

ユニットオペレーション演習 2

横尾 健人

2026.6

目次

1	2026年5月29日講義分	1
2	06月11日講義分	6

1 2026年5月29日講義分

今回は抽出の1回目です。固体または液体の原料（抽料）を抽出溶媒（抽剤）と接触させ、目的物（抽質）を抽剤に溶解させて分離する操作を抽出といいます。この講義では、液体の抽料と互いに溶け合わない抽剤を用いて抽質を分離する液液抽出に限定して説明します。1回目では、抽料中の非目的物（原溶媒）、抽剤、抽質からなる3成分系の記述方法と、抽出操作を1度だけ行う場合（単抽出）について説明します。

問題 1

$x_A = 0.40$, $x_B = 0.30$, $x_C = 0.30$ の組成の溶液 Q と $x_A = 0.30$, $x_B = 0.60$, $x_C = 0.10$ の組成の溶液 S を混合したときの組成を求め、三角線図上で「てこの規則」が成り立つことを図示しなさい。（1）溶液 Q と溶液 S を液量比 Q : S = 1 : 1 で混合した溶液 M₁。（2）溶液 Q と溶液 S を液量比 Q : S = 1 : 2 で混合した溶液 M₂。

ポイント：三角座標としてこの原理について説明しておきます。原溶媒を A、抽剤を B、抽質を C とし、それぞれの質量分率（またはモル分率）を x_A , x_B , x_C と表します。これらの間には次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} x_A + x_B + x_C &= 1, \\ 0 \leq x_i &\leq 1 \quad (i = A, B, C) \end{aligned} \quad (1)$$

この条件を満たす組成は、図 (1) の三角座標上の点として表すことができます。三角座標では横軸に x_B 、縦軸に x_C をとり、 x_A は $x_A = 1 - x_B - x_C$ として読み取ります。図 (1) には、例として、 $x_A = 0.280$, $x_B = 0.345$, $x_C = 0.375$, の場合を示しています。

次に、質量 S kg, 質量分率 $(x_{A,S}, x_{B,S}, x_{C,S})$ の混合物と、質量 T kg, 質量分率 $(x_{A,T}, x_{B,T}, x_{C,T})$ の混合物を混ぜることを考えます。新たに得られる混合物の質量を M とすれば、 $M = S + T$ kg です。各成分の質量分率は、成分ごとの物質収支、たとえば $(S + T)x_{A,M} = Sx_{A,S} + Tx_{A,T}$ から、

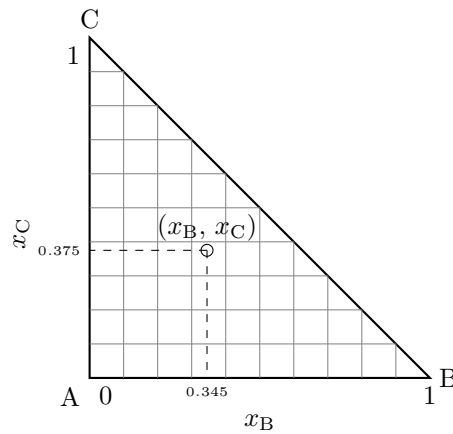


図 1: Right-Triangle Ternary

$$\begin{aligned} x_{A,M} &= \frac{Sx_{A,S} + Tx_{A,T}}{S+T}, \\ x_{B,M} &= \frac{Sx_{B,S} + Tx_{B,T}}{S+T}, \\ x_{C,M} &= \frac{Sx_{C,S} + Tx_{C,T}}{S+T} \end{aligned} \quad (2)$$

となります。この式から、また図 (??) にも示す通り、三角座標上で点 M は点 S と点 T を結ぶ線分を内分します。このとき、距離の比が重要です。

$$\frac{S}{T} = \frac{\overline{MT}}{\overline{MS}} = \frac{x_{B,T} - x_{B,M}}{x_{B,M} - x_{B,S}} = \frac{x_{C,M} - x_{C,T}}{x_{C,S} - x_{C,M}} \quad (3)$$

これは $\overline{MS} : \overline{MT} = T : S$ とも表すことができます。すなわち、三角線図上の M から各端点までの距離の比は、反対側にある質量の比に等しいです。これは直感的にも、混合物が量の多い原料に近い組成をとることから理解できます*1。

解答:

(1) 成分毎に物質収支をとると、 $x_{A,M_1} = (0.4 \times 1 + 0.3 \times 1)/(1+1) = 0.35$, $x_{B,M_1} = (0.3 \times 1 + 0.6 \times 1)/(1+1) = 0.45$, $x_{C,M_1} = (0.3 \times 1 + 0.1 \times 1)/(1+1) = 0.20$, です。

(2) 成分毎に物質収支をとると、 $x_{A,M_2} = (0.4 \times 1 + 0.3 \times 2)/(1+2) = 0.33$, $x_{B,M_2} = (0.3 \times 1 + 0.6 \times 2)/(1+2) = 0.50$, $x_{C,M_2} = (0.3 \times 1 + 0.1 \times 2)/(1+2) = 0.17$, です。

*1 $\mathbf{x}_M = (x_{B,M}, x_{C,M})$ などと表すと、 $\mathbf{x}_M = \lambda \mathbf{x}_S + (1-\lambda) \mathbf{x}_T$, $\lambda = S/(S+T)$ と書けます。これは、三角座標上で \mathbf{x}_M が \mathbf{x}_S と \mathbf{x}_T をどの位置で内分するかを表しています。係数 λ が \mathbf{x}_S に掛かっているため、 \mathbf{x}_M は \mathbf{x}_T から \mathbf{x}_S に向かって線分全体の λ 倍だけ進んだ点と読むことができます。 $\lambda = 0$ の場合、 M は T の位置にあり、 $\lambda = 1$ の場合、 M は S の位置になります。したがって、 $\overline{MT} = \lambda \overline{ST}$, $\overline{MS} = (1-\lambda) \overline{ST}$ となります。ここで、 $1-\lambda = T/(S+T)$ であるため、 $\overline{MT}/\overline{MS} = \lambda/(1-\lambda) = [S/(S+T)]/[T/(S+T)] = S/T$ を得ます。つまり、質量 S が大きいほど M は S に近づきます。そのため、 M から反対側の端点 T までの距離は大きくなります。

これらを三角座標にプロットすると図(2)となります。M₁とM₂はどちらも線分QS上にあり、液量の比に応じて $\overline{QM_1} : \overline{SM_1} = 1 : 1$, $\overline{QM_2} : \overline{SM_2} = 2 : 1$ に、線分を内分する。

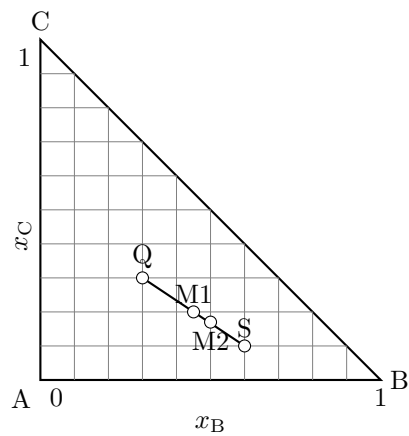


図 2: 20260529_mondai1_1

問題 2

酢酸 50 wt.% を含むベンゼン 6 kg に対して水を用いて酢酸の抽出を行う。次の問いに答えなさい。(1) ベンゼン相中の酢酸濃度を 15 wt.% 以下にする場合に要する水の量を求めなさい。(2) ベンゼン相中の酢酸濃度を 0.15 wt.% 以下にする場合に要する水の量を求めなさい。

ポイント: 表(1)を用いて物質収支を計算します。

解答:

(1) 添加する水の量を x kg とします。平衡後の抽出液の量を E kg, 抽残液の量を R kg とします。ベンゼン相中の酢酸濃度を 15 wt.% とすると、表(1)の対応するタイラインを用いることができます。全量、ベンゼン、酢酸の物質収支を立てると、

$$\begin{aligned} 6 + x &= E + R \\ 0.5 \times 6 &= 0.845 \times R + 0.04 \times E \\ 0.5 \times 6 &= 0.15 \times E + 0.592 \times E \end{aligned} \quad (4)$$

となります。これを解くと、 $E = 4.2$ kg, $R = 3.35$ kg, $x = 1.57$ kg です。

(2) ベンゼン相中の酢酸濃度を 0.15 wt.% まで下げる場合も、表(1)の対応するタイラインを用いて同様に物質収支を立てます。

$$\begin{aligned}
 6 + x &= E + R \\
 0.5 \times 6 &= 0.99849 \times R + 0.0004 \times E \\
 0.5 \times 6 &= 0.0015 \times E + 0.0456 \times E
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

