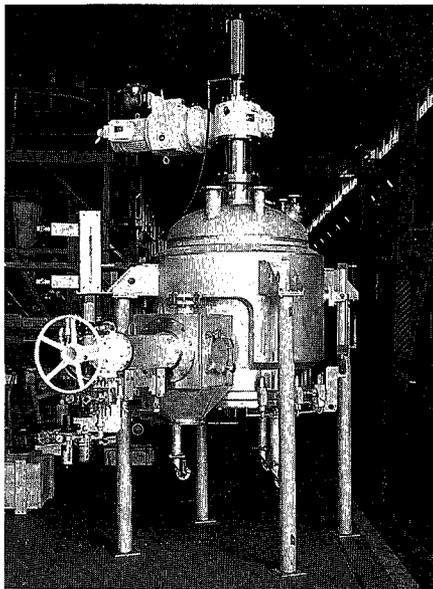


目次

CONTENTS

- | | | |
|----|---|--|
| 1 | E-リアクターの製品紹介 | Introduction of E-Reactors |
| 3 | 〈新製品〉
新しいヘリカルリボン翼『ログボーン』
(特許・商標登録出願中) | A New Helical Ribbon Impeller "LOGBORN" |
| 7 | 新型リボン翼『ログボーン』開発への
数値解析の適用 | Application of CFD to the Development
of a New Helical Ribbon Impeller, "LOGBORN" |
| 11 | 新しい構造のフィルタードライヤ | Filter Dryer of Novel Construction |
| 16 | ジャケットの腐食と防食 (その2) | Jacket Corrosion and Its Protection (Part 2) |
| 24 | 飲料水製造における生物処理の適用 | Application of Biological Treatment
for Drinking Water Production |
| 32 | 水道新水質基準について | Water Quality Standards for Tap Water |
| 41 | 多段流動床式活性炭吸着装置
『マルチアクトス』(商標登録出願中) | Multistage Fluidized-bed Activated Carbon
Treatment System "Multi-ACTS" |
| 48 | 敷島スターチ株式会社向けグルテンフィード
乾燥排ガス脱臭設備の実績紹介 | Deodorization Facility for Shikishima Starch
Manufacturing Co., Ltd. |
| 53 | 冷却塔送風装置について | Drafting Apparatus of Cooling Tower |
| 57 | 社内ニュース | TOPICS |



〈写真説明〉

製品の品質化、高純度が要求されるファインケミカルなどの分野では、プロセスのクローズド化が必須条件となっている。当社で開発した1台で濾過、洗浄、乾燥のできる濾過乾燥機「Filter Dryer」も販売開始以来医薬品向けなどに納入実績も増加し好評を得ている。このたび、新しく標準化を行い、写真のようにコンパクトな装置で処理能力をアップした。

(Filter Dryerの詳細につきましては、本誌第11頁の紹介記事をご参照ください。)

In the production line of fine chemicals or pharmaceuticals where higher quality of products are required, closed system of the process is prerequisite. Our Filter Dryer furnishes a feature of satisfying the requirement as it is capable of carrying out the processes of filtering, rinsing and drying in a single closed unit. It has been favorably accepted in the market and the installations for the production of pharmaceuticals and others are gradually increasing.

The photo shows our recently standardized compact unit with increased processing capacity.

E-リアクターの製品紹介

Introduction of E-Reactors



(化)技術部 設計第1課
石橋 義之
Yoshiyuki Ishibashi

Stainless steel reactors have been so far designed and manufactured on a custom-built basis. Based on our experience and technology, we have recently developed "E-Reactor" series, which are standardized series of stainless steel reactors with a new concept, in pursuit of functional and economic efficiency. Our "E-Reactor" series can cover a wide range of applications, since a lot of options to suit various applications can be offered in addition to the basic specification.

まえがき

当社のグラスライニング製反応機は、標準化により1977年よりストック生産体制をスタートさせ、その後、部分的改善及び新技術の採用を幾度か行い、最近では1985年にGL New Model 90 新標準反応機として再シリーズ化し、ユーザ各位の好評をいただいている。

一方、ステンレス製反応機は、利用される分野も目的も多岐に渡り、装置形状も関係因子も多様であるがため、設計の標準化が難しく、すべてユーザの仕様に応じた個別設計による受注生産を行っていた。

今回当社では、ユーザのニーズに合わせ、我々の市場には存在しないステンレス製汎用反応機の抜本的標準化を行い、新標準ステンレス製反応機 "E-REACTOR" を開発したので、その内容を紹介する。

1. E-REACTOR の概要 (第1図)

第1図に E-REACTOR の構造を示す。E-REACTOR の主な特長は、名前通り次の三つのEで要約される。

1. 1 Efficiency

当社のキーテクノロジー「攪拌」を最大のコンセプトとし、二段フアウダー翼とフルゾーン翼を中心に、タービン翼、パドル翼も含めベストな組み合わせを選ぶことにより、低粘度から中粘度までの領域で、攪拌の目的に応じた高効率アジテーションシステムが選定できる。

1. 2 Easy-Maintenance

メカニカルシールは、減速機をはずすことなく短時間で取り替えができる新型ドライブ機構を開発した。

グランドシールも二つ割または三つ割の構造を採用し、メンテナンスの省力化を追求した。コンタミレスに対しては、油受またはゴミ受を付属させるとともに、付着防止用電解研磨「E P 仕上」及びドライシールもオプション仕様で対応可能とした。

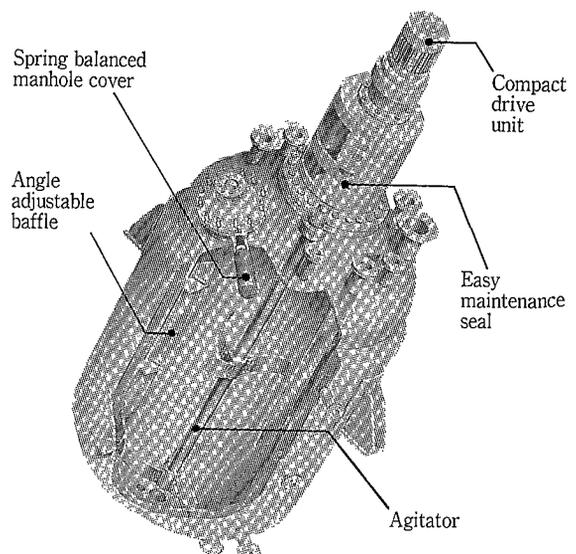
1. 3 Economical

全部品の標準化とCAD化を行い、転送された部品図を組み合わせ、スピーディーな組立図の作成により設計コストを削減し、併せて生産ラインの合理化を図った。

2. 缶体標準容量

1 m³ から 30 m³ までの16タイプをラインアップした。
オープン型 1 m³(ER-1)~ 3 m³(ER-3) 計4タイプ
クローズ型 4 m³(ER-4)~30 m³(ER-30)

計12タイプ



第1図 E-Reactor の概要
Fig. 1 Schematic E-Reactor

標準仕様

攪拌槽としての機能を満足できる基本仕様、さらに多様な目的に対応できるオプション仕様の二種類から構成されている。代表的仕様項目を第1表に示す。

攪拌

吐出性能に優れ、低粘度から中粘度まで数々の実績があるファウドラ翼を基本仕様採用した。

また、低粘度から高粘度まで合理的なフロパターンによる高効率な攪拌を実現したフゾン翼をはじめ、直タービン翼、直パド翼、傾斜パドル翼をオプション仕様に採用、目的に合った効果的な攪拌翼が選定できるようにした。

最適な攪拌翼の選定は、攪拌槽の設計の大きなポイントとなる。内容物物性や攪拌目的に応じて最適な攪拌翼が選定できるチャート、カタログ (No. 202 E-REACTOR) に載されているので参照願いたい。

軸封, ドライブ機構

基本仕様にダブルメカニカルシールと二つグランドシールを採用した。メカニカルシールの摺動材は、カーボンシート vs SUS316 ラミックコート以外に超硬コート、超硬ソッドを用意し、内容物の物性、温度により質選定が出来るようにした。

減速機は、定速回転減速機を基本仕様とし、速回転用のオプション仕様としては、無段減速機及びVVVF付電動機を採用した。

メカニカルシールは、スリーブ付のカートリッジ構造とし、メカニカルシールの交換のために缶内に人が入る必要がなく、また、減速機を取り外すことなく、短時間でできるドライブ機構を採用している。

メカニカルシールの交換に必要な時間は、台よりカートリッジの取り外しが約2時間、カートリッジを架台へ組み込むのが約1.5時間の計3.5時間作業が完了し、従来より大幅に時間短縮が図れることが認められている。

軸封, ドライブの構造, メカニカルシール交換の要領については、カタログを参照願いたい。

す び

E-REACTOR は、当社の経験と技術力をベースに機能

第1表 仕様項目
Table 1 Specifications

■ Design spec.			
Item		Standard spec.	Optional spec.
Code		F. S. L./P. V. 2	P. V. 1, JIS B8243
Design press.		Vessel : F. V./5 kgf/cm ²	F. V. ~7 kgf/cm ²
		Jacket : 5 kgf/cm ²	2~7 kgf/cm ²
Design temp.		Vessel : 0~160 °C	170 °C
		Jacket : 160 °C	170 °C
■ Vessel			
Item		Standard spec.	Optional spec.
Material	Vessel	Solid : SUS304 Clad : SM400B+SUS304	SUS304L, SUS316, SUS316L SUS304L, SUS316, SUS316L
	Jacket	SM400B	←
Manhole		Bolt : Swing bolt	Through bolt
		Opening system : Spring balance	Hinge
		Accessories : 100A Sight glass	
Inside finish		Internal : Pickling	Baff #240, #320, #400 Mirror #320, #400 Electro polish EP-3, EP-5
■ Agitator			
Item		Standard spec.	Optional spec.
Reducer	Type	Cyclo (Shinko Pantec spec.)	Cyclo with inverter Type a beier cyclo
	Type	Double mech. seal Gland seal	Dry seal
Seal	Double mech. seal	Seal material : Carbon vs SUS316CM coat	Carbon vs SUS316WC coat Carbon vs WC solid
		O ring : FPM	NBR, Perfluoro, Kalrez
		Sealant : Mech. oil	Water
		Oil catcher : None	Furnished
	Gland seal	Lubrication : CS press. cylinder	P. Unit SUS press. cylinder
Agitator	Type	Two-pieces S. box	Three-pieces S. box
		Dirt catcher : None	Furnished
Agitator		Pfandler impeller	FULLZONE, Turbine Paddle, Pitched paddle
Baffle		2~Plate baffle	4~Plate baffle
■ Others			
Item		Standard spec.	Optional spec.
Vessel		Bracket	Leg
Conductivity		Agitating nozzle	Spiral baffle
Accessories		Insulation ring Insulation nut	Thermo well, Blowing pipe, Safety valve & Press. gauge for jacket

性と経済性を追求してシリーズ化した新しいコンセプトのステンレス製のスタンダードリアクターである。基本仕様以外に多目的に対応できるオプション仕様を具備し、多様なニーズの共通性を取り入れた適用範囲の広い機種としている。

プラントの計画時点よりご配慮いただければ幸いです。

<新製品>

新しいヘリカルリボン翼 『ログボーン』(特許・商標登録出願中)

A New Helical Ribbon Impeller "LOGBORN"



技術開発本部 研究開発部
菊池 雅彦
Masahiko Kikuchi
高田 一貴
Kazutaka Takata
岡本 幸道
Yukimichi Okamoto

In an effort of seeking for an impeller that can mix more viscous liquid with less energy and in shorter time than any existing impeller, we have produced a new helix impeller LOGBORN, consisting of a pair of bottom ribbons of a logarithmic vortex curve, a pair of helical ribbons, and supporting frame, each member being set at optimized dimension for efficient mixing. Maximum liquid viscosity LOGBORN can mix is over 3,000 Pa·s and mixing speed is increased at least 1.5 times to an existing ordinary helix. Especially, when LOGBORN is applied to a mixing of high viscous liquid with low viscous additives, mixing speed becomes four times faster than that of the ordinary helix.

まえがき

ダブルヘリカルリボン翼(以下リボン翼と略称)はその優れた混合性能から高粘度液の攪拌に広く用いられている¹⁾。しかし、従来型リボン翼を用いた場合、

- ①高粘度液に低粘度液を混合するのに長時間を要する。
- ②槽底部に混合不良部が生じ易い。
- ③攪拌軸近傍の流動不良に起因する付着等が発生し易い等が問題になる場合が多い。

回転数を大きくすることで従来型リボン翼の混合速度を向上させることは可能だが、攪拌動力が回転数の自乗に比例して増大するため、500 Pa·s以上の粘度の液を従来型のリボン翼で混合することは現実の問題としては難しい。

当社はこのたび、これらの従来型リボン翼の問題点を解消し、高効率でかつ極めて高粘度まで対応可能な新型リボン翼『ログボーン』を開発した。以下に『ログボーン』の

特長を紹介する。

1. ログボーンの形状

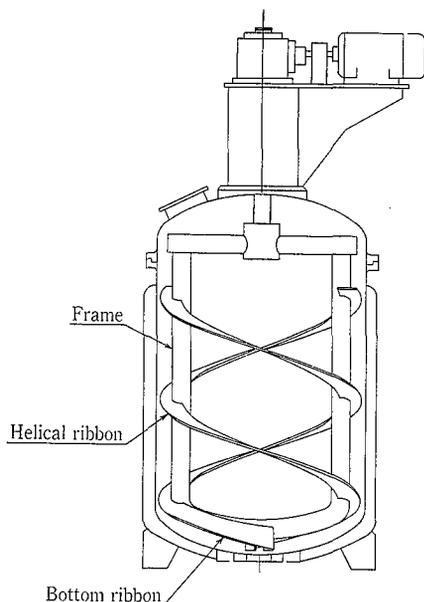
ログボーンを装備した攪拌槽を第1図に示す。ログボーンの形状面の特長とその機能は次の通りである。

- ①フレーム
攪拌軸に代わってリボン翼を支持し、攪拌槽中心部の混合不良を防ぐ。さらにリボン翼とフレームの相互作用により混合を促進するフローパターンを形成する。
- ②ボトムリボン翼
槽底部の流体を半径方向に流動させ、槽底部の混合不良を解消する。
- ③ヘルカルリボン翼
フレーム構造リボン翼に最適なディメンジョンを採用し、混合性能を向上させる。

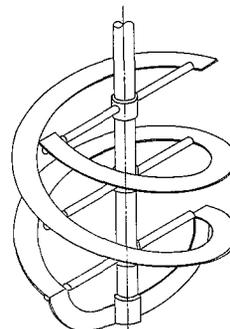
1.1 フレーム構造

従来型リボン翼の問題点を明確にし、フレーム構造の効果を確認するためにそれぞれのリボン翼の流動状態の検討を行った。検討手法としては、数値実験(数値流体力学: CFD)²⁾とレーザードップラー流速計(LDA)³⁾による流速測定によった。

第2図¹⁾に示す従来型リボン翼と第1図に示すフレーム構造のリボン翼の軸方向流速分布を比較し第3図に示す。従来型リボン翼では攪拌槽中心部の攪拌軸近傍の流動状態



第1図 ログボーンを装備した攪拌槽
Fig. 1 LOGBORN set into a mixing vessel



第2図 従来型リボン翼
Fig. 2 Conventional ribbon impeller

図3 軸有および軸無しリボン翼の軸方向流速分布の相違

ig. 3 Difference of helices with and without impeller shaft in axial velocity distribution

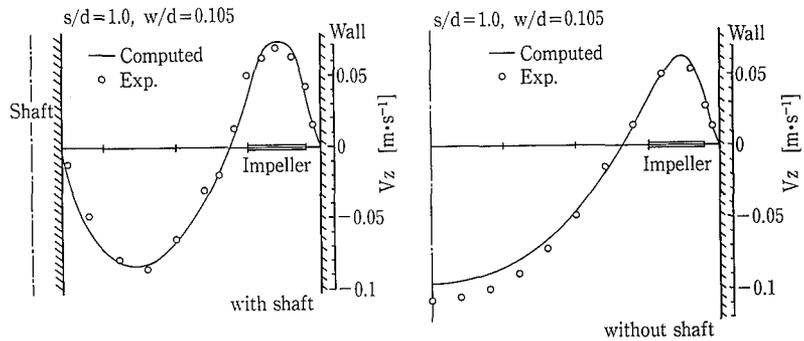
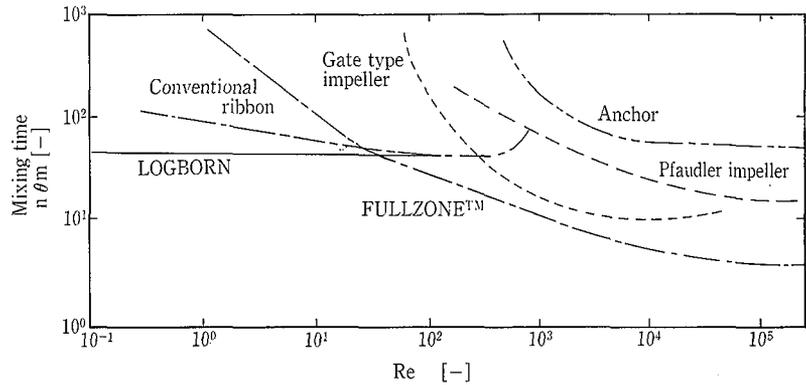


図4 n·θm-Re 曲線の比較

ig. 4 Comparison of n·θm-Re curves for several impellers



極めて悪い。つまり攪拌軸近傍では半径方向及び軸方向流速はほぼ“0”，また周方向流速も攪拌軸外端の周速とほぼ同じで極めて小さい。この結果、攪拌軸近傍の混合不良、付着と言った問題が発生する。一方、フレーム構造のリボン翼では攪拌軸に代わりフレーム構造を採用することにより攪拌槽中心部の流動性が飛躍的に向上する。さらに、混合シミュレーション及び混合実験の結果、このフレームは攪拌槽中心部の流動改善以上にログボーンの混合性に向上に大きく貢献していることがわかった。つまりログボーンはリボン翼とフレームの相互作用により、混合を短縮するフローパターンを形成することがわかった。従来、リボン系の翼に対してなされていた解釈は、フローパターンはほとんど同じで循環流量が増加すればそれに反比例して混合時間が短くなるという考え方であった。しかしログボーンでは、フレームを挿入することにより上昇流と下降流との間で流体の入れ替えが促進され混合を短縮するフローパターンを作ることができる。

2 ボトムリボン翼

従来型リボン翼では第2図に示すように、槽底部にはアーカー型スクレーパーを設置することが多い。この攪拌翼は槽底部流体を半径方向に流動させる能力が弱いため槽底部に混合不良部が出来易い。これを改善するためには槽底部の流体を半径方向に流動させ、リボン翼の作る上下循環と繋ぐような流れを作る攪拌翼が必要である。そこで、胴部のリボン翼が流体を上下に送る原理を応用して、流体を半径方向に送るには、円周方向に対して一定の角度を有する曲線、対数螺旋に沿ってリボンを形成すれば良いと考えた。さらに槽底の鏡板に沿って滑らかに胴部リボンに接続することを考慮した結果、第1図に示すボトムリボン翼が考案された。このボトムリボン翼と直胴部のリボン翼を連続させることにより攪拌槽内全域にわたるフローパター

ンが形成され槽底部の混合不良を解消することが出来た。

1.3 リボン翼ディメンジョン

従来型リボン翼の欠点を解消したフレーム構造リボン翼を、より効率良い攪拌翼にするために、フレーム構造リボン翼に最適ナリボン幅及びリボン翼ピッチについて検討を行った。その結果、混合時間を最短にするディメンジョンとして従来とほぼ同じリボンピッチと従来よりも若干広いリボン幅の組み合わせが選ばれた。

フレームの効果及びリボン翼ディメンジョンの影響に関する詳細な検討結果については本誌別報第7頁『新型リボン翼「ログボーン」の開発への数値解析の適用』を参照頂きたい。

2. ログボーンの攪拌特性

2.1 混合特性

混合性能を評価するために混合実験を行った。実験は、ヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法を用いた。チオ硫酸ナトリウム溶液は攪拌液と同粘度に調整したものを用いた。またチオ硫酸ナトリウムの過剰量は20%とした。混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。本実験では、槽径 0.2 m, 槽高 0.4 m, 容量 10 ℓ 及び槽径 0.4 m, 槽高 0.8 m, 容量 80 ℓ の大小2種の攪拌槽を使用した。

ログボーンと従来型リボン翼について比較した結果を写真1, 2に示す。10 Pa·s 及び 300 Pa·s の各粘度で攪拌動力を同一にして脱色の速さを比較した。ログボーンでは、混合不良部の発生が無く、しかも従来型リボン翼に比べ均一で効率良い混合が行われている。なお写真2の従来型リボン翼では8~10分の時点でも攪拌軸近傍の混合が完了していない。

上記の混合時間を n·θm-Re 線図として整理し、各種の攪拌翼の線図³⁾と比較して第4図に示す。ログボーンは

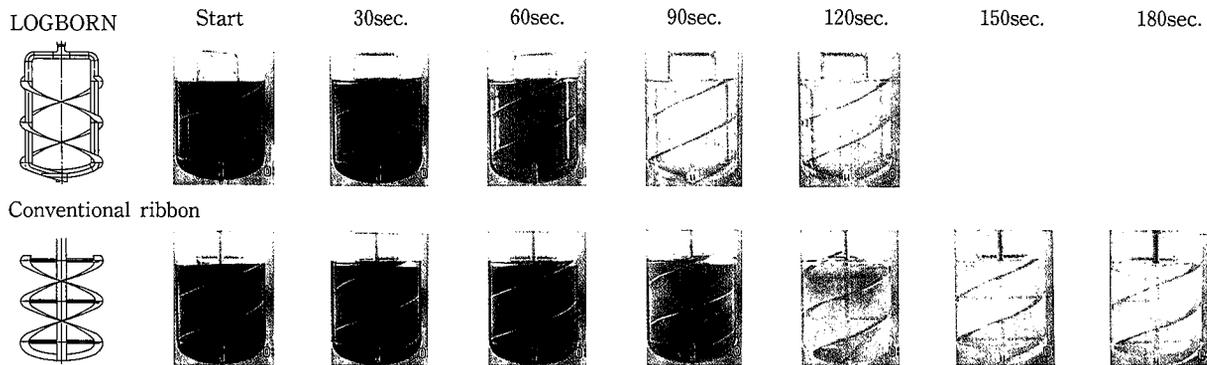


写真 1 ログボーンと従来型リボン翼の混合性能の比較 (Re=10, 32.6 rpm, 10 Pa·s)
 Photo. 1 Comparison of mixing performance between LOGBORN and conventional ribbon impeller

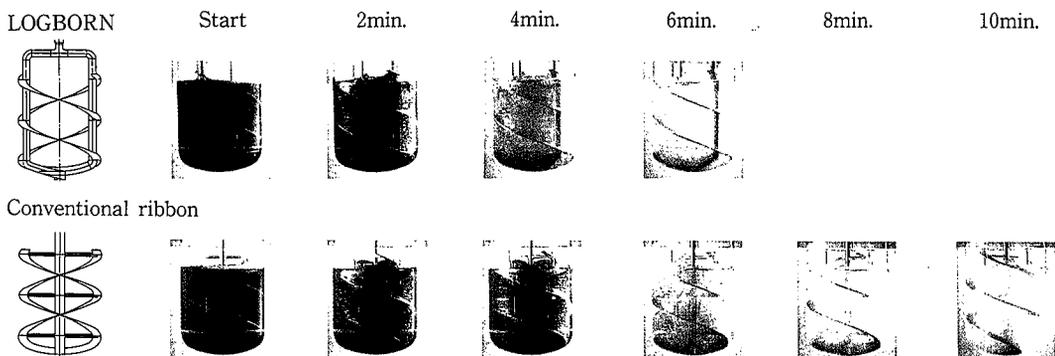


写真 2 ログボーンと従来型リボン翼の混合性能の比較 (Re=0.03, 10 rpm, 300 Pa·s)
 Photo. 2 Comparison of mixing performance between LOGBORN and conventional ribbon impeller

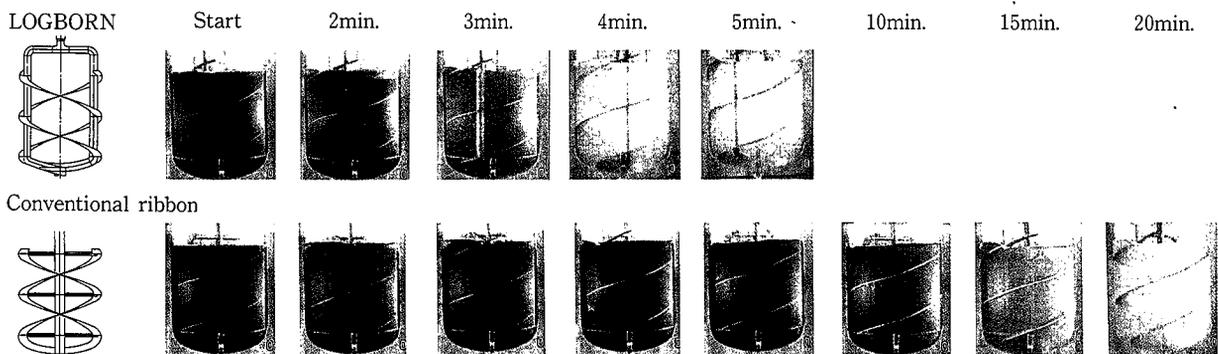


写真 3 ログボーンと従来型リボン翼の異粘度液の混合性能の比較 (32.6 rpm, 16 Pa·s の液に 0.001 Pa·s の液を添加)
 Photo. 3 LOGBORN and conventional ribbon impeller in mixing of watery additives into viscous syrup

Re<20 の完全層流域で従来用いられているどの攪拌翼よりも小さな $n \cdot \theta m$ であり、優れた混合性能を有することがわかる。特に Re<5 の高粘度では従来型リボン翼の半分以下の $n \cdot \theta m$ である。つまりログボーンは従来型リボン翼と同じ混合性能(同じ混合時間)を得るのに 1/2 以下の回転数で十分であり、攪拌動力的には従来型リボン翼の $(1/2)^2=1/4$ 以下で十分であることを意味する。また、同じ攪拌動力で攪拌した場合、ログボーンは従来型リボン翼の半分以下の時間で混合が達成可能であることを意味する。

一方、実際の攪拌操作では前述の様な同一粘度液の混合よりも粘度の異なる液同士の混合が多く、その方がプロセス上問題になる場合も多い。そこで粘度が異なる液の混合実験として、ヨウ素で着色した約 16 Pa·s の粘度の水飴水溶液 50 l を 0.001 Pa·s の粘度のチオ硫酸ナトリウム水溶

液 1 l で脱色する実験を行った。ログボーンと従来型リボン翼について比較した結果を写真 3 に示す。両翼の攪拌動力をほぼ同一にして脱色の速さを比較した。ログボーンは、従来型リボン翼の 1/4 の時間で脱色が完了し、極めて効率良い混合が行われていることがわかる。

このようにログボーンは粘度が高くなればなるほど、また粘度の異なる液の混合の様に攪拌条件が厳しくなればなるほどその真価を発揮する。

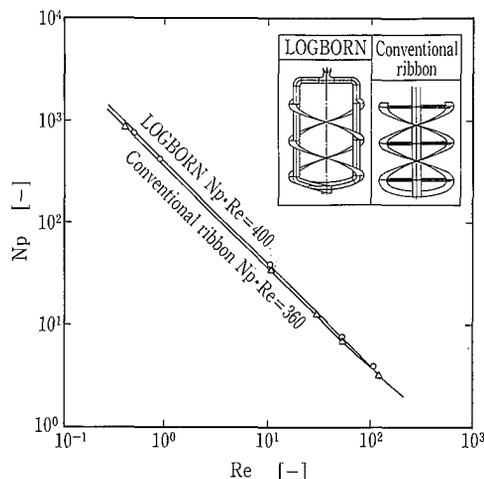
2. 2 動力特性

動力特性は歪ゲージを用いて測定した⁵⁾。ログボーンと従来型リボン翼の N_p-Re 線図を第 5 図に示す。

高粘度攪拌翼の動力特性を示す値である $N_p \cdot Re$ 数は、液張り込み高さ $H/D=1.25$ において

従来型リボン翼 : $N_p \cdot Re=360[-]$

ログボーン : $N_p \cdot Re=400[-]$



第5図 攪拌動力特性 N_p - Re 線図

Fig. 5 Impeller power characteristic N_p - Re diagram

となり、ログボーンでは従来型リボン翼に比べ約10%大きくなる。

この $N_p \cdot Re$ の10%の増加はフレーム設置に起因する。

3 伝熱特性

伝熱特性を評価するために第6図に示すジャケット式伝熱実験装置及び測定システムを用いた。攪拌槽は混合実験で用いた槽径0.4mのものと同形状である。温度計測には線径0.3mmの銅・コンスタンタン熱電対を使用した。

この装置では、熱媒(温水または冷水)流量とジャケット出入口温度を測定し、攪拌槽内の攪拌液の温度を測定することにより総括熱伝達係数を測定できる。また、槽壁内に設置した熱電対により槽壁での局所熱流束を測定し局所熱伝達係数の測定もできる構造となっている。

ログボーンと従来型リボン翼について水飴水溶液の加熱実験を行った。その結果、第1表に示すように同一攪拌条件下でログボーンの槽内側境界膜伝熱係数は従来型リボン翼のそれよりも約10%大きく伝熱性能も優れている。また槽内の温度偏差も従来型リボン翼の半分程度と小さく温度均一性にも優れている。

4 ログボーンの特長及び用途

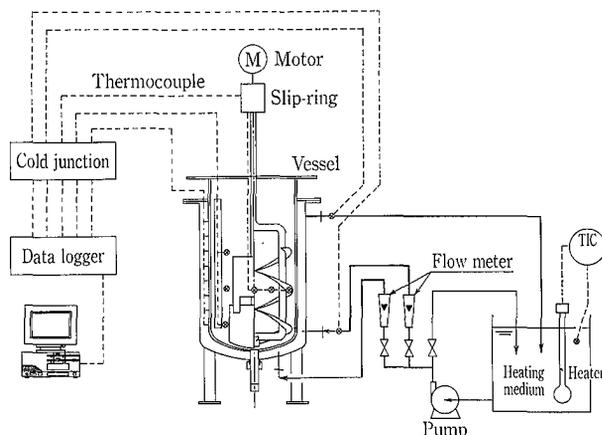
《特長》

- ①混合不良部が無い。
- ②従来リボンの1.5倍～4倍の混合性能を有する。
- ③従来型リボン翼の20～50%の攪拌動力で同等の混合性能を発揮する。
- ④高粘度液中に低粘度の添加液を効率良く混合出来る。
- ⑤混合可能な最大粘度は3000 Pa·s を越える。
- ⑥攪拌軸への付着が無い。
- ⑦槽内の均一な温度分布が得られる。
- ⑧皿型、半楕円、コーン型底板に対応可能

《適用分野》

ログボーンの特長を活かした適用分野として

①汎用高粘度混合槽、②高粘度用バッチ反応槽及び③潜熱除去方式のステレン重合機を例とする高粘度用連続重合槽が考えられる。



第6図 伝熱実験装置概略図

Fig. 6 Schematic diagram of the heat transfer test apparatus

第1表 ログボーンと従来型リボン翼伝熱係数の比較
(粘度: 10~100 Pa·s, 回転数: 32.6 rpm)

Table 1 Comparison of heat transfer coefficient between LOGBORN and conventional ribbon impeller

Impeller	h [W·m ⁻² K ⁻¹]
LOGBORN	141
Conventional ribbon	129

むすび

新型ダブルヘリカルリボン翼『ログボーン』について、その構成とテストで確認した攪拌性能をいくつか紹介した。ログボーンの性能がユーザ各位の高粘度攪拌プロセスの改善、改良に結びつくことを期待している。また、今後ともログボーンをユーザ各位の個々のプロセスに対応させるための実験と改良に積極的に取り組んでいきたい。

〔使用記号〕

D	: 攪拌槽径	[m]
d	: 攪拌翼スパン	[m]
H	: 液深	[m]
h	: 境界膜伝熱係数	[W·m ⁻² K ⁻¹]
n	: 攪拌翼回転数	[s ⁻¹]
N_p	: 攪拌動力数	[—]
P_v	: 単位容積当りの攪拌動力	[kW·m ⁻³]
Re	: 攪拌レイノルズ数 = $\rho nd^2/\mu$	[—]
V_z	: 軸方向流速	[m·s ⁻¹]
θ_m	: 完全混合時間	[s]
ρ	: 攪拌液密度	[kg·m ⁻³]
μ	: 攪拌液粘度	[Pa·s]

〔参考文献〕

- 1) 高分子学会: 高分子製造プロセスのアセスメント 8, (1986)
- 2) 高田一貴, 佐藤栄祐, 菊池雅彦: 神鋼パテック技報 Vol. 34, No. 3 (1990)
- 3) 高田一貴, 伊藤久善, 菊池雅彦: 神鋼パテック技報 Vol. 36, No. 3 (1992)
- 4) 菊池雅彦, 高田一貴, 伊藤久善, 佐藤栄祐: 神鋼パテック技報 Vol. 35, No. 1 (1991)
- 5) 岡本幸道, 神鋼パテック技報 Vol. 31, No. 3 (1987)

新型リボン翼『ログボーン』の開発 への数値解析の適用

Application of CFD to the Development of a New Helical Ribbon Impeller, "LOGBORN"



技術開発本部 研究開発部
高 田 一 貴
Kazutaka Takata
菊 池 雅 彦
Masahiko Kikuchi
(化)技術部 設計第1課
伊 藤 久 善
Hisayoshi Ito

The development of a new helical ribbon impeller LOGBORN was supported by Computational Fluid Dynamics studies to analyze effects of its ribbon and frame dimensions, and to examine the difference with conventional ribbon impellers. The results of CFD study showed that the flow pattern of the new impeller largely depends on the ribbon and frame dimensions, and the frame serves not only as a support member but also as a mixing member to effectively shorten the mixing time by changing a flow pattern formed by the ribbon blades and its frame. Computational results also indicates that the flow pattern of the new impeller is quite different from the conventional ribbon, enabling to reduce the mixing time to about a half of the conventional ribbon impeller.

