

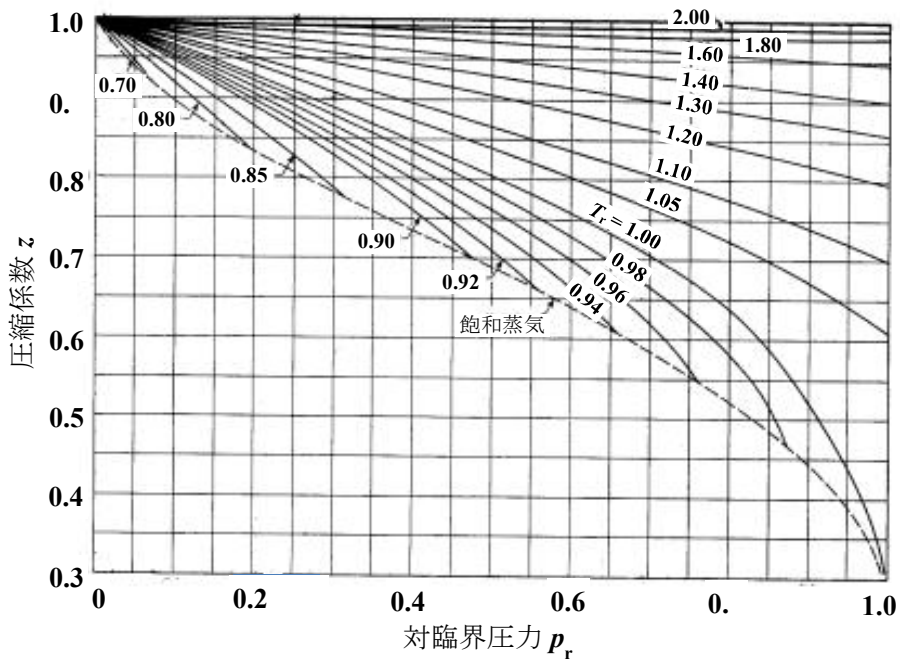
2015 年度化学工学技士（基礎）試験問題

第一部 13:00～15:20

問題 A1 物質の相変化を利用しないで物質を分離する操作についての次の記述のうち、正しいものを2つ選び、その番号を解答用紙に記入しなさい。（配点 5 点）

- (1) 集じん操作は、気体と固体の分離に用いられる。
- (2) 圧さく操作は、液体と液体の分離に用いられる。
- (3) 限外ろ過膜操作は、固体と固体の分離に用いられる。
- (4) 沈降操作は、気体と液体の分離に用いられる。
- (5) 電気泳動操作は、気体と液体の分離に用いられる。
- (6) ふるい分け操作は、液体と固体の分離に用いられる。
- (7) 分級操作は、固体と固体の分離に用いられる。
- (8) 吸着操作は、気体と固体の分離に用いられる。

問題 A2 図は気体の圧縮係数 (z) 線図を表したものである。次の記述のうち、正しいものを 2 つ選び、その番号を解答用紙に記入しなさい。(配点 5 点)



出典：橋本健治・荻野文丸編，『現代化学工学』，p14，産業図書(2001).

- (1) z は圧力 p ，モル体積 v ，温度 T を用いると， $z = \frac{RT}{pv}$ で表される。
- (2) T_r は臨界温度 T_c を用いた $T_r = \frac{T}{T_c}$ で表される。
- (3) 圧力一定の場合，高温になるほど気体の体積は小さくなる。
- (4) 理想気体の圧縮係数 z の値も高圧になると小さくなる。
- (5) 図中の圧力範囲を越えた高圧になると， z が 1.0 以上になることがある。

問題 A3 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 10 点）

ある炉において、水分 4.5 %、灰分 15.4 % を含有するコークスを燃やしている。この炉から出る燃焼ガスの乾燥ガス基準での分析結果は CO_2 : 15.9 mol%、 CO : 0.2 mol%、 O_2 : 4.6 mol% および N_2 : 79.3 mol% であった。供給空気中の水分および灰分中に残る可燃物質の量が無視できるとして、供給空気の過剰百分率（= (供給量 ÷ 理論量 - 1) × 100 %）とコークスの組成を計算する。ただし、空気の組成は、 N_2 : 79.0 mol%、 O_2 : 21.0 mol%、窒素ガスは不活性とする。

まず、乾燥燃焼ガス 100 kmol について、下表の分析結果に基づいて考える。

(単位 : kmol)

成分	全量	成分中の C の量	成分中の O_2 の量
CO_2	15.9	15.9	15.9
CO	0.2	0.2	0.1
O_2	4.6		4.6
N_2	79.3		
計	100.0	16.1	20.6

燃焼ガス中の N_2 はすべて供給空気由来と考えられる。したがって空気として供給された O_2 量（供給酸素量）は、 kmol である。分析結果に現れなかった O_2 は、 kmol で、この kmol の O_2 はコークス中の水素の燃焼に使われたものと考えられる。

一方、コークス中の炭素の完全燃焼に要する O_2 は、 kmol であり、コークスの完全燃焼に要する総 O_2 （理論酸素量）は、 kmol となる。以上より供給空気の過剰百分率 % が求まる。このとき、燃焼した水素および炭素は、それぞれ kg と kg である。

次に、コークス 100 kg についてその組成を計算する。コークス中の不燃物質の量は水分と灰分の和、すなわち 19.9 kg であり、したがって可燃物質の量は kg である。この内の炭素量と水素量は、燃焼量の比率よりそれぞれ kg、 kg と求まる。

[解答欄]

<input type="text" value="a"/>	(1) 16.0	(2) 20.6	(3) 20.7	(4) 21.1	(5) 26.6
<input type="text" value="b"/>	(1) 0.4	(2) 0.5	(3) 4.0	(4) 4.6	(5) 6.0
<input type="text" value="c"/>	(1) 16.0	(2) 16.1	(3) 20.6	(4) 20.7	(5) 21.0
<input type="text" value="d"/>	(1) 16.4	(2) 16.6	(3) 24.6	(4) 25.6	(5) 26.7
<input type="text" value="e"/>	(1) 8.1	(2) 17.1	(3) 24.1	(4) 26.5	(5) 27.1
<input type="text" value="f"/>	(1) 0.2	(2) 0.3	(3) 1	(4) 2	(5) 4
<input type="text" value="g"/>	(1) 192	(2) 193	(3) 199	(4) 247	(5) 248
<input type="text" value="h"/>	(1) 72.1	(2) 80.1	(3) 81.0	(4) 84.6	(5) 89.1
<input type="text" value="i"/>	(1) 78.7	(2) 79.3	(3) 80.2	(4) 83.7	(5) 87.2
<input type="text" value="j"/>	(1) 0.7	(2) 0.8	(3) 0.9	(4) 1.0	(5) 1.1

