

令和 6 年度 高圧ガス製造保安責任者試験（記述式）の解答例

（第一種冷凍機械・学識）

【問 1 の解答例】

蒸発器の冷媒循環量 q_{mro} (kg/s) は、

$$q_{\text{mro}} = \frac{\phi_o}{h_1 - h_7} = \frac{450}{1440 - 200} = 0.363 \text{ kg/s}$$

中間冷却器へのバイパス冷媒循環量 q'_{mro} (kg/s) は、

$$\begin{aligned} q'_{\text{mro}} &= q_{\text{mro}} \frac{h_5 - h_7 + \left(h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} - h_3 \right)}{h_3 - h_6} \\ &= 0.363 \times \frac{366 - 200 + \left(1440 + \frac{1580 - 1440}{0.70 \times 0.90} - 1470 \right)}{1470 - 366} = 0.118 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

であり、凝縮器の冷媒循環量 q_{mrk} (kg/s) は、

$$q_{\text{mrk}} = q_{\text{mro}} + q'_{\text{mro}} = 0.363 + 0.118 = 0.481 \approx 0.48 \text{ kg/s}$$

また、高段のピストン押しのけ量 V_{H} (m³/h) は、

$$V_{\text{H}} = \frac{V_{\text{L}}}{a} = \frac{1500}{2.0} = 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

したがって、高段の体積効率 η_{vH} は、

$$\eta_{\text{vH}} = \frac{q_{\text{mrk}} v_3}{\frac{V_{\text{H}}}{3600}} = \frac{0.481 \times 0.335}{\frac{750}{3600}} = 0.773 \approx 0.77$$

総軸動力 P (kW) は、低段圧縮機軸動力 P_{L} (kW) と高段圧縮機軸動力 P_{H} (kW) との和であるから、

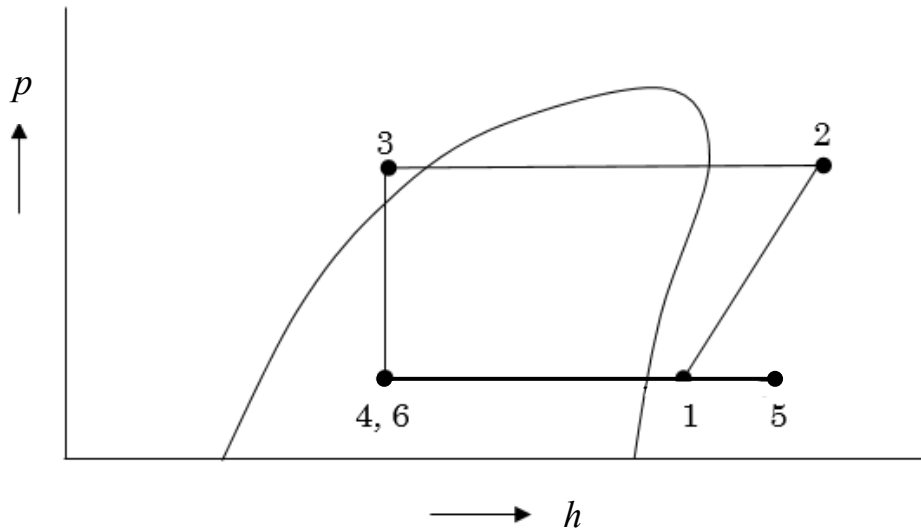
$$\begin{aligned} P &= P_{\text{L}} + P_{\text{H}} = \frac{q_{\text{mro}} (h_2 - h_1)}{\eta_c \eta_m} + \frac{q_{\text{mrk}} (h_4 - h_3)}{\eta_c \eta_m} \\ &= \frac{0.363 \times (1580 - 1440)}{0.70 \times 0.90} + \frac{0.481 \times (1690 - 1470)}{0.70 \times 0.90} = 248.6 \text{ kW} \end{aligned}$$

したがって、成績係数 $(COP)_{\text{R}}$ は、

$$(COP)_{\text{R}} = \frac{\phi_o}{P} = \frac{450}{248.6} = 1.810 \approx 1.81$$

【問2の解答例】

(1)



