

## 2022 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)

- 1) 酸素, 水素, 炭素, 窒素と無機成分から構成される微生物 A を乾燥後, 元素分析を行った。その結果, 100 g 中に水素 6 g, 炭素 40 g, 窒素 12 g, 無機成分 5 g が含まれていた。この微生物 A の無機成分以外の元素の物質量比は, O : H : C : N =  である。
- 2) グルコースを基質として増殖する微生物 B の嫌気条件下での増殖反応は、次式で示される。  
 $C_6H_{12}O_6 + \alpha NH_3 \rightarrow 0.8CH_{2.2}N_{0.15}O_{0.38} + 0.4C_3H_8O_3 + 1.6CO_2 + 1.2C_2H_5OH + 0.1H_2O$   
 $CH_{2.2}N_{0.15}O_{0.38}$  は微生物 B の炭素, 水素, 窒素, 酸素の組成を表す
- ① 基質 1 gあたり得られる微生物 B の質量は  g である。
- ② 量論係数  $\alpha$  は  である。

## [候補群]

- |                                    |                            |                            |                            |          |          |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|----------|
| <input type="checkbox" value="a"/> | (1) 1 : 0.16 : 1.08 : 0.32 | (2) 1 : 2.59 : 1.44 : 0.37 | (3) 1 : 2.29 : 1.27 : 0.33 |          |          |
|                                    | (4) 1 : 2.88 : 0.79 : 0.37 | (5) 1 : 0.25 : 0.69 : 0.33 |                            |          |          |
| <input type="checkbox" value="b"/> | (1) 0.05                   | (2) 0.10                   | (3) 0.15                   | (4) 0.20 | (5) 0.25 |
| <input type="checkbox" value="c"/> | (1) 0.07                   | (2) 0.12                   | (3) 0.17                   | (4) 0.22 | (5) 0.27 |

**問題 A2** 伝熱についての以下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、候補群に用いたそれぞれの記号は以下の通りである。 (配点 5 点)

$c_p$  : 定圧比熱容量,  $h$  : 热伝達係数,  $\lambda$  : 热伝導率,  $d$  : 代表長さ,  $u$  : 代表速度,  $\mu$  : 流体の粘度,

$\rho$  : 流体の密度,  $\Delta T$  : 温度差

流体と固体の間の熱のやり取りは、主に伝導伝熱と対流传熱により生じる。流体と固体の間の温度差が $\Delta T$ の場合、Nusselt 数  $Nu$  は対流传熱による熱流束 a と、伝導伝熱による熱流束 b の比を表すと同時に、代表長さと境膜厚さの比を表す。通常  $Nu$  は Reynolds 数  $Re$  と Prandtl 数  $Pr$  の関数として表すことが多い。ここで、 $Re$  は慣性力 c と粘性力 d の比を表す。また、 $Pr$  は動粘度  $\nu$  と熱伝導による熱の移動のしやすさ e の比を表す。

[候補群]

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</span>	(1) $h\Delta T$	(2) $d^2h\Delta T$	(3) $\frac{\lambda\Delta T}{d}$	(4) $d\lambda\Delta T$	(5) $\frac{hd}{\lambda}$
---	-----------------	--------------------	---------------------------------	------------------------	--------------------------

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">b</span>	(1) $h\Delta T$	(2) $d^2h\Delta T$	(3) $\frac{\lambda\Delta T}{d}$	(4) $d\lambda\Delta T$	(5) $\frac{hd}{\lambda}$
---	-----------------	--------------------	---------------------------------	------------------------	--------------------------

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">c</span>	(1) $\rho u^2 d$	(2) $\rho u^2 d^2$	(3) $\mu$	(4) $\rho u d$	(5) $\mu u d$
---	------------------	--------------------	-----------	----------------	---------------

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d</span>	(1) $\rho u^2 d$	(2) $\rho u^2 d^2$	(3) $\mu$	(4) $\rho u d$	(5) $\mu u d$
---	------------------	--------------------	-----------	----------------	---------------

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">e</span>	(1) $\frac{\lambda}{c_p}$	(2) $\lambda$	(3) $\frac{\lambda}{\rho c_p}$	(4) $h$	(5) $\frac{h}{c_p}$
---	---------------------------	---------------	--------------------------------	---------	---------------------

**問題 A3** カーボンニュートラル実現に向けて重要な CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の一つである化学吸收法について、文中および表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)

CO<sub>2</sub> は酸性ガスであるため、塩基性の吸収剤に化学的に吸収される。その吸収反応が **a** である場合、排ガス中の CO<sub>2</sub> を選択的に吸収させた後、**b** によって逆反応を起こすことで CO<sub>2</sub> の分離回収が可能となる。この化学吸收法のプロセスフローは図 A3-1 のようになる。

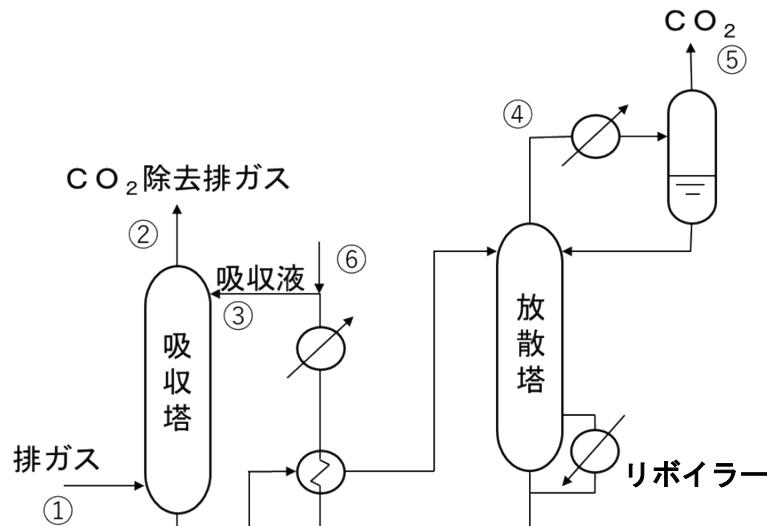


図 A3-1 化学吸收法のプロセスフロー

吸収剤 A を用いたときのプロセスのストリーム①～⑥の流量と組成を表 A3-1 に示す。なお、吸収された CO<sub>2</sub> は放散塔において全量放散されるものとしている。

表 A3-1 ストリームの流量と組成

ストリーム No.	①	②	③	④	⑤	⑥
流量 [ton·h <sup>-1</sup> ]	100.0	95.3	300.0	12.3	e	f
組成 [wt%]						
N <sub>2</sub>	75.0	c	0.0	0.0	0.0	0.0
O <sub>2</sub>	10.0	d	0.0	0.0	0.0	0.0
CO <sub>2</sub>	9.0	1.1	0.0	65.0	99.5	0.0
水	6.0	8.7	70.0	35.0	0.5	70.0
吸収剤 A	0.0	1.0	30.0	0.0	0.0	30.0

表 A3-1 より、放散塔のリボイラーで消費されるエネルギーの大半は **g** と **h** に使われていることが分かる。したがって、CO<sub>2</sub> 分離・回収のエネルギー効率を上げるには、**i** ことと、**g** が **j** 吸収剤を選択する必要がある。

[候補群]

