平成２６年度第１次募集（平成２５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。）

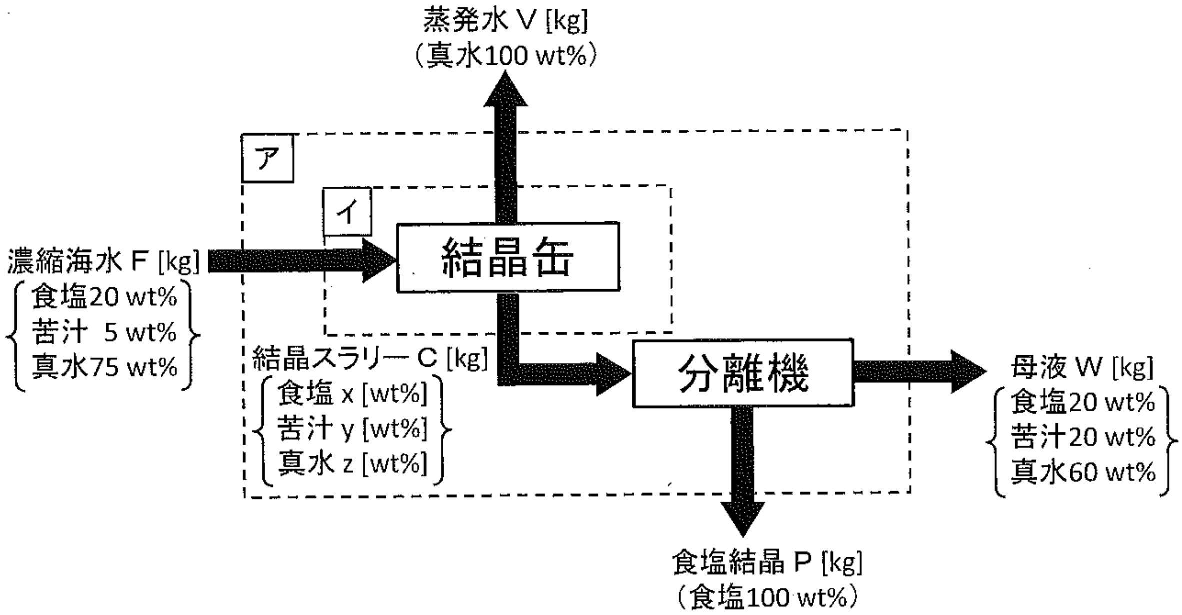
5　受験番号は，各解答用紙の指定された箇所に必ず記入すること。

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。

新潟大学大学院自然科学研究科

［I］ 製塩工程の概略を以下に示す。濃縮海水 F [kg]を結晶缶に送り，真水を V [kg]蒸発させて食塩結晶を析出させる。結晶缶底部より抜き出された結晶スラリーC [kg]は，分離機で，食塩結晶 P [kg]と母液 W [kg]に固液分離される。工程中の各組成は，図中に，質量百分率で与えてある。次の問①～⑤に答えよ。なお，問③以外は，図中の記号を用いて解答すること。



① 工程全体（図中の破線部ア）を系とする場合の全物質収支式を答えよ。

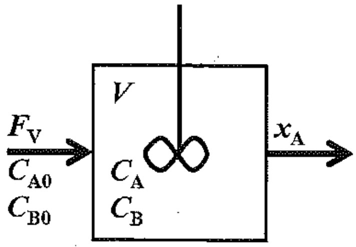
② ①における，食塩，苦汁，真水の成分物質収支式をそれぞれ答えよ。

③ 濃縮海水 F が 1000 kg のとき，蒸発水 V [kg]，食塩結晶 P [kg]，母液 W [kg]をそれぞれ求めよ。

④ 結晶缶周り（図中の破線部イ）を系とする場合の全物質収支式を答えよ。

⑤ ④における，食塩，苦汁，真水の成分物質収支式をそれぞれ答えよ。

［Ⅱ］図Ⅱ-1 のような容積 V の完全混合流れ反応器を用いて A+B→R で表される液相反応（$-r_A = k\, C_A\, C_B$, k = 2.0 $m^3/(kmol\cdot min)$）を，成分 A の入口濃度 C_{A0} = 0.10 $kmol/m^3$, 成分 B の入口濃度 C_{B0} = 0.20 $kmol/m^3$, 体積流量 F_V = 5.0×10^{-3} 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①～④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。



