

## 年 × [g]の冷媒漏れを生じる穴の近似的直径と、そこからの漏れに関する考察

VTS 関根 和弘

通常、漏れ箇所の穴の形状は円形ではないが、近似的に丸穴であるとすると、それはどの程度の直径に相当するか、また、その穴からの漏れは粘性流であるのか、分子流であるのか、を考察する。

漏れ × [g/y]を[mbar.l/s]に換算：

冷媒の分子量を M とすると、

$$\begin{aligned}\frac{x}{M} \text{ [mol/year]} &= 22.4 \times \frac{x}{M} \text{ [l/year]} \quad (\text{in } 0^\circ, 1\text{atm}) \\ &= 22.4 \times \frac{293}{273} \times \frac{x}{M} \text{ [l/year]} \quad (\text{in } 20^\circ, 1\text{atm}) \\ &= 22.4 \times \frac{293}{273} \times \frac{x}{M} \times 1013 \text{ [mbar.l/year]} \\ &= 22.4 \times 1013 \times \frac{293}{273} \times \frac{1}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \times \frac{x}{M} \text{ [mbar.l/sec]} \\ &= 7.72 \times 10^{-4} \times \frac{x}{M} \text{ [mbar.l/sec]}\end{aligned}$$

製品となったとき、配管中に冷媒が  $K \text{ [kg/cm}^2\text{]} (= 9.8K \times 10^4 \text{ [Pa]})$  で封入されているとすると、配管厚を  $h \text{ [mm]} (= h \times 10^{-3} \text{ [m]})$ 、漏れ穴径を  $D \text{ [m]}$ 、ガス粘度を  $\eta \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$  として、

$$Q(\text{粘}) = \frac{\pi}{2 \times 128 \eta} \times \frac{D^4}{h \times 10^{-3}} \times \left\{ (9.8K \times 10^4)^2 - (1.013 \times 10^5)^2 \right\} \text{ [Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec]}$$

$$\begin{aligned}Q(\text{粘}) \text{ [mbar.l/sec]} &= Q(\text{粘}) \text{ [Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}] \times 10 \\ &= \frac{\pi}{256 \eta} \times \frac{D^4}{h \times 10^{-4}} \times \left\{ (9.8K \times 10^4)^2 - (1.013 \times 10^5)^2 \right\} \text{ [mbar.l/sec]} \\ &= 1.23 \times \frac{D^4}{\eta h} \times 10^{11} \times (9.6K^2 - 10) \cdots \alpha\end{aligned}$$

今、より、この  $Q(\text{粘})$  は、 $7.72 \times 10^{-4} \times \frac{x}{M} \text{ [mbar.l/sec]}$ 、よって

$$\alpha = 7.72 \times 10^{-4} \times \frac{x}{M} \text{ より、}$$

$$1.23 \times \frac{D^4}{\eta h} \times 10^{11} \times (9.6 K^2 - 10) = 7.72 \times \frac{x}{M} \times 10^{-4}$$

$$\therefore D^4 = \frac{7.72}{1.23} \times 10^{-15} \times \frac{\eta h x}{M(9.6K^2 - 10)}$$

$$= 6.28 \times 10^{-15} \times \frac{\eta h x}{M(9.6K^2 - 10)} \text{ [m]} \cdots \Pi$$

[例] 今、配管の厚さ  $h=1[\text{mm}]$ 、冷媒充填圧力  $K=15[\text{kg}/\text{cm}^2]$ 、 $\text{CO}_2$  冷媒 ( $M=44$ ,  $\eta=0.0147 \times 10^{-3} [\text{Pa} \cdot \text{s}]$ ) で、年  $1[\text{g}]$ の漏れに相当する穴の直径を考える。

$\Pi$  式より、

$$D^4 = 6.28 \times 10^{-18} \times \frac{0.0147 \times 1 \times 1}{44 \times (9.6 \times 15^2 - 10)}$$

$$= 0.975 \times 10^{-24} \text{ [m]}$$

$$\therefore D = 0.99 \times 10^{-6} \text{ [m]} \cdots \beta$$

粘性流は、 $D\bar{P} \geq 0.67 \text{ [Pa, m]}$ と定義される。但し、 $\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$ である。

真空引きしたチャンバー内に、ある圧力  $P_1$  で加圧されたガスの入った試験体があるときは近似的に  $\bar{P} = P_1/2$  と見なせるので、 $DP_1 \geq 1.34$  で粘性流と考えて良い事になる。

ここで、式  $\beta$  より、 $D = 0.99 \times 10^{-6} \text{ [m]}$ を代入して、

$$P_1 \geq 1.35 \times 10^6 \text{ [Pa]}$$

となり、試験体内圧が  $1.35 \times 10^6 \text{ [Pa]} (=13.8[\text{kg}/\text{cm}^2] =13.3[\text{atm}])$ 以上であれば、真空法での測定であっても、試験体の穴からの漏れは粘性流であることが分かる。