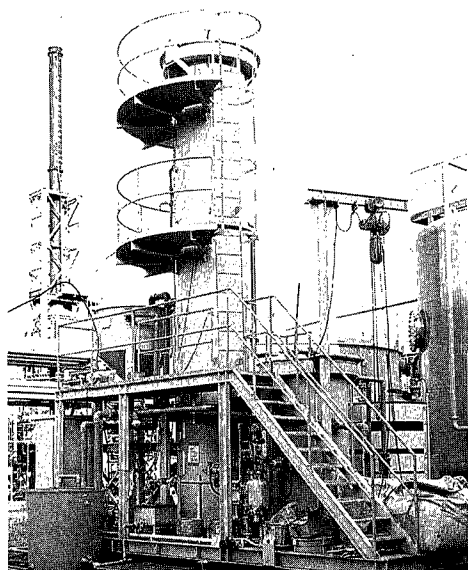


目 次

CONTENTS

- | | | |
|----|---|---|
| 1 | 高圧大型G L缶の製作 | The Design of a Large High-Pressure
Glasslined Reactor |
| 5 | ジャケットの腐食と防食 | Jacket Corrosion and its Protection |
| 13 | 医薬品合成プラント設計上の注意点 | Some Points to Note in Designing Plants
for Synthesizing Pharmaceuticals |
| 18 | ビーム型タンクコンテナ | A Beam Type Tankcontainer |
| 23 | G L清酒発酵槽の開発 | The Development of a Glasslined Sake Fermenter |
| 28 | 粒状活性炭吸着による浄水場の高度処理 | Advanced Water Treatment with Granular Activated
Carbon at a Purification Plant |
| 35 | 膜分離プロセスの高度浄水処理への適用 | The Application of Membrane Technology to
an Advanced Drinking Water Treatment Process |
| 39 | 冷却塔下部受水槽ストレーナの洗浄装置 | The Development of a Strainer Cleaning System
for Use in a Cooling Tower |
| 43 | 豊田ケミカルエンジニアリング(株)向け
IWS(イオンスクラバー)の実績紹介 | An IWS(Ion Scrubber)for Toyota Chemical
Engineering Co., Ltd. |
| 47 | ウェット酸処理によるステンレス鋼の表面改質
— X線光電子分光法による改質表面の解析 — | Surface Reforming of Stainless Steel by
Wet-Acid Treatment
— Investigation of Reformed Surface by X-ray
Photoelectron Spectroscopy — |
| 54 | プロセスモニタPMX-98 Ver. 1.5
の紹介 | An Introduction to the PROCESS MONITOR PMX-98
Ver. 15 |
| 58 | 社内ニュース | TOPICS |



〈写真説明〉

本活性炭吸着装置は多段流動床式の活性炭吸着装置である。活性炭を塔の上段より下段に移動させることにより効率的に処理液中の有機物を吸着低減するものである。

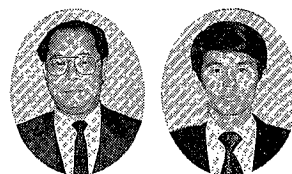
固定床吸着装置に比べてイニシャル設備の活性炭保有量が少なくなり、設備が小型化できることおよび活性炭の移動量を調整することにより、処理水質を任意に選定できることに特長がある。

今後、水質規制の強化にともなって、産業廃水処理や下水処理など、幅広い分野での適用が期待される。

The photo shows activated carbon adsorption equipment of the multi-stage fluidized bed type. Activated carbon in the equipment can be moved downward from the upper stage to the lower stage. By this movement, organic matters are removed effectively from the raw water flowing upward through the bed. As the equipment requires less volume of activated carbon compared with fixed bed type equipment, the size of the equipment can be reduced. Moreover, desired quality of treated water can be obtained by adjusting the movement of the activated carbon. In accordance with future enforcement of regulations for water quality, wide application of this equipment is expected for treating water such as industrial waste water and municipal sewage.

高圧大型 G L 缶の製作

The Design of a Large High-Pressure Glasslined Reactor



(化)技術部 設計第3課
新 谷 幸 一
Koichi Shintani
宮 田 忠 明
Tadaaki Miyata

In manufacturing a large glasslined reactor for high-pressure use, the size and weight of the reactor vessel are limited by the capacity of the electric furnace.

This paper describes several methods for raising this upper limit by referring to the design and manufacture of a large high-pressure glasslined reactor whose internal pressure is 30 kg/cm², inner diameter of the vessel is 3100 mm, and capacity is 39 m³.

ま え が き

グラスライニング製缶体（以下 G L 缶という）は、焼成炉に入れてガラスを缶内面に施工する関係上、焼成炉の能力による製作限界がある。従って、大型でありかつ高圧である G L 缶についてはその条件を満足させるために設計上の工夫が必要となってくる。

ここでは、一例として缶体内径 3100 mm、重量約 34.6 Ton、設計圧力 30 kg/cm² の大容量 G L 缶の設計・製作実績について報告をする。

1. 高圧大型反応機例

缶体の最大容量、最大設計圧力を決める要素として製缶能力、輸送限界等が考えられる。しかし、G L 缶の場合はそれ以外にグラスライニングを施工する焼成炉の能力、すなわち、炉の寸法と 炉内吊上荷重の能力とで制約を受ける。

神戸工場において、当社は 8 号炉という世界最大の電気焼成炉¹⁾を持っていた。その能力は焼成可能な容器の大きさを表され、その値は次の通りであった。

缶体内径：4000 mm

焼成重量：25 Ton

ここで、焼成重量とはグラスライニング施工時に最低限取り付けおかねばならない付属品を含めた重量である。

本稿では神戸工場において設計・製作された高圧大容量の G L 缶について述べる。

2. 缶体仕様

今回取り上げた例の G L 缶概略図を 第 1 図 に示す。また、その仕様を次に示す。

缶体内径：3100 mm

缶内圧力：30 kg/cm²

缶内温度：180 °C

本体材質：SM490B+GL

主要板厚：上鏡…55 mm

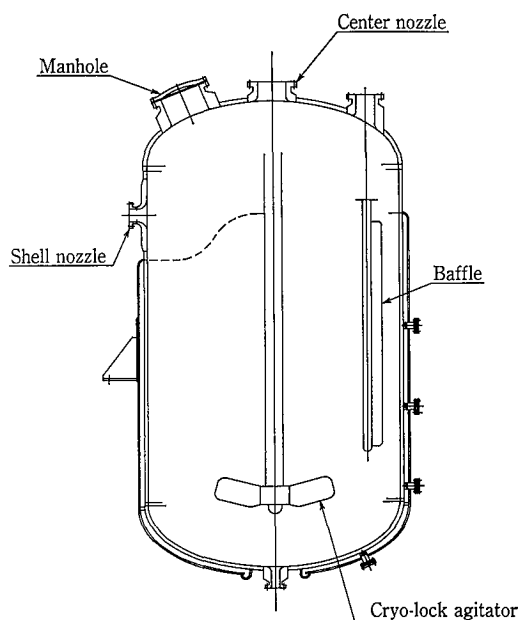
胴板…41 mm

下鏡…46 mm

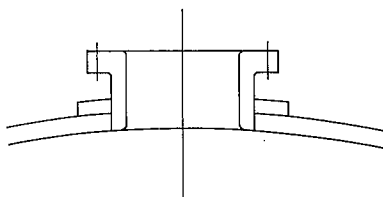
缶体の容量は満水で 39 M³である。

2. 1 缶体設計

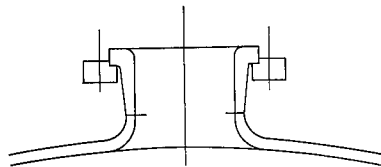
前述の缶体仕様において、必要な板厚はノズル、マンホール等の穴の無い場合、上鏡…46 mm、胴板…41 mm、下鏡…46 mm となり、この時の焼成重量は約 23 Ton である。ところが、穴のある場合はその穴に対して補強を行わなければならない。しかし G L 缶の場合、G L 施工上補強板を取り付ける構造（第 2 図）には出来ないため、一般には本体板単独で穴補強に必要な断面積を備えるように板厚



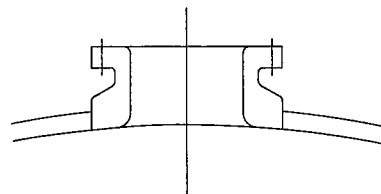
第 1 図 G L 製反応機
Fig. 1 Glasslined reactor



第2図 補強板付ノズル取付部
Fig. 2 Nozzle fitting w/reinforcement



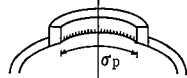
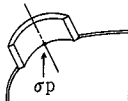
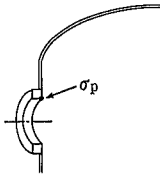
第3図 スウェッジ型式ノズル取付部
Fig. 3 Swege type nozzle fitting



第4図 一体型ノズル取付部
Fig. 4 Integrated type nozzle fitting

第1表

ノズル取付位置とピーク応力発生位置
Table 1
Nozzle position and location of peak stress

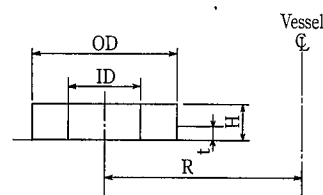
Nozzle	Location of peak stress (σ_p)	Model of analysis
Center nozzle		Two-dimensional isoparametric solid
Manhole		Three-dimensional isoparametric solid + Quadrilateral shell
Shell nozzle		Three dimensional isoparametric solid

第2表 ノズル仕様と解析結果

Table 2 Nozzle spec and result of analysis

Nozzle name	ID	OD	H	t	R	σ_p	σ_Y	Remarks
Center nozzle	350	595	96	55	0	15.2	33	Fig. 5
Manhole	500	780	191	55	1000	18.4	33	Fig. 6
Shell nozzle	154	—	—	60	—	24.3	25	Fig. 7

σ_p : Peak stress
 σ_Y : Yield strength



を決定している。この考え方の場合、本例の必要板厚は、上鏡…87 mm、胴板…76 mm、下鏡…78 mm となり、焼成重量は約 43 Ton となる。従って、焼成炉の吊上能力をはるかに越えてしまい製作出来ないことになる。

そこで、穴補強に対して別の考え方をを用いる必要が生じてくる。今までの方法は第3図に示すように缶体をスウェッジしてノズルを取り付ける構造であり、この場合穴補強に有効な断面積は缶体板厚とノズル付け根のパイプ断面積のみである。このため前述のような倍近い板厚が必要となったのであるが、重量を軽減するために、第4図に示す構造とした場合穴補強に対する有効な断面積はノズルのネック部の肉厚部分で備えることができ、このような一体型形状を採用することにより缶体板厚は必要以上に厚くなくすみ、経済的な設計をすることが出来る。

今回の例もノズル一体型を採用して焼成重量が吊上能力内に納まるようにしている。尚、一般的にグラスライニング製機器としては第3図に示す構造が標準である。

2. 2 解析

ノズルの形状を一体型にすることにより GL 缶の一般的な構造と較べてノズル付け根部の応力の挙動が変化するこ

とが予測される。そこで、形状的に決まる局部応力を確認するために応力解析を行った。

2. 2. 1 使用プログラム

汎用有限要素法プログラム ANSYS Rev 4. 4A

2. 2. 2 解析モデル

取り付けられるノズルの位置により応力状態は異なるので3種類のモデルを考え第1表に示す。

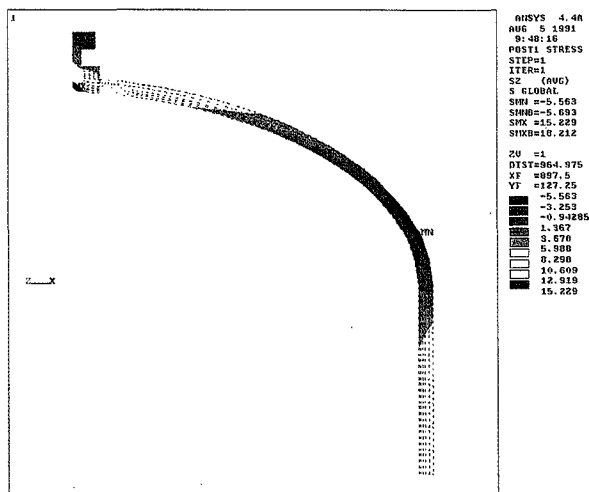
2. 2. 3 結果及び考察

ノズル付け根部内面のコーナー部(第1表)にピーク応力が発生することが確認される。各ノズルの仕様と解析結果を第2表に示す。また、各ケースの周方向応力コンターを第5～7図に示す。

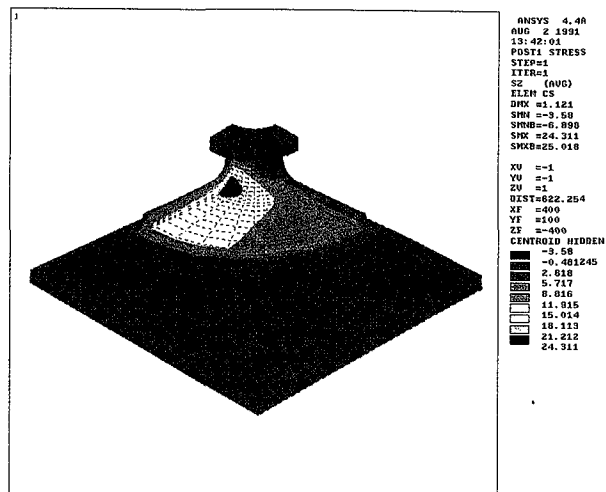
ピーク応力が母材の降伏点を越えると局部的な塑性変形を起こす。ガラスの破損は一般的に母材の降伏と共に起こるため、グラスライニングの設計においては、発生するピーク応力が母材の降伏点を越えないように配慮する必要がある。

そのための対応策としては次の項目が考えられる。

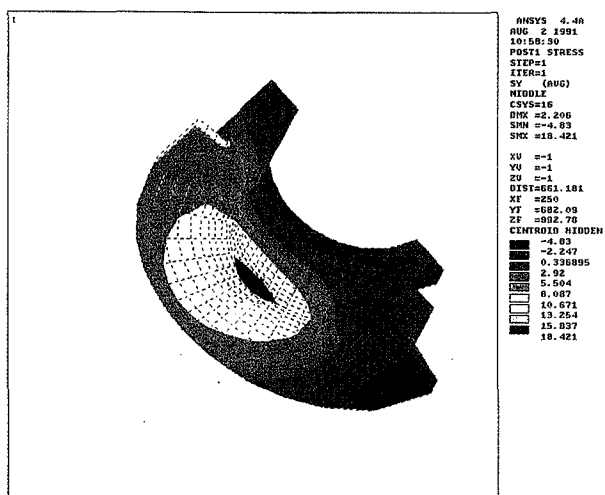
- (1) 管台寸法の変更
- (2) ノズル取付位置の変更



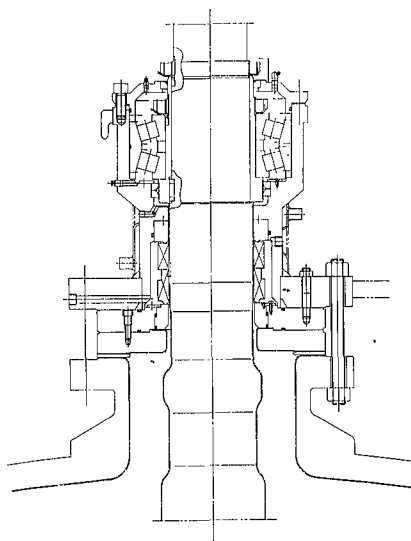
第5図 周方向応力コンター (センタノズル)
Fig. 5 Hoop stress contour (Center nozzle)



第7図 周方向応力コンター (胴ノズル)
Fig. 7 Hoop stress contour (Shell nozzle)



第6図 周方向応力コンター (マンホール)
Fig. 6 Hoop stress contour (Manhole)



第8図
メカニカルシール
Fig. 8
Mechanical seal

(3) 応力が高くなる内面コーナー部の曲率半径を大きくする。

(4) 発生応力の分布を考え、コーナー部表面に降伏点の高い材料を用い肉盛り溶接を行う。(特許出願中)

以上の設計改善を計ることにより、一体型形状ノズルの欠点を補いガラス破損を未然に防ぐことができる。

3. 付属品

3.1 メカニカルシール

GL機器のメカニカルシールの摺動材材質はノンメタリックという要求からカーボン、セラミックあるいはSiCが主流である。

高圧仕様に対する設計で構造的にはバランス型またはセミバランス型が多く用いられるが、材質的には先に述べた材質に変わりはない。後で述べるようにGL機器の場合は下部軸受がない攪拌翼を設計するため（GL製の下部軸受が製作できないため）メカニカルシールの洩れにつながる摺動面での軸振れを小さくするために、軸径を大きくし、ベアリングをメカニカルシール近くに配置するなど、構造設計的な配慮も必要である。（第8図）

メカニカルシールのサイズとしてはステンレス機器で14" (φ350) という大きなサイズでも実績があり、技術的に何ら問題はない。

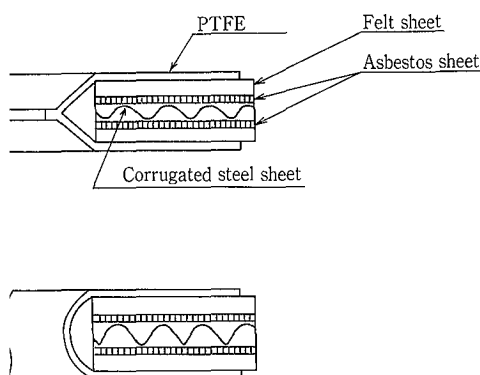
シーラントは一般的には油が使われ、高圧・大容量であるからといって特別のシーラントは使われていない。ユーザの要求で溶剤系のシーラントも実績がある。

シール箱は通常ジャケット付きとして冷却する構造にし、加圧装置としてはシールポット式が安価なのでよく採用されているが、缶体温度、回転数、シーラントとの関係でプレッシャーユニットを用いた強制循環方式を採用することもある。

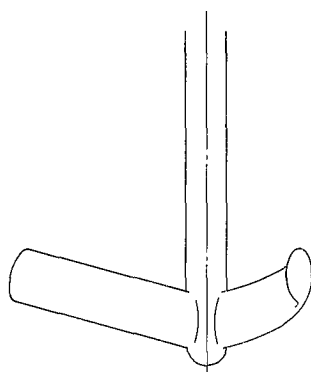
3.2 ガasket

高圧用GL機器のガスケットとしては、従来より波形鋼板入り PTFE 包みガスケット (CRT) が使われている。市販されている PTFE ガスケットより中芯のアスベストの種類と枚数が異なり、特にグラスライニングされたフランジ面用に開発された当社独自の構造・寸法の製品である。（第9図）

グラスライニング施工時、高温にさらされ歪んだフラン



第9図 CRT ガスケット
Fig. 9 CRT gasket



第10図
GL製3枚後退翼
Fig. 10
Glass-lined 3-blade impeller

ジ面や機械加工出来ず完全に平滑でないGL面に対しガスケット調整が容易に出来、また締め付け力を与えることにより微少な凹凸にうまくなじみ、高い圧力が保持できる構造になっている。サイズにもよるが200℃で50 kg/cm²の実績がある。

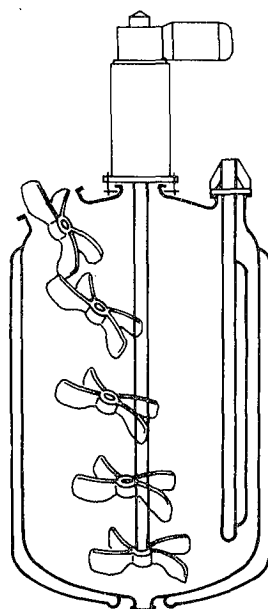
3.3 インペラ

通常のGL機器の攪拌翼はグラスライニング製のため第10図に示すように軸・翼一体型の形状をしているが、このような攪拌翼の場合は翼を缶内に挿入するための大マンホール（センタマンホールと呼んでいる）を缶体に設けなければならない。高圧・大容量のGL缶の場合板厚が厚くなり2.1節で述べたように焼成重量を越えてしまい、焼成出来なくなる。

この問題を解決するため当社はクライオロック技術を持っている²⁾。クライオロックアジテータの外形図を第11図に示す。

これは軸を冷やして収縮させ、常温の翼ボスにはめ込むという冷やしパメを応用したもので、しかも全接液部がGL施工されているという特色を持っている。

この技術で作られた攪拌翼は軸のみを缶体にセットした後、翼をサイドのマンホールから挿入し、缶内で軸にセットできるためセンタマンホールは不要となり缶体の板厚は薄くすることができる。



第11図
クライオロックアジテータ
Fig. 11
Cryo-lock agitator

このような高圧機器用に開発されたクライオロックであったが、翼を自由に取り替えられる長所から、別の攪拌目的に翼を変える容易さとか、または攪拌翼の取り替えスペース（特に建屋の高さ）が不要という意味からも見直され、最近多くの実績を残している。

むすび

大容量の機器、高圧の機器、個々の条件を満たすものは比較的容易に出来ても、両者どちらも満足させる機器となるという制約条件が出てきて設計に苦勞する。さらにグラスライニングという特殊な製造工程を経る機器となればなおさらである。

本稿ではそれらの問題点をあらゆる面から検討し、設計圧力30 kg/cm²、缶体内径3100 mm、容量にして約39 M³のGL缶を例にとって設計検討項目を紹介してきた。

一見たいした圧力ではなさそうであっても、容量が大きくなると、特にGL缶では高度な設計が必要である。

最後に、現在は播磨製作所に移転（'92年2月に移転）し、前述した設備能力は次の通りとなっている³⁾。

缶体内径：4200 mm

焼成重量：30 Ton

高圧大容量のGL缶の場合、焼成重量が支配的であるため、当製作所での製作限界は約20%上昇したことになる。

また、缶内圧力が30 kg/cm²の場合、缶体の形状にもよるが最大容量50 M³まで製作可能である。

今後さらに内容を充実させ、現有の製造設備の範囲内で、より厳しい条件に対する反応機の設計が可能のように検討を進めて行きたい。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ技報, Vol. 29, No. 1, (1985) p. 13
- 2) 神鋼ファウドラ技報, Vol. 29, No. 2, (1985) p. 21
- 3) 神鋼パンテック技報, Vol. 36, No. 2, (1992) p. 12

ジャケットの腐食と防食

Jacket Corrosion and Its Protection



(化)生産管理部 生産技術課
宮崎 公志
Koshi Miyazaki

This paper describes some of our recent experiences with carbon steel corrosion accidents caused mainly by cooling water among heat transfer media used in jackets, and focuses by referring to relevant literature, on how corrosion takes place and how such corrosion can be prevented.

まえがき

反応装置の内容物への加熱・冷却には、通常ジャケットを設け、槽本体の壁面を通して熱移動を行う。ジャケットの形式は、ジャケット内を通る伝熱媒体が液体であるか蒸気であるかによって異なってくる。第1表¹⁾にジャケットの構造形式と特長を示した。一方、工業的に採用される加熱媒体には、温水、スチーム、熱媒油が多く、冷却媒体としては冷却水が用いられることが多く、チルド水、ブラインなどの冷却水よりも低い温度の媒体や、さらに低温が得られるフロンやアンモニアなどの冷却媒体も使用されている。第2表²⁾に伝熱媒体を示した。当社の主力製品であるガラスライニング製反応缶およびステンレスクラッド鋼製反応缶は缶本体とジャケット部分から成り、ジャケット内を通る伝熱媒体により熱交換を行うよう設計されている。すなわち、ジャケット内部は伝熱媒体による炭素鋼の腐食の問題をかかえており、経年変化により大量の錆あるいはスケールの付着が見られ、このため伝熱抵抗が増加し、その結果として、製品コストの上昇あるいは品質低下を招き、はなはだしい場合には缶体寿命に至り、大きな経済的損失となる。ここでは、主として冷却水による炭素鋼の腐食について、腐食はどうして起るか、腐食をどうして防ぐかに主眼を置き、最近当社で経験した事故事例を含め以下に解説する。

1. 乾食と湿食

現代の科学技術の発展はめざましく、神をも恐れぬように見えるが、やはり久遠の節理にのって支配されていることには変わりはない。「生者必滅」、「万物流転」の教えはやはり正しい。金属材料をはじめ多くの材料は劣化し崩壊していく。この宿命をのがれることはできない。すなわち、腐食はさけられないものであるが、そのしくみを理解し、適正な対策を講ずれば、わずかの費用で腐食の進む速さをきわめて小さくおさえることができる。例えば完全に乾燥した空気中に鉄を放置しても、鉄の表面はうすくかつ堅牢な酸化物の皮膜におおわれて、鉄の地金と酸素の直接的な接触が防げられるので、腐食はほとんどおこらない。ところが、鉄を水が存在する環境に放置すると、この皮膜がこわれ、鉄は急速に腐食して行く。水が存在してもしなくとも、鉄が酸素と触れて生成する物質は酸化鉄である。しかし、水の存在によって腐食していく速さは大いに異なる。水は必ずしも、淡水や海水といった、いわゆる水であると

はかぎらない。大気中の湿分が金属表面に凝縮して作る、例えば、数 μm といった目に見えない水の薄膜、土壌中の水分、ガソリンから沈析した水など、水はいろいろな形で存在し、腐食の原因となる。一般に水が存在しない場合の腐食を乾食、水が存在する場合の腐食を湿食、と呼ぶ。前述したように、ジャケットの環境には水が存在することが多く、多くの場合、湿食が起っている。そこで、これから、実際上重要な湿食をとりあげて解説を続けることにする。

2. 湿食と電池作用³⁾

湿食が起るには、つぎの3つのことが必要である。

①環境中に水が存在すること。②腐食電池が形成されること。③腐食反応を生じる環境物質があること。まず腐食電池について述べる。

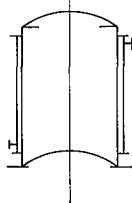
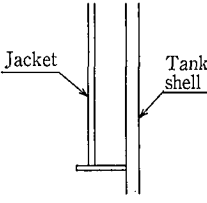
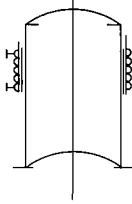
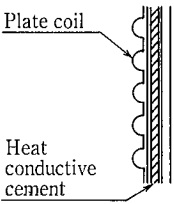
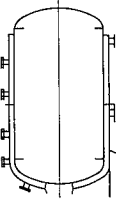
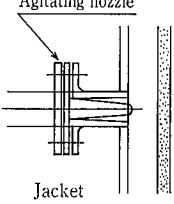
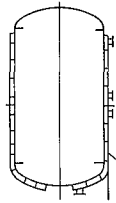
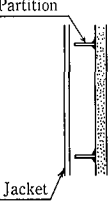
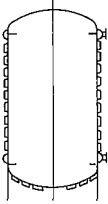
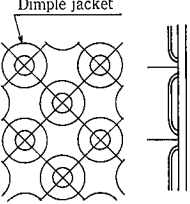
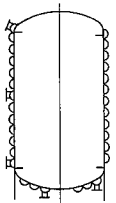
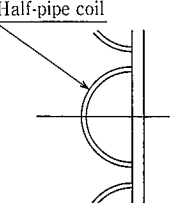
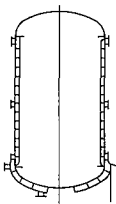
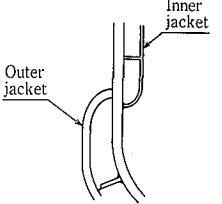
湿食は直流の電流が金属からそれを取りまく環境物質中へ流れ出すことによって起こり、その原因となるものは多くの場合、腐食電池である。これは基本的には、乾電池に起こっている現象と同じである。第1図に乾電池を示す。図のように電球をつなぐと、電流は⊕極である炭素棒から導線を通して⊖極である亜鉛の筒へ行き、そこで電流に付随する物質（腐食では環境物質にあたる）へ流れ出す。この電流は充填物中を通して⊕極へ戻り、回路を一周することになる。亜鉛の筒は直流の電流が充填物質へ流れ出すにつれて腐食する。このときの腐食量はファラデーの法則に従っており、流れた電気量（電流の大きさ×時間）に比例する。

$$\text{腐食量}(g) = k \times \text{電流の大きさ}(A) \times \text{時間}(秒) \quad (1)$$

k は定数で、亜鉛の場合は 3.39×10^{-4} である。電流は亜鉛の筒の内面から、原則的には均一に流れ出す。したがって、腐食は全面に均一である。しかし、実際には多少不均一に電流が流れるので腐食も多少は不均一になり、どこかで先に孔があくことになる。写真1にプレートコイルに生じた腐食孔を示す。なお、第1図で電球を入れたのは小さな抵抗を入れて電流が急激に流れる（ショートする）のを防いでいるだけであって、⊕極と⊖極を直接導線でつないでも、話は原則的に同じである。以上のように、電池ができ、電流が環境に流れ出すとき腐食が起こり（鉄や亜鉛では起こるが、どんな金属でも起こるわけではない）、その極は必ず電池の⊖極である。さて鋼について、現実にはどのように電池が形成され、鋼の腐食が起こるかを考える。

第 1 表 ジャケットの形式と構造

Table 1 Comparison of various jacket types and construction

Type	Detail	Remarks
Conventional jacket 		-For keeping warm and keeping cool. -Unsuitable for compulsive heating or cooling. -Most simple construction.
Plate coil jacket 		-Can be installed on existing tanks. -Easy to replace jacket. -Tank life is extended, since tank body is not in contact with cooling or heating medium.
Conventional jacket with agitating nozzles 		-Heat transfer is accelerated owing to spiral flow produced by hydraulic jet from agitating nozzle. -Simple construction.
Conventional jacket with spiral partition 		-Spiral flow channels are formed by partition plates (baffles). -Clearance between partition plates and jacket wall affects heat transfer performance.
Dimple jacket 		-Most superior for higher jacket operating pressure. -Turbulence of heat transfer medium, which is created by dimple jacket, accelerates heat transfer.
Half-pipe jacket 		-Most superior for higher jacket operating pressure. -Higher velocity and turbulence of heat transfer medium are assured through jacket, which incidentally accelerates heat transfer and reduces scale build-up or fouling in jacket.
Inner jacket 		-Special type of spiral baffle jacket. -Since partition plates transmit internal pressure to tank wall, thickness of inner jacket can be minimized. -Thinner jacket plate assures a more heat transfer.

2. 1 鋼が銅よりも貴重な金属とつながっているとき

第2図のように、鋼とステンレス鋼の薄片を食塩水に浸し、導線でつなぐ。鋼が⊖極、ステンレス鋼が⊕極となって、電流はステンレス鋼→導線→鋼→食塩水→ステンレス鋼と流れる。⊖極である鋼から食塩水へと電流が流れ出すから、鋼が腐食する。環境物質は食塩水でなく、淡水、海水、中性塩の溶液、土壌など、水を含み、電流を流すことができるもの（イオンがあるということ）なら何でもよい。この場合も(1)式が成立し、鋼では $k = 2.89 \times 10^{-4}$ である。もっと現実的な場合を第3図に示した。ステンレス鋼と鋼の板を接合して海水中に浸した場合である。第2図とちがうのは導線を使わずに直接つないただけであり、電流はステンレス鋼から鋼へ直接流れ、鋼から海水に流れ出して鋼が腐食する。

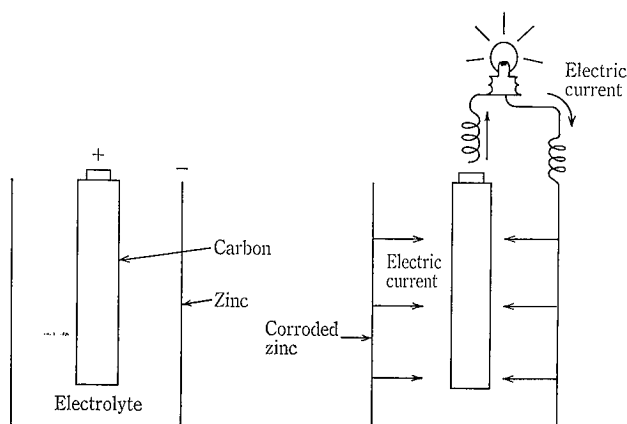
2. 2 鋼の熱履歴や表面状態が一部分で異なっているとき

①溶接部

溶接部は他の部分（母材）と熱履歴が異なっている。たとえば電縫溶接鋼管は、鋼板を管状に成形して接合部を電気抵抗加熱で溶接して作る。電縫部は局部的に加熱され、その後急速に冷却するため、母材部とは熱履歴が異なり、腐食環境に接するとき、母材部に対して⊖極となり選択的な腐食を生じやすい。ただし、いつでも生じるわけではない。模式的に示すと第4図のようになる。写真2にジャケットノズルでの事例の外観と、侵食部の断面を拡大したもの示した。同様な溶接部の選択的な腐食は鋼管や鋼板を溶接でつないだときにも生じることがある。しかし、溶接部と母材部の間にできる電池は、ステンレス鋼と鋼との電池ほど強力ではなく、溶接材料の化学成分や溶接条件によって微妙に異なるので、溶接した鋼を腐食環境中で用いるとき、いつでも選択腐食が起こるわけではない。

②黒皮のついた鋼材

多くの鋼材は熱間圧延して製造されるから表面は空気酸化され、黒皮（ミルスケール）と呼ばれる酸化物が付着している。この黒皮は鋼素地と熱膨脹率がちがうため冷却時に微細な割れ目を作るほか、加工時に一部が脱落するなどして、鋼素地が部分的に露出している。腐食環境中では、黒皮部分が⊕極、露出した鋼が⊖極となりやすく、鋼

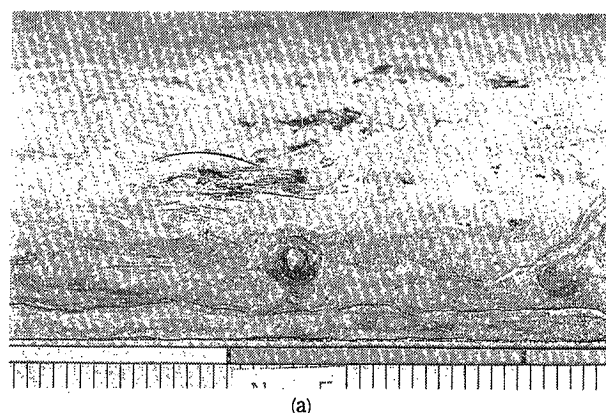


第1図 乾電池と腐食
Fig. 1 Dry cell and corrosion

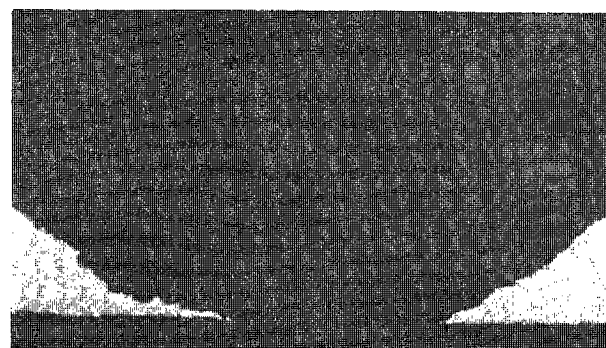
第2表 伝熱媒体

Table 2 Heat transfer media

	Jacket media	Working temperature (°C)	Features
Heating	Steam	120~210	-Heating proceeds mainly by condensation. (change of latent heat) -The jacket, which is so constructed that the condensed water can be discharged from its bottom, (conventional jacket) is of the most simple construction, since steam itself is in the state of vapor phase. -The higher the temperature required, the higher the vapor pressure, which sometimes necessitated the use of a dimple jacket or half-pipe jacket for reducing wall thickness of the tank being used.
	Hot water	40~ 80	-This is a heating medium used when a product does not require elevated temperatures. -This heating medium assures that the desired temperature is instantaneously obtained by directly blowing in the steam through an in-line heater. Further, it can be used by having circulated through a constant temperature vessel.
	Heating oil	200~350	-This is used when a heating medium is required to be at an elevated temperatures but not at higher pressures such as the steam. -To prevent moisture from entering the medium, attention must be paid when handling this medium at elevated temperatures.
Cooling	Industrial water (or clean water)	10~ 30	-This is a cooling medium most commonly used. The water, after used, is returned to a cooling tower or chiller for circulation. -Ions are sometimes exchanged to upgrade the degree of purity.
	Brine	-40~ 10	-Calcium chloride or ethylene glycol is commonly used as a cooling medium, but sometimes causes corrosion problem. Accordingly, used mostly today are those media improved in this area.



