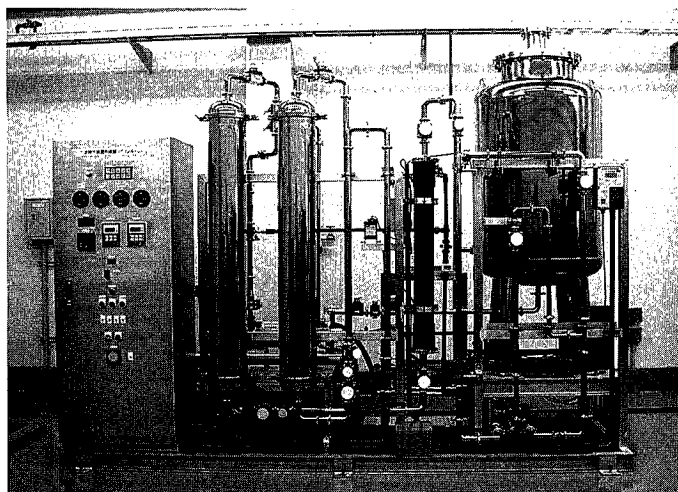


目次

CONTENTS

- | | | |
|----|---|--|
| 1 | 乱流攪拌槽の流動解析 | Computer Simulation of Turbulent Flow in a Stirred Tank |
| 5 | 攪拌におけるバッフル効果 | Baffle Effect for Mixing |
| 10 | 耐熱衝撃性ガラス | Thermal Shock Resistant Glass |
| 15 | 薄膜蒸留装置ワイブレンを使ったシステム紹介 | Introduction of Systems on Wiprene (Wiped Film Evaporator) |
| 20 | ヤコブソンミルの紹介 | Introduction of Jacobson Mill |
| 23 | PMX-98の自動車部品工場への適用 | Application of Software Package "PMX-98" to a Parts plant of Car Industry |
| 28 | 最新の半導体集積技術と超純水 | Latest Semiconductor Integration Technology and Ultrapure water |
| 32 | でんぷん製造廃水のメタン発酵処理について
—アQUALネッサンス'90計画より— | Methane Fermentation of Wastewater from a Wheat Starch Producing Plant
— On the Results of Aqua Renaissance '90 project — |
| 36 | 神戸市における下水の高度処理実験施設の紹介 | Experimental Sewage Water Reclamation Facility in Kobe City |
| 43 | バグフィルターへの納入実績例 (プラスト集塵) | Example of Application Bag Filter (Blast Dust Collection) |
| 46 | 社内ニュース | TOPICS |



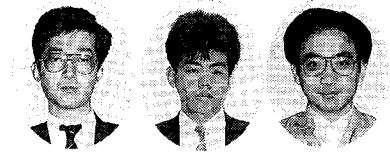
〈写真説明〉

GOLDEP-WHITE製超純水製造装置は、装置を構成する材料にGOLDEP-WHITE材を使用したことにより、超純水中のTOCや金属類を極微量におさえることができるようになりました。この材料は熱水やオゾン添加水を使用出来るなど優れた特長を有しているため、今後は超純水製造装置ばかりでなく半導体製造分野などにおけるさまざまな装置への適用が期待されます。

By employing GOLDEP-WHITE components, the ultrapure water production system provides high quality ultrapure water with a minimum TOC and metal content. As the GOLDEP-WHITE is a material capable for use in hot water and ozonated water, diversified applications to semiconductor manufacturing are expected in addition to ultrapure water production.

乱流攪拌槽の流動解析

Computer Simulation of Turbulent Flow in a Stirred Tank



技術開発本部 製品化技術室
高田 一 貴
Kazutaka Takata
(化)技術部 設計第1課
伊藤 久 善
Hisayoshi Itoh
技術開発本部 製品化技術室
菊池 雅 彦
Masahiko Kikuchi

Turbulent flow and mixing in a baffled tank stirred with 4-pitched paddle impeller were investigated. Its velocity distribution was measured using laser doppler anemometer, and concentration response curves were measured at one point by means of the electro conductivity method. And also the detailed velocity distribution was calculated using computational fluid dynamics based on $k-\varepsilon$ model, and the concentration response curve at the measuring point was simulated. Then the computed results were compared with the measured ones. The main results obtained in this study are as follows.

- (1) The computed velocity distribution qualitatively agreed with the measured one. The maximum error of the velocity computation was 16 % of the impeller tip speed. Computed turbulent energy was considerably lower than the measured one at the most of the measuring points, and at a point the computed value could be as small as 10 % of the measured one.
- (2) The computed concentration response curve deviated from the measured ones. However computed and measured mixing times were 20sec and 16 sec, respectively, to give an impression of fair agreement.

まえがき

本報告では、低粘度液の乱流攪拌に広く用いられている傾斜パドル翼付乱流攪拌槽について、この攪拌槽内の詳細な3次元流速分布を、化学装置内の乱流解析によく用いられる2方程式乱流モデル（以下 $k-\varepsilon$ モデルと略称）を用いた数値解析法とレーザードップラー流速計による流速測定結果を併用した簡略解析法により求めた。また得られた速度場を利用して濃度の拡散方程式を解析することにより拡散物質の濃度応答曲線を求めた。そして得られた計算値をレーザードップラー流速計による流速ならびに電気伝導度法による濃度応答の実測値と比較することにより $k-\varepsilon$ モデルを用いた乱流攪拌槽内流動解析の可能性を検討したので次に報告する。

1. 実験

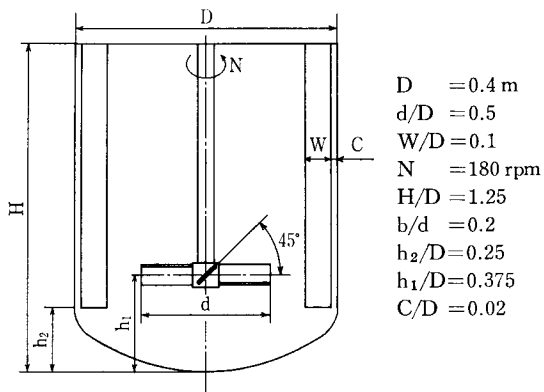
第1図に検討の対象とした攪拌槽を、第2図に実験装置及び流速測定システムの概要を示す。攪拌槽には内径 400 mm の2:1半楕円下鏡を有する透明アクリル製円筒を、攪拌翼には翼径 200 mm、翼幅 40 mm、傾斜角度45度の4枚傾斜パドル翼を攪拌槽中心最下部より150 mm 上部に設

置して使用した。また邪魔板には槽内径に対して10 %幅の板状邪魔板を90度間隔で4枚設置した。レーザ光線の屈折をおさえるためにアクリル製円筒槽をアクリル製角型槽内に設置して双方に試験流体（水）を満たした。なお円筒槽には槽中心最下部より500 mm 高さまで水を満たした。

流速の測定には後方散乱型ファイバタイプ2次元レーザードップラー流速計（DANTEC 社製）を使用し、円周方向と軸方向の2方向瞬間流速を同時測定した。また、第2図に示すようにプローブ位置を移動させて半径方向流速を測定した。各点に対してサンプリングされた20000個の変動流速をアンサンブル平均して平均流速を求めた。

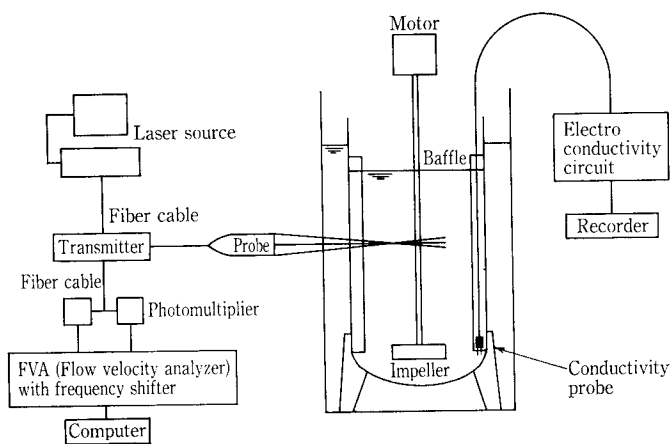
混合時間の測定にはKCL水溶液による電気伝導度法（パルス応答法）を用いた。第2図に示すように電気伝導度プローブを邪魔板下部に設置し、このプローブから検出されるKCL濃度変動に基づく伝導度変化をレコーダーに記録した。

実験条件は流速測定及び混合時間測定共に翼回転数 180 rpm、攪拌レイノルズ数 1.2×10^5 である。

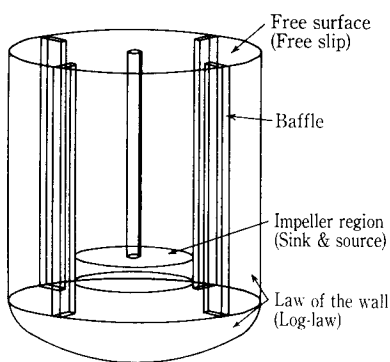


$D = 0.4 \text{ m}$
 $d/D = 0.5$
 $W/D = 0.1$
 $N = 180 \text{ rpm}$
 $H/D = 1.25$
 $b/d = 0.2$
 $h_2/D = 0.25$
 $h_1/D = 0.375$
 $C/D = 0.02$

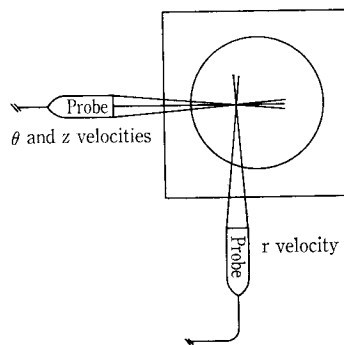
第1図 解析に使用した傾斜パドル翼付攪拌槽モデル
 Fig. 1 Schematic diagram of stirred tank with 4-pitched paddle impeller used in this work



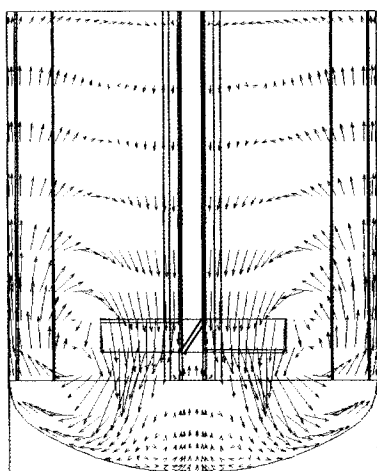
第2図 実験装置及び流速測定システム
 Fig. 2 Experimental apparatus and velocity measuring system



第3図 解析モデル及び境界条件
 Fig. 3 Analytical model and boundary conditions



第2図 実験装置及び流速測定システム
 Fig. 2 Experimental apparatus and velocity measuring system



IM = 23
 JM = 44
 KM = 46
 CYCL = 10 000
 TIME = 10.000

第4図 r-z 面内流速分布の計算値
 Fig. 4 Computed velocity vectors in r-z plane

$0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow$

2. 数値計算

本計算では有限体積法による市販の汎用熱流体解析コードを使用して流速分布及び混合過程を求めた。乱流モデルには等方性乱流の仮定を施した標準 $k-\epsilon$ モデルが用いられている。従ってここでは、時間平均連続の式、時間平均 Navier-Stokes 方程式 (u, v, w, p)、乱流エネルギー (k) 及び粘性消散率 (ϵ) の輸送方程式を連立させて数値解析を行った¹⁾。

第3図に境界条件を示す。槽内壁及び邪魔板表面には3方向の速度ゼロを与え、壁近傍を対数則速度分布で近似した。自由表面(液面)にはすべりあり条件を与え、これを水平に近似した。この近似は実際のテスト槽での観察結果

から、液面での凹凸は小さく水平に近似しても妥当であると考えられることによる。計算の簡略化のため翼部分を円柱状の検査要素で近似し、この円柱検査要素表面全域に流速の実測値 (u, v, w) を与えた。この際、検査要素に流入する流量と流出する流量に等しくなければならない。また円柱検査要素から流体が流出する部分には乱流エネルギー k の実測値を与えた。このように、解析系内で実際の攪拌翼の回転を再現せずに翼周辺に境界条件として実測値を与える理由は、一般の汎用熱流体解析コードでは攪拌翼と邪魔板との相対的位置を時間の経過と共に変化させながら移動境界問題として解析することが出来ないことによる。

(注記: 現在汎用熱流体解析コード製作各社が、邪魔板付き攪拌槽内の流動解析を、回転円筒座標系と静止座標系を併用した移動メッシュ方式で解析できるようにするコード開発に乗り出している。)

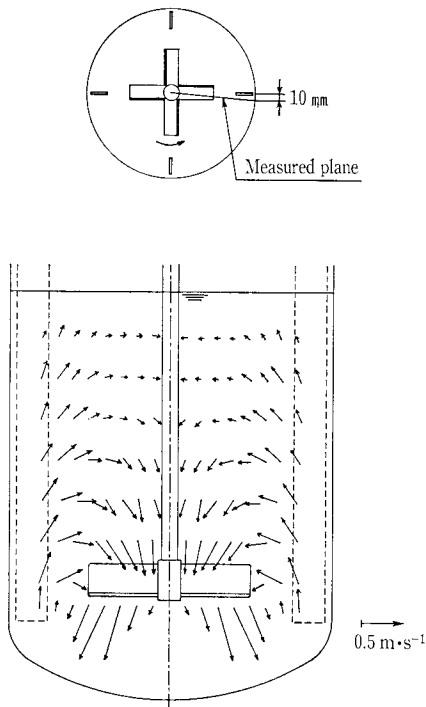
混合過程の計算には濃度の輸送方程式を用いた。濃度の輸送方程式中の u, v, w に上記流動解析により得られた時間平均流速 u, v, w を代入して数値計算した。濃度方程式の数値解析では液面付近より一定濃度のトレーサをパルス的に投入し、そのトレーサが槽内で拡散する過程を濃度応答曲線として検出した。濃度応答を追跡するポイントには実験で伝導度プローブを設置した場所と同一とした。

計算機にはエンジニアリングワークステーションを使用した。流動解析のみに要する CPU は圧力変動が充分小さくなって定常状態に達するまで約 120 時間であった。解析に用いた格子数は $23(r) \times 44(\theta) \times 46(z) = 46\,552$ 個である。

3. 結果及び考察

3.1 流動特性

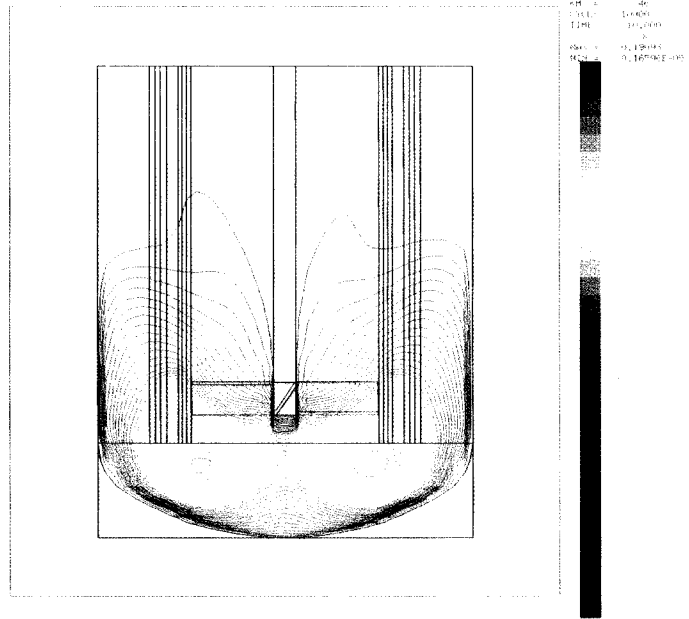
第4図は邪魔板前面における r-z 断面内流速分布の数値計算結果である。槽内では翼下部域より吐出された流体が



第5図 r-z 面内流速分布の実測値
Fig. 5 Measured velocity vectors in r-z plane

槽底付近に衝突して反転し、攪拌槽上部に達したあと再び翼上部から吸い込まれるという1つの循環流を形成する。また翼直下付近では弱い上昇流が生じており翼下部からの多少の吸い込みが予測されるものの、その流速は遅く流体の停滞域となる可能性がある。

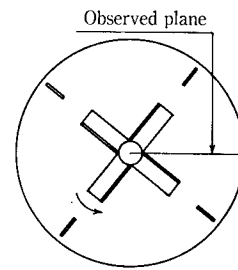
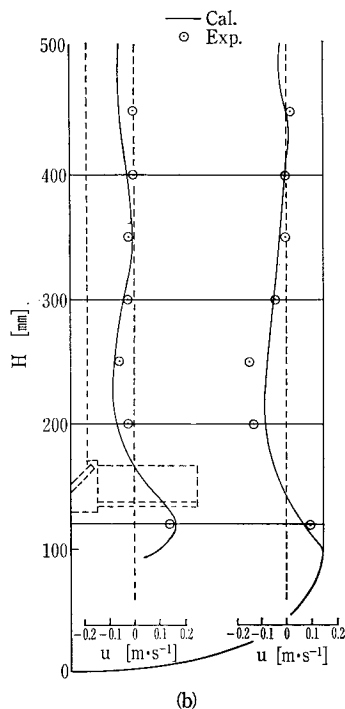
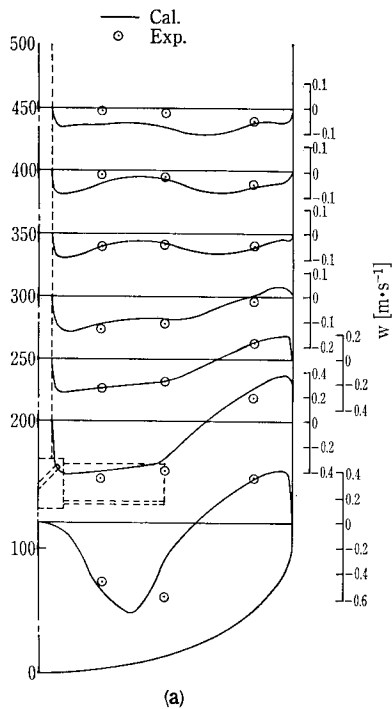
これら計算結果の一部を実測値と比較した。まず定性的な一致度を検討した。第5図は邪魔板前面におけるr-z断面内の流速分布の実測値を示したものであり、第4図で観察した断面に相当する。翼より吐出された流体が形成する循環渦の大きさ及びその中心位置は第4図に示す計算結果



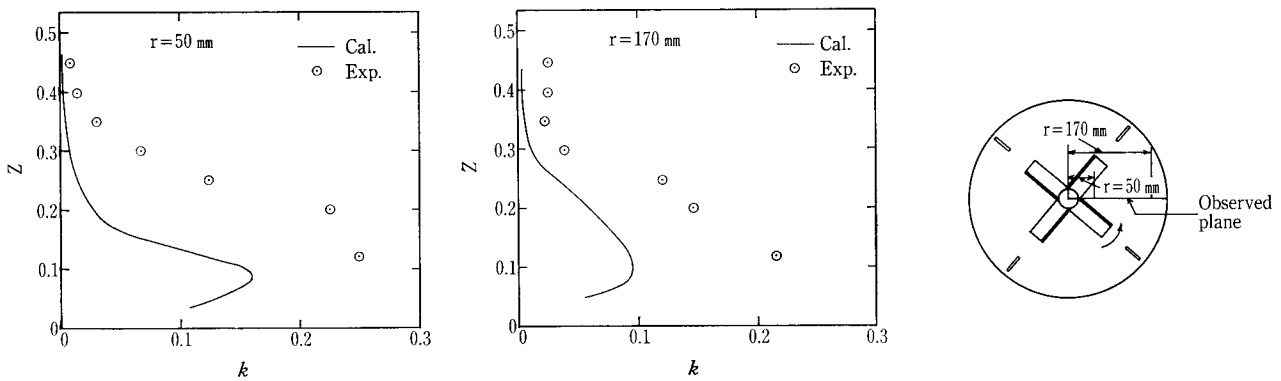
第7図 乱流エネルギー分布
Fig. 7 Contours of computed turbulent energy

とほぼ一致する。第6図は邪魔板間のr-z断面内における軸(第6図(a))及び半径方向(第6図(b))のそれぞれの流速分布の計算値と実測値を比較したものである。計算では境界条件として翼近傍の流速の実測値を与えているので、翼に近いほど両者は比較的良好に一致するが、翼から離れるに従い計算値と実測値との間に偏異を生じる。流速の計算値と実測値との間には翼先端速度に対して最大16%の誤差を有することがわかった。

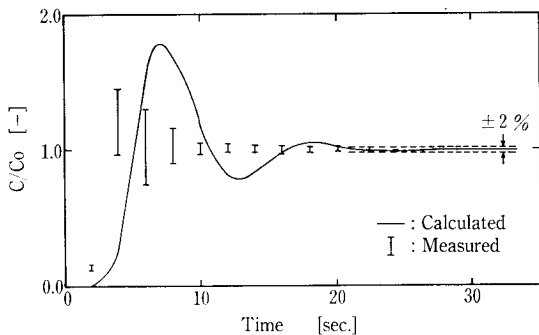
第7図はr-z断面内における乱流エネルギー分布の計算値を等エネルギー線として示したものである。乱流エネルギーは翼付近で大きく、翼から離れるにつれて小さくなる。



第6図
軸及び半径方向流速の計算値と実測値との比較
Fig. 6
Comparisons of computed and measured velocities in the axial and radial directions



第8図 乱流エネルギーの計算値と実測値との比較
Fig. 8 Comparisons of computed and measured turbulent energy



第9図 混合過程の計算値と実測値との比較
Fig. 9 Comparisons of computed and measured concentration fluctuations

第8図は乱流エネルギーの計算値と実測値を比較したものである。計算値は実測値に較べてかなり低めに評価され、その大きさも実測値の10%程度になる所もある。

3. 2 混合特性

第9図は混合過程の計算値と実測値を示したものである。実測値の棒線は、混合過程でのKCL濃度の応答曲線を10回測定し、そのばらつきの幅を表している。混合過程の計算値と実測値はいずれも時間の経過と共に濃度変動を繰り返す、ある時間以降になると一定値に漸近する。計算値は実測値よりも遅く立ち上がり、濃度応答全体及びその大きさに計算値と実測値との間で偏異を生じている。しかし濃度の最終漸近値の±2%以内に達するまでに要する時間は計算値及び実測値でそれぞれ20秒と16秒でありその誤差は20%である。混合時間の計算値と実測値との誤差が流速、乱流エネルギー及び濃度応答の計算値と実測値との間の誤差ほどに大きくない理由として、流速の計算値は実測値よりも速く、乱流エネルギーの計算値は実測値よりも小さく評価されることによる両者の相乗効果があげられる。現状ではそれぞれの誤差要因が混合時間に及ぼす影響を解明するには至っておらず、この要因の解明は今後の課題として残された。

む す び

$k-\epsilon$ モデルによる数値解析法とレーザー流速計により測定した流速データを併用して乱流攪拌槽内流速分布及び混合過程の数値解を求め、これらを実測値と比較し次に示す結果を得た。

- (1) 計算及び実測による両者のフローパターンは定性的によく一致するものの、流速の計算値は翼先端速度に対して最大16%の誤差を有する。乱流エネルギーの計算値は実測値に較べて低めに評価され、その大きさも実測値の10%程度になる場所がある。
- (2) 混合過程を表示する濃度応答の計算値と実測値の間には偏異が認められる。しかし濃度の最終漸近値の±2%以内に達するまでに要する時間の計算値と実測値はそれぞれ20秒と16秒でありその誤差は20%である。

本解析により、数値計算による攪拌槽内流動と現実の間との間で、流速や混合時間等の数値を定量的に評価した時に見逃さない誤差を含むことを明らかにした。実用問題にそのまま応用するには計算精度を十分考慮に入れた取り扱い方が望まれる。

使用記号	C : 濃度変動
	C_0 : 均一化濃度
	k : 乱流エネルギー
	P : 時間平均圧力
	r : 半径方向
	u : 時間平均流速 (半径方向)
	v : 時間平均流速 (周方向)
	w : 時間平均流速 (軸方向)
	z : 軸方向
	ϵ : 粘性消散率
	θ : 円周方向

【参考文献】

- 1) 高田一貴, 佐藤栄祐, 菊池雅彦: 神鋼パンテック技報, Vol. 34, 3 (1990), p. 8

攪拌におけるバッフル効果

Baffle Effect for Mixing



(化)技術部 設計第1課
徳岡 洋 由
Hiroyuki Tokuko

Baffle is inserted in almost every vessel for mixing a low viscosity liquid. Its reasons are to form flow pattern to be aimed, to control flow characteristic and to promote heat transfer. Flat plate baffles are generally used in agitated vessel, and there are many reports on the number of baffle and baffle width.

This paper describes baffle effect on basic mixing operation from the point of insert depth and clearance to vessel wall.

