

## 思想行維の技術相談 [036].....

# 「気体流量校正システム」

《技術相談.com——は、(株)技術開発総合研究所®の登録ドメインです》

### 《相談内容》

弊社では、小型ポンプの開発販売をしており、ポンプの量産検査で、マスフローメーターを使用しています。

マスフローメーターの校正作業で膜流量計を使用しているのですが、安価で精度良く測定できる、又は基準流量発生装置のようなものがないか、個人的に調査しています。

貴社のソニックノズル製品の価格を、お知らせください。

よろしくお願い致します。

【匿名希望 様】

### 《対象とする貴社ポンプの特性管理について》

「貴社のソニックノズル製品の価格をお知らせください。」との事ですが、それに先立って、現在、貴社で、「ポンプの出荷管理」をどのようにされているかも重要です。

その理由は、ご質問の中に有ります——《安価で精度良く測定できる、又は基準流量発生装置のようなものがないか》において、《安価で精度良く測定できる》の意味に、『(Ⅰ) 量産検査を、安価で、簡便に精度良く測定できる』と『(Ⅱ) マスフローメーター検定を、安価で、簡便に精度良く測定できる』の2つが有り、この結果、現在の出荷管理をどうされておられるのかも、問題です。

すなわち、今回の“基準流量発生装置”のご質問に対する回答とは離れるのですが、“安価で精度良く測定できる”の表現が気に成りました。ポンプ出荷管理には、(1) 吸入前流量計測と、(2) 吐出流量計測の、2つの方法が有ります。

通常、貴社のような“気体(空気)ポンプ”の場合、吸入前圧力の影響を大きく受け易いため、これを排除するために、容量の大きなフィルターを設ける等の種々の対応を行なうか、あるいは圧力補正を行なって適用します。この吸気方式の優れている点は、試験環境が管理されている場合、『校正用流量センサーの温度・圧力補正が不要な点と、流量センサーの経時変化(劣化)が少ない事』です。このため、この方法の場合は、ポンプ流量管理には、質量流量センサー(マスフローメーターや、温度・圧力補正流量センサー)以外に、“低圧損の各種流量センサー”を適用可能な事です。

一方、「(2)」の方式で、最も優れている点は、ポンプの吸入前に、本来の装備品以外の機器を排除出来るため、“ポンプ本来の性能”を計測管理出来る点です。また、ポンプの特性として、背圧影響は小さいため、“流量センサーの圧損に囚われず、計測精度に優れた流量センサー”を選定する事が可能です。問題は、ポンプの圧力負荷試験を行なう場合、計測流体の圧力・温度が変化する事です。殊に、①「ポンプ」と「流量調整弁(吐出圧力調整弁)」の間で流量計測する場合、流体の温度・圧力変化が大きいため、質量流量計測が必須条件と成ります。これを避けるため、②「流量調整弁(吐出圧力調整弁)」の後で流量計測する方法が有ります。この方法の場合は、圧力・温度変化は小さく成りますので、基本計測としては、質量流量センサーは勿論の事、各種容積流量センサーの適用が可能と成ります。但し、注意が必要な点は、吐出圧力の減圧により、湿度影響を生じる恐れが有る事と、長期計測の場合、ポンプ等からのデポジット影響による“流量センサーの経時変化(劣化)”が避けられない事です。

上記の何れの方法を採用するかは、“何を重視するか”により異なりますが、貴社の「エアポンプ」の場合は、自動車エンジンの場合や流量センサー試験の場合のように、「±0.01(%)」や「±0.1(%)」の流量管理ではなく、恐らく、「±1(%)FS」程度の管理で充分と推察されます。そして、貴社の「エアポンプ」では、エンジンのような“環境圧力(=絶対圧力)影響”は受けないため、この方法の場合、「環境(吸入)温度」管理を行なうか否かが、“適用流量センサーの形式”を決定する事に成ります。

