

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 7 年度

甲 種 機 械

学識試験問題

EZ

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「解答用紙」は、試験監督員の指示に従い必ず提出してください。
- (6) 問題中において、特に記述のない場合、圧力は絶対圧力で表しています。

甲機(学)EZ

問 1 二重管式熱交換器を使用して、内管内の油を外管と内管の間の飽和蒸気の凝縮熱によって加熱する。凝縮蒸気量 G_w は 740 kg/h、飽和蒸気温度 T_s は 433 K、油の入口温度 T_1 は 303 K、出口温度 T_2 は 363 K とする。

ここで、

内管の外径	$d_1 = 0.050 \text{ m}$
内管の内径	$d_2 = 0.044 \text{ m}$
内管の熱伝導率	$\lambda = 50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
蒸気から内管への熱伝達率	$h_1 = 8000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
内管から油への熱伝達率	$h_2 = 600 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
飽和蒸気 (433 K) の比エンタルピー	$i_1 = 2754 \text{ kJ/kg}$
飽和水 (433 K) の比エンタルピー	$i_2 = 674 \text{ kJ/kg}$
油の比熱容量	$c = 2.64 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

である。

また、外管から外部への熱損失はないものとする。さらに、内管の平均径および平均温度差は本来対数平均を用いるが、ここでは、算術平均を用いよ。

なお、必要な場合、計算式に下記の記号を使用すること。

熱交換器の伝熱面積	$A \text{ [m}^2\text{]}$
熱交換器の伝熱量	$Q \text{ [W]}$
飽和蒸気温度と油の入口温度との差	$\Delta T_1 \text{ [K]}$
飽和蒸気温度と油の出口温度との差	$\Delta T_2 \text{ [K]}$

以下の各問について、解答用紙の所定欄に根拠、計算式を示して答えよ。 (20 点)

- (1) 内管の厚さ $x \text{ [m]}$ と内管の平均径 $d_{av} \text{ [m]}$ および飽和蒸気から油への総括伝熱係数 (熱貫流率) $U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ (内管平均径基準) を求めよ。
- (2) 熱交換器の平均温度差 $\Delta T_{av} \text{ [K]}$ および所要伝熱管長さ $L \text{ [m]}$ を求めよ。
- (3) 油の流量 $G_o \text{ [kg/h]}$ を求めよ。

問2 図1に示す十分に大きな断面積 A_1 [m²] の貯槽がある。これに密度 ρ [kg/m³] の液体を底面から高さ h_1 [m] まで入れ、底面から高さ h_2 [m] の位置に設けた断面積 A_2 [m²] の孔から液体を平均流速 u_2 [m/s] で流出させる。

ここで、貯槽は十分に大きく $A_1 \gg A_2$ である。液温の変化もなく液体の密度 ρ も一定である。ただし、重力加速度は g [m/s²] とする。

以下の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。

(20 点)

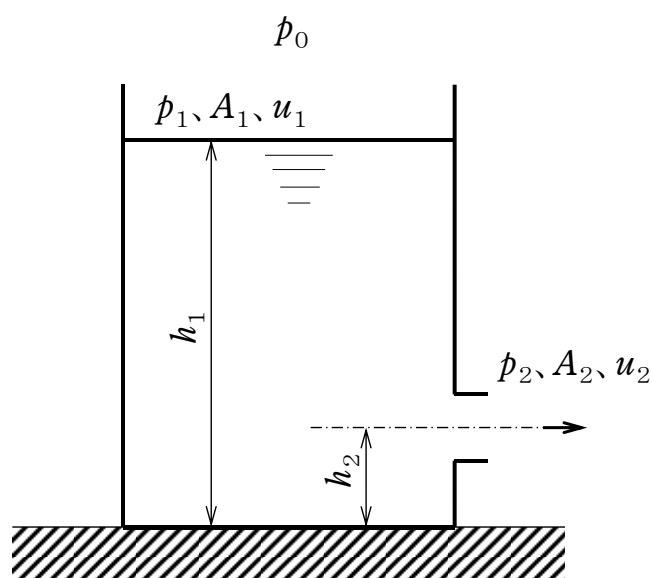


図 1

- (1) 貯槽の液面と流出部の圧力 p_1 、 p_2 、高さ h_1 、 h_2 、平均流速 u_1 、 u_2 の関係式をベルヌーイの定理を使って示せ。
- (2) 貯槽の液面の圧力 p_1 [Pa] および流出部の圧力 p_2 [Pa] は大気圧 p_0 [Pa] である。
(1)で求めた式と連続の式 $A_1 u_1 = A_2 u_2$ より平均流速 u_2 [m/s] を求めよ。

