

粘性流 分子流換算

(株)VTS 関根 和弘

目的：粘度 [Pa・s]のガス1が、国際単位 $q[\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}]$ 漏れて、粘性流として大気中に放出している。この漏れを、真空チャンバー内へ分子流として放出する別のガス2の流量に換算したい。(参考値：大気圧 = 1.013×10^5 [Pa])

計算：粘性流領域での流量は、

$$Q_{\text{粘}} = \frac{\pi}{128} \frac{D^4}{\eta L} \bar{P}(P_1 - P_2) = \frac{\pi}{256} \frac{D^4}{\eta L} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2)$$

これが q [$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$]であるので、 $\frac{\pi}{256} \frac{D^4}{\eta L} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2) = q$ 、従って、

$$D = \left(\frac{256\eta L q}{\pi} \right)^{\frac{1}{4}} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2)^{-\frac{1}{4}} \dots \dots$$

ここで求めた漏れ孔径 D を用いて、真空チャンバー法での振舞いを計算すると、分子流領域での流量 $Q_{\text{分子}}$ は、(T_c : テストチャンバー内温度[K]、 R : 気体定数[J/mol・K]とし)

$$Q_{\text{分子}} = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} \frac{D^3}{L} (P_2 - P_0) = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} \frac{1}{L} \left(\frac{256\eta L q}{\pi} \right)^{\frac{3}{4}} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2)^{-\frac{3}{4}} (P_2 - P_0)$$

今、ガス2は真空チャンバー内への放出なので $P_0 = 0$ と見なせて、

$$\begin{aligned} Q_{\text{分子}} &= \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} \frac{1}{L} \left(\frac{256\eta L q}{\pi} \right)^{\frac{3}{4}} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2)^{-\frac{3}{4}} P_2 \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} L^{-\frac{1}{4}} \left(\frac{256\eta q}{\pi} \right)^{\frac{3}{4}} (P_1^2 - P_{\text{大気圧}}^2)^{-\frac{3}{4}} P_2 \quad [\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}] \dots \dots \mathbf{A} \end{aligned}$$

漏れ流量域が中間流である場合等、Knudsenの式における粘性流項からの寄与が大きい場合は、上述の計算に加えて粘性流項の計算も行い、それを加算する必要があります。