図Ⅱ-1

①この完全混合流れ反応器の設計方程式として適切な式を以下の(ア)～(エ)の中から選び，記号で答えよ。なお τ は空間時間である。

(ア) $\tau = \dfrac{C_{A0}\, x_A}{-r_A}$　(イ) $\tau = \dfrac{C_{A0}(1 - x_A)}{-r_A}$　(ウ) $\tau = C_{A0}\displaystyle\int_0^{xA} \dfrac{dx_A}{-r_A}$　(エ) $\tau = C_{A0}\displaystyle\int_{CA0}^{CA} \dfrac{dC_A}{-r_A}$

②反応器の容積 $V\,[m^3]$を求めよ。計算過程も示せ。

③スケールアップして反応器の容積を 20 倍にしたい。成分 A と成分 B の入口濃度を変えずに出口で同じ反応転化率を得るためには体積流量 F_V $[m^3/min]$をいくらにすべきか答えよ。計算過程も示せ。

④完全混合流れ反応器の無次元時間 θ を用いた滞留時間分布関数 $E(\theta)$を解答欄の図Ⅱ-2 に描画せよ。必要であれば e = 2.7 を用いてもよい。

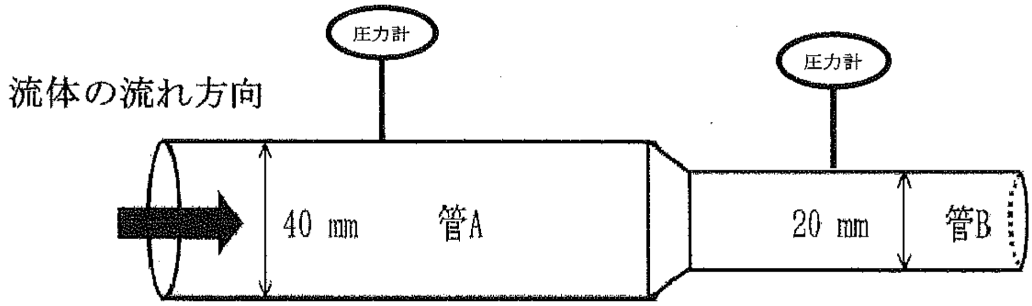
［Ⅲ］次の問（1）～（3）に答えよ。

（1）円管内を非圧縮性，ニュートン流体（Newtonian Fluid）が流れるとき，層流と乱流の特徴を簡潔に説明せよ。

（2）ニュートン流体（Newtonian Fluid）と非ニュートン流体（Non Newtonian Fluid）の特徴をせん断応力と速度勾配を用いて簡潔に説明せよ。

（3）下の図で示すように管径が変わる円管型管路を通して非圧縮性流体を輸送する。内径40 mmの管Aと内径20 mmの管Bは水平につながっており，管Aには密度が1000 kg/m^3である流体が静圧100 kPa（ゲージ圧），流速1 m/sで流入し，管Bをとおして流出する。ただし，全配管に関連する摩擦エネルギー損失は無視できると仮定する。必要であれば記号は各自定義して用いてもよい。以下の問①～④に答えよ。

① 管Bの出口での流体の質量流量を求めよ。
② 流体の粘度が0.001 Pa・sであるとき，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。
③ 管Bでの静圧を求めよ。
④ 管の太さを変えたときの静圧差から流体の流量を求める流量測定方法の例を挙げよ。



[IV] 右の図は，球形発熱体が球殻形断熱材の中心に置かれて保温されている状態の模式図である。断熱材の熱伝導度は λ [W・m^{-1}・K^{-1}]である。断熱材内表面の半径(＝発熱体の半径)は R_{IN} [m]，断熱材外表面の半径は R_{OUT} [m]である。断熱材内部の温度分布は球対称であり，球形発熱体中心から距離 r [m] ($R_{\mathrm{IN}} \leqq r \leqq R_{\mathrm{OUT}}$)離れたところの温度を $T(r)$ [K]とする。

