2023年度 化学工学技士(基礎)試験問題

第一部 13:00～15:20

問題 A1　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 5 点）

80 mol%のエタンと 20 mol%の不活性ガスからなる反応原料ガスを流通式反応器へ，物質量流量 100 mol･h^{-1} で供給する．このとき，以下の反応式(1)と(2)にしたがって，エタンからエチレンが得られるとともに，副反応としてメタンが生成する．

$$C_2H_6 \ \rightarrow \ C_2H_4 + H_2 \tag{1}$$

$$C_2H_6 + H_2 \ \rightarrow \ 2CH_4 \tag{2}$$

反応器出口におけるエタンの反応率は 80 %，エチレンの収率は 60 %であった．エチレンの選択率は

$$S_{C_2H_4} = \boxed{\text{a}} \ \% \tag{3}$$

である．また，反応器出口におけるエタン，エチレン，およびメタンの物質量流量はそれぞれ

$$F_{C_2H_6} = \boxed{\text{b}} \ \text{mol·h}^{-1} \tag{4}$$

$$F_{C_2H_4} = \boxed{\text{c}} \ \text{mol·h}^{-1} \tag{5}$$

$$F_{CH_4} = \boxed{\text{d}} \ \text{mol·h}^{-1} \tag{6}$$

と求まり，出口ガスに含まれるエチレンのモル分率は

$$y_{C_2H_4} = \boxed{\text{e}} \ \text{mol·mol}^{-1} \tag{7}$$

となる．

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$ ～ $\boxed{\text{e}}$

(1) 0.11	(2) 0.16	(3) 0.20	(4) 0.22	(5) 0.25
(6) 0.32	(7) 0.48	(8) 0.60	(9) 0.75	(10) 0.80
(11) 11	(12) 16	(13) 20	(14) 22	(15) 25
(16) 32	(17) 48	(18) 60	(19) 75	(20) 80

問題 A2　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 5 点）

一般的に，経済が成長すればするほど CO_2 排出も増えるという相関関係があると言われている．経済成長を続けつつ，CO_2 を削減していくためにはどうすればよいか，図 A2-1 に CO_2 を排出する要因を式の形で示した．

年間のCO_2排出量 [kg・年$^{-1}$] ＝ $\boxed{\text{①エネルギー消費あたりの}CO_2\text{排出量 [kg・GJ}^{-1}\text{]}}$ × $\boxed{\text{②経済活動あたりのエネルギー消費量 [GJ・円}^{-1}\text{]}}$ × $\boxed{\text{③人口1人あたりの経済水準 [円・人}^{-1}\text{]}}$ × 人口

$$= \frac{\boxed{\text{a}}}{\boxed{\text{b}}} \times \frac{\boxed{\text{c}}}{\text{GDP}} \times \frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

※GDP [円・年$^{-1}$]：国内総生産（Gross Domestic Product）

図 A2-1　CO_2 排出量の相関

[出典：資源エネルギー庁「CO_2 排出量」を考える上でおさえておきたい２つの視点]

図 A2-1 中の式の右辺①はエネルギー消費あたりの CO_2 排出量 [kg・GJ^{-1}]，右辺②は経済活動あたりのエネルギー消費量 [GJ・円$^{-1}$]，右辺③は人口一人あたりの経済水準 [円・人$^{-1}$] を表している．経済水準を落とさずに CO_2 の排出量を減少させるには，①の値を低くすること，例えば $\boxed{\text{d}}$ や，②の値を低くすること，例えば $\boxed{\text{e}}$ を進めること等が必要になることが分かる．

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$　(1) エネルギー消費速度 [GJ・h^{-1}]　(2) CO_2 排出速度 [kg・h^{-1}]　(3) 人口 [人]
(4) 地球温暖化係数 [kg-CO_2・kg^{-1}]　(5) 出生率　(6) メタン排出速度 [kg・h^{-1}]

$\boxed{\text{b}}$　(1) エネルギー消費速度 [GJ・h^{-1}]　(2) CO_2 排出速度 [kg・h^{-1}]　(3) 人口 [人]
(4) 地球温暖化係数 [kg-CO_2・kg^{-1}]　(5) 出生率　(6) メタン排出速度 [kg・h^{-1}]

$\boxed{\text{c}}$　(1) 年間エネルギー消費量 [GJ・年$^{-1}$]　(2) 年間 CO_2 排出量 [kg・年$^{-1}$]　(3) 人口 [人]
(4) 地球温暖化係数 [kg-CO_2・kg^{-1}]　(5) 出生率　(6) 年間メタン排出量 [kg・年$^{-1}$]

$\boxed{\text{d}}$　(1) 省エネルギー　(2) 石油火力発電　(3) 石炭火力発電　(4) エネルギー供給の低炭素化
(5) 出生率　(6) プラスチックリサイクル　(7) 廃棄物削減　(8) 温暖化防止

$\boxed{\text{e}}$　(1) 省エネルギー　(2) 石油火力発電　(3) 石炭火力発電　(4) エネルギー供給の低炭素化
(5) 出生率　(6) プラスチックリサイクル　(7) 廃棄物削減　(8) 温暖化防止

問題 A3　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 10 点）

ベンゼン 40.0 mol%，トルエン 60.0 mol%の 2 成分混合液 100 mol を図 A3-1 の回分蒸留装置で大気圧下の回分蒸留にて低沸点成分の濃縮を行う．ここで，残留液（缶液）中のベンゼンの組成が 10.0 mol%になったときに操作を停止させたい．そこで，操作過程を以下のように解析した．なお，溶液は理想溶液とみなせ，ベンゼンのトルエンに対する平均相対揮発度は 2.49 とする．

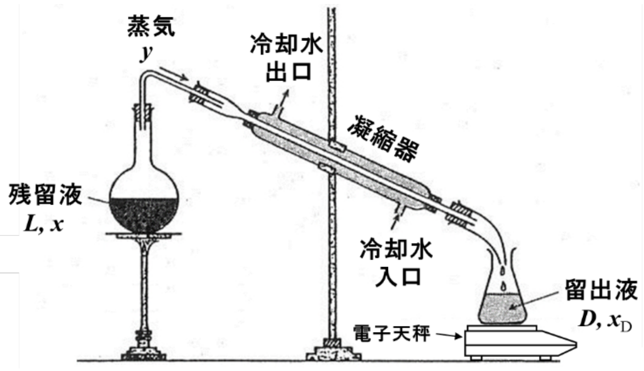


図 A3-1

1) 低沸点成分が成分 1 のとき，その成分 2 に対する相対揮発度（比揮発度）αは，成分 1 と 2 の飽和蒸気圧 p_1^{vap}，p_2^{vap} を用いて $\alpha = \boxed{\text{a}}$ で与えられる．

2) 2 成分系気液平衡関係（成分 1 の気相組成 y，液相組成 x）は，相対揮発度αを用いて

$$y = \frac{\alpha x}{1+(\alpha-1)x}$$ で表現される．

残留液量を L として，上の関係式を回分蒸留における $\dfrac{\mathrm{d}L}{L} = \dfrac{\mathrm{d}x}{y-x}$ （Rayleigh 式）に代入し，αが一定とみなせるとして残留液量（$L = L_0$～L_1），気液両相組成（$x = x_0$～x_1，$y = y_0$～y_1）の範囲で定積分して整理すると次式が導出できる．

$$\ln\left(\frac{L_0}{L_1}\right) = \frac{1}{\boxed{\text{b}}}\left\{\ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right) + \alpha\ln\left(\frac{1-x_1}{1-x_0}\right)\right\} \qquad (1)$$

3) 残留液のベンゼン組成が 10.0 mol%となるように蒸留を停止させるので，上述の関係式から残留液量 L_1 を計算すると $\boxed{\text{c}}$ mol，ベンゼン濃縮液量 D（留出液）は $\boxed{\text{d}}$ mol となる．また留出液を溜めたフラスコ中の溶液全体のベンゼン組成 x_D（平均組成）は $\boxed{\text{e}}$ mol%となり，原料より濃縮されたことがわかる．