問題 A4 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。なお、円管流れの摩擦係数は、層流 $f=16Re^{-1}$ 、乱流 $f=0.0791 Re^{-\frac{1}{4}}$ で表される。(配点 10 点)

- (1) 内径 2.0 mm の水平管を通して、密度 $1.00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、粘度 $1.00 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の溶液を送液する。流量が $1.5 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ のとき、レイノルズ数は $Re = \boxed{\text{a}}$ 、管長さ 1 m 当りの圧力降下は $\boxed{\text{b}}$ Pa となる。
- (2) 内径 2.0 mm の水平管の途中から内径 1.0 mm の管が水平に分岐する流路系がある。分岐部から出口までの長さは、2 mm 管では 1 m、1 mm 管では 0.5 m であり、両管の出口は大気に開放されている。分岐部、出口流出部の圧力損失が無視できるものとする、上流側の 2 mm 管に(1)と同じ溶液を同一流量で供給するときの 2 mm 管出口の流量は以下のよう求められる。

分岐部以降では、1 mm 管の断面平均流速 $u_1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ と 2 mm 管の断面平均流速 $u_2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の間には、流量収支から

$$u_1 + \boxed{\text{c}} u_2 = \boxed{\text{d}}$$

が成り立つ。また、1 mm 管と 2 mm 管の圧力降下は等しいので、次式が成り立つ。

$$u_1 = \boxed{\text{e}} u_2 = \boxed{\text{f}} u_2$$

ここで、 $\boxed{\text{e}}$ 中の変数 d 、 L は管の直径と分岐後の長さ、添字 1、2 はそれぞれ 1 mm 管、2 mm 管を表す。

これらの式を用いて 2 mm 管から流出する流量を求めると、 $\boxed{\text{g}} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ となる。

[解答欄]

$\boxed{\text{a}}$	(1) 9.54	(2) 95.4	(3) 9.54×10^2	(4) 9.54×10^3	(5) 9.54×10^4
--------------------	----------	----------	------------------------	------------------------	------------------------

$\boxed{\text{b}}$	(1) 9.6×10^2	(2) 3.2×10^3	(3) 3.8×10^3	(4) 9.6×10^3	(5) 3.8×10^4
--------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

$\boxed{\text{c}}$	(1) 0.25	(2) 0.50	(3) 1.0	(4) 2.0	(5) 4.0
--------------------	----------	----------	---------	---------	---------

$\boxed{\text{d}}$	(1) 0.191	(2) 0.477	(3) 1.18	(4) 1.91	(5) 4.71
--------------------	-----------	-----------	----------	----------	----------

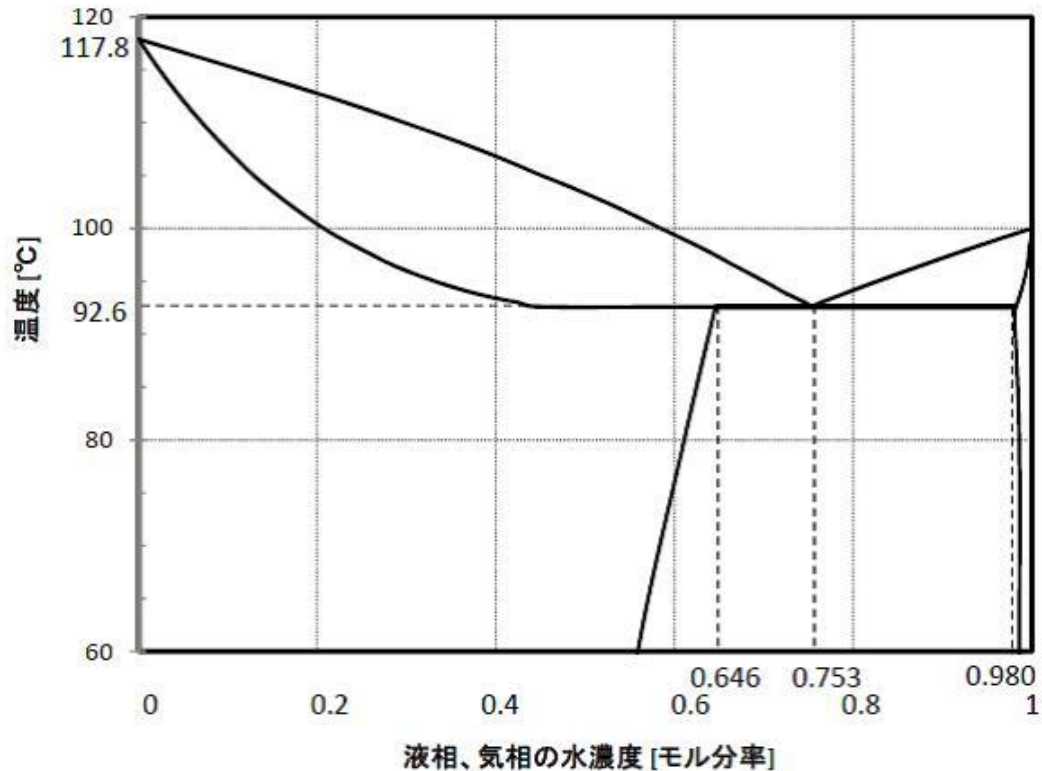
$\boxed{\text{e}}$	(1) $\frac{L_1}{L_2} \frac{d_1}{d_2}$	(2) $\frac{L_1}{L_2} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$	(3) $\left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{-1} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$	(4) $\left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{\frac{4}{7}} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{\frac{5}{7}}$	(5) $\left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{\frac{4}{7}} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{\frac{5}{7}}$
--------------------	---------------------------------------	--	--	---	---

$\boxed{\text{f}}$	(1) 0.125	(2) 0.250	(3) 0.411	(4) 0.500	(5) 0.906
--------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

