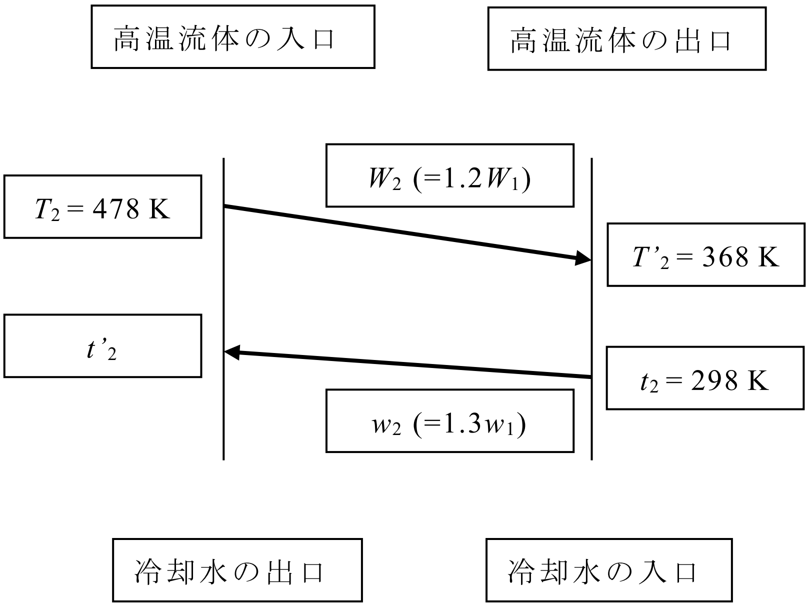
令和 5 年度高圧ガス製造保安責任者試験（記述式）の解答例
（甲種機械・学識）

【問 1 の解答例】

（1）能力増強後の運転条件の伝熱図は、以下となる。



能力増強後の運転条件

（2）高温流体側の運転条件より

現状の運転条件の伝熱速度 Q_1 は、

$Q_1 = W_1C_1(T_1 - T_1') = W_1C_1(478 - 378) = 100W_1C_1$

能力増強後の運転条件の伝熱速度 Q_2 は、

$Q_2 = W_2C_2(T_2 - T_2') = W_2C_2(478 - 368) = 110W_2C_2$

題意より　$W_2 = 1.2W_1$、$C_2 = C_1$であるから、

$Q_2/Q_1 = (110W_2C_2)/(100W_1C_1)$

$= (110 \times 1.2W_1C_1)/(100W_1C_1)$

$=1.32$

（3）冷却水側の運転条件より

現状の運転条件の伝熱速度 Q_1 は、

$Q_1 = w_1c_1(t_1' - t_1) = w_1c_1(318 - 298) = 20w_1c_1$

能力増強後の運転条件の伝熱速度 Q_2 は、

$Q_2 = w_2c_2(t_2' - t_2) = w_2c_2(t_2' - 298)$

（2）より $Q_2 = 1.32Q_1$、題意より　$w_2 = 1.3w_1$、$c_2 = c_1$であるから、

$Q_2 = w_2c_2(t_2' - 298) = 1.3w_1c_1(t_2' - 298)$

$1.3(t_2' - 298) = 1.32 \times 20$

$t_2' = 1.32 \times 20/1.3 + 298$

$=318$ K

（4）伝熱速度 Q_1、Q_2 は、

$Q_1 = U_1 A_1 \Delta T_{1av}$ 、 $Q_2 = U_2 A_2 \Delta T_{2av}$

題意より、

$\Delta T_1 = T_1 - t_1' = 478 - 318 = 160$ K

$\Delta T_1' = T_1' - t_1 = 378 - 298 = 80$ K

$\Delta T_2 = T_2 - t_2' = 478 - 318 = 160$ K

$\Delta T_2' = T_2' - t_2 = 368 - 298 = 70$ K

算術平均より、

$\Delta T_{1av} = 1/2(\Delta T_1 + \Delta T_1') = 1/2\ (160 + 80) = 120$ K

$\Delta T_{2av} = 1/2(\Delta T_2 + \Delta T_2') = 1/2\ (160 + 70) = 115$ K

（2）より $Q_2 = 1.32 Q_1$、題意より $U_2 = U_1$ であるから、

$A_1 = Q_1/(U_1 \Delta T_{1av})$ 、 $A_2 = Q_2/(U_2 \Delta T_{2av})$

$A_2/A_1 = Q_2/(U_2 \Delta T_{2av}) \times (U_1 \Delta T_{1av})/Q_1$

$= 1.32\, Q_1 \Delta T_{1av}/(Q_1 \Delta T_{2av})$

$= 1.32 \times 120/115$

$= 1.38$

【問２の解答例】

(1) $$D_{\mathrm{e}} = 4 \times \frac{(1 \times 1.50)}{2\ (1.00 + 1.50)} = 1.20\ \ \mathrm{m}$$

