

平成30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) とすれば

$$h'_2 = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_{cL}\eta_m} = 349 + \frac{378 - 349}{0.70 \times 0.90} = 395 \text{ kJ/kg}$$

実際の中間冷却器の熱収支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 $h_6 = h_5$ なので

$$q_{\text{mro}} \left\{ (h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3) \right\} = q'_{\text{mro}} (h_3 - h_6) = q'_{\text{mro}} (h_3 - h_5)$$

であるから

$$\frac{q'_{\text{mro}}}{q_{\text{mro}}} = \frac{(h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3)}{h_3 - h_5} = \frac{(254 - 200) + (395 - 365)}{365 - 254} = 0.757$$

- (2) 冷凍能力を Φ_o (kW)、蒸発器入口の比エンタルピーを h_8 (kJ/kg) とすると

$h_8 = h_7$ であるから

$$\Phi_o = q_{\text{mro}} (h_1 - h_8) = q_{\text{mro}} (h_1 - h_7)$$

$$q_{\text{mro}} = \frac{\Phi_o}{h_1 - h_7} = \frac{210}{349 - 200} = 1.41 \text{ kg/s}$$

中間冷却器の冷却能力 Φ_m (kW) は

$$\begin{aligned} \Phi_m &= q_{\text{mro}} \left\{ (h_5 - h_7) + (h'_2 - h_3) \right\} \\ &= 1.41 \times \left\{ (254 - 200) + (395 - 365) \right\} = 118 \text{ kW} \end{aligned}$$

- (3) 低段圧縮機駆動の軸動力を P_L (kW)、高段圧縮機駆動の軸動力を P_H (kW) とすると、実際の圧縮機駆動の総軸動力 P (kW) は

$$P = P_L + P_H = q_{\text{mro}} \frac{h_2 - h_1}{\eta_{cL}\eta_m} + q_{\text{mrk}} \frac{h_4 - h_3}{\eta_{cH}\eta_m}$$

ここで $q_{\text{mrk}} = q_{\text{mro}} + q'_{\text{mro}} = q_{\text{mro}} + 0.757q_{\text{mro}} = 1.41 + 0.757 \times 1.41 = 2.48 \text{ kg/s}$
したがって

$$P = 1.41 \times \frac{378 - 349}{0.70 \times 0.90} + 2.48 \times \frac{398 - 365}{0.75 \times 0.90} = 186 \text{ kW}$$

- (4) 実際の冷凍装置の成績係数 $(COP)_R$ は

$$(COP)_R = \frac{\Phi_o}{P} = \frac{210}{186} = 1.13$$

【問2の解答例】

- (1) 圧縮機の冷媒循環量 1 kg 当たりの噴射量を q_p (kg) とすれば、冷凍能力は次式となる。

$$\Phi_o = q_{mr} (1 - q_p) (h_5 - h_4)$$

ここで、 $h_4 = h_3$ であるから

$$\Phi_o = 0.5 \times (1 - 0.1) \times (440 - 242) = 89.1 \text{ kW}$$

- (2) 圧縮機吸込み蒸気は、点5と点6の冷媒が混合されたものであり、その比エンタルピーは、次式となる。

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

また、 $h_6 = h_3$ であるから

$$h_1 = (1 - q_p) h_5 + q_p h_3 = 0.9 \times 440 + 0.1 \times 242 = 420 \text{ kJ/kg}$$

- (3) 圧縮機駆動の軸動力を P 、実際の圧縮機の吐出しガスの比エンタルピーを h'_2 とすれば

$$h'_2 = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_c \eta_m} = 420 + \frac{470 - 420}{0.70 \times 0.85} = 504 \text{ kJ/kg}$$

したがって、実際の成績係数 $(COP)_R$ は次式となる。

$$(COP)_R = \frac{\Phi_o}{P} = \frac{q_{mr} (1 - q_p) (h_5 - h_4)}{q_{mr} (h'_2 - h_1)} = \frac{0.9 \times (440 - 242)}{504 - 420} = 2.12$$

【問3の解答例】

(1) 算術平均温度差 Δt_m (K) は次式で求められる。

$$\Delta t_m = \frac{(t_k - t_{w1}) + (t_k - t_{w2})}{2} = \frac{(32 - 24) + (32 - 28)}{2} = \frac{8 + 4}{2} = 6 \text{ K}$$

(2) 凝縮負荷を Φ_k 、冷凍能力を Φ_o 、圧縮機駆動の軸動力を P とすると、次式が成り立つ。

$$\Phi_k = \Phi_o + P = 100 + 25 = 125 \text{ kW}$$

冷却管の外表面積基準の熱通過率 K は次式で求められる。

$$K = \frac{\Phi_k}{A \Delta t_m} = \frac{125}{25 \times 6} = 0.83 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

(3) 冷媒側熱伝達率 α_r 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

$$\alpha_r = \frac{1}{\frac{1}{K} - m \left(\frac{1}{\alpha_w} + f \right)} = \frac{1}{\frac{1}{0.83} - 4.0 \times \left(\frac{1}{9.0} + 0.086 \right)}$$

$$= 2.4 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

【問4の解答例】

(1)

	項目	冷媒の特性値の大、中、小 または高、中、低の傾向
1	標準沸点	R 134a > R 717 > R 507A
2	臨界温度	R 717 > R 134a > R 404A
3	地球温暖化係数 (GWP)	R 404A > R 410A > R 134a
4	分子量 (モル質量)	R 134a > R 410A > R 32

(2)

	混合冷媒	混合成分
1	R 407C	R 32 / R 125 / R 134a
2	R 410A	R 32 / R 125
3	R 404A	R 125 / R 134a / R 143a

(3)

R 729 の冷媒名： 空気

700番台： 無機化合物

29： 分子量

(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

【問5の解答例】

- (1) SM400Bの最小引張強さは 400 N/mm^2 であり、許容引張応力 σ_a は、常温では最小引張強さの $1/4$ としているので、 σ_a は、 100 N/mm^2 となる。
- (2) 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 α を加えて求められる。

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

ただし、 P は設計圧力(MPa)である。上式に与えられた仕様および高圧部設計圧力を代入すると

$$t_a = \frac{2.96 \times 380}{2 \times 100 \times 0.7 - 1.2 \times 2.96} + 1 = 9.2 = 10\text{ mm}$$

(必要厚さであるので切り上げる)

- (3) 円筒胴板に誘起される接線方向の引張応力 σ_t は次式で求められる。

$$\sigma_t = \frac{P_t D_i}{2t_a} \quad (\text{N/mm}^2)$$

圧力 P_t (MPa)は

$$P_t = 1.5P = 1.5 \times 2.96 = 4.44\text{ MPa}$$

であり、このときの接線方向の引張応力 σ_t は

$$\sigma_t = \frac{P_t D_i}{2t_a} = \frac{4.44 \times 380}{2 \times 10} = 84.4\text{ N/mm}^2$$