まえがき

攪拌槽におけるバッフルの役割は、攪拌翼に比べ地味であり扱われる関心も少なくなりがちであるが、低粘度攪拌では大抵の場合、バッフルが挿入されている。その理由として次の3点が挙げられる。

- (1) 攪拌目的に応じたフローパターンの形成
- (2) 攪拌動力、吐出流量、剪断速度等の流動特性値の制御
- (3) 伝熱面積の確保

また(2)の流動特性値からみたバッフルの作用は次の通りである。

- ① 動力数 N_p の増加
- ② 吐出循環流量係数 N_q の増加
- ③ 剪断性能 $(N_p/N_q)^{1/2} \cdot d/D$ の増加

バッフルの選定では、バッフルの形式、取付位置及びバッフル強さ（動力数 N_p を変化させる強さ）の決定を行うが、一般に用いられるバッフルは、平板バッフルが圧倒的に多い。平板バッフルの場合、バッフル幅や本数を扱った報告例は多数ある。しかし、挿入深さや槽壁とのスキマを扱った報告は極めて少ない。実際の攪拌槽型反応槽では、平板バッフルはもとよりフィンガーバッフル、D型バッフル、丸バッフルや伝熱管を兼用した蛇管コイル、ヘアピンコイルなど種々の形式が用いられている。

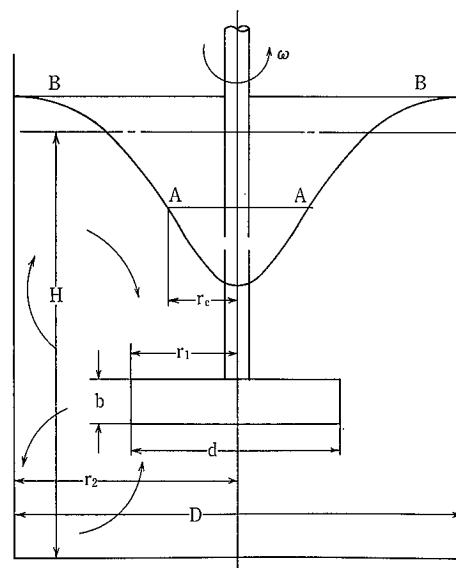
本稿では、このうち平板バッフルの挿入深さや槽壁とのスキマに着目し、動力特性、混合特性など攪拌の基本的操作に対するバッフル効果について述べる。

1. 動力数 N_p に与える影響

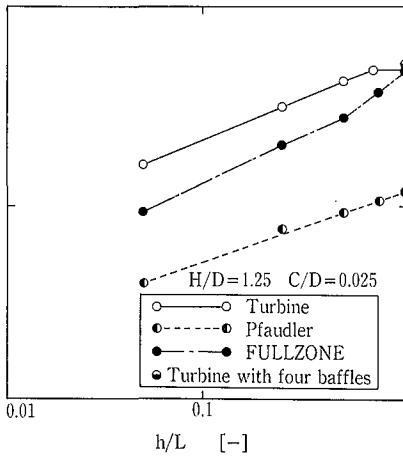
円筒型攪拌槽内においてバッフルの無い条件で翼を回転させると、第1図に示すように液自由表面中央にくぼみが生ずる。これは翼と共回りする固体的回転部（強制渦： $\omega = \text{const}$, $r < r_c$ の領域）及びその外側に自由渦（ $ur =$

const , $r_c < r < r_2$) が形成されるため、軸中心部と槽壁部とで圧力差が生ずることによる。この状態では周方向の回転流が支配的であり上下循環流は少ない。バッフルは周方向回転流を上下循環流へ変換するために挿入され、このとき固体的回転部の領域は減少する。そして固体的回転部の領域の減少は、動力数 N_p の増加となる。

一般に挿入されるバッフルの強さはバッフル幅とバッフル本数で表されている。4枚の平板バッフルでは、 $W/D \cong 0.13$ で完全邪魔板条件となるが、通常の攪拌槽では $W/D \leq 0.1$ で選定されるケースが多い。このような完全邪魔板



第1図 バッフルの無い攪拌槽内のフローパターン
Fig. 1 Flow pattern of agitated vessel under unbaffled condition
[S. Nagata: Mixing (1975)]



第2図 バッフル挿入深さと N_p の関係
Fig. 2 Relation of insert depth of baffle and N_p

条件以内のバッフル幅 (W/D) とバッフル本数 (n_B) に対する動力数 (N_p) の関係式が永田らにより報告されている。

$$\frac{N_{p \max} - N_p}{N_{p \max} - N_{p\infty}} = \{1 - 2.9(W/D)^{1.2} \cdot n_B\}^2$$

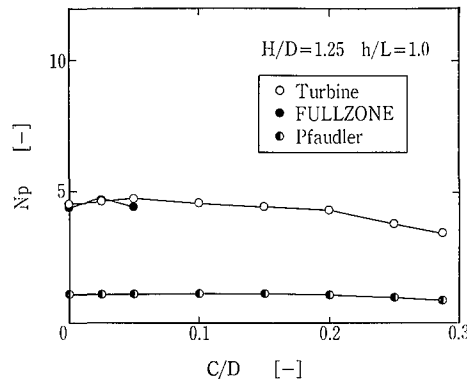
本稿ではバッフル挿入深さと槽壁とのスキマが N_p に与える影響を調べた。その結果を第2図及び第3図に示す。

攪拌翼の比較には剪断型の代表としてタービン翼、吐出循環型の代表としてファウドラ翼をそしてワイドバドルの代表としてフルゾーン翼を用いた。平板バッフルは槽径の10%幅とし、2枚設置している。 $h/L=1$ の条件がバッフルを下鏡の T.L. まで挿入した場合を示している。バッフル強さを $W/D = (n_B \times W)/(4 \times D)$ と定義すれば、 $h/L=1$ の条件が $W/D=0.05$ のバッフル強さとなる。タービン翼の場合は $W/D=0.08 \sim 0.1$ の組み合わせが一般的であるがファウドラ翼やフルゾーン翼では $W/D \leq 0.05$ のバッフル強さを標準的に選定しているため、 $W/D \leq 0.05$ のバッフル強さに主眼をおいて比較した。なお、その他の条件を次に示す。

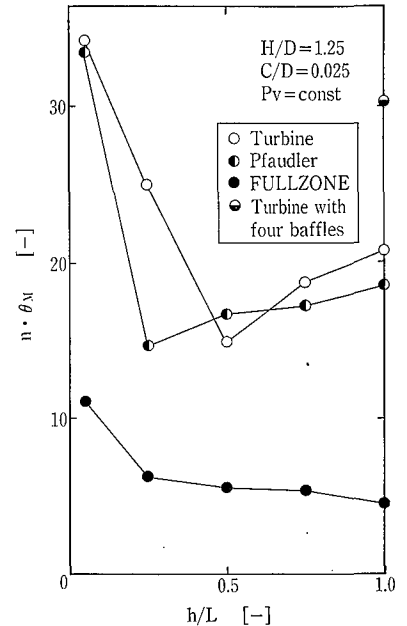
- ・槽径 : $\phi 400$ mm
- ・液深 : 500 mm
- ・ H/D : 1.25
- ・攪拌翼 : タービン翼 $d/D=0.4$
 ファウドラ翼 $d/D=0.55$
 フルゾーン翼 $d/D=0.6$

バッフル幅、本数の変化に伴い N_p が変化することはすでに述べたが、バッフル挿入深さによっても N_p が変化することが第2図から読み取れる。このことから N_p はバッフル幅、本数だけに依存するものではないということがいえる。なお、バッフルを引き上げていくことにより N_p が低下するのは先に述べた固体的回転部 (r_c) の増加によるものと考えられる。

第2図をもとにバッフル挿入深さと N_p の関係をまとめると次のようになる。



第3図 槽壁とのすきまと N_p の関係
Fig. 3 Relation of clearance to vessel wall and N_p



第4図 バッフル挿入深さと混合時間の関係
Fig. 4 Relation of insert depth of baffle and mixing time

- ・タービン翼 : $N_p \propto (h/L)^{0.44}$
- ・ファウドラ翼 : $N_p \propto (h/L)^{0.31}$
- ・フルゾーン翼 : $N_p \propto (h/L)^{0.50}$

一方、 N_p と W/D の関係について弊社の既報 (Vol. 24, No. 1 1980) を引用すると $W/D < 0.033$ では

- ・タービン翼 : $N_p \propto (W/D)^{0.46}$
- ・ファウドラ翼 : $N_p \propto (W/D)^{0.25}$

で報告されている。 h/L と W/D の両者の指数を比較してみると、タービン翼はほぼ同等であるがファウドラ翼は h/L のほうが若干大きくなっている。これはバッフル幅 (W/D) よりバッフル挿入深さ (h/L) のほうが、 N_p を減少させる固体的回転部の生成により寄与する傾向があることを示している。

次に、第3図の平板バッフルの槽壁とのスキマと N_p の関係を見ると、タービン翼、ファウドラ翼とも $C/D > 0.2$ で明かな N_p の低下が見受けられる。これは第2図に示される N_p の低下と同様に固体的回転部の増加によるものと考えられる。第3図の平板バッフルの場合、槽壁とのスキマは大抵 $C/D < 0.1$ の範囲で使用されているため、この範囲でのスキマの選定に対しては N_p の増加、減少を特に考慮する必要がないと考える。

2. 混合時間に与える影響

第4図にバッフル挿入深さと混合時間の関係を示す。また、バッフル挿入深さの変化による混合経過の比較を写真1に示す。攪拌翼、バッフル、液深は N_p の検討に用いた条件と同一である。なお、混合時間の決定はヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法による。

タービン翼、ファウドラ翼共にバッフルを引き上げす

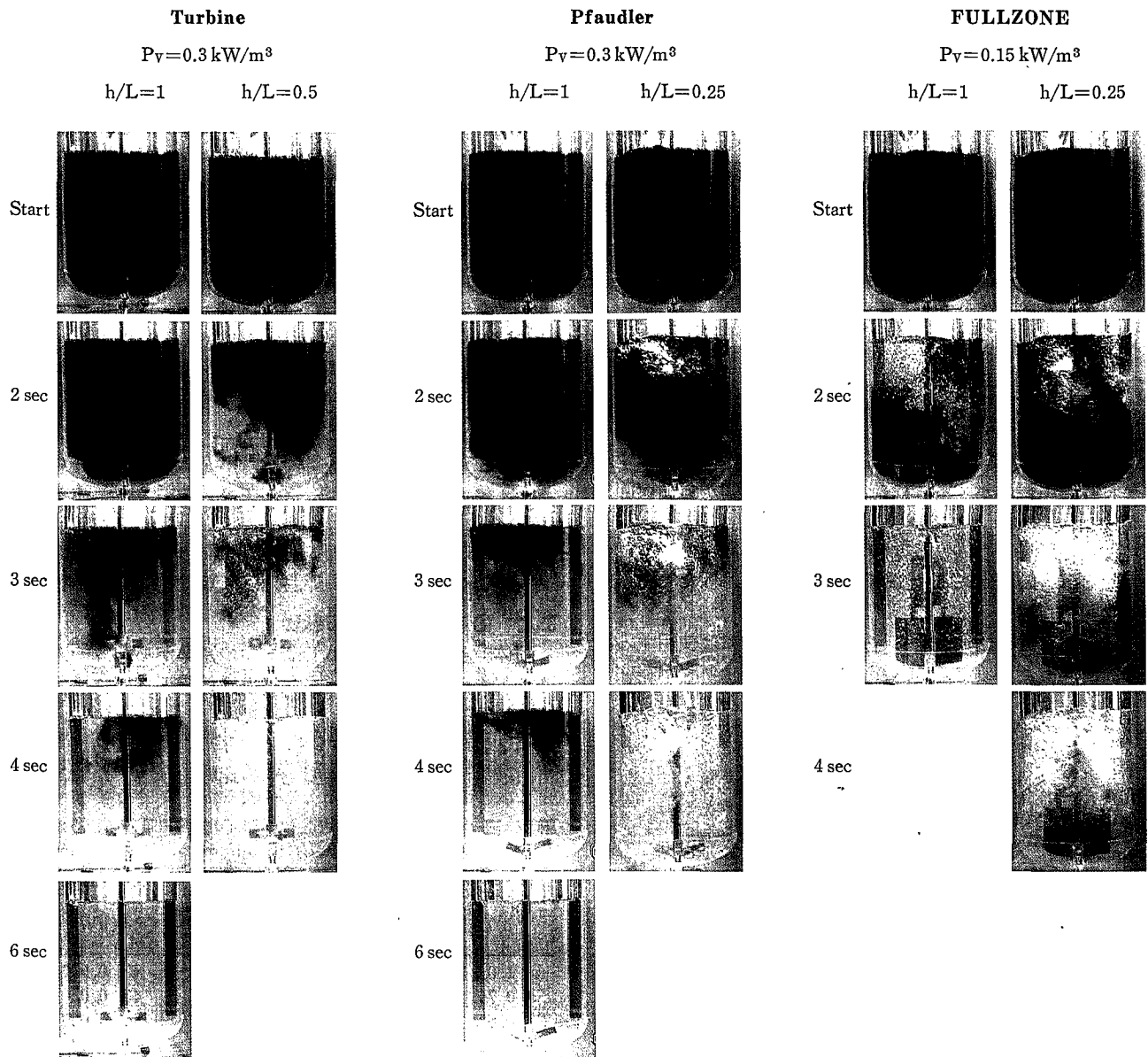


写真 1 混合経過の比較 $\mu=0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
 Photo. 1 Comparison in transition of mixing

ぎると混合時間の増大を招く。特に、 $h/L=0.05$ という条件は周方向の回転流が支配的で、上下循環流が少ないというバップル無しの流動状態に近くなっているため混合時間が増大したものとする。次に混合時間が最も小さくなるバップル挿入深さに着目すると、タービン翼の場合は $h/L=0.5$ であり、ファウドラ翼の場合は $h/L=0.25$ とタービン翼に比べバップル挿入深さの小さい方に混合時間が最小となる条件が存在している。このことは回転流を強く抑制する必要が少ないというファウドラ翼の特性を示していると考えられる。

一方、フルゾーン翼の混合時間はタービン翼、ファウドラ翼とは異なりバップルを引き上げることによってわずかなではあるが増加していく傾向がある。このことからフルゾーン翼は鏡 T.L. 付近までバップルを挿入した方が混合効率が良いということがいえる。

次に、第 5 図に槽壁とのスキマと混合時間の関係を示す。

タービン翼、ファウドラ翼共、槽壁とバップルのスキマが槽径の約 10% を越えると混合時間が増大する。一方、混合時間が最小となるスキマはタービン翼とファウドラ翼では異なる。混合時間を小さくする C/D の条件は、ファウドラ翼の方がタービン翼よりも大きい方に存在している。特に、ファウドラ翼の場合 $C/D=0.1$ で混合時間が最小となる。この条件をバップルの中心位置に置き換えると槽径の約 70% にあたり、ファウドラ翼でよく組合わされるフィンガーバップルや D 型バップルの取付位置にほぼ相当している。

混合時間の短縮は吐出循環流量係数 N_q の増大によるものである。一般に、2~10 回の循環で十分な混合状態が得られると言われており、この考え方をい用い混合時間から各翼の N_q を推定した。次にその推定方法を示す。

混合時間 θ_M と攪拌翼によって生ずる吐出循環流の平均循環時間 θ_c との間には次式に示すような比例関係が成立する。

$$\theta_M = k\theta_c$$

θ_c は槽内の液容量 V と吐出循環流量 Q_c を用いると次式で表される。

$$\theta_c = V/Q_c$$

ここで $Q_c = N_q n d^3$

よって N_q は次式で与えられる。

$$N_q = V \cdot k / (\theta_M \cdot n d^3)$$

よって式から N_q と $n \cdot \theta_M$ は次式に示す比例関係で表される。

$$N_q \propto 1 / (n \cdot \theta_M)$$

すなわち混合時間が小さくなれば吐出循環流量係数 N_q はその逆数に比例して増大することを表している。

第1表に代表的なバッフル条件での N_q の比較を示す。なお、第1表に示す N_q は測定した混合時間から循環回数 $k=2$ として算出した値である。

以上の結果より、2枚平板バッフルを使用した撹拌槽における混合時間からみた最適な挿入深さとスキマの関係は第6図となる。

すなわち効率よく混合を達成させるためには使用する撹拌翼に適したバッフル挿入深さや槽壁とのスキマが存在することをよく考慮し選定することが重要であると考えられる。

第1表 (a) h/L による N_q の変化

Table 1 (a) Change of N_q for h/L

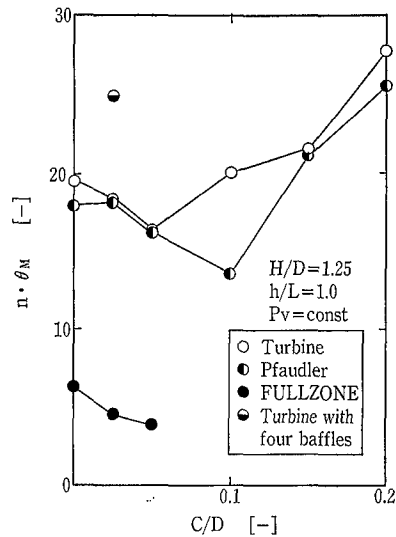
Imp.	Turbine			Pfaudler		FULLZONE	
h/L	*1	1	0.5	1	0.25	1	0.25
N_q	1.14	1.57	2.28	0.61	0.83	1.84	1.34

*平板バッフル4枚の場合を示す

第1表 (b) C/D による N_q の変化

Table 1 (b) Change of N_q for C/D

Imp.	Turbine		Pfaudler		FULLZONE	
C/D	0	0.1	0	0.1	0	0.05
N_q	1.46	1.75	0.61	0.81	1.35	2.16



第5図 槽壁とのすきまと混合時間の関係

Fig. 5 Relation of clearance to vessel wall and mixing time

3. 適用例の紹介

3.1 固液撹拌に与える影響

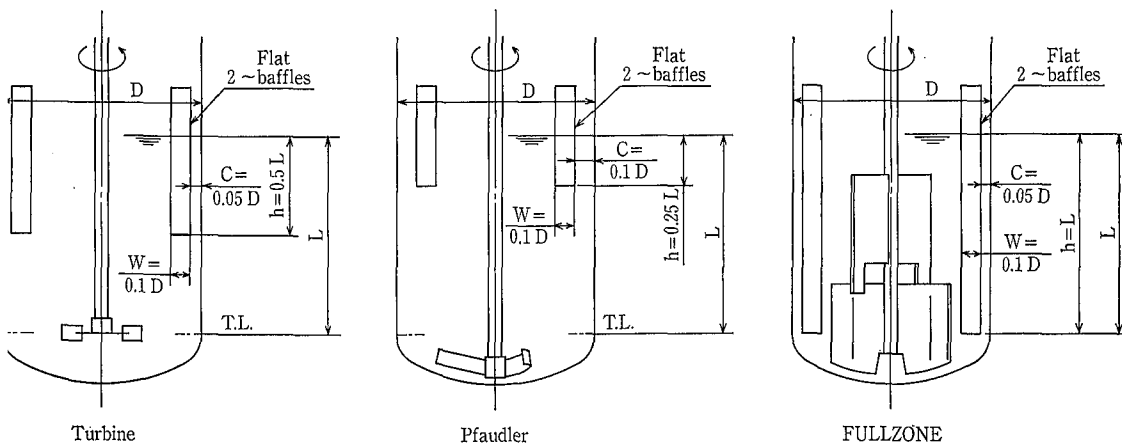
固体粒子の撹拌に関しては二つの基準がある。一方はオフボトムの撹拌であり、もう一方は粒子の均一浮遊の撹拌である。

第2表に各翼のバッフル挿入深さに対するオフボトムと自由液表面近くの粒子濃度 (ϕ) の比較を示す。なお、固体

第2表 バッフル挿入深さと粒子浮遊の比較

Table 2 Comparison of h/L for uniform solids suspension

Imp.	h/L	Turbine			Pfaudler			FULLZONE		
		n [R/M]	P_v [kW/M ³]	ϕ [-]	n [R/M]	P_v [kW/M ³]	ϕ [-]	n [R/M]	P_v [kW/M ³]	ϕ [-]
Off bottom	1.0	115	0.054	—	135	0.123	—	45	0.040	—
	0.75	115	0.050	—	133	0.105	—	45	0.039	—
	0.5	115	0.044	—	134	0.096	—	45	0.039	—
	0.25	114	0.042	—	132	0.074	—	45	0.039	—
Solids suspension	1.0	228	0.483	0.198	196	0.353	0.211	80	0.154	0.250
	0.75	229	0.489	0.223	203	0.355	0.217	87	0.157	0.288
	0.5	239	0.485	0.291	212	0.356	0.276	93	0.153	0.30
	0.25	260	0.483	0.297	222	0.354	0.284	93	0.107	0.30



第6図 混合時間からみた2枚平板バッフル使用時の最適条件

Fig. 6 Optimum condition on two flat baffles from point of mixing time

粒子は比重1.3/粒径 600～800 μ のイオン交換樹脂を使用し、嵩体積で30%投入した。したがって、自由液表面近くの粒子濃度が30%に到達すれば、一様濃度の攪拌が達成されていると考えることができる。

まず、オフボトムに必要な回転数に着目すると、各翼ともほぼ一定の回転数になっている。このことはオフボトムの攪拌がバッフル挿入深さに依存せず、翼そのものの特性に依存することを示していると考えられる。

一方、粒子の均一浮遊に対してはバッフル挿入深さの小さい方が同じ動力で比較した場合、自由液表面近くの粒子濃度を高くすることができる。すなわちバッフルを引き上げて使用したほうが、粒子の均一浮遊に対しては良いという結果が得られた。

以上のことから粒子均一浮遊に対して平板バッフルを使用する場合は、バッフル挿入深さを小さく選定する方が動力効率が良いと考える。

3. 2 表面ガス吸収性能に与える影響

第3表にバッフル挿入深さと表面ガス吸収性能の代表例の比較を示す。表面ガス吸収性能は水-空気系で、攪拌により表面から液中に巻き込まれた空気中の酸素が水に溶解していく速度を測定し、 K_{La} を算出した。

当社では過去の経験から、表面ガス吸収に対しては弱いバッフル条件下で積極的にボルテックスをつくり、表面更新を多くするよう攪拌翼、バッフルを選定してきた。その点、本データは如実にその内容を表している。特にタービン翼、ファウドラ翼は顕著で、 $h/L=1$ ではほとんど表面ガス吸収が得られないのに対して、 $h/L=0.25$ では大幅にその性能を向上させることができる。

フルゾーン翼の場合は、もともと表面ガス吸収にすぐれているためタービン翼やファウドラ翼ほどバッフルの影響を受けないが、それでもバッフルを引き上げることにより約4倍の K_{La} を得ることができる。

以上のことから表面ガス吸収に対してはボルテックスが形成されやすい挿入深さの小さい条件を選定すべきであると考えられる。

む す び

一般に、バッフルについては完全邪魔板条件に近い平板バッフルが選定されるケースが多く、攪拌目的に応じて挿入深さ等が検討されるのはまれである。特に、不必要にバッフルをきかせすぎると動力の増加と攪拌効率の低下を招くことになる。攪拌槽の設計では平板バッフルは下部T.L.まで挿入するのが一般的であるが、混合時間、粒子の浮遊懸濁、ガスの表面ガス吸収いづれの場合でも程度の差こそあれ、バッフルは引き上げて使用した方が効果的であるという結果を得た。この点で本稿がユーザ各位のバッフル選定のご参考になれば幸いである。

バッフルの役割として完全邪魔板条件に近いバッフル条

第3表 バッフル挿入深さと表面ガス吸収性能の比較
Table 3 Comparison of h/L for performance of gas absorption from surface

Imp.	Turbine		Pfaudler		FULL ZONE	
	P _v	K _{La}	P _v	K _{La}	P _v	K _{La}
1.0	1.5	4.0	1.5	3.1	0.35	14.1
0.25	1.5	88.4	1.5	94.5	0.35	54.8

件では、特に剪断特性を必要とする液滴、気泡の微細化などに有効と考えられる。また伝熱管を兼用したバッフルでは伝熱面積の確保が優先するため、攪拌技術検討の対象に挙げられるケースが多い。例として、蛇管コイルの場合は中高粘度域でのコイル～槽壁間の流動がよく問題にされる。また、ヘアピンコイルの場合は槽内に多数設置したときの N_p の推定が非常に困難となる。

今後は、強いバッフル条件や特殊なバッフルに着目し、形状、配置などが攪拌特性に与える影響を解きあかしていきたいと考えている。

[記号説明]

C	: 槽壁とバッフルのすきま	[m]
D	: 槽内径	[m]
d	: 翼径	[m]
H	: 液深	[m]
h	: 液表面からのバッフル挿入深さ	[m]
K_{La}	: ガス吸収容量係数	[1/Hr]
L	: 液表面から鏡 T.L. までの高さ	[m]
n	: 攪拌翼回転数	[1/s]
n_B	: バッフル枚数	[—]
N_p	: 動力数	[—]
N_q	: 吐出循環流量係数	[—]
P_v	: 単位容積当たりの攪拌動力	[kW/m ³]
Q_c	: 攪拌翼吐出流量	[m ³ /s]
u_r	: 周方向流速	[m/s]
V	: 槽内液容量	[m ³]
W	: バッフル幅	[m]
θ_c	: 平均循環時間	[s]
θ_M	: 混合時間	[s]
ϕ	: 自由液表面付近の粒子濃度	[—]
ω	: 角速度	[rad/s]

[参考文献]

- 1) 松本, 井上ら: 化学工場, 第26巻, 第4号
- 2) 平井等: 神鋼パンテック技報 Vol. 24 No. 1 (1980), p. 1
- 3) S. Nagata: *Mixing*, Kodansha, Tokyo (1975)
- 4) 橋本健治: 工業反応装置, 培風館 (1984)
- 5) 村上ら: 攪拌・混合・混練・分散技術集成, REALIZE INC. (1991)

耐熱衝撃性ガラス

Thermal Shock Resistant Glass



技術開発本部 基盤技術室
沢田 雅光
Masamitsu Sawada

Some troubles which are originated in thermal shock are rarely appeared in glass-lined equipments. Quick heating or cooling of a glass-lined area may cause a thermal stress in glass or base metal locally and chips off the glass.

Then we considered that increasing of a residual stress in glass layer was effective for preventing those troubles, and could make sure by evaluating a relationship between residual stresses and thermal shock resistances on many conventional glasses.

On this result, we have tackled the development of a thermal-shock resistant glass and could obtain a glass with high corrosion resistance, which had a 30 degree of ΔT as superior as 9 000 glass. This paper shows the results.

まえがき

ガラスライニング製反応機は、その内面に優れた耐食性をもつガラスがライニングされているため、厳しい腐食環境で多用される。しかし、ガラスは他の金属やセラミックスなどの耐食材料に比較して、熱の伝導率が極めて小さい。従って反応機中の内容物の反応を制御する際、比較的大きくエネルギーをもつ熱媒・冷媒を使って外部から加熱・冷却が行われる。この時、希に熱衝撃あるいは熱応力によって写真1の写真に示すようなガラスの破壊が起こる。(a)はジャケット側からの加熱による熱応力で、底ノズルのエッジ部のガラスが割れたもので、(b)はジャケットへスチームを入れる際に高温のスチームが、直接ガラスライニングされた反応機胴部の母材側に当たったためにガラスが破壊した状況である。本研究では、このような事故を減少させることと、反応機の操作性の向上、反応プロセスの時間短縮を目的にして、より大きい温度差に耐え得るガラスの開発に取り組んだ。その結果一応の成果を得たので次に報告する。

1. 考え方

1.1 熱応力と熱衝撃

一般に、物体が急激な加熱または冷却によって、その中に激しい温度変化を生じ、衝撃的な熱応力を受ける現象が熱衝撃といわれている¹⁾。その意味ではいずれの場合も「熱応力」と表現すべきかもしれない。ガラスライニングにおいては、急冷・急加熱を受けた際、その部分のガラスあるいは母材に過大な応力が働き、ガラスが破壊する場合は熱衝撃、ガラスライニング製機器が冷却あるいは加熱された時、構造的に応力が集中した部分のガラスが破壊する場合は熱応力と呼んでいるように思われる。すなわち熱衝撃は材料自体の熱膨脹特性に依存するのに対し、熱応力は構造に支配されるといえよう。写真1の(a)の写真で示される破壊は、ジャケット側からスチームで加熱し、ノズルスエッジ部に応力が集中し母材が降伏した結果でこれを熱応力、(b)の写真で示される破壊は、母材に直接高温のスチームが当たり、その時の熱衝撃により母材が降伏し、裏面のガラスが破壊された、あるいは母材が受けた熱衝撃がガラスと母材の境界近傍に大きい温度差をつくり、その結果過度の応力が生じたためと考えている。これらの他に、ガラスが熱衝撃により破壊するケースとして、ガラス表面が直接急冷・急加熱され、その部分のガラス内部にガラスの収縮に

(a) Bottom nozzle



(b) Vessel wall

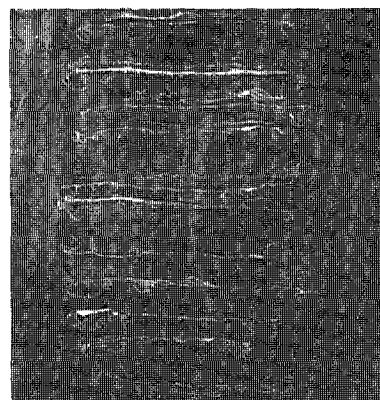
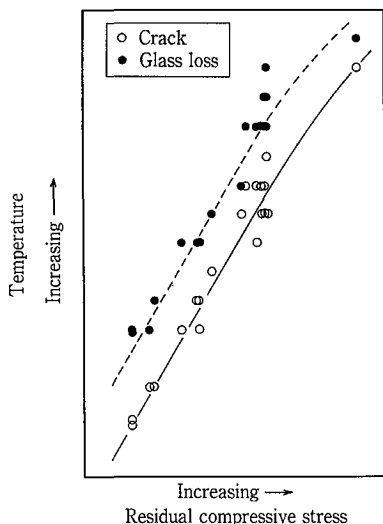


写真1 熱衝撃及び熱応力による事故例

Photo. 1 Examples of trouble by thermal shock and thermal stress



第1図 残留圧縮応力と耐熱衝撃性の関係
Fig. 1 Dependence of thermal shock resistance on residual compressive stress

よる引張り応力が発生し破壊することもある。本研究はガラスの開発により、前述したような熱衝撃に対する耐性を向上させることを目的とした。

1.2 耐熱衝撃性を律するガラスの性質

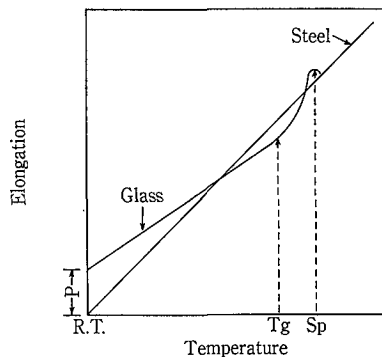
ガラス自体の引張り強度は約 80 MPa で、圧縮強度は約 800 MPa であり引張り強度は圧縮強度に対し十分の一と弱い。従って、熱衝撃を受けた場合においても多くはガラスに引張り応力が働いた時に破壊する。一般に鋼にライニングされたガラスには約 150 MPa の残留圧縮応力が存在しており、単純にはガラス自体の引張り強度と、この残留圧縮応力を加えた 230 MPa の引張り応力が熱衝撃により働いた時、ガラスが破壊することになる。残留圧縮応力が大きいほど熱衝撃に対して強いことが予想される。そこで従来のライニングガラスの残留圧縮応力と、耐熱衝撃性の関係を第1図にまとめた。横軸にガラス中の残留圧縮応力、縦軸に耐熱衝撃性としてガラスが破壊するときの温度差を、それぞれ増減で示した。ガラスの破壊はクラックのみの場合を○で、剥離まで至った場合を●で表した。この結果から予想通り耐熱衝撃性と残留圧縮応力に相関を見出すことができた。すなわち残留圧縮応力の増大は耐熱衝撃性を向上させるということである。

以上のことから、耐熱衝撃性のガラスを開発するためには、ガラスの残留圧縮応力を増大させることが一方法であると推測される。

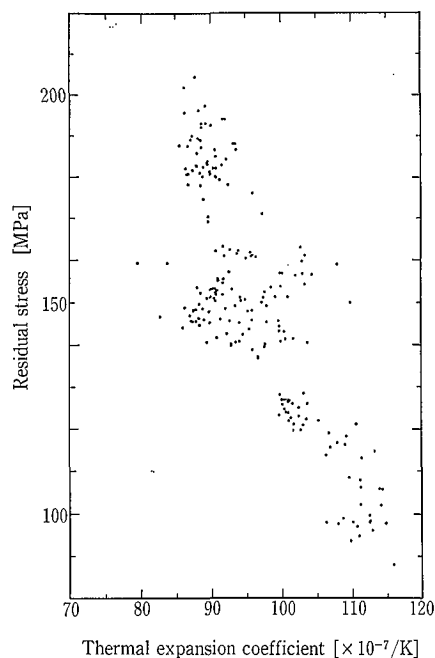
1.3 残留圧縮応力と熱膨張特性の関係

鋼とガラスの熱収縮特性を第2図に示す。横軸が温度、縦軸が伸びで、図中 Sp はガラスの軟化温度、Tg はガラスの転移温度、P は焼成され室温 (R.T.) まで冷却された時に生ずる鋼とガラスの収縮量の差で、残留圧縮応力を律するものである。この図から残留圧縮応力すなわち P を増大させるには、次の方法が考えられる。

