

令和4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】

(1)

$$q_{mro} = q_{vro} \times \eta_v \times \frac{1}{v_1} = \frac{500}{3600} \times 0.7 \times \frac{1}{0.1} = 0.972(\text{kg/s})$$

$$h'_2 = \frac{h_2 - h_1}{\eta_m \times \eta_c} + h_1 = \frac{380 - 360}{0.9 \times 0.8} + 360 = 388(\text{kJ/kg})$$

中間冷却器における熱収支は、中間冷却器用膨張弁直後のエンタルピー  $h_6(\text{kJ/kg})$  とすると、 $h_6 = h_5$  なので、 $q_{mro}\{(h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3)\} = q'_{mro}(h_3 - h_6) = q'_{mro}(h_3 - h_5)$  であるから

$$q'_{mro} = \frac{q_{mro}\{(h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3)\}}{h_3 - h_5} = \frac{0.972\{(255 - 200) + (388 - 365)\}}{365 - 255} = 0.689(\text{kg/s})$$

(2)

高段側冷媒循環量を  $q_{mrk}(\text{kg/s})$ 、低段側循環冷媒循環量を  $q_{mro}(\text{kg/s})$  とすると、

$$q_{mrk} = q_{mro} + q'_{mro} = 0.972 + 0.689 = 1.661(\text{kg/s})$$

$$P = P_H + P_L = \frac{q_{mrk}(h_4 - h_3)}{\eta_c \eta_m} + \frac{q_{mro}(h_2 - h_1)}{\eta_c \eta_m} = \frac{1.661(390 - 365)}{0.8 \times 0.9} + \frac{0.972(380 - 360)}{0.8 \times 0.9}$$

$$= 57.7 + 27.0 = 84.7(\text{kW})$$

(3)

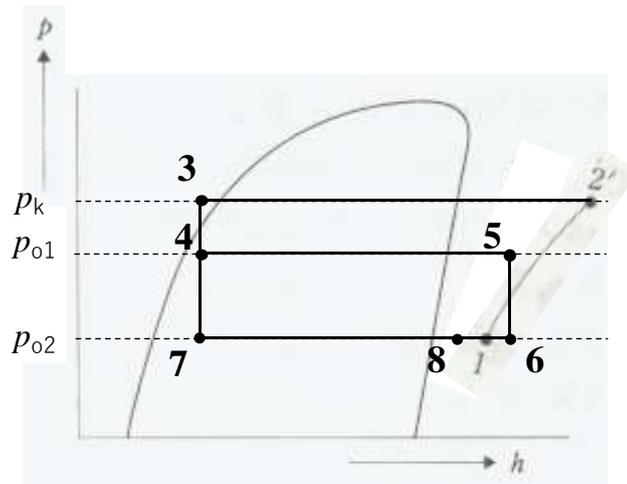
冷凍能力を  $\Phi_0(\text{kW})$ 、蒸発器入口の冷媒蒸気の比エンタルピーを  $h_8(\text{kJ/kg})$  とすると、 $h_8 = h_7$  であるから、

$$\Phi_0 = q_{mro}(h_1 - h_8) = q_{mro}(h_1 - h_7) = 0.972(360 - 200) = 155.5(\text{kW})$$

$$(\text{COP})_R = \frac{\Phi_0}{P} = \frac{155.5}{84.7} = 1.84$$

【問2の解答例】

(1)



(2)

冷媒の総循環量を  $q_{mr}$  とすると、運転条件から、

$$q_{mr} = q_{mr1} + q_{mr2} = \frac{V\eta_V}{3600v_1} = \frac{270 \times 0.75}{3600 \times 0.45} = 0.125 \text{ kg/s} \quad (1)$$

となる。また、絞り弁の条件から  $h_5 = h_6$  であり、

$$h_1 = \frac{q_{mr1}h_6 + q_{mr2}h_8}{q_{mr}} \quad (2)$$

の関係があることから(1)式と(2)式を解くことにより、それぞれの蒸発器の冷媒循環量は、

$$q_{mr1} = 0.075 \text{ kg/s}, \quad q_{mr2} = 0.050 \text{ kg/s}$$

となる。蒸発器 I および蒸発器 II の冷凍能力を、それぞれ  $\Phi_{o1}$ 、 $\Phi_{o2}$  とすると、

$$\Phi_{o1} = q_{mr1}(h_5 - h_4) = 0.075 \times (1580 - 280) = 97.5 \text{ kW}$$

$$\Phi_{o2} = q_{mr2}(h_8 - h_7) = 0.050 \times (1480 - 280) = 60 \text{ kW}$$

であるから、合計の実際の冷凍能力  $\Phi_o$  は、157.5 kW となる。

(3)

