

平成25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）

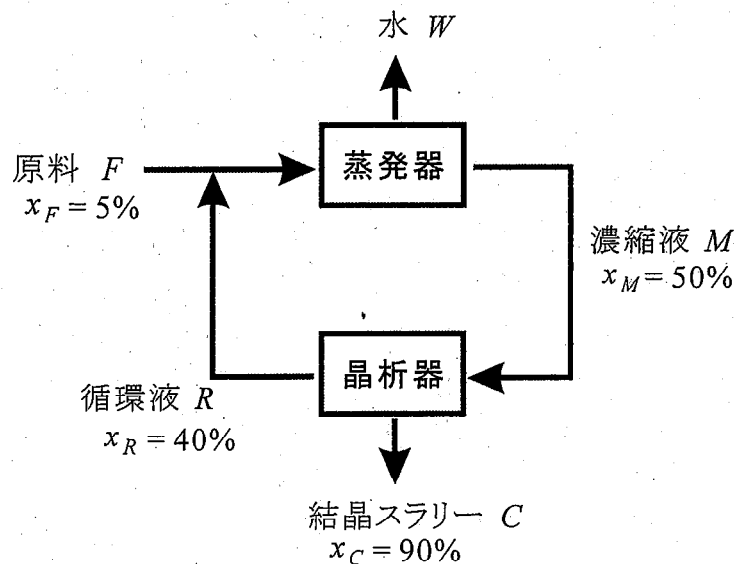
### 注意事項

- 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8ページある。
- 3 問題Ⅰ～Ⅶの7問中4問を選択し、解答すること。
- 4 一つの問題に対する解答を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良い。  
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 選択した問題の番号を解答用紙左上の[ ]内に記入すること。  
(選択した問題の番号が記入されていない解答は採点しないので注意すること。)
- 6 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。
- 7 解答時間は、120分である。
- 8 下書きは、問題冊子の余白を使用すること。

[I] 次の①および②の間に答えよ。

① ある塩の水溶液を原料として、その塩の結晶を析出させる晶析プロセスを考える。すべての質量は単位時間あたりのものとする。蒸発器では質量  $W$  の水が蒸発し、水溶液は濃度  $x_M$  (質量百分率) まで濃縮される。質量  $M$  の濃縮液が晶析器に送られ、冷却されて結晶が析出する。晶析器底部から質量  $C$ 、濃度  $x_C$  の結晶スラリーが抜き取られ、質量  $R$ 、濃度  $x_R$  の循環液が質量  $F$ 、濃度  $x_F$  の新原料と混合され、蒸発器に送られる。各水溶液の濃度は図中に示してある。下の問(1)~(5)に答えよ。

- (1) プロセス全体を系として、全物質収支式を書け。
- (2) プロセス全体を系として、塩についての成分物質収支式を書け。
- (3) 晶析器を系として、全物質収支式を書け。
- (4) 晶析器を系として、塩についての成分物質収支式を書け。
- (5) 原料の質量  $F$  が 1000 kg のときの循環液および結晶スラリーの質量  $R$  および  $C$  をそれぞれ求めよ。



② 次の用語(1)~(4)をそれぞれ 50 字以内で説明せよ。

- |            |            |
|------------|------------|
| (1) 限定反応物質 | (2) 総括転化率  |
| (3) パージ    | (4) 断熱火炎温度 |

[II] 理想気体 1 mol が、圧力  $p_1 = 1.0 \text{ MPa}$ 、温度  $T_1 = 400 \text{ K}$  の状態にある (状態 1)。

この理想気体の定圧モル比熱および定容モル比熱は、それぞれ  $C_p = 29.1 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 、 $C_v = 20.8 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  とする。次の問①~③に答えよ。なお、計算の必要なものについては、計算の過程も示せ。

- ① 体積  $V_2 = 2V_1$  となるように状態 1 から等温可逆変化させたときの状態を状態 2 とする。状態 1 から状態 2 へ変化させたときの内部エネルギーの変化量  $\Delta U$ 、外部から気体に加えた熱量  $Q$ 、気体が外部にした仕事  $W$  をそれぞれ求めよ。なお、 $\ln 2 = 0.693$  とする。
- ② 状態 1 から体積が  $V_2$  になるまで断熱可逆変化させたときの状態を状態 3 ( $V_3 = V_2$ ) とする。状態 3 における圧力  $p_3$  が  $0.38 \text{ MPa}$  のとき、温度  $T_3$  を求めよ。
- ③ 状態 3 から状態 2 へ変化させたときの内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  を求めよ。