(a)



(b)

写真1 プレートコイルに生じた腐食孔

(a) 内面 (b) 断面

Photo. 1 Pitting occurred in plate coil

(a) Internal surface (b) Section

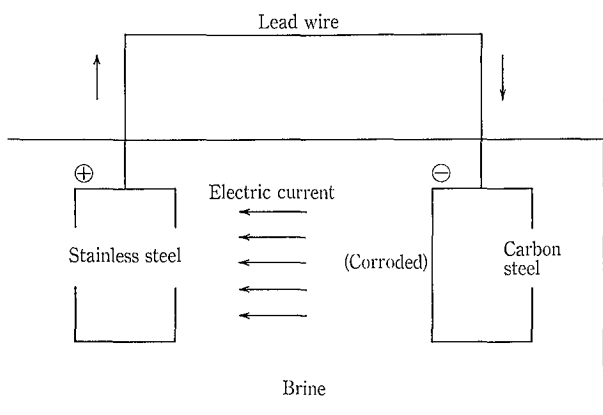
素地が局部的に腐食しやすい。この状況を第5図に示す。

3 環境が不均一なとき

①通気差

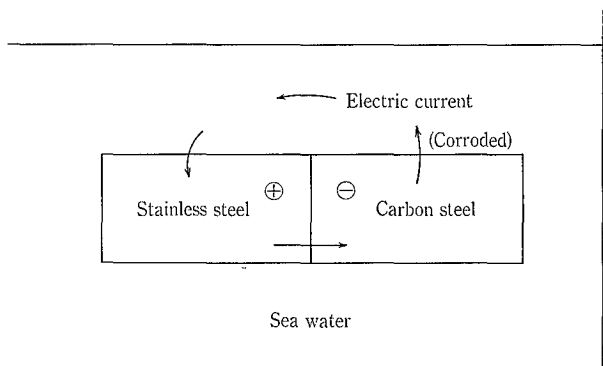
鋼が他の金属と接触していたり、鋼材自体に不均一性があっても、鋼が接する環境が部分的に不均一であるとき、その不均一にしたがって鋼表面に⊕極と⊖極ができ、⊖極に当たる部分が腐食することがある。問題となる不均一さには、環境中の水分に溶けている酸素（溶存酸素）の濃

度の不均一さである。とくに、一部分だけ溶存酸素がほとんどない場合が問題で、その部分が他の部分に対して⊖極となって腐食する。これを模式的に示したものが第6図である。例えば食塩水を入れた容器を素焼きの板（水は通さないが、電流は通過する）で仕切り、各々の室に鉄片を入れ導線でつなぐ。一方の室に空気を、他方に窒素を流すと、前者では十分酸素が溶けているが、他方ではほぼ0となる。すると、酸素がある方の鉄片が⊕極、無い方の鉄片が⊖極となり、後者が腐食する。写真3はガラスライニン



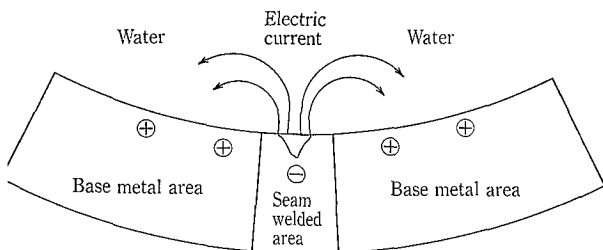
第2図 ステンレス鋼と炭素鋼による電池

Fig. 2 Dry cell consisting of stainless steel and carbon steel



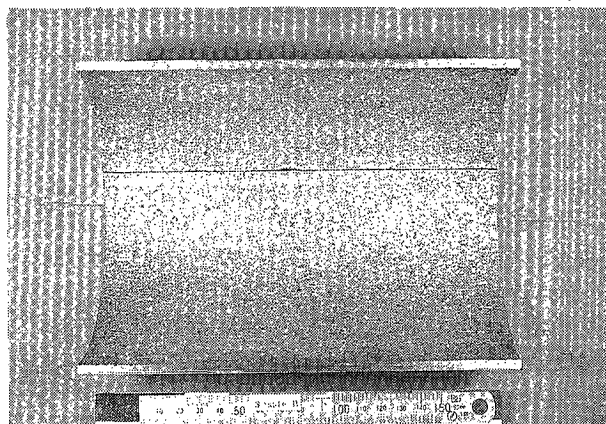
第3図 鋼とステンレス鋼を接合したことによって生じる鋼の腐食

Fig. 3 Corrosion of carbon steel caused by joining with stainless steel

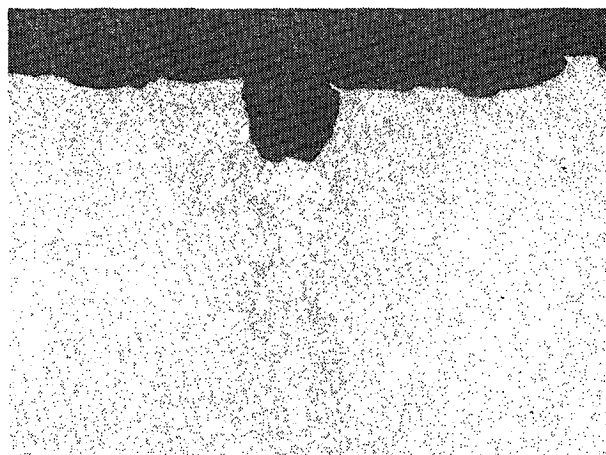


第4図 電縫鋼管電縫部と母材部の間に生じる電池

Fig. 4 Cell created between welded area and base metal area of seam welded steel pipe



(a)



(b)

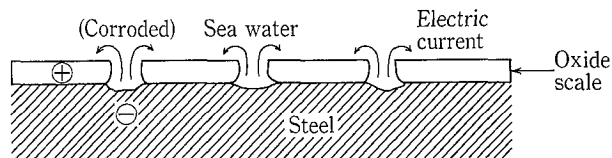
写真2 ジャケットノズルに生じた選択腐食

(a) 内面 (b) 電縫部断面

Photo. 2 Selective corrosion occurred in jacket nozzle

(a) Internal surface

(b) Section of seam welded area



第5図 黒皮のついた鋼材の鋼の露出部の腐食

Fig. 5 Corrosion of exposed surface of carbon steel with oxide scale

グ製反応缶ジャケット内面に生じたさび状のさび（さびこぶ）ができていた様子を示す。さびこぶをはがすと、その下に当る部分は鋼が腐食によってえぐられている。この原理を示したものが第7図である。さびこぶのない部分では、水に溶けている酸素がよく供給されるのに対し、さびこぶの下部分ではさびこぶが邪魔をするので酸素がほとんど供給されない。したがってさびこぶの周辺部が⊕極、さびこぶ下が⊖極となり、さびこぶ下が腐食する。

3. 湿食を生じる環境物質⁴⁾（中性環境で鉄鋼の場合）

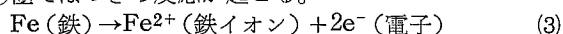
第2図のように、炭素鋼とステンレス鋼を導線でつないで食塩水に浸した場合を考える。電流は矢印のようにぐると1周することによってはじめて流れたことになる。どこが起点というわけではないが、便宜上、⊕極を起点として考えると、つぎの様になる。⊕極から⊖極までは導線でつながれており、導線は金属であるから電流が流れるのに問題はない。初等の物理学の教科書にあるように、電流が⊕極から⊖極へ流れるということは、実際には電子(e⁻)が⊖極から⊕極へ流れることである。こうして⊕極に達した電子は、環境中（この場合は食塩水）を通して⊖極に動くわけにはいかない。電子が自由に動くのは金属だけの特性である。環境中で電気を運ぶのは、電子でなくてイオンである。第2図で⊕のイオンが食塩水中を右から左へ、⊖のイオンが左から右へ動いて電荷を運べば、電流は矢印のように右から左へ流れることになる。このためには、⊕極では電子が消費されて⊖イオンが生まれ、⊖極では電子と⊕のイオンが生まれることが必要である。食塩水中には、とくに除去しないかぎり空気が溶けている。空気中には酸

素があるから、当然酸素が溶けていることになる。これを溶存酸素と呼ぶ。

⊕極において、溶存酸素は電子とつぎのように反応する。
 $\frac{1}{2}O_2$ (溶存酸素) + H_2O + $2e^-$ (電子) → $2OH^-$ (水酸イオン) (2)

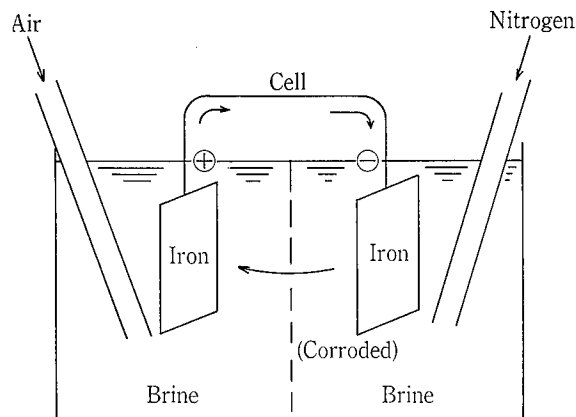
これは電子が消費され、⊖イオンが生成する反応にほかならない。

⊖極ではつぎの反応が起こる。



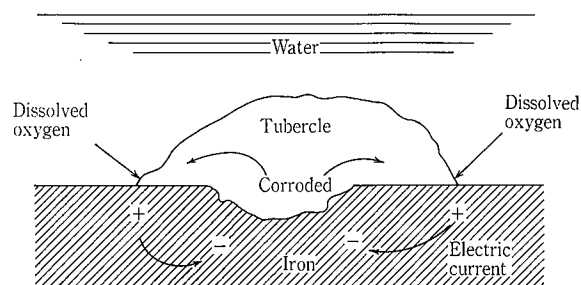
鉄から⊕イオンと電子が生成している。

(2)と(3)の反応によって⊕極付近では⊖イオンであるOH⁻が、⊖極付近では⊕イオンであるFe²⁺が生成した。もし、これらが移動してそれぞれ反対側の電極へ電荷を運べば、食塩水中を電流が流れ、第2図の腐食電池に電流が流れたことになる。これらのイオンはたしかに電荷を運ぶ。しかし、主として電荷を運ぶのは濃度の低いOH⁻やFe²⁺ではなく、多量に存在する食塩の成分、すなわち、Na⁺とCl⁻である。例えばOH⁻が電荷を運ぼうとすると、⊕極から⊖極へと長い距離を移動しなければならない。これに対し、Cl⁻は多量にあるから、長い行列を作っている人が一歩ずつ歩いたときのように少し動いただけで電荷は⊖極に達するのである（⊖極から⊕極へ人の行列があるとき、⊕極の近くに1人の人を加え、全員が一歩ずつ⊖極の方へ進むと、1人の人が⊖極へ送り込まれたことになる）。⊖極から⊕極への電荷の移動も、同じ理由でFe²⁺のかわりにNa⁺が受持つ。Cl⁻とNa⁺が運ぶ電流の総和が、生成したOH⁻またはFe²⁺(⊕と⊖の電荷の総量は等しい)の電荷に相当する。こうして第2図の腐食電池に電流が流れる（第8図）。その結果生じることは、(2)式によって溶存



第6図 溶存酸素濃度のちがいによる腐食

Fig. 6 Corrosion caused by a difference in concentration of dissolved oxygen



第7図 さびこぶによって生じる通気差とさびこぶ下の腐食

Fig. 7 Difference in aeration created by tubercle and corrosion under tubercle

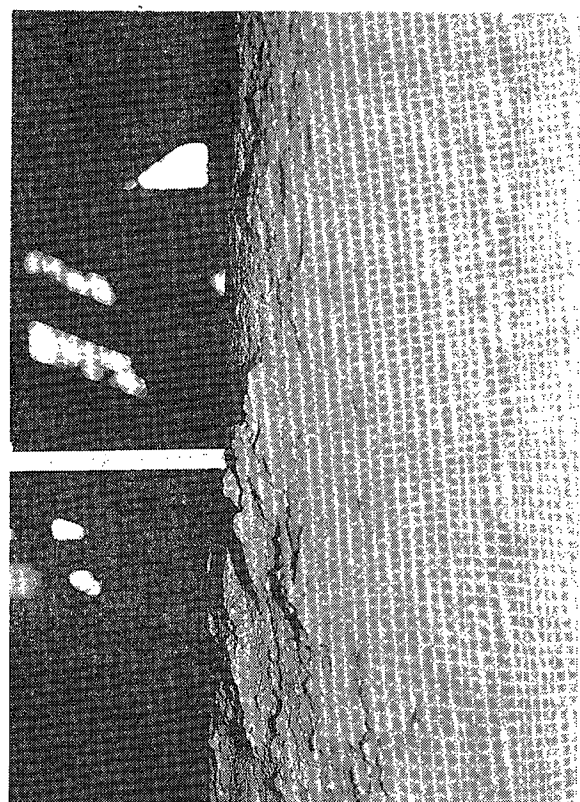
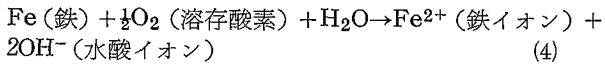


写真3 グラスライニング製反応缶ジャケット内面に生じたさびこぶ

Photo. 3 Tubercle occurred in the internal surface of jacket of glass-lined reactor

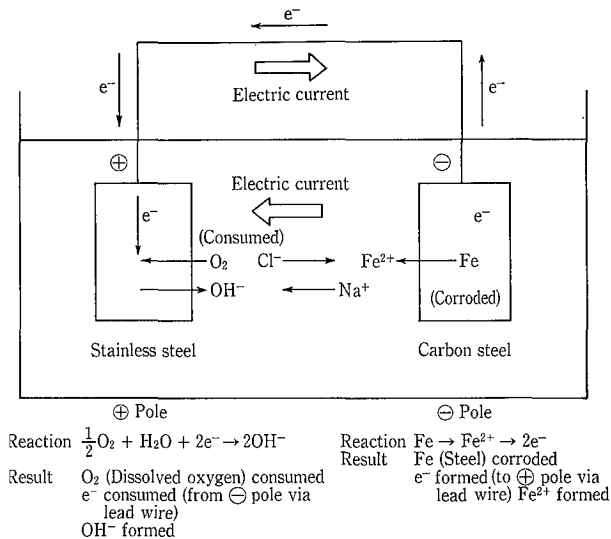
酸素が消費され、それに見合って(3)式のように鉄が、イオンになる(腐食する)ということである。つまり溶存酸素によって腐食が生じるのであり、溶存酸素が腐食原因物質である。(2)式と(3)式を加えて全体の反応を示すと、このことがよくわかる。



Fe^{2+} と OH^- はやがて結合して第9図のようにさびになって行く⁵⁾。このような鋼の湿食の仕組みは、第2図の環境が食塩水でなくても(その場合は電荷を運ぶイオンが異なる)また第3.4.6.7図などで示した他の腐食電池の場合

でも同じである。腐食電池において⊕極で起こる反応(例えば(2)式)は化学的にいうと還元反応である。これをカソード反応(陰極反応)と呼び、⊕極をカソード(陰極)と呼ぶ。アノード(陽極)である⊖極では、酸化反応であるアノード反応(陽極反応)が起こる。いかなる場合においても、電流が金属から環境へ出るところでアノード反応(鉄であれば腐食)、環境から金属へ入るところでカソード反応が起こることに注意されたい。

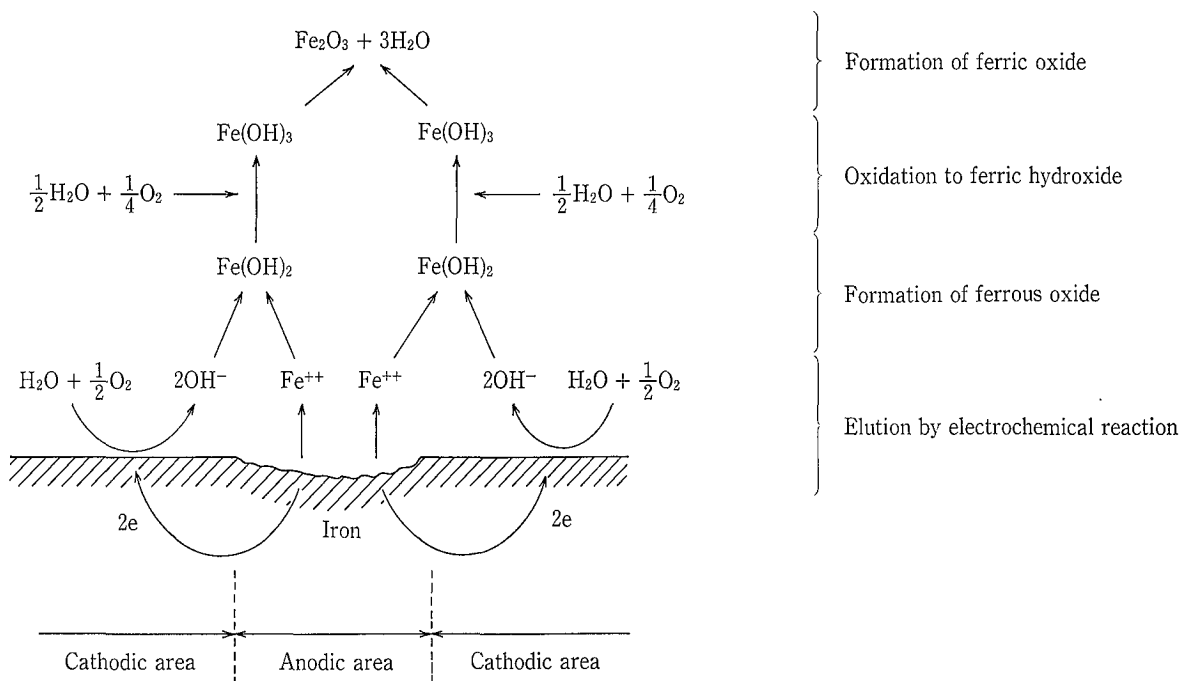
静止した淡水中での鋼の腐食の速さはほぼ 0.1 mm/y のオーダーであり、鋼表面への溶存酸素の拡散が腐食を律速する。しかし、鋼片を浸したり空気中に引き上げたりという操作を繰り返すと(濡れたり、乾いたり)腐食が継続し鋼の腐食は大きくなる。写真4はかかる状況で生じたステンレスクラッド鋼製反応缶ジャケット内面の局部異常腐食を示す。



第8図 腐食電池における電流の流れ方
Fig. 8 Flow of electric current in corrosion cell



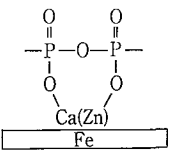
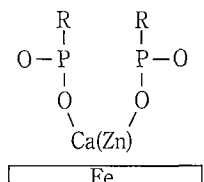
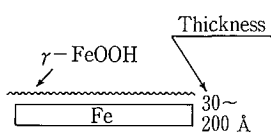
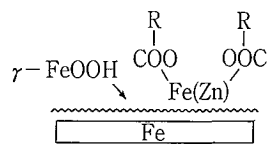
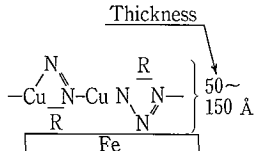
写真4 ステンレスクラッド鋼製ジャケット内面に生じた異常局部腐食
Photo. 4 Unusual localized corrosion occurred in the internal surface of stainless steel clad jacket

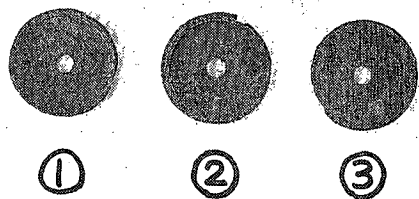


第9図 鉄の腐食機構
Fig. 9 Corrosion mechanism of iron

第 3 表 腐食抑制剤の作用機構

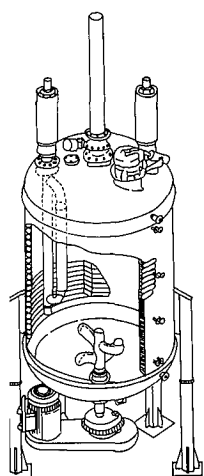
Table 3 Comparison of behavior mechanisms of various corrosion inhibitors

Component	Corrosion protective covering		F e a t u r e s	Application					
	Classification	Schematic		closed system			open system		
				clear water	soft water	pure water	concentration		
							high	medium	low
Polymer phosphate (zincate)	Ion Precipitation film type	 Formation : 10-24 Hrs	-There is a possibility that polymer phosphate is subjected to hydrolysis in water, thus producing phosphoric acid ions partially, resulting in calcium and calcium phosphate scale build up. -Used mostly in an open circulatory cooling water system for low concentration in which the residence time is short.	○	△	×	×	△	○
Phosphonate polymer (zincate)			-Rarely decomposed in a usual open circulatory cooling water system. -Used mostly in an open circulatory cooling water system for high concentration in which the residence time is long.	○	×	×	○	△	×
Nitrite (molybdate)	Oxide film type (Passivated film type)	 Formation : 1-10 Hrs	-Very effective in a closed system, but sensitive to anion. -There is a case where NO ₂ is converted into NH ₃ or N ₂ by a certain kind of bacteria, thus losing an intended effect. Its use together with a slime prevention agent is necessary when applied at a water temperature of 50°C or lower.	○	○	○	×	×	×
Molybdate carboxylate polymer (zincate)	Oxide film + Precipitation film type		-Used as a nonphosphorous-based corrosion inhibitor. -Sensitive to anion. Rarely decomposed with NO ₂ -based inhibitor, used mostly in such system incorporating a heat storage tank.	○	○	○	×	×	○
Azole	Eluted metal-ion Precipitation type	 Formation : 1-10 Hrs	-Used as a corrosion inhibitor for copper-based metals. -Its effect is not affected by quality or temperature of water. -In many cases mixed with any of the above listed corrosion inhibitors.	○	○	○	○	○	○

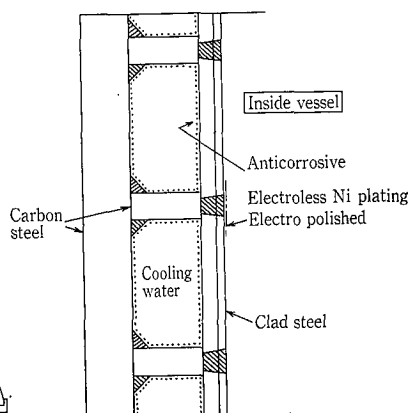


JKT. 内面

写真 5 塗料の残存状況（約20年使用後の採取片）
Photo. 5 Condition of paint which still remains
(Samples of after about 20 years of service)



第10図
高効率重合反応装置
Fig. 10
High thermal flux
polymerizer



第11図
内部ジャケット構造
Fig. 11
Internal jacket construction

防食方法

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方法として最も身近なものは、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。写真 5 は醸造タンクジャケット内面に施工した塗料が約20年経過した後もそのまま残存している事例である。写真 6 はグラスライニング製ジャケット内面を高圧洗浄ののち無電解 Ni めっきを施工したものである。また当社が開発した高効率重合反応装置の構造を第10図、第11図⁶⁾に示したが、内部ジャケットの冷却水に接する部分に、無電解 Ni めっきを施工している。ある環境で腐食しやすい金属の代わりに、より耐食性の優れた金属を使うことも1つの防食法といえる。たとえ



写真 6 グラスライニング製反応缶ジャケット内高圧洗浄後の無電解 Ni めっき施工例
Photo. 6 Examples of electroless Ni-plating in a jacket of glass-lined reactor after high pressure cleaning.

ば両面クラッド鋼板が採用されるケースもある。

腐食が起こるのは、環境中の腐食性物質が作用するからで、これを除去するか、腐食反応を起こしにくくさせるような物質を加えるという防食法もある。こういう方法を環境処理と呼んでいる。環境処理のより一般的な方法は、化学薬品などを環境に加えて腐食を抑制するもので、このような化学薬品を防食剤、腐食抑制剤、インヒビターなどと呼ぶ。腐食反応は金属から溶解するアノード反応と溶存酸素の還元反応であるカソード反応により成り立っているが、その内一方、もしくは相方を抑制することにより腐食は抑制される。腐食抑制剤の分類とその作用機構（皮膜の性質）について第3表に示した。

むすび

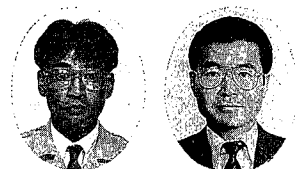
主として冷却水による炭素鋼の腐食に関して、腐食はどうして起こるか、腐食をどうして防ぐかについて、当社で経験した事故事例と、若干の文献を引用して解説した。この解説がユーザーの方々にとって少しでもご参考になるならば幸甚に思う。

【参考文献】

- 1) 岡本幸道：神鋼ファウドラー・ニュース, Vol. 25, No. 3 (1981) p. 11
- 2) 橋本健治：工業反応装置, (1984), 培風館
- 3) 松島巖：やさしい腐食のはなし, 神奈川県高圧ガス協会会報 No. 144 (1990) p. 6
- 4) 松島巖：錆と防食のはなし, (1991), 日刊工業新聞社
- 5) 朝倉祝治：高圧ガス, Vol. 18, No. 1 (1981)
- 6) 宮崎公志・栗林宏明：神鋼パンテック技報 Vol. 35, No. 3 (1991), p. 20
- 7) 神鋼パンテック環境管理株式会社, カタログ

医薬品合成プラント設計上の注意点

Some Points to Note in Designing Plants for Synthesizing Pharmaceuticals



(化)プラント部 エンジニアリング
三 杉 弘
Hiroshi Misugi
佐 伯 一 丸
Kazumaru Saeki

In addition to various kinds of glasslined chemical equipment, we have been manufacturing Wiped Film Evaporators and Dryers (SV Mixers, Conical Dryers etc).

Utilizing these equipment, we have long experience in the design and construction of various plants for fine chemicals.

This report presents some points in designing plants for synthesizing pharmaceuticals.

ま え が き

当社はグラスライニング製各種機器をはじめ、薄膜蒸留装置（ワイブレン）、乾燥機（SVミキサー、コニカルドライヤー）、水平軸遠心分離機（ロパテル遠心分離機）、軸流式微粉碎機（ヤコブソンミル）と自社に特長ある単体機器を数多く有し、それらを活用しファインケミカル分野に多くのプラント建設実績がある。

大量生産型コモディティー商品から、高品質、高付加価値製品の比重を高める方向にある今日の化学工業界において、ファインケミカルプラントのニーズは多い。

ファインケミカルプラントの中でも、医薬品合成プラントに関して、その特長及び設計の注意点を述べる。

1. 医薬品合成プラントの特長

一般に 医薬品製造は 発酵、反応工程を含む 医薬品原末（バルク）工程と、これを剤形に加工する製剤工程に分けられる。医薬品合成は、この原末工程の一つで次のような特長がある。

- (1) 反応、抽出、蒸発・濃縮、晶析、固液分離、乾燥等の単位操作の複雑な組合せ操作で構成され、バッチ操作が主である。
- (2) 製品のライフサイクル、品種の多さから多品種少量生産を行うマルチパーパスシステムが多い。
- (3) 原料及び製品が粉体の場合が多く、粉体、スラリー、ケーキ等の取扱に注意を要する。
- (4) 医薬品製造という性質上、品質管理、安全性が重要であり作業環境、作業雰囲気等コンタミネーション防止に対して十分な配慮が必要である。

2. プラント設計上の注意点

医薬品合成プラント設計に際しては、先に挙げたような特長を考慮しながら設計作業を進めていく必要がある。そのいくつかの注意点について次に述べる。

2.1 建屋

- 1) 医薬品製造という性質上、品質管理が容易なように装置は屋内に設置する。
- 2) 装置架台と建屋は将来の設備変更を考慮して、各々独立した構造としたほうが良い。

3) 建屋外壁材は、屋内にほこりのたちにくいALC材等が好ましいが、経済性もありスレートを用いることも多い。この時、胴縁に用いる軽量型钢の溝はほこりの溜らぬよう下方向に向けるといったきめ細かい配慮が必要である。

4) 操作床の開口部は、水切りを全周に施工し、下層階への液洩れを防止する。

5) 床は洗浄し易いように配慮し、各床には集水溝を設けておいて1階床廃水溝に集水できるようにする。

6) 屋内で溶剤、粉体の投入が日常的に行われるため、十分な換気装置を考慮する。また必要な箇所には、局所排気装置を配備する。

2.2 レイアウト

第1図に基本的な医薬品合成プラントの反応工程まわりのフローを示す。

- 1) 機器のレイアウトは、工程及び製品の流れに従って上から下へ重力による移送が最もシンプルで好ましい。
- 2) 配置計画に当たっては、将来の単位操作機器の組み合わせ変更及びプロセス変更に対応出来るよう、余裕ある配置が必要である。
- 3) 遠心分離機まわりは、ケーキの搬出作業と耐振動対策を考慮して機器の設置高さを決定する。
- 4) 多量に使用する溶剤等は受入れも考慮し、屋外設置（空間の有効利用を計るなら屋外地下タンクにする）を考慮する。屋外に多種類の溶剤タンクが必要であるなら筒内分割タンク等を考慮する。第2図に配置例を示す。

5) 乾燥工程は一般的に最終行程で、粉体を取扱うため、特にコンタミネーションに対する配慮が必要である。そのため次のような細かい配慮を要する。

- ・他薬剤の混入防止のため乾燥機は1機ごとに各々隔離された部屋に納めるようにする。
- ・各部屋ごとに換気装置を設ける。
換気回数は少なくとも20回/h程度とする。
- ・床は水洗し易い構造及び材質とし、排水が容易になるよう側溝を設ける。床がコンクリートの場合、床のコ

ンクリート粉塵飛散防止のため、防塵塗装若しくは耐薬品性の樹脂コーティングの施工を行う。

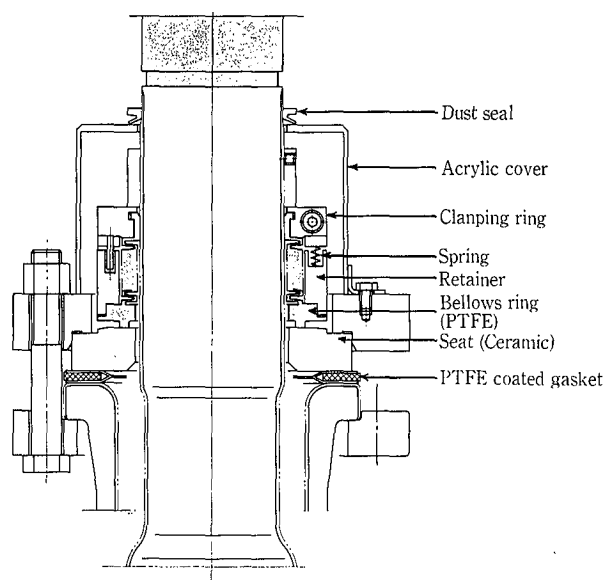
- ・乾燥機室内壁材は静電気の発生が少なく耐水性のある防災材料を選ぶ。
- ・粉体のパッキング作業箇所には粉塵防止のため局所排気装置を配備する。

2. 3 機器

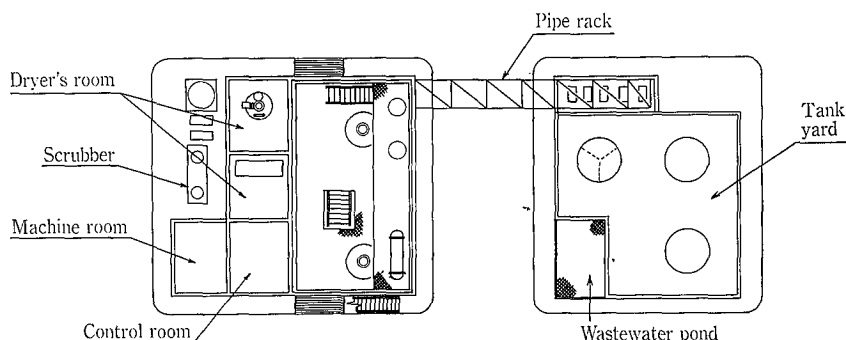
2. 3. 1 反応缶

- 1) 反応缶は設備費の低減を計るためにも各工程のタイムサイクルをみながら多目的（反応、抽出、晶析、蒸留）に使用出来るように考慮する。
- 2) 医薬品合成の反応缶はグラスライニング製機器が使用されることが多い。これは原料に酸系統が多いことと内面の洗浄性がよい等によるが、ガラスは無機質であり金属イオンの溶出が無いことも重要な要素である。（金属製の反応缶を使用する場合は洗浄を考慮して缶内面の研磨を行う）

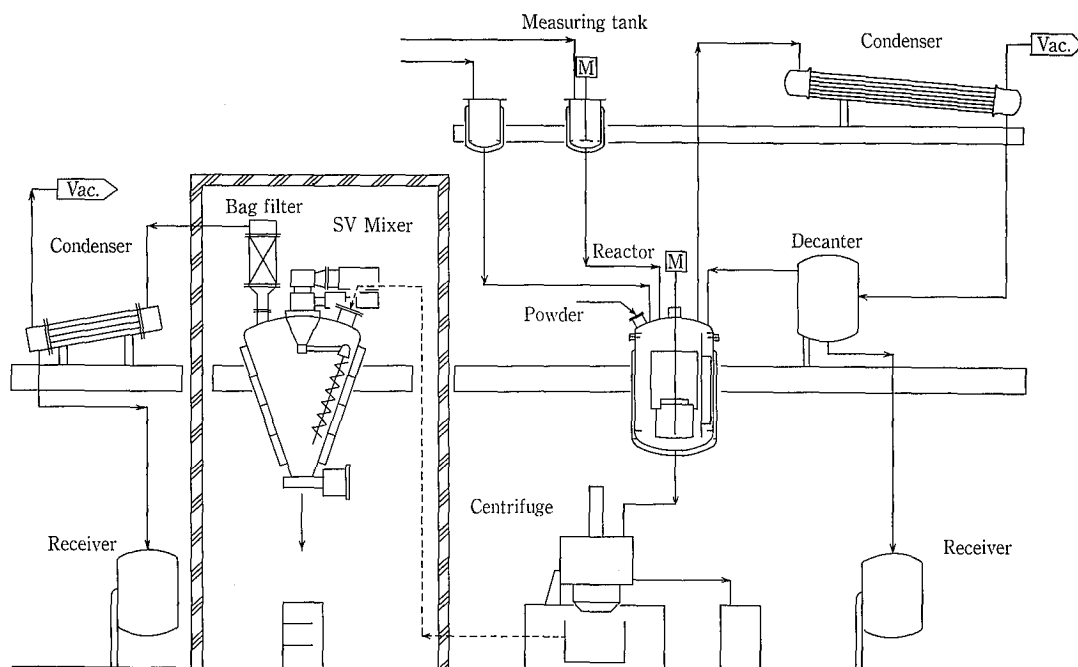
- 3) 医薬品ではコンタミ及び缶内への異物の混入をきらうため、軸封には特別な配慮をする必要がある。グランドパッキンを使用する場合はごみ受等の取付、メカニカルシールを使用する場合はシール液が混入してもよい物を出来るだけ使用する。（例えば、水、アルコール等）缶内圧力が真空 $\sim 2 \text{ Kg/cm}^2$ （真空 $\sim 0.19 \text{ MPa}$ ）以下であるなら、シーラントの不要なドライシールの使用が好ましい。第3図にドライシールの構造を示す。



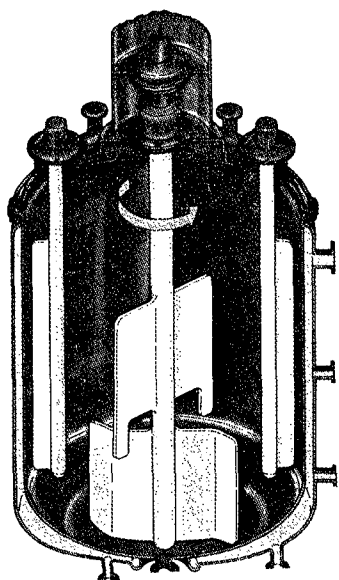
第3図 ドライシールの断面
Fig. 3 Section of dry seal



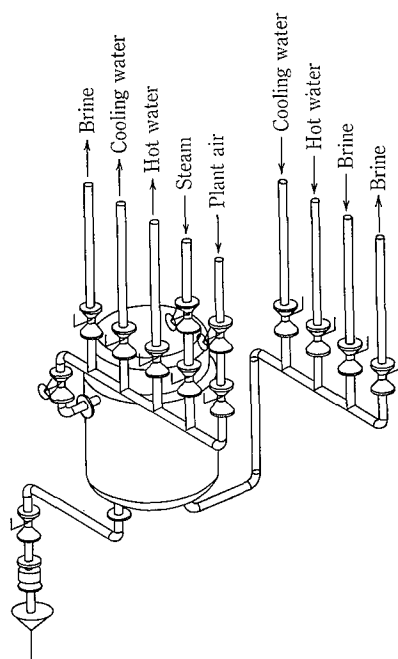
第2図 合成プラント配置図
Fig. 2 Plot plan of synthesizing plant



第1図 医薬合成プラントの基本的フロー
Fig. 1 Typical flow of synthesizing pharmaceuticals



第4図 フルゾーン翼
Fig. 4 FULLZONE



第6図 反応缶のユーティリティ配管
Fig. 6 Utility pipings for reactor

4) 攪拌翼は多目的に適した形式とする。

本目的に対しては

- ・ 広い粘度範囲で効率よい均一混合が出来る。
- ・ 低回転で個体粒子を壊さず均一に浮遊出来る。
- ・ 小さい攪拌動力で効率よく液滴を分散出来る。

当社のフルゾーン翼が有効である。

その構造及び性能を第4図、第5図に示す。

5) 反応缶ジャケットユーティリティは多目的に対応出来るようスチーム、冷却水、温水、ブライン各々がうまく利用出来る配管の接続を行う。第6図に配管例を示す。

その他、極めてクリーンな環境で製造を必要とされる製品については反応缶外部にも様々な工夫が必要となる。こ

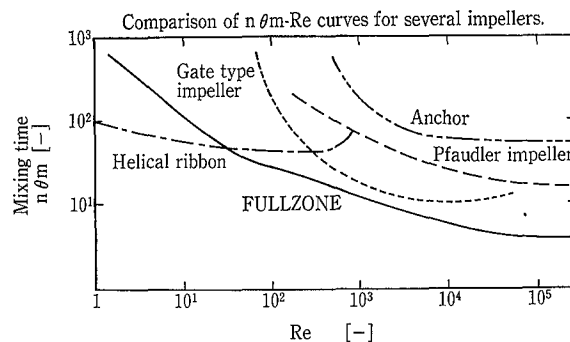
第5図 フルゾーン翼の特性

Fig. 5 Characteristic of FULLZONE

広い粘度範囲で効率よい均一混合

—Mixing characteristic

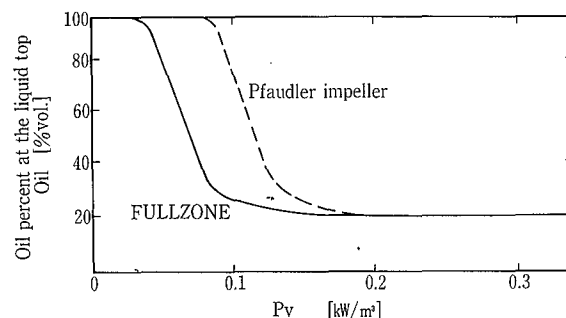
Uniform and efficient mixing over a wide range of viscosity.



