受験番号	

2024 年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程

一般入試 (応用化学専攻) 試験問題

専門科目 (三) 化学工学

問題・解答用紙　その 1 ～ その 9

注意事項：

１．試験中は，試験監督の指示に従うこと．
　　従わない場合は，不正行為と見なすことがあります．
２．解答開始の合図があるまで，この冊子を開かないこと．
３．この冊子を綴じているステープラー (ホッチキス) の針を外してはいけません．
４．「学生募集要項」で持ち込みが認められたもの以外は，机の上に置かず，カバンの中にしまうこと．
５．時計のアラーム，時報，目覚まし音の設定をしている人は解除してください．
６．携帯電話・スマートフォン等の電子機器類を時計として使用することはできません．
　　これらを持っている場合は，アラームを設定している人は解除し，必ず電源を切ってから，カバンの中にしまうこと．
　　アラームの解除の仕方が分からない場合は，監督者に申し出ること．
　　計時機能以外の機能が付いた時計の使用は認めません．
　　試験時間中にこれらの機器に触れている場合もしくは机の上あるいは中に置かれていた場合は，不正行為と見なすことがあります．
７．カバンなどの持ち物は，椅子の下に置くこと．
８．机の下の物入れは，使用しないこと．
９．答案は，黒鉛筆またはシャープペンシルで解答すること．
10．答案は，問題・解答用紙の所定の解答欄に解答すること．
11．試験時間中に質問等がある場合は，手を挙げて試験監督に申し出ること．
12．試験途中の退室は認めません．
　　ただし，トイレに行きたい場合や気分が悪くなった場合は，手を挙げて試験監督に申し出てください．
13．解答開始の合図の後，まず，問題・解答用紙の所定欄すべてに，受験番号を記入すること．
14．配布した用紙 (問題・解答用紙) は，試験時間終了後にすべて回収します．持ち帰ることはできないので，注意すること．

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その１）

I 以下の問いに答えなさい．解答は化学工学（その2）の解答欄に記入しなさい．

図１のように水平に設置した平行平板（長さL，奥行きW，間隔$2h$）間に，粘度μおよび密度ρが一定の流体をx軸方向に流す．流れが完全発達かつ定常の層流と見なせ，手前および奥の壁の影響は無視できるとき，z軸方向に移動するx軸方向の運動量流束をM_{zx}とすると，微小区間$(z \sim z + \mathrm{d}z)$における運動量収支式はx軸方向の圧力損失ΔPを用いて式(1)で与えられる．

$$WLM_{zx}|_z + W\mathrm{d}z\,\Delta P = WLM_{zx}|_{z+\mathrm{d}z} \qquad (1)$$

運動量流束はx軸方向速度成分のz軸方向勾配と粘度の積であり，これは（ A ）と呼ばれる．さらに，以下の二つの境界条件を用いて，式(1)を解けば，平行平板間の速度分布u_1が式(2)で得られる．

境界条件1　　$z = 0$で，（ B ）がゼロ

境界条件2　　$z = h$で，（ C ）がゼロ

$u_1 =$　　（ ① ）　　(2)

ここで，平行平板間の体積流量は，式(3)の定義に従い求められる．

$$Q_1 = \int_{-h}^{h} u_1 W\mathrm{d}z = \quad （ ② ） \qquad (3)$$

また，体積流量Q_1を流路断面積で除することで断面平均速度V_1が求められる．従って，平行平板間最大速度は断面平均速度の（ D ）倍であることがわかる．

次に，図２のように水平に設置した円管（内径$2R$，長さL）に同じ流体を流し，完全発達かつ定常の層流とみなせる場合を考える．r軸方向に移動するx軸方向の運動量流束をM_{rx}としたとき，微小区間$(r \sim r + \mathrm{d}r)$における運動量収支式は，x軸方向の圧力損失ΔPを用いて次のように記述できる．

$$(\quad ③ \quad)M_{rx}|_r + (\quad ④ \quad)\Delta P = (\quad ⑤ \quad)M_{rx}|_{r+\mathrm{d}r} \qquad (4)$$