$\boxed{\text{g}}$	(1) 0.17	(2) 0.30	(3) 0.67	(4) 1.0	(5) 1.3
--------------------	----------	----------	----------	---------	---------

問題 A5 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な数値あるいは語句を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 10 点）

下の図は、1 気圧（101.3 kPa）における水と 1-ブタノールの相平衡図である。



70 °Cで、水と 1-ブタノールを 5 : 1 のモル比で混合してよく振り混ぜ、その後放置すると となる。この溶液を、圧力を 1 気圧に保って加熱していくと、 °Cで沸騰が始まる。このとき発生する気体中の水のモル分率は である。沸騰している状態で、共存している相の数は であり、Gibbs の相律から、自由度は である。この 2 成分の共沸の型は である。

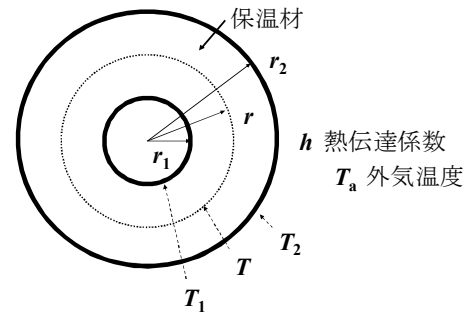
十分な理論段数を有する蒸留塔に、水と 1-ブタノールのモル比が 5 : 1 の混合物を仕込んで全還流運転を行った場合、塔頂蒸気の組成は に近く、塔底液の組成は に近くなる。

[解答欄]

- | | | | | | |
|-----------|-----------|------------------|-----------|----------|-----------|
| (1) 1 液相 | (2) 2 液相 | (3) 100 | (4) 117.8 | (5) 92.6 | (6) 0.646 |
| (7) 0.753 | (8) 0.980 | (9) 1 | (10) 2 | (11) 3 | (12) 最低共沸 |
| (13) 最高共沸 | (14) 共沸組成 | (15) 純粋な 1-ブタノール | (16) 純粋な水 | | |

問題 A6 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 10 点）

長さ $L = 10.0 \text{ m}$ 、外半径 $r_1 = 17.0 \text{ mm}$ の水平管内に水蒸気
を流し、管の外側に熱伝導率 $k = 0.0700 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、厚さ
34.0 mm の保温材を巻いて保温している。保温材内側の温度
は $T_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 、外気の温度は $T_a = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ で定常状態にある
とき、外気への損失熱量を求めたい。ただし、保温材外側
の熱伝達係数は $h = 5.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ である。



保温材の温度 T は半径 r の関数とし、熱が保温材中の任
意の位置を半径方向に通過するときの熱流束を q とすれば、
外気への損失熱量 Q は

$$Q = \boxed{\text{a}} q \quad (1)$$

と表される。 Q は全伝熱量であるので、半径位置によらず一定である。

熱伝導に関する Fourier の法則

$$q = -k \frac{dT}{dr} \quad (2)$$

を式(1)に代入し、保温材外側の半径を r_2 、温度を T_2 として、 r について積分すれば外気への損失
熱量は

$$Q = \boxed{\text{b}} (T_1 \text{ } \circlearrowleft \text{ } T_2) \quad (3)$$

と表される。

一方、

$$Q = \boxed{\text{c}} (T_2 \text{ } \circlearrowleft \text{ } T_a) \quad (4)$$

と表されるので、式(3)、(4)より保温材外面の温度 T_2 が求められる。与えられた数値を代入すれば

$$T_2 = \boxed{\text{d}} \text{ }^\circ\text{C} \quad (5)$$

となるので、外気への損失熱量 Q は

$$Q = \boxed{\text{e}} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6)$$

と求められる。

[解答欄]

$\boxed{\text{a}}$	(1) $\frac{1}{3} \pi r L$	(2) πr^2	(3) $\frac{4}{3} \pi r L$	(4) $2 \pi r L$	(5) $4 \pi r^2$
$\boxed{\text{b}}$	(1) $\frac{1}{3} \frac{\pi L k}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$	(2) $\frac{4}{3} \frac{\pi L k}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$	(3) $\frac{2 \pi L k}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$	(4) $\frac{\pi k}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}$	(5) $\frac{4 \pi k}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}$
$\boxed{\text{c}}$	(1) $\frac{1}{3} h \pi r_2 L$	(2) $h \pi r_2^2$	(3) $\frac{4}{3} h \pi r_2 L$	(4) $2 h \pi r_2 L$	(5) $4 h \pi r_2^2$
$\boxed{\text{d}}$	(1) 32.1	(2) 40.0	(3) 47.9	(4) 55.8	(5) 63.7
$\boxed{\text{e}}$	(1) 0.493	(2) 1.97	(3) 107	(4) 320	(5) 427

問題 A7 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式, 数値あるいは語句を解答欄から選び, その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい. (配点 10 点)

メタン(1)とベンゼン(2)の気液平衡を考える場合, メタン(1)の気液平衡関係はヘンリー (Henry) 定数を用いた次式で表される.

$$py_1 = H_1x_1$$

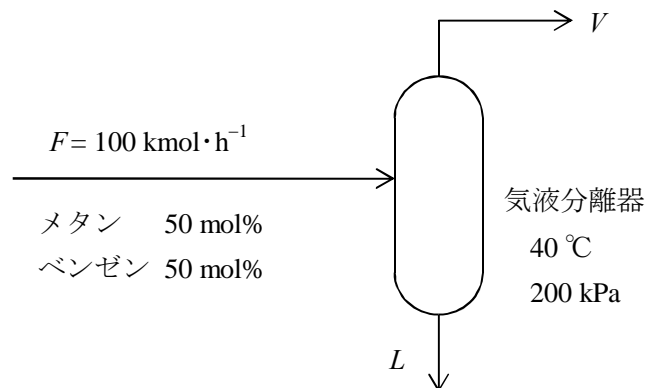
ここで, p , y_1 , H_1 , x_1 は, それぞれ, 全圧, 気相のメタンのモル分率, メタンのベンゼンへの溶解の Henry 定数, 液相のメタンのモル分率である. Henry 定数 H_1 [kPa]は, 10~40 °Cの間で絶対

温度 T [K] の関数として, $\ln H_1 = 11.25 - \frac{137.1}{T}$ と表される.

