

# グラスライニング製ワイプレンの紹介

## Introduction of Glass-Lined WIPRENE



(化)技術部 設計第2課  
三木 洋 二  
Yoji Miki

The Wiped Film Evaporator (WIPRENE) have met with great acceptance in the food, pharmaceutical and petrochemical industries and in other various chemical industries where heat-sensitive substances and high boiling point solutions are handled.

Glass-lined WIPRENE is capable of treating high corrosives, incongruous with metal ions and highly adhesive substances, which have been difficult to treat.

This paper describes some applications of glass-lined WIPRENE.

### まえがき

薄膜蒸留装置ワイブレンは、熱に敏感な物質や沸点の高い物質の精製、濃縮、脱色、脱ガスなどの操作を必要とする食品工業、医薬品工業、石油化学工業をはじめあらゆる化学工業に使用されている。

ワイブレンは高真空操作、高粘度液処理など適用範囲の広い蒸発装置であるが、30年近い納入実績過程でより高真空、高粘度、高融点物質の液処理、あるいは耐食的に標準材質ステンレス鋼では困難な腐食性液の処理など特殊用途に対して、逐次開発改良を加え需要家のご要望に応じてきた。

ここでは、耐食用途向けとしてのグラスライニング製ワイブレンの構造、特長および適用例について述べる。

### 1. グラスライニング製ワイブレンの構造

当社は従来より高腐食性液を対象とする Hastelloy、チタンあるいは純ニッケルなどの材料によるワイブレンを製作しているが、さらに1972年以来、蒸発器本体のみグラスライニング製とし、金属製のロータを組み合わせた構造のワイブレンの製造を開始し、耐食性に加え、嫌金属イオンおよび高付着性物質の処理を可能とした。

しかし、ロータ金属部の高耐食性あるいは価格低減などのために、ロータを含む接液、接ガス部全てにわたる non-metallic 化の要望が強くなり、このため金属露出部のないグラスライニング製薄膜蒸留装置ワイブレンを開発した。これによって、従来グラスライニング製反応槽を用いてバッチ式で行われていた腐食性物質の蒸発操作を初めて連続化することが可能になった。

第1図に本装置の構造を示す。

変速式あるいは一定回転数の伝動装置(A)がカップリング(B)およびメカニカルシール(C)を介して本体内部グラスライニング製ロータ(D)を回転させる。

ロータは、PTFE製分配盤(F)、分配管(G)およびグラスライニング製支持棒で保持されたワイバ(I)で構成され、これらが一体となって回転する。蒸発した物質はベーパー口(O)より排出される。

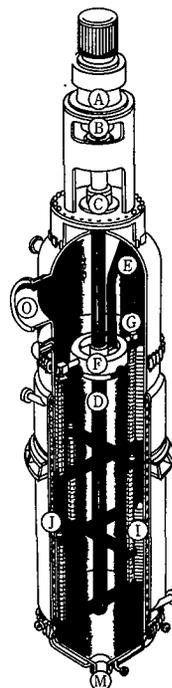
残留液は、連続的に流下して残留液出口(M)から排出される。

### 2. ワイパー機構

グラスライニング製ワイブレンの特長はワイパー機構にあるが、第2図に示すように本装置のロータ構造は、第3図に示す金属製ワイブレンと類似の基本構造である。

カーボン入りPTFEまたは純PTFEを標準とするワイパーは、グラスライニング製支持棒に保持され、ロータの回転によって遠心力で押しつけられ、加熱壁面すなわち蒸発面を摺動する。したがってワイパーは液分配盤から出た処理液を蒸発面に押しひろげると共に、極度に薄く均一な液膜を形成し、さらに液表面を常に更新する働きを行う。

このことはこの種の他の装置に見られない特長であって他の装置が熱膨張を考慮して、回転翼と壁面との間にある



- (A) Drive
- (B) Coupling
- (C) Mechanical seal
- (D) Shaft
- (E) Feed inlet
- (F) Distributor disc
- (G) Distribution pipe
- (I) Wiper
- (J) Jacket
- (M) Residue outlet
- (O) Vapor outlet

