

専攻名	自然システム学専攻（化学工学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 ①プロセス工学量論（化学工学量論，単位操作）	P.（1／6）

I 連続式蒸留により，ベンゼン 60.0 mol%とトルエン 40.0 mol%からなる二成分混合溶液 F を，低沸点成分に富む流れ A（モル流量 A [mol s⁻¹]）と高沸点成分に富む流れ B（モル流量 B [mol s⁻¹]）に分離するプロセスを考える。以下の問1～問6に答えなさい。ここで，大気圧は 101.3 kPa とする。解答においてグラフは答案用紙内の指定された箇所に記入し，縦軸，横軸の数値がわかるように示すこと。

問1 ベンゼンとトルエンの分子量をそれぞれ 78.1, 92.1 としたとき，F 中のベンゼンおよびトルエンの質量分率を求めなさい。

問2 ベンゼンとトルエンの蒸気圧をそれぞれ p_1, p_2 [kPa] とすると，これらは温度 T [°C] の関数として，以下の式で与えられる。大気圧下における F の沸点が 89.3 °C であるとき，理想溶液を仮定して，F と気液平衡にある蒸気の組成（モル分率）を求めなさい。

$$\log p_1 = 6.031 - \frac{1211}{T + 220.8}$$

$$\log p_2 = 6.080 - \frac{1345}{T + 219.5}$$

問3 F が気液平衡状態にあるとして相対揮発度 α_{12} を求め，低沸点成分の気相モル分率 y と液相モル分率 x の関係をグラフ（ x - y 線図）で示しなさい。ここで求めた α_{12} は，全てのモル分率において一定であると仮定して良い。

問4 フラッシュ蒸留によって A から 70.0 mol% の低沸点成分を得るために必要な，A と B のモル流量の比 A/B を求めなさい。ここで，作図法による場合は問3で作成したグラフを使用しなさい。

問5 フラッシュ蒸留において， A/B を 0～10 まで変化させたときに，A に含まれるベンゼンのモル分率がどのように変化するかをグラフで示しなさい。

問6 多段式連続蒸留プロセスによって A と B からそれぞれ 90.0 mol% および 10.0 mol% の低沸点成分を得るための最小理論段数を求めなさい。ここで，作図法による場合は，問3で作成したグラフを答案用紙の指定箇所に複製して使用しなさい。

専攻名 自然システム学専攻（化学工学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目
②移動現象論（流体力学，伝熱工学）

P. (2 / 6)

II 以下の問1，問2に答えなさい。

問1 図2.1に示すように開口部の内径が D_T のタンクの側面に内径 D_0 の穴が空けられている。この穴の中心から高さ H まで水が満たされており，その液面と穴は大気に開放されている場合について，以下の設問(1)～(4)に答えなさい。ただし，水の粘性は無視できる。また，穴付近の流動状態は乱流とし，液面における鉛直方向の流速は無視できるほど小さいと仮定する。

- (1) タンクの穴から流出する水の体積流量 Q と H の関係式を導出しなさい。なお，一般に流路断面1および2における流体の流速を U_1 ， U_2 ，圧力を p_1 ， p_2 ，基準面からの鉛直方向距離を z_1 ， z_2 とした場合のベルヌーイの式は以下で与えられる。

$$\frac{\alpha}{2} \rho U_1^2 + \rho g z_1 + p_1 = \frac{\alpha}{2} \rho U_2^2 + \rho g z_2 + p_2$$

ここで， ρ は流体の密度を， g は重力加速度を表し，乱流の場合は $\alpha \approx 1$ である。

- (2) $D_0 = 10.0 \text{ mm}$ ， $H = 8.26 \text{ m}$ ， $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ の場合の Q を求めなさい。
- (3) 実際の水は粘性をもつため厳密にはベルヌーイの式は成立しない。図2.1に示すタンク側面の穴から水が流出する場合において，水の粘性による影響が著しく現れる場所を答え，なぜその場所で影響が現れるのか説明しなさい。
- (4) 液面高さ H が同じ場合，粘性流体と非粘性流体ではどちらの Q の値が小さくなるか，その理由とともに答えなさい。

