

# サラシ液製造用吸収塔および冷却そうについて

檜 田 吉 信  
矢 守 勝 二

## The Analysis on the Absorption Tower and the Cooling Tank for Bleaching Liquid Manufacturing.

Yoshinobu Kashida  
Katsuji Yamori

We made various measurements with regards the absorption tower and the cooling tank for manufacturing bleaching liquid. As to the absorption tower we obtained a formula of  $A = 511 P^{0.77}$  for the composition of the gas entering the Tower and the tower capacity, and as regard to the latter we made a study of the overall heat transfer coefficient and effects of scale on the outside of the cooling pipes.

### 1. まえがき

サラシ液吸収塔については主として吸収能力について検討した。吸収塔は図1に示すような、簡単な構造

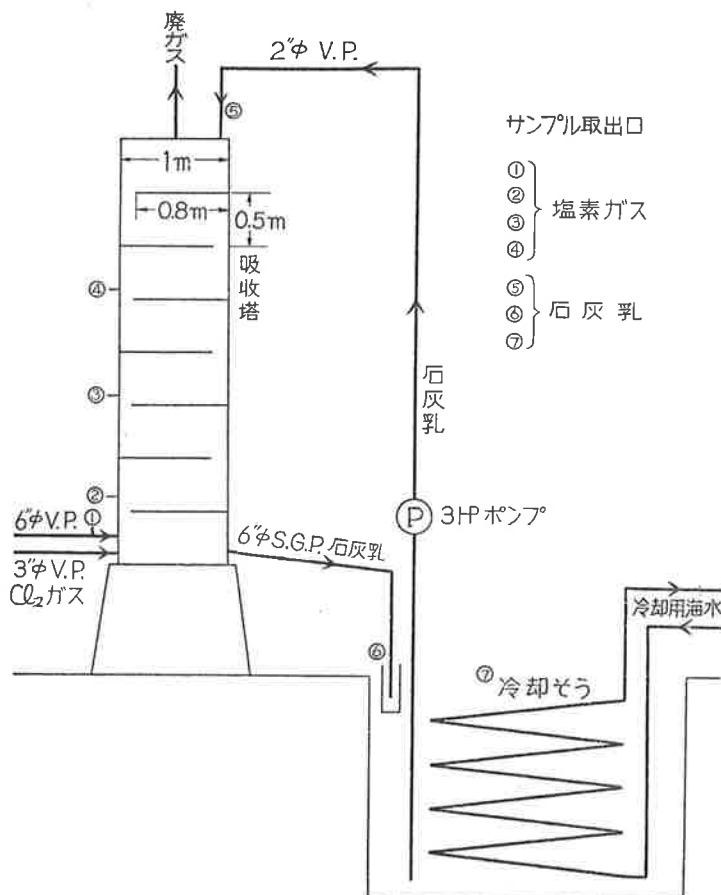
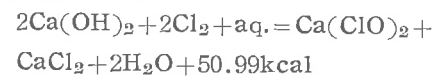


図 1 測定装置

の棚段塔である。サラシ液の製造は、塔の頂部から石灰乳を送入し、また塔の下部から塩素ガスを吹きこみ気液向流によるガス吸収によって行われる。石灰乳は有効塩素濃度が、約10%になるまで循環使用する。このように液側を循環使用するとき、液側の濃度変化、すなわちガス吸収の推進力に変化をきたす。したがって、当然この現象を考慮する必要があるように思われる。しかし、この点については、本実験の予備測定の結果から、考慮しなくても差支えないことがわかった。厳密に言えば、この点については、ある関係のあることが、わかってはいるが、本調査が現場測定であること、また分析方法などの点から省略すべきと考えた。

サラシ液の生成反応は、次式に示すような発熱反応である。



したがって、上限温度を超える液温上昇によって起る分解副反応を防止するため、溶液を許容温度 (35~40°C) 以下に保って反応せしめなければならない。反応熱除却のため、図1のごとく、冷却そう内に蛇管クーラーを設けてあり、海水による冷却を行っている。この冷却装置の冷却管の総括伝熱係数、管外スケールの影響、および各月の冷却熱量比率について検討した結果を報告する。

