

目次
 CONTENTS

○ [特別講演抄録] 高粘度用処理装置..... 1
 Chemical Apparatuses for Processing Highly Viscous Materials

○ [新製品紹介] ハイロフドライヤー®..... 6
 Hi-ROF DRYER®

○ 電気浸透脱水機「スーパーフィルトロン®」.....10
 Electroosmotic Dehydrator "Super-Filtron®"

○ ビーム型タンクコンテナ.....14
 Beam Type Tank Container

○ S P Sのサービス.....17
 Shinko-Pfaunder Service

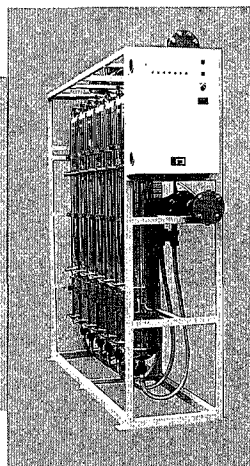
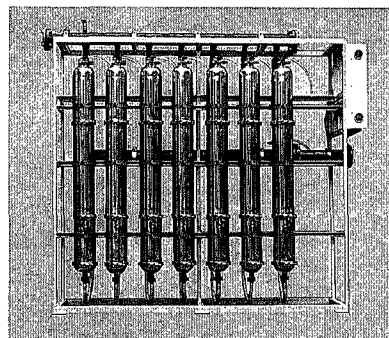
○ 嫌気性廃水処理の新しい展開
 A B Cシステムの化学・製薬分野への適用.....22
 Application of the ABC system for Anaerobic Treatment
 of Chemical and Pharmaceutical Industry Wastewaters

○ 超純水製造プロセスならびに脱塩プロセスにおける
 膜装置の保守とトラブルシューティング.....30
 Maintenance and Troubleshooting Regarding Membrane
 Unit for Water Purification and Desalination

○ ダム貯水池における水質保全対策.....35
 Restoration Techniques for Reservoir Management

○ 物質収支計算用パソコン・ソフト「^{ワイタツプ シグマ}YTAP-Σ」.....39
 Material Balance Calculating System "YTAP-Σ"

○ 社内ニュース.....44
 TOPICS



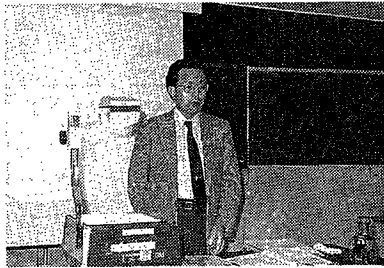
<表紙写真説明>

PureCapsule は新しく開発された電子工業用の超純水装置で、紫外線殺菌器、イオン交換装置、限外濾過器を一体化しモジュールにまとめたものである。装置がコンパクトで高度な超純水を得ることができるため、クリーンルーム内の超LSI製造ラインの近くで、または超純水製造プラントの中で、ますます厳しくなる半導体製造用の水質基準に対応する装置として活躍している。

PureCapsule is a newly developed ultrapure water treatment system for electronic industries. Ultraviolet sterilizer, ion exchange system and ultra-filter are arranged into one module. **PureCapsules** are very compact and can produce high grade ultrapure water, so that they are used beside the ULSI producing line and/or in the ultrapure water treatment plant complying with the requested ultrapure water quality in the rapidly developing semiconductor industries.

高粘度用処理装置

Chemical Apparatuses for Processing Highly Viscous Materials



九州大学工学部 化学機械工学科教授
工学博士 村上 泰弘
Prof. Dr. Yasuhiro Murakami
Dept. of Chemical Engineering,
Kyushu University



抄録：(化)技術部 製品開発課
工学博士 岡本 幸道
Dr. Yukimichi Okamoto

In polymer industries, especially in manufacturing and forming processes of engineering plastics, there are several technical difficulties in handling highly viscous materials. Requirement for improving the process equipment is increasing the technical fusion in the mixing operations by agitators, solid mixers, kneaders and extruders.

The basic method to improve these apparatuses is to measure and analyse viscous flow behaviour in them quantitatively. Various informations obtained from flow patterns and relevant phenomena could suggest what is to be improved and the possibility or extent of the improvement as well as indicate some characteristics useful to predict performance of the apparatuses.

1987年8月18日、村上教授を当社にお迎えしてご講演いただいた。村上教授は化学工学協会攪拌混合技術研究会の当年度会長をつとめられ、文字通りこの分野の第一人者として研究、教育の指導に尽力されている。今回は、永年研究を続けておられる重合反応装置および高粘度流体の攪拌、混合、混練に関連して「高粘度用処理装置」の演題にてご講演いただいた。本稿はそのご講演内容の抄録である。

1. ポリマ製造における背景

高粘度物の処理を行う産業のなかでもポリマ製造業はその規模と展開において無視できない分野となる。日本のポリマ製造業は年産1200万トン強の産業であり、その30~35%の製造プロセスでは最終粘度が10~100 Poiseを越え、反応、混合、脱気、成形工程に高粘度用の装置を必要とする。

近年、この業界ではエンジニアリング・プラスチック分野での動きが活発であり、その展開が高粘度用の装置に種々のより高度な要請を生じている。処理物質の一層の高粘度化あるいは固相化、高温化、機器の耐食性と耐摩耗性の向上、コンタミの防止、より微細な構造に着目した高度の分散性能、温度と滞留時間の規制力の向上などの要求である。

特殊エンブラには耐熱性を重視した各種のポリマと高強度性を重視した液晶ポリマがある。これらはいずれも融点の高い縮重合物であり、高温でも粘度が非常に高いかあるいは固相化する恐れがあること、縮合時に塩化物、硫化物、弗化物を発生することがあり極めて腐食性の高い条件となること、難成形性の物質も少なくないため処理機の摩耗が生じ易いこと、あるいは機能性素材としての充填材や各種添加物との混合工程で多様な分解物や異物を発生する

危険性があること、高価な溶媒を極めて粘潤な残滓より回収しなければならないこともあるなど、その製造および加工プロセスに種々の技術的な難しさがある。

またICの封止材ポリマの主流であるエポキシ樹脂については、そのイオン性不純物の極限までの低減、シリカ系充填材を混練する機器の摩耗の防止、密閉式混練系の採用とそれに伴う運転の安定性が今後の課題と考えられる。封止材では、耐熱性の向上と残留熱応力の緩和という相互に矛盾する要求を満たすため、素材の微細な均質性を実現する混練分散機能とその安定性が強く要求される。

これらの例が示すように、製造プロセスが要求する高粘度用の処理装置の仕様と性能はプロセスごとに異なる特殊な仕様と性能の組合せとなることが多い。

2. 装置の種類と今後の動向

上記のプロセス側の要請に対応する装置側の動きは、第1図に示す技術融合の動きに代表される。すなわち、かつては処理の対象と目的によって固体混合、液体攪拌、混練の各操作を区別し、用途別の機種を使い分ける傾向にあったが、昨今ではこれらの操作や機種の壁を越えて各種の分散機能を積極的に組合せ特徴ある機種を開発することが求められている。

具体的な展開の諸例を以下にとりあげる。

1984年にダウケミカル社はオキサゾリン変性ポリスチレンを用いた異種ポリマのアロイ化、積層化および複合化の方法を発表した。¹⁾ このプロセスに代表されるように反応と成形加工が並行するプロセスでは温度、滞留時間、混練度の制御がポイントになる。これらの規制が比較的容易な押出機をベースにした特殊反応機の改良が検討されている。

従来のポリエステル連続重合用の最終重合機として開発

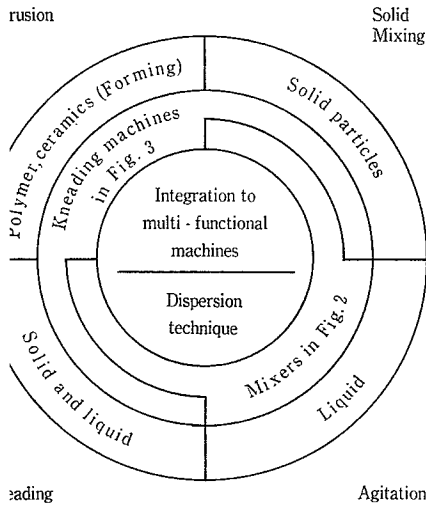


図 各種操作の技術融合

1 Technical fusion in four operations related to mixing

Motion of blade		Max. power efficiency ?			
		Vistir (Cross paddle)	Ko-Kneader		
		Ajiter (Oscillating)			
		Paddle	Ribbon	Propeller	Screw
Type of blade					
		Local mixing ← → Pumping			

: Ordinary rotation, : Oscillating rotation, \leftrightarrow : Reciprocation in axial direction.

第2図 攪拌羽根の系譜と動作

Fig. 2 Relativity in blade shapes and blade motions

した横形二軸攪拌機は高粘度(約1万 Poise)での大きな表面更新性能に加え、高温、高真空、長期連続運転の実績があるので、前述の縮重合系エンプラの反応機としても見られており、5万から10万 Poise 対応の機種改良式みられている。また、縮合反応機のみでなく脱モノ脱溶媒、気液接触反応機、触媒残滓の洗浄除去などの処理への展開にも有効である。

上の横形二軸機では、高粘度液、粉粒体あるいは固相へ相変化に対応可能な反応機として開発された List 社の Reactor (第3図参照)も注目される。

図形では、縮重合系エンプラの多品種少量生産という観点から、表面更新とセルフクリーニング性能のある Steing 社の高粘度用反応機²⁾も参考にすべき時代になるとも考えられる。

このほか、従来の標準的な高粘度攪拌機であるヘリカルリボン翼についても、槽を円錐形にすることで混合を改善する、あるいはドラフト管と組合せて循環特性を向上させ式みがなされている。^{3),4)}

第2図は各操作に使う攪拌羽根の系譜と動作を併記し、代表的な機種の位置付けを試みた例である。輸送力主体のクリューと局所混合力主体のバドルを両極とし、実用的羽根はこの間のある段階で混合力と輸送力の妥協をはかっている。混合時間と動力効率から評価する時、羽根の回転方向が順逆交互に変わる機種と、羽根が回転しながら回転軸方向に直線的な往復運動をする機種とが優れていることが確かめられている。⁵⁾ 高粘度系でも、順逆回転と軸方向の運動を実現し混合力と輸送力の適度なバランスを実現すれば、従来以上に効率の良い機種が開発可能であろう。第3図は混練および押出に用いられる多様な機種を例示したものであり、連続混練機を主に紹介した。これらの機種の多くは一般の高粘度攪拌に比べ極めて強い剪断を発生することによって均一な分散を行う。特に処理物の圧縮、展に作用する縦剪断を利用した点では K C K 連続混練押

出機の分散機能が参考になる。今後の高粘度処理機の展開の方向としては、これらの機種に見られる優れた機能や機構をいかに経済的に取り込んで組み合わせるかということが一つの課題になると考えられる。

3. 流動情報に基づく装置の評価と改良

高粘度液を処理する装置には検討すべき共通の特性や問題があり、また、装置の評価と改良を行う手法において共通に適応しうる考え方がある。特に重要視されるのは、流動状態の把握に基づく装置特性の定量的な説明とその改良検討である。

第1表に流動状態に関する情報の分類をまとめ、以下にそれらの具体的な説明を行う。

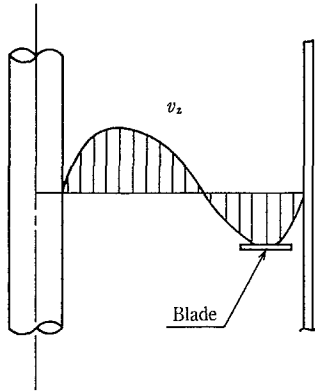
3.1 流速分布

適切な方法で表示された流速分布は、それ自体が装置の改善すべき問題点を指摘していることが多く、場合によっては改善策をも示唆することがある。その例を第4図に示す。本図はヘリカルリボン翼で攪拌した時の上下方向の流速成分 v_z の分布図である。まず攪拌軸を無くすれば上下循環が改善可能な点が示唆される。実際には循環流量が20~25%増加する。さらに、上昇流と下降流の境界付近が不動点となりやすいことに着目して、これを改善するためにヘリカルコーン翼あるいは傾斜バッフル付のミグ翼への展開が実施された経緯もある。

3.2 積分情報

検査面を注意深く設定し流速分布を積分すると循環流量が得られる。循環流は装置内全体の位置の入替えて均質化を達成する混合機能を持つ。循環流量を知ることはその装置の混合性能を評価する上で重要である。

従来のリボン翼やスクリー翼は混合終了まで3~4循環を要することが知られている。しかし、後に紹介する各種混合機器の評価からは、リボン翼の混合時間 $n\theta_M = 33$ に対して、1~2循環で混合を終える $n\theta_M = 10 \sim 20$ の攪拌機の可能性が見出された。第2図に紹介した翼の回転と上下



第4図 リボン翼での流速分布
Fig. 4 Velocity distribution of Helical ribbon

動の組合せはこの可能性を実現したものと位置付けられる。

また、これらの検討を通じて得られた経験によれば、高粘度液を攪拌できる翼の循環時間は概略翼の10回転相当の時間になるといえる。流通系では滞留時間が循環時間の15~20倍以上であれば完全混合と考えてよい。

3.3 微分情報

循環と並行して混合を進める作用は剪断である。フローパタンの実測から

第1表第3項の各歪み速度を求めると、一般の高粘度攪拌機の場合は投入した動力の80%以上をずり変形に対応する横剪断で消費し、流体の伸縮変形による消費は少ない。この結果、剪断特性の観点から攪拌機の最も単純なモデルを考えると、第5図のように内筒が回転する同心二重円筒になる。このモデルに剪断場での変形(第6図参照)を重ね合せると次の関係が導かれる。

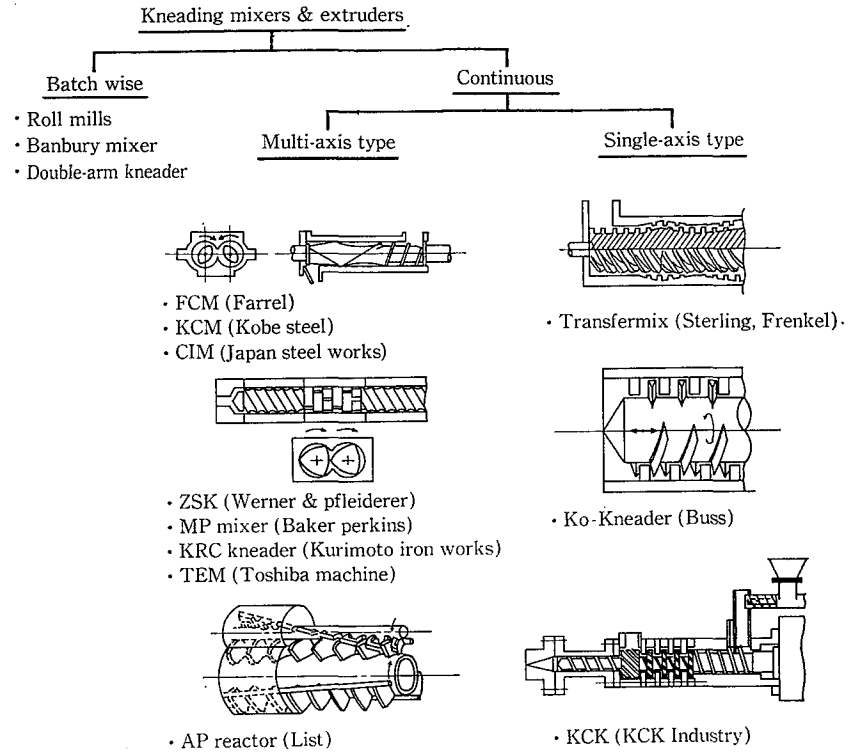
$$\text{無次元混合時間 } C_1 = n \cdot \theta_M = \frac{L_0}{L_M} \cdot \frac{1-\kappa}{2\pi\kappa}$$

$$\text{無次元混合歪み量 } C_2 = \theta_M \sqrt{\frac{P_V}{\mu}} = \frac{L_0}{L_M} \frac{2}{1+\kappa}$$

$$\text{無次元剪断速度 } C_3 = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{P_V}{\mu}} = \frac{4\pi\kappa}{1-\kappa^2}$$

第1表 技術情報としてのフローパタン
Table 1 Flow patterns as engineering informations

Operations of informations	Examples	Usefulness
1. Original (Raw)	• Distributions of v_r, v_θ and v_z	• Better way to know what is to be improved.
2. Integral	• Circulation rate $Q_i = \int_s v_i ds$	• Characterize the mixing by bulk motion of fluid
3. Differential	• Energy dissipation $\mu \sum_i \sum_j \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right)^2$ $i=j$ extension rate $i \neq j$ shear rate	• Characterize the mixing by deformation of fluid element.
4. Converted	• Surface renewal rate • Circulation time distributions.	• Prediction of mass transfer • Effective to diagnose the circulation circuits.
5. Simulation	• Numerical simulation of viscous flow	• Prediction of performances.

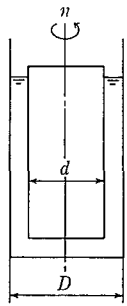


第3図 混練機能を持つ各種混合機
Fig. 3 Various type of machines effective to kneading

C_2 が混合終了に要する剪断歪み量(= L_0/L_M)を表すことから、 C_2 の小さな装置が循環能力と剪断能力のバランスのとれた動力効率の良い混合装置であるといえる。

嶋田ら⁶⁾による各種攪拌機の C_1, C_2 を求め評価を試みた結果が第7図である(+印 Cross Paddle は村上の追加)。多くの高粘度用装置では $C_2=400\sim900$ となり、低粘度用では一般に C_2 が大きい。 $C_2 < 900$ が高粘度用としての目安になる。

ところで、ある種のスタティックミキサは $C_2=200\sim300$ で混合を終了し得る。上記の C_1, C_2 の関係から C_2 が減少できれば C_1 も減少できる可能性がある。したがって攪拌機で $C_2=200\sim300$ を実現できれば、先に説明した通り混合時間が $n\theta_M=10\sim20$ となる可能性がある。スタティック

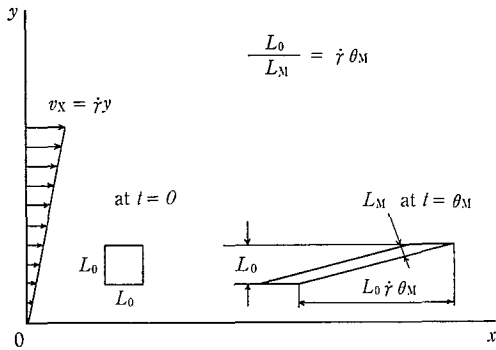


$$\kappa = d/D$$

$$\dot{\gamma} = \frac{2\pi n \kappa}{1 - \kappa^2} \quad \text{when } \kappa \rightarrow 1$$

$$\sqrt{\frac{P\dot{\gamma}}{\mu}} = \frac{4\pi n \kappa}{1 - \kappa^2}$$

第5図 同芯二重円筒モデル
Fig. 5 Flow model of double concentric cylinders



第6図 単純剪断場での変形
Fig. 6 Deformation in a flow of a shear rate

ミキサの存在は $C_2 = 200 \sim 300$ の攪拌機が技術的に可能であることの根拠になる。攪拌翼に軸方向の往復運動を追加することがその実現の一形態になることは既に説明した通りである。

また、装置の剪断性を表す C_3 については概略次のよう区分が成立する。

- $C_3 = 10 \sim 30$ 高粘度用攪拌機
- $= 30 \sim 100$ 各種混練機
- > 100 押出機

上記の C_1, C_2 による装置の評価で注意すべきことは、混合時間 θ_M の測定法が同一であるデータの比較には意味があるが、測定法が異なるデータの比較ではその評価の意味がなくなる恐れが強い点である。原報により測定法を確認してデータを利用する配慮が必要である。

4 変換情報

装置の機能によってはフローバタンよりもその機能と直接関連する物理量に変換されされた情報を用いて装置を評価する方が便利な場合がある。第1表第4項に示す表面更新速度や循環時間分布などがこの変換情報の具体例といえる。

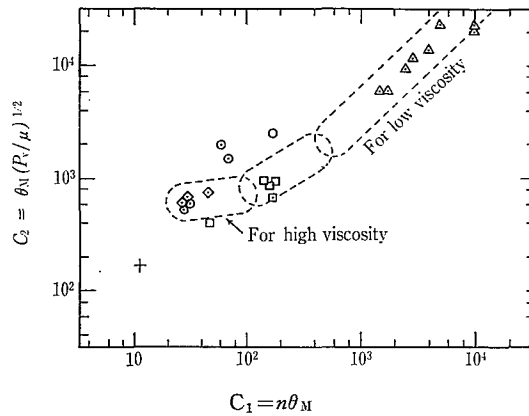
縮重合反応での脱気操作の重要性については第1節で説明した通りであり表面更新性能が装置上の関心事となることが多い。装置の表面更新速度の測定や物質移動速度との対応づけが脱気を伴う装置の評価には欠かせない。

循環時間分布については、これが装置の形成する循環流路を診断する方法として簡単に測定できる点で便利である。装置に複数の循環流路があれば循環時間分布にその影響が現れる。その結果を見て改善の必要性を検討することができる。

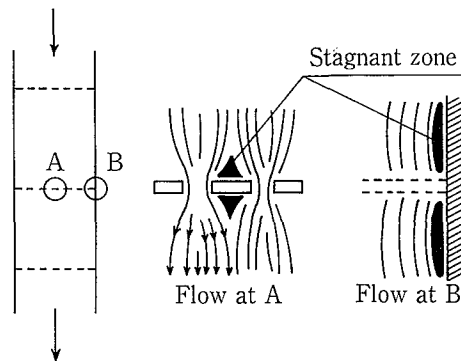
4.5 シミュレーション情報

装置の評価と改良を行うための実験と測定が必ずしも全

- Helical ribbons
- Screws or propellers in draft tube
- △ Paddles, propellers, turbines
- ◇ Others
- + Cross paddle (rotation and reciprocation)



第7図 各種攪拌翼の C_1, C_2
Fig. 7 C_1 and C_2 of various type of impellers by T. Shimada's method⁶⁾



第8図 管形反応装置の仕切部の流れ
Fig. 8 Flow through baffle plate in pipe reactor

て可能でない場合や事前に定量性のある予測が必要な場合には、物理的あるいは数学的相似性を利用した攪拌実験や数値解析を有効に使えることがある。流れの数値解析を利用した例を以下に示す。

攪拌機のない塔形の連続反応器ではそのプラグフロー性の向上のため塔内に構造物を入れる。第8図に示すように仕切板タイプのはフローバタンが混合不良部を発生し易い欠点を持つため、これを改良して線状構造物を配置する方法がとられた。そして線状構造物の挿入量を変えた各場合について流動を数値計算で解きプラグフロー性の改良がデッドスペースになる危険性への影響を求めた結果が第9図であり、縦軸は滞留時間が平均滞留時間の2.5倍以上になる空間の比率を、横軸は挿入する構造物の量をその濡れ辺長で評価したものである。停滞を生じ易い空間を減少させるのに挿入量と配置に最適な条件があること、最適条件に近付ければ停滞の生じ易い空間を半減させる可能性のあることが理解される。

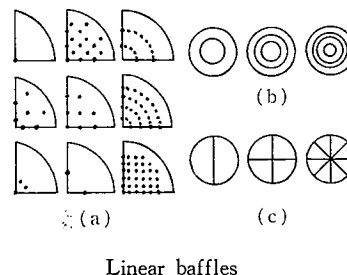
高粘度攪拌槽での大形翼によるフローバタンの予測は一部の特殊な系では成功しているが、現状では実用的な段階

にはいたっていない。しかしながら、理論的予測は実験要因の種類と効き方（感度）を絞り込むのに有用であり、今後、もっとも力を入れるべきテーマと思われる。

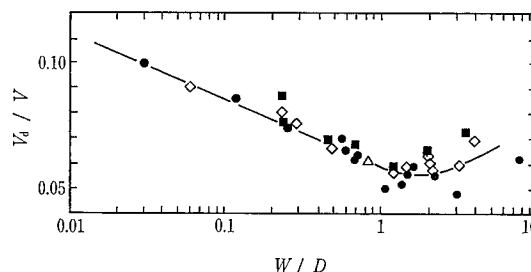
4. 装置開発の留意点

化学装置の評価と化学プロセスの評価は不可分であり、化学装置を改良、開発する際には当然のことながら対象となる化学プロセスに関する知識と情報およびその分析が必要になる。特に、そのプロセスの律速段階の把握、装置に必要な諸機能の適切な評価および処理物性への配慮は重要であり、それらの判断ミスは装置の競争力、能力の低下や欠陥につながる恐れがあるので注意を要する。

開発した装置が提供される時には、その装置を十分に使いきる利用技術も必要であり、そのためには種々の条件のもとで装置の各特性の変化を推算できる理論的基礎の確立と技術情報の体系化が必要である。例えばビンガム流体として挙動する濃厚スラリー系では降伏応力の前後で流動状態が不安定になり装置が振動することがある。事前の技術的検討によって避け得るか否か、またトラブルに対して的確な措置を講じ得るか否かは、どのような指標でその流動域、停滞域を予測するかという技術力にかかってくる。エンジニアリングへの信頼性を築く意味でも理論的背景の確立と技術情報の整備が望まれる。



Linear baffles



第9図 線状構造物の挿入量と停滞部の比率
Fig. 9 Ratio of stagnant zone and quantity of linear baffles

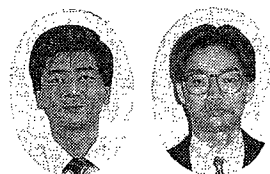
〔使用記号〕

C_{1-3} : 装置定数	[—]
D : 管径	[m]
d : ローター径	[m]
L : 流体要素の大きさ	[m]
n : 回転数	[rps]
P_V : 単位容積当りの動力	[W/m ³]
Q_i : 循環流量	[m ³ /sec]
s : 面積要素	[m ²]

t : 時刻	[sec]
V : 容積	[m ³]
v_i : 速度成分	[m/sec]
W : 濡れ辺長	[m]
x, y : 空間座標	[m]
$\dot{\gamma}$: 剪断速度	[sec ⁻¹]
θ_M : 混合時間	[sec]
κ : d/D	
μ : 粘度	[kg/m·sec]

〔参考文献〕

- 1) J. A. Sneller : Modern Plastics International, No. 4 (1985), p. 42.
- 2) 村上泰弘 : 重合反応装置の基礎と解析, (1976), 培風館, p. 11.
- 3) 同上, p. 37.
- 4) 嶋田隆文ら : 三菱重工技報, Vol. 24, No. 2 (1987), p. 1.
- 5) Y. Murakami et. al. : J. Chem. Eng. Japan, Vol. 13 (1980), p. 318, Vol. 14 (1981), p. 498.
- 6) 嶋田隆文ら : 化学機械技術24, (1972), 丸善, p. 13.



(化)技術部 技術第2課
 本郷 孝 男
 Takao Hongo
 技術開発本部
 車谷 裕 司
 Yuji Shatani

A multi-functional processor has been developed. It performs several stages of filtration, drying and reaction, and that in a single vessel. Design advantages are as follows:

- (1) Each stage can be air-tightly performed. It results in minimizing product losses and preventing contamination.
- (2) Shaft seal is set at a position where is free from any trouble and rise it's reliability.
- (3) Extensive heat transfer area and skillful mixing assure effective drying.
- (4) GLASTEEL, stainless steel and other materials can be available on request.

