(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2025-11932
(P2025-11932A)
(43)公開日　令和7年1月24日(2025.1.24)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
G01F	*1/00 (2022.01)*	G01F	1/00	X	2F030
G05D	*7/06 (2006.01)*	G05D	7/06	B	5H307
G01F	*1/34 (2006.01)*	G01F	1/00	S	
G01F	*25/10 (2022.01)*	G01F	1/34	A	
		G01F	25/10	M	

審査請求　未請求　請求項の数　11　ＯＬ　（全15頁）

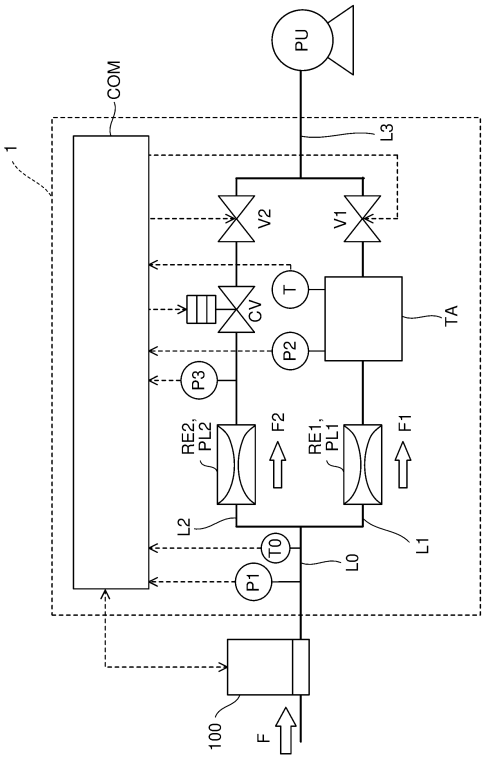
(21)出願番号　特願2023-114362(P2023-114362)
(22)出願日　令和5年7月12日(2023.7.12)

(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
(74)代理人　110001933
弁理士法人 佐野特許事務所
(72)発明者　堀之内 修
京都市南区上鳥羽鉾立町１１－５ 株式会社堀場エステック内

Ｆターム（参考）　2F030　CA04 CB03 CC11 CD20 CF05 CF08 CF09
5H307　BB01 BB05 CC01 DD01 EE02

(54)【発明の名称】　流量算出装置および流量算出方法

(57)【要約】
【課題】流体の流量が大きい場合でも、装置全体の大型化を回避しながら流体の流量を算出する。
【解決手段】流量算出装置は、主流路を流れる流体の流量を算出する流量算出装置であって、主流路から分岐して設けられ、流体が分流する特定流路およびバイパス流路と、特定流路に設けられる第１流体抵抗素子と、バイパス流路に設けられる第２流体抵抗素子と、特定流路において、第１流体抵抗素子の下流側に配置される容器と、容器内の圧力を検知する圧力センサと、特定流路に分流する第１分岐流体の流量を、容器内の前記圧力の変化に基づいて算出し、第１分岐流体の算出流量と、第１流体抵抗素子および第２流体抵抗素子に応じて決まる分流比と、に基づいて、主流路を流れる流体の流量を算出する流量算出部と、を備える。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
主流路を流れる流体の流量を算出する流量算出装置であって、
前記主流路から分岐して設けられ、前記流体が分流する特定流路およびバイパス流路と、
前記特定流路に設けられる第１流体抵抗素子と、
前記バイパス流路に設けられる第２流体抵抗素子と、
前記特定流路において、前記第１流体抵抗素子の下流側に配置される容器と、
前記容器内の圧力を検知する圧力センサと、
前記特定流路に分流する第１分岐流体の流量を、前記容器内の前記圧力の変化に基づいて算出し、前記第１分岐流体の算出流量と、前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子に応じて決まる分流比と、に基づいて、前記主流路を流れる前記流体の流量を算出する流量算出部と、を備える、流量算出装置。
【請求項２】
前記圧力センサを、特定流路用圧力センサとしたとき、
前記バイパス流路における前記第２流体抵抗素子の下流側に配置されるバイパス流路用圧力センサと、
前記第２流体抵抗素子を介して前記バイパス流路を流れる第２分岐流体の流量を制御する制御バルブと、をさらに備え、
前記流量算出部は、前記バイパス流路用圧力センサによって測定される前記第２流体抵抗素子の下流側の圧力が、前記特定流路用圧力センサによって検知される前記容器内の圧力に一致または近づくように、前記制御バルブを制御する、請求項１に記載の流量算出装置。
【請求項３】
前記制御バルブと圧力計とを内蔵する圧力制御装置をさらに備え、
前記流量算出部は、前記圧力制御装置の前記制御バルブを制御する、請求項２に記載の流量算出装置。
【請求項４】
前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子はそれぞれ、前記第１分岐流体および前記第２分岐流体に圧力損失を与える圧損素子である、請求項２または３に記載の流量算出装置。
【請求項５】
前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子を構成する前記圧損素子は、セラミックスからなるリストリクタである、請求項４に記載の流量算出装置。
【請求項６】
前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子を構成する前記圧損素子は、金属からなるリストリクタである、請求項４に記載の流量算出装置。
【請求項７】
前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子は、臨界ノズルである、請求項１に記載の流量算出装置。
【請求項８】
前記主流路に配置される主流路用圧力検知部をさらに備え、
前記流量算出部は、前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子を構成する各臨界ノズルを流れる各流体の流速が音速となる臨界条件下において、前記主流路用圧力検知部で検知された圧力を用いて算出される、前記各臨界ノズルを流れる前記各流体の流量の比に基づいて、前記分流比を求める、請求項７に記載の流量算出装置。
【請求項９】
前記主流路に前記流体を流出する流量制御機器の診断を行う機器診断部をさらに備え、
前記機器診断部は、前記流量制御機器が前記流体を流出するときの設定流量と、前記流量算出部によって算出された、前記主流路を流れる前記流体の流量とに基づいて、前記流