小さい攪拌動力で効率よく液滴を分散

—Liquid-liquid agitating characteristic

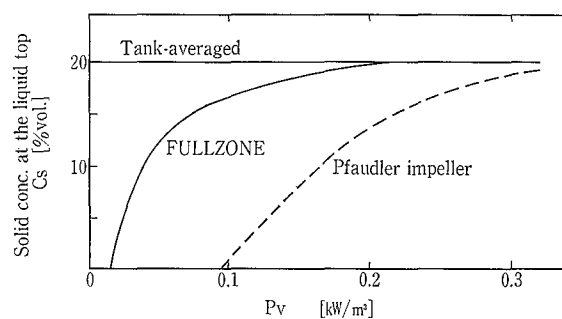
High-efficient dispersion of droplets with less power consumption.



低回転で固体粒子を壊さず均一に浮遊

—Solid-liquid agitating characteristic

Uniform dispersion of solid particles at low agitator speed, with less damage to the particles.



のニーズにマッチした反応缶として、外面はステンレスソリッドを使用し内面グラスライニングを施工したRXシリ-ズリアクターがあり、その図を第7図に示す。

2. 3. 2 固液分離器

医薬関係では有機溶媒使用に伴う設備の密閉性並びに省力化の観点から遠心分離機を使用することが多い。次に遠心分離機の特長を示す。

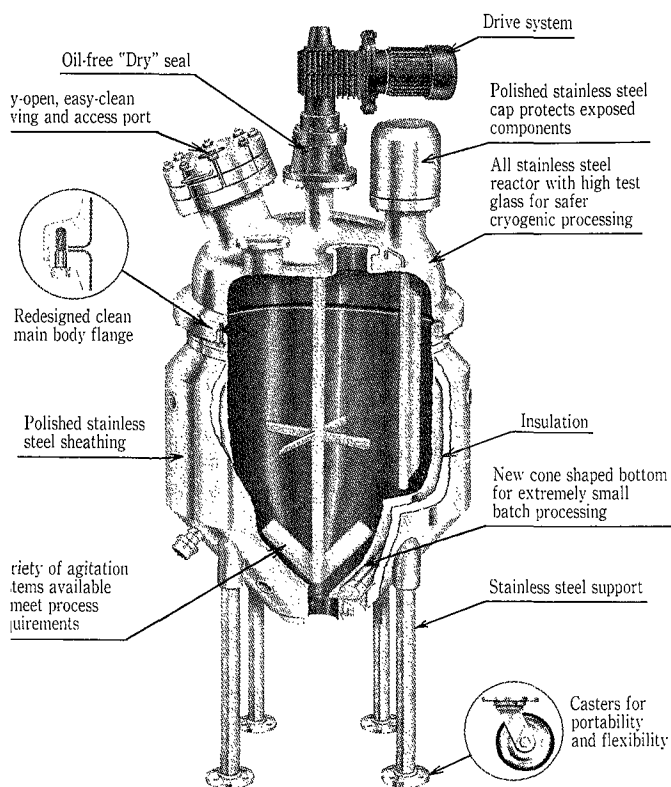


Fig. 7 An inside look at the RX series pharmaceutical glasteel reactor

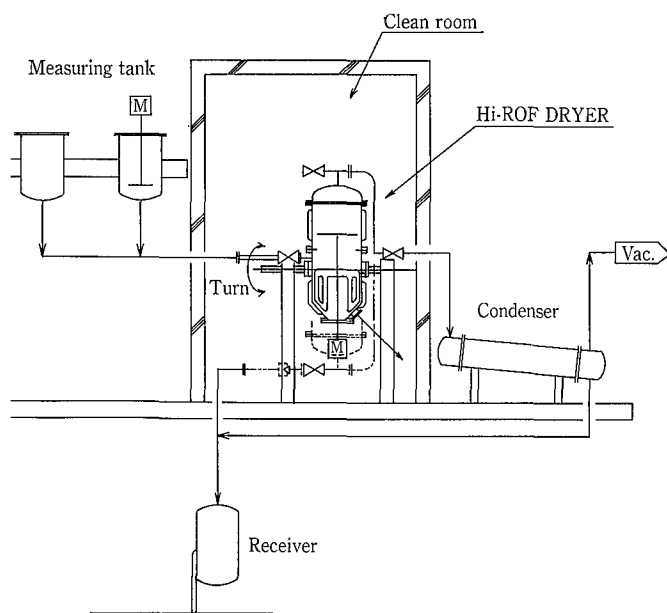


Fig. 9 Synthesizing flow of making use of Hi-ROF DRYER

垂直軸式遠心分離機

- 上部排出型
- ・洗浄しやすい。
 - ・ケーキ面からだけでなく上下からも汙過出来るため難汙過性のものに向く。

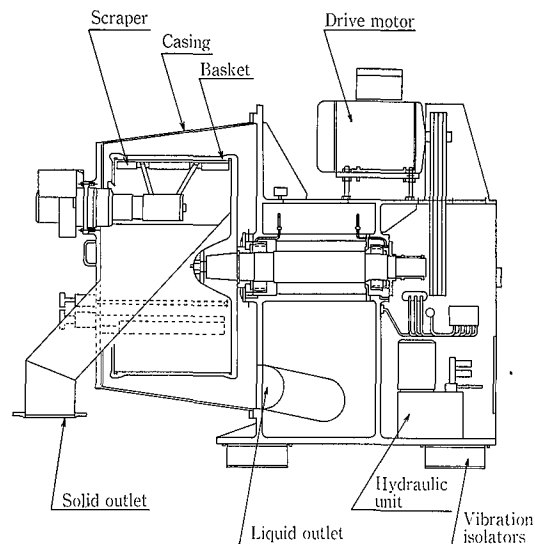


Fig. 8 Robatel horizontal axis peeler centrifuge

- 底部排出型
- ・全自動が可能である。
 - ・大量処理に向く。
 - ・密閉性を保てるため、作業環境を良くできる。

水平軸式遠心分離機（第8図参照）

- ・垂直軸式底部排出型と同様。
- ・垂直軸式と比べ遠心効果が大きいいため脱水率を改善可能。
- ・タイムスケジュールの短縮可能。
- ・GMPに対応出来る。

汙過機を選定にあたっては、結晶の形状、粒径分布及び性状等によって機種を選定を行う必要があり、事前にテストを実施しておくことが望ましい。

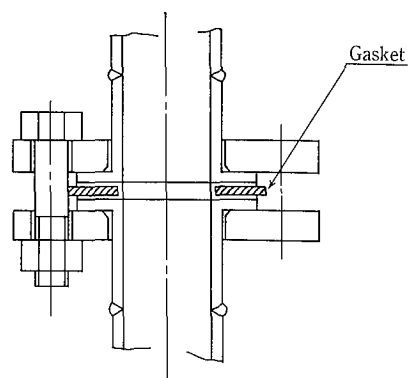
その他密閉系にて汙過、乾燥2工程が行えるフィルタードライヤー、また反応、晶析、汙過、乾燥4工程が可能な Hi-ROF DRYER（多機能汙過乾燥機）等は医薬品製造に適した機器と言える。Hi-ROF DRYERを用いた医薬品合成のフロー図を第9図に示す。

2. 4 配管

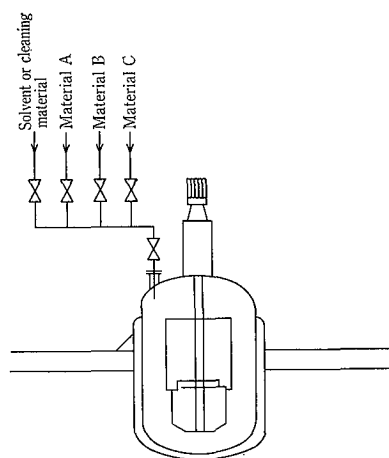
医薬品合成を含めて、ファインケミカルプラントの配管の特長として次のようなことが挙げられる。

- 1) 特殊耐蝕配管材を使うケースが多い。例えば、グラスライニング、テフロンライニング、ハステロイ等。
- 2) 小口径配管が主流で、機器が小さい割に配管の数が多。
- 3) マルチ対応のケースが多く、洗浄性及びコンタミネーションに対する配慮が必要。
- 4) 建設後のプロセス変更、品種切替に対応し易いように、配管変更が容易な配慮が必要。

次に、これらに対応するための二、三の工夫を紹介する。



第10図 フランジガスケット
Fig. 10 Flange gasket



第11図 洗浄を考慮したプロセス配管
Fig. 11 Process pipings in consideration of cleaning

- (1) 変更に対応出来るようにするためにはフランジの切込みを増やし、容易に分解出来るようにすることである。この時ガスケット面での溜りがコンタミの要因になりやすい。したがって、
 - ・フランジ切込みは水平管部でなく垂直管部で行なうようにする。
 - ・第10図に示すごとくガスケット内径は管内面に基準を合わせる。そのためガスケット外径はボルトの内接円に合わせる。

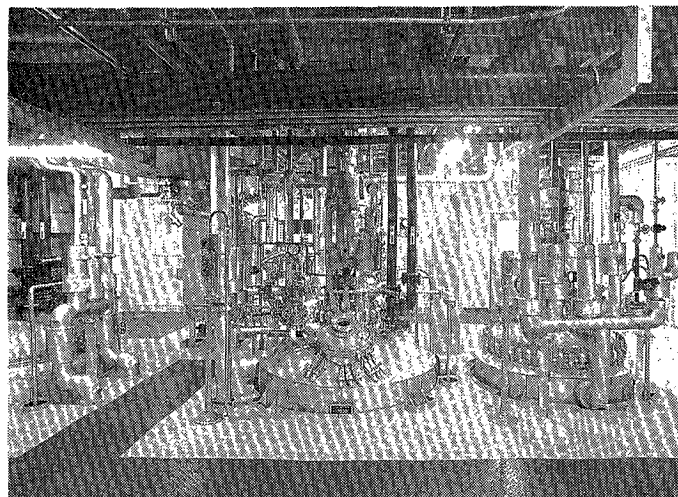


写真1 反応缶まわりの配管
Photo. 1 Pipings around reactors

- (2) 仕込みラインのヘッダーは第11図のごとく順番を考慮し最端部に水あるいは溶剤のラインが来るように配慮する。
- (3) ステンレスラインは Tig 溶接とし耐付着性、洗浄性に優れた内面電解研磨を行う場合もある。
- (4) 反応缶まわりのユーティリティヘッダーについては、誤操作をさけるため切り替えバルブはハンドルで開閉が容易に判断出来るボール弁を用い、ライン中に流量制御可能な弁を取付ける。また入口、出口各々のバルブヘッダーは同一フロアで操作出来るよう近くに配置する。(写真1 参照)

む す び

医薬品はファインケミカル製品の代表である。また医薬品合成については、GMP（製造上の品質管理に関する基準）があり、プラント建設に際しては、細かな配慮と検討が必要とされる。当社は、反応、晶析、濾過、乾燥、粉碎、分級、それぞれに特長あるハードを有し、各々の特長を生かしながら数多くのファインケミカルプラント建設を手掛けてきた。マルチパーパスプラントの自動化への取り組みと併せて化学プロセス機器の設計、製作のノウハウを生かし、エンジニアリングサービスを充実させユーザー各位のご要望に応じていきたい。

ビーム型タンクコンテナ

A Beam Type Tankcontainer



(化)技術部 設計第2課
北村 吉 朗
Yoshio Kitamura

A full frame beam type tank container has recently been developed and put into practical use. The aim of the development is to meet customers' demand for increasing the container volume beyond 21 m³ and for better protection of the tank shell from damage caused by a road accident or rough handling by a crane.

The new design of full-frame container is expected to have an advantage of better protection when compared with our previous design "container having no roof rail" proposed in 1986.

え が き

当社は1975年にタンクコンテナの製作を始めて以来タンクをサドルを介してフレーム底部で支えるフルフレームのドル型を製作してきた。そして1986年には軽量化と大容量用として、上部のルーフレールを取り省き（但し、ボトサイドレール付）、タンク重量を鏡部サポートリング及胴補強リングを介して前後のフレームで支え、タンクの部を強度メンバーとしたビーム型タンクコンテナを開発した。

ISO規格によって製作されるタンクコンテナにとってフレーム構造は、国際間の輸送において、ハンドリング必要というだけでなく、通常の海上輸送、道路輸送、鉄輸送及び取扱における振動や衝撃等あらゆる外力からタンクを守るということと、事故や手荒い取り扱いからもタンクや保温を保護することの二つの重要な役目を果たしている。従って、長手方向の上部、下部にフレームのあるフルフレーム構造は特に危険物を運ぶタンクコンテナには求が多い。しかし一方では、コンテナの自重を軽くし、できるだけ積載重量を増やすため、上下長手方向フレーム省いたビームタイプも多く製作されている。

今回開発した20'×8'×8.6'の新ビーム型タンクコンテナは、タンク重量を鏡部サポートリングを介して前後エンドフレームで支える構造である。前回のビーム型で採用し、胴補強リングとエンドフレームとを結合する底部フレームは廃止し、ルーフレールとボトムサイドレール付きと

した、安全性重視で、大容量向きのフルフレームのビーム型タンクコンテナである。

1. ビーム型タンクコンテナの特徴

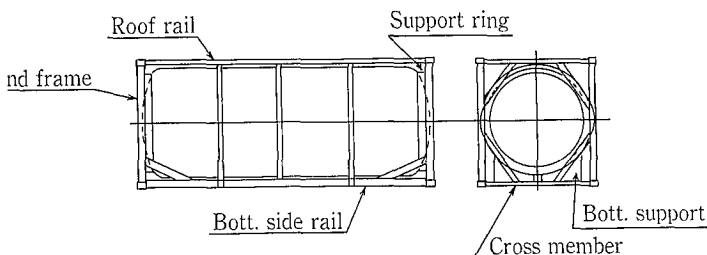
従来から製作してきたサドル型タンクコンテナ第2図と今回開発したビーム型タンクコンテナ第1図の特徴比較を次に示す。

1.1 ビーム型の特徴

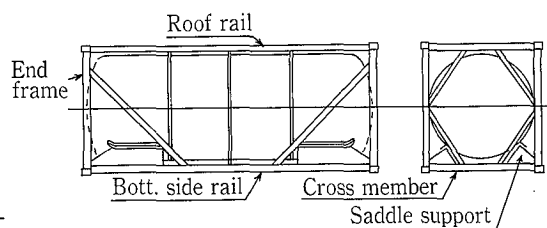
- (1) タンクは両鏡サポートリングを介してエンドフレーム全体で支える。
- (2) シャーシ荷重伝達はクロスメンバを介して、タンク底部のサポートで受ける。
- (3) タンクとエンドフレームは溶接結合による一体型である。
- (4) ルーフレール、ボトムサイドレールを含むフルフレーム構造である。（ルーフレールなしでも製作可能）
- (5) 21 m³を超える大容量のコンテナの製作が可能
- (6) 保温については、胴部と鏡部とはエンドフレームに接合し、鏡サポートリングで分離されている。鏡部保温はフレームとの一体形で、フラット面となる。

1.2 サドル型の特徴

- (1) タンクは前後4箇所のサドルを介してボトムサイドレール、エンドフレーム、クロスメンバの底部フレームのみで支える。
- (2) シャーシ荷重伝達はクロスメンバを介してサドル端部で受ける。



1図 新ビーム型タンクコンテナ
Fig. 1 New beam type container



第2図 サドル型タンクコンテナ
Fig. 2 Saddle type container

第 1 表 ビーム型コンテナ供試体の仕様

Table 1 Specifications of beam type container specimen

ISO class	20'×8'×8'6" (1CC)
IMO type	Type 2
Nominal capacity	21 000 ℓ t
Tank inside diameter	2 200 mm
Tank overall length	5 824 mm
Shell thickness	3.2 mm
Head thickness	5.0 mm
Tank material	SUS 316
M. A. W. P.	1.78 kgf/cm ²
Design pressure	2.46 kgf/cm ²
Max. gross mass	24 000 kg
Tare weight	3 520 kg
Max. payload	20 480 kg

(3) タンクとサドルはボルトによる結合

(4) フレーム構造はフルフレーム型。ルーフレール、ボトムサイドレール及び斜めサイドフレーム付きのため安全性が高い。

(5) 保温構造は胴部及び鏡部一体型でフレームから独立

1. 3 ビーム型コンテナの仕様

国際間で流通しているタンクコンテナは、20 ft. の長さのものが圧倒的に多く、容量では23 m³ 以上、総重量は30.48 ton が主流である。国内では危険物輸送における規制があり、消防法では容量が20 m³ と制限されているが、国際タンクコンテナについては20 m³ 以上の容量が認められている。また、道路法では、最大積載量（コンテナ自重＋積載物）が24 ton の規制がある。国内ユーザも国際専用タンクコンテナとしては容量の大きいものを望んでおり、また法規制についても国際情勢にあわせ、国内はもちろん海外からも規制の緩和が強く望まれている。

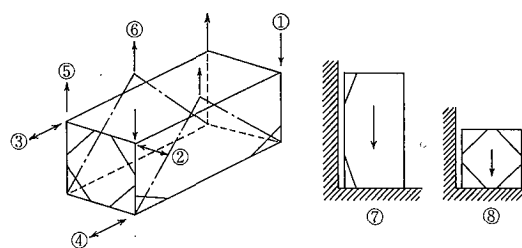
今回の開発はユーザニーズと将来の規制緩和を前提に、最大容量24 m³、総重量は30.48 ton を目標とした。ただし、実際の試作にあたっては、現在の標準コンテナにあわせ、容量を21 m³、最大総重量は24 ton（フレーム構造は30.48 ton）用とした。供試タンクの基本仕様は第1表に示す。

	製作可能最大容量	製作可能最大重量
ビーム型	24 m ³	30.48 ton
サドル型	21 m ³	24.0 ton

2. 荷重テスト（静的、動的荷重）によるフレーム強度確認

2. 1 静的荷重試験

従来のサドル型、ビーム型同様今回の新ビーム型タンクコンテナもISO、CSC条約（安全なコンテナに関する国際条約）及びその他規則に定められている荷重試験を行



- ① Stacking test (1.8 R×5/4) (6 stacks) = 54 000 kg
- ② Lateral racking test = 15 240 kg
- ③ Longitudinal racking test = 7 620 kg
- ④ Longitudinal restraint test (2 R) = 48 000 kg
- ⑤ Top lift test (2 R) = 48 000 kg
- ⑥ Bottom lift test (2 R) = 48 000 kg
- ⑦ Longitudinal internal restraint (R) = 24 000 kg
- ⑧ Lateral internal restraint (R) = 24 000 kg

R: Maximum gross mass = 24 000 kg

第 3 図 荷重試験概略図

Fig. 3 Outline of load test

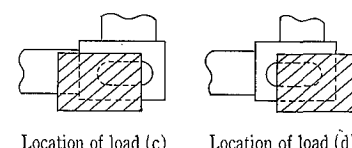
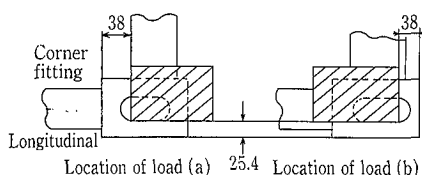
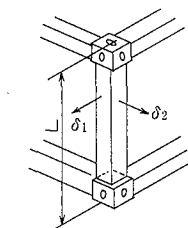
第 2 表 積重ね試験部材変形

Table 2 Distortion of members in stacking test

Load	Location of load			Location of load		
	a			b		
	δ_1	δ_2	ΔL	δ_1	δ_2	ΔL
0	0	0	0	0	0	0
54 000	+0.1	+1.8	-2.0	+0.1	+1.6	-2.0
0	-0.4	0	0	-0.4	0	0

Load	Location of load			Location of load		
	c			d		
	δ_1	δ_2	ΔL	δ_1	δ_2	ΔL
0	0	0	0	0	0	0
54 000	+0.2	+2.0	-2.0	+0.3	+1.8	-2.0
0	-0.4	0	0	-0.4	0	0

Residual distortion ≤ 3 mm



い合格した。荷重試験の種類と荷重の大きさを第3図に示す。試験荷重は総重量24 ton が基準になっている。また、各試験荷重での歪みを測定し、強度の確認を行った。

1) 積重ね試験 (Stacking test)

コンテナがコンテナ船に積み込まれる場合、一番下のコンテナは上に積まれた全コンテナの重量を直接受けることになる。従って、ISO及びCSCでは、通常6段積として、上5段分の重量と船体の動揺によって生ずる加速度分を加えて試験を行うことが規定されている。また、積み荷は少しずつずれて積まれている可能性があるため、コーナポストに荷重をかけるときは、長手方向に38 mm、横方向に25.4 mm、ずらして荷重をかけることになっている。それぞれ位置をずらしての荷重試験結果を第2表に示す。

2) 横ラッキング試験 (Lateral racking test)

コンテナが甲板上に2段あるいは3段と段積みされたコンテナは船のローリングや荒天時の転倒防止のため固縛されるので、下段のコンテナは横方向に荷重を受ける。その荷重を考慮した試験を行うため、下部隅金具を上下、左右前後に動かさないよう固定し、上部隅金具に横方向水平に圧縮と引張荷重を加える。試験結果については第3表に示す。

3) 長手ラッキング試験 (Longitudinal racking test)

横ラッキングと同様、船のピッチング時にコンテナの長手方向の力が前後エンドフレームに加わるため、この荷重を考慮した試験を行う。下部隅金具を上下左右前後に動かさないように固定し、上部隅金具に長手方向水平に荷重をかける。試験結果は第4表に示す。

4) 長手緊締試験 (Longitudinal restraint test)

コンテナをトラックや鉄道で輸送する場合、急発進、急停止によりコンテナ下部隅金具緊締部に衝撃を受けるため、その荷重を考慮した試験を行う。コンテナ下部隅金具前後のどちらか一端を固定し、他端の隅金具に圧縮、引張の水平荷重をかける。試験結果については第5表に示す。

5) 上部吊上げ、下部吊上げ (Top and bottom lift test)

この試験はコンテナを吊り上げた時に隅金具がはずれたり、床フレームが曲がったり、落下したりしないよう試験を行う。また、吊り上げ時の加速度を考慮した試験を行う。試験結果については第6表に示す。

6) 長手慣性試験・横慣性試験 (Internal restraint test)

この試験は、長手方向、横方向に加速度が働いた時、内容物の慣性が本体に及ぼす影響を考慮した試験を行う。試験結果については第7、8表に示す。

2. 動的荷重試験 (Dynamic impact test)

[CTC (Canadian Transport Commission) 衝撃試験]

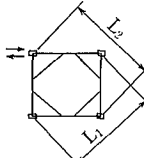
この規定はカナダでのあらゆる輸送に関する規程で、コンテナを鉄道輸送する場合もこの規定にかななければならない。この規定の衝撃試験は、コンテナを鉄道輸送する場合の発進、停止の際に受ける衝撃に耐えるかどうかを判定する試験である。

CTCの試験方法は、バッファ付きの台車を両連結で固定車として設置し、タンクコンテナを積載した台車を駆動車で押して行き、規定のスピード (4 mile/h, 6 mile/h, 8 mile/h) で離し、固定車に衝突させる。衝突後コンテナに歪みや損傷がないこと、フレーム上面隅金具の両対角に測った寸法の変化が3mm以内であることが合格条件である。

当社では、5両の台車の代わりに、CTCの許可を得て、鋼材を積んだ1台の固定車にコンテナを積載した台車を規定のスピードで衝突させる方法を行っている。今回の試験結果でも、コンテナの強度には問題ないことが確認され、合格の判定を得た。

第3表 横ラッキング試験部材変形

Table 3 Distortion of members in lateral racking test

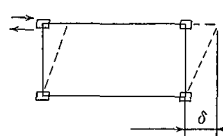


Load	Push			Pull		
	$\Delta L1$	$\Delta L2$	$\Delta L1 + L2$	δ_1	δ_2	$\Delta L1 + L2$
0	0	0	8.0	0	0	9.0
15 240	+4.0	-4.0		-4.0	+5.0	
0	0	0		0	0	

Diagonal distortion ≤ 60 mm

第4表 長手ラッキング試験部材変形

Table 4 Distortion of members in longitudinal racking test

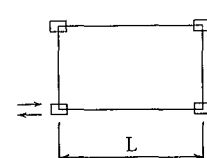


Load (kg)	Push	Pull
	δ	δ
0	0	0
7 620	4	7
0	0	0

Distortion ≤ 25.4 mm

第5表 長手緊締試験部材変形

Table 5 Distortion of members in longitudinal restraint test

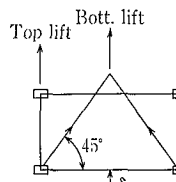


Load (kg)	Push	Pull
	L	L
0	0	0
48 000	-2.0	+2.0
0	0	0

Residual distortion ≤ 2.0 mm

第6表 上部、下部吊上試験部材変形

Table 6 Distortion of members in top lift test and bottom lift test

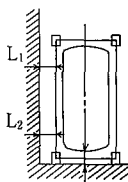


Load (kg)	Top lift	Bott. lift
	δ	δ
0	0	0
48 000	+0.5	+0.5
0	0	0

Redidual distortion ≤ 3.0 mm

第7表 長手慣性試験部材変形

Table 7 Distortion of members in longitudinal restraint

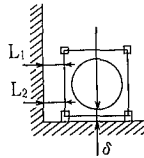


Load (kg)	δ	L1		L2	
		Right	Left	Right	Left
0	0	0	0	0	0
24 000	+4.2	+1.0	0	+1.0	+0.5
0	+0.1	0	0	0	0

$L1, L2 \leq 1.5$ mm $\delta \leq 42$ mm

第8表 横慣性試験部材変形

Table 8 Distortion of members in longitudinal restraint



Load (kg)	δ	L1		L2	
		Right	Left	Right	Left
0	0	0	0	0	0
24 000	+1.8	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

$L1, L2 \leq 1.5$ mm $\delta \leq 8$ mm

第 9 表 各種静的荷重試験における最大応力

Table 9 Maximum stress under load test

Dimension : kgf/mm²

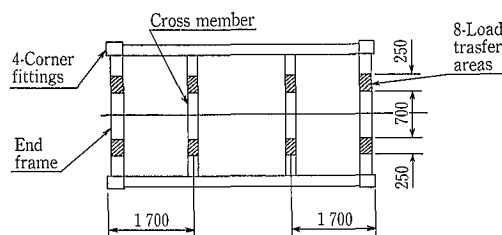
Load tests	Max. stress	All. stress	Member	Location
1. Stacking (Case 1)	19.7	31.8	Corner post	
2. Lateral racking (Comp.)	21.3	23.5	Top end rail	
3. Lateral racking (Tens.)	24.4	42.0	Head	
4. Longi. racking (Comp.) (without/roof rail)	32.6	42.0	Head	
5. Longi. racking (Tens.) (without/roof rail)	29.1	42.0	Head	
6. Longi. racking (Comp.) (with roof rail)	12.1	16.5	Roof rail	
7. Longi. racking (Tens.) (with roof rail)	16.9	36.0	Roof rail	
8. Longi. restraint (Comp.)	9.3	22.5	Bott. end rail	
9. Longi. restraint (Tens.)	10.1	36.0	Bott. end rail	
10. Top lift	2.9	36.0	Support ring	
11. Bottom lift	3.5	22.5	Bott. siderail	
12. Inter. restraint (Longi)	11.5	42.0	Head	
13. Inter. restraint (Lateral)	9.1	42.0	Support ring	
14. Load for transfer area	23.8	36.0	Cross member	

1. Allowable stress

$$3 \cdot S_m = 3 \times 14.0 = 42.0 \text{ kg/mm}^2$$

$$1.5 \sigma_y = 1.5 \times 24 = 36.0 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_c = \text{Allowable buckling stress} = \frac{1.5 \{1 - 0.4(\lambda/\lambda_c)^2\} F}{\nu}$$



第 4 図 コンテナサポート位置

Fig. 4 Location of support

3. 静的荷重試験の歪測定

2. 1 項の 1) から 6) までの荷重試験での部材変形確認と同時に主要部材の歪測定を行い、応力換算し強度の確認を行った。第 9 表は各試験における応力の最大値であり、全て許容応力以下であった。

4. FEM解析による強度の確認

コンテナの強度の確認は、法的には C S C の静的荷重試験あるいは貨車による衝撃試験を行い、規定の残留歪以下であることが条件になる。しかし、プロトタイプ製の時には、特に計算方法は指定されないが、静荷重試験及び動荷重に対する強度を確認した計算書の提出を求められる場合がある。

次の応力解析はタンクコンテナにかかる動荷重の検討を行ったものである。

4. 1 2 G の自重を负荷した場合

IMDG CODE など各規定に定められた動荷重は、垂直下向きで 2 G の加速度とされている。このことから、この 2 G を荷重条件として解析を行う。この荷重を第 4 図に示すように、隅金具 4 箇所を支える場合 (CASE-1) とクロ

第 10 表 2 G の自重负荷応力解析結果

Table 10 Stress analysis under dynamic load of 2G

CASE	Support	Head SI	Shell SI	3·Sm	Frame SG	1.5 σ _y
1-1	Corner fitting	22.5	5.00	42.0	8.20	36.0
1-2	Cross member End frame	11.7	8.68	42.0	10.3	36.0

Head thickness : 5.0 mm, shell thickness : 3.2 mm

3·Sm : Allowable stress of shell (SUS316)

$$3 \times 14.0 = 42.0 \text{ kgf/mm}^2$$

1.5 σ_y : Allowable stress of frame

$$1.5 \times 24.0 = 36.0 \text{ kgf/mm}^2$$

ステンバ、エンドフレーム 8 点 (シャーシ荷重伝達面) で支える場合 (CASE-2) との二通りのケースで各部材の応力解析、疲労解析を行った。

1) 応力解析

最大応力の発生する箇所は、鏡ではサポートリング取付部、本体胴は底サポート取付部、フレームではクロスメンバのボトムサイドレールとの取付部に発生している。

解析の結果、その発生応力強さは、第 10 表に示すように許容応力強さ 3·Sm 以下である。また、フレームに発生する応力 SG も、全面降伏応力 1.5 σ_y 以下である。

2) 疲労解析

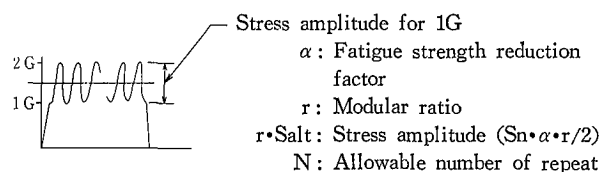
疲労解析は自重 1 G は一定とし、運搬中の振動による応力振幅は 1 G 分とした。従って、応力振幅 (Sn) は 1) の応力解析で求められた S I の 1/2 とする。フレームは最大主応力であり、最小主応力は 0 として SG = S I とする。

J I S 8250 (第 4 図 12.1, 第 4 図 12.2) の材料設計疲労曲線によれば疲労繰返し回数の最高値は 10⁶ までであり、タンクコンテナにおいては 10⁶ を許容繰返し回数としており、解析結果では、第 11 表に示すように、いずれの部位においても許容繰返し回数以上である。

第 11 表 2 G の自重負荷における疲労解析

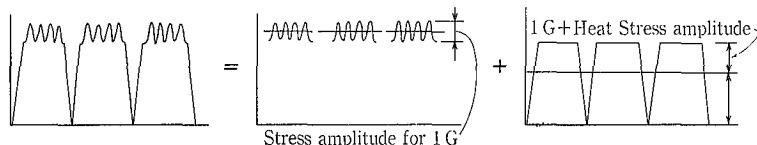
Table 11 Fatigue analysis under dynamic load of 2G

CASE	Evaluated part	S_n	α	r	$r \cdot \text{Salt}$	N	n
1-1	Head	11.3	2.75	0.95	14.8	$>10^7$	1×10^6
	Shell	2.50	2.75	0.95	3.27	$>10^7$	1×10^6
	Frame	4.14	2.75	1.08	6.15	$>10^7$	1×10^6
1-2	Head	5.85	2.75	0.95	7.64	$>10^7$	1×10^6
	Shell	4.34	2.75	0.95	5.67	$>10^7$	1×10^6
	Frame	5.15	2.75	1.08	7.65	$>10^7$	1×10^6

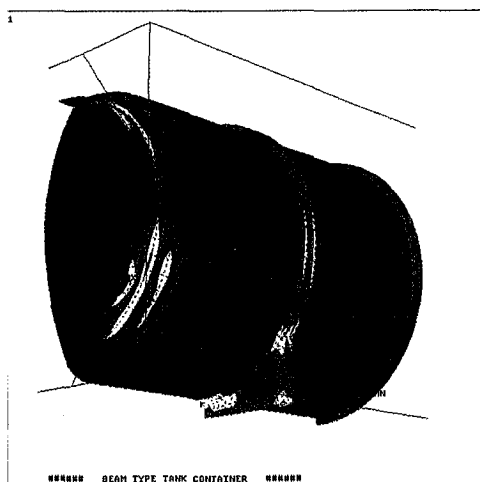


第 12 表 自重+熱荷重の疲労解析結果

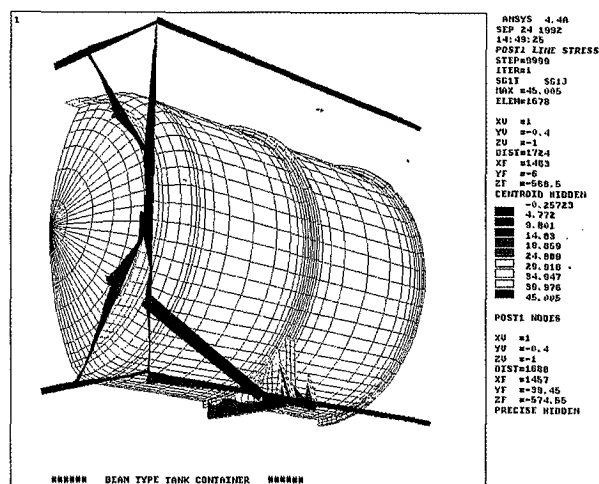
Table 12 Fatigue analysis



CASE	Evaluated part	S_n	α	r	K_e	$r \cdot \text{Salt}$	N	n	U_i	U
1-1	Head	11.3	2.75	0.95	—	14.8	8×10^6	1×10^6	0.13	0.21
2-1		42.5	2.75	0.95	1.04	57.7	2 500	200	0.08	
1-1	Shell	2.50	2.75	0.95	—	3.27	$>10^7$	1×10^6	0.1	0.11
2-1		23.7	2.75	0.95	—	31.0	40 000	200	0.01	
1-1	Frame	4.14	2.75	1.08	—	6.15	$>10^7$	1×10^6	0.1	0.6
2-1		45.0	2.75	1.08	1.19	79.5	400	200	0.50	



第 5 図 胴部の応力強さコンタ
Fig. 5 Shell stress contour



第 6 図 フレームの応力強さコンタ
Fig. 6 Frame stress contour

4. 2 1 G の自重と熱荷重及び 1 G 分の振動を荷重した場合

1) 応力解析

熱荷重としては、本体 100°C とし、フレームは 0°C の温度条件として解析を行ったものである。

解析結果では、本体に発生する応力強さは許容応力強さの $3 \cdot S_m$ を超える。また、フレームに発生する応力 SG も全面降伏応力 $1.5 \sigma_y$ を超える。従って、簡易弾塑性解析を次項で行う (J I S 8250 では、簡易弾塑性解析により疲労解析が満足できるものであれば $3 \cdot S_m$ を超えても良いことになっている。) 第 5 図は胴部に発生する応力分布のコンタで第 6 図はフレームに発生する応力分布のコンタである。

2) 疲労解析

解析は二つの有意な応力サイクル、すなわち 4. 1 の 2) で評価した運搬中の振動及び熱応力発生時の自重と熱が負

荷されているため、この二つの応力サイクルで累積損傷を評価する。

この損傷評価としては、予想応力振幅における破壊までの繰返し回数を N とし、予想繰返し回数を n とすると、 n/N で表される使用係数 U_i の累積 $\sum U_i = U$ が 1 以下であることが必要である。解析の結果累積使用係数 U は、第 12 表に示すようにいずれも 1.0 以下である。

むすび

本来ビーム型コンテナの開発は、ビーム型にすることによって、コンテナ自体の自重を軽くし、積載重量を増やすことによって、輸送効率を高めることにあるが、反面世の中のニーズはより安全性を考えて、フレーム構造はフルフレームにという要求が強いため、メーカーとしてはやはり安全第一に考慮すると同時に、全体的にはできるだけ軽量化をめざさなければならないと考えている。

GL 清酒発酵槽の開発

The Development of a Glasslined Sake Fermenter



(化)第2営業部
小林 哲 男
Tetsuo Kobayashi
(環)EO技術室
西久保 善 之
Yoshiyuki Nishikubo

In recent years, skilled workers at sake breweries have become old, and decreasing in number year by year.

