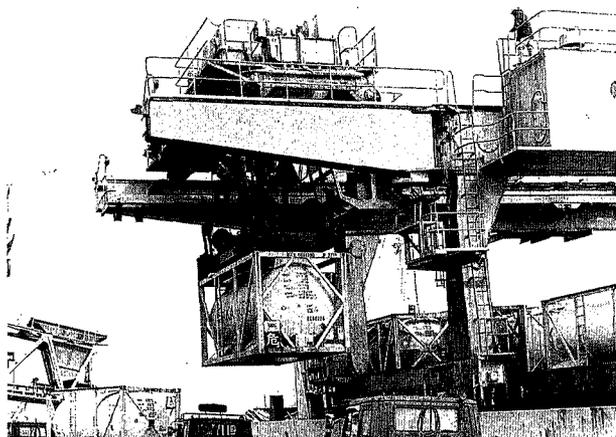


目 次
CONTENTS

- プロセス運転監視システム「プロセスモニタ」…………… 1
Process Operating and Monitoring System "Process Monitor"
- 攪拌機のインバータ駆動とその問題点…………… 7
Inverter Applied to Agitator Drive and its Problem
- 応力腐食割れの検査と補修方法…………… 12
Maintenance Procedures for Stress Corrosion Cracking
- AQUATECH System による硝ふっ酸の回収…………… 17
Recovery of Nitric and Hydrofluoric Acids from the
Waste Pickle Liquor by AQUATECH System
- 食品工業廃水におけるABCシステムの運転結果…………… 22
Performance of ABC System Treating Food Processing Waste
- 乾湿併用形冷却塔の紹介…………… 28
Wet and Dry Cooling Tower of Counter Flow Type
- 社内ニュース…………… 33
TOPICS



<表紙写真説明>

写真は品川埠頭公共バース（東京都港区）に着岸した商船三井近海（株）の十勝山丸（4 922 ton）での当社タンクコンテナ荷役作業で、品川、苫小牧、釧路間を往復している。

この十勝山丸は8'×8'×20'のコンテナ168個の積載能力があり、当社の危険物用タンクコンテナも一航海当り20～30個が運ばれている。

1984年2月の国鉄北海道貨車合理化（廃止）を契機に最も合理的輸送手段であるタンクコンテナ海上輸送が年々増加の傾向にある。

The photo shows the loading operation of our tank containers onto Tokachiyama maru (4922 ton, Mitsui Kinkai Co.) at Shinagawa public berth, Tokyo.

Tokachiyama maru, capable of carrying 168 containers of 8'×8'×20' size, carries 20 to 30 of our dangerous fluid tank containers at every voyage.

Tokachiyama maru is voyaging between Shinagawa and Tomakomai, Kushiro. This sea transportation route has become the best transportation route, and the amount of tank container transportation of this route is increasing year by year after the reduction of JNR freight train service in at Hokkaido in February 1984.

プロセス運転監視システム「プロセスモニタ」

Process Operating and Monitoring System "Process Monitor"

技術開発本部

広岡隆志

Takashi Hirooka

橋岡啓司

Keiji Hashioka

(化)プラント部 プラント設計課

橋口良徳

Yoshinori Hashiguchi

A multi-purpose process operating and monitoring system by a personal computer, "Process Monitor" has been developed.

The exchange of handlers makes it possible for "Process Monitor" to be applied to any instrument, and its utility programs make it easier to build up the system for a specific process. Flexibility and high productivity of software have been achieved by these features. High-speed and high-performance have also been carried out by a real-time multitask OS.

パソコン用の汎用プロセス運転監視システム「プロセスモニタ」を開発した。

ハンドラを変更することにより、各種の機器に対応が可能で、ユーティリティによって専用のシステムを簡単に構築できるようになっている。そしてこのような特長により、柔軟性、ソフトウェアの生産性に優れ、またリアルタイムマルチタスクOSを使用することにより、高速で高機能なシステムを実現した。

まえがき

最近、パーソナルコンピュータ(以下、パソコンという)を利用した計測・制御システムがメーカ、ユーザを問わず広く普及している。パソコンは、数年前のイメージと大きく異なり、ある程度の対策を取ることで、産業用に应用することが可能であり、現在の普及はその現れと言える。パソコンを利用するメリットは多くある。まず、経済性に富み、高機能性(カラーグラフィック表示、大容量メモリー、漢字表示、外部記憶装置、各種周辺装置、etc.)を有し、さらに、汎用ソフトウェア(OS, 言語, アプリケーション)が豊富であることである。

当社においても、ここ数年来パソコンを用いた運転監視システムを開発し、納入してきた。しかしながら、パソコンという性格上、BASIC言語が主体となり、高度な機能の実現にはいろいろと問題があった。それは、

- (1) パソコン内蔵のBASIC言語はインタプリタ型であるため処理スピードが遅い。
 - (2) 割り込みに対するサポートが弱いためリアルタイム処理性にかける。
 - (3) シングルタスク型OSであるため多くの機能をプログラムに組み込むには限界がある。
- などである。また一方では、
- (4) システムの多種多様性によりプログラムの作成は一品料理となりソフトウェアの生産性が悪い。

などの問題もあった。

この経験を生かし、このたび、多くのプロセスに汎用的に应用できるプロセス運転監視システム「プロセスモニタ」を開発した。

「プロセスモニタ」は、プロセスの運転状態の監視、デ

ータ収集、画面表示などの機能をパソコンで実現するためのシステムである。必要により、制御機能を付加することも可能である。

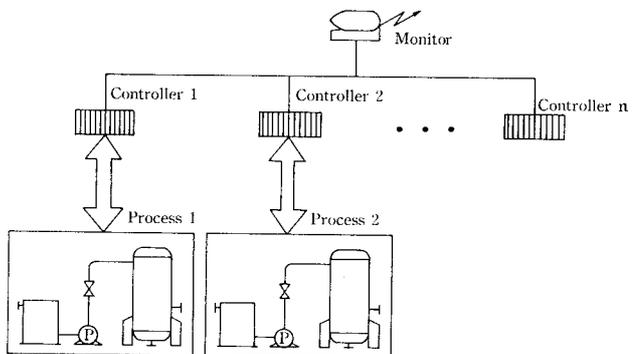
以下「プロセスモニタ」について、概要と特長、システム構成、ソフトウェア機能、応用について説明する。

1. 概要と特長

1.1 概要

一般に計測制御システムは、第1図に示すようにプロセス、制御機器、監視装置などから構成され、各機器、装置の役割機能分担が決められている。プロセスは、各種水処理プロセス、化学プロセス、または、研究室、試験室での実験装置などである。また制御機器としては、PC (Programmable Controller: プログラマブルコントローラ)、DDC (Direct Digital Controller: デジタル調節計)、データ収集機器などが用いられプロセスのシーケンス制御、アナログ量の調節、データの収集などを行う。さらに上位の監視装置としてパソコンなどのプロセッサを用いることでインテリジェントな機能を付加することができ、運転監視、データロギング、プログラム制御などができる。

この段階でのパソコン利用において、一般に、コントローラの機種、台数、内部点数などの面がシステムごとにより、プログラムは一品料理となっている。これは、プロ



第1図 計測制御システム

Fig. 1 Typical measuring and control system

グラムの生産性、保守性の面からいって、好ましいことではなく問題になっている。

「プロセスモニタ」はこの段階での使用を目的に開発したプログラムレスで使える汎用ソフトウェアであり、制御機器の機種を選ばないという新しい概念で設計されている。各種の制御機器への対応は、ハンドラ（制御機器と直接データをやり取りするプログラム）を機種ごとに用意してシステムに組み込み、内部では統一化されたコマンドにて処理しているため、多くの市販制御機器を同一概念で使用できる。

また、「プロセスモニタ」のOSには、MS-DOSファイルがアクセスできるリアルタイムマルチタスクOSをもちい、各機能単位にモジュール化したプログラムを並行して走行させているので、機能性、操作性が向上している。

言語には、C言語およびアセンブリ言語を用いており、オブジェクトはコンパクトで高速な処理を可能にしている。

一方、「プロセスモニタ」のシステム構築はユーティリティソフトウェア（以下、ユーティリティソフトという）により、プログラムの知識を必要とせず、簡単に行うことができる。このソフトウェアにより設定・登録されたデータは、ディスク上に保管ができ多品種、多目的への対応も可能である。

「プロセスモニタ」の仕様（適用範囲）を第1表に示す。また、「プロセスモニタ」の機能を第2表に示す。

1. 2 特長

「プロセスモニタ」の特長をつぎに掲げる。

- (1) パソコン、市販の制御機器を利用したプロセス運転監視システムが経済的に構築できる。
- (2) リアルタイムマルチタスクOSにより高速、高機能を実現している。
- (3) データディスクは、MS-DOSのファイルとして利用できる。
- (4) ユーティリティソフトにより、簡単に短期間でシステムの構築ができる。
- (5) ユーザにて、制御プログラムを作成し、並行して走らすことができる。
- (6) 既設の各種プロセスにも応用できる。

2. システム構成

2. 1 ハードウェアシステム

ハードウェア構成を第2図に示す。パソコンはNEC製PC-9800シリーズおよびFC-9801(V)が標準であるが、24時間連続運転の場合はFC-9801(V)を推奨している。メモリは最低384 Kバイト必要であるが、ハンドラの数等システム構成により異なる。外部記憶装置としては、フロッピーディスク(2ドライブ以上)、ハードディスクを使用するが、条件のよい環境ならばフロッピーディスクのみのシステムでも使用可能である。しかし、信頼性、スピードの

第1表 「プロセスモニタ」の仕様

Table 1 Specification of "Process Monitor"

Specification of hardware

Computer	• 16-bits personal computer
Display	• 640×400 dots Color CRT display
Disk unit	• Floppy disk unit or hard disk unit
Printer	• Kanji printer
Terminal (Option)	• CRT display terminal (alarm, message, guidance display only)
Controllers	• PC, DDC, data logger, extending board, etc (max 16 devices available)

Specification of software

Tag	• Max 1024 points
Event	• Max 256
Tag of event	• Max 8 points
Data logging condition	• Event and/or interval
Data logging tag	• Max 60 points/data log
Trend graph	• Max 16 screens
Trend graph pen	• Max 6 pens/screen
Graphic display	• Max 128 screens(depend on disk capacity)
Dynamic display of tag	• Max 64 points/graphic screen
User task	• Max 8 tasks

第2表 「プロセスモニタ」の機能

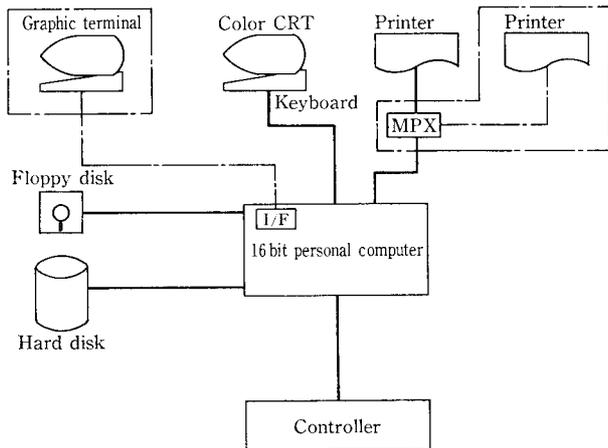
Table 2 Functions of "Process Monitor"

Function	Contents
Event monitor	• Alarm • Message • Status
Data logging	• Interval driven type • Event driven type
Graphic display	• Process flow • Process operation information
Trend graph	• Real time trend graph • Historical trend graph
Alarm display	• Real time alarm display (printer and/or terminal output) • Historical alarm display
Report output	• Daily, monthly report
Control	• Control with special algorithm
System build up	• Utility software package is available

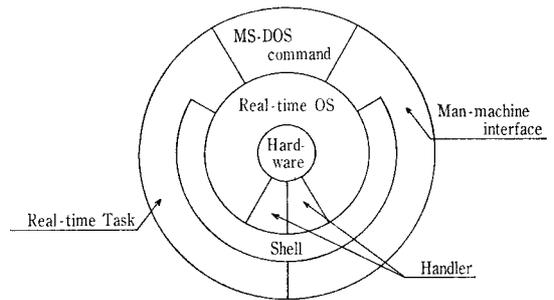
点でハードディスクの使用を推奨する。

CRTは640×400ドットのカラーCRTが必要で、オプションでキャラクタターミナルを接続できる。この場合キャラクタターミナルは、メッセージとガイダンス専用として使用される。

プリンタは漢字プリンタ1台を標準とし、この場合アラームの発生、消滅、日報、月報を1台で印字する。もちろん、適切な優先順位が設定されており、アラームと日報が入り交じるようなことはない。また、マルチプレクサによ



第2図 ハードウェア構成図
Fig. 2 Hardware configuration



第3図 ソフトウェア構成図
Fig. 3 Software configuration

り2台のプリンタを切り替えて、アラーム用と日報・月報用に分けて使用することも出来る。

そのほかに、シーケンサ、DDC、データ収集機器等のプロセス制御機器や計測機器とのインターフェイスボードが必要である。現在のところ、RS-232C、GPIB、RS-422、ビットバス等が使用可能で、そのほかの専用通信回線でも、インターフェイスボードがあれば対応可能である。通常はRS-232Cがよく使われるが、この場合同じボーレートであれば、マルチプレクサの使用によりチャンネル数を増加させることもできる。

2.2 ソフトウェアシステム

2.2.1 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を第3図に示す。リアルタイム・マルチタスクOSと、接続機器ごとのハンドラが、本システムのベースである。その上層にシステムの構成や動作を規定するシステム定数を管理するSDM (System Data Manager)と、プロセスデータを管理するPDM (Process Data Manager)があり、各タスク

からの要求に応えるようになっていく。PDMは、プロセスデータの入出力のためにハンドラを管理している。このSDMとPDMを合わせて“シェル”と呼ぶことにする。

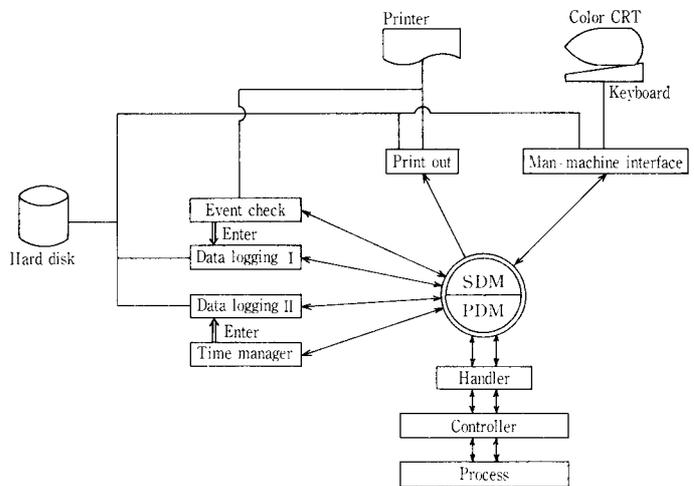
システム立ち上げ時にユーティリティで作成されたファイルからSDMに、システム定数(タグコード、イベント等)を展開するシステムイニシャライズタスク、リアルタイムな処理、監視を行うリアルタイムタスク、マンマシンインターフェイスを行うバックグラウンドタスク等が、DOSやシェルの上層にある。

システム定数をファイルに設定するユーティリティは通常オフラインで使用されるが、システム定数によってはオンラインユーティリティも利用できる。

以上が本システムのソフトウェア構成である。図から明らかのように、バックグラウンドタスクとしてMS-DOSのコマンドを実行することも可能である。

2.2.2 OS

本システムでは、16ビットコンピュータ用OSとしては最も普及しているMS-DOSのファイルを利用できるリ



第4図 ソフトウェア機能図
Fig. 4 Software function

アルタイムマルチタスクOSを用い、各機能のリアルタイム・マルチタスク処理を可能にしている。ロギングされたデータを何らかの形に処理したいとき、OA用として圧倒的に普及したMS-DOS上で作成されたファイルならば、あとの処理が容易である。

以下の説明のために、ソフトウェア機能図を第4図に示す。

2.2.3 シェル

1) PDM (プロセスデータ管理)

PDMは、他のタスクからメールボックスによりリード/ライトの要求を受け取り、それを適切なハンドラに手渡す。ハンドラは受け取った要求に従ってリード/ライトのためのコマンドを作成し、プロトコルに従って通信を行い、その結果をPDMに返す。PDMは要求されたタスクに対して結果を返す。内部でやり取りされるデータの表現は、ビットデータは1バイト(0/not 0)、アナログデータは8087の4バイト浮動小数点数(IEEE規格)である。

2) SDM (システムデータ管理)

SDMは各種のシステム定数のテーブルを内部に持ち、

システム立ち上げ時にシステムビルドアップタスクが、これらのテーブルにシステム定数をセットする。システム動作時には、各タスクがこれらのテーブルを参照しながら各種の処理を行う。

3. ソフトウェア機能

3.1 リアルタイムタスク

1) 時間管理タスク

このタスクの役割の1つは、時刻をチェックして決められた時刻になると、インターバル起動されるデータロギングタスクを起動することである。

もう1つの役割は、入手した新しいプロセスデータの保持時間をカウントすることである。この処理は次のような意味を持つ。

通常、通信によってプロセス機器からデータを得る場合、複数のデータが一度に返ってくる場合が多い。例えば、シーケンサの入力データが一度に8点分返って来たり、DDCのアナログデータにステータスがついてきたりといった場合である。通信に要する時間は、パソコンの処理時間に比較すると大きいので、せっかく得たデータを捨てるのは大きなロスになる可能性がある。そこで、入手したデータはすべてテーブルに保存し、一定時間(1~5 sec)内は機器をアクセスせずに、このテーブルから値を取り出す。このように、データを保存する時間をカウントするわけである。

2) イベントの監視

このタスクの第一の役割は、イベント(アラーム、メッセージ、ステータス)として設定された値を監視し、その発生、消滅をSDMのイベントヒストリテーブルに記録する。同時に画面の左上に、その発生をオペレータに通知するためにアラーム、メッセージ、ステータスの3つに分けて表示する。また、プリンタが接続されている場合には発生、消滅をプリンタに出力する。

第二の役割としては、データロギングの起動条件として設定されたイベントを監視して条件が満足されれば、データログを起動する。

3) データログ I (インターバル起動)

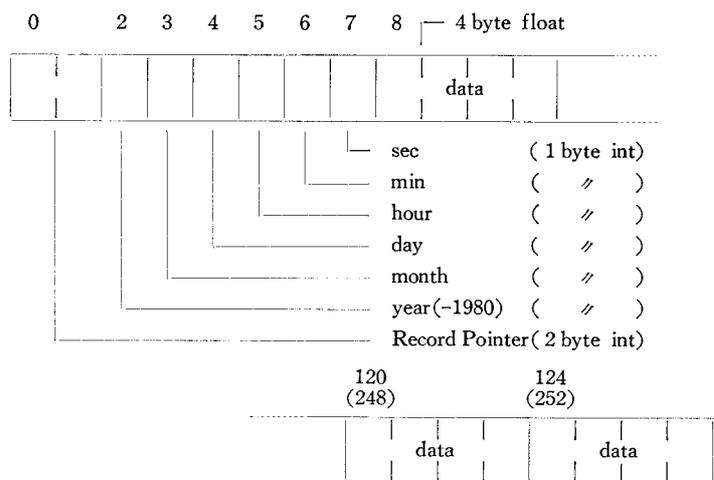
データログのうち、起動条件がインターバルであるもので、起動は前述した時間管理タスクがかかる。

データのフォーマットを第3表に示す。データが30個以下のときは128バイト/レコード、31~60個のときは256バイト/レコードである。

データログ登録の際に「バッチ」と登録したときは、データはロギングファイルの後ろから継ぎ足されて行く。「ロータリ」と登録したときはファイルサイズ256 K バイトを最大として、それ以上になると1レコード目に戻って重ね書きする。これだけでは最終書き込み位置が分からないので、レコードポインタが書き込まれる。レコードポインタは決まった位置にある必要があるため、常に1レコード目に書き込まれ、その他のレコードでは意味を持たない。連続プロセスの場合で、データを残す必要がなければ、「ロータリ」と登録しておけば、常に256 K バイト分だけロギン

第3表 ロギングファイル・フォーマット

Table 3 Logging file format



グファイルが残っていることになる。

データの形式は、レコードポインタが2バイト整数、日時は1バイト整数、データは4バイト浮動小数点数(I E E規格)である。

4) データログ II (イベント起動)

データログのうち、イベントが設定された条件になったときに起動されるもので、ロギングファイルの内容は「データログ I」と同様である。

5) プリンタ出力

日報、月報など登録されたフォーマットのプリント出力を行う。設定時刻毎、またはファンクションキーを押すことにより起動されるが、マルチタスクOSを採用しているので、この間マンマシンインターフェイスは、中断されることなく動作する。