量制御機器を診断する、請求項１から８のいずれかに記載の流量算出装置。
【請求項１０】
前記流量算出部は、分流比をＳとし、前記第１分岐流体の算出流量をＱ１として、
Ｑ＝Ｑ１／Ｓ
を演算することにより、前記主流路を流れる流体の流量Ｑを算出する、請求項１から９のいずれかに記載の流量算出装置。
【請求項１１】
主流路を流れる流体が、前記主流路から分岐して設けられる特定流路およびバイパス流路に分流したときに、前記特定流路を流れる第１分岐流体の流量を、前記特定流路において第１流体抵抗素子の下流側に配置された容器内の圧力の変化に基づいて算出する工程と、
前記第１分岐流体の算出流量と、前記第１流体抵抗素子と前記バイパス流路に設けられる第２流体抵抗素子とに応じて決まる分流比と、に基づいて、前記主流路を流れる前記流体の流量を算出する工程と、を有する、流量算出方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、流量算出装置および流量校正方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、流体の流量計測の一手法として、ＲｏＲ（Rate of Rise）法が知られている。ＲｏＲ法は、真空排気した容器に試験体（例えば流量制御機器）から流体（例えばガス）を流し、容器内の圧力上昇率から流体の状態方程式を用いて流量を求める方法である。例えば特許文献１には、ＲｏＲ法を利用して流体の流量を検証する装置が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】国際公開第２０１８／１１１７２５
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
ところが、ＲｏＲ法を利用する場合、検証する流体の流量が大きくなると、それに伴って大型（大容量）の容器を用意する必要があり、装置全体が大型化する。
【０００５】
本発明は、上記の問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、流体の流量が大きい場合でも、装置全体の大型化を回避しながら流体の流量を算出することができる流量算出装置および流量校正方法を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の一側面に係る流量算出装置は、主流路を流れる流体の流量を算出する流量算出装置であって、前記主流路から分岐して設けられ、前記流体が分流する特定流路およびバイパス流路と、前記特定流路に設けられる第１流体抵抗素子と、前記バイパス流路に設けられる第２流体抵抗素子と、前記特定流路において、前記第１流体抵抗素子の下流側に配置される容器と、前記容器内の圧力を検知する圧力センサと、前記特定流路に分流する第１分岐流体の流量を、前記容器内の前記圧力の変化に基づいて算出し、前記第１分岐流体の算出流量と、前記第１流体抵抗素子および前記第２流体抵抗素子に応じて決まる分流比と、に基づいて、前記主流路を流れる前記流体の流量を算出する流量算出部と、を備える。
【０００７】
本発明の他の側面に係る流量算出方法は、主流路を流れる流体が、前記主流路から分岐

して設けられる特定流路およびバイパス流路に分流したときに、前記特定流路を流れる第１分岐流体の流量を、前記特定流路において第１流体抵抗素子の下流側に配置された容器内の圧力の変化に基づいて算出する工程と、前記第１分岐流体の算出流量と、前記第１流体抵抗素子と前記バイパス流路に設けられる第２流体抵抗素子とに応じて決まる分流比と、に基づいて、前記主流路を流れる前記流体の流量を算出する工程と、を有する。

【発明の効果】

【０００８】

本発明によれば、流体の流量が大きい場合でも、装置全体の大型化を回避しながら流体の流量を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】本発明の実施の一形態に係る流量算出装置の概略の構成を示す説明図である。

【図２】圧損素子の一構成例を示す斜視図である。

【図３】上記圧損素子の他の構成例を示す分解斜視図である。

【図４】制御演算装置の詳細な構成を示すブロック図である。

【図５】流量算出方法における各工程の流れを示すフローチャートである。

【図６】上記流量算出装置の他の構成を示す説明図である。

【図７】上記流量算出装置のさらに他の構成を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

以下、本発明の例示的な実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下での説明において、流量算出装置の任意の構成要素に対して、流体が流れ込む側を上流側または一次側とも称し、上記構成要素に対して流体が流れ出す側を下流側または二次側とも称する。

【００１１】

〔１．流量算出装置の構成〕

図１は、本実施形態の流量算出装置１の概略の構成を示す説明図である。流量算出装置１は、流量制御機器１００から流出されて主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量を、後述の方法によって算出する。そして、流量算出装置１は、算出した流量と、流量制御機器１００が流出する流体Ｆの設定流量とに基づいて、流量制御機器１００の診断を行い、必要に応じて校正を行う。上記の流体Ｆとしては、例えば半導体製造プロセスに用いられる材料ガスを想定することができる。

【００１２】

流量制御機器１００は、主流路Ｌ０に流体Ｆを流出する機器であり、流量算出装置１による診断対象（Device Under Test）となる機器である。流量制御機器１００は、例えば流体Ｆの流量を制御するマスフローコントローラで構成されるが、この例には限定されない。

【００１３】

流量算出装置１は、特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２を備える。特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２は、主流路Ｌ０から分岐して設けられる。流量制御機器１００から流出されて主流路Ｌ０を流れてきた流体Ｆは、特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２に分流する。なお、本明細書において、「分流」とは、流体が分かれて流れることを言う。以下では、主流路Ｌ０から特定流路Ｌ１に分流する流体を、第１分岐流体Ｆ１とも称し、主流路Ｌ０からバイパス流路Ｌ２に分流する流体を、第２分岐流体Ｆ２とも称する。すなわち、流体Ｆは、特定流路Ｌ１とバイパス流路Ｌ２との分岐点で第１分岐流体Ｆ１と第２分岐流体Ｆ２とに分かれた後、特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２をそれぞれ流れる。

【００１４】

特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２は、特定流路Ｌ１に配置される後述する容器ＴＡよりも下流側で合流し、合流ラインＬ３とつながる。合流ラインＬ３は、ポンプＰＵと接続される。したがって、バイパス流路Ｌ２は、主流路Ｌ０と合流ラインＬ３との間で、特

定流路Ｌ１の容器ＴＡを迂回するように設けられる。

【００１５】

流量算出装置１は、第１流体抵抗素子ＲＥ１と、第２流体抵抗素子ＲＥ２と、をさらに備える。第１流体抵抗素子ＲＥ１は、特定流路Ｌ１に設けられる。第２流体抵抗素子ＲＥ２は、バイパス流路Ｌ２に設けられる。