ま え が き

このたび開発した新型リボン翼『ログボーン』の構造の特長とその諸性能について本誌別報第3頁にて報告した。ここでは数値流体力学(Computational Fluid Dynamics; 以下CFDと略称)をログボーンの開発支援ツールとして利用し、リボン寸法を変化させた種々の条件にて計算を繰り返し流れ場の多くの情報を得ることにより、リボンの最適寸法を決定することを目的とする。

本報告では軸無し・フレーム式の新型リボン翼に関して

- (1) 軸の有無の流動混合に及ぼす影響
- (2) リボン幅、リボンピッチの流動混合に及ぼす影響
- (3) フレームの寸法とその挿入位置の流動混合に及ぼす影響

を主としてCFDにより明らかにした。(2)については混合特性上最適となるリボン寸法を決定することを試み、(3)については一連のCFDの結果より最適寸法と最適取付位置の決定法を示すことにより、これら一連の考察をログボーンを構成する翼寸法決定に反映させた。また新型リボン翼が軸を有する従来型リボン翼に較べて混合性能上優れた特性を有するかどうかを同様の手法により明らかにすることを試みた。

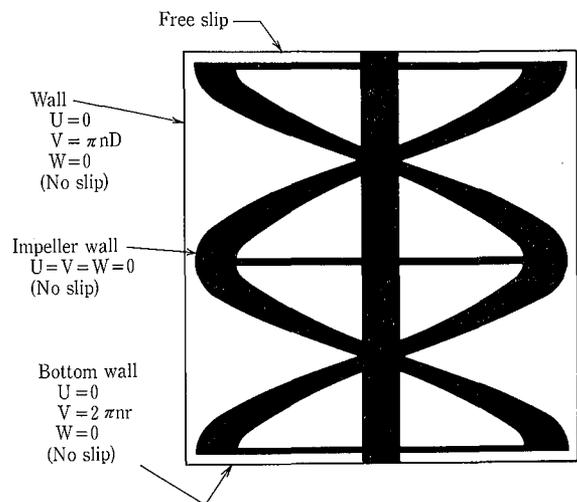
1. 数値解析方法

攪拌流動を支配する方程式は回転円筒座標系で表示された3次元の運動量輸送方程式である。解析はまず運動量輸送方程式を解いて槽内の流速分布を求めたあと、流速分布の計算値を物質の輸送方程式に代入して濃度分布を求めた。本解析ではこれら方程式を市販の熱流体解析コードを改造したものを用いて解いた。コンピュータにはEWS(エンジニアリングワークステーション)を使用した。

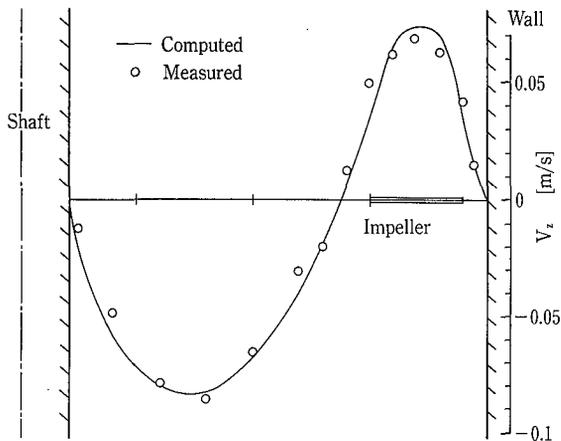
第1図に境界条件を示す。翼面、槽壁面にはすべりなし条件を、液面にはすべりあり条件をそれぞれ与えた。また液面形状を水平とした。攪拌レイノルズ数が10程度であれば液面を近似的に水平とみなしてさしつかえないことを実

験で確認した。攪拌槽の底面も水平とした。実際の翼は半楕円もしくは円錐のボトム内に複雑な形のボトムリボンを有するが、この形状を円筒座標系のメッシュで生成させるのが困難であった。しかし直胴部の流動混合状態はボトムの形状に依存する所が少ないので、ここで目的とする解析には上記の簡略化モデルで対応できると考えた。

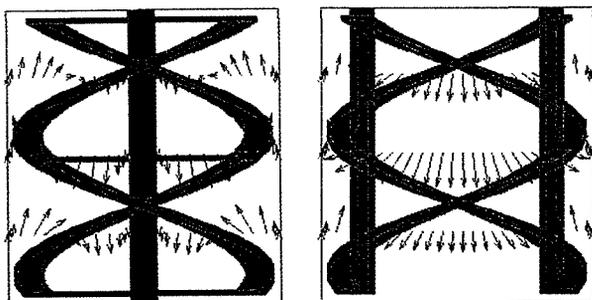
計算格子数は概ね50000~70000個とした。計算時間は圧力の変化率が充分小さくなって定常に達するまでに1ケースにつき70~90時間を要した。攪拌条件は攪拌レイノルズ数を10とし、リボンのピッチ、幅を変化させて行った。翼の回転方向は、壁面で上昇流を生じ槽中心部で下降流を生じる方向とした。



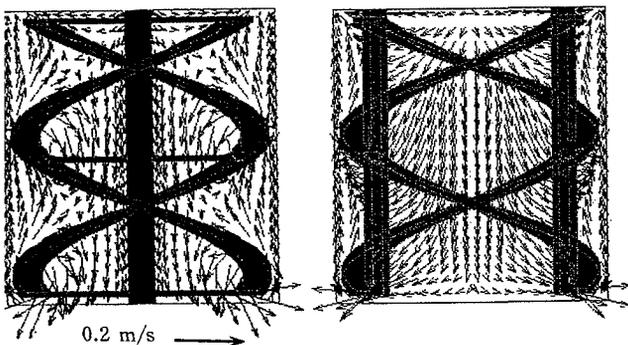
第1図 数値解析の境界条件
Fig. 1 Boundary conditions used in the simulations



第2図 軸方向流速分布の計算値と実測値との比較
Fig. 2 Comparison of computed and measured axial velocities



第3図 従来型リボン翼と新型リボン翼の軸方向流速分布の比較
Fig. 3 Comparison of conventional and new DHR's axial velocities

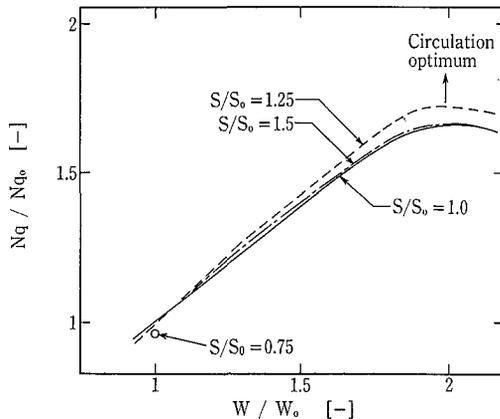


第4図 従来型リボン翼と新型リボン翼の r-z 面内流速分布
Fig. 4 Comparison of conventional and new DHR's velocity distributions in r-z plane

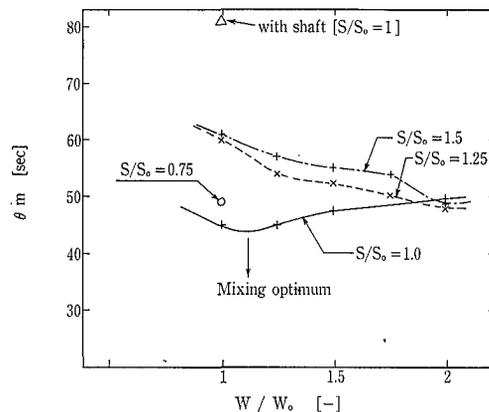
従来型リボン翼の軸方向流速分布について計算値とレーザー流速計による実測値とを比較し第2図に示す。これより上記の解析条件下で計算値は実測値を10%以内の精度で予測できることがわかった。

2. 従来型リボン翼と新型リボン翼の流動特性の相違

第3図に軸を有する従来型リボン翼と軸無し・フレーム式の新型リボン翼の軸方向流速分布の計算結果を示す。これより従来型リボン翼では槽中心部の流速が遅く流動性の悪さが予測される。一方新型リボン翼では槽中心部で最大



第5図 循環流量に及ぼすリボンピッチとリボン幅の影響
Fig. 5 Influence of ribbon pitch and ribbon width on circulation flow rate



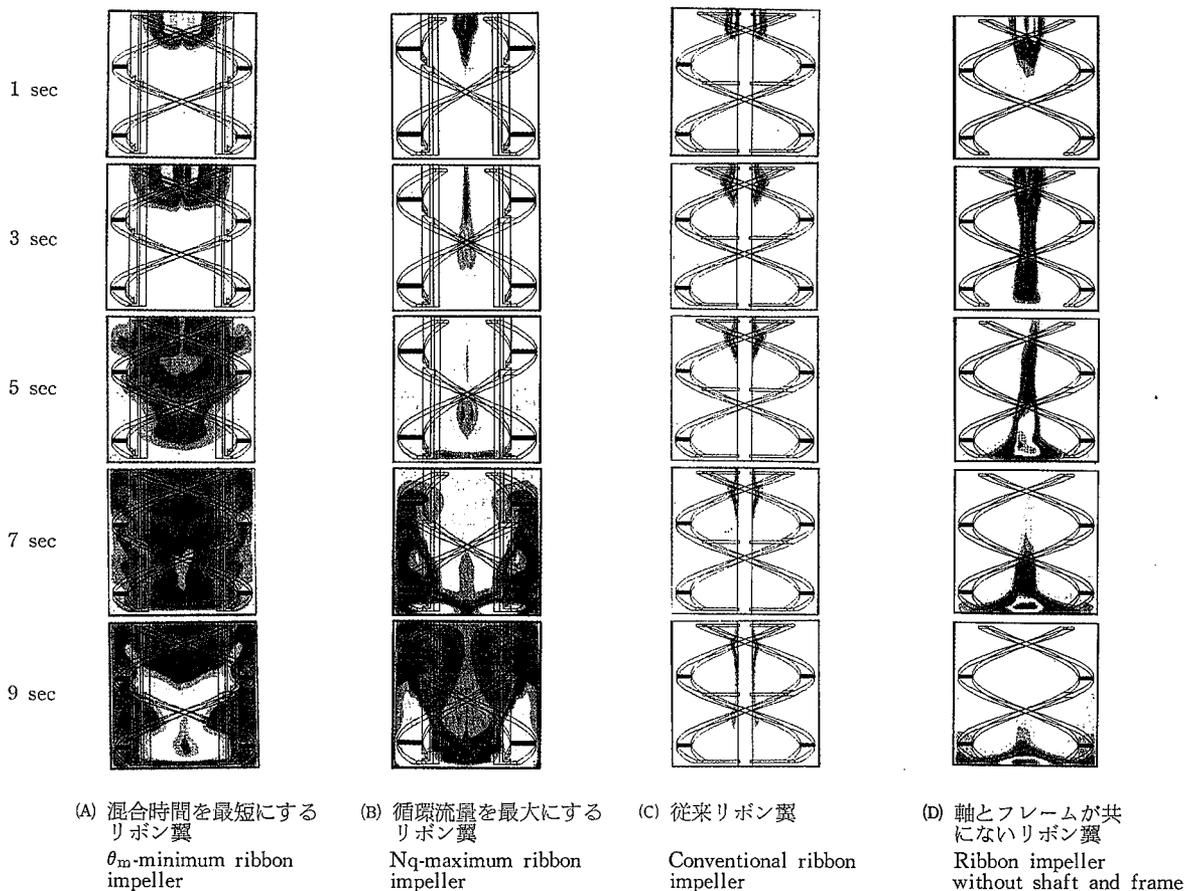
第6図 混合時間に及ぼす翼ピッチとリボン幅の影響
Fig. 6 Influence of ribbon pitch and ribbon width on mixing time

流速になるため従来型リボン翼に較べて格段に流動性が向上するものと考えられる。第4図に従来型リボン翼と新型リボン翼の r-z 面内の流速分布(フローパターン)の計算結果を示す。従来型リボン翼では軸に沿って流れが下降し壁面で上昇するという循環型のフローパターンを形成するのに対し、新型リボン翼では槽の中央付近で軸方向下降流に加えリボンのかなり内側まで半径方向流が同時に形成されている。次にこれらフローパターンが混合に及ぼす影響を他の翼の結果と合わせて述べる。

3. 循環・混合特性に及ぼすリボン幅, リボンピッチの影響

第5図はリボン翼の循環流量をリボン幅に対してプロットした結果である。循環流量は軸方向流速値を軸に垂直な断面内で積分することにより求められる。これより、循環流量はリボン幅の増加と共に増加し、あるリボン幅になると頭打ちになり減少していく。またリボンピッチによっても循環流量が異なる。リボンピッチが標準ピッチの1.25倍の時に循環流量が最も大きくなる。これらの結果から循環流量が最大になる翼構成が決定される。

第5図の各リボン翼の混合時間を計算し、第6図に結果



第7図 トレーサー濃度分布の経時変化による各種リボン翼の混合状況の比較

Fig. 7 Comparison of several ribbon impellers in tracer mixing process shown by concentration contours

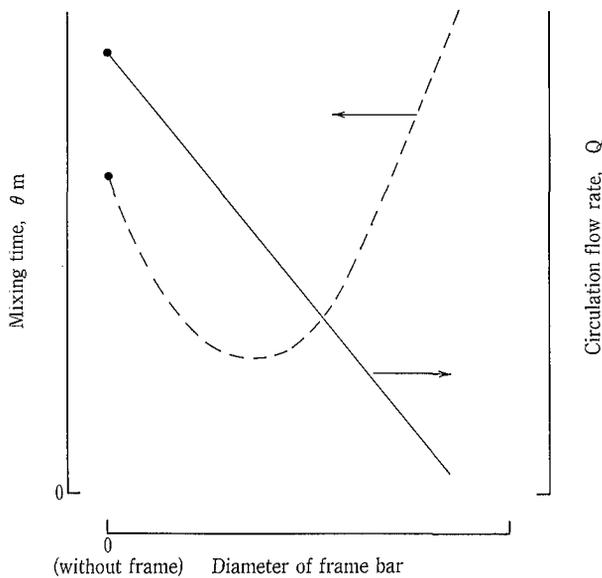
を示す。この計算では槽内19点の濃度の経時変化を検出し、平均濃度の±1%以内に19点の濃度変動が収まった時間をもって混合時間とした。リボン幅により混合時間も変化し、その変化の挙動はリボンピッチにより異なる。リボンピッチ $s/s_0=1$ の場合、混合時間がリボン幅の増加と共に減少して最小値を示したあと再び増加していく。リボンピッチ $s/s_0=1.25, 1.5$ ではリボン幅の増加と共に混合時間が単調に減少し、リボン幅 w/w_0 が2付近でリボンピッチが1の混合時間とほぼ同一値になる。混合実験の観察によれば、リボンピッチが比較的大きくリボン幅が比較的小さい場合、液面付近での混合が遅れ、リボン幅が大きくなって液面付近での吸い込み力が大きくなるとこの混合遅れが解消された。また、リボンピッチが1の場合はリボン幅が比較的小さくとも液面の混合遅れが生じないだけでなく、むしろ少ない循環回数で混合が終了する傾向が認められた。こうして本図より混合時間を最短にする翼構成が決定される。

興味深いことに、第6図の混合時間が最短になるリボン寸法と第5図の循環流量が最大になるリボン寸法とは異なる。この点をさらに検討するため、第7図(A)~(D)の4種リボン翼について液面から投入したトレーサーの混合シミュレーションを行い比較した。

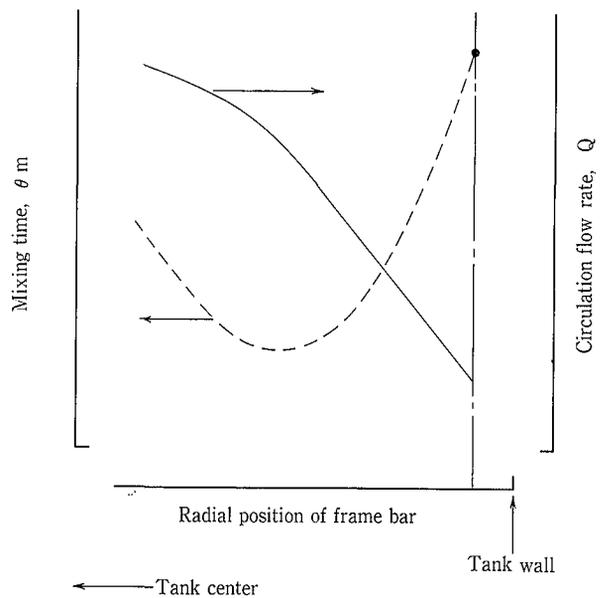
- (A) 混合時間を最短にするリボン翼
- (B) 循環流量を最大にするリボン翼
- (C) 従来型リボン翼
- (D) 軸無し・フレーム無しリボン翼

(B)の循環流量は(A)のその約1.7倍あるが、槽内へのトレーサーの分散する速度は(A)の方が速い。(A)は液面から投入されたトレーサーが槽内で軸方向と半径方向の2方向へ同時に散らばるようなパターンで輸送されるのに対し、(B)では吸い込み力が強い反面半径方向への輸送力が劣るため循環型の色彩が強い輸送パターンになる。混合時間の計算値も(A)の方が速く、実験結果もそのようになった。さらに(A)と(D)を比較した場合、これらの違いはフレームがあるかないかだけの違いであるが、混合状態が著しく異なることが示されている。つまり混合時間を最短にするリボン翼(A)ではリボン寸法とフレームの相互作用により分散混合を促進するフローパターンになる。これまでのリボン系の翼に対してなされていた解釈は循環流量が増加すればそれに反比例して混合時間が短くなるという考え方であった。しかしフレーム構造の新型リボン翼では、フレームを挿入することにより上昇流と下降流との間で流体の入れ替えが促進され混合に適したフローパターンを作ることが出来ると考えられる。次節で流動混合に及ぼすフレーム寸法とその取付位置の影響について言及する。

なお従来型リボン翼(C)の混合過程をみると、トレーサーは軸にまとわりつくように軸方向のみに輸送されている。混合時間を最短にするリボン翼(A)では従来型リボン翼に比べてトレーサーの輸送が著しく促進されている様子が示されている。混合時間の計算値も(A)の方が(C)のその約半分に短縮される。



第8図 循環流量及び混合時間に及ぼすフレーム径の影響
Influence of frame diameter on circulation flow-rate and mixing time



第9図 循環流量及び混合時間に及ぼすフレーム取付位置の影響
Influence of frame position on circulation flow-rate and mixing time

4. 循環・混合特性に及ぼすフレーム寸法とその取付位置の影響

第8図に循環流量と混合時間に及ぼすフレーム太さの影響を示す。ここで示した関係は第6図と第7図(A), (D)より予想できる結果である。すなわちフレーム径が大きくなると軸方向への液の送りを阻害するため循環流量は少なくなる。しかし混合時間はフレーム径の増加と共に減少し、あるフレーム径を境として増加する傾向になる。つまり適当な太さのフレームを挿入すれば槽内の上昇流と下降流との間で流体の交換が促進されるため混合時間を短縮させる効果が生じるが、フレームが大きすぎたり小さすぎたりするとむしろ混合時間を長くすることになる。

第9図に循環流量と混合時間に及ぼすフレーム取付位置の影響を示す。フレームを槽中心側に設置すると上下循環流への阻害は比較的小さいが、槽壁側に設置するとリボンによる上方への液の送りを直接遮ることになり循環流量が減少する。フレームの取付位置を槽中心側から槽壁側に変化させると、混合時間はある取付位置を最小値とする関係となる。

このように、新型リボン翼『ログボーン』の最大の特長はフレームの大きさとその取付位置ならびにリボン寸法とのコンビネーションにより、槽内の混合を飛躍的に促進する構成になっている。

むすび

新型リボン翼を構成するリボン及びフレームの流動混合に及ぼす影響をCFDを用いて明らかにした。また従来型リボン翼と新型リボン翼の流動混合特性についても同様の手法により明らかにした。その結果を次に示す結論を得た。

- (1) 軸を有する従来型リボン翼と軸無・フレーム式の新型リボン翼のフローパターンは著しく異なり、新型リボン翼の混合時間は従来型リボン翼のその約半分に短縮される。
- (2) 新型リボン翼のフローパターンはリボン寸法とフレーム寸法に大きく依存し、混合時間を最短にするこれら寸法が存在する。
- (3) 新型リボン翼のフレームは機械強度をもたせるための挿入物と考えられていたが、その寸法と配置及びリボン寸法との組み合わせを工夫すればフローパターンを変え混合時間を大いに短縮する効果をもたらす。

[使用記号]

d	= 翼径	[m]
Nq	= 無次元循環流量, Q/nd^3	[-]
Nq_0	= 基準リボンの無次元循環流量	[-]
n	= 翼回転数	[1/s]
Q	= 循環流量	[m ³ /s]
s	= リボンピッチ	[m]
s_0	= 基準リボンピッチ	[m]
r	= 半径方向	[m]
V_z	= 軸方向流速	[m/s]
W	= リボン幅	[m]
W_0	= 基準リボン幅	[m]
θ_m	= 混合時間	[sec]

[引用文献]

- 1) 菊池雅彦, 高田一貴, 岡本幸道: 神鋼パンテック技報, Vol. 37, No. 3 (1993)

新しい構造のフィルタードライヤ

Filter Dryer of Novel Construction



(化)技術部 設計第2課
平井 等
Hitoshi Hirai

The trend of pharmaceutical and fine chemical industries are going to the speciality products of small amount production and diversified kinds of added high value. It has come to require specific filtration and drying facilities provided with multi-purpose availabilities.

Our new standard models of Filter Dryer were developed for the sake of fitting for these needs. It can be provided good performance that is, each process of filtration, washing and drying of filter cake can be performed automatically in a single closed vessel. And also it is specially designed suitable for the severer specifications of GMP (Good Manufacturing Practice) and low temperature applications.

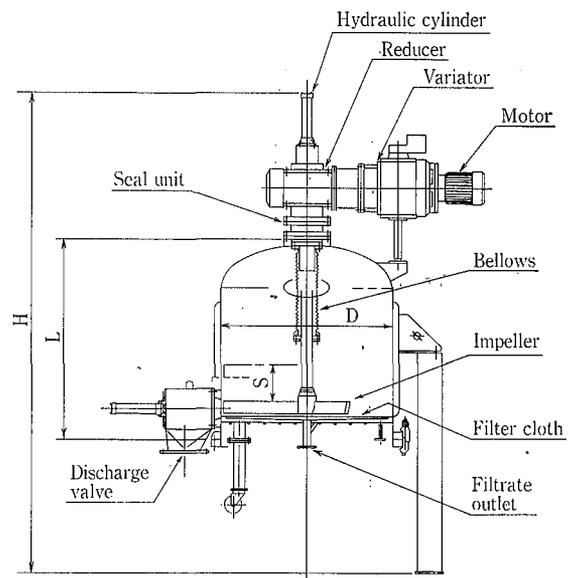
まえがき

医薬品、医薬中間体、ファインケミカル分野では、高付加価値化、少量多品種化が指向され、生産設備のマルチパス化も検討されている。

ノッチェ型濾過器に展延、混合、排出の機能を持たせた多機能型濾過乾燥機（フィルタードライヤ）も、このような背景のもとに上市以来ユーザ各位に好評を得て、納入実績も増加している。この実績を踏まえ、このたび設備全体をコンパクトにまとめた新しい標準機種を構築したので、ここに紹介する。併せて最近のフィルタードライヤの適用例を紹介する。

1. 新標準の概要

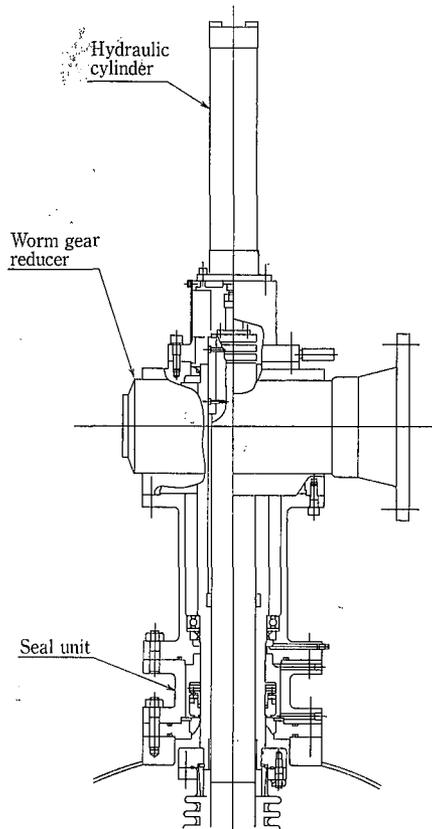
第1図及び第1表に8機種のフィルタードライヤの全体図と標準仕様を示す。全高を低くコンパクトにするために、伝動装置部の高さを低くすることを意図した新しい標準である。次に簡単に構造を説明する。



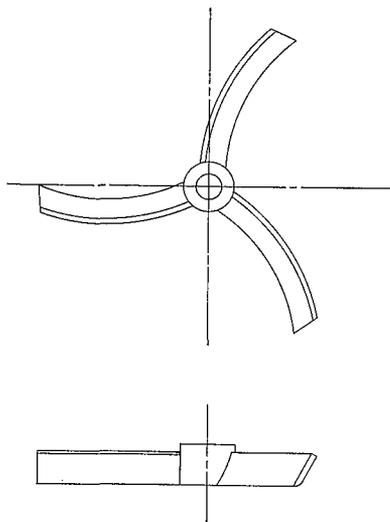
第1図 フィルタードライヤ全体図
Fig. 1 Cross section of Filter Dryer

第1表 フィルタードライヤ標準仕様・寸法表
Table 1 Specifications and dimensions of Filter Dryer

	FD-3	FD-6	FD-10	FD-15	FD-20	FD-30	FD-40	FD-50
Filtration area	m ²	0.25	0.6	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
Vessel diameter	D mm	600	900	1 200	1 450	1 650	2 000	2 600
Total height	H mm	2 940	3 090	3 300	4 020	4 020	4 220	4 585
Vessel height	L mm	1 100	1 200	1 250	1 650	1 650	1 750	1 950
Total volume	Lt	240	590	910	2 170	2 790	4 330	8 170
Cake volume	Lt	60	180	330	550	720	1 100	1 860
Motor	kW	1.5	2.2	5.5	7.5	7.5	11	15
Revolution	rpm	10~60	10~60	10~60	10~60	7.5~45	7.5~45	5~30
Shaft stroke	S mm	250	300	300	350	350	400	400
Total weight	kg	1 500	1 800	2 800	4 200	5 500	6 000	11 000



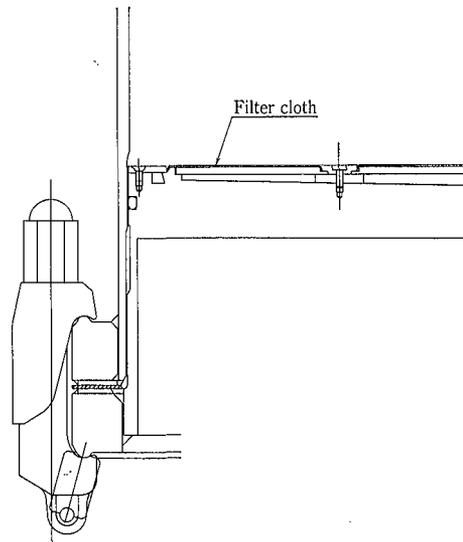
第2図 伝動装置図
Fig. 2 Schematic figure of drive unit



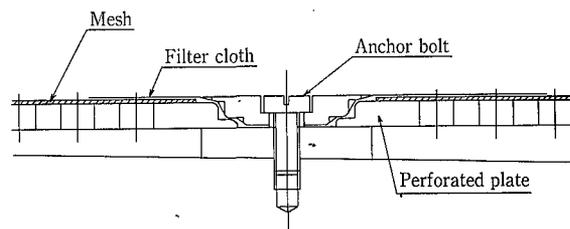
第3図 攪拌羽根
Fig. 3 Impeller

.) 伝動装置部

第2図に示すように、無段変速機を水平方向に取り付け、ウォーム減速機を介して回転方向を鉛直方向に変える。同時に減速する。この減速機の軸は、ホローシャフトとなっており、減速機上部に取り付けた油圧シリンダによって、缶内攪拌翼は上下する。



第4図 汙布セット図
Fig. 4 Setting of filter cloth



第5図 汙布止め
Fig. 5 Anchor bolt for filter cloth

2) 軸封

缶内の気密性、コンタミ防止を重視する場合は、軸上下方向をベローズでシールし、回転方向には通常のメカニカルシールまたはドライタイプメカニカルシールを使用するが、ベローズとドライシールの組合せを標準としている。

3) 攪拌翼

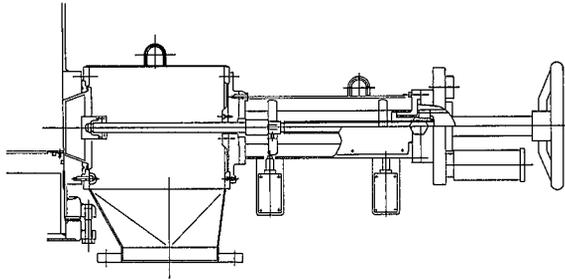
第3図に示すように、展延、搔取、混合、排出の多機能に適した攪拌翼を標準とする。回転方向は、正逆反転可能である。必要に応じて特殊形状の攪拌翼も対応出来る。

4) 汙板構造

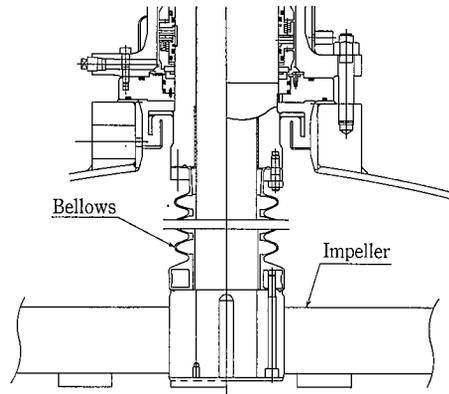
第4図に示すように、汙布、メッシュ、多孔板を組合せた構造を標準組合せとする。

汙布は、ポリプロピレン、ポリエステル、ナイロン等の合繊材料を標準とするが、他に金属金網、焼結金網、焼結金属板等を使用することもできる。汙布の下部のメッシュは、汙布と多孔板との間に空隙部を形成させるために設置され、このメッシュの設置により汙布の汙過面積が確保される。

真空乾燥時に、汙布の浮き上がりを防止するために、第5図に示すような汙布と多孔板と直接接合する汙布止めを設ける構造を取っている。



第6図 粉体排出弁
Fig. 6 Powder discharge valve



第7図 PTFE製ベローズと翼取付部
Fig. 7 PTFE bellows and mounting to the impeller

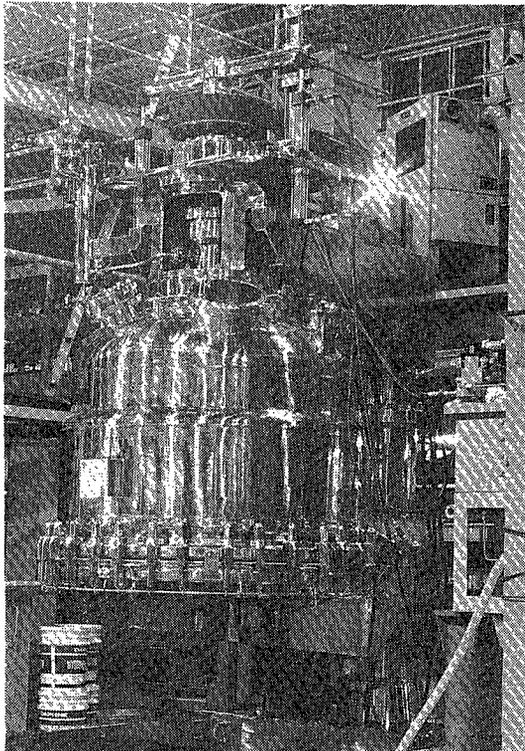


写真1 GNP仕様のフィルタードライヤ
Photo. 1 Filter Dryer for GMP

5) 排出弁

第6図に示すような側面排出のプラグバルブを標準とする。バルブケーシングにハンドホールを設け、洗浄が容易な構造としている。

6) 油圧ユニット

攪拌翼の昇降、下蓋の昇降及び粉体排出弁は油圧シリンダにより作動する構造となっている。これらの油圧シリンダへの圧力供給は1台の油圧ユニットで行い、防爆仕様を標準とする。

7) 現場制御盤、操作回路盤

攪拌翼の回転、昇降、下蓋の昇降及び排出弁の開閉は機側の防爆形現場制御盤で運転する。操作回路盤は非防爆エリアに設置する。手動操作を標準とするが全自動運転にも対応することが出来る。

2. GMP対応のフィルタードライヤ

医薬品は厳しい品質管理の下に製造されているが、この医薬品を製造する設備にも特有の機能が備わっている必要がある。それらを挙げてみると、次のようになる。

- ①設備内は、 121°C 、 $1.4\text{ kg/cm}^2\text{G}$ のスチーム殺菌に耐える構造であること。
- ②雑菌が設備内で繁殖する隙間などが極力ない構造とすること。
- ③設備内に液が滞留することなく、完全に排出出来ること。
- ④設備は、分解して清掃しやすい構造であること。
- ⑤設備外面は、ステンレススチールの磨き板を使用し、やむを得ず炭素鋼を用いるときは、ステンレスの磨き板でカバーすること。
- ⑥設備外面を水洗した場合に水の滞留がなく、完全に水切れすること。

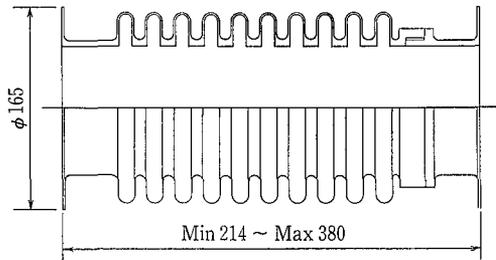
このようなGMP (Good Manufacturing Practice) 対応のフィルタードライヤを設計製作した(写真1)。ここでは、設計の重要なポイントの一つであるベローズについて紹介する。

1) ベローズの開発

フィルタードライヤ内の気密性が確実に保証されるためには、攪拌翼の回転に対してはメカニカルシールを適用し、攪拌翼の昇降にはベローズを適用するのがよい。

$0\sim 90^{\circ}\text{C}$ の範囲において、従来ベローズは、材質 PFA (四フッ化エチレン-パーフロアルキルピニルエーテル共重合樹脂)の成型品を適用してきたが、 121°C の生スチームによる殺菌工程に耐える耐熱、耐圧のベローズが必要となった。フィルタードライヤ内では、腐食性の薬品、多種の溶媒を取り扱うため、これらに対し最も安全な材質である PTFE (四フッ化エチレン樹脂)を使用することにした。攪拌羽根(金属)とベローズ (PTFE)の接合部に雑菌の繁殖する隙間のない構造を考案した(特許出願中)。

第7図に PTFE 製ベローズと攪拌翼との接合部の構造を示す。



第8図 テスト用ベローズ形状
Fig. 8 Bellows for testing

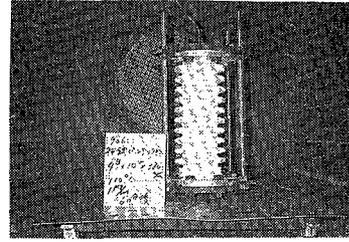


写真2 ベローズの内圧テスト
Photo. 2 Internal pressure test

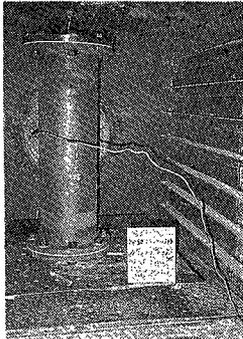


写真3 外圧テスト
Photo. 3 External pressure test

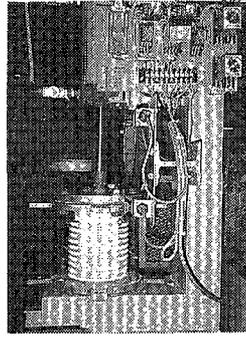


写真4 伸縮テスト
Photo. 4 Expansion & compression test

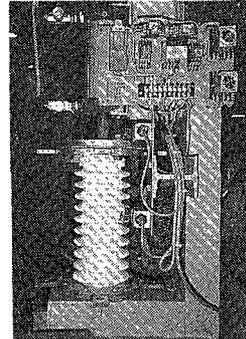


写真5 伸縮テスト
Photo. 5 Expansion & compression test

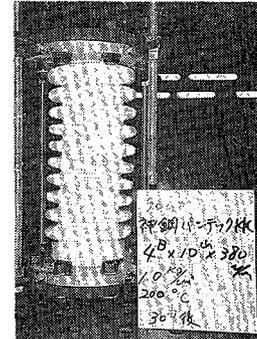


写真6 耐熱テスト
Photo. 6 Temperature durability test

耐熱, 耐圧, 耐久テスト

PTFE 製ベローズを商品化するために, 次に述べるテストを実施し, 耐熱, 耐圧, 耐久性を確認した。第8図に試験に使用したベローズを示す。

材質: PTFE

サイズ: 4B×10山×294 mm

伸縮量: 166 mm (Max 380 mm~Min 214 mm)