すなわち、「環境(吸入)温度」が一定管理されている場合は、例えば、「層流式流量センサー(弊社商品の場合；マルチチューブ型流量センサー)」のような“差圧式流量センサー”も適用可能です。この例の場合は、構成する差圧センサーの性能にも拠りますが、大きな特徴は、(イ) 構造体により流量係数が“物理的に”決定されますので、層流エレメント等の計測部位が汚損されない限り、半永久的に、流量特性が変化する事は有りません〔註〕自動車メーカーでは、ガソリン噴射ノズル管理のために、従来は、ガソリンその物を持ちいて計測しておりましたが、試験用流体を空気に変える事で、従来の100倍の精度で計測・管理

しています}。また、(□) 計測精度としては、「 $\geq 0.04$  (%)FS」の差圧センサーを用いた場合の応答性能は、大凡、「 $\geq 0.2$  (sec)」ですので、「吐出圧力 (=背圧) に対する吐出流量」の関係を、迅速に検査する事が可能です。

また、例えば、出荷検査点が、一点検査 {=例えば、最大吐出圧力時検査} の場合は、「環境 (吸入) 温度」が一定管理されている場合は、“差圧式流量センサー”の一形式である「オリフィス型流量センサー」等を用いる事も一つの方法です。

これらの“差圧式流量センサー”の特徴を、以下に列挙します。

- ① 「流量センサー」からの「流量信号」が固定系 (=流量計測部分の汚損等が無ければ半永久的に変化しない) のため、環境温度が一定の場合、補正等の一切の演算が不要のため、経時変化しない事、です。
- ② 「流量センサー」からの信号を受けて、流量変換させるための——「電気式差圧センサー」には、10年保証の、計測精度 $\geq 0.5$  (%)FS $\sim$  $\geq 0.02$  (%)FS仕様の製品が完備されており、電気変換部分には信頼性が有ります。
- ③ しかし、「流量センサー」からの信号を電気変換させている限り、何らかの問題を生じる危険性を“ゼロ排除”する事は不可能ですが、「流量センサー」に、2台の電気式差圧センサーを共用する事により、フェイル・セーフを保つ事も可能です。
- ④ 更には、2台の電気式差圧センサーに加えて、水柱マンメーター等を接続させて、目視観測により、更なるフェイル・セーフを図る事も容易です。

一方の「質量流量センサー (マスフローメーター)」は、環境圧力・温度が変化する場合、気体流量計測には簡便な流量センサーです。殊に、エンジン等の流量計測の場合は、極めて重要です。

しかし、貴社のような「気体 (空気) ポンプ」の出荷検査の場合に、最適な流量センサーか否かは、別の問題です。すなわち、弊社の「サーマスフロー型質量流量計 (熱線式流量センサー)」のカタログにも記述しておりますように、以下の**式 1**にて、質量流量 **G** が、流体により奪われる熱量に比例する“電流値 **I**”の4乗に比例する事を基本にして、ブリッジ回路を構成して、気体温度の校正を行った上で流量換算しています。

$$G \propto I^4 / \{C_p \cdot (K_3 \cdot K)^2\} \dots \dots \text{式 1}$$

ただし、**G**=質量流量、**I**=熱線を通れる電流、**C<sub>p</sub>**=気体の低圧比熱、**K**=気体の熱伝導率、**K<sub>3</sub>**=熱線の直径・長さ、熱線の温度—気体の温度、流路面積等から成る定数}

そして、貴社のポンプ流量管理の場合は、得られた“**G**”を、計測時圧力・温度を入力して、「容積流量 {例えば、(cm<sup>3</sup>/min)}」として演算処理して算出します。すなわち、「流量センサー」の計測基本としては、総て、電気変換しているため、前述の“差圧式流量センサー”と異なり、計測精度の検証を行う事が不可能な特性を有します。この結果、ご相談者様がご検討されておられる——**《安価で精度良く測定できる、又は基準流量発生装置のようなものがないか》**のように、定期的に、経時変化していないか、“**基準流量発生装置**”で、使用しているマスフローメーターの校正試験が必要と成る訳です。