【００１６】

第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２は、例えば圧損素子ＰＬ（図２参照）で構成される。圧損素子ＰＬとは、流体に圧力損失（エネルギー損失）を与える素子を指す。第１流体抵抗素子ＲＥ１は、特定流路Ｌ１に設けられるため、特定流路Ｌ１を流れる第１分岐流体Ｆ１に圧損を与える。第２流体抵抗素子ＲＥ２は、バイパス流路Ｌ２に設けられるため、バイパス流路Ｌ２を流れる第２分岐流体Ｆ２に圧損を与える。

【００１７】

例えば、流路抵抗を生じさせると、流体に圧損が与えられる。流体に圧損が与えられると、例えば同じ圧力条件下では流体の流量が低下することになる。このため、圧損素子ＰＬは、流量を制限する素子、つまり、流体が流れるときの抵抗となる流体抵抗素子として機能する。以下では、第１流体抵抗素子ＲＥ１を構成する圧損素子ＰＬを、第１圧損素子ＰＬ１とも称し、第２流体抵抗素子ＲＥ２を構成する圧損素子ＰＬを、第２圧損素子ＰＬ２とも称する。

【００１８】

図２は、圧損素子ＰＬの一構成例を示す斜視図である。圧損素子ＰＬは、流路形成部材１０と、被覆部材２０と、を有して構成される。なお、被覆部材２０は、必要に応じて設けられればよい。

【００１９】

流路形成部材１０は、例えば石英、アルミナ、ジルコニア、または窒化ケイ素などのセラミックスからなり、円柱状に成形されている。流路形成部材１０は、抵抗となる流路１０ａ（以下、抵抗流路１０ａとも言う）を少なくとも１本有する。抵抗流路１０ａは、流路形成部材１０を軸方向に貫通し、横断面円形状に形成されている。被覆部材２０が設けられる場合、被覆部材２０は、例えばステンレスまたはニッケル系合金などの、少なくともセラミックスよりも硬度の低い金属で構成される。このような圧損素子ＰＬは、少なくともセラミックスからなるリストリクタという意味で、セラミックリストリクタとも呼ばれる。

【００２０】

圧損素子ＰＬの流路抵抗は、アスペクト比および抵抗流路１０ａの本数に基づいて決まる。なお、上記アスペクト比とは、抵抗流路１０ａの径寸法に対する軸方向の長さ寸法の比を指す。したがって、抵抗流路１０ａのアスペクト比を一定としたとき、抵抗流路１０ａの本数を変えることにより、圧損素子ＰＬの流路抵抗を容易に調整することができる。このため、抵抗流路１０ａの本数を変えることにより、圧損素子ＰＬを流れる流体の流量を容易に調整することができる。

【００２１】

また、差圧式の流量制御機器（マスフローコントローラ）で用いられる流体抵抗素子（フローリストリクタ）も、圧損素子ＰＬとして好適に用いることができる。図３は、圧損素子ＰＬの他の構成例としてのフローリストリクタの概略の構成を示す分解斜視図である。

【００２２】

フローリストリクタは、マスフローコントローラが備える２つの圧力センサ間に圧力差（差圧）を生じさせる素子である。同図に示すように、フローリストリクタは、円形状のスリット板３１と、円形状のスリット被覆板３２とを交互に積層した構造を有する。スリット板３１およびスリット被覆板３２は、ステンレス鋼（Steel Use Stainless）などの金属で形成される。つまり、フローリストリクタは、金属からなるリストリクタである。

【００２３】
スリット板３１は、中心部を厚み方向に貫通する第１貫通孔３１ａと、中心部から放射状に形成される複数のスリット３１ｂとを有する。スリット被覆板３２は、中心部を厚み方向に貫通する第２貫通孔３２ａを有する。スリット被覆板３２の外径は、スリット板３１の外径よりも小さく、内径はスリット板３１の内径よりも大きい。
【００２４】
スリット板３１とスリット被覆板３２とを積層することにより、スリット３１ｂの内側端部が抵抗流路の始端となり、スリット３１ｂの外側端部が抵抗流路の終端となる。また、スリット板３１の第１貫通孔３１ａおよびスリット被覆板３２の第２貫通孔３２ａにより、フローリストリクタの中央部に積層方向に沿って貫通する貫通孔が形成される。上記貫通孔が、流体導入部となる。
【００２５】
スリット板３１およびスリット被覆板３２の積層枚数を変化させることにより、上記抵抗流路の本数が変化する。したがって、セラミックリストリクタの場合と同様に、上記積層枚数を変化させることにより、フローリストリクタを流れる流体の流量を容易に調整することができる。
【００２６】
圧損素子ＰＬは、上記のセラミックリストリクタおよびフローリストリクタには限定されない。流体に圧損を与えて流体の流量を制限することができればよく、この点では、絞り（オリフィス）などの素子であっても、圧損素子ＰＬとして用いることができる。
【００２７】
図１に示すように、流量算出装置１は、主流路用圧力センサＰ１と、容器ＴＡと、特定流路用圧力センサＰ２と、温度センサＴと、バイパス流路用圧力センサＰ３と、制御バルブＣＶと、第１開閉弁Ｖ１と、第２開閉弁Ｖ２と、をさらに備える。
【００２８】
主流路用圧力センサＰ１（主流路用圧力検知部）は、主流路Ｌ０を流れる流体の圧力を測定する。容器ＴＡは、特定流路Ｌ１において、第１流体抵抗素子ＲＥ１の下流側に配置されるタンクである。容器ＴＡには、特定流路Ｌ１を流れる第１分岐流体Ｆ１が流入する。特定流路用圧力センサＰ２は、容器ＴＡ内の圧力を検知する。温度センサＴは、容器ＴＡ内のガス温度を検知する。なお、容器ＴＡ内のガス温度と、容器ＴＡの外壁面または内壁面の温度とが同等であれば、温度センサＴは、容器ＴＡの外壁面または内壁面の温度を検知してもよい。
【００２９】
バイパス流路用圧力センサＰ３は、バイパス流路Ｌ２における第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側に配置され、第２流体抵抗素子ＲＥ２を介して流れる第２分岐流体Ｆ２の圧力を測定する。制御バルブＣＶは、第２流体抵抗素子ＲＥ２を介してバイパス流路Ｌ２を流れる第２分岐流体Ｆ２の流量を制御するために設けられる。制御バルブＣＶは、例えば電磁比例弁で構成されるが、他のバルブ（流量制御弁）で構成されてもよい。
【００３０】
第１開閉弁Ｖ１は、特定流路Ｌ１において、容器ＴＡの下流側に位置して、流路を開閉する。第２開閉弁Ｖ２は、バイパス流路Ｌ２において、第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側、特に、制御バルブＣＶの下流側に位置して、流路を開閉する。第１開閉弁Ｖ１および第２開閉弁Ｖ２は、例えば空圧弁で構成されるが、他のバルブで構成されてもよい。
【００３１】
流量算出装置１は、制御演算装置ＣＯＭをさらに備える。制御演算装置ＣＯＭは、例えば、中央演算処理装置（ＣＰＵ；Central Processing Unit）を備えるコンピュータによって構成されている。制御演算装置ＣＯＭは、流量算出装置１が備える各計器（主流路用圧力センサＰ１、特定流路用圧力センサＰ２、温度センサＴ、バイパス流路用圧力センサＰ３）から出力される検知信号に基づいて各種の演算を行うとともに、流量算出装置１が備えるバルブ（制御バルブＣＶ、第１開閉弁Ｖ１、第２開閉弁Ｖ２）を制御する。

