

6枚のうち1

受験番号 MC-

問題は、大問1から大問6まで6問ある。大問1は必ず選択し、大問2から大問6の5問から3問選択して、合計4問を解答すること。大問1問につき1枚の答案用紙を使用すること。大問1は指定の解答用紙を使用し、それ以外の問題はそれぞれの解答用紙に解答する問題番号を明記して使用すること。答案用紙の裏面を使用してもよい。必要に応じて下書用紙を使用して良いが、採点対象にはならない。

1

以下の問に答えよ。答えを導く過程も記述すること。

[1] ある容器内を不活性雰囲気置換（パージ）することを目的とし、容器の外部から不活性ガスを提供する。そのために、メタンを空気中で燃焼し、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  および  $\text{N}_2$  の混合物を生成する。この混合ガスを生成するために燃焼場に供給する空気とメタンの質量比を求めよ。生成される  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  の質量比についても求めよ。供給する空気は  $\text{O}_2$  と  $\text{N}_2$  から構成され、 $\text{O}_2$  と  $\text{N}_2$  の質量比は 23:77 であるとする。原子量は C: 12, H: 1.0, O: 16, N: 14 とし、解答は有効数字 3 桁で求めよ。

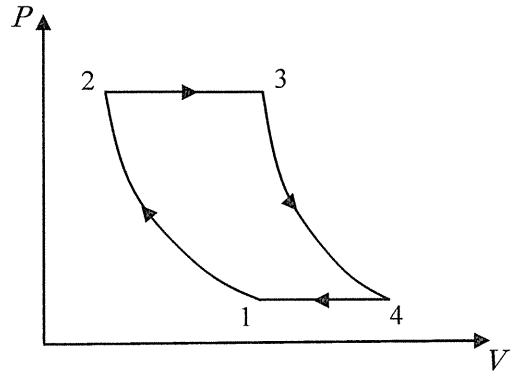
[2] 向流型熱交換器で 290 K の水（比熱  $4.2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、密度  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ）を用いて、流量  $0.60 \text{ kg s}^{-1}$  のベンゼン（比熱  $1.9 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、密度  $880 \text{ kg m}^{-3}$ ）を 350 K から 300 K まで冷却したい。熱交換器には外径 25 mm、内径 22 mm の金属管（熱伝導率  $45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ）を用い、この管内に水を通過させる。水とベンゼンの境膜伝熱係数はそれぞれ  $850 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  と  $1700 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  である。スケール（汚れ）抵抗を無視できるとして、水の出口温度を 320 K 以下に収めつつ水量を最小量にするのに必要な管の長さ (m) を小数第二位まで求めよ。

6枚のうち2

受験番号 MC-

2

右図の  $PV$  線図上に概形を示すような理想気体を作動流体とする可逆熱機関がある。この熱機関は、等温圧縮行程(図中  $1 \rightarrow 2$ )、等圧膨張行程(図中  $2 \rightarrow 3$ )、断熱膨張行程(図中  $3 \rightarrow 4$ )、および等圧圧縮行程(図中  $4 \rightarrow 1$ )の4つの行程からなる。 $1, 2, 3$  および  $4$  の点における圧力および温度をそれぞれ  $P_n$  [kPa] および  $T_n$  [K]



( $n = 1, 2, 3, 4$ )とする。また、この理想気体のガス定数を  $R$  [kJ/(kg·K)], 定圧比熱を  $c_p$  [kJ/(kg·K)], 比熱比(定容比熱に対する定圧比熱の比)を  $\kappa$  [-]とし、いずれも温度によらず一定とする。以下の〔1〕から〔4〕の間に答えなさい。答えを導く過程も記すこと。

- 〔1〕 この熱機関が1サイクル稼働する間の放熱量を  $q_L$  [kJ/kg]とする(放熱量を正とする)。  $q_L$  を  $c_p, R, P_1, P_2, T_1, T_4$  を用いて表せ。
- 〔2〕 この熱機関の熱効率(理論熱効率)  $\eta$  を  $c_p, R, P_1, P_2, T_1, T_3, T_4$  を用いて表せ。
- 〔3〕  $\phi = P_2/P_1, \tau = T_3/T_1$  とするとき、  $T_4/T_1$  を  $\kappa, \phi, \tau$  を用いて表せ。
- 〔4〕 この熱機関の熱効率(理論熱効率)  $\eta$  を  $\kappa$  および〔3〕の  $\phi, \tau$  を用いて表せ。