①内圧テスト

最大面間380 mm にセットし, 電気炉にて110°Cで2時間加熱後, 窒素ガスにて内圧 1.0 kg/cm²G に30分間加圧した。このテストは, フィルタードライヤ内が真空の状態に対応する。

結果: 山, 谷部の膨らみ, 変形等の異常は認められなかった。

②外圧テスト

外圧テスト用治具に最大面間の380 mm にセットし, 電気炉で121°C, 3時間加熱後, 窒素ガスにて外圧 1.4 kg/cm²G に30分間加圧した。このテストは, フィルタードライヤ内が 1.4 kg/cm²G の状態に対応する。

結果: 山, 谷部の膨らみ, 変形等の異常は認められなかった。

③伸縮繰り返しテスト

ベローズを伸縮テスト機にセットし, Max 380 mm~Min 214 mm にリミットスイッチを調整し, 10 000回の繰り返しサイクルテストを実施した。このテストは, フィルタードライヤの使用法として10回伸縮/1バッチ, 100バッチ/1年として, 10年間の耐久性に対

応する。

結果: 山, 谷部の膨らみ, 変形等の異常は認められなかった。

④伸縮繰り返しテスト後の内圧テスト

伸縮繰り返しテストに使用した資料を用いて①と同じテストをした。

結果: 山, 谷部の膨らみ, 変形等の異常は認められなかった。

⑤伸縮繰り返しテスト後の外圧テスト

伸縮繰り返しテストに使用した資料を用いて②と同じテストをした。

結果: 山, 谷部の膨らみ, 変形等の異常は認められなかった。

⑥耐圧破裂テスト (上記①~⑤テスト終了品)

最大面間の380 mmにセットし, 窒素ガスにて内圧1.0 kg/cm²G に加圧し, 電気炉で120°C, 1時間加熱後, 30分毎に10°C ずつ温度を上げ, Max 200°Cまで各温度での山, 谷部の膨らみ, 変形状態を確認した。

結果: 120~130°C 異常を認めず

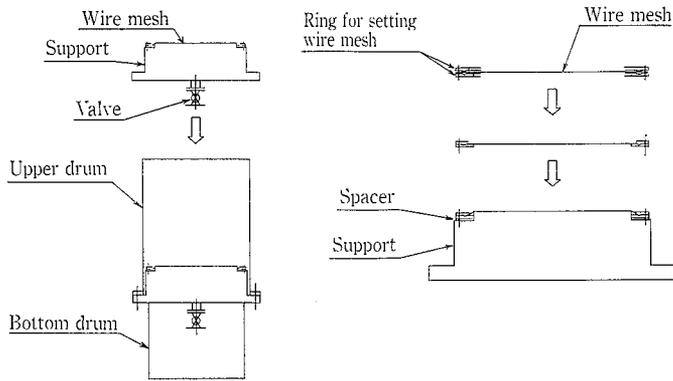
140~150°C 2~3 mm 蛇行

160~180°C 5~6 mm 蛇行

180~200°C 6~10 mm 蛇行

200°Cまでのテストを実施した結果, 蛇行による変形は発生したが, 谷部のバックリング等による破裂はなかった。

以上のテストの状況を写真2~6に示す。この結果121°Cの殺菌仕様, 雑菌の繁殖防止対策を考慮したベローズを開発することができ, 商用機に適用した。



第9図 金網の取付方法
Fig. 9 Setting of wire mesh

3. 低温仕様のフィルタードライヤ

フィルタードライヤに供給されるスラリーは、通常前工程の晶析反応で生産されることが多い。前工程の反応晶析が低温で実施される場合、後工程のフィルタードライヤも低温仕様が必要となる。

設計温度が -50°C のフィルタードライヤにおける設計上のポイントは次の通りであった。

- ① -50°C で使用できる材料として、可能な限りステンレス材を使用した。従って、ペローズ、汙材もステンレス製とした。
- ②メカニカルシール部、排出バルブ部など容器に直接取り付けられた構造物は、氷結防止のためドライ窒素がパージできる構造とした。
- ③固定用パッキン、OリングはPTFE製とし、バルブシール面、軸封部の軸シール部などは、弾性のあるPTFE系Oリングを使用した。

ここでは、低温用汙材についてテストを含め、紹介する。

1) ステンレス製金網汙材のテスト

汙材としては、ステンレス製金網を使用した。 -50°C で汙過後フィルタードライヤ内は、 100°C を超える熱溶媒で洗浄されるため、温度差が1回のバッチ処理間で 150°C 以上もつくことになる。

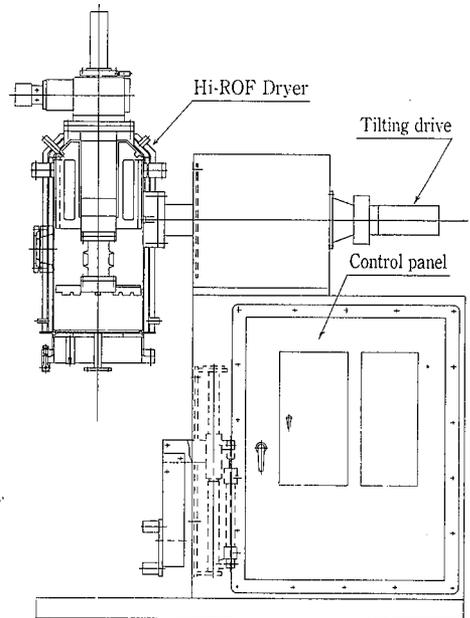
汙材金網がこの温度差内で弛み、変形などが生じないかが問題であり、温度繰り返しテストを実施した。

第9図に示すような大気開放の容器に、ステンレス製金網を取り付けた。金網は汙材押エリングであらかじめセットした状態で、下蓋にセットする。下蓋にセットする前に金網が弛まないようV字溝に挟み込み、少しのテンションを与えている。これを下蓋にセットし、スペーサの厚みを変化させて、金網のテンションを調整した。

容器内には、エチルアルコールを注入し、その後、粉碎したドライアイスを入れて低温状態(約 -50°C)を作った。また、アルコールを排出した後、 $0.7\text{ kg/cm}^2\text{G}$ の蒸気を金網表面に吹きかけ高温状態(約 100°C)を作った。

使用した汙材は、次の通りである。

- 材質：SUS316
- 目開き：500 mesh
- 織り：綾織り



第10図 ハイロフドライヤテスト機
Fig. 10 Hi-ROF DRYER test facility

線径： $\phi 0.025$
結果を次にまとめた。

スペーサ厚み	汙材の伸び	温度繰り返し後の汙材の状態
6 mm	0.16%	表面に皺がよっていた。
5 mm	0.30%	表面に皺はなかったが、少し張りが緩かった。
3 mm	0.70%	適正な張りであった。
0 mm	1.50%	適正な張りであったが、初期テンションに力が要する。

以上のテストにより、 -50°C から 100°C への温度繰り返しによる金網の初期テンションは、 $0.5\sim 1\%$ が最適という結論を得、商用機の設計に反映した。これらの結果は実用新案出願中である。

次に、上記汙材を当社技術研究所ハイロフドライヤテスト機(第10図)にセットし、炭酸カルシウム水溶液を用いて汙過及び湿潤ケーキの排出テストを実施した。汙材と攪拌翼のクリアランスを5 mmまで接近させ、湿潤ケーキの攪拌翼による剪断力が汙材に与える影響を観察した。結果は、汙材金網の変形、破れもなく正常であった。汙過速度に関しては、あらかじめ予想した通り汙材と多孔板との間に mesh の大きい金網を挿入することが、汙材面積を有効に生かせることが確認できた。

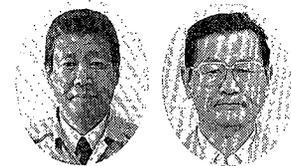
むすび

フィルタードライヤは、汙過、洗浄、乾燥が一台の設備で処理できる多機能型機器であり、医薬、農業を中心としたファインケミカルの生産設備として、今後の発展を期待している。

コンパクトな新標準フィルタードライヤを準備することおよび高度なユーザーニーズに応えること、この二点を重視してユーザー各位の製品品質向上、生産性の向上に役立ちたいと考えている。

ジャケットの腐食と防食 (その2)

Jacket Corrosion and Its Protection (Part 2)



技術開発本部 研究開発部
 宮崎 公志
 Koshi Miyazaki
 (化)製造部 生産技術課
 栗林 宏明
 Hiroaki Kuribayashi

Previous paper introduced some of our recent experiences with corrosion accidents in jacket caused by cooling water, describing how corrosion takes place and how such corrosion can be prevented. In this paper, electroless Ni plating is introduced as a protection against jacket corrosion and also methods of treating liquid for inhibiting corrosion and scale build up on Ni plated surface.

まえがき

前報¹⁾では、主として冷却水によるジャケットの腐食について、腐食はどうして起こるか、腐食はどうして防ぐかに主眼をおき、最近当社で経験した事例を含めて解説した。本報では、当社の防食法の一つであるジャケット部への無電解 Ni めっき施工技術の紹介と、めっき面の耐腐食性、耐スケール性、及び環境処理についても言及する。

腐食の発生やその進行速度には、さまざまな因子が作用する。この因子を変化させ、腐食が抑制される方向に向かわせれば、すなわち防食である。防食方法として、一般に認識されている最も身近なものは、金属の表面を被覆して環境物質を遮断する方法で、塗料を塗る、めっきをするなどが代表的な例である。めっきを利用して、素材に耐食性や耐摩耗性を付与する方法の一つに無電解 Ni めっきがある。このめっきは、Ni 塩と次亜珪りん酸塩を主成分とする溶液中に被覆物を浸漬し、化学的な還元作用によって行われるのである。最近では、めっき液が大幅に改良され、コストダウンが進み非常に簡単な技術と設備でめっき作業が行

えるようになった。

当社では、すでにその特性に着目し、1980年に高効率重合反応装置の内部ジャケット部に、冷却水に接する部分の防食と伝熱係数の経年低下を防ぐことを目的に施工しており、一般のジャケット部を含め現在までに数10基に施工してきた。(第1表)本稿ではジャケットへの無電解 Ni めっき施工技術、めっき面の耐腐食性及び耐スケール性について、実験結果を中心に言及する。

1. ジャケットへの無電解 Ni めっき施工技術²⁾

1.1 めっき施工試験

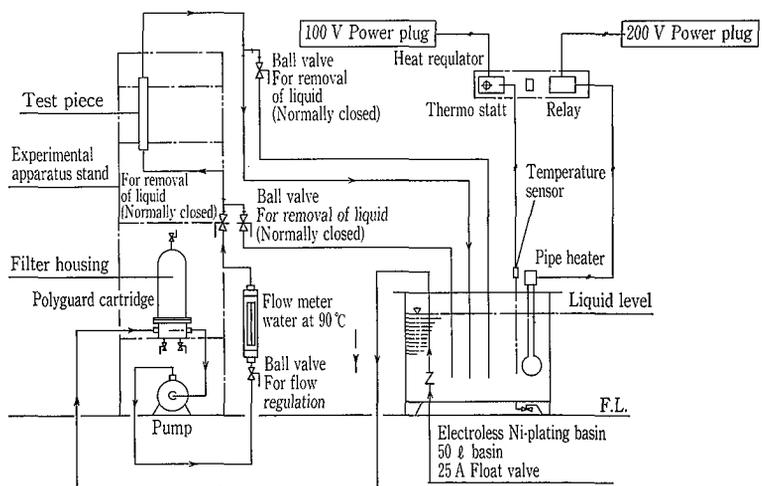
第1図に無電解 Ni めっき実験フローを示した。20A短管及びモックアップを使用し、各種実験を実施した。

本実験で得られた結果としては、

- (1) めっき液の組成並びにめっき条件は、めっきメーカー間で、微妙に異なるが、結果として、ほとんど差異は認められなかった。
- (2) 管内流速による影響については、面流速が一定値以下では、同一操作条件下で所定のめっき膜厚が得られた。

第1表 無電解 Ni めっき納入装置
 Table 1 Electroless Ni-plated installations

Capacity of reactor (M ³)	Number of units	Date of delivery
45	1	80-8
65	1	90-2
45	2	90-5
65	1	91-1
68	2	91-3
80	2	91-7
110	2	91-8
123	2	91-11



第1図 無電解 Ni めっき実験装置
 Fig. 1 Experimental apparatus for electroless Ni-plating

1.2 モックアップテスト

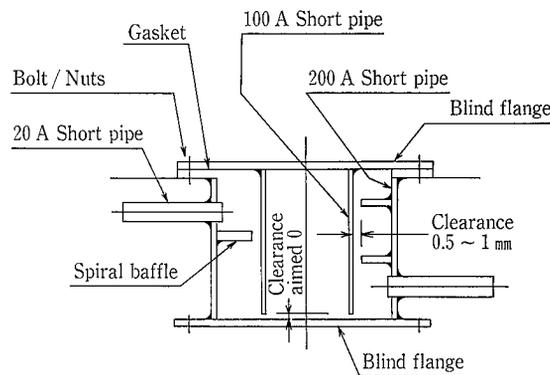
炭素鋼製モックアップ構造断面を第2図に示す。この構造の目的は、ガス溜り部、隙間部及び溶接部を設け、それらの部位のめっき挙動を観察するためのものである。

その結果、

- (1) 上層部エア溜り部には当然めっきは付かない。
- (2) 溶接部上及び隙間部のめっき状況は、外観及びその断面マイクロ観察からいずれも良好である。

1.3 実機への適用

プロセス及び工事手順の概要を第2表及び第3図に示す。また実際の無電解Niめっき施工状況を写真1に示す。大型容器施工上のめっき操作のポイントは、還元反応の進行に伴う亜硫酸Ni沈澱の形成や、被めっき体以外の還元進行を防止する錯化剤や安定剤の監視と適切なコントロールがめっき中に正しく実施されることである。



第2図 モックアップ断面
Fig. 2 Sectional view of mock up

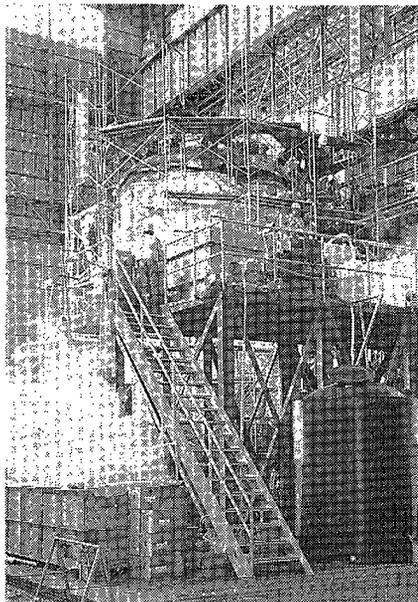
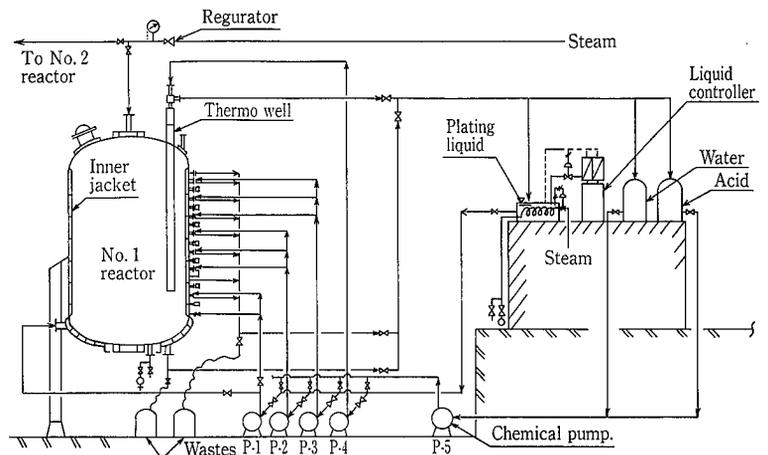


写真1 無電解Niめっき施工状況
Photo. 1 Status of electroless Ni plating process

第2表 プロセス及び工事手順

Table 2 Process and work procedures

Process	Work procedures and remarks
Surface preparation (Polymerizing vessel)	Apply shot blast equivalent to SPC 5 SSPC Standard. Afterward, grind nozzle welds for finish
Preparation for plating	Install operation pedestal, pumps and tanks. Perform piping, insulating, electric and scaffolding work. Perform leak test by test run with water followed by additional tightening, if necessary. Suspension of plating liquid and adjust ment of acid liquid.
Operation and heating of boiler	Heat polymerizes vessel and plating basin up to 80~90°C.
Washing with water	Carefully wash portions to be plated with water. If grease is found during washing operation; add deoiling process to remove grease.
Acid treatment	Perform acid treatment at temperature a below 50°C at lower concentrations in a short time.
Washing with water	Continue washing with water until acid is completely removed, confirming with PH test paper that acid is not present
Plating	Perform plating for 2~3 hours per batch by controlling temperatures at 80~95°C PH at 4.5~4.8 and Ni concentration a 4.5~4.8g/l.
Washing	Continue washing with water until plating liquid is completely removed confirming with color that liquid is no present.
Alkali treatment	Perform washing with low-concentration alkali.
Washing with water	
Drying	Dry with air (7 K air)
Inspection	Visually inspect internal surface through nozzle.
Washing with water of attached apparatuses after disassembly	Wash plating apparatuses with nitric acid.



第3図 無電解Niめっき配管系統図
Fig. 3 Piping diagram of electroless Ni-plating

3 表 1 バッチ当りの主操作条件

ble 3 Procedure for one batch

acid treatment	Temperature : RT~50 °C Concentration : HCl 5 %
pickling	Temperature : 70~90 °C pH : 4.5~8.4 Ni concentration : 4.5~4.8 g/ℓ
alkaline treatment	Temperature : RT~50 °C NaOH concentration : 2~3 %
drying	Temperature : RT Air pressure : 3~5 kg/cm ²

boiler heat up: within 2 hrs

第3表に1バッチ当りの主操作条件との一例を示す。施工上の留意点及び納期の遵守、安全対策については次示す配慮をしている。

被めっき素地が、めっき中に大気に触れると、めっきがそれ以上かからないことが多く、ポンプの故障や、配管のホース外れ等による一時中断は許されない。従って、

ポンプは必ず、予備を設け、トラブル時はバルブで切替え出来る配管としている。

配管はワンタッチクイックカプラーで接続し、予備配管並びに配管継類、バルブ等も予備を常備しておく。

水試運転時、昇温、冷却繰返しテストを必ず実施し温度差による洩れ対策をあらかじめ講じておく。

めっき液の面流速は、ある限度を超えると時間をかけても、全くめっきされないため、めっき中の流速管理を厳正に行う必要がある。

硝酸パッシベーション処理、塩酸処理、めっき反応薬液は高温ほどその効果を発揮することから、反応ガスによる内部圧力上昇に伴う突沸事故に対し安全上の予知予防対策が必要である。例えば、操作ステージ周辺をブルーシートで覆い、高所作業中の垂れ幕による危険標示、命綱の着用、めがね、ゴム手袋の着用等は当然必要となる。

サンドブラスト残渣、溶接屑、鉄粉等が残っていると、めっき液中のザラツキの原因となる。この対策として、配管入口にストレーナーを設置し、かつ汙過機の設置等を工夫しておく。

4 無電解 Ni めっきの判断基準

欠の項目を検査基準とし、総合判定する。

1) テストピース浸漬

循環液出口からめっきタンクへ戻るタンク液中にテストピースを吊り下げ、めっき前後のめっき膜厚を 1/1 000 nm マイクロメーターか化学天秤で測定する。断面マイクロ観察の一例を写真2に示した。

2) 定量分析テスト

めっき開始、終了間の Ni 消費量を計算し、めっき皮膜厚みを算出する。表積面×比重×厚み=重量
厚み(μm)=重量(g)×10 000/表面積(cm²)×比重(g/cm³)

3) 外観所見

各ノズル部よりライト等により、めっき表面状況を観察し、光沢、色調、ザラツキ、異物の有無等を調査する。

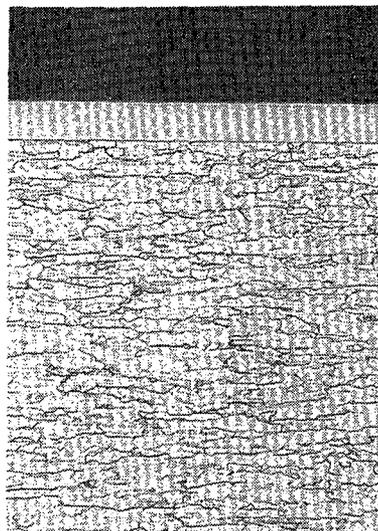


写真 2 断面マイクロ組織

Photo. 2 Microstructure of sections

2. 無電解 Ni めっきの耐腐食性³⁾

無電解 Ni めっきは耐食性が良好なことから、防食法の一つとして適用されているが、水環境下で使用されるような場合、Ni めっきは鋼に比べ貴な電位を示すため、Ni めっき皮膜にピンホールや亀裂等の欠陥が存在すると下地鋼板の腐食を著しく促進することが懸念されるが、その腐食速度の定量的な把握や防食方法については不明な点が多い。本実験では Ni めっき鋼板のめっき被膜欠陥部における電食挙動を想定し、水溶液の電導度や、鋼/Ni めっき皮膜の面積比の影響について調べるとともに、Ni めっきにピンホール等の欠陥部が存在した場合の電食防止方法としてインヒビターの添加効果についても検討を加えた。

2.1 実験方法

2.1.1 供試材及び試験液

供試材として無電解Niめっき鋼板(Ni-8 wt% P-30 μm)及び炭素鋼板(C: 0.10, Si: 0.22, Mn: 1.01, P: 0.014, S: 0.003%)を用い、必要に応じてマスキングを施した。また、試験液としてはイオン交換水に NaCl を加えて、イオン交換水(1.44×10⁻⁶s/cm)、工業用水レベル(1.57×10⁻⁴s/cm)、及び海水レベル(4.53×10⁻²s/cm)の3種類の電導度の異なる水溶液を調整して用いた。腐食抑制剤としては市販のインヒビターを100~1 000 ppmの範囲で添加した。

2.1.2 電食電流測定

無抵抗電流計により、炭素鋼と Ni めっき皮膜間の電食電流の経時変化を測定し、浸漬してから24時間経過後の安定した電流値を用いて腐食速度を算出した。試験液の温度は60 °Cとし、炭素鋼/Ni めっき面積比を1/1~1/9 000の範囲で変化させた。

2.1.3 浸漬腐食試験

無電解 Ni めっき鋼板の中央部にあらかじめ約 1.0 mmφ のめっき欠陥部を設けた試料を作成し、3.1.2項の測定と

同様、電導度の異なる3種類の水溶液中に10~30日間浸漬した後、断面の光学顕微鏡観察により腐食状況を観察した。

2. 1. 4 自然電位の経時変化

工業用水レベルの水溶液(60°C, 大気開放)を用いて自然電位の経時変化を測定した。またインヒビターの添加の影響についても調査した。

2. 1. 5 分極曲線測定

自然電位の測定と同様の工業用水レベルの水溶液(60°C 大気開放)を用いて動電位法により、陰分極及び陽分極曲線の測定を行った。またインヒビター添加の影響についても調査した。

2. 2 実験結果及び考察

2. 2. 1 炭素鋼 vs Ni めっき皮膜の電食挙動

1) 浸漬腐食試験

写真3に各種電導度の試験液に60°Cで30日間浸漬試験後のピンホール部断面観察結果を示す。ピンホール欠陥部の断面腐食状況はイオン交換水レベル(1.44×10⁻⁶S/cm)では約0.1mmの腐食深さが認められるが、工業用水レベル(1.57×10⁻⁴S/cm)及び海水レベル(4.53×10⁻²S/cm)では30日浸漬において完全に鋼板肉厚(0.4mm)を貫通しておりNi めっき皮膜を残して素地鋼板の腐食が進行していることが分かる。すなわち、試験液の電導度が大きいほどNi めっき欠陥部の腐食の著しいことが確認された。特にNi めっき皮膜の直下の腐食が著しいことが明瞭で、これは典型的な異種金属接触腐食(電食)によるものと考えられる。

2) 電食電流(I)

各種電導度の試験液を用いて炭素鋼とNi めっき接触による電食電流の測定結果から炭素鋼の電食(Fe→Fe²⁺+2e⁻)の腐食速度を算出し、その結果を第4, 5図に示す。第4図より水溶液の電導度が大きいほど炭素鋼の腐食速度は増加する傾向が明確である。また第5図より炭素鋼/Ni めっきの面積比が小さいほど炭素鋼の腐食速度は著しく増大する。炭素鋼/Ni めっきの面積比及び炭素鋼の腐食速度を共に対数目盛で表示すると、両者はほぼ直線的に変化することが分かる。

炭素鋼単独浸漬の腐食速度は約0.3mm/yであり試験液の電導度の影響は明確ではないが、炭素鋼/Ni めっきの面積比が1/9000の場合、海水レベル(4.53×10⁻²S/cm)の試験液では約1400mm/yである。また化学工業の冷却水として最もよく使用される工業用水レベル(1.57×10⁻⁴S/cm)においても約800mm/yと非常に大きな腐食速度を示すことが分かった。Ni めっき皮膜にピンホール等の欠陥部が存在した場合には、炭素鋼露出部の面積はNi めっき皮膜の面積に比べて極微小であると考えられるので炭素鋼露出部の腐食は炭素鋼単独の場合に比べて著しく促進される。

2. 2. 2 電食防止方法の検討

例えば、ジャケットの内面に無電解Ni めっきを適用する場合にはピンホールを皆無にすることは非常に困難である。このため鋼の表面に緻密な酸化皮膜を形成し鋼の腐食を抑制する効果が期待されているインヒビターの添加による防食効果を検討した。

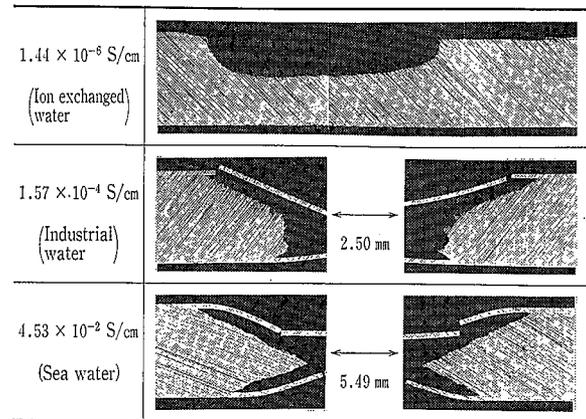
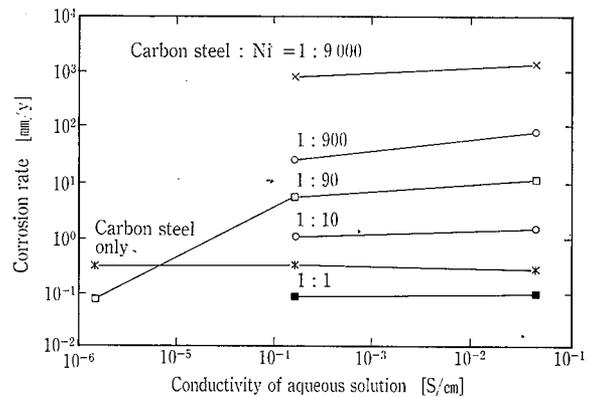
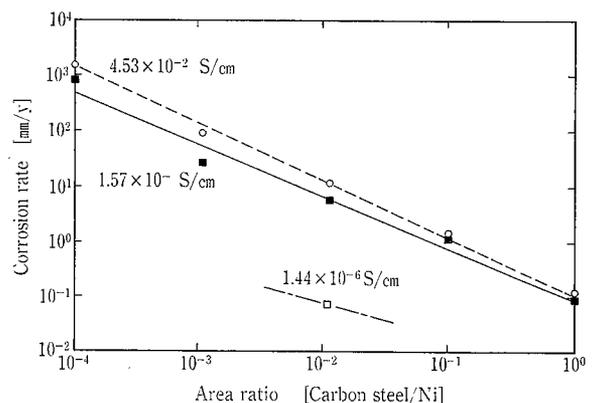


写真3 Ni めっきピンホール部の腐食状況
(浸漬60°C 30日間)
Photo. 3 Corrosion occurred at pinhole portion of Ni plating
(Dipped in 60°C liquid for 30 days)



第4図 炭素鋼とNi めっきの電食に及ぼす水溶液の電導度の影響
Fig. 4 Influence of liquid conductivity on galvanic corrosion of Ni Plated carbon steel



第5図 炭素鋼とNi めっきの電食に及ぼす面積比の影響
Fig. 5 Influence of area ratio on galvanic corrosion of Ni plated carbon steel

浸漬防食試験

工業用水レベル ($1.57 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$) の試験液 (60° C) 市販のインヒビターを 1000 ppm 添加した場合、Ni めっき単独浸漬による腐食速度は 0.002 mm/y 以下で非常に小さいことを確認した。

電食電流 (I)

2.2.1項1)と同様の方法により工業用水レベルの水溶液にインヒビターを 100, 500, 1000 ppm 添加して電食電流測定を行った。インヒビターの添加により炭素鋼と Ni めっき皮膜の間の電食電流はインヒビターを添加しない場合とは逆向きとなり、Ni めっき皮膜が溶解する方向に変化した。第6図に電食電流測定結果から算出した Ni めっき皮膜の腐食速度を示す。これらの結果より、炭素鋼/Ni めっきの面積比が大きくなるほど Ni めっき皮膜の腐食速度は増加する傾向にあるが、実用上炭素鋼の露出面積は極小であるので、インヒビター100 ppm 以上の添加の場合 Ni めっき皮膜の腐食速度は 10^{-4} mm/y 以下であると考えられる。

自然電位の経時変化

第7図に工業用水レベル ($1.57 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$) の水溶液にインヒビターを添加した場合の炭素鋼及び Ni めっきの24時間経過後の自然電位とインヒビター添加量との関係を示す。インヒビターの添加量の増加に伴い炭素鋼の自然電位単方向へ移行する傾向があり、約100 ppm 以上の添加で炭素鋼と Ni めっきの電位は逆転しはじめ 1000 ppm では炭素鋼の自然電位は約 -260 mV vs. SCE で Ni めっきの自然電位は約 -450 mV vs. SCE となった。

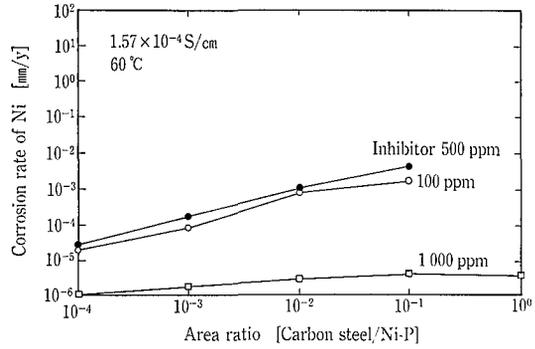
分極曲線測定

第8図に工業用水レベル ($1.57 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$) の水溶液にインヒビターを 1000 ppm 添加した試験液 (60° C) 中における分極曲線測定結果を示す。炭素鋼では1000 ppm のインヒビターの添加によって自然電位が貴に移行し、また分極曲線には不動態域が認められるようになるが、陰分極曲線にはほとんど影響を及ぼさないことが分かる。一方、Ni めっき皮膜では 1000 ppm のインヒビターの添加によって自然電位、陽分極曲線、陰分極曲線にはほとんど影響認められなかった。これらのことからインヒビターの添加によって炭素鋼の電食が防止されたのは、炭素鋼がインヒビターの作用で不動態化するためと考えられる。すなわち、工業用水レベルの水溶液にインヒビターを添加することによって Ni めっき皮膜は、炭素鋼に対してむしろ防食作用をすることが分かった。

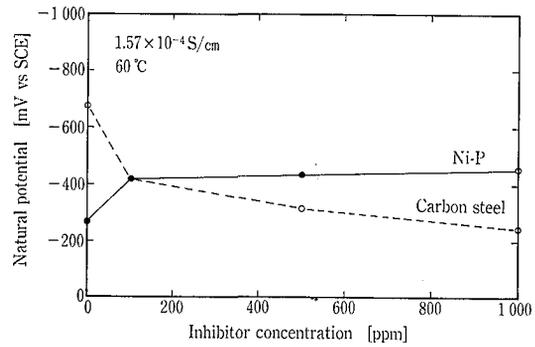
3 まとめ

無電解 Ni めっきをジャケットに適用するために Ni めっき皮膜のピンホール、亀裂等欠陥部の電食挙動を調べる共に、その防食方法としてインヒビター添加の効果について検討した。その結果、次のことが分かった。

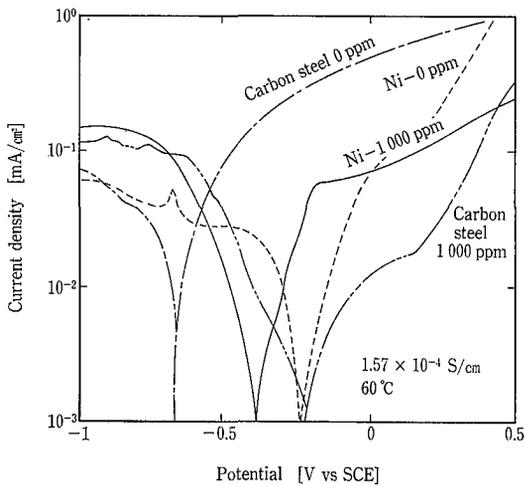
- 1) 工業用水中において炭素鋼/Ni めっき面積比が小さいほど炭素鋼の電食速度は著しく増大する。
- 2) 水溶液の電導度が大きいほど炭素鋼の電食速度は増大する。
- 3) 工業用水中にインヒビターを100 ppm 以上添加することによって炭素鋼と Ni めっき皮膜の自然電位は逆転し Ni めっき皮膜は炭素鋼に対してむしろ防食作用をする。



第6図 炭素鋼と Ni の電食に及ぼす面積比の影響
Fig. 6 Influence of area ratio on galvanic corrosion of Ni and carbon steel



第7図 Ni 及び炭素鋼の自然電位とインヒビター濃度の関係
Fig. 7 Relation between corrosion potential and inhibitor concentration of Ni and carbon steel