えがき

ファインケミカル分野では、高付加価値物質の生産、少品種生産の方向へ向かいつつあり、これに対処するプラントや個々の機器のマルチパーパス化が検討される。

の様なユーザのニーズに応じて、当社ではこのたび一密閉容器内で濾過と乾燥ができる多機能濾過乾燥機 ROF DRYER® (ハイロドライヤー)を開発した紹介する。

概要

来、最終製品が粉体の場合、晶析・反応などによってした固液混合スラリーを濾過、乾燥するプロセスでそれぞれは別々のユニット機器において行われるのがであった。(第1図)しかしながら、湿潤した濾過ケを移送する際や遠心分離機などでは、十分な密閉系にすることができず、

塵埃、微生物による汚染

空気酸化などによる不安定物質の変質

刺激性、毒性物質からの作業者の保護

の理由から密閉系での操作が望まれていた。

方、多品種少量生産のため、ロット替え時における機接続配管等の洗浄は多くの人手と時間を要し、前ロットの不完全な洗浄は、コンタミの元となり、また、製品留まりを悪くする原因でもあった。これらのことから機能を備えた単体機器によって、複数のプロセスで処理することが可能な密閉型装置が要望されていた。

ROF DRYER®は、スラリー液を機器へ導入すれば、された容器内で、濾過、ケーキ洗浄、乾燥の処理を行最終製品である乾燥粉体を排出口より取り出すことができる新しいコンセプトをもった製品である。密閉系であるため空気酸化の心配がなく、有機溶剤が取り扱え、コンの心配がないところから、ファインケミカルや医薬品などの分野に最適な機器であると考えている。

特長

濾過と乾燥とを一台の密閉容器内で処理することができ、湿潤ケーキの移送の必要がない。

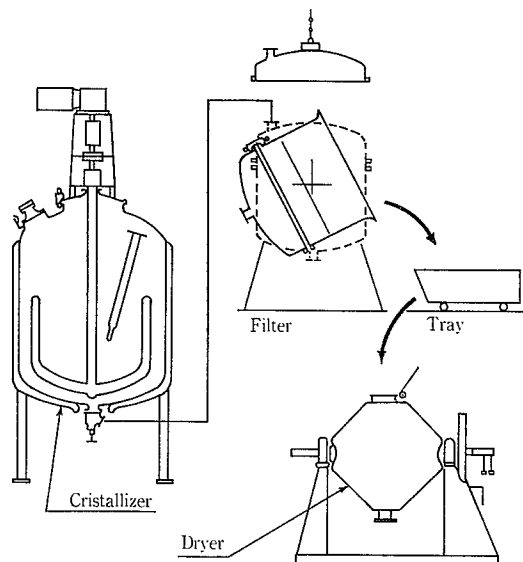
本体が回転することにより独立した乾燥機部を持つ

ているため大きな伝熱面積をとることができ、攪拌翼による混合と合わせて均一で正確な温度コントロールによる真空乾燥ができる。

- (3) 軸封にはメカニカルシールを用い、加圧、真空いずれの場合においても高い密閉が可能である。
- (4) 濾過、ケーキ洗浄のための展延翼、乾燥・粉体排出時に用いる攪拌翼などに多くの機能を持たせ、濾過乾燥の効率化をはかっている。
- (5) 乾燥機部は外套付き反応機としても用いることができ、反応・晶析などを含んだ様々なプロセスバリエーションが可能である。
- (6) グラスチール製のものは耐食性に優れ、その上グラス面が滑らかで、内容物の付着も少なく洗浄性にもすぐれている。

3 他の濾過乾燥機

濾過と乾燥とを一台の容器内で行うという目的では、ヌッチェ型濾過機に排出用の攪拌翼を取り付けた形式の立型濾過乾燥機がある。これは十数年前から、ヨーロッパでつくられており、欠点として濾材上で乾燥を行うため、濾材



第1図 従来の濾過乾燥プロセス
 Fig. 1 Conventional process stages

への粉体の目詰まりや、伝熱の問題、また、粉体排出に時間を要したり不完全であったりする場合が多い。

4 構造

本体は、濾過機部と乾燥機部とに大きく分けることができる。濾過は濾板上の濾布などの濾材による単板ヌッチェタイプであり、乾燥は真空加熱乾燥を行う。

以下に主要部について解説する。(写真1, 第2図参照)

1) 展延翼

基本形状は傾斜パドル翼であり回転方向によって濾過ケーキ表面を均したり、反対にかきとることも可能である。また、軸方向に上下に移動し、翼高さを自由に設定できる。濾過が終わった後に濾布上の残留ケーキを乾燥機部へ、かき落とす働きもする。

2) 攪拌翼

乾燥時に用い、粉体を均一に混合し、伝熱性能を高める。この時缶体を傾斜させることによって、粉体の翼との共回りを防ぐことができる。

3) 缶体回転駆動部

Hi-ROF DRYER® の大きな特長である缶体を回転する駆動部分であり、360°の任意の位置に缶体を回転し、停止することができる。

4) 軸封

軸封にはダブルメカニカルシールを標準仕様としている。このため、濾過における加圧や、乾燥時の真空に対しても、十分な密閉を保つことができる。また、シールの取り付け位置に工夫があり、粉体中に埋没しないため、信頼性と寿命の向上が図られている。

一方、展延翼が軸方向に上下するため、この二重軸のシールには、PTFE製のペローズを使用し、3 kg/cm²の圧力に耐えられるよう設計されている。

5) 配管

缶本体への配管はすべて固定配管により接続することができる。濾液出口および真空配管は耐食メカニカルシール

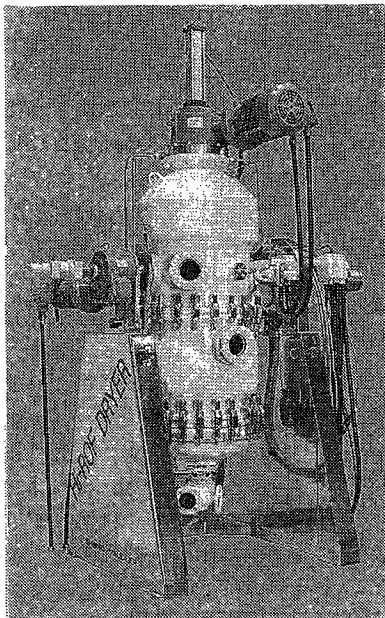
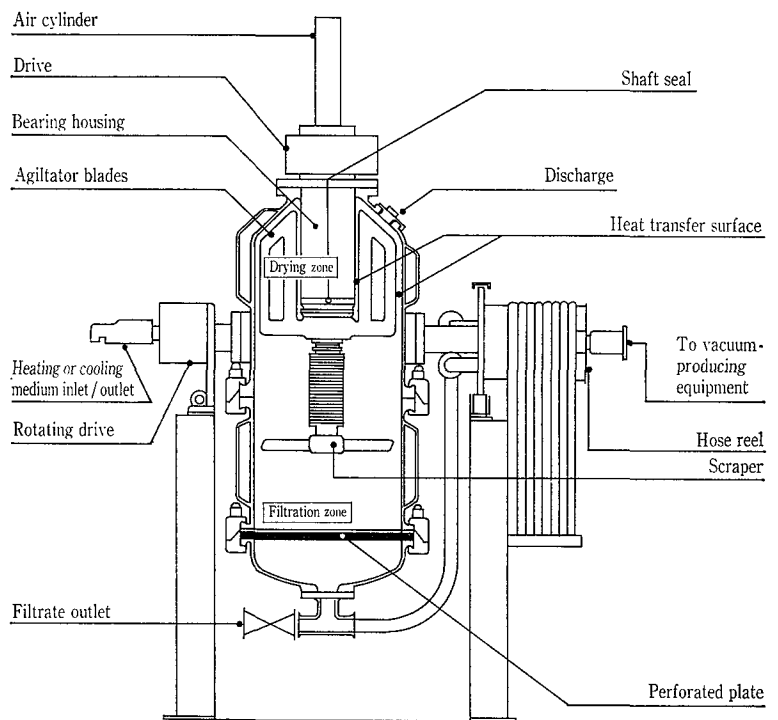


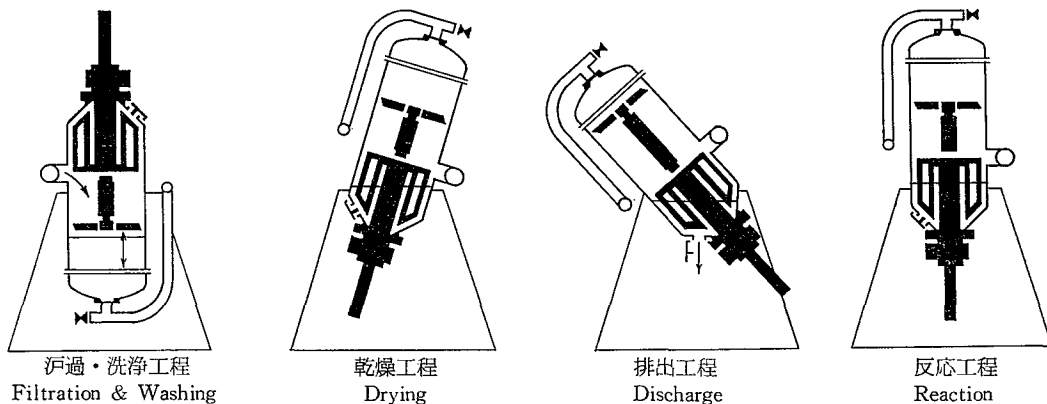
写真1 φ600ガラスチール製 Hi-ROF DRYER®

Photo. 1 φ500, Glass lined Hi-ROF DRYER®



第2図 Hi-ROF DRYER® の構造

Fig. 2 Cross section of Hi-ROF DRYER®



第3図 各工程

Fig. 3 Process stages

り、又、熱媒出入り口はロータリジョイントを通して、配管に接続できる。その他の配管類は、缶体の回転範囲に合わせて余裕をもたせたフレキシブルホースをリール巻きとって行く構造になっている。

ベアリングハウジング

面に熱媒を循環可能であり、ジャケット部と合わせて面積を大きくとることができる。

濾材

鋼製 Hi-ROF DRYER® については濾材としては濾布が採用している。耐食金属製の場合には、さらにメッシュ板はもちろん、焼結金属やウエッジワイヤーなども取付けられる構造になっている。

各工程

Hi-ROF DRYER®の各工程を第3図の模式図に沿って、説明する。

濾過

胴側のノズルより、ポンプ圧により缶内にスラリー

液を導入し、缶内に加圧ガスを入れるか、または、濾板下より真空にひくことにより濾過を行う。濾過の終期になるとケーキ表面から濾材にまで至るクラックが入り、加圧ガスがショートパスし、濾過が進まなくなる場合がある。この様な時に、展延翼を用いる。翼をケーキ表面まで下降させ、適当な圧力を加えながら、クラックを押しつぶす様に回転させることにより濾過はさらに進み、一方、圧搾効果によって含水率は低下する。

5.2 ケーキ洗浄

濾過後のケーキには、非目的成分（不純物）を含む母液が残っている。製品の純度を上げるためには、ケーキの洗浄を何回か行う必要があり、置換洗浄と攪拌洗浄との二通りの方法がある。

置換洗浄とは、ケーキ上に洗浄液をシャワーなどで、均一に供給しながら濾過を行うことであり、母液を洗浄液によって置き換えるように行う。比較的、洗浄液量が少なく済み純度を上げることもできるが、容器の隅などに濃度

表 Hi-ROF DRYER® 標準仕様・寸法表

Table 1 Specifications and dimensions

Type	RF-600	RF-900	RF-1 200	RF-1 600	RF-2 000
mm	600	900	1 200	1 600	2 000
mm	3 100	3 500	3 800	4 200	4 700
mm	1 500	2 150	2 800	3 600	4 400
filtration area	m ² 0.3	m ² 0.6	m ² 1.0	m ² 2.0	m ² 3.0
area of heat transfer surface*	m ² 0.9	m ² 2.2	m ² 3.5	m ² 5.3	m ² 7.0
total volume**	m ³ 0.4	m ³ 1.1	m ³ 1.8	m ³ 3.7	m ³ 5.0
cake volume***	m ³ 0.08	m ³ 0.19	m ³ 0.33	m ³ 0.60	m ³ 0.93
empty weight	kg 1 500	kg 2 300	kg 3 400	kg 5 000	kg 7 000

Area of heat transfer surface in drying
Volume of bottom head is not included.
*Cake thickness is 300 mm. (Cake thickness=L)

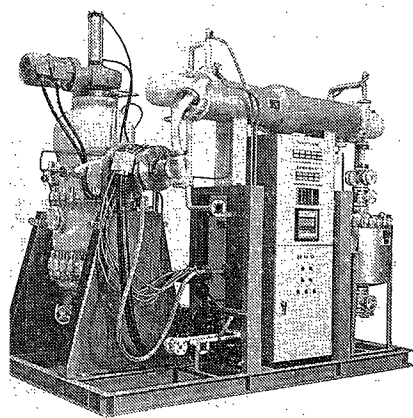
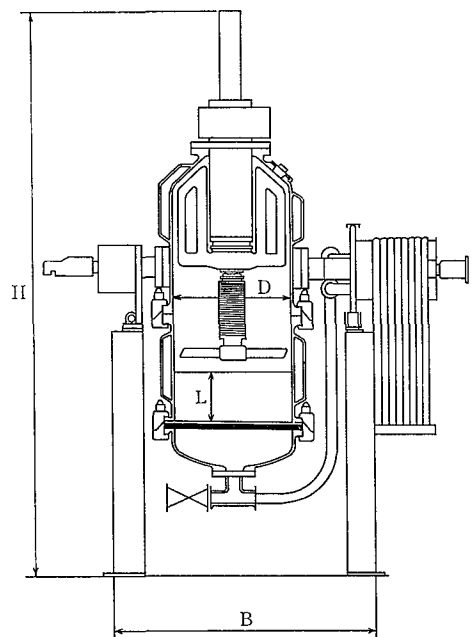
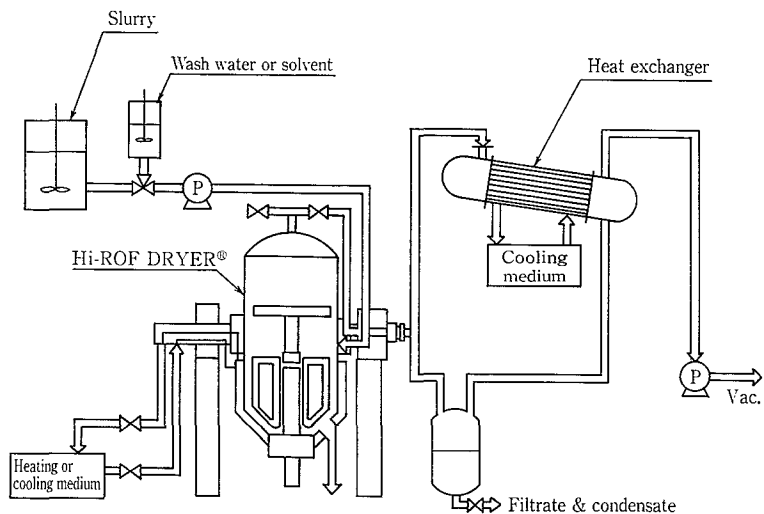


図 2 濾過・乾燥実験装置
Fig. 2 Test equipment for filtration and drying



第4図 Hi-ROF DRYER® の代表的フロー例
Fig. 4 Typical process flow diagram

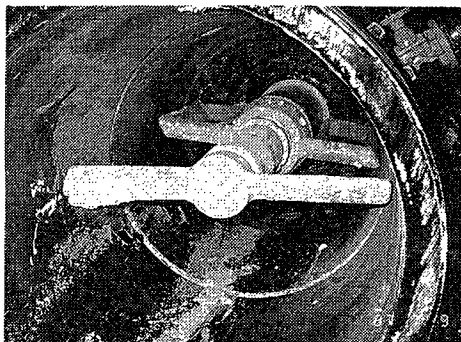


写真3 粉体排出後の缶内
缶体材質：グラスチール、
粉体：炭酸カルシウム
Photo. 3 Internal view of Hi-ROF DRYER®

むらができる場合がある。均一に置換するためには、展延翼によって圧搾するが、過度にするとケーキを圧密させ濾過速度が遅くなる。

攪拌洗浄では濾過ケーキ上に洗浄液をため、これらを展延翼によって攪拌混合することにより、母液濃度を薄めていく。全体が均一な濃度になり管理しやすいが、バッチ操作のため効率はいくはない。

これらの方法を組合わせていくことが必要である。

5.3 乾燥

濾過が終了した後、Hi-ROF DRYER®本体を回転させ、傾けた位置(225°)に固定し、乾燥を行う。外套部に熱媒を循環し、缶内を真空にし、攪拌翼によって粉体を混合、表面更新をしながら、乾燥を進める。

5.4 排出

乾燥の終わった粉体は、排出口よりとりだされる。この時、排出口は缶体の最も低い位置にとり、翼を回転させ粉体を流動化させながら取りだす。(写真3)

6 標準仕様

標準仕様、寸法表を第1表に示す。

缶体材質および攪拌翼はグラスチール製を標準とし、缶内中央部のメカニカルシール箱は、ハステロイなどの耐食金属で製作する。メカニカルシールの摺動材は操作仕様によるが、粉体環境の中での仕様を考慮して、超合金製を推奨している。

これらの材料を組合わせることにより、Hi-FOR DRYER®は酸・有機溶剤などの内容物についても多品種に対応することができる。

第2表 適用例
Table 2 Application

Slurry		CaCO ₃ -H ₂ O solution	
Quantity	Slurry (ℓ/batch)	220	
	Dry cake (kg/batch)	22.0	
Concentration (%)		9.6	
Powder	Density (g/cm ³)	2.7	
	Mean diameter (μm)	26	
Operating condition			Time (min)
Filtration	Filtration pressure (kg/cm ²)	2	40
	Cake thickness (mm)	50	
	Moisture (%)	20	
Washing	Rotational speed (RPM)	30	60
Removing	Rotational speed (RPM)	3	5
Drying	Vacuum (Torr)	40	180
	Operating temperature (°C)	80	
	Agitater speed (RPM)	3	
	Moisture (%)	0.2	
Discharge	Rotational speed (RPM)	3	10
Total			295

7 プロセスフロー

Hi-ROF DRYER®を用いる場合の一般的なフロー図を第4図に示す。この図では、真空吸引による濾過であるが、加圧ラインを取り付ければ加圧濾過を行うことも可能である。

8. 適用例

適用例を第2表に示す。

むすび

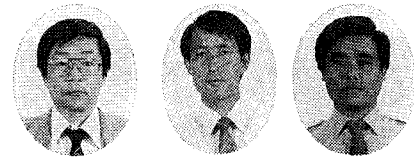
Hi-ROF DRYER®は、'87化学プラント・ショーに出展したところ、ユーザの方々から多くの関心が寄せられた。

ファインケミカル・プロセスでは、生産性の向上だけでなく、安全衛生の面からもクローズド化および自動化が求められている。新しいコンセプトを持ったユニット機器としてHi-ROF DRYER®は生産合理化・品質向上に大いに役立つと考えている。

当社は本社技術開発センターに、テスト機としてRF-600型(写真1, 2)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。

電気浸透脱水機「スーパーフィルトロン®」

Electroosmotic Dehydrator "Super-Filtron®"



技術開発本部
 近藤 史朗
 Shiro Kondo
 諏訪 健
 Takeshi Suwa
 佐野 滋
 Shigeru Sano

"Super-filtron®" is a newly developed and designed dehydrator using electroosmotic mechanism, which can achieve lower moisture of sludge-cake than in case of applying a mechanical dehydrator and is expected to reduce total running cost of sludge treatment systems especially in potable water treatment plants, sewage treatment plants and waste water treatment plants.

Test result proves that "Super-filtron®" has excellent performance, a lot of technical advantages and economical effects.

まえがき

現在、上水、下水、廃水、生産プロセス分野では、処分費用の増大などの理由から、スラッジの処理は低含水率化が求められている。

そこで、全く新たな観点から脱水機の開発に取組み、界面動電現象の一つである電気浸透現象をスラッジ脱水に応用し、従来の機械脱水では到達できなかった低含水率に脱水することができる電気浸透脱水機「スーパーフィルトロン®」の実用化に成功した。

原理、メカニズムを中心に電気浸透脱水の特長については、既に本誌(1987 Vol. 31 No. 2)で詳しく紹介している。本稿では、実規模大の大型実験装置などによる各種スラッジでの脱水テスト結果から、電気浸透脱水機の脱水性能、特長・経済性などを報告する。

1. 装置

1.1 フローシート

第1図に電気浸透脱水装置の基本的なフローチャートを

示す。前濃縮装置、薬注装置、直流電源装置および脱水機本体から構成されるが、スラッジ性状などにより、前濃縮装置あるいは薬注装置は省くことができる。

1.2 脱水機標準仕様

第1表に脱水機本体の標準仕様を示す。装置はフィルタープレスで汚室内両面に電極板を設けた構造になっている。汚枠寸法は1000 mm²と1500 mm²の2種類がある。

1.3 実験装置

実験装置は次に示すように3種類あり、さらに1種類製作中である。第2表にそれをまとめている。

1) 大型実験装置

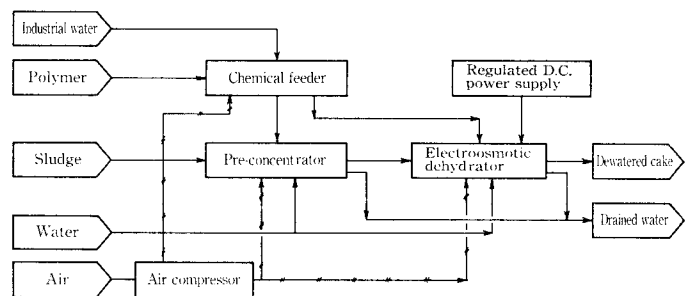
実装置と同じ1000 mm²の汚枠を持ち、6室からなる汚枠走行式全自動装置である。

写真1に示すように、実験設備は前濃縮装置、薬注装置、電源装置および脱水機本体で構成されている。

本実験装置は、約1年間社内テストを実施後、県市下

第1表 標準仕様一覧表
 Table 1 Standard specification

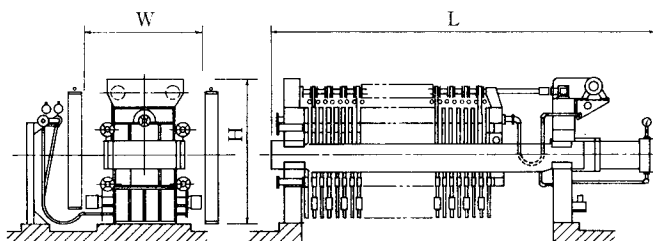
Type	Number of Chamber	Filtration area m ²	Filtration chamber volume ℓ	Dimensions mm			Weight (approx.) kg
				W	L	H	
S F 1 000 mm	20	30.6	362	2 000	5 650	2 200	8 700
	30	45.9	543	2 000	7 700	2 200	11 400
	40	61.2	724	2 000	9 800	2 200	14 700
S F 1 500 mm	20	74.4	898	2 650	6 150	3 100	19 500
	30	112	1 350	2 650	8 200	3 100	22 500
	40	149	1 800	2 650	10 300	3 100	27 500
	50	190	2 240	2 650	12 400	3 100	33 500



第1図 フローチャート
 Fig. 1 Flow chart

第2表 実験装置一覧表
 Table 2 List of experimental equipments

Type	Control system	Size	Filtration area	Q'ty
Large size	Full automatic	1 000 mm ² × 6Ch.	9.3 m ²	1
Middle size	Manual	800 mm ² × 2Ch.	2.0 m ²	1
Middle size	Full automatic	600 mm ² × 4Ch.	2.2 m ²	1
Column type	Manual	95 mmφ	142 cm ²	2



第3表 上水スラッジ脱水テスト結果

Table 3 Test results of sludge from potable water treatment plant

Sludge type	Nature of Sludge						Test result		
	TS %	SS %	VTS %/TS	pH	E.C $\mu\text{S}/\text{cm}$	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Cake liquid concentration %	Capacity kgDS/m ² h	Power consumption kWh/kgDS
Raw water intake plant sludge (1987. 10)	28.3	27.9	10.9	6.9	736	3.06	37.8 23.4	11.2 8.3	0.04 0.22
Potable water treatment plant sludge (1987. 7)	7.1	7.1	17.6	6.5	797	1.90	55.9	6.4	0.14
Potable water treatment plant sludge (1987. 7)	15.1	15.0	14.7	6.6	939	3.10	40.0	11.9	0.10
Potable water treatment plant sludge (1987. 10)	5.1	5.0	23.5	6.9	781	—	55.1	2.1	0.29
Potable water treatment plant sludge (1987. 9)	1.42	1.39	14.1	6.7	—	—	46.2	3.0	0.22

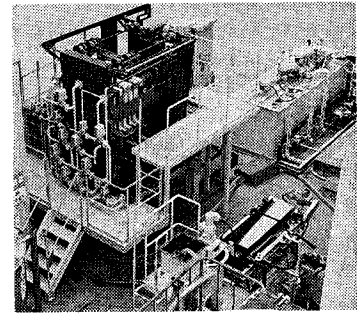
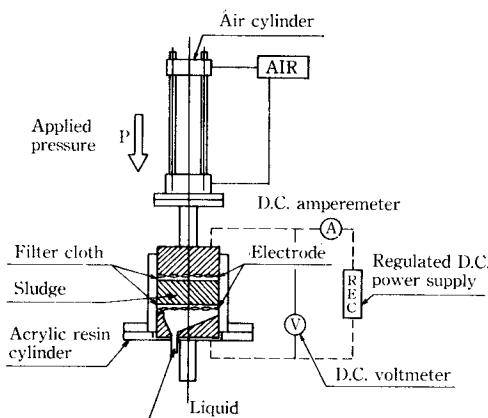


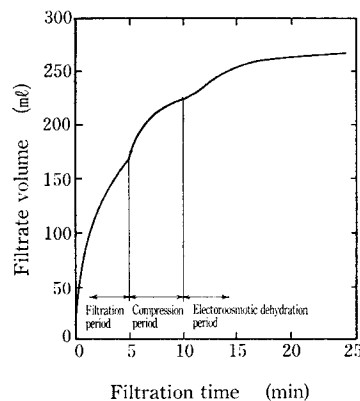
写真1 大型実験装置

Photo.1 Large size experimental equipment



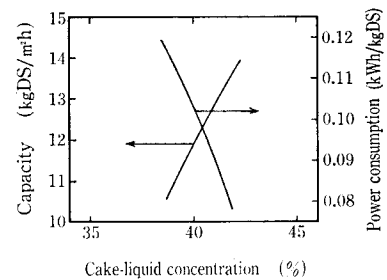
第2図 実験装置

Fig. 2 Schematic diagram of column type experimental equipment



第3図 上水スラッジ汚過曲線(例)

Fig. 3 Filtration curve (sludge of potable water treatment plant)



第4図 上水スラッジ汚過性能曲線(例)

Fig. 4 Performance curve of "Super-filtron®" (sludge of potable water treatment plant)

水処理場で、約3カ月間現地テストを実施し、性能などの確認を行っている。

2) 中型実験装置

本装置は800 mm²、2室の手動装置であり、実装置に比べて一回り小さい。小型カラム実験装置での実験結果の確認とカラム実験装置では見極めのしにくい剥離、汚液の清澄性などの判定には都合が良い。

3) 小型カラム実験装置

本装置は第2図に示すような、φ95 mmのカラムを使用した小型の実験装置である。電気浸透による脱水性などの条件の把握に適している。

4) 中型全自動実験装置

本装置は600 mm²、4室からなり、実装置と同様汚布走行式全自動装置であり、現地テストを主目的とし、コンパクトにまとめたものである。

2. 各種スラッジへの適用

電気浸透脱水機「スーパーフィルトロン®」は各種スラッジに適用できる。次に各種スラッジでの脱水テスト結果について述べる。

2.1 上水への適用

2.1.1 特長

- 1) 石灰、高分子凝集剤などによる前処理を行わず、無薬注で脱水することが可能である。このため、前濃縮装置、薬注装置は不要となり、シンプルな装置となる。
- 2) 汚過、圧搾、電気浸透脱水と3段階に別け脱水を行う。

このため、難脱水性のスラッジでも、従来脱水機にない低含水率にまで脱水することが可能である。

- 3) 電気浸透脱水中の発熱効果により、スラッジ中の細菌、雑草種子などは、死滅あるいは滅菌され、農業利用にも適した脱水ケーキとなる。

2.1.2 脱水テスト結果

第3表に上水スラッジの脱水テスト結果を示す。また、第3図には、汚過曲線を示す。

上水スラッジは、一般に強熱減量や、シリカ/アルミ比(SiO₂/Al₂O₃)の値により汚過性を推定できるが、電気浸透脱水においても強熱減量が大きいほど、またシリカ/アルミ比が小さいほど難汚過性の傾向があり、一般の加圧脱水機と同一傾向を示している。ただ、従来脱水機と比較すると難汚過性と思われるスラッジにおいても汚過速度は2 kgDS/m²hと比較的高い性能が出ている。もちろん、第4図に示すように、汚過速度、消費電力量はケーキ含水率の設定により変化し、たとえばケーキ含水率を高く認定すると汚過速度は大きくなり消費電力は小さくなる。

2.1.3 脱水ケーキの農業利用

脱水ケーキを農業利用する場合、環境影響物質の一つと考えられる石灰や高分子凝集剤の使用は、できるだけ避けた方がよいものと思われる。

スーパーフィルトロン®による電気浸透脱水の場合、無薬注処理ができ、農業利用には適していると考えられる。

また、脱水ケーキを農業利用する場合には、ケーキ中に

第4表 細菌死滅テスト結果

Table 4 Sterilization test results of germ (Sludge of potable water treatment plant)

Items		Feed sludge	Dewatered cake
Bacteria	Quantity of bacteria	9.44×10 ⁸ /g	4.13×10 ⁸ /g
	Kinds of bacteria	multitude	single
Hyphomycetes	Quantity of hyphomycetes	2.01×10 ⁵ /g	7.32×10 ⁶ /g
	Kind of hyphomycetes	many	one
Total quantity of fusarium genus		1.06×10 ⁴ /g	negative

存在する細菌類，特に園芸作物病原菌や雑草種子の殺菌が望まれるところである。

殺菌の方法には，脱水ケーキの加熱などがあるが，加熱のための熱エネルギー源が必要であり，コストアップの要因となっている。

一方，電気浸透脱水の場合，含水率の低下に伴う電気抵抗の増加により発熱し，脱水時間の延長によりケーキ温度を80～90℃まで上昇させることができる。この温度上昇を利用し，脱水中に殺菌まで行うことが可能である。このため，余分な殺菌工程は不要となり，ランニングコストも小さく，大きなメリットとなる。