2. 測定装置および方法

装置を図1に示す。図のように8段からなる棚段塔で、これに上から3, 5, 7, 段目にそれぞれガスサンプル取出口を設けた。したがって、ガスの測定ヶ所は、入口ガス、および前記の3ヶ所で  $Cl_2$  の分析を行う。溶液については、塔頂部での入口液、塔底部の出口液、および冷却そう内の液の3つについて、有効塩素濃度を分析した。

ガスの分析は、チオ硫酸ソーダ水溶液によるオルザットでの分析、液の有効塩素濃度はヨード滴定法で分析した。

液の流量は、塔頂部の液入口にVノッチセキを設けて測定した。ガス送分量は測定困難のため、物質収支より算出した。

測定条件は、平常の製造運転のもとに測定した。送入ガスについては、この吸収塔には各工場からの残ガス、廃ガスが原料として送り込まれるので、種々の実験条件を与えてくれた。

その条件変化範囲は

ガス濃度 1~50  $Cl_2$  vol

ガス流量 50~300  $m^3/hr$

液は3IPのポンプで循環されている。流量は  $16.8m^3/hr$  で一定とした。温度、その他の条件など一定とみなした。液の  $Ca(OH)_2$  濃度は約  $125g/l$  で反応を開始する。なお冷却関係の調査では、冷却水の出入口温度、また塩素ガスの出入口温度、気温などについて測定した。

3. 吸収塔についての測定結果および考察。

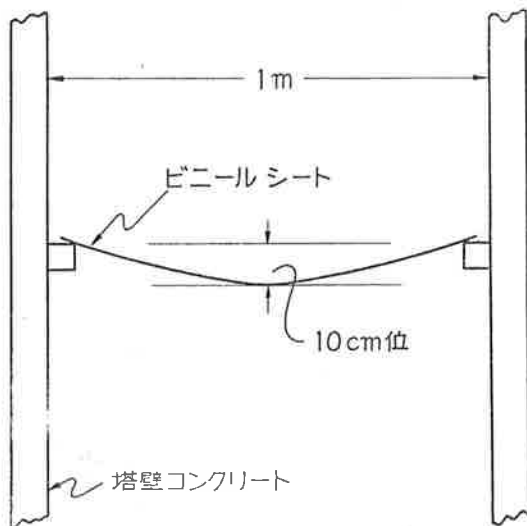


図2 変形した仕切板

〔1〕 吸収塔内の流動について。

本装置、棚段塔の仕切板は、硬質塩ビ製である。現在では相当変形して図2のようである。したがって流下する液は、板の中央部を流れ仕切板全面をぬらし得ないことが想像できる。塔の最上段では、仕切板にこのような変形がみられない。液は板全面をぬらししている。したがって、ここで流下液層の厚さを測定すると、これが1~2cmである。板上では液が、平均  $25cm/sec$ 以上の速さで流れていることになる。このことから、変形した仕切板全面を液でぬらし得ないことがわかる。この不合理をなくする手段として、まず仕切板の取替えが考えられ、また他に循環液量を

