

平成27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] 食塩水を濃縮して食塩を生産する工程の流れ図を図 I に示す。原料の食塩水を蒸発器で濃縮した後、晶析率（注 1） $C$  で食塩結晶を得る。食塩結晶から分離された食塩水はリサイクルし、蒸発器入口で原料と混合する。工程中の流量  $F$ ,  $R$ ,  $V$  とモル分率  $x_F$ ,  $x_R$  は、それぞれ図中に与えてある。次の問①～⑤に答えよ。ただし、得られる食塩結晶は純度 100%とする。

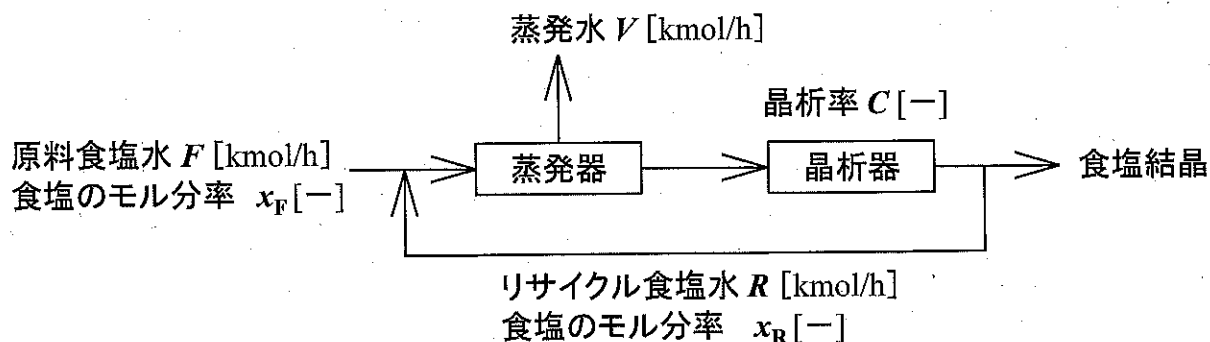


図 I 食塩生産工程の流れ図

- ① 蒸発水の流量  $V$  を  $F$  と  $x_F$  で表せ。
- ② 晶析器に入る食塩水中の食塩のモル分率を図中の記号で表せ。
- ③ 総括収率（注 2）を図中の記号で表せ。ただし、 $C$  を用いること。
- ④ 晶析率を  $F$ ,  $R$ ,  $x_F$ ,  $x_R$  で表せ。
- ⑤ リサイクル比  $R/F$  を  $C$ ,  $x_F$ ,  $x_R$  で表せ。

（注 1） 晶析前の食塩水に含まれる食塩の物質質量に対する晶析後の結晶に含まれる食塩の物質質量の比

（注 2） 原料に含まれる食塩の物質質量に対する製品に含まれる食塩の物質質量の比

[II] 図 II-1 のような容積  $V_M$  [ $\text{m}^3$ ] の完全混合流れ反応器 (MFR) と容積  $V_P$  [ $\text{m}^3$ ] の押し出し流れ反応器 (PFR) を直列に連結した反応装置を用いて、 $A \rightarrow B$  で表される液相反応

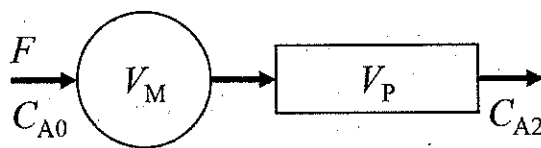


図 II-1

( $-r_A = k C_A$ ) を行う。MFR 入口の成分 A の濃度は  $C_{A0}$  [ $\text{kmol}/\text{m}^3$ ]、体積流量は  $F$  [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] である。次の問①～④に答えよ。ただし、 $r_A$  [ $\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ ] は成分 A の反応速度、 $k$  [ $1/\text{min}$ ] は反応速度定数、 $C_A$  [ $\text{kmol}/\text{m}^3$ ] は成分 A の濃度である。また、反応に伴う体積変化は無視でき、図中の“→”部分での滞留時間および混合・拡散は考慮しないものとする。