**「気体(空気)用ポンプ」の出荷試験方法として、**  
**(1) 吸気側流量計測と (2) 吐出側流量計測の、何れが最適かを選択する事も重要！！**  
 前者は、流量センサー劣化が小さい、後者は、ポンプ性能に及ぼす影響が小さい等の特徴が有る。

### 《校正試験装置の導入目的の明確化》

「貴社のソニックノズル製品の価格をお知らせください。」との事ですが、「価格見積」の前に、導入の目的を明確にされる事が、重要です。すなわち、(1) 現在、問題とされている「マスフローメーターの校正作業」を始め、将来ビジネスとして、流量センサーも含む各種機器の校正を行なうのか？ (2) 問題の「マスフローメーターの社内校正」を行なうのか？ (3) 単純且つ安価な、「社内校正」を行なうのか？ 等の、将来目的を明確にされる事を推奨します。その目的により、構成する装置の形式や“精度等の性能”が大きく異なります。

例えば、「(1)」の場合は、国際的に承認されている“気体流量校正機器”が「ソニック・ノズル」ですので、これを用いた装置構成と成ります。この例の場合は、一例として、**図 1**のように構成されます。一個の「ソニック・ノズル」での校正点は“1点”ですので、「マスフローメーター」の流量全域の校正 (=ニリアリティも含む)を行なうには、最低でも、

3台の「ソニック・ノズル」が必要と成ります。この結果、“7点”の校正を行う事が可能です。また、専門的な流量校正を希望する場合は、4台の「ソニック・ノズル」を使用し、この結果、“15点”の校正を行う事が可能です。

現在の貴社の「エアerpンプ」製品の個別の最大流量範囲は「0.03~20(L/min)」の広範囲に有り、ポンプの製品範囲は、20/0.03≒667倍ですので、1台の「マスフローメーター」での計測は精度上、大きな問題が有ります。このため、仮に、①『0.1(L/min) F Sのマスフローメーター』、②『2(L/min) F Sのマスフローメーター』、③『30(L/min) F Sのマスフローメーター』で出荷検定を行なっていると推測しますと、

- ①『0.1(L/min) F S、計測精度=±0.5(%)のマスフローメーター』のシステム構成で、「吐出圧力=ゼロで、0.03(L/min)仕様」の製品試験を行なった場合は、 $\ll 0.1(L/min) \times (\pm 0.5\%) / 0.03(L/min) \approx \pm 1.7(\%) \gg$ の精度。
- ②『2(L/min) F S、計測精度=±0.5(%)のマスフローメーター』のシステム構成で、仮に、「吐出圧力=ゼロで、0.1(L/min)仕様」の製品試験を行なった場合は、 $\ll 2(L/min) \times (\pm 0.5\%) / 0.1(L/min) \approx \pm 10(\%) \gg$ の精度。
- ③『30(L/min) F S、計測精度=±0.5(%)のマスフローメーター』のシステム構成で、仮に、「吐出圧力=ゼロで、20(L/min)仕様」の商品試験を行なった場合は、 $\ll 30(L/min) \times (\pm 0.5\%) / 20(L/min) \approx \pm 0.75(\%) \gg$ の精度。

と成りますので、ポンプの無負荷（吐出圧力=ゼロ）の最大流量 { F S (フルスケール) } 時においてさえ、「②」の例のように、大きく成る場合が有り、増して、貴社ポンプの場合は、 $\ll$ 吐出圧力の増加に伴い、ほぼ直線的に低下し、無負荷時の1/10以下に、吐出流量が減少する $\gg$ ため、計測精度も悪化するため、使用する「マスフローメーター」の選定には注意が必要です。

