

平成28年度第2次募集  
新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程入学者選抜試験問題

一般入試

材料生産システム専攻  
素材生産科学(化学工学系)

B4

専門科目（化学工学）

注意事項

- 1 この問題冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはならない。
- 2 問題冊子は，表紙を含めて全部で7ページある。
- 3 問題I～VIの6問すべてを解答すること。
- 4 一つの問題に対する解答をそれぞれに指定された一枚の解答用紙に記入すること。  
(解答を記入するスペースが不足した場合には，解答用紙の裏を使用してもよい。  
ただし，その場合には，「裏にも解答した」ことを解答用紙の表に明記すること。)
- 5 受験番号は，各解答用紙の指定された箇所に必ず記入すること。
- 6 解答時間は，120分である。
- 7 下書きは，問題冊子の余白を使用すること。

[I] ある反応プロセスの流れ図を図 I に示す。反応ガス A (モル分率  $y_0$ ) と不活性ガスを含む原料を加熱器に通した後、一回通過転化率  $X$  で反応させている。このときの反応式は、 $A \rightarrow B$  で表される。また、分離器出口の反応ガス A (モル分率  $y_1$ ) と不活性ガスは、一部をパージした後、リサイクルし、原料と混合している。下の問①～⑤に答えよ。解答に必要な記号はすべて図中に与えてある。なお、加熱器周りの熱損失は無視できること、流体の平均モル熱容量  $C_m$  はプロセス全体において一定であること、製品には反応ガス A と不活性ガスが含まれないこと、をそれぞれ仮定する。

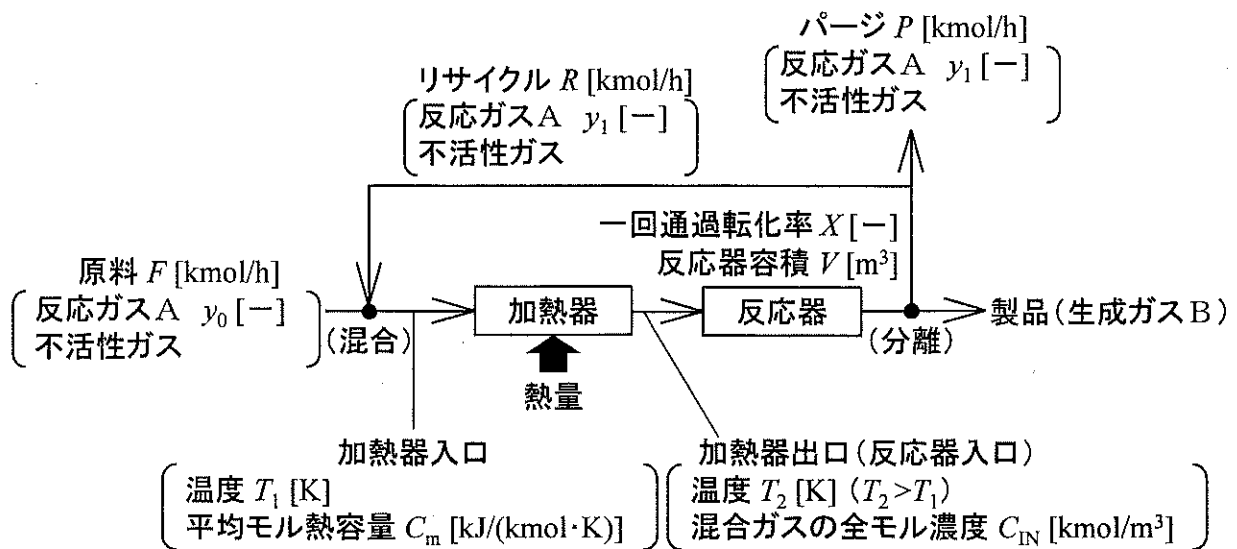
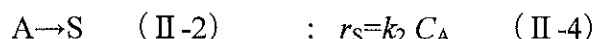


図 I 反応プロセスの流れ図

- ①パージ操作を行う理由を答えよ。
- ②加熱器に与えるべき 1 時間あたりの熱量を図中の記号で表せ。
- ③分離点周りにおける反応ガス A の成分物質収支式を図中の記号で表せ。ただし、 $X$  を用いること。
- ④反応器入口における混合ガスの体積流量を図中の記号で表せ。
- ⑤反応器の空間時間を図中の記号で表せ。

