

問(I) (60点)

図1.1のように気体がコンプレッサーで可逆的に断熱圧縮されている。図1.1の p , T , h はそれぞれ気体の圧力、温度、比エンタルピーで、添え字の1および2はコンプレッサーの入口、出口を表す。 l_{12} は圧縮仕事、すなわちコンプレッサーが単位質量当りの気体になす工業仕事である。気体は理想気体とみなされ、気体の比熱は温度によらず一定で、比熱比を κ 、気体定数を R とする。以下の問いに答えよ。

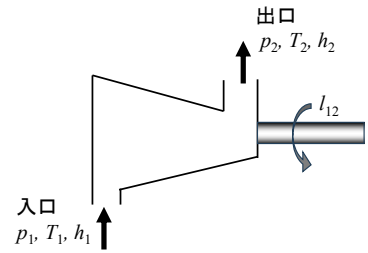


図 1.1 コンプレッサー

- (1) 気体の定圧比熱 c_p を κ , および R を使って示せ。
- (2) 出口温度 T_2 を, T_1 , p_1 , p_2 , κ を使って示せ。
- (3) 入口と出口の比エンタルピー差 h_2-h_1 を, T_1 , p_1 , p_2 , κ および R を使って示せ。
- (4) 圧縮仕事 l_{12} を T_1 , p_1 , p_2 , κ および R で示せ。

圧縮仕事を減らすために、二段階で圧縮する方式を導入する。この方式は圧縮途中の圧力 p_M ($p_1 < p_M < p_2$) に達すると気体の温度を入口温度 T_1 まで圧力一定で冷却(中間冷却)し、その後再び圧力 p_2 まで可逆断熱圧縮する方式である。

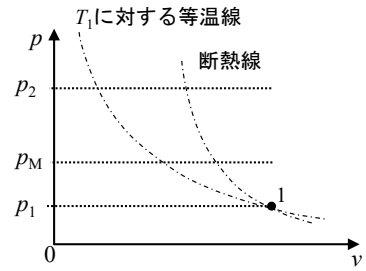


図 1.2 p - v 線図

- (5) 二段圧縮過程を p - v 線図(図1.2)に示せ。 v は比体積を意味する。なお図1.2には温度 T_1 の等温線、コンプレッサー入口の状態点を通過する断熱線を補助として書き込んである。
- (6) 図1.2を使って、 p_1 から p_2 に気体を昇圧するのに一段で圧縮を完結する圧縮仕事 l_{12} (設問(4))に比べて、二段圧縮方式の全圧縮仕事 l_{total} が小さくなることを示せ。
- (7) 今、上の二段圧縮方式において各段に中間冷却を組み込む。更に、この操作を無限に繰り返す。この時の、気体を p_1 から p_2 に昇圧するのに要する圧縮仕事 l_∞ を示せ。 T_1 , p_1 , p_2 , κ および R のうち必要なものを使って示せ。

問(II) (50点)

図2.1のように、単位時間、単位体積あたりの発熱量 $H(\text{W}/\text{m}^3)$ で一様に発熱する厚さ $L_1(\text{m})$ の平板状の発熱体が、その片面は完全に断熱され、もう一方は厚さ $L_2(\text{m})$ の平板と密着している。また、平板の表面は一定温度 $T_f(\text{K})$ の流体により冷却されている。熱は厚さ方向(x 方向)にのみ伝わり、定常状態である。なお、発熱体と平板の接触界面の熱抵抗は無視でき、発熱体と平板の熱伝導率は温度によらず一定で、それぞれ k_1 と $k_2(\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K}))$ である。また、平板と流体の間の熱伝達率 $h(\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}))$ は場所によらず変わらないとする。ふく射伝熱は無視してよい。発熱体の断熱面を $x=0$ として次の問いに答えよ。

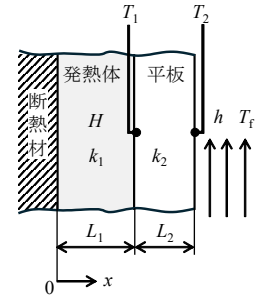


図 2.1

- (1) 平板表面の熱流束 $q_w(\text{W}/\text{m}^2)$ を T_1 、 T_2 および T_f を用いなくて求めよ。
- (2) 平板表面の温度 $T_2(\text{K})$ を q_w 、 h および T_f を用いて求めよ。
- (3) 発熱体内で温度が最大となる位置 $x_{\text{max}}(\text{m})$ を求めよ。
- (4) 発熱体と平板の接触界面($x=L_1$)の温度を $T_1(\text{K})$ とすると、発熱体内の最高温度 T_{max} と T_1 との温度差($T_{\text{max}}-T_1$)を H 、 k_1 および L_1 を用いて求めよ。なお、熱伝導率が k で、発熱量が H で一様に発熱する平板内の一次元定常熱伝導方程式は次式で表される。

