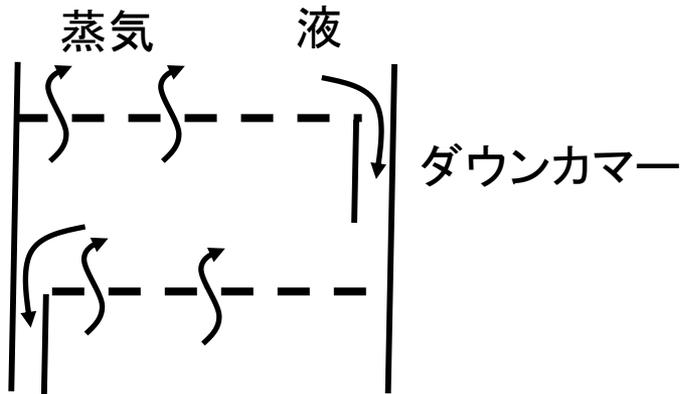


# 工業反応装置特論

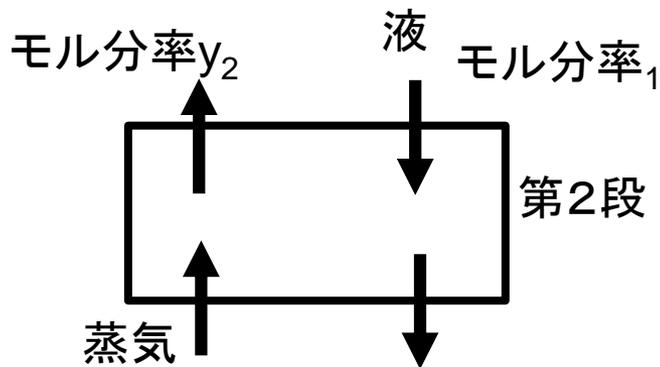
講義時間:6限  
場所 :8-1A  
担当 :山村

# McCabe-Thieleの図解法

Erbest W. Thiele (1895-1993)