[II] 次の問(1)および(2)に答えよ。

(1) 式(II-1)および(II-2)の並列反応において、成分 R をより多く生成するためには、押し出し流れ反応器と完全混合流れ反応器のどちらを用いた方がよいか答えよ。また、その理由も述べよ。ただし、成分 R および成分 S の反応速度式はそれぞれ式(II-3)および(II-4)で表され、 $r_R$  および  $r_S$  は反応速度、 $k_1$  および  $k_2$  は反応速度定数、 $C_A$  は成分 A の濃度であり、成分 A の転化率はいずれの反応器も同一とする。



(2)  $A \rightarrow T$  で表される液相反応 ( $-r_A = k C_A$ ) を、図 II-1 のように同じ容積  $V$  の完全混合流れ反応器を 5 台連結した直列連続槽型反応器を用いて行った。下の問①～③に答えよ。ただし、記号は次のとおりであり、反応に伴う体積変化および図中の  $\rightarrow$  部分での反応は無視できるものとする。

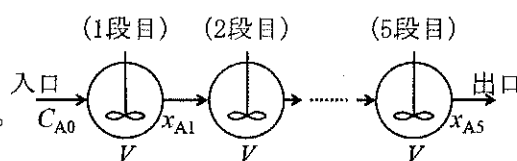


図 II-1

$k$  : 反応速度定数 [1/s]

$r_A$  : 成分 A の反応速度 [mol/(m<sup>3</sup>·s)]

$r_{An}$  :  $n$  段目反応器内の成分 A の反応速度 [mol/(m<sup>3</sup>·s)]

$C_A$  : 成分 A の濃度 [mol/m<sup>3</sup>]

$C_{A0}$  : 1 段目反応器入口の成分 A の濃度 [mol/m<sup>3</sup>]

$C_{A1}$  : 1 段目反応器出口の成分 A の濃度 [mol/m<sup>3</sup>]

$V$  : 反応器の容積 [m<sup>3</sup>]

$x_{An}$  :  $n$  段目まで連結した直列連続槽型反応器全体としての成分 A の転化率 [-]

① 5 台連結した直列連続槽型反応器全体としての平均滞留時間  $t_{A5}$  [s] を  $k$ ,  $x_{A1}$  を用いて表せ。導出過程も示せ。

② 成分 A の転化率  $x_{A5}$  を求める式を  $x_{A1}$  を用いて表せ。導出過程も示せ。

③ この反応器の設計を、図 II-2 を用いて図解法により行った。1 段目の反応器の平均滞留時間  $t_{A1}$  [s] を、図 II-2 の中の記号を用いて表せ。なお、図 II-2 の中の破線は  $-r_A = k C_A$  を表している。