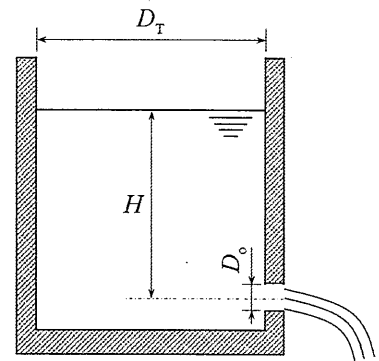


図2.1 側面に穴が空いたタンクからの水の流出

専攻名 自然システム学専攻(化学工学コース)(一般選抜)

試験科目名 専門科目
②移動現象論(流体力学, 伝熱工学)

P. (3/6)

問2 図2.2に示すように, 厚さ L , 熱伝導率 k の非常に大きな平板状ヒーターの右側面に, 厚さ δ , 熱伝導率 k_a の保護板が貼り付けてある。平板状ヒーターは単位体積あたり \dot{Q}_v の一定速度で一様に発熱しており, その左側面は完全に断熱されている。また, 保護板の右側面は, 温度 T_∞ の流体によって熱伝達率 h で冷却されている。定常状態における熱移動に関する以下の設問(1)~(4)に答えなさい。ただし, 平板状ヒーターと保護板の接触熱抵抗は無視でき, 両者の熱伝導率は温度によらず一定とする。また, 平板状ヒーターと保護板内の熱移動はそれぞれの厚み方向のみに起こると仮定する。

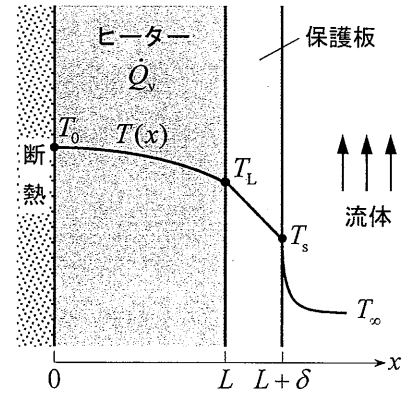


図2.2 平板状ヒーターと保護板における熱移動

- (1) この場合の対流熱伝達流束を q として保護板の右側面温度 T_s を表す式を示しなさい。また, 平板状ヒーターと保護板の境界面温度 T_L を q , δ , k_a および T_s を用いて表しなさい。
- (2) 平板状ヒーターの左側面から厚み方向に x 軸をとり, 定常状態におけるヒーター内部の温度分布 $T(x)$ に関する微分方程式を導出しなさい。
- (3) 平板状ヒーターと保護板の境界面温度を T_L として, (2)の微分方程式を解くことで $T(x)$ を得なさい。さらに, 平板状ヒーター内の熱流束 $q(x)$ を表す式を求めなさい。
- (4) $L=30.0$ mm, $k=73.6$ W m⁻¹ K⁻¹, $\dot{Q}_v=2.00\times 10^6$ W m⁻³, $\delta=10.0$ mm, $k_a=16.5$ W m⁻¹ K⁻¹, $h=870$ W m⁻² K⁻¹, $T_\infty=25.0$ °Cのとき, 平板状ヒーターの左側面温度 T_0 , T_L および T_s をそれぞれ計算しなさい。

専攻名 自然システム学専攻(化学工学コース)(一般選抜)

試験科目名 専門科目
③化学反応速度論・反応工学

P.(4/6)

III 以下の問1～問3に答えなさい。

問1 成分Aの600Kでの分解反応 $A \rightarrow B + C$ について、反応時間 t [s]に対して $\ln(C_A / C_{A0})$ をプロットしたところ、傾きが $-3.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の直線が得られた。ここで、 C_{A0} [mol m⁻³]は成分Aの反応前の濃度、 C_A [mol m⁻³]は成分Aの反応時間 t での濃度である。以下の設問(1)、(2)に答えなさい。

