神鋼フアウドラー技報　1988 Vol. 32 No. 2 通巻114号
Shinko-Pfaudler Engineering Reports

目　次
CONTENTS

◦ FRYMA 社からの新しい製品紹介……1
Introduction of New Program from FRYMA

◦ グラスチール製機器補修用レジン「タフジン」(特許出願中)……7
Glasteel Repair Resin "Tafujin"

◦ フッ素樹脂コーティング……11
Fluorocarbon Resin Coating

◦ イオンスクラバーの開発……17
Development of The Ion Scrubber

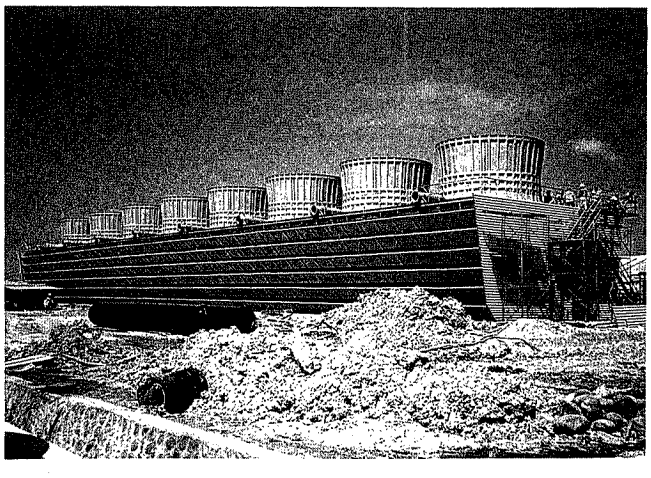
◦ 緩速沪過池用汚砂掻取ロボット……23
Automatic Sand Scraper for Slow Sand Filter

◦ 有効再利用のための下水の高度処理……28
Advanced Treatment on Sewage for the Effective Reuse

◦ 創熱電型嫌気処理システム……35
Electric/Heat Recovery of Anaerobic Biological System

◦ 重層式冷却塔の開発……40
Development of Double-Deck Cooling Tower

◦ 社内ニュース……44
TOPICS



<表紙写真説明>

本冷却塔はインドネシア P. T. KERTAS KRAFT ACHE (SUMATRA) という国営会社の500 m³/d 製紙プラント 36 000 kW 自家発電用として納入されたものである。

12 000 m³/h・鋼製塔で Steel structure はシンガポールで製作加工し，その他多くの部品を海外で調達，低コスト化に成功した例である。

Industrial cooling tower for K. Project Indonesia, which we delivered to P. T. Kertas Kraft Ache (Sumatra), a national enterprise in Indonesia for a 36 000 kW independent power system of a 500 m³/d paper manufacturing plant.

This is a 12 000 m³/h cooling tower and one of lowercost units which we succeeded in constructing with steel structure manufactured in Singapore including many other components procured overseas.

FRYMA 社からの新しい製品紹介

Introduction of New Program from FRYMA

(化)技術部　技術第2課
谷　口　十　一
Toichi Taniguchi

This is intended to give you a short suvuey of the FRYMA machines which we can offer you for the production of pharmaceuticals, cosmetics, foods and other pasty or high viscous products.
Those machines are Toothed Colloid Mill MZ and Corundum Stone Mill MK for fine grinding and dispersing, Processing plant VME for emulsifying, continuous vacuum deaerator VE for pasty media and so on.

ま　え　が　き

当社はこのたびヨーロッパ有数の医薬品，化粧品，食品機械の専門メーカ FRYMA 社（スイス，ラインフェルデン市）の日本における総代理店契約をかわし，同社の特長ある製品の販売を行うことになった。同社とは既に湿式連続微粉砕・分散機コボール・ミルを通じて密接な技術交流を行ってきたが，これを機会に，同社の優れた技術を日本のマーケットに積極的に紹介して行きたいと考えている。

ここでは，同社の製品の中から，湿式連続破砕，微粒化機であるコロイド・ミル，コランダム・ミルおよびディスク・ミル，超微粒乳化分散装置であるVME，連続真空脱気装置であるVEについて機構，特長，用途などを紹介する。

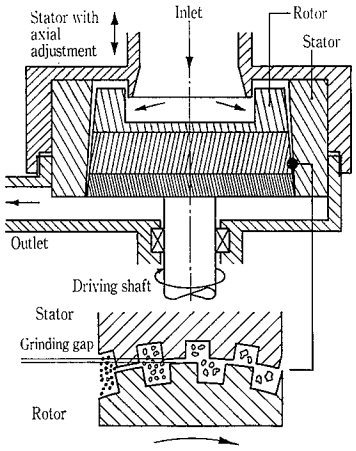
1.　コロイド・ミル

1. 1　機構

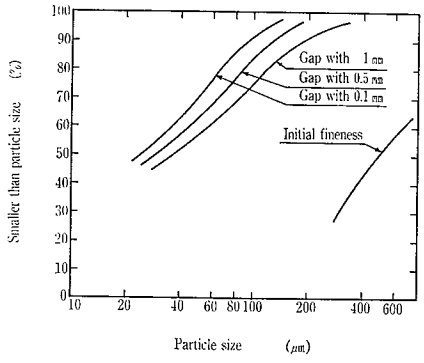
コロイド・ミルは，**第1図**に示すように，やや円錐状をした一組の歯形面を原料が通過する際，繰り返しせん断力や磨砕力を受けることによって，破砕，分散，乳化などの作用を受けるものである。一組の歯形面は，モータの出力軸に直結したロータと，固定されたステータとにより構成されており，破砕面，すなわちロータとステータとの間のギャップは，ステータを上下に動かすことにより 0.05 mm の精度で調整できる。このギャップの大きさは，本体容器についている目盛板で読みとることができる。

コロイド・ミルの破砕の強さは，破砕面で生じるせん断力の大きさや，その繰り返し数による。せん断力の大きさは，流体の粘度およびせん断速度，したがって粉砕歯の直径，回転速度，ギャップ幅に関係する。**第2図**にギャップ幅による粉砕効果の相違を示す。これは，約 500 μm に凝集した殺虫剤を，コロイド・ミルのギャップ幅を変化させて粉砕（解砕）した例で，ギャップ幅を狭める方が粉砕効果が大きくなっている。

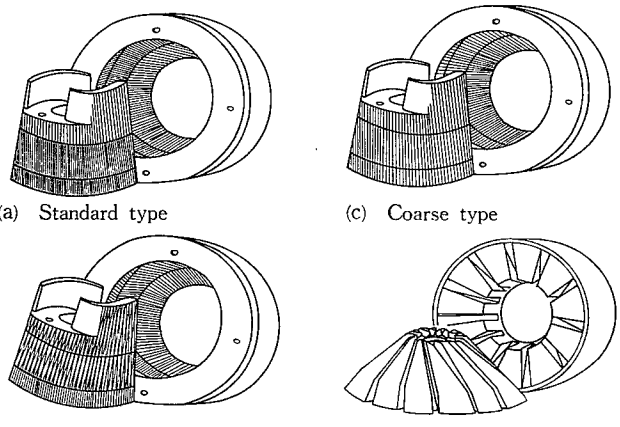
コロイド・ミルの粉砕効果は，粉砕歯の形状によっても異なる。**第3図**に四種類の粉砕歯を示す。(a)は標準的なもので，ロータ，ステータとも三段階になっており，径が大きくなるほど，すなわち粉砕ギャップ間の原料が粉砕され



第1図　コロイド・ミルの機構
Fig. 1　Toothed Colloid Mill



第2図　ギャップ幅による粉砕効果への影響
Fig. 2　Dependence of the particle size distribution on the gap width (Example : pesticide suspension)



第3図　粉砕歯の種類
Fig. 3　Various type of grinding sets

1 表 コロイド・ミルの適用例
ble 1 Output figures for typical applications of Colloid Mill

Material \ Type	MZ-50		MZ-80		MZ-100		MZ-110		MZ-130		MZ-150		MZ-170		MZ-190		MZ-250	
	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW	q	kW
l, 100 cp	300	0.75	1 000	2.2	2 000	4	3 000	5.5	7 000	11	15 000	22	20 000	37	26 000	45	40 000	75
ınd cream, 3 000 cp	250	0.75	700	2.2	1 400	4	2 100	5.5	4 900	11	10 500	22	14 000	37	18 000	45	28 000	75
eat paste, creamy	150	1.1	500	4	800	5.5	950	7.5	1 800	15	3 200	30	4 300	45	5 700	60	8 600	90
ayonnaise (82 % Oil)	130	0.75	400	2.2	800	4	1 200	5.5	2 800	11	6 000	22	8 000	37	10 400	45	16 000	75
ıothpaste, Emulsion paint 000 cp	120	1.1	350	4	700	5.5	1 050	7.5	2 500	15	5 300	30	7 000	45	9 000	60	14 000	75
tty 100 000 cp	—	—	100	5.5	200	7.5	300	14	700	22	1 500	37	2 000	60	2 600	75	4 000	90

=Output of the mill(kg/h)　　kW=Required motor power

ほど，歯形間隔が狭くなっていく。(b)は(a)よりもさらに かい製品粒度が必要な場合に使用する，歯面の凹凸が交 っているタイプである。**第4図**に標準型の粉砕歯と交差 の粉砕歯とを比較した例（殺虫剤の解砕例）を示すが， 差型では標準型のほぼ½の粒径になっている。

c)の粉砕歯は，粗い粒子を一次的にある程度の大きさに 砕したり，粉砕あるいは分散しやすいものを量的に多く 理する場合に使用し，さらに(d)は，マヨネーズやソース など特殊なエマルジョンに対して使用する。

コロイド・ミルは，連続処理に使用されるが，オープン の使用とクローズでの使用に分かれる。オープンの場合 **第5図**(a)のように，ホッパーに原料を投入し，処理さ たものをそのまま容器に受ける形となり，クローズの場 は，(b)のように配管ライン中に組込まれる形となる。ク ーズの場合，吐出圧が必要となるので，軸封部にダブ ・メカニカルシールを使用し，最高 10 kg/cm² までの 圧が可能な構造としている。

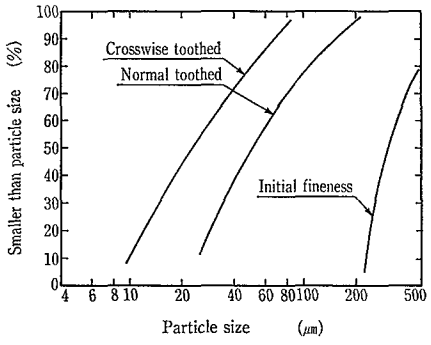
また1パスで所要の製品粒度が得られない場合には，パ 回数を重ねる循環使用方法をとる。**第5図**(c)は，オープ ・タイプに循環パイプを取り付けた例である。**第6図** 5 % soya oil と水とを乳化した場合の，パス回数の による液滴の大きさの変化を示している。このテスト結 から，パス回数を重ねると，当初は液滴径が小さくなる の，そのうちある一定の大きさに収束してしまうこと が推測される。このテストでは20パス後のものは，処理量に関係なく，ほぼ一定の大きさに収束している。

1. 2 特長

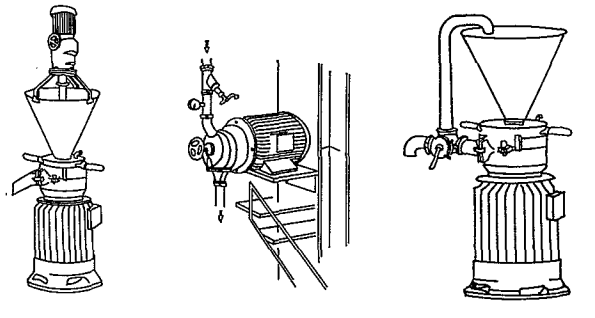
FRYMA コロイド・ミルは，医薬品，食品，化粧品などのペースト状のものに対し，微粒化，破砕，乳化，分散，均質混合などの用途に使用される。その特長としては

(1) オープンで使用する大気圧仕様のほか，クローズで使用できる耐圧仕様（最大 10 kg/cm²）が製作できる。

(2) 製品の要求粒度により，ロータ，ステータの粉砕歯の形状を選定できる。

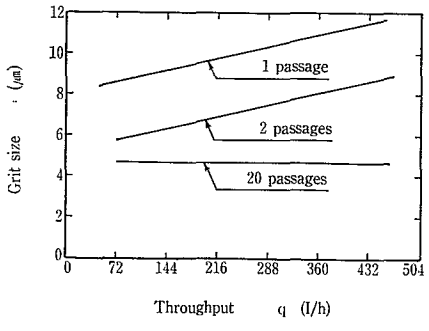


第4図 歯面形状による粉砕効果への影響
Fig. 4 Dependence of the particle size distribution on the toothing of the grinding gap (Example: pesticide suspension)



a) Open type　(b) In-line type　(c) Circulating type

5図 コロイド・ミルの使用例
g. 5 Suggested installations



第6図 パス回数の差による乳化への影響
Fig. 6 Dependence of the droplet size on the throughput and on the number of homogenizing steps (Example: O/W-emulsion with 5 % soya oil)

(3) 製品粒度の調整のため，運転途中でも粉砕ギャップ幅を変更できる。
(4) 用途に応じ，本体，ステータ，ロータの冷却または加熱仕様を選択できる。
(5) 粉砕歯を取り替えることによって，別項で述べるコランダム・ミルやディスク・ミルに転用が可能であり，一台で三役の機能を持たせることができる。

などがあげられる。

1. 3 適用例

第1表にコロイド・ミルの代表的な処理例を示す。

2. コランダム・ミル

2. 1 機 構

コランダム・ミルは，**第7図**に示すように，一組の砥石の間隙を原料が通過する際の強いせん断力や衝撃力により，乳化，分散，粉砕などの微粒化作用を受けるもので，いわゆる摩砕による微粒化機である。一組の砥石は，モータの出力軸に直結した回転砥石と，ケーシング側に取り付けられた固定砥石とから構成され，砥石間のすき間は，固定砥石を上下することにより簡単に変化でき，このすき間の大きさは目盛板により読みとることができる。

コランダム・ミルの砥石は形状，材質ともに FRYMA 社独自のもので，低温で最大の粉砕効果が得られるように設計されている。また材質的にも酸やアルカリ，溶剤に対する耐性があり，硬度的にはモース硬度9と非常に硬く運転寿命も長くとれる。

コランダム・ミルの製品粒度は，砥石間のすき間の大きさや，砥石粒度，処理量などによって決まる。

処理物によって，製品粒度がさほど要求されず，処理量を要求される場合には，砥石のかわりに硬質クロム鋼製のディスクを使用する。このディスクは，コロイド・ミルの交差型粉砕歯（**第3図**b）と同様の形状をしたものである。

コランダム・ミルも，コロイド・ミル同様，連続処理に使用され，オープンあるいはクローズで使用される。

2. 2 特 長

FRYMA コランダム・ミルは，食品をはじめ，医薬，ケミカルなどあらゆる産業分野でのペースト状製品に対して使用されているが，その特長としては，

(1) 大気圧仕様のほか，最大 10 kg/cm² まで使用可能な耐圧仕様が製作できる。
(2) 製品の要求粒度により砥石の粒度が種々選択できる。
(3) 製品の粒度調整のため，運転途中でも砥石間隙を変化できる。
(4) 用途に応じ，本体，砥石を加熱または冷却することもできる。
(5) 一組の砥石を取り替えることにより，別項で述べたコロイド・ミルやディスク・ミルに転用できる。

などがあげられる。

2. 3 適用例

コランダム・ミルは固体粒子を 5～200 μm に粉砕したり医薬用軟膏やクリーム，口紅の顔料粒子の分散などに使用されるが，型式別による処理量の目安を 50 μm 以下に粉砕する場合（ケースA）と，サスペンジョン粒子の分散に使用する場合（ケースB）について次に示す。

型　式	モータ (kW)	ケースA (kg/h)	ケースB (kg/h)
MK-95	2	20	80
MK-160	7.5	60	240
MK-180	11	120	480
MK-200	11	160	560
MK-250	18.5	240	1 000
MK-270	22	280	1 100
MK-360	60	440	2 000

2. 4 FRYMA 各種ミルの比較

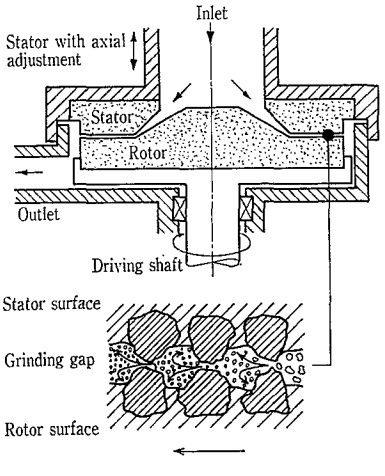
FRYMA 社では連続微粉砕機として，ここに紹介したコロイド・ミル，コランダム・ミル以外に，当社にて技術提携により製作しているコボール・ミル[1),2),3),4)]がある。

これらの相互関係を**第8図**に示す。数ミリの原料を，目安として（粉砕粒度は物性により大きく異なるので，概念的な目安として）40 μm 以下が 95 %，10 μm 以下が 50 %程度要求される場合にはコロイド・ミルを，さらに 15 μm 以下が 95 %，5 μm 以下が 50 % 程度要求される場合にはコランダム・ミルを，そして 95 % が数 μm 以下というような場合にはコボール・ミルをご使用願っている。

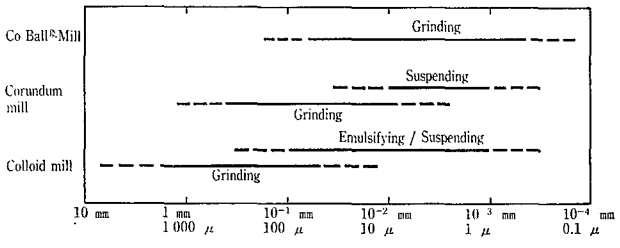
3. ディスク・ミル

3. 1 機 構

ディスク・ミルの構造を**第9図**に示す。このミルは固定の多孔板および多孔リングと，一体で回転するプレカッター，ナイフおよびエジェクターにより構成されている。ある程度の大きさの果実や野菜，魚肉のすり身などをホッパ



第7図 コランダム・ミルの機構
Fig. 7 Corundum Stone Mill

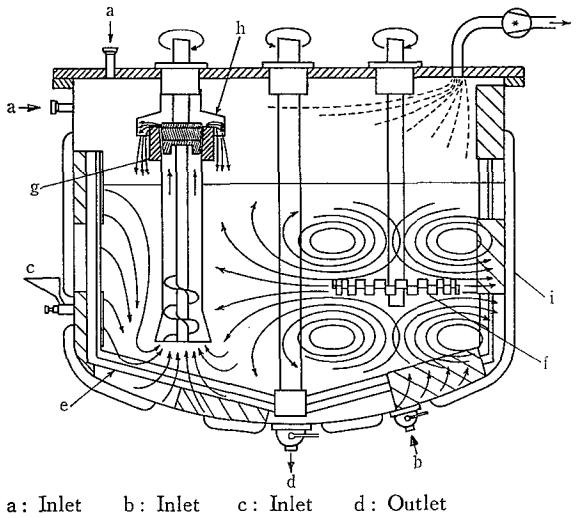


第8図 FRYMA ミルの用途比較
Fig. 8 The relationship between particle size and machine type

; 2 表 ディスク・ミルの適用例
able 2 Output figures for typical applications of Disc Mill

Type		ML-150	ML-180	ML-250	ML-330
Motor (kW)		2.2	11	22	30
Meat, bacon	(3 mm)*	150	700	1 500	3 000
	(13 mm)	300	2 000	4 000	8 000
Apples, oranges	(6 mm)	400	2 000	5 000	10 000
Spinach (Blanched)	(2 mm)	800	4 000	8 000	15 000
Fresh tomatoes	(13 mm)	2 500	12 000	20 000	40 000

* The figure in bracket indicates the hole diameter of the perforated disc



a: Inlet b: Inlet c: Inlet d: Outlet
e: Scraper-stirrer f: Dissolver g: Toothed colloid mill
h: Thin-film distributor i: Jacket

§ 10 図 VMEの機構
'ig. 10 Processing plant VME

-に投入すると，プレカッターで粗砕され，所要の大きさ
)孔があいた多孔板にナイフで押しつけられ，多孔板を通
過することによって微粒化される。

製品粒度や処理量は，多孔板の孔径によって決まる。孔径は通常 1.5 mm から 22 mm の間で目的にあったものを選ぶ。

. 2 特 長

ディスク・ミルもコロイド・ミルやコランダム・ミルと同様に，

(1) 耐圧仕様が可能である。
(2) 本体を加熱または冷却することもできる。
(3) 他種のミルへの転用は破砕部品を替えることにより可能である。

などの特長がある。

ⅰ. 3 適用例

第2表にディスク・ミルの代表的な処理例を示す。

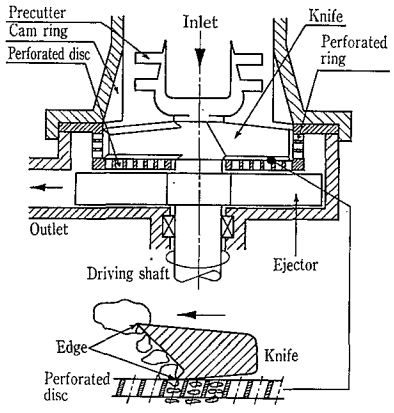
ⅰ. 超微粒乳化分散装置VME

VMEは多目的真空乳化装置であり，スクレーパ，デゾルバーおよびコロイド・ミルの相乗効果により，乳化，懸濁，均質混合に限らず，すべての液体/液体系および固体/液体系の処理プロセスに幅広く適用されている。

ⅰ. 1 機 構

VMEの構造を**第10図**に示す。

(1) 原料供給



第9図 ディスク・ミルの機構
Fig. 9 Perforated Disc Mill

液体および粉体原料は，真空吸引によって供給ノズルaおよびbから投入される。主として添加剤の供給に使用するノズルbは，容器底部の，高速撹拌を行っているデゾルバーfの影響範囲に設けてある。

真空吸引することによって，粉体（もしくは液体）を，その貯蔵容器から早くVMEに供給でき，また，粉だちなどの作業環境の汚染を防ぐことができる。さらに高速撹拌ゾーンに粉体が供給されることにより，液中で粉体が凝集することを避け，粉体表面を素早く濡らし，分散しやすくする。

また供給ノズルcは少量の添加剤を加える場合に使用する。供給ノズルaより液体を仕込む場合には，大気圧下でも行う。

一般の自動供給装置と組合せることにより，VMEへの原料投入を自動化することもできる。

(2) 撹拌機構

ディゾルバーおよびコロイド・ミルによる処理液の高速撹拌と，スクレーパ翼によるゆるやかな撹拌により，粉砕，分散，エマルジョン化において粒度が微細化し，完全な固体粒子の分散による，安定で，均質な製品が得られるとともに，処理時間が大幅に短縮される。これら3種類の撹拌機構は，それぞれ独立した別個の駆動系により運転されるので，製品の必要度に応じ，各々の運転時間を選ぶことができる。

(1) スクレーパ(e)

スクレーパは，内容物にゆるやかな撹拌効果を与える。ナイロンまたはテフロン製の翼が容器内面をかきとり，内容物が壁面で過熱されたり，過冷却されることを防ぐとともに，壁面からの熱交換を良くし，内容物全体の温度を均一化する。

(2) ディゾルバー(f)

ディゾルバーは，高速回転により周辺の液にせん断力を与え，供給された固体粒子表面の濡れ作用を促進することにより，粒子の分散を早める働きをする。ディゾルバーの高さ位置は調整することができるので，内容物の供給量により，常に最適の位置で運転することが可能である。

ディゾルバーの回転方向は，スクレーパと反対方向

第 3 表　VME付属のコロイド・ミルの概略処理量例
（単位 ℓ/min）

Table 3 The throughput of the built-in colloid mill (Examples)

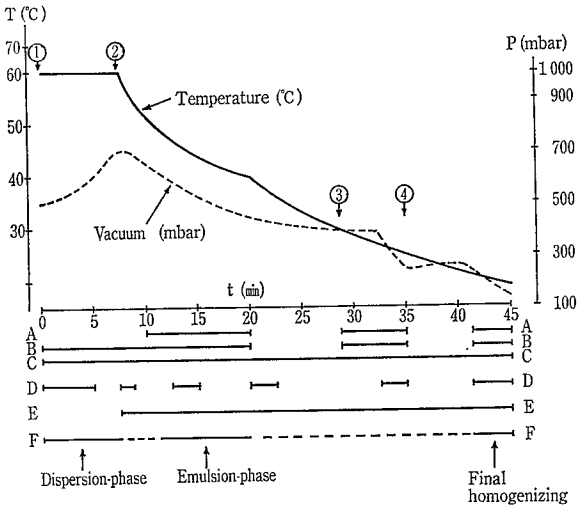
Type	Liquid up to approx. 1 000 cp	Semi-liquid to viscous 1 000–50 000 cp	Pasty, Highly viscous >50 000 cp
VME-20	17	8	5
VME-120	60	30	25
VME-400	120	60	40
VME-1 300	500	250	160
VME-2 400	800	400	260

第 4 表　VMEの代表的処理時間例（単位：min）

Table 4 Standard processing time of VME (min)

Material	VME-6 to VME-50	VME-120 to VME-700	VME-1 300 to VME-2 400
Toothpaste	40–70	60–90	80–100
Make-up(Heated to 70 °C with steam)	20–40	30–50	40–60
Hair shampoo	10–20	10–30	20–40
Salad and spiced sauces (Heated to 83 °C with steam)	30–60	30–80	40–100
Silicone rubber sealing compounds	40–60	50–70	60–90

(Figures incl. feeding, heating, cooling, discharging)



A : Running time of colloid mill
B : Running time of dissolver
C : Running time of scraper-stirrer
D : Running time of vacuum pump
E : Running time of cooling
F : Cycle of the process
① Start addition of water-phase
② End addition of water-phase
③ Addition of additive
④ Addition perfume phase

第 11 図　VMEの運転操作例

Fig. 11 Processing cycle for emulsion manufacture on the processing plant VME (Batch size 500～750 liters)

になっており，内容物全体を程よく循環することができる。ノズルbから粉体はディゾルバーの分散ゾーンに供給されるため，凝集を起こす前に分散される。このため処理時間を短縮し，ほとんどのエマルジョンを冷間乳化により製造することができる。

(3)　コロイド・ミル(g)

VMEの特長は，コロイド・ミルを標準装備していることである。コロイド・ミルは，固体粒子を粉砕し，凝集粒子を解砕し，液滴を微粒化する。したがって，製品粒度を要求される場合や，歯みがきペーストのように固体濃度の高いものの処理には最高である。

内容物は，コロイド・ミルに直結したドラフト・チューブ内を，スクリューによって供給され，ミルで処理される。処理粒度は，ミルの歯面形状およびロータ，ステータ間のギャップ幅によって変わり，このギャップ幅は，運転中でも容器外部から調整できる。またドラフト・チューブをつけることにより，内容物の上下循環流が図られる。

VMEに装備しているコロイド・ミルは，内容物が時間当り 10～15 回程度ミルを通過できる大きさのものを選定している。**第3表**に代表的なミルの処理量を示す。

上に述べた三つの撹拌機構の駆動部は，容器上蓋に設置されており，接液部には軸封部がない。したがってメンテナンスが極めて容易であり，内容物を汚染することもない。上蓋での軸封は，容器内を真空に保つ必要性から，メカニカル・シールを採用している。

