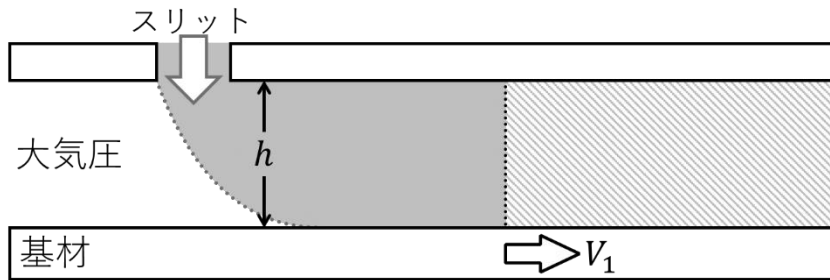


専門科目（三）： 化学工学（その1）

I 以下の間に答えなさい。なお、解答は設問の下の解答欄に記入しなさい。

問1 下図のように水平に固定された平板から h [m] 離れた基材を速度 V_1 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] で水平に移動させる。平板に開けられたスリットから粘度 μ [$\text{Pa} \cdot \text{s}$], 密度 ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]の流体を供給し、平板と基材の間に満たす操作を考える。給液開始からは十分に時間が経過しており、スリットから十分離れた斜線で示す領域では圧力および重力の影響はなく、流体は基材と同方向にのみ流動しており、その流動状態は完全発達かつ定常状態^(a)にあると見なしてよい。流れ方向を x 軸、基材から平板に向かう垂直方向を z 軸とし、以下の設問に答えなさい。



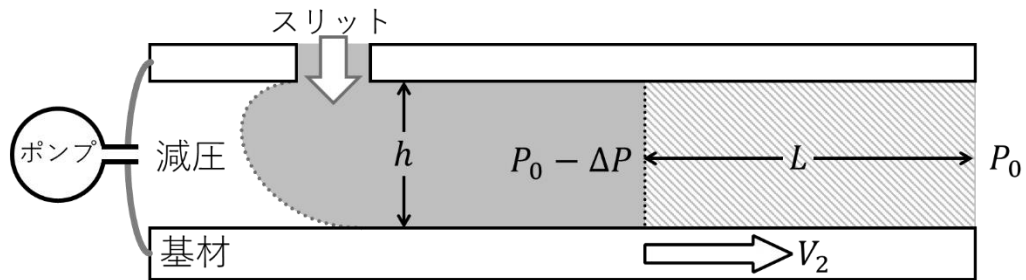
- 下線部(a)は、 x 方向の速度成分 u が次のような特徴を持つことを示している。
「 u は、() 方向に変化せず、() によって変化することもない」
空欄に適切な用語を、設問の文中から抜き出して答えなさい。
- x 方向の運動量についての収支式を立てなさい。
- 平板と基材の間に形成される速度分布を求めなさい。
- 奥行を W [m] としたとき、平板と基材の間の体積流量 Q_1 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] を求めなさい。

解答欄

(1)	u は、() 方向に変化せず、() によって変化することもない
(2)	
(3)	
(4)	

(問題は裏面にもあります)

問2 基材の移動速度が十分に遅ければ、基材と流体の間には安定な界面が形成される。ところが、移動速度が速くなると、界面は下流側に引き延ばされ、基材と流体の界面から気泡が入り込むことがある。このような場合、上流側を減圧して界面を上流に後退させることで、気泡混入を抑制することがある。このように、上流側を減圧した場合について、以下の設問に答えなさい。



- (1) 斜線で示した領域（長さ L [m]）において、上流側の圧力は下流側より ΔP [Pa] 低かった。基材を V_2 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] で移動させたとき、平板－基板間における速度分布 u' [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] を求めなさい。なお、問1と同様に、この領域では基材と同方向にしか流体は流れておらず、完全発達・定常状態にあるとし、重力の影響は無視してよい。
- (2) 問1と同じように奥行を W [m] とし、平板と基材の間の体積流量 Q_2 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] を求めなさい。
- (3) 問1の(4)で求めたのと同じ体積流量で操作するための圧力条件を示しなさい。

解答欄

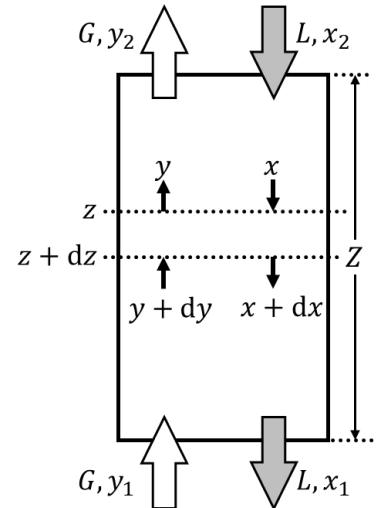
(1)	
(2)	
(3)	

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2）

II 次の文章中の空欄に適切な式を直接記入し、式(1)～(4)および(7)を完成させなさい。また、裏面の設問に答えなさい。設問に対する解答は、裏面にある解答欄に記入しなさい。