ここでは、上記の表のような——三形式の「マスフローメーター」が使用されていると仮定しますと、前述のように、「ソニック・ノズル」は、単一流量校正しか出来ませんので、「マスフローメーター」の直線性も含めて校正を行なう場合は、最低でも3個 { 校正点数=7 } の「ソニック・ノズル」が必要のため、[図2](#)に示す、『ジェットエンジンの冷却ハウジングの流量試験装置』において、図中の“C”に、3個×3システム=9個の「ソニック・ノズル」が配置されます。

「ソニック・ノズル」を機能させるには、(イ)「ソニック・ノズル」の他に、(ロ)真空ポンプが必要ですが、この外に、流量管理を行なうには、(ハ)温度、圧力管理が必要です。但し、「マスフローメーター」の圧損特性から、絶対圧力管理は不要ですが、温度管理は必要です。しかし、校正試験方法としては、「温度計測して温度補正」するよりも、例えば、20(°C)一定管理を行なった“校正室”において、校正試験を実施した方が、温度補正が不要のため、校正システムとしては、適切と判断します。

「(2)」の場合の一つの例として、「(1)」のように多連装の「ソニック・ノズル」を用いるのではなく、「マスフローメーター」の直線性の経時変化は少ないと考えて、各マスフローメーターの最大流量に対応した「ソニック・ノズル」を