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) + H = 0$$

- (5) 次に図2.2のように、材料は平板と同じで、断面積が一樣な直径 $D(\text{m})$ のピンフィンを取付けた。図2.1の平板上に垂直に取り付けた。接触界面の熱抵抗は無視できる。このフィンの直径はその高さに比べて小さく、フィン内の熱伝導は x 方向にのみ生じる一次元定常熱伝導問題として取り扱える。図2.3を参考に、フィンの任意の位置 x における長さ dx の検査体積内の熱収支を考えて次式を導出せよ。熱伝達率 h や流体温度 T_f は場所によらず変わらないとする。

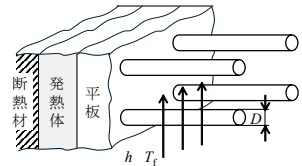
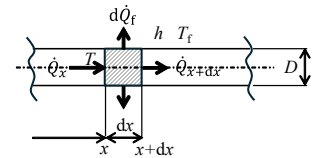


図 2.2

$$k_2 \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{4h}{D}(T - T_f) = 0$$

- (6) 図2.2のフィン付き面の表面積はフィンをつける前の $m(>1)$ 倍である。ここでフィン根元付近の表面温度を T_2 に維持するように発熱体の発熱量 H を $n(>1)$ 倍に増やして定常状態を保った。このとき、 n は m より大きい、小さい、あるいは等しいか？その理由とともに答えよ。ここでも熱伝達率 h や流体温度 T_f は場所によらず変わらないとする。



Q_x, Q_{x+dx} : 熱伝導による伝熱量
 dQ_f : 熱伝達による伝熱量

図 2.3

問(Ⅲ) (40点)

ある蒸気サイクル(1→2→3→4→1)を考える。このサイクルは、2つの圧力間(高圧側： p_H (Pa)と低圧側： p_L (Pa))で動作しており、1→2は可逆断熱圧縮、2→3は等圧加熱、3→4は可逆断熱膨張、4→1は等圧冷却である。なお、各点の状態は、1と4は湿り蒸気で、2は飽和液、3は乾き飽和蒸気である。圧力 p_H と p_L における飽和温度は、それぞれ T_H (K)と T_L (K)である。圧力 p_H における飽和液、乾き飽和蒸気の比エントロピーをそれぞれ s_H' , s_H'' 、圧力 p_L におけるそれらを s_L' , s_L'' (単位はいずれもJ/(kg·K))とする。以下の問いに、 T_H , T_L , s_H' , s_H'' , s_L' , s_L'' のうち必要なものを用いて答えよ。

- (1) このサイクルを1から4の状態に対応させて、図3.1のT-s線図上に描け。
- (2) 1と4における乾き度 x_1 と x_4 を求めよ。
- (3) このサイクルの単位質量あたりの受熱量 q_m (J/kg)および放熱量 q_{out} (J/kg)を求めよ。
- (4) このサイクルで得られる単位質量あたりの正味の仕事 l (J/kg)を求めよ。
- (5) このサイクルの熱効率 η を求めよ。
- (6) このサイクルの等圧加熱過程(2→3)において、3を飽和蒸気状態ではなく過熱蒸気状態にまで加熱するように改良したとする。このとき、サイクルの熱効率は向上するか、変わらないか、または低下するか。また、その理由を簡潔に述べよ。

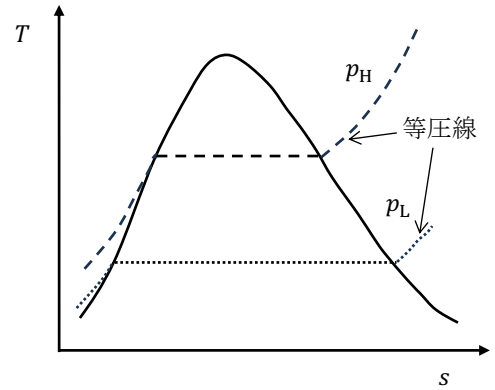


図 3.1