【００３２】
図４は、制御演算装置ＣＯＭの詳細な構成を示すブロック図である。制御演算装置ＣＯＭは、制御部５０と、記憶部６０と、を備える。なお、制御演算装置ＣＯＭは、入力部（例えばキーボード、マウス、タッチパネル）、表示部（例えば液晶表示装置）、通信部（例えばコネクタ、アダプタ）などをさらに備えるが、入力部等は本実施形態において本質的な構成ではないため、図４では入力部等の図示を省略している。
【００３３】
制御部５０は、主制御部５１と、流量算出部５２と、機器診断部５３と、を有する。主制御部５１は、制御演算装置ＣＯＭの各部の動作を制御するとともに、流量算出装置１の上記バルブを制御するための制御信号を出力する。
【００３４】
流量算出部５２は、流量算出装置１の上記各計器から出力される検知信号に基づき、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量を算出する。具体的には、流量算出部５２は、特定流路測定部５２ａと、バイパス流路制御部５２ｂと、分流比算出部５２ｃと、主流路算出部５２ｄと、を有する。
【００３５】
特定流路測定部５２ａは、特定流路Ｌ１に分流する第１分岐流体Ｆ１の流量を、ＲｏＲ法を用いて測定する。バイパス流路制御部５２ｂは、バイパス流路Ｌ２に配置される制御バルブＣＶを制御する。分流比算出部５２ｃは、主流路Ｌ０から特定流路Ｌ１に分流する第１分岐流体Ｆ１の流量と、主流路Ｌ０からバイパス流路Ｌ２に分流する第２分岐流体Ｆ２の流量との比（分流比）を算出する。主流路算出部５２ｄは、第１分岐流体Ｆ１の流量と、上記の分流比とを用いて、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量を算出する。なお、上記流量の算出方法の詳細については後述する。
【００３６】
機器診断部５３は、主流路Ｌ０に流体Ｆを流出する流量制御機器１００の診断を行う。流量制御機器１００は、経年劣化、流路の詰まり、または何らかの故障、などが原因で、設定流量通りに流量を制御できなくなることがある。このため、機器診断部５３は、流量算出部５２によって算出される流量に基づき、流量制御機器１００が設定流量通りに流量を制御できているか否かを定期的に診断する。
【００３７】
記憶部６０は、制御部５０の動作プログラムを記憶するとともに、流量算出装置１の上記各計器から出力される検知信号に含まれる各種の情報（検知した測定値）、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２に関する情報（例えば抵抗流路の本数の情報）、などを記憶するメモリである。このような記憶部６０は、例えばハードディスク、ＳＳＤ（ソリッドステートドライブ）、光ディスク、磁気ディスクまたは不揮発性メモリなどで構成され得る。
【００３８】
また、図１に示すように、流量算出装置１は、主流路用温度計Ｔ０をさらに備える。主流路用温度計Ｔ０は、主流路Ｌ０内を流れる流体Ｆの温度を測定する。主流路用温度計Ｔ０は、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量を補正する際に、ＲｏＲ法の演算に必要な温度情報を取得するために設けられる。なお、上記流量の補正については、後述する「４．補足」のところで説明する。なお、上記流量の補正の際に、厳密には、特定流路Ｌ１における第１流体抵抗素子ＲＥ１の上流側の温度および圧力と、バイパス流路Ｌ２における第２流体抵抗素子ＲＥ２の上流側の温度および圧力の各情報が必要になるが、これらは、主流路用圧力センサＰ１の検出値（圧力Ｐｒ１）および主流路用温度計Ｔ０の検出値で代替することができる。
【００３９】
〔２．流量算出方法について〕
図５は、本実施形態の流量算出方法における各工程の流れを示すフローチャートである。以下、図１～図５を参照して、本実施形態の流量算出方法について説明する。なお、以

下では、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２として、フローリストリクタを用いた例について説明する。なお、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２としてセラミックリストリクタを用いた場合でも、以下に示す流量算出方法を適用することができる。

【００４０】

（Ｓ１；真空引き工程）

まず、第１開閉弁Ｖ１および第２開閉弁Ｖ２を両方とも開き、ポンプＰＵを駆動して、容器ＴＡ内を設定圧力になるまで真空引きする。このとき、流量制御機器１００から主流路Ｌ０への流体Ｆの流出は止めておくが、流体Ｆを流出させながら真空引きを行ってもよい。また、容器ＴＡ内は厳密な真空でなくてもよい。つまり、上記設定圧力は、後述のＲｏＲ法による圧力上昇率の演算が可能な程度の圧力であればよい。

