

分離工学

【問1】ベンゼン（A成分）－トルエン（B成分）2成分系混合溶液の蒸留に関する設問1）～3）に答えよ。ただし、設問中に記載の組成はモル分率で表すものとする。なお、解答用紙には導出過程を示し、解答が数値の場合は有効数字を3桁とせよ。ここで、液相は理想溶液、気相は理想気体として取り扱うことができるとする。

- 1) この2成分系混合溶液の温度 $T = 310\text{ K}$ あるいは 350 K の相対揮発度 $\alpha_{AB(310K)}$ および $\alpha_{AB(350K)}$ を求め、それらの相乗平均をとることで平均相対揮発度 (α_{AB_ave}) を求めよ。なお、それぞれの物質の蒸気圧 (P [kPa]) の温度 (T [K]) 依存性はアントワン式 (式(1)) で算出し、その際、表1のアントワン定数を用いることとする。

$$\log_{10}(P) = A + \frac{B}{T + C} \quad (1)$$

表1 アントワン定数

物質	A	B	C	沸点 [K]
ベンゼン	6.02	-1.20×10^3	-53.1	3.53×10^2
トルエン	6.08	-1.34×10^3	-54.2	3.83×10^2

- 2) 310 K におけるベンゼンの液組成 (x_A) が 0.400 の場合のベンゼンの気相組成 (y_A) を求めよ。なお、設問1) で求めた α_{AB_ave} を用いること。

- 3) 図1の連続蒸留装置の操作に関する次の文章を読み、空欄 ア ～ ク に当てはまる適切な数値もしくは語句を答えよ。

ベンゼン(A成分)組成 $x_F = 0.400$ のベンゼン (A成分)－トルエン (B成分) 2成分系混合溶液を沸点の液として供給する。この場合、原液中の液割合を表す q は ア となる。還流比 $R = L/D = 2.42$ として、留出液中のベンゼン組成 $x_D = 0.900$ および缶出液中のベンゼン組成 $x_W = 0.100$ とするための所要理論段数を、図2のマッカーベ・シレー法により求めたところ、図解法より イ となった。なお、図2中に示した濃縮部操作線の傾きおよび切片はそれぞれ ウ および エ である。

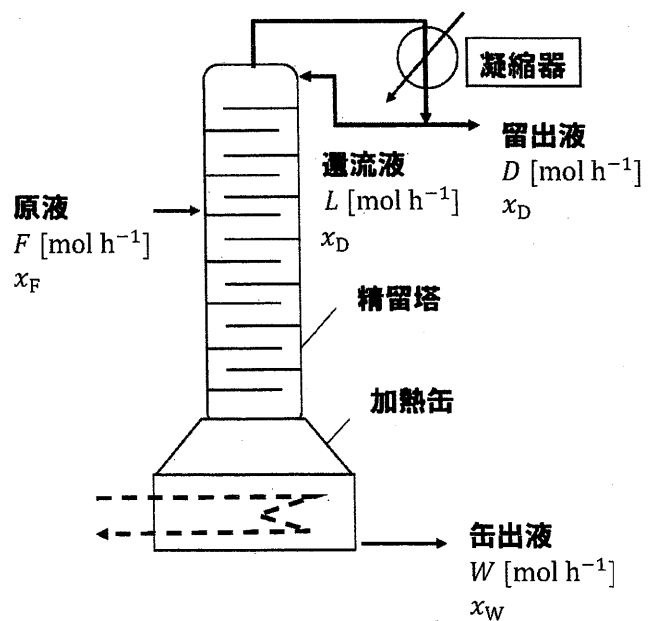


図1 連続蒸留装置

なお、還流比 R を大きくすると所要理論段数を することができる。このとき、加熱缶における加熱に要するエネルギーが なる。なお、 R を無限大にした場合を といい、このときの所要理論段数を という。

