

# 琉球大学学術リポジトリ

## 多重効用蒸発 (2)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農家政学部 公開日: 2011-07-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 外間, 宏一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/21417">http://hdl.handle.net/20.500.12000/21417</a>

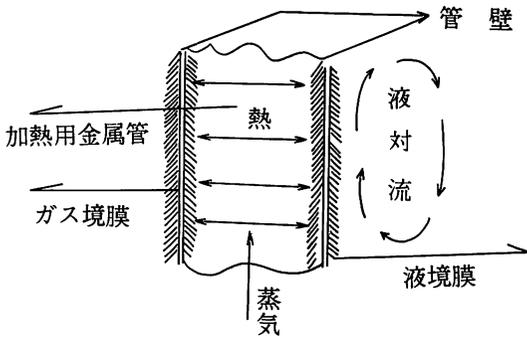
# 多重効用蒸発 (II)

前回は本誌No. 151 (1968年6月) 誌上で多重効用蒸発の基礎的原理についてのべたが、今回はその応用面、即ちその設計に関する計算問題の解答例についてできるだけ平易にのべてみたい。解答に引用される公式、図表を列挙してみると、

(1) 工業伝熱方程式  $q = U A \Delta t$

**q** : 単位時間に伝えられる熱量で蒸熱器の能力はこれによってきまる。

**u** : 総括伝熱係数(熱貫流係数) 熱源蒸気から加熱用金属管の壁を通して熱が伝わる場合の熱の伝わり方のよしあしを示す係数。管の材質、液境膜、ガス境膜等の影響を受ける。左図の様に加熱蒸気が管の内側を流れる時、外側の液に管壁を通して熱を伝えて沸騰させるのであるが、その時管壁の内側には蒸気流の層、外側には液層を形成して熱の伝達に対して拮抗を与える。前者をガス境膜、後者を液境膜という。



第1図 液境膜、ガス境膜

**A** : 伝熱面積

Aを大きくした方が単位時間あたりの伝熱量は大きく蒸発能力はよいが、Aを大きくしすぎるとUが小さくなって、逆の影響を及ぼす。

$\Delta t$  : 加熱用蒸気の温度と液の沸点との間の温度差

蒸気の温度は蒸気の圧力から表で求めれ

ばよい。工業的には温度計で測らないで表で求めるのが一般的である。

(2) 物質収収

濃縮前の重量 = 濃縮後の重量

例えば1500kgの20%溶液を濃縮して50%溶液にしたい場合の重量Wとすれば

$$1500 \times \frac{20}{100} = W \times \frac{50}{100}$$

従って蒸発量 = 1500 - Wが求められる。

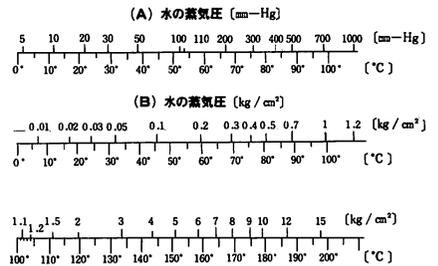
(3) 熱収支

加熱に使われる熱量 = 温度変化(沸点)に消費される熱量 + 蒸気となってにげる熱量

(4) 図表

**A** : デューリング線図(本誌No. 151. 8頁第2図)

**B** : 圧力と温度(沸点)との関係を示す表(同誌9頁第1表)または目盛図(第2図)



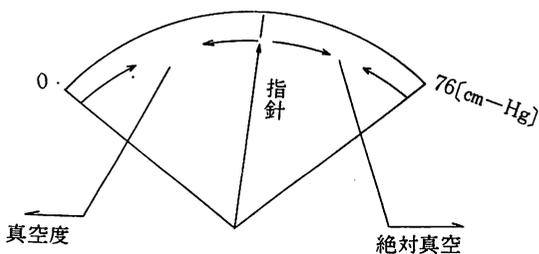
第2図 温度対水の蒸気圧対照目盛図

## 圧力の表示法

(a) : 加圧用 (1)ゲージ圧…工業用圧力計(ブルドン型圧力計)に示されている目盛(kg/cm<sup>2</sup>及びlb(ポンド/in))