第8図 分極曲線測定結果のまとめ
Fig. 8 Polarization curve

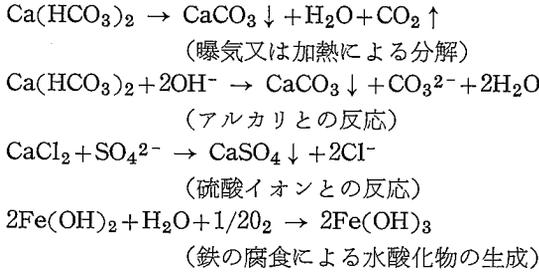
- 4) 工業用水中にインヒビターを100 ppm 以上添加した場合の Ni めっき皮膜の速度は 10^{-4} mm/y 以下であると考えられる。

3. 無電解 Ni めっきの耐スケール性⁴⁾

3.1 スケールとは

スケールは、水中の塩類が溶解度を越えたとき、その塩類が結晶化したものや、水中の懸濁物質（SS分）が凝結、成長し、硬質付着物となるものである。冷却水系では、主として炭酸カルシウム、硫酸カルシウム、珪酸系の塩、腐食生成物等がスケール成分となるが、その他腐食防止の目的で添加される腐食防止剤の主成分も単独あるいは水中の塩類との結合によりスケールとなる場合がある。

次に水中で起るスケール成長反応の主なものを示す。



これらのスケールの付着速度は、水質、水温、流速、伝熱量等の環境因子により大きく変化するが、このうち炭酸カルシウムスケールについては、水質、水温の因子のみにより、そのスケール性の指標とすることがある。これをランゲリア指数又は炭酸カルシウム飽和指数という。（第9図）。

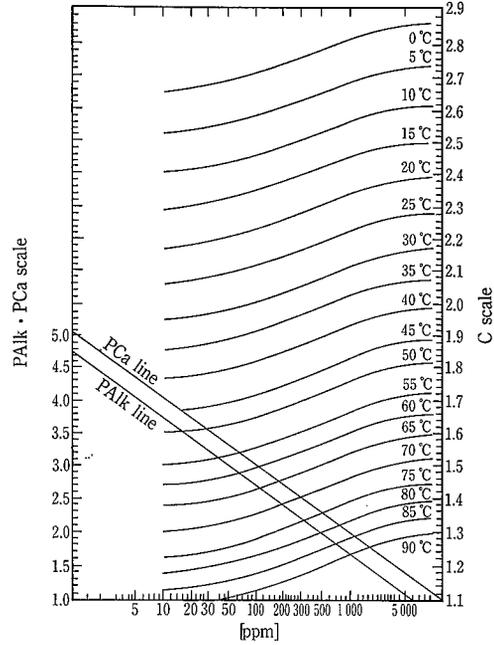
ランゲリア指数が正の値であればスケール発生傾向、逆に負の値であれば腐食傾向とみなす。しかしこの数値はあくまで目安であり、スケール傾向であるからといって、腐食障害が全く起こらないという意味ではないので注意が必要である。またランゲリア指数やリズトー指数による傾向は、ある水温、水質における性質のみを表したものであるため伝熱面等での部分的な水温の上昇や腐食の発生部に起こる pH の上昇等の原因によるその傾向を無視したスケールの発生は予想できない。

3.2 スケールの発生機構

水中で難溶性の塩分が溶解度以下にあるとき、それらはイオンとして存在する。しかし溶解度を越えたとき、塩は単一物質として存在を始める。これが結晶の核となる。これら単一物質は経過時間と共に成長を始める。（第10図）この様に、不飽和状態である水は、結晶核の生成が起こらないため結晶の析出はない。しかしながら、熱交換部を有する系では伝熱面で発生する境界内での温度の上昇及び濃縮、腐食発生部分でのアルカリ度の上昇等、局所的な環境の変化により、その部分で過飽和現象が発生する。水中に存在する粒子は、その電気的な性質が弱いため、互いに凝結し合う性質を持っており、これがスケールになる。

3.3 試験概略

第11図の二重管試験装置を用いて実装置（ジャケット）とできるだけ近似条件に設定して、試験水（各濃度の冷却水合成水）を一定期間循環し、スケール付着防止及び腐食防止の性能を評価する。すなわち第11図のように外套管中に軟鋼チューブを挿入して二重管を作り、軟鋼チューブ内に加温液を通し、このチューブと外套の間に冷却水を通し

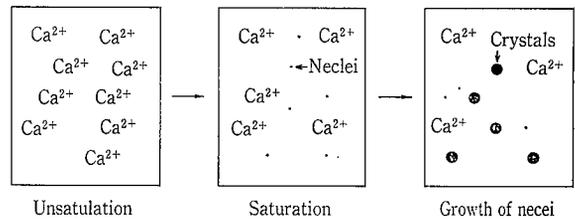


Example of calculation

1. Condition	2. Calculation on the nomograph	3. Calculation	4. Judgement
Water temp. = 50°C pH = 8.0 Ca hardness = 120 ppm M-alkalinity = 100 ppm Total solid = 210 ppm	Ca hardness PCa line → PCa = 2.92 M-alkalinity PAlk line → PAlk = 2.70 Total solids Temperature line → C = 1.68	pHS = PCa + PAlk + C = 7.30 Is = pH - pHS = 8.0 - 7.30 = 0.70	A tendency to form the scale in water

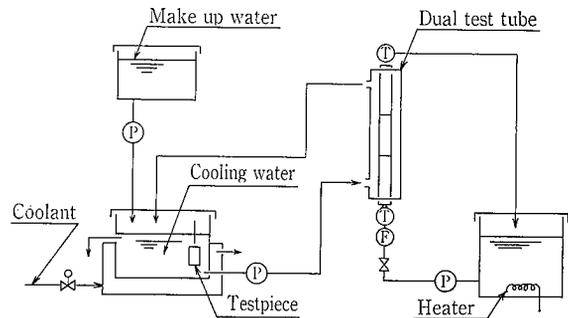
第9図 炭酸カルシウム飽和指数計算図

Fig. 9 Saturation index (Langerier) nomograph



第10図 結晶の成長

Fig. 10 Growth of crystals



第11図 二重管試験装置

Fig. 11 Dual tube testing device

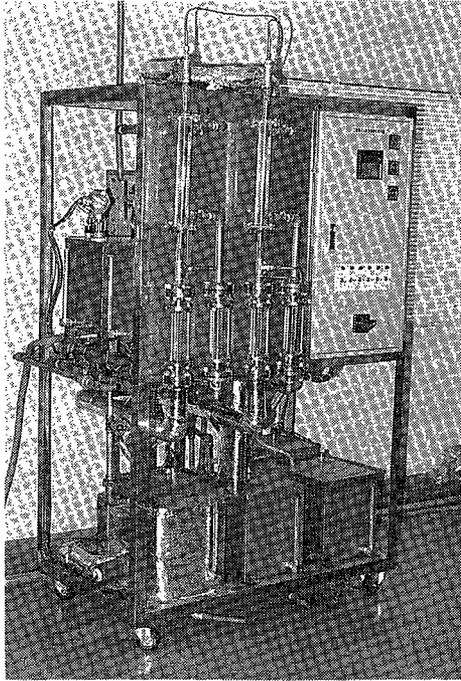


写真 4 二重管試験装置
Photo. 4 Dual tube testing device

て冷却水側伝熱面の腐食，スケールを評価する方法で，流速や伝熱条件を任意に設定して運転する。軟鋼のテストチューブは1系列につき3本組とし乱流の影響を除くため上下の2本を省き真中の1本で評価を行うようにした。写真4に二重管試験装置の外観を示す。また試験条件及び水質を第4表に示す。テストチューブでの処理及び主要測定は次の通りである。

秤量 試験前重量 A (mg)
 試験後酸洗前重量 B (mg)
 酸洗後重量 C (mg)
 計算 腐食減量 $D = A - C$ (mg)
 付着物量 $E = B - C$ (mg)

腐食速度

$$F = \frac{D(\text{mg}) \times 100}{\text{テストチューブ表面積}(\text{cm}^2) \times \text{試験日数}(\text{day})}$$

付着速度

$$G = \frac{E(\text{mg}) \times 30}{\text{テストチューブ表面積}(\text{cm}^2) \times \text{試験日数}(\text{day})}$$

3. 4 試験結果及び考察

第5表及び第12～15図に試験結果をまとめて示す。すなわち、

- 1) 薬剤無添加の Ni めっきチューブのスケール付着速度は濃縮度3倍で1.1 mcm，濃縮度5倍で1.3 mcm，濃縮度8倍で1.6 mcm と濃縮度に比例して大きくなっているが，数値的には非常に小さい。仮にスケール付着速度が1.6 mcm とした場合の含水スケール厚みを計算すると次の式で求められる。
 <条件>スケールの組成：炭酸カルシウム（比重2.83，含水率：60%）

第4表 試験条件及び水質

Table 4 Test condition and water quality

Test condition	
Cooling water (°C)	40
Hot water (°C)	77
Feed velocity (m/sec)	0.5
Heat transfer (kcal/m ² ·hr)	50 000
Water capacity (ℓ)	10
Test tube	STB (Ni-plated)

Quality of cooling water			
Concentration	3	5	8
pH	7.8	8.6	8.6
Electro conductivity (μS/cm)	540	700	1 440
M-alkalinity (mgCaCO ₃ /ℓ)	90	150	240
Total hardness (mgCaCO ₃ /ℓ)	120	150	320
Ca hardness (mgCaCO ₃ /ℓ)	90	120	240
Chloride ion (Cl ⁻ /ℓ)	63	86	168
Sulfate ion (mgSO ₄ ²⁻ /ℓ)	60	67	160
Ionized silica (mgSiO ₂ /ℓ)	24	70	64

第5表 試験結果の一例

Table 5 Example of test result

- Concentration factor : 5
- Detention time : 120 hr
- Test period : 5 days

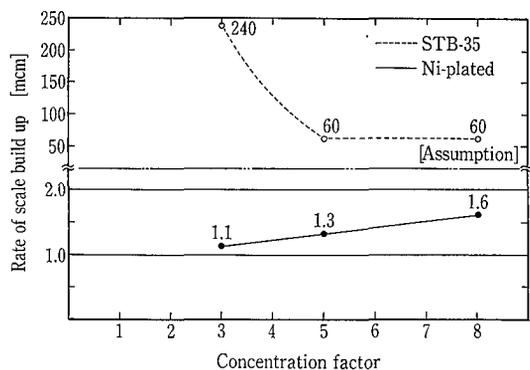
No.	Inhibitor	Addition (mg/ℓ)	Corrosion rate MDD	Adhesion rate MCM
①	Blank	—	2.4	1.3
②	Inhibitor (A)	80	0.6	0.1
③		100	0.2	0.1
④		120	0	0.1
⑤	Inhibitor (B)	60	0.6	0.1
⑥		80	0.5	0.1
⑦		100	0.5	0.1

MDD : mm/dm²·day

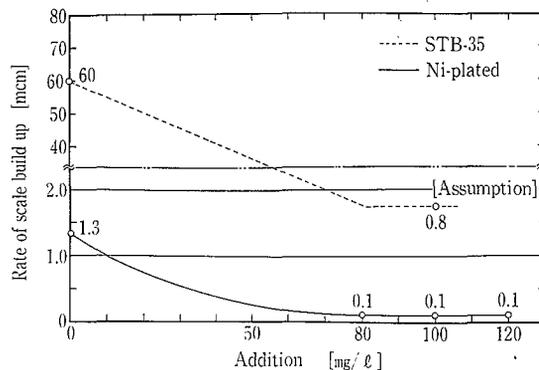
MCM : mg/cm²·month

- (1) 含水スケールの比重は水の比重を1とすると
 $2.83 \times 0.4 + 1.0 \times 0.6 = 1.73$ となる。
- (2) 含水スケールの1年後の付着量は1ヶ月の付着量の3倍が1年後の付着量になるから
 $1.6 \text{ mcm} \times 3 \div 0.4 = 12 \text{ mg/cm}^2$ となる。
- (3) よって，1年後の含水スケール厚みは

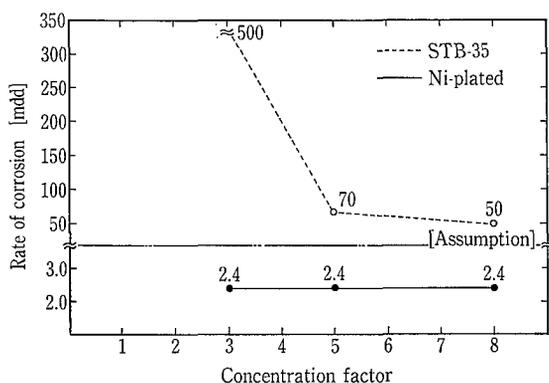
$$\frac{12 \text{ mg/cm}^2}{1.73 \text{ g/cm}^3 \times 10^3} \times 10 = 0.07$$
 よって，一般に熱交換器の汚れ係数の許容値を0.001 m²·hr·°C/kcal とした場合，CaCO₃ スケールでは，その厚みが約0.5 mm で許容されることから，スケール付着速度1.6 mcm の場合の含水スケール厚み0.07 mm はスケール障害とはならない数値である。
- (4) 薬剤無添加の Ni めっきチューブの腐食速度は，濃縮度3倍，5倍，8倍共に2.4 mdd とやや大きくなっている。
- (5) 薬剤添加の腐食速度は，薬剤80 mg/ℓで0.5 mdd，濃縮度8倍，薬剤100 mg/ℓで0.4 mdd と無添加に比べ良好である。



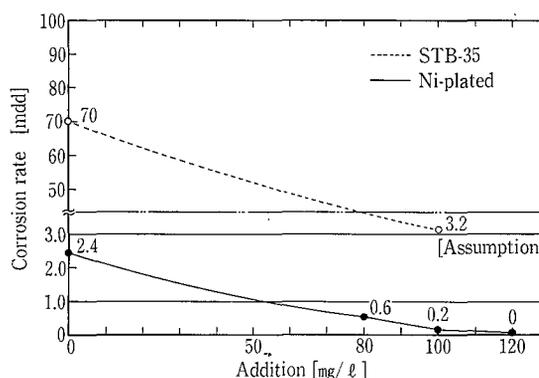
第12図 薬剤無添加の濃縮度とスケール付着速度の関係
Fig. 12 Relation of scale build up rate and concentration factor with no inhibitor



第14図 濃縮度5倍の場合の薬剤とスケール防止効果の関係
Fig. 14 Scale inhibiting effect of inhibitor at five times concentration



第13図 薬剤無添加の濃縮度と腐食速度の関係
Fig. 13 Relation of corrosion rate and concentration factor with no inhibitor



第15図 濃縮度5倍の場合の薬剤と防食効果の関係
Fig. 15 Corrosion proof effect of inhibitor at five times concentration

6) 薬剤無添加の鉄の地肌の部分には、濃縮度5倍、8倍ともに炭酸カルシウムスケールの付着が多量見られ、鉄の腐食過程でカソード部 ($1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$) がアルカリになるためスケールが析出しやすいことが確認された。スケール付着速度は濃縮度5倍で約80 mcm、濃縮度8倍で約160 mcmと非常に大きく、濃縮度に比例して大きくなる。

7) 薬剤添加のスケール付着速度は濃縮度5倍、薬剤100 mmg/l添加で2.3 mcmと無添加に比べて非常に良好である。

3.5 まとめ

薬剤無添加のSTB-35(鉄)、ステンレスチューブにはスケールが付着しやすいが、Niめっきチューブにはほとんどスケールが付着しないことが確認された。またNiめっきチューブの薬剤無添加の腐食については2.4 mddとやや大きいものの、薬剤添加の腐食速度がすべて小さくなっているところから、薬剤添加による防食効果が確認された。

さらに薬剤によるNiめっきの溶出については、卓上テスト結果から溶出は全く問題なかった。しかしNiめっき不完全で、鉄の地肌が若干ある場合は鉄の部分に炭酸カルシウムのスケールが付着すると同時に、腐食が起こり、pH値の低下、Niめっき剝離の誘発等の問題となるところから、薬剤処理をレコメンドする。

むすび

本報では当社の防食技術の一つであるジャケット部への無電解Niめっき施工技術の紹介と、めっき面の耐腐食性、耐スケール性及び環境処理について、筆者らの実験結果と若干の文献を引用して解説した。この解説がユーザの方々にとって少しでもご参考になるならば幸甚に思う。

【参考文献】

- 1) 宮崎公志：神鋼パンテック技報 Vol. 37 No. 1 (1993) p. 1
- 2) 宮崎公志，栗林宏明：神鋼パンテック技報 Vol. 35 No. 1 (1991) p. 20
- 3) 宮崎公志，栗林宏明：腐食防食'92講演大会予稿集
- 4) 中西敬昌：化学装置 Vol. 34 No. 2 (1992) p. 50

飲料水製造における生物処理の適用

Application of Biological Treatment for Drinking Water Production



(環)技術部 計画第4課 松 下 滋
Sigeru Matusita
(環)技術部 計画第3課 隅 晃 彦
Akihiko Sumi

In the midst of increasing interest in drinking water, demand for quality water is getting severeness. Since conventional water production systems for refreshing drinks employ chemical treatment, the product water does not satisfy consumers' fervent demand for palatable water. Thus study for improved water treatment was conducted in response to the "Guideline for Quality Indication of Mineral Waters" recently published by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. As a result, biological filtration using iron bacteria proved rapid and effective for removal of iron and manganese contained in ground water.

まえがき

近年水道水の質の低下が話題になっており、国民の水に対する関心、中でも「おいしい水」への要求が高まっている。このような中、食生活における水への嗜好も高級化しつつあり、わが国におけるミネラルウォーター消費量はこの数年急激な伸びを示している。

わが国は昔から良質な水源に恵まれていたため、近代水道の普及した20世紀になってからも水の味が問題にされることは少なかった。しかし産業の発展と生活様式の変化に伴う水道水源の悪化により、異臭味等の問題が発生するようになってきた。

こうした「まずい水」の改善に当たり、まず「おいしい水」とは何かとの問いかけに答え、厚生省は1984年に「おいしい水の要件」を発表した。その内容を第1表に示す。更に同省では、水道水質の改善のため国際的な動向及びこれまで規制の無かった化学物質を含めた見直しが行われた。その結果新水質基準が1993年度中に施行される予定である。また農林水産省は1990年、「ミネラルウォーター類(容器入り飲用水)品質表示ガイドライン」を設定した。このガイドラインは、水道水の高品質化に対応する形で、食品としての飲料水の品質を明確化させたものである。この内、ミネラルウォーター類の分類を第2表に示す。

最近、市販の清涼飲料水の中にも天然水または自然水を原材料としていることをうたった商品が増えているが、上記ガイドラインの制定によりその品質の分類は明確なものとなった。近年の消費者の自然志向の高まりは更に増すものと考えられ、原水の質はますます重視されると予想される。このため、その処理方法についても今後はより自然な方式が求められるものと思われる。

このような情勢に鑑み従来の飲料水処理プロセスにおける除鉄・除マンガン処理に関して見直しを行った結果、より自然的方法として鉄バクテリアを利用した生物処理に着目し、その検討と確認テストを実施したのでここに報告する。

1. 地下水の処理

「おいしい水」や「ミネラルウォーター」が脚光を浴びる以前から、地下水は飲料水として広く用いられてきた。これは、地下水が次に示すような優れた特長を有しているためである。

- ・土壌中で浄化されており、安全性が高い。
- ・CO₂及びミネラルが溶け込んでおり、味が良い。
- ・水温及び水質が安定している。

一方、地下水は土壌の性質によっては次の欠点を持つことがある。

- ・鉄、マンガンを多量に含み、金気や渋みが付いたり赤水、黒水が出ることもある。
- ・侵食性の遊離炭酸を多量に含み、金属類を溶出させる。
- ・バクテリア類が存在する。

このため飲料水として地下水を用いる場合には鉄及びマンガンの除去が必要な場合が多く、このような場合、清涼飲料水等の製造プロセスにおいては除濁及び除鉄、除マンガンと殺菌を組み合わせたプロセスが一般的に用いられて来た。

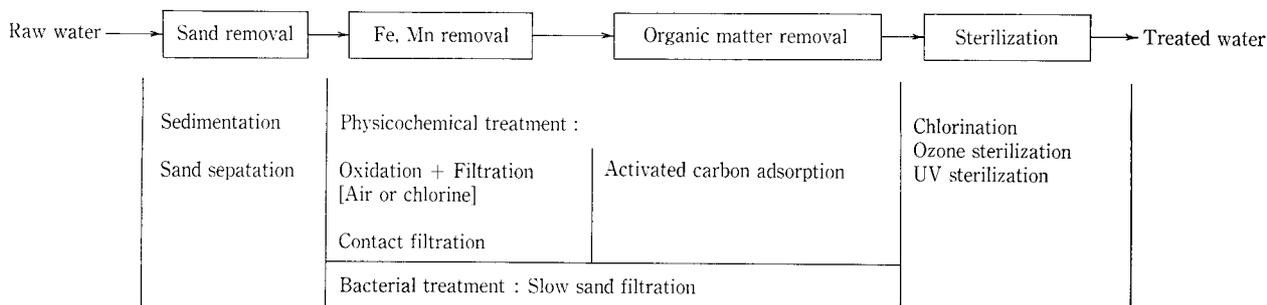
次に従来法における鉄、マンガンの除去機能について記載する。

第1表 おいしい水の要件
Table 1 Requisites for palatable water

	Requisites for palatable water	Drinking water standards
Total solids	30~200 mg/ℓ	≤ 500 mg/ℓ
Hardness	10~100 mg/ℓ	≤ 300 mg/ℓ
Free carbonate	3~ 30 mg/ℓ	—
Potassium permanganate consumption	≤ 3 mg/ℓ	≤ 10 mg/ℓ
Threshold odor	≤ 3	Not abnormal
Residual chlorine	≤ 0.4 mg/ℓ	≥ 0.1 mg/ℓ
Water temperature	≤ 20 °C	—

第 2 表 ミネラルウォーター類 (容器入り飲用水) の分類
 Table 2 Classification of mineral (bottled) water

Classification	Raw water	Applicable treatment
<Natural water> Natural water Natural mineral water	Ground water collected from specific water sources Ground water collected from specific water sources and containing inorganic salts dissolved during residence or passage in underground Mine water Mineral spring water, etc.	Limited to filtration, settling, and heat sterilization
<Mineral water> Mineral water	Water collected from the same source as natural mineral water	In addition to filtration, settling, and heat sterilization, following treatment are allowed. Adjustment of minerals Aeration Ozone sterilization UV sterilization, etc.
<Bottled water> Bottled water or drinking water	Water suitable for drinking Pure water Distilled water Surface water or river Tap water, etc.	Treating method is not limited



第 1 図 地下水の処理における基本フロー
 Fig. 1 Basic flow diagram of underground water treatment

1. 1 地下水の処理

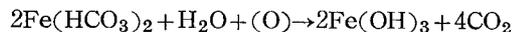
地下水は一般に遊離炭酸を含み、溶存酸素をほとんど含まないという特長を持っている。このような条件下では、鉄、マンガンはイオンとして溶存する場合が多く、これらは 2 価の重炭酸第 1 鉄 ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$)、重炭酸マンガン ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$) の形態をとるものと考えられている。地下水の処理においては、第 1 図に示すような方式が採られる。特に小規模の簡易水道及び製造工場用としては、その合理性により物理化学処理 (特殊濾材等による接触濾過) が多く利用されている。

1. 2 除鉄、除マンガン処理

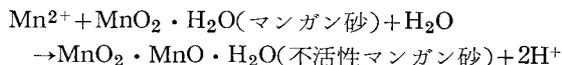
1. 2. 1 物理化学的な方法

地下水中に溶解している鉄、マンガンイオンはそのままでは除去できないため、一旦酸化剤により酸化して固形物として析出させた後濾過により除去するという方法が採ら

れている。そのうち鉄の酸化反応は次式で表される。



鉄の酸化剤は溶存酸素で十分であるが、マンガンは中性付近では Mn^{2+} として安定しており、容易には酸化されない。このため、触媒作用のある濾材 (マンガン砂等) と酸化剤を併用して効率的に酸化を行う接触濾過と呼ばれる方法が広く用いられている。酸化剤としては酸素よりも強力な次亜塩素酸ソーダ等がよく用いられる。その反応は次式で表される。



この方法だと、マンガンに対しても良好な除去性能が期待出来る。なお、活性を失ったマンガン砂は原水中の過剰塩素によって連続的に再生される。本法は当社でも実績の多い方式である。

第 3 表 緩速ろ過法と接触ろ過法の比較
Table 3 Slow sand filtration and contact filtration

Method	Applicability to the guideline		Taste	Removability		Filtration rate (LV)	Required area	Remarks
	Natural water	Mineral water		Fe	Mn			
Slow sand filtration	Aerated	×	○	○	○	5~6 m/d	Large	
	Non-aerated	○	○					
Contact filtration	Oxidation by air	×	△	○	○	Several tens ~200 m/d	Small	It is questionable whether this filtration with chemical treated media falls under a category of filtration prescribed in the guideline
	Oxidation by chlorination	×	×	×	○	○	Several tens ~200 m/d	Small

1. 2. 2 生物学的な方法

古くから用いられて来た緩速ろ過法において、地下水中の鉄及びマンガンが除去されることが知られている。この緩速ろ過法は原水を 5~6 m/d の速度で砂層に通すだけの簡便な水処理法であるが、砂層上に生じる生物膜（微生物の集団）の作用によって濁質はもとより有機物、アンモニア、細菌類、更には臭気まで除去することが出来ることが分かっている。

微生物による除鉄、除マンガンの機構には、水中に存在する鉄バクテリアが関与しているものと考えられている。

まず、水中の鉄、マンガンは鉄バクテリアの菌体中に取り込まれ、固定される。この菌体がろ層中に捕捉されるため、同時に鉄、マンガンも除去される。なお鉄バクテリアとは、水中の第 1 鉄化合物を水酸化第 2 鉄として菌体の内部または外部に沈積する性質を持った細菌類の総称である。

鉄バクテリアをその栄養形態によって分類すると、次のようになる。

独立栄養型（真性鉄バクテリア）： Fe^{2+} を Fe^{3+} に酸化することによりエネルギーを得て炭酸同化を行うタイプで、化学合成菌（*chemosynthetic microbe*）に分類される。*gallionella* がこれに該当する。

従属栄養型（擬似鉄バクテリア）：鉄を沈積する作用はあるが、そのエネルギーを炭酸同化に利用しないタイプで、栄養源として他に有機物が必要である。鉄の酸化は無生物的に起こるものと解される。*crenothrix*, *leptothrix* 等、大部分の鉄バクテリアはこちらに該当する。

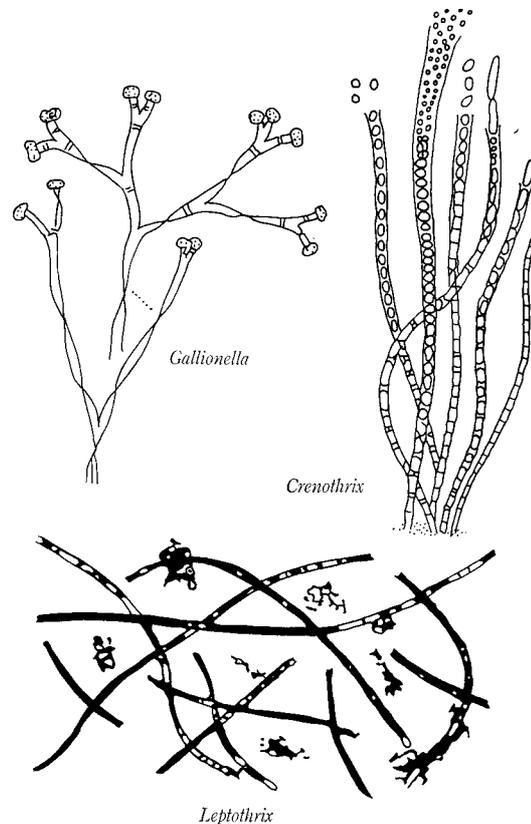
鉄バクテリアの一例を第 2 図に示す。

2. 清涼飲料水等の水処理

2. 1 従来法の検討

前述の通り、近年消費者が興味を示しているミネラルウォーター、ナチュラルウォーター等はその名称で販売若しくは製造に用いる場合、その水源だけでなく処理方法も先のガイドラインによって制約を受けることとなる。従って、殺菌を除く前処理として許容される処理方法は次の通りである。

ナチュラルウォーター：ろ過、沈殿



第 2 図 代表的な鉄バクテリア
Fig. 2 Typical iron bacteria

ミネラルウォーター：上記の他複数の原水の混合、ミネラル調整、曝気

これ以外の処理法は使えないことになる。なおここで言うろ過とは、「珪藻土、活性炭等を使用した基本的なろ過及び微生物を除去できる程度の膜ろ過までの範囲」である¹⁾。従来の物理化学処理は、人工的な特殊ろ材の使用や塩素酸化を行っているため自然的な処理とは言い難い。参考として従来法の適用可否と特長を第 3 表に示す。

2.2 処理方式の決定

2.1より、自然的な処理方法としては古くから利用されている緩速汚過が適していることが分かる。しかしながら、本方法は広大な敷地を要することから国土が狭く地価の高いわが国ではその経済性において大きな問題があり、その実施には困難が伴う。この問題は、汚過速度の遅さ故に広大な汚過面積を必要とすることから生じている。よって、この緩速汚過における生物膜による鉄、マンガンの除去という特性を維持したままで汚過速度を急速汚過程度に上げることが可能であればこの問題を解決することが出来る。

以上を基に、今回、緩速汚過の処理機能を応用してその汚過速度を高速化した際の性能確認テストを行った。この結果を次章に述べる。

3. 実験

3.1 実験内容

深井戸水を原水とし、2種類の生物膜汚過装置を用いて鉄・マンガンの除去性能をテストした。

3.1.1 装置概要

写真1にテスト装置を示す。

1) 汚過器

テストに用いた2種のカラムを第3図に示す。

・複層汚過

アンストラサイト及び砂を汚材としている。空隙率の大きいアンストラサイト層に鉄バクテリアを繁殖させ、砂層にてバクテリアの流出を防止する。

・BCF (Bio Contact Filter) (当社登録商標)

汚材に球状・多孔質の無機質焼成品を用いた生物膜汚過装置で、微生物保持能力が高く、空隙率が大きいことから高効率の処理が行える。

2) 通水方法

フローシートを第4図に示す。

地下から汲み上げられた深井戸水は、砂を除かれた後原水槽に導かれる。原水槽には散気管が設けてあり、DO (溶存酸素) の調整が可能である。原水はポンプにて各カラムに送られ、汚過される。この際、薬品類は一切使用しないものとする。

なお複層汚過、BCF、共通水は重力式で行っているが、複層汚過については圧力式のテストも実施し、影響の有無を調査した。

3.1.2 条件

1) 原水水質 (平均)

- ・鉄 : 0.07 mg/l
- ・マンガン : 0.06 mg/l

2) 目標水質

- ・鉄 : <0.05 mg/l
- ・マンガン : <0.01 mg/l

水道水の現行水質基準は共に 0.3 mg/l 以下であるが、新基準ではマンガンについて 0.05 mg/l 以下に設定された。(快適水質項目としては 0.01 mg/l 以下)

3.1.3 実験項目

1) 分析項目

- ・主項目 : 鉄, マンガン
- ・追加項目 : 濁度, 色度, SS, 一般細菌, 大腸菌群

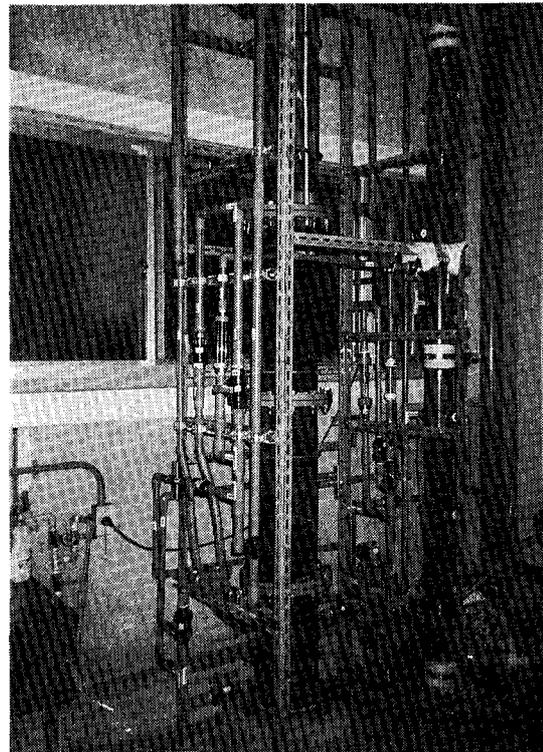


写真1 テスト装置
Photo. 1 Test unit

2) 確認事項

- ・最適DO (溶存酸素)
- ・最適LV (汚過速度 : 処理水量 / 汚過面積)
高効率の処理を目指し、汚過速度の上限を確認する。
- ・最適逆洗条件
運転の自動化のため、装置の逆洗についてテストする。
- ・通水停止の影響
飲料水製造工程においては、生産上の都合により断続運転または長期停止も予想されるため、このことが汚過器の性能に及ぼす影響についてテストする。

