神鋼フアウドラー技報 1984 Vol. 28 No. 2 通巻102号 Shinko-Pfaudler Engineering Reports

次 目

。発酵プロセスの計測制御システム(第一報)	Ĺ
。微粉砕機「コボール・ミル」	5
。冷却塔の省エネシステム	}
。ABCシステムによる食品工業廃水の連続処理試験結果)
。姫路セントラルパーク向堆肥化施設	5
。逆浸透装置によるメッキ排水の再利用)
。社内ニュース	;

CONTENTS

• Instrumentation and Control System for Fermentation Process (I) 1
• FRYMA CoBall-Mill, the New Generation of Stirrer Ball Mill 5
• Energy Saving System For Water Cooling Tower
• Continuous Test Results of Food Processing Waste Water Using
Anaerobic Bio-Contact System
° Compost Facilities at Himeji Central Park ······25
• Recycling of Metal-Plating Rinse Waste Water Using RO System
• News



<表紙写真説明>

西日本一のスケールでサファリと遊園地が合体した姫

西日本一のスケールでサファリと遊園地が合体した姫 路セントラルパークが3月25日オープンした。 当社は生活用(350m³/日),動物用(60m³/日)の排 水処理施設を納入した。本施設は、大きな負荷変動に対 応できるよう工夫がとらされ、高度処理した処理水は園 内で散水や中水道として利用されクローズド化している。 又、当社はサファリの動物の数等の堆肥化装置(コン ポスト) も伴わせて知り ポスト)も伴わせて納入した。

Himeji Central Park, a combination of safari park and amusement park and the largest of its kind in western Japan, was opened to the public on March 25, 1984.

Shinko-Pfaudler installed treatment facilities for both domestic waste water $(350 \text{ m}^3/\text{day})$ and wildlife waste water (60m⁸/day).

The facilities were designed so that they adjust themselves to high load fluctuations and so that the effluent of the advanced treatment is used within the enclosed system for watering and intermediate water supply. Along with these facilities we also supplied a facility for converting wildlife droppings in the safari park into compost.

発酵プロセスの計測制御システム_(第一報)

Instrumentation and Control System for Fermentation Process (I)

技術開発本部 栗林宏明 Hiroaki Kuribayashi 堀口真 Makoto Horiguchi

A trend in fermentation control technique and the characteristics of our control system were described. Experimental results showed that our DO-stat system functioned correctly.

発酵プロセスの制御技術の動向と,当社で製作した発酵 プロセスの制御システムの特性について述べる。我々のD O定値制御システムが設計通りに機能することが,実験結 果で明らかとなった。

1. まえがき

生産の効率化,省力化,安全性の向上を目的とした高度 なプロセス制御システムは、一般化学工業ではすでに導入 されているが,発酵工業ではあまり例を見ない。しかしな がら最近になって,数ℓの発酵槽の規模ではあるが,予測 制御や多変数制御,さらには最適化制御といった高度なプ ロセス制御が,研究されはじめた^{1),2)}。

近い将来,実装置規模の発酵プラントにも高度制御シス テムが導入されるものとして,当社においても発酵プロセ ス制御技術の開発を進めている。本稿では,第一報として 定値制御システムとDO(溶存酸素)の定値制御実験結果 を紹介する。

2. 発酵プロセス制御の現状

発酵プロセスは, 雑菌による汚染を嫌うこと, 長時間の 培養中には突然変異により微生物に生理的な変質が起こり 得ること, さらには生産方式が多品種少量生産方式である こと等の理由により, 回分式もしくは半回分式(流加式) で運転されることが多い。これらの運転方式によれば発酵 槽内は, 微生物の濃度や微生物の代謝的特性, さらには基 質濃度や代謝物濃度等が時々刻々と変化する非定常状態を 呈する。

このようなプロセスに対して,工業的規模では主な環境 因子の定値制御が一般的である。高度なプロセス制御シス テムの導入例が少ない理由として,次のような事が考えら れる。

- 1) 微生物による生化学反応が複雑であるため、その機 構が明らかでない。
- 2) 生化学反応機構が未解明なため、当然ながらその制 御機構も未確立である。
- 3)発酵槽内で使用するセンサーには、装置及び培地を 高温で殺菌するため耐熱性が要求される。このため槽 内の環境因子を計測する手段が限定される。

4)発酵液中の代謝物を直接検出する手段が少ない。

しかし最近になって,高性能なpH計や DO 計等が開発 され,また制御アルゴリズムに従って限られた情報を処理

Vol. 28 No. 2 (1984/6)

し,高度な制御を実行するコンピュータが手軽に利用でき るようになって,高度なプロセス制御の研究開発が多方面 で進められるようになった。

3. 計測制御システム

工業的レベルで使用されている化学的環境因子測定用の 計測器としては、pH計, DO計, ORP(酸化還元電位) 計,及び酸素計,炭酸ガス計(ともに排ガス計測用)等が ある。物理的環境因子測定用の計測器には、温度計,圧力 計,搅拌消費動力計,回転計,流量計,液面計等がある³⁾。

第1図に、当社がパイロットプラントとして設計した通 気撹拌槽式発酵槽の制御システムを示した⁴⁾。 このシステ ムにおいては、入力信号の読取り、演算、プロセス制御、 データ集積、モニタリング、アラーミングの各作業をコン ピュータが実行する。計測対象は**第1図**に示した通りであ るが、制御対象は pH, DO, 培養温度, 泡面である。各 々の操作端は次の通りである。

pH : pH 中和剤弁

DO:空気弁と撹拌機モータ

- 温度:冷却水弁
- 泡面:消泡剤并

また演算項目は、 k_La (酸素移動容量係数), RQ (呼吸商), $Qo_2 \cdot X$ (菌体による酸素消費速度) である。これ らの計測値や演算値は、培養状況を監視するために経時変 化図としてまとめられ、 CRT (Cathode Ray Tube) に 表示される。

当システムでは装置及び培地を殺菌するためにシーケン サを使用しているが,コンピュータからの信号により弁を 開閉させて殺菌を自動的に行うことも可能である。

第2図に、パイロットプラントの制御システムのハード ウェア構成を示した。泡検知器以外の計測器はすべてアナ ログ量で作動しており、それらの信号はまず電流電圧変換 処理を受け、次にアナログ・デジタル変換処理を受けて拡 張バスに乗る。 CPU(Central Processing Unit:中央 処理装置)では各々の制御アルゴリズムに従って測定デー タが演算されて、各制御対象に応じた操作量が決定され出 力される。

境拌機回転数変更用のインバータへの出力信号以外は, デジタル信号のままでリレー回路に入り, pH 中和剤弁や 空気弁等の操作端を作動させる。



第1図 発酵プロセスの制御システム Fig.1 A schematic diagram of fermentation control system



Fig. 2 Computer configuration

4. DOの定値制御システム

制御機構がシンプルで取扱いが容易なDO定値制御シス テムを製作し,実培養系でその制御機能の確認実験を行っ たので,以下に概要を述べる。

DO制御は,微生物への**DO**阻害を回避し 発酵収率を高めること,及び発酵槽の通気・ 撹拌に要する運転費を軽減させること,さら には省力化を目的として行われる。

通気撹拌式発酵槽 における DO は 次式に 従う⁵⁾。

$$\frac{\mathrm{dC}}{\mathrm{dt}} = \mathbf{k}_{\mathrm{L}} \mathbf{a} (\mathrm{C}^* - \mathrm{C}) - \mathrm{Qo}_2 \cdot \mathbf{X} \qquad \cdots \cdots (1)$$

ここで

k _l a	:酸素移動容量係数	1/hr
С*	:培地中の酸素飽和濃度	${ m mgO}_2/\ell$
С	: 〃 の酸素濃度	${ m mgO}_2/\ell$
Qo_2	:菌体の比呼吸速度	mgO_2
		/gcell•hr
х	:菌体量	gcell/ℓ
t	:時間	hr

 $Qo_2 \cdot X$ が増減する系において DO, すな わち(1)式ではCを一定に保つ(即ち, 左辺= 0となる)ためには, k_{La} を変化させねばな らない。しかしこの k_{La} は通気量と撹拌機回 転数の関数であり, DOを定値制御するため には,この2変数を制御することが必要とな る。但し各培養系にはそれぞれに固有のある 幅を持った最適な通気撹拌条件が存在してお り,その範囲内で制御する必要がある。

第3図に、DOの定値制御プログラムのフ ローチャートを示した⁶⁾。 制御フローの概略

を以下に説明する。

1) 目標DO値,通気量,撹拌機回転数の変更方法,変 更幅,上下限値,運転初期値,データ集録間隔,待ち





時間(詳細は後述する)等の 操作条件 をインプット し,運転を開始する。

- DO計,空気流量計,撹拌機回転計等の計測器から 測定値を読込む。
- 3)各測定値や目標DO値, さらには k_La, Qo₂・X等の 演算値をCRTに表示する。
- 一定時間毎にフロッピーディスクに運転データを集 録する。
- 5) 目標DO値と測定DO値を比較し,通気撹拌条件の 変更の必要性を判断する。
- 6)通気量と撹拌機回転数のどちらを変更するかを判断し、目標値と測定値との偏差に応じた操作量を決定し 各操作端を作動させる。
- 7)酸素が培地へ溶解する時間と,DO計の応答遅れを 補正するために一定時間待機する。

2)~7)の動作をくり返し実行し,時々刻々に変化する DOを定値制御する。

上記の制御フローの中で最も重要な動作は6)の通気撹拌 条件の変更動作である。そのため、各培養系に固有の最

神鋼フアウドラー技報

適な通気撹拌条件に精通した上で、この部分の制御プログラムを設計する必要がある。

通気撹拌条件の基本的な変更方法には次の 3通りの方法があるが,変更幅も考慮してこれらを単独もしくは組合せて使用し,最適な DOの定値制御プログラムを組立てることになる。

- 1) 通気量は一定とし, 撹拌機回転数を変 更する。
 - 2) 通気量と回転数とを交互に変更する。
- 3) 回転数は一定とし,通気量を変更する。

5. DOの定値制御実験結果

前項で説明したDOの定値制御システムの 機能を確認するため,100ℓ発酵槽を用い,第 1表に示したグルコン酸発酵系でDOの定値 制御実験を行った。

DOの定値制御結果を第4図に示した。図 には対照として、DOを制御しない場合の DOの経時変化も併せて示した。DO定値制 御した場合でも、培養開始後10時間前後まで は菌体の酸素消費速度が小さかっため、発酵 槽DOを目標DO値の $2 mgO_2/\ell$ に制御でき なかった。しかしこれ以後は、目標値の ± $0.5 mgO_2/\ell$ 以下の範囲内に制御できた。こ の制御精度は、従来の研究例⁶⁾に見られる制 御精度とほぼ同程度のものである。

これに対してDOを定値制御しない場合に は、培養20時間前後までの培地は酸素飽和状 態を示し、そしてこれ以後に急激なDOの減 少が始まった。50時間以後になるとDOは1 mgO_2/ℓ を切り、ついには酸素不足に至った。 なお、この場合の通気撹拌条件は、通気量: $80N\ell/min, 撹拌機回転数:200 rpmであった。$

第1表 グルコン酸発酵操作条件

Table. 1 The method of gluconic acid fermentation

Strain	
Aspergillus niger	IFO No. 4414
Medium composition	
Glucose	50 g/l
$MgSO_47H_2O$	1 //
KH ₂ PO ₄	1 //
CH₃COONH₄	1 //
Cultivation method	
Type of process	Batch
Medium volume	70 l
$_{ m pH}$	5.8
Temp.	30° C
Air flow rate	10~80 Ne/min
Agitation speed	100~300 rpm
pH neutralizing agent	2. 5N-Na ₂ CO ₃
Defoaming agent	1% soln. of Silicone-KM70
Fermenter capacity	100 <i>l</i> (see photo. 1)



Fig. 4 The result of DO-stat cultivation

本実験では発酵収率等の検討を行うには至らなかった が、少なくとも前項で述べたDOの定値制御システムが設 計通りに機能することが判明した。

6. むすび

今までに述べてきたように,発酵プロセスの最適な制御 システムを設計するには,発酵槽の持つ通気・撹拌・混合 に関する特性と,微生物の物理的生化学的特性,さらには 計測制御理論を十分に把握し,これら三者を有機的かつ高 精度に結合させることが必要である。

本稿においては、上記の設計方法に基き設計製作した発 酵プロセスの 定値制御 システムと、これを 用いて行った **DO**の定値制御実験結果を紹介した。

なお当社はこの他に,写真1に示したパイロットプラン



写真1 発酵パイロットプラント(容量100ℓ) Photo.1 Pilot plant for fermentation (Cap.100ℓ)

トを用い,無菌保持技術や,シーケンサによる自動殺菌技術,さらには雑菌汚染判定技術等に関する実験を行い,エ ンジニアリング資料として整理しつつある。これらの詳細 についても,別稿で報告する予定である。

〔参考文献〕

- 1) 吉田敏臣:ケミカル, エンジニヤリング, Vol. 22, No. 6 (1983), p. 19.
- 2) 岸本通雅ほか:計測と制御, Vol. 22, No. 6 (1983), p. 43.
- 3) Aiba S. et al.: Biochemical Engineering, (1973) Univ. of Tokyo Press (永谷正治訳)
- Wang, H. Y. et al.: Biotechnol. Bioeng., Vol. 19 (1977), P. 69.
- 5) 合葉修一ほか: 生物化学工学, (1975), 科学技術社
- Takuo Yano et al.: J. Ferment. Technol., Vol. 59, No. 4 (1981), p. 295.

微粉砕機「コボール・ミル」

FRYMA CoBall-Mill, the New Generation of Stirrer Ball Mill

技術開発本部

谷 口 十 一 Toichi Taniguchi

CoBall-Mill, the new generation of stirrer ball mills developed by FRYMA, will now be discussed. The CoBall-Mill's grinding chamber is in the form of a W-shaped gap, through which the suspended matter is forced to flow.

It generates very high energy density in the grinding zone, and is designed to allow the product to be moved from the inside in an outward direction. In addition, the shape of the grinding chamber provides an excellent ratio of grinding chamber surface to volume. The application fields of CoBall-Mill are as follows: paints, pharmaceutical suspensions, pesticides, insecticides, chocolate, lipstick compounds, ferrite suspensions for magnetic tape, fine ceramics, and bio-industry.