- |   |                              |                          |  |          |            |
|---|------------------------------|--------------------------|--|----------|------------|
| a | (1) 可逆的                      | (2) 不可逆的                 | (3) 連鎖的  | (4) 重合反応 | (5) 燃焼反応   |
| b | (1) 冷却                       | (2) 加熱                   | (3) 加圧   | (4) 減圧   | (5) 吸収剤の追加 |
| c | (1) 75.0                     | (2) 78.7                 | (3) 80.5   | (4) 90.7 | (5) 92.4   |
| d | (1) 9.5                      | (2) 10.0                 | (3) 10.5   | (4) 11.0 | (5) 11.5   |
| e | (1) 6.5                      | (2) 7.0                  | (3) 7.5  | (4) 8.0  | (5) 8.5    |
| f | (1) 0                        | (2) 1.1                  | (3) 2.2  | (4) 3.0  | (5) 3.3    |
| g | (1) CO <sub>2</sub> の燃焼熱     | (2) CO <sub>2</sub> の分解熱 | (3) CO <sub>2</sub> 解離のための反応熱<br>(4) 吸収剤の加熱<br>(5) 吸収剤の冷却熱                                       |          |            |
| h | (1) CO <sub>2</sub> の蒸発      | (2) 吸収剤の蒸発               | (3) 水の蒸発   | (4) 水の冷却 | (5) 吸収液の循環 |
| i | (1) CO <sub>2</sub> の蒸発量を減らす |                          | (2) 吸収剤の蒸発量を増やす<br>(3) 放散塔塔頂蒸気の冷却量を増やす<br>(4) 放散塔塔頂の水濃度を上げる<br>(5) 放散塔塔頂の CO <sub>2</sub> 濃度を上げる |          |            |
| j | (1) 小さい                      | (2) 大きい                  | (3) 均等になる  |          |            |

**問題 A4** 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) 直径  $d_p$ , 密度  $\rho_p$  の球形粒子が密度  $\rho$ , 粘度  $\mu$  の静止流体中を沈降するとき, 粒子には重力, 浮力と抵抗力が働く。粒子に働く抵抗力  $F_D$  は, 粒子の沈降速度  $v_p$ , 抵抗係数  $C_D$  を用いて

$$F_D = \boxed{a} C_D \frac{\rho v_p^2}{2} \quad (1)$$

と表される。これらの 3 つの力が釣り合うとき, 粒子は一定速度  $v_p$  で沈降する。

抵抗係数  $C_D$  は粒子 Reynolds 数 ( $Re_p = \frac{\rho v_p d_p}{\mu}$ ) に依存し,  $\boxed{b}$  の抵抗則 ( $C_D = \frac{24}{Re_p}$ , 適用領域  $Re_p < 6$ ) を用いると, 重力沈降速度  $v_p$  は式(2)で表される。

$$v_p = Ad_p^m \quad (2)$$

ここで,  $A = \boxed{c}$ ,  $m = \boxed{d}$  であり, 変数  $A$  中の  $g$  は重力加速度である。

- 2) 球形粒子を含む流体が間隙  $2H$  の水平な平行平板間の流路に流入する流れ場を考える。図 A4-1 に示すように, 流路入口の中央に原点 O をとり, 流れ方向に  $x$  座標, 鉛直上方向に  $y$  座標を設定する。

流路内では層流の放物状の流速分布が形成され, 粒子は流体の局所流速  $u$  で  $x$  方向に, 沈降速度  $v_p$

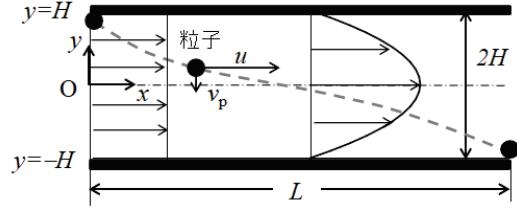


図 A4-1

で  $y$  方向に移動すると仮定する。粒子が微小時間  $dt$  の間に  $x$  方向と  $y$  方向に移動する微小距離を  $dx_p$ ,  $dy_p$  とすると,  $dx_p = u dt$ ,  $dy_p = -v_p dt$  の関係が成り立つ。したがって, 流路入口の上端 ( $x = 0$ ,  $y = H$ ) から流入した粒子の軌跡  $(x_p, y_p)$  は式(3)で与えられる。

$$x_p = \frac{-1}{v_p} \int_H^{y_p} u dy \quad (3)$$

式(3)より, 粒子が下部の板 ( $y = -H$ ) に到達するまでに流れ方向に移動する距離  $L$  は, 断面平均流速  $\bar{u}$  を用いて次式で表される。

$$L = \boxed{e} \frac{\bar{u}}{v_p} H \quad (4)$$

下部の板に到達した粒子が再飛散しないとき, この流路で除去される粒子の最小径  $d_{p,\min}$  は,  $Re_p < 6$  では,  $d_{p,\min} = \boxed{f}$  となる。

### [候補群]

- |                            |  |   |                                      |                                      |   |
|----------------------------|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> a | (1) $\frac{\pi}{4} d_p^2$                            | (2) $\frac{\pi}{2} d_p^2$                             | (3) $\pi d_p^2$                      | (4) $\frac{\pi}{12} d_p^3$           | (5) $\frac{\pi}{6} d_p^3$                 |
| <input type="checkbox"/> b | (1) Allen  | (2) Froude  | (3) Newton                           | (4) Pascal                           | (5) Stokes                                |
| <input type="checkbox"/> c | (1) $\frac{(\rho_p - \rho)g}{6\mu}$                  | (2) $\frac{(\rho_p - \rho)g}{9\mu}$                   | (3) $\frac{(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$ | (4) $\frac{(\rho_p - \rho)g}{24\mu}$ | (5) $\frac{(\rho_p - \rho)g}{36\mu}$      |
| <input type="checkbox"/> d | (1) $\frac{1}{2}$                                    | (2) 1   | (3) $\frac{3}{2}$                    | (4) 2                                | (5) 3                                     |
| <input type="checkbox"/> e | (1) $\frac{1}{2}$                                    | (2) 1   | (3) $\frac{3}{2}$                    | (4) 2                                | (5) 4                                     |
| <input type="checkbox"/> f | (1) $\left(\frac{\bar{u}H}{LA}\right)^{\frac{1}{2}}$ | (2) $\left(\frac{2\bar{u}H}{LA}\right)^{\frac{1}{2}}$ | (3) $\frac{\bar{u}H}{LA}$            | (4) $\frac{2\bar{u}H}{LA}$           | (5) $\left(\frac{\bar{u}H}{2LA}\right)^2$ |

**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)

気液界面を通して気体 A が液体に吸収される速度は、二重境膜説を用いると式(1)で表される。

$$N_A = k_G(p_A - p_{Ai}) = k_L(C_{Ai} - C_A) \quad (1)$$

ここで  $N_A$  は成分 A の物質量流束、 $p_A$  は気相本体中の成分 A の分圧、 $C_A$  は液相本体中の成分 A の濃度、 $p_{Ai}$ 、 $C_{Ai}$  は気液界面における成分 A の分圧と液濃度、 $k_G$ 、 $k_L$  は気相側、液相側の境膜物質移動係数である。また、物質量流束  $N_A$  の SI 単位は  a である。

気液界面において平衡が保たれ、 b の法則が成り立つときには、式(2)の関係が成り立つ。

$$p_{Ai} = HC_{Ai} \quad (2)$$

気相本体の分圧  $p_A$  に平衡な液濃度  $C_A^*$  を用いて物質量流束  $N_A$  を式(3)のように表すと

$$N_A = K_L(C_A^* - C_A) \quad (3)$$

$K_L$  と  $k_G$ 、 $k_L$  の関係は式(4)で表される。

$$\frac{1}{K_L} = \boxed{c} \quad (4)$$

上式中の  $K_L$  を液相濃度差基準の総括物質移動係数とよぶ。式(4)から溶解度が  d 気体の吸収では、液相側の物質移動が律速となりやすいことが分かる。

### [候補群]

- |                            |                                      |  |  |  |  |
|----------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> a | (1) $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ | (2) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ | (3) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ | (4) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ | (5) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| <input type="checkbox"/> b | (1) Antoine                          | (2) Gibbs  | (3) Henry  | (4) Langmuir   | (5) Nernst   |
| <input type="checkbox"/> c | (1) $\frac{1}{Hk_G + k_L}$           | (2) $\frac{1}{k_G + Hk_L}$                               | (3) $\frac{1}{Hk_G} + \frac{1}{k_L}$                     | (4) $\frac{1}{k_G} + \frac{1}{Hk_L}$                     | (5) $\frac{H}{k_G} + \frac{1}{k_L}$                      |
| <input type="checkbox"/> d | (1) 小さい                              | (2) 大きい  |  |  |  |

