

目次	CONTENTS
1 GOLDEP® WHITE の特性と性能	The Properties and Performances of "GOLDEP® WHITE"
6 グラスライニングの絶縁破壊	The Dielectric Breakdown Behavior of Lining Glass
10 多段流動床式活性炭吸着装置	Multistage Fluidized-bed Activated Carbon Adsorption Equipment
15 GLの耐食試験方法	Methods of Corrosion Testing for Lining Glass
20 タンクコンテナによる危険物の輸送と法規	Regulations for Tank Containers in Transport of Hazardous Materials
24 SVミキサーの新用途とシステム	New Applications and Systems of SV MIXER
28 グラスライニング製反応器の疲労評価	Fatigue Evaluation of Glass-Lined Reactors
33 生物膜濾過BCFによる磁気ディスク研磨排水の処理	Treatment of Polishing Wastewater from Magnetic Disk Manufacturing Process by BCF
37 UF膜を組合せた高負荷PANBIC-Fシステムの洗毛廃液処理への適用	Application of High Rate PANBIC-F System to Wool Scouring Wastewater in Combination with Membrane Filter
43 開放型サイフォン・フィルターの製品紹介	Introduction of "Open Siphon Filters."
50 —新製品紹介— バグフィルター	Bag Filter
55 社内ニュース	TOPICS

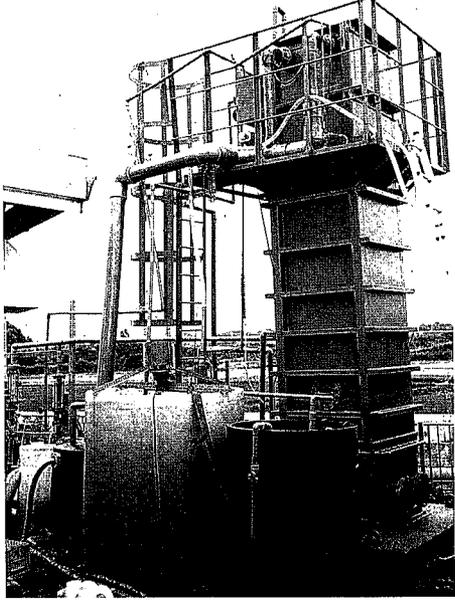
〈写真説明〉

上向流式生物膜ろ過装置WBFは、比較的高濃度の有機物、SSを含有する廃水向けに開発された好気性生物処理装置です。WBFは、高効率酸素供給装置の採用によって、動力費の低減と、高負荷処理による敷地面積の大幅な低減化が達成できました。今後、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ます。

An up flow type bio-contact filter (WBF) has been developed to treat waste water that contains relatively high concentration organic matter and suspended solid.

The WBF has accomplished reduction of power consumption and installation space by adopting a newly developed high efficiency oxygen dissolving unit.

This system is expected to offer a variety of applications to the field of industrial waste and sewage treatment.



GOLDEP[®] WHITE の特性と性能

The Properties and Performances of "GOLDEP[®] WHITE"



技術開発本部
大西 宏 子
Hiroko Ohnishi
安井 信 一
Shinichi Yasui
諏訪 健
Takeshi Suwa

With a remarkable advance of ULSI manufacture, it becomes more and more important to keep a wafer surface clean. Therefore ultrapure water to be used at the final rinsing stage must be kept as pure as possible. Recently, ozone added ultrapure water or high temperature ultrapure water is sometimes required. To meet these demands, component materials of ultrapure water supplying system should be free from impurities such as metallic ions or organic substances, also strong resistance against ozone attack and low leachability at high temperature is required.

GOLDEP WHITE is the most suitable material for satisfying these demands. This paper describes the properties and performances of GOLDEP WHITE.

まえがき

近年、半導体産業の著しい発展にともない、周辺技術は高性能化及び高純浄化をめざして発達してきた。さらに集積回路の高集積化及び歩留まり向上のためには、ウエハ表面の清浄化は必要不可欠である。洗浄の最終工程に用いられる超純水には、溶存イオンがpptレベルの安定した水質が要求される。一方、ウエハの製造プロセスにはオゾンを追加した超純水の活用が検討されている。¹⁾

超純水供給系の設備には、高温超純水やオゾン添加超純水の安定した供給と装置の連続運転が求められる。そのため、超純水系を構成する機器や部品の材料には、パーティクルの発生及び金属イオンや有機物の溶出を極限まで抑えることだけでなく、高温運転条件及びオゾンの添加に耐え得ることが要求される。電解研磨したステンレス鋼表面をCr酸化処理した材料は、これらの要求に対応できると考えられている。¹⁾

当社では、ステンレス鋼表面を電解研磨した後に熱処理を行った材料を「GOLDEP」(既報²⁾)、さらに熱処理後の酸エッチング処理によりCrリッチな不動態酸化皮膜を形成した材料を「GOLDEP WHITE」と称している。GOLDEP WHITEは、ステンレス鋼本来の機械的強度・耐熱性・加工性に加えて優れた耐溶出性能・耐オゾン性能を示し、超純水系の装置や部品の構成材料として注目されている。本稿ではGOLDEP WHITEの特性と性能を紹介する。

1. GOLDEP WHITE の製造工程

1.1 製造工程

GOLDEP WHITEの製造工程を第1図に示す。素材にはSUS316L材を採用している。

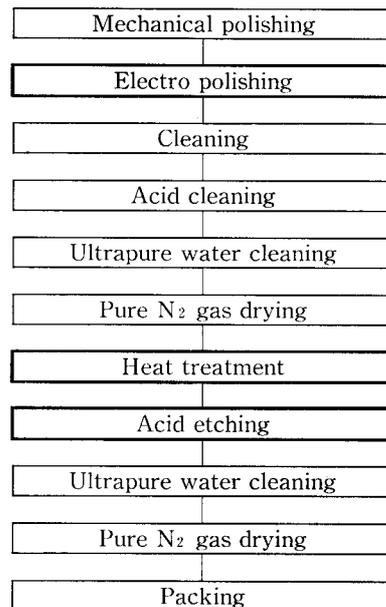
まず、素材表面を機械研磨により平滑にした後、電解研磨で加工変質層を除去する。洗浄により電解研磨後の付着物を洗い流し表面を清浄にした後、不活性ガスをブローし、水滴を飛散させ乾燥する。この時素材は平滑で光沢のある表面となる。ついで熱処理により酸化皮膜を形成した後、酸エッチング処理でCrリッチな皮膜を形成する。

熱処理後の酸化皮膜は、その膜厚に依存する干渉色のため金色を呈するが、酸エッチング処理すると酸化皮膜の表層部を除去した膜厚となるため、GOLDEP WHITEは電解研磨と同様の銀白色となる。

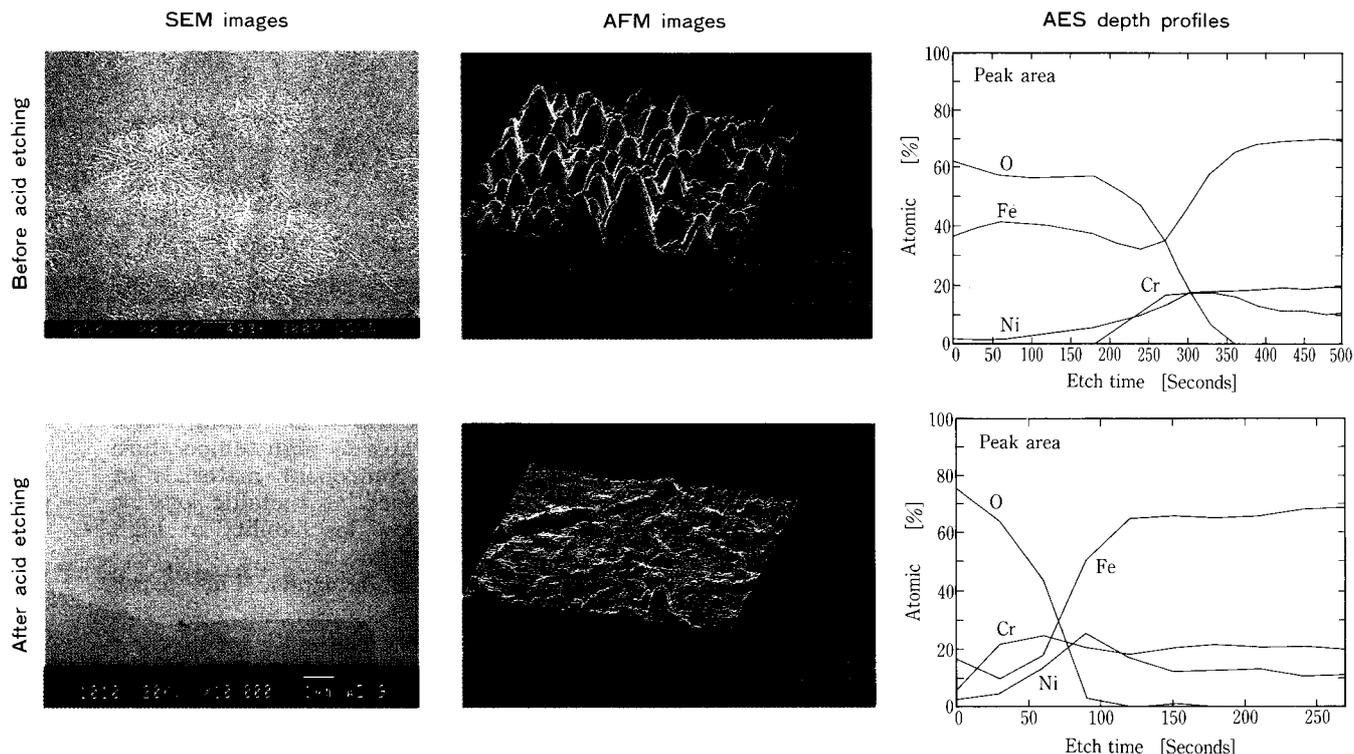
電解研磨後の製造工程は、外部からの汚染の影響を防ぐために清浄な雰囲気の下で作業する必要がある。洗浄工程では超純水及び高純度薬品を使用し、乾燥工程では高純度窒素ガスを使用する。また、熱処理用の酸化炉には、炉内面からのパーティクルや不純物の発生を抑え、清浄な雰囲気の下で熱処理できることが求められる。各工程間のハンドリングはワークが汚染されないように配慮されている。

1.2 酸エッチングによる特性

GOLDEP WHITEは、表層部の組成をCrリッチとしているため、従来のGOLDEPより優れた特性を示している。



第1図 GOLDEP WHITEの製造工程
Fig. 1 Working process of GOLDEP WHITE



第2図 酸エッチングによるSUS鋼表面の酸化皮膜への影響

Fig. 2 Effect of acid etching on surface oxide film of electropolished and heat treated stainless steel

る。(既報³⁾) 酸エッチング処理による GOLDEP WHITE の特性を明らかにするため、熱処理後と酸エッチング処理後の表面を調べた。結果を第2図に示す。

熱処理後の状態では、その表面は走査電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscopy) 観察で荒れの模様がみられ、原子間力顕微鏡 (AFM: Atomic Force Microscopy) によるさらにミクロな観察で細かい凹凸が見られる。またオージェ電子分光法 (AES: Auger Electron Spectroscopy) を用いた Ar エッチングによる深さ方向の元素組成図を見ると、酸化皮膜はほとんど Fe と O とで構成され、その下に Cr の濃縮層が形成されていることが分かる。

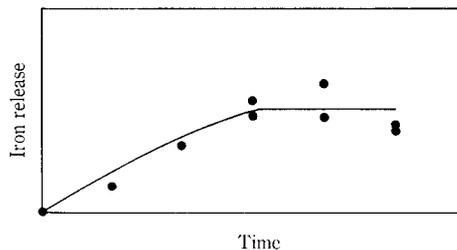
一方、酸エッチング処理後の表面は、SEM像及びAFM像から熱処理後の表面と比べると、より平坦になっていることが観察される。またAESによる深さ方向の元素組成図を見ると、酸化皮膜は Cr と Fe と O で構成され、また Cr が Fe より多いことから Cr リッチな表面であることが分かる。

以上の表面観察及び分析より、熱処理後の表面はほとんど Fe と O で構成される凹凸のある酸化皮膜であるが、酸エッチング処理により平坦で Cr リッチな不動態酸化皮膜を形成することが分かる。

1.3 酸エッチング処理条件の検討

酸エッチング処理工程をクリーンルームのように閉塞された空間で行う場合、ミスト拡散による汚染を防止するため、酸エッチング処理は不揮発性の薬液で行う必要がある。

電解研磨後に熱処理したステンレス鋼を不揮発性の酸性溶液に浸漬し、溶液中に溶出する Fe 濃度を測定した。第



第3図 酸エッチング時間と鉄溶出量の関係

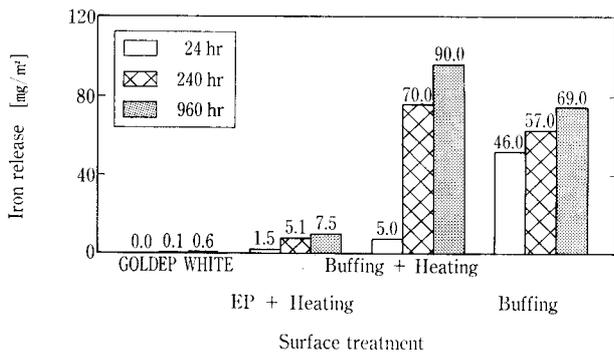
Fig. 3 Relation of time of acid etching and iron release

3図に示すように、溶出する Fe 濃度は時間とともに増加するが、ある時間以上では一定の値を示す。これは、酸性溶液に浸漬した初期は、熱処理により形成された氧化物層の Fe 成分が溶出するが、ある時間を過ぎると、表面の Cr リッチな皮膜により溶出が極端に抑えられるためと考えられる。このことは、第2図の酸エッチング前後のAES元素組成図からも説明できる。従って、酸エッチング処理では、酸性溶液中に溶出する Fe 濃度が一定になる時を終点とできることが確認された。製造操作が容易であり、安定した品質を得ることができる。

2. GOLDEP WHITE の性能

2.1 耐溶出性能

GOLDEP WHITE の金属イオンの耐溶出性を加速試験として、pH 3 に調整した 80 °C の弱酸溶液 (乳酸) 中への Fe 溶出量により評価した。第4図に示すように、GOLDEP WHITE の Fe 溶出量は機械研磨・電解研磨・熱処理の工程までのサンプルと比較して、極めて低い値を示し、優れた耐溶出性能をもつことが分かる。また機械研