平行平板と同様に，<u>円管内の速度分布u_2および体積流量Q_2</u>を求めると，円管内最大速度が断面平均速度V_2の（ E ）倍であることがわかる．

問１　問題文中の空欄（A）～（E）に適切な用語・数値を答えなさい．
問２　空欄（①）～（⑤）に相当する式を答えなさい．
問３　下線部の円管内の速度分布および体積流量を答えなさい．
問４　平行平板間および円管内の壁面における速度勾配を，断面平均速度（V_1もしくはV_2）と代表長さ（hもしくはR）を用いて表しなさい．

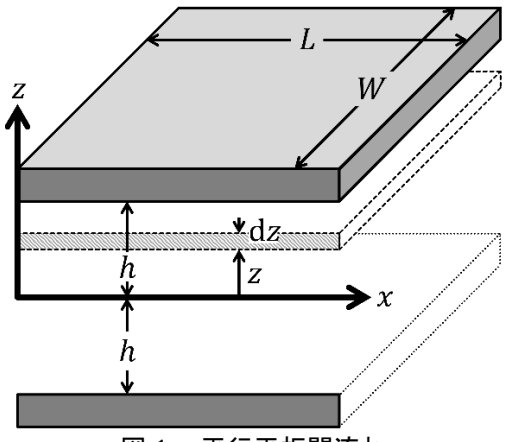


図１　平行平板間流れ

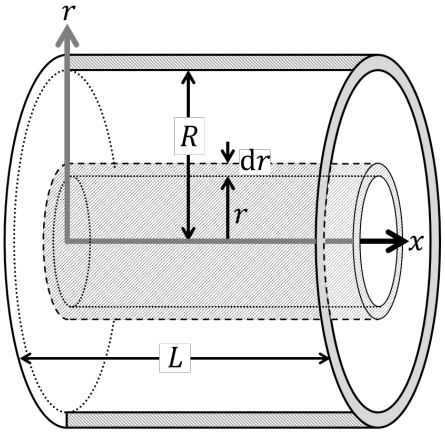


図２　円管内流れ

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その２）	

I 解答欄

問１	A		B			
	C		D		E	
問２	①		②			
	③		④		⑤	
問３	速度分布		体積流量			
問４	平行平板		円管			

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その３）

II 以下の問いに答えなさい．解答は化学工学（その４）の解答欄に記入しなさい．

水中の溶質（フェノール）を，球形吸着剤A，B，およびC（各々，初期吸着量q_0 ＝ 0 mol·m^{-3}）を用いて回分吸着する．吸着剤A，B，およびCとも，半径Rは150 μm，1個あたりの体積は1.4×10^{-11} m^{3}である．