- ① PFR 出口の成分 A の濃度  $C_{A2}$  を求める式を、問題文中の記号を用いて表せ。導出過程も示せ。
- ② MFR の滞留時間分布関数  $E(t)$  [ $1/\text{min}$ ] を時間  $t$  [ $\text{min}$ ] および問題文中の記号を用いて表せ。
- ③  $V_M = 10 \text{ m}^3$ 、 $V_P = 5.0 \text{ m}^3$ 、 $F = 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$  としたとき、MFR と PFR を連結した反応装置の滞留時間分布  $E(t)$  [ $1/\text{min}$ ] を解答欄の図 II-2 に示せ。必要であれば、自然対数の底  $e = 2.7$  およびその 0.5 乗  $e^{0.5} = 1.6$  を用いてもよい。
- ④ 非理想流れを表現するモデルを二つ挙げ、それぞれの名称を答えよ。

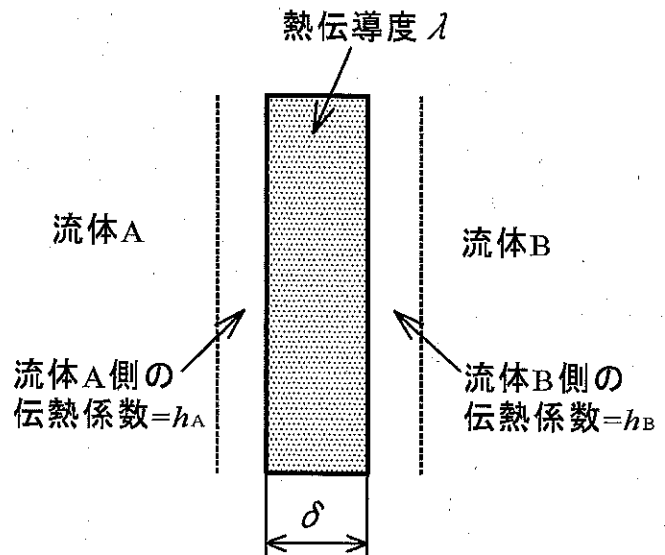
[Ⅲ] 次の問①～⑤に答えよ。

水を、円管型管路を通してポンプにより、低いところにある内径10 m の円柱型のタンクaから高いところにある内径12 m の円柱型タンク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20 mである。ただし、放出口はタンクbの上で、水面と離れた位置にある。タンクaとポンプの間は内径40 mmの管Aで水をポンプにより吸入し、ポンプと放出口の間は内径80 mmの管Bで輸送する。管Aの内を流れる水の平均流速は10 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2000 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の水面は排出される水の量と同じ量の水が外部から供給されるので、一定に保たれる。ただし水の密度は1000 kg/m<sup>3</sup>、粘度は0.001 kg/(m・s)とする。水は非圧縮性、ニュートン流体とみなす。

- ① 管Aの内を流れる水の質量速度を求めよ。
- ② 管Bの内を流れる水の平均流速を求めよ。
- ③ 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。
- 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。

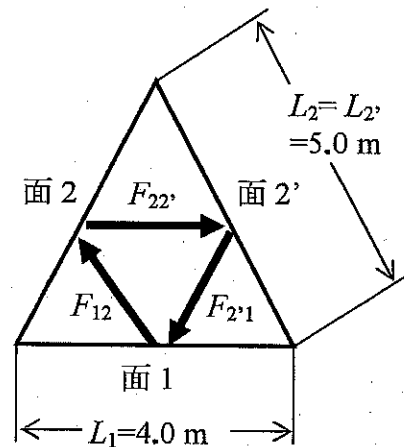
[IV] 以下の問(1)および(2)に答えよ。

(1) 図IV-1に示すように流体Aと流体Bの間に熱伝導度  $\lambda$  [W/(m·K)] , 厚さ  $\delta$  [m]の平板があり, この平板を介して流体Aと流体Bの間で熱が移動している。流体Aと平板の間の伝熱係数  $h_A$  が  $80 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ , 流体Bと平板の間の伝熱係数  $h_B$  が  $40 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ,  $\lambda=0.20 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\delta=0.50 \times 10^{-3} \text{ m}$  である場合において, 流体Aと流体Bの間の総括伝熱係数  $G$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]を有効数字2桁で求めよ。



図IV-1 平板を介して流体Aと流体Bの間で熱が移動する状態の模式図(破線は境界層を表す)