第4図 表面処理による酸溶液中への鉄溶出量の比較
 Fig. 4 Comparison of iron release in acid solution (pH3) among various surface treatments

摩後に電解研磨をせずに熱処理を行ったサンプルは機械研磨のみのサンプルと比べて Fe 溶出量が異常に高くなっていることより、電解研磨しないで熱処理すると通常の機械研磨仕上げより溶出性能が劣ることが分かる。複雑な形状の部品でも必ず電解研磨して熱処理しなければならない。

なお、GOLDEP WHITE の温超純水に対する耐溶出試験例も報告されている。⁴⁾

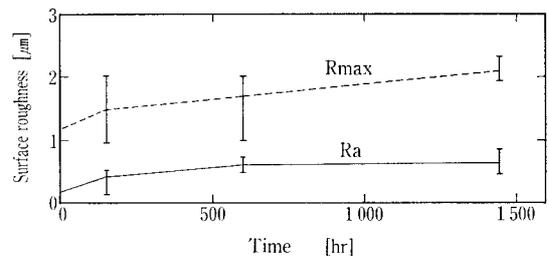
2.2 耐オゾン性能

超純水供給系の設備のオゾンによる連続殺菌は、定期的なメンテナンスを必要とせず、装置を連続運転できる手段として期待される。また、オゾンの高い酸化力を利用した洗浄や酸化皮膜の形成へのオゾン添加超純水の適用が考えられている。そこで GOLDEP WHITE の耐オゾン性能をオゾン添加水に対する表面の変化で評価した。

オゾンを 17 MΩ-cm の純水に溶解させ (オゾン水製造装置: ペルメレック 電極(佛製: S-200), その流水中にサンプルを長時間浸漬し、表面の状態を観察した。オゾン水の条件は濃度が 4~6 mg/l, 水温 24~30 °C である。第5図及び写真1に示すように、1500時間まで浸漬してもサンプルの表面粗度及び表面状態に変化は認められず、オゾン添加水に適用できる可能性があると考えられる。なお、超純水用配管として使用されている樹脂材は、オゾン添加水に接触すると表面が荒れることが報告されている。⁵⁾

2.3 耐薬品性能

IPA (iso-propyl-alcohol) 原液、アンモニア溶液及び過酸化水素水に対する不動態酸化処理したステンレス鋼の耐



第5図 オゾン添加水接触による表面粗度への影響
 Fig. 5 Effect of exposure to ozone added pure water on surface roughness of GOLDEP WHITE

溶出性を評価した。容器内の溶液にサンプルを浸漬し、一定時間後の溶液中の Fe, Cr, Ni, Mn のイオン濃度を ICP (誘導結合プラズマ装置: セイコー電子製: SPS1200AE) で測定した。実験温度は IPA 原液に対しては 80 °C であり、28% アンモニア溶液と 35% 過酸化水素水に対しては室温である。一定時間後の溶液中のイオン濃度は、定量下限の 10 μg/l 以下であり、これらの溶液に対する溶出は極めて微量で、不動態酸化処理したステンレス鋼はこれらの薬品に適用できる可能性が高いと考えられる。GOLDEP WHITE は Cr リッチな表面であり耐溶出性が良いため、IPA 液への適用が特に期待される。

3. AESによる GOLDEP WHITE の表面観察

3.1 酸エッチング処理の途中段階の表面

GOLDEP WHITE 製造工程中の酸エッチング工程におけるステンレス鋼表面での反応現象について知見を深めるために、当工程の途中段階の表面を調べた。試料表面を SEM で観察すると、第6図の SEM 像に示すように、白い斑点が認められることがある。そこで、この斑点の組成を AES を用いて分析した。

3.2 AESの概要

1) 原理

固体表面へ電子線を照射すると、原子の内殻電子が放出され、空孔のできた原子は不安定な励起状態となる。このとき外側の準位の電子が空孔に遷移し、基底状態に安定化する過程でオージェ電子と特性 X 線が放出される。放出されたオージェ電子を検出する方法が AES である。

2) 特長

AES の大きな特長は、オージェ電子の脱出深さが数 nm のため極表面層 (~数 nm) の分析ができることである。また、照射する電子ビーム径をしぼると微小領域 (~

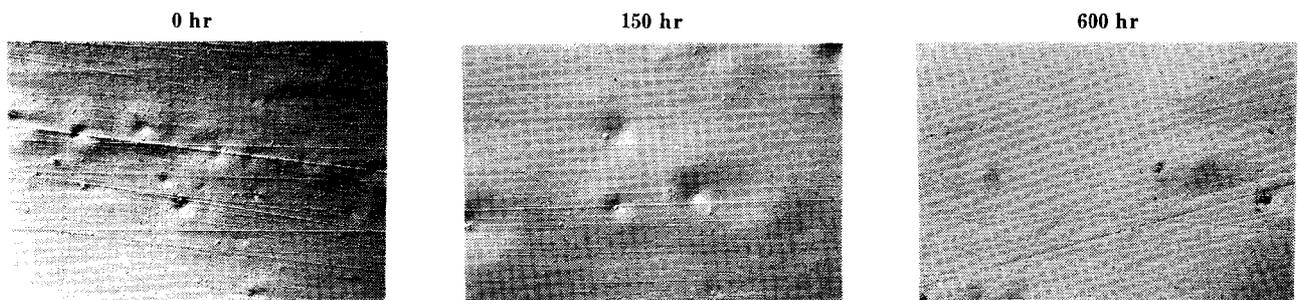
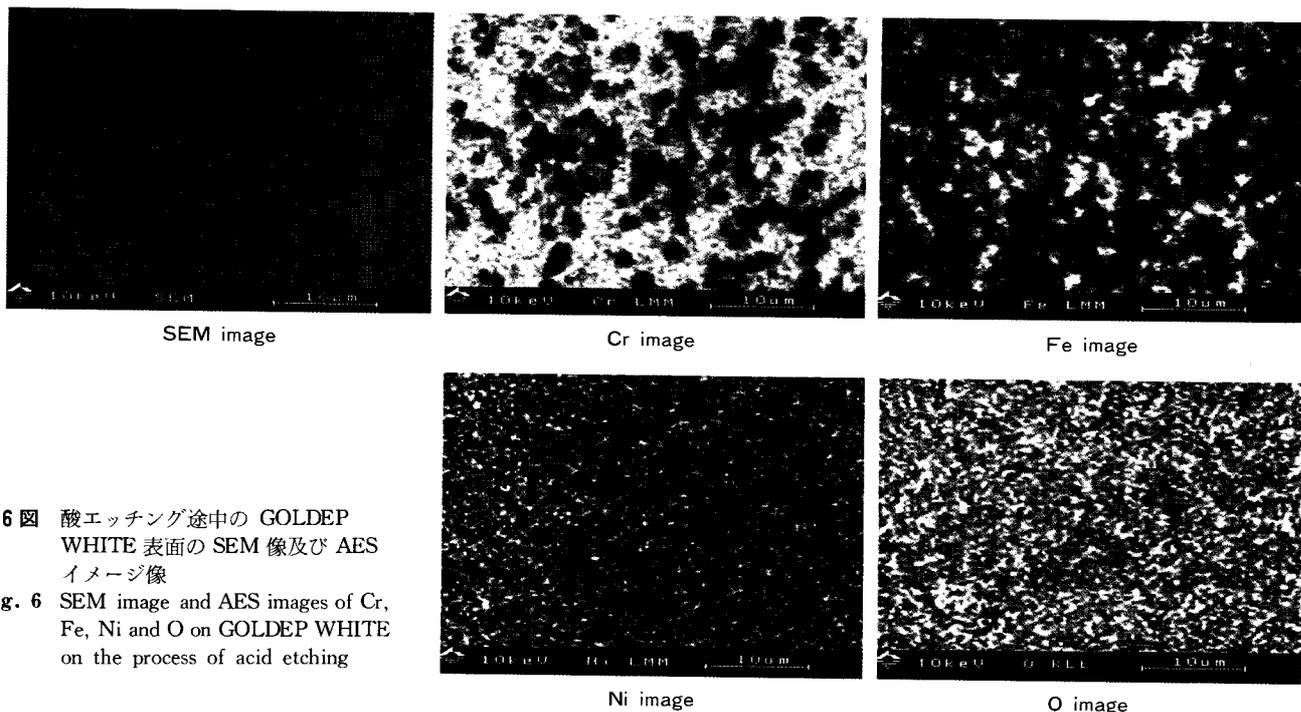


写真1 オゾン水接触による表面形状変化の顕微鏡観察 (×400)

Photo. 1 Microscopic observation of surface aspect of GOLDEP WHITE exposed to ozone added ultrapure water. (×400)



第6図 酸エッチング途中の GOLDEP WHITE 表面の SEM 像及び AES イメージ像
 Fig. 6 SEM image and AES images of Cr, Fe, Ni and O on GOLDEP WHITE on the process of acid etching

0.1 μm) の分析が可能である。オージェ電子放出の原理より H 及び He 以外の全ての元素が検出できる。

ステンレス鋼表面の酸化皮膜の膜厚は 100 Å (10 nm) 程度であり、SEM 像に観察される斑点の大きさは数 μm である。このような極表面層の微小領域の現象を調べる手段として、AES は非常に適した分析方法といえる。

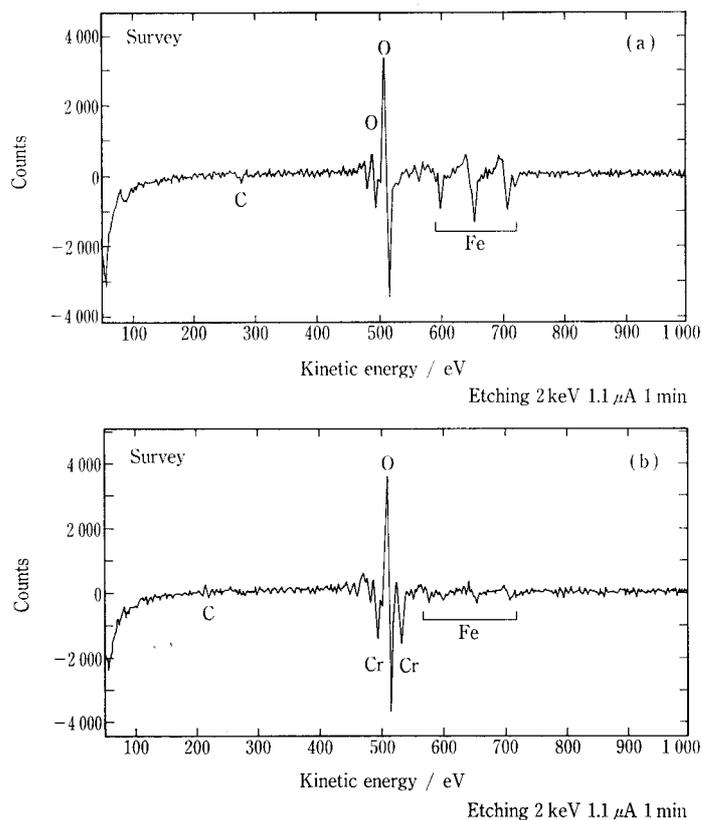
3.3 AESによる組成分析

1) 点分析

酸エッチング途中の表面の SEM 像に観察される斑点部分と斑点以外の部分を AES で点分析した結果を第7図に示す。斑点の有無にかかわらず、試料表面から Fe, Cr, Ni, O, C の元素が検出された。また、それぞれの元素のピークの高さを比べると、斑点部分に Fe, O が多く、斑点以外の部分に Cr, O が多く存在することが分かる。なお、Fe のピーク全体の形状から斑点部分の Fe は鉄酸化物であると判断できる。⁶⁾ Cr のピークは O のピークと重なるため、化学状態は判断できない。

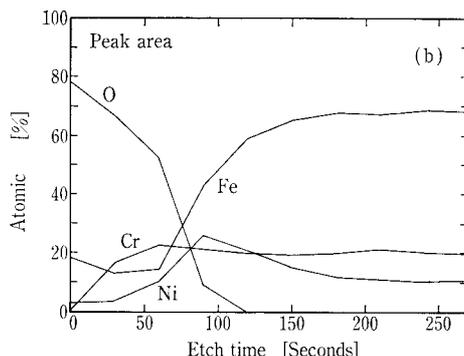
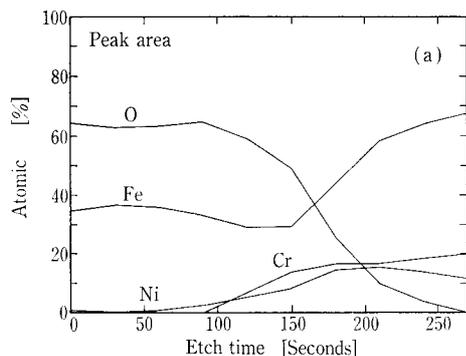
2) 面分析

SEM 像で観察した部分を Fe, Cr, Ni, O の4元素について AES で面分析した結果を第6図に示す。元素イメージ像は色が白いほどその元素が多く存在し、着色されているほど少ないことを意味する。ただし、各元素イメージ像の間に定量的な相関関係はない。Fe イメージ像から Fe は SEM 像の斑点部分に、Cr イメージ像から Cr は斑点以外の部分にそれぞれ対応して存在することが分かる。また Ni イメージ像と O イメージ像から Ni と O はそれぞれ試料表面全体に均一に存在することが分かる。



第7図 酸エッチング途中の GOLDEP WHITE 表面の AES スペクトル
 (a) SEM 像の斑点部分
 (b) SEM 像の斑点以外の部分
 Fig. 7 Auger spectra on GOLDEP WHITE on the process of acid etching
 (a) A point on the mark in a SEM image
 (b) A point out the mark in a SEM image

また点分析で斑点部分に鉄酸化物が、斑点以外の部分に Cr と O が検出されたことより、斑点は鉄酸化物であると考えられる。



第8図 酸エッチング途中の GOLDEP WHITE 表面の AES 深さ方向プロファイル

(a) SEM像の斑点部分 (b) SEM像の斑点以外の部分

Fig. 8 Auger depth profiles on GOLDEP WHITE on the process of acid etching

(a) A point on the mark in a SEM image (b) A point out the mark in a SEM image

3) 深さ方向分析

試料表面を Ar エッチングし、斑点部分と斑点以外の部分の深さ方向の元素組成を AES で分析した。それぞれの深さ方向の元素組成図を第8図に示す。斑点部分は Fe と O の表面層の下に Cr 濃縮層があり、第2図の酸エッチング前(熱処理後)の AES 元素組成図と似た傾向を示している。斑点以外の部分の表面層は Cr, Fe, O で構成され、Cr リッチの状態であり、第2図の酸エッチング後(GOLDEP WHITE)の AES 元素組成図と同様の傾向を示している。従って、斑点は熱処理工程で形成された鉄酸化物層と推定できる。