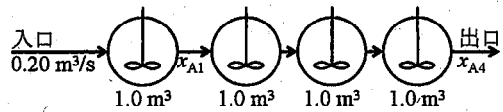
[Ⅲ]連続式反応器を用いて  $A \rightarrow R$  で表される液相反応 ( $-r_A = k C_A$ ) を行なった。ただし、 $r_A$  は成分 A の反応速度、 $k$  は反応速度定数、 $C_A$  は成分 A の濃度であり、反応に伴う体積変化は無視できるものとする。なお、PFR 内は押し出し流れ、CSTR 内は完全混合流れである。必要があれば、 $\ln 0.20 = -1.6$  を使用してもよい。以下の問①～⑤に答えよ。

- ①PFR の設計方程式として適切な式を以下の(ア)および(イ)から選び、記号で答えよ。なお  $\tau$  は空間時間、 $x_A$  は成分 A の反応転化率、 $C_{A0}$  は成分 A の入口濃度である。

$$(ア) \tau = \frac{C_{A0} x_A}{-r_A} \quad (イ) \tau = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A}$$

- ②容積  $4.0 \text{ m}^3$  の PFR を用いて体積流量  $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$  にて反応を行ったところ、成分 A の出口の反応転化率  $x_A = 0.80$  という結果を得た。反応速度定数  $k$  を求めよ。計算過程も示せ。

- ③図Ⅲ-1 のように、この反応を同じ反応条件で容積  $1.0 \text{ m}^3$  の CSTR を 4 台連結した直列連続槽型反応器を用いて行った。

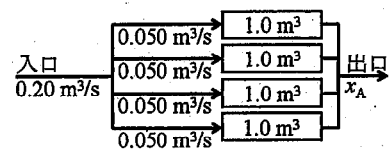


図Ⅲ-1

- 成分 A の 1 台目および 4 台目の出口の反応転化率  $x_{A1}$  および  $x_{A4}$  を求めよ。計算過程も示せ。

- ④直列連続槽型反応器の反応器の台数を増やしていくと滞留時間分布はどのようになるか説明せよ。

- ⑤図Ⅲ-2 のように、この反応を容積  $1.0 \text{ m}^3$  の PFR を 4 台並列に連結した反応器を用いて行った。出口の反応転化率  $x_A$  を求めよ。