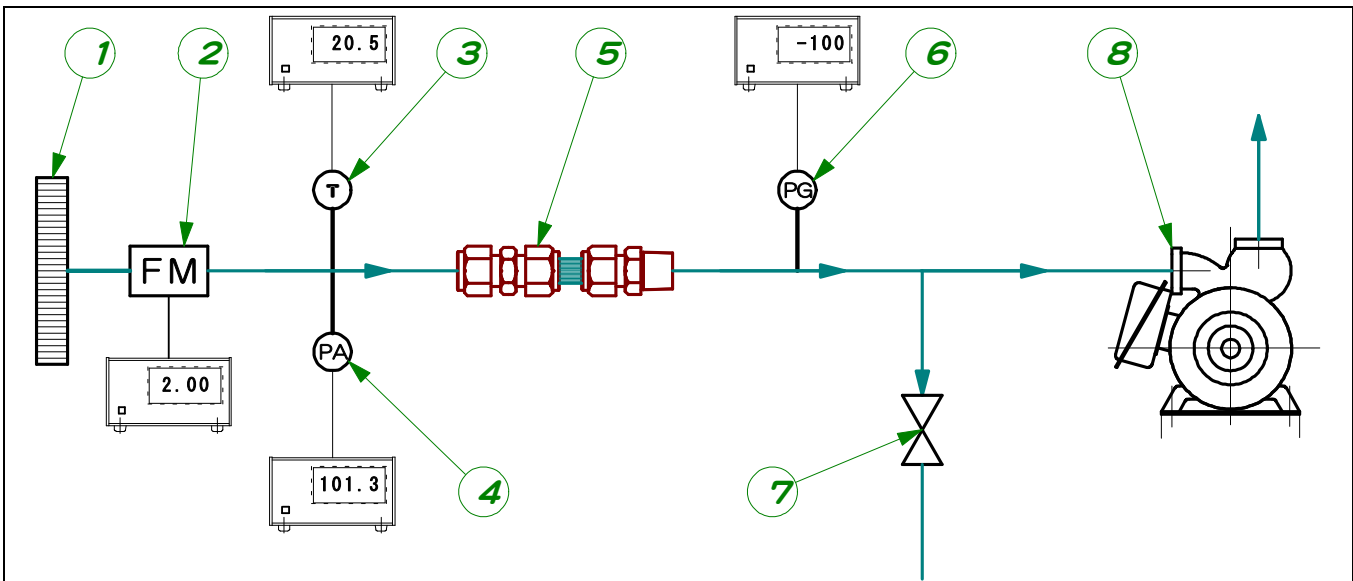


図1 真空ポンプシステム例

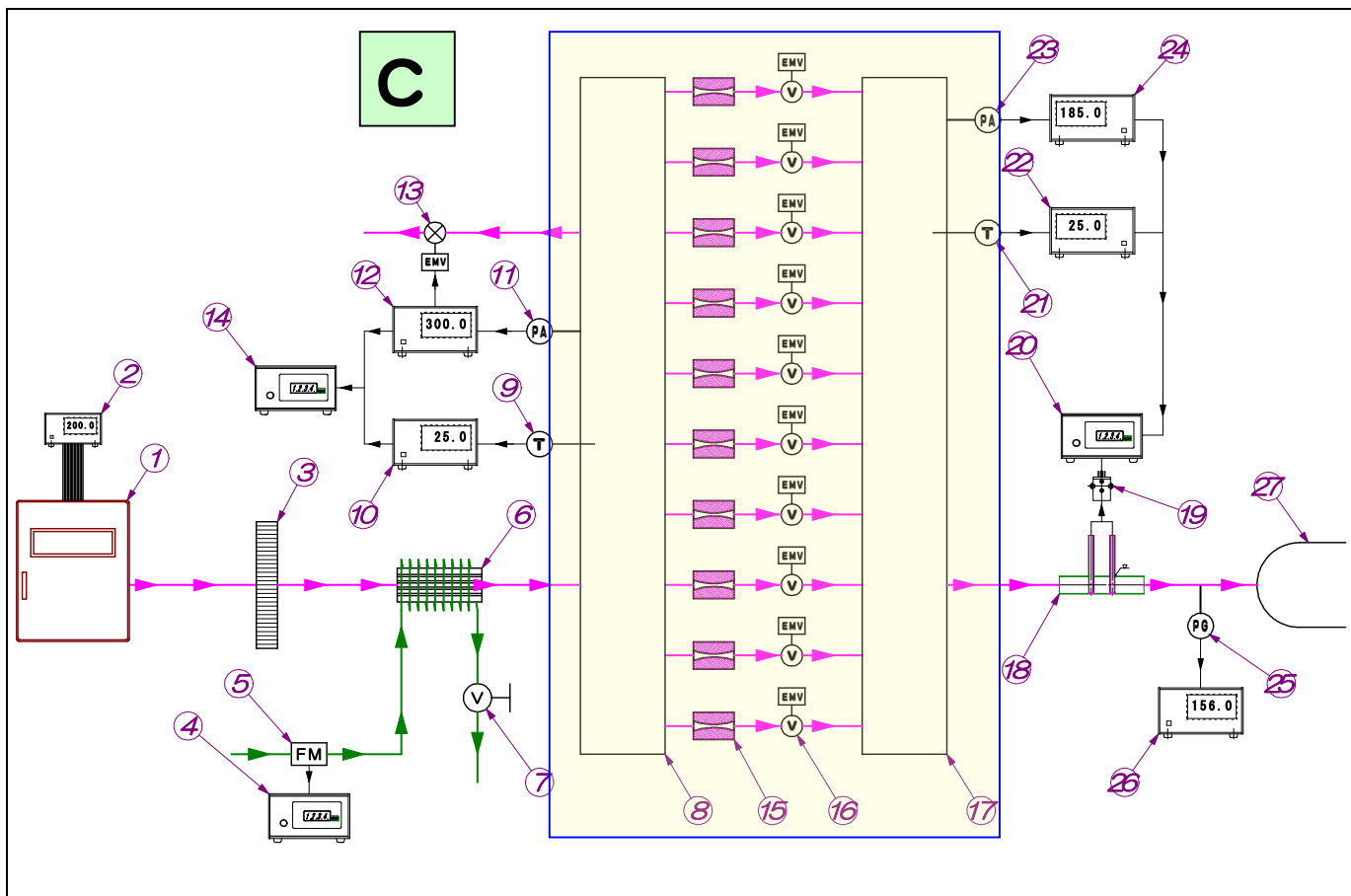


図2 ジェットエンジン冷却ハウジングの流量管理システム

《〔註〕 構成部品の詳細は、割愛》

用いる方法が有ります。この結果、**図1**に示す、「⑤ソニック・ノズル」を三連装して、校正する「マスフローメーター」に対応して、切り替え計測する事に成ります。「温度・圧力」補正等を排除するために、「温度・湿度」管理された環境室での校正試験を推奨しますが、基本的には、国際標準に適合している方法です。