The sake brewing industry, still relying upon traditional techniques of skilled workers in many ways, have to promote modernization, such as technical innovation, education and training of young workers and increasing the capacity of production facilities.

For the modernization of sake brewing, it seems to be important to develop an automatically controlled fermentation system which is well harmonized with human skills, and also well suited for delicately different ways of fermentation in producing individual brands of sake at various breweries.

We have developed a glasslined auto sake-fermenter for the purpose of satisfying the demand for high-quality brewing and reducing the traditional sake brewers labor.

This paper introduces some examples of automatically controlled sake fermentation conducted at several sake breweries with our newly developed glasslined fermenter.

まえがき

清酒は、良質の磨かれた酒造好適米と酒の発酵に適した水、吟味された麴(麴カビ)と酵母を用い、長年の経験と勘による伝統技術に生きる杜氏と蔵人らによって精魂込めて醸し出される。

近年、酒造従業員が年々減少し、経験豊富な杜氏も高齢化が進み、伝統技術で生きてきた酒造業界も技能の技術化と若年労働者への伝承、設備の合理化、大型化など近代化が求められてきている。さらに、平成4年4月からの級別制度の廃止にともない競争激化時代を迎え、生き残りのために特色のある優れた商品開発が求められてきている。

現在、大手酒造メーカーなどを中心に大型化、機械化が進められてきているが、酒造メーカーごとに異なる複雑微妙な酒造りが画一化されず、人との調和によって絶妙なる清酒が醸し出される酒造システムの開発が望まれている。

当社は、従来の酒造りの労力を少しでも緩和し、かつ、質の高い酒造りに応えるために、ジャケット付ガラスライニング製清酒発酵槽(以下GL清酒発酵槽)の開発を試み

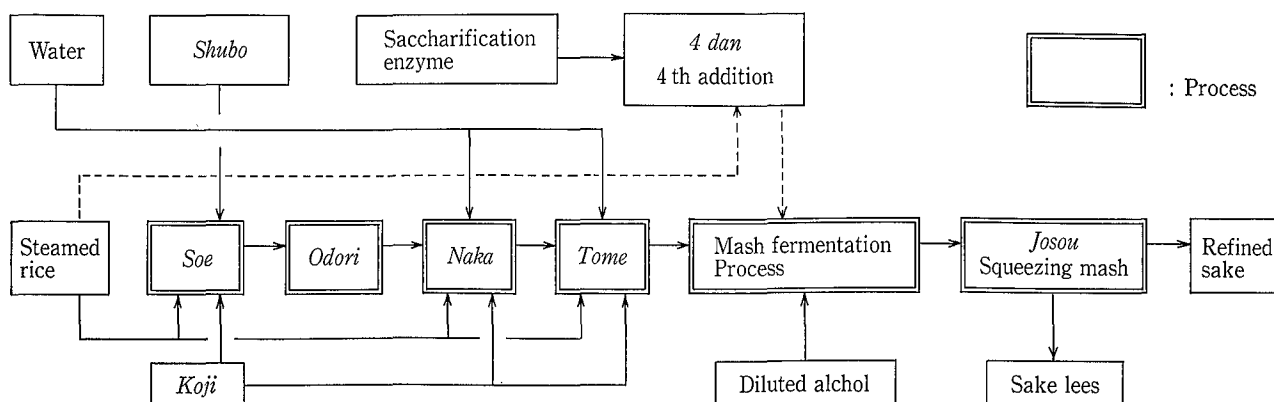
てきた。

本報では、23KL容量のGL清酒発酵槽を用い、S社およびI社で総米6tonの試験仕込を行なったので、適用事例として報告する。

1. 清酒発酵槽の機能と課題

1.1 清酒発酵槽の機能

清酒醸造工程には種々の工程があるが、その中で重要な工程の一つにもろみ製造工程がある。もろみ製造工程を第1図に示す。もろみの仕込は、酵母で育成した酵母をもろみ中で増殖させるために「添」、「仲」、「留」と1日1回、3回に分けて原料である蒸米を仕込む(3段仕込)。「添」の翌日に「踊り」という酵母の増殖を図る仕込休みがある。「留」後、4~5日で酵母増殖が盛んとなり、発酵熱による品温が上昇する。もろみ発酵は麴カビの酵素による固体である蒸米の液化、糖化と、酵母によるアルコール発酵を継続して行わせるいわゆる並行複発酵であり、糖化と発酵のバランスを保ち清酒の香味をよくする上で、普通15℃を中心にもろみ品温を10~18℃という低温で管理



第1図 もろみ製造工程

Fig. 1 A mash production process

ることが求められる¹⁾。

この品温管理がもろみ発酵で最も大切であり、清酒の品質を左右すると言われている。特に吟醸酒などの質の高い特定名称酒はさらに低温で、長期(約1ヶ月)に渡ってもみ発酵が行なわれることから、より正確できめ細かな品温管理作業ともろみの混和を目的とする糧入れ作業は、重労働となり、長年の経験を心要とする。

このようにもろみ製造に用いられる発酵槽は、次のよう機能が求められると考えられる。

- (1) 品種に応じた設定品温が容易に設定でき、正確な品温管理が容易に行える。
- (2) 発酵工程に応じた糧入れが自由に設定でき、糧入れ管理が容易に行える。

上記2項目を中心とした機能を発酵システムとしていかに構築して行くかが課題であり、技能の技術化、省力化のために人との調和を図って行くことが重要になるといえる。

2 目標課題

もろみ発酵の管理操作は種々の項目があるが、ここでは品温管理と糧入れ操作について言及する。

総米仕込量が1~3 ton規模では、特に冷房せずに冬季の造りに大きな問題はないとされるが、それ以上となる品温調節には冷却設備が必要となり、また、手糧入れが難となることから大型化には解決すべき課題でもある。もろみ発酵の品温管理の自動化、糧入れ操作の機械化にたつて、次の目標課題を列举した。

(1) 品温制御手法の確立

もろみ発酵においては、純粹培養に見られる完全混合に近い通気攪拌発酵槽などと比較して、槽内の混合は極めて慢であり、アルコール生成量が少ない発酵が旺盛な場合(発酵前期)に発生する発酵ガス(主成分:炭酸ガス)による緩やかなもろみ流動混合が期待できるだけである。したがって、ジャケットからの熱移動(除熱効果)の応答が低いと推察されることから、最適な温度制御の方策をとる必要がある。

(2) 糧入れ制御手法の確立

もろみ形態は、「添」、「仲」、「留」の3段仕込時の蒸米などの固形分が多く流動が困難なもろみ状態から、液化、液化が進みアルコール発酵が進んだ流動し易いもろみ状態へ移行して行く。その状態ごとに糧入れの目的が異なり、大きく分けて、蒸米仕込時の均し混和、「留」後の発酵が付着による浮上膨潤米と下部もろみ液との混合(荒糧入れ)、発酵後期の堆積もろみの上下混合、上槽時(4段、アルコール添含む)のもろみを均一にする混合という糧入れ操作があると思われる。したがって、ある程度の幅をもった糧入れ操作が簡単に組み込めることが必要となる。また、品温制御の観点から、槽上下のもろみ温度差をなくし、熱移動を高めるための攪拌(糧入れ)効果を知っておく必要がある。

これらの操作手法は、蔵ごとのノウハウに関わり、一律決めることは困難と思われる。もろみ品温、糧入れは蔵ごとに清酒の品質別にパターンが確立しているものの、原料処理方法やもろみ成分変化でその都度変更するというきめ細かな管理が要求されている。

2. GL清酒発酵槽の概要

試験仕込に適用したGL清酒発酵槽プラントのフローシートの概略図を第2図に示す。槽径が2800 mm、槽高が3200 mmで上下を鏡板構造とし、ジャケットは槽胴部と下部に独立して配置し、槽外部は75 mmのスタイロホームと0.4 mmのSU S 304の外装板で保冷工事を施している。写真1に試験仕込に用いた23KL容量のGL清酒発酵槽を示す。

2.1 品質管理設備

もろみ品温の測定として槽上部、中部、下部の3箇所とジャケットへの冷水入口と出口配管中にそれぞれ测温抵抗体を挿入し、経過温度を自動記録した。品温制御のために空冷式冷却装置(5℃の冷水供給)と電気ヒータ内蔵の加温器(20℃の温水供給)を設置し、冷水循環ポンプ(P-01)、温水循環ポンプ(PO-3)を通して、冷水供給調節弁(MV-01)、温水切換弁(MV-02, MV-03)で冷水、温水の供給量を制御した。

2.2 攪拌設備

糧入れ目的と清酒の冷温貯蔵、火入れ冷却のために、3枚翼のペラ攪拌機(翼径:450 mm, 1.5 KW)を槽下部に配置した。大きな縦旋回渦流が発生するように攪拌軸を偏芯させて設置している。さらに、柔らかいもろみ攪拌を行なうために、槽底部中心にガス噴出ノズル(80A)1本を、周囲に複数個を配置した。ガスは槽上部に設置したノズルより、発酵ガスを回収、冷温凝縮後、圧搾し、ガストックタンクに溜め、無菌フィルターを経て、電磁弁の開閉で1本のノズルごとに5~10秒間隔で、2~5秒噴出、大気泡を発生させることができる。

3. 運転管理・制御システム

試験仕込として、パソコンと計測制御機器を接続して、当社開発のプロセス運転監視モニターパッケージソフト(PMX-98:プロセスモニタ)を用い自動運転監視を行った。プラントの電気計装全体系統図を第3図に示す。パ

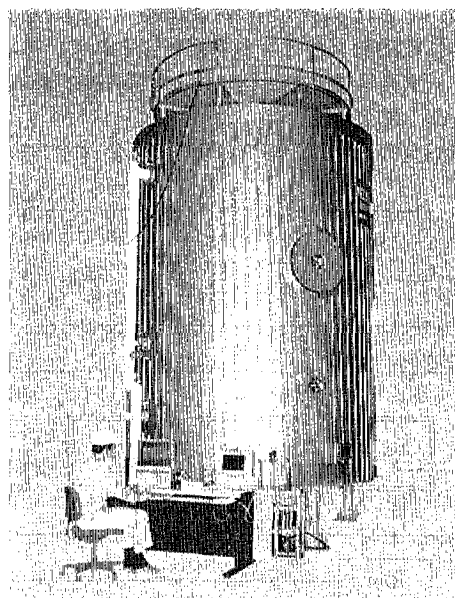
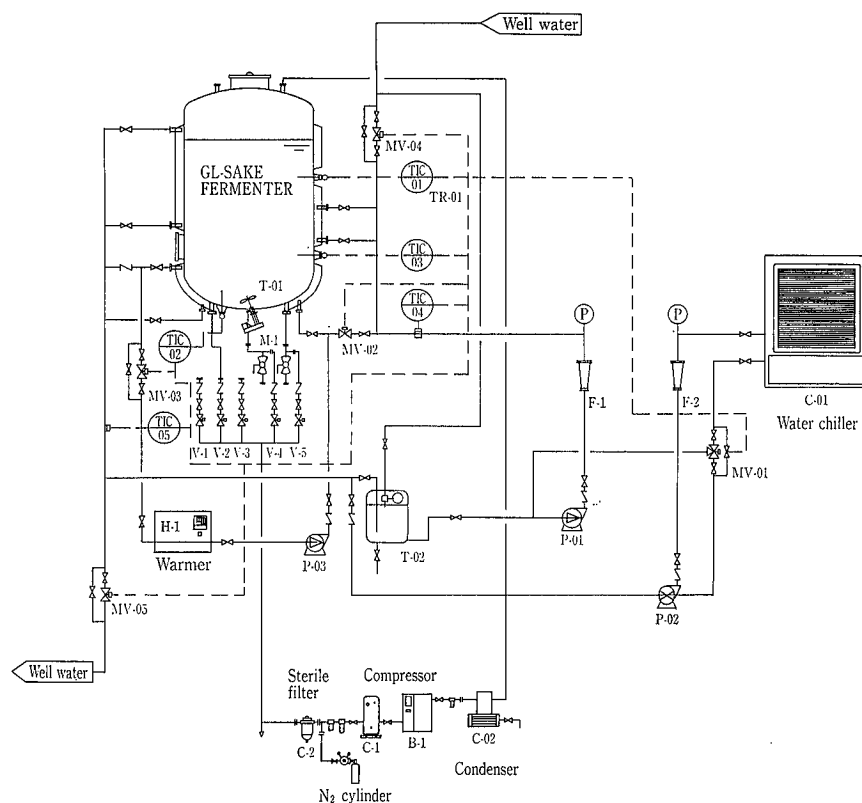
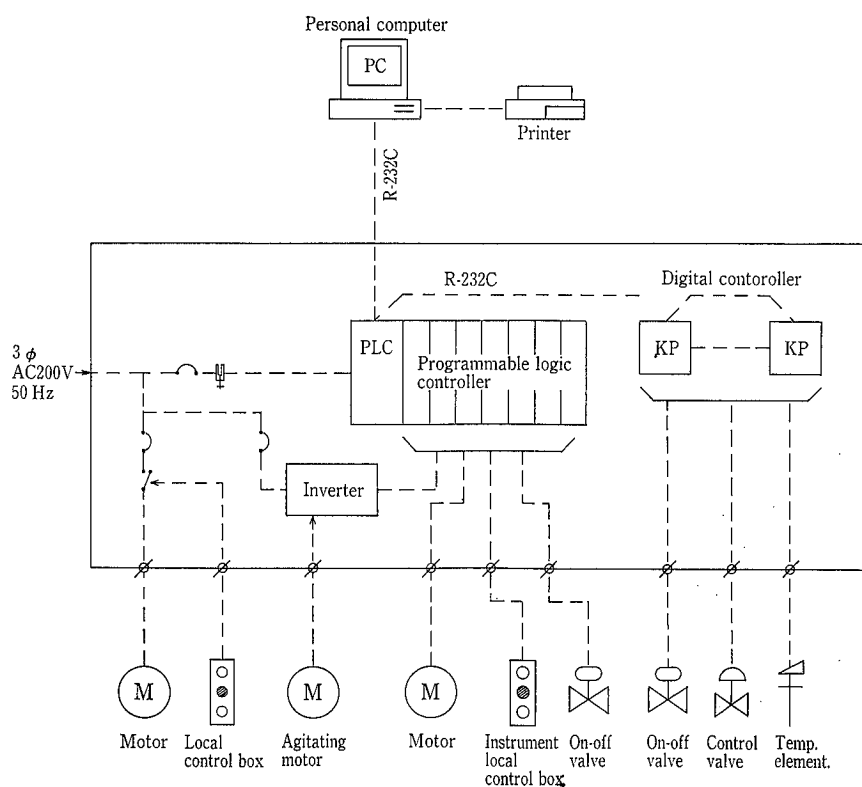


写真1 試験仕込に用いたGL清酒発酵槽

Photo. 1 The GL-sake fermenter for mash production test



第2図 GL清酒発酵槽プラントのフローシート
Fig. 2 Flow diagram of GL-sake fermenter plant



第3図 試験プラントの電気計装全体系統図
Fig. 3 Electric & instrumentation diagram of a test plant

コンは日本電気製 PC-9800 シリーズを用い、計測制御機器は PLC (Programable Logic Controller) と温度指示調節計から構成されている。計測制御機器との接続は、通信インターフェース (RS-232C)、I/O ボードを通してデータ伝送、制御指示が行える²⁾。

今回の試験仕込においては、品温制御を現場操作盤に設置した温度指示調節計で主に行い、手法を確立してから PLC 内に取り組んだ温度データにより計算機制御を行わせる。攪拌機はインバータを介して、回転数、操作時間を、ガス噴出電磁弁は操作時間を運転プログラムを有する PLC によって、上位パソコン、または、現場操作スイッチの指令で制御できる。糶入れパターンを杜氏の立ち合いのものに決定後、PLC 内にプログラムを組み込んだ。

試験仕込の結果

試験仕込として、それぞれの蔵で純米吟醸酒、吟醸酒、醸造酒を行った。ここでは、その一例の概要を紹介するとともに、品温管理操作、糶入れ操作の説明を行なう。

1 仕込配合とろもみ経過

精米歩合60%の多用途米を用い、総米5800 kg の純米酒（精米歩合からは吟醸酒に入る）吟醸酒の試験仕込を行った。仕込配合を第1表に、ろもみ品温経過の表示画面（データ収集後再構成したもの）を写真2に示した。

品温グラフには初期設定した品温パターン、測定品温（槽上、中、下平均値）、および、ジャケット内の循環冷却温度が表示される。各成分は手分析結果をキーボードより入力し、アルコール、ポーム、および、BMD 値（留後）日数にその日のポームを乗じた値）をグラフ化したもの

である。上槽後の検定値は、日本酒度+3.5、アルコール（日本清酒度）18.3%，酸度2.05、アミノ酸度1.70で、やや辛口のすっきりした、かつ、旨味のある純米酒ということであった。

4.2 品温管理操作

杜氏から示された設定品温をもとに、ろもみ測定品温（3点容量分割平均値）とジャケット入口、出口温度の経過を逐次読み取り、ろもみ品温（ T_M ）とジャケット平均水温（ T_J ）との温度差（ ΔT_m ）に対する伝熱応答速度をジャケット水温を種々変更して調査し、品温管理方を決定した。

(1) 応答特性

留後の発酵前期、中期、後期と発酵状態によって応答時間（品温降下応答速度）にある程度の幅がみられたが、 ΔT_m によって大きく変動し、特に急冷操作は過冷却状態を引き起こす（オーバーシュート）結果となった。ろもみ品温の上昇率、すなわち、発酵熱変化を予測して ΔT_m を設定することが重要となることを見いだした。発酵熱による一定期間（30分）の T_M の平均変化率を求め、変化率の大きさに対応させて ΔT_m 、すなわち、 T_J を制御した。ジャケットへの冷水供給量を冷水供給調節弁の開度によって制御し、品温（ T_M ）変化量に対応させた T_J となるようにジャケット入口温度を直接制御するカスケード制御を行なうこととした。

本制御方式では、 T_J は急激な温度変動がなく、ろもみの過冷却を引き起こすことはなくなり、仕込時を除いてその後の数回の発酵では、設定品温パターンに対してほぼ 1℃以内品温制御を行なうことができた。

第 1 表 試験仕込配合

Table 1 Proportion of raw materials for a test sake brewing

	Shubo	Soe	Naka	Tome	Total
Total rice (kg)	350	1 005	1 680	2 965	5 800
Rice for steaming (kg)	240	715	1 305	2 380	4 640
Rice for koji (kg)	110	290	375	385	1 160
Water (l)	620	1 100	2 100	4 010	7 840

A sake brewing was done using white rice of 50% polishing ratio.
Kyokai yeast No. 9 (K-9) was used.

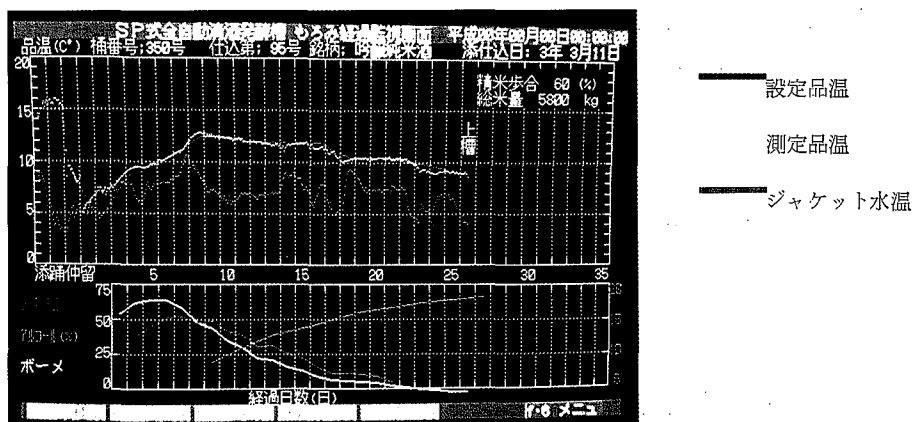


写真 2 品温経過表示画面の例

Photo. 2 An example display of mash temperatur progress

(2) 温度分布

発酵前期の固形物量が多い場合（「留」後2～4日）、槽中心、周囲、および、槽上下で最大2～3℃の差が生じる傾向にあった。なお、槽壁から200mm以上離れた位置ではもろみ品温はジャケット温度に影響されていなかった。また、槽上下温度差が生じた場合、下部ジャケットへの冷水供給制御、および、1分程度のガス攪拌によるもろみの上下流動を行なうことによって温度差を解消する効果が現われた。なお、「留」後のもろみ発酵期間に温水供給（設定品温より1℃以下となる場合に作動するように設定）を行なうことはなかった。

4.3 権入れ操作

GL清酒発酵槽は、ペラ攪拌、ガス攪拌、ペラ・ガス併用攪拌が選定できることから、それぞれ単独使用と併用使用を試み、もろみ状態の観察、酒質をもとに権入れパターンを検討し、権入れ方策を決定した。

(1) 仕込工程における権入れ

「添」、「仲」、「留」仕込の蒸米量が多い場合、ガス攪拌単独で仕込開始の均し権入れは可能であるが、物量が多くなると権入れは不十分であると判断された。ペラ攪拌単独では、仕込開始から連続回転すれば均し権入れは可能であるが、蒸米の破碎が一部発生する傾向にあった。ペラ攪拌を主体としたガス併用権入れを試み、ペラ攪拌5分、ガス攪拌1～2分、休止1～2分の繰り返し間欠運転を行なうことで、均し権入れを行なうことができた。権入れは仕込作業時間内のみとした。

(2) もろみ発酵工程権入れ

「留」後の荒権入れは、浮上膨潤米層が堅く形成される前にガス攪拌を間欠運転し、徐々に崩れて行くことで強いペラ攪拌による荒権入れや人手による棒権入れを行なうことなく、ガス抜きが行え、浮上米をもろみ液に浸漬させることができた。ガス権入れの間欠運転は6時間程度のインターバルで2～6分のガス噴出を行なうと、ガスの通気道に沿って発酵ガスが抜けることを確認した。

その後の権入れにおいて、1日1～2回のペラ攪拌単独、ガス攪拌単独を試みた。ペラ攪拌はもろみの微細化を促進させ過ぎる傾向にあった。1～2分のガス攪拌単独により、槽底部に堆積したもろみは連続上向流動を起し、槽全体に緩やかな権入れが行えた。もろみ発酵中はガス攪拌のみの権入れで運転することとした。

(3) 上槽工程

もろみを圧搾機に掛ける前に均一混合する必要があるこ

とから、上槽中のもろみの沈降堆積を避けるため5分運転、5～10分休止のペラ攪拌の間欠運転を行なった。また、上槽前の4段掛け（蒸米または蒸米を酵素等で糖化した後、もろみに投入する操作）やアル添操作を行なう場合にも同様の運転を行なった。

これら全ての権入れ操作は、スイッチ操作で単独運転、また、工程別運転が行える。

む す び

全国の醸造場2000余りの中でも、酒造専従者減少の労務対策とともにサバイバル指向で品質改良の研究や清酒製造に、酒造りのノウハウというべき杜氏の経験と勘をデータ化し、コンピュータ・システム制御を導入する試みが行われつつある。手造りを基本としてきた伝統技術である「匠」の酒造現場に自動化機械をどのように対応させ、技術の伝承、向上を図って行くかが清酒業界の一つの課題といえるであろう。エキスパート・システム、ファジィ理論などAI技術の導入もなされて行くと思われるが、酒造専従者のプライドを重視した、人間の手助けとなるシステム化が重要となると考えられる。

当社は、酒質に最も適したグラスライニング製の貯酒槽、火入れ冷却槽、調合タンク、手仕込の発酵槽などに多くの実績があり、ユーザ各位よりご愛顧をいただいている。

今回品温管理、権入れ操作の方策を杜氏の御指導の基に押し進め清酒発酵の自動化を試みたが、今後もこの経験を生かし、より技術アップし、より高度なエンジニアリングを提供して行きたいと考えている。

数回の仕込試験において、ペラ・ガス攪拌がもろみ発酵、酒質へ及ぼす影響は特に見いだされず、優れた品温管理により「小規模手仕込と遜色のない酒が醸せた」との杜氏のお言葉をいただいた。

最後に今回の試験仕込に多大なるご協力とご配慮をいただきました白瀧酒造株式会社殿、株式会社飯沼本家殿に深謝申し上げます。また、直接御指導下さいました白瀧酒造の高綱杜氏、飯沼本家の菅原杜氏に心より感謝申し上げますとともに、ご助言をいただきました関係各位の皆様にも厚く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 財団法人 日本醸造協会編：最新酒造講本，1986
- 2) 野口収次，平田逸郎：神鋼パンテック技報，Vol. 34 No. 1 (1990) p. 15

粒状活性炭吸着による浄水場の高度処理

Advanced Water Treatment with Granular Activated Carbon at A Purification Plant



環境装置部 計画第2課
石丸 豊
Yutaka Ishimaru

Water sources such as rivers and lakes have been contaminated as a result of recent urbanization and industrialization in the vicinity of water sources. To eliminate such a hazard, an advanced water treatment system using granular activated carbon was installed at the Rokuha Purification Plant in Kusatsu City, Shiga Prefecture. No complaints on seasonal surges of objectionable odor and taste have been reported since the start of the operation in May 1992.

まえがき

わが国の近代水道は、明治20年（1887年）の横浜市における創設から100余年を経て今や約94%の水道普及率に達し、国民生活に欠くことの出来ないものとなっている。

しかしながらその間の急激な都市化や工業化に伴い水道水源である湖沼や河川の汚染が進み、特に湖沼では富栄養化による異臭味被害や浄水障害が増加している。また微量化学物質による地下水汚染やゴルフ場の農薬による水道水源への混入等も、大きな社会問題となってきた。

このような背景ならびに、国民の生活様式の多様化、高度化が相まって「より安全でおいしい水」に象徴される高品質の水道水が要求されている。

当社は特に、水道の異臭味被害人口が一番多い琵琶湖・淀川水系に位置するため、早くから高度浄水処理技術の開発に努めてきた。

現在、水源や水質により種々のプロセス（生物、オゾン、活性炭処理）の実証レベルでの研究開発に取り組んでいるが、本報では滋賀県草津市ロクハ浄水場に納入した粒状活性炭吸着による高度浄水施設について報告する。

1. 高度浄水処理施設導入までの経緯

草津市の水道は、昭和39年（1964年）に計画人口4万人1日最大給水量8800 m³/日で創設され、その後の都市化の進展に対応し現在、第3次拡張事業の一部完成により給水能力は59350 m³/日となっている。浄水場としてはロクハ浄水場（給水量39600 m³/日）及び北山田浄水場（同19750 m³/日）の2浄水場があり、水源は琵琶湖（南湖）表流水である。この琵琶湖南湖では、昭和56年（1981年）以降毎年かび臭の発生があり、例年6～7月と8月あるいは9～10月の間の2度にわたっての発生が恒常化の傾向にある。

ロクハ浄水場では、かび臭発生時には粉末活性炭の注入（5～15 ppm 50% wet）で低減をはかっていたものの、着水井前の導水管内に注入しているため接触時間も充分でなくまた高濃度のかび臭発生時には、除去率の限界より完全とはいえず、住民よりの苦情対応に苦慮している現状であった。このため平成元年（1989年）9月、市議会でも高度浄水施設の調査設計費としての補正予算が認められ同10～

12月大手水処理プラントメーカー8社による「ロクハ浄水場高度浄水施設」設計コンペが実施された。

コンペの内容として、高度処理方式の選定にあたり、Ⅰ案は活性炭処理によるものとし、Ⅱ案は、その他の方式を提案するものであり、処理目的は異臭味の除去であった。よって当社はⅠ案として種々の検討の結果、粒状活性炭吸着（固定床）を提案し、Ⅱ案はTHM低減等を考慮しオゾン+活性炭処理を提案した。平成2年（1990年）2月草津市の審査により、建設費のみならず、既設浄水場内への建設工法の妥当性、維持管理、運転費等が総合的に評価された結果、当社が当選と決定した。その後「変更認可設計業務」引続き「実施設計業務」の委託を経て、平成3年（1991年）5月「ロクハ浄水場高度浄水施設整備工事」が平成4年（1992年）3月末の工期で建設発注がなされ、計画から設計・建設まで一貫して当社が担当した。

2. 活性炭処理の概要

2.1 活性炭¹⁾

活性炭とは、炭素を主成分とする多孔質体の総称で、気体や液体中の微細な不純物を吸着する性質を有しており、原料や賦活方法により次に示すように多くの種類がある。

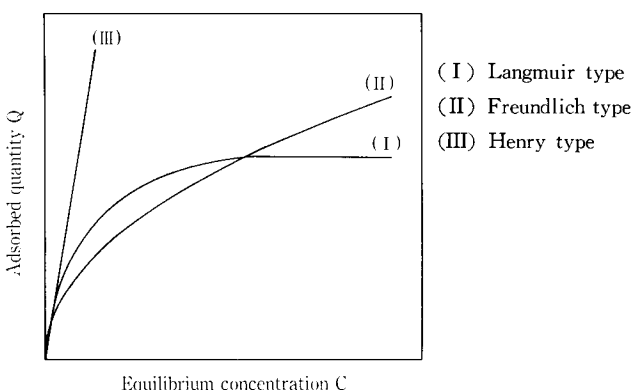
分類方法	種	類
原 料	木 質 系	やしがら、木材、おがくず等
	石 炭 系	泥炭、亜炭、褐炭、瀝青炭等
	そ の 他	石油ピッチ、合成樹脂、有機質廃物等
賦活方法	薬品賦活	塩化亜鉛、硫酸塩、リン酸等
	ガス賦活	水蒸気、炭酸ガス、空気等
	そ の 他	薬品と水蒸気の併用等
形 状	粉 末 炭	200メッシュ以下、薬品賦活、ガス賦活
	粒 状 炭	破碎炭、成形炭等、ガス賦活
用 途	気 相 用	溶剤回収、悪臭除去、クロマト剤等
	液 相 用	精糖、医薬、醸造、油脂、浄水等
	そ の 他	触媒、添加物等

2. 2 活性炭の吸着能力

水処理に用いる活性炭の吸着能力を判定する指標として、メチレンブルー脱色力や요소吸着量があるが、臭気などの微量成分に対しては吸着試験を実施し評価する場合が多い。

吸着試験としては、回分式試験及びカラム試験があり平衡吸着量と吸着速度を測定する目的で行う²⁾。平衡吸着量は吸着等温線、すなわち一定温度での液濃度Cとその濃度に対する最大の吸着量（平衡吸着量）Qとの関係で表わされる。吸着等温線にはいくつかの型があるが、代表的なものに、フロイントリッヒ (Freundlich) 型、ラングミュア (Langmuir) 型、ヘンリー (Henry) 型などがあげられ、とりわけフロイントリッヒの吸着等温式で整理できることが多い³⁾。(第1図)

フロイントリッヒ式は(1)式で表わされ、初めから実験式として提案され、種々の液相吸着の場合に広い範囲で適合することが多い。(1)式の両辺の対数をとると(2)式になりCとQとの関係を両対数で図示すれば直線関係が得られ、その勾配から1/nが、またC=1のときのQからkが求められる。



第1図 吸着等温線⁴⁾
Fig. 1 Adsorption isotherms

$$Q = k C^{1/n} \quad (1)$$

$$\log Q = (1/n) \log C + \log k \quad (2)$$

ここに Q: 活性炭単位質量当りの吸着量 (g/g-AC)
C: 活性炭吸着後の平衡濃度 (g/cm³)
k, n: 定数

フロイントリッヒ式において、1/n の値が0.1~0.5のときは低濃度でよく吸着され効果的であるが、1/n が2以上のときは使用活性炭量を増加しても被吸着物質濃度が低下するに従って吸着量が著しく低下するので効果的でない⁴⁾。

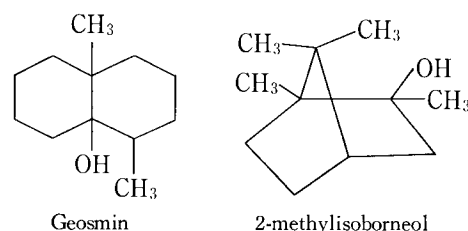
2. 3 活性炭による異臭味の除去

2. 3. 1 異臭味物質

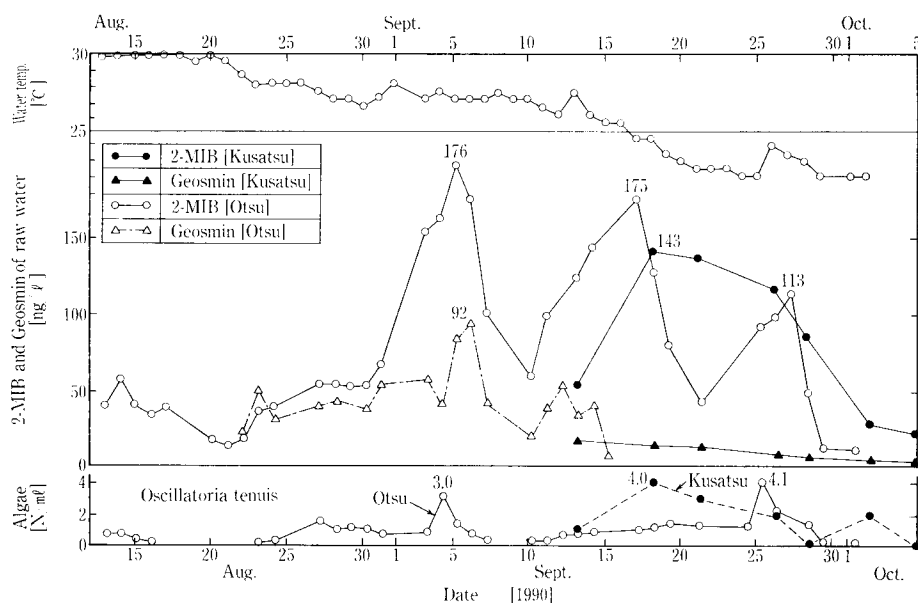
琵琶湖・淀川水系における異臭味問題の原因は主としてかび臭にある。このかび臭物質として、現在確認されているのは、2-メチルイソボルネオール（以下、2-MIB）とジェオスミンの2種類であり第2図にそれらの構造式を示す。

これらのかび臭物質は、琵琶湖南湖で発生する植物プランクトンの中でも藍藻類の *Phormidium tenue*, *Oscillatoria tenuis*, *Anabaena macrospora* が原因生物とされており、*P. tenue*と*O. tenuis* が2-MIBを、*A. macrospora* はジェオスミンを産出するとされている。また、これらかび臭の閾値は10 ng/l程度と非常に低く (ng/l = 10⁻⁹ g/l), 既存の浄水プロセス（凝集沈澱 + 砂汙過）では除去できず、新たに高度処理プロセスを付加する必要がある⁵⁾。

第3図は1990年夏～秋季における琵琶湖南湖より取水し



第2図 臭気物質構造式
Fig. 2 Structural formula of musty materials



第3図
原水のかび臭と生物の変化（大津市新瀬田浄水場、草津市ロクハ浄水場）⁶⁾
Fig. 3
Variation of 2-MIB, Geosmin and Algae (Shinseta plant of Otsu city and Rokuha plant of Kusatsu city)

ている大津市（膳所，新瀬田浄水場）及び草津市（ロクハ浄水場）の原水のかび臭の変化を示す。この期間におけるかび臭物質は主として2-MIBであり，その濃度の増減が *Oscillatoria tenuis* の個体数の増減とよく一致していることより同時期における原因生物は *O. tenuis* と思われる。

2. 3. 2 異臭味物質の除去

第4図に2-MIBとジェオスミンの吸着等温線を示す。図から2-MIB及びジェオスミンの平衡吸着量はフミン酸の共存により影響を受けることがわかる。よって実際の処理対象となる原水は同様に多成分系であり，種々の活性炭の吸着能の評価を行うには対象原水を用いた吸着試験が必要となる。

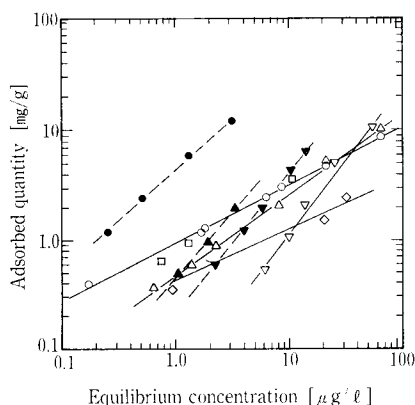
第5，6図は大阪市水道局のパイロットプラントによる2-MIB除去の結果である。フローは凝集沈澱—急速濾過—粒状活性炭（GAC）吸着で，前塩素処理した場合（有塩素系）と塩素処理しない場合（無塩素系）を示す。