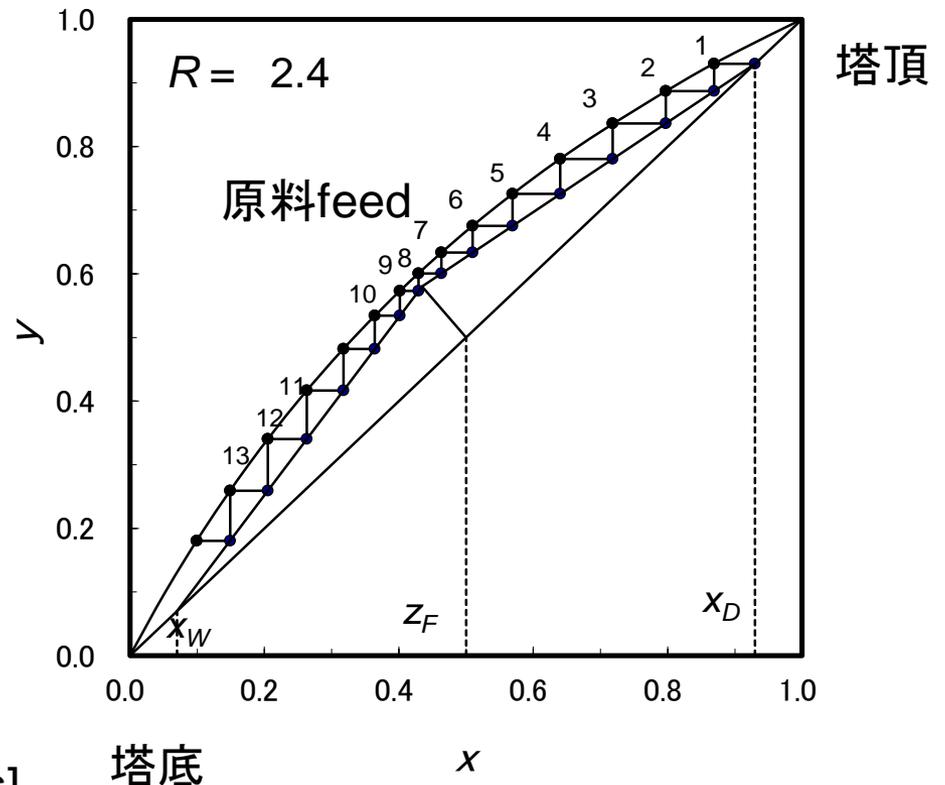


↓ モデル化



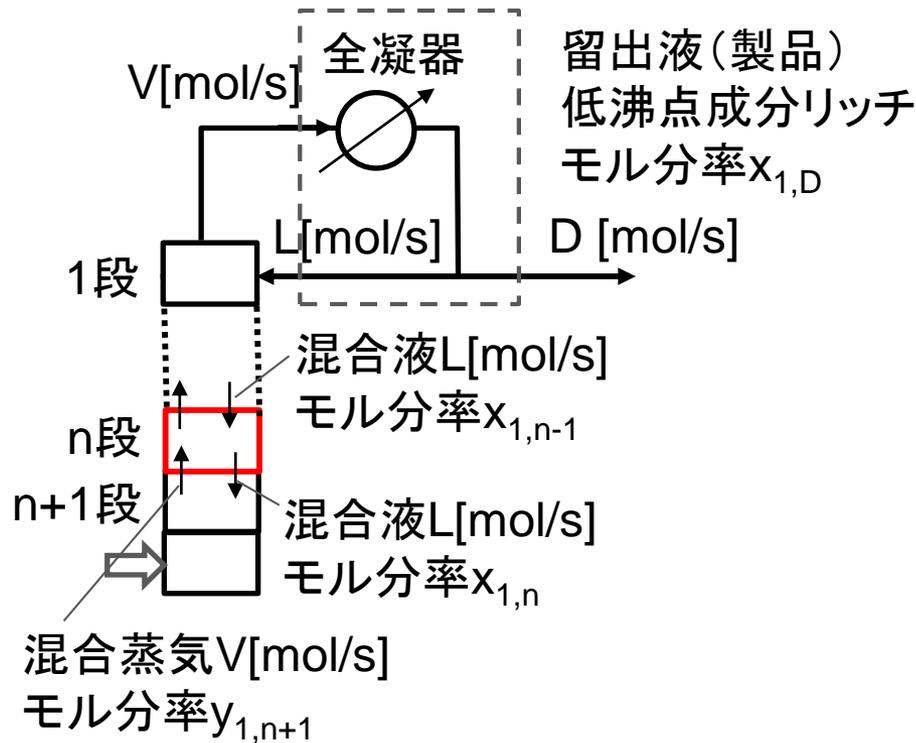
モル流量 $V$  [kmol/s]    モル流量 $L$  [kmol/s]  
モル分率 $y_3$                     モル分率 $x_2$