**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。 (配点 5 点)

半径 0.20 m の球を 2 つに割り、2 つの半球の間でのふく射伝熱を考える。一方の半球の内面を面 1 (面積  $A_1$ ) とし、その温度を 200 °C とする。もう一方の半球の内面を面 2 (面積  $A_2$ ) とし、その温度を 20 °C とする。伝導伝熱と対流伝熱は無視できるとし、両面とも黒体とする。

- 1) 面 1 と面 2 において、形態係数（角関係） $F_{12}$ ,  $F_{21}$  と面積の間に成り立つ式は  である。なお、 $F_{ij}$  は、面 i から放射されたふく射エネルギーのうち、面 j に到達する割合を表す。
- 2) 形態係数  $F_{12}$  は  となり、総和関係から求めると  $F_{11}$  は  となる。
- 3) 面 1 から面 2 へのふく射伝熱による熱流量は  W である。なお、Stefan-Boltzmann 定数は  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  を用いよ。

[候補群]

- |                                |   |   |   |   |                               |
|--------------------------------|---|---|---|---|-------------------------------|
| <input type="text" value="a"/> | (1) $\frac{F_{12}}{A_1} = \frac{F_{21}}{A_2}$ | (2) $\frac{F_{12}}{A_2} = \frac{F_{21}}{A_1}$ | (3) $\frac{A_1}{F_{12}} = \frac{A_2}{F_{21}}$ | (4) $\frac{A_2}{F_{12}} = \frac{A_1}{F_{21}}$ | (5) $A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$ |
| (6) $A_2 F_{12} = A_1 F_{21}$  |   |   |   |   |                               |
| <input type="text" value="b"/> | (1) $\frac{1}{2}$                             | (2) $\frac{2}{3}$                             | (3) $\frac{3}{4}$                             | (4) $\frac{4}{5}$                             | (5) 1                         |
| <input type="text" value="c"/> | (1) 0   | (2) $\frac{1}{5}$                             | (3) $\frac{1}{4}$                             | (4) $\frac{1}{3}$                             | (5) $\frac{1}{2}$             |
| <input type="text" value="d"/> | (1) 152                                       | (2) 194                                       | (3) 304                                       | (4) 387                                       | (5) 608                       |

※問題公開時に追記

は複数の正解が有ります。

**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)

図 A7-1 に示すような加熱炉にメタン  $10 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  と空気を供給して燃焼させ、プロセス流体を加熱したい。ここで、空気の組成は酸素 20 mol%，窒素 80 mol%，燃焼後のガスの比熱を  $1.15 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  とする。また、関与する化学種の分子量はメタン 16，酸素 32，窒素 28，二酸化炭素 44，水 18 とする。

なお、加熱炉内の流れは、断面内完全混合の鉛直上向きピストンフローとし、メタンの燃焼によって発生した熱は、全てプロセス流体の加熱に使用されるものとする。

1) メタンを完全燃焼させた場合、理論空気量は、  
 a  $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$  となる。

2) 空気過剰率 1.1 で燃焼を行ったとき、燃焼ガスにより加熱器 E1 にてプロセス流体 1 を加熱した後の燃焼ガスの温度が  $400^\circ\text{C}$  となったので、排熱利用として加熱器 E2 を設置してプロセス流体 2 の加熱も行うこととした。プロセス流体 2 の供給量  $100 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  で、 $25^\circ\text{C}$  から  $300^\circ\text{C}$  に加熱したときの必要加熱量は、  
 b  $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$  となる。ここで、プロセス流体 2 の比熱は  $2.5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  とする。また、この条件で、燃焼ガスの出口温度を求めると、  
 c  $^\circ\text{C}$  となる。

3) 上記 2)の条件で、加熱器 E2 に燃焼ガスとプロセス流体 2 が向流接触型の熱交換器を用いる場合、対数平均温度差を計算すると、  
 d  $^\circ\text{C}$  となる。

4) 上記 2)の条件で、加熱器 E2 の総括熱伝達係数を  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ 、対数平均温度差の補正係数を 1 とすれば、加熱器 E2 の伝熱面積は、  
 e  $\text{m}^2$  となる。

[候補群]

<input type="text"/> a	(1) 150	(2) 160	(3) 170	(4) 180	(5) 190
<input type="text"/> b	(1) 6250	(2) 27500	(3) 31625	(4) 68750	(5) 93750
<input type="text"/> c	(1) 98	(2) 113	(3) 125	(4) 261	(5) 268
<input type="text"/> d	(1) 84	(2) 87	(3) 94	(4) 104	(5) 281
<input type="text"/> e	(1) 1.4	(2) 4.1	(3) 4.9	(4) 14.6	(5) 15.8

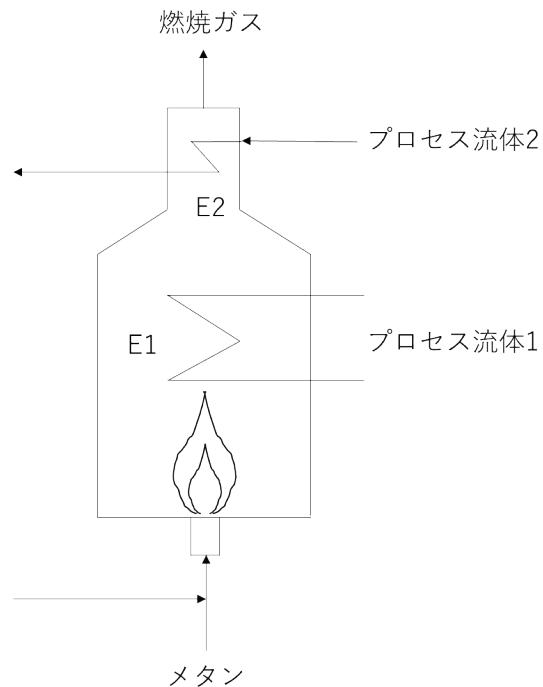


図 A7-1

**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 10 点)

実在気体の圧力  $p$  - 体積  $V$  - 温度  $T$  関係の表示法のひとつとして、圧縮因子 ( $Z$ ) を用いた方法がある。実在気体では、次式の  $p$  -  $V$  -  $T$  関係が成立する。

$$pV_m = ZRT \quad (1)$$

ここで、 $p$  は圧力 [Pa],  $V_m$  はモル体積 [ $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ],  $R$  は気体定数 ( $8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $T$  は温度 [K] である。 $Z$  は、実在気体について理想気体からのずれを表す係数である。

圧縮因子を対臨界値で表すと次式のようになる。

$$Z \equiv \frac{pV_m}{RT} = \frac{p_c p_r V_c V_r}{R T_c T_r} = Z_c \frac{p_r V_r}{T_r}, \quad Z_c = \frac{p_c V_c}{R T_c}, \quad p_r = \frac{p}{p_c}, \quad T_r = \frac{T}{T_c}, \quad V_r = \frac{V_m}{V_c} \quad (2)$$