3.2 マンマシンインターフェイス

マンマシンインターフェイスはファンクションキーによって切り替えることができ、同じタスクで複数のデータを扱えるもの(トレンド表示、グラフィック表示など)は、さらにデータの切り替えもファンクションキーで行う。以下に各タスクについて説明する。

3.2.1 グラフィック表示

このタスクは、プロセスフローや運転状態監視画面の表示に使用され、監視用に適している。

起動され、データが選択されると、まず画面データが読み込まれる。これは、グラフィック画面のうち静止している部分で、ユーティリティソフトによって描かれたものである。つぎにダイナミック表示部がPDMからデータを得てリアルタイムに表示を繰り返す。ダイナミック表示は例えば、バルブの開閉、機器のON/OFF状態を色の変化で、また液面計、温度計などのアナログ計測値をバーグラフ、数値で表示することができる。

3.2.2 リアルタイムトレンド表示

SDMに登録されたスパンで最大6点のデータをリアルタイムにトレンド表示する。スパンの変更や、ファンクションキーによる画面の切り替えが可能である。

3. 2. 3 ヒストリカルトレンド表示

ヒストリカルトレンドはロギングファイルからデータを読み出してトレンドグラフとして表示するタスクで、1画面当たり最大6ペンにデータを設定でき表示できる。データログの項で述べたようにロギングデータには「バッチ」と「ロータリ」の2種類があり、それによって表示の仕方が次のように異なる。

1) バッチ

通常は、スタート時から現在までの全てのデータを、時間軸を自動的に決めて表示する。ユーザが時間軸のスパンを変更したいときは、オンラインでSDMに設定可能であり、その場合は最新のデータをスパンの分だけ表示する。もちろん時間軸は過去にさかのぼることができる。

2) ロータリ

ロギングファイルからレコードポインタを読み出して、最終のレコード位置を調べ、最新のデータをスパンの分だけ表示する。この場合も、任意のスパンで、任意の時点のデータを表示することができる。

3. 2. 4 メッセージ表示とガイダンス表示

イベント管理タスクによりアラームの発生、メッセージの通知、ステータスの変化がオペレータに通知されるが、このタスクはその内容とそれに対するガイダンスを表示する。

イベントヒストリテーブルに記録されているアラーム、メッセージ、ステータスを表示し、それらについてガイダンスがあれば、キー操作によりガイダンスファイルから読み込んで表示する。オペレータはアラーム等を表示して確認キーを押すことで、イベントヒストリテーブルは更新される。

3. 3 ユーティリティソフト

ユーティリティソフトによる、ユーザのシステム構築手順を第5図に示す。以下、手順にそって説明する。

1) ディスクドライブの設定

ユーティリティソフトのシステムディスクと構築するデータディスクのドライブ番号の設定を行う。

2) 制御機器の登録

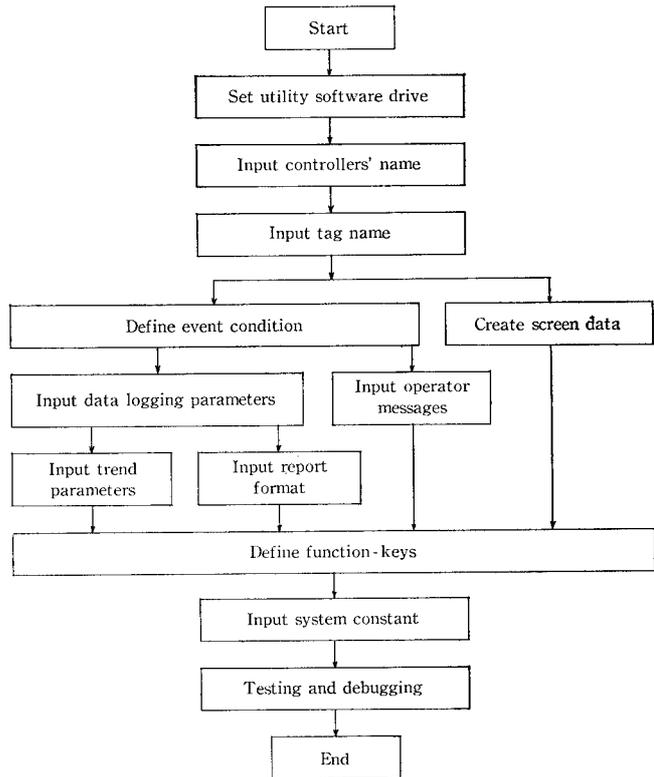
まず、ユーザは適用するプロセスに使用する制御機器を登録する。登録できる制御機器のメーカーと機種には、第4表のものを留意、または、準備しているが、他の機種についても、ハンドラを作成することにより、追加することができる。

3) タグ名の設定

ここで、登録された制御機器は、内部でタグリストに自動展開されるので、ユーザは、このリストにタグ名を設定するだけで各デジタル、アナログの入出力点を参照できるようになる。

4) イベントの登録

つぎに、イベント（事象）を登録する。イベントとは、プロセスのデジタル量、アナログ量の変化を監視し、事象として通知するためのもので、イベント番号に対しタグ



第5図 ユーティリティソフトによるシステム構築手順
Fig. 5 Flow of building up systems with utility software

第4表 制御機器のメーカーと機種
Table 4 Available controllers list

Controllers	Maker	Model
PC (Programmable logic controller) or DDC (Direct digital controller)	Izumi Corp.	FA-1 series
	Tateisi Electronics co.	C500 series
	Texas Instruments	PM-550 series
Data transfer device	Mitsubishi Electric co.	K2N series
	Chino Works, Ltd.	SG(X) series
Extend board	Teiryō Incorporated	Tesmic IF series
	Contec	PC module

名を設定する。必要により、各タグ間で、AND（論理積）、OR（論理和）、NOT（否定）の演算条件を付加できる。イベントで登録される各事象の種類としては、つぎの6種があり、ユーザが自由に設定できる。

- AL：アラーム通知（軽故障）
- AM：アラーム通知（中故障）
- AH：アラーム通知（重故障）
- MS：オペレータメッセージ通知
- ST：ステータス変化
- DL：データロギング起動

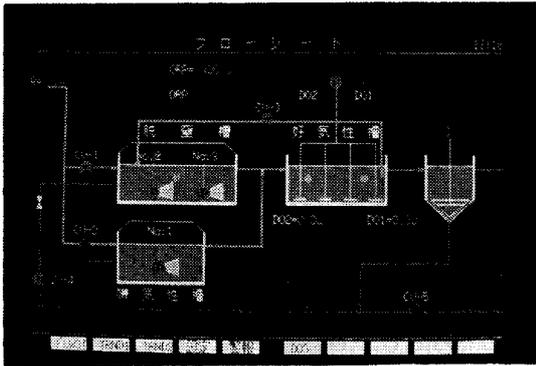


写真1 「リフォーナイトシステム」のプロセスフロー
Photo.1 Process flow of "Rephonite system"

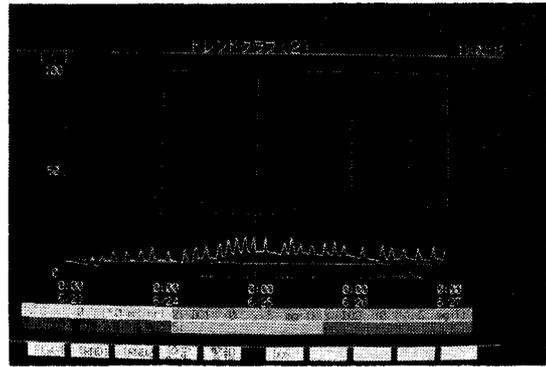


写真2 「リフォーナイトシステム」のヒストリカルトレンド
Photo.2 Historical trend graph of "Rephonite system"

5) データロギングパラメータの設定

データロギングにはインターバル（時間間隔）起動型と、イベント（事象）起動型の2つのタイプがあり、同時に利用することも可能である。インターバル起動型は、データファイル名およびロギング開始日時と時間間隔を、また、イベント起動型は、データファイル名を条件として入力し、データログするタグ名を設定する。

6) トレンドパラメータの設定

トレンドには、リアルタイム（実時間）トレンドと、ヒストリカル（経過時間）トレンドで、表示するタグ名を画面上の各ペンに設定する。また、同時に、キー表示ラベル、画面タイトルも設定しておく。

7) レポートフォーマットの設定

日報、月報などのレポートのフォーマットを設定する。各項目は、平均、合計などの演算が可能である。

8) メッセージの登録

前述のイベントで登録したアラーム（AL, AM, AH）、オペレータメッセージ（MS）、ステータス（ST）に対応して画面に表示する文字列を登録する。さらに詳細な情報をガイダンスとして登録することができる。

9) グラフィック画面の作成

グラフィック画面は、640×400ドット構成のカラーグラフィック表示ができ、画面上にタグ名を登録することにより、動的な表示が可能である。マウスを利用して、操作性を向上している。

10) キーの定義

キー（ファンクションキー）に各機能モジュールを設定する。

11) システム定数の設定

システムディスクとデータディスクのドライブ番号の設定、アラームのプリンター出力スイッチの設定など、システム定数を設定する。

12) テストおよび修正

以上で、ユーティリティソフトによるシステム構築ができたが、必要により、テストおよび修正を繰り返しシステムが完成する。

4. 応 用

「プロセスモニタ」を当社の脱窒脱りん処理プロセスである「リフォーナイトシステム」に応用したので簡単に紹介する。

写真1にプロセスフローを、写真2にヒストリカルトレンドの一例を示す。「リフォーナイトシステム」は、生物学的同時脱窒脱りんプロセスで、実スケールのパイロット装置が現在兵庫県三木市内の污水処理場で運転中である。「リフォーナイトシステム」は、脱窒槽、嫌気槽および硝化槽からなる循環式生物処理プロセスであるが、流入原水の負荷変動（流入量、水質の変動）があると処理水質が悪化する。そこで、流入原水の負荷量を検知し、循環液量、原水分注量（脱窒槽、嫌気槽への原水分注量）のフィードフォワード制御を行っている。そのほか、DO、ORPなどの計測制御、返送汚泥量、引抜汚泥量のプログラム制御なども行っている。また、「プロセスモニタ」を応用したことで、オペレータの操作性の向上、省力化が計られている。

現在、固定床式嫌気性廃水処理装置（ABCシステム）、超純水装置などにも応用している。これらの応用においても同様に、単なる運転監視システムにとどまらず、プロセスのもつ特有の処理ノウハウを制御アルゴリズムとしてプログラムに組み込み、処理性能の向上に効果を発揮している。

む す び

プロセス運転監視システム「プロセスモニタ」は、各種プロセスに幅広く応用できる汎用的なシステムであり、経済性、機能性、柔軟性そしてソフトウェアの生産性からみて、すぐれたシステムである。今後とも高度化、多様化するユーザのニーズに対応するため、当社独自のシステムを開発して行きたい。

MS-DOSは米国マイクロソフト社の登録商標

攪拌機のインバータ駆動とその問題点

Inverter Applied to Agitator Drive and Its Problem

(化)技術部 製品開発課
岡本 幸道
Yukimichi Okamoto

Recently, it is increasing to apply an inverter to an agitator drive instead of a mechanical speed variator. With this application, some problems which have not been experienced in the case of mechanical speed variators are occurring. For example, unusual gear clashing happens in a reducer box. This is mainly caused by the fluctuation of motor shaft speed at a certain frequency range of inverter out put.

In this paper, some characteristics and the problems of general purpose inverters applied to agitator drives, are discussed from the view point of a fabricant engineer of agitators.

まえがき

近年、攪拌機の変速駆動にインバータの利用が増加しつつある。従来の主流である機械式変速機との特長比較を行うと、インバータでの保守と管理が容易である、変速範囲が広い、動力効率が良いという長所に対し、機械式変速機ではトルク特性の自由度が高い、機械としての完成度と信頼性が高いという長所がある。経済性という点でも現在のところ両者ほぼ互格であり、攪拌機を前提とする場合、代替性の高い関係にある。

このような関係から、当社でも年間10台を越えるインバータ駆動の実績に至っているが、それに伴い固有の問題を生じている。具体的には減速機からの異音発生や駆動装置の振動となって出現する。そして、その原因が、インバータのカタログや技術資料に説明されている機械系との共振ではなく、汎用インバータと電動機の電気回路系が持つ固有の問題に帰結する場合が多い。

当社の実績からすると、インバータ駆動で上記の問題が発生する頻度は、インバータ駆動にとって致命的である程に多くはないが、駆動系のトラブル発生頻度としては見過ごし難い頻度になっている。

以上、インバータ駆動の問題を強調したが、このことが攪拌機への適用を否定するものではない。むしろ、機械式変速機では得られない長所を評価すれば、近い将来、変速機駆動の主流になる可能性を持っている。

現在、インバータに関する資料は電気メーカの出されたものが主である。それらには、先に紹介した問題に関する説明はほとんど見つけられない。本稿では攪拌機メーカの立場からインバータ駆動の特性と問題を説明する。

1. 汎用インバータ

本章では汎用インバータの構成と特性について簡単に説明する。その詳細についてはメーカの技術資料を参照されたい。

1.1 構成と原理

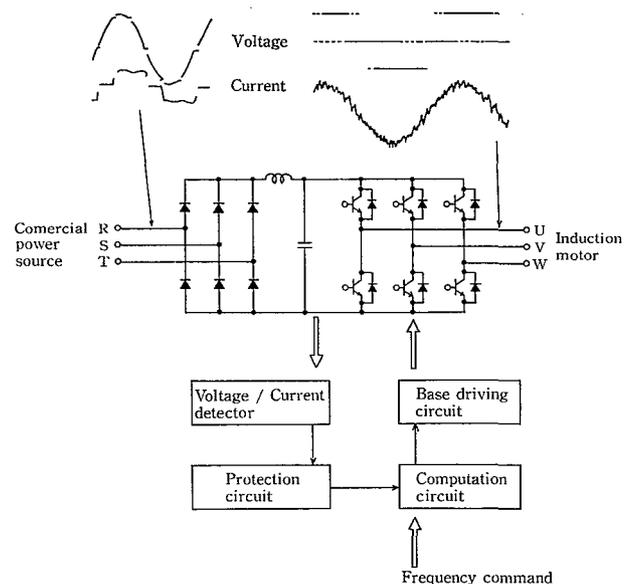
インバータには各種の方式があるが、通常利用される汎用トランジスタ・インバータについては、各メーカとも同一の方式の製品を市販している。すなわち、電圧形、電圧制御、正弦波変調PWM方式の採用が最近の主流になっている。

その主回路と制御系の構成を第1図に示す。主回路の基本原理は、ダイオードとコンデンサで商用3相交流から直

流定電圧源を形成し（電圧形）、パワートランジスタでのスイッチングにより所定の周波数の3相交流を出力する方式から成っている。そして、出力電圧の実効値と周波数を制御するスイッチング信号が制御系の演算回路から駆動回路を介してパワートランジスタのベースに供給される（電圧制御）。

正弦波変調PWM方式の制御では、出力電圧の1基本波を数多くのパルスによって形成し、個々のパルス幅を正弦波状に変化させ、さらに出力電圧の実効値（パルス幅の平均値）が、出力周波数によってあらかじめ決められた値となるよう、スイッチングのタイミングを演算回路で決定している。その結果、第1図に見られるように、出力線間電圧は3レベルのいずれかとなり、また出力電流波形は正弦波に近い基本波とスイッチングによって生じる高調波との合成波になる。

制御系には、上記のスイッチングを制御する回路の他に保護回路があり、インバータ回路と電動機の保護のため、



第1図 汎用トランジスタ・インバータの主回路と制御系

Fig. 1 Main circuit and controller of general purpose transistor inverter

電流、過負荷、瞬時停電などを監視し、異常があれば運転を停止する機能を持つ。

2 特性

1) V/F パターン

上記の通りインバータは出力周波数に応じて出力電圧の効値を制御する。この時の電圧と周波数の関係を V/F パターンと呼ぶ。

V/F パターンは各周波数での電動機のトルク特性、力および効率を決める因子となる。V/F パターン決定の物理的な意味は、想定した定常負荷トルクと出力周波数(回転数)の関係に対して、周波数によらず電動機の磁束定格値に保つよう印加電圧を調整し、弱励磁によるトルク不足や強励磁による過電流を防止する点にある。

市販のインバータには数種のパターンが組み込まれ、負荷特性に応じて選択できるようになっている。基本的には定トルク用パターンと 2 乗低減トルク用パターンの 2 種があり、さらに低周波数での起動トルクに応じて細かく分類されている。要は、負荷の特性に応じたパターンを選択すれば動力上のロスが少ないということになる。

1) トルク特性

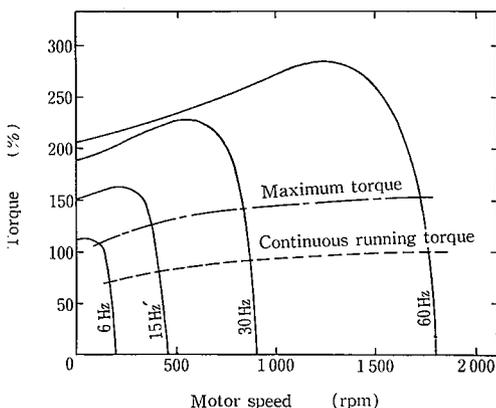
インバータ駆動の電動機は許容出力トルクを電動機の温上昇によって制限される。インバータ駆動時には高調波のため熱損失が増し、加えて、低速域ではファンによる冷能力が低下するため、この制限は低周波数になるに伴い厳しくなる。したがって、通常は 20~30 Hz 以下での連続許容トルクを定格トルクの 50~90% に制限する。敢えて高トルク負荷を要求する場合は、専用機を使うか、電動機の容量を上げることになる。

短時間の最大許容トルクについては、昇温のみでなく、インバータ回路の過電流耐量についても制限される。この場合は普通インバータ定格電流の 150% になる。仮に、インバータ定格電流が電動機定格電流の 1.1 倍とすれば、最大許容トルクは連続許容トルクの約 1.5 倍となる。

第 2 図にインバータ駆動時の各周波数でのトルク曲線、連続許容トルク、最大許容トルクの一例を示す。

1) 加減速特性

第 2 図の例から理解されるように、インバータ駆動では



第 2 図 インバータ駆動時の 4 極電動機のトルク曲線例
Fig. 2 Example of torque curve for a 4-pole induction motor connected to inverter

いきなり高い周波数で起動すれば過電流が生じ保護回路が作動して電流が遮断される。そこで制御回路は、起動時の周波数設定がいかなる値であれ、最低周波数で起動し一定の加速度で増速して設定値に至るようにスイッチングを行う指令を出す。

変速時の応答性という観点からは、この加速度の大きいことが望ましい。一方、加速度の増大は機械系慣性エネルギーの増加速度に対応する加速トルクの増大を生じる。したがって、この加速トルクと定常負荷トルクの和が前項の最大許容トルクを越えない範囲で加速度を設定する必要がある。市販のインバータでは加減速時間の設定によりこの加速度を調整できるようになっている。加減速時間の選択は 1~100 sec 程度の範囲で可能であり、また、加速時の電動機トルクは次式で推定される。

$$T_{Mac} = T_{ac} + T_L$$

$$T_{ac} = (GD_M^2 + GD_L^2)(N_2 - N_1) / 375 t_{ac}$$

T_{Mac} : 加速時の電動機出力トルク [kgf·m]

T_{ac} : 加速トルク [kgf·m]

T_L : 定常負荷トルク [kgf·m]

GD_M^2 : 電動機 GD^2 [kg·m²]

GD_L^2 : 負荷側 GD^2 [kg·m²]

N_1 : 加速前の回転数 [rpm]

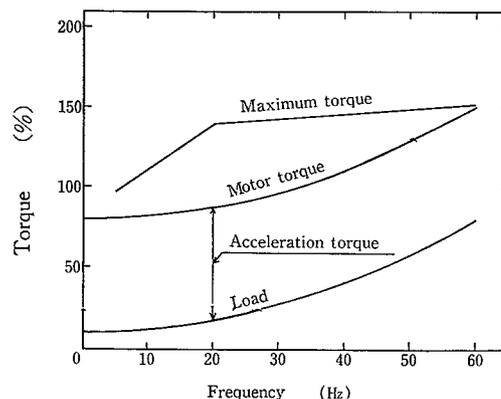
N_2 : 加速後の回転数 [rpm]

t_{ac} : 加速時間 [sec]

第 3 図に、2 乗低減トルク負荷での加速時の電動機トルクと出力周波数の関係を示す。この図では、過電流とならない最小の加速時間を選択していることになる。

4) 騒音と振動

インバータ駆動の電動機では商用電源駆動に比べ騒音と振動が増大する。正弦波変調 PWM 方式の場合、これらの原因となる低次の高調波が他の方式に比べ少ないとされているが、商用電源での駆動に対し騒音で 5~10 dB、振動の全振幅で 10~20% 程度の増大はあると考えた方がよい。騒音に関しては、1~3 kHz のスイッチング周波数に対応する電磁音が強まる。また振動に関しては、電動機との組み合わせにより出力周波数の低い領域で全振幅が他の周波数域の 2~3 倍となることもある。