3)　真空脱気機構

コロイド・ミルで処理された内容物は，ミルの吐出作用によりディストリビュータhの表面を薄膜状で流下する。容器内は真空に保たれているので，薄膜状の内容物に含まれている気泡が脱気される。内容物全体が時間とともにコロイド・ミルを通過し，この脱気機構を通るので，次第に全体が脱気され，製品として気泡のないものが得られる。

脱気することにより，製品の安定性が増し，酸化反応を防止することができ，また製品を充てん機にて充てんする場合の精度を向上させることができる。

4)　製品排出

製品の排出は，容器最底部の排出バルブdから行う。VME-6型からVME-700型では，容器を傾けて排出することもでき，さらに高粘度物質の排出，あるいは排出時間の短縮のためには，容器内部を加圧したり，排出バルブにポンプを接続することもできる。

4. 2　特　長

VMEは次のような特長がある。

1)　処理時間が短かい。

真空吸引により原料の供給時間を早くし，コロイド・ミルを標準装備することにより，強力な分散，乳化作用を内容物に与え，さらに薄膜形成による真空脱気機構を備えることにより，従来の類似装置に比べ，大幅に処理時間を短縮している。**第4表**に標準的な処理時間を例示する。

2)　接液部にシール部分がない。

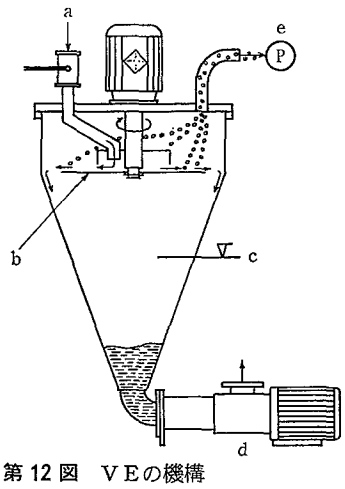
製品が接する部分には軸封部がないため，品替え時の洗浄などのメンテナンスが極めて容易に行える。

3)　GMP対応

使用される分野が医薬，化粧品，食品業界が多いため，GMP仕様にて製作することができる。

4. 3　運転操作例

容量 500 ～750 ℓのVMEを用いて，ある種のW/Oエマルジョンを製造する場合の運転操作の例を**第11図**にて説



第 12 図　VEの機構
Fig. 12　The vacuum deaeration unit VE

明する。

まず 65～80 °C に予熱した容器内に真空吸引にてオイルを入れる。スクレーパおよびディゾルバーを起動させ，水溶液を真空吸引する。この時，水溶液の温度はオイルと同じか，5 °C程度高い目に予熱しておく。W/Oエマルジョンを作る場合には，水溶液を連続的に，ゆっくりと入れることが肝要である。スクレーパおよびディゾルバーの運転により初乳化が行われ，水溶液を供給し終ると，冷却を始める。

乳化のはじまるある温度に達した時に，コロイド・ミルを起動させる。この温度は通常 55～65 °C であり，冷却をそのまま続け 45～50 °C になるとコロイド・ミルの運転を止める。この時，ディゾルバーの運転も同時に停止し，スクレーパによるゆるやかな撹拌のみ続行する。製品温度が 40 °C に達すると添加剤を加え，再びディゾルバーとコロイド・ミルを起動し，懸濁，分散を行う。35 °C になると，ある香料を加え，この香料を加える時には，ディゾルバーとコロイド・ミルは再停止し，スクレーパのみを回転させ，製品温度で 25～28 °C になるまでこの状態を続ける。容器内の真空度は 50 °C から 25～28 °C までは，ほぼ 300 mbar 程度に保つ。

そして真空度を 150 mbar 程度にまで高めると同時にコロイド・ミルおよびディゾルバーを約 3 分程度運転する。この操作によりエマルジョンが完全に均質化され，脱気される。そして撹拌機構を停止し，真空ブレークしたのち製品を排出する。

このようにして，VMEにより安定なW/O エマルジョンが製造される。

5.　連続真空脱気装置ＶＥ

高粘度液やペースト状製品中に気泡が存在すると，製品を酸化させたりして，その化学安定性を損ない，また，製品比重が一定せず，チューブなどに充てんする場合の精度も悪くなる。これは製品製造中の撹拌工程で気泡を巻き込んだり，液中に分散される固体粒子に微細な気泡が随伴するために起こる。このような現象を防止するためには，VMEのように真空中で撹拌操作を行うか，製品中の気泡を何らかの装置で脱気することが必要である。ＶＥ（ラボ・サイズはＬＶＥ）は，このような脱気装置である。

第 5 表　ＶＥの概略処理量例
Table 5　The throughput of VE (Examples)

Type	Motor kW	Output (kg/h) Shampoo 10 000 cp	Toothpaste 50 000 cp
LVE/A	1	120	75
LVE/B	1	120	75
LVE/C	2	240	150
VE-0	2.5	400	250
VE-I	3	1 200	750
VE-II	5	3 200	2 000
VE-III	7	6 400	4 000
VE-IV	13	12 000	7 500
VE-V	17	16 000	10 000

5. 1　機　構

ＶＥの構造を**第12図**に示す。真空ポンプｅにより真空吸引された容器内に原料が供給口ａより連続的に供給される。この原料は，ディストリビュータと呼ばれる特殊設計の回転円板ｂ上で，遠心力の作用により薄膜にされる。この時，原料中の気泡が真空下のため破裂し，脱泡され，コーン形の容器内に脱気された製品がたまる。容器にはレベル計ｃが附属しており，一定レベルに製品が達するとポンプｄが作動し，排出される。

5. 2　適用例

ＶＥは，特殊な構造をしたディストリビュータの作用により，かなり高粘度液まで連続脱泡することができる。**第5表**に，シャンプーおよび歯みがきにＶＥを適用した場合の処理量の目安を示す。

むすび

当社が新しく総代理店となったスイス FRYMA 社の固体/液体系の処理装置のいくつかについて，簡単にその概要を説明した。

このうち超微粒乳化分散装置 VME-12，コロイド・ミルMZ-80，コランダム・ミルMK-95については，当社の技術開発センターに実験機として常設しており，お客様各位のテストに御使用頂ければ幸いである。

今後，これらのテスト機によりテストを積み，稿を改めてご紹介させて頂きたいと考えている。

〔参考文献〕

1）谷口：神鋼フアウドラー技報，Vol. 28, No. 2,(1984) p. 5
2）谷口，平尾，田中：粉体工学会誌，Vol. 22, (1985) p. 376
3）谷口：神鋼フアウドラー技報，Vol., 30 No. 1, (1886)p. 26
4）谷口：化学装置，Vol. 29 No. 5(1987) p. 125

グラスチール製機器補修用レジン「タフジン」(特許出願中)

Glasteel Repair Resin "Tafujin"

(化)技術部　製品開発課
山　添　勝　巳
Katsumi Yamazoe

Glass-lined equipment is widely used in various industrial fields because of cleanness and corrosion resistance. In case they are damaged while used in mild condition such as brewage area, we usually repair damaged parts of glass with some resin. Although resin is easy to handle due to its feature of low temperature curing, it's adhesion to glass is rather weak. Our newly developed "Tafujin" has greatly improved adhesion to glass in various solutions with modification technology and catalysts. "Tafujin" contains high corrosion resistance special filler and the some cobalt-blued colour as of our glass.
This paper describes the outline of "Tafujin" and the comparison with other resins on the market.

ま　え　が　き

当社のグラスチール製機器は，高級耐食材料として石油化学，医薬，農薬，染料などのファインケミカル，食品工業などあらゆる分野で使用され，各プロセスに重要な役割を果してきた。グラスチール製機器はその用途に応じて，グラスの種類，厚み，検査方法を選定して製作されているが，使用中の不測の事故などによる原因でグラスが損傷した場合，直ちに補修を行なう必要がある。補修方法には，マイルドな条件下でのレジンによる補修から，シビアな条件下でのタンタル補修まで種々ある。

今回新たに開発したグラスチール製機器補修用レジン「タフジン」は，当社グラス部と同色のコバルトブルーの，高密着性エポキシ系レジンである。主に比較的低温度のマイルドな条件で使用されることを目的としたものである。

本稿では，この「タフジン」の特性について報告する。

1.　グラスチール製機器のレジン補修のための必要条件

1. 1　レジンと被補修部との高い密着性

グラスチール製機器に使用される各種薬液に対して長期間密着性が保持できなければ意味がない。

レジンで補修する場合，必ずグラス面と接する部分がある。レジンを温めて被補修部に刷り込んでもグラスとレジンの間にはミクロなすきまができる。そのすきまを通って毛管現象により薬液が浸透し，レジンとグラスの界面を破壊する。

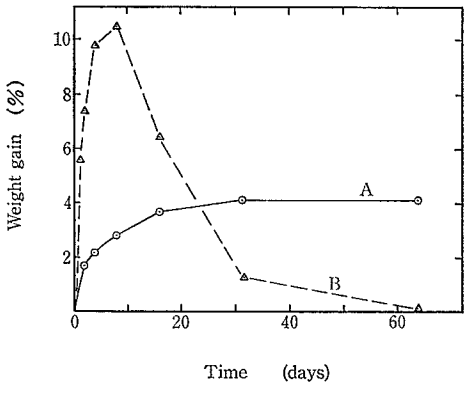
界面の破壊はグラス表面のシラノール基(Si-OH)が可溶化することによって起こる。アルカリ成分の含まれている通常のグラスでは，表面がアルカリ性となり早く可溶化する。一方金属面は，グラスよりも可溶化しにくい構造になっていて，金属面の密着性はグラス面よりも大きい。また界面への薬液の浸透は，レジンを通しての浸透の数百倍の速度で起こるとも言われている。そのため補修した場合，剥離は必ずレジンとグラスの界面より起こる。従ってグラスとレジンの密着性を高めることが重要な問題である。

1. 2　レジンの耐食性

レジンは通常有機系高分子であり，構造中にミクロのスキマがあり，薬液を吸収する基を持っている。従って薬液中では膨潤し，重量増加をする。レジンの構造中に，薬液に対し溶解する構造のもの，未硬化成分などがあると，次第に膨潤度は大きくなって行き，薬液に対して強い構造の部分のみを残して平衡に達する。もちろん，充てん材などが含まれていて，それが薬液に対して溶解して行くものであればそれらも溶解する。**第1図**に膨潤率（重量増加率）の典型的な例を示す。供試レジンはエポキシ系市販品で，酸に対して可溶な充てん材が混入されている。縦軸に膨潤率，横軸に浸漬日数を示す。Aは100 °C 純水のデータで，ある期間膨潤した後，平衡に達している。Bは20 %塩酸70 °C のデータで充てん材が溶解していく過程がよく判る。

ちなみに，グラスは膨潤率は0であり，表面より溶解していくため，寿命予想は容易であるが，レジンの場合は不安定な要素が多いため，マイルドな条件の使用に限られている。

上記の結果より，膨潤度の小さいこと，充てん材なども高耐食のものを使用することが，レジン耐食性を高めるために必要である。また膨潤率が小さければ，薬液がたとえ



第1図　レジンの膨潤率曲線
Fig. 1　Absorption curves of resin

鉄生地に達しても，液が更新されず，飽和状態となり，鉄生地防食効果も大きく，レジン自体の変形も小さい。

1. 3 レジンの弾力性

レジンの熱膨脹係数はグラスの数倍もあるため，その弾力性（可とう性とも言う）で熱応力を吸収しなければならない。

1. 4 作 業 性

レジンによる補修は現地かつ缶体内の作業となるため，常温硬化に近い作業性を有するものでなければならない。また垂直面に塗布する場合，流れないようなものにしなければならない。このように作業性の良いことは，品質を安定させるのに非常に重要な点である。

その他，外観など考慮すべき点は数多くある。

このように，レジンで補修するには，種々の条件を検討しなければならない。

今回，種々検討した結果，当社でも現在使用され，取り扱い易いエポキシ系レジンを取り上げた。

2. エポキシ系レジンの特長

エポキシ系レジンは，1分子中に2個以上のエポキシ基を有し，適当な硬化剤によって3次元化した硬化物を与える化合物の総称であるが，一般的には，ビスフェノールAとエピクロルヒドリンの反応で得られるビスフェノールAジグリシジルエーテルを指すことが多い。**第2図**にその構造と特性を示す。

エポキシ系レジンが汎用的に補修用レジンとして使用されるのは，分子両端にあるエポキシ基および中間にある水酸基の大きな反応性によることが多く，硬化剤の選択により，室温硬化も可能で，硬化収縮も小さく，作業がやり易いこと，親水基と疎水基が分子内に存在するため，各種被着体との接着性が極めて大きいためである。また各種充てん材や，希釈材を混合しても反応阻害を起こすことが少く配合上の長所となっている。硬化剤も多数あり，その変性品も含めると膨大な数に上る。また充てん材の種類，量によってもその特性を変化させることも可能であり，これらを配合することにより，用途にあったエポキシ系レジンができる。上記の配合技術をレジンの変性と称するが，この変性技術を駆使して，グラスチール製機器補修用として開発されたものが「タフジン」である。次章では，このレジンの特長について述べる。

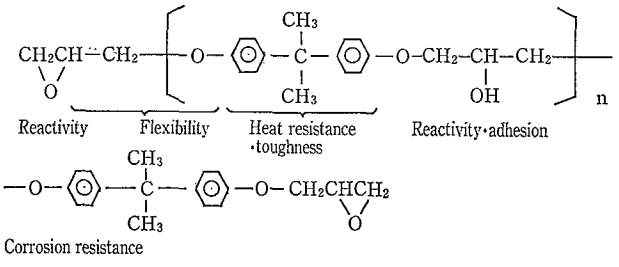
3. 「タフジン」の特長

3. 1 構成

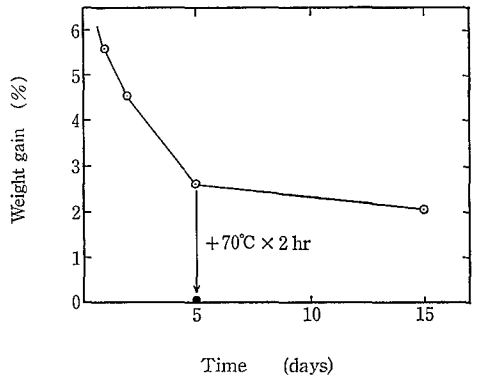
「タフジン」は，缶体と同一色調のコバルトブルー色をした主剤と，透明な硬化剤および下地処理剤より構成されている。下地処理剤は，被補修部に安定した密着力を与えるためのものである。主剤と硬化剤を混合し，下地処理した被補修部に塗布することにより，従来のレジン補修と同様な施工法で，補修跡の目立たない硬化物を得るようにしたものである。

3. 2 硬化特性

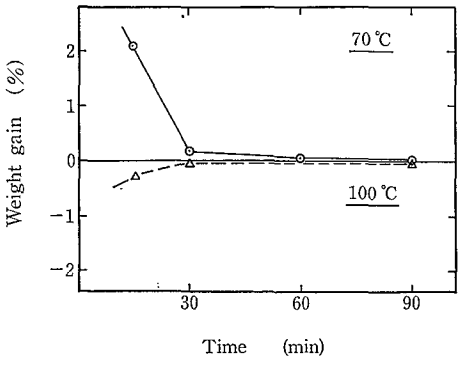
エポキシレジンが硬化剤と混合されるとエポキシ基と硬化剤が重合し，橋かけを行い，三次元高分子を生成して硬化する。付加重合であるため，反応生成物ができず，安定な硬化物を得る。このようにレジンの硬化は化学反応によって起こるため，反応の完結を調査しておくことは重要な事である。反応は非常に複雑であるが，今回は簡単なテストで定量化を試みた。すなわち，各種温度，時間で硬化したものを一定時間アセトン液に浸漬し，その膨潤度を測定することにより硬化過程を定量化した。これは，アセトンのような有機溶剤に対する耐食性を意味するものである。**第3図**は，30 °Cで，**第4図**は70 °C，100 °Cでの硬化曲線を示す。縦軸はアセトン浸漬による膨潤率，横軸は硬化時間を表わす。30 °Cでは有機溶剤に対する安定度は悪い。**第3図**の矢印の点は，30 °Cで硬化後，さらに70 °Cで2時間，後硬化したものである。「タフジン」は常温硬化型のレジンではあるが，有機溶剤に対して安定になるためには必ず加熱硬化が必要である。100 °Cでは，硬化時の発熱が大きく，不均一硬化が行われていることを示してい



第2図 エポキシ樹脂の構造と特性
Fig. 2 Synthesis and characterization of epoxy resin



第3図 30 °Cの硬化曲線
Fig. 3 Curing curve at 30 °C



第4図 70 °C，100 °Cの硬化曲線
Fig. 4 Curing curves at 70 °C and 100 °C

る。よって，レジンの硬化には，硬化を急ぐあまり，急速に加熱することは慎しまなければならない。これらの事は，同様な硬化剤を使用している市販のエポキシレジンにも言える基本的な問題である。**第5図**に硬化剤量と70 °C 30分で硬化した時の膨潤度との関係を示す。硬化剤量が多いほど硬化が速いが，これは次節の耐食性，密着性との関係を考慮して検討しなければならない。

3. 3 耐食性

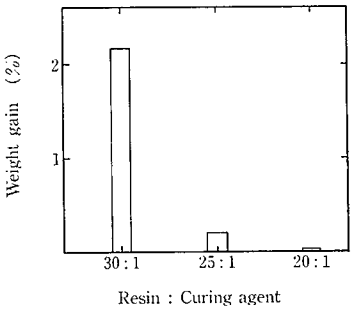
レジンの耐食性は，薬液に浸漬した時の膨潤度で評価できる。**第6図**は，70 °C 20 % エタノール水溶液および100 °C純水中での膨潤度の時間的推移を表わしたものである。純水時の曲線は薬液につけた時の典型的な膨潤曲線であり，一定値をとるのは充てん材が溶解しないからである。エタールの曲線はまだ薬液が浸透中であることを意味している。上記のような薬液は比較的マイルドなもので，硬化剤の量による影響は比較的小さい。ところが，酸のようにシビアな条件下では硬化剤の量の影響が顕著である。**第7図**は70 °C，30 % 硫酸中に1日浸漬した時の硬化剤量と膨潤度の関係を示す。このように酸に対しては，硬化剤量が多いほど，耐食性は悪くなる。

硬化剤量は，少ないほど耐食性が良いが，硬化するのに時間がかかりすぎるので作業性が悪くなる。このように，シビアな条件下では，耐食性がレジンの配合などに大きく依存するので，厳密な取り扱い方をしなければならない。**第8図**は，「タフジン」，当社従来使用の#54レジンおよび市販のレジンの耐酸性を比較したグラフである。縦軸に70 °C，酸中に1日浸漬した時の膨潤率を示す。「タフジン」以外はかなり変色する。「タフジン」はこのように耐酸性を考慮したレジンである。

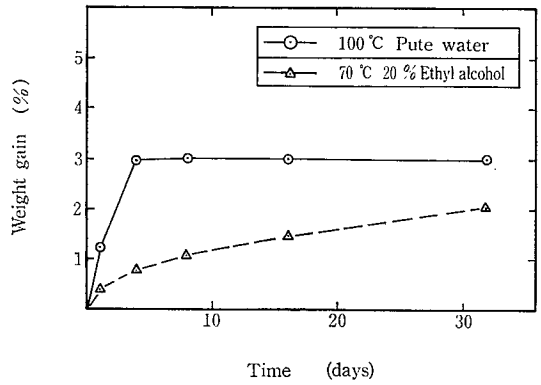
3. 4 密着性

「タフジン」の最大の特長は，グラスに対する密着性を大幅に向上させた点にある。レジン補修では，マイルドな条件で，レジンそのものに十分耐食性があっても，グラスとの界面より剥離してくる。これは**1章**で述べたとおり界面への薬液の浸透によるものである。「タフジン」はこの点を改良したものであり，硬化剤中の触媒と，下地処理剤の組合せにより，硬化反応中に液の浸透を防ぐ薄膜を被補修部の界面に形成させるようにした画期的なレジンである。まずガラスとの密着性を調査するため引張りテストを行った結果，「タフジン」は3.5 kg/mm² 程度あり，ガラス部で破壊していたが，市販のレジンは，0.5～2 kg/mm² 程度であり，バラツキも大きく，グラスとレジンの界面で剥離していることもある。これは従来のレジンでは，ガラスとレジンの密着強度が十分でないことを示し，また，バラツキが大きいことは，施工条件にも左右されていることを示している。それに比し，「タフジン」は，バラツキも少く，施工条件にあまり左右されない安定な密着強度が得られていると考える。

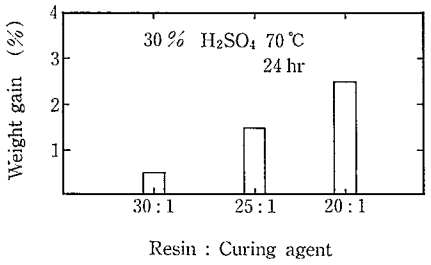
グラスチール製機器補修レジンとして使用されるためには各種薬液に対してどれだけ長期間密着性が保持できるかが重要な点である。それを調査するために，グラス面にレジンを塗布し，各種薬液に浸漬した時に剥離するまでの日数を表わしたのが**第1表**である。この試験方法は，加速試験であり，グラスとレジンの界面への薬液の浸透が最大になるようにしたものである。通常の施工法では鉄生地の部分が薬液の浸透を防ぐため，条件によっては数年以上の寿命がある。**第1表**の剥離の仕方も，「タフジン」は部分的に徐々に剥離していくのに比し，市販のレジンは全面剥離する。結果から判かるように，市販のレジンに比べ，数倍～数百倍以上の寿命があることが判った。効果は，水および無機酸に対して非常に大きい。



第5図
アセトン中の膨潤率に及ぼす硬化剤量の影響
Fig. 5
Effect of amount of curing agent on absorption in acetone



第6図 純水，20 % アルコールの膨潤曲線
Fig. 6 Absorption curves in pure water, 20 % alcohol



第7図 30 %硫酸中の膨潤率におよぼす硬化剤量の影響
Fig. 7 Effect of amount of curing agent on absorption in 30 % sulphuric acid

第 1 表　各種薬液に対する密着性
Table 1　Adhesion for various solutions

Solutions	Temperature (°C)	Tafujin	Resins on the market
Pure water	100	above 100 days	1 day
20 % Ethyl alcohol	70	above 100 days	3 days
20 % HCl	70	above 60 days	1 day
30 % H_2SO_4	70	above 60 days	1 day
5 % CH_3COOH	70	10 days	2 days
4 % NaOH	70	4 days	2 days

次に鉄生地への被覆性の問題であるが，「タフジン」を用いて補修したテストピースを 70 °C，20 % 塩酸に 1 ケ月浸漬し，鉄イオンの溶出量を測定した結果，数十 $\mu g/cm^2$ 以下であり，液の着色もなく良好な被覆が行われている。マイルドな条件では，検出不能のレベルまで小さくなると推定される。

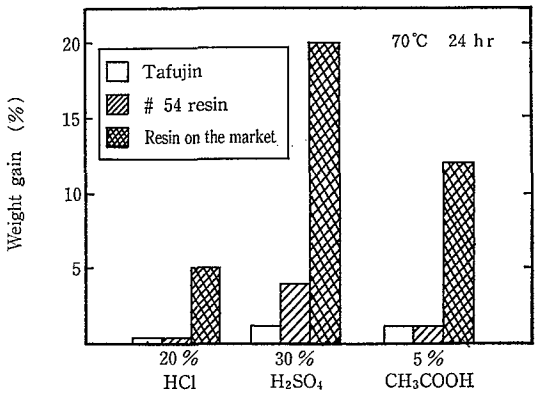
3. 5　充てん材

「タフジン」は，特殊な充てん材を使用している。高耐食性の着色した充てん材を使用しているので各種薬液に対して安定である。また表面処理をすることにより，混合時にレジンの粘性を増して，流れにくい構造になるようにしている。通常の充てん材，例えばシリカ，アルミナを混合する場合と異り，比較的弾力性の高いレジンが形成される。従って密着力が強いにもかかわらず，100 °C からの急冷却，−10 °Cから70 °Cまでのくり返し加熱冷却にも変化はない。

4.　使用上の注意点事項

「タフジン」は，主に比較的低温度のマイルドな条件の補修剤として開発されたものである。食品衛生法上の規格試験にもパスしているので食品関係にも使用できる。

レジンは，熱変形温度(75 °C前後)以上では通常使用されない。「タフジン」も長期間寿命をもたせるには，70 °C 以下で使用されることが望ましい。酸化力のあるもの（硝酸など）以外の無機系の酸にはかなり強いが，有機酸，アルカリに対しては使用温度条件，濃度などを調査の上採用の可否を決めるべきである。レジン補修の寿命予想は非常に難しく，各種薬液により大幅に異ってくるため一般的には言えないのが現状である。従ってその簡便性から安易に使用しないよう注意しなければならない。



第 8 図　各種レジンの酸中における膨潤率の比較
Fig. 8　Comparison of absorption in acid solutions with various resins

む　す　び

今回，レジンの基本物性を調査しながら，高密着性の，作業性の良いものを開発した。しかし，レジンの物性は，化学反応の結果得られるものであり，配合，触媒，硬化条件により大きく依存するため，補修に際しては慎重に対応していかなければならない。レジンには，まだまだ奥の深い所があり，耐熱，高耐食性のものができる可能性もあり，これらについては今後の研究を待ちたい。

〔参考文献〕
1）垣内弘：エポキシ樹脂
2）村川亨男：金属機能表面
3）スリーボンド・テクニカルニュース　Vol. 19 (1987)

フッ素樹脂コーティング

Fluorocarbon resin coating

神鋼フアウドラー・テクノレジン(株)
技術部
髙橋治司
Haruji Takahashi
畑富平
Tomihira Hata

About 2 years ago, Shinkō-Pfaudler Technoresin Co Ltd. started to manufacture and sell the products of fluorocarbon resin coating.
Fluorocarbon resin coated products has been used widely in chemicals, foods, plastic manufacturing field. Based on our experience of a year and half, this paper describes the outline of coating film property and coated products.

