば、 $= 0\%$ のときの圧力 $P(0)$ と $= 100\%$ のときの圧力 $P(100)$ の平均値を採用すれば良い。そして、圧力計測値 P_g が P_1 であった場合には時定数 V_g/C_g1 が用いられ、圧力計測値 P_g が P_2 であった場合には時定数 V_g/C_g2 が用いられ、圧力計測値 P_g が P_3 であった場合には時定数 V_g/C_g3 が用いられる。算出された時定数 V_g/C_g や相関(ラインL31)は、図1に示す記憶部23に記憶される。

【0040】

上述した実施形態で説明した圧力制御バルブをまとめて説明すると以下のとおりである。

(C1) 図1に示す演算部22は、真空チャンバ3のプラントパラメータ(例えば、真空チャンバ3の容積 V_c や時定数 V_g/C_g)を推定する。演算部22は、真空チャンバ3に所定流量 Q_{in} のガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第1開度から第2開度に減少させた場合の圧力計測値 P_g の圧力上昇時定数 T_{up} と、真空チャンバ3に所定流量 Q_{in} のガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第2開度から第1開度に増加させた場合の圧力計測値 P_g の圧力下降時定数 T_{down} とに基づいて、真空チャンバ3の容積 V_c を推定する。その結果、真空チャンバ3の容積 V_c を正確に推定することができ、バルブ制御をより適切に行うことができる。

【0041】

10

20

30

40

50

なお、上述した実施の形態では第1開度を $= 100\%$ とし第2開度を $= 0\%$ としたが、圧力上昇時定数 T_{up} および圧力下降時定数 T_{down} を取得する際の開度設定値はこれに限らず、第1開度 > 第2開度であれば種々の開度が可能である。ただし、第1開度と第2開度との差をより大きく設定するほど、時定数 T_{up} および T_{down} をより精度良く計測することができる。

【0042】

(C2) また、チャンバ内圧力 P_c に対する圧力計測値 P_g の遅れ時定数 V_g / C_g を推定する場合には、式(19)、(20)のように真空チャンバ3に所定流量 Q_{in} のガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第1開度(例えば、開度100%)から第2開度(例えば、開度0%)に減少させた場合の圧力上昇時定数 T_{up} 、または、真空チャンバ3に所定流量 Q_{in} のガスが流入している状態で圧力制御バルブ1を第2開度(例えば、開度0%)から第1開度(例えば、開度100%)に増加させた場合の圧力下降時定数 T_{down} に基づいて推定することができる。このように推定された時定数 V_g / C_g を用いることで、チャンバ内圧力 P_c に対する圧力計測値 P_g の遅れを考慮したより正確なバルブ制御を行うことができる。

10

【0043】

(C3) さらに、図6に示したように、複数の異なる所定流量 Q_1, Q_2, Q_3 に対する複数の遅れ時定数 $V_g / C_{g1}, V_g / C_{g2}, V_g / C_{g3}$ を推定し、それらの遅れ時定数に基づいてラインL31に示すような相関関係を推定するようにしても良い。ラインL31は、流量 Q と遅れ時定数 (V_g / C_g) との相関としても表現できるし、圧力 P と遅れ時定数 (V_g / C_g) との相関としても表現できる。なお、複数の異なる所定流量は3に限らず2以上であればいくつでも良い。

20

【0044】

(C4) また、圧力制御バルブ1は、演算部22で推定されたプラントパラメータ(容積 V_c や時定数 V_g / C_g) に基づいてバルブ開度(弁体11の開度)を制御する。それにより、チャンバ内圧力 P_c に対する圧力計測値 P_g の遅れを考慮したより正確なバルブ制御を行うことができる。なお、図1に示す例では、圧力制御バルブ1のバルブ制御装置1bの演算部22でプラントパラメータの推定を行う構成としたが、プラントパラメータを推定する推定装置を圧力制御バルブ1とは別個に設けても良いし、図1に示す真空システムのコントローラにおいてプラントパラメータの推定を行うようにしても良い。