(1) この反応の速度 r [mol m⁻³ s⁻¹]が、以下のように成分Aの一次速度式で表されるとする。

$$r = k_r C_A \quad (k_r \text{ [s}^{-1}\text{]: 速度定数})$$

このとき、成分Aの反応時間 t [s]での濃度 C_A [mol m⁻³]を成分Aの反応前の濃度 C_{A0} [mol m⁻³]、速度定数 k_r [s⁻¹]および反応時間 t [s]で表しなさい。

(2) この反応の速度定数 k_r 、半減期 $t_{1/2}$ および時定数 τ の値を求めなさい。有効数字は2桁とする。

問2 硝酸HNO₃の気相熱分解反応 $\text{HNO}_3(\text{g}) \rightarrow \text{OH}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g})$ の反応速度 r は、以下のように表される。

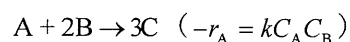
$$r = k_r C_{\text{HNO}_3} \quad (r \text{ [mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}\text{]: 反応速度, } k_r \text{ [s}^{-1}\text{]: 速度定数, } C_{\text{HNO}_3} \text{ [mol m}^{-3}\text{]: HNO}_3 \text{ の濃度})$$

このとき、400Kと1000Kで反応速度を測定し、速度定数を求めたところ、400Kのとき $9.30 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ 、1000Kのとき $4.44 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ となった。以下の設問(1)、(2)に答えなさい。

(1) 速度定数 k_r の温度依存性がアレニウスの式に従うとしたとき、活性化エネルギー E_a および頻度因子(前指数因子) A の値を有効数字3桁で求めなさい。気体定数は $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

(2) 温度400Kにおいて、活性化エネルギーだけを変化させる作用を持つ触媒を加えたところ速度定数 k_r が100倍になった。このときの活性化エネルギーの低下率の値[%]を有効数字3桁で求めなさい。また、この触媒の効果を表した反応座標と成分のポテンシャルエネルギーの定性的な関係図(横軸に反応座標、縦軸に反応物または生成物のポテンシャルエネルギーを表した図)を示しなさい。

問3 連続槽型反応器を一台用いて等温条件下記の液相不可逆2次反応を行う。



ここで、 r_A [mol m⁻³ min⁻¹]は反応速度、 k [m³ mol⁻¹ min⁻¹]は反応速度定数、 C_A [mol m⁻³]および C_B [mol m⁻³]は反応液中のA、Bの濃度である。また、反応器入り口での成分Aおよび成分Bの濃度を C_{A0} [mol m⁻³]、 C_{B0} [mol m⁻³]、体積流量を v_0 [m³ min⁻¹]とする。以下の設問(1)～(4)に答えなさい。

(1) 反応器の体積を V [m³]、成分Aの最終転化率を x_{Af} [-]としたときの連続槽型反応器の設計方程式を答えなさい。

(2) C_A および C_B を、成分Aの最終転化率 x_{Af} と C_{A0} 、 C_{B0} を用いて表しなさい。

(3) $C_{A0} = 1.00 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$ 、 $C_{B0} = 6.00 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$ 、 $k = 5.00 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 、 $v_0 = 2.50 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ のときに成分Aの最終転化率を80.0%にしたい。必要な反応器体積 V の値を求めなさい。

(4) (3)の連続槽型反応器を同じ体積 V の管型反応器に変更した場合の最終転化率 x'_{Af} [-]を求めなさい。

令和3年度（10月期入学）及び令和4年度 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程入学試験
問題用紙

専攻名 自然システム学専攻（化学工学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目
④化学工学熱力学・物理化学 P. (5/6)

IV 以下の問1～問4に答えなさい。ただし、水の分子量は18.0、水の気圧下での融点は273.15 K、密度は $1.00 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ としなさい。また、気体定数は $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、プランク定数は $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ 、光速は $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ を用いなさい。

問1 シリンダーの内部が、質量180 gの液体の水で満たされており、ピストンは自由に動くとする。圧力 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ において加熱したところ、シリンダー内の水が全て蒸発した。この過程について、以下の設問(1)～(3)に答えなさい。ただし、水蒸気は完全気体として扱えるとする。