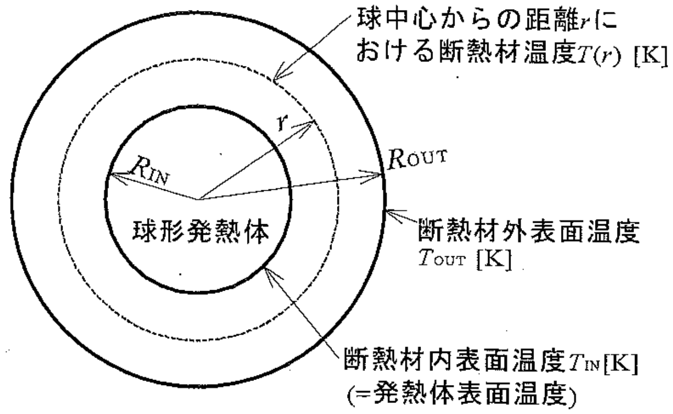


図　球殻形断熱材で保温された球形発熱体

断熱材内表面温度 (＝発熱体表面温度)は T_{IN} [K]，断熱材外表面温度は T_{OUT} [K]である。断熱材を通じての内部から外部への定常熱伝導を考える。発熱体表面から断熱材を通過して外部へ移動する単位時間当たりの熱量(伝熱速度)を Q [W]とする。ただし，熱が球内部から外部へ移動する方向を Q の正の方向とする。以下の問①～④に答えよ。円周率は π で表せ。

① 下の文章は断熱材内部の温度分布を与える微分方程式の導出過程である。文章中の空欄(　ア　)～(　ウ　)にあてはまる数式を答えよ。

【文章】球中心から距離 r 離れた面を通過する熱流束 q [W・m^{-2}]は，r 方向の温度勾配 $\mathrm{d}T(r)/\mathrm{d}r$ を用いて

(　　　　ア　　　　)　　　　・・・　式 1

となる。球中心から距離 r 離れた面の面積 S [m^2]は，

(　　　　イ　　　　)　　　　・・・　式 2

となる。定常状態で Q は，r によらず一定となる。式 1 と式 2 より，Q を $\mathrm{d}T(r)/\mathrm{d}r$ を用いて表すことによって，$T(r)$に関する微分方程式

(　　　　ウ　　　　)　　　　・・・　式 3

が得られる。

② 式 3 の微分方程式を境界条件 $r = R_{\mathrm{IN}}$ で $T(r) = T_{\mathrm{IN}}$ と，$r = R_{\mathrm{OUT}}$ で $T(r) = T_{\mathrm{OUT}}$ を与えて解き，Q を R_{IN}，R_{OUT}，T_{IN}，T_{OUT} と適当な記号・数値で表せ。導出過程も簡潔に記せ。

③ 球形発熱体の保温を良くするために断熱材厚みを厚くしたとする。$R_{\mathrm{OUT}} \to \infty$ の極限での Q を適当な記号・数値を用いて表せ。導出過程も簡潔に記せ。

④ 完全に静止した無限に広い流体中に置かれた球形発熱体表面から流体への伝熱は，流体内での伝導伝熱だけで起こる。この場合のヌセルト(Nusselt)数 Nu の値を求めよ。計算過程も簡潔に記せ。なお，伝熱係数は h [W・m^{-2}・K^{-1}]で表し，ヌセルト数に用いる代表長さは球形発熱体の直径 d [m](＝2 R_{IN})とせよ。球形発熱体表面での温度は T_{IN}，無限遠での流体温度は T_{OUT} で表すこと。

［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）水平流型重力沈降槽（高さ H, 幅 W, 長さ L）に体積流量 Q で懸濁液を供給する。懸濁液中の粒子の沈降速度を u_t とする。次の問①，②に答えよ。