一方, ベンゼン(2)の気液平衡関係については, 液相は理想溶液と考えてよいので, ラウール (Raoult) の法則が成り立つ. 10~40°Cの温度範囲では, ラウールの法則に用いられるベンゼンの飽和蒸気圧 p_2^s [Pa]は, 次の [a] 式で表される.

$$\ln p_2^s = 20.7936 - \frac{2788.51}{T - 52.36}$$

メタン 50 mol%, ベンゼン 50 mol%の混合物を流量 $F = 100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ で気液分離器に供給して, 40 °C, 200 kPa の条件で気液分離した. このとき, 気液分離器では気液平衡が成り立つものとする. 液体 L 中のメタンのモル分率 x_1 は, Henry の法則と Raoult の法則から $x_1 =$ [b] = [c] となる. 気体相 V 中のメタンのモル分率は [d] であり, 気体 V の流量は [e] $\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ である.



[解答欄]

[a] (1) Clausius-Clapeyron (2) Antoine (3) Gibbs-Duhem
(4) Gibbs-Helmholz (5) Riedel

[b] (1) $\frac{p + p_2^s}{H_1 + p_2^s}$ (2) $\frac{p + p_2^s}{H_1 + p}$ (3) $\frac{p - p_2^s}{H_1 + p_2^s}$ (4) $\frac{p - p_2^s}{H_1 - p_2^s}$ (5) $\frac{p - p_2^s}{H_1 - p}$

[c] (1) 0.0025 (2) 0.0029 (3) 0.0035 (4) 0.0039 (5) 0.0045

[d] (1) 0.62 (2) 0.72 (3) 0.87 (4) 0.97 (5) 0.99

[e] (1) 50 (2) 53 (3) 57 (4) 69 (5) 80

問題 A8 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 10 点）

次の(1)と(2)の液相反応が一つのピストン流反応器（PFR）で同時に進行しているとき、それぞれの反応の速度定数 k_1 と k_2 を求めたい。



空間時間 = 40 s, A の転化率 $x_{\text{A}} = 0.60$, 生成物 R と S のモル流量 $[\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}]$ 比 $\frac{n_{\text{R}}}{n_{\text{S}}} = 4.0$ であり,

反応原料は A のみである。なお、液相反応なので、反応中に体積流量は変化しない。

反応(1)で消費される A のモル流量を $n_{\text{A}1}$, 反応(2)で消費されるそれを $n_{\text{A}2}$ とすると,
 $\frac{n_{\text{A}1}}{n_{\text{A}2}} = \boxed{\text{a}} \frac{n_{\text{R}}}{n_{\text{S}}}$ である。また, $\frac{k_1}{k_2} = \boxed{\text{b}}$ となる。反応全体の速度定数 $k = k_1 + k_2 = \boxed{\text{c}} \text{ s}^{-1}$ なので, $k_2 = \boxed{\text{d}} \text{ s}^{-1}$, $k_1 = \boxed{\text{e}} \text{ s}^{-1}$ が得られる。

[解答欄]

a	(1) $\frac{3}{8}$	(2) $\frac{2}{3}$	(3) 1.0	(4) $\frac{3}{2}$	(5) $\frac{8}{3}$
b	(1) 2.0	(2) 4.0	(3) 5.0	(4) 6.0	(5) 8.0
c	(1) 0.0173	(2) 0.0229	(3) 0.0315	(4) 0.0406	(5) 0.0427
d	(1) 0.0033	(2) 0.0043	(3) 0.0057	(4) 0.0061	(5) 0.0082
e	(1) 0.0101	(2) 0.0130	(3) 0.0196	(4) 0.0258	(5) 0.0345

2015 年度化学工学技士（基礎）試験問題

第二部 15:45～16:45

問題 B1 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 10 点）

A B なる液相 1 次反応（反応速度定数 $k = 2.0 \text{ h}^{-1}$ ）をリサイクル操作が可能な管型反応器を用いて行う。ただし、反応器容積を $V = 3 \text{ m}^3$ ，原料の体積流量を $v_0 = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ，また反応器内で温度は一定，流体の密度変化はないものとする。

(1) リサイクル操作を行わない場合，反応器出口での転化率は になる。

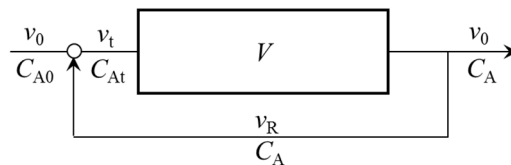
(2) リサイクル操作を行う場合，下図の各所での A の濃度を C_{A0} ， C_{At} ， C_A ，体積流量を v_0 ， v_t ， v_R ，リサイクル比（= 反応器に戻される体積流量 v_R ÷ 反応系を去る体積流量 v_0 ）を R として，合流点での A の物質収支を取ると， の関係が成り立つ。

次に $R = 1$ とする場合について考える。

反応物質の濃度変化（ $C_{At} \rightarrow C_A$ ）を空間時間 $\tau = \frac{V}{v_t}$ とする基礎的反應設計式に適用すると，

単通転化率（反応器入口に供給された A の量のうち，反応器内での反応によって消失した A の量の割合）は になる。また，合流点前後での濃度比（ $= \frac{C_{At}}{C_{A0}}$ ）は であるので，

総括転化率は となる。



[解答欄]

(1) 0.30 (2) 0.35 (3) 0.40 (4) 0.45 (5) 0.50

(1) $C_{At} = (C_{A0} + RC_A)(1 + R)$ (2) $C_{At}(1 + R) = C_{A0} + RC_A$ (3) $\frac{C_{At}}{1 + R} = C_{A0} + RC_A$

(4) $C_{At} = C_{A0} + RC_A$ (5) $RC_{At} = C_{A0} + RC_A$

(1) 0.16 (2) 0.21 (3) 0.26 (4) 0.31 (5) 0.36

(1) 0.39 (2) 0.49 (3) 0.59 (4) 0.69 (5) 0.79

(1) 0.26 (2) 0.31 (3) 0.36 (4) 0.41 (5) 0.46

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式、数値あるいは語句を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