ま え が き

神鋼フアウドラー(株)は事業の一つとして，グラスライニング並びに耐食性金属を用いた反応機，タンクコンテナなどの産業機械を製造販売している。一方，近年プラスチックスの中でも最も耐熱，耐薬品性，などが優れているフッ素樹脂に注目し，この樹脂の特長を活かす耐食機器，および非粘着機器の分野へ参入することになった。

フッ素樹脂のコーティング製品の製造，販売をはじめて一年半が経過した。この間，ユーザ各位のご支援をいただき，採用実績もできつつある。

ここに，フッ素樹脂の特性，コーティング方法，適用分野などについて紹介する。

1. フッ素樹脂の種類

フッ素樹脂は一般にテフロンとして，広くユーザ各位に知られている。テフロンはデュポン社の商標であるが，他の商標で国内外の他の会社からも製造販売されている。現在市販されている，分子中にフッ素原子を含有する合成高分子であるフッ素樹脂を**第1表**に示す。

フッ素樹脂は熱可塑性樹脂に分類されるが，PTFEと他のフッ素樹脂は区別され，PTFE以外のフッ素樹脂を，熱溶融フッ素樹脂と称している。各樹脂の性質を**第2表**に示す。PTFEは一般の熱可塑性樹脂の溶融粘度10^3～10^4ポイズに比べて，10^{11}ポイズと高い。一方熱溶融フッ素樹脂の溶融粘度は，10^4～10^5ポイズである。したがって後述するようにコーティングされる目的も用途も異なる。これらの樹脂の中で，コーティングに用いられる樹脂の種類と形態は大きく分けると次のとおりになる。

1. 1 ディスパージョンタイプの塗料

ディスパージョンタイプには，水系のものと溶剤系のものがある。これに用いられるフッ素樹脂は，PTFE, FEP, PCTFE, PVDF などである。

1. 2 粉体塗料

主として粉体静電塗装に用いられている樹脂は，PFA, FEP, ETFE, PVDF などである。

1. 3 その他の塗料

このタイプは，ポリイミド，フェノール，エポキシ樹脂をバインダーとして，これにフッ素樹脂の粉末が含有されたもので変性タイプの塗料である。

これらの塗料の使用目的をまとめて，**第3表**に示す。

2. 特　　性

フッ素樹脂の特長は，一般の高分子材料に比べて耐熱性，耐薬品性が優れていることである。これはC-F結合のエネルギーが大きいこと並びに表面エネルギーが極めて

第1表 フッ素樹脂製品
Table 1 Fluoro polymer product

Fluoro polymer	Traid name	Maker
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	POLYFLON TFE	DAIKIN Industry
	ALGOFLON	Montefluos
	FLUON	ICI
	HOSTAFLON	Hoechst
	TEFLON TFE	Du pont
	TEFLON TFE	Mitsui Fluoro Chemical
	FLUON	Asahi Fluoro Polymer
Tetrafluoro ethylene-perfluoro-alkylvinyl ether-copolymer (PFA)	NEOFLON PFA	DAIKIN Industry
	TEFLON PFA	Du pont
	HSTAFLON TFA	Hoechst
Tetrafluoro ethylene-hexafluoro-propylene-copolymer (FEP)	NEOFLON FEP	DAIKIN Industry
	TEFLON FEP	Du pont
Tetrafluoro ethylene-ethylene-copolymer (ETFE)	NEOFLON ETFE	DAIKIN Industry
	AFLON COP	Asahi Glass
	TEFZEL	Du pont
	HOSTAFLON ET	Hoechst
Polyvinylidenefluoride (PVDF)	DYFLOR	Dynamite Novel
	FORAFLON	Produits Chimiques Ugine Kuhlmar
	KFPOLYMER	KUREHA Chemical
	KYNAR	Pennwalt Chemicals
Polychloro torifluoro ethylene (PCTFE)	DYFLON CTFE	DAIKIN Industry
	KEL-F	3M
	ACLON CTFE	Allied Fibers & Plastics
Chlorotrifluoro ethylene-ethylene-copolymer (ECTFE)	HALAR	Allied Fibers & Plastics
Polyvinyl fluoride (PVF)	TEDLAR	Du pont

小さいことが大きな原因であり，各々の樹脂の構造上の特長によって，非粘着性，低摩耗性などが付加される。これらの中で，コーティング皮膜特性に関係のある耐薬品性，非粘着性などは次のとおりである。

2. 1 耐薬品性

フッ素樹脂はプラスチックスの中で最も優れた耐薬品性を示し，PTFE, PFA, FED などは高温のフッ素ガス，溶融アルカリ金属などの薬品を除いて全く侵されないが，CTFE, ETFE などは上記以外に高温の下では塩素ガスやジエチルアミンなどには膨潤する。

2. 2 非粘着性

フッ素樹脂には，粉体およびスラリーなどが付着しにくい性質がある。この性質はフッ素樹脂分子と異分子間の非常に小さな分子間引力に基づくものといわれる。非粘着特性の目安としては，表面のぬれが利用される。ぬれの尺度として，接触角度 θ が用いられる。θ は次の式から導かれる。

$$A=\gamma_S-\gamma_{SL}=\gamma_L \cos\theta$$

A：ぬれ尺度　　(dyne/cm)
γ_S：固体の表面張力　(dyne/cm)
γ_L：液体の表面張力　(dyne/cm)
γ_{SL}：固体—液体間の界面張力　(dyne/cm)
θ：接触角（度）

θ が大きい程ぬれにくいことを意味し，また固体に接する液体を固体から引離すために必要な仕事量は，接触角が大きい程エネルギーは小さい。従って固体に接触する液体は固体から離れやすいことを示す。各種プラスチックスの表面ぬれ性の一例を**第4表**に示す。

2. 3 すべり性

フッ素樹脂はプラスチックスの中でも最も摩擦係数が小さく，固体同士のすべり性がすぐれている。その一例として，対ステンレス鋼の静摩擦係数を**第5表**に示す。

2. 4 ガス透過性

フッ素樹脂は他のプラスチックスよりガス透過性は小さいが，各種ガスの透過が認められるので，その一例を**第6表**に示す。

3. コーティング加工

コーティングとは軟鋼やアルミニウムなどにコートされた皮膜の厚みが 250 μ 以下の時をさすが，まだ正確に決められていないので，当社では，スプレー塗装並びに静電粉体塗装されて皮膜が形成されたものをコーティングと称する。コーティング加工について簡単に説明する。

3. 1 コーティングされる機器の材質

フッ素樹脂コーティングは約 400 °C の温度で焼成が行

第2表 フッ素樹脂の性質
Table 2 The property of fluorocarbon polymer

Property	Unit	PTFE	PFA	FEP	ETFE
Specific gravity		2.13—2.22	2.12—2.17	2.12—2.17	1.70—1.76
Coefficient of water absorption	%	<0.00	0.03	<0.01	<0.1
Coefficient of thermal expansion	1/°C	10×10^{-5}	12×10^{-5}	$8.3\sim10.5\times10^{-5}$	$5—9\times10^{-5}$
Melting point	°C	327	302～310	270	260
Melt viscosity	Poise	$10^{11}—10^{13}$ (380°C)	$10^{4}—10^{5}$ (380°C)	$4\times10^{4}—10^{5}$ (380°C)	$10^{4}—10^{5}$ (300—380°C)
Continuos maximum usable temperature	°C	260	260	200	150
Tensile strength	kgf/cm²	140—350	280—315	190—220	410—470
Elongation	%	200—400	280—300	250—330	420—470
Elastic modulus of bending strength	kgf/cm²	5 000—6 000	6 600—7 000	5 500—6 500	9 000—14 000
Hardness	Shore	D50— 65	D60	D55	D75
Coefficient of static friction		0.02	0.05	0.05	0.06
Dielectric breakdoun strength	V/mil	480	500	500—600	400
Volume resistirity	Ω-cm	$>10^{18}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$

第3表 塗料のタイプと用途
Table 3 Coating type and appling

Applications	Resin	Appling methord
• Non-adhesive • mold release • Slip	PTFE	Dispersion coating
	FEP	Dispersion, electro-static coating
	ETFE	Electro-static coating
	PFA	〃
	PTFE	Modified dispersion
• Corrosion resistant	CTFE	Dispersion coating
	ETFE	Electro-static coating
	PFA	〃
	FED	〃
	PVDF	〃

第4表 水に対する接触角度
Table 4 Contact angle for water

Resin	Contact angle(°)	Adhesive energy (dyne/cm)
FEP	115	42.0
PTFE	114	43.1
PFA	115	42.0
ETFE	96	61.4
CTFE	84	—
Phenonic resin	60	109.0

第5表 フッ素樹脂の摩擦係数
Table 5 Friction coefficient of fluoro polymer

Resin	PTFE	FEP	ETFE	CTFE	PVDF
Steel/polymer	0.09	0.20	0.20	0.18	0.21

Measuring condition : Bowden-Leben type measuring instrument
Load 1～4 kg, Slip spead 0.01 cm/sec.
Temp 20 °C

第 6 表　ガス透過性
Table 6　Gass permeability

Resin \ DIN	Water absorption (%) D570	Gass permeability (cc•mil/100 in²•24 hr.atm) O_2 D1434	N_2 D1434	Water vaper * permeability 23°C 0—90RH %
PTFE	0	1 050	390	1. 1
ETFE	0	148	45	1. 3
FEP	0. 01	990	360	—
PVDF	0. 004	3—4	1—2	1. 3
PCTFE	0	4—90	1. 5—22	0. 004

*(g/m^2•24 hr•0.1mm)

われるので，材質はこの温度に耐えられるものであればよい。一般に軟鋼，アルミニウム，ステンレス，などの材質であれば，コーティングは可能である。しかし，銅のような焼成によって剥離性の酸化皮膜が生ずるものは，塗膜が剥離するためコーティングは不可能である。

3. 2　機器の素地調整

上記の材質のコーティング用機器は凹凸部に十分コーティング皮膜が形成されるように調整されることが大切である。一般に形成皮膜厚みが 500 μ以上の時は，凹部は 5 R 以上，また凸部は 10 R 以上が必要である。また熱歪が小さくなるような考慮も必要である。板厚はディスパージョンタイプの塗料では膜厚が薄いために制限がない。しかし，耐食用目的の機器は焼成回数も多いため，板厚は小さな容量でも 3.2 mm 以上必要である。

3. 3　ディスパージョンタイプの塗装

ディスパージョンタイプの塗装目的は主として非粘着用であるため，形成最終膜厚は50 μ以下が一般的である。塗装順序を**第 1 図**に示す。ディスパージョンタイプの塗装は，プライマーとトップコートからなり，目的に応じてトップコートを 2～3 回位行うことがある。プライマーは素地によく密着し，かつトップコートと融合する性質をもった塗料であり，トップコートは非粘着，すべり性，耐摩耗性などの性質をもった塗料である。トップコート用の塗料はフッ素樹脂並びに顔料などを水に分散させてあるだけなので，一度に厚くかけると乾燥時に皮膜に割れが発生する。このため一回のコートでは膜厚が 20 μ前後しかかけれないなどの制約がある。

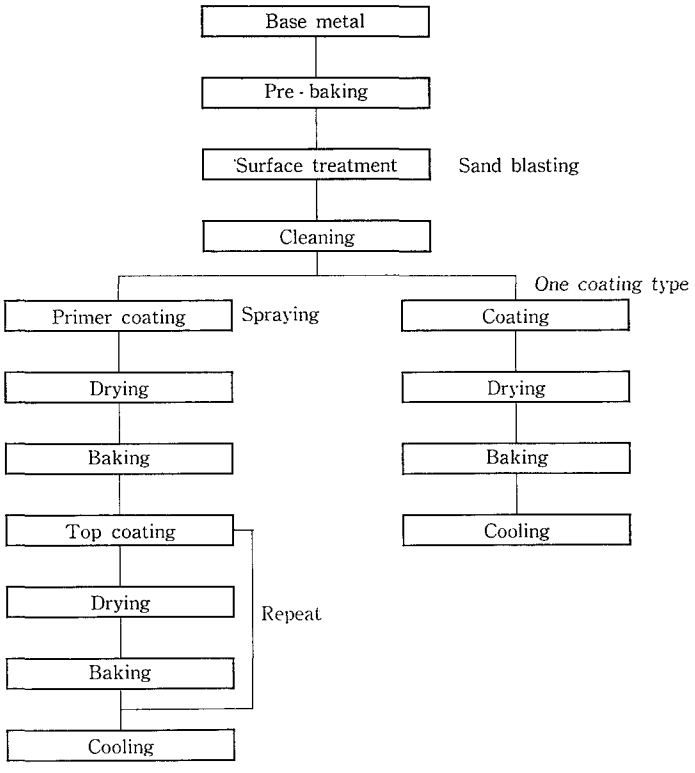
3. 4　粉体による塗装

機器のコーティングに用いられる粉体塗装法には，静電粉体塗装，流動浸漬塗装，並びに吹付法などがある。流動浸漬法は小物の多量生産に利用される。一方，吹付，並びに静電粉体塗装法は大型機器から小型機器迄少量生産に利用され，当社でも静電粉体塗装を用いてコーティング施工をしている。静電粉体塗装法の加工順序を**第 2 図**に示す。

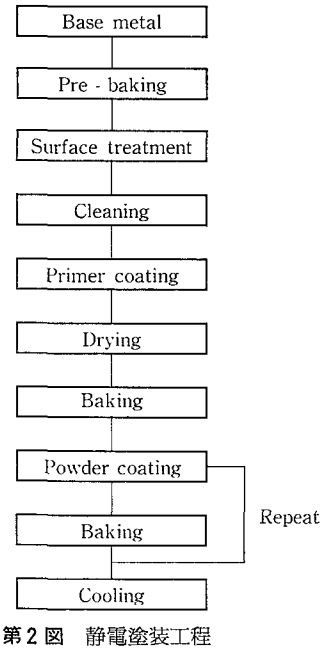
近年ディスパージョン塗装に比べて粉体塗装には次の利点があり，塗装法の主流になってきている。

(1)　厚膜塗装ができる。
(2)　塗布後直ちに焼成ができる。
(3)　固液分離がないため塗料の安定性がよい。

などである。



第 1 図　塗装工程
Fig. 1　Coating process

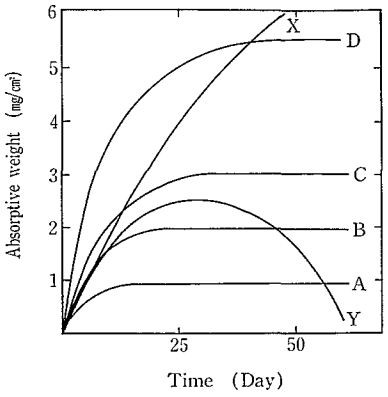


第 2 図　静電塗装工程
Fig. 2　Electrostatic coating process

第 7 表 実用性基準
Table 7 Standard of practicality

	Resin	A	A—B	B—C	X. Y
A	PTFE, PFA FEP	All chemicals except Chloroform	Chloroform		
B	ETFE	Subfuric acid Hydric acid Sodium hydroxide		Aceton, Toluen Diethylamine	Nitric acid, Chloroform
C	CTFE	All chemicals except Toluen and Chloroform	Toluen		Chloroform
D	PVDF	Hydric acid		Chloroform	
E	ECTFE	Sulfurie acid Hydric acid Sodium hydroxide		Aceton, Toluen Diethylamine	Nitric acid, Chloroform

A : Excellent　　B—C : Used by environment.
A—B : Good　　X. Y : No used.
Test condition : 95 °C×50 days　　Coating film thickness: 1 mm



第 3 図 吸着量の曲線
Fig. 3 Absorptive weight curve

静電粉体塗装は被塗装物をプラス極として，静電粉体塗装機を使用して，フッ素樹脂の粉末をマイナス 2.5～8.0 万ボルトに帯電させ電気的に被塗装物に付着させ，炉内で焼成し皮膜を形成させる方法である。一回で形成される皮膜厚みは 100～300 μ の範囲であるが，フッ素樹脂の種類に影響される。

4. コーティング皮膜の特性

4. 1 素地との接着性

フッ素樹脂の機器素地への接着性は，エポキシやフェノールなどに比べて劣る。そのためフッ素樹脂コーティングにはプライマーが使用される。プライマーはフッ素樹脂メーカーから販売されているが，加工業者も独自の改良を行って使用している。接着性の向上はコーティング製品の寿命にも大きな影響を与えるので，プライマーのみならずサンドブラストの粗面化度合も考慮して，当社では施工を行っている。一般にコーティング皮膜の接着強度は，使用中に低下するので，いかに低下を少なくおさえるかに各社が工夫をこらしている。耐薬品性を目的としたコーティング材については次のこと[1]が広く認められている。

コーティング面が薬品に浸漬された場合，水あるいは水蒸気が先に浸透する。それは水蒸気の分子直径が化学物質中でも小さい方で，2.7 Å しかなくプラスチックスの平均分子間距離はこれの数倍に当り，容易に浸透すると考えられる。さらにコーティング膜中に温度勾配があれば，水蒸気は温度の低い方に拡散する。浸透した水蒸気は金属素地という不浸透のところに集まり，その時に発生する圧力によって金属面とコーティング層を剥離させる力に変わる。

すなわち金属素地の界面まで浸透した水の分子はそこで蒸発や逃げることができないため水の濃度が境界面で増加する。

プラスチックス層と金属面との接着が完全であれば，単純な空気層への透過の場合とことなり，コーティング層素地金属付近の濃度が減少し，水蒸気の拡散速度は急速に低下し，なかなか浸透が進まなくなるといわれる。

そのため，樹脂に充填剤を加え接着の向上と浸透の抑制を図るとともに，コーティング厚みを大きくして耐食性の寿命を上げている。

4. 2 皮膜の寿命

フッ素樹脂コーティングの中でも耐薬品性を要求されるものは膜厚が大きいことが一般的である。コーティング皮膜の寿命について，G. Menges[2] らは，次式が成立するとしている。

$$L = \frac{\ell^2}{6D} + \tau$$

L＝ライニング皮膜の寿命
ℓ＝コーティング皮膜の膜厚
D＝環境剤の拡散係数
τ＝基材と皮膜との接着の耐久時間

この式からコーティング皮膜の寿命を高めるためには，膜厚を大きくとることおよび接着の耐久性を高めることが重要であるといえる。またフッ素樹脂コーティング皮膜を薬品に浸漬した場合の薬液吸着量の変化並びにその吸着曲線からみた実用性の基準を吉村[3] らは**第 3 図，第 7 表**のように表わしている。

4. 3 耐熱性

フッ素樹脂そのものの耐熱性は**第 2 表**に示したように連続使用温度も他の樹脂に比べて高いが，耐食コーティングされた皮膜の耐熱性はこれより低下する。これは機器使用時の内容物による反応熱およびジャケットなどよりの強制加熱により，膨張，収縮がおこることによる皮膜の接着力変化，並びに内容物の浸透速度変化によるものと思われる。したがって実用結果より相当低い温度が，例えば ETFE では約 80 °C で耐食用分野に使用されていることが多い。

5. コーティング塗膜の物性測定

5. 1 膜厚測定法

コーティング塗膜の膜厚測定は製品のベースとなる材質および形状が多様のため，その測定には各種の測定器が用いられる。**第 8 表**に膜厚測定器を示す。ただし，その形状，大きさによって測定器が使用できない場合は，各種のゲージなどで間接的に測定する方法が用いられている。

5. 2 密着力測定法

コーティング塗膜の素材への付着力を測定する方法には，描画試験法（ＴＩＳK6894）がある。専用の試験器を

第 8 表　膜厚測定品
Table 8　Thickness gauge

Base material	Thickness gauge
Glass, Ceramics, etc.	Micrometer
Iron, Iron-Nickel alloy etc.	Micrometer Electric magnet type gauge Permanent magnet type gauge etc.
Aluminum, Stainless steel (304, 316 type) etc.	Eddy current type gauge High frequency type gauge

使用して測定する。先端が60°の角度に仕上げてあるタングステン鋼針に一定の荷重(一般には1 kg)の荷重をかけ，半径 4.5 mm のら線を25 回描く。密着力が十分でない場合には塗膜の剥離がおこる。付着力の評価は，付着判定基準と比べて，剥れの状態を点数で表示する。一方当社では耐食用皮膜の密着力をＪＩＳH8666に（引張試験法）に準じた方法を用いて行う場合もある。

5. 3　耐摩耗性測定法

塗膜の摩耗は塗膜の使用期間の一つの目安になるため，なるべく使用条件に合った測定法で行うことが望ましいが，摩耗試験法の代表例は次のとおりである。

1)　テーバ摩耗試験法（ＪＩＳ K7204）

コーティング塗膜試験片を10 cm 角に切断し，天秤で0.000 1 g迄秤量する。この試験片に規定の摩耗輪を圧着用荷重をかけて接触させ，試験片を研磨するように回転させ，普通1 000回転後の摩耗減量を秤量して，テーバー指数として表示する。PTFE のディスパージョン塗膜では20 mg 以下の指数が多い。

2)　落砂摩耗試験法（ＪＩＳ H8601）

専用の落砂摩耗試験機を使用して，耐摩耗性を測定する方法で測定原理は，上部にある砂タンクに規定の砂を入れ一定の高さより塗膜面に連続的に落下させ，摩耗度合により良否を判断している。

5. 4　ピンホール試験法

耐薬品性の用途に使用されるコーティング塗膜では，薬品が浸入するピンホールがあると使用できないのでピンホールの有無を測定する方法である。

一般的には電気式ピンホール測定法が用いられている。交流または直流の高電圧を塗膜と金属素地間に与えることによりピンホールの有無を知る方法である。当社では直流タイプで2 000～20 000 V まで可変できる測定機を用いている。一般には2 000～4 000 V 位で試験する。

5. 5　非粘着性試験法

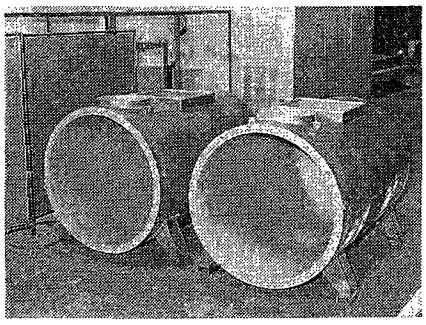
一般に用いられる方法は，専用の接触角測定機でコーティング塗膜に滴下した微量の水，またはヘキサデカン液の接触角を測定する。その角度の大きいもの程非粘着性がよいとする方法である。

6.　適用分野と用途

6. 1　非粘着特性の応用

フッ素樹脂の優れた非粘着特性は化学的に安定であり，使用温度範囲が広いことなどから付着しやすい物質を取り扱う工程に利用されている。フッ素樹脂の非粘着特性利用の目的は，

(1)　製造時の物質ロスの減少



写 真 1　バター溶解槽
Photo. 1　Butter melting tank

(2)　清掃に要する時間の短縮

(3)　製品の品質の改善並びに純度の向上

などである。

6. 2　耐食特性の応用

フッ素樹脂は汎用の樹脂に比べて，優れた耐食性を有し，かつ粉末コーティングの発達により厚膜が容易に得られるようになったため，耐食用機器に使用されている。常温ではほとんどすべての化学薬品に使用できる。また100 °C 前後の硫酸，塩酸，石油中間体などに使用され，厳しい条件での耐食性が認められつつある。

主として上記の2項目が産業用機器のコーティングに採用される理由である。次にこれまで当社がコーティングした代表的製品の実例を挙げながら，各分野で使用されている製品例を説明する。

6. 3　適用例

1)　食品工業

主として非粘着性が要求される機器に適用されて，クリーム，小麦粉などを扱うロール，ホッパー，パネルヒーター，バター溶解槽などがある。当社がコーティングしたバター溶解槽を**写真1**に示す。この溶解槽の母材はＳＵＳ304で，溶量1 m^3 である。コーティングしたフッ素樹脂はPTFE であり，塗膜厚みは約40 μである。この槽の使用条件は，温度90 °C，内容液はバター，殺菌剤，温水であり，1年以上経過しているが，非粘着性の低下はなく使用されている。この槽はジャケット付であり，加温は蒸気で行われている。

2)　プラスチックス工業

この分野は，非粘着性と耐食性を兼ねた要求が多い。これまでは主として，ステンレス鋼製機器の表面を機械またはバフ研摩して，粉体類の付着防止を行っていた。しかし，研摩だけでは非粘着性が十分でなく，プラスチックスメーカーとフッ素樹脂コーティング業者が協同で試行錯誤して，非粘着性の耐久性の向上を図っている。適用されている機器としては，粉体混合機（ＳＶミキサー），ホッパー，振動トラフ，スパイラルフィダーなどがある。

当社がこれらの中で，コーティングした例を**写真2・3**に示す。**写真2**は振動用トラフである。トラフの母材は，ＳＵＳ 304で，コーティング樹脂はＰＦＡであり，皮膜厚みは，約80 μである。このトラフの使用条件は，90 °C前後のゴム状物質がこの表面を移動してゆく。ゴム状物質のトラフへの付着防止効果は良好である。トラフの大きさ

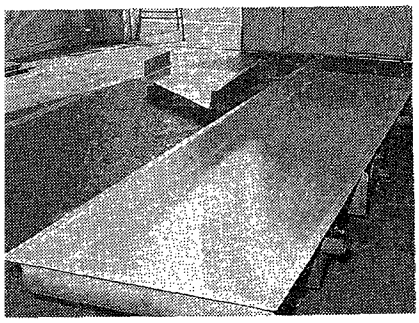


写真 2　トラフ
Photo. 2 Trough

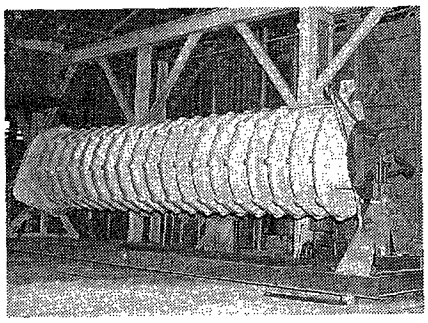


写真 3　スパイラルフィーダー
Photo. 3 Spiral feeder

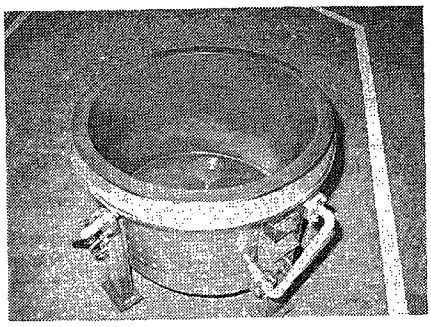


写真 4　折出槽
Photo. 4 Separator

は，幅 800 mm×長さ 7 500 mm× 高さ 250 mm と大きい。一方**写真 3** はスパイラルフィダーである。フィダーの母材はＳＵＳ 304 で，コーティング樹脂はＰＦＡ，皮膜厚み約 80 μ前後である。使用状況はゴム 顆粒子を輸送移動させる時の付着防止である。しかし，ゴム顆粒子が移動するため，耐摩耗性も要求される。フィーダーの大きさは，径 2 000 mm × 長さ 10 000 mm であり，このサイズのコーティングができるのは当社だけである。今後この分野の機器への適用は広がりつつあり，かつ，大型化の傾向がある。

3)　医薬品工業

医薬品関係では，薬品の純度向上並びに汚染に対する防御に対して，フッ素樹脂コーテイングの要求がある。使用目的は非粘着性 のみならず 耐食性もある。 コーティング機器としては，折出槽，トラフ，貯蔵などがある。当社でも**写真 4** に示すような折出槽をコーティング施工した。槽の母材は ＳＵＳ 304 で，コーティング樹脂は ETFE であり，皮膜厚みは，600 μ 以上である。この晶折槽はデインプルジャケット付であり，内容液としては酸，アルカリが添加され，温度 20 ～ 80 °C で使用されている。

4)　製紙・塗料工業

製紙並びに塗料分野は非粘着を主目的とした製品群が多い。近年上質紙や 付加価値の 高い 特殊紙に 用いられている。顔料や特殊なラテックスなどを塗布する工程で使用される乾燥ロールに，非粘着と耐食を兼ねてフッ素樹脂コーティングが施こされている。その他のロールとして，サイジングロール，などがあげられるが，製紙関係ではほとんどがロール製品である。一方塗料工業でも非粘着性目的の貯槽があり，当社でもドラム容器などに適用している。製紙関連で当社がコーティングした，ラミネート用ロールの例を**写真 5** に示す。このロールは，紙とプラスチックスを糊剤で接着する工程に使用される。使用される目的は糊剤の除去時間の短縮である。

ロールには PTFE をコーティングし，皮膜 厚みは約 40 μ である。使用温度は常温である。 ロールの大きさは径 200 mm×長さ 2 500 mm である。

製紙用の 乾燥 ロールの サイズ は 大きいもので 径 1 500 mm 以上，長さも 7 500 mm 近くもあり，これらにＰＦＡ

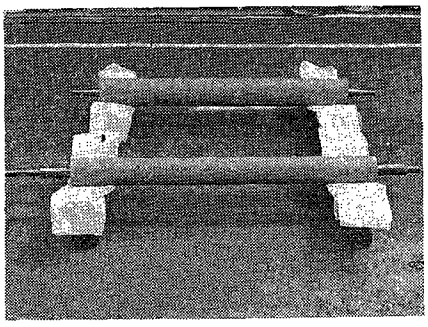


写真 5
ロール
Photo. 5
Roll

のコーティングが適用されている。一方塗料関係では静電気防止用のコーティングも採用されだしている。

5)　化学工業

この分野は主として，耐食性が要求され，腐食性のきびしい薬品を取り扱う機器にフッ素樹脂コーティングが適用される。具体的な機器としては，サクロン，タンク，ポンプ，沪過器，遠心分離機，タンクローリなどがある。この分野に使用されるフッ素樹脂は，ETFE, FEP, DFA が主である。ユーザで使用する薬品は種類が多いため，ユーザがテストするか，または使用実績より樹脂の種類を指定する場合が主である。当社は撹拌槽，沪過機などを作っており，使用実績が出てきている。

むすび

フッ素樹脂コーティングは高価であるが，工業分野でも上記のような機器が広く利用されてきている。これは，フッ素樹脂の特性が認められつつあり，非粘着のみならず，耐食分野でも適用機器が多くなっている。近年大型品への応用と要望がある 中で，ユーザ 各位が フッ素樹脂コーティグ製品の 採用検討を 行う時の ご参考になれば 幸いである。

〔参考文献〕

1) 旭硝子株式会社，耐食ライニング技術資料。
2) G. Menges, W. Sneider, "Voraussage der Lebensdauer Von Korrosionoshutzschichten aus Kunstoff auf Metallen, 'Kautschuk und Gummikunstoffe" 25 〔5〕 213 (1972)
3) 吉村達四郎，冨永茂武，〝ライニング材料としてのフッ素樹脂，実務表面技術〟 Vol. 30. No. 2 (1983)

イオンスクラバーの開発

Development of The Ion Scrubber

(環)技術部　計画第1課
桧　山　和　成
Kazushige Hinokiyama
遠　藤　　準
Jun Endo

The body of information presented in this paper is directed to engineers and industrial managers involved in planning for and acquisition of pollution control equipment for submicron particulate collection from industrial effluent streams. The Ion Scrubber, a new air pollution control device operating on newly discovered principles, is described. Collection of submicron solid and liquid particulate and noxious gases at low energy cost with the Ion Scrubber is demonstrated. The Ion Scrubber characteristics are described in terms of particle collection capability, physical size, and turn down capability. Detailed theory of operation, including image force collection, inertial impaction, particle charging, and packed beds is discussed. Fractional collection efficiencies are discussed. Technical development background, pilot test programs, and operating commercial installations are used to illustrate demonstrated collection characteristics across a wide range of effluent chemistry and loadings. Details of a specific application by electric company in the collection of SiO_2 from incinerated solvents are given with test results and compliance data. Stack effluent characteristics are described as related to collection of incineration products of methyltrichlorosilane. Precollection of HCl is described as are series stacking and other physical details of the installation. Conclusions are drawn as to further industrial-commercial applications and the importance of collection of submicron particulate.