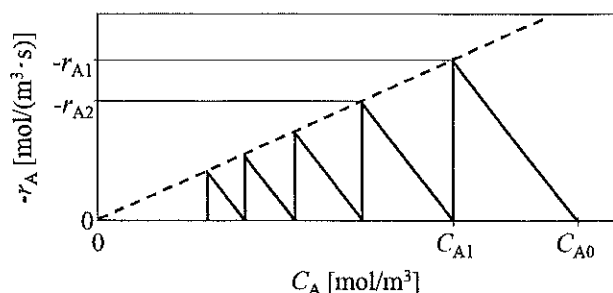


図 II-2

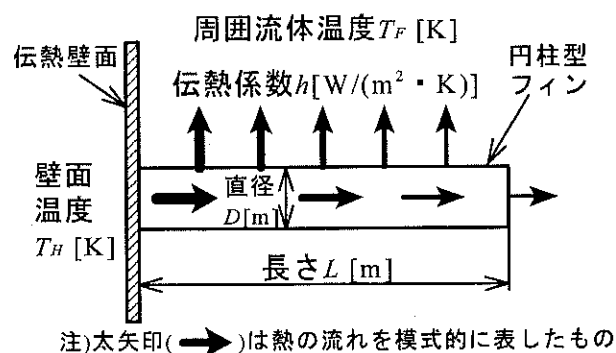
[Ⅲ] 次の問(1)～(3)に答えよ。

- (1) ニュートン流体の特徴をせん断応力と速度勾配を用いて簡潔に説明せよ。
- (2) 内径50 mmの直管Aと内径25 mmの直管Bを水平になめらかにつないで管径が変わる円管型管路を作り、その管路を通して密度が $1200 \text{ kg/m}^3$ である非圧縮性のニュートン流体を輸送する。流体は管Aに流入し、管Bをとおして流出する。管B中の平均流速は $4 \text{ m/s}$ である。次の問①および②に答えよ。
- ① 流体の粘度が $0.01 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ であるとき、管A内の流れに対してレイノルズ数を計算し、流れが層流であるか、乱流であるかを判定せよ。
- ② 管Aでの静圧が $12 \text{ kPa}$  (ゲージ圧) であるとき、管Bでの静圧を求めよ。ただし、全配管に対して流体と管壁面との摩擦エネルギー損失は無視できると仮定する。
- (3) 密度と粘度が一定な液体を地面に垂直に立っている半径 $R$ の円筒型容器中に入れて、円筒型容器の軸を中心に角速度 $\Omega$ で回転させる。半径方向を $r$ 方向、回転方向を $\theta$ 方向、液面の高さ方向を $z$ 方向とするとき、下の問①および②に答えよ。ただし、流れは定常状態であり、大気中に開放され、液体と円筒型容器の表面との間の滑りおよび液体と大気間の流動抵抗は無視できると仮定する。また、次の記号を用いてもよい。

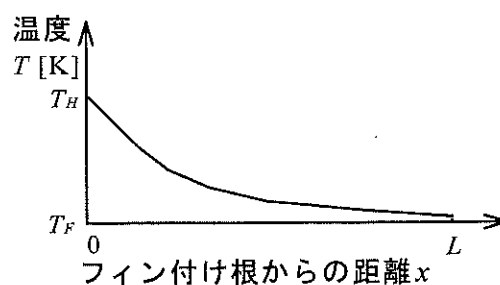
粘性係数:  $\mu$ , 密度:  $\rho$ , 重力加速度:  $g$ , 時間:  $t$ , 回転方向流速:  $V_\theta$ , 圧力:  $p$

- ① 回転方向の流速 $V_\theta$ を角速度 $\Omega$ と半径 $r$ の関数として求めよ。
- ② 半径方向の液面高さ $z$ を示す式を求めよ。ただし、中心軸上での液面高さ $z_0$ は0より大きく、回転中に液体はこぼれることはない。

[IV] 図IV-1 は、伝熱壁面から周囲流体への伝熱を促進するために、長さが  $L$  [m] で直径が一定で  $D$  [m] である金属丸棒でできた円柱型フィンを1本、伝熱壁面に取り付けた状態の模式図である。この金属の熱伝導率は  $\lambda$  [W/(m・K)] である。フィン表面と流体間の伝熱係数は、 $h$  [W/(m<sup>2</sup>・K)] である。図IV-2 はこのときのフィン内長さ方向 (付け根→右端の方向) の温度  $T$  [K] の分布の模式図である。フィン付け根の温度は伝熱壁面温度と同じ温度  $T_H$  [K] である。周囲の流体温度  $T_F$  [K] は一定である。フィン内の温度は、長さ方向には変化するが、半径方向には一様であるとする。 $h$  ならびに  $\lambda$



図IV-1 円柱型フィンの模式図



図IV-2 フィン内温度分布の模式図

は一定であるとする。この条件で、定常状態になったときの、付け根からの距離  $x$  [m] におけるフィン内温度分布を与える微分方程式は式(IV-1)である。

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{4h}{D\lambda}(T - T_F) \quad (\text{IV-1})$$

$L \rightarrow \infty$  の極限の場合について、下の問①～③に答えよ。

なお、正の実数  $k$  に対して  $\frac{d^2\theta}{dx^2} = k^2\theta$  となる関数  $\theta(x)$  の一般解は式(IV-2)で与えられる。

$$\theta(x) = C_1 \exp(kx) + C_2 \exp(-kx) \quad (\text{IV-2})$$

①  $T$  を  $x$  の関数として適当な記号を用いて表せ。なお、式(IV-2)で  $x \rightarrow \infty$  の極限で  $\theta(x)$  が有限の値をとるためには、 $C_1=0$  であることが必要であるということを用いてよい。