(2) 絶対圧……ゲージ圧 + 大気圧

(b) : 減圧用 真空度 = 大気圧 - 絶対真空蒸気圧表は絶対圧で表示されているのでその利用にあたっては、絶対圧に換算しなければならない。例えばゲージ圧1気圧であれば、



第3図、真空計

第3図 真空計

蒸気圧表では2気圧に相当している。

圧力単位の表示法

圧力は  $[kg/m^2]$ ,  $[kg/cm^2]$ ,  $[lb/in^2]$ ,  
Bar ( $=10^6 [dyns/cm^2]$ ),

〔気圧〕等種々の単位で表わされる。また  $[mm-水銀]$ ,  $[mm-水柱]$  の如く、液体の高さ即ち頭  $[m]$  または  $[mm]$  を以ても表わされる。密度  $P [kg/m^3]$  ある液体の頭  $[m]$  の圧力は  $P = hp [kg/m^2]$  に相当する。例えば  $1 [mm-水柱]$  の圧力は ( $h = 0.001m$ ,  $P = 1000 kg/m^3$ なるを以て)

$$P = 0.001 (1000) = 1 [kg/m^2]$$

となる。即ち  $[mm-水柱]$  と  $[kg/m^2]$  とは同じ圧力である。理学に於ける  $1 [気圧]$  は  $h = 0.760m$  の水銀柱  $[P = 13,600kg/m^3]$  であるから

$$P = 0.760 (13,600) = 10,333 [kg/m^2] \\ = 10,333 [mm-水柱]$$

である。然るに工業的には  $1 [kg/cm^2]$  ( $=10^4 [kg/m^2] = 10 [m-水柱]$ ) を  $1$  気圧と称せられる。之は  $0.7355 [m-水銀柱]$  に相当する。ドイツでは両者を区別するために  $760 [mm]$  を  $[Atm]$ ,  $735.5 [mm]$  を  $[at]$  で表わしている。

### 多重効用蒸発に関する計算法

新たに多重効用缶を設計する場合は勿論、既設の缶での作業を能率よく行うためにも種々の計算が必要である。例えば設計に際しては単位時間の処理量、熱源蒸気の温度、復水器の真空度等が与え

られて各缶の所要加熱面積及び所要蒸気量を求めねばならない。また蒸発作業の良否を判定するには温度、圧力、濃度等の分布を測定して伝熱係数、各缶の蒸発量、熱源蒸気の使用量などを求めねばならない。此の場合一般に未知数の数が多くて計算が比較的複雑なようであるが、その原理は比較的簡単である。即ち、前述のように各缶につき、(1)物質収支、(2)熱収支、(3)伝熱式の関係式を求めて(沸点上昇を無視できない場合は之も考慮に入れねばならない)、それらの連立方程式を解くのである。具体的には次の例題で説明する。

例題 (1) 単一効用缶を以て  $1500 [kg/hr]$  の  $10\%$  食塩水を  $25\%$  まで濃縮したい。熱源はゲージ圧  $1 [kg/cm^2]$  の飽和蒸気を用いる。また復水器(凝縮器)は絶対圧  $100 [mm-kg]$  を保持する。原液は  $30^\circ C$  である。次の量を求めよ。

- (a) 缶の蒸発量, (b) 凝縮液の温度, (c) 缶液の温度,
  - (d) 沸点上昇 (B. P. R.), (e) 所要熱源蒸気温度,
  - (f) 同消費量, (g) 缶の加熱面積。
- 但し液の B. P. R. は無視できない。蒸発熱  $550 [Kcal/(kg)]$ , 液の比熱  $1.0 [Kcal/(kg) (^\circ C)]$  総括伝熱係数  $550 [Kcal/m^2 (^\circ C)]$  とする。

