

令和元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) 蒸発器入口の冷凍能力の比エンタルピーを h_8 (kJ/kg) とすると、 $h_8 = h_7 = 200$ kJ/kg であり、冷凍能力 Φ_o が 100 kW であるから、蒸発器の冷媒循環量 q_{mro} は

$$q_{mro} = \frac{\Phi_o}{h_1 - h_8} = \frac{100}{360 - 200} = 0.625 \text{ kg/s}$$

- (2) 低段圧縮機の実際の吐出しガスの比エンタルピー h'_2 は

$$h'_2 = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 360 + \frac{385 - 360}{0.70 \times 0.90} = 400 \text{ kJ/kg}$$

凝縮器の冷媒循環量 q_{mrk} は、中間冷却器用膨張弁直後の比エンタルピーを h_6 (kJ/kg) とすると

$$(q_{mrk} - q_{mro})(h_3 - h_6) = q_{mro} \{(h_6 - h_7) + (h'_2 - h_3)\}$$

$$q_{mrk} = q_{mro} \left\{ \frac{(h_6 - h_7) + (h'_2 - h_3)}{(h_3 - h_6)} + 1 \right\}$$

$h_6 = h_5 = 240$ kJ/kg なので

$$q_{mrk} = 0.625 \times \left\{ \frac{(240 - 200) + (400 - 365)}{365 - 240} + 1 \right\} = 1.00 \text{ kg/s}$$

- (3) 低段圧縮機と高段圧縮機の圧縮機駆動の軸動力をそれぞれ P_L 、 P_H とすると

$$P_L = q_{mro} \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 0.625 \times \frac{385 - 360}{0.70 \times 0.90} = 24.8 \text{ kW}$$

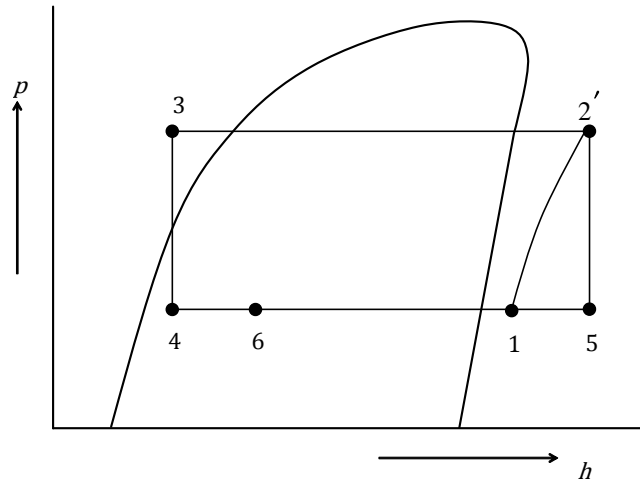
$$P_H = q_{mrk} \frac{h_4 - h_3}{\eta_c \eta_m} = 1.00 \times \frac{390 - 365}{0.70 \times 0.90} = 39.7 \text{ kW}$$

実際の冷凍装置の成績係数 $(COP)_R$ は

$$(COP)_R = \frac{\Phi_o}{P_H + P_L} = \frac{100}{24.8 + 39.7} = \frac{100}{64.5} = 1.55$$

【問2の解答例】

(1) 冷凍サイクルと点3から点6は下図のとおりである。



(2) 蒸発器の入口に絞り膨張してバイパスされる冷媒蒸気の比エンタルピー h_5 (kJ/kg) は、

題意により圧縮機出口直後の吐出しガスの比エンタルピー h_2' (kJ/kg) と等しいから

$$h_5 = h_2' = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 421 + \frac{475 - 421}{0.75 \times 0.85} = 506 \text{ kJ/kg}$$

蒸発器入口における冷媒の比エンタルピー h_6 (kJ/kg) は、状態4 (85 mass %) と状態5 (15 mass %) の混合と、 $h_4 = h_3$ の関係を考慮して

$$h_6 = 0.85h_4 + 0.15h_5 = 0.85h_3 + 0.15h_5 = 0.85 \times 241 + 0.15 \times 506 = 281 \text{ kJ/kg}$$

したがって、容量制御時の冷凍能力 Φ_0 は次のように求められる。

$$\Phi_0 = q_{\text{mr}}(h_1 - h_6) = 0.60 \times (421 - 281) = 84 \text{ kW}$$

(3) 題意により、 h_1 、 h_2' 、 h_3 蒸発器冷媒循環量および圧縮機の軸動力はいずれの場合も等しい。容量制御時の成績係数を $(COP)_{\text{RP}}$ 、全負荷時の成績係数を $(COP)_{\text{R}}$ とし、 $h_4 = h_3$ の関係を考慮すると、 $(COP)_{\text{RP}}$ と $(COP)_{\text{R}}$ の比は、次式のようになる。

$$\frac{(COP)_{\text{RP}}}{(COP)_{\text{R}}} = \frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_4} = \frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_3} = \frac{421 - 281}{421 - 241} = 0.78$$