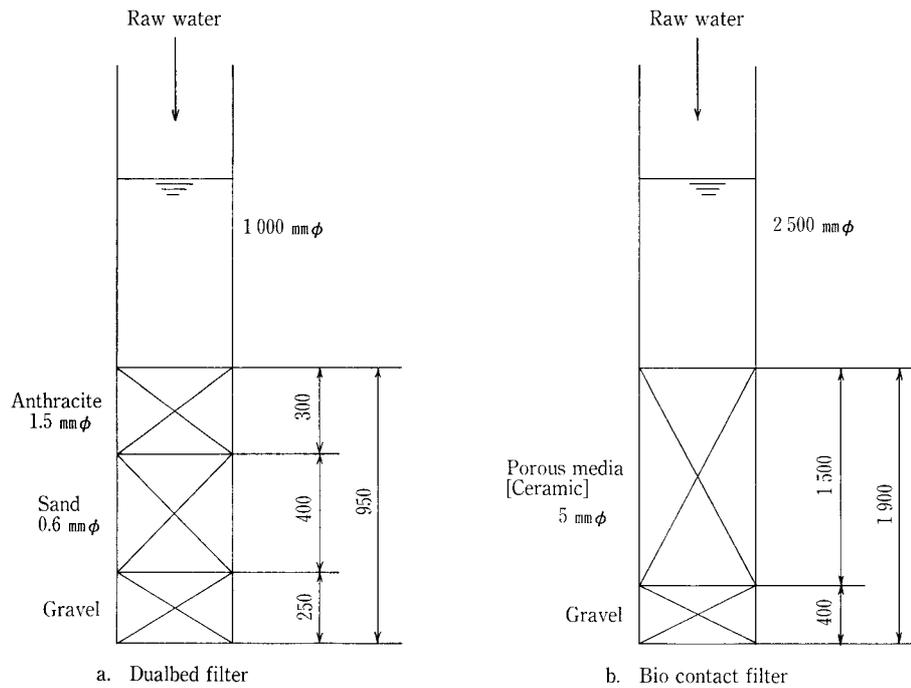
3.2 実験結果

第5, 6, 7図にテスト条件と通水結果を示す。

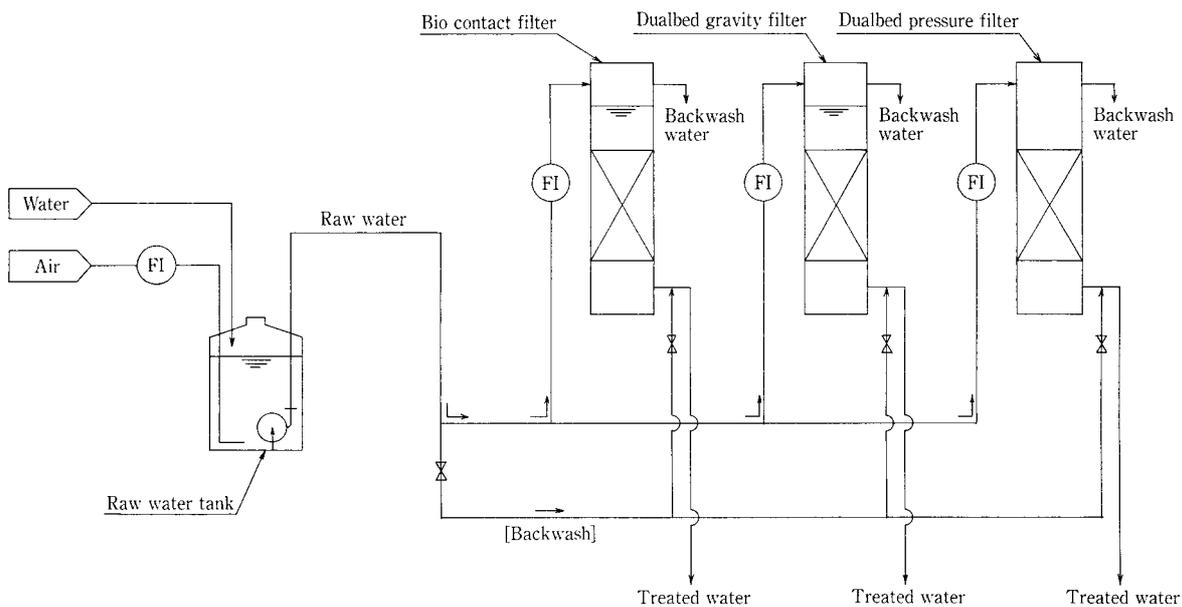
3.2.1 最適DO

・第5図のRUN1-1, 1-3において溶存DOの違いによる鉄、マンガン濃度の経時変化を示す。

DO 5~6 mg/l では安定した除去性能を示したのに対し、無曝気では処理水質の悪化がみられ、目標値を超過した。このことから鉄バクテリアによる鉄、マンガンの除去には酸素の存在が不可欠であることが分かる。その値は5~6 mg/l 程度で十分である。



第3図 テストカラム外形図
Fig. 3 Test columns



第4図 処理試験フローシート
Fig. 4 Flowsheet of treatment test

3. 2. 2 最適LV

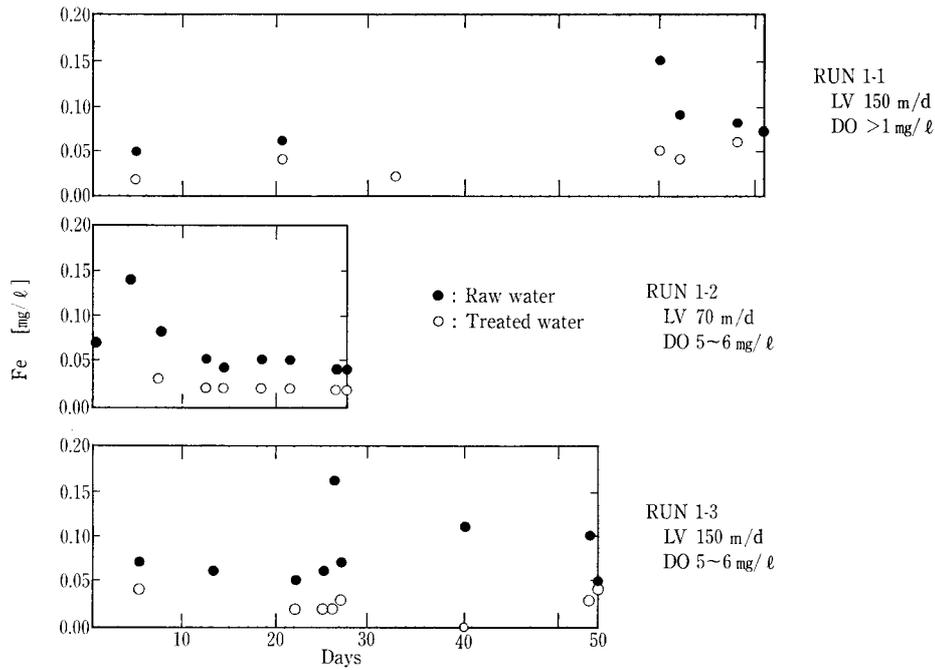
第5図のRUN1-2, 1-3において複層濾過（重力式）のLVと処理水質の関係を示す。

なお圧力式での結果は第6図のRUN2に, BCFでの結果は第7図のRUN3-1, 3-2に示す。

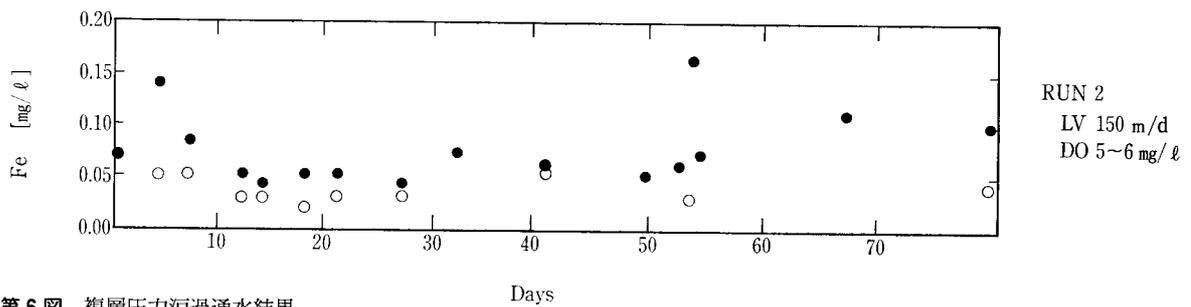
複層濾過では70 m/d で鉄は常時0.02 mg/l, マンガンでは 0.01 mg/l 以下の濃度を維持できることが分かった。150 m/d でも鉄は0.03 mg/l, マンガンは 0.01 mg/l 以下となり, 処理目標値を満足していた。なお150 m/d の条件

で圧力式の通水テストを実施した結果, 鉄で0.03 mg/l, マンガンで 0.01 mg/l 以下の性能を示しており, 重力式との差異は見られなかった。

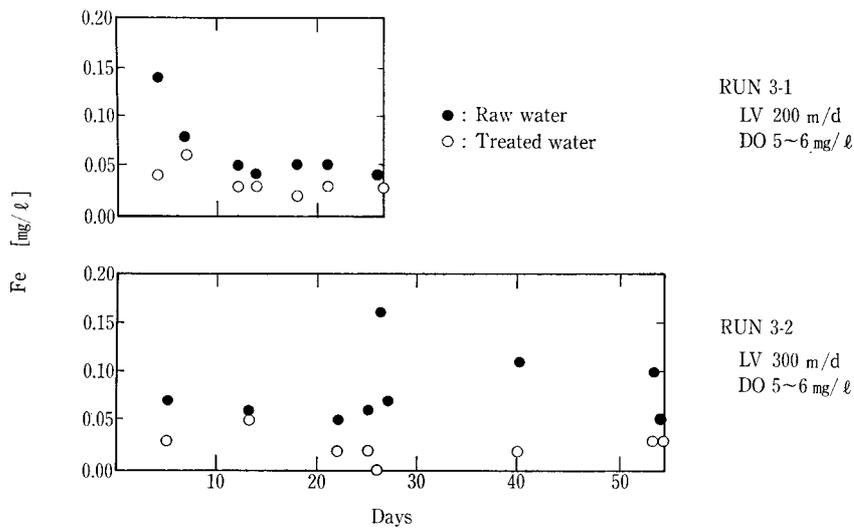
BCFでは, 200 m/d, 300 m/d の両条件とも鉄で 0.03 mg/l, マンガンで 0.01 mg/l 以下であった。この方式では濾材粒径及び空隙率が大きいので, バクテリアが流出して処理水中の全鉄, 全マンガンが高くなる可能性が考えられた。しかし予想に反して処理水質は良好であり, SS捕捉能力も高いことが判明した。



第5図 複層重力汙過通水結果
Fig. 5 Test result of dualbed gravity filter



第6図 複層圧力汙過通水結果
Fig. 6 Test result of dualbed pressure filter



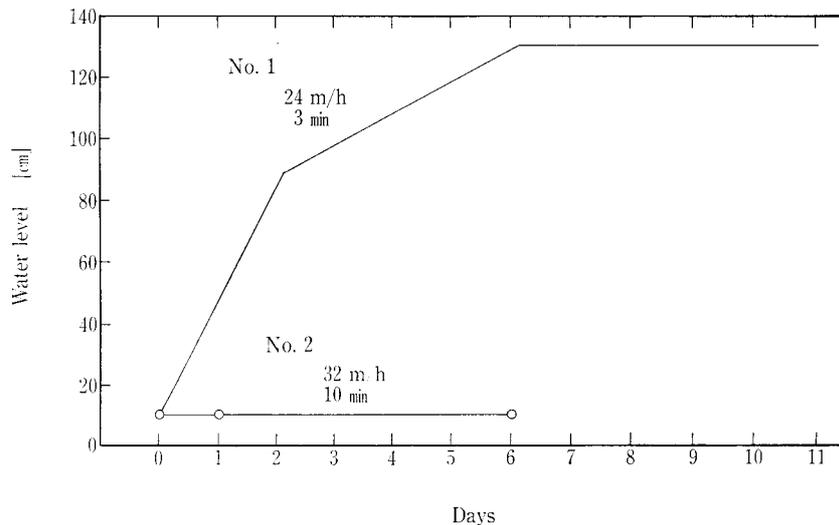
第7図 BCF通水結果
Fig. 7 Test result of BCF

第4表 複層重力汙過逆洗後におけるFe濃度経時変化
Table 4 Fe concentration after backwash of dualbed gravity filter

Water		Before backwash	After backwash										
			0 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	1 day	2 days	4 days	6 days
No. 1	Raw	0.16	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—	—	—
	Treated	0.02	0.05	0.04	—	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	—	—	—
No. 2	Raw	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Treated	0.04	0.04	—	0.04	—	0.04	0.04	0.04	—	0.03	—	—
No. 3	Raw	0.09	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—
	Treated	0.03	0.04	—	0.04	—	0.03	0.04	0.05	0.04	—	0.03	0.03

Backwashing :

	Rate	Time	Expansion
No. 1	24 m/h	3 min	10 %
No. 2	32 m/h	10 min	20 %



第8図 逆洗後における汙過抵抗の変化
Fig. 8 Head loss increase after backwash

3. 2. 3 最適逆洗条件

複層重力汙過のみについてテストした。第4表に条件及び処理水と、第8図に逆洗前後の汙過抵抗の変化を示す。

この結果より逆洗流量約 30 m/h で 5~10分間が適当と判断される。

3. 2. 4 通水停止の影響

第5表に条件及び結果を示す。

1) 1日未満 (18 hr) の場合

再起動直後から良好な水質を示しており、停止の影響は特に見られない。

2) 7日間の場合

再起動後 8日を経ても回復が見られず、鉄が 0.05 mg/l 以上となっている。更にマンガンも処理水中に出るようになっており、生物層の変化もしくは死滅があったと思われる。

3. 2. 5 Fe, Mn 以外の実験項目

複層, BCFの各方式について試験を行い、次の結果を得た。()内は水質基準である。

- ・濁度 (≤ 2 度) : 検出限界 (0.2度) 以下まで除去される。
 - ・色度 (≤ 5 度) : 若干の向上が見られ、基準を満足する。
 - ・SS (—) : BCFについてのみ実施した。汙材粒径が大きいため菌体の流出が懸念されたが、検出限界 (1 mg/l) 以下まで除去されることが判明した。
 - ・一般細菌 (≤ 100 個/ml) : 常時基準を満足している。
 - ・大腸菌群 (検出されないこと) : 一度痕跡が見られた他は、常時陰性である。
- 以上のように、鉄、マンガン以外の項目についても良好な結果が得られた。

第 5 表 通水停止の影響
Table 5 Effect of interruption in filtration

Water	Before interruption	After interruption				
		0 min	20 min	30 min	60 min	4 days
Raw	0.04	0.07	0.04	—	0.03	0.07
Treated	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.04

Fe concentration after 18 hours interruption
Condition : LV=150 m/d, DO=5~6 mg/ℓ

		Before interruption	After interruption						
			0 min	5 min	15 min	60 min	120 min	1 day	8 days
Raw water	Fe	0.04	0.08	—	—	—	—	0.08	0.07
	Mn	0.16	—	—	—	—	—	0.06	—
Dualbed gravity filter	Fe	0.03	0.12	0.07	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
	Mn	<0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	—
Dualbed pressure filter	Fe	0.02	0.07	0.08	0.05	0.06	0.06	0.08	0.05
	Mn	<0.02	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	—
BCF	Fe	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.05
	Mn	<0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	—

Fe and Mn concentration after 7 days interruption
Conditions : LV=150 m/d, DO=5~6 mg/ℓ (Dualbed filters)
LV=300 m/d, DO=5~6 mg/ℓ (BCF)

第 6 表 生物膜の成分
Table 6 Substance of biomass

	Substance			
	VSS (Volatile SS)	Fe	Mn	Others
Dualbed gravity filter	26 %	23 %	20 %	31 %
Bio contact filter	20 %	21 %	9 %	50 %

3. 2. 6 菌体の付着状況

鉄バクテリアの存在を確認するため、複層重力沝過及びBCFについて沝層の表層部を採取し、分析及び観察を行った。

1) 鉄、マンガン保有量

沝層サンプル中、SS (懸濁物質) の成分は第 6 表の通りであった。

この結果より、鉄とマンガンが生物膜中に高濃度で含まれていることが分かった。

2) 生物相観察結果

根足虫及び珪藻類が見られたが、第 2 図に示すような種類の鉄バクテリア類は発見出来なかった。

む す び

以上の結果から、鉄バクテリアを用いた生物学処理方法 (ミネラルウォーターの基準を満足する) により、高速で鉄マンガンを除去出来ることが分かった。今回の原水水質の場合、複層沝過では150 m/d、BCFでは300 m/d までLVを上げられることが確認された。なお、この時のD

Oは5~6 mg/ℓ あれば十分である。定期的な自動逆洗による維持管理の合理化も可能である。

本テストでは、生物膜中に高濃度で鉄、マンガンが存在することから鉄バクテリアの存在が窺われ、その種類は *Siderochystis*, *Siderocapsa* のような不定形の群体を形成する物が中心であると思われる。

また、従来マンガンの除去は鉄より難しいとされていたが、本テスト結果では安定して良好な結果を示しており、この点は大いに着目できる。

以上、本報告では除鉄、除マンガン処理への高速生物沝過の適用が可能であることを述べたが、今後実装置での最適運転条件及び管理方法の具体化並びにバクテリアの鉄、マンガン除去機能の解明等が必要である。

〔参考文献〕

- 1) 農林水産省消費経済課：品質表示ガイドライン解説書ミネラルウォーター類 (容器入り飲用水), (1990), 社団法人全国清涼飲料工業会
- 2) V. Sládeček : 淡水指標生物図鑑, (1991), 北隆館

水道新水質基準について

Water Quality Standards for Tap Water



(環)技術部 針間 矢 研 二
Kenji Harimaya
(環)技術部 製品開発課 中 町 眞 美
Mami Nakamachi

A drastic revision was made on the ministerial ordinance regarding water quality standards for tap water 34 years after the issuance in 1958. To comply with the new standards, water quality measuring devices including GC-MS, flameless atomic absorptiometer and ICP were introduced to our laboratory and various measuring conditions are studied. This paper describes a part of the study results in addition to the background of the revision and the contents of the new standards. Techniques for measuring all items concerned will be acquired by the enforcement of the ordinance in December 1993.

まえがき

1957年に水道法が公布され、それに基づいて1958年に「水質基準に関する省令」が制定された。その後一部改正されたが、水道の水質の安全性と信頼性の確保を図るため微量の化学物質を中心に、34年ぶりに大幅な見直しが行われた。基準の設定は、現行の水質基準の他、水道水源で検出される可能性のある物質、健康影響、生活利用面、施設管理面、内外の基準等の設定状況、水質検査の技術、水道における検出状況など総合的に審議され設定された。新たに公布された水質基準の見直し内容と、それに対する当社の対応について記することとする。

1. 見直しの背景と経緯

産業活動の活発化や生活様式の変化に伴って河川・湖沼等の公共水域の水質汚濁が起り、特に湖沼の富栄養化が進み、これらを水源としている水道では、毎年のように全国で約2000万人前後の人々が異臭味水の影響を受けており、また、各種の化学物質の利用の拡大に伴ってこれらの物質が極く微量ではあるが河川等から検出されるようになってきている。一方、おいしい水を求め家庭用浄水器やボトル水の購入等、水に対する国民のニーズは多様化し、より質の高い水道水の供給が求められている。

また、国際的にも、WHO、米国EPAでは微量化学物質を中心とした水質基準の見直しが進められている。

このように水道水を取り巻く現状に対応し、将来にわたって信頼できる安全でおいしい水道水を供給するために、厚生省では、生活環境審議会に対して、1990年9月に「今後の水道の質的向上のための方策について」の諮問を行い、施設設備面については同年11月に答申された。水道水

質に関する基準のあり方については、生活環境審議会水道部会水質専門委員会において基準の設定、検査方法等について専門的な検討が進められ、その結果に基づいて、1992年12月に「水道水質に関する基準のあり方」が生活環境審議会から答申され、新たに「水道基準に関する省令」が制定された。

2. 省令の改正について

1958年に水道法に基づいて「水質基準に関する省令」が制定され、その後2回改正され1978年に現行の26項目の省令が制定された。その後、1981年にトリハロメタン、1984年にトリクロロエチレン等、1990年、1991年にゴルフ場使用農薬について等、38項目の暫定水質目標値等が通知により示され、64項目について基準等が定められていた。

水道水質に求められる基本的な要件は将来にわたって水道水の安全性・信頼性の確保に万全を期していくことを基本的な考え方として、WHOにおける水道水質に関する基準の見直し等国際的な動向にあわせて、現行の水質基準の項目の必要性と基準値の見直しを行うと共に、わが国における各種化学物質の科学的知見や、実態調査における検出状況等に照らして必要な項目を幅広く対象とし、水道水質に関する基準の拡充強化を図ることになった。更に、水道水に対する国民のニーズの高度化に積極的に対応すべく、おいしい水などの供給が出来るよう、より質の高い水道水を目指す必要もあり、また、将来的に水道水源への影響が懸念される化学物質について全国的に監視していくこととなった。水質専門委員会で検討された項目は144項目でその内85項目が定められた。

水道水質に関する基準

I. 基準項目 (46項目)

1. 健康に関連する項目 (29項目)

	項目名	基準値		検査方法
		新	旧	
1	一般細菌	100 以下/1 ml	同左	標準寒天培地法
2	大腸菌群	検出されないこと	同左	乳糖ブイヨン—プリリアントグリーン乳糖胆汁ブイヨン培地法, 特定酵素基質培地法
3	シアン	0.01 mg/l 以下	検出されないこと (定量限界0.01 mg/l)	吸光光度法
4	水銀	0.0005 mg/l 以下	検出されないこと (定量限界 0.0005 mg/l 以下)	還元気化—原子吸光光度法
5	鉛	0.05 mg/l 以下 鉛毒性の蓄積性を考慮し長期目標値を 0.01 mg/l 以下と設定	0.1 mg/l 以下	フレイムレス—原子吸光光度法, 誘導結合プラズマ 発光分光分析法 (以下, ICP法)
6	六価クロム	0.05 mg/l 以下	同左	同 上
7	カドミウム	0.01 mg/l 以下	同左	同 上
8	セレン	0.01 mg/l 以下	(通知で 0.01 mg/l 以下)	水素化物発生—原子吸光光度法, フレイムレス—原子 吸光光度法
9	ヒ素	0.01 mg/l 以下	0.05 mg/l 以下	同 上
10	フッ素	0.8 mg/l 以下	同左	イオンクロマトグラフ法, 吸光光度法
11	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10 mg/l 以下	同左	同 上
12	トリクロロエチレン	0.03 mg/l 以下	(通知で 0.03 mg/l 以下)	パージ・トラップ—ガスクロマトグラフ—質量分析 法 (以下, PT-GC-MS法), ヘッドスペース —ガスクロマトグラフ—質量分析法 (以下, HS- GC-MS法), パージ・トラップ—ガスクロマト グラフ法 (以下, PT-GC法)
13	テトラクロロエチレン	0.01 mg/l 以下	(通知で 0.01 mg/l 以下)	同 上
14	四塩化炭素	0.002 mg/l 以下	なし	PT-GC-MS法, PT-GC法
15	1, 1, 2-トリクロロエタン	0.006 mg/l 以下	なし	同 上
16	1, 2-ジクロロエタン	0.004 mg/l 以下	なし	PT-GC-MS法
17	1, 1-ジクロロエチレン	0.02 mg/l 以下	なし	PT-GC-MS法, HS-GC-MS法, PT- GC法
18	シス-1, 2-ジクロロエチレン	0.04 mg/l 以下	なし	同 上
19	ジクロロメタン	0.02 mg/l 以下	なし	同 上
20	ベンゼン	0.01 mg/l 以下	なし	同 上
21	総トリハロメタン	0.1 mg/l 以下	(通知で 0.1 mg/l 以下)	クロロホルム, プロモジクロロメタン, ジクロモク ロメタン, プロモホルムごとに掲げる方法
22	クロロホルム	0.06 mg/l 以下	(通知で 0.03 mg/l 以下)	PT-GC-MS法, HS-GC-MS法, PT- GC法
23	プロモジクロロメタン	0.03 mg/l 以下	なし	同 上
24	ジプロモクロロメタン	0.1 mg/l 以下	なし	同 上
25	プロモホルム	0.09 mg/l 以下	なし	同 上
26	チウラム	0.006 mg/l 以下	(ゴルフ場使用農薬 0.006 mg/l 以下)	固相抽出—高速液体クロマトグラフ法
27	シマジン (CAT)	0.003 mg/l 以下	(ゴルフ場使用農薬 0.003 mg/l 以下)	固相抽出—ガスクロマトグラフ—質量分析法, 固相抽出—ガスクロマトグラフ法
28	チオベンカルブ (ベンチオカーブ)	0.02 mg/l 以下	なし	同 上
29	1,3-ジクロロプロペン(D-D)	0.002 mg/l 以下	なし	PT-GC-MS法

2. 水道水が有すべき性状に関連する項目（17項目）

項目名	基準値		検査方法
	新	旧	
1 塩素イオン	200 mg/l 以下	同左	イオンクロマトグラフ法, 滴定法
2 有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	10 mg/l 以下	同左	滴定法
3 銅	1.0 mg/l 以下	同左	フレイムレス—原子吸光度法, ICP法
4 鉄	0.3 mg/l 以下	同左	フレイムレス—原子吸光度法, ICP法, 吸光光度法
5 マンガン	0.05 mg/l 以下	0.3 mg/l 以下	フレイムレス—原子吸光度法, ICP法
6 亜鉛	1.0 mg/l 以下	同左	同 上
7 ナトリウム	200 mg/l 以下	なし	同 上
8 カルシウム, マグネシウム等 (硬度)	300 mg/l 以下	同左	滴定法
9 蒸発残留物	500 mg/l 以下	同左	重量法
10 フェノール類	0.005 mg/l 以下	同左	吸光光度法
11 1, 1, 1-トリクロロエタン	0.3 mg/l 以下	(通知で 0.3 mg/l 以下)	PT-GC-MS法, HS-GC-MS法, PT-GC法
12 陰イオン界面活性剤	0.2 mg/l 以下	0.5 mg/l 以下	吸光光度法
13 pH 値	5.8~8.6	同左	ガラス電極法, 比色法
14 臭気	異常でないこと	同左	官能法
15 味	異常でないこと	同左	同 上
16 色度	5度以下	同左	比色法, 透過光測定法
17 濁度	2度以下	同左	比濁法, 透過光測定法, 積分球式光電光度法

II. 快適水質項目（13項目）

項目名	目 標 値		検査方法
1 マンガン	0.01 mg/l 以下		フレイムレス—原子吸光度法, ICP法
2 アルミニウム	0.2 mg/l 以下		同 上
3 残留塩素	1 mg/l 程度		比色法 (DPD法, オルトトリジン法), 電流法
4 2-メチルイソボルネオール	粉末活性炭処理 粒状活性炭等恒久施設	0.00002 mg/l 以下 0.00001 mg/l 以下	PT-GC-MS法
5 ジェオスミン	粉末活性炭処理 粒状活性炭等恒久施設	0.00002 mg/l 以下 0.00001 mg/l 以下	同 上
6 臭気強度 (TON)	3 以下 (おいしい水研究会)		官能法
7 遊離炭酸	20 mg/l 以下		滴定法
8 有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	3 mg/l 以下 (おいしい水研究会)		同 上
9 カルシウム, マグネシウム等 (硬度)	10 mg/l 以上 100 mg/l 以下 (おいしい水研究会)		同 上
10 蒸発残留物	30 mg/l 以上 200 mg/l 以下 (おいしい水研究会)		重量法
11 濁度	給水栓で1度以下 送配水施設入口で0.1度以下		透過光測定法, 積分球式光電光度法
12 ランゲリア指数 (腐食性)	-1 程度以上とし, 極力0 に近づける		pH 値等から算出
13 pH 値	7.5 程度		ガラス電極法, 比色法

Ⅲ. 監視項目 (26項目)

項目名	指 針 値		検 査 方 法
	新	旧	
1 トランス-1, 2-ジクロロエチレン	0.04 mg/ℓ 以下	なし	PT-GC-MS法, HS-GC-MS法, PT-GC法
2 トルエン	0.6 mg/ℓ 以下	なし	同 上
3 キシレン	0.4 mg/ℓ 以下	なし	同 上
4 p-ジクロロベンゼン	0.3 mg/ℓ 以下	なし	同 上
5 1, 2-ジクロロプロパン	0.06 mg/ℓ 以下	なし	同 上
6 フタル酸ジエチルヘキシル	0.06 mg/ℓ 以下	なし	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ-質量分析法, 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法
7 ニッケル	0.01 mg/ℓ 以下	なし	フレイムレス-原子吸光度法, ICP法
8 アンチモン	0.002 mg/ℓ 以下	なし	水素化物発生-原子吸光度法
9 ほう素	0.2 mg/ℓ 以下	なし	ICP法, 吸光光度法
10 モリブデン	0.07 mg/ℓ 以下	なし	フレイムレス-原子吸光度法, ICP法
11 ホルムアルデヒド	0.08 mg/ℓ 以下	なし	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法
12 ジクロロ酢酸	0.04 mg/ℓ 以下	なし	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ-質量分析法, 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法
13 トリクロロ酢酸	0.3 mg/ℓ 以下	なし	同 上
14 ジクロロアセトニトリル	0.08 mg/ℓ 以下	なし	同 上
15 抱水クロラール	0.03 mg/ℓ 以下	なし	同 上
16 イソキサチオン	0.008 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.008 mg/ℓ 以下	固相抽出-ガスクロマトグラフ-質量分析法, 固相抽出-ガスクロマトグラフ法
17 ダイアジノン	0.005 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.005 mg/ℓ 以下	同 上
18 フェニトロチオン (MEP)	0.003 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.01 mg/ℓ 以下	同 上
19 イソプロチオラン	0.04 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.04 mg/ℓ 以下	同 上
20 クロロタロニル (TPN)	0.04 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.04 mg/ℓ 以下	同 上
21 プロピザミド	0.008 mg/ℓ 以下	ゴルフ場使用農薬として0.008 mg/ℓ 以下	同 上
22 ジクロロボス (DDVP)	0.01 mg/ℓ 以下	なし	同 上
23 フェノブカルブ (BPMC)	0.02 mg/ℓ 以下	なし	同 上
24 クロルニトロフェン (CNP)	0.005 mg/ℓ 以下	なし	同 上
25 イプロベンホス (IBP)	0.008 mg/ℓ 以下	なし	同 上
26 EPN	0.006 mg/ℓ 以下	有機りんとして検出されないこと (定量限界 0.1 mg/ℓ)	同 上

ゴルフ場使用農薬30種のうち、基準項目 2 種、監視項目 6 種でそれ以外の22種

殺虫剤…………… 4 種	エトリジアゾール 0.004 mg/ℓ	メプロニル 0.1 mg/ℓ	ベンフルラリン 0.08 mg/ℓ
イソフェンホス 0.001 mg/ℓ	オキシシン銅 0.04 mg/ℓ	除草剤…………… 9 種	ベンディメタリン 0.05 mg/ℓ
クロルピリホス 0.004 mg/ℓ	キャプタン 0.3 mg/ℓ	アシュラム 0.2 mg/ℓ	メコプロップ 0.005 mg/ℓ
トリクロルホン(DPE) 0.03 mg/ℓ	クロロネブ 0.05 mg/ℓ	テルブカルブ 0.02 mg/ℓ	メチルダイムロン 0.03 mg/ℓ
ピリダフェンチオン 0.002 mg/ℓ	トリクロホスメチル 0.08 mg/ℓ	ナプロパミド 0.03 mg/ℓ	
殺菌剤…………… 9 種	フルトラニル 0.2 mg/ℓ	ブタミホス 0.004 mg/ℓ	
イプロジオン 0.3 mg/ℓ	ペンシクロン 0.04 mg/ℓ	ベンスリド 0.1 mg/ℓ	

3. 新水質基準について

3.1 基準項目

水道水に求められる基本的な要件の第1は、安全性と信頼性の確保である。この事から人の健康に影響を及ぼすおそれのある項目をまとめて、「健康に関連する項目」として29項目が設定された。

健康に関連する項目については、生涯にわたって連続的な摂取をしても人の健康に影響が生じない水準を基本として安全性を十分考慮して基準値を設定している。

水道水に求められる第2の要件は、水道としての基本的機能的条件の確保である。この要件は、色、濁り、においなど生活利用上、あるいは腐食性など施設管理上の要請を満たすものであり、これに関連する項目をまとめ、「水道水が有すべき性状に関連する項目」として17項目が設定された。

水道水が有すべき性状に関連する項目については、水道水としての生活利用上あるいは水道施設の管理上から見て障害が生ずるおそれのない水準として基準値を設定している。

これら二つの項目は、水道水にとって必須の項目で、水道法に基づく水質基準として全ての水道に一律に適用するものである。

水道水に対する今日的な要望からみれば、基準項目以外に水道水の水質に関して、水質基準を補完するために次の二つの項目を設定した。

3.2 快適水質項目

国民のニーズの高度化に積極的に応えられるよう、おいしい水など質の高い水道水を供給するための目標を「快適水質項目」として13項目が設定された。

快適水質項目の採用については、基準項目と異なり個々の水道事業者の判断にゆだねられるもので、より質の高いおいしい水の供給を目指すために、目標値の活用が望まれる。

3.3 監視項目

健康に関連するもののうち、全国的にみて現状では水道水中での検出レベルが極めて低いことから基準項目とする必要性はないが、体系的・組織的に監視を行うことにより全国的に検出状況を把握し、適宜、水質管理に活用することが望まれる項目を「監視項目」として26項目が設定された。

監視項目は、健康に関連するものであるから、その指針値は基準項目に準じて生涯にわたる連続的な摂取をしても人の健康に影響が生じない水準を基とし、安全性を十分考慮して定められている。また将来的には検出レベルが上昇する懸念もあるため、安全性を期する見地から全国的に監視を行うこととされた。なお、監視結果については、国において科学的な検討を加えた上、検出状況によっては必要に応じ基準項目へ移行させるものである。

4. 水質検査結果の評価について

水道基準項目の健康に関連する項目のうち、一般細菌、大腸菌群、シアン、水銀については、1回の検査結果毎の値を基準値と照らし合わせて行い、それ以外の健康に関連する項目の基準値は、生涯にわたる連続的な摂取をしても、人の健康に影響が生じない水準を基とし安全性を十分考慮し基準を設定したものであるから、万一、一時的に検

査結果が超過したとしても、直ちに健康上の問題に結びつくものではなく、その評価は長期的な検査結果を基準と照らし合わせて総合的に行うこととなった。

水道水が有すべき性状に関連する項目については、色、濁りなど生活利用上あるいは施設管理上の要請から、水道水に基本的に必要とされる項目については、その基準を超えることにより利用上・機能上の障害を生じるおそれがあることから、1回の検査結果毎の値を基準値と照らし合わせるにより評価を行うこととなった。

5. 検査方法について

検査方法は、定量下限が基本的に基準値の10%であること、 $\mu\text{g}/\text{l}$ レベルといった微量濃度測定が要求されていること、対象項目が多いことを踏まえ、多成分同時分析可能な機器を用いた一斉分析法を基本として、複数の分析方法が設定されている。前処理操作についても簡略化され、短時間に測定可能である手法が設定されている。一方、測定精度が明確化され、基準値の1/10値に対して変動係数が10~20%の値が定められている。このように、新基準は、多岐にわたる物質について、より低濃度まで精度良く分析し、評価することが要求されている。

6. 当社の分析手法

今回の水質基準の見直しにより、浄水における水質評価は、従来の衛生的見地に加えて、質的要望（異臭味、発ガン性物質）の見地から、多岐に渡る微量物質の評価が必要となってきた。当社においても、今回の新水質基準値を満足するのみでなく、さらに低濃度レベルの分析を行い評価を行う体制を整える必要がある。

従来、分析法は個々の成分について確立、適用されてきた。しかし、このように、多様化する分析ニーズに応え多くの項目を効率よく、かつ速やかに分析するためには、機器を用いた多成分同時分析法を基本とした分析技術の確立を行う必要がある。浄水に対する当社の取り組みは、対象試料の項目及び濃度レベルに応じた適切な分析手法を選択し実施することを目的とし、有機物質（一般有機化学物質、消毒副生成物及び農薬）はガスクロマトグラフ質量分析法、金属は原子吸光光度法および誘導結合プラズマ発光分光分析法の併用、非金属についてはイオンクロマトグラフ法を、それぞれ主体とすることを検討した。

6.1 有機物質

有機物質は、その性質から主に揮発性有機物質と農薬に分類される。分析法は、ガスクロマトグラフ法（以下、GC法）、ガスクロマトグラフ質量分析法（以下、GC-MS法）及び高速液体クロマトグラフ法（以下、HPLC法）が設定されている。

揮発性有機物質は、低沸点有機ハロゲン化合物、芳香族炭化水素および消毒副生成物であり、それら検査方法と対象項目を第1表に示す。前処理法は、揮発性有機物質はページ・トラップ法（以下、PT法）またはヘッド・スペース法（以下、HS法）である。第1図に示すようにHS法は、一定温度に保たれた密閉容器の中での気液平衡に達した系で気相部に移動した揮発性有機物質の一部を採取し測定する手法である。本法は、特殊な器具を必要とせず、また選択性もあるが、物質により気相部への移動量が違うため、感度が異なるという問題点がある。一方、PT法は、

