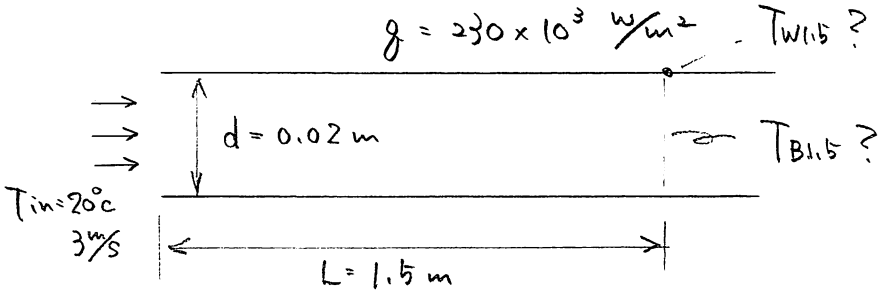
<問13>



(1) 20°cの水の物性値を用いて

$$Re_d = \frac{ud}{\nu} = \frac{\rho \cdot ud}{\mu} = \frac{998.2 \times 3 \times 0.02}{1002 \times 10^{-6}} = 5.9\overset{8}{\cancel{7}} \times 10^4 > 2300$$

∴ 乱流である.

乱流の速度助走区間の長さ L_T は 式(3.63b) より

$$L_T \approx 10d = 10 \times 0.02 = 0.2 \text{ m} < 1.5 \text{ m}$$

∴ 注目する 1.5m下流では 十分発達した温度場が形成されている.

(2) ヒートバランスを考えると.

$$q \times \pi d \times L = C_p \cdot \dot{m} \, (T_{B1.5} - T_{in})$$

$$= C_p \cdot \rho \frac{\pi}{4} d^2 \times u \, (T_{B1.5} - T_{in})$$

よって $$T_{B1.5} = T_{in} + \frac{4qL}{\rho C_p \cdot du}$$

$$= 20 + \frac{4 \times 230 \times 10^3 \times 1.5}{998.2 \times 4.185 \times 10^3 \times 0.02 \times 3} = 25.5\cancel{0} \text{ °C}$$ //

(3) (1)より 円管内強制対流の乱流であり. $10^3 < Re < 10^7$ の範囲内なので Dittus-Boelter の式を用いることができる.

$T_{B1.5} = 25.5$°c のときの水の物性値は.

$$\rho = 998.2 + \frac{25.5 - 20}{30 - 20}(995.7 - 998.2) = 996.8\cancel{7} \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4.185 + \frac{25.5 - 20}{30 - 20}(4.180 - 4.185) = 4.182\cancel{7} \text{ kJ/kg·K}$$

$$\mu = 1002 + \frac{25.5 - 20}{30 - 20}(797.3 - 1002) = 889.4\cancel{X} \text{ μPa·s}$$

$$k = 599.5 + \frac{25.5 - 20}{30 - 20}(615.0 - 599.5) = 608.0\cancel{7} \text{ mW/m·K}$$

$$Pr = 6.991 + \frac{25.5 - 20}{30 - 20}(5.419 - 6.991) = 6.126\cancel{4}$$

ゆえに $$Re_d = \frac{\rho ud}{\mu} = \frac{996.8 \times 3 \times 0.02}{889.4 \times 10^{-6}} = 6.72\overset{5}{\cancel{45}} \times 10^4$$

Dittus-Boelter の式 $Nu_d = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{0.4} = \dfrac{hd}{k}$ より

1.5m下流における局所熱伝達率 $h_{1.5}$ は

$$h_{1.5} = \frac{k}{d} \times 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{0.4}$$

$$= \frac{608 \times 10^{-3}}{0.02} \times 0.023 \times (6.725 \times 10^{4})^{0.8} \times 6.126^{0.4}$$

$$= 1.051\cancel{0} \times 10^{4}\ \mathrm{W/m^2 \cdot K}$$

したがって 1.5m下流におけるニュートンの冷却法則の式より

$$q = h_{1.5}\,(T_{w1.5} - T_{B1.5})$$

よって $T_{w1.5} = T_{B1.5} + \dfrac{q}{h_{1.5}} = 25.5 + \dfrac{230 \times 10^{3}}{1.051 \times 10^{4}} = 47.\overset{4}{\cancel{38}}$ °C //