臨界圧縮係数  $Z_c$  が多くの物質について類似の値を示すことから、対臨界値で表した  $Z$  線図は物質の種類に関係なく成立すると近似できる。

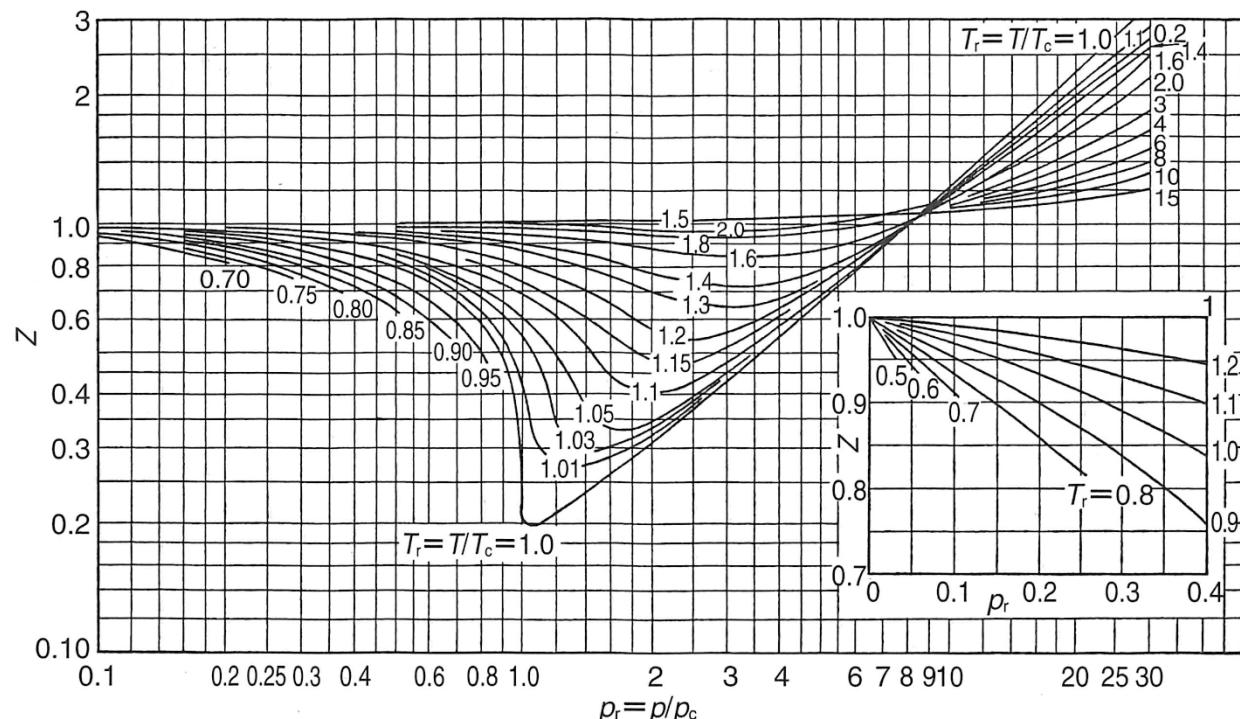


図 A8-1  $Z$  線図

[化学工学会編：化学工学便覧 第7版, p15, 丸善出版]

この  $Z$  線図において、臨界点では  $Z = \boxed{a}$  である。低压条件では  $Z = 1$  に近づき、高压条件では  $Z = 1$  よりも大きくなる。これは、低压では  $\boxed{b}$  に近い状態であり、高压では  $\boxed{c}$  の影響が大きく圧縮が困難になることを表している。

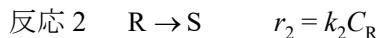
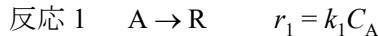
ここで、臨界温度 190.6 K、臨界圧力 4.6 MPa のメタンに關し、 $Z$  線図を用いて 250 K, 9.0 MPa におけるモル体積を求める。この条件は  $T_r = \boxed{d}$ ,  $p_r = \boxed{e}$  に相当し、 $Z = \boxed{f}$  である。ここでモル体積は  $V_m = \boxed{g} \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$  である。

[候補群]

- |   |          |           |          |                 |         |
|---|----------|-----------|----------|-----------------|---------|
| a | (1) 0.20 | (2) 0.41  | (3) 0.85 | (4) 1.0         | (5) 1.2 |
| b | (1) 理想気体 | (2) 理想溶液  | (3) 実在気体 | (4) 非理想溶液       |         |
| c | (1) 温度   | (2) 分子サイズ | (3) 水素結合 | (4) 双極子-双極子相互作用 |         |
| d | (1) 0.41 | (2) 0.65  | (3) 0.82 | (4) 1.0         | (5) 1.3 |
| e | (1) 0.55 | (2) 0.83  | (3) 1.0  | (4) 1.3         | (5) 2.0 |
| f | (1) 0.52 | (2) 0.61  | (3) 0.70 | (4) 0.92        | (5) 1.0 |
| g | (1) 0.53 | (2) 1.4   | (3) 1.6  | (4) 2.1         | (5) 2.3 |

**問題 A9** 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)

次の反応式で表される液相逐次反応を回分式反応器で実施する。反応器内は等温であり、反応による液相の体積変化は無視できるとする。



反応器内における原料 A, 中間生成物 R, 最終生成物 S の各成分の濃度を  $C_{\text{A}}$ ,  $C_{\text{R}}$ ,  $C_{\text{S}}$  とし、A の反応率を  $x_{\text{A}}$  とする。反応開始時には反応器内には A のみが含まれている（濃度  $C_{\text{A}0}$ ）とすると、A と R の濃度変化は次式で表される。

$$\frac{dC_{\text{A}}}{dt} = -k_1 C_{\text{A}} \quad (1)$$

$$\frac{dC_{\text{R}}}{dt} = \boxed{\text{a}} \quad (2)$$

式(1), (2)より逐次反応では中間生成物の濃度に最大値が現れることがわかる。

以下では、反応速度定数  $k_1$  と  $k_2$  の値が等しい ( $k_1 = k_2$ ) 場合を検討する。式(1)と(2)より、式(3)の関係式が得られる。

$$\frac{C_{\text{R}}}{C_{\text{A}0}} = \frac{C_{\text{A}}}{C_{\text{A}0}} \left\{ -\ln \left( \frac{C_{\text{A}}}{C_{\text{A}0}} \right) \right\} \quad (3)$$

一方、式(1)より、時間  $t$  における反応器内の A の濃度は、式(4)で表される。

$$\frac{C_{\text{A}}}{C_{\text{A}0}} = 1 - x_{\text{A}} = \boxed{\text{b}} \quad (4)$$

式(4)を式(3)に代入すると、中間生成物 R の濃度  $\frac{C_{\text{R}}}{C_{\text{A}0}}$  と反応率  $x_{\text{A}}$  および反応時間  $t$  の関係は、式(5)で与えられる。

$$\frac{C_{\text{R}}}{C_{\text{A}0}} = (1 - x_{\text{A}}) \ln \left( \frac{1}{1 - x_{\text{A}}} \right) = \boxed{\text{c}} \quad (5)$$

式(5)より、反応時間  $t = \boxed{\text{d}}$  のとき、中間生成物 R の濃度は最大値  $\frac{C_{\text{R}}}{C_{\text{A}0}} = \boxed{\text{e}}$  となる。このときの原料 A の反応率は  $x_{\text{A}} = \boxed{\text{f}}$  であり、最終生成物 S の濃度は  $\frac{C_{\text{S}}}{C_{\text{A}0}} = \boxed{\text{g}}$  となる。

[候補群]

- |                            |  |   |  |                |             |                |
|----------------------------|--|---|--|----------------|-------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> a | (1) $k_1 C_{\text{A}} + k_2 C_{\text{R}}$  | (2) $k_1 C_{\text{A}} - k_2 C_{\text{R}}$ | (3) $-k_1 C_{\text{A}} + k_2 C_{\text{R}}$ |                |             |                |
|                            | (4) $-k_1 C_{\text{A}} - k_2 C_{\text{R}}$ | (5) $k_2 C_{\text{R}}$                    | (6) $-k_2 C_{\text{R}}$                    |                |             |                |
| <input type="checkbox"/> b | (1) $\exp(0.5k_1 t)$                       | (2) $\exp(-0.5k_1 t)$                     | (3) $\exp(k_1 t)$                          |                |             |                |
|                            | (4) $\exp(-k_1 t)$                         | (5) $\exp(2k_1 t)$                        | (6) $\exp(-2k_1 t)$                        |                |             |                |
| <input type="checkbox"/> c | (1) $(k_1 t) \exp(-k_1 t)$                 | (2) $(-k_1 t) \exp(k_1 t)$                | (3) $(2k_1 t) \exp(-2k_1 t)$               |                |             |                |
|                            | (4) $(-2k_1 t) \exp(2k_1 t)$               | (5) $(k_1 t) \exp(-2k_1 t)$               | (6) $(-k_1 t) \exp(2k_1 t)$                |                |             |                |
| <input type="checkbox"/> d | (1) $k_1^{0.5}$                            | (2) $k_1^{-0.5}$                          | (3) $k_1$                                  | (4) $k_1^{-1}$ | (5) $k_1^2$ | (6) $k_1^{-2}$ |
| <input type="checkbox"/> e | $\sim \boxed{\text{g}}$                    | (1) 0.104                                 | (2) 0.264                                  | (3) 0.368      | (4) 0.448   |                |
|                            |  | (5) 0.472                                 | (6) 0.500                                  | (7) 0.528      | (8) 0.552   |                |
|                            |  | (9) 0.632                                 | (10) 0.736                                 | (11) 0.896     |             |                |

