

## 演習問題略解

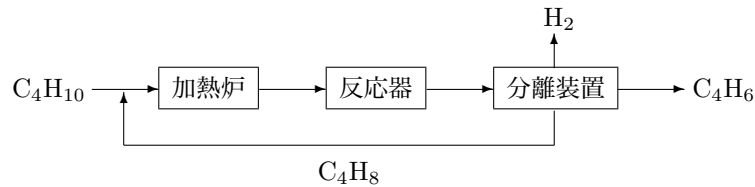
### 第 1 章

1.1 95 wt% エタノール水溶液 650.7 g と水 209.3 g.

1.2 
$$\frac{du\rho}{\mu} = \Phi \left( \frac{d\rho\sigma}{\mu^2}, \frac{d^3\rho^2g}{\mu^2} \right).$$

1.3 計算できる. 過剰空気率 89%.

1.4 ①



②補給原料  $\text{C}_4\text{H}_{10}$   $100 \text{ kmol h}^{-1}$  を基準としたときのリサイクルされるブテン流量を  $R [\text{kmol h}^{-1}]$  とすると, 反応器まわりの物質収支の表は次のようになる.

成分	入量 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]	生成量 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]	出量 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]	出量 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]	組成 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	100	-100	0	0	0
$\text{C}_4\text{H}_8$	$R$	$100 - 0.7(100 + R)$	$0.3(100 + R)$	42.86	12.5
$\text{C}_4\text{H}_6$	0	$0.7(100 + R)$	$0.7(100 + R)$	100	29.2
$\text{H}_2$	0	$100 + 0.7(100 + R)$	$170 + 0.7R$	200	58.3
合計				342.86	100.0

ブテンの出量がリサイクルされ入量となるから,  $R = 0.3(100 + R)$ . したがって,  $R = 42.86 \text{ kmol h}^{-1}$ .

③反応器出口ガス組成を表の右欄に示す.

1.5 必要なエンタルピーは 48.3 kJ. スチーム発生流量は  $3.73 \text{ kg h}^{-1}$ .

1.6 ①反応器に供給される原料 100 mol を基準とする. 反応器まわりの物質収支の表をかく.

成分	入量 [ $\text{mol h}^{-1}$ ]	生成量 [ $\text{mol h}^{-1}$ ]	出量 [ $\text{kmol h}^{-1}$ ]
$\text{C}_2\text{H}_4$	54	$-54 \times 0.05 = -2.7$	51.3
$\text{H}_2\text{O}$	37	$-2.7 + 0.135 = -2.565$	34.435
I	9	0	9
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	0	$2.7 - 0.27 = 2.43$	2.43
$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	0	$0.27/2 = 0.135$	0.135

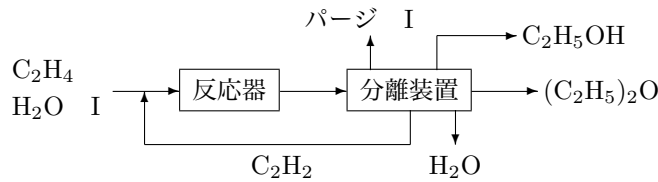
反応 (B) により消費されたエタノールを  $x [\text{mol h}^{-1}]$  とすると,  $(2.7 - x)/2.7 = 0.9$ . したがって,  $x = 0.27 \text{ mol h}^{-1}$ .

②  $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 = -120.8 \text{ kJ h}^{-1}$ .

③反応は熱反応だから, 反応器を冷却して等温に保っている.

④エタノールの反応率が上がると, 発熱量が増大する. また, 副生成物エーテルの生成量も増大するため.

⑤不活性物質の蓄積を防ぐためにパージが必要になる可能性がある.



1.7 ①  $T = 151.3 \text{ K}$ .

② 液化するには,  $T_r = 0.98$  の曲線が飽和蒸気線と交わる  $p_r > 0.87$  となる必要がある. したがって, 圧力を  $43.2 \text{ atm}$  以上にすればよい.

## 第 2 章

2.1 擬塑性流体: 高分子水溶液, 塑性流体: 絵の具, ケチャップ, 粘弾性流体: ホイップクリーム, 卵白, チクソトロピック流体: マーガリン, ケチャップ.

2.2 省略.

2.3 相当直径  $D_e = 0.615 \text{ m}$ , 平均流速  $u = 2.78 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ ,  $Re = 1703 < 2100$ . 層流状態.

2.4 限界流速  $u_c = Re_c \nu / D = 0.588 \text{ m s}^{-1}$ ,  $\therefore Q = u_c \pi D^2 / 4 = 5.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 2.04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

2.5  $u = (2gh)^{0.5} = 5.42 \text{ m s}^{-1}$ ,  $\therefore T = (A_1/A_2)(2H/g)^{0.5} = 2766 \text{ s} = 46.1 \text{ 分}$ .

2.6 省略 (例題 2.2 参照).

2.7 (例題 2.3 参照)  $W = 155.4 \text{ J kg}^{-1}$ ,  $\eta = (W_p Q / W_P) \times 100 = 65\%$ .

2.8  $\mu = 1.27 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ ,  $Re = 27.3$ .

