令和７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】

⑴　内管の厚さは、

x ＝ $(d_1 - d_2)$ / 2 ＝ (0.050 － 0.044) / 2 ＝ 0.003 m

内管の平均径は、

d_{av} ＝ $(d_1 + d_2)$ / 2 ＝ (0.050 ＋ 0.044) / 2 ＝ 0.047 m

内管平均径基準の総括伝熱係数（熱貫流率）U [W/(m²･K)]は、

$$\frac{1}{U} = d_{av}\left[\frac{1}{h_1 d_1} + \frac{x}{\lambda d_{av}} + \frac{1}{h_2 d_2}\right]$$

で表されるので、

$1/U$ ＝ 0.047 ×{ 1 / (8000×0.050) ＋ 0.003 / (50×0.047) ＋ 1 / (600×0.044) }

＝ 0.047 ×（ 0.0025 ＋ 0.0013 ＋ 0.0379 ）

＝ 0.047 × 0.0417 ＝ 0.00196

U ＝ 510 W/(m²･K)

⑵　熱交換器の平均温度差 ΔT_{av}［K］は、$\Delta T_1 = T_s - T_1$、$\Delta T_2 = T_s - T_2$ より、

ΔT_{av} ＝ $(\Delta T_1 + \Delta T_2)$ / 2 ＝ $\{(T_s - T_1) + (T_s - T_2)\}$ / 2

＝ {(433－303) ＋ (433－363)} / 2 ＝ (130＋70) / 2

＝ 100 K

熱交換器の伝熱量 Q と凝縮蒸気量 G_W の関係は、$Q = G_W(i_1 - i_2)$ で表されるので、

Q ＝（ 740 / 3600 ）×（ 2754 － 674 ）＝ 427.6 kW

熱交換器の伝熱面積 A と、所要伝熱管長さ L の関係は、内管平均径基準であるから、

$A = \pi d_{av} L$

$Q = U A \Delta T_{av} = U \pi d_{av} L \Delta T_{av}$

$L = Q / (U \pi d_{av} \Delta T_{av})$ ＝ 427.6 / (0.510×3.14×0.047×100) ＝ 56.8 m

⑶　熱交換器の伝熱量 Q と、油の流量 G_O の関係は、

$Q = G_O c (T_2 - T_1)$

$G_O = Q / \{c (T_2 - T_1)\}$

＝ 427.6 / {2.64 ×(363－303)} ＝2.699 kg/s ＝9720 kg/h

【問２の解答例】

⑴　ベルヌーイの定理より

$$\frac{\rho u_1^{\ 2}}{2}+\rho g h_1+p_1=\frac{\rho u_2^{\ 2}}{2}+\rho g h_2+p_2$$

同等の式ならば可。

⑵　$p_1 = p_2 = p_0$ 、$h_1 - h_2$ より、

$$u_2^{\ 2}\left\{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right\}=2g(h_1-h_2)$$

$A_1 \gg A_2$ より、左辺は $u_2^{\ 2}$ とみなせるので、

$$u_2=\sqrt{2g(h_1-h_2)}$$

題意より $u_1 = 0$ として上式を導いても可。

⑶　ベルヌーイの定理より

$$\frac{\rho u_1^{\ 2}}{2}+\rho g h_1+p_1=\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}+\rho g h_3+p_3+\Delta p$$

$u_1 = 0$、$p_1 = p_3 = p_0$ より、

$$\rho g(h_1-h_3)=\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}+\Delta p \qquad \text{また、}\Delta p = 4f\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}\frac{L}{D} \quad \text{より、}$$

$$\rho g(h_1-h_3)=\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}+4f\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}\frac{L}{D}=\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}\left(1+4f\frac{L}{D}\right)$$

$h_1-h_3 = 2.10\ \mathrm{m}$ より、

$$u_3=\sqrt{\frac{2g(h_1-h_3)}{\left(1+4f\dfrac{L}{D}\right)}}=\sqrt{\frac{2\times 9.8\times 2.10}{\left(1+4\times 0.005\times\dfrac{100}{0.05}\right)}}=\sqrt{1.004}\fallingdotseq 1.00\,\mathrm{m/s}$$

$$\Delta p = 4f\frac{\rho u_3^{\ 2}}{2}\frac{L}{D}=4\times 0.005\times\frac{1000\times 1.0^2}{2}\times\frac{100}{0.05}=20000\,\mathrm{Pa}=20.0\,\mathrm{kPa}$$

