

平成25年度第1次募集（平成24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

（専攻名）材料生産システム専攻
（試験実施単位名）素材生産科学(化学工学系)
（記号）B4

専門科目（化学工学）

注意事項

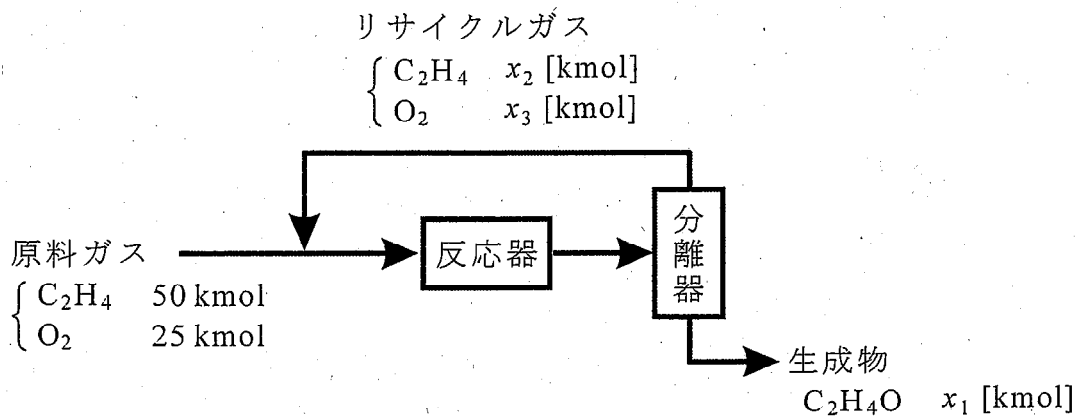
- 1 この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはならない。
- 2 問題冊子は、表紙を含めて全部で8ページある。
- 3 問題Ⅰ～Ⅶの7問中4問を選択し、解答すること。
- 4 一つの問題に対する解答を一枚の解答用紙に記入すること。
(解答を記入するスペースが不足した場合には、解答用紙の裏を使用しても良い。
ただし、その場合には、「裏にも解答した」ことを解答用紙の表に明記すること。)
- 5 選択した問題の番号を解答用紙左上の[]内に記入すること。
(選択した問題の番号が記入されていない解答は採点しないので注意すること。)
- 6 受験番号は、各解答用紙の指定された箇所に必ず記入すること。
- 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] 次の問①～③を解答せよ。

① 次の(1)～(5)の語をそれぞれ英語に訳せ。

(1) 化学工学, (2) 圧力損失, (3) 反応器, (4) 理想流れ, (5) 単位操作

② エチレン C_2H_4 の部分酸化によるエチレンオキサイド C_2H_4O の合成について、定常状態での物質収支を考える。各流れの流量は単位時間当たりの物質質量に換算して考える。原料ガスの組成は C_2H_4 50 kmol, O_2 25 kmol である。生成物は C_2H_4O のみであり、その全量を分離器で分離する。未反応の C_2H_4 と O_2 はリサイクルする。それぞれの流れにおける各成分の物質質量 $x_1 \sim x_3$ [kmol] は図中に示してある。反応器における一回通過転化率は K とする。下の問い(1)～(5)に答えよ。



(1) この問題を解答するのに最も適した化学反応式を一つだけ書け。

(2) 系全体における炭素原子についての物質収支式を書け。

(3) 反応器まわりの C_2H_4 についての物質収支式を書け。

(4) $K = 0.4$ として、各成分の物質質量 $x_1 \sim x_3$ の値を求めよ。

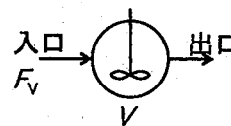
(5) 気体状反応副生成物が生成する場合について考える。この物質は分離器では分離されず、リサイクルガスに同伴する。合成が長時間にわたるときに発生する弊害としてどのようなことが考えられるか。また、その弊害の影響を低減するために行われる操作の名称を答えよ。

③ 1 kmol の炭化水素 C_nH_m を空気によって完全燃焼させる。用いた空気中に酸素 O_2 が a [kmol] 含まれるときの過剰空気率を記号 a, n, m を用いて表せ。

