

ソニックノズル 取り扱い説明書



(株)山田製作所

エンジニアリング事業部

目次

1. 概要説明.....	3
2. 取り付け方法および注意事項.....	3
3. リークチェック.....	3
1) リークチェック方法.....	3
2) リークチェック計算方法.....	4
3) 判定基準.....	4
4. 使用方法.....	4
. ソニックノズル流量の換算(他条件への換算).....	4
1) 校正時条件.....	5
2) 使用時条件.....	5
3) モル質量 $N(Kg/mol)$ の求め方.....	7
4) 水蒸気の含有モル分率 x の求め方.....	8
5) 分圧係数 f の求め方.....	8
6) 飽和水蒸気気圧 $P_s(Pa)$ の求め方.....	8
7) 圧縮係数 Z の求め方.....	8
8) 第2ビリアル係数 $B(m^3/mol)$ の求め方.....	8
9) 流出係数 C_d の求め方.....	8
10) 臨界定数 C_c の求め方.....	9
11) 比熱比 γ の求め方.....	9
. その他の使用によるノズル流量の求め方.....	9
5. 管理.....	10
1) ソニックノズルを使用するにあたっての注意事項.....	10
2) ソニックノズルの清掃及び洗浄方法.....	10
3) ソニックノズルの維持及び管理方法.....	11
6. 校正証明書及びトレーサビリティ体系図について.....	11
7. ソニックノズル寸法図.....	12

1. 概要説明

ソニックノズルは、ソニックノズルを流れる気体の上流側圧力と下流側圧力の比を臨界圧力比以下に保つと、スロート（ソニックノズル最小口径部）における流速が音速に固定され、流量がノズル下流側の状態に依存せず、一定流量を発生させることができる特性を利用した高精度の（基準）流量計です。

また形状は ISO に準拠して製作しており、任意の流量が高精度で得られます。以下にその特性を利用した使用方法および注意事項を説明いたします。

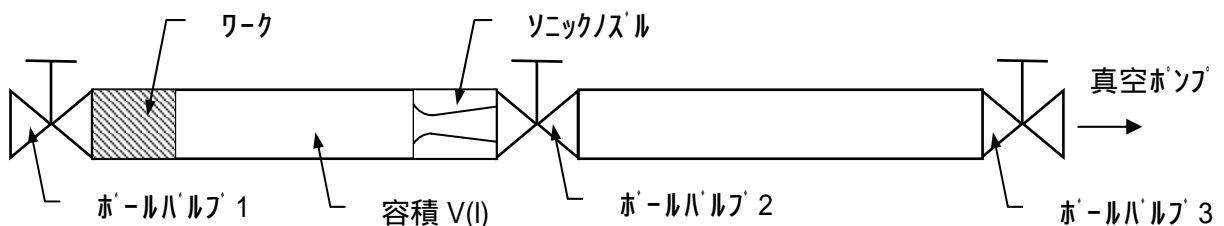
2. 取り付け方法および注意事項

- 1) Oリング（P-34：材質は用途に応じて選択）2本をソニックノズルの溝にはめ込み、真空用グリースを薄く塗布してください。
- 2) 測定するワークの下流側に直列にソニックノズルを取り付けて下さい。
- 3) ソニックノズルの取り付け方向は、外周にローレット加工があり内部にR加工部のある方が上流側になります。
- 4) 取り付けはローレット加工部の下側のある溝を利用して固定板等でしっかりと固定して下さい。
- 5) 温度、湿度、圧力はソニックノズル上流側で測定します。
- 6) 測定時ソニックノズルの上流と下流との圧力比は、必ず 0.7 以下を保つように使用して下さい。
圧力比が 0.7 以上では、精度を保てなくなりますので必ず確認して下さい。

3. リークチェック

配管からのリーク（漏れ）は誤差の原因になりますので測定前に必ずチェックして下さい。

1) リークチェック方法



上図のような、ソニックノズルの使い方をした場合、ボールバルブ 1 を閉めて真空ポンプで管路内を減圧し、ボールバルブ 2 を閉めボールバルブ 2 の下流側を大気解放にしてから、密閉した管路の圧力の上昇速度を測ります。

