問題6-1

圧力2(atm)、温度200℃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(℃)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(℃)の空気の物性値を以下の値とする。

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

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

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

$$Pr = 0.681$$

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

問題6-2

高さが1.5 m、幅が50 cmで、表面温度が75℃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℃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℃における空気の動粘度を1.75×10^{-5} m²/s、体膨張率βを$(15+273)^{-1}$ 1/K、プラントル数をPr = 0.711とし、重力加速度を9.807m/s²とする。なお、垂直平板におけるChurchill-Chuの式

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

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

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

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。

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

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

従って、単位長さ当たりの発熱量は、

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

解法の方針6-1(2)

(2) 空気の質量流速をm(kg/s)とすると、

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

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、

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

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(kg/s)とすると、

$$m=\rho\times u\times\frac{\pi d^2}{4}=(1.493)(10)\frac{\pi\times(0.025)^2}{4}=7.329\times10^{-3}(kg/s)$$

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、

$$\Delta T=\frac{L_x}{m\times c_p}\left(\frac{Q}{L}\right)=\frac{3.0}{(7.329\times10^{-3})\times(1025)}(102.2)=40.81(°C)$$

回答6-2(1)

膜温度(75+15)/2=45℃におけるグラスホフ数およびレイリー数は

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w - T_e)L^3}{\nu^2} = \frac{9.807\times(15+273)^{-1}\times(75-15)\times1.5^3}{(1.75\times10^{-5})^2} = 2.25\times10^{10}$$

$$Ra_L = Gr_L Pr = 2.25\times10^{10}\times0.711 = 1.60\times10^{10}$$

ここで、Churchill-Chuの式を用いると、

$$\bar{h} = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left\{1+(0.492/Pr)^{9/16}\right\}^{8/27}}\right)^2 \frac{k}{L} = \left(0.825 + \frac{0.387\times(1.60\times10^{10})^{1/6}}{\left\{1+(0.492/0.711)^{9/16}\right\}^{8/27}}\right)^2 \frac{0.0276}{1.5} = 5.39\,\mathrm{W}/(\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{K})$$

$$\therefore Q = \bar{h}LW(T_w - T_e) = 5.39\times1.5\times0.5\times(75-15) = 243\mathrm{W}$$

回答6-2(2)

また、乱流自然対流の式を用いると、

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

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

となる。