

(43) 国際公開日
2007 年 9 月 13 日 (13.09.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/102319 A1

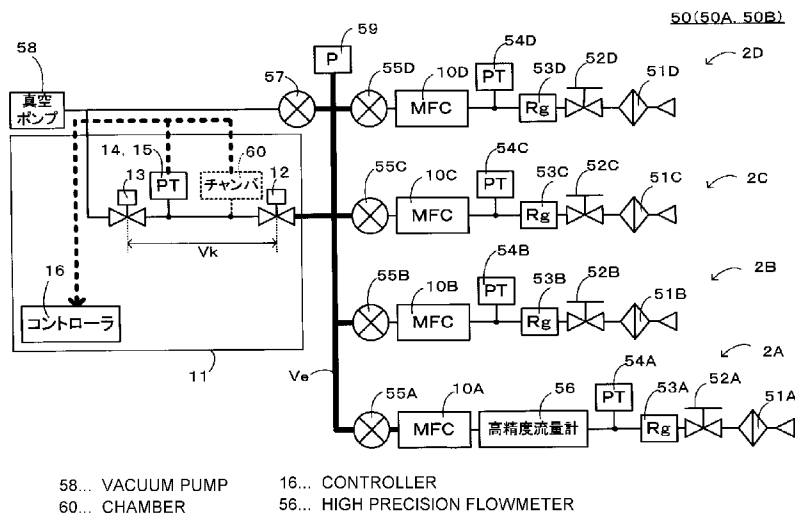
- (51) 国際特許分類:
G01F 25/00 (2006.01) G01F 1/34 (2006.01)
G01F 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/053271
- (22) 国際出願日: 2007 年 2 月 22 日 (22.02.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2006-061118 2006 年 3 月 7 日 (07.03.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シーケーディ株式会社 (CKD CORPORATION) [JP/JP]; 〒4858551 愛知県小牧市応時二丁目 2 5 0 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小澤 幸生

- (OZAWA, Yukio) [JP/JP]; 〒4858551 愛知県小牧市応時二丁目 2 5 0 番地 シーケーディ株式会社内 Aichi (JP). 伊藤 稔 (ITO, Minoru) [JP/JP]; 〒4858551 愛知県小牧市応時二丁目 2 5 0 番地 シーケーディ株式会社内 Aichi (JP). 土居 広樹 (DOI, Hiroki) [JP/JP]; 〒4858551 愛知県小牧市応時二丁目 2 5 0 番地 シーケーディ株式会社内 Aichi (JP). 中田 明子 (NAKADA, Akiko) [JP/JP]; 〒4858551 愛知県小牧市応時二丁目 2 5 0 番地 シーケーディ株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人コスモ特許事務所 (COSMOS PATENT OFFICE); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦二丁目 2 番 2 2 号 名古屋センタービル別館 2 階 Aichi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

[続葉有]

(54) Title: GAS FLOW RATE VERIFICATION UNIT

(54) 発明の名称: ガス流量検定ユニット



(57) Abstract: A gas flow rate verification unit capable of enhancing reliability of gas flow rate verification. The gas flow rate verification unit has a first cutoff valve (12) that is connected to a flow rate control device (10) and to which gas is inputted, a second cutoff valve (13) for discharging the gas, a communication member (18) for allowing the first cutoff valve (12) and the second cutoff valve (13) to communicate with each other, a pressure sensor (14) for detecting the pressure of the gas supplied between the first cutoff valve (12) and the second cutoff valve (13), a temperature detector (15) for detecting the temperature of the gas supplied between the first cutoff valve (12) and the second cutoff valve (13), and a control means (16) for verifying the flow of the gas flowing in the flow control device (10), the verification being performed by using both the result of the pressure detected by the pressure sensor (14) and the result of the temperatures detected by the temperature detector (15). The volume (Vk) between the valve seat (22) of the first cutoff valve (12) and the valve seat (28) of the second cutoff valve (13) is equal to or less than the volume (Ve) between the outlet of the flow control device (10) and the valve seat (22) of the first cutoff valve (12).

(57) 要約: 流量検定に対する信頼性を向上させることができるガス流量検定ユニットを提供するために、流量制御機器 10 に接続され、ガスを入力する第 1 遮断弁 12 と、ガスを出力する第 2 遮断弁 13 と、第 1 遮

[続葉有]



WO 2007/102319 A1



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

断弁12と第2遮断弁13とを連通させる連通部材18と、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に供給されるガスの圧力を検出する圧力センサ14と、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に供給されるガスの温度を検出する温度検出器15と、圧力センサ14が検出する圧力検出結果と、温度検出器15が検出する温度検出結果を用いて流量制御機器10を流れるガスの流量を検定する制御手段16と、を有し、第1遮断弁12の弁座22から第2遮断弁13の弁座28までの体積V_kを流量制御機器10の出口から第1遮断弁12の弁座22までの体積V_e以下にしたガス流量検定ユニットとする。

明 細 書

ガス流量検定ユニット

技術分野

- [0001] 本発明は、半導体製造プロセスにおけるガスシステムに使用する流量制御機器の流量を検定するガス流量検定ユニットに関するものである。

背景技術

- [0002] 半導体製造プロセス中の成膜装置や乾式エッチング装置等においては、例えばシランやホスフィン等の特殊ガスや、塩素ガス等の腐食性ガス、及び水素ガス等の可燃性ガス等を使用する。

これらのガスはその流量を厳格に管理しなければならない。

その理由として、ガス流量がプロセスの良否に直接影響することが挙げられる。すなわち、ガス流量は、成膜プロセスにおいては膜質に、また、エッチングプロセスにおいては回路加工の良否に、それぞれ多大な影響を与え、半導体製品の歩留まりがガス流量の精度により決定される。

- [0003] 別の理由としては、この種のガスの多くは人体や環境に対する有害性、あるいは爆発性等を有することが挙げられる。これらのガスは、使用後に、直接大気に廃棄することは許されず、半導体製造プロセスに使用される装置には、ガス種に応じた除害手段を備えなければならない。しかしながら、かかる除害手段は通例処理能力が限られていて、許容値以上の流量が流れると、処理しきれずに有害ガスの環境への流出や、除害手段の破損につながることもある。

また、これらのガス、特に半導体製造プロセスに使用しうる高純度かつ無塵のものは高価な上、ガス種によっては自然劣化による使用制限があるため大量保管ができないことも理由として挙げられる。

- [0004] そこで、従来から半導体製造プロセス回路内に流量制御機器である公知のマスフローコントローラを配して、ガス種ごとに最適の流量を流すようにしている。そして、かかるマスフローコントローラは、印加電圧を変更することにより、設定流量を変更してプロセスレシピの変更に対応できるようになっている。

[0005] ところが、半導体製造プロセスに用いるこれらのガス、いわゆるプロセスガスのうち特に成膜用材料ガスは、その特性上ガスライン内でも固形物を析出する可能性があり、流量体積を変化させることがある。マスフローコントローラは、高精度に一定流量を供給するために内部に細管を使用しており、かかる部分に固形物が少量でも析出してしまうと、供給する流量精度が悪化する原因となる。また、エッチングプロセス等に使用する腐食性の高いガスを流すので、マスフローコントローラの内部を耐食性の高い材料、例えばステンレス材等を使用したとしても、腐食は避けられず、経年劣化が起こる可能性があり、このことによっても流量精度が悪化するととなる。

このように、マスフローコントローラは、印加電圧と実流量との関係が変化し、実流量が変化する可能性がある。そのため、マスフローコントローラは、定期的に流量を検定され、較正される必要がある。

[0006] マスフローコントローラの流量検定は、基本的に膜流量計を使って行う。しかし、この測定は配管の一部を外して行うものであり、測定後には再び配管を元の状態に組み付けて漏れチェックをしなければならない。このため、作業には非常に手間がかかってしまう。従って、配管から外さずに流量検定が行えることが理想的である。

[0007] 配管を組んだままの状態で行う流量検定を行う方法としては、例えば特許文献1に記載されるように、マスフローコントローラの下流側にガス流量検定ユニットUを配設し、気体マスフロー測定システムを構築する方法がある。気体マスフロー検定システムのブロック図を図19に示す。

[0008] 図19に示すように、気体マスフロー検定システムは、弁要素151、チャンバ153、トランスデューサ・アセンブリ154、弁要素152からなるガス流量検定ユニットUが、マスフローコントローラ10の下流側に接続されている。チャンバ153は、既知体積を有する。トランスデューサ・アセンブリ154は、チャンバ153の下流側にある気体フローライン150に接続され、弁要素151、152がトランスデューサ・アセンブリ154の上流と下流にそれぞれ位置する気体フローライン150に配置され、体積を一定にしている。トランスデューサ・アセンブリ154は、弁要素151、152間の圧力と温度に基づいて PV/RT を直接に表す信号を出力する。ここで、Pは圧力、Vは体積、Tは気体定数、Tは絶対温度である。

[0009] このような気体マスフロー検定システムは、チャンバ153の圧力や温度を個別に測定することなく、トランスデューサ・アセンブリ154が出力するPV/RTを表す信号に基づいてマスフローコントローラ10の実流量を計測する。そして、気体マスフロー検定システムは、その実流量をマスフローコントローラ10の設定流量と比較することにより、マスフローコントローラ10の流量を検定する。

[0010] 特許文献1:特許第3022931号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0011] しかしながら、発明者らが、従来のガス流量検定ユニットUについて評価実験を行ったところ、従来のガス流量検定ユニットUは、図10(iii)に示すように、マスフローコントローラ10の制御流量に対する検定精度のばらつきが大きく、信頼性が低いことが判明した。

[0012] 具体的には、発明者らは、マスフローコントローラ10の流量を、高精度流量計で計測し、その計測値と従来のガス流量検定ユニットUが測定した流量とを比較して評価実験を行った。すると、図10(iii)に示すように、従来のガス流量検定ユニットUは、N₂ガスを100sccmずつマスフローコントローラ10に流した場合には、ガス流量検定ユニットUが測定した流量とマスフローコントローラ10が制御する流量との間に生じる誤差が0.012%であった。これに対して、N₂ガスを500sccmずつマスフローコントローラ10に流した場合には、ガス流量検定ユニットUが測定した流量とマスフローコントローラ10に流した流量との間に生じる誤差が1.150%であった。よって、従来のガス流量検定ユニットUは、流量が増加すると、ガス流量検定ユニットUが測定する流量の誤差が大きくなり、信頼性が低くなっていた。

[0013] このように、マスフローコントローラ10が制御する流量によってガス流量検定ユニットUの検定精度にバラツキが生じると、マスフローコントローラ10が大流量(例えば500sccm)を制御する電圧を印加されたときに、マスフローコントローラ10がガスの流量を設定流量(500sccm)に制御していないにもかかわらず、ガス流量検定ユニットUが500sccmを測定し、マスフローコントローラ10の流量が正確であると誤認識する恐れがある。或いは、マスフローコントローラ10がガスの流量を設定流量(500sccm)

に正確に制御しているにもかかわらず、ガス流量検定ユニットUが500sccmを測定できず、マスフローコントローラ10に余計な較正を施す恐れがある。このような不具合は、半導体製造プロセスの歩留まりなどに直接影響するため、問題である。

[0014] 本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、流量検定に対する信頼性を向上させることができるガス流量検定ユニット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

[0015] 本発明に係るガス流量検定ユニットは、次のような構成を有している。

(1) 流量制御機器の下流側に配設されるガス流量検定ユニットにおいて、前記流量制御機器に接続され、ガスを入力する第1遮断弁と、前記ガスを出力する第2遮断弁と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁とを連通させる連通部材と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの圧力を検出する圧力検出器と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの温度を検出する温度検出器と、前記圧力検出器が検出する圧力検出結果と、前記温度検出器が検出する温度検出結果を用いて前記流量制御機器を流れるガスの流量を検定する制御手段と、を有し、前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積が、前記流量制御機器の出口から前記第1遮断弁までの体積以下であることを特徴とする。

[0016] (2) (1)に記載の発明において、前記連通部材が、前記第1遮断弁の出力ポートに連通する第1ポートと、前記第2遮断弁の入力ポートに連通する第2ポートと、前記圧力検出器に連通する第3ポートとが同一側面に開口し、前記第1ポートと前記第2ポートと前記第3ポートとを連通させる内部流路が形成された流路ブロックであること、を特徴とする。

(3) (2)に記載の発明において、前記温度検出器が棒状の温度センサであって、前記流路ブロックは、前記温度センサを取り付ける取付部が設けられていることを特徴とする。

[0017] (4) (1)乃至(3)の何れか1つに記載の発明において、前記流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内设されることを特徴とする。

[0018] (5) (1)乃至(4)の何れか1つに記載の発明において、前記制御手段は、前記流量制御機器と前記第2遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、前記圧力

検出器が既定の初期圧力を検出した後、前記目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を前記温度検出器により検出し、前記圧力上昇値と前記ガス温度を用いて前記流量制御機器から前記第2遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第1遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とする。

[0019] (6) (1)乃至(4)の何れか1つに記載の発明において、前記第2遮断弁が真空ポンプに接続され、前記制御手段は、前記第1遮断弁と第2遮断弁との間を前記真空ポンプにより真空引きされた後、前記流量制御機器と前記第1遮断弁との間に封入されたガスが前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に放出されたときに、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて前記流体制御機器から前記第2遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第1遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とする。

[0020] (7) (1)乃至(4)の何れか一つに記載の発明において、前記制御手段は、前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値と直前にサンプリングした圧力値との傾きを算出し、算出した傾きが測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することを特徴とする。

[0021] (8) (1)乃至(4)の何れか一つに記載の発明において、前記制御手段は、前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した相関係数が測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することを特徴とする。

発明の効果

[0022] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積が、流量制御機器の出口から第1遮断弁までの体積以下であるため、流量制御機器から第1遮断弁と第2遮断弁との間に供給されるガスの制御流量が変化しても、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力が均一になりやすい。そのため、本発明のガス流量検定ユニットは、流量制御機器の制御流量が変化しても、第1遮断弁と第

2遮断弁との間の圧力と温度を圧力検出器と温度検出器によって正確に検出し、その圧力検出結果と温度検出結果を用いてガス流量を検定することが可能である。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、制御流量の変化に対する計測流量誤差が小さくなり、流量検定に対する信頼性を向上させることができる。

[0023] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、第1遮断弁の出力ポートを流路ブロックの第1ポートに連通させ、第2遮断弁の入力ポートを流路ブロックの第2ポートに連通させ、圧力検出器を流路ブロックの第3ポートに連通させるように、第1遮断弁と第2遮断弁と圧力検出器を流路ブロックに取り付けて集積するので、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくして、ガス流量検定ユニットを小型化できる。また、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくすることにより、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力を目標圧力に到達させるまでの時間を短縮することができ、ガス流量の検定時間を短くすることができる。

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、棒状の温度センサを流路ブロックの取付部に取り付け、流路ブロックの温度を計測することにより、第1遮断弁と第2遮断弁との間に供給されたガスの温度を検出するので、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくしたまま、温度センサをガス流量検定ユニットに取り付けることができる。

[0024] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内設されるので、ガス流量検定ユニットの設置スペースを設けるためにガスボックスの外部配管構成などを変更する必要がなく、設置性がよい。

[0025] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、制御手段が体積測定手段を有する。体積測定手段は、流量制御機器と第2遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、圧力検出器が既定の初期圧力を検出した後、目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を温度検出器により検出する。そして、圧力上昇値とガス温度を用いて流量制御機器から第2遮断弁までのタンク体積を測定した後、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積をタンク体積から減算することにより流量制御機器から第1遮断弁までの体積を測

定する。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、ユニット取付先のシステム構成により流量制御装置の出口から第1遮断弁までの体積がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

