

音速ノズルによるマスフローメータの校正

グリーンブルー株式会社 斎藤 賢一、藤村 満

1. はじめに

大気汚染物質のサンプリング等において、一定流量を保つことができるマスフローコントローラ(MFC)が広く使われている。MFCは、気体分子が熱線部分を通過する際に熱を奪い、温度が低下するのを電圧信号に変換するフローメータの部分と、信号をフィードバックして弁を開閉させるコントローラ部分とから成る。マスフローメータはメーカーの出荷後、使用途中でずれを生じたり、経年使用によって変化することも多い。しかし大部分のユーザーはマスフローメータを校正することはほとんどなく、最初の日盛を信じて使用しているのが実態と思われる。

これは従来、流量の国家標準および特定二次標準の供給体制が未整備であり、適当な校正手段がなかったことも一因であった。グリーンブルーは以下に紹介するように、計量法に基づくJCSS「認定校正事業者」として認定を受け、国家標準にトレーサブルな形でマスフローメータの校正サービスが行えるようになった。

2. 流量の国家標準と音速ノズル式質量流量計

気体小流量の国家標準は、つくばの産業技術総合研究所にある天秤を用いる「気体流量校正設備」であるが、近年これにつながる「特定二次標準」としてISO型トロイダルスロート音速ノズル(以下「音速ノズル」)が開発され、利用者に供給されるようになった。

音速ノズルの上流側に圧力を掛けたとき、そこを通過する気体の流速が音速に達する条件(臨界圧力比)を超えると、下流側の流れの変動に無関係に、上流側の圧力と温度で質量流量が決まる。この原理を利用した音速ノズル式質量流量計(株平井 TYPE-3100、以下「標準流量計」という)を中心に、マスフローメータの校正システムを構築した。特定二次標準の値付けされた流量範囲において、国家標準とトレーサビリティが確保された流量校正が行える。

<国家標準にトレーサブルな範囲>

乾燥空気：	1.1 ～5.7 g/min (0.85～4.4 L/min, 1atm, 0°C)
窒素ガス：	0.05～0.10 g/min (40～80 mL/min, 1atm, 0°C)
同	： 0.005～0.03 g/min (4～25 mL/min, 1atm, 0°C)

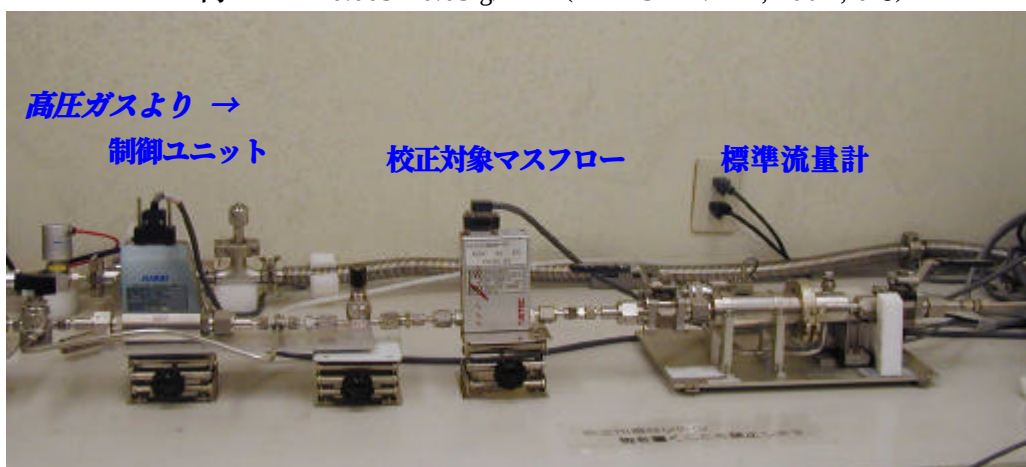


図-1 音速ノズル式質量流量計によるマスフローメータの校正状況
標準流量計(右)の上流に、校正対象のマスフロー(中央)を接続している。

3. マスフローメータの校正事例

標準流量計の上流側に校正対象のマスフローメータを接続し、出力電圧を記録計に取り込む。

図-2は、乾燥空気用のマスフローメータの校正結果であるが、校正範囲内で10点をそれぞれ3回測定している。縦軸はTYPE-3100の指示値の1分平均、横軸は3秒ごとに取り込んだ電圧値20データの平均であり、2次式 ($y = ax^2 + bx + c$) で回帰している。

