

日立コントロール装置

(遠心薄膜蒸発器)

Hitachi Kontro Processor

渥美秀夫* 堀口徳夫*
Hideo Atsumi Norio Horiguchi

内容梗概

本装置はアメリカの KONTRO 社との技術提携による装置である。この装置は横形コーン状の伝熱面を持ち、内部にこれとわずかなクリアランスを持つようにセットされた回転翼を内蔵し、液を薄い膜状にして蒸発能力を上げることを特長とした蒸発器で、今回 0.1 m² の伝熱面積を持つ実験機を試作したので、その原理、構造、仕様、水による性能試験結果などについて記述する。またいろいろな原料による実験も行なってきたので、その実験結果の一部をここに併記する。

1. 緒言

今からおよそ 18 年くらい前より、熱感受性の高い物質や、粘度の高い物質でも処理できる蒸発器が要求されていたが、この要求に対して、まず考案されたのが落下式薄膜蒸発器であった。

しかし、この蒸発器は低粘度物質に対しては十分処理できたが、高粘度物質に対しては伝熱面に薄膜が均一にできず、蒸発能力も下がり、また均一な製品を出すことができなかった。

そこで高粘度物質に対しても十分処理できる装置として考案されたのが遠心薄膜蒸発器で、最近、化学工業、医薬品工業、食品工業などの蒸発、蒸留、反応、濃縮などのプロセスで注目されてきた。

この装置に関する研究は 1953 年 Haushild によって最初に発表され、その後、この種の論文がたくさん発表されている。

最近、実用機として立形円筒式、横形テーパ式、各種形状のスクレーパ式など、いろいろな形式のものが市場に出ているが、外国ではスイスの LUWA 社とドイツの SAMESREUTHER 社が立形円筒式薄膜蒸発器を作っており、またアメリカの KONTRO 社が横形テーパ式薄膜蒸発器を作っているが、特に LUWA 社の製品は国内にもかなりはっている。

日立コントロール装置はテーパ式薄膜蒸発器であって薄膜蒸発器の中

でも特にすぐれた特長を持っていることが種々の実験で実証されている。

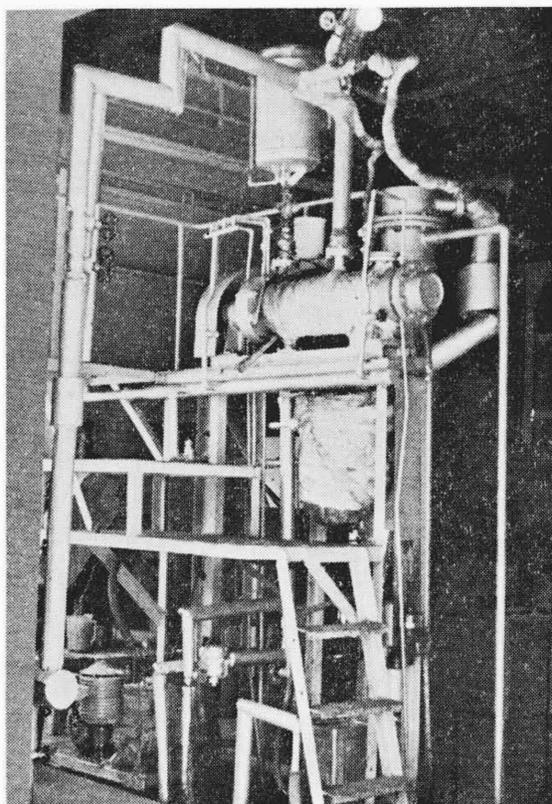
実験に使用した蒸発器は伝熱面積 0.1 m²、伝熱面と回転翼とのクリアランス 1 mm の横形テーパ式薄膜蒸発器であって、ここに原理、構造、仕様、水による性能試験結果について述べる。

