

(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2013-88945
(P2013-88945A)

(43) 公開日 平成25年5月13日(2013.5.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G05D 7/06 (2006.01)	G05D 7/06	Z 5H223
G05B 23/02 (2006.01)	G05B 23/02	T 5H307

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2011-227399 (P2011-227399)	(71) 出願人	000127961 株式会社堀場エステック 京都府京都市南区上鳥羽鉾立町11番地5
(22) 出願日	平成23年10月14日(2011.10.14)	(74) 代理人	100121441 弁理士 西村 電平
		(74) 代理人	100113468 弁理士 佐藤 明子
		(74) 代理人	100154704 弁理士 齊藤 真大
		(72) 発明者	安田 忠弘 京都府京都市南区上鳥羽鉾立町11番地5 株式会社堀場エステック内
		(72) 発明者	林 繁之 京都府京都市南区上鳥羽鉾立町11番地5 株式会社堀場エステック内 最終頁に続く

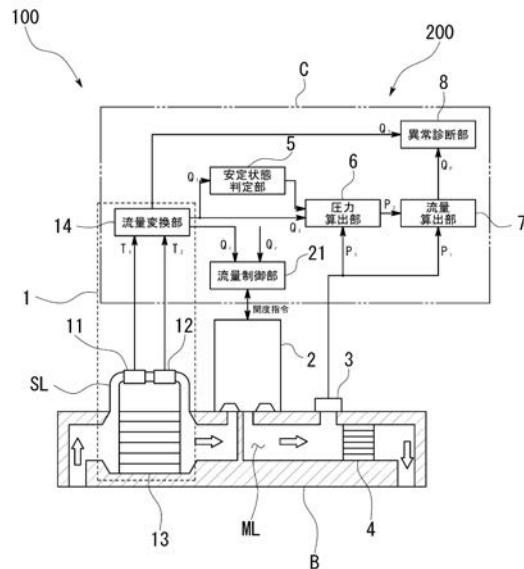
(54) 【発明の名称】 流量制御装置、流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置及び診断用プログラム

(57) 【要約】

【課題】 流量制御装置に用いられるセンサ等の部品点数を低減しつつ、流量装置内で生じる詰まりなどの不具合や測定流量値に生じている異常を精度よく診断することができる流量制御装置、流量測定機構、又は当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置及び診断用プログラムを提供する。

【解決手段】 流量制御装置に流路ML上に設けられた流体抵抗4と、前記流体抵抗4の上流側又は下流側のいずれか一方に設けられた圧力センサ3と、前記流体抵抗4に対して前記圧力センサ3が設けられていない側の圧力を算出する圧力算出部6と、前記測定圧力値と、前記圧力算出部6で算出された算出圧力値と、に基づいて流量を算出する流量算出部7と、前記測定流量値と、算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部8と、を備えた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構と、前記流路上に設けられた流量制御バルブと、前記流量測定機構で測定される測定流量値と、目標流量値との偏差が小さくなるように前記流量制御バルブの開度を制御するバルブ制御部と、を備えた流量制御装置であって、

前記流路上に設けられた流体抵抗と、

前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれか一方に設けられた圧力センサと、

前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出する圧力算出部と、

10

前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、

前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする流量制御装置。

【請求項 2】

前記測定流量値又は前記圧力センサで測定される測定圧力値に基づいて、前記流路を流れる流体の状態が安定状態であるかどうかを判定する安定状態判定部を更に備え、

前記圧力算出部が、前記安定状態判定部が流体の状態が安定状態であると判定している場合に、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出するように構成されている請求項 1 の流量制御装置。

20

【請求項 3】

前記安定状態判定部が、前記測定流量値と前記目標流量値との偏差の絶対値が所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に前記流体の状態が安定状態であると判定するように構成されている請求項 1 又は 2 記載の流量制御装置。

【請求項 4】

前記異常診断部が、前記測定流量値と、前記算出流量値の偏差の絶対値が所定値以上となった場合に、当該測定流量値に異常があると診断するように構成された請求項 1、2 又は 3 記載の流量制御装置。

【請求項 5】

30

前記流量算出部が、前記安定判別部が前記流体の状態が安定状態であると判定するまでは、前記測定圧力値と、予め定められた規定圧力値と、に基づいて前記算出流量値を算出するように構成された請求項 1、2、3 又は 4 記載の流量制御装置。

【請求項 6】

前記流量測定機構が、熱式流量センサである請求項 1、2、3、4 又は 5 記載の流量制御装置。

【請求項 7】

前記熱式流量センサが、前記流路上に設けられる層流素子を備えたものであり、

前記流体抵抗が、前記層流素子とは別途設けられたものである請求項 6 記載の流量制御装置。

40

【請求項 8】

流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置であって、

前記流路上に設けられた流体抵抗と、

前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれか一方に設けられた圧力センサと、

前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出する圧力算出部と、

前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、

50

前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする診断装置。

【請求項 9】

流路上に流体抵抗と、前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれかに圧力センサと、が設けられており、前記流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断用プログラムであって、

前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出する圧力算出部と、

前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、

前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする診断用プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、流路を流れる流体の流量を測定するための流量測定機構が示す測定流量値の異常を診断する構成を有した流量制御装置等に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、半導体製品の製造等においては、CVD装置等のチャンバ内にウエハを載置しておき、成膜に必要な原料を含むプロセスガスを目標の流量で精度よく供給する必要がある。

【0003】

このようなプロセスガスの流量制御には、前記チャンバに接続された流路上に設けられるマスフローコントローラが用いられる。このマスフローコントローラは、流路が内部に形成されており、各週流量制御機器が取り付けられるブロック体と、流路を流れる流体の流量を測定する熱式流量センサ等の流量測定機構と、流量制御バルブと、前記流量測定機構で測定される測定流量値と目標流量値の偏差が小さくなるように前記流量制御バルブの開度を制御するバルブ制御部と、が1つのパッケージとなったものである。

【0004】

ところで、プロセスガスの生成物の中には流量測定用のための細かいセンサ流路内や、流体を分流するための層流素子等に付着しやすいものがあり、生成物が付着することで詰まりが生じ、正確な流量を測定できていない場合がある。仮に流量測定機構で測定されている流量測定値が不正確なものであったとすると、流量制御バルブが正確に制御されていたとしても、チャンバ内に流入するプロセスガスの実際の流量には誤差が生じていることになり、所望の性能を有した半導体製造が行えないことになる。

【0005】

このような問題を解決するために、流量測定機構に詰まり等が生じ、測定流量値に異常が生じていないかどうか等を診断するための構成を有したマスフローコントローラ等の流量制御装置が従来から提案されている。