2.9 摩擦速度  $u^* = 0.044 \text{ m s}^{-1}$ .

	対数法則	指数法則
① $y = 0.225 \text{ m}$	$1.01 \text{ m s}^{-1}$	$1.05 \text{ m s}^{-1}$
② $y = 0.01 \text{ m}$	$0.641 \text{ m s}^{-1}$	$0.670 \text{ m s}^{-1}$
③ $y = 0.001 \text{ m}$	$0.215 \text{ m s}^{-1}$	$0.482 \text{ m s}^{-1}$

2.10  $u = 0.189 \text{ m s}^{-1}$ ,  $Re = 4330$ . 板谷の式より  $f = 9.91 \times 10^{-3}$ , ファニングの式より  $\Delta p = 236 \text{ Pa}$ .

2.11 ①  $Re_x = 6.49 \times 10^4 < Re_{xc}$ , 層流境界層,  $\delta = 1.82 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $u = 7.41 \text{ m s}^{-1}$ . ②  $Re_x = 6.49 \times 10^5 < Re_{xc}$ , 乱流境界層,  $\delta = 2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$ ,  $u = 8.75 \text{ m s}^{-1}$ .

2.12  $\delta^*/\delta = 1/8$ . 乱流境界層の方が, 層内速度分布はよりシャープなものとなる.

2.13  $\mu = (d_p^2/18\nu)(\rho_p - \rho_1)g = 0.993 \text{ Pa s}$ ,  $Re_p = \rho_1 d_p v / \mu = 0.10 < 2$ .

2.14  $D = C_D(\rho v^2/2)S = 425 \text{ N}$ ,  $v = (2D/\rho C_D S)^{0.5} = 29.1 \text{ m s}^{-1} = 105 \text{ km h}^{-1}$ .

2.15  $Re = Du_0/\nu = 2.0 \times 10^4 > 10^3$ ,  $\therefore St = 0.21$ ,  $N_e = u_0 St / D = 1.68 \text{ s}^{-1}$ .

2.16 すべて右側の液柱面の方が高くなる.  $h_1$  は全圧,  $h_2$  は動圧,  $h_3$  は静圧.  $h_1 = h_2 + h_3$ .

2.17  $Q = \alpha A_0 (2\Delta p / \rho)^{1/2} = 0.014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $\alpha = 0.597 - 0.011m + 0.432m^2 = 0.658$  ( $\therefore m = 0.39$ ),  $Re = 1.11 \times 10^5$ ,  $\therefore 10^5 < Re < 10^6$ .

2.18 タフト法: 吹き流し, 髪の毛, 海底の海藻. トレーサー法: (流脈法) たばこの煙.

2.19 長所: デジタル量として結果が得られるので処理しやすい. 理想的, あるいは非現実的な仮想実験も可能. 短所: モデルとして組み込まれた現象以外のものは予測されない. 信頼性 (精度, 誤差, 安定性) の検証に多大な労力を要する.

## 第 3 章

3.1 ① 省略. ②  $h = 3.1 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . ③  $2.7 \text{ kg h}^{-1}$ .

- 3.2** ①  $Re = 1.57 \times 10^4$ ,  $Nu = 46.4$ . ②  $h = 56 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . ③  $T_2 = 60^\circ \text{C}$ . ④ 省略.  
**3.3**  $Q = 400 \text{ W}$ .  
**3.4** ①  $\bar{u} = 0.927 \text{ m s}^{-1}$ . ②  $de = 0.024 \text{ m}$ . ③  $Re = 2.91 \times 10^4$ . ④  $Pr = 5.12$ ,  $Nu = 148$ .  
 ⑤  $h = 3.83 \times 10^3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ .  
**3.5**  $Q = 1.25 \times 10^3 \text{ W}$ .  
**3.6** ①  $\bar{u} = 9.59 \text{ m s}^{-1}$ . ②  $Re = 1.43 \times 10^4$ . ③  $Nu = 43.3$ . ④  $h = 45.3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . ⑤  $Re = 2.78 \times 10^5$ .  
 ⑥  $Nu = 9.39 \times 10^2$ . ⑦  $h = 2.31 \times 10^4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . ⑧ 500 倍.

