

琉球大学学術リポジトリ

三重効用蒸發罐における平衡濃度と濃縮に必要な時間について

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大學文理学部 公開日: 2012-02-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 比嘉, 良夫, Higa, Yoshio メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/23012

三重効用蒸發罐における平衡濃度と濃縮に必要な時間について

比 嘉 良 夫

The Relationship between Equilibrium Concentration and Time in a Triple-effect Evaporator

Yoshio Higa

Although there are good possibilities for the future success of the salt industry on Okinawa, many difficulties must be overcome. One of the problems is to determine equilibrium concentration and hours on multiple-effect evaporator when fed sea water on the series line of the evaporator.

Changes of concentration in each of three evaporators are expressed in the following equations.

(A) Changes of concentration.

$$\rho_1 = 3/2 \rho_0 - 1/2 \rho_0 e^{-(2t/B)\theta} \quad \text{1st evaporator}$$

$$\rho_2 = \rho_0 \{ 3(1 - e^{-(t/B)\theta}) + e^{-(2t/B)\theta} \} \quad \text{2nd evaporator}$$

$$\rho_3 = (3f/B) \rho_0 t + \rho_0 (3e^{-(t/B)\theta} + 1/2 e^{-(2t/B)\theta} - 3/2) \quad \text{3rd evaporator}$$

(B) The concentrations of equilibrium are shown as follows:

1st evaporator; 44.8°Bé

2nd evaporator; 89.1°Bé

3rd evaporator; 30.2% (crystal out)

(C) Time to crystal out is 30 hours.

These results and conclusions together with theoretical calculations will be useful in checking present apparatuses and also in designing future processes.

§ 1 緒 論

沖縄に於ける製塩はその可能性をもちながら發展途上に多くの困難な問題を解決し得なくて行き悩んでいる。幸にして琉大當局はこの沖縄の基本産業に對して理解をもち多額の研究費を與えられここにその第1報を發表できてうれしくおもう。

本報においては現在沖縄の製塩工場で問題になつている“三重効用蒸發罐を用いた場合の平衡濃度と濃縮に必要な時間”について考察をする。

多重効用罐に海水を直列に送入した場合の“平衡状態および濃縮に必要な時間”についてはあまり一般に知られていない。

こうした關係は非常に重要だが經驗によつて大體の見當をつけている状態であるので上記の問題を解決するために爲された研究の第1報として發表する。

§ 2 効用罐の中の濃度變化

次の様な條件で蒸發罐を三台運轉し原料の海鹹水を直列に送入する。

- (1) 三台の蒸發罐に海鹹水を送入して常に B を含む。
- (2) 蒸發量は三つの蒸發罐とも f である。

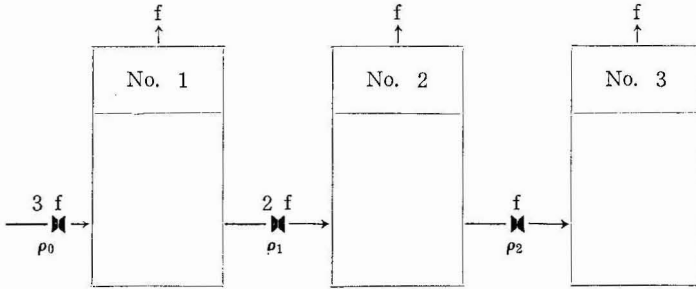


Fig. 1. Series line of evaporators.

- (α) No. 1 では常に $3f$ が入り f が蒸發して $2f$ が No. 2 に入る。
- (β) No. 2 では常に $2f$ が入り f が蒸發して f が No. 3 に入る。
- (γ) No. 3 では常に f が入り f が蒸發して塩ができる。

- (3) No. 1 の蒸發罐に入る海鹹水の濃度は常に ρ_0 である。
- (4) 最初は三つの蒸發罐何れにも濃度 ρ_0 の海鹹水が入る。
- (5) 各罐に入る鹹水は連続的であり溶液は攪拌されて均一である。

