

平成27年度第1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] 1 mol の A が消費されて 1 mol の B が生成する反応工程の流れ図を図 I に示す。不活性物質と反応物質 A を含む原料を反応器に供給し、一回通過転化率 C [-] で反応させた後、分離器で製品を分離している。未反応の A は、不活性物質とともに一部をパーズした後、リサイクルし、反応器入口で原料と混合している。工程中の流量 F , R , P とモル分率 x_1 , x_2 , y_1 , y_2 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、製品には未反応の A と不活性物質が含まれないものとする。

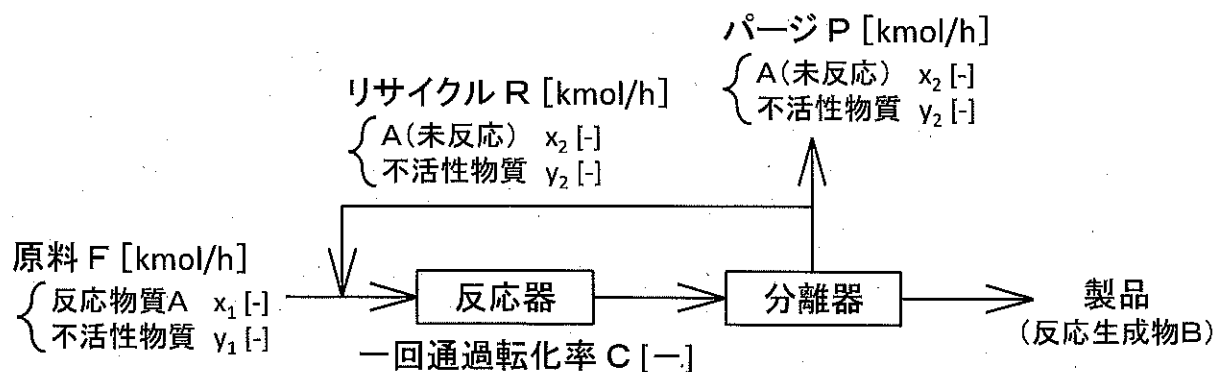


図 I 反応工程の流れ図

- ① パーズ操作を行う理由を答えよ。
- ② 総括収率 (反応生成物 B の物質量を原料中の A の物質量で割り算した量) を図中の記号で表せ。ただし、 C を必ず用いること。
- ③ 反応器周りにおける A の成分物質収支式を図中の記号で表せ。ただし、 C を必ず用いること。
- ④ 反応器周りにおける不活性物質の成分物質収支式を図中の記号で表せ。
- ⑤ リサイクル比 (R/F) を C , x_1 , x_2 , y_1 , y_2 で表せ。

[II] 次の問 (1) および (2) に答えよ。

(1) $A \rightarrow R$ で表される液相反応 ($-r_A = k C_A$) を、図 II で示した容積 V [m^3] の完全混合流れ反応器を 10 台連結した直列連続槽型反応器を用いて、成分 A の入口濃度 C_{A0} [$kmol/m^3$]、体積流量 F_V [m^3/s] にて行った。出口の成分 A の濃度 C_{A10} を求める式を図中の記号および反応速度定数 k を用いて表せ。

導出過程も示せ。ただし、 r_A は成分 A の反応速度、 C_A は成分 A の濃度であり、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。

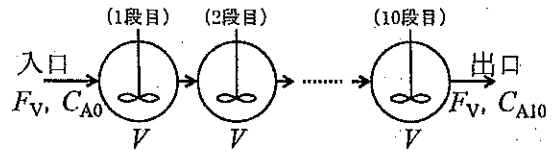
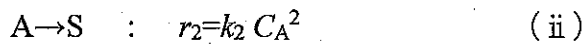
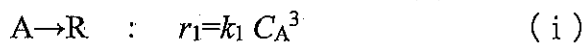


図 II

(2) 下の反応 (i) および (ii) からなる並行反応において、成分 S に対して成分 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、 r_1 および r_2 はそれぞれ反応 (i) および (ii) の反応速度、 k_1 および k_2 はそれぞれ反応 (i) および (ii) の反応速度定数、 C_A は A 成分の濃度であり、A の転化率はいずれの反応装置も同一とする。



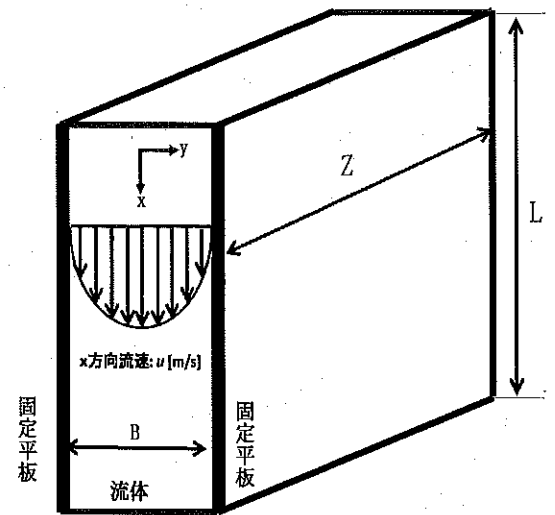
【Ⅲ】 次の問①～④に答えよ。

下の図Ⅲで示すように、垂直に立っている二つの固定平行平板の間に非圧縮性、ニュートン流体 (Newtonian Fluid) が定常状態で重力によって流れている。流体の流れ方向を x 方向、二つの固定平板の方向を y 方向、二つの固定平板の間の距離を B [m]、横幅方向を z 方向とする。ただし、固定平板と流体との間は滑りが無く、固定平板の横と縦の幅は二つの固定平板の間の距離に比べ十分に広く、流れ方向の上部と下部は大気中に開放され、流体の流れは層流であると仮定する。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てもよい。

