

令和5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) 実際の低段圧縮機の吐出しガスの比エンタルピーを h'_2 (kJ/kg) とすると、

$$h'_2 = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 1490 + \frac{1600}{0.85 \times 0.70} = 1674.87 \approx 1675 \text{ kJ/kg}$$

中間冷却器の必要冷却能力 Φ_m (kW) は、以下の式で求められる。

$$\Phi_m = q_{mro} \{ (h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3) \}$$

$$= 0.125 \times \{ (400 - 280) + (1675 - 1560) \} = 29.38 \approx 29.4 \text{ kW (小数点以下第1位まで)}$$

(2) 中間冷却器用膨張弁直後の比エンタルピーを h_6 とすると、 $h_6 = h_5$ より、中間冷却器へのバイパス冷媒循環量 q'_{mro} (kg/s) は、以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} q'_{mro} &= \frac{q_{mro} \left[(h_5 - h_7) + \left\{ h_1 + \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_c \eta_m} - h_3 \right\} \right]}{h_3 - h_6} = \frac{q_{mro} \{ (h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3) \}}{h_3 - h_6} \\ &= \frac{0.125 \{ (400 - 280) + (1675 - 1560) \}}{1560 - 400} = 0.0253 \approx 0.025 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

したがって、凝縮器の冷媒循環量 q_{mrk} (kg/s) は、

$$q_{mrk} = q_{mro} + q'_{mro} = 0.125 + 0.025 = 0.150 \text{ kg/s} \quad (\text{小数点以下第3位まで})$$

(3) 冷凍能力を Φ_0 (kW)、実際の圧縮機駆動の総軸動力を P (kW) とすると、実際の冷凍装置の成績係数 $(COP)_R$ は、以下の式で求められる。

$$(COP)_R = \frac{\Phi_0}{P} = \frac{\Phi_0}{P_L + P_H}$$

ここで、 P_L (kW)、 P_H (kW) は、それぞれ低段圧縮機駆動の軸動力、高段圧縮機駆動の軸動力である。

P_L (kW) は、次式より、

$$P_L = \frac{q_{mro}(h_2 - h_1)}{\eta_c \eta_m} = \frac{0.125(1600 - 1490)}{0.70 \times 0.85} = 23.1 \text{ kW}$$

P_H (kW) は、次式より、

$$P_H = \frac{q_{mrk}(h_4 - h_3)}{\eta_c \eta_m} = \frac{0.150(1720 - 1560)}{0.70 \times 0.85} = 40.3 \text{ kW}$$

冷凍能力 Φ_0 は、次式より、

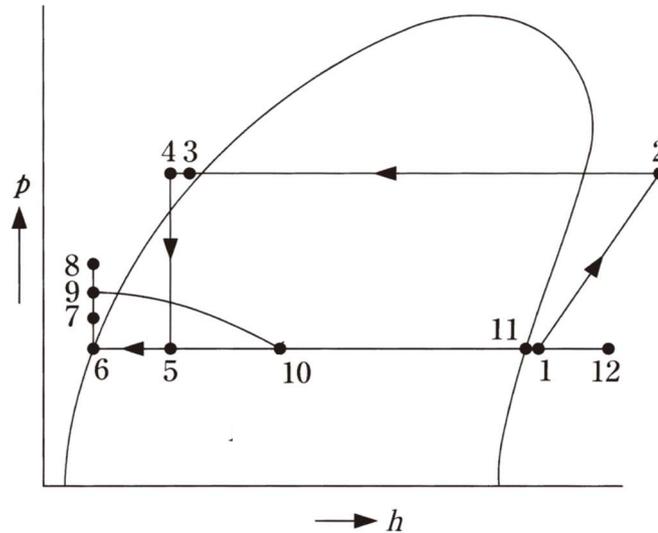
$$\Phi_0 = q_{mro}(h_1 - h_7) = 0.125 \times (1490 - 280) = 151 \text{ kW}$$

したがって、装置の成績係数 $(COP)_R$ は、

$$(COP)_R = \frac{151}{(23.1 + 40.3)} = 2.38$$

【問2の解答例】

(1)



(2) 油と冷媒を分離するための熱交換器まわりの熱収支から

$$q'_{mr}(h_{12} - h_6) = q_{mr}(h_3 - h_4) \text{ より}$$

$$h_{12} = \frac{q_{mr}}{q'_{mr}}(h_3 - h_4) + h_6 = \frac{1.0}{0.1}(240 - 220) + 160 = 360 \text{ kJ/kg}$$

h_1 は、低圧受液器からの飽和蒸気の戻りと、低圧受液器の油の多い冷媒液が熱交換器を通過した後の冷媒蒸気のエンタルピーの合計ゆえに、

$$q_{mr} \times h_1 = (q_{mr} - q'_{mr})h_{11} + q'_{mr} \times h_{12} \text{ より}$$

$$h_1 = \frac{(q_{mr} - q'_{mr})h_{11} + q'_{mr} \times h_{12}}{q_{mr}} = \frac{(1.0 - 0.1)350 + 0.1 \times 360}{1.0} = 351 \text{ kJ/kg}$$

冷凍能力 Φ_0 は、受液器を出た冷媒液が、蒸発器を経て吸込み蒸気となるまでのエンタルピー増加分となるので、

$$\Phi_0 = q_{mr} (h_1 - h_3) = 1.0 \times (351 - 240) = 111 \text{ kJ/s} = 111 \text{ kW}$$