固体吸着材へのガス分子 A の吸着を考える。吸着材表面には均質な N_s 個の吸着座 (吸着サイト) があり、そのうち N 個にはガス A の分子が吸着しているとする。この比率 $\theta = \frac{N}{N_s}$ を表面被覆率と
いう。A の吸着速度 v_a は、A の分圧 p_A と、固体表面の空いている吸着座の数に比例するので、吸着の速度定数を k_a とすると、 $v_a = \boxed{\text{a}}$ のように表される。一方、脱離速度 v_d は吸着されている吸着座の数に比例するから、脱離の速度定数を k_d とし、 $v_d = \boxed{\text{b}}$ と表される。

吸着平衡が成り立っている場合には、 $v_a = v_d$ だから、

$$\theta = \boxed{\text{c}} \quad (1)$$

となる。また、吸着量 q は θ に比例するから、飽和吸着量を q_m とし、

$$q = \boxed{\text{d}} \quad (2)$$

と表される。ここで $K = \frac{k_a}{k_d}$ であり、 K は吸着平衡定数と呼ばれる。式(1)、あるいは式(2)を、ラングミュアー (Langmuir) の $\boxed{\text{e}}$ という。

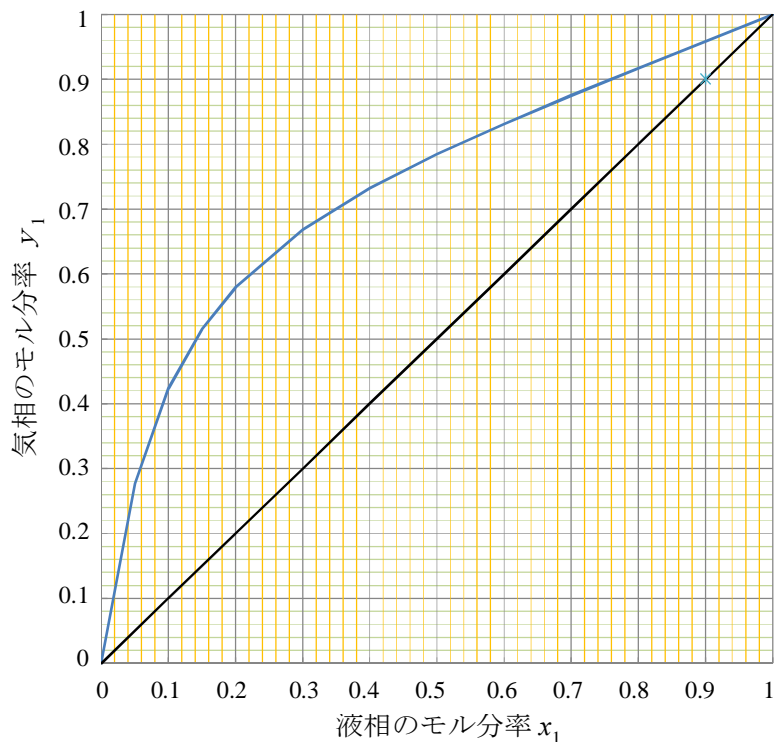
296 K における、ある活性炭へのメタンの吸着に対し、分圧の単位を kPa とし、式(2)の定数が、 $q_m = 6.09 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $K = 1.92 \times 10^3 \text{ kPa}^{-1}$ と求められている。この式によると、メタンの分圧が 1000 kPa のときの吸着量は $\boxed{\text{f}}$ $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ である。

[解答欄]

- | | | | | |
|--|--|--|------------------------------------|--|
| (1) $k_a p_A (1 - \theta)$ | (2) $k_a p_A \theta$ | (3) $k_a p_A$ | (4) $k_d p_A (1 - \theta)$ | (5) $k_d p_A \theta$ |
| (6) $k_d p_A$ | (7) $k_d (1 - \theta)$ | (8) $k_d \theta$ | (9) k_d | (10) $\frac{\frac{k_a}{k_d} p_A}{1 + \frac{k_a}{k_d} p_A}$ |
| (11) $\frac{1 + \frac{k_a}{k_d} p_A}{\frac{k_a}{k_d} p_A}$ | (12) $\frac{\frac{k_a}{k_d} p_A}{1 + p_A}$ | (13) $\frac{1 + \frac{k_a}{k_d}}{\frac{k_a}{k_d} p_A}$ | (14) $\frac{q_m K p_A}{1 + K p_A}$ | (15) $\frac{q_m (1 + K p_A)}{K p_A}$ |
| (16) $\frac{q_m K p_A}{1 + p_A}$ | (17) $\frac{q_m (1 + K)}{K p_A}$ | (18) 吸着平衡式 | (19) 吸着等温式 | (20) 破過曲線式 |
| (21) 0.01×10^{-3} | (22) 3.2×10^{-3} | (23) 4.0×10^{-3} | (24) 5.3×10^{-3} | |

B2-2 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

図はメタノール-水 2 成分系の 1 気圧における気液平衡線図 (x - y 線図) である。この線図を使って、蒸留塔 (全縮器, リボイラー付) の所要理論段数を求めてみよう。



2 成分系の蒸留には図解法が適用でき、留出組成 x_D , 缶出組成 x_W , 原料組成 z_F , 原料中の液のモル比率 q および還流比 R がわかれば階段作図で理論段数を求めることができる。ただし、蒸留塔の原料供給段より上部に相当する濃縮部, 下部に相当する回収部のそれぞれにおいて上昇蒸気ならびに降下液のモル流量が一定と近似できるものとする。なお、条件としては、塔頂留出液組成 $x_D = 0.90$, 缶出液組成 $x_W = 0.10$, 原料組成 $z_F = 0.40$, 原料は原料段の温度の沸点の液で $100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 供給される場合を想定する。

