

分離工学

【問1】 メタノール-水 2 成分系混合溶液（メタノール水溶液）をフラッシュ蒸留装置にて分離する。以下の設問 1) ~ 3) に答えよ。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)) で算出でき、アントワン定数は表 1 で与えられている。また、メタノール水溶液を理想溶液と見なし、ラウールの法則が成り立つとしてよい。導出過程を示し、数値を求める際には、有効数字 3 桁とせよ。

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

表 1 アントワン定数

物質	A [-]	B [K]	C [K]
メタノール	あ	-1.58×10^3	-33.4
水	7.06	-1.65×10^3	-46.8

1) メタノールの大気圧 (101.3 kPa) での沸点は 352 K である。表 1 中の空欄 あ を求めよ。

2) メタノール水溶液の温度 $T = 340$ K での相対揮発度 $\alpha_{(340K)}$ を求めよ。

3) 60 mol% のメタノール水溶液を、図 1 のフラッシュ蒸留装置に $F = 100 \text{ mol h}^{-1}$ で供給し、メタノール組成 $x_D = 0.700$ の留出液を得たい。留出液流量 D [mol h⁻¹], 缶出液流量 W [mol h⁻¹], 缶出液中のメタノール組成 x_W をそれぞれ求めよ。なお、相対揮発度は温度によらず一定であるとして、設問 2) で求めた値を用いよ。なお、分離器内は大気圧である。

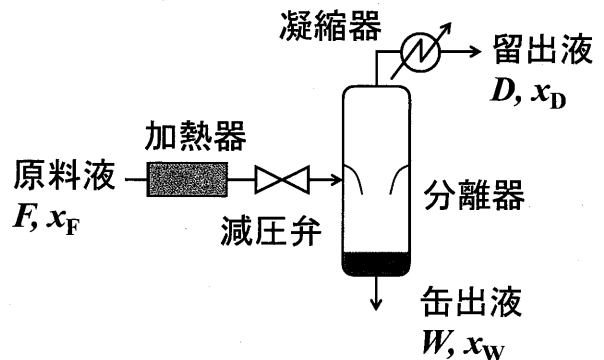


図 1 フラッシュ蒸留装置

【問2】 気液界面近傍の濃度分布に関する次の文章を読み、以下の設問1)～2)に答えよ。

気相または液相に存在する物質は、濃度が不均一であれば濃度の高い方から低い方へ拡散し均一になろうとする。ガスまたは液が静止している場合でも、分子自身の運動により拡散が生じる。いま、ガスAのz方向のみの拡散（一次元拡散）を考える（図2）。拡散方向に垂直な単位面積当たりの分子拡散速度 N_A [mol m⁻² s⁻¹] は、ガスAの拡散方向の濃度勾配に比例する。

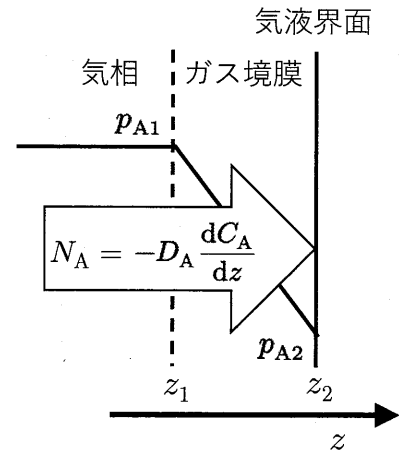


図2 気相のガスAの拡散

$$N_A = -D_A \frac{dC_A}{dz} \tag{2}$$

この関係を い の法則といい、右辺の比例係数 D_A [m² s⁻¹] を気相（あるいは液相）の分子拡散係数と呼ぶ。ガスAが理想気体であり水溶液の濃度を C_A [mol m⁻³] とし、z方向に定常拡散しているとする。式(2)に式(3)を代入し、気相であるため式(2)中の $D_A = D_{A,G}$ とし、 $z = z_1, p_A = p_{A1}$ から $z = z_2, p_A = p_{A2}$ で積分すると式(4)を得る。

$$C_A = \frac{p_A}{RT} \tag{3}$$

$$N_A = \frac{D_{A,G}}{RT} \frac{\text{う}}{\text{え}} \tag{4}$$

液相においても同様に、式(2)中の $D_A = D_{A,L}$ とし、 $z = z_1, C_A = C_{A1}$ から $z = z_2, C_A = C_{A2}$ で式(2)を積分すると式(5)を得る。

$$N_A = D_{A,L} \frac{\text{お}}{\text{か}} \tag{5}$$

ここで、図3のように二重境膜説が成立している系について考える。気液界面の両側にはそれぞれ境膜厚さ δ_G, δ_L のガス境膜および液境膜が存在しており、ガスAはこの境膜を通して液本体へ拡散す

