令和３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) 内管の内径　$d_2 = d_1 - 2x = 60 - 2 \times 4 = 52$ mm

内管平均径

$d_{av} = (d_1 + d_2)/2 = (60 + 52)/2 = 56$ mm

内管平均径基準の U [W/(m^2・K)]は、

$1/U = d_{av}\left\{1/(h_1 d_1) + x/(\lambda d_{av}) + 1/(h_2 d_2)\right\}$

$=0.056 \times \left\{1/(8000 \times 0.060) + 0.004/(50 \times 0.056) + 1/(600 \times 0.052)\right\}$

$=0.056 \times (0.0021 + 0.0014 + 0.0321)$

$=0.056 \times 0.0356$

$= 0.00199$

$U = 503$ W/(m^2・K)

(2) 熱交換器の平均温度差は、

$\Delta T_{av} = (\Delta T_1 + \Delta T_2)/2 = \left\{(T_S - T_1) + (T_S - T_2)\right\}/2$

$= \left\{(433 - 303) + (433 - 363)\right\}/2 = (130 + 70)/2$

$= 100$ K

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、

$A = \pi d_{av} L$

熱交換器の油側の伝熱量Qと所要伝熱管長さLの関係は、

$Q = Gc(T_2 - T_1) = UA\Delta T_{av} = U\pi d_{av} L \Delta T_{av}$

$L = Gc(T_2 - T_1)/(U\pi d_{av}\Delta T_{av})$

$= 8000/(60 \times 60) \times 2.64 \times (363 - 303)/(0.503 \times \pi \times 0.056 \times 100)$

$= 352/8.85$

$= 39.8$ m

(3) 熱交換器の油側の伝熱量Qと凝縮蒸気量Wの関係は、

$Q = Gc(T_2 - T_1) = W(i_1 - i_2)$

$W = Gc(T_2 - T_1)/(i_1 - i_2)$

$= 8000 \times 2.64 \times (363 - 303)/(2754 - 674)$

$= 1267200/2080$

$= 609$ kg/h

【問２の解答例】

(1) ①点における流速u_1を求める

配管内径Dの断面積 $A = \pi D^2/4 = 7.85 \times 10^{-3}$ m^2

流速 $u_1 = q / A / 3600 = 100 / (7.85 \times 10^{-3}) / 3600 = 3.54$ m/s

$Re = D u_1 \rho / \mu$

$= 0.1 \times 3.54 \times 1000 / (1.2 \times 10^{-3}) = 2.95 \times 10^5$

(2) 管路は、(1)のRe数より乱流域なので、ファニングの式を適用する。

$F = 4f(l / D)(u_1^2 / 2) = 4 \times 0.005 \times (100/0.1) \times (3.54)^2/2$

$\fallingdotseq 125.32$ J/kg

(3) エネルギー保存の式は、ベルヌーイの式を使って以下のようになる

$(u_2^2 / 2) + p_2 / \rho + g h_2 + w = (u_1^2 / 2) + p_1 / \rho + g h_1 + F$

従って、wで整理すると以下のようになる。

$w = (u_1^2 - u_2^2) / 2 + (p_1 - p_2) / \rho + g(h_1 - h_2) + F$

$= (u_1^2 - u_2^2) / 2 + g(h_1 - h_2) + F$ ・・・(a)

また、送液に必要な理論動力P_wは、

$P_w = w q_m$

(4) (a)式に数値を代入する。

$w = (u_1^2 - u_2^2) / 2 + g(h_1 - h_2) + F = (3.54^2 - 0)/2 + 9.8 \times (2 - 10) + 125.32$

$= 6.27 - 78.4 + 125.32$

$= 53.19$ J/kg

$q_m = q\rho / 3600 = 100 \times 1000 / 3600 \fallingdotseq 27.78$ kg/s

$P_w = w q_m = 53.19 \times 27.78 \fallingdotseq 1478$ W

【問３の解答例】

放射線透過試験

原理と方法	放射線には物質を透過する性質があり、写真フィルムを感光させて透過の程度の違いを見ることができる。試験体にＸ線またはγ線を照射し、試験体を透過した放射線の強さの差を写真フィルム上に濃淡の像で現すことで、欠陥の有無や形状を検査する。
欠陥の種類と位置	試験体の内在欠陥、特に溶接部のブローホール、溶け込み不足、割れ、鋳物の欠陥など
適用対象	溶接部や鋳物における検査に広く用いられている。放射線入射方向に直角な面にある微細欠陥、平面的に広がりのある欠陥の検出には不向きである。