②  $x=0$  における  $\frac{dT}{dx}$  を適当な記号を用いて表せ。

③ フィン1本あたりのフィン表面から周囲流体への伝熱速度  $Q$  [W] を適当な記号を用いて表せ。もし、 $L \rightarrow \infty$  の極限で伝熱速度が無限に大きくなる場合は  $\infty$  と答えよ。なお、定常状態のときには、伝導で付け根からフィンに流れ込む熱はすべてフィン表面から周囲流体に移動することを用いてもよい。

[V] 次の問 (1) ~ (3) に答えよ。ただし、与えられた記号以外の記号を使う場合には定義した上で用いること。

(1) A, B 二成分系理想溶液に関して、次の問①および②に答えよ。

- ① ラウール(Raoult)の法則を説明せよ。ただし、任意の成分  $i$  について、液中でのモル分率を  $x_i$ 、気相での分圧を  $p_i$ 、純粋な状態における飽和蒸気圧を  $P_i$  とする。
- ② 理想溶液の比揮発度  $\alpha_{AB}$  が溶液の組成 (低沸点成分 A のモル分率  $x_A$ 、高沸点成分 B のモル分率  $x_B$ ) に依存しないことを示せ。

(2) 吸着について、次の問①および②に答えよ。

- ① 吸着等温線で「好ましい形」とはどのような形か。
- ② カラム吸着を行う場合について破過曲線を図示せよ。ただし、図中に破過点と消耗点を書き入れること。

(3) 流体中を沈降する球状粒子の挙動に関して、次の問①~③に答えよ。

- ① 粒子に働く抵抗力を  $F_D$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]、流れに対する粒子の投影面積を  $A$  [ $\text{m}^2$ ]、粒子と流れの相対速度を  $u$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]、流体の密度を  $\rho$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]、粒子の抵抗係数を  $C_D$  とするとき、 $A$ 、 $u$ 、 $\rho$ 、 $C_D$  を用いて抵抗力  $F_D$  を表せ。
- ② 粒子の直径を  $D_p$  [ $\text{m}$ ] とするとき、粒子基準のレイノルズ数  $Re_p$  の定義を示せ。ただし、流体の粘度を  $\mu$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ] とする。
- ③ 球状粒子の抵抗係数  $C_D$  と粒子基準のレイノルズ数  $Re_p$  の関係を図示せよ。また、ストークス(Stokes)域、アレン(Allen)域、ニュートン(Newton)域の範囲を、それぞれの範囲の境界となるレイノルズ数の値とともに図中に書き入れよ。ただし、図の横軸と縦軸は対数軸とする。なお、縦軸の値を記入する必要はない。

[VI] 物質質量  $n$  の理想気体を温度  $T_0$ , 圧力  $p_0$ , 体積  $V_0$  に保っている。そこに次の過程 1 ~ 過程 4 を順に実施した。下の問①~④に答えよ。導出過程も示せ。ただし、定圧モル熱容量は  $4R$  とする。ここで、 $R$  は気体定数である。導出過程では記号を任意に定義して使用してよいが、最終的な解答にはこのページの問題文に与えた記号だけを使用すること。

過程 1 一定の外圧  $p_0$  において、 $T_1$  まで加熱した。

過程 2 外圧を  $p_1$  一定とした後、一定の温度  $T_1$  において、体積  $V_2$  まで圧縮した。

ただし、 $p_0 < p_1$  である。

過程 3 一定の温度  $T_1$  において、体積  $V_3$  まで可逆的に圧縮した。

過程 4 体積  $V_4$  まで断熱可逆的に圧縮した。

また、外圧  $p_{\text{ex}}$ , 体積  $V$ , 膨張仕事  $w$  の間には次の(VI-1)式が成立する。

$$dw = -p_{\text{ex}} dV \quad (\text{VI-1})$$

- ① 過程 1 の結果、体積は  $V_1$  になった。気体に与えられた熱  $q_1$  を他の物理量を用いて表せ。
- ② 過程 2 の結果、気体の圧力は  $p_2$  になった。気体になされた仕事  $w_2$  を、(VI-1)式に基づいて他の物理量を用いて表せ。
- ③ 過程 3 の結果、気体の圧力は  $p_3$  になった。気体になされた仕事  $w_3$  を、(VI-1)式に基づいて他の物理量を用いて表せ。
- ④ 過程 4 の結果、気体の圧力は  $p_4$  になった。 $p_4$  を他の物理量を用いて表せ。