[候補群]

a	(1) $p_1^{\text{vap}} + p_2^{\text{vap}}$	(2) $\dfrac{p_1^{\text{vap}}}{p_2^{\text{vap}}}$	(3) $\dfrac{p_2^{\text{vap}}}{p_1^{\text{vap}}}$	(4) $p_1^{\text{vap}} \times p_2^{\text{vap}}$	(5) $p_1^{\text{vap}} - p_2^{\text{vap}}$	
b	(1) $\alpha - 1$	(2) $\alpha + 1$	(3) x	(4) $1 - x$	(5) $x - 1$	
c	(1) 9.50	(2) 20.2	(3) 38.7	(4) 61.3	(5) 79.8	(6) 90.5
d	(1) 9.50	(2) 20.2	(3) 38.7	(4) 61.3	(5) 79.8	(6) 90.5
e	(1) 29.2	(2) 36.9	(3) 47.6	(4) 58.3	(5) 70.1	

問題 A4　静止流体中の球形粒子の運動について，次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 5 点）

流体中を単一球形粒子が重力により自由沈降するとき，この球形粒子に働く力は重力，浮力，抗力となる．粒子の直径を D，粒子の密度を ρ_{P}，流体の密度を ρ，沈降速度を u，抗抗係数を C_{D}，重力加速度を g とすると，重力は $\boxed{\mathrm{a}}$，浮力は $\boxed{\mathrm{b}}$，抗力は $\boxed{\mathrm{c}}$ で表される．なお，抗力は，(抵抗係数) × (運動エネルギー) × (物体の投影面積) で表すことができる．

Reynolds 数が 2 より小さい Stokes 域では，抵抗係数 C_{D} は Reynolds 数の −1 乗に比例し，球形粒子に働く抗力は沈降速度 u の $\boxed{\mathrm{d}}$ 乗に比例する．このとき終末速度は，粒子径 D の $\boxed{\mathrm{e}}$ 乗に比例する．

[候補群]

$\boxed{\mathrm{a}}$　(1) $\frac{\pi}{6}\frac{D^3\rho_{\mathrm{P}}g}{u}$　(2) $\frac{\pi}{2}\frac{D^3\rho_{\mathrm{P}}g}{u}$　(3) $\frac{4\pi}{3}\frac{D^3\rho_{\mathrm{P}}g}{u}$　(4) $\frac{\pi}{6}D^3\rho_{\mathrm{P}}g$　(5) $\frac{\pi}{2}D^3\rho_{\mathrm{P}}g$　(6) $\frac{4\pi}{3}D^3\rho_{\mathrm{P}}g$

$\boxed{\mathrm{b}}$　(1) $\frac{\pi}{6}\frac{D^3\rho g}{u}$　(2) $\frac{\pi}{2}\frac{D^3\rho g}{u}$　(3) $\frac{4\pi}{3}\frac{D^3\rho g}{u}$　(4) $\frac{\pi}{6}D^3\rho g$　(5) $\frac{\pi}{2}D^3\rho g$　(6) $\frac{4\pi}{3}D^3\rho g$

$\boxed{\mathrm{c}}$　(1) $\frac{\pi}{8}\rho u^2 C_{\mathrm{D}}D^2$　(2) $\frac{\pi}{2}\rho u^2 C_{\mathrm{D}}D^2$　(3) $\frac{4\pi}{3}\rho u^2 C_{\mathrm{D}}D^2$　(4) $\frac{\pi}{4}\rho u C_{\mathrm{D}}D^2$　(5) $\pi\rho u C_{\mathrm{D}}D^2$　(6) $4\pi\rho u C_{\mathrm{D}}D^2$

$\boxed{\mathrm{d}}$　(1) 0　(2) $\frac{1}{2}$　(3) 1　(4) $\frac{3}{2}$　(5) 2　(6) $\frac{5}{2}$

$\boxed{\mathrm{e}}$　(1) 0　(2) $\frac{1}{2}$　(3) 1　(4) $\frac{3}{2}$　(5) 2　(6) $\frac{5}{2}$

問題 A5　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 5 点）

矩形の開水路（上面が開放）を水が流れている．

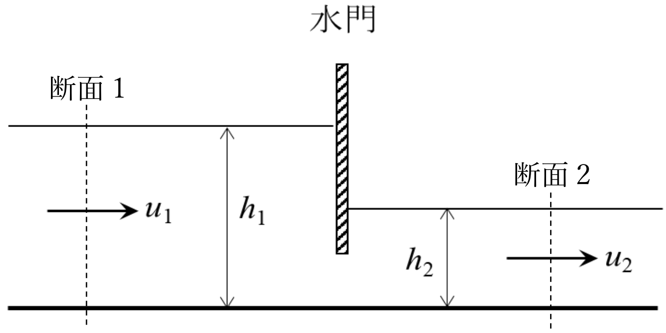


図 A5-1　矩形の開水路

流れの途中に水門が設置されていて（図 A5-1），流れは場所により水深，流速が変化しない一様流であると仮定すると，上流側の断面 1 と下流側の断面 2 で流れの断面積 A_1，A_2，流速 u_1，u_2 を用いて，連続の式（非圧縮性流体）が得られる．

$$A_1u_1 = A_2u_2 \tag{1}$$

また，水路の底面は水平と仮定し，上流側，下流側の水深 h_1，h_2，重力加速度 g とおけば，静水圧の関係式と Bernoulli の式から式(2)が成り立つ．

$$gh_1 + \frac{u_1^2}{2} = gh_2 + \frac{u_2^2}{2} \tag{2}$$

水路の幅 $W = 8.0$ m，水深が $h_1 = 5.0$ m，$h_2 = 2.0$ m のとき，重力加速度 $g = 9.8$ m･s^{-2} とすると，流速 u_2 は流速 u_1 の $\boxed{\text{a}}$ 倍となり，$u_1 =$ $\boxed{\text{b}}$ m･s^{-1}，$u_2 =$ $\boxed{\text{c}}$ m･s^{-1}，流量 $Q =$ $\boxed{\text{d}}$ m^3･s^{-1} が得られる．

[候補群]

a	(1) 0.4	(2) 0.75	(3) 1.0	(4) 1.5	(5) 2.5
b	(1) 3.3	(2) 3.8	(3) 5.4	(4) 6.6	(5) 9.8
c	(1) 6.6	(2) 8.3	(3) 9.5	(4) 10.8	(5) 13.5
d	(1) 53	(2) 66	(3) 106	(4) 132	(5) 332

問題 A6　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．ただし，流体の物性値の温度依存性はないものとする．（配点 10 点）

二重管式熱交換器の環状部に温度 T_{V} の飽和蒸気を流し，温度 T_1，質量流量 w で流入する比熱容量 c_p の流体を加熱する．飽和蒸気による加熱量 Q は，伝熱面積 A，総括熱伝達係数 U を用いて

$$Q = UA\Delta T_{\mathrm{lm}} \tag{1}$$

で与えられる．ここで，ΔT_{lm} は対数平均温度差であり，流体の出口温度を T_2 とすると

$$\Delta T_{\mathrm{lm}} = \boxed{\text{a}} \tag{2}$$

と表される．一方，管内流体が得る熱量は

$$Q = wc_p(T_2 - T_1) \tag{3}$$

であるので，蒸気温度 T_{V} と流体の入口温度 T_1，出口温度 T_2 の関係は次式で表される．

$$T_2 = T_{\mathrm{V}} - (T_{\mathrm{V}} - T_1)\ \boxed{\text{b}} \tag{4}$$

飽和蒸気温度 $T_{\mathrm{V}} = 110$ ℃，流体の入口温度 $T_1 = 20$ ℃ のとき，流体の出口温度は $T_2 = 65$ ℃ であった．このとき，$\dfrac{UA}{wc_p}$ の値は $\boxed{\text{c}}$ となる．同一の熱交換器を 2 基直列に連結して同じ条件で加熱する場合，総括熱伝達係数 U が変化しないと仮定すると，流体の出口温度は $\boxed{\text{d}}$ ℃ となる．また，同一の熱交換器を 2 基並列に設置し，質量流量 w の流体を等流量に分流して同じ条件で加熱する場合，管内側の境膜伝熱が支配的で熱伝達係数 h が質量流量 w の 0.8 乗に比例して変化すると仮定すると，出口温度は $\boxed{\text{e}}$ ℃ となる．

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$　(1) $\dfrac{T_1 - T_2}{\ln\left(\dfrac{T_{\mathrm{V}} - T_1}{T_{\mathrm{V}} - T_2}\right)}$　(2) $\dfrac{T_2 - T_1}{\ln\left(\dfrac{T_{\mathrm{V}} - T_1}{T_2 - T_{\mathrm{V}}}\right)}$　(3) $\dfrac{T_2 - T_1}{\ln\left(\dfrac{T_{\mathrm{V}} - T_1}{T_{\mathrm{V}} - T_2}\right)}$　(4) $\dfrac{T_V - T_1}{\ln\left(\dfrac{T_2 - T_1}{T_2 - T_{\mathrm{V}}}\right)}$　(5) $\dfrac{T_V - T_2}{\ln\left(\dfrac{T_{\mathrm{V}} - T_1}{T_2 - T_1}\right)}$