任意の時刻 t における各罐の濃度を ρ_1, ρ_2, ρ_3 とする。

ここで B, f, ρ_0 は常數

$t, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ は變數

として時間による濃度變化は

第 1 罐について、

dt 時間における塩分の變化は

$$3f\rho_0 dt - 2f\rho_1 dt = f(3\rho_0 - 2\rho_1) dt$$

従つて時間 dt における濃度の變化を $d\rho_1$ とすれば

$$d\rho_1 = \frac{f(3\rho_0 - 2\rho_1)}{B} dt$$

$$\therefore \frac{d\rho_1}{3\rho_0 - 2\rho_1} = \frac{f}{B} dt$$

積分して

$$\int \frac{d\rho_1}{3\rho_0 - 2\rho_1} = \int \frac{f}{B} dt$$

$$\therefore -\frac{1}{2} \log(3\rho_0 - 2\rho_1) = \frac{f}{B} t + c$$

$$\log(3\rho_0 - 2\rho_1) = -\frac{2f}{B} t + c'$$

$$3\rho_0 - 2\rho_1 = c'' e^{-\frac{2f}{B} t}$$

$$\begin{aligned} \therefore \rho_1 &= \frac{1}{2} (3\rho_0 - c'' e^{-\frac{2f}{B}t}) \\ \rho_1 &= \frac{3}{2} \rho_0 - c''' e^{-\frac{2f}{B}t} \end{aligned}$$

ここで c, c', c'' は積分常數とする.

初期條件として $t = 0, \rho_1 = \rho_0$ であるから,

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \frac{3}{2} \rho_0 - c''' \\ \therefore c''' &= \frac{1}{2} \rho_0 \\ \therefore \rho_1 &= \frac{3}{2} \rho_0 - \frac{1}{2} \rho_0 e^{-\frac{2f}{B}t} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

第2罐について,

dt なる時間に入ってくる塩分は $2f\rho_1 dt$ で No. 3 に出ていく塩分は $f\rho_2 dt$ であるから No. 1 と同様に濃度の變化を求めると

$$\begin{aligned} d\rho_2 &= \frac{f(2\rho_1 - \rho_2)}{B} dt \\ \frac{d\rho_2}{dt} &= \frac{2f\rho_1}{B} - \frac{f}{B} \rho_2 \end{aligned}$$

(1) 式を上のに代入すると

$$\frac{d\rho_2}{dt} + \frac{f}{B} \rho_2 = \frac{f}{B} \rho_0 (3 - e^{-\frac{2f}{B}t})$$

この微分方程式は ρ_2 および $\frac{d\rho_2}{dt}$ に関して一次であるから

$$\begin{aligned} \rho_2 e^{\int \frac{f}{B} dt} &= \int \frac{f}{B} \rho_0 (3 - e^{-\frac{2f}{B}t}) e^{\int \frac{f}{B} dt} dt + c \\ &= \frac{f}{B} \rho_0 \int (3e^{\frac{f}{B}t} - e^{-\frac{f}{B}t}) dt + c \\ &= \frac{f}{B} \rho_0 (3 \frac{B}{f} e^{\frac{f}{B}t} + \frac{B}{f} e^{-\frac{f}{B}t}) + c \\ &= \rho_0 (3e^{\frac{f}{B}t} + e^{-\frac{f}{B}t}) + c \end{aligned}$$

$$\therefore \rho_2 = \rho_0 (3 + e^{-\frac{2f}{B}t}) + ce^{-\frac{f}{B}t}$$

$t = 0, \rho_2 = 0$ を初期條件として

$$\begin{aligned} \rho_0 &= 4\rho_0 + c \\ \therefore c &= -3\rho_0 \\ \therefore \rho_2 &= \rho_0 (3 + e^{-\frac{2f}{B}t}) - 3\rho_0 e^{-\frac{f}{B}t} \end{aligned}$$

$$\therefore \rho_2 = \rho_0 \left\{ 3 \left(1 - e^{-\frac{f}{B}t} \right) + e^{-\frac{2f}{B}t} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

を得る。

第3罐について、

dt という時間に入ってくる塩分は $f\rho_2 dt$ であるからその間の濃度變化は

$$d\rho_3 = \frac{f\rho_2}{B} dt$$

これに (2) を代入すれば

$$\begin{aligned} \int d\rho_3 &= \int \frac{f}{B} \rho_0 \left\{ 3 \left(1 - e^{-\frac{f}{B}t} \right) + e^{-\frac{2f}{B}t} \right\} dt \\ &= \frac{3f}{B} \rho_0 t + \rho_0 \left(3e^{-\frac{f}{B}t} - \frac{1}{2} e^{-\frac{2f}{B}t} \right) + c \end{aligned}$$