磁気探傷試験（磁粉探傷試験）

原理と方法	金属材料を磁化したとき、磁束は欠陥部でわん曲され一部が表面に漏えいする。磁束が漏えいした部分では、局部的な磁極が発生するため、その周囲に強磁性体の微粉末（磁粉）が吸い寄せられ、欠陥の位置や形状が確認できる。
欠陥の種類と位置	試験体表面と表面近傍の欠陥
適用対象	磁化現象を利用するため、磁性材料に適用できる。オーステナイト系ステンレス鋼などの非磁性体には適用できない。

渦電流探傷試験（渦流探傷試験）

原理と方法	電磁誘導試験の一種で試験体に時間的に変化する磁場を加え、試験体に生じる渦電流が欠陥によって変化する。
欠陥の種類と位置	試験体表面と表面近傍の欠陥、腐食減肉
適用対象	導体の材料に適用できる。線、棒などの表面きず、管の割れや腐食などの検出に使用される。

【問４の解答例】

(1) 軸方向単位長さ当たりの内圧pの作用面積は、円の直径Dと軸方向長さ1の積であるから、Dと表せる。

(2) 軸方向単位長さ当たりの円周応力の作用面積は、肉厚tと軸方向長さ1の積であるが、C-C断面には2箇所あるので､$2t$と表せる。

(3) (1)と(2)の結果を用いれば、C-C断面における力の釣り合いは、次式で表される。

$$Dp = 2t\sigma_\theta$$

(4) (3)の結果をσ_θについて解けば、次式を得る。

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

(5) 内圧pの作用面積は、直径Dの円の面積であるから、$\pi D^2/4$と表せる。

(6) 軸応力σ_zの作用面積は、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。

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

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、軸応力σ_zの作用面積は近似的にπDtと表せる。

(7) (5)と(6)の結果を用いれば、A-A断面における力の釣り合いは、次式で表される。

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

(8) (7)の結果をσ_zについて解けば、次式を得る。

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

(9) 変形前の円周長さはπDであり、変形後の円周長さは$\pi(D + \Delta D)$であるから、円周の伸びは次のように求められる。

$$\pi(D + \Delta D) - \pi D = \pi\Delta D$$

円周の伸びを元の長さで除せば、円周ひずみは次式のように求められる。

$$\varepsilon_\theta = \frac{\pi\Delta D}{\pi D} = \frac{\Delta D}{D}$$

(10) (4)で求めた円周応力、(8)で求めた軸応力および(9)で求めた接線ひずみを与えられた関係式に代入して整理すれば、次式を得る。

$$\Delta D = \frac{(2 - \nu)}{4E}\frac{D^2 p}{t}$$

【問５の解答例】

(1) W_{12} ＝ ②＋④

W_{t} ＝ ①＋②

(2) W_{t} ＝ ①＋②

＝ ①＋②＋④－④

＝ ①＋W_{12}－④

＝ $(p_2 - p_1)V_2 + W_{12} - p_1(V_1 - V_2)$

＝ $p_2V_2 + W_{12} - p_1V_1$

A → Bは等温変化であり$p_1V_1 = p_2V_2$となるので

$W_{12} = W_{\mathrm{t}}$

(3) 断熱圧縮後の体積V_2、温度T_2は

$$V_2 = V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 1.0 \times \left(\frac{0.1}{0.5}\right)^{\frac{1}{1.40}} = \frac{1}{5^{\frac{1}{1.40}}} = \frac{1}{3.157} = 0.317\ \mathrm{m^3}$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300 \times \left(\frac{0.5}{0.1}\right)^{\frac{0.4}{1.40}} = 300 \times 1.584 = 475\ \mathrm{K}$$

(4) 気体の断熱圧縮に要する絶対仕事W_{12}は内部エネルギーの増加量に等しいので定容モル比熱容量を$C_{\mathrm{m,V}}$とすると

$$W_{12} = nC_{\mathrm{m,V}}(T_2 - T_1) = n\frac{1}{\gamma - 1}R(T_2 - T_1) = \frac{nRT_1}{\gamma - 1}\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \frac{p_1V_1}{\gamma - 1}\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)$$

$$= \frac{0.1 \times 10^6 \times 1.0}{1.4 - 1} \times \left(\frac{475}{300} - 1\right) = 1.46 \times 10^5\ \mathrm{J} \rightarrow 146\ \mathrm{kJ}$$

断熱圧縮過程の工業仕事は絶対仕事のγ倍なので

$$W_{\mathrm{t}} = \gamma W_{12} = 1.40 \times 1.46 \times 10^5 = 2.04 \times 10^5\ \mathrm{J} \rightarrow 204\ \mathrm{kJ}$$