向流型吸収塔（断面積 S [m²]）を用いて気相中の成分 A を液相に吸収させる操作を考える。塔内を上昇する気相および降下する液相の空塔モル流量を G [mol·s⁻¹], L [mol·s⁻¹] とする。また、塔内のある高さ (z [m]) における気相および液相中の成分 A のモル分率を y [-], x [-] とし、塔底および塔頂の値には添え字 1,2 をつける。また、定常状態にあるとみなしてよい。そして、成分 A のモル分率が十分に小さいと、塔全体の物質収支は式(1)で与えられる。



$$\boxed{\hspace{10em}} \quad (1)$$

これを変形して、式(2)が得られる。

$$\frac{L}{G} = \boxed{\hspace{10em}} \quad (2)$$

供給物の組成とプロセスに要求される吸収量が決めれば、(ア)のみが変更可能なパラメーターとなり、これを最も大きくすれば吸収液流量は最も少なくなる(a)。

また、区間 $z \sim z + dz$ において気相モル分率が dy 増加すると、吸収速度は式(3)で表せる。

$$\boxed{\hspace{10em}} \quad (3)$$

同じ区間での吸収速度は、気相側総括物質移動係数 K_y [mol·m⁻²·s⁻¹], 吸収塔単位体積当たりの気液接触面積 a [m²·m⁻³], 液相モル分率に対する気相の平衡モル分率 y^* [-] を用いれば、式(4)のようにも書き表すことができる。

$$\boxed{\hspace{10em}} \quad (4)$$

式(3)(4)から吸収塔の高さ Z [m] を表す式(5)が導かれる。

$$Z = \frac{(G/S)}{K_y a} \int_{y_2}^{y_1} \frac{1}{y - y^*} dy \quad (5)$$

式(5)の右辺の分数項の分母 $K_y a$ は (イ), 積分項は (ウ) と呼ばれる。

塔頂から任意の高さ z (モル分率 x, y) までの区間における物質収支式を考えれば、式(2)と同様の関係式が導かれる。さらに、(エ)の法則が成り立てば $y^* = mx^*$ の関係があるので、任意の高さにおける液相モル分率 x に対する気相の平衡モル分率 y^* が、気相側のモル分率 y を用いて式(6)で表せることになる。

$$y^* = \alpha y + \beta \quad (6)$$

$$\alpha = \boxed{\hspace{2em}} \quad \beta = \boxed{\hspace{2em}} \quad (7)$$

式(5)と式(6)から、吸収塔高さは解析的に求められる。

- (1) ア, イ, ウ, エに適当な変数もしくは用語を答えなさい。
 (2) 下線部(a)の条件では, 実際にはガス吸収を行うことができない. その理由を述べなさい
 (3) 吸収塔には円柱状 (直径 D [m], 高さ t [m]) の充填物が充填されており, その充填率 (吸収塔内に充填物が占める体積割合) が ϕ [-] であった. 充填物の表面が気液接触界面であると考えられるとき, 吸収塔単位体積当たりの接触面積 a [$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$] を求めなさい.
 (4) 式(5) (6) から, 吸収塔高さが次式で与えられることを示しなさい.

$$Z = \frac{G}{K_y a S} \frac{\ln\left(\frac{y_1 - y_1^*}{y_2 - y_2^*}\right)}{1 - \alpha}$$

解答欄

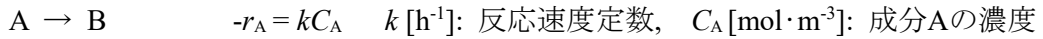
(1)	ア		イ	
	ウ		エ	
(2)				
(3)	$a =$			
(4)				

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）

III 以下の間に答えなさい。解答は化学工学（その4）に記入しなさい。

問1 次の式で表される液相反応を定容系で行う。

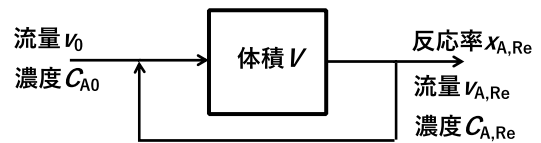


- (1) 連続槽型反応器（CSTR）を用い、定常状態にて上記の反応を行う。この時の空間時間 $\tau_{\text{CSTR}} [\text{h}]$ を反応速度定数 $k [\text{h}^{-1}]$ と反応率 $x_{\text{A,CSTR}} [-]$ を用いて表しなさい。
- (2) 管型反応器（PFR）を用い、定常状態にて上記の反応を行う。この時の空間時間 $\tau_{\text{PFR}} [\text{h}]$ を反応速度定数 $k [\text{h}^{-1}]$ と反応率 $x_{\text{A,PFR}} [-]$ を用いて表しなさい。
- (3) 右図の反応器構成1に示すように、PFRを用いて未反応原料と反応生成物を含む流れの一部を反応器にリサイクルする操作を含めて定常状態にて上記の反応を行う。ここで、循環比 $\gamma [-]$ を