予備実験にて吸着剤AとBの吸着平衡データを測定したところ，表１および表２の結果が得られた．

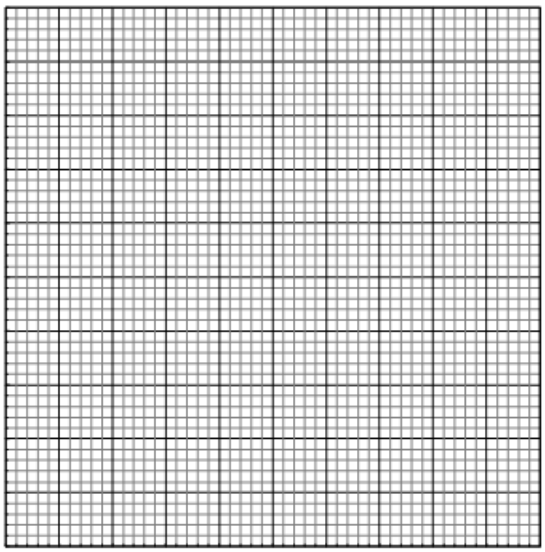
表１ 吸着剤Aのフェノール吸着平衡データ

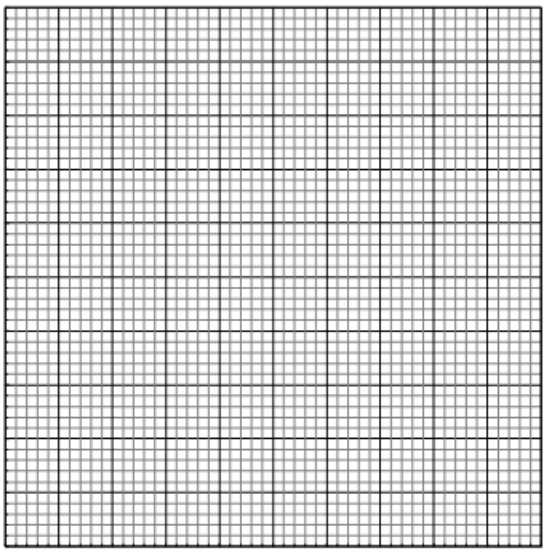
吸着量 $q_{A,eq}$ [mol·m^{-3}]	2000	5000	8000	8333	9091
溶液濃度 C_{eq} [mol·m^{-3}]	0.05	0.2	0.8	1	2

表２ 吸着剤Bのフェノール吸着平衡データ

吸着量 $q_{B,eq}$ [mol·m^{-3}]	25	100	400	500	1000
溶液濃度 C_{eq} [mol·m^{-3}]	0.05	0.2	0.8	1	2

また，これらの吸着剤A，B，およびCへのフェノールの吸着過程は粒子内拡散律速であり，フェノールの粒子内有効拡散係数D_{eff}は，$D_{eff}=1.5\times10^{-12}$ m^2·s^{-1}であった．これらの吸着剤を各々1000個用い，溶液量V＝140 cm^3，フェノールの初期濃度C_0＝1.0 mol·m^{-3}の溶液からのフェノールの回分吸着操作を行った．以下の問１～３に答えなさい．なお，下のグラフ用紙は自由に使っても良い．





問１ (１) 吸着剤Aについて，吸着等温式（$q_{A,eq}$とC_{eq}の関係式）を示しなさい．

(２) 吸着剤Bについて，吸着等温式（$q_{B,eq}$とC_{eq}の関係式）を示しなさい．

＜問題は裏面に続きます＞

問２ (１) 吸着剤Cについて，吸着等温式は $q_{C,eq} = 1000C_{eq}$ で記述できる．この吸着剤Cを用いた場合について，吸着平衡になった際の吸着量[mol·m^{-3}]と水中フェノール濃度[mol·m^{-3}]をそれぞれ求めなさい（有効数字2桁）．

(２) 吸着平衡到達率が90%になるのに何秒かかるか求めなさい（有効数字2桁）．なお，吸着平衡到達率$F(t)$は時間の関数であり，式(1)で定義する．また，線形推進力近似モデルを適用する際に総括物質移動容量係数は$(15/R^2)D_{eff}$と近似しても良く，その吸着速度式は式(2)で表されるとする．

$$F(t) = \frac{\bar{q}}{q_{C,eq}} \times 100 \ (\%) \qquad (1)$$

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = \frac{15}{R^2} D_{eff}(q_s - \bar{q}) \qquad (2)$$

ただし，$\bar{q}$ [mol·m^{-3}]はフェノールの平均吸着量，q_s [mol·m^{-3}]は吸着剤表面における吸着量を表す．

問３ 吸着剤Cにより吸着平衡到達率が90%になったときに，吸着剤Aを1000個添加し，十分な時間撹拌することで吸着平衡に至らしめた．吸着平衡に至ったときの吸着剤Aのフェノール吸着量[mol·m^{-3}]，吸着剤Cのフェノール吸着量[mol·m^{-3}]，および水中フェノール濃度[mol·m^{-3}]をそれぞれ求めなさい（有効数字2桁）．

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）：　化学工学（その４）	

II 解答欄

<table>
<tr><td rowspan="2">問１</td><td colspan="2">(１)</td></tr>
<tr><td colspan="2">(２)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">問２</td><td colspan="2">(１)</td></tr>
<tr><td>吸着量
$mol \cdot m^{-3}$</td><td>水中フェノール濃度
$mol \cdot m^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">(２)
秒</td></tr>
<tr><td rowspan="4">問３</td><td>吸着剤Aのフェノール吸着量</td><td>吸着剤Cのフェノール吸着量</td></tr>
<tr><td>$mol \cdot m^{-3}$</td><td>$mol \cdot m^{-3}$</td></tr>
<tr><td>水中フェノール濃度</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>$mol \cdot m^{-3}$</td></tr>
</table>