第 3 図 許容最小加速時間に設定した時の電動機発生トルク
Fig. 3 Motor torque during the acceleration with the minimum permissible acceleration time

2. 攪拌機の負荷と駆動系

本章ではインバータを採用する場合の留意点を攪拌機側から見て説明する。

2.1 攪拌機の負荷特性

攪拌機用の電動機は1~100 kWの範囲が主であり、汎用トランジスタ・インバータの容量域とほぼ重なる。電動機の定格容量を100%とすると、概略70%が流体を攪拌するための最大負荷、15%が軸封および伝動装置の損失、残り15%が余裕と考えてよい。無論、この比率は各条件によってかなり異なるが、流体を攪拌するための定常動力（以下攪拌動力と略）が主体となる負荷であることに違いはない。

攪拌動力 P と攪拌機の回転数 N の関係は、攪拌される流体の流動性によって次の三つの典型に分類される。

(1) 低粘度液：水溶液、有機溶液

$$P \propto \rho_l N^3, T \propto \rho_l N^2 \quad (\rho_l: \text{液密度})$$

(2) 高粘度液：高分子化合物の熔融体、その溶液

$$P \propto \mu N^2, T \propto \mu N \quad (\mu: \text{液粘度})$$

(3) 塑性流体：粉粒体

$$P \propto \rho_b \mu_i N, T \propto \rho_b \mu_i \quad (\rho_b: \text{嵩密度}) \\ (\mu_i: \text{摩擦係数})$$

これらの典型の中間的な流動性を示す液体も存在する。

攪拌機の用途で最も多いのは低粘度液攪拌である。この場合の負荷特性の考え方はポンプと同じで、2乗低減トルク型の負荷となる。汎用インバータで駆動する電動機の出力特性を考慮すると、インバータにとってはこの形式の負荷が最も容易である。

高粘度液では、攪拌機自体が回転粘度計になり、そのトルクは回転数と粘度に比例する。実際の操作としては、回転数と同時に粘度も変わることが多いので、攪拌機の設計条件は定トルクか定動力での変速となる。しかし、インバータ駆動の最低周波数まで定トルク特性を要求することは電動機の枠番の増大とインバータ容量の増大につながるのので経済的ではない。定トルク特性の下限周波数を操作上必要な範囲にとどめることが望ましい。つまり、低速時の粘度、回転数、トルクの要求仕様を明確にしてインバータに過剰な要求を行わないことを留意する必要がある。

最後の塑性流体の場合、攪拌トルクは回転数に依存しない。そして、起動時を考慮すれば、この場合にこそ最低周波数でも一定のトルクが必要になる。塑性流体の代表的な例として粉粒体をあげたが、粉粒体の攪拌トルクは粒子の充填状態や含液率の分布によっても変動し、静置後の起動トルクが定常トルクより相当に大きくなる場合もある。したがって、この種の攪拌機にインバータを採用する際には、起動トルクに対して十分な余裕を見込む必要が生じる。インバータ駆動時の最大許容トルクは起動する瞬間の最低周波数において最も小さい。容量選定を誤れば起動不可能の事態に至ることになる。

なお、先に説明した通り、電動機出力は上記の攪拌動力と軸封部、伝動装置部の摺動ロスとの和になる。軸封部と伝動装置部の摺動ロスは概略定トルク性の負荷と考えてよい。ただし、時間をかけて起動する際には潤滑状態の関係上、定常時の2倍程度のロスがあると考えた方がよい。

次に加減速時のトルクについて説明する。一般に攪拌機

は変速時の速い応答を必要とする特別な理由は無い。また、攪拌翼の回転数は10~150 rpm程度であり、電動機に対して減速比が大きいため、攪拌機の GD^2 も電動機の GD^2 より小さい。したがって、特に加減速トルクや加減速時間が問題になることは無いと考えてよい。ただし次の場合に関しては攪拌液の慣性の影響が出るので留意する必要がある。

低粘度液攪拌で、邪魔板を少なくし大きな径の攪拌翼を比較的高い回転数で用いることがある。この種の攪拌では、加速時の攪拌トルクが同回転数での定常攪拌トルクに比べかなり大きな値となる。これは、攪拌トルクが翼と液の相対速度の2乗に比例すること、加速時には液の速度上昇に遅れがあるために翼と液の相対速度が定常時に比べ大きいことによる。このような状況での電動機出力変化を正しく求めるには電算機でのシミュレーションが必要になる。しかしながら、単にインバータの選定をチェックするには、液の GD^2 を機械系の GD^2 に加えるか、あるいは、液が静止している場合の攪拌トルク——完全邪魔板条件下の攪拌トルクにほぼ等しい——を定常負荷と考えて計算を行えばよい。

2.2 攪拌機の駆動系

攪拌機の駆動系にインバータを適用する場合、機械仕様上の留意点は次の2点である。

攪拌機は化学プロセスの装置として防爆エリアに設置されることが多い。そして防爆の認定は電動機とインバータの組み合わせに対して行われる。インバータ自体は非防爆エリアに置かれるが、電動機の防爆認定がインバータとの組み合わせに対して行われるのであり、後日、インバータを変更するには再度の認定が必要になる。つまり、インバータ駆動で不都合があったとしても安易にインバータの一部を変更するわけにはいかない。

攪拌機の駆動系には必ず減速機が組み込まれる。遊星ギア、ヘリカル・ギア、ベベル・ギア、ウォーム・ギアなどの歯車減速機が多く、その潤滑のため連続使用回転数域が定められている。インバータ駆動で広い変速範囲が必要な場合は、減速機の使用回転数域を確認する必要がある。

また、市販の減速機は滑らかな回転が入力されることを前提としてある程度のバック・ラッシュを設けている。インバータ駆動で電動機側の回転にふらつきがあると異音を発生することがある。この点に関しては次章で説明する。

3. インバータ駆動の問題

本章では当社が経験したインバータ駆動の問題点について説明する。

3.1 問題事例

当社が過去5年間に経験した問題は下記の4種である。

- (1) 減速機の異音発生 (4件)
- (2) 駆動系の異常振動および振動増大 (2件)
- (3) 再起動不能 (1件)
- (4) インバータの回路破損 (1件)

上記のうち(3)項は、前章で説明した粉粒体の攪拌トルク特性に関連している。(4)項は電源電圧の異常陥没によって生じたためとされているが、回路設計上の保護対策の問題も含まれるようである。残りの(1)(2)項がまえがきでふれた

問題にあたる。(1)(2)項の問題は主要なインバータ・メーカを含む4社の汎用製品について発生しており、市販の汎用インバータが共通して持つ問題と考えられる。

(1) 項の問題の特長は、変速域の中の数箇所の回転数に設定した時に限り減速機から歯の衝突音が発生し、同時に電動機電流が定格値の数十%の振幅で振動する点にある。

(2) 項の問題の特長は、変速域の上限(実例ではいずれも60 Hz)近くになると伝動装置の振動が急激に増大する点と、やはり、電動機電流の変動が激しくなる点にある。この場合、商用電源での直接駆動に切り替えると振動が正常レベルに戻り電流も安定する。

これらの事例で電動機電流はインバータ出力側で測定されている。また、数Hzの応答速度を持つ電流計であれば、減速機音や振動と同期した電流変動があることを確認できる。

1. 2 減速機の異音

前節であげた問題のうち発生頻度の高い減速機の異音発生について説明する。

1. 2. 1 原因

直接の原因は、インバータの特定の出力周波数において電動機の回転が数Hzの大きなふらつきを生じるためである。この時、減速機のバック・ラッシュの存在によりギアが衝突して音が発生する。この問題の当初は振り振動を疑ったが、機械系の振り固有振動数を変更しても異音発生は回転数に変化が無いこと、減速機を切り離れた電動機のインバータ駆動でも同様の回転のふらつきが確認できることから、この問題をインバータに固有の問題と判断するに至っている。この事実は、インバータ駆動による電動機性能試験の際に出力軸の回転速度検出を行えば確認できる。同時に電動機電流をオシロ・スコープか高速レコーダで検出すれば、回転速度に低周期の変動がある時には必ず電流波形に大きな歪みが現れる。

電動機の発生トルク、電流、すべり速度(周波数の同期速度と実回転速度との差)は、いずれかを決定すれば他は自動的に決まるという関係にある。したがって、所定の負荷を与えれば、電流とすべり速度は発生トルクが負荷トルクに均り合う状態で安定するはずである。ところが、インバータ駆動時には、この安定系が特定の出力周波数、発生トルク範囲で数Hzの大きな脈動をとまなり不安定な系に変わることがある。

この現象については、現在、次の2通りの説明がなされている。

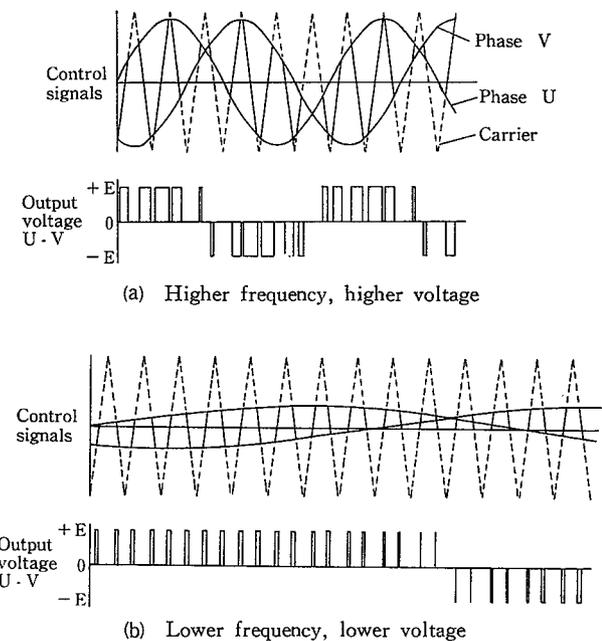
) 第1章で説明した通り、インバータはV/Fパターンの制御を行う。低い出力周波数では出力電圧の実効値を小さくおさえる。インバータは定電圧源を持つのみであるから、この制御は電圧印加時間を変えるスイッチングの時間差によって実現される。正弦波PWM制御時のこの様子を表した図が第4図である。低周波数域では、各電圧パルスの印加時間が短い上に、その印加時間を出力基本波1周期の間に正弦波状に変化させるとすれば、極めて短時間のスイッチング時間差を制御する必要が生じる。

一方、第1図の回路から理解されるように、同じ相の正負2組のスイッチが同時に接続されれば短絡すること

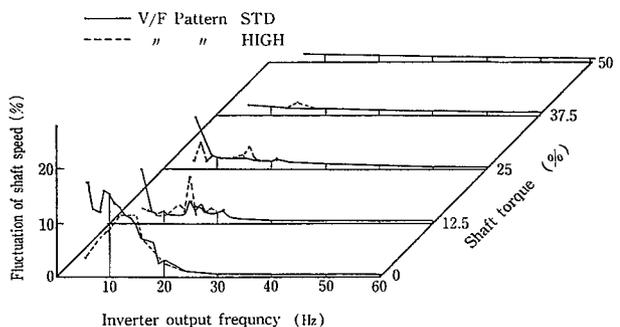
になる。これを防止するためのスイッチング時間差が不可欠になる。その時間差はパワートランジスタの応答性に安全時間を見込んで決定される。したがって、この短絡防止時間よりも短い時間での制御は不可能になる。

この結果、低周波数域では正弦波PWMの制御に対する誤差が増大することになり、電流波形の歪み、電動機の発生トルクと回転のふらつきが生じ易くなる。

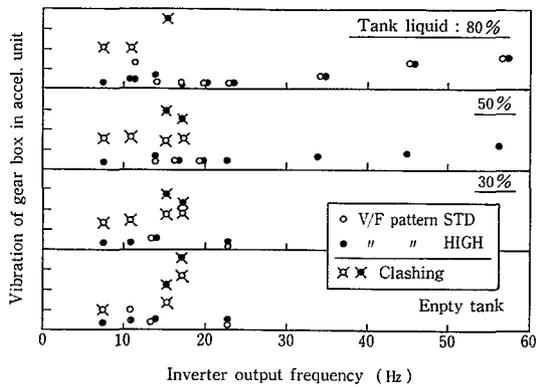
2) 通常、電気回路の応答は機械系に比べて極めて速いが、インバータと電動機の組み合わせでは、電動機の発生トルクと回転という力学系と同レベルの周期で電気回路系が不安定になることがある。インバータがスイッチング回路を含むために、その不安定性を定量的に扱うことは難しいが、一説によればインバータ電源と電動機との電力の授受に固有の周期性が生じるためといわれている。この電力の授受が具体的には電流となって現れるので、インバータの電流波形が基本波と上記の固有周期の波との重ね合せとなり、後者が発生トルクと回転のふらつきを引き起こすことになる。



第4図 正弦波PWMとその出力電圧
Fig. 4 Sinusoidal wave PWM and its output voltage



第5図 電動機出力軸の回転速度変動とインバータ出力周波数
Fig. 5 Relative-fluctuation of motor shaft speed, and output frequency of inverter



第6図 攪拌機の減速機振動と歯鳴り（第5図のインバータと電動機を使用）

Fig. 6 Vibration and gear clashing of a reducer on a agitated reactor (with the inverter and motor shown in Fig. 5)

3. 2. 2 現象例

電動機出力軸の回転速度変動の測定結果を第5図に示す。低周波数域で負荷トルクが小さい時に回転のふらつきが増加する傾向にある。先に説明した短絡防止時間が原因であれば、出力電圧の実効値を高める、すなわち、V/F比を高く設定することで回転のふらつきが改善されるはずである。同図の点線がその結果であり、確かに10 Hz以下では回転のふらつきが減少しているが、15 Hz前後では逆に増加している。この15 Hz前後については、先の第2項で説明した回路の不安定性によるものと考えられる。

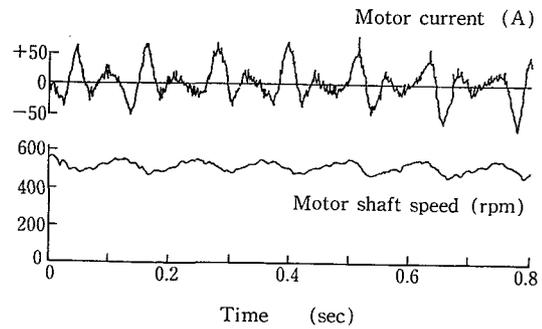
第6図は、第5図の電動機とインバータで攪拌機を駆動した時の減速機の振動の大きさと異音の有無を示した結果である。攪拌槽の仕込液は水であり、80%仕込から空までの各段階について測定結果を示している。負荷トルクの特徴は、ほぼ2乗低減トルク型と考えてよく、20 Hz以下ではいずれの液量でも10%前後の負荷トルクとなっている。第5図と第6図の比較より、この攪拌機の減速機は電動機の回転速度変動が5%程度に達すれば異音が発生すると考えられる。V/F比を高めることにより11 Hz以下の異音発生は防止できたが、15 Hz前後で発生する異音のレベルは上昇する結果となった。

第7図は、他の攪拌機のケースで、減速機から異音が発生した17.3 Hzでの電流波形と回転速度の記録を、正常に稼働している17.5 Hzでの記録と比較したものである。電流波形の歪み、回転のふらつきの差異が明瞭に表れている。

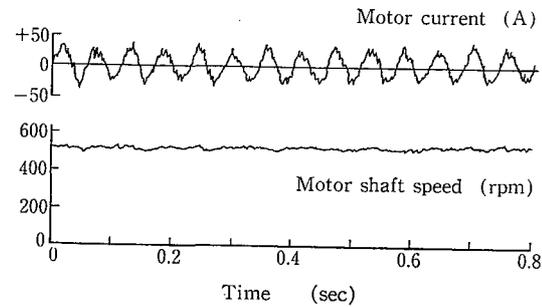
なお、減速機の形式について補足すれば、現在まで、ウォーム・ギア、ペベル・ギア、遊星ギアでの異音発生を経験している。ギアによって異音の出易さに差異があるようだが、定量的な確認はされていない。

3. 2. 3 対策

上記の問題への抜本的な対策はインバータの改良である。しかしながら、インバータ・メーカーへのヒアリングによれば、汎用インバータに多少手を加えることで改善できる種類の問題ではないようである。暫定的な対策としては



(a) Gear clashing at 17.3 Hz



(b) Normal running at 17.5 Hz

第7図 他の攪拌機での電動機電流波形と軸回転速度の記録例
Fig. 7 Examples of motor current and shaft speed records taken with another agitator.

下記の方法が考えられる。

1) インバータ側の対策

汎用インバータのオプションとして周波数ジャンプ機能を持つ機種が市販され始めている。この機能は機械系との共振を避ける目的で導入されているが、減速機の異音防止にも有効と考えられる。

ベクトル制御方式、あるいはこれに類似のフィードバック制御を行う方式のインバータを採用すれば電流波形の歪みは改善される。ただし、この種のインバータは高速高精度の制御を必要とする高級用途に対して開発された機種である。

2) 攪拌機側の対策

電動機と減速機の間にはゴム・カップリングやタイヤ・カップリングなど弾力性の高い継手を介在させることで異音を低減できる場合が多い。また、流体継手や粉体継手は、より有効な対策と考えられる。

むすび

近年、攪拌機の変速駆動系として汎用インバータを利用する例が増えている。それに伴い、従来の機械式変速機には見られない回転ムラに起因する問題が生じている。

現在の汎用インバータでこの種の問題を根本的に解決するには難しい面もあるが、近年のインバータの技術開発には目覚ましいものがあり、各種の改善が図られているので近い将来、本稿で説明した問題がインバータ側で解決されるものと考えている。

応力腐食割れの検査と補修方法

Maintenance Procedures for Stress Corrosion Cracking

(化)第1製造部 製缶課
渡辺 和義
Kazuyoshi Watanabe
新小田 満
Mitsuru Shinkoda

In case of chemical reactors made of austenitic stainless steels and cladding materials, corrosion damages are mainly caused by stress corrosion cracking (SCC).

It will be relatively difficult for customers to inspect and repair the damaged reactors. Shinko-Pfaunder has manufactured a large number of process equipment in corrosion resistant materials and has been encountered various kinds of SCC trouble. This paper represent the procedures of repair and inspection for reactors caused SCC from the standpoint of fabricator.