【００４１】

（Ｓ２；流体供給工程）

次に、流量制御機器１００から主流路Ｌ０に設定流量Ｑ０の流体Ｆを流出させる。第１開閉弁Ｖ１および第２開閉弁Ｖ２は開いているため、上記流体Ｆは、特定流路Ｌ１およびバイパス流路Ｌ２に分流する。第１分岐流体Ｆ１の流量が安定した後、第１開閉弁Ｖ１を閉じる。なお、第２開閉弁Ｖ２は開いたままにする。

【００４２】

（Ｓ３；ＣＶ制御工程）

Ｓ２で第１開閉弁Ｖ１を閉じることにより、容器ＴＡ内に第１分岐流体Ｆ１が流入していく。これにより、容器ＴＡ内の圧力が上昇する。このとき、流量算出部５２（特にバイパス流路制御部５２ｂ）は、バイパス流路用圧力センサＰ３によって測定される第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側の圧力Ｐｒ３が、特定流路用圧力センサＰ２によって検知される容器ＴＡ内の圧力Ｐｒ２に一致または近づくように制御バルブＣＶを制御する。

【００４３】

上記の制御により、流体抵抗素子の一次側の圧力と二次側の圧力との関係が、特定流路Ｌ１とバイパス流路Ｌ２とで同じになるか、同じに近づく。このため、分流比Ｓを、第１流体抵抗素子ＲＥ１を構成する抵抗流路の本数と、第２流体抵抗素子ＲＥ２を構成する抵抗流路の本数との比で容易に表すことができる。

【００４４】

なお、上記の分流比Ｓは、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量を１（基準）として、特定流路Ｌ１に分流する第１分岐流体Ｆ１の相対的な流量（Ｓ）を指す。つまり、バイパス流路Ｌ２に分流する第２分岐流体Ｆ２の流量は、（１－Ｓ）であるため、分流比Ｓは、Ｓ＝Ｓ／｛Ｓ＋（１－Ｓ）｝で表される。

【００４５】

例えば、抵抗流路のアスペクト比を一定として、第１流体抵抗素子ＲＥ１を構成する抵抗流路の本数と、第２流体抵抗素子ＲＥ２を構成する抵抗流路の本数との比が１：１０であったとき、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２を流れる流量の比は、１：１０となる。したがって、分流比Ｓは、Ｓ＝１／（１＋１０）となる。流量算出部５２（特に分流比算出部５２ｃ）は、例えば記憶部６０に予め記憶される情報（ここでは、第１流体抵抗素子ＲＥ１を構成する抵抗流路の本数、および第２流体抵抗素子ＲＥ２を構成する抵抗流路の本数の情報）に基づき、分流比Ｓを算出する。なお、流体抵抗素子の製造誤差に起因する分流比の誤差を低減するため、実際に流体を流して実際の分流比を予め求めておき、抵抗流路の本数に基づいて決まる理論上の分流比を補正しておくことが望ましい。

【００４６】

（Ｓ４；第１分岐流体の流量算出工程）

次に、流量算出部５２（特に特定流路測定部５２ａ）は、特定流路Ｌ１に分流する第１分岐流体Ｆ１の流量Ｑ１を、ＲｏＲ法に基づいて、つまり、容器ＴＡ内の圧力変化に基づいて算出する。例えば、時間Δｔ（ｓｅｃ）の間で、容器ＴＡ内の圧力がΔＰ（Ｐａ）だ

け上昇したとする。この場合、流量算出部５２は、ＲｏＲ法により、以下の式（Ａ）に基づいて流量Ｑ１を算出することができる。

Ｑ１＝（ΔＰ／Δｔ）×（Ｖ／ＲＴ）×Ｃ　　・・・（Ａ）

なお、式（Ａ）において、Ｖは容器ＴＡの容積（Ｌ）、Ｔは温度センサで検出された容器ＴＡ内のガス温度、または容器ＴＡの外壁あるいは内壁の温度（Ｋ）、Ｒはガス定数（気体定数）、Ｃは補正係数をそれぞれ示す。補正係数Ｃを掛けることにより、質量流量または体積流量への換算、基準温度の変更、などが行われる。また、物性値である圧縮係数も補正係数Ｃに含まれる。

【００４７】

（Ｓ５；主流路の流体流量の算出工程）

続いて、流量算出部５２（特に主流路算出部５２ｄ）は、Ｓ４で算出された第１分岐流体の算出流量Ｑ１と、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２に応じて決まる上記の分流比Ｓと、に基づいて、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量Ｑを算出する。具体的には、流量算出部５２は、以下の式（Ｂ）に基づいて、流量Ｑを算出することができる。

Ｑ＝Ｑ１／Ｓ　　・・・（Ｂ）

【００４８】

（Ｓ６；流体制御機器の診断工程）

最後に、機器診断部５３は、流量制御機器１００が流体Ｆを流出するときの設定流量Ｑ０と、流量算出部５２によって算出された、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量Ｑとに基づいて、流量制御機器１００を診断する。例えば、設定流量Ｑ０と実際の流量Ｑとの間に所定以上の差が生じている場合には、機器診断部５３は、流量制御機器１００が経年劣化、流路の詰まり、または何らかの故障、などをしていると判断することができる。この場合、機器診断部５３は、流出流量を校正するための制御信号を流量制御機器１００に出力して、流量制御機器１００を適正に動作させることができる。

【００４９】

以上のように、流量算出部５２は、第１分岐流体Ｆ１の算出流量Ｑ１と、分流比Ｓと、に基づいて、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量Ｑを算出する（Ｓ４、Ｓ５）。これにより、流体Ｆの流量が大きい場合でも、流体Ｆの一部（第１分岐流体Ｆ１）が流入可能な大きさの容器ＴＡを用いて、流体Ｆの流量Ｑを算出することができる。したがって、流量Ｑを算出するにあたって、大容量の容器ＴＡを用意しなくても済む。その結果、装置全体の大型化を回避しながら、主流路Ｌ０を流れる流体Ｆの流量Ｑを算出することができる。

【００５０】

特に、流量算出部５２は、上述の式（Ｂ）に基づいて流量Ｑを演算する（Ｓ５）。流量Ｑが大きい場合でも、流量Ｑ１、分流比Ｓ、および流量Ｑの関係を規定した式（Ｂ）を利用することにより、容器ＴＡを大型化することなく、流量Ｑを確実に算出することができる。