(2) 図IV-2に示すように断面が二等辺三角形であるトンネル状の空間があり, その中での黒体壁面間の放射伝熱を考える。断面の辺の長さは, 底面(面1)で  $L_1=4.0 \text{ m}$  であり, 辺の長さの等しい側面(面2と面2')で  $L_2=L_2'=5.0 \text{ m}$  である。なお, トンネルは直線状であり, トンネル長さ  $Z$  [m]は  $L_1, L_2$  と比較して十分長く, 両端部分の影響は無視できる。それぞれの壁面で表面温度は場所によらず均一である。トンネル空間内での放射熱の吸収および空間からの熱放射はない。以下の問①～③に答えよ。



図IV-2 断面が二等辺三角形のトンネル空間内の放射伝熱の模式図(矢印は放射伝熱の方向とその方向の形態係数の対応関係を示す。)

- ① 面1から面2への放射伝熱の形態係数  $F_{12}$  (\*注)を求めよ。
- ② 面2'から面1への放射伝熱の形態係数  $F_{2'1}$  を求めよ。(解答するにあたり, 面1と面2'の温度が等しい場合, 面1から面2'に到達する放射熱と, 面2'から面1に到達する放射熱が等しいということを使ってもよい。その際, ステファン・ボルツマン定数の記号には  $\sigma$  を用いること。)
- ③ 面2から面2'への放射伝熱の形態係数  $F_{22'}$  を求めよ。

(\*注: 形態係数  $F_{XY}$  とは, ある面 X から発せられる放射熱のうち面 Y へ直接到達する放射熱の割合を表す。)

[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用いる場合には定義した上で用いること。

(1)ガス吸収に関して、次の問①～③に答えよ。

- ① 二重境膜説に基づいて、ガス本体から液本体までの溶質ガスの濃度分布を図示せよ。ただし、溶質ガスのみが同伴ガスあるいは吸収液中を一方拡散するものとする。また、気相中の溶質ガス濃度は分圧で、液相中の溶質ガス濃度はモル濃度で表すこと。
- ② ガス側総括物質移動抵抗を、ガス境膜物質移動係数  $k_G$ 、液境膜物質移動係数  $k_L$ 、ヘンリー定数  $H$ を用いて表せ。
- ③ 物質移動抵抗が主にガス側に存在する場合、液中に気体を分散させる方法と気体中に液体を噴霧する方法のどちらがガス吸収速度を高くできるか、理由をあげて答えよ。

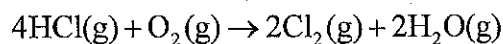
(2)水平流型重力沈降槽の処理能力を高める方策として、沈降槽内に分離板を多数設置する方法がある。沈降面積  $A$  の水平流型重力沈降槽に沈降面積  $A$  の分離板を等間隔に9枚設置すると沈降槽の処理量  $Q$  はもとの沈降槽の何倍になるか。ただし、分離板を設置した沈降槽の分離限界粒子径はもとの沈降槽の分離限界粒子径と等しいとする。また、分離板の厚さは沈降槽の深さに比べて無視できるものとする。

(3)遠心分離に関して、次の問①および②に答えよ。

- ① 遠心効果  $Z$  の定義式を書け。
- ② 円筒型遠心分離器の処理能力を高めるためには、(ア)回転速度を同じに保ったまま円筒の半径を1.5倍にする方法と(イ)円筒半径を同じに保ったまま回転速度を1.5倍にする方法のどちらが効果的か、理由をあげて答えよ。

[VI] 問(1)および(2)に答えよ。ただし、関係する気体はすべて理想気体として扱うことができ、圧力は1 bar で一定とする。熱容量は温度によらないものとする。

(1) 次の反応に関して、下の問①～③に答えよ。



表VI 標準生成エンタルピーとモル定圧熱容量(298 K)

	$\Delta H_f^\circ$ [kJ/mol]	$C_{p,m}^\circ$ [J/(K·mol)]
HCl(g)	-92.31	29.1
O <sub>2</sub> (g)	0	29.4
Cl <sub>2</sub> (g)	0	33.9
H <sub>2</sub> O(g)	-241.82	33.6

- ① 298 K における HCl(g) 基準の標準反応エンタルピーを求めよ。
- ② 798 K における HCl(g) 基準の標準反応エンタルピーを求めよ。
- ③ 798 K において、この反応は発熱反応と吸熱反応のどちらかを答えよ。その理由も説明せよ。

(2) アルゴン Ar(g) を 450 K から 650 K に加熱したときのモル内部エネルギー変化を求めよ。計算の過程も示せ。ただし、モル定容熱容量は 12 J/(K·mol) とする。