$\boxed{\text{b}}$　(1) $\exp\left(-\dfrac{wc_p}{UA}\right)$　(2) $\exp\left(\dfrac{UA}{wc_p}\right)$　(3) $\exp\left(-\dfrac{UA}{wc_p}\right)$　(4) $\ln\left(\dfrac{UA}{wc_p}\right)$　(5) $\ln\left(\dfrac{wc_p}{UA}\right)$

c	(1) 0.59	(2) 0.63	(3) 0.69	(4) 0.79	(5) 0.83
d	(1) 69	(2) 82	(3) 88	(4) 93	(5) 98
e	(1) 69	(2) 82	(3) 88	(4) 93	(5) 98

問題 A7　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 10 点）

ベンゼン（標準沸点 80.1 °C）50 mol%とトルエン（標準沸点 110.6 °C）50 mol%の原料（供給流量 100 kmol·h^{-1}）を全圧 101 kPa，温度 95 °C でフラッシュさせた．このときの気液平衡関係が Raoult の法則に従うと仮定して，以下のようにして解析する．

ベンゼンとトルエンの飽和蒸気圧は，次式に示す Antoine の式で与えられる．

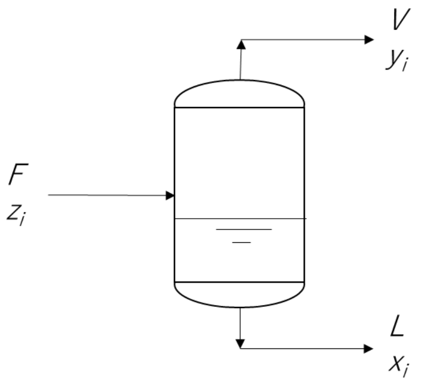
$$\text{ベンゼン：}\ \ln(P^*) = 20.7936 - \frac{2788.51}{T - 52.36} \qquad (1)$$

$$\text{トルエン：}\ \ln(P^*) = 20.9065 - \frac{3096.52}{T - 53.67} \qquad (2)$$

ここで，P^*：蒸気圧 [Pa]，T：温度 [K]

ベンゼン（成分 1 とする）とトルエン（成分 2 とする）の気液平衡定数をそれぞれ K_1，K_2 とすると，上記のフラッシュ条件では，$K_1 = \boxed{\text{a}}$，$K_2 = \boxed{\text{b}}$ となる．

次にフラッシュ操作に関する変数の関係式を図 A7-1 の記号を用いて整理すると，



記号
F：原料流量 [kmol·h^{-1}]
V：気相流量 [kmol·h^{-1}]
L：液相流量 [kmol·h^{-1}]
z_i：成分iの原料モル分率 [-]
y_i：成分iの気相モル分率 [-]
x_i：成分iの液相モル分率 [-]

添字i：1=ベンゼン，2=トルエン

図 A7-1

- 物質収支　$V + L = F$
  $V y_i + L x_i = F z_i$
- 気液平衡関係　$y_i = K_i x_i$
- モル分率の総和　$x_1 + x_2 = 1$，$y_1 + y_2 = 1$

となる．この関係式を連立させて解くことにより，フラッシュ後の気液平衡関係が

- 気相のモル流量 $V = \boxed{\text{c}}$ kmol·h^{-1}
- ベンゼンの気相組成（モル分率）$y_1 = \boxed{\text{d}}$
- ベンゼンの液相組成（モル分率）$x_1 = \boxed{\text{e}}$

と求められる．

[候補群]

a	(1) 0.535	(2) 0.629	(3) 0.801	(4) 1.553	(5) 1.826
b	(1) 0.535	(2) 0.629	(3) 0.801	(4) 1.553	(5) 1.826
c	(1) 38.1	(2) 40.4	(3) 44.6	(4) 52.1	(5) 61.5
d	(1) 0.354	(2) 0.401	(3) 0.595	(4) 0.623	(5) 0.703
e	(1) 0.354	(2) 0.401	(3) 0.595	(4) 0.623	(5) 0.703

問題 A8　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 5 点）

理想気体 1 mol（800 K，2 MPa）に以下の各過程の操作を順次行う．生じる変化はいずれも可逆変化とする．

- 過程①→②：800 K，2 MPa から断熱的に 1 MPa まで減圧する．
- 過程②→③：体積を変化させずに 300 K まで冷却する．
- 過程③→④：温度を変化させずに 2 MPa まで圧縮する．
- 過程④→①：圧力を変化させずに 800 K まで加熱する．

なお，定容モル熱容量 $c_v = 2.5R$（R：気体定数，8.31 J･mol^{-1}･K^{-1}）である．

1) c_v と定圧モル熱容量 c_p には $\boxed{\text{a}}$ の関係が成り立つ．
2) ①→②において，減圧後の温度は $\boxed{\text{b}}$ K である．また，この気体によってなされる仕事 W（外部にした仕事を正とする）は $\boxed{\text{c}}$ kJ である．
3) ④→①において，W は $\boxed{\text{d}}$ kJ であり，内部エネルギー変化ΔU は $\boxed{\text{e}}$ kJ である．

[候補群]

a	(1) $c_p = c_v$	(2) $c_p - c_v = R$	(3) $c_p + c_v = R$	(4) $c_p - c_v = 2.5R$		(5) $c_p + c_v = 2.5R$
b	(1) 150	(2) 345	(3) 404	(4) 656		(5) 1045
c	(1) −10.4	(2) −3.0	(3) 0	(4) 3.0		(5) 10.4
d	(1) 2.5	(2) 3.7	(3) 4.2	(4) 6.2	(5) 8.7	(6) 10.3
e	(1) 2.5	(2) 3.7	(3) 4.2	(4) 6.2	(5) 8.7	(6) 10.3

問題 A9　気体の性質に関する次の記述のうち，**<u>正しいものを 2 つ選びなさい.</u>**（配点 5 点）

(1) 気体分子間に相互作用がない気体は全て理想気体であり，状態方程式に完全に従う.

(2) Reynolds 数は，慣性力と粘性力の比を表す無次元数であり，対象流体の動粘度が小さいほど層流になりやすい.

(3) Joule-Thomson 効果とは，気体が断熱的に孔から流れ出すときに温度が低下する現象である.

(4) Bernoulli の式は，非圧縮性流体の定常流れにおいて，流線上の任意の 2 点で成り立つエネルギー保存則である.

(5) Maxwell-Boltzmann 分布とは，理想気体の分子速度の確率分布を表す関数であり，分布の期待値から平均速度を導出することができる.

(6) Antoine の式は，飽和蒸気圧と温度の関係を表す実験式であり，その定数は物質に固有の値をとるが，適用温度範囲によって異なる.

問題 A10　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 10 点）

以下の液相反応を，体積 $V = 1.50\,\mathrm{m^3}$ の連続槽型反応器で行う．

$$\mathrm{A + 2B \rightarrow C} \qquad (1)$$

$$-r_\mathrm{A} = kC_\mathrm{A}C_\mathrm{B} \qquad (2)$$

原料溶液には生成物 C は含まれておらず，A と B の濃度はそれぞれ $C_\mathrm{A0} = 1.00\times10^3\ \mathrm{mol\cdot m^{-3}}$ と $C_\mathrm{B0} = 3.00\times10^3\ \mathrm{mol\cdot m^{-3}}$ である．反応器内は等温，完全混合状態であり，反応による液相の体積変化は無視できるとする．

成分 A の反応率を x_A とすると，反応速度は $-r_\mathrm{A} =$ $\boxed{\ \mathrm{a}\ }$ $[\mathrm{mol\cdot m^{-3}\cdot s^{-1}}]$ と表される．原料溶液の体積流量が $v_0 = 4.00\times10^{-4}\ \mathrm{m^3\cdot s^{-1}}$ のとき，空間時間は $\boxed{\ \mathrm{b}\ }$ s であり，このとき成分 A の反応率は 50.0 % であった．したがって，反応速度定数 k の値は $k =$ $\boxed{\ \mathrm{c}\ }$ $\mathrm{mol^{-1}\cdot s^{-1}\cdot m^3}$ と求まる．