まえがき

各種化学機械はその使用条件によって異なるが、運転開始と共に、過酷な条件下にさらされ、腐食などの劣化が始まる。この劣化が進行し、機器本来の機能が低下すれば生産を中止せざるを得なくなり、生産性の低下をもたらすばかりでなく、さらには事故や災害の発生にもつながる危険性をもっている。

このため、機器の保全にはその劣化の進行度をチェックすることが設備保全上、重要なポイントとなる。

特にオーステナイト系ステンレス鋼またはステンレス・クラッド鋼製反応機の場合の腐食事故は、その大半が応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking: 以下 SCC と略す) であり、この SCC 事故はいまだに後をたたない状況にある。

そこで本稿は、SCC に対する保全技術の参考にしていただければと考え、化学機器メーカーとして過去いろいろな反応機を点検、補修した経験を基に、SCC の検査方法ならびに各補修方法について簡単に紹介する。

1. SCC の発生因子

SCC は第 1 図に示すように、材料・環境・引張応力の 3 因子がある特定の条件に合致した時に、はじめて発生する。

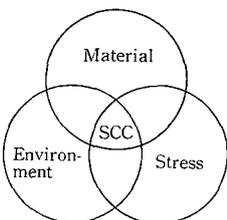
ある機器での点検を想定すると、その場合に注目する点は、3 因子中の材料は別にして、(1) 環境の差異、(2) 引張応力の有無が上げられる。

1.1 反応機内の環境

SCC の場合、環境因子として問題になるのは一般に Cl⁻ イオン濃度であるが、1 つの機器において、その腐食環境は同一であるとはいえないので、その点について注意を払っておく必要がある。

とくに注目する点としては

- (1) 内容液が濃縮されやすい箇所
例えば内容物が附着、成長する部位



第 1 図 SCC の発生要因
Fig. 1 Principal factors of SCC

- (2) 常時乾湿が繰り返される箇所

例えば気相-液相の境界

が上げられる。

1.2 反応機内の引張残留応力

引張応力に関しては、SCC は引張残留応力測定試験である、といっても過言ではないほど、その引張残留応力の高い部位に顕著に発生している。

そのため、機器を点検する際は、引張残留応力がある部位について十分注目する必要がある。

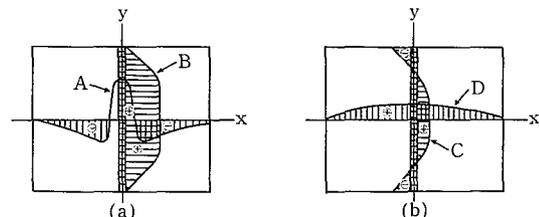
1) 溶接による残留応力

第 2 図¹⁾ は突合せ継手の残留応力分布を示す。溶接線方向応力の分布は、溶接線上では引張降伏応力にも達している。この図より溶接による残留応力は著しく高いものであることが理解されると共に、SCC の補修法として単なる溶接補修では残留応力を高め、かえって寿命をも短くしてしまう可能性があることを示している。

2) 鏡成型の残留応力

プレス加工で総型一発成型できない径 (約 1 000 mm) 以上の鏡は、プレス皿押し成型後、スピニング加工によりナックルアール部を所定のアールに成型する。この場合、圧力容器用鏡としては、板厚が厚い場合やクラッド鋼では一般に熱間スピニング加工されることが多い。

第 3 図²⁾ は熱間スピニングされたステンレス・クラッド鋼製鏡板の残留応力測定結果の一例を示したものである。図からわかるように、熱間スピニング加工によるステンレス・クラッド鋼製鏡板の残留応力は、合せ材側 (ステンレス) で円周・半径方向ともに引張残留応力が存在し、その



σ_y : stress for weld line direction

A: σ_y on x axis

B: σ_y on y axis

σ_x : stress for right angle direction to weld line

C: σ_x on y axis

D: σ_x on x axis

第 2 図 2 枚の板を溶接した場合の残留応力の分布

Fig. 2 Distribution residual stresses of welded two plate

大きさおよび分布は加工温度に依存する。したがって材質と腐食性ふん囲気の組み合わせいかんによっては、熱間スピニング後応力除去焼鈍することが望ましいことになるが、ステンレス・クラッド鋼の応力除去焼鈍は、複合材ゆえにソリッド鋼のように完全に除去できないため、残留応力がさけられない面もある。

3) 胴成型の残留応力

ロール成型での胴内面側には圧縮残留応力が支配的であり、SCCとして問題となる例は少ないが、胴長手溶接部では、1.1(1)の溶接残留応力の影響により、発生することがある。

2. 反応機でのSCC発生部位とその特長

反応機でのSCC発生部位は1項で述べたように、環境因子と引張残留応力がある条件に合致した時に表われ、当社の過去の経験も含めて考えると、第4図に示す範囲によく発生している。

(SCC発生部位毎の特長は第4図右にまとめる)

第4図に掲げている部位全てに同時にSCCが発生することはないが、これらの部位は日常保全していく上で、十分点検することが必要であり、重要なポイントとなる。

3. SCCの検査法

3.1 目視検査 (VT)

SCCは非常に微細な割れのため、初期の段階において目視ではほとんど確認することは困難であるため、次に述べる浸透探傷検査と共に併用することを推奨する。第5図にSCCの表面観察での進行パターンを示す。

3.2 浸透探傷検査 (PT)

現在SCCの発生側より行われる非破壊検査として最も有効な方法である。ただし、SCCのPTについては、特に下記に注意して実施する必要がある。

- 1) 表面に内容物等の付着がなく、かつ金属光沢面を呈していると思われる場合でも、欠陥が微小な場合が多く、その判定を間違えることが多いので、必ず前処理としての#150-#300パフを行った後、脱脂洗浄する。

- 2) 浸透処理・洗浄処理・現像処理は、取り扱い説明書に基づいて忠実に操作すること。

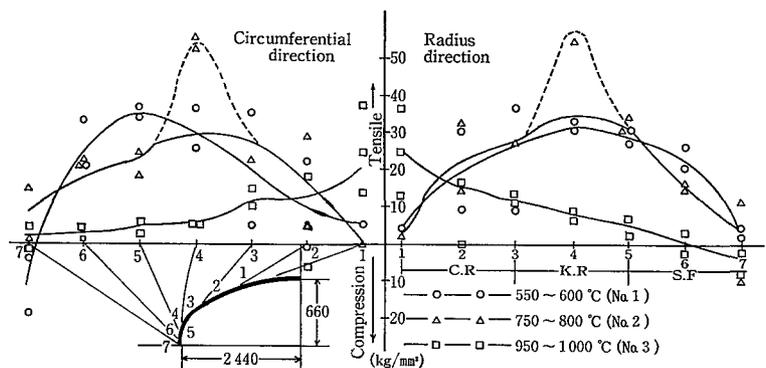
- 3) 熟練者 (NDI有資格者等) により指示模様の観察を適確に行うこと。写真1にSCCが発生した攪拌軸のPT写真例を示す。

なお、反対側より発生したSCC貫通部のPTを行う場合 (例: 外套側より発生したSCCを本体内面側でPTする場合)、指示模様は、極微小のピンホールか微細なヘアークラック状で確認されることがほとんどであるので、前処理、浸透・洗浄・現像処理は前述同様1)~3)項を忠実に行う必要がある。

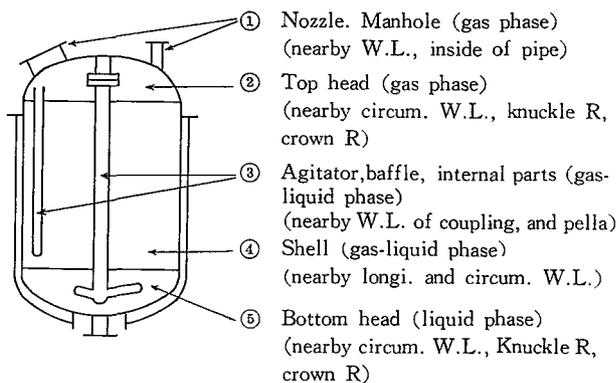
3.3 超音波探傷検査 (UT)

UTでSCC深さを測定することは、³⁾

- (1) 組織がオーステナイト系であり、数多くのエコーが現われること。
- (2) SCCが狭い割れで、末端部が複雑に分枝していること。
- (3) 溶接部が柱状晶組織を呈するため、境界面で反射したり、柱状晶に沿って横波が伝播したりする。などの理由により、測定は困難である。しかし、PTの



第3図 熱間スピニングされたステンレス・クラッド鋼製鏡板の残留応力分布 (内面合せ材側)
Fig. 3 Residual stresses distribution of hot formed head plate (Inside cladding material)



第4図 反応機でのSCC発生部位
Fig. 4 Reactor's portions causing SCC

部位	SCC発生集中部位	発生要因	備考
①上鏡	主としてナックルアール部	鏡スピニング成型時の残留応力および熱間加工での鋭敏化	目視で気付かない場合が多い。
②下鏡	主としてナックルアール部	鏡スピニング成型時の残留応力および熱間加工での鋭敏化	①と②では腐食形態が異なる場合が多い。
③ノズル・マンホール	取り付け溶接の熱影響部 (鏡側と管台内面側)	取り付け溶接の熱影響部 (鏡側と管台内面側)	管がソリッド材で薄肉のため割れ事故多い。
④ペラ・バッフル	主として気相部の溶接熱影響部	取り付け溶接の熱影響部 (鏡側と管台内面側)	切損事故へ発展する可能性がある。
⑤胴	主として気相部の溶接熱影響部	長手、周溶接の熱影響部	一般的には問題となっていない。

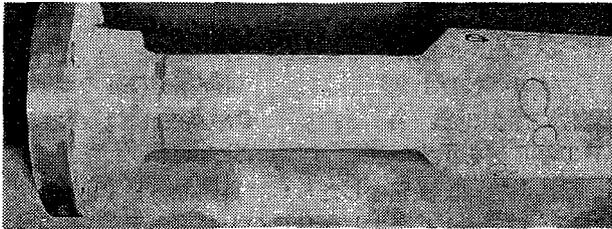
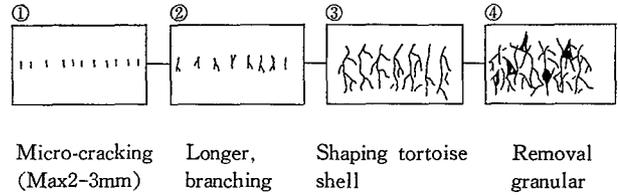


写真 1 SCCのPT写真例
Photo. 1 SCC Penetrant test photograph



Micro-cracking (Max 2-3mm) Longer, branching Shaping tortoise shell Removal granular
第5図 SCC表面観察の進行パターン
Fig. 5 Visual inspection of SCC Propagation

目視で検査できない、反対側(例えば外套側等)より発生したSCCの非破壊検査としては期待されるため、現在いろいろな研究がなされている。次にその具体例として端部ピークエコー法によるSCCの測定について紹介する。

1) 較正

第6図(a)の試験片を用いて、時間軸・入射角の較正を行う。

2) 探傷感度

第6図(a)試験片の3φキリ穴からの最大エコー高さを80%にし、探傷は6dB増で行う。

3) 探触子

5MHz 45°の点焦点形斜角探触子を用いる。

4) 走査・深さ測定

走査により、欠陥が最も深い方向の走査の探傷図形より欠陥深さを推定する。(第6図(b))

(注) この場合、途中で他の欠陥エコーが現われる場合があるので第6図(c)に示すごとく、BからPの移行が連続していることを確認する必要がある。

3. 4 気密試験

SCCの貫通可能性があり、気密試験を実施する場合、SCCの特長として超微量リークなため、石ケン水等のエアソープテストでは、検知不可能なことが多い。またフロンテストではSCC以外の洩れ部(フランジ嵌合部等)を検知する可能性があり、リークの指示跡の確認ができない点もあり、あまり推奨できない。

ここでは、SCCの洩れ試験の一つとしてリークの指示跡の確認できるアンモニアリークテスト法を紹介する。

第7図(4)のごときテストフローを組み、具体的に下記手順で検査する。

1) 検査面洗浄

アセトン等溶剤で検査面の水分・油分・アルカリ分を完全に除去する。

2) 外套側の昇圧

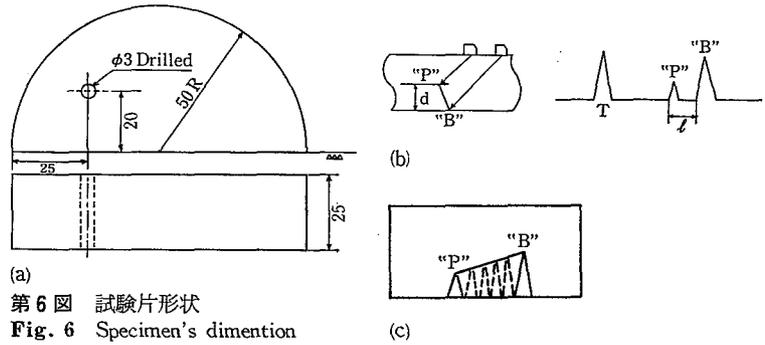
アンモニアガス濃度0.1—1.0%(0.5%程度。濃くても構わない。)で設定圧(不明の時は2~5 kg/cm²)まで昇圧する。

3) 検知剤の塗布

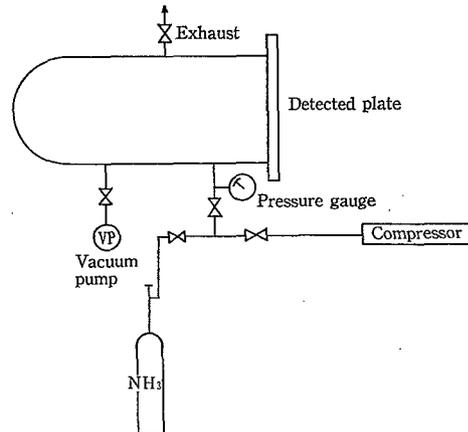
検査面に一様にリークカラーを塗布する。(タイホー工業製 リークカラー)

4) 保持

5時間以上保持する。(圧力が低下した場合には設定



(a) 第6図 試験片形状
Fig. 6 Specimen's dimension



第7図 アンモニアリークテストフロー図
Fig. 7 NH₃ Leakage detection method

圧に保持する。)

5) 検査

リーク部は黄色より紫色に変色する。(この場合、検知剤が空気中に含まれたごく微小のアンモニアによって変色する場合があるので、その外気雰囲気注意到すること。)

4. 補修法

前述の試験・検査で補修が必要となった場合、その補修方法を以下に述べる。

4. 1 本体胴・鏡のライニング補修方法⁵⁾

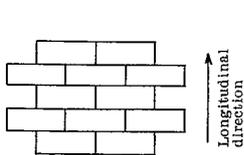
ライニング材を接合する方法として、

- ・プラグライニング法
- ・ストリップライニング法
- ・プラグライニングとストリップライニング法との併用が代表的なライニング方法である。

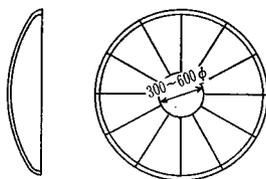
第 1 表 プラグライニングの一例

Table 1 Plug-lining

Temp. °C	Lining size (W×L) mm	Plug pitch mm	Plug line	Q'ty of test hole
T < 100	1 000 × 2 000	bellow 250	4	2 holes per 2 sheets
≤ 100 T < 150	500 × 2 000	bellow 200	2	4 holes per 2 sheets
≤ 150 T < 230	500 × 2 000	bellow 150	3	4 holes per 2 sheets



第 8 図 胴のライニング例
Fig. 8 Lining for shell

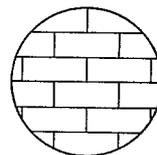


第 9 図 鏡板のライニング例
Fig. 9 Lining for head plate

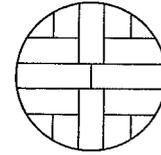
第 2 表 ストリップライニングの一例

Table 2 Strip-lining

Temp. °C	Lining size (W×L) mm	Q'ty of test-hole
T < 100	330 × 1 000 ~ 2 000	2 holes per 6 sheets
≤ 100 T < 150	230 × 1 000	2 holes per 6 sheets
≤ 150 T < 230	150 × 1 000	2 holes per 6 sheets



(a) Lining for plain head plate



(b) Lining for plain head plate (right angle type)

第 10 図 平底板のライニング
Fig. 10 Lining for plain head plate

1) プラグライニング

プラグライニングの場合、穴のピッチのほか、板の大きさ、穴の列数およびテスト穴数が問題となるが、これらは種々の施工例があり、一律に規定することは難しい。次にその一例を第 1 表に示す。

温度周期がある場合および温度勾配がある場合は、穴のピッチは必要に応じて小さくしなければならない。

プラグ溶接は完全にかつ強固に行うことが難しく、溶接士の熟練も必要であるので、真空仕様や熱的変化の激しい機器には不適な場合が多く、容器の用途によってはストリップライニングと併用されることが多い。

2) ストリップライニング

ストリップライニングの板の大きさおよびテスト穴数は容器の使用条件に応じて決めなければならない。第 2 表に使用温度に対して使用される板の大きさ、テスト穴数の一例を示す。

真空になる容器 および 加熱冷却を繰り返す容器に対しては、ストリップの幅は板厚が小さくなるに従い適宜小さくする必要がある。また実際には、比較的高温度使用の場合にはクラッド鋼での新製、切り替えが必要となることが多い。

3) 溶接継手

円筒状胴のライニングで、ライニング材を取りつける時は、第 8 図の長手方向に対して直角方向に行く。

鏡板のライニングは、第 9 図のように放射状に行う方法が最も多く用いられている。この場合、中心のライニング材の大きさ、扇形ストリップの幅は、その最も広い部分について、使用温度に対する標準例(第 2 表)を参考にすると同時に、板取りについても経済性を十分考慮して決定する必要がある。

平底板のライニングは、第 10 図 (a) のような平行型の方

法や第 10 図 (b) のようなあや型の方法があるが、容器の使用条件、施工の経済性を考慮して行うことが必要である。

4) 伝熱効率の低下

ライニング補修の場合、母材に完全に密着させてライニングすることは難しく、ライニング板とのすき間のエア層の存在による断熱効果によって、伝熱効率が著しく低下することを覚悟しなければならない。

4. 2 ノズルの補修方法

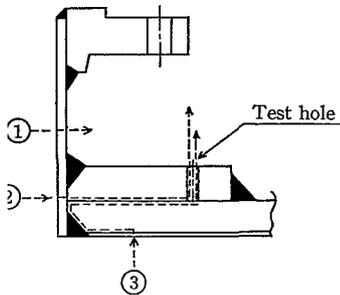
ステンレス鋼製反応機の SCC 事故で最も多いのがノズル部の洩れ事故である。これはノズルの取付溶接による高い引張残留応力とソリッド材で、かつ板厚の薄いことがその主たる原因である。

1) ノズルの取り付け詳細と SCC 洩れ経路

第 11 図に示すように洩れ経路は 3 通りあるが、SCC が発生している場合、ルート③での洩れも考慮しておかねばならない。特にノズルの補修を行う場合には、ノズル近傍部(本体内面側)に SCC が発生し、健全でないものが多いので、この部分の補修も合わせて注意が必要である。

2) ノズル補修法

応急措置的に、スリーブ(内管)を入れて補修する方法があるが、これは、管内径の減少と言う使用上の欠点のみならず、短期に SCC 洩れ事故を再発する可能性が高く推奨できない。第 12 図に示すように、ノズルについてはすべて新製し、かつ、本体内面側にリング状ライニング板を取りつける方法が最も良策である。当ライニング板は、本体内面に発生している SCC を覆う程度に幅を設定し、ステンレス・クラッド鋼の場合、ライニング端部は合せ材(ステンレス)をはつり、母材(炭素鋼)に溶接して取りつける縁切りを行った方が 4. 2. 1) 項の洩れルート③をも防止できるので有効な方法である。



第11図 ノズルの洩れ経路
Fig. 11 Leakage route of nozzle

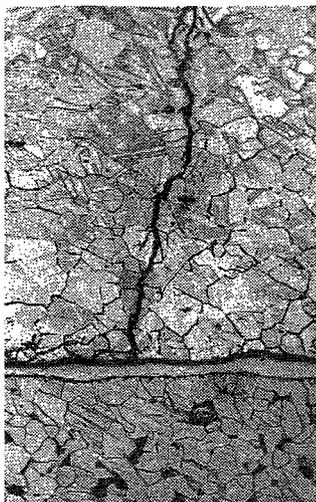
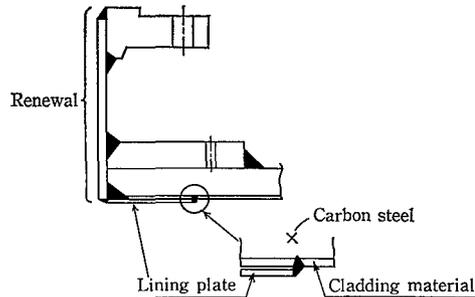


写真2 ロールクラッド材のSCC
Photo. 2 SCC of Roll-cladding steel

耐SCC材料

1 ステンレス・クラッド鋼の効用

現在、ステンレスソリッド材でのSCC貫通事故は多いが、クラッド材の場合、SCCが貫通した事例はほとんどない。この理由の一つとして、写真2に示すごとく、SCCがニッケル層で停止するという事実がある。すなわちロールクラッド製法のステンレス・クラッド材には10—30 μ mの薄いニッケル層があるが、ニッケルはオーステナイト系ステンレス鋼がSCCを起こす環境下でもSCCを生じないためである。しかし、ニッケル層は薄いため、SCCの進行過程で応力のアンバランス等からニッケル層に割れが発生し、ニッケル層を貫通する可能性はある。ただしこの場合でも、母材で割れが生ずるとは限らず、内容液にもよりますが、一般的な腐食は発生しても母材でSCCが発生しな



第12図 ノズルの補修法
Fig. 12 Repair method of nozzle

いと考えるのが一般的である。

5. 2 最近の新しいステンレス鋼

ニッケル・チタン等の純金属はコスト的に高いので、補修・新製時にコスト的に十分選定できる材料として、次に紹介するSCC性を向上した新しいステンレス鋼材の使用を推奨する。

1) SUS 317J1

オーステナイト系で溶体化域は無論のこと、鋭敏化域でもすぐれた耐食性を有する材料。

2) SUS 329J1

オーステナイト—フェライト2相系でSCC感受性のほとんどない材料

3) SUS 444, 447J1

フェライト系でSCC感受性のほとんどない材料

むすび

オーステナイト系ステンレス鋼の腐食事例で最も多いSCCは機器の保全管理者にとって点検および補修が難しいとされているのが現状と思われる。

本稿において、当社のこれまでの経験を基にオーステナイト系ステンレス鋼および、ステンレス・クラッド鋼製反応機に発生するSCCの特長とその検査方法と補修方法について述べたが、本稿が実際に機器を使用されているユーザ各位の保全技術の参考になれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) 木原ほか：“溶接変形と残留応力”，溶接叢書2，(1955)，産報
- 2) 神鋼ファウドラ—ニュース：1972 Vol. 16, No.3, p.8.
- 3) 米山ほか：IGSCCの超音波探傷（第1報），(1981)，石川島播磨重工技報
- 4) “LEAK COLOUR” TECHNICAL INFORMATIONS, (1974)，タイホー工業
- 5) 佐藤：ステンレス鋼溶接施工基準，(1979)，ステンレス協会

AQUATECH System による硝ふっ酸の回収

Recovery of Nitric and Hydrofluoric Acids from the Waste Pickle Liquor by AQUATECH System

(環)技術部 計画第2課

西本 倣士
Yoshihito Nishimoto

A new nitric and hydrofluoric acids recovery process, using bipolar membrane, was developed by Allied-Signal Corp. The process, called AQUATECH system, can almost completely recover nitric and hydrofluoric acids, conquering the defects of the conventional neutralization method, namely, generation of a large quantity of sludge and discharge of nitrogen into public waters.