FRYMA 社により 開発された 新しい 形式の媒体撹拌ミ ルの一種, コボール・ミルについて紹介する。粉砕室をW 形の狭いギャップで構成することにより, 高いエネルギー 密度が得られ, 粒子のショートパスを防ぎ, 大きな冷却面 積を取れるため操作温度を低く抑えることができる。また メディアのミル内循環により, 高粘度サスペンジョンにも 使用可能である。

塗料, 医薬, 農薬, 食品, 化粧品, 磁気テープ, セラミ ックス, バイオなど幅広い産業分野の微粉砕, 分散に適用 されている。

1. まえがき

この数年来, 微粉ないし超微粉が, 産業界の各方面から 注目を集めている。たとえば, ニューセラミックス製品の ひとつであるエレクトロニクス素子を取り上げても, その 素子寸法は年々小さくなっており,数十 µ程度の厚さや幅 が要求されるものが現われている。¹⁾ このような寸法を実 現させるには, その原料粉末を微粒化することが必要とな ってくる。

また、オーディオあるいはビデオ用磁気テープの分野に おいても、長軸寸法で 0.3μ 程度の針状磁性体をビヒクル中 に分散する技術によって、そのテープの特性が大きく左右 されるという。このように、微粉の製造およびその利用技 術の両面にわたり、大きな技術革新の波が押し寄せて来て いる。

微粉の製造プロセスには、各種粉砕機を用いる機械的粉 砕プロセスや、アトマイズ法で代表される溶湯噴霧法、さ らに真空蒸発法などによる粒子成長プロセスがある。粉砕 プロセスでは、粒子成長プロセスによるようなオングスト ローム(Å)単位で測定される超微粒子を生成することは不 可能である。しかし、固体に物理的な外力を加えて細分化 していく過程で、固体粒子に物理化学的な変化を与えるこ とができる。このような、メカノケミカル反応とよばれる 機械的な作用に対する物質変化が粉砕プロセスに 期待さ れ、たんに微粉を製造するだけでなく、その粉体物性を改 質する目的で粉砕機が利用される場合も多い。

このたび弊社では、非常にユニークな発想に基づく、新 しい形式の媒体撹拌 ミル、スイス FRYMA 社のコボー ル・ミルを、そのsole agent たる Rieckermann(Japan) 社と契約し,輸入販売ならびにエンジニアリング・サービスを行うことになった。本稿では,優れた微粉砕および分 散性能を有するコボール・ミルについて,機構および特長 を従来の媒体撹拌ミルと比較して説明し,その使用例を紹 介する。

2. 媒体撹拌ミルの歴史

ュボール・ミルについて述べる前に,簡単に,媒体撹拌 ミルの歴史について振り返ってみる。

湿式粉砕機もしくは分散機のなかで、最も古い形式はボ ールミルである。2個のボールの衝撃により粉砕が生じ その粉砕の程度は、ボールの衝突する回数と衝突エネルギ ーの大きさによることを利用し、回転する水平円筒内にボ ールを充てんして、そこに砕料を含むサスペンジョンを入 れ、回分式により粉砕あるいは分散が行なわれて来た。

媒体撹拌ミルは、1928年 Klein および Szegvari によ り考案されたスイス特許による分散機²⁾ に始まると考えら れている。これは、第1図に示したように、中空の垂直撹 拌軸により静置容器内のメディア(大きなボールと砂の混 合物)を撹拌する。未分散サスペンジョンは、中空軸より





ミル底部に供給され,分散製品は上部から回収される。メ ディアと製品は比重差により分離され,メディアは容器内 こ留まる。

Szegvari は、これをさらに発展させ、粉砕機として第 2図に示す撹拌ミルを考案した。²⁾ 直径と高さの比がほぼ 1であるミル容器内に、比較的大きなメディア(ボール)を 乞てんし、砕料を含むサスペンジョンを、ポンプを用い容 居底部から引き抜き、再び容器上部からミル内にリターン する循環方式が採用された。ボールミルと比べて、撹拌軸 国転により、メディアの回転加速度が増加されたため、粉 や効率は上昇した。しかし、回分式であることから、処理 量はあまり増加しなかった。

近代的な高速媒体搅拌ミルの最初のものは、Du Pontに とり1952年に発表された塗料製造用のサンド・グラインダ - である。²⁾ サンド・グラインダーの名称は、メディア と って、従来のボールに代わり粒度の小さい砂、それも 0.5 ~0.8 mm 程度の Ottawa sand (砂)が使用されたことに よる。第3図に示したように、メディアを充てんした容器 均で、多段ディスクを高速回転させながら、未分散顔料サ スペンジョンを連続的に供給する。サスペンジョン中の顔 斗は、ディスクの回転により搅拌されたメディア間に発生 する摩擦、せん断力により分散される。容器上部に達した ペースト状のサスペンジョンは、スクリーンでメディアと }離され、連続的に製品として取り出される。

このサンド・グラインダーの登場により,連続処理が可 にになるとともに、メディア自体も小さなものが使用され こためメディア間間隙も小さくなり、より微細に粒子を粉 ቅしながら分散できるようになった。ただし、メディアの 質量が小さいことから、効果を上げるためにはメディアの 到転速度を十分大きくする必要があり、撹拌軸を従来の数 音もの高速で回転するようになった。この後、媒体撹拌ミ レは、このサンド・グラインダーの原理をそのまま適用し ながらも、粉砕性能、分散性能を高めるため、種々の形状 をしたディスクが工夫されるとともに、メディア撹拌によ る発熱現象をできるだけ抑える目的で、ミル容器のほか、



coolingwater 第4図 媒体撹拌ミル Fig.4 Agitation Bead Mill

П

撹拌軸も冷却するタイプが考案され,さらに,従来のたて 形だけでなく,横形のものも市場に出て来た。

3. コボール・ミルの開発経過

以上に述べた媒体撹拌ミルの一例を第4図に示した。デ ィスクまたはピン状の撹拌翼を持つ,垂直あるいは水平の 円筒状の粉砕室に,鉄,ガラス,セラミックなどの粉砕メ ディアが充てんされている。メディア径は,一般的に,0.5 ~3 mm, 充てん率は70~90%の範囲にある。撹拌翼の回 転によりメディアが運動させられ,このメディア間を,固 体粒子を含むサスペンジョンが,軸方向にポンプにより送 液される。

サスペンジョン粒子は,主として,メディア間の速度差 によって生じるせん断力により,粉砕あるいは分散される。

従来タイプの媒体撹拌ミルでは、このせん断力が強く作 用する領域は, 撹拌翼のごく近傍に限られ, 撹拌翼から少 し離れると非常に弱くなり、ミル内のせん断力分布は極め て不均一であった。このため粉砕粒度がそろわず, 製品の 粒度分布が広くなる欠点があった。

この欠点を解消するために考案されたのが, 第5図(a)に示したアニュラー(環状)タイプのミルである。ミル内の



第5図 コボール・ミルの来歴 Fig. 5 Development of CoBall-Mill

せん断力をほぼ一様にするため,粉砕ゾーンを狭いギャッ プにしたものである。内側のコニカル状容器が回転し,外 側が固定され,このロータとステータの間のアニュラー部 に,従来タイプの媒体撹拌ミルと同様の大きさをした球形 のメディアが充てんされ,粉砕室を形成している。ロータ とステータとの間は,メディアが4個ならぶ間隔としてい る。1個もしくは2個のメディアでは摩擦のためロータが 回転せず,3個ではメディアの動きが悪く,そのまん中に はさまれるメディアが割れたりするため,メディア配列と して,フリーに動き得る最小のものとして4個が選ばれ た。

しかし、この形状では、 ミルに 供給された サスペンジ ョン粒子が、 ミルの円周方向にまわりながら軸方向に動い ていくスパイラル 運動 によりミル 出口に 達するだけでな く、 ミル軸方向にショート・パスする可能性があった。従 来の媒体撹拌ミルで、製品の粒度分布が広い理由として、 ミル内せん断力の不均一分布のほかに、撹拌軸回転により メディアに生じる遠心力のため、 ミル容器壁面付近のメデ ィア濃度が高くなり、この結果、撹拌軸近辺ではメディア の存在が少なく、そこを粒子がショート・パスして十分な 粉砕が行なわれないことが指摘されてきた。

このショート・パス現象を避けるため,**第5**図(a)の原形 を(b)から(c)のように,中央で折り重ねた。ミル下部A点か ら供給された粒子は, B~Cの径路をへて出口 D 点に至 り,ショート・パスが無くなった。また図(a)と比べて,同 一の径路長さに対して,機器をコンパクトにすることがで きた。

さらに、図(d)の形状にすることにより、D点とA点を結 び、メディアをミル内で循環することが可能になった。こ のため、サスペンジョン粘度が高いものでも、メディアの 運動が拘束されることなく、処理できるようになった。



第6図 コボール・ミル概形図 Fig. 6 Schematic CoBall-Mill



このようにして,第6図に示したコボール・ミルが誕生した。

4. コボール・ミルの機構

写真1にコボール・ミルMS-32型を示した。第6図に より、コボール・ミルの機構を説明する。断面が逆三角形 をした環状の容器(ステータ)の内部で回転軸に取り付け られた同じ断面形状のロータが回転している。このロータ の最大径における周速は、10 m/sec ~15 m/sec 程度であ る。ロータとステータとの間のギャップに粉砕メディアを 装入し、このギャップが粉砕室となり、幅は前述のように メディア4個分である。したがって、ギャップは選定した



メディアの大きさによって決められる。またメディアの充 てん率は、一般に50~70%の間で選ばれる。

サスペンジョンは、ミル下部の入口から、モノポンプま とはギアポンプで供給され、コニカル形の粉砕室で粒子が 分砕、分散される。ミル入口より出口方向に向かって、ロ ータ周速が徐々に増加し、このため粉砕エネルギーも次第 こ高くなる。粒度が細かくなったものを、さらに粉砕する こは、より高いエネルギーを必要とすることからも、これ よ好ましいことである。

処理されたサスペンジョンは、回転軸に取り付けられた 回転リングと、容器側に固定された静止リングからなるギ ャップ・セパレータにより、メディアと分離されて、ミル から排出される。このギャップ幅は、メディア径の約1%で ある。

一方,メディアは,遠心力を利用してW形の粉砕室を順 こ移動して行き,ロータのハブ部にあけられたメディア循 冪用の孔から再び出発点,すなわちミル内のサスペンジョ ン入口まで戻り循環して行く。

またコポール・ミルでは、ステータおよびロータが冷却 できる。ステータ側はいわゆるジャケット構造であり、ロ ータ側の冷却は、回転軸からロータに2本のパイプを通し 令却水を供給、排出する構造となっている。

回転軸の軸封部は, メカニカル ・ シールを 採用している。

5. コボール・ミルの特長

コボール・ミルの特長を、従来タイプの媒体撹拌ミルと 比較して述べる。³⁾ コボール・ミルでは、粉砕室を狭いギ ャップで構成したことにより種々の利点が生じている。

1) エネルギー密度が高く、微粉砕が可能である

コボール・ミルは粉砕室容積が小さいが, モータ馬力は 従来タイプの媒体撹拌 ミルとほぼ同じ 範囲に 設定してい る。したがって, 粉砕室におけるエネルギー密度は, その 容積比に逆比例して, 極めて高くなっている。第7回に, ミル断面におけるエネルギー密度を, コボール・ミルと従 来タイプの媒体撹拌ミルで比較した。

ミル断面におけるコボール・ミルのエネルギー密度は, ほぼ一様で8kw/dm³程度であるのに対し,従来タイプの ものでは,ロータの極く近傍のみが高く,ミル断面で見る と非常に不均一で,平均で1.5 kw/dm³にも満たない。

コボール・ミルでは、その粉砕エネルギー密度が一様に



高いため,サスペンジョンに強いせん断作用を与え,粉砕 および分散性能が非常に良くなり,サプミクロン域の粉砕 や処理量の増加が期待できるとともに,製品の粒度分布が シャープになる。

第8図には、コボール・ミルと従来タイプのものについ て、その平均エネルギー密度を、粉砕室容積に対して比較 した。従来タイプの媒体撹拌ミルでは、処理量を増やすた めミル容積を増加させると、エネルギー密度が低くなって いくのに対し、コボール・ミルでは、ミル容積に関係なく エネルギー密度はほぼ一定となり、従来タイプの4~10倍 にとることができる。これは、コボール・ミルが、その粉 砕強さを減らすことなく、スケール・アップできることを 示している。

2) 冷却効果が極めて高い

一般に媒体撹拌ミルによる粉砕では、メディアの撹拌速 度を上げ、その運動を盛んにすることによって、粉砕性能 を上げることができる。しかし、このとき運動エネルギー の大部分が熱エネルギーに変化し、サスペンジョン温度を 上昇させることから、その冷却方法が問題となる。コボー ル・ミルは、エネルギー密度が極めて高いにもかかわら ず、従来タイプのものに比べて粉砕時の温度を低く保つこ とができる。これは第9図に示したように、粉砕室容積に 対する冷却面積の比が、従来タイプのものよりかなり大き く、非常に効率の良い熱交換ができるためである。

したがって、製品の温度コントロールが容易であり、熱



敏感性の高いサスペンジョンや,低沸点溶剤を含むサスペ ンジョンの粉砕,分散に適する。

3) 高粘度のサスペンジョンが処理できる

コボール・ミルは、従来、3本ロール・ミルでしか処理 できなかったような高粘度のサスペンジョンに対しても有 効であり、かなりの実績を有している。従来タイプの媒体 撹拌ミルでは、高粘度のサスペンジョン中でメディアが運 動しにくく、そのためせん断力が働かず、粉砕、分散作用 が不十分であった。しかしコボール・ミルでは、第6図に 示したように、メディアがミル内で循環するシステムを採 用しているため、メディアがサスペンジョンの粘度の大小 にかかわらず自由に運動し、効果的な粉砕、分散が行われ る。

4)粒子のショート・パスが無く、シャープな粒度分布 が得られる

コボール・ミルの 粉砕室は, 特殊な形状 をしているため, サスペンジョンは, ミル入口からW形の径路を順に出口方向に進み, 従来の媒体撹拌ミルに見られたような, サスペンジョン粒子がミル内でショート・パスして排出されるようなことは無い。したがって, 製品の粒度分布を極めてシャープにできる。

