

問題用紙は、試験監督員からの開始の指示があるまで一切開かないでください。

令和 6 年度

第一種冷凍機械

学 識 試 験 問 題

GZ

試験時間 13 : 30 ~ 15 : 30

注 意 事 項

- (1) 配布された問題用紙の種類（左上に黒地白文字で示しています。）が受験する試験の種類に間違いがないか、また、問題用紙と受験番号札の色が合致しているかどうか、必ず確認してください。
万一、異なる場合は、速やかに試験監督員に申し出てください。
- (2) 解答は、問題ごとの「解答用紙」に記入してください。
別問題の「解答用紙」に解答した場合、その解答は無効となりますので、記入を間違えないように注意してください。
- (3) 「解答用紙」は、採点の際に問題ごとに切り離しますので、すべての解答用紙に「受験番号」、「氏名」を必ず記入してください。
- (4) 試験問題に関する質問にはお答えできません。
- (5) 「問題用紙」および「答案用紙」は、試験監督員の指示に従い必ず提出してください。

一冷(学)GZ

問1 アンモニアを冷媒とする二段圧縮一段膨張の冷凍装置を下記の冷凍サイクルの運転条件で運転する。このとき、凝縮器の冷媒循環量 q_{mrk} (kg/s)、高段圧縮機の体積効率 η_{vH} およびこの冷凍装置の実際の成績係数 $(COP)_R$ を解答用紙の所定欄に計算式を示して答えよ (小数点以下第2位までとする)。

ただし、圧縮機の機械的摩擦損失仕事は吐出しガスに熱として加わるものとする。また、配管での熱の出入りおよび圧力損失はないものとする。

(20点)

(理論冷凍サイクルの運転条件)

低段圧縮機の吸込み蒸気の比エンタルピー	$h_1 = 1440 \text{ kJ/kg}$
低段圧縮機の吸込み蒸気の比体積	$v_1 = 0.987 \text{ m}^3/\text{kg}$
低段圧縮機の断熱圧縮後の吐出しガスの比エンタルピー	$h_2 = 1580 \text{ kJ/kg}$
高段圧縮機の吸込み蒸気の比エンタルピー	$h_3 = 1470 \text{ kJ/kg}$
高段圧縮機の吸込み蒸気の比体積	$v_3 = 0.335 \text{ m}^3/\text{kg}$
高段圧縮機の断熱圧縮後の吐出しガスの比エンタルピー	$h_4 = 1690 \text{ kJ/kg}$
凝縮器出口の液の比エンタルピー	$h_5 = 366 \text{ kJ/kg}$
蒸発器用膨張弁直前の液の比エンタルピー	$h_7 = 200 \text{ kJ/kg}$

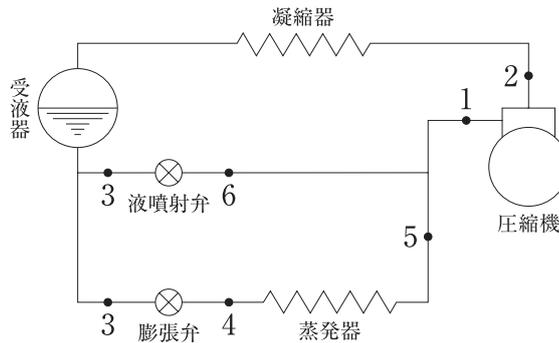
(実際の冷凍装置の運転条件)

冷凍能力	$\Phi_o = 450 \text{ kW}$
低段側ピストン押しのけ量	$V_L = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$
押しのけ量比	$a = 2.0$
圧縮機の断熱効率 (低段側、高段側とも)	$\eta_c = 0.70$
圧縮機の機械効率 (低段側、高段側とも)	$\eta_m = 0.90$

問2 下図に示す R410A 冷凍装置は、理論冷凍サイクルで運転され、過熱度の大きい圧縮機吸込み蒸気に凝縮器出口冷媒液の一部を噴射することで、圧縮機吸込み蒸気の過熱度を小さくして容量制御を行っており、下記の運転条件で運転するものとする。この冷凍装置において、凝縮器出口の冷媒循環量の 10% を噴射して容量制御を行っている場合について、次の(1)の問は解答用紙の $p-h$ 線図上に、(2)と(3)の問は解答用紙の所定欄に計算式を示してそれぞれ答えよ。なお、図中の点3は過冷却液である。