This process consists of four processes; 1) neutralization, 2) filtration, 3) AQUATECH system (acid-alkali recovery) and 4) neutralized salt recovery. The recovery rates for nitric and hydrofluoric acids are more than 97% and 92% respectively.

Allied-Signal 社が開発した bipolar 膜を使った新しい硝ふっ酸回収プロセス—AQUATECH system が開発された。新プロセスは、従来の中和処理法の欠点である多量のスラッジの発生、公共水域への窒素分の排出を完全に防止できるだけでなく、硝酸およびふっ酸が完全に回収できるという利点をもっている。

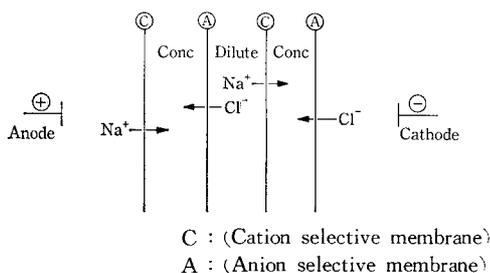
本プロセスは (1) 中和工程, (2) 濾過工程, (3) AQUATECH-system (酸・アルカリ回収工程) (4) 中性塩回収工程で構成される。酸回収率は、硝酸97%以上、ふっ酸92%以上である。

まえがき

最近の膜技術の発達は目覚ましいものがある。Allied-Signal 社はイオン交換膜の一種である bipolar 膜を開発した。Allied-Signal 社ではこの bipolar 膜を利用した膜技術を AQUATECH system と呼んでいる。bipolar 膜は水を水素イオン(H⁺)と水酸イオン(OH⁻)に分離することができる。これは中性塩溶液から、もとの酸とアルカリに再生できることを示している。AQUATECH system の採用により、多くの製造プロセスから副生、排出される廃酸、廃アルカリ、中性塩を純度の高い酸、アルカリに分別回収できる。具体的な適用例としては

- (1) ステンレス、チタン酸洗液から硝ふっ酸の回収
- (2) 排煙脱硫液からの硫酸の回収
- (3) レーヨン液からの苛性ソーダと硫酸の回収
- (4) リン酸製造工程から副生されるケイふっ酸の回収
- (5) その他食品工業、薬品工業から排出される酢酸、クエン酸、蟻酸等の有機酸の回収。

等が考えられている。Allied-Signal 社ではさらに、AQU-



第1図 電気透析の概念図

Fig. 1 Schematic diagram for electrodialysis

ATECH system の適用可能なプロセスを探索中であり、現在前記の適用プロセスの内いくつかのパイロットプラントが稼動中である。

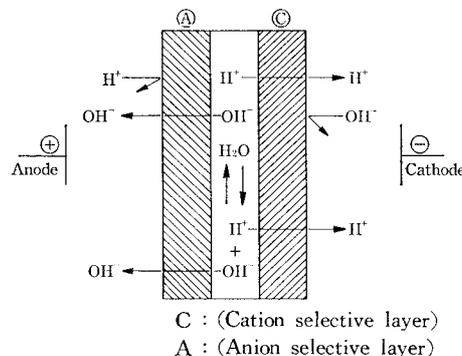
当社では AQUATECH Systems の日本総代理店である三井物産(株)に協力して、ステンレス酸洗液からの硝ふっ酸回収システムをまとめることになった。

本稿では AQUATECH system による硝ふっ酸回収システムを紹介する。

1. Bipolar 膜による水の分離

一般のイオン交換膜は膜中に正あるいは負の電荷が固定された monopolar 膜である。正の電荷が固定されたイオン交換膜をアニオン交換膜と呼びアニオンのみを選択的に通す性質を有している。逆に負の電荷が固定されているイオン交換膜をカチオン交換膜と呼びカチオンのみを通す。イオン交換膜は電気透析設備に組み込まれ、わが国では海水の濃縮による食塩の製造、欧米においては塩水の脱塩による飲料水の製造に広く用いられている。第1図にイオン交換膜による電気透析の概念図を示す。

これに対して bipolar 膜は両性膜の一種であり、膜の片面がカチオン交換膜で他の片面がアニオン交換膜で構成されている¹⁾。すなわちカチオン膜とアニオン膜を貼り合わせたような型のものである。bipolar 膜の外部から拡散により水がカチオン層とアニオン層の間の界面部に供給される。



第2図 Bipolar 膜による水の分離

Fig. 2 Water-splitting by bipolar membrane

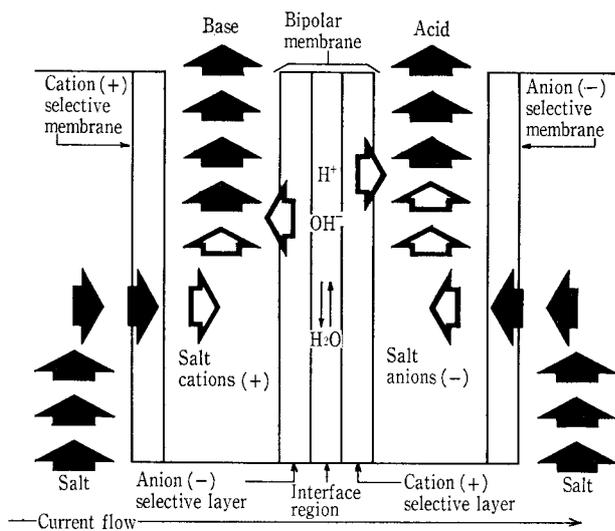
これに第2図に示すように両端に直流電流を流し、電気透析を行うと水は H^+ と OH^- に分離し、bipolar膜のカチオン層からは H^+ が移動し、逆にアニオン層から OH^- のみが移動する。

2. AQUATECH cell による中性塩から酸とアルカリの分離

第2図のbipolar膜のアニオン層側にカチオン膜、同じくカチオン層側にアニオン膜を配置する。これをAQUATECH cellと呼びcellを多数組み合わせ、フィルタープレスのように積層したものをAQUATECH cell stackと呼ぶ。このcellの両端の電極から直流電流を通じると第3図に示すように中性塩から酸とアルカリを分離回収することができる。すなわちカチオン膜とアニオン膜の間に中性塩を通すと、中性塩を構成する Na^+ 、 K^+ 等はカチオン膜を泳動する。一方bipolar膜のアニオン層からは OH^- が泳動してくるから $NaOH$ 、 KOH のアルカリを生成し回収される。 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- などはアニオン膜を通過しbipolar膜のカチオン層からの H^+ が泳動して H_2SO_4 、 HCl 、 HNO_3 等の酸を生成し回収される。このようにbipolar膜を利用した電気透析により、中性塩から効率よく純度の高い酸とアルカリを分離回収できる。このようなbipolar膜を利用した新しい電気透析技術をAllied-Signal社はAQUATECH systemと名付けた。

3. 従来の硝ふっ酸回収技術

ステンレスおよびチタンの表面処理工程あるいは酸洗焼鈍工程において、表面に生成した金属酸化物のスケールは、主として硝酸-ふっ酸の混酸を用いる酸洗により除去されている。酸洗を続けるに従い、硝ふっ酸中には Fe 、 Cr 、 Ni 、 Ti などが溶解し、遊離の酸の減少に伴って酸洗能力は低下し、酸の入替が必要となり、金属を含む酸が廃酸として排出される。これらの廃酸は現在、洗浄水と共にほとんど



第3図 AQUATECH-cell による酸アルカリの回収
Fig. 3 Recovery of acid and base by AQUATECH cell

が石灰中和法により処理され、公共水域へ放流されているが、

- (1) 金属水酸化物とふっ化カルシウムのスラッジが大量に生ずる。
- (2) 硝酸中の窒素分はすべて公共水域へ排出され、富栄養化の原因となる。

等の公害上の問題のほか、未反応の高価な酸を排出することは省資源等の点で経済的に問題がある。このため従来、次のような硝ふっ酸回収技術が検討され、一部実施されている。

3. 1 硫酸添加による抽出蒸留法

この方法は硝ふっ酸を含む廃酸に硫酸を添加することにより気相中の硝ふっ酸濃度を上げる。いわゆる抽出蒸留の技術を利用したものである。硝酸の濃縮法として一般に採用されている。この技術を硝ふっ酸の混酸に適用した場合、硫酸濃度を高くし硝ふっ酸の回収率を上げようとするとき、硫酸による沸点上昇が大きいので、操作温度が高くなる。高温の硫酸および硝ふっ酸の混酸に対する一般的な耐蝕材料が現時点では存在しないため実用化には至っていない。

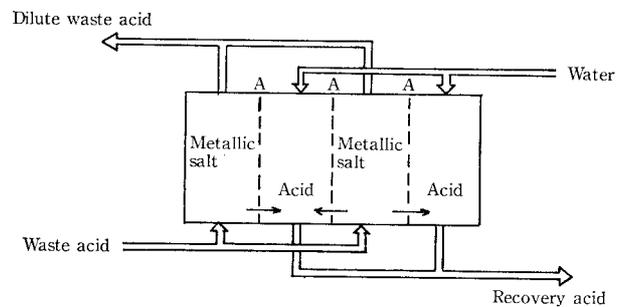
3. 2 溶媒抽出法

この方法は中性リン酸エステルであるTBP（リン酸トリブチル）により硝ふっ酸を抽出回収する技術である。わが国では日新製鋼(株)周南製造所、川崎製鉄(株)千葉製鉄所において実施例がある。本法における酸回収率は、硝酸95%以上、ふっ酸70%以上である²⁾。

3. 3 拡散透析法

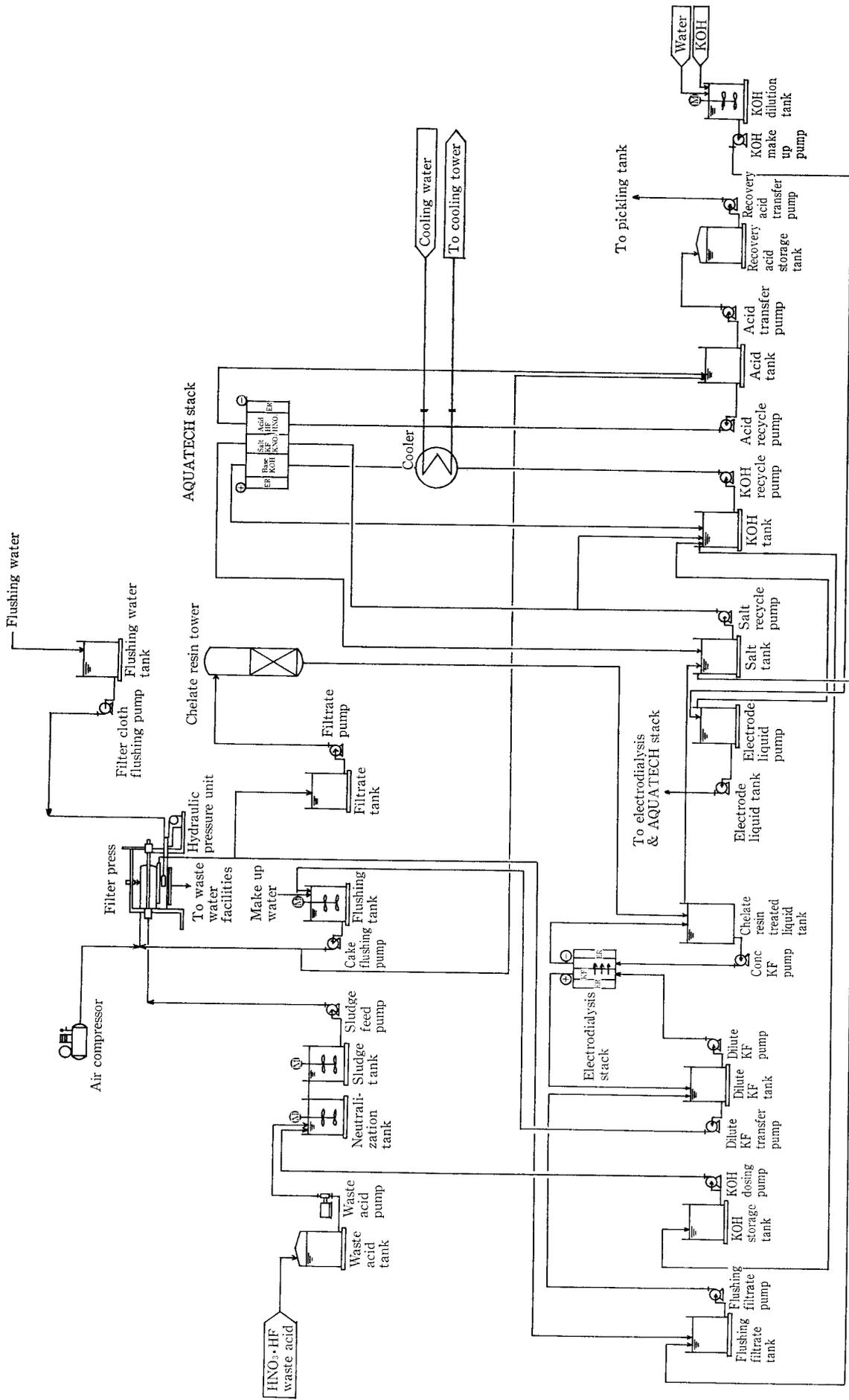
この方法は第4図に示すようにアニオン交換膜により濃度差のみで遊離の硝ふっ酸の回収を行う方法で、わが国では新日本製鉄(株)八幡製鉄所、日本ステンレス(株)鹿島製造所、日本冶金(株)、日本精練(株)において4件の実施例がある。本法は遊離の酸のみを回収するため回収率は一般に低い。廃酸中の金属濃度により変化するが酸回収率は硝酸70~80%、ふっ酸30~40%程度である。本法の回収酸には逆拡散により廃酸中の金属の約10%が含まれる。また廃酸と同量の稀廃酸が発生し中和処理が必要となる。

以上、硝ふっ酸回収技術を紹介したが、いずれも経済性、回収率、環境保全の面からまだ問題点が多いと言える。



A : (Anion selective membrane)

第4図 イオン交換膜による拡散透析の原理
Fig. 4 Principle of diffusion dialysis by ion exchange membrane



第5図 AQUATECH system による硝ふっ酸回収設備フローシート
 Fig. 5 Process flow diagram for nitric-hydrofluoric acids recovery by AQUATECH system

4. AQUATECH systemによる硝ふっ酸回収設備

Allied-Signal 社は AQUATECH system による硝ふっ酸回収設備を開発した。処理能力385 l/d のパイロットプラントを Pittsburgh 市の Washington Steel 社内に建設し、1985年3月以来順調に稼動中であり、処理能力は18 m³/d のコマーシャルプラントを1987年10月完成を目標に、現在建設中である。AQUATECH system による硝ふっ酸回収設備は

- (1) 前処理として中和処理を行うため材質上の問題がない。
- (2) 酸回収率は硝酸 97 % 以上、ふっ酸 92 % 以上と従来法の回収率と比較し非常に高い。
- (3) 廃液を全く出さない完全なクロードシステムのため環境保全にすぐれている。
- (4) 苛性カリによる中和、フィルタープレスによる汙過、bipolar 膜を核とする電気透析から構成されるユニークな回収システムである。

などを特長とする新しい回収システムである。このシステムのフローシートを第5図に示す。その工程は

- (1) 苛性カリによる中和
 - (2) 金属水酸化物を分離する汙過工程
 - (3) AQUATECH cell stack による硝ふっ酸および苛性カリの回収工程
 - (4) 電気透析によるふっ化カリ回収工程
- の4工程から成る。

4.1 中和工程

廃酸中に含まれる HF, HNO₃, Fe³⁺, Cr³⁺, Ni²⁺ は苛性カリ (KOH) と反応し、KF, KNO₃, Fe(OH)₃, Cr(OH)₃, Ni(OH)₂ となる。廃酸中の鉄は主に FeF₂⁺, FeF²⁺ のような錯イオンの形態で存在している。中和後の汙液中の Fe イオン濃度およびふっ酸回収率から判断すると苛性カリによる中和反応はこれら錯イオンを完全に Fe³⁺ と F⁻ に分解しているものと推定できる。

4.2 汙過工程

中和工程で生成した KF, KNO₃ 溶液と不溶性の Fe(OH)₃, Cr(OH)₃, Ni(OH)₂ はフィルタープレスを用いて固液分離される。フィルタープレスによる汙過は金属水酸化物のケーキ汙過であり、適当な汙布を選定し初期汙液

を分別することにより、極めて精密な汙過が可能となる。汙過速度を大きくすると同時に、ケーキはくりを良くするために珪藻土などの汙過助剤を使用することもある。AQUATECH cell stack は電気透析装置であり、逆浸透装置のように液が膜を通過するのではないので、懸濁物質の除去についてはフィルタープレスによるケーキ汙過で十分目的を達することができる。

ケーキ中の含水率は汙過助剤を使用しない場合、圧搾圧力 7 kgf/cm² で約 60 % 程度である。このケーキ付着液中に含まれる KF, KNO₃ を脱水ケーキの約 2 倍量の洗浄水でケーキ洗浄することにより回収する。フィルタープレスはバルブ操作および脱水機本体はすべてシーケンスプログラムによる全自動で次の工程で運転される。

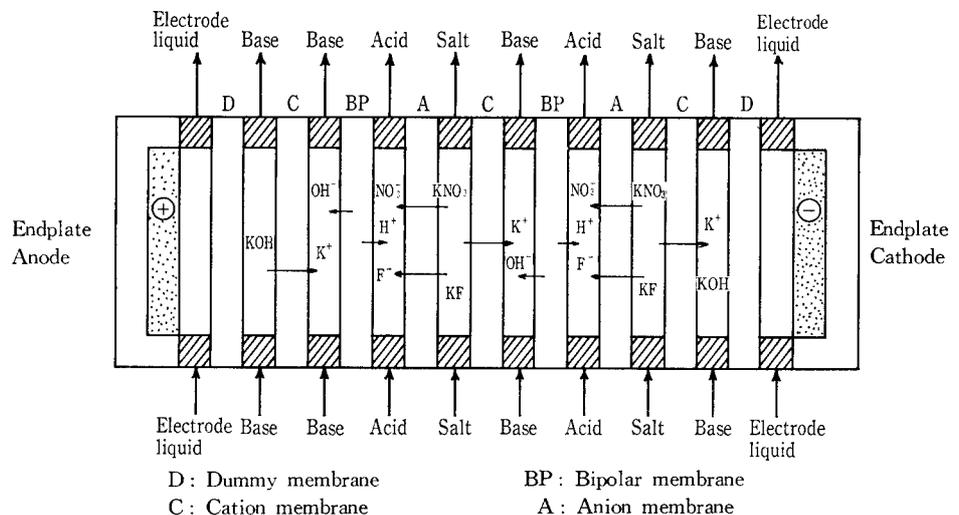
汙過—洗浄—圧搾—ケーキ排出

このケーキ洗浄は、洗浄圧力、時間、ケーキ厚みおよびケーキの性状などによって効果が左右される。

4.3 AQUATECH cell stack による硝ふっ酸および苛性カリの回収

汙過工程において分離された KF, KNO₃ 溶液は、フィルタープレスの汙布の破損などによる SS のキャリーオーバーに対処するためカートリッジフィルターにより汙過されたあと、カチオン膜の汚染防止のため設置されたキレート樹脂塔に送られる。汙液中の Ca²⁺, Fe³⁺, Ni²⁺, Cr⁺³ は 0.1 mg/l 以下まで除去される。

AQUATECH cell は第3図に示すようにカチオン膜、bipolar 膜、アニオン膜を一對として構成されている。この AQUATECH cell を組み込んだ AQUATECH cell stack は、第6図に示すように陽極、ダミー膜、AQUATECH cells, ダミー膜、陰極で構成され、各々の間はスペーサーにより隔離、ガスケットによりシールされている。陽極とダミー膜、陰極とダミー膜の間には 0.5~1.0 N KOH の電極液を循環させる。カチオン膜と bipolar 膜のアニオン層には 1.5~2.0 N KOH を bipolar 膜のカチオン層とアニオン膜の間には HF, HNO₃ の回収酸を循環させる。アニオン膜とカチオン膜の間にキレート樹脂により処理された KF, KNO₃ の中性塩溶液を循環させていくと、2項で述べたように AQUATECH cell stack 内で KF, KNO₃ の中性塩から HF, HNO₃, KOH が分離回収される。