4) 考察

酸エッチング処理の途中段階で白い斑点が SEM で観察されることより、熱処理後の表面には酸エッチング速度の異なる部分が形成されていると考えられる。この要因は次のように推定される。

まず、電解研磨後の洗浄が不十分のために表面に付着した電解液などの残留物質が、熱処理により酸化物を形成したことが推定される。この場合、酸エッチング処理の途中段階の表面に、電解液の構成元素である P や S が検出されると考えられるが、AES による数カ所の点分析で、試料表面にはステンレス鋼表面の酸化皮膜の構成元素しか検出されなかった。従って、電解研磨後の洗浄不十分のために、熱処理後の表面に酸エッチング速度の異なる部分が形成された可能性は低いと考えられる。

他に、熱処理後の表面の酸化物層における酸化物の状態が、均質でないことが推定される。AES の点・面及び深さ方向の元素組成の分析結果より、斑点部分は熱処理で形成された Fe 酸化物層の酸エッチング速度の遅い部分と考えられる。しかし、この Fe 酸化物の酸エッチング速度が異なる理由については明確ではない。

4. GOLDEP WHITE の適用例

4.1 加熱装置

GOLDEP WHITE は素材がステンレス鋼であるため、超純水用配管として利用されている PEEK やフッ素樹脂材と比較して耐熱性が良い。また優れた耐溶出性能を示すため、超純水加熱装置の構成材料に適用できる。温超純水は洗浄効果が向上するためフロンの代替としての使用が期待され、また乾燥工程が効率化するなど、半導体産業にお

ける利用価値は高い。超純水製造装置との組み合わせが考えられる。

4.2 薬品容器

半導体用薬品はパーティクル及び不純物濃度の低減化に向けて開発されてきた。製造工程後の薬品はかなりの高純度に達すると、容器や部品などからの汚染が問題になる。一方、運搬時の安全確保の課題もあり、樹脂材にかわる強度の高い容器材料が求められる。GOLDEP WHITE はステンレス鋼本来の強度で安全性に対応できるため、耐溶出性が要求される薬品の容器や部品への適用の試みがなされてきている。

4.3 洗浄槽

半導体産業の高集積化が発展するにしたがい洗浄環境に要求される条件は厳しくなる。超音波洗浄槽では、樹脂は超音波を吸収するため金属製の洗浄槽が好ましく、ステンレス鋼が使用されている。洗浄槽材料からの洗浄液汚染を低減化するため、GOLDEP WHITE の超音波洗浄槽への適用が期待される。

むすび

- (1) 熱処理後の表面はほとんど Fe と O で構成される凹凸のある酸化皮膜であるが、酸エッチング処理により平滑で Cr リッチな不動態酸化皮膜を形成する。
- (2) GOLDEP WHITE は耐溶出性能及び耐オゾン性能が優れているため、半導体産業で樹脂材料に代わる材料として適用できる可能性が高い。

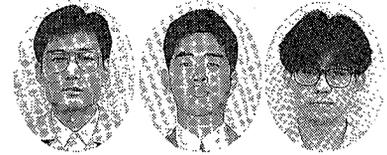
最後に、無機材質研究所田中順三主任研究官と秋田千芳研究員に AES による表面組成分析とその解釈について、また和田健二主任研究官と前背戸智晴研究員に AFM による表面平坦性の評価について、多大な御指導を賜りさらに貴重な資料を提供していただいたことに、この紙面を借りて深く御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 大見忠弘ほか：第15回超L S I ウルトラクリーンテクノロジーシンポジウム予稿集，(1992)
- 2) 山添勝巳：神鋼パンテック技報，Vol. 34, No. 1, (1990)
- 3) 牛越健一，杉沢政宣：神鋼パンテック技報，Vol. 35, No. 2, (1991)
- 4) 杉沢政宣ほか：第15回超L S I ウルトラクリーンテクノロジーシンポジウム予稿集，(1992)，p. 179
- 5) 去来川辰彦ほか：第15回超L S I ウルトラクリーンテクノロジーシンポジウム予稿集，(1992)，p. 199
- 6) C.N.R. Rao et al: Proc. R. Soc. Lond, A370, (1980), p. 269

グラスライニングの絶縁破壊

The Dielectric Breakdown Behavior of Lining Glass



技術開発本部
 原 龍 雄
 Tatsuo Hara
 金 澤 浩 二
 Kouji Kanazawa
 (化)第2製造部 焼成課
 宮 内 啓 隆
 Hirotaka Miyachi

The dielectric breakdown voltage of lining glass has been measured by alternating voltage, at a commercial power frequency (60 Hz) under 1 kV/sec at 25 °C. The 'two-layer model' was found to be one of methods to clear the dielectric breakdown behavior.

まえがき

グラスライニング機器は気密性のある複合材料として他に類を見ない。ガラス層のピンホールなど欠陥の有無は、直流2万ボルトの電圧をかけてその破壊に耐えるかどうかでチェックしている。グラスライニング機器の静電気現象による破壊の場合、これ以上の高電圧がかかっていることが予想される。欠陥のないグラスライニングでもこのような絶縁破壊が起こる場合がある。その都度、種々検討を行ってきたが、適切な対策の無いのが現状である。電気的な用途も増えつつあることもふまえると再度そのメカニズムに触れて詳細検討する必要がある^{1,2)}。本稿ではその研究開発の一端を紹介する。

1. 絶縁破壊の事例

写真1は実使用中のグラスライニング機器において生じた静電気破壊の一例である³⁾。図中央の小さな黒点はその破損箇所である。グラスライニング機器の静電気破壊に関する研究は今まで数多くあるが、発生の現象自体が複雑である^{4,5,6)}。そこでまず既知の電圧をかけた際の破壊挙動を調べることが基本である。

2. 絶縁破壊のメカニズムについて

最近、絶縁破壊に関する研究例は比較的少ない。それは次のような理由によるものと思われる。

- 一般に絶縁材料はぜい性材料が多いため、例えば曲げ試験の数多いデータが必要である。
- 電気分野と材料科学分野との学際領域であるため研究が進みにくい。
- ライニングガラス層が1mmのオーダーと比較的厚いため、高電圧の試験装置が必要である。例えば、1kHz以上の高周波領域で数10kV以上の絶縁破壊試験を行うと仮定すると、高压送電線の鉄塔を屋外に配置するような設備を建設する必要がある。現在では高周波領域は商用周波数のテストで代用している。
- 最近では、高電圧を取扱う分野における設備が少なくなってきた。

絶縁破壊のメカニズムについては定説がなく現在でも未解決な部分が多い。従来から知られている理論を下表に示す⁷⁾。大きく分けると、短時間と長時間破壊になるが、長時間の場合は、主として樹脂や塗装など有機材料の放電劣

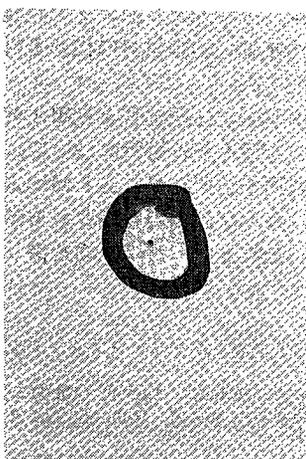
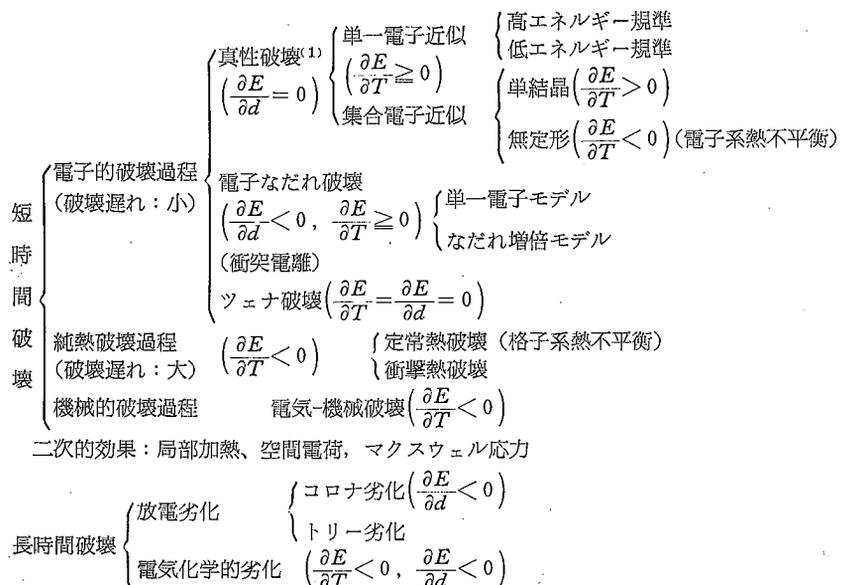
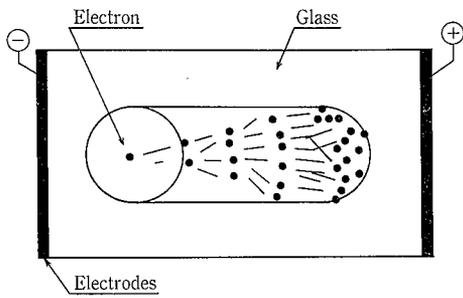
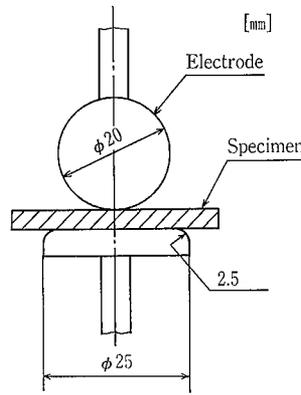


写真1 グラスライニング機器の静電気破壊
 Photo. 1 The breakdown failure of glass lined equipment

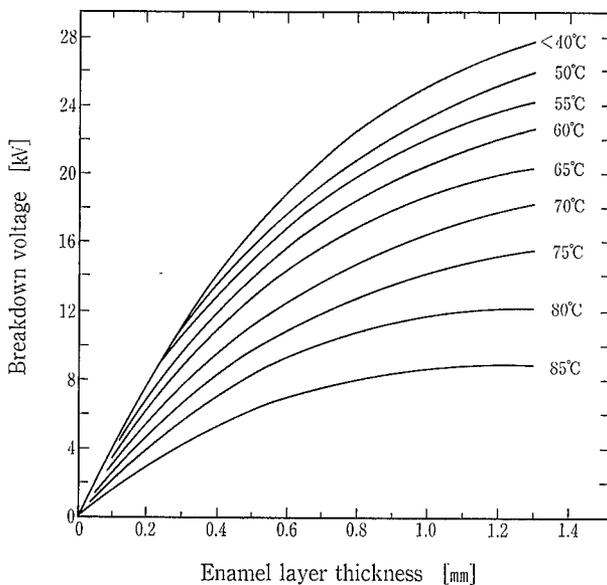




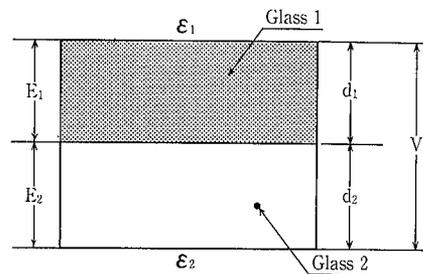
第1図 ザイツの絶縁破壊理論
Fig. 1 One of the mechanism of dielectric breakdown behavior by Seitz



第3図
J I S C 2110 による絶縁破壊試験用電極
Fig. 3
The electrode of breakdown test by JIS C2110 standard



第2図 ライニングガラスの直流電圧下における絶縁破壊電圧 (ISO 2746)
Fig. 2 The breakdown voltage of special enamel, as a function of layer thickness and temperature, measured with a spherical electrode by direct-voltage (ISO 2746)



第4図
2層モデルの断面図
Fig. 4
The 2-layer model

化に起因する遅れ破壊である。グラスライニングは有機材料と比べ放電劣化を生じにくい。短時間破壊の中には、電気的および熱的破壊に分けられる。熱的な破壊の場合には、材料の耐熱衝撃性などが関連するため、絶縁破壊のメカニズムがさらに複雑になる。電気的な破壊に関する一つの説は、「電子なだれ破壊」で、ザイツによる『40世代説』が有名である。そのメカニズムを第1図に示した⁸⁾。高電圧をかけると絶縁材料の構造内で本来動けない電子がまず一個だけプラス極の方向へ動き始める。次にその電子が隣の電子に衝突する。この衝突電離現象が約40回起これば材料は破壊に至るといふ説である。この電子なだれは1マイクロ秒程度の短時間で起こるため、直流でも交流電圧でも大きな差はない。図では円筒形の電子なだれ現象が起こり始めるとその部分に電流が集中し、そのジュール熱で材料が昇華して破壊に至ると言われている。しかし最初に電子なだれが起こる場所すなわち破壊の起点がどこにあるかという事は全くわからず、材料としての対策がないと言える。

最近、電気と材料分野の学際領域での研究として絶縁破壊のメカニズムを取上げている例がある^{9,10)}。これは材料の破壊力学を絶縁破壊へ応用した新しい試みである。材料内の欠陥に関連した「応力拡大係数」の代わりに「電界拡大係数」なるものを導入している。以上一般的な絶縁破壊について述べたが、グラスライニングの場合はさらに難しい。例えばライニングガラス層内で電界の集中する可能性のある項目を次に挙げる。

- (1) グラスライニングは複数の組成のガラス層からなる。
- (2) ライニングガラス層内には泡が存在する。
- (3) 鉄生地とガラス層との界面が存在する。
- (4) ライニングガラス層は鉄生地からの残留圧縮応力によって強化されている。