次に、図 2 のとおり流出部に直円管をつないだ貯槽を考える。

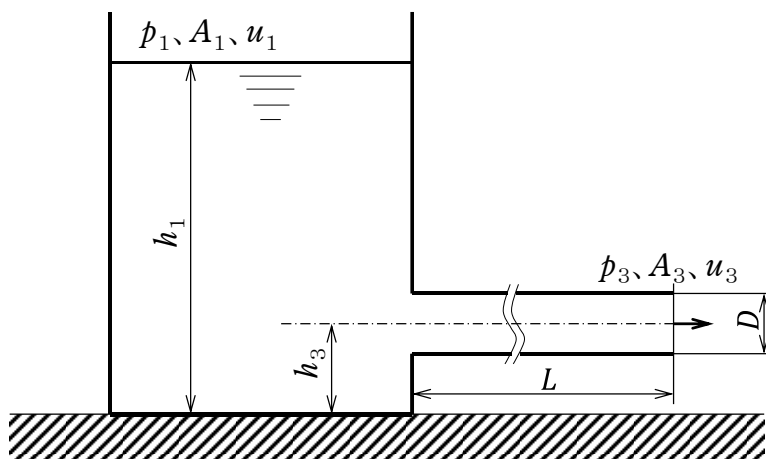


図 2

- (3) 貯槽の流出部に断面積 A_3 ($A_1 \gg A_3$) をもつ内径 $D = 50 \text{ mm}$ 、長さ $L = 100 \text{ m}$ の直円管がつながれている。直円管の入口の圧力損失は無視でき、管摩擦係数 $f = 0.005$ 、 $h_1 - h_3 = 2.10 \text{ m}$ のときの管内平均流速 $u_3 [\text{m/s}]$ および圧力損失 $\Delta p [\text{Pa}]$ を求めよ。

ここで、貯槽の液面の圧力 $p_1 = p_0$ 、直円管出口部の圧力 $p_3 = p_0$ 、直円管の入口と出口で高さの変化はなく、管内の流れは乱流域と仮定する。ただし、密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする。

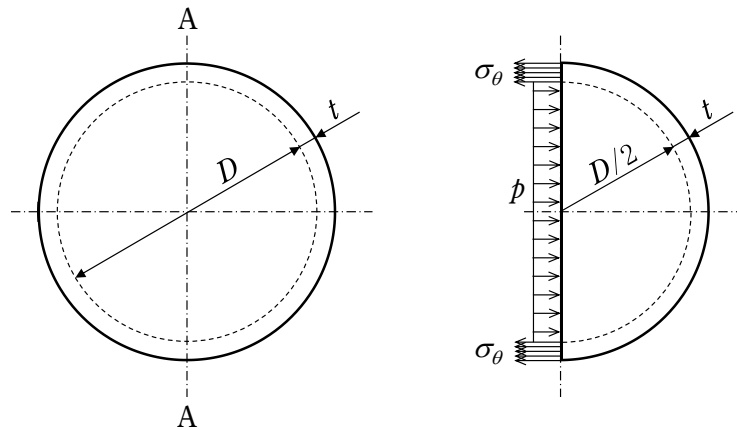
- (4) 直円管内の液体のレイノルズ数 Re を計算し、管内の流れが乱流域との仮定の妥当性について判定基準を示して確認せよ。ただし、液体の粘性係数 $\mu = 1.00 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ とする。

問3 次の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。

(20 点)

- (1) 金属材料のクリープ現象について簡潔に説明せよ。
- (2) クリープ曲線の縦軸と横軸の名称を 内に記し、クリープ破断する場合とクリープ破断しない場合のクリープ曲線を図中に描け。このとき破断点は、×印で示すこと。さらに、クリープ破断する場合のクリープ曲線に第Ⅰ期（遷移クリープ）、第Ⅱ期（定常クリープ）、第Ⅲ期（加速クリープ）の3段階を図示せよ。
- (3) 第Ⅰ期、第Ⅱ期、第Ⅲ期の各段階でクリープひずみがどのように変化するか簡潔に記述せよ。
- (4) 次の文章は、金属系耐熱材料について説明したものである。①と②には金属の元素記号を、③～⑤には適切な語句を入れよ。ただし、同じ番号の には同じ答えが入るものとする。
- 1) 高温圧力容器などに用いられる低合金鋼（中合金鋼を含む）には、 ① 鋼、 ② - ① 鋼などがあり、 ① は 0.15～1%程度、 ② は 1～9%程度が鋼に添加される。
- 2) ② - ① 鋼は、325～575℃の温度範囲で保持または徐冷すると材料が脆化する。これを ③ と呼ぶ。
- 3) あまり強度を必要としない炉の部品、熱交換器などに用いるフェライト系耐熱鋼の高 ② 鋼では、370～540℃に加熱すると、常温での硬さが増し、伸びが減少し脆くなる ④ を起こす。
- また、 ② を 15%以上含む鋼では、540～815℃の温度範囲において、硬くて脆弱な ⑤ が生じる。