第 1 図に本装置の外観を、第 2 図に蒸発器の構造図を示す。

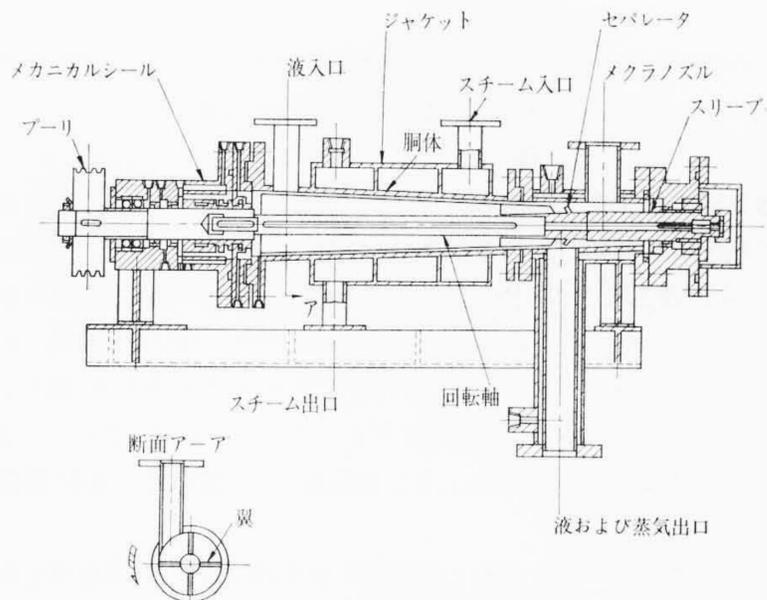
2. 日立コントロール装置の構造および特長

2.1 原理

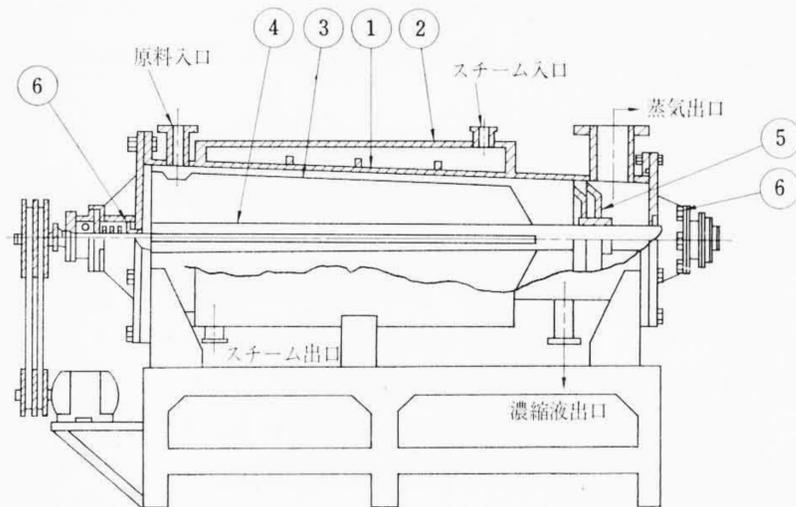
従来使用されている蒸発装置にはいろいろな形式のものがあるが、日立コントロール装置は第 3 図に示すように伝熱面と回転翼との間



第 1 図 日立コントロール装置実験機

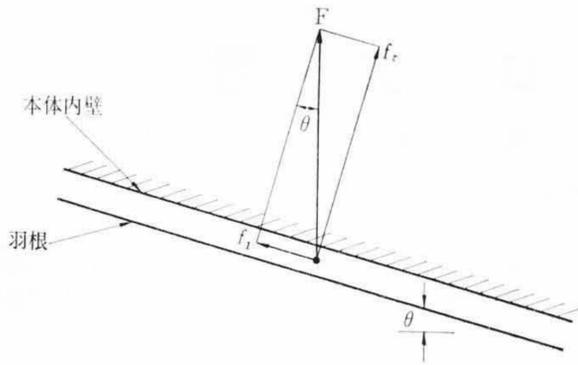


第 2 図 実験用日立コントロール装置構造図



第 3 図 日立コントロール装置組立図

* 日立製作所笠戸工場



第4図 遠心力による背圧力

をわずかなクリアランスを保って高速に回転するために、遠心力により原料は伝熱面に薄い膜を作ると同時にはげしくかきまぜられるために管内境界膜係数が大きい。

液は薄膜となって伝熱面を流れるため、缶内に滞留する液量は少ない。液の滞留時間Tは次式で表わされ、他の蒸発器に比べて非常に短い。

$$T = \frac{A \cdot S}{V} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで T: 滞留時間
- V: 供給量
- A: 伝熱面積
- S: 平均膜厚さ