有塩素系では2-MIBの除去率が通水日数により低下しているが，無塩素系では通水日数に関係なく，水温の高い時期に2-MIBの除去率も高いことからGAC層内における生物化学的酸化作用の影響を受けていると推定される⁸⁾。

2. 3. 3 処理フロー

処理フローの選択に際しては除去対象ならび

に原水性状を充分加味し決定されるが，ロクハ浄水場における除去対象はかび臭を主とした異臭味であり，同一水源より取水している大津市新瀬田浄水場が粒状活性炭による処理で効果を上げていることから第7図に示す処理フローとし，異臭味の発生時に弁を切換え，現行浄水プロセスに活性炭処理が付加できるものとした。またロクハ浄水場は，公道を隔てて旧館（東側，浄水量11 300 m³/日），新館（西側，同28 300 m³/日）の2カ所の浄水施設で構成されるため，各々に活性炭吸着設備を配置した。

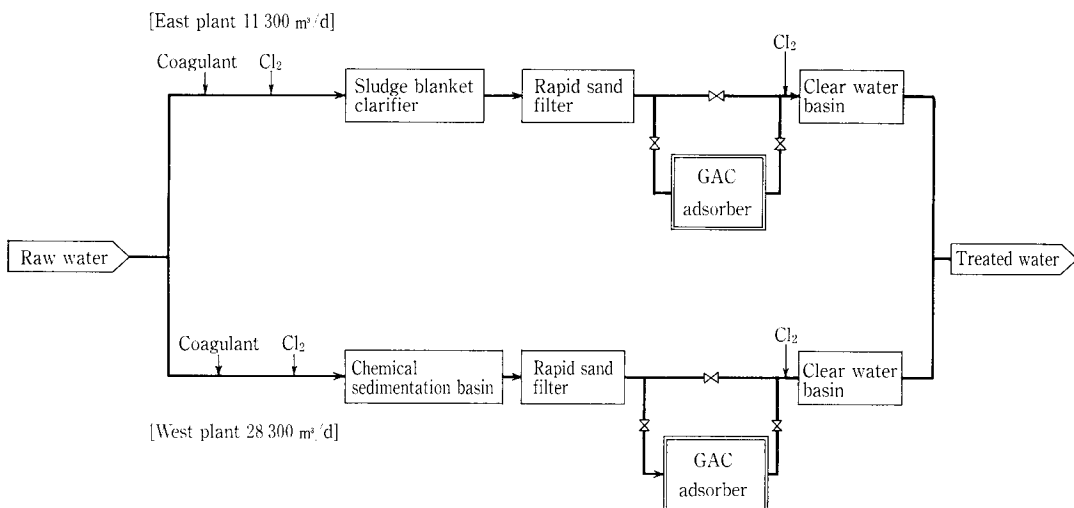
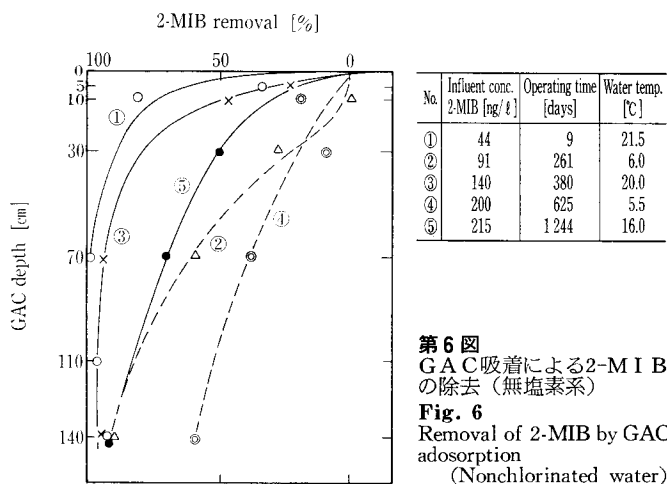
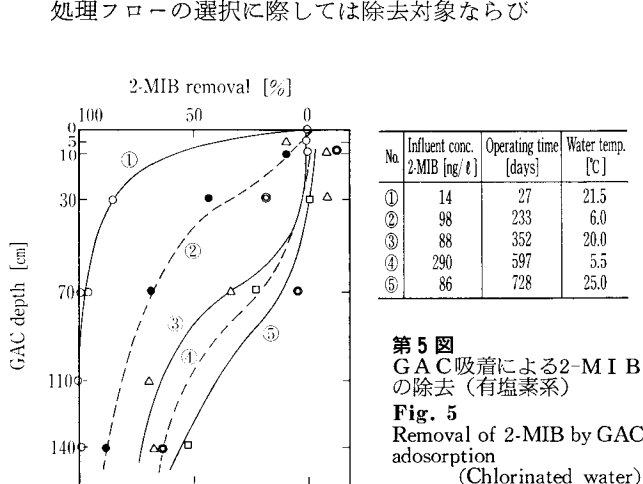


2-MIB	○	DI-Dist. pH 5.5
	□	DI-Dist. pH 8.5
	△	100 mg/l Humic acid
	▽	10 mg/l Humic acid
	◇	Well water
Geosmin	●	DI-Dist. pH 5.5
	▲	10 mg/l Humic acid
	▼	40 mg/l Humic acid

GAC: CALGON F200
DI: Deionized
Dist.: Distilled

第4図 2-MIBとジェオスミンの吸着平衡⁷⁾

Fig. 4 Adsorption of 2-MIB and Geosmin



第7図 ロクハ浄水場浄水プロセス
Fig. 7 Water treatment process of Rokuha plant

2. 3. 4 活性炭の選定

活性炭（粒状）の選定にあたっては、石炭系及びヤシガラ系の市販の粒状活性炭で等温吸着平衡試験ならびに高速カラムテストを実施し比較した。指標は KMnO_4 消費量とし原水を用いた。その結果、飽和吸着量及び50%破過時間とも石炭系がヤシガラ系を上まわった。よって活性炭は石炭系を選定した。また臭気制御目標値までの破過日数を実績より150日と設定し、再生は年1回を基本に活性炭容量を計画した。

3. 活性炭吸着設備の概要

3. 1 設備仕様

3. 1. 1 設計条件

処理水量（旧館）11 300 $\text{m}^3/\text{日}$
（新館）28 300 $\text{m}^3/\text{日}$

処理方式 粒状活性炭吸着、下向流固定層式

その他の諸元は、水道施設設計指針・解説（日本水道協会）、高度浄水施設技術資料（同）の基準に準拠したものとする。

3. 1. 2 活性炭吸着設備（第8図、写真1，2）

1) 構造

形式：鉄筋コンクリート造
自然平衡形全自動サイフォン式

線速度(LV)：300 $\text{m}/\text{日}$ (12.5 m/h)

空間速度(SV)：6.25 l/h

層高：2.0 m

池数：（旧館）2池
（新館）4池

吸着面積：（旧館）19.04 $\text{m}^2/\text{池}$
（新館）23.78 $\text{m}^2/\text{池}$

洗浄方法：表洗—表逆洗—逆洗—捨水

2) 粒状活性炭

種類：石炭系（瀝青炭）

粒度分布：1.68 mm 以上5%以下，0.42 mm 以下4%以下

平均粒径：0.9~1.1 mm

均等係数：1.5~1.9

硬度：90%以上

よう素吸着量：1 050 mg/g 以上

比表面積：1 050~1 250 m^2/g (N_2 , BET 法)

充填密度：450 kg/m^3

乾燥減量：2%以下

その他：pH調整(8.6以下)，洗浄処理

3) 下部集水装置

形式：A/W式レオポルドブロック(有孔ブロック)

材質：硬質ポリエチレン

支持床：河過砂利 2~20 mm ，厚さ 200 mm (4層)

4) 排水トラフ

形式：U字型トラフ

材質：FRP

5) 表洗装置

形式：固定式表洗装置

材質：SUS304

6) サイフォン管装置

種類：流入，吸着，逆洗サイフォン

材質：SUS304

7) 揚水ポンプ

形式：水中斜流ポンプ

容量：（旧館）3.3 $\text{m}^3/\text{min} \times 10 \text{ m} \times 11 \text{ kW}$
（新館）8.3 $\text{m}^3/\text{min} \times 10 \text{ m} \times 22 \text{ kW}$

台数：各3台

8) 表洗ポンプ

形式：水中渦巻ポンプ

容量：（旧館）1.9 $\text{m}^3/\text{min} \times 15 \text{ m} \times 11 \text{ kW}$
（新館）2.4 $\text{m}^3/\text{min} \times 15 \text{ m} \times 11 \text{ kW}$

台数：各2台（内1台予備）

9) 真空ポンプ

形式：水封式

容量：（旧館）max 0.65 $\text{m}^3/\text{min} \times 700 \text{ mmHg} \times 1.5 \text{ kW}$
（新館）max 1.0 $\text{m}^3/\text{min} \times 700 \text{ mmHg} \times 2.2 \text{ kW}$

台数：各2台（内1台予備）

10) 空気圧縮機

形式：圧力開閉器式オイルフリー

容量：（旧館）45 $\text{l}/\text{min} \times 7 \text{ kgf}/\text{cm}^2\text{G} \times 0.4 \text{ kW}$
（新館）75 $\text{l}/\text{min} \times 7 \text{ kgf}/\text{cm}^2\text{G} \times 0.75 \text{ kW}$

台数：各2台（内1台予備）

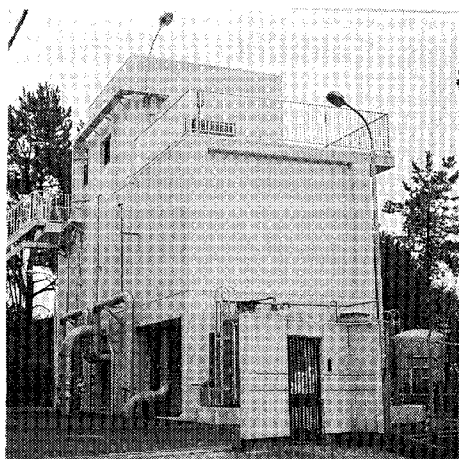


写真1 活性炭吸着設備（旧館）

Photo. 1 GAC adsorber (East plant)

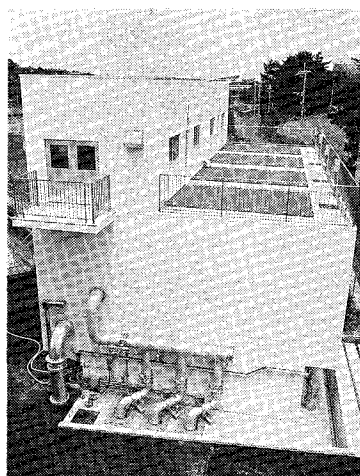
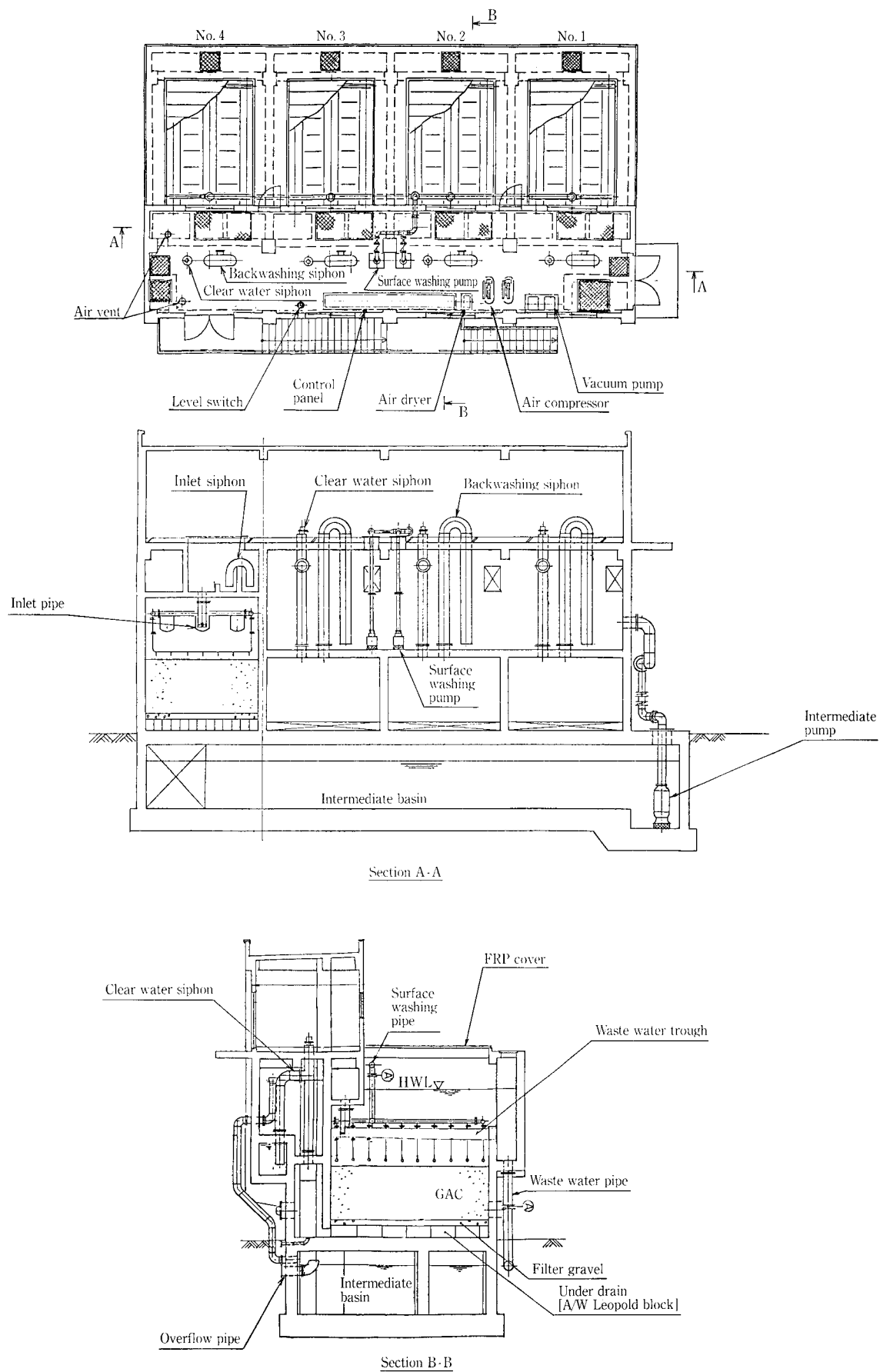


写真2 活性炭吸着設備（新館）

Photo. 2 GAC adsorber (West plant)



第8図 活性炭吸着設備（新館）
Fig. 8 Schematic drawing of GAC adsorber (West plant)

第 1 表 GACによるかび臭の除去結果 (1992年)

Table 1 Removal of earthy-musty taste and odor by GAC (1992)

Date	2-MIB ng/ℓ [ppt]						Geosmin ng/ℓ [ppt]					
	East plant			West plant			East plant			West plant		
	Influent	Sand filter effluent	GAC effluent	Influent	Sand filter effluent	GAC effluent	Influent	Sand filter effluent	GAC effluent	Influent	Sand filter effluent	GAC effluent
'92 6/23	25	20	<5	20	16	<5	7	6	<5	7	12	<5
6/30	59	55	<5	63	61	<5	7	7	<5	8	14	<5
7/ 7	20	16	<5	11	10	<5	6	7	<5	6	13	<5
7/15	8	6	<5	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	13	<5
7/21	10	9	<5	10	9	<5	<5	6	<5	6	12	<5
7/28	12	12	<5	16	13	<5	<5	<5	<5	<5	6	<5
8/ 4	190	140	<5	400	170	<5	6	<5	<5	<5	11	<5
8/11	93	78	<5	180	110	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
8/18	130	110	<5	190	130	<5	5	8	<5	7	5	<5
8/25	33	31	<5	42	40	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
9/ 1	20	15	<5	24	24	<5	<5	7	<5	9	<5	<5
9/ 8	17	17	<5	22	19	<5	9	8	<5	9	5	<5
9/14	23	19	<5	26	20	<5	6	7	<5	6	<5	<5
9/22	28	25	<5	33	28	<5	6	8	<5	6	8	<5
9/29	41	39	<5	52	40	<5	11	12	<5	11	10	<5
10/ 6	41	37	<5	56	48	<5	10	9	<5	11	14	<5
10/13	26	25	<5	24	23	<5	<5	9	<5	6	7	<5
10/20	30	29	<5	26	19	<5	<5	6	<5	<5	5	<5
10/27	18	19	<5	20	14	<5	7	9	<5	<5	<5	<5
11/ 2	11	10	<5	11	10	<5	<5	5	<5	<5	6	<5
Max.	190	140	<5	400	170	7	11	12	<5	11	14	<5
Min.	8	6	<5	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ave.	42	36	<5	62	40	<5	4	6	<5	5	7	<5

11) 空気除湿器

形 式 : 冷凍式

容 量 : max 330 ℓ/min, 露点圧力下 5 ~ 15 °C

台 数 : 旧・新館各 1 台

3. 2 設備の特長

本吸着池の構造は、急速汚過池として実績の多い当社の開放型サイフォン・フィルターが基本となっているが、活性炭吸着池用として新しい機構を加えたものである。このたびのロクハ浄水場における設備の建設条件としては、既設の運転に支障を与えることなく浄水プロセスに組み込む必要があった。すなわち設置位置（場所、面積、水位高低等）に制約を受けるため設備寸法は極小を要求される。反面、活性炭の洗浄時間は10~20分と砂汚過池より長く、逆洗水貯槽保有形の汚過池であればより大きな容量を要することとなる。この問題を解消すべく本吸着池は、

(1) 地下に急速汚過池の汚過水を受ける中間水槽を設け階層構造にしたこと。

(2) 中間水槽からの汚過水は逆洗水貯槽に揚水し、各吸着池への流入は、この逆洗水貯槽より流入サイフォンを介して行う流入機構としたことが特長である。

次に本設備の特長をまとめると、

1) 設置面積が極めて少ない

・前述(1), (2)の機構及び開放型サイフォン・フィルターが有する合理的な構造のため設置面積が、ポンプ・配管等の補機類も含めて極めて少なく現有敷地内での建設が容易となった。

2) 洗浄効果が高い

・通常運転中は、前述(2)の機構により洗浄時間に制限がなく適切な設定が可能となる。

・洗浄水には砂汚過水（有塩素水）を使用できるため、支持床等での微生物繁殖が防止できる。

3) 省エネルギーである。

・揚水ポンプの運転は中間水槽への流入流量により台数制御を行っている。

・大容量の逆洗ポンプや補給水ポンプが不要である。

4) 運転管理が容易

・吸着池が各池独立しているため処理水量に合せた池数の運転が行える。

・処理水の流出水位は活性炭層より高いため、損失水頭が上昇しても負圧が発生しないため安定した処理が出来る。

・流出水位が一定の自然平衡形であるため水量をコントロールする制御機器が不要である。

4. 運転状況

'92年4月に延9日間の試運転を経て処理水質の確認後、異臭味発生に備えて5月15日より供用を開始し、同年11月異臭味の終息に合せて休止するまで約6カ月間運転が行われた。その間の草津市水道部によるかび臭物質の定量分析結果を第1表に示す。運転初期の6月には例年通り砂汚過処理水は閾値を越えるかび臭物質濃度となっているが、GAC処理水は2-MIB、ジェオスミン共、定量限界の5 ng/ℓ以下となっている。また運転期間を通して2-MIBの最高値は新館の8月4日のデータで原水が400 ng/ℓ、砂汚過処理水で170 ng/ℓを記録したが、GAC処理水は5 ng/ℓ以下であり、異臭味による市民の苦情発生はなかった。表中のデータで、旧館(East plant)、新館(West plant)の原水のかび臭物質濃度が異なるのは、旧館は琵琶湖より取水した原水をいったん、ロクハ貯水池（有効容量約10万

m³)に導水し、その貯水池より取水しているため直接琵琶湖原水を着水井に受けいれている新館と差異が出たものと思われる。

GAC 1 m³当りの通水量は旧館で19 900 m³/m³-GAC、新館で 21 200 m³/m³-GAC となり試運転期間も勘案すれば当初活性炭ライフ計算の基準とした23 000 m³/m³-GACは達成すると思われる。

5. 今後の課題

現在、異臭味除去を目的としてロクハ浄水場の高度浄水処理施設(活性炭吸着設備)が稼動しているが、将来において原水水质がより悪化した場合、オゾン処理の付加も考慮しなければならない。この点について当社も設計コンペの際にⅡ案として提案しているが、最適プロセスは原水水质の把握が必要である。よって今後の推移に注視したい。

維持管理面において活性炭吸着設備は再生が必ず伴うが、下部集水装置が有孔ブロックの場合、支持床として砂利を使用している。このため活性炭の拔出に際して砂利の混入は再生炉への障害となるため注意を要する。

また支持床が不要のストレーナ方式の集水装置もあるが、作業の際に破損の恐れがある。この問題点を改善し、かつ優れた均等集配水の機能をもつ装置の開発が望まれているが、最近当社の技術提携先である米国の F. B レオポルド社が開発した新しい集水装置の情報が入ったので紹介する。この集水装置は写真3に示すように、従来からの優れた集配水装置である A/W 式レオポルドブロックの上に樹脂粒を焼結した多孔板を取付けたものであり、支持砂利層が不要であり活性炭吸着設備には適したものとなる。今後の新設される設備はもちろんのこと既存の設備にも適合できるよう早急に実用化をはかる予定である。

むすび

以上、草津市ロクハ浄水場における高度浄水処理施設に関する紹介をしたが、本施設は'92年3月完成し、5月より琵琶湖の異臭味発生に備えて通水を開始し今年度は異臭味による住民被害も解消し、その目的を充分達成した。

厚生省も21世紀に向けた水道整備の長期目標の「ふれっしゅ水道10カ年計画」を策定し将来に向けた高水準の水道の構築を目指している。このような状況のなか当社の高度

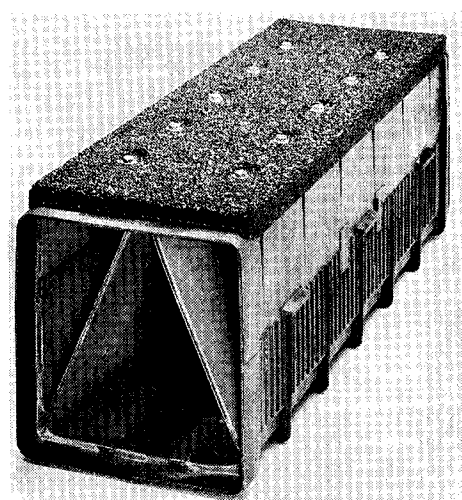


写真3 レオポルドIMS型集水装置

Photo. 3 Leopold IMSTM cap underdrain

浄水処理技術を社会に役立てるとともに、「ふれっしゅ水道」に貢献できる技術開発をさらに進めていく考えである。

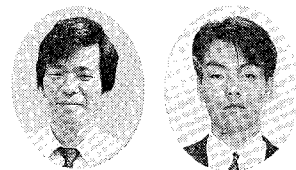
最後に、本施設の計画、建設、運転に当たり多大なるご指導、ご協力いただいた草津市水道部の方々に深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 浦野紘平：“活性炭を用いた水処理技術の現状と課題”，工業用水，第232号，1978，p. 33
- 2) 丹保憲仁ら：“浄水の技術”，技報堂，(1985)，p. 308-309
- 3) 井出哲夫ら：“水処理工学”，技報堂，(1976)，p. 413
- 4) 日本水道協会：“高度浄水施設技術資料(活性炭処理施設)”(1988)，p. 9-10
- 5) 西尾弘伸：神鋼パステック技報，Vol. 35 No. 3 (1991)，p. 38
- 6) 草津市：ロクハ浄水場原水水质状況(変更認可申請資料)，(1990)，p. 5
- 7) Herzing, D. R. et al: “Activated Carbon Adsorption of Odorous Compounds 2-Methylisoborneol and Geosmin.”, Jour. AWWA, 69(1977), p. 223
- 8) 藤原啓助ら：水道協会雑誌，第633号，(1987)，p. 16-17

膜分離プロセスの高度浄水処理への適用

The Application of Membrane Technology to an Advanced Drinking Water Treatment Process



(環)技術部 製品開発課
西尾 弘 伸
Hironobu Nishio
水澤 秀 樹
Hideki Mizusawa

The recent eutrophication of lakes have caused an increasing growth of algae. The conventional sand filtration and advanced water treatment processes can hardly prevent the algae break through. Experiments using a membrane processes were conducted at a demonstration plant in comparison with sand filtration. The results showed the superiority of the membrane process in algae removal but showed nearly the same performance in the removal of heavy metals (Fe and Mn).

まえがき

現在の浄水プロセスは、凝集沈澱、砂ろ過といった処理技術が中心である。このシステムは、大量処理に適し、多種類の不純物質の除去に有効であること、また、衛生面で安全である等の利点を持っている。しかし、水道水源の悪化による濁質等の変化により、異臭味の改善やトリハロメタン等の有機物質の除去が問題となり、オゾン酸化処理及び活性炭吸着処理等を付加した高度浄水処理プロセスが、導入されつつある。

現在、水道法に定める水道事業体は、約12 000以上存在し、その大部分は小規模水道である。この小規模水道は、国の労働人口構成の変化と共に技術者の確保が困難になるものと考えられている。また、浄水施設の大半が更新期を迎え、さらに浄水施設の省力化、省スペース化が求められている。そこで、これらのことに対処するため水道の基本的な浄水処理である固液分離プロセスに膜分離技術の導入が検討されるようになった¹⁾。この膜利用型新浄水システムは、'91年度から、厚生省、国立公衆衛生院、大学、及び水道浄水プロセス協会において官学民一体の共同研究が始まっている。(MAC21計画: Membrane Aqua Cen-

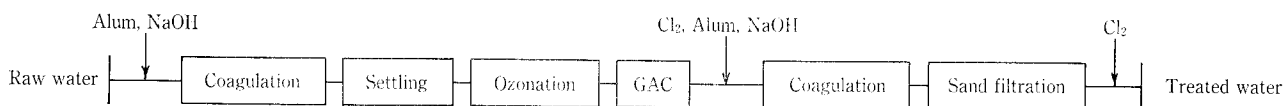
tury 21 Project) 当社においてもこの研究に参画し、現在、膜利用型浄水プロセスの実証実験を行っている。

本報では高度浄水プロセスにおいて、砂ろ過での除去が難しい藻類の除去を目的として行っている膜分離プロセスの適用実験の概要を報告する。(なお、実験装置は阪神水道企業団高度浄水処理実証プラント(第1図)²⁾内に設置)

1. 浄水の膜処理技術について

海水淡水化向けに開発された逆浸透法(RO)^{注1}に代表される膜分離技術は、近年膜の開発が進み、超純水製造技術をはじめ、中水道設備・し尿処理設備等高濃度の汚染物質を含む排水処理へその用途開発が図られてきた。これは、膜の開発が速まり、その種類がROにとどまらず、限外ろ過膜(UF)^{注2}、精密ろ過膜(MF)^{注3}に及んだことが挙げられる。

従来の浄水プロセスは、大きく分けて凝集沈澱、砂ろ過であるが、これを膜分離単一操作で処理すると省スペースと省力化が可能となる。しかし、水道原水は、河川水または湖沼水であり、濁度が数 mg/l から数百 mg/l に変化するため、膜処理装置は閉塞しにくい構造とする必要がある³⁾。



第1図 高度浄水処理基本フロー

Fig. 1 Flow diagram of advanced water treatment system

注1) 逆浸透 (Reverse Osmosis: RO) ……逆浸透は、溶質を阻止する非対象構造膜や複合膜を用いて、処理対象原水にその浸透圧以上の圧力 (10~60 kg/cm² 程度) をかけ、水と溶質を分離する。

注2) 限外ろ過 (Ultrafiltration: UF) ……限外ろ過膜は、10~300 Å 程度の孔径を有し、膜の孔径と溶質の分子の大きさによって分子レベルでふるい分け、溶質の分離、分画、濃縮、精製を行う。細菌やウイルスのような溶解性物質が除去出来る。

注3) 精密ろ過 (Microfiltration: MF) ……精密ろ過膜は、粒径が数100 µm から0.01 µm 程度までの液体中に含まれる懸濁質、コロイド粒子を分離除去する。⁴⁾ 参考文献4) はこの欄を示しています。



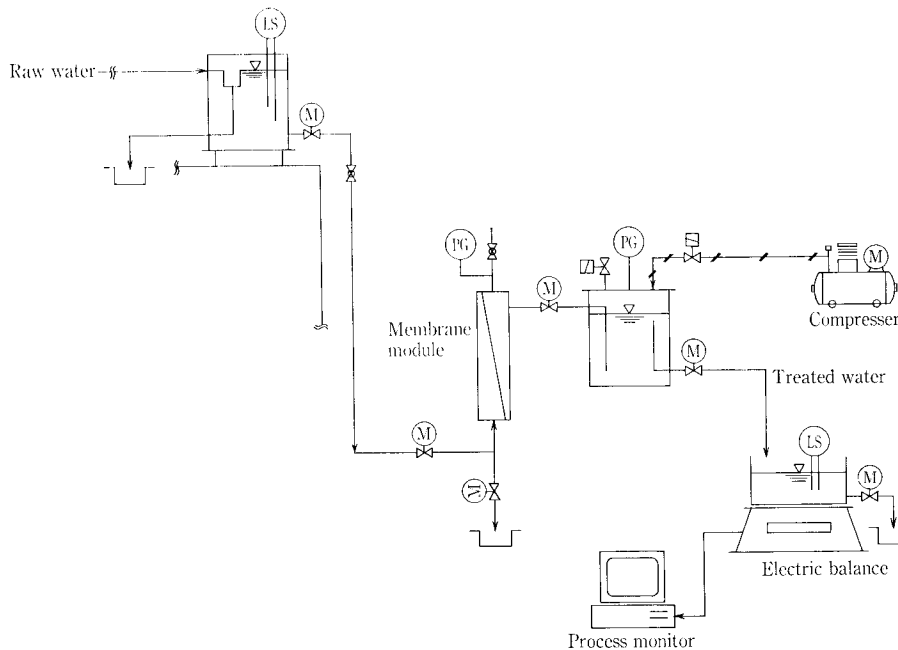
写真 1 ミクロキスティス（藍藻類）×700
（写真提供：阪神水道企業団）
Photo. 1 Microcystis ×700

第 1 表 膜モジュールの仕様
Table 1 Membrane module specification

Membrane type	Multi-lumen (Internal pressure type) (Ceramic)
Membrane square area	0.1 m ²
Housing	φ38 mm × 491 mm ^L
Diameter of membrane element	φ4 mm × 19 pieces
Membrane element length	425 mm
Pore size	0.1 μm

第 2 表 実験条件
Table 2 Operating parameters

Parameters	
Filtration style	Dead end filtration
Operating pressure	29.4 kPa
Back wash pressure	490.3 kPa
Back wash time	120 sec
Back wash interval	0.5 hr



第 2 図
実験フロー
Fig. 2
Scheme of the experimental
equipments

2. 膜処理実験について

阪神水道企業団は、水源を淀川としている。この淀川は、流量の 7 割を琵琶湖に依存しているが、近年、琵琶湖の富栄養化が進行し藻類の増殖が多くなった。この藻類の中でも *Microcystis*（写真 1）は、汙過障害（汙過池からのブレイクスルー）を起こすことがあり、現在の浄水プロセス及び高度浄水プロセスでは、除去が困難であると思われる。そこで、高度浄水プロセスの砂汙過に代わり、藻類の細胞径より小さい孔径である膜（MF）による分離処理を行い、膜は、細孔分布の特性、耐薬品性等からセラミック膜を採用した。

既存の浄水プロセスは、自然流下（ポンプを介さず、高低差を利用する）で浄水処理されることが多い。従って実験装置の操作圧力は、既存浄水施設に適用可能な水頭差（29.4 kPa）とした。

2. 1 実験装置

第 2 図に実験フローを示し、第 1 表に膜モジュールの仕様を、第 2 表に運転条件を示す。実験に供した水（以下原水と略す）は、第 1 図に示した実証プラントの 2 度目の凝集を行った中間塩素処理水である。通水方式は全量汙過方式とし、操作圧力は、ヘッドタンクの水頭差を利用し 29.4 kPa で一定とした。膜分離を継続するにつれて膜の目詰まりが生じるため、一定の間隔で圧力透過水による逆洗を行った。

2. 2 測定項目及び測定方法

フラックスは単位膜面積、単位時間当たりの処理量であり、電子天秤を用いて当社のプロセスモニタ（PMX-98）による連続自動測定とした。生物数、トリハロメタン、全有機ハロゲン化合物、全有機炭素、鉄、マンガンは、全水試験方法に準拠した。

第3表 各処理水の生物数（データ提供：阪神水道企業団）
Table 3 Algae of treated water

Date		'91 7/24	8/21	9/19	10/17	11/11	12/19	'92 1/23	2/13	3/25	Average
The total of algae (n/ℓ)	Raw water	9 360	41 380	13 660	8 380	8 580	14 100	10 060	6 620	10 560	13 633
	Membrane-filtration treated water	0	3	8	6	4	7	4	0	2	4
	Sand filtration treated water							10	32	23	22

2.3 実験結果

2.3.1 フラックスについて

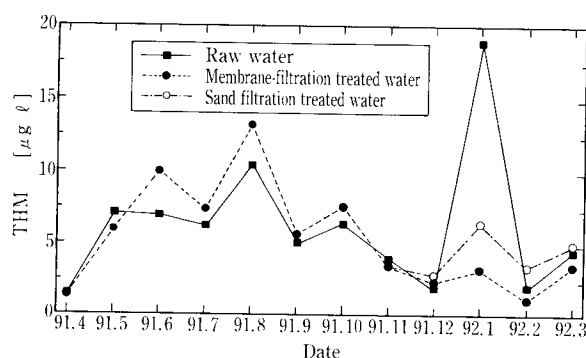
フラックスの経日変化を第3図に示す。通水当初は、逆洗頻度を1回/2hとしたが、フラックスの低下を防ぐため、7月から逆洗頻度を1回/0.5hとした。5月から10月の平均フラックスは60.4 ℓ/m²/hである。

通水開始より6カ月が経過し、フラックスの回復を確認するため膜モジュールの薬液洗浄を行った。薬液洗浄後のフラックスは、132.1 ℓ/m²/hであり、通水初期のフラックスまで回復した。11月から1月では、水温が低下するにつれてフラックスも低下し、平均フラックスは49.7 ℓ/m²/hであった。

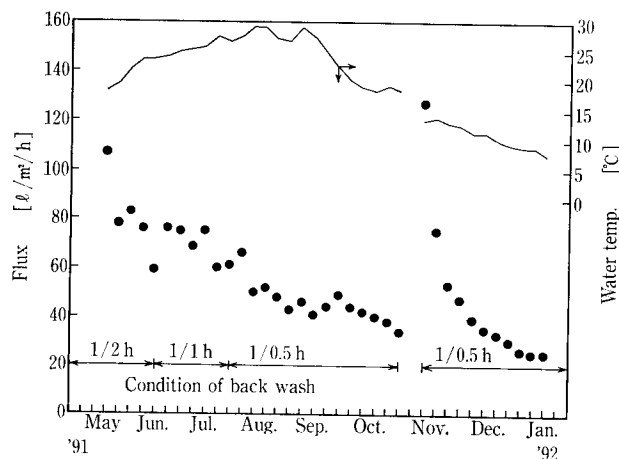
本装置を砂ろ過池の代替施設とするためには、より大きなフラックスが必要となる。砂ろ過池と同等の敷地面積となるフラックスは、膜面積0.2 m²の膜モジュールを使用した場合、110 ℓ/m²/hである。操作圧力29.4 kPaの時、平均フラックスは60.7 ℓ/m²/hとなっており、フラックスの向上を図る必要がある。現在、操作圧力の変更（49～196 kPa）、実験装置原水の凝集剤注入量の変更、攪拌強度の変更等を実施し、より大きなフラックスを得ることを目的とし、実験を行っている。

2.3.2 生物総数（藻類）について

原水と各処理水の測定結果を第3表に示す。生物総数約13 000（ヶ/ℓ）の原水に対して、膜処理水はほぼ100%の除去率が得られた。



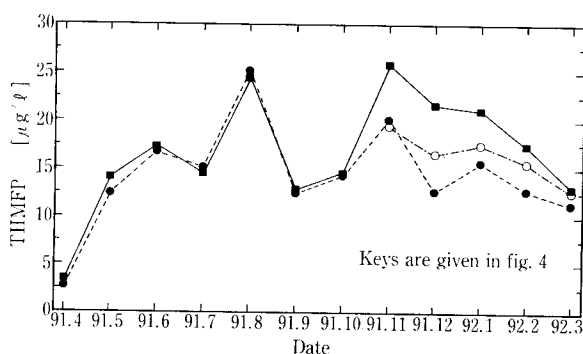
第4図 THMの経日変化（データ提供：阪神水道企業団）
Fig. 4 THM concentrations