(2) $$Re = \frac{\rho \bar{u} D_{\mathrm{e}}}{\mu} = \frac{1.21 \times 4.00 \times 1.20}{1.82 \times 10^{-5}} = 319\ \ 000 > 4\ \ 000$$ ∴乱流である

(3) $$F = 4\ \ f\ \left(\frac{\bar{u}^2}{2}\right)\ \left(\frac{l}{D_{\mathrm{e}}}\right) = 4 \times 0.006 \times \left(\frac{4.00^2}{2}\right)\left(\frac{300}{1.20}\right) = 48.0\ \ \mathrm{J/kg}$$

(4) $$w = \frac{\bar{u}^2}{2} + F = \frac{4^2}{2} + 48.0 = 56.0\ \ \mathrm{J/kg}$$

(5) $$P = \frac{w q_{\mathrm{m}}}{\eta} = \frac{56.0 \times (1.21 \times 1.00 \times 1.50 \times 4.00)}{0.600} = 677.6\ \ \mathrm{W}$$

【問３の解答例】

(1)　金属の靭性（低温脆性）を評価する。低温で使用する機器、構造物が脆性破壊を生じないように設計を行うために、温度の低下に伴う吸収エネルギーの減少または延性破壊から脆性破壊に遷移する温度を調べる。

(2)　種々の温度でシャルピー衝撃試験を行い得られる延性（脆性）破面率線図より、破面が延性から脆性へ 50％変化する温度を求める。

(3)　脱酸剤として用いられるほか、アルミニウムは鋼中の窒素と結合して AlN（窒化アルミニウム）となり結晶の細粒化を促し、低温靭性を大きくする。

(4)　低温における金属材料の靭性は、その結晶構造によって異なる。炭素鋼は結晶構造が$\boxed{\text{①体心立方格子}}$であり、ある温度以下で脆くなる低温脆性への遷移を$\boxed{\text{②示す}}$が、アルミニウム合金の結晶構造は$\boxed{\text{③面心立方格子}}$であり、低温脆性への遷移を$\boxed{\text{④示さない}}$。

亜共析炭素鋼の引張強さ、遷移温度、吸収エネルギーは、C 量によって変化する。C 量増加に伴い、引張強さは$\boxed{\text{⑤増加}}$し、遷移温度は$\boxed{\text{⑥上昇}}$し、吸収エネルギーは$\boxed{\text{⑦低下}}$する。

【問４の解答例】

(1)　胴に生じる円周応力σ_θは次式で表される。

$$\sigma_\theta = \frac{pD}{2t}$$

(2)　胴に生じる軸応力σ_zは次式で表される。

$$\sigma_z = \frac{pD}{4t}$$

(3)　胴の厚さ方向の垂直応力は$\sigma_r = 0$であって、胴の形状の対称性から３つの主応力はそれぞれ次式で表される。

$$\sigma_1 = \sigma_\theta = \frac{pD}{2t}$$

$$\sigma_2 = \sigma_z = \frac{pD}{4t}$$

$$\sigma_3 = \sigma_r = 0$$

(4)　(3)の結果を用いれば，最大せん断応力は次のとおりである。

$$\tau_{\max} = \max\left\{\frac{|\sigma_\theta - \sigma_z|}{2}, \frac{|\sigma_z - \sigma_r|}{2}, \frac{|\sigma_r - \sigma_\theta|}{2}\right\} = \max\left\{\frac{pD}{8t}, \frac{pD}{8t}, \frac{pD}{4t}\right\} = \frac{pD}{4t}$$

