

分離工学

【問1】 成分 A と B からなる 2 成分溶液を蒸留器に仕込み、これを単蒸留により低沸点成分 A を留出器中に濃縮したい。以下の設問に答えよ。なお、対象系は Raoult 法則に従い、次の Rayleigh 式が適用できるものとする。

$$\ln \frac{L_0}{L_t} = \frac{1}{(\alpha - 1)} \left[\ln \frac{x_0}{x_t} + \alpha \ln \left(\frac{1 - x_t}{1 - x_0} \right) \right]$$

Rayleigh 式中の L [mol] と x [-] は蒸留器の液量と液中の成分 A の組成（モル分率）で、下付添字の 0 は原料（仕込時）、 t は時間 t での状態を表す。 α は と呼ばれ、蒸留における分離効果を左右する重要な量である。

原料が成分 A の組成 $x_0 = 0.40$ の溶液 10 mol、蒸留操作中 $\alpha = 2.0$ で一定であるとしたとき、時間 t において留出器に 6.0 mol の液が得られた。このときの留出器中の液の濃度 (x_D) を求めてみる。まず、既知条件を Rayleigh 式に代入すると、蒸留缶中に残存する液組成 x_t に関する方程式が導出でき、これを解くと $x_t =$ となる。

次に、蒸留缶と留出器での成分 A に関する物質収支をとると $x_D =$ となる。

- 1) 空欄 に当てはまる適切な語句を答えよ。
- 2) 空欄 , に当てはまる適切な数値を有効数字 2 桁で答えよ。
- 3) ここでは $\alpha = 2.0$ としたが、 α の定義として正しいものを選択肢 a)~e) から選択し、その記号を記せ。ただし、 p_i^{vap} は成分 i の飽和蒸気圧である。

a) $\alpha = p_A^{vap} + p_B^{vap}$, b) $\alpha = \frac{p_A^{vap}}{p_B^{vap}}$, c) $\alpha = \frac{p_B^{vap}}{p_A^{vap}}$, d) $\alpha = p_A^{vap} - p_B^{vap}$, e) $\alpha = p_B^{vap} - p_A^{vap}$

【問2】 溶液中の色素分子を吸着剤により除去する回分吸着操作に関する設問に答えよ。

1) まず、回分吸着操作に要する時間 t_f を求める式を導出する。空欄 **ア** ~ **エ** に当てはまる適切な文字式を答えよ。

図に、色素分子の溶液濃度と吸着剤への吸着量が線形関係にある場合の吸着等温線と、回分吸着操作における操作線を示す。溶液中の色素濃度の減少は、吸着剤への吸着量の増加に等しい。すなわち、ある時間までに溶液中の色素濃度が初期濃度 C_0 [kg/m³] から C [kg/m³] まで減少し、吸着量が初期吸着量 q_0 [kg/kg-(吸着剤)] から q_m [kg/kg-(吸着剤)] まで増加したとき、溶液量 V [m³] および吸着剤重量 W [kg] を用いると、物質収支より次式となる。

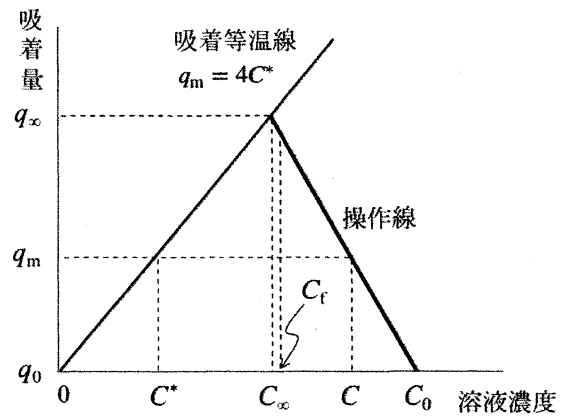


図 等温吸着線と回分吸着操作の操作線

$$V(\text{ア}) = W(\text{イ}) \tag{1}$$

この式が図の操作線に相当する。吸着は、溶液中の色素濃度 C と吸着量 q_m に平衡な仮想濃度 C^* の差 ($C - C^*$) を推進力として進行するので、吸着速度は、総括物質移動係数 k_f [m/h] および吸着剤単位重量当たりの表面積 S [m²/kg] を用いると次式となる。

$$\frac{dq_m}{dt} = k_f S (C - C^*) \tag{2}$$

式(1)の C および q_m は時間の関数であるので両辺を時間で微分し次式を得る。

$$-V \frac{dC}{dt} = W \frac{dq_m}{dt} \tag{3}$$

式(2)を式(3)に代入することで、 C に関する微分方程式を導出することができる。その式を、初期 ($t=0$) の濃度 C_0 [kg/m³] から規定の溶液濃度 C_f [kg/m³] に達する時間 ($t=t_f$) まで積分した式に変形することで、回分吸着操作に要する時間 t_f [h] を求める式となる。

$$t_f = \text{ウ} \int_{C_0}^{C_f} \text{エ} dC \tag{4}$$

2) 次に、初期濃度 $C_0 = 0.200$ kg/m³ の溶液 ($V = 1.00$ m³) に直径 $d_p = 50.0$ μm に成形した球状活性炭を吸着剤として投入し回分吸着操作を行う。ここで、図に示すように、吸着等温線は $q_m = 4C^*$ で表され、吸着前の吸着量 $q_0 = 0$ kg/kg-(吸着剤) とする。設問(a), (b) に、有効数字3桁で答えよ。

(a) C を 2.00×10^{-2} kg/m³ まで低減させるために必要な吸着剤の重量 W [kg] を求めよ。

(b) (a) で求めた W の2倍量を投入して回分吸着操作を行う。ここで、操作線が吸着等温線と重なる点 ($C = C_\infty$ および $q_m = q_\infty$) を飽和吸着と定義するとき、飽和吸着 (C_∞) の95.0%まで色素を吸着した場合の溶液濃度 C_f [kg/m³] を求め、その濃度まで回分吸着操作を行うのに必要な時間 t_f [h] を求めよ。なお、 $k_f = 2.50 \times 10^{-2}$ m/h ならびに球状活性炭の見かけ密度 $\rho_p = 1.00 \times 10^3$ kg/m³ とする。