第1図 グラスライニング製ワイブレン

Fig. 1 Schematics of glass-lined WIPRENE

程度の間隙をおいているのと明らかに違っている。隙間をおいた回転翼では、その隙間によって液膜の厚みが決まり、その上均一な厚さの液膜を得るためには、装置の内面は非常に精密な機械仕上を必要とするが、本装置のワイパ機構による場合は、熱膨張や内面の仕上程度に関係なく壁面全体をぬぐいながら回転する。

以上のようなワイパの作用は、処理液が焦げ付きを起こすことを防ぎ、蒸発面全体を均一な厚みの液層で濡らし薄膜表面を更新する。その結果非常に大きな境膜伝熱係数が得られ、一般にロータの回転数は、低速でその目的を達することができる。

### 3. グラスライニング

グラスライニングは、無機質のガラスを鋼板の表面に焼成加工し、化学的、物理的に結合させ、鋼板の強じんさとガラスの耐食性をかね備えたものであって、化学工業用耐食性機器として欠くべからざるものとなっている。

#### 3.1 グラスライニングのおもな特長

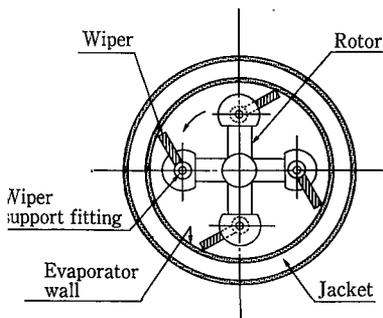
- (1) 化学的腐食に対してきわめて強い耐食性を有し、弗酸を除く全ての酸に対して沸騰点までの全濃度に耐え、その濃度、温度は溶液によって異なるが一般的には175°Cまで、また100°Cにおいては pH12のアルカリ溶液に耐える。
- (2) グラス面は非常になめらかで、内容物が付着しにくく清掃がきわめて容易に行える。
- (3) グラスは化学的に安定材料であるので、内容物の品質に影響をおよぼすことなく、また金属イオンによる汚染などもきわめて少ない。
- (4) ガラス器具による実験室試験と同じ状態で工業的に蒸留操作が行える。

#### 3.2 グラスライニング製本体胴およびロータ

##### 1) 本体胴

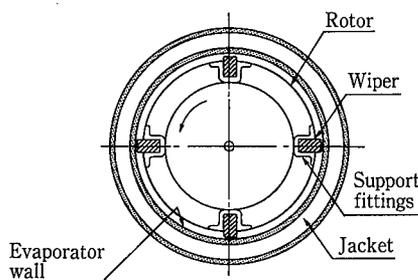
ワイパが摺動する加熱蒸発面の本体胴は、伝熱性能を高め、また高真空下で操作するために、製作上次の条件が必要である。

- (1) グラスライニング後の内径真円度およびフランジ面の真直度と平行度を高精度に仕上げる。  
ロータ構造と共に、ワイパによる薄膜形成機構上、また缶体内高真空を維持するシール性能上これらの精度を良くする必要がある。

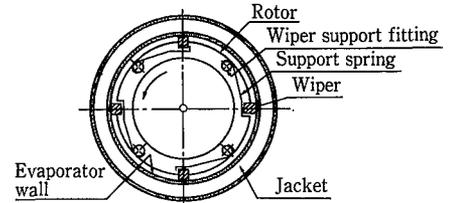


Positive wiper contact is assured by centrifugal force provided by rotor

第2図 グラスライニング製ロータ断面図  
Fig. 2 Section of glass-lined rotor



(a) Section of type A wiper holder



(b) Section of type B wiper holder

第3図 金属製ロータ断面図  
Fig. 3 Section of metallic rotor

- (2) グラス厚みを薄く均一にし、ガラス面はノーピンホールで仕上げる。

ガラスの熱伝導度が小さいため、ガラス層の厚みは極力薄くしてグラスライニングの伝熱抵抗を小さくすることが必要である。

##### 2) ロータ

ワイパ機構に付属するロータは、特にそのバランスのとれていることが必要であり、そのためにはシャフトおよびワイパ取り付け部を高精度に製作することが必要である。

### 3.3 グラスライニングの熱伝導性

グラスライニングを熱交換器に使用する場合、さきに述べたようにガラス層の熱伝導度が金属と比較して小さいので注意する必要がある。グラスライニングの伝熱抵抗は、ガラスと鋼の密着性がよいのでガラスと鋼の各抵抗値の和となり、それ以外に付加される要素は全くない。