塔内各段で気液平衡が成立すると仮定して  
x-y線図から(理論)段数を決定する



<http://chemeng.in.coocan.jp/calc/sp01ex.html>

# 濃縮部 (feed ~ 塔頂) の物質収支 (1)



解析上の仮定

「塔内の蒸気と液のモル流量は濃縮部、回収部でそれぞれ一定」

仮定が成立する条件

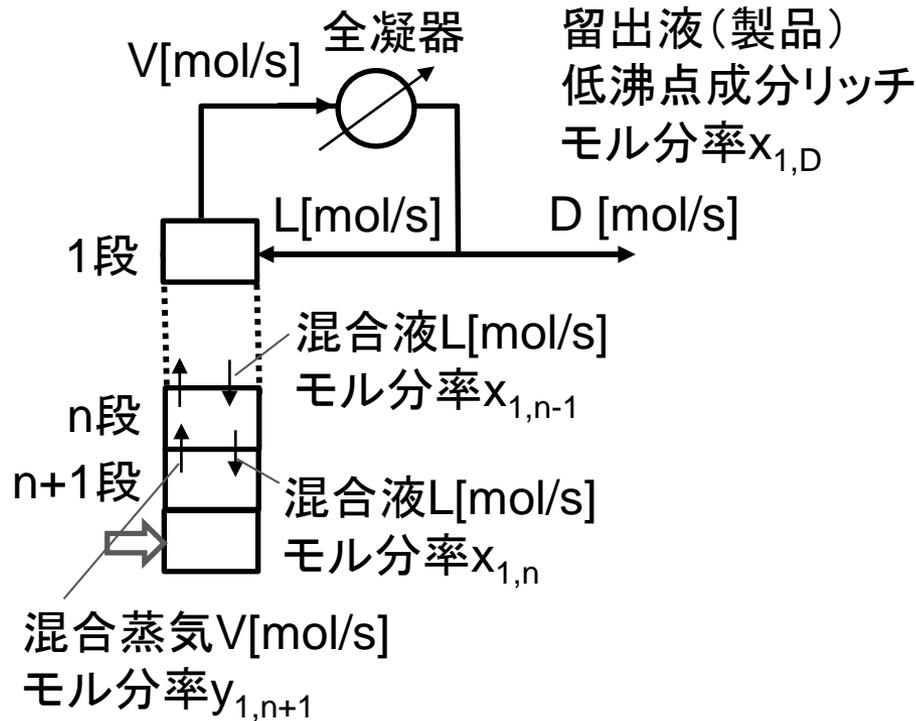
- ・各成分のモル蒸発潜熱は等しい、すなわち、凝縮する高沸点成分と等しいモル数の低沸点成分が蒸発する
- ・熱損失は無視小
- ・混合熱は無視小

低沸点成分1のモル流量の収支を取る

第  $n$  段について

$$Vy_{1,n+1} + Lx_{1,n-1} = Vy_{1,n} + Lx_{1,n}$$

# 濃縮部 (feed ~ 塔頂) の物質収支 (2)



各段について同様に考えると

第1段について

$$Vy_{1,2} + Lx_{1,D} = Vx_{1,D} + Lx_{1,1}$$

第2段について

$$Vy_{1,3} + Lx_{1,1} = Vy_{1,2} + Lx_{1,2}$$

第3段について

$$Vy_{1,4} + Lx_{1,2} = Vy_{1,3} + Lx_{1,3}$$

...

第 $n$ 段について

$$Vy_{1,n+1} + Lx_{1,n-1} = Vy_{1,n} + Lx_{1,n}$$

第 $n+1$ 段について

$$Vy_{1,f} + Lx_{1,n} = Vy_{1,n+1} + Lx_{1,n+1}$$

(1)