ま　え　が　き

当社は米国のシルコート社より燃焼排ガス中の1 μm以下の液滴および固体粒子を捕集し，同時に腐食，毒性の強い有害ガスや悪臭ガスを除去する低エネルギー消費形の大気汚染防止装置を技術導入し製作を始めたので紹介する。この大気汚染防止装置はイオンスクラバーと呼ばれ電気集塵機とスクラバーの両機能を重ね合わせたものであり，1 μm以下の粒子の捕集効率を飛躍的に高めることができる。装置の構成について従来システムとの違いを**第1図**に示す。

イオンスクラバーに吸引された粒子は静電気的に荷電されて反映誘引力（後述）が付加されるので，極めて捕集の困難な粒子の除去に適用できる。集塵効率はユニットを多段式にすることによりさらに高めることができる。

装置のほとんどの部材が樹脂でできているので腐食性ガスに強く寿命が長く，かつ，維持管理が極めて容易である。また，モジュールユニット方式を採用しているので最少の仮設工事で短期間に据付が可能となるために，建設費を安価にすることができる。

写真1はシリコン製造工場に設置した処理ガス量25 500 m^3/h のイオンスクラバーの例であり，1年以上連続稼動中である。

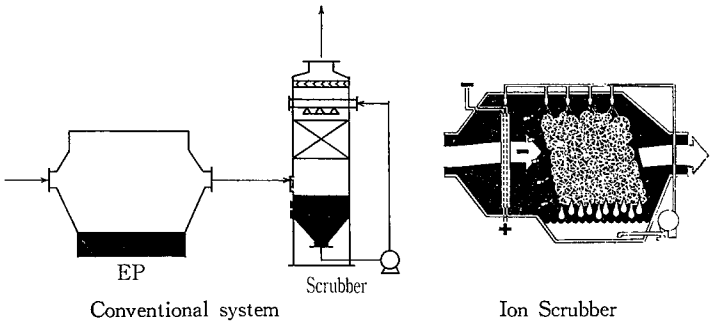
1.　イオンスクラバーの特長

1. 1　粒子の捕集

パイロット実験および実装置の性能試験結果によると，粒子は非常に広い領域のサイズおよび組成について捕集されることが確認されている。微粒子（0.05～2 μm）も粗粒子（2 μm以上）とほぼ同じ除去率で捕集され，しかもその際に粒子の性状（有機または無機，比抵抗の大小）には無関係である。しかも，粒子の捕集効率は長期間にわたって高水準を保つことができる。**第2図**に各種集塵機との効率の比較を示す。

1. 2　エネルギー

1段式イオンスクラバーの圧力損失は25～50 mmAqである。また，粒子を荷電させるのに必要なエネルギーは低



第1図　従来システムとイオンスクラバーの装置構成
Fig. 1　System of conventional method and Ion Scrubber

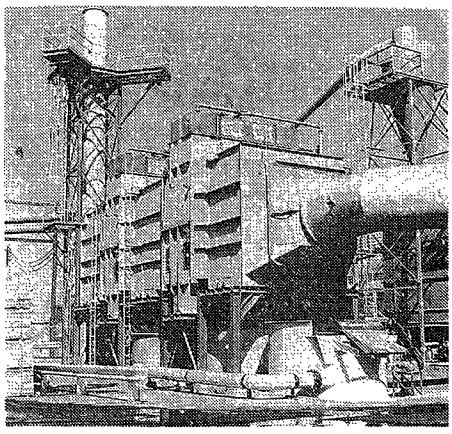
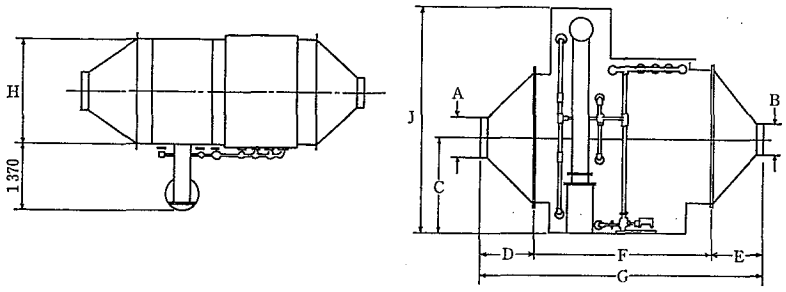
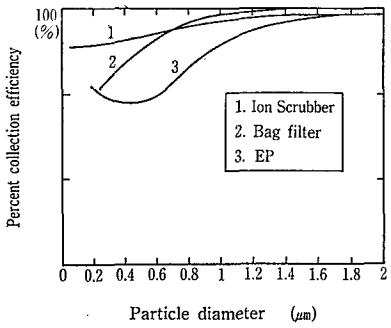


写真1　イオンスクラバー
Photo 1　Ion Scrubber

第 1 表　標準イオンスクラバー寸法表
Table 1　Specification of standard Ion Scrubber





第 2 図　各種集塵機性能比較
Fig. 2　Efficiency of particle collection in various particle collectors

No.		50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Gas quantity	(Standad)	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450
(m^3/min)	(max.)	85	170	340	510	680	850	1 000	1 190	1 360	1 530
A	(mm)	450	600	900	1 050	1 200	1 350	1 500	1 650	1 800	1 800
B	(mm)	300	350	500	600	750	750	900	900	1 050	1 050
C	(mm)	1 960	1 960	2 260	2 260	2 570	2 570	2 570	2 570	2 670	2 670
D	(mm)	1 200	1 200	1 500	1 500	1 500	1 500	1 800	1 800	1 800	2 100
E	(mm)	600	600	750	900	1 050	1 050	1 050	1 200	1 200	1 200
F	(mm)	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660	3 660
G	(mm)	5 460	5 460	5 910	6 060	6 210	6 210	6 510	6 660	6 660	6 960
H	(mm)	610	1 010	1 370	1 830	2 130	2 440	3 050	3 450	3 660	4 110
J	(mm)	4 570	4 570	5 180	5 180	5 790	5 790	5 790	5 790	6 100	6 100
Make up water (m^3/min)		0. 01	0. 02	0. 04	0. 06	0. 07	0. 09	0. 11	0. 13	0. 14	0. 16
Recycling water(m^3/min)		0. 34	0. 53	0. 83	1. 1	1. 3	1. 6	2. 0	2. 3	2. 5	2. 8
Fan		2	4	9	13	16	24	26	32	34	40
Pamp		3	5	7	8	9	11	13	14	15	17
H. V.		4	5	7	9	12	13	13	14	15	16
Total	(HP)	9	14	23	30	37	48	52	60	64	73
Operating weight	(kg)	3 040	4 400	5 450	6 670	7 700	8 630	10 080	11 200	12 030	13 200
Empty weight	(kg)	2 040	2 720	3 180	3 630	4 090	4 540	4 990	5 450	5 900	6 360

く，処理ガス量 1 000 m^3/h 当り 0.12～0.24 KVA である。圧力損失は次に示す3つの因子により変化する。

(1)　ガス吸収に必要な充填材長さ
(2)　充填層通過ガス流速
(3)　ガス吸収に必要な循環液量

1. 3　耐蝕性

ケーシングを含むほとんどの部材はＦＲＰおよび熱可塑性樹脂を使用している。この樹脂を主体とする構造は，HCl, HF, Cl_2, NH_3, SO_2 および SO_3 などの酸性ガスおよびアルカリ性ガスの存在下において，無腐食状態で運転を保つことができる。これはイオンスクラバーのユニークなメカニズムにより，装置全体に樹脂材料を使用することができるためである。もちろん金属材料も荷電部の特定の電気部材に用いられるが，排ガスに対し最高の耐食性を保つものを採用している。従来のシステムでは多数の粒子荷電用導線，集塵板および支持金物など多くの金属部品を必要とするから，このような広汎な樹脂材料の採用はできなかった。

1. 4　ガス吸収

イオンスクラバーにおける粒子の除去は充填材の表面で行われる。また，充填部では水溶性ガスを洗浄水に同時に吸収させることもできる。もちろんガスの吸収速度を高める目的で薬品を添加することも可能である。すなわち，粒子の除去と同時に，有害ガスをスクラバー部で物理吸収または化学吸収で除去することができる。

1. 5　負　荷

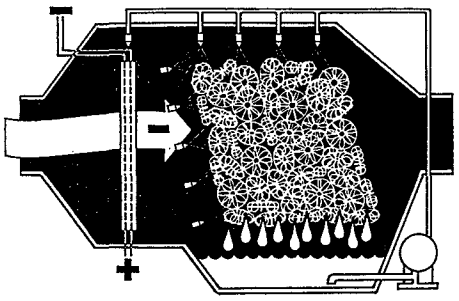
イオンスクラバーにおける粒子の除去率は負荷の大きな変動に対しほとんど影響されない。イオンスクラバー1段で集塵が不十分な場合には，イオンスクラバーを2台直列するが，この第2段目のイオンスクラバーは第1段とほぼ同じ集塵効率が得られるという特長をもっている。例えば第1段目のイオンスクラバーが 90 % の粒子を捕集する場合，第2段目も残りの 90 %を捕集し，総合的には 99 % を捕集する結果となる。

1. 6　分別捕集

微粒子領域における分別捕集は，電気集塵機（ＥＰ）の場合粒子径が小さくなるに伴い著じるしく効率が低下するが，イオンスクラバーの場合にはわずかに低下するにすぎない。この特性は微粒子の捕集の場合に非常に重要な要素である。またこの特性は装置を多段化する場合に有利となる。つまり，第1段に続く後段のイオンスクラバーは特定領域サイズの微粒子を除去の対象とするのではなく，第1段とほぼ同一の粒径分布領域にかかる粒子を除去対象とすることができるからである。

1. 7　負荷の低下

イオンスクラバーの集塵効率は負荷が 100 %から 0 % に低下の場合，同一か若干上昇する。例えば，負荷 50 % における集塵効率は負荷が 100 % の場合と同一かあるいはわずかに向上する。この特長は焼却炉のように負荷が変動する系に適用する場合に極めて有利である。これに反し



第3図 イオンスクラバー構造図
Fig. 3 Sectional view of Ion Scrubber

て，高圧ベンチュリースクラバーは負荷変動に対して，特に負荷が減少する場合にその性能が著じるしく低下する。これは，ベンチュリースロートを通過するときの圧力損失を一定に保つことが困難なためである。ベンチュリースクラバーで一定の効率を保つためには制御装置を取付けなければならない。

1. 8 装置寸法

イオンスクラバーは少容量の排ガスから多容量まで広範囲にわたって適用が可能である。標準仕様は処理ガス量25～1 530 m^3/h の範囲で基準化されており，その仕様を**第1表**に示すが，表以外の寸法のものの製作も可能である。

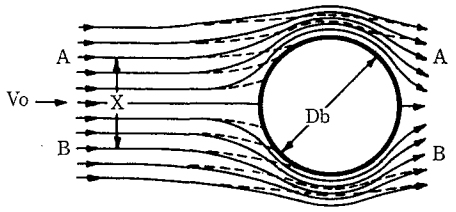
2. 集 塵 原 理

イオンスクラバーの断面構造を**第3図**に示す。高電圧イオン化部を備え，粒子はスクラバー部に入る前にこれにより荷電される。荷電粒子はスクラバー部を通るとき，充填材および洗浄液表面に接近する。粒子は反映誘引力（後述）によりこれらの表面に誘引されて付着する。そして粒子は洗浄液で洗浄されスクラバーの系外へ排出される。また有害ガスも同時に除去される。粒子は高圧直流電源を用いたイオン化部で極めて短時間に荷電される。放電電極からのコロナ放電により放出させるイオンは，ガス中の微細汚染粒子に衝突しその電荷を粒子に与える。このようにして，ガスがイオン化部を通過するとき，汚染粒子は静電荷を持つことになる。放電極はマイナスの極性をもち，ぬれ壁プレートはプラスの極性をもち接地電極として働らく。この壁プレートは粒子の付着を防止するために常時ぬれ壁を形成している。従がって，粒子の荷電表面に抵抗層が形成されないので，従来の電気集塵機と異なり常に最適な電気特性が保たれる。

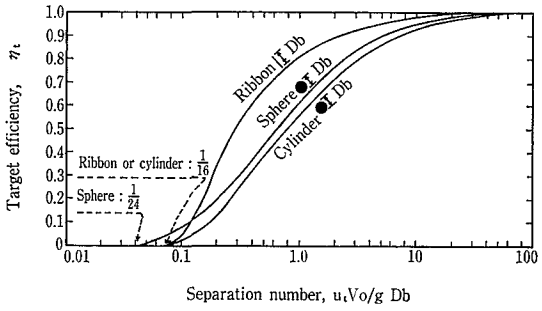
その後，ガスは直交流スクラバー部に流入し，ガス中の粒子は荷電粒子の中性表面への衝突または誘引により除去される。粒子径が 3～5 μm およびそれ以上の粒子は慣性衝突により充填材表面に捕集され，さらに洗浄液により下槽へ洗い落される。

2. 1 慣性衝突

慣性衝突による捕集効率はガス中の粒子が衝突を受ける標的寸法の関数である。イオンスクラバーに使用している充填材は，他の充填材と異なりガス中の粒子が衝突を受けるための標的寸法が小さくなるように設計している。つまり，充填材はフィラメント状の単体で，そのフィラメントは細かく，かつ単体は充填個数が多いので，ガス中粒子のすぐれた衝突の標的となる。また，この充填材は構造的に



第4図 慣性衝突の考え方
Fig. 4 Impingement separation diagram



第5図 目標効率曲線
Fig. 5 Impingement target efficiency chart

多数の水滴を発生することができるようになっており，極めて効率のよい集塵機とすることができる。

慣性衝突による粒子分離の原理は目標効率で説明される。目標効率とはガス流中をある速度で通過するある寸法と重量をもった粒子がある寸法と形状をもつ充填材フィラメントに衝突する割合で表わされる。Langmuir および Blodgett によれば目標効率は分離数と呼ばれる無次元グループの関数で表わされる。

$$U_t \cdot V_o / g \cdot D_b$$

ただし，U_t：粒子の究極的沈降速度 (m/sec)
V_o：標的を通過するガス速度 (m/sec)
g ：重力の加速度 (9.8 m/sec^2)
D_b：充填材のフィラメント幅 (m)

第4図および**第5図**は慣性衝突の考え方を示し，分離数と目標効率の関係を示す。

分離数は充填材フィラメント幅に逆比例するが，本装置に用いられる充填材のフィラメント幅は従来の充填材よりも小さいので分離数は大きくなる。今，粒子径 5 μm，ガス速度 V_o=2.1 m/sec，とすると，

分離数＝(0.003 1)(2. 1)/(9. 8)(0. 002 3)＝0. 29

ただし，U_t=0.003 1 m/sec (5 μm 粒子の究極的沈降速度)
D_b=0.0023 m (使用充填材のフィラメント幅)

第5図より，“リボン”（本装置使用充填）の場合に，分離数 0.29 に対する目標効率はほぼ 0.50 となる。これは 5 μm 粒子の 50 % のものが理論的に，単位充填層により捕集されることを意味する。単位充填層として要求される充填材の厚みは，ガス流が一回方向を変えるに要する表面積をもたせることで，この厚みは本充填材の場合，75～100 mm である。

例えば，1 000 個の粒子が負荷となる場合，理論上捕集

効率は次に求めることができる。

第1目標	充填厚み (100 mm)	1 000×0.5	500 除去
第2	〃	500×0.5	250 〃
第3	〃	250×0.5	125 〃
第4	〃	125×0.5	62.5 〃
第5	〃	62.5×0.5	31.2 〃
第6	〃	31.2×0.5	15.6 〃
第7	〃	15.6×0.5	7.8 〃
第8	〃	7.8×0.5	3.9 〃
第9	〃	3.9×0.5	1.9 〃
第10	〃	1.9×0.5	0.9 〃
第11	〃	0.9×0.5	0.4 〃
第12	〃	0.4×0.5	0.2 〃
合計	1200 mm 充填厚み		

$$除去率(\%)=\frac{999.4}{1\,000}\times 100\ \%=99.94\ \%$$

以上から，充填材厚み 1.2 m，ガス速度 2.1 m/sec の場合，5 μm の粒子は理論的に 99 % 以上が除去されることとなる。

2. 2 反映誘引力

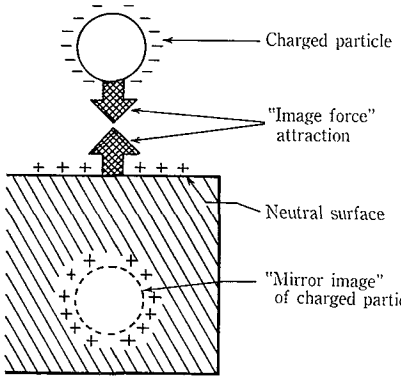
反映誘引力は物理現象で**第6図**に示すが，反映誘引力作用（ミラーイメージ）は，1ミクロン以下の粒子状物質を捕捉するのに働く主な作用で，静電気的に荷電された物質が，充填材の中性表面境界ゾーンに近づいてきたときに起こる。

すなわち，荷電粒子は中性表面で反対極性の静電気荷電を誘引させそれに引き寄せられる。その引きつけ力は荷電粒子と同じで，荷電粒子がその虚像を見ているがごとく，その表面後方等距離に見える反対極性の虚像粒子との間に存在する場合とほぼ同等である。

イオンスクラバーにおいて汚染粒子は充填スクラバー部に入る時には負の電荷をもつが，充填材および洗浄液（並びにスクラバーの全ての構造）は反映誘引力の条件を作り出すために電気的に中性に保たれる。従って電荷をもつ汚染粒子が充填材エレメント，または水滴の表面に近づく（多分この場合には1 mm 以内に）時に粒子がその表面に向って動くために粒子に生じる慣性および粘性抵抗を克服するに充分な反映誘引力が生まれる。その後粒子は洗浄液により下槽へ洗い落とされる。

スクラバー液は誘電体となる充填材上に静電荷を形成させないよう接地されたスクラバー循環槽に移される。このために充填材は静電気的に中性の状態に保たれる。

充填材は粒子がその表面に反映誘引力を発生させるためにその表面に十分接近する確率を高める形状のものでなければならない。



第6図 反映誘引力
Fig. 6 Image force attraction

この反映誘引力は Coulomb 力および空間電荷とは異なるものである。すなわち従来の電気集塵機に使用されている Coulomb 力の原理は粒子がまず帯電し，つぎに帯電した粒子が静電場を通過し，粒子は装置のプレートに誘引される。これは磁界中におかれた電導体の動作に類似したもと言える。(イオンスクラバーの場合，捕捉ゾーンは静電場とは異なる。)空間電荷の理論では帯電した汚染粒子と水滴はすべて同じ極性の電荷をもつと考える。それらは空間電荷を形成し，かつすべてのエレメントは互いに反発する傾向を示す。水滴および水滴が捕集される時には空間電荷の密度は低下する。

慣性衝突および反映誘引力は汚染粒子の捕集に関連する最も重要な現象であるが，どの集塵機でもおこる，もう一つの現象である凝集も粒子の捕集を助長する。充填材および水滴表面の全てが捕集面を構成するから，イオンスクラバーがもっている捕集の総面積は，従来の電気集塵機と比較して大きく，粒子が捕集面に達する距離が短かい。この距離は充填材表面の境界層内である。これに対して通常の電気集塵機では粒子が捕集面に達するには 50 ～ 150 mm の距離を浮遊しなければならない。

3. 開発およびパイロットテスト

イオンスクラバーの原理は微粒子領域における充填式スクラバーの集塵効率を改善するための方法を探索中に発見された。

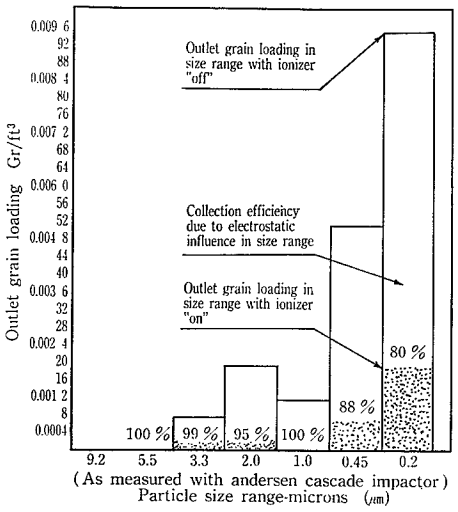
この発見により，低エネルギー水準での微粒子の捕集が十分可能であることがわかり，開発チームを編成し実験室ベースの装置から脱却し実装置化することを計画した。

処理ガス量 65 m³/min のパイロットプラントを製作し，社内実験を繰り返し実施した。初期のテストはジオクチルフタレートとケロシンを利用した蒸気凝縮装置により造り出したミストを使用して実験した。その後小型の廃液焼却装置が無機物粒子の除去テスト用として設置された。この装置により，顧客により供給される各種廃液の焼却により生ずる粒子の捕集に関する除去性能の確認テストが実施できるようになった。

のちに，処理ガス量 65 m³/min の可搬形パイロットプラントを製作し，顧客の施設において実際の排ガスによる実証テストができるようになった。例えば次の施設からの排ガスについて実施有効であることが実証された。

(1) Soderberg cell を用いる一次アルミニウム還元施設
(2) 天然硅素電気炉
(3) 肉処理燻煙施設
(4) 石油コークス焼成キルン
(5) コーングルテンドライヤー
(6) 下記物質の焼却装置
- 塩素化炭化水素
- メチルトリクロロシラン
- シロキシンおよびシラン溶剤廃液
- 下水汚泥
- PCB

第7図はジオクチルフタレートおよびケロシンを含む混



Test media—50 % dioctyl phthalate
50 % kerosene
Total outlet grain loadings:
Ionizer off-0.0175 Gr/ft' (40 mg/Nm³)
Ionizer on-0.0027 Gr/ft' (6 mg/Nm³)

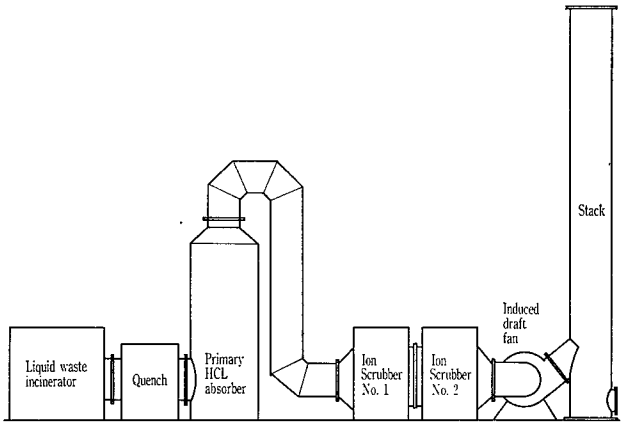
第7図 試験結果
Fig. 7 Test result

合ガスに対するパイロットテストの結果を示す。サンプルは機器の出口から採取した。まず，イオン化部への給電を絶ち，つぎに再び電源を投入することにより，スクラバーの集塵能力に対する静電気のもたらす影響を判定することができる。

採取された試料の出口濃度を粒径 0.2～9.2 μm の範囲で棒グラフに示した。各サイズごとに高電圧 ON および OFF 時の出口濃度を記入しており，静電気の影響にもとづく集塵効率の向上が各粒子径ごとに示されている。

4. 実装置例

シリコン製造プラントの焼却炉排気中の SiO_2 粒子を除去するためにベンチュリースクラバーが設置されることになっていた。焼却炉はシラン，各種溶剤，塩酸および水を含む廃液を焼却するものであり，製作前に確認テストが実施された。プラントからの廃液のサンプルが焼却され，かつ粒径分布が測定された。これらのテスト結果から主な粒径は 0.05～0.2 μm であり，当初予測されていたよりもはるかに小さいものであることが分かった。その結果，この施設に対してはベンチュリースクラバー採用は見合わすことになった。すなわちこのタイプの機器では，1 μm 以下の粒子の捕集は困難であり，この粒径分布の粒子に対し，ベンチュリースクラバーで効果を出すには法外な電力を必要とし，かつその場合ですら 0.1 μm 以下の粒子を除去する能力には疑問があるからであった。そこで，パイロット焼却装置の排ガスについてイオンスクラバー効果を実証し，その結果，シリコンプラントに処理ガス量 25 500 Nm³/h のイオンスクラバーが設置された。これにより極めて少ない運転費で焼却炉排ガス中から微粒子を除去することが可能となり，現在も順調に稼動中である。この成功をきっかけに，さらに大きい第2の焼却装置が同工場に必要となり設置されることになった。



第8図 納入例
Fig. 8 Eqiupment schematic

新らしい大型のイオンスクラバーは処理ガス量 38 200 Nm³/h で，1 μm 以下の SiO_2 を 160 kg/h，HCl ガスを 540 kg/h 除去する設計になっている。その概要を**第8図**に示す。

なお排出規制値を満足させるため2段式イオンスクラバーを採用した。第2段は第1段と同じものを直列に接続され，処理ガスは第2段後方のＦＲＰ製の 30 m 煙突から排出される。