さらにコボール・ミルでは、その狭い粉砕室で、テイラ ー渦⁴⁾ とよばれるドーナツ状の渦を形成する。これは**第10** 図に示したように、中心軸を共有する二つの円筒のうち、 外円筒を固定し、内円筒をある範囲内の回転数で回転させ た場合、この二つの 円筒にはさまれた 環状部にある 液体 が、内円筒を取巻く ドーナツ 状の渦を形成 する現象であ る。このため、メディアも粉砕室内の渦流中で運動し、遠 心力により粉砕ゾーン外周側に押しつけられて動きが拘束 されることが無い。

また,テイラー渦が生じると,渦間の境界をこえる流体 の交換,物質移動が非常に小さくなるため,サスペンジョ ンがピストン流れに近い状態となり,粒子のショート・パ ス現象を防ぐ。

そのうえ,粉砕ゾーン内外周での流速が大きくなり,境 膜係数が良くなり,熱伝導に寄与するため,冷却効果も促 進される。

5)洗浄が極めて簡単であり、製品ロスも少ない

コボール・ミルは、洗浄が非常に簡単で、多品種少量生

産に適する。この理由は、構造が簡単で、接液部が容易に 着脱できるとともに、粉砕室の容積が小さく、その中に充 てんされるメディアの量も少ないことによる。

たとえば、100~250 ℓ/h 程度の処理量をもつMS-32型 の粉砕室容積は約 3ℓであり、充てんに必要なメディア量 は2ℓ程度である。これを洗浄するには、約15ℓの溶剤があ れば十分である。まずミル出口とミルへの供給タンクを配 管で結び、約5ℓの溶剤を系内で循環させながらミルを洗浄 する。次いで、その連絡配管を切換え、残りの10ℓの溶剤 を用いて、ワンパスでミルのすすぎを行えば、別の製品を 処理する程度にまで洗浄できる。このとき、クロス・コン タミを避けるには、処理開始時の5ℓ程度を除外すれば、そ れ以降は製品として取り出すことができる。この洗浄に要 する時間は、作業員1人で30分もあれば十分である。

またコポール・ミルの容器は, 蓋板と接続している4本 のボルトを外すだけで, 水圧により, 上下方向に昇降でき る。

MS-32型に相当する従来タイプの 媒体撹拌ミルの粉砕 室容積はほぼ 15~20ℓ 程度であり、メディア充てん量も12 ~17ℓほど必要となる。メディア洗浄も含め、品替え時の 洗浄には時間がかかるだけでなく、洗浄のための溶剤量、 クロス・コンタミを避けるための除外製品量ともにコボー ル・ミルの数倍必要となる。

したがって、コボール・ミルは、洗浄に必要な人手、時間のほか、メディア、洗剤の消費量も少なく、製品の歩ど まりも良い、省エネルギータイプのミルと言える。

ミルおよびメディアの摩耗が少なく、製品へのコン タミが無視できる

一般に, 撹拌翼を高速回転させる撹拌ミルでは, サスペ ンジョン粒子と接触するメディアおよびミル機械部分の摩 耗は避けることができず, これを最小限に抑える工夫が必 要となる。

コボール・ミルは、同様な駆動馬力を有する従来の媒体 撹拌ミルと比べて、その粉砕室が4~10分の1の大きさで あり、メディアの充てん量もその比率だけ少ない。粉砕室 のエネルギー密度が高いため、コボール・ミルのメディア 摩耗が大きいように考えられがちであるが、実際の運転経 験から、被粉砕製品当りの摩耗量は従来の撹拌ミルと比べ てかなり少ない。この理由は、次のように考えられる。⁵⁾

- イ)第5図に示したように、コボール・ミル内のエネル ギー密度が均一であるため、ミル本体の機械部品やメ ディアの一部が選択的に摩耗することがない。
- ロ)したがって、メディア摩耗も一様に生じるため、メ ディア径がほぼ一定のまま保たれる。メディア径が不 揃いの場合には、メディアの接触点が多く、摩耗が早 く生じる。
- ハ)さらに、ミルの粉砕ゾーン中には、撹拌軸やディス ク、ピンなど局所的にエネルギーが高くなり、摩耗を 早める突出した部品が無く、また、ミルのロータ、ス テータとも幾何学的に滑らかな曲面で構成されている ことから、摩耗が少ない。

7) ギャップ・セパレーションの採用

撹拌ミルでは,容器内部でサスペンジョンとメディアが 混合された状態にあるので,サスペンジョン製品の取出し

Table 1 Specification of CoDan-Will							
Туре	MS-12	MS-18	MS-32	MS-50	MS-65		
Driving power of rotor (kW)	1. 5~2. 2	4 ~ 7.5	15~22	30~55	55~11		
Grinding chamber volume (ℓ)	0. 5	1	3	6	12		
Cooling surface (m ²) Vessel and lid	0.07	0.12	0.3	0.8	1 /		
Rotor		0. 12	0.3	0.6	1.4		
Throughput (l/h)							
Pesticides /pigments	15~30	30~80	120~240	250 ~ 500	600~ 110		
Paints /varnishes	10~20	20~60	90~180	180~360	400~80		

第1表 コボール・ミルの仕様 Table 1 Specification of CoBall-Mil



こあたっては、メディアを容器内に残し、サスペンジョン のみ取出す分離操作が必要である。コボール・ミルでは、 ギャップによるセパレーション機構を採用しているため、 送来のスクリーンによる分離に比べ、目詰りが少なく、メ ンテナンスが容易である。

う. コボール・ミルの仕様

コボール・ミルには,第1表に示したように,ラボ・タ イプのMS-12型から大容量処理を行なうMS-65型までの 5 機種があり, cmを単位としたロータの最大径によって, 型式を表わしている。

メディアは、標準として1~1.5mmのジルコニア・ボー ルを使用するが、用途に応じ、材質として、ガラス、スチ ールがあり、大きさも0.5~3mmの範囲で選択することが できる。

7. コボール・ミルの二,三の研究例³⁾

ETH Zurich(チューリッヒの工科大学)にて行なわれ たコボール・ミルの研究結果のいくつかを紹介する。

1)メディアの循環時間

第11図に示したものは、MS-32型における、メディア のミル内循環時間を、メディア径およびメディア充てん率 をパラメーターとして表わしたものである。粘度5,000 cp のCMC水溶液を90 kg/h の割合で供給し、ロータ周速10 m/s, 600 rpm で運転した場合の実験結果である。メディ



第12図 平均粒径と処理量

Fig. 12 Effect of throughput on d₅₀



第13図 平均粒径と消費動力 Fig. 13 Effect of power consumption on d50

アの循環時間は, ラジオ・アイソトープを使用して測定された。

図から,メディア径が小さく,充てん率が大きいほど, メディアのミル内循環時間が長くなることがわかる。

2) 粉砕粒度と処理量および消費動力の関係

MS-18型を用い、炭酸カルシウムをシリコーン・オイ ル中にて粉砕した実験例を第12図および第13図に示した。 砕料粒度はメジアン径で $d_{50} = 65\mu$ であり、粘度1,000 cp のシリコーン・オイルに固形分濃度40%にて前分散させた ものをコボール・ミルで処理した。第12図は、処理量と製 品の平均粒度 d_{50} の関係を示した。処理量の大きい領域で は、ビヒクルとしてシリコーン・オイルの代わりに水を用 いたデータを併記した。処理量をしぼることにより、製品 の粒度は小さくなる。

また**第13**図は、たて軸に平均粒径をとり、横軸にロータ 回転数をとって、その相関を調べたもので、 d_{50} は、ほぼ (回転数)^{-6.4}に比例している。

8. コボール・ミルの用途

コボール・ミルは広い範囲において,微粉砕や分散を目 的として使用されている。微粉砕操作としては,ファイン セラミックスやチョコレート製造工程におけるカカオ・マ



第14図 農薬ゾル剤製造フロー

Fig. 14 Flow diagram of manufacturing pesticide compounds

スの粉砕に,分散操作としては,ペイントおよびワニス, インキ,顔料,染料,医薬品,農薬,磁気テープなど,さ らに口紅,マスカラなどの化粧品,バイオ・ケミカルの分 野での菌体抽出にも利用されている。

以下に使用例をいくつか示す。6)

1) 高粘度の専門家用油絵具

高粘度の専門家用油絵具をMS-32型で処理している。 まず油中に顔料を前分散しておき、コボール・ミルに通 す。150~200kg/hをワン・パス処理して、顔料粒度が 30μ 程度になった。このとき製品温度は $40~60^{\circ}$ C。メディア は直径 2.5~3 mm のジルコニアを用い、粉砕室の幅は13 mmで使用している。ユーザーによれば、従来は3本ロー ル・ミルを使用していたものであり、熱変性を起こさず使 用できる撹拌ミルとしては、コボール・ミルだけであった と言う。

2) カカオ・マス

カカオ・マスの粉砕のため、コボール・ミル MS-32 型 を使用した。直径2mmのスチール製メディアを用い、約 150 kg/h 処理し、このときの処理温度は55°C 以下であっ た。バッチ式の撹拌ミルと比較すると、製品の粒度がジャ ープになった。

3)カオリン

コーティング紙に使用するカオリンの微粉砕をコボール ミルMS-65型で行った。ユーザの要求粒度は 2μ 以下45% であった。カオリンを水にとかし(カオリン濃度45%)ミ ル内に直径1~1.5mmのジルコニア・メディアを75%充て んし、ロータ周速14 m/s にて、約400 kg/h 処理した。こ の砕料および製品の粒度分布は次のようになった。

粒度範囲	砕料	製品
$+20\mu$	4 %	0 %
$10 \sim 20 \%$	21 ″	0 //
6~10∥	26 🥢	3.5∥
4∼ 6∥	13.5∥	6.5∥

なおこのときの電力消費量は、ドライな状態でのカオリン処理量1ton当り160~180 kWh であった。

4) 農薬ゾル剤⁷⁾

殺虫剤,除草剤などの製造にもコボール・ミルが利用されている。従来の粉末状での農薬に代わり,水中に農薬原体を分散しゾル化したものが欧米では実用されている。このフローを第14図に示す。まず⑧のタンクで,農薬原体,溶剤,水を予混合し,コロイド・ミル⑨で前分散する。これを脱気器⑩で連続的に脱気しながら,中間タンク⑪を経てコボール・ミル⑬で粉砕,分散する。タンク⑭にてさらに溶剤を添加した後,製品として⑲で充てんされる。

コボール・ミルで 処理される 時点での サスペンジョン は、農薬原体の平均粒度として $d_{50}=30\mu$, 濃度約50%で、 粘度が約5,000 cp である。これを農薬原体の平均粒度 d_{50} $<5\mu$ まで粉砕し、分散する。この場合のコボール・ミル のタイプ別の所要動力と処理量は次のようになる。

型式	モータ馬力	最大処理量
MS-12	2.2 kW	60 kg/h
18	5.5 //	100 //
32	15.0 //	300 🥢
50	37.0 //	600 🥢
65	75.0 //	1,200 //

塗料生産におけるミルの比較⁵⁾

スイスのある塗料会社で, 舶用プライマー・ペイントを 対象として, コボール・ミルと従来タイプの媒体撹拌ミル を比較実験したデータを **第2表**に示した。 この ペイント は, 溶剤としてメチル ・ エチル ・ ケトンを用い, 鉄系顔 料, quartz filler を分散させたものであり, 粒度の要求 は 25μ 以下99%というものであった。実験に使用したミル は, モータ馬力がほぼ等しいものを選んだ。また使用メデ ィアなどの実験条件も, それぞれのミルに最適なものを選

第2表 ミル比較データー Table 2 Comparative data of mills

Item	FRYMA	Competitor
Mill model	CoBall- Mill MS-50	×
Motor Power (KW)	36	37
Labour (operator works 2 machines)	1/2	1/2
Weight of grinding media filling (Kg)	14	186
Grinding media usage for grinding 1 ton of product (Kg/ton)	0.65	4. 26
Throughput of the mill for the grinding of a primer paint (Kg/h)	290	200
Manufacturing time per ton of product (h)	3. 45	5
Obtained fineness	99%<23µ	99%<30µ
Manufacturing costs per ton of product primer (\Im)	ca. 23, 000	ca. 70,000

んで実験された。なお,表中の製品1ton当りの生産コストは,電力費,人件費,維持管理費,機器の減価償却などを勘案して算出されたものである。

- この結果,コボール・ミルによれば
- 1) 製品 1 ton 生産するに必要な時間が 5 時間から3.45 時間になり,約30%短縮できる。
- 2) 製品1 ton 当りの生産コストが70%近く低減する。
- 3)作業員を増やすことなく、生産量増加がはかれる。4)粉砕メディア摩耗量が少ない。

などのメリットがあることがわかった。

10. むすび

新しい形式の微粉砕および分散機として, コボール・ミ ルを紹介した。本文に述べたように, 粉砕ゾーンを狭いギ ャップで構成することにより,メディア間に強いせん断力 を生じるものであり, 従来の媒体撹拌ミルのカテゴリーに とどまることなく, 高粘度液体の混合など, 新しい応用分 野を期待される。

弊社本社工場技術開発センターに、テスト機として写真 2に示したMS-18型を設置しており、今後、各種データの蓄積に努め、稿を改めて紹介したいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 尾崎義治:工業材料, Vol. 31, No. 12, p. 21.
- 2) W. John: "From the drum mill to the annular chamber mill" (Netzsch 社資料)
- 3) G. Bühler: Chem. -Ing. -Tech., Vol. 54, No. 4, p. 371.
- H. Schlichting: "Boundary-Layer Theory" (1968), Mc GRAW-HILL, p. 500
- 5) Fryma 社 技術資料, IS 131.
- 6) Fryma 社 Bulletin 2/82.
- 7) Fryma 社 技術資料, IS 129



写真2 テスト用コボール・ミルMS-18型 Photo2 CoBall-Mill MS-18

冷却塔の省エネシステム

Energy Saving System For Water Cooling Tower

技術開発本部 佐 野 滋 Shigeru Sano

A sharp rise in the cost of electricity in the wake of the so-called oil crisis has brought about a recent trend for industries to take measures that reduce power consumption.