第6図 AQUATECH cell stack の構成

Fig. 6 Construction of AQUATECH cell stack

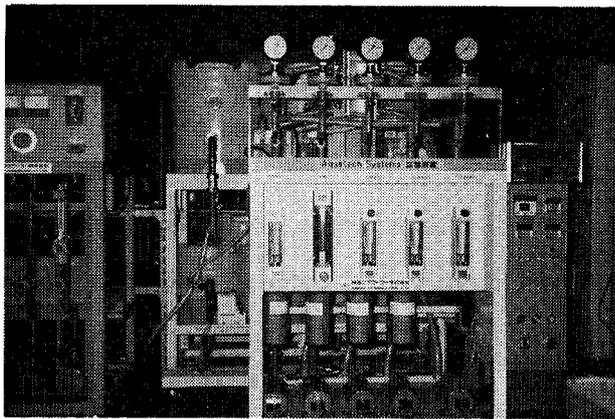
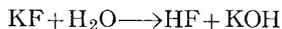


写真 1 AQUATECH system による硝ふっ酸回収設備パイロットプラント

Photo. 1 Pilot plant for recovery of nitric and hydrofluoric acids by AQUATECH systems

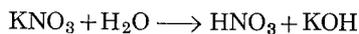


ここで生成した KOH は再び中和反応に再使用される。実際の操作は、回収酸の取出のみが、バッチ操作で行われ、KOH および脱塩された中性塩溶液は連続で抜き取られる。これは AQUATECH cell の次のような特性のためである。

- (1) 回収される KOH 濃度に電流効率はほとんど影響されない。
- (2) KF, KNO₃ の溶液の濃度範囲 0.5~1.5 N では電気抵抗、すなわち電圧はほとんど変化しない。
- (3) 回収酸の濃度に電流効率は大きく影響され、濃度が高いほど電流効率は低く、逆に濃度が低いほど電流効率は高くなる。したがってバッチ操作の方が平均電流効率は高くなる。データ例として次の数値が報告されている。酸濃度 1.5 N の時、電流効率 85 %、3.5 N のとき 70 % となる。

その他の特性として、脱塩された中性塩溶液中には約 0.6 N

KF のみが残る。これは NO₃⁻ の拡散係数が F⁻ の 5 倍以上もあるため、



の反応が先に進行し、0.6 N の塩濃度になったときには KNO₃ は存在しなくなるからである。このことが硝酸回収率 97 % に対してふっ酸回収率 92 % と低くなる理由である。

4. 4 ふっ化カリ回収工程

前述のように AQUATECH stack の中性塩溶液中には約 0.6 N KF が残留している。また沝過工程のケーキ洗浄水には KF, KNO₃ が含まれている。本工程ではこれらの KF, KNO₃ を電気透析により約 90 % 回収する。この工程で使用する電気透析設備は一般の脱塩用として使用されているものと基本的には同一である。電気透析設備には稀积液と濃縮液にそれぞれ循環ラインがあり、第 1 図に示すように中性塩は稀积液側から濃縮液側へ移動する。約 0.6 N KF は電気透析設備の稀积液に供給され 0.06 N まで脱塩される。濃縮液側の循環水はキレート樹脂処理液であり、稀积液側の KF は、濃縮液側のキレート樹脂処理液に回収され、さらに AQUATECH stack にて HF, KOH に分離回収される。0.06 N まで脱塩された稀积液は、沝過工程のケーキ洗浄水、AQUATECH stack の回収酸の循環ラインへの補給水として利用される。

むすび

Allied-Signal 社によって開発された、bipolar 膜の一つの適用例である AQUATECH system による硝ふっ酸回収設備について概略の説明を行った。当社社内において写真 1 に示すような処理能力 13 l/d のパイロットプラントを設置し、ユーザ各位のサンプルによる硝ふっ酸回収テストを行っているので利用頂ければ幸いである。

〔参考文献〕

- 1) V. J. Frillette: "Preparation and characterization of bipolar ion exchange membranes": J. Phys. Chem., Vol. 60 (1956), p. 435.
- 2) 渡辺敏夫ほか: "ステンレス焼鈍酸洗ラインにおける酸回収技術": 川崎製鉄技報, Vol. 17, No. 3 (1985), p. 331.

食品工業廃水におけるABCシステムの運転結果

Performance of ABC System Treating Food Processing Waste

(環)技術部 計画第2課
吉川 信
Makoto Yoshikawa

ABC (Anaerobic Bio Contact) System is a new anaerobic treatment system for high strength organic wastewater and produces methane simultaneously. Shinko-Pfaudler has received six orders of ABC System plant, four of them are under operation and the rest two are under construction.

This is the report for the ABC System which has been applied to the food processing wastewater treatment. The wastewater contains the hydrocarbon, protein and other solids generated from the boiling process of soybeans mainly.

This ABC System was constructed in order to reduce the increasing organic load to the existing activated sludge plant followed by the expansion of the factory.

After 75 days acclimation ABC System works satisfactorily, including the activated sludge process.

ABC System combined with activated sludge treatment process has the following advantages in operation.

- ① Production of methane gas as fuel for the factory.
- ② Reducing the total operating cost by 36% of existing wastewater treatment plant.
- ③ Less sludge generation of 25% of existing wastewater treatment plant.
- ④ Easy and stable operation of existing activated sludge process by installing the ABC System.

まえがき

有機性廃水の処理技術としての嫌気性処理法は、従来から都市下水の最初沈殿汚泥や余剰汚泥の消化(汚泥の減量化)、し尿処理に適用されてきたが、産業廃水への採用は極めて少なく、好気性の活性汚泥処理法が主流を占めている。その理由としては、嫌気処理は滞留時間が長いため設備が大きくなり、建設費が高く、大きな敷地面積を必要とすること等が考えられる。

しかしながら嫌気性処理は、好気性処理と比べて省エネルギー、運転操作が容易、余剰汚泥が少ない等の利点とともに発生ガス(メタンガス)を燃料として有効利用できるという利点を有する。

当社においては、この嫌気性処理に早くから着目し研究開発を進めるとともに、米国のセラニーズ社(Celanese Chemical Company Inc.)と技術提携を結び、高負荷のとれる固定床式嫌気性処理装置ABCシステム(Anaerobic Bio Contact System)を開発した。実績は現在のところ、食品廃水を中心に6件を有するに至っている。

本稿においては、某食品会社(以下A社と略)の煮豆廃水を中心とした工場廃水のABCシステムの運転結果を報告する。

1. ABCシステムの食品廃水への適用

A社から受注したABCシステムは、わずか75日の短期間の馴養運転を経て、現在本運転に入り順調に稼動している。

以下に馴養運転から現在の本運転までの運転結果を述べる。

1.1 廃水の性状

A社の食品工場は、煮豆食品、レトルト食品等を製造している。

ABCシステムの対象廃水は、これらの製

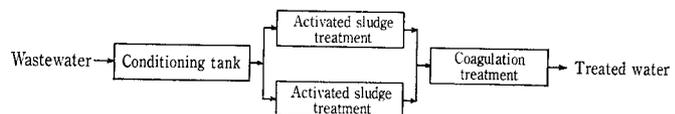
造工程からの排出水であり、日量約350~400 m³である。有機物濃度はTOD 4000~8000 mg/l、BOD 2000~5000 mg/lと製造品目、生産量により日間および季節的な濃度変動が大きい。第1表に廃水的设计計画値を示す。

当廃水は、非常に腐敗しやすく(言いかえれば生物分解性が良い)調整槽で酸敗が起こり、pH 4~5でABCシステムに投入される。

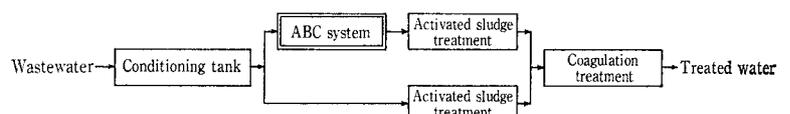
第1表 原水および処理水の水质(设计値)
Table 1 Quality of wastewater and treated water (Design)

Quality		Wastewater			Treated water	
		Conditioning tank	AB Reactor	Activated sludge process		
pH	—	5~6	7.2~7.8	5.8~8.6		
SS	mg/l	100	400	20		
BOD	mg/l	Ave. 4 000 Max. 5 000	600	20		

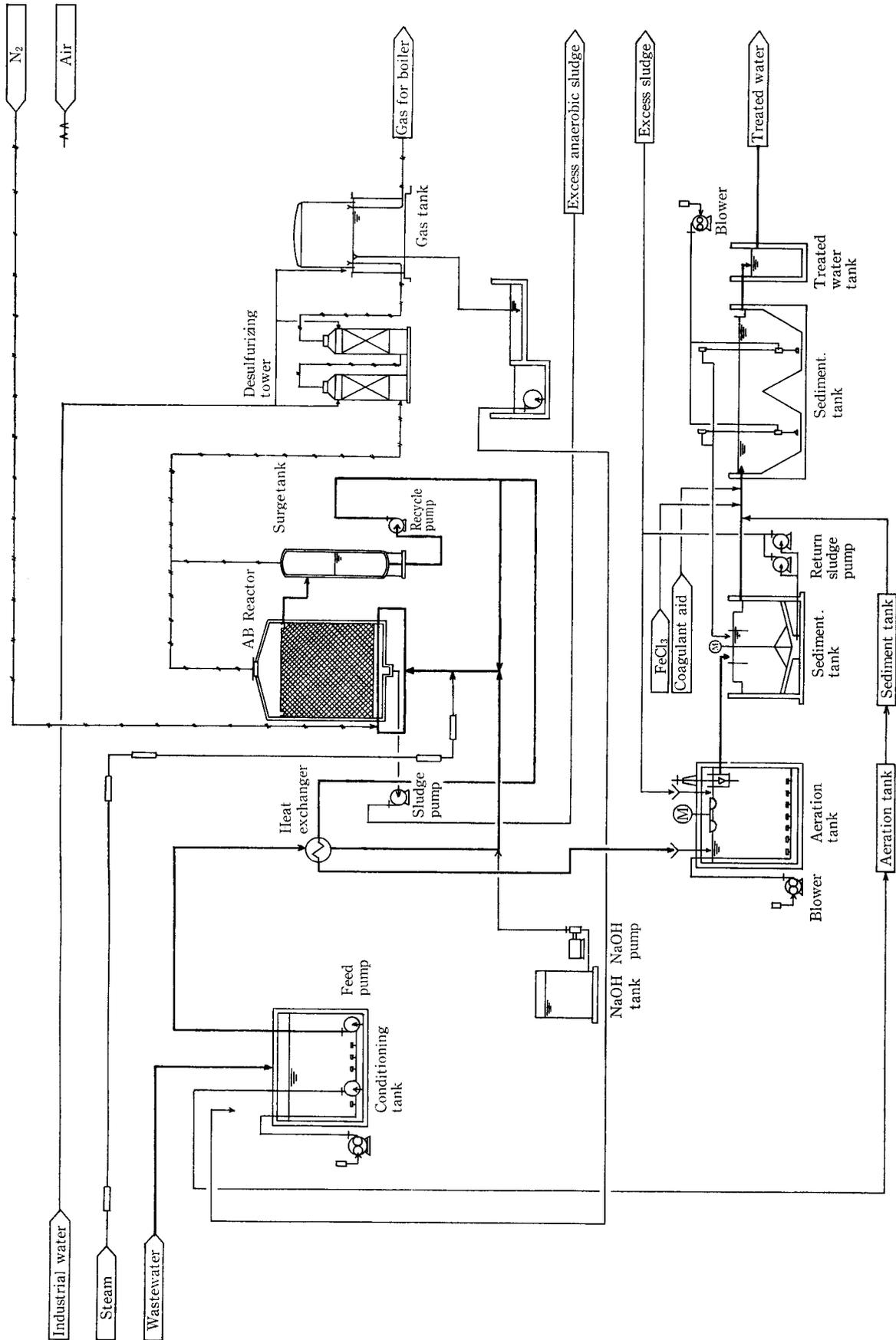
1) Before installing ABC system



2) After installing ABC system



第1図 処理フローのブロックダイアグラム
Fig. 1 Diagram of wastewater treatment process



第2図 廃水処理フローシート
Fig. 2 Flow of wastewater treatment

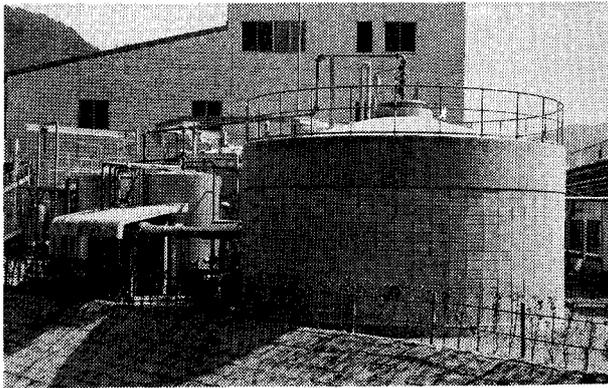


写真 1 ABCシステム外観
Photo.1 Outward of ABC system

ABCシステム導入前および導入後の処理フローのプロックダイヤグラムを第1図に示す。ABCシステム導入前の活性汚泥処理では、前述の濃度変動のため安定した処理運転がむずかしく、また発生する汚泥の処分にも高い経費を要し、処理の安定化と運転費の低減等が大きな課題であった。

これらの課題を解決することに加えて、更に工場増設に伴う廃水中の有機物量増加に対処する必要性が生じてきた。既設処理設備を有効に利用しながら限られた敷地内で設備を改造するため、ABCシステムの導入を計った。

工場からの廃水量は通常 400 m³/d であるが、ABCシステムに投入する設計水量は 300 m³/d とし、残りの100 m³/d は既設曝気槽 2 系列あるうち 1 系列に直接投入し活性汚泥法により処理する方針を採用した。ABCシステムの処理水は、残りの 1 系列の曝気槽により活性汚泥処理される。各々の活性汚泥処理水は混合され凝集沈殿処理後、BOD 20 mg/l 以下で放流される。

1.2 ABCシステム設備概要

廃水処理設備のフローシートを第2図に示す。

ABCシステムの中核となるABリアクター(Anaerobic Bio-Reactor)は、特殊プラスチックメディアを充填した密閉型構造でその機能は、固定床方式と一部浮遊懸濁方式とを組み合わせた反応槽である。

廃水は循環処理水と混合され、必要に応じて苛性ソーダを添加して pH 調整し、蒸気により加温した後、ABリアクター底部のディストリビューターから流入し、上向流にて嫌気性菌と接触する。ABリアクター上部には、集水トラフがあり、集水された処理水は、サージタンクを経て一部は処理水として既設活性汚泥処理設備に圧送される。残りはABリアクターの循環水として、最適な上向流速の確保と廃水の有機物濃度を一定に希釈する役目をもつ。

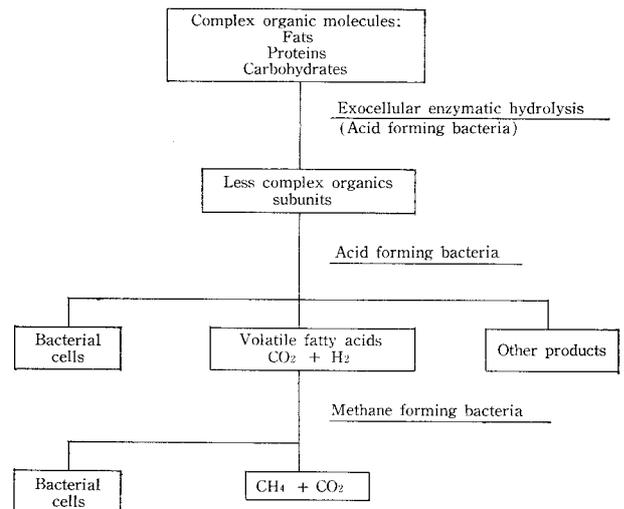
ABリアクター内の運転水温は 37 °C であり、流入廃水(水温 20~35 °C)は、熱交換器で処理水のもつ熱を回収し、蒸気による加温熱量を極力抑えるシステムにしている。有機物の嫌気分解過程を第3図に示すが廃水中の有機物は、メディアに付着保持される嫌気性菌と接触することにより 80~85 % が分解され最終的に CH₄、CO₂ および一部増殖菌体に転換される。

発生ガスは、硫化水素を 2 000~3 000 ppm 含有するため、脱硫塔で脱硫されたあとガスホルダーに貯蔵される。貯蔵されたガスは、専用ボイラで燃焼され、工場内の生産プロ

第2表 設備仕様

Table 2 ABC System specification

Instrument	Specification	Unit
AB Reactor	Volume 267 m ³ 7 300 mmφ × 6 400 mmWD × 7 300 mmH	1
Surge tank	2 200 mmφ × 2 200 mmH	1
Heat exchanger	700 mmW × 2 500 mm L × 1 535 mm H	1
Desulfurizing tower	1 050 mmφ × 2 000 mmH	2
Gas tank	Volume 100 m ³ 5 720 mmφ × 4 000 mmH	1
NaOH tank	Volume 9.0 m ³ 1 900 mmφ × 3 700 mmH	1
Feed pump	0.27 m ³ /min × 35 mAq × 7.5 kW	1
Recycle pump	1.35 m ³ /min × 26 mAq × 15 kW	1
NaOH pump	360 cc/min × 50 mAq × 0.2 kW	1
Sludge pump	0.15 m ³ /min × 10 mAq × 1.5 kW	1



第3図 有機物の嫌気分解過程

Fig. 3 Sequential anaerobic biodegradation of a complex wastewater

セス等に有効利用される。

設備仕様を第2表に示す。またABCシステムの外観を写真1に示す。

主要な設計諸元は、以下の通りである。

- 処理水量 300 m³/d
- 廃水有機物濃度
TOD 平均 7 300 mg/l
BOD 最大 5 000 mg/l 平均 4 000 mg/l
- ABリアクター
水温 37 °C
負荷 TOD 10 kg/m³・d
BOD 5.5 kg/m³・d
設備能力 BOD 1 200 kg/d

除去率 TOD 80 %
 BOD 85 %

(4) 発生ガス

発生ガス量 876 Nm³/d
 組成 CH₄ 70 %
 CO₂ 30 %

1. 3 馴養運転

設備の工事完了ならびに水運転終了後、ABリアクターに種汚泥を投入し馴養運転に入った。種汚泥として、既に稼働しているABCシステムの嫌気汚泥を投入した。

種汚泥投入後、リサイクルラインに蒸気を注入しABリアクター内水温を37℃までに昇温した後、廃水量を一定量ずつ増加させて馴養運転を開始した。

嫌気性分解は好気性分解に比較して菌体の増殖率が低いため、馴養期間が長くなるのと難点があると言われているが、当設備においての馴養期間を2.5カ月と目標設定をし、従来にはない短期間の馴養期間をめざした。

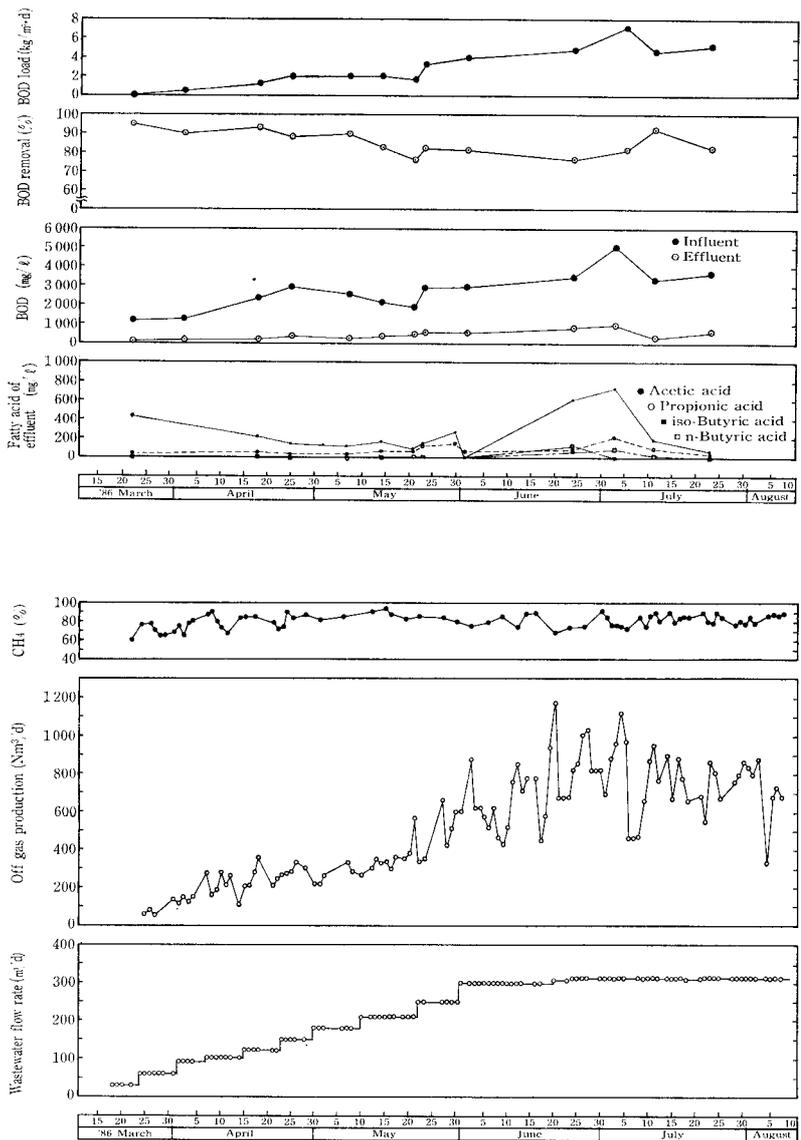
1. 4 運転結果

第4図に馴養運転開始からの運転結果を示す。1986年3月から通水開始し、発生ガス量、処理水質、処理水有機酸濃度をみながら徐々に通水量を増加させ5月末には設計廃水量の300m³/dに達した。この間トラブルもなく廃水量の増加に伴って発生ガス量も増加の傾向にあり順調に推移した。処理水BOD濃度も安定して500mg/l以下、BOD除去率も80%以上あり、2.5カ月という短期間で馴養運転を終えた。

