

問題用紙 専門科目

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は指定の答案用紙を使用し、それ以外の問題はそれぞれの答案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良い。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

次の〔1〕、〔2〕の問いに答えなさい。

〔1〕半径 r_0 [m]、長さ l [m]の円管内に、粘度 η の非圧縮性流体を流量 Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]で流すことを考える。円管の両端にかかる流体の圧力の差が ΔP [Pa]のとき、以下の問いに答えよ。

(1) 粘度及び動粘度の単位を $\text{kg}^a \cdot \text{m}^b \cdot \text{s}^c \cdot \text{K}^d \cdot \text{mol}^e$ と表す場合、 a, b, c, d, e に入る数字を粘度と動粘度のそれぞれに対して答えよ。

(2) 円管内の流れが層流のとき、 Q は $r_0^f l^g \eta^h \Delta P^i$ に比例する。 f, g, h, i に入る数字を答えよ。

(3) 円管内の半径 r における流速を $v(r)$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]とする(中心を $r=0$ とする)。

Q を $v(r)$ の積分形式で表せ。

円管内の流れが層流のとき、 $v(r)$ は r の何次式になるかを答えよ。

また、円管内の流れが層流、乱流の時の $v(r)$ の概略を、横軸 r 、縦軸 $v(r)$ のグラフ上に同時に図示せよ。

〔2〕 CO_2 を選択的に透過する高分子膜を用い、図1-1に示された装置を用いて、 CO_2 を純水に吸収させることを考える。膜の外側の入口から 5.00×10^{-2} MPaの分圧のキャリアガスと 5.00×10^{-2} MPaの分圧の CO_2 から成る気体を 1.00×10 L \cdot min $^{-1}$ で供給し、膜の内側の入口から純水を 1.00×10^2 mL \cdot min $^{-1}$ で供給したとき、膜の外側の出口の CO_2 分圧は 2.00×10^{-2} MPaであった。このとき以下の問いに答えよ。答えを導く過程も記述しなさい。

ただし、キャリアガスは膜を透過しないものとする。膜の内外とも圧力損失は無視でき、気体は完全気体(理想気体)として振る舞う。装置内の温度は至るところで 25.00 °Cであり、水の密度は CO_2 の吸収に関わらず 1.00 g \cdot cm $^{-3}$ とする。

(1) 膜の外側の出口での気体流量[L \cdot min $^{-1}$]を求めよ。

(2) 膜の内側の出口で水に含まれる CO_2 のモル濃度[mol \cdot L $^{-1}$]を求めよ。

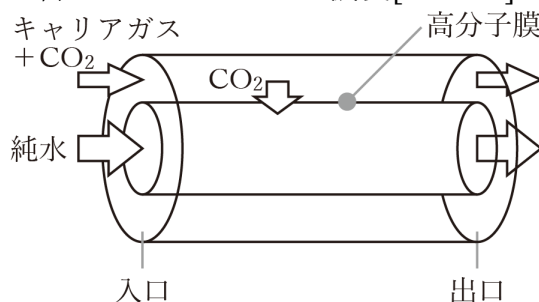


図 1-1

6 枚のうち 2

受験番号 MC-

2

次の [1]、[2] の問いに答えなさい。

[1] 固気系の吸着平衡、すなわち吸着質の分圧 p [Pa] と吸着量 q [mol kg⁻¹] の関係を表すモデル式に以下の BET 式がある。 p が吸着質の飽和蒸気圧 p_s [Pa] よりも著しく低い場合、BET 式は Langmuir 型吸着等温式と一致することを示しなさい。ここで、 q_m [mol kg⁻¹] は飽和吸着量、 C [-] は吸着エネルギーに関する定数である。

$$\frac{p}{q(p_s - p)} = \frac{1}{q_m C} + \frac{C-1}{q_m C} \left(\frac{p}{p_s} \right)$$

[2] 2.00 mol% のアセトンを含む空気 $0.500 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を充填塔の塔底から供給し、吸収液を塔頂から供給してアセトンを吸収させ、塔頂におけるアセトンの濃度を 0.600 mol% にする操作を行う。吸収液は、 5.00×10^{-2} mol% のアセトンを含む水である。アセトンと水の気液平衡、すなわち気相のアセトンのモル分率 y [-] と液相のアセトンのモル分率 x [-] の関係は図 2-1 に示されるものとする。気液界面におけるアセトンの吸収速度は、気相基準の総括物質移動係数 K_y [mol m⁻² s⁻¹] を用いて表される。充填塔内の圧力と温度はそれぞれ一定である。気相および液相の流量は塔内で一定とみなしてよいものとする。このとき次の問いに答えなさい。ただし、答えを導く過程も記述しなさい。

- (1) この操作を行うために最低限必要な吸収液の流量 [mol m⁻² s⁻¹] を求めなさい。
- (2) 吸収液の流量が $2.80 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ のとき、塔底における吸収速度 [mol m⁻² s⁻¹] は、塔頂における吸収速度 [mol m⁻² s⁻¹] の何倍か求めなさい。