ただし、圧縮機の機械的摩擦損失仕事は吐出しガスに熱として加わるものとする。また、配管での熱の出入りおよび圧力損失はないものとする。

(20点)



(運転条件)

圧縮機の断熱圧縮後の吐出しガスの比エンタルピー	$h_2 = 481 \text{ kJ/kg}$
膨張弁および液噴射弁の直前の液の比エンタルピー	$h_3 = 241 \text{ kJ/kg}$
蒸発器出口蒸気の比エンタルピー	$h_5 = 450 \text{ kJ/kg}$

- (1) この冷凍装置の理論冷凍サイクルを解答用紙の $p-h$ 線図上に描き、点1から点6の各状態点を図中に記入せよ。
- (2) 圧縮機吸込み蒸気の比エンタルピー h_1 (kJ/kg) を求めよ。
- (3) この冷凍装置の理論成績係数 $(COP)_{th,R}$ を求めよ (小数点以下第2位までとする)。

問3 下図のように硬質ポリウレタンフォーム製断熱材を用いて銅管を断熱し、ブライン搬送用の配管を製作した。定常状態において、以下の仕様および使用条件でこの配管を使用したとき、次の(1)から(3)の間に、解答用紙の所定欄に計算式を示し、あるいは、その計算式を用いた式を示した上で、必要な値（小数点以下第1位まで）を求めよ。

ただし、銅管内外の温度差は非常に小さく、 $t_1 = t_2$ とする。また、配管の半径方向にのみ、一様に熱が流れるものとする。必要であれば、 $\ln 2 = 0.69$ 、 $\ln 3 = 1.10$ 、 $\ln 5 = 1.61$ 、円周率 $\pi = 3.14$ を用いよ。

(20点)

(仕様および運転条件)

銅管の内直径 $D_1 = 4.0 \text{ mm}$
 銅管の外直径（断熱材の内直径） $D_2 = 6.0 \text{ mm}$
 断熱材の外直径 $D_3 = 30.0 \text{ mm}$
 外気温度 $t_a = 31.0 \text{ }^\circ\text{C}$
 断熱材の外表面（外気側）温度 $t_3 = 26.0 \text{ }^\circ\text{C}$
 断熱材の熱伝導率

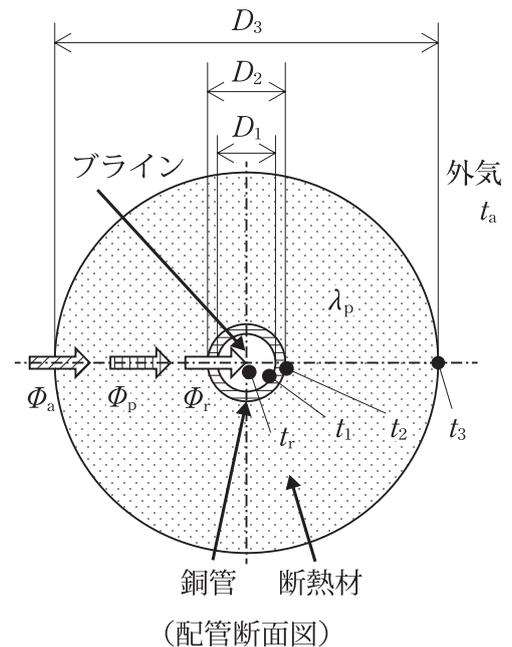
$$\lambda_p = 0.035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$$

断熱材の外表面側（外気側）熱伝達率

$$\alpha_a = 0.010 \text{ kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

銅管の内表面側（ブライン側）熱伝達率

$$\alpha_r = 5.0 \text{ kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$



(記号)

配管長 L (m)、銅管の内半径 r_1 (mm)、
 銅管の外半径（断熱材の内半径） r_2 (mm)、断熱材の外半径 r_3 (mm)、
 断熱材の内表面（銅管の外表面）温度 t_2 ($^\circ\text{C}$)、銅管の内表面温度 t_1 ($^\circ\text{C}$)、
 ブライン温度 t_r ($^\circ\text{C}$)（ただし、ブラインの温度分布は考慮しない。）