① 粒子の沈降速度 u_t がストークスの法則に従う場合の条件を粒子径基準のレイノルズ数を用いて説明せよ。

② 分離限界粒子の条件が $Au_t/Q=1$ で与えられることを示せ。ただし，$A=WL$ である。

（2）精留に関して，次の問①，②に答えよ。

① 還流比と留出液回収率の関係を説明せよ。

② 還流比と所要段数の関係を説明せよ。

（3）二重境膜説に従って，吸収液 B を用いて溶質ガス A を物理吸収する場合を解析する。ガス本体の溶質ガス分圧を p_G [Pa]，液本体の溶質ガス濃度を C_L [mol/m^3]とする。また，気液界面での溶質ガス分圧を p_{Gi} [Pa]，液相溶質ガス濃度を C_{Li} [mol/m^3]とする。気液界面ではヘンリーの法則が成り立つと仮定する。次の問①～④に答えよ。

① 液側物質移動係数 k_L を用いて溶質ガスの物質移動流束 N_A を表せ。

② 液境膜厚さ δ_L と液相拡散係数 $\mathscr{D}_{AB}$ を用いて液側物質移動係数 k_L を表せ。

③ 全物質移動抵抗に対して液境膜物質移動抵抗が占める割合を f_L とする。f_L を用いて界面における液相溶質ガス濃度 C_{Li} を表す式を導け。

④ シャーウッド数 Sh と代表長さ d, 液境膜厚さ δ_L の関係を式で表せ。

［VI］　物質量 1 mol の単原子分子理想気体の状態に関する次の文章(1)～(4)を読んで，下の問①～④に答えよ。ただし，状態変化はすべて可逆的であるものとする。定容熱容量 C_V は式(i)で定義され，膨張仕事の微小変化 dw は式(ii)で表される。添字 m は 1 mol あたりの量を表す。記号はこの問題文中に定義されているもののみ使用してよい。

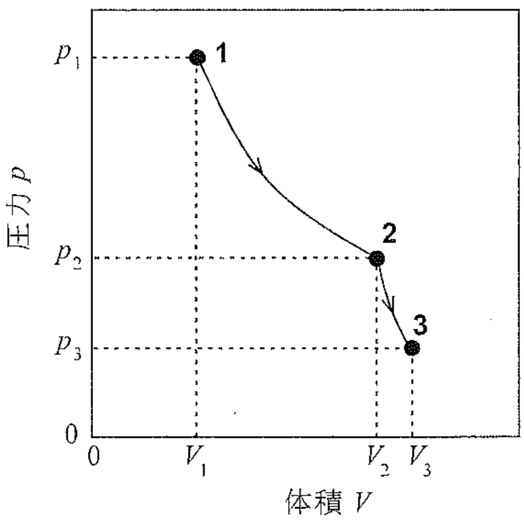
(1) 系の温度が T_1，体積が V_1，圧力が p_1 の状態を**状態 1** とする。
(2) **状態 1** から，温度を変えずに体積を V_2 に膨張させたところ，圧力は図VI−1 に示すように p_2 となった。これを**状態 2** とする。
(3) **状態 2** から，外界との間で熱の移動が起こらないように体積を V_3 に膨張させたところ，温度は T_3，圧力は p_3 となった。これを**状態 3** とする。
(4) **状態 3** から，温度を T_1，体積を V_1 にしたところ，圧力は p_1 となった。すなわち，**状態 1** に戻った。

記号　C_p：定圧熱容量，C_V：定容熱容量，p：圧力，R：気体定数，
T：温度，U：内部エネルギー，V：体積，w：仕事

式　(i) $C_V = \left(\dfrac{\partial U}{\partial T}\right)_V$　　(ii) $\mathrm{d}w = -p\mathrm{d}V$　　(iii) $C_{p,\mathrm{m}} - C_{V,\mathrm{m}} = R$

(iv) $C_{V,\mathrm{m}} = \dfrac{3}{2}R$

① (2)の過程が起こる間の圧力 p の変化を表す式を書け。
② (2)の過程において系が外界からなされる仕事 w_2 を V_1 および V_2 を用いて表せ。さらに，w_2 の量を図VI−2 中に図示せよ。
③ モル定圧熱容量とモル定容熱容量の差は式(iii)で，単原子分子理想気体のモル定容熱容量は式(iv)で表される。p_3 を表す式を書け。
④ (4)の過程における内部エネルギー変化 ΔU_4 を表す式を書け。



図VI−1