- (1) ガラスの膨脹率を小さくする。
- (2) 転移温度を大きくする。
- (3) 軟化温度を大きくする。
- (4) 転移点と軟化点間の膨脹率を小さくする。



第2図 鋼とガラスの熱収縮特性
Fig. 2 Thermal contraction properties of steel and glass



第3図 熱膨張係数と残留圧縮応力の関係
Fig. 3 Relation between thermal expansion coefficient and value of residual stress

この中で特に(1)の膨脹率については、成書等で経験則から成る加成式、膨脹係数因子が明らかにされており²⁾、その調整はし易い。そこで従来のライニングガラスの残留圧縮応力の熱膨脹係数依存性を第3図にまとめた。この図から熱膨脹係数を小さくすることが残留圧縮応力増大を可能にする一因子であることがうかがえる。

2. 実験方法

2.1 ガラスの試作

加成式、膨脹係数因子等を参考にして、SiO₂、Al₂O₃等熱膨脹係数を小さくする成分を数種類選び、それぞれ添加比率を変えて約30種類の化学組成を決めた。これらの化学組成になるようにガラス原料を配合・混合し、それをろつぽに入れて炉内で溶解し試作ガラスを得た。溶解し冷却されたガラスはミル添加物と一緒にミルで粉砕・混合し粘薬となり、各種テストに供された。

2.2 実験室的評価試験

全ての試作ガラスについて熱膨脹係数、残留圧縮応力等

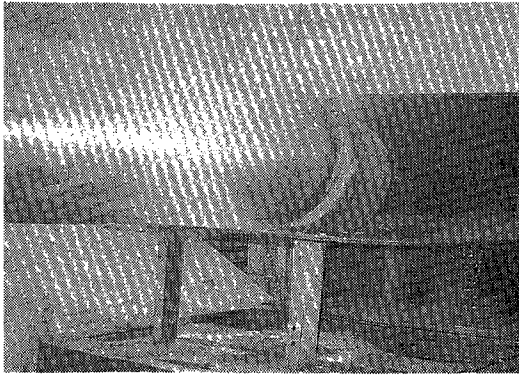


写真 2 実機を使った熱衝撃実験
Photo. 2 Thermal shock test by using an actual vessel

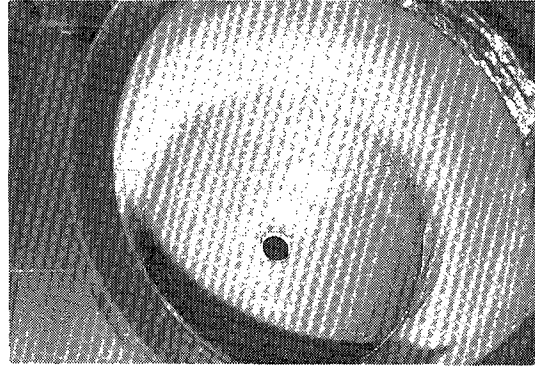


写真 4 実機の熱衝撃試験結果
Photo. 4 Result of thermal shock test on an actual vessel

ΔT (°C)	230	240	250	260	270	280	290
Result (2 pieces)							

写真 3 テストピースの熱衝撃試験結果
Photo. 3 Result of thermal shock test on specimens

測定及び耐食試験、熱衝撃試験等を行った。これらの測定、試験及びそれに必要な試片は全て社内標準に準じて行われた。

特に熱衝撃試験については、試片は J I S 規格³⁾に準じ、80 mm で板厚 6 mm の鋼に 0.8 mm の厚さでガラスライニングされたものを使用した。試験方法はガラスが破壊する温度を求める方法として、所定の温度に加熱保持し、試片を素早く多量の 0 °C の氷水中に投下し、スタティフлакクス法でクラックの有無を調べた。クラックが発生しなかった場合は更に 10 °C ずつ加熱温度を上げ、同一手順でテストを繰り返した。(スタティフлакクス法とは、帯電させた粉末をガラス表面に噴霧し、クラックがあればその部分に静電気力で粉末が集まり肉眼で観察できる方法) 評価は加熱温度を温度差 (ΔT) とし、クラックの発生する ΔT とガラスが剥離する ΔT の両方を求めた。試験は各温度で試片 3 枚ずつ行った。

3 実機による評価実験

試験室の評価試験を繰り返し、初期の目的を達成できると思われる試作ガラスを選び、実機による評価実験を行った。主な実験項目について次に述べる。

3.1 焼成実験

新しいガラスが良好な状態で実機にライニングできるかどうか、あるいはどのような焼成条件が必要か確認することを目的とする。具体的には数種類のテスト用缶体に施釉・焼成を施し、施釉時の釉薬特性及び焼成時のライニング特性を調べ、さらには最適焼成条件の把握等を行った。

3.2 残留応力の測定

100 l のテスト用缶体に試作ガラスを最適条件でライニングし、完成させた後にそのガラス中の残留応力をチップ

リムーバー法で数箇所測定した。

2.3.3 熱衝撃実験

試験室での試片による熱衝撃試験以外に 100 l のテスト用缶体を用いても熱衝撃実験を行った。写真 2 に示すように、炉内で所定の温度に加熱した後炉外に出し、ガラス面を水で急冷する方法をとった。缶体にライニングされたガラスにクラックが生じたときの炉温と水温の差を ΔT として評価した。

3. 結果及び考察

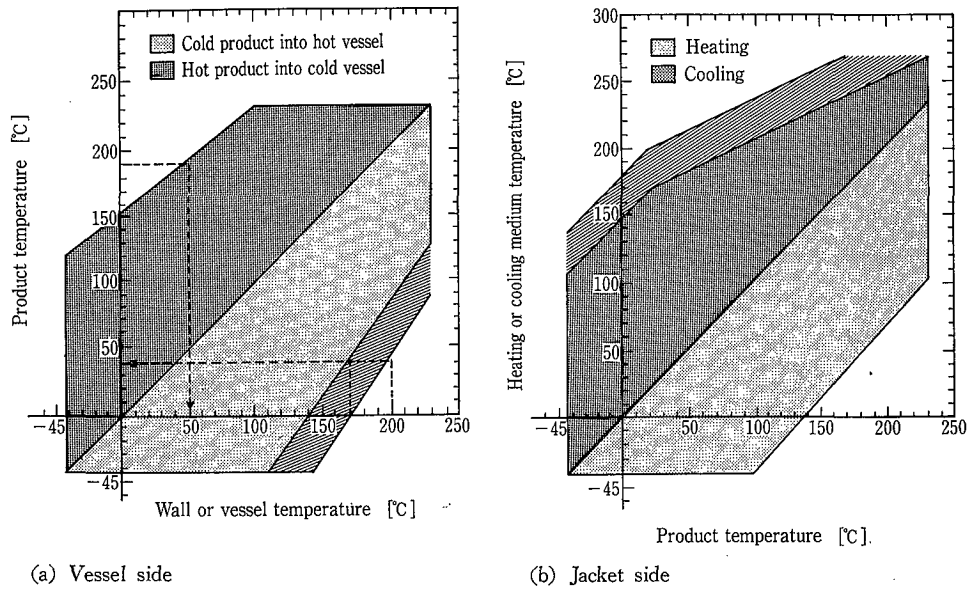
数多くのガラスを試作した結果、当初の目標を満足させるガラスが得られた(以下、「耐熱衝撃性ガラス」と呼ぶ)ので、次に主としてそのガラスの試験結果と考察を述べる。

3.1 耐熱衝撃性ガラスの熱衝撃試験結果

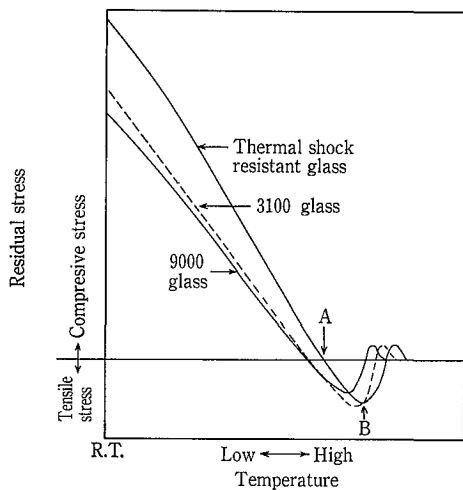
試片による熱衝撃試験の結果を写真 3 に示す。各 ΔT について試片 2 枚ずつ写真に示してまとめた。この写真から最初にクラックが発生する ΔT は 260 °C で、剥離は 290 °C であることが分かる。ちなみに現在当社標準の高耐食性ガラス 9000 はクラックが 210 °C、剥離が 230 °C であり、試片の場合は耐熱衝撃性ガラスが約 50 °C 上回る耐熱衝撃性を有することになる。

クラック及び剥離いずれも試片の周囲から発生している。このことは、ガラスに働いた引張り応力が、エッジ効果で強度の低下している部分からクラックに至らせしめたものと考えられる。

次に 100 l テスト用缶体にガラス 9000 と耐熱衝撃性ガラスをライニングし、それぞれ同一条件で熱衝撃試験を行った。その結果、9000 グラスは $\Delta T = 190$ °C、耐熱衝撃性ガラスは $\Delta T = 220$ °C でそれぞれクラックが発生した。クラックの状況を写真 4 に示す。どちらのガラスもこの写真に



第5図 耐熱衝撃性チャート
Fig. 5 Diagrams of thermal shock resistance



第4図 耐熱衝撃性ガラスのもつ残留応力特性
Fig. 4 Characteristic of residual stress of thermal shock resistant glass

表われているように、クラックが底ノズルスエッジ部から放射状に発生しているのが特長である。

テスト缶体を使った結果が試片の結果に比べ、 ΔT が 20 ~ 40 °C 低くなった。これはテスト缶体が試片と異なり構造物であるため、熱衝撃による応力が部分的（底ノズルスエッジ）に集中した結果と考えている。

3. 2 耐熱衝撃性ガラスの残留応力特性

熱膨張率等の検討の結果得られた耐熱衝撃性ガラスの残留応力特性を、従来の標準ガラスと合わせて第4図に示した。この図はガラスライニングを加熱・昇温したときのガラス中の残留応力の変化を表したもので、横軸は温度、縦軸はガラス中の残留応力である。耐熱衝撃性ガラスは3100（旧標準ガラス）及び9000ガラスに比べ、室温での残留圧縮応力が大きく耐熱衝撃性の向上を裏付けている。また圧縮応力から引張り応力に変わる温度（図中「A」）が約30 °C 上昇しており、他のガラスに比べより高温まで使用できる。引張り応力が極大の部分B点（Max. tension⁴⁾）では9000ガラスよりも大きい、旧標準ガラス3100と同等の

引張り応力値でありライニング性も良好と予測される。

100 l の実機におけるチップリムーバー法による残留圧縮応力の測定結果では、それぞれ胴部において9000ガラスが約 150 MPa、耐熱衝撃性ガラスが約 180 MPa であった。両ガラスの引張り強度を80 MPaとすると、前者は230 MPa、後者は260 MPa の応力が働いた時に破壊する。

ここで、 σ = 応力、 E = ヤング率、 μ = ポアソン比、 α = 線膨脹係数とすると下式が成立する。

$$\sigma = E\alpha\Delta T / (1 - \mu) \quad (1)$$

いま、両ガラスについて $E = 8 \times 10^4$ MPa、 $\mu = 0.24$ 、 $\alpha = 9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として、それぞれ破壊させるに必要な ΔT を(1)式から算出すると、9000ガラスは243 °C、耐熱衝撃性ガラスは274 °Cとなる。この差は31 °Cであり、実機の熱衝撃試験結果の30 °Cの差と良く一致する。但しこの計算は理想状態を仮定しており、構造的制約を受ける実機の実験結果に比べ、 T の絶対値が異なるのはいうまでもない。

3. 3 実機の使用温度範囲

以上に述べた熱衝撃実験及び残留圧縮応力測定の結果から、標準ガラス9000に比べ ΔT が30 °C 向上した耐熱衝撃性ガラスが、どのような温度範囲で使用できるか第5図を用いて考察する。この第5図はテスト缶体での熱衝撃実験の結果に基づき、実際にガラスライニング機器を使用する場合の許容温度範囲を示したものであり、安全率が含まれていることを考慮されたい。

第5図(a)はジャケット側から加熱あるいは冷却された缶内に内容物を仕込む際の、内容物と缶体の許容温度を表したグラフである。

図中黒塗りされた範囲は内容物より缶体の方の温度が低いときの許容温度を示している。例えば、190 °C の内容物を投入するときは、缶体の温度を50 °C 以上におかなければならない。あるいは50 °C の缶体に内容物を投入するときは、内容物の温度を190 °C 以下にしなければならない。

第 1 表 耐熱衝撃性ガラスの耐食性

Table 1 Corrosion resistance of thermal shock resistant glass

		Thermal shock resistant glass	9000 glass
(ISO, mm/y)	20% HCl	0.04	0.04
	H ₂ O	0.01	0.01
	1N-NaOH	0.28	0.20

図中網掛けで印された範囲は内容物より缶体の温度が高
 かつときの許容温度を示している。例えば、170 °C の缶体
 に内容物を投入するときは、内容物の温度を40 °C 以上
 しなければならない。あるいは内容物の温度が40 °C の
 ときは、缶体の温度を170 °C 以下におかなければなら
 ない。

以上は9000ガラスの使用温度範囲であり、耐熱衝撃性
 ガラスの場合は、図中斜線で示された分だけ使用温度範囲が
 広がる。すなわち、例えば内容物の温度が40 °C の時、缶
 体の温度は9000ガラスであれば170 °C 以下であるべきと
 ころ、耐熱衝撃性ガラスであれば、30 °C 上回る200 °C 以
 下で良い。逆に缶体より内容物の温度が高い場合は、ガラ
 スに圧縮応力が加わることになり、残留圧縮応力を高めた
 耐熱衝撃性ガラスのメリットは無いと考えられる。

第 5 図(b)は缶内に内容物が仕込まれている状態のジャケ
 ット内に、熱媒(スチーム)あるいは冷媒を入れる時の、
 内容物とスチームあるいは冷媒の許容温度を表している。

図中黒塗りは、スチームにより内容物を加熱する場合、
 網掛けは冷媒により冷却する場合に許容されるそれぞれの
 温度範囲を示している。この条件の場合も(a)図と同様に耐
 熱衝撃性ガラスであれば斜線の分、許容温度範囲が広がる。

ここで考慮しなければならないことは「熱応力」であ
 る。ジャケットから高温加熱する場合、冒頭で述べたよう
 に、底ノズルスエッジ部等構造的に熱応力が集中し、鋼が
 降伏する場合がある。設計の段階で十分配慮しておく必要
 がある。

3. 4 耐熱衝撃性ガラスのその他の性能

主に耐食材料として用いられるライニングガラスには、
 いくつかの性能が必要になる。本耐熱衝撃性ガラスも例外

ではない。第 1 表にその他の性能として耐食性をまとめた。

まず耐食性は I S O 規格に準じ行われた試験結果で、
 ガラス 9000 に比較して若干耐アルカリ性が低下するが、耐
 酸、耐水性は同等であった。ガラスライニングが高温で使
 用されるケースは、酸性あるいは中性の内容物であると理
 解しており、使用上はガラス 9000 に匹敵する耐食性と考
 えて良い。

但し、本耐熱衝撃性ガラスは残留圧縮応力を増大させた
 結果、凸 R 部のガラス剥離、焼成温度の上昇、焼成過程の
 ガラスのクラック(ヘヤーライン)等により、施工面で多
 大の困難を伴うことがテスト缶体による焼成実験から明ら
 かになった。これらの問題点を解決し総合的品質を保証す
 るためには本ガラス固有の新しい施釉技術、焼成技術及び
 新鋭化された当社工場設備を駆使することが必要不可欠
 である。

4. 総括

ガラスライニングの耐熱衝撃性を向上させる目的で、新
 しいライニングガラスの開発に取り組んだ結果、次の結論
 を得た。

- (1) 当社標準ガラス 9000 に比べ、実機ベースで $\Delta T = 30$
 °C 上回る耐熱衝撃性ガラスを開発した。
- (2) 耐熱衝撃性ガラスの耐食性はガラス 9000 に匹敵す
 る。
- (3) ガラス中の残留圧縮応力とそのガラスの耐熱衝撃
 性、及び残留圧縮応力と熱膨脹係数に相関があるこ
 とをそれぞれ確認した。

む す び

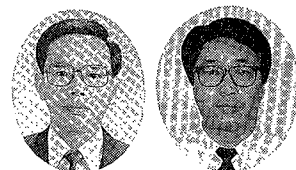
この度、新しい機能を持つライニングガラスとして、耐
 熱衝撃性ガラスを開発することができた。この新しいガラ
 スが、多くのガラスライニングユーザにご使用頂き、良い
 評価が頂けることを期待するとともに、さらに精進し現状
 ガラスの性能向上、新しいニーズに応えられるガラスの開
 発を目指す所存である。

【参考文献】

- 1) 鶴戸口：日本機械学会誌，第65巻，第525号(1962) P. 1455
- 2) 「ガラスハンドブック」：朝倉書店(1988) P. 694
- 3) J I S R 4201
- 4) 沢田雅光：神鋼フアウドラ-技報，Vol. 29, No. 2 (1985)
 p. 14

薄膜蒸留装置ワイブレンを使った システム紹介

Introduction of Systems on Wiprene (Wiped Film Evaporator)



(化)プラント部 エンジニアリング課
池田 幸雄
Yukio Ikeda
真山 一夫
Kazuo Mayama

WFE (Wiped Film Evaporator), whose term of endearment is “Wiprene”, has been in wide use as a continuous thin film evaporator in the field of product separation or product purification. It is important to select suitable combination of the “Wiprene” with the peripheral equipment depending on various liquids to be processed.

The following are explanation of function and criterion for selection of the “Wiprene” and example of its systemized application on a commercial scale.

まえがき

薄膜蒸留装置 WFE (Wiped Film Evaporator) は愛称 “ワイブレン (Wiprene)” のネーミングを新たにした。

ワイブレンは連続式薄膜蒸留装置として分離精製分野に広く使用されているが、処理目的、取扱物質の性状は多岐にわたり、各々の計画に当たってはワイブレンのハード機能及び周辺設備とのシステム構成を適切に選定することが重要である。ここではワイブレンの機能および選定基準を説明し、実設備のシステム事例を紹介する。

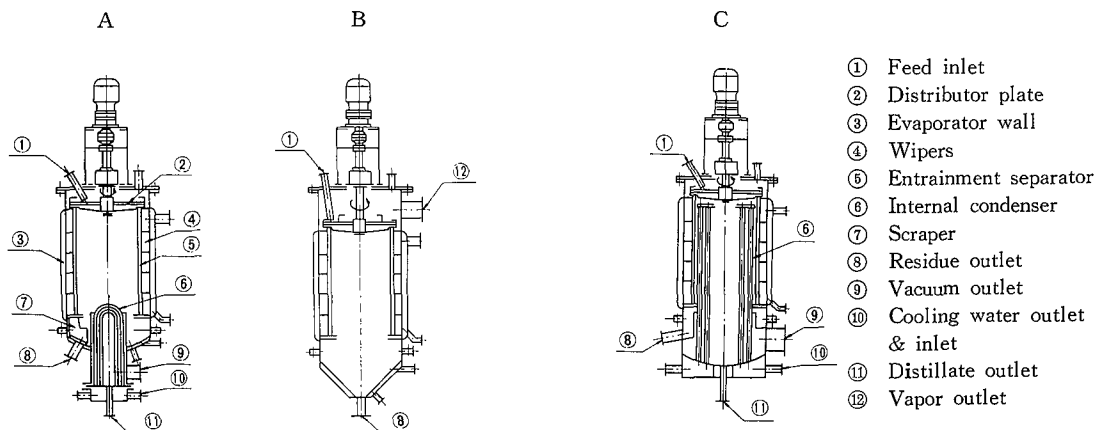
1. ワイブレンの構造および特長

薄膜蒸留装置ワイブレンの構造を第1図に示す。

- 1) 攪拌型、立型であり、ワイパーにより処理液を薄膜に形成する。
 - (1) 高粘度物質でも伝熱性能が良好である。
 - (2) 液平均滞留時間が秒単位で非常に短く、熱影響を受

け易い物質の処理に最適である。

- (3) 少ない流量でもドライアップし難い。
 - (4) ローター回転数は低速でその目的を達することができる、所要動力は小さくてすむ。
 - (5) 構造はシンプルであり、分解組立が容易である。
- 2) 蒸発室にコンデンサーを内蔵できる。
 - (1) 高真空操作が可能であり、沸点の高い物質の蒸留をも行うことができる。
 - (2) 装置全体をコンパクトに設備することができる。
 - 3) ローターにミストセパレーターを内蔵できる。
 - (1) 操作条件、液物性によって蒸発部で飛沫同伴し易い場合に対処できる。
 - (2) ミストセパレーターはチャンネル型、シェブロン型、ルーバー型の3種類があり、物性によって使い分ける。



Low vacuum wiped film evaporator

High vacuum wiped film evaporator (Molecular still)

第1図 薄膜蒸留装置ワイブレン
Fig. 1 Schematics of wiped film evaporator

4) ワイパーはA型とB型の2種類がある。

- (1) A型はワイパーがワイパーリテーナーにフリーで挿入され、ローター回転による遠心力で面圧が決定されるものであり、標準装備形式である。
- (2) B型はワイパーがスプリング板に保持され、機械的に面圧調整ができる。高粘度物質、付着生成物質、固形物が発生する物質の処理あるいはエロージョン・コロージョン現象の可能性のある物質の処理等に適用される。

1. 蒸留装置としての機能

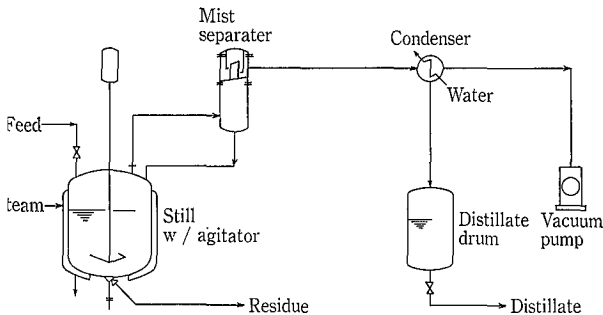
一般に蒸発と蒸留を分けて言い表されているが、蒸発は揮発成分を含む溶液を加熱して単一成分が気化することといい、蒸留は2成分または多成分系の原液においていずれの成分も蒸気圧を有して蒸発する場合をいう。

一方、蒸留に対しては、還流操作を伴わない蒸留を単蒸留または単蒸留といい、還流操作を伴う蒸留を精留という。また、単蒸留及び精留共に原料の供給形式によって回分式と連続式に分類される。

単蒸留の基本形として第2図に回分式単蒸留装置を第3図に連続式単蒸留装置を示す。

第2図の回分式単蒸留は微分蒸留であり、液が少しずつ順次に気化し、発生蒸気全ての平均組成は残液組成と平衡関係にならない。

第3図の連続式単蒸留は積分蒸留であり、発生した全蒸気の組成は残った液組成と平衡関係にある。



第2図 回分式単蒸留
Fig. 2 Batch simple distillation

ワイブレンは蒸発、蒸留あるいは精留塔リポイラー等の用途に使用されているが、蒸留形態として見た場合第3図の連続式単蒸留に近いものである。

時には第2図のバッチ操作で蒸留されたものとワイブレンで蒸留した蒸気組成及び残液組成が異なるとの指摘を受けることもあるが、これは蒸留形態の差異によって生じる現象である。

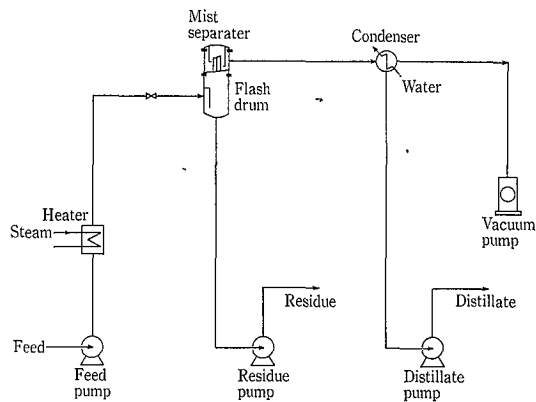
ワイブレンは加熱蒸発機構と共にコンデンサーを内蔵することができ、またローターにミストセパレーターを付属することができるので、第3図に示す予熱・加熱器、蒸発器、ミストセパレーター、コンデンサーを一体とした機能を果たすことが可能である。

次項よりワイブレンを使ったシステム例を紹介する。

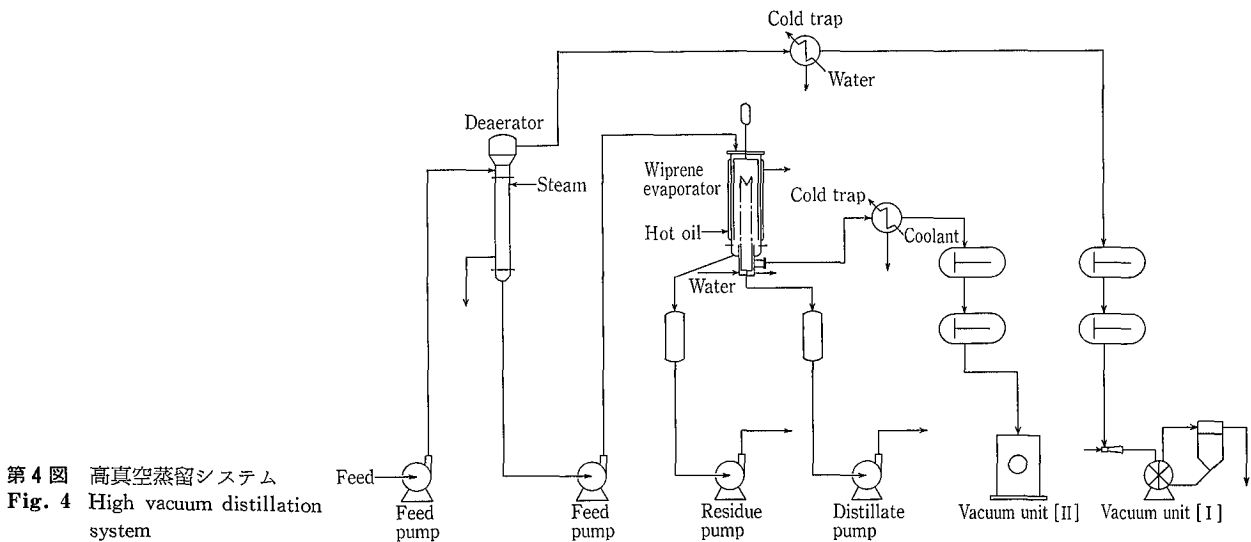
3. 高真空蒸留システム

脂肪酸系、医薬品あるいは液状ポリマーなど高分子量物質の蒸留では、沸点が高いこと及び熱変質の関係から高真空操作が必要になる。医薬品物質では沸点の関係もあるが、特に熱変質の問題より高真空、低温操作を必要とする場合が多い。

第4図に高真空蒸留のシステム例を示す。実施例の操作真空度は脂肪酸系で0.1~0.2 Torr (13~27 Pa)、医薬品、液状ポリマーで0.02~0.05 Torr (2.7~6.7 Pa) 等がある。



第3図 連続式単蒸留
Fig. 3 Continuous simple distillation



第4図 高真空蒸留システム
Fig. 4 High vacuum distillation system

3.1 ワイブレン形式

加熱蒸発面とコンデンサー冷却面を近接させた構造である高真空用を適用する。蒸発面と冷却面が近接しているので蒸発ペーパーの圧力損失を最小にして高真空を維持することができ、工業規模の処理が可能となる。

ワイブレンは第1図に示すように低真空用と高真空用があり、操作真空度 1.0 Torr (133 Pa) を境界として使い分けることにしている。しかし、低真空用内部コンデンサー型であってもペーパー流量と排気系の関係で 0.1 Torr (13 Pa) の操作が行われている例はある。

3.2 脱ガス処理

高真空操作を行うためにはワイブレン前段工程において、処理原液はできる限り脱ガス、低沸点成分の除去を行っておく必要がある。しかし前段工程の脱ガス条件は十分でない場合が多く、蒸留工程においてワイブレン上流側にも第4図のように脱ガス装置 (Deaerator) を設備することが一般的である。