「(3)」の方法に、弊社の高差圧——「マルチチューブ型流量センサー」を使用する方法が有ります。すなわち、上述のように、「ソニック・ノズル」は、原理上「一点校正ノ—器」であるため、「マスフローメーター」の直線性も含めて校正試験するには、「基本流量×2<sup>n</sup>」の流量特性を有する——“n個”の、複数個ノズルを切替えて校正試験する必要があります。

一方、**写真1**に示す、「多数の細孔流路を蓮根状に配置した——SUS316製の強固な層流エレメント」を用いた、マルチチューブ型流量センサーにおいて、計測差圧 $\Delta P$ を「 $\Delta P = \sim 100(\text{hPa}) \{ \div 1000(\text{mmH}_2\text{O}) \}$ 」と高差圧で計測可能としました。

**図3**は、『マルチチューブ型流量センサー』の計測例を示したのですが、「ソニック・ノズル」と同様に、「層流エレメント」の機械的因子（細孔内径、流路数、長さ、表面粗さ等）により、流量特性が、一義的に決定されるため、『差圧——流量』の関係は、半永久的に変化しません。また、参考に、「100 (cm<sup>3</sup>/min)仕様のマルチチューブ型流量センサー」の校正試験結果を、**表1**に示しますが、大凡、100(cm<sup>3</sup>/min)FSの計測範囲で、0.068(cm<sup>3</sup>/min/Pa)の高分解能での校正を可能とします。

なお、余談ですが、この『マルチチューブ型流量センサー』で、『石鹼膜式流量计』の流量挙動を調べますと、石鹼膜が付着した際の“微妙な流量低下”さえも観測する事が可能です。

なお、気体流量計測の場合、流体（空気）の組成変化、殊に、湿度影響も大きく受けますので、注意が必要です。また、環境温度の変化は、流体の粘性係数や細孔流路構造（=熱膨張）に影響するため、例えば、20(°C)等の温度、湿度一定の環境



写真1 エレメント

の“校正室”で行なう事が適切です。この結果、温度や湿度変化による粘性係数補正が不要のため、簡便に高精度校正が可能と成ります。

このような「マルチチューブ型流量センサー」を用いた“最小校正システム”は、「①マルチチューブ型流量センサー」、「②差圧センサー」、「③デジタル表示計」等から構成されます。校正値の信頼性・確実性を担保するために、例えば、2台の「②差圧センサー」による同時計測の他に、「④水柱マンメーター」も装備させる事により、確実な信頼性有る校正を行なう事が可能です。この校正方法の特徴一覧を、下記に纏めましたので、参考にして下さい。

- ① SUS316製の剛体の層流エレメントを用いているため、汚損等のトラブルが無い限り、半永久的に、「流量——差圧」の関係が変わらない。
- ② 流量の全域に亘って、直線性も含めた、高精度の校正試験が可能。
- ③ 2台の、10年保証の高精度差圧センサーを共用する事により、「 $\leq \pm 0.04\%$  FS」の精度で、フェイル・セーフ保証が可能。
- ④ 生成差圧を、「水柱マンメーター」で同時観測する事により、更に信頼性を担保可能。