伝熱面はコーンになっているため回転翼の回転による遠心力の分力f1は第4図のように作用する。

$$f_1 = F \sin \theta \dots\dots\dots (2)$$

- ここで f: 背圧力
- F: 遠心力
- θ: 伝熱面の傾斜角

この背圧力により液は常に供給口側に押されているために液の膜切れが起こらないと同時に滞留時間の調節を可能にする。

2.2 構造

第3図に示すように横形コーン状の胴体①にジャケット②をつけて熱媒にて加熱し、この胴体①の内部には羽根③のついた回転軸④を内蔵しており胴体①の内面と羽根③との間にわずかなクリアランスをもうけている。濃縮物出口とペーパー出口との間に回転式ミストセパレータ⑤を取り付けてあってミストを分離するようにしてある。胴体①の両端はメカニカルシール⑥でシールされていて耐真空用としてある。また回転軸④は簡単に左右に移動できる構造である。

本実験装置はシール部分と回転軸の移動機構が一般構造のものとは多少異なっており、ミスト分離機構は缶内径が小さいため回転式ミストセパレータの作動が悪いので別途セパレータタンクがつけてある。しかし蒸発器の機構は一般構造のものとまったく同じである。実験機の回転数は1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000 rpmの5段階に変速できる。

2.3 特長

日立コントロール装置は下記のような特長をもっている。

- (1) 他の蒸発器に比べて蒸発能力が大きい。
液を薄い膜にすると同時にかきまぜ効果が大きいので管内境界膜係数が大きい。特に高粘度液に対して効果が大きい。
- (2) 処理液の滞留時間が調節できる
供給量を少なくしても液膜は安定している。また羽根のクリアランスの調節ができるので滞留時間が調節できる。
- (3) ドライスポットができない
背圧力およびかきまぜ作用によって液膜は安定しており、膜切れによる局部過熱は起らず製品を劣化させない。

(4) 濃縮比に制限がない

背圧力が作用するため、供給量の増減により液膜が影響されることはなく安定しているために1パスの処理で大きな濃縮比が得られる。

(5) 液膜の厚さを変えることができる

回転翼を左右に移動することによって、胴体内壁と羽根とのクリアランスが調節できる。それにより液膜を調節し処理量およびかきまぜ効果にマッチした液膜厚さにすることができる。

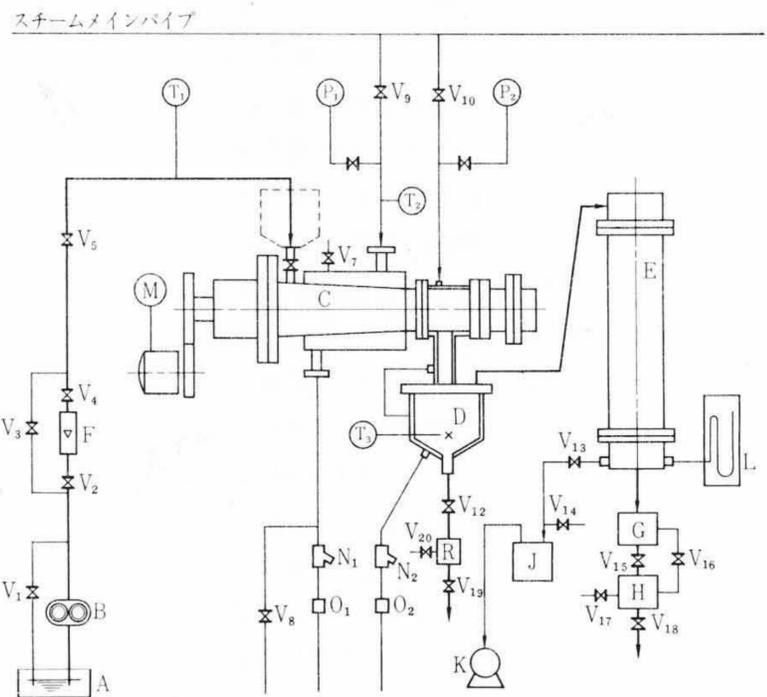
(6) 広範囲の粘度のものの処理ができる

液は薄い膜になると同時に強制的にはげしくかきまぜられるから粘度が高くなってもスケールが付きにくく伝熱係数もあまり影響されない。一般に50,000 cp程度までは処理可能である。