**問題 B1** 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)

図 B1-1 に概略を与える 2 成分系気体混合物を分離するガス透過膜モジュールの設計を考える。モジュール周りの全物質収支と成分物質収支は以下の式で与えられる。

$$\text{全物質収支式} : F_V = F_p + F_R \quad (1)$$

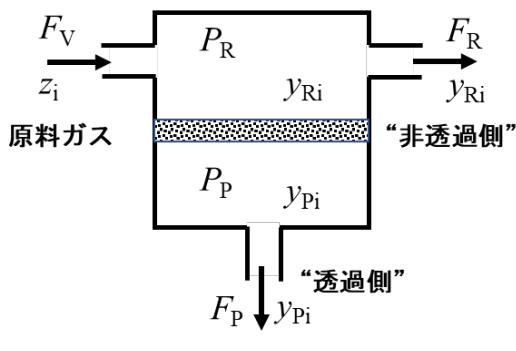
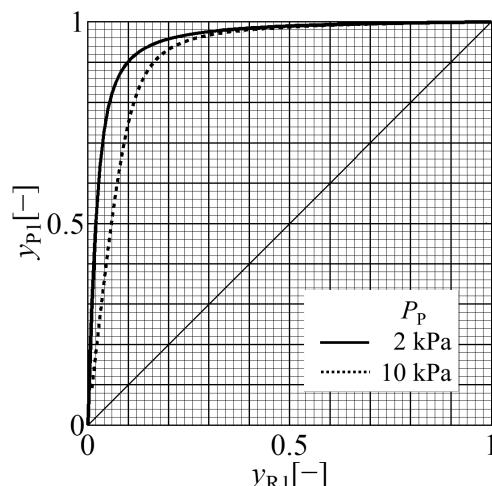
$$\text{成分物質収支式} : F_V z_i = F_p y_{pi} + F_R y_{Ri} \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

ここで  $F$  はモル流量、 $z$ 、 $y$  は組成（モル分率）を表す。透過側、非透過側はともに完全混合状態にあり、成分  $i$  の透過流束  $N_i^V$  が非透過側（高圧）と透過側（低圧）の分圧差 ( $P_R y_{Ri} - P_p y_{pi}$ ) とパーミアンス（透過率） $K_{pi}$  の積（式(3)）で与えられるものと仮定する。

$$N_i^V = K_{pi} (P_R y_{Ri} - P_p y_{pi}) \quad (i=1, 2) \quad (3)$$

膜のパーミアンス  $K_{pi}$ 、非透過側圧力  $P_R$ 、透過側圧力  $P_p$  が与えられると、透過流束と第 1 成分の透過側ガス組成の関係、 $\frac{N_1^V}{N_1^V + N_2^V} = y_{p1}$  から、任意の値における透過側と非透過側のガス組成  $y_{p1}$  と  $y_{R1}$  の関係を求めることができる。図 B1-2 には本膜モジュールに使用する膜（パーミアンス： $K_{p1} = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 、 $K_{p2} = 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ）に対して、非透過側圧力  $P_R = 101.3 \text{ kPa}$  のもとで、透過側圧力を  $P_p = 2 \text{ kPa}$ （実線）、 $P_p = 10 \text{ kPa}$ （点線）とした場合の  $y_{p1}$  と  $y_{R1}$  の関係が与えられている。ここで、この膜をより透過しやすい成分は成分 a である。

原料ガス ( $F_V = 1 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $z_1 = 0.30$ ) から、非透過側圧力  $P_R = 101.3 \text{ kPa}$ 、透過側圧力  $P_p = 2 \text{ kPa}$  の条件で透過側から  $y_{p1} = 0.90$  のガスを分離することを考える。図 B1-2 より、 $P_p = 2 \text{ kPa}$  のときに  $y_{p1} = 0.90$  に対応する  $y_{R1} = \boxed{b}$  が読み取れる。これらの値を用いて計算すると透過側流量  $F_p = \boxed{c} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 、第 1 成分の透過流束  $N_1^V = \boxed{d} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  が得られ、分離に必要な膜面積  $A = \boxed{e} \text{ m}^2$  が求められる。ここで、透過側圧力  $P_p = 10 \text{ kPa}$  に変更した場合、 $y_{p1} = 0.90$  に対応する  $y_{R1} = \boxed{f}$  となり、透過側圧力  $P_p = 2 \text{ kPa}$  の場合の計算結果と比べて g。

**図 B1-1 ガス透過膜モジュール****図 B1-2  $y_{p1}$  vs.  $y_{R1}$**

[候補群]

- |   |  |                          |                          |                          |                          |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a | (1) 1  | (2) 2                    |                          |                          |                          |
| b | (1) 0.06   | (2) 0.10                 | (3) 0.12                 | (4) 0.14                 | (5) 0.16                 |
| c | (1) 0.02   | (2) 0.17                 | (3) 0.20                 | (4) 0.25                 | (5) 0.33                 |
| d | (1) $9.1 \times 10^{-6}$   | (2) $8.3 \times 10^{-5}$ | (3) $8.3 \times 10^{-4}$ | (4) $9.1 \times 10^{-4}$ | (5) $8.3 \times 10^{-3}$ |
| e | (1) 21   | (2) 27                   | (3) 30                   | (4) 270                  | (5) 300                  |
| f | (1) 0.06   | (2) 0.10                 | (3) 0.12                 | (4) 0.14                 | (5) 0.16                 |
| g | (1) 流量 $F_p$ , 膜面積 $A$ とともに大きくなる<br>(2) 流量 $F_p$ は大きく, 膜面積 $A$ は小さくなる<br>(3) 流量 $F_p$ は小さく, 膜面積 $A$ は大きくなる<br>(4) 流量 $F_p$ , 膜面積 $A$ ともに小さくなる<br>(5) 流量 $F_p$ , 膜面積 $A$ は変わらない |                          |                          |                          |                          |

**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** 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。

成分 A と成分 B が等重量 (50 wt% : 50 wt%) の 2 成分溶液 (原料 F, 100 g) から純成分の抽剤 (S) を用いて、B を抽出分離したい。以下の設問に答えよ。

ただし、A + B + S 系の液液平衡は下図 (数字は wt%) を用いなさい。図中の実線は溶解度曲線、破線はタイライン (液液平衡にある抽出相と抽残相を結んだ線) を示している。