第 1 表 揮発性有機物質の検査方法

Table 1 Test methods of volatile organic compounds (VOCs)

			Trichloroethylene	Tetrachloroethylene
			1, 1-Dichloroethylene	cis-1, 2-Dichloroethylene
P T	P T	H S	Dichloromethane	Benzene
			Chloroform	Bromodichloromethane
G C	G C	G C	Dibromochloromethane	Bromoform
			1, 1, 1-Trichloroethane	
MS		MS	trans-1, 2-Dichloroethylene	
			Toluene	Xylene
			p-Dichlorobenzene	1, 2-Dichloropropane
			Carbon Tetrachloride	1, 1, 2-Trichloroethane
			1, 2-Dichloroethane	1, 3-Dichloropropane

P T : Purge and trap

H S : Head space

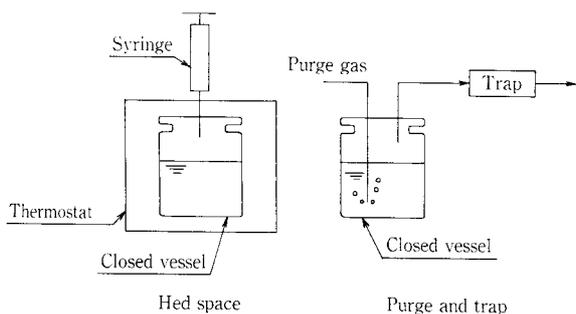
G C : Gas chromatography

MS : Mass spectrometry

第 2 表 GC 検出器の特長

Table 2 Character of GC-Detector

Detector	Sensitivity	Selectivity	Compounds
F I D	10^{-10}	—	Organic compounds
E C D	10^{-12}	Halogen	Organochlorine compounds etc
E P D	10^{-10}	P, S	Organophosphorus compound Organosulphur compounds
MS	10^{-13}	High	Organic compounds



第 1 図 揮発性有機物質前処理法

Fig. 1 Pretreatment of VOCs

試料中に溶け込んでいる揮発性有機物質を強制的にガス（ヘリウム）でパージして追い出し、その全量を分析する手法である。低沸点化合物ではパージされやすくトラップされにくいといった問題点があるが、物質による感度差が少なく、またGCへの注入量が、PT法：HS法=1：1/10~1/100と言われPT法の方が高感度である。¹⁾

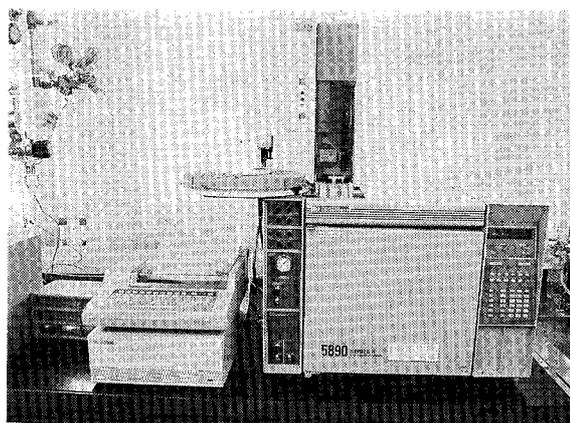


写真 1 GC-FID (Yokogawa 5890)

Photo. 1 GC-FID(Yokogawa 5890)

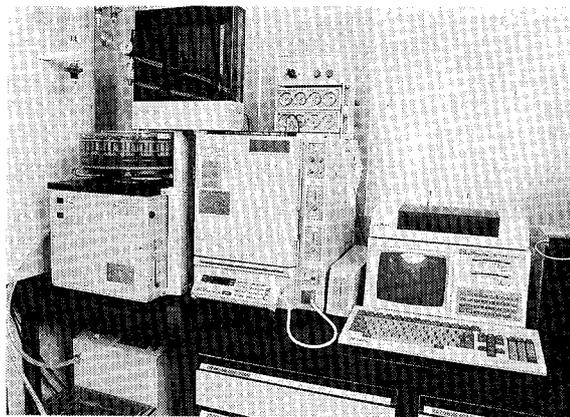


写真 2 GC-ECD —ヘッドスペース—
(島津GC-14B, HSS-2B)

Photo. 2 GC-ECD —Head space—
(Shimadzu GC-14B, HSS-2B)

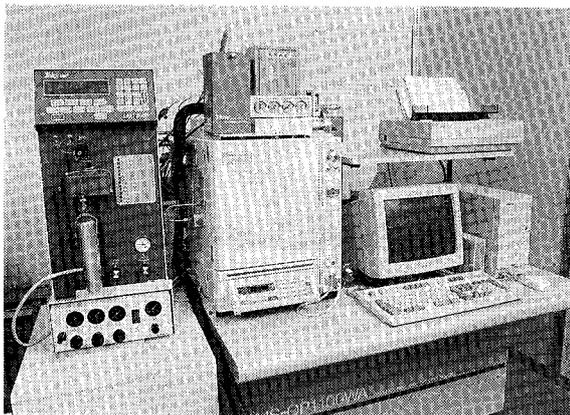
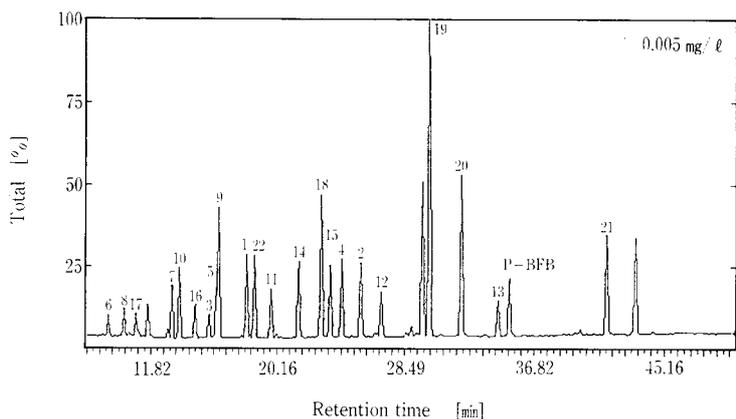


写真 3 GC-MS —パージトラップ—
(島津 QP1100WA, Tekmar LSC2000)

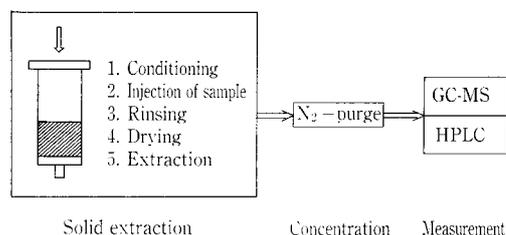
Photo. 3 GC-MS —Purge and trap—
(Shimadzu QP1100WA, Tekmar LSC2000)

試料は前処理後、GCへ導入され成分毎に分離、検出される。揮発性有機物質は20~50種と種類が多いため、カラムは高分離能が必要であり、内径の細いナローキャピラリーカラム(0.3~0.25 mm)が適すと考えられる。次に、用いられるGC検出器の特長を第2表²⁾に、各機器を写真1~3に示す。これらより、選択性が高く対象項目の全般



Sample size	5 ml	1 Trichloroethylene	2 Tetrachloroethylene
Sample temp.	40 °C	3 Carbon Tetrachloride	4 1, 1, 2-Trichloroethane
Purge	10 min	5 1, 2-Dichloroethane	6 1, 1-Dichloroethylene
Trap	Tenax Silica Gel Charcoal	7 cis-1, 2-Dichloroethylene	8 Dichloromethane
Inject	200 °C for 4 min	9 Benzene	10 Chloroform
Column	AQUATIC 0.25 mm I.D. x 60 m df=1.0 μm	11 Bromodichloromethane	12 Dibromochloromethane
Column temp.	40 °C [1 min]-200 °C at 3 °C/min	13 Bromoform	14 cis-1, 3-Dichloropropene
Carrier gas	He 1.0 kg/cm ²	15 trans-1, 3-Dichloropropene	16 1, 1, 1-Trichloroethane
Detector	MS, EI70eV	17 trans-1, 2-Dichloroethylene	18 Toluene
		19 m-, p-Xylene	20 o-Xylene
		21 1, 4-Dichlorobenzene	22 1, 2-Dichloropropane

第2図 揮発性有機物質のトータルイオンクロマトグラム
Fig. 2 Total ion chromatogram of VOCs



第3図 農薬分析方法
Fig. 3 Methods for the determination of pesticides

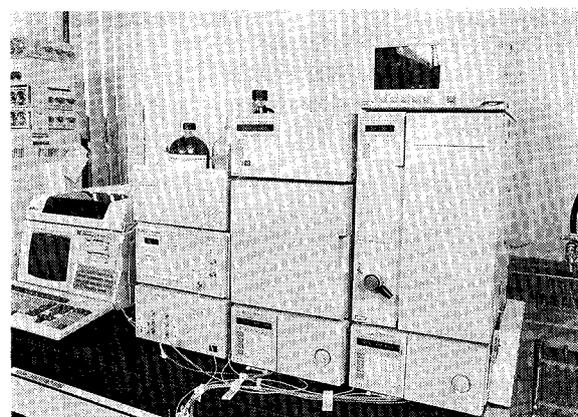
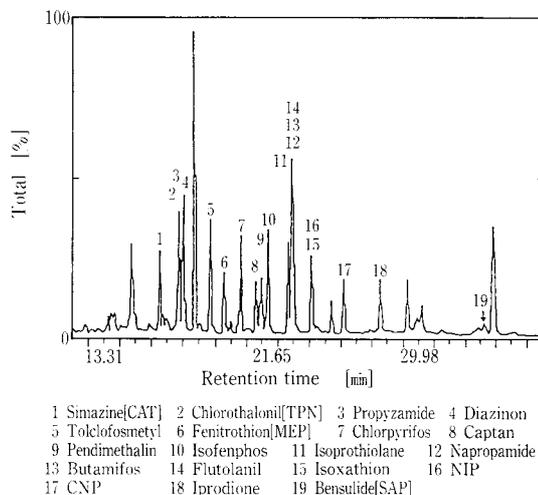


写真4 液体クロマトグラフィー (島津LC-10A)
Photo. 4 HPLC (Shimadzu LC-10A)



1 Simazine [CAT]	2 Chlorothalonil [TPN]	3 Propyzamide	4 Diazinon
5 Tolclofosmetyl	6 Fenitrothion [MEP]	7 Chlorpyrifos	8 Captan
9 Pendimethalin	10 Isufenphos	11 Isoprothiolane	12 Napropamide
13 Butamifos	14 Flutolanil	15 Isoxathion	16 NIP
17 CNP	18 Iprodione	19 Bensulide [SAP]	

第4図 農薬のトータルイオンクロマトグラム
Fig. 4 Total ion chromatogram of pesticides

に適応可能な質量分析計が適すると考えられる。

以上より、当社の揮発性有機物質分析法は、前処理法としてPT法を行い、ナローキャピラリーカラムで分離後質量分析計で検出を行う、パージ・トラップーガスクロマトグラフィー質量分析法 (PT-GC-MS法) を適用することとした。本法にて分析した揮発性有機物質の0.005 mg/l 混合液のクロマトグラムを第2図に示す。

農薬については、固相抽出後にGC-MSまたはHPLCで測定を行う³⁾ こととし、分析方法を第3図に、HPLC機器を写真4に、農薬分析の一例を第4図に示す。

6.2 金属

金属の分析法は、原子吸光度法 (水素化物発生法及びフレイムレス法) 及び誘導結合プラズマ発光分光分析法 (以下、ICP法) が設定されている。ただし、水銀は、現行法と同手法が規定されている。

当社の金属分析法は、原子吸光度-フレイム法、原子吸光度-フレイムレス法、ICP法及び誘導結合プラズ

第3表 元素分析法の特長

Table 3 Character of detecting metals

	Sensitivity (g)	Simultaneous analysis of elements	Operation
Flame-AAS	$10^{-7} \sim 10^{-9}$	×	○
Furnace-AAS	$10^{-9} \sim 10^{-12}$	×	×
ICP-AES	$10^{-8} \sim 10^{-11}$	○	○
ICP-MS	10^{-12}	○	△

AAS: Atomic Absorption Selectivity

ICP-AES: Inductivity Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

ICP-MS: Inductivity Coupled Plasma Mass Spectrometry

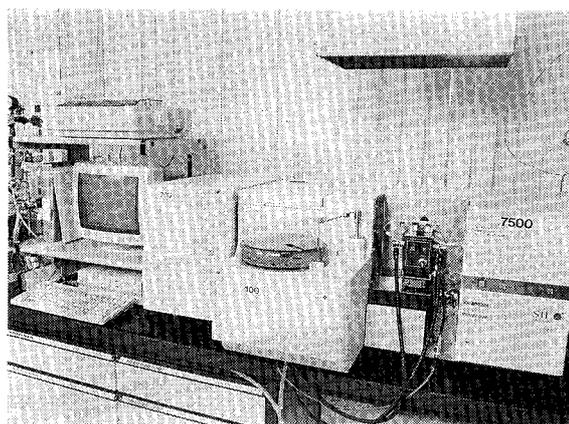
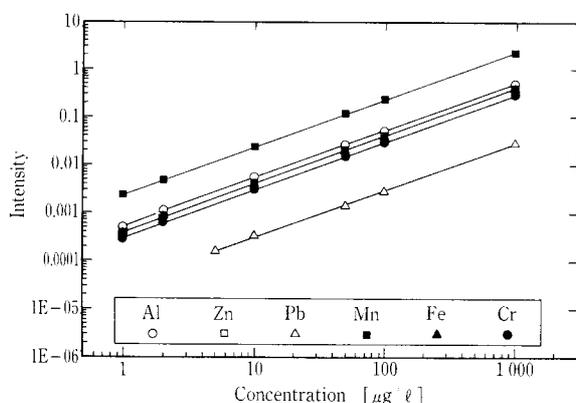


写真5 フレーム, フレームレス原子吸光度計 (セイコー電子工業 SAS7500)

Photo. 5 Flame & Furnace-AAS (Seiko SAS7500)



第5図 検量線 (ICP法)

Fig. 5 Calibration curve (ICP)

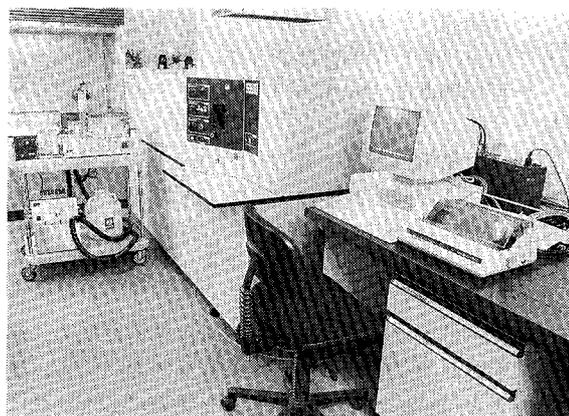


写真6 ICP —超音波ネブライザー— (セイコー電子工業 SPS1500VR)

Photo. 6 ICP —Ultrasonic nebulizer— (Seiko SPS1500VR)

質量分析法 (以下, ICP-MS法) を行っており, その特長を第3表に, 各機器を写真5~7に示す。

原子吸光度—フレーム法は, 感度が低く新基準に適用出来ない。フレームレス法は, 感度は高いが, 測定が1元素毎であり, 操作も煩雑で時間を要するため, 多元素多試料への適用には問題がある。ICP法は, 多元素同時測定可能であるが, 感度はフレーム法とほぼ同等で低い。そのため, 試料導入に超音波ネブライザーを用いて, 導入効率を上げることにより, 感度を10~50倍上げて分析を行った。本法により得られた検量線の一部を第5図に示す。

Pb など一部の元素については基準の1/10値を満足出来ない問題点が認められた。ICP-MS法は, 多元素同時測定可能であり, ほぼ全元素について非常に高感度である。しかし, Fe など一部の元素については, 生成する分子イオンの妨害を受けるものがある。

これらより, 分析に際しては, 各機器の特長を生かし, 基本的手法はICP法とし, 目的金属及び濃度レベルに応じて, 分析機器を選択すべきであると考えられる。

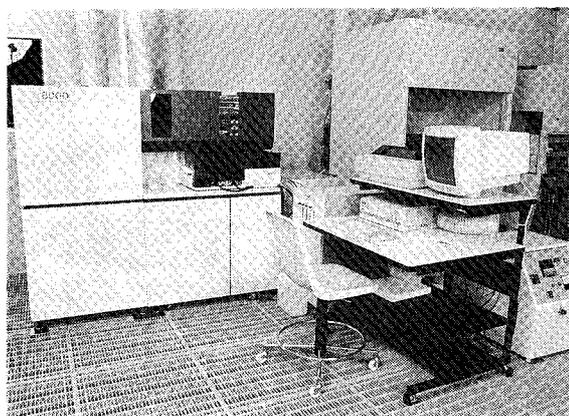


写真7 ICP-MS (セイコー電子工業 SPQ8000)

Photo. 7 ICP-MS (Seiko SPQ8000)

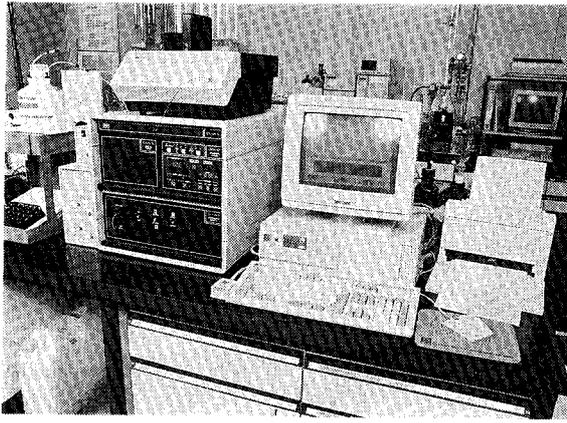


写真 8 IC (ダイオネクス 2000i/sp)
Photo. 8 IC (Dionex 2000 i/sp)

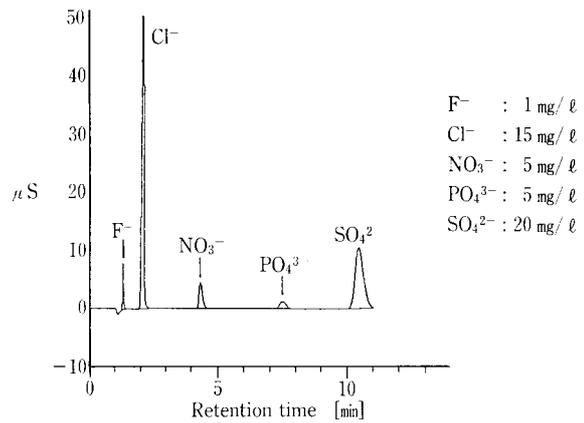
6. 3非金属

非金属の陰イオン類の分析法はイオンクロマトグラフ法が設定されている。本法は、前処理としては、汜過を行うだけであり、迅速・高感度な手法であり、当社も本法で分析を行っている。分析機器を写真 8 に、得られた陰イオン類のクロマトを第 6 図に示す。

む す び

以上、新水質基準の改正の背景と内容、及び当社の対応について述べた。新水質基準は、1 年間の準備等の猶予期間を経て、平成 5 年（1993）12 月から施行される。当社は、これに対応するため、機器を主体とした分析を行うこととし、検討を行った。

一方、これらの対象物質の濃度レベルは非常に低く、測定環境、使用容器及び薬液等から汚染を受け易いため、測定環境の調査を行い、ハンドリング法を明確にしなければならない。また、分析する環境試料中には多数の物質が存在し、成分間の濃度差は 10^6 倍に及ぶ場合もあるため、共存する物質を除去し、目的とする微量成分を高感度に分析する必要がある。そのため、前処理法の詳細な条件など種



Column : Separator column IonPac AS4A
Guard column IonPac AG4A
Eluent : 1.8 mM Na₂CO₃ / 1.7 mM NaHCO₃
Flow rate : 2 mL/min
Suppressor : Anion self regenerating suppressor
Inject volume : 50 μL
Detector : Suppressed conductivity

第 6 図 陰イオン類のクロマトグラム
Fig. 6 Chromatogram of inorganic anions

々検討を行い、今後、より精度が高く、安定した測定方法を追求していく予定である。

また、これらの分析法が確立されたことにより、環境庁より平成 5 年 3 月 8 日に告示された「水質環境基準」にも対応が可能となる。

〔参考文献〕

- 1) 小川 茂：水中の揮発性有機物の一斉分析，水環境学会誌，Vol. 16, No. 3, p. 16, (1993)
- 2) 森田昌敏：環境試料の多成分同時分析の現状と課題，水環境学会誌，Vol. 16, No. 3, p. 2, (1993)
- 3) 中町眞美：キャピラリー-GC-MSを用いた臭気物質および農薬の分析，神鋼パンテック技報，Vol. 35, No. 2, p. 33, (1991)
- 4) 安藤正典：検査方法について，水道公論，Vol. 29, No. 2, p. 35, (1993)

多段流動床式活性炭吸着装置 『マルチアクトス』 (商標登録出願中)

Multistage Fluidized-bed Activated Carbon Treatment System "Multi-ACTS"



技術開発本部 研究開発部
野田 晃
Akira Noda
(環)技術部 製品開発課
栴田 耕 平
Kohei Masuda

Multi-ACTS, multistage fluidized-bed activated carbon treatment system, has been on the market since April 1993, in response to the demands of advanced treatment of waste water. Multi-ACTS has many advantages compared with conventional fixed-bed type activated carbon treatment system, such as less consumption of activated carbon, stabilized quality of treated water, easy operation and maintenance and so on. This paper introduces the results of pilot test of Multi-ACTS on the waste water from coking plant. Further, by the use of it's data, we have estimated the overall capacity coefficient of adsorber on each stage and examined the simulation method of assuming concentration of treated water by continuous stirred tank reactors model.

まえがき

1994年度を目標年度として1991年より推進されている第3次総量規制に見られるように、水質規制は年々強化されつつある。それに伴って、各水処理メーカーは廃水の高度処理技術の開発に力を注ぐようになり、技術力の進歩にも目ざましいものが見られる。

活性炭吸着法は、高度処理技術の1つとして昔から知られている技術であるが、活性炭費用によるランニングコストの問題から敬遠される場合が多かった。しかし、活性炭の性能向上、多段流動床式活性炭吸着装置の出現、さらに前述したような状況により、改めて活性炭吸着法が脚光を浴びるようになってきた。

多段流動床式活性炭吸着装置は、固定床式と比較して活性炭の消費量が少ないこと、活性炭供給量を制御することによって処理水の水質を維持出来ること、運転管理が容易なことなどの多くの利点があることから、最近、固定床式

に代わって数多く用いられるようになってきている。

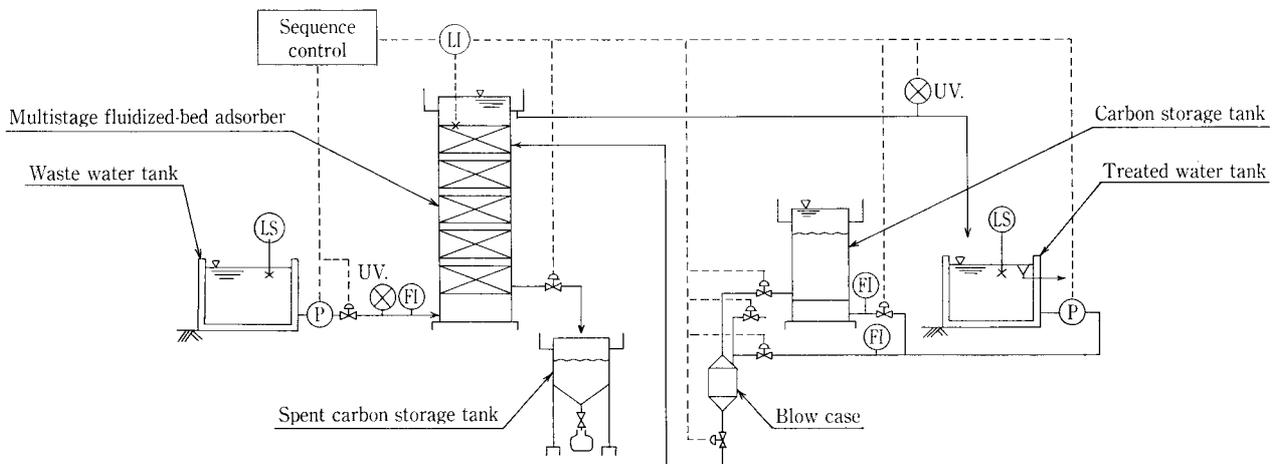
当社は、千代田化工建設(株)より多段流動床式活性炭吸着装置 (CT-242) の実施権を1991年10月に得て、それ以後、商品化のための実証テストを実施してきたが、そのテストも無事終了したことから1993年4月より商品名『マルチアクトス (Multi-ACTS)』として販売を開始した。

本報では、『マルチアクトス』の紹介と、その実証テスト結果、さらに、そのテストデータを用いた各段における総括容量係数 KLa 及び処理水濃度予測のためのシミュレーション方法について検討した結果を報告する。

1. 多段流動床式活性炭吸着装置『マルチアクトス』

1.1 マルチアクトスのプロセスフロー

第1図にマルチアクトスの標準的なフローを示す。吸着塔は一塔多段式であり、廃水中の汚濁物質は、トレイで仕切られた各段において流動している活性炭によって吸着除



第1図 マルチアクトス (Multi-ACTS) のプロセスフロー
Fig. 1 Flow diagram of Multi-ACTS

第 1 表 粒状活性炭の物性

Table 1 Properties of granular activated carbon

	Multi-ACTS	Fixed bed type
Mesh size [mesh]	20/40	8/32
Mean particle diameter [mm]	0.55	1.25
Uniformity coefficient [-]	1.40	1.65
True density [g/cm ³]	2.00	2.01
Mean particle density [g/cm ³]	0.80	0.77
Bulk density [g/cm ³]	0.49	0.47
Total pore volume [cm ³ /g]	0.75	0.77
Specific surface area [m ² /g]	1 150.0	1 120.0
Surface area out of particle [cm ² /g]	136.4	62.3
Iodine adsorptive capacity [mg/g]	1 050.0	1 077.0

去される。廃水は、吸着塔下部より流入し、上向流で各段の活性炭と接触後、処理水としてオーバーフローする。活性炭は、圧送タンク法などのスラリー輸送手段を用いて最上段（1 段目）に供給された後、順次下段方向へ移送され、吸着能力の低下した老炭が最下段より抜き出される。活性炭の最適供給速度は、あらかじめ室内テストにより決定するが、この供給速度を変えることによって原水の濃度変動にも対応することが出来る。

また、これら一連の操作は、ほぼ連続自動運転システムになっているので、運転管理は非常に簡単であり、大幅な省力化が可能となる。

1. 2 マルチアクトスの利点

マルチアクトスと固定床式で使用する標準的な活性炭の物性比較表を第 1 表に示す。一般的に、水処理で用いる活性炭は、材質は石炭系で、形状はハンドリングが容易で再生可能な粒状炭を用いる場合が多く、このことは両形式において共通している。最も大きな相違点は、粒径が異なることであり、固定床式では、圧損の問題から活性炭の粒径をあまり小さく出来ないのに対し、マルチアクトスでは、流動床式であるので小粒径（20/40メッシュ）の活性炭を使用することが出来る。実廃水における活性炭吸着は、粒内の拡散が律速となることが多いので、粒径が小さい程、粒子外表面積が大きくなり、吸着速度も増大するため、マルチアクトスの大きさをコンパクトにすることが可能となる。

また、マルチアクトスの最も大きな利点は、活性炭の持つ吸着能力を十分に使いきることが出来る点にある。固定床式吸着塔の工学的設計手法は、一定形の吸着帯が形成されるという概念を用いているが、この吸着帯は吸着され易い系（フロイントリッヒ型吸着等温線の傾きが小さい）でのみ形成され、難吸着性の廃水では吸着帯は形成されずに伸びていくので設計が困難となり、吸着能力を使いきっていない活性炭を抜き出すことが多くなる。それに対して、マルチアクトスは、最下段より吸着能力の低下した活性炭のみを徐々に抜き出していくため、活性炭の使用効率が高く、活性炭の消費量を低減することが出来る。

マルチアクトスは、その他にも数多くの利点を有しているが、主なものとして次の点が挙げられる。

第 2 表 マルチアクトスと固定床式の経済比較

Table 2 Economical comparison between Multi-ACTS and fixed bed type

《Conditions of case study》		
Adsorption isotherms	: $q=0.15C^{2.0}$	
Concentration of wastewater	: $C_0=30[\text{mg}/\ell]$	
Concentration of treated water	: $C_t=20[\text{mg}/\ell]$	
Flow rate of wastewater	: $F=5\,000[\text{m}^3/\text{d}]$	
《Results of case study》		
	Multi-ACTS	Fixed bed type
【Adsorber】		
Specification	$\phi 3\,600 \times 6$ stages	$\phi 4\,400 \times 4\,000$ H × one column × two columns
【Activated carbon】		
Amount of holding[ton]	16	55
Amount of consumption [kg/d]	403	651
Coefficient of utilization[%]	90	55

【マルチアクトスの利点】

- ①小粒径の活性炭を使用するため、吸着速度が大きく、かつ活性炭の利用効率も高い。
- ②活性炭は、常に廃水と向流接触状態にあり、また、デッドスペースの少ないトレイ構造により、接触効率が低い。
- ③活性炭の供給量を調整することによって、原水濃度が変動しても処理水の水質を維持できる。
- ④活性炭の利用効率が高くとれるため、ランニングコストを低減できる。
- ⑤一塔多段式であり、吸着速度が大きいので、装置がコンパクトになり設置面積を削減できる。
- ⑥流動床式であるので、原水中の汚濁物質による閉塞がなく、固定床式のような逆洗設備が不要である。
- ⑦運転管理が容易である。

1. 3 マルチアクトスと固定床式との経済比較

マルチアクトスと従来の固定床式との経済比較をするために、ある対象廃水を仮定して条件を設定し、それぞれの装置設計を行った。その条件及び試算結果の詳細を第 2 表に示す。

今回対象とした廃水の場合、マルチアクトスは固定床式と比較して、活性炭保有量は1/3以下、活性炭消費量は2/3以下という結果となり、経済的にかなり有利なことがわかる。また、装置の大きさもかなりコンパクトになっており、敷地面積は削減されることになる。

2. 実証テスト

マルチアクトスは、既に千代田化工建設(株)によって6機の納入実績があり(サラブレッド242 (CT-242)), 現在でも数カ所で順調に稼働中であるが、当社では、販売を開始する前に次のようなパイロットテストを実施した。

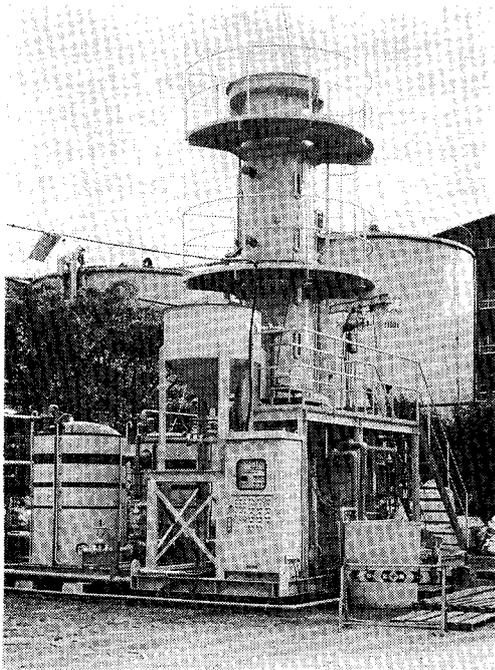


写真 1 パイロット装置
Photo. 1 Pilot plant of Multi-ACTS

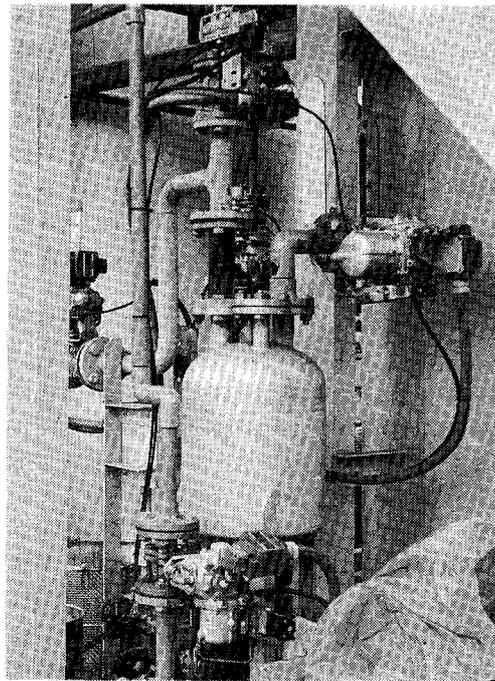


写真 2 圧送タンクの外観
Photo. 2 Outside view of blow case

2. 1 実施期間

1992年11月～1993年1月

2. 2 対象廃水

コークス炉からの排水（安水）を、活性汚泥、沝過した処理水を対象廃水とした。

安水 → 活性汚泥 → 沝過 → マルチアクトス

2. 3 装置仕様（写真1）

2. 3. 1 使用活性炭

第1表に示される物性の活性炭を用いた。

2. 3. 2 吸着塔

形式：縦型円筒形

塔径：φ1150

塔高：7950 H

段数：5段

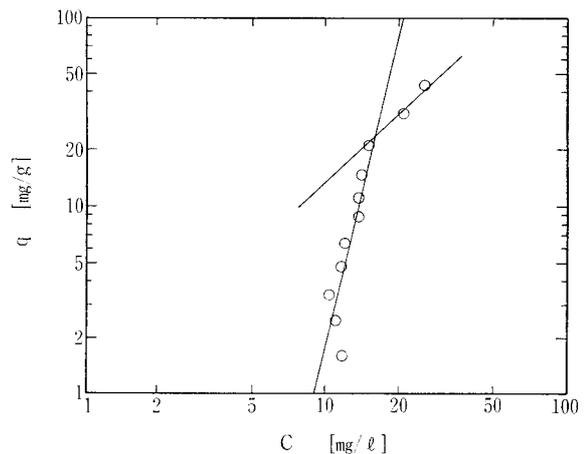
2. 3. 3 活性炭供給方法

活性炭の供給方法には、エジェクター法、スラリーポンプ法及び圧送タンク法などがあるが、本テストでは、活性炭の摩耗が少なく、計量槽としても用いることが出来る圧送タンク法を採用した（写真2）。

2. 4 テスト条件

対象廃水について、あらかじめ室内テストとして吸着等温線の測定と通水カラムテストを行い、吸着特性を調べた。

吸着等温線は、静的な吸着特性として、平衡吸着量を把握する目的で測定される。吸着等温式には、数種類の型が知られているが、液相吸着系の場合はフロイントリッヒ型で整理されることが多い。



$C_0 = 48.2 \text{ [mg/l]}$
Temp. = 25°C

第2図 フロイントリッヒ型吸着等温線
Fig. 2 Adsorption isotherms by Freundlich type

【フロイントリッヒ型吸着等温式】

$$q = k \cdot C^{*n} \quad (1)$$

ここで、 q : 吸着量 [mg/g]

