

問(I) (55点)

理想気体が容器内で準静的に変化するサイクルについて考える。容器はシリンダと摩擦のないピストンからなり、気体は密封されている。この気体の圧力を $p$ 、比体積を $v$ 、温度を $T$ 、気体定数を $R$ 、比エントロピーを $s$ とする。また、この気体の比熱は温度によらず一定であり、比熱比を $\kappa$ とする。気体は状態1 (圧力 $p_1$ 、比体積 $v_1$ 、温度 $T_1$ ) から状態2 (圧力 $p_2$ 、比体積 $v_2$ 、温度 $T_2$ ) へ外部から熱が供給されることで体積一定で変化し、状態2から状態3 (圧力 $p_3$ 、比体積 $v_3$ 、温度 $T_3$ ) へも外部からの熱供給により温度一定で変化する。その後、気体は外部へ熱を放出することにより状態3から状態4 (圧力 $p_4$ 、比体積 $v_4$ 、温度 $T_4$ ) へ体積一定で変化し、引き続き状態4から外部へ熱を放出することで温度一定で状態1に戻る (このサイクルをサイクルAとする)。  $v_4/v_1$ を $\varepsilon$ として以下の問いに答えよ。なお(2)～(7)は $R$ 、 $T_1$ 、 $T_3$ 、 $\varepsilon$ 、 $\kappa$ を用いて解答すること。また(2)～(4)、(6)は単位質量あたりの値とする。

- (1) このサイクルの $p$ - $v$ 線図を図1.1に $T$ - $s$ 線図を図1.2に各状態 (2,3,4) の位置を明記して示せ。なお状態1の位置は既に図に示している。
- (2) 状態1→2→3にて外部から気体に供給される熱量 $q_{A.in}$ を求めよ。
- (3) 状態3→4→1にて気体から外部に放出される熱量 $q_{A.out}$ を求めよ。
- (4) サイクルがなす仕事 $l_A$ を求めよ。
- (5) サイクルの熱効率 $\eta_A$ を求めよ。

次に状態3から状態4にかけて気体から外部に放出されるすべての熱を回収し、状態1から状態2にかけて外部から気体に供給される熱の代わりに、回収したすべての熱を気体に供給することにした。このサイクルをサイクルBとする。

- (6) サイクルBがなす仕事 $l_B$ を求めよ。
- (7) サイクルBの熱効率 $\eta_B$ を求めよ。
- (8) サイクルBの各状態における温度を変えることなく熱効率を高めたい。それが可能であるか、根拠を示して答えよ。

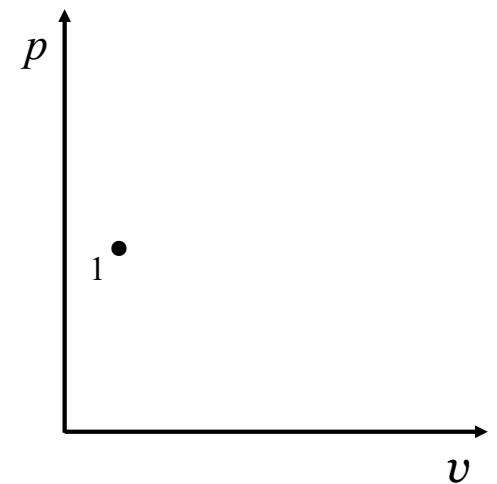


図1.1

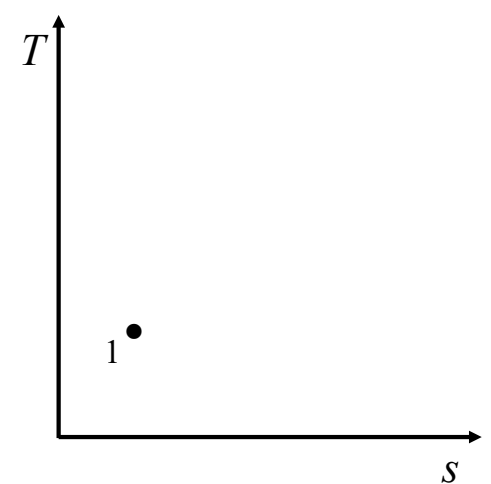


図 1.2

問(Ⅱ) (55点)

直径 $2R$  (m)の円柱ヒーターと平行に、一定温度 $T_a$  (K)の空気が流れている。ヒーターの熱伝導率 $k$  (W/(m·K))は一定であり、一様な発熱量 $H$  (W/m<sup>3</sup>)で発熱している。ヒーターの中心を $r=0$ として、以下の問いに答えよ。ただし、加熱開始点から十分に下流にある領域で、ヒーターの軸方向の温度勾配は小さく、半径方向のみの定常一次元問題と見なしてよく、この領域ではヒーターと空気との熱伝達率 $h$  (W/(m<sup>2</sup>·K))は場所によらず一定と考えてよい。解答には図中の物理量だけを用いること。