(1) 計算式をそれぞれ示せ。

- 外気から断熱材（軸方向の長さ L (m)、外直径 D_3 (mm)）に入る伝熱量 Φ_a (W) を求める式
- 長さ L (m) の断熱材を通過する伝熱量 Φ_p (W) を求める式
- 銅管（軸方向の長さ L (m)）からブラインに入る伝熱量 Φ_r (W) を求める式

(2) 断熱材の内表面（銅管の外表面）温度 t_2 ($^\circ\text{C}$) を求めよ。

(3) ブライン温度 t_r ($^\circ\text{C}$) を求めよ。

問4 次のイ、ロ、ハ、ニは、冷媒とブラインについて述べたものである。文中の①から⑳に最も適切な語句を解答用紙の所定欄に記入せよ。ただし、同じ語句を何回使用してもよい。

(20点)

イ. オゾン層保護や地球温暖化対策を背景として、オゾン層を破壊せず地球温暖化への影響の少ない ①、②、炭化水素などを冷媒（自然冷媒と呼ばれる）として、一部の冷蔵庫、冷凍庫、ヒートポンプ給湯器などに使用することが進められている。CFC 冷媒の R 11 が成層圏のオゾン層を破壊する能力を基準として、各気体の成層圏のオゾン層への影響度を相対化して表したものが ③ 係数である。② が大気温度を上昇させる能力を基準として、各気体の地球温暖化への影響度を相対化して表したものが ④ 係数である。

ロ. フルオロカーボン冷媒のうち、メタン、エタン中の水素原子の一部をフッ素で置換し、水素、フッ素、炭素からなるものを ⑤ 冷媒と呼び、代表的な冷媒として R ⑥ がある。この冷媒は塩素を含まないので、その ODP はゼロである。また、プロペン（プロピレンともいう）中の水素原子の一部をフッ素原子で置換した分子構造をもつものを ⑦ 冷媒と呼び、代表的な冷媒として R ⑧ や R ⑨ などがある。これらは、ODP がゼロで、低い GWP を有している。

ハ. 冷凍機油は、鉱油（鉱物油）と合成油に大別される。鉱油は炭化水素を基油としており、⑩ 鉱油、⑪ 鉱油がある。合成油は化学構造中に酸素が組み込まれたものであり、主なものには、⑫ 油、⑬ 油、⑭ 油などがある。

ニ. 代表的な無機ブラインとして、⑮ ブラインや ⑯ ブラインがある。また、有機ブラインには、⑰ 水溶液や ⑱ 水溶液などのグリコール系のほかに、⑲ 系、⑳ 系がある。

問5 下記仕様の鋼板がある。この鋼板を用いて、屋外に設置して凝縮温度 55℃ で運転される R 404A 用高圧受液器を設計したい。この高圧受液器について、次の(1)から(3)の間に、解答用紙の所定欄に計算式を示して答えよ。

ただし、R 404A 冷凍装置の凝縮温度 55℃ における高圧部設計圧力は 2.48 MPa を使用するものとする。

(20点)

(鋼板の仕様)

使用鋼板	SM 400B
円筒胴に使用する鋼板の厚さ	$t_{a1} = 8 \text{ mm}$
鏡板に使用する鋼板の厚さ	$t_{a2} = 8 \text{ mm}$

(1) 設計可能な最大の円筒胴の外径 D_o は何 mm か。

ただし、溶接継手の効率 e は 0.70 とし、円筒胴の外径を整数値で求めよ。

(2) (1)で求めた円筒胴に取り付ける鏡板の形状を半球形とし、この鏡板には溶接継手はないものとする。これに板厚 8 mm の鋼板を使用できる理由を、必要板厚を計算して説明せよ。

(3) この高圧受液器に使用する板厚 8 mm の半球形鏡板の内面に設計圧力 2.48 MPa が作用した場合、半球面の接線方向に誘起される引張応力 σ_t (N/mm²) を求めよ (小数点以下第 1 位までとする)。