設計廃水量300m³/dを達成した後、本運転に入り、6月上旬から現在に至っている。廃水量一定(300~310m³/d)にもかかわらず発生ガス量は、非常に変動しているが、これは廃水の有機物濃度が前述した様に生産品目により変動するためと考えられる。メタンガス濃度は、苛性ソーダ注入率にもよるが80~85%と高濃度である。

7月上旬のBOD負荷7.24kg/m³・d (BOD負荷量1570kg/d:設計負荷量の130%)の際には、処理水のBOD濃度が高くなった時期もあったが、以後順調に推移した。処理水の有機酸の濃度レベルは7月上旬、若干過負荷によるピークを形成したが、この程度の濃度レベルでは、メタン生成菌に阻害を与えるものでない。このことは、その後のガス発生量、処理水BOD濃度、有機酸の濃度レベル等から明らかである。廃水の変動幅に対して処理水の変動幅は小さく、活性汚泥処理の極めて安定した運転を可能としている。

第5図に馴養運転から現在までにおける負荷と除去率の関係を示す。詳細な結果は、今後の運転実績を待たなければ



第4図 初期運転結果
 Fig. 4 Start-up operation data

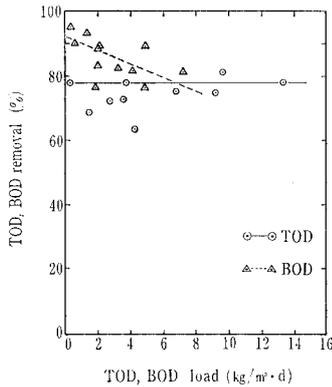
ばならないが、設計負荷 TOD 10 kg/m³・d, BOD 5.5 kg/m³・dにおいては、それぞれ約78%, 約80%となっている。

また第6図に除去BOD量に対しての発生メタンガス量の関係を示した。データがまだ不十分とはいえ、今のところ、BODの除去量に対してメタンガス量はよく相関している。これからメタンガス発生量は、除去BOD量(kg)あたり0.865 Nm³であった。

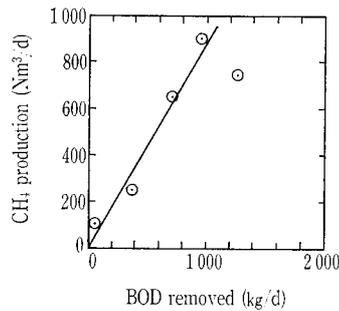
2. ABCシステム導入によるメリット

馴養運転から本運転にかけての運転結果を前述したが、ABCシステム導入によるメリットを現時点で検討する。メリットを項目別に列挙すると以下の様になる。

- (1) 活性汚泥処理の安定化
- (2) 運転管理の省力化
- (3) 余剰汚泥の減量化
- (4) メタンガスの有効利用
- (5) ランニングコストの大幅な低減



第5図 負荷と除去率の関係
Fig. 5 Removal versus TOD, BOD Load



第6図 除去BOD量と発生メタンガス量の関係
Fig. 6 Methane production versus BOD removed

2. 1 活性汚泥処理の安定化

活性汚泥処理に関して、従来の処理フローと現在の処理フローの負荷量、BOD容量負荷を比較したのが、第3表である。(各々の処理フローは第1図の通り)

これから、活性汚泥処理設備へのBOD負荷量は、1600 kg/d から580 kg/d と63.8%も削減され負荷の大幅な軽減による安定した処理運転がなされるようになった。

2. 2 運転管理の省力化

従来活性汚泥の安定化運転(例えば適正なDO濃度やMLSS濃度等の維持)のために非常な苦勞があった。しかしながらABCシステム導入後、前述したように大きな変動幅にもかかわらずABC処理水が安定した水質で活性汚泥処理設備に投入されるので、非常に運転が楽になった。また他系列の活性汚泥単独処理についてもABCシステム導入後に、投入廃水量が減少したため負荷が軽減され安定した運転がなされている。このことは、運転管理の省力化につながっている。ABCシステムの運転管理については、活性汚泥のようなDO濃度、MLSS濃度および返送汚泥量の管理や日常的な水質分析は必要なく、生産品目による濃度や変動パターンを把握しておけば、基本的には廃水量とガス発生量の監視だけで運転可能である。

2. 3 余剰汚泥の減量化

従来の余剰汚泥の発生量(実績)と現在の余剰汚泥の発生量を比較したのが第4表である。

これから余剰汚泥量は、従来の約1/4に削減できていることがわかる。余剰汚泥は脱水、乾燥後処理されているが、これだけ減量化できればランニングコスト低減に大きく寄与している。

2. 4 メタンガスの有効利用

廃水処理の安定化とともにメタンガスが回収される。発生量は設計値876 Nm³/d(メタンガス濃度70%)であり、A社が使用しているB重油換算で643 l/dに相当するものである。

2. 5 ランニングコストの削減

ABCシステム導入後に計画どおりのメリットが出たが、総合的な評価としてのランニングコスト比較を以下に述べる。ランニングコスト比較表を第5表に示す。

第3表 BOD負荷量、BOD容量負荷の比較

Table 3 Comparison of BOD load between activated sludge process and ABC, activated sludge combined process

Process	Activated sludge process	ABC, activated sludge combined process
BOD load	1 600 kg/d (1.00) (400 m ³ /d × 4 000 mg/ℓ × 10 ⁻³ = 1 600 kg/d)	580 kg/d (0.363) (From AB reactor 300 m ³ /d × 4 000 mg/ℓ × (1 - 0.85) × 10 ⁻³ = 180 kg/d① From conditioning tank 100 m ³ /d × 4 000 mg/ℓ × 10 ⁻³ = 400 kg/d② ① + ② = 580 kg/d)
BOD-volumetric load	1.28 kg/m ³ ·d (1 600 kg/d ÷ (Aeration tank volume 624 m ³ / Tank × 2 Tanks) = 1.28 kg/m ³ ·d)	0.46 kg/m ³ ·d (580 kg/d ÷ (Aeration tank volume 624 m ³ / Tank × 2 Tanks) = 0.46 kg/m ³ ·d)

第4表 余剰汚泥の発生量の比較

Table 4 Comparison of excess sludge production between activated sludge process and ABC, activated sludge combined process

Process	Activated sludge process	ABC, activated sludge combined process
Excess sludge production	835.8 kg/d (actual result) Excess sludge ; 0.525 kg/kg BOD removed (400 m ³ /d × (4 000 - 20) mg/ℓ × 10 ⁻³ × 0.525 = 835.8 kg/d)	222.6 kg/d (estimate value) Excess anaerobic sludge ; 0.05 kg/kg BOD removed Excess aerobic sludge ; 0.3 kg/kg BOD removed (Anaerobic sludge 300 m ³ /d × (4 000 - 600) mg/ℓ × 10 ⁻³ × 0.05 = 51 kg/d Aerobic sludge 100 m ³ /d × (4 000 - 20) mg/ℓ × 10 ⁻³ × 0.3 + 300 m ³ /d × (600 - 20) × 10 ⁻³ × 0.3 = 171.6 kg/d 51 kg/d + 171.6 kg/d = 222.6 kg/d)

これにより、ABCシステム導入によるランニングコストの削減は、発生ガスのB重油評価を含めて87740円/d - 31745円/d = 55995円/dとなり、大幅な削減金額となっている。

なお生物処理の項で、電力費が大差ないのは現在のところ曝気槽を2系列使用しているためであり今後1系列に集約すれば、さらに経費削減となる。

Process		Activated sludge process	ABC, activated sludge combined process
Biological treatment	Electric power consumption ¥ 17.4/kWh	2 010 kWh/d=¥34 970/d	1 937kWh/d=¥33 700/d
	Desulfurizing agent ¥ 150/kg	—	5.2 kg/d=¥ 780/d
	Steam ¥ 4.5/kg	—	733 kg/d=¥ 3 300/d
	Urea ¥ 84/kg	20.7 kg/d=¥ 1 740/d	—
	FeCl ₃ ¥ 28/kg	152 kg/d=¥ 4 260/d	50 kg/d=¥ 1 400/d
	Anti-foaming agent ¥1 100/kg	2.1 kg/d=¥ 2 310/d	2.1 kg/d=¥ 2 310/d
	NaOH ¥ 135/kg	—	90 kg/d=¥12 150/d
	Heavy oil (calculation from produced CH ₄) ¥ 52/ℓ	—	643 ℓ/d=▲¥33 440/d
Total (1)	¥43 280/d	¥20 200/d	
Sludge treatment	Electric power consumption ¥ 17.4/kWh	101 kWh=¥ 1 760/d	34 kWh/d=¥ 590/d
	FeCl ₃ ¥ 28/kg	25 kg/d=¥ 700/d	6.6 kg/d=¥ 185/d
	Coagulant aid ¥ 850/kg	20.9 kg/d=¥17 770/d	5.6 kg/d=¥ 4 760/d
	Waste oil ¥ 55/ℓ	158 ℓ/d=¥ 8 690/d	42 ℓ/d=¥ 2 310/d
	Sludge disposal ¥7 400/m ³	2.1 m ³ /d=¥15 540/d	0.5 m ³ /d=¥ 3 700/d
Total (2)	¥44 460/d	¥11 545/d	
Total (1)+(2)	¥87 740/d (1.00)	¥31 745/d (0.362)	

第 5 表
ランニングコストの比較
Table 5
Comparison of operating cost between activated sludge process and ABC, activated sludge combined process

尿素は、現在不要となっているが、これは嫌気汚泥の増殖率が活性汚泥のその約10%と言われており、このため廃水中の窒素分だけで十分にまかなえるためである。

消泡剤は調整槽の発泡防止、苛性ソーダはA Bリアクター入口でのpH調整に使用される。

むすび

以上、A社の馴養運転から本運転にかけての運転結果を紹介してきた。短期間での馴養立上がり(2.5カ月)を達成し、本運転も順調に運転されている。

ABCシステム導入によるランニングコストの低減の効果の他に、ランニングコストに含まれていない活性汚泥の負荷低減による処理の安定化や運転管理の容易さに対して、ユーザの高い評価をいただいている。

今後も当実績を注意深くフォローアップして技術蓄積を行い、ABCシステムの一層の改善を図りたい。

なお、ABCシステムは、1985年度優秀省エネルギー機器として、(社)日本機械工業連合会より表彰されたことを付記する。

乾湿併用形冷却塔の紹介

Wet and Dry Cooling Tower of Counter Flow Type

(冷)生産部 技術課
原 田 征 一
Seiichi Harada
那 須 潔
Kiyoshi Nasu

In compliance with the design by New Tokyo International Airport Authority, the installation of a wet and dry cooling tower at the central cooling and heating facilities of the airport in Narita has been recently completed.

This paper describes features of this tower equipped with finned-tube air heater dry section coupled with counter flow wet section.

The tower was designed to prevent its surroundings from possible obstructives caused by visible plume, and it also features energy-saving operation by a combined system of automatic fan speed control and automatic inlet air louver opening control for both section of wet and dry.

本報告は新東京国際空港公団殿の設計に基き、最近当社が空港施設の冷暖房用に納入した乾湿併用型冷却塔の特長について紹介する。

この冷却塔はカウンターフロー型湿式塔に乾式部（フィンチューブ）を適用した例で、最新の技術を駆使したダンパーコントロールシステムと省エネタイプの運転が出来るもので、年間を通して白煙の障害が起らないように設計されている。

まえがき

当社は、わが国で初めての乾湿併用形冷却塔を1974年1月に納入して以来、すでに40件の採用をいただいている。しかし、これらの納入例の大部分は直交流型冷却塔に適用されたものである。

設計者でありユーザでもある新東京国際空港公団に納入した最新の乾湿併用形冷却塔、特に向流型冷却塔への適用例について紹介できる機会を得たので、ここにその概要と特長について記述する。

対象冷却塔は空港施設の冷暖房設備用であるが、曇天時、特に梅雨時において、風向によっては冷却塔からの白煙が障害となる可能性もあることから、これを防止するために乾湿併用形冷却塔が採用され建設されたものである。対象冷却塔の設計は、新東京国際空港公団によりなされたもので、その製作および建設工事を当社が1984年10月に担当し、1985年6月の完工後順調に稼動している。

1. 構造と機能およびその特長

前記の目的を満たすよう設計された冷却塔の断面および外観は第1図および第2図のとおりで、片吸込向流型冷却塔のルーバー上部に乾式空気加熱器を設置して乾湿併用形冷却塔にしたものである。

片吸込となっているのは、配管ルートや現有スペースを活用するための配慮である。

年間の気象データと運転条件から季節毎での白煙発生予測がなされ、立地条件を加味して乾湿併用運転時に場内に達しない白煙の長さに抑制できる乾式部の大きさとなっている。

この場合、白煙発生の面から最も厳しい外気条件として乾球温度25°C、相対湿度99%が採用されており、湿式部での冷却能力もほぼ100%必要な時期となることから、負

荷の少ない冬期の白煙対策として決定された乾式部の大きさより大きくなっている。

本冷却塔は湿式運転と乾湿併用運転の切り替えができるよう設計されており、冷却塔への戻り水は乾湿併用運転時のみ乾式部を通過するが、湿式運転時には通常の湿式冷却塔と同じく湿式部の充填材に直接散水できるような配管系になっている。

これは乾湿併用運転を最少限にしてポンプの動力費を節約するために考案された方式である。

乾式部と湿式部の吸込面には通気量を調節できる電動ダンパーを配備して、運転条件や気象条件に応じて乾湿併用運転時における乾式部と湿式部への通気量のバランスを自動的に変化させ得るような機能を有しており、送風機駆動用電動機は極数変換型を採用して、設備の必要排熱量に応じて停止/低速/高速の何れかを選択することにより省エネルギー運転を可能にし、併せて冷却塔からの送り水温度を一定の範囲にコントロールできるような機能を備えている。

本冷却塔の大きな特長は、前述の電動ダンパーの動作変換と送風機駆動用電動機の動作変換を一体化して乾湿併用運転時における冷却塔からの送り水温度コントロールと白煙の長さ調整の両方に対応できる機能を有していることにあり、水量・水温・気象条件などが自動記録され、それらのデータをコンピュータにより解析するための白煙発生予測プログラムをも備えていることである。

これらの設計は冷却塔の取り扱いを容易かつ簡便に、また迅速かつ正確にできるように配慮されている。特に従来計量することが難しいと言われていた冷却塔からの白煙対策における総合的な要素を含めた本システムは乾湿併用塔の計画・運用面で今後の指針となろう。

特に市街地に設置される冷却塔や自動車道に隣接して設置される冷却塔に対しても有効な方式である。

参考として乾湿併用形冷却塔の仕様は以下の通りである。

(1) 冷却塔条件

型 式：乾湿併用形カウンターフロー型
セル 数：1
循環水量：1870 m³/h

入口水温：42.5 °C
 出口水温：32 °C
 湿球温度：27 °C

(2) 送風機

型式：軸流送風機（手動可変ピッチ）
 直径 / 翼数：7920 mm φ/6
 回転数：145 rpm/97 rpm
 台数：1

(3) 減速機

型式：スパイラルベベルおよびヘリカルギヤ
 減速比：1/9.99
 台数：1

(4) 電動機

型式：屋外型全閉外扇三相誘導電動機
 出力：190 kw/60 kw—4P/6 P
 電源：3000 V, 50 Hz
 台数：1

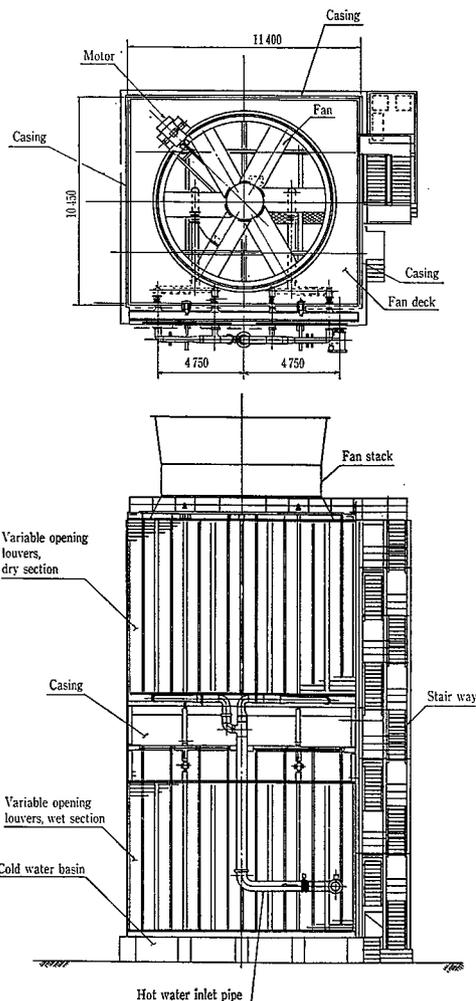
起動方式：リアクトル起動

(5) 空気加熱器（フィンチューブ）

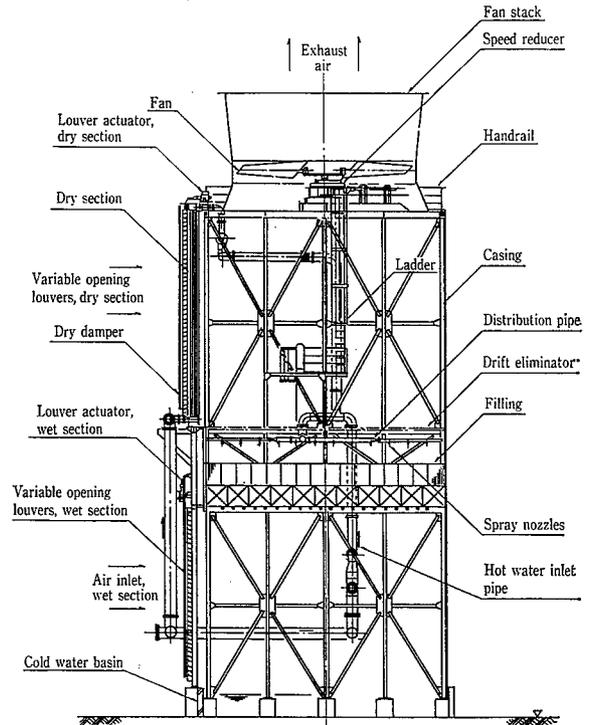
型式：カバーボックスヘッダー型
 チューブ：鋼管25.4φ
 フィン：アルミニウム製（L型）

(6) 構造材材質

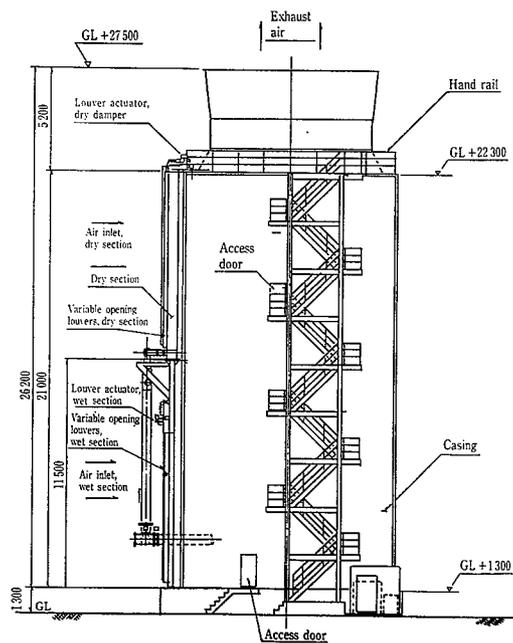
主構造：溶融亜鉛メッキ鋼
 外装板：波形アスベストセメント板
 乾式部ダンパー：アルミニウム製
 湿式部ダンパー：アルミニウム製
 ファンスタック：溶融亜鉛メッキ鋼
 充填材：硬質塩化ビニル製
 エリミネータ：硬質塩化ビニル製
 散水管：溶融亜鉛メッキ鋼



