

受験番号	
------	--

## 2026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6

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・計算用紙) 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。

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。

内径 $2R$ [m]・長さ $L$ [m]の円管流路内に流体（粘度 $\mu$ [Pa·s]）を体積流量 $Q$ [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]で流した時、圧力損失は $\Delta P$ [Pa]であった。流路内に内半径 $r$ [m]の円筒を考えると、流れ方向の側面にはせん断応力 $\tau_{rx}$ [Pa]が、流れ方向の断面には圧力が作用するので、力のつり合いから、式[1]の関係が導かれる。

$$(a) \cdot \tau_{rx}(r) = (b) \cdot \Delta P \quad [1]$$

式[1]を整理して、せん断応力は式[2]で表される。

$$\tau_{rx}(r) = (c) \quad [2]$$

また、流路内の流動状態が層流のとき、流れ方向速度成分を $v_x(r)$ [m·s<sup>-1</sup>]とすると、(d)から、速度勾配とせん断応力の間には式[3]の関係があることがわかる。

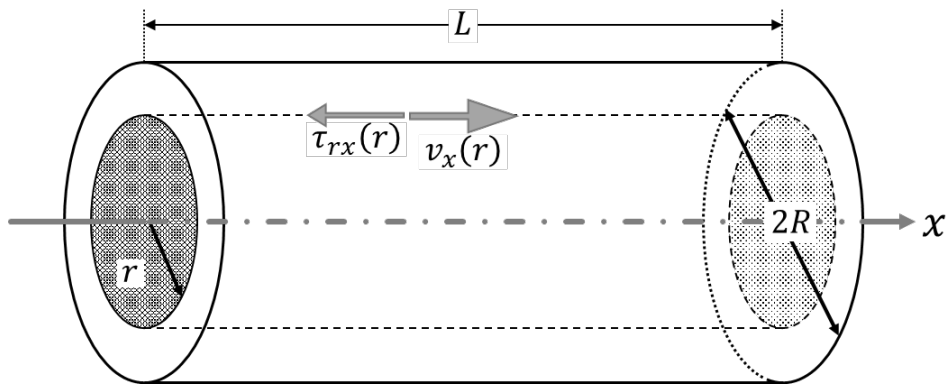
$$-\frac{dv_x(r)}{dr} = \frac{\tau_{rx}(r)}{\mu} \quad [3]$$

式[2],[3]から導かれる微分方程式を適切な境界条件を用いて積分して、式[4]の速度分布を得る。

$$v_x(r) = (e) \quad [4]$$

さらに、速度成分と断面積の積を流路断面全体について積分することで、式[5]で体積流量が求められる。

$$Q = \int_0^R 2\pi r v_x(r) dr = (f) \quad [5]$$



- (1) (a) ~ (f)に該当する数式もしくは用語を答えなさい。
- (2) 式[4]の導出に用いる境界条件を示しなさい。
- (3) 速度勾配が式[6]で表される場合、円管内の速度分布を求めなさい。 $\tau_y$ [Pa],  $K$ [Pa·s]は定数である。

$$-\frac{dv_x(r)}{dr} = \begin{cases} \frac{\tau_{rx}(r) - \tau_y}{K} & (\tau_{rx}(r) \geq \tau_y) \\ 0 & (\tau_{rx}(r) < \tau_y) \end{cases} \quad [6]$$