第4表に某取水場スラッジでの細菌死滅テストの結果を示す。園芸作物病原菌として代表的な *Fusarium* は原スラッジに多数存在しており，一般に *Fusarium* は1000/g以上存在すれば農業利用に適さないと言われており，原スラッジは農業利用には適さないものと思われる。一方，電気浸透脱水ケーキからは *Fusarium* は全く検出されなかった。ところが，全細菌数，全糸状菌数は，脱水ケーキの方が原スラッジよりも多数検出された。しかしながら原スラッジでは多種類の菌が検出されたが，脱水ケーキからは，細菌，糸状菌とも，ほぼ種類の菌しか繁殖していないことが判明した。これは，電気浸透脱水時に細菌や糸状菌は一旦死滅し，脱水ケーキは無菌状態となり，脱水後，空気中から一部の菌が付着し，干渉作用のないところで異常に増殖したものと考えられ，このような土壌は農業利用に適しているものと考えられる。

次に第5表に雑草種子の発芽テストの結果を示す。使用した種子は，雑草として代表的なメヒシバとヒメイヌビエの種子を使用し，電気浸透脱水をした場合としなかった場

第5表 雑草種子発芽テスト結果

Table 5 Germination test results of seeds in sludge

Days	Seed		Seed	
	Treatment	Dehydration	Non-treatment	Dehydration
3	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
4	0 (0)	21 (42)	0 (0)	3 (6)
5	0 (0)	24 (48)	0 (0)	3 (6)
7	0 (0)	24 (48)	0 (0)	3 (6)
14	0 (0)	25 (50)	0 (0)	3 (6)

Number of germination Rate of germination

第6表 下水汚泥脱水テスト結果

Table 6 Test results of sewage sludge

Sludge type	Property of sludge						Test result			
	TS %	SS %	VTS %/TS	M-alkalinity mg/ℓ	pH	EC μS/cm	Polymer dosage %/DS	Moisture %	Capacity kgDS/m ³ h	Power consumption kWh/kgDS
Anaerobically digested sludge	1.53	1.30	65.5	1 063	7.2	3 520	0.98	53.2	1.96	0.88
Anaerobically digested sludge (Unwashed)	1.63	1.33	70.3	2 582	7.2	6 360	1.35	60.7	1.19	1.36
Anaerobically digested sludge (Unwashed)	1.72	1.60	59.9	2 360	7.7	5 510	1.10	60.0	1.32	0.94
Primary sludge	1.20	0.99	78.6	456	5.8	2 920	1.50	50.9	1.14	1.08
Primary sludge	2.56	2.22	80.7	346	5.5	2 150	0.68	56.8	1.68	0.78
Excess sludge	0.88	0.85	78.8	143	6.8	440	0.65	60.0	1.73	0.83

合の発芽率を比較した。電気浸透脱水したケーキから取り出した種子は，どちらも全く発芽しなかった。このテストでは，浴室内の温度は，第5図に示す様に60℃以上を約15分間維持していた。

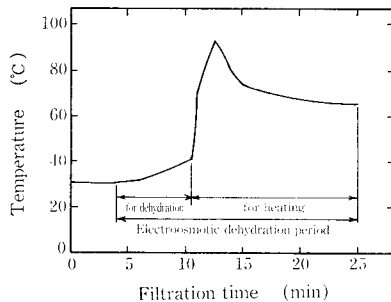
以上のように，電気浸透脱水は，細菌や雑草種子を死滅させることも可能であり，特別な殺菌を目的とした設備は必要なく，脱水ケーキの農業利用に大変有効な脱水手段ではないかと考えられる。

2.2 下水への適用

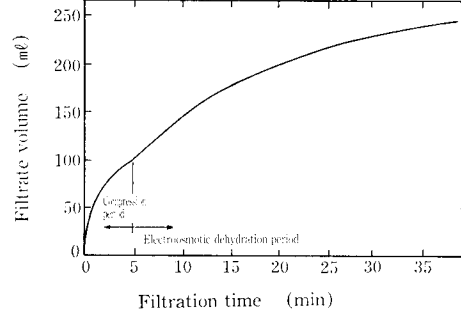
2.2.1 特長

下水スラッジへ適用する場合も，従来脱水方法にない多くの特長をもっており，その主なものを次に列挙する。

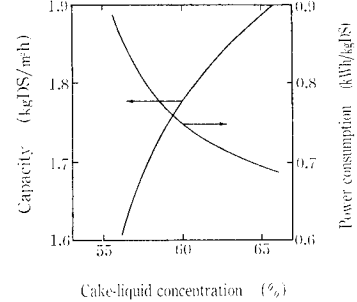
1) 生汚泥，消化汚泥はもちろん，余剰汚泥のように従来脱水方法では難脱水といわれる汚泥に対しても，ケーキ含水率を50%程度まで脱水することが可能である。



第5図 浴室温度変化(例)
Fig. 5 Temperature profile in the chamber



第6図 下水消化汚泥汚過曲線(例)
Fig. 6 Filtration curve (anaerobically digested sludge)



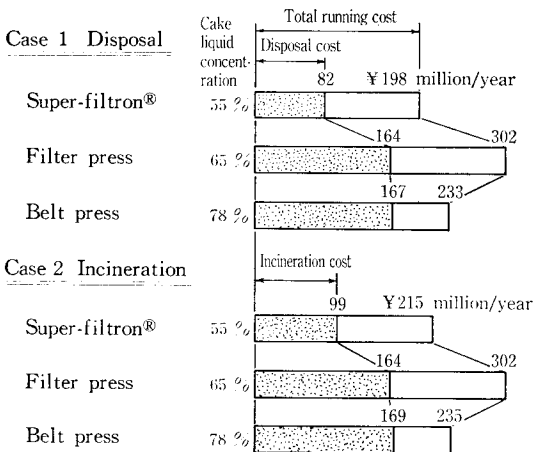
第7図 上水消化汚泥の汚過速度曲線(例)
Fig. 7 Performance curve of "Super-filtron" (anaerobically digested sludge)

第7表 下水汚泥での殺菌効果
Table 7 Sterilization test results of germ

Item	Quantity of germ		
	Feed sludge (Primary sludge)	Dewatered cake	
		Primary sludge	Excess sludge
Escherichia coli	$4.4 \times 10^5/g$	negative	negative
Salmonella	$6.9 \times 10^3/g$	negative	negative
Fungus	$2.8 \times 10^3/g$	negative	negative
Moisture	—	48.2	53.9

第8表 産業分野での脱水結果
Table 8 Test results of sludge in industrial fields

Sludge type	Property of sludge						Test result			
	T S %	S S %	V T S %/T S	M. alkalinity mg/l	pH	E C μS/cm	Polymer dosage %/D S	Moisture %	Capacity kgD S/m ² h	Power consumption kWh/kgD S
Sugar plant excess sludge	2.81	2.56	72.2	1 252	7.0	3 380	cation 0.57	51.8	1.59	0.81
Power plant flocculation sludge	2.39	—	28.5	68	6.9	343	cation 0.63	70.5	2.58	0.38
Chemical plant excess sludge	0.91	0.76	76.3	322	7.1	2 490	cation 1.19	56.1	1.82	0.84
Pigment plant mixed sludge	7.34	6.72	42.8	856	6.8	8 700	anion 0.55	50.9	4.05	0.77
Chemical plant resin sludge	10.9	10.3	98.4	58	6.2	2 900	0	33.1	7.46	0.40
Chemical plant resin sludge	7.14	5.45	78.2	291	8.5	7 400	0	30.0	9.50	0.20



Sewage sludge.....VSS=60 %
Capacity : 417 kgDS/h Operation : 24 h/d

第8図 ランニングコスト比較
Fig. 8 Running cost

- ほとんどの場合、高分子凝集剤による前処理で処理でき、石灰、塩鉄などは不要となり、ケーキの増量がない。
- ケーキ含水率が低くなり、また任意に設定できるため、脱水ケーキの処分面でのメリットが大きい。
- 電気浸透工程での通電による発熱効果により、スラッジ中の細菌類が死滅あるいは滅菌され、衛生的である。

2.2.2 脱水テスト結果

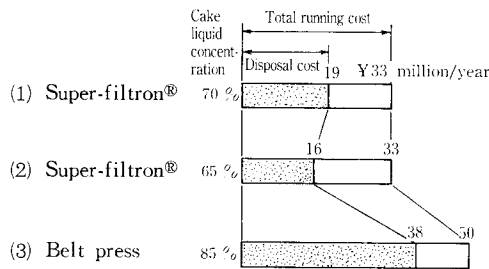
第6表に各種下水スラッジの脱水テスト結果を示し、第6図にはその沝過曲線の例を示す。なお、表中のケーキ含水率、沝過速度、消費電力量は一例であり、もちろん第7図に示すようにケーキ含水率の設定により沝過速度、消費電力量も変化する。

2.2.3 細菌の死滅効果

下水汚泥中には、多数の細菌類が存在している、下水汚泥の場合も、上水スラッジ同様電気浸透脱水すると、発熱作用により汚泥中の細菌類が死滅する。第7表に代表的な細菌の分析結果を示す。大腸菌、サルモネラ菌などは脱水ケーキからはまったく検出されておらず、細菌の死滅効果が十分あるものと考えられ、脱水ケーキは衛生的になっている。

2.2.4 コンポストへの適用

下水汚泥をコンポスト化する場合、電気浸透脱水するとケーキ含水率が50%程度まで低下させることができ、この場合予備乾燥などの前調整が不要となる。また、前項で述べたように、電気浸透工程での発熱効果により、ケーキ中の



Sludge of wastewater treatment plant
Capacity : 80 kgDS/h Operation : 24 h/d

第9図
ランニングコスト比較
Fig. 9
Running cost

細菌類が死滅しているものと思われ、このように無菌状態あるいはそれに近い状態では、生物相互の干渉作用がなく、細菌の増殖が激しくなり、短時間に発酵が進むものと考えられ、現在、これらの効果についても鋭意研究中である。

2.3 産業分野への適用

産業分野への適用を考える場合、次のようなものがある。

- 排水処理施設から排出されるスラッジ
- 工場生産される製品
- 製品を作る時に二次的に発生するスラッジ

この中で(2)の生産プロセスそのものへの適用は、通電による電気分解反応などにより、現状装置のままでは適用範囲が限定されるものとする。そこで、(1)および(3)についての脱水結果を第8表に示す。

(1)、(3)単独、あるいは混合したものでも好結果が得られた。中には(1)、(2)を混合することにより沝過性能が大幅に向上する場合もあった。

3. 経済比較

テスト結果をもとに、ケーキ処分までを含めたランニングコストの比較を流域下水の場合と産業排水の場合について、各々の代表例を第8、9図に示す。

電気浸透脱水の場合、処理方法に合わせてランニングコストが最低となるよう、ケーキ含水率をコントロールすることが可能である。

むすび

以上、電気浸透脱水機「スーパーフィルトロン®」による各種スラッジの脱水テスト結果を中心に、適用性、特長、経済性についてその概略を報告した。スラッジの減容化などで苦慮しておられるユーザーのご参考になれば幸いである。次稿では、さらに詳細にご報告したい。

ビーム型タンクコンテナ

Beam Type Tank Container



化工機事業部 管理室
小林 哲士
Tetsuji Kobayashi

We have successfully developed light weighted and large volume tank container which is called as "Beam type" container under the rules of ISO.

This report describes comparison of "Frame type" and "Beam type" container and test results of "Beam type" container performed under the domestic and international regulations concerned.

えがき

当社は、1975年からタンクコンテナを商品化し、現在までに約500台のタンクコンテナを製造している。

タンクコンテナは、可燃性・非可燃性の液体、有毒・無の化学薬品などの液体、ジュース・ワイン・ビールなど食品類、などを国内間または国際間で輸送するものであり、その主力は、いわゆる20フィート国際コンテナと呼ばれるもので、幅8フィート、高さ8フィート6インチ、長さ20フィートの四隅に、吊上げ・固定用の隅金具を設けフレーム内にタンクを納めたものである。従来品の構造式としては、フレーム型コンテナに属する。

当社は、従来製品のフレーム型に加え、今回ビーム型コンテナを新たに開発した。(写真1)

フレームの形式と特長

タンクコンテナは、フレームの形式により、概略次のように分類できる。

1 フレーム型

タンクおよび内容物の重量をサドルを介して、主に長手

フレームにかけるもの。輸送・ハンドリング時の静的、動的荷重のほとんどをフレームで支持し、タンク・シェル(胴・鏡)への荷重の分担量を少なくする。(第1図)

1.2 ビーム型

タンクおよび液重量を支持板を介して前後フレームにかけるのでタンク自身も強度メンバの一部となりビームとしての働きをする。(第2図)

利点としては、長手フレームを無くし、または減らすことにより大きなサドルが不要となるため、コンテナ自重を減らすことができる。

国際標準化機構(ISO)では、寸法の他に総重量(Gross weight)=コンテナ自重(Tare weight)+積載重量(Pay load)を24000kgと規定している。

したがって、コンテナ自重が減れば、その分余計に積載重量をかける事ができる。

また、長手方向のフレームやブレースが減るため、タンクの直径を制限幅一杯まで広げる事ができ、その分タンク容量を増やす事ができる。

ビーム型とフレーム型の性能比較を第1表に示す。

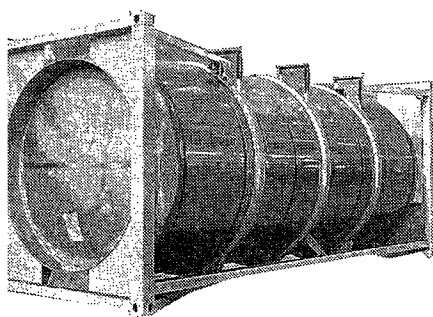
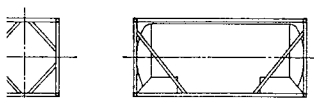
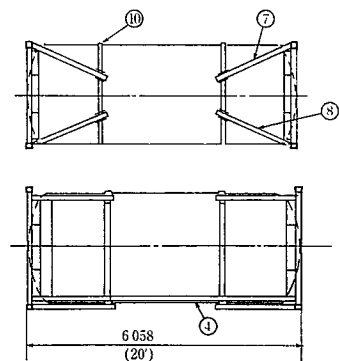
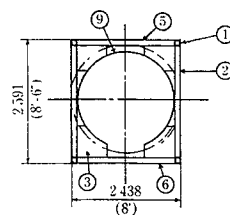
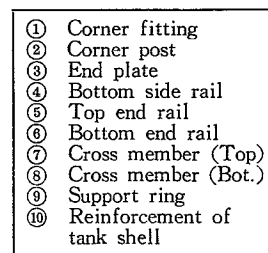


写真1 ビーム型タンクコンテナ
Photo. 1 Beam type container



1図 フレーム型
Fig. 1 Frame type container



第2図 ビーム型
Fig. 2 Beam type container

第1表 容量および重量比較

Table 1 Comparison of beam type and frame type containers (Calculated)

	Capacity liter	Tank dia mm	Tare weight kg
Beam type	23 000	2 300	2 393
Frame type	20 100	2 150	2 745

2. 新型ビーム型タンクコンテナ

ビーム型コンテナは、軽量化・タンク容量の大型化という二つの大きなメリットがあるが、設計上タンクおよびそのサポート方法に特に注意を払う必要がある。

今回製作したビーム型コンテナ（第2図）はこの点に配慮し、タンクシェル側の応力集中を避けるよう工夫した。

また、各種静的・動的試験を行うにあたり、各所において応力測定を実施し、安全性を確認した。

3. 静的荷重試験

実験方法および項目

第2図に示した供試コンテナに歪ゲージ（二軸ゲージ）を貼付け、CSC条約（安全なコンテナに関する国際条約）その他の規則に定められた荷重試験第2表により、フレームおよびタンクの強度を確認した。荷重試験の概略を第3図に示す。

3.1 実験結果

各荷重テスト時の部材長手方向の最大応力値を第3表に示す。

- (1) 積重ね試験
- (2) 横手方向ラッキング試験
- (3) 長手方向スタッキング試験
- (4) 長手方向緊縮試験

また、変形量については、そのいくつかを第4~8表に示す。

3.2 応力

1) 積重ね試験

(1) 最大応力は隅柱に発生し、その値は 13.8 kg/mm²であった。

(2) 隅柱には軸力に加え曲げ応力が発生しており、最大応力も軸力+曲げの合力である。

許容圧縮応力（短期）は下記により求められる。

$$f_c = \frac{1.5 \{1 - 0.4 (\lambda/\lambda)^2\} F}{\psi} = 23.5 \text{ kg/mm}^2$$

$$A : \text{限界細長比} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}} = 120$$

F : 許容応力度 (kg/mm²)

λ : 細長比 19.3

ψ : 安全率 1.517

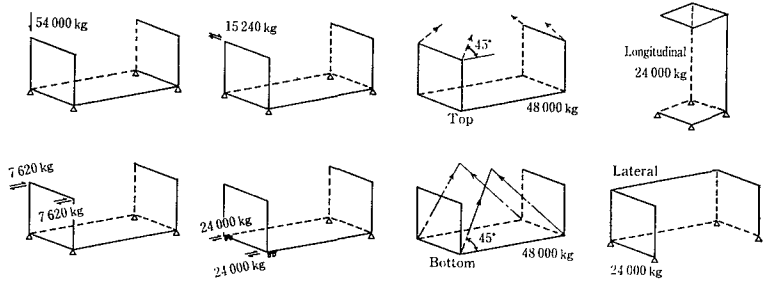
したがって、-13.8 kg/mm²（最大発生応力） < -23.5 kg/mm²（許容圧縮応力）。許容応力を超えていない。

2) 横手方向ラッキング試験

最大応力は隅柱に発生している。同様に応力評価を行う。

許容圧縮応力

$$f_c = \frac{1.5 \{1 - 0.4 (\lambda/\lambda)^2\} F}{\psi} = 21.1 \text{ kg/mm}^2$$



第3図 荷重試験概略図

Fig. 3 Outline of load tests

第2表 荷重テスト項目

Table 2 Load tests

	Load kg	Remarks
Stacking test	54 000	= 24 000 × 1.8 × 5 × 3/4
Lateral racking test	15 240	
Longitudinal stacking test	7 620	
Longitudinal restraint test	24 000	
Top lift test	48 000	Tare wt. included
Bottom lift test	48 000	Tare wt. included
Internal restraint (Longi.)	24 000	Tare wt. included
Internal restraint (Lateral)	24 000	Tare wt. included

第3表 最大応力

Table 3 Maximum stress

	Max. stress kg/mm ²	Member
Stacking test	13.8	Coner post
Lateral racking test	19.8	Coner post
Longitudinal stacking test	7.6	Cross member
Longitudinal restraint test	13.3	Bottom side rail

Load	Location of load (a)		
	Change in corner post length	Distortion of corner post	
		Longitudinal	Lateral
0	0	0	0
54 000 kg	- 2.0	- 1.4	- 1
0	0	0	0

第4表

積重ね試験部材変形

Table 4

Distortion of members in stacking test

$$A = 120, \lambda = 46.6, \psi = 1.6$$

したがって、19.8 kg/mm²（最大発生応力） < 21.1 kg/mm²（許容試験応力）

3) 長手方向スタッキング

最大応力は上部クロスメンバに発生し、軸力+曲げ成分を持っている。

ここでは曲げて応力評価を行う。

許容曲げ応力

$$f_c = \frac{1.5 F}{1.5} = F = 24 \text{ kg/mm}^2$$

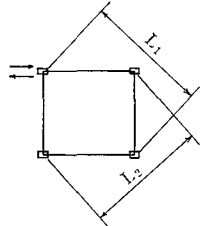
したがって、7.6 kg/mm²（最大発生応力） < 24 kg/mm²（許容曲げ応力）

4) 長手方向緊縮試験

最大応力は下桁に発生し、軸力が主成分である。

5 表 横手ラッキング試験部材変形

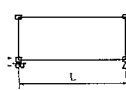
Table 5 Distortion of members in lateral racking test



Load (kg)	Push			Pull		
	Differences of diagonal lengths		Sum of differences of diagonal lengths	Differences of diagonal lengths		Sum of differences of diagonal lengths
	ΔL_1	ΔL_2		ΔL_1	ΔL_2	
0	0	0	—	0	0	—
15 240	- 4.0	+ 3	7	+ 4	- 3	7
0	0	0	—	0	0	—

6 表 長手緊縮試験部材変形

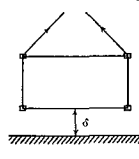
Table 6 Distortion of members in longitudinal restraint test Unit: mm



Load (kg)	Push	Pull
0	0	0
24 000	- 5	+ 5
0	0	0

第 7 表 上部吊上げ試験

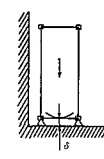
Table 7 Distortion of bottom side rail in top lift test Unit: mm



Load	lift
0	0
4 800 kg	+ 1
0	0

第 8 表 長手方向慣性試験

Table 8 Distortion of tank head in longitudinal internal restraint test Unit: mm



Load	δ
0	0
24 000 kg	4.7
0	0

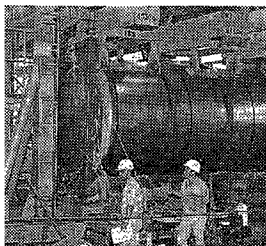
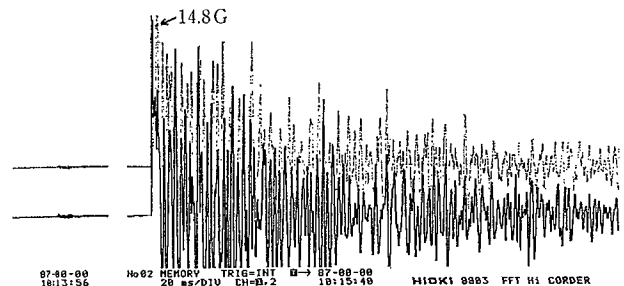


写真 2 荷重試験中のビーム型コンテナ
Photo. 2 Beam container at load test



第 4 図 加速度オシログラフ

Fig. 4 Acceleration chart

許容応力

$$f_c = \frac{1.5 (1 - 0.4(A/\lambda)^2) F}{\lambda} = 21.6 \text{ kg/mm}^2$$

したがって 13.3 kg/mm² (最大発生応力)

< 21.6 kg/mm² (許容応力)

3 変形

型式認可試験における判定に用いられる部材変形の測定
第 4 ~ 8 表のように、いずれの試験においても許容値内
ある。測定にはダイヤルゲージおよび金尺を用いた。

4 結論

荷重試験は、コンテナの静的荷重に加えて輸送時に加わ
る荷重状態を想定して試験荷重が定められている。型式認
の際に荷重テストが実施されるが、可否の判定基準は各
重テスト後の残留変形量で規定されている。実験結果は
荷重試験において、残留応力(歪)もなく、型式認可試
に合格する強度をもつと判定される。

動的試験

1 規則

米国の鉄道会社の協会である AAR (Association of
merican Railroads の略) が定めたタンクコンテナの規
として AAR-600 がある。その中に衝撃試験に関する規
がある。また、カナダの運輸省である CTC (Canadian
ransport Commission の略) にも同様の規定があり、わ
われの上述のビーム型タンクコンテナをこれらの試験手
に基づいて衝撃試験を行った。

4.2 試験の方法

タンクコンテナの総重量が最大 24 000 kg になるように
タンクコンテナに水を入れ、レールの上の貨車に乗せ、四
隅金具を貨車に固定し、これを動力車で押して放し、慣性
で軌道上を走らせる。

数十メートル離れた所にもう一台の鋼材を積載した貨車
を置き、これに衝突させる。試験では加速度 5 G, 10 G お
よび 15 G を記録した (第 4 図) が、フレーム・タンクの溶
接部を含めて変形歪は認められなかった。また、瞬間応力
値も妥当な値であった。

むすび

以上、新型ビーム型タンクコンテナについて概略を紹介
した。

タンクの使用目的によって様々なタイプのマンホール、
液出入口、各種計器の種類がオプションとして付属される。
ビーム型コンテナも、こういった多種の目的に合わせて
フレームやサポートの構造を若干変更する必要も生ずると
思われる。たとえば、安全作業の面から、上部長手ビーム
をユーザの希望に合わせて追加する事も可能である。

今後共、客先ニーズをとり入れながら改良を重ね、ビーム
型コンテナを育てていきたいと考えている。

タンクコンテナについてのお問い合わせ

東京食品機械(03)459-5854 大阪食品機械(06)206-7433

S P S の サービス

Shinko-Pfaunder Service



神鋼ファウドラー・サービス株式会社
河野 猛
Takeshi Kono

This paper introduces recent trend of repairing contents and a new marketing field in which we are trying to enlarge.

まえがき

神鋼ファウドラー・サービス(株)(以下当社という。)が設立されて、はや12年を経過し、その間、神鋼ファウドラー(株)で、製作、納入された機器の据付けに始まり、日常のメンテナンス、応急修理、更新、改造、部品の供給などを行ってきた。

その間、ユーザの保全形態も変遷し、保全・工務部門がエンジニアリング部門の別会社として独立した例も多い。機器の調達から日常メンテナンス、定期修理、更には、保全費用の削減のための新しい設備診断技術の開発、日常の運転の合理化を目指し、各種の監視装置や、そのプロセスを自動コントロールするまでに進歩している。

従って、当社の納入するグラスチール製機器、ステンレス鋼製機器は各ユーザの心臓部ともいべき重畳、反応の過程の重要なポイントを占めており、この停止はプラント全体を停止させることもあり、その損失は多大で、日常のメンテナンスが、如何に重要であるか言を待たない。

以下当社が担当した修理内容の傾向を整理した。多少なりとも保全部門関係者のお役に立てば幸いである。

1. 最近のトラブルの傾向

最近の3カ月間に発生した修理内容を発生箇所別に分類してみると第1図のようになる。

第1図より判るようにグラスライニングの修理が全体件数の57%を占めており、以下メカニカルシール10%、スタフリングボックス7%など軸封装置で17%を占める。

従ってグラスと軸封装置を重点的にメンテナンスすることで75%近くを予知でき、予防保全で、休止期間の短縮にもつながるものと考ええる。

グラス関係の57%は、本体・ペラ・バフフル・その他グラスライニングした部品を含んでいる。この中には食品用タンクが含まれている。

1.1 グラスの破損現象

1.1.1 衝撃による破損

1) グラス面よりの破損

缶内にハンマー、ボルトなど落下してグラス面を剥離させることがある。破面には衝撃痕跡を残し、ボタンの花のような形状を呈することが多い。

2) 鋼板側よりの衝撃破損

缶外面に物を当てたり、落下させたりした時に、グラス面が放射状にクラックおよび剥離をおこす。

破面がシャープであるのが特長である。

3) 静電気破損

静電気による破損は傷口が非常に小さいものが多く、肉

眼で確認しにくいものもある。

4) キャビテーションエロージョン

攪拌翼の裏側に発生することが多く、グラス内部が砕かれて表面が滑らかな場合もある。

5) 酸衝撃による破損

酸が鋼板に触れると、腐食とともに金属表面からは原子状の水素が発生し、金属の結晶格子を通り、鋼板とグラスの境界に達し、ある圧力となるとグラスを剥離させる。

6) 熱衝撃による破損

一般にグラスは熱伝導性が悪いため、急速な温度変化があった場合、グラスの内部に歪みが生じ、この歪に見合う応力がグラスの機械的強度を超えると破壊される。

7) 腐食

高耐食性を有するグラスも、使用温度、pH濃度により、その度合いは異なるが腐食進行する。

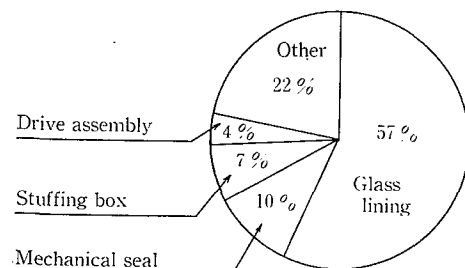
特にアルカリに対して弱いので、耐アルカリ性グラスの開発も進めている。

以上グラスの破損要因を述べたが、これら要因をよく検討し適切な運転条件、機器取扱いに心掛けるならば、グラスの損傷も減少すると考える。

1.2 メカニカルシールのトラブル

メカニカルシールの主な漏れ原因としては、ある期間使用後発生するトラブルとして

- (1) 潤滑油内の異物のかみこみ。
- (2) シール圧が缶内圧より低くなる逆圧現象による内容物のかみこみ。
- (3) 潤滑油の加圧源として使用した加圧筒を油で満杯にすることにより、摺動発熱で膨張し、異常圧力によるカーボンの破損
- (4) 内容物の生長による摺動面の隙間発生
- (5) 長期使用による摺動面摩耗、面荒れ。



第1図 修理の割合
Fig. 1 The rate of repairing

1) 運転条件を急に変更した場合

スタフィングボックスのトラブル

スタフィングボックスに使用されるコイルパッキンの寿命は、下側3～4段のパッキンの十分な慣らし運転により得られる。

しかし、摺動面の摩耗により、発生する漏れを止めるために締めし摺動発熱により軸端のガラスを剥離させることがある。ユーザによってはグリースが缶内に落下するのを防ぐため、グリース注入をしないケースがあるが、これが軸端ガラスの剥離を一層進行させる。