解 計算基準を  $1 hr$  とし、 $25\%$  液量を  $W kg$ , 蒸気消費量を  $S kg$  とする。

(I) 物質収支

$$1500 \left( \frac{10}{100} \right) = W \left( \frac{25}{100} \right)$$

$$W = 600 kg \quad \text{蒸発量 } 1500 - 600 = 900 kg$$

(II) 熱収支

絶対圧  $100 [mm-Hg]$  における純水の沸点及び B. P. R. は No. 151 誌 8 頁 第 2 図からそれぞれ、 $50^\circ C, 5^\circ C$  として求められる。故に缶液の沸点  $50^\circ C + 5^\circ C = 55^\circ C$  をうる。よって次式が成立する

$$550 S = (55 - 30) (1500) + 900 (550)$$

$$S = 968 kg$$

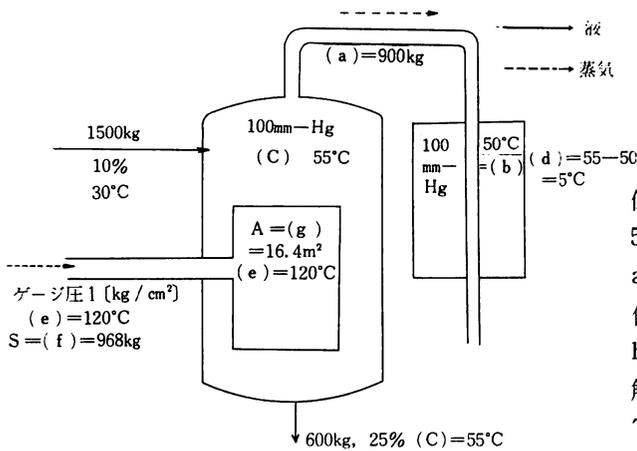
(III) 伝熱式  $q = UA \Delta t$  において

$$q = 550 S = 550 (968)$$

$$\text{題意により } U = 500$$

ゲージ圧  $1 [kg/cm^2]$  は絶対圧  $2 [kg/cm^2]$  に相当する。故に第 2 図から蒸気温度  $120^\circ C$  をうる。

即ち、 $\Delta t = 120 - 55 = 65^\circ C$



第4図 例題(1)の解答図

故に  $A = \frac{q}{U \Delta t} = \frac{550(968)}{500(65)} = 16.4 \text{ m}^2$

答 (a) = 900 kg/hr, (b) = 50°C, (c) = 55°C, (d) = 5°C, (e) = 120°C, (f) = 968 kg/hr, (g) = 16.4 m²

例題(2) 両缶が同じ大きさの順流式(原液と加熱用蒸気を第(I)缶から同じ方向に送入……第5図参照)二重効用缶を以て1800 [kg/hr] の3.00%食塩水を7.00濃度まで濃縮したい。熱源は1.20 [kg/cm²] の飽和蒸気を用い、また復水器は28°Cの冷却水を使用し、650mm-Hgの真空度(760mm大気圧に対して)を保持する。原液は30°で入

る。次の量を求めよ。

- (a)各缶の蒸発量および所要熱源蒸気量
- (b)温度および圧力分布
- (c)各缶の加熱面積
- (d)蒸気1 kgにつき総蒸発量
- (e)各缶液の濃度

但し液のB. P. R. を省略し、蒸発熱は均一に550 [Kcal/kg] とし、液の比熱はすべて1.0 [Kcal/(kg) (C°)] とし、缶Iおよび缶IIの総括伝熱係数はそれぞれ1900および1300 [Kcal/m², hr, °C] と仮定せよ。