2)リークチェック計算方法

測定したデータ-から密閉した管路のリーク量 Q_0 は下記の計算により求めます。

$$Q_0 = \frac{V \times \Delta P / P_A}{t}$$

Q_0 : リーク量 (l/s)
 V : 容積 (l)
 ΔP : t 秒後の圧力上昇値 (Pa)
 t : リークチェック時間 (s)
 P_A : 大気圧 (Pa)

3)判定基準

基本的には、使用しているソニックノズルの最小流量 (l/s) の 1%以下を許容範囲と考えていますが、測定の精度を考慮に入れて判断して下さい。

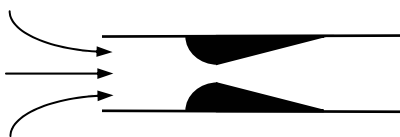
4.使用方法

ソニックノズルを使用する時には、その周囲の状態によって流量値が異なってくるため、ソニックノズル検査成績書に表記されている値 (校正値) を使用状態での流量値に換算する必要があります。

校正値から使用状態に換算する計算式は次の「ソニックノズル流量の換算(他条件への換算)」で説明します。

ソニックノズル流量の換算(他条件への換算)

ソニックノズルは、圧力 101325 Pa , 温度 23 , 湿度 60 % で校正された条件になっておりますが、ここでは圧力 P_0 , 温度 T_0 , 湿度 H_0 とします。



$$\left. \begin{matrix} P_0 \\ T_0 \\ H_0 \end{matrix} \right\} \rho_0 \quad \begin{matrix} Q_0 \text{ (g/s)} \\ Q_{V0} = \frac{Q_0}{\rho_0} \text{ (l/s)} \end{matrix} \quad \Rightarrow \quad \left. \begin{matrix} P_1 \\ T_1 \\ H_1 \end{matrix} \right\} \rho_1 \quad \begin{matrix} Q_1 \text{ (g/s)} \\ Q_{V1} = \frac{Q_1}{\rho_1} \text{ (l/s)} \end{matrix}$$

P_0 : 校正時圧力 (Pa)	P_1 : 使用時圧力 (Pa)
T_0 : 校正時温度 (K)	T_1 : 使用時温度 (K)
H_0 : 校正時湿度 (%)	H_1 : 使用時湿度 (%)
ρ_0 : 校正時気体密度 (kg/m^3)	ρ_1 : 使用時気体密度 (kg/m^3)
Q_0 : 校正時質量流量 (g/s)	Q_1 : 使用時質量流量 (g/s)
Q_{V0} : 校正時体積流量 (l/s)	Q_{V1} : 使用時体積流量 (l/s)

1) 校正時条件

P_0, T_0, H_0 の時の気体密度 ρ_0 は次式で与えられます。

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot N_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0}$$

N_0 : モル質量 (kg/mol)

Z_0 : 圧縮係数

R : 気体定数 ($J/mol \cdot K$) = 8.31451

校正時の質量流量 Q_0 と体積流量 Q_{V0} は次式で与えられます。

$$Q_0 = A_0 \cdot Cd_0 \cdot Cc_0 \cdot P_0 \cdot \sqrt{\frac{N_0}{R \cdot T_0}} \dots\dots\dots(0)$$

$$Q_{V0} = \frac{Q_0}{\rho_0} = A_0 \cdot Cd_0 \cdot Cc_0 \cdot Z_0 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{N_0}} \dots\dots(1)$$

A_0 : スロート面積 (m^2)

Cd_0 : 流出係数

Cc_0 : 臨界定数

2) 使用時条件

P_1, T_1, H_1 の時の気体密度 ρ_1 は次式で与えられます。

$$\rho_1 = \frac{P_1 \cdot N_1}{Z_1 \cdot R \cdot T_1}$$

N_1 : モル質量 (kg/mol)

Z_1 : 圧縮係数

R : 気体定数 ($J/mol \cdot K$) = 8.31451

使用時の質量流量 Q_1 と体積流量 Q_{V1} は次式で与えられます。

$$Q_1 = A_1 \cdot Cd_1 \cdot Cc_1 \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{N_1}{R \cdot T_1}} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{V1} = \frac{Q_1}{\rho_1} = A_1 \cdot Cd_1 \cdot Cc_1 \cdot Z_1 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_1}{N_1}} \dots\dots(3)$$

