

問題7-1

形 状	$Gr_f Pr_f$	C	m
水平円柱	$0-10^{-5}$	0.4	0
	$10^{-5}-10^4$	図7-8を用いる	図7-8を用いる
	10^4-10^9	0.53	$\frac{1}{4}$
	10^9-10^{12}	0.13	$\frac{1}{3}$

250°C、直径0.3048mの水平円管が、空気温度15°Cの室内に置かれている。1m当たりの、自然対流による熱損失を、以下の関係式を用いて、求めなさい。ただし、膜温度132.5°Cにおける以下の物性値を使用して良い。

$$\nu = 26.26 \times 10^{-6} (m^2 / s)$$

$$k = 0.03406 (W / m \cdot K)$$

$$Pr = 0.687$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{405.5} = 2.47 \times 10^{-3} (1 / K)$$

- (1) 実験式 : $Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m$
- (2) 簡易予測式

回答の指針7-1

形状	$Gr_f Pr_f$	C	m
水平円柱	$0-10^{-5}$	0.4	0
	$10^{-5}-10^4$		
	10^4-10^9	0.53	$\frac{1}{4}$
	10^9-10^{12}	0.13	$\frac{1}{3}$

$$Gr_d Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)d^3}{\nu^2} Pr =$$

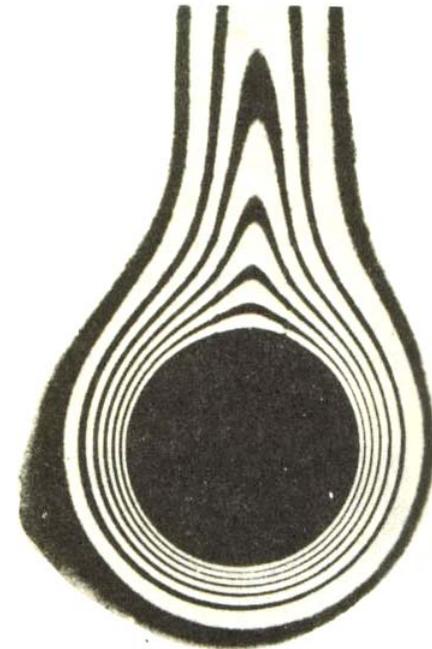
ここで、表より、 $C =$, $m =$

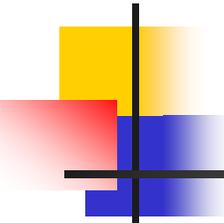
$$Nu_d = C \cdot (Gr_d Pr)^m =$$

$$h = \frac{k \cdot Nu_d}{d} = [W / m^2 \cdot K]$$

したがって、単位長さ当りの熱伝達量は

$$\frac{Q}{L} = h \pi d (T_w - T_\infty) = [W / m]$$





問題7-2

$$k_e = C \cdot k \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot (L/d)^m$$
$$C = 0.197, n = 1/4, m = -1/9$$

二重ガラス窓がある。窓ガラスの大きさは0.5m四方で、ガラス同士の間隔は15mmである。二重ガラスの間は空気で満たされているとする。

外気温が100°Cのとき内部での温度を40°Cに保つ時、両ガラス窓間の熱伝達量を求めなさい。

ただし、物性値は、両ガラス窓間の平均温度70°Cにおける以下の物性値を使用して良い。

$$\rho = 1.029(\text{kg} / \text{m}^3)$$

$$\mu = 2.062 \times 10^{-5}(\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s})$$

$$k = 0.0295(\text{W} / \text{m} \cdot \text{K})$$

$$Pr = 0.7$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{343} = 2.915 \times 10^{-3}(1 / \text{K})$$

回答の指針7-2

70°Cにおける空気の物性値より

$$Gr \cdot Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty) \cdot d^3}{(\mu/\rho)^2} \cdot Pr =$$

また表より、 $C =$, $n =$, $m =$ であるから

$$k_e = C \cdot k \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot (L/d)^m = \quad [W / m \cdot K]$$