原料溶液の体積流量 v_0 は一定で，反応率を x_A = 75.0 % まで向上させるためには，反応器体積を $V =$ $\boxed{\ \mathrm{d}\ }$ $\mathrm{m^3}$ へ変更する必要がある．このとき，反応器出口における未反応原料 A と B，生成物 C の物質量流量は，それぞれ $F_\mathrm{A} =$ $\boxed{\ \mathrm{e}\ }$ $\mathrm{mol\cdot s^{-1}}$，$F_\mathrm{B} =$ $\boxed{\ \mathrm{f}\ }$ $\mathrm{mol\cdot s^{-1}}$，$F_\mathrm{C} =$ $\boxed{\ \mathrm{g}\ }$ $\mathrm{mol\cdot s^{-1}}$ となる．

[候補群]

$\boxed{\ \mathrm{a}\ }$　(1) $kC_\mathrm{A0}^2(1-x_\mathrm{A})^2$　(2) $kC_\mathrm{A0}^2(1-x_\mathrm{A})(3-x_\mathrm{A})$　(3) $kC_\mathrm{A0}^2(1-x_\mathrm{A})(1-2x_\mathrm{A})$　(4) $kC_\mathrm{A0}^2(1-x_\mathrm{A})(3-2x_\mathrm{A})$　(5) $kC_\mathrm{A0}^2(3-2x_\mathrm{A})^2$

$\boxed{\ \mathrm{b}\ }$　(1) 750　(2) 1500　(3) 2250　(4) 3000　(5) 3750　(6) 4500

$\boxed{\ \mathrm{c}\ }$　(1) 7.33×10^{-8}　(2) 1.07×10^{-7}　(3) 1.33×10^{-7}　(4) 3.33×10^{-7}　(5) 5.33×10^{-7}

$\boxed{\ \mathrm{d}\ }$ ～ $\boxed{\ \mathrm{g}\ }$　(1) 0.100　(2) 0.120　(3) 0.150　(4) 0.300　(5) 0.600　(6) 0.900　(7) 1.00　(8) 3.00　(9) 6.00　(10) 9.00

第二部 15:45〜16:45

問題 B1　2 成分系混合流体中の物質流束，拡散流束，濃度分布に関する次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．（配点 10 点）

1) A と B の 2 成分混合流体中に濃度勾配が存在するとき，それぞれの成分は濃度の高い領域から低い領域へ向かって拡散する．静止流体中では成分 A，B は分子運動によって拡散するが，流体が流れている場合には成分 A，B は流れに乗って移動しながら分子拡散する．

静止座標系において，流体が流れているときの局所の成分 A，B の速度ベクトルを $\boldsymbol{v}_\mathrm{A}$，$\boldsymbol{v}_\mathrm{B}$，物質量濃度を C_A，C_B，全物質量濃度を $C = C_\mathrm{A} + C_\mathrm{B}$ とすると，モル平均の局所速度ベクトル $\boldsymbol{v}^*$は

$$\boldsymbol{v}^* = \frac{C_\mathrm{A}\boldsymbol{v}_\mathrm{A} + C_\mathrm{B}\boldsymbol{v}_\mathrm{B}}{C} = x_\mathrm{A}\boldsymbol{v}_\mathrm{A} + x_\mathrm{B}\boldsymbol{v}_\mathrm{B} \tag{1}$$

で表される．ここで，x_A，x_B は成分 A，B のモル分率であり，拡散が起っている場合には $\boldsymbol{v}_\mathrm{A} \neq \boldsymbol{v}_\mathrm{B}$ となる．式(1)のモル平均速度 $\boldsymbol{v}^*$で移動する座標系から観察すると，成分 A の広がりは静止流体中の拡散現象と同一となる．そこで，局所の拡散流束ベクトル（物質量基準）$\boldsymbol{J}_\mathrm{A}$ を

$$\boldsymbol{J}_\mathrm{A} = C_\mathrm{A}(\boldsymbol{v}_\mathrm{A} - \boldsymbol{v}^*) \tag{2}$$

と表すと，$\boldsymbol{J}_\mathrm{A}$ はモル分率勾配 ∇x_A （ベクトル量），拡散係数 D を用いて式(3)と関係づけられる．

$$\boldsymbol{J}_\mathrm{A} = -CD\nabla x_\mathrm{A} \tag{3}$$

式(3)を $\boxed{\ \mathrm{a}\ }$ の法則とよぶ．また，式(2)から，拡散流束 $\boldsymbol{J}_\mathrm{A}$ と成分 A，B の物質流束ベクトル $\boldsymbol{N}_\mathrm{A} = C_\mathrm{A}\boldsymbol{v}_\mathrm{A}$，$\boldsymbol{N}_\mathrm{B} = C_\mathrm{B}\boldsymbol{v}_\mathrm{B}$ との間には次の関係が成り立つ．

$$\boldsymbol{J}_\mathrm{A} = \boldsymbol{N}_\mathrm{A} - \boxed{\ \mathrm{b}\ } \tag{4}$$

2) 揮発性液体 A を入れた円筒があり，円筒の開口部上部では気体 B が流れている系がある．ただし，気体 B は液体 A に不溶，系の温度，全圧は一定であるとする．内部の液体 A は蒸発・拡散して開口部から外部へ流出し，開口部付近には A と B が混合した気相が形成される（図 B1-1）．一方，B については開口部を通しての拡散が生じる．蒸発速度が小さい場合には液面の降下速度は遅く，長時間蒸発を続けると円筒内には擬定常の濃度分布が形成される．そのときの A の濃度分布と蒸発速度の関係を以下に検討する．

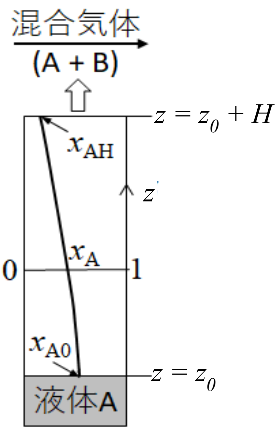


図 B1-1

図 B1-1 に示すように，円筒上向き方向に z 座標をとり，液面（$z = z_0$）と開口部（$z = z_0 + H$）の気体 A，B のモル分率を x_A0，x_AH および x_B0，x_BH とする．式(3)より円筒内の成分 A の z 方向拡散流束 $J_{\mathrm{A}z}$ は式(5)で表される．

$$J_{\mathrm{A}z} = -CD\frac{\partial x_\mathrm{A}}{\partial z} \tag{5}$$

定常状態では，A の物質収支より z 方向の物質流束 $N_{\mathrm{A}z}$ は一定となるが，気体 B は液体 A に溶解しないので物質流束は $N_{\mathrm{B}z} = 0$ である．その結果，式(4)，(5)より成分 A のモル分率勾配は式(6)で表される．

$$\frac{\mathrm{d}x_\mathrm{A}}{\mathrm{d}z} = -\boxed{\ \mathrm{c}\ }\frac{N_{\mathrm{A}z}}{CD} \tag{6}$$

式(6)を解くと，成分 A のモル分率分布は式(7)で表される．

$$\ln\left(\frac{1-x_{\mathrm{A}}}{1-x_{\mathrm{A0}}}\right)=\frac{N_{\mathrm{A}z}}{CD}\boxed{\;\mathrm{d}\;} \tag{7}$$

また，式(7)から物質流束（単位面積あたりの蒸発速度）$N_{\mathrm{A}z}$ は式(8)で表される．

$$N_{\mathrm{A}z}=\frac{CD(x_{\mathrm{A0}}-x_{\mathrm{AH}})}{H}\frac{1}{\Omega} \tag{8}$$

$$\Omega=\boxed{\;\mathrm{e}\;} \tag{9}$$

なお，A が難揮発性物質である場合には，$\Omega=1$ とみなせる．

[候補群]