A_1 : スロート面積 (m^2)

Cd_1 : 流出係数

Cc_1 : 臨海定数

これらから、 $A_0 = A_1$, $Cd_0 = Cd_1$, $Cc_0 = Cc_1$ として $A_0 \times Cd_0 \times Cc_0 = \alpha$ とし体積流量 Q_{V1} を求めると、

(1) 式は

$$Q_{V0} = \alpha \cdot Z_0 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{N_0}} \quad \dots\dots\dots(1)'$$

(3) 式は

$$Q_{V1} = \alpha \cdot Z_1 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_1}{N_1}} \quad \dots\dots\dots(3)'$$

(1)' 式より

$$\alpha = \frac{Q_{V0}}{Z_0 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{N_0}}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

(4) 式を (3)' に代入すると

$$\begin{aligned} Q_{V1} &= \frac{Q_{V0}}{Z_0 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{N_0}}} \times Z_1 \times \sqrt{\frac{R \cdot T_1}{N_1}} \\ &= Q_{V0} \times \frac{Z_1}{Z_0} \times \sqrt{\frac{R \cdot T_1}{N_1} \cdot \frac{N_0}{R \cdot T_0}} \\ &= \underline{\underline{Q_{V0} \times \frac{Z_1}{Z_0} \times \sqrt{\frac{T_1 \cdot N_0}{T_0 \cdot N_1}}}} \quad \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

となります。

同様に、(0)式から質量流量 Q_1 を求めると

$$Q_0 = \alpha \cdot P_0 \cdot \sqrt{\frac{N_0}{R \cdot T_0}} \dots\dots\dots(0)'$$

(2)式は

$$Q_1 = \alpha \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{N_1}{R \cdot T_1}} \dots\dots\dots(2)'$$

(0)'式より

$$\alpha = \frac{Q_0}{P_0 \cdot \sqrt{\frac{N_0}{R \cdot T_0}}} \dots\dots\dots(6)$$

(6)式を(2)'に代入すると

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{Q_0}{P_0 \cdot \sqrt{\frac{N_0}{R \cdot T_0}}} \times P_1 \times \sqrt{\frac{N_1}{R \cdot T_1}} \\ &= Q_0 \times \frac{P_1}{P_0} \times \sqrt{\frac{\frac{N_1}{R \cdot T_1}}{\frac{N_0}{R \cdot T_0}}} \\ &= \underline{\underline{Q_0 \times \frac{P_1}{P_0} \times \sqrt{\frac{T_0 \cdot N_1}{T_1 \cdot N_0}}}} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

となります。

3) モル質量 $N(kg/mol)$ の求め方

モル質量とは... 物質が特定されている物体1mol当たりの質量のことを言います。

$$N = (1 - x) \cdot Na + x \cdot Nw$$

Na : 乾燥空気のモル質量 (kg/mol) = 0.0289634

Nw : 水蒸気のモル質量 (kg/mol) = 0.0180150

x : 水蒸気の含有モル分率

4) 水蒸気の含有モル分率 x の求め方

$$x = \frac{H}{100} \cdot f \cdot \frac{Ps}{P}$$

H : 相対湿度 (%)

f : 分圧係数

Ps : 飽和水蒸気圧 (Pa)

5) 分圧係数 f の求め方

$$f = 1.00062 + 3.14 \times 10^{-8} \cdot P + 5.6 \times 10^{-7} \cdot (T - 273.15)^2$$

P : 圧力 (Pa)

T : 温度 (K)

6) 飽和水蒸気気圧 Ps (Pa) の求め方

飽和水蒸気圧とは... 液体の水(ときには氷)と水蒸気が共存して平衡状態にあり、水蒸気として存在しうる最大濃度を**飽和**といい、そのときの水蒸気の圧力をいいます。

$$Ps = \exp\left(1.2811805 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 1.9509874 \times 10^{-2} \cdot T + 34.04926034 - \frac{6.3536311 \times 10^3}{T}\right)$$

7) 圧縮係数 Z の求め方

圧縮係数とは... かわき空気と水蒸気に関する第2及び第3のビリアル係数の関数として、また同時にかわき空気の分子と水の分子との相互作用から生じる補足的な係数の関数として計算されます。

$$Z = 1 + \frac{P \cdot B}{R \cdot T}$$

B : 第2ビリアル係数 (m^3 / mol)