6 枚のうち 3

受験番号 MC-

3

外半径  $R_0$  [m] の球体発熱体を、熱伝導度 (率)  $\kappa$  [W/(m·K)] の保温材で隙間無くしかも厚みが均等になるように覆った。このとき、保温材の外半径は  $R_1$  [m] となっている (すなわち、保温材の厚みは  $(R_1 - R_0)$  で均等)。球体発熱体と保温材との境の温度は  $T_0$  [K] であった。このとき、保温材の半径  $r$  [m] 方向に対する定常状態での温度  $T$  [K] の分布を求めたい。熱移動は  $r$  方向のみに生じているとして、次の問いに答えよ。ただし、[1], [2], [4] については、答えを導く過程も記述しなさい。

[1] 保温材内部にて、内半径  $r$  [m] で厚み  $\Delta r$  [m] の球殻状 Shell を考える。 $r$  [m] での熱流束を  $q_r$  [W/m<sup>2</sup>] とするとき、Shell の熱収支を取ることで、熱流束の半径  $r$  [m] 方向の分布を表す微分方程式を求めよ。

[2] 保温材の  $r = R_1$  [m] での温度、すなわち保温材の外側表面温度は  $T_1$  [K] であった。このとき、この保温材内部の半径  $r$  [m] 方向に対する温度  $T$  [K] の分布を導け。ただし、 $T_0 > T_1$  である。

[3] 横軸に半径  $r$  [m]、縦軸に温度  $T$  [K] をとったとき、定常状態での保温材内部の温度分布の概略をグラフで示せ。

[4] 定常状態での保温材の外側表面からの放熱速度  $Q$  [W] を求めよ。

6枚のうち4

受験番号 MC-

4

次の〔1〕,〔2〕の問いに答えなさい。

〔1〕成分 A を含む排ガスを充填塔の塔底から流量  $G [\text{mol s}^{-1}]$  で供給し, 水を塔頂から流量  $L [\text{mol s}^{-1}]$  で供給して A を吸収させる。A の水への溶解平衡は, 気相の A のモル分率を  $y$ , 液相の A のモル分率を  $x$ , 比例定数を  $m$  とすると,  $y = mx$  で表せる。気液界面における A の物質移動は二重境膜説で表され, 気相基準の総括物質移動係数は  $K_y [\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$  である。圧力, 温度,  $K_y$ , 塔単位体積あたりの気液接触面積, 気相および液相の流量などの操作に関する因子は, 塔内でそれぞれ一定とみなしてよいものとする。 $L/G = m$  の場合, 塔内のどの場所においても A の吸収速度 (物質流束)  $[\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$  は等しい。 下線部を証明しなさい。

〔2〕ベンゼン 60.0 mol%, トルエン 40.0 mol% からなる混合物を  $100 \text{ kmol h}^{-1}$  の流量で連続蒸留塔に供給し, 留出液および缶出液のベンゼン濃度をそれぞれ 90.0 mol% および 20.0 mol% にする。混合物は, 蒸留塔の直前で予熱され, 物質量基準で液と蒸気が半分ずつ含まれた状態で供給される。塔内の圧力は  $101.3 \text{ kPa}$  で一定である。ベンゼン-トルエン系の気液平衡 ( $101.3 \text{ kPa}$ ) は下図に示すとおりである。次の (1) ~ (3) の問いに答えなさい。答えを導く過程も記述しなさい。

- (1) 留出液量  $D [\text{kmol h}^{-1}]$ , および缶出液量  $W [\text{kmol h}^{-1}]$  をそれぞれ求めなさい。
- (2) 最小還流比を求めなさい。
- (3) 最小理論段数を整数で答えなさい。

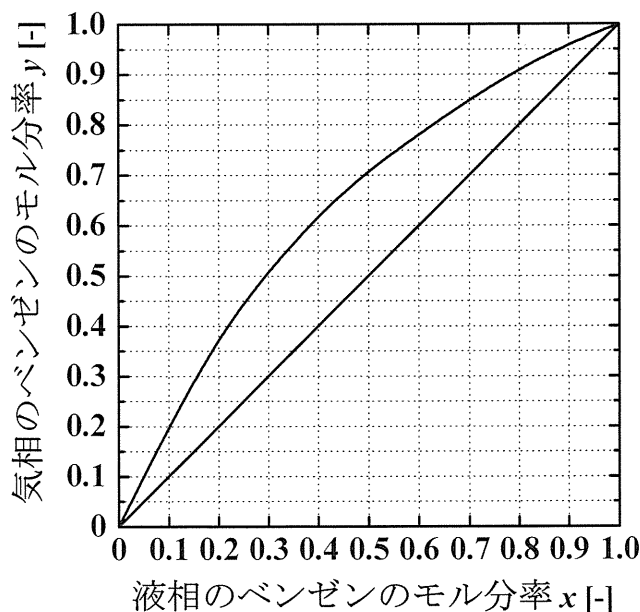


図 ベンゼン-トルエン系の気液平衡 ( $101.3 \text{ kPa}$ )

