

平成26年度第2次募集（平成26年10月入学含む。）  
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)

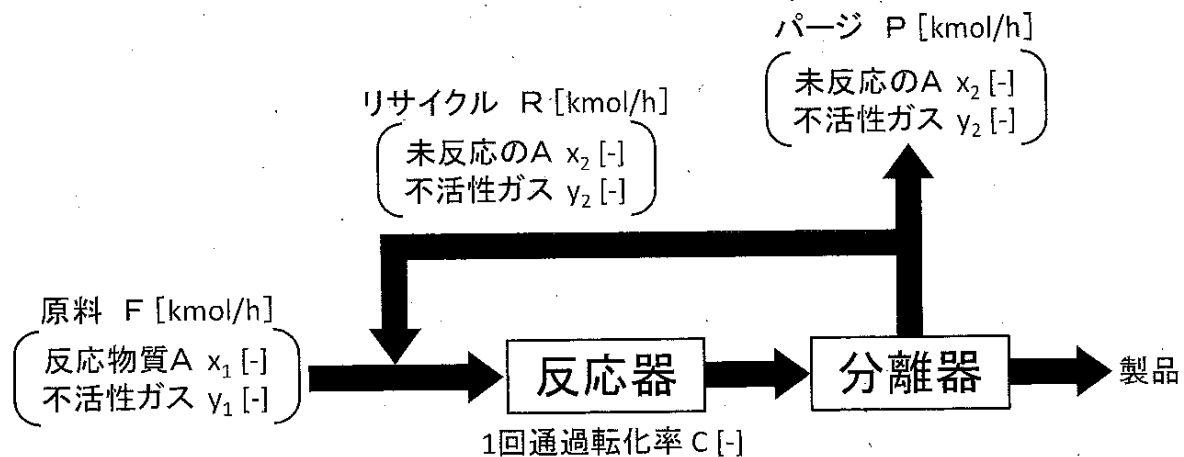
B4

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] 反応物質Aと不活性ガスを含む原料を反応器に送り、分離器で未反応ガスと製品を分離している。不活性ガスを含む未反応のAはリサイクルされ、反応器の入口で原料と混合される。リサイクルの一部は、パーズされる。工程中の流量と組成は、それぞれモル基準で図中に与えてある。次の問①～⑥に答えよ。ただし、反応器を1回通過する際の転化率は $C[-]$ とし、反応器で消費されるAの物質質量と生成する製品の物質質量は等しいものとする。また、製品には未反応ガスと不活性ガスが含まれないものとする。



- ① リサイクルとパーズを行う理由をそれぞれ一文で述べよ。
- ② 製品流れのモル流量[kmol/h]を図中の記号で表せ。
- ③ 工程全体における不活性ガスの成分物質収支式を図中の記号で表せ。
- ④ 反応器出口における未反応のAのモル流量[kmol/h]を $C, F, R, x_1, x_2$ で表せ。
- ⑤ 反応器周りにおけるAと不活性ガスの成分物質収支式を図中の記号で表せ。
- ⑥  $C=0.5$ として、リサイクル比( $R/F$ )を図中の記号で表せ。

[II] 次の問 (1) および (2) に答えよ。

(1) A 成分および B 成分の初期濃度をそれぞれ  $C_{A0}$  [mol/L],  $C_{B0}$  [mol/L] にて  $A \rightarrow B$  で表される液相系の自己触媒反応を行ったところ、表 II-1 の結果を得た。次の問①～④に答えよ。ただし、A 成分の反応速度、反応転化率はそれぞれ  $r_A$  [mol/(L·h)],  $x_A$  [-], 反応速度定数は  $k$  [L/(mol·h)], また、反応に伴う体積変化は無視できるものとする。その他に必要な記号がある場合は解答欄で定義して使用してもよい。

表 II-1

$x_A$ [-]	0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.0
$-r_A$ [mol/(L·h)]	0.050	0.080	0.090	0.080	0.050	0

①この反応の反応速度は A 成分と B 成分の濃度の積に比例する。A 成分の反応速度を求める式を  $k$ ,  $C_{A0}$ ,  $C_{B0}$ ,  $x_A$  を用いて表せ。

②解答欄にある図 II-1 に必要な数値および文字を記入し、表 II-1 の  $x_A=0 \sim 0.80$  までの結果を用いて  $x_A$  (横軸) と  $1/(-r_A)$  (縦軸) との関係を図示せよ。

③この反応に関する次の文章を読み、(ア)～(ウ)に入る適切な語または数値を答えよ。

この反応を 2 台の理想流れ反応器を直列に接続して行うとき、反応器の総容積を最も少なくするためには、反応転化率  $x_A$  が 0 から約 (ア) までを (イ) 反応器で反応を行い、 $x_A$  が (ア) 以降を (ウ) 反応器で行う操作が必要である。