Cooling tower, too, is no exception to this and reduction of its fan power cost has been attracting public attention.

This report discusses our energy conservation measures, and gives an outline of tests conducted on a tower currently in use, an evaluation of various energy conservation methods, and an example of our energy saving power in actual operation.

近年,オイルショック後の電力料金の高騰から,各種産業のあらゆる設備に消費電力を削減する省エネ対策が行なわれて来ている。冷却塔設備においても例外ではなく,そのファン動力費の削減がクローズアップされている。

本稿は、この冷却塔ファンの省エネ対策について言及し たもので、その内容は、当社のファン省エネシステム、実 稼動塔でのテストの概要、さらには、いろいろな省エネ方 法を採用した場合の省エネ効果の比較検討例、および当社 が納入した実例の紹介をまとめたものである。

1. まえがき

近年,オイルショック後の電力料金の高騰から,各種産 業のあらゆる設備に,消費電力を削減する省エネ対策が行 われてきている。

プラントの冷却水を循環使用する産業においては,その 冷却のための冷却塔設備においても例外ではなく,通風用 のファン動力費の削減がクローズアップされている。

当社は、この冷却塔ファンの省エネシステムに着目し、 経済的な省エネシステムの確立に努力してきた。当社が従 来納入した多数の 冷却塔 ユーザー 各位との 共同検討を通 じ,経済的で効果的な省エネシステムのニーズを痛感して きたが、本稿では、当社が行った 実稼動塔 のテストの概 要、および当社の省エネシステム、さらには省エネ効果の 検討例を含め、その概要を記述する。

2. 省エネルギー効果

冷却塔は,ほとんどが通常夏期の最高湿球温度をベース にして,その能力が選定されている。湿球温度は,第1図 に示す様に日変化があり,さらに第2図に示す様に月変化 が生じ,湿球温度が低下した場合,冷却水が必要以上に冷 却されることになる。また,第3図に示す様に,湿球温度 の変化以外に,負荷の変動によっても冷却水温度が変化す る。

従来,冷却塔の運転は,冷却水温度が必要以上に低下した場合でも,冷却塔を連続運転する場合が多く,運転制御する場合でも,手動操作によりファンの ON/OFF や運転 台数を制御する等の運転方法が多く,それも月単位に制御 するなど,人為的操作によるものであった。

最近では,冷却塔ファンの動力費を節約するために,外 気温度の変化や負荷の変動に合わせ,冷却塔ファンの運転 台数やファンの回転数を自動的に変化させることにより,







第4図 制御方法による動力の比較

Fig. 4 Comparison of the required power in various methods of air capacity control

冷却水温度を適正にコントロールし,省エネルギーが図れ る冷却塔ファン省エネルギーシステムの要望が増加してき ている。

3. 風量制御の方法

冷却塔ファンの風量制御の方法には,運転台数の制御, ダンパ開度による制御,ファン回転数制御,ファンピッチ角 の制御に分けることができる。次に各方法の特長を述べる が,第4図に制御方法別の部分負荷時の動力の比較を示す。

3.1 運転台数の制御

複数のファンを備えた冷却塔の場合,その一部のファン を,ON/OFF させることにより,冷却塔全体の風量を段階 的にコントロールする方法である。ファン台数が多い程, 制御段階が多くなり,きめ細かい風量制御が可能となる が,一般には他の方法と組み合わせて用いる場合が多い。

3.2 ダンパ開度の制御

吸込ダンパ,あるいは吐出ダンパにより風量制御することができるが,冷却塔の場合,一般に軸流ファンが使用されており,この場合ファン回転数一定の場合,ダンパにより風量を減らすと所要動力は大きくなる傾向にあり省エネとはならない。

3.3 ファン回転数の制御

ファンには次に示すファン法則がある。

- 風量(Q)は、回転数(N)に比例する。 Q∞N
- ② 静圧(H)は、回転数(N)の自乗に比例する。
 H∞N²
- ③ 所要動力(P)は、回転数(N)の3乗に比例する。
 P∞N³

ファン法則は,ファン回転数を低下すれば,大きな省エ ネとなることを示している。すなわち,回転数を½にする



第5図 多段変速機によるシステム

Fig. 5 Rotating velocity control by transmission

と,所要動力は%に低下する。実際には,モーターの効率 やファン効率が低下するため,理論値通りとはならない が,それでも省エネの有効な方法の一つである。

次に,可変速の方法としては,極数変換モーターや多段 変速機による段階制御と,インバータやうず電流継手によ る連続制御に大別できる。

1)極数変換モーター

4 P/6 P, 4 P/8 Pあるいは4 P/6 P/8 P等の 2 速または3 速モーターにより風量を段階的に制御す るものである。

2)多段変速機

第5図に示す様に、多段変速機をモーターと減速機の間に設置し、これを制御することにより、ファン回転数を段階的に変化させるものであり、油圧クラッチ、フリーホィール、歯車の組合せにより、2段または3段階の変速を行うが、モーターは常時100%運転である。

3) インバータ

誘導電動機の回転数は次式で示される。

$$N = \frac{120 \times f}{P} (1 - S)$$

Ν	:	回転数	f	:	周波数
Ρ	:	極数	S	:	すべり

つまり、回転数は、周波数 f 、極数 P 、すべり S の いずれかを 変えることにより 変化 させる ことができ る。このうち、周波数 f を変化させ、回転数を制御す る方法がインバータ(VVF)を使用した周波数制御 方式である。

最近のパワーエレクトロニクス技術の発展により, 大容量パワートランジスタが開発され,正弦波PWM トランジスタインバータが登場し,出力電流波形も第 6図に示す様に正弦波に近くなり,トルク脈動による 影響もほとんど問題にならなくなってきた。

おもな長所として,汎用のかご形誘導電動機を使用 できる,高効率である,無段階変速ができる等長所が 多くある反面,モーター騒音が高くなる,ラジオノイ ズが発生する等短所も持ち合わせている。

4) うず電流継手

かご形誘導電動機にうず電洗継手をつなぎ,この継 手におけるすべりを調整して,可変速運転する方法 で,手軽な可変速装置として広く用いられている。し かし,継手ですべった分の電力は,熱損出として捨て るため,効率は高くない。



第6図 正弦波 PWM出力電流波形

Fig. 6 Output current by Sine wave Pulse Width Modulation



第7図 インバータによる連続制御

Fig. 7 Continuous rotating velocity control by VVVF inverter



第8図 テストシステム構成図 Fig. 8 Our test tower

3. 4 ファンピッチ角の制御

ー般的な冷却塔ファンは、停止時に手動でピッチ角可変 であるが、ここでいう可変ピッチファンとは、運転中に外 部信号により、ファンピッチ角を変更できるものである。

ファン径,回転数等,適正に選定された可変ピッチファ ンの場合,ピッチ角変更による効率低下も少なく,部分負 荷時の動力も,ほぼ風量の3乗に比例し,インバータによ る回転数制御と同様に大きな省エネルギー効果が期待でき る。しかし現状,湿式冷却塔への適用例は少ない。

4. 当社の冷却塔ファン省エネルギーシステム

当社の冷却塔ファン省エネルギーシステムでは,風量制 御方法として,台数制御と極数変換モーター,インバータ, 3速変速機等による回転数制御を単独あるいは組合せて使 用する。

制御方法は,冷却水温度を検出し,これを一定となる様 フィードバック制御を行なう。

制御装置は、コントローラ、シーケンサ等から成り、す

Vol. 28 No. 2 (1984/6)

次にインバータを使用した場合のシステム構成図を第7 図に示す。また、当社の省エネルギーシステムの特長を以

下に列挙する。 1) 最新のマイクロプロセッサを使用した計装用コント ローラを採用し、冷水温度によるフィードバック制御 を行うことにより、シンプルで経済的な制御装置とな

べて標準化されたものを用い,可変速装置や制御台数により,そのソフトウェアを変更することで対応する。

- っている。また,可変速装置も各種選択が可能である。 2)自動制御により,冷却水温度を適正な状態に維持
- し,かつ,大幅な省エネルギー効果を得ることができ る。
- 3) 万一,システムに異常が生じた場合でも,手動操作 により従来通りの運転が可能である。

4) 既設,新設を問わず採用できる。

5. 冷却塔ファン省エネルギーシステム機能テスト
 5. 1 テスト装置

テスト用システムは、冷却塔ファン省エネシステム制 御盤,3速変速機、温水及び冷水温度検出器、百葉箱及び 湿球温度検出器から構成されており、そのシステム構成を 第8図および写真1~3に示す。このシステムを、(株)神 戸製鋼所神戸製鉄所殿に納入した冷却塔に設置し、制御機 能の確認を行った。

冷却塔仕様

水量	600 m³/h	
温度条件	50—35—26. 5° C	
ファン	4270mmø 9枚翼	
モーター	45 kW, 4 P, 440 V, 60 Hz	
減 速 機	27A型 1/5.77	
3 速変速機	RGA36Z型	;
	減速比:1速—2.02	
	2 速—1.30	
	3 速一1.00	

5.2 テスト方法

制御方法を2種類用意し,それぞれの制御機能をテスト した。

- 1)外気湿球温度と冷却水温度を検出し、湿球温度から ファン回転数を予測し、さらに、冷却水温度により、
- これを補正する。フィードフォワードおよびフィード バック制御を行う。
- 2) 冷却水温度だけを検出し、これを一定となる様にフィードバック制御を行う。

以上の両方式によりテストを行ったが,この変更は,ソ フトウエアプログラムの変更だけで対応できる。

5.3 テスト結果

本テストにおいては、フィードフォワード制御とフィー ドバック制御では、単純な、冷却水温によるフィードバッ ク制御の場合の方が、外気温度、負荷の変動や、目標設定 温度の変化に対する冷却水温度の追随性が良い結果となっ た。これは、当システムに採用したコントローラの演算能 力やメモリーに限界があり、そのため適正なフィードフォ ワード量を求められないためと考えられ、計測制御用のコ ンピュータ等を使用し、より高度な制御を行えば、当然、 制御精度も向上すると考えられる。



写 真 1 省エネシステム全体外観 Photo.1 Schematic View of our test tower



冷却塔省エネシ ステム制御盤 (左は百葉箱) Photo.2 Control panel for energy saving tower (left; Psychr-



写真33速痰速機 Photo. 3 3-speed transmission

しかし、単純な冷却水温によるフィードバック制御でも 制御精度は、実用上十分であり、当社の冷却塔ファン省エ ネシステムは、原則としてこの方式を採用しており、シン プルで安価なシステムになっている。

省エネシステム適用検討例

次に、モデルケースにより、冷却塔ファンの省エネ効果 を試算した結果を示す。

6.1 冷却塔仕様

- 1) 冷却水量 1500 m³/h
- 40-30-27°C 2) 設計温度
- 5490 mmø, 6 枚翼, 227 rpm 3)ファン
 - 42 kW×2 台
- 45 kW, 4P, 440V, 60 Hz×2 台 4) モーター

6.2 検討条件

- 1) 冷却水量 1500 m³/h
- 30° C 2) 設定出口水温
- 10° C 3) レンジ
- 4) 電気料金 15円/kWh
- 5) 湿球温度

月	WBT(°C)	月	WBT(°C)	月	WBT(°C)
1	1.2	5	14.8	9	20.3
2	1.6	6	19.1	10	14.2
3	4.8	7	23. 2	11	8.8
4	9. 9	8	23.9	12	3.8

- 6) 軸動力は回転数の3乗に比例するものとする。
- 7) 電力費は次式により求める。 電力費 = _ 軸動力 × 運転時間 × 電気料金 総合効率
- 8)運転時間は年間フル運転とする。
- 9) モーター効率は、4 P 運転の場合 95%とする。 8 P運転の場合 90%とする。
- 10) 3 速変速機の場合,総合効率は,92%とする。
- 11) インバータによる場合の総合効率は,第9図に示 す。また、速度制御範囲は30%~100%とする。
- 12) ファン停止時には,100%回転数の場合の15%の通 風量があるものとする。
- : 全数停止 13) 現状運転台数は,1月,2月,12月 3月,4月,5月,10月,11月:1台運転 6月,7月,8月,9月 :2台運転
- 以上の設定条件で検討する。

6.3 通常運転の場合の年間電力費

- 年間の総運転時間は ((31+30+31+31+30)日×1台+(30+31+31+30)日×2台) ×24 h/日=9,528時間
- となり,年間の電力費は





第10図 湿球温度に対する必要風量

Fig. 10 Wet bulb temperature vs Required air capacity

6. 4 省エネシステムにより運転した場合の予想電力費

第10図は,外気湿球温度に対する冷却塔全体の必要風量 を表わしたものであり,以下の検討では,この図により, 必要なファン回転数を求めている。

6. 4. 1 4P/8P 極数変換モーターを使用する場合

月別の運転状況と電力費は,第1表のようになり,年間の予想電力費は2,422,953円となる。

6. 4. 2 3 速変速機を使用する場合

3 速変速機の減速比は, 1 速:2.02, 2 速:1.30, 3 速:1.00を採用する。

月別の運転状況と電力費は,第2表のようになり,年間 の予想電力費は2,024,330円となる。

6.4.3 インバータを使用した連続制御の場合

ここでは、2台のファンを、1台のインバータで、一斉 に変速するものとし、その速度制御範囲は30%~100% と する。そのため、インバータ容量としては、約130KVA必 要である。

月別の運転状況と電力費は,第3表のようになり,年間 の予想電力費は1,361,345円となる。

4.4 インバータと極数変換 モータを 組合わせた複 合制御の場合

1台のファンは、インバータで連続制御し、他のファン は、極数変換モータにより、段階制御を行なう。

インバータによる速度制御範囲は,30%~100%とし

インバータ容量は、約70KVAとなる。また、極数変換は、 4 P/8 P極数変換モーターを使用する。

月別の運転状況と電力費は,第4表のようになり,年間 の予想電力費は,1,886,643円となる。

6.5 省エネ効果の比較

以上の各種省エネ方法による効果を比較すると,第5表 となる。設備投資額が大きい程,省エネ効果も大きくなる が,いずれの場合でも,約2年以内で投資回収が可能であ る。また,参考として第6表に他の検討例をまとめた。