3. 仕様

3.1 実験装置の仕様

試作した実験装置は蒸発器、コンデンサ、フィードタンク、ミス



- A: フィードタンク
- B: ギャーポンプ
- C: 蒸発器
- D: ミストセパレータ
- E: コンデンサ
- F: フローメータ
- G: 蒸発水第一レシーバータンク
- H: 蒸発水第二レシーバータンク
- J: トランポンプ
- K: 真空ポンプ
- L: 真空計
- M: モーター
- N1-2: ストレーナ
- O1-2: スチームトラップ
- P1-2: 圧力計
- R: 濃縮物レシーバータンク
- T1-3: 温度計
- V1-20: ストップバルブ

第5図 実験装置のフローシート

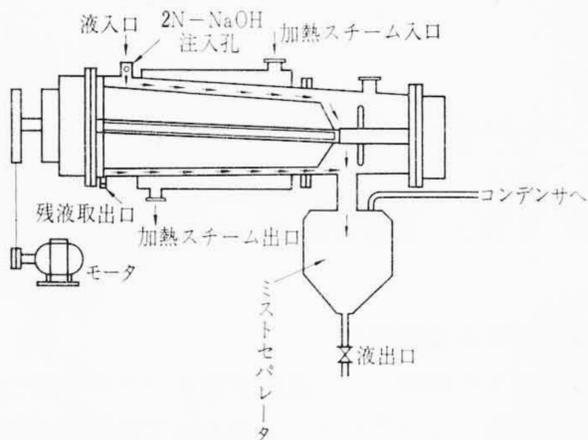
第1表 実験装置の仕様

蒸発器	0.1 m ²
伝熱面積	5 mmHg abs
缶内最高真空度	7 kg/cm ² G
ジャケット最高圧力	300°C
最高使用温度	1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000 rpm
ロータ回転数	0.5~1.2 mm
胴体と羽根のクリアランス	2°
胴体のこう配	TFO-KK 22 kW, 220 V, 4P60~
モーター	1,194 mm
本体の全長寸法	290 mm
本体の幅寸法	108 mm
胴体内径(液入口側)	SS41
材質	1 m ²
コンデンサ	立形固定管板式凝縮器
伝熱面積	ペーパー冷却水
形式	SS41
流体 { 胴体	油回転式真空ポンプ
側体	150 l/min
材質	10 ⁻⁴ mm Hg abs
真空ポンプ	
形式	
容量	
到達真空度	

第2表 日立コントロ装置の標準仕様

No.	実験機	1	2	3	4	5	6	7	8	9
蒸発能力 kg/h	30	140	270	480	640	760	900	1,040	1,150	1,270
伝熱面積 m ²	0.1	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
最大ジャケット圧力 kg/cm ² G	5 10									
モータ馬力	1	3	5	7.5	10	10	15	15	20	20
低粘度物質の場合	3	7.5	10	15	20	20	30	30	40	40
高粘度物質の場合										

(注) (1) 蒸発能力とは最大ジャケット圧力 5 kg/cm²G の標準形でスチーム圧力 5 kg/cm²G 缶内圧 100 mm Hg abs の場合の水の蒸発量を表わす。
 (2) 最大ジャケット圧力は表に示すように2通りある。



第6図 滞留時間測定説明図

トセパレータタンク, 真空ポンプなどからなっている。第5図は実験装置のフローシートを示したものである。ここで点線で示すホッパは依頼実験の場合に使用したものである。第1表は実験装置の仕様である。

3.2 本装置の標準仕様

第2表は日立コントロ装置の標準仕様である。

4. 実験結果および考察

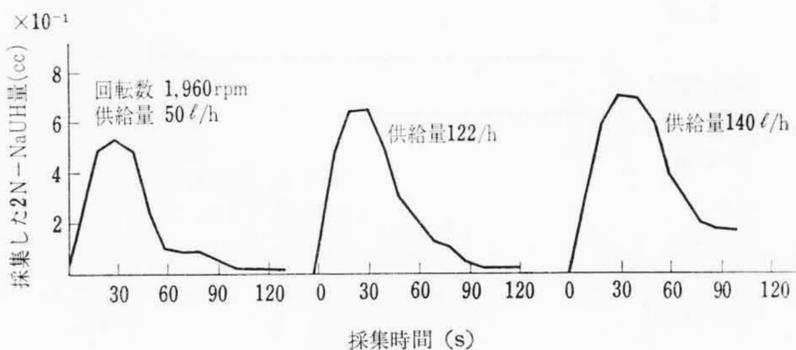
日立コントロ装置の性能を確かめる第1段階として, 水による実験を行ない, 滞留時間, 膜厚さおよび総括伝熱係数を求めたのでその結果を述べる。