となります。これを解くと、 $E = 65.68 \text{ kg}$ 、 $R = 2.98 \text{ kg}$ 、 $x = 62.66 \text{ kg}$ です。

問題3

酢酸-ベンゼン-水系の液液平衡データ (25°C) を表 (1) に示します。表の各行の数値が1つの分配関係、すなわち1本のタイラインを示しています。(1) 三角図に溶解度曲線およびタイラインを描いてください。(2) 共軛線を描いてください。

ポイントと解答: 表 (1) のように、互いに平衡にある2相の組成データが与えられると、溶解度曲線とタイラインを描くことができます。図3では、ベンゼン相中の組成を青、水相中の組成をオレンジでプロットしています。対応する2点を結んだ直線がタイラインです。単抽出では、混合点 M を通るタイラインを平衡状態での組成に関する既知のデータから補間し、その両端を抽出相 E と抽残相 R として読み取ります。青とオレンジのプロットが一致する点 P では2相の組成が等しくなり、この点をプレートポイントと呼びます。図 (4) では、タイラインを斜辺とする直角三角形を薄い緑で示しています。これらの直角の頂点を滑らかにつないだ曲線が共軛線です。平衡状態ではベンゼン中の組成は青のプロットをなめらかにつないだ曲線上を、水中の組成はオレンジのプロットをなめらかにつないだ曲線上を動くことになります。ただし、この動きの拘束条件として2本のタイラインを斜辺とする直角三角形の直角の頂点が共軛線上に存在することが課されます。問題3の回答は上記説明で使用した図に他なりません。

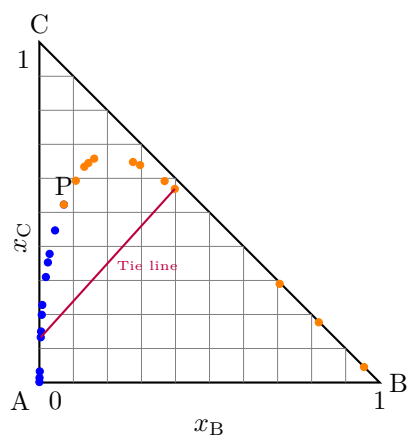


図 3: 20260529_mondai3_1

問題4

酢酸 30 wt.% を含むベンゼン 20 kg に水 5 kg を加え酢酸の抽出を行ったとき、抽出液と抽残液の量と濃度を求めなさい。

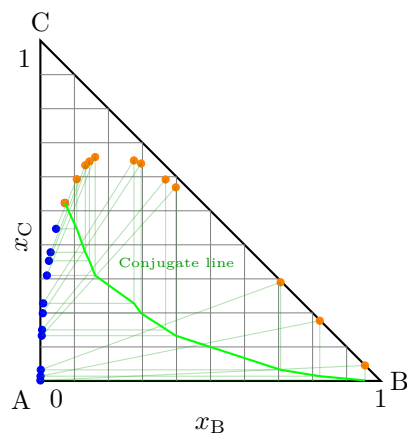


図 4: 20260529_mondai3_2

表 1: Liquid-Liquid equilibrium relationship in the acetic acid / benzene / water system (25 °C)

Benzene phase (mass fraction)			Aqueous phase (mass fraction)		
Benzene	Water	Acetic acid	Benzene	Water	Acetic acid
0.9985	0.0000	0.0015	0.0004	0.9540	0.0456
0.9856	0.0004	0.0140	0.0020	0.8210	0.1770
0.9662	0.0011	0.0327	0.0040	0.7060	0.2900
0.8630	0.0040	0.1330	0.0330	0.3980	0.5690
0.8450	0.0050	0.1500	0.0400	0.3680	0.5920
0.7940	0.0070	0.1990	0.0650	0.2960	0.6390
0.7635	0.0085	0.2280	0.0770	0.2750	0.6480
0.6710	0.0190	0.3100	0.1810	0.1610	0.6580
0.6220	0.0250	0.3530	0.2110	0.1440	0.6450
0.5920	0.0300	0.3780	0.2340	0.1320	0.6340
0.5070	0.0460	0.4470	0.3000	0.1070	0.5930
0.4050	0.0720	0.5230	0.4050	0.0720	0.5230

ポイント: この問題文の情報だけでは, E と R の組成は直接には決まりません. まず原料 F と抽剤 S から混合点 M を求めます. 次に, 問題 3 で作成した溶解度曲線とタイラインを用いて, M を通るタイライン ER を読み取ります.