C^* : 平衡濃度 [mg/l]

k, n : フロイントリッヒ式の係数

今回の対象廃水の吸着等温線は、第2図に示したように屈折型であり、次式のような2本のフロイントリッヒ型の吸着等温式で近似される。

$$\text{低濃度側} : q = 2.7 \times 10^{-6} \times C^{*5.8} \quad (2)$$

$$\text{高濃度側} : q = 5.1 \times 10^{-1} \times C^{*1.4} \quad (3)$$

フロイントリッヒ型吸着等温線において、係数 n の値は両対数グラフの傾きを表しており、この値が1以下の時は、低濃度でも吸着量が大きく、活性炭吸着法は効果的であるが、2以上の時は、濃度が低くなるに従って吸着量が著しく低下するので効果的ではない。言い換えると、屈折点濃度 C_x は現実上の処理できる限界濃度を表していると言える。本廃水の場合、低濃度側の直線の傾きは、5.8と非常に大きく、屈折点濃度 $C_x=15.6$ [mg/l] 以下に処理水濃度を下げるのは難しいと考えられる。

また、通水カラムテストは、動的な吸着特性、すなわち、吸着速度の指標として総括容量係数 KLa を測定し、吸着塔の段数を推定するために行う。その KLa 推算法の詳細については既に報告したとおりである¹⁾。

以上のような室内テストの結果に基づいて、パイロットテストの運転条件は、第3表で示される条件に設定した。ここで、活性炭の供給量は、吸着等温線測定結果の屈折点を考慮して、目標処理水濃度を 20 [mg/l] に設定して決定した。

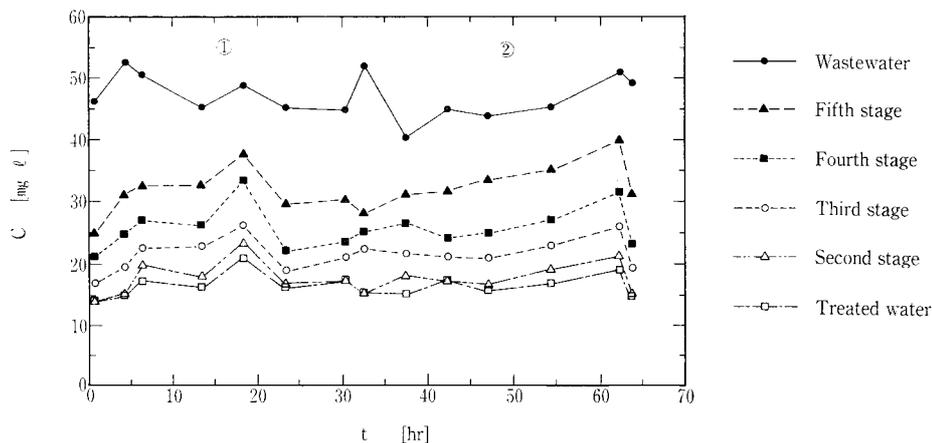
2.5 テスト結果

活性炭の移送及び連続自動運転については、当社の技術研究所内において既にテスト済みで（1993年7月～10月の約4カ月間にわたって活性炭移送について同装置を用いて確認テストを実施した）、運転操作上のチェックは終わっていたため、今回のテストでは、数日間の予備運転後、実廃水の通水を開始した。

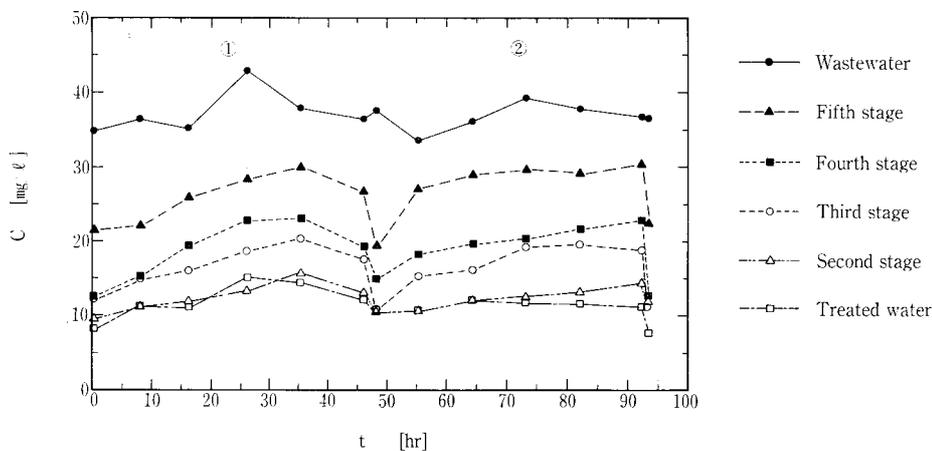
原水、2～5段目の出口及び処理水（1段目出口）濃度の経時変化を第3、4図に示した。水質規制の指定項目は

第3表 パイロットテストの運転条件
Table 3 Operating conditions of pilot plant

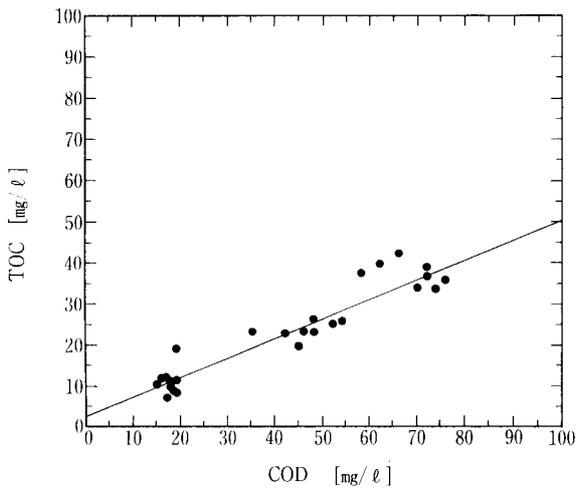
	run 1	run 2
Linear velocity[m/h]	20	15
Feeding rate of waste water[m ³ /d]	499	374
Holding of activated carbon[kg/stage]	296	327
Feeding rate of activated carbon[kg/d]	229	171
Interval between transportations of activated carbon[hr]	31	46



第3図 各段濃度の経時変化 (run 1 LV=20 [m/h] の場合)
Fig. 3 Time courses of concentration in each stage



第4図 各段濃度の経時変化 (run 2 LV=15 [m/h] の場合)
Fig. 4 Time courses of concentration in each stage



第5図 TOCとCODの関係
Fig. 5 Relationship between TOC and COD

CODであるが、分析の容易さからTOCによって評価した。また、TOCとCODには、第5図のような関係がある。

通水開始後、LV=15[m/h] のテストでは約46時間、LV=20[m/h] のテストでは約31時間で段間移送（パルス）操作を行っており、そのパルスを行くまでは各段濃度は徐々に上昇する傾向があり、パルス直後に通水開始時の状態に戻っている。その後、各段濃度は再度上昇し、この動作が繰り返される。しかし、処理水濃度は、どちらの空塔速度においても目標処理水濃度の20[mg/ℓ] 以下に維持されており、室内テスト結果より決定した活性炭供給量が適量であったことを示している。

3. 多段吸着塔における各段のKLaの検討

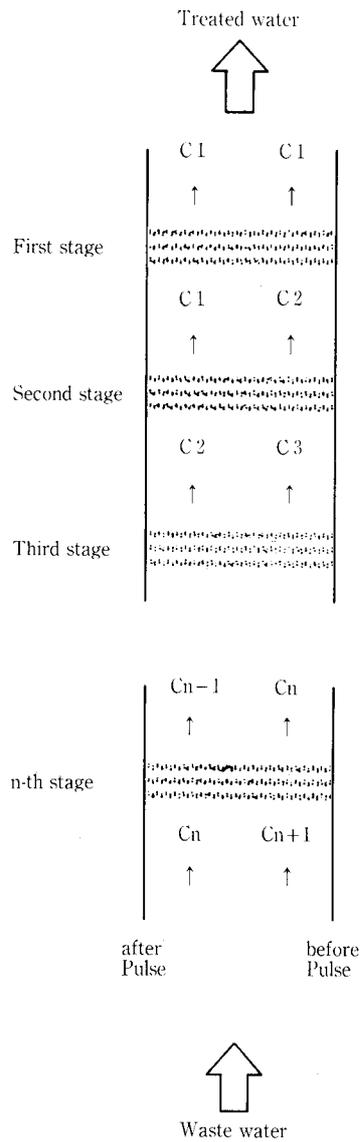
活性炭の吸着速度は、液本体と活性炭粒子内の濃度差を推進力として、次の式で近似される場合が多い。

$$\rho \cdot \frac{dq}{dt} = KLa(C - C^*) \quad (4)$$

- ここで、C : 液本体濃度 [mg/ℓ]
- C* : 吸着量 q に対する平衡濃度 [mg/ℓ]
- q : 吸着量 [mg/g]
- t : 時間 [hr]
- ρ : 活性炭層密度 [g-AC/ℓ]
- KLa : 総括容量係数 [1/h]

総括容量係数 KLa は、活性炭の吸着量 q が大きくなるに従って小さくなると言われており²⁾、最下段の最も古い活性炭は吸着速度が小さいはずであるが、テスト結果では、第3、4図に見られるように、最下段の濃度低下幅が最も大きくなっている。

この現象を考察するために、各段出口濃度の測定データを基にして、次のような考え方で各段ごとの KLa の推算を行ってみた。



第6図 パルス前後の各段濃度仮定
Fig. 6 Concentration of each stage before and after transportation (Pulse) of activated carbon

1.1節においてプロセスの説明をしたように、最上段(1段目)より供給された新しい活性炭は、ある間隔(パルス間隔)で下段方向へ一段ごとに段間移送し、最終的に最下段より抜き出される。この段間移送時の流体及び活性炭の下降流がプラグフローであると仮定すると、パルス前後における各段濃度は第6図のようになる。また、吸着塔の各段を完全混合槽として、各段濃度と吸着量がパルス前後の平均値であると仮定すると、第n段における物質収支と吸着速度式は、次のようになる。

第4表 各段のKLa 推算結果

Table 4 Estimated results of KLa on each stage in adsorber

	KLa [1/h]	
	run 1 (LV=20 [m/h])	run 2 (LV=15 [m/h])
First stage	5.2	3.5
Second stage	9.1	14.3
Third stage	13.8	32.2
Fourth stage	14.0	22.0
Fifth stage	36.4	35.1

《物質収支式》

$$W \cdot \frac{\Delta qa}{\Delta t} = F \cdot \frac{(C_{n+1} - C_n - 1)}{2} \quad (5)$$

《吸着速度式》

$$\rho \frac{\Delta qb}{\Delta t} = KLa \left(\frac{C_n + C_{n-1}}{2} - \frac{C^*n + C^*n - 1}{2} \right) \quad (6)$$

ここで, C : 液本体濃度 [mg/l]

C* : 吸着量 q に対する平衡濃度 [mg/l]

(ただし, $q = \sum_{n=1}^n \Delta qn$)

Δq : 各段における吸着量 [mg/g]

t : 時間 [hr]

W : 1段あたりの活性炭保有量 [g]

F : 通水量 [l/h]

ρ : 活性炭層密度 [g/l]

KLa : 総括容量係数 [1/h]

ただし, 添字 n は段数を表す。

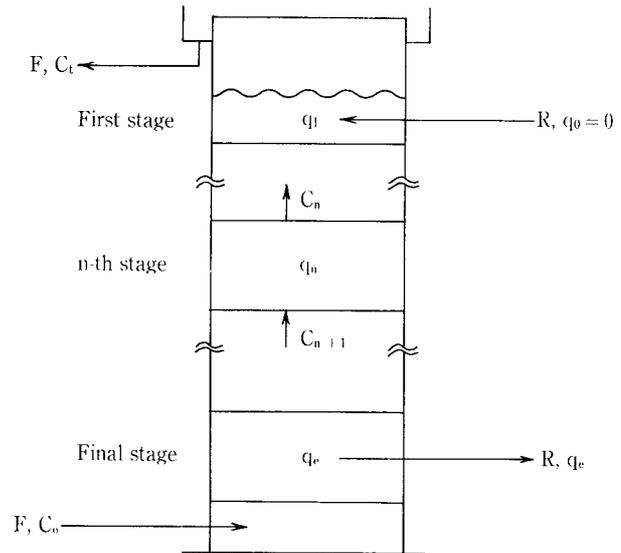
また, Δt を一段分の活性炭が供給されるパルス間隔時間 Tp とすると, 活性炭供給量 R は次式となる。

$$R = \frac{W}{Tp} \quad (7)$$

この R と Tp を用いて, (5), (6)式を変形すると,

$$\Delta qa = \frac{F(C_{n+1} - C_n - 1)}{2R} \quad (8)$$

$$\Delta qb = \frac{KLa}{\rho} \left(\frac{C_n + C_{n-1}}{2} - \frac{C^*n + C^*n - 1}{2} \right) \times Tp \quad (9)$$



第7図 完全混合槽列モデル

Fig. 7 Continuous stirred tank reactors model

(8), (9)式による各段の吸着量が, $\Delta qa = \Delta qb$ となるように試行錯誤法を用いて, KLa を最上段より順次決定していく。

各段濃度のデータ及び各段の KLa を推算した結果を第4表に示す。推算結果からわかるように, LV=15 と 20 [m/h] のどちらの場合もよく似た傾向があり, 最上段(新炭)の KLa が最も小さく, 最下段(老炭)の KLa が最も大きくなっている。これは, 吸着量の大きい老炭ほど KLa は小さいという見解と矛盾した結果であるが, この原因は, 実廃水が多成分系であることによると考えられる。すなわち, 吸着塔の下部より流入された廃水は, 多成分中の易吸着性成分から選択的に吸着され, 最上段に達するころには難吸着性成分だけが残存するため, 第6表のような KLa の傾向となるのである。

このように, 実廃水のような多成分系の場合, 各段の成分組成が変化していくため, 各段ごとの KLa を推定することは非常に困難である。そこで, 塔全体での平均的な KLa を, 室内テストより推定し, その値を段数決定のためのパラメータとして用いることにした。

4. 推定した KLa を用いた処理水濃度のシミュレーション

室内テストより推定される KLa を, パラメータとして段数を決定することの妥当性を検討するために, 処理水濃度のシミュレーション法を考案した。

第7図のように, 多段流動床式吸着塔を完全混合槽モデルと仮定すると, 第n段の物質収支と吸着速度式は次のようになる。

《物質収支式》

$$V \cdot \frac{dC_n}{dt} = F(C_{n+1} - C_n) + R(q_n - q_{n-1}) - W \cdot \frac{dq_n}{dt} \quad (10)$$

《吸着速度式》

$$\frac{dq_n}{dt} = \frac{KLa}{\rho} (C_n - C^*_{n}) + \frac{R}{W} (q_n - q_{n-1}) \quad (11)$$

ここで、 V : 流体容積 [ℓ]
 F : 通水量 [ℓ/h]
 C_{n+1} : n 段の入口濃度 [mg/ℓ]
 C_n : n 段の出口濃度 [mg/ℓ]
 R : 活性炭供給量 (= 抜き出し量) [g/h]
 q_n : n 段の活性炭の吸着量 [mg/g]
 q_{n-1} : $n-1$ 段の活性炭の吸着量 [mg/g]
 W : 活性炭充填量 [g]
 t : 時間 [hr]
 KLa : 総括容量係数 [1/h]
 C^*_{n} : 吸着量 q_n に平衡な吸着量 [mg/ℓ]

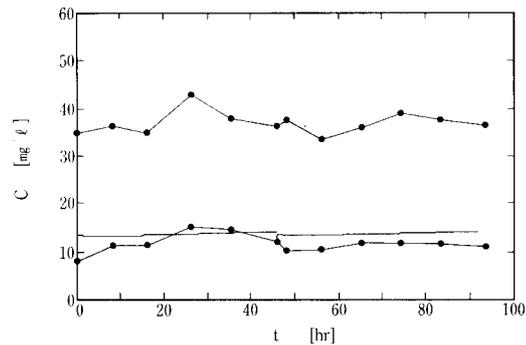
$$\left(\text{ただし、} q_n = \sum_{i=1}^n dq_n \right)$$

ρ : 活性炭層密度 [g/ℓ]

実際のシミュレーションは、(10)、(11)式を差分の形に直して、通水開始直後を $t=0$ として逐次計算を行う。ただし、最上段のみ最初は空の状態からスタートし、一定の供給速度 R で充填していき、パルス直後には、通水開始時の状態にもどるものとする。また、二段目から最下段は、パルス間には段間の活性炭移送が起これないとする(10)、(11)式のアンダーライン部は省略できる。

その計算例を第8図に示す。ただし、 KLa の値には、室内テストより推算した値を用いた。

シミュレーション結果は、テストデータと良く一致しており、本シミュレーション法及び室内テストから得た KLa 値が妥当であることを示している。現実の KLa は、塔軸方向に廃水の種類によって複雑な挙動を示すと考えられるため、推定することは困難であるが、室内テストから



第8図 処理水濃度のシミュレーション結果 (run 2 LV=15 [m/h] の場合)

Fig. 8 Simulated result of treated water

推定した平均的 KLa を用いて段数を決定しても、実用上問題ないと言える。

むすび

以上、当社が1993年4月より販売を開始した多段流動床式活性炭吸着装置『マルチアクトス』の紹介を中心に、本装置の実証テスト及びそのテストデータを基にした各段の総括容量係数 KLa 、処理水濃度のシミュレーション方法の検討結果について報告した。

実証テストは、満足できる処理結果が得られ、また、それらはマルチアクトスを最適設計するための貴重なデータとすることができた。

各段の KLa は、多成分系の実廃水の場合、各段ごとに成分組成が変動するために、塔軸方向の KLa を正確に推定することは非常に困難であるが、実用上は室内テストより推定した平均的な KLa で評価して問題ない。

また、今回行ったシミュレーション法は、原水濃度や活性炭供給量の変動した場合への応用ができることから、本装置の運転管理の手法として役立つと考えられる。

今後、さらに水質規制の強化が予想されることから、活性炭吸着装置の活躍する場面も多くなると予想されるが、従来の固定床式に代わってマルチアクトスが環境保護に大いに役立つであろうと期待している。

〔参考文献〕

- 1) 野田ほか：神鋼パテック技報, Vol. 36, No. 1, (1992).
- 2) 後藤忠一ほか：日本化学会誌, No. 8, (1976).

敷島スターチ株式会社向け グルテンフィード乾燥排ガス脱臭設備の実績紹介

Deodorization Facility

for Shikishima Starch Manufacturing Co., Ltd.



(気)生産部 技術第1課
小 出 鉄 一
Tetsukazu Koide
(気)生産部 技術第2課
森 島 龍 洋
Tatsuhiko Morishima

Shinko Pantec has delivered a complete set of deodorization facility at the end of October 1992 to Shikishima Starch Manufacturing Co., Ltd., a comprehensive cornstarch manufacturing company in Suzuka City, Mie Prefecture. The unit delivered incorporates a wet type packed tower system for use in the exhaust gas treatment facility for a gluten feed dryer. Described in this paper is an outline of the deodorization facility, which has been operating successfully since November 1992.

まえがき

近年宅地造成化が進み、工場周辺に住宅が建設され工場から排出される悪臭などがクローズアップされ、問題になっている。このような状況のもとで、当社は1972年から脱臭装置の製造・販売を行っており、昨年、敷島スターチ(株)へ湿式洗浄塔方式の脱臭設備を納入した。

敷島スターチ(株)は、日本で6番目のコーンスターチ会社として、1961年に設立された。とうもろこしを原料とするでん粉と糖類、加工でん粉、医薬品等2次加工品の製造・販売を事業としている総合コーンインダストリーである。製品は「コーンスターチ」を始め、コーンサラダ油や飼料として利用される「コーンジャーム」(胚芽)、たんぱく質を多く含む飼料として利用価値の高い「グルテンミール」(たんぱく質)・「グルテンフィード」(繊維質)、濃厚飼料や発酵培養に利用される「コーンスティープリカー」

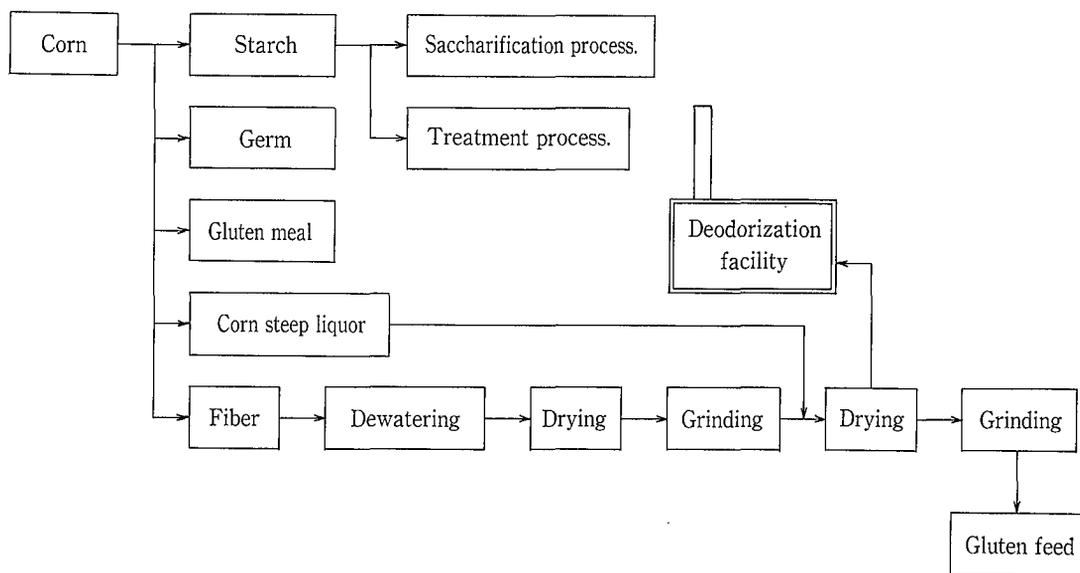
(油出液)などがある。これらの製品がとうもろこしの1粒1粒から生み出されている。

今回納入した脱臭設備は、「グルテンフィード」製造の最終工程である乾燥機から排出される排ガスの臭気除去用として1992年10月末に本社工場(鈴鹿市)へ納入した。納入設備は、1992年11月から運転を開始し、現在順調に稼働している。

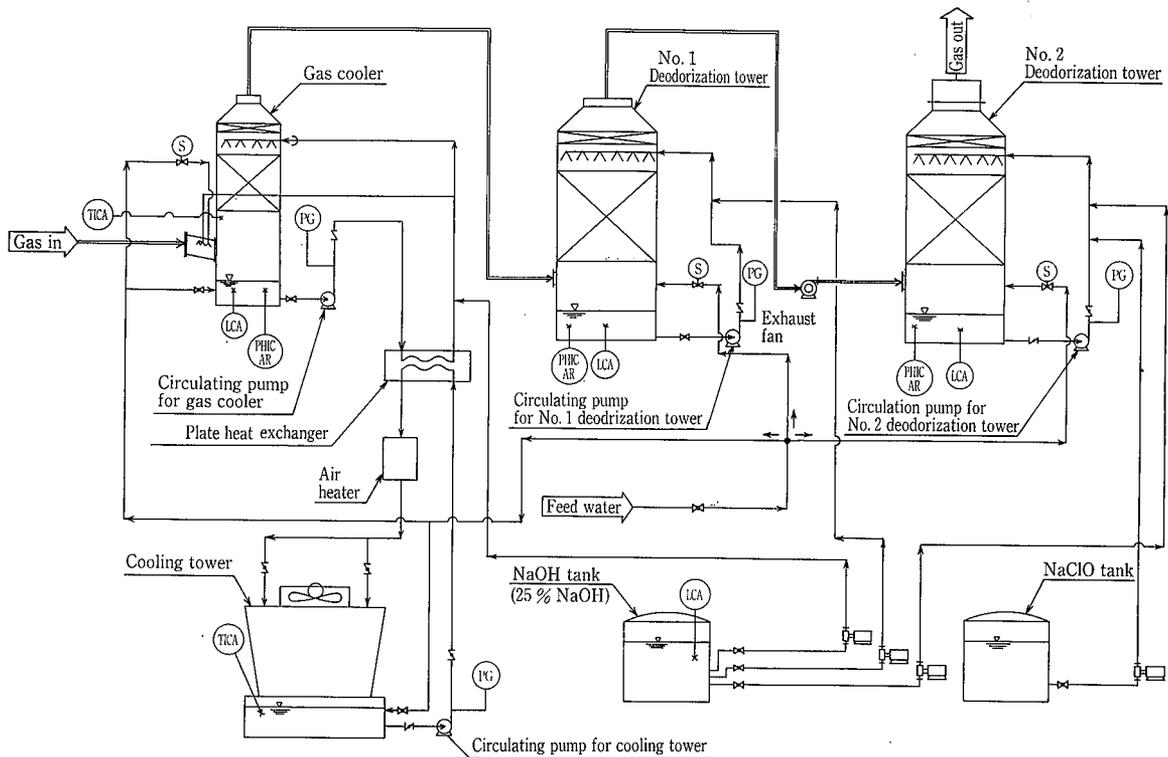
本稿では、今回納入した脱臭設備のコーンスターチ製造プラントへの適用例として、その概要を紹介する。

1. コーンスターチ工場概略フロー

第1図にコーンスターチ工場の概略フローを示す。コーンスターチ、コーンジャーム、グルテンミール、コーンスティープリカー、グルテンフィードと各製品を製造している。今回納入の脱臭設備は、この内のグルテンフィード製造工程より排出される排ガスの臭気除去用として設置した。



第1図 コーンスターチ工場概略フロー
Fig. 1 Process flow scheme in cornstarch plant



第2図 グルテンフィード乾燥排ガス脱臭設備フローシート
 Fig. 2 Flowsheet of deodorization facility for gluten feed dryer exhaust gas

2. 設備概要

グルテンフィード乾燥排ガス脱臭設備は、コーンよりグルテンフィードを製造する過程の乾燥機より排出されるガスを脱臭する設備であり、第2図に脱臭設備フローを示す。乾燥機より排出されたガスは、ガスクーラーのプレスクラバー部で断熱飽和温度まで冷却され、その後、冷却塔からの冷却水とプレート式熱交換器により熱交換され冷却された循環水により、ガスクーラーの充填材部分での熱移動により冷却される。また、プレート式熱交換器の廃熱利用としてエアヒーターを接続している。その後、十分冷却された排ガスは、No. 1 脱臭塔へ導入される。

ガスクーラー及び、No. 1 脱臭塔では循環水に NaOH 水溶液を用い、入口からの酸性ガスを中和すると共に、物理吸収され易い悪臭物質を除去する。また、No. 2 脱臭塔ではガスクーラー及び、No. 1 脱臭塔で除去できなかった悪臭物質を、NaClO 水溶液により酸化し無臭化している。

NaOH 溶液の注入量は pH 計により自動制御されており、各塔の循環液 pH を制御している。また、NaClO 溶液の注入は試運転にて算出したストロークにて定量注入している。

循環水は水質保持のため、運転中常時給水を行い、オーバーフロー方式でブローしている。

3. パイロットテスト

3.1 テスト

実装置を設置するのに際して、パイロットテスト機による事前テストを実施した。湿式洗浄塔方式での脱臭効果、及び、最適設計に必要な諸データの収集が目的である。

パイロットテストの概略テストフローは第3図の通りであり、テスト機の概略仕様は次の通りである。

ガスクーラー	φ600 mm × 3 290 mmH	SS400製
No. 1 脱臭塔	□500 mm × 3 900mmH	SUS304製
No. 2 脱臭塔	□500 mm × 3 900mmH	SUS304製
循環ポンプ	250 ℓ/min × 15 mAq × 2.2 kW	SCS13製
ファン	70 m ³ /min × 250 mmAq × 5.5 kW	FRP製

3.2 テスト結果

第1表にテスト結果の一部を示す。テスト結果より脱臭効率を高くするには、①脱臭塔循環水の pH 値を9~9.5程度とする。②脱臭塔の空塔速度を 0.5~0.8 m/s とする。③No. 2 脱臭塔循環水の残留有効塩素を 10~30 mg/l とする。(NaClO 注入量を調整する。)等の事項を確認した。また、出口臭気濃度は970~1 300であり当初の設計条件をクリアすることも確認できた。これ以外にも実装置を設計するのに必要な諸データを得ることができた。

以上、今回のパイロットテストから、弊社製の湿式洗浄塔方式の脱臭設備がグルテンフィード製造排ガスの臭気除去に有効であることを確認した。

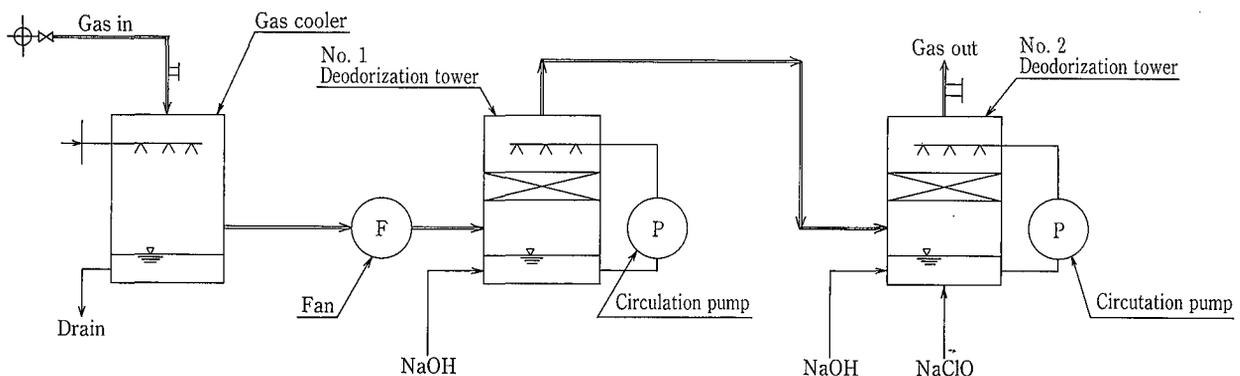
4. 納入設備の仕様

納入設備の配置図を第4図、断面図を第5図、外観写真を写真1に示す。又、設計条件及び仕様は次の通りである。

本設備を設計するに当たっては、パイロットテスト機によるテストデータを基に最適設計を行った。

第 1 表 パイロットテスト結果
Table 1 Result of pilot test

Measurement item		1			2			3		
		Gas cooler inlet	No. 1	No. 2 outlet	Gas cooler inlet	No. 1	No. 2 outlet	Gas cooler inlet	No. 1	No. 2 outlet
Gas quantity	m ³ N/h	350	---	---	350	---	---	190	---	---
Odor concentration	—	17 000	---	1 700	23 000	---	1 300	23 000	---	970
pH of circulating water	—	—	9.0	9.2	—	9.7	9.7	—	9.6	9.6
Cl ₂ of circulating water	mg/ℓ	—	—	30	—	—	15	—	—	10



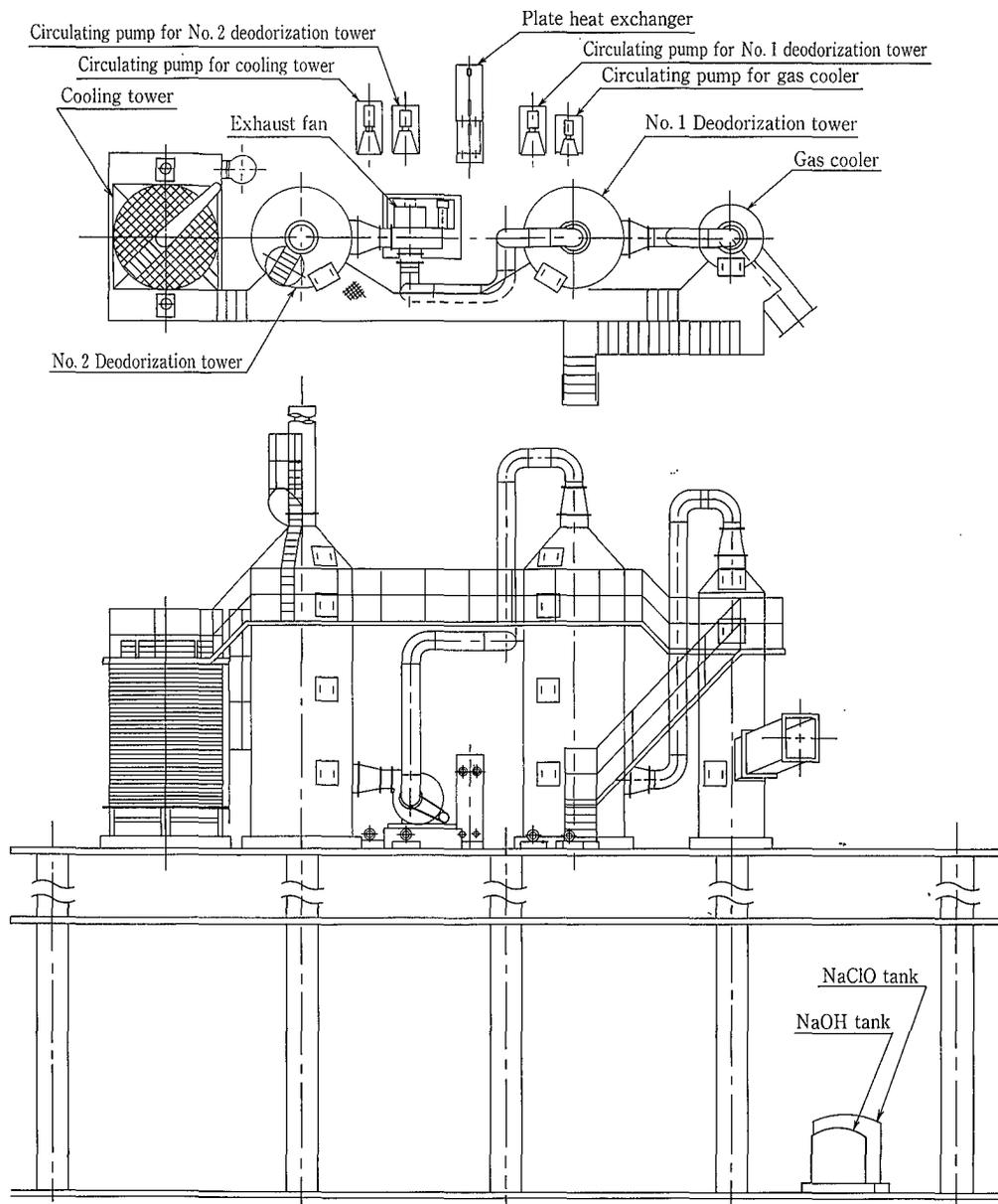
第 3 図 パイロットテストフロー
Fig. 3 Pilot test flow

4. 1 設計条件

処理ガス量	8 800 m ³ N/h・wet
処理ガス温度	110 °C
処理ガス湿度	2 000 kg/h
処理ガス組成	
メチルメルカプタン	1.12 ~ 3.85 ppm
二酸化硫黄	190 ~ 250 ppm
アセトアルデヒド	27 ~ 32 ppm
ホルムアルデヒド	3 ppm
メタノール	25 ppm
高級炭化水素	20 ~ 100 ppm
二酸化炭素	32 000 ~ 40 000 ppm
ダスト量	200 g/h (ガスクーラー入口)
臭気濃度 (三点比較式臭袋法)	
ガスクーラー入口	30 000
No. 2 脱臭塔出口	1 000 (平均)
圧力損失	Total 180 mmAq
洗浄液質	
ガスクーラー	NaOH 水溶液
No. 1 脱臭塔	NaOH 水溶液
No. 2 脱臭塔	NaOH+NaClO 水溶液
薬品注入方式	NaOH: pH 計による ON-OFF 制御 NaClO: 定量注入