従ってこの場合、シングルシール、ドライシールの使用が考慮した方がよい。

日常点検

一般的に日常点検箇所としては、第2図に示す箇所を重点的に点検することをおすすめする。

異音、異常温度、ガラス表面、ガスケットからの漏れなどを除いて、毎日、点検する必要はなく、各ユーザでそのライフサイクルを決めてよい。

その他の商品

非破壊検査

ステンレス鋼製機器の腐食事例としては、応力腐食割れが約60%を占めており、現在まで多数の研究が行われている。また、あとをたたない事故である。

応力腐食割れに関する事例、またはその対策について既に「ステンレス鋼製機器・装置にみられる応力腐食とその対策」に詳細があるので参照されたい。

当社は、これらのトラブルに対処するべく今回非破壊検査業務を開始した。

非破壊検査とは、機器の形状・寸法および性能に変化を伴わずに、物理的現象を利用して機器の性能、内部に生じた欠陥を検出する方法である。現在の非破壊試験が最も利用されているのが、材料および溶接部の欠陥検査である。欠陥検査は大別して、二つの時期に分けて行われる。すなわち一つは製作時に行なり欠陥検査であり、もう一つは使用開始後、一定期間ごとに行う欠陥検査である。一定期間ごとに行われる検査は次に行われる検査までの安全に使用することができるか否かを推定評価しようとするもので、ステンレス鋼製機器、ガラススチール製機器、特殊材質機器を対象に各機器に

応力測定、検査方法で検査し、検査結果に基づき判定する。欠陥箇所が認められた場合は、その対策を講じて行おうとするものである。検査項目としては、

1) 目視検査(外観検査を含む)

VT(Visual Testing)

原則として目視によるが、必要に応じて拡大鏡などを使用し検査する。

2) 放射線透過検査 RT(Radiographic Testing)

材料、溶接部の欠陥有無を放射線透過装置を使用し検査す

る。放射線の照射方向に奥行きのある欠陥検査に優れている。

(3) 超音波探傷検査 UT(Ultrasonic Testing)

材料、溶接部の欠陥有無を超音波探傷器を使用し検査する。(面状欠陥の検出能力が放射線透過装置より優れている)

(4) 磁粉探傷検査 MT(Magnetic Particle Testing)

強磁性体材料を溶接部表面および表面直下の欠陥の有無を磁粉探傷器を使って検査する。

(5) 浸透探傷検査 PT(Liquid Penetrant Testing)

金属材料、非金属材料溶接部の表面開口欠陥の有無を浸透探傷剤を使って検査する。

(6) 板厚測定

材料の厚みを超音波厚み計、超音波探傷器を使用、測定し、使用の可否を評価する。

2.3 コンテナの定期検査業務

神鋼ファウドラ(株)でコンテナの製造販売を始めて既に12年経過しているが、科学技術の進歩に伴ない輸送する内容物もさまざまに変化しているため、十分な安全性を確保した状態でなければ使用が規制されるのはいうまでもない。

使用開始後各規則によりタンクコンテナの定期検査が義務づけられており、概略は下に示す。

従って期限内に検査を受け証明書の更新をしておかねば失効する。

規則に定められているのは、下表のとおりであるが、タンクコンテナを安全に使用するためには自主的に必要に応じて点検する必要がある。

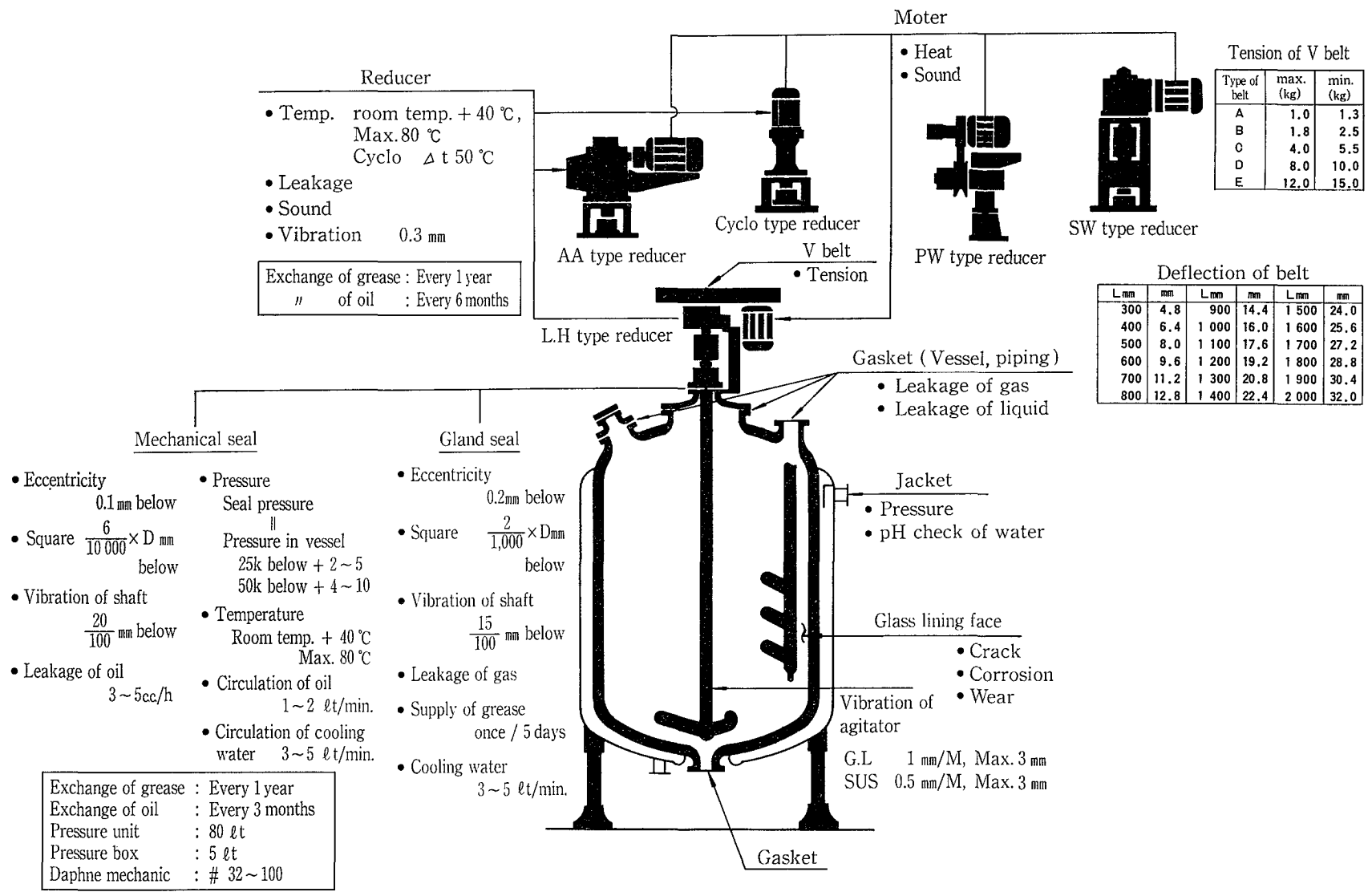
当社は納入したタンクコンテナの各法規に合致した定期検査、証明書の更新を実施し、安全に長期に使用できるように、検査業務を実施している。

2.4 ジャケット洗浄

加熱、冷却にスチームや水を使用する反応機、重合機では、長年の使用によって、ジャケット内に大量の錆やスケールが付着し、熱伝導率の低下、反応時間の延長となり、生産効率が低下する。

従って、これらの錆、スケールを取り除くことが必要となってくる。

規 則	最 低 期 間	検 査 内 容
高 取 法	1～5年 (使用経過年数による)	外観検査、耐圧試験、バルブ、安全弁の作動試験
IMDG	2年6か月	外観検査、安全弁作動試験
	5年	外観検査、耐圧試験、安全弁作動試験
B. B.	2年6か月	外観検査、安全弁作動試験
	5年	外観検査、耐圧試験、安全弁作動試験
CFR 49 SPEC 51	5年	外観検査、耐圧試験
ADR/RID	2年6か月	外観検査、安全弁、バルブの洩れ試験、作動試験
	5年	外観検査、耐圧試験、安全弁、バルブの洩れ試験、作動試験
C S C	初 回 5年 その 後 2.5年	外観検査、耐圧試験



第2図 グラスチール製機器の日常点検箇所
Fig. 2 Dairy check point of glass lined reactor

グラスチール製、ステンレス鋼製機器などの現地におけるジャケット洗浄には薬品によるものと高圧水による方の二とおりがあるが、薬品による場合、特にグラスチール製容器のジャケット洗浄に関しては、洗浄後の中和十分なされない時、酸衝撃（注、酸が触れることにより発生する発生期の水素が鉄母材とガラスの境界に集中する圧力になると、ガラスを剥離させる現象をいう。）によるグラス剥離の発生と期待した洗浄効果が得にくいこと更に廃液処理の問題も残り、高圧水による洗浄を推奨してきた。しかし薬品による洗浄は、高圧水による場合、争口を取付ける場合の溶接作業が必要となるが、現地で気使用が不可の場合は商品名「スポールガード」を使っ洗浄する。

当社では、錆の除去率の点から前述のように高圧水の洗を推奨し、この洗浄作業を実施している。

ただし、洗浄用のノズルをジャケットに取付ける必要があり、施工する場合、次の手順をふむことになる。

- 1) 事前の手続き
 - 1) 事前の手続き
 - 缶体が法規該当している場合
 - 1) 一圧容器の場合
 - (a) 客先は現地官庁へ変更届出の申請が必要である。
 - (b) 部品詳細図、開先図、強度計算書、ミルシートなどの改造図を当社にて作成するので、これを添付し、申請していただく。
 - (c) ノズルなどの溶接はボイラ溶接士に限り作業が可能である。
 - (d) 再受検するの必要の有無は所轄官庁で決定される。
 - 2) 二圧容器の場合
 - (a) 客先は現地官庁へ申請を行い再受検することになる。
 - (b) 部品詳細図、開先図、強度計算書などの改造図は当社にて作成するので、これを添付し、申請していただく。
 - (c) 溶接士はボイラ溶接士でなくてもよい。
 - 3) 高圧ガスの場合
 - 一圧容器の場合と同じである。
- 2) 洗浄ノズルの取り付け
 - ジャケット上部の円周方向に2～4カ所等分に、ま

た底鏡に1～2カ所、ガス切断で孔あけし、フランジを溶接する。

- 3) 洗浄
 - 当社よりディーゼルエンジン付プランジャーポンプを搭載した洗浄車を現地に搬入し、200～300 kg/cm²の高圧水を特殊仕様のノズルより噴射させ、ジャケット内部に付着した錆、スケールを除去する。
 - 最近ではジャケット内に、らせん状の仕切板を設けた形状のものもあるが、この洗浄も可能となった。
 - 当然、高圧水を用いて洗浄する関係上、安全面で作業中立ち入り禁止区域を設ける配慮が必要である。
 - 洗浄完了後は、ノズル開口部は盲蓋をし、気密テストを行い、使用上、差支えないようにする。

- 4) 検査
 - (1) スケール、錆の廃出量により概略の除去効果を推定する。
 - (2) 洗浄廃水の汚れ程度により判定する。
 - (3) 場合によっては、内視鏡を使って内面検査を実施する。写真1にジャケットをはずした時の底鏡のスケールの付着状況を示し、写真2に高圧水洗浄を施工後の底鏡の状況を示す。

2.5 現地における電解研磨

ステンレス鋼の表面は成型時の加工傷、異物の付着、溶接などの熱影響によるスケールの付着、種々の表面傷、異物が付着している。表面処理の目的は、これらを除去すること、

- (1) 美観の向上
 - (2) 均一な不働態皮膜の形成による耐食性の向上
 - (3) 内容物の付着性の防止、または洗浄性の向上
- などがあり、それぞれの目的に応じて機械研磨、酸洗い、電解研磨を実施することになる。

ステンレス鋼製缶体の内面処理技術の一つとして開発された電解研磨による表面処理は

- (1) 細かな凹凸を除く能力が優れている。
- (2) 複雑な形状のものでも比較的容易に研磨できる。
- (3) 研磨面に加工歪が生じない。
- (4) 研磨面に均一な酸化被膜が生じやすいため、耐食性の向上が期待できる。

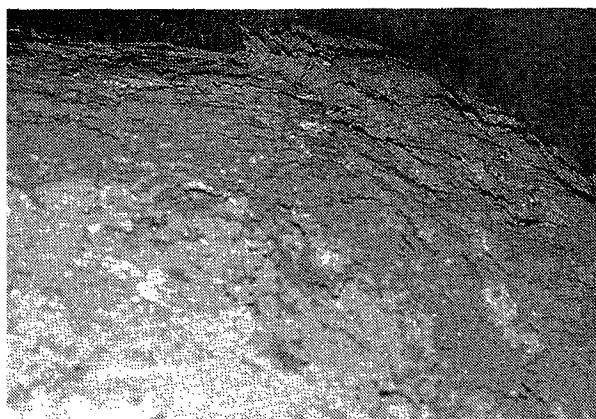


写真1 底鏡に付着したスケールの状態
Photo. 1 The state of scale adhered at bottom head

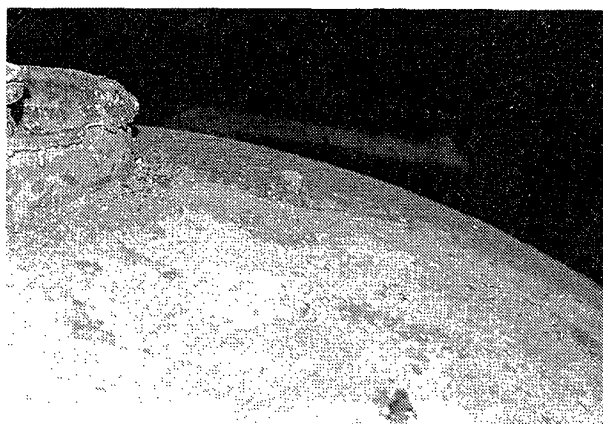
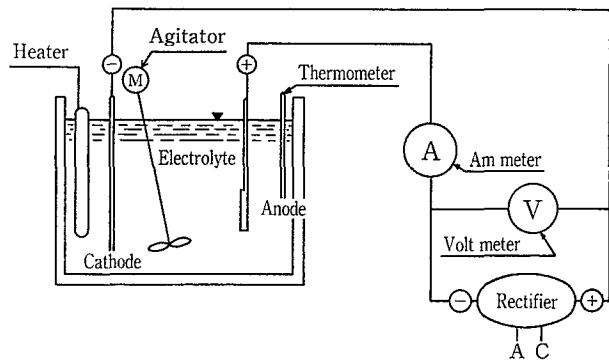
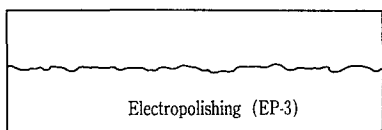


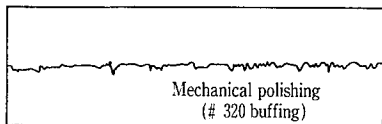
写真2 洗浄後の底鏡の状態
Photo. 2 The state of bottom head after cleaning



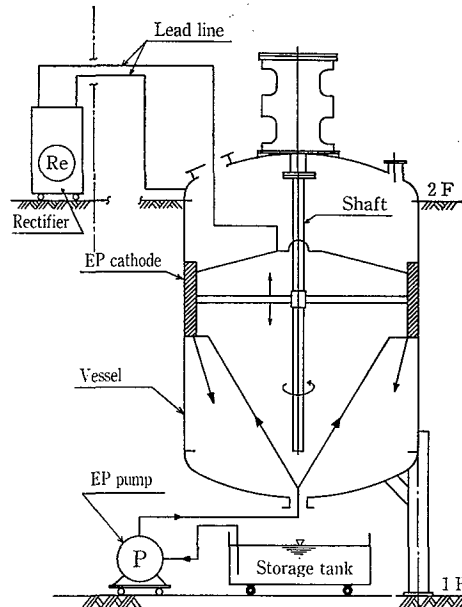
第3図 電解研磨の一例
Fig. 3 An example of electro polishing



第5図 EP-3による表面粗さ
Fig. 5 The roughness of surface by EP-3



第6図 #320バフ研磨の表面粗さ
Fig. 6 The roughness of surface by #320 buffing



第4図 缶体の電解研磨施工例
Fig. 4 An example of electroplating inside of a vessel

(5) サニタリー性の向上
などの特長があり、塩ビ、ラテックス、ポリエチレンなどの反応物の付着防止、医薬品製造用他、高純度を要求される装置等のコンタミ防止に効果がある。

また、原子力関連機器の内・外面の汚染除去にも効果がある。

新缶の電解研磨については、社内製作時に施工できるが、既に納入された缶体については現地施工が可能である。

現地電解研磨は、大きい面積を有する缶体内面を部分的に、電極を移動させながら電解研磨していくことにより、全面を研磨する方法である。

缶体形状から上鏡、胴、下鏡の3ブロックに分けられ、それらの各々について陰極組立—電解研磨—水洗—陰極分解の順に作業が行われる。

被研磨物を直流電源の陽極に接続し、それを電解液中で陰極と相対させ、所定の外部電流を流すことにより、被研磨物表面の微小凹凸（数ミクロンの凹凸）を除去し光沢化させる。従って電解研磨する前に、表面をバフ研磨し、数ミクロン程度の凹凸に調整することが必要である。

施工方法の概略図を第3図に示す。

第4図は缶体の胴体部分を電解研磨する場合である。

图中、斜線で示した部分は陰極で現地電解研磨用に開発した特殊なものである。

陰極は2個で1対となっている。缶の上部には架台が設けられ、研磨用軸を支持する。

陰極を固定するアームは、軸の上を上下に摺動し回転する構造となっている。

陰極の大きさに従い、部分的に直胴部は研磨され、軸を回転、上下させながら、徐々に研磨面を広げていく。

陰極には⊖極のリード線と電解液送込用のホースが取り付けられる。電解液は缶体下部のノズルから陰極へ送りこまれ、余分な液は缶壁を伝って下部ノズル直下におかれた受槽中に回収され、ポンプで上部に送られ循環する。

第5図にEP-3による表面粗さ、第6図に#320番バフのみの表面粗さを示す。

むすび

以上、最近の修理の傾向と当社の独自の商品について述べたが、日常にできる範囲の点検項目だけでもピックアップし、できるだけ早目に手をうつことで重要な機械の停止による損失を減少できると考える。

さらに、列記した商品群については、各ユーザの目的に合致したものを検討いただけるなら幸いです。

嫌気性廃水処理の新しい展開

ABCシステムの化学・製薬分野への適用

Application of the ABC system for Anaerobic Treatment of Chemical and Pharmaceutical Industry Wastewaters



(環)技術部 技術課
東野 宏昭
Hiroaki Higashino

Shinko-Pfaudlr has successfully developed a fixed-bed anaerobic treatment system called the ABC system (for Anaerobic Bio Contact), and received thirteen orders of ABC system plant, nine of them are under operation and the rest four are under construction.

Since the introduction of ABC System, a new horizon is being opened up for utilization as energy creation system for wastewater treatment which has been considered to be only energy consuming systems.

The essential point to be taken into account in applying anaerobic treatment system to industrial wastewater, especially chemical and pharmaceutical industry wastewaters, is that previous check is necessary to know to what extent the toxic materials contained in wastewater influence the methane forming bacteria.

In our company, a simple test method has been established to check the influence of such toxic and inhibitive materials; By this test, we have confirmed its effectiveness through the experiments and investigations done on many cases of anaerobic wastewater treatment systems.

まえがき

当社の嫌気性廃水処理装置「ABCシステム」の出現によって、エネルギーを消費するのみであった廃水処理が、エネルギー創造設備へ大きく飛躍しようとしている。このABCシステムの内容と実際の運転実績については、本誌でもこの数年間に次のような報文を掲載している。

- (1) 省エネ廃水処理法：ABCシステム……1983. 12
- (2) ABCシステムによる食品工業廃水の連続処理試験結果 ……1984. 9
- (3) 創エネルギーの実証：ABCシステム…1985. 7
- (4) 食品工業廃水におけるABCシステムの運転実績 ……1986. 7
- (5) 嫌気2段処理 ……1987. 7

これら一連のABCシステムに関する報文のなかで、

- (1) 嫌気性による廃水処理が従来の好気性処理と対比して、本質的にエネルギー節約型の方法であること。
- (2) 嫌気処理の有する長所を最大限に生かして工夫された装置であるABCシステムは、メタンガスを有効に利用することによりエネルギーを創造する設備であること。
- (3) ABCシステムの実装置でのスタートアップや、実際の運転データを示し、馴養運転も非常にスムーズに進行し、維持管理も簡単で、安定した廃水処理とガス発生が実施されていること。
- (4) 廃水の性状、たとえば、有機性の固形分の占める割合が高い廃水では「可溶化促進」と「メタン生成」とを分離した嫌気2段処理が適していること。

などを報告してきた。

これらの実績において対象とする廃水は、主として食品工業の分野の炭水化物、蛋白などを含有するものであった。より広く産業廃水に嫌気処理（ABCシステム）を適用しようとする場合、特に化学・製薬分野においては、次

のような問題点がある。

- (1) 廃水中にメタン生成菌を阻害する毒性物質を含むことが多い。
- (2) 水質の変動が大きい。
- (3) 成分そのものが化学合成物質であり、通常の（自然界に存在する）バクテリア・腐敗菌では分解できない成分に馴致した嫌気性菌、特に酸生成菌を保持する必要がある。

化学工場の嫌気性廃水処理については、当社と技術提携している米国のヘキスト・セラニーズ社(Hoechst Celanese Corporation)は自社工場での実績を有している。

この詳細については、上記の「省エネ廃水処理法：ABCシステム」を参照願いたい。

当社では、実装置化の研究開発および実装置の実運転で蓄積してきたノウ・ハウをもとに、化学・製薬工業などより広く嫌気性処理を適用するため、多くの廃水について調査・実験を行っている。

基本的なことは、対象とする廃水のもつ特性、すなわち

- (1) 嫌気分解性とその分解速度
- (2) 嫌気性菌（特にメタン生成菌）に対する阻害、毒性作用の有無とその濃度レベル

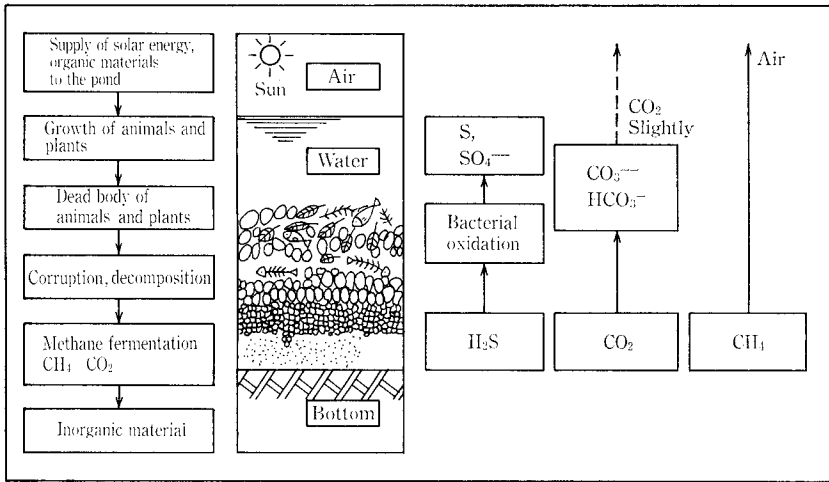
を明確に把握すれば化学・製薬系の廃水といえども食品系の廃水と異なることはないということである。

本稿では嫌気処理（ABCシステム）を採用するにあたってのアプローチの手法について、特に阻害物質の影響を調べる簡易なテスト方法を説明することとした。

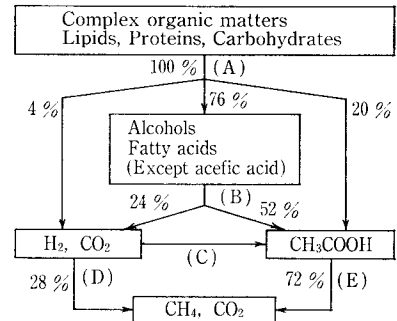
1. ある化学工場での嫌気性廃水処理の計画

まず最初に、化学・製薬などの工場廃水に嫌気処理を導入した一つの典型的な実例をとりあげる。

A化学工場では既に好気性生物処理を中心とした廃水処理設備が稼動し、設備としてはとくに改良すべき点もなく、廃水量の増加予定もなかったが、次に示すように濃厚廃液が一日当たり約 10 m³ 排出し、この処理・処分が多



第1図 湖沼におけるメタン発生の生態系モデル
Fig. 1 Ecological model of methane fermentation in a pond

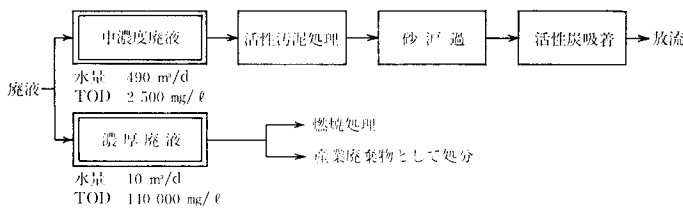


- (A) Hydrolysing bacteria acid producing bacteria
- (B) Obligate protone reducing bacteria
- (C) Acetic acid producing bacteria
- (D) Methanogens utilizing hydrogen
- (E) Methanogens utilizing acetate

第2図 高分子物質のメタン化反応の一例
Fig. 2 Proposed reaction scheme for the anaerobic of complex matters

大な費用（年間6 000 万円）がかかっていた。

A 化学工場の廃水処理（既設）



化学工場によくみられるケースで、工場の廃液を濃度別に低濃度と高濃度に分けてそれぞれ対処している例である。

- (1) BOD: 500~2 000 mg/ℓ の廃液は、好気性の活性汚泥処理（あるいは回転円板法、散水汙床など）されている。

1960年代から70年代にかけて、水質汚濁防止法の成立により多くの工場好気生物処理装置が設置された。

- (2) 濃厚廃液は、焼却処理したり、産業廃棄物として搬出されているが、処分費がかさむ。好気性の生物処理をしようとするれば、50~100 倍の希釈が必要で、10 m³/d の廃液も 500~1 000 m³/d となってしまう、やむを得ず濃厚な液のまま処分せざるを得ないのが現状であった。この例の工場での濃厚廃液は 1 m³当り 2 万円かかり、年間で 6 000 万円の処分費が費やされていた。

この濃厚廃液は少量多品種の生産工程を反映して種類が多いが主成分はアルコール、有機酸、エチレングリコール、メチルセロソルブなどであり、成分的には生物処理が可能といえるものであった。そこで、この濃厚廃液を中濃度廃液の一部でもって希釈してから嫌気処理をする計画をたて、次のような項目の検討を実施した。

- (1) 濃厚廃液の嫌気分解性……回分テスト

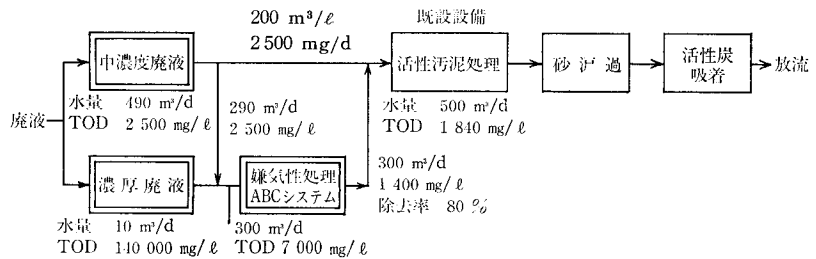
- ・種汚泥の馴致性
- ・阻害作用の有無とその発現濃度

- (2) 水質・負荷量の変動など実際の廃水に対する連続通水テスト

- (3) 嫌気処理水に対する好気処理テスト

- (4) 経済性の検討のためのケース・スタディー

これらの検討を通して得た結論による処理フローは次のとおりである。



この計画の特長は次の点である。

- (1) 活性汚泥処理している 490 m³/d のうち 290 m³/d を濃厚廃液 10 m³/d と混合し、300 m³/d TOD 7 000 mg/ℓ とし、ABC システムにより嫌気処理する。
- (2) TOD 除去率 80% で 1 400 mg/ℓ まで処理された嫌気処理水の中濃度廃液の残りとは混合して 500 m³/d とし、既設の活性汚泥ならびに活性炭吸着により処理して放流。
- (3) メタン濃度 75% の発生ガスのメリットを組入れ、嫌気処理にかかる運転費は約 2.5 万円/d と試算。20 万円/d の濃厚廃液処分が嫌気処理されるのであるから、年間 5 000 万円の経費節減となる。
- (4) 既設装置への負荷量軽減による処理の安定化がはかれる。