図-3は、回帰式のフィッティング状況を見たもので、各測定値の回帰式からの差分を%で表示している。当社では別々の日に計3回の校正を行い、日によるマスフローの再現性を含めて評価している。

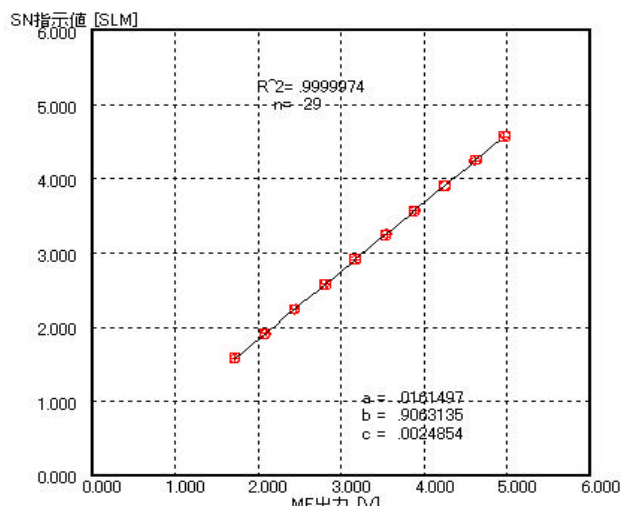


図-2 マスフローメータの校正曲線

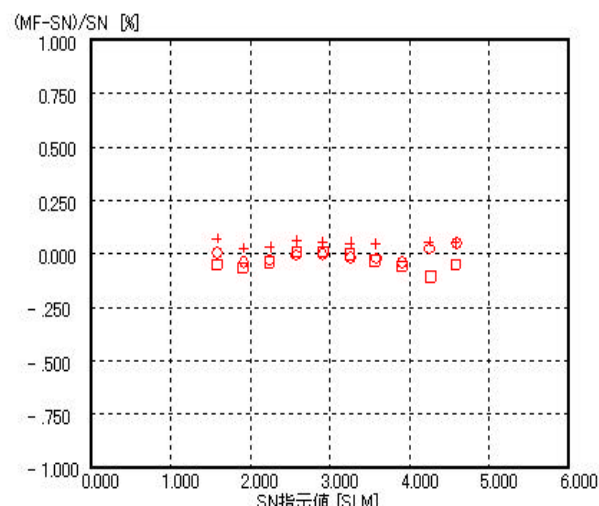


図-3 回帰式と測定値の差分

4. 校正の不確かさの見積り

測定の不確かさは、真の値が存在する範囲を示す推定量である。この校正でも上位から順に不確かさを付加していくことで、国家標準に対する不確かさを表示することが可能である。下表に、結果に影響を及ぼす不確かさの要因（成分）をまとめた。

標準流量計側は、いずれも校正結果を引用する「Bタイプの不確かさ」である。校正対象側については、マスフローの出力のゆらぎと、日による再現性を含む回帰式からの隔たりを集計して求める。すべての不確かさ成分の2乗和を取り、その平方根（合成標準不確かさ）に、包含係数 $k=2$ を乗じて拡張不確かさ（信頼水準 95%に相当する範囲）として $\pm 0.4\%$ が得られる。

表 不確かさの要因と見積り例

	不確かさの要因	タイプ°	評価方法	不確かさ
標準側	特定二次標準（ノズル）の値付け	B	jcss 校正証明書より	0.05 %
	圧力センサーの校正の不確かさ	B	校正証明書より	0.02 %
	温度センサーの校正の不確かさ	B	校正証明書より	0.02 %
校正側	マスフローの指示の安定性	A	出力電圧を統計	0.02 %
	回帰式との差（再現性を含む）	A	回帰式とのずれを統計	0.2 %
合成標準不確かさ			2乗和の平方根	0.21 %
拡張不確かさ（ $k=2$ ）				0.42 %