[II] 下記の問題①および②について解答せよ。

- ① 二酸化炭素の臨界温度 T_c は 304 K , 臨界圧力 p_c は 7.4 MPa , また, 臨界圧縮係数 z_c は 0.27 である。臨界状態での二酸化炭素の密度 ρ_c を求めよ。ただし, 二酸化炭素のモル質量 M を 0.044 kg/mol, 気体定数 R を 8.3 J/(mol · K) とする。
- ② 分子量 44 の気体 (A) 39.6 g と分子量の不明な気体 (B) 49.6 g からなる混合気体で全圧が 200 kPa であるとき, 気体 A の分圧は 45.0 kPa であった。気体 B の分子量を求めよ。

[Ⅲ] 図Ⅲ-1のような容積 V の CSTR を用いて $A+2B \rightarrow 2R$ で表される液相反応 ($-r_A = k C_A C_B^2$, $k = 10 \text{ m}^6/(\text{kmol}^2 \cdot \text{min})$) を成分 A の入口濃度 $C_{A0} = 0.10 \text{ kmol/m}^3$, 成分 B の入口濃度 $C_{B0} = 0.30 \text{ kmol/m}^3$, 体積流量 $F_V = 5.0 \times 10^{-3}$



図Ⅲ-1

m^3/min で行なったところ, 成分 A の出口の反応転化率 $x_A = 0.80$ という結果を得た。次の問①～⑤に答えよ。ただし, r_A は成分 A の反応速度, k は反応速度定数, C_A , C_B はそれぞれ成分 A, 成分 B の反応器内の濃度であり, 反応に伴う体積変化は無視できるものとする。なお, CSTR 内は完全混合流れである。

①成分 A の物質収支から式 (i) を導出せよ。なお, τ は空間時間である。

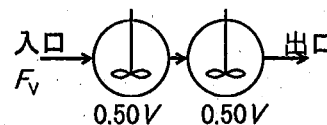
$$\tau = \frac{C_{A0} x_A}{-r_A} \quad (\text{i})$$