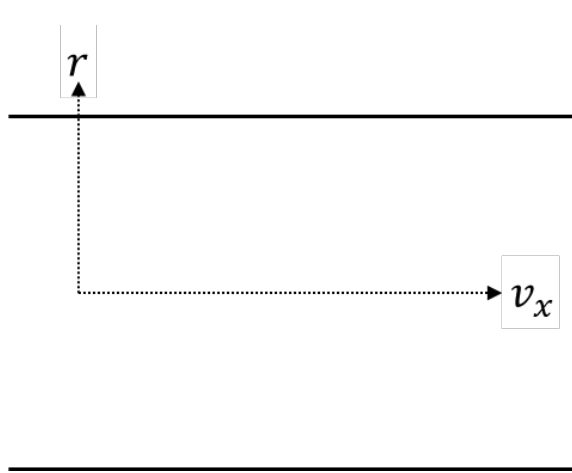
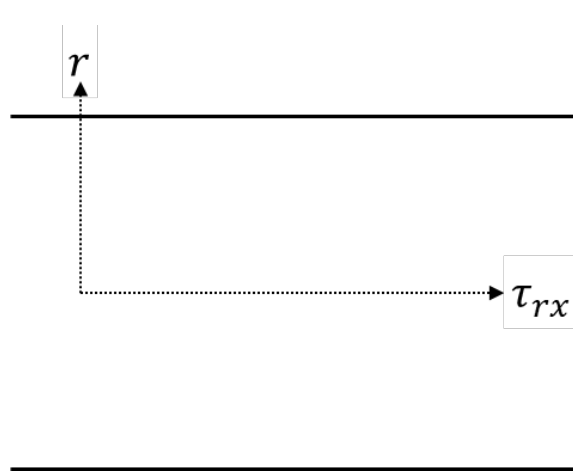
- (4) (3)の場合に、圧力損失が $\Delta P = 4\tau_y L/R$ となるように体積流量を決定した。このときの速度分布およびせん断応力分布を図示しなさい。なお、図中には、流路内の最大速度、流路壁面におけるせん断応力、せん断応力が $\tau_y$ となる半径位置を書き入れなさい。

---

ここには答案を記入しないこと。

専門科目（三）： 化学工学（その2）

I 解答欄

(1)	(a)		(b)	
	(c)		(d)	法則
	(e)		(f)	
(2)				
(3)	$v_x(r) = \begin{cases} & r \geq \\ & r < \end{cases}$			
(4)	速度分布図		せん断応力分布図	
				

---

ここには答案を記入しないこと。

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。

- (1) 攪拌槽に物質Aの水溶液が体積 $V_A$  [ $\text{m}^3$ ]だけ貯留されている。物質Aの濃度が $C_A$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]のとき、攪拌槽内に含まれる物質Aの質量 $m_A$  [ $\text{kg}$ ]は式[1]で表される。

$$m_A = ( a ) \quad [1]$$

次に、攪拌槽に濃度 $C_{A1}$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]の物質Aの水溶液を体積流量 $F$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]で供給し、同じ体積流量で排出する操作を考える。攪拌槽内が完全混合と考えてよいとき、攪拌槽内の液体積 $V_A$ についての収支は式[2]で、物質Aについての物質収支は、攪拌槽内の物質Aの濃度 $C_A$ を用いて、式[3]で表される。ここで、 $t$  [ $\text{s}$ ]は時間を表す。

$$\frac{dV_A}{dt} = ( b ) \quad [2]$$

$$\frac{dm_A}{dt} = ( c ) \quad [3]$$

また、物質Aには自己分解性があり、その反応速度は濃度に比例する（反応速度定数 $k$  [ $\text{s}^{-1}$ ])ことがわかった。攪拌槽内において単位時間あたりに分解によって失われる物質Aの質量 $\Delta m_A$ は、物質Aの濃度 $C_A$ を用いて、式[4]で表される。