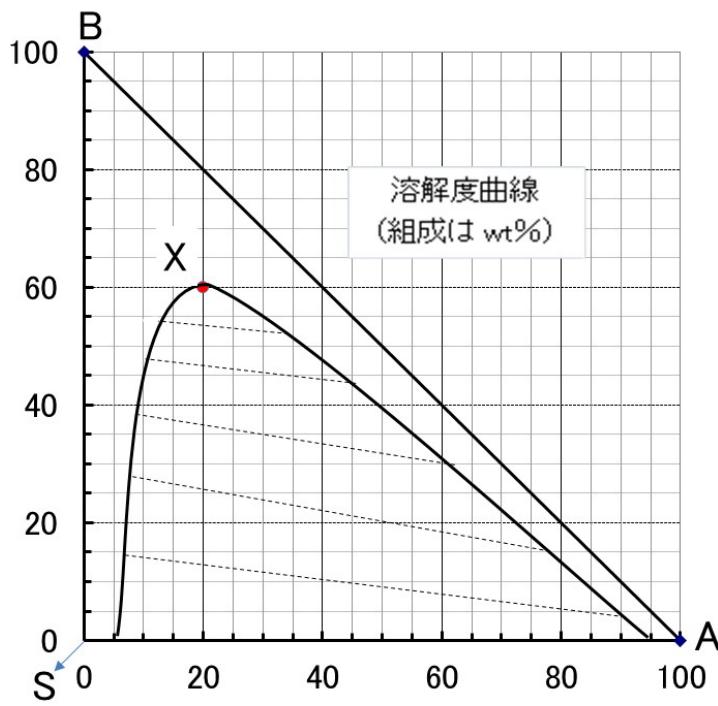


図 B2-1

- 1) 図中の点 X は、 point と呼ばれ、タイラインが点になっている。
- 2) 原料 F に 100 g の抽剤 S を加えて回分抽出を行う。相分離後の抽出相 ( $E_1$ )、抽残相 ( $R_1$ ) の成分 B の組成を求めると、 $E_1$  相 :  wt% と  $R_1$  相 :  wt% である。
- 3) 上記 2)の操作で得られた  $E_1$  相と  $R_1$  相を完全に分離したところ、 $R_1$  相が  g 得られた。この  $R_1$  相に抽剤 S を 100 g 加えて再度回分抽出して得られた抽残相 ( $R_2$ ) の成分 B の組成は  wt% となる。

[選択肢]

<input type="checkbox"/> a	(1) Azeotropic	(2) Critical	(3) Plait	(4) Saturation	(5) Spinodal
<input type="checkbox"/> b	(1) 11	(2) 15	(3) 19	(4) 25	(5) 28
<input type="checkbox"/> c	(1) 11	(2) 15	(3) 19	(4) 25	(5) 28
<input type="checkbox"/> d	(1) 15	(2) 30	(3) 50	(4) 70	(5) 120
<input type="checkbox"/> e	(1) 2	(2) 8	(3) 14	(4) 20	(5) 26

**B2-2** 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。

色素 A を水に溶解させた水溶液（濃度  $C_{A0} : 1.00 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ）を、吸着材を充填した円筒形のカラム（長さ :  $0.400 \text{ m}$ , 内径 :  $2.00 \times 10^{-2} \text{ m}$ , 空隙率 :  $0.400$ ）に供給し、連続流通式の吸着操作を行った。流体の流れは押出流れ（プラグフロー）であると仮定する。下図は水溶液を  $5.00 \times 10^{-7} \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  でカラムに供給したときの A の破過曲線である。ただし、横軸は操作開始直後からの時間を表している。

- 1) カラム内の吸着材の空隙には純水が存在する。この水がカラムから完全に押し出されるのに要する時間は  秒である。
- 2) 吸着操作開始時から色素が破過する ( $C_{A0}$  の 5 %) までに、色素が完全に吸着除去された水溶液の体積は   $\text{m}^3$  である。
- 3) 終末点 ( $C_{A0}$  の 95 %) まで液を供給したとき、カラム内の吸着材が供給する水溶液とほぼ平衡に至ったとみなせる。色素のカラム単位体積あたりの吸着量は   $\text{mol}\cdot(\text{m}^3\text{-カラム体積})^{-1}$  である。

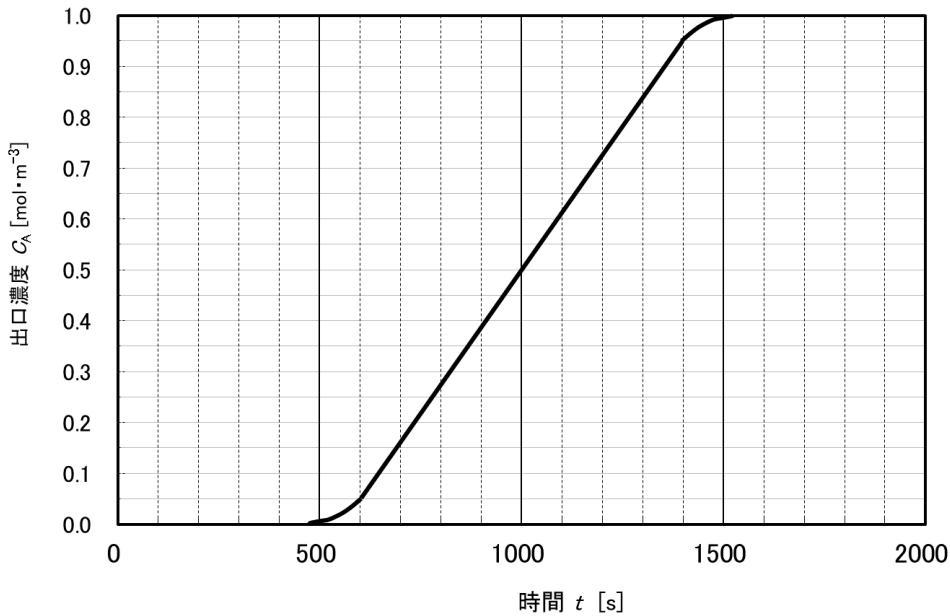


図 B2-2 色素 A の破過曲線

[候補群]

- |                                |                           |                           |                           |                           |                           |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <input type="text" value="a"/> | (1) 5.00                  | (2) 10.0                  | (3) 50.0                  | (4) $1.00 \times 10^2$    | (5) $1.50 \times 10^2$    |
| <input type="text" value="b"/> | (1) $5.00 \times 10^{-5}$ | (2) $2.50 \times 10^{-4}$ | (3) $3.00 \times 10^{-4}$ | (4) $5.00 \times 10^{-4}$ | (5) $6.00 \times 10^{-4}$ |
| <input type="text" value="c"/> | (1) 0.358                 | (2) 0.600                 | (3) 1.19                  | (4) 3.58                  | (5) 10.2                  |

**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。

ヘキサン 50 mol% とヘプタン 50 mol% の原料（供給流量  $100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ ）を所定の製品に分離するために必要となる蒸留塔の理論段数を簡易設計法により求める。ただし、ヘキサンの標準沸点は  $69^\circ\text{C}$ 、ヘプタンの標準沸点は  $98^\circ\text{C}$  で、比揮発度  $\alpha = 2.5$  一定の気液平衡関係に従うものとする。蒸留塔は大気圧下で運転され、原料および還流液は沸点の液とする。図 B2-3 に蒸留塔の概略を示す。

- 1) ヘキサン 99 mol% の製品とヘプタンを 95 mol% の製品に分離する場合、塔頂製品流量は、 kmol·h<sup>-1</sup>、塔底製品流量は  kmol·h<sup>-1</sup> となる。

- 2) 2 成分系の場合の Fenske の式を用いて最小ステップ数  $S_m$  を求めると、 となる。

$$\text{Fenske の式 : } S_m = \frac{\log\left(\frac{x_D}{1-x_D} \frac{1-x_B}{x_B}\right)}{\log(\alpha)} \quad (1)$$

ここで、 $S_m$  : 最小ステップ数、

$\alpha$  : 比揮発度、

$x_D$  : 留出液（塔頂製品）中の低沸点成分のモル分率、

$x_B$  : 缶出液（塔底製品）中の低沸点成分のモル分率

- 3) q-線と気液平衡曲線との交点の座標と塔頂製品の組成を用いて最小還流比  $R_m$  を求めると、 となる。

- 4) 最小還流比に経験的な係数 ( $>1$ ) を掛けることにより実還流比  $R$  を決定すると、先に求めた最小ステップ数  $S_m$ 、最小還流比  $R_m$  と  の相関を用いて蒸留塔の必要理論段数  $N$  を求めることができる。