[0026] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、真空ポンプに第2遮断弁が接続され、流量制御機器の出口と第1遮断弁との間の圧力を検出する圧力センサに制御手段が接続されている。制御手段は体積測定手段を有する。体積測定手段は、第1遮断弁と第2遮断弁との間を真空ポンプで真空引した後、流量制御機器と第1遮断弁との間に封入されたガスが第1遮断弁と第2遮断弁との間に放出されたときに、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて流体制御機器から第2遮断弁までのタンク体積を測定し、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積をタンク体積から減算することにより、流量制御機器から第1遮断弁までの体積を測定する。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、ユニット取付先のシステム構成により流量制御装置から第1遮断弁までの体積がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

[0027] 上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、圧力検出器が検出する圧力値の傾き、或いは、圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した傾き又は相関係数が測定可能範囲内になったときにガスの流量を検定するので、圧力検出器が測定開始圧力に安定するまでにかかる無駄な時間を省いて流量検定を行うことが可能になり、流量検定時間を短縮することができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明の第1実施形態に係るガス流量検定ユニットを内蔵するガスボックスの概略構成図である。

[図2]図1に示すガスユニットの側面図である。

[図3]図1に示すガス流量検定ユニットの側面図である。

[図4]図1に示すガス流量検定ユニットの上面図である。

[図5]図4のA-A断面図である。

[図6]図1に示すコントローラの電気ブロック図である。

[図7]第1実施形態のガス流量検定ユニットが実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

[図8]評価装置のブロック図である。

[図9]圧力と時間との関係を示す図であって、縦軸に圧力を示し、横軸に時間を示す。

[図10]ガス流量検定システムが求めた流量と、高精度流量計が計測した流量との誤差を、評価装置毎に示した図である。黒丸は、流量が100sccmの場合を示し、黒四角は、流量が500sccmの場合を示す。尚、各流量において、圧力条件は同じ(5～13kPa)であるとする。

[図11]本発明の第2実施形態に係るガス流量検定ユニットを備えるガス供給集積ユニットの一例を示すブロック図である。

[図12]図11に示すコントローラの電気ブロック図である。

[図13]第3実施形態に係るガス流量検定ユニットが実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

[図14]本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定時間間隔でサンプリングしたデータを示す図である。

[図15]本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定圧力間隔でサンプリングしたデータを示す図である。

[図16]図14又は図15に示すデータの傾きと測定可能範囲との関係を示す図である。

[図17]図14又は図15に示すデータの相関係数と測定可能範囲との関係を示す図である。

[図18]第1, 第3実施形態に係るガス流量検定ユニットの流量検定精度について調べた実験の実験結果を示す図である。

[図19]従来の流量制御機器絶対流量検定システムを示すブロック図である。

符号の説明

- [0029] 1 ガスボックス
2 ガスユニット

- 10 マスフローコントローラ(流量制御機器)
- 11 ガス流量検定ユニット
- 12 第1遮断弁
- 13 第2遮断弁
- 14 圧力センサ(圧力検出器)
- 15 温度センサ(温度検出器)
- 16 コントローラ(制御手段)
- 18 流路ブロック(連結部材)
- 21 第2ポート(出力ポート)
- 26 第1ポート(入力ポート)
- 47 体積測定プログラム(体積測定手段)
- 58 真空ポンプ
- 62 体積測定プログラム(体積測定手段)

発明を実施するための最良の形態

[0030] 次に、本発明に係るガス流量検定ユニットの一実施の形態について図面を参照して説明する。

[0031] (第1実施形態)

図1は、ガス流量検定ユニット11を内蔵するガスボックス1の概略構成図である。図2は、図1に示すガスユニット2の側面図である。

図1に示すように、ガス流量検定ユニット11は、例えば、ガスボックス1に内蔵される。ガスボックス1は、箱状をなし、複数(図1では12個)のガスユニット2…を集積したガス供給集積ユニットが内蔵されている。図1及び図2に示すように、ガスユニット2は、レギュレータ3、圧力計4、入力用遮断弁5、「流量制御機器」の一例であるマスフローコントローラ10、出力用遮断弁6などの流体制御機器を流路ブロック7の上面にそれぞれ固定し、直列一体に連結したものである。

[0032] 図1に示すように、ガスユニット2とガスボックス1との間には、プロセスガスを各ガスユニット2から供給するための配管8を設置するための設置スペースが設けられている。この設置スペースは、配管8の周りがデッドスペースになっている。ガスボックス1

は、そのデッドスペースにガス流量検定ユニット11がボルトなどで固定されている。ガス流量検定ユニット11は、各ガスユニット2のマスフローコントローラ10に連通し、マスフローコントローラ10の流量検定を行う。ガス流量検定ユニット11は、複数の構成部品をユニット化し、ガスボックス1に一体的に着脱できるようにしている。

[0033] <ガス流量検定ユニットの構造>

図3は、図1に示すガス流量検定ユニット11の側面図である。図4は、図1に示すガス流量検定ユニット11の上面図である。

図3及び図4に示すように、ガス流量検定ユニット11は、第1遮断弁12、第2遮断弁13、「圧力検出器」である圧力センサ14、「温度検出器」である温度センサ15、「制御手段」であるコントローラ16などで構成されている。ガス流量検定ユニット11は、圧力センサ14を覆うようにセンサカバー17がネジ止めされ、ユニット取付時などにユーザが圧力センサ14にさわって設定を変更しないようにしている。

[0034] 図5は、図4のA-A断面図である。尚、図5は、要部のみを断面で示す。また、図5には、コントローラ16が現れるはずであるが、図5は流路構成を説明するために使用するため、コントローラ16を記載していない。

第1遮断弁12と、圧力センサ14と、第2遮断弁13は、「連通部材」である流路ブロック18の上面に、ボルト40で固定されている。また、温度センサ15は、流路ブロック18内に配設されている。

[0035] 第1遮断弁12と第2遮断弁13は、同一構造を備える電磁弁である。第1遮断弁12と第2遮断弁13は、金属製のボディ19, 25に駆動部24, 30を連結して外観が構成されている。ボディ19, 25には、「入力ポート」である第1ポート20, 26と、「出力ポート」である第2ポート21, 27が開設され、第1ポート20, 26と第2ポート21, 27をそれぞれ連通させるように弁座22, 28が設けられている。ボディ19, 25と駆動部24, 30との間には、ダイヤフラム23, 29が変位可能に保持されている。このような第1遮断弁12と第2遮断弁13は、ガスの流れへの影響を少なくするために、Cv値が0.09以上であることが望ましい。第1実施形態では、第1遮断弁12と第2遮断弁13は、Cv値が0.10に設定されたものを使用している。

[0036] 圧力センサ14は、キャパシタンス・マノメータである。圧力センサ14は、厚さ0.1m

m程度に薄く形成した金属製のダイヤフラム31を、検出ポート39に入力したガス圧に応じて変位するように保持している。ダイヤフラム31の背圧面側には、金属基板32が固定されている。金属基板32には、導電性電極が配線されている。金属基板32は、ダイヤフラム32と所定の間隔を空けて配設されている。このような圧力センサ14は、ダイヤフラム31が受圧面にガス圧を受けて変位すると、金属基板32とダイヤフラム31との間隔が変化して静電容量が変化するので、静電容量の変化をガス圧の変化として検出する。

温度センサ15は、棒状の熱電対である。

[0037] 流路ブロック18は、ステンレスなどの金属を直方体形状に成形したものである。流路ブロック18の図中上面には、第1ポート33と、第2ポート34と、第3ポート35が開設されている。流路ブロック18は、図中右側面から主通路36が穿設されている。流路ブロック18は、第1ポート33と第2ポート34と第3ポート35を主通路36に連通させて「内部流路」が構成されている。主通路36には、止め栓37が溶接され、流路の気密性を確保している。ここで、流路ブロック18の内部流路は、第1遮断弁12の第2ポート21に連通する流路及び第2遮断弁13の第1ポート26に連通する流路と断面積がほぼ同じにされている。これは、ガス流量検定ユニット11に供給されたガスの圧力を流路ブロック18内で均一にしやすいためである。第1実施形態では、内部流路(主通路36等)の流路断面は、直径が4mmに設定されている。また、流路ブロック18には、主通路36の外側に「取付部」の一例である挿通孔38が側面から連通路36に直交する方向に穿設されている。

[0038] 第1遮断弁12は、図示しないガスケットを介してボディ19の第2ポート21を流路ブロック18の第1ポート33に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しないガスケットを押し潰した状態で流路ブロック18の図中上面に固定される。

第2遮断弁13は、図示しないガスケットを介してボディ25の第1ポート26を流路ブロック18の第2ポート34に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しないガスケットを押し潰した状態で流路ブロック18の図中上面に固定される。

圧力センサ14は、図示しないガスケットを介して検出ポート39を流路ブロック18の第3ポート35に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しない

ガスケットを押し潰した状態で流路ブロック18の上面に固定される。

温度センサ15は、挿通孔38に挿通して流路ブロック18に取り付けられる。

[0039] 従って、ガス流量検定ユニット11は、図5に示すように、第1遮断弁12と第2遮断弁13と圧力センサ14と温度センサ15が、1つの流路ブロック18に集積して取り付けられる。このようなガス流量検定ユニット11には、図3及び図4に示すように、流路ブロック18の側面にコントローラ16がネジなどで固定されている。

[0040] <コントローラの電氣的構成>

図6は、コントローラ16の電気ブロック図である。

コントローラ16は、コンピュータ機能を備え、CPU41、入出力インターフェース42、ROM43、RAM44、ハードディスクドライブ(以下「HDD」という。)45で構成される。

[0041] 入出力インターフェース42には、第1遮断弁12、第2遮断弁13、圧力センサ14、温度センサ15が接続し、信号の授受を行うようになっている。

[0042] HDD45には、体積記憶手段46が設けられている。体積記憶手段46には、既知体積 V_k と、システム側流路体積 V_e と、タンク体積 V とが記憶されている。「既知体積 V_k 」とは、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の体積、より具体的には、第1遮断弁12と第2遮断弁13とを弁閉したときに第1遮断弁12の弁座22と第2遮断弁13の弁座28との間に形成される密閉空間の体積をいう。「システム側流路体積 V_e 」とは、マスフローコントローラ10の出口から第1遮断弁12までの体積、より具体的には、第1遮断弁12を弁閉したときのマスフローコントローラ10の出口から第1遮断弁12の弁座22までの体積をいう。「タンク体積 V 」とは、第1遮断弁12を弁開にし、第2遮断弁13を弁閉にしたときのマスフローコントローラ10の出口から第2遮断弁13の弁座28までの体積をいう。既知体積 V_k は、ガス流量検定ユニット11の製造時に測定可能であるので、ガス流量検定ユニット11の製造後、ガス流量検定ユニット11を外部システムに取り付ける前に予め体積記憶手段46に記憶されている。これに対して、システム流路側体積 V_e とタンク体積 V は、ガス流量検定ユニット11を外部システムに取り付ける前に測定することが不可能であるので、ガス流量検定ユニット11を製造して外部システムに取り付けた後に事後的に測定されて体積記憶手段46に記憶される。

[0043] ROM43には、流量検定プログラム48と、「体積測定手段」である体積測定プログラ

ム47とが格納されている。流量検定プログラム48は、第1遮断弁12と第2遮断弁13の弁開閉動作を適宜制御し、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力と温度を圧力センサ14と温度センサ15で検出し、その検出結果に基づいてマスフローコントローラ10の流量検定を行うものである。体積測定プログラム47は、システム側流路体積 V_e とタンク体積 V を測定するものである。

[0044] <既知体積とシステム側流路体積との関係>

ところで、図3、図4、図5に示すように、第1実施形態のガス流量検定ユニット11は、従来技術のようにチャンバを備えていない。ガス流量検定ユニット11は、既知体積 V_k がシステム側流路体積 V_e 以下に設定されている。既知体積 V_k をシステム側流路体積 V_e 以下にするのは、ガス流量検定ユニット11の流路を短くすることにより、マスフローコントローラ10が出力したガスの圧力がガス流量検定ユニット11内でばらつくこと(偏在すること)を防止するためである。従って、ガス流量検定ユニット11は、第1遮断弁12、圧力センサ14、温度センサ15、第2遮断弁13を配設する上で可能な限り既知体積 V_k を小さくすることが望ましい。第1実施形態では、図1に示すガスボックス1において、各ガスユニット2のマスフローコントローラ10の出口からガス流量検定ユニット11を構成する第1遮断弁12の弁座22までのシステム側流路体積 V_e が100 ccに設定されているのに対して、ガス流量検定ユニット11を構成する第1遮断弁12の弁座22(図5参照。)から第2遮断弁13の弁座28(図5参照。)までの既知体積 V_k が10ccに設定されている。

[0045] <検定方法>

次に、第1実施形態のガス流量検定ユニット11による検定方法の概略について説明する。概略としたのは、後述する評価試験の説明において検定方法を具体的に記載しているからである。図7は、第1実施形態のガス流量検定ユニット11が実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

[0046] ガス流量検定ユニット11は、1ラインずつ流量検定を行う。すなわち、流量検定は、ステップ101(以下「S101」という。)において、システムを初期化して先の流量検定で取得したデータを消去する。そして、S102において、ガス供給集積ユニット内をパージし、流路内の余分なガスを除去する。

- [0047] そして、S103において、タンク体積測定済みか否かを判断する。タンク測定済みでないと判断した場合には(S103:NO)、S104においてタンク体積Vを測定した後、S105へ進む。一方、タンク測定済みであると判断した場合には(S103:YES)、そのままS105へ進む。
- [0048] そして、S105において、圧力センサ14が検出した圧力値が、既定の測定開始圧力P1以上であるか否かを判断する。検出した圧力値が既定の測定開始圧力P1未満である場合には(S105:NO)、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を測定するまで待機する。一方、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を測定したら(S105:YES)、S106において、圧力センサ14が検出した圧力値が目標圧力P2か否かを判断する。圧力センサ14が目標圧力P2を検出するまでは待機する(S106:NO)。すなわち、ガス流量検定システム11は、圧力センサ14が目標圧力P2を検出するまで待つ。圧力センサ14が目標圧力P2を検出したら(S106:YES)、S107において流量Qを算出する。
- [0049] 従って、S105～S107の処理により流量Qを測定する。尚、タンク体積Vと流量Qの測定方法については、評価実験において詳しく説明する。
- [0050] そして、S108において、検定回数 e_k に1を加算し、S109において、検定回数 e_k が既定測定回数 e であるか否かを判断する。検定回数 e_k が既定検定回数 e でない場合には(S109:NO)、S102へ戻り、ページと流量Qの測定を繰り返す。その後、検定回数 e_k が既定検定回数 e になるまでタンク体積Vと流量Qを測定したら(S109:YES)、S110において、流量Qの測定値を平均化し、平均値をマスフローコントローラ10の設定流量と比較することにより検定を行う。検定時には、必要に応じて流量Qの補正値を設定する。以上で、1個のガスユニット2について流量検定が終了する。
- [0051] そして、S111において、検定済みガスユニット数 u_k に1を加算し、S112において、検定済みガスユニット数 u_k がガス供給集積ユニットに搭載したガスユニット2の総数 u であるか否かを判断する。検定済みガスユニット数 u_k が総ユニット数 u でない場合には(S112:NO)、未検定のガスユニット2があるので、S102へ戻り、次のガスユニット2に搭載したマスフローコントローラ10の流量検定を行う。一方、検定済みガスユニット数 u_k が総ユニット数 u である場合には(S112:YES)、ガス供給集積ユニットの全て

のガスユニット2について流量検定が終了したことを意味するので、そのまま流量検定処理を終了する。

[0052] <評価実験>

ここで、発明者らは、第1実施形態のガス流量検定ユニット11の評価実験を行った。図8は、評価装置50のブロック図である。

評価装置50は、4個のガスユニット2A, 2B, 2C, 2Dをガス流量検定ユニット11に並列に接続して構成されている。以下の説明では、ガスユニットを区別する必要がないときには、「ガスユニット2」と称する。また、ガスユニット2を構成する流体制御機器についても、特に区別する必要がない場合には、符号の添字「A」、「B」、「C」を省略して説明する。