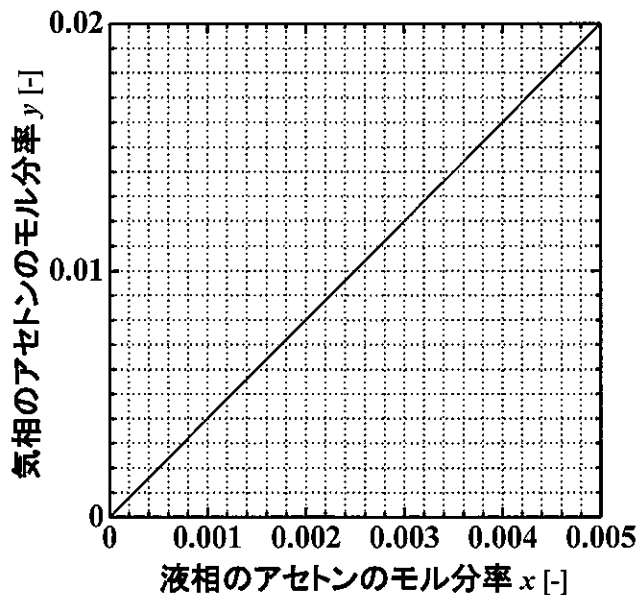


図 2-1

整理番号

12

2022年度4月入学(2021年度10月入学含む)東京農工大学工学府博士前期課程

問題用紙

専門科目

応用化学専攻

システム化学工学専修

6枚のうち3

受験番号 MC-

3

理想気体を作動流体とする可逆サイクルによる熱機関を考える。このサイクルでは、最初の状態(状態1)が圧力 1.00×10^2 kPa、温度 400K、体積 2.00×10^{-1} m³ である理想気体がポリトロープ変化により体積が 1/5 に圧縮される(状態2)。その後、ある体積まで等圧膨張する(状態3)。その後、さらに断熱膨張して最初の状態(状態1)に戻る。この理想気体の定容比熱 c_v 、定圧比熱 c_p をそれぞれ、 $c_v = 0.718$ kJ \cdot kg⁻¹ \cdot K⁻¹、 $c_p = 1.005$ kJ \cdot kg⁻¹ \cdot K⁻¹ とし、それぞれ温度によらず一定とする。また、状態1から状態2へのポリトロープ変化におけるポリトロープ指数 n を $n = 1.20$ とする。次の [1] から [4] の各問に答えなさい。答えを導く過程も記すこと。

- [1] 状態2と状態3における理想気体の体積 (V_2 、 V_3) [m³]、圧力 (P_2 、 P_3) [kPa]、温度 (T_2 、 T_3) [K] をそれぞれ求めよ。
- [2] このサイクルが1サイクルあたり、理想気体の膨張により外界になす仕事[kJ] (なす仕事を正とせよ) を求めよ。
- [3] このサイクルが1サイクルあたり、理想気体の圧縮により外界からなされる仕事[kJ] (なされる仕事を正とせよ) を求めよ。
- [4] このサイクルの熱効率[%] を求めよ。

6枚のうち4

受験番号 MC-

4

十分に長い中空円筒状(円管状)発熱体がある。この発熱体の長さは L [m]、内半径は R_1 [m]、外半径は $2 \times R_1$ [m] である。熱移動は r 方向のみに生じているとして、この発熱体の半径 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。内表面温度が T_0 [K]、外表面温度も T_0 [K] であるとしたとき、次の問に答えよ。ただし、発熱体の発熱速度は S_0 [W/m³]、熱伝導度は κ [W/(m·K)] であり、これらの値は発熱体の場所によらず一定とする。また、答えを導く過程も記述しなさい。

- [1] 内半径 r [m] で厚み Δr [m] の円筒状 Shell を考える。 r [m] での熱流束を q_r [W/m²] とするとき、Shell の熱収支を取ること、定常状態での半径 r [m] 方向の熱流束の分布を表す微分方程式を求めよ。
- [2] 題意の境界条件を与え、この中空円筒状発熱体の r 方向の、定常状態での温度分布を表す温度 T の式を導け。
- [3] 最大温度を示す r を R_1 で表せ。
- [4] この中空円筒状発熱体の定常状態での全放熱速度 Q [W] を求めよ。

6枚のうち5

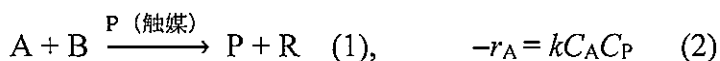
受験番号

MC-

5

化学物質 A と B の液相反応は、生成物 P を触媒とする自触媒反応であり、その反応式と

A の反応速度 $-r_A$ [$\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$] は以下のように表される。