# 濃縮部 (feed～塔頂) の物質収支 (3)

(1)で第1段から第n段までの各式の和をとると

$$Vy_{1,n+1} + Lx_{1,D} = Lx_{1,n} + Vx_{1,D} \quad (2)$$

一方で、成分1, 2全体のモル流量の収支から

$$V = L + D \quad (3)$$

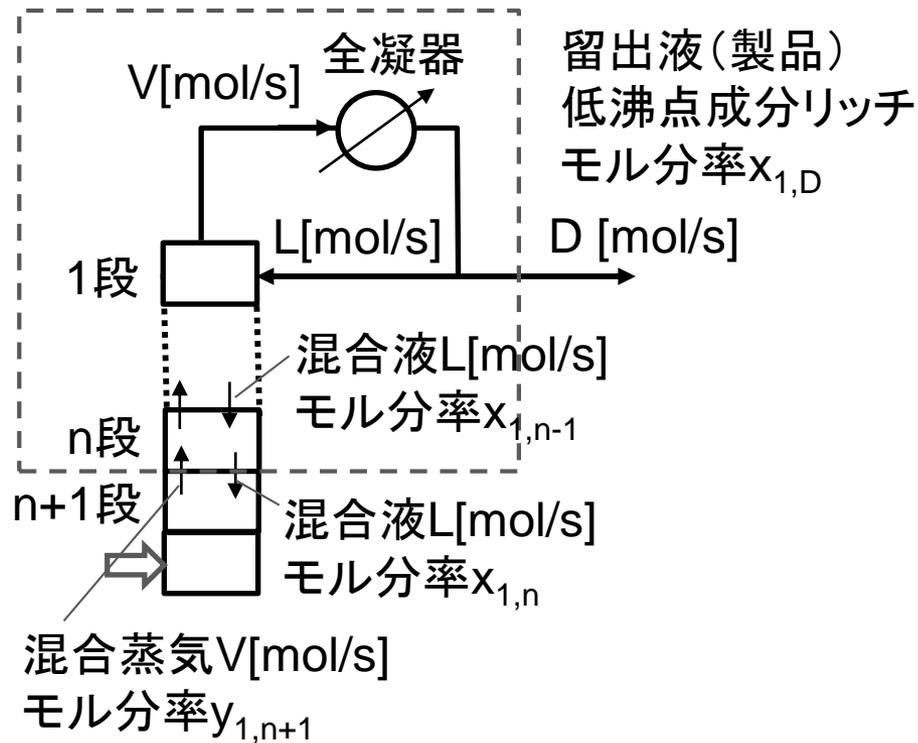
式(2)(3)からVを消去すると

$$(L + D)y_{1,n+1} = Lx_{1,n} + Dx_{1,D}$$

$$y_{1,n+1} = \frac{L}{L + D} x_{1,n} + \frac{D}{L + D} x_{1,D} = \frac{R}{R + 1} x_{1,n} + \frac{1}{R + 1} x_{1,D} \quad (4)$$