注意すべき点は予熱・蒸留中に発生するノンコンガスであり、当社が実測した例では脂肪酸系物質の場合 $1.5 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{liq}\cdot\text{m}^3$ であり、この3倍を超える物質もある。また可塑剤では 250% のガス容積 ($2.5 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{liq}\cdot\text{m}^3$) であるとの報告がある。

ここで、大気圧下でのガス容積 $1 \text{ N}\cdot\text{m}^3$ は真空 0.1 Torr (13 Pa) 下では 7600 m^3 になり、0.02 Torr (2.7 Pa) ではこれの5倍になることを考えれば脱ガスの重要性が理解できる。また、低沸ガスが残留する液では薄膜形成が阻害されて伝熱性能に影響する可能性がある。

脱ガス装置は一般に蒸留真空度の10倍程度の低真空で操作し、液残存ガス及び予熱分解ガスをできるだけ除去する機能を果たす。

実施例の脱ガス器真空度は蒸留真空度 0.1 Torr (13 Pa) に対して 1 Torr (133 Pa)、0.02~0.05 Torr (2.7~6.7 Pa) に対して 0.1 Torr (13 Pa) であった。

3.3 高真空排気系

蒸留における発生ガス量、系内洩れ空気量を、圧力損失を許容内でスムーズに排出し、高真空を維持するためには、大容量の高真空排気装置と蒸留器内の十分な空間及び排気接続管が必要になる。

実施した1例 <操作真空度 0.02~0.05 Torr (2.7~6.7 Pa)> を挙げると次の仕様である。

脱ガス器用高真空排気装置：ルーツ式真空ポンプ2段+エアージェクター付水封式真空ポンプ

抽気量 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ at 0.1 Torr (13 Pa)

蒸留器用高真空排気装置：ルーツ式真空ポンプ2段+油回転真空ポンプ

抽気量 $7000 \text{ m}^3/\text{h}$ at 0.01 Torr (1.3 Pa)

4. 濃縮システム

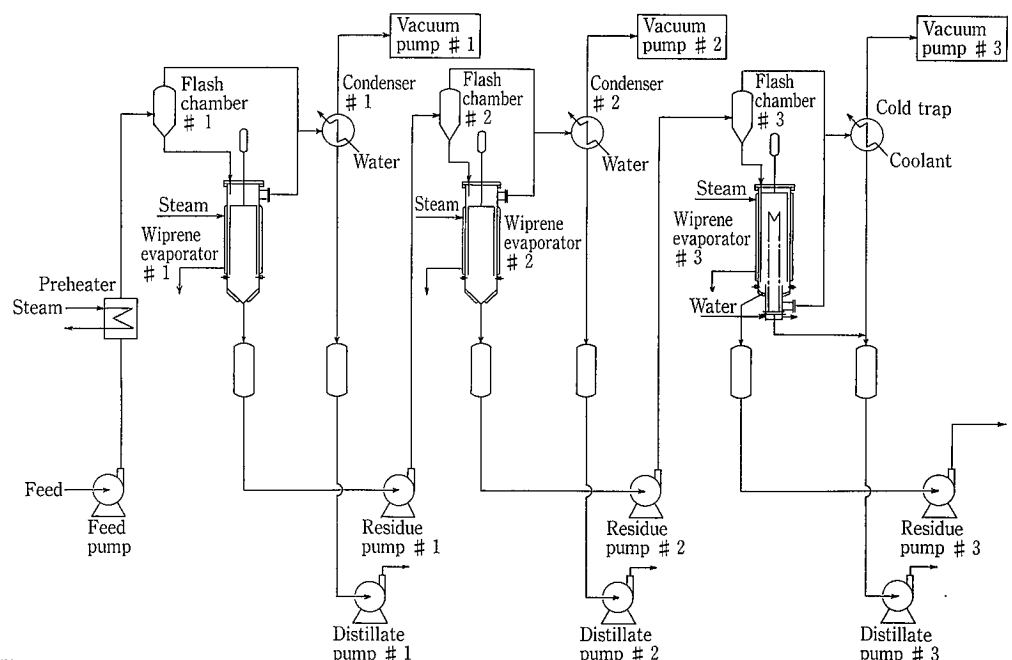
単蒸留では低沸組成リッチの留出分と無機物あるいは高沸組成リッチの濃縮残留液に分離される。処理目的としては濃縮残留液が製品あるいは目的物となる場合、留出液が製品あるいは目的物となる場合、両者とも有効目的物となる場合など種々あるが、ここでは濃縮用途について紹介する。第5図に3段濃縮のシステム例を示す。

実施例は低分子量ポリマー中の溶剤含量 80 WT% を 100 ppm 以下に濃縮することが処理目的であるが、蒸発分離された溶剤も回収再利用される。原料中に含まれる溶剤の蒸発率は 99.99% である。

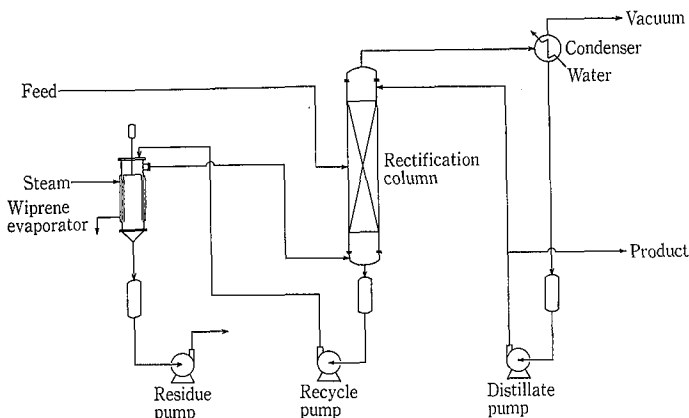
4.1 ワイブレン操作条件

4.1.1 濃縮度 (溶剤蒸発率), 操作圧力

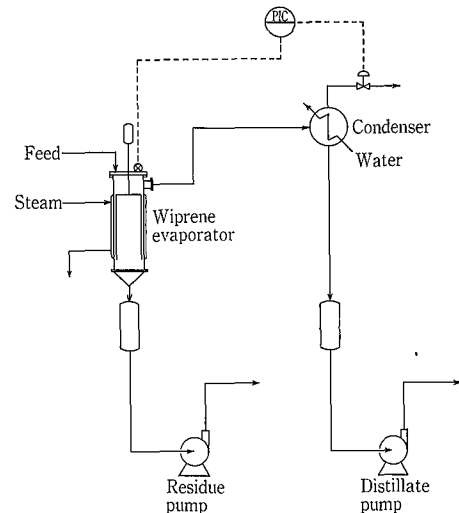
- 1) #1 ワイブレン：ポリマー濃度 IN 20 WT% → OUT 95 WT% (溶剤蒸発率 93.8%)
操作圧力 100 Torr (1.33×10^4 Pa)
- 2) #2 ワイブレン：ポリマー濃度 IN 95 WT% → OUT 99.7 WT% (溶剤蒸発率 94.0%)
操作圧力 10 Torr (1.33×10^3 Pa)
- 3) #3 ワイブレン：ポリマー濃度 IN 99.7 WT% → OUT 99.99 WT% (溶剤蒸発率 96.7%)
操作圧力 1 Torr (1.33×10^2 Pa)



第5図 濃縮システム
Fig. 5 Concentration system



第6図 精留システム
Fig. 6 Rectification system



第7図 加圧運転システム
Fig. 7 Pressure distillation system

4. 1. 2 加熱温度

ポリマー熱変質の関係で加熱温度が限定される。

4. 1. 3 沸点上昇

ポリマー濃度が高くなるにつれて沸点は上昇し、高沸ポリマーの共沸が無視できなくなる。

4. 2 ワイブレン形式

1) #1 ワイブレン：低真空用外部コンデンサー型、A型ワイパー付

処理液は溶剤組成が多く、ポリマーの熱変質は起り難いので、ワイパーはA型を選定している。

2) #2 ワイブレン：低真空用外部コンデンサー型、B型ワイパー付

処理液の溶剤組成が少なくなるとポリマー熱変質が生じ易くなり、付着滞留分の経時的重合が問題となるのでワイパーはB型を選定している。

3) #3 ワイブレン：低真空用内部コンデンサー型、B型ワイパー付

内部コンデンサー型選定理由は高真空操作と脱揮効率向上にある。

4. 3 フラッシュタンク

ワイブレンの上流側にはそれぞれフラッシュタンクを設けている。過熱原液がワイブレンにフィードされると、ワイブレンフィード部でフラッシュが起り原液の飛散が生じる。フラッシュ発生は濃縮液側に対しては原液がショートパスして未濃縮の原因となり、留分側に対しては蒸発ペーパーへ原液が飛散してエントレの原因となる。フラッシュタンクは過熱原液をワイブレン操作圧力に対して飽和液とするものであり、脱揮用途では特に注意する必要がある。

4. 4 濃縮液保温

ワイブレン加熱部で所定の濃度に濃縮されたとしても、その下流側の液排出部で温度降下があると蒸発ペーパーの再凝縮が起って濃縮未達成となる場合がある。このような場合には濃縮液排出配管で液封を行い、その部分の保温を十分に行うことが効果的である。

4. 5 高沸物の共沸

高沸点成分も蒸気圧を有しており、気液の平衡関係で蒸発する。比揮発度が大で低沸点成分の多い領域における蒸留では高沸点成分蒸発が無視できるとしても、濃縮度が上

がり低沸点成分が少なくなると高沸点成分の蒸発組成が顕著となり無視できなくなる。

低沸点成分の回収で純度が問題になる場合には回収率の関係から真空度、操作温度の選定に注意が必要であり、精留装置を付設することも必要になる。

4. 6 真空排気装置

実施例では#1及び#2は油回転真空ポンプ、#3はルーツ真空ポンプ1段+油回転真空ポンプとし、個別に真空度制御を行っている。

各処理段の真空度は各濃縮度、ペーパー凝縮回収の目的、熱変質の制限、ユーティリティー設備条件などから決定されている。相互干渉のないように各処理段毎独立の真空排気装置を配備することが一般である。

5. 精留システム

第6図にワイブレンを精留塔用リボイラーとして使用したシステム例を示す。

処理物質に熱影響を及ぼさないというワイブレンの特長を活かしたものである。ワイブレンは低真空用外部コンデンサー型が適用される。

6. 加圧運転システム

第7図に加圧運転システム例を示す。

濃縮液の融点あるいは流動点が高く、蒸発成分の蒸発温度の関係で加圧運転とする必要がある場合、また、前後のプロセスの関係上、加圧下で操作せざるを得ない場合に採用される。

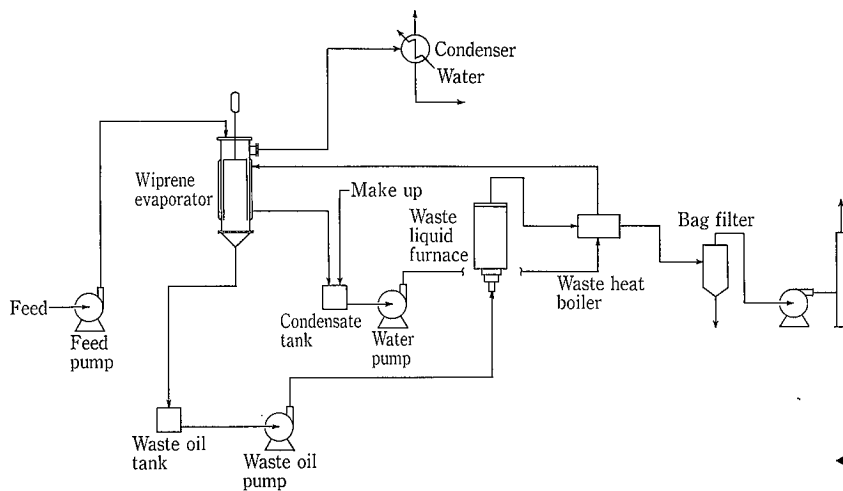
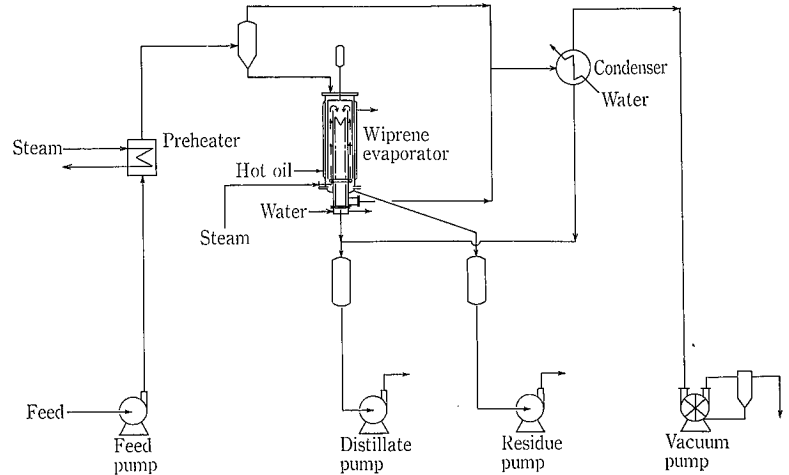
7. 脱臭システム

食品、化成品関係では脱臭が重要な工程となる場合がある。第8図にスチームストリップングによる脱臭システム例を示す。

臭気成分の除去にはいろいろな方式があるが、単に通常の真空蒸留では目的を達成できず、処理液とスチームとの向流接触が非常に有効に作用する場合がある。

ワイブレンはワイパー作用により処理液を加熱面に均一な液膜を形成するとともに液膜は攪拌されており、本体内にスチーム排出口を兼ねた内筒を挿入する構造として、効率の良い向流接触機能を発揮できる。

第8図 脱臭システム
Fig. 8 Deodorizing system



第9図 廃油濃縮システム
Fig. 9 Concentration system of waste oil

8. 廃油処理システム

第9図に廃油の処理システム例を示す。

廃油原液は水分を 97 WT% 含んでおり、ワイプレンにより水分を蒸発分離し、凝縮水は放流する。一方脱水された濃縮オイルは廃液熱分解装置の燃料として燃焼され、この燃焼熱を利用した廃熱ボイラーで発生するスチームはワイプレンの加熱源として使用される。本例は遺棄できない廃油の省エネ処理システムである。

む す び

ワイプレンの基本的な用途例を紹介したが、簡単な装置、システムであってもいろいろな応用分野、用途があ

り、多方面にご使用いただいている。目的とする性能を満足する為にはワイプレンの単体機能を理解の上で機種選定することは当然必要であるが、周辺のエンジニアリングに十分配慮することが重要であると痛感する。

姉妹機である EXEVA (高粘度液用薄膜蒸留装置) と共に新分野、新用途に向い、エンジニアリングサービスを充実させ、皆様のご要望にお応えしていきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 編集者 平田光穂, 頼実正弘: 蒸留工学ハンドブック, (1966), 朝倉書店
- 2) 著者 河東準, 岡田功: 新版 蒸留の理論と計算, 工学図書

ヤコブソンミルの紹介

Introduction of Jacobson Mill



技術開発本部 粉体技術室
谷 口 十 一
Toichi Taniguchi

Jacobson Mill is one of air swept pulverizers and a combination grinder/classifier, designed to handle size reduction applications in the medium to ultrafine particle size range. It combines two unique operating principles to achieve maximum efficiency. First, a controlled air stream and centrifugal force are used as the continuous milling, classifying and conveying medium. Second, particle size reduction is achieved by simultaneous three-way-action impact, shear, and air-turbulence attrition.

With a reputation for ease of operation, low cost maintenance, simplicity of clean-out, and durability, the Jacobson Mill is found uses in a wide variety of industries.

： え が き

粉碎はあらゆる工業分野において不可欠の単位操作として定着している。その中で各分野の重要な開発目標となっている微粉碎の分野が注目されて久しい。微粉粒子の製造については粉碎機による機械的単位操作のみでなく、化学的、物理的方法によってなされており、このうちサブミクロン粒子製造の主流となっているのは、液相沈殿法や気相

析出法による析出法である。しかしこのような方法により微粉が生成されても、それら微粉は凝集力が強く、その分散のためにも微粉碎機が使用されている。

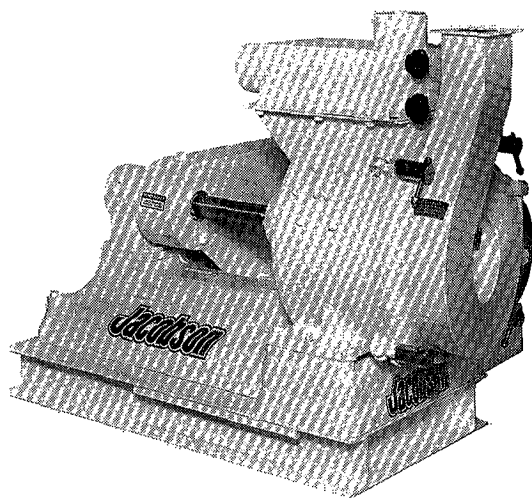
種々の粉碎機の中で微粉碎機として分類されるのはボールミル（振動ミルや遊星ミルを含む広義の意味で）、高速回転式衝撃粉碎機、ジェットミル、媒体攪拌式粉碎機である。弊社にても湿式微粉碎及び分散機としてアニューラー型媒体攪拌タイプのコボール・ミル、湿式及び乾式のスエコ振動ミルを上市し各業界から好評をもって迎えられている。しかしこれらはすべて粉碎メディアの作用により微粉碎を行うものであり、主として湿式で利用されている微粉碎機である。

ここに紹介する乾式粉碎機ヤコブソン・ミル（写真1）は、アメリカ JACOBSON 社にて開発されたものであり、エアスエプト方式の軸流型高速回転式衝撃粉碎機として分類されるものである。分級機構を内蔵し、乾燥操作をも同時に行うことが可能であるため、汎用性に富み多くの業界で使用実績を有している。

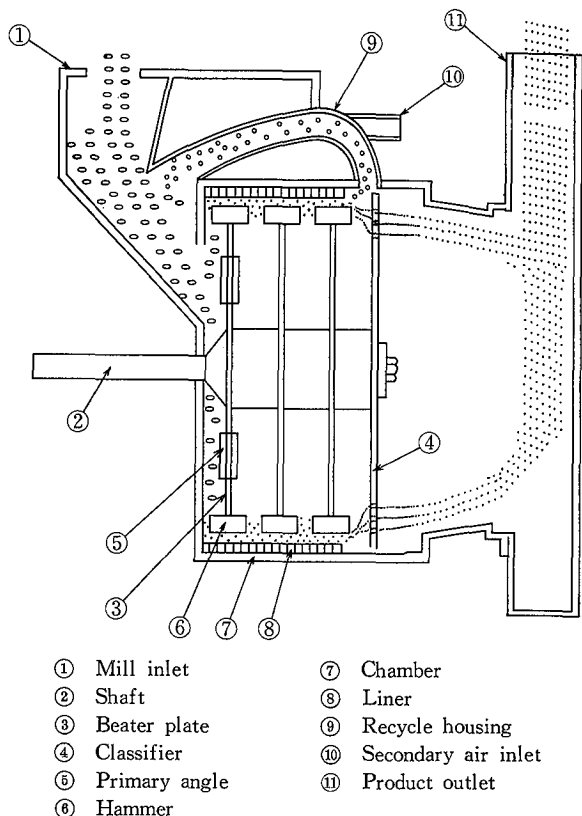
1. ヤコブソンミルの機構

ヤコブソンミルはその前身である SCHUTZ-O'NEILL 社により開発され、その後改良が加えられたミルである。粉碎機内に空気を取り入れ、破碎物をその空気流にのせて輸送しながら機外へ取り出すエアスエプト方式を採用し、分級板を内蔵することにより碎生品を分級している。

ヤコブソンミルの機構について第1図により説明する。



真 1 ヤコブソンミル
foto. 1 Jacobson Mill

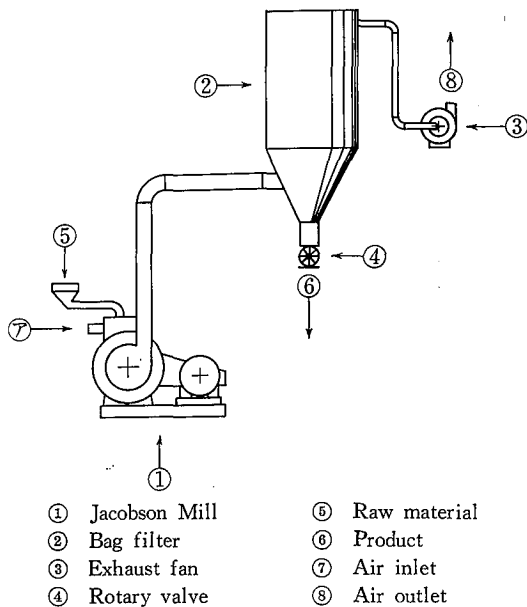


第1図 ヤコブソンミル概念図
Fig. 1 Schematic Jacobson Mill

粉砕機入口①より碎料を供給フィーダもしくはロータリーバルブ等により供給する。粉砕室の中心には主軸②が通っており、主軸にはランナ⑥のついた複数の回転板③と有孔分級板④とが取り付けられている。第1列目の回転板には衝撃プレート⑤が回転板の中ほどに複数個配列されており、ミルに入った碎料はこの衝撃プレートにより粗砕される。粗砕された碎料は遠心力の作用にて回転板の円周方向に進み、粉砕室⑦の内壁に取付けられたライナ⑧とランナとのすき間およびライナとライナとの間隙で剪断力を受け粉砕される。さらに高速回転するランナにより生じる後流の渦中で粒子同士の摩擦による粉砕が進行する。

ライナは軸方向に歯形状の多数の溝を有し粉砕効果を高める働きをしている。このライナはランナとのすき間を調節出来るように円周一カ所にスリットが切っており、ライナ摩耗時の取り替えが出来る構造となっている。粉砕された粒子は気流にのって前方に進み、分級板にて遠心力の作用で分離され、微粉は分級板に設けられた孔を通りミル出口⑪から排出され、その下流に設置されたバグフィルタなどにより製品として捕集される。粗粉は微粉から分離され、粉砕室先端付近の開口部から循環路⑨を通り入り口側へリサイクルされ、再び粉砕される。粉砕機内への空気は排風ファンによって、ミル入口および二次空気取り入れ口⑩より吸引される。

ランナの形状や分級板の型式を変化させることにより碎生物の粒度をコントロールすることが出来るが、粒度やその分布はライナとランナとのすき間、ランナの回転速度、



第2図 標準粉砕システム
Fig. 2 Standard system

ミル内での碎料保有率などによっても異なる。

ヤコブソンミルは、衝撃力だけでなく、微粉砕に必要な剪断力、摩擦力が強く作用するため、幅広く微粉砕機として使用することが出来るが、大きさが6 mm程度、硬度ではモース硬度3以下の碎料に最適の微粉砕機である。粉砕により碎料は発熱するが、吸引空気により冷却される。しかし熱敏感性物質や低温脆化物質の粉砕の場合には低温ガスを使用し、より低い温度で粉砕することも出来る。さらに加熱ドライエアを使用することにより、粉砕と同時に乾燥を行うことも可能である。

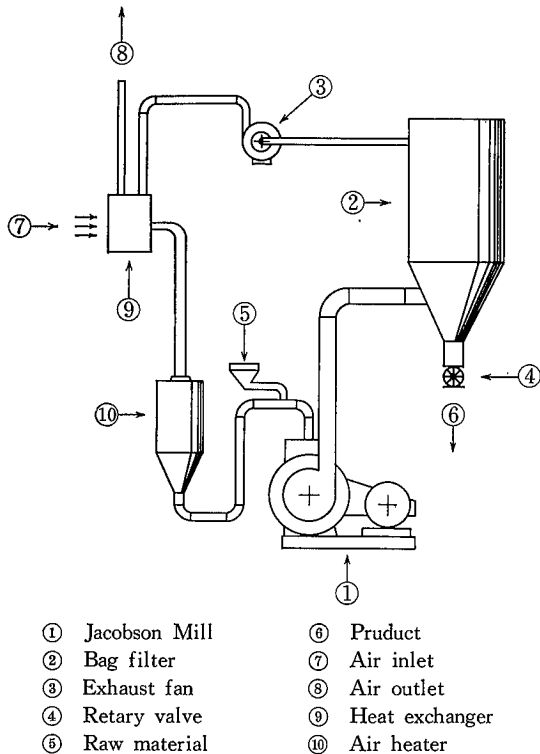
2. ヤコブソンミルの特長

ヤコブソンミルの特長として次の点があげられる。

- (1) 気流と遠心力の調節により、粉砕、分級、排出を連続的に行い、安定した碎生品を得る事が出来る。
- (2) 衝撃力、剪断力、摩擦力の同時作用により 5 μm 以下に微粉砕出来る。
- (3) 加熱ガスの使用により乾燥操作も同時に可能
- (4) 内部分級機構及び再粉砕機構により、シャープで均一な碎生品が得られる。
- (5) ランナ及び分級板の交換により、幅広い原料粒度、粉砕粒度に対応できる。
- (6) ミル出口側のハウジングを開けることにより、簡単に内部が洗浄出来るなどメンテナンスが容易である。
- (7) ミル入り口から出口までサニタリー仕様に対応することが可能 (オプション)

3. 粉砕システム

最も一般的なシステムはヤコブソンミルと製品捕集装置を組み合わせたものである。第2図に代表例を示すように、原料供給装置、ヤコブソンミル、バグフィルタ及びそれに付随するロータリーバルブ、排風ファンの組み合わせとなる (写真2参照)。製品の粒度分布を厳しく規制する



第3図 粉碎・乾燥システム
Fig. 3 Grinding and drying

必要がある場合にはヤコブソンミルとバッグフィルタの間に分級機を設置する。また、分級機を設置する場合、閉回路粉碎システムを組み、微粉を製品として下流側のバッグフィルタで捕集し、粗粉をミル入り口側に戻すことにより、粉碎効率を高めることも出来る。

第3図は粉碎・乾燥プロセスの場合で、系中にエアヒータを入れ、加熱ガスをミルに吸引し、砕料を粉碎すると同時に乾燥し、バッグフィルタで捕集する。ファンからの排気は熱交換機を通し系外へ排出する。この排気と熱交換されたフレッシュエアはヒータによりさらに所定の温度まで上げられミルに入る。

4. ヤコブソンミルの仕様

ヤコブソンミルはモータ動力15 HPの小型機から600 HPの大型機まで6機種あり、型式及び仕様を第1表に示す。

5. ヤコブソンミルの適用例

食品、化学品、セラミックスなどに多数の実績があり、その内の数例を示す。

- (1) 砂糖
[目的] 粒状物を325メッシュ以下
[結果] 28-H, 100 HP で 94% 325メッシュ以下。
処理量 1.6 ton/h
- (2) シナモン
[目的] 30~40 mm のスティック状のものを 80 メッシュ以下に粉碎
[結果] 16-H, 20 HP で 95% 80メッシュ以下。処理量 150 kg/h
- (3) ステアリン酸カルシウム
[目的] ケーキ状のものを325メッシュ以下

第1表 ヤコブソンミルの仕様
Table 1 Specification of Jacobson Mill

Model	Max. H.P. (kW)	Chamber Dia (mm)	Dimensions W×L×H (mm)	Air capacity (m ³ /min)
12-H	11	305	700×1100× 850	5~ 10
16-H	37	460	1300×1350× 950	10~ 20
22-H	75	610	1600×1850×1250	15~ 40
28-H	110	790	1900×2100×1550	40~ 70
48-H	260	1220	2250×2700×2150	70~110
80-H	450	2030	3000×5200×2650	220~340

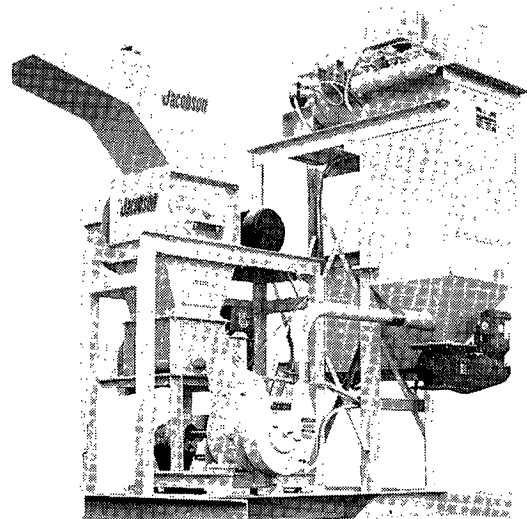


写真2 粉碎システム例
Photo. 2 Standard system of Jacobson Mill

[結果] 22-H, 40 HP で 99.9% 325メッシュ以下。
処理量 450 kg/h

- (4) 尿素ホルムアルデヒド樹脂

[目的] ポップコーン状を100メッシュ以下

[結果] 22-H, 50 HP で 95% 100メッシュ以下。
処理量 540 kg/h

- (5) 無機酸化物 (セラミックス)

[目的] か焼物を平均 1.5 μ に粉碎

[結果] 16-H, 14 HP で 平均粒径 1.5 μ。処理量 230 kg/h

む す び

軸流式の乾式微粉碎機ヤコブソンミルの紹介を行った。弊社の粉碎機メニューにコポール・ミル、スエコ振動ミルに加えヤコブソンミルを加えることにより、ユーザ各位の粉碎に対する御要望に幅広くお応え出来る体制が整ったと考えている。テスト装置として弊社技術研究所粉体実験室にて 12-H を中心とした粉碎システムを用意し各位の御利用をお待ちしている。またこのテスト装置による実験結果について近い機会に御報告したい。

[参考文献]

- 1) たとえば神保: 第38回粉体工学研究講習会テキスト, 1991, 粉体工学会
- 2) 谷口: 第27回セラミック委員会講演資料, 1990, 日本電子材料技術協会

PMX-98の自動車部品工場への適用

Application of Software Package "PMX-98" to a Parts Plant of Car Industry



技術開発本部 FAソフト技術室
平田逸郎
Ituro Hirata

It has been very popular to introduce CIM (Computer Integrated Manufacturing) for manufacturing industries which are needed to get a higher productivity by means of real-time production control, that is short lead-time or stock-less management.