4. 2 機器仕様

ガスクーラー	型番 VSP150(0)-FRP	1 基
No. 1 脱臭塔	型番 VSP225(0)-FRP	1 基
No. 2 脱臭塔	型番 VSP225(0)-FRP	1 基
冷却塔	型番 HT-300MEHe (スプレッシュ型)	1 基
プレート式熱交換器	型番 UX-315A-NP-232	1 基
排気ファン	130 m ³ /min × 200 mmAq × 7.5 kW FRP製	1 台
ガスクーラー循環ポンプ	46 m ³ /h × 25 m × 7.5 kW SCS14製	1 台
No. 1 脱臭塔循環ポンプ	80 m ³ /h × 15 m × 7.5 kW FRP製	1 台
No. 2 脱臭塔循環ポンプ	80 m ³ /h × 15 m × 7.5 kW FRP製	1 台
冷却塔循環ポンプ	51 m ³ /h × 35 m × 11 kW SCS13製	1 台
ガスクーラー NaOH ポンプ	36 ℓ/h × 30 m × 0.2 kW PVC製	1 台
No. 1 脱臭塔 NaOH ポンプ	36 ℓ/h × 30 m × 0.2 kW PVC製	1 台
No. 2 脱臭塔 NaOH ポンプ	36 ℓ/h × 30 m × 0.2 kW PVC製	1 台



第4図 グルテンフィード乾燥排ガス脱臭設備全体配置図
 Fig. 4 Overall arrangement plan of deodorization facility for gluten feed dryer exhaust gas

NaClO ポンプ 18 g/h × 30 m × 0.2 kW
 PVC製 1台

4.3 主要部材

- 4.3.1 ガスクーラー及び No. 1, No. 2 脱臭塔
- ケーシング FRP製
 - 充填材 PP製
 - ミストセパレーター PP製
 - 散水管 PVC製
 - スプレーノズル メラミン樹脂
 - ボルト・ナット・ワッシャ
 - 塔外 SUS304製
 - 塔内 樹脂製, SUS316製
 - 点検口蓋 透明ポリカーボネート製

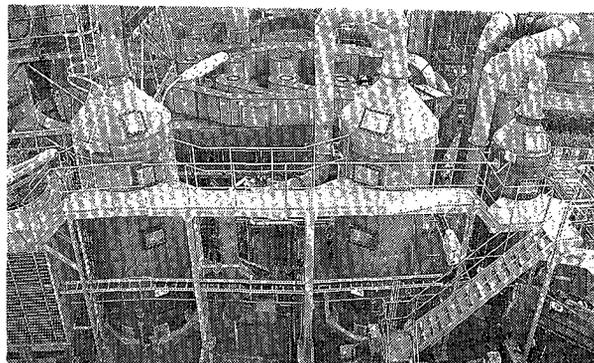


写真1 脱臭設備外観
 Photo. 1 Outside view of deodorizing facility

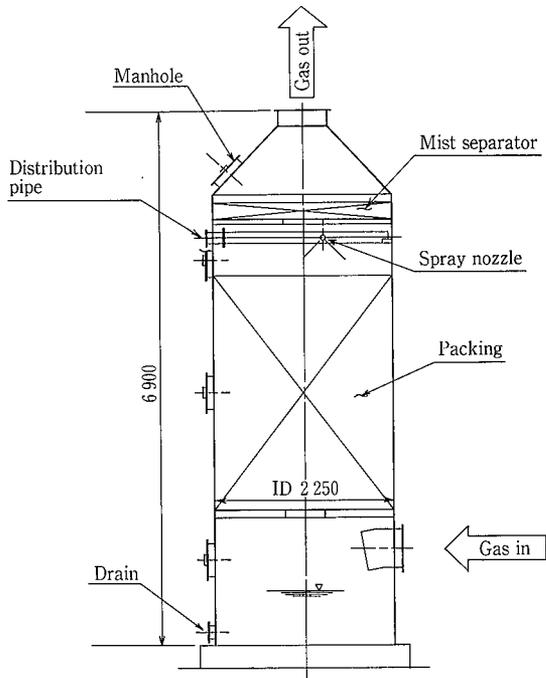


図5 脱臭塔断面図
ig. 5 Sectional view of deodorization tower

3.2 冷却塔

主構造	SS400 (溶融亜鉛鍍金)
ファン	FRP製
ルーバー, 側板	PVC製
散水槽, 散水箱	FRP製
充填材	木製 (スプラッシュ型)
エリミネーター	PVC製
ボルト・ナット	SS400 (溶融亜鉛鍍金)

3.3 プレート式熱交換器

プレート	SUS316製
プレートガスケット	NBR製
フレーム	SS400 (塗装処理)
ノズル	NBR製

4. 運転結果

1992年11月から運転を開始しているが、その運転及び性能テスト結果を第2表に示す。稼働中のガスクーラー、No. 1 脱臭塔、No. 2 脱臭塔の各々の循環液の水質を第3表に示す。

第2表のようにガス量、ガス温度及びガス組成は設計条件とほぼ同じとなっている。

臭気濃度は、設計条件入口臭気濃度30 000に対して測定値9 700~23 000、設計条件出口臭気濃度1 000(平均)に対して測定値730~1 300であった。臭気濃度の測定方法は、

第2表 性能テスト結果

Table 2 Performance test results

Item	Measured value (Gas cooler inlet)
Gas quantity (wet)	9 694 m ³ N/h · wet
Gas quantity (dry)	6 400 m ³ N/h · dry
Gas temperature	96 °C
CH ₃ SH	<0.25 ppm
CH ₃ COOH	10 ppm
HCOOH	5 ppm
CH ₃ OH	10 ppm
SO ₂	130 ppm
CO ₂	4.0 %

Item	Measured value	
	Gas cooler inlet	No. 2 Deodorization tower outlet
Concentration of Odor	9 700 ~ 23 000	730 ~ 1 300

第3表 性能テスト結果

Table 3 Quality of circulating water

Item	Circulating water		
	Gas cooler	No. 1 Deodorization tower	No. 2 Deodorization tower
pH	9 ~ 9.5	9 ~ 9.5	9 ~ 9.5
Cl ₂	—	—	10 ~ 30 mg/ℓ

三点比較式臭袋法で行った。

以上の性能テストの結果、当初の設計条件を十分満足していることが確認された。また、パイロット機におけるテスト結果と実装置の性能テスト結果は、ほとんど差がないことが確認された。

むすび

コーンスターチ製造より排出される排ガスの脱臭設備として弊社の湿式洗浄塔方式の脱臭設備が有効であることが確認された。特に今回は「グルテンフィード」製造工程より排出される排ガスの脱臭設備であるが、他分野への応用も可能であると確信する。

最後に、パイロットテスト及び本設備の計画、据付、運転にあたり多大なるご指導、ご協力をいただきました敷島スターチ株式会社に深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 敷島スターチ株式会社, カタログ

冷却塔送風装置について

Drafting Apparatus of Cooling Tower



(気)技術第2課
中井 寛
Hiroshi Nakai
大谷 和由
Kazuyoshi Otani

Air drafting apparatus is one of the important components of a cooling tower in which hot water is cooled by exposing its surface to a large amount of drafted air. This paper introduces drafting apparatus of relatively large sized mechanical-draft cooling towers, by describing several matters on the selection of fan and fanstack from the view points of such as decreasing power consumption and noise abatement.

まえがき

冷却塔を構成する主要な機能としては、温水と空気の接触による熱交換機能、充填層に多量の外気を供給する送風機能、温水を充填層に均一に分散させる散水機能、水滴飛沫の飛散を防止する飛沫飛散防止機能等がある。

今回はその内、送風機能について取り上げて紹介するものである。まず、当社主力製品の中型以上の冷却塔において、その送風機能をつかさどる送風装置の一般的な機器構成は次の通りである。(第1図参照)

- ・ファン
- ・ファンスタック
- ・減速機
- ・伝動軸
- ・電動機
- ・送風機架台

本稿では、上記各機器の内、主要構成機器であるファン及びファンスタックの選定における冷却塔特有の留意点を主に紹介する。

1. ファン

冷却塔に使用されるファンとしては、軸流ファンが一般的である。

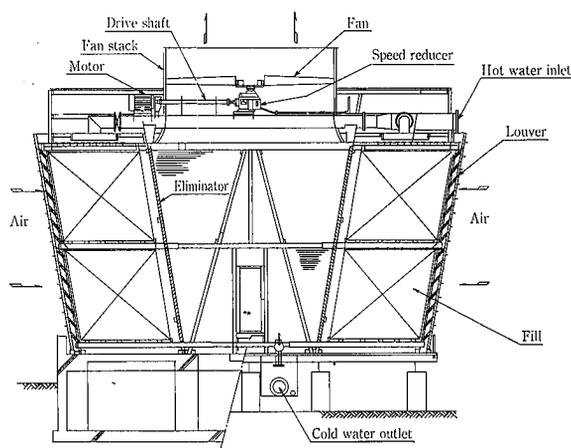
第2図は広義の空気機械としての送風機と圧縮機の適用範囲の概要を示したものである。冷却塔に求められるファン仕様は、低圧(5 mmAq~30 mmAq)かつ大流量(中大型塔で1 000 m³/min~40 000 m³/min)である。この仕様を満足させるには、軸流ファンが冷却塔用の送風機として適していることが第2図からわかる。

1.1 ファン選定時に考慮すべき事項

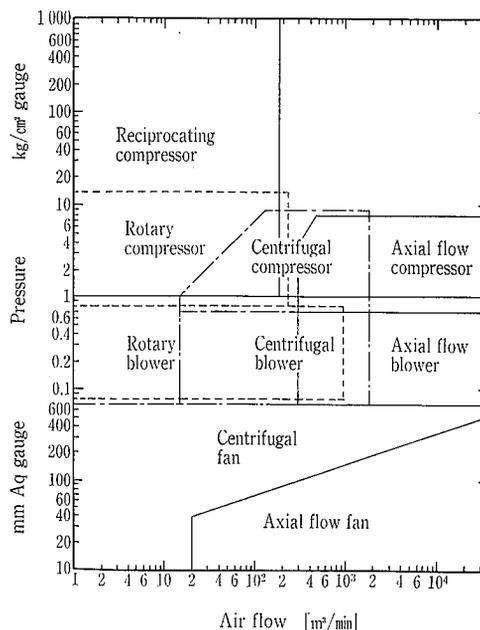
冷却塔用ファンの選定に当たっては、風量、静圧等の空力性能はもとより、騒音、腐食等の外部条件に十分な考慮を払って選定しなければならない。

一般的な考慮事項は次の通りである。

- ・ファンの風量、静圧、全圧が使用条件に適しているか。
- ・ファンの騒音が使用条件に適しているか。
- ・ファンの許容回転数以下で選定されているか。
- ・ファンの材質、耐腐食性が使用条件に適しているか。
- ・起動、停止、休止等の運転時の操作を考慮した強度に



第1図 冷却塔の構成
Fig. 1 Construction of cooling tower



第2図 送風機・圧縮機の適用範囲
Fig. 2 Selection of fan and compressor

なっているか。

・保守、整備、補修、安全上の考慮はなされているか。

1. 2 ファンの選定

冷却塔用の軸流ファンを選定するに当たっては、ファン性能曲線を用いて行う。その場合の必要な基本的諸元として、熱交換性能から要求される風量と、その空気の流れによりルーバー、充填材、エリミネーター、塔体などの各部分で発生する圧力損失がある。

ここで注意すべき事項は次の通りである。

- (1) ファン性能曲線は、個々のメーカーが独自に定めた基準ファンスタックとの組み合わせにおいて作成されたものである。
- (2) ファン性能曲線は、多くの場合、個々のメーカーがテストファン（例として5ftテストファン）にて実測した測定値を幾何学的相似則によって各ファンサイズに展開して作成されたものである。参考として第1表に送風機の比例法則と騒音法則を示す。

一例を示すと、風量Qは、ファン直径Dの3乗に比例し、ファン静圧Pは、ファン直径Dの2乗に比例し、ファン軸動力Lは、ファン直径Dの5乗に比例することを表している。

- (3) ファン性能曲線にはファン静圧基準のファン性能曲線（第3図）とファン全圧基準のファン性能曲線（第4図）があり使用ファンにより選定方法が異なる。

上記を念頭において、選定することが重要であり、個々の納入塔で使用条件が異なれば選定に反映する必要がある。

1. 2. 1 風量

冷却塔の熱交換性能に必要な風量がファンに要求されるが、一般的にファン性能曲線は空気の標準状態を基準としたものであり、注意すべきは、その選定時の前提となった乾湿温度、空気密度、気圧等の状態量を確認し、ファン型式選定時に反映させることである。

1. 2. 2 圧力損失

冷却塔用のファンの所要静圧は、空気の流れに従い発生する種々の圧力損失の合算である。冷却塔における圧力損失としては、次のものが考えられる。

- ・ルーバー部に発生する圧力損失
- ・通水時の充填材部に発生する圧力損失
- ・エリミネーター部に発生する圧力損失
- ・塔体の柱梁等に発生する圧力損失
- ・減速機架台に発生する圧力損失
- ・ファンスタックに発生する圧力損失

上記圧力損失を的確に算定し、ファンの必要静圧を決定する必要がある。

一例として、減速機架台部に発生する圧力損失を取り上げると、ファンスタック内にある送風装置架台の場合、第5図のようにその断面形状を円形とすれば圧力損失係数を欠のようにして求めることができる。

すなわち、圧力損失係数ζは、

$$\zeta = 0.4 \times \frac{S/F}{(1-rS/F)^3} (1-2y/D)^{1/3}$$

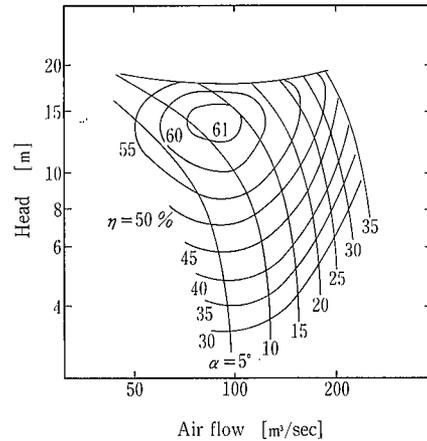
$$\text{但し } S = d\ell, F = \pi D^2/4$$

第1表 ファンの比例法則

Table 1 Proportional law for fan

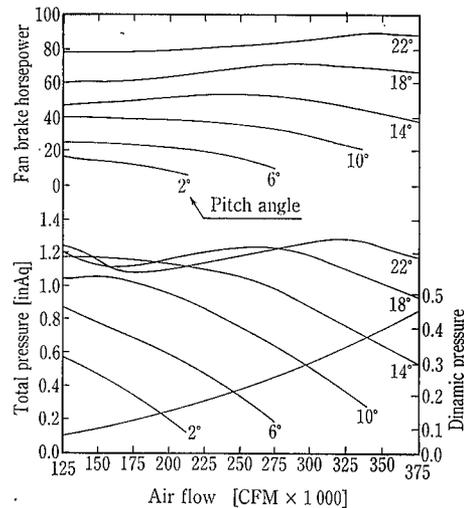
Solution	Basic data	Diameter ratio	Revolution ratio	Density ratio
Q	Q _B	(D/D _B) ³	(n/n _B)	(1)
P	= P _B	× (D/D _B) ²	× (n/n _B) ²	× (γ/γ _B)
L	L _B	(D/D _B) ⁵	(n/n _B) ³	(γ/γ _B)
dB	= dB _B	+70 log ₁₀ D/D _B	+50 log ₁₀ n/n _B	

Q: Air flow D: Fan diameter p: Static pressure
L: Power consumption γ: Air density dB: Decibel



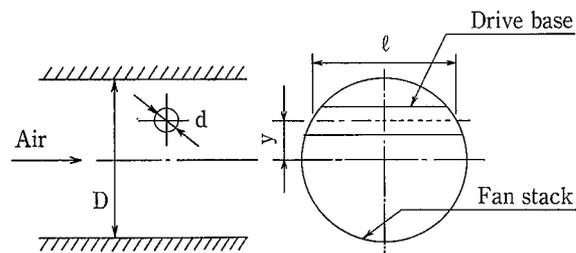
第3図 ファン静圧基準の性能曲線

Fig. 3 Fan selection curve based on static pressure



第4図 ファン全圧基準の性能曲線

Fig. 4 Fan selection curve based on total pressure

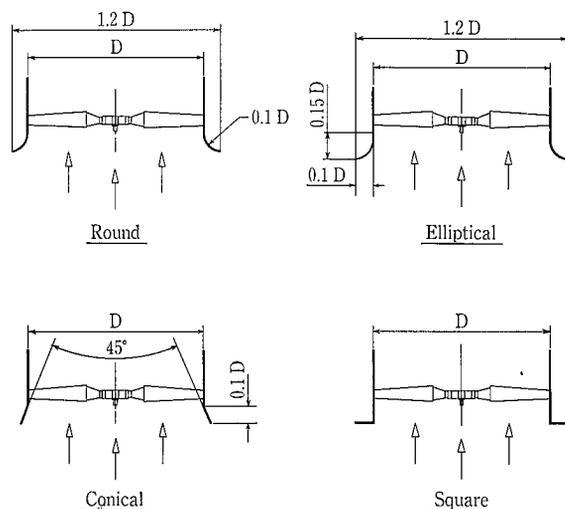


第5図 減速機架台部の圧力損失

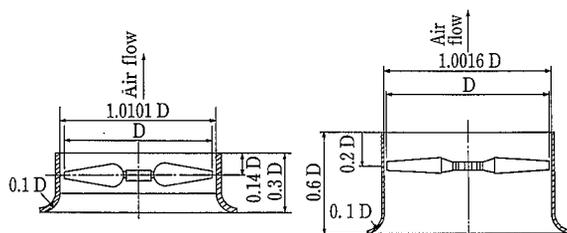
Fig. 5 Pressure drop at drive base

Type	Shape	rpm	PWL dB [A]	Δ dB [A]
Conventional		178	96.5	—
Low noise		148	89.5	7
Super low noise		134	86.5	10

第6図 冷却塔用ファン
Fig. 6 Fan for cooling tower



第8図 ファンスタックの入口形状
Fig. 8 Inlet bell configurations



第7図 ファンスタック形状例
Fig. 7 Outline of fan stack figures

S/F	0.05	0.10	0.15	0.20
r	0.88	0.70	0.63	0.5

ここでは円形断面について述べたが、同様に種々の形状の抵抗体に対し、それぞれの圧力損失係数算定式があるのでそれらを用いて計算することができる。

1. 2. 3 騒音

冷却塔の騒音は、水の落下音とファンの回転による風切音が支配的である。

この内、詳細にファンの騒音を検討する場合に、ファンのPWL値、各地点のSPL値、及びオクターブバンド別の騒音値を予想することがある。ここでファンのPWL値は実験値をベースとして幾何学的相似則にてファンサイズごとに展開されたものであるため、ファン選定時に必要となる各地点のSPL値の算定には、十分に実績データを加味する必要がある。

メーカーによって異なるが、一例として第6図にファン形式によるPWL値を示す。標準ファンに比べ、低騒音ファンでは5~10 dB(A)、超低騒音ファンでは10~15 dB(A)の範囲の減音効果を期待することができる。

2. ファンスタック

ファンスタックは、ファンに入る空気の流れ及び吐出される空気の流れを整え、ファンの性能を十分に引き出すことを主目的として設置される。また、同時に回転するファンに対する安全対策設備としての役割もある。

2. 1 ファンスタック選定時に考慮すべき事項

ファン性能曲線は、ファンメーカーが基準として定めているファンスタック形状における性能を示したものであり、その点を十分に考慮しなければならない。第7図は、当社が採用しているファンの代表的なファンスタック形状を示したものであるが、これらからファンメーカー各社が標準として定めているファンスタック形状に対する考え方がそれぞれ異なることがわかる。

2. 2 ファンスタックの選定

風量、静圧、動力等よりファンが選定されると、ファン直径に合ったファンスタックを選定する必要がある。

一般にファンスタック出口径はファン回転面での内径と同径にする場合が多い。塔体の構造上からファン直径に制限がある場合や、ファン直径を大きくすると与えられた電動機の容量が不足する場合等は、速度回収型ファンスタックを採用するのがよい。いずれの場合も、吐出空気速度が余り低すぎると吹き出された空気が再度冷却塔の外気取り入れ口であるルーバーから吸引され再循環し、冷却塔性能に悪影響を与えるので避けなければならない。一般的にはファンスタック出口での吐出空気速度は7~10 m/secが適当である。

2. 2. 1 入り口形状

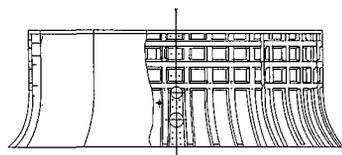
圧力損失を発生させる部位として入り口形状が考えられる。

第8図は、代表的な入り口形状を示したもので、その形状によって圧力損失値が異なるため、適切にその値を算定し、ファン選定時の必要静圧値に反映する必要がある。

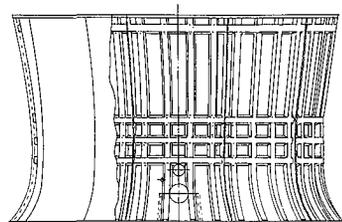
圧力損失的には、ELLIPTICAL型が最も圧力損失が少なく、次にROUND型、CONICAL型、SQUARE型の順となる。

2. 2. 2 出口形状

空気流のファンスタック通過による圧力損失と、吐出空気流の速度エネルギーが損失となり動力の増加が起こる。

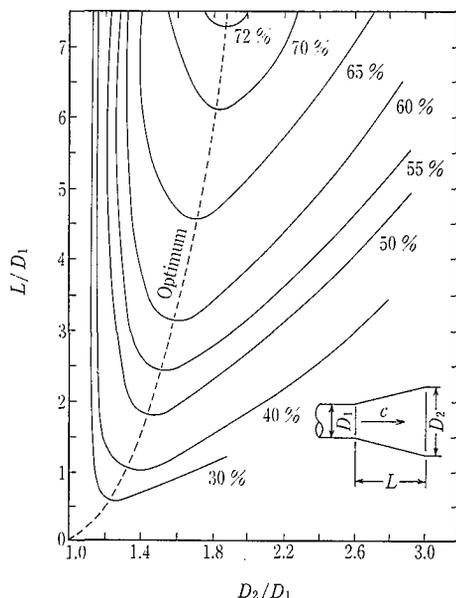


Standard type



Velocity recovery type

第9図 当社のファンスタック
Fig. 9 Our typical fan stack



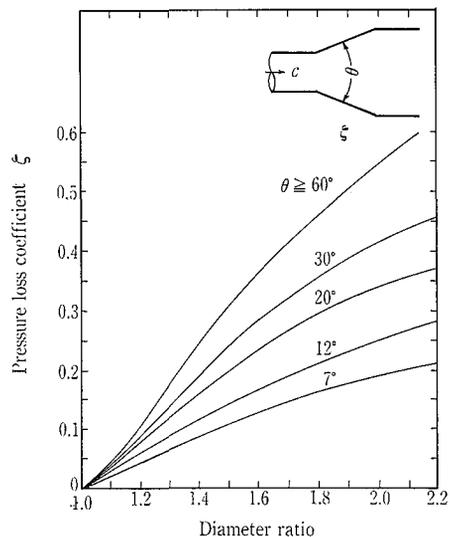
第10図 ディフューザの静圧回復率
Fig. 10 Static pressure recovery with diffuser

ファンスタックの出口形状としては標準型と速度回収型に大別される。

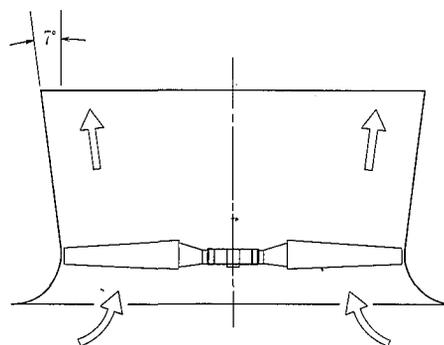
第9図に、当社の標準型、及び速度回収型ファンスタックの一例を示す。

速度回収型は標準型の出口に円錐形に延長したディフューザを取り付けたものである。これはファン回転面に対し出口面での面積の増加により空気速度が減少し速度エネルギーの損失を押さえ消費動力を節約するものである。

第10図はディフューザによる静圧回復率を、第11図はディフューザによる圧力損失係数を示したものであるが、一



第11図 ディフューザの圧力損失係数
Fig. 11 Pressure loss coefficient of diffuser



第12図 ディフューザの形状
Fig. 12 Diffuser configuration

般的には動力回収率と圧力損失との折り合いより7度のテーパが冷却塔用ファンスタックに適している。

第12図は、ディフューザ形状の一例を示したものであるが、ファン型式とディフューザ形状の組み合わせによってディフューザ効率が決まるので適切なファンとディフューザの組み合わせを決めることができる。

むすび

本稿では、冷却塔の送風性能に最も大きな影響を与えるファンとファンスタックについて、基本的事項の紹介を行ったが、送風性能の向上を目指し、各要素別に改善改良を進めており、今後随時紹介していきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 安達勤ほか：空気機械，共立出版，緒論
- 2) 生井武文：送風機と圧縮機，朝倉書店 p. 65
- 3) Madison, R. D. & Graham, J. B., H. P. A. C. Jan 1958
- 4) CTI 1993 Technical Paper Number TP93-03

社内 ニュース TOPICS

電気浸透式加圧脱水機「スーパーフィルトロン」 上水道で3件受注

**Electro osmotic dehydrator SUPER FILTRON
to be delivered for water purification facilities in
three municipalities**

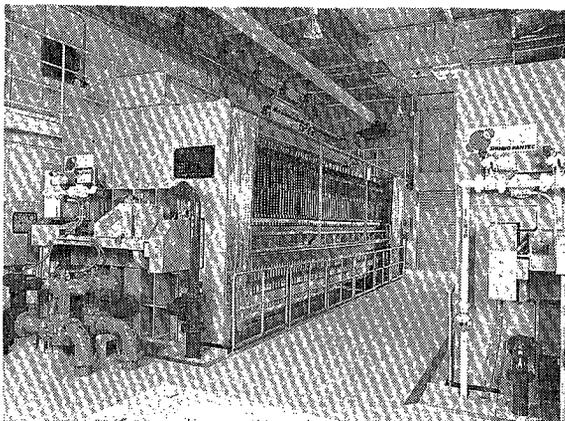
神鋼パンテックはこのほど、電気浸透式加圧脱水機「スーパーフィルトロン」を使った排水処理設備を群馬県玉村町、同県伊勢崎市、奈良県大淀町から相次いで受注した。3件とも上水道分野で、一昨年の阪神水道企業団甲山浄水場に続くもの。これまで発電所の排水処理や企業の製造工程向けに実績を重ねているが、今回の一連の受注を機に大・中規模浄水場向けにも積極的な販売活動を図り、今後5年間で100億～150億円の受注を見込む。

今回の受注内容は濃縮設備、電気浸透式加圧脱水機、補機類および据え付け・配管、電気計装工事の一式。規模はいずれも汙槽寸法が1 000 mm×1 000 mm形式で、汙室は玉村町が10室、伊勢崎市が12室、大淀町が20室。

電気浸透式加圧脱水法は、圧力や遠心力を利用した機械的な脱水法でなく、電気エネルギーで液移動を起こし水分を除去するもの。

加圧脱水機に電極を組み込んだ構造で、汙過・圧搾圧力と直流電圧により、無薬注で汚泥を含水率60%以下に脱水できる。

同社のスーパーフィルトロンは、電気泳動現象と電気浸透現象を効率的に組み込んだ全く新しい方式を採用。従来の無薬注フィルタープレスと比べ処理能力は2～3倍、含水率も10%以上に低下できる。また装置が軽量・コンパクトで、トータルランニングコストが安いなどの特長がある。
(’93. 4. 21 環境公害新聞)



電気浸透式加圧脱水機「スーパーフィルトロン」
Electro osmotic dehydrator SUPER FILTRON

フィリピン向け地熱発電所用大型冷却塔 Large scale cooling towers for geothermal power plant in the Philippines

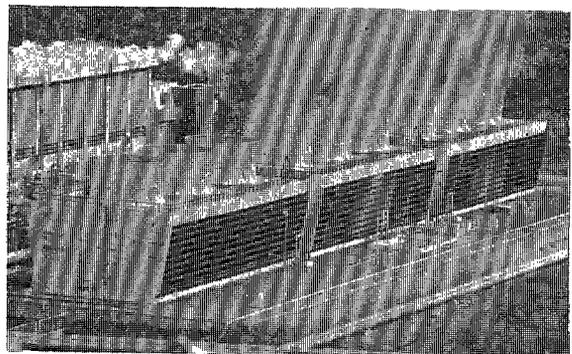
神鋼パンテックは、フィリピン国営電力会社から受注した5 800 m³/hr の大型冷却塔装置の機器を3基納入し、現地据え付け指導員を派遣した。

冷却塔装置はフィリピン南部ネグロス島にある3カ所の地熱発電所のタービンコンデンサー用冷却水循環設備。同社の受注内容は冷却装置4基と据付工事の指導で、受注金額は約4億円。残りの1基は7月に出荷され、据付工事は今年いっぱい完了する予定である。

これらの地熱発電所はフィリピン都市部の電力事情改善のために建設されるもので、3カ所(4基)の発電所の規模は20 MW、合計発電量は80 MWになる。

同社は82年にもネグロス島の地熱発電所へ大型冷却塔設備を納入し、順調に稼働しており、こうした実績が今回の受注につながった。同社は今後さらに東南アジアおよび中近東への受注拡大を積極的に推進したい考えだ。

(’93. 7. 23 日刊金属特報)



大型冷却塔装置を納入したフィリピンの地熱発電所
Cooling towers previously installed at geothermal power plant
in the Philippines

170°Cの温度差にも対応

新ライニンググラス

**New lining glass applicable for use under
large temperature difference of 170°C**

神鋼パンテックは、グラスライニング(GL)製機器に使う耐熱衝撃性に優れたライニンググラスを開発した。従来のグラスの耐食性を損なわず使用可能な温度差を170°Cで急激な温度変化が生じてもグラスが基材(鋼板)に追従するのでクラックやグラスの剝離が生じない。反応温度をフレキシブルに変えることができ、反応プロセス時間の短縮化が図れる。

GL製機器は内容物と接触する鋼板部を耐食性ライニン

グ材であるガラス（グラス）で覆った装置。化学工業などの反応プロセスに使われる。しかし鋼板とガラスの熱膨張係数が異なるため急激に温度上昇（あるいは冷却）させると熱的衝撃でクラックが生じ、これを防ぐため徐々に温度を変化させる必要があった。

今回開発したライニングガラスは「H901」で温度差が170℃でもクラックが生じない。これまで同社の標準ガラスでは140℃であった。耐食性などは標準ガラスと同等の性能を持つ。材料配合、焼成技術などを工夫し、残留圧縮応力を高め、鋼板の熱膨張、収縮に追従する耐熱衝撃性に優れたライニングガラスを仕上げた。

同ライニングガラスを活用することで内容物の反応温度を制御する熱媒、冷媒の温度差を大きくとることができる。このため反応プロセス時間の短縮化が可能となり製造工程の効率化などが図れる。（'93.9.16 化学工業日報）

フィルター・ドライヤー

GMP医薬では必需品

FILTER DRYER indispensable for GMP in the field of pharmaceuticals production

神鋼パテックは、化学工業用機器の専門メーカーとして数多くの実績を持つ。とくにユーザーニーズを的確にとらえ、新開発の耐衝撃性ガラス「H901」をラインアップに加えたグラスライニング技術や、多目的使用が可能で、しかも高効率で経済的な新型攪拌翼として好評の「フルゾーン翼」を主軸とした攪拌技術など豊富な品揃えが同社の特長だ。

最近、とくに注力しているひとつに「フィルター・ドライヤー」がある。一台の密閉容器内で濾過と乾燥工程が処理できる。濾過機から乾燥機への移送作業や各種機器の洗浄作業の省人化だけでなく、移送時の製品汚染の防止など医薬品製造などには欠かせない機器といえる。同社は87年に濾過、乾燥工程に加え、反応、晶析までを一台で行う多機能濾過機「ハイロフ・ドライヤー」の販売を開始。この実績を生かし最近ニーズが高まっているGMPに適合した医薬品分野への「フィルター・ドライヤー」の本格参入を目指している。

また幅広い自社の機器によるプラントエンジニアリングでは医薬品プラント、粉体プラントで豊富な実績がある。化学機器のトップメーカーとして高純度品製造に不可欠な高品質、高機能機器の提供とともに、総合力を生かしたプラントづくりに取り組む。さらに地球環境保全に立脚した廃油・廃液処理、特殊プラスチック製造設備建設にも進出する方針だ。

同社は昨年、化学機器専用工場、播磨製作所を本格稼働させる一方、研究開発拠点、技術研究所をオープンさせた。またメンテナンスを担当する神鋼パテック・サービスを軸にアフターサービスだけでなく、ユーザーの立場に立ったサービス活動の充実を図り、新製品開発からサービスまでの一貫体制を一段と強化させた。

（'93.9.25 化学工業日報）

展示会 EXHIBITION

下水道展 '93東京

Sewage works fair '93 in Tokyo

去る6月29日～7月2日まで東京・晴海国際見本市会場で開催された「下水道展 '93東京」に、吸着材併用型高効率生物脱臭装置「B-D O（ビードゥー）システム」や縦軸エアレーション方式の「シグマディッチ」、[A/W式レオポルドブロック]、電気浸透式加圧脱水機「スーパーフィルトロン」などを出展、好評を呼んだ。

「B-D Oシステム」は、最近注目される生物脱臭技術を取り入れ、全く新たな観点から維持管理を容易にし、省エネルギーの要求に応える高効率な生物脱臭装置として開発したもの。同装置は、吸着法による高速脱臭のため、土壌法よりも大きい通気速度で、特殊吸着材が破過するまでの期間を微生物の順養期間にできるため、特別な順養操作は不要。特殊吸着材は生物学的に自己再生され、運転費はほとんどいらぬ。

「シグマディッチ」は、高い酸素供給能力をもつ省エネルギー型曝気機「シグマウエーブエアレーター」を使用しており、負荷変動に強く安定した良好な処理水質が得られる。

「A/W式レオポルドブロック」は、上水道用として、2段構造による均圧効果により、濾過池長さ9mでも不均等性は2～3%以内で、逆洗時の均等性がよい。また、3次処理用、活性炭濾過用として、上水道用の特長の外に、優れた断面形状により空気、水の同時洗浄が多孔管などを布設しなくても可能で、濾層内の腐敗や嫌気状態を空気洗浄により改善できる。

「スーパーフィルトロン」は、電気泳動の持つ粒子移動と粒子の反発現象、電気浸透の持つ液移動現象を合理的に組み合わせた全く新しい脱水方式で、生汚泥・消化汚泥はもちろん余剰汚泥などの難脱水汚泥でも容易に50%の含水率が得られる。



当社小間
Shinko Pantec's exhibition booth