7. 実施例の紹介

ここで,当社が最近納入した冷却塔ファン省エネシステ ムを紹介する。これは,関東地区の化学会社向けに納入し たもので,既設冷却塔用である。 第1表 極数変換モーターの場合の予想電力費

 Table 1
 Evaluation of the energy saving method using pole change motor

	Monthla			01		
1. 1.	mean wet	Operating	Ope-	Shaft		_
Month	bulb temp.	pattern	rating	power	Eff.	Power cost
	(°C)	Pattoria	hours (h)	(KW)	(%)	(Yen)
1	12	<u>8 P</u>	744	5. 25	90	65, 100
		OFF		0		0
2	16	8 P	672	5.25	90	58,800
	1.0	OFF	072	0		0
2	1 8	8 P	744	5.25	90	65,100
	4.0	OFF	144	0		0
4	0.0	8 P	790	5.25	90	63,000
- 4	5.5	OFF	720	0		0
5	14.0	8 P	744	5.25	90	65,100
	14.0	8 P	744	5.25	90	65,100
c	10.1	8 P	700	5.25	90	63,000
0	19.1	8 P	120	5.25	90	63,000
7	22.2	8 P	744	5.25	90	65,100
	20.2	4 P	744	42	95	493, 390
Q	22 D	8 P	774.4	5.25	90	65, 100
- 0	23.9	4 P	744	42	95	493, 390
n	20.2	8 P	700	5.25	90	63,000
	20.3	4 P	720	42	95	477, 474
10	14.9	8 P	744	5.25	90	65, 100
10	14. 2	8 P	744	5.25	90	65,100
11	00	8 P	700	5.25	90	63,000
	0.0	OFF	720	0		0
12	20	8 P	744	5.25	90	65,100
12	5.0	OFF	744	0		0

Total ¥ 2, 422, 953

第2表 3速変速機の場合の予想電力費

 Table 2
 Evaluation of the energy saving method using 3-speed transmission

Month	Monthly mean wet		Ope-	Shaft	Ett	
(°C		rating	hours	power	EII.	power cost
				5 17	02	(Yen) 62 714
1	1.2	OFF	744			02,714
				<u> </u>		<u>_</u>
2	1.6	101	672	0.17	92	
		OFF		0		0
3	4.8	181	744	5.17	92	62,714
		OFF		0		0
4	99	1 S T	720	5.17	92	60,692
	5.5	OFF	120	0	—	0
5	14 0	1 S T	744	5.17	92	62,714
5	14.8	1 S T	744	5.17	92	62,714
		1 S T	000	5.17	92	30, 347
6	19. 1	1 S T	360	5.17	92	30, 346
0		1 S T	000	5.17	92	30, 346
1		2 ND	360	18.99	92	111,463
7	02 D	2 N D	744	18.99	92	230, 296
'	20.2	2 ND	144	18.99	92	230, 296
0	22.0	2 ND	744	18.99	92	230, 296
	23.9	2 ND	744	18.99	92	230, 296
	00.0	1 S T	700	5.17	92	60,692
9	20.3	2 ND	720	18.99	92	222,926
10	14.0	1 S T		5.17	92	62,714
10	14.2	1 S T	744	5.17	92	62,714
11	0 0	1 S T	700	5.17	92	60,692
11	8.8	OFF	120	0		0
10	20	1 S T	77.4.4	5.17	92	62,714
12	3.8	OFF	144	0		0

Total ¥ 2,024,330

(°C)	rating pattern	rating hours (h)	power (kW)	Eff. (%)	Power cost
1.2	30	744	2. 27 72		35,185
1.6	30	672	2.27	72	31,780
4.8	30	744	2.27	72	35, 185
9.9	30	720	2.27	72	34,050
14.8	39	744	4. 98	76	73, 127
19.1	50	720	10.5 80		141,750
23. 2	66	744	24.1	83	324,043
23. 9	70	744	28.8	84	382, 629
20. 3	53	720	12.5	81	166, 667
14.2	38	744	4.61	76	67, 694
8.8	30	720	2. 27	72	34,050
3.8	30	744	2. 27	72	35, 185
	1. 2 1. 6 4. 8 9. 9 14. 8 19. 1 23. 2 23. 9 20. 3 14. 2 8. 8 3. 8	1. 2 30 1. 6 30 4. 8 30 9. 9 30 14. 8 39 19. 1 50 23. 2 66 23. 9 70 20. 3 53 14. 2 38 8. 8 30 3. 8 30	1. 2 30 744 1. 6 30 672 4. 8 30 744 9. 9 30 720 14. 8 39 744 19. 1 50 720 23. 2 66 744 23. 9 70 744 20. 3 53 720 14. 2 38 744 8. 8 30 720 3. 8 30 744	1. 2 30 744 2. 27 1. 6 30 672 2. 27 4. 8 30 744 2. 27 4. 8 30 744 2. 27 4. 8 30 744 2. 27 9. 9 30 720 2. 27 14. 8 39 744 4. 98 19. 1 50 720 10. 5 23. 2 66 744 24. 1 23. 9 70 744 28. 8 20. 3 53 720 12. 5 14. 2 38 744 4. 61 8. 8 30 720 2. 27 3. 8 30 744 24. 1	(0)parcentnons(n) $(1,1)$ $(2,2)$ 1.2 30 744 2.27 72 1.6 30 672 2.27 72 4.8 30 744 2.27 72 4.8 30 744 2.27 72 9.9 30 720 2.27 72 14.8 39 744 4.98 76 19.1 50 720 10.5 80 23.2 66 744 24.1 83 23.9 70 744 28.8 84 20.3 53 720 12.5 81 14.2 38 744 4.61 76 8.8 30 720 2.27 72 3.8 30 744 2.27 72

第3表 インバーターの場合の予想電力費 Table 3 Evaluation of the energy saving method using VVVF-

inverter

Total \underline{Y} 1, 361, 345

第4表 インバータと極数変換モーターを組合せた場合の予 想電力費

Table 4	Evaluation of the energy saving method using VVVF-
	inverter and pole change motor

}	Monthly mean wet	Ope-	Ope-	Shaft		
Month	bulb temp.	rating	rating	power	Eff.	Power cost
	(°C)	pattern	hours (h)	(kW)	(%)	(Yen)
1	1.2		744	1.13		17,515
		OFF				0
2	16		672	1.13		15,820
	1.0	OFF		0		0
2	18	33	744	1.51	73	23,084
	4.0	OFF		0		0
4	۵۵	45	720	3.83	78	53,031
*	5.5	OFF	120	0		0
5	14.9	63	744	10.5	83	141, 181
5	14.0	OFF	144	0		0
		85	260	25.8	86	162.000
6	19. 1	OFF	500	0	—	0
6		50	000	5.25	80	35, 438
		8 P	300	5.25	90	31,500
		82	372	23.2	86	150, 530
		8 P		5.25	90	32,550
	23.2	32		1.38	73	10, 548
		4 P	312	42	95	246,695
		90	070	30.6	87	196, 262
		8 P	372	5.25	90	32, 550
8	23.9	40	070	2,67	77	19,349
		4 P	372	42	95	246,695
		91		31.6	87	196,138
		OFF	360	0		0
9	20.3	56		7.38	81	49,200
		8 P	360	5.25	- 90	31,500
		61		9.53	82	129,701
10	14.2	OFF	744	0		0
		43		3.34	78	46,246
11	8.8	OFF	720			
		31		1.25	73	19,110
12	3.8	OFF	744	0		0
<u> </u>	·			Tot		₩ 1 886 643

第5表	省エネ効果の比較	
Table 5	Comparison of the energy saving effects	

Operating method	Speed changing method	Yearly power cost	Yearly power saving	Power saving ratio
step control (manual)	ON-OFF control (without special device)	(Yen) 6, 318, 568	(Yen)	(%)
step control (auto.)	4/8 Pole change motor	2, 422, 953	3, 895, 615	62
step control (auto.)	3-speed transmission	2, 024, 330	4, 294, 238	68
continuous control (auto.)	VVVF	1, 361, 345	4, 957, 223	78
complex control (auto.)	VVVF and 4/8 pole change motor	1, 886, 643	4, 431, 925	70

第6表 省エネ効果検討例 Table 6 Fundmation anomals of anomal and

Table 6 Evaluation example of energy saving effective
--

* ⁸ Cooling	Power saving	Vearly	Yearly	Power
tower spec	method	Power cost	powey	saving
	memou		saving	ratio
1000 m³/h 45-29-27°C	ON-OFF control	(Yen) 5, 550, 000	(Yen)	(%) —
$43kW \times 2$ / $45kW \times 2$	2 sets of 3-speed transmission	1,780,000	3, 770, 000	68
Heat load 90% CWT 30°C	continuous simulta- neous control of 2 fans using 1 VVVF	910,000	4,640,000	84
	VVVF for one fan ON-OFF for another	2, 280, 000	3,230,000	59
2000 m³/h 38-32-27° C	continuous operating (without special device)	8,760,000		
$30 kW \times 2$ /37 kW $\times 2$ Heat load	2 sets of 3-speed transmission	3, 880, 000	4,880,000	56
100% CWT 28°C	continuous simulta- neous control of 2 fans using 1 VVVF	2,980,000	5, 780, 000	66
4500m³/h 40~30~27° C	ON-OFF control	18, 790, 000		
71kW×3 /75kW×3	3 motors of 4/8 pole change	6, 820, 000	11, 970, 000	64
Heat load 60% CWT 28°C	continuous simulta- neous control of 3 fans using 1 VVVF	5, 250, 000	13, 540, 000	72
	VVVF for one fan ON-OFF for others	5, 730, 000	13,060,000	70
3700m³/h 36-31-27°C 35kW×2	ON-OFF control	6, 670, 000		
/37kW×2 Heat load 35% CWT23°C	VVVF for 2 fans ON-OFF for others	2, 090, 000	4, 580, 000	69
5000m ³ /h 36-31-27°C 55kW×3	ON-OFF control	15, 090, 000		
/75kW×3 Heat load 50% CWT 23°C	VVVF for 2 fans ON-OFF for other	8, 440, 000	6,650,000	44

Note :

1) Electric cost is based on 15 Yen/kWh

2) Evaluated cost will vary with the individual situation of cooling tower spec.

 Shows design water flow rate, design HWT-CWT-WBT, shaft power×number of motor/motor power×number of motor, heat load and CWT setting in the order as given.

ai $\pm 1,886,643$



第11図 概略フロー Fig. 11 Outline flow diagram



第12図 制御盤外形図 Fig. 12 Control panel

7.1 冷却塔仕様

1)	設計水量	3.000 m³/h
T /	成日月八日	0,000

2) 設計温度 49°-30°-26.5°C

3)ファン 6,700 mmø 8 枚翼166 rpm 51.5 kW × 3 台

4) モーター 55/37 kW 4/6P 400V 50 Hz×3 台

7.2 制御方法

第11図のフローに示すように、この冷却塔は3セルからなり、それぞれ4/6P極数変換モーターにより運転されてきたが、この内の1台にインバータを設置し、回転数連続制御を行なうとともに、他の2台を、4P/6P/OFFと段階制御を行ない、冷却水温度を一定に保持するものである。

7.3 省エネシステム仕様:

このシステムは、切換制御盤とVVVF盤で構成されて おり、屋外構造となっており、第12図および写真4にその 外観を、第13図にスケルトンを示す。

使用しているインバータは,正弦波PWMトランジスタ インバータであり,その容量は 100 KVA である。また, 温度検出器は,冷水槽ポンプピット内に設置している。

8. むすび

以上,冷却塔ファン省エネシステムについて述べてきた が,実際に適用する場合には,冷却塔を使用しているプラ ント側の運転方法,負荷状況に基づいた省エネシステムの





写真4 冷却塔ファン省 エネシステム納 入例 Photo.4 Controller in actual operation

評価が不可欠であり、冷却塔送風装置に対する問題等を含めて、事前に十分な検討が必要である。

冷却塔の省エネを検討される場合,当社までご連絡いた だければ,ユーザーのご要望に合った,最適システムをご 提供できるものと考えている。

最後に,テスト実施に際して多大な便宜をお図りいただいた(株)神戸製鋼所の関係各位,ならびに,多くの御協力や助言をいただいた,ユーザー,電機メーカー各位に深く 感謝いたします。

ABCシステムによる食品工業廃水の連続処理試験結果

Continuous Test Results of Food Processing Waste Water Using Anaerobic Bio-Contact System

環境装置事業部 製品開発室 府 高 貢 Mitsugu Futaka

Food processing waste waters are easy to treat and treatment costs can be reduced by the use of an anaerobic fixed bed reactor.

Our continuous test results at 37 °C, COD (cr) loading rate 8–10kg/Void M³/day showed that the COD(cr) reduction rate was 84–88 %, the off gas production rate was 0.47–0.54 Nm³/kg red. COD(cr), and the CH₄ gas content was 74–77%.

Our test results showed that this type waste treatment process results in a significant reduction in operating cost.