2段式にしたもう一つの理由は，排出ガスが規制値を満足していても，排出ガス中の 0.25 μm 以下の粒子が極端な光散乱特性をもっているため，これを除去しないと可視され，これが住民にとって望ましからぬものであったからである。

このシステムのほとんどすべての部材はＦＲＰ製で，モジュールユニットシステムにより設計された。

計画時，排出濃度は規制値を越えない条件であった。この条件では排出口から煙が可視できることが分かっていたが，イオンスクラバーが稼動し始めると煙突から煙が可視できないほどに排気は透明となった。

この結果，予測されたよりもはるかに好結果をもたらしたことが分かった。つづいて性能テストを実施した結果，排出濃度は要求された最高許容限界内であり，かつ規制値内であることも確認された。

本システムの処理能力の限界を確認するために設計最高負荷の4倍の SiO_2 を人為的に発生させて処理をしたところ，排出濃度は規制値内にあり，排出ガスの透明度は失われなかった。また，メチルトリクロロシランが焼却されるとその約 40 % が SiO_2 に酸化され，普通は不透明な排ガスを生じるがイオンスクラバーを通すことにより，不透明化することなく焼却することができた。

5. 従来システムとの比較例

処理ガス量 60 000 Nm³/h，入口ダスト濃度 3 g/Nm³，SO_2 濃度 600 mg/Nm³ の処理におけるイオンスクラバーと，電気集塵機，ベンチュリースクラバーおよびバグフィルターの性能比較を**第2表**に示す。

更に，入口ダスト濃度 3 g/Nm³，SOx 1 000 ppm におけるイオンスクラバーと従来システムとの運転費の比較を**第9図**に示す。

5. 用　　途

エネルギー消費量の少ない本イオンスクラバーは広い範囲の用途に適用することができる。特にこの装置は腐蝕性ガス中に 1 μm 以下の粒子を含むガスの処理に最大の利点を有する。1 μm 以下の粒子は蒸発した液体および固体が凝縮する際に最も頻繁に出現する。この現象は高温処理作業にはつきもので，大抵の場合腐蝕性ガスも同時に発生する。イオンスクラバーの適用例を示す。

プロセス	汚染物
・石油コークス焼成	SO_3 ミスト，SO_2，炭素粒子，煙，無機ヒューム
・液体および固体廃棄物焼却炉	HCl ミスト，SiO_2 ヒューム，SO_3 ミスト，有機ミスト，煙，無機ヒューム
・固形廃棄物焼却炉	HCl ガス，煙，有機ミスト，臭気ガス，無機ヒューム
・銅，鉛および亜鉛製錬	ダスト，無機ヒューム，SO_3 ミスト
・アルミ製錬	煙，Al_2Cl_3，ヒューム，HCl，ダスト，SO_2，SO_3，HF，炭素粒子，Al_2O_3 ヒューム，弗化物ヒューム
・乾燥機（飼料および穀物ミル）	ダスト，蒸気，煙，臭気ガス
・硫酸塩肥料製造工程排ガス	HF ガス，弗化物ヒューム，非弗化物ヒューム，P_2O_5 ヒューム，ダスト
・食品およびコーヒー製造	ダスト，煙，臭気ガス，アルデヒド有機酸ミスト，NOx
・亜鉛メッキライン	NH_4Cl ヒューム，ZnO ヒューム，気化オイル
・フェロアロイ製造	SiO_2 ヒューム，無機ヒューム，炭素粒子
・紙およびパルプ黒液回収炉	Na_2SO_4 および Na_2SO_3 ヒューム

7. 結　　論

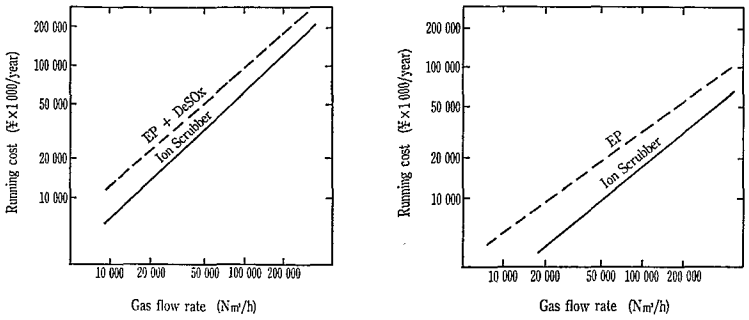
1 μm 以下の粒子は広い分野で大気に放出されており，環境に及ぼす影響は近年深刻な問題になってきている。米国においては“煙突の排気は目で見て透明である”ところまで規制すべきであると考えられている。

従来システムでこの規制に対応するためには次に示す制約条件がつきまとっている。

(1) 使用限界がある。
(2) 性能の信頼性が乏しい。
(3) 維持管理費が高い。
(4) 運転コストが高い。（例，ベンチュリースクラバー）

当社が導入したイオンスクラバーは，これらの条件に制約されることなく，大気汚染防止に適用が可能で，次のような特長をもっている。

(1) 1 μm 以下のあらゆる種類の粒子をほぼ等しい効率で捕集する。



(1) Dust collect and DeSOx　　(2) Dust collect

第 9 図　イオンスクラバーと従来システムの運転費
Fig. 9　Comparison of Ion Scrabber with conventional type of collectors in operating cost

第 2 表　イオンスクラバーと各種集塵機の性能比較
Table 2　Comparison of Ion Scrubber with conventional type of collectors in performance

	Ion Scrubber	EP	Venturi scrubber	Bagfilter
Condition	Gas flow rate 60 000 Nm^3/hr Inlet dust concentration 3 g/Nm^3 Inlet SO_2 concentration 600 mg/Nm^3			
Outlet dust concentration (mg/Nm^3)	10	10	100	50
Outlet SO_2 concentration (mg/Nm^3)	5	600	100	600
Pressure drop (mmAq)	30	30	600	200
Power (kW)	50	80	300	120

(2) 固体および液体粒子を取り除き，同時に有害ガスを吸収することができる。
(3) 除去される粒子の割合は負荷によってほとんど変化しない。
(4) 集塵効率は負荷が 100 % から 0 % に低下しても一定である。
(5) 消費エネルギーが少ない。（1 000 m^3/h 当り 0.12 ～0.24 KVA）
(6) 運転時の圧力損失が少ない。（1 段当り 50 mmAq 以下）
(7) 主要部分にプラスチック材を使用しているので腐蝕性雰囲気でも適用できる。
(8) 寿命が長く，かつ維持管理を必要とする個所が少ない。
(9) モジュラーユニットシステムを採用しているので，現場での設置が簡単で経済的である。
(10) コンパクトでスペースの節約が可能である。

む　す　び

以上，新製品イオンスクラバーの特長，集塵原理，パイロットテスト，実装置例，従来システムとの比較例および用途について述べたが，今後は米国での実績のない分野に対して，現地へパイロットプラントを持ち込み実装置設計のためのデータ採取を図っていく予定である。

緩速沪過池用汚砂掻取ロボット

Automatic Sand Scraper for Slow Sand Filter

(環)技術部　計画第1課
原　田　　元
Hajime Harada
浦　本　博　文
Hirofumi Uramoto

While the slow sand filtration has great advantages, such as good quality of treated water and easy maintenance it suffers from the clogging of the surface of the filter media as filtration progresses, since it has no grit washing mechanism like rapid filtration. Whenever the filtration head loss increases as a result of clogging, the filtration must be halted for a while to scrape a surface layer, consuming fair amount of manpower, and also new sand media must be supplemented.
Although such a work is repeated normally once every month or two, the labor intensive working, for example, the extended area of the filtration basin, outdor labor under the blazing sun and cold weather, pose several problems, giving impression of "outdated". In addition, scraping a thin and uniform layer from the filter bed requires considerable skill. With the purpose of the mechanization of sand scraping job to save labor and improve working conditions at the water filtration plants, Shinko-Pfaudler has implemented the development of the computor controlled robot.

ま　え　が　き

近年，水道に課せられている使命は，豊富な量の安全な水を供給するだけでなく，美味しい良質の水を供給することにある。夏期における，かび臭の発生が繰り返し話題になりだしてから相当の年数が経過している。また，水域周辺の開発が進むにつれて，水道水源にあたる湖沼やダムはさまざまな有機物，無機物，場所によっては有害物質などによって汚染が増大し，保健衛生上の見地から適切な対策がとられつつある。

浄水場を都市部に新しく建設しようとする場合，敷地に制限があれば，急速沪過池を主体とする処理に頼らざるをえない。この場合，安全で美味しい良質の水を供給するためには，沪過後にオゾン酸化や活性炭吸着による高度処理を設置することとなるであろう。

一方，地方において敷地が十分に確保できる場合や都市部でも既存の浄水場の場合には，緩速沪過池を主体とする処理が見直されつつある。

緩速沪過法は一般に複雑な処理技術を必要とせず維持管理が易しいうえに，原水水質に制約はあるものの，保健衛生上安全度の高い良質な水を常に得ることができる。これは緩速沪過池の沪層に繁殖する微生物群による生物的な分解作用により，水中の懸濁物質や細菌のほかアンモニア性窒素，異臭味物質，鉄やマンガン，合成洗剤，フェノールなどが除去されるためである。したがって最近は安全だけでなく美味しい水が得られるということで，改めて高い評価を受けつつある。

緩速沪過池は，維持管理が簡単で良質の水が得られるという大きい長所を有するが，急速沪過池のような沪層の洗浄機構を持たないため，沪過を継続するにしたがって，沪層表面が閉塞し，沪過損失水頭が増大して必要な通水量が保てなくなる。この場合一旦沪過を停止し，水抜きをしたうえで，大勢の人の労力によって表層 10 mm 程度の汚砂を掻取り，補砂する作業によって沪層表面の更新を行っている。この作業は通常1〜2カ月に1回程度行われるが，沪過池が広大であること，屋外の炎天下や寒冷下の過酷な作業になるばかりでなく，沪層表面の汚砂を薄く均一に掻取る作業のために，かなりの熟練度が要求されるために作業性の改善が望まれている。

このたび当社は緩速沪過池のこのような汚砂掻取作業を自動化するために，(財)神戸市水道サービス公社と共同で，緩速沪過池の水中を走行しながら，沪層表面の汚砂を掻取り，これを池外に搬出するロボットの開発を行い，某浄水場にて実証運転の機会を得たので，その結果を紹介する。

1. 概　　要

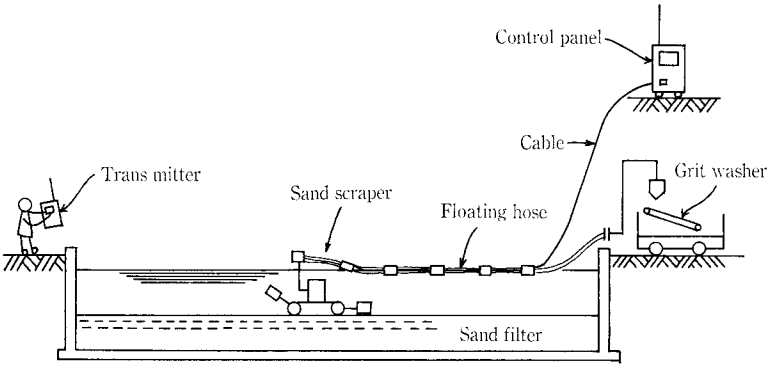
1. 1 装置概要

本システムは，水張状態の緩速沪過池の沪層表面上を，あらかじめ記憶している走行パターンに従って自動走行しながら，汚砂の掻取りおよび，池外への搬出を同時に行う人工頭脳付き全自動ロボットである。

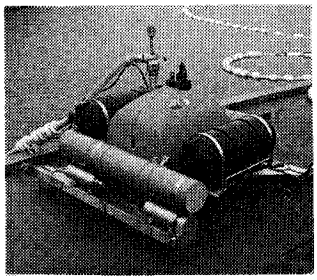
水中を自動走行する汚砂掻取ロボット本体には，ロボット自身の位置を確認するための各種のセンサー，走行や汚砂の掻取りおよび，池外への搬出の動作を自己コントロールするためのマイクロコンピュータ，汚砂を均一な厚さに掻取るためのスクリュー型掻取機および，汚砂を沪過池外に搬出するサンドポンプを搭載しており，これらがキャタピラーにて走行する台車上にコンパクトに一体化されている。

その外形を**写真1**に示す。

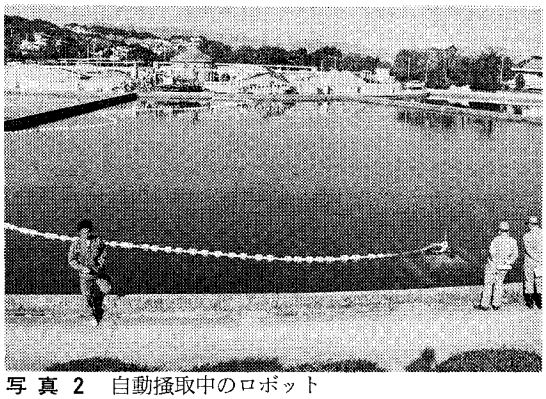
さらに汚砂掻取ロボットで掻取られた汚砂は，濁水とともに池の水面に浮かせたフロートホース内を通って，陸上に別途設置されている洗砂機に搬送され，洗砂・ふるい分け



第1図 フローシート
Fig. 1 Flow sheet



写 真 1 汚砂掻取ロボット
Photo.1 Automatic sand scraper (Robot)



写 真 2 自動掻取中のロボット
Photo.2 Robot under driving

・選別までの一連の作業を行うことができるシステムとなっている。

またロボットへの運転指令は，沪過池周辺の任意の位置から自由に操作のできるハンディー型の通信機により，一旦無線電波で陸上の制御盤へ送り，制御盤からはフロートホースに締結した有線ケーブルを介して，水中のロボットへ電源とともに運転信号を送るシステムとした。

以上のフローシートを**第1図**に示す。

なお，自動運転中のロボットの全景を**写真2**に示す。

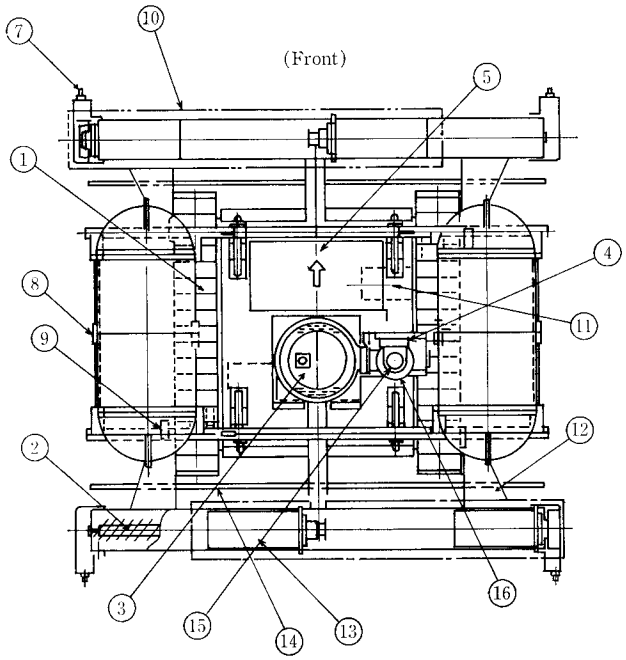
1. 2 ロボットの構成

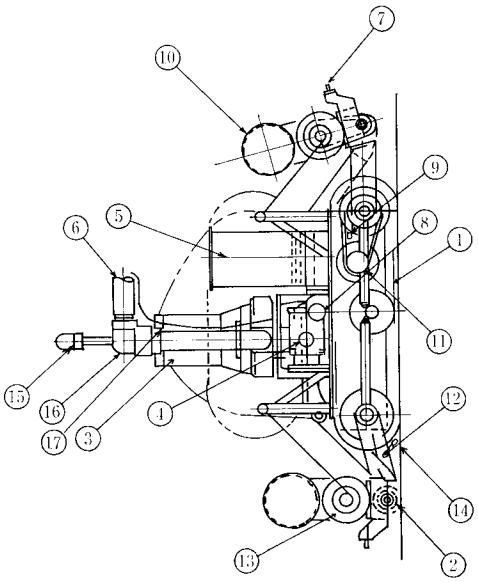
水中を自動走行する汚砂掻取ロボットの構造（**第2図**）および機能は次のとおりである。

1）走行キャタピラー

沪層表面上を走行させるためのもので，水中の軟弱な砂面上でも沈下することなく円滑に走行できるように左右両側に設けた。

走行スピードは汚砂の掻取り作業をする場合は，1.5 m/min，移動のために走行のみする場合は 3.0 m/min であり，駆動装置は左右別々に独立していて，前進・後





① Caterpillar
② Screw thpe scraper
③ Sand lift pump
④ Change-over valve
⑤ Control box
⑥ Floating hose
⑦ Sensor for turning
⑧ Sensor for control driving
⑨ Limit-switch of scraper
⑩ Float for control thickess of scraping
⑪ Arrm of scraper
⑫ Elevatoly device of scraper
⑬ Rut-cleaner
⑭ Revolving right
⑮ Rotary joint
⑯ Cable
⑰ Driving motor

第2図 汚砂掻取ロボット組立図
Fig. 2 Structure of robot

進・回転を容易にした。駆動モータ⑰の容量は 0.35 kw × 2 台である。

2）スクリュー型掻取機

沪層表面の汚砂を均一な厚さに掻取り，中央部のサンドポンプ吸込口まで集めるためのもので，台車の前後に各1台取り付けた。スクリュー長さは 2.0 m で，削り取りの厚さは 10～30 mm の範囲で任意に調節できる。

駆動のためのモータ容量は 0.2 kw× 2 台 である。

3）サンドポンプ

掻取機で均一に掻取った汚砂を，固液混合の汚濁水の状態でフロートホースを経て揚水し，池外に設置した洗砂機へ搬出するためのもので，粒径 50 mm 以下の砂れきを閉塞することなく搬出できるノンクロッグ型水中ポンプを用いた。

容量は 400 ℓ/min× 22 mAq× 5.5 kw である。

4）切換弁

台車の前後の掻取機の汚砂の吸込口を，進行方向に合せて前方または後方に切り換えることができる。

形式は口径 80 mm の電動三方口ボール弁とし，モータ容量は 0.065 kw である。

5）制御ボックス

ロボットの各部位の動作を判断，指令するマイクロコンピュータを収納している。ボックス内への浸水防止のために圧力ガス (0.2 kg/cm²) を封入し，内部結露を防ぐためにボックス内をファン撹拌し温度を均一に保持するようにした。

6）フロートホース

サンドポンプにより吐出された汚濁水を陸上へ移送するためのもので，口径は 65 mm である。汚濁水中の砂含有比率は 7～10 %(W/V)，管内流速は 2.0 m/s で，汚砂の移送は最大 100 m まで可能である。

また，発泡スチロール製のフロートをホースに取り付け，ホースの重量でロボットが引きずられないようにした。

なお，ロボットを使用しない時は，**写真 3** に示す電動式のホース巻取機にホースを収納している。

7）走行路変更センサー

ロボットが沪過池の壁に達したとき，走行路を次列へ移動するタイミングを知らせるセンサーである。

センサーは掻取機ケーシング端部の左右両側に前方，後方各2個の計4個取り付けられている。

左右2個のセンサーが壁に接触した時点でロボットが次列に旋回を始めるようになっているが，もし片側のセンサーのみが壁に接触した後，他方のセンサーが 15 秒経過しても接触しない場合にも，ロボットは旋回を開始するようになっている。

8）走行路補正センサー

ロボット走行路と平行に位置する池壁との距離を監視し，走行路のずれを補正するためのセンサーで，超音波式のものを使用している。この方式の測定誤差は ±50 mm 以内である。

9）掻取機昇降センサー

スクリュー型掻取機の適正な位置を判断するセンサーである。

10）掻取厚さ調節フロート

汚砂の掻取厚さを調節するためのもので，フロートの浮力を調節することによって掻取厚さを調節できる。

浮力の調節はフロート内の水量によって行う。

11）掻取機アーム

スクリュー型掻取機の昇降に用いる。

12）掻取機昇降装置

掻取機の垂直方向の移動を行う駆動装置で防水型減速機を内蔵している。電動機容量は 0.1 kw × 2 台

13）轍消し

ロボットの走行後のキャタピラーや掻取面の轍跡を滑らかに地慣らしするためのものである。

14）回転灯

自動走行運転中，ロボットが規定の走行路をはずれた際に，自己補正を行っていることを知らせる。

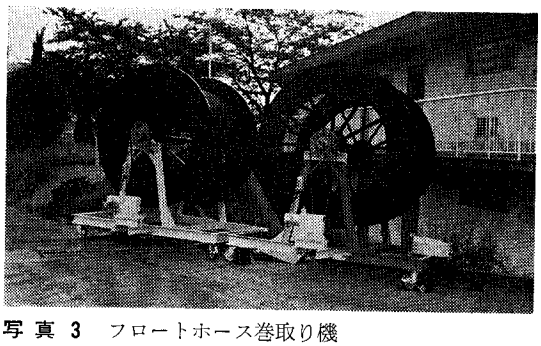
15）回転ジョイント

ロボットの走行に合せて，フロートホースの接続部が自由に回転し，ロボットの走行を円滑にする。

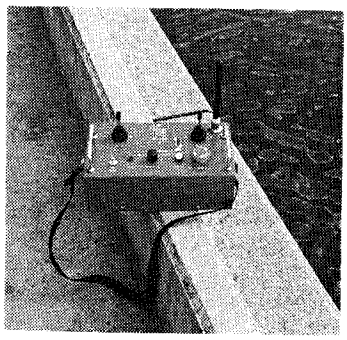
16）ケーブル

水中ロボットの電源および制御用信号送りに使用し，フロートホースに結束して水関上にホースと一体にして浮かせる。

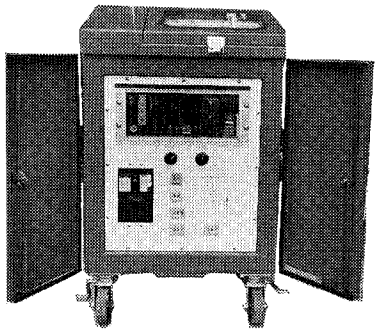
なお **1.1** システム概要に述べたように，ロボットへの運転指令のために別に通信機（**写真 4**）と制御盤（**写真 5**）が必要である。



写 真 3 フロートホース巻取り機
Photo. 3 Hose and cable reel



写 真 4 通信機
Photo. 4 Transmitter



写 真 5 制御盤
Photo. 5 Control panel

通信機はオペレータが沪過池周辺の任意の場所から自由に操作ができるように，可搬式のハンディー型である。走行，掻取（手動・自動），一時停止および停止の運転命令信号をFM波によって制御盤へ発信できる。

一方，制御盤は通信機より受けたFM波の運転命令信号を内部のマイクロコンピュータで判断し，その動作を水中のロボットに有線信号（ケーブル）により伝達する。

1. 3 ロボットの特長

以上のような構造，機能を持たせることにより本ロボットには次のような特長を期待することができる。

1）作業時間の短縮

「湛水」状態のままで，掻取作業が行えるので，水抜き工程が省略されるだけでなく，掻取作業後の水張り行程に要する時間も省略できるので，全体の作業時間は大幅（20 時間以上）に短縮できる。

2）運転作業が簡単

掻取作業中は完全な自動運転のため，特別高度な運転技術を必要としない。

さらに運転作業は天候に左右されない。

3）省力化が可能

人力掻取作業に比べ，大幅な省力化が可能。場合によっては夜間作業も可能である。

4）洗砂効率が良い

掻取汚砂は濁水のまま搬出されて，連続的に洗砂するので，洗砂効率が非常に優れている。

5）砂の取扱いが簡単

陸上に別途設置する洗砂機との組合わせで，汚砂掻取・搬出・洗砂作業が連続して行えるので，洗砂の取扱が極めて簡単になる。

2. 実施例について

2. 1 運転方法

今回，試運転を行った某浄水場内には，大正初期に建設された 2600 m²/池×8池（総沪過水量 60 000 m³/d）の緩速沪過池があり，各沪過池は**第3図**のように，扇型をしている。

ロボットによる汚砂の掻取走行は，図に示すA地点よりスタートさせ，円周方向に進行し，放射状方向の隔壁に到達すると，前・後進を切り替えて，順次中心部に移行していく掻取パターンとしている。走行路のずれは，円周の外壁をロボットに搭載している走行路補正センサーで，監視・修正を繰り返しながら補正するようにした。

第4図は，放射状方向の隔壁際でのロボットの走行路変更の模様を示している。ロボットは，㋑の掻取機を沪層表面上に下げたままの状態で掻取りを続け，Ⓐ地点に達し，走行路変更センサー①および②が両側とも働けば，キャタピラーは旋回を始めると同時に㋑の掻取機を一旦上げ，Ⓐ→Ⓑ→Ⓒの順でバックしながら次列に移行する。移行後㋑の掻取機を再び下げⒸ→Ⓓの部分をあらかじめ掻取った後，Ⓒ地点より㋺の掻取機を下げ，後退走行しながら次行の掻取りを開始するようにした。なおⒶ→Ⓓの移行幅は，走行路がずれても掻き残しができないよう 1.8 m に設定した。

一方，水中におけるロボットの接地圧は 0.06 kg/cm² である。これは，人力掻取時作業員の接地圧 0.16 kg/cm² よりもはるかに少なく，水中をロボットが走行する際に沪層表面を決して撹乱しないように設定している。

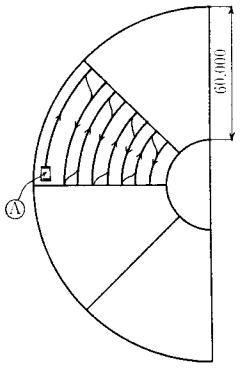
写真6および**写真7**はそれぞれ汚砂の掻取後の状態を示している。写真に見るとおり掻取後の沪層表面上には汚砂が全く無く，完全に掻取りが行われたことが良く示されている。

2. 2 結 果

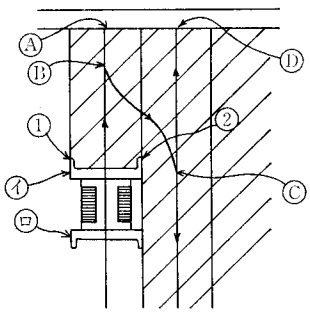
1）掻取走行軌跡について

掻取走行速度 1.5 m/min において，走行軌跡のずれは，±10.0 cm の範囲内に納まって非常に安定しており，当初想定した掻取幅 1.8 m の 10 %（±18 cm）以下であった。

また前述の接地圧で走行しているので，走行時の圧密沈



第3図 走行軌跡図
Fig. 3 Wake of robot



第4図 走行路変更時の軌跡図
Fig. 4 Wake of robot at the road conner near wall

写真6 掻取後の状態（水中）（左側）掻取前（右側）掻取後
Photo. 6 Underwater surface of filter media
(Left : before scraping ; Right : after scraping)

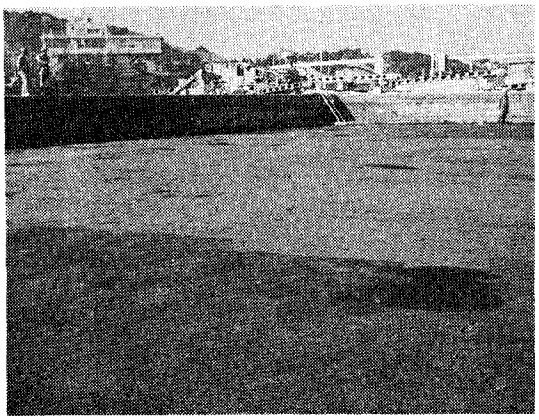


写真7 掻取後の状態（水抜後）（右側）掻取後（左側）掻取前
Photo. 7 Dewatered surface of filter media
(Right: after scraping ; Left : before scraping)