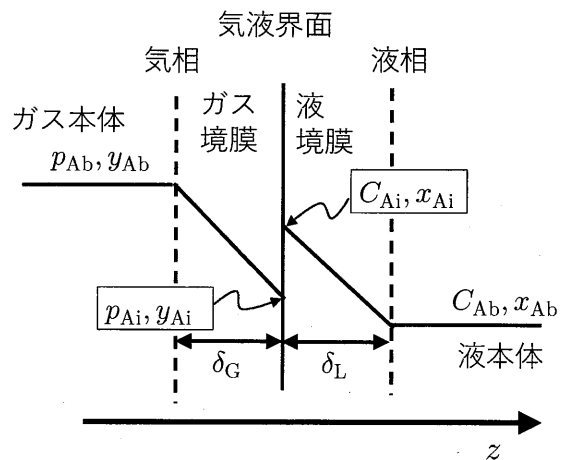


図3 二重境膜説による気液界面近傍の濃度分布

る。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い。気相は理想気体であり、ガスAが溶解した水溶液が理想溶液であるとすれば、気相のガスAのモル分率 y_{A1} は、ガスAの分圧 p_{A1} と全圧 p_T を用いて $p_T y_{A1} = p_{A1}$ で表すことができる。また、図3に示す気液界面での濃度分布に示すように、ガス境膜厚さは δ_G , $p_{A1} = p_{Ab}$ および $p_{A2} = p_{Ai}$ である。このときのモル分率をそれぞれ y_{Ab} および y_{Ai} とすると、式(4)は式(6)となる。

$$N_A = \frac{D_{A,G}}{RT} \boxed{\text{き}} \frac{\boxed{\text{く}}}{\boxed{\text{け}}} = k_y \boxed{\text{く}} \quad (6)$$

ここで、 k_y は気相のモル分率基準の物質移動係数である。

また、溶液全体のモル密度 C_T [mol m^{-3}] は、成分Aのモル分率が十分小さい場合には、水のモル密度に等しい ($C_T = \rho_{\text{water}} / M_w$) としてよい。なお、 M_w は水の分子量18.0, $\rho_{\text{water}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ とする。この場合、水溶液中のガスAの濃度 C_{A1} [mol m^{-3}] と液相中のガスAのモル分率 x_{A1} の関係は、 $C_T x_{A1} = C_{A1}$ となる。図3に示すように、液境膜厚さは δ_L , $C_{A1} = C_{Ai}$ および $C_{A2} = C_{Ab}$ である。このときのモル分率をそれぞれ x_{Ai} および x_{Ab} とすると、式(5)は式(7)となる。

$$N_A = D_{A,L} \boxed{\text{こ}} \frac{\boxed{\text{さ}}}{\boxed{\text{し}}} = k_x \boxed{\text{さ}} \quad (7)$$

k_x は液相のモル分率基準の物質移動係数である。

- 1) 文章中の空欄 $\boxed{\text{い}} \sim \boxed{\text{し}}$ に入る適切な語句または文字式を答えよ。
- 2) 298 K, 大気圧 (101.3 kPa) で空気に含まれる CO_2 を水で吸収させることを考える。水を吸収液として空気の CO_2 を吸収除去する装置において、気相および液相の境膜厚さ δ_G, δ_L はそれぞれ $4.64 \times 10^{-3} \text{ m}$, $6.52 \times 10^{-3} \text{ m}$ であることがわかっている。また、空気、水における CO_2 の相互分子拡散係数 $D_{\text{CO}_2,G}, D_{\text{CO}_2,L}$ はそれぞれ, $2.10 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $1.80 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ である。

気相のモル分率基準の物質移動係数 k_y および液相のモル分率基準の物質移動係数 k_x を、それぞれ有効数字3桁で求めよ。

【問3】 図4に101.3 kPa, 25 °Cにおける酢酸（溶質）+ベンゼン（溶媒）+水（抽剤）の相図を示す。図中には、ベンゼンを主とする相（ベンゼンリッチ相）の酢酸重量比ならびに水を主とする相（水リッチ相）の酢酸重量比がプロットされており、両相の組成が等しくなる点（プレートポイント）が示されている。また、両相の酢酸重量比から作成した共役線が示されている。酢酸24 wt%を含むベンゼン溶液 3.0 kg に 1.5 kg の水を加え酢酸を抽出した。ここで、抽剤の水には酢酸は含まれていない。以下の設問1)～6)に答えよ。なお、数値を求める際には、有効数字2桁とせよ。