## 第 4 章

- 4.1** 省略.  
**4.2**  $W_{\min} = -\Delta G_{\text{mix}} = -(G_f - G_i) = -\{2 \ln 4/7 + 6(\ln 12/7 - \ln 4)\}RT = 15.37 \text{ kJ}$ .  
**4.3** ヘキサンの液相組成 35.2%, ヘキサンの気相組成 57.1%, 液相量 32.4 mol, 気相量 67.6 mol.  
**4.4**  $\alpha = 5.4$ .  
**4.5** 液流量  $88.9 \text{ kmol h}^{-1}$ , 蒸気流量  $11.1 \text{ kmol h}^{-1}$ .  
**4.6** 4 段.  
**4.7** ① (a)  $D = 178 \text{ mol h}^{-1}$ , (b)  $L = 356 \text{ mol h}^{-1}$ ,  $L' = 556 \text{ mol h}^{-1}$ , (c)  $V = 534 \text{ mol h}^{-1}$ ,  $V' = 334 \text{ mol h}^{-1}$ . ② (a)  $y = 2.5x/(1 + 1.5x)$ , (b)  $y = 0.67x + 0.32$ , (c)  $y = -x + 0.9$ , (d)  $y = 1.66x - 0.033$ .  
 ③  $x = 0.69$ ,  $y = 0.85$ . ④  $N_{\min} = 5.4 \rightarrow 6$ . ⑤  $R_{\min} = 1.74$ .  
**4.8**  $\alpha = 1.5$ : 所要理論段数はリボイラを含まずに 16.8 段,  $\alpha = 1.1$ : 70.9 段.  
 [ヒント: Fenske の式, Gilliland の相関に関する経験式]  
**4.9** ①  $X = (p_{\text{NH}_3}/760)/(1 - p_{\text{NH}_3}/760)$ ,  $Y = (18/17)C$  より,

$Y[\text{mol}_{\text{NH}_3}/\text{mol}_{\text{空気}}]$	0.044	0.101	0.176	0.279	0.427
$X[\text{mol}_{\text{NH}_3}/\text{mol}_{\text{H}_2\text{O}}]$	0.053	0.106	0.159	0.212	0.265

②物質収支  $G_{\text{空気}}(Y_o - Y_e) = L_{\text{H}_2\text{O}}(X_o - X_e)$  ( $(X_o, Y_o)$  は初期濃度,  $(X_e, Y_e)$  は平衡濃度) は, 点  $(X_o, Y_o)$  を通り, 傾斜  $-L_{\text{H}_2\text{O}}/G_{\text{空気}}$  の直線となる (操作線).  $Y_o = 0.30$ ,  $G_{\text{空気}} = 7.7 \text{ mol}$ ,  $X_o = 0.10$ ,  $L_{\text{H}_2\text{O}} = 9.09 \text{ mol}$  を代入した操作線と①で得られた溶解度曲線の交点から,  $Y_e = 0.195$ ,  $X_e = 0.188$  となる.

[ヒント:  $X$ - $Y$  線図を描画すると理解しやすい]

- 4.10** ①  $x_B = 5.64 \times 10^{-3}$ ,  $y_T = 6.04 \times 10^{-4}$ . ②  $N_{\text{OG}} = 4.09$ . ③  $Z = 2.86 \text{ m}$ .  
**4.11** ①  $y_T = 0.011$ . ②  $L = 12.54 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . ③  $y = 49.9x + 0.011$ . ④  $N_G = 6.0$ . ⑤  $Z = 4.20 \text{ m}$ .  
**4.12**  $V_{\text{mean}} = 1241 \text{ m s}^{-1}$ ,  $\lambda = 96.8 \text{ nm}$ ,  $\lambda$  は圧力に反比例する.  
**4.13** 水素/窒素 = 45.3%/54.7%.  
**4.14** 海水の浸透圧:  $\pi = 23.5 \text{ atm}$ , スクロース溶液の浸透圧:  $\pi = 2.2 \text{ atm}$ .  
**4.15**  $Q = 60 \mu\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $R = 0.919$ .

## 第 5 章

- 5.1**  $r_{\text{H}_2} = -1.5 \times 10^2 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ,  $r_{\text{NH}_3} = 1.0 \times 10^2 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ .  
**5.2**  $r = k_2 K_1^{1/2} [C_A (C_B)^{1/2} - C_C C_D / K_1 K_2 K_3 (C_B)^{1/2}]$ .  
**5.3**  $k_{310\text{K}}/k_{300\text{K}} = 1.68$ , 2 倍を示す  $E = 53.6 \text{ kJ mol}^{-1}$ .  
**5.4**  $n = 1.8 \sim 2.0$ ,  $n = 2$  のとき,  $k = 1 \times 10^{-5} \text{ dm}^3 \text{ mmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .  
 [ヒント: 平衡定数を反応速度定数を用いて表現せよ]  
**5.6**  $k = [1/t(1 + 1/K)] \ln \{1/[1 - (1 + 1/K)x]\}$ .  
**5.7**  $k = 8.52 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ,  $t_{90\%} = 270 \text{ min}$ .

- 5.8**  $3.07 \text{ dm}^3$ .
- 5.9**  $V = 2.45 \text{ dm}^3$ ,  $5.45 \text{ dm}^3$  の管型反応器で転化率  $x = 88.7\%$ .
- 5.10**  $t = 1.4 \text{ h}$ ,  $C_A = 246$ ,  $C_B = 500$ ,  $C_C = 254 \text{ mol m}^{-3}$ .
- 5.11** ① 0.636, ② 0.788.
- 5.12** [ヒント：図 5.11 を考慮せよ]
- 5.13**  $6.25 \text{ cm}^3 \text{ STP}$ .
- 5.14** [ヒント：(5.62) 式の誘導手順を参照せよ]
- 5.15**  $127 \text{ g}$ .
- 5.16** (a),(c)：表面反応律速, (b),(d)：拡散律速.
- 5.17** [ヒント：式 (5.69), (5.72), (5.75) を比較検討せよ]