

平成29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) 高段と低段の圧力比が等しくなるように中間圧力 p_m を選ぶとほぼ最大の成績係数となる。高段の凝縮圧力を p_k 、低段の蒸発圧力を p_0 とすると、中間圧力 p_m は

$$p_m = \sqrt{p_k p_0} = \sqrt{1.80 \times 0.20} = \sqrt{0.36} = \sqrt{(0.60)^2} = 0.60 \text{ MPa}$$

- (2) 中間冷却器の熱収支は中間冷却器用膨張弁直後の冷媒の比エンタルピーを h_6 とすると

$$q_{\text{mro}} \{(h_5 - h_7) + (h_2 - h_3)\} = q'_{\text{mro}} (h_3 - h_6)$$

であるから $h_5 = h_6$ なので

$$\begin{aligned} \frac{q'_{\text{mro}}}{q_{\text{mro}}} &= \frac{(h_5 - h_7) + (h_2 - h_3)}{(h_3 - h_6)} = \frac{(h_5 - h_7) + (h_2 - h_3)}{(h_3 - h_5)} \\ &= \frac{(240 - 205) + (378 - 366)}{(366 - 240)} = 0.373 \end{aligned}$$

- (3) 低段側の冷媒循環量 q_{mro} は蒸発器用膨張弁直後の冷媒の比エンタルピーを h_8 とすると、 $h_7 = h_8$ なので

$$q_{\text{mro}} = \frac{\Phi_0}{h_7 - h_8} = \frac{\Phi_0}{h_1 - h_7} = \frac{150}{358 - 205} = 0.980 \text{ kg/s}$$

したがって、高段側の冷媒循環量 q_{mrk} は

$$q_{\text{mrk}} = q_{\text{mro}} + q'_{\text{mro}} = q_{\text{mro}} + 0.373 q_{\text{mro}} = 0.980 \times (1 + 0.373) = 1.346 \text{ kg/s}$$

- (4) 総軸動力 P (kW) は、低段圧縮機動力 P_L (kW) と高段圧縮機動力 P_H (kW) との和であるから

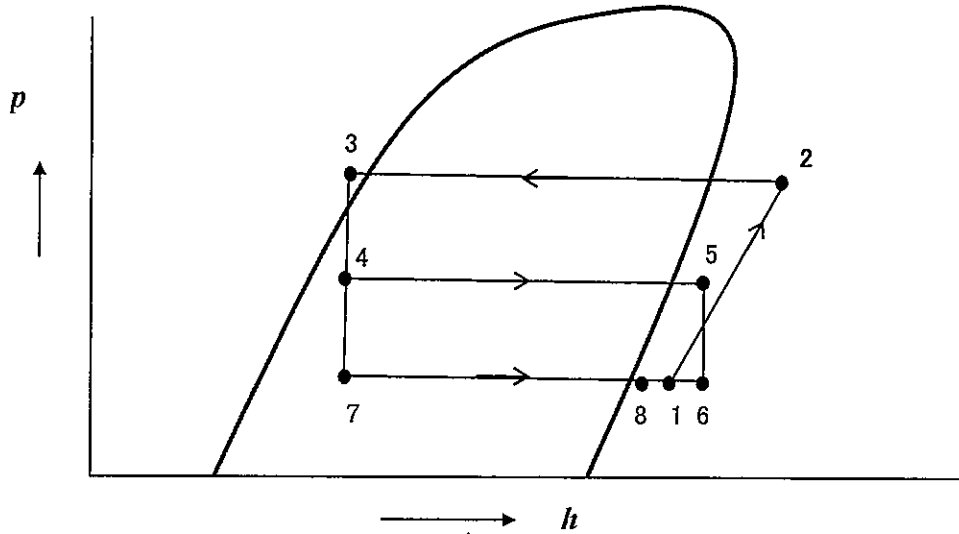
$$\begin{aligned} P &= P_L + P_H = q_{\text{mro}} (h_2 - h_1) + q_{\text{mrk}} (h_4 - h_3) \\ &= 0.980 \times (378 - 358) + 1.346 \times (390 - 366) = 51.9 \text{ kW} \end{aligned}$$

したがって、成績係数 $(COP)_{\text{th-R}}$ は

$$(COP)_{\text{th-R}} = \frac{\Phi_0}{P} = \frac{150}{51.9} = 2.89$$

【問2の解答例】

(1) 冷凍サイクルと点1から点8は下図のとおりである



(2) 蒸発器 I と蒸発器 II の合計の冷凍能力は次式で求められる。

$$\Phi_o = \Phi_{o1} + \Phi_{o2} = \frac{1}{2} q_{mr} (h_5 - h_4) + \frac{1}{2} q_{mr} (h_8 - h_7) \quad \text{①}$$

ここで、 Φ_{o1} Φ_{o2} は蒸発器 I および II の冷凍能力である。

$h_3 = h_4 = h_7$ であるから、①式に運転条件を代入すると

$$\begin{aligned} \Phi_o = \Phi_{o1} + \Phi_{o2} &= \frac{1}{2} \times 0.4 \times (415 - 250) + \frac{1}{2} \times 0.4 \times (410 - 250) \\ &= 0.20 \times (165 + 160) = 65 \text{ kW} \end{aligned}$$