圧縮機の断熱圧縮仕事は、 $P = q_{mr}(h_2 - h_1)$ ゆえ

$$P = 1.0 \times (420 - 351) = 69 \text{ kW}$$

$$(COP)_{th.R} = \frac{\Phi_0}{P} = \frac{(h_1 - h_3)}{(h_2 - h_1)} = \frac{111}{69} = 1.608 \approx 1.6$$

(Φ_0 の別解)

低圧受液器の熱収支から

$$q_{mr} \times h_5 + (q_{mr} - q'_{mr}) \times h_{10} = q_{mr} \times h_6 + (q_{mr} - q'_{mr}) \times h_{11} \text{ より}$$

$$h_{10} = \frac{q_{mr} \times h_6 + (q_{mr} - q'_{mr}) \times h_{11} - q_{mr} \times h_5}{(q_{mr} - q'_{mr})} = \frac{160 + 0.9 \times 350}{0.9} = 283 \text{ kJ/kg}$$

$$\Phi_0 = (q_{mr} - q'_{mr}) \times (h_{10} - h_9) = 0.9 \times (283 - 160) = 111 \text{ kW}$$

(3)

- ・ 低圧受液器から冷凍機油を分離する。
- ・ 膨張弁入口の高圧冷媒液の過冷却度を大きくする。

【問3の解答例】

(1) 凝縮負荷 Φ_k (kW) は、次式により求められる。

$$\Phi_k = c_w q_{mw} (t_{w2} - t_{w1})$$

q_{mw} は1 kg/sなので、

$$\begin{aligned}\Phi_k &= 4.0 \times 1 \times (35 - 30) \\ &= 20.0 \text{ kW}\end{aligned}$$

(2) 冷却管の外表面積基準熱通過率 K [kW/(m²·K)]の値は、冷却水側伝熱面の汚れを考慮して、冷却管材の熱伝導抵抗は無視できるものとする、次式により計算される。

$$\begin{aligned}K &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + m \left(\frac{1}{\alpha_w} + f \right)} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{2.50} + 4.0 \left(\frac{1}{10.0} + 0.1 \right)} = \frac{1}{0.4 + 4.0 \times (0.1 + 0.1)} \\ &= 1/1.2 = 5/6 \cong 0.83 \text{ kW/(m}^2 \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

(3) 凝縮温度と冷却水との間の算術平均温度差を用いた凝縮熱量の計算式を整理して、以下の式より伝熱面積 A (m²)が求められる。

$$\begin{aligned}A &= \frac{\Phi_k}{K \Delta t_m} \\ &= \frac{20.0}{5/6 \times 6} = 4.0 \text{ m}^2\end{aligned}$$

【問4の解答例】

(1)

解答例 1		解答例 2	
・ R 32	: CH ₂ F ₂	・ R 32	: CH ₂ F ₂
・ R 123	: CHCl ₂ CF ₃	・ R 123	: C ₂ HCl ₂ F ₃
・ R 134a	: CH ₂ FCF ₃	・ R 134a	: C ₂ H ₂ F ₄
・ R 1234yf	: CF ₃ CF=CH ₂	・ R 1234yf	: C ₃ H ₂ F ₄

(2)

	項目	冷媒の種類	冷媒の特性値の大, 中, 小 または高, 中, 低の傾向
(例)	標準沸点	R 22, R 507A, R 729	R 22 > R 507A > R 729
	分子量 (モル質量)	R 134a, R 290, R 410A	R 134a > R 410A > R 290
	地球温暖化係数 (GWP)	R 32, R 404A, R 407C	R 404A > R 407C > R 32
	臨界温度	R 1234yf, R 410A, R 718	R 718 > R1234yf > R 410A

(3)

冷媒記号	R 290	R 717	R 718	R 744
物質名	プロパン	アンモニア	水	二酸化炭素

- ・ 標準沸点が最も高いもの : R 718
- ・ 臨界温度が最も低いもの : R 744
- ・ 分子量が最も小さいもの : R 717

(4)

- PAG 油 : ポリアルキレングリコール油
- POE 油 : ポリオールエステル油
- PVE 油 : ポリビニルエーテル油

【問5の解答例】

- (1) 限界圧力を P_a 、円筒胴の内径を D_i 、鋼板の許容引張応力 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、使用鋼板はSM400Bなので、 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$ であり、 $D_i = D_o - 2t_a = 620 - 2 \times 14 = 592 \text{ mm}$ であるから、それぞれの数値を代入すると、

$$P_a = \frac{2 \times 100 \times 0.7 \times (14 - 1)}{592 + 1.2 \times (14 - 1)} = 2.995 = 2.99 \text{ MPa}$$

(小数点以下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2.99 MPaであるので、表より設計圧力2.96 MPaまで使用可能である。このときの凝縮温度は50℃である。

- (2) 基準凝縮温度50℃の設計圧力は2.96 MPaであるので、半球型鏡板の必要厚さ t_a は以下となる。

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

半球型鏡板に関する形態係数 W は1であり、鏡板に溶接継手がないから溶接継手の効率 η は1である。鏡板の内面の半径 R は、

$$R = \frac{D_o - 2t_{a2}}{2} = \frac{620 - 2 \times 8}{2} = 302 \text{ mm}$$

であるから、それぞれの数値を代入すると、 t_a は以下となる。

$$t_a = \frac{2.96 \times 302 \times 1}{2 \times 100 \times 1 - 0.2 \times 2.96} + 1 = 5.48 = 5.5 \text{ mm}$$

(小数点以下2桁以降を切り上げ)

以上のことから、鏡板に使用する鋼板の厚さが8mmであれば、必要厚さ5.5 mmよりも厚いので、これを用いることができる。