嫌気性固定床方式 による 食品加工 廃水処理は 容易であ り,処理コストの節減効果が大きい。

当社で実施した 37°C における殿粉工場廃水の連続処理 試験では、COD(cr) 負荷 8~10 kg/void m³/day の範囲 で,除去率84~88%,ガス発生率0.47~0.54Nm³/kg除去 COD(cr)が得られ,発生ガスのメタン含有率は74~77%の 高熱量のものであった。

当社の試験結果,この種の廃水を嫌気性固定床法の設備 で処理する場合,運転コストを大きく低減できることが期 待される。

1. まえがき

オイルショックを契機として、世界各国では、代替、あ るいは、ローカルエネルギー利用に関する技術開発が加速 された。そして、これと平行して、資源の有効利用や、省 エネルギー、省コストを目的とした諸技術の研究、開発も 盛んに行われている。

廃水処理の分野においては,特に注目を集めているもの に有機廃水の嫌気性処理法がある。嫌気性処理は,好気性 処理に比べて,含まれる有機物の有効利用を図ることがで きる。その主な理由はつぎの通りである。

- 発生する可燃ガス(メタン)を燃料として有効利用 できる。
- ② 酸素(または,空気)を供給する動力を必要としない。
- ③ 最終的に処分を必要とする余剰汚泥の発生量が少な い。

しかしながら,従来,廃水処理設備として,嫌気性処理 法(メタン醗酵法)が採用された例は少かった。これは, 嫌気性処理法の研究,技術開発が不十分であったことにも よるが

 処理に長時間を要するため、大容量の醗酵槽(消化 槽)が必要であり、建設費がかさむこと。

③ 運転管理技術が確立されていないために,所期の処 理効果が得られにくかったこと。

などに、原因していたと考えられる。

1970年代の後半から,新しいバイオテクノロジーの技術 が導入され,嫌気性処理法は飛躍的な進展をみせ始めた。 そのうちの一つに,固定化微生物法の技術を応用した固定

> 床法, または, 流動床法 による 方式があ る。

嫌気処理法による処理効果の向上, 並び に,安定した処理結果を得るに必要な要因 は,いかにして反応槽のなかに嫌気処理に 関与する微生物を多量に,しかも,健全な フローラの状態に保持し,効果的に働かせ るように維持管理することである。しか し,従来のような,懸濁微生物方式では, 諸般の状況から判断して, 醗酵槽内に多量 (少くとも 25,000 mg/ℓ 以上)の 微生物 を保持することは困難であり、また、流動 床法では,大容量の反応槽(バイオリアク ター)の内部液に懸濁した充填粒子(砂 など)を均一な状態に撹拌混合するには, かなりの 流動化 エネルギー を必要 とし, 本来の省エネルギーの目的から逸脱するこ とにもなり、 必ずしも、 所期の 効果を得 られなくなる恐れがある。これが、室内



写真1 建設中のABリアクター(向って右側) Photol AB Reactor under construction(the right side)

神鋼フアウドラー技報

試験においてかなり優秀な処理結果が得られているにもか かわらず、実用化がおくれている最大の理由であると考え られる。一方、嫌気性固定床方式の設備は、当社と技術提 携しているセラニーズ社の三工場で、反応槽の容積が5000 m^3 程度の大規模のものが稼動しており、中温醗酵の 運転 水温を採用していながら、 $8 \sim 16 \text{ kg COD}(c_r)/\text{void } m^3/$ day の高負荷の運転において、 $80 \sim 90\%$ の高い除去率を得 ており、しかも安定した処理結果が得られている。この優 秀な方式はABCシステムと呼ばれ、当社は現在本方式に よる廃水処理設備の建設を進めており、9月には本格的な 運転に入る予定である。

本稿では、この機会に、設備計画のために実施した連続 処理試験の結果を中心として、ABCシステムの処理効果 に就て報告し、参考に供したいと考える。

2. 試験装置並びに試験方法の概要

第1図は、ABC システムのフローダイヤグラム であ り、第2図は、それを模して作成した連続試験装置のフロ ーシートで、第1表は、試験装置の中枢であるABリアク ターの仕様概要である。

ABリアクターは、透明塩化ビニールで作成した円筒で あり、内部構造は、特殊加工したポリプロピレン樹脂製の 充填材(media)を槽内液に浮遊・懸垂した密閉型の上向流 式固液分離槽である。充填したメディアの表面に嫌気性処 理に関与する微生物を附着させることによって、ABリア クターの内部に、メディアを格子核とした嫌気性微生物の スラリー層を形成させる。供試廃水は、電気式パルス駆動 のダイヤフラムポンプによって、ミキサー(混合槽)に送 り込まれるが、送液量は、手動セットによるパルス数の調 整、およびタイマーによる自動 ON~OFF 制御によって加 減でき、ABリアクターに対する有機物負荷量を調整する。

ミキサーに送られた供試液は、返送処理水と混合され、 pH 計に連動したポンプによって20%の NaOH 液を注入して、pH 調整を行った後、水位差によってABリアクターの下部から流入させ、上向きに流してリアクター内部に保持された微生物に接触させて処理を行う。処理水は、リアクター上部のVノッチ型溢流堰から流出して、サージタンク、シールポットを経て、装置外に流出する。

サージタンクは, 固液分離槽の機能を持つのではなく, 処理水循環ポンプのサクションピットおよび系内の水流, 発生ガス圧の緩衝機能を持たせたものである。

発生ガスは、シールポットをへて、湿式ガス積算流量計 で計量した後、系外に放出する。ABリアクターは、槽底 部に挿入したシーズヒーターによって、運転水温に加温す るが、加温は温度センサーによる自動調節によって行われ る。ABCシステムでは、原則として、運転水温は中温醗 酵域 (30~40°C)で行っている。それは、当社が、ABC システムを徹底した省エネルギー指向の廃水処理設備を目 指して工夫していることにもよるが、本稿で示されるよう に、中温処理 (mesophilic treatment) でも、現在までに報 告されているような高温処理 (thermophilic treatment) と同程度、または、それ以上の処理効果が期待出来るため であり、中温処理における水温変動が、高温処理の場合の ように、処理結果に与える影響が重大でないと判断される ためでもある。

第1表 試験装置のABリアクター仕様 Table 1 Specification of testing AB Reactor

column size	$165 \mathrm{mm}(\phi) \times 1,350 \mathrm{mm}$ (T.H)
column volume	21.9 <i>e</i>
plastic media size	$58 \operatorname{mm}(\phi) \times 20 \operatorname{mm}(H)$
(number of media)	19.7 <i>ℓ</i> (345)
void volume of media	18.1 <i>l</i>
surface area of media	2, 960 cm ²

なお,汚泥馴致を開始して以来,11か月経過した後,AB リアクター内部に保持されたSS量を測定した結果,その 濃度は約80,000mg/ℓであった。この数値から推定すると, 本報告の試験期間中におけるSS保持濃度は40,000 mg/ℓ 程度であったと推定された。

処理試験の結果

第2表は、連続処理試験に用いた廃水の水質およびその 変動幅を示したものである。供試廃水は、小麦粉から殿粉 および蛋白質(gluten)を製造する工程から排出されるもの で、含有される有機物は殿粉を主とした炭水化物であり、 わずかに、小麦に含まれる水溶性蛋白質を含む。第2表の 数値は、工場から排出される廃水を毎日採取して供試した 廃水の水質分析値を統計的にまとめて示したものである。

第2表 供試小麦酸粉および小麦グルテン製造工程廃水の水質 Table 2 Character of waste water from wheat starch and gluten preparation process.

	average	variation (±)	remark
pH	4.6~5.4		very variable
$T S (mg/\ell)$	14,600	1,800	
DS (//)	11,100	960	
SS (//)	3, 580	1,800	
COD(_{Mn}) (//)	9, 810	1,900	
COD(cr) (//)	18,740	1,840	
BOD (//)	11, 300	1,900	
T-KN (//)	500~610	_	as protein
T-P (//)	170~190	_	(average 0000 mg/E)

試験は、ABリアクターに、都市下水汚泥消化槽の消化 汚泥を40メッシュのスクリーンを用いて、繊維、毛髪、そ の他の固形物粒子を除いたものを種汚泥として、ABリア クターに満たし、約2週間の周期で供試廃水のチャージ量 を増加させて、馴致・集積培養を行った。廃水のチャージ を開始してから、約24時間後には、ガスの発生が認められ た。所期の除去率が得られるようになった後 COD(cr) 負 荷量を8kg、12kg、最後に10kg/void m³/Dの3シリー ズの負荷試験を実施した。なお、運転水温の設定値は、37 (±2)°Cであり、ミキサーにおける設定 pH の値は6.7,処 理水の返送は、試験期間を通じて、ABリアクターにおけ る平均上昇流速が約0.2m/hr 程度になるように設定した。

第3図(A)および第3図(B)は,各試験シリーズ(約1 か月間)の日々の主要データを折線グラフにまとめたもの であり,第3表は,処理状況が安定したと考えられる期間 のデータを統計処理して示したものである。

第3表に示したように、各シリーズ(8.12.10 kg/m³·D の順)におけるチャージ水量の変動幅は平均値に対して、 15.5, 5.3, 7.9%であり、COD(cr)負荷量の変動幅は22.9、



第1図 ABCシステムによる廃水処理フローダイヤグラム Fig. 1 Flow diagram of ABC System Waste Water treatment



6.3, 15.5%であった。これに対して COD(cr) 除去率は, それぞれ84, 73, 88%が得られ,その変動幅は4.1, 3.4, 2.0%の範囲に止まっており, 非常に安定した処理結果が 得られた。

また,各シリーズにおいて,BODの測定は毎日実施し なかったが,期間中,適宜に実施した測定データから得ら れた相関式

BOD $(mg/\ell) = (-475) + (0.519 \cdot COD(c_r))(mg/\ell)$ (相関係数0.859)

から算定すると、各シリーズにおける処理水の平均BOD

値は, 1020, 2040, 760 mg/ℓ であり, BOD 除去率は, 90, 77, 93%程度が得られたと推定される。

第3表に示された処理水のCOD(cr)濃度,および除去率 の数値において3シリーズの場合が,1シリーズの負荷量 より高い値になっているにもかかわらず,処理効果が高く なっているが,それは,試験期間中にABリアクターの汚 泥引抜を行わなかったので,この間に汚泥の集積量が増加 し,単位汚泥当りの負荷量が低下したことに起因すると考 えられる。

発生ガスのメタン含有率は、74~77%であり、従来の消



第3図(A) 連続処理テストの状況(1) Fig. 3(A) Daily data of Continuous test(1)



化槽方式のものに比べて,高い値であり,高熱量のガスが 得られることもこの方式の長所として挙げらるものと考え られる。 除去COD(or)当りのガス発生率は、それぞれ0.54,0.51, 0.47 Nm³/kg除去COD(or)であり、チャージした廃水量の 6.7~8.1倍量のガスが得られたことになる。発生ガスに含

第3表 ABC システムによる連続処理試験結果

 Table 3
 Continuous waste water treatment test results using Anaerobic Bio-Contact system

T	est series (date)	1	~9/7)	2 (9/20~	10/10	3 (11/16-	~ 12/7)	
~	(unic)	ave-	vari-	ave-	vari-	ave-	vari	unit
Result		rage	(\pm)	rage	(\pm)	rage	(\pm)	
Charged	waste	8.40	1.30	12.72	0.68	9.63	0.76	ℓ/day
"	COD(Cr)	18,076	2,245	18, 209	4,846	19, 317	2,729	mg∕ℓ
11	SS	2, 254	808	2,620	989	3, 347	1, 548	11
Reactor	water	37		37		37		°C
Retentio	n time	53.0	8.3	34.3	1.8	45.3	3.2	hrs
COD(cr) loading	8.3	1.9	12.7	0.8	10.3	1.6	kg/void m³/day
Effluent	COD(cr)	2,887	371	4,846	379	2, 376	251	mg∕ℓ
"	11	2, 374	274	2,963	180	2,140	254	∅ (centrifuged)
"	SS	325	113	1,420	448	234	111	"
Reductio	n rate							
COD	(Cr)	83.7	3.4	73.6	2.5	87.9	1.8	%
	11	86.8	2.7	83.7	1.7	89.1	1.5	∥ (centrifuged)
5	s	83.6	6.8	43.9	25. 3	91. 9	6.4	//
Produced	d gas							
Gas volu	ıme	67.2	10.4	85.4	3.7	77.0	10.7	Nℓ/day
Gas Proc	luction rate	0. 542	-	0. 508	. –	0. 472	- 1	Nm ³ /kg red. COD(cr)
	11	8.1	1.2	6.7	0.4	8.0	0.9	Nm ³ /waste m ³
Gas CH	• %	76.9	1.5	73.8	1.6	i –	_	%
CH₄ Proc	luction rate	0. 417	i –	0.375			<u> </u>	CH ₄ Nm ³ /kg red COD(cr

まれる H_2S は 0.07~0.15%(容積割合)であり、燃料ガ スとして使用する場合には、脱硫処理を行う必要があると 判断された。水溶性の有機炭素収支によって、微生物転化 率を推定計算すると、その割合は約4%弱であった。

第4表 運転費の試算比較

 Table 4
 A comparative case study of operating cost ABC system and activated sludge process

	ABC & Activa proces	C system ated sludge s	Activate prosess	d sludge
Gas credit(as heavy oil)	ℓ/D 3,240	¥/D ∆210,600	ℓ/D 0	¥/D 0
Electricity	kWh/D 1,100	22,000	kWh/D 4,700	94,000
Heating steam	kg/D 3,260	// 13,040	kg/D 0	// 0
Chemicals(for neutralizer, sludge dewatering)	_	60, 295		45, 530
Sludge land fill	m³/D 3.5	42,000	m ³ /D 13.2	// 158,400
Labour cost	person/D 1.5	15,000	person/D 1.5	// 15,000
Sum	-	\triangle 58,265	_	312, 930

4. むすび

以上,食品製造廃水のABCシステムによる嫌気処理試験の結果について記述した。

このような結果に基づいて,第2表に示した廃水を処理 する場合の省エネルギー,省コスト効果について評価して みると,つぎのようになる。

検討の条件

処理対象廃水量	500 m³/D
// // COD(_{Cr}) 9370 kg/D (18740 mg/ ℓ)
11 / BOD	5650 kg/D (11300 mg/ <i>l</i>)
放流処理水 BOD	$20 \text{ mg/}\ell$
11 11 SS	30 //
廃水の年平均水温	20° C

年平均気温 15 /

ABリアクター運転水温 37 〃

ABCシステムによって、嫌気処理したのち,活性汚泥 法で仕上げ処理を行って放流し,発生する消化汚泥は脱水 処理後,埋立て処分するとして廃水処理設備全体の運転費 を試算すると,第4表左欄に示す結果が得られる。(処理 工程は,第1図を参照)

この試算結果によれば, 廃水処理の結果, 運転費を償な って更に, 利益を生むことになり, その発生利益は, それ ぞれ116.53円/m³ 廃水, 6.22円/kg COD(cr), 10.31円/kg BOD と計算される。

それに対して,**第4表**の右欄に示したように,活性汚泥 法だけの処理設備においては

(1) 燃料ガスの回収はもちろん期待できず

 (2) 消費電力は、4700 kWh/D が見込まれ、ABCシス テムの4.3倍も大きくなり

(3) さらに、処分を必要とする余剰汚泥量は、13.2 m³/
 Dとなり、3.8倍の処分費を必要とすることになる。

これらの諸費用を集計すると、ABCシステムでは活性 汚泥法だけの処理設備よりも、1日当り370千円以上、年 間では、操業日数300日として、111百万円以上、コストダ ウンできると試算される。

従来,この種の廃水処理法として採用されてきた好気性 廃水処理方式においては、このように廃水を処理すること によって、企業経営の収益を増大させるものは皆無であ り、廃水処理の経済的負担はかなり高額に達するとされて きた。本稿に示されたABCシステムの処理効果は、本処 理法を導入することによって、廃水処理においても利益を 得る可能性が示されたものと考える。

(註記)

本稿において記述した結果の一部については、1984 年度の下水 道研究発表会(4月18日~20日,於東京都)において報告した。 姫路セントラルパーク向堆肥化施設

Compost Facilities at Himeji Central Park

環境装置事業部 製品開発室 前 田 吉 則 Yoshinori Maeda

At this time we have constructed a total waste water treatment plant in Himeji Central Park, consisting of advanced treatment units with RBC, SBF, compost facilities, and a horizontal rotary mixer.