以上のような要因があるため、整理してメカニズムを究明していく必要がある。ここでは、(1)項に注目して検討を行ったので次に報告する。

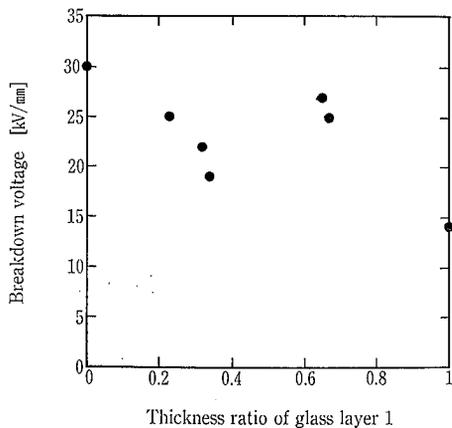
3. 絶縁破壊試験

3.1 試験法

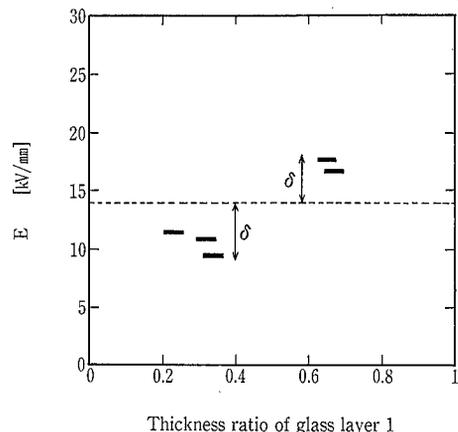
J I S R 4201 に規定される工業用グラスライニング機器では、J I S 1 種 1 号で20 kV の直流試験電圧による欠陥検査を行う。その基準となるデータは第2図に示されている (ISO 2746)。これによると絶縁耐力は、ガラス層の厚みと温度に大きく依存するため、試験データにはこれらの値を明示する必要がある。交流 (商用周波数60 Hz) に関しては A S T M D 149 に規定されている。その場合の周波数の適用範囲は 25~800 Hz とされている。第3図は、J I S C 2110 に規定されている試験用電極の形状の一例を示したものである。

3.2 2層モデルによる試験

グラスライニングの絶縁破壊では複雑な因子が多く単純



第5図 2層モデルにおける絶縁破壊試験結果
Fig. 5 The result of breakdown test by 2-layer model



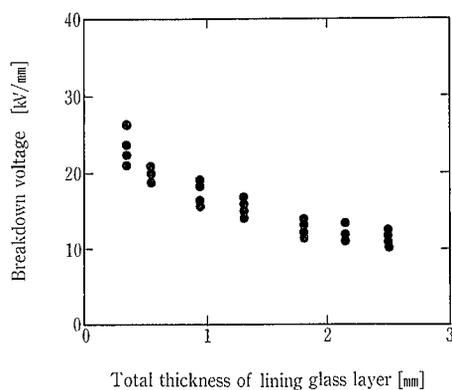
第6図 2層モデルによるガラス層1のE値と全体厚みに対するガラス層1の厚み比率との関係
Fig. 6 The E value vs. thickness ratio for glass layer 1 by 2-layer model

化した試験法を検討する必要がある。第4図に、2層ガラスの断面モデル図を示した。これは組成や誘電率など性質の相異なる2つのガラスを融着したものである。市販のスライドガラス板上に、粉末をガラスライニングと同様に軟化流動させて作製したものである。この方法を用いるとガラス層と鉄生地との相互作用や含泡構造など他の因子を除外できる。絶縁破壊試験は空気中での放電を避けるため絶縁油中にて行った。第3図の電極に商用周波数 60 Hz の交流電圧を 1 kV/秒で昇圧してガラスが破損する最高電圧（絶縁破壊電圧）を測定した。得られたデータをガラス全体の厚み（mm）で割ったものが絶縁破壊の強さである。第5図は、2層モデルにおける絶縁破壊の強さを測定した結果である¹¹⁾。第4図に示したように、ガラス層の誘電率および厚みをそれぞれ ϵ および d とし、添字 1 および 2 はそれぞれ対応するガラス層とする。そして全電圧 V を印加した時、各ガラス層 1 mm 当りにかかる電圧は次の式で示される¹²⁾。

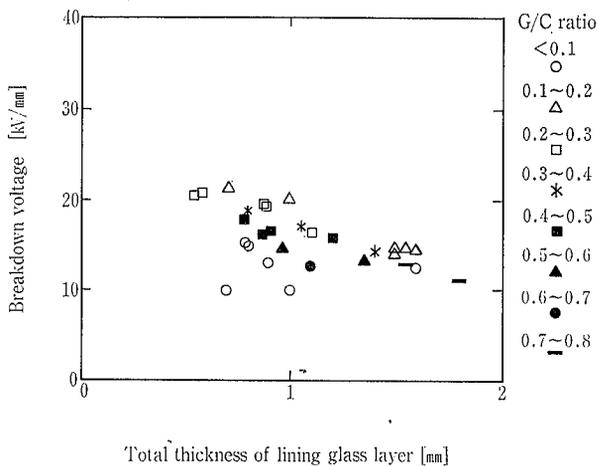
$$\text{ガラス層 1 ; } E_1 = (\epsilon_2 / (\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1)) V \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ガラス層 2 ; } E_2 = (\epsilon_1 / (\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1)) V \quad \dots\dots(2)$$

2層全体が絶縁破壊した時、各層にかかっていた E (kV



第7図 ライニングガラス層の絶縁破壊試験結果
Fig. 7 The result of breakdown test of lining glass layer



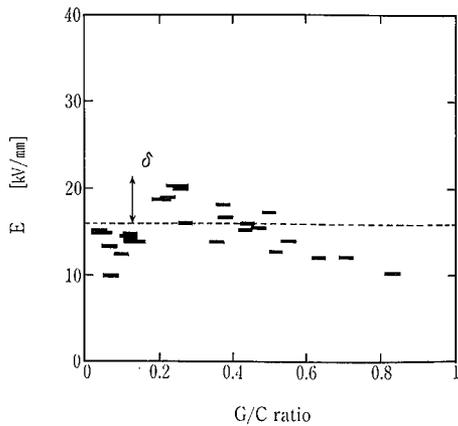
第8図 種々の厚みのライニングガラス層の絶縁破壊の強さ
Fig. 8 The dielectric breakdown voltage of lining glass layer vs. total layer thickness as a function of G/C ratio

/mm) を予測できる。第6図にその結果を示した。横軸は2層全体の厚みに対するガラス層1の厚み比率である。図中の破線で示した 14 kV/mm の値は、第4図のガラス層1単独の破壊電圧である。ここで図中の—マークと破壊値との差を「 δ 」とし、その一例を矢印で表した。この δ 値は、誘電率や厚みなど諸因子が関係している。ガラス層2についても同様にして考察できる¹³⁾。

3.3 グラスライニングの試験結果

第7図に、ガラスライニングの絶縁破壊試験結果の一例を示した¹⁴⁾。横軸にはライニングガラス層全体の厚みを示した。理論的には厚みが増加しても絶縁破壊の強さは、一定であるが厚みとともに低下する結果となった。低くなる理由の一つとしては、絶縁油中における沿面放電が激しく起こりガラス表面へ何らかの影響を及ぼしたためと考えられる。一般にこれは周辺効果と呼ばれている。

次に、2層モデルをガラスライニングにおける上引ガラスと下引ガラス層へ適用することを試みた。例えば実験として、下引ガラス層の厚みを種々変化させた場合の絶縁破壊試験を行った。第8図は、ライニングガラス層全体に対する下引ガラス層の厚み比率（図中 G/C ratio）をパラメーターとし、全体厚みを変えた場合の絶縁破壊の強さを示したものである。データの中で、○マークは G/C ratio



第9図 2層モデルによる上引ガラス層のEと G/C ratio との関係

Fig. 9 The E value vs. thickness ratio for cover coat glass layer by 2-layer model.

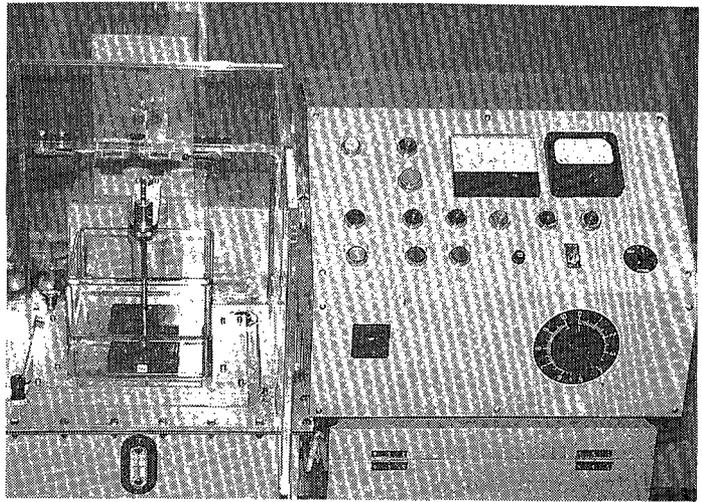


写真 2 絶縁破壊試験装置

Photo. 2] The dielectric breakdown test equipment.

< 0.1 の場合で、下引ガラス厚みが薄すぎるために生じたデータであるため、少し低い値を示した。

2層モデルによる δ 値を第9図に示した。破線の 16 kV/mm の値は上引ガラスに相当するガラス板単独のデータを示している。G/C ratio の変化によって、 δ 値は破線よりいったん高くなりその後低くなる傾向を示した。この原因については現在検討中である。いずれにしても図中の■マークと破線の差は、「上引ガラスを鉄生地にライニングした際に生じる差」に相当する。今後はその他の因子を変化させて δ の変化と対応させていく予定である。

む す び

写真2に、新しく導入した絶縁破壊試験装置を示した。今回得られた2層モデルの結果をもとに、さらに絶縁破壊の要因を少しずつ比較していく。最終的には絶縁耐力を向上させるガラス成分設計へと発展させて行きたい。

最後に、絶縁破壊のメカニズムに関する研究指導をしていただいた、東京工業大学・工学部・無機材料工学科助教授の松尾陽太郎先生に深く感謝致します。また絶縁耐力の測定ならびに絶縁破壊試験装置に関するご指導をいただいた、東京都立工業技術センター・電気機器部・高電圧機器

研究室の小野雅司先生ならびに石井清一先生に深く感謝致します。

〔参考文献〕

- 1) 前背戸ほか, 神鋼パンテック技報, Vol. 34, No. 1 (1990) p. 8-12
- 2) 前背戸ほか, 神鋼パンテック技報, Vol. 35, No. 3 (1991) p. 23-27
- 3) 河野編, 化学機械とメンテナンス (1988) p. 71
- 4) 神鋼パンテック技報, Vol. 25, No. 1 (1981) p. 1-5
- 5) 山本, 沢田, 神鋼パンテック技報, Vol. 34, No. 2 (1990) p. 1-6
- 6) 沢田, 神鋼パンテック技報, Vol. 34, No. 3 (1990) p. 22-27
- 7) 誘電体現象論, (社)電気学会編, (1973) p. 280
- 8) 誘電体現象論, (社)電気学会編, (1973) p. 291
- 9) 鈴木ほか, 日本セラミックス協会秋季シンポジウム予稿集, (1990) p. 596-597
- 10) 鈴木ほか, 日本セラミックス協会学術論文誌, Vol. 100, No. 1 (1992) p. 59-65
- 11) 宮内ほか, 日本セラミックス協会年会予稿集, (1991) p. 276
- 12) 誘電体現象論, (社)電気学会編, (1973) p. 316
- 13) 原ほか, ニューガラス研究会第16回研究会資料 (1991) p. 3-4
- 14) 宮内ほか, 日本セラミックス協会ガラス討論会予稿集, p. 119-120 (1991)

多段流動床式活性炭吸着装置

Multistage Fluidized-bed Activated Carbon Adsorption Equipment



技術開発本部
野田 晃
Akira Noda
佐藤 栄 祐
Eisuke Sato

The progress of advanced treatment technology of waste water is strongly required because of strengthening of water quality control and a demand of reuse by the insufficiency of water resources.

This paper introduce multistage fluidized-bed activated carbon adsorption equipment and describe adsorption characteristics of activated carbons for a optimum design on the process of waste water treatment. Further the breakthrough curve is simulated in use of the measured adsorption isotherms and the fixed overall capacity coefficient. The curve express the adsorption characteristics without consideration of contact efficiency.

まえがき

排水規制の強化、水不足に伴う再利用の要請などにより、排水の高度処理技術の進歩が強く望まれている。活性炭吸着は、その高度処理技術の主要な一つであり、最近では生物活性炭（BAC）や繊維活性炭（ACF）など応用技術の開発も行われている。

活性炭吸着塔の形式には、固定床、膨張床、移動床、及び流動床があるが、固定床式の吸着操作は解析法、設計法とも既に確立されており、当社でも多くの実績を持っている。多段流動床式活性炭吸着装置は、出現して開発が進むにつれて、敷地面積が小さい、活性炭保有量が少ない、さらに、活性炭を効率よく使用できるなどの理由から多く用いられるようになってきた。

当社でも、従来の固定床式に加え多段流動床式活性炭吸着装置の研究を行ってきたが、今回活性炭の吸着特性のデータを用いた各段の吸着破過曲線のシミュレーション方法を検討したのでその結果を報告する。

1. 多段流動床式活性炭吸着装置

1.1 従来の固定床式と多段流動床式

工学的手法による固定床式吸着塔の解析法は、吸着され易い系において一定形の吸着帯が形成されるという概念を用いている。しかるに、工場排水などによく見られる多成分系の吸着されにくい排水では、一定形の吸着帯が形成されないため、固定床式では層高が高く活性炭の利用効率が悪くなっていく。

また、流動床式が最近まで利用例が少なかったのは、ショートパスなどの影響により吸着不十分のまま系外に流出される活性炭の存在によって効率が悪くなってしまい、処理精度の点でも固定床式に及ばないとされていたこと、さらに確立された解析法や設計法が無かったことに原因がある。唯一利用されていたのは、排水に浮遊固体が多く含まれるため層が閉塞する危険があり、溶解成分のみの吸着が

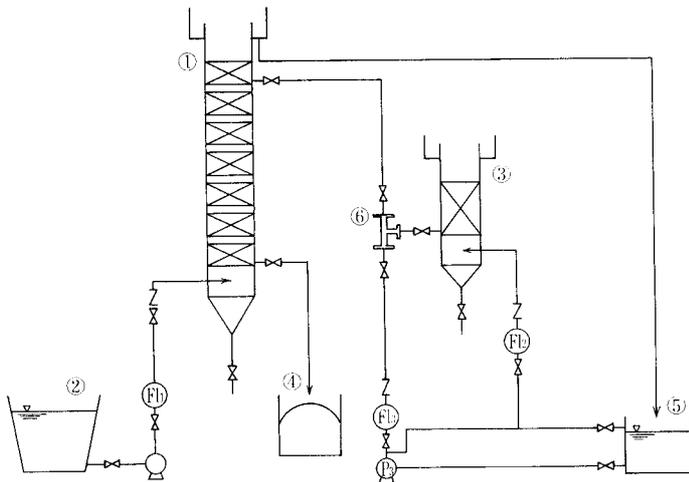
目的である場合に限られていた。

理想的な吸着装置とは、常に一定の処理水を得ることができるものであり、そのためには吸着塔の処理水側には常に新炭に近い十分な吸着能力を持つ活性炭が存在し、さらに、活性炭の消費量を削減するために吸着能力を十分使い切った活性炭を原水側から抜き出すことが必要である。この条件を満たし、上記の固定床や流動床が持つ欠点を解決するのが多段流動床式である。多段流動床式には、次のような利点がある。