第 1 表 沪砂試験結果
Table 1 Filter sand property

Sample	No. 1	JWWA standard
Date	'87. 10. 9	—
Effective size	0.42 mm	0.35～0.45 mm
60 % size	0.71 mm	—
Uniformity coefficient	1.69	less than 2.0
Turbidity of washing liquid	7.1	less than 30
Ignition loss	0.23 %	0.7 %

下は全く無く，沪層下部の支持砂利層や，集水装置に悪影響を与えた様子はない。

2）作業時間について

最大掻取能力は約 180 m^2/h で，1池 2600 m^2 の本緩速沪過池全体の砂を掻取るのに約 17 時間を要した。

3）汚砂掻取量について

掻取厚み 10 mm を運転の目標としたが，前進・後進いずれの方向の場合にも，結果は12～15 mm の掻取厚みとなった。

また，汚砂掻取り最大厚みを 30 mm にした場合においても，サンドポンプおよびフロートホースによる搬出は十分可能であり，掻取り厚みのムラ掻きもほとんど観測されなかった。

4）洗砂後の沪砂のふるい分け試験結果

ロボットにて掻取った沪砂について，別途設置の洗砂機に接続して連続自動洗砂を行った結果を，沪材試験にて確認したところ，結果は**第 1 表**に示すごとくJWWA（日本水道協会）沪材規格と比較しても，有効径，均等係数，洗浄濁度，および強熱減量すべての項目について十分満足するものであった。

なお，参考までに本試験の粒度加積曲線図を**第 5 図**に示した。

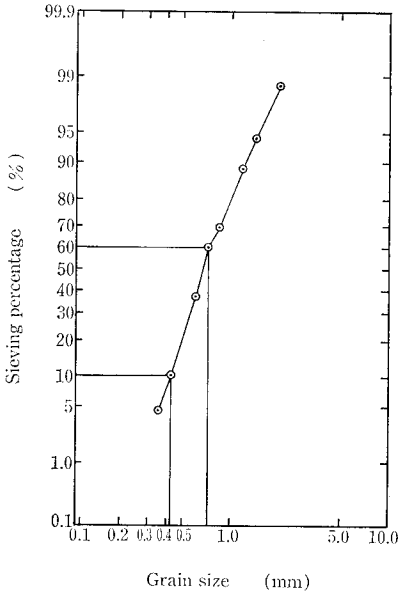
3. 今後の問題点

今回，某浄水場にて実施したロボットによる汚砂掻取試験の結果については，当初目的としたとおり作業の自動化という点ではおおむね満足するものであった。

しかし今後次のような点については，良質の水を供給するというニーズに応えるためにも，慎重に検討し続ける必要がある。

1）水抜きを行わない状態で掻取るため，沪層表面上に漂う藻類を汚砂と同時に揚水することとなり，洗砂機の前でスクリーニングを行わねばならなかった。季節によっては，スクリーニングされる藻類の量がさらに多くなることも予想されるので，一層効果的な除去設備が必要になる。

2）さらに，水抜きを行わない状態で掻取るため，藻類は水中に一旦浮遊し，掻取作業終了後沪層表面に再び沈降残留することとなり，沪過継続時間が最初1カ月であったのが，次の作業の後では 20日，15 日と徐々に短くなっていくのではと懸念される。このような現象を避けるためには，掻取作業の 2～3 回に 1 回は作業終了後水抜きを行って，沪層表面を天日に曝す必要があると考える。



第 5 図 粒度加積線曲図
Fig. 5 Grain size distribution of a filter sand

む す び

本装置の開発にあたり，長期の間テストのために多くのご指導をたまわりました(財)神戸市水道サービス公社の職員の方々に感謝の意を表す。

有効再利用のための下水の高度処理

Advanced Treatment on Sewage for the Effective Reuse

(環)技術部　技術課
南　家　捷　成
Toshinari Nanke
(環)技術部　計画第3課
加　治　正　廣
Masahiro Kaji

For the purpose of effective reuse of once-treated sewage for amenities, flush toilets, etc., three advanced treatment processes, namely, ozone oxidation, activated carbon adsorption and their combination (hereinafter called as series process) were carried out on an experimental basis. This experimentation was aimed at the study and comparison, in view of treating conditions and cost, of decolorization, antifoaming and the characteristics of fluctuation of water quality during a long-term operation among those three processes. This paper summarizes the results obtained from the above-mentioned experimentations.

ま　え　が　き

近年，水の需要は産業の発展や生活水準の向上などにより急増しているが，ダム建設適地や地下水の減少，河川水の汚濁の進行などにより，その急増する水の需要を賄うだけの水資源の確保が困難になってきている。

一方，都市化に伴う開発や河川の暗渠化などにより，人間の生活環境に快適さや，やすらぎを与えるべき緑や水辺などの自然が急速に失われてきており，都市化区域ではその回復が強く求められるようになってきた。

これらの問題を解決する一つの手段として，大都市内で豊富な水量が容易に確保できる下水処理水を高度処理し，アメニティ用水（人工河川等）やトイレ用水などの雑用水として有効再利用することが最近脚光を浴びてきている。

しかし，一般に下水の二次処理水には着色（色度）成分や発泡成分が含まれていることが多く，それらは砂沪過処理のみでは除去されない。従って再利用の用途によっては，更に高度な処理を行う必要が生じてくる。

そこで，当社は再利用のための最適処理方法，処理条件を確立し，併せて長期間運転における水質変動の特性などを明らかにすることを目的とし，オゾン，活性炭およびそれらの組合せ処理を用いて，下水の砂沪過処理水中の色度成分や発泡成分などを除去する高度処理実験を行った。

その結果，多くの有用な知見を得ることができたので，次にその概要を報告する。

1. 実　験　概　要

1. 1 実験期間

1986年6月～1987年3月

1. 2 処理目標

下水の処理水をアメニティ用水やトイレ用水として再利用するにあたっての水質基準は厳密に定められたものはないが，衛生上の問題はもちろん，着色や発泡による外観上の不快感をなくす必要があり，着色に関してはアメニティ用水の場合，色度10度以下が，トイレ用水の場合，色度40度以下が目標値になる。また発泡に関してはそれぞれ不快感を与えないようにする必要がある。[1),2)] そこで，本実験では最も基準が厳しいアメニティ用水の水質に適合させる，すなわち処理水色度を10度以下に，また発泡に関しては不快感を与えないようにすることを処理目標とした。

1. 3 処理方法

本実験では次の3方法を用いた。

(1) オゾン酸化処理
(2) 活性炭吸着処理
(3) オゾン酸化と活性炭吸着の組み合せ処理
（以下直列処理という）

1. 4 実験装置仕様

主要実験装置の概略仕様を次に示す。

(1) オゾン発生器
方　　式：無声放電プレート型，空冷方式
発 生 量：15 g/h（空気源）
(2) コンプレッサー：レシプロ方式
(3) アフタークーラ：空冷式
(4) ドライヤー：自己再生非加熱方式
(5) オゾン濃度計：紫外線吸収法（0～99.99 g/m^3）
(6) オゾン反応塔
材　　質：透明アクリル製
寸　　法：100 mmϕ×5 000 mmH
有効容量：31.4 ℓ
(7) 活性炭吸着塔
材　　質：透明塩化ビニール製
寸　　法：200 mmϕ×4 000 mmH
活 性 炭：石炭系粒状活性炭
充填高さ：2 000 mmH, 1 000 mmH
(8) ポンプ
原水ポンプ：ダイヤフラム型定量ポンプ
処理水ポンプ：片吸込渦巻型ポンプ
(9) 貯　槽
原　水　槽：ポリエチレン製，容量1 m^3
処 理 水 槽：ポリエチレン製，容量1 m^3
受　水　槽：ポリエチレン製，容量2 m^3

1. 5 実験方法

実験装置のフローシートを**第1図**に，また各処理方法の実験方法を次に示す。

1）オゾン酸化処理

オゾン酸化処理には向流型散気管方式を用いた。

コンプレッサーで昇圧・圧縮された空気はアフタークーラー，ドライヤーで冷却，除湿され，オゾン発生器へ送ら

れる。送られた空気は発生器内の無声放電により，酸素の一部がオゾンに変換されてオゾン化空気となり，反応塔に送られ原水と接触して原水中の色度成分などを酸化処理する。オゾンにより処理された原水は処理水として反応塔より流出し，その後トイレ用水として再利用される。

一方，若干の未反応オゾンを含んだ空気（以下排オゾンという）は排オゾン分解塔でオゾンが取り除かれ，無害の空気として大気中に放出される。また，反応塔内上部で発泡が生じた場合，その泡は排オゾンと共に消泡塔に流出し，そこで消泡水により消泡される。

ここで，オゾン源としては通常は空気を，特に大量のオゾンが必要な場合は酸素ガスを用い，オゾン濃度の調整には発生器に内蔵のコントローラーにより周波数を変化させて行った。また，排オゾンの分解には不燃性成形活性炭を用い，消泡水としては原水を用いた。

2）活性炭吸着処理

活性炭への通水は重力式下向流で行った。

原水は定量ポンプにより活性炭吸着塔へ流入し，活性炭と接触，吸着処理され処理水となり，再利用される。

なお，活性炭は浮遊物などによる層内の目詰りを防止するため，本実験期間中週2～3回の逆洗を手動で行った。

3）直列処理

直列処理は前述のオゾン酸化処理と活性炭吸着処理の組合せであり，本実験の場合，オゾン処理水を活性炭へ通水した。実験方法は前述の1），2）と同様であるが，オゾン処理水中の微細気泡が活性炭層へ流入するのを防止するため活性炭吸着塔の前に脱気塔を設置した。

4）気泡層高測定

気泡層高の測定は，上記3方法による発泡成分の除去効果を確認するためバッチ方式で行った。

透明アクリルパイプ(100 mmφ×1 500 mmH)にオゾン処理水など被測定水を5 ℓ入れ，下部より圧縮空気で曝気し，その際生じた気泡層の層高を測定した。測定中，気泡層が上下に分離することがあったが，この場合上部下部のそれぞれについて，その気泡層を測定した。また曝気空気量は1 ℓ/minとした。

1. 6 実験条件

各処理方法における実験条件を**第1表**に示す。実験はそれぞれの条件を適宜組合せることにより行った。

なお，滞留時間の設定は原水通水量を，オゾン注入率の設定はオゾン濃度またはオゾン化空気の流量を変化させることにより行った。空塔速度の設定は原水通水量または活性炭充填量を変化させることにより行った。

1. 7 分析方法

水質分析は工場排水試験方法，下水試験法に準拠した。

2. 実験結果および考察

2. 1 原水水質

原水としては活性汚泥処理後の砂沪過処理水を用いたが，本実験期間中原水の色度は22度から180度の間で大きく変動した。その変動には**第2図**に示すように周期性があり，休日明けの平均色度は60度と平日の100度前後に比べ約40 %低い値となっていた。なお，本実験期間中の平均色度は90度(σ[注1]：37.4)であり，発泡成分(以下MBAS[注2]という)は0.1～0.4 mg/ℓ，大腸菌群数は0～260個/mlであった。

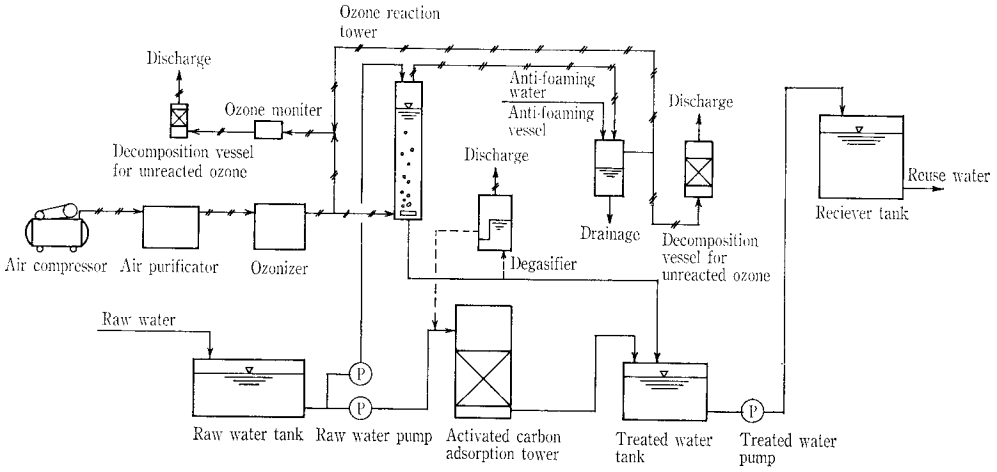
2. 2 オゾン酸化処理

2. 2. 1 色度除去

1）処理水色度

第1表 実験条件
Table 1 Test condition

Parameter	Ozone oxidation process	Actived carbon adsorption process	Series process
Retention time min	5. 10. 20	—	10
Ozone dosage mg/ℓ	10. 15. 20. 25. 35	—	10. 15. 20. 25
Flow rate of ozoniferous air ℓ/min	2. 3. 4. 6	—	4
Space velocity hr^{-1}	—	2. 3. 4. 5. 6	3. 6



第1図 実験装置フローシート
Fig. 1 Flow sheet of the test plant

注1：σは標準偏差を示す。

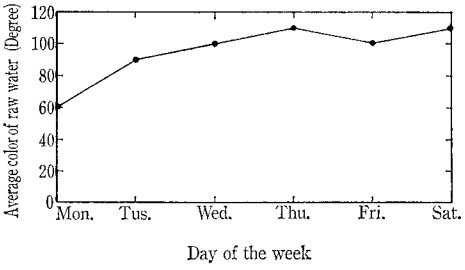
注2：Methylene Blue Active Substance でABS等を示す。

オゾン注入率に対する処理水色度の平均値を**第3図**に示す。本図には，変動幅を示すために最大値，最小値も併記している。

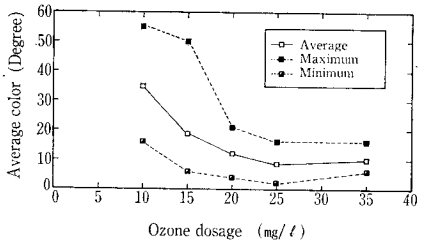
処理水色度はオゾン注入率の増加に従って低下し，25 mg/ℓで平均9度(σ：3.2)と10度以下の良好な値となっており，その変動幅も小さくなっている。

また，処理水色度の低下割合はオゾン注入率15 mg/ℓまでは大きいが，それ以上になると小さくなり，25 mg/ℓで平衡に達し，35 mg/ℓ注入しても処理水色度の大きな改善はみられない。

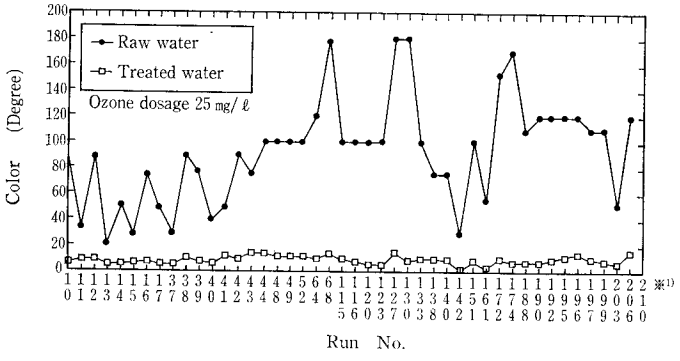
一方，**第3図**に示したように処理水色度には変動があり，オゾン注入率25 mg/ℓでも10～16度と悪化する場合もある。これは処理水色度が原水色度の影響を受けているためである。**第4図**にはオゾン注入率25 mg/ℓの時の原水色度と処理水色度の関係を示しているが，処理水色度は原水色度の高低に従って変動する傾向があり，処理水色度が悪化するのは原水色度が100度以上と高い場合に多いことがわかる。



第2図 原水色度の週間変動
Fig. 2 Weekly fluctuation of color of raw water



第3図 オゾン注入率に対する処理水色度
Fig. 3 Ozone dosage vs. average color of treated water



*1) The figures $\frac{1}{0}$, $\frac{1}{1}$, etc. on the holizontal axis show the number 10, 11, etc.

第4図 原水色度と処理水色度の関係
Fig. 4 Color corelation between raw water and treated water

従って，本実験範囲内では，処理水色度を10度以下にするには，25 mg/ℓのオゾン注入率で十分であるが，原水色度が100度以上と高い場合は処理水色度は10～16度と悪化することもあるといえる。またオゾン注入率が25 mg/ℓになると処理水色度の変動幅も小さくなっており，原水色度の大きな変動に対しても安定した処理状態を保つことができる。

これらのことより，原水色度の影響を受けにくく，安定した，色度10度以下の処理水を得るためには，オゾン注入率を25 mg/ℓとする必要がある。

なお，オゾン注入率25 mg/ℓの時の色度除去率の平均は88.5 %(σ：5.1)であった。

2）滞溜時間とオゾン化空気量の影響

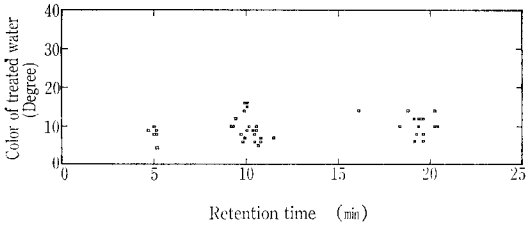
オゾン注入率25 mg/ℓの場合の処理水色度に対する滞溜時間の影響を**第5図**に示しているが，滞溜時間による顕著な差は認められず，滞溜時間5分でも処理することができるといえる。しかし，安全率などを考慮すれば，10分程度の滞溜時間が必要と考えられる。

一方，**第6図**にはオゾン化空気量の処理水色度に対する影響を示しているが，大きな変化は認められず，オゾン化空気量の影響は本実験範囲では少ないといえる。

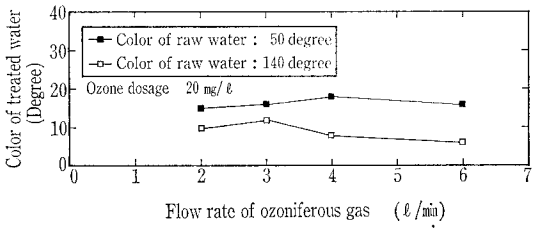
2. 2. 2 発泡成分除去

オゾン注入率に対する処理水中のMBAS濃度を**第2表**に示す。オゾン処理水中のMBASはオゾン注入率25 mg/ℓで，常に0.1 mg/ℓ以下と検出限界以下まで除去されている。

しかし，MBASが検出限界以下でも発泡現象は生じる。そこで，オゾン処理水がどの程度発泡するか，その度合を強制曝気による気泡層高で測定した。**写真1**に測定時の気泡層の状況を示す。**写真1**には比較のために，原水の気泡層も示している。原水の気泡層高は40～50 mmで，し



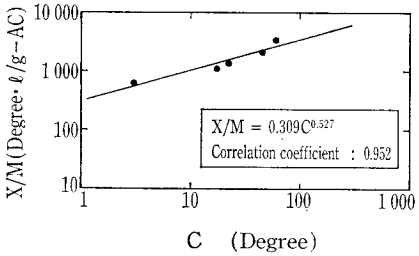
第5図 処理水色度に対する滞溜時間の影響
(オゾン注入率25 mg/ℓ)
Fig. 5 Effect on retention time against color of treated water (Ozone dosage 25 mg/ℓ)



第6図 処理水色度に対するオゾン化空気流量の影響
Fig. 6 Effect on flow rate of ozoniferous gas for color of treated water

第 2 表 オゾン注入率ごとのMBAS
Table 2 Concentration of MBAS for ozone dosage

Ozone dosage mg/ℓ		MBAS mg/ℓ					
10	Raw water	0.33					
	Treated water	0.23					
15	Raw water	0.17	0.25	0.27	0.20	0.23	
	Treated water	<0.1	0.21	0.14	<0.1	<0.1	
20	Raw water	<0.1	0.15	0.27	0.33		
	Treated water	<0.1	<0.1	0.11	<0.1		
25	Raw water	0.15	0.15	0.27	0.20	0.33	0.33
	Treated water	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1



第 7 図 原水色度に対する吸着等温線
Fig. 7 Adsorption isotherm on color of raw water

かも上部には 100 mm 以上の大量の泡が残留している。これに対して，オゾン処理水の気泡層高は 20 mm 程度と小さく，上部に残留している泡の量も大幅に減少しており，オゾンによる消泡効果が大きいことがわかる。ただ写真にも示したように，オゾン注入率 25 mg/ℓ でも発泡成分を完全には除去することはできなかった。

2. 2. 3 滅菌効果

オゾンには大きな滅菌効果がある。そこで処理水中の大腸菌について調査したところ，オゾン注入率 10 mg/ℓ では大腸菌群が検出され，完全に滅菌するためには 15 mg/ℓ 以上と比較的多くのオゾンが必要であった。これはオゾンが滅菌だけでなく，色度成分や発泡成分など広範囲な物質に同時，平行的に作用するためと考えられる。

2. 2. 4 排オゾン濃度

オゾン反応塔内に送られたオゾンの大部分は色度除去などで消費されるが，一部は未反応のまま排オゾンとして反応塔外へ流出する。本実験での排オゾン濃度は大きく変動していたが，オゾン注入率の増加と共に高くなる傾向があり，25 mg/ℓ では 0～4 mg/ℓ となっていた。変動が大きいのは原水水質や反応塔内の発泡現象などによりオゾンの消費量が異なるためである。

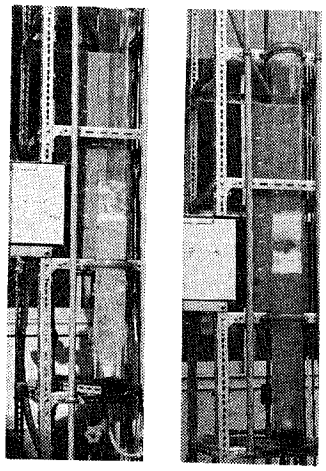
2. 2 活性炭吸着処理

2. 2. 1 吸着等温線

吸着処理において吸着等温線を求めることは，吸着の容易性や吸着容量を知る上で最も基本的で，重要な方法である。

一般に水処理における吸着等温線は次の Freundlich の式に従う場合が多い。

$$X/M = kC^{1/n} \qquad (1)$$


Treated water
Ozone dosage
: 25 mg/ℓ

Raw water

写 真 1
オゾン酸化処理での気泡層
Photo. 1
Foam layer of ozone oxidation process

X：被吸着物の吸着量 〔度・ℓ〕
M：活性炭添加量 〔g〕
C：被吸着物の残存濃度〔度〕
k, 1/n：定数

第 7 図に，本実験で使用した活性炭の吸着データを示す。本図より，式(1)に従い吸着等温線を求めると式(2)で示すことができる。

$$X/M = 0.31C^{0.53} \qquad (2)$$

相関係数：0.952

ここで 式(1)の1/nは吸着の容易性を示す吸着係数と呼ばれ，1/nが0.1～0.5なら吸着は容易で，1/nが2以上なら難吸着性であるといわれている。[3] 本実験の場合，式(2)より1/nは0.53となり，本原水中の色度成分は比較的容易に活性炭に吸着されるといえる。

2. 2. 2 色度除去

活性炭1 ℓ当りの累積通水量と処理水色度の関係を**第 8 図**と**第 9 図**に示す。**第 8 図**は空塔速度3 hr^{-1} 以下の場合(実験 No. I) を示し，**第 9 図**は空塔速度6 hr^{-1}の場合(実験 No. II) を示す。また，これらには比較のため，原水色度も併記している。

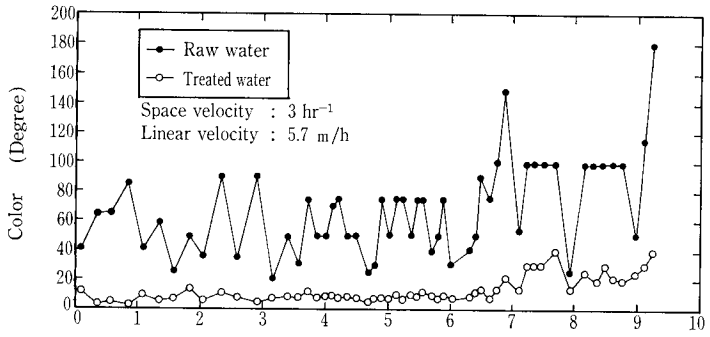
実験No. Iでの処理水色度は10度以下で良好な値となっており，しかも原水色度が大きく変動しても安定した値となっている。しかし，累積通水量が 6.7 $m^3/ℓ$-AC を超えると処理水色度は急激に悪化して20度以上となっている。

従って活性炭は通水量 6.7 $m^3/ℓ$-AC で破過に達したといえる。

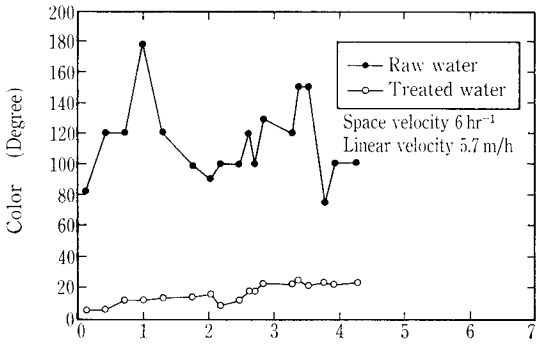
この破過までの処理水色度の平均は9度(σ：2.6)であった。

一方，実験 No. II では累積通水量 0.7 $m^3/ℓ$-AC で処理水色度が10度以上となり，活性炭は破過しており，実験 No. I に比べ破過までの期間は非常に短かくなっている。

これは原水色度が悪化したことも一因と考えられるが，空塔速度を上げたことにより，活性炭層中の吸着帯の幅やその成長と移動速度が大きくなり，色度成分のリークが早まったためと考えられる。**第 9 図**に示すように，実験 No. II



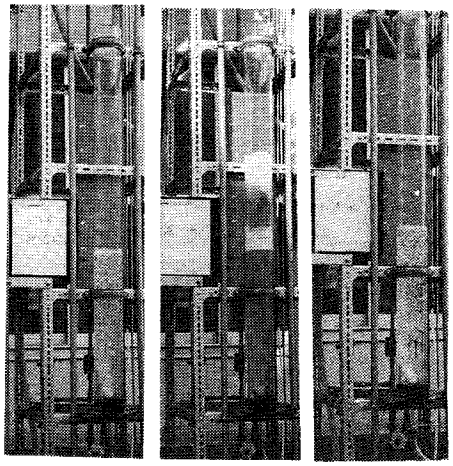
第8図 活性炭1ℓ当りの累積通水量に対する処理水色度（実験No. I）
Fig. 8 Cumulative flow rate per unit volume of activated carbon vs. color of raw and treated water (Test No. I)



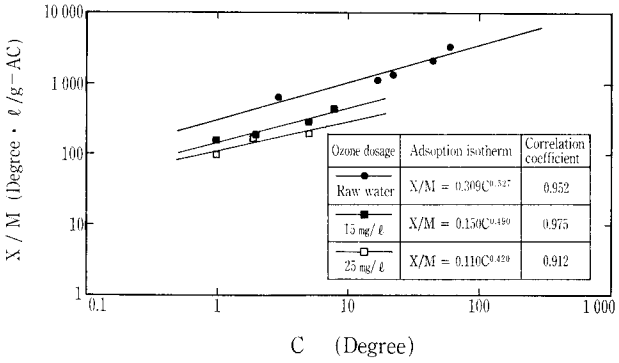
第9図 活性炭1ℓ当りの累積通水量に対する処理水色度（実験No. II）
Fig. 9 Cumulative flow rate per unit volume of activated carbon vs. color of raw and treated water (Test No. II)