【００５１】

また、流量算出部５２は、Ｓ３で示したように制御バルブＣＶを制御するため、抵抗流路の本数の比によって分流比Ｓを容易に設定することができる。また、分流比Ｓの調整も抵抗流路の本数の調整によって容易となる。

【００５２】

第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２はそれぞれ、圧損素子ＰＬである。これにより、セラミックリストリクタ、絞りなどの流体抵抗素子を、圧損素子ＰＬとして用いることができる。また、差圧式のマスフローコントローラで用いられるフローリストリクタも圧損素子ＰＬとして用いることができる。

【００５３】

ところで、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２は、同種の素子で構成されることが望ましい。例えば、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２は、両方ともセラミックリストリクタで構成されることが望ましい。あるいは、第１流

体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２は、両方ともフローリストリクタで構成されることが望ましい。この場合、流体抵抗素子の下流側の圧力が変化しても、分岐流体に与える圧力損失（エネルギー損失）を、特定流路Ｌ１とバイパス流路Ｌ２とで同じようにすることができる。これにより、流体抵抗素子の下流側の圧力の変化によって、分流比Ｓが変動するおそれを低減することができる。その結果、分流比Ｓを用いて行う主流路Ｌ０の流量Ｑの算出を、安定した精度で行うことができる。

【００５４】

〔３．流量算出装置の他の構成〕

図６は、流量算出装置１の他の構成を示す説明図である。図６の流量算出装置１は、図１の制御バルブＣＶの位置に、圧力制御装置ＵＲを配置した以外は、図１の構成と同様である。圧力制御装置ＵＲは、図１の制御バルブＣＶと、圧力計Ｐ４とを内蔵している。このような圧力制御装置ＵＲでは、圧力計Ｐ４の検出値に基づいて制御バルブＣＶを制御することにより、流体の流量（流路を流れる流体の圧力）を制御することができる。

【００５５】

図６の構成であっても、図５のＳ３と同様の圧力制御を実現することができる。つまり、流量算出部５２は、圧力制御装置ＵＲの制御バルブＣＶを制御することにより、第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側の圧力Ｐｒ３を、特定流路用圧力センサＰ２によって検知される容器ＴＡ内の圧力Ｐｒ２に一致または近づけることができる。その結果、分流比Ｓの調整が容易になる上記と同様の効果を得ることができる。なお、圧力制御装置ＵＲが内蔵する圧力計Ｐ４の圧力検出値は、圧力Ｐｒ３に等しくなると考えられる。

【００５６】

なお、図６の構成では、圧力制御装置ＵＲの制御バルブＣＶを制御することにより、第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側の圧力Ｐｒ３を、特定流路用圧力センサＰ２によって検知される容器ＴＡ内の圧力Ｐｒ２に一致または近づけるようにして圧力を調整した。しかし、各分岐流路における主流路用圧力センサＰ１と特定流路用圧力センサＰ２との間、および主流路用圧力センサＰ１とバイパス流路用圧力センサＰ３との間の各々の流量と圧力の関係を事前に取得したテーブル、または関係式を設定しておいてもよい。この場合、上記のように制御バルブＣＶを制御することなく（制御バルブＣＶが無くても）、分岐流路の圧力値の差分を補正して、同様の目的を達成することができる。

【００５７】

〔４．流量算出装置の他の構成〕

図７は、流量算出装置１のさらに他の構成を示す説明図である。図７の流量算出装置１は、第１流体抵抗素子ＲＥ１および第２流体抵抗素子ＲＥ２として臨界ノズルを用い、バイパス流路用圧力センサＰ３および制御バルブＣＶを削除した以外は、図１の流量算出装置１と同等の構成である。また、流量算出方法は、Ｓ３の工程を削除した以外は、図５で示した方法と同様である。

【００５８】

第１流体抵抗素子ＲＥ１は、第１臨界ノズルＣＮ１で構成される。第２流体抵抗素子ＲＥ２は、第２臨界ノズルＣＮ２で構成される。第１臨界ノズルＣＮ１および第２臨界ノズルＣＮ２は、全く同じ特性（形状、大きさ、最小径）であってもよいし、互いに異なる特性であってもよい。

【００５９】

臨界ノズルは、二次側の減圧が進み、臨界ノズルの絞り（スロート部）を流れる流体の流速が音速に達すると（臨界状態）、その後はノズル下流側の圧力をいくら下げても、スロート部を通過する流体の流速は音速以上にはならず、流速が音速に固定される性質を有する。したがって、臨界ノズルを用いると、臨界ノズルを通過する流体の流量は、臨界状態では（臨界条件下では）、臨界ノズルの二次側の圧力に関係なく、一次側の圧力にのみ依存して決まる。つまり、図７の例では、主流路用圧力センサＰ１の圧力Ｐｒ１に依存して、臨界ノズルを通過する流体の流量が決まる。具体的には、臨界状態では、以下の数１式により、臨界ノズルを通過する流体の流量が算出される。

【００６０】
【数１】

$$q_t = A_t \cdot C_c \cdot P_s \sqrt{\frac{N_a}{R_u \cdot T_s}}$$

【００６１】
数１式中、ｑｔは流体の質量流量の理論値（ｋｇ／ｓ）、Ａｔは臨界ノズルのスロート部の断面積（ｍ^2）、Ｃｃは臨界定数、Ｐｓはよどみ点圧力（Ｐａ）、Ｎａは流体のモル質量（ｋｇ／ｍｏｌ）、Ｒｕは普遍気体定数（Ｊ／Ｋ・ｍｏｌ）、Ｔｓはよどみ点温度（Ｋ）である。臨界定数Ｃｃは、比熱比をκとして、以下の数２式で表される。
【００６２】
【数２】

$$C_c = \sqrt{\kappa \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}$$

【００６３】
流体の実流量を指す質量流量をｑｍ（ｋｇ／ｓ）としたとき、流出係数Ｃｄは以下の数３式で表される。
【００６４】
【数３】

$$C_d = \frac{q_m}{q_t}$$

【００６５】
したがって、よどみ点圧力Ｐｓを主流路用圧力センサＰ１で測定することにより、他のパラメータを既知として、数１式および数２式から質量流量の理論値ｑｔを算出し、理論値ｑｔに数３式の流出係数Ｃｄを掛け合わせることにより、臨界ノズルの実流量（質量流量ｑｍ）を求めることができる。
【００６６】
一方、上記した数１式は、Ｐｓ（よどみ点圧力）以外のパラメータについては、臨界ノズルの固有値と、流体（ガス）の物性値とで構成される。したがって、様々なガスを流す