- (1) 多段にすることによって活性炭のショートパスを防ぐことができる。
- (2) 活性炭の逆混合を防止して排水と活性炭の接触効率を向上させる。
- (3) 敷地面積を小さくできる。
- (4) 活性炭の抜き出しおよび供給が連続的に行えるため、吸着塔内の活性炭保有量が少ない。
- (5) 活性炭の吸着能力を十分使い切れるので、活性炭の消費量が少ない。

1.2 多段流動床式活性炭吸着装置のプロセス

第1図に多段流動床式活性炭吸着装置の一般的なフローシートを示す。この装置は、一塔多段式の吸着塔で、排水中の汚濁物質は各段の流動した活性炭によって接触除去される。また、流動床式の活性炭吸着装置には、20~40メッシュの粒状活性炭が使用される場合が多い。簡単に排水と活性炭のフローを説明すると、排水は、吸着塔の底部より流入し、上向流で活性炭と接触後塔頂部より処理水として取り出され、活性炭は、最下段の吸着能力が無くなった老炭から水位差を利用してスラリー状で抜き出し、段間移送を行った後、塔頂部に新炭を供給する仕組みになっている。排水の処理はほぼ連続的に、全自動運転で行うことができる。



① Adsorption column ② Waste water ③ Carbon storage tank
④ Spent carbon storage tank ⑤ Treated water tank ⑥ Ejector

第1図 多段流動床式活性炭吸着装置
Fig. 1 Multistage fluidized-bed activated carbon adsorption equipment

2. 吸着破過曲線のシミュレーション

活性炭の吸着特性を把握することは、流動床式吸着塔の設計および安定運転を行う上で重要であるが、それらを調べる方法として、吸着等温線と通水カラムテストによる吸着速度の測定が広く行われている。しかし、原水濃度や空塔速度など多種多様な操作条件において実験することは、かなりの労力と時間を要する。そこで、当社では吸着モデルを考え、破過曲線をシミュレーションする方法を開発した。

2.1 吸着モデル

第2図に、吸着モデルの物質収支の概念図を示す。流体は栓流、充填剤は完全混合状態とし、さらに、吸着速度過程は線形推進力の仮定が成立すると、層内の微小区間の d_z における流体内および吸着剤内での物質収支より次式が導かれる。

流体内；

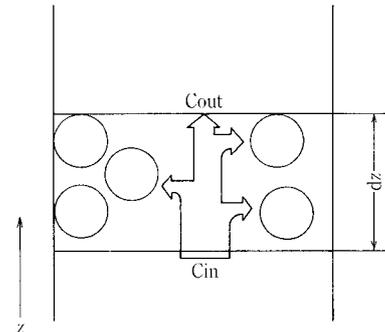
$$u \cdot \frac{\partial C}{\partial Z} + \varepsilon \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = -K_{La}(C - C^*) \quad (1)$$

吸着剤内；

$$(1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot \frac{\partial q}{\partial t} = K_{La}(C - C^*) \quad (2)$$

ここに、
 C : 流体内濃度 [kg/m³]
 C^* : 濃度基準の平衡濃度 [kg/m³]
 u : 空塔速度 [m/s]
 Z : 塔軸方向の位置 [m]
 t : 時間 [s]
 K_{La} : 濃度基準の総括容量係数 [1/s]
 ε : 空隙率 [-]
 ρ : 真密度 [kg-AC/m³]
 q : 吸着量 [kg/kg-AC]

また、吸着量 q と平衡濃度 C^* の間には、Freundlich型の吸着等温式が成り立つものとする。



第2図 吸着モデルの概念図
Fig. 2 Schematic adsorption model

$$q = kC^{1/m}$$

ここで、 k , m は定数である。

初期および境界条件は、次のように表される。

$$\begin{aligned} t=0, Z=0: & C=C_0, C^*=0 \\ t=0, Z>0: & C=C^*=0 \\ t>0, Z=0: & C=C_0 \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 総括容量係数 K_{La} の推定

このシミュレーションを行う際、空隙率、活性炭充填量、空塔速度などは実験の操作条件として既に決まっており、総括容量係数 K_{La} は、通水カラムテストより得られる破過曲線と吸着等温線のデータから推定することができる^{1,2)}。次にその手順の概要を示す。

- (1) 破過曲線より、任意の時間 t における吸着量 q を求める。
- (2) 吸着等温線からそれぞれの q に対する $(C - C^*)$ を決定する。
- (3) 単位時間当りの吸着量の増加量を、破過曲線より次式を用いて求める。

$$\frac{dq}{dt} = \frac{F \cdot \int_t^{t+\Delta t} (C_0 - C) dt}{W \Delta t} \quad (4)$$

ここに、
 C_0 : 原水濃度 [kg/m³]
 F : 流量 [m³/s]
 W : 活性炭充填量 [kg-AC]

- (4) 一方、吸着速度式は次式が成立すると仮定すれば、 K_{La} が決定できる。

$$(1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot \frac{dq}{dt} = K_{La}(C - C^*) \quad (5)$$

また、吸着等温線の測定と通水カラムテストは、次の方法に従って行った。

2.3 吸着等温線の測定

吸着等温線実験は、JIS K1474の方法に準拠して測定され、平衡吸着量 q は、次式によって算出できる。

第 1 表 使用した活性炭の諸物性

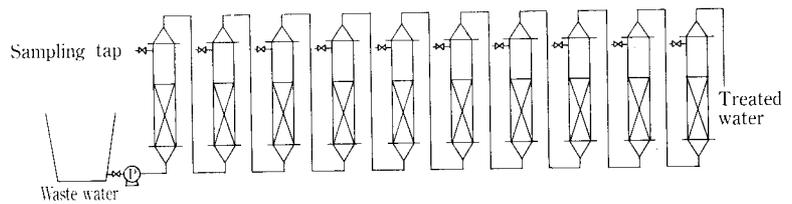
Table 1 Properties of applied activated carbon

Items	Typical values of properties
Packed density [kg-AC/m ³]	462
Iodine adsorptive capacity [kg/kg-AC]	1.062
Hardness number [%]	96.2
Average grain diameter [m]	5.5×10 ⁻⁴
Total pore volume [m ³ /kg-AC]	9.0×10 ⁻⁴
Real specific gravity [-]	2.1
Mesh size	20/40

第 2 表 吸着カラムの諸元

Table 2 Specifications of the adsorption columns

Column	<ul style="list-style-type: none"> Material; polyvinyl chloride Inside diameter; 0.5 m Height of columns; 1.3 m
Activated carbon	<ul style="list-style-type: none"> Packed weight; 0.35 kg-AC/column
Waste water	<ul style="list-style-type: none"> Artificial waste water (Domestic cleanser diluted)



第 4 図 通水カラムテストのフロー

Fig. 4 Columns test equipment

第 3 表 通水カラム吸着実験条件

Table 3 Operational conditions of columns test

No. of experiment	Concentration of waste water	Linear velocity
	Co, [kg/m ³]	LV, [m/s]
1	0.06	4.2×10 ⁻³
2	0.09	4.2×10 ⁻³
3	0.06	5.6×10 ⁻³
4	0.06	6.9×10 ⁻³

$$q = \frac{L(C_0 - C^*)}{W} \quad (6)$$

ここに、L : 供試水量 [m³]
 Co : 試料初期濃度 [kg/m³]
 C* : 平衡濃度 [kg/m³]

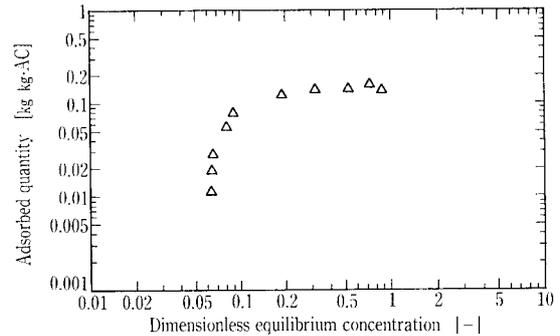
平衡濃度 C* と q との間には、Freundlich 型の吸着等温線が成立する。

今回の実験では、試料原水として家庭用洗剤の希釈液を人工排水に用い、COD濃度の吸着等温線を求めた。また、使用した活性炭の諸物性を第 1 表に示す。

第 3 図に、吸着等温線の一例を示す。ただし、グラフの横軸は試料初期濃度によって除した無次元濃度である。吸着等温線が 2 本の直線で表されることは、本試料内に難吸着成分が存在していることを示唆しており、単一成分系でないことがわかる。屈折点は、原水中に含まれる難吸着成分の割合を表している。

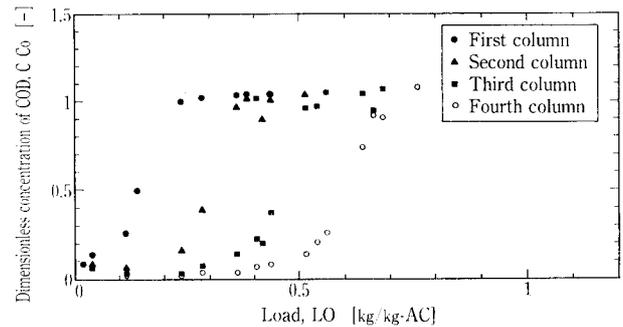
2. 4 通水カラムテストによる吸着速度の測定

実験装置の簡単なフローを第 4 図に示す。また、カラムの諸元を第 2 表に示す。吸着カラムは多段式で、各段ごとにサンプリング口を取り付け、一定濃度の原水を一定の流速で通水し、各塔出口水濃度の経時変化を測定する。原水



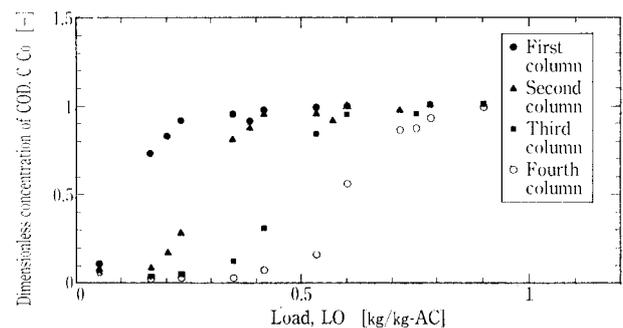
第 3 図 吸着等温線 (Co=0.06 kg/m³)

Fig. 3 Adsorption isotherms



第 5 図 多段吸着塔の破過曲線 (Experiment NO. 1)

Fig. 5 Breakthrough curve of multistage adsorption columns



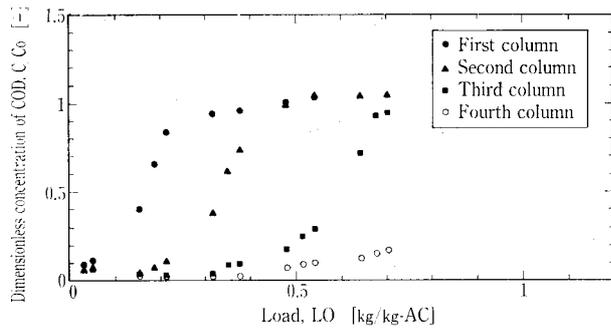
第 6 図 多段吸着塔の破過曲線 (Experiment NO. 2)

Fig. 6 Breakthrough curve of multistage adsorption columns

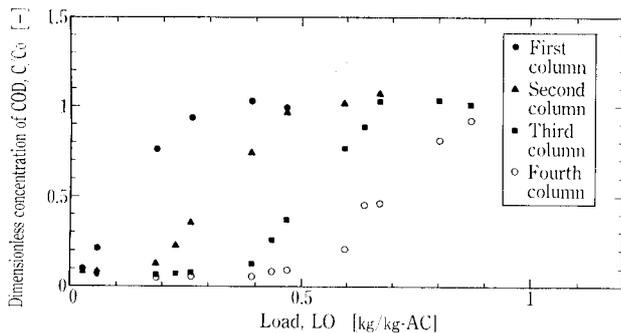
には吸着等温線測定実験と同じ洗剤希釈液を用いた。

今回の実験では、原水濃度と空塔速度の吸着量におよぼす影響を調べた。実験条件の詳細を第 3 表に示す。

第 5 ~ 8 図に、各条件で得られた第 4 塔めまでの破過曲線を示す。ただし、縦軸は原水濃度によって除した各段出口水の無次元濃度、横軸は、次式で表される流入負荷量である。



第7図 多段吸着塔の破過曲線 (Experiment NO. 3)
Fig. 7 Breakthrough curve of multistage adsorption columns



第8図 多段吸着塔の破過曲線 (Experiment NO. 4)
Fig. 8 Breakthrough curve of multistage adsorption columns

$$LO = \frac{C_0 \times t}{\rho \times (1 - \varepsilon) \times \tau} \quad (7)$$

ここに、LO: 流入負荷量 [kg/kg-AC]

τ : 滞留時間 [s]

また、これらのグラフから次式を用いて図積分することによって各塔の吸着量を算出することができる。

$$q = \int_0^{LO_B} (1 - C/C_0) dLO \quad (8)$$

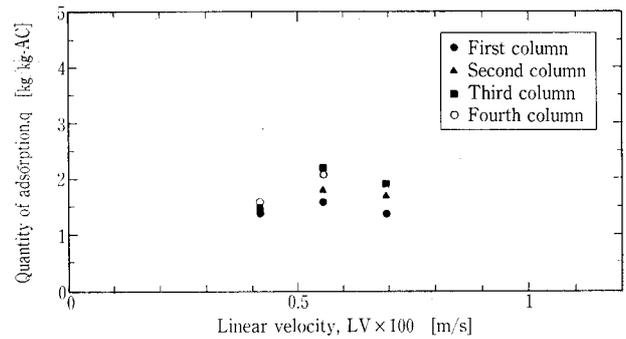
ここに、 LO_B : $C=C_0$ 時の流入負荷量 [kg/kg-AC]