$\boxed{\mathrm{a}}$	(1) Arrhenius	(2) Fick	(3) Fourier	(4) Henry	(5) Newton
$\boxed{\mathrm{b}}$	(1) $x_{\mathrm{A}}\boldsymbol{N}_{\mathrm{A}}$	(2) $x_{\mathrm{B}}\boldsymbol{N}_{\mathrm{B}}$	(3) $x_{\mathrm{A}}(\boldsymbol{N}_{\mathrm{A}}+\boldsymbol{N}_{\mathrm{B}})$	(4) $x_{\mathrm{B}}(\boldsymbol{N}_{\mathrm{A}}+\boldsymbol{N}_{\mathrm{B}})$	(5) $x_{\mathrm{A}}(\boldsymbol{N}_{\mathrm{A}}-\boldsymbol{N}_{\mathrm{B}})$
$\boxed{\mathrm{c}}$	(1) 1	(2) x_{A}	(3) $\dfrac{1}{x_{\mathrm{A}}}$	(4) $(1-x_{\mathrm{A}})$	(5) $\dfrac{1}{1-x_{\mathrm{A}}}$
$\boxed{\mathrm{d}}$	(1) z	(2) $\dfrac{z}{H}$	(3) $(z-z_0)$	(4) $\dfrac{z-z_0}{H}$	(5) $(H-z)$
$\boxed{\mathrm{e}}$	(1) $\dfrac{x_{\mathrm{AH}}-x_{\mathrm{A0}}}{\ln\left(\dfrac{x_{\mathrm{AH}}}{x_{\mathrm{A0}}}\right)}$	(2) $\dfrac{x_{\mathrm{BH}}-x_{\mathrm{B0}}}{\ln\left(\dfrac{x_{\mathrm{BH}}}{x_{\mathrm{B0}}}\right)}$	(3) $\dfrac{x_{\mathrm{AH}}-x_{\mathrm{B0}}}{\ln\left(\dfrac{x_{\mathrm{AH}}}{x_{\mathrm{B0}}}\right)}$	(4) $\dfrac{x_{\mathrm{BH}}-x_{\mathrm{A0}}}{\ln\left(\dfrac{x_{\mathrm{BH}}}{x_{\mathrm{A0}}}\right)}$	(5) $\dfrac{x_{\mathrm{A0}}-x_{\mathrm{B0}}}{\ln\left(\dfrac{x_{\mathrm{A0}}}{x_{\mathrm{B0}}}\right)}$

問題 B2　以下の **B2-1**～**B2-3** の **3 問のうちから 1 問を選んで解答しなさい**．（配点 10 点）

B2-1　多段の回分吸着操作について次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

吸着平衡において吸着等温式が式(1)で表されるとき，この式を $\boxed{\text{a}}$ の吸着等温式という．

$$q = \frac{q_s KC}{1 + KC} \tag{1}$$

ここで，q [mol·kg^{-1}] は吸着材への吸着質の平衡吸着量，q_s [mol·kg^{-1}] は飽和吸着量，C [mol·m^{-3}]は吸着質の溶液中の平衡濃度，K [m^3·mol^{-1}] は定数である．

希薄な溶液では，式(1)は式(2)として近似できる．

$$q = q_s KC \tag{2}$$

この式は，$\boxed{\text{b}}$ の吸着等温式と同じ形となる．

いま，吸着質の初濃度 C_0 [mol·m^{-3}]，体積 V [m^3] の溶液に，未使用のこの吸着材を質量 m [kg] 投入し，回分吸着操作を行う．

十分な時間が経過して平衡に至ったときの吸着質の濃度が C_1 であったとき，吸着質の物質収支から吸着材への吸着量 q は式(3)で表される．

$$q = \boxed{\text{c}} \tag{3}$$

初濃度 C_0 が希薄であり，式(2)の吸着等温式を適用できるとすると，吸着質の濃度 C_1 [mol·m^{-3}] は式(4)で表すことができる．

$$C_1 = \boxed{\text{d}} \tag{4}$$

この溶液から吸着剤を取り除いた後，残った溶液に新たに m [kg] の吸着剤を投入して，もう一回吸着操作を行う．吸着が平衡に至ったときの吸着質の濃度 C_2 [mol·m^{-3}] は式(5)で表すことができる．ただし，溶液の体積 V は変化しないとする．

$$C_2 = \boxed{\text{e}} \tag{5}$$

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$　(1) BET　(2) Freundlich　(3) Gibbs　(4) Henry　(5) Langmuir

$\boxed{\text{b}}$　(1) BET　(2) Freundlich　(3) Gibbs　(4) Henry　(5) Langmuir

$\boxed{\text{c}}$　(1) $\dfrac{m}{V}(C_0 - C_1)$　(2) $\dfrac{V}{m}(C_0 - C_1)$　(3) $\dfrac{m}{V}(C_1 - C_0)$　(4) $\dfrac{V}{m}(C_1 - C_0)$　(5) $q_s K\dfrac{V}{m}(C_1 - C_0)$

$\boxed{\text{d}}$　(1) $C_0 \dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}$　(2) $C_0 \dfrac{q_s K}{\frac{m}{V} + 1}$　(3) $C_0 \dfrac{\frac{m}{V} + 1}{q_s K}$　(4) $\dfrac{C_0}{q_s} \dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}$　(5) $\dfrac{q_s}{C_0} \dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}$

$\boxed{\text{e}}$　(1) $C_0 \left(\dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}\right)^2$　(2) $C_0 \left(\dfrac{q_s K}{\frac{m}{V} + 1}\right)^2$　(3) $C_0 \left(\dfrac{\frac{m}{V} + 1}{q_s K}\right)^2$　(4) $\dfrac{C_0}{q_s} \left(\dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}\right)^2$

(5) $\dfrac{q_s}{C_0} \left(\dfrac{1}{q_s K \frac{m}{V} + 1}\right)^2$

B2-2　次の文の中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

1) 図 B2-1 は，ガス分離膜をガス成分 A が透過する様子を模式的に表している．同図において，成分 A の非透過側分圧を p_{A1} [kPa]，透過側分圧を p_{A2} [kPa]，膜厚さを δ [m]とすると，成分 A の透過流束 J_A [kmol・s^{-1}・m^{-2}] は成分 A の透過係数 P_A [kmol・m^{-1}・s^{-1}・kPa^{-1}] を用いて $\boxed{\text{a}}$ と表される．

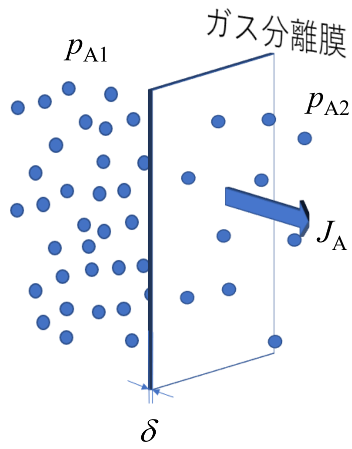


図 B2-1

2) 2 つのゴム風船にヘリウムと窒素をそれぞれ充填し，一定の温度（273 K），圧力（101 kPa）の窒素で満たされた広い部屋の中に置いた．以下の文章はゴム風船の膜を通したガス透過現象について説明している．ただし，気体は理想気体とし，更に以下の条件を仮定する．

- 透過係数：ヘリウム $P_{He} = 1.0\times10^{-14}$ kmol・m^{-1}・s^{-1}・kPa^{-1}
  窒素 $P_{N2} = 0.3\times10^{-14}$ kmol・m^{-1}・s^{-1}・kPa^{-1}
- ゴム風船が膨らんだときの膜の厚み：$\delta = 0.5$ mm
- ゴム風船が膨らんだときの表面積：1 m^2
- ゴム風船に充填されたガスの初期圧力：111 kPa

ヘリウムを充填したゴム風船から窒素中に出ていくヘリウムの初期透過流量は，$\boxed{\text{b}}$ kmol・s^{-1}であり，ゴム風船に入ってくる窒素の初期透過流量は，$\boxed{\text{c}}$ kmol・s^{-1}であるので，初期の透過による内部気体の体積変化速度は $\boxed{\text{d}}$ m^3・s^{-1} である．一方，窒素を充填したゴム風船から出ていく窒素の初期透過流量は $\boxed{\text{e}}$ kmol・s^{-1}であるので，初期の透過による内部気体の体積変化速度は $\boxed{\text{f}}$ m^3・s^{-1}となる．初期には膨らんだ風船のゴムの張力による影響はどちらの風船にもほぼ等しく働くので，$\boxed{\text{g}}$ を充填したゴム風船の方が早く萎むことが予測できる．

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$　(1) $J_A = \dfrac{\delta}{P_A}(p_{A1} - p_{A2})$　(2) $J_A = P_A(p_{A1} - p_{A2})$　(3) $J_A = P_A \delta p_{A1}$

(4) $J_A = \dfrac{P_A}{\delta}(p_{A1} - p_{A2})$　(5) $J_A = \dfrac{P_A}{\delta}(p_{A2} - p_{A1})$

$\boxed{\text{b}}$ ～ $\boxed{\text{f}}$　(1) 2.0×10^{-11}　(2) 6.0×10^{-11}　(3) 3.03×10^{-10}　(4) 6.06×10^{-10}　(5) 1.23×10^{-9}