[0053] ガスユニット2は、上流側からフィルタ51、手動弁52、レギュレータ53、圧力温度計54、マスフローコントローラ10、出力用遮断弁55を直列一体に連結したものである。但し、ガスユニット2Aは、圧力温度計54Aとマスフローコントローラ10Aとの間に高精度流量計56が配設され、マスフローコントローラ10Aの制御流量を精密に計測している。ガスユニット2A, 2B, 2C, 2Dは、ガス供給弁57に並列に接続され、ガス供給弁57を介して真空ポンプ58に接続されている。ガスユニット2をガス供給弁57に連通させるシステム側流路上には、圧力計59が配設され、システム側流路内の圧力を検出するようになっている。ガス流量検定ユニット11は、システム側流路から分岐してガス供給弁57と真空ポンプ58との間に接続する分岐流路上に設けられている。

[0054] 評価実験は、評価装置50の構成を適宜変更して行った。すなわち、評価実験では、(i)図8に示すように、ガス流量検定ユニット11をそのまま使用して構成した評価装置50Aと、(ii)図8の点線に示すように、流路ブロック18の主通路36に連通するように500ccのチャンバ60をガス流量検定ユニット11に取り付けて構成した評価装置50Bと、(iii)図8に示すガス流量検定ユニット11を図19に示す従来のガス流量検定ユニットUに置き換えて構成した評価装置50Cとを使用した。

[0055] <評価実験方法>

評価実験は、上記(i), (ii), (iii)で使用する評価装置50A, 50B, 50Cについてそれぞれ行った。評価実験は、先ず、タンク体積 $V(V_e + V_k)$ とシステム側流路体積

Veを測定した後、誤差測定を5回繰り返し、誤差の平均値を算出した。誤差測定は、ガス流量検定ユニットが算出した流量と高精度流量計56が計測した流量との間に生じる誤差を算出することにより行った。誤差測定は、マスフローコントローラ10の制御流量を大流量(500sccm)にした場合と、小流量(100sccm)にした場合とに分けて行った。そして、図10に示すように、誤差測定結果を(i), (ii), (iii)の場合に分けて、比較した。評価実験の方法を以下に具体的に説明する。

[0056] <体積の測定>

ガス流量検定ユニット11を外部システムに接続する場合、マスフローコントローラ10の出口からガス流量検定ユニット11を構成する第1遮断弁12の弁座22までのシステム流路側体積Veが、外部システムの流路構成によって異なる。すなわち、タンク体積Vが、外部システムによって変化する。そこで、ガス流量検定ユニット11は、ガス流量の検定に先立ち、タンク体積Vとシステム流路側体積Veを測定する。タンク体積V及びシステム側流路体積Veの測定は、コントローラ16が体積測定プログラム47を実行することにより行われる。

[0057] タンク体積Vの測定は、まず、ガスユニット2B, 2C, 2Dの出力用遮断弁55B, 55C, 55Dと、ガス供給弁57とを弁閉状態にする一方、ガスユニット2Aの手動弁52A、出力用遮断弁55Aと、ガス流量検定ユニット11の第1遮断弁12と、第2遮断弁13とを弁開状態にして、真空ポンプ58で真空引きしながらマスフローコントローラ10AにN₂ガスを50sccmずつ流す。流量が安定したら、ガス流量検定ユニット11の第2遮断弁13を弁閉する。すると、システム側流路とガス流量検定ユニット11の流路の圧力が上昇し、圧力センサ14が検出する圧力値が上昇する。このとき、第2遮断弁13を弁閉した後、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1(第1実施形態では5kPa)を計測してから、圧力センサ14が目標圧力P2(第1実施形態では13kPa)を計測するまでの時間を計測するとともに、温度を温度センサ15で計測する。

[0058] 図9に示すように、既定の測定開始圧力P1から目標圧力P2まで上昇する圧力上昇量 ΔP は、目標圧力P2から既定の測定開始圧力P1を減算することによりわかる。圧力センサ14は、一定間隔(例えば0.1秒間隔)で圧力を検出するため、圧力センサ14が測定開始圧力P1を検出してから目標圧力P2を検出するまでの圧力検出回

数をカウントすることにより、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力がP1からP2まで上昇する計測時間 Δt がわかる。よって、圧力上昇量 ΔP を計測時間 Δt で割り算することにより、単位時間あたりの上昇圧力値 $\Delta P / \Delta t$ がわかる。また、ガスの気体定数Rは、使用するガス(第1実施形態では N_2 ガス)の気体定数をそのまま使用する。気体温度Tは、温度センサ15が検出する温度でわかる。さらに、流量Qは、マスフローコントローラ10の設定流量(高精度流量計56が計測する流量(第1実施形態では50sccm))を入力すればわかる。そこで、流量算出の基本となる数式1を変形した数式2に、判明している数値を各々あてはめることにより、タンク体積Vが算出される。

[0059] [数1]

$$\text{流量}Q = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \frac{V}{RT}$$

但し、 ΔP は圧力(Pa)を示し、 Δt は測定時間(s)を示し、Vはタンク体積(m^3)を示し、Rは気体定数(J/mol・K)を示し、Tは気体温度(K)を示す。

[0060] [数2]

$$V = \frac{\Delta t \cdot \text{流量}Q \cdot RT}{\Delta P}$$

[0061] 上記のようにしてタンク体積Vを10回繰り返して測定し、タンク体積Vの平均値を算出する。この平均値をタンク体積Vとしてコントローラ16の体積記憶手段46に記憶する。

[0062] ここで、タンク体積Vは、既知体積V_kとシステム側流路体積V_eを加算した体積に相当する。既知体積V_kは予め体積記憶手段46に記憶されてわかっている。そこで、タンク体積Vから既知体積V_kを減算してシステム側流路体積V_eを測定する。測定したシステム側流路体積V_eは、体積記憶手段46に記憶する。

[0063] <誤差測定>

誤差測定は、コントローラ16に流量検定プログラム48を実行させて流量検定を行わせ、ガス流量検定ユニットが算出した流量を高精度流量計56が計測した流量と比較して誤差を算出することにより行う。

[0064] ガスユニット2Aの流量検定を行う場合には、ガスユニット2B, 2C, 2Dの出力用遮断弁55B, 55C, 55Dと、ガス供給弁57を弁閉状態にする一方、ガスユニット2Aの手動弁52A、出力側遮断弁55A、ガス流量検定ユニット11の第1遮断弁12、第2遮断弁13を弁開状態にする。この状態でマスフローコントローラ20AにN₂ガスを供給する。マスフローコントローラ10Aの制御流量を安定させるために、ガスユニット2AにN₂ガスを30秒間流したら、ガス流量検定ユニット11の第2遮断弁13を弁閉する。

[0065] すると、ガス流量検定ユニット11内の圧力が上昇していく。そこで、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1 (5kPa)を検出してから目標圧力P2 (13kPa)を検出するまでの時間を計測する。時間を計測するのは、流量によって圧力上昇時間が異なるからである。具体的には、例えば、圧力が5kPaから13kPaまで上昇する時間は、流量が100sccmであるときには7.5秒かかり、流量が500sccmであるときには1.5秒かかる。圧力センサ14が13kPaを検出したら、第2遮断弁13を弁開状態にし、次の流量検定へ移行する。

[0066] ガス流量検定ユニット11は、次のようにして流量を算出する。第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力上昇量 ΔP は、目標圧力P2から既定の測定開始圧力P1を減算することによりわかる。圧力センサ14は、一定間隔(例えば0.1秒間隔)で圧力を検出するため、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出してから目標圧力P2を検出するまでの圧力検出回数をカウントすることにより、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力がP1からP2まで上昇する計測時間 Δt がわかる。そして、圧力上昇量 ΔP を計測時間 Δt で割り算することにより、単位時間あたりの上昇圧力値 $\Delta P / \Delta t$ がわかる。気体定数Rは、使用するガス(第1実施形態ではN₂ガス)の気体定数をそのまま使用すればわかる。温度Tは、温度センサ15が検出する温度でわかる。更に、タンク体積Vは、上記体積測定により体積記憶手段46に記憶されてわかっている。そこで、判明している数値(単位時間あたりの上昇圧力値 $\Delta P / \Delta t$ 、気体定数R

、温度 T 、タンク体積 V)を数式1にあてはめ、流量 Q を算出する。

[0067] ガス流量検定ユニット11は、算出した流量 Q をマスフローコントローラ10の設定流量と比較し、一致している場合には、マスフローコントローラ10が適正に流量制御していると判断し、一致しなければ、マスフローコントローラ10が適正に流量制御していないと判断し、必要に応じてマスフローコントローラ10に校正を行う。

[0068] ガス流量検定ユニット11が算出した流量 Q は、高精度流量計56が計測した流量と比較され、誤差を判断される。なぜなら、高精度流量計56は、検出精度が非常に高く、高精度流量計56が計測する流量は、マスフローコントローラ10Aが制御する流量の真値に極めて近いから、ガス流量検定ユニット11が算出した流量 Q と高精度流量計56が計測する流量とを比較して誤差を求めれば、ガス流量検定ユニット11の流量検定精度を判断できるからである。

[0069] <評価結果>

上記のように誤差を測定して評価した結果について図10を参照しながら説明する。発明者らが評価装置50Cを用いて従来のガス流量検定ユニットUを評価したところ、図10(iii)に示すように、マスフローコントローラ10Aの流量が100sccmである場合には、従来のガス流量検定ユニットUが算出した流量 Q_{13} は、高精度流量計56が計測するマスフローコントローラ10Aの真値との誤差が、0.012%と小さかった(図中黒丸参照。)。このように従来のガス流量検定ユニットUの流量検定精度が良いのは図19に示すようにチャンバ153を備えるからであると発明者らは考えた。

[0070] すなわち、一般的に、弁要素151、152を近づけると、弁要素151、152間の体積が小さくなり、圧力が短時間で上昇する。単位時間あたりの上昇圧力値(図9に示すグラフの傾き)が大きくなりすぎると、トランスデューサ・アセンブリ154がPV/RTを直接表す信号を出力する前に弁要素152が弁開され、流量検定ができなくなる。よって、流量検定を確実に行うためには、チャンバ153を弁要素151と弁要素152との間に設けて既知体積 V_k を大きくする必要があると、発明者らは考えた。

また、流量検定を精度よく行うためには、単位時間あたりの上昇圧力値(図9に示すグラフの傾き)を小さくすることが望ましい。しかし、あまりにも上昇圧力値を小さくし過ぎると、流量検定時間が長くなる不具合がある。よって、圧力計測時間を確保するた

めには、半導体製造プロセスで許される流量検定時間を考慮してチャンバ153の体積を決める必要があると、発明者らは考えた。

[0071] 一方、発明者らは、第1遮断弁12・第2遮断弁13・圧力センサ14・温度センサ15を流路ブロック18に集積化してガス流量検定ユニット11を構成することにより、弁要素151、152などを配管で接続した従来のガス流量検定ユニットUよりサイズをコンパクトにすることを考えた。発明者らは、流量検定精度を上げるために、ガス流量検定ユニット11にチャンバ60を取り付けて評価装置50Bを構成した。このとき、発明者らは、流量検定精度を顕著に上げるために、従来のガス流量検定ユニットUが使用するチャンバ153より体積が大きい500ccのチャンバ60をガス流量検定ユニット11に取り付けた。

[0072] 発明者らが評価装置Bを用いて評価実験を行ったところ、図10(ii)に示すように、マスフローコントローラ10Aの流量が100sccmである場合には、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットが算出した流量 Q_{12} は、真値との誤差が0.099%であった(図中黒丸参照。)。上記したチャンバの存在意義に鑑みれば、チャンバ60の体積がチャンバ153より大きくなった分だけ、流量検定精度が向上するはずである。それにもかかわらず、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットの評価結果が、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より悪化してしまった。

[0073] さらに、発明者らが評価装置50Aを用いて評価実験を行ったところ、図10(i)に示すように、マスフローコントローラ10Aの流量が100sccmである場合には、ガス流量検定ユニット11が算出した流量 Q_{11} は、真値との誤差が0.014%であった(図中黒丸参照。)。上記したチャンバの存在意義に鑑みれば、ガス流量検定ユニット11の評価結果は、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より悪いのはもとより、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットの評価結果より悪くなるはずである。それにもかかわらず、ガス流量検定ユニット11の評価結果は、チャンバ60を備えるものの評価結果より良好であり、また、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より0.002%しか悪化しなかった。

[0074] 以上の評価結果より、発明者らは、流量検定精度の良否がチャンバの有無によるものでないことに気が付いた。

[0075] 発明者らは、流量検定可能範囲における流量検定精度を検証すべく、評価装置50A, 50B, 50Cを用いて流量を500sccmに増加した場合の流量検定精度を評価した。

[0076] 評価装置50AにN₂ガスを500sccm流した場合には、図10(i)に示すように、ガス流量検定ユニット11が算出した流量Q21は、真値との誤差が0.515%であった(図中黒塗り三角参照。)。そして、100sccmの小流量を流した場合の誤差(0.014%)と、500sccmの大流量を流した場合の誤差(0.515%)を比較すると、0.501%の差が生じた。

評価装置50BにN₂ガスを500sccm流した場合には、図10(ii)に示すように、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットが算出した流量Q22は、真値との誤差が0.982%であった(図中黒塗り三角参照。)。そして、100sccmの小流量を流した場合の誤差(0.099%)と、500sccmの大流量を流した場合の誤差(0.982%)を比較すると、0.883%の差が生じた。

評価装置50CにN₂ガスを500sccm流した場合には、図10(iii)に示すように、従来のガス流量検定ユニットUが算出した流量Q23は、真値との誤差が1.150%であった(図中黒塗り三角参照。)。そして、100sccmの小流量を流した場合の誤差(0.012%)と、500sccmの大流量を流した場合の誤差(1.150%)を比較すると、1.138%の差が生じた。

[0077] 上記評価結果を検討すると、流量検定可能範囲における流量検定精度が最も安定しているのはガス流量検定ユニット11であり、最も不安定なのは従来のガス流量検定ユニットUであることが判明した。流量検定可能範囲における流量検定精度のバラツキがチャンバに起因するのであれば、500ccチャンバ60を備えるガス流量検定ユニットが生じる流量検定精度のバラツキが、従来のガス流量検定ユニットUが生じる流量検定精度のバラツキより大きくなるはずである。しかし、評価結果は、従来のガス流量検定ユニットUの方が500ccチャンバ60を備えるガス流量検定ユニットより流量検定精度のバラツキが大きくなった。この評価結果より、発明者らは、ガス流量検定ユニット11のユニット構成が、従来のガス流量検定ユニットUのユニット構成よりコンパクト化の点で優れているのみならず、流量検定精度のバラツキを小さくする点にお

いても優れていることを確認した。

[0078] ガス流量検定ユニット11の流量検定精度が従来のガス流量検定ユニットUより良好になった理由を検討する。

[0079] 第1の理由としては、既知体積 V_k がシステム側流路体積 V_e 以下であることが挙げられる。システム側流路体積 V_e が100ccであるのに対して、ガス流量検定ユニット11の既知体積 V_k は10ccであり、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットの既知体積 V_k は500cc超であり、従来のガス流量検定ユニットUの既知体積 V_k は250cc超である。つまり、ガス流量検定ユニット11の既知体積 V_k のみがシステム側流路体積 V_e より小さい。チャンバを設けて既知体積 V_k を大きくした場合、小流量であれば、ガスがチャンバ内にゆっくり流れ込み、ガス流量検定ユニット内の圧力バランスが均一になりやすい。しかし、大流量になると、ガスがチャンバ内に入り込んで圧力を上昇させる前に第1遮断弁12(弁要素151)と第2遮断弁13(弁要素152))との間の圧力が急激に上昇し、ガス流量検定ユニット内の圧力バランスが不均一になる。そのため、チャンバの圧力・温度を検出して流量検定を行うと、流量が増加するほど第1遮断弁12(弁要素151)と第2遮断弁13(弁要素152))との間の圧力と温度を正確に検出することができなくなり、ガス流量検定ユニットが検定する流量と真値との間に誤差が生じやすくなると考えられる。よって、既知体積 V_k をシステム側流路体積 V_e 以下にすれば、流量検定精度が向上すると考えられる。

