

1. ポートサイズと Cv 値計算

ポートサイズを決めるには、与えられた流体条件から必要 Cv 値を計算し、調節弁の定格 Cv 値から適合したポートサイズを選びます。

これまでは米国の FCI (Fluid Controls Institute Inc.) が定める Cv 値計算式を使用していましたが、現在では流体性状、弁形状および配管形状の補正を取り入れることでより計算精度を向上した計算方法が IEC(International Electrotechnical Commission : 国際電気標準会議)規格としてまとめられています。

しかし、IEC 規格による計算方法は複雑な手順で行うためコンピュータによる計算が前提となります。

ここでは手計算での確認用として FCI の Cv 値計算式についてご紹介します。

注) IEC 規格に準拠した Cv 値計算ソフトウェア「Vcal-J (ブイキャルジェイ)」もご用意しています。詳細は弊社営業にお問い合わせください。

1.1 Cv 値

弁の容量を表すには一般に Cv 値が用いられています。

Cv 値とは弁の入口と出口の差圧を 1Psi として、60 °F の清水 (H₂O) を流した時の流量を US gal/min で表した数値です。

1.2 液体の Cv 値計算式

液体の Cv 値計算式は、孔から液体が流出する場合の理論流速 ($V = \sqrt{2g \cdot \frac{\Delta P}{\gamma}}$, V: 孔の部分の平均流速, γ : 液体の比重, ΔP : 圧力差) に Cv 値の定義を適用して式を誘導したものです。

[SI 単位式]	[従来単位式]
$Cv = 11.56V \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}} \dots\dots\dots \text{式 1-1}$	$Cv = 1.17V \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}} \dots\dots\dots \text{式 1-2}$
V : 最大流量 m ³ /hr	V : 最大流量 m ³ /hr
G : 比重 (水=1)	G : 比重 (水=1)
P ₁ * : 一次側圧力 kPa・A	P ₁ * : 一次側圧力 kgf/cm ² A
P ₂ * : 二次側圧力 kPa・A	P ₂ * : 二次側圧力 kgf/cm ² A
ΔP : P ₁ - P ₂	

(注 P₁, P₂ は最大流量時の圧力)

Cv 値計算式は流れが乱流、すなわちレイノルズ数が大きい場合に成立し、レイノルズ数が小さく、流れが層流に近くなると補正が必要です。

補正はレイノルズ数 R に対して実験的に求めた係数により補正をおこないます。

1) 粘度補正

20mm²/s 以上の動粘度をもった液体に対しては、次のステップで粘度補正をして下さい。

(1mm²/s = 1cSt : 1 センチストークス)

- 粘度の影響を考えずに Cv 値計算をする。
- 式 1-3 から係数 R を計算する。
- 式 1-4, 式 1-5, または図 3-1 の粘度補正曲線の係数 R から補正 Cv 係数 (F_R) を求める。
- この補正係数を a) の液体式から計算された Cv にかける。
- Cv 表からポートサイズを選定する場合、この補正 Cv をつかう。

注) 微小流量の場合 (VSM 形・VSP 形または、HLS 形で定格 Cv 値 0.1 以下) については、流体がガス体、液体にかかわらず独自のサイジング式を用意していますので、関連計装資料 (No. PD1-811-050) をご参照ください。

<係数 R の計算式>

$$R = \frac{44,000 \cdot V}{\sqrt{C_v \cdot v}} \dots\dots \text{式 1-3}$$

V : 最大流量 (m³/hr)

v : 作業温度における動粘度 (mm²/s)

C_v : 粘度補正しない C_v 値

R ≤ 70 のとき

$$F_R = \frac{15.5}{\sqrt{R}} \dots\dots \text{式 1-4}$$

R > 70 のとき

$$F_R = 0.95 + \frac{63.14}{R} \dots\dots \text{式 1-5}$$

2) フラッシング補正

飽和温度あるいはそれに近い温度の液体は、シートリングを通過する際に圧力が降下しますので、一次側圧力 P₁ が入口温度に対する飽和圧力 P_v 以上であっても、シートリング二次側圧力が局部的に P_v 以下になることがあります。