したがって、78%である。

【問3の解答例】

(1) 熱通過率 K [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] は、次式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_r}}$$

与えられた条件より

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.0005}{50} + \frac{0.15}{0.030} + \frac{0.005}{2} + \frac{1}{5}} = 0.189 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

伝熱量 Φ は、熱通過率 K と外気と庫内の温度差および表面積 A を用いて

$$\Phi = K A (t_a - t_r) = 0.189 \times 1 \times \{25 - (-25)\} = 9.5 \text{ W}$$

(2) 庫内温度 t_r ($^{\circ}\text{C}$)、パネル内表面温度 t_4 ($^{\circ}\text{C}$)、芯材と内皮材の間の温度 t_3 ($^{\circ}\text{C}$) のそれぞれの温度差を求めると

$$t_4 - t_r = \Phi \left(\frac{1}{\alpha_r A} \right), \quad t_3 - t_4 = \Phi \left(\frac{\delta_3}{\lambda_3 A} \right)$$

これらの式より t_3 は

$$t_3 = t_r + \Phi \left(\frac{1}{\alpha_r A} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 A} \right) = -25 + 9.5 \times \left(\frac{1}{5 \times 1} + \frac{0.005}{2 \times 1} \right) = -23.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(3) 1 m^2 当たりの伝熱量が 18 W になった時の熱通過率は

$$K' = \frac{\Phi}{A(t_a - t_r)} = \frac{18}{1 \times \{25 - (-25)\}} = 0.36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

したがって、パネル芯材の見かけの熱伝導率 λ'_2 は

$$\begin{aligned} \lambda'_2 &= \frac{\delta_2}{\frac{1}{K'} - \frac{1}{\alpha_a} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_r}} = \frac{0.15}{\frac{1}{0.36} - \frac{1}{10} - \frac{0.0005}{50} - \frac{0.005}{2} - \frac{1}{5}} \\ &= 0.061 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

【問4の解答例】

(1)

混合冷媒	混合成分	成分比 (mass%)
R 410A	R 32 / R 125	50 / 50
R 407C	R 32 / R 125 / R 134a	23 / 25 / 52
R 404A	R 125 / R 134a / R143a	44 / 4 / 52
R 507A	R 125 / R 143a	50 / 50

(2)

	項目	値の大中小または高中低の傾向
1	標準沸点	R 600a > R 717 > R 290
2	臨界温度	R 600a > R 290 > R 744
3	地球温暖化係数	R 290 > R 744 > R 717
4	モル質量	R 600a > R 744 > R 729
5	圧力比 (サイクルにおける 高圧/低圧)	R 717 > R 600a > R 290
6	比熱比 (圧縮機吸込み状態)	R 717 > R 290 > R 600a

【問5の解答例】

- (1) 限界圧力を P_a 、円筒胴板の厚さを t_a 、円筒胴の内径を D_i 、鋼板の許容引張応力を σ_a とすると、 P_a は次式から求められる。

$$P_a = \frac{2\sigma_a\eta(t_a - \alpha)}{D_i + 1.2(t_a - \alpha)}$$

ここで、鋼板の許容引張応力 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$ 、円筒胴の内径 $D_i = 620 - 13 \times 2 = 594 \text{ mm}$ であるから、それぞれの数値を代入すると

$$P_a = \frac{2 \times 100 \times 0.7 \times (13 - 1)}{594 + 1.2 \times (13 - 1)} = 2.761 = 2.76 \text{ MPa}$$

(少数点以下3桁以降を切り下げ)

設計圧力は限界圧力を超えてはならない。限界圧力 P_a が 2.76 MPa であるので、表より設計圧力 2.48 MPa まで使用可能である。このときの基準凝縮温度は $55 \text{ }^\circ\text{C}$ である。

- (2) 基準凝縮温度 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ の設計圧力 2.21 MPa が受液器に作用したとき、この受液器に誘起される接線方向の引張応力 σ_t は下記となる。

$$\sigma_t = \frac{PD_i}{2t_a} = \frac{2.21 \times 594}{2 \times 13} = 50.5 \text{ N/mm}^2$$

長手方向の引張応力 σ_l は下記となる。

$$\sigma_l = \frac{PD_i}{4t_a} = \frac{2.21 \times 594}{4 \times 13} = 25.3 \text{ N/mm}^2$$