②限定反応成分は成分 A と成分 B のどちらか答えよ。その理由も示せ。

③反応器の容積を求めよ。

④成分 R の 1 日あたりの生産量 $[\text{kmol/d}]$ を求めよ。

⑤この反応を, 図Ⅲ-2 のような容積 $0.50 V$ の CSTR を二段直列に接続し実施した。成分 A の出口の反応



図Ⅲ-2

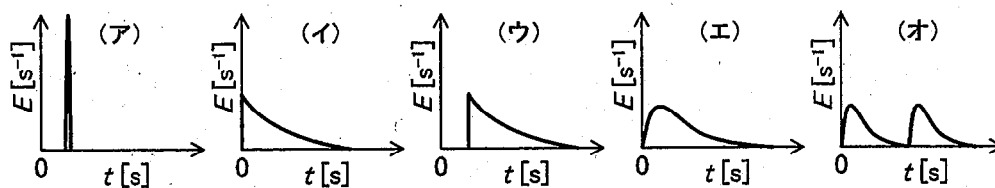
転化率はどのようになるか, 次の (a) ~ (c) の中から

選び記号で答えよ。また, この反応器の滞留時間分布 $E [s^{-1}]$ として最も適切なものを, 次の (ア) ~ (オ) の中から選び記号で答えよ。

(a) 0.80 より低くなる

(b) 0.80 になる

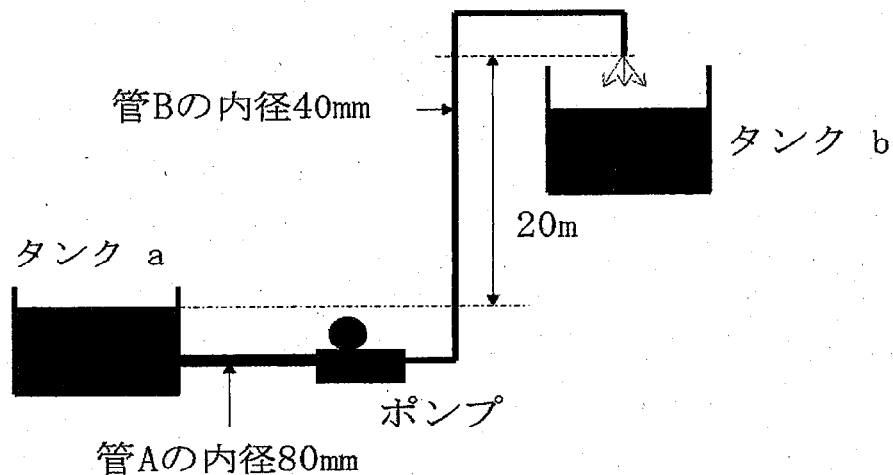
(c) 0.80 より高くなる



[IV] 以下の問①～⑤に答えよ。

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 20 m である。タンク a とポンプの間は内径 80 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 40 mm の管 B で輸送する。管 A 内の流速は 2 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 100 J/kg である。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 kg/m^3 、粘度は $0.001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ とする。

- ① 管 A 内の体積流量を求めよ。
- ② 管 B 内の流速を求めよ。
- ③ 内径 40 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。
- ④ 必要動力を求めよ。
- ⑤ ポンプの入口と出口の圧力差を求めよ。



[V] 下記の間①～⑤を解答せよ。

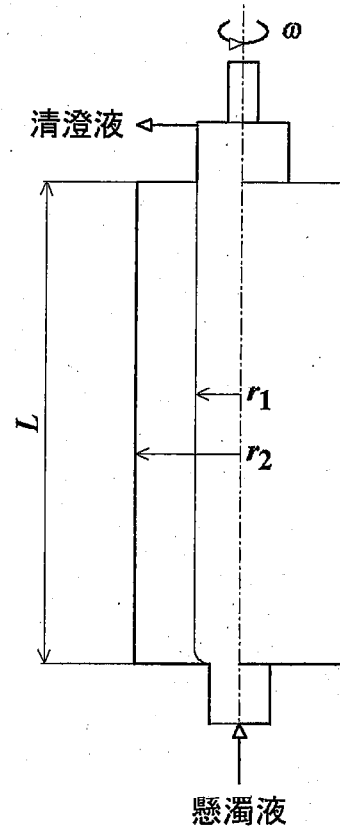
- ① AB 二成分系の気相定常拡散において、次式を導け。

$$J_A + J_B = 0$$

ここで、 J はモル中心に対する相対モル流束であり、添え字 A, B は成分を表す。なお、固定座標上のある基準面に対するモル流束を N 、モル分率を x とする。

- ② ガス吸収操作における吸収因子 F_A と抽出操作における抽出因子 F_E に共通している物理的意味を説明せよ。なお、必要な記号はあらかじめ定義して用いること。また、ガス吸収操作ではヘンリーの法則が成り立ち、抽出操作では分配律が成り立つものとする。
- ③ ある湿り材料を乾材基準の含水率で W_1 から W_2 まで回分乾燥する。乾燥に必要な時間を求める方法を式と図を用いて説明せよ。ただし、 $W_1 > W_C > W_2 > W_E$ とする (W_C = 臨界含水率, W_E = 平衡含水率)。また、予熱期間は無視してよい。
- ④ 固定化酵素粒子を完全混合槽に入れて連続的に反応させる。基質の物質収支式を書け。ただし、固定化酵素粒子を含む全反応液体積を V 、基質体積流量を F 、入口基質濃度を S_{IN} 、出口基質濃度を S 、最大酵素反応速度を v_m 、ミカエリス定数を K_m とし、他に必要な記号はあらかじめ定義して用いること。また、この酵素反応はミカエリス-メンテン式に従うものとする。
- ⑤ 連続培養における菌体の生産性 P を表す式を導き、希釈率 D との関係を図示せよ。また、基質濃度 S 、菌体濃度 X と希釈率の関係も図に書き入れよ。他に必要な記号はあらかじめ定義して用いること。