4.1 滞留時間

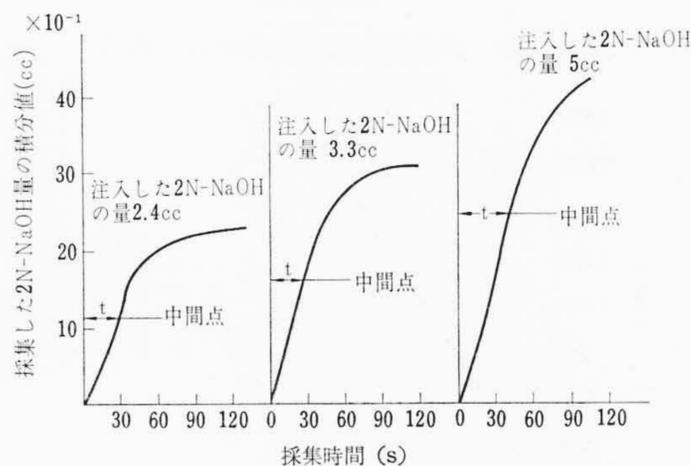
蒸発器内の流体は第6図の矢印で示す方向に移動する。すなわち液入口から供給されて回転翼によって加熱面に押しつけられて薄い膜状となる。いま水を一定の供給量で流している時, 注入孔より NaOH 水溶液を瞬間的に入れ, ミストセパレータを通じて出て来る NaOH の濃度を HNO₃ 水溶液で滴定すれば時間的に変化した濃度分布を得ることができる。いま回転数を 1,960 rpm にして, 一定の供給量で流しておいて注入孔より 2N-NaOH 水溶液を注入し, それから 10 秒間隔でミストセパレータから出てくる NaOH 水溶液を採集し, その時間を横軸に, また採集した液を 0.01 N-HNO₃ で滴定した NaOH の濃度を縦軸に取り図示すると第7図に示すように時間的に変化した NaOH の濃度分布を得ることができる。第7図の積分値を示したのが第8図で, ミストセパレータより流れ出た水に含まれる NaOH の量が注入した NaOH の量と等しくなれば, 供給量が 50 kg/h の実験例のように積分値の中間点 A を平均滞留時間として求めることができる。

以上のようにして平均滞留時間を求め, 供給量との関係を図示すると第9図のようになる。

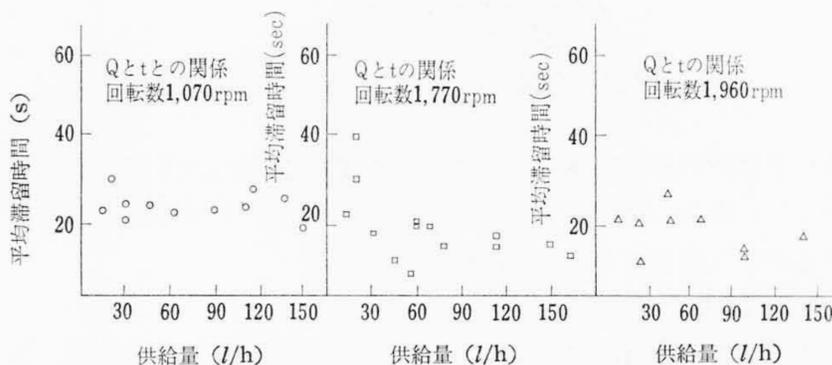
供給量の少ない範囲において, 測定した平均滞留時間の結果にバラツキがあり, また実験点が少ないために平均滞留時間がどのようになっているか明確でないが, 1,770 rpm の回転数で実験した結果を見ると供給量が少ない場合には明らかに平均滞留時間が長くなっ



