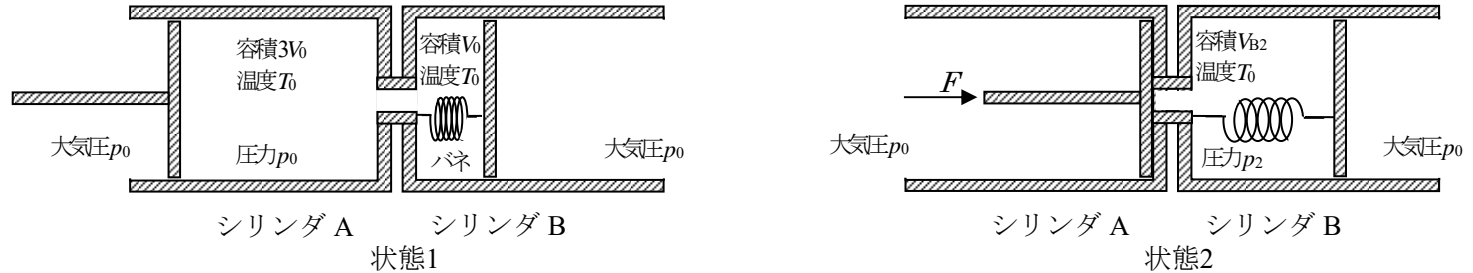


問(I) (50点)

図に示すように大気圧 p_0 のもと、互いに接続されたシリンダA, Bがあり、理想気体が充填されている。いずれのシリンダのピストンも摩擦無しにシリンダ内を移動できるが、シリンダBのピストンはバネでシリンダと結ばれている。初期状態1では圧力 p_0 、温度 T_0 、シリンダA, Bの容積はそれぞれ $3V_0$, V_0 であった。今、シリンダ内の気体の温度は T_0 で一定となるようにしたまま、シリンダAのピストンに力 F を加えながら準静的に押し込み、シリンダA内の気体をすべてシリンダBに送り込んだ(状態2)。

この過程について、以下の問いに答えよ。ただし、このバネはシリンダ内の圧力が状態1のときの2倍になると長さが2倍となるようなバネ定数を有する。また、ピストンの面積を S とし、バネの容積は無視できる。なお、シリンダを接続する通路の容積も無視でき、シリンダAとBの中の気体の圧力、温度は等しいものとする。



- (1) シリンダBのピストンとシリンダを結ぶバネのバネ定数 k が、 $k = \frac{p_0}{V_0} S^2$ であることを示せ。
- (2) 状態2においてシリンダBのピストンに作用する気体やバネからの力をすべて図中に矢印で示し、それらが何により生じている力であるかも示せ。
- (3) 状態2におけるシリンダB内の気体の圧力 p_2 と容積 V_{B2} を求め、 p_0 , V_0 で示せ。
- (4) シリンダAとBの中の気体をひとつの系として考え、この系が状態1から状態2までの間に外部にした仕事 L_{12} を求め、 p_0 , V_0 で示せ。
- (5) 状態1から状態2までの間に、シリンダAとBの中の気体に外から伝わる熱量 Q_{12} を求め、 p_0 , V_0 で示せ。
- (6) 状態1から状態2までの間に、シリンダAのピストンを押し込む力 F がした仕事 W_{12} を求め、 p_0 , V_0 で示せ。

問(Ⅱ) (60点)

A君は、細い円柱に直交して流れる流体への強制対流熱伝達率を定常実験で求めることにした。そこで、水平に設置した長さ L 、半径 r_w 、熱伝導率 k の円柱に直交して流体を流しながら円柱を一様に通電加熱し、電圧と電流の測定値から電気抵抗を求め、温度と抵抗の関係より円柱の平均温度 T_m を測定した。そして、電圧と電流より求めた単位時間当たりの発熱量 \dot{Q} から正しく求めた熱流束 q_w および温度 T_m と流体温度 T_f との差を用いて熱伝達率を算出したところ、B君よりそれは正しくないと指摘された。この問題について以下の設問に答えよ。ただし、熱伝導率は一定、熱伝達率は一様と仮定し、円柱は十分長いと考えてよい。

- (1) 円柱の単位時間単位体積当たりの発熱量 \dot{q}_v および表面から流体に伝わる熱流束 q_w を求めよ。
- (2) A君が求めた熱伝達率 h_A を上記問(1)までに出てきた物理量で表せ。
- (3) B君が正しくないと主張した理由は何か。また、A君が求めた h_A の値は、正しい熱伝達率 h より高いか低いかな。
- (4) 円柱内の半径方向(r 方向)の温度分布を以下の熱伝導方程式を解いて求めたい。中心の境界条件を示せ。