(6) 2.22×10^{-9}　(7) 3.30×10^{-8}

$\boxed{\text{g}}$　(1) 窒素　(2) ヘリウム

B2-3　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

水に不溶性の揮発性成分 A に水蒸気 S を吹き込んで発生させた蒸気を理想気体と見なすことができるとき，その全圧（操作圧）P は液組成に関係なくその温度における水の飽和蒸気圧 P_S と揮発成分の飽和蒸気圧 P_A の和となる．したがって，全圧 P が条件として与えられると，沸騰温度は次式を満足するように決まる．

$$P = P_S + P_A \tag{1}$$

このとき，蒸気組成（モル分率）y の比は次式で与えられる．

$$\frac{y_S}{y_A} = \frac{P_S}{P_A} \tag{2}$$

この蒸気の全凝縮液は水相と A 相の 2 相に分離し，その質量比 $\frac{W_S}{W_A}$ は，水と成分 A の分子量を M_S，M_A とすれば，式(2)の関係を用いて次式で与えられ，成分 A を留出するために必要となる水蒸気の質量を知ることができる．

$$\frac{W_S}{W_A} = \boxed{\text{a}} \tag{3}$$

次ページに与えられる図 B2-2 の各成分の蒸気圧曲線および 全圧 $P = 86$ kPa における $(P - P_{\mathrm{steam}})$ 対 T 曲線を参考に以下の考察を行う．

1) 全圧 $P = 86$ kPa で p-xylene（A）に過熱水蒸気を吹き込むと，沸騰温度 $T = \boxed{\text{b}}$ K となる．このとき p-xylene の蒸気組成 $y_A = \boxed{\text{c}}$ となる．水と p-xylene の分子量をそれぞれ $M_S = 18$，$M_A = 106$ とすると，凝縮液の質量比 $\frac{W_S}{W_A} = \boxed{\text{d}}$ が得られるので，p-xylene 1 kg を留出するために $\boxed{\text{e}}$ kg の水蒸気が必要となることがわかる．

2) 同じ全圧 $P = 86$ kPa で mesitylene（1,3,5-trimethylbenzene，$M_A = 120$）に過熱水蒸気を吹き込んだとき，上記 1)項の p-xylene の場合に比べて沸騰温度は $\boxed{\text{f}}$，mesitylene 1 kg を留出するために必要となる水蒸気の量は $\boxed{\text{g}}$．

[候補群]

a	(1) $\frac{P_A M_A}{P_S M_S}$	(2) $\frac{P_S M_S}{P_A M_A}$	(3) $\frac{M_S}{M_A}$	(4) $\frac{P_S M_A}{P_A M_S}$	(5) $\frac{P_A M_S}{P_S M_A}$
b	(1) 351	(2) 361	(3) 365	(4) 369	(5) 390
c	(1) 0.12	(2) 0.14	(3) 0.21	(4) 0.24	(5) 0.65
d	(1) 0.05	(2) 0.17	(3) 0.53	(4) 1.9	(5) 3.1
e	(1) 0.05	(2) 0.17	(3) 0.53	(4) 1.9	(5) 3.1
f	(1) 低くなり	(2) 変わらず	(3) 高くなり		
g	(1) 少なくなる	(2) 変わらない	(3) 多くなる		

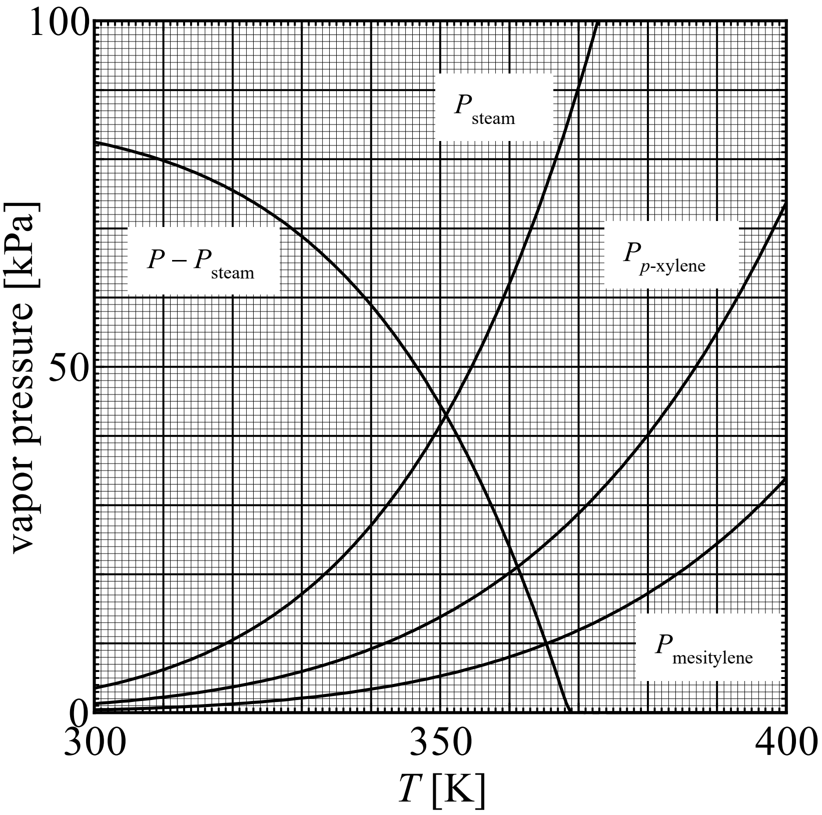


図 B2-2　蒸気圧曲線 および ($P - P_{steam}$) 対 T 曲線（P = 86 kPa）

問題 B3　以下の **B3-1**～**B3-3** の **<u>3 問のうちから 1 問を選んで解答しなさい</u>**．（配点 10 点）

B3-1　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

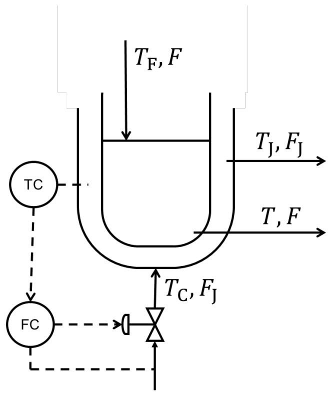


図 B3-1

図 B3-1 のようなジャケット付きタンクで，質量流量 F で供給される液を質量流量 F_J の冷却媒体で冷却するプロセスを考える．供給液は温度 T_F で供給され温度 T へ冷却される．冷却媒体は温度 T_C で供給され，温度 T_J で排出される．タンク内部およびジャケット内部の温度は均一であるとする．供給液の密度ρ，比熱容量 c_p，タンク内液体積 V は一定とする．

ジャケットによるタンクの単位時間あたりの加熱量を Q とすると，熱収支より次式が得られる．

$$\rho c_p V \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = \boxed{\text{a}} + Q \qquad (1)$$

一方，U を総括熱伝達係数，A を熱交換面積とすると $Q = UA(T - T_J)$ である．

F と T_F は一定とし，定常状態の T，T_J の値をそれぞれ T^*，T_J^* と記すと次式が成り立つ．

$$\boxed{\text{b}} + UA(T^* - T_J^*) = 0 \qquad (2)$$

ここで，$y = T - T^*$，$x = T_J - T_J^*$ とおくと式(1)，(2)より

$$\rho c_p V \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = \boxed{\text{c}} - UAx \qquad (3)$$

となる．x，y のラプラス変換をそれぞれ $X(s)$，$Y(s)$ で表し，式(3)をラプラス変換して整理すると次式が得られる．

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{-UA}{\boxed{\text{d}}} \qquad (4)$$

よって，ジャケット温度からタンク内温度への伝達関数は $\boxed{\text{e}}$ であることがわかる．

x が 0 から 1 にステップ的に上昇したとき，y の最終到達値は $\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{s\to 0} sY(s) = \boxed{\text{f}}$ と求められる．したがって，$c_pF = 11$，$UA = 12$ のとき，y の時間変化は $\boxed{\text{g}}$ のグラフのようになる．

タンク内温度を被制御変数としジャケット温度を $\boxed{\text{h}}$ とする比例積分制御系を考える．制御パラメータが適切に設定されていた場合，ジャケット温度が定常値から正方向に大きさ 1 だけステップ的に上昇する外乱に対するタンク内温度の定常値からの変化 y の時間応答は $\boxed{\text{i}}$ のような形となる．なお，実際にはジャケット温度を直接動かすことはできないためジャケット温度そのものを $\boxed{\text{h}}$ とすることはできない．この制御を実現するにはジャケット温度を冷却媒体の流量で制御する制御系を内部ループとする $\boxed{\text{j}}$ を組む場合が多い．