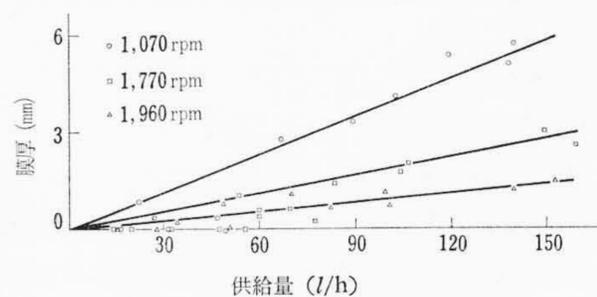
第7図 NaOH の濃度変化



第8図 採集した NaOH の積分値



第9図 供給量と平均滞留時間の関係



第10図 供給量と膜厚の関係

ている。

4.2 膜厚さの測定結果

いま供給した水の量を Q_h , 回転翼によって形成されるコーン状の表面積を S とすれば膜厚さ h は

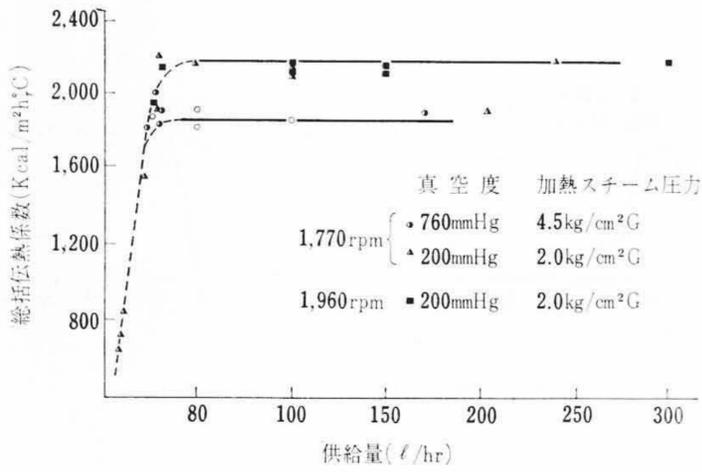
$$h = \frac{tQ}{S} \dots\dots\dots (3)$$

ここで t : 平均滞留時間

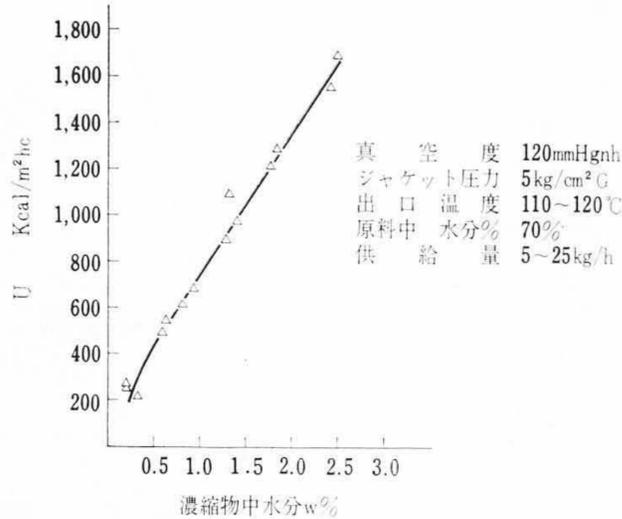
(3)式の tQ は水が伝熱壁と回転翼の間げきのみにあると仮定した値であって, 実際には第6図に示す供給入口側の斜線部分にも水が存在していると考えられる。この斜線部分の体積を V' とすれば (4)式のようになる。