$t = 0, \rho_3 = 0$ を初期條件とすれば

$$\rho_0 = \rho_0 \frac{5f}{2} + c$$

$$\therefore c = -\frac{3}{2} \rho_0$$

従つて

$$\rho_3 = \frac{3f}{B} \rho_0 t + \rho_0 \left(3e^{-\frac{f}{B}t} + \frac{1}{2} e^{-\frac{2f}{B}t} - \frac{3}{2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

となる。

§ 3 濃 度 變 化

第1罐における濃度變化の状態は

$$\rho_1 = \frac{3}{2} \rho_0 - \frac{1}{2} \rho_0 e^{-\frac{2f}{B}t}$$

で表わされる。

この式でも明らかなように t が限りなく大きくなるにつれて $\frac{3}{2} \rho_0$ に近づく。これははじめの濃度の 1.5 倍である。

海水直接蒸發する場合第1罐は 44.8°Bé で balance する。

$$\rho_0 = 3.03 (\%) \quad B = 5 (\text{ton}) \quad f = 0.6 (\text{ton/hr})$$

として時間と濃度の關係は第1表及び第2圖の如くなる。

Table 1. Relation between salt concentration and hours in the 1st evaporator.

t (hr)	1	2	4	8	16	∞
ρ_1 (%)	3.03	3.52	3.86	4.29	4.50	4.50

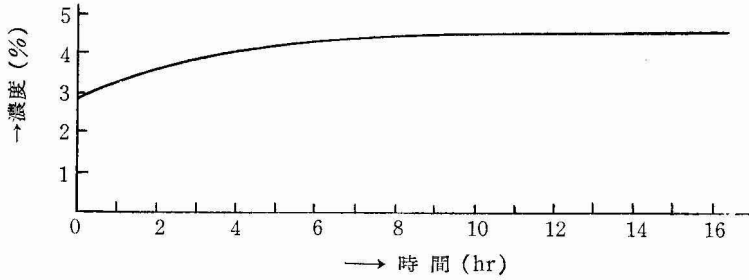


Fig. 2. Relation between salt concentrations and hours.

この関係を log-log paper に plot すれば第3圖の如くなる。

この圖より明らかに第1罐におい

ては約10時間で平衡になる。

第2罐についてその濃度の變化は

$$\rho_2 = \rho_0 \left\{ 3 \left(1 - e^{-\frac{t}{B}} \right) + e^{-\frac{2t}{B}} \right\}$$

で表わされる。ここで t が限りなく大きくなればこの式の値は限りなく $3\rho_0$ に近づく。この値ははじめの濃度の3倍である。海水を直接處理する場合濃度は 89.1°Bé で balance する。

第1罐と同様な条件のもとに次の結果を得る (第2表及び第4圖)。

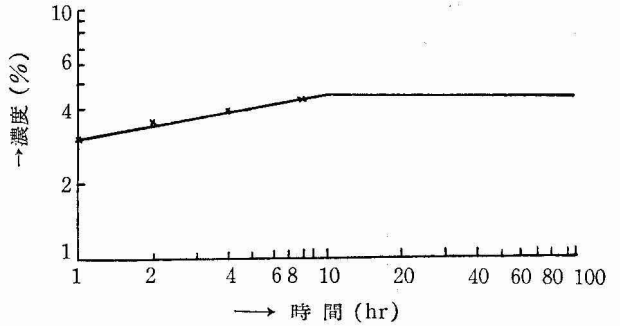


Fig. 3. Relation between salt concentrations and hours in the 1st evaporator.