Highly developed electronic technology makes possible to build a networking system using personal computer, namely it is called by CIM system. Although CIM is constructed by hardware and software, generally major concern is a matter of software development such as personnel necessity, cost, lead-time and so on. Our standard Software Package "PMX-98" could be available to the construction of CIM system.

This paper referred to the development background and the application of "PMX-98".

まえがき

製造業では生き残りを賭けて、工場の生産性向上を目的に、FA、CIM化を導入、または導入を検討中である。FA、CIM化はリードタイムの削減、在庫量の低減などリアルタイムな生産管理を行うことで生産性を向上させることができる。また、最近の電子技術の進歩により、パソコンをベースとしたネットワークシステムがローコストで構築できるようになり、FA、CIM化導入の気運がいつそう高まってきた。

ハードウェアの進歩とは別にソフトウェアの面では開発要員、費用、期間、メンテナンスなどに問題があるという状況はいぜん変わっていない。このような問題に 대응して開発されたPMX-98は、FA、CIM化に対応したパッケージソフトであり、容易にFAシステムを構築することができる。

本稿では、当社で開発したPMX-98の開発背景、概要、適用例について説明する。

1. 開発背景

工場のFAシステムやCIMにおけるセルレベルのシステムを開発する場合、将来的にも拡張性のあるフレキシブルなシステムを低コストで短期間に構築することが要求される。その時、ソフトウェア開発を一からプログラム作成により行うか、あるいはパッケージソフトの利用により行うかを検討することになる。プログラム作成は自由度が高く要求仕様に合ったソフトウェアを開発できるが、システムプログラムは一品料理となり、後々の拡張性、メンテナンスに問題が残る。一方、パッケージソフトは仕様にうまくフィットすれば開発コスト、期間の面でメリットがあるが、そうでない場合、システムの仕様をパッケージソフトに合わせるか、又はパッケージソフトをメーカーに改造してもらわなければならないとメリットが少なくなってしまう。

このようなニーズのもとに、ユーザで簡単にシステム構築ができ、しかもユーザプログラミングも可能なFA用パッケージソフト「PMX-98」を開発した。PMX-98は、

リアルタイムマルチタスク化MS-DOS上で動作する汎用性の高いFAシステム構築用パッケージソフトウェアである。

2. PMX-98の概要

2.1 システム構成

PMX-98は、パソコンとPLC (Programmable Logic Controller)、多重伝送機器、I/Oボードなどを接続してシステムを構成する。パソコンはNECのPC-9800シリーズが使用できる。パソコンのCPUは8086でも可能であるが、システムのパフォーマンスを高めるために386、486CPU搭載マシンが望ましい。特に、MS-DOS Ver 5.0との組み合わせで使用する場合に386以上のマシンにより、メモリ空間を増大させることができ、最大限の機能を発揮することができる。

接続機器としては、FA分野ではPLCを利用するのが一般的である。PMX-98は国内のほとんどのPLCメーカーに対応している。また、メーカーが提供するPLCネットワークを利用すればさらに高度な生産管理システムも可能であり、将来的なシステムアップを考慮した機器の選定が必要である。

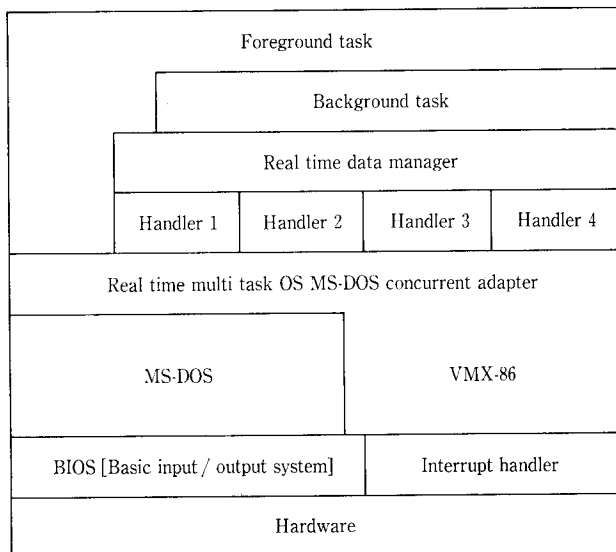
PLC以外にも多重伝送機器、RS-232C機器、I/Oボードなどの機器に対応しておりマルチベンダ環境でのシステム構成が可能である。

更に発展した形態としてパソコンLAN (Local Area Network) に接続し、パソコン間の情報を共有し、統合的な情報処理を行うことも可能で、ローコストなCIMを構築できる。

2.2 ソフトウェア構成

第1図にPMX-98のソフトウェア構成を示す。OSにはMS-DOS (Ver 3.1以上)をベースとし、VMX-86を組み込んで、リアルタイムマルチタスク環境を提供している。

ハンドラはパソコンと接続機器(PLC、多重伝送機器など)とのデータ入出力を行うプログラムで、通信プロト



第1図 ソフトウェア構成
Fig. 1 Software construction

コル、スケール変換などの処理を行う。ハンドラで対応できる機器は、PLC、デジタル調節計、レコーダ、多重伝送機器、各種計測器など多種多様である。また、インタフェースとしてはRS-232C、RS-422などの汎用通信インタフェース、機器メーカーから提供されているI/Fボードによる通信インタフェース、I/Oボードによるデジタル、アナログ入出力インタフェースなどが利用できる。現在対応しているハンドラ一覧を第1表に示す。

ハンドラは最大4本まで組み込むことができ、リアルタイムデータマネージャが全体的な管理を行っている。

PMX-98のタスクとして、バックグラウンドタスクとフォアグラウンドタスクとがある。バックグラウンドタスクは、パソコンのメインメモリに常駐して動作するプログラムのことで、画面表示と関係なく常時動作している。また、マンマシンプログラム(フォアグラウンドタスク)は、

第1表 標準ハンドラ一覧

Table 1 List of standard handler

Programmable controller		
02-001	SYSMAC handler	for SYSMAC-C series
02-025	SYSMACV handler	for SYSMAC-CV series
02-002	SYSDNET handler	for SYSMAC-C series with board I/F
02-028	KOSTAC handler	for KOSTAC SG-8 series
02-004	MICREX handler	for MICREX series with board I/F
02-023	FP1 handler	for FP1 series
02-003	MELSEC handler	for MELSEC-A series
02-018	MEMOCON handler	for MEMOCON-SC series
02-005	MA500 handler	for MA500 series
Recorder		
02-017	RM2500 handler	for RM2500 series
02-021	HR2400 handler	for HR2300, HR2400
02-006	HR4081 handler	for 3081, 4081
Controller		
02-022	E5AX handler	for E5AX series
02-016	EC5300 handler	for EC5300 series
02-008	CHNDB handler	for CHINO-DB series
02-009	CHNSK handler	for CHINO-SK series
02-028	SDC200 handler	for SDC200
02-007	UT30 handler	for UT-30, 40 series
Multi-transfer unit		
02-010	DATAM handler	for DLA, DLC series
02-014	V98 handler	for TOLINE-V series with board I/F
02-026	VLINE2 handler	for VITY-LINER with board I/F
02-027	VLINE4 handler	for VITY-LINER
Others		
02-015	DKT handler	for Tele-Coupler DKT
02-011	RS2 handler	for various equipment with RS-232C I/F
02-012	IOBD handler	for DI, DO, CT, AI, AO board
02-013	ENZAN handler	to make entry of internal calculations by a user

非常駐で動作するプログラムで、キーボード入力、画面表示などを行う。

2.3 ソフトウェア機能

第2表にPMX-98のソフトウェア機能を示す。バックグラウンドタスクには、機械の故障を監視するイベント監視タスク、一定時間毎、またはイベント発生時にデータをファイルに書き込むデータ収集タスクを、またマンマシンプログラムには、多彩な表現力を持つグラフィック表示、時系列のデータを表示するトレンド表示、警報などの内容

第2表 ソフトウェア機能

Table 2 Software function

Standard function		Options
Event monitor	Alarm, message and status Print out	• Communication software to a upper computer with RS-232C Personal computers is connected with a upper computer by RS-232C. A upper computer is able to read or write data of personal computer.
Data logging	Event driven type ON/OFF of digital tags by characters, special symbols and their attributes Display of analog tags by numerical values and bar graphs	• Communication software to a upper computer on LAN (Local Area Network) Personal computers is connected with a upper computer on LAN. A upper computer communicate data to personal computers through a file.
Trend graph	Historical trend graph Real time trend graph	• The recipe management software Previously a user entry parameter of recipe. When PMX-98 is operate, a user can write parameter of recipe continuously to the external machine.
Message display	Historical alarm Operator message Guidance setting	• The maximum demand monitoring system Output the high limit alarm of the maximum demand that is calculated the demand charge for 30 minutes.
Setting values	Setting ON/OFF of digital tags Setting upper or lower limits of analog input tags Setting upper or lower limits of analog output tags Setting initial values of timers or counters Setting set values and upper or lower limits of loop controllers	• The touch panel systems Users can input data through a touch panel. A touch panel is "HYPER TOUCH" made by Nisy-Intersystems Co., Ltd.
Output of report files	Output of daily reports to files or a printer	

を表示するメッセージ表示，接続機器のデータを変更する設定操作，日報・月報などを出力するレポートファイル作成を標準機能として備えている。また，バッチファイルや，MS-DOS コマンド，ユーザ作成プログラムもマンマシンプログラムとして実行できる。第3表に PMX-98 のソフトウェア仕様を示す。

一方，オプションソフトとして，上位通信，品種管理，デマンド監視，タッチパネル入力などを用意している。

また，プログラムインタフェースとして，C言語ライブラリ (Lattice-C Ver 4.1 用) を用意しており，ユーザはマルチタスクOSに対応した個別のプログラムを作成することが出来，フォアグラウンド，バックグラウンドのどちらでも動作させることが出来る。

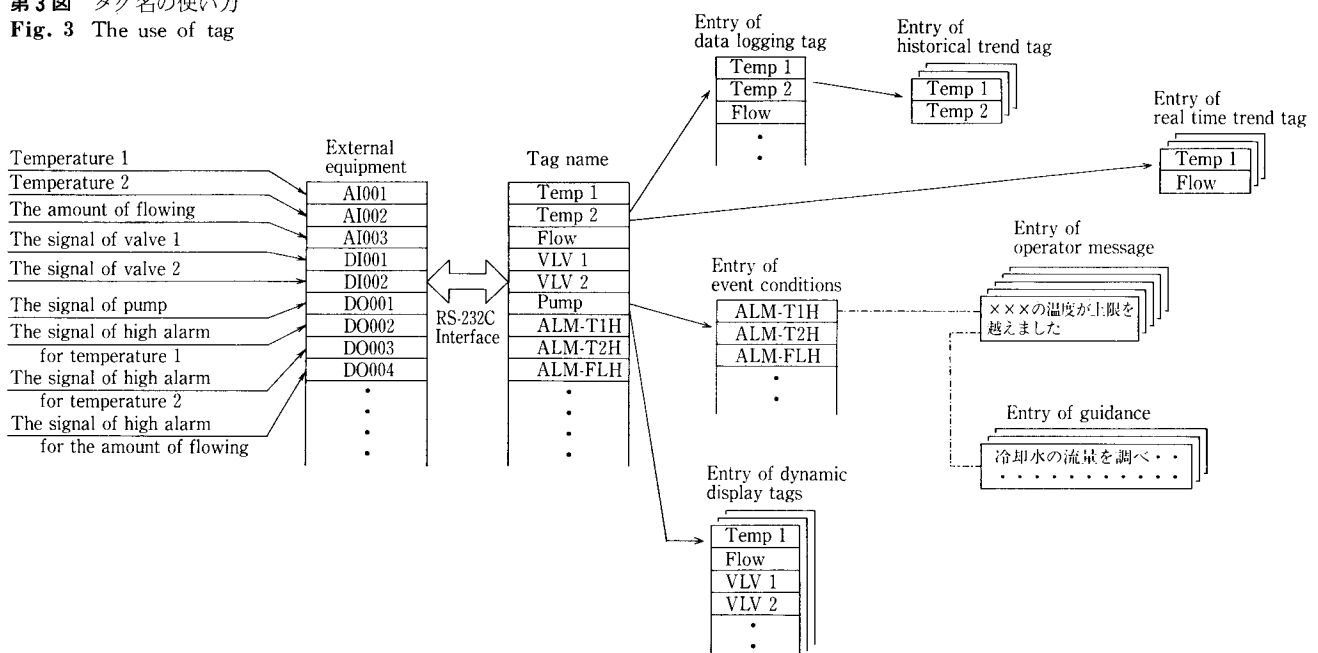
2.4 システム構築

システム構築はユーティリティソフトを用いてプログラムレスで行うことが出来る。ユーザはメニュー形式で入力項目の選択を行

第3表 ソフトウェア仕様
Table 3 Software specifications

Connected equipment	Max 4
Tag	Max 1024
Event	Max 512
Data logging condition	Max 16 files (Interval or event type)
Data logging tag	Max 60/file
Trend graph	Max 16 Screens/type (Historical and real time type)
Trend graph pen	Max 6 pens/Screens
Graphic display	Max 128 screens
Tag for dynamic display	Max 256 points/screen
Message	Max 512
Guidance	Max 256
Setting values	Max 16 screens
Tag for setting	Max 8 points/screen
Output of report file	Max 16 files

第3図 タグ名の使い方
Fig. 3 The use of tag



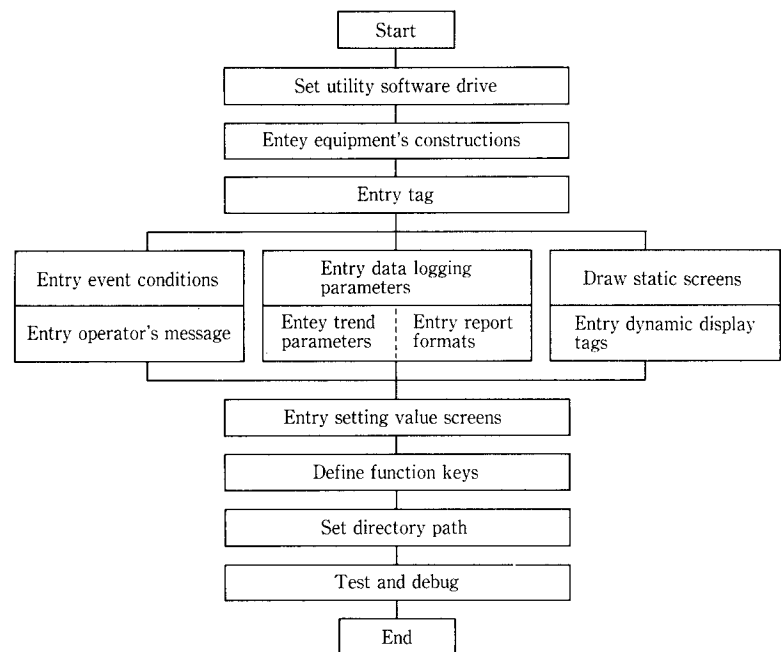
い，必要な入力画面を開けてデータを登録する。第2図にシステム構築手順を示す。

リアルタイムデータの参照は全てユーザが登録したタグ名を用いるので，ハードウェアを意識することなく設定ができる。第3図にタグ名の使い方を示す。

グラフィック画面は，まず固定画面をグラフィックツール KiD 98で作成し，つぎにリアルタイム表示用タグを画面に割り付けて作成する。操作は全てマウスで簡単に行うため，変更追加も現場で容易に行うことができる。

また，パソコン内でデータ処理する場合，演算ハンドラが利用できる。たとえば，進捗度を演算するには，第4図

第2図 システム構築手順
Fig. 2 Flow of building up systems



に示すように演算ユニットにYを入力データX1, X2の関係式として定義すればよい。X1, X2はそれぞれ現在生産量, 生産目標値のタグ名を設定する。このようにして定義された演算ユニットは, ひとつのC言語のソースに展開されコンパイル/リンク後, 実行形式のプログラムとなる。(コンパイルには Lattice-C Ver4.1が必要)

2. 5 PMX-98の特長

PMX-98の特長を次に示す。

- (1) F A/P Aシステムがプログラムレスで短期間に構築可能
- (2) リアルタイム・マルチタスク化 MS-DOS により高速・高機能
- (3) P L C , 多重伝送機器, I/O ボードなど多種多様な機器とリンク可能
- (4) ユーザプログラムを作成して, 並行処理が可能
- (5) Lotus 1-2-3 などの市販ソフトからデータの利用が可能
- (6) 連続プロセス, バッチプロセス, 個別プロセスにも幅広く応用可能

3. 自動車部品工場への適用例¹⁾

3. 1 システムの概要

大手自動車部品メーカーが自社で開発した生産時点管理システムに PMX-98 が採用されたので, 適用例として報告する。

システムの目的は生産工程の稼働率の向上, 生産性の向上, 省力化の推進であり, そのために生産現場の情報をリアルタイムに収集して, 生産実績, 稼働状況を把握するシステムである。

システム開発する上で「現場が作るローコスト C I M」をコンセプトとして推進し, つぎの3つの基本的条件を掲げている。

- (1) 生産工程/工場の人々が自らシステムを構築出来ること。

- (2) 改善がやり易いようにローコストに構築できること。
- (3) 全社的に展開できるようにオープンシステムで構築できること。

特に, 工程の環境変化に迅速に対応するために, このシステムのユーザである担当課と協力体制で開発を行っている。

第5図に燃線工程の生産時点管理システムのシステム構成を示す。生産工程は自動車用組電線の燃線工程で合計120台の燃線機が設置されている。燃線機の信号はそれぞれの機械に対応した120台のP L Cに取り込まれる。これらのP L Cは8つのブロックに分けられブロック毎にP L Cネットワークで結合され, パソコン(ブロックパソコン)とR S -232C/R S -485通信インターフェースで接続されている。

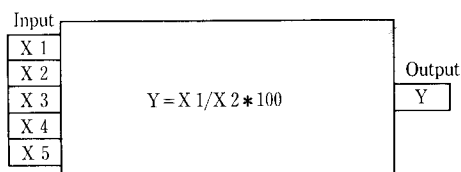
8台のブロックパソコンはさらに, L A N (Local Area Network) に接続され, データがファイルサーバに書き込まれ, ワークステーションにより工程全体の情報管理が行われる。L A Nには Net Ware 386J を使用し, 250 M Byte の大容量ファイルサーバ1台, ワークステーション1台, ブロックパソコン8台を接続している。

ワークステーションは機械稼働照会, 生産進捗照会, ヒストリカル統計処理, ホストへのデータ受け渡しなどを行っているほか, 各ブロックパソコンとファイルサーバを介しての通信が可能であり, 各ブロックの状況を画面に表示することができる。

データの処理点数は, 燃線機1台で60点, ブロックで1000点, 全体で8000点となっている。

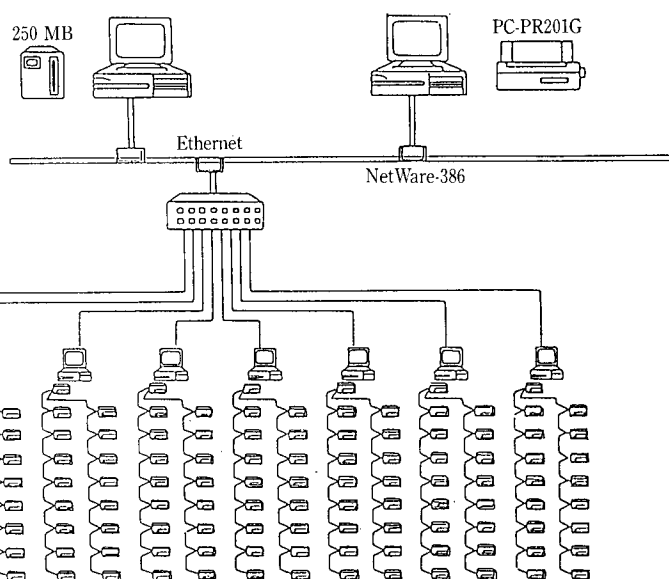
3. 2 追加機能

生産時点管理システムでは, 各ブロックにおける生産品の品種コード, ロットナンバーなどの文字データを扱う必要が生じた。これに対して PMX-98 では, 文字列をタグデータ(ストリングタグ)として扱えるよう標準仕様の追加を行った。



Y : Progression [%]
X1 : Quantity of productions now
X2 : Target of productions

第4図 演算ハンドラのユニット定義例
Fig. 4 Example of ENZAN handler unit



第5図 生産時点管理システム構成
Fig. 5 A point of production management system

ストリングタグの文字列データは、バーコードリーダーやキーボードからPLC内部のデータメモリまたはPMX-98内部の演算ハンドラに入力され、次の機能にて使用出来る。

- (1) グラフィック画面表示
- (2) データ収集
- (3) レポートファイル出力

この追加により品番コード、ロットナンバーなどの文字データが扱えるようになり、生産時点管理システムを一段とグレードアップすることが出来た。

3.3 パッケージソフト適用時の留意点

従来ならミニコンクラス以上でしか開発できなかったシステムが、本適用例ではパソコンとネットワークを応用することで実現している。これには、パソコンハードウェアの進歩と安定したネットワーク、そして優れたパッケージソフトの利用によるところが大きい。

しかしながら、これらの組み合わせで利用する上でいくつかの課題があった。ひとつはMS-DOSの640K Byteのメモリ制限で、DOS、リアルタイムOS、ネットワークOS、そしてPMX-98のシステムをいかにメモリに常駐させ動作させるかであった。この対策としてEMS、プロテクトメモリなどメモリ配置について種々検討を行い動作可能にした。

また、Net Ware とリアルタイム OS との資源競合が起こり、まれにシステムダウンを起こす。これについては、長期にわたる調査を行い原因を究明した結果、安定した動作状態を得ることができた。

その他、パッケージソフトの標準外仕様は、個別プログラム開発が必要となり、ユーザにとって負担が大きくなる

が、PMX-98の演算ハンドラを利用することで比較的簡単にC言語レベルのユーザ独自プログラムが開発出来た。

以上、パッケージソフトを適用する上での留意点を示した。

む す び

PMX-98の概要、及びFAシステムへの適用例として自動車部品工場の生産時点管理システムを示した。PMX-98の目的はソフトウェアの生産性向上であり、エンドユーザはもちろんのことソフトハウスまで幅広い利用が出来、大きなメリットが生じると考えている。PMX-98はこれまで多くの販売実績があり、ユーザから多大なご支援をいただいている。今後ともPMX-98をさらに高機能、高性能なものへと発展させていくとともに、皆さま方のFAシステム作りにお役に立てれば幸いである。

最後になりましたが、自動車部品工場への適用例の紹介に際しまして、多大なご協力を頂きました矢崎部品株式会社生産技術事業部、同黄瀬川工場技術部、同黄瀬川工場TQC・TPM推進事務局の方々にたいして、厚くお礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 真野克己, 大田黒敦雄, 土屋貴則, 兼子淳司, 杉浦武雄: 燃線工程の生産時点管理システム, 矢崎技術リポート, 第16号 (1991), p. 19~24

〔注記〕

1. MS-DOSはマイクロソフト社の登録商標です。
2. VMX-86は梯バックスの登録商標です。
3. Lattice-Cはラティス社の登録商標です。
4. Lotusおよび1-2-3はロータスディベロップメント社の登録商標です。
5. Net Wareはノベル社の登録商標です。
6. KiD 98は梯ツアイトの登録商標です。

最新の半導体集積技術と超純水

Latest Semiconductor Integration Technology and Ultrapure Water



(環)技術室
知 福 博 行
Hiroyuki Chifuku

The improvement of semiconductor memory integration is so rapid that the production of 16 Mbit DRAM has already started. The next generation 64 Mbit DRAM requires the atomic level control of wafer surface as well as high cleanliness in production processes. On the other hand, rinsing difficulty is increasing due to multi-layerization and requirement for more and more multi-layerized and refined cell structure. Although an GOLDEP-made ultrapure water production system is capable of producing high quality water which 64 Mbit DRAM requires, the water quality control method will be a critical point for the operation.