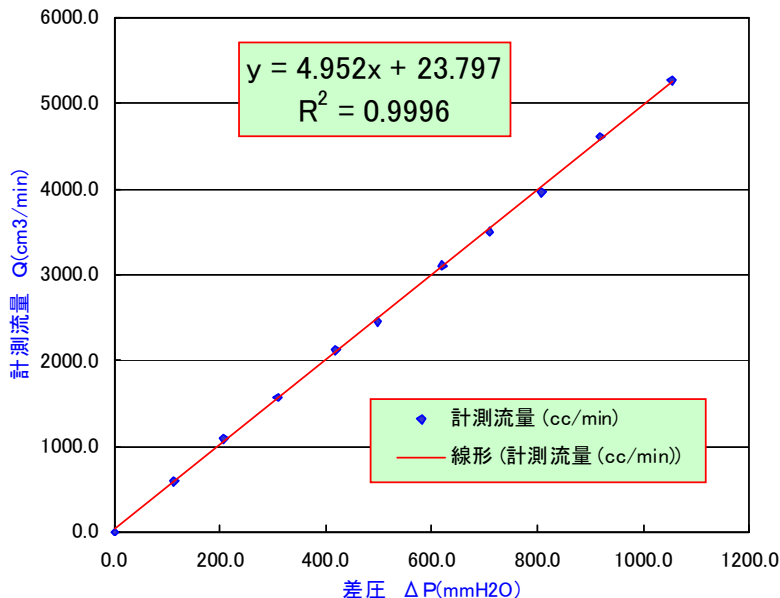


図3 MT型流量センサー

ご所望の「金額見積」に関しては、上述の導入目的、システム構成等を決定してからと成ります。

なお、「ソニック・ノズル」単体の他社の市販価格は、1 (cc/min)以上の流量域の場合が大凡40万円/台、1 (cc/min)以下の流量域の場合が大凡100万円/台と言われております。しかも、市販技術では、「 $\leq 0.5$  (cc/min)」の「ソニック・ノズル」を提供することは極めて難しいと考えますが、(株)技術開発総合研究所の特許技術は、「 $\geq 3$  (cm<sup>3</sup>/min)」の“超々微小流量”の「ソニック・ノズル」{“sonic-nozzle.com”は、(株)技術開発総合研究所の登録ドメインです}を、市販技術の7倍の高精度で、しかも、大凡、1/7程度の安価にて提供可能です。

《キーボードの叩き書きですので、意味不明な箇所は、平ご容赦下さい》

「校正システム」には、大凡、①国際標準に即した“高精度システム”、②国際標準機器を用いた“簡便システム”、③社内用“高精度システム”が有り、貴社の将来展開の観点から、“導入する校正システム”を確定する事が重要！！、

【文責：(株)技術開発総合研究所® 本望 行雄】  
(——y-hommoh@techno-adviser.com)  
(2008年11月30日記述)

# 表 1 マルチチューブ®型流量計較正試験結果

センサー型番MTG-0.1SSR #3031(4) - 標準流量較正関数(010-20/200-01)

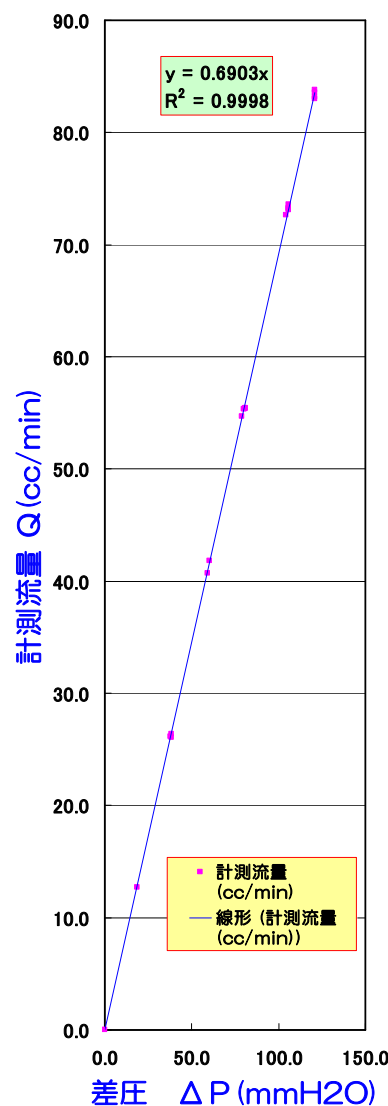
検定月日	平成20年11月24日	使用流体	空気	
室内圧力	101.3(KPa)	気体入口圧力	101.3(kPag)一定。	下流側圧力可変制御
室内温度	9.8(°C)	流体温度	9.8(°C)	
室内湿度	56(%)	慣熟試験	30(min)	慣らし流量 80.97(cm³/min)