中で、Ｐｓが同じであれば、それぞれの臨界ノズルに流れる流量自体はわからなくても、各臨界ノズルを流れる流量の比はわかる。よって、臨界ノズルを用いた場合、上記流量の比を使って分流比Ｓを求めることができる。例えば、第１臨界ノズルＣＮ１を流れる流体と第２臨界ノズルＣＮ２を流れる流体の流量比がｍ：ｎであれば、分流比Ｓは、Ｓ＝ｍ／（ｍ＋ｎ）で表される。

【００６７】

したがって、第１流体抵抗素子ＲＥ１が第１臨界ノズルＣＮ１で構成され、第２流体抵抗素子ＲＥ２が第２臨界ノズルＣＮ２で構成される場合、分流比Ｓを求めるために、図５のＳ３の工程を行うことが不要となる。つまり、第２流体抵抗素子ＲＥ２の下流側の圧力を、容器ＴＡ内の圧力に合わせる制御を行わなくても、分流比Ｓを取得することができる。このため、分流比Ｓを取得するために、バイパス流路Ｌ２に、バイパス流路用圧力センサＰ３および制御バルブＣＶを設ける必要もなくなる。その結果、図１よりも簡単な構成で、かつ、簡単な方法で、流体Ｆの流量Ｑを算出することができる。

【００６８】

〔４．補足〕

図１等で示した構成において、容器ＴＡの下流側の第１開閉弁Ｖ１を閉じると、容器ＴＡ内の圧力Ｐｒ２が上昇する。それに伴い、上流側の主流路用圧力センサＰ１によって検知される圧力Ｐｒ１も上昇することが考えられる。特定流路Ｌ１での圧力上昇に伴い算出される流量Ｑに、上流側の主流路Ｌ０での圧力上昇に伴い算出される流量ΔＱを加える補正を行うことにより、より精度良く、流量制御機器１００の流量Ｑ’（＝Ｑ＋ΔＱ）を算出することができる。なお、上記流量ΔＱは、流量制御機器１００と２つの流体抵抗素子（第１流体抵抗素子ＲＥ１、第２流体抵抗素子ＲＥ２）とを結ぶ流路の容積で表すことができる。上記容積については、上述した式（Ａ）において、Ｐ＝Ｐｒ１としてＶを求めることで取得することができる。

【００６９】

〔５．プログラム〕

本実施形態の流量算出装置１の制御演算装置ＣＯＭは、動作プログラム（アプリケーションソフトウェア）をインストールしたコンピュータで構成することができる。上記プログラムをコンピュータ（例えば制御部５０）が読み取って実行することにより、制御部５０の各部（主制御部５１、流量算出部５２、機器診断部５３）を動作させて上述した各処理（各工程）を実行させることができる。このようなプログラムは、例えばネットワークを介して外部からダウンロードすることによって取得されてメモリ（記憶部６０）に記憶される。上記プログラムは、例えばＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disk-Read Only Memory）などのコンピュータ読取可能な記録媒体に記録され、この記録媒体から上記プログラムを読み取って上記メモリに記憶される形態であってもよい。すなわち、本実施形態の流量算出プログラムは、上述した本実施形態の流量算出方法における各工程をコンピュータに実行させるためのプログラムである。また、本実施形態の記録媒体は、上記の流量算出プログラムを記録した、コンピュータ読取可能な記録媒体である。

【００７０】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明の範囲はこれに限定されるものではなく、発明の主旨を逸脱しない範囲で拡張または変更して実施することができる。