[0080] 第2の理由としては、流路構成が簡単であることが挙げられる。チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットと従来のガス流量検定ユニットUとは、チャンバを備える点で共通するものの、流路が流路ブロック18で構成されているか、配管で構成されているかが相違する。チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットは、小流量制御時には従来のガス流量検定ユニットUより流量検定精度が劣るものの、大流量制御時には従来のガス流量検定ユニットUより流量検定精度が優っている。この結果より、ガス流量検定ユニットの流路を流路ブロック18で構成すれば、配管で流路を構成する場合より流路構成が簡単になり、大流量制御時のガス流量検定精度を向上させることができると考えられる。

[0081] 第3の理由としては、流路断面積変化が小さいことが挙げられる。ガス流量検定ユ

ニット11とチャンバ60を備えるガス流量検定ユニットとは、チャンバ60の有無が相違する。小流量時の誤差を比較すると、ガス流量検定ユニット11はチャンバ60を備えるガス流量検定ユニットより誤差が0.085%だけ小さく、大流量時の誤差を比較すると、ガス流量検定ユニット11はチャンバ60を備えるガス流量検定ユニットより誤差が0.467%だけ小さい。つまり、ガス流量検定ユニット11は、チャンバ60を備えないだけで、小流量制御時と大流量制御時に生じる誤差が小さくなり、更には大流量になるほど誤差が抑えられるようになる。この結果より、チャンバ60を設けない場合には、流路ブロック18の内部流路とチャンバ60との間の流路断面積変化がなくなるため、ガスの流れが安定して流量検定精度が向上するとともに、小流量から大流量に流量を変更しても流量検定精度の誤差を抑えられるようになると考えられる。

[0082] <第1実施形態のガス流量検定ユニットの作用効果>

従って、第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、既知体積 V_k がシステム側流路体積 V_e 以下であるため、例えば、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に供給するガスの流量が100sccmの小流量から500sccmの大流量に変化しても、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力が均一になりやすい。そのため、第1実施形態のガス流量検定ユニット11は、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に供給されるガスの流量が増加しても、圧力センサ14や温度センサ15が圧力と温度を正確に検出することができ、圧力センサ14の圧力検出結果と温度センサ15の温度検出結果を用いてガス流量を精度良く算出して検定することが可能である。よって、第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、マスフローコントローラ10が制御する制御流量の変化に対する計測流量誤差が小さくなり(図10の(i)参照。)、流量検定に対する信頼性を向上させることができる。

[0083] また、第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、第1遮断弁12と第2遮断弁13と圧力センサ14を流路ブロック18の上面に上方からボルト40で取り付けて集積しているので(図5参照。)、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の既知体積 V_k を小さくして、ガス流量検定ユニット11を小型化できる。特に、チャンバをなくして機器12, 13, 14を流路ブロック18上に集積したことにより、第1実施形態のガス流量検定ユニット11は、従来のガス流量検定ユニットUに対してフットスペースを3分の2程度

に小さくすることができた。また、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の既知体積 V_k を小さくすることにより、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力を目標圧力に到達させるまでの時間を短縮することができ、ガス流量の検定時間を短くすることができる。

第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、棒状の温度センサ15を流路ブロック18の挿通孔38に挿通し、流路ブロック18の温度を計測することにより、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に供給されたガスの温度変化を検出するので(図5参照。)、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の既知体積 V_k を小さくしたまま、温度センサ15をガス流量検定ユニット11に取り付けることができる。

[0084] 第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、マスフローコントローラ10が搭載されたガスユニット2とガスボックス1との間に形成されるデッドスペースを利用して、ガスボックス1にガス流量検定ユニット11を内設したので、ガス流量検定ユニット11の設置スペースを設けるためにガスボックス1の外部配管構成などを変更する必要がなく、設置性がよい。

[0085] また、第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、コントローラ16が体積測定プログラム47を実行したときに、システム側流路体積 V_e が測定される。具体的には、マスフローコントローラ10と第2遮断弁13との間にガスを目標圧力 P_2 だけ封入するときに、圧力センサ14が既定の測定開始圧力 P_1 を検出した後、目標圧力 P_2 を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値 $\Delta P / \Delta t$ を算出するとともに、目標圧力 P_2 に到達したときのガス温度 T を温度センサ15により検出する。そして、圧力上昇値 $\Delta P / \Delta t$ とガス温度 T を、マスフローコントローラ10の制御流量 Q とガスの気体定数 R とともに数式1にあてはめ、マスフローコントローラ10から第2遮断弁13までのタンク体積 V を測定する。そして、その後、体積記憶手段46から既知体積 V_k を読み出し、タンク体積 V から既知体積 V_k を減算することによりシステム側流路体積 V_e を測定する。よって、第1実施形態のガス流量検定ユニット11によれば、ユニット取付先のシステム構成によりシステム側流路体積 V_e がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

[0086] (第2実施形態)

続いて、本発明のガス流量検定ユニットについて第2実施形態を図面を参照して説明する。図11は、ガス流量検定ユニット11Aを備えるガス供給集積ユニット63の一例を示すブロック図である。

第2実施形態のガス流量検定ユニット11Aは、例えば、図11に示すガス供給集積ユニット63の流量検定を行うために用いられる。ガス供給集積ユニット63の回路構成は、第1実施形態で説明した評価装置50(図8参照。)と同様であるので、各流体制御機器には評価装置50と同じ符号を用いる。第2実施形態のガス流量検定ユニット11Aは、コントローラ61の構成が第1実施形態のコントローラ16と相違する。よって、ここでは、第1実施形態と相違する点を中心に説明し、共通する点は、第1実施形態で用いた符号を図面に付し、説明を適宜省略する。

[0087] <コントローラの電氣的構成>

図12は、第2実施形態に係るガス流量検定ユニット11Aに使用されるコントローラ61の電気ブロック図である。

コントローラ61は、ガス供給集積ユニット63の圧力センサ59と真空ポンプ58と出力用遮断弁55が入出力インターフェース42に接続されている点が、第1実施形態のコントローラ16(図6参照。)と相違する。圧力センサ59は、ガスユニット2をガス供給弁57に連通させるシステム側流路(図11参照。)の圧力を検出して圧力検出信号をコントローラ61に出力する。真空ポンプ58は、コントローラ61から指令を受けて、ガス供給集積ユニット63内の真空引きを行う。出力用遮断弁55は、コントローラ61の指令を受けて弁開閉動作を行い、各ガスユニット2のプロセスガス出力を制御する。

[0088] また、コントローラ61は、「体積測定手段」である体積測定プログラム62をROM43に格納している。体積測定プログラム62は、ボイル・シャルルの法則を利用してシステム側流路体積 V_e とタンク体積 V を算出する点で、数式2を用いてタンク体積 V を算出する第1実施形態の体積測定プログラム47と相違する。

[0089] <体積の測定>

タンク体積 V 及びシステム側流路体積 V_e の測定は、コントローラ61が体積測定プログラム62を実行することにより行われる。尚、ここでは、評価装置50(図8参照。)と同様の回路構成を有するガス供給集積ユニット63(図11参照。)を用いて体積を測定

する場合を例に挙げて説明する。

[0090] まず、図11に示す出力用遮断弁55A, 55B, 55C, 55Dと、ガス供給弁57を弁閉状態にし、ガス流量検定ユニット11Aの第1遮断弁12と第2遮断弁13を弁開状態にする。そして、真空ポンプ58を駆動して、出力用遮断弁55Aより下流側を真空引きする。圧力センサ14が、所定圧(5kPa)を検出して真空引きが完了したことを確認したら、ガスユニット2Aの手動弁52Aと出力用遮断弁55Aを弁閉状態から弁開状態に切り換え、ガスユニット2Aに N_2 ガスを流す。ここで、第2遮断弁13を弁閉すると、マスフローコントローラ10Aから第2遮断弁13までの流路内圧力が上昇する。圧力センサ14が所定圧(13kPa)を検出した時点で、出力用遮断弁55Aを弁開状態から弁閉状態に切り換え、 N_2 ガスの供給を停止する。ここで、第1遮断弁12を弁閉し、第2遮断弁13を弁開した後に真空ポンプ58を駆動し、第1遮断弁12の弁座22と第2弁遮断弁13の弁座28との間に真空領域を作る。その後、第1遮断弁12を弁閉状態から弁開状態に切り換え、 N_2 ガスを真空領域に放出する。このとき、圧力センサ14により圧力変動を検出するとともに、温度センサ15により流路ブロック18の温度、ひいてはガス温度を検出する。

[0091] そして、 N_2 ガスを真空領域に放出する直前に圧力センサ14が検出した圧力 P_{11} と、 N_2 ガスを真空領域に放出する直前に温度センサ15が検出した温度 T_{11} と、 N_2 ガスを真空領域に放出した後に体積測定を終了させるための体積測定終了圧力 P_{12} と、体積測定終了圧力 P_{12} に到達したときに温度センサ15が検出した温度 T_{12} を、ボイル・シャルルの法則($P_{11} \cdot V_{11} / T_{11} = P_{12} \cdot V_{12} / T_{12}$)にあてはめる。すると、体積 V_{12} が求められる。この体積 V_{12} は、第1遮断弁12を弁開した後の体積であるため、タンク体積 V に相当する。そこで、タンク体積 V から既知体積 V_k を減算し、システム側流路体積 V_e を測定する。このようにして測定したタンク体積 V とシステム側流路体積 V_e は、体積記憶手段46に記憶される。

[0092] <第2実施形態のガス流量検定ユニットの作用効果>

 上記の通り、第2実施形態のガス流量検定ユニット11Aは、真空ポンプ58に第2遮断弁13の第2ポート27が接続され、マスフローコントローラ10の出口と第1遮断弁12の弁座22との間の圧力を検出する圧力計59と、ガスユニット2の出力用遮断弁55に

コントローラ16が接続されている(図11、図12参照。)。コントローラ16が体積測定プログラム62を実行することにより、システム側流路体積 V_e が測定される。すなわち、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間を真空ポンプ58で真空引きした後、マスフローコントローラ10と第1遮断弁12との間に封入されたガスを第1遮断弁12と第2遮断弁13との間に放出したときに、第1遮断弁12と第2遮断弁13との間の圧力変化と温度変化を圧力センサ14と温度センサ15でそれぞれ検出し、その圧力検出結果と温度検出結果をボイル・シャルルの法則にあてはめることによりタンク体積 V を測定する。そして、体積記憶手段46から既知体積 V_k を読み出し、タンク体積 V から既知体積 V_k を減算することにより、システム側流路体積 V_e を測定する。よって、第2実施形態のガス流量検定ユニット11Aによれば、ユニット取付先のシステム構成によりシステム側流路体積 V_e がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

[0093] (第3実施形態)

続いて、本発明のガス流量検定ユニットについて第3実施形態を図面を参照して説明する。

第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、上記第1実施形態のガス流量検定ユニット11の流量検定処理を改良し、流量検定時間を短縮したものである。よって、ここでは、第1実施形態と相違する点を中心に説明し、第1実施形態と共通する点については図面に第1実施形態と同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

[0094] 図13は、第3実施形態に係るガス流量検定ユニット11Bが実行する流量検定方法を示すフローチャートである。図14は、本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定時間間隔でサンプリングしたデータを示す図である。図15は、本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定圧力間隔でサンプリングしたデータを示す図である。図16は、図14又は図15に示すデータの傾きと測定可能範囲 $X1$ との関係を示す図である。図17は、図14又は図15に示すデータの相関係数と測定可能範囲 $X2$ との関係を示す図である。

[0095] 図13に示すように、第3実施形態に係るガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ

14が検出した圧力値の傾きや圧力値の傾きに対する相関係数を監視し、傾きや相関係数が測定可能範囲X1, X2(図16、図17参照。)内であれば、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出する前であっても、流量Qを測定して検定を行う点が、第1実施形態と相違する。

[0096] すなわち、S104においてタンク体積Vを測定した後、S301において、ガスユニット2B, 2C, 2Dの出力用遮断弁55B, 55C, 55Dと、ガス供給弁57を弁閉状態にする一方、ガスユニット2Aの手動弁52A、出力側遮断弁55A、ガス流量検定ユニット11の第1遮断弁12、第2遮断弁13を弁開状態にする。この状態でマスフローコントローラに10に検定用ガス(例えばN₂ガス)を供給し、流量が安定したら、第2遮断弁13を弁閉する。このときに、圧力センサ14が検出した圧力P₀を記憶する。そして、S302において、クロックパルスなどで、所定時間Δtが経過したか否かを判断する。所定時間Δtが経過するまでは待機する(S302:NO)。

[0097] 一方、所定時間Δtが経過したら(S302:YES)、S303において、図14に示すように圧力センサ14から圧力値P₁を入力して記憶する。そして、S304において、圧力変動の傾きを算出する。具体的には、最新に取得した圧力値P₁から直前に取得した圧力値P₀を減算することにより上昇圧力値P₁ - P₀を算出し、直前に圧力値P₀を取得してから最新の圧力値P₁を取得するまでの時間(所定時間)Δtによって上昇圧力値P₁ - P₀を割り、単位時間当たりの圧力上昇率(傾き)P₁ / Δtを算出する。

[0098] そして、S305において、算出した傾きP₁ / Δtが、予めガス流量検定ユニット11Bに登録されている測定可能範囲X1内であるか否かを判断する。圧力センサ14が検出する圧力値Pは、図14のY1に示すように、ある時間が経過するまで急激に上昇し、その後、ほぼ一定の傾きで上昇し続けて既定の測定開始圧力P1に到達する。ガス流量検定ユニット11Bは、図16に示すように時間と傾きとの関係をマップデータとしてHDD45に記憶し、流量検定精度に悪影響を及ぼさないように既定の測定開始圧力P1に到達するまでの傾きの範囲に幅を持たせて、測定可能範囲X1としてマップデータ上に記憶している。

[0099] 図14に示す圧力P₀ - P₁間の傾きP₁ / Δtは、傾きが急であり、予めガス流量検定ユニット11Bに登録されている測定可能範囲X1内でない判断される(S305:NO)

。この場合、圧力値 P の傾きが変動して流量 Q を精度良く測定できない可能性がある
ので、S302へ戻り、所定時間経過後に次の圧力値 P_2 を取得し、上記と同様の処理
を行う。

[0100] このようにして、最新の圧力値 P_n と直前の圧力値 P_{n-1} との間の圧力上昇率(傾き) $P_n / \Delta t$ を算出し、算出した傾き $P_n / \Delta t$ が、予めガス流量検定ユニット11Bに登録されて
いる測定可能範囲X1内であると判断した場合には(S305:YES)、それ以降の圧
力変動がほぼ安定し、流量検定精度に悪影響を与えないので、S306へ進む。

[0101] S306においては、傾き $P_n / \Delta t$ が測定可能範囲X1内であると判断されたときの圧
力値 P_n を、測定開始圧力P21として記憶する。従って、傾き $P_n / \Delta t$ が測定可能範囲
X1内であると判断されたときが、流量検定開始タイミングとなる。

[0102] そして、S307において、測定開始圧力P21を測定してから測定時間 Δt_x が経過し
たか否かを判断する。測定時間 Δt_x が経過するまでは(S307:NO)、圧力センサ14
の圧力値 P を監視しながら待機する。

[0103] 一方、測定時間 t_x が経過した場合には(S307:YES)、S308において、測定時間
 t_x が経過したときの圧力値 P を圧力センサ14から入力し、測定終了圧力P22として
記憶する。