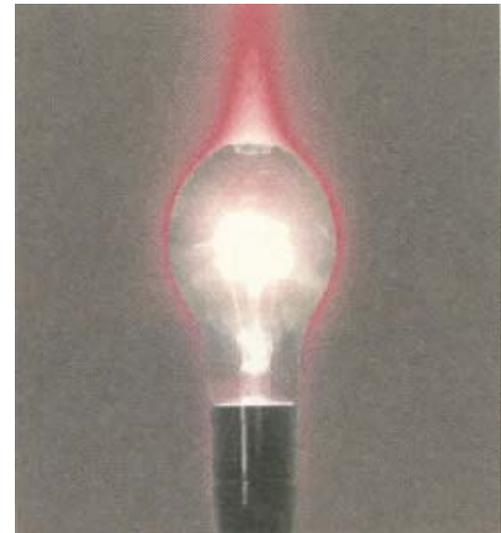
したがって求める熱伝達量は

$$q = k_e \cdot A \cdot \frac{T_w - T_\infty}{d} = \quad [W]$$

流体	形状	$Gr_\delta Pr$	Pr	$\frac{L}{\delta}$	C	n	m
気体	垂直 等温	<2000	$k_e/k=1.0$				
		6000-200,000	0.5-2	11-42	0.197	1/4	-1/9
		200,000-1.1 × 10 ⁷	0.5-2	11-42	0.073	1/3	-1/9
	水平 等温 下面より加熱	1700-7000	0.5-2	.....	0.059	0.4	0
		7000-3.2 × 10 ⁵	0.5-2	.....	0.212	1/4	0
		>3.2 × 10 ⁵	0.5-2	.....	0.061	1/3	0

問題7-3

図に示すように、消費電力100 W の白熱電球を考える。周囲温度が $T_1 = 295$ K で、点灯時の電球表面温度は $T_2 = 400$ K であった。自然対流による平均熱伝達率が $\bar{h} = 7.1$ [W/(m²·K)] のとき、対流による熱損失を推定せよ。ただし、電球を直径6 cmの球とする。





回答7-1

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{250 + 15}{2} = 132.5[^\circ\text{C}] = 405.5[\text{K}]$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 1 / 405.5 = 2.47 \times 10^{-3} [\text{K}^{-1}]$$

$$Gr_d Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)d^3}{\nu^2} Pr = \frac{(9.8)(2.47 \times 10^{-3})(250 - 15)(0.3048)^3(0.687)}{(26.26 \times 10^{-6})^2} = 1.605 \times 10^8$$

表7-1より、 $C = 0.53$, $m = 1 / 4$

$$Nu_d = 0.53(Gr_d Pr)^{1/4} = 0.53(1.605 \times 10^8)^{1/4} = 59.7$$

$$h = \frac{k \cdot Nu_d}{d} = \frac{0.03406 \cdot 59.7}{0.3048} = 6.67 [\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

したがって、単位長さ当りの熱伝達量は

$$\frac{q}{L} = h\pi d(T_w - T_\infty) = 6.67 \cdot \pi \cdot 0.3048(250 - 15) = 1.50 [\text{kW} / \text{m}]$$



回答7-2

平均温度は $T_f = \frac{100 + 40}{2} = 70[\text{C}]$

70°Cにおける空気の物性値より

$$G_r \cdot Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty) \cdot d^3}{(\mu / \rho)^2} \cdot Pr = \frac{9.81 \cdot 2.915 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 40) \cdot (15 \cdot 10^{-3})^3}{(2.062 \cdot 10^{-5} / 1.029)^2} \cdot 0.7 = 1.009 \cdot 10^4$$

ここでP.242、表7-3より $C = 0.197, n = 1/4, m = -1/9$ より

$$\begin{aligned} k_e &= C \cdot k \cdot (G_r \cdot Pr)^n \cdot (L/d)^m = 0.197 \cdot 0.0295 \cdot (1.009 \cdot 10^4)^{1/4} \cdot (0.5 / 0.015)^{-1/9} \\ &= 3.95 \cdot 10^{-2} [\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}] \end{aligned}$$

したがって求める熱伝達量は

$$q = k_e \cdot A \cdot \frac{T_w - T_\infty}{d} = 3.95 \cdot 10^{-2} \cdot 0.5^2 \cdot \frac{100 - 40}{0.015} = 39.5 [\text{W}]$$



回答7-3

直径6 cmの球における表面積は、 $A=1.131 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ である。
対流による熱損失は、

$$\begin{aligned} Q &= A\bar{h}(T_1 - T_2) = 0.01131 \times 7.1 \times (400 - 295) \\ &= 8.43 \text{ W} \end{aligned}$$