30

【0045】

なお、上述した実施の形態では、 Q_{out} を式(6)のように表し、チャンバ内圧力 P_c の時定数を V_c / C_v のようにバルブコンダクタンス C_v を用いて表現したが、バルブコンダクタンス C_v に代えて排気系の排気速度 $S(Q,)$ を用いて $V_c / S(Q,)$ としても良い。排気速度 $S(Q,)$ は、バルブコンダクタンスを $C_v()$ と真空ポンプの排気速度 $S_p(Q)$ を用いて「 $1 / S(Q,) = 1 / S_p(Q) + 1 / C_v()$ 」と表される。

【0046】

バルブコンダクタンス C_v に代えて排気系の排気速度 $S(Q,)$ を用いる場合、 Q_{out} は次式(21)のように表され、式(8)は次式(22)で置き換えられる。そのため、チャンバ内圧力 P_c の時定数は $V_c / S(Q,)$ と表される。

40

$$Q_{out} = S(Q,) \cdot P_c \quad \dots (21)$$

$$dP_c / dt = - (S(Q,) / V_c) P_c + Q_{in} / V_c \quad \dots (22)$$

【0047】

上記では、種々の実施の形態および変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

【符号の説明】

【0048】

1 ... 圧力制御バルブ、1a ... バルブ本体、1b ... バルブ制御装置、3 ... 真空チャンバ、5 ... 真空ゲージ、21 ... 開度制御部、22 ... 演算部、23 ... 記憶部、24 ... ラーニング処