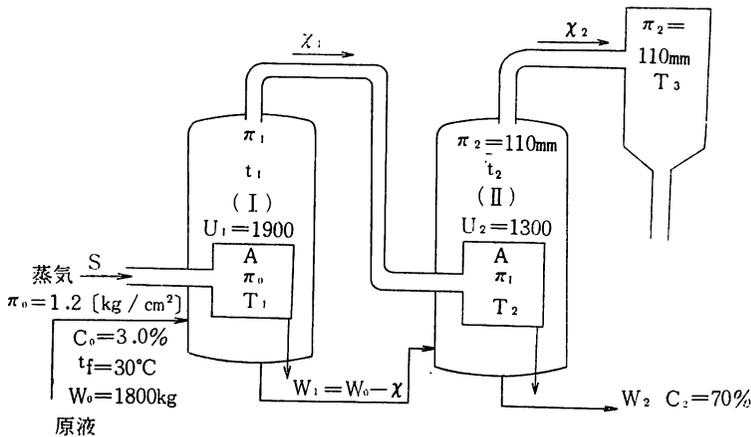
解 計算基準を1 hrとし、圧力を $\pi$ 、蒸気温度をT、液温をt、熱源蒸気量をS kg、蒸発量を $x$  kg、液量をW kg、濃度をC%とし、各条件を下図に示す。

被与条件は、 $\pi_0 = 1.20 \text{ kg/cm}^2$  (第2図から $T_1 = 104^\circ\text{C}$ )、 $\pi_2 = 760 - 650 = 110 \text{ mm}$  (第2図から $T_3 = 53.5^\circ\text{C}$ )、 $t_5 = 30^\circ\text{C}$ 、 $W_0 = 1800 \text{ kg}$ 、 $C_0 = 3.00\%$ 、 $C_2 = 7.00\%$ 、 $U_1 = 1900$ 、 $U_2 = 1300$ 、またB. P. R. を省略したので $t_1 = T_2$ 、 $t_2 = T_3$ である。

先づ物質収支により $W_0 C_0 = W_2 C_2$  (= 食塩の量)なるを以て、

$$\text{濃縮液量 } W_2 = \frac{W_0 C_0}{C_2} = \frac{1800(3.00)}{7.00} = 772 \text{ kg}$$

$$\text{総蒸発量} = W_0 - W_2 = 1800 - 772 = 1028 \text{ kg}$$



第5図 例題(2)の既知条件図

表 1

	缶 I		缶 II		復水器
	蒸気側	液側	蒸気側	液側	
圧力 (絶対)	1.20kg/cm <sup>2</sup>	355mm	355mm	110mm	110mm
温度 (°C)	104	79.8	79.8	53.5	53.5
温度差 (°C)	24.2		26.3		

故に  $x_1 + x_2 = 1028$  .....(1)

次に熱収支によれば、

缶 I :  $550S = 550x_1 + 1800(t_1 - 30)$  .....(2)

缶 II :  $550x_1 + (1800 - x_1)(t_1 - 53.5) = 550x_2$  .....(3)

次に伝熱式  $q = AU(\Delta t)$  によれば

缶 I :  $550S = A_1(1900)(104 - t_1)$  .....(4)

缶 II :  $550x_1 = A_2(1300)(t_1 - 53.5)$  .....(5)

この5つの式から未知数  $S, x_1, x_2, t_1$  および  $A$  ( $A_1 = A_2$ ) を求めればよいのである。しかるに之を正規の方法で解こうとすると複雑な高次式となって実際に極めて厄介である。よって次のような便法を行う。温度  $t_1$  を適当に仮定すれば、之等の式は一次式になって  $S, x_1, x_2$  が容易にとけるから、これが正しいか否かは  $A_1 = A_2$  となるか否かによって判定するのである。

缶 I は  $U_1$  が大であるから  $(\Delta t)_1$  は小さい訳であるが、冷たい原液を熱するための伝熱が余分に必要でこのためには  $(\Delta t)_1$  が増大しなければならない。

