



## 問題6-1

---

圧力2(atm)、温度200°Cの空気が、直径2.5(cm)の円管内を10(m/s)で流れながら加熱されている。壁面熱流束は一定、壁温は空気の温度より常に20(°C)高いとする。

- (1) このときの単位長さ当たりの伝熱量を計算しなさい。
- (2) 管の長さ3(m)当たりの混合平均温度の上昇を求めなさい。ただし、200(°C)の空気の物性値を以下の値とする。

$$\rho = 1.493(\text{kg} / \text{m}^3)$$

$$\mu = 2.57 \times 10^{-5}(\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s})$$

$$k = 0.0386(\text{W} / \text{m} \cdot \text{K})$$

$$Pr = 0.681$$

$$C_p = 1.025(\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K})$$



## 問題6-2

高さが1.5 m、幅が50 cmで、表面温度が75°Cに一定に保たれた垂直壁がある。静止した周囲の空気の温度が15°Cであるとき、この垂直壁からの自然対流による放熱量を求めよ。ただし、45°Cにおける空気の動粘度を $1.75 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 、体膨張率 $\beta$ を $(15+273)^{-1} \text{ 1/K}$ 、プラントル数を $Pr = 0.711$ とし、重力加速度を $9.807 \text{ m/s}^2$ とする。なお、垂直平板におけるChurchill-Chuの式

$$\overline{Nu} = \left( 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left\{ 1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right\}^{8/27}} \right)^2$$

または乱流自然対流の式 ( $10^9 < Ra_L < 10^{12}$ )

$$\overline{Nu}_L = 0.13 Ra_L^{1/3}$$

を用いてよい。



## 解法の方針6-1(1)

---

(1) まず、レイノルズ数は、

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} =$$

であるから、流れは( )である。従って、ヌッセルト数に  
対する式として、( )の式が使用可能である。

$$Nu = \frac{hd}{k} =$$

$$h = \frac{k}{d} Nu = \quad (W / m^2 \cdot K)$$

従って、単位長さ当たりの発熱量は、

$$\frac{Q}{L} = h \cdot \pi \cdot d \cdot (T_w - T_b) = \quad (W / m)$$



## 解法の方針6-1(2)

---

(2) 空気の質量流速を $m(\text{kg/s})$ とすると、


$$m = \rho \times u \times \frac{\pi d^2}{4} = \quad (\text{kg} / \text{s})$$

であるから、エネルギー収支の式より

$$Q = L_x \times \left( \frac{Q}{L} \right) = m \times c_p \times \Delta T$$

となるから、

$$\Delta T = \frac{L_x}{m \times c_p} \left( \frac{Q}{L} \right) = \quad (^\circ\text{C})$$



## 回答6-1(1)

---

(1) まず、レイノルズ数は、

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{(1.493)(10.0)(0.025)}{(2.57 \times 10^{-5})} = 14523$$

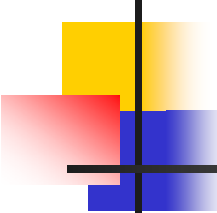
であるから、流れは乱流である。従って、ヌッセルト数に対する式として、Dittus-Doelterの式が使用可能である。

$$Nu = \frac{hd}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = (0.023)(14523)^{0.8} (0.68)^{0.4} = 42.13$$

$$h = \frac{k}{d} Nu = \frac{0.0386}{0.025} \times 42.13 = 65.05 (W / m^2 \cdot K)$$

従って、単位長さ当たりの発熱量は、

$$\frac{q}{L} = h \cdot \pi \cdot d \cdot (T_w - T_b) = (65.05) \times \pi \times (0.025) \times (20) = 102.2 (W / m)$$



## 回答6-1(2)

---

(2) 空気の質量流速を $m(\text{kg/s})$ とすると、

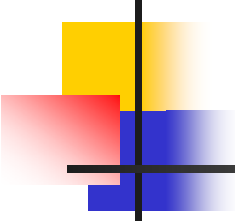
$$m = \rho \times u \times \frac{\pi d^2}{4} = (1.493)(10) \frac{\pi \times (0.025)^2}{4} = 7.329 \times 10^{-3} (\text{kg} / \text{s})$$

であるから、エネルギー収支の式より

$$Q = L_x \times \left( \frac{Q}{L} \right) = m \times c_p \times \Delta T$$

となるから、

$$\Delta T = \frac{L_x}{m \times c_p} \left( \frac{Q}{L} \right) = \frac{3.0}{(7.329 \times 10^{-3}) \times (1025)} (102.2) = 40.81 (^\circ\text{C})$$



## 回答6-2(1)

膜温度  $(75 + 15)/2 = 45^\circ\text{C}$  におけるグラスホフ数およびレイリー数は

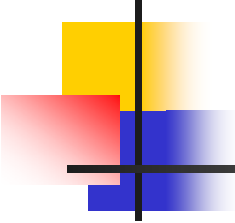
$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w - T_e)L^3}{\nu^2} = \frac{9.807 \times (15 + 273)^{-1} \times (75 - 15) \times 1.5^3}{(1.75 \times 10^{-5})^2} = 2.25 \times 10^{10}$$

$$Ra_L = Gr_L Pr = 2.25 \times 10^{10} \times 0.711 = 1.60 \times 10^{10}$$

ここで、Churchill-Chuの式を用いると、

$$\bar{h} = \left( 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left\{ 1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right\}^{8/27}} \right)^2 \frac{k}{L} = \left( 0.825 + \frac{0.387 \times (1.60 \times 10^{10})^{1/6}}{\left\{ 1 + (0.492/0.711)^{9/16} \right\}^{8/27}} \right)^2 \frac{0.0276}{1.5} = 5.39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\therefore Q = \bar{h} L W (T_w - T_e) = 5.39 \times 1.5 \times 0.5 \times (75 - 15) = 243 \text{ W}$$



## 回答6-2(2)

---

また、乱流自然対流の式を用いると、

$$\bar{h} = 0.13 Ra_L^{1/3} \frac{k}{L} = 0.13 \times (1.60 \times 10^{10})^{1/3} \times \frac{0.0276}{1.5} = 6.03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\therefore Q = \bar{h} L W (T_w - T_e) = 6.03 \times 1.5 \times 0.5 \times (75 - 15) = 271 \text{ W}$$

となる。