- (1) 水が全て蒸発したときの水蒸気の体積を求めなさい。
- (2) この過程において、水蒸気が外界にした仕事を求めなさい。
- (3) この過程における内部エネルギー変化を求めなさい。ただし、 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ における水の蒸発エンタルピーは、 40.6 kJ mol^{-1} とする。

問2 完全気体の混合に関する以下の設問(1)～(3)に答えなさい。

- (1) n_A モルの完全気体Aと n_B モルの完全気体Bを混合したとき、混合によるギブズエネルギーの変化量 $\Delta_{\text{mix}}G$ が

$$\Delta_{\text{mix}}G = (n_A + n_B)RT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$$

で表されることを示しなさい。ただし、 x_A および x_B は気体AおよびBのモル分率、 T は気体AおよびBの温度である。なお、圧力 p 、温度 T における完全気体の化学ポテンシャル μ は、標準化学ポテンシャル μ° を用いて

$$\mu = \mu^\circ + RT \ln p$$

で与えられることを用いなさい。

- (2) 圧力2.00 MPa、体積6.00 L、温度300 Kの水素と、圧力6.00 MPa、体積2.00 L、温度300 Kの窒素を混合したときのギブズエネルギーの変化量を求めなさい。ただし、水素と窒素は完全気体として扱えるとする。
- (3) 2つの完全気体の混合において、混合によるエントロピーの変化量が常に負であることを示しなさい。

令和3年度（10月期入学）及び令和4年度 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程入学試験
問題用紙

専攻名 自然システム学専攻（化学工学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目
④化学工学熱力学・物理化学 P. (6/6)

問3 温度 T , 圧力 p におけるクラペイロンの式は

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{trs}}S}{\Delta_{\text{trs}}V}$$

で与えられる。ここで、 $\Delta_{\text{trs}}S$ および $\Delta_{\text{trs}}V$ は、それぞれ相転移におけるエントロピーおよび体積の変化量である。クラペイロンの式に関する以下の設問(1), (2)に答えなさい。

(1) クラペイロンの式から、固液共存線上における温度 T と圧力 p の関係

$$p = p_0 + \frac{\Delta_{\text{fus}}H}{\Delta_{\text{fus}}V} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

が成り立つことを示しなさい。ただし、 T_0 は圧力 p_0 における融点、 $\Delta_{\text{fus}}H$ は融解エンタルピー、 $\Delta_{\text{fus}}V$ は融解におけるモル体積の変化量である。

(2) 圧力 1.00 GPa における氷の融点を求めなさい。ただし、氷の融解エンタルピーは 6.01 kJ mol^{-1} 、氷の密度はそれぞれ 917 kg m^{-3} である。水および氷の密度は温度および圧力によらず一定とする。

問4 x 軸上を自由に動く質量 m の粒子が、無限に高い2つの壁 ($x=0$ および $x=L$) の間に閉じ込められているときについて、以下の設問(1), (2)に答えなさい。なお、シュレディンガーの波動方程式は、波動関数を ψ , ポテンシャルを $V(x)$, 粒子のもつエネルギーを E とすると、

$$\left[-\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right] \psi = E\psi$$

で与えられる。ただし、 \hbar はプランク定数である。

(1) $0 < x < L$ の領域におけるシュレディンガーの波動方程式の一般解は、 A, B, k を定数として、以下のよう表すことができる。

$$\psi = A \cos kx + B \sin kx$$

シュレディンガー方程式、境界条件および規格化条件を用いて、 A, B, k の値を決定し、規格化された波動関数を求めなさい。また、粒子のもつエネルギー $E (> 0)$ が

$$E = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2}$$

で与えられることを示しなさい。ただし、量子数 n は自然数である。

(2) この粒子が光子を吸収して、 $n=1$ から $n=2$ のエネルギー準位へ遷移した。このとき吸収された光子の波長を求めなさい。ただし、壁の間隔は $L=0.100 \text{ nm}$, 粒子の質量は $m=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ とする。