$$\Delta m_A = ( d ) \quad [4]$$

- (1-1) (a)~(d)に相当する式を答えなさい。  
 (1-2) 体積 $V_{A0}$  [ $\text{m}^3$ ]の水で満たされた攪拌槽に対して、濃度 $C_{A1}$ の水溶液を体積流量 $F$ で供給し、同じ体積流量で同時に排出を開始した。このとき、攪拌槽内の物質Aの濃度 $C_A$ の経時変化を求めなさい。なお、分解反応は攪拌槽内でしか生じないと考えてよい。
- (2) 水が体積 $V_{B0}$  [ $\text{m}^3$ ]だけ貯留された攪拌槽に、濃度 $C_{B1}$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]の不活性物質Bの水溶液を体積流量 $F$ で供給し、同時に体積流量 $2F$ で排出を行った。なお、攪拌槽内は完全混合と考えてよい。
- (2-1) 攪拌槽内の液体積が $V_B$  [ $\text{m}^3$ ]、物質Bの濃度が $C_B$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]のとき、攪拌槽内の液体積および物質Bについての収支式を答えなさい。  
 (2-2)  $V_B = 0$ となるのに必要な時間 $t_{B1}$  [ $\text{s}$ ]を求めなさい。  
 (2-3)  $t = 0 \sim t_{B1}$ において、 $C_B$ の経時変化を求めなさい。
- (3) 温度 $T_0$  [ $\text{K}$ ]の水が体積 $V_0$  [ $\text{m}^3$ ]だけ貯留されている攪拌槽に、温度 $T_1$  [ $\text{K}$ ]の水を体積流量 $F$ で供給し、同じ体積流量で同時に排出する操作を開始した。なお、水の密度および比熱容量は $\rho$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]、 $C_p$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]とし、攪拌槽内は完全混合と考えてよい。
- (3-1) 温度 $T$  [ $\text{K}$ ]の水が体積 $V$  [ $\text{m}^3$ ]だけ貯留されているとき、攪拌槽全体のエネルギー収支式を答えなさい。  
 (3-2) 攪拌槽内の水の温度 $T$ の経時変化を求めなさい。  
 (3-3) 攪拌槽内部に設置したコイル表面温度を $T_2$  [ $\text{K}$ ]に維持し、水を冷却した。コイルの伝熱面積を $A$  [ $\text{m}^2$ ]、伝熱係数を $U$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]としたとき、定常状態に到達した時の攪拌槽内の水の温度 $T_\infty$  [ $\text{K}$ ]を求めなさい。

---

ここには答案を記入しないこと。

専門科目（三）： 化学工学（その4）

II 解答欄

	(1-1)	(a) $m_A =$	(b) $\frac{dV_A}{dt} =$	
		(c) $\frac{dm_A}{dt} =$	(d) $\Delta m_A =$	
(1)	(1-2)			
(2)	(2-1)	液量の収支式	物質 B の収支式	(2-2)
	(2-2)			

(3)	(3-1)	
	(3-2)	
	(3-3)	

ここには答案を記入しないこと。

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6）の解答欄に記入しなさい。

(1) 管型反応器（Plug Flow Reactor: PFR）と分離装置で構成されるリサイクルプロセスにより、定常操作のもとで分子Aから分子Bを生産する。このリサイクルプロセスには原料溶液が体積流量 $5.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ で供給されている。その原料溶液には、分子Aは含まれているが分子Bは含まれていない。

PFRの温度は $T[\text{K}]$ に保たれており、 $A \rightarrow B$ の不可逆一次反応が起こる。その反応速度定数 $k$ は $1.00 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ である。一方で、PFR以外の配管及び分離装置は低温に保たれており、 $A \rightarrow B$ の反応は進行しない。また、 $A \rightarrow B$ の反応により溶液の密度は変化しない。

図1に本リサイクルプロセスの概略と操作条件をまとめた。ここで、 $C_i$  ( $i: A_0, A_1, A_2, A_3, AF, B_0, B_1, B_2, B_3, BF$ )は各々以下の濃度を表す。

- $C_{A_0}, C_{B_0}$  : それぞれ、原料溶液の分子Aおよび分子Bの濃度  $[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$
- $C_{A_1}, C_{B_1}$  : それぞれ、PFRに供給される溶液の分子Aおよび分子Bの濃度  $[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$
- $C_{A_2}, C_{B_2}$  : それぞれ、PFRから排出される溶液の分子Aおよび分子Bの濃度  $[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$
- $C_{A_3}, C_{B_3}$  : それぞれ、リサイクル溶液の分子Aおよび分子Bの濃度  $[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$
- $C_{AF}, C_{BF}$  : それぞれ、回収液の分子Aおよび分子Bの濃度  $[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$