[0104] そして、S309において、流量 Q を算出する。具体的には、測定終了圧力P22と測
定開始圧力P21との間の圧力差 $P22 - P21$ を算出し、算出した圧力差 $P22 - P21$
を測定時間 t_x で割ることにより、圧力上昇率 $\Delta P / \Delta t$ を算出する。そして、算出した
圧力上昇率 $\Delta P / \Delta t$ と、S104で算出したタンク体積 V と、温度センサ15が検出した
温度 T と、使用するガスの気体定数 R とを数式1に代入し、流量 Q を算出する。

[0105] その後、S108へ進む。S108以降の処理は上述したので、説明を省略する。

[0106] また、別例として、圧力値を所定圧力間隔で取得して圧力値変動の傾きに対する
相関係数を監視することにより、流量検定開始タイミングを計っても良い。

[0107] すなわち、図13のS302～S304に示すように、圧力センサ14が検出する圧力が
所定圧力 ΔP 増加する毎に、圧力値 P_n を記憶する。所定圧力間隔で圧力値 P_n を取
得する場合、図15のY2に示すように、ある時間までは圧力取得時間の間隔 Δt_n が
短い、ある時間が経過すると、圧力取得時間の間隔 Δt_n がほぼ一定になる。圧力

取得時間の間隔 Δt_n がほぼ一定の範囲では、圧力値の傾きの相関係数が1に近づく。そこで、最新の圧力値 P_n の傾き $\Delta P / \Delta t_n$ に対する相関係数を算出する。ガス流量検定ユニット11Bは、図17に示すように、流量検定Qの検定精度に悪影響を与えない範囲で相関係数がほぼ1に近づくように幅を持たせて、測定可能範囲X2として設定している。

[0108] 従って、算出した相関係数が測定可能範囲X2外である場合には(S305:NO)、圧力変動が安定せず、流量Qの検定に悪影響を与える恐れがあるので、S302へ戻り、圧力が所定圧増加したときに圧力値 P_n を記憶して、上記と同様の処理を実行する。

[0109] 一方、相関係数が測定可能範囲X2内である場合には(S305:YES)、圧力変動がほぼ安定し、流量Qの検定に悪影響を与える恐れがないので、S306へ進む。S306以降の処理は、上述したので説明を省略する。

[0110] 尚、図14に示すように時間間隔 Δt で圧力を監視する場合について圧力値変動の傾きに対する相関係数が測定可能範囲X2に属するか否かに基づいて流量検定開始タイミングを計るようにしてもよい(図17参照)、図15に示すように圧力間隔 ΔP で圧力を監視する場合について傾きが測定可能範囲X1に属するか否かに基づいて流量検定開始タイミングを計るようにしてもよいことは(図16参照)、言うまでもない。

[0111] <第3実施形態の作用効果>

以上説明したように、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力 P_1 を測定する前であっても、圧力上昇率(傾き) $P_n / \Delta t$ 、 $\Delta P / t_n$ 又は圧力値 P の傾き $P_n / \Delta t$ 、 $\Delta P / t_n$ の相関係数が測定可能範囲X1, X2内に属すれば、流量を測定して検定を行う(図13のS302～S309参照)。これに対して、第1実施形態のガス流量検定ユニット11は、圧力センサ14が既定の測定開始圧力 P_1 を検出するのを待って、流量Qを測定して検定を行う(図7のS105～S107参照)。

[0112] 流量検定は、検定精度を向上させるために、ページと流量測定とを既定検定回数eだけ繰り返し行う。そのため、第1実施形態のガス流量検定ユニットは、1個のガスユニット2について流量検定が完了するまでの時間が、数分かかっていた。これに対し

て、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力がほぼ安定してから既定の測定開始圧力P1に到達するまでの無駄な時間を待たずに流量の検定を行うので、1個のガスユニット2について流量検定が完了するまでの時間を1分以内にすることができた。

[0113] よって、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出する前でも、圧力値の傾きや相関係数が測定可能範囲X1, X2内であることを条件に、流量検定を行うことにより、第1実施形態のガス流量検定ユニット11より検定時間を短縮することができる。通常、ガス供給集積ユニットには、多数のガスユニット2が設置される。そのため、1個のガスユニット2について検定時間を短縮できれば、ガス供給集積ユニット全体では検定時間を大幅に短縮することができ、効果が顕著である。

[0114] ところで、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bのように、圧力センサ14の圧力が既定の測定開始圧力P1に達する前に流量検定を行うと精度が落ちるようにも思われる。そこで、マスフローコントローラ10の下流側に高精度流量計を設置し、マスフローコントローラ10が出力する流量を高精度流量計で測定し、第1, 第3実施形態のガス流量検定ユニット11, 11Bが測定した流量を高精度流量計の測定値と比較して精度の検証を行った。その検証結果を図18に示す。

[0115] 図18は、第1, 第3実施形態に係るガス流量検定ユニット11, 11Bの流量検定精度について調べた実験の実験結果を示す図である。

ガス流量検定ユニット11, 11Bは、機器構成が同じであるが、流量検定処理のみが相違する。そのため、ガス流量検定ユニット11, 11Bは、タンク体積Vが同じである。また、ガス流量検定ユニット11Bは圧力センサ14の圧力値Pを所定時間間隔で監視し、圧力値の傾きにより流量検定タイミングを計るものとする。

[0116] 図18に示すように、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出する前に流量検定を行っても、第1実施形態のガス流量検定ユニット11より約0.05%程度ではあるが精度よく流量検定を行う。数値としては、0.05%の僅かな上昇ではあるが、マスフローコントローラ10の精度目標が1%であることを考慮すれば、0.05%の精度向上は製品の信頼性向上に大きく寄与

する。よって、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bによれば、第1実施形態のガス流量検定ユニット11と比べて流量検定時間を短縮できる上に、流量検定精度をより一層向上させることができる。

[0117] 尚、本発明は、上記実施の形態に限定されることなく、色々な応用が可能である。

[0118] (1) 例えば、上記実施の形態では、ガス流量検定ユニット11の第1遮断弁12と第2遮断弁13と圧力センサ14は、1つの流路ブロック18に固定されているが、配管で接続されてもよいし、また、複数の流路ブロックを介して接続されてもよい。すなわち、既知体積 V_k がシステム側流路体積 V_e 以下であれば、ガス流量検定ユニット11の流路を適宜組み上げることができる。

(2) 上記実施形態では、マスフローコントローラ10を流量制御機器として使用したが、圧変動補正定流量弁や流量調整弁などの流量設定機能を有するものを流量制御機器として使用してもよい。

[0119] (3) 例えば、上記実施の形態では、温度センサ15として熱電対を使用したか、サーミスタ真空計やピラニ真空計などを温度検出器に適用してもよい。また、温度検出器は、流路ブロック18の側面に取り付けてもよいし、上方から流路ブロック18に突き刺すように取り付けてもよく、更には、流路ブロック18の内部流路内に取り付けてもよい。

(4) 例えば、上記実施形態では、圧力検出器として静電容量型の圧力センサを使用したか、圧電抵抗型の圧力センサや、液注型真空計やマクラウド真空計などを圧力検出器として使用してもよい。

(5) 例えば、上記実施形態では、第1遮断弁12と第2遮断弁13に電磁駆動系の電磁弁としたか、エアオペレート弁など他の駆動系を用いる弁であってもよい。また、ダイヤフラム弁でなく、ポペット弁などであってもよい。

[0120] (6) 例えば、上記実施の形態では、ガス流量検定ユニット11をガスボックスに収納したが、レールや取付板に取り付けられたままガスボックスに収納されていないガスユニットにガス流量検定ユニット11を接続してもよい。

(7) 例えば、上記実施の形態では、タンク体積 V とシステム側流路体積 V_e を事後的に体積記憶手段46に記憶させたか、例えば、ガス流量検定ユニット11をガスボックス1に組み込み、タンク体積 V とシステム側流路体積 V_e が分かっている場合には、既知

のタンク体積 V とシステム側流路体積 V_e を初期値として体積記憶手段46に記憶させてもよい。この場合、ユーザ側でガスボックス内の流路構成に変更を加えた場合には、上記実施形態で説明した体積測定を実施することにより、流路構成の変更に伴う流量検定不良を防止することができる。

- [0121] (8) 上記第3実施形態では、測定時間 t_x に基づいて測定開始圧力 P_{21} と測定終了圧力 P_{22} とを算出して流量算出を行った。これに対して、例えば、測定開始圧力 P_{21} に予め決めた上昇圧力を加算して目標圧力 P_{23} とし、測定開始圧力 P_{21} から目標圧力 P_{23} まで上昇する時間 Δt を計測して、測定開始圧力 P_{21} から目標圧力 P_{23} まで上昇する単位時間当たりの圧力上昇率(傾き) $\Delta P / \Delta t$ を求めてもよい。この場合には、求めた単位時間当たりの圧力上昇率 $\Delta P / \Delta t$ を数式1に用いれば、流量 Q を算出することができる。

請求の範囲

- [1] 流量制御機器の下流側に配設されるガス流量検定ユニットにおいて、
前記流量制御機器に接続され、ガスを入力する第1遮断弁と、
前記ガスを出力する第2遮断弁と、
前記第1遮断弁と前記第2遮断弁とを連通させる連通部材と、
前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの圧力を検出する
圧力検出器と、
前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの温度を検出する
温度検出器と、
前記圧力検出器が検出する圧力検出結果と、前記温度検出器が検出する温度検
出結果を用いて前記流量制御機器を流れるガスの流量を検定する制御手段と、を有
し、
前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積が、前記流量制御機器の出口から
前記第1遮断弁までの体積以下であることを特徴とするガス流量検定ユニット。
- [2] 請求項1に記載するガス流量検定ユニットにおいて、
前記連通部材が、
前記第1遮断弁の出力ポートに連通する第1ポートと、前記第2遮断弁の入力ポー
トに連通する第2ポートと、前記圧力検出器に連通する第3ポートとが同一側面に開
口し、前記第1ポートと前記第2ポートと前記第3ポートとを連通させる内部流路が形
成された流路ブロックであること、を特徴とするガス流量検定ユニット。
- [3] 請求項2に記載するガス流量検定ユニットにおいて、
前記温度検出器が棒状の温度センサであって、
前記流路ブロックは、前記温度センサを取り付ける取付部が設けられていることを
特徴とするガス流量検定ユニット。
- [4] 請求項1乃至請求項3の何れか1つに記載するガス流量検定ユニットにおいて、
前記流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内設される
ことを特徴とするガス流量検定ユニット。
- [5] 請求項1乃至請求項4の何れか1つに記載するガス流量検定ユニットにおいて、

前記制御手段は、

前記流量制御機器と前記第2遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、前記圧力検出器が既定の初期圧力を検出した後、前記目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を前記温度検出器により検出し、前記圧力上昇値と前記ガス温度を用いて前記流量制御機器から前記第2遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第1遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とするガス流量検定ユニット。

- [6] 請求項1乃至請求項4の何れか1つに記載するガス流量検定ユニットにおいて、前記第2遮断弁が真空ポンプに接続され、前記制御手段は、

前記第1遮断弁と第2遮断弁との間を前記真空ポンプにより真空引きされた後、前記流量制御機器と前記第1遮断弁との間に封入されたガスが前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に放出されたときに、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて前記流体制御機器から前記第2遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第1遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とするガス流量検定ユニット。

- [7] 請求項1乃至請求項4の何れか一つに記載するガス流量検定ユニットにおいて、前記制御手段は、

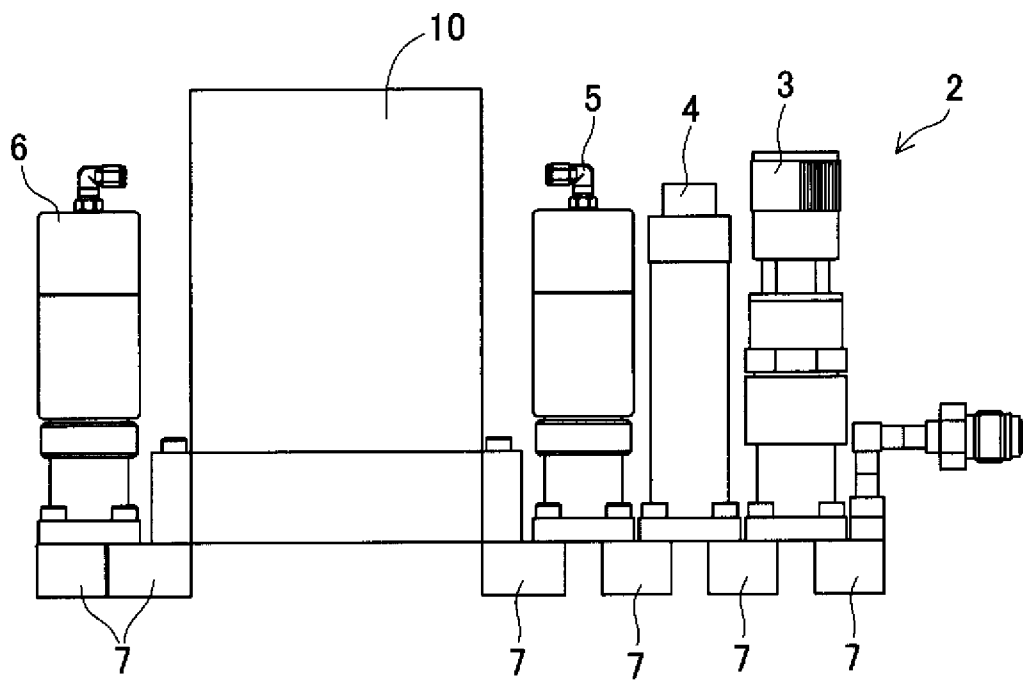
前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値と直前にサンプリングした圧力値との傾きを算出し、算出した傾きが測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することを特徴とするガス流量検定ユニット。

- [8] 請求項1乃至請求項4の何れか一つに記載するガス流量検定ユニットにおいて、前記制御手段は、

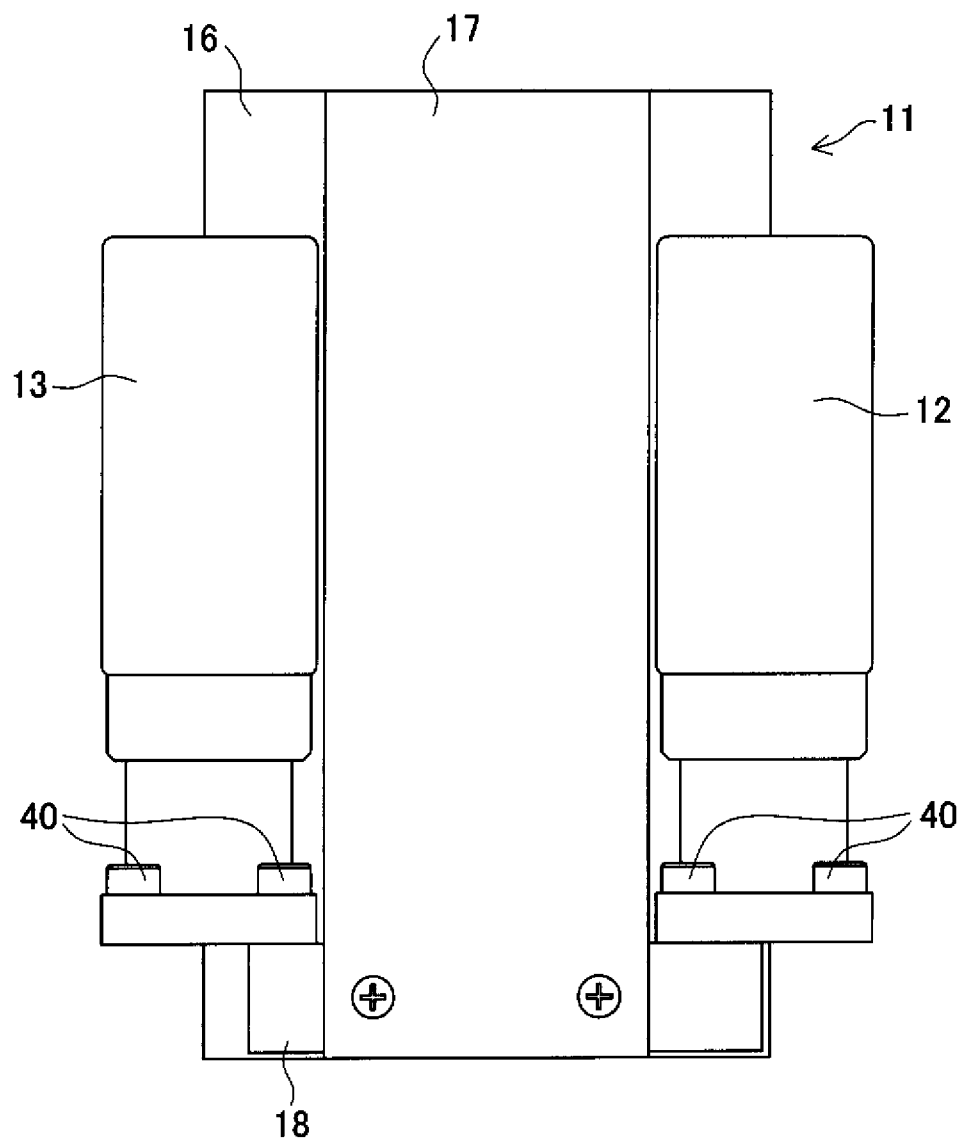
前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプ

リングした圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した相関係数が測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することを特徴とするガス流量検定ユニット。

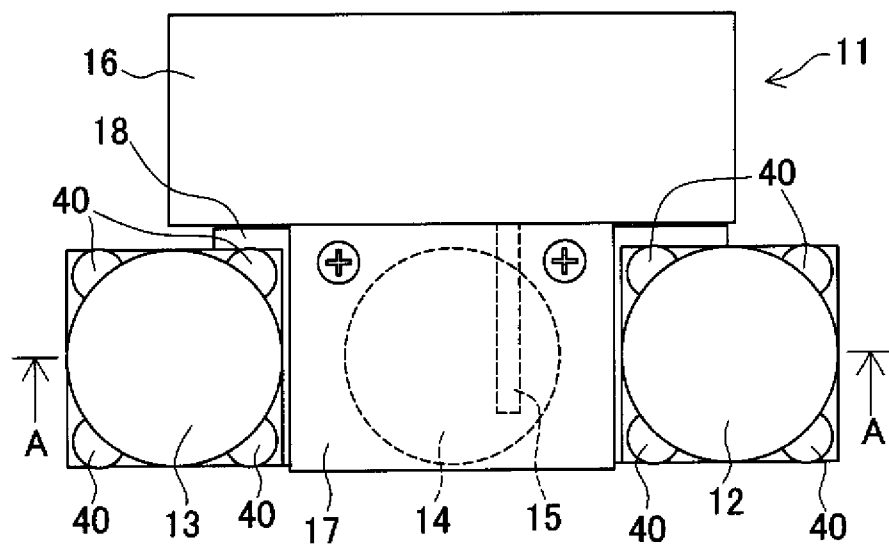
[図2]



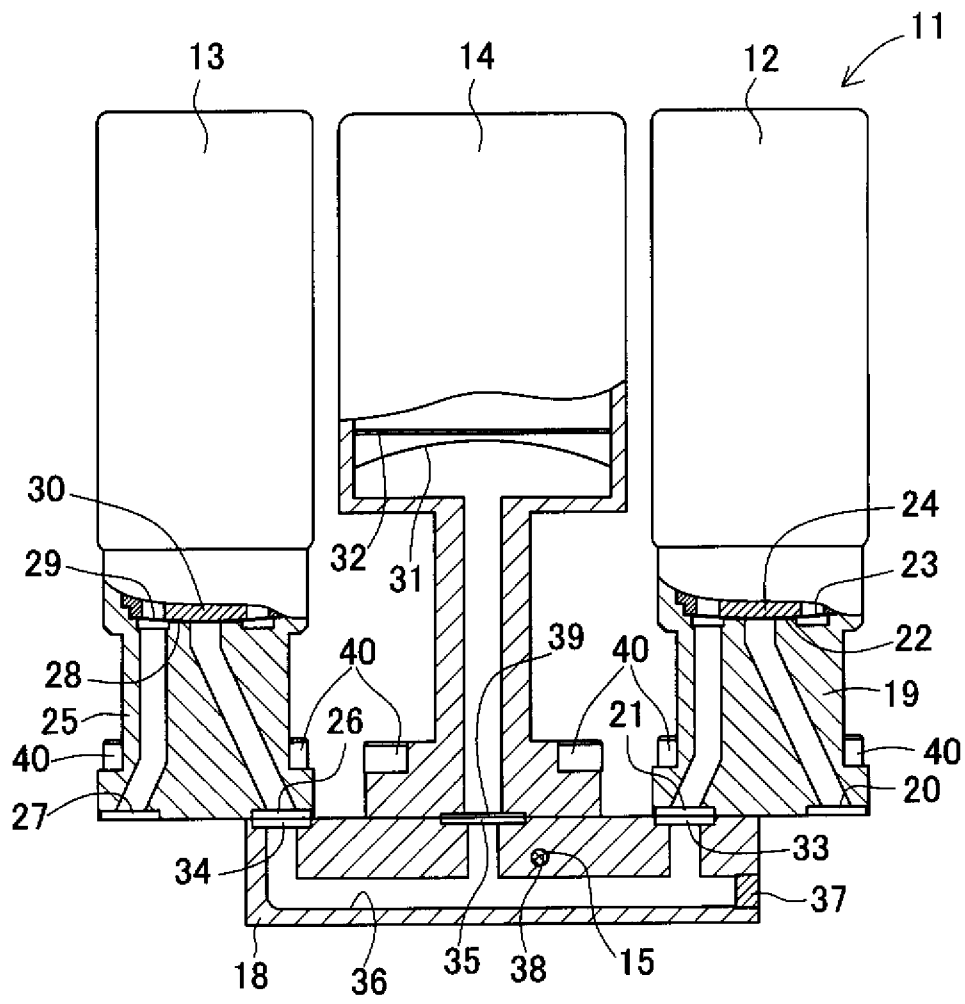
[図3]



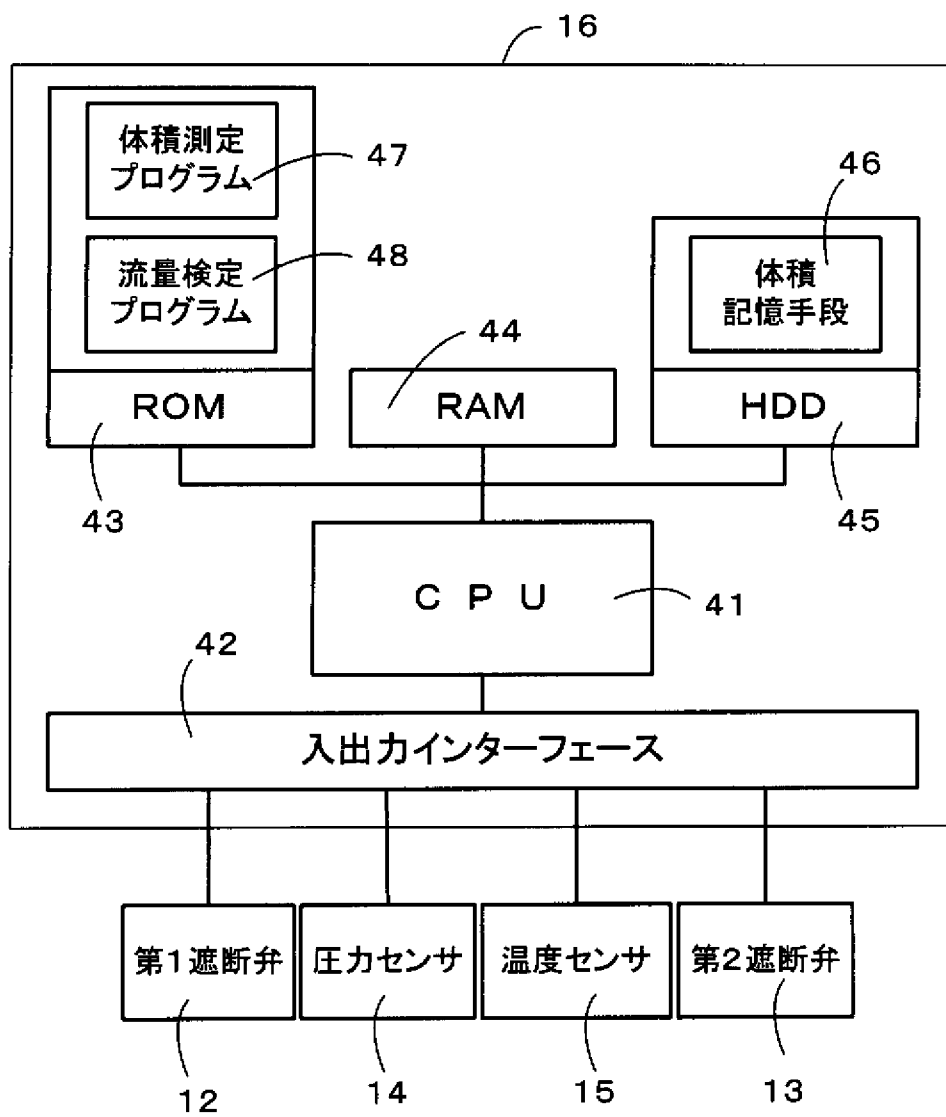
[図4]



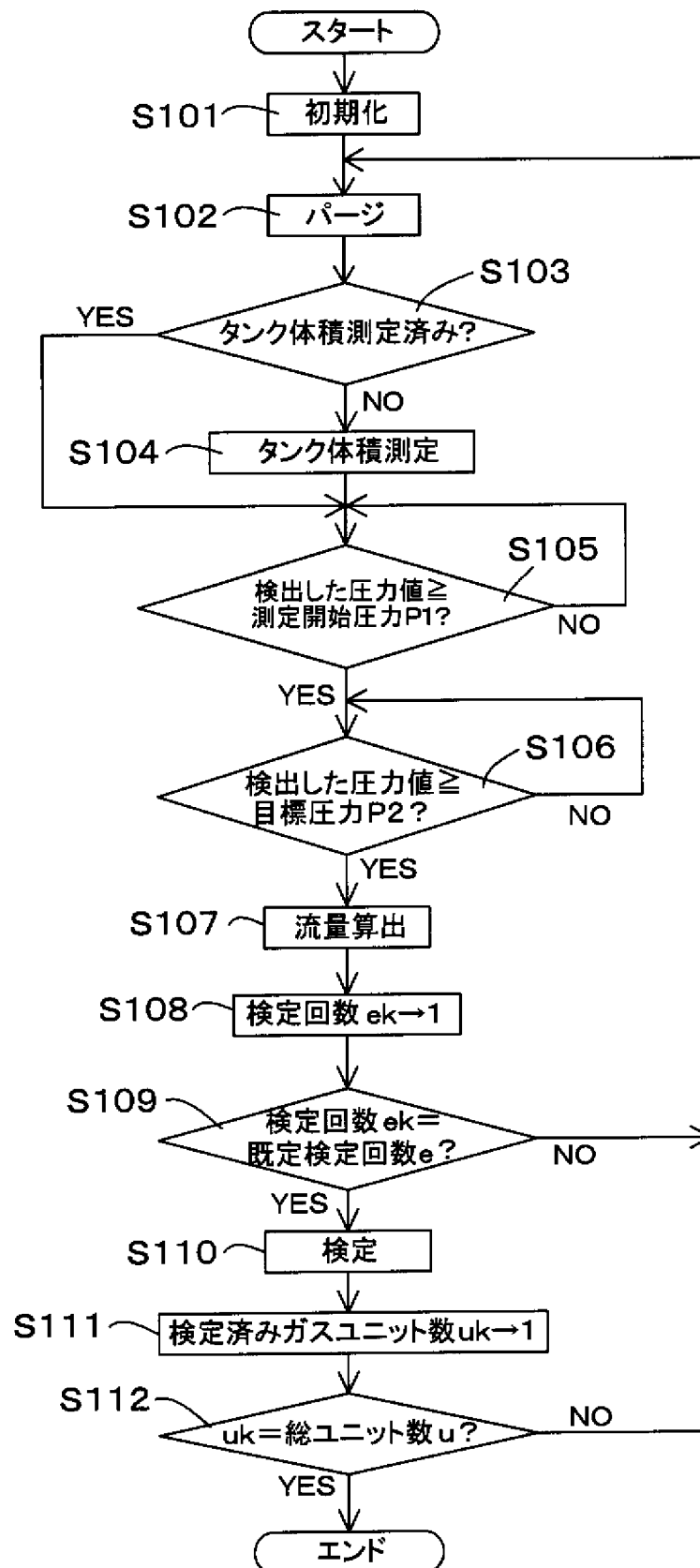
[図5]



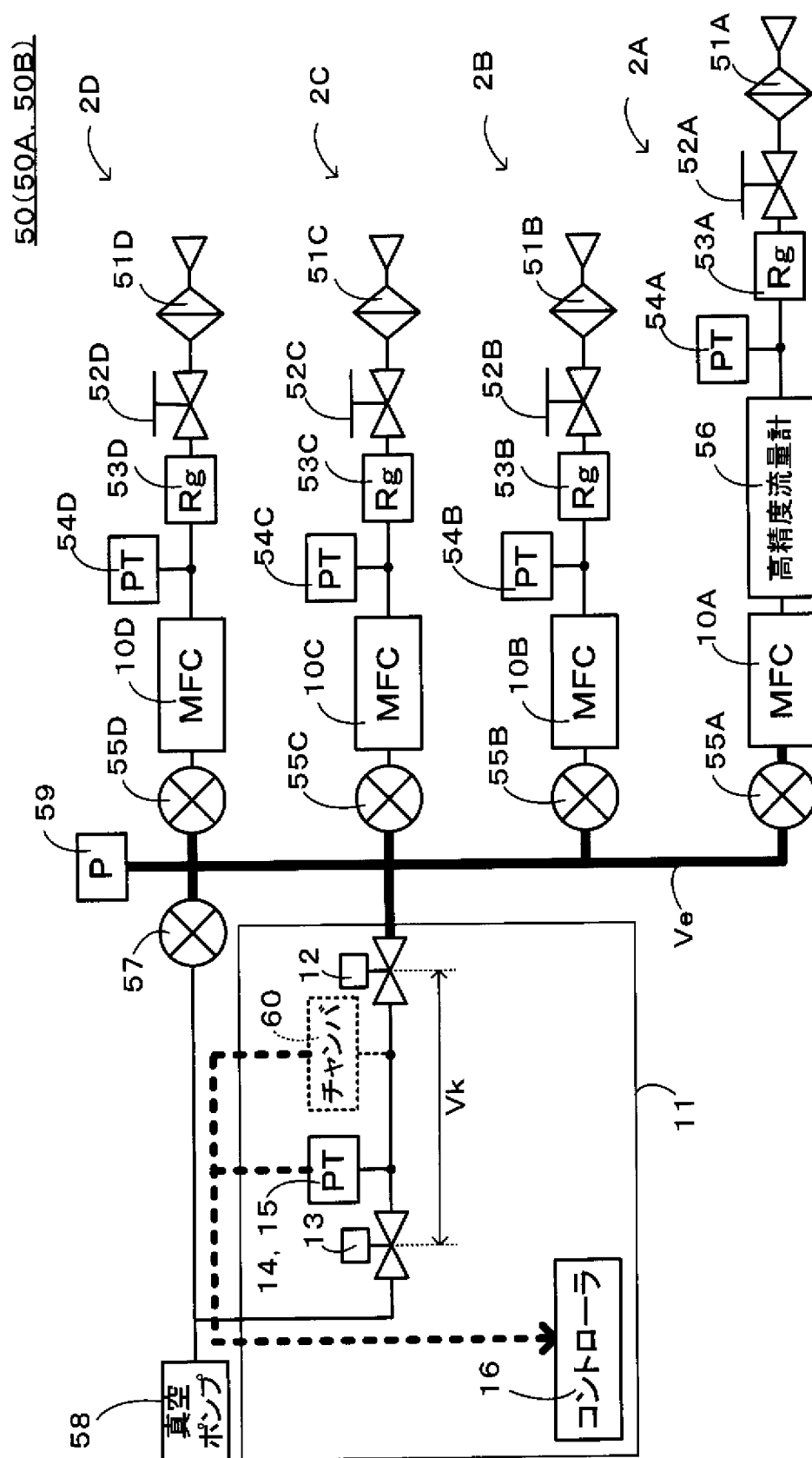
[図6]