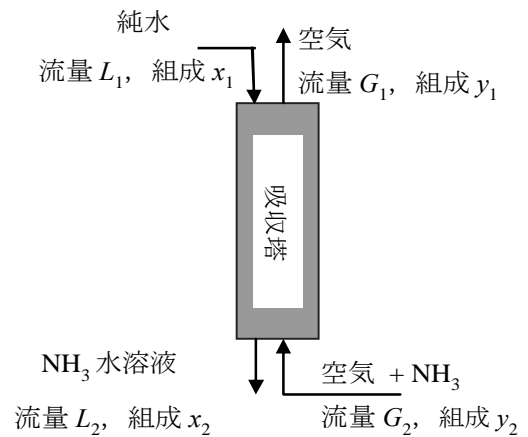
- (1) 塔頂から 1, 2 段と数えて, $k \sim (k + 1)$ 段で接触する下降液と上昇蒸気の組成を x_k, y_{k+1} とすると, 濃縮部での操作線 (濃縮線) は, $y_{k+1} = \boxed{\text{a}} x_k + \boxed{\text{b}}$ と表すことができる。
- (2) 塔全体での物質収支から留出液量 D は $\boxed{\text{c}} \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$, 缶出液量 W は $\boxed{\text{d}} \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。
- (3) 理論段数が無限大となる最少還流比 R_m を求めると $R_m = \boxed{\text{e}}$ となる。
- (4) 還流比 $R = 1.3 \times R_m$ としたときの濃縮部での下降液量 $L = \boxed{\text{f}} \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。
- (5) 原料供給段より下部に相当する回収部の操作線 (回収線) は, $n \sim (n + 1)$ 段で接触する下降液と上昇蒸気の組成を x_n, y_{n+1} とすると, $y_{n+1} = \boxed{\text{g}} x_n - \boxed{\text{h}} x_W$ と表すことができる。
- (6) (1)~(5)の結果に基づく x - y 線図での作図により, 蒸留塔全体のリボイラーを含めた理論段数は $\boxed{\text{i}}$ 段となる。

[解答欄]

a	(1) $\frac{1}{R}$	(2) $1 + \frac{1}{R}$	(3) $\frac{1}{R+1}$	(4) $\frac{R}{R+1}$	(5) $\frac{R+1}{R}$
b	(1) $\frac{x_D}{R}$	(2) $\frac{x_D + x_W}{R}$	(3) $\frac{x_D}{R+1}$	(4) $\frac{x_D + x_W}{R+1}$	(5) $\frac{x_D R}{R+1}$
c	(1) 21.4	(2) 32.8	(3) 37.5	(4) 44.7	(5) 58.2
d	(1) 35.5	(2) 41.6	(3) 48.2	(4) 57.7	(5) 62.5
e	(1) 0.23	(2) 0.36	(3) 0.49	(4) 0.52	(5) 0.63
f	(1) 21.7	(2) 25.1	(3) 28.2	(4) 31.9	(5) 35.6
g	(1) 1.2	(2) 1.7	(3) 2.0	(4) 2.3	(5) 2.9
h	(1) 0.72	(2) 1.0	(3) 1.7	(4) 2.6	(5) 3.1
i	(1) 4	(2) 6	(3) 8	(4) 10	(5) 12

B2-3 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

NH_3 を 3.00 mol% 含む空気を $320 \text{ mol}\cdot\text{h}^{-1}$ の流量にて気液向流接触型充填塔に送り、 NH_3 を純水に吸収させ空気中の NH_3 濃度を 0.50 mol% 以下にしたい。なお、気液相間の NH_3 の平衡関係は全領域で $y = 0.850x$ にて表すことができる。また、塔内での液流量 L 、ガス流量 G および気液組成（モル分率） y 、 x は右図のように定義され、組成はすべて溶質（ NH_3 ）成分の値、添字 1, 2 はそれぞれ塔頂、塔底を表す。純水と純空気の相互溶解は無いとして、以下のように塔内のガス吸収挙動を解析する。



与条件より $x_1 = 0$ 、 $y_1 = 0.005$ 、 $y_2 = 0.030$ 。これを塔全体での NH_3 に関する物質収支式に代入すると、 NH_3 の 1 時間あたりの吸収量は $\boxed{\text{a}}$ $\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。さらに最小気液流量比の場合には $x_2 = \boxed{\text{b}}$ と算出され、最小気液流量比は $(L_1/G_2)_{\min} = \boxed{\text{c}}$ と求められる。

実操作において最小流量比の 1.5 倍の水流量を採用するとき、この充填塔における気相基準の移動単位数 $(NTU)_{\text{OG}}$ を求めてみる。塔頂から高さ H までの NH_3 吸収量 N は、 H 地点での液とガスの組成を x 、 y とし、純空気と純水の流量を G_0 、 L_0 とすると、 G_0 、 L_0 は塔内で不変なので、

$$N = G_0 \boxed{\text{d}} = L_0 \boxed{\text{e}}$$

となる。ここで、塔内での溶質濃度が微少のため $1-y \doteq 1$ 、 $1-x \doteq 1$ と近似し数値を代入すると、操作線

$$y = \boxed{\text{f}} x + \boxed{\text{g}}$$

が得られる。操作線、平衡線がともに線形になる場合には、解析的に次式で表されるので、

$$(NTU)_{\text{OG}} = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{(y-y^*)} = \frac{y_2 - y_1}{(y-y^*)_{\text{lm}}} \quad ((y-y^*)_{\text{lm}} : \text{対数平均, } y^* : x \text{ と平衡にある } y)$$

条件の数値を代入すると、 $(NTU)_{\text{OG}} = \boxed{\text{h}}$ となる。

[解答欄]

- | | | | | | |
|--------------------|--|--|--|--|------------|
| $\boxed{\text{a}}$ | (1) 1.95 | (2) 4.05 | (3) 6.75 | (4) 8.04 | (5) 9.60 |
| $\boxed{\text{b}}$ | (1) 0.0171 | (2) 0.0262 | (3) 0.0353 | (4) 0.0444 | (5) 0.0535 |
| $\boxed{\text{c}}$ | (1) 0.23 | (2) 0.35 | (3) 0.46 | (4) 0.58 | (5) 0.69 |
| $\boxed{\text{d}}$ | (1) $\left(\frac{y}{1-y} - \frac{y_1}{1-y_1}\right)$ | (2) $\left(\frac{y_1}{1-y_1} - \frac{y}{1-y}\right)$ | (3) $\left(\frac{1-y}{y} - \frac{1-y_1}{y_1}\right)$ | (4) $\left(1 - \frac{y_1}{1-y_1}\right)$ | |
| $\boxed{\text{e}}$ | (1) $\left(\frac{x}{1-x} - \frac{x_1}{1-x_1}\right)$ | (2) $\left(\frac{x_1}{1-x_1} - \frac{x}{1-x}\right)$ | (3) $\left(\frac{1-x}{x} - \frac{1-x_1}{x_1}\right)$ | (4) $\left(1 - \frac{x_1}{1-x_1}\right)$ | |
| $\boxed{\text{f}}$ | (1) 0.85 | (2) 1.01 | (3) 1.06 | (4) 1.18 | (5) 1.25 |
| $\boxed{\text{g}}$ | (1) -0.005 | (2) -0.025 | (3) 0.0 | (4) 0.005 | (5) 0.025 |
| $\boxed{\text{h}}$ | (1) 1.1 | (2) 2.3 | (3) 3.5 | (4) 4.7 | (5) 5.9 |