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その５）

III 以下の問いに答えなさい．解答は化学工学（その７）の解答欄に記入しなさい．

水溶液中の化合物Aが不可逆一次反応により消費される反応を考える．この反応による水溶液の体積変化，密度変化，温度変化は起こらないとする．このとき，以下の問１～３に答えなさい．

問１ 次の文中のア～カにあてはまる数式を答えなさい．

図１のように，体積V_0の完全混合槽がn個，直列につながった連続反応器で，Aが濃度C_{A0} [mol·m^{-3}]で溶解した水溶液を第1槽に体積流量v [m^3·s^{-1}]にて連続的に供給する．ここで，各槽を連結している配管内における水溶液の滞留時間は極めて短く，配管内における反応の進行は無視できるものとする．

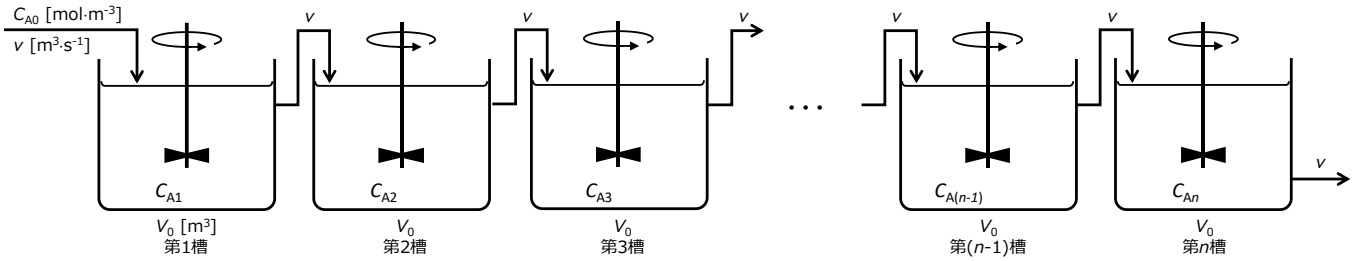


図１ n槽直列完全混合槽型反応器の概略図

十分な時間が経過し，定常状態になったときの第1槽から流出する水溶液中のAの濃度をC_{A1} [mol·m^{-3}]とすると，第1槽における反応によるAの消失速度 $-r_{A1}$ [mol·m^{-3}·s^{-1}]は，反応速度定数 k [s^{-1}]およびC_{A1}を用いて，

$$-r_{A1} = -\frac{\mathrm{d}C_{A1}}{\mathrm{d}t} = \boxed{\quad\text{ア}\quad} \qquad (1)$$

と書ける．従って，第1槽へのAの流入速度，第1槽からのAの流出速度，および第1槽における反応によるAの消失速度に対する物質収支より，C_{A1}はk, V_0, v, C_{A0}を用いて次の式で書き表すことができる．

$$C_{A1} = \boxed{\quad\text{イ}\quad}\cdot C_{A0} \qquad (2)$$

同様に，第2槽からの流出液中のAの濃度C_{A2} [mol·m^{-3}]は，

$$C_{A2} = \boxed{\quad\text{イ}\quad}\cdot C_{A1} = \boxed{\quad\text{ウ}\quad}\cdot C_{A0} \qquad (3)$$

と書ける．従って，n個の完全混合槽が直列につながった反応器で，全ての反応槽の総体積がV_t [m^3]ならば，第n槽からの流出液中のAの濃度C_{An} [mol·m^{-3}]は，k, V_t, v, C_{A0}, nを用いて次の式で書き表すことができる．

$$C_{An} = \boxed{\quad\text{エ}\quad}\cdot C_{A0} \qquad (4)$$

$\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{X}{n}\right)^n = \exp X$ の関係を用いて変形すると，無限個の完全混合槽が直列につながった反応器の出口から流出する水溶液中のAの反応率x_Aは，

$$x_A = \boxed{\quad\text{オ}\quad} \qquad (5)$$

と書ける．従って，n槽直列完全混合槽型反応器内における空間時間τ [s]とx_Aに以下の関係式(6)が得られる．

$$\tau = \boxed{\quad\text{カ}\quad} \qquad (6)$$

＜問題は裏面に続きます＞

問２　図２に示すような体積V_0 [m³]の管型反応器内の体積ΔV [m³]の微小区間における物質収支を考える．ここで，F_{A0} [mol·s⁻¹]は管型反応器に供給されるAのモル流量，v [m³·s⁻¹]は供給液の体積流量，$F_A(V)$ [mol·s⁻¹]は微小区間に流入するAのモル流量，$F_A(V+\Delta V)$ [mol·s⁻¹]は微小区間から流出するAのモル流量，F_{Af} [mol·s⁻¹]は管型反応器から流出するAのモル流量である．

