

# 2023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

（問題および解答用紙 その1～その10）

注意 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

化学工学配点 300 点

#### [注意事項]

- ・ 解答はじめの合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
- ・ この冊子は、この表紙1枚の他、問題および解答用紙10枚の合計11枚からなります。
- ・ 解答用紙は、計5枚あります。
- ・ 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を高く上げて監督者に知らせてください。
- ・ 解答用紙、問題冊子の所定欄に受験番号を必ず記入して下さい。
- ・ 異なる解答用紙に答案を記入すると採点されない場合があります。
- ・ 解答用紙には、解答に関係のない文字、記号、符号等を記入してはいけません。
- ・ 問題冊子の余白は自由に使って構いません。
- ・ 解答用紙、問題冊子はいずれも試験終了後に回収します。

2023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。

問1 図1に示したような、水平に置かれた円管内を流体が $x$ 方向に速度 $u(r)$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]で流れている。ここで $r$  [ $\text{m}$ ]は円管の中心から任意の位置までの距離とする。流体は、ニュートン流体で、十分に発達した層流とする。円管の半径を $R$  [ $\text{m}$ ]とし、流体の密度を $\rho$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]とし、粘度を $\eta$  [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]とする。流体中に円管と共通の中心軸を有し、半径 $r$ 、長さ $L$  [ $\text{m}$ ]の円柱状の区間を考える。この区間の上流側と下流側の圧力をそれぞれ、 $P_u$  [ $\text{Pa}$ ]、 $P_d$  [ $\text{Pa}$ ]とし、この圧力差を、 $\Delta P$  [ $\text{Pa}$ ] =  $P_u - P_d$  とする。

- (1) ニュートンによれば、流体にかかるせん断応力 $\tau$  [ $\text{Pa}$ ]とせん断速度 $\dot{\gamma}$  [ $\text{s}^{-1}$ ] =  $-\frac{du}{dr}$ には、 $\tau = \eta\dot{\gamma}$ の関係がある。ニュートン流体の特徴は、温度と圧力が一定の場合は、流体の粘度 $\eta$ が、せん断速度によらず( ① )ことである。①に入る言葉を書きなさい。
- (2) 図1に示した円柱状の区間を考え、 $r$  [ $\text{m}$ ]の位置におけるせん断応力 $\tau(r)$ を $\Delta P$ と $L$ を含んだ式で表しなさい。
- (3) 円管内の速度分布 $u(r)$ を求めなさい。
- (4) 円管内で、長さ $L$ 離れた区間の圧力差 $\Delta P$ を、断面平均流速 $u_m$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]と、円管の半径 $R$ を含んだ式で表しなさい。この関係式は、( ② )の法則と呼ばれる。②に入る言葉を書きなさい。

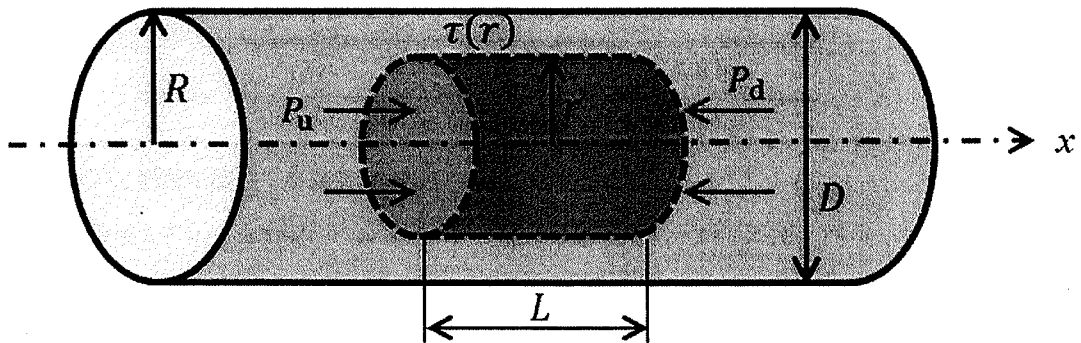


図1 水平に置かれた円管の模式図

2023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	(1)	①：
	(2)	
	(3)	
	(4)	
		②：

(解答欄は裏面にもあります)