【産業上の利用可能性】

【００７１】

本発明は、例えばマスフローコントローラのような流量制御機器を検査または診断するシステムに利用可能である。

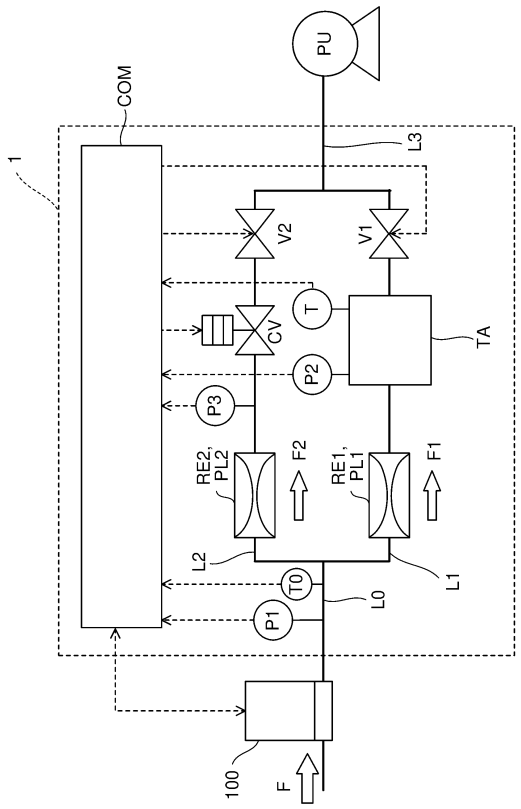
【符号の説明】

【００７２】

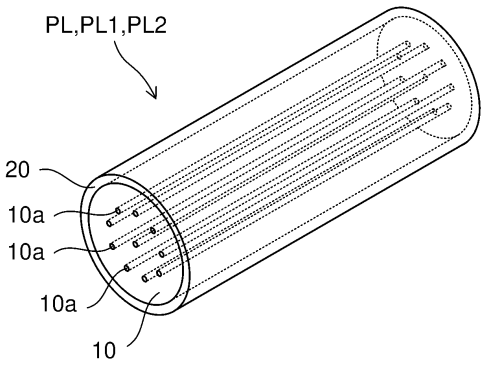
１　流量算出装置
５２　流量算出部
５３　機器診断部

１００　流量制御機器
ＣＮ１　第１臨界ノズル
ＣＮ２　第２臨界ノズル
ＣＶ　制御バルブ
Ｆ　流体
Ｆ１　第１分岐流体
Ｆ２　第２分岐流体
Ｌ０　主流路
Ｌ１　特定流路
Ｌ２　バイパス流路
Ｐ１　主流路用圧力センサ（主流路用圧力検知部）
Ｐ２　特定流路用圧力センサ
Ｐ３　バイパス流路用圧力センサ
ＰＬ　圧損素子
ＰＬ１　第１圧損素子
ＰＬ２　第２圧損素子
ＲＥ１　第１流体抵抗素子
ＲＥ２　第２流体抵抗素子
Ｓ　分流比
ＴＡ　容器
ＵＲ　圧力制御装置

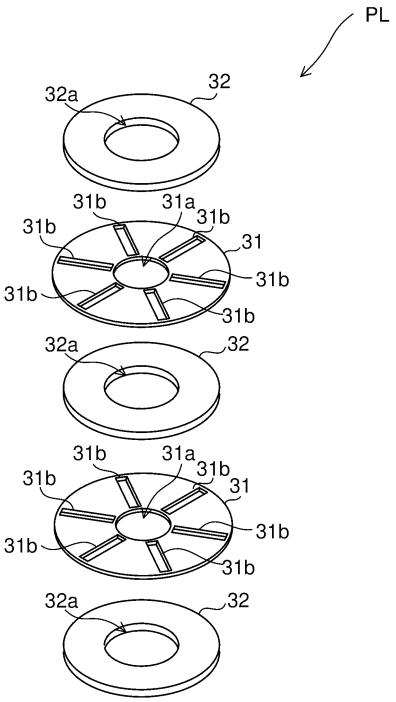
【図面】
【図１】



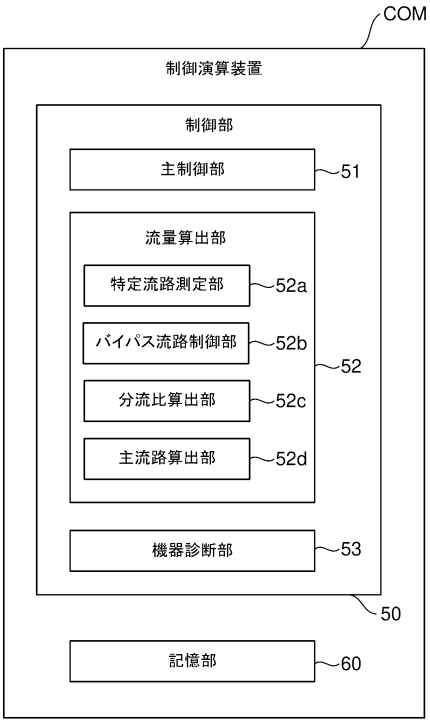
【図２】



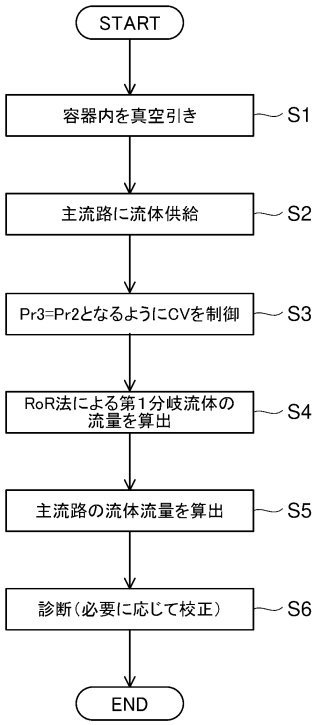
【図３】


PL
32
32a
31b
31a
31
32
32a
31b
31a
31
32
32a

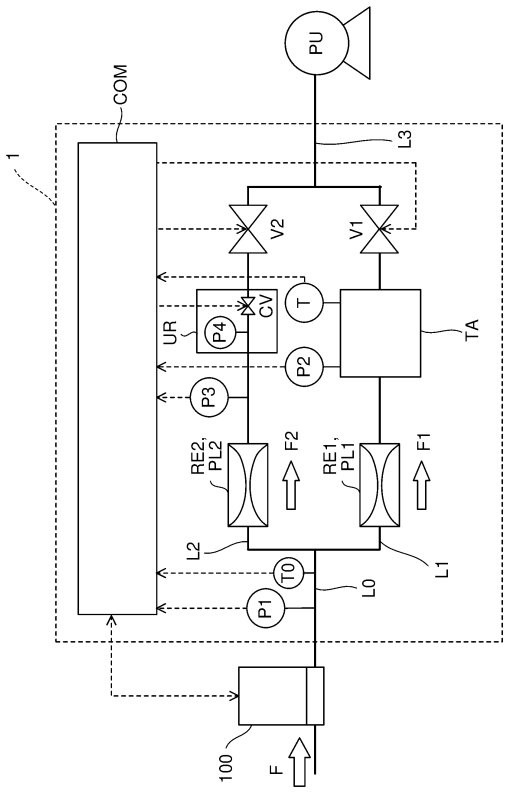
【図４】


COM
制御演算装置
制御部
主制御部
51
流量算出部
特定流路測定部
52a
バイパス流路制御部
52b
52
分流比算出部
52c
主流路算出部
52d
機器診断部
53
50
記憶部
60

【図５】


START
容器内を真空引き
S1
主流路に流体供給
S2
Pr3=Pr2となるようにCVを制御
S3
RoR法による第1分岐流体の流量を算出
S4
主流路の流体流量を算出
S5
診断（必要に応じて校正）
S6
END

【図６】


PU
COM
1
L3
V2
V1
CV
T
UR
P4
TA
P2
P3
RE2,
PL2
F2
RE1,
PL1
F1
L2
L1
T0
L0
P1
100
F

【図７】