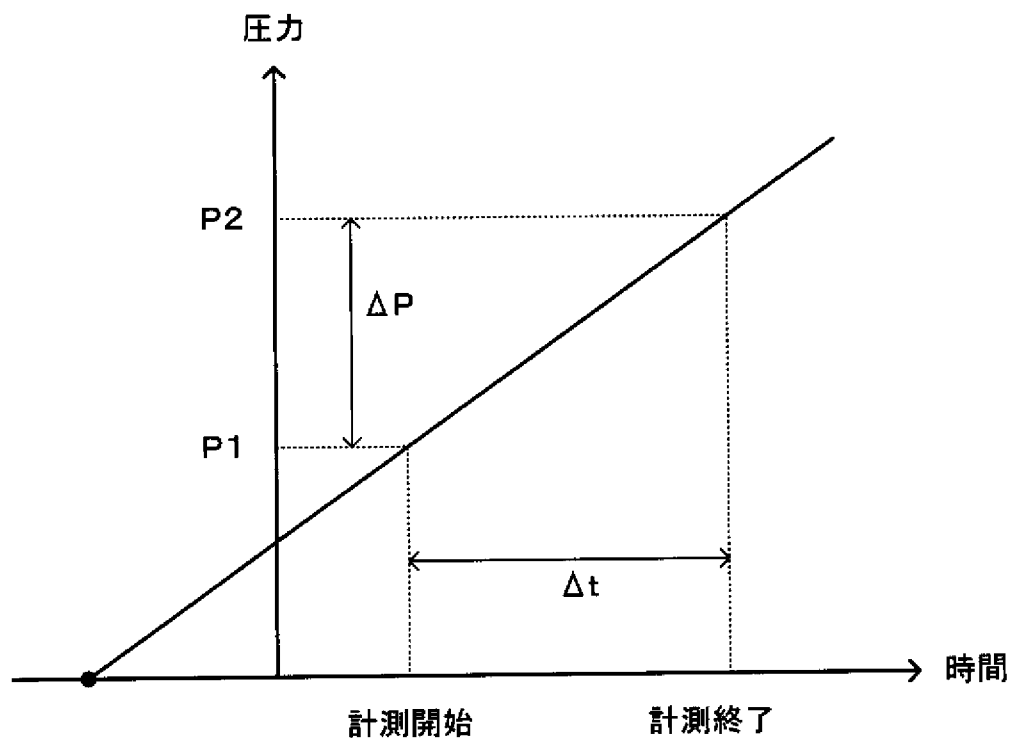
[図7]



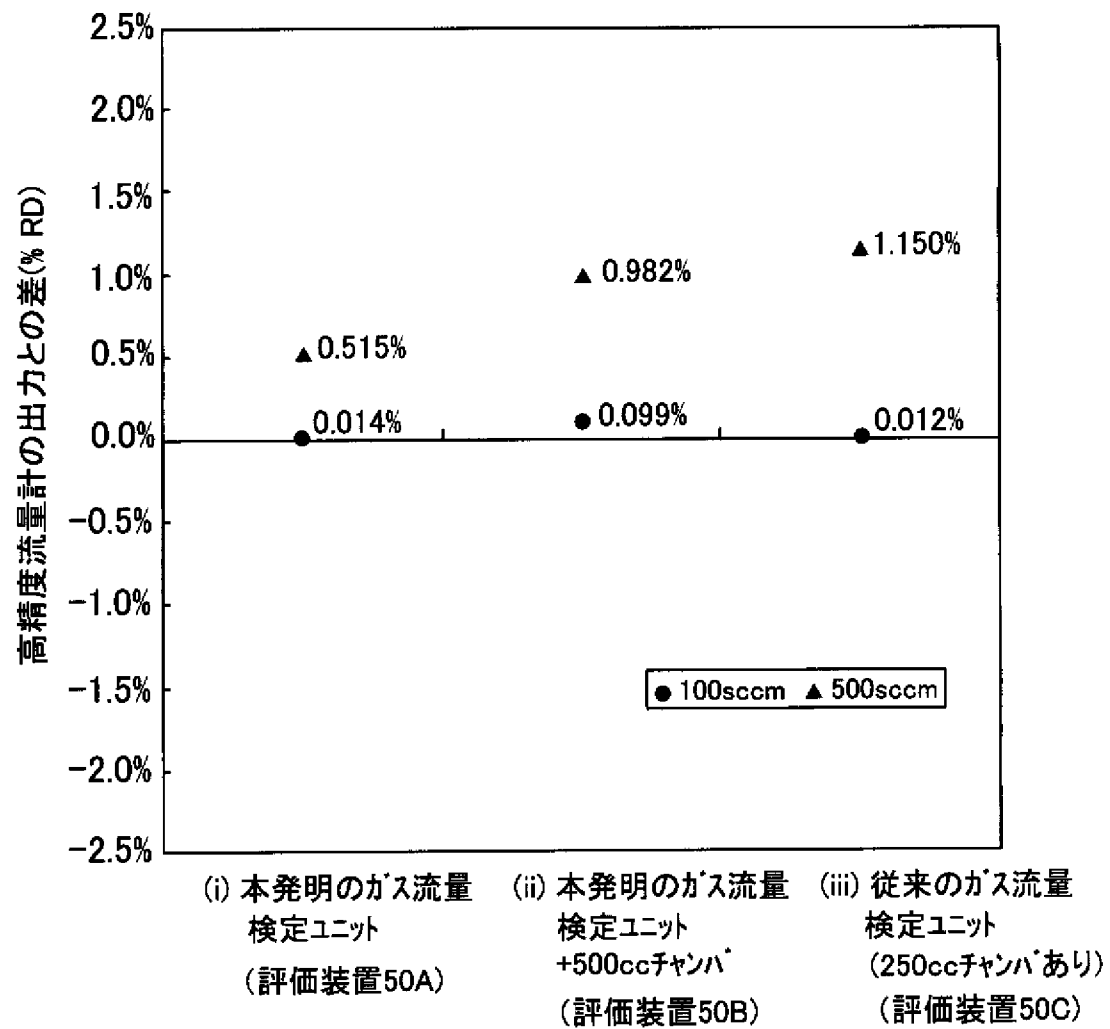
[図8]



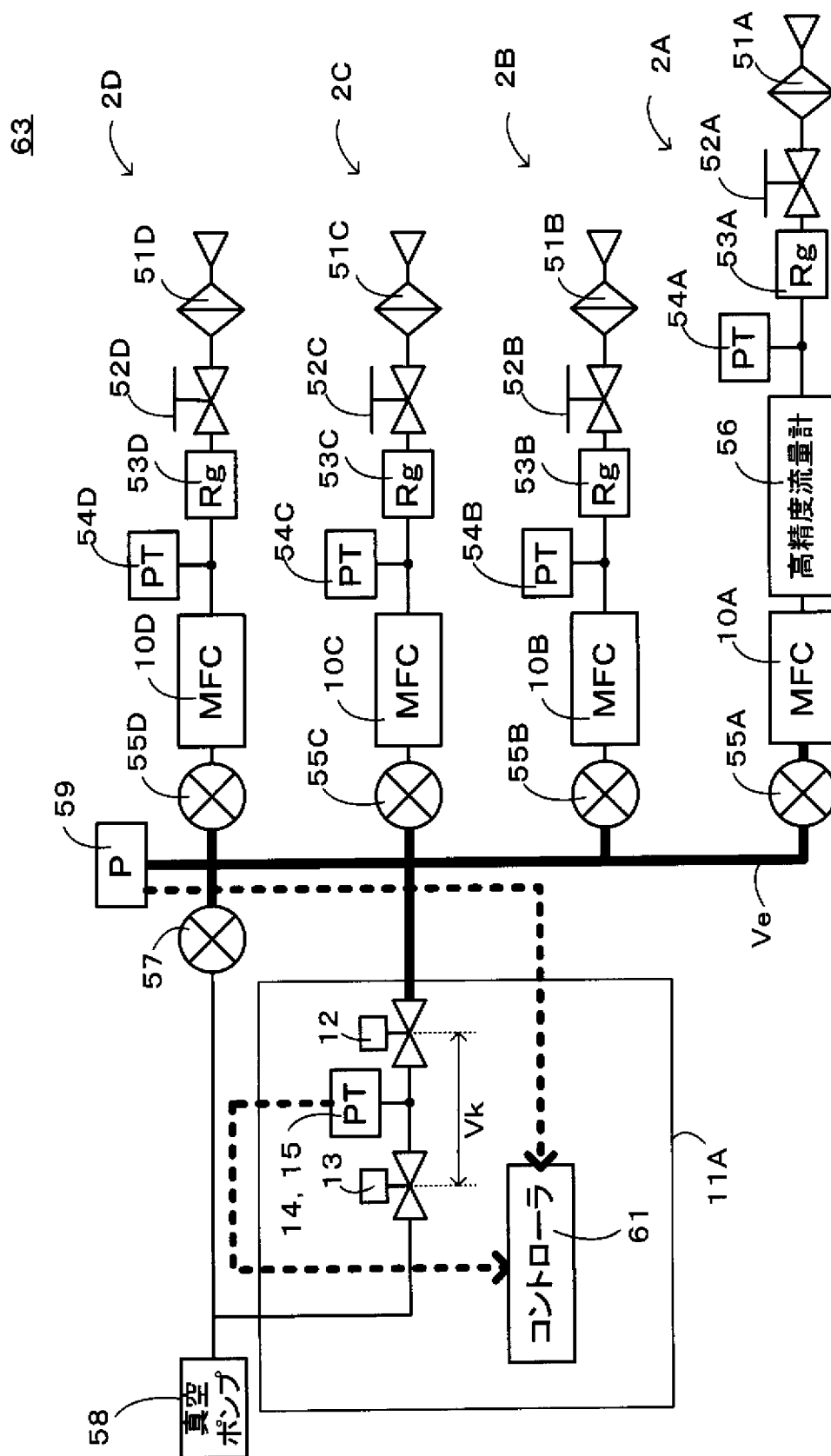
[図9]



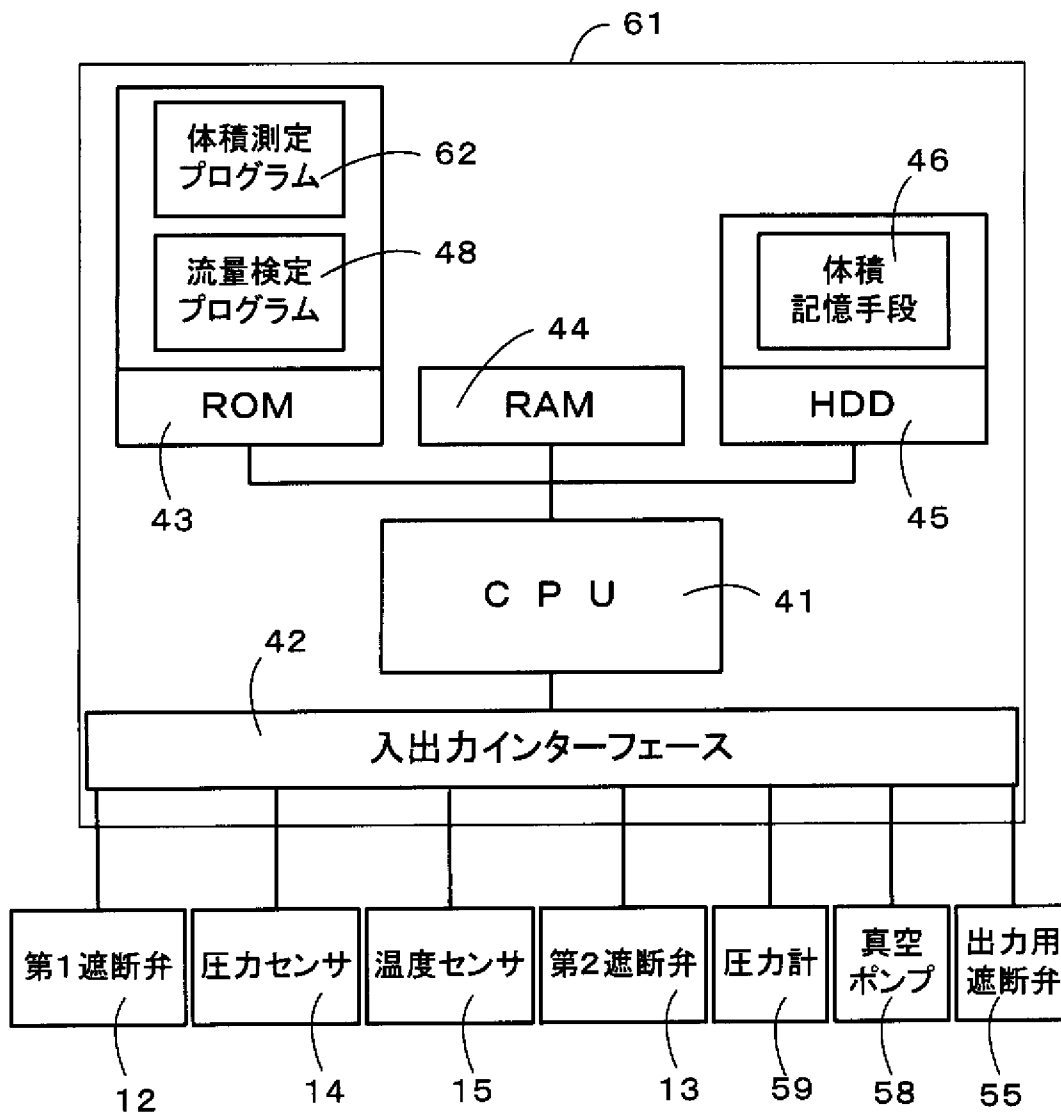
[図10]