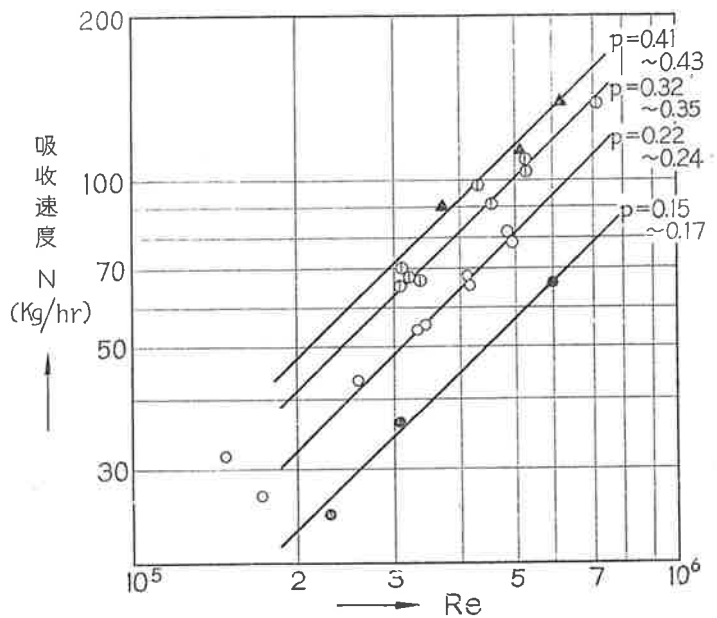


図3 N 対 Re

増すことも考えられる。後者の方法は、液側表面積の増加と同時に、液の乱れが激しくなり、液の混合、および表面更新がより行われ、その結果吸収能力の増大が当然期待できる。しかし、現在の装置では、後の方法を採用する際には、次のような不合理の生ずることがわかった。現在の設備では、液循環量を増していったとき、塔底部の液流出管に液流入量と同等以上の流出能力がなく、液は漸次塔内にたまり、ガス入口をふさぐようにまでなる。液循環量が  $25m^3/hr$  を超える頃からこのような不都合がみられた。

〔2〕 吸収速度とレイノルズ数との関係。

ここで用いたデータは、吸収塔の正常運転の際のもので、塩素ガスは吸収塔でほぼ完全に吸収されている。ここでいう吸収速度  $N$  (以下  $N$  で表わす) は、図1の装置のサンプル取出口②まで、すなわち、吸収塔の下部から2段目までにおいて吸収された塩素量

[kg/hr] をいう。この  $N$  とガスのレイノルズ数との関係を示すと、図3のようになる。  $Re$  は  $Re = \frac{D\rho\bar{u}}{\mu}$  で表わされる。

$D$  [m] として、たて0.5m、よこ1mの長方形の相当直径0.667mとした。なお、断面が  $a \times b$  の長方形の場合の相当直径  $Re$  は  $De = 4 \cdot \frac{ab}{(2a+2b)}$  で表わされる。 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] はガス密度、 $\bar{u}$  [m/sec] はガスの塔内通過速度、 $\mu$  [kg/m.sec] は、ガス粘度を表わす。いずれも吸収される前のガスの状態から算出した。ガス濃度を一定としたとき、ガス流量と  $N$  の関係が、図2の各直線で表わされる。したがって、異ったガス濃度について同じような関係がみられ、図のように、多くの直線が得られる。図から次の関係式が得られる。

$$N = C_1 Re \quad (C_1 : \text{定数}) \dots\dots(1) \quad \textcircled{1}$$

[3] 吸収速度  $N$  とガス濃度の関係。

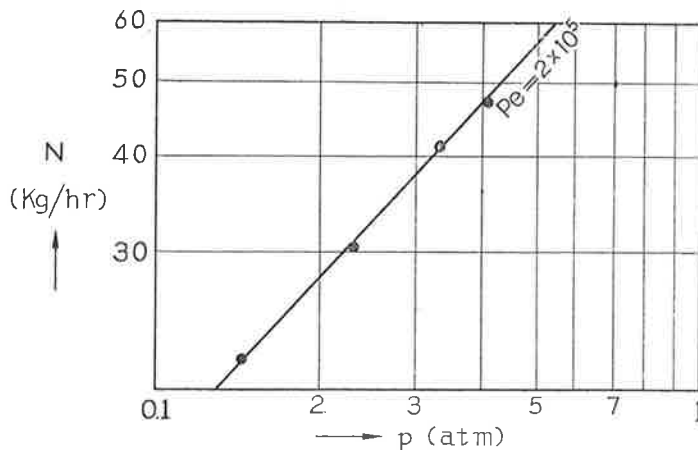


図4 N 対 p

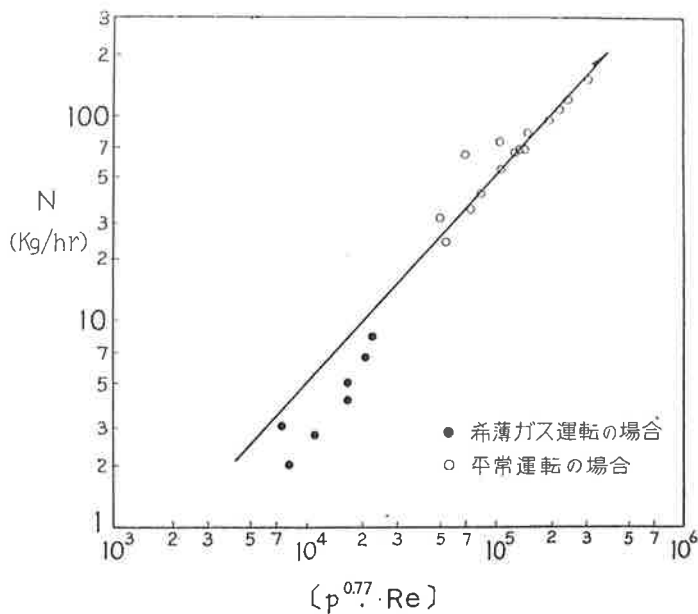


図5 N 対 [p<sup>0.77</sup>Re]