ただし  $R \equiv L/D$  は還流比

# 濃縮部 (feed ~ 塔頂) の物質収支 (4)

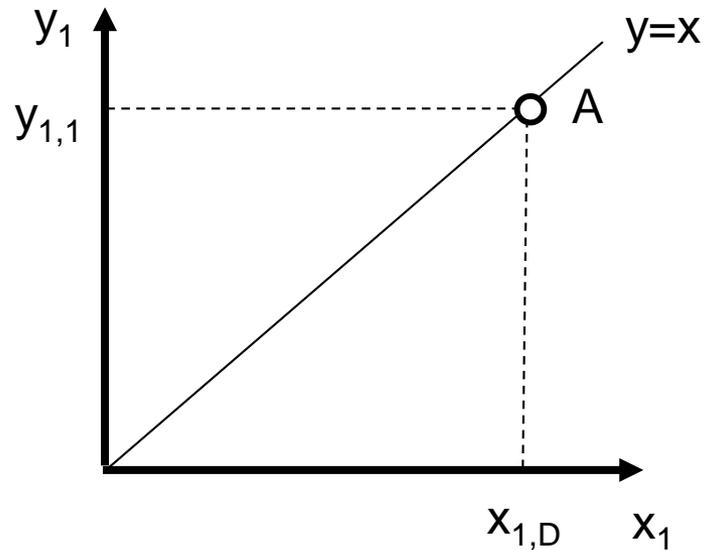


(別解) 図の点線部の収支を取ると

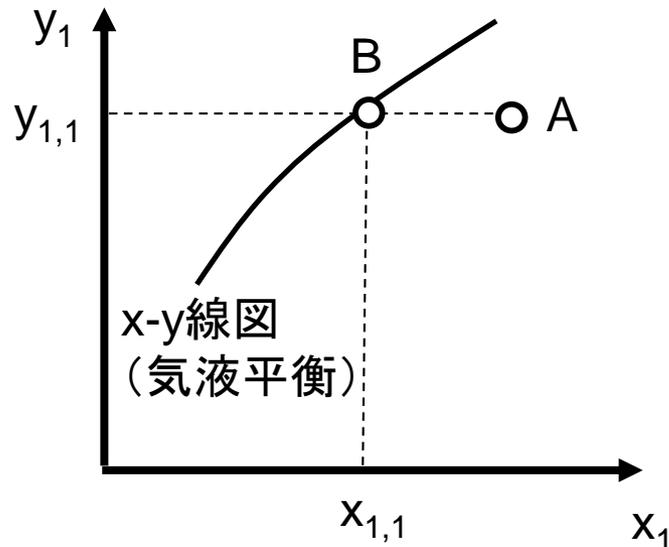
$$Vy_{1,n+1} = Lx_{1,n} + Dx_{1,D}$$

式(3)を代入すれば式(4)を得る

# 濃縮部 (feed ~ 塔頂) の物質収支 (5)

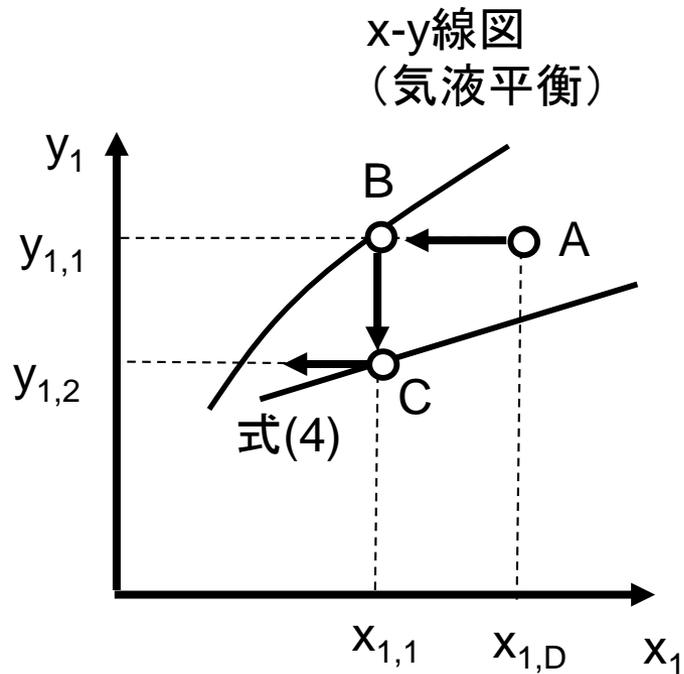


塔頂から出た蒸気は全て凝縮して液となるので、蒸気中の低沸点成分1のモル分率  $y_{1,1}$  は、留出液中の同成分のモル分率  $x_{1,D}$  に等しく、x-y線図対角線上の点Aのy座標で与えられる。



第1段で気液平衡が成り立つなら第1段における液中の低沸点成分1のモル分率  $x_{1,1}$  は、x-y線図上の点Bのx座標で与えられる。

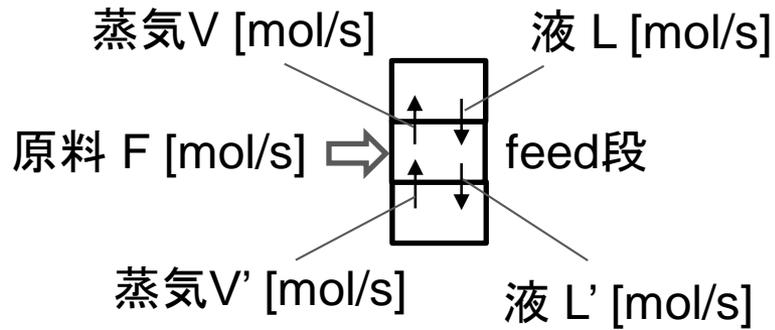
# 濃縮部 (feed ~ 塔頂) の物質収支 (6)



第1段における低沸点成分の液中のモル分率 $x_{1,1}$ と第2段における蒸気中のモル分率 $y_{1,2}$ の間には式(4)が成り立つから、操作線上の点Cのy座標が $y_{1,2}$ となる。

同様の操作を繰り返せば、濃縮部各段における液および蒸気の組成が求められる

# 原料feed段の物質収支



全原料に対し、沸点の液体(モル分率 $q$ )と蒸気(モル分率 $1-q$ )で供給される場合

原料(液)は  $qF$  [mol/s]  
原料(蒸気)は  $(1-q)F$  [mol/s]