【0006】

例えば、特許文献1に記載されている流量制御装置は、音速ノズルを用いることによりプロセスガスを目標流量で流すように構成された流量制御装置であり、オリフィスの上流側圧力と下流側圧力の比が所定値以上となるようにして流体が音速を保つようにするとともに、目標流量値に応じてオリフィス上流側の圧力のみを制御するための圧力制御バルブとを備えている。このものは、プロセスガスの生成物が付着する等してオリフィスが詰まったり、その有効断面積が変化したりすると、目標流量値でプロセスガスを導入することができなくなるので、前記オリフィスの詰まりによる異常を診断するための診断回路を備えている。この診断回路は、オリフィスの上流に設けられた圧力センサと、同じくオリフ

10

20

30

40

50

イスの上流に設けられた温度センサと、前記圧力センサで測定される測定圧力と、前記温度センサで測定される測定温度とをベルヌーイの式に代入してオリフィスの上流を流れる流体の流量を算出する算出部と、を備えた流量測定機構から出力される第1流量測定値と、熱式流量センサで測定される第2測定流量値とを比較し、これらの偏差が許容量以上となった場合にオリフィスの交換を促すための信号を出力するものである。なお、前記流量測定機構で得られた第1流量測定値はフィードバックされ、前記圧力制御バルブの開度を制御するために用いられている。

【0007】

言い換えると、この特許文献1に示される流量制御装置では、オリフィスにおける詰まりを診断するために、フィードバック制御用の流量測定機構の他にさらに別のフィードバック制御には用いられない熱式流量センサを設けることにより診断回路が動作するよう構成されている。

10

【0008】

しかしながら、半導体製造装置のような分野においてもコストの低減要求は厳しく、上述したような流量制御装置でも、できる限り部品点数を減らしつつ、流路の詰まりや測定流量値の異常を正確に診断でき、常に高精度での流量制御を行えることが求められている。

【0009】

このような観点から考えると、特許文献1の流量制御装置では、詰まりの診断をするために、オリフィスの上流に設けられた圧力センサ、温度センサ、熱式流量センサを構成するためのさらに2つの温度センサという、計4つものセンサを流路上に設ける必要があり、コスト低減要求に答えられてない。かといって、単純にセンサの点数を減らしてしまうと、今度はフィードバック制御に用いている測定流量値が許容できる程度に正しい値を示しているのか等、定量的な評価に基づいて詳細に診断したり、流路内で詰まりが本当に生じているか等を精度よく診断したりする事が難しくなる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2000-259255号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は上述したような問題点を鑑みてなされたものであり、流量制御装置に用いられるセンサ等の部品点数を低減しつつ、流量装置内で生じる詰まりなどの不具合や測定流量値に生じている異常を精度よく診断することができる流量制御装置、流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置及び診断用プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

すなわち、本発明の流量制御装置は、流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構と、前記流路上に設けられた流量制御バルブと、前記流量測定機構で測定される測定流量値と、目標流量値との偏差が小さくなるように前記流量制御バルブの開度を制御するバルブ制御部と、を備えた流量制御装置であって、前記流路上に設けられた流体抵抗と、前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれか一方に設けられた圧力センサと、前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力値を算出する圧力算出部と、前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする。

40

50

【0013】

また、本発明の診断装置は、流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置であって、前記流路上に設けられた流体抵抗と、前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれか一方に設けられた圧力センサと、前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力値を算出する圧力算出部と、前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする。

10

【0014】

このようなものであれば、前記流量制御バルブの制御に用いられる測定流量値を測定するための流量測定機構の他に、前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれか一方に1つの圧力センサを設けているだけなので、従来に比べて流量制御装置にフィードバック制御以外の目的で付加するセンサの数を減らし、製造コストの上昇を抑えることができる。

【0015】

しかも、前記異常診断部が前記測定流量値と比較するために用いる算出流量値は、本来であれば前記流体抵抗の上流側と下流側の両方の圧力値が分からないと正確に算出されないものであるところを、本発明では前記圧力算出部と、前記流量算出部と、が協業することにより実際に流路に流れている流量に略等しい算出流量値を算出することができる。

20

【0016】

従って、本来であれば必要なセンサを減らしつつ、前記測定流量値に対して比較対象とするための前記算出流量値を実際の流量に近い値で精度よく算出できるようにしているので、前記異常診断部もこれらの流量値を比較することで、精度よく異常診断を行うことができる。しかも、比較対象としているのが信頼できる算出流量値であるため、例えば前記測定流量値と実際の流量との間にどの程度の誤差が生じているのかを定量的に評価することができる。つまり、測定流量値に異常が生じているかどうかといった二分法的な判定だけでなく、前記測定流量値に生じている異常が許容できる程度の誤差なのかどうかといった定量的に判定することが前記異常診断部において可能となる。

【0017】

各測定値に誤差が入りにくく、算出される算出圧力値と実際の圧力値の誤差を小さくすることができるようにするには、前記測定流量値又は前記圧力センサで測定される測定圧力値に基づいて、前記流路を流れる流体の状態が安定状態であるかどうかを判定する安定状態判定部を更に備え、前記圧力算出部が、前記安定状態判定部が流体の状態が安定状態であると判定している場合に、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出するように構成されていけばよい。このようなものであれば、前記流量算出部は、前記安定状態判定部により流体が安定であると判定している間に精度よく推定された圧力算出値と、実際に測定している測定圧力値と、に基づいて前記算出流量値を算出しているので、当然、前記算出流量値も実際に流路に流れている流量との誤差も小さくできる。

30

40

【0018】

前記算出圧力値の推定精度を高め、ひいては前記算出流量値の推定精度も信頼できるようにするために、適切に流体の安定状態を判定できるようにするには、前記安定状態判定部が、前記測定流量値と前記目標流量値との偏差の絶対値が所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に前記流体の状態が安定状態であると判定するように構成されていけばよい。

【0019】

測定流量値に誤差が生じているとしても使用目的に応じて許容できる誤差である場合は使用を継続でき、許容限度を超えた場合に異常があると診断されるようにして、例えば、メンテナンスの回数をできる限り減らせるようにするには、前記異常診断部が、前記測定

50

流量値と、前記算出流量値の偏差の絶対値が所定値以上となった場合に、当該測定流量値に異常があると診断するように構成されたものであればよい。

【0020】

流体が安定状態となるまでの間においても、前記測定流量値に明らかな異常が生じていないかどうか等を取りあえず判定できるようにするには、前記流量算出部が、前記安定判別部が前記流体の状態が安定状態であると判定するまでは、前記測定圧力値と、予め定められた規定圧力値と、に基づいて前記算出流量値を算出するように構成されたものであればよい。このようにすれば、流量制御装置による流量制御が開始された直後等においても、大きな異常が発生している場合ならば異常を検知する事が可能となる。