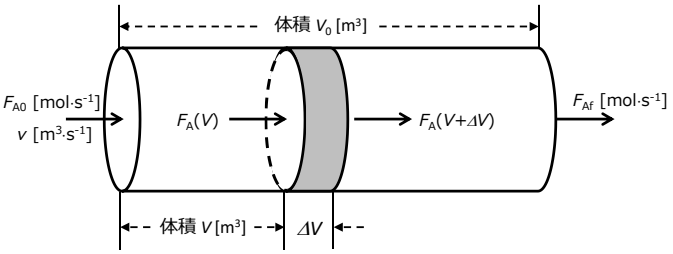


図２　管型反応器の概略図

次の文中のキおよびクには下記選択肢から妥当なものを選んで答えなさい．

選択肢

F_{A0} ，　$F_A(V)$ ，　$F_A(V+\Delta V)$ ，　F_{Af}

また，ケ～シにはあてはまる数式を答えなさい．

定常状態になったときの微小区間へのAの流入速度，微小区間からのAの流出速度，および微小区間内での反応によるAの消失速度$-r_A$を考えることで，微小区間におけるAの物質収支式は以下のように書き表せる．

［キ］（流入速度）＝［ク］（流出速度）＋［ケ］（Aの反応速度）　(7)

ここで，$F_A(V+\Delta V)$は，Taylor展開し，第2項までで近似することにより，以下のように記述できる．

$$F_A(V+\Delta V) \cong F_A(V) + \frac{dF_A}{dV}\cdot\Delta V \qquad (8)$$

従って，r_Aは，

$$r_A = \frac{dF_A}{dV} \qquad (9)$$

と書ける．一方，流通反応器内の任意位置におけるAの反応率x_AはF_{A0}とF_Aを用いて，

$x_A =$［コ］　(10)

と書けるので，式(10)を式(9)に代入し，$F_{A0} =$［サ］で書き表せるF_{A0}とC_{A0}の関係を適用することにより，式(9)は以下のように書き換えることができる．

$$-r_A = C_{A0}\cdot v\cdot\frac{dx_A}{dV} \qquad (11)$$

式(11)を$V = 0$において$x_A = 0$，および$V = V_0$において$x_A = x_A$の条件のもとで積分することで空間時間τ [s]とx_Aの関係として式(12)が得られる．

$\tau =$［シ］　(12)

＜問題は化学工学（その６）に続きます＞

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その６）

問３ 図３のような2槽連結完全混合槽型反応器を設計した．2つの完全混合槽をつなぐ配管は半径6.0 cm，長さL [m]の円筒管であり，この配管内を溶液は押出流れで移動する．

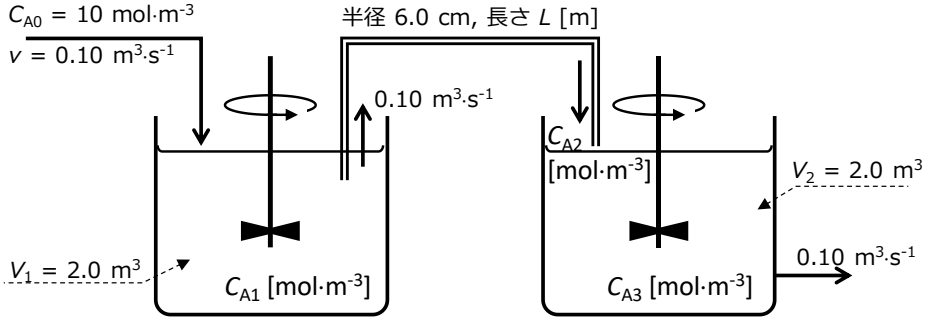


図３ 2槽連結完全混合槽型反応器の概略図

この反応器にAが10 mol·m^{-3}の濃度で溶解した水溶液を体積流量0.10 m^3·s^{-1}で供給する．第1槽の溶液体積V_1および第2槽の溶液体積V_2はともに2.0 m^{3}である．なお，反応器の温度は入口から出口まで303 Kに保たれており，この温度におけるAの反応速度定数kは0.10 s^{-1}である．