このように化学工場でも従来よりの廃水処理の設備の見直しをはかると嫌気処理の導入による経済効果ならびに処理の安定化が可能である。これらのことを強調するために

第 1 表 嫌気処理の可能な物質

Table 1 Compounds metabolized by acclimatized anaerobic cultures

Acetaldehyde	Ethanol	Oleic acid	Peat
Acrolein	Ethylene glycol	Pentaerythritol	Wood
Acetic anhydride	Ethyl acetate	Pentanol	Corn stover
Acetone	Ethyl acrylate	Phenol	Straw
Acrylic acid	Ferulic acid	Phthalic acid	Water hyacinths
Adipic acid	Formaldehyde	Propanal	Giant kelp
Aniline	Formic acid	Propanol	Animal wastes
1-amino-2-propanol	Furfural	Isopropyl alcohol	Cheese whey
4-amino butyric acid	Fumaric acid	Propionate	Pear wastes
2-Amino benzoic acid	Furan	Propylene glycol	Pectin wastes
Benzoic acid	Glucose	Protocatechuic acid	Meat packing
Benzy alcohol	Glutamic acid	Resorcinol	Corn milling
Butanol	Glutaric acid	Sec-butanol	Dairy
Butyraldehyde	Glycerol	Sec-butylamine	Brewery
Butyl acetate	Hexanoic acid	Sorbic acid	Rum distillery wastes
Butyric acid	Hydroquinone	Syringaldehyde	Wine distillery wastes
Butylene glycerol	Isobutyric acid	Syringic acid	Guar gum wastes
Catechol	Isopropanol	Sucrose	Water-soluble polymers
Citric acid	Lactic acid	Succinic acid	Bean blanching
Cresol	Maleic acid	Tert-butanol	Pulp mill evaporate
Crotonaldehyde	Methanol	Vanillic acid	Coking mill
Crotonic acid	Methyl acetate	Vinyl acetate	H ₂ -CO pyrolysis
Diacetone gulusonic acid	Methyl acrylate	Corn	Wool scouring
Dimethoxy benzoic acid	Methyl ethyl ketone	Potato	Tannery wastes
Diethylene glycol	Methyl formate	Sugar cane	Yeast
Dimethylsulfoxide	Nitrobenzene	Bagasse	

以上の例を最初に述べ、次にこれら嫌気処理を遂行するための基礎的な点を概説するが、化学分野の嫌気処理で問題となるメタン生成菌に対する阻害作用について重点をおいて説明する。

2. 嫌気処理（メタン発酵）の原理とABCシステム

2.1 メタン発酵と阻害作用

メタン発酵は嫌気下における有機物のメタンへの分解である。自然界には各種の微生物による物質循環があり、土壌菌の一種のメタン菌の役割についても自然現象の中からその原理を学ぶことができる。

メタンガスを古くは「沼気」と称してきたことにあるようにメタンガス発生の原理は湖沼の生態系を考えるとわかりやすい。第1図は湖沼におけるメタンガス発生の生態系モデルを図解したものである。

太陽エネルギーや有機物などのエネルギーが湖沼に与えられると湖沼では動植物の生産活動が起る。これらの増殖した生体の死骸は沈降し湖底に蓄積される。これらの死体はやがて腐敗菌の働きによって低分子化が起り、高級（高分子）な有機物は単純で低級な有機物に変換される。低分子化された有機酸などはメタン菌群などの働きによってメタン発酵がすすめられ、有機物であった生物体は、やがて無機質となり土に還元されてしまうのである。

この嫌気的な分解の過程で、硫化水素や二酸化炭素、メタンが生成され、ガスとなって湖沼の水面にむかって上昇するが、硫化水素は湖沼の溶存酸素の存在する部分で硫黄細菌などによる酸化を受けることが多く、硫黄または硫酸イオンに変換される。二酸化炭素もほとんどの場合、水に溶解し重炭酸イオンや炭酸イオンとなるが、メタンはその大部分を水の表面まで気泡として上昇し、大気中で、太陽

エネルギー（紫外線）によって光化学的に分解する。

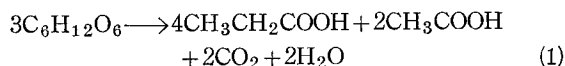
この生態系モデルを理論的にまとめたのが第2図である。自然界で産出される炭水化物、蛋白質、脂質、リグニンなどの高分子物質は加水分解酵素を生成する微生物群によって糖、アミノ酸などに分解され、その大部分は通性嫌気性菌によってアルコール、低級脂肪酸として排出される。これらは更に偏性プロトン還元菌（第2図(B)）によって酢酸と水素に分解されていく（第2図の例では高分子物質の72%は酢酸、28%は水素と二酸化炭素になる）。最終段階でメタン生成菌によってメタン化され一連の反応は終結する。

メタン生成菌は絶対嫌気性菌といわれ、酸素の存在を極端に嫌う。また酸素を自ら消費したり発酵系の酸化還元電位を低下させる能力をもたない。したがって生育環境を嫌氣的に保つためには、通性嫌気性菌の共存が必要であり、特に化学工場の廃水に対しては、その有機成分を低級脂肪酸にまで分解させる多種類の通性嫌気性菌の存在が、メタン発酵を遂行するための不可欠の条件である。

第1表に嫌気性（メタン発酵）処理の可能な物質のリストを示す。

次に阻害作用の問題である。酸生成過程で蓄積されるアルコール、低級脂肪酸、H₂は一定濃度以上になると、そこに存在する微生物にとって阻害的に作用する。たとえばグルコースからのメタン化を考えてみると、グルコースという非常に嫌気分解（メタン発酵）されやすい物質においても一連の反応には、阻害の要因が存在している。

すなわち、グルコースが *Propionibacterium* で分解されると



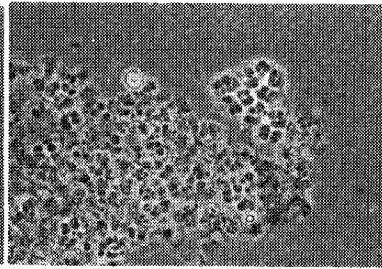
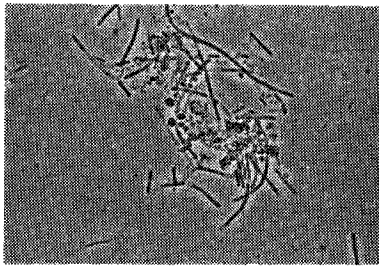
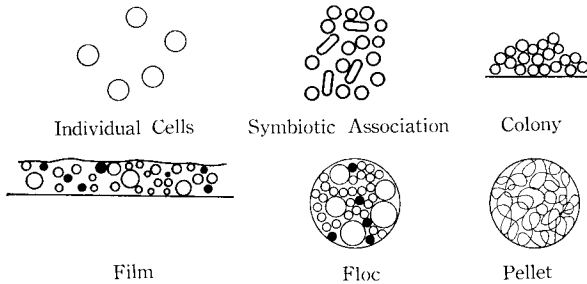


写真1 メタノトリックス属の顕微鏡写真

写真2 メタノサルシナ属の顕微鏡写真

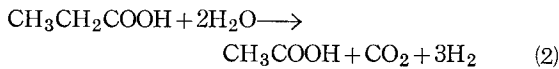
Photo. 1 *Methanotrix*

Photo. 2 *Methanosarcina*



第3図 嫌気性微生物の集合形態
Fig. 3 Forms of biomass

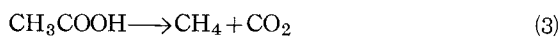
Propionibacterium は生成したプロピオン酸、酢酸によって増殖阻害を受ける。プロピオン酸は、*Syntrophobacter* (第2図の(B)。偏性プロトン還元菌) によって次のように消費される。



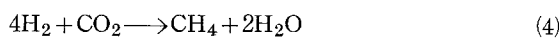
この(2)式によって生成した H_2 は *Syntrophobacter* の増殖を極度に阻害することが知られている。

(1)(2)式で生成した酢酸と水素は(3), (4)式によってメタン化される。

Methanotrix 属と *Methanosarcina* 属の酢酸資化性メタン生成菌によって

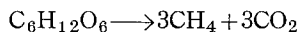


また、*Methanococcus* 属や *Methanogenium* 属の水素資化性のメタン生成菌によって



の反応が進行する。

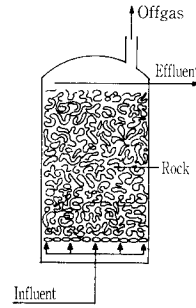
以上の(1)~(4)式をまとめると次式となる。



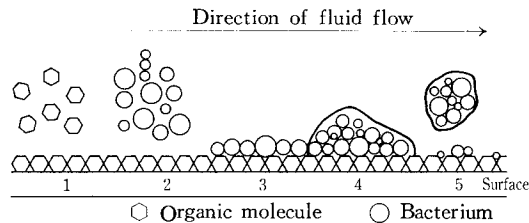
このような単純なグルコースの一連のメタン発酵の過程でも常に阻害の問題が存在する。この阻害作用を克服するキープポイントは、プロピオン酸や酢酸を残留・蓄積させないために

- (1) 微生物菌体量の保持
- (2) 接触混合効率の維持
- (3) 運転管理技術の確立

が必須となる。しかし菌体量が多くて接触混合効率が高ければ阻害がおこらないかといえばそうではなくて、たとえば懸濁攪拌方式の発酵槽では、過度の攪拌は微生物のフロックを微細化して、菌体の耐性を弱めることになり、有機



第5図 McCarty の嫌気フィルター
Fig. 5 McCarty's original anaerobic filter



第4図 生物膜の形成
Fig. 4 Formation of biofilm

酸が蓄積し、かえって発酵を阻害することになる。

ABCシステムは微生物群による生物膜を形成させ、さらにフロックあるいは粒状化した菌体を、リアクター内に保持する固定床方式を採用し、長年にわたる実際の運転でその安定した性能を実証している。

2.2 ABCシステムの固定床の形成

写真1, 2に代表的なメタン生成菌である *Methanotrix* 属と *Methanosarcina* 属の顕微鏡写真を示す。これらはいずれも実装置のリアクターから採取した懸濁状のものである。このようなメタン生成菌が前述した加水分解菌や酸生成菌などの微生物群として嫌気発酵のリアクターの中に共存・共生している。

微生物群の存在の様子を第3図に模式的に表現した。微生物が個々バラバラに、あるいはゆるく会合した状態では外的要因の変化を直接的に受けて極めて不安定な状態であり、阻害を受けやすい。微生物群が凝集してフロックや膜を形成するようになると菌体濃度も増加し、阻害・毒性成分の濃度の上昇あるいは pH の変動などに対して耐性がでてくるようになる。また上述の写真1の *Methanotrix* は、生物膜やフロックを形成するほかに、菌単独で粒状化することも多い。

ABCシステムはいわゆる「固定床方式」であり、発酵槽(リアクター)の中にプラスチック製のメディアを充てんしている。このメディアの表面に微生物群による生物膜が形成されていくが、その進行状況を第4図に示す。

- (1) スタートアップ時において廃水の有機物成分が、メディア表面に吸着する。
- (2) 種菌として注入された微生物がメディア表面に接触し細胞外酵素を分泌しつつ有機物を分解する。
- (3) 増殖した微生物は生物膜を形成していく。
- (4) 液の流れ、あるいはガス発生による剪断による生物膜の剥離
- (5) 凝集状の微生物群や粒状化したメタン生成菌などが生物膜と脱着をくりかえしながら全体として高濃度で

第2表 メタン発酵における阻害・毒性物質
Table 2 Inhibition/Toxicity in anaerobic process

Acrolein	500 ppm	Inhib. begins	Eugenol	1 000 ppm	Total inhib.
Acrylic acid	900 ppm	50 % inhib.	Formaldehyde	400 ppm	inhib. begins
Acrylonitril	210 ppm	50 % inhib.	Furfural	5 000 ppm	Total inhib.
Ammonia	4 000 ppm	Partial inhib.	Guaiacol	2 000 ppm	inhib.
Aniline	2 400 ppm	50 % inhib.	Gasoline	7 500 ppm	No methane gas production
Carbon tetrachloride	10 ppm	inhib.	Lauric acid	5 200 ppm	50 % inhib.
Catechol	2 600 ppm	50 % inhib.	Limonene	500 ppm	inhib.
1-Cl-propane	150 ppm	50 % inhib.	Methylene chloride	2 ppm	inhib. begins
1-Cl-propene	10 ppm	50 % inhib.	Nickel	300 ppm	inhib. begins
3-Cl-propionic acid	860 ppm	50 % inhib.	Nitrobenzene	13 ppm	50 % inhib.
3-Cl-1,2-propanediol	660 ppm	50 % inhib.	(mm=123,11)		
Chloroform	40 ppm	inhib. begins	Pentachlorophenol	270 ppm	inhib.
Crotonaldehyde	100 ppm	inhib. begins	Phenol	400 ppm	no inhib.
Cyanide	10 ppm	inhib. begins	Propanal	5 200 ppm	50 % inhib.
	750 ppm	recovery after 5 days	Resorcinol	3 200 ppm	50 % inhib.
Difurfuryldisulfide	10 ppm	total inhib.	Sulfide	1 500 ppm	inhib. begins
2,4-dihitrophenol	250 ppm	recovery after 1 day	Tetrachloroethylene	160 ppm	50 % inhib.
Etylbenzen	340 ppm	50 % inhib.	Vinyl acetate	700 ppm	50 % inhib.
Etylene dichloride	5 ppm	inhib. begins	Vinyl chloride	65 ppm	inhib. begins

保持される。

化学・製薬工業の廃水処理にメタン発酵を適用し研究を行ったのは、今から20年以前の米スタンフォード大学のMcCartyらであり、最初の論文として1967年“The 22nd Annual Purdue Univ. Industrial Water Conference”で発表されたAnaerobic Filter（嫌気フィルター）である（第5図）。

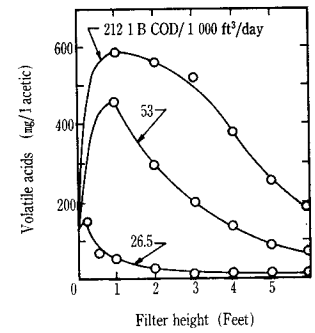
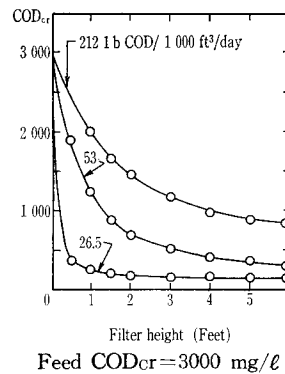
McCartyらのAnaerobic Filterは担体として空げき率が30~45%程度のざくろ石などを使用した。担体の表面に微生物を付着させ、さらに担体のすき間に凝集状に微生物を保持させるなどして、発酵槽内の微生物濃度を高めることに成功し、短時間で高率的にメタン発酵が可能であることを実証した。

しかしこのAnaerobic Filterは空げき率が30~45%と非常に低いこと、更に一過式通水であったために種々の欠点を有していた。たとえばMcCartyらの論文より発酵槽内の有機酸とCOD_{Cr}挙動を第6、7図に引用するが、上向流プラグ方式であるため

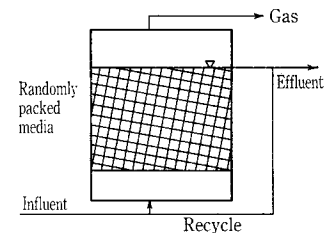
- (1) プロピオン酸や酢酸など有機酸濃度が、発酵槽の入口（上向流であるので発酵槽下部）で高くなり阻害作用がおこりやすい。またpH低下も生じる。
- (2) 有機物の分解・除去の大部分が発酵槽下部で行われ、したがって嫌気性菌も下部に局在し、中部・上部が有効につかわれない。
- (3) 汚泥の過剰増殖によりチャネリングが生じやすい。

などの問題点を有していた。しかし嫌気性菌が生物膜や凝集状のフロックを形成していると、酢酸やプロピオン酸による「生産物阻害」や過剰水素あるいは阻害性物質の作用を緩和できることも明らかとなり、化学、製薬分野への嫌気性（メタン発酵）廃水処理の端緒をきりひらいたといえる。

当社のABCシステムはこのAnaerobic Filterの欠点を次のような方法で克服し、メタン発酵という複雑な一連の反応を安定的にかつ高速に進行させることに成功した。詳細については当社の別途資料に譲るが、その概要は次のとおりである（第8図）。



第6図 嫌気フィルターにおける有機酸の挙動
Fig. 6 Volatile acid profile in an anaerobic filter after McCarty



第8図 ABCシステムの基本フロー
Fig. 8 ABC system

第7図 嫌気フィルターにおけるCOD_{Cr}の挙動
Fig. 7 COD Profile in an anaerobic filter after McCarty

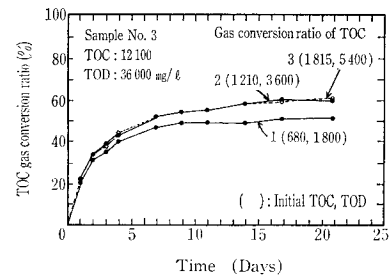
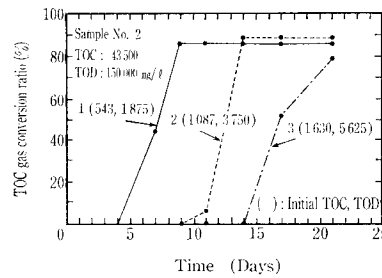
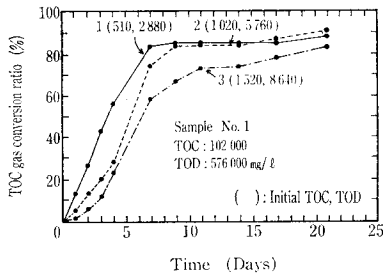
- (1) 空隙率95%と空間容量の大きい特殊プラスチックメディア「メタパック」を使用し、微生物群をメディア表面での生物膜および空間部にはMethanotrix属による粒状の集合体をつくり、高濃度で嫌気性菌が保持できるため、高負荷が可能で、水質変動にも強い。
- (2) 処理水の一部を循環して原水（流入水）と混合希釈してリアクターに注入するため、完全混合型に近く、有機酸濃度やその他の阻害成分濃度の低下、炭酸イオンによるpH緩衝効果をもたらす。
- (3) 生物膜や、凝集状あるいは粒状体を形成した微生物群はポリサッカライドなどによっておおわれているため阻害物質の液中濃度が一時に上昇しても、その阻害作用は緩和される。また空隙率95%、および処理水の循環による完全混合のため、微生物群の集合体がリアクターの一部に局在化することがない。

3. ABCシステムの適用検討方法

3.1 有機物質の嫌気分解性

廃水中に含まれている成分の嫌気分解性や阻害作用についての挙動を確認する手段として回分式による実験方法を検討しているが、実用上ほぼ満足すべき成果が得られているのでいくつかの例について述べる。

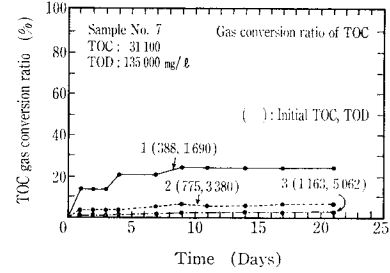
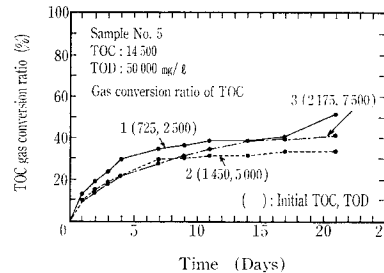
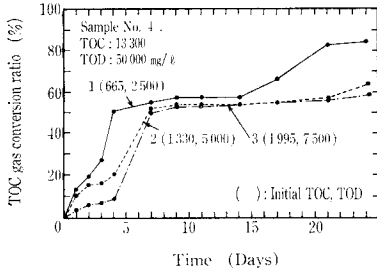
廃水の成分である有機化学物質が微生物の働きによって分解されることを一般的に生物学的分解性というが、嫌気処理の観点から有機物質をみてみると、次の4種類に大別できる。



・エチレングリコール系の廃水で、嫌気分解性が極めて高く、毒性もない。
(Nontoxic & degradable, main component: ethylen glycole)

・毒性はあるが、嫌氣的に分解できる典型例
(Toxic & degradable)

・除去率 80 % が可能な廃液、毒性はない。
(Nontoxic & degradable 80 % removal)



・分解性の異なる多成分系で嫌気分解可能
(Degradable, multiple component)

・嫌気分解困難な成分を含むが、毒性はない。
除去率としては 60 % 程度 Na. 6 も同様な挙動を示した。
(Nontoxic, 60 % removal)

・阻害物質がある。成分 TOC 500 mg/l 以上で毒性高い。
(Toxic, non degradable)

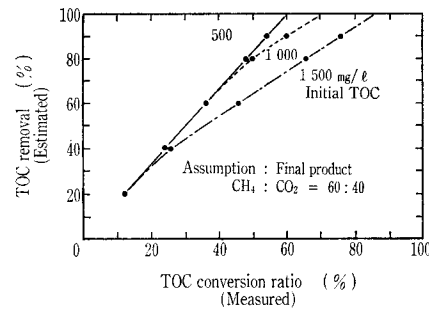
第 10 図 B 製薬工場の濃厚廃液の回分実験結果

Fig. 10 Batch test results for pharmaceutical waste waters

- (1) 嫌氣的に生物分解可能で、しかも毒性のない物質
食品工場廃水の主成分である炭水化物や化学系ではアルコール、ケトン、エチレングリコールなど。
- (2) 嫌氣的に分解できないが、毒性もない物質
嫌気性処理で変化を受けず、また処理性能に影響を与えない物質で、たとえば
ペンタエリスリオール(pentaerythriol)
トリメチロールプロパン(trimethylolpropane)
トリオキサン(Trioxane)
などが知られているが、馴養によって分解可能となることもある。
- (3) 毒性はあるが、嫌氣的に分解できる物質
代表的な物質として、フェノールやホルムアルデヒドがあり、「閾値」以下の濃度であればよく分解できるもの。毒性物質でもある濃度以下では毒性が発現しないがその濃度を「閾値」という。この閾値は生物の順応作用で高くなることが多い。
- (4) 毒性があり、しかも嫌氣的に分解できない物質
クロロメタンなどの有機塩素化合物である。

第 2 表に阻害物質の例を示す。これらは文献などでみられるものをまとめたもので、ほんの一例である。廃水はいろいろな成分の混合物であり実際の工場廃水でその分解性や阻害性を確認していく必要がある。

なお、表中の 50 % Inhib とは阻害の無い時のガス発生量を 100 % とし、阻害が生じてガス発生が 50 % に低下する阻害物質の濃度であり、阻害は「阻害を与える成分濃度が一定レベルより下がった場合には再び活性をとりもどす」ことを示す。一方、毒性(Toxicity)とは厳密にいえば微生物が毒性成分により活性を失い、ついには死滅することをいう。



第 9 図

TOC ガス化率と除去率の関係
Fig. 9 Relation between TOC gas conversion ratio and TOC removal

化学・製薬工場では一つの工場の中でも数多くの廃水の種類があるが、負荷量の占める割合の高い主要な廃水をスクリーニングして、次のような 2 つの点を調べる事が重要である。

- (1) 廃水中の有機成分 (TOD や TOC で示される) そのもの自身が嫌氣的にどこまで有機酸まで低分子化し、かつメタン化するか。
- (2) メタン菌を阻害する物質の存在と、どの程度希釈すれば阻害作用がなくなるか。

メタン菌は前述したように受身的な菌で、酸生成菌が排出した酢酸をメタンと二酸化炭素にするのみで、自分からすすんで有機酸を生産しない。したがって廃水のメタン発酵の適用の可否は酸生成菌が、有機物を有機酸まで分解するかにかかっているといてもよい。

3.2 回分式による適否判定方法 (ある工場の検討例より)

ある B 製薬工場での廃水のうち比較的濃厚な液の嫌気分解性と阻害性を回分式による実験によって判定した例を説明する。

3.2.1 実験方法

- (1) 100 ml 容の容器に検討する 廃液、嫌気汚泥、pH 緩衝液、および N, P などの栄養液を注入、一定温度 (中温発酵の場合は 37 °C) に保管し、発生するガス

B製薬工場の濃厚廃液の水質と回分テストによる処理可能性

	(平均)水量 m ³ /d	pH	SS	COD _{Mn}	BOD	TOC	TOD	推定 TOD 除去率(%)	TOD 負荷量当 りのガス発生率
No.1.	4.0	2.4	570	268 000	214 000	102 000	576 000	90	0.38
2.	1.6	8.7	24	88 300	107 000	43 500	150 000	90	0.46
3.	46.2	5.2	620	13 000	15 500	12 100	36 000	75	0.35
4.	5.9	1.6	38	16 700	21 000	13 300	50 000	85	0.38
5.	16.7	6.1	154	20 300	8 260	14 500	50 000	60	0.28
6.	5.5	2.8	868	74 700	69 200	64 500	424 000	70	0.13
7.	8.0	4.8	30	6 450	6 600	31 100	135 000	40	0.05
混合液	87.9		440	30 880	27 680	22 300	99 540		

の量を測定する。注入する廃液の量は、培養液の初期有機物濃度より希釈等を考慮するが、TOCの初期濃度で500, 1 000, 2 000 mg/l 程度を標準としている。

- (2) 嫌気分解の進行のパラメータは、TOCガス化率を使用する。すなわち最初に投入した有機物のうちどれだけがガス(CH₄+CO₂)に転化したかを調べるものである。

$$\text{TOCガス化率} = \frac{\text{発生ガス量(mℓ)}}{\text{TOC量(mg)}} \times 22.4 \times 100\%$$

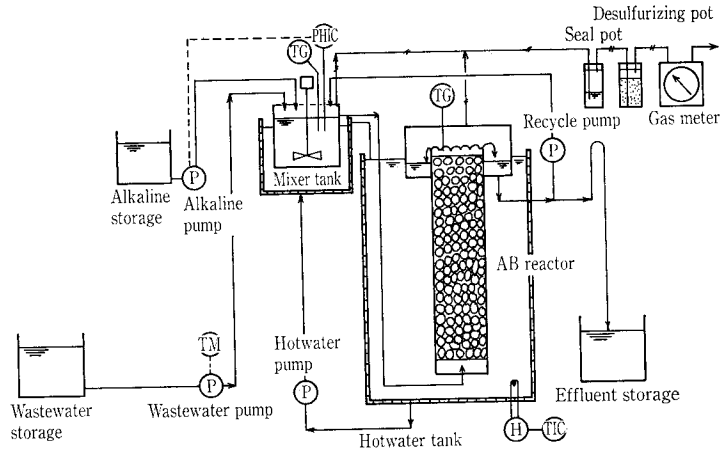
- (3) TOCガス化率と除去率の関係は生成するCH₄とCO₂のうちCO₂は水に溶解するのでガス化率はTOC除去率より、溶解するCO₂の分だけ低い値となる。補正したTOC除去率を第9図に示す。ここで廃水そのものにはCO₃²⁻は含有しないものとし、またTOC除去における微生物資分は無視した。

この工場の工程別の濃厚な廃液の平均排出量と水質を上示すが、これらの廃液は各ピットに集められ、平均的・連続的に混合され、他に大量に排出される低濃度廃水によって希釈されて、嫌気処理することを計画した。したがって回分式の実験の目的は各々の廃液の嫌気分解性と、どの程度の濃度レベルなら阻害性がないかを調べることにあった。実験の結果と分解性・阻害性の特長を第10図にまとめて示す。

この一連の実験で使用した種汚泥は、一般的な通性嫌気性菌とメタン生成菌を混合したもので、特殊なものでなく、また前もってこれらの廃液に馴致させたものでもなかった。したがって培養日数も3週間程度必要な廃液もあるが、その有機成分が一般的な菌によって分解できるのか否かの実用的な判断はこの実験で十分可能であると考えられる。

またこれらの廃液の中にはNa⁺やSO₄²⁻を多量に含有した液があったが一定の希釈をすることによって阻害レベル以下になる程度のものであった。

実験の詳細な結果の説明は省略するが、前の水質一覧表の中に、回分実験から予想される有機物の除去率と、ガス発生率を示した。これらの廃液の中でメタン発酵を阻害するのはNo.7の廃液であり、No.7の実験結果からみると、60倍以上の希釈をすれば、阻害作用は減少し、廃液の有機成分自身も約40%は嫌気分解されることがわかった。No.7の水量は8 m³/d、混合液の全量が88 m³/dである



第11図 連続処理実験フロー
Fig. 11 Flow sheet of continuous study

から、混合液がさらに5.5倍以上希釈されれば、No.7の悪影響もなく処理可能、すなわち、濃厚廃液7種類を他の低濃度廃水で5~6倍以上希釈して、TOD約2 000 mg/lとすれば、嫌気処理(メタン発酵)が可能と推定される。