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式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

雨が降ると、大気中に浮遊する塵が雨滴に捕集され、大気は清浄になる。その効果と降雨量の関係を求めてみよう。なお、降雨量は、通常、mm の単位を用いて示されるが、物理的には単位面積の地表に降った雨水の体積を表す。

雨滴径 D_p を一定とし、大気中に浮遊する塵粒子の濃度 C を単位体積当りの個数を用いて表す。雨は静止した大気中を鉛直方向に降るものとし、降雨量 x のときの塵粒子濃度を C 、降雨量 $x + \Delta x$ のときの塵粒子濃度を $C + \Delta C$ とする。降雨量が x から $x + \Delta x$ まで変化する間に面積 S の地表に降

った雨水の体積は $V = S\Delta x$ であるので、それに相当する雨滴数は $N = \boxed{\text{a}} \times \frac{S}{D_p^3} x$ となる。また、

単一雨滴による塵粒子の捕集効率を η とすると、1 個の雨滴が面積 S の地表上部に存在する大気中の塵粒子を捕集する割合は $\eta \times \boxed{\text{b}}$ となる。降雨量 Δx の間に地表に届いた雨滴数は N であるの

で、その間の塵粒子の濃度変化の割合 $\frac{\Delta C}{C}$ は次式で表される。

$$\frac{\Delta C}{C} = -\eta \times \boxed{\text{b}} \times N = -\boxed{\text{c}} \times \frac{\eta}{D_p} x \quad (1)$$

式(1)を微分方程式に変形し、降雨開始時 $x = 0$ で $C = C_0$ の条件のもとに積分すると、降雨量 x のときの塵粒子濃度 C は次式で表される。

$$\boxed{\text{d}} = \boxed{\text{c}} \times \frac{\eta x}{D_p} \quad (2)$$

式(2)から、雨滴径を 1 mm、単一雨滴の捕集効率を 20 % とすれば、10 mm の降雨量では大気中の塵粒子の $\boxed{\text{e}}$ % が除去されることになる。

[解答欄]

- | | | | | | |
|--------------------|---------------------------|--|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| $\boxed{\text{a}}$ | (1) $\frac{3}{4}$ | (2) $\frac{6}{6}$ | (3) 1 | (4) $\frac{6}{6}$ | (5) $\frac{4}{3}$ |
| $\boxed{\text{b}}$ | (1) $\frac{D_p^2}{4S}$ | (2) $\frac{D_p}{S} x$ | (3) $\frac{D_p}{S} x$ | (4) $\frac{D_p^2}{S}$ | (5) $\frac{2 D_p}{S} x$ |
| $\boxed{\text{c}}$ | (1) $\frac{3}{4}$ | (2) 1 | (3) $\frac{3}{2}$ | (4) $\frac{3}{4}^2$ | (5) $\frac{3}{2}^2$ |
| $\boxed{\text{d}}$ | (1) $\exp(\frac{C_0}{C})$ | (2) $1 \text{ ó } \exp(\frac{C}{C_0})$ | (3) $\ln(\frac{C_0}{C})$ | (4) $\ln(\frac{C}{C_0})$ | (5) $\frac{C_0}{C}$ |
| $\boxed{\text{e}}$ | (1) 50 | (2) 75 | (3) 90 | (4) 95 | (5) 99 |

B3-2 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式、数値あるいは語句を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

図1は、液が前工程から上部配管より質量流量 F 、入口温度 T_1 で供給され、加熱タンクに滞留し、電気ヒーター式加熱器により加熱量 W が加えられた後、タンク底部の配管から質量流量 F 、出口温度 T_2 で流出する様子を示したものである。ここで、加熱タンクは完全混合槽、加熱タンクからの放熱および加熱による粘度、比重、比熱などの液物性変化は無視できると仮定し、また、質量流量 F 、入口温度 T_1 、加熱タンク内の液の質量 M は全て一定とする。

このプロセスにおいて、加熱量 W を調節して出口温度 T_2 を制御する場合、加熱量 W が 、出口温度 T_2 が となる。また、熱収支は次式で表される。

$$Mc_p \frac{dT_2}{dt} = Fc_p(T_1 - T_2) + W \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 c_p は液の比熱容量である。定常状態では、入口温度 $T_1 = T_{1s}$ 、出口温度 $T_2 = T_{2s}$ 、加熱量 W_s とすると、次式が成り立つ。

$$T_{2s} - T_{1s} = \text{c} \quad (2)$$

この状態から、 $t > 0$ で、加熱量 W が定常の加熱量 W_s から $W_s + W$ （一定）にステップ状に変化した場合に、それに応じて出口温度 T_2 が T_{2s} から $T_{2s} + T$ に変化するとすれば、式(1)、(2)より

$$Mc_p \frac{dT}{dt} = W - Fc_p T \quad (3)$$

すなわち、次式が得られる。

$$\frac{M}{F} \frac{dT}{dt} = -T + \frac{W}{Fc_p} \quad (4)$$

ここで $\frac{M}{F} = \tau_p$ 、 $\frac{1}{Fc_p} = K_p$ とし、上式をラプラス変換 ($\tilde{x}(s) = \int_0^\infty x(t)e^{-st} dt$ 、

$s\tilde{x}(s) - x(0) = \int_0^\infty \frac{dx(t)}{dt} e^{-st} dt$) して $G(s) = \frac{\tilde{T}(s)}{\tilde{W}(s)}$ を求めると、 $G(s)$ は次式で表される。

$$G(s) = \frac{K_p}{\text{d}} \quad (5)$$

上式中の $G(s)$ を と呼ぶ。

式(4)あるいは式(5)から、温度変化は時間 t を用いて次式で表される。

$$\hat{e}T = \text{f} K_p \hat{e}W \quad (6)$$

式(4)中の $\frac{M}{F} = \tau_p$ を 、 $\frac{1}{Fc_p} = K_p$ を と呼ぶ。 τ_p は図2に示すように、出口温度 T_2 がステップ応答開始時 ($t = 0$) の変化速度で定常値 ($T_{2s} + \hat{e}T_0$) に達するまでの時間を表す。式(6)から、 $t = \tau_p$ では $\hat{e}T = \text{i} \hat{e}T_0$ となる。