$N$  とガス濃度  $p$  との関係を図3に示す。ガス濃度として、塩素の分在  $p$  [atm] を採った。先の  $N$  vs.  $Re$  2 関係図 (図2) で、 $Re = 2 \times 10^5$  で垂線をたてると、 $N = C_1 Re$  の直線群と垂線との交点に対応する  $N$ 、および  $p$  をそれぞれ、たて軸、よこ軸にプロットすれば  $N$  vs.  $p$  の関係、図4が得られる。

この図から  $N = C_2 p^{0.77}$  ( $C_2$ : 定数)  $\dots\dots(2)$  の関係式を得る。

(1), (2)式から  $N = C \cdot p^{0.77} Re$  ( $C$ : 定数)  $\dots\dots(3)$  の関係を知る。図5に  $N$  vs.  $[p^{0.77} Re]$  の関係を示す。

[4] 希薄ガスの場合について。

水銀法電解工場の淡塩水中には、普通0.3~0.5g/lのFree Chlorineを含んでいるが、当工場では、これを真空法、および空気吸込法併用で脱塩素している。そのうち後者の空気吸込法による脱塩素工程よりの廃ガス中には  $Cl_2$  約1%を含み、総ガス量として

300m<sup>3</sup>/hr であるが、この廃ガスもサラシ液吸収塔に送っている。図5に  $N$  vs.  $[p^{0.77} Re]$  の関係を示す。この場合には、ガス中の塩素が完全には捕集されないために、塔上部からの廃ガスは、若干、塩素の臭気がある。このことは総ガス量が非常に多く、したがって、吸収塔内でのガス速度が大きい。すなわち、石灰乳との接触時間が少いため、じゅうぶん吸収されないものと推論できる。

[5] 吸収能力の推定。

以上は、実際の製造を行っている装置よりの測定データを用いて解析したもので、操業の不均一性などからくる測定の困難さがあり、吸収能力の算出にあたってもある程度は推定値を用いる結果になった。現在の吸収塔の吸収能力は、 $Cl_2$  50%以上のガスで、塩素量300[kg/hr] までと推定した。吸収能力は吸収速度に直接関係があると考えられる。したがって図4で示したように、吸収能力と送入ガス濃度  $p$  [atm] との関係を次のように考えた。

$$\begin{aligned} \text{吸収能力 (塩素量 kg/hr)} \\ A &= 300(p/p_{0.5})^{0.77} \\ p_{0.5} &= 0.5[\text{atm}] \\ \therefore A &= 511p^{0.77} \dots\dots(4) \end{aligned}$$

もっとも、図3の関係  $N = C_2 p^{0.77}$  は  $Re$  を一定としたときの関係であり、今(4)式を用いて、能力を算出したとき、それぞれのガス濃度の場合で  $Re$  は変わってくる。しかしガス組成が  $Cl_2$  10~50vol%の範囲では  $Re$  の

変動が10%以下であるから、Re の変動を考慮しなくともよいと思う。また Cl<sub>2</sub> 10vol%以下のガスの場合、および簡単な推定のためには

$$A = 511p \dots\dots(5)$$

を用いればよく、より安全な範囲の能力が推定できる。

(5)式を希薄ガスの場合に適用してみると。

$$A = (511)(0.01) = 5.11\text{kg/hr}$$

総ガス量にすると、(5.11)/(71)×(24.6)/(0.01)=177m<sup>3</sup>/hr. (30°C)

現在の運転状態である 300m<sup>3</sup>/hr. は過負荷であることがわかる。

#### 4. 冷却能力について

サラン液生成熱の放散について考えると、次の通りである。

- (1) 液温を上昇さす熱量…………… Q<sub>1</sub> [kcal/hr.]
- (2) 冷却水に持去られる熱量 Q<sub>2</sub> [kcal/hr.]
- (2) 大気中への放散熱量 Q<sub>3</sub> [kcal/hr.]