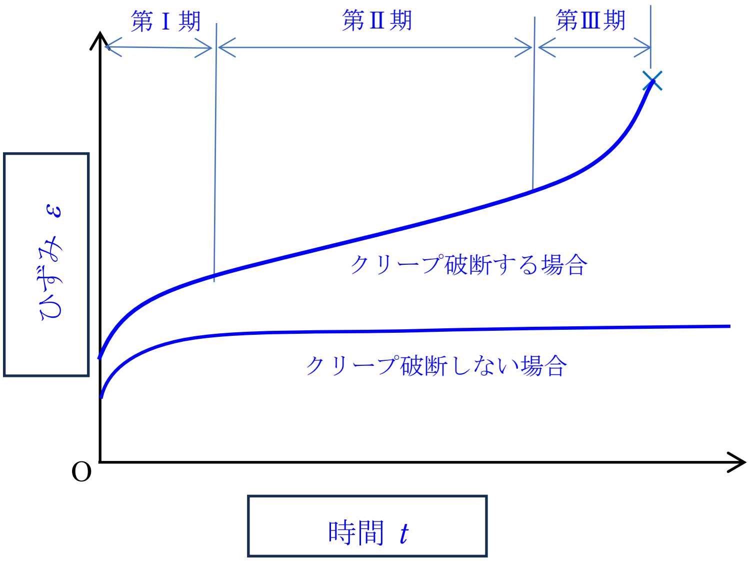
⑷　$$Re=\frac{\rho u_3 D}{\mu}=\frac{1000\times 1.0\times 0.05}{1.00\times 10^{-3}}=50000$$

したがって、レイノルズ数が 4000 を超えると乱流であるので、乱流域との仮定は妥当である。

【問３の解答例】

⑴　金属材料のクリープ現象とは、材料に一定温度下で一定の荷重（または応力）を作用させたとき、時間の経過とともに変形（またはひずみ）が増加する現象をいう。

⑵　クリープ曲線



⑶

段　階	ひずみの変化
第Ⅰ期（遷移クリープ）	ひずみは、はじめ急激に増加するが、増加速度は徐々に減少し、一定値に近づく。
第Ⅱ期（定常クリープ）	ひずみは、ほぼ一定の速度（定常クリープ速度）で増加する。
第Ⅲ期（加速クリープ）	ひずみの増加速度は徐々に増大し、ついには破断に至る。

⑷

①（金属の元素記号）	Mo
②（金属の元素記号）	Cr
③（語句）	焼もどし脆化（または焼もどし脆性）
④（語句）	475℃脆化（または 475 ℃脆性）
⑤（語句）	σ（シグマ）相

【問４の解答例】

⑴　内圧 p が作用する面積は、内径 D の円の面積であるから、$\pi D^2/4$ と表せる。

⑵　接線応力 σ_θ が作用する面積は、直径 $D+2t$ の円の面積から直径 D の円の面積を差し引いて求められる。

$$\frac{\pi\left(D+2t\right)^2}{4}-\frac{\pi D^2}{4}=\pi Dt+\pi t^2 \fallingdotseq \pi Dt$$

薄肉の仮定により πt^2 は πDt に比べて十分小さく無視できるので、接線応力 σ_θ が作用する面積は近似的に πDt と表せる。

⑶　⑴より内圧 p が作用する面積は $\pi D^2/4$ であり、⑵より接線応力 σ_θ が作用する面積は πDt である。それぞれの合力が釣り合うので次式が得られる。

$$p\frac{\pi D^2}{4}=\sigma_\theta \pi Dt$$

⑷　⑶の結果を整理すると、次式が得られる。

$$\sigma_\theta=p\frac{\pi D^2}{4}\frac{1}{\pi Dt}=\frac{pD}{4t}$$

⑸　球形胴の接線応力 σ_θ は等二軸応力であるので、次式が得られる。

$$\sigma_1=\sigma_2=\sigma_\theta=\frac{pD}{4t}$$

$$\sigma_3=\sigma_r \fallingdotseq 0$$

【問５の解答例】

⑴　理想気体の状態方程式より、

$$T_{\mathrm{A}}=\frac{p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}}{nR}=\frac{0.1\times10^{6}\times2.0}{80\times8.31}=300.8\fallingdotseq301\,\mathrm{K}$$