- 1) 酢酸 24 wt%を含むベンゼン溶液 3.0 kg に 1.5 kg の水を加えた場合の、混合溶液全体中に占める酢酸の重量比 x_M [wt%] を求めよ。
- 2) 抽出液の酢酸の重量比 y [wt%] を求めよ。
- 3) 抽残液の酢酸組成 x [wt%] を求めよ。
- 4) 抽出液量 E [kg] を求めよ。
- 5) 抽残液量 R [kg] を求めよ。
- 6) 抽出液に抽出された酢酸の抽出率（抽出率 = 抽出液の酢酸量 / 供給液の酢酸量）を求めよ。

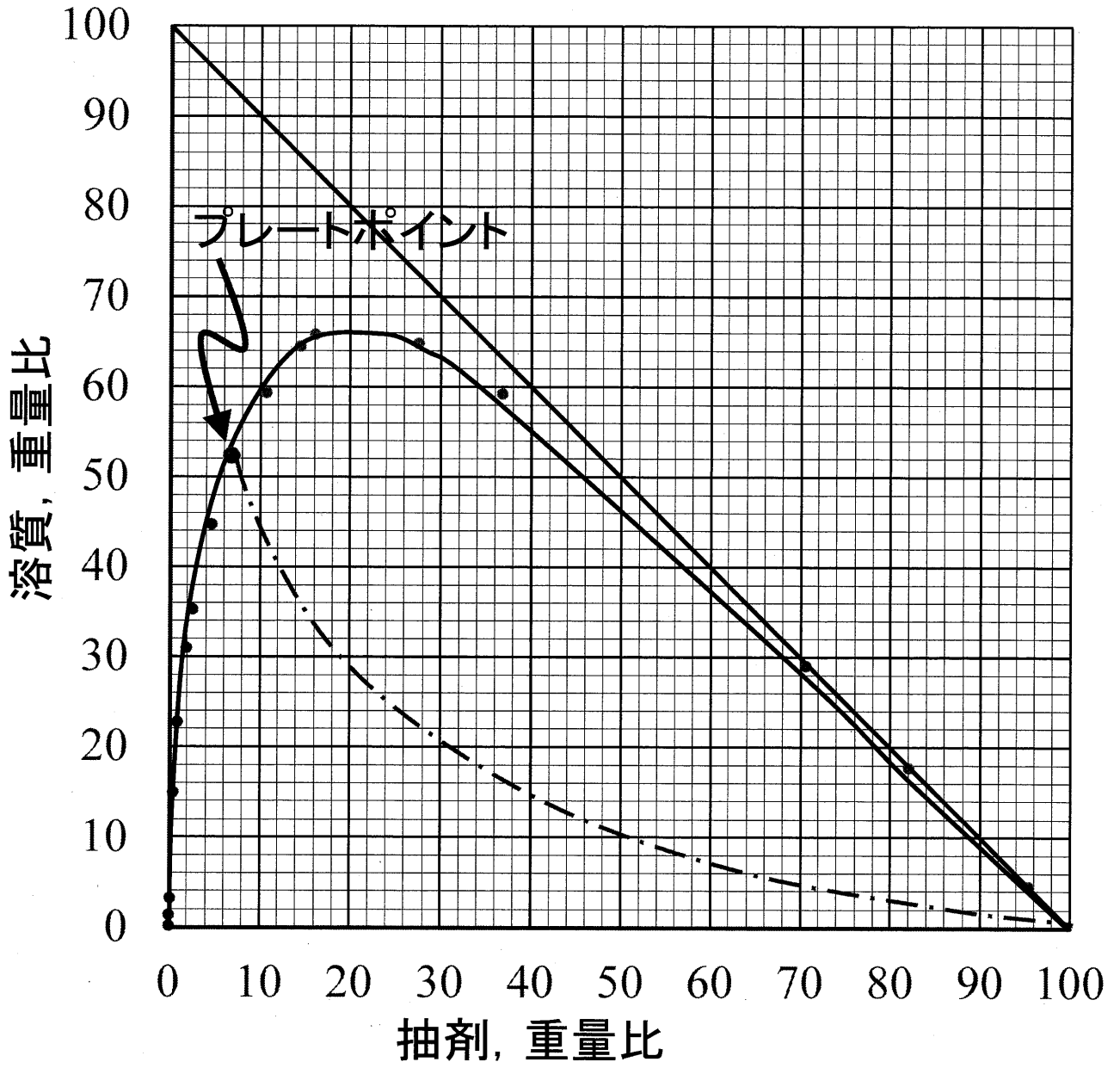


図4 101.3 kPa, 25°Cにおける酢酸 (溶質) +ベンゼン (溶媒) +水 (抽剤) の液液平衡