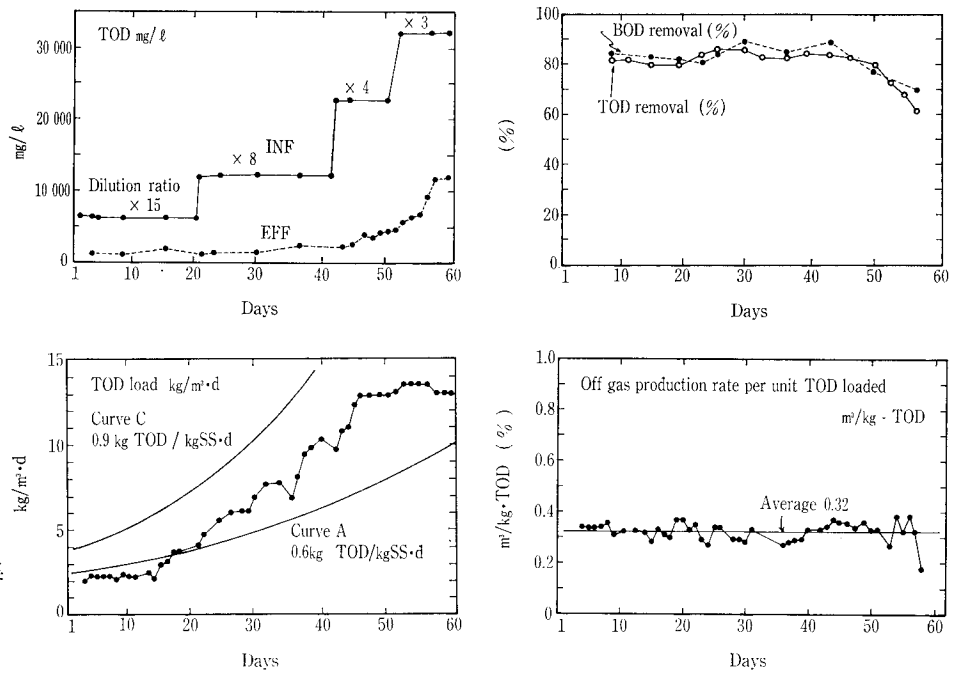
3.3 連続処理実験

回分式実験で得られた嫌気分解性・阻害性の特性が実際のリアクターの処理においてどうなるのかを検討するため前記のB製薬工場の濃厚廃液をその排出量の比で混合し連続通水実験を行った結果を次に示す。

実験装置のフローシートを第11図に示す。リアクターの容量は30 lであり、温水循環によりリアクターを一定温度(37 °C)に保つ。pHのコントロールは循環ラインにミキサータンクをもうけてアルカリ(あるいは酸)をオン・オフ注入してリアクター内のpHを7.0~7.2とした。

濃厚廃液をその排水量比で混合した液のTODは約100 000 mg/lでこれをそのまま原水とすることはできない。その理由はもし90%除去が可能であったとしても処理水はTOD 10 000 mg/lと依然として高濃度であり微生物はそのような高い基質濃度中では安定して活性を保つことができないからである。そこでリアクターへ通水する原水としては水道水で15倍に希釈してTOD 6 000 mg/l程度からスタートして順次希釈倍数を減じていくことにした。また、回分式実験の結果、混合液は5倍以上の希釈が必要ということも確認する必要があった。

馴養上げの方法としては、嫌気種汚泥としてMLSS換算で3 000 mg/lの汚泥をリアクターに投入し、グルコースやアルコールを含む馴養液を約1週間注入して汚泥のメ



第12図
製薬工場廃水の連続処理実験結果
Fig. 12
Experimental date for pharmaceutical waste water

ディアへの付着を促進したのち、原水を通水開始した。原水通水後2カ月間の実験結果を説明する。実際の実験は3カ月目から、分解性の悪い廃液あるいは阻害性の高い廃液の混合比を高めてその影響などを調査したがそれらについての説明は割愛する。

第12図にTODをパラメーターとした実験結果をまとめて示す。

濃厚廃液の希釈倍数が4.5以上の原水(TOD 22 000 mg/l以下)においては、TOD負荷が12 kg/m³·dまではTODおよびBOD除去率はいずれも安定して80%が確保できた。希釈倍数をさらに減少して原水濃度を増加させると12~13 kg/m³·dのTOD負荷においても処理水中に酢酸が残留するようになり、メタン生成菌の活性の低下がみとめられるようになった。前述の回分実験で顕著にあらわれていたNo. 7の成分が「閾値」レベル以上となり阻害作用が生じたと予想される。

第12図のTOD負荷の推移のグラフ上に、曲線A、Bを示しているが、これらの曲線は、次のような仮定条件での理論的許容負荷曲線である。

仮定条件

- (1) 初期の嫌気性菌濃度 4 000 mg/l
- (2) 菌体増殖：除去TOD量当り5%が菌体となり、増殖した菌体はすべてリアクター内に残留する。
- (3) TOD除去率 80%
- (4) TOD汚泥負荷 A : 0.6 kg TOD/kgSS·d
B : 0.9 kg TOD/kgSS·d

実際の負荷の推移は0.7~0.8 kg TOD/kgSS·dが維持できたと推測される。

通水開始より2カ月間で比較的スムーズに馴養が進行したことは、回分実験で確認していたように廃液成分が低分子溶解性であり、毒性阻害物質を含むものでありながら希釈によってその作用を抑制できたことを示すものであり、化学・製薬工場の廃水といえどもその分解性・阻害性が確認できておれば食品系の廃水の嫌気処理となら本質的にかわることがないということを物語っている。

むすび

ABCシステムの実績の上に立って、より広く産業廃水の嫌気処理を適用していく中で、特に化学・製薬などの工場廃水のアプローチ方法についての実例などを紹介した。廃液成分の分解性や阻害性を把握すれば、化学・製薬系の廃水も、処理が比較的容易と考えられる食品系の廃水と基本的には何んら変わることがないことを強調しようとした。

しかし、検討している実験の中味をより詳細に記述しようとするとう工場の工程・成分についてふれざるを得ず、ユーザと結んでいる「秘密保持」の協定をおかしかねないことにもなるため、割愛した内容が多く、抽象的な表現になってしまったことをお詫びをしたい。

しかしながら本稿が関係各位におかれて廃水処理のあり方を再検討・見直しを考えるきっかけとなり、われわれにたいし検討課題を与えて下さることになれば、幸甚である。

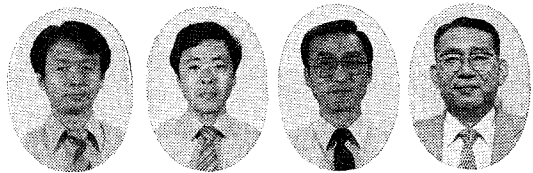
【参考文献】

- 1) M.G. Truleear, W.G. Characklis: J. Water Pollut, Control Fed. 54 p. 1288 (1982)
- 2) J.C. Young, P.L. McCarty: J. Water Pollut, Control Fed., 41, No. 5. Part 2, R160 (1969)

超純水製造プロセスならびに脱塩プロセスにおける膜装置の保守とトラブルシューティング

Maintenance and Troubleshooting Regarding Membrane Unit for Water Purification and Desalination

The membrane process adopting reverse osmosis and/or ultra filtration membrane has long been, although its molecular level separation is not as widely done as ion exchange resin, indispensable in deionizing and purifying processes of water. The reports on membrane theory and its engineering, and various manuals are fully available, however, there is still room for further study to keep the performance of membrane units stable for a long period. This literature illustrates two examples of such troubleshootings accumulated in our history of ultra filtration and reverse osmosis process.



神鋼ファウドラ(株)技術部技術課
牛 越 健 一
Kenichi Ushikoshi
神鋼ファウドラ(株)(業)企画室
土 居 孝 芳
Takayoshi Doi
神鋼ファウドラ環境管理株式会社
成 瀬 俊 雄
Toshio Naruse
神鋼ファウドラ・ケミカル株式会社
光 上 義 道
Yoshimichi Mitsukami

まえがき

水の精製手段として限外濾過膜と逆浸透膜は、イオン交換樹脂ほどではないが、実用化されて以来相当の歴史を有し、特に超純水製造あるいは海水淡水化などのプロセスにおける要素技術として欠かすことができない。膜プロセスの理論ならびにエンジニアリングに関しては、すでに多くの成書と報文があり、膜メーカーからも各種のマニュアルが公開されている。^{1),2)}

しかしながら、これらの膜をその目的にそって長期間、常に安定して使用することに関し、いまだトラブルを発生させる要因に関し、問題点皆無とは言いがたいと思われる。

以下にわれわれが過去に遭遇したトラブル例とその解決プロセスを報告する。何らかのご参考になれば幸甚である。

1. 膜使用プロセス

超純水関係では一次純水装置に逆浸透膜（以下RO膜という）が、二次純水装置には主として限外濾過膜（以下UF膜という）と一部RO膜が使用されている。また超純水の回収処理プロセスにはROとUF膜の両方が使用される。海水ならびにかん水からボイラ給水を得る場合にはRO膜を使用する。これらのフローシートを第1～3図に示す。

2. 前処理と運転条件

RO膜、UF膜共に、その膜の特性に合致した前処理無くしては、長期にわたり安定した運転を維持することは困難である。第1表に超純水水質管理基準一覧表を示す。第1表における SEMI: Attainable レベルの要求を常時満足させることは、現状の技術において、装置的にも分析化学的にも容易でない。このような要求水質を満足させる一助として、膜の前プロセスとしての前処理と運転条件は極めて重要である。工学的に重要なそれらのポイントは次のとおりである。

2.1 UF膜

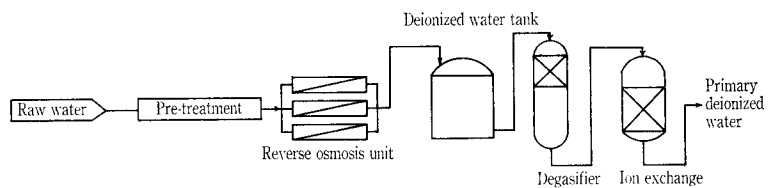
- (1) UF膜にて処理される純水はRO膜にて処理された水であること。

- (2) 0.2 μm の精密フィルターを閉塞させるような物質を含まない水であること。
- (3) 0.1~0.2 μm 以下の物質であっても、電気化学的、あるいは界面化学的にUF膜と極めて親和力の強い物質を含んでいないこと。

2.2 RO膜

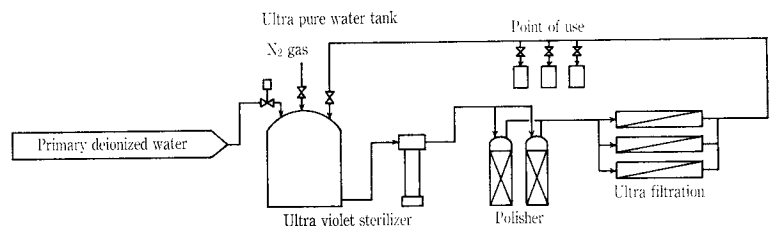
以下の要求項目は一次純水、二次純水回収系、あるいは海水/かん水脱塩プロセスにおける要求である。

- (1) RO供給水の濁質、鉄、マンガン濃度レベルが水道水レベルであり懸濁固形物含有量の指標であるファウリングインデックス (FI値)³⁾が3~4のレベルであること。
- (2) RO供給水の pH は加水分解を起こさぬ範囲で、その膜の物性において濃縮側で炭酸カルシウムスケールを発生させないレベルに維持されていること。
- (3) ブロー濃縮水の溶解度積において硫酸カルシウムスケールを発生させない回収率が維持されていること。



第1図 一次純水装置フローシートの一例

Fig. 1 Typical flow diagram of primary deionization system



第2図 二次純水装置フローシートの一例

Fig. 2 Typical flow diagram of polishing system

あるいは分散剤によりスケール析出が防がれていること。

- (4) 濃縮ブロー水中のシリカ濃度が大幅に溶解度を越えない回収率で維持されていること。
- (5) 規定の濃縮水ブロー流量が維持されていること。
- (6) 供給水水温に大きい変動がないこと。
- (7) 運転圧力に大きな変動がないこと。
- (8) RO供給水中の残留塩素濃度がそのRO膜に適した濃度に維持されていること。
- (9) RO供給水中に油分などに類似した有機物を許容濃度以上含んでいないこと。

3. 保守

2章の前処理と運転条件が十分に維持されており、かつ定期的洗浄が確実に実行されておれば、UFおよびRO膜の寿命は数年の使用に耐える。UF/RO膜の洗浄薬品に関しては、各膜メーカーから薬品の処方せんが公開されている。しかし、あらゆる汚染、あるいはスケールに有効な特効薬はない。最近では保守・管理を容易にするため膜装置には接点付差圧計を、また脱塩用RO装置には、脱塩率計を設置して膜の状況を管理する場合が少なくない。2章にて述べた前処理と運転条件が維持されていたにもかかわらず、

- (1) 規定の透過水量を維持するために運転圧力が異常に上昇した場合
- (2) 脱塩用RO装置において脱塩率が異常に低下した場合
- (3) 端末UFにおいて微粒子のリーク量が増大した場合
- (4) バクテリア数が増大した場合

などには、薬品による洗浄を行うが、それによっても回復が不可能な場合には、モジュールの部分的、または全数の交換となる。

4. トラブルシューティング

以上に述べたように、適切な運転と保守がなされ、3年前後以上使用された後に、新品と交換された場合には、その膜は天寿を全うしたと言えよう。

一般に膜トラブルは1年以内に起こる。一般的トラブルに関しては、膜メーカーからもその原因と対策について、トラブルシューティング一覧表が公開されている。その一例を第2表に示す。本報では以下に常識的な対応では解決不可能であった膜トラブルの事例とその解決結果について報告する。

第1表 超純水管理基準一覧表

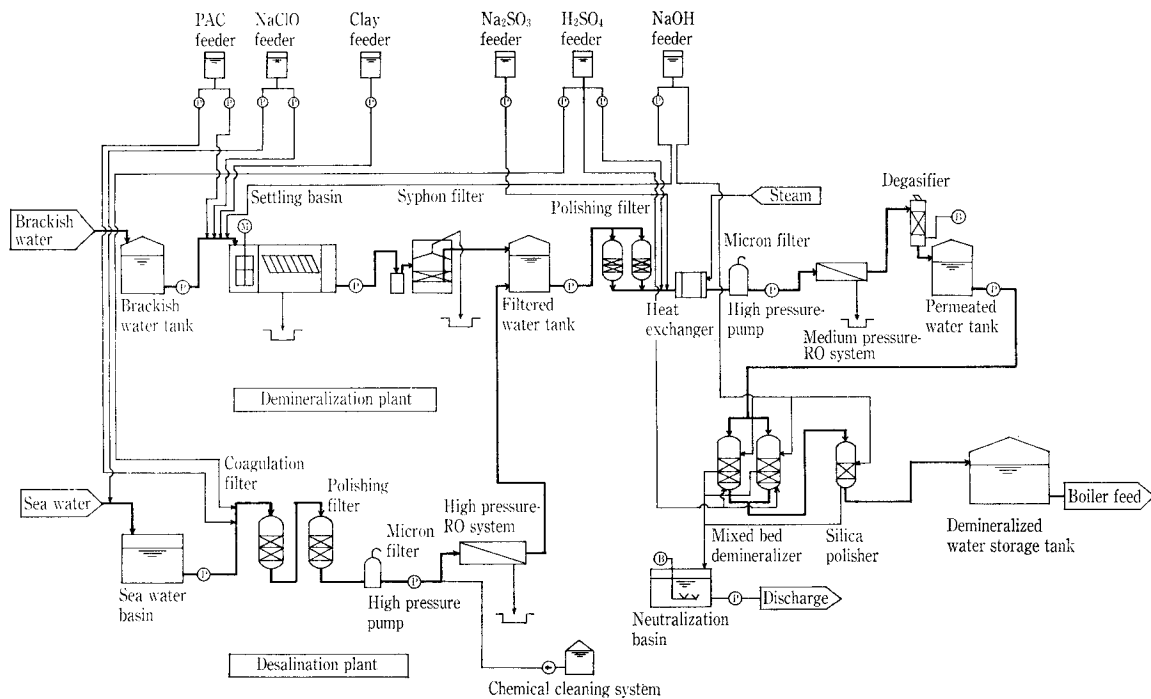
Table 1 Ultra pure water quality for semiconductor processing

Parameters	Country & grade	Standard in Japanese Industry		SEMI**		ASTM*** Type E-1
		For 1M DRAM	4M DRAM*	Attainable	Acceptable	
Resistivity (MΩ·cm/25°C)		> 17.5	> 18	18.3	17.9	18 (90% of time, 17 min.)
TOC (ppb)		< 50	< 30	20	50	< 50
Particle (pcs/ml)		< 10	< 30	< 1	< 10	< 2
Particle size (μm)		(0.2)	(0.1)	(0.2)	(0.1)	(1.0)
Live bacteria (CFU/100ml)		< 1	< 0.5	0	6	< 1/ml
Total silica (SiO ₂ ; ppb)		< 5	< 3	3	5	< 5
Dissolved oxygen (O, ppm)		< 0.1	< 0.05	—	—	—
Sodium (Na, ppb)		< 1	< 0.1	0.05	0.2	< 1
Potassium (K, ppb)		< 1	< 0.1	0.1	0.3	< 2
Copper (Cu, ppb)		< 1	< 1	0.002	0.1	< 1
Zinc (Zn, ppb)		< 1	< 1	0.02	0.1	< 5
Iron (Fe, ppb)		< 1	< 1	0.02	0.1	—
Chromium (Cr, ppb)		< 1	< 0.1	0.02	0.1	—
Manganese (Mn, ppb)		< 1	< 0.5	0.05	0.5	—
Chloride (Cl, ppb)		< 1	< 1	0.05	0.2	< 2
Residue (ppm)		—	—	0.1	0.3	< 10

* Requirement of the Industry for 4M DRAM production, 1986.

** SEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institute) suggested guidelines, 1986.

*** Proposed ASTM standard specification for electronics grade water type E-1, 1983.



第3図 海水かん水脱塩によるボイラ給水処理装置フローシートの一例
Fig. 3

第2表 逆浸透装置のトラブルと対策
Table 2 Troubleshooting for RO unit

Causes	Phenomena			Check points	Counter-measure	
	Flux	Rejection	Pressure drop			
Temperature	High	↗	↘	—	Seasonal change, pump efficiency	Pressure adjust, cool'g
	Low	↘	—	—	Seasonal change, heater	Pressure adjust, heating
Pressure	High	↗	↗	—	Pump, valve	Pressure adjust
	Low	↘	↘	—	Pump, valve, filter	— " —
Brine flow rate	Big	—	—	↗	Feed flow rate, press control valve	Flow adjust't
	Small	↘	↘	↘	Feed flow rate, press control valve, press drop	— " —
pH	High & low	↗	↘	—	pH control	pH control
Salt concentration	High	↘	↘	—	Feed water	Pressure cont'l
	Low	↗	↗	—	— " —	— " —
Insoluble matters (Scaling)		↘	↘	↗	Feed water quality, recovery ratio, pH	Pressure cont'l
Residual Cl ₂ (Long time)	High	↗	↘	—	Chlorinator, membran degradation	Cl ₂ conc. adjust
	Null	↘	↘	—	Biological attack chlorinator	Chemical clean'g, Cl ₂ con. adjust

Note. ↗ : Increase ↘ ↗ ↘ : Main phenomenon
↘ : Decrease — : Negligible

4.1 UF膜の事例

1) トラブル現象

既設の超純水プロセス(第1, 2図参照)のグレードアップのため, 非再生ポリシャの後に既設のファイナルフィルターをUF装置に置き換えるためのテストを行ったところ, 約1週間でテスト用UF膜の運転が不能になるほど圧力損失の上昇があった。これに対し第3表に示すような各種の薬品洗浄を実施したが, 十分な効果が得られなかった。なお, この間の供給超純水水質分析例を第4表に示す。サンプリングをテスト用分岐管から行ったため, 分析結果にはややばらつきがあるが, 超純水としてグレードはそれほど低くなくUF供給水として特に問題が見出だせる水質ではない。

2) 原因の究明

分析化学的アプローチは困難であるので, 小型ラボ用UFモジュールを用い, シュミレーション的にフィールドテストを行うこととした。

UF膜を二次純水に用いる場合, ゲル層濃度分極モデルは適用されず, 次の基礎式が適用される。

$$J = A \cdot \Delta P$$

ここに

J : 透過流束 (フラックス)

第3表 UFモジュール薬品洗浄結果一覧表
Table 3 Cleaning results of contaminated UF with various kinds of reagent and conditions

UF module	Procedure	Flux : New UF/cleaned UF (cm ² /cm ² ·atm·25 °C)	% of recovered flux. Comparing to new UF before/after clean.
x	5% H ₂ O ₂ 1000 mg/ℓ 5% H ₂ O ₂ pH 8 → NaClO → pH 8 1 h circ. 1 h circ. 24 h dip.	6.689 × 10 ⁻³ / 6.35 × 10 ⁻³	73 / 95
x	5% H ₂ O ₂ pH 9 / 1 h circ.	6.66 × 10 ⁻³ / 4.86 × 10 ⁻³	61 / 73
x	1000 mg/ℓ 5% H ₂ O ₂ 5% H ₂ O ₂ NaClO → pH 8 → pH 8 3 h circ. 1 h circ. 24 h dip.	6.78 × 10 ⁻³ / 5.76 × 10 ⁻³	43 / 85
x	10% hydroxylamine-HCl 24 h dip. → 1 h circ.	5.49 × 10 ⁻³ / 4.56 × 10 ⁻³	52 / 83
x	2% EDTA 24 h dip. → 1 h circ.	6.19 × 10 ⁻³ / 4.71 × 10 ⁻³	47 / 76
x	10% NaCl / pH = 9 24 h dip. → 1 h circ.	5.78 × 10 ⁻³ / 5.61 × 10 ⁻³	49 / 97
x	5% NaCl / pH = 9 24 h dip. → heating 40 °C 30 min. circ.	6.45 × 10 ⁻³ / 5.35 × 10 ⁻³	53 / 83 Ditto
x	100% ethanol / 24 h dip.	6.00 × 10 ⁻³ / 3.30 × 10 ⁻³	52 / 55
z	4% NaOH 0.5% HCl 20 h dip. → 10 min. circ.	8.33 × 10 ⁻³ / 6.00 × 10 ⁻³	41 / 72

Note: circ.: circulation of cleaning solution through UF
dip.: dipping of UF in cleaning solution

A : 透過係数

ΔP : 差圧

前式は超純水の場合, 時間が経過しフラックスが減少しても成立する。以下のテストは J = 一定 とするための差圧 ΔP を平均操作圧力 \bar{P} として次式で定義し, この値の変動からトラブル原因を究明した。

$$\bar{P} = (P_i + P_o) / 2 - P_p$$

ここに,

P_i : モジュール入口圧力

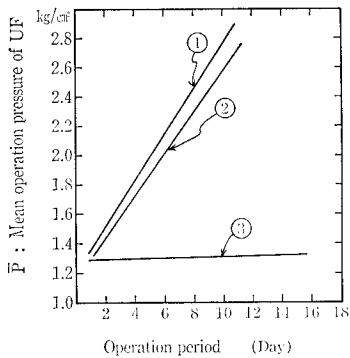
P_o : 濃縮水圧力

P_p : 透過水圧力

第4図に一次~二次純水間の3点においてラボUFモジュールにより前述の \bar{P} の経時変化を調べた結果を示す。第4図に示す一次純水RO出口では \bar{P} の上昇はほとんどなく, それ以降では \bar{P} が通水経過時間とともに急上昇している。この事実より装置からの不純物溶出が予想されたので,

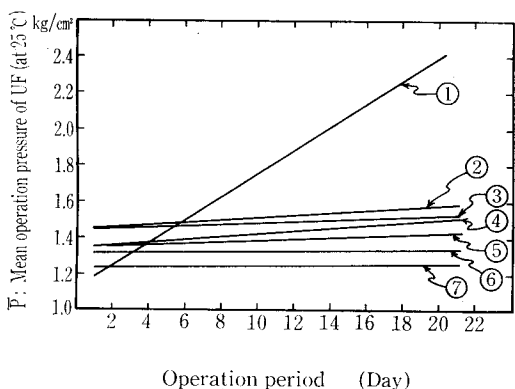
第4表 水質分析表
Table 4 Water analysis

Sampling point	Resistivity MΩ·cm·25 °C	Particle 0.2 μ > : pcs/ml	Live bacteria CFU / ml	TOC mg / ℓ
Test No.41 supply water outlet of pure wr. tank	17.9	2.1 × 10 ²	4	0.3
Ditto	18.2	2.7 × 10 ²	10	—
"No.1 outlet of RO	0.058	8.0 × 10 ²	0	2.4
"No.21 outlet at vacuum deaerator	—	5.5 × 10 ²	1	—
No.31 outlet of MB	16.0	3.4 × 10 ²	16	—
"No.51-55 outlet at polisher	18.2	1.0 × 10 ²	1	0.3
"No.65 x UF permeate	—	2.7 × 10	2	0.5
"No.83 y UF permeate	—	4.1 × 10	1	0.6
"No.91 z UF permeate	—	2.9 × 10	1	0.4
Raw water (City water)	180 μ S/cm	4.6 × 10 ⁴	1	6.6



第4図
UF 供給水採取点と
UF 平均操作圧力の
関係
Fig. 4
Relation of required
UF operation
pressure vs. various
test point of UF

- ① RO permeate→Outlet of vacuum deaerator→Test UF
- ② RO permeate→Outlet→Outlet of mixed bed type ion exchanger→Test UF
- ③ RO permeate→Test UF (Blank)



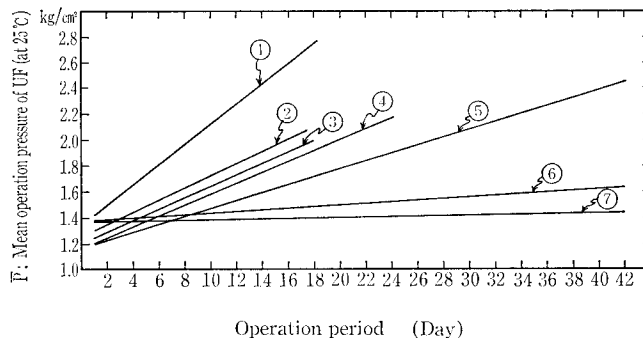
Note: The mean operation pressure of UF to keep constant flux is different at start point in each case. The cause depends on the property of each UF module.