第 3 表 活性炭処理水中のMBAS
Table 3 Concentration of MBAS in treated water by activated carbon

	Test No	MBAS mg/ℓ					
I	Raw water	<0.1	0.15	0.17	0.15	0.15	0.25
	Treated water	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.13
II	Raw water	0.27					
	Treated water	<0.1					



写 真 2 活性炭吸着処理での気泡層
Photo. 2 Foam layer of activated carbon adsorption process



第 10 図 色度に対する吸着等温線（直列処理）
Fig. 10 Adsorption isotherm on color of raw water and treated water by ozone (Series process)

では破過後も処理水色度は急激には高くならず，20度前後で比較的安定していることよりも吸着帯の成長が均一ではなくなっていることが推定できる。

なお，破過に達するまでの色度除去率の平均は実験 No. I, II でそれぞれ 82.6 %(σ：7.2)，92.0 % (σ：1.3)であった。

以上のことより，原水中の色度成分は活性炭により容易に吸着処理することができ，色度10度以下の良好な処理水を得ることができるといえる。また，処理水の変動も小さく，オゾン処理に比べて安定した処理水を得ることができる。

しかし，空塔速度を高くすると破過しやすくなるので，本実験範囲では空塔速度は3 hr^{-1}以下にする必要がある。

2. 2. 3 発泡成分除去

実験 No. I, II とも，**第3表**に示すように，処理中のMBASは0.1 mg/ℓ以下と検出限界以下まで吸着処理されている。ただ，一点のみ処理水の MBAS が0.13 mg/ℓとなっている。これは色度に対して活性炭が破過していた時のデータであり，色度に対して破過に達した活性炭はMBASの吸着能力も低下していることがうかがえる。

一方，活性炭処理水の発泡度合をオゾン処理水の場合と同様に測定した。**写真2**に測定時の気泡層の状況を示す。**写真2**には比較のため，原水および水道水の気泡層も示している。

処理水の気泡層高は 20 mm 程度と原水の 45 mm 程度に比べ低下し，層内の泡の密度も大幅に減少している。

また，原水や**写真1**に示したオゾン処理水のように上部に残留層も発生せず，水道水とほぼ同程度となっていた。

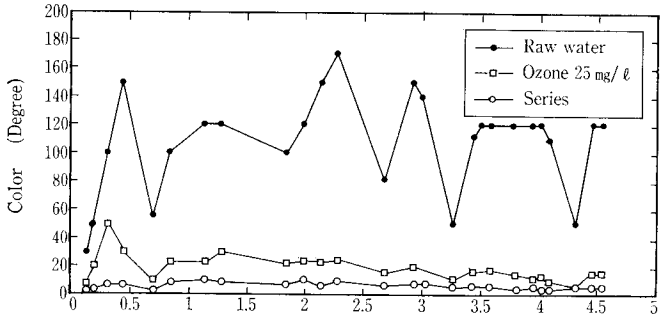
これらのことより，活性炭による消泡効果は非常に大きいといえる。

2. 2. 4 滅菌効果

活性炭処理水中の大腸菌群数は 2～170 個/mg 検出され，原水のそれと同程度であり，ほとんど除去されていなかった。

2. 3 直 列 処 理

前項で述べたように，オゾン酸化処理，活性炭吸着処理により，それぞれ良好な処理水を得ることができる。しか



Cumulative flow rate per unit volume of activeted carbon (m^3/ℓ-AC)

第 11 図 活性炭 1ℓ 当りの累積通水量

Fig. 11 Cumutative flow rate per unit volumne of activated carbon vs. color of raw and treatead water

し，前者では水質の変動があり，MBAS も完全には除去できず，後者では一定の通水量で活性炭が破過し，処理水が悪化するなど短所が存在する。そこで，色度 10 度以下の，水質変動のない，しかも発泡しない良好な処理水を長期間安定して得るために両者を組合せた実験を行った。

2. 3. 1 吸着等温線

第10図にオゾン処理水の色度に対する活性炭の吸着データを示す。本図より，オゾン処理水の吸着等温線を求めると次式になる。

(1) オゾン注入率 15 mg/ℓ の場合

$$X/M = 0.15C^{0.49} \quad (3)$$

相関係数：0.975

(2) オゾン注入率 25 mg/ℓ の場合

$$X/M = 0.11C^{0.42} \quad (4)$$

相関係数：0.912

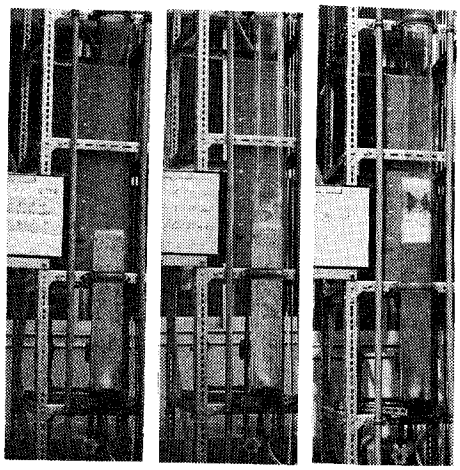
式(3)，(4)より吸着指数である 1/n はそれぞれ0.49，0.42 と 0.5 以下になっており，オゾン処理水中の色度成分は活性炭に容易に吸着されるといえる。**第10図**には**第 7 図**に示した原水の吸着データも併記しているが，それら 3 対象水の吸着指数 1/n は 0.53，0.49，0.42とオゾン注入率の増加に伴って小さくなっており，オゾン処理により色度成分の吸着性が改善されていることがうかがえる。

一方，**第10図**より吸着等温線の位置はオゾン処理水の方が原水より低い位置にあり，吸着容量の点からはオゾン処理水の方が劣っているといえる。

これらのことより，オゾン処理水中の色度成分は活性炭に吸着されやすいが，吸着平衡にも達しやすい成分であると考えられる。

2. 3. 2 色度除去

第11図に活性炭 1 ℓ 当りの累積通水量と直列処理水色度の関係を示す。本図には原水およびオゾン処理水の色度も併記している。**第11図**より，直列処理水の色度は原水色度が高く，また大きく変動しても，常に 10 度以下となり，しかも変動が少なく安定している。これは前段のオゾン酸化処理で色度の大部分が除去され，さらにその変動も吸収され，後段の活性炭吸着処理への負荷が軽減されたためである。また，**2. 3. 1** 項で述べたようにオゾン処理により色度成分の吸着性が改善されたことも一因であろう。



Treated water (Series) Ozone dosage : 25 mg/ℓ Space velocity : 3 hr^{-1}

Treated water (Ozone) Ozone dosage : 25 mg/ℓ

Raw water

写 真 3 直列処理での気泡層

Photo. 3 Foam layer of series process

なお，直列処理水色度の平均は 7 度(σ : 2.0)であり，その除去率は 93.0 %(σ : 4.6)であった。

一方，本実験期間中オゾン注入率を 10，15，20，25 mg/ℓと，空塔速度を 3，6 hr^{-1} と変化させたが，処理水色度は常に 10 度以下と安定しており，特にそれらの影響は認められなかった。しかし，活性炭寿命をより長くするためにオゾン処理によりできるだけ色度成分を除去し，活性炭への負荷を軽減したほうが，後述するように経済面では得策となる。このことより，オゾン注入率は高い程よく，25 mg/ℓにしたほうがよいと考えられる。

2. 3. 3 活性炭 1 ℓ 当りの累積通水量

本実験期間中，活性炭は破過に達せず，直列処理における破過までの総通水量は残念ながら明確にすることはできなかった。しかし，前述の活性炭吸着処理での実験結果を基に，原水色度を 120 度，オゾン処理水色度を 15 度，直列処理水色度を 7 度と仮定し，直列処理の場合の総通水量を算出してみると，総通水量は活性炭単独処理に比べ約 14 倍となった。ただ，**2. 3. 1** で述べたようにオゾン処理水中の色度の吸着容量は原水のそれに比べ小さくなるので総通水量はそれよりも若干減少するものと推定される。

2. 3. 4 発泡成分除去

直列処理水中の MBAS はすべて 0.1 mg/ℓ 以下と検出限界以下まで十分に除去されていた。

一方，直列処理水の発泡度合を，オゾン，活性炭両処理水と同様に測定した。測定時の気泡層の状況を**写真 3** に示す。直列処理水の気泡層高は 17 mm 程度であり，原水，オゾン処理水の 65 mm，20 mm に比べ低下しており，気泡層内の泡の量も非常に少なくなっているのが観察された。また，気泡層は下部のみで上下に分離しておらず，**写真 2** に示した水道水と同等であった。

これらのことより，直列処理における発泡成分の除去効果は非常に大きく，その処理水は水道水と同様に発泡しないといえる。

第 4 表 建設費，処理費の試算
Table 4 Estimate on construction and running costs

Unit : Yen

Process	Ozone oxidation	Activated carbon adsorption	Series
Construction cost	542 Million	570 Million	922 Million
Running cost per day	153 Thousand	894 Thousand	277 Thousand
Running cost per cubic meter	16	90	28

2. 4 スライムの発生

本実験期間中，原水槽および原水配管内に藍藻類，原生動物などを中心としたスライムが発生し，特に日照の強い7～9月の夏期にその発生量が増加した。このスライムは成長すると剥離し，ＳＳとなり，沪過機構のないオゾン処理では，処理水の外観を著しく悪化させ，また活性炭処理では沪過抵抗の増大を招くなど，処理水や処理機能に悪影響を及ぼすことが確認された。

実装置では日光がほぼ完全に遮断されるので上記の問題は発生しないと考えられるが，安全のため原水ラインへの塩素注入等を考慮するべきであろう。

3. 処理水の再利用

10カ月にわたる本実験期間中，得られた処理水を実際のトイレ用水として再利用した。その結果，オゾン処理水，活性炭処理水，直列処理水とも，利用にあっての不快感はなく，使用者よりのクレームも発生しなかった。また末端器具へのスライムやスケールの付着も観察されず，処理水の再利用には全く問題はなかった。

4. 経済性の試算

今までに述べてきた実験結果に基づいて，各処理方法の建設費および処理費の試算を行った。試算結果を**第4表**に示す。但し，処理費には設備償却費は含んでいない。**第4表**より，コスト面ではオゾン酸化処理が最も優れている。

一方，処理性能が最も優れている直列処理は建設費は高くなるが，処理費は比較的安価となっている。

なお，試算にあたっての設計条件，処理条件および電力・薬品の単価は次のとおりとした。

1）設計条件

(1) 処理水量：10 000 m^3/d
(2) 原水色度：120 度
(3) 処理水色度：10 度（但し，直列処理の場合オゾン処理水 15 度，直列処理水 7 度）

2）処理条件

(1) オゾン酸化処理：オゾン注入率 25 mg/ℓ
　　滞留時間 10 min
(2) 活性炭吸着処理：空塔速度 3 hr^{-1}
　　線速度 5.7 m/h
(3) 直列処理：オゾン注入率 25 mg/ℓ
　　滞留時間 10 min
　　空塔速度 3 hr^{-1}
　　線速度 5.7 m/h

3）電力・薬品単価

(1) 電力：20 円/kWh
(2) 排オゾン分解剤：1 500 円/kg
(3) 活性炭：400 円/kg（再生炭使用として）

5. まとめ

本実験では，下水処理水をアメニティ用水やトイレ用水などとして再利用するために，オゾン酸化処理，活性炭吸着処理および直列処理の3方法による下水の高度処理を行い，色度除去・消泡効果，長期間運転における水質変動の特性などを調査し，最適処理方法，処理条件および経済性について検討を行った。

その結果次のことが明らかとなった。

1）オゾン酸化処理

オゾン注入率 25 mg/ℓ，滞溜時間 10 min で平均色度9度の処理水が得られ，滅菌効果，消泡効果もあり，建設費・処理費とも最小となる。ただ，原水水質の変動の影響を受けやすく，原水色度が高くなると処理水色度が10～16度と悪化する場合があった。

2）活性炭吸着処理

空塔速度 3 hr^{-1} で平均色度9度の処理水が安定的に得られ，消泡効果も大であるが，滅菌効果はなく，また一定の通水量で活性炭が破過に達し，処理費が非常に高くなる。

3）直列処理

オゾン注入率 25 mg/ℓ，空塔速度 3 hr^{-1} で，原水の水質変動に対しても安定した，平均色度7度の良好な処理水が得られ，消泡効果も非常に大きい。ただ，滅菌効果は活性炭処理工程を含んでいるので優れているとはいえない。

コスト面では建設費は高くなるが，処理費は比較的安価となる。

これらのことより建設費・処理費を最小とし，色度10度以下の良好な処理水を得るためにはオゾン酸化処理が適しているといえる。しかし，オゾン酸化処理では，原水の水質変動により，処理水質が悪化することもあるので，より安定した，良質な処理水を確保するためには直列処理が最適の方法である。

むすび

以上，下水処理水を有効再利用する場合の高度処理の概要について紹介した。都市部での水質源の確保や水辺空間の創造など自然の回復の一手段として，下水処理水の再利用が今後ますます必要となってくると思われるが，本報が何らかの参考になれば幸甚である。

なお，本実験は神戸市よりの委託を受け，神戸市下水道局東部スラッジセンターにおいて行ったものであり，実験を行うにあたり，多方面にわたりご指導，ご協力を賜った神戸市下水道局の方々に感謝申し上げる次第である。

また，本稿の概要は第25回下水道研究会（1988年5月11日）において発表した。

〔参考文献〕

1）建設省「下水処理水循環利用技術指針(案)」
2）福岡市「雑用水道技術指針(案)」
3）河添邦太郎：新化学工学講座，(1958)，日刊工業新聞社

創熱電型嫌気処理システム

Electric/Heat Recovery of Anaerobic Biological System

(環)技術部　技術課
佐　藤　栄　祐
(環)技術部　計画第2課
吉　川　　信

Dystor (reactor cover) and Co-generation (electric/heat generator) enable to organize compact and flexible energy recovery systems in utilization of bio-gas from anaerobic biological treatment system for organic waste water.
Dystor is dual membrane dome with beautiful shape and color, licensed from Envirex Co. in the U. S. A., mounted on AB reactor. Co-generation realizes higher energy utilizing performance through gas engine generation and heat recovery system.

ま　え　が　き

ＡＢＣシステムなどで有機性廃水を嫌気性生物処理する際に得られるメタンガスの回収利用において，ダイスター（リアクターカバー）とコジェネレーション（熱電併給）の組合せにより，コンパクトでフレキシビリティーのあるエネルギー回収システムをつくることができる。

ダイスターは，美的構造と美しい色調を有する二重膜ドーム式リアクターカバーで，米国において多数の実績を有するエンビレックス社の開発した製品である。当社はＡＢリアクターと一体形のリアクターカバーとして実用化を図った。

またコジェネレーションは，最近注目を浴びているガスエンジンによる発電とエンジンの排ガス熱，冷却熱を回収利用する熱電併給システムである。

本稿においては，ＡＢＣシステムのメタン回収利用における，ダイスターとコジェネレーションの概要について述べる。

1.　ダイスターとコジェネレーションシステムの特長

1. 1　従来のメタンガス回収システムの問題点

ＡＢＣシステムなどで有機性廃水を嫌気性生物処理する際に得られるメタンガスは，通常脱硫後ガスホルダーに貯留し工場内でエネルギーとして再利用される。再利用の形態は，ボイラを設置し熱量を全量蒸気または温水として回収している例が多い。この方式は設備が比較的簡単で熱効率も 90 % 以上と高く，食品工場や化学工場などの乾燥や加温工程の多い場合には回収効率の高い方法である。しかし発生ガスのエネルギーに比べ使用する熱エネルギーが少ない場合，余剰のエネルギーは放出しなければならず総合回収効率が低下する。

嫌気性生物処理ではできるだけ負荷を一定にして運転することが望ましく，通常単位時間当りのメタンガス発生量はほぼ一定となるが，回収熱の利用先に通常負荷変動があるためにガスホルダーを設ける必要がある。この場合，ガス貯留のための施設は比較的大きな敷地面積を必要とし，土地有効利用上好ましいことではなかった。

これらの問題を解決するためには，ガス貯留能力を有するカバーをリアクターと一体化することにより敷地面積を低減するとともに，エネルギーを電力で回収することにより用途の拡大を図ることが有効な手段となる。

1. 2　省スペース型，創熱電ＡＢＣシステム

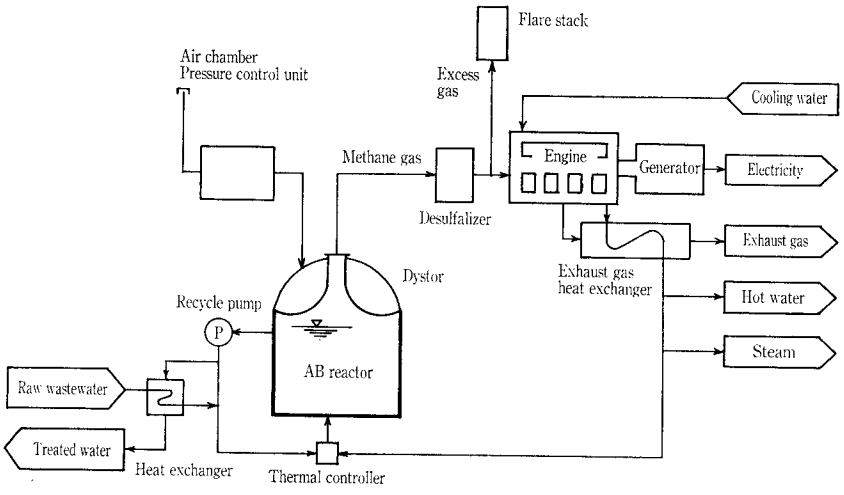
システムの概要を**第1図**に示す。ダイスターと一体のＡＢリアクターとガスエンジン発電装置により構成される。ＡＢリアクターの上部には"ダイスター"が設置されている。ダイスターは二重膜構造となっており，外側の空気室は圧力コントロールユニットで圧力を制御されている。

リアクターで発生したメタンガスは，脱硫塔を経てガスエンジンに供給され発電を行う。エンジンの冷却熱，排ガス熱は蒸気および温水として回収されるが，ヒートポンプによる冷熱の回収も可能である。回収された電力および熱は，廃水処理系内や工場で再利用される。

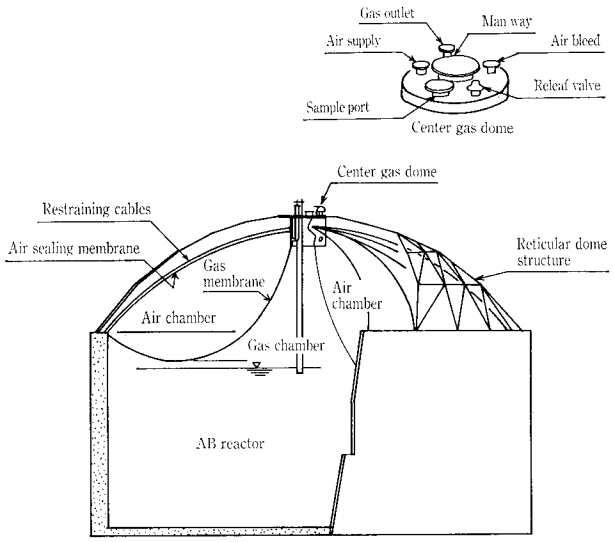
このシステムの利点は次のとおりである。

(1)　ガスホルダーの敷地が不要となる。

(2)　発生エネルギーを電力で回収するため用途が拡大する。



第1図　システムフローシート
Fig. 1　Schematic flow diagram



第2図 ダイスターの構造
Fig. 2 Structure of Dystor

(3) 回収エネルギーとして，電力，蒸気，温水，冷熱など最適の組合せを選択できる。
(4) 総合的に80〜90 % のエネルギー回収効率が得られる。
(5) リアクターの上部を有効利用することにより設備費の低減が図れる。
(6) ダイスターは安全な二重膜構造となっており外観が大変美しい。また膜構造のため安価である。
(7) 新設設備のみならず既設設備を改造することも可能である。

2. ダイスター

2. 1 本体構造

ダイスターは，ABリアクターと一体形のドーム型カバーとして開発されたもので，二重膜ガスドームと空気室圧力コントロールユニットで構成され，ガス貯留能力をもっている。

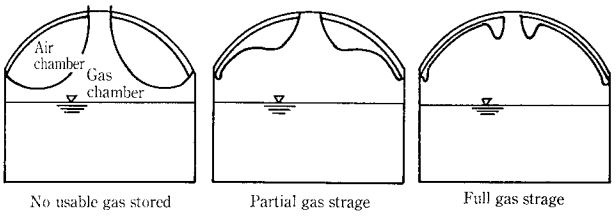
ダイスターはリアクター上部に**第2図**のように取り付けられており，

(1) 空気膜（外側）
(2) ガス膜（内側）
(3) 空気膜保持ケーブル
(4) 中央マンホール
(5) 中央マンホール支持架構

より成っている。

空気膜とガス膜はリアクター槽壁および中央マンホールでシールされており，二枚の膜の間に空気室が形成され，内側のガス膜とリアクター液面の間にガス室が形成されている。空気室にはガス圧力とバランスする圧力でブロワーにより空気が供給されているので，空気膜保持ケーブルにより空気膜の外側への膨張を抑えている。

ガス使用量が発生量より多い場合，ガス圧を保ったままで空気室が内側に膨張しガス室の容積が減少する。逆にガス発生量が使用量より多い場合には，ガス室の膨張に合わせて空気室の容積が減少しガス圧力を保持する。**第3図**に示すようにガスの貯留容積は空気室の容積に等しいことになる。



第3図 ガス膜の状態
Fig. 3 Gas membrane positions

中央マンホールは架構によって支持され，空気膜，ガス膜および空気膜支持ケーブルを固定すると共に，空気室への空気の供給管，排出管，ガスリリーフ弁，サンプリング管およびマンホールが取り付けられている。

2. 2 ガス膜および空気膜

ガス膜および空気膜は特殊強化樹脂膜で，空気膜は耐候性，ガス膜は耐薬品性をそれぞれ備えており耐久性の高いものである。

ガス膜は化学的に安定な材質を使用していることと，膜自体に応力がかからない構造となっているので，20年以上の寿命を予測している。また空気膜は外気に接しているので15年程度の寿命を予測している。

空気膜は外的な要因によって破れが生じる場合が考えられるが，多少空気が洩れてもブロワーに余裕があるので小さな破れでは緊急の問題とはならない。ブロワーの余裕でまかないきれない場合，接着剤によりパッチ当ての補修が簡単にできるし，空気膜の全面取り替えも1日でできる。

2. 3 空気室圧力コントロールユニット

空気室圧力コントロールユニットは**第4図**に示すように，

(1) 空気ブロワー
(2) 空圧コントロール装置
(3) 安全装置

より成っている。

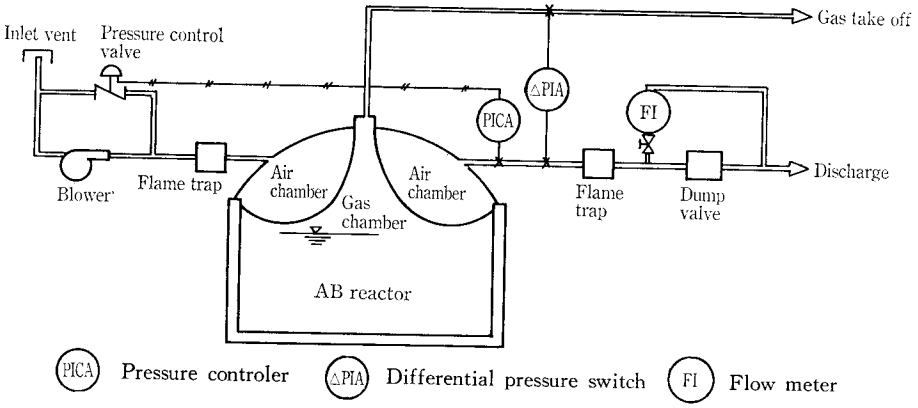
ブロワーにより空気室をある設定圧に加圧するが，空気圧をガス圧より若干低くすることにより，空気圧とガス圧の差圧でガス膜の重量を支えるようにし，ガス膜自体には圧力がほとんどかからないようにしている。

空圧コントロール装置は，自動で圧力調節弁の設定により空気室の容積を変化させながらガス圧を常に設定圧力に維持するもので，ガス貯留量が下限になったときガスの供給を停止し，ガス圧の上限または下限で警報を出す。

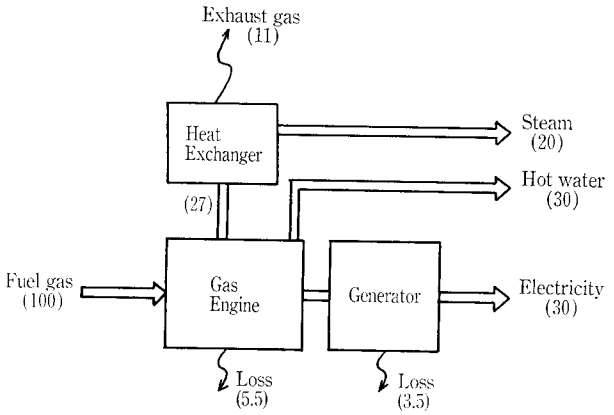
空気は大部分をブロワー入口に戻し熱を回収するが，少量を常時ブローし，万が一ガス膜よりメタンガスが浸透したり洩れた場合に濃縮しないようになっている。

2. 4 安全対策

メタンガスに対する安全対策としては，ガス圧を空気圧より若干高く(1—2 mmAq) 運転するので，リアクター内への空気の洩れはない。逆に万が一空気室へガスが洩れた場合，常時ブローしている空気バイパスラインでメタンガス濃度が検出され緊急処置がとられる。当然，空気排出ラインには逆火防止のためにフレームトラップが設置されている。



第4図 空気室圧力コントロールシステム
Fig. 4 Air chamber pressure control system



第5図 コジェネレーションシステムフローの例
Fig. 5 An example of co-generation system flow

また空気膜が破れた場合は，圧力低下を検出し緊急処置がとられる。

3. コジェネレーション

3. 1 コジェネレーションの概要

最近ガスエネルギーを利用したコジェネレーション（熱電併給システム）が，通産省の施策もあって急激に普及している。これは，ガスエンジンやディーゼルエンジンを用いて発電機を稼動させる一方，エンジンの排ガス熱や冷却熱を回収利用し，発電機単独では効率が30—35 %程度と低いけれども，回収熱も含んだ総合熱効率として80—90 %程度を得るものである。

一般に，コジェネレーションはビルや病院，ホテル，スポーツセンターなどで都市ガスや重油を用いて電力と同時に空調用あるいはプロセス用の温水や冷水，蒸気を回収するシステムが多いが，ここではＡＢＣシステムの発生メタンガスを用いて電力および蒸気を回収し，ＡＢＣシステムおよび排水処理設備のエネルギーとして再利用するシステムを中心に述べる。

3. 2 システムフロー

ガスエンジンのシステムフローの例を**第5図**に示す。燃料ガスと空気がガスエンジンに導かれ，エンジンおよび発電機を駆動し電力を発生させる。ジャケット冷却水および排気ガスより発生する熱は，冷水や温水，蒸気として回収される。

回収エネルギー効率はエンジンの形式および負荷率，熱回収の形態により異なるが，一般的には燃料の発熱量を100としたとき電力25—35 %，排熱回収45—60 %程度となる。

コジェネレーションの発電コストは，ほぼ買電コストに見合うので回収熱の分だけ省エネルギーの効果を得ることができる。熱回収の形態は蒸気，温水，冷熱などであるため，需要先の利用形態に応じて選択可能であり，最適システムを構成することができる。また商用電源との併用により，契約受電量の低減(ピークカット運転)が可能となる。