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots(6)$$

$$Q_1 = \frac{c \cdot (t_2 - T_1) \cdot v \cdot \rho}{T} \dots\dots(7)$$

ここで C : サラン液平均比熱 = 0.947[kcal/kg·°C]

t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>, サラン液上昇温度差 [°C]

ρ : サラン液平均密度 [kg/m<sup>3</sup>]

V : 1 回分の反応液量 [m<sup>3</sup>]

T : 反応時間 [hr]

$$Q_2 = U \cdot A \cdot \Delta t = c'w(t_4 - t_3) \dots\dots(8)$$

ここで U : 管外基準総括伝熱係数[kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C]

A : 冷却管表面積 [m<sup>2</sup>]

Δt : サラン液と冷却水出入口温度との平均温度差 [°C]

c' : 冷却水比熱

w : 冷却水流量 [kg/hr]

t<sub>4</sub> - t<sub>3</sub> : 冷却水出入口温度差 [°C]

$$Q_3 = Q_c + Q_r \dots\dots(9)$$

ここで Q<sub>c</sub> : 自然対流による放熱 [kcal/hr.]

Q<sub>r</sub> : 輻射による放熱

外気温を20°C, サラン液温度を22~35°C と考えたときのQ<sub>3</sub>は約2,000 kcal/hr. である。

##### [1] 冷却水量と総括伝熱係数

(8) 式の w, t<sub>2</sub>, t<sub>1</sub> およびサラン液冷却槽出入口温度を測定して、Q<sub>2</sub>, および Δt を求め、U を算出した。冷却水量 M と総括伝熱係数 U の関係は図6に示す。図6の点は近似的に次の式で代表される。

$$U \approx 116M^{0.596} \dots\dots(10)$$

また、U の構成は次の通りである。

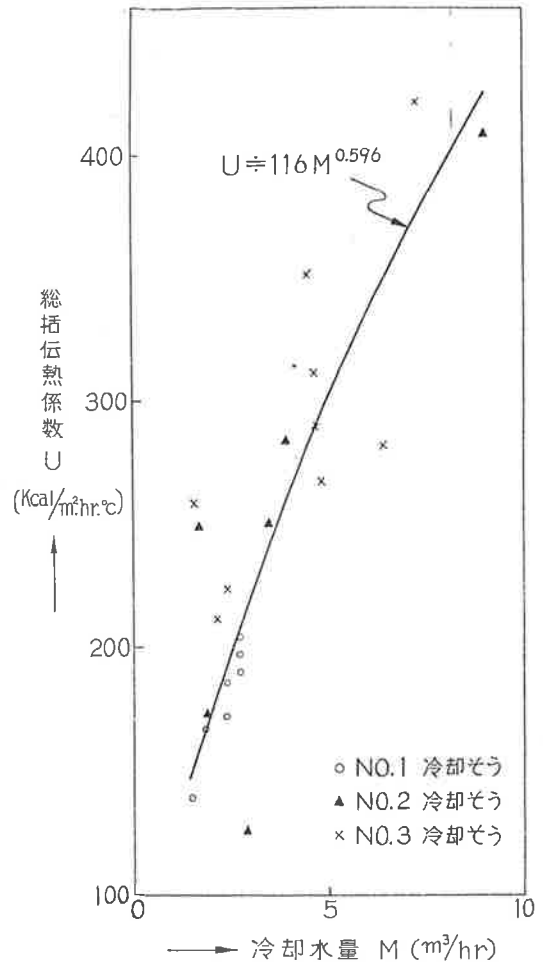


図 6 冷却水量と総括伝熱係数の関係

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_0} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{R} \dots\dots(11)$$

ここで U : 外径基準総括伝熱係数[kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C]

h<sub>0</sub> : 管外境膜伝熱係数 [kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C]

L : 管壁の厚さ [m]

λ : 管の熱伝導率 [kcal/m·hr·°C]

h<sub>i</sub> : 管内境膜伝熱係数 [kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C]

R : 全汚水係数 [kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C]

(a) h<sub>0</sub> は日本軽金属のデータより

$$h_0 \approx 870\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{°C}$$

(b) h<sub>i</sub>

$$\text{直管の場合 } h_i' = (3210 + 43t)u_s^{0.8}/D^{0.2}$$

u<sub>s</sub> : 冷却水流速 [m/sec]

D : 管外径 [m]

t : 冷却水平均温度 [°C]

蛇管で管外基準の場合

$$h_i = h_i' \times 1.2 \times (\text{外径})/(\text{内径})$$

$$= 4200u_s^{0.8}$$

$$= 4000 \sim 5000 [\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{°C}]$$

(c) R.

