年 x [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。

① 漏れ x [g/y]を[mbar.l/s]に換算：

冷媒の分子量を M とすると、

$$\frac{x}{M}\ [\text{mol/year}] = 22.4\times\frac{x}{M}\ [\text{l/year}]\quad(\text{in } 0℃,\ 1\text{atm})$$

$$=22.4\times\frac{293}{273}\times\frac{x}{M}\ [\text{l/year}]\quad(\text{in } 20℃,\ 1\text{atm})$$

$$=22.4\times\frac{293}{273}\times\frac{x}{M}\times1013\ [\text{mbar.l/year}]$$

$$=22.4\times1013\times\frac{293}{273}\times\frac{1}{365\times24\times60\times60}\times\frac{x}{M}\ [\text{mbar.l/sec}]$$

$$=7.72\times10^{-4}\times\frac{x}{M}\ [\text{mbar.l/sec}]$$

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

$$\text{Q(粘)}=\frac{\pi}{2\times128\eta}\times\frac{D^4}{h\times10^{-3}}\times\left\{(9.8K\times10^4)^2-(1.013\times10^5)^2\right\}\quad[\text{Pa.m}^3/\text{sec}]$$

$$\text{Q(粘)}\ [\text{mbar.l/sec}]=\text{Q(粘)}\ [\text{Pa.m}^3/\text{sec}]\times10$$

$$=\frac{\pi}{256\eta}\times\frac{D^4}{h\times10^{-4}}\times\left\{(9.8K\times10^4)^2-(1.013\times10^5)^2\right\}\ [\text{mbar.l/sec}]$$

$$=1.23\times\frac{D^4}{\eta h}\times10^{11}\times(9.6\text{K}^2-10)\cdots\alpha$$

今、①より、この Q(粘)は、$7.72\times10^{-4}\times\frac{x}{M}$ [mbar.l/sec]、よって

$\alpha = 7.72\times10^{-4}\times\frac{x}{M}$ より、

$$1.23\times\frac{D^4}{\eta h}\times10^{11}\times(9.6\,\mathrm{K}^2-10)=7.72\times\frac{x}{M}\times10^{-4}$$

$$\therefore D^4=\frac{7.72}{1.23}\times10^{-15}\times\frac{\eta hx}{M(9.6K^2-10)}$$

$$=6.28\times10^{-15}\times\frac{\eta hx}{M(9.6K^2-10)}\ \ [\mathrm{m}]\ \cdots\Pi$$

[例]　今、配管の厚さ h=1[mm]、冷媒充填圧力 K=15[kg/cm ^{2}]、CO_2 冷媒（M=44, $\eta=0.0147\times10^{-3}$ [Pa・s]）で、年 1[g]の漏れに相当する穴の直径を考える。
Π 式より、

$$D^4=6.28\times10^{-18}\times\frac{0.0147\times1\times1}{44\times(9.6\times15^2-10)}$$

$$=0.975\times10^{-24}\ \ [\mathrm{m}]$$

$$\therefore D=0.99\times10^{-6}\ \ [\mathrm{m}]\ \cdots\beta$$

粘性流は、$D\overline{P}\geq0.67$　[Pa, m]と定義される。但し、$\overline{P}=\dfrac{P_1+P_2}{2}$ 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 $\overline{P}=P_1/2$ と見なせるので、$DP_1\geq1.34$ で粘性流と考えて良い事になる。
ここで、式 β より、$D=0.99\times10^{-5}$　[m]を代入して、

$$P_1\geq1.35\times10^6\,[\mathrm{Pa}]$$

となり、試験体内圧が 1.35×10^6 [Pa] (=13.8[kg/cm ^{2}] =13.3[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。