2023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 以下の図1に示すような枝付きフラスコに A および B の二成分が混合した理想溶液を  $F_0 = 100 \text{ mol}$  仕込んだ。ここで、低沸点成分 A の初期モル濃度は 50.0 mol% (初期モル分率  $x_{A0} = 0.500$ ) である。ある時間におけるフラスコ内の A の液相のモル分率を  $x_A [-]$ 、気相のモル分率を  $y_A [-]$  として以下の間に答えなさい。解答は、化学工学(その4)の解答欄に記入しなさい。

問1 低沸点成分の平衡比と高沸点成分の平衡比の比を比揮発度(相対揮発度)  $\alpha [-]$  という。  $y_A$  を  $x_A$  と  $\alpha$  で表しなさい。

問2 ある時間におけるフラスコ内の二成分混合溶液の物質量を  $F [\text{mol}]$  とする。これが微少量  $dF [\text{mol}]$  減少したとき、フラスコ内の A のモル分率は  $dx_A$  変化するものとする。この時、減少前のフラスコ内の A の物質量は、変化後の物質量やモル分率により、以下の式[1]で表される。

$$F x_A = \text{_____} \quad [1]$$

式[1]を完成させなさい。

問3 上記の問2で求めた式[1]を解いて、フラスコ内液量  $F [\text{mol}]$  を求める式を導出しなさい。なお解答は、 $\ln\left(\frac{F}{F_0}\right) =$  で整理した式で書きなさい。ただし、 $y_A$  はそのまま用いて良い。また、計算の途中の微小項は無視してよい。式は、積分式の形で表しなさい。この式は、① の式と呼ばれる。①に入る言葉を書きなさい。

問4 上記の問3で求めた式を、問1で求めた  $y_A$  を用いて  $x_A$  の関数として表し、積分式を計算しなさい。なお解答は、 $\ln\left(\frac{F}{F_0}\right) =$  で整理した式で書きなさい。

問5 枝付きフラスコ内の A の濃度が 20.0 mol% となるまで単蒸留した。二成分混合液  $F_0 = 100 \text{ mol}$  のうち、留出量  $D [\text{mol}]$ 、および留出液中の A のモル分率を有効数字は 3 桁で求めなさい。なお、 $\alpha = 2.48$  で一定であるとする。

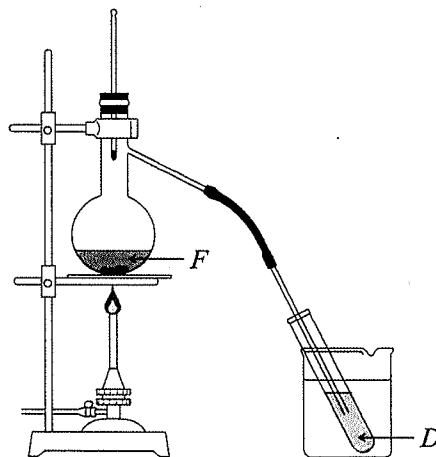


図1 枝付きフラスコを用いた蒸留の模式図

2023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

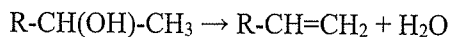
問1	
問2	$Fx_A =$
問3	$\ln\left(\frac{F}{F_0}\right) =$
	①：

(解答欄は裏面にもあります)

2023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 気相でのアルコールの脱水反応を押し出し流れ反応器(PFR)を用いて実施したい。以下の間に答えなさい。解答は化学工学(その6)の解答欄に記入しなさい。必要であれば気体定数  $R=8.31 \text{ [J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ を用いなさい。なお反応気体は理想気体と考えて良い。アルコールの脱水反応は、次式で表される。



本反応を反応体積  $V \text{ [m}^3\text{]}$ の PFR で行う。アルコールを A として反応速度式  $(-r_A)$  は次式で表されるものとする。

$$(-r_A) = kC_A$$

ここで  $k \text{ [s}^{-1}\text{]}$ は反応速度定数、 $C_A \text{ [mol}\cdot\text{m}^{-3}\text{]}$ は気相中のアルコール濃度である。反応温度を  $T \text{ [K]}$ 、反応圧力を  $P_0=1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$  としなさい。

- 問1 転化率(反応率)  $x_A \text{ [-]}$ のときの反応流体中のアルコール濃度  $C_A$  を  $P_0, T, R$  を含んだ式で求めなさい。なお反応器に供給するアルコールは不活性ガスである  $\text{N}_2$  で希釈しており、アルコールの入口での割合は 30.0 mol% である。
- 問2 反応速度式を転化率  $x_A$  の関数として表しなさい。
- 問3 入口体積流量を  $v \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ とし、アルコールの転化率  $x_A$  と平均滞留時間  $V/v \text{ [s]}$ の関係式を導きなさい。
- 問4 反応温度  $T=473 \text{ K}$ 、反応速度定数  $k=1.00 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、反応器入口体積流量  $v=1.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ として、転化率  $x_A=0.900$  を得るために必要な反応体積  $V$  を有効数字 3 桁で求めなさい。

受験 番号	
----------	--

2023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）	
--------------------	--

III 解答欄

問1	
問2	
問3	
問4	

2023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）

IV 複合反応に関する以下の問に答えなさい。解答は化学工学（その8）の解答欄に記入しなさい。

次式に示す複合反応を考える。ここで目的生成物はDである。それぞれの反応過程の速度式は原料に対して1次不可逆であり、反応経路図に記載の $k_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) はそれぞれの1次反応速度定数とする。

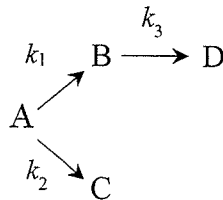


図1 複合反応の経路図

問1 それぞれの反応速度定数の温度依存性を図2に示した。押し出し流れ反応器（PFR）を用いて目的生成物Dを選択的に得るためには反応温度をどの様に設定すればよいか説明しなさい。必要に応じて解答欄中の図を活用してよい。

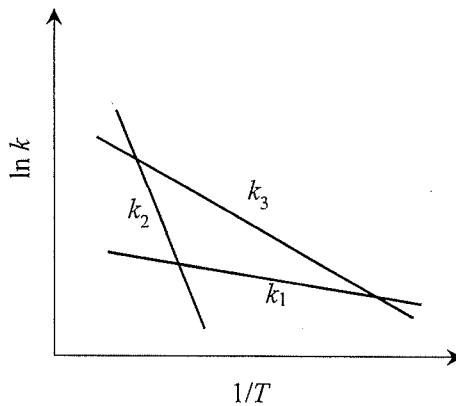


図2 各速度定数の Arrhenius Plot

問2 速度定数の温度依存性が図2ではなく図3に示される場合に PFR を用いて目的生成物Dを選択的に得るために、プロセスをどの様に工夫すればよいか考察しなさい。

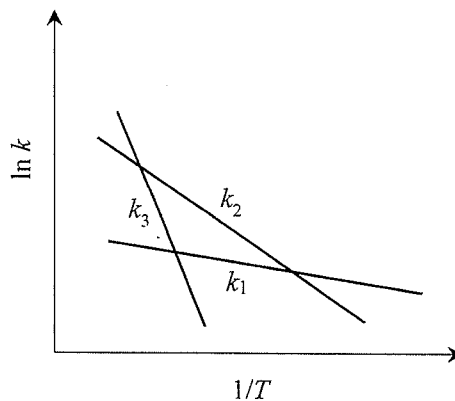


図3 各速度定数の Arrhenius Plot



IV 解答欄

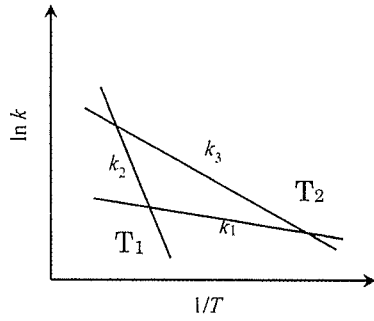


図2 各速度定数の Arrhenius Plot

問1

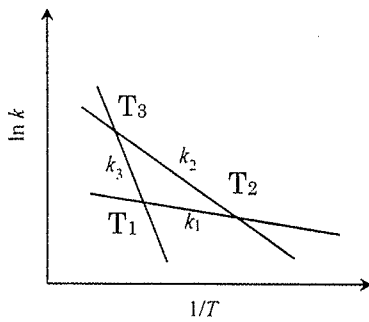


図3 各速度定数の Arrhenius Plot

問2

2023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)

V 微生物による発酵における代謝産物収率に関して以下の問に答えなさい。解答は化学工学(その10)に記入しなさい。

問1 グルコースからのエタノール発酵および乳酸発酵に関して、右図の代謝経路を参考にして、生化学反応に基づく総括的な化学反応式にて、それぞれ記述しなさい。ただしグルコースから、それぞれの代謝産物のみを生産する場合を考える。ATP, ADP, および Pi(無機リン酸)はそのまま記述してよい。

問2 グルコースからのエタノール生産, およびグルコースからの乳酸生産における生化学量論的な代謝産物収率  $Y_{P/S}$  (理論収率) を, 計算過程も含めて, 質量基準でそれぞれ計算しなさい (有効数字2桁)。ただし, それぞれの代謝産物のみを生産する場合とする。

問3 酵母を用いて, グルコースを基質としてエタノール発酵を行い, その後に蒸留により濃縮し, 100% エタノールを1.0 kL獲得した。原料としてどれだけのグルコースを必要とするか計算しなさい (有効数字2桁)。ただし, エタノールの比重は0.80とし, 発酵工程において酵母菌体は増殖せず, すべて発酵に利用され, 理論収率でのエタノール発酵を行い, 蒸留工程でのロスは無いのと仮定する。

問4  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  のグルコースを発酵開始時の炭素源として, 24時間の発酵を行い, すべてのグルコースを資化した。その結果,  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  のエタノール生産を確認した。この時の発酵収率を, 理論収率にて発酵した場合を100%として計算しなさい (有効数字2桁)。

問5 上記, 問4において, 発酵に使用されなかったグルコースは何に利用されたのか, 簡潔に記述しなさい。

問6 酵母によるエタノール発酵は, バイオ燃料製造の基本技術として有効である。しかしながら, 出発時の炭素源として高濃度のグルコースを使用すると, エタノール発酵が進行しない場合がある。このような場合, どのような発酵方法を行うと, エタノールを効率的に生産できるか, 75字以内で記述しなさい。

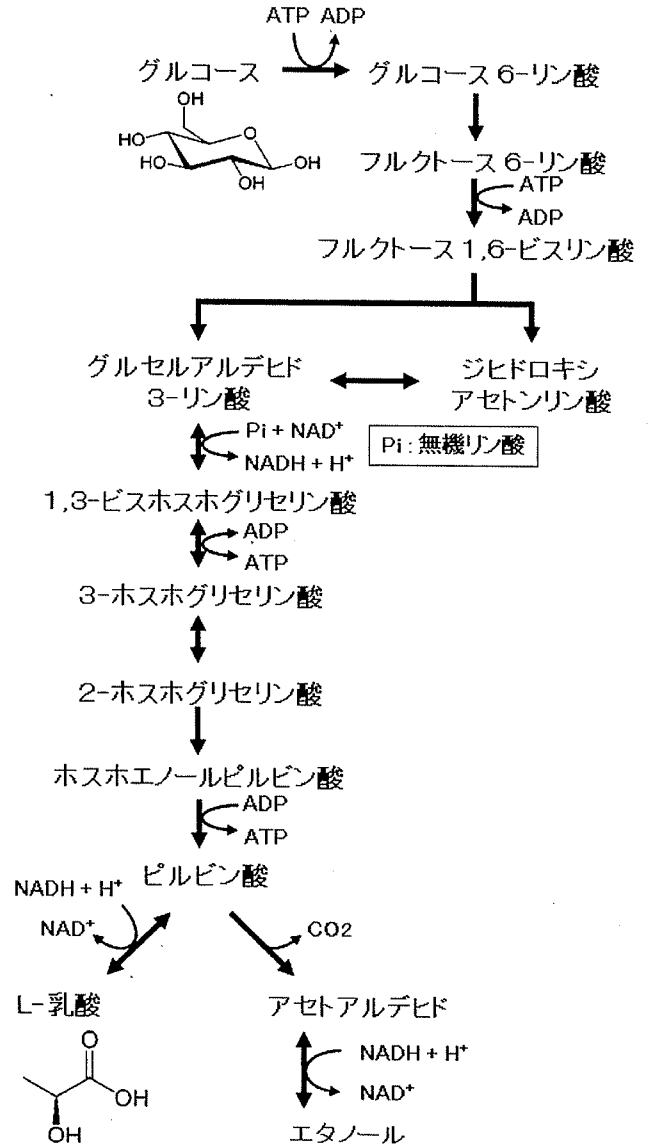


図 グルコースからの代謝経路

