

## 分離工学

【問1】図1に示す装置を用いて、アセトン水溶液を単蒸留する。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、数値の場合は有効数字を3桁とし、水の分子量は18.0、アセトンの分子量は58.0とせよ。

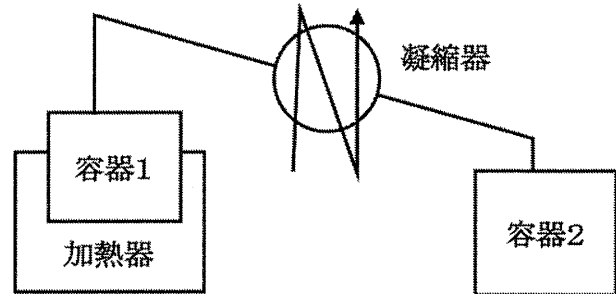


図1 アセトン水溶液の単蒸留

水に対するアセトンの相対揮発度  $\alpha$  が一定であるとすれば、アセトン気相組成（モル分率） $y$  はアセトン液相組成（モル分率） $x$  を用いて以下で与えられる。

$$y = \frac{\alpha x}{(\alpha - 1)x + 1} \quad (1)$$

また、単蒸留において、容器1内の初期状態（液量  $L_0$  [mol]、アセトン液相組成（モル分率） $x_0$ 、アセトン重量分率  $w_0 = 20.0$  wt%）から最終状態（液量  $L_1$  [mol]、アセトン液相組成（モル分率） $x_1$ 、アセトン重量分率  $w_1$  [wt%]）までの液量の総変化量は次の式により与えられる。

$$\int_{L_0}^{L_1} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_1}{L_0} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{y - x} \quad (2)$$

式(1)を式(2)に代入すると式(3)となる。

$$\ln \frac{L_1}{L_0} = \frac{1}{\alpha - 1} \left\{ \int_{x_0}^{x_1} \left( \frac{1}{\boxed{\text{ア}}} \right) dx + \int_{x_0}^{x_1} \left( \frac{\alpha}{\boxed{\text{イ}}} \right) dx \right\} \quad (3)$$

これを積分することで式(4)を得る。

$$\ln \frac{L_0}{L_1} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[ \ln \left( \boxed{\text{ウ}} \right) + \alpha \left\{ \ln \left( \boxed{\text{エ}} \right) \right\} \right] \quad (4)$$

- 1) 空欄  $\boxed{\text{ア}}$  ～  $\boxed{\text{エ}}$  に適切な文字式を入れて式(3)および式(4)を完成させよ。なお、式(4)に関して、左辺が  $\ln(L_0/L_1)$  であることに注意せよ。
- 2) 式(2)の関係式は「 $\boxed{\text{オ}}$ の式」と呼ばれる。空欄  $\boxed{\text{オ}}$  に入る適切な語句を答えよ。
- 3) 水に対するアセトンの相対揮発度  $\alpha$  を 3.50 で一定とした場合、容器1内のアセトン重量分率  $w_1$  を 10.0 wt% とするためにどの程度蒸留すればよいか。初期状態の液量  $L_0$  と最終状態の液量  $L_1$  の比 ( $L_0/L_1$ ) として求めよ。
- 4) 容器2内のアセトン水溶液のアセトン組成（モル分率） $x_2$  は式(5)で求めることができる。

$$x_2 = \frac{L_0 x_0 - L_1 x_1}{L_0 - L_1} \quad (5)$$

設問3) で求めた条件における容器2内のアセトン水溶液の重量分率  $w_2$  [wt%] を求めよ。

【問2】図2に示す充填塔を用いて、25°C、標準大気圧の空気に含まれる1.00 wt%のアセトン（分子量：58.0）を水により吸収させ、出口水中のアセトン組成（モル分率） $x_1$ を、平衡水中アセトン組成 $x_e$ の90.0%としたい。入口水中アセトン組成（モル分率） $x_2 = 0.00$ であり、アセトンを除いた水流量 $L_i$  [mol s<sup>-1</sup>]と空気流量 $G_i$  [mol s<sup>-1</sup>]は一定かつ $L_i/G_i = 4$ とする。なお、空気の分子量は30.0とする。以下の設問1)～6)に答えよ。なお、解答用紙には導出過程を示し、数値の場合は有効数字を3桁とせよ。

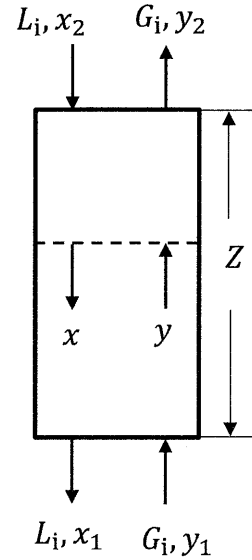


図2 充填塔

- 1) 空気中アセトン蒸気組成  $y$  に対する  $x_e$  は式(6)で与えられる。出口水中のアセトン組成 $x_1$ を求めよ。

$$y = 30.0 x_e \tag{6}$$

- 2) 吸収塔内部における空気中および水中のアセトン組成 ( $y$ および $x$ ) の関係は「カ」と呼ばれる式(7)により求められる。空欄 カ に入る適切な語句を答えよ。

$$y = y_2 + \frac{L_i}{G_i}(x - x_2) \tag{7}$$

- 3) 式(7)を用いて、出口空気中のアセトン組成 $y_2$ を求めよ。

- 4) ガス側基準移動単位数 $N_{OG}$  [-] は対数平均組成差を考慮した式(8)で計算できる。 $N_{OG}$ を求めよ。ここで、 $m = 30.0$  である。

$$N_{OG} = \frac{\ln \left\{ \left( 1 - m \frac{G_i}{L_i} \right) \left( \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} \right) + m \frac{G_i}{L_i} \right\}}{m \frac{G_i}{L_i} - 1} \tag{8}$$

- 5) ガス側の境膜基準総括移動単位高さ $H_{OG}$ を2.25 mとする。設問4)で求めた $N_{OG}$  [-]を用いて塔高さ $Z$  [m] を求めよ。

- 6)  $H_{OG}$ は、式(9)～式(11)により対象となる気体および液体の物性、気液の流量、充填物の形状に起因するパラメータから推算できる。

$$H_{OG} = H_G + \left( \frac{mG_i}{L_i} \right) H_L \tag{9}$$

$$H_G = c \frac{G_i^m}{L_i^n} \left( \frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{1.5} \tag{10}$$

$$H_L = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{L_i}{\mu_L} \right)^n \left( \frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{0.5} \tag{11}$$

ここで、 $c$ 、 $m$ 、 $n$ 、 $\alpha$ はいずれも充填物に依存したパラメータであり、 $\mu$ 、 $\rho$ 、 $D$ はそれぞれ粘度、密度、対象成分の拡散係数であり、下付きのGとLはそれぞれ気体状態と液体状態を示す。ここで、式(10)および式(11)には同じ物性値からなる無次元数

$\left( \frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)$ および $\left( \frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)$ が含まれている。この無次元数は何と呼ばれるかを答えよ。