熱伝達の基本式は次に示される。

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$Q$  : 伝熱量 [kcal/h]  
 $U$  : 総括伝熱係数 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]  
 $A$  : 伝熱面積 [m<sup>2</sup>]  
 $\Delta T$  : 温度差 [deg.°C]

一般に蒸発装置の総括伝熱係数Uは次式で示される。

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{L}{K} + f$$

ここに、

- $h_i$  : 処理液側内面境膜伝熱係数 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]  
 $h_o$  : 加熱媒体側外面境膜伝熱係数 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]  
 $K$  : 加熱壁中の熱伝導率 [kcal/m・h・°C]  
 $L$  : 加熱壁の厚さ [m]  
 $f$  : 汚れ係数 [m<sup>2</sup>・h・°C/kcal]

すなわち、総括伝熱係数は処理液側、加熱媒体側、グラスライニング壁中、外面の汚れの諸伝熱係数から成るが、いずれが支配的であるかは処理液の物性および加熱源の種類によって異なってくる。

例えば、水のように低粘度物質で熱伝導度の大きいものの蒸発で、スチーム加熱の場合は、グラスライニング壁中

第 1 表 グラスライニングの全伝熱抵抗

Table 1 Thermal resistance of glass-lined steel

Thickness of glass layer mm	Thickness of steel mm	Thermal resistance of glass-lined steel hr °C/kcal
0.8 ~0.9	12	0.001 27~0.001 39
0.85~1.0	16	0.001 41~0.001 61
0.9 ~1.2	19	0.001 54~0.001 92

第 2 表 GL製 2 m<sup>3</sup> 反応缶蒸留運転データ

Table 2 Operating result of distillation with GL reactor

	STEP-1	STEP-2	STEP-3
Distillate volume ℓ	850	640	260
Total operating time hr	10	14	16
Jacket temp. (Heating medium) °C	110 (Steam)	55 (Hot water)	45 (Hot water)
Effective heating area m <sup>2</sup>	6.0	5.1	3.9
Overall heat transfer coef. kcal/m <sup>2</sup> ·hr·°C	39.5	99.3	62.5

の抵抗が支配的になるが、高粘性有機物質の場合には処理液側の内面境界膜伝熱係数が小さくなり、その抵抗が支配的なものとなる。

グラスライニングの伝熱抵抗はガラス層の抵抗によって大きく左右され、これをできるだけ小さくする必要がある。しかしながら耐食性その他の問題などから制限を受け、ワイブレンのガラス層は一般に0.8~1.2 mmの厚みとなる。通常装置形状が大きくなるにつれて、鋼板肉厚が増し、ガラス厚みも増す傾向にあるが、ガラスおよび鋼板(軟鋼)の熱伝導度をそれぞれ0.8 kcal/m·h·°C、45 kcal/m·h·°Cとしてグラスライニング全伝熱抵抗を求めてみると第1表のようになる。

また、グラスライニングの特性として注目すべきは、付着性物質の処理で蒸発面の着垢によるスケール抵抗が問題となるような場合、ガラス面の非付着性が大いに効果を発揮することであり、処理の開始時より終わりまで安定した高い総括伝熱係数が得られることである。

#### 4. 適用例

次に、ワイブレンの具体的な適用例について紹介する。

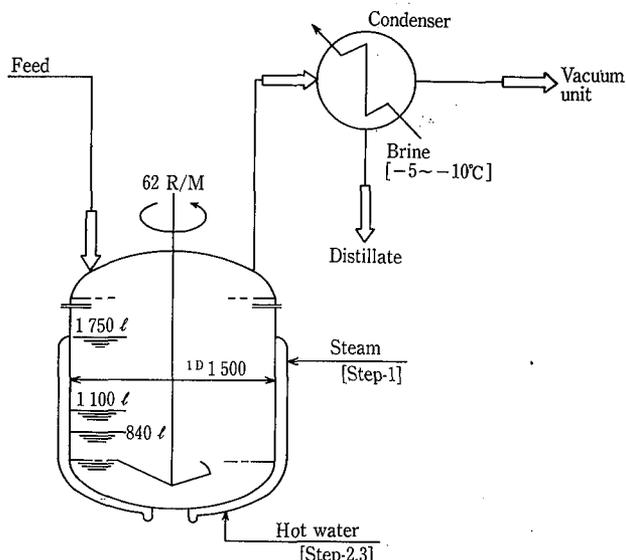
##### 4.1 バッチプロセスの連続化への適用

グラスライニング製 2 m<sup>3</sup> 反応缶を使用し、バッチ式で蒸発、濃縮していたプロセスをグラスライニング製ワイブレンを採用することにより連続処理が可能となった例を紹介する。