第3図 Fluxの経日変化
Fig. 3 Changes in the flux

2.3.3 トリハロメタン、トリハロメタン生成能^{注4}について

トリハロメタン（以下THMと略す）の経日変化を第4図に、トリハロメタン生成能（以下THMFPと略す）の経日変化を第5図に示す。原水中に存在する溶解性のTHM、THMFPは、除去することが出来ない。また、原水を塩素処理しているため、原水中に生成されているTHMの割合が高いと思われる。各処理水のTHMFPの平均除去率を比較すると、膜処理水12.8%、砂ろ過水10.4%となっている。

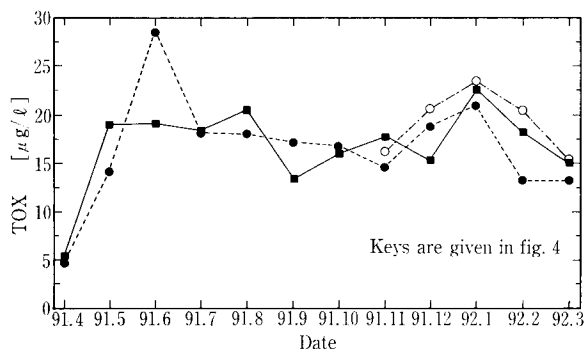


第5図 THMFPの経日変化（データ提供：阪神水道企業団）
Fig. 5 THMFP concentrations

注4) THM : 微量有機塩素化合物であるTHMは、塩素消毒と浄水処理で除去対象となる色度成分の組み合わせにより発現する。日本では、THMの制御目標値として年間平均値0.10 mg/ℓとしている。

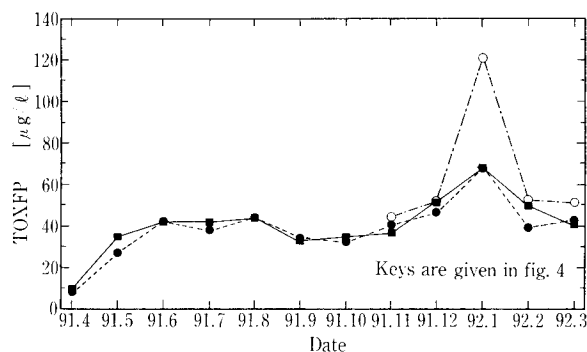
THMFP : 塩素と反応し、THMとなりうる物質を表す1つの指標である。

注5) TOX, TOXFP : THMだけでなく、大分子量の有機塩素化合物を含めた有機ハロゲン化合物の総量をハロゲン量として表している。TOXFPは、TOXとなりうる物質の量である。



第6図 TOXの経日変化

Fig. 6 TOX concentrations



第7図 TOXFP の経日変化

Fig. 7 TOXFP concentrations

2.3.4 全有機ハロゲン化合物, 全有機ハロゲン生成能^{注5}について

全有機ハロゲン化合物 (以下TOXと略す) の経日変化を第6図に, 全有機ハロゲン生成能 (以下TOXFPと略す) の経日変化を第7図に示す。THMFと同様に, SS性のものは除去されるが, 本実験では, TOXFPの原水の平均値 40.6 μg/ℓ に対して膜処理水 39.3 μg/ℓ, 砂濾過水 50.7 μg/ℓ となっており膜処理水, 砂濾過水共に除去が認められなかった。

2.3.5 全有機炭素について

全有機炭素 (以下TOCと略す) の経日変化を第8図に示す。各処理水について除去率を比較すると, 膜処理水の除去率 22%, 砂濾過水の除去率が 20%であり, 膜処理水は砂濾過水と同等の除去率が得られた。

2.3.6 鉄, マンガンについて

鉄の経日変化を第9図に, マンガンの経日変化を第10図に示す。原水の鉄, マンガンは, それぞれ 0.02 mg/ℓ (平均値) である。膜処理水は 0.01 mg/ℓ 以下となっており, 砂濾過と同等の処理性が得られた。

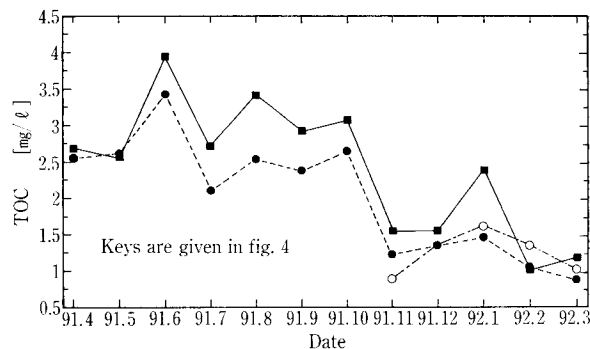
2.3.7 薬液洗浄について

膜モジュールの薬液洗浄について述べる。使用薬液は, 硝酸溶液 (2%) とし, 膜モジュールを硝酸溶液に48時間浸漬した後, 膜処理水に24時間浸漬した。

その結果, 洗浄排液中に鉄 (2.8 mg) 及びマンガン (6.5 mg) が検出された。この鉄, マンガンの微細な酸化物が膜細孔に付着し, 目詰まりの原因になっていることが考察される。

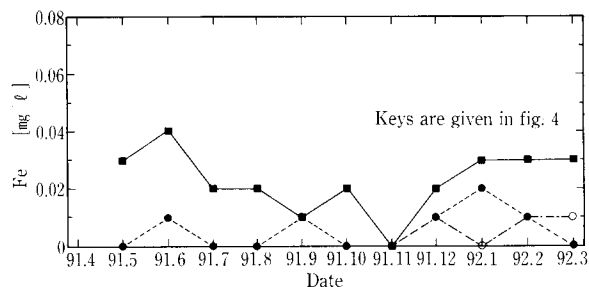
2.4 まとめ

- (1) 藻類の除去は膜孔径 0.1 μm のセラミック膜によりほぼ100%除去できた。



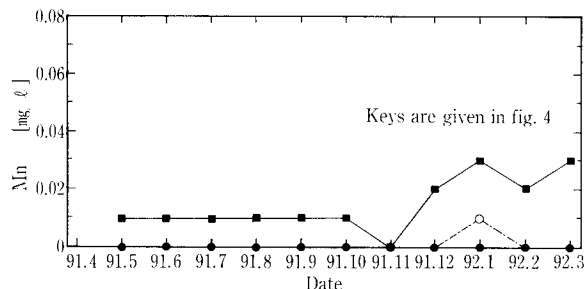
第8図 TOCの経日変化 (データ提供: 阪神水道企業団)

Fig. 8 TOC concentrations



第9図 鉄の経日変化 (データ提供: 阪神水道企業団)

Fig. 9 Fe concentrations



第10図 マンガンの経日変化 (データ提供: 阪神水道企業団)

Fig. 10 Mn concentrations

- (2) THMは, 制御目標値 (0.1 mg/ℓ) 以下の水質を得ている。

- (3) 鉄, マンガンの除去は, 砂濾過と同等であることが確認された。

むすび

主目的である藻類の除去は, 膜孔径 0.1 μm のセラミック膜により, ほぼ100%除去でき, 他の水質項目についても砂濾過と同等であることが確認出来た。将来, 浄水処理プロセスは, より効率的にかつ効果的に行うことが求められ, おいしい水, 安全な水に対する要望及び, 本実験で行ったような高品質な水に対する要望も高まるものと思われる。

当社では, 今後更に研究開発を続け, 21世紀に向けてよりおいしく, 安全な水造りを追求したいと考えている。

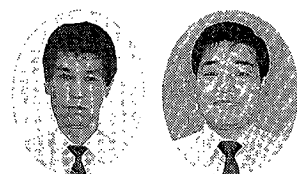
最後に本実験を行うにあたり, 豊富な水質データのご提供並びに多方面からのご指導を頂いた阪神水道企業団殿に謹んで御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 真柄基ほか, 用水と廃水, Vol. 34, No. 10, (1992), p. 3
- 2) 神鋼パテック技報: Vol. 34, No. 2 (1990), p. 37
- 3) 藤田賢二, 工業用水, 1991, Vol. 389, p. 9
- 4) 中垣正幸, 膜処理技術大系上巻, 1991, フジテクノシステム

冷却塔下部受水槽ストレーナの洗浄装置

The Development of a Strainer Cleaning System for Use in a Cooling Tower



(気)生産部 技術第2課
小林 敏 晴
Toshiharu Kobayashi
那 須 潔
Kiyoshi Nasu

Shinko Pantec Co. has developed, together with Tokyo Gas Co., a strainer cleaning system for the cold water basin of a cooling tower. The first unit was delivered in June 1992 for the Shinjuku District Heating and Cooling Center of Tokyo Gas Co.

Since the cooling water in the plant is generally cooled by an open type cooling tower, dust in the air is brought into the cooling tower and is accumulated in the water.

In the conventional system, the dust in the cooling water is collected by a strainer in the piping system, but when it is used in a cooling plant having a refrigerator of 10 000 RT, the strainer becomes enormously large and heavy. Moreover, the cleaning work can be performed only at night, a great deal of labor and money is required.

Described in this paper is a cleaning system in which the dust in the cooling water is automatically removed with a strainer provided in the cold water basin at the bottom of the cooling tower.

ま え が き

当社ではこのほど東京ガス株式会社と共同で、冷却塔下部受水槽のストレーナ洗浄装置を開発（特許出願中）し、第1号機を1992年6月に東京ガス株式会社新宿地域冷暖房センターに納入した。当プラントに納入した冷却塔は、地域冷暖房では世界最大規模のものであるが、冷却塔運転開始後まもなく冷却水系に異物が多量に混入し、系内のストレーナの目詰まりが目立ち、冷却塔内ストレーナあるいは配管系ストレーナの清掃を頻繁に行わなければならなくなった。

系内のストレーナの清掃は夜間作業となるため、冷凍機停止、系内水抜き、ストレーナの取り外し、清掃後の復帰運転を考えると、非常な労力と費用を要する。そこで、異物の混入源である冷却塔下部受水槽の集水槽部にストレーナを設置し、このストレーナを自動的に洗浄できる洗浄装置を開発した。

1. 背景

地域冷暖房では、冷凍機の冷却用に冷却水を使用し、この冷却水は、一般的には屋外に設置した冷却塔で循環冷却する。冷却塔は開放式であるため、外気に混じった異物を冷却塔内に吸い込み、吸い込まれた異物は冷却水系に混入する。冷却水系には、冷凍機やポンプのメカニカルシールを保護する目的で、ポンプの手前にストレーナが設置されている。

当プラントでは、運転開始後まもなく隣接するビルの解体工事のため多量に発生したと推定される繊維質と砂利を主体とした異物が冷却塔内に吸い込まれ、日々ストレーナの洗浄を行う必要が生じた。

1992年1月の冷却塔受水槽の清掃では、多量の土砂が受水槽に溜まっていた。夏期シーズンに向けての冷却塔の運転台数の増加に伴い、再び繊維を主体とした異物がストレーナに付着した。

写真1に繊維質異物の顕微鏡写真を示す。第1表に付着異物の成分分析結果を示す。

清掃作業は冷却塔の運転を停止して行う必要があり、負荷の低下を待って行うため、夜間に実施することとなる。

異物の除去方法には、配管系内のストレーナで行うか、冷却塔受水槽で行うかの2案が考えられるが、前者の場合は、冷凍機 10 000 R T の配管系のストレーナ（直径 850 mm、長さ 2 000 mm）の清掃は、その重量、系内の水抜き、清掃復帰、運転再開までの準備時間を考えれば、夜間作業となり非常な労力と費用が必要となる。

10 000 R T の熱負荷には、通常2台の冷却塔が運転される。冷却塔下部受水槽のストレーナは、配管系のストレーナに比べて2～3倍の吸い込み面積があり、また複数台数を有していることから、1台当たりの清掃時間は約1時間程度と短くてすみ、冷却塔下部受水槽のストレーナの洗浄は配管系ストレーナの洗浄に比べて有利である。

しかし、これまで受水槽ストレーナの清掃作業は、負荷の低下を待って受水槽の水位を下げるか受水槽内の水を抜き、作業員が受水槽内に入ってストレーナを交換し、汚れたストレーナを槽外に取り出して洗浄作業を行っていた。

（写真2）これらの作業は夜間作業であり、また冬期においては、水温が低く健康管理の面、および安全性の面から大きな問題であるため、これらの作業の自動化について可能性が検討されていた。

2. 従来の洗浄方法

これまで、冷却塔下部受水槽ストレーナの洗浄は次の手順で行われている。

- 1) 冷却塔の運転停止
- 2) 清掃対象冷却塔の受水槽水位を下げるための配管バルブ操作（隣接する冷却塔との連通管バルブを閉じ、排

- 水用バルブを開く等の操作)
- 冷却塔受水槽の水位低下待ち
- 受水槽に入ってストレーナを交換
- 交換したストレーナの洗浄

開発された洗浄装置の説明

第1図に冷却水系のフロー、第2図に冷却塔受水槽の洗浄フローを示す。

冷凍機を通して温度の上がった冷却水は冷却塔で冷却されて塔下部の受水槽に集まり、ここから再びポンプで冷凍機に送水される。冷却水中の異物は集水槽上面に設置された異物回収用ストレーナに捕捉される。集水槽内のストレーナ下部に洗浄用配管を設置し、ストレーナに向けて下方から空気(あるいは水)を噴射し、捕捉された異物を遊離、遊離させる。一方、異物の回収機構では、異物が浮遊した冷却水を吸引管からポンプで抜き出して別のストレーナで異物を分離し、水のみ受水槽に戻す。第3図に受水槽の洗浄装置を示す。

1 ストレーナ

第3図の洗浄装置において、冷却水に混入した異物の殆どが捕捉されるように、冷却塔の下部受水槽内の集水槽上にストレーナを設置し冷却水中の異物を捕捉する。これによって、配管系ストレーナで捕捉される異物量が少なくなり配管系ストレーナの洗浄回数は減少する。冷却塔へ飛

来する異物は周囲の状況により多種多様であるが、一般的には、空気中のほこりを主とする水中において浮遊性の異物、繊維質、昆虫などが多い。その他に微細な砂等の水中で浮遊し難い異物もある。

これらの異物のうち、浮遊性の異物は、空気(あるいは水)のストレーナへの噴射により、ストレーナから遊離して水中に浮遊するが、比較的比重の大きな砂等は、一旦ストレーナから遊離しても再びストレーナ上に沈降、堆積する。したがって、比重の大きな異物の混入が多い場合には、例えば第4図のように、ストレーナに傾斜をつけてストレーナの周囲へ異物を移動させる等して、ストレーナ上の異物堆積を少なくする配慮が必要となる。

3. 2 吸引

ストレーナより遊離した異物の回収は、異物回収を目的としたポンプにより冷却水と共に吸引して回収する。浮遊性の異物は空気(あるいは水)の噴射により上昇して水中に浮遊するため、水面近くの吸引位置での回収が可能であるが、比較的比重の大きな異物は上昇することなくストレーナの周囲部あるいは中央部に堆積するため、堆積位置近くに水の吸引口を設置する必要がある。異物の回収量は、吸引口の形状、位置、個数等により変化する。また異物の比重、水の吸引速度等によっても変化するので、吸引口の設置位置は、異物の性状を配慮して決める必要がある。

表 1 付着異物の成分分析結果
Table 1 Analytical results on deposit

(Units: weight %)	
1. Appearance	Black
2. CaO	19.9
3. MgO	1.0
4. Fe ₂ O ₃	1.8
5. CuO	Trace
6. ZnO	7.5
7. MnO	Trace
8. Al ₂ O ₃	Trace
9. Acid undissolved matters	26.4
10. SO ₃	1.1
11. P ₂ O ₅	0.6
12. CO ₂	18.0
13. Burning loss (600 ~ 25 °C)	32.8

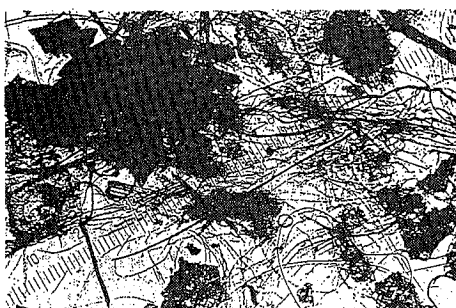


写真 1 付着異物の顕微鏡写真
(一目盛: 38 μm)

Photo. 1 Microphotograph of attached debris (division on scale: 38 μm)

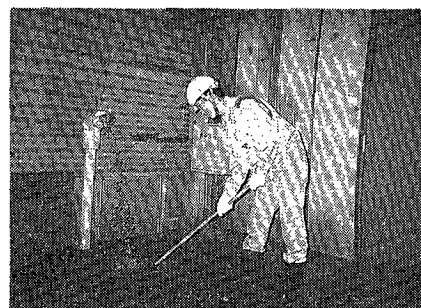


写真 2 従来のストレーナ洗浄状況

Photo. 2 Strainer cleaning of conventional system

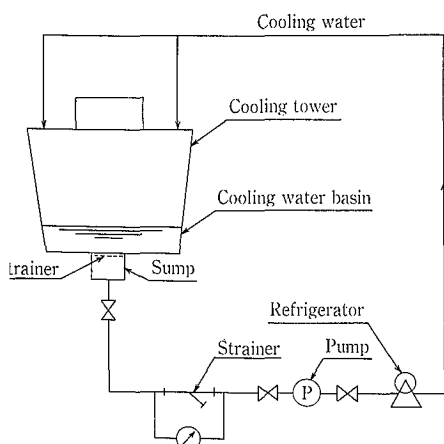
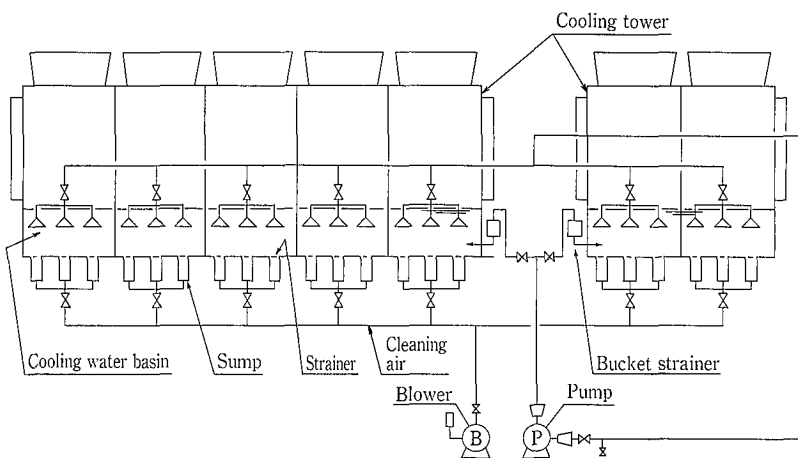


Fig. 1 冷却水系のフロー

Fig. 1 Flow diagram of cooling water system



第2図 ストレーナ洗浄装置のフロー

Fig. 2 Flow diagram of strainer cleaning system

3.3 噴射

空気（あるいは水）をストレーナの下面に対して均等に噴射してストレーナから異物を遊離させる。また沈降性の異物に対しては、ストレーナの周囲部あるいは中央部に積極的に移動、堆積させるように空気（あるいは水）の噴射口の配置を行う必要がある。

3.4 拡散防止

空気（あるいは水）の噴射によりストレーナから遊離し、冷却水中に浮遊する異物は、水の流れと共に移動し吸引回収される。しかし浮遊異物は四方へ拡散するため、浮遊した異物の全てが回収されるわけではない。回収効率を上げるための拡散防止が必要である。

第5図に示すように、集水槽上部（ストレーナから水面まで）に拡散防止パネルを設置することにより、異物の受水槽内への拡散を防止し、異物の回収効率を上げることが可能となる。この拡散防止パネルは、冷却塔運転中には冷却水の流れを阻害することのない抵抗の少ない形状であり、洗浄中は異物を受水槽内へ拡散させない構造とする必要がある。

集水槽ストレーナの洗浄を自動化することにより、次のような好ましい結果が得られる。

- 1) 配管系ストレーナの洗浄回数を大幅に減少させることができる。
- 2) 配管系ストレーナの洗浄回数減少により、洗浄のため

の冷却塔あるいはプラントの運転停止が少なくなり、稼働率の低下が防止される。

- 3) 冷却塔下部受水槽および配管の水抜きが不要となる。
- 4) ストレーナの洗浄時間が短縮される。
- 5) 劣悪な環境下（夜間、冬期、水中）での作業がない。
- 6) 洗浄の準備（プラントの停止、水抜き等）が不要。
- 7) 冷却塔の運転停止時であれば任意の時間に洗浄可能。

4. 実施例

4.1 仕様

洗浄装置の仕様を、次の第2表に示す。

4.2 構造

4.2.1 ストレーナ

異物は主として浮遊性であるため、着脱が容易なスライド式平板型ストレーナを冷却塔下部受水槽内の集水槽上面に設置した。

4.2.2 異物の遊離

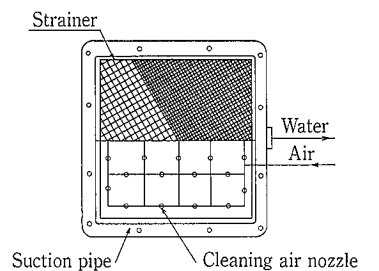
ストレーナに捕捉された異物の遊離は空気の噴射によることとし、集水槽の内部にループ状に洗浄用空気配管を設置した。空気配管には水の侵入を防止するための逆止弁を設置した。

空気の供給は、冷却塔架台下部に設置したブローにより行う。ブローにより供給された空気をストレーナに噴射し、ストレーナに付着した異物を遊離、浮遊させる。

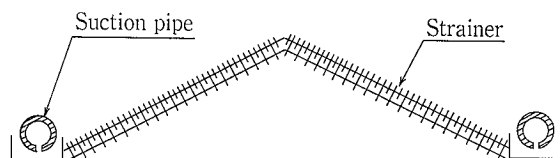
第2表 洗浄装置の仕様

Table 2 Specification of cleaning system

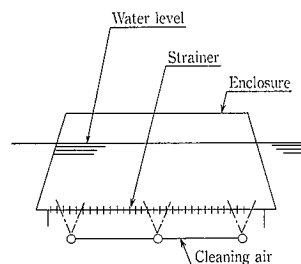
Quantity of circulating water	4 230 m ³ /h × 7
Cooling tower	7 units
Sump	900 × 900 × 1 500 mm × 21 sets
Discharge pipe	1 410 m ³ /h, 450 A
Cleaning system	21 sets
Air side	
Blower	4.0 m ³ /min, 0.2 kg/cm ² , 3.7 kw
Nozzle dia.	2.0 mm
Strainer	20 mesh
AC check valve	25 A, 1 set/set
Main pipe	32 A
Water side	
Pump	220 m ³ /h, head 12 m, 15 kw, 4 p
Main pipe	200 A
Suction pipe	65 A, 4 locations/set
Diffusion preventing enclosure	Rubber
Debris collecting bucket	2 sets, 40 mesh



第3図 ストレーナ洗浄装置
Fig. 3 Strainer cleaning apparatus



第4図 ストレーナ
Fig. 4 Strainer



第5図 拡散防止板
Fig. 5 Diffusion preventing enclosure

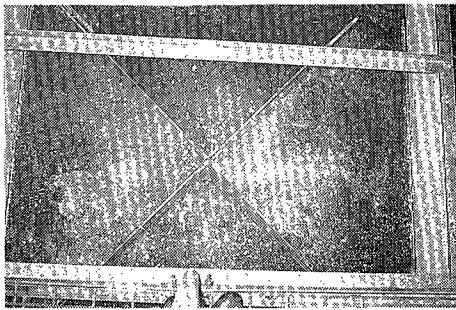


写真 3 ストレーナ洗浄中
Photo. 3 Strainer under cleaning

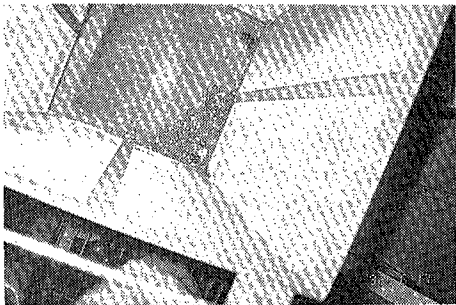


写真 4 回収異物
Photo. 4 Collected debris

4. 2. 3 異物の回収

水中に浮遊した異物を回収するために、ストレナの周囲 4 ケ所の水面近くに吸込口を有する吸引管を設置し、また砂利等の堆積物回収のため底部にも吸込口を設置した。ストレナの洗浄と同時に異物回収用ポンプを稼働させ、抜き取った水からバケット型ストレナで異物を分離し、水のみを受水槽に戻し、バケット型ストレナ内に溜まった異物は定期的に搬出する。

4. 2. 4 拡散防止

空気の噴射によって冷却水中に浮遊した異物は周囲に拡散するので、異物の回収効率を上げるため、ストレナの上部を囲う形で拡散防止枠が設けられている。冷却塔の運転中は集水槽 1 組当たり $1430 \text{ m}^3/\text{h}$ の冷却水が通過することから、拡散防止枠は流れを阻害しない構造とした。拡散防止枠の高さは、受水槽の底面より 150 mm から受水槽の高さ (800 mm) の範囲に取り付けた。拡散防止枠の下部は弾性体材料でスリットを入れ、冷却塔運転時の水の流れを阻害しないように配慮した。すなわち、冷却塔運転中はスリットが開いて拡散防止枠の内部に冷却水が流入し、運転停止後洗浄中にはスリットが閉じて浮遊異物の拡散防止の役割を果たす。

4. 2. 5 洗浄結果

洗浄装置の運転は冷却塔停止後に行う。まず水側ポンプを稼働させ次に空気側を稼働させる。5～10分間の運転でストレナは再使用が可能な状態にまで洗浄されることが

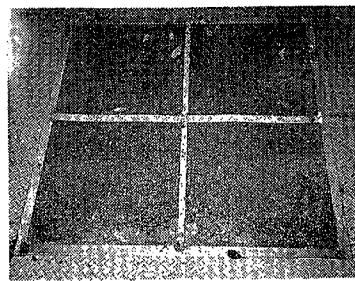


写真 5 洗浄前のストレナ
Photo. 5 Strainer before cleaning

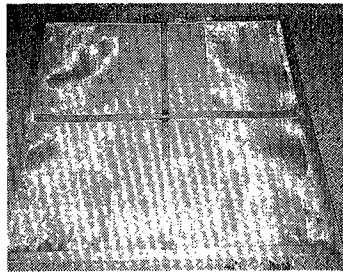


写真 6 洗浄後のストレナ
Photo. 6 Strainer after cleaning

第 3 表 従来装置との洗浄時間比較

Table 3 Cleaning time compared with conventional apparatus

cleaning method	preparation		cleaning		number of cell can be cleaned a day
	work	time	work	time	
conventional cleaning	cooling tower stop and drain	1 h	replacement and cleaning of strainer	1 h	1 ~ 2 cell
automatic cleaning	cooling tower stop	/	cleaning operation	10 min	all cell

確認された。写真 3 は洗浄中の状況、写真 4 は回収した異物を示す。写真 5 は洗浄前のストレナ、写真 6 は洗浄後のストレナを示す。

冷却塔受水槽 ストレナの洗浄を自動化することにより、第 3 表の結果が得られた。

む す び

地域冷暖房において、このような多量の異物によりストレナの洗浄を頻繁に行わなければならなかったのは今回が初めてであるが、開放式冷却塔の場合、異物量の大小はあっても、異物の冷却水への混入は避けられないため、ストレナの洗浄が必要不可欠である。洗浄の容易性からみても、冷却水中の異物除去は、配管系ストレナで行うよりも冷却塔側ストレナで行うのが得策と考えられる。

異物の回収率は 100 % に達していないが、今後、更に検討と実績を繰り返し、100 % 回収を目指したい。

本装置の開発に当たり、東京ガス株式会社より多大のご協力、ご指導を頂いたことに謝意を表する。

豊田ケミカルエンジニアリング (株) 向け IWS (イオンスクラバー) の実績紹介

An IWS (Ion Scrubber) for Toyota Chemical Engineering Co., Ltd.



(気)生産部 技術第1課
小 出 鉄 一
Tetsukazu Koide

Shiko Pantec Co. delivered an ion scrubber (IWS) at the end of March 1992 to Toyota Chemical Engineering Co., one of the largest industrial waste treating companies in Japan and located in Handa City, Aichi Prefecture.

The delivered IWS, MODEL #1600, is the largest of its kind and is for use in the exhaust gas disposal facility of No. 3 incinerator.

Described in this paper is an outline of the IWS which has been operating satisfactorily since August 1992.

ま え が き

工場などから出る産業廃棄物は年々増大し、環境への脅威となっている。しかし、処理システム、施設は十分とはいえ、処理体制の強化がわが国産業社会の大きな課題となっている。このような状況のもとで、当社は高効率の集塵、除ガス処理装置である湿式のイオンスクラバー (IWS) を製造販売しており、昨年、豊田ケミカルエンジニアリング (株) に最大級の IWS を納入した。豊田ケミカルエンジニアリング (株) は、年 9 万トンの処理能力の 3 号炉を新設し、産業廃棄物の安定的な大量処理体制を築いており、同社が処理する産業廃棄物は汚泥、廃油、プラスチック類、スラッジ、廃液など 13 種類に及び、愛知県を中心に東海地区の産業廃棄物を焼却処分し、埋立の最終処分場に送っている。

3 号焼却炉設備における排ガス浄化設備として IWS を当社が日鉄化工機 (株) より受注し 1992 年 3 月末に納入し

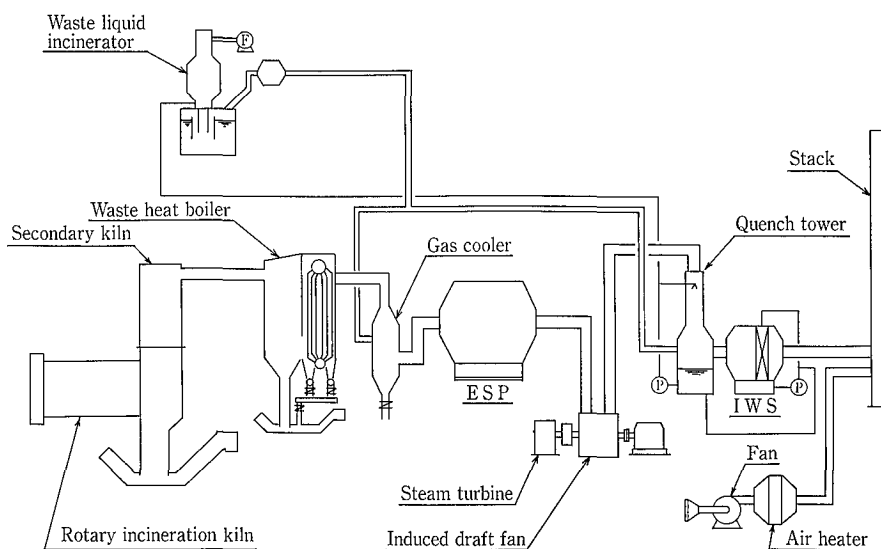
た。納入装置は 1992 年 8 月より運転を開始し、現在順調に稼働している。

本稿では、今回納入した、一つの機種で集塵と有害ガス除去を同時に行うことができる “IWS” の産業廃棄物処理プラントへの適用例として、その概要を紹介する。

1. 3 号焼却設備のフロー

第 1 図に 3 号焼却設備の概要フローシートを示す。汚泥、固形物などの処理をする焼却炉 (ロータリーキルン)、廃液、油泥、廃油の処理をする濃縮液焼却炉があり、排ガス浄化設備として電気集塵機 (ESP) 及び IWS を設置している。排ガス中に含まれるダストのうち、粗粒子は電気集塵機で除去し、微粒子及び有害ガス (HCl, SOx) については、IWS で同時に除去している。

3 号焼却炉は処理能力が大きいだけでなく、排ガス浄化設備も強化し、設備の自動化も一段と進められている。



第 1 図 産業廃棄物焼却設備 (3 号焼却炉) フローシート

Fig. 1 Flowsheet of industrial waste incineration system (No. 3 Incinerator)

豊田ケミカルエンジニアリング (株) 向け IWS (イオンスクラバー) の実績紹介

An IWS (Ion Scrubber) for Toyota Chemical Engineering Co., Ltd.



(気)生産部 技術第1課
小 出 鉄 一
Tetsukazu Koide

Shiko Pantec Co. delivered an ion scrubber (IWS) at the end of March 1992 to Toyota Chemical Engineering Co., one of the largest industrial waste treating companies in Japan and located in Handa City, Aichi Prefecture.

The delivered IWS, MODEL #1600, is the largest of its kind and is for use in the exhaust gas disposal facility of No. 3 incinerator.

Described in this paper is an outline of the IWS which has been operating satisfactorily since August 1992.