④この反応を容積  $V$  [L] の回分反応器を用いて初期濃度  $C_{A0}$  [mol/L] および  $C_{B0}$  [mol/L] の条件で反応を行う。反応転化率が  $x_A$  [-] のときの反応器内にある成分 B の物質質量  $m_B$  [mol] を求める式を  $V$ ,  $C_{A0}$ ,  $C_{B0}$ ,  $x_A$  を用いて表せ。

(2) ある反応を行ったところ表 II-2 のような関係を得た。この反応の活性化エネルギーを求める式を  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  を用いて表せ。導出の過程も示せ。なお、その他に必要な記号がある場合は解答欄で定義して使用してもよい。

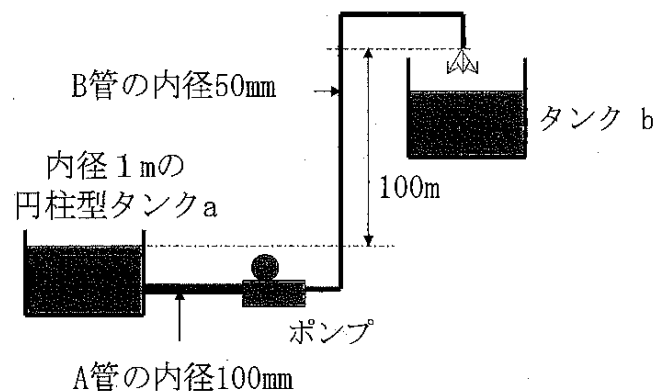
表 II-2

反応温度 [°C]	$T_1$	$T_2$
反応速度定数 [ $s^{-1}$ ]	$k_1$	$k_2$

[Ⅲ] 次の問 (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) 円管内を非圧縮性、ニュートン流体が流れるとき、層流と乱流の特徴を簡潔に説明せよ。
- (2) 円管内を非圧縮性、ニュートン流体が流れるとき、ニュートンの粘性法則を簡潔に説明せよ。
- (3) 以下の図で示したように、非圧縮性、ニュートン流体である水を、円管型管路を通してポンプにより内径1 mの円柱型のタンクaからタンクbへ輸送する。タンクaの水面とタンクbに水を排出する放出口との高度差は100 mである。タンクaとポンプの間は内径100 mmの管Aで水をポンプにより吸入し、ポンプと排出口の間は内径50 mmの管Bで輸送する。タンクaにある吸入口での流速は4 m/sで、ポンプの効率は50%である。配管に関連する全体のエネルギー損失は3000 J/kgである。タンクaとタンクbの水面は大気に開放されている。タンクaの水面は外部から水が供給されるので、一定に保たれる。ただし水の密度は $1000 \text{ kg/m}^3$ 、粘度は $0.001 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ とする。

- ① タンク a にある吸入口での質量速度を求めよ。
- ② タンク b にある放出口での水の流速を求めよ。
- ③ 内径 100 mm の管 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。
- ④ 単位質量の水に与える必要なエネルギーを求めよ。
- ⑤ ポンプの必要動力を求めよ。



[IV] 図IV-1 は、スチームジャケットで加熱ができるかくはん槽の中に伝熱媒体油を入れた油浴を用い、油浴で金属球を加熱する様子の模式図である。

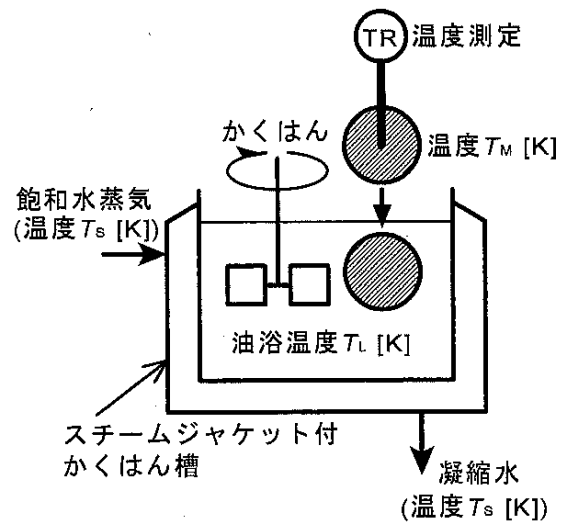
伝熱媒体油は、密度が  $\rho_L$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]、比熱容量が  $C_L$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]、体積が  $V_L$  [ $\text{m}^3$ ] である。伝熱媒体油は十分にかくはんされ、温度  $T_L$  [K] はどの部分でも均一である。