問4 内面に圧力が作用する薄肉球形胴の圧力容器に関する次の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。ただし、容器内のガスの圧力を p （ゲージ圧力）、胴の内径を D 、胴の厚さを t とし、円周率を π とする。（20点）



(a) 薄肉球形胴

(b) A-A断面の力の釣り合い

図 内圧が作用する薄肉球形胴の圧力容器

- (1) 球形胴の中心を通る断面（A-A断面）において、内圧 p が作用する面積（投影面積）を記号 D を用いて表せ。
- (2) A-A断面において、胴の円周方向（接線方向）に生じる接線応力 σ_θ が作用する面積を記号 D と t を用いて近似的に表せ。
- (3) A-A断面における力の釣り合い式を示せ。
- (4) 胴に生じる接線応力 σ_θ を記号 p 、 D 、 t を用いて表せ。
- (5) 薄肉の仮定によって胴の半径方向（厚さ方向）に生じる半径応力 σ_r は零で近似できる。胴に生じる3つの主応力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 （ただし、 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ）を表せ。必要に応じて、記号 p 、 D 、 t を用いよ。

問5 ある理想気体 80 mol を、圧力 $p_A = 0.1 \text{ MPa}$ 、体積 $V_A = 2.0 \text{ m}^3$ 、温度 T_A の状態 A から、圧力 $p_B = 0.5 \text{ MPa}$ 、温度 $T_B = T_A$ の状態 B まで、以下の 2 通りの方法で圧縮する。

方法 1 : 状態 A から状態 B まで等温変化させる。

方法 2 : 状態 A から状態 C (圧力 $p_C = 0.5 \text{ MPa}$) まで可逆断熱変化させ、次に状態 C から状態 B まで等圧変化させる。

このとき、次の各問について解答用紙の所定欄に答えよ。

なお、計算問題では解答に至る計算式も示すこと。ただし、気体のモル熱容量の比 (比熱比) は $\gamma = 1.5$ 、気体定数は $R = 8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ とする。 (20 点)

(1) 状態 A の温度 $T_A [\text{K}]$ はいくらか。

(2) この気体の定圧モル熱容量 $C_{m,p} [\text{J/(mol} \cdot \text{K)}]$ および定容モル熱容量 $C_{m,V} [\text{J/(mol} \cdot \text{K)}]$ はいくらか。

(3) 方法 1 の場合、圧縮に要した仕事 $W_{AB} [\text{kJ}]$ および気体から取り除いた熱量 $Q_{AB} [\text{kJ}]$ はいくらか。必要に応じて以下の値を使用せよ。

n	2	3	5
$\ln n$	0.693	1.099	1.609

(4) 方法 2 の場合、状態 C における気体の温度 $T_C [\text{K}]$ 、状態 A から状態 C までの圧縮に要した仕事 $W_{AC} [\text{kJ}]$ はいくらか。必要に応じて以下の値を使用せよ。

n	1/3	1/2	2/3	3/2
5^n	1.710	2.236	2.924	11.18

(5) 方法 2 の場合、状態 C から状態 B までの圧縮に要した仕事 $W_{CB} [\text{kJ}]$ および気体から取り除いた熱量 $Q_{CB} [\text{kJ}]$ はいくらか。

(6) 状態 A から状態 B まで方法 1 で圧縮するときの圧縮仕事 W_{AB} と、方法 2 で圧縮するときの圧縮仕事 $W_{AC} + W_{CB}$ の関係について、正しいものを下記から記号を選び、その根拠も答えよ。

(イ) $W_{AB} > W_{AC} + W_{CB}$

(ロ) $W_{AB} = W_{AC} + W_{CB}$

(ハ) $W_{AB} < W_{AC} + W_{CB}$