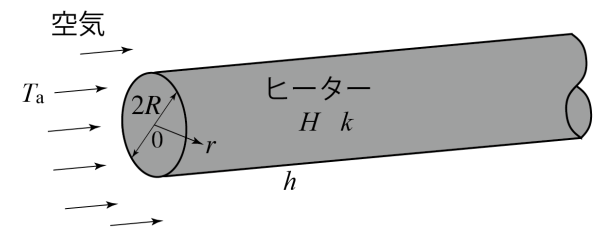


図2.1

- (1) ヒーター表面の熱流束 $q$  (W/m<sup>2</sup>)を求めよ。
- (2) ヒーターの表面温度 $T_w$  (K)を求めよ。
- (3) ヒーター内部の熱伝導方程式  $\frac{k}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) + H = 0$  を解いて、ヒーター中心温度と空気の温度との差を求めよ。
- (4) 空気の温度を $2T_a$ に上げると、ヒーター中心温度と空気の温度との差は(3)の値と比べて大きくなるか、小さくなるか、変わらないか？ その値とともに答えよ。ただし、熱伝達率 $h$ は変化しないものとする。
- (5) 空気の温度を $T_a$ に戻す。つぎにヒーターを十分に広い部屋の中に置いたところ、ヒーターから壁へのふく射による熱輸送の効果を無視できなくなり、ヒーター中心温度と空気の温度との差は(3)の値より10%小さくなった。このとき全伝熱量に対するふく射伝熱量の割合 $\alpha$ を求めよ。ただし、ヒーター表面と壁は黒体面と考えてよい。また、熱伝達率 $h$ は変化しないものとする。

問(Ⅲ) (40点)

ある工場で90°Cの温排水が $\dot{m}_w=20 \text{ kg/s}$ で流出している。これを利用して $\dot{m}_L=40 \text{ kg/s}$ の液体を50°Cから70°Cまで加熱するため、向流熱交換器を用いることにする。以下の問いに答えよ。ただし、温排水の比熱 $c_w$ を4 kJ/(kg·K)、被加熱液体の比熱 $c_L$ を2 kJ/(kg·K)とする。

- (1) 熱交換量 $Q$ と温排水の出口温度 $T_{w0}$ を求めよ。
- (2) 温排水側の熱伝達率が $h_w=6 \text{ kW/(m}^2\cdot\text{K)}$ 、被加熱液体側の熱伝達率が $h_L=3 \text{ kW/(m}^2\cdot\text{K)}$ であり、隔壁（伝熱面）の厚さや熱伝導抵抗は無視できるものとする。この場合の温排水の混合平均温度、隔壁温度および被加熱液体の混合平均温度の熱交換器長さ方向分布の概略を温度差や温度変化に注意して右図中に示せ。併せて分布がそのような理由も述べよ。
- (3) この場合に必要な伝熱面積 $A$ を求めよ。
- (4) 温排水側または被加熱液体側どちらか一方の熱伝達率を向上させて熱交換器の長さ（伝熱面積）を5/6倍にしたい。どちらを改善したほうがいいのかを理由とともに述べよ。
- (5) その場合、熱伝達率を元の何倍にすればよいか。

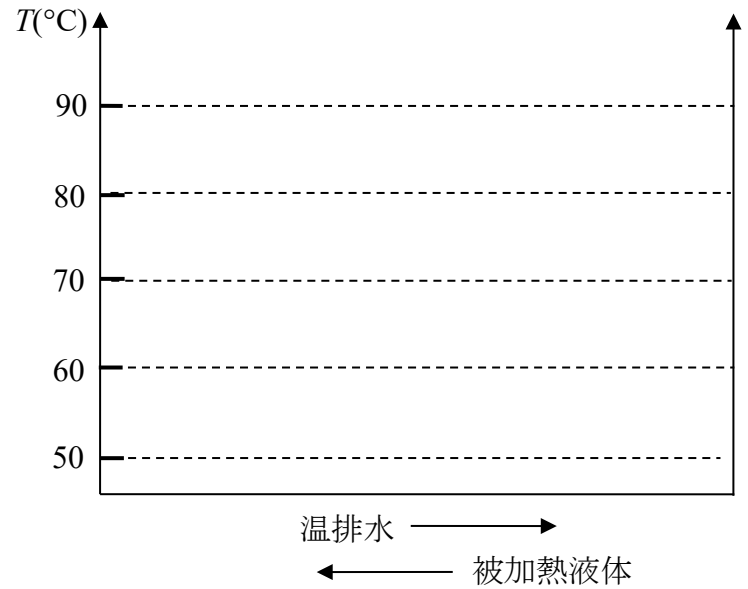


図 3.1 温度分布の解答欄（温排水と被加熱液体の各温度は実線で、隔壁温度は破線で描くこと）