6枚のうち5

受験番号 MC-

5

化学物質 A のみの原料を管型反応器に供給し、定圧の気相反応で化学物質 P を得る。この反応は 1 次不可逆反応  $A \rightarrow 2P$  であり、反応速度定数は  $k [s^{-1}]$  である。反応器入口の A の濃度を  $C_{A0} [mol m^{-3}]$ 、反応器出口の A の濃度を  $C_A [mol m^{-3}]$ 、この反応の A の転化率を  $X_A [-]$ 、この反応に伴う体積変化割合を  $\varepsilon_A = (V - V_0) / V_0$  (ただし、 $V_0$ : 反応開始時の体積、 $V$ : 反応完了時 ( $X_A=1$ ) の体積) とする。このとき以下の問いに答えよ。答えを導く過程も書くこと。なお、反応器の熱損失や反応熱は無視できるものとし、A と P は非圧縮性の気体とする。

[1]  $C_A$  を、 $C_{A0}$ 、 $X_A$ 、 $\varepsilon_A$  を用いて示せ。

[2] この反応器内の化学物質の空間時間  $\tau_p [s]$  を求める式を、 $k$ 、 $X_A$ 、 $\varepsilon_A$  を用いて示せ。

[3] この反応の  $\varepsilon_A [-]$  を求めよ。

[4] ある空間時間  $\tau_p [s]$  で  $X_A=0.80$  になった。 $k=5.0 \times 10^{-3} s^{-1}$  であるとき、 $\tau_p [s]$  を求めよ。

[5] 連続槽型反応器を用いて [4] と同じ条件でこの反応を行ったときに、 $X_A=0.80$  となるのに必要な空間時間  $\tau_m [s]$  を求めよ。

[6] 連続槽型反応器では、管型反応器で行うよりもこの反応で同じ転化率を得るために必要な空間時間が長くなる。この理由を反応器内の濃度変化の観点から 2 - 3 行程度で説明せよ。

## 問題用紙 専門科目

6 枚のうち 6

受験番号 MC-

6

以下の各問いに答えよ。答えを導く過程も記述すること。

- [1] 図 6-1 に表現されるような、対象プロセス  $G_P(s)$  をコントローラ  $G_C(s)$  によって制御する典型的なフィードバック制御系を考える。設定値  $r$  から被制御量  $y$  への閉ループ伝達関数  $G_1(s)$  を導出せよ。ただし、外乱  $d = 0$  としてよい。

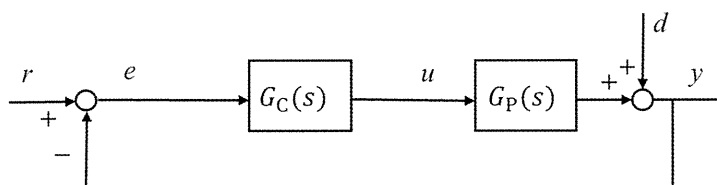


図 6-1 典型的フィードバック制御系

- [2] このシステムにおいて、設定値  $r$  を時刻  $t = 0$  において  $r = 0$  から  $r_1$  にステップ的に変更した際の  $y$  の最終到達値を求めよ。

ただし、ここでは  $G_C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s}\right)$ ,  $G_P(s) = \frac{K}{1 + T_S s}$  とする。

- [3] 次に、図 6-2 で表現される内部モデル制御系を考える。ここで  $G_Q(s)$  は内部モデル制御器、 $G_M(s)$  は対象プロセスのモデルである。このシステムで、 $e$  から  $u$  への伝達関数を  $G_C(s)$  とみなすと、図 6-1 と等価となる。このとき、 $G_C(s)$  を  $G_Q(s)$  と  $G_M(s)$  を用いて表せ。

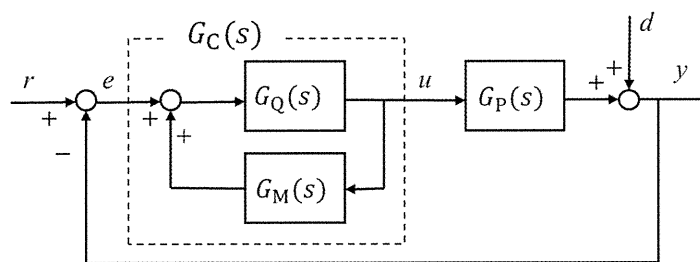


図 6-2 内部モデル制御系

- [4]  $G_P(s) = \frac{K}{1 + T_S s}$ ,  $G_Q(s) = F(s)G_M^{-1}(s)$ ,  $F(s) = \frac{1}{1 + \tau s}$  として、この内部モデル制御系と等価な PI 制御系の比例ゲインと積分時間を求めよ。