この場合、液体の一部が蒸気してフラッシングを発生するので、液体式をそのまま用いてサイジングをおこなうと弁容量が不足しますので、次の方法で計算をおこないます。

〔水の場合〕

出入口がともに液相にあるにもかかわらず、“ある差圧以上では液体の一部がフラッシュして流量が飽和する”という実験に基づく方法で、この流量飽和の起る限界圧力降下 ΔP_c を求めて C_v 値計算をおこないます。

a) ΔT < 5 °F (2.8°C) の場合 ΔP_c = 0.06 × P₁ …… 式 1-6

ΔT > 5 °F (2.8°C) の場合 ΔP_c = 0.9 (P₁ - P_v) …… 式 1-7

ただし

ΔT : 一次側絶対圧力 (P₁) に対する飽和温度 (t_s) と一次側温度 (t₁) との差 (°C)

ΔP_c : 限界圧力降下 (kPa)

P₁ : 一次側絶対圧力 (kPa · A)

P_v : 一次側温度に対する絶対飽和圧力 (kPa · A)

b) 式 1-6, 1-7 で求めた ΔP_c が実際の圧力降下 ΔP より小さい場合にのみ ΔP_c をつかって C_v 値計算をします。(ΔP_c > ΔP の時はフラッシング補正の必要はありません)

〔水以外の場合〕

水以外の液体に対しては、水のように“限界圧力降下を求める方法”あるいは“液体と気体の混合比重を求める方法”などがありますが、いずれも飽和圧力や臨界圧力などのデータが必要で、実務上ではデータが明確な液体に限られてきます。

一般的には、フラッシュの割合 (X) を求め、液体と気体の C_v 値をそれぞれ計算し、その和を必要 C_v 値とする方法がとられています。

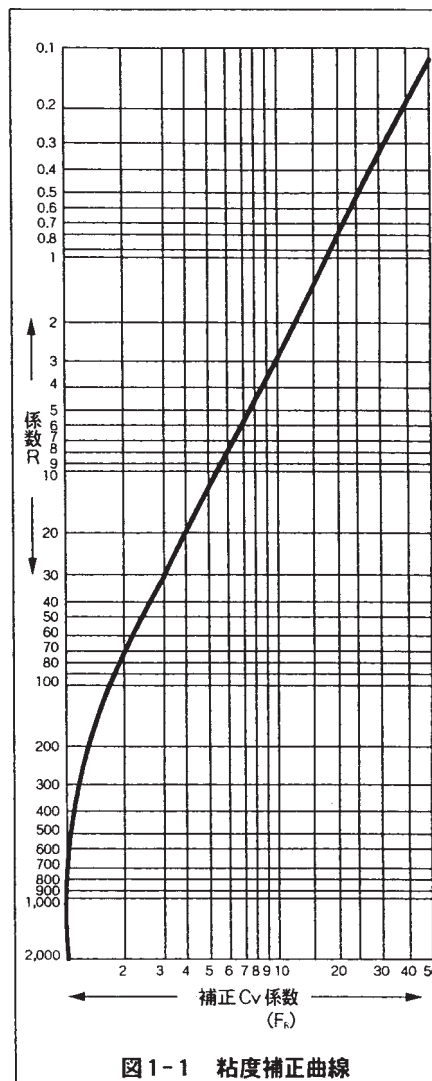


図 1-1 粘度補正曲線

気化した重量割合 (kg/kg)

$$X = \frac{i_1 - i_2}{r_2} = \frac{C_p(T_1 - T_2)}{r_2} \dots\dots\dots \text{式 1-8}$$

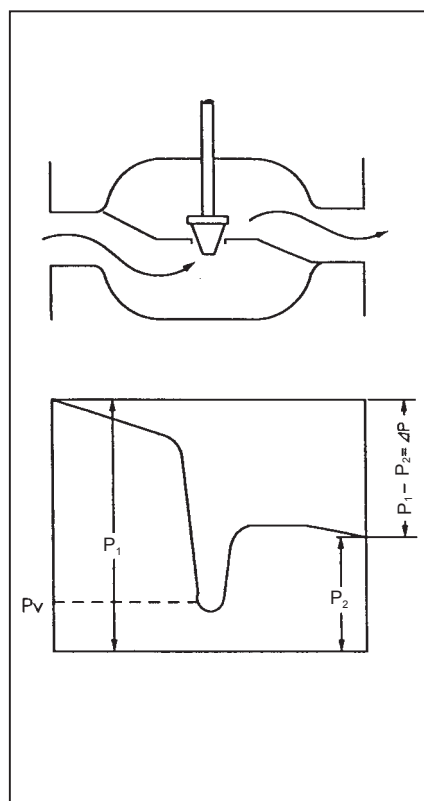
- i_1 : 一次側温度 T_1 に対するエンタルピ (kJ/kg)
- i_2 : 二次側圧力 P_2 の飽和温度 T_2 に対するエンタルピ (kJ/kg)
- r_2 : 二次側圧力 P_2 の飽和温度 T_2 に対する蒸発の潜熱 (kJ/kg)
- C_p : $(T_1 + T_2) / 2$ に於ける液体の比熱 (kJ/kg)
- X : 気化した重量割合