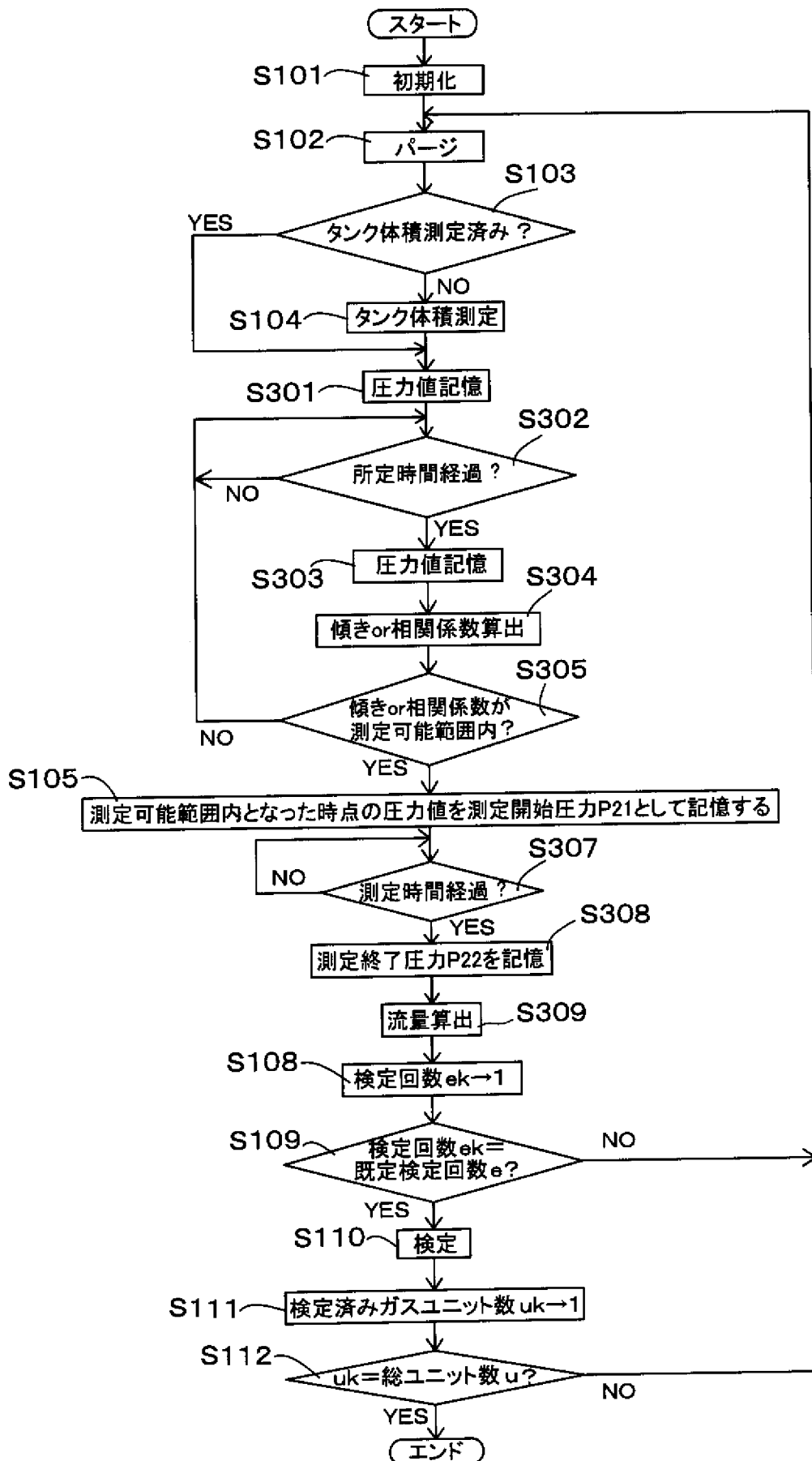
[図11]



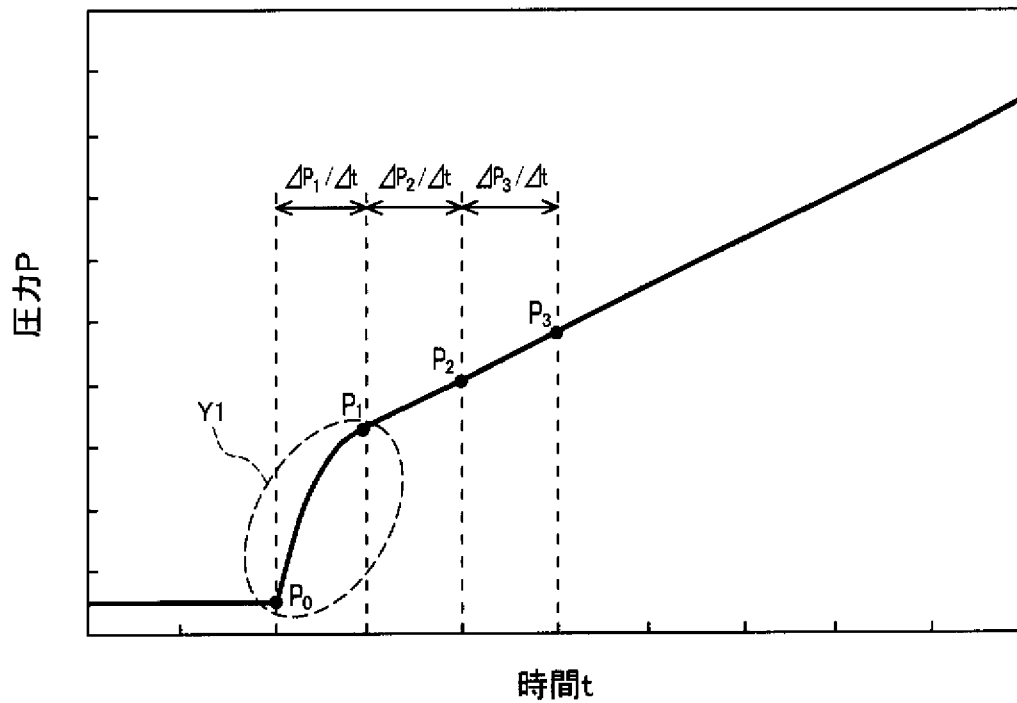
[図12]



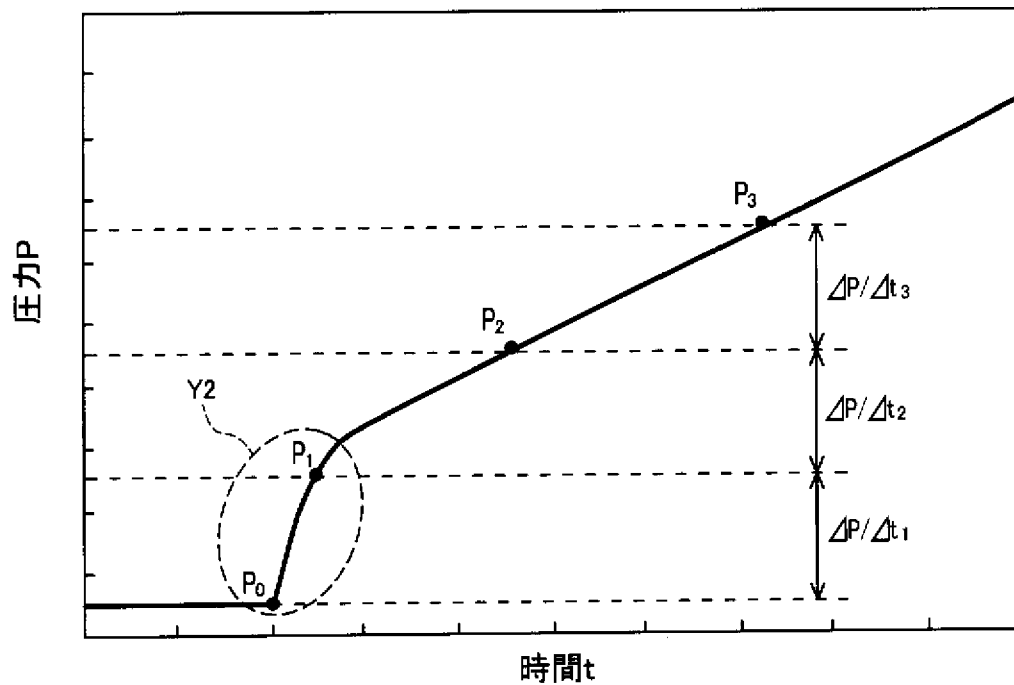
[図13]



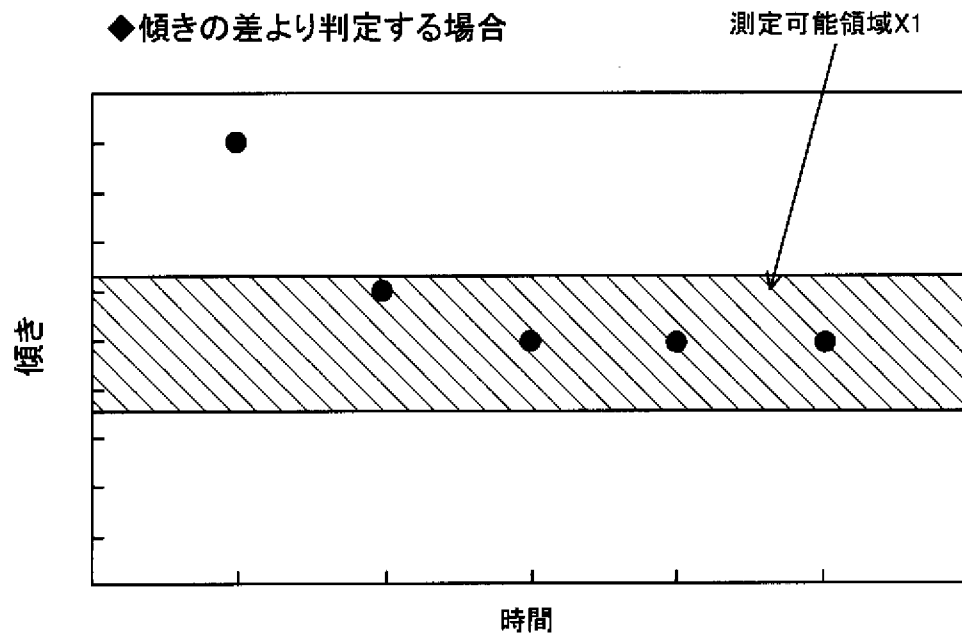
[図14]

◆時間間隔(Δt)で監視する場合

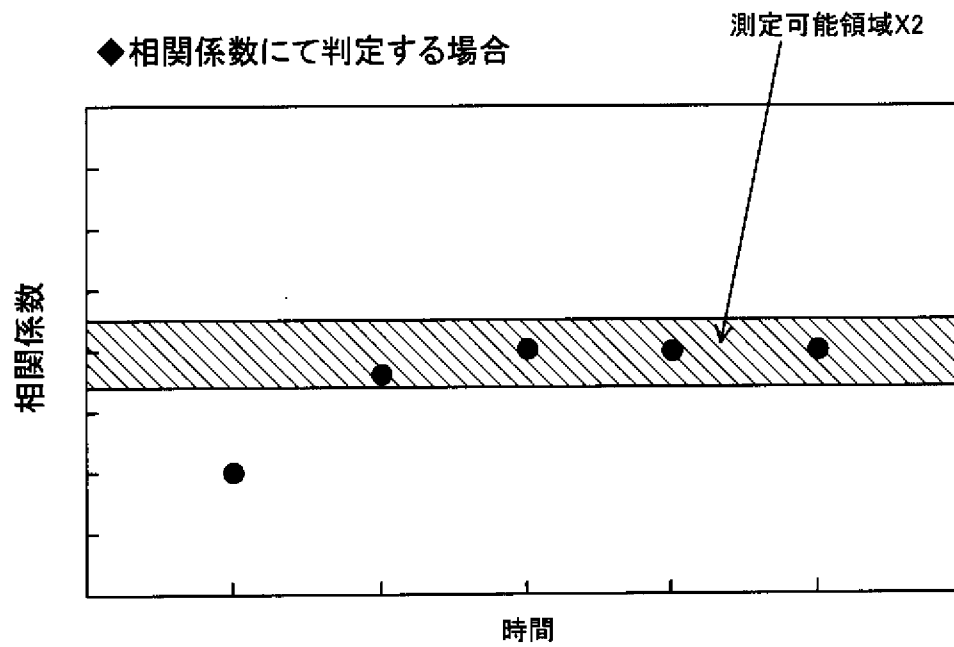
[図15]

◆圧力間隔(ΔP)で監視する場合

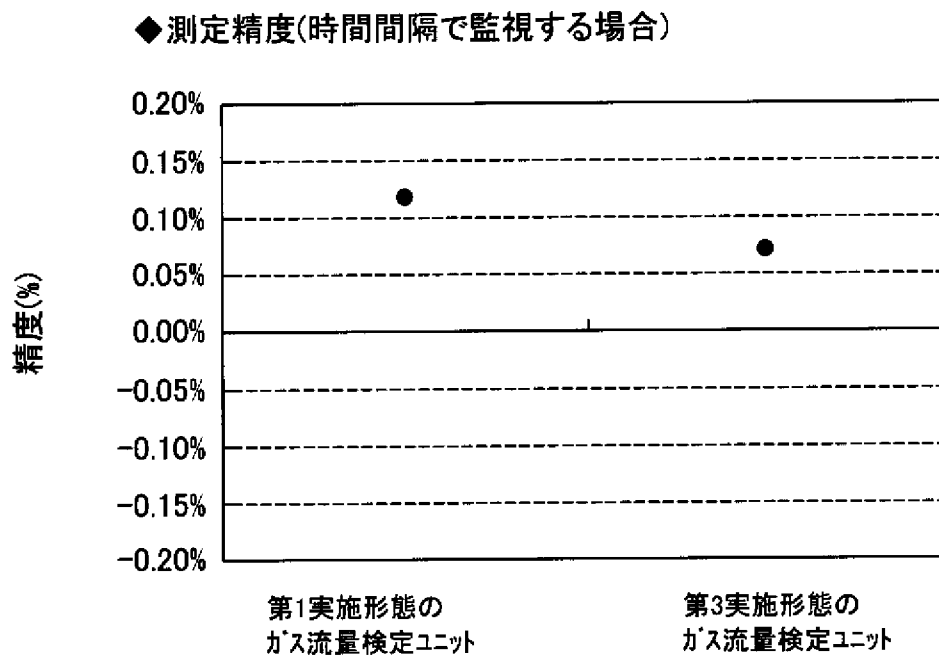
[図16]



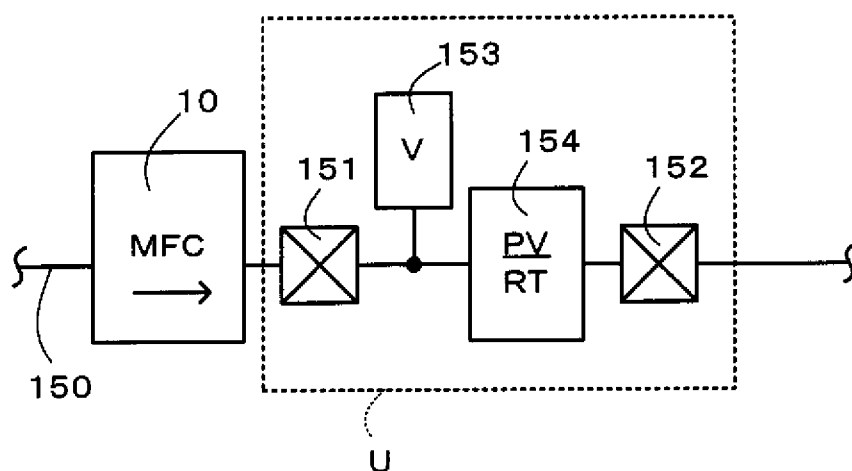
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/053271

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01F25/00(2006.01)i, G01F1/00(2006.01)i, G01F1/34(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01F25/00, G01F1/00, G01F1/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 3022931 B2 (MKS Instruments, Inc.), 21 March, 2000 (21.03.00), Full text; all drawings & WO 97/19329 A1	1-8
A	WO 2005/124492 A1 (Hitachi Metals, Ltd.), 29 December, 2005 (29.12.05), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 11-223538 A (CKD Corp.), 17 August, 1999 (17.08.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 April, 2007 (04.04.07)

Date of mailing of the international search report
17 April, 2007 (17.04.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/053271

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-306084 A (CKD Corp.), 21 November, 1995 (21.11.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01F25/00(2006.01)i, G01F1/00(2006.01)i, G01F1/34(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01F25/00, G01F1/00, G01F1/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 3022931 B2（エムケイエス・インストゥルメンツ・インコーポレーテッド）2000.03.21, 全文全図 &W097/19329 A1	1-8
A	WO 2005/124492 A1（日立金属株式会社）2005.12.29, 全文全図（ファミリー無）	1-8
A	JP 11-223538 A（シーケーディ株式会社）1999.08.17, 全文全図（ファミリー無）	1-8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 4 . 0 4 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 4 . 2 0 0 7

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

森口 正治

2 F

9 4 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 7-306084 A (シーケーディ株式会社) 1995. 11. 21, 全文全図 (ファミリー無)	1-8