まえがき

半導体メモリーにおける集積度の向上はめざましく、特に DRAM (Dynamic Random Access Memory: 記憶保持操作の必要な随時書き込み読み出しメモリー) については、現在各社で 64 Mbit の量産工場の建設が行われており、一部で供給も始まっている。また、次世代、次々世代については 256 Mbit, 1 Gbit について研究開発が進められており、256 Mbit ではすでに試作品もつくられている。

このような高集積度の半導体メモリーの製造プロセスにおいては、現状よりはるかに高度なクリーン化が要求されるとともに、超純水についてもさらに厳しい水質が要求されるものと予想される。

本報では 64 MDRAM の製造技術動向や、周辺技術を展望し、これらの要求に対応できる超純水水質について検討した。

1. 半導体メモリー

1.1 構造

集積回路は IC (Integrated Circuit) とも呼ばれており、一枚のシリコンチップの上にトランジスター、ダイオード、抵抗、コンデンサー等を形成し、回路を構成したものである。俗に言う IC はこのような物を指しており、半導体 IC (モノリシック IC) と呼ばれている。これに対して一部の部品を外付けして製作されたものを混成集積回路 (ハイブリッド IC) と呼んで区別している。

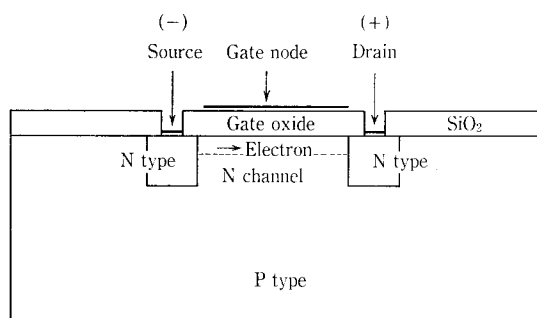
半導体集積回路は使用されている素子の種類によってバイポーラ形と MOS 形 (Metal Oxide Semiconductor) に分類できる。バイポーラ形は NPN, PNP トランジスターで構成されており、MOS 形は MOSFET とよばれる絶縁ゲート形 FET (Field Effect Transistor) で構成されている。また MOS 形には、バイポーラトランジスターと MOS-FET の両方で構成された Bi-MOS IC や、Pチャンネル形、Nチャンネル形の両方の MOSFET で構成された CMOS IC 等がある。

一般的に DRAM といわれているものは、NMOS, CMOS を指すが、64 Kbit の終わり頃より消費電力の小

さい CMOS が現れ、現在では主流となっている。

先にも述べたように MOS 形 FET は Metal/Oxide/Semiconductor の 3 層積層構造で FET を構成している。第 1 図に MOSFET の構造を模式的に示したが、ゲート電極への電圧 (現在 5 V) の ON-OFF が、ゲート酸化膜 (SiO_2 薄膜絶縁層; 1 MDRAM で約 30 nm, 64 MDRAM で約 10 nm) を隔てて、半導体表面 (チャンネル) の電流キャリア濃度を制御することによってスイッチ機能を果たしている。

DRAM 集積回路の単位メモリーセルはトランジスターとキャパシタ (コンデンサー) により構成される。トランジスターはキャパシタへの電流を ON-OFF 制御するスイッチの役割を果たしており、キャパシタの電荷の有無がメモリーの状態に対応している。キャパシタも構造的に FET と殆ど同じ 3 重構造 (絶縁膜厚; SiO_2 換算で 1 MDRAM で約 10 nm, 64 MDRAM で約 3.5 nm) であり構造が簡単である。例えば CMOS DRAM では NMOSFET と PMOSFET 各 1 個とキャパシタ 1 個の合計 3 素子よりメモリーセルが構成されており、CMOS SRAM (Static RAM 記憶保持動作の不要な RAM) と比較すると構成素子数が 1/2 とコンパクトになる。また、MOS DRAM では 1 FET + 1 キャパシタで構成されているためさらにコンパクトになる。

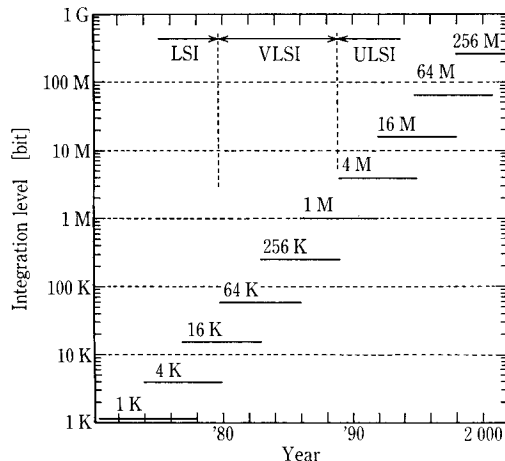


第 1 図 MOSFET の構造 (Nチャンネル)
Fig. 1 MOSFET structure (N-channel type)

第1表 集積度による集積回路の分類

Table 1 Classification of integrated circuit by packing density

Classification	Elements/Chip
SSI (Small scale integration)	<100
MSI (Medium scale integration)	100~1 000
LSI (Large scale integration)	1 000~100 000
VLSI (Very large scale integration)	100 000~10 000 000
ULSI (Ultra large scale integration)	>10 000 000



Note: Starting points of solid lines indicate start of mass production

第2図 DRAMの集積度の変化
Fig. 2 History of DRAM integration level

集積度によるICの分類を第1表に示したが、CMOS形のDRAMの場合には64Kbit以上がVLSIと呼ばれる。4Mbit CMOS DRAMでは90mm²のチップ面積に1200万素子が組み込まれており0.8μm以下の微細加工が要求される。

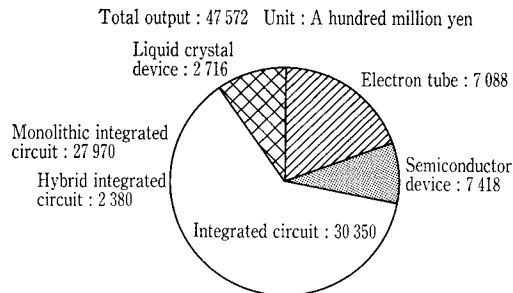
1.2 半導体メモリーの歴史

鉱石検波器の発明より始まる半導体の歴史は約90年におよぶが、ゲルマニウムトランジスタ、シリコントランジスタの発明・製品化の時代を経て今やデジタル集積回路、LSIの時代であるといえる。これまでの半導体の進歩を大きく分けると次のようになり、アナログからデジタルへの変化が著しい。

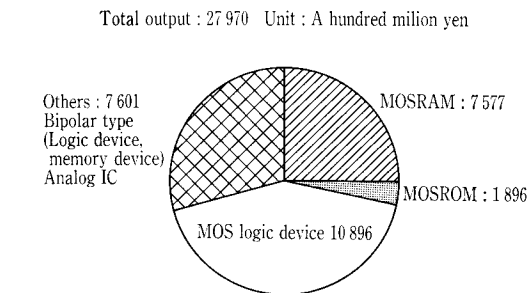
- 1950年代：ゲルマニウムトランジスタ時代
- 1960年代：シリコントランジスタ、小規模集積回路時代
- 1970年代：LSI時代 1~16 Kbit DRAM, 4, 8 bit マイクロプロセッサ
- 1980年代：64 K~1 MDRAM, 4, 8, 16 bit マイクロプロセッサ

特に1970年からはDRAMの高集積化が著しく、第2図に示したようにDRAMの集積度はほぼ3年サイクルで4倍に向上している。このような技術革新の波や、市場におけるニーズの波等が複雑に絡み合いDRAMの需要はシリコンサイクルと呼ばれる3~4年を周期とした波をもっている。現在のDRAM需要は米国景気の回復基調により徐々に上向いてはいるが、1Mbitから4Mbitへの移行は途中であり、2世代が共存している。

また'91年後半より、半導体各メーカーはDRAM一辺倒からSRAMやフラッシュメモリー（電氣的に一括消去



第3図 1991年度の電子部品生産額（一般電子部品を除く）
Fig. 3 Japan's output of electronic parts in fiscal 1991 (Excluding ordinary electronic parts)



第4図 1991年度の半導体集積回路生産額の内訳
Fig. 4 The breakdown for Japan's output of monolithic integrated circuit in the fiscal 1991

・再書き込みできる読み出し専用メモリー）の高集積度化に向かうとともに、ASIC (Application Specific Integrated Circuit: 特定用途向けIC) にも注力し始めている。

1.3 半導体メモリーの生産動向

「機械統計月報」(財)通省産業調査会によると1991年度の一般電子部品を除いた電子部品の出荷額は4兆7,572億円である。その内訳を第3図に、半導体集積回路生産高の内訳を第4図に示した。

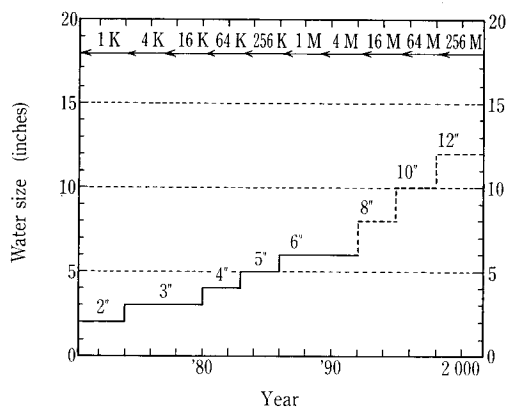
わが国における半導体集積回路の年間生産額は'91年度において2兆7,970億円であり金額で前年度比0.9%の増加であったが、在庫は数量で前年度比34.4%の増加となった。この半導体集積回路生産額の内、MOS形半導体メモリーの生産額は9,473億円、MOSRAMはほぼ80%の7,577億円を占めている。

2. 最新の半導体集積技術

DRAMの製造において、スループットや歩留まり向上のためウェーハサイズのアップや高集積化が行われてきた。ウェーハサイズでは第5図のように3, 4, 5, 6インチと大口径径が進み、現在の4~16MDRAMでは8インチが採用され始めている。8インチウェーハの面積は6インチの1.8倍であるが、16Mや64MDRAMでは約2倍のチップ数を得る事が出来る。第2表にセル構造の変遷をまとめたが、これより集積度が4倍になり世代が交代すると、おおよそ

- (1) 最小加工寸法が70%の割合で縮小
- (2) セルサイズは40%に縮小
- (3) チップサイズは1.5倍に増加

となる。さらに世代ごとにプロセスステップも増加し、1MDRAMにおいて100~200ステップであったものが16MDRAMでは400ステップを越える。次世代の64MDRAM



第5図 DRAMウェーハサイズの変化
Fig. 5 History of DRAM wafer size

でもこの傾向は変わらず、広い面積を均一に加工・洗浄する技術と微細加工する技術が要求される。次に超純水の立場よりみた64 MDRAMにおける要素技術およびメモリーセル構造の特長をまとめた。

2. 1 64 MDRAM 製造における要素技術

- (1) 0.35 μm デザインルールの微細加工技術
- (2) セル構造の立体化技術
キャパシタの立体化, 配線膜の多層化
- (3) 薄膜形成技術
ゲート酸化膜, 層間絶縁膜の薄膜化
- (4) ウェーハ表面における原子レベルでのクリーン化, 平坦化技術, 水素ターミネーション技術
- (5) 8"以上の大口徑ウェーハへの均一, 均質な微細加工, 成膜, エッチング, イオン注入技術
- (6) プロセス内で発生するパーティクルやメタルコンタミネーションの防止技術
- (7) ガス, 薬品の純度向上, 超純水の水質向上
パーティクル, 金属, 有機物の低減, 酸化膜の生成防止
- (8) 微細構造部, 立体構造部の精密洗浄技術
ハイアスペクト部の効果的な洗浄
- (9) パーティクル, 金属, などの計測管理, 評価技術

2. 2 セル構造

これまで集積度の向上に伴い、第2表のようにセルサイズの縮小や薄膜化が進められてきた。DRAMの集積度を高めていく上で、構造的な問題点としてキャパシタ面積の確保があげられる。DRAMの記憶動作はセル内に形成したキャパシタで行うが、ソフトエラーの防止などのためこの蓄積容量は25fF程度を確保する必要がある。

SiO₂換算で5nmのキャパシタ絶縁膜を使用しても25fFの蓄積容量を得るためには3.6 μm^2 のキャパシタ面積を必要としセル面積が1.5 μm^2 程度しかない64 MDRAMでは3次元的な構造が必要となる。

実際には4 Mbit ころよりキャパシタが立体化され始め、ウェーハ上に積み重ねてゆくスタック形とウェーハ内を利用するトレンチ形の2種類が実用化されてきた。またキャパシタのみならずセル構造も立体化され、アスペクト比が2~6のコンタクトホールやトレンチの洗浄が必要となってきた。絶縁膜厚についてみると、SiO₂1原子層の厚みが0.2nmであるから、数十層のオーダーでの成膜が必要となり、成膜前のウェーハ表面の清浄度や平坦度が非常に重

第2表 セル構造の変遷

Table 2 History of cell structure

DRAM generation		1 M	4 M	16M	64M
Design rule	μm	1.2	0.8	0.5	0.35
Cell size	μm^2	25	10	4	1.5
Gate oxide	nm	30	20	15	10
Capacitor insulator	nm	12	9	5	3.5
Chip area	mm^2	50	90	135	200

要となり原子レベルのコントロールが必要になってくる。とくに最近ではウェーハ表面シリコンの水素ターミネーションについて沸騰超純水洗浄が注目されている。

3. 64 MDRAM に要求される超純水

3. 1 パーティクル

パーティクルがウェーハ上に残留した場合、次工程がフォトリソグラフであるとピンホールや配線パターンの短絡を引き起こし、いわゆるパターン欠陥となる。また次工程が熱酸化膜形成プロセスである場合、耐圧特性が悪化する。パーティクルは洗浄水のみならずガスや空気もその原因となるので、クリーンルームについても高清浄度のものが要求されている。(プロセスエリアでクラス1 (0.05 μm), サービスエリアでクラス100 (0.1 μm)) パーティクルの許容サイズは重ね合わせ精度の1/2とされている。重ね合わせ精度はデザインルールの概ね1/5であるから、パーティクルの許容サイズとしてはデザインルールの1/10となり64 MDRAMで0.03 μm となる。

3. 2 溶存酸素

従来はバクテリア対策として100 $\mu\text{g}/\text{l}$ を目安としていたが、溶存酸素は自然酸化膜を形成するという報告があり、4 Mbit のころより溶存酸素の低減に関心もたれ始めた。

特にデバイスが微細化しコンタクトホールの面積が減少すると、Si表面の自然酸化膜の抵抗が影響してくる。16 Mbit では10~50 $\mu\text{g}/\text{l}$ の溶存酸素レベルがユーザより要求されているが、64 Mbit では1~5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度が必要になると考えている。

3. 3 TOC

従来はバクテリアの栄養源として考えられており、殺菌によってバクテリア対策が可能であったためTOCそのものにはあまり注目されていなかった。しかしウェーハ表面の有機物で汚染されると、有機物の下の酸化膜除去が不完全となりやすいことや、有機物の吸着汚染が生じた場合エピタキシャル膜が成長しないことなどが明らかになってきた。1986年にはGEのMcConneleeらりが1.25 μm のCMOSプロセスについてゲート酸化膜(20~25nm)の耐圧試験で検出される欠陥密度と酸化前洗浄に使用する純水のTOC値の間に第6図のような相関のあることを見だし、TOCを20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下に低減するとこのプロセスでの欠陥密度を低レベルで安定させることが出来ると報告した。この報告以後4M~16MDRAMにおける超純水のTOCは5~20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度で設計されていることが多い。64 MDRAMについては必要かつ十分なレベルは明らかにされていないが、分析機器の精度からみて1~5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度と考えている。

3. 4 バクテリア

バクテリアはパーティクルと同様に形状的欠陥の原因と

なる。その他細胞内に含有する P, Na, K などが熱処理時にシリコン結晶内に拡散し、不純物汚染の原因となる。

制御レベルに明確な根拠は見あたらないが、16 Mbit までの値は運転実績より経験的に求まった値と思われる。

3.5 金属

64 MDRAM では集積度が向上した分セル面積が減少し、セル内の活性な領域の割合が増大してきたため、ウェーハの欠陥密度にたいする要求が厳しくなってきた。また欠陥の種類についても従来からのウェーハ表面のパターン欠陥や有機物の吸着から、結晶欠陥の制御に関心が払われるようになってきた。

金属汚染は結晶欠陥の重要な原因となり接合リークや耐圧劣化を誘発し、デバイスの特性や製造歩留まりに悪影響を及ぼす。金属の汚染源としては加工プロセスにおけるプラズマ装置内、イオン注入装置内でのスパッタリングや搬送装置の摩耗発塵、ウェット処理での薬品や超純水からの金属の吸着がある。これらの金属汚染の結果次のような障害を引き起こす。

- (1) バルク内で深い準位を作り、DRAMの保持時間特性を劣化させる。
- (2) SRAMの微少リーク電流の原因となる。
- (3) 熱処理を繰り返すことによってウェーハの表面に凝集し、条件によっては酸化・拡散時に発生する積層欠陥の原因ともなる。

金属汚染レベルとウェーハに対する影響についての研究がいくつかなされている。例えば下野ら²⁾は少数キャリア再結合ライフタイムはウェーハ表面不純物濃度に比例して低下し、ウェーハ表面の Fe 濃度は 10^{10} atoms/cm² 以下にする必要性を示している。

これらの研究よりウェーハの結晶欠陥のレベルよりみた許容金属量は 10^{10} atoms/cm² 以下であり、超純水の水質基準値としては

Fe < 10 ng/l

Cu < 10 ng/l

が必要となる。

これより 64 MDRAM では全金属濃度として 10 ng/l 以下の水質が必要と考えている。

3.6 64 MDRAM に要求される超純水水質

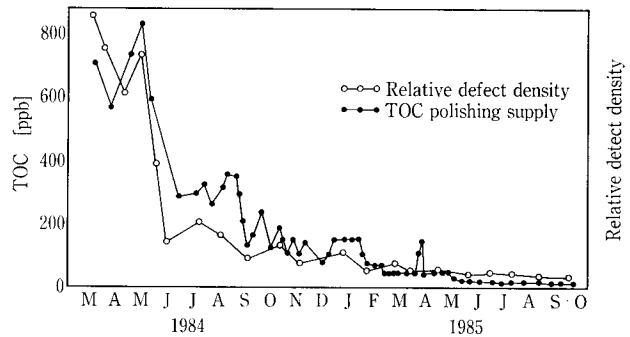
これまでの各世代の DRAM に要求されてきた超純水水質と 64 MDRAM に要求されるであろう水質を第 3 表にまとめるとともに、当社の GOLDEP 製超純水装置の供給可能水質³⁾を示した。

本表の水質項目の内、TOC および溶存酸素はほぼ分析計の分析下限値に近い。また微粒子は 0.07 μm ではパーティクルカウンターで測定出来るが、0.05 μm 以下では精度よく測定することが難しくなる。金属類でも全金属で 10

第 3 表 集積度と超純水への要求水質

Table 3 Integration level vs required ultrapure water quality

DRAM generation		64K	256K	1 M	4 M	16M	64M	UPW unit GOLDEP
Design rule	μm	3	2	1.2	0.8	0.5	0.35	
Resistivity	MΩ·cm	>16~17	>17.5	>17.6~18	>18	>18.1	>18.2	18.25
Particle	>0.2 μm	Counts /mℓ	<50~150	<30	<10 <30	<1 <10-20 <30	—	<1
	>0.1 μm							
	>0.07 μm							
	>0.05 μm							
	>0.03 μm							
Bacteria	cfu/100 ml	<50~100	<50	<10	<1	<0.1	<0.1	<0.1
TOC	μg/l	<200	<100	<50	<10-30	<5-10	<1	<1
Silica	μg/l	<20~30	<10	<5	<3	<3	<1	<1
Na	ng/l		<1 000	<1 000	<100	<50	<10	<1.3
Fe	ng/l						<10	<1.3
Zn	ng/l						<10	<0.1
Cu	ng/l		<2 000	<1 000	<100	<50	<10	0.1
Dissolved oxygen	μg/l	<100	<100	<50	<50	<20	1~5	<0.5



第 6 図 酸化膜欠陥密度と洗浄純水の TOC との相関関係 (McConnelee et al (1))

Fig. 6 Relation of defect density in oxide and TOC level in ultrapure water (McConnelee et al (1))

ng/l 以下とすると、個々の金属では 1 ng/l 程度の分析精度を要求されるので 64 MDRAM 対応の超純水では製造技術とならんで分析技術が重要であるといえる。

む す び

64 MDRAM 対応の超純水水質について検討した。超純水に要求されるグレードは当然 16 MDRAM の場合より一段と厳しいものになっており、項目によっては現在の分析精度(特にオンラインにおける分析精度)の下限値に近かったりそれ以下のものもあるため、今後は水質の分析方法や管理方法が超純水製造装置の性能とともに重要な課題となってくると考えられる。

当社技術研究所には GOLDEP 製超純水製造装置が設置されており、また微量金属分析装置も導入されたので、今後は水質管理を中心とした運転管理面でのデータの収集を行ってゆきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) P. A. McConnelee, S. J. Poirier, R. Hanselka; Proceedings of 5th Semiconductor Pure Water Conference, San Francisco (1986. 1)
- 2) 下野, 辻; 超 L S I ウルトラクリーンテクノロジーワークショップ No. 1 プロシーディング, November 11 1989 p. 49
- 3) 牛越健一ら; ウルトラクリーンテクノロジー, Vol. 3, No. 1 (1991), p. 57

でんぷん製造廃水のメタン発酵処理について

— アクアルネッサンス '90計画より —

Methane Fermentation of Wastewater from a Wheat Starch Producing Plant

— On the Results of Aqua Renaissance '90 project —



技術開発本部 製品化技術室
堀 口 真
Makoto Horiguchi

Using the newest biotechnology and membrane filtration technology, energy recovery from wastewater and municipal sewage, efficient treatment of them, low excess sludge from treatment system and others were studied at the national project, Aqua Renaissance '90 project conducted by Agency of Industrial Science and Technology.

Kobe Steel Ltd. and others developed Two-phase Methane Fermentation System using Membrane, which can recover methane from wastewater stably at high loading rate of organic matter and purify wastewater highly.

ま え が き

1985年度から1990年度までの6年間実施された通商産業省工業技術院大型プロジェクト「水総合再生利用システムの研究開発」(アクアルネッサンス '90計画)に、工業技術院の公害資源研究所、微生物工業研究所、化学技術研究所、大阪工業技術試験所の4研究所と、(財)造水促進センターと(財)バイオインダストリー協会の2団体および企業20社とが参加し、最先端のバイオテクノロジーや膜分離技術を組合わせて、工場廃水や生活廃水からのエネルギーの効率的な回収、廃水処理設備のコンパクト化、処理費用の低減、汚泥発生量の低減、設備の容易な維持管理等を可能とする技術開発が行われた¹⁾。

このプロジェクトに参加し、2相中高濃度廃水用バイオリアクターの研究開発を担当した㈱神戸製鋼所のグループ企業の一員として、本稿ではプロジェクトの研究開発成果の中ででんぷん製造廃水のメタン発酵処理に関する部分の概要を紹介する。

1. 開発目標

1.1 研究開発の目標

メタン発酵はメタンというエネルギーを回収でき、また好気性の活性汚泥処理のように酸素供給のための大きな曝気動力が不要であり、さらに余剰汚泥の発生量が少ない等の特長をもち、古くから下水汚泥やし尿の嫌気性消化処理等に利用されてきたが、メタン細菌の高濃度培養が困難なために高有機物負荷処理ができず、また環境変化に鋭敏であるために運転が容易でなく、さらには有機物の除去率が低い等の理由でその利用が制限されてきた。

本プロジェクトではメタン発酵法の長所を生かし、エネルギーとして利用可能なメタンを安定に回収し、さらに廃水を高度に浄化するメタン発酵システムを構築するために、嫌気性細菌を高濃度に保つための菌体が付着しやすい担体の開発や、菌体自身の造粒作用を利用したスラッジブランケット(以下UASBと略す)式リアクターの開発²⁾、さらには懸濁物質を高濃度に含んだ液を低圧で効率よ

く透過させ、洗浄性に優れかつ耐久性のある膜モジュールの開発³⁾が行われた。

1.2 基本計画目標値

バイオリアクター及び膜モジュールの各々の使用条件における基本計画目標値が第1表に示したように設定されたが、高濃度廃水であるでんぷん製造廃水を中温発酵でメタン発酵処理する場合には15 kgBOD/m³・d以上の負荷で処理し、そのときの流入有機物のガス化率を80%以上にするという目標値が設定された。ここでガス化率とは流入有機炭素がメタン及び二酸化炭素に転換する比率である。

また分離膜の開発では、膜の使用条件として廃水中の微生物あるいは懸濁物質(SS)濃度が10 000 mg/ℓ程度の場合の膜透過所要動力を1.5 kWh/m³ 透過水以下にするという目標値が設定された。

1.3 パイロットプラントの建設

基礎的な要素技術の研究⁴⁾、さらには7グループに分かれて実施された小型実液試験装置による実廃水試験⁴⁾等の結果に基づき、高濃度廃水研究グループはでんぷん製造廃水を、低濃度廃水研究グループは下水を研究対象とするパイロットプラントが建設された。でんぷん廃水研究グループには㈱神戸製鋼所の他に、膜モジュールの研究開発を担当する三菱レイヨン・エンジニアリング㈱、計測制御システムの開発を担当する三菱電機㈱の2社も参加した。

第1表 基本計画目標値
Table 1 The objectives of Aqua Renaissance '90 project

	Objective		Gasification rate
	Wastewater	BOD loading rate	
Reactor	High conc. wastewater 2000 mgBOD/L over	Thermophilic 15 kgBOD/m ³ (Reactor)・d over	80% over
		Mesophilic 5 kgBOD/m ³ (Reactor)・d over	
	Low conc. wastewater 200~1 000 mgBOD/L	Mesophilic 2 kgBOD/m ³ (Reactor)・d over	60% over
Membr.	Operating cond. of membrane	Power consumption	
	Microorganisms conc. 10 000 mg/ℓ	1.5 kWh/m ³ Permeate under	
	Microorganisms conc. 100 mg/ℓ	0.3 kWh/m ³ Permeate under	

2. 膜複合メタン発酵リアクターによる小麦でんぷん製造廃水処理

2.1 小麦でんぷん製造廃水の水質

パイロットプラントが設置された長田産業㈱（兵庫県栗郡山崎町）では小麦粉から小麦でんぷんと小麦蛋白（グルテン）が生産されている。小麦でんぷんは、原料小麦粉に約10数倍の清水を加え、混練、水洗分離し回収したでんぷん乳を精製、乾燥させて製造される。小麦粉中のグルテンも水洗分離後に別工程で回収、乾燥されて製造される。このような工程から排出されるでんぷん製造廃水は第2表に示したように小麦粉中の不溶性懸濁物質、及び溶解性の有機物をともに高濃度に含む⁴⁾。また窒素を約500 mg/l、リンを約120 mg/l を含んでいるために嫌気性処理する場合には栄養塩の添加は不要である等の特長を有している。

2.2 膜複合メタン発酵処理システム

固定床式酸発酵リアクターとUASB式メタン発酵リアクターの間に分離膜を設ける膜複合2相式メタン発酵シ

第3表 膜複合2相式メタン発酵システム
パイロットプラントの主要機器仕様

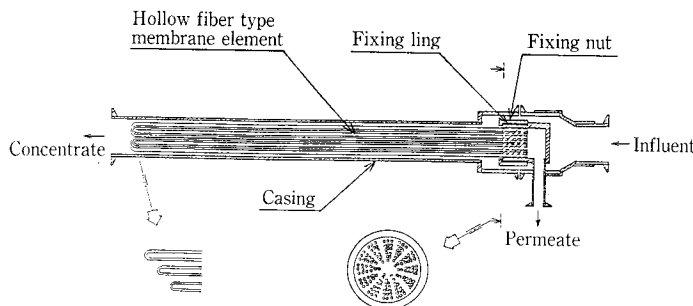
Table 3 Specifications of pilot-scale plant of two-phase methane fermentation system using membrane

Equipment name	Specifications	
Acidogenic reactor	Type	Fixed
	Shape	Cylindrical
	Dimension	3 000 φ×4 320 SH
	Volume	30 m ³
	Media	PVC
	Media volume	24 m ³
Membrane module	Type	Hollow fiber
	Dimension	65A×935L
	Material	Polyethylene
	Pore size	0.2 μm
	Membrane area	324 m ²
Methanogenic reactor	Type	Sludge blanket
	Shape	Cylindrical
	Dimension	2 400 φ×2 500 SH
	Volume	15 m ³
	Gas holder	Type
Gas holder	Dimension	3 200 φ×4 000 H
	Volume	30 m ³

テム⁴⁾⁵⁾（以下アクアシステムと略す）のパイロットプラントの主要機器仕様を第3表に、処理フローを第1図に示した。酸発酵リアクターで処理された液は精密ろ過型分離膜で分離され、主に揮発性有機酸を含有した透過水はメタン発酵リアクターに供給される。一方高分子の未分解物、S S、酸生成細菌などを含んだ膜濃縮水は酸発酵リアクターに返送されるシステムである。本システムで使用されたポリエチレン製の外圧型中空糸膜モジュールの構造図⁶⁾を第2図に示した。発生したガスは乾式脱硫装置で脱硫処理後一時ガスホルダーに貯流された後、ボイラーなどのエネルギー源に使用される。

本システムの特長は次の通りである。

- (1) 酸発酵相とメタン発酵相を分離した2相式であるため、各リアクターを各相の嫌気性細菌に適した生育条件で運転でき、高有機物負荷処理運転が可能となる。
- (2) 分離膜によって酸生成細菌を高濃度に保持できるため、高有機物負荷処理が行える。
- (3) 同じく分離膜によって未分解の高分子物質や懸濁物質を長時間酸発酵リアクター内に滞留させることによって、分解を促進することができる。
- (4) メタン発酵リアクターには、メタン細菌が自己造粒し高濃度菌体保持が可能となるUASB型リアクターを採用している。
- (5) メタン発酵リアクターへは主にメタン細菌の基質で

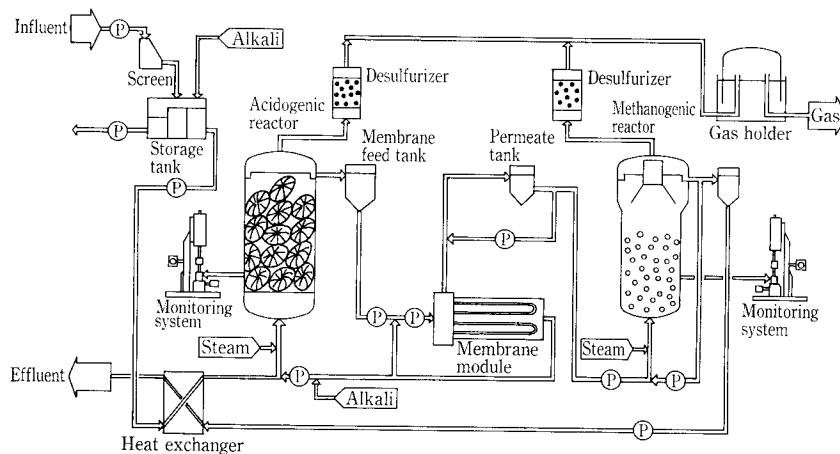


第2図 中空糸膜モジュール構造図

Fig. 2 Schematic representation of hollow fiber type membrane module

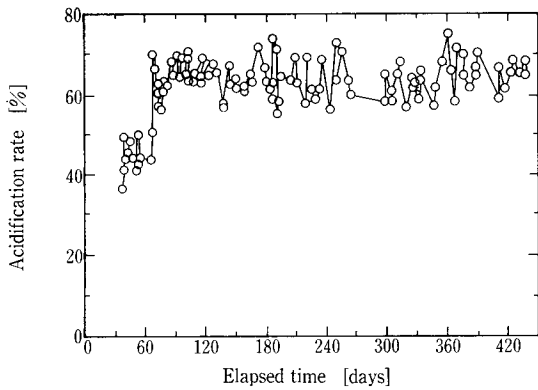
第2表 小麦でんぷん製造廃水水質
Table 2 Water quality of wastewater from a wheat starch producing plant

Water analysis	conc. [mg/l]
BOD	13 000
COD	19 000
TOC	6 400
SS	4 000
Hydrocarbon	3 500
Protein	3 000
Lipid	400
K-N	500
T-S	50
T-P	120