第2図 外観図
 Fig. 2 Schematic drawing



第1図 断面構造図
 Fig. 1 Sectional drawing



階段、手摺：溶亜融鉛メッキ鋼
 冷水槽：鉄筋コンクリート製
 また、写真1～4に外観他各部を示す。

1. 白煙の実態調査

白煙の実態調査は、白煙多発時（早朝あるいは湿度の高
 い時）に行い、発生状況の把握は目視・写真撮影および
 TRへの記録により行った。

運転方法は、湿式運転から乾湿併用運転へ切り替えを行
 う、ほぼ同一の外気条件における白煙発生状況を観察し、
 乾湿併用運転時での低減効果を調査したもので、その一部
 を紹介する。

白煙発生状況調査の結果の代表例を写真5～16および第
 1表に示す。これらを整理すると次のような傾向となっ
 ている。

1) 乾湿併用運転時の発生白煙は湿式運転時に比較して非
 常に少なく、長さにおいて約1/4～1/3に低減しており、10
 m以下であった。

2) 第1表に示すごとく、湿式運転時の白煙発生状況は外
 気状態により大きく変化し、ケースNo.1～4のように相
 対湿度が70%以下であっても外気温度が低い場合には
 多量の白煙が発生する。

一方、相対湿度が90%程度であっても、ケースNo.5
 のごとく外気温度が高い場合には白煙は少なく、ケ
 ースNo.1～4に比較して約1/2の長さとなっている。

これらはほんの一部で、白煙の状態を定性的な傾向とし
 て表わしているにすぎないので、量的なものとの関連を追
 求するため、当社としては今後さらに負荷状況の変化およ
 び外気条件の変化に伴う調査を継続してゆく所存である。

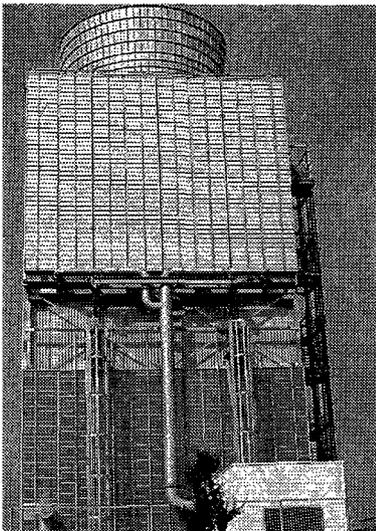


写真1 外観
 Photo.1 A view of cooling tower

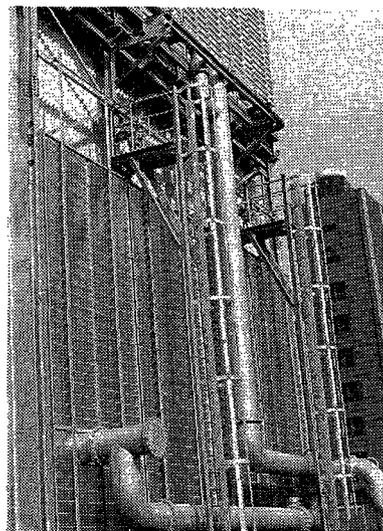


写真2
 湿式部ダンパー
 Photo.2
 Variable opening louvers for wet section

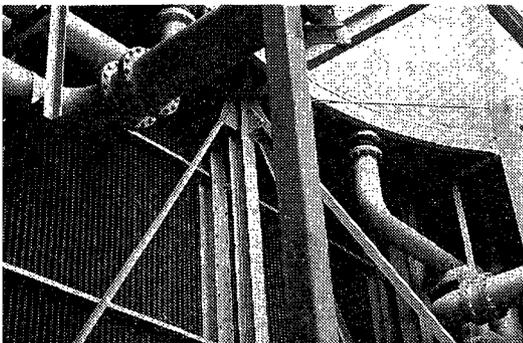


写真3 塔内からみた空気加熱器
 Photo.3 A view inside tower

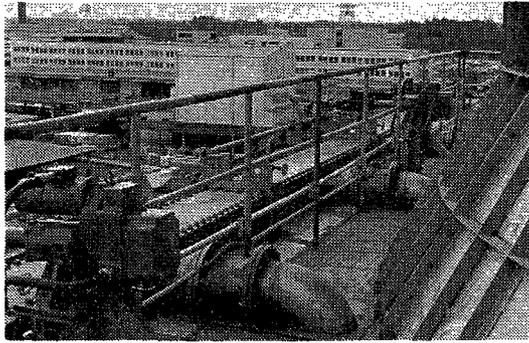


写真4 ダンパー駆動用ユニット
 Photo.4 Louver actuator

第1表 白煙発生状況調査結果
 Table 1 Result of plume observation

Case No.	Ambient condition		Inlet water temp. °C	Flowrate m³/h	Motor No. of poles	Plume length m	
	DBT °C	RH %				Wet operation	Wet/Dry operation
1	-0.4	64	34.6	1090	6	60	8
2	0.0	65	34.1	1000	4	60	8
3	1.5	68	32.7	1000	4	45	8
4	-0.5	69	34.1	1000	4	70	8
5	11.4	88	34.6	940	4	35	8
6	12.4	95	36.0	920	4	50	8

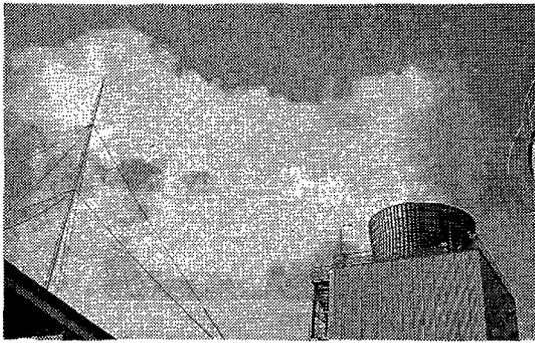


写真 5 CASE NO.1 湿式運転
Photo.5 Wet operation

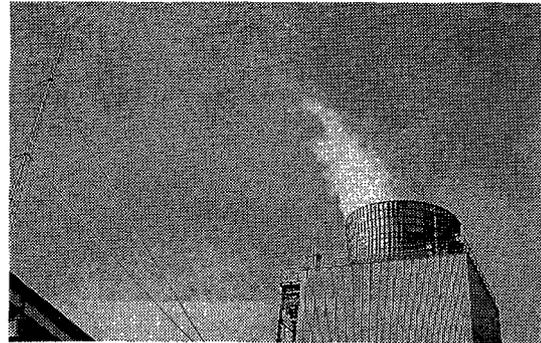


写真 6 CASE NO.1 乾湿併用運転
Photo.6 Wet/Dry operation



写真 7 CASE NO.2 湿式運転
Photo.7 Wet operation

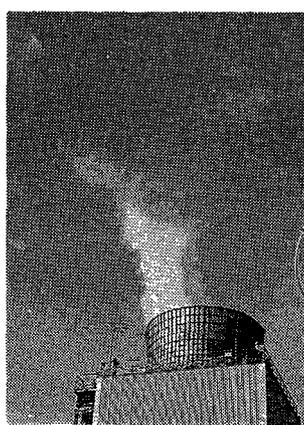


写真 8
CASE NO.2 乾湿併用運転
Photo.8
Wet/Dry operation

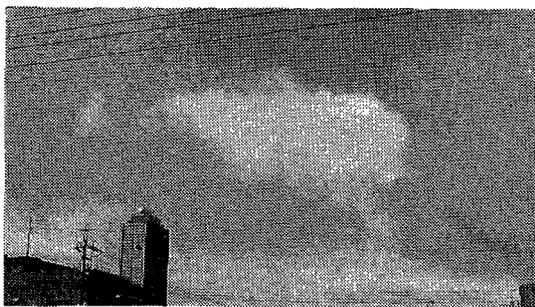


写真 9 CASE NO.3 湿式運転
Photo.9 Wet operation

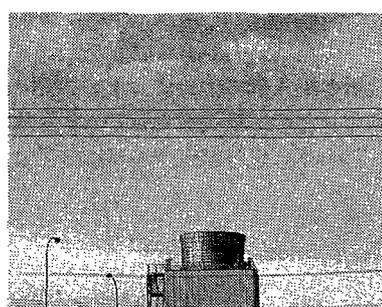


写真 10 CASE NO.3 乾湿併用運転
Photo.10 Wet/Dry operation



写真 11 CASE NO.4 湿式運転
Photo.11 Wet operation

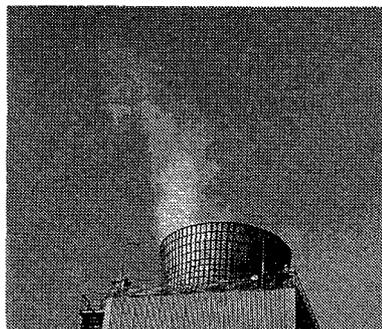


写真 12 CASE NO.4 乾湿併用運転
Photo.12 Wet/Dry operation

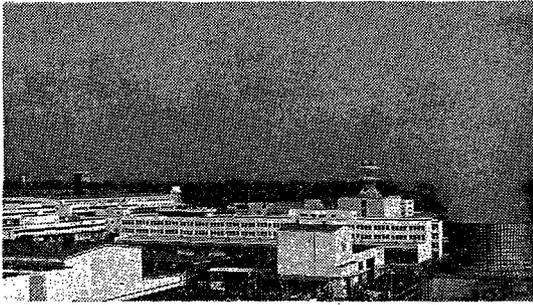


写真 13 CASE NO.5 湿式運転
Photo. 13 Wet operation

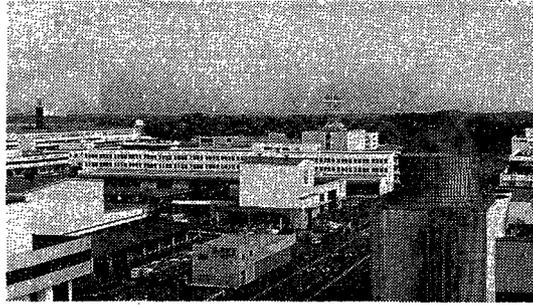


写真 14 CASE NO.5 乾湿併用運転
Photo. 14 Wet/Dry operation

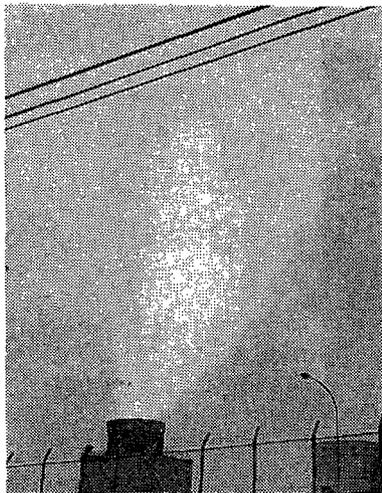


写真 15
CASE NO.6 湿式運転
Photo. 15
Wet operation

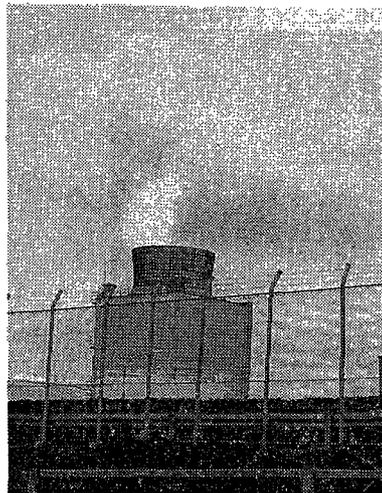


写真 16
CASE NO.6 乾湿併用運転
Photo. 16
Wet/Dry operation

む す び

乾湿併用形冷却塔の最新の納入例について、その採用の背景及び特長を中心に紹介したが、需要家各位のご計画に際しご参考になれば幸いである。

さらに、本稿の紹介に当り多大なるご指導および助言をいただいた新東京国際空港公団殿のご好意に感謝し敬意を表します。

社 内 ニ ュ ー ス

TOPICS

フッ素樹脂および水処理薬品分野へ進出

Finding a new way in the field of fluororesin coating and water treatment chemicals

当社は、事業基盤の強化と業容の拡大を目指して、フッ素樹脂ライニングおよび水処理薬品の新規事業を開始した。

当社は1954年（昭和29年）8月に（株）神戸製鋼所から分離独立後、自社技術の開発とともに、欧米の優秀な技術も導入し、現在では、化学工業機器部門、環境装置部門および冷却塔部門を3本柱とした産業機械の専門メーカーとして、日常の生活からハイテク産業まで、技術を売りものに幅広い分野に貢献している。

昨今の円高をはじめとする構造不況下において各産業界では高付加価値の製品づくりに懸命の努力が払われているが、当社では、多様化するユーザのニーズならびにファイン化、ハイテク化を指向する高度なユーザのニーズに応えるため、首記二つの分野に進出することになった。

一つ目の新規事業であるフッ素樹脂分野は、当社の3本柱の一つである化学工業用機械部門の充実を狙いとしている。当社は、これまで、グラスライニング、ステンレス鋼製等各種耐食性機器の専門メーカーとして、化学工業界において数多くの実績を有し、ユーザから厚い信頼を得ているが、従来のメニューに「高機能樹脂」といわれるフッ素樹脂を新規に加え、より選択の幅を広げて、あらゆるニーズに応える総合耐食性機器メーカーを目指す。

フッ素樹脂は、プラスチックのダイヤモンドともいわれ、耐化学薬品性、耐熱耐寒性、電気特性、非粘着性など合成樹脂の中でも最もユニークな特性を誇る材料として、各工業用はもちろん、一般家庭から宇宙開発までその用途はますます拡大するものと考えられている。

当社は新規事業としては、当面フッ素樹脂による「コーティング」、「シートライニング」の塔、槽、配管部品などの製造を主力に手がけ、化学工業、医薬品工業を中心に半導体関連、食品、繊維、製紙その他一般機械工業など幅広い分野への販売を目指し、3年後には10億円の売上を計画している。

二つ目の新規事業は、当社の環境装置部門および冷却塔部門の業容拡大とより一層のサービスの向上を目指し、水処理薬品の供給を開始するものである。当社は、水処理事業を1959年（昭和34年）、冷却塔事業を1962年（昭和37年）にそれぞれ開始し、工場の用水、廃水処理、上水・下水処理および工業用冷却塔分野において多数の機器・装置の納入実績を有している。これら産業廃水・下水等の処理プロセスで凝集沈殿などの固液分離および汚泥の脱水操作を行う場合、また冷却水による腐食、スライム、スケールの防止を目的として各種の水処理薬品が使われており、設備が稼動しているかぎり継続使用されるので、水処理には薬品は不可欠となっている。

当社は、上・下水・廃水処理装置および冷却塔の総合メーカーとして長年にわたって蓄積した技術と経験を活用し、今般、機器・装置製作の他に、納入後のアフターサービスの一環として水処理薬品の供給を営業品目に加え、水処理事業のトータルサービスを提供しようとするもので、3年後には、水処理薬品の売上を20億円に持っていく計画をしている。

なお、当社はこれらの新規事業を開始するにあたり、8月1日付にて当社100%出資の新会社を設立し、フッ素樹脂は神鋼ファウドラ・テクノレジン(株)、また水処理薬品は神鋼ファウドラ・ケミカル(株)において製造、販売を担当することにしており、11月から本格的な営業を開始した。

神鋼ファウドラ・テクノレジン株式会社

本 社 神鋼ファウドラ株式会社内

代表取締役 伊 藤 益 三

資本金 1,000万円

電話番号 (078)232-8185

神鋼ファウドラ・ケミカル株式会社

本 社 神鋼ファウドラ株式会社内

代表取締役 下 村 幸 雄

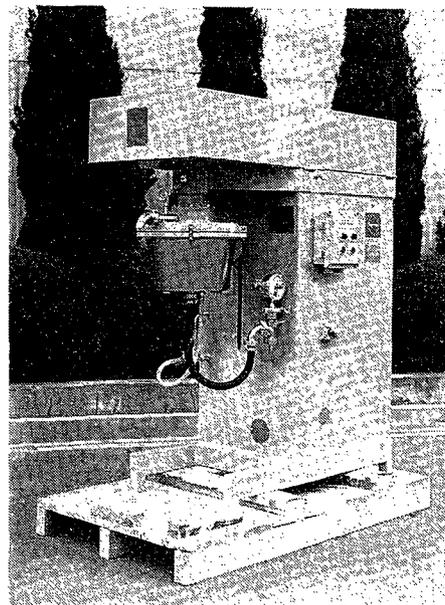
資本金 1,000万円

電話番号 (078)232-8190

超微粉砕・分散機を国産

Domestic production of CoBall-Mill starts

当社は、スイスのフリーマ社と提携し、超微粉砕・分散機「コボール・ミル」(商品名)の国産化に乗り出すことを明らかにした。当社は、1984年3月にフリーマ社の日本



コボール・ミル

代理店であるリッカーマン(日本)社と同製品の販売契約の結び、販売活動を展開してきたが、粉碎・分散性能が非常に優れている上、ハンドリング機能などがユーザーズにマッチ、またテスト機によるプレサービスの結果が高く評価されて順調に販売量を伸ばしたため、国産化に切り替えたもの。

「コボル・ミル」は、断面が逆三角形の独特の粉碎ゾーンを持った、新しいタイプのアニュラー型(環状)連続式かく拌ミルで、性能は非常に高い。

まず、粉碎室のエネルギー密度が非常に高く、サスペンションに強い剪断作用を与えるため、微粉碎、高分散が容易に行える。また独自の粉碎室構造により、ショートバク現象がなく、製品の粒度分布がシャープになる。さらに、粉碎室容積に対する冷却面積の比が非常に大きいため、すぐれた冷却効果がある。構造が簡単、メンテナンスも容易などメリットは多く、微粉碎のみならず、微粉原料の分散が磁気塗料や高級塗料の分野で注目されて、この2年間で約30台の実績を得ている。

この間、当社は製造や販売体制を整えるとともに、コストダウン、短納期化やアフターサービスを強化し、国産化への準備を進めてきた。

当社では、磁気塗料、感熱紙原料などの情報関連、ペイント、インキ、化学品など幅広い分野で、従来タイプのサンドミルやロールミルなどと、コストおよび納期(2分の1に短縮)の面で十分対抗できるものと判断、今後年間20-30台、3-5億円の売り上げを予定している。

同製品は'86粉体工業展に展示されている。

(化学工業日報 '86.9.13)

中国・黒龍江省大慶に総合廃水処理設備完成

Construction of the wastewater treatment facility has completed at Daqin, Heilongjiang-province, China

当社は中国・黒龍江省大慶に建設された大型エチレンコンビナートに付帯する総合廃水処理設備を今年8月に完成した。

中国・黒龍江省大慶のエチレンコンビナートは、年間30万トンの生産能力を備えた大型エチレンコンビナート。これは中国第6次5カ年計画、同第7次5カ年計画の重点プロジェクトとなっており、中国、日本ばかりでなく欧米

などの有力企業からも技術導入、提携により完成された。

当社も1978年、このコンビナートに付帯する総合廃水処理建設のうち機械・電機設備一式を約15億円で受注。正式契約締結後、装置の船積みまでは順調に進展した。

ところが1980年以降、中国国内の経済調整のため据え付け工事が大幅に遅滞。1984年春になってようやく、本格的に据え付け工事が始まり、今年7月末に試運転終了後正式に引き渡しを行った。

この廃水処理設備は、「シグマウェーブエアレーター」を主軸にした活性汚泥処理設備や砂汚過装置、活性炭吸着装置など3次処理システムまで装備。さらにベルトプレス脱水機や立型汚泥焼却炉、活性炭再生炉なども併設した「完全公害防止型」の高度システムで1日2万4000立方メートルの処理能力と世界最大規模になっている。

これは中国も産業・経済の振興・発展と同時に、先進国で大きな問題となった公害の発生に着目。

とくにエチレンコンビナートなどは、周辺地域環境汚染に万全の対策を施すことが必要で、当社の高度化された総合廃水処理技術が必要だったものという。その水処理技術を中国側が高く評価。当社はこれを大きな弾みにし、環境装置や化工機など全事業部が一丸となって中国の大型プロジェクトに対するマーケットリサーチを展開し、いわば「点から面」を目指した経営戦略の転換を行う。

(日本工業新聞 '86.9.16)



当社が中国で完成した総合廃水処理設備
Wastewater treatment facility of Daqin, China