- ① RO permeate→Mixed bed type ion exchange with gel type ion exchange resin [Strongly acidic cation exchange resin + Strongly basic anion exchange resin (II)]→Test UF
- ② Permeate→High quality natural rubber test piece→ UF
- ③ RO permeate→Synthetic rubber test piece→Test UF
- ④ RO permeate→Natural rubber test piece→Test UF
- ⑤ RO permeate→Viton test piece→Test UF
- ⑥ RO permeate→Epoxy coating test piece→Test UF
- ⑦ RO permeate→Test UF (Blank)

第6図 塔槽類ライニング材がUFに与える影響

Fig. 6 Effect to UF operation by extracted substance into pure water from lining materials which were used on the inner face of the towers

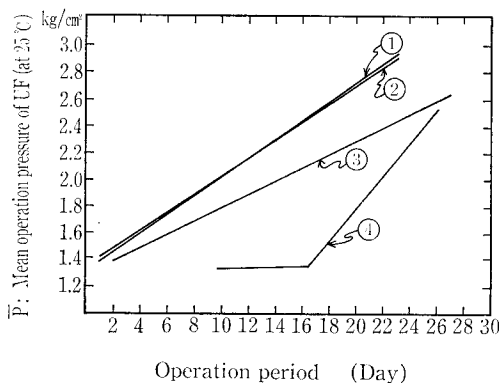
第5, 6図に示すように, イオン交換樹脂ならびに塔槽類ライニング材からの溶出物がUFに与える影響を調べた。その結果, いずれも \bar{P} を上昇させる傾向があることが判明した。この溶出物の物性を確かめるため, 二次純水装置入口において, この不純物の吸着テストを行った結果を第7図に示す。この物質は活性炭には吸着されないがモレキュラーシーブには少量ながら吸着されることが判る。以上のデータおよび他のバックデータから, この物質はイオン交換樹脂あるいはライニング材から超純水により溶出され, 当該UFと極めて電気化学的に親和性が強く, 化学的には除去が困難な物質であると判断した。



- ① RO permeate→Mixed bed type ion exchange with gel type ion exchange resin [Strongly acidic cation exchange resin + Strongly basic anion exchange resin (II)]→Test UF
- ② RO permeate→Mixed bed type ion exchange with gel type ion exchange resin [Strongly acidic cation exchange resin + Strongly basic anion exchange resin (I)]→Test UF
- ③ RO permeate→Mixed bed type ion exchange with macro porous resin [Strongly acidic cation ion exchange resin + Strongly basic anion exchange resin (I)]→Test UF
- ④ RO permeate→Gel type regenerated strongly basic anion exchange resin (I) for nuclear use→Test UF
- ⑤ RO permeate→Mixed bed type ion exchange with macro porous resin [Strongly acidic cation exchange resin + Strongly basic anion exchange resin (II)]→Test UF
- ⑥ RO permeate→Another test sample combination which is equivalent to #①
- ⑦ RO permeate→Test UF (Blank)

第5図 イオン交換樹脂がUFに与える影響

Fig. 5 Effect to UF operation by extracted substance into pure water from ion exchange resin



- ① Primary deionized water→Flake lining test piece→Test UF
- ② Primary deionized water→Test UF
- ③ Primary deionized water→Activated carbon filter→Test UF
- ④ Primary deionized water→Molecular sieve→Test UF

第7図 一次純水出口における吸着材テスト

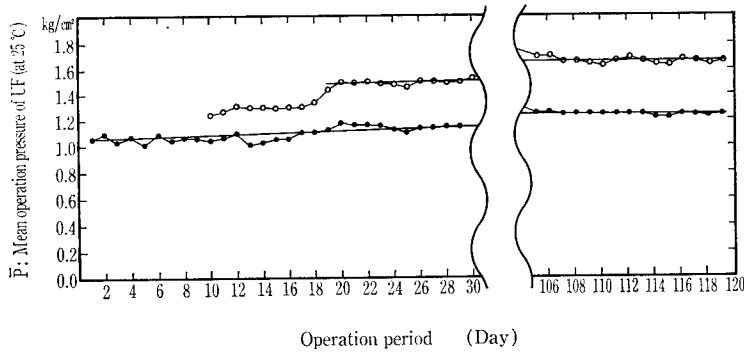
Fig. 7 Effect of absorbable materials at outlet of primary deionized water supply system

3) 対策

以上の調査結果より, UF膜を, その表面チャージが異なるものに変更し, 爾來数年, 問題なく本装置として運転を継続している。変更したUFの長期テスト結果を第8図に示す。

4.2 RO膜の事例

1) トラブル現象

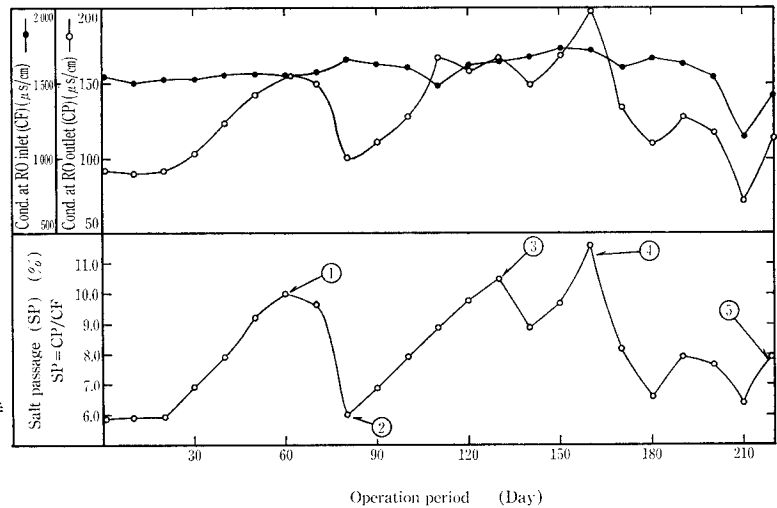


第8図 Z社UFモジュール長期テスト
Fig. 8 Long run test result of a certain

- ① RO modules were exchanged partially.
- ② All RO modules were exchanged.
- ③ Sterilization with formalin.
- ④ Test for super sonic effect.
- ⑤ Chemical test by feeding Na_2SO_3

第9図 脱塩用RO装置における処理水塩濃度の経時変化

Fig. 9 Change of salt passage (%) vs. operation period of RO system for desalination



第3図に示したボイラ給水用かん水脱塩RO装置において運転開始後、数十日を経過すると、次第に塩透過率が上昇し、透過水量も増大した。当該装置は中圧アセテート膜であるが、あたかも一種の低圧RO膜に変化することがとき現象を呈した。その様相を第9図に示す。

2) 原因の究明

次のような諸テストをフィールドとラボで行った。すなわち、テスト項目の内、(1),(8),(10)はフィールドにて実施し、他は、ROモジュールをラボに持ち帰り分析を行った。

テスト項目

- (1) フォルマリンによる殺菌
- (2) フーリエ赤外吸収
- (3) 粘度測定
- (4) 位相差顕微鏡
- (5) SEM
- (6) X線マイクロアナライザ
- (7) メチレンブルー染色テスト
- (8) 還元剤処理
- (9) ガスリークテスト
- (10) 超音波対策テスト

結果としてはRO膜スキン層表面にわずかながら損傷がみられたが、具体的な因果関係は不透明であった。このためFTA法 (Fault Tree Analysis) に準じて、故障原因の分析を行い、また他の事例も踏まえて、重複塩素処理に

よる酸化性劣化と判定した。FTA法の手法に関しては、紙面の都合上、割愛するが詳細は成書⁴⁾を参照されたい。本装置に供給されるかん水は飲料水として、極めて長距離を輸送されており計2回塩素処理をされている。しかし本プラント受入点における残留塩素は分析上ゼロである。

3) 対策

還元剤である亜硫酸ソーダをRO供給水に注入して供給水を酸化性雰囲気から還元性雰囲気に変更した。ただし滅菌のため間欠的に、すなわち適当に数時間0.2~0.4 ppmの塩素注入を行うこととした。さらに膜性能回復のため、膜機能回復薬による膜処理を1~2カ月に一度行い、以来3年以上問題なく運転を継続している。

むすび

膜プロセスは、概して順調に運転される場合が多いが、まれに一見常識的に理解し難い奇妙なトラブルに遭遇することがある。膜分離が分子レベルでの界面反応であるので、膜物性と接触物質との適合性、反応性等が微妙に相互影響するものと予想され、経験工学的要素の重要性を無視できないと考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 木村ら：化学工学, 51, 561 (1987)
- 2) 大矢晴彦監修：「純水・超純水製造法」, 幸書房, 東京, 1985.
- 3) 古賀滋人, 牛越健一：造水技術4, 40 (1978)
- 4) 塩見弘：「故障解析と診断」, 日科技連, 東京, 1982.

ダム貯水池における水質保全対策

Restoration Techniques for Reservoir Management

Recently, aeration/circulation techniques has attracted attention as an effective means to improve water quality of eutrophic impounding reservoirs. Artificial aeration/circulation of reservoirs is commonly used for managing the ecological consequences of eutrophication.

Unlike other techniques that prevent nutrient influx from watershed, aeration / circulation affects nutrient cycling within reservoirs only. Still, it is useful for enhancing water quality by alleviating a variety of problems arising from thermal stratification and deoxygenation of hypolimnion.

This paper presents the restoration techniques for reservoir management and aeration / circulation devices.



環境装置事業部 管理室
石丸 豊
Yutaka Ishimaru

まえがき

わが国の1950年代から1970年代にかけての経済成長は、水需要を激増させその結果、生活排水、工場排水および農業排水などが多量に増加したことから自然の浄化能力を上まわる汚濁負荷が河川や湖沼などに流入し、水質汚濁や富栄養化を引き起した。その後排水規制が強化されたが、水の循環や交換の悪い貯水池・湖沼などの閉鎖性水域では、ほとんど改善がみられないままである。このような状況をふまえ、国は従来の水質汚濁防止法の枠を超えた総合的な法制度である湖沼水質保全特別措置法（湖沼法）を1984年7月に制定し、さらに湖沼法に基づき1987年の1月と3月には指定湖沼（琵琶湖、霞ヶ浦、児島湖、印旛沼および手賀沼）に係る湖沼水質保全計画を策定した。

このように湖沼の水質保全に対する関心は高まるとともに、具体的な対応がとられつつある。

一方、近年の経済の低成長にもかかわらず、多目的ダムの建設は水質源の確保、国土の保全という国の施策の根幹のため、これまで約280にのぼるダムが完成し、現在300を超えるダムを建設中である。

このような情勢のなか、湖沼、ダム貯水池および海洋における水質保全装置のニーズは、益々増大するであろう。そこで本稿では、貯水池などの水質保全を図るために考えられる技術および装置、特に曝気、循環装置について述べることにする。

1. 貯水池の富栄養化

富栄養化とは、本来、陸水学における自然湖沼の遷移系列上の漸進的変化に対応する現象である。すなわち、生物生産性の低い貧栄養湖が、生物生産性の高い富栄養湖に移り変わっていくまでのプロセスをさすものである。

自然湖沼におけるこのような遷移速度は非常に遅く、数百年から数千年の年月がかかるが、近年人間による生産活動域の拡大化により、湖沼内に流入する栄養塩濃度が、急速に増加した湖沼が多い。このような湖沼では、自然の状態よりきわめて早い速度で栄養塩濃度が増加し、植物プランクトンの大増殖が起こるようになった。この現象も富栄養化とよぶが、全く自然要因による富栄養化と区別するために、人為的富栄養化ともよばれている。現在われわれが問題とする富栄養化は、ほとんどが人為的富栄養化であるといつてよい。¹⁾

ここで、改めて富栄養化を定義すれば、「水域において栄養塩類（植物プランクトンや水生植物の栄養源となる、リン、窒素、炭素などが増加し、藻類の現存量を高め、生態系の構成状態と代謝が、量的・質的に急速に変って行くこと」となる。

このような「富栄養化」は、ダム貯水池（以下貯水池と称す）についても例外ではなく、最近では、流域の開発が進んだ、あるいは周辺の人口が増加した貯水池において、リン、窒素などの栄養塩類が流入し、それらが滞留蓄積した結果、水の華や淡水赤潮などの植物プランクトンの異常増殖現象がおり、水質悪化による諸問題が多く発生する原因となっている。²⁾

これらの問題の発生は、貯水池内の物理的、水質的条件と生態系が複雑に関係しており、一概に言えないが、夏期において水域に温度躍層が形成される成層型の貯水池では顕著である。この成層型の貯水池では、太陽エネルギーによる表層の水温上昇により温度躍層が形成されると、上下の水の対流・混合が妨げられ、貯水が停滞し、表層では植物プランクトンが大量増殖する。また底層では、表層から沈降してくる植物プランクトンが分解のために酸素を消費することから還元状態となり、鉄、マンガン、アンモニア性窒素などとともに栄養塩が溶出してくる。これが貯水池の循環期、すなわち秋から冬期にかけて外気温とともに表層水温も低下し自然対流が起こる時期になると水域全体に拡散する。これらの現象のくり返しにより貯水池の富栄養化は急速に進行し、第1図に示すようなメカニズムで水質悪化による諸問題を発生させることになる。

2. 貯水池の水質保全対策

富栄養化を制御し貯水池の水質保全を図る対策として、汚濁発生負荷源を対象とする流域対策と、貯水池の中で行う貯水池内対策とに分けることができる。現在考えられている水質保全対策の主な手法を示す。³⁾

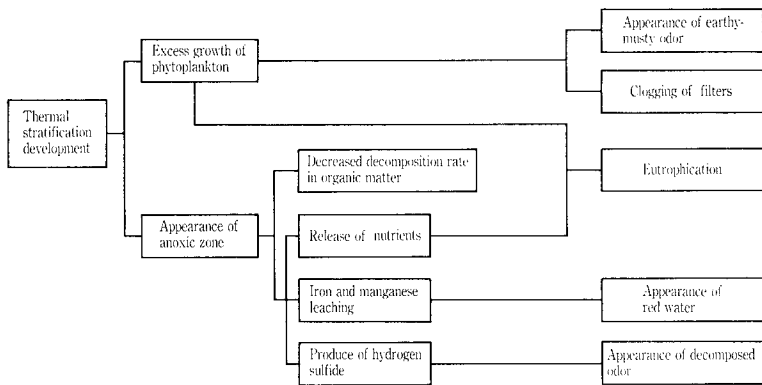
2.1 流域対策

1) 排水処理

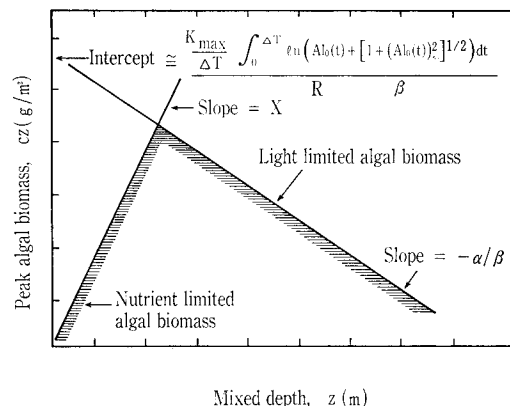
都市下水、工業排水を高度処理して水域への栄養塩負荷を減少させる。

2) 土地利用の制限

直接的、間接的な汚濁の可能性やその影響を限定するための土地利用の制限



第1図 貯水池における水質悪化のメカニズム
Fig. 1 Mechanism of impounded water pollution



第2図 混合される水深と最大プランクトン濃度との関係図
Fig. 2 Generalized plot of peak algal biomass as a function of mixed depth for both nutrient and light limitations.

3) 工業製品の改善

洗剤の無リン化やリン代替品の開発（滋賀県などで実施）

4) 流路転換

流入する高栄養塩類濃度河川の流路を変更して、貯水池の集水域外へ流す。

5) 流入水処理

溶存性栄養塩類（主にリン）の除去。流入水に対するエアレーション。生物学的収穫（ホテイアオイなどの養殖）

2.2 貯水池内対策

1) しゅんせつ

栄養塩類を含む湖底をしゅんせつすることにより栄養塩類の溶出や回帰を減少させる。

2) 栄養塩類の不活性化

凝集剤や吸着剤を用いて池内の栄養塩を不活性化、沈殿分離する。

3) 選択放流, 選択取水

底層部の栄養塩類に富んだ水の放流や良質の層からの取水を行う。

4) 物理的制御

植物プランクトンの除去および水生植物、魚の収穫

5) 化学的制御

殺藻剤（硫酸銅など）の散布による殺藻

6) 底泥処理

薬品（アルミニウム、ジルコニウム塩）やフライアッシュの底泥表面上への散布により栄養塩類の溶出を押える。

7) 曝気および循環

全層曝気は温度躍層をなくし、貯水池全体を循環させることにより底層部の溶存酸素量を増加させる。また深層曝気は温度躍層を破壊させることなしに底層部の溶存酸素状態を改善する。

以上述べたような各対策手法があるが、水質保全対策として流域対策を実施することが最も効果的で抜本的である。

しかしながら既に富栄養化した貯水池をある程度良好に

保つためには、対症療法的対策すなわち貯水池内対策も重要である。なかでも曝気および循環は、コスト、時間、無害性の点から多く採用され成果をあげている。次にその曝気および循環法について詳しく述べる。

3. 貯水池の曝気および循環

現在の曝気および循環法は、その目的、機能より3つに大別される。

1) 全層曝気循環法（特長）

- 温度躍層を破壊
- 底層部のDO増加と栄養塩類, Fe, Mn の溶出防止
- 植物プランクトンの増殖抑制, 臭気防除

2) 深層曝気（特長）

- 温度躍層は破壊せず
- 底層部のDO増加と栄養塩類, Fe, Mn の溶出防止
- 冷水魚の増殖, かんがい用水表水温度の低下防止

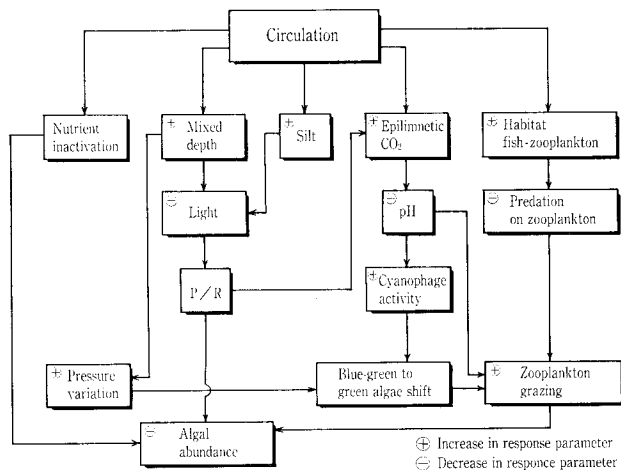
3) 2層分離曝気循環法（特長）

- 表層部と底層部の両方を曝気循環させる
- 1) 2) 両法の特長を発揮する。

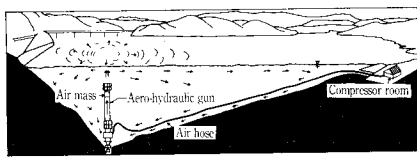
3.1 全層曝気循環法

本方式は、貯水池全体を混合攪拌するために温度躍層がなくなり、表層と底層の温度差はほとんどなくなることから成層破壊法（Destratification）とも言われる。本方式はポンプまたはエアリフトでもって無酸素状態の底層水を揚水し、表層部の酸素が十分な水と混合させることにより酸素供給も行う。この方式の特長は、底層への酸素供給による底層水の水質改善のみならず、植物プランクトンの増殖抑制に有効なことである。

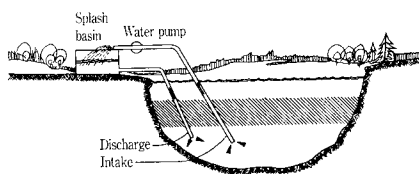
植物プランクトンの増殖は、光合成と呼吸との差によって決まる。したがって植物プランクトンがある程度増殖すると、植物プランクトン自身の光しゃへい効果により、ある深さより深くなると、栄養塩濃度より光強度が増殖の制限要因となる。そして呼吸と光合成とのバランスがとれると、単位面積当たりの植物プランクトン増殖量はある一定値で制限される。光によって制限された最大プランクトン増殖量と、湖水が混合される水深との関係を第2図に示す。



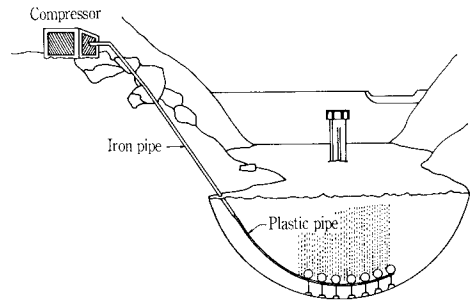
第3図 循環による植物プランクトンへの影響
Fig. 3 Beneficial effects of artificial circulation on phytoplankton



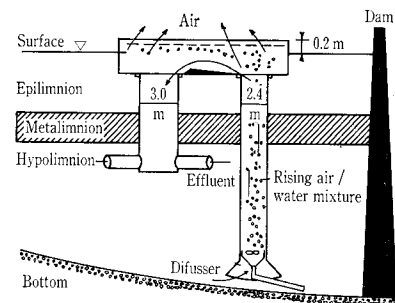
第5図 全層曝気装置（間欠空気揚水筒型）
Fig. 5 Intermittent aero-hydraulics gun type



第6図 深層曝気装置（ポンプ揚水型、スイス）
Fig. 6 Mechanical aeration system of hypolimnion aeration from Lake Bret, Switzerland (Mercier and Perret, 1949; Mercier and Gay, 1954; Mercier, 1955).



第4図 全層曝気装置（多孔パイプ型、米国）
Fig. 4 Destratification system installed at El Capitan reservoir, California.



第7図 深層曝気装置（エアリフト型、西ドイツ）
Fig. 7 A full air lift, hypolimnetic aerator used in Wahnbach Reservoir, West Germany (Bernhardt, 1974)

混合される水深が大きいくほど、最大増殖量は光に制限されて減少する。すなわち貯水池の人工的混合により植物プランクトン生産量を低下させることができる。⁴⁾

また循環により藍藻類の増殖が抑制され、緑藻類や珪藻類に移行する事例は報告されている。（第3図参照）⁵⁾

当社における全層曝気の実施例（大阪府滝畑ダム）においては淡水赤潮の原因となる渦鞭毛藻類の *Peridinium bipes* が優占種であったが、循環によって急速に減少し珪藻類に移行した。（第1表参照）

代表的な全層曝気装置として多孔パイプ型（第4図）と間欠空気揚水筒型（第5図）があるが、効率的には後者が優れておりわが国においては最も多く採用されている。

3.2 深層曝気法

深層曝気法は、スイスの湖で1949年初めて実施され、その後、主に欧米で発展してきた。本法は温度躍層を破壊させず底層部に酸素を供給する方法である。このため生態系に大きな影響を与えず、かつ冷水魚の増殖に効果があるため欧米のニーズ（釣りなどのレクリエーション）に適合している。わが国において稼動している深層曝気装置は実験装置を含めて現在2カ所ある。一庫ダムは、実用装置が稼動している唯一の貯水池であり、ここでは常用洪水吐から放流する際の硫化水素臭の発臭防止のために設置され1984年より運転を開始している。本装置は、西ドイツの Wahnbach 貯水池に設置された深層曝気装置（第7図）と同型

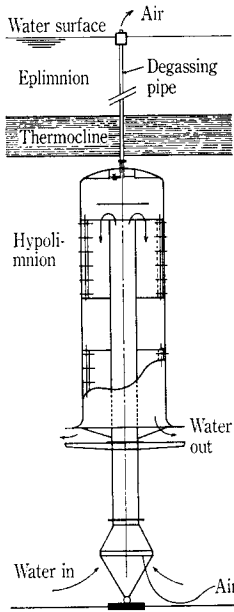
第1表 滝畑ダムにおける優占種の推移

Table 1 Dominant species in Takihata reservoir
Sampling point: Surface at damsite

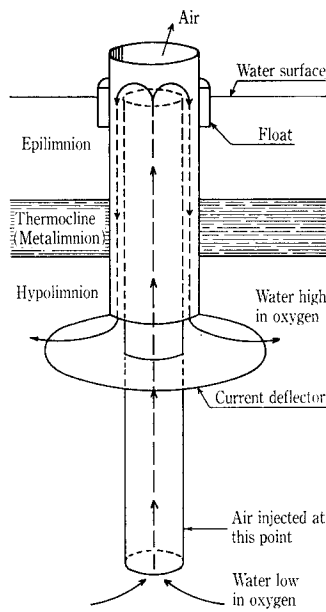
Date	Ranking	Dominant species	cells per ml
1986. 3. 14 Before aeration/ circulation	1	<i>Peridinium bipes</i>	454
	2	<i>Asterionella formosa</i>	348
	3	<i>Synedra acus</i>	33
1987. 2. 19 eleven months later	1	<i>Melosira italica</i>	908
	2	<i>Peridinium bipes</i>	53
	3	<i>Melosira distans</i>	12
1987. 9. 1	1	<i>Synedra acus</i>	274
	2	<i>Melosira distans</i>	167
	3	<i>Melosira granulata</i>	40

note: start of operation, 1987. 3. 15

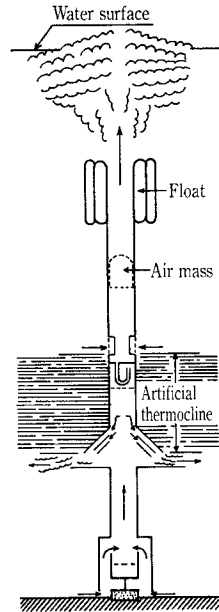
である。もう1カ所は、実験装置規模（揚水量 170 m³/h）で当社が納入した神戸市千苅貯水池である。本装置も Wahnbach と同型式であるが、1986年度の実験における底層部水質改善効果の確認を得て実用装置を1988年3月、設置される予定である。この神戸市千苅貯水池は、有効貯水量 1161 万トンの水道専用貯水池であり日本最初のカビ臭発生の報告がなされた貯水池として有名である。本貯水池では選択取水が可能であり、あえて全層曝気をせず底層部の水質改善を目的とする深層曝気法が採用された。また実用装置の構造は、当社が開発した新しい深層曝気装置が予定されている。（第8図参照）この装置は Fast によって実施された装置（第9図）に改良を加え、水面上に浮かぶ



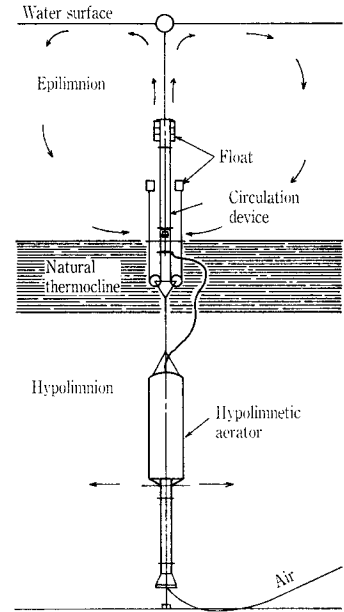
第8図
 深層曝気装置（水没式エアリフト型）
Fig. 8
 Hypolimnetic aerator used in Sengari Reservoir, Japan (1988)



第9図
 深層曝気装置（エアリフト型，米国）
Fig. 9
 A full air lift, hypolimnetic aerator used in Hemlock Lake, Michigan (Fast, 1971).



第10図
 2層分離曝気循環装置（人工躍層型）
Fig. 10
 Two-layer separated type aerator



第11図
 2層分離曝気循環装置（自然躍層型）
Fig. 11
 Two-layer separated type aerator

台船や装置頂部をなくすべく水没化を図り、景観や船の航行に支障がない構造となっている。このような型式のものは本邦では初めてで注目されている。今後、運転結果も含めて機会があれば詳細報告する予定である。

3.2 2層分離曝気循環法

本法は、全層曝気循環と深層曝気それぞれの特長を發揮するために考案されたものである。⁶⁾ 全層曝気は、貯水池全体を攪拌するため流入する濁水の沈降を阻害したり、底層部の水温は表層部とかわらなくなるため冷水魚の生存を脅かすなどの問題がある。一方、深層曝気には植物プランクトンの増殖抑制力はない。しかしながら両装置を組合せ、表層部では全層曝気循環、底層部では深層曝気を同時に行えば両者の特長が生かせる。また表層部の全層曝気装置への空気供給は、深層曝気装置よりの余剰空気が活用できるため非常に合理的である。

本法には、全層曝気と深層曝気装置とが一体構造をなし各々の吹込、吐出口の位置により人工躍層を形成させる方式（第10図）と、自然の温度躍層に重点をおき水位変動に対応させる分離方式（第11図）とがある。いずれの方式も実施例はないが、当社において水槽による水理実験、数値シミュレーションによる検討が行われており、実用化も近いものと思われる。

むすび

貯水池の水質保全対策として主に曝気・循環法について解説してきたが、それらの手法の選択は対象となる貯水池の特性に応じて検討する必要がある。曝気・循環法は富栄養化した貯水池への対症療法的手法である。本来水質保全は総合的な見地から対策を講ずるべきであり、流域対策が抜本的対策であることはいうまでもない。しかしながら総

合的な対策は関係各官庁のアロケーション問題にも関係し湖沼法における「湖沼水質保全計画」のような対策をすべての問題湖沼に講じ、また実施するにはまだ時間が必要である。一方、その間も貯水池の富栄養化は進行しており、ダム・貯水池の管理者にとって水質保全を図るには曝気・循環法が取りうるべき最善の対策の一つであると考えられる。ここに本稿が、ダム・貯水池の管理者各位の参考になれば幸いである。

また当社は、曝気・循環法のみならず、水処理の総合エンジニアリング会社として排水や汚濁河川水の脱窒・脱リン技術も有するため、流域から貯水池までの水質保全技術に関し、さらに研究開発を進め豊かな水環境を守るため努力してゆく所存である。

【参考文献】

- 1) 岡田光正ほか：微生物による環境制御管理技術 マニュアル (1983) 第6部第1章、環境技術研究協会
- 2) 藤本成、森北佳昭：第19回ダム技術講演討論会テキスト (1987) ダム貯水池における水質現象とその対策、(社)日本ダム会議
- 3) Russel C. Dunst et al: Lake Rehabilitation Techniques and Experiences, Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. (1974)
- 4) M. Lorenzen and A. Fast: A Guide of Aeration/Circulation Techniques for Lake Management, EPA-600/3-77-004, (1977)
- 5) R.A. Pastorok, T.C. Ginn and M.W. Lorenzen: Evaluation of Aeration/Circulation as a Lake Restoration Technique, EPA-600/3-81-014, (1981)
- 6) 小島貞男：産業公害、富栄養化対策としての湖水強制循環法, Vol. 18, No. 9 (1982), p. 73~74
 ・神鋼ファウドラ―技報, Vol. 29, No. 1 (1985), p. 39.
 ・公害と対策, 特集/湖沼水質保全への取組み, Vol. 23, No. 9 (1987)

物質収支計算用パソコン・ソフト「^{ワイ タ ッ プ シ ャ マ}YTAP-Σ」

Material Balance Calculating System "YTAP-Σ"

Material balance calculation is indispensable to the engineering/design work of water treatment facilities. Shinko-Pfaudler has developed for personal computers a new system "YTAP-Σ" which enables such calculation quickly and pricesely.

Furthermore, the system can perform case study in determining the most advantageous process for each design basis and forecast the result in the wake of fluctuations in quality/quantity of influent water.