せん断応力: τ_{yx} [Pa, N/m²], 粘性係数: μ [Pa · s], 密度: ρ [kg/m³], 重力加速度: g [m/s²], 時間: t [s], x 方向流速: u [m/s], x 方向の距離: x [m], y 方向の距離: y [m], 固定平板の横の幅: Z [m], 固定平板の縦の幅: L [m], 質量流量: M [kg/s], x 方向平均流速: \bar{u} [m/s],

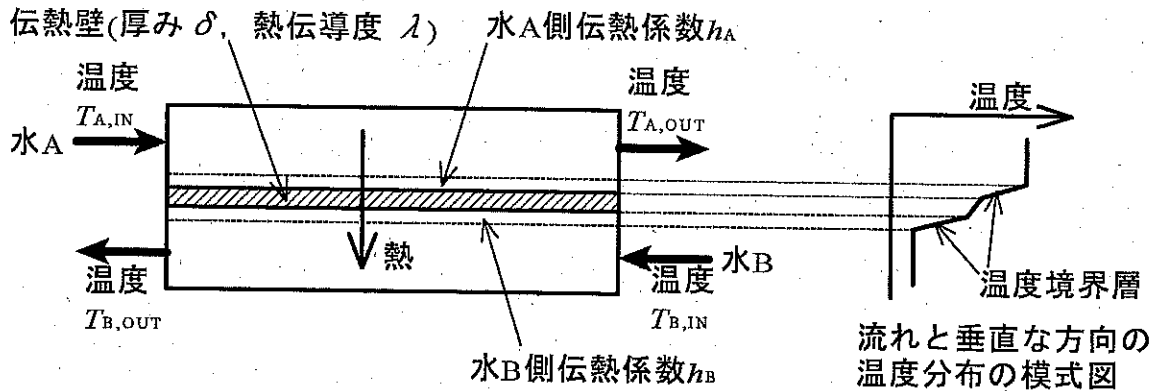
ニュートンの粘性法則: $\tau_{yx} = -\mu \frac{du}{dy}$

- ① 流体の密度は一定と仮定し、二つの固定平板の間の中心からの距離 y [m] における x 方向速度 u [m/s] を求める微分方程式を運動量収支から導け。
- ② 問①で求めた式から y [m] における x 方向の流速 u [m/s] を求めよ。
- ③ x 方向の最大流速 u_{max} [m/s] を求めよ。
- ④ x 方向の平均速度 \bar{u} [m/s] は最大流速 u_{max} [m/s] の何倍であるかを求めよ。



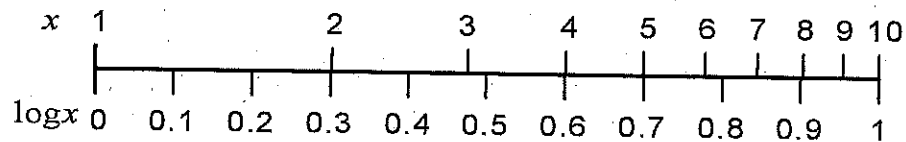
図Ⅲ 二つの固定平板間での流体流れ

[IV] 図IVは、高温の水 A と低温の水 B が平板伝熱壁を介して定常状態で向流熱交換している熱交換器の模式図である。伝熱壁の熱伝導度は λ [W/(m · K)] であり、厚みは δ [m] である。水 A から伝熱壁までの伝熱係数は h_A [W/(m² · K)]、水 B から伝熱壁までの伝熱係数は h_B [W/(m² · K)] である。水 A の入口温度 $T_{A,IN}$ は 363 K である。水 A の冷却後の出口温度 $T_{A,OUT}$ を 303 K にしたい。水 B の入口温度 $T_{B,IN}$ は 283 K である。水 B の出口温度を $T_{B,OUT}$ [K] とする。熱交換器外部への熱損失はないものとする。水の比熱容量 C は 4.2 kJ/(kg · K) とする。以下の問①～④に答えよ。



図IV 向流型熱交換の模式図

- ① 水 A の流量 1.0 kg/s に対して水 B を流量 0.8 kg/s で供給したとき、伝熱面積を適切に与えることで $T_{A,OUT}$ を 303 K に冷却することが可能かどうか判定せよ。もし、この水 B の流量では水 A を 303 K に冷却できなければ、「冷却不可能」と答えよ。 $T_{A,OUT}$ を 303 K に冷却できるならば、「冷却可能」と答えるとともに、 $T_{B,OUT}$ と水 AB 間の対数平均温度差 ΔT_{av} [K] をそれぞれ求めよ。答えは小数点以下を四捨五入し、整数値で答えよ。なお、1 から 10 までの範囲の数 x と $\log x$ の関係は下の図から読み取ること(例: $x=5$ のとき $\log x=0.70$ と読み取る)。また、 $\ln 10$ の値として 2.3 を使ってもよい。