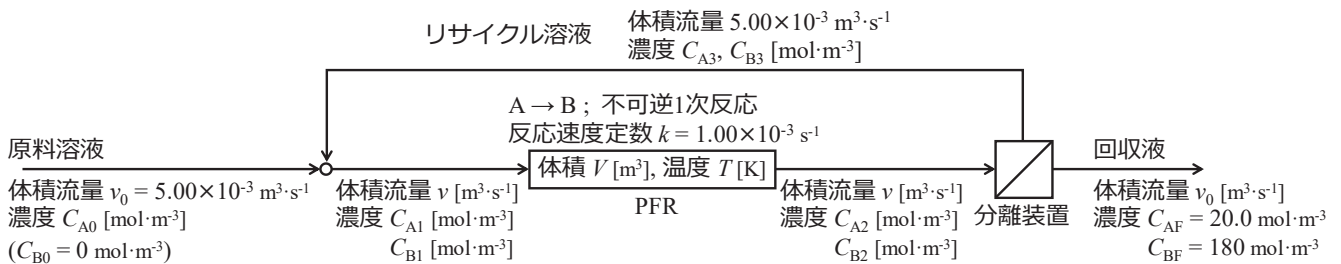


図1 リサイクルプロセスの概略と操作条件

PFRから排出される分子Aのモル量の90.0%および分子Bのモル量の55.0%がリサイクルされる。分離装置からリサイクルされる溶液の体積流量は $5.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ に制御されている。一方、回収液の分子Aの濃度 $C_{AF}$ は $20.0 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 、分子Bの濃度 $C_{BF}$ は $180 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ である。

このリサイクルプロセスについて、以下の問いに答えなさい。

- (1-1) PFRから排出される溶液の分子Aの濃度 $C_{A_2}$ および分子Bの濃度 $C_{B_2}$ をそれぞれ決定しなさい。(有効数字3桁)
- (1-2) リサイクル溶液の分子Aの濃度 $C_{A_3}$ および分子Bの濃度 $C_{B_3}$ をそれぞれ決定しなさい。(有効数字3桁)
- (1-3) このプロセスに供給される原料溶液の分子Aの濃度 $C_{A_0}$ を決定しなさい。(有効数字3桁)
- (1-4) PFRに供給される溶液の分子Aの濃度 $C_{A_1}$ および分子Bの濃度 $C_{B_1}$ をそれぞれ決定しなさい。(有効数字3桁)
- (1-5) PFRの体積 $V$ を決定しなさい。(有効数字3桁)