8) 第2ビリアル係数 B (m^3 / mol) の求め方

$$B = (0.195 \cdot T - 66.5) \times 10^{-6} \quad (280 < T < 320K)$$

9) 流出係数 Cd の求め方

ある一定条件で物体(例えばノズル)を測定した時に実流量と理論流量との比率の割合であり、定積槽方式等により測定しなければわかりません。

例えば、IS09300 トロイダルノズルは、常圧 $100 m^3 / h$ で 0.990 になります。

10) 臨界定数 Cc の求め方

$$Cc = \left[\gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

γ : 比熱比

11) 比熱比 γ の求め方

比熱比とは... 絞り流量計などを用いて気体の流量を測定する際に、気体の膨張補正係数を求めるため、測定する気体の比熱の比を知る必要があります。

この比熱の比は気体の定圧比熱に対する定積比熱の比によって求められますが、これを実測によって求めるのは面倒であるので、普通は適当な資料から求められます。

$$\gamma = \frac{(1-x) \cdot Ca + x \cdot Cw}{(1-x) \cdot \frac{Ca}{\gamma_a} + x \cdot \frac{Cw}{\gamma_w}}$$

Ca : 乾燥空気の定圧比熱 (例えば $kJ/kg \cdot K$) = 1.007

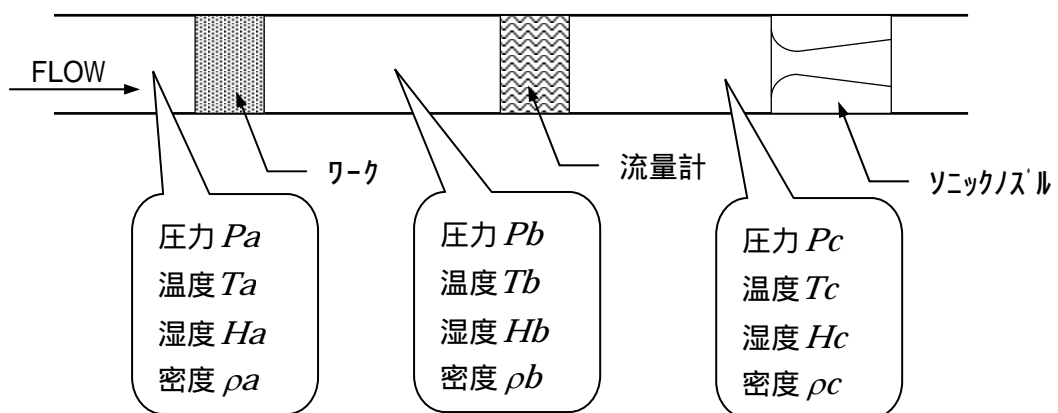
Cw : 水蒸気の定圧比熱 (例えば $kJ/kg \cdot K$) = 1.890

γ_a : 乾燥空気の比熱比 = 1.402

γ_w : 水蒸気の比熱比 = 1.332

・その他の使用によるノズル流量の求め方

下図のようなノズルの使い方をした場合、ソニックノズルの質量流量はどの場所でも同じですが、体積流量で求める場合には各場所の気体密度を算出して、流量の補正をして下さい。



気体密度 ρ は次式で求められます。

$$\rho = \frac{P \cdot N}{Z \cdot R \cdot T}$$

ソニックノズルの質量流量を Q_c とすると、ソニックノズルの体積流量 Q_{vc} は

$$Q_{vc} = \frac{Q_c}{\rho_c}$$

ワークを通過する体積流量 Q_{va} は

$$Q_{va} = Q_{vc} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_a}$$

流量計を通過する体積流量 Q_{vb} は

$$Q_{vb} = Q_{vc} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_b}$$

5 . 管理

1) ソニックノズルを使用するにあたっての注意事項

ソニックノズル本体は、錆、腐食に耐食性のあるステンレス鋼ですが、使用（通過）する気体に含まれる配管の錆、汚れ、不純物等の付着、又、接続している配管からの応力による歪、落下、及び衝撃によるソニックノズルの変形、異物の混入などによる内部の傷、面粗度の荒れなどの原因で特性が変化することがありますので、取り扱いには御注意願います。