第9図に、空塔速度の吸着量に及ぼす影響を示す。実験NO. 1, 3, 4を比較すると、各塔とも空塔速度 5.6×10^{-3} m/s (20m/h) 付近が最も吸着効率がよいことがわかる。また、実験NO. 1, 2の比較による原水濃度による影響は、本実験条件範囲では各塔ともほとんどなかった。

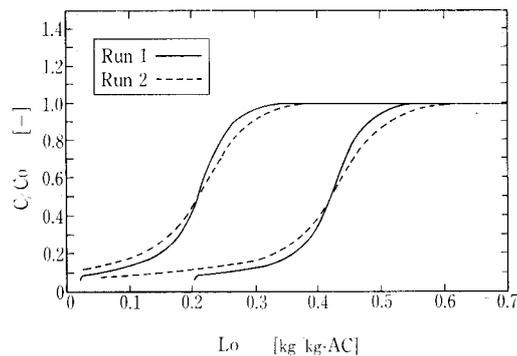
2.5 シミュレーション

式(1), (2)で表される連立偏微分方程式を、差分法による数値計算によって解けば破過曲線が得られる。

2.4節において総括容量係数 K_{La} の推定法を述べた方法よりわかるように、 K_{La} は活性炭の飽和度とともに変化すると考えられるが、今回は K_{La} を一定と仮定して原水濃度と空塔速度の変化による影響を検討した。シミュレーションに用いたデータを第4表に、シミュレーションによって得られた破過曲線を第10図に示す。ただし、縦軸は無次元濃度、横軸は流入負荷量である。



第9図 吸着量の空塔速度による影響
Fig. 9 Effect of linear velocity on quantity of adsorption



第10図 シミュレーションによる破過曲線
Fig. 10 Simulated breakthrough curve

第4表 シミュレーションデータ

Table 4 Simulation data

	Run 1	Run 2	Run 3
Concentration of waste water [kg/m ³]	0.06	0.09	0.06
Linear velocity $\times 10^3$ [m/s]	4.2	4.2	6.9
Void fraction [-]	0.853	0.853	0.890
【Common data】			
Height of fluidized bed [m/stage]	0.57		
K_{La} [1/s]	5.56×10^{-2}		
Adsorption isotherms (Low concentration side)	$q = 1.09 \times 10^4 (C/C_0)^{1/0.162}$		
Adsorption isotherms (High concentration side)	$q = 0.192 (C/C_0)^{1/2.18}$		

2.5.1 原水濃度による影響

原水濃度に関係なく破過曲線は全く一致しており、通水カラムテストでの結果と同じであった。原水濃度が高くなると、吸着速度は大きくなるが、破過するまでの時間が短くなるためである。しかし、これは原水に含まれる各成分の割合は同じであると仮定したため、実排水については多成分系の場合が多いので、原水濃度が大きくなったとき難吸着成分のみが増加し各成分の割合が変化することも考慮しなければならない。

2.5.2 空塔速度による影響

空塔速度の変化による影響を考える場合、空塔速度によって活性炭層の展開率が変化するので、その時の空隙率を考慮してデータを入力した。第10図より、空塔速度が大き

いほど吸着される速度が遅くなっている（破過曲線の傾きが小さい）ことがわかる。 K_{La} が一定の場合、空塔速度が大きければ空隙率は大きくなり、接触時間も短くなることを考慮するとこの結果は妥当であると考えられる。しかし、上記の結果にかかわらず活性炭単位量当りの全吸着量は、空塔速度によってほとんど差はない。

2. 6 考察

実験で得られた破過曲線と、シミュレーションによる破過曲線の挙動を議論するには、吸着現象そのものに少し触れる必要があるようである。一般に、吸着現象は次の3段階を経て進行する。

第1段階：液本体から吸着剤—流体界面に到達する。

第2段階：吸着剤の細孔内を拡散する。

第3段階：内部表面で吸着され平衡に達する。

通常は第2段階が支配的であるが、吸着され易い物質や希薄物質の吸着では、第1段階の影響も大きい。空塔速度の増加などによって接触効率が良くなると、第1段階の支配が弱くなっていくため、吸着速度が大きくなる。しかし、ある程度まで大きくなると支配が第2段階に移るため、それ以上空塔速度を大きくしても吸着速度は増加せず、接触時間が短くなる分だけ吸着効率は悪くなってしまふ。そのため、活性炭の吸着能力を十分に使い切らない内に出口水濃度が原水濃度に達してしまうため、見かけの吸着量が減少してしまうことが推測される。

通水カラムテスト結果とシミュレーション結果を比較すると、原水濃度による影響はどちらも見られないが、空塔速度による影響については、実験では空塔速度 5.6×10^{-3} m/s (20m/h) 付近で最も吸着量が大きかったが、シミュレーションでは空塔速度によって吸着量は変わらなかった。これは、シミュレーションでは、 K_{La} を一定にして接触効率の考慮がなされていないためと考えられ、操作条件における K_{La} の推算法を確立することは今後の課題である。

む す び

本文中でも述べたように、シミュレーションを完全なものにしていくには、データを蓄積して吸着現象を試行錯誤をしながら、接触効率を考慮した総括容量係数 K_{La} の推算法を確立していく必要がある。コストの高い活性炭の消費量を少なくするには、活性炭の吸着能力をどこまで使い切るかが重要なポイントとなることから、より精度の高いシミュレーションを行えることは将来必要となってくると思われる。今後は、これらの問題点を解決して定量的な議論を行い、実排水に見られる多成分系への適用を進める予定である。

〔参考文献〕

- 1) 後藤忠一ほか：環境技術, Vol. 9, No. 9 (1980), p. 693.
- 2) 後藤忠一ほか：環境技術, Vol. 10, No. 8 (1981), p. 608.

GLの耐食試験方法

Methods of Corrosion Testing for Lining Glass



(化)技術部 製品開発課
沢田 雅光
Masamitsu Sawada

We changed the expressing form of acid corrosion resistant data of lining glass to a new form on our brochures, which is based on reasonable V/S theory. This new expressing form shows inferior datas of standard glass 9000 in comparison with the conventional one, but it is further actual and useful for users. The distinction of expressing forms were caused by differences of corrosion resistant testing conditions, but the glass 9000 itself essentially is not be changed.

This report presents the methods of corrosion resistant test for lining glass and the effects of V/S on acid corrosion resistance.

まえがき

グラスライニング機器は、医薬・農業・化学及び食品工業等の腐食環境下でも使用に耐え得る機器として、あるいは製品をよりクリーンな状態で製造するための機器として用いられており、これらの機器にライニングされるガラスの表面の性質は非常に重要である。特にライニングガラスの耐食性は機器あるいは製造プロセスの寿命、及び製造される製品の純度を左右するものである。また、このような用途に供する機器の材料選定にあたっては、価格・納期もさることながらその材料の耐食性が重要な要因になることが多い。

そこで耐酸ほうろくを含めたグラスライニングの場合、古くから幾通りかの耐食試験法がなされてきた。ガラス表面に腐食液を滴下し、一定時間後の変化を見るというスポットテスト、ライニングされる前のガラス粒を一定時間腐食液中に浸した後の、その腐食減量を測定するグレインテスト、グラスライニングされた皿の中に腐食液を入れ、ガラスの変化を評価するディッシュテスト、そして最近よく行われている方法で、上部に水冷された環流コンデンサを

取り付けたグラスライニング製容器、あるいはグラスライニングされたサンプルを入れた容器に腐食液を入れ、沸点で試験を行うリフラステストなどである。

本報では最近の耐食試験法と、当社の最近のカタログに表示された新しい耐食データの表現方法について紹介する。

1. 耐食試験方法の現状

1.1 規格に準拠した耐食試験方法

グラスライニングの耐食試験方法は、化学工業向グラスライニングと食品工業向グラスライニングとで異なる方法が規格化されている。当然前者の方が後者に比べて厳しい試験条件が求められる。ここではより一般的でかつ需要の多い化学工業向グラスライニングの耐食試験方法の規格を説明する。規格化された耐食試験方法の比較を第1表に示す。

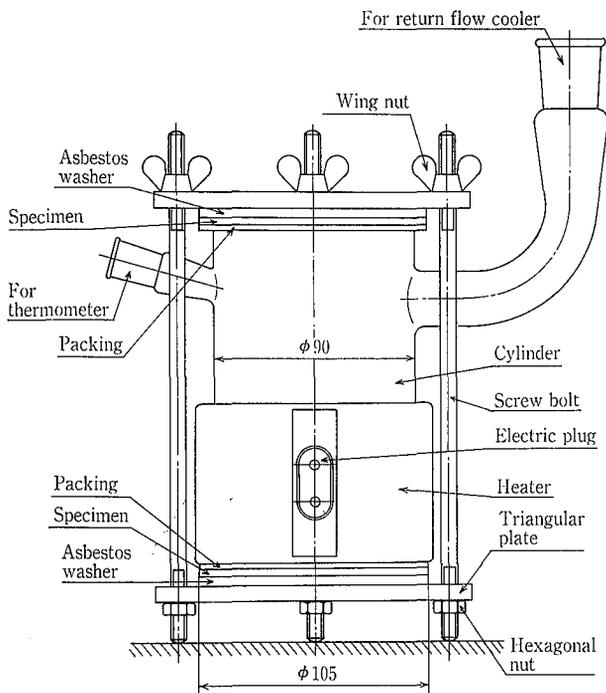
1) ISO (International standard)

ISO 2743では沸点の20%塩酸、ISO 2744では沸点の水、ISO 2745では80°Cの1N水酸化ナトリウムによる耐食試験を定めており、塩酸と水はISO 2733に規格

第1表 規格化された耐食試験方法の比較

Table 1 Comparison of corrosion resistant standardized-tests

	J I S			I S O			D I N		
	Acid	Neutral	Alkaline	Acid	Neutral	Alkaline	Acid	Neutral	Alkaline
Standard	JIS R4201	None	JIS R4201	ISO 2743	ISO 2744	ISO 2745	DIN 51157 Blatt 1	DIN 51165	DIN 51156 Blatt 2
Testing apparatus	Fig. 1	.....	Fig. 2	Fig. 1 (ISO 2733)	Fig. 1 (ISO 2733)	Fig. 2 (ISO 2734)	Fig. 1 (DIN 51157 Blatt 2)	Fig. 1 (DIN 51157 Blatt 2)	Fig. 2
Posited phase of specimen	Vapor Liquid	.....	..... Liquid	Vapor Liquid	Vapor Liquid	..... Liquid	Vapor Liquid	Vapor Liquid	..... Liquid
Specimen (mm)	φ105	.....	φ105	φ105	φ105	φ105	φ105	φ105	φ105
Corrosive liquid	20% HCl	.....	4% NaOH	20% HCl	Pure Water	4% NaOH	20% HCl	Pure Water	4% NaOH
Corrosive liquid volume (mℓ)	350	.....	320	450	450	320	350	350	320
Testing time (hr)	96	.....	48	168 or 336	48 or 336	48	48 or 336	48 or 336	48
Testing temp. (C°)	Boiling point 107	.....	80	Boiling point 107	Boiling point 100	80	Boiling point 107	Boiling point 100	80
Unit of corrosion speed	g/m ² ·d	.....	g/m ² ·d	g/m ² ·d	g/m ² ·d	g/m ² ·d	g/m ² ·d (mm/year)	g/m ² ·d (mm/year)	g/m ² ·d (mm/year)



第1図 試験装置 (ISO 2733)
Fig. 1 Testing apparatus (ISO 2733)

化された耐食試験装置 (第1図) を、水酸化ナトリウムの場合は ISO 2734 に示された試験装置 (第2図) を用いることになっている。

テストピースはいずれも $\phi 105$ mm の素材の片面にガラスライニングしたものを製作し、塩酸と水の場合は液相部と気相部に、水酸化ナトリウムの場合は液相部に取付ける。そして塩酸は 450 ml で 168 hr 以上、水は 450 ml で 18 hr 以上、水酸化ナトリウムは 320 ml で 48 hr 以上の連続試験を行う。試験後はテストピースの重量減少を求め、 $g/m^2 \cdot d$ の単位で評価する。

2) DIN (Deutsche normen)

DIN 51157 Blatt 1 で塩酸、DIN 51165 で水による耐食試験を規格化し、DIN 51157 Blatt 2 でこれらの試験に用いる装置を示している。水酸化ナトリウムについては DIN 51156 で試験および装置を定めている。

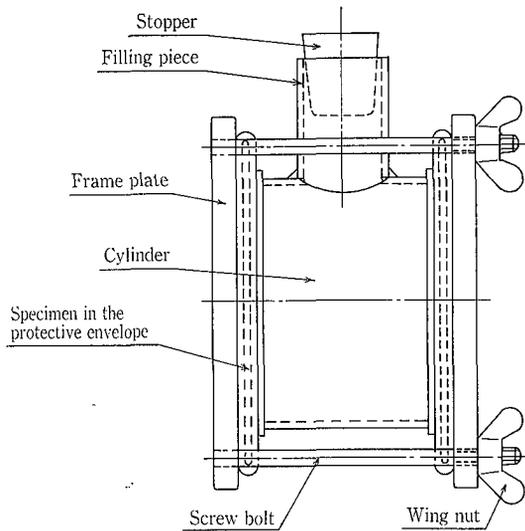
ISO の規格と比べ DIN の規格は、塩酸と水の液量が 350 ml で試験時間が 48 hr 以上という点は異なるが、他の条件は全て同じである。

3) JIS

JIS R4201 で塩酸と水酸化ナトリウムに対する耐食試験を規格化しているが、これらの試験条件は ISO 及び DIN の規格に整合性をもたせてある。異なる点は JIS には水に対する耐食試験が設けられていないことと、JIS にはのみ品質基準として試験結果が規定されていることである。耐塩酸性は $\leq 3.4 g/m^2 \cdot d (0.5 mm/y)$ 、耐水酸化ナトリウム性は $\leq 7.2 g/m^2 \cdot d (1.1 mm/y)$ としている。

4) その他

ASTM 及び BS 規格いずれも ISO の規格と整合性がある。



第2図 試験装置 (ISO 2734)
Fig. 2 Testing apparatus (ISO 2734)