3. 3 商用電源との併用

商用電源との系統運用については，**第6図**に示すように自家発単独運転方式，並列運転方式などの方式がある。発電容量が小さい場合で，利用先によっては周波数変動などがあっても問題のないことが多いが，そのような場合は単独運転とするのが有利であることが多い。並列運転とする場合，電圧，周波数の質は電源と同一のものが得られ，負荷設備の切替操作が不要となる利点があるが，電気的な保護装置，自動負荷分担装置などの設備費の増加，契約予備電力費の負担などを検討し適当な方式を選択することが必要である。

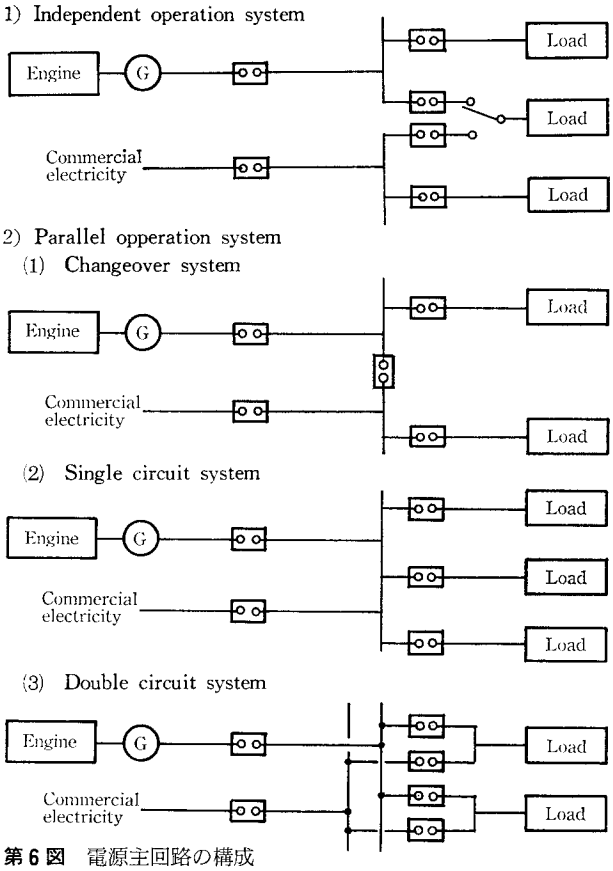
3. 4 ＡＢＣシステムへの適用

ＡＢＣシステムより発生する燃料ガスは，メタンガスが主成分でその濃度はリアクターのpHによって変動するが65—85 %，それに脱硫後で硫化水素を10—20 ppm含み，残りは炭酸ガスである。これは下水処理場で従来より利用されている消化ガスと同等と考えてよい。

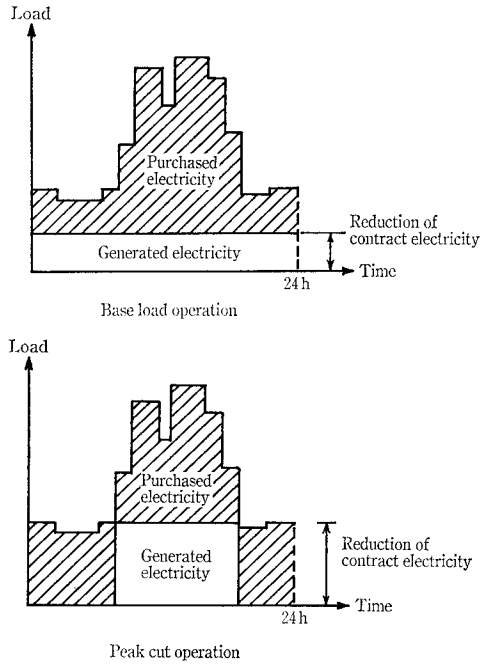
コジェネレーションのシステム効率を高くとるには，負荷に対する電気と熱の供給バランスをうまくとることが重要である。ＡＢＣシステムに導入する場合，回収した電力は，ＡＢＣシステムおよび排水処理場の動力に利用し，蒸気はＡＢリアクターの加温に利用し，余剰の電力および熱は工場で利用することが望ましい。

ＡＢＣシステムからのガス発生量が時間的に変動が少ないこと，また必要動力が比較的大きい活性汚泥処理設備が連続運転されることを考えあわせれば，発電機をベースロード運転としガスホルダー容量を小さくすることが有利となる。契約電力量に余裕のない場合，ガスホルダーを十分な容量とし，ピークカット運転を行えばコスト削減効果は高くなる。

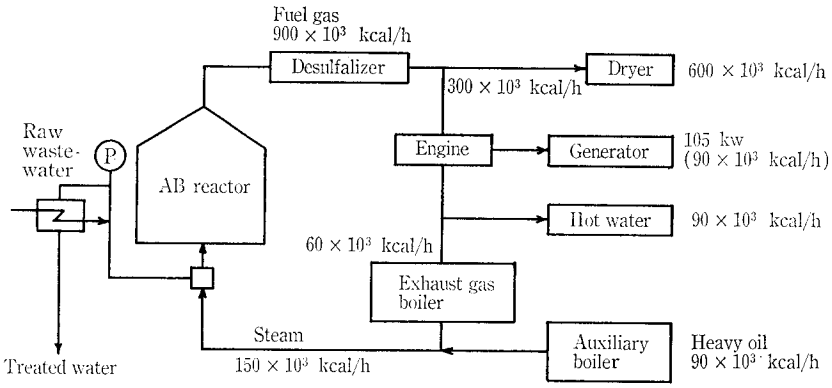
ベースロード運転とピークカット運転の概念図を**第7図**に示すが，いずれの方式を採用するにしても，電気と熱の



第6図 電源主回路の構成
Fig. 6 System of electrical circuit



第7図 発電機の運転方法概念図
Fig. 7 Schematic diagram of generator operation



第8図 N社のＡＢＣシステム熱収支
Fig. 8 ABC system heat balance of N Co. Ltd.

第1表 廃水性状
Table 1 Waste water property

Quantity	500 m³/d
pH	4～5
SS	2 000～ 3 000 mg/ℓ
BOD	10 000～12 000 mg/ℓ
COD_{cr}	16 000～18 000 mg/ℓ

第2表 ＡＢリアクター諸元
Table 2 Specification of AB reactor

Volume	1 000 m³
COD_{cr} removal	80 %
Gas generation	3 600 Nm³/d
Gas heating volue	6 000 kcal/Nm³ (Methane 70 %)

需給バランスを中心に機能的，経済的な検討を十分行うことが重要である。

4. 設備計画例

4. 1 N社のコジェネレーション計画例

当社がN社に納入しているＡＢＣシステムから発生するメタンガスのコジェネレーションの計画例を次に示す。

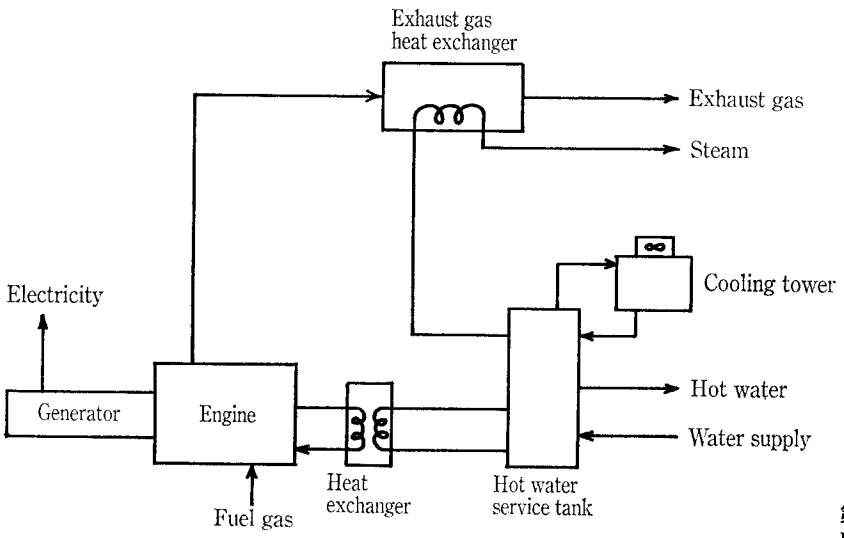
N社では，回収したメタンガスを工場内の乾燥工程に利用しているが，余剰のメタンガスは，フレアスタックで燃焼している。この計画例は，余剰メタンガスから効率的に電力および熱を回収しようとするものである。

第8図にＡＢＣシステムのヒートバランスを示す。**第1表**と**第2表**に廃水の性状とＡＢリアクターの諸元を示すが，水量 500 m³/d，CODcr 16 000-18 000 mg/ℓ の原水を1 000 m³ のＡＢリアクターに通水し，CODcr を80 % 除去し，メタン70 % 含有のガスを3 600 Nm³/d 発生させる。

第9図と**第3表**にコジェネレーションシステムの概要を示す。定格出力155馬力のガスエンジンと 105 kW の発電機を設置し，廃熱ボイラにより106 kg/h の蒸気を得る。残りは温水として回収する。

発電した電力は併設の活性汚泥処理設備の曝気ブロワーの駆動源として全量利用され，蒸気はＡＢリアクターの加温用に利用する。（温水は併設の水耕栽培場，養魚場で加温用に利用されるが，回収効果はよくわからないのでここには含んでいない。）

第4表の経済比較によれば，コジェネレーションを導入



第9図 コジェネレーションシステム
Fig. 9 Co-genetion system

第 3 表 発電機
Table 3 Generator

Engine	155 PS
Generator	105 kW
Heat recovery	150×10^3 kcal/h
Steam recovery	106 kg/h at 5 kg/cm^2

第 4 表
経済比較
Table 4
Running cost analysis

	Unit price	ABC+AS system		ABC+AS system with cogeneration	
Electricity	¥ 16/kWh	5 760 kWh/d	¥ 92 160/d	3 240 kWh/d	¥ 51 840/d
NaOH	¥ 65/kg	890 kg/d	¥ 57 850/d	890 kg/d	¥ 57 850/d
Desulfalization chemical	¥ 150/kg	55 kg/d	¥ 8 250/d	55 kg/d	¥ 8 250/d
Steam	¥ 6/kg	3 520 kg/d	¥ 21 120/d	976 kg/d	¥ 5 860/d
Sludge disposal	¥10 000/kg	2 ton/d	¥ 20 000/d	2 ton/d	¥ 20 000/d
Fuel gas for process dryer	¥ 30/ℓ	1 790 ℓ/d as Heave oil	¥ ▲53 700/d	1 790 ℓ/d as heavy oil	¥ ▲53 700/d
Total			¥ 145 680/d		¥ 90 100/d

1 year cost saving ¥ 19.5 M/y

した場合 55 580 円/d (19 500 000 円/y) のランニングコストの削減効果を得ることができ，約 2.5 年で設備費を回収することが可能となる。

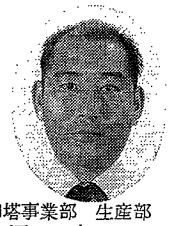
むすび

工場廃水をＡＢＣシステムで嫌気性処理して得られるメタンガスの有効利用法として，ダイスターとコジェネレーションを紹介した。従来発生ガスは乾燥や加熱用に直接燃料として利用される場合が多かったが，コジェネレーションとして電力と熱を同時に回収し，用途の拡大，負荷の平準化を図り敷地面積の低減，高い総合熱効率を得るこのシステムは経済効果も高く，今後急速に普及することが予測される。

ＡＢＣシステムによるメタンガスの回収は現在までに数十件の実績を数えているが，メタンガスの創熱電技術の進歩により，今後ますますＡＢＣシステムの適用範囲が拡大することが期待される。

重層式冷却塔の開発

Development of Double-Deck Cooling Tower



冷却塔事業部 生産部
福山 昇
Noboru Fukuyama

For the cooling tower for district heating-cooling (DHC) system in Tokyo or other metropolises and their satellite cities, reduction of installation space is strongly demanded as an important requirement because the land prices soared tremendously by recent city redevelopment booming.
This requirement stimulated us to develop an entirely new cooling tower configuration, "double decker".
In order to justify our conception and confirm acceptability to DHC applications, experiments were made in our COOLING TOWER PROVING CENTER using the full-scale test tower.
As a result of experiment, We have confirmed that about 30 % of reduction of installation space is possible.

まえがき

重層式冷却塔とは，設置面積を極端に縮小すべく，独立した冷却塔を積み重ね，これに共用の送風機によって通風して熱交換させる冷却塔である。

近年わが国の都市部においては，都市機能の向上，あるいは国際化に伴う都市の再開発といった社会情勢を背景に，地域冷暖房システムの計画が急増している。

これらの一括集中して冷暖房を行う地域冷暖房用冷却塔は，個別冷暖房用に比べ大形化するため，冷却塔の占める設置面積の縮小は，省スペース，またはスペースの有効利用の上から極めて重要な要素である。

当社はこれらの観点から，重層式冷却塔の開発に着手し，ここに，当社実験センターで行った重層式冷却塔の開発試験結果を報告する。

1. 重層式冷却塔の概要

一般に冷却塔の能力は，使用する充填材の単位体積当りの熱交換能力と，その使用量で決定される。

従って冷却塔をコンパクト化しようとすれば，熱交換能力の高い充填材が要求されるため，当社は充填材の熱効率向上は重要な問題として開発に取組み，すでに独自の高効率の充填材を開発している。しかし，いかに熱交換能力の高い充填材においても，単位面積当りの水負荷を無限に大きくすることはできない。

冷却塔を設計するに当っては，与えられた条件を満たす最も有効な水負荷と，空気速度の設定が重要である。**第1図**に重層式冷却塔の基本的考え方を示す。

従来，水負荷が限界を越えた場合，平面的に処理面積を拡張して，水負荷を調整する方法が一般的であった。

重層式冷却塔は，立体的に処理面積を拡張して，設置面積を抑制しながら冷却塔の大容量化を計るものである。

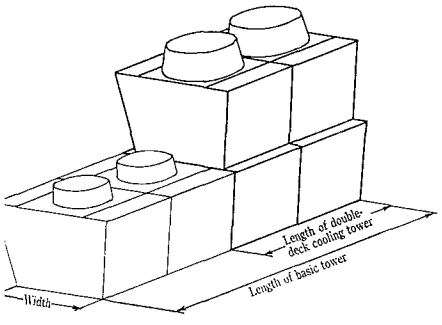
第2図に重層式冷却塔の断面の概略を示す。

従来でも，低水負荷で高温度差を要求される場合などには，単一充填層の高層化を計った冷却塔の実績は多々あるが，重層式冷却塔は図示のとおり，上層部，下層部に分離した充填層各々に，独立した温水分配槽と冷水槽を設けて，それぞれに独立した冷却塔機能を持たせ，最上部に設けた共用の送風機で通風して熱交換させる構造である。

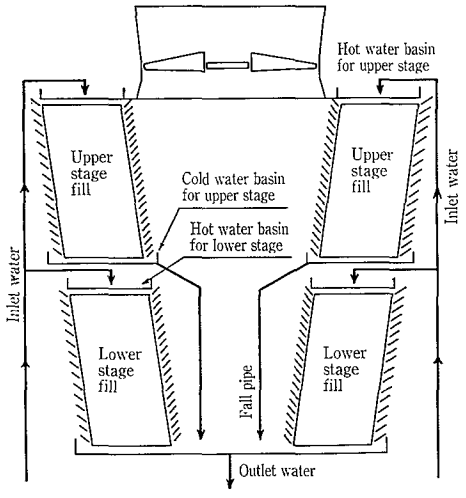
2. 塔内気流分布の検討

重層式冷却塔とした場合に生ずる重要な点は，塔高とプレナム部容積，並びに送風機能力の関係から，上層，下層毎の通風バランスの把握である。

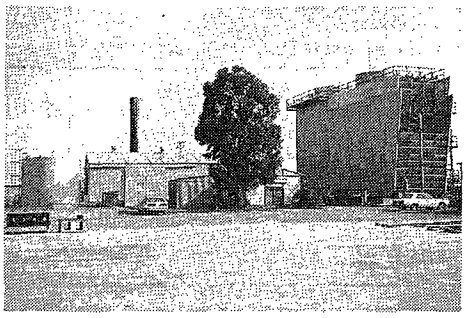
本研究では，使用する機能部品は，従来塔に変らぬものとして事前に塔高，プレナム部容積等々の仮定に基づき，電算機による気流分布の解析を実施した。



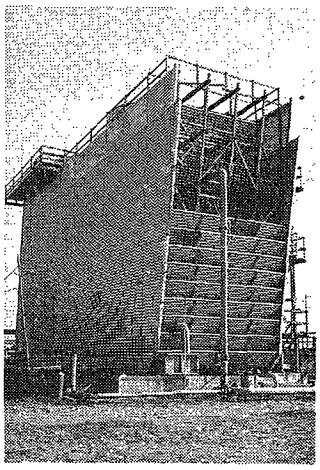
第1図 重層式冷却塔概念図
Fig. 1 Conception of double-deck cooling tower



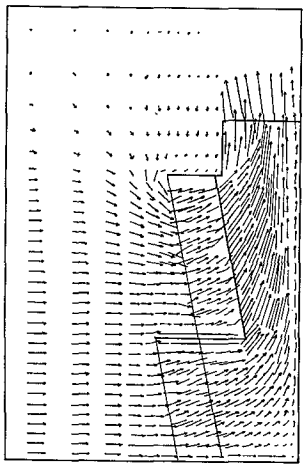
第2図 重層式冷却塔断面
Fig. 2 Sectional diagram of double-deck cooling tower



写 真 1　実験センター全景
Photo. 1　Whole view of test center



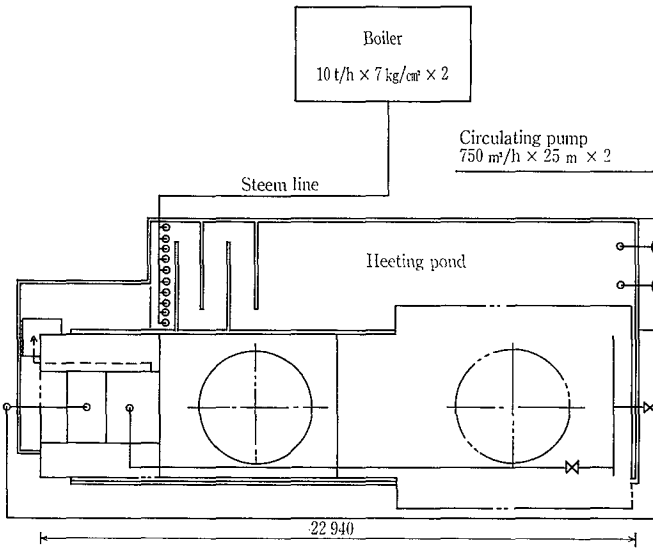
写 真 2　実験用冷却塔
Photo. 2　Cooling tower for test

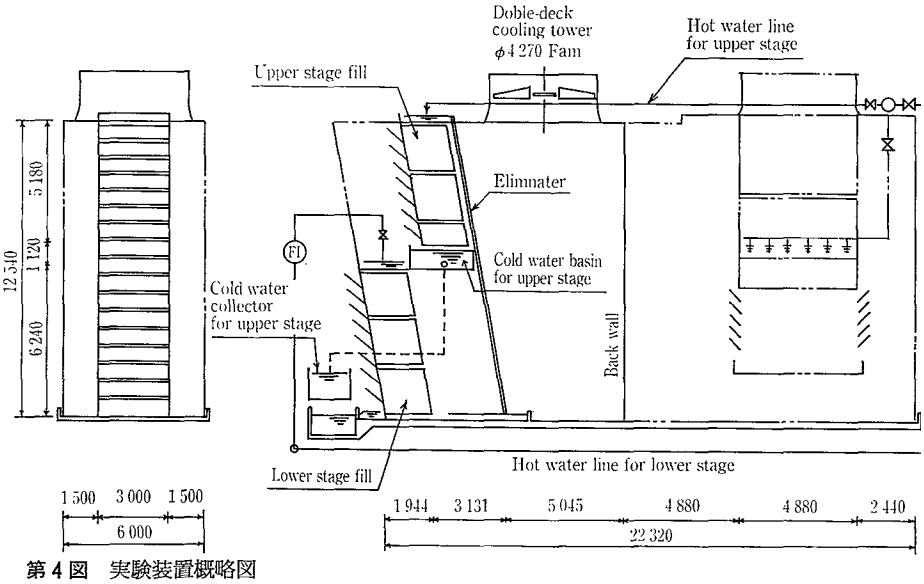


第 3 図　気流分布例
Fig. 3　Example of air flow diagram (Output by computer)

第 1 表　実験用冷却塔諸元表
Table 1　Test tower data sheet

Tower type		Cross flow (Single flow)	
Max total water flow		1 000 m³/h	
Fil	Type	Film type	
	Dimension	Upper stage	Lower stage
	Length	3 m	3 m
	Air Travel	1. 94 m	1. 94 m
	Hight	4. 75 m	5. 70 m
Fan	Type	Axial flow fan	
	Number of fan	1	
	Dia×number of blade	φ4270 mm×6	
	Fan motor rated H. P	75 Kw	
	Fan speed	282 rpm	





第 4 図　実験装置概略図
Fig. 4　Outline of test plant

そのアウトプットの一例を第3図に示す。

これは，塔内気流分布をベクトル表示したもので，各ベクトルの長さは風速を示すものである。

これら解析結果を基に，プレナム部容積，充填層の有効配置等を設定して，実験用冷却塔の基本構造を決定した。

3.　実験用冷却塔による実証試験

元来，冷却塔を重層化することによる，性能解析手法などについては，基本的には現有技術から逸脱することはない。

従って本試験は，重層式冷却塔のトータルとして，性能を最大限に発揮するための，上層，下層への最適水配分および，風量分布の把握を目的として実施した。

3. 1　試験装置の概要

写真1は，当社冷却塔実験センターの全景であり，写真2は，実験用冷却塔の外観を示す。

実験用冷却塔の諸元を，第1表に示し，実験装置の概要を第4図に示す。

社　内　ニ　ュ　ー　ス
TOPICS

東レから電気浸透式脱水装置受注

The first order of electroosmosis dehydrator received from Toray Industries, Inc

神鋼フアウドラーは９日，わが国で初めて汚泥の電荷を利用し，効率的に脱水できる電気浸透式脱水装置「スーパーフィルトロン」の第１号機を東レ千葉工場から約１億円で受注したと発表した。

「スーパーフィルトロン」は，界面動電電現象の一つである電気浸透を応用し，工場などで排出される汚泥を脱水・凝縮する廃棄物処理装置。汚泥ケーキ中の粒子と沪布側の電極を反発し合うように帯電させることにより，沪布に汚泥粒子が付着して目詰まりするのを防ぎ，効率よく排水・凝縮処理が行える。

とくに独自の圧さく工程を加えることにより，ベルトプレス型の従来機種に比べ，脱水力を３倍以上も向上。これにより今回の第１号機に続き，年度内に約５億円，５年後には50億円の受注を見込んでいる。

('88. 5. 10　日本工業新聞)

高効率排ガス処理装置―― 電気集じん装置とスクラバー機能複合化

High efficiency exhaustgas treating system has combined function of scrubber and electrostotic separation

神鋼フアウドラーは９日，米国の環境装置メーカ，シルコート社（社長・G・ベント氏，オハイオ州ビレア）との技術提携をもとに，電気集じん装置とスクラバー機能を複合化した高効率の排ガス処理装置「イオンスクラバー」を開発したと発表した。従来の電気集じん機とガス清浄装置であるスクラバーを接続するシステムに比べ，大幅にコストダウンでき，処理時間も短縮できる。

「イオンスクラバー」は単一のチャンバー内に，排ガス中の微粒子と液滴をマイナスに荷電させるイオン化ゾーンと，シルコート社が開発した特殊樹脂製のスクラバーゾーンを併設したガス処理装置。イオン化ゾーンで荷電されたガスの粒子や滴がスクラバーゾーンで，0.05ミクロンの粒子まで同時に除去，精製される効率設計となっている。

これは物理現象の一つであるミラーイメージの応用により，スクラバーゾーンの中性表面に荷電粒子が反映誘引力で引きつけられ，集じんとガス清浄の複合機能が発揮される仕組み。このため従来の排ガス処理装置のように電気集じん機とスクラバーを個別にセットする必要がなく，建設コストやスペースの削減が図れる。

とくにシルコート社との技術提携により本体材質にＦＲＰや耐熱性樹脂を使用しているのに加え，電力使用量の少ない省エネ機構を採用。これにより塩化水素やふっ化水素，塩素など酸性ガスによる腐食性もない。また耐久性に優れ，イニシャルコストで約３割，ランニングコストで約５割節減できる。

神鋼フアウドラーでは，排ガスの処理量に応じて10機種を用意。９日から13日まで，東京・晴海で開かれる「'88下水道展」に出品後，本格販売を開始する。

('88. 5. 10　日本工業新聞)

「粉粒」製造機を販売―― スイスの会社と契約

Import sales of powder and pellet handling machines from switzerlaud

神鋼フアウドラーは，スイスの粉粒体機器の専門メーカー，フリーマ社（本社・ラインフェルト市，資本金１億円）と，各種機器に関する日本国内での総販売代理店契約を結び，５月から本格販売を開始した。

主な機器は真空乳化プラント「ＶＭＥ」，湿式破砕機「コロイド・ミル」，湿式微粒化機「コランダム・ミル」の３種類。

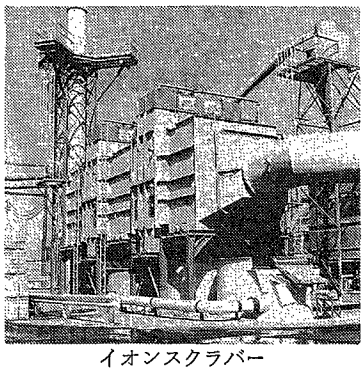
このうちＶＭＥは，真空の容器内で各種のねばり気のある原料を均質に混合する装置で，気泡ができないほか，従来の国産品に比べて混合時間が短くて済む。サラダ，マヨネーズの食品類やクリーム，口紅などの化粧品向けに販売する。

また，コロイド・ミルは歯の付いた回転体と静止体の間のすき間をくぐらせて，数mmの混合体を5/100 mmまで小さくでき，マヨネーズなど食品類や歯磨き，塗料などの製造に使われる。

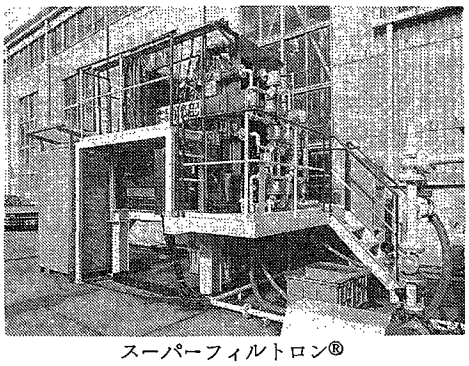
コランダム・ミルは，コロイド・ミルの歯付き回転体と静止体を特殊な砥石に変えたもので，原料を 1/100 mm以下に細かくでき，果肉ジュースや，医薬用の軟膏類の製造向け。

これら機器は容量によって価格が異なるが「既存の国産品に比べてかなり安くなる」としている。初年度は１億円，３年後には５億円程度の販売を目指している。

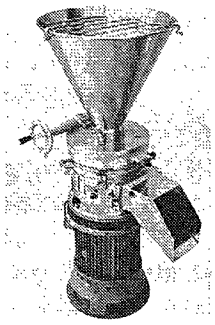
('88. 5. 12　神戸新聞)



イオンスクラバー
Ion Scrubber



スーパーフィルトロン®
Super-filtron®



コランダム・ミル
Corundum Mill