今、経験的な係数を 1.2 とした場合、蒸留塔の塔頂蒸気流量は  kmol·h<sup>-1</sup> となる。

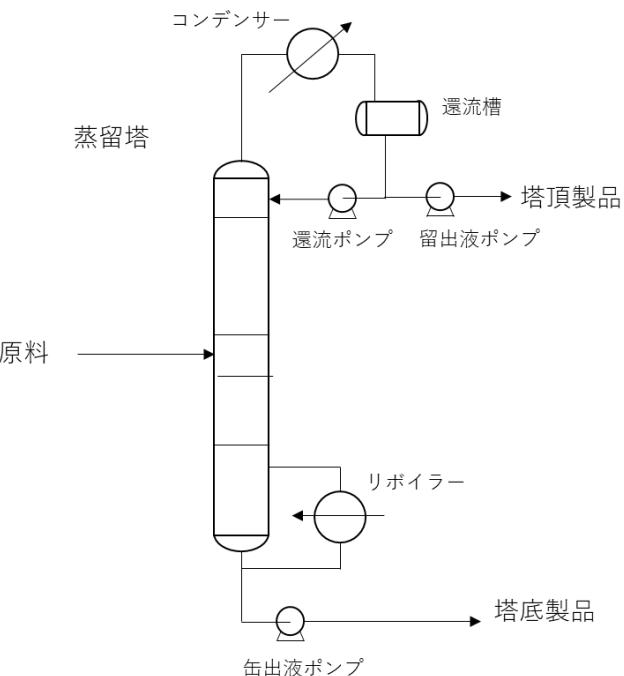


図 B2-3

[候補群]

<input type="checkbox"/> a	(1) 47.87	(2) 48.39	(3) 48.91	(4) 49.45	(5) 52.13
<input type="checkbox"/> b	(1) 47.87	(2) 48.39	(3) 50.55	(4) 51.61	(5) 52.13
<input type="checkbox"/> c	(1) 5.2	(2) 6.2	(3) 7.2	(4) 8.2	(5) 9.2
<input type="checkbox"/> d	(1) 1.1	(2) 1.2	(3) 1.3	(4) 1.4	(5) 1.5
<input type="checkbox"/> e	(1) Gilliland	(2) Nusselt	(3) O'Connell	(4) Reynolds	(5) Sherwood
<input type="checkbox"/> f	(1) 113	(2) 118	(3) 123	(4) 128	(5) 133

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

**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。

貯槽からヘッドタンクへポンプを用いて水を輸送している。その運転条件はポンプ性能と配管抵抗から決まる。ここで使用しているポンプ P の揚程  $h_a$  [m] と吐出流量  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ] の関係を与える性能曲線が図 B3-1 に与えられるとき、以下の考察を行う。ただし、性能曲線は式(1)で近似できるものとする。

$$h_a = -Q^2 + 30 \quad (1)$$

1) この配管系の配管抵抗  $h_f$  [m] と吐出流量

$Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ] の関係が式(2)で与えられるとき、ポンプ P を運転できる条件は、吐出流量

$$Q = \boxed{a} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}, \text{ 揚程 } h_a = \boxed{b} \text{ m} \text{ となる。}$$

$$h_f = 3Q^2 + 5 \quad (2)$$

2) ポンプ P を 2 台直列につないで運転する場合、その性能曲線は単独運転の場合と比べて  $\boxed{c}$ 。

また、配管抵抗の関係が式(2)で変わらないとすると、その運転条件は吐出流量  $Q = \boxed{d} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 、揚程  $h_a = \boxed{e} \text{ m}$ 、となる。

3) ポンプ P を 2 台並列につないで運転する場合、その性能曲線は単独運転の場合と比べて  $\boxed{f}$ 。

また、配管抵抗の関係が変わらないとすると、この場合の運転条件は 2 台直列運転の場合と比べて、 $\boxed{g}$ 。

[候補群]

- |                            |   |  |  |         |         |
|----------------------------|---|--|--|---------|---------|
| <input type="checkbox"/> a | (1) 1.4   | (2) 2.0                                | (3) 2.5  | (4) 2.8 | (5) 3.2 |
| <input type="checkbox"/> b | (1) 17  | (2) 20                                 | (3) 22   | (4) 24  | (5) 28  |
| <input type="checkbox"/> c | (1) 同じ吐出流量に対して揚程が 2 倍となる<br>(3) 同じ揚程に対して吐出流量が 2 倍となる<br>(5) 変わらない |  | (2) 同じ吐出流量に対して揚程が 4 倍となる<br>(4) 同じ揚程に対して吐出流量が 4 倍となる |         |         |
| <input type="checkbox"/> d | (1) 2.4   | (2) 2.9                                | (3) 3.3  | (4) 3.8 | (5) 4.1 |
| <input type="checkbox"/> e | (1) 32  | (2) 38                                 | (3) 40   | (4) 42  | (5) 48  |
| <input type="checkbox"/> f | (1) 同じ吐出流量に対して揚程が 2 倍となる<br>(3) 同じ揚程に対して吐出流量が 2 倍となる<br>(5) 変わらない |  | (2) 同じ吐出流量に対して揚程が 4 倍となる<br>(4) 同じ揚程に対して吐出流量が 4 倍となる |         |         |
| <input type="checkbox"/> g | (1) 変わらない<br>(4) 揚程は小さく、吐出流量は大きい                                  | (2) 揚程、吐出流量ともに小さい<br>(5) 揚程、吐出流量ともに大きい | (3) 揚程は大きく、吐出流量は小さい                                  |         |         |

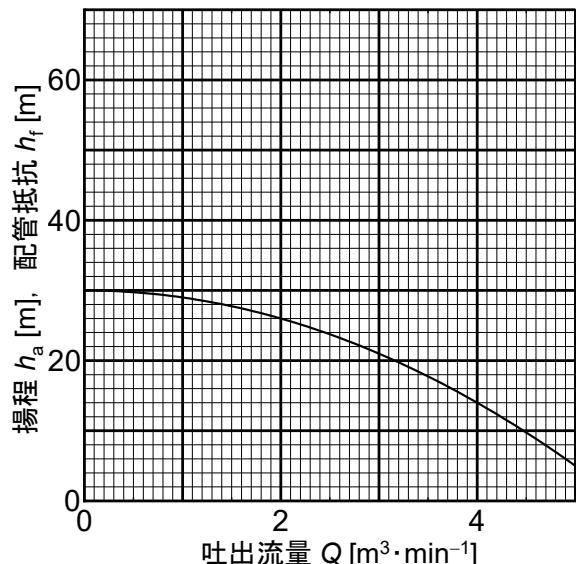


図 B3-1 ポンプ P の性能曲線

**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。 (配点 10 点)

タンク内の流体をヒータで温める系を考える。時刻  $t = 0$  まではヒータからの入熱は定常状態であり、対象プロセスも定常状態であったとする。時刻  $t = 0$ においてヒータからの入熱をステップ的に  $0.5 \text{ W}$  だけ増加させたとき、定常状態からの温度変化が図 B3-2 のように測定されたとする。対象プロセスの定常状態からのヒータ入熱の変化を  $u$  とし、定常状態からの温度変化を  $y$  とする。 $u$  から  $y$  への伝達関数  $G_p(s)$  が

「無駄時間 + 1 次遅れ系」で表現できるとすると、無駄時間を  $\theta$ 、ゲインを  $K$ 、時定数を  $\tau_p$  として  $G_p(s) = \frac{K}{s + \frac{\theta}{\tau_p}}$  と表すことができる。このとき、図 B3-2 より、 $\theta = \boxed{b} \text{ s}$ ,  $K = \boxed{c} \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ ,  $\tau_p = \boxed{d} \text{ s}$  と求めることができる。このようにして、対象プロセスの支配方程式が未知であっても入出力関係からその伝達関数を同定することができる。