(2) 圧縮機吸込み蒸気（点1）は点6と点5の冷媒が混合されたものであり、 q_p を圧縮機の冷媒循環量1 kg当たりの噴射液量とすれば、その比エンタルピー $h_1(\text{kJ/kg})$ は次式で求められる。

$$h_1 = q_p h_6 + (1 - q_p) h_5$$

ここで $h_6 = h_3$ であるから

$$h_1 = q_p h_3 + (1 - q_p) h_5 = 0.1 h_3 + (1 - 0.1) h_5 = 0.1 h_3 + 0.9 h_5$$

$$= 0.1 \times 241 + 0.9 \times 450 = 429.1 \approx 429 \text{ kJ/kg}$$

(3) 圧縮機が冷媒循環量1 kgあたりにする仕事 w (kJ/kg) は

$$w = h_2 - h_1$$

で求められる。

また、蒸発器を流れる冷媒は、冷媒循環量1kgあたり $(1 - q_p)$ であり、 $h_4 = h_3$ であるので、その冷凍効果 w_r は

$$w_r = (1 - q_p)(h_5 - h_4) = 0.9 (h_5 - h_3)$$

したがって、この冷凍装置の理論成績係数 $(COP)_{\text{th.R}}$ は、与えられた値を用いて、

$$\begin{aligned} (COP)_{\text{th.R}} &= \frac{w_r}{w} = \frac{0.9 (h_5 - h_3)}{h_2 - h_1} = \frac{0.9 \times (450 - 241)}{481 - 429} \\ &= 3.617 \approx 3.62 \end{aligned}$$

【問3の解答例】

(1) 計算式

a) 外気から断熱材（軸方向の長さ $L(\text{m})$ ）に入る伝熱量（ Φ_a ）：

$$\begin{aligned}\Phi_a &= (1000 \times \alpha_a) \times \pi \times (D_3/1000) \times L \times (t_a - t_3) \\ &= \alpha_a \pi D_3 L (t_a - t_3)\end{aligned}$$

b) 長さ $L(\text{m})$ の断熱材を通過する伝熱量（ Φ_p ）：

この場合、熱は外気側から銅管側に流れている。符号に注意し、以下の計算式となる。

$$\Phi_p = 2\pi L \lambda_p (t_3 - t_2) / \ln(r_3 / r_2)$$

c) 銅管（軸方向の長さ $L(\text{m})$ ）からブラインに入る伝熱量（ Φ_r ）：

$$\begin{aligned}\Phi_r &= (1000 \times \alpha_r) \times \pi \times (D_1/1000) \times L \times (t_1 - t_r) \\ &= \alpha_r \pi D_1 L (t_1 - t_r)\end{aligned}$$

(2) 断熱材の内表面（銅管の外表面）の温度 t_2 （ $^{\circ}\text{C}$ ）

(1) a)、b)、 $\Phi_a = \Phi_p$ および $r_3 / r_2 = D_3 / D_2$ より、

$$t_2 = t_3 - \ln\{(D_3 / D_2)\} (1000 \times \alpha_a) (D_3 / 1000) (t_a - t_3) / (2\lambda_p)$$

$$t_2 = 26.0 - 1.61 \times (10^3 \times 0.010) \times (30 \times 10^{-3}) \times (31.0 - 26.0) / (2 \times 0.035) = -8.5^{\circ}\text{C}$$

(3) ブライン温度 t_r （ $^{\circ}\text{C}$ ）

(1) a)、c)、 $\Phi_a = \Phi_r$ および $t_1 = t_2$ より、

$$t_r = t_2 - (\alpha_a / \alpha_r) (D_3 / D_1) (t_a - t_3)$$

$$t_r = -8.5 - (0.010 / 5.0) (30.0 / 4.0) (31.0 - 26.0) = -8.575 \div -8.6^{\circ}\text{C}$$

((3) 別解)

(1) b)、c)、 $\Phi_p = \Phi_r$ および $t_1 = t_2$ より、

$$t_r = t_2 - 2\lambda_p (t_3 - t_2) / \{\ln(D_3 / D_2)\} (1000 \times \alpha_r) (D_1 / 1000)$$

$$t_r = -8.5 - 2 \times 0.035 \{26.0 - (-8.5)\} / (1.61 \times 5.0 \times 4.0) = -8.575 \div -8.6^{\circ}\text{C}$$