1. 2 高温耐食試験法

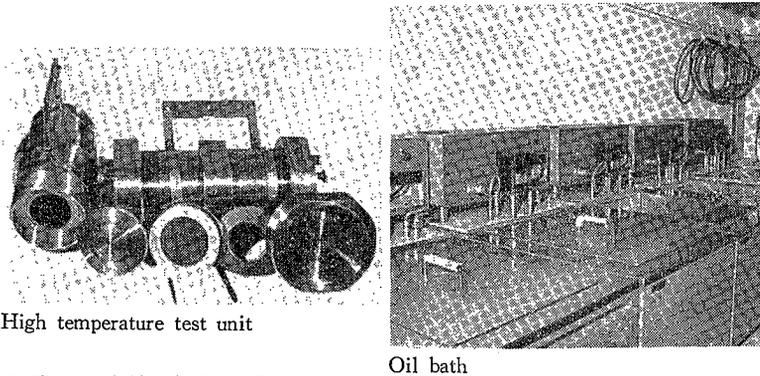
前述した規格に準拠した耐食試験法では塩酸、水及び水酸化ナトリウムに対する結果のみで、かつそれぞれ温度、濃度など一種類のみのデータが得られるだけである。またそれぞれの薬液の沸点迄の温度しか試験できないこともあり、ガラス間の耐食性の比較はできても、ユーザの使用条件に耐えられるか否か、あるいは耐えられる運転条件を知るためには極めて不十分な試験法である。

そこでメーカーとしては種々の薬液・濃度・温度等で耐食試験を行い、データを蓄積しておかねばならない。前述した試験法は大気圧下で行うものであり、沸点以上の温度で試験を行うことはできない。ところが沸点以上の高温で行う試験法には規格がなく、メーカー各社が独自の試験方法を採用しているのが現状である。唯一 DIN が 1988 年に DIN 51174 として高温耐食試験法を規格化した。但し、この規格は腐食液量 (V; ml) と腐食されるガラスの表面積 (S; cm^2) の比を定めた ($V/S = 40 \pm 2$) のものであり、テストピース及び試験装置の姿までは規定していない。V/S の意味については後述する。

次に、現在当社が行っている耐食試験法について述べる。当社ではガラスの品質が基準内であることを確認するため、社内的に JIS 及び ISO の規格に準拠した耐食試験を行っていることは当然として、カタログ等で表示している耐食性のデータは写真 1 に示す高温耐食試験装置を用いて得ている。ガラスの腐食に影響を与えない特殊金属製の高压容器に、全面がガラスライニングされたキネ型のテストピースと腐食液を入れて密閉し、容器ごと恒温槽にセットして常温から約 $300^\circ C$ の間の所定温度で試験を行う。この時 $V/S = 20$ となるように、テストピースの表面積と腐食液量を調整している。試験時間はガラスの種類、腐食条件によって異なるが、通常連続 24 時間から 48 時間で行っている。

1. 3 ユーザでなされる耐食試験

我々メーカーがカタログ等に表示しているガラスの耐食性のデータは単一薬品の水溶液の場合であり、ユーザが扱う



High temperature test unit

Oil bath

写真 1 高温耐食試験装置

Photo. 1 High temperature corrosion-testing apparatus

薬液そのものでない場合が多い。そこでユーザから混合薬液に対するガラスの耐食性の問い合わせがあり、そのデータが手元にないときは、全面ガラスライニングされたテストピース（キネ型サンプル）をお渡しして、ユーザサイドで耐食試験を実施して頂くことがある。

一般的には、テストピースを反応機中のバッフルなどのアクセサリに直接取り付け、一定時間運転する方法と、ピーカーにテストピースと薬液を入れて、実験室レベルで模擬運転する方法の2通りで行われているようである。これらの方法で特に酸性サイドの薬液に対する試験を行うとき、より正確な結果を得るためには次の点に留意されることが望ましい。

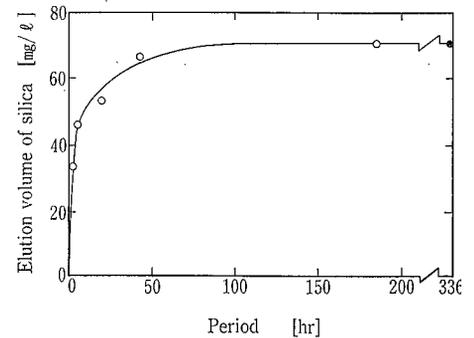
- 1) ピーカーテストで用いられるピーカーの材質は、薬液あるいは試験温度に対し十分安定なガラスやテフロンを選ぶ。
- 2) 薬液量とテストピースの被腐食面積の比 V/S が20以上になるような薬液量にする。もしピーカーの材質がガラスであれば、この接液面積も S に含める必要がある。
- 3) 試験時間は秤量誤差を考慮して、腐食減量が約 5 mg 以上になるよう設定されることが望まれる。ISOでは48時間の試験で5 mg 以下の腐食減量であれば、更に336時間試験を延長しなければならないとしている。

2. 耐食試験結果に及ぼす溶出シリカの影響¹⁾

耐酸性試験の場合、腐食されたガラスから溶出したシリカが腐食液中に混入することによって、腐食を抑制することが分かっている。DIN 51174で V/S を 40 ± 2 に規定したり、当社の高温耐食試験が $V/S = 20$ で行われるのも、溶出シリカの腐食抑制効果を回避して、より正確な耐食性データを得るためである。後述するが、当社では実験結果より $V/S \geq 20$ であれば良いと判断している。ISO等で規格化された耐塩酸性試験において、液相部にセットされたテストピースの方が、気相部にセットされたテストピースより腐食が少ないのは溶出シリカの影響と考えられる。次にこの溶出シリカの影響を調査した結果について述べる。

2.1 腐食液中へのシリカの溶解量と腐食率

ガラスが腐食されるということは、腐食液とガラスが反応してイオン交換が行われ、その結果ガラスの網目構造が崩壊することであり、当然腐食液中にガラスを構成している主成分のシリカをはじめ種々の成分が溶出すると考えら



○ : 65 μm -silica power ● : Aerosil

第3図 溶解時間とシリカの溶出量

Fig. 3 Elution volume of silica with dissolution period

れる。このことを確認するため、腐食によってガラスの構成成分以外のイオンが混入しないような特殊金属製のテスト容器（写真1）を用いて、次の条件で試験を行った。

- (1) 腐食液 ; 20%塩酸
- (2) 試験温度 ; 140 °C
- (3) 試験時間 ; 48時間
- (4) 供試体 ; 化工機用ガラスのキネ型サンプル
- (5) 分析法 ; Siはモリブデンブルー法、他は原子吸光分析計

この結果、腐食液中に溶出した成分のうち多くは SiO_2 で、他に Na_2O 等が検出された。これらを重量比でまとめたところ、供試体のライニングされたガラスの化学組成比に極めて近い値であることが確認された。

そこでこの時、最も多量に溶出した SiO_2 の一定量の腐食液中への溶解量を、次の条件で試験時間を変えて調べた。

- (1) 腐食液 ; 20%塩酸
- (2) 溶解温度 ; 140 °C
- (3) 供試体 ; 粒径 65 μm 以下の珪石粉末と 粒径数十 nm 珪石粉末（アエロジル）

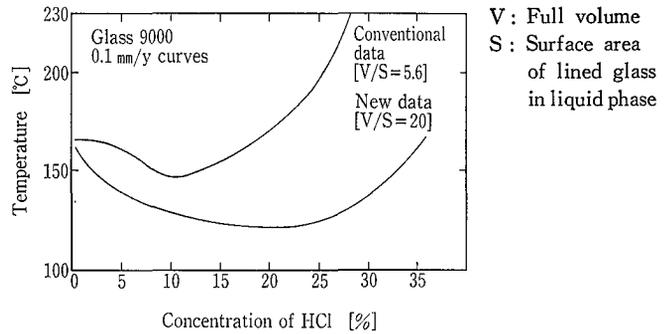
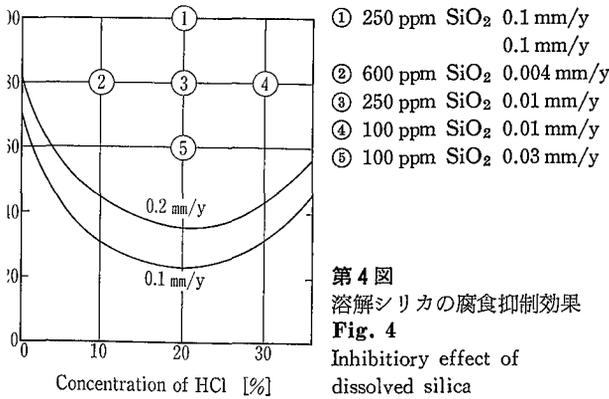
結果を第3図に示す。100時間後約 70 mg/l で飽和状態に達し、336時間後に極めて粒径の小さいアエロジルを添加してもそれ以上溶解しない。またこの試験から、飽和状態に近づく程溶解速度が遅くなることが明らかになった。

この飽和溶液を用いて、同一条件で年間腐食率 0.20 mm/year のガラスを腐食させたところ、0.01 mm/year しか腐食されなかった。これは腐食液中の高濃度の SiO_2 によってガラスの腐食が抑制されたことをしめしている。

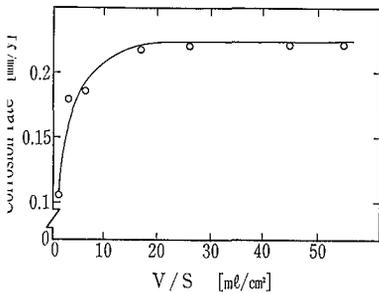
ここで化工機用ガラスの耐塩酸性を示すグラフ中に、適当量の SiO_2 を含む濃度 10%、20%及び30%の塩酸を用い、160 °C、180 °C、200 °C で耐食試験した結果を図中に①から⑥で示した（第4図）。例えば①は、腐食液中に 250 ppm の SiO_2 が溶解すると、0.1 mm/year 腐食させる温度は 125 °C であったものが 200 °C になることを表す。

2.2 腐食率と V/S の関係

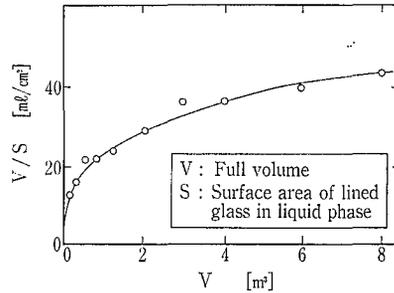
腐食液中へのシリカの溶解がガラスの腐食量に影響を与えることから、正確な耐食試験を行うためには腐食液中のシリカの溶解量を相対的に減ずる必要がある。そこで腐食液の量 V と被腐食ガラス面積 S の比 V/S と腐食率の関係を把握するための試験を行った。試験条件は次の通りで腐



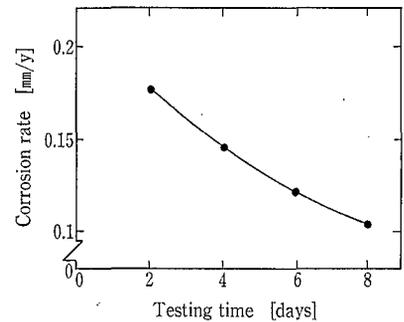
第8図 新旧耐食データの比較
 Fig. 8 Comparison between new and conventional data



第5図 年間腐食率とV/Sの関係
 Fig. 5 Relation between corrosion rate and V/S



第6図 グラスライニング製反応機のV/S
 Fig. 6 V/S of actual glass-lined vessel



第7図 試験時間と腐食率の関係
 Fig. 7 Corrosion rate with testing time

液の量を変えた。

- (1) 腐食液 ; 20%塩酸
- (2) 試験温度 ; 140°C
- (3) 試験時間 ; 48時間
- (4) 供試体 ; 化工機用ガラスのキネ型サンプル

結果を第5図に示す。腐食液量を増しV/Sを大きくすると腐食率は大きくなり、V/Sが20付近から一定の腐食率になる。すなわち、V/Sが20以下の条件で試験を行なうと、溶出シリカの影響で腐食率が小さくなり正しい評価ができない。20以上であればその影響もなく、最も厳しく正しいデータが得られることになる。但しこの試験は当社の化工機用ガラスを用いた場合でもあり、もっと耐食性の劣るガラスであればシリカの溶出量も大きくなるので、V/Sが20より更に大きくしなければならぬことになる。当社の高温耐食試験は、この事実に基づいて腐食液量と被腐食ガラス面積の比を20に設定している。ちなみに実際の反応機のV/Sは第6図に示す通りである。ほとんどの反応機はV/Sが20以上であり、かつ短時間のバッチ運転であることから、溶出シリカによって腐食が抑制されることは期待できない。従って、そのような反応機にライニングされるガラスの耐食性は、溶出シリカの影響のない条件で耐食試験がなされなければならない。

3 腐食率と試験時間の関係

当社の旧高温耐食試験装置のV/Sが5.6の場合、20%塩酸140°Cに対するガラスの耐食性を試験時間を変えてみた。その結果は第7図に示す通りである。縦軸に年間腐食率を横軸に試験時間を示している。前述したように試験時間が長くなると、腐食液中のシリカ濃度が高くなり徐々に飽和状態に近づき、ガラスの腐食率が低下する。V/S

値が大きくなればこの腐食率の低下割合が小さくなることは容易に想像される。V/Sが5.6であっても試験時間が短ければ溶出シリカの影響は小さくできるが、腐食減量も小さくなり秤量誤差の割合が大きくなるので、正確なデータは得られないことになる。このようなことから当社ではV/Sは20で、試験時間を24時間から48時間としている。

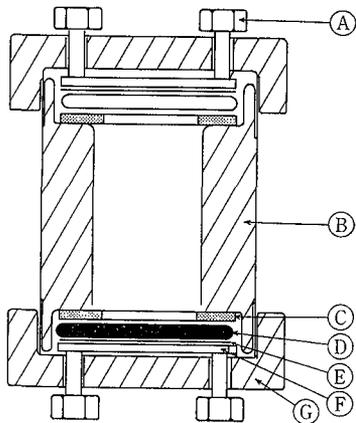
3. 新しい耐食データの表示

当社では1991年11月から、「実際の使用環境に近い耐食データ」ということで、ここまで述べてきた溶出シリカの影響を考慮して、V/S=20として新しい耐食試験法によって得た、より正確な耐食データをカタログに表示することにした。

3.1 新表示と旧表示の違い

新表示と旧表示で異なるのは耐酸性の耐食データであり、耐水及び耐アルカリ性のデータは変わらない。当社標準ガラスの耐塩酸性を例にとって第8図でその違いを説明する。新データは旧データに比べ耐食性が大きく劣る。例えば旧データであれば、20%で170°Cの時腐食率は0.1 mm/yearであるのに対し、新データでは0.5 mm/year以上である。同濃度で同じ腐食率であるためには、新表示によれば温度を約50°C下げた120°Cにしなければならないことになる。ここで化工機用ガラスのキネ型サンプルを用いた2.2で紹介した実験結果では、試験温度あるいは試験に供したガラスの違いなどに起因して、これ程大きい差は認められなかったことを付記しておく。