ただし、 k は反応速度定数、 C_A [mol m^{-3}] と C_P [mol m^{-3}] はそれぞれ A と P の濃度である。

A の初濃度 C_{A0} [mol m^{-3}]、P の初濃度 C_{P0} [mol m^{-3}]、A の転化率 X_A [-]、 $M_P = C_{P0}/C_{A0}$ [-] とするとき以下の問いに答えよ。答えを導く過程も記述すること。なお、反応は定温定圧で行い、反応熱、反応器の熱損失、反応に伴う密度の変化はいずれも無視できるものとする。

〔1〕 反応速度 $-r_A$ を、 k 、 C_{A0} 、 X_A 、 M_P を用いて表せ。

〔2〕 $C_{A0} = 200 \text{ mol m}^{-3}$ 、 $C_{P0} = 16 \text{ mol m}^{-3}$ で、この反応を完全混合槽型反応器 1 台で行ったところ、 X_A が 0.75 になるまでに $5.7 \times 10^3 \text{ s}$ かかった。このときの k を、単位をつけて求めよ。

〔3〕 次に、管型反応器 1 台を用いて、温度、圧力、 C_{A0} 、 C_{P0} を〔2〕と同一の条件にしてこの反応を行った。このとき、空間時間 τ_p [s] を k 、 C_{A0} 、 X_A 、 M_P を用いて表せ。

〔4〕 〔3〕のとき、 X_A を 0.75 にするのに必要な空間時間 τ_p [s] を求めよ。

〔5〕 この反応の $-r_A$ には最大値 $-r_{A,\max}$ が存在する。そのときの A の転化率 $X_{A,\max}$ と $-r_{A,\max}$ をそれぞれ求めよ。

6枚のうち6

受験番号 MC-

6

[1] 図6-1のフィードバック制御系について、以下の問いに答えよ。

[1-1] R 、 E 、 U 、 Y 、 D それぞれを表す制御用語を答えよ。

[1-2] $C(s)$ をPIDコントローラとする。比例ゲインを K_p 、積分時間を T_i 、微分時間を T_D として、 $C(s)$ の式を示せ。

[1-3] $P(s)$ を1次遅れの伝達関数とする。時定数を τ 、定常ゲインを κ として、 $P(s)$ の式を示せ。

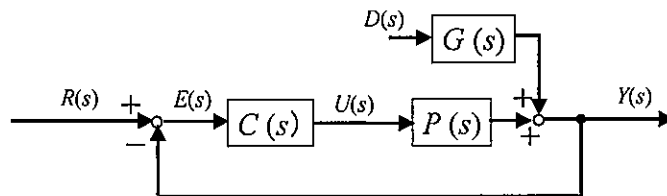


図6-1 フィードバック制御系のブロック線図

[2] 図6-2の温水器内の水の温度とヒーターによる加熱量の関係を求めるためにステップ応答試験を行う。具体的には、図6-3(上)に示すように、時刻 $t = 20$ sにおいて、ヒーターによる加熱量 Q [kW]を定常状態の値 $Q^* = 20$ kWからステップ状に2 kW増加させた。このとき、温水器出口付近の水の温度 T [°C]は定常状態の値 $T^* = 70$ °Cから図6-3(下)のように変化した。 $\Delta Q = Q - Q^*$ から $\Delta T = T - T^*$ への伝達関数が1次遅れ+無駄時間で表現できるとする。この伝達関数の時定数、定常ゲイン、無駄時間をそれぞれ有効数字1桁で求めよ。答えを求める過程も記述すること。単位に注意すること。

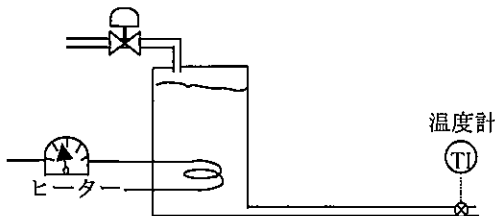


図6-2 温水器

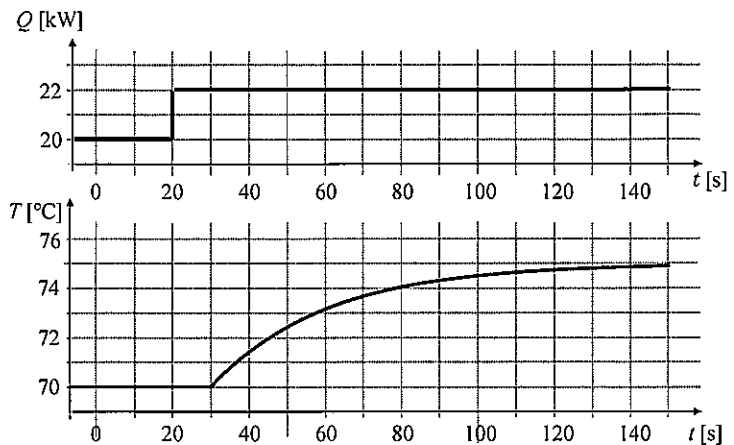


図6-3 温水器から得られたデータ