解答: 酢酸 30 wt.% を含むベンゼン 20 kg に水 5 kg を加えるので, 全量は 25 kg です. 混合液の組成は, 酢酸について $x_{\text{acetic acid}} = 20 \times 0.3 / 25 = 0.24$, 水について $x_{\text{water}} = 5 / 25 = 0.20$ となります. この混合液は平衡状態で 2 相に分離します. ベンゼン相と水相の組成はそれぞれ溶解度曲線上にあり, さらに E , M , R は同じタイライン上にあります. 共軛線を用いて M を通るタイラインを補間すると, 図から M は線分 ER を $EM : MR = 3 : 2$ に分割すると読み取れます. 梶子の原理より, 抽出液の量は $25 \times 2 / 5 = 10$ kg, 抽残液の量は $25 \times 3 / 5 = 15$ kg となります.

206月11日講義分

今回は抽出を複数段で行う場合を説明します。問題1は各段に新しい抽剤を加えて単抽出を繰り返す並流多段抽出を、問題2では抽料側から流れる抽残液と反対側から流れる抽剤を段毎に接触させる向流多段抽出についてです。どちらの場合も各段では単抽出を考えることとなります。必要に応じて前回の内容を復習してください。

問題1

アセトン 50 wt.% を含む水溶液を 100 kg h^{-1} で4槽からなる抽出機に供給し、1,1,2-トリクロロエタンを用いて並流多段抽出を行う。1,1,2-トリクロロエタンを各槽に 22.0 kg h^{-1} で供給する場合、次の問いに答えなさい。アセトン-水-1,1,2-トリクロロエタン系の平衡関係を図5に示す。(1) 第1段から第4段までの各槽から得られる抽出液と抽残液の平衡関係を表すタイラインを図5に描画しなさい。(2) 第1槽目における抽出液と抽残液の濃度を求めなさい。(3) 所要抽剤量を求めなさい。(4) 得られる製品組成(全抽出液に含まれるアセトン濃度)と量(全抽出液)を求めなさい。

ポイント: 抽料を F , 抽剤を S , n 段目からの抽残液を R_n , n 段目からの抽出液を E_n , n 段目の抽料あるいは抽残液と抽剤の混合液を M_n と表します。また、水を A, 1,1,2-トリクロロエタンを B, アセトンを C と表します。並行多段抽出は単抽出を段毎に繰り返します。各段では前段の抽残液 R_{n-1} を新しい抽剤 S と接触させ、梘子の原理から混合点 M_n を求めます。その後、 M_n を通るタイラインを所与の三角座標から読み取り R_n と E_n の組成を決定します。したがって、解答の骨子は各段の物質収支、タイラインの読み取り、線分 $\overline{E_n R_n}$ 上での読み取りです。

(1) 第1段

(1, 2) は同時に回答が出来上がります。まず、第1段では $F = 100 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{A,F} = 0.5$, $x_{B,F} = 0$, $x_{C,F} = 0.5$, $S = 22 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{A,S} = 0.0$, $x_{B,S} = 1$, $x_{C,S} = 0.0$, です。質量、抽剤、抽質に関する物質収支から $M_1 = F + S = 122 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{B,M_1} = Fx_{B,F} + Sx_{B,S}/(F + S) = 0.41$, $x_{C,M_1} = Fx_{C,F} + Sx_{C,S}/(F + S) = 0.18$, となります。図(5)の通り、三角座標上で M_1 を通るタイラインを共軌線を使って求めると、第一段の抽出機から得られる抽残液、抽出液の組成は表(2)の R_1 , E_1 の通りです。梘子の原理から、 $E_1 = (x_{C,M_1} - x_{C,R_1})/(x_{C,E_1} - x_{C,R_1}) \cdot M_1 = 41.0 \text{ kg}$, となります。また、 $R_1 = M_1 - E_1 = 81.0 \text{ kg}$ です。