The compost facility in particular was designed very economically, and incorporates a solar house within its system.

This paper provides an outline of this plant.

当社はこのたび姫路セントラルバーク(姫路市豊富町) の生活系および動物系汚水処理設備を完成した。本設備は 汚水を回転円板接触酸化方式で処理したのち3次処理後園 内へ散水利用するものである。また,動物系汚水処理設備 で発生する余剰汚泥と動物のボロ糞,敷ワラなどの動物ゴ ミも堆肥化し有機肥料として再利用するものである。

本稿では、この動物ゴミの堆肥化設備を中心にその概要を報告する。

1. 姫路セントラルパークの概要

1.1 概 要

姫路セントラルパークは、姫路市東北部豊富町の緑豊か な丘陵を舞台に、総面積190万m²の敷地内西半分にひろが る自然動物公園、ウエストサイド・パークと、東半分はレ ジャーゾーン、イーストサイド・パークに分かれ西日本最 大の総合レジャーセンターである。

1.2 自然動物園, ウエストサイド・パーク

ウエストサイド・パークは、ドライブ・スルー・サファ リ、ウォーキング・サファリ、ふれあい牧場の3つのゾー ンから成り、約1,200 頭羽の動物を放育している。第1図 にウエストサイド・パークの配置を示し、飼育動物の頭羽 数を第1表に示す。

1. 3 レジャーゾーン, イーストサイド・パーク

イーストサイド・パークは、最新鋭の大型遊戯施設、ス



7.1.09 NL 0 (1004/2)

第	1 表	飼育動物
Tal	ole 1	Bred Animal

Bred Animal	s					
animals		animals		animals		
1 ostrich	20	11 squirrel	200	21 bison 10		
2 sheep	10	12 lion	30	22 elk 10		
3 donkey	2	13 tiger	10	23 mouflon 30		
4 pony	5	14 bear	10	24 white rhino 6		
5 dama walla	ıby 5	15 giraffe	6	25 African elephant 10		
6 mare	4	16 simitar horn	ed 10	26 cheetah 20		
7 playeddog	8	17 ducks	10	27 zebra 30		
8 panther	8	18 eland	8	28 camel 10		
9 bear	5	19 deer	20	29 Rocky mount, goat5		
10 raccoon	2	20 black buck	20	30 birds 800		
(Total) 1200						

ポーツ施設,食堂,売店などの施設が**第2図**に示した配置 に設けられている。

2. 姫路セントラルパークの処理施設

13 cheetah

16 african

rhino

18 giraffe

zebra

17 white

19 camel

20 ducks

21 ostrich 22 elk

23 bison

elephant.

14 tiger

15 lion

処理施設には,廃水処理と廃棄物(汚泥処理を含む)処 理とがある。廃水処理には,動物舎内からの尿を主とする 汚水と,観光客による生活系の汚水処理がある。廃棄物処 理には,動物ゴミと,廃水処理設備から発生する余剰汚泥 の混合堆肥化処理がある。

3. 汚水処理施設の概要

動物舎内排水(動物排水)と一般生 活排水は,二次処理までは別々の施設 で処理し,三次処理は両排水を合せた 施設で処理される。

二次処理については,動物排水およ び一般生活排水とも生物固定床方式の 回転円板接触方式とし,三次処理につ いては生物固定床方式の接触ばっ気方 式と,砂沪過を組合せた高級処理方式 とする。

処理水は、散水タンクに一次貯留後、 総合レジャーセンタ域内の自然緑地へ 散水処分する。また処理水の一部は、 動物排水の希釈水あるいは動物の飲み 水、動物舎の洗浄水、池の補給水など に再利用される。



1 ferris wheel 2 jet coaster 3 cycle monorail 4 merygo-round 5 great poseidon 6 air-fighter 7 super swing 8 enter-prise 9 fan house 10 mad mouse 11 safari pets 12 battery car 13 go-cart 15 air-cushion 14. 16 down town/gamecorner

第2図 イーストサイド・パーク Fig. 2 East side park

第2表 動物系計画汚水量 Table 2 The quantity of animal waste water

	m³/day	m³/hr	m³/min	note
av. flow rate (day)	60	2.5	0.0417	Q ₁ after dilution
max. flow rate (day)	90	3. 75	0.0625	$\begin{array}{c} Q_2 = Q_1 \\ \times 1.5 \end{array}$
max. flow rate (hour)	-	9.0	0.150	$Q_3 = Q_2 \times 1/T$
				T=10 Hr

第3表 生活排水系計画汚水量

Table 3 The quantity of	fc	lomestic	waste	water
-------------------------	----	----------	-------	-------

	m³/day	m³/hr	m ³ /min	note
av. flow rate per day	350	14.6	0. 243	Q ₁
max. flow rate per day	525	21.9	0. 365	$\begin{array}{c} \mathbf{Q}_2 = \mathbf{Q}_1 \\ \times 1.5 \end{array}$
max. flow rate per hour		52.5	0.875	$\begin{array}{c} \mathbf{Q_3=Q_2}\\ \times 1/1 \end{array}$
av. flow rate per day (tertiary treat. water)	410	17. 1	0. 285	domestie + animal

3.1 計画条件

1) 計画汚水量

動物系,一般生活排水系の各計画汚水量を**第2表,第3 表**に示す。

2)水 質

動物系,一般生活排水系の各水質を第4表,第5表に示す。

3) 処理フローシート

第3図に計画系統フローシートを計示す。

4. 堆肥化施設の概要

自然動物園内で発生する動物ゴミ(ボロ糞,敷ワラ), 動物系汚水処理設備よりの余剰汚泥を横形発酵処理方式に より堆肥化し有機肥料として再利用する。

堆肥化施設の計画に当り, ランニングコストが安いこと, 操作の簡単な装置であること, 装置のメンテナンスが

第4表 動物排水水質

Table 4 The quality of animal waste water

\searrow	raw wa	ste water	(ppm)	secondary treat	removal	tertiary treat
	infflut.	dilution	after dilution	water (ppm)	%	water (ppm)
BOD	1,120	10	565	60	89.4	av. 5
SS	2,070	10	1,040	85	91.8	av.

note 1. Use of tertiary treat. water for dilution

```
2. Quality after dilution
```

• BOD =
$$\frac{1,120 \times 30 + 10 \times 30}{30 + 30}$$
 = 565 ppm
• S S = $\frac{2,070 \times 30 + 10 \times 30}{30 + 30}$ = 1,040 ppm

第5表 一般生活排水水質

Table 5 The quality of domestic waste water

	raw waste (ppm)	secondary treat. water (ppm)	tertiary treat. water (ppm)	removal %
BOD	200	20	av. 5	97.5
SS	250	50	av. 5	98.0



第3図 汚水処理施設系統フローシート Fig. 3 Flow sheet

容易であることなどを考慮し移動回転式横形発酵装置を採 用した。この移動回転式横形発酵装置の特長は次のとおり である。

- 1)太陽熱と発酵熱を有効に利用した高効率の装置であ る。
- 2) 還流製品などの水分調整材と汚泥の混合(調質)や 切返しが同一槽内で効果的にできる。
- 3) オガクズなどの水分調整材は常に必要とせず,大幅 に節約できる。
- 4) 投入汚泥の性状変動(水分, pH など)に対しても 対応できる。
- 5) 混合撹拌機は、タテ、ヨコの二方向を備えており効 率よく混合できる。
- 6) 混合撹拌と同時にブロワを作動させ,好気性発酵と 乾燥効果を高めている。

第6表 各発酵槽の型式別性能比較表

Table 6 Comparison of composting facilities

			function of composting facilities \bigcirc very good \bigcirc good \triangle common \times worse					worse			
		classification (type)	1 uniformity	2	3	4	5	6	7	8	9
			of air balance	mixing	air control	deodori- zation	mainte- nance	initial cost	running cost	of compost startup	outside view
rotary	Α	scrumber	0	0	×	0	0		×	0	0
drum	В	shaft	0	0	×	O	\bigtriangleup		×	O	Ō
non	Α	one stage	Δ	×	×	0	0	0	0	0	0
shaft	В	two stage		×		0	Ō	Õ	Õ		Õ
	С	multi stage	Δ			×	0	0	0		Δ
	D	turn over		Δ		×	0	0	O	Δ	Δ^{t}
rotary	Α	vertical two stage	0	\triangle	0	0	\triangle	Δ	×	\wedge	0
shaft	В	vertical multi stage	0	0	O	0	Δ	×	×	\triangle	õ
	С	horizontal one stage	\triangle	\triangle		0	\triangle	\triangle	×	0	Ō
	D	horizontal two stage	0	0	0	0	\triangle	\triangle	×	Δ	0
	E	horizontal multi stage		0	0	0	×	×	×	Δ	\bigtriangleup
moving	Α	vertical		\bigcirc	\triangle	×	×	 ×	×	0	
shaft	В	vertical (multi stage)		\circ	0	0	×	×	×	Ō	$\overline{\Delta}$
	C	vertical (one stage)		\bigtriangleup	Δ	×		0	×	\triangle	\triangle
	D	bucket	\triangle	O	Δ .	×	Δ	0	×	\bigtriangleup	0
	E	snovei		Δ	Δ	×	$\Delta_{\mathbf{r}}$	0	$\cdot \Delta$	\bigtriangleup	\triangle
moving	Α	slide	0	×	0	0	O	0	0	Δ	0
bed	В	belt	Δ	0	0	0	×	×	\triangle	0	ŏ
gravity	Α	slope	×	Х	Δ	×	0	×	0	×	
fall	В	multi stage	Δ	0	0	0	Δ	×	Δ	Δ	$\stackrel{1}{\circ}$

なお参考までに現在市場に出廻っている発酵槽の型 式及び各機能の比較表を第6表,第4図に示す。

4.1 堆肥化施設の設計条件

このたび,発酵槽としてSPコンポを採用した。各設計 計画条件は次の通りである。

- 1) 処理容量
 - 1,257.6kg/d 水分75% a) 動物糞(屋内) b)動物糞(屋外) 1,450.5kg/d 水分80% c) 敷ワラ 1,000.0 kg/d 水分60% d)動物系汚水処理余剰汚泥 100.0kg/d 水分85% 合計 3,808.1 kg/d 水分73%
- 2) 発酵処理条件

a)	発酵日数	(一次発酵)	35日間
b)	11	(二次発酵)	30日間
c)	水分調整,	発酵槽内の製	品を一部還済
さ	せ水分調	整材として利用	する。
d)	製品水分	45	% (35日後)

- e)送風量 $90\ell/min. m^2$

4.2 堆肥化施設の構成

第5図に堆肥化施設の構成を示す。

1)温室

太陽熱を有効利用するためガラス板を使 用した温室仕上げとする。また臭気対策を 考慮した密閉構造とする。(写真1)

2) 発酵槽

発酵槽は、横形回行式でコンクリートお

よび一部コンクリートブロック製であり,床面に通風 用の配管を設置している。

混合撹拌機は,自走ロータリー式で原則として1日 1回混合切返しを行ない空気と接触させ発酵を促進す るとともに一定量(約1m)汚泥を移送する。また, 混合撹拌機の運転と同時に汚泥散布装置を動かし発酵 槽内堆肥上に散布し混合調質を行うよう配慮されてい る。(写真2)

3) 送風ブロワ 発酵に必要な酸素を供給する。水分が高く発酵状態



神鋼フアウドラー技報





写真1 堆肥処理施設全景 Photo1 Whole view of compost facilities



写真2 混合搅拌機 Photo2 Compost mixer

が悪いとき,冬期など必要に応じて運転する。 4)排風(脱臭)ブロワ

- 温室内を排気し臭気対策を行う。
- 5) ストックヤード

ストックヤードは,製品置場と脱臭槽を兼用する。 発酵製品を 堆積した 下部へ温室の 排風を通し 脱臭す る。

4.3 堆肥化施設機器仕様

1)	発醒	槽		1 槽
	斗	法	深さ	0.9m
			幅	6. 0m
			直線長	さ 32.0m
	有效	容量	176m ³	(汚泥積高さ0.8m)
2)	発酵	槽搅拌槽	熋	1基
	形	式		自走式ロータリ撹拌機
	タテ	搅拌用馬	区動装置	2.2 kW×2台
	э э	撹拌用專	区動装置	11.0 kW×1台
	走行	用駆動對	专置	$0.2 \mathrm{kW} imes 2$ 台
	自走	速度		1.0 m/min
	汚泥	移送距离	隹	約1.0 m/回
	エア	ーブロフ	7	0.4 kW×1台
	汚泥	散布装置	Ē	1基
		容量		2.0m ³
		駆動装置	三 .	5.5 kW×1台
3)	送風	ブロア		2 台
	形	式	渦流式	
	風	量	7.0 m³/	'min



写真3 発酵状况 Photo3 Internal view of compost facilities



第6図 発酵温度パターン

Fig. 6 Temperature profile for composting

	静	圧	500 mmAq	
	電動機容	量3	3.7 kW	
4)	排風(膨	(臭)ブロフ	7	2 台
	形	式	渦流式	
	風	量	8.4 m³/min	
	静	圧	600 mmAq	
	電動機容	*量	5.5 kW	
5)	貯留槽			1槽
	形	式	野積方式	
	発酵槽的	汉量	$2.0 \ { m m^{3}/d}$	
	二次発酵	针数	30日	
	二次発酵	¥槽容量	72m ³ (積高。	≚1.5m)
6)	汚泥投入	、ピット		1基
	容	量	6.8m ³	
	排出スク	リュ	2.2 kW	
7)	汚泥移送	ミベルトコン	ベヤ	2台
	電動機容	量	1.0 kW	

5. 運転結果

昭和59年3月25日オープンの前に汚水処理施設,堆肥処 理施設ともに運転を開始したが,いずれも規定の汚水量が 排出されていないため調整の段階にあり十分なデータが得 られていない。特に堆肥施設は,写真3に見られるように 余剰汚泥と動物ふん,尿にくらべ敷わらが多い。しかし発 酵状況は第6図に見られるように非常に良好なパターンを 示している。今後,pH,水分,C/N,臭気等の分析と製 品の肥効について調査検討を行う予定である。

Recycling of Metal-plating Rinse Waste Water Using RO System

環境装置事業部 技術部 山本和良 Kazuyoshi Yamamoto 斎藤正男 Masao Saitō

A zinc plating rinse waste water recycling system has been introduced to one plating line of N company. In order to get sufficient rinse water quality and a high recovery rate, this system is equipped with an RO unit at the end of the treatment. This system has been effectively used since the beginning of 1984.