⑵　気体のモル熱容量の比が $\gamma=1.5$ であることから、

$$C_{\mathrm{m},p}=\frac{\gamma}{\gamma-1}R=\frac{1.5}{1.5-1}\times8.31=24.93\fallingdotseq24.9\ \mathrm{J/(mol\cdot K)}$$

$$C_{\mathrm{m},V}=\frac{1}{\gamma-1}R=\frac{1}{1.5-1}\times8.31=16.62\fallingdotseq16.6\ \mathrm{J/(mol\cdot K)}$$

⑶　状態 A から状態 B の等温圧縮過程で圧縮に要する仕事 W_{AB} は、

$$W_{\mathrm{AB}}=\int_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}}-p\mathrm{d}V=p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}\int_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}}\left(-\frac{\mathrm{d}V}{V}\right)=-p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}\ln\frac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}}=p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}\ln\frac{p_{\mathrm{B}}}{p_{\mathrm{A}}}$$

$$=0.1\times10^{6}\times2.0\times\ln5$$

$$=0.1\times10^{6}\times2.0\times1.609$$

$$=3.218\times10^{5}\,\mathrm{J}\fallingdotseq322\,\mathrm{kJ}$$

等温変化では内部エネルギーが変化しない（$\Delta U=0$）ので、圧縮に要した仕事は気体から取り除いた熱量に等しい。したがって、

$$Q_{\mathrm{AB}}=W_{\mathrm{AB}}=322\ \mathrm{kJ}$$

⑷　可逆断熱変化では、$pV^{\gamma}=$一定　より

$$\frac{T}{p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}=\text{一定}$$　が成り立つので、

$$T_{\mathrm{C}}=T_{\mathrm{A}}\left(\frac{p_{\mathrm{C}}}{p_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=300.8\times\left(\frac{0.5\times10^{6}}{0.1\times10^{6}}\right)^{\frac{1.5-1}{1.5}}=300.8\times5^{\frac{1}{3}}=300.8\times1.71=514.3\fallingdotseq514\,\mathrm{K}$$

圧縮に要した仕事は、気体の内部エネルギー増加量に等しいので、

$$W_{\mathrm{AC}}=\Delta U=nC_{\mathrm{m},V}(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{A}})=80\times16.62\times(514.3-300.8)=2.838\times10^{5}\,\mathrm{J}\fallingdotseq284\,\mathrm{kJ}$$

⑸　状態 C から状態 B は等圧変化なので、圧縮に要した仕事 W_{CB} は、

$$W_{\mathrm{CB}}=\int_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}}(-p\,\mathrm{d}V)=-p_{\mathrm{C}}(V_{\mathrm{B}}-V_{\mathrm{C}})=p_{\mathrm{C}}V_{\mathrm{C}}-p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}}=nR(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{B}})$$

$$=80\times8.31\times(514.3-300.8)=1.419\times10^{5}\,\mathrm{J}\fallingdotseq142\,\mathrm{kJ}$$

等圧変化で気体から取り除いた熱量 Q_{CB} は、

$$Q_{\mathrm{CB}}=nC_{\mathrm{m},p}(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{B}})=80\times24.93\times(514.3-300.8)=4.258\times10^{5}\,\mathrm{J}=426\,\mathrm{kJ}$$

⑹　方法２の場合の圧縮仕事は、

$$W_{\mathrm{AC}}+W_{\mathrm{CB}}=284+142=426\,\mathrm{kJ}$$

⑶から $W_{\mathrm{AB}}=322\ \mathrm{kJ}$ なので

$W_{\mathrm{AB}}<W_{\mathrm{AC}}+W_{\mathrm{CB}}$ であり、答えは（ハ）