(2) 第2段

第2-4段についても同様にします。口説いですが全て書いておきます。第2段では、質量、抽剤、抽質に関する物質収支から $M_2 = R_1 + S = 103 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{B,M_2} = R_1x_{B,R_1} + Sx_{B,S}/(R_1 + S) = 0.229$, $x_{C,M_2} = R_1x_{C,R_1} + Sx_{C,S}/(R_1 + S) = 0.289$, となります。図(5)の通り、三角座標上で M_2 を通るタイラインを共軌線を使って求めると、第2段の抽出機から得られる抽残液、抽出液の組成は表(2)の R_2 , E_2 の通りです。梘子の原理から、 $E_2 = (x_{C,M_2} - x_{C,R_2})/(x_{C,E_2} - x_{C,R_2}) \cdot M_2 = 36.0 \text{ kg}$, となります。また、 $R_2 = M_2 - E_2 = 67.0 \text{ kg}$ です。

(3) 第3段

第3段では、質量、抽剤、抽質に関する物質収支から $M_3 = R_2 + S = 89 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{B,M_3} = R_2x_{B,R_2} + Sx_{B,S}/(R_2 + S) = 0.256$, $x_{C,M_3} = R_2x_{C,R_2} + Sx_{C,S}/(R_2 + S) = 0.200$, となります。図(5)の通り、三角座標上で M_3 を通るタイラインを共軌線を使って求めると、第3段の抽出機から得られる抽残液、抽出液の組成は表(2)の R_3 , E_3 の通りです。梘子の原理から、 $E_3 = (x_{C,M_3} - x_{C,R_3})/(x_{C,E_3} - x_{C,R_3}) \cdot M_3 = 28.9 \text{ kg}$, となります。また、 $R_3 = M_3 - E_3 = 60.1 \text{ kg}$ です。

(4) 第4段

第4段では、質量、抽剤、抽質に関する物質収支から $M_4 = R_3 + S = 82.1 \text{ kg h}^{-1}$, $x_{B, M_4} = R_3 x_{B, R_3} + S x_{B, S} / (R_3 + S) = 0.274$, $x_{C, M_4} = R_3 x_{C, R_3} + S x_{C, S} / (R_3 + S) = 0.121$, となります。図 (5) の通り、三角座標上で M_3 を通るタイラインを共軛線を使って求めると、第3段の抽出機から得られる抽残液、抽出液の組成は表 (2) の R_4, E_4 の通りです。梃子の原理から、 $E_4 = (x_{C, M_4} - x_{C, R_4}) / (x_{C, E_4} - x_{C, R_4}) \cdot M_4 = 29.9 \text{ kg}$, となります。また、 $R_4 = M_4 - E_4 = 52.2 \text{ kg}$ です。

(3) 所要の抽剂量は $22.0 \times 4 = 88.0 \text{ kg}$ です。

(4) (1-2) で作成できる表 (2) を使います。全抽出液は $41.0 + 36.0 + 28.9 + 29.9 = 135.8 \text{ kg h}^{-1}$ です。全抽出液中のアセトンは $41.0 \times 0.495 + 36.0 \times 0.358 + 28.9 \times 0.242 + 29.9 \times 0.155 = 43.80 \text{ kg h}^{-1}$ ですので全抽出液中のアセトンの濃度は $43.8 / 135.8 = 0.323$ です。

表 2: 20260605_parallel_extraction

	F	R_1	E_1	R_2	E_2	R_3	E_3	R_4	E_4
Flow rate / kg h^{-1}	100	81.0	41.0	67.0	36.0	60.1	28.9	52.2	29.9
x_C	0.50	0.367	0.495	0.252	0.358	0.165	0.242	0.100	0.155
x_B	0	0.020	0.480	0.012	0.632	0.008	0.750	0.005	0.840
x_A	0.50	0.613	0.025	0.736	0.010	0.827	0.008	0.895	0.005