【0021】

前記異常診断部による診断により異常を発見しやすく、効果を得やすい流量測定機構の具体例としては、前記流量測定機構が、熱式流量センサであるものが挙げられる。

【0022】

流体に含まれる物質の付着等による詰まりにより生じる異常を診断しやすくするには、前記熱式流量センサが、前記流路上に設けられる層流素子を備えたものであり、前記流体抵抗が、前記層流素子とは別途設けられたものであればよい。具体的には、前記流体抵抗が前記流量測定機構とは独立して設けられているので、前記算出流量値は、前記流量測定機構で生じている詰まりによる影響を受けにくくすることができる。言い換えると、前記層流素子と前記流体抵抗とを共通化する場合に比べて、独立して設けておいたほうが前記測定流量値と前記算出流量値の両方において誤差が生じ、異常の判定が難しくなるといった事態を防ぐことができる。

【0023】

例えば、既存の流量制御装置に対して本発明の診断装置を後付けで構成することができ、同様の効果が得られるようにするには、本発明の診断用プログラムを記録媒体等からコンピュータ等にインストールするようにすればよい。具体的には、本発明の診断用プログラムは、流路上に流体抵抗と、前記流体抵抗の上流側又は下流側のいずれかに圧力センサと、が設けられており、前記流路を流れる流体の流量を測定する流量測定機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断用プログラムであって、前記流量測定機構で測定される測定流量値と、前記圧力センサで測定される測定圧力値と、に基づいて、前記流体抵抗に対して前記圧力センサが設けられていない側の圧力を算出する圧力算出部と、前記測定圧力値と、前記圧力算出部で算出された算出圧力値と、に基づいて前記流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、前記測定流量値と、前記流量算出部が算出する算出流量値と、に基づいて当該測定流量値の異常を診断する異常診断部と、を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0024】

このように本発明の流量制御装置、流量制御機構、又は、当該流量測定機構を備えた流量制御装置に用いられる診断装置及び診断用プログラムであれば、異常診断を行うための構成として、フィードバック制御に用いられる測定流量値を出力する流量測定機構の他に、1つだけセンサを設けるだけでよく部品点数を減らし、製造コストの上昇を抑えることができる。しかも、流体が安定状態にあるときの測定流量値と、測定圧力値に基づいて算出圧力値及び算出流量値を算出することで、算出流量値を精度よく算出することができるので、従来に比べて診断用のセンサ数が少なくても同等以上の精度で測定流量値の異常を診断する事が可能となっている。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】第1実施形態におけるマスフローコントローラ及び診断装置を示す模式図。

【図2】第1実施形態の安定状態判定部の動作を説明するための模式的グラフ。

【図3】第1実施形態のマスフローコントローラ及び診断装置の診断に関する動作を示すフローチャート。

10

20

30

40

50

【図4】第1実施形態における測定流量値と算出流量値の変化と、診断に関する動作を説明する模式的グラフ。

【図5】本発明の第2実施形態に係るマスフローコントローラ及び診断装置を示す模式図。

【発明を実施するための形態】

【0026】

本発明の第1実施形態に係る流量制御装置及び診断装置200について図面を参照しながら説明する。

【0027】

第1実施形態の流量制御装置は、半導体製造等においてCVD装置等のチャンバ内に成膜に必要な原料を含むプロセスガスを所定の供給流量で供給するために用いられるマスフローコントローラ100である。このマスフローコントローラ100は、図1の模式図に示すように、概略直方体形状で内部に貫通路を形成し、流体が流れる流路MLを形成してあるブロック体Bを有し、前記ブロック体Bの上面に流体制御のための機器及び前記診断装置200を構成するための各種機器を取り付けることで、パッケージ化してある。

10

【0028】

より具体的には、前記マスフローコントローラ100は、前記ブロック体Bの内部に形成された流路MLに、上流から順番に流量測定機構、流量制御バルブ2、圧力センサ3、流体抵抗4を設けてあるものであり、さらに各機器の制御や診断のための各種演算を行う演算部Cを備えたものである。そして、このマスフローコントローラ100は、前記流量測定機構で測定される測定流量値 Q_T と、目標流量値 Q_r の偏差が小さくなるように前記流量制御バルブ2の開度を制御することで、所望の流量をチャンバ内に供給する。

20

【0029】

各部について図1を参照しながら説明する。まず、主にハードウェアの構成について説明する。

【0030】

前記ブロック体Bは、図1に示すように下面に開口し、流体を内部の流路MLへ導入するための流体導入口と、流量制御された流体を導出するための流体導出口を備えたものであり、上面には前記流量測定機構、前記流量制御バルブ2、前記圧力センサ3を取り付けるとともに、前記流路MLと連通させるための取り付け穴が形成してある。

30

【0031】

前記流量測定機構は、前記ブロック体Bの内部を流れる流体の流量を測定するものであり、第1実施形態では熱式流量センサ1を用いている。この熱式流量センサ1は、前記流路MLに設けてある層流素子13と、前記層流素子13の上流において前記流路MLから分岐し、当該層流素子13の下流において前記流路MLに合流する概略逆U字状に形成された金属細管であるセンサ流路SLと、前記センサ流路SLを形成する金属細管の外側において上流側と下流側にそれぞれ設けられた第1温度センサ11、第2温度センサ12と、前記第1温度センサ11、前記第2温度センサ12で測定される温度差に基づいて前記流路MLに流れる流量に変換する流量変換部14と、を備えたものである。なお、前記流量変換部14は後述する演算部Cの演算機能を利用して構成してあり、測定流量値 Q_T を以下の式1に基づいて算出するものである。

40

【0032】

$$Q_T = k_T (T_1 - T_2) \cdots \text{式1}$$

ここで、 Q_T ：測定流量値、 k_T ：温度差から流量への変換係数、 T_1 ：第1温度センサ11で測定される上流側温度、 T_2 ：第2温度センサ12で測定される下流側温度である。

【0033】

前記層流素子13は、前記流路MLから前記センサ流路SLに所定の比率で流体が分流されるようにするためのものであり、例えば、微小な貫通溝が形成された薄板を積層して形成してある。すなわち、この層流素子13を流体が通過する際に層流状態となるように