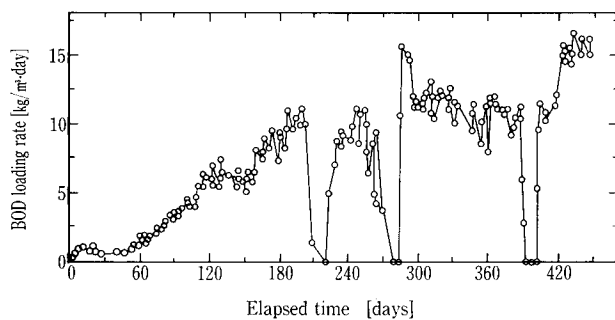
第1図 膜複合2相式メタン発酵システムのフローシート

Fig. 1 Flow diagram of two-phase methane fermentation system using membrane



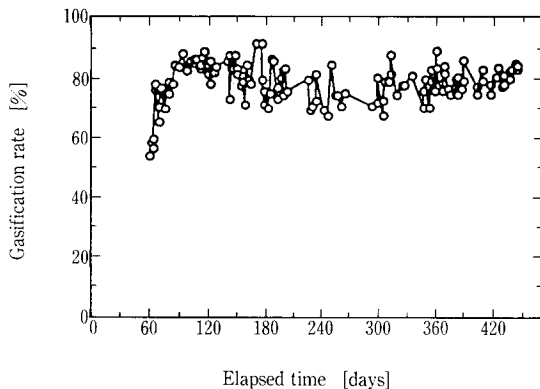
第3図 酸発酵リアクターにおける有機酸転換率の経日変化

Fig. 3 Time course of acidification rate



第4図 BOD負荷の経日変化

Fig. 4 Time course of BOD loading rate



第5図 ガス化率の経日変化

Fig. 5 Time course of gasification rate

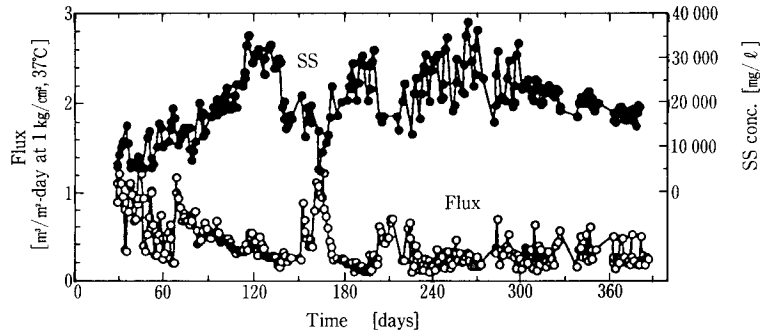
ある酢酸や低分子有機酸が供給されるため、高負荷処理が可能となりかつ高有機物除去率が達成できる。

- (6) コンパクトである。
- (7) 余剰汚泥発生量が少ない。

2.3 運転結果

1) 有機酸転換率

第3図に酸発酵リアクターにおける有機酸転換率の経日変化を示した。この有機酸転換率とは流入した廃水中の有機炭素が揮発性有機酸に転換した比率であるが、発生したメタンと二酸化炭素も有機酸を経由して生産されたものとして計算値に含まれている。運転開始当初約40%前後であったこの有機酸転換率が、投入した種菌が馴養されたと推



第6図 膜循環液SS濃度と膜透過流束の経日変化

Fig. 6 Time courses of SS concentration and flux

第4表 各工程の水質

Table 4 Water quality at each process

Analysis	Wastewater	Acidogen. eff.	Permeate	Methanogen. eff.
SS [mg/l]	3 650	18 000	0	90
BOD [/]	12 700	24 000	7 500	50
COD [/]	19 000	51 000	9 600	320
TOC [/]	6 350	15 000	3 100	60
S-TOC [/]	4 900	3 400	3 100	30
VFA-C [/]	80	2 900	2 900	5
pH [-]	4.5	5.3	5.3	7.0

定される約60日以後から60~75%に達し、これ以降安定した酸発酵処理が進行した。

2) BOD負荷とガス化率

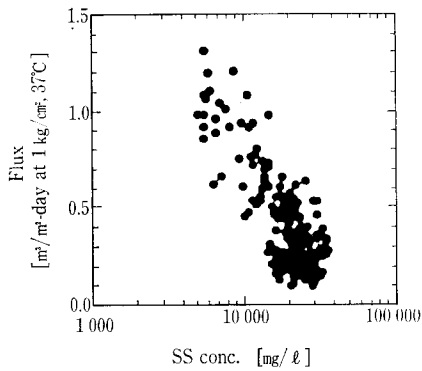
第4図にBOD負荷値の経日変化を示したが、運転終了前の40日間に設計負荷運転を実施し開発目標値の15 kg BOD/m²・dの運転が可能であることを実証した。また第5図にガス化率の経日変化を示したが、工場の操業条件の変更及び原料小麦粉の変動等により原水水質が大幅に変動したにも関わらず、分離膜を組み込んだ効果によりガス化率の開発目標値である80%をほぼ安定して達成していることが認められる。なお、酸発酵リアクターのpHはアルカリを添加して5.3±0.2に調整された。メタン発酵リアクターのpH調整は行われなかったが、7.0~7.3で推移した。また両リアクターの液温は約37°Cに保持された。

3) 処理水水質とガス発生量

第4表に各工程の処理水水質を示したが、小麦でんぷん製造廃水は河川に直接放流できるまでに高度に浄化処理されていることが分かる。このときのBOD除去率は99.6%と非常に大きな数値である。酸発酵処理水と膜透過水の水質の比較により、酸発酵リアクターの後段に組み込んだ分離膜の有効性が確認できる。両リアクターからのガスは7~8 Nm³/m³ 廃水発生した。このときのガス組成はCH₄ 62%, CO₂ 38%であった。このガスのエネルギー量は本システム内で加温などに消費するエネルギー量の約5倍量となり、本システムが創エネルギーシステムであることが実証された。

4) 分離膜の透過流束

膜面SS濃度と透過流束の経日変化を第6図に示した。SS濃度が20 000~30 000 mg/lの高濃度であっても、嫌気性細菌に悪影響を及ぼす塩素系洗浄薬品を使用することなしに、透過水による逆圧洗浄を行うことによって長期間



第7図 SS濃度と透過流束の関係
Fig. 7 Correlation of flux and SS concentration

にわたり安定した運転が可能であることを実証した。また第7図に膜透過流束と膜面SS濃度との相関を示したが、透過流束が膜面SSに依存していることが認められる。運転所要動力は膜面SS濃度が20,000 mg/lのときで1.35 kWh/m³ 透過水であり、目標値を満足していた。

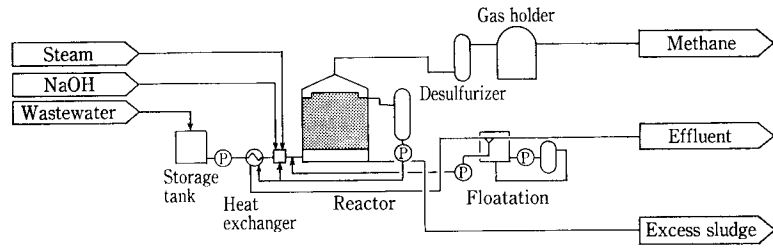
2.4 アクアシステムによるでんぷん製造廃水処理結果のまとめ

佛神戸製鋼所等が開発した膜複合2相式メタン発酵システムは、パイロットプラントによるでんぷん製造廃水処理テストにおいて、有機物負荷、ガス化率、分離膜の運転所要動力の各基本計画目標値を満足し、さらには直接放流できるまでに高度に浄化された処理水が得られるという高効率なシステムであることが実証された。

3. 固定床式メタン発酵リアクターによるでんぷん製造廃水のメタン発酵処理

大型の実装置では日本国内で最初に建設された実績を持つ当社の固定床式メタン発酵リアクター (PANBIC-F) とアクアシステムとの技術的な比較を次に行う。

PANBIC-F の処理フロー例を第8図に示したが、このシステムの特長は、維持管理はリアクターのpH、温度、空隙容量を制御するだけで済み、プラスチック製の担体を使用することによって嫌気性細菌を高濃度に保持し高効率なメタン発酵処理が行えるというものであるが、これまでに主に食品工場廃水処理向けに約30基の実績を有している。このPANBIC-Fの実装置による小麦でんぷん製造廃水のメタン発酵処理結果⁷⁾を第5表に示した。COD cr 負荷8 kg/m³・d でメタン発酵処理し、TOC除去率が80%に達するという単相式メタン発酵システムとしては高効率な処理結果を得ている。



第8図 PANBIC-Fの処理フロー
Fig. 8 Flow diagram of PANBIC-F

Feeding rate of wastewater	435 m ³ /d
Reactor volume	1 200 m ³
Reactor liquid temp.	37 °C
Reactor liquid pH	7.2
BOD loading rate	5 kg/m ³ ・d
COD removal	78 %
TOC removal	80 %
Gas production	2 840 Nm ³ /d
Methane conc.	68 %

第5表 固定床式メタン発酵リアクターによるでんぷん製造廃水処理結果
Table 5 Anaerobic treatment of wastewater from a wheat starch producing plant by PANBIC-F
(長田産業(株) '88. 3. 20の運転実績)

このPANBIC-Fとアクアシステムを比較すると、PANBIC-Fは下水道放流の場合以外には活性汚泥法などの後処理が必要であるが、構造及びシステムがシンプルで維持管理が容易である。一方、アクアシステムは維持管理がやや複雑ではあるが、河川などに直接放流できるまでに高度に浄化された処理水が得られるといえる。

むすび

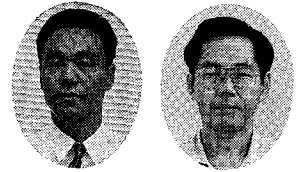
以上述べてきたようにアクアルネッサンス'90計画において佛神戸製鋼所等は、でんぷん製造廃水を研究対象廃水として、工場廃水から安定してメタンを回収するとともに、高度に浄化された処理水が得られる高効率な膜複合2相式メタン発酵システムを開発した。今後は(財)造水促進センターが中心となって、このシステムを含めたプロジェクト全体の研究開発成果の実用化と普及活動が推進されることになっている。

〔参考文献〕

- 1) 河野承雄：環境技術，20，81-84 (1991)
- 2) 小林浩志：環境技術，20，85-91 (1991)
- 3) 谷口良雄：環境技術，20，92-99 (1991)
- 4) 柳長太ほか：造水技術，17，11-21 (1992)
- 5) アクアルネッサンス技術研究組合：分離膜を複合した嫌気性廃水処理技術，p. 79-104, 307-320 (1991)
- 6) (財)造水促進センター：造水先端技術講習会講演要旨，p. 43-46, 83-87 (1992)
- 7) 宝月章彦ほか：環境技術，17，672-678 (1988)

神戸市における 下水の高度処理実験施設の紹介

Experimental Sewage Water Reclamation Facility in Kobe City



(環)環境装置部 計画第2課
真 鍋 恵
Megumi Manabe
(環)技術室
加 治 正 廣
Masahiro Kaji

The demand for more efficient sewage treatment is becoming keen, as increased attention is attracted to treated water from two aspects; environmental protection of waterfront and water resource. Kobe City constructed an experimental water reclamation facility at the existing sewage treatment plant in Port Island for the purpose of improving quality of treated water for discharge to the closed sea area and treated water recycling. Tests are now being carried out there. This paper describes the outline of the test facility composed of several combinations of processes.

まえがき

近年、下水の処理水は、放流水域の環境保全（水辺環境の回復や富栄養化の防止）及び有用な水資源（都市域における各種の水需要のための用水源）としての活用の両面から、より高度な水質が望まれている。

神戸市においても、下水処理水の放流先が閉鎖性海域の瀬戸内海であるため、環境保全上、放流水の水質向上が必要となってきている。また、都市機能の充実拡大のための各種用水源として、下水処理水の再利用を図ることも重要な課題となってきている。

このような状況の下で、神戸市は、ポートアイランド処理場内に、下水の高度処理を目的とした実験施設の建設を行った。この施設の主要な設備は、循環式硝化脱窒設備、汙過設備、オゾン処理設備、活性炭処理設備、膜処理設備及び修景水路となっている。この施設の建設を当社が担当したので、次にその概要を紹介する。

1. 実験施設の建設の背景

閉鎖性海域の環境基準を達成するため、1979年に、各海域に対し、CODの総量削減基本方針が示され、続いて1984年に実施された第二次削減目標で、1989年度を目標年度として、瀬戸内海に対して、生活排水のCOD総量443 T/dを402 T/dに削減することが示された。更に、COD排出負荷量を削減するため、第三次総量規制が1991年3月にスタートした。これによると、瀬戸内海では、生活排水のCOD排出負荷量を、1994年度を目標年度として、359 T/dに削減することが示された。このように、閉鎖性海域への下水の放流水の水質向上への要望は、近年徐々に強くなってきている。

また、水需要の面においても、神戸市は、近畿圏における中核都市としての都市機能の充実に図る上で、生活用水、産業用水、都市に潤いをもたらす修景・親水用水、防災用水等の多種多様な用水の確保の必要にせまられている。そのため、下水処理水を高度処理し、水資源として活用することが重要な課題となっている。

このような状況の下で、神戸市では、基礎調査に基づいて高度処理方法を検討し、実験施設をポートアイランド処理場に建設したものである。

2. 事業の概要

2.1 建設計画

本施設は、第一期分の循環式硝化脱窒設備（基本施設）が1992年3月に完成し、第二期分の高度処理設備（付加施設）が1992年9月完成予定で、現在、当社が建設中である。

2.2 規模

1) 計画水量：最大300 m³/d（基本施設能力）

2) 敷地面積：約680 m²

2.3 実験期間

本施設の実験は第一期分の完成と同時に開始されており、終了は1994年3月予定である。

なお、実験は(株)日水コン、運転管理は(財)神戸市下水道公社で担当されている。

3. 施設の概要

3.1 処理プロセスの概要

本施設は、各種処理プロセスの組合せによる処理水質のレベルを、実験で明らかにしていくことを目的としている。その単位処理プロセスは次の通りとなっている。

1) 生物処理

単位処理プロセス：循環式硝化脱窒法（浮遊生物方式。以後、従来形と呼ぶ）
 循環式硝化脱窒法（固着生物方式。以後、改良形と呼ぶ）
 生物処理工程に凝集剤添加する方法

処理対象水質項目：BOD, COD, T-N, T-P

2) 汙過処理

単位処理プロセス：砂汙過法
 繊維素材汙過法

処理対象水質項目：SS

3) オゾン処理

単位処理プロセス：オゾン酸化法
 処理対象水質項目：COD, 色度

4) 活性炭処理

単位処理プロセス：活性炭吸着法
 生物活性炭法
 処理対象水質項目：COD, 色度

5) 膜分離処理

単位処理プロセス：精密汙過法（MF）
 逆浸透膜法（RO）
 処理対象水質項目：MF……SS
 RO……溶解性物質, 細菌

3.2 フローシート

本施設のフローシートを、第1図(循環式硝化脱窒設備)及び第2図(高度処理設備)に示す。
 実験用原水は、ポートアイランド処理場の最初沈殿池処

理水(下水一次処理水)とし、その全量を循環式硝化脱窒法による処理(二次処理に相当する)を行い、更にその処理水を高度処理設備の原水とするものである。

高度処理フローは、前項の単位処理プロセスの組合せによるもので、基本ラインは次の通りとなっている。

- (1) 砂汙過法 → オゾン処理法 → 生物活性炭法
- (2) 砂汙過法 → 活性炭吸着法
- (3) 砂汙過法 → MF, RO法
- (4) 繊維素材汙過法 → オゾン処理法 → 生物活性炭法
- (5) 繊維素材汙過法 → オゾン処理法 → MF, RO法

また、各プロセスの組合せによる各種の高度処理水は、修景水路用原水として使用されることになっている。

4. 設備の概要

4.1 循環式硝化脱窒設備

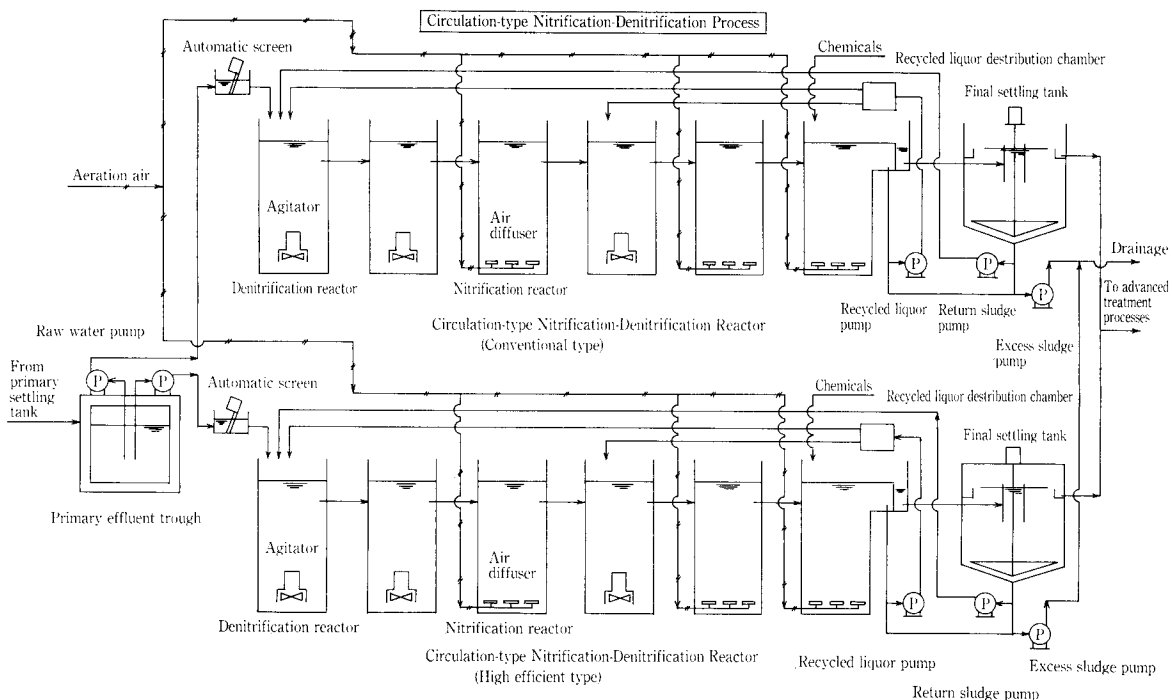
4.1.1 実験の目的

主に、窒素の除去を目的とした設備である。

窒素除去は生物処理で行われるものとし、その処理方法として循環式硝化脱窒法が採用されている。実験では、BOD除去能力、硝化速度、好気嫌気の水槽の分割や組合せ方法等の検証が行われる。

循環式硝化脱窒法は、活性汚泥法と同様の浮遊生物方式(従来形)が一般的であるが、最近では、硝化槽内に担体を投入した固着生物方式(改良形)の研究開発が進んでいる。本実験では、従来形と改良形の二系列の設備となっており、処理能力や処理コストを考慮した比較や、適切な担体の選定も行われる。

また、リンの除去については、本法に凝集剤(PAC, 硫酸バンド等)を添加する方法が採用されている。



第1図 フローシート(基本施設)
 Fig. 1 Flow sheet for biological treatment system

4. 1. 2 設備の特長

1) 改良形への対応

原理：硝化槽内の特殊な担体に硝化菌を固定して、槽内に多量の菌体を保持することにより、処理能力の向上を図るものである。

構造：担体の槽外への流出防止のため、各槽出口にはスクリーン（目開き1.0 mm）を設置した。更に、スクリーンの、きょう雑物による閉塞防止のため、スクリーン下部に空気吹込管を設置した。

また、槽底部に担体が沈積しないよう、散気板レベルまでコンクリートで敷き均し、槽底部を平坦にした。

2) 散気装置及び攪拌装置

好気、嫌気の組合せを変更自在とするため、ばっ気装置は全槽に固定、攪拌装置は着脱式とした。

4. 1. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

	原水 [mg/ℓ]	処理水 [mg/ℓ]	除去率 [%]	備考
BOD	150	7.5	95	()内数字は、凝集剤を添加した場合を示す。
COD	100	20	80	
SS	100	5	95	
T-N	32	9.6	70	
T-P	3.6	1.4(0.7)	60(80)	

4. 1. 4 設計条件

1) 処理水量

従来形： 最大120 m³/d

改良形： 最大180 m³/d

2) 反応槽滞留時間

従来形： 12 hr

改良形： 8 hr

3) 反応槽水深

4.5 m^H

4) 反応槽数

2室/槽×3槽/系列×1系列(従来形)

2室/槽×3槽/系列×1系列(改良形)

5) ばっ気方式

散気板による全面ばっ気方式

6) 嫌気攪拌方式

水中機械攪拌方式

7) 沈殿槽面積負荷

15~25 m³/m²・d

8) 沈殿槽水深

2.5 m^H

9) 沈殿槽数

2槽(1槽/系列×2系列)

10) かき寄せ機形式

中央駆動けん垂式(ピケットフェンス付)

11) 循環水量

処理水量の200%(最大)

12) 返送汚泥量

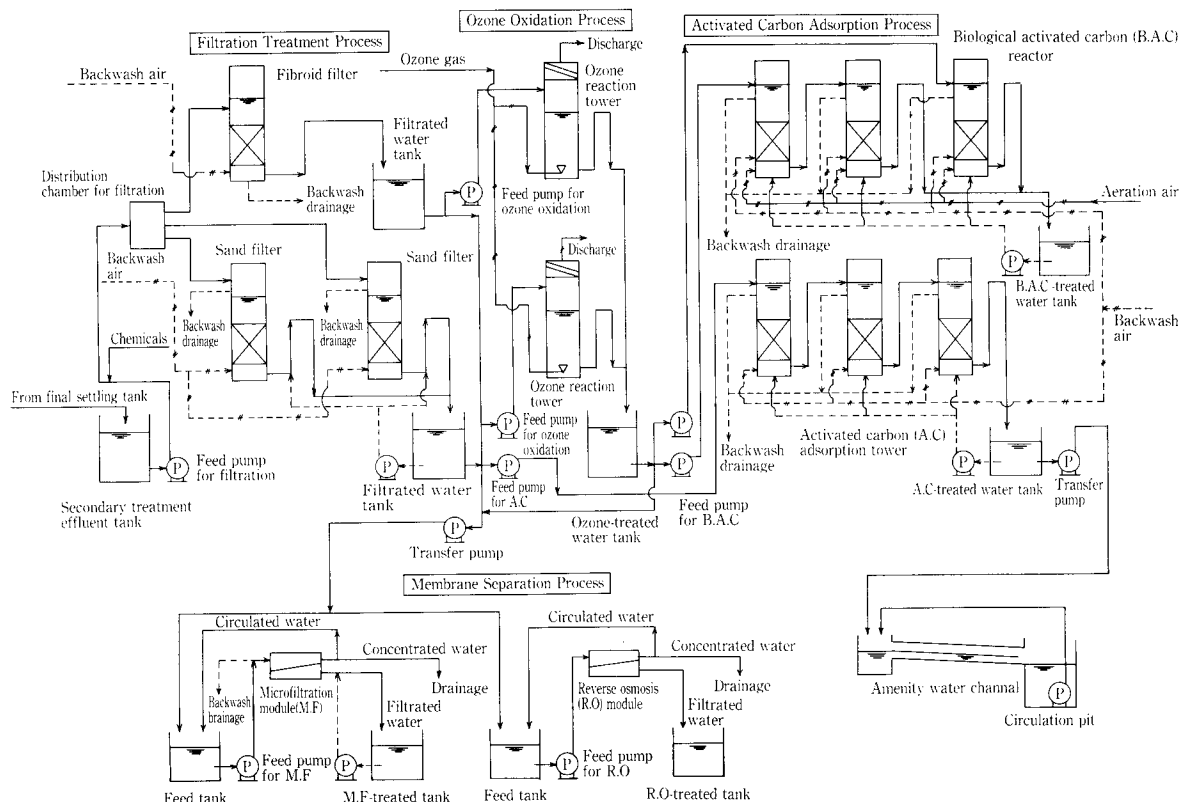
処理水量の100%(最大)

13) 送風量

処理水量の20倍(最大)

14) その他

好気、嫌気の組合せを自在とするため、反応槽は6室/系列としているが、バイパス水路を設け水槽数の調整も可能な構造とした。



第2図 フローシート(付加施設)

Fig. 2 Advanced treatment processes for water reclamation

4. 1. 5 主要設備の仕様

1) 反応槽 (硝化槽/脱窒槽)

- 形式：鋼製角形槽
 仕様： $1.1\text{ m}^W \times 2.0\text{ m}^L \times 5.0\text{ m}^H (4.5\text{ m}^D)$ / 室
 有効容量 9.9 m^3 / 室
 数量：従来形 6室 (3槽)
 改良形 6室 (3槽)

2) 最終沈殿槽

- 形式：鋼製円形槽 (下部コーン形)
 仕様： $3.2\text{ m}\phi \times 3.2\text{ m}^H (2.5\text{ m}^D)$ / 槽
 有効容量 20.1 m^3 / 槽
 数量：従来形 1槽
 改良形 1槽

3) 原水ポンプ

- 形式：一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 65 \times 1.1 \sim 11\text{ m}^3/\text{h} \times 20\text{ m} \times 3.7\text{ kW}$
 数量：3台 (内1台予備)

4) 循環水ポンプ

- 形式：一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 80 \times 2.0 \sim 20\text{ m}^3/\text{h} \times 10\text{ m} \times 5.5\text{ kW}$
 数量：3台 (内1台予備)

5) 返送汚泥ポンプ

- 形式：一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 65 \times 0.8 \sim 8.0\text{ m}^3/\text{h} \times 10\text{ m} \times 2.2\text{ kW}$
 数量：3台 (内1台予備)

6) プロップ

- 形式：水中プロップ
 仕様： $\phi 50 \times 2.0\text{ m}^3/\text{min} \times 5.0\text{ m} \times 3.7\text{ kW}$
 数量：4台 (内1台予備)

7) 余剰汚泥ポンプ

- 形式：一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 50 \times 1.0 \sim 3.0\text{ m}^3/\text{h} \times 20\text{ m} \times 0.75\text{ kW}$
 数量：2台

8) 自動スクリーン

- 形式：FRP製角形槽 (自動スクリーン内蔵)
 仕様：処理能力 $7.5\text{ m}^3/\text{h}$ 以上
 スクリーン目開き 2.0 mm
 数量：2台

9) ばっ気装置

- 形式：散気板固定式
 仕様：気孔径 $260\ \mu$ $\times 14$ 枚/組
 数量：12組

10) 攪拌機

- 形式：水中機械攪拌機
 仕様：攪拌容量 $10\text{ m}^3 \times 0.4\text{ kW}$
 数量：6台

11) 汚泥かき寄せ機

- 形式：中央駆動けん垂式
 仕様：径 $3.2\text{ m}\phi \times 0.2\text{ kW}$
 数量：2基

4. 2 汚過設備

4. 2. 1 実験の目的

主に、SSの除去を目的とした設備で、他の高度処理設備の前処理としての機能の検証が行われる。

実験では、汚過速度、損失水頭、汚過継続時間、SS捕捉量が中心に調査され、汚過装置の特性が検討される。更に、汚過処理水のSSの粒径分布の調査が行われ、汚過機能の特性も合わせて検討される。

汚過法としては、実績の多い砂汚過法と、最近実用化されてきた繊維素材汚過法について調査が行われる。

4. 2. 2 設備の特長

1) 繊維素材汚過法の特長

原理：合成高分子の繊維状素材を汚過塔内に充填し、下向流で汚過を行う。

汚材：繊維状のものを束ねたもので、その形状は塊状、糸状等であり、汚材の支持方法は、汚材を塔に固定しない方法や、塔下部に固定する方法がある。

機能：砂汚過法に比べ、除去性能に若干劣る傾向はあるが、処理能力は大である。

2) 凝集材の注入

汚過原水ラインに凝集剤注入ラインを設け、凝集汚過も可能とした。よって凝集汚過と直接汚過の対比も可能となっている。

4. 2. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 砂汚過法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	7.5	5.2	30	原水は、循環式硝化脱窒法処理水とする。
COD	20	17	15	
SS	5	2.5	50	
T-N	9.6	8.6	10	
T-P	1.4	1.2	15	

2) 繊維素材汚過法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	7.5	5.6	25	原水は、循環式硝化脱窒法処理水とする。
COD	20	18	10	
SS	5	3	40	
T-N	9.6	8.6	10	
T-P	1.4	1.3	10	

4. 2. 4 設計条件

1) 処理水量

砂汚過 : 最大 $70\text{ m}^3/\text{d}$ ($35\text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{塔} \times 2\text{塔}$)
 繊維素材汚過 : 最大 $140\text{ m}^3/\text{d}$

2) 塔数

砂汚過 : 2塔
 繊維素材汚過 : 1塔

3) 汚過形式

砂汚過 : 二層重力式下向流
 繊維素材汚過 : 重力式下向流

4) 汚層構成

砂汚過 : 砂 (有効径 0.65 mm) 250 mm^H
 アンストラ (有効径 1.5 mm) 500 mm^H
 繊維素材汚過 : 塊状 600 mm^H , 糸状 1500 mm^H