伝熱媒体油の加熱には温度  $T_s$  [K] の飽和水蒸気を用い、水蒸気の熱が伝熱媒体油に伝わると温度  $T_s$  [K] の凝縮水となり、ジャケット中の温度は常に  $T_s$  である。水蒸気から伝熱媒体油への伝熱面積は  $A_j$  [ $\text{m}^2$ ]、総括の伝熱係数は  $h_j$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] である。伝熱媒体油上表面からの熱損失とかくはんによる発熱は無視する。

油浴で加熱される金属球は、直径が  $d_M$  [m]、比熱容量が  $C_M$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]、密度が  $\rho_M$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] であり、中心の温度  $T_M$  [K] が測定できるようになっている。この金属の熱伝導は極めて良いので、金属球内部の温度はどこでも中心温度と等しいとする。伝熱媒体油と金属球表面の間の伝熱係数は  $h_M$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] である。金属球は完全に伝熱媒体油の中につかるものとする。

金属球を伝熱媒体油に入れた後の時間  $t$  の経過に伴うそれぞれの温度の変化を表す微分方程式を導きたい。以下の問①～⑤に答えよ。解答にあたって、問題文中で定義されていない物理量、物性値、定数等が必要であれば、定義と記号及び単位を与えた上で用いてもよい(例：重力加速度を  $g$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] とする)。

- ① 水蒸気から伝熱媒体油への伝熱速度  $Q_L$  [W] を  $T_s$  と  $T_L$  ならびに適当な記号を用い表せ。
- ② 伝熱媒体油から金属球への伝熱速度  $Q_M$  [W] を  $T_L$  と  $T_M$  ならびに適当な記号を用い表せ。
- ③ 伝熱媒体油の温度変化  $dT_L/dt$  を与える微分方程式を適当な記号を用い表せ。
- ④ 金属球の温度変化  $dT_M/dt$  を与える微分方程式を適当な記号を用い表せ。
- ⑤ 十分長い時間が経過して ( $t \rightarrow \infty$  として) 定常状態が達成されたときの  $T_L$ ,  $T_M$  をそれぞれ適当な記号を用い表せ。



図IV-1 ジャケット付き油浴による金属球の加熱の模式図

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

(1) 水平流型重力沈降槽に関して、次の問①、②に答えよ。

- ① 部分分級効率と粒径の関係を図に示せ。ただし、沈降槽内の流れは理想的水平流とする。また、粒子の沈降速度はストークスの法則に従うと仮定する。
- ② 沈降槽の大きさ(幅、長さ、深さ)と供給する懸濁液の体積流量を変えずに分離限界粒子を小さくするためにはどのような方策があるか説明せよ。ただし、液物性、固体物性は一定とする。

(2) 乾燥に関して、次の問①、②に答えよ。

- ① 回分乾燥において、含水率と乾燥速度の関係を図に示せ。
- ② 連続熱風乾燥において、湿り材料の移動方向と熱風の方向を同じにする場合の長所と短所を説明せよ。

(3) 難溶性ガスの吸収操作を考える。次の問①～③に答えよ。

- ① ガス本体から液本体への物質移動過程に関して、二重境膜説に基づいて気相の溶質ガス分圧分布と液相の溶存ガス濃度分布を図に示せ。
- ② ガス本体から液本体への物質移動過程に関して、ガス境膜抵抗と液境膜抵抗のうち支配的となる抵抗はどれか。
- ③ ガスと液のどちらを分散相とする方が効率的なガス吸収操作ができるか、物質移動速度に基づいて説明せよ。

[VI] 理想気体の状態に関する問①～⑤に、思考の過程を説明しながら答えよ。ただし、数式は下記の(1)～(4)のみ使用できる。記号は必要に応じて定義して使用してよい。解答の過程で積分記号や微分記号を用いるのは差し支えないが、最終的な解には残さないこと。

記号

$C_V$ : 定容熱容量 (温度で変化しないものとする),  $n$ : 物質量,  $p$ : 圧力,  $q$ : 熱,  $T$ : 温度,  $U$ : 内部エネルギー,  $V$ : 体積,  $w$ : 仕事

式

$$(1) C_V = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (2) dw = -pdV \quad (3) \Delta U = q + w \quad (4) pV = nRT$$

- ① この気体を一定体積  $V_0$  の容器の中で温度  $T_0$  から  $T_1$  まで加熱したときの内部エネルギー変化  $\Delta U_1$  を表せ。
- ② ①の過程において、気体が吸収した熱  $q_2$  を表せ。
- ③ この気体を一定温度  $T_0$  において、体積を  $V_0$  から  $V_1$  に可逆的に増加させた。気体が外界にした仕事  $w_3$  を表せ。
- ④ この気体を一定外圧  $p_0$  の下で、温度  $T_0$  から  $T_1$  まで加熱したとき、体積は  $V_0$  から  $V_1$  に増加した。気体が外界にした仕事  $w_4$  を表せ。
- ⑤ ④の過程における内部エネルギー変化  $\Delta U_5$  を表せ。