製品7%を含むメタノール水溶液を製品濃度約21%まで濃縮することが目的である。1バッチ当りの総液量は2600 ℓであり、これを最終的に840 ℓまで濃縮する。熱劣化防止のため製品温度は30 °C以下で操作する。

既設グラスライニング製 2 m<sup>3</sup> 反応缶を第4図、操作手順を第2表に示すが仕込量 1750 ℓのときの外套の有効伝熱面積は 6.0 m<sup>2</sup> である。

蒸発操作は次の3STEPにより約40時間かけて行われていた。



第 4 図 GL製 2 m<sup>3</sup> 反応缶蒸留システム図  
Fig. 4 System of distillation by glass-lined reactor

##### <STEP-1>

処理液を 2600 ℓ から 1750 ℓ まで連続的に供給しながら濃縮する。外套は 110 °C のスチームを使用し、このときの処理時間が10時間であった。

##### <STEP-2>

処理液を 1750 ℓ から 1100 ℓ まで濃縮する。有効伝熱面積は 6.0 m<sup>2</sup> から 4.3 m<sup>2</sup> まで減少し、平均の伝熱面積は 5.1 m<sup>2</sup> となる。外套は 55 °C 温水を使用し、処理時間は14時間であった。

##### <STEP-3>

処理液 1100 ℓ を最終の 840 ℓ まで濃縮する工程であり有効伝熱面積は 4.3 m<sup>2</sup> から 3.6 m<sup>2</sup> まで減少し、平均の伝熱面積は 3.9 m<sup>2</sup> となる。外套は 45 °C の温水を使用し、処理時間は16時間であった。

以上の通り、液面が低下し気液界面での製品の熱劣化を防止するために外套温度を低くする必要があり、処理時間が長くかかる。

本プロセスにグラスライニング製 36-75 型ワイブレンを適用させたフローを第5図、ワイブレン本体を写真1に示す。

ワイブレンの前にグラスライニング製フラッシュタンクを設け、ワイブレン内の液分配盤でのフラッシュ蒸発による原料液の飛沫同伴を防止した。

原料供給量は 450 ℓ/h、外套 50 °C 温水を使用し、処理時間は約 6 時間であり、このときの総括伝熱係数は 42 kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C であった。

ワイブレンを採用することにより、処理時間の短縮だけでなく、処理物質の平均滞留時間が短いため、製品の熱劣化を防止でき品質の安定したものが得られるようになった。

##### 4.2 塩酸酸性溶液の濃縮への適用

塩酸酸性で有機溶剤を含む物質の濃縮に使用した例を紹介する。

処理液は液温 40~45 °C で約 4 時間、50 °C では約 2 時

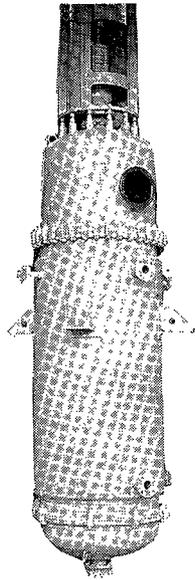
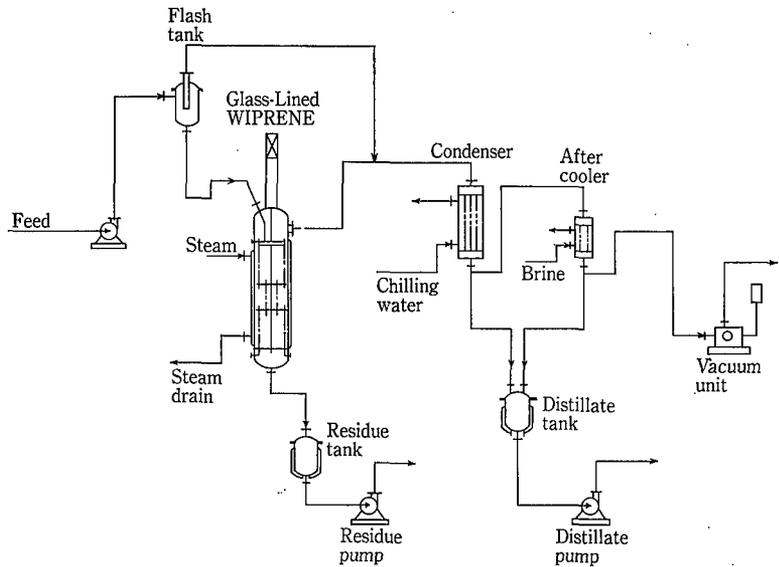