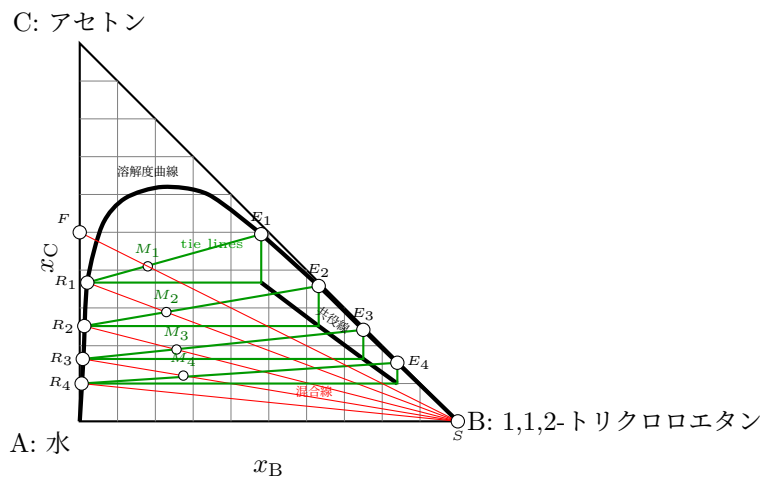


図 5: 20260605_parallel_ternary

問題 2

問題 1 の抽出を抽料 100 kg h^{-1} あたり抽剤 30 kg h^{-1} を用いて向流多段操作で行い、抽残液中のアセトン濃度を 10 wt.% まで減じる場合、次の問いに答えなさい。(1) 所要理論段数を求めなさい。(2) 抽料を供給する側から 1, 2, ... と数えて、1 段目、2 段目の抽出段における抽出液と抽残液の組成と量を求めなさい。

解答:

(1) 向流多段抽出では、抽料側から流れる抽残相と、反対側から流れる抽剤相が各段で接触します。各段では単抽出の場合と同じ議論をします。また、操作点 O を用いることが特徴的です。系全体の物質収支から、最終抽残液 R_N と最終抽出液 E_1 を求めて抽料 F 、抽剤 S 、 n 段目の抽残液 R_n 、最終的に得る抽出液 E_1 を三角座標から操作点 O を求め、タイラインと操作線を交互に使うって階段状の作図をして、抽残液中のアセトン濃度が 0.1 になる段数を数えます。

原料 $F = 100 \text{ kg h}^{-1}$ 、 $x_{C,F} = 0.50$ 、 $x_{B,F} = 0$ と抽剤 $S = 30 \text{ kg h}^{-1}$ 、 $x_{C,S} = 0$ 、 $x_{B,S} = 1$ を混合した全体量は $M = F + S = 130 \text{ kg h}^{-1}$ です。各成分の組成は物質収支から次の式を得ます。

$$x_{B,M} = \frac{F x_{B,F} + S x_{B,S}}{M} = \frac{100 \times 0 + 30 \times 1}{130} \approx 0.231, \quad x_{C,M} = \frac{F x_{C,F} + S x_{C,S}}{M} = \frac{100 \times 0.50 + 30 \times 0}{130} \approx 0.385 \quad (6)$$

R_n は抽残液の溶解度曲線上にあり、問題の条件 $x_{C,R_N} = 0.10$ を満たす点として、図 (6) から

$$R_N \sim (x_B, x_C) = (0.004, 0.100) \quad (7)$$

と読み取れます。

系全体の物質収支から $F + S = E_1 + R_n$ が成り立ちます。 M は線分 $\overline{E_1 R_n}$ 上にあるはずですが。三角線図で R_n と M を結んで延長しすると抽剤側の点として E_1 を得ます。

$$E_1 \sim (x_B, x_C) = (0.380, 0.570) \quad (8)$$

E_1 と R_n は全量 $M = 130 \text{ kg h}^{-1}$ とアセトンの物質収支 $E_1 x_{C,E_1} + R_N x_{C,R_N} = M x_{C,M}$ から

$$\begin{aligned} 0.570 E_1 + 0.100 (130 - E_1) &= 130 \times 0.385 \\ \implies 0.470 E_1 &= 37.05 \\ \implies E_1 &= 78.8 \text{ kg h}^{-1}, \quad R_N = 51.2 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned} \quad (9)$$

第 1 段から第 n 段までで物質収支を考える。入ってくる流れが F と E_{n+1} 、出ていく流れが E_1 と R_n なので、

$$F + E_{n+1} = E_1 + R_n \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad (10)$$

これを整理して、

$$R_n - E_{n+1} = F - E_1 \equiv \Delta \quad (\text{すべての } n \text{ で一定}) \quad (11)$$

三角線図上では、この差分、つまり線分 $\overline{FE_1}$ とか、 $\overline{R_1 E_2}$ 、 $\overline{R_n E_{n+1}}$ を延長すると 1 点 O で交わる。これを操作点といいます。ここでは、 $\overline{FE_1}$ と $\overline{SR_n}$ の交点として O を読み取ると、図 6 では $O \approx (-0.92, 0.193)$ と読み取れます