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$　(1) $c_pF(T_F - T_J)$　(2) $c_pF(T_F - T)$　(3) $c_pF(T_C - T_J + T - T_F)$　(4) $c_pF(T_J - T)$
(5) $c_pF(T_F - T - T_J + T_C)$

$\boxed{\text{b}}$　(1) $c_pF(T_F - T_J^*)$　(2) $c_pF(T_F - T^*)$　(3) $c_pF(T_C - T_J^* + T^* - T_F)$　(4) $c_pF(T_J^* - T^*)$
(5) $c_pF(T_F - T^* - T_J^* + T_C)$

$\boxed{\text{c}}$　(1) $c_pF(T_F - T^* - y)$　(2) c_pFy　(3) $(UA - c_pF)\,y$　(4) UAT^*y　(5) $UA(T^* - T_J^*)\,y$

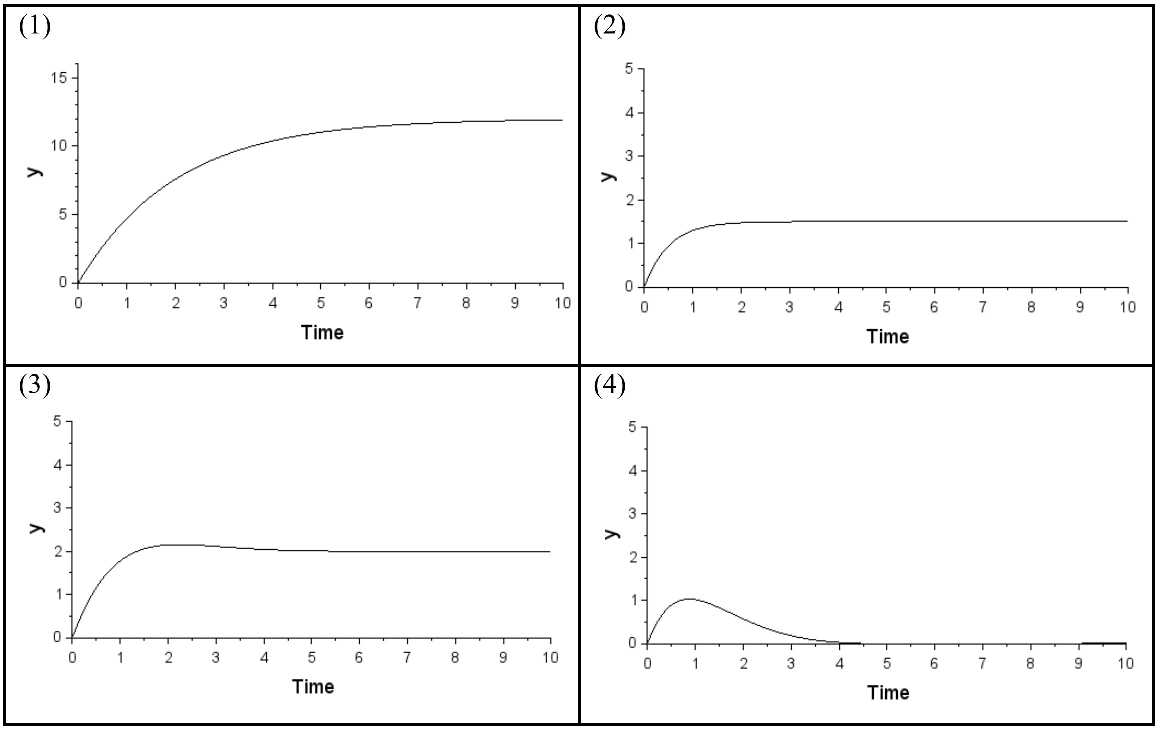
$\boxed{\text{d}}$　(1) $\rho c_pVs + c_pF - UA$　(2) $\rho c_pVs - c_pF - UA$　(3) $-\rho c_pVs - c_pF + UA$
(4) $-\rho c_pVs + c_pF + UA$　(5) $\rho c_pVs + c_pF + UA$

e	(1) 積分系 (2) 無駄時間系 (3) 一次遅れ系 (4) 一次遅れ + 無駄時間系 (5) 二次遅れ系

e　(1) 積分系　(2) 無駄時間系　(3) 一次遅れ系　(4) 一次遅れ + 無駄時間系
(5) 二次遅れ系

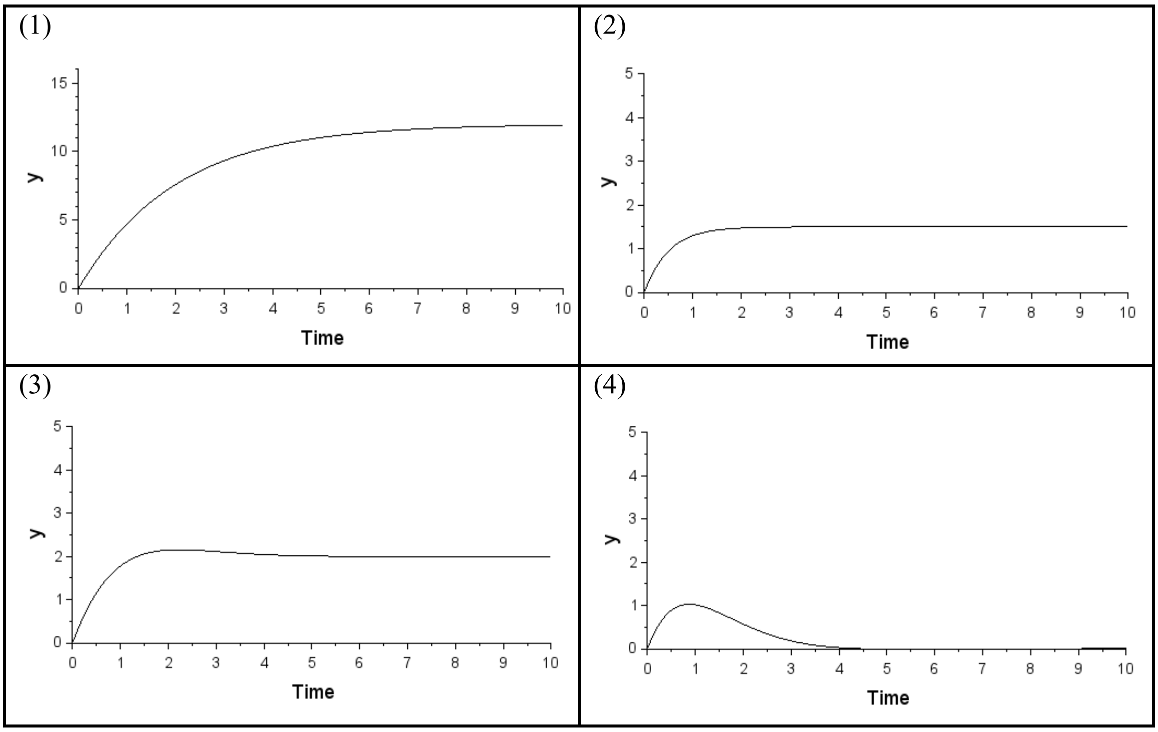
f　(1) UA　(2) $-UA$　(3) $\dfrac{UA}{c_p F}$　(4) $-\dfrac{UA}{c_p F - UA}$　(5) $\dfrac{UA}{c_p F - UA}$

g



h　(1) 設定値　(2) 偏差　(3) 操作変数　(4) 制御変数　(5) 観測値

i



j　(1) 比例制御系　(2) 比例積分制御系　(3) 内部モデル制御系
(4) フィードバック制御系　(5) カスケード制御系

B3-2　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

原料 A, 生成物 R および S からなる液相反応(1)と(2)が同時に生じる．このとき，温度は一定で反応における流体の体積変化は無視できるものとする．

$$\mathrm{A} \rightarrow \mathrm{R} \qquad r_1 = k_1 C_\mathrm{A} \tag{1}$$

$$\mathrm{A} \rightarrow \mathrm{S} \qquad r_2 = k_2 C_\mathrm{A} \tag{2}$$

この反応を反応器体積 V_T の連続槽型反応器（CSTR）で行った場合について，A と R に着目した解析を行う．供給原料中には A と R が含まれ，供給原料の体積流量を v_0，供給原料中の A と R の濃度をそれぞれ C_A0，C_R0，反応器出口の A と R の濃度をそれぞれ C_A，C_R とする．また，A の反応率を x_A とする．