50

前記貫通溝の長さや深さなどが設定してある。このように層流素子 1 3 は微小構造を有するものであるため、通過するプロセスガスからの生成物が前記貫通溝等の微小構造に付着して詰まりが生じることがある。また、前記センサ流路 S L も金属細管により構成してあるため、詰まりが生じることがある。そして、前記層流素子 1 3 又は前記センサ流路 S L のいずれかに詰まりが生じると、分流比が変化するため前記第 1 温度センサ 1 1、前記第 2 温度センサ 1 2 により測定される温度差が実際の流量を反映しないものとなり、前記熱式流量センサ 1 で測定される測定流量値 Q_T に異常が生じることになる。

【 0 0 3 4 】

前記流量制御バルブ 2 は、例えばピエゾバルブであって後述するバルブ制御部 2 1 によりその開度を制御されるものである。

10

【 0 0 3 5 】

前記流体抵抗 4 は、その上流側と下流側において圧力差を生じさせるためのものであり、例えば前記層流素子 1 3 と同様の構造を有するものや、オリフィス等が用いられる。

【 0 0 3 6 】

前記圧力センサ 3 は、前記流量制御バルブ 2 と前記流体抵抗 4 との間であり、前記流体抵抗 4 よりも上流側の圧力を測定するためのものである。前記流体抵抗 4 と、前記圧力センサ 3 は別の見方をすると、圧力式流量計において下流側の圧力センサを省略し、上流側の圧力センサ 3 だけを残した構造を有するものとも言える。

【 0 0 3 7 】

次に主にソフトウェアの構成について説明する。

20

【 0 0 3 8 】

前記演算部 C は、CPU、メモリ、入出力インターフェース、A/D、D/A コンバータ等を備えたいわゆるコンピュータやマイコン等によりその機能を実現されるものであって、前記メモリに格納されているプログラムを実行することにより、少なくとも、バルブ制御部 2 1、安定状態判定部 5、圧力算出部 6、流量算出部 7、異常診断部 8 としての機能を発揮するように構成してある。なお、第 1 実施形態における診断装置 2 0 0 は、前記圧力センサ 3、前記流体抵抗 4、前記安定状態判定部 5、前記圧力算出部 6、前記流量算出部 7、前記異常診断部 8 により構成されるものである。

【 0 0 3 9 】

各部について説明する。

30

【 0 0 4 0 】

前記バルブ制御部 2 1 は、前記熱式流量センサ 1 で測定される測定流量値 Q_T と、目標流量値 Q_r との偏差が小さくなるように前記流量制御バルブ 2 の開度を制御するものである。より具体的には、前記測定流量値 Q_T がフィードバックされると、前記目標流量値 Q_r との偏差が算出され、その偏差に応じて前記流量制御バルブ 2 に印加する電圧を変化させるものである。なお、目標流量値 Q_r は予め指令値をプログラムとして入力するものであってもよいし、外部入力により逐次入力されるようにしても構わない。第 1 実施形態では、目標流量値 Q_r としては所定時間ある一定の値を保持し続けることを目的としてステップ入力状の値が前記バルブ制御部 2 1 に入力される。例えば、プロセスの状態が切り替わるごとにステップ入力の大きさが変更される。

40

【 0 0 4 1 】

前記安定状態判定部 5 は、前記測定流量値 Q_T に基づいて、前記流路 M L を流れる流体の状態が安定状態であるかどうかを判定するかどうかを判定するものである。より具体的には、前記安定状態判定部 5 は、図 2 のグラフに示すように前記測定流量値 Q_T と前記目標流量値 Q_r との偏差の絶対値が所定値以下である状態が所定時間以上継続した場合に前記流体の状態が安定状態であると判定するように構成してある。ここで、流体の状態が安定状態であるという文言について言い換えておくと、前記流路 M L を流れる流体の流量、圧力等と言った流量に関連するパラメータが時間経過に対して大きく変動せず、実質的に一定となっている状態とも言い換えることができる。更に言い換えると、流体が安定しているとは前記測定流量値 Q_T 、測定される圧力値の両方、又はいずれか一方が所定の値の

50

範囲内で、所定時間継続して保たれている状態とも言える。なお、前述した所定の値や、所定時間は工場出荷時等に予め定めてあってもよいし、ユーザが適宜設定する値であってもよい。

【0042】

前記圧力算出部6は、図2に示すように前記安定状態判定部5が流体の状態が安定状態であると判定している場合に、前記測定流量値 Q_T と、前記測定圧力値 P_1 と、に基づいて、前記流体抵抗4に対して前記圧力センサ3が設けられていない側（他方側）の圧力を算出するものである。言い換えると、前記圧力算出部6は、前記熱式流量センサ1で測定される測定流量値 Q_T と、前記流体抵抗4の下流にさらに圧力センサ3が設けられて圧力式流量計として構成された場合に測定されるであろう流量値と、が等しくなることを利用して、圧力センサ3が設けられておらず、圧力の実測定の行われていない前記流体抵抗4の下流側の圧力を算出するように構成してある。より具体的には、前記圧力算出部6は以下の式2に基づいて前記流体抵抗4の下流側の圧力を算出するものである。

【0043】

$$Q_T = k_p (P_1^2 - P_2^2) \cdots \text{式2}$$

ここで、 Q_T ：前記熱式流量センサ1で測定される測定流量値、 k_p ：前記流体抵抗4により決まる圧力から流量への変換係数、 P_1 ：前記圧力センサ3で測定される前記流体抵抗4の上流側の測定圧力値、 P_2 ：前記流体抵抗4の下流側圧力値であり、未知の値である。つまり、圧力と流量の関係から下流側圧力値を算出するようにしてある。

【0044】

なお、式2について説明すると、前記流路MLを流れる流体の流量を、熱式、圧力式という別の測定方式により測定した場合でも同じ値が出力されるという前提から導かれるものであり、左辺が熱式により測定される流量値、右辺が圧力式により測定されるであろう流量値を表す。前記圧力算出部6は、前記安定状態判定部5により流体が安定状態であると判断されているときに、この式2に基づいて前記流体抵抗4の下流側の圧力を推定しているので、式2の前提である各流量の値が等しいという条件を満たせる。例えば、何らかの原因で外乱が入り、それぞれの方式で測定される流量値が異なる場合において、前記流体抵抗4の下流側の圧力である算出圧力値 P_2 を出力することがないので、精度よく圧力の推定を行うことができる。また、前記圧力抵抗の下流側の圧力が一度算出されると、その算出された算出圧力値 P_2 はメモリ上に形成された算出圧力値記憶部（図示しない）に保持されつづけることになり、以降は例えば流体の安定状態が崩れるまでは、新たに算出圧力値 P_2 を算出しないように前記圧力算出部6は構成してある。そして、流体が安定状態で無くなった場合には、前記安定状態判定部5により流体が安定状態であると判定された場合に再び前記算出圧力値の算出を前記圧力算出部6は行うようにしてある。なお、所定時間ごとに流体が安定であるかどうかを判定し、安定である場合に前記圧力算出部6が算出する算出圧力値を、算出圧力値記憶部に更新して保持させ続けるようにしても構わない。