定常状態になったときの反応器出口から流出する溶液中のAの濃度C_{A3} [mol·m^{-3}]が$C_{A3} = (1/10)\cdot C_{A0}$であった場合，第1槽内の溶液中のAの濃度$C_{A1}$ [mol·m^{-3}]，第2槽に流入する溶液中のAの濃度C_{A2} [mol·m^{-3}]，および2つの完全混合槽をつなぐ配管の長さL [m]を求めなさい（有効数字2桁）．

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その７）	

III 解答欄

問1	ア		イ		ウ	
	エ		オ		カ	
問2	キ		ク		ケ	
	コ		サ		シ	

問3	第1槽内の溶液中のAの濃度C_{A1}	第2槽に流入する溶液中のAの濃度C_{A2}
	$mol \cdot m^{-3}$	$mol \cdot m^{-3}$
	配管の長さL	
	m	

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）： 化学工学（その８）

Ⅳ 以下の問いに答えなさい．解答は化学工学(その9)の解答欄に記入しなさい．

問１ 酵素の使用にかかわらず，同じ基質から同じ生成物が得られる反応がある．この反応において，酵素を用いた反応であてはまるものを，以下からすべて選び記号で答えなさい．反応条件は酵素反応に適用される一般的な条件とする．

(あ) 平衡定数は変化する
(い) 活性化エネルギーは小さくなる
(う) 反応速度定数は変化しない
(え) 反応熱は減少する
(お) 反応速度は速くなる

問２ 酵素の活性化エネルギーの解析に関する以下の問いに答えなさい．

（１） 反応速度定数kと活性化エネルギーE_aの関係式の名称を答えなさい．

（２） 上記（１）の関係式を示し，活性化エネルギーを求める解法について解答欄のグラフを用いて説明しなさい．そして，化学触媒を用いる場合との違いについても，解答欄のグラフ中に併せて図示し，説明しなさい．なお，説明で必要なパラメーターは定義して用いてよい．

問３ 以下の*Michaelis-Menten*の式に従う１基質１生成物の酵素反応を考える．なお，酵素はE，基質はS，そして生成物はPで表し，k_{+1}，k_{-1}，k_{+2} は各反応の反応速度定数とする．以下の問いに答えなさい．

$$\mathrm{E} + \mathrm{S} \underset{k_{-1}}{\overset{k_{+1}}{\rightleftarrows}} \mathrm{ES} \xrightarrow{k_{+2}} \mathrm{P}$$

（１） 酵素と基質より生成物の反応速度V [mM･min^{-1}]を表す式を擬定常状態法（定常状態近似法）にて導出しなさい（過程も示すこと）．ただし，酵素，基質，生成物，酵素全量の濃度はそれぞれC_E, C_S，C_P，C_{E0} とし，最大反応速度はV_{max} [mM･min^{-1}]，ミカエリス定数はK_m [mM]として定義し，説明しなさい．

（２） 最大反応速度V_{max}，ミカエリス定数K_mを求める際の実験手順を以下の語句を全て用いて詳しく記述しなさい．実験手法に加えて，最大反応速度V_{max}，ミカエリス定数K_mを求めるグラフに関し，反応速度式の変形を示し，*Lineweaver-Burk*プロットによる図解法を示し，説明しなさい．

語句 （ 初期基質濃度，検量線，切片，傾き，初速度 ）

（３） 速度論的パラメーターの導出法である*Eadie-Hofstee*プロット（x軸 V/C_S，y軸 V）に関して，式を導出し，図解法を示し，さらにその特徴を説明しなさい．

ここには答案を記入しないこと。

受験番号	

２０２４年度 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程一般入試（応用化学専攻）試験問題

専門科目（三）：　化学工学（その９）	

Ⅳ 解答欄

問１		
問２	（１）	
	（２）	
問３	（１）	
	（２）	[手順1] [手順2] [手順3] [手順4]
	（３）	

ここには答案を記入しないこと。