写真 1 GL製 36-75型 ワイプレ  
Photo. 1 Glass-lined WIPRENE 36-75



第5図 GL製ワイプレ連続式蒸留システム  
Fig. 5 Flow sheet for continuous distillation system by glass-lined WIPRENE

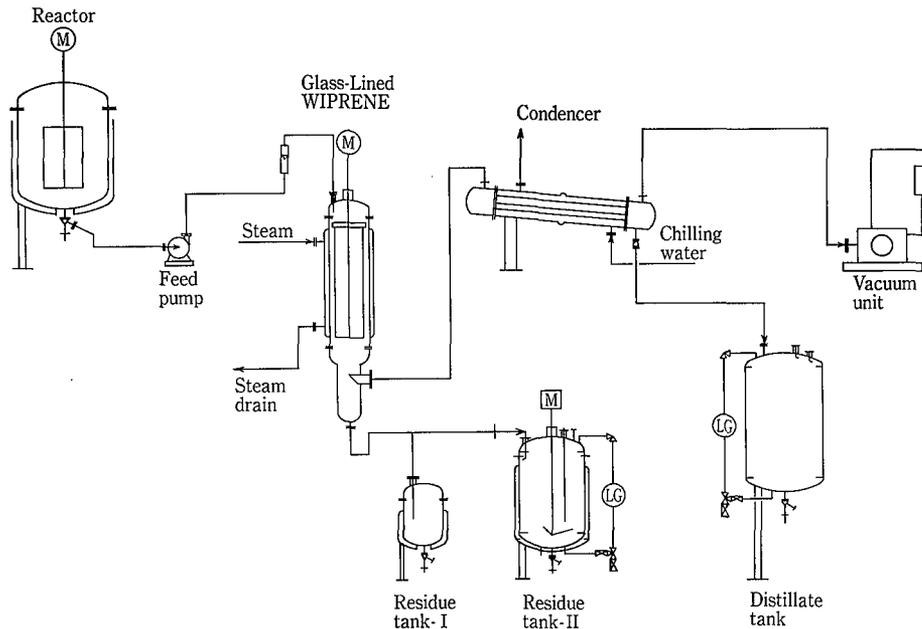
間で変質する。また、腐食性の液(塩酸性 pH1 以下)であるため、使用可能な耐食材料はグラスライニングあるいは、ハステロイ C-276 であるがグラスライニング製 24-30 型ワイプレが採用となった。

処理液の組成は製品 9%，MIBK 77%，高沸点溶剤 12%，水 2% であり、蒸発濃縮後、製品中の水分を 500 ppm 以下まで精製する。ガラス製 2-03 型ワイプレのテストにより最適操作条件の決定および製品の熱劣化の有無を確認した。本装置のフローシートを第 6 図に示すが、前の反応工程がバッチ操作のため、本装置も約 3 時間のバッチ運転になった。即ち、フローシートに示す通り製品タンクおよび留液タンクを設け、濃縮終了後、1 バッチ毎に液抜き

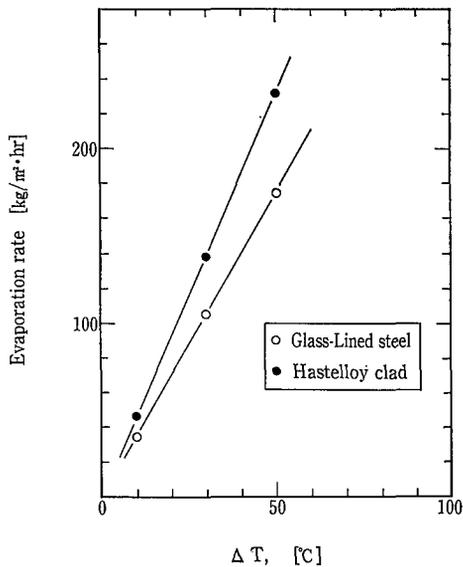
出しを行う。操作条件として、原料供給量 500 kg/h、操作真空度 30 Torr、外套温度 104 °C (0.2 kg/cm<sup>2</sup>G スチーム) とし、そのときの留出率が約 88% となり、製品中の水分 500 ppm 以下を達成した。

