

熱伝達率

参考文献には平板・管路内・管路外部の計算式が載っているが、内管は無論管路内の式を用いる。ドーナツ型断面の外管は相応しい計算式がないが、管路に直交している管路外や広い空間を想定している平板よりは管路内が近いと考え、管路内の式を用いる。

$$\text{レイノルズ数 } Re = \frac{\rho u l}{\mu} = \frac{q_m l}{\mu A} \quad q_m : \text{質量流量} \quad A : \text{断面積}$$

代表長さ l は外管は半径差 Δr 、内管は内径 d とする

円管内部のヌセルト数

層流

$$Nu = 1.86(Re_f Pr_f)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{d}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_m}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (\text{Sieder\&Tate})$$

$$Nu = 0.17 Re_f^{0.33} Pr_f^{0.43} Gr_f^{0.1} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \phi_l \quad (\text{ミハイエフ})$$

過渡

$$Nu = K_0 Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \phi_l \quad (\text{ミハイエフ})$$

Re	2200	2300	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
K_0	2.2	3.6	4.9	7.5	10	12.2	16.5	20	24	27	30	33

プログラムではこれを近似して以下の式を用いる

$$K_0 = 2.2809 \times 10^{-11} Re^3 - 6.0044 \times 10^{-7} Re^2 + 8.3117 \times 10^{-3} Re - 12.822$$

乱流

$$Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr_f^{\frac{1}{3}} \left(\frac{d}{L}\right)^{0.055} \quad (\text{Nusselt})$$

$$Nu = 0.021 Re_f^{0.8} Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \phi_l \phi_R \quad (\text{ミハイエフ})$$

今回は広い範囲で計算できるミハイエフの式を用いる。

ただし直管なので $\phi_l \cdot \phi_R$ は 1、またグラスホフ数や流体・壁面温度差の影響は無視して係数・プラントル数比は 1 とする。

※なお今回の計算ではレイノルズ数が小さい外管でも過渡領域であるためグラスホフ数は結果として無関係、また壁面との温度差も小さいのでその影響は 5%未満であった。

熱伝達率は

$$h = \frac{\lambda_f}{l} Nu \quad \lambda_f : \text{流体の熱伝導率}$$