タイラインと操作線を交互に使い、次の手順を繰り返します。(A) E_1 と同じタイライン上にある R_1 を読み取る ($E_1 \leftrightarrow R_1$: 平衡関係). (B) 直線 OR_1 と溶解度曲線 (抽出相側) の交点として E_2 を読み取る ($R_1 \leftrightarrow E_2$: 操作線). (C) $E_2 \rightarrow R_2 \rightarrow E_3 \rightarrow R_3 \rightarrow \dots$ と同様に繰り返す.

抽残液のアセトン濃度が $x_{C,R_n} \leq 0.10$ になった時点で操作を止め、その段数を数えます. 図 6 から,

$$N = 6 \text{ 段} \quad (12)$$

(2) 第 1 段・第 2 段の組成と量

図から読み取った各段の組成 ((x_B, x_C) 表記) を以下に示します.

	抽出相 E_n	抽残相 R_n
第 1 段	(0.380, 0.570)	(0.028, 0.445)
第 2 段	(0.455, 0.515)	(0.018, 0.390)

量は段間の物質収支 $F + E_{n+1} = E_1 + R_n$ (すなわち $R_n = E_{n+1} + (F - E_1)$) を利用します. 差分 $F - E_1 = 100 - 78.8 = 21.2 \text{ kg h}^{-1}$ は各段で一定です.

第 1 段

$R_1 = E_2 + 21.2$ とアセトンの物質収支 $F x_{C,F} + E_2 x_{C,E_2} = E_1 x_{C,E_1} + R_1 x_{C,R_1}$ より,

$$\begin{aligned} 100 \times 0.500 + E_2 \times 0.515 &= 78.8 \times 0.570 + (E_2 + 21.2) \times 0.445 \\ 50.0 + 0.515 E_2 &= 44.9 + 0.445 E_2 + 9.43 \\ 0.070 E_2 &= 4.33 \implies E_2 = 61.9 \text{ kg h}^{-1}, \quad R_1 = 83.1 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned} \quad (13)$$

第 2 段

$R_2 = E_3 + 21.2$ とアセトンの物質収支 $R_1 x_{C,R_1} + E_3 x_{C,E_3} = E_2 x_{C,E_2} + R_2 x_{C,R_2}$ より,

$$\begin{aligned} 83.1 \times 0.445 + E_3 \times 0.445 &= 61.9 \times 0.515 + (E_3 + 21.2) \times 0.390 \\ 37.0 + 0.445 E_3 &= 31.9 + 0.390 E_3 + 8.27 \\ 0.055 E_3 &= 3.17 \implies E_3 = 57.6 \text{ kg h}^{-1}, \quad R_2 = 78.8 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned} \quad (14)$$

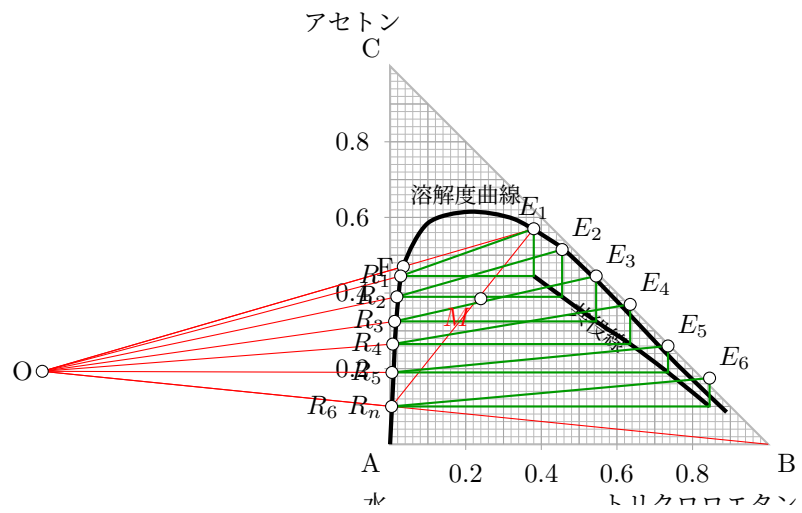


図 6: 向流多段抽出の三角線図