対象プロセスの伝達関数が「無駄時間 + 1 次遅れ系」で表現できれば、その対象プロセスの制御系は例えば以下のような方法で設計できる。

◆ 方法①

CHR 法（目標値追従、オーバーシュートなし）によると、P 制御系の比例ゲイン  $K_p$  は以下のように設計される。

$$K_p = \frac{0.3\tau_p}{K\theta} \quad (1)$$

上の対象プロセスに対して、この P 制御系を適用すると、 $y$  の設定値から  $y$  への閉ループ伝達関数は  $\boxed{e}$  で表される。このとき、 $y$  の設定値を 0 から 1 にステップ的に変更した場合のオフセットは  $\boxed{f} \text{ }^\circ\text{C}$  となる。

◆ 方法②

IMC 法に基づく制御系設計手法の一つによると、PI 制御系の比例ゲイン  $K_p$  と積分時間  $T_1$  は以下のように設計される。

$$K_p = \frac{\tau + 0.5\theta}{K\lambda}, \quad T_1 = \tau + 0.5\theta \quad (2)$$

ここで、 $\lambda$  は制御応答の速さを調整するパラメータであり、 $\lambda > 1.7\theta$  が推奨されている。 $\lambda = 2.0$  として、上の対象プロセスに対して、この PI 制御系を適用し、 $y$  の設定値を 0 から 1 にステップ的に変更した場合のオフセットは  $\boxed{g} \text{ }^\circ\text{C}$  となる。

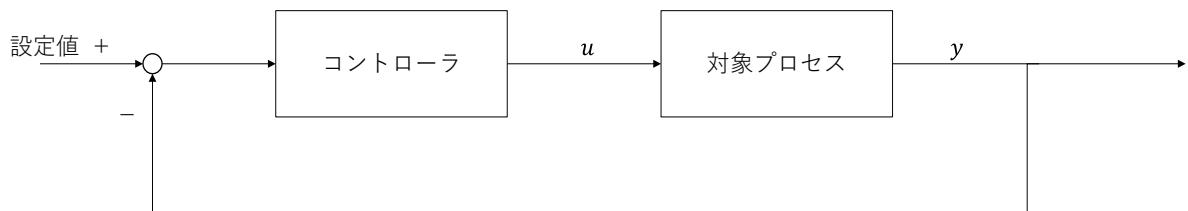


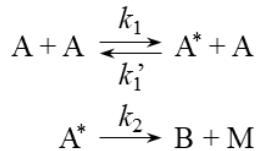
図 3-3

[候補群]

- |                            |                                     |                                   |  |  |   |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> a | (1) $\frac{K}{1+\tau_p s} + \theta$ | (2) $\frac{K\tau_p}{1+\theta s}$  | (3) $\frac{K}{1+\tau_p s} \exp(-\theta s)$ | (4) $\frac{K}{1+\theta s} \exp(-\tau_p s)$ | (5) $\frac{K}{1+\theta s} \exp(\tau_p s)$ |
| <input type="checkbox"/> b | (1) 10                              | (2) 15                            | (3) 25                                     | (4) 50                                     | (5) 60                                    |
| <input type="checkbox"/> c | (1) 1.0                             | (2) 1.5                           | (3) 2.0                                    | (4) 2.5                                    | (5) 3.0                                   |
| <input type="checkbox"/> d | (1) 10                              | (2) 15                            | (3) 25                                     | (4) 50                                     | (5) 60                                    |
| <input type="checkbox"/> e | (1) $\frac{K_p G_p(s)}{1+K_p}$      | (2) $\frac{K_p G_p(s)}{1+G_p(s)}$ | (3) $\frac{K_p}{1+K_p G_p(s)}$             | (4) $\frac{G_p(s)}{1+K_p G_p(s)}$          | (5) $\frac{K_p G_p(s)}{1+K_p G_p(s)}$     |
| <input type="checkbox"/> f | (1) 0.22                            | (2) 0.29                          | (3) 0.43                                   | (4) 0.57                                   | (5) 1.4                                   |
| <input type="checkbox"/> g | (1) -1.0                            | (2) 0                             | (3) 0.43                                   | (4) 0.57                                   | (5) 1.0                                   |

**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。 (配点 10 点)

理想気体 A, B, M に関して  $A \rightarrow B + M$  で表せる反応が、次式で示す素反応から成り立つとする。



$A^*$  は活性中間体を表し、 $k_1$ ,  $k'_1$ ,  $k_2$  はそれぞれの反応の反応速度定数である。また、A,  $A^*$  および B の濃度をそれぞれ  $C_A$ ,  $C_{A^*}$ ,  $C_B$  とする。

$A^*$  のような活性中間体の反応性が非常に大きい場合には、a とみなせる。この近似はb 近似として知られており、この近似を用いると、 $C_{A^*} = \boxed{c}$  で表せる。全体としての A の減少速度  $-r_A$  は B の生成速度  $r_B$  に等しいことから、 $-r_A = r_B = \boxed{d}$  で表せる。

ここで、e (>>は符号の左側が右側よりも十分大きいことを表す) のとき、この反応は A に関する 1 次不可逆反応とみなすことができ、反応速度が  $r_A = -k_3 C_A$  と表せる。この反応を、定容回分反応器にて反応器内に A のみが  $5.0 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$  で存在する状況で開始した。次の問い合わせに答えよ。

1) A の反応率が 0.10 から 0.40 となったとき、反応器内の圧力はf 倍に変化する。

2)  $k_3 = 0.050 \text{ min}^{-1}$  であるとき、A の反応率が 0.30 となる時間は、g min である。

3) 反応開始から 3 分後に  $C_B = 2.0 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$  となったとき、この条件を満たす反応速度定数  $k_3$  は  $k_3 = \boxed{h} \text{ min}^{-1}$  である。

[候補群]

- |   |                           |                                |  |   |  |
|---|---------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</span> | (1) $\frac{dC_A}{dt} = 0$ | (2) $\frac{dC_{A^*}}{dt} = 0$  | (3) $\frac{dC_B}{dt} = 0$                  | (4) $\frac{dC_A}{dt} = \frac{dC_{A^*}}{dt}$ | (5) $\frac{dC_A}{dt} = \frac{dC_B}{dt}$      |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">b</span> | (1) 安定状態                  | (2) 活性化状態                      | (3) 定常状態                                   | (4) 自己触媒反応                                  | (5) 律速段階                                     |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">c</span> | (1) 0                     | (2) $\frac{k_1 C_A}{k'_1}$     | (3) $\frac{k_1 C_A^2}{k'_1 C_A - k_2}$     | (4) $\frac{k_1 C_A^2}{k'_1 C_A + k_2}$      | (5) $\frac{2k_1 C_A^2}{2k'_1 C_A + k_2}$     |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d</span> | (1) 0                     | (2) $\frac{k_1 k_2 C_A}{k'_1}$ | (3) $\frac{k_1 k_2 C_A^2}{k'_1 C_A - k_2}$ | (4) $\frac{k_1 k_2 C_A^2}{k'_1 C_A + k_2}$  | (5) $\frac{2k_1 k_2 C_A^2}{2k'_1 C_A + k_2}$ |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">e</span> | (1) $k_1 >> k'_1$         | (2) $k'_1 >> k_1$              | (3) $k'_1 C_A >> k_2$                      | (4) $k_2 >> k'_1 C_A$                       | (5) $k_1 >> k_2$                             |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">f</span> | (1) 0.6                   | (2) 0.7                        | (3) 1.0                                    | (4) 1.3                                     | (5) 1.4                                      |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">g</span> | (1) 0.015                 | (2) 7.1                        | (3) 10                                     | (4) 14                                      | (5) 24                                       |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">h</span> | (1) 0.040                 | (2) 0.10                       | (3) 0.17                                   | (4) 0.31                                    | (5) 1.8                                      |