液のモル流量について

$$L' = qF + L \quad (5)(14)$$

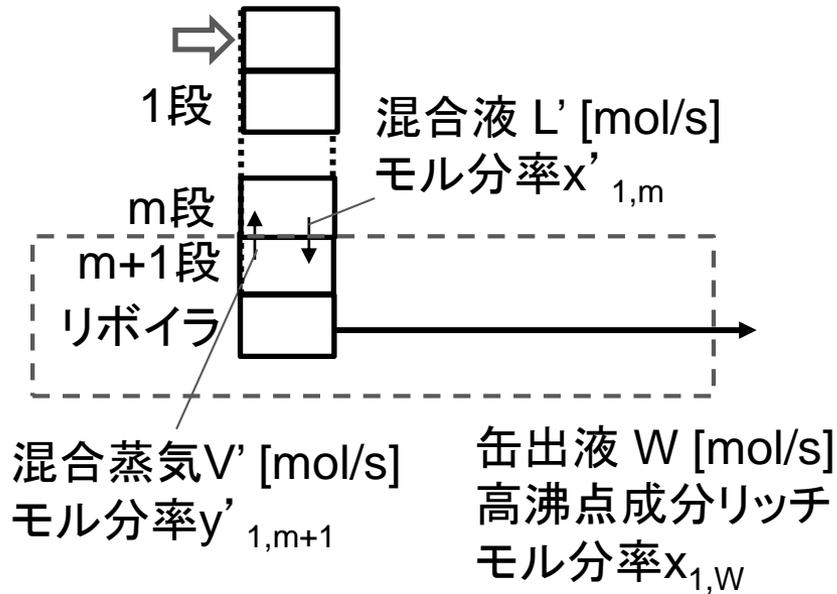
蒸気のモル流量について

$$V' + (1-q)F = V \quad (6)(15)$$

全原料中に含まれる低沸点成分1のモル流量 $F_1$  [mol/s]とすると

$$F_1 = x_D D + x_W W \quad (7)(11)$$

# 回収部(塔底～feed)の物質収支(1)



上図点線部内の収支をとる。

低沸点成分1のモル流量について

$$L' x'_{1,m} = V' y'_{1,m+1} + W x_{1,W} \quad (8)(17)$$

$$\therefore y'_{1,m+1} = \frac{L'}{V'} x'_{1,m} - \frac{W}{V'} x_{1,W} \quad (9)(19)$$

全体のモル流量について

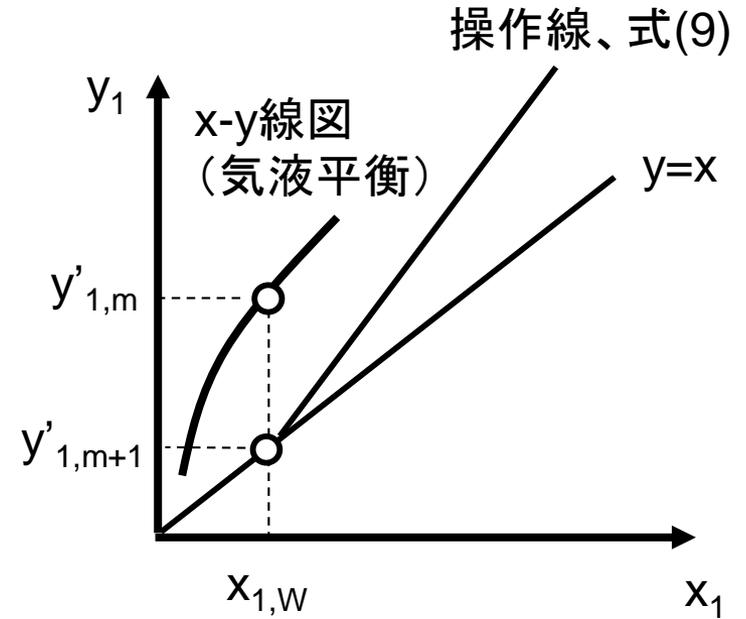
$$L' = V' + W \quad (10)(16)$$

# 回収部(塔底～feed)の物質収支(2)

(10)を(9)に代入すると

$$\therefore y'_{1,m+1} = \frac{V'+W}{V'} x'_{1,m} - \frac{W}{V'} x_{1,W}$$

$x'_{1,m} = x_{1,W}$ を代入すると $y'_{1,m+1} = x'_{1,m}$   
従って操作線(9)はxy線図の  
対角線上の点 $(x_{1,W}, y_{1,W})$ を通る



# 回収部(塔底～feed)の物質収支(3)

## (II) 原料が沸点の液と蒸気を含む場合

(5)(6)を(9) に代入すると回収部の操作線は

$$y'_{1,m+1} = \frac{qF + L}{V - (1-q)F} x'_{1,m} - \frac{W}{V - (1-q)F} x_{1,W}$$