(11) 式より求めると,  $R=600\sim 800$

$$[\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}]$$

であり, 冷却管が新しいとこれより大きい値をとる。

〔2〕冷却熱量比率について

冷却熱量比率  $Q_1/\Sigma Q$ ,  $Q_2/\Sigma Q$  および  $Q_3/\Sigma Q$  は気温ならびに冷却水温度に左右される。年間の各月について冷却熱量比率を求め図7に示す。

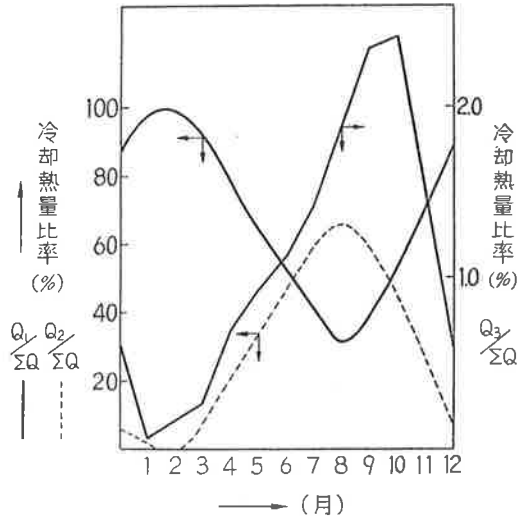


図 7 各月の冷却熱量比率

〔3〕考察

(a) 冷却水量と総括伝熱係数

総括伝熱係数は冷却水流量の約0.6乗に比例する。冷却水量を  $10\text{m}^3/\text{hr}$  と考えると, 総括伝熱係数は係  $450 \text{ kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$  である。

(b) 総括伝熱係数の構成

管外境膜伝熱係数(サラン液側)は日本軽金属の測定によれば,  $870\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$  である。

管内境膜伝熱係数(冷却水側)は通常  $4,000\sim 5,000 \text{ kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$  であり, 管外境膜伝熱係数に比べて非常に大きい。

全汚水係数は冷却管設置直後は  $1,000\sim 1,5000$

$\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$  であり, 経時的に小さくなり, 2~3ヶ月後には  $600\sim 800 \text{ kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$  となるものと考えられる。

したがって, これら3つの伝熱係数は次の順序に並べられる。

管内境膜伝熱係数  $\geq$  管外境膜伝熱係数  $\geq$  全汚水係数  
(c) 冷却熱量比率

冬期においては, 液温上昇熱量が冷却熱量の90%以上を占める。

また, 夏期には冷却水による冷却熱量が液温上昇熱量より大きくなり約60%を占める。

1年間を通じて大気放散熱量はたかだか3%以下である。

## 5. むすび

以上の結果から, 吸収能力に関しては, 処理ガス組成が50%以上の場合には, 吸収能力が  $300\text{kg}/\text{hr}$ . (塩素量) が最高である。また, 吸収能力とガス組成の関係について次式をえた。

$$A \approx 511p^{0.77}$$

現在のサラン液吸収塔は低濃度の塩素ガスを多量に処理しなくてはならない。したがって吸収塔の能力はわずかに不足している。

また, 冷却そうについて検討した以上の結果から, 各月の冷却能力からみたサラン液の生産能力を算出することができる。

本調査に際して, 終始御指導頂いた原田謹次氏, ならびに, 協力して頂いた, 手島克己, 木輪丁一両氏に厚く感謝する。

## 参考文献

- 1) 中西, 安岡, 村井; 「ソーダと塩素」 3, 93 (1957).
- 2) 分科会報告書; 「合成塩酸」 昭33, 6.
- 3) 中村; 「塩素および塩素漂白剤」.
- 4) 化学機械協会; 「化学工学便覧」 1956.