このときの総括伝熱係数は、300 kcal/m<sup>2</sup>・hr・°C であった。

本例においてはワイプレの操作がバッチ操作のため、スタートアップ時及びシャットダウン時の不定常状態のカットが必要である。また、製品中の水分を 500 ppm 以下まで下げる必要があることから、製品タンクにおいて水の再凝縮を防止するため、ワイプレと製品タンク間に U-シールを設けることが有効的であった。



第6図 GL製ワイプレ回分式蒸留システム  
Fig. 6 Flow sheet for batch distillation system by glass-lined WIPRENE



( $\Delta T = \text{JKT. TEMP.} - \text{EVAPORATED TEMP.}$ )

第7図 1 m<sup>2</sup> 当りの塩化メチレン蒸発量  
Fig. 7 Evaporation rate of methylene chloride per 1 m<sup>2</sup>

#### 4.3 嫌金属製処理物への適用

金属と接触すると変質し、かつ熱劣化しやすい医薬品の濃縮用としてグラスライニング製 36-50 型ワイブレンを納入した例を紹介する。

原料液組成は製品 5.5 wt% を含む塩化メチレン溶液であり製品濃度を 31.5 wt% まで濃縮する。このときの留出率は 82.5% となる。

製品の熱劣化防止のため残留液温度(製品温度)が 35 °C 以上にならないよう、操作真空度を 200 Torr とした。原料供給量 860 kg/h とし、外套は 70 °C 減圧スチームを使用した。このときの総括伝熱係数は 280 kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C であった。

本例に関して Hastelloy 製ワイブレンを適用させたと仮定した場合の蒸発量の比較を第7図に示す。Hastelloy 製ワイブレンの蒸発量についてはグラスライニング製ワイブレンと同じ内面の境膜伝熱係数を用い、本体胴材質の熱伝導度を考慮して算出したものである。また、このときの原料供給温度は各操作真空度における沸点とした。蒸発量としてはグラスライニング製の場合がステンレス製に比べて約 25% 少ない計算となった。すなわち、グラスライニング

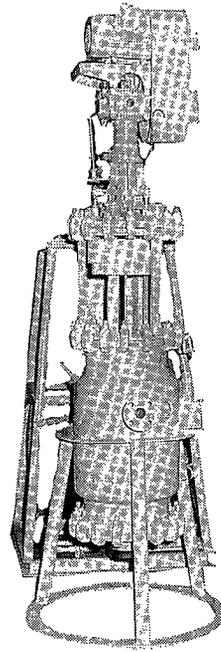


写真2  
GL製 12-4型 ワイブレン  
Photo. 2  
Glass-lined WIPRENE 12-4

製ワイブレンの必要伝熱面積が 5 m<sup>2</sup> の場合、 Hastelloy 製では 3.75 m<sup>2</sup> となるが、イニシャルコストを比較した場合、グラスライニング製の方が約 25% 安価である。Hastelloy あるいはチタンのような高級な耐食材料と比較した場合、グラスライニング製ワイブレンは大いに有効である。

#### むすび

以上、グラスライニング製ワイブレンの構造、特長および使用例について紹介した。現在ステンレスやチタン、Hastelloy 等の特殊鋼に比べて実績台数は少ないが、最近医薬品関係に徐々に増加している。ここでは紹介しなかったが伝熱面だけグラスライニング製の本体胴を使用し、本体胴内面への処理物質の付着を防止した例もある。

なお、薄膜蒸留装置導入の計画に際して処理液の各物性値および蒸発操作の条件が判れば形式選定は可能であるが、物性値等不明な場合が一般的である。

このような場合は当社技術研究所内に設けている 2-03 型ワイブレンテスト装置あるいは、貸与機用のグラスチール製 12-4 型ワイブレン(写真 2)のご利用をお待ちしている。

#### 【参考文献】

- 1) 神鋼ファウダー技報 Vol. 24, No. 3・4 (1980) p. 16