また旧データでは20%以上の高濃度側で著しく耐食性が向上するが、新データでは低濃度側と高濃度側でほぼ同程度の腐食性となっている。この傾向は塩酸以外の酸の場合もほぼ同じである。参考までに塩酸・硫酸・硝酸・磷酸



- Ⓐ Tightening bolts
- Ⓑ Steel body of the autoclave
- Ⓒ PTFE-gasket
- Ⓓ Specimen
- Ⓔ PTFE-spacer ring
- Ⓕ Pressure disk
- Ⓖ Screw cap

第10図 旧の高温耐食試験装置
Fig. 10 Conventional high temperature corrosion testing apparatus

及び酢酸についてそれぞれ新旧の耐食データを第8図に示す。

3.2 新旧データの差の原因

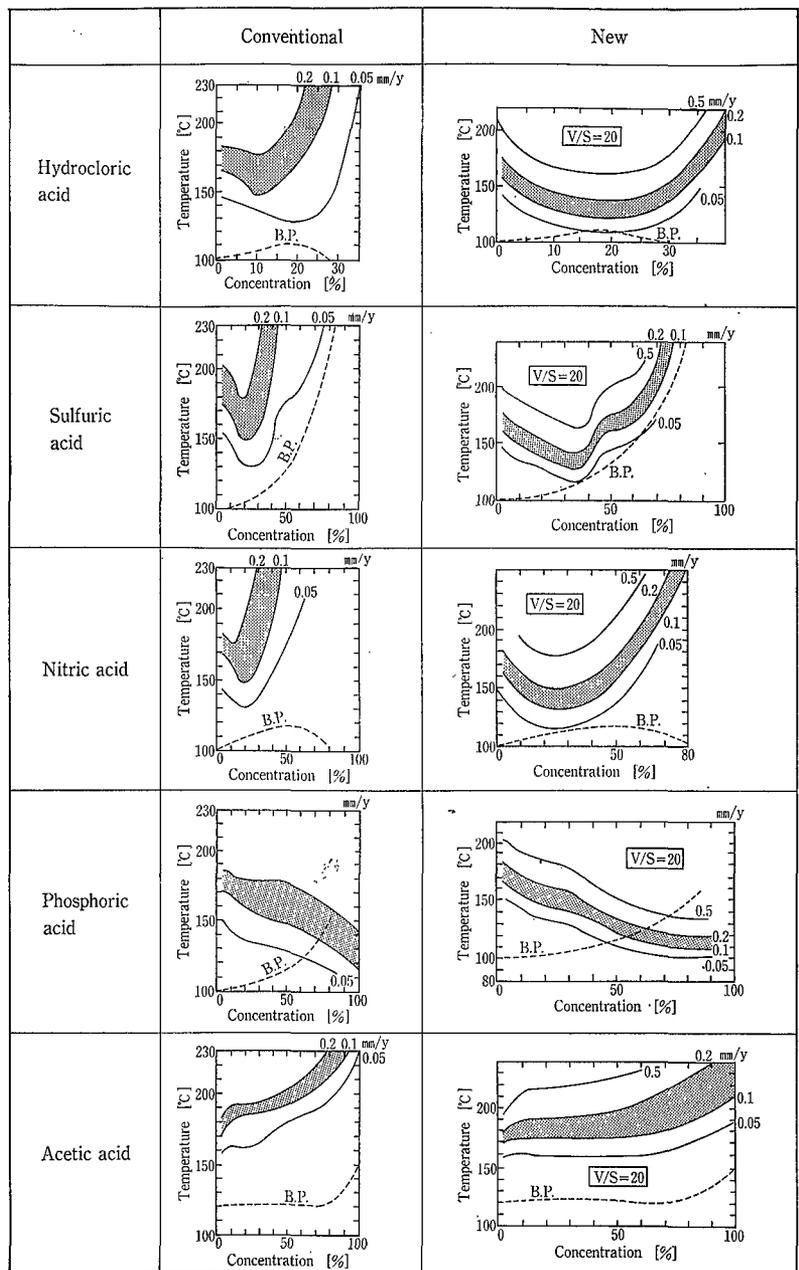
新データは写真1で示した新しい高温耐食試験装置(第10図)を用いて得たデータである。すなわちV/Sを20にして、腐食液中へ溶出したシリカの腐食抑制効果が及ばない状態で試験を行った。それに対し、旧データは第9図に示したテスト容器を用いた。容器の中に入れた腐食液を、両端のガラスライニングされた円板状のテストピースで密閉して温度を上げ、このテストピースを腐食させる試験法である。この場合のV/Sは5.6であり、新旧データに差が生じたのはこのV/S値の違いによるものと考えている。V/S値の違いによる耐食性の変化は2.2項で述べた理由による。

3.3 カタログなどへの新データ採用の理由

- 1) 実験結果から、旧試験法では溶出シリカの腐食抑制効果がはたらかず、実際の使用条件による腐食と整合性のないデータになってしまうことが明らかになった。
- 2) 実験結果などから、新試験法の方が実際の腐食条件に近いと考えた。
- 3) 高温耐食試験法に関し、DINがV/Sの考え方を取り入れたことから、やがてISOやJISでも採用が予想される。

むすび

このたび本報において、当社のカタログ等への新しい耐食データの採用について説明させて頂いた。同一ガラスで



第9図 変更前後の耐食性グラフ
Fig. 9 Conventional and new corrosion resistance curves

ありながら従来から表示されているデータに比べ、大きく変わる結果になっていることに、驚かれるユーザも多いと想像される。これは耐食試験方法の違いによることであり、ガラス自体は本質的に変わっていないということ、耐食機器としてガラスライニング機器を正しく選んで頂き、少しでも長く御使用頂くことを念頭に、より厳密な耐食試験法を求めた結果であることにご理解を頂き、これからも今まで以上に当社のガラスライニング機器を愛用下さることをお願いしておきたい。

【参考文献】

- 1) R. Lorentz: Werkstoffe und Korrosion 33 (1982) 247

タンクコンテナによる危険物の輸送と法規

Regulations for Tank Containers in Transport of Hazardous Materials



(化)技術部 設計第2課
北村吉朗
Yoshio Kitamura

Containerization that was started for the reduction of freight and the rationalization of physical distribution has been developed in Europe and United States, and has greatly contributed for international transportation as the multimodal transport method of sea and land.

Recently the use of tank container is increasing because it is more profitable in safety transport, keeping quality and easiness of handling.

Increase of needs of tank containers for specially hazardous material such as flammable, combustible, poisonous and corrosive liquid is more remarkable.

But in case the transport material is dangerous, the tank container is ought to be regulated from manufacturing, packaging and transporting by various regulations.

The paper describes the laws and regulations for the transportation of hazardous material.

まえがき

物流の輸送コスト低減化、輸送の合理化を目的として始られたコンテナリゼーションは、欧米で大きく発展し、海上および陸上の複合一貫輸送手段として国際輸送に大きく貢献してきた。

コンテナには運ぶ貨物によってさまざまな種類がある中で食品や化学薬品用の液体にはタンクコンテナが使用される。現在は、タンクコンテナも一般的なドライコンテナと同様、Door-to-Door が実現している。

タンクコンテナは安全性や品質管理の面でも、他の輸送手段に比べて優れており、特に対象物が引火性、可燃性、毒性、腐食性などの危険物の場合はその安全性と取り扱い易さから、最近ではドラムカンやプラスチック容器に代わって、タンクコンテナの使用が年々増加の傾向にある。

しかし、対象貨物が危険物となると当然安全管理の面で法的規制を受けなければならない。本稿はタンクコンテナで危険物を輸送する場合に準拠すべき法規、規則などについて解説を行うものである。

危険物の定義

危険物に対する法規について述べる前に、危険物の定義について説明する。

一般的に危険物といえば爆発性、引火性、毒性などの危険性を持った物質のことを指すが、法的観点からは、規制の目的の相違により、危険の対象、危険物の定義、範囲さらに規制の内容もおおのずと違って来る。また輸送手段によっても独特の分け方があり、国際法「IMDG CODE」および国内法の「危険物船舶運送及び貯蔵規則」（以下危規Ⅲ）、「消防法」では右表のように分類している。

タンクコンテナと法規

コンテナ輸送を行う場合、輸送貨物が危険物であろうと、非危険物であろうと共通して守らなければならない規則・基準がある。ISO、CSC、UIC、TIR、CCC、首路法などがそれである。

コンテナが国際間を自由に流通するためには、輸送手段である船、トラック、貨車の緊締金具や各国の港、ターミナルでの荷役、各種ハンドリングの機械に適合するものでなければならない。

そのため、ISO（国際標準化機構）1496/Ⅲでは、コンテナのサイズと重量、外枠寸法、緊締装置、荷重試験の仕様などが規格化されている（1496/Ⅲ-3.定義-4.具体的な寸法-5.設計要件-6.試験）。国際コンテナとしては、まずこの規格に合ったコンテナを造ることが必要である。CSC（コンテナの安全に関する国際条約）はコンテナの取扱、積み重ね、輸送中の人命の安全を確保し、かつ国際流通を円滑にするための目的で定められた国際条約で、強度の確認試験を含めた構造上の要件が規定されている。

	「IMDG CODE」	「危規則」	「消防法」
1	火薬類	火薬類	酸化性個体
2	ガス	高圧ガス	可燃性固体
3	可燃性液体	腐食性物質	自然発火性物質および禁水性物質
4	可燃性固体、自然発火し易い物質、水と反応し可燃性ガスを発生する物質	毒物類	引火性液体
5	酸化性物質および有機過酸化物質	放射性物質	自己反応性物質
6	毒性、病毒性物質	引火性物質類	酸化性液体
7	放射性物質	可燃性物質	
8	腐食性物質	酸化性物質類	
9	その他の危険性物質	有害性物質	

日本の場合、このCSCの条約内容は「船舶安全法」の中に規定されている。このCSCの安全性に関する基準、各種荷重試験に合格し、型式の承認を受け、その証明としての安全承認板を付けていないと海上コンテナとして使用できない。CSCの承認を取得するには、基本的にCSCの国際条約に加盟している国であればどこでも取得できるが、コンテナの所有者が日本国籍で、かつ、製造業者も日本国籍、あるいは所有者が外国国籍でも日本で使用する場合は原則として日本政府の証明が必要である。

UICは国際鉄道連盟の規則であり、鉄道による国際輸送を円滑に行うことが目的で、構造、寸法、強度、表示などが規定されている。ヨーロッパでの鉄道輸送には必ずこの規則の承認取得が必要である。

TIR（国際道路運送手帳による担保のもとで行う貨物の国際輸送に関する通関条約）は経由国の税関で、その都度検査しないで通過できるよう取り決められた条約である。この証明として、所轄税関より取得した承認板を取り付け、開口部は税関封印する。

CCC（コンテナに関する通関条約）は国際コンテナとして反復利用されるコンテナの免税扱いを受けるための国産コンテナの承認で、その証明として確認証紙（通称マル関ワッペン）をタンクに張り付ける。

その他国内規則として、道路法などがある。

3. タンクコンテナによる危険物輸送と法規

危険物を海上輸送、陸上輸送および航空輸送する場合に、いろいろの法規、規則を守らなければならないが、ここでは、危険物液体または液化ガスを海上輸送および陸上輸送するタンクコンテナに限定して、どのような規則が関わってくるかを紹介する。危険物用タンクコンテナの製造、運用に当たって守らなくてはならない規則は第1表の通りである。但し、タンクコンテナを国際専用として使用するか、国内専用として使用するか、または国際、国内兼用かによって、これらの規則の適用は異なってくる。国際専用の場合は原則として日本の法規は関係ない。また、国内専用で使用する場合は国内法規のみの適用でよいが、両方兼用の場合は両方の規定を満足し、それぞれの承認取得

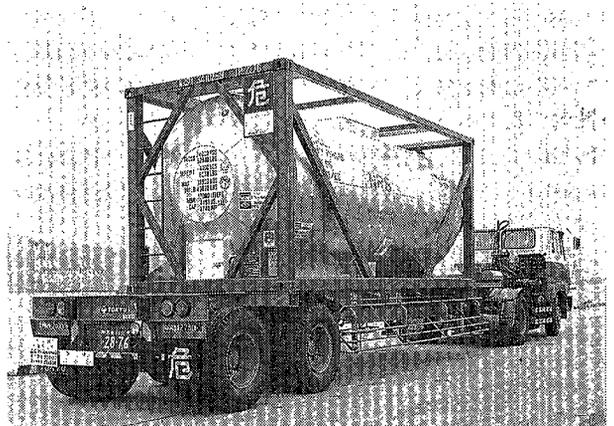


写真 1 海上輸送される危険物用タンクコンテナ

Photo. 1 Tank container for sea transportation of dangerous goods

が必要である。

4. 国際タンクコンテナの適用法規

1957年に国連下部組織として危険物輸送専門委員会が設置され、危険物輸送の根本要件を国際的に統一することにより、各国および各輸送手段（陸、海、空）の異なった基準による阻害を排除し、危険物の安全輸送および効率化を図るため「危険物輸送に関する勧告」（以下「国連勧告」通称“Orange Book”）が採択された。

今日のそれぞれ輸送手段の国際基準はほとんどこの「国連勧告」をベースに作られている。

5. タンクコンテナに関する国際および諸外国規則

5.1 IMDG CODE

このIMDG CODEは海上の安全、海水の汚染防止などの海事全般についての取り決めを行う機関、IMO（国際海事機構）によって定められた国際海上危険物規定である。危険物をコンテナで海上輸送する場合はこの基準に適合していることが不可欠である。（写真1）

国連勧告では通常よく運送される危険物のリストを策定しているが、実際には化学品種類は膨大な量であり、その

第1表 タンクコンテナによる危険物輸送における関連法規および規則

Table 1 Laws and regulations for tank container in transport of hazardous material

Law and regulation	IMDG CODE	49 CFR	ADR	RID	AAR	CTC	Regulation for the Carriage and Stowage of Dangerous Goods in Ships	Fire Service Law	Law of poisonous & irritant substances	High Pressure Gas Control Law
Country	International	U.S.A.	Europe	Europe	U.S.A.	Canada	Japan	Japan	Japan	Japan
Transport method	Sea	Sea Land	Land	Land	Land	Land	Sea	Land	Land	Land
Main government office and approval organization	ABS LLOYD BV etc.	ABS LLOYD BV etc.	ABS