濃縮部での操作線(4)から

$$y_{1,n+1} = \frac{L}{V} x_{1,n} + \frac{D}{V} x_{1,D}$$

2本の操作線の交点の組成  $(x_{1,F}, y_{1,F})$  を考えると

$$x'_{1,m} = x_{1,n} = x_{1,F}$$

$$y'_{1,m+1} = y_{1,n+1} = y_{1,F} \text{ であり}$$

$$y_{1,F} = \frac{qF + L}{V - (1-q)F} x_{1,F} - \frac{W}{V - (1-q)F} x_{1,W} \quad (11)(23)$$

$$y_{1,F} = \frac{L}{V} x_{1,F} + \frac{D}{V} x_{1,D} \quad (12)(24)$$

# 回収部(塔底～feed)の物質収支(4)

$$(11)から \{V - (1 - q)F\}y_{1,F} = (qF + L)x_{1,F} - Wx_{1,W}$$

$$(12)から Vy_{1,F} = Lx_{1,F} + Dx_{1,D}$$

2式からVを消去すると

$$Lx_{1,F} + (Dx_{1,D} + Wx_{1,W}) - (1 - q)Fy_{1,F} = (qF + L)x_{1,F}$$

(10)を代入すれば

$$Lx_{1,F} + F_1 - (1 - q)Fy_{1,F} = (qF + L)x_{1,F}$$

$$F_1 = qFx_{1,F} + (1 - q)Fy_{1,F}$$

$$\therefore \frac{F_1}{F} = qx_{1,F} + (1 - q)y_{1,F} \quad (13)$$

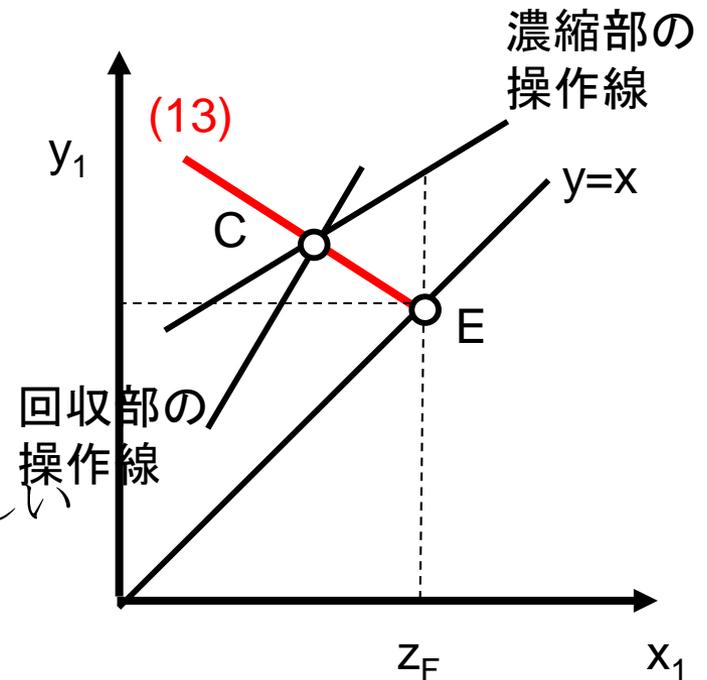
# 回収部(塔底～feed)の物質収支(5)