実験流量範囲	0.000(cm³/min)~80.94(cm³/min) {石鹼膜式流量センサー較正流量}		
センサー出力形式	フィッシャーズ・ローズマウント製スマート型高精度差圧センサー{±127(mmAq)FS 最大差圧}		

較正関数 Q(cm³/min), ΔP(mmAq)			
(測定は一点法、較正関数は最小二乗法による)			
較正関数流量範囲	0.000(cm³/min)	平均誤差率	(%)
【標準流量範囲】	~80.97(cm³/min)		
《空気20(°C)、100.3(kPa)における換算係数》			
Q=6.713×10 <sup>-1</sup> ×ΔP (cm³/min)			
{AD型流量表示計入力値；較正点数=22、相関係数=0.9998}			
流量分解能 (参考)	① α=6.713×10 <sup>-4</sup> (%/min/mmAq)/1 エlement		
	② α=1.119×10 <sup>-5</sup> (%/sec/mmAq)/1 エlement		
	③ α=6.846×10 <sup>-2</sup> (cm³/min/Pa)/1 エlement		
	④ α=1.141×10 <sup>-3</sup> (cm³/sec/Pa)/1 エlement		
較正試験方法	石鹼膜式流量センサーS/N0212711-S		

計算データ添付欄(全流量域)

【X=ΔP(mmAq), Y=Q(cc/min)】



備考欄	
(1)	リニア流量範囲 ≤ 600(cm³/min).
(2)	整流エレメント長さ=0(mm).
(3)	層流エレメント長さ=200(mm)×1 エlement.
(4)	スケール入力; 0(Pa)= 0(cm³/min), 1000(Pa)=68.46(cm³/min).
(5)	気体温度変化は、粘度変化を招きますので、補正して使用して下さい。
(6)	入口圧力変化は、密度変化を招きますので、補正して使用して下さい。

☆圧損データ{参考:空気の場合}☆	
68.3 (cm³/min) ;	1000(Pa)
34.2 (cm³/min) ;	500(Pa)
27.3 (cm³/min) ;	400(Pa)
20.5 (cm³/min) ;	300(Pa)
17.1 (cm³/min) ;	250(Pa)
13.7 (cm³/min) ;	200(Pa)
10.3 (cm³/min) ;	150(Pa)
6.8 (cm³/min) ;	100(Pa)
3.4 (cm³/min) ;	50(Pa)
(註; 参考データ)	

特性記録情報欄	
(1)	計測サンプリング時間 ≥ 5(sec)
(2)	入口圧力計を使用。
(3)	a <sub>low</sub> /a <sub>high</sub> =****
(4)	(100b/Q <sub>max</sub> )=-0.15(%)
(5)	a(L/F)=*****
(6)	b(L/F)=*****
(7)	層流エレメント=200×1
(8)	流路; 0.10-20
(9)	FS流量 ≤ 68 (cm³/min) Q=0.6984 ΔP {S=0.9998}
(10)	Q=-0.00008 ΔP² + 0.6925 ΔP - 0.1282 {S=0.9998}
☆	製造責任者; 伊藤 勝
☆	較正責任者; 本望行雄

『マルチチューブ』は、(株)技術開発総合研究所の登録商標であり、当該流量計は、特許商品(特許第3377574号)です。

《実験空気温度=9.8(°C)》

GRI of TD 判断情報欄

- ① R = 100.0
- ② (b/a) = -0.15(%)
- ③ A = 0.200 (0.157)
- ④ Q = 342 (435.3)