【問５の解答例】

(1) 断熱圧縮の前後で

$$p_1V_1^{\gamma}=p_2V_2^{\gamma}、\quad \frac{T_1}{p_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}=\frac{T_2}{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

の関係式が成り立つので

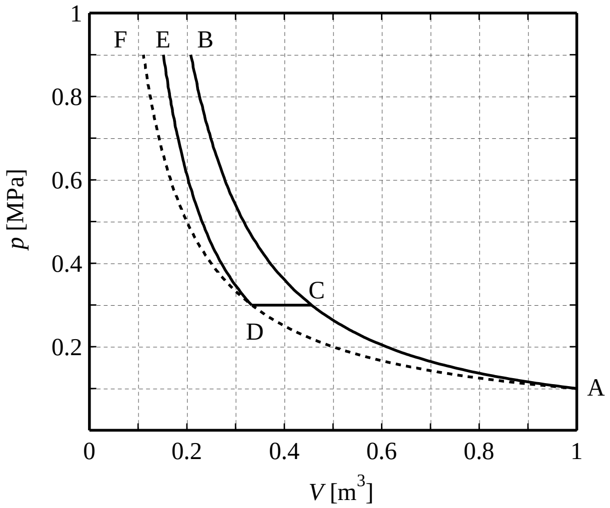
$$V_2=V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}=1.0\times\left(\frac{0.1}{0.9}\right)^{\frac{1}{1.4}}=1.0\times 1/(9)^{0.714}=1.0\times 1/4.80=0.208\ \ \mathrm{m^3}$$

cf. 指数計算の図より、$(9)^{0.714}\fallingdotseq 4.8$

$$T_2=T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=300\times\left(\frac{0.9}{0.1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}=300\times(9)^{0.286}=300\times 1.875=563\ \ \mathrm{K}$$

cf. 指数計算の図より、$(9)^{0.286}\fallingdotseq 1.87$、　よって、$T_2=300\times 1.87=561\ \ \mathrm{K}$

(2) および(5)は下図のとおり



(3) 物質量をn、定容モル熱容量を$C_{\mathrm{m,V}}$とすると、理想気体の断熱圧縮に要する絶対仕事は、気体の内部エネルギーの増加量に等しいので

$$W_{12}=n\,C_{\mathrm{m,V}}(T_2-T_1)=\frac{p_1V_1}{RT_1}\frac{1}{\gamma-1}R(T_2-T_1)=\frac{p_1V_1}{\gamma-1}\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)$$

$$=\frac{0.1\times10^6\times1.0}{1.4-1}\times\left(\frac{563}{300}-1\right)=2.19\times10^5\ \ \mathrm{J}$$

断熱圧縮の工業仕事は絶対仕事のγ倍であるので

$$W_{\mathrm{t12}}=\gamma W_{12}=1.4\times2.19\times10^5=3.07\times10^5\ \ \mathrm{J}$$

（4） 1段圧縮後の温度T_2'は

1段目と2段目の圧力比は同じであるので

$$T_2' = T_1\left(\frac{p_\mathrm{m}}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300\times\left(\frac{0.3}{0.1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 300\times(3)^{0.286} = 300\times 1.37 = 411 \ \ \mathrm{K}$$

cf.指数計算の図より、$(3)^{0.286}$ ≒1.37

$$\begin{aligned}W_{\mathrm{t13}} &= 2\gamma n\,C_{\mathrm{m,V}}(T_2' - T_1) = \frac{2\gamma p_1 V_1}{\gamma-1}\left(\frac{T_2'}{T_1} - 1\right)\\ &= \frac{2\times 1.4\times 0.1\times 10^6\times 1.0}{1.4-1}\times\left(\frac{411}{300} - 1\right)\\ &= 2.59\times 10^5 \ \ \mathrm{J}\end{aligned}$$