1.3 気体の Cv 値計算式

気体の Cv 値計算式は、液体の計算式を比重換算して得たものです。

この比重換算のときに、流動する気体の比重量を一次側の状態にとるか、二次側状態にとるか、あるいは両者の平均値にとるかの三通りの考え方がありますが、平均値をとった計算値が比較的に実験値に近いことから、最近では平均値を用いた Cv 値計算式が一般に採用されています。

また気体では $\Delta P \geq \frac{P_1}{2}$ の状態では縮流部の流速が音速に達して流量は飽和し、それ以上いくら差圧 (ΔP) を大きく与えても流量は増加しません。そこで $\Delta P = \frac{P_1}{2}$ として整理したものを $\Delta P \geq \frac{P_1}{2}$ の時の計算式として、 $\Delta P < \frac{P_1}{2}$ の場合と区別しています。



〔SI 単位式〕

1) $\Delta P < \frac{P_1}{2}$ の場合

$$C_v = \frac{Q}{2.930} \sqrt{\frac{G(273 + T_f)}{\Delta P(P_1 + P_2)}}$$

2) $\Delta P \geq \frac{P_1}{2}$ の場合

$$C_v = \frac{Q \sqrt{G(273 + T_f)}}{2.538 P_1}$$

- Q : 最大流量 (m³/h)
(於 15.6°C, 101.3kPa・A)
- G : 比重 (空気=1)
- T_f : 流体温度 (°C)
- P_1^* : 一次側絶対圧力 (kPa・A)
- P_2^* : 二次側絶対圧力 (kPa・A)
- ΔP : $P_1 - P_2$ (kPa)

〔従来単位式〕

$$C_v = \frac{Q}{287} \sqrt{\frac{G(273 + T_f)}{\Delta P(P_1 + P_2)}}$$

$$C_v = \frac{Q \sqrt{G(273 + T_f)}}{249 P_1}$$

- Q : 最大流量 (m³/hr)
(於 15.6°C, 101.3kPa・A)
- G : 比重 (空気=1)
- T_f : 流体温度 (°C)
- P_1^* : 一次側絶対圧力 (kgf/cm² abs)
- P_2^* : 二次側絶対圧力 (kgf/cm² abs)
- ΔP : $P_1 - P_2$ (kgf/cm²)

(注 P_1, P_2 は最大流量時の圧力)

1.4 水蒸気（スチーム）の Cv 値計算式

$\Delta P \geq \frac{P_1}{2}$ で計算式を分けてあるのも、気体の計算式の場合と同様です。

〔SI 単位式〕	〔従来単位式〕
1) $\Delta P < \frac{P_1}{2}$ のとき	
$C_v = \frac{WK}{0.1391\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}}$	$C_v = \frac{WK}{13.67\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}}$
2) $\Delta P \geq \frac{P_1}{2}$ の場合	
$C_v = \frac{WK}{0.1205P_1}$	$C_v = \frac{WK}{11.9P_1}$
W : 最大流量 (kg/hr)	W : 最大流量 (kg/hr)
P_1^* : 一次側絶対圧力 (kPa・A)	P_1^* : 一次側絶対圧力 (kgf/cm ² abs)
P_2^* : 二次側絶対圧力 (kPa・A)	P_2^* : 二次側絶対圧力 (kgf/cm ² abs)
ΔP : $P_1 - P_2$ (kPa)	ΔP : $P_1 - P_2$ (kgf/cm ²)
(注 P_1 , P_2 は最大流量時の圧力)	
K : $1 + (0.0013 \times \text{過熱度}^\circ\text{C})$	K : $1 + (0.0013 \times \text{過熱度}^\circ\text{C})$

過熱度：一次側絶対圧力 (P_1) に対する飽和温度 (T_s) と一次側温度 (T_1) との差 ($T_1 - T_s$)。飽和蒸気の場合は過熱度は 0 とする。