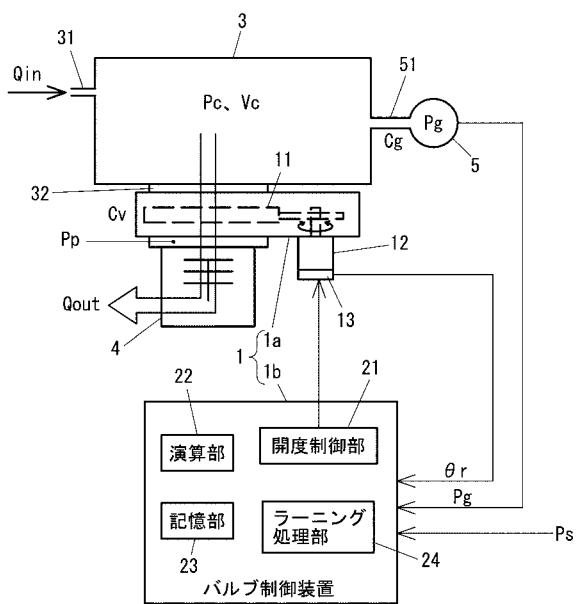
50

理部、5 1 ... ゲージ配管、

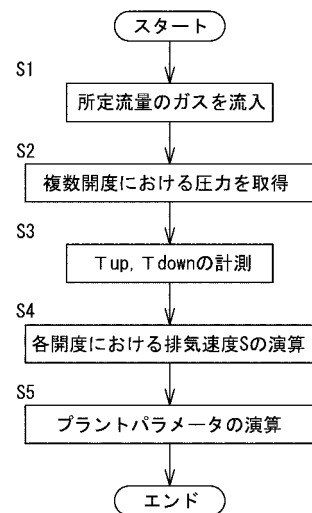
【 図 1 】

【 図 2 】

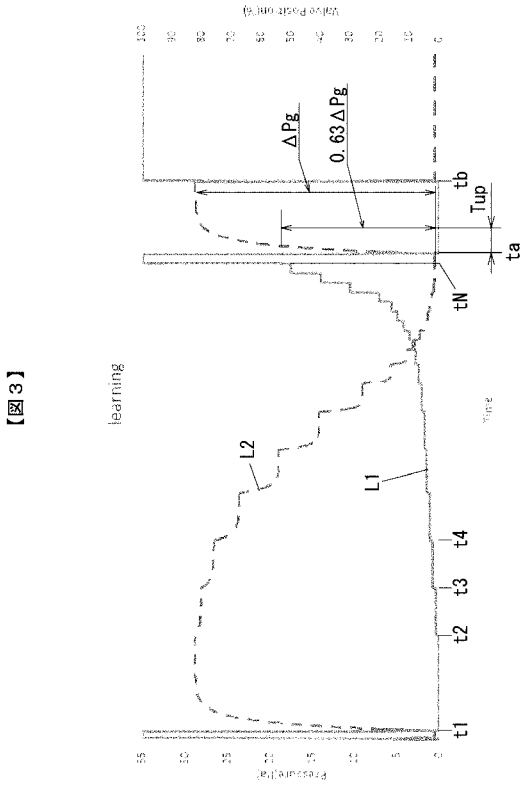
【 図 1 】



【 図 2 】

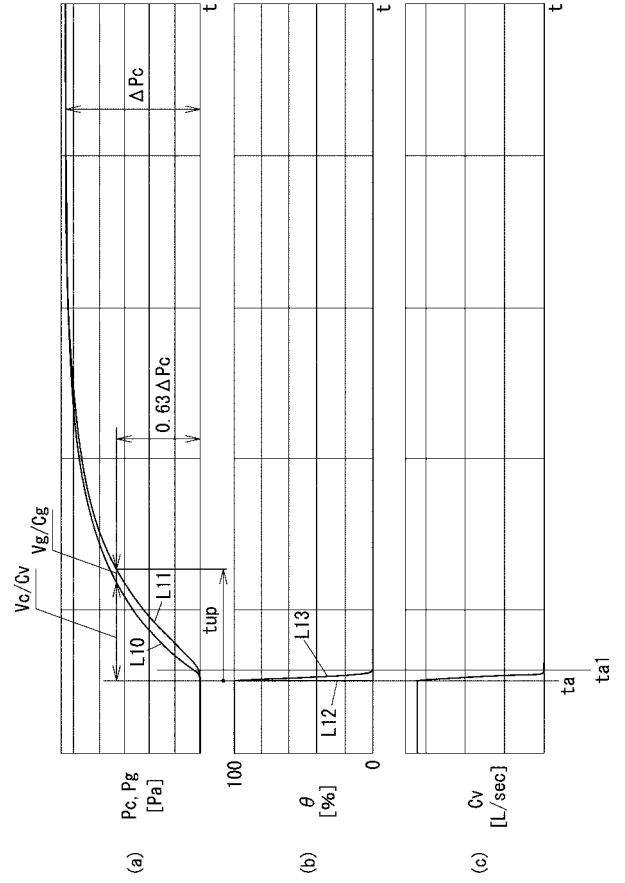


【 図 3 】



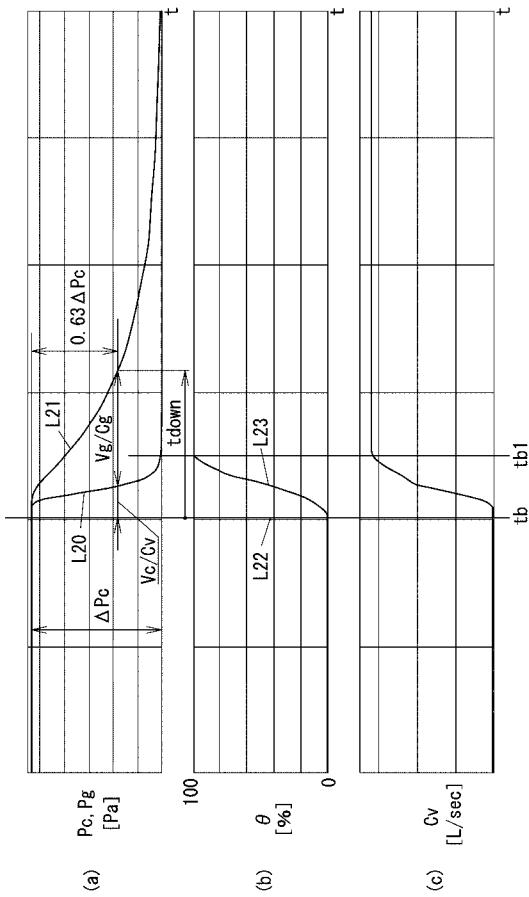
【 図 3 】

【 図 4 】



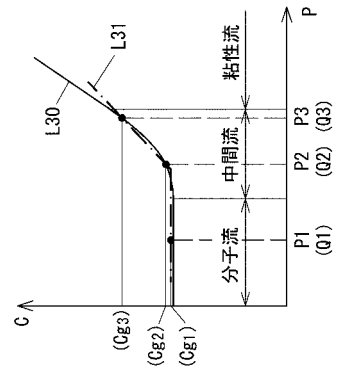
【 図 4 】

【 図 5 】



【 図 5 】

【 図 6 】



【 図 6 】