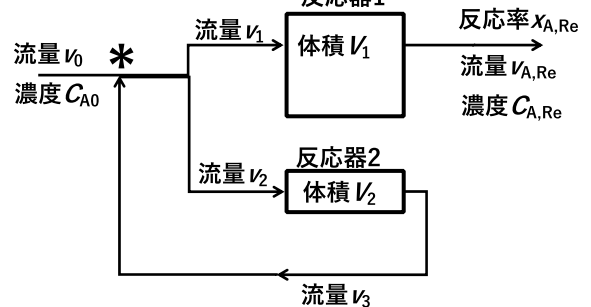
$$\gamma = \frac{\text{(リサイクルされる物質流量)}}{\text{(系外に排出される物質流量)}}$$

と定義する。PFR内の反応流体は押し出し流れであると仮定すると、PFRの性能は(1)が等しければその形状に依存しない。つまり反応器構成1と反応器構成2は等価である。

反応器構成1



反応器構成2



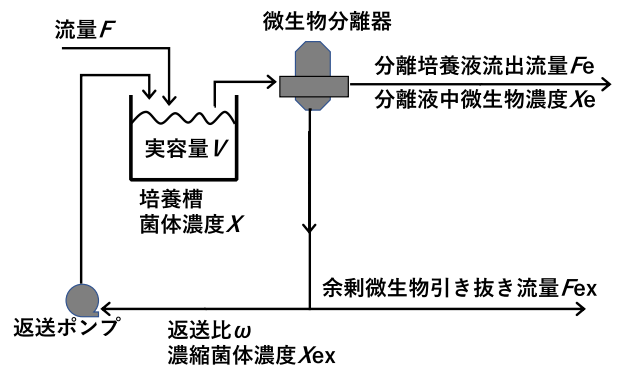
- (a) 上記の①に入る語句を答えなさい。
- (b) 反応器2の体積 $V_2 [\text{m}^3]$ を循環比 $\gamma [-]$ と $V_1 [\text{m}^3]$ を用いて表しなさい。
- (c) 図中の*の点で物質収支を取ることにより、反応器1における反応率 $x_1 [-]$ を $x_{\text{A,Re}} [-]$ を用いて表しなさい。
- (d) リサイクル反応器における空間時間 $\tau_{\text{Re}} [\text{h}]$ を反応速度定数 $k [\text{h}^{-1}]$ 、循環比 $\gamma [-]$ 、反応率 $x_{\text{A,Re}} [-]$ を用いて表しなさい。

- (4) (1), (2), (3)の反応を同一体積の反応器（(3)の場合、 $V_1 + V_2 = V$ ）で、かつ同じ原料を同一の流量で供給して行った際、CSTRにおける反応率が $x_{\text{A,CSTR}} = 0.6$ であった。PFRにおける反応率を有効数字2桁で求めなさい。また、この条件で $\gamma = 1$ としたときのリサイクル反応器における反応率を有効数字2桁で求めなさい。

問2 実容量 V [L]の培養槽に流量 F [L \cdot h $^{-1}$]で濃度 S [g \cdot L $^{-1}$]の増殖制限基質を供給しながら微生物の連続培養を行う (右図)。この時の培養槽内の菌体濃度を X [g \cdot L $^{-1}$]とする。培養槽から流出した微生物は微生物分離器により分離濃縮されたのち、返送比 ω [-], 濃縮菌体濃度 X_{ex} [g \cdot L $^{-1}$]で培養槽に連続的にリサイクルされる。ここで返送比 ω を

$$\omega = \frac{\text{(培養槽へリサイクルされる菌体液流入流量)}}{\text{(培養槽への基質液流入流量)}}$$

と定義する。また、濃縮液の一部が余剰微生物として一定の流量 F_{ex} [L \cdot h $^{-1}$]で引き抜かれ、定常状態が達成されるとする。



- (1) 培養槽内で得られる微生物の比増殖速度 μ を F, V, ω, X, X_{ex} を用いて表しなさい。
- (2) 微生物分離器において系外に排出される分離培養液流出流量を F_e , その液中の微生物濃度を X_e とする。微生物分離器における菌体収支式を $F, X, \omega, F_{ex}, F_e, X_{ex}, X_e$ で表しなさい。
- (3) 微生物が全て回収できるとすると、分離液中の微生物濃度 X_e は無視できる。この時の μ/D を ω, F_e, F を用いて表しなさい。ただし、 D [h $^{-1}$]は希釈率とする。
- (4) 培養槽実容量 $V = 10000$ L, 制限基質濃度 $S = 5.0$ g \cdot L $^{-1}$, 流量 $F = 20000$ L \cdot h $^{-1}$, 返送比 $\omega = 0.5$, 分離培養液流出流量 $F_e = 19500$ L \cdot h $^{-1}$ の条件で微生物返送連続培養を行い、定常状態を達成した。なお、微生物は全て回収することができ、分離液中の微生物濃度 X_e は無視できるとする。この時の比増殖速度、および流出液中の制限基質濃度をそれぞれ求めなさい。ただし、微生物の増殖はMonodの式に従い、最大比増殖速度 $\mu_{max} = 0.60$ h $^{-1}$, 飽和定数 $K_s = 0.45$ g \cdot L $^{-1}$ である。

ここには答案を記入しないこと。