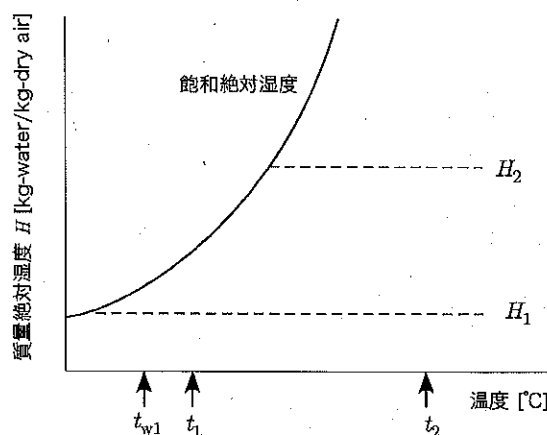


- ② 水 A B 間の総括伝熱係数 G [W/(m² · K)] を、 $h_A=120$ W/(m² · K)、 $h_B=80$ W/(m² · K)、 $\lambda/\delta=240$ W/(m² · K) である場合について求めよ。
- ③ 図IVに示すように、伝熱壁近傍の温度境界層内部では、温度が壁面からの距離に対して直線的に変化するものと仮定する。伝熱係数が与えられた時に、温度境界層厚みを推定するために必要な流体の物性値は何か、名称を答えよ。
- ④ 強制対流伝熱において、無次元数であるヌセルト(Nusselt)数は、ある 2 つの無次元数の関数として与えられる。この 2 つの無次元数の名称を答えよ。

[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) 図Vのように、乾球温度 t_1 [°C]、湿球温度 t_{w1} [°C]の空気を温度 t_2 ($>t_1$) [°C]、質量絶対湿度 H_2 ($>H_1$) [kg-water/kg-dry air]に断熱増湿する操作を考える。次の問①および②に答えよ。

- ① 乾球温度 t_1 [°C]、湿球温度 t_{w1} [°C]の空気の質量絶対湿度 H_1 [kg-water/kg-dry air]を湿度図表上で求める方法を説明せよ。
- ② 増湿効率を90%とする場合、増湿操作をどのように行うか湿度図表を用いて説明せよ。



図V

(2) 蒸留に関して、次の問①および②に答えよ。

- ① 原料供給量 F [mol/s]、蒸気排出量 D [mol/s]、残留液排出量 W [mol/s]、原料の低沸点成分モル分率 x_F 、蒸気の高沸点成分モル分率 y_D 、残留液の低沸点成分モル分率 x_W の条件でフラッシュ蒸留を行う。フラッシュ蒸留における操作線の傾きを求めよ。
- ② 精留において、還流比を大きくすると運転に必要なエネルギー消費量(リボイラーでの加熱熱量や全縮器での冷却熱量など)と装置コストはどのようになるか説明せよ。

(3) 直径 D_p [m]、密度 ρ_p [kg/m³]の球が粘度 μ [Pa·s]、密度 ρ [kg/m³]の流体中を相対速度 u [m/s]で運動する場合に関して、次の問①および②に答えよ。

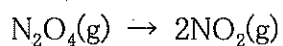
- ① 抵抗係数を C_D [-]として球が流体から受ける抵抗力 F_D [N]を表す式を書け。
- ② ストークス域における終末速度 u_t [m/s]を表す式を書け。

[VI] 問(1)および(2)に答えよ。ただし、圧力は1 bar一定であり、関係する気体はすべて理想気体として扱えるものとする。気体定数は $8.3 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ とする。

表VI 標準生成エンタルピーとモル定圧熱容量(298 K)

	$\Delta H_f^\circ [\text{kJ}/\text{mol}]$	$C_{p,m}^\circ [\text{J}/(\text{K}\cdot\text{mol})]$
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	+9.2	77.3
$\text{NO}_2(\text{g})$	+33.2	37.2
$\text{Ar}(\text{g})$	0	20.8

(1) 次の反応に関して、下の問①～③に答えよ。



- ① 298 K における $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 基準の標準反応エンタルピーを求めよ。
- ② 298 K において、この反応は発熱反応か、吸熱反応か。理由も説明せよ。
- ③ 1298 K における $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 基準の標準反応エンタルピーを求めよ。

(2) 次の問①～③に答えよ。

- ① ヘリウム $\text{He}(\text{g})$ のモル定容熱容量はアルゴン $\text{Ar}(\text{g})$ のモル定容熱容量に比べて大きい
か、小さいか、あるいは同じか。理由も説明せよ。
- ② 4 mol の $\text{Ar}(\text{g})$ の定容熱容量を求めよ。
- ③ 4 mol の $\text{Ar}(\text{g})$ を 298 K から 498 K に加熱するときの内部エネルギーの変化を求めよ。