

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
 (第一種冷凍機械・学識)

【問1の解答例】

(1) 蒸発器入口の冷媒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_0 が 100 kW であるから、蒸発器の冷媒循環量 q_{mro} は、

$$q_{\text{mro}} = \frac{\Phi_0}{h_1 - h_8} = \frac{100}{360 - 200} = 0.625 \text{ kg/s}$$

(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、第一膨張弁直後の比エンタルピーを h_6 (kJ/kg) とすると、

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

よって、

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

$h_6 = h_5 = 240$ kJ/kg なので

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

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

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

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

実際の冷凍装置の成績係数 $(COP)_R$ は、

$$(COP)_R = \frac{\Phi_0}{P_H + P_L} = \frac{100}{24.8 + 39.7} = 1.55$$

【問2の解答例】

- (1) 題意より、蒸発器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、実際の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) に等しいので、

$$h_5 = h_2' = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 421 + \frac{475 - 421}{0.70 \times 0.85} = 512 \text{ kJ/kg}$$

- (2) 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%) と状態 5 (15%) の混合であり、 $h_4 = h_3$ を考慮して、

$$h_6 = 0.85 h_4 + 0.15 h_5 = 0.85 \times 241 + 0.15 \times 512 = 282 \text{ kJ/kg}$$

したがって、容量制御時の冷凍能力 Φ_o (kW) は次のように求められる。

$$\Phi_o = q_{mr} (h_1 - h_6) = 0.60 \times (421 - 282) = 83 \text{ kW}$$

- (3) 容量制御時の成績係数を $(COP)_{Rp}$ 、全負荷時の成績係数を $(COP)_R$ とすると、全負荷時の各点 1、2'、3 の冷媒状態、圧縮機の冷媒循環量および圧縮機の軸動力は、容量制御時と変わらないので、 $(COP)_{Rp}/(COP)_R$ は次式のように求められる。

$$\frac{(COP)_{Rp}}{(COP)_R} = \frac{(h_1 - h_6)/(h_2' - h_1)}{(h_1 - h_4)/(h_2' - h_1)} = \frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_4} = \frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_3} = \frac{421 - 282}{421 - 241} = 0.77 = 77\%$$

【問3の解答例】

(1) 凝縮温度と冷却水温度との間の算術平均温度差 Δt_m (K) は次式で求められる。

$$\Delta t_m = \frac{(t_k - t_{w1}) + (t_k - t_{w2})}{2} = \frac{(40 - 30) + (40 - 35)}{2} = 7.5 \text{ K}$$

凝縮負荷を Φ_k (kW)、冷凍能力を Φ_o (kW)、圧縮機の駆動軸動力を P (kW) とすると、次式が成り立つ。

$$\Phi_k = \Phi_o + P = 230 + 84 = 314 \text{ kW}$$

冷却管の外表面積基準の熱通過率 K [kW/(m²·K)] は次式で求められる。

$$K = \frac{\Phi_k}{A\Delta t_m} = \frac{314}{56 \times 7.5} = 0.75 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

(2) 冷媒側熱伝達率 α_r [kW/(m²·K)] は次式を変形して求める。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + m \left(\frac{1}{\alpha_w} + f \right)}$$

したがって、

$$\alpha_r = \frac{1}{\frac{1}{K} - m \left(\frac{1}{\alpha_w} + f \right)} = \frac{1}{\frac{1}{0.75} - 4.2 \times \left(\frac{1}{9.30} + 0.086 \right)} = 1.92 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

(3) 冷却水量 q_{mw} (kg/s) は次式で求められる。

$$q_{mw} = \frac{\Phi_k}{c_w(t_{w2} - t_{w1})} = \frac{314}{4.19 \times (35 - 30)} = 15.0 \text{ kg/s}$$

【問4の解答例】

空欄番号	解答
(1)	HFC
(2)	HFO
(3)	R 125/R 134a/R 143a
(4)	R 32/R 125
(5)	44/4/52
(6)	50/50
(7)	弱毒
(8)	弱毒
(9)	強燃
(10)	不燃

【問5の解答例】

屋外設置の圧力容器であるから、腐れしろ α は 1 mmとする。また、設計圧力 P は 2.30 MPa、SM 400 B の許容引張応力 σ_a は 100 N/mm²、溶接継手の効率 η は 0.70 であるから、設計可能な円筒胴の内径 D_i (mm) は整数値で求めて、

$$D_i = (t_{al} - \alpha) \frac{2\sigma_a \eta - 1.2P}{P}$$

$$= (12 - 1) \times \frac{2 \times 100 \times 0.70 - 1.2 \times 2.30}{2.30} = 656.37 \doteq 656 \text{ mm}$$

(小数点以下切り捨て)

半球形鏡板の腐れしろを考慮した必要板厚 t_a (mm) は、

$$t_a = \frac{PRW}{2\sigma_a \eta - 0.2P} + \alpha$$

であり、ここで、腐れしろ α は 1 mm、半球形鏡板に関する形状係数 W は 1、設計圧力 P は 2.30 MPa、鏡板に溶接継手がないから溶接継手の効率 η は 1.00 である。また、円筒胴の内面の半径 R (mm) は $2R = D_i$ より、

$$R = \frac{D_i}{2} = \frac{656}{2} = 328 \text{ mm}$$

したがって、鏡板の必要板厚 t_a (mm) は、整数値で求めて、

$$t_a = \frac{2.30 \times 328 \times 1}{2 \times 100 \times 1.00 - 0.2 \times 2.30} + 1 = 3.78 + 1 = 4.78 \doteq 5 \text{ mm}$$

(小数点以下切り上げ)