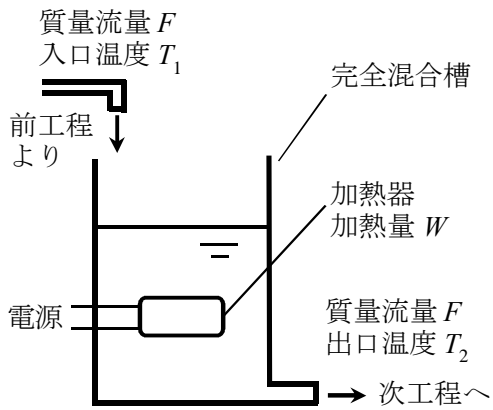


図1 加熱タンク

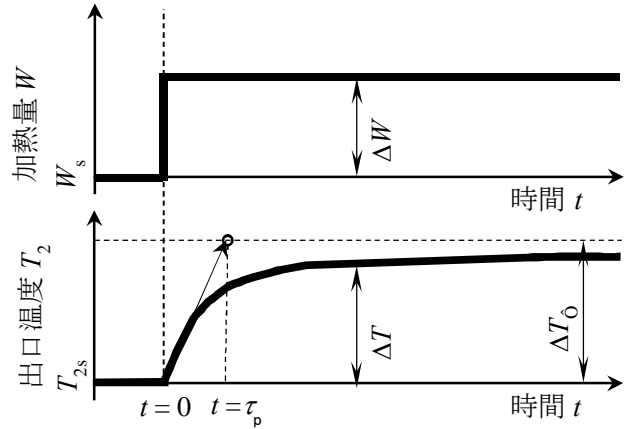


図2 ステップ応答開始時のプロセス動特性

[解答欄]

- | | | | | |
|--|--|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| (1) 制御変数 | (2) 自己相関関数 | (3) 伝達関数 | (4) 時定数 | (5) むだ時間 |
| (6) 定常ゲイン | (7) 偏差 | (8) 多変数 | (9) 操作変数 | (10) 立上がり時間 |
| (11) 積分時間 | (12) $\frac{W_s}{Fc_p}$ | (13) $\frac{Fc_p}{W_s}$ | (14) $W_s Fc_p$ | (15) $\{1 + \exp(\delta t \tau_p)\}$ |
| (16) $\{1 + \exp(\frac{-t}{\tau_p})\}$ | (17) $\{1 - \exp(\frac{-t}{\tau_p})\}$ | (18) $(1 + \tau_p s)$ | (19) $(1 - \tau_p s)$ | (20) $(1 + \frac{\tau_p}{s})$ |
| (21) 0.368 | (22) 0.500 | (23) 0.632 | (24) 0.822 | (25) 1.000 |

B3-3 ある往復圧縮器サイクルでは、毎分 300 mol の理想気体が状態① ($T_1 = 280 \text{ K}$, $p_1 = 100 \text{ kPa}$) にて吸込まれ、断熱可逆的に状態② (T_2 , p_2) まで圧縮されている。気体のモル定容熱容量 $C_{V,m}$ が $24.9 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ のとき、このサイクルに関する次の文中の空欄にあてはまる最も適切な式あるいは数値を解答欄から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。

- (1) 状態①の気体の体積 (毎分) を求めると $V_1 = \boxed{\text{a}}$ m^3 である。
 (2) 断熱過程の pVT 関係は、熱力学第一法則 $dU = dp - pdV = -pdV$ 並びに理想気体の内部エネルギーと定容熱容量 ($C_V = n \times C_{V,m}$) との関係 $dU = C_V dT$ と理想気体の式から

$$dU = C_V dT = -pdV = -\frac{nRT}{V} dV \xrightarrow{T-V} \frac{C_V}{nR} \frac{dT}{T} = -\frac{dV}{V}$$

$$C_V dT = -pdV = Vdp - nRdT$$

$$\xrightarrow{T-p} (C_V + nR)dT = Vdp = \frac{nRT}{p} dp \longrightarrow \frac{C_V + nR}{nR} \frac{dT}{T} = \frac{dp}{p}$$

$$\xrightarrow{V-p} \frac{C_V}{nR} (pdV + Vdp) = -pdV \longrightarrow \frac{C_V + nR}{nR} \frac{dV}{V} + \frac{C_V}{nR} \frac{dp}{p} = 0$$

これらの関係式で変数として $p-V$ を選択すると、良く知られている $\boxed{\text{b}} = \text{const.}$ 、ただし、

$\gamma \equiv \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + nR}{C_V}$ が、 $T-V$ を選択すると $\boxed{\text{c}} = \text{const.}$ が導出される。 (C_p : 定圧熱容量)

- (3) 圧縮後の圧力 $p_2 = 200 \text{ kPa}$ としたとき、上記の断熱変化の式を利用すれば、圧縮後の体積 (毎分) は、 $V_2 = \boxed{\text{d}}$ m^3 、となり、温度 $T_2 = \boxed{\text{e}}$ K が求められる。このときの仕事量は $\boxed{\text{f}}$ kJ となる。

[解答欄]

$\boxed{\text{a}}$	(1) 0.116	(2) 0.350	(3) 6.82	(4) 6.98	(5) 116
$\boxed{\text{b}}$	(1) pV^γ	(2) $pV^{\gamma-1}$	(3) $pV^{\frac{1}{\gamma}}$	(4) $pV^{\gamma+1}$	(5) $pV^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}$
$\boxed{\text{c}}$	(1) $TV^{\frac{C_V - nR}{nR}}$	(2) $TV^{\frac{nR}{C_V - nR}}$	(3) $TV^{\frac{C_V}{nR}}$	(4) $TV^{\frac{C_V + nR}{nR}}$	(5) $TV^{\frac{nR}{C_V}}$
$\boxed{\text{d}}$	(1) 0.116	(2) 0.691	(3) 3.49	(4) 4.15	(5) 6.59
$\boxed{\text{e}}$	(1) 313	(2) 323	(3) 333	(4) 343	(5) 353
$\boxed{\text{f}}$	(1) 1.32	(2) 25.6	(3) 129	(4) 396	(5) 834