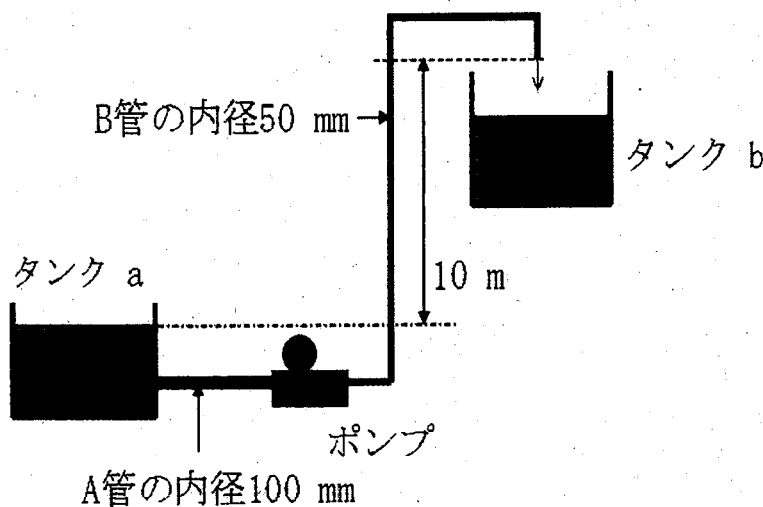


図Ⅲ-2

[IV] 以下の問に答えよ。

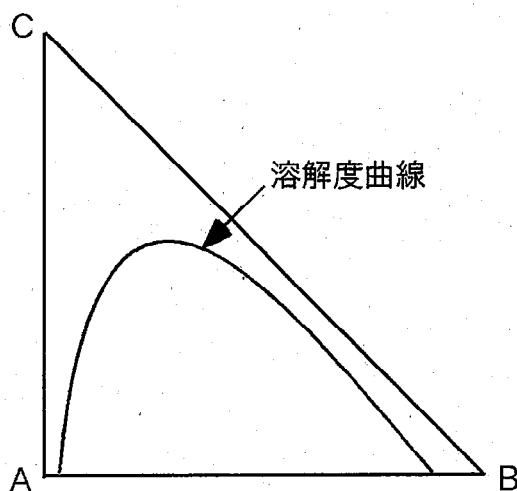
- ① 円管内を非圧縮性、ニュートン流体 (Newtonian Fluid) が流れるとき、ニュートンの粘性法則 (Newton's law of viscosity) を簡略に記述せよ。
- ② 以下の図で示したように水を、円管型管路を通してポンプによりタンク a からタンク b へ輸送する。タンク a の水面とタンク b に水を排出する放出口との高度差は 10 m である。ただし、タンク a の水面は外部から水が供給され、一定に保つと仮定する。タンク a とポンプの間は内径 100 mm の管 A で水をポンプにより吸入し、ポンプと排出口の間は内径 50 mm の管 B で輸送する。管 A 内を流れる水の流速は 1 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無視出来ると仮定する。大気に開放されたタンク a とタンク b の水面断面積は配管の断面積に比べて大きいので、タンクでの流速は無視出来ると仮定する。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 b にある排出口での単位時間当たり流れる質量流量を求めよ。
- (2) 内径 50 mm の管 B 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。
- (3) 必要動力を求めよ。



[V] 下記の間①および②を解答せよ。なお、指定された以外の記号を使うときは、あらかじめ定義した上で使うこと。

- ① 原溶媒 A と溶剤 B が部分的に相互溶解する場合の向流多段抽出操作を考える。原料の流量を  $Q_F$  [kg/h], 原料中の溶質 C の質量分率を  $x_{CF}$ , 溶剤の流量を  $Q_B$  [kg/h] とし、溶剤には溶質が含まれていないとする。原料 F を 1 段目に供給し、溶剤を  $N$  段目に供給する。下記の間(1)～(5)に答えよ。
- (1) 向流多段抽出操作全体の溶質平均質量分率  $x_{CM}$  を表す式を導け。
  - (2) 1 段目抽出液の流量を  $Q_{E1}$  [kg/h], 溶質質量分率を  $x_{CE1}$ ,  $N$  段目抽残液の流量を  $Q_{RN}$  [kg/h], 溶質質量分率を  $x_{CRN}$  とする。三角座標に、原料の組成点 F, 1 段目抽出液の組成点  $E_1$ ,  $N$  段目抽残液の組成点  $R_N$  を書き入れよ。ただし、三角座標は下に示す直角三角形型座標を用いること。また、作図に必要な線を書き入れること。
  - (3) 操作点 D が溶剤組成点 B と  $N$  段目抽残液組成点  $E_1$  を結んだ直線  $BE_1$  と原料組成点 F と 1 段目抽出液組成点  $R_N$  を結んだ直線  $FR_N$  の交点で与えられることを説明せよ。
  - (4) 操作点 D の位置が溶剤流量によってどのように変化するか図を用いて説明せよ。
  - (5) 最小抽剂量がどのように定義されるか説明せよ。



- ② 好気性微生物を液体深部培養する場合、微生物への酸素供給が重要となる。空気から微生物への酸素移動過程について、下記の間(1)および(2)に答えよ。
- (1) 気泡から微生物への移動過程を説明せよ。
  - (2) 上記の過程の中でどの過程が律速になるか答えよ。また、その理由を説明せよ。

【VI】 次の問①および②に答えよ。いずれの問にも、計算などの過程を含めて解答すること。

① 水平流型重力沈降室（長さ  $L$ 、高さ  $H$ 、幅  $B$ ）に、種々の大きさの球形固体粒子を含む流体が連続的に流入、流出している。流体は流路に沿って一様に流れ、その体積流量を  $Q$  とする。また、粒子の水平方向速度は流体の速度に等しく、垂直方向速度は静止流体中での終末速度  $u_t$  に等しいとする。以下の問(1)～(5)に答えよ。

- (1) 沈降室における流体の滞留時間を、記号を用いて表せ。
- (2) 任意の高さ  $h$  で流入し、沈降室底面に達する粒子の沈降時間を、記号を用いて表せ。
- (3) ある大きさの粒子を完全に分離できる条件を与える式を導出せよ。
- (4) 限界粒子径  $d_{pmin}$  の粒子の終末速度  $u_{tc}$  について  $Q=u_{tc}(LB)$  であることを説明せよ。
- (5)  $Q=u_{tc}(LB)$  の関係に基づき装置をスケールアップする。装置の長さ  $L$  と幅  $B$  は同一の倍率で大きくし、同一の粒子、流体条件下、 $d_{pmin}$  一定で処理量  $Q$  を 100 倍にするとき  $L$  および  $B$  はそれぞれ何倍となるか。