副射損失がないものとする  $q_1 = q_2$

$A_1 = A_2$  なるをもって  $1900\Delta t_1 = 1300\Delta t_2$  .....(6)

$\Delta t_1 = T_1(104^\circ) - t_1$   
 $\Delta t_2 = t_1 - 53.5$   
 $\Delta t_1 + \Delta t_2 = 50.5$  .....(7)

(6)と(7)から  $\Delta t_1 = 20.5, \Delta t_2 = 30, t_1 = 83.5$  即ち、 $t_1$  は  $83.5^\circ\text{C}$  以下でなければならない。よって  $t_1 = 81^\circ\text{C}, (\Delta t)_1 = 23, (\Delta t)_2 = 27.5$  と仮定すると

(2)式は、 $550S = 550x_1 + 1800(81 - 30)$  ..... (2 a)

(3)式は、 $550x_1 + (1800 - x_1)(81 - 53.5) = 550x_2$  ..... (3 a)

(1), (2 a), (3 a) から  $x_1, x_2, S$  を求めると

$x_1 = 481$  [kg],  $x_2 = 547$  [kg],  $S = 648$  [kg] を得 この結果が正しいか否かを検討するため(4), (5)式で  $A$  を求めて比較する。即ち

(4)式より  $A_1 = \frac{550(648)}{1900(23)} = 8.16\text{m}^2$

(5)式より  $A_2 = \frac{550(481)}{1300(27.5)} = 7.40\text{m}^2$

これによれば  $A_1 > A_2$ , 即ち  $(\Delta t)_1$  の仮定が過小, 即ち  $t = 81^\circ\text{C}$  の仮定が高過ぎる。よって次には  $t_1 = 79^\circ\text{C}$  と仮定して上と同様に計算すると、

$x_1 = 484, x_2 = 544, S = 644$  を得

而して  $A_1 = 7.46\text{m}^2, A_2 = 8.03\text{m}^2$  となり、前と反対に  $t = 79^\circ\text{C}$  は低すぎる。

次に  $t_1 = 79.8^\circ\text{C}$  と仮定すれば、 $x_1 = 483, x_2 = 545, S = 646, A_1 = 7.73, A_2 = 7.78$  を得、故にこの結果は満足であり、平均して  $A = 7.76\text{m}^2$  となる。即ち連立方程式を解きえたので次の結果をうる。

(a) 缶 I の蒸発量  $x_1 = 483\text{kg/hr}$

缶 II の蒸発量  $x_2 = 545\text{kg/hr}$

熱源蒸気量  $S = 646\text{kg/hr}$

(b) 温度および圧力分布

ここに圧力  $355\text{mm}$  は  $79.8^\circ\text{C}$  の蒸気圧である。

(c) 各缶の加熱面積  $A = 7.76\text{m}^2$

(d) 蒸気 1 kg につき総蒸発量

$= \frac{x_1 + x_2}{S} = \frac{1028}{646} = 1.59$  [kg/kg]

(e) 缶 I 液の濃度

$C_1 = \frac{C_0 W_0}{W_0 - x_1} = \frac{1800(3.00)}{1800 - 483} = 4.10\%$

缶 II 液の濃度  $C_2 = 7.00\%$

註1 本例題では缶 I の蒸発量 ( $x_1 = 483\text{kg}$ ) に比して蒸気消費量 ( $S = 646\text{kg}$ ) が大部多い。若し原液を適当に予熱すれば此の比が 1 に近づくのみならず、蒸気消費が減少出来る。

註2 三重効用缶の場合には缶 II の液温  $t_2$  および缶 III の蒸発量  $x_3$  なる二つの未知数が加わり、かつ缶 III の熱収支と伝熱式の二つの式が加わる。その解法は先づ  $t$  および  $t_2$  を仮定して他を求め、その結果を  $A_1 = A_2 = A_3$  に照して吟味すること本例題と原理は同じである。(外間宏一)