令和2年度（10月期）及び令和3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 ①基礎数学	P. 1／6

【1】以下の問1，問2に答えなさい。

問1．以下の微分方程式を解き，一般解を求めなさい。

（1） $\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}x^2}=\cos x$

（2） $\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}x^2}+\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}=0$

問2． 以下の問いに答えなさい。

（1） 以下の行列 A の固有値と規格化された固有ベクトルを求めなさい。

$$A=\begin{bmatrix} -2 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$$

（2） 行列 A を対角化しなさい。

（3） 以下の連立微分方程式を解き，一般解を求めなさい。ただし，$x(0)=y(0)=0$ とする。

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}^2x(t)}{\mathrm{d}t^2}=y(t)-2x(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}^2y(t)}{\mathrm{d}t^2}=x(t)-2y(t) \end{cases}$$

令和2年度(10月期)及び令和3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 ②工業数学	P. 2／6

【2】以下の問1，問2に答えなさい。

問1． 厚さ L [m]の板状の媒体中に，片面から反応物質Aが拡散し，反応により消費される。この媒体中の体積あたりの物質Aの濃度を C [kg m^{-3}]，物質Aの拡散係数を D [m^2 s^{-1}]，反応が一次で進行するとし，速度定数を k [s^{-1}]とする。境界条件を $z=0$ で $C=C_0$，$z=L$ で $\partial C/\partial z=0$ とする。拡散は z 方向の1次元とし，拡散によるフラックスは次のように表されるとする。

$$N_A=-D\frac{\partial C}{\partial z}$$

（1） 微小区間 $(z,\ z+\mathrm{d}z)$ における物質収支から，定常状態における濃度分布に関する微分方程式を導出しなさい。

（2） （1）で求めた微分方程式を C_0，L を用いて無次元化しなさい。ただし，無次元化濃度を u，無次元化距離を ξ としなさい。

（3） 無次元化した微分方程式を与えられた境界条件のもとで解きなさい。

問2． 繰り返し実験を行い，以下の5つのデータが得られた。

10.2，9.8，7.5，11.2，13.0

（1） 不偏分散を求めなさい。

（2） 95%信頼区間（エラーバー）を求めなさい。ただし自由度4の t 分布の上側2.5%点の値は2.776とする。

令和2年度(10月期)及び令和3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 ③基礎化学	P. 3／6

【3】以下の問1，問2に答えなさい。

問1．以下の（1），（2）に答えなさい。

（1）以下は異性体に関する記述である。空欄A～Fに当てはまる適切な用語を，［　　］の中から選択しなさい。

［配置異性体，立体異性体，配座異性体，エナンチオマー，構造異性体，ジアステレオマー］

同じ分子式をもちながら，異なる化合物を互いに異性体であるという。異性体には，原子の結合順序が異なる（　A　）と空間的な配置だけが異なる（　B　）がある。（　B　）のうち，単結合まわりの回転によって生じる立体的な構造の違いに由来する異性体を（　C　）といい，室温では回転に基づく非常に速い相互変換によって平衡状態になっており，個々の異性体として単離することは難しい。これに対して，結合の切断が起こらないと互いに変換できず，単離可能な（　B　）を（　D　）という。（　D　）には，互いに重ね合わせることができない鏡像関係にある（　E　），鏡像関係にない異性体である（　F　）がある。

（2）C_4H_8の分子式をもつ有機化合物には6種類の異性体がある。このうち，Fの関係にある2つの化合物の化学構造式を示しなさい。

問2．化合物AとBの間の可逆反応（A ⇄ B）を考える。反応次数を1次として，AからBを生じる反応（正反応）の速度定数をk_1，その逆反応の速度定数をk_2とする。反応初期，任意の時間t，平衡状態における化合物Xの濃度をそれぞれ$[X]_0$, [X], $[X]_{eq}$とする。ここで，XはAもしくはBである。以下の（1）～（3）に答えなさい。

（1）[A]に関する反応速度式（微分形）を示しなさい。

（2）時間tにおけるAの濃度と平衡時のAの濃度の差をxと定義したとき，xに関する微分方程式を示しなさい。

（3）$[A]_0$, $[A]_{eq}$, k_1およびk_2を用いて，[A]を表しなさい。

令和2年度(10月期)及び令和3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プロセス工学１	P. 4／6

【４】 以下の問１～問３に答えなさい。

問１．圧力一定のもと，温度 378 K における次の反応の標準反応エンタルピーを求めなさい。

$$C\,(s,\text{グラファイト}) + H_2O\,(g) = CO\,(g) + H_2\,(g)$$

各成分の 298 K での標準生成エンタルピー $\Delta_f H^\circ$ およびモル定圧熱容量 $C_{p,m}^\circ$ は以下のとおりである。ただし，モル定圧熱容量は温度によらず一定とする。

	C (s,グラファイト)	H_2O (g)	CO (g)	H_2 (g)
$\Delta_f H^\circ$ [kJ mol^{-1}]	—	−241.82	−110.53	—
$C_{p,m}^\circ$ [J mol^{-1} K^{-1}]	8.527	33.58	29.14	28.824

問２．完全気体 1 mol を以下の４つのプロセスによりサイクル変化を行った。各プロセスで系が得た熱と仕事，および各プロセスでの内部エネルギー変化をそれぞれ求めなさい。ただし，完全気体のモル定圧熱容量 $C_{p,m} = 30.0$ J mol^{-1} K^{-1}，モル定容熱容量 $C_{V,m} = 21.7$ J mol^{-1} K^{-1}，気体定数 $R = 8.314$ J mol^{-1} K^{-1} とする。なお，モル定圧熱容量，モル定容熱容量は温度によらず一定とする。