【問 4 の解答例】

イ.	①	(例) アンモニア
	②	二酸化炭素
	③	オゾン層破壊 (オゾン破壊)
	④	地球温暖化

ロ.	⑤	ハイドロフルオロカーボン (HFC)
	⑥	32, 134a など
	⑦	ハイドロフルオロオレフィン (HFO)
	⑧	1234yf*
	⑨	1234ze(E)*

* ⑧と⑨は入替えても正解

ハ.	⑩	ナフテン系*1
	⑪	パラフィン系*1
	⑫	ポリアルキレングリコール (PAG) *2
	⑬	ポリビニルエーテル (PVE) *2
	⑭	ポリオールエステル (POE) *2

* 1 ⑩と⑪は入替えても正解

* 2 ⑫～⑭は入替えても正解

ニ.	⑮	塩化カルシウム*1
	⑯	塩化ナトリウム*1
	⑰	エチレングリコール*2
	⑱	プロピレングリコール*2
	⑲	アルコール*3
	⑳	有機溶媒*3

* 1 ⑮と⑯は入替えても正解

* 2 ⑰～⑱は入替えても正解

* 3 ⑲～⑳は入替えても正解

【問5の解答例】

(1) 内圧を受ける円筒胴板の必要板厚 $t_a(\text{mm})$ は、以下の式で求められる。

$$t_a = PD_i / (2\sigma_a\eta - 1.2P) + \alpha$$

ここで、SM400Bの許容引張応力 σ_a は 100 N/mm^2 であり、腐れしろ α は 1 mm である。

題意より、 $t_a = t_{a1} = 8 \text{ mm}$ 、 $P = 2.48 \text{ MPa}$ 、 $\eta = 0.70$ であり、設計可能な最大の円筒胴の内径 $D_i (\text{mm})$ は、以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} D_i &= (t_{a1} - \alpha)(2\sigma_a\eta - 1.2P) / P = (8 - 1)(2 \times 100 \times 0.70 - 1.2 \times 2.48) / 2.48 \\ &= 386.76 \text{ mm} \end{aligned}$$

したがって、設計可能な最大の円筒胴の外径 $D_o(\text{mm})$ は、(D_i の小数点以下を切り捨てて) mm 単位の整数値で求めて、

$$D_o = D_i + 2t_{a1} = 386 + 2 \times 8 = 402 \text{ mm}$$

(2) 半球形鏡板の腐れしろを考慮した必要板厚 $t_a(\text{mm})$ は、以下の式で求められる。

$$t_a = PRW / (2\sigma_a\eta - 0.2P) + \alpha$$

ここで、腐れしろ $\alpha = 1 \text{ mm}$ 、半球形鏡板の形状に関する係数 $W = 1$ 、設計圧力 $P = 2.48 \text{ MPa}$ 、溶接継手の効率 $\eta = 1$ （鏡板に溶接継手がない場合）であるから、半球形鏡板の内面の半径 $R (\text{mm})$ は、 $2R = D_i = D_o - 2t_{a1}$ より、

$$R = (D_o - 2t_{a1}) / 2 = (402 - 2 \times 8) / 2 = 193 \text{ mm}$$

したがって、鏡板の必要板厚 $t_a (\text{mm})$ は、最小板厚として切り上げて、

$$t_a = (2.48 \times 193 \times 1) / (2 \times 100 \times 1 - 0.2 \times 2.48) + 1 = 3.399 \div 4 \text{ mm}$$

以上より、最小の必要板厚は 4 mm になるため、鏡板に使用する鋼板の板厚が 8 mm であれば、必要板厚よりも厚いので使用できる。

(3) 半球形鏡板の接線方向に誘起される引張応力 $\sigma_t (\text{N/mm}^2)$ は、

$$\sigma_t = PRW / (2t_{a2})$$

である。

ここで、設計圧力 $P = 2.48 \text{ MPa}$ 、半球形鏡板の形状に関する係数 $W = 1$ であるから、半球面の接線方向に誘起される引張応力 $\sigma_t (\text{N/mm}^2)$ は、

$$\sigma_t = (2.48 \times 193 \times 1) / (2 \times 8) = 29.915 \div 29.9 \text{ N/mm}^2$$