また、圧縮機駆動の軸動力を  $P$  とすると、実際の成績係数  $(COP)_R$  は次式で求められる。

$$(COP)_R = \frac{\Phi_o}{P} = \frac{\Phi_o}{q_{mr}(h_2' - h_1)} = \frac{\Phi_o}{q_{mr}(h_2 - h_1)} \eta_c \eta_m = \frac{157.5}{0.125(1780 - 1540)} \times 0.70 \times 0.85 = 3.1238 \approx 3.12$$

【問3の解答例】

着霜のない状態における蒸発器の外表面積基準の平均熱通過率  $K$  [ $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] は、次式で求められる。

$$K = \Phi_0 / (A \cdot \Delta t_m) \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

また、冷媒と空気との間の算術平均温度差  $\Delta t_m (\text{K})$  は次式で求められ、必要な値を代入すると、

$$\Delta t_m = \{(t_{a1} - t_0) + (t_{a2} - t_0)\} / 2 = (10 + 5) / 2 = 7.5 \text{ K}$$

式①に必要な値を代入すると、

$$K = 10 / (40 \times 7.5) = 1/30 = 0.0333 \doteq 0.03 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

着霜のない状態における蒸発器の有効内外伝熱面積比  $m$  は、次式を変形して求めることができる。

$$K = 1 / (1/\alpha_a + m/\alpha_r) \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

式②を変形して、

$$m = \alpha_r (1/K - 1/\alpha_a) \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

式③に必要な値を代入すると、

$$m = 3.8 (30 - 1/0.04) = 19$$

着霜した場合の蒸発器の外表面積基準の平均熱通過率  $K'$  [ $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] は、次式で求められる。

$$K' = 1 / (1/\alpha_a + \delta/\lambda + m/\alpha_r) \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

式④に必要な値を代入すると、

$$K' = 1 / (1/0.04 + 2.5 \cdot 10^{-3} / 0.14 \cdot 10^{-3} + 19/3.8) = 0.0209 \doteq 0.02 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

【問4の解答例】

(1)

- ・ GWPが最も大きいもの：R 22
- ・ モル質量が最も大きいもの：R 134a
- ・ 臨界温度が最も高いもの：R 134a
- ・ 標準大気圧における沸点が最も低いもの：R 32

(2)

- ・ GWPが最も大きいもの：R 404A
- ・ モル質量が最も大きいもの：R 507A
- ・ 臨界温度が最も高いもの：R 407C
- ・ 標準大気圧における沸点が最も低いもの：R 410A

(3)

混合冷媒	混合成分	成分比 (mass%)
R 404A	R 125 / R 134a / R 143a	44 / 4 / 52
R 407C	R 32 / R 125 / R 134a	23 / 25 / 52
R 410A	R 32 / R 125	50 / 50

### 【問5の解答例】

内圧を受ける円筒胴板の必要厚さ  $t_a$  は、次式のように最小厚さに腐れしろ  $\alpha$  を加えて求められる。

$$t_a = \frac{PD_i}{2\sigma_a\eta - 1.2P} + \alpha$$

上式に、与えられた仕様および高圧設計圧力を代入する。

ここで、設計圧力  $P = 2.96$  MPa ，円筒胴の内径  $D_i = 420$  mm ，使用鋼板である SM 400 B の許容引張応力  $\sigma_a = 100$  N/mm<sup>2</sup> ，溶接接手の効率  $\eta = 0.70$  ，屋外設置の圧力容器の腐れしろ  $\alpha = 1$  mm である。

$$t_a = \frac{2.96 \times 420}{2 \times 100 \times 0.70 - 1.2 \times 2.96} + 1 = 10.1 = 11 \text{ mm}$$

(必要厚さであるので、切り上げて整数値とする。)

次に、円筒胴板に誘起される接線方向の引張応力  $\sigma_t$  は次式より求められる。

$$\sigma_t = \frac{PD_i}{2t_a} = \frac{2.96 \times 420}{2 \times 11} = 56.5 \text{ N/mm}^2$$

また、円筒胴板に誘起される長手方向の引張応力  $\sigma_l$  は次式より求められる。

$$\sigma_l = \frac{PD_i}{4t_a} = \frac{2.96 \times 420}{4 \times 11} = 28.3 \text{ N/mm}^2$$