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) + \dot{q}_v = 0$$

- (5) 円柱内の半径方向温度分布を求めよ。ただし、円柱の表面温度を T_w としてよい。
- (6) 円柱の平均温度 T_m と表面温度 T_w との差を求めよ(円柱であることに注意して平均温度を求めよ)。
- (7) 測定した平均温度 T_m と発熱量 \dot{Q} を用いて正しい熱伝達率 h を表せ。
- (8) A君が求めた熱伝達率が正しい熱伝達率と10%以内の差で一致するためには、測定温度上昇すなわち $T_m - T_f$ がいくらか以上になるように加熱すればよいか。
- (9) B君が指摘した問題が重要かどうかは、「円柱内部の温度分布の大きさ」と「円柱表面と流体との温度差」の比に依存する。これを判断する際に検討すべき無次元数の名称と定義を示せ。ただし、代表寸法は r_w としてよい。また、その無次元数の値がどうであればA君の方法でもほぼ正しい熱伝達率が求められるか。

平成31年度九州大学大学院工学府機械系専攻修士課程入学試験問題・解答紙
 試験科目 熱工学 [8月21日 13時00分～14時30分]

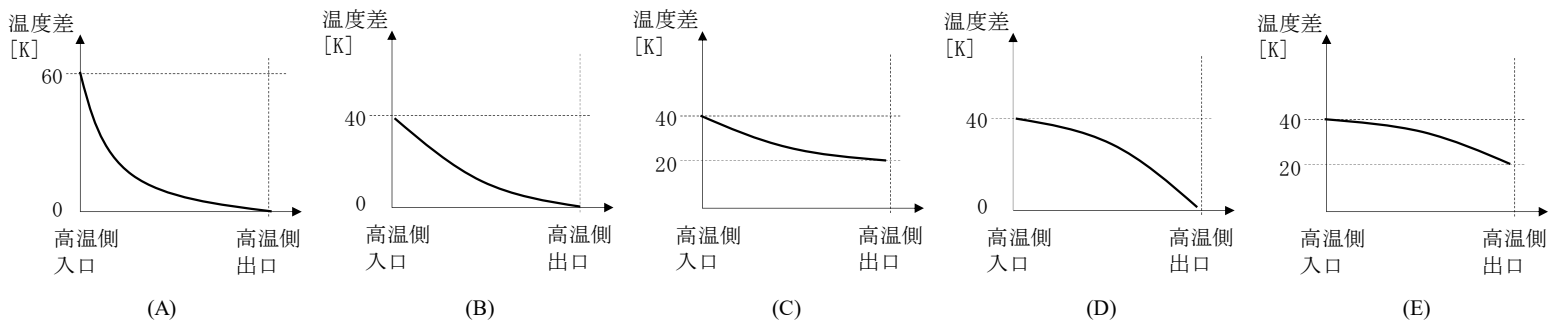
受験番号

採点

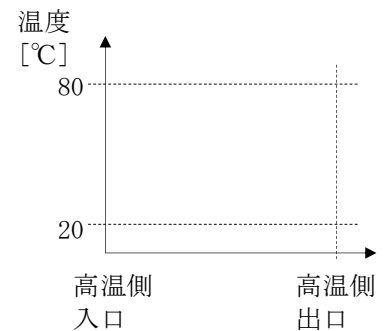
問(Ⅲ) (40点)

直径がそれぞれ一定の内管と外管からなる有限長さの二重管式熱交換器における熱交換を考える。高温流体（比熱 $4 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ）と低温流体の入口温度がそれぞれ 80°C と 20°C ，高温流体の質量流量が 0.1 kg/s のとき，いずれの流体も出口温度が 40°C であった。なお，熱通過率は $0.2 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，物性値は一定とし，周囲への熱損失もないとする。以下の問いに答えよ。ただし，必要であれば，答えに $\ln 2$ ， $\ln 3$ ならびに $\ln 5$ を使ってもよい。

- (1) この熱交換器は，並流型と向流型のいずれであるか，理由をつけて答えよ。
 (2) 高温流体と低温流体の温度差の分布は，次の(A)～(E) のうちのどれか記号で答えよ。また，その理由も答えよ。



- (3) この熱交換器の交換熱量 $[\text{kW}]$ を求めよ。
 (4) 低温流体の熱容量流量（質量流量×比熱） $[\text{kW}/\text{K}]$ を求めよ。
 (5) この熱交換器の熱通過面積 $[\text{m}^2]$ を求めよ。
 (6) 次に低温流体の質量流量だけを変えて高温流体の熱容量流量と等しくしたところ，両流体の出口温度が 40°C から変わった。このときの高温流体と低温流体の温度分布の概略を右に図示せよ。また，この場合の高温流体と低温流体の出口温度 $[\text{C}]$ を求めよ。ただし，ここでは $\ln 2=0.7$ ， $\ln 3=1.1$ ， $\ln 5=1.6$ とする。なお，熱通過率は流量変更前と変わらないとする。



(6) 温度分布概略解答欄