(環)技術部 計画第3課
山田 章
Akira Yamada
田中 葉子
Yoko Tanaka

まえがき

水処理は多種多様である。下水・工場廃水の処理、純水・超純水や上水・用水の供給、さらには、汚泥の処理などがあり、また除去対象別にみると、重金属、SS、BOD、油分、イオン、N・P、菌類……の除去など、バラエティーに富んでいる。

従って、水処理設備もまた多岐にわたる。薬注、沈殿、上浮分離、沝過、濃縮、イオン交換、RO、活性汚泥、接触酸化、嫌気性消化、脱水、脱臭などである。

一般に、水処理プラントはこれら個々の設備（以下、「単位操作」と呼ぶ。）の組合せであり、入口と出口の水量・水質を与える、もしくは仮定することにより「単位操作」が選択され、同時に処理順序（以下、「フロー」と呼び、「単位操作」と「フロー」を合わせて以下、「プロセス」と呼ぶ。）が決められる。

当社ではここ数年、パソコンを用いた水処理エンジニアリング用のソフト開発に取り組んでいるが、それはプロセスを組み立てる過程で避けられない次のような問題点を、パソコンが有する機能をフルに活用して解決することを目的としている。第1の問題点は、水処理設備の多様性に起因するシステムの多様化である。すなわち

- (1) 特定の「プロセス」を予め決めてシステム化すると、「単位操作」の多様な組合せに対する選択の柔軟性に欠ける。
- (2) 「単位操作」だけのシステム化であれば、標準的な「プロセス」に至るまでその都度人手を介する必要がある、かつ、統合的なシステム化に進展せず、拡張性に欠ける。

という相反する問題である。

例えば、ある設計条件の下で最適な「単位操作」群および「フロー」を決めるとき、(1)の場合であれば似かよった「プロセス」を事前に幾種類か用意しておく必要があり、また、その範囲内でのケース・スタディーに限定される。(2)の場合は、任意の「プロセス」での試行が可能であるが、(1)に比して多くの時間と労力が必要になる。

第2の問題点として、水処理プラントでは多くの場合、ある「単位操作」からの戻水が系内の循環水として取扱われ、このため、水量・水質の算出時に、繰返し計算が行われているが、計算打切時の初期条件と計算結果の誤差許容

範囲は、「プロセス」毎に考慮しなければならない、ということが挙げられる。

これらの問題点を解決すべく、このたび多種類の「プロセス」に汎用的に応用でき、かつ繰返し計算を排した物質収支計算用ソフト「^{ワイ タ ッ プ シ ャ マ}YTAP-Σ」を開発した。次にその概要と特長、仕様および機能、適用例を述べる。

1. 概要と特長

1.1 概要

第1図に示す、1つの「単位操作」Xから成る「プロセス」において、次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 - Q_2 - Q_3 &= 0 \\ S_1 - S_2 - S_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Q_1, Q_2, Q_3 : 流量 [$L^3 T^{-1}$]

S_1, S_2, S_3 : 含有成分重量 [$K^1 T^{-1}$]

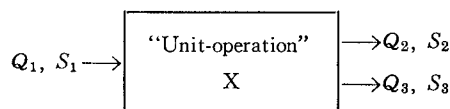
(ただし「単位操作」への「入」をプラス、「単位操作」からの「出」をマイナスとした。)

6つの独立変数 ($Q_1, Q_2, Q_3, S_1, S_2, S_3$) に対して(1)式以外に4つの方程式を与えることが、解を得るための必要条件である。なお、水処理の「プロセス」では Q, S と同様に、 C (含有成分濃度 [$K^1 L^{-3}$] = S/Q) がよく用いられる。

いま例として、「単位操作」Xが「沈殿装置」である場合を考える。 Q, S, C の各添字は、それぞれ

- 添字1 …… 沈殿池への流入
- 添字2 …… 沈殿池からの越流
- 添字3 …… 沈殿池からの引抜

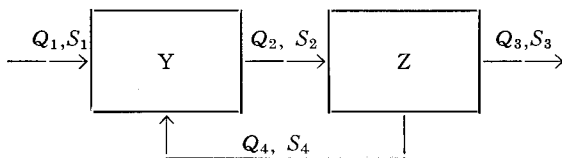
を表わすこととし、流入水量 $Q_1 = q_1$ 、流入SS量 $S_1 = s_1$ 、越流SS濃度 $C_2 = c_2$ 、引抜SS濃度 $C_3 = c_3$ が既知であると仮定すると、連立一次方程式



第1図 1つの「単位操作」から成るプロセス
Fig. 1 Process with one "Unit-operation"

ワイ タップ シグマ
第 1 表 「YTAP-Σ」の仕様
Table 1 Specification of "YTAP-Σ"

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
Extension device	Mouse
Specification of software	
Number of "Unit-operations"	max 50
Number of "Connections" between "Unit-operations"	max 52
Number of "Ports" from each "Unit-operation"	max 5
Number of "Ports" to each "Unit-operation"	max 5
Number of check items to be calculated at one time	max 6



第 2 図 2つの「単位操作」から成るプロセス
Fig. 2 Process with two "Unit-operations"

$Ax = b$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ q_1 \\ s_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし、 A : 係数の行列
 x : 未知数の列ベクトル
 b : 定数項の列ベクトル

が与えられ、これを解くことにより、 Q_2, Q_3, S_2, S_3 を得る。

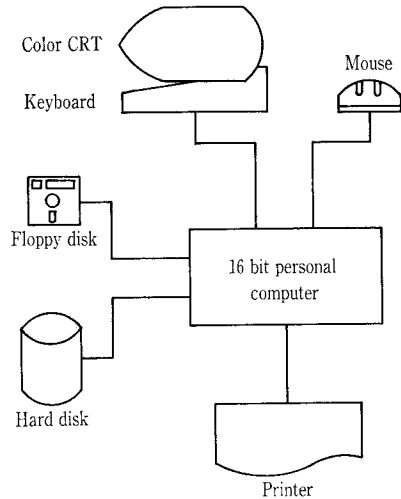
次に、第2図に示す、2つの「単位操作」Y、Zから成る「プロセス」を考える。「単位操作」Yのみに着目した場合、(Xにおける Q_1)→(Yにおける Q_1)、以下同様に、 $Q_2 \rightarrow Q_2, Q_3 \rightarrow -Q_4, S_1 \rightarrow S_1, S_2 \rightarrow S_2, S_3 \rightarrow -S_4$ の置換えを行うと、YはXの場合と同様に計算できる。(Zも同様。)[「単位操作」YおよびZをまとめて、

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

が得られる。「単位操作」の数が3つ以上の場合も同様に計算できる。

以上より一般に、

- (1) ある「単位操作」から、別の「単位操作」へ、
- (2) 「プロセス」の範囲(以下「系」と呼ぶ。)外から、



第 3 図 ハードウェア構成図
Fig. 3 Hardware configuration

ある「単位操作」へ、
 (3) ある「単位操作」から、「系」外へ、
 の各「フロー」(以下「連結」と呼ぶ。)の数を n 、「単位操作」の数を i とすると、生成される連立一次方程式は、次のとおりである。

$Ax = b$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} & a_{1n+1} & \dots & a_{12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{in} & a_{in+1} & \dots & a_{i2n} \\ a_{i+11} & \dots & a_{i+1n} & a_{i+1n+1} & \dots & a_{i+12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{2i1} & \dots & a_{2in} & a_{2in+1} & \dots & a_{2i2n} \\ a_{2i+11} & \dots & a_{2i+1n} & a_{2i+1n+1} & \dots & a_{2i+12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{2n1} & \dots & a_{2nn} & a_{2nn+1} & \dots & a_{2n2n} \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \\ S_1 \\ \vdots \\ S_n \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \\ b_{i+1} \\ \vdots \\ b_{2i} \\ \vdots \\ b_{2n} \end{pmatrix} \quad (4)$$

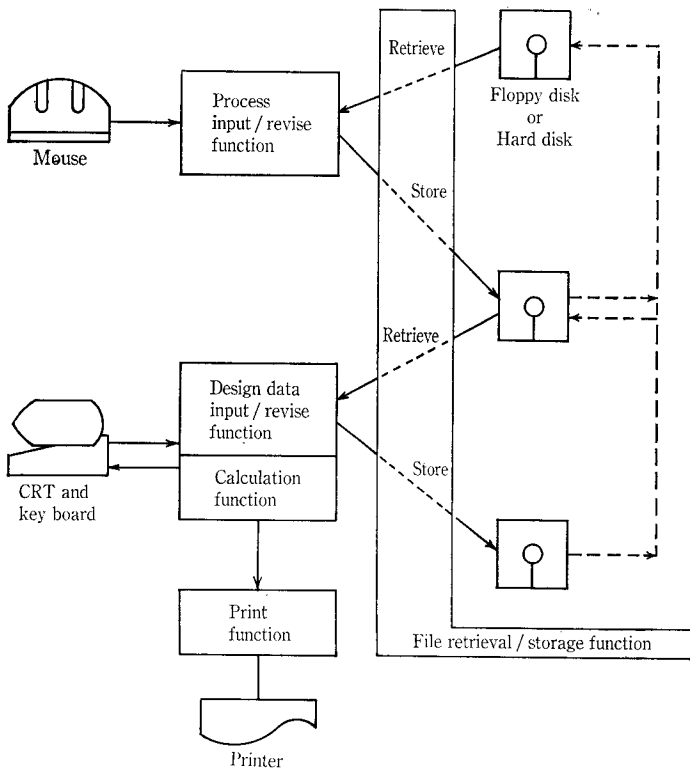
ただし、 a, b は、それぞれ行列 A 、ベクトル b の各成分を表わす。特に、行の置換えにより、

$$\text{部分行列 } A_1 = \begin{pmatrix} a_{1n+1} & \dots & a_{12n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{in+1} & \dots & a_{i2n} \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} a_{i+11} & \dots & a_{i+1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{2i1} & \dots & a_{2in} \end{pmatrix},$$

$$\text{部分ベクトル } b_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \end{pmatrix}, \quad b_2 = \begin{pmatrix} b_{i+1} \\ \vdots \\ b_{2i} \end{pmatrix}$$

の各成分を0とすることができる。(2*i*+1)行以下の各成分は、既知の数あるいは未知数間の関係式(両者をまとめて以下「設計データ」と呼ぶ。)を付加する。ただしこの場合、未知数間には、直線的な関係が存在する、あるいは、直線的に近似できることが前提となる。(4)式において $|A| \neq 0$ ならば、 $Ax = b$ はただ1組の解を持つ。

なお、以上の計算では、含有成分が1種類(前述の例では“S”)の場合を考えたが、例えばSSとBODを同時に計算するなど、含有成分が2種類以上の場合も同様に計算



ワイ タップ シグマ
第4図 「YTAP-S」の機能図
Fig. 4 Functions of "YTAP-S"

することができる。

このようにして、いかなる「プロセス」に対しても、繰返し計算することなく、同一の手順にて物質収支計算ができる。

1.2 特長

ワイ タップ シグマ
「YTAP-S」の特長をつぎに掲げる。

- (1) パソコンを利用した、
 - ・物質収支計算システム
 - ・水処理プロセス最適設計システム
 が経済的に構築できる。
- (2) パソコンを利用した、既設水処理設備の水量・水質変動時のシミュレーションが容易にできる。
- (3) OSとしてMS-DOSを採用しているので、データファイルは、他のMS-DOS上のソフトと共有できる。
- (4) パソコン操作の簡素化およびメッセージの充実化により、当事者自らが簡単に操作できる。

2. 仕様および機能

2.1 「YTAP-S」の仕様

ワイ タップ シグマ
「YTAP-S」の仕様（適用範囲）およびハードウェア構成をそれぞれ第1表、第3図に示す。パソコンはNEC製PC-9800シリーズを採用した。CRTは640×400ドットのカラーCRTを、また、プリンターは漢字プリンターを採用した。外部記憶装置は、フロッピー・ディスクとハード・ディスクの両者を採用しているが、信頼性と入出力速度の点から、ハード・ディスクを優先している。また、

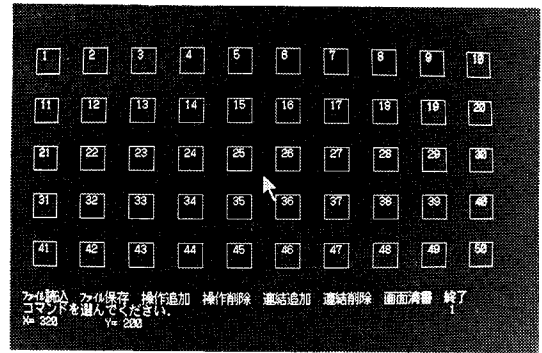


写真1 「プロセス」入力用初期画面
Photo. 1 Initial screen for "Process" input

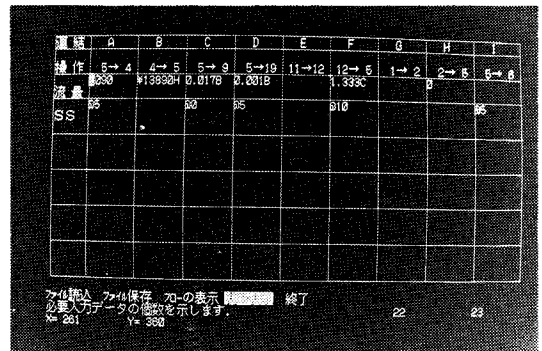


写真2 「設計データ」入力例
Photo. 2 "Design data" input example

特に操作の機能性を考慮し、「プロセス」入力/変更用デバイスとしてマウスを採用した。

2.2 「YTAP-S」の機能

ワイ タップ シグマ
「YTAP-S」の機能図を第4図に示す。以下、実際の作業手順に従い、各機能の概略を紹介する。

2.2.1 「プロセス」入力/変更機能

「プロセス」入力用の初期画面（写真1）では、画面上に表示されるメッセージに従い、コマンドを選択することができる。「単位操作追加」コマンドの選択により、「単位操作」を任意の位置に配置する。次に、「連結追加」コマンドを選択し、どの「単位操作」から、どの「単位操作」に対して「連結」するかを指示することにより、「プロセス」を画面上で作成する。「単位操作」、「連結」の削除も、ワンタッチで行えるよう配慮した。

以上の「プロセス」入力/変更は、すべてマウスを使用しながら、必要最小限の操作で行い、また画面上で視覚的に確認しながら作業を進めていくことができるので、短時間でかつ正確な操作が期待できる。

2.2.2 「設計データ」入力機能

「設計データ」入力用画面は、写真2に示すとおり、物質収支表のフォームとした。同画面にて、既知の流量・水質および未知のそれらの関係式を入力する。既知の水質に関しては、含有成分重量 $S(\text{kg-SS/h})$ などもしくは含有成分濃度 $C(\text{mg-SS/l})$ などのどちらでも入力が可能である。

関係式の入力は、

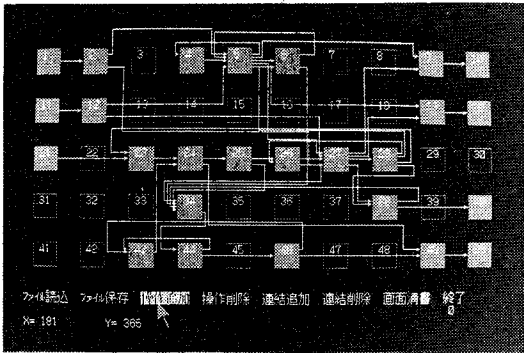


写真3 「プロセス」入力例
Photo. 3 "Process" input example

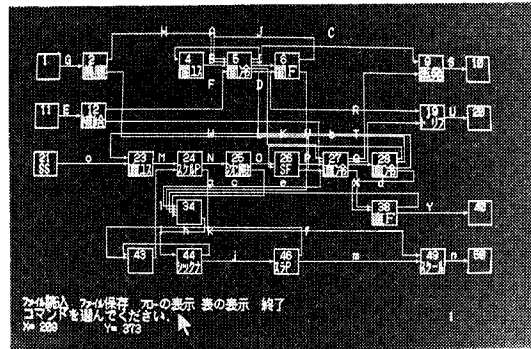


写真4 「プロセス」出力例
Photo. 4 "Process" output example

- (1) 流量比率..... $Q_j = \alpha \cdot Q_k$ ($j \neq k$)
- (2) 含有成分重量比率..... $S_j = \alpha' \cdot S_k$ ($j \neq k$)
- (3) 対含有成分重量流量比率..... $Q_j = \alpha'' \cdot S_k$
(j, k は「連結」の識別子, $\alpha, \alpha', \alpha''$ は比例定数)

など多種類の方法で行うことができる。

2.2.3 計算機能

2.2.1および2.2.2にて入力済の「プロセス」,「設計データ」に基き,(4)式の連立方程式を生成し,これを解く。なお(4)式において $|A|=0$ ならば $Ax=b$ は特定の解を持たない。計算はまず $|A| \neq 0$ をチェックする。解を持たない場合は,直ちにその旨のメッセージが表示されるので,「設計データ」修正後再計算させることができる。方程式の解法はCramer法による。ただし,演算速度を上げるためのロジックを付加した。また,計算が開始されるとともに,計算終了時刻が予測できるよう,メッセージを工夫した。計算結果は,「設計データ」の入力画面上に表形式で表示される。

2.2.4 プリント出力機能

計算終了後,必要によりその結果を表形式で漢字プリンター上に印字することができる。この表と「プロセス」図を重ねれば,物質収支図が完成する。また,計算途中において,計算される流量や含有成分重量/濃度を逐一印字させることもできる。

2.2.5 ファイル入出力機能

2.2.1にて入力された「プロセス」や2.2.2にて入力された「設計データ」は,ファイル入出力機能により,MS-DOSのテキスト・ファイルとして,フロッピー・ディスクやハード・ディスクの外部記憶媒体上に出力することができる。標準「プロセス」や入力時の中間結果を保存しておくことにより,以下のメリットがある。

- (1) 標準「プロセス」を利用することにより,再入力の手間が省ける。
- (2) 標準「プロセス」の修正利用により,多種類の「プロセス」に柔軟に対応できる。
- (3) 「設計データ」の修正利用により,同一「プロセス」での,水量・水質変動/変更時のシミュレーションが容易にできる。
- (4) 入力作業中,随時に中断/再開することができる。
- (5) 「プロセス」,「設計データ」をMS-DOSのテキスト・ファイルとして保存できるので,実績データの

蓄積・検索・再利用や,他のMS-DOS上のシステムでの活用が容易にできる。

3. 適用例

「Y T A P-Σ」は既に,下水処理,工場廃水処理,ゴミ浸出水処理,純水製造など数種類の「プロセス」に適用されており,いずれも満足な結果を得ている。一例として,「Y T A P-Σ」による鉄鋼業向戻水処理「プロセス」の物質収支計算結果を以下に紹介する。

3.1 鉄鋼戻水処理「プロセス」の概要

同「プロセス」では,加熱炉冷却水などのスケールが混入しない間接冷却系冷却水の処理と,ロール冷却水などのスケールが混入する直接冷却系冷却水の処理の2つの循環から成る。間接系の処理は,冷却塔による循環水冷却およびろ過器による集塵SSの除去が主である。また,直接系の処理は,スケール・ピットによるスケールの沈降分離,傾斜管付沈殿槽および超高速ろ過器による微細スケールの除去,冷却塔による循環水冷却などである。各々のろ過器の逆洗排水および沈殿槽引扱スラッジは,スラッジ・シクナーとスラッジ・ピットにて濃縮され,微細スケールスラッジとして,スケール・ピットの粗スケールとともに「系」外に搬出される。「プロセス」設計時には,これら循環水の流量および水質を加味しなければならない。

3.2 「Y T A P-Σ」による鉄鋼戻水「プロセス」物質収支計算

まず「プロセス」入力用の初期画面(写真1)を利用して,「単位操作」および「フロー」を入力する。「単位操作」は,間接系では冷却塔とろ過器,直接系ではスケール・ピット,沈殿槽,超高速ろ過器(SF),冷却塔があり,またスラッジ処理としてスラッジ・シクナーとスラッジ・ピットがある。「系」外からの流入として,直接系におけるスケールの混入,両方の系における集塵SSと補給水(工業用水)があり,また「系」外への流出として,両方の系における蒸発水,冷却塔での飛散水(ドリフト),放流水,搬出スケールがある。それぞれを「単位操作」として入力する。なお間接系,直接系のそれぞれのユース・ポイントもここでは「単位操作」として取扱う。

次に,それら「単位操作」間の「連結」をインプットすると「プロセス」入力が終了する(写真3)。ファイル入出力機能を利用して今入力した「プロセス」を保存する。

名称	(間)32℃	(間)42℃	(間)蒸発	(間)トリタ	用水計	(間)用水	集塵S
連結	A	B	C	D	E	F	G
操作	5→4	4→5	5→9	5→19	11→12	12→5	1→
流量	*2090 2090	*¥13890H 2090	*0.017B 35.530	*0.001B 2.090	105.330	*1.333C 47.362	0
SS	*#5 5.000 10.450	5.000 10.450	*#0 0	*#5 5.000 0.01045	10.000 1.053	*#10 10.000 0.47362	By 0.

名称	(間)F→冷	(間)F→	(直)32℃	(直)42℃	及びF→出	S F 入	S
連結	J	K	L	M	N	O	
操作	6→5	5→27	28→23	23→24	24→25	25→26	26→
流量	*I 141.231	9.741	*2695 2695	2695	2740	*P 2728	*¥13
SS	*#1 1.00000 0.14123	*#5 5.000 0.04871	*#10 10.000 26.950	*1000 371.058 1000	55.239 151.351	*#40 40.000 109.118	*#10 10. 27.

名称	蒸発計	(直)トリタ	トリタ計	(直)用水	(直)集塵S	(直)冷→F	放流
連結	S	T	U	V	W	X	Y
操作	9→10	27→19	19→20	12→27	2→27	27→38	38→40
流量	81.905	*0.001P 2.728	4.818	*1.25R 57.969	0	18.358	18.358
SS	0	*#10 10.000 0.02728	7.831 0.03773	*#10 10.000 0.57969	By Zero 0.19640	43.879 0.80551	*#5 5.000 0.09179

名称	(間)F逆用	(間)逆排	(直)逆用	(直)逆排	粗サ-1	沈殿排泥	シッター入
連結	b	c	d	e	f	g	h
操作	28→5	6→34	28→38	38→34	24→49	25→34	34→
流量			*0.4		*¥.00011		

第5図 プリント出力例
Fig. 5 Print example

から読み、ファイル保存、F1の表示、F2の表示、終了、コマンドを選んでください、No. 277、F1=378

写真5 計算結果出力例
Photo. 5 Calculation result output example

次に、「設計データ」の入力機能を利用し、与えられている数値や関係式を入力する(写真2)。ここでは、

- (1) 間接系・直接系それぞれのユース・ポイントにおける必要流量
- (2) 同上SS濃度
- (3) 両系冷却塔での流量対集塵SS量の関係式
- (4) 両系冷却塔での流量対蒸発水量の関係式
- (5) 両系冷却塔での流量対飛散水量の関係式
- (6) 両系での蒸発水量対補給水量の関係式
- (7) 補給水のSS濃度
- (8) 間接系ブロー水のSS濃度
- (9) 放流水のSS濃度
- (10) 超高速ろ過器(SF)の入口と出口におけるSS濃度
- (11) 超高速ろ過器(SF)の逆洗用水量対流入SS量の関係式

などである。また、「設計データ」の入力に際し、必要に応じ「プロセス」を画面に出力することも可能である。(写真4)

以上の条件にて計算した結果が写真5である。同時に、プリント出力結果を第5図に示す。プリント内容は次のとおりである。

- (1) 「連結」の名称
- (2) 「連結」識別記号(A~Z, a~z)
- (3) 「連結」の始点と終点の「単位操作」識別記号(数字)
- (4) 流量の「設計データ」入力値[m³/h など]
- (5) 流量の計算結果 [m³/h]
- (6) SSの「設計データ」入力値[kg/h, mg/l など]
- (7) SSの計算結果 [kg/h]
- (8) SSの計算結果(濃度) [mg/l]

むすび

物質収支計算用パソコン・ソフト「Y TAP-Σ」を開発した。本ソフトを数種類の水処理プロセス設計に適用したが、いずれも良好な結果を得ている。「Y TAP-Σ」で得られる水量・水質計算値は、水処理設備エンジニアリング上、最も基本的でかつ重要なものである。「Y TAP-Σ」をEWS(エンジニアリング・ワーク・ステーション)の中心的アプリケーション・ソフトとして位置付け、今後拡張を計っていきたい。

MS-DOSは米国マイクロソフト社の登録商標

社 内 ニ ュ ー ス TOPICS

排水処理設備を受注—神戸市から15億円で

Order of waste water treatment facility has been received at 1 500 million yen from Kobe city

神鋼ファウドラは26日、神戸市から同市北区淡河町(おおごちょう)の淡河廃棄物埋め立て処分地に建設する排水処理プラント施設を総額約15億円で受注したと発表した。

これは神戸市が北区淡河町に建設中の総面積138ヘクタール、埋め立て容量770万 m^3 の大規模廃棄物埋め立て処分地から排出される1日1500 m^3 の汚水を処理する水処理プラントの建設。年内にも着工、1990年2月にはBOD値 ≤ 5 ppm以下、SS(懸濁物質)値を10 ppm以下にまで浄化できるわが国最大規模の環境保全施設が完成する。

とくに硝化液循環式の接触曝気式生物処理設備や凝集沈殿設備、砂り過設備、活性炭吸着設備といったかすかすの高度処理設備を導入。これにより通常の一次、二次処理に加え、三次処理・富栄養化対策といった万全の配慮が施されており、排出汚泥は濃縮槽で予備濃縮された後、ベルトプレス式脱水機で完全処理されるプロセスになっている。(87.10.27 日本工業新聞)

菌体固定化に成功—抗生物質の生産性アップ

Productivity of antibiotic has been increased by an application of immobilized culture media

神鋼ファウドラは、理化学研究所(埼玉県和光市、宮島龍興理事長)化学工学研究室の遠藤勲主任研究員らと共に抗生物質の生産性向上に関する開発研究を行っているが、この春200 l の流動層型バイオリアクターを用い、発酵菌体(人口土壌用ウレタンフォーム)を菌体の付着担体として使用し、カビから得られる抗生物質の生産性アップに成功した。

これは、従来法より一挙に数十倍の収量を記録、各方面から注目された。

従来法と同じ青カビをウレタンフォームに付着固定化しバイオリアクター内に充填、ラクトースを加えて7日間培養し、ペニシリンを生産するが、同グループの方法は菌体と固定化するという新手法のため、発酵生産過程や生産物質の分離過程に多くの効果を有し、開発された流動層バイオリアクターは細胞と有用物質のクルードな分離を一つの装置内でできる分離型バイオリアクターだ。

また、培養の特性に応じて発泡体に付着した細胞を利用した連続培養操作も可能な装置構造となっており、発泡体によって計測センサ表面が洗浄されるので、正しい計測・制御が可能となり、安定した操作が得られる。

従来法では、タンク内で培養した菌体が目的物質である抗生物質を生産したところを見計って、菌体・抗生物質の全てをタンクより引き抜き、分離・精製工程に移行させ、次に生産にかかる時は最初から同じ操作を繰返すという回分操作のため、生産性はおのずと低かった。

菌体を固定化したことにより、この工程の連続化に成功したのが大きな成果で、これまで困難とされていたペニシリン生産菌などを流動層型バイオリアクターによる連続培養を可能とするとともに、収量、収率の向上を可能とした新しい培養方法として期待できる。

今後、微生物、特に、カビや放線菌などの糸状菌、または、動・植物細胞などを高密度培養し、抗生物質、酵素、蛋白質などの有用物質の生産に有効としており、ユーザとの共同開発も強力に押し進め、関連分野への進出を計る意向。(87.11.5 バイオテク産業新聞)

物流を側面でサポート—末端ニーズ的確に反映

Tank containers are supporting user demands in liquid transportation business

タンクコンテナは、液体の国際物流、国内陸海の物流の主要を務めている。神鋼ファウドラは、このタンクコンテナの最大手で、高い物流機能と流通末端のニーズを的確に反映した商品開発および運用ソフトを提供することによってユーザの物流合理化、効率化に大きく寄与している。

欧米では、化学品、アルコール飲料など液体物流の輸送手段としてタンクコンテナが主流を占め、効率的な物流システムが構築されている。わが国においても、こうしたタンクコンテナの経済および輸送効率の高さが評価されはじめた。1982年には同社のコンテナも法的に危険物の陸海一貫輸送が認められ、国際物流手段として、同社製品が主役の座を狙うポジションに躍り出た。

神鋼ファウドラは、早くからタンクコンテナの将来性に着目、1974年に西独WeW社と提携、同社の化学工業用プラント、機器の製作技術、知見を製品化に生かし、企業化した。これとともに、CSC、ISO、TIR、マル関など一般海上コンテナの規格、法規、また危険物船舶輸送・貯蔵規則、消防法、IMDG-CODO、CFR49、ADR/RIDなど国内関係省庁規制、国際規格—など法的必要、承認項目をユーザの条件に応じて取得する体制を確立した。さらに、実用上一番の命題となるタンクコンテナの運用ノウハウ、コンサルティングまで含むソフトと、ユーザがタンクコンテナ採用によるメリットを最大限享受できるようなシステムティックな事業体制を構築している。

もちろん、タンクコンテナの機種、性能面も高く評価されている。危険物用の「IMO—タイプI」の下部液出型、上部液出型、アルコール飲料用の「タイプII」、常温液化ガス用「同タイプV」、ラテックスや牛乳、ビールなど飲料用の「同タイプO」などの中心機種は、輸送安定性に主眼をおき、タンク形状に工夫を加えた各モデル、あるいは保温機能などの特殊仕様まで使用条件、要請に応えた機種を揃えている。

このため、ユーザの評価はきわめて高く、今年は一躍を中心に100台の販売実績を残し、来年は150台と大幅拡大が見込まれている。(87.12.11 化学工業日報)