(13)で表される直線とxy線図の対角線との交点のx座標を $z_F$ とすると

$z_F = x_{1,F} = y_{1,F}$ なので(13)より

$$\frac{F_1}{F} = qz_F + (1-q)z_F = z_F$$

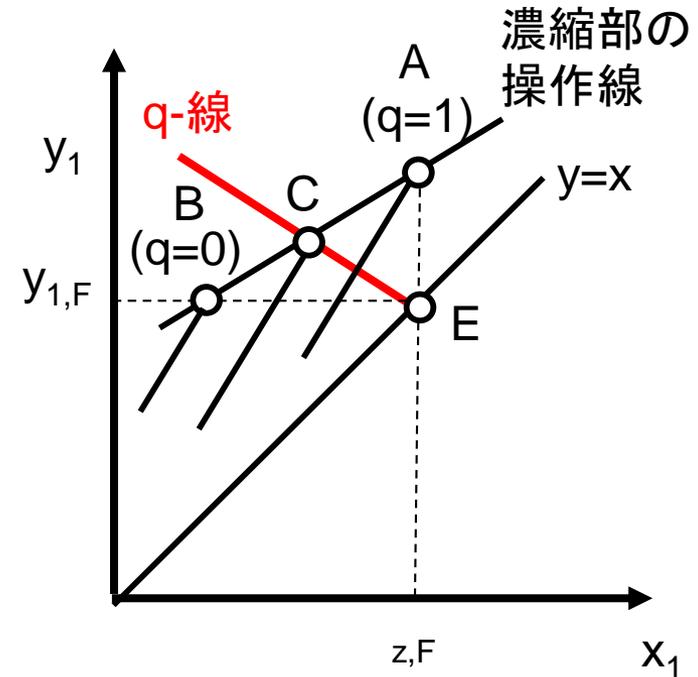
従って $z_F$ は原料中の成分1のモル分率に等しい



従って全原料モル流量に対する成分1のモル流量比 $F_1/F$ , 原料中の沸点の液体のモル分率 $q$ が与えられれば、(13)より2本の操作線の交点座標Cが定まる。

# 回収部(塔底～feed)の物質収支(6)

原料	q	操作線の交点
沸点の液のみ	1	点A
沸点の蒸気のみ	0	点B ( $y_{1,F} = F_1 / F$ )
液&蒸気	q	点C



(13)を変形すると次式を得る。

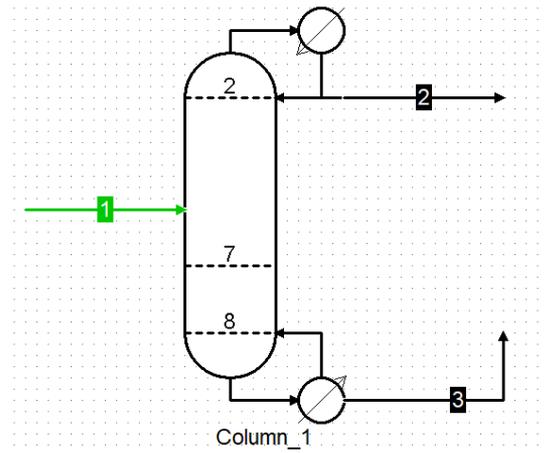
$$y_{1,F} = -\frac{q}{1-q} x_{1,F} + \frac{1}{1-q} \frac{F_1}{F}$$

操作線の交点と点Eと結ぶこの直線をq—線と呼ぶ。

Supply ethanol-water mixture of 1 kmol/s in molar flow rate, 0.4 in ethanol molar fraction, and 0.5 in vapor fraction into a distillation column of 9 stages. The feed is supplied into 7<sup>th</sup> stage at 101.3 kPa. The operation is conducted at the top-to-bottom flow-rate ratio of 1.

**Q1. Calculate the molar fractions of the products (top and bottom) and show McCabe-Thiele diagram.**

Mole fractions (-)	feed	top	bottom
Water	0.600000	0.259645	0.940355
Ethanol	0.400000	0.740355	0.0596451



open COCO

1. Material selection

setting-property package-add-ChemSep-select-New-Components-find water-add-find ethanol-add-Properties-K-value DECEMA-Activity coefficient-VanLaar-Vapor pressure-Antoine-Enthalpy-ideal-Van Laar load-open-load-close ChemSep window-Do you want to save..? YES-close Flowsheet configuration window

2. Design the separation process

Flowsheet-Insert unit operation-Separators ChemSep-Insert stream (feed)-Insert stream (distillate) top connect-Insert stream (bottom)-

Edit stream 1-pressure 101.3 kPa-temperature 85 C-mole fraction water 0.6-flow 1 kmol/s-Phase fractions-molar phase vapor 0.5

Edit unit operation-New unit operation #stages 9-ChemSep Operation Feed stage 7-Specifications Column specs Reflux ratio=1

3. Solve and plot

Solve-Edit unit operation-Results McCabe Thiele