(3) 実際の成績係数 (COP)_R は次式で求められる。

$$(COP)_R = \frac{\left\{ \frac{1}{2} q_{mr} (h_5 - h_4) + \frac{1}{2} q_{mr} (h_8 - h_7) \right\} \eta_c \eta_m}{q_{mr} (h_2 - h_1)} = \frac{\{(h_5 - h_4) + (h_8 - h_7)\} \eta_c \eta_m}{2(h_2 - h_1)} \quad \text{②}$$

圧縮機吸込み蒸気の比エンタルピー h_1 は、蒸発器 I からの冷媒と蒸発器 II からの冷媒とが混合したものであり、 $h_5 = h_8$ であるから

$$h_1 = \frac{\frac{1}{2} q_{mr} h_6 + \frac{1}{2} q_{mr} h_8}{q_{mr}} = \frac{1}{2} (h_6 + h_8) = \frac{1}{2} \times (415 + 410) = 413 \text{ kJ/kg}$$

②式に h_1 および運転条件を代入すると

$$\begin{aligned} (COP)_R &= \frac{\{(h_5 - h_4) + (h_8 - h_7)\} \eta_c \eta_m}{2(h_2 - h_1)} = \frac{\{(415 - 250) + (410 - 250)\} \times 0.70 \times 0.85}{2 \times (450 - 413)} \\ &= 2.61 \end{aligned}$$

【問 3 の解答例】

- (1) 蒸発器入口と出口の比エンタルピーをそれぞれ h_1 、 h_2 とすると、
冷凍能力 Φ_0 は次式で求められる。

$$\begin{aligned}\Phi_0 &= q_{\text{mr}} (h_2 - h_1) = q_{\text{mr}} [h_{\text{D}} - \{x h_{\text{D}} + (1 - x) h_{\text{B}}\}] \\ &= q_{\text{mr}} (1 - x) (h_{\text{D}} - h_{\text{B}}) \\ &= 0.11 \times (1 - 0.42) \times (358 - 180) \\ &= 11 \text{ kW}\end{aligned}$$

- (2) 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 は、
次式で求められる。

$$\begin{aligned}K &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{m}{\alpha_r}} = \frac{1}{\frac{1}{0.045} + \frac{20}{3.6}} = \frac{1}{27.8} \\ &= 0.036 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})\end{aligned}$$

- (3) 冷媒と空気との算術平均温度差を Δt_{m} とすると、

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

であるので、着霜のない状態における蒸発器の空気側伝熱面積 A は、
次式で求められる。

$$A = \frac{\Phi_0}{K \Delta t_{\text{m}}} = \frac{11}{0.036 \times 7.5} = 41 \text{ m}^2$$

- (4) 着霜時の蒸発器の外表面積基準の平均熱通過率 K' は、次式で求められる。

$$\begin{aligned}K' &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{m}{\alpha_r}} = \frac{1}{\frac{1}{0.045} + \frac{3.0 \times 10^{-3}}{0.18 \times 10^{-3}} + \frac{20}{3.6}} \\ &= \frac{1}{22.2 + 16.7 + 5.56} \\ &= 0.022 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})\end{aligned}$$

【問4の解答例】

イ.

① 400
② 非共沸
③ 500
④ 共沸
⑤ R 410A
⑥ R 404A
⑦ R 407C
⑧ R 507A

ロ.

⑨ R 410A
⑩ R 717
⑪ R 717
⑫ R 22
⑬ R 123
⑭ R 123
⑮ R 123

ハ.

⑯ 塩化ナトリウム
⑰ エチレングリコール
⑱ 強い
⑲ 熱伝導率 (*1)
⑳ 比熱 (*1)

(*1) ⑲と⑳は入れ替えても正解である。

【問5の解答例】

- (1) 屋外設置の圧力容器であるから、腐れしろ α は1mmとする。また、SM400Bの許容引張応力 σ_a は100 N/mm²であるから、設計可能な円筒胴の内径 D_i (mm)は

$$D_i = (t_{a1} - \alpha) \frac{2\sigma_a \eta - 1.2P}{P}$$
$$= (10 - 1) \times \frac{2 \times 100 \times 0.70 - 1.2 \times 1.86}{1.86} = 666.62 = 666 \text{ mm}$$

(小数点以下切り捨て)

したがって、設計可能な最大の円筒胴の外径 D_o (mm)は

$$D_o = D_i + 2t_{a1} = 666 + 2 \times 10 = 686 \text{ mm}$$

- (2) 半球形鏡板の必要厚さ t_a (mm)は

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

であり、ここで、半球形鏡板に関する形状係数 W は1、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、円筒胴の外径 D_o が686mmであるから内面の半径 R (mm)は

$2R = D_o - 2t_{a2}$ より、

$$R = \frac{D_o - 2t_{a2}}{2} = \frac{686 - 2 \times 8}{2} = \frac{670}{2} = 335 \text{ mm}$$

したがって、鏡板の必要厚さ t_a (mm)は

$$t_a = \frac{1.86 \times 335 \times 1}{2 \times 100 \times 1.00 - 0.2 \times 1.86} + 1 = 4.121 = 4.2 \text{ mm}$$

(小数点以下2桁以降を切り上げ)

以上のことから、鏡板の使用板材の板厚が8mmであれば、必要板厚4.2mmよりも厚いので、これを用いることができる。