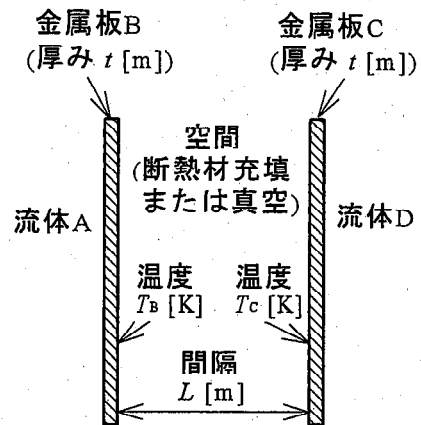
② 球形固体粒子が、角速度  $\omega$  で回転する流体中を、回転中心から半径方向に  $r$  の位置で流体と同様に  $\omega$  で回転している。流体中の粒子の運動において Stokes の抵抗則が成り立つとき、すなわち、粒子に作用する抗力が粒子流体間の相対速度に比例するとき粒子の半径方向終末速度は重力下での終末速度の何倍であるか、記号を用いて表せ。ただし、重力加速度を  $g$  とする。

[VII] 図VII-1 は、流体 A と流体 D の間が二重板構造を持つ平板断熱パネルで断熱されている状態の模式図である。この断熱パネルは、金属板 B と金属板 C の 2 枚の金属板が間隔  $L$  [m] 離れて平行に置かれている構造をしている。金属板 B、C いずれも、熱伝導度は  $\lambda_M$  [W/(m·K)]、厚みは  $t$  [m]、表面は完全黒体(放射率=1 [-])である。流体 A から金属板 B への伝熱係数を  $h_{AB}$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]、金属板 C から流体 D への伝熱係数を  $h_{CD}$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] とする。パネルの面積は大きく、端の部分からの伝熱については考慮しなくて良いものとする。

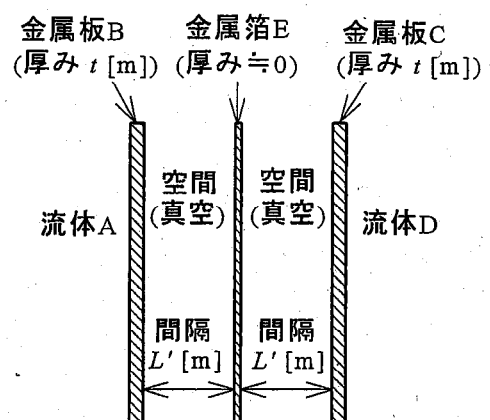
図VII-2 は、図VII-1 に示す断熱パネルの内部に平板状の金属箔 E を 1 枚入れた三重板断熱パネルである。金属板と箔 E の間の空間は真空であり、箔 E は金属板 B と C から等距離にある。箔 E の厚みはきわめて薄く、内部の伝導伝熱抵抗は無視できる。箔 E の表面は完全黒体である。

定常状態での伝熱について、以下の問①～④に答えよ。

- ① 以下の問②～④を解くためには、問題文中に定義されている物理量・物性値・物理化学定数(以下「物理化学定数等」と呼ぶ)だけで十分であるかどうか、答えよ。もし必要な物理化学定数等が与えられていなければ、その必要な物理化学定数等の名称を述べるとともに、SI 単位系を用いてその単位を記せ。また、以降の問題では、ここで定義された物理化学定数等に記号を適宜与えて用いること(解答記載例:「気体定数[J/(mol·K)]が必要である。気体定数を  $R$  と表す。」)。
- ② 図VII-1 において、金属板 B と C の間の空間を熱伝導度  $k$  [W/(m·K)] の断熱材で満たしたときの流体 A から流体 D への総括の伝熱係数  $H$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] を適切な記号を用いて表せ。
- ③ 図VII-1 において、金属板 B と C の間の空間が真空であり、その中の伝熱が放射だけで行われるものとする。金属板 B の内側の表面温度が  $T_B$  [K]、金属板 C の内側表面温度が  $T_C$  [K] である場合、金属板 B から金属板 C へ熱が移動する熱流束  $q$  [W/m<sup>2</sup>] を適当な記号を用いて表せ。
- ④ 図VII-2 において、金属板 B と金属板 C の内側表面温度が問③と同じ場合で、金属板 B から金属板 C へ熱が移動する熱流束  $Q$  [W/m<sup>2</sup>] を適当な記号を用いて表せ。



図VII-1 二重板構造を持つ断熱パネルの模式図



図VII-2 三重板構造を持つ真空断熱パネルの模式図