【0045】

前記流量算出部7は、前記圧力センサ3で測定される前記流体抵抗4の上流側の圧力である測定圧力値 P_1 と、前記圧力算出部6で算出された前記圧力抵抗の下流側の圧力である算出圧力値 P_2 と、に基づいて前記流路MLを流れる流体の流量を算出するものである。すなわち、前記流量算出部7で算出される算出流量値 Q_p は、以下の式3に基づいて算出するようにしてある。

【0046】

$$Q_p = k_p (P_1^2 - P_2^2) \cdots \text{式3}$$

ここで、 Q_p ：前記流量算出部7で算出される圧力に基づいた算出流量値、 k_p ：前記流体抵抗4により決まる圧力から流量への変換係数、 P_1 ：前記圧力センサ3で測定される前記流体抵抗4の上流側の測定圧力値、 P_2 ：前記圧力算出部6で算出された後、保持されている前記流体抵抗4の下流側の算出圧力値である。

【0047】

10

20

30

40

50

なお、前記流量算出部 7 は、前記圧力算出部 6 により前記流体抵抗 4 の下流側の圧力が算出されるまでの間は、予め定めておいた規定圧力値と前記式 3 に基づいて算出流量値 Q_p を算出するように構成してある。

【0048】

このように、前記流量算出部 7 は、前記圧力算出部 6 で精度のよく算出された算出圧力値 P_2 と、現在圧力センサ 3 で測定されている測定圧力値 P_1 だけで前記熱式流量センサ 1 とは独立に信頼できる算出流量値 Q_p を出力することができる。

【0049】

前記異常診断部 8 は、前記熱式流量センサ 1 により測定される前記測定流量値 Q_T と、前記流量算出部 7 が算出する算出流量値 Q_p と、に基づいて当該測定流量値 Q_T の異常を診断するものである。より具体的には、この異常診断部 8 は、前記測定流量値 Q_T と、前記算出流量値 Q_p の偏差の絶対値が所定値以上となった場合に、当該測定流量値 Q_T に異常があると診断するように構成してある。ここで、所定値はこのマスフローコントローラ 100 で流す流体の流量の許容できる誤差に基づいて設定してあり、例えば、目標流量値 Q_r の 1% などの値に設定する。つまり、前記異常診断部 8 は、測定流量値 Q_T に単に異常が発生しているかどうかを判定するだけでなく、その異常で生じている誤差が流量制御において許容できる誤差であるかどうかを判定していることになる。従って、前記所定値は使用目的等に応じて適宜変更して診断基準を使用条件に適したものに調節できる。また、前記流体抵抗 4 の下流側圧力を実測していないものの、前記圧力算出部 6、前記流量算出部 7 でも説明したように、前記算出圧力値 P_2 及び前記算出流量値 Q_p は安定状態判定部 5 が流体は安定状態にあると判定している状態で算出されたものであるので、精度よく推定されており、異常の診断基準としても用いることができる。なお、ここで説明した所定値も使用状態等に応じてユーザが適宜設定しても構わない。

【0050】

このように構成されたマスフローコントローラ 100 の測定流量値 Q_T の診断に関する動作について図 3 のフローチャートと、図 4 のグラフを参照しながら説明する。

【0051】

まず、前記バルブ制御部 21 により、前記熱式流量センサ 1 で測定される測定流量値 Q_T と、目標流量値 Q_r の偏差が小さくなるように前記流量制御バルブ 2 の開度制御が開始される（ステップ S1）。流量制御が開始されると、前記安定状態判定部 5 は、流体が安定状態にあるかどうかの判定を開始する（ステップ S2）。前記安定状態判定部 5 は、測定流量値 Q_T と目標流量値 Q_r の偏差が所定値以下の状態が所定時間以上継続された場合に、安定状態であると判定し（ステップ S3）、安定状態であると判定された時点での測定流量値 Q_T と、前記圧力センサ 3 で測定された測定圧力値 P_1 により、前記圧力算出部 6 が前記流体抵抗 4 の下流側の圧力である算出圧力値 P_2 を算出する（ステップ S4）。前記圧力算出部 6 で算出圧力値 P_2 が算出されてからは、前記流量算出部 7 は、前記圧力センサ 3 で測定され、逐次変化する測定圧力値 P_1 と、前記圧力算出部 6 で算出された以降は固定された値として扱う算出圧力値 P_2 に基づいて、熱式流量センサ 1 とは別個に算出流量値 Q_p を算出する（ステップ S5）。なお、前記圧力算出部 6 において算出圧力が算出されるまでは、予め定めた規定圧力値を代わりに使用して、前記流量算出部 7 は算出流量値 Q_p を出力している。このため、図 4 に示したように流量制御開始後から安定状態に入り、算出圧力値 P_2 が算出されるまでは、測定流量値 Q_T と算出流量値 Q_p にはオフセットが生じた状態となっている。前記流量算出部 7 が、算出圧力値 P_2 を用いて算出流量値 Q_p を算出するようになってからは、測定流量値 Q_T とのオフセットが略無くなる。前記流量算出部 7 が算出圧力を用いて算出流量値 Q_p を算出するようになってからは、前記異常診断部 8 は、測定流量値 Q_T と算出流量値 Q_p を比較し（ステップ S6）、これらの偏差が所定値以上となった場合に（ステップ S7）、熱式流量センサ 1 で測定され、前記流量制御バルブ 2 にフィードバックされている測定流量値 Q_T に許容できる以上の異常が生じていると判定する（ステップ S8）。前記異常診断部 8 で異常の発生が判定されると、例えば、熱式流量センサ 1 を構成する部品のチェックや詰まりチェック等のメンテナ

ンス作業が作業者により行われる。

【0052】

このように第1実施形態のマスフローコントローラ100及び診断装置200によれば、本来であれば熱式流量センサ1との比較用に圧力式流量計を構成するために、前記流体抵抗4の上流側、下流側の両方に圧力センサ3を設けるところを、片側だけに取り付けて部品点数、特にセンサの数を減らしつつ、測定流量値 Q_T の異常を診断できる。さらに、圧力センサ3の設けられていない前記流体抵抗4の下流側の圧力である算出圧力値 P_2 については、前記流路MLを流れる流体の状態が安定状態にある時の、測定流量値 Q_T 、測定圧力値 P_1 に基づいて推定するようにしてあるので、センサを減らしたにもかかわらず、略同等の精度で圧力に基づいた算出流量値 Q_p を算出することができる。つまり、算出流量値 Q_p が、前記流路MLを流れる流体の実際の流量と略等しいものにすることができているので、熱式流量センサ1で測定される測定流量値 Q_T の異常を診断するための比較基準として用いた場合、異常によりどの程度の誤差が生じているのかといった定量的な評価を行うことができる。従って、単に異常が起こっている事が分かるといった大雑把な診断ではなく、異常が起こっていても許容できる範囲であれば異常と見なさない等といった細やかな評価を行うことができ、使用条件に合わせた診断を行うことができる。