ま え が き

工場などから出る産業廃棄物は年々増大し、環境への脅威となっている。しかし、処理システム、施設は十分とはいえ、処理体制の強化がわが国産業社会の大きな課題となっている。このような状況のもとで、当社は高効率の集塵、除ガス処理装置である湿式のイオンスクラバー (IWS) を製造販売しており、昨年、豊田ケミカルエンジニアリング (株) に最大級の IWS を納入した。豊田ケミカルエンジニアリング (株) は、年9万トンの処理能力の3号炉を新設し、産業廃棄物の安定的な大量処理体制を築いており、同社が処理する産業廃棄物は汚泥、廃油、プラスチック類、スラッジ、廃液など13種類に及び、愛知県を中心に東海地区の産業廃棄物を焼却処分し、埋立の最終処分場に送っている。

3号焼却炉設備における排ガス浄化設備として IWS を当社が日鉄化工機 (株) より受注し 1992 年3月末に納入し

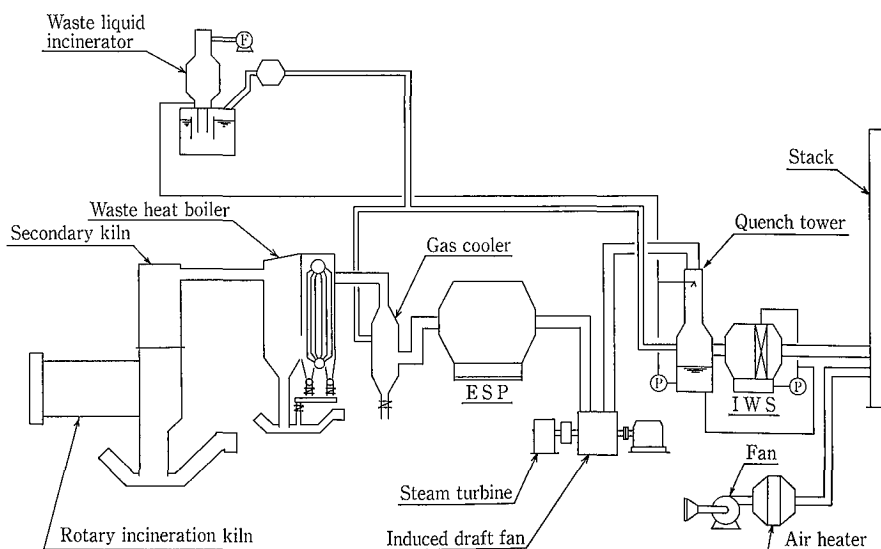
た。納入装置は1992年8月より運転を開始し、現在順調に稼働している。

本稿では、今回納入した、一つの機種で集塵と有害ガス除去を同時に行うことができる "IWS" の産業廃棄物処理プラントへの適用例として、その概要を紹介する。

1. 3号焼却設備のフロー

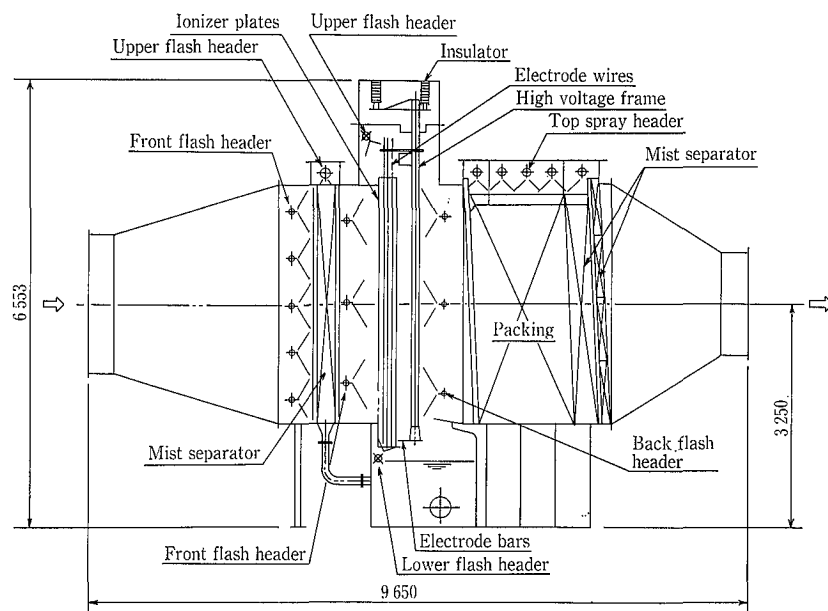
第1図に3号焼却設備の概要フローシートを示す。汚泥、固形物などの処理をする焼却炉 (ロータリーキルン)、廃液、油泥、廃油の処理をする濃縮液焼却炉があり、排ガス浄化設備として電気集塵機 (ESP) 及び IWS を設置している。排ガス中に含まれるダストのうち、粗粒子は電気集塵機で除去し、微粒子及び有害ガス (HCl, SOx) については、IWS で同時に除去している。

3号焼却炉は処理能力が大きいだけでなく、排ガス浄化設備も強化し、設備の自動化も一段と進められている。

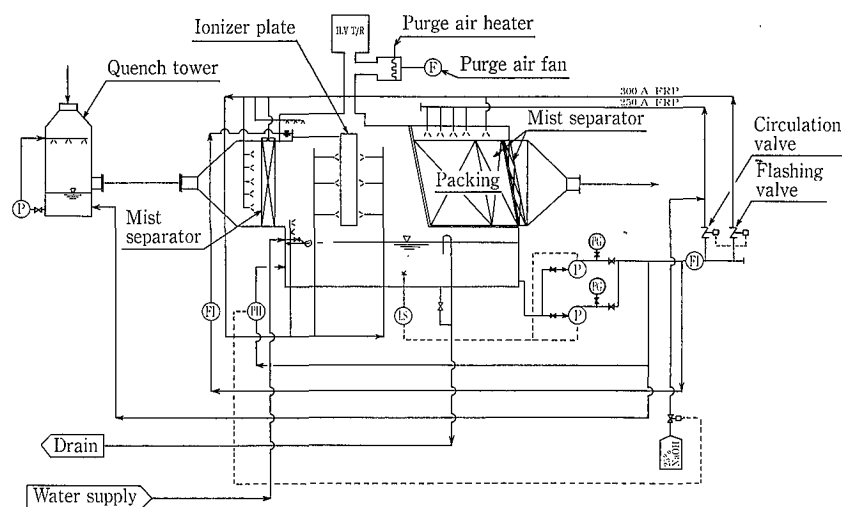


第1図 産業廃棄物焼却設備 (3号焼却炉) フローシート

Fig. 1 Flowsheet of industrial waste incineration system (No. 3 Incinerator)



第2図 #1600 IWS 断面図
Fig. 2 Sectional view of #1600 IWS



第3図 #1600 IWS フローシート
Fig. 3 Flowsheet of #1600 IWS

装置の概要

イオンスクラバーは集塵と有害ガスの除去を同時に行うことができる装置であり、第2図に断面図、第3図にフローシートを示す。焼却炉より排出された排ガスは電気集塵機（ESP）を通り急冷塔で断熱飽和温度まで冷却され、IWSへ導入される。ダストは高電圧イオン化部で荷電され、充填部において慣性衝突及びイメージフォース（影像力）により除去される。高電圧イオン化部は、イオナイザープレート、放電線及び高圧電源装置にて構成されている。30 kVの直流高電圧によりコロナ放電を発生させ、ダストに荷電している。イオナイザープレートはダストまたは析出物の付着成長を防止する目的で、連続的に循環水をオーバーフローさせて濡れ壁を形成させる構造となっている。

充填部は、ダストの捕集および有害ガスの除去を目的とする充填材、散水装置、ミストセパレータで構成されてい

る。充填材上部より循環液をスプレーする構造となっており、ダストと有害ガスを同時に除去する。有害ガス除去吸収用に循環液にNaOH水溶液を自動注入している。

IWS内部に洗浄目的のために洗浄配管を設置している。洗浄は定時刻になれば自動的に開始し、終了後通常運転に復帰する。洗浄時間は2分/回で、1日(24時間運転)6回洗浄を行う。循環および洗浄は同一ポンプを使用し、循環弁、洗浄弁の切替を行うことにより実施される。循環弁、洗浄弁の切替は、タイマーにより自動運転される。

循環槽の水位コントロール用のレベル計、IWS入口ガス温度検知用の温度計等が取付られており、安全対策としてIWS内部へ高温ガスが流入した場合、荷電がOFFとなりガス冷却のために洗浄弁が開いて洗浄を開始する。また、IWS内部へ高温ガスが流入しないシステムとなっている。

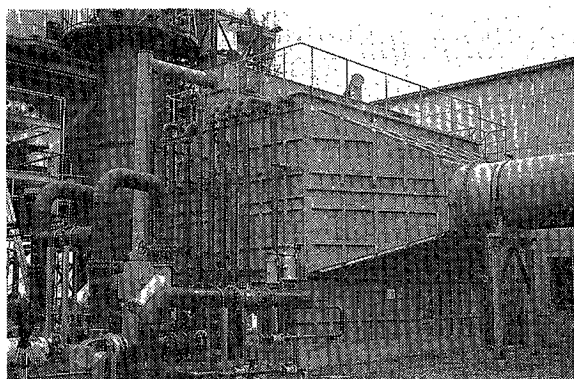


写真 1 IWS実装置外観

Photo. 1 Outside view of IWS actual equipment

IWSの運転、停止は自動シーケンスを組み込んでいるため、押ボタンスイッチ一つで一連の動作および運転、停止を行うことができるシステムとなっている。また、メンテナンスが容易にできる構造となっている。

3. 納入装置の仕様

納入装置の外形図を第4図、外観を写真1に示す。また、設計条件および仕様は次のとおりである。

本装置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を実施し、テストデータをもとに最適設計を行った。

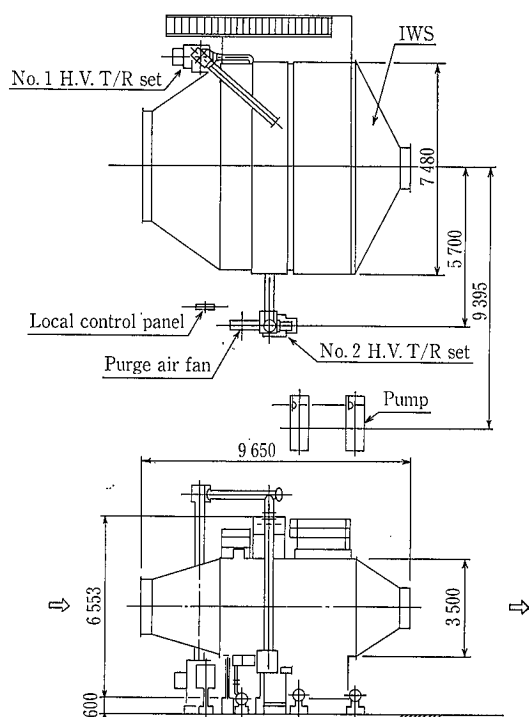
3. 1 設計条件

処理ガス量	87 555 m ³ N/h・wet
処理ガス温度および湿度	80.3 °C 飽和
入口ダスト濃度 (急冷塔入口)	0.1 g/m ³ N・dry
出口ダスト濃度 (IWS出口)	0.03 g/m ³ N・dry (12 %O ₂)
入口HCl濃度 (急冷塔入口)	1 136 mg/m ³ N・dry
出口HCl濃度 (IWS出口)	20 mg/m ³ N・dry 以下
入口SOx濃度 (急冷塔入口)	270 ppm
出口SOx濃度 (IWS出口)	8.4 ppm 以下
排水量	18 m ³ /h
排水水質	pH 8~8.5 SS 200 mg/ℓ
塩濃度	1 %
取合圧力	90 mmAq
圧力損失	50 mmAq
洗浄液質	NaOH 水溶液
薬品注入方式	pH 計によるON-OFF 制御

イオナイザープレート部通過速度 2.0 m/s

3. 2 装置仕様

IWS	型番 #1600 1台 9650 ^L × 7480 ^W × 6553 ^H
直流電源装置	30 kV × 300 mA 2台
循環ポンプ	7.9 m ³ /min × 18 mAq × 45 kW 2台 (内1台は予備機) SCS14製
パージエアファン	15 m ³ /min × 150 mmAq 1台
現場操作盤	700 ^L × 200 ^W × 1 500 ^H 1面
中央操作盤	1 200 ^L × 800 ^W × 2 150 ^H 1面



第4図 #1600 IWS外形図

Fig. 4 Outside view of #1600 IWS

3. 3 IWS主要部材

本体	FRP
イオナイザープレート	SUS316L
	乾部FRPライニング
放電線	ハステロイC-276
内部金物	ハステロイC-276
充填材	PP
ミストセパレータ	PP
内部配管	FRP
外部配管	FRP
スプレーノズル	PP, テフロン
電極支持ポスト	SS400+FRPライニング
バルブ	PP
階段および歩廊	SS400 (塗装処理)

4. 運転結果

1992年8月より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1表に示す。稼働中のIWS循環液の水質を第2表に示す。

第1表のようにガス量およびガス温度等は設計条件とほぼ同じとなっている。

ダスト濃度については、IWS出口のみの測定になっている。IWS出口において設計ダスト濃度 0.03 g/m³N dry に対して測定値 0.007~0.0009 g/m³N dry であり非常に低いデータを得た。一方、HClガスの除去率は99.8%であり、SOxガス濃度に関しては、4 ppm 未満 (検出限界値以下) であるため93.8%以上とした。

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。

第 1 表 性能テスト結果

Table 1 Performance test results

Item	Measured value (IWS outlet)
Gas quantity (actual)	115 000 m ³ /h•wet
Gas quantity (wet)	87 100 m ³ N/h•wet
〃 (dry)	39 600 m ³ N/h•dry
Gas temperature	85 °C
Composition of dry gas	CO ₂ 8.2 %
	O ₂ 8.5 %
	N ₂ 83.2 %
	H ₂ O 54.6 %

Item	Measured value		Measuring method
	Quench tower inlet	IWS outlet	
Dust content g/m ³ N	—	0.007	JIS Z8808
	—	0.000 9	
HCl gas mg/m ³ N	2 010	4.2	JIS K0107
Ox gas ppm	65	less than 4	JIS K0103
	70	less than 4	

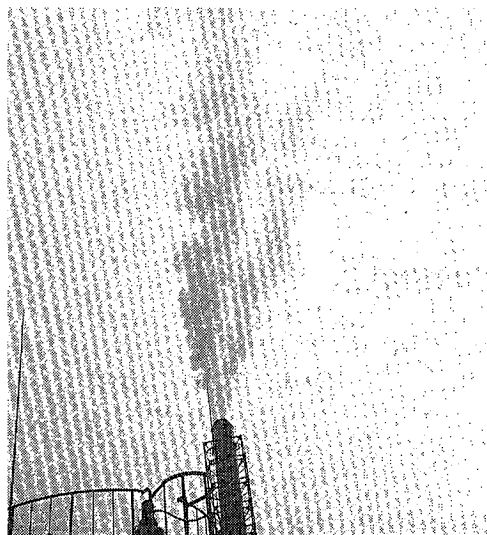


写真 2 IWS 運転状況 (荷電 OFF)

Photo. 2 Operating state of IWS (electric charge turned off)

また、参考としてヒューム濃度測定を実施した。

測定結果は、急冷塔入口で 0.043 g/m³N•dry, IWS 出口で 0.015 g/m³N•dry であり、ヒューム除去率は 65 % であった。

なお、ヒューム濃度測定方法については、JIS に規定されておらず、今回の測定方法は、日鉄化工機(株)殿の測定方法を採用した。

第 2 表 循環水水質

Table 2 Quality of circulating water

Item	IWS Circulating water	Measuring method
pH	8.7 (26°C)	JIS K0102 12
SS	100 mg/ℓ	
TDS	18 700 mg/ℓ	JIS K0102 14.2

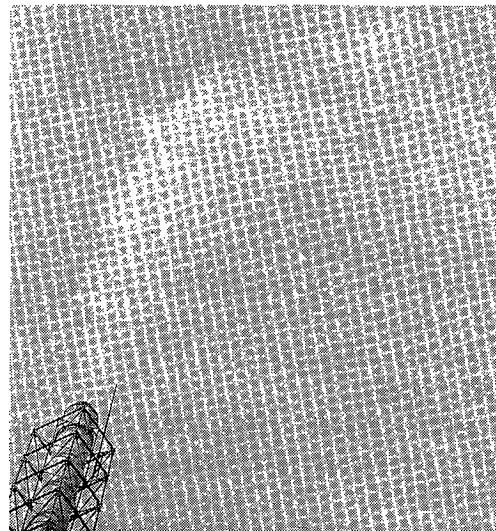


写真 3 IWS 運転状況 (荷電 ON)

Photo. 3 Operating state of IWS (electric charge turned on)

また、IWS は運転中の煙の状況からもヒューム除去に効果があることがわかった。焼却設備が稼働中に IWS の荷電を OFF にした場合の煙の状況を写真 2, IWS の荷電を ON にした場合の煙の状況を写真 3 に示す。

IWS の荷電を OFF にした場合は、煙のたなびきを目視することができるが、IWS の荷電を ON にした場合は煙のたなびきを目視することができなかった。このことからヒュームを除去していることが確認された。

むすび

今後とも、地球環境保全に対するニーズがますます大きくなると考えられるが、本装置はそれらのニーズに十分対応するものと確信している。

本稿がユーザー各位の排ガス処理装置を選定される際のご参考になれば幸いである。

なお、当社ではパイロットテスト用装置として、IWS #40 相当のテスト機を準備しておりますのでご利用ください。

ウェット酸処理によるステンレス鋼の表面改質

—X線光電子分光法による改質表面の解析—

Surface Reforming of Stainless Steel by Wet-Acid Treatment

—Investigation of Reformed Surface by X-ray Photoelectron Spectroscopy—



技術開発本部 基盤技術室
三宅 明子
Akiko Miyake
山添 勝巳
Katsumi Yamazoe

Stainless steel has higher corrosion resistance because a thin layer of metal oxide is formed and makes the surface of stainless steel inactive, which is well known as “passivation”. In the semiconductor industry however, a passivated film of much higher resistance is required for reducing impurities in ultrapure water. The wet-acid treatment, which we have applied for surface reforming, was found to be an appropriate method to improve surface stability. Further improvement of the reformed steel “GOLDEP-WHITE” has been made possible to obtain a more reliable material.

Surface analysis techniques, eg. XPS and AES, are good for evaluating the passivated thin film. In this paper, we study the mechanism of oxidative passivation and the effect of the wet-acid treatment by XPS, and also discuss the stability of the passivated film on the basis of electrochemistry.

まえがき

ステンレス鋼の耐食性は不動態化，すなわち，腐食性雰囲気中で保護性のある皮膜を形成し安定化することによる。半導体向け超純水製造システムの装置材料などでは，高度な耐食性（極低溶出性）が要求されるため通常の不動態化処理したステンレス鋼では不十分である。

当社では，ステンレス鋼の酸化不動態化表面を一度酸に浸漬するとその耐溶出性が著しく改善されることを見だし，独自のウェット酸処理により低溶出性ステンレス鋼“GOLDEP-WHITE”を開発している¹⁾。現在，これを基にさらに低溶出で信頼性の高いステンレス鋼の表面改質技術の開発を進めている。

不動態化により改質される表面層は数十Å～数百Åの薄膜であるため，X線光電子分光法（XPS），オージェ電子分光法（AES）をはじめとする表面分析手法を用いた

評価が必要不可欠である。XPSでは，材料の極表面（数十Å）の組成あるいは化学状態に関する情報を簡便に得ることができる。

本稿では，XPSによる不動態化表面の解析結果を中心に，酸化不動態化のメカニズムおよびGOLDEP-WHITEのウェット酸処理の効果について述べる。また，電気化学的観点から不動態皮膜の安定性についても検討した。

1. XPSによる不動態化表面の解析

第1表に，当社のステンレス鋼表面改質技術を不動態化処理方法により分類した。“EP”は，電解研磨により電気化学的に不動態化し，かつ表面を平滑化したもの，“GOLDEP”は，400～500℃で気相酸化により不動態化したものである。“GOLDEP-WHITE”は気相酸化の後，ウェット酸処理による改質を行うものであり，当社独自の処理である。

第1表 不動態化とステンレス鋼の改質

Table 1 Passivation method and reforming of stainless steel

Electrochemical Passivity	Chemical Passivity	
Anodic Polarization	Oxidation in liquid phase	Oxidation in Gas phase
EP	GOLDEP	GOLDEP-WHITE

これらの材料については、高温超純水に対する耐溶出性や耐オゾン性が既に報告されている^{2,3)}。ここでは、XPSによるEPおよびGOLDEPの不動態化表面の解析結果を述べる。

1.1 XPSについて

XPSは、電子分光法の一つで、試料にX線を照射したときに原子の内殻準位から放出される光電子の運動エネルギーを分析することにより、水素を除く全ての元素の同定および状態分析を行うものである。すなわち、光電子の運動エネルギー (E_k) と電子の原子内での結合エネルギー (E_b) の間には次式の関係がある。

$$E_b = h\nu - E_k - \phi_{sp}$$

$h\nu$: 励起X線のエネルギー
 ϕ_{sp} : 分光器の仕事関数

E_b は、各元素、各エネルギー準位に対してほぼ定まった値を持つ。したがって、 E_k 値を測定し上式を用いて E_b を求めることにより元素の同定ができる⁴⁾。

E_b の値は原子価、配位数、配位子、電子密度などによってわずかに変化し (ケミカルシフト)、原子の状態についても知見を与える。ピーク強度の解析からは、元素の表面濃度が得られる。光電子の平均自由行程は0.5~3 nm と小さいため、 Ar^+ イオンで試料表面層をスパッタリングし削る方法を併用すると深さ方向の濃度分布を求めることができる。

1.2 不動態化表面の比較—EP, GOLDEP

第1図に代表的な条件で得られたEPとGOLDEPについて、 Ar^+ スパッタリング時間を尺度とした深さ方向の組成分布を示した。酸素濃度の変化に伴い、各元素は複雑に変化しており、EP, GOLDEPともに母材の合金組成とは異なる不動態膜 (酸化層) を表面に有することがわかる。

また、EPの酸化層はわずか10分のスパッタリングにより消失するのにに対し、GOLDEPでは50分以上のスパッタリングを要する。スパッタリング速度と時間から膜厚を概算することは可能であるが、元素によってスパッタリング速度が異なる、酸化層/合金境界面は明確に分かれていない等の理由でXPSから膜厚の絶対値を求めることは難しい。偏光反射解析法 (エリプソメトリー法) により、一般にEPの膜厚は10~30Å程度、GOLDEPは100~150Å程度であることが知られている。気相酸化法では、電解研磨法より厚い不動態膜を形成することができる。

第2図に、EPおよびGOLDEPについて、任意の時間 Ar^+ スパッタリングした表面におけるFe, Cr, Ni, および酸素のXPSスペクトルを示した。図中には、標準試料から得られた酸化層ならびに金属のピーク位置を記している。なお、Mnは濃度が低いため本分析条件では判別可能なXPSスペクトルは得られなかった。

1.2.1 EPの不動態膜

EPの不動態膜では、第1図に示されるように、表面付近のCr濃度が合金組成より高い。

各元素の原子価状態を第2図でみると、Feは、スパッタリングが2分頃までは酸化層 (Fe_2O_3) に帰属されるピークが見られ、同時に金属 (Fe^0) に帰属されるピークも

存在する。Crでは、主に酸化層 (Cr_2O_3) のピークが見られるが、スパッタリングが1分頃から金属 (Cr^0) のピークが現れた。Niは、金属 (Ni^0) と酸化層 (NiO) の参照データがばらついており E_b 値だけでは同定が難しい。しかし、 NiO に特有の“サテライトピーク”と呼ばれる主ピークに付随するピークが見られないこと、下地合金のピークの E_b 値と同じことから金属状態であると考えられる。酸素は、金属と直接結合した酸素 (O-M) 以外に金属との結合が弱い吸着酸素 (O_{ad}) あるいは水酸基 (O-H) の酸素の存在が示唆される。

以上より、EPの不動態膜は Cr_2O_3 濃度が若干高いが、Fe, Cr, Ni 金属も混在しており 強固な酸化皮膜を形成していないことがわかる。

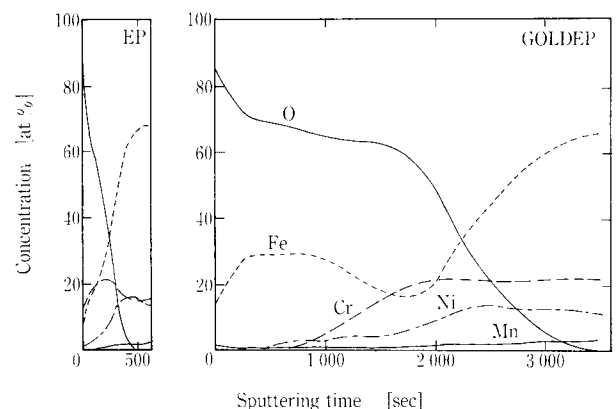
1.2.2 GOLDEPの不動態膜

GOLDEPの不動態膜は、第1図に示したように酸素濃度がほぼ一定の層 (0~1800秒) と急激に減少する層 (1800秒~) に分けられる。また、酸素濃度が減少し始める点で、Fe濃度は一旦減少しCr濃度は増加した。

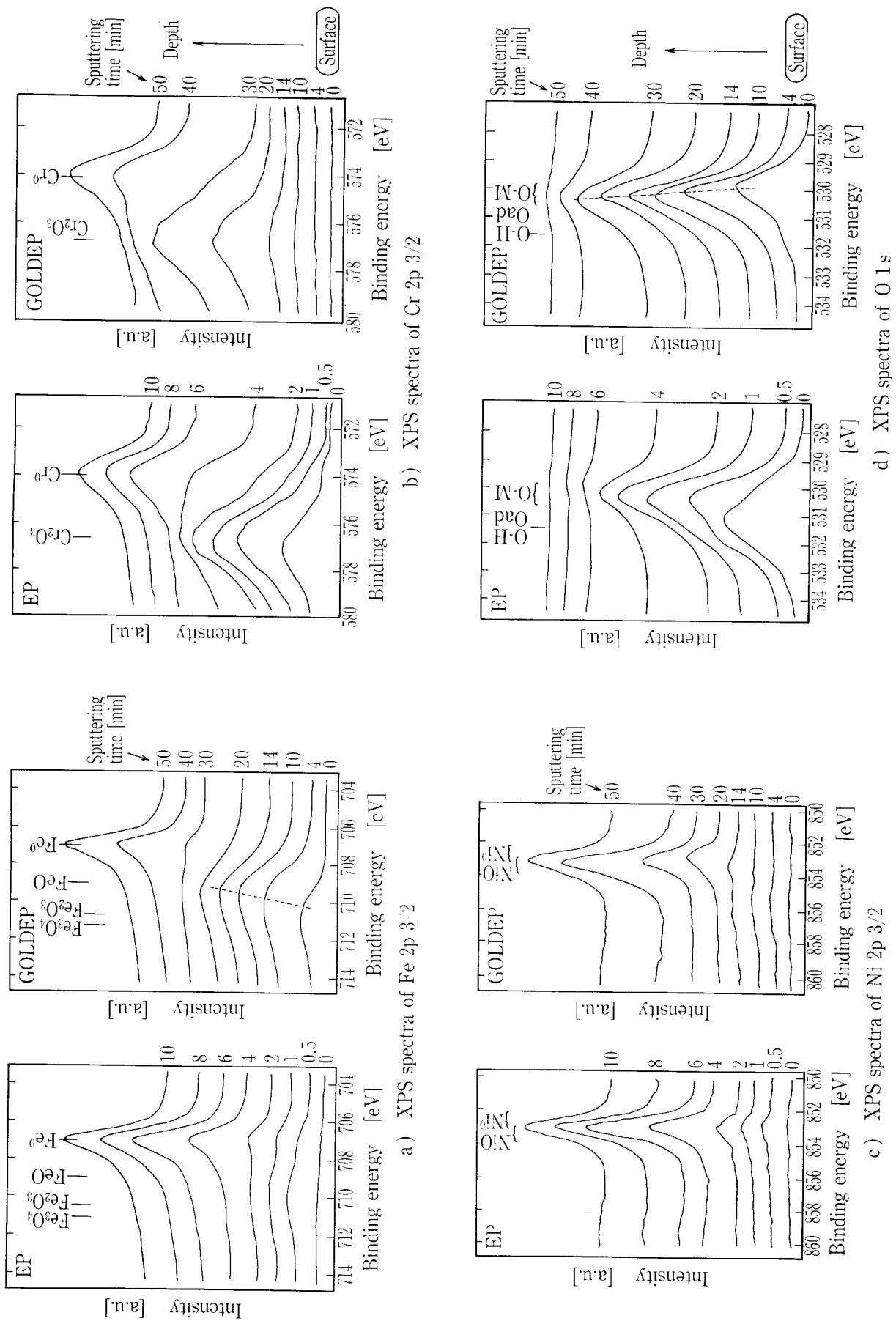
Feの原子価状態は、第2図a) より、表面付近では Fe_2O_3 (あるいは Fe_3O_4 も含まれる) であり、スパッタリングの進行に伴い低 E_b 側にシフトする傾向が見られた。1800秒以降では、金属 Fe^0 のピークが現れ、第1図において酸素濃度が減少し始める点に対応する。Fe 酸化層ピークの低 E_b 側へのシフトは、3価 (Fe_2O_3) から0価へ徐々に Fe の平均的原子価が変化することを示しており、FeO の存在が示唆される。しかしながら、熱力学的には絶対温度850 K 以下では FeO は不安定であると言われている。

Crは、第2図b) からわかるように、 Cr_2O_3 ピークが金属 Fe^0 の現れる1800秒以降でも存在しており、Feより内層で酸化層を形成することがわかる。Niは、第2図c) より、EPの場合と同じ位置にピークが見られ、金属状態であると考えられる。酸化層中でNiが金属として存在することは、NiがFe, Crに比べ酸化され難い金属であることから容易に説明される。

酸素は、第2図d) においてEPと比較すると、金属と結合が弱い高 E_b 側の O-H あるいは O_{ad} のピークが小さく、低 E_b 側の O-M のピークが明確である。また、O-M



第1図 EPおよびGOLDEPの深さ方向組成分布
Fig. 1 Depth profile of the elements on the surface of EP and GOLDEP



のピークは図中に点線で示したようにスパッタリングに伴い高 E_b 側にシフトする傾向が認められた。 Cr_2O_3 の酸素は Fe_2O_3 の酸素より高 E_b 側にシフトすることが報告されており、この O-M ピークの高 E_b 側へのシフトは第 1 図に見られる不動態膜組成の変化と関連づけられる。

以上の解析結果より、GOLDEP の不動態膜は外層で Fe 酸化物（複数の酸化状態が存在する）濃度が高く、内層で Cr_2O_3 濃度が高いことがわかる。また、酸化不動態化前の表面を 1800 秒付近の位置と考えると酸化の過程が次のように理解される。

すなわち、酸化前の母材合金表面を境にして、外層は Fe の外方拡散によって成長した外部酸化層であり、内層は酸素の内方拡散によってステンレス合金中に形成された Cr（あるいは Fe）の内部酸化層と考えられる。これは、酸素との親和力の大きい Cr が界面に近い合金内部で選択的に酸化されるため、G.C. Wood⁵⁾ による初期酸化モデルの考え方と一致する。

第 3 図に、第 1 図の GOLDEP の深さ方向組成分布から酸素を除いて、合金中の各元素の割合をプロットし直した図を示した。外部酸化層と内部酸化層の境界付近で Cr の濃縮が顕著である。しかし、内部酸化層直下で Cr 欠乏層、すなわち、合金組成よりも Cr 濃度の低い層が認められないことから、Cr の濃縮は Cr が合金内部から界面付近に拡散して濃縮したものではなく、Fe が外方拡散したため見かけ上濃縮したものと思われる。

また、第 1、3 図に示されるように、外部酸化層中に Cr, Ni も存在しており、これは Fe 以外に Cr, Ni の外方拡散も生じていることを示唆する。酸化物中の金属イオンの自己拡散係数は、 $\text{Fe}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Fe}^{3+}$ であり、Fe は 2 価イオンとして拡散すると考えると各金属イオンの外方拡散の程度をある程度説明できる。

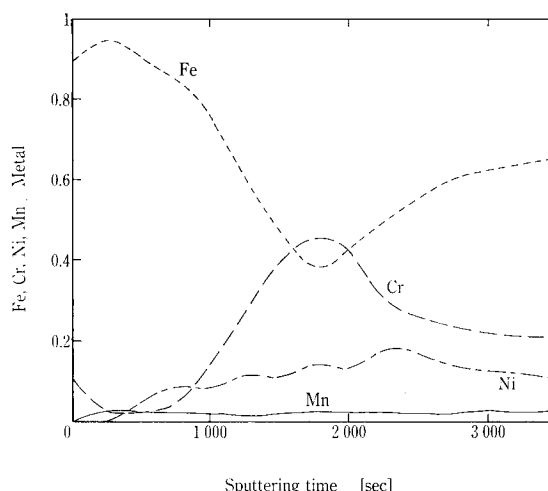
2. ウェット酸処理による表面改質-GOLDEP-WHITE

2.1 ウェット酸処理の効果

GOLDEP を種々の条件でウェット酸処理し、金属イオンの溶出量を調べた。第 4 図に、塩酸および硫酸に対する GOLDEP の 1 日の溶出量を濃度、温度をパラメータとして示した。各金属イオンの溶出量は、 $\text{Fe} > \text{Cr} > \text{Ni}, \text{Mn}$ の順で、温度および濃度に対する変化は同様な傾向を示したので、Fe, Cr についてのみ結果を図示した。

塩酸、硫酸ともに温度、濃度の増加に伴い溶出量は増加した。1% 塩酸を用いて 50°C あるいは 80°C で酸処理した場合は、激しい腐食が起こり Fe, Cr とも溶出量は急増した。全体的に、塩酸の方が硫酸よりも溶出量が多く、濃度あるいは温度が増加すると Fe が Cr に対して選択的に溶出する傾向があった。

酸によって著しい腐食が進行せず、かつ酸化物の溶解が短時間に進行する条件でウェット酸処理を行い、酸に対する溶出量の時間変化を調べた結果を第 5 図に示す。約 1 時間までは処理時間とともに溶出量が増加し、それ以後はほぼ一定値を示した。前述のごとく、GOLDEP の不動態膜の外層は Fe 酸化物が主体であるため、これが溶出した時点で溶出が抑制されるものと考えられる。



第 3 図 GOLDEP の不動態膜の金属分布
Fig. 3 Metal fractions in passivated film of GOLDEP

XPS を用いて、酸処理時間が 40 分と 8.5 時間後の表面分析を行い、酸処理が表面組成におよぼす影響を調べた。第 6 図に、全金属成分に対する酸素の割合の深さ方向変化を酸処理前の GOLDEP と比較して示した。酸処理後は、GOLDEP に比べ酸素/金属比が急激に減少し、酸処理時間の増加とともに不動態膜が薄くなることがわかる。しかし、40 分から 8.5 時間の間には膜厚の減少はそれほど大きくなかった。

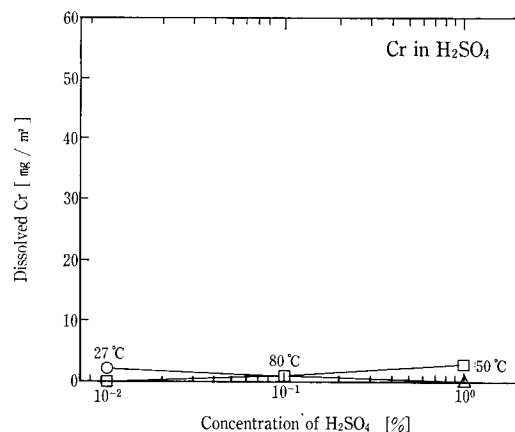
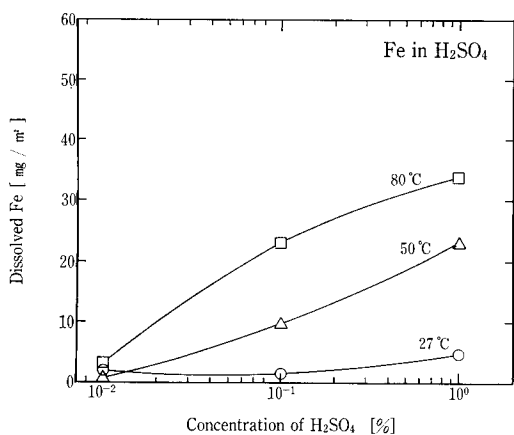
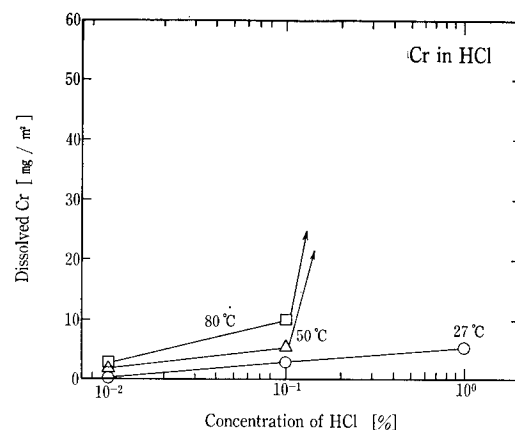
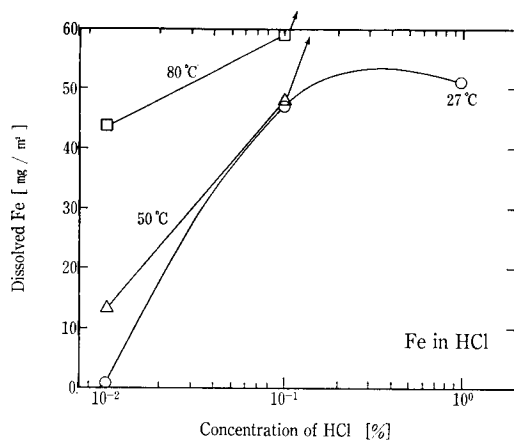
第 7 図に、全金属成分に対する Fe, Cr および Ni の割合の深さ方向分布をそれぞれ示した。なお、40 分と 8.5 時間の分布は、GOLDEP の分布と同様にスパッタリング時間で表現するのではなく、第 6 図において酸素/金属比がほぼ 0 になる点を基準にしてプロットした。これにより、GOLDEP の元の表面に対する酸処理の影響がよく理解できる。すなわち、40 分の酸処理により、Fe 濃度の高い部分が消失して表面が後退し、Cr 濃度の濃縮した内層が露出する様子が見られる。さらに酸処理を行うと、表面の後退よりもむしろ Fe 濃度の減少および Cr, Ni 濃度の増加が進行する傾向が見られた。酸処理による溶出の初期に外部酸化層が溶解除去され、その後 Fe の溶出などにより Cr の濃縮が進むことが示唆される。なお、8.5 時間の酸処理では、Fe 酸化物層はかなり減少していることが XPS スペクトルから確認されている。

以上より、適切なウェット酸処理条件を選ぶことにより、 Cr_2O_3 濃度の高い内部酸化表面が露出し、それ以降の溶出を抑制する効果があることがわかった。

2.2 ウェット酸処理の特長

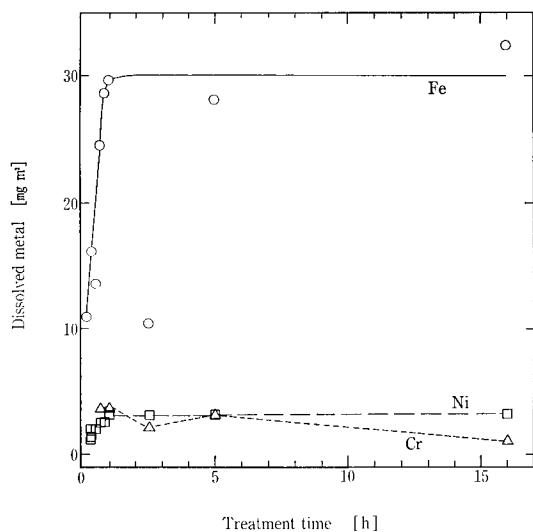
Cr_2O_3 濃度の高い不動態膜を形成するには、酸化条件あるいは母材条件などに関してもいくつかの方法が考えられる。

通常の大気雰囲気下で酸化を行うと、酸素との親和力の小さい Fe の酸化物層が表面に形成されるが、酸素ポテンシャルを下げることにより Fe 酸化物の形成を抑制することが可能である。第 2 表に、各酸化物の平衡酸素分圧を 500°C を例にとって示した。酸素ポテンシャルが $10^{-42} \sim 10^{-30}$ atm 程度になるよう酸素分圧をコントロールする

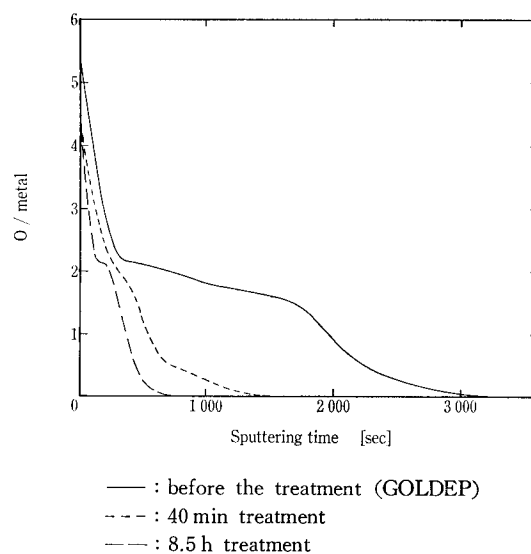


—○—: 27°C —△—: 50°C —□—: 80°C

第4図 塩酸および硫酸に対する GOLDEP の金属イオン溶出量
Fig. 4 Amounts of dissolved metal ions in HCl and H₂SO₄