$$h = \frac{tQ - V'}{S} \dots\dots\dots (4)$$

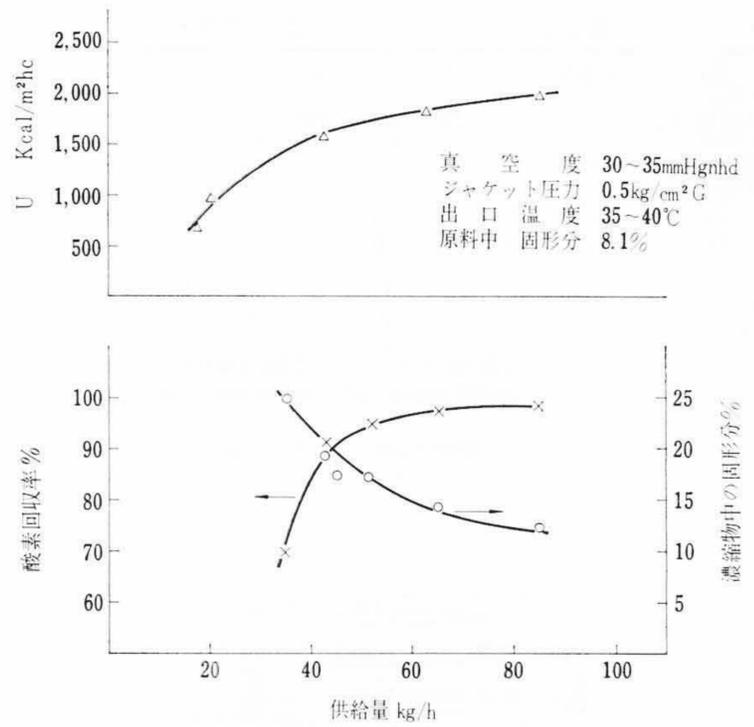
(4)式を使用して膜厚さを計算した結果を示すと第10図になり, 回転数が低くなるに従って膜厚が厚くなっていることがわかる。これは回転数が大きくなると遠心力により膜を薄くしたものと考え



第 11 図 供給量と総括伝熱係数の関係



第 12 図 金属石けん水液の濃縮実験データ



第 13 図 酵素水溶液の濃縮実験データ

る。また供給量の増加により膜厚さは直線的に増している。供給量が少ない場合に膜厚さが零になっているのは、 V' の値が計算値よりも小さな値であると考えられる。

4.3 総括伝熱係数

本蒸発器の蒸発能力を知るために、供給量、回転数、真空度、加熱温度を変化して水による蒸発実験を行ない、総括伝熱係数を求めた。総括伝熱係数は(5)式を用いて求めることができる。

$$U = \frac{q}{A \times \Delta t} \dots\dots\dots (5)$$

- ここで U: 総括伝熱係数
- A: 伝熱面積
- Δt : 液温度とジャケット温度の対数平均温度差

第 11 図は蒸発域における供給量と総括伝熱係数の関係を示したもので、真空度、加熱温度が一定の場合には総括伝熱係数は供給量に関係なくほとんど一定であることを示している。

供給量が少ない範囲で総括伝熱係数が下がっているのはこの範囲では水が伝熱面の途中で完全に蒸発したため、見かけ上の総括伝熱係数が下がったのである。

第 11 図 から総括伝熱係数はほぼ 1,800~2,200 kcal/m²h°C の範囲にあるといえる。

4.4 各種原料による実験例

第 12~13 図は本実験機による濃縮実験データの一部である。

第 12 図は金属石けんの濃縮データであって濃縮物の水分 % と総括伝熱係数の関係を示したものである。原料の粘度は 10 poise (at 50°C) であるが濃縮物中の水分が 2 % 程度になると 100 poise (at 100°C) になり粘度が急激に上昇してくる。そのため総括伝熱係数は水分 % にかなり影響してくるものと思われる。また濃縮物水分 % が 2~3 % 以下になると総括伝熱係数は水分 % にほぼ比例して小さくなっていることがわかる。

所要の濃縮物水分 % は 2 % であるが、このときの総括伝熱係数は 1,400 kcal/m²h°C で他の蒸発器に比べてかなり大きな値を示している。

第 13 図は酵素水溶液の濃縮データであって供給量と総括伝熱係数および酵素回収率と濃縮物中の固形分 % の関係を示したものである。

酵素は 40°C 以上では分解するため、真空度を 40~50 mm Hg 以下に下げ、出口温度が 40°C 以下になるように運転条件を設定した。その結果供給量が 50 kg/h 以上であれば所要の 95% 以上の酵素回収率が得られることがわかった。

5. 結 言

水による性能試験および各種原料による濃縮実験を行なった結果、予期した性能が出るということがわかった。特に熱に対して弱い物質の処理や粘度の高い物質の処理にはすぐれた性能を示した。

今後、処理液の粘度に対する消費動力、総括伝熱係数、ミスト分離機構の解明、さらには向流方式の開発、蒸留試験などについても研究を進めていく所存である。