10

【0053】

次に本発明の第2実施形態について図5を参照しながら説明する。なお、第1実施形態に対応する部材には同じ符号を付すこととする。

【0054】

前記第1実施形態では、前記流体抵抗4の上流側のみに圧力センサ3を設けていたが、逆に下流側にのみ圧力センサ3を設けておき、前記圧力算出部6で前記流体抵抗4の上流側の未知の圧力を算出するようにしても構わない。このようなものであっても第1実施形態のマスフローコントローラ100と同様に精度よく定量的に測定流量値 Q_T に生じている異常を診断することができる。また、第2実施形態に示すように、熱式流量センサ1、流体抵抗4、圧力センサ3、流量制御バルブ2の順番で流路MLの上流から順番に設けても構わない。すなわち、前記流量測定機構、前記流量制御バルブ2、前記圧力センサ3及び前記流体抵抗4の流路MLに沿って並んでいる順番は特に限定されるものではない。

20

【0055】

その他の実施形態について説明する。

30

【0056】

前記各実施形態ではマスフローコントローラとして流量制御装置が構成されたものを例として挙げたが、各部品をパッケージ化せずと同様の流量制御装置を構成しても構わない。また、前記安定状態判定部、前記圧力算出部、前記流量算出部、前記異常診断部としての機能を発揮するための診断用プログラムを記録媒体等から、既存のマスフローコントローラを構成するコンピュータにインストールすることにより、診断に関する構成を追加しても構わない。さらに、前記安定状態判定部を省略して、前記圧力算出部が前記流体の状態に関わりなく、算出圧力値を算出するとともに、前記異常診断部が異常診断を行うように流量制御装置及び診断装置を構成してもよい。また、熱式流量センサ又は圧力式流量センサ等の流量測定機構が単体で流路に設けられており、この流量測定機構が測定する測定流量値に異常が発生していないかどうかを、前記診断装置を用いて診断しても構わない。

40

【0057】

前記流量測定機構は熱式流量センサに限られるものではなく、その他の圧力式や他の測定原理を用いたセンサであっても構わない。前記安定状態判別部は、測定流量値と目標流量値の偏差に基づいて安定状態かどうかを判定するものではなく、例えば、前記圧力センサで測定される圧力値に基づいて判定を行うものであっても構わない。前記異常診断部は、測定流量値に異常が生じているかどうかを診断するものであったが、例えば、測定流量値に異常が生じている原因等まで診断するものであっても構わない。前記流体抵抗は、前記熱式流量センサの層流素子であっても構わない。すなわち、前記流路内に層流素子と、流体抵抗とを別々に設けるのではなく、共通化してもよい。この場合、圧力センサは前記

50

層流素子の上流又は下流に設けてあればよい。加えて、前記実施形態で示した流量の算出式は一例であり、使用条件等に応じて、適切な算出式を用いればよい。

【0058】

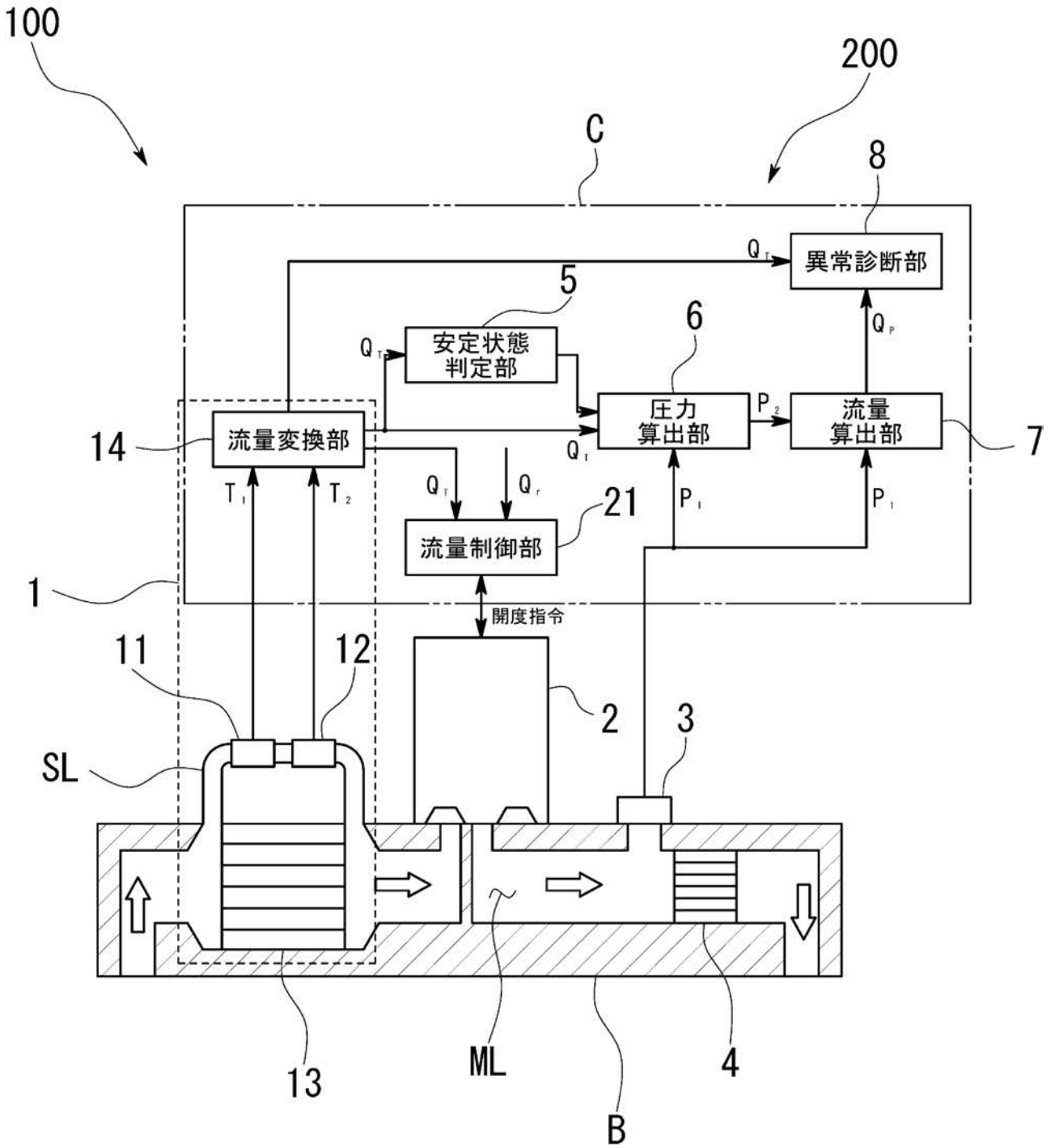
その他、本発明の趣旨に反しない限りにおいて、様々な変形や実施形態の組み合わせを行っても構わない。