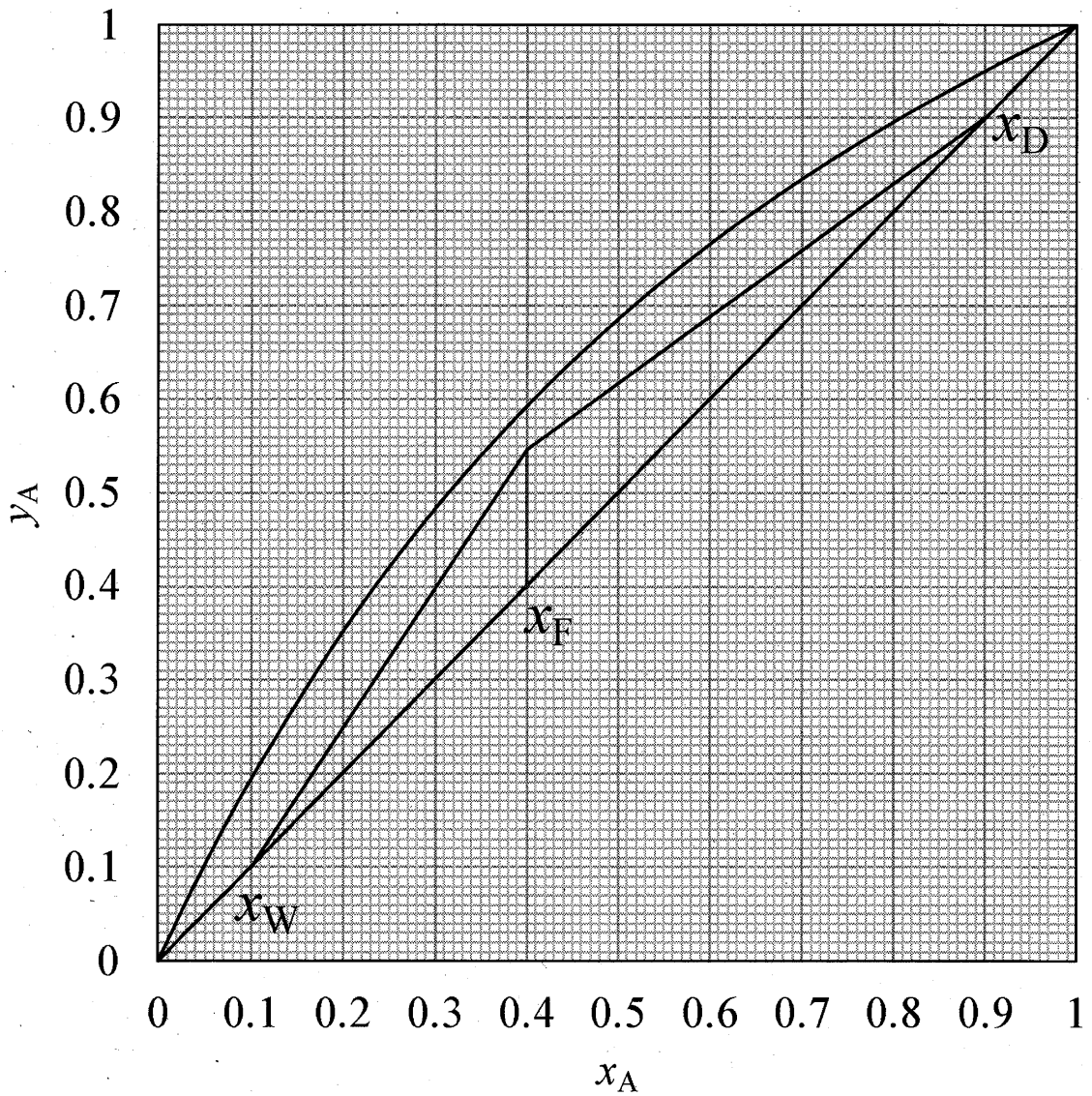


図2 大気圧でのベンゼン (A成分) -トルエン (B成分) 2成分系混合溶液の相平衡に対するマッカーベ・シーレ法による段数計算

【問2】ガス吸収に関する以下の文章を読み、設問1)～4)に答えよ。なお、解答用紙には導出過程を示し、解答が数値の場合は有効数字を3桁とせよ。

図3のように、ガスと液体が接触する際、ガスと液の本体の流れが激しく乱れていても、ガスと液が接触する界面においては、その両側にそれぞれ有効厚さ δ_G と δ_L のガス境膜、液境膜が存在し、ガスはこれら境膜を通して液本体中へと拡散するものと考えることができる。このモデルによれば、ガス吸収が定常状態で行われている場合、ガスAがガス境膜を通る速度と液境膜を通る速度は等しくなる。このとき、それらの速度 N_A [mol m⁻² s⁻¹] は次式のように表される。

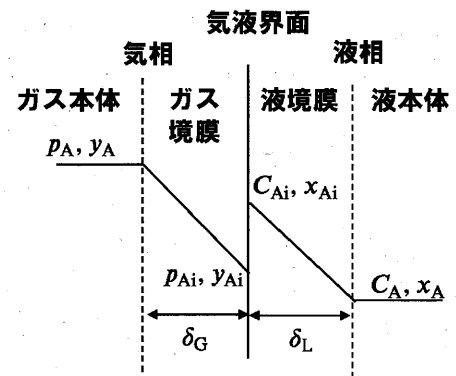


図3 気液界面の模式図

$$N_A = k_G \left(\boxed{\text{ア}} \right) = k_L \left(\boxed{\text{イ}} \right) \quad (2)$$

ここで、 k_G は気相物質移動係数、 k_L は液相物質移動係数である。対象とするガスの液体への溶解平衡には直線関係が成立し、その際の Henry 定数を H [Pa m³ mol⁻¹] とすると、次式が成り立つ。

$$p_{Ai} = H C_{Ai} \quad (3)$$

$$p_A^* = H C_A \quad (4)$$

$$p_A = H C_A^* \quad (5)$$

ここで、式(3)の C_{Ai} は気液界面でのガスの分圧 p_{Ai} と平衡にある液体中の成分Aの濃度であり、式(4)の p_A^* は、液体中の成分Aの濃度 C_A と平衡にあるガスの分圧であり、さらに式(5)の C_A^* は、ガスの分圧 p_A と平衡にある液体中の成分Aの濃度である。この関係を用いると、式(2)は次式となる。

$$N_A = K_G \left(\boxed{\text{ウ}} \right) = K_L \left(\boxed{\text{エ}} \right) \quad (6)$$

式(6)中の K_G および K_L はそれぞれガス境膜基準および液境膜基準総括物質移動係数とよばれ、 K_G は次式で与えられる。

$$K_G = \boxed{\text{オ}} \quad (7)$$

いま、293 K、大気圧 (101.3 kPa) で CO₂ を 1.50 mol% 含むガスが純粋な水と接している。このときの CO₂ の気相物質移動係数 k_G は 3.30×10^{-6} mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ および CO₂ の液相物質移動係数 k_L は 1.10×10^{-4} m s⁻¹ であり、CO₂ の水に対する Henry 定数 H は 3.00×10^3 Pa m³ mol⁻¹ である。

1) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{オ}}$ に入る適切な文字式を答えよ。

2) K_G を求めよ。

3) 物質移動抵抗全体 $1/K_G$ に対するガス側物質移動抵抗 $1/k_G$ の割合を求めよ。

4) この条件での CO₂ の吸収速度 N_{A,CO_2} [mol m⁻² s⁻¹] を求めよ。