原料 A と目的物 R に関して，式(3)，(4)が成り立つ．

$$C_\mathrm{A} - C_\mathrm{A0} = \boxed{\ \mathrm{a}\ } \frac{V_\mathrm{T}}{v_0} \tag{3}$$

$$C_\mathrm{R} - C_\mathrm{R0} = k_1 C_\mathrm{A} \frac{V_\mathrm{T}}{v_0} \tag{4}$$

式(3)，(4)より

$$\frac{C_\mathrm{R} - C_\mathrm{R0}}{C_\mathrm{A} - C_\mathrm{A0}} = \boxed{\ \mathrm{b}\ } \tag{5}$$

ここで，反応率 x_A を用いて C_A を表すと

$$C_\mathrm{A} = \boxed{\ \mathrm{c}\ } \tag{6}$$

式(5)，(6)より目的物 R の濃度は以下で表せる．

$$C_\mathrm{R} = C_\mathrm{R0} + \boxed{\ \mathrm{d}\ } \tag{7}$$

また，式(3)より反応器体積は以下で求めることができる．

$$V_\mathrm{T} = \boxed{\ \mathrm{e}\ } \tag{8}$$

ここで，R の生成量を増大させるための操作条件を考える．まず，反応率を一定としたまま供給原料の体積流量を 3 倍とするには，反応器体積を $\boxed{\ \mathrm{f}\ }$ 倍とすればよい．また，供給原料の体積流量を一定としたまま反応率を 0.3 から 0.6 まで上昇させるには，反応器体積を $\boxed{\ \mathrm{g}\ }$ 倍とすればよい．

[候補群]

$\boxed{\ \mathrm{a}\ }$　(1) $(k_1 + k_2)C_\mathrm{A}$　(2) $(k_1 - k_2)C_\mathrm{A}$　(3) $(-k_1 + k_2)C_\mathrm{A}$　(4) $-(k_1 + k_2)C_\mathrm{A}$　(5) $-k_1 k_2 C_\mathrm{A}$

$\boxed{\ \mathrm{b}\ }$　(1) $\dfrac{k_1}{k_1 + k_2}$　(2) $\dfrac{k_1}{k_1 - k_2}$　(3) $\dfrac{k_1}{-k_1 + k_2}$　(4) $-\dfrac{k_1}{k_1 + k_2}$　(5) $-\dfrac{1}{k_2}$

$\boxed{\ \mathrm{c}\ }$　(1) $C_\mathrm{A0}(1 - x_\mathrm{A})$　(2) $C_\mathrm{A0}(1 - k_1 x_\mathrm{A})$　(3) $C_\mathrm{A0} - k_1 x_\mathrm{A}$　(4) $C_\mathrm{A0} x_\mathrm{A}$　(5) $k_1 C_\mathrm{A0} x_\mathrm{A}$

$\boxed{\ \mathrm{d}\ }$　(1) $\dfrac{k_1}{k_1 + k_2} C_\mathrm{A0}(1 - x_\mathrm{A})$　(2) $\dfrac{k_1}{k_1 + k_2} C_\mathrm{A0} x_\mathrm{A}$　(3) $\dfrac{-k_1}{k_1 + k_2} C_\mathrm{A0} x_\mathrm{A}$　(4) $\dfrac{-k_1}{k_1 + k_2} C_\mathrm{A0}(1 - x_\mathrm{A})$

(5) $\dfrac{k_1}{k_1 - k_2} C_\mathrm{A0}(1 - x_\mathrm{A})$

$\boxed{\ \mathrm{e}\ }$　(1) $\dfrac{x_\mathrm{A} v_0 (k_1 + k_2)}{1 - x_\mathrm{A}}$　(2) $\dfrac{x_\mathrm{A} v_0}{(k_1 + k_2)(1 - x_\mathrm{A})}$　(3) $\dfrac{x_\mathrm{A} v_0}{k_1 + k_2}$　(4) $(k_1 + k_2) x_\mathrm{A} v_0$　(5) $\dfrac{v_0 (k_1 + k_2)}{1 - x_\mathrm{A}}$

$\boxed{\ \mathrm{f}\ }$　(1) 0.33　(2) 1.0　(3) 3.0　(4) 6.0　(5) 9.0

$\boxed{\ \mathrm{g}\ }$　(1) 0.33　(2) 0.5　(3) 2.0　(4) 3.0　(5) 3.5

問題 B3-3　次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい．

1) 直径 20.0 mm，長さ 300 mm の表面温度 100 °C の円柱が，温度 20 °C の空気中に置かれている．空気の物性値として，熱伝導率 k は 3.00×10^{-2} W·m^{-1}·K^{-1}，粘度 μ は 2.00×10^{-5} Pa·s，密度 ρ は 9.00×10^{-1} kg·m^{-3}，比熱容量 c_p は 1.05 kJ·kg^{-1}·K^{-1}，体膨張係数 β は $\dfrac{1}{300}$ K^{-1} とする．なお，以下の設問において，Reynolds 数は Re，Nusselt 数は Nu，Prandtl 数は Pr，Grashof 数は Gr と表す．
この円柱を静止空気中に水平に置いたときの Grashof 数は $\boxed{\text{a}}$ である．また，自然対流においては，$Nu = 0.53(Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{4}}$ で計算できるので，この条件における Nusselt 数は $\boxed{\text{b}}$ となる．よって，熱移動速度は $\boxed{\text{c}}$ W となる．なお，Pr と Gr はそれぞれ以下の式で与えられる．

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \tag{1}$$

$$Gr = \frac{L^3 g \beta \Delta T}{\nu^2} \tag{2}$$

ここで，代表長さを L，重力加速度を g，固体表面温度と流体との温度差を ΔT，動粘度を ν とする．

次に，この円柱に対して温度 20 °C の空気が流速 2.00 m·s^{-1} で直交してあたるときの Reynolds 数は $\boxed{\text{d}}$ である．この条件においては，$Nu = 0.26Re^{0.6} \cdot Pr^{0.3}$ で計算できるので，熱伝達係数は $\boxed{\text{e}}$ W·m^{-2}·K^{-1} となる．よって，熱移動速度は $\boxed{\text{f}}$ W となる．

2) 鉛直に置かれた平板に沿った境界層を考える．平板に沿う方向を x 軸，平板と垂直方向を y 軸とし，x 方向の流速を U，y 方向の流速を V とすると，境界層内の運動方程式は次式で与えられる．なお，右辺第二項の浮力項は，境界層外側の主流の温度 T_∞ との温度差として与えることができる．

$$U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} = \nu\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + g\beta(T - T_\infty) \tag{3}$$

それぞれの変数を無次元化して，その変数に＊を付けると，次式の運動方程式を得る．なお，浮力項の温度差は，平板表面温度 T_s と T_∞ との温度差で割ることによって無次元化をする．

$$U^*\frac{\partial U^*}{\partial x^*} + V^*\frac{\partial U^*}{\partial y^*} = A\frac{\partial^2 U^*}{\partial y^{*2}} + BT^* \tag{4}$$

ここで右辺第 1 項 A は $\boxed{\text{g}}$ で表され，右辺第 2 項 B は $\boxed{\text{h}}$ の無次元数の関数で表される．この B が自然対流と強制対流の判断基準となり，この値が大きいときに自然対流が支配的となる．

[候補群]

a	(1) 7.83×10^{1}	(2) 4.23×10^{4}	(3) 5.23×10^{4}	(4) 1.42×10^{8}	(5) 1.77×10^{8}
b	(1) 1.24	(2) 6.95	(3) 7.33	(4) 52.9	(5) 55.9
c	(1) 2.80	(2) 7.97	(3) 8.42	(4) 15.7	(5) 16.6
d	(1) 1.80×10^{3}	(2) 2.00×10^{3}	(3) 2.70×10^{4}	(4) 3.00×10^{4}	(5) 5.40×10^{4}
e	(1) 3.96	(2) 10.6	(3) 11.4	(4) 31.5	(5) 33.5
f	(1) 0.79	(2) 5.97	(3) 16.0	(4) 17.2	(5) 47.4
g	(1) Re^{-1}	(2) Re	(3) Pr^{-1}	(4) Pr	(5) Gr
h	(1) $Gr^{-1} \cdot Re^{-1}$	(2) $Gr^{-1} \cdot Re^{-2}$	(3) $Gr \cdot Re^{-1}$	(4) $Gr^2 \cdot Re^{-1}$	(5) $Gr \cdot Re^{-2}$