【符号の説明】

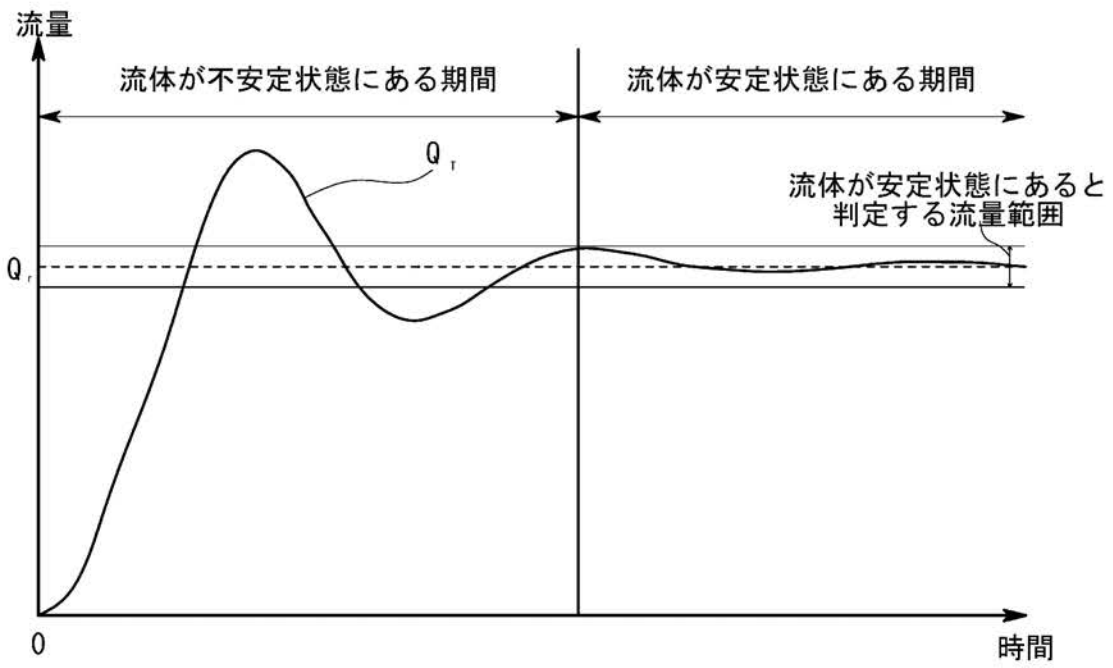
【0059】

- 100・・・マスフローコントローラ（流量制御装置）
- 200・・・診断装置
- 1・・・熱式流量センサ（流量測定機構）
- 13・・・層流素子
- 2・・・流量制御バルブ
- 21・・・バルブ制御部
- 3・・・圧力センサ
- 4・・・流体抵抗
- 5・・・安定状態判定部
- 6・・・圧力算出部
- 7・・・流量算出部
- 8・・・異常診断部