- 5) 沝過速度
 砂沝過 : 200~500 m/d
 纖維素材沝過 : 400~2 000 m/d
- 6) 逆洗速度
 砂沝過 : 72 m/h
- 7) 空洗速度
 砂沝過 : 36 m/h
 纖維素材沝過 : 400 m/h

4. 2. 5 主要設備の仕様

1) 砂沝過塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 300 mm ϕ × 3.5 m^H
 数 量 : 2 塔

2) 纖維素材沝過塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 300 mm ϕ × 3.5 m^H
 数 量 : 1 塔

3) 沝過原水ポンプ

形 式 : 一軸ネジポンプ
 仕 様 : $\phi 65 \times 1.1 \sim 11 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ m} \times 3.7 \text{ kW}$
 数 量 : 2 台 (内 1 台予備)

4. 3 オゾン処理設備

4. 3. 1 実験の目的

オゾン処理では、消毒や色度除去の他、難分解性有機物を易分解化する特性を有するため、生物活性炭処理の前処理としての機能の検証が行われる。

除去対象は、生物活性炭処理との組合せの中で、主に COD とされている。

実験では、オゾン処理の操作因子である、オゾン注入率、反応槽の滞留時間、気液比等の調査が行われる。

4. 3. 2 設備の特長

1) オゾンナイザー形式

形 式 : P S A 酸素発生機組込形

原料ガスとしては空気と酸素がある。オゾン発生効率も酸素ガスを使用した方が優れるが、酸素ガスの場合は、貯蔵及び取扱いに制約が多い。よって原料ガスが空気であり、酸素ガスに変換してオゾン発生が行える構造である P S A 方式が採用された。

冷却方式 : 水冷式と空冷式があるが、水冷式とした場合、機械用水が多量に必要となる。実験設備で規模も小さく、給水能力を考慮して空冷式が採用された。

2) オゾン反応塔の水深調節

反応塔は、オゾン吸収効率の検討のため、水深を段階的に調節できる機構とした。その方法は、オゾン処理水流出管のレベル可変で対応するものである。

4. 3. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

	原 水 [mg/ℓ]		処 理 水 [mg/ℓ]	除 去 率 [%]	備 考
	砂 沝 過	纖 維 沝 過			
B O D	5.2	5.6	2.1~2.2	60	
C O D	17	18	12~13	30	
S S	2.5	3	2.5~3	—	

4. 3. 4 設計条件

- 1) 処理水量 最大 100 m³/d
- 2) 反応塔数 2 塔
- 3) 形式 向流式気液接触形
- 4) 反応塔接触時間 5~10 min
- 5) オゾン注入率 5~30 gO₃/m³

4. 3. 5 主要設備の仕様

1) オゾン反応塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 250 mm ϕ × 6.0 m^H
 数 量 : 2 塔

2) オゾンナイザー

形 式 : P S A 酸素発生機組込形
 仕 様 : 酸素発生量 80 gO₃/h
 数 量 : 1 基

4. 4 活性炭処理設備

4. 4. 1 実験の目的

1) 生物活性炭法

主に、オゾン処理との組合せの中で、CODの除去を目的とするもので、実験では、処理効果の確認及びCOD等の分解特性の調査が行われる。

2) 活性炭吸着法

主に、CODの除去を目的とした設備で、実験では、処理効果の確認及びCODの除去特性の調査が行われ、水温、通水速度と接触時間、塔内のCOD濃度分布等の測定によって検討されることになっている。

4. 4. 2 設備の特長

1) 生物活性炭法と活性炭吸着法

活性炭は、上水や下水の高度処理に、従来よく用いられてきた。これは、活性炭粒子の無数の細孔が、水溶液中の有機物をよく吸着するため、他にも色度や臭気の除去にも効果的である。この吸着能力を利用した処理方法を、活性炭吸着法と呼んでいる。但し、活性炭の吸着能力には限度があり、多量の処理を行うには、多量の活性炭が必要となるため、本法の最大の欠点は、処理コストが高くなるということである。

生物活性炭法は、活性炭を担体として繁殖したバクテリアが、活性炭に、物理的に吸着された有機物を分解する作用を利用した方法で、活性炭の吸着能力の再生が、生物によって連続的に行われる。このため、塔内のばっ気設備が必要となるが、活性炭のライフが大幅に延びるため、処理コストが低い利点を有する。

2) 塔の配列

活性炭吸着塔は、3塔/組とし、メリーゴーランド配列とした。生物活性炭塔は、2塔直列と1塔単独形の2種類を並列配置とした。

4. 4. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 生物活性炭法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	2.1~2.2	1.3	40	原水は、オゾン処理水とする。
COD	12~13	7.2~7.8	40	
SS	2.5~3	1.5~1.8	40	
色度	—	—	80	

2) 活性炭吸着法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	5.2	1.6	70	原水は、砂ろ過処理水とする。
COD	17	5.1	70	
SS	2.5	2	20	
色度	—	—	80	

4. 4. 4 設計条件

1) 処理水量

生物活性炭： 最大7.5 m³/d (2塔直列)

最大7.5 m³/d (1塔単独)

活性炭吸着： 最大13 m³/d

(3塔メリーゴーランド)

2) 塔数

生物活性炭： 3塔(2塔/組, 1塔/組)

活性炭吸着： 3塔(3塔/組)

3) ろ過形式

重力式下向流

4) 層高

最大2.0 m^H

5) ろ過速度

生物活性炭： 75~150 m/d

活性炭吸着： 150~250 m/d

6) 逆洗速度

60 m/h

7) 空洗速度

100 m/h

4. 4. 5 主要設備の仕様

1) 生物活性炭塔

形式： 円筒形プラスチック製

仕様： 250 mm ϕ × 5.5 m^H

数量： 3塔

2) 活性炭吸着塔

形式： 円筒形プラスチック製

仕様： 250 mm ϕ × 5.5 m^H

数量： 3塔

4. 5 膜分離設備

4. 5. 1 実験の目的

1) 逆浸透膜 (RO)

主に、溶解性物質の除去を目的とした設備である。

実験では、通水量と透過水量の関係の中で、水温、ろ過圧力、ろ過継続時間の調査により、装置の特性が検討されるもので、更に細菌類の調査も行われることになっている。

2) 精密ろ過膜 (MF)

主に、浮遊物の除去を目的とした設備である。

実験では、逆浸透膜と同様の調査が行われ、装置の特性が検討されることになっている。

4. 5. 2 設備の特長

1) 逆浸透膜

膜モジュールの形式は、平膜形、チューブ形、スパイラル形、中空糸形に分類される。本装置は、他分野の実績も含めて、実績が多く、構造上目詰りし難いスパイラル形が採用された。

洗浄は、手動による薬液洗浄のみとし、逆洗は行わないものとした。

2) 精密ろ過膜

膜モジュールの形式は、逆浸透膜と同様に分類される。本装置では、実績が多く、コンパクトに配置が可能である中空糸形が採用された。

洗浄は、自己処理水を使用した自動逆洗、及び手動による薬液浸漬方法の併用とした。

3) 原水ポンプ及び膜の保護

原水ポンプ及び膜モジュール内に異物が混入しないよう、原水の送水ライン(膜処理水ポンプ~膜処理原水貯槽)には、ミクロンフィルターを設置した。

4. 5. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 逆浸透膜

	原水 [mg/l]		処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
	砂ろ過	オゾン			
BOD	5.2	2.1~2.2	<1	90	
COD	17	12~13	1.7~1.2	90	
SS	2.5	2.5~3	—	100	
T-N	8.6	8.6	1.7	80	
T-P	1.2	1.3	0.2~0.3	80	

2) 精密ろ過膜

	原水 [mg/l]		処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
	砂ろ過	オゾン			
BOD	5.2	2.1~2.2	3~1	50	
COD	17	12~13	9~7	50	
SS	2.5	2.5~3	—	100	

4. 5. 4 設計条件

1) 処理水量 (透過水量)

逆浸透膜： 最大12 m³/d

精密ろ過膜： 最大24 m³/d

2) 数量

逆浸透膜： 1式 (膜モジュール4本/式)

精密ろ過膜： 1式 (膜モジュール2本/式)

4. 5. 5 主要設備の仕様

1) 逆浸透膜モジュール

形式： スパイラル形

仕様： 透過水量0.5 m³/h

(膜サイズ4インチ)

数量： 4本

2) 逆浸透膜原水ポンプ

形式： 立形多段渦巻ポンプ

仕様： $\phi 32 \times 21$ l/min $\times 220$ m $\times 4.0$ kW

数量： 1台

バグフィルターの納入実績例 (ブラスト集塵)

Example of Application Bag Filter (Blast Dust Collection)



(気)技術第1課
川 潤 啓 司
Keiji Kawabuchi
(化)製造課
小 山 悟
Satoru Koyama

Shinko Pantec has been manufacturing and selling exhaust gas treatment equipment such as Ion Scrubbers and Air Washers, and in addition to this line of products commenced in 1991 the manufacture and sale of bag filters, dry type dust collectors.

This paper presents the Bag Filter delivered to our Harima Works in January this year for use in the blasting equipment.

ま え が き

当社は、従来より排ガス処理装置としてイオンスクラバー、エア・ワッシャーなどの湿式集塵機の製造・販売を行っているが、1991年より乾式集塵機であるバグフィルターの製造・販売を開始している。

本稿では、本年1月に当社の播磨製作所内のブラスト装置用に納入したバグフィルターの実績を紹介する。

1. 装置概要

1.1 フロー

本装置は、当社のグラスライニング製圧力容器の缶体のブラスト室内での研掃作業により発生する含塵ガスを処理するためのものである。処理フローを第1図に示す。研掃作業によりブラスト室内で発生した含塵ガスは、ブラスト室側壁部の吸塵口よりダクトを経てバグフィルターに入り、粉塵を除去した後、大気に放出される。

このブラスト室は、内面荒仕上げ用自動ブラスト室、内面仕上げ用自動ブラスト室、外面自動ブラスト室の3室より成っており、1室当たり $4500^L \times 2300^W \times 6000^H$ の大きさである。ブラスト法は、各室共圧縮空気直圧方式で行っている。缶体はターニングローラ付き台車に乗せられ、ブラスト室内の定位置へ搬入され、扉を完全に閉じた後、ブラスト作業が行われる。ここでの作業は、制御盤での条件設定による自動運転と、作業者がブラスト室内に入りノズルを持ってブラストを行う手動ブラストの2通りの作業が行えるようになっている。

ブラスト室の換気回数は1時間当たり70回となっており、ブラスト室としては非常に多い回数採用されているため、良好な作業環境が維持されている。

1.2 装置仕様

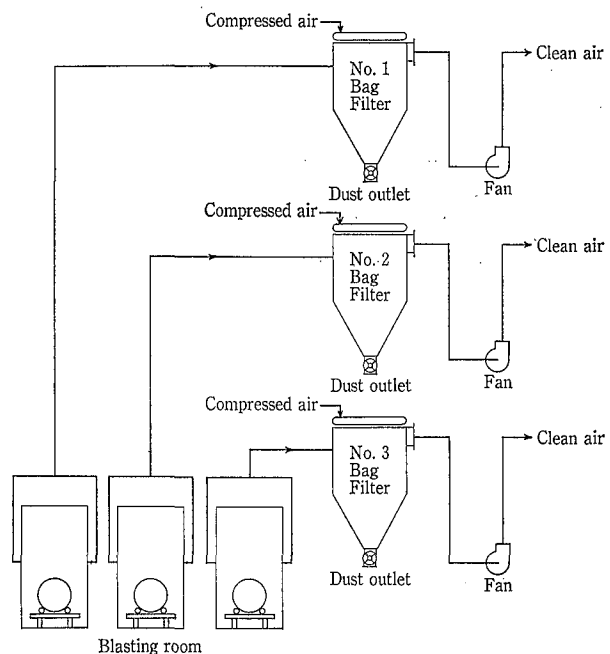
装置の仕様を次に示す。構造図を第2図に、外観を写真1に示す。

型式	SJPT-211 3基
材質	密閉型鋼板製

透過面積	211 m ² /基
処理風量	500 m ³ /min (20 °C)
透過速度	2.36 m/min
透過布	テトロンフェルト製 円筒型142 mmφ × 3 300 mm ^L × 144本
逆洗方式	ジェットパルス
圧力損失	150 mmAq
吸引ファン	500 m ³ × 300 mmAq 37 kW × 4 P × 60 Hz

1.3 集塵操作

ブラスト室からの含塵ガスは、ダクトを通りバグフィルターに入る。バグフィルターケーシング側面には含塵ガスの吸気口とバップルプレートがあり、これがプレセパレー



第1図 ブラスト集塵設備用バグフィルターフロー
Fig. 1 Flow of Bag Filter for blast dust collecting unit

タの働きをし、処理ガス中の比較的粗大な粒子を分離し、ホッパー内に直接落下させる。また、汙布の粉塵による摩擦も防いでいる。

ケーシング上部にはケージプレートがあり、このプレートに汙布を取り付けることにより粉塵側と清浄側を分離する。汙布を通り清浄になった空気は排気口より排出される。



写真1 バグフィルターとブラスト室
Photo. 1 Bag filter and blasting room

ケーシング上部の清浄空気室には、ノズル付リテナー写真2に圧縮空気を噴射するための圧空配管写真3がある。これは、ダイヤフラムバルブ、マニホールド写真4を通してエアコンプレッサーに接続される。マニホールドは、ダイヤフラムバルブと共に作動する複合電磁弁で、パルスコントローラにより制御される。

捕集された粉塵は定期的にパルスジェットによる払い落としを受け、ホッパーに落下し、下部のスクリーコンベア、ロータリーバルブの排出装置写真5により機外へ排出される。

1.4 払い落とし操作

運転初期において、汙布の外表面は粉塵の層で覆われるが、これは初層（一次付着層）と呼ばれ集塵効率を高める。しかし、余剰の粉塵層は圧力損失を不必要に増大させる。圧力損失は通常50～150 mmAqが正常運転であり、この圧力損

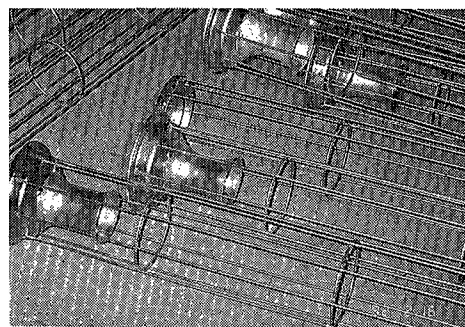


写真2 ノズル付リテナー
Photo. 2 Retainer

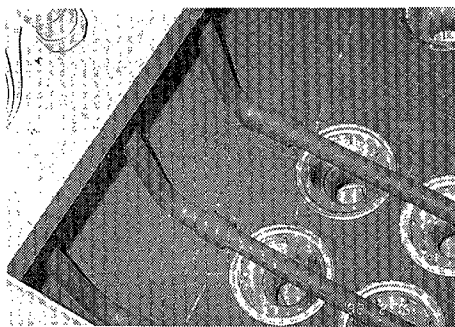


写真3 圧空配管
Photo. 3 Compressed air piping

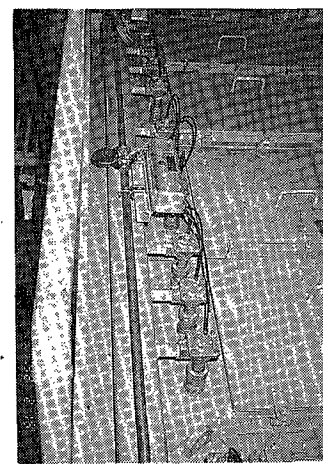
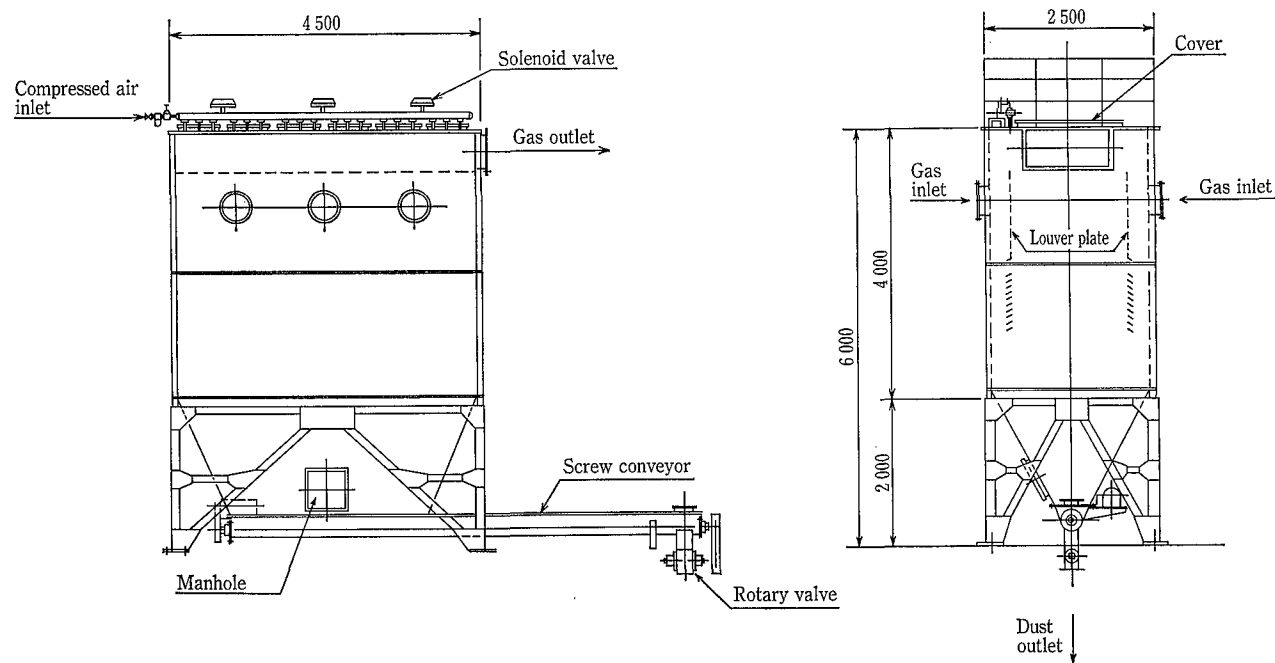


写真4 ダイヤフラムバルブ、マニホールド
Photo. 4 Diaphragm valve manifold



第2図 バグフィルター構造図
Fig. 2 Construction draw of Bag Filter

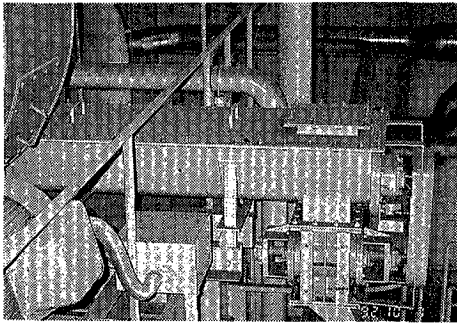


写真 5 ロータリーバルブ、スクリーコンベヤ
Photo. 5 Rotary valve, Screw conveyor

失を一定に維持するために、パルスジェット逆洗により汙布を洗浄する(第3図参照)。

圧空配管が汙筒1列毎に配列されており、圧空配管の下面には、汙筒の中心に当たる位置にパルスジェットの噴射口がある。パルスコントローラーを作動させると一つのパイロットバルブに通電されバルブ開となり、圧空配管の噴射口より約0.1秒間にわたり圧縮空気が噴射される。噴射された空気は5~7倍の2次空気を周囲から吸い込みベンチュリーを通して汙筒に突入し、そのショックで生じる汙布全面の振動と汙布外面に向かって逆流する空気によって、汙布外面に付着堆積した粉塵を効果的に払い落とす。一列の汙筒の払い落としから次の列の汙筒の払い落としまでの時間はパルスコントローラーで調節され、全汙布を一巡するのに要する時間は200秒となっている。このように払い落としはケーシングを数室に区切ることなく、また、処理空気の流れを止めることなく連続的に行うことができる。

1.5 処理性能

処理結果は第4図に示す。入口濃度は変動しているが平均約 $5.4 \text{ g/m}^3 \text{N}$ で、平均出口濃度は約 $0.006 \text{ g/m}^3 \text{N}$ となっており、平均ダスト除去率は99.9%である。現在も安定した処理性能を示している。

2. 保守点検要領及び故障時の処置方法

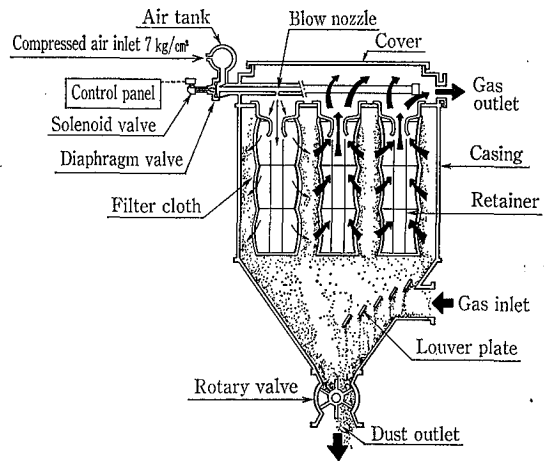
バグフィルターは生産に密接に関係しており、故障の場合は生産設備を停止させることになるため、保守点検は重要な事項である。次に、運転中の注意事項、保守点検要領を説明する。

2.1 運転上の注意事項

- (1) 払い落とし操作を長時間停止させたままファンの運転を続けると、汙布の圧力損失が高くなり、汙布を破損する場合がある。ファンを運転している際は必ず払い落とし操作を行う。
- (2) スクリューコンベヤ、ロータリーバルブを停止させたままバグフィルターの運転を続けると、ホッパー内に蓄積したダストが再飛散し、処理ガス中のダスト量が多くなり、汙布の圧力損失が高くなるため、ホッパー内にダストを蓄積させる運転は避ける。
- (3) ジェットパルスの周期はダスト濃度を考慮して設定しているが、汙布の圧力損失が 150 mmAq 以上になる場合は、パルスエアの圧力、間隔、噴射時間などをセッとし直す必要がある。

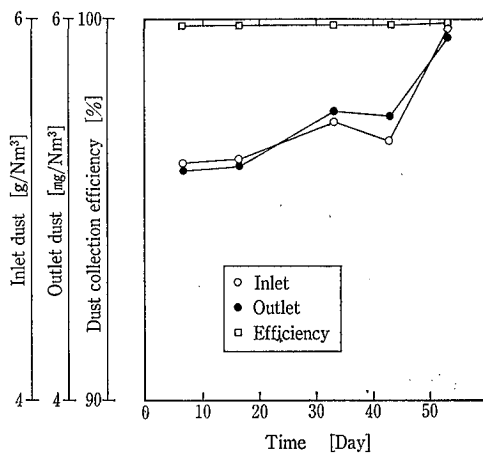
2.2 保守点検要領

- (1) ヘッダー管内の圧縮空気圧力は 5 kg/cm^2 以上ある



第3図 内部断面図

Fig. 3 Cross section sketch



第4図 集塵効率結果

Fig. 4 Result of dust collection

か。

- (2) エアーフィルタ及びヘッダー管内のドレンの排出を行っているか。
- (3) パルスエア配管、本体マンホールからエア漏れはないか。
- (4) 汙布に破れ、目詰まりは生じていないか。汙布の圧力損失が異常に低下している場合は、汙布に破れが生じたか、あるいは外れが生じたと考えられる。逆に圧力損失が異常に上昇した場合は、汙布面においてコンデンス現象が生じたか、汙布の老朽化による自然目詰まりが考えられる。これらの現象が発生した場合は、早急に運転を停止して内部点検を実施する必要がある。
- (5) 各軸受部に異音、振動、温度上昇箇所は無いか。
- (6) 各駆動モータ及びパルス部のソレノイドバルブの作動状態は正常か。

むすび

実績例として、当社播磨製作所に納入したプラスト室用のバグフィルターについて紹介した。併せて、バグフィルターの特長、基本的な取扱い方法などについても説明した。環境保全に対するニーズが高まる中で、本稿がユーザ各位に参考になれば幸いである。

社 内 ニ ュ ー ス

TOPICS

パソコンで遠隔監視—館山浄水場に導入

Telemonitoring system with personal computer was installed at Tateyama water purification plant (Kesennuma city).

気仙沼市ガス水道部と神鋼パンテックはこのほど、浄水場、ポンプ場などをNTT回線を介してパソコンで遠隔監視制御したり、運転データの管理まで行う水道施設遠隔監視システムを共同開発し、同市館山浄水場への導入を行った。気仙沼市が遠隔監視システムの設計を、神鋼パンテックが同社のパッケージソフト「プロセスモニタPMX-98」を応用し、システム開発を進めた。同システムは汎用のパソコン(NEC製98シリーズ)と専用ソフトで構成されているため、システムの変更・追加が容易。ハードもシンプルで経済的などの特長がある。

このシステムは遠隔地にある無人の浄水場、ポンプ場などの各種センサや機器のアナログ信号(流量、水位、電流、電圧など)、パルス信号(積算流量、電力量、機器運転時間など)を、NTT回線(専用、一般)を利用してリアルタイムでパソコンに取り込み、グラフィック表示、トレンド表示、日報作成などをするとともに、ポンプ、バルブなどの開閉、起動・停止などが行えるシステム。現場で異常があった場合もセンター側に通報、その内容がセンター側で把握出来るようになっている。また、ユーティリティソフトを使ってユーザが簡単にシステムの追加・変更をすることができる。

ソフトの機能としてはアペンド監視、データ収集、グラフィック表示、トレンドグラフ表示、メッセージ表示、運転条件の設定操作、レポートファイル作成など。また、MS-DOSで起動する市販アプリケーションソフトからデータを利用することも可能になっている。

(92.8.20 日本水道新聞)

米社から輸入・販売—

乾式微粉破機「ヤコブソンミル」

Air swept pulverizer was introduced from Jacobson INC. (U.S.), and started marketing activities.

神鋼パンテックの粉体関連装置事業が一段と活発になってきた。米国の乾式粉碎専門メーカーと提携、微粉砕機「ヤコブソンミル」の国内市場開拓を開始した。衝撃粉碎、せん断粉碎、摩砕の三つの相互作用により処理材料を微粉砕する。分級機構も内蔵、粒径もシャープ。既存用途の化学品、鉱業分野のほか、セラミックス分野での需要を見込む。粉体関連装置を化工機事業部の次期基幹事業のひとつに育てるのが目的だ。

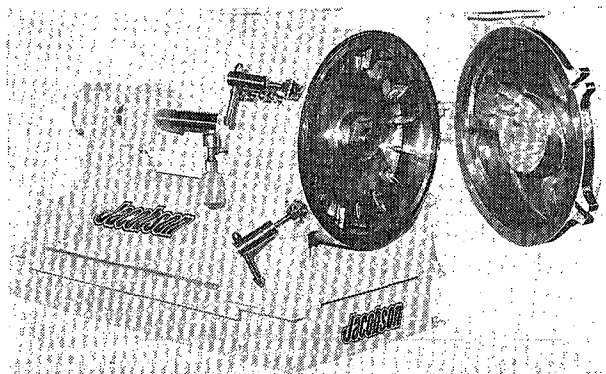
輸入販売する乾式微粉砕機「ヤコブソンミル」はエアスエプト式と呼ばれる微粉砕機のひとつ。装置内に処理材料を空気とともに取り入れ粉碎、再びその空気流に乗せ機外に取り出す。内蔵した分級板が粉碎品を分級、また空気の代わりに熱風を流すことで、乾燥を同時に行うことが出来る。

粉砕機内部では回転円盤に取り付けた羽根と粉砕室内壁との間で起こる衝撃粉碎(粒子同士の衝突による粉碎)、せん断粉碎(粒子にずれの力を作用させる粉碎)、摩砕(粒子に摩擦力を作用させる粉碎)の三つの作用を活用して粒子を微細化する。このため確実に微粉粒が得られる。

同社は、粉碎分野での事業強化の一環として米国の乾式粉碎専門メーカー、ヤコブソン社と提携、「ヤコブソンミル」の輸入販売による国内市場開拓に乗り出すことにした。今後は米国で実績の高い化学品、鉱業分野に加え、セラミックス分野での拡販に力を入れる。また原料供給機、バグフィルター、排風ファンなど周辺機器を含めたシステム構築も進め、高度なユーザーニーズに対応していく考え。

また今年3月、同社が進めていた本社工場(神戸市)から播磨製作所(兵庫県加古郡播磨町)への化学工業用機器部門の生産拠点の一元化が終了。これによりグラスライニング、ステンレス製機器などの新しい生産体制を確立した。さらに神戸市西区に技術研究所(今年3月完成)を新設するなど、化工機生産体制、研究開発体制の両面から強化拡充、中長期的経営基盤の再構築をほぼ完了した。

(92.10.12 化学工業日報)



乾式微粉破機「ヤコブソンミル」
Jacobson Mill