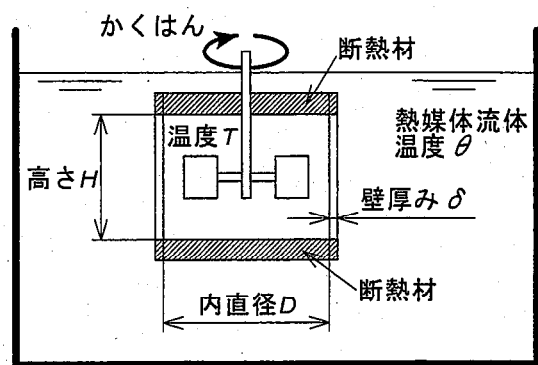
【VI】右図のような円筒型遠心沈降分離機に、種々の大きさの球形固体粒子を含む懸濁液を下部から供給し、清澄液を上部から取り出している。機内では液は円筒の回転角速度 ω に等しい速度で固体的回転し、中空円筒状（内半径 r_1 、外半径 r_2 、長さ L ）となる。同時に、液は軸方向上向きに一様な速度で流れ、その体積流量を Q とする。また、固体粒子の円周方向速度および軸方向速度はそれぞれ液の速度に等しいとする。液および固体粒子いずれについても運動に及ぼす重力の影響を無視する。次の問①～⑥に答えよ。いずれの問にも、計算の過程を含めて解答すること。



図VI-1 円筒型遠心沈降分離機

- ①液の滞留時間を、記号を用いて表せ。
- ②固体粒子の運動において Stokes の抵抗則が成り立ち、重力下での終末速度を u_t とする。重力加速度を g として、半径方向位置 r にある粒子の遠心力下での終末速度を、記号を用いて表せ。
- ③機内の固体粒子は遠心力下での終末速度で半径方向外向きに沈降するとする。粒子が半径方向位置 r_1 から円筒壁面（半径方向位置 r_2 ）に達する時間を、記号を用いて表せ。
- ④固体粒子を完全に分離できる条件を式で記せ。
- ⑤限界粒子径の固体粒子の重力下での終末速度を u_{tc} として、限界粒子径が与えられたときの最大液流量を、記号を用いて表せ。
- ⑥⑤の関係に基づき機械をスケールアップする。機械の寸法は同一の倍率で大きくし、円筒壁面での遠心効果（遠心力）を一定とする。同一の固液物性条件下、限界粒子径一定で液流量を9倍にするとき寸法は何倍となるか。

[VII] 図VII-1は、内直径 D [m]、高さ H [m]の円筒形かくはん槽が、加熱槽の中に置かれている状況を示している。かくはん槽内は、比熱容量 C [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]の液体で満たされ、かくはん槽内液体の温度 T [K]は均一である。かくはん槽の上面と下面は断熱され、これらを通じての熱移動は無視できる。加熱槽には温度 θ [K]の熱媒体流体が入っている。



図VII-1

かくはん槽内液体と側面壁内面の間の伝熱係数を h_{IN} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]、熱媒体流体と側面壁外面の間の伝熱係数を h_{OUT} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]とする。かくはん槽の側面壁は熱伝導率 λ_M [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]である厚み δ [m]の板でできている。厚み δ は内直径 D に比べて十分に薄く、熱媒体流体とかくはん槽内液体の間の総括伝熱係数を求める際には、この側面壁は平板として取り扱える。また側面壁、かくはんパドル、かくはん軸の熱容量は無視できる。かくはん槽内液体内部では、反応や相変化は起きない。以上の条件のもとで、以下の問①～④に答えよ。円周率は記号 π で表すこと。

- ① 以下の問②～④を解くためには、上の問題文中に定義されている物理量・物性値だけで十分であるかどうか、答えよ。もし必要な物理量・物性値が与えられていなければ、その必要な物理量・物性値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量・物性値に記号を適宜与えて用いること(解答記載例:「気体定数 [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]が必要である。気体定数を R と呼ぶ。」)。
- ② 側面壁を通じての熱媒体流体とかくはん槽内液体の間の総括伝熱係数 h_{OV} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]を適当な記号を用いて表せ。
- ③ かくはんによる熱の発生が無視できる場合について、時間 t [s]の変化に伴うかくはん槽内液体温度 T の変化を表す微分方程式を、適当な記号、数値を用いて表せ。記号には h_{OV} を用いても良い。
- ④ かくはん動力が P [W]であり、加えられたかくはん動力がすべてかくはん槽内液体の中で熱に転換したものとする。熱媒体流体温度 θ が一定であるときの、定常状態でのかくはん槽内液体の温度を適当な記号、数値を用いて表せ。記号には h_{OV} を用いても良い。