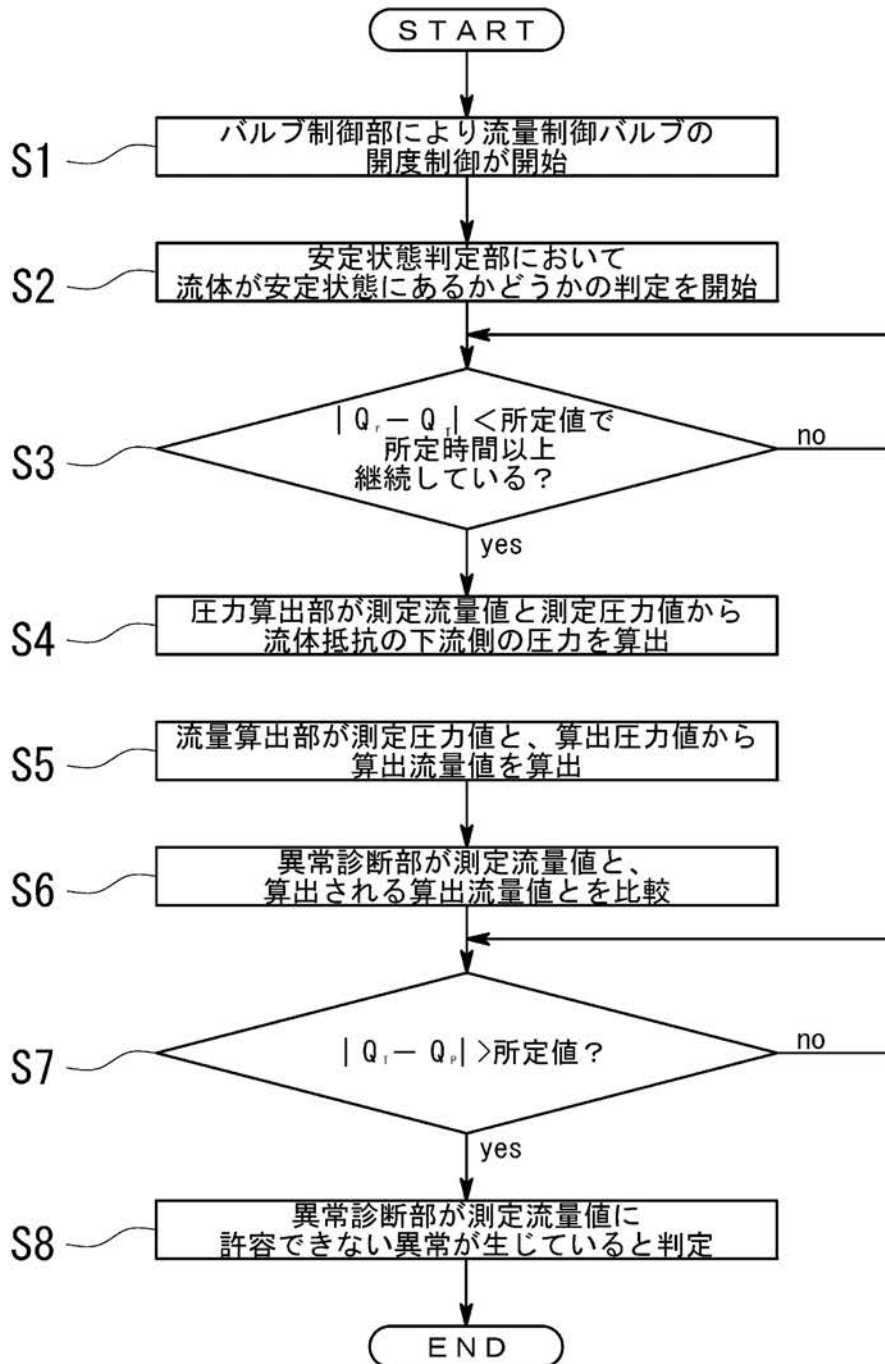
【図1】



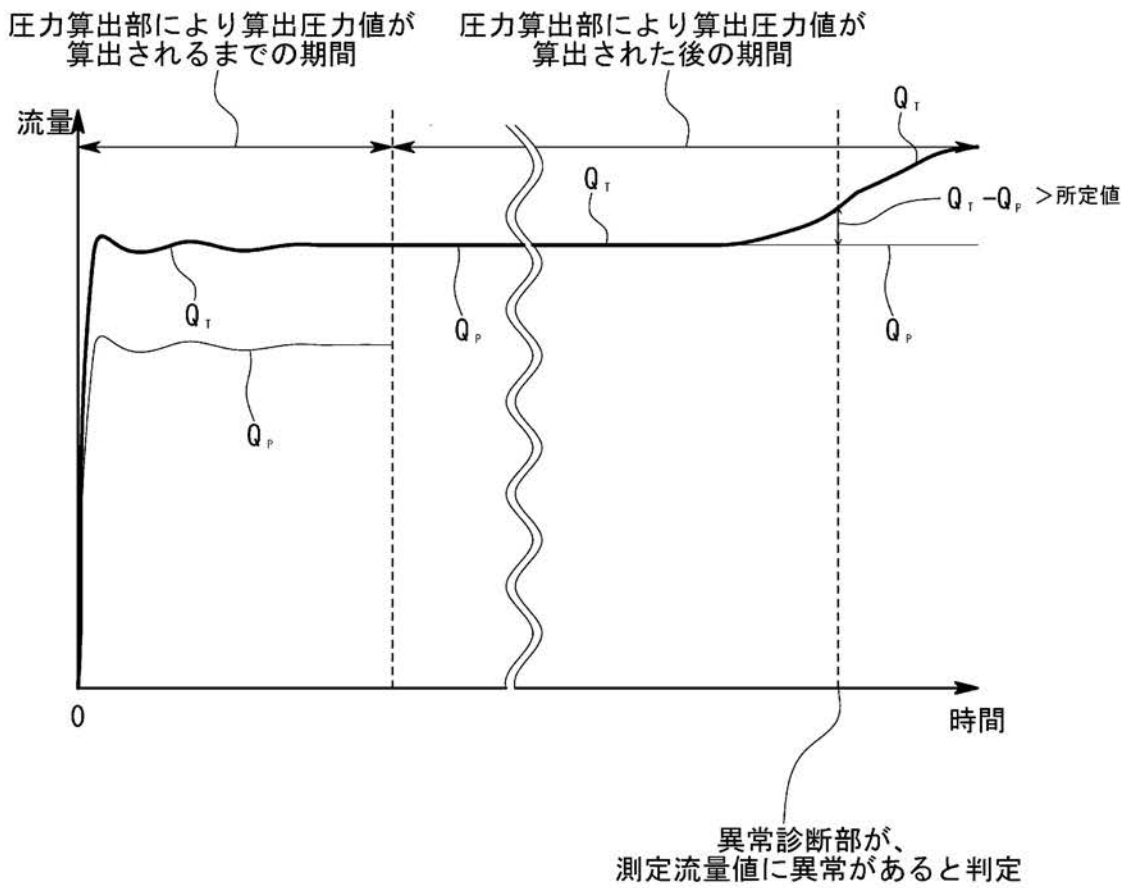
【 図 2 】



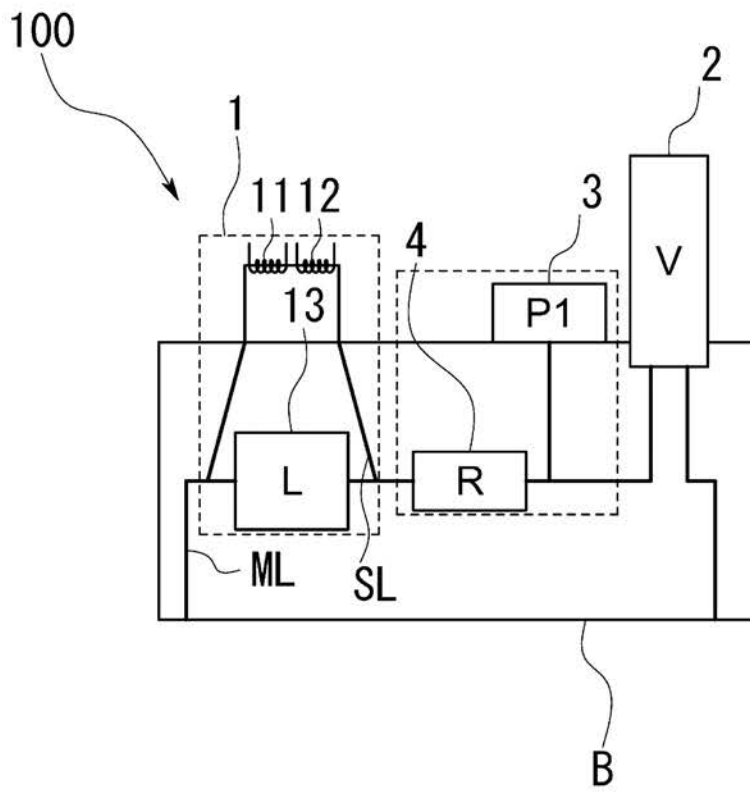
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 明人

京都府京都市南区上鳥羽鉾立町 1 1 番地 5 株式会社堀場エステック内

(72)発明者 清水 哲夫

京都府京都市南区上鳥羽鉾立町 1 1 番地 5 株式会社堀場エステック内

Fターム(参考) 5H223 AA05 BB01 CC01 DD03 EE02 FF08

5H307 AA20 BB01 DD17 EE02 FF06 FF12 GG01 GG11 HH04