（１）温度一定 (600 K) で 500 kPa から 400 kPaまで可逆的に膨張させる。

（２）断熱状態で 400 kPa から 300 kPa まで可逆的に膨張させる。

（３）圧力一定（300 kPa）で 360 K まで冷却する。

（４）体積一定で 600 K まで加熱する。

問３．ギブズーヘルムホルツの式について以下の問いに答えなさい。

ギブズエネルギー G はエンタルピー H，エントロピー S，温度 T を用いて定義され $G =$（ア）となり，ギブズエネルギーの微小変化は温度 T，圧力 p，体積 V，およびエントロピー S を用いて $dG =$（イ）で表される。圧力一定の下で $\left(\partial G/\partial T\right)_p$ を G，H，T で表すと，$\left(\partial G/\partial T\right)_p =$（ウ）の関係式が得られる。

（１）（ア）～（ウ）に関係式を記入しなさい。

（２）次の関係式 $\left\{\dfrac{\partial}{\partial T}\left(\dfrac{G}{T}\right)\right\}_p = \dfrac{1}{T}\left\{\left(\dfrac{\partial G}{\partial T}\right)_p - \dfrac{G}{T}\right\}$ を用いて，（１）の（ウ）から $\left\{\dfrac{\partial(G/T)}{\partial(1/T)}\right\}_p = H$ を導きなさい。

（３）上式でエンタルピー変化が温度によらないと仮定するとき，ギブズエネルギー変化と温度の関係について図示して説明しなさい。

令和2年度（10月期）及び令和3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 ⑤プロセス工学２	P. 5／6

【５】以下の問１，問２に答えなさい。

問１．エチレンの直接水和反応（$C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$）によってエタノールを製造するために下図に示すプロセスを用いる。このプロセスの反応器では，エチレンの 1 回通過あたりの転化率が5.50%であるため，図のように反応器の下流に凝縮器を設置して未反応のエチレンのみを完全に分離し，それを全て反応器上流にリサイクルしている。いま，エチレンと水蒸気の２成分混合原料（エチレン濃度 10.0 mol%）を 1.50 kmol h^{-1} で供給するとき，①リサイクルされるエチレンのモル流量 [kmol h^{-1}]，②反応器入口でのエチレン濃度[mol%]および③凝縮器から排出されるエタノール水溶液の組成をそれぞれ求めなさい。

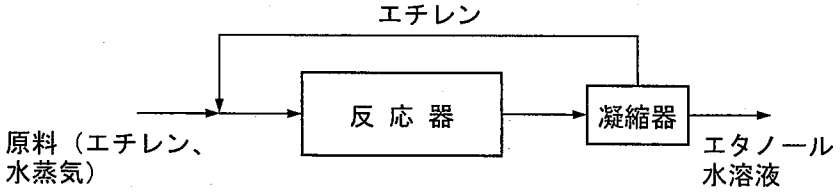

図　エチレンの直接水和プロセス

問２．非圧縮性ニュートン流体が，右図に示すように距離 B 離れた二つの平板の間を流れており，上の平板は $+x$ 方向に速度 V で移動して流体をけん引している。また，一定の圧力勾配 $\partial p/\partial x$ が流体に作用している。流体の流速は非常に遅く粘性発熱は無視でき，重力の影響も無視できる。そして，y 方向と z 方向の流速は無視でき，x 方向の流速の時間変化はないと仮定して以下の（１），（２）の問いに答えなさい。

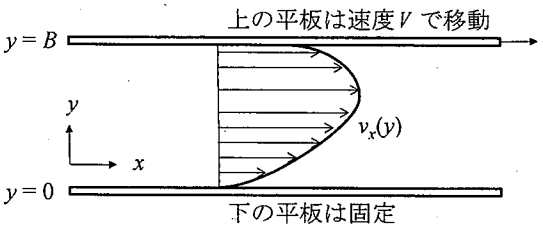

図　平板間を流れる流体の速度分布

（１）流体の運動方程式の x 成分は次式で与えられる。問題文から読み取れる仮定にしたがって与式の項を削除して，x 方向の流速 v_x に関する常微分方程式を求めなさい。

$$\rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial t}+v_x\frac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_x}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)=\mu\left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}\right)-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g_x$$

ここで，v_x，v_y，v_z はそれぞれ x，y，z 方向の流速，ρ は密度，μ は粘度，p は圧力，g_x は x 方向の重力加速度を表す。

（２）問題文から読み取れる境界条件の下で，（１）の常微分方程式を解き，v_x の y 方向速度分布を表す式を求めなさい。

令和2年度（10月期）及び令和3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 ⑥反応工学	P. 6／6

【6】以下の問1，問2に答えなさい。

問1．液相一次反応（$-r_A = kC_A$，r_A：反応速度，k：反応速度定数，C_A：成分Aの濃度）を連続槽型反応器（CSTR）と管型反応器（PFR）を用いて，同一温度Tおよび同一の体積流量v_0で行う。これらの2種の連続式反応器の転化率x_Aが同じであるためには，CSTRの体積V_CはPFRの体積V_Pの何倍になるか転化率x_Aを用いて表しなさい。また，転化率x_Aが80%の場合，CSTRの体積V_CはPFRの体積V_Pの何倍になるか求めなさい。なお，有効数字は2桁とする。

問2．次の素反応から構成される単一反応 2A + B → C の反応速度式rを定常状態近似法および律速段階近似法により求めなさい。この際，それぞれの方法が利用可能な条件や仮定を記述しなさい。

$$\text{素反応}\begin{cases} A + A \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} R^* & \cdots (a) \\ B + R^* \xrightarrow{k_3} C & \cdots (b) \end{cases}$$

ここで，R^*は活性中間体である。また，k_1，k_2およびk_3は反応速度定数である。