Table 2. Relation between salt concentrations and hours in the 2nd evaporator.

t (hr)	1	2	4	8	16	∞
ρ_2 (%)	3.43	3.85	4.72	6.15	7.90	8.99

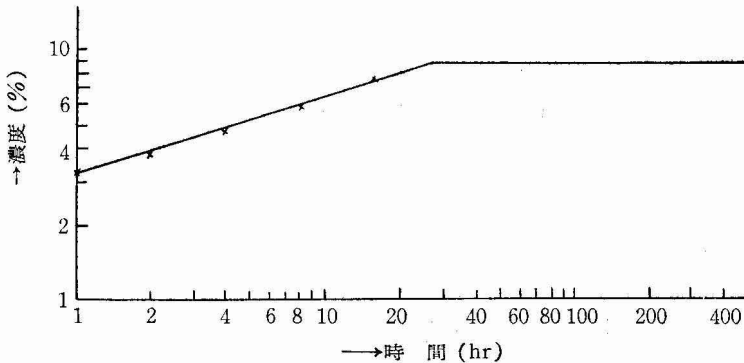


Fig. 4. Relation between salt concentrations and hours in the 2nd evaporator.

即ちほぼ27時間で平衡状態に達する。

第3罐に於ける濃度の變化は

$$\rho_3 = \frac{3f}{B} \rho_0 t + \rho_0 \left(3e^{-\frac{f}{B}t} - \frac{1}{2} e^{-\frac{2f}{B}t} - \frac{3}{2} \right)$$

で表わされる。tが大きくなるにつれて ρ_3 も大きくなる。第1罐，第2罐と同様な条件で

Table 3. Relation between salt concentrations and hours in the 3rd evaporator.

t (hr)	1	2	4	8	16	24	32
ρ_3 (%)	3.41	3.90	4.92	7.29	14.50	23.21	32.01

第3罐に於ては，濃度は時間と共に上昇して結晶がはじまるのは salt percentage で30%の所即ち30時間である（第3表及び第5圖）。

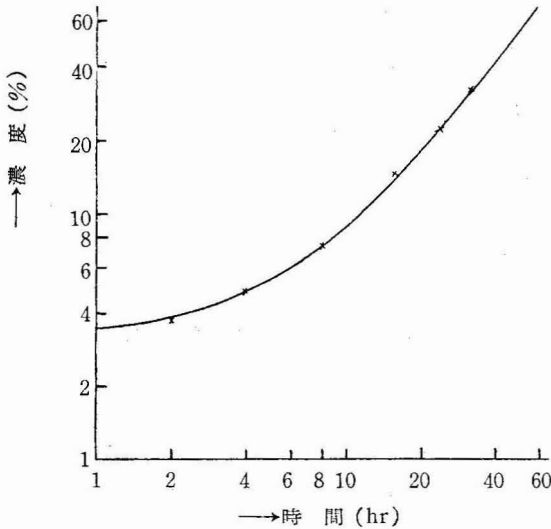


Fig. 5. Relation between salt concentrations and hours in the 3rd evaporator.

§ 4 結 論

[a] 濃度變化

第1罐
$$\rho_1 = \frac{3}{2} \rho_0 - \frac{1}{2} \rho_0 e^{-\frac{2f}{B}t}$$

第2罐
$$\rho_2 = \rho_0 \left\{ 3 \left(1 - e^{-\frac{f}{B}t} \right) + c e^{-\frac{2f}{B}t} \right\}$$

第3罐
$$\rho_3 = \frac{3f}{B} \rho_0 t + \rho_0 \left(3e^{-\frac{f}{B}t} + \frac{1}{2} e^{-\frac{2f}{B}t} - \frac{3}{2} \right)$$

[β] 平衡状態における濃度

第1罐 44.8°Bé

第2罐 89.1°Bé

第3罐 30.2% (salt percentage) で析出開始

[γ] 析出までの時間 30時間。

採塩法により母液煎熱等の濃度に多少の相異や変化があるが上記の結果は工場に於てよく一致した値を示し充分利用することができる。

§ 5 参 考 文 献

- (1) 福永範一：製塩及び苦汁工業。
- (2) James A Lee : A Salt for Every Use. Chem. met. Eng., **47**, 530.
- (3) D. H. Cadwell : Ind. Eng. Chem., **42** (1950), 127.
- (4) 原龍三郎：工業化学會誌, **34** (1931), 166~172.
- (5) W. F. Langelier : Scale Control in Sea Water. I. E. C., **42** (1950), 127.