当社はこのたび亜鉛メッキライン排水再利用装置をN社 に納入した。本装置はメッキラインで使用される水洗水を 循環再利用するためのもので、凝集,沈殿,沪過の前処理 の後,逆浸透装置を用いることにより,良好な処理水質, 高い回収率の運転が確保できた。ここにその運転結果も含 め概略を紹介する。

1. まえがき

従来よりメッキ工業には多量の良質な水が必要であると 言われてきた。それはメッキの各工程で多量の水洗水を必 要とし、水質の良くない水を使用することは脱脂,洗浄,メ ッキ,後処理という各工程に悪影響を与えるからである。

- しかし近年メッキライン各工程の省資源対策として、
- 1) メッキ浴から品物に付着して持出される液の濃度, 量を減少すること。
- 2) 向流多段洗浄やスプレー洗浄などにより水洗水量を 低減すること。

3)水洗水中のメッキ浴成分の回収率を高くすること。 の必要性が認識され、メッキラインの諸設備の改善と共に 使用水量もかなり減少してきた。メッキラインに付属する 水処理設備においても、さらに進んだ水節約、および系外 排水量を極力低減させるという立場よりメッキ水洗水の高 度な回収再利用が強く要望されている。

今回当社が納入した水処理設備では、逆浸透装置を使用 することによりメッキ水洗水の約80%を回収するという高



度なクローズド型再利用システムが完成されている。各装 置は完全に自動化され,安定した自動運転が1984年1月よ り行われて今日に及んでいる。

2. メッキラインの概要

今回のメッキ工場の設備は、自動車用部品の亜鉛メッキ ラインおよびその後に続くクロメート処理ラインであり、 第1図にその概略工程を示す。

3. 設備の概要

当社が納入した水処理設備に流入する排水は, 亜鉛メッ キ工程よりの常時水洗水とメッキ浴更新液, およびクロメ ート処理工程よりのクロム酸浴更新液の3種類である。

これらを総合的に処理するために、水処理設備は以下に 示す5設備から構成されている。

- 1) 亜鉛メッキ系水洗水回収設備
- 2) 亜鉛メッキ浴更新液処理設備
- 3) クロム酸浴更新液処理設備
- 4) スラッジ脱水処理設備
- 5) 薬品注入設備

3.1 亜鉛メッキ系水洗水回収設備

水洗水を回収し再利用するためには水洗水に含まれる濁 質や各種イオン濃度を補給工業用水程度に低減する必要が ある。また系外排出水量規制により回収率を80%以上確保 するためにも,本設備では逆浸透装置(RO装置)を導入し ている。RO装置の設置にあたっては,鉄イオンや濁質,

> シリカ成分 などの RO 膜に 悪影響を与える 因子を除去し長時間にわたり安定して効率よ く使用するためのRO前処理設備が必要であ る。第2図にその処理工程フローシートを示 す。

1) RO前処理設備

水洗水に含まれる亜鉛や鉄などの金属イオ ンは金属水酸化物として,懸濁物質(SS)や シリカと共に凝集処理後,沈殿槽にて固液分 離される(写真1,2)。pH調整剤には苛性ソー ダ (NaOH),凝集剤には塩化第2鉄(FeCl₈) を使用している。

沈殿処理水を重力式複層沪過器(写真 3)に送り滅菌用の次亜塩素酸ナトリウム (NaClO)を注入後,圧力式砂沪過器(写真 4)により仕上げ沪過をおこなう。

30



第2図 亜鉛メッキ系水洗水回収工程フローシート Fig. 2 Flow sheet for zinc plating rinse water recovery

仕上げ沪過後酢酸セルロース系逆浸透膜の加水分解を防 止するため, 硫酸(H₂SO₄) 注入により pH 調整をおこな い, さらにカートリッジフィルター(写真5)通過後, 水 温が 20°C 以下の場合は逆浸透膜の透過水量低下を防止す るためプレート式熱交換器(写真6)にて水温を上昇させ 沪過処理水槽に貯留する。

2) RO設備(写真7,8)

- メッキ水洗水処理に逆浸透法を採用するにあたっては, 1)脱塩率が高くかつ特定イオンについても除去率が満 足される。
- 2)透過水量が大きい。
- 3)前処理設備が簡略である。
- 4) 耐塩素性にとみ、殺菌が容易である。
- 5) 膜閉塞に対し種々の洗浄法がとれる。

などの留意点を考慮し、実績のある最適逆浸透膜を選定し 装置設計する必要がある。

本装置のRO設備にはきわめて高い脱塩率および回収率 も要求され、酢酸セルロース系スパイラル形の逆浸透膜を 用い2段処理する方法を採用した。第1表に使用した逆浸 透モジュールの仕様を示す。



写 真 1 常時系 pH 調整槽および凝集槽 Photo.1 pH control tank and coagulation tank for rinse waste water



写真2 常時系沈殿槽 Photo.2 Sedimentation tank for rinse waste water



常時系重力式沪過 Photo. 3 Gravity filter for rinse waste water

次にRO設備廻りの概略フローシートを第3図に示す。 pH 調整ならびに 加温された後, 沪過処理水槽に送られた 前処理水(RO原水)は,NO.1加圧ポンプ(写真9)によ



写真4 常時系仕上沪過器 Photo.4 Polishing pressure filter for rinse waste water



写真6 熱交換器 Photo.6 Heat exchanger



- 写真5 カートリッジフ ィルター Photo.5 Cartridge filter
- 第1表 RO モジュール仕様 Table 1 Specification of RO module

Configuration	Spirally-wound	
Material	Cellulose acetate	
Salt rejection (NaCl)	Average 95% Minimum 94%	
Output capacity	Average 23 m³/d Minimum 21 m³/d	
(Physical data)	Operating pressure Operating temperature Feed concentration (NaCl) Feed pH acceptable Brine flowrate	30 kg/cm ² 25°C 0.15% 5 ~ 6 40 1/min

り 25 kg/cm² 程度まで 昇圧され1 段目RO装置 に送られ る。そこで処理されたRO透過水はRO中間槽に貯えられ た後 NO.2 加圧ポンプにより同様に2 段目RO装置に送ら



写真7 逆浸透装置 (RO装置) Photo.7 Reverse osmosis unit (RO unit)



写真8 逆浸透装置前面 配管 Photo.8 Face piping of RO unit

れる。またRO濃縮水はROブライン槽に送られ亜鉛メッキ系更新液と混合処理される。2段目RO透過水は重炭酸 ナトリウム (NaHCO₃)によってpHを6~8に調整され回 収水槽(**写真10**) に貯えられた後,回収水ポンプによって



第3図 RO設備廻りの概略フローシート Fig. 3 Flow sheet for RO unit

再利用水としてメッキラインの水洗槽(3槽)に送られる。 また2段目RO装置におけるバクテリア発生防止のため中 間槽にも次亜塩素酸ナトリウム注入可能となっている。

3.2 亜鉛メッキ浴更新液処理設備

第4図に亜鉛メッキ浴更新液処理設備の処理工程フローシートを示す。亜鉛と鉄イオンを多量に含んだ更新液は塩類濃度の高いRO濃縮液と均一に混合され,水洗水回収設備と同様に2段pH調整および凝集反応の後(写真11),高分子凝集剤が添加され沈殿槽で固液分離される。

沈殿槽 処理水は 重力式複層沪過器に 送られた後, 硫酸 (H₂SO₄)にて中和され放流管理槽(**写真12**)に一時貯留さ れる。そこで処理水は水質チェックされ水質に異常がない ことが確認されるとN社内にある総合排水処理設備に移送 される。

3.3 その他の付属設備

クロメートラインより排出されるクロム酸浴更新液は処 理工程フローシート(第5図)に示すようにクロム系原水 槽に貯留された後,重亜硫酸ナトリウム(NaHSO₃)による 6価クロムの還元,中和処理が回分式に反応槽(写真13) にて行われ,ドラムドライヤー(写真14)により全量蒸発 乾固処理される。ドラムドライヤー排風ダクトにはダスト キャッチと白煙防止のため加温ジャケット式サイクロンが 設備されている。

亜鉛メッキ系水洗水回収設備と同更新液処理設備より排 出されるスラッジはそれぞれスラッジシックナー(**写真15**) および更新液沈殿槽からスラッジ貯槽に送り均 一混合貯留される。混合スラッジは高分子凝集 助剤を添加し横型遠心脱水機(写真16)にて脱 水処理される(第6図参照)。

薬品注入設備(写真17)の設計においては日常管理の省力化が図られ, pH 調整用の苛性ソ ーダ (NaOH), 硫酸(H₂SO₄)は適当な濃度に 希釈後自然流下にて各注入点に自動注入可能と なっている。

亜鉛メッキ系水洗水回収設備の運転 結果

第2表に亜鉛メッキ系水洗排水および回収水

の水質分析値の一例を示す。1984年1月より連 続運転に入っているが,回収水の水質分析値はすべて要求 水質を十分満足しており良質な回収水が再利用水として得 られている。

RO装置については2段処理により80%以上という高い 回収率にて運転されているが透過水水質は電気伝導度で30 μ S/cm at 25 °C, Cl⁻ 濃度は5 mg/ ℓ 以下という結果を得 ている。また運転開始以来4か月以上を経過しているが、 1段目、2段目RO装置共運転データ(水質、各バンクの 圧力、処理水量など)は初期値とほとんど変化なく目詰り の傾向は現れていない。これはRO前処理設備でのゆきと どいた水質管理の結果である。



写真9 加圧ポンプ Photo.9 High pressure pump



写真 10 回収水槽 Photo.10 Treated water tank



写真 11 更新液 pH 調整槽および凝集槽 Photo.11 pH control tank and coagulation tank for zinc plating bath waste water



第4図 亜鉛メッキ浴更新液処理工程フローシート Fig. 4 Flowsheet for zinc plating bath waste treatment



写真 12 処理水管理槽 Photo.12 Treated water monitoring basin



第6図 スラッジ脱水処理工程フローシート Fig. 6 Flowsheet for sludge dewatering treatment





第5図 クロム系更新液処理工程フローシート Fig. 5 Flowsheet for chromate bath waste treatment



写真 13 クロム反応槽 Photo.13 Chromate reduction tank



写真 14 ドラムドライヤー Photo.14 Drum dryer

Vol. 28 No. 2 (1984/6)



写真 15 スラッジシックナ ー Photo.15 Sludge thickener



写真 16 遠心脱水機 Photo.16 Decanter

5. むすび

N社納入亜鉛メッキライン排水再利用装置の概要を述べ たが,RO装置を用いた本プロセスは亜鉛メッキ以外のメ ッキライン水洗水の回収装置や他分野の排水回収設備にも 参考になりえるものと確信する。またメッキ排水の処理に おいては,有価物の回収と水洗水の再利用を同時に安価に おこなう完全クローズド処理技術の確立が急がれており RO装置を用いる技術はその有効な手段として利用される ものと考えている。

最後に本設備の建設,運転に際し多大な協力と助言をいただいたN社関係諸氏に対し深く感謝の意を表する次第である。



写真 17 薬品注入設備 Photo.17 Dosing facilities

第2表	亜鉛メッキ系水洗排水および回収水の水質分析				
Table 2	Composition of zinc plating rinse waste water				
	compared with that of treated water by RO				

	Zinc plating rinse waste water	Treated water by RO
pH	2.7	6. 6
Electric conductivity (µS/cm, at 25°C)	1970	30. 2
M-Alkalinity (CaCO ₃ , mg/ ℓ)		4. 2
Total hardness (CaCO ₃ , mg/l)	3. 4	< 0.3
TDS (mg/ℓ)	519	< 50
COD _{Mn} (//)	0.5	< 0.5
TOC (//)	< 10	< 10
Cl- (//)	332	4.0
NO ₃ - (//)	16.8	4.2
Zn^{2^+} (n)	1.4	< 0.02
Fe ²⁺ (//)	3.6	< 0.02

社内ニュース

1. '84下水道展に神鋼グループとして出品参加 "世界に誇る最新技術"をメーンテーマに,東京・晴海の 東京国際貿易センターで「'84下水道展」が1984年4月16 日から20日までの5日間盛大に開催された。

この展示会は,(社)日本下水道協会主管,(社)日本水道 工業団体連合会,日本工業新聞社などが主催で開催された もので今回で4回目を迎えた。公共事業関係予算が前年度 比2%減と厳しい状況にもかかわらず,わが国の主要な水 処理機械関連メーカーなど 250 社が出展し、来場者は過去 最高の約6万人を数え,下水道に対する関心の高さを示した。

当社は、この展示会に縦軸エアレーション方式によるシ グマディッチの実機(モックアップ)と模型,省エネ型ばっ 気装置SPジェット(模型)およびAW脱臭装置(模型) を出品展示し多数の来場者があった。なお,出品は神鋼グ ループとして(株)神戸製鋼所と共同出品した。



10小間にわたって出品展示



シグマディッチ (模型)