第5図 ウェット酸処理による金属イオン溶出量の時間変化
Fig. 5 Time dependence of dissolved metal ions by the wet-acid treatment



第6図 ウェット酸処理による酸素/金属比の変化
Fig. 6 Variation of oxygen/metal ratio of passivated film by the wet-acid treatment

第 2 表 500 °C における酸化物の平衡酸素分圧

Table 2 Equilibrium partial pressure of oxygen for various oxides at 500 °C

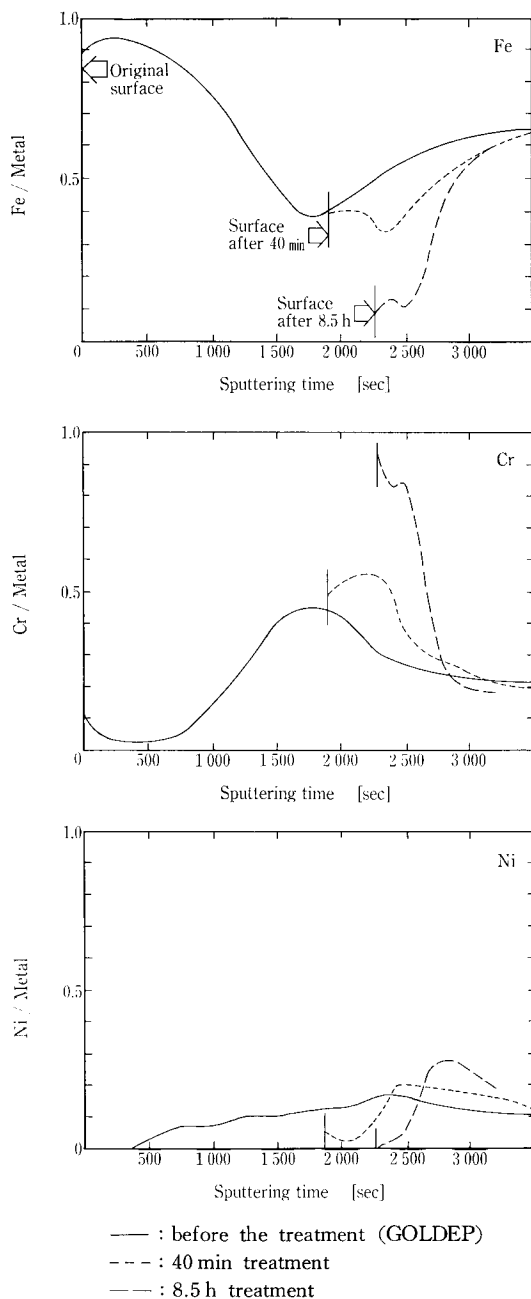
Oxide	Equilibrium partial pressure (atm)
Fe/Fe ₃ O ₄	9.8×10^{-30}
Fe ₃ O ₄ /Fe ₂ O ₃	9.5×10^{-20}
Cr/Cr ₂ O ₃	2.8×10^{-42}
Ni/NiO	1.7×10^{-23}

第 3 表 水酸化物の平衡解離定数

Table 3 Equilibrium dissociation constant for hydroxides at 25 °C

Reaction	pK ^{*)}
Fe(OH) ₃ ↓ ⇌ Fe ³⁺ + 3 OH ⁻	37.4~38.2
Cr(OH) ₃ ↓ ⇌ Cr ³⁺ + 3 OH ⁻	30.3

$$*) \text{ pK} = -\log K = -\log \frac{[M^{3+}] \cdot [OH^-]^3}{[M(OH)_3]}$$



第 7 図 ウェット酸処理による不動態膜組成の変化

Fig. 7 Variation of the composition of passivated film by the wet-acid treatment

と、Cr のみが選択的に酸化されることが予想される。酸素ポテンシャルをこの程度まで下げるには、H₂-H₂O または CO-CO₂ 混合ガス比を調節するなどの精密な雰囲気コントロールが必要である。

ステンレス母材の Cr 含有量や結晶粒度など母材側因子も酸化不動態化後の表面組成に大きな影響をおよぼす。一般に、Cr 含有量が高いと合金内部から Cr が表面に供給されるため連続した Cr₂O₃ 層が形成され易くなることが知られている。また、結晶粒度が細かいと、Cr の拡散が促進されるため Cr₂O₃ 濃度を高めるのに有効であることも報告されている⁸⁾。

一方、GOLDEP-WHITE は、前述のごとく大気雰囲気下で酸化した後、ウェット酸処理によって Cr₂O₃ 濃度を高めるものである。したがって、ウェット酸処理は他の方法に比べ、通常の Cr 含有量を有するステンレス汎用鋼を用いて、精密な酸化雰囲気のコントロールをすることなく Cr₂O₃ 濃度の高い不動態膜を形成する簡便な方法であると言える。

3. 溶出性に関する平衡論的考察

不動態化の結果形成された Fe 酸化物あるいは Cr 酸化物の安定性について、平衡論的考察を行った結果を述べる。

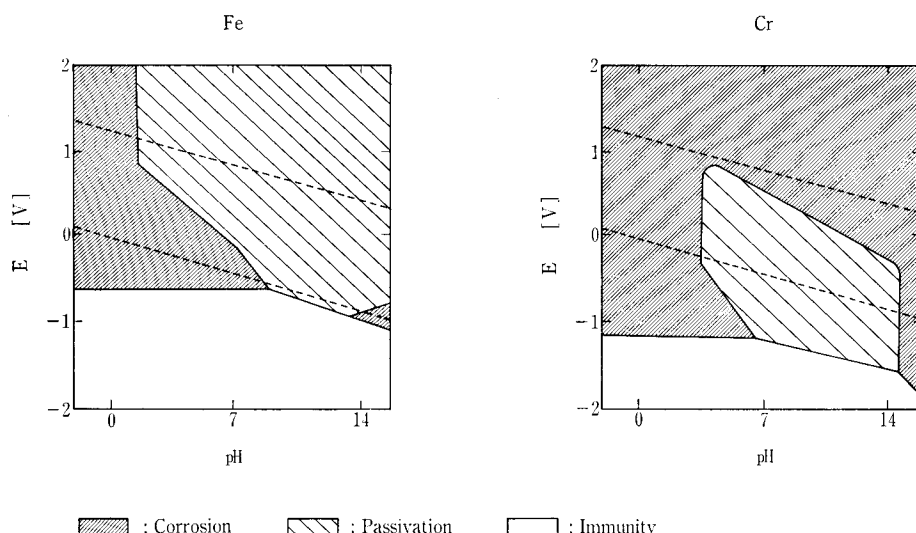
3. 1 腐食生成物の安定性

第 3 表に 25 °C における Fe および Cr 水酸化物の平衡解離定数の pK を示した⁷⁾。酸化物の表面は、水溶液中では水和し、水酸化物に近い状態であるので、この値によって不動態皮膜の安定性を考えることができる。なお、pK の値が小さいほど溶解しやすいことを示す。

第 3 表より、Fe 水酸化物の方が Cr 水酸化物よりも pK 値が大きく解離平衡は低い。Fe₂O₃ 不動態膜の方が Cr₂O₃ 不動態膜より溶解し難いことがわかる。しかし、解離平衡定数は、酸・塩基反応を扱ったもので電位の変化を考慮していない。腐食を考える場合は、電位の変化を伴う酸化・還元反応も考慮した電気化学的考察が必要である。

3. 2 電位を考慮した腐食生成物の安定領域

金属と水溶液中のイオンの平衡関係と、金属/酸化物電極電位の両者を加味して一種の平衡状態図として表現した電位-pH 図 (Pourbaix 図) を基に、各金属が水溶液中で溶出する可能性があるかどうかを考察することができる⁸⁾。これは腐食図と呼ばれており、第 8 図に Fe, Cr の例を示した。金属面と平衡する可溶性イオンの活量が、10⁻⁶ モル/l 以下の場合溶出が無視できるとして、以下の 3 つの領域に分類されている。



第8図 Fe および Cr の腐食図
Fig. 8 Corrosion diagram of Fe and Cr

- 1) 腐食域 : イオン活量が 10^{-6} モル/1以上の領域
- 2) 安定域 : イオン活量が 10^{-6} モル/1以下で金属状態で安定な腐食しない領域
- 3) 不動態域 : イオン活量が 10^{-6} モル/1以下の溶解度の固体腐食生成物を生ずる領域

不動態域では、腐食電位（ある水溶液中で観測される電極電位で、標準電位とは区別する）が平衡電位より高い場合でも腐食生成物が難溶性の皮膜を形成するため腐食は起こらない。

この図を用いて、Fe 不動態膜と Cr 不動態膜の超純水に対する溶出性を比較した。

pH=7 におけるFeおよび Cr の腐食電位は、3%NaCl 水溶液中で調べられた結果を参考にすると、それぞれ $-0.3 \sim -0.5$ V, $-0.02 \sim +0.23$ V 付近である⁹⁾。第8図より、pH=7 ではFe 不動態域の電位は0 V 以上にあるため超純水中では腐食域に入りやすいと考えられる。一方、Cr では $-1.2 \sim +0.5$ V の範囲で不動態域であり、超純水に対しては Cr の方が不動態域が広く安定に存在し得ると予想される。

以上より、3.1 で述べたように解離定数から見た不動態膜の安定性比較では、 Fe_2O_3 が Cr_2O_3 よりも優れていたが、電位変化を考慮すると Cr_2O_3 不動態膜の方が超純水に対しては安定に存在し得ることがわかった。したがって、緻密な皮膜が形成されている理想的な場合を仮定すると、 Cr_2O_3 が Fe_2O_3 より信頼度の高い不動態膜であると言える。

また、第8図から、酸性性の環境では Cr 不動態膜は腐食されるが Fe 不動態膜は安定に存在すること、アルカリ性溶液に対しては両者とも安定であるが Fe の方が不動態域が広いこと、酸性溶液に対しては両者とも腐食されることなどがわかる。1.2 および 2.1 で検討したように E P, GOLDEP あるいは GOLDEP-WHITE ではそれぞれ不動態膜の組成、化学状態が異なる。これらを超純水に限らず

他の薬品類などに適用する場合は、使用環境条件によって適切な表面改質材を選択することが重要であろう。

むすび

一旦形成した酸化被膜を酸に曝すことは一見無謀なことのように思われるが、保護性皮膜は本質的に腐食生成物であるので、腐食が起こる前に腐食をコントロールし、いかに安定な腐食生成物を形成させるかということになる。

超純水用装置材料としては、現在、塩ビおよびフッ素系樹脂が主流を占める。しかし、I C 集積度向上に伴う超純水水質基準のアップ、あるいは、環境問題の顕在化による高温超純水やオゾン超純水を用いたプロセスへの移行など、樹脂系材料から他材料への転換には一層拍車がかかるのではないと思われる。その中で、不動態化ステンレス鋼は、樹脂代替材料として適用の可能性は大きい。

本稿では、X P S による表面解析の結果を中心に E P, GOLDEP, GOLDEP-WHITE の不動態化表面について検討したが、表面形態（粗さ）、結晶性、緻密性などは考慮しなかった。X P S ではこれら膜質に関する情報までは得られない。また、組成や化学状態分析にしても表面の平均化された情報しか得られない。このような表面分析法の限界を踏まえた上で、今後、種々の表面解析手法による評価を活用し、極低溶出性を実現すべくステンレス鋼表面改質技術の開発を進めていく。

【参考文献】

- 1) 特許第1,575,416号
- 2) 杉澤政宣ほか：神鋼パンテック技報, Vol. 36, No. 2, p. 30 (1992)
- 3) 大西宏子ほか：神鋼パンテック技報, Vol. 36, No. 1, p. 1 (1992)
- 4) 岡本康昭：触媒, Vol. 27, No. 1, p. 205 (1985)
- 5) G.C. Wood: Oxide. Metals, 2, 11 (1970)
- 6) 小若正倫ほか：日本金属学会誌, 36, 486 (1972)
- 7) G. Charlot：定性分析化学Ⅱ, 共立全書, p. 244, 253
- 8) 伊藤伍郎：腐食科学と防食技術, コロナ社, p. 57, 60
- 9) 大谷南海男：金属表面工学, 日刊工業新聞社, p. 52

プロセスモニタ PMX-98 Ver. 1.5 の紹介

An Introduction to the PROCESS MONITOR

PMX-98 Ver. 1.5



技術開発本部 FAソフト技術室
的 野 哲 也
Tetsuya Matono

Five years have passed since the introduction of "PROCESS MONITOR PMX-98". It has recently become necessary to revise the PROCESS MONITOR PMX-98 because of various kinds of request from customers and the development of apparatuses, for which the PMX-98 can be used. In order to deal with such a situation, we are going to introduce the "PROCESS MONITOR PMX-98 Ver. 1.5", which has some new functions.

The VERSION 1.5 (the new version) can process string type data so that it can read data from a barcodes etc; without any conversion. In addition, this version enables the use of a mouse and a touch panel; therefore, the operator can build simple systems easily with the enhanced graphic function.

This paper introduces an outline of the "PMX-98" first and then gives a detailed explanation of the new version of the "PMX-98".

ま え が き

「プロセスモニタ PMX-98」も発売以来5年を迎え、その間ユーザーからの様々な要望や、対応機器の進歩にともなう改定の必要性が生じてきた。それに応えるため、新機能を追加し「プロセスモニタ PMX-98 Ver. 1.5」として販売することとなった。

今回の改訂により今まで扱えなかった文字列型のデータが扱えるようになり、バーコードなどから読み取ったデータをそのままの形で処理可能となった。さらにグラフィック表示機能の強化とマウス、タッチパネルに対応し、オペレータにやさしいシステム構築が可能となった。

本稿では PMX-98 を簡単に紹介し、今回のバージョンアップの詳細について説明する。

1. PMX-98 の概要

PMX-98は、FA、LAシステムをプログラムレスで構築することのできるパッケージソフトである。すなわち、パソコンとプログラマブルコントローラ、多重伝送機器、I/Oボードなどを接続してシステムを構成することができる。

1.1 ハードウェア構成

パソコンはNECのPC-9801シリーズとその互換機が使用できる。

接続機器としては、FA分野ではプログラマブルコントローラを利用するのが一般的であり、本ソフトは国内のほとんどのメーカーのプログラマブルコントローラに対応している。また、メーカーが提供しているプログラマブルコントローラネットワークを利用すればさらに高度な生産管理システムも可能となる。

プログラマブルコントローラ以外にも多重伝送機器、RS-232C機器、I/Oボードなどの機器にも対応しておりマルチベンダ環境下でのシステム構成が可能である。

さらに発展した形態としてパソコンLAN(Local Area

Network)に接続し、パソコン間の情報を共有し、統合的な情報処理を行うことも可能で、ローコストなCIMを構築できる。

1.2 ソフトウェア構成

第1図にPMX-98のソフトウェア構成を示す。OSにはMS-DOS (Ver. 3.1以上)をベースとし、VMX-86を組み込んでリアルタイムマルチタスク環境を提供している。

ハンドラはパソコンと接続機器とのデータ入出力を行うプログラムで、通信プロトコル、スケール変換などの処理を行う。ハンドラで対応できる機器は、プログラマブルコントローラ、デジタル調節計、レコーダ、多重伝送機器、各種計測機器など多種多様である。また、インターフェースとしてはRS-232C、RS-422などの汎用通信インターフェース、機器メーカーから提供されているI/Fボードによる通信インターフェース、I/Oボードによるデジタル、アナログインターフェースなどが利用できる。

ハンドラは最大4本まで組み込むことができ、リアルタイムデータマネージャが全体的な管理を行っている。PMX-98のタスクとして、バックグラウンドタスクとフォアグラウンドタスクとがある。バックグラウンドタスクは、パソコンのメモリに常駐して動作するプログラムのことで、画面表示と関係なく常時動作している。また、フォアグラウンドタスクは、非常駐で動作するプログラムのことで、画面出力などを行うプログラムである。

1.3 ソフトウェア機能

第1表にPMX-98のソフトウェア機能を示す。バックグラウンドタスクには、機械の故障や復帰などといったイベントを監視するイベント監視機能、一定時間またはイベント発生時にデータをファイルに書き込むデータ収集機能がある。また、フォアグラウンドタスクには、多彩な表現力をもつグラフィック表示機能、時系列のデータを表示す

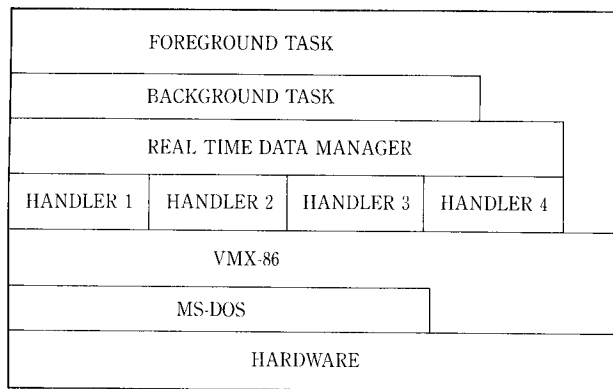
るトレンド表示機能、警報等の内容を表示するメッセージ表示機能、接続機器のデータを変更する設定操作機能、日報・月報などを出力するレポートファイル作成を標準機能として備えている。また、バッチファイルや、MS-DOS コマンド、ユーザ作成プログラムもフォアグラウンドタスクとして実行できる。

一方、オプションソフトとして、上位通信、品種管理、デマンド監視などを用意している。

また、プログラムインターフェースとして、C言語ライブラリを用意しており、ユーザはマルチタスクOSに対応した個別のプログラムを作成することができ、フォアグラウンド、バックグラウンドのどちらでも動作させることができる。

1. 4 システム構築

システム構築はユーティリティソフトを用いてプログラムレスで行うことができる。ユーザはメニュー形式で入力



第1図 PMX-98のソフトウェア構成
Fig. 1 Software construction of PMX-98

第1表 PMX-98のソフトウェア機能
Table 1 Software function of PMX-98

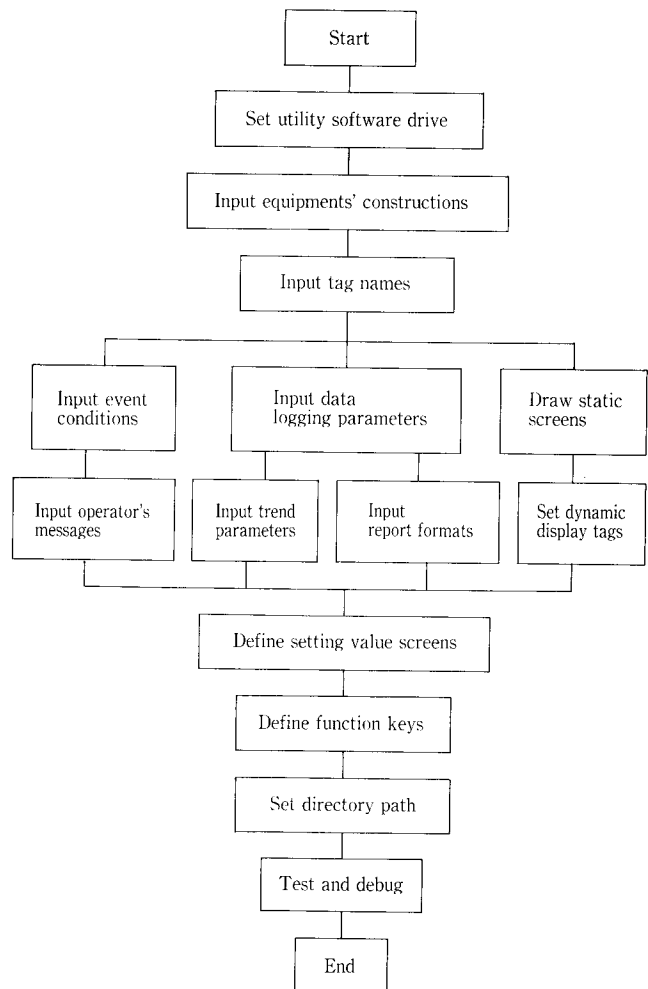
Event monitor	Alarm, message and status Print out
Date logging	Interval driven type Event driven type
Graphic display	ON/OFF of digital tags by characters, special symbols and their attributes Display of analog tags by numerical values and bar graphs
Trend graph	Display of strings by string type tags Historical trend graph Real time trend graph
Message display	Historical alarm Operator message Guidance
Setting values	Setting ON/OFF of digital tags Setting upper or lower limits of analog input tags Setting upper or lower limits of analog output tags Setting initial values of timers or counters Setting set values and upper or lower limits of loop controllers
Output of report files	Setting bit tags as alternate switch Output of daily reports to files or a printer

項目の選択を行い、必要な入力画面を開けてデータを登録する。第2図にシステム構築の手順を示す。最初に接続機器の構成を設定すると、構成機器に合わせたタグリストが自動的に展開される。この時ユーザは、ハードウェアの詳細仕様やデータ入出力についての詳しい内容を知る必要はない。このタグリストにタグ名を登録すれば、その他のソフトウェアの機能の設定は、全てタグ名のみで行える。

1. 5 特長

PMX-98の特長を次に示す。

- 1) F A / L A システムがプログラムレスで簡単に構築可能
- 2) リアルタイム・マルチタスク化 MS-DOS により高速高機能
- 3) プログラマブルコントローラ、多重伝送機器、I/O ボードなど多種多様な機器とリンク可能



第2図 システム構築手順
Fig. 2 Flow of building up systems

〔注釈〕

- ・ MS-DOS はマイクロソフト社の登録商標である。
- ・ VMX-86 は(株)バックスの登録商標である。
- ・ Lotus と 1-2-3 はロータスディベロップメント社の登録商標である。

- 4) ユーザープログラムを作成して、平行処理が可能
- 5) Lotus 1-2-3 などの市販ソフトとデータの共有が可能
- 6) 連続プロセス、バッチプロセス、個別プロセスにも幅広く対応

2. PMX-98 Ver. 1.5 の新機能

PMX-98 Ver. 1.5 のソフトウェア仕様を第2表に示す。今回の特に大きな変更は文字列型のデータが扱えるようになったことと、マウス、タッチパネルに対応したこと、そしてグラフィック表示機能を強化したことである。以下にこれらの詳細な内容を説明する。

2.1 文字列型データ

PMX-98 Ver. 1.5 の大きな特長の一つは文字列型のデータが扱えるようになったことである。今までは、ONとOFF（あるいは0と1）の2つの信号のみを扱うビット型データと数値を扱うアナログ型データ、計数を扱うカウンタ型データの3種類であったが、最近はバーコードなどの普及にともない文字としてのデータを扱う必要性が生じ、またユーザからも文字列型データへの対応の要望が強かった。

文字列型のデータを用いることにより、製品名や製品番号を数値に置き換えることなくそのままの形で扱うことが可能となる。つまり、ある製品名を入力するとその製品用に設定された処理を行うといったことが可能となる。（旧バージョンのPMX-98でこのようなことを行おうとすると、一度製品名を数値に置き換えその数値で後の処理が行われるためにオペレータに分かりづらいものであった。）製品名だけでなく、時刻や日付といったデータもそのままの形で扱えるなど応用範囲は格段に拡大した。

2.2 タッチパネルへの対応

タッチパネルとは、CRTの画面の定められた部分に触れることによってコンピュータに信号を送ることができる外部入力機器である。最近は銀行などのCD機（Cash Dispenser）などに多く利用されている。タッチパネルを使用することの利点は、

- 1) 粉塵の多い環境でも使用できる。
- 2) CRT画面に直接触れて操作するので、オペレータに理解しやすい。
- 3) キーボードなしで運用できる。

などがある。FAシステムが稼働される環境は様々であり、粉塵対策のうえでも、またオペレータに理解しやすいシステムにするためにもタッチパネルへの対応は必至であった。そこで、今回のバージョンアップ時にオプションとして対応することにした。今回対応したタッチパネル（（株）ニッシャインターシステムズ製）の仕様を第3表に示す。現在、タッチパネルに完全対応しているタスクは、グラフィック表示機能のみで、他のタスクは画面の切替えができるだけであるが、順次完全対応していく予定である。（グラフィック表示機能でのタッチパネルの使用方法などは次章に示す）

2.3 グラフィック表示機能

2.3.1 グラフィック表示機能の概要

PMX-98というグラフィック機能とは外部機器から取り込んだデータを予めユーザが描いた固定画面上に表示させるもので、ただ単に値を見るのと異なり非常に理解しやすくなっている。第3図に画面の例を示す。グラフィック表示機能の設定は、まず市販のグラフィックツールを用いて構築するシステムに対応した固定画面を描き、その画面上にPMX-98のユーティリティで動的表示部をマウスを使って割りつけるという簡単なものである。動的表示は、ON、OFF（あるいは、0と1）の信号で表示を変化させるものと、数値をそのまま表示あるいはバーグラフとして表示させるもの、そして今回新たに文字列型のデータにも対応し、それらを拡大表示することもできる。

2.3.2 表示形態の追加

PMX-98 Ver. 1.5のグラフィック表示機能で表現可能な表示形態の中で新たに加わった文字列型のデータとペイント機能さらに拡大表示機能について詳しく説明する。

1) ペイント機能

PMX-98というペイント機能とは静的画面上の閉じた図形を示すことにより、ビット型データのON、OFFの信号によって設定した色で塗り潰すというものである。例えば、ある配管内の温度が上昇して警報を出す場合に配管の色を赤になるように設定しておけば分かりやすい。

2) 拡大表示機能

パソコン（PC-9801シリーズ）の通常の文字のサイズは8×16ドット（日本語は16×16）の点の集まりで描かれており、グラフィック表示画面で扱うには小さくて見づら

第2表 PMX-98 Ver. 1.5のソフトウェア仕様
Table 2 Software specification of PMX-98 Ver. 1.5

Connected equipment	Max 4
Tag	Max 1024
Event	Max 512
Data logging condition	Interval type and event type
Data logging tag	Max 60/type
Trend graph	Max 16 screens/type (historical and real time type)
Trend graph pen	Max 6 pens/screen
Graphic display	Max 128 screens
Tag for dynamic display	Max 256 points/screen
Message	Max 512
Guidance	Max 256
Setting values	Max 16 screens
Tag for setting	Max 8 points/screen
Output of report file	Max 16 files

第3表 タッチパネルの仕様
Table 3 Specification of touch panel

Technology Type	Analog Capacitive
Touch Screen Resolution	1024 touch points per axis within calibrated area
Conversion Speed	Up to 180 touch points per second at 9600 baud
Optical Clarity	85 % light transmission at 550 nm

いので、拡大表示機能を追加することとなった。拡大表示機能の追加によりグラフィック表示機能で扱える文字、記号、数値などが全て拡大できる。拡大率は2, 4, 8, 16倍が用意されており、もちろん縦方向と横方向で異なる倍率が設定できる。拡大して表示された値の画面の例を第4図に示す。拡大される文字や記号はグラフィック画面にソフトウェアで描かれるために表示速度などの面で問題になることがあったが、最近のパソコンは処理速度が速いのでほとんど問題にならない。

2. 3. 3 値の出力

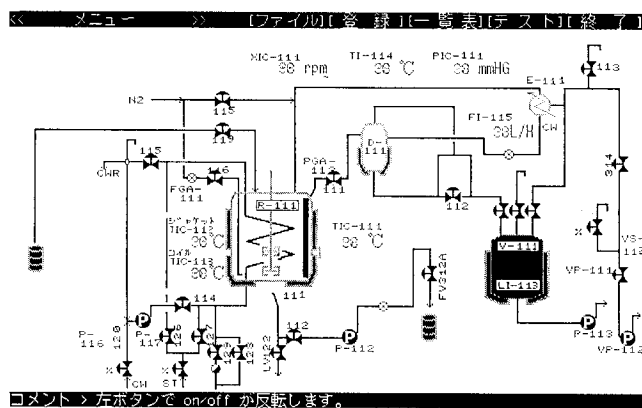
パソコンより外部機器へデータ出力する方法は、旧バージョンでは設定操作機能のみで行えなかったが、Ver. 1.5ではグラフィック表示機能からも行えるようになった。予め値を出力すると設定してあるタグを画面上で選択し、キーボードより値を入力することにより出力がおこなえる。また、予めユーザが設定登録したポップアップメニューでも値を出力することができる。ポップアップメニューの画面の例を第5図に示す。ポップアップメニューとは、タグにデータを入力したいときに画面上のタグを選択すると表示されるキーのことで、これをマウスでクリックするか、あるいはタッチパネルが使用されている場合は画面に指で触れることによりその値が外部機器に出力される。ポップアップメニューはユーザが自由にキーのレイアウトをすることができるのでユーザに必要なキーだけを表示させることが可能であり、タッチパネルとの併用によりキーボードレスでシステムを運用することができる。

2. 3. 4 タッチキー機能

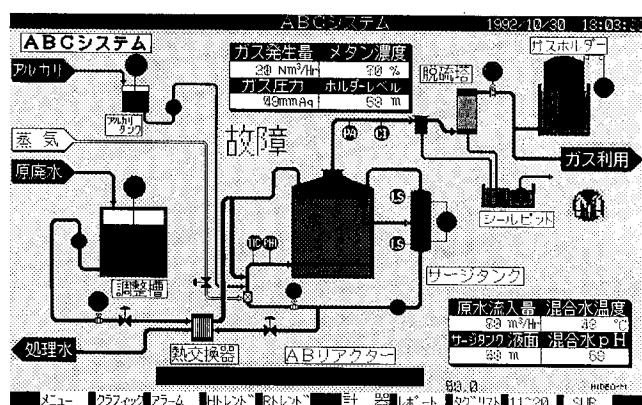
PMX-98というタッチキー機能とは、予め設定しておいたCRT画面上のある位置をマウスでクリックあるいはタッチすることにより、画面を切り替えることができるのである。PMX-98では、画面の切り替えは通常キーボードのファンクションキーで行うが多いときには4回キーを押さないと目的の画面が現れないことがある。ところがこの機能を用いると1回の操作で目的の画面を表示させることができる。そしてこの機能のメリットは、概略図の一部分を示すと詳細図が表示されるといったような使用方法のときに発揮される。例えばビル管理を例にとると、まずビル全体の絵を描いた画面を表示し、あるフロアの場所を押すとそのフロアの画面に切り替わるといった事が可能となり画面の相互関係が理解しやすくなる。

む す び

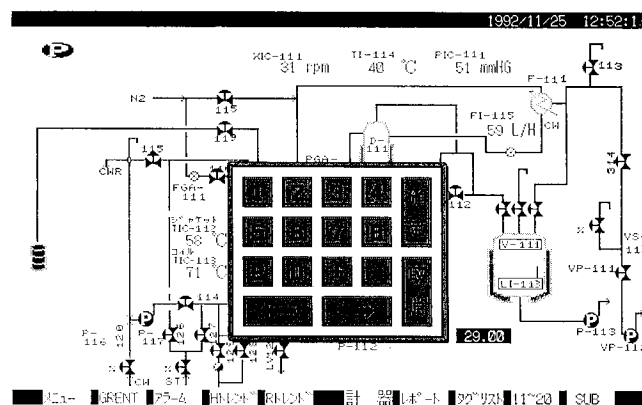
今回述べたバージョンアップの機能以外にも多くの改善が行われており、プロセスモニタPMX-98 Ver. 1.5は、旧バージョンに比べて格段に機能が向上したと確信している。しかし、今回のバージョンアップで改善することのできなかった点もあり、今後課題を残しているのも事実である。今後は、それらの点を解決していき、高機能化を進めユーザ各位のご要望に応えるべく一層の改善に努めていく所存ですので、各位のご指導とご支援をお願い致します。



第3図 グラフィック画面の例
Fig. 3 Example of graphic display



第4図 拡大表示の例
Fig. 4 Example of magnifying indication



第5図 ポップアップメニューの例
Fig. 5 Example of pop-up menu

〔参考文献〕

- ・広岡隆志：自動化技術（FAシステム構築用パッケージソフトとその適用例），第24巻，第9号，（1992），工業調査会，P100

社 内 ニ ュ ー ス TOPICS

杜氏制度に“存続の危機”

高齢化に後継者不足

Shortage of skilled workers at sake breweries brought about crisis on retaining 'Tohji' system

杜氏制度は、酒造りの責任者となる杜氏と作業担当の蔵人で構成。大半が農業従事者で、農閑期とともに酒どころに出向き、約半年間季節労働をする。清酒製造従業員に占める割合は85%に及ぶ。

日本酒造杜氏組合連合会（東京、全国23組合で構成）によると、杜氏と蔵人の総組合員数はここ4半世紀の間に3分の1にまで減少。平均年齢も過去10年間で5歳近くアップして56.6歳に、杜氏だけでは60.9歳（大阪国税局管内27社の平均）になっている。

背景にあるのが農村の構造変化。農家の大部分が兼業農家となり、「農村部の労働者が近郊の企業や工業団地に流れ、農閑期という概念や半年間も家族と離れて酒造りをする習慣自体が失われてきた」（同連合会事務局）。

酒造り50年の但馬杜氏、米田幸市さん(66)＝城崎郡杜氏組合＝も「後継者の育成が最大の課題。最近は技術指導だけでなく、経営者と蔵人の間で労働条件の改善策を検討したり、人探しに駆け回る日々」と話す。これまでに若年労働者の1カ月3交代制勤務を実現させたほか、但馬の元漁師を蔵人としてスカウトする努力も続けている。

メーカー側も対策を模索中だ。例えば辰馬本家酒造（本社・西宮）はコンピューターとロボットを駆使したハイテク工場を同市内に建設している。本醸造はじめ各製造工程をコンピューターに入力。精米、醸造、貯蔵工程をすべて自動ライン化する予定で、「杜氏の経験や勘をファジー理論でデータ化した。ロボットの併用で杜氏、蔵人をゼロにすることも可能」（澤田昌和統括部長）という。

もともと大手は、昭和40年代に生産増強と合理化の狙いから年間を通じて酒造りできる四季醸造工場に相次いで転換。季節労働者とは別に、常雇用の従業員を増やしてきた。杜氏や蔵人不足の直撃を受けるのは、むしろ中小零細の地酒メーカーで、「作業員が5人前後の中小零細では、熟練労働者が欠けると転廃業をせざるを得なくなる。現在2千あるメーカーの9割が淘汰される」と推測する灘五郷の関係者もいる。

もちろん地酒メーカーも手をこまねいているわけではない。宮城県内でトップのシェアを誇る中堅メーカー・一ノ蔵は昭和48年に中小4社が合併したが、新会社設立とともに常用若手労働者の育成に力点を置き、現場のリーダー役に育ててきた。

「機械化は、地酒メーカーの持ち味を失いかねない。酒造りに熱意のある人材を一人でも多く育成することが生き残りにつながる」と鈴木社長。米田さんも「今後は人材を持つ者と持たざる者の間で、品質面の企業間格差が増大する」と見る。

作業員不足を乗り切るために機械化の道を選ぶのか、そ

れとも熟練労働者を育てて自社の味を守るのか。一。経営者の手腕が問われている。（'92.11.29 神戸新聞）

「杜氏の勘」自動化

清酒醗酵槽を開発……冷却、攪拌も

Shinko Pantec provides sake fermenter furnished with Tohji's expert skill

杜氏の手不足が酒造業界の悩みとなっているが、神鋼パンテックは17日、醸造温度管理から攪拌までを全自動で行う清酒醗酵槽を開発、白瀧酒造など2社に納入したと発表した。

酒造りで最も気を使うのは温度調節。杜氏が早朝、タンクの温度を測り、上がり過ぎていたら、タンクに水をかけるなどして下げる。しかし杜氏は全国で千人ほどしかいない上、高齢化も進んでおり、杜氏1人で20から30本のタンクを管理するところもある。

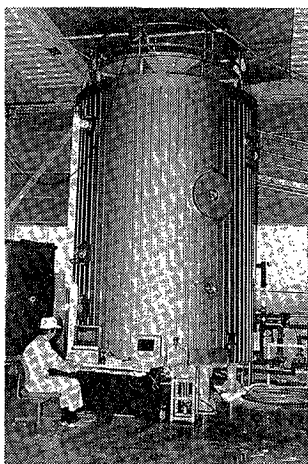
新製品はこの作業を自動化する装置。直径2.8m 高さ5.5mの円筒形で、仕込める米の量は6.7ton。価格は1基約1500万円から2000万円で、従来の醗酵槽の約2倍。

槽は2層からなり、従来の槽の上にステンレスのジャケットをかぶせ、そのすき間に冷却水を流すことで醗酵熱を下げる。コンピューターで制御し、吟醸酒、純米酒などの酒の種類別に醗酵温度を自由に設定できる。

また杜氏の熟練技術が必要とされていた「かい入れ」と呼ばれる攪拌作業も自動化した。底部に据え付けした直径45cmの3枚翼のプロペラでかき混ぜるほか、醗酵時に出る炭酸ガスを回収・圧縮して底部から放出。その泡の作用によって緩やかで微妙な攪拌を行えるようにした。

開発に当たった小林哲男化工機事業部第2営業部担当課長は「酒造りは杜氏の勘に頼る部分の多い作業。それだけに完全な自動化は無理にしても、重労働だった杜氏の仕事これで少しでも軽減されれば」と話している。

（'92.11.18 神戸新聞）



全自動GL清酒醗酵槽
Automatically controlled GL sake fermenter