2) ソニックノズルの清掃及び洗浄方法

ソニックノズルを長期的に使用しているか、配管部の汚れを取り込みやすい液体を気化して使用していると、ソニックノズル内部に汚れ等が付着し、特性が変化し、精度が保たれないことがありますので定期的な点検、清掃、洗浄することをお勧めいたします。

ソニックノズルから Oリングを取り外します。

この時、Oリングに傷やへたりがあれば、新しいものと交換して下さい。

ソニックノズル本体を柔らかい布、ガーゼ等で清掃し、その後洗浄して下さい。

ソニックノズルの内部、狭い部分は超音波洗浄器にシンナー、アルコール、又は中性洗剤（液体）等を入れ洗浄すると汚れがきれいに除去できます。

使用する洗剤は適切なものを御選びください。

決してノズルの表面を腐食させるような洗剤は使用しないで下さい。

洗浄後はよくすすぎ、洗浄液の成分を取り除いてから乾燥させて下さい。
ソニックノズルのOリングをはめ込み、真空グリスを薄く塗布します。
固定板、ホルダー等も同様に清掃、洗浄して下さい。
ソニックノズルは取り付け前と同じ場所に取り付け、最後にリークの確認を行って下さい。

3)ソニックノズルの維持及び管理方法

ソニックノズルを取り外して使用しないときには、清掃、洗浄、乾燥してから柔らかなガーゼ等で包みケースなどに保管してください。(Oリングは劣化する可能性がありますので、保管する際は取り外して下さい。)

ソニックノズルを長期間御使用のならないときは、防錆油を塗布して下さい。(使用時には、防錆油を洗浄除去してから御使用下さい。)

ソニックノズル及びノズルハウジングはリークチェックを含めた清掃、洗浄等の点検サービス、ソニックノズルの再校正等の業務もお受けしておりますので、まずはご相談下さい。

御連絡先

〒376-8585
群馬県桐生市広沢町1丁目2757番地

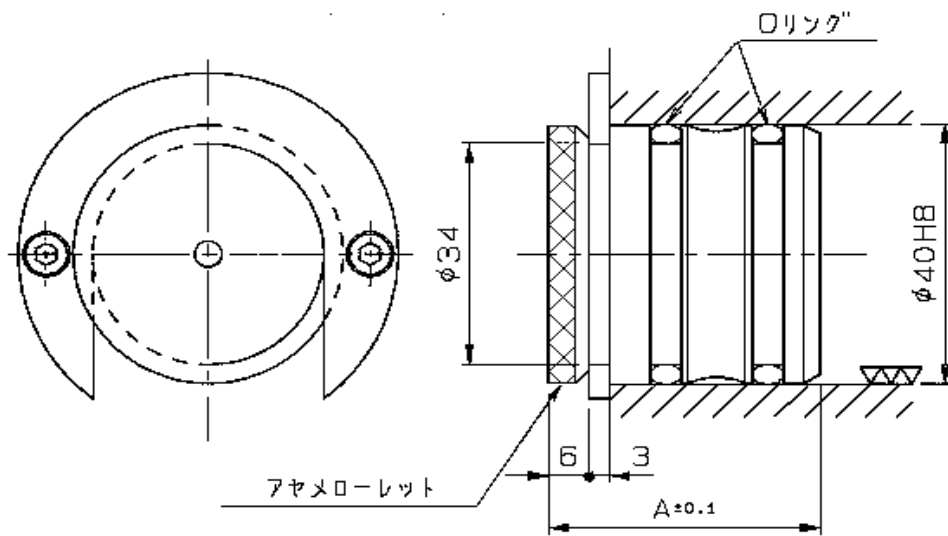
(株)山田製作所 エンジニアリング事業部

TEL:0277-54-2381,2382(内線717)
FAX:0277-54-2467

6.校正証明書及びトレーサビリティ体系図について

弊社ソニックノズル、気体流量計に関する校正証明書(有料)及びトレーサビリティ体系図(無料)は御注文の際に御指定下さい。

7. ソニックノズル寸法図



標準ノズル流量(l/s)	A(mm)
0.05 ~ 1.6	40
3.2	55
6.4 ~ 51.2	70