(2) リサイクルプロセスに用いる分離装置として、図2の膜分離装置を使用する。

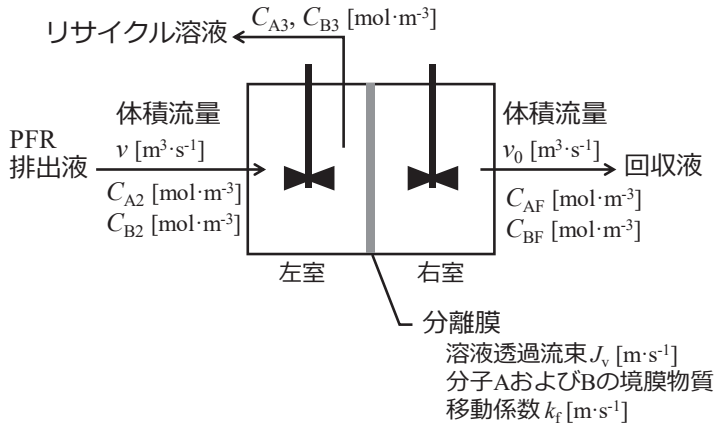


図2 膜分離装置の概略図

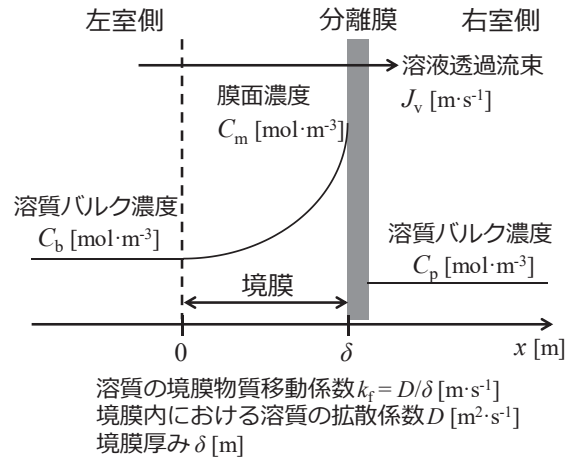


図3 膜面近傍における溶質濃度分布

この膜分離装置は分離膜で体積 $V_1$  [m<sup>3</sup>]の左室と体積 $V_2$  [m<sup>3</sup>]の右室に分けられており、左室および右室は十分に攪拌されている。また、分離膜の溶液透過流束が $J_v$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]となるように圧力操作されており、左室に供給されるPFR排出液の体積流量は $v$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]、右室から回収される回収液の体積流量は $v_0$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]に制御されている。

リサイクルプロセスが定常状態で運転されているとき、膜分離装置により、PFR排出液中の分子Aと分子Bがそれぞれモル回収率 $\alpha_A$  [-]、 $\alpha_B$  [-]となるよう回収液に回収され、その回収液の分子Aの濃度は $C_{AF}$  [mol·m<sup>-3</sup>]、分子Bの濃度は $C_{BF}$  [mol·m<sup>-3</sup>]であった。また、膜面近傍の境膜内における分子Aおよび分子Bの物質移動係数は $k_f$  [m·s<sup>-1</sup>]であった。

膜分離装置が低温で操作され、膜分離装置内でA→Bの反応が進行しないとき、以下の問いに答えなさい。

(2-1) 図3に示す膜面近傍における溶質の濃度プロファイルに基づくと、分離膜の見かけの阻止率 $R_{obs}$  [-]は、左室側の溶質バルク濃度 $C_b$  [mol·m<sup>-3</sup>]と右室側の溶質バルク濃度 $C_p$  [mol·m<sup>-3</sup>]により、次式で定義される。

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_b}$$

分子Aについて、 $C_p$ および $C_b$ が図2のどの濃度に相当するか、答えなさい。また、図2の分離膜の分子Aに対する見かけの阻止率 $R_{obs,A}$  [-]を体積流量 $v$ ,  $v_0$ 、および分子Aのモル回収率 $\alpha_A$ を用いて書き表しなさい。

(2-2) この条件では、溶質の膜面濃度 $C_m$ は溶質バルク濃度 $C_b$ よりも高くなる(図3)。この現象は何と呼ばれるか、答えなさい。

(2-3) 空欄  ア  ~  オ に該当する数式を解答しなさい。

左室側の膜面近傍の境膜内任意位置  $x$  [m]における分子Aの濃度を $C_A$  [mol·m<sup>-3</sup>]とおくと、移流により透過方向に移動する成分Aのモル流束は  ア [mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>]と書き表せる。また、境膜内における分子Aの拡散係数を $D$  [m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>]とすると、同じ位置  $x$  [m]において、分子Aはモル流束  イ [mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>]で透過方向と逆向きに移動する。一方、右室側において、膜を透過した液の分子Aの濃度は  ウ [mol·m<sup>-3</sup>]であり、右室内でその濃度は一定であるため、透過液の分子Aのモル流束は  エ [mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>]と書き表せる。定常状態では、これら3つの流束には、

$$\text{オ} = 0$$

の関係が成り立つ。

(2-4)  $k_f = D/\delta$ とすると、分子Aの左室側膜面濃度 $C_{m,A}$ を図2に与えられたパラメータを用いて書き表しなさい。

ここには答案を記入しないこと。

専門科目（三）： 化学工学（その6）	
--------------------	--

III 解答欄

(1)	(1-1)	$C_{A2}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$	$C_{B2}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$	(1-2)	$C_{A3}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$	$C_{B3}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
	(1-3)	$C_{A0}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$		(1-4)	$C_{A1}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$	$C_{B1}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
	(1-5)	$V$ $\text{m}^3$				
(2)	(2-1)	$C_p$	$C_b$	$R_{\text{obs,A}}$		
	(2-2)	現象の名称				
	(2-3)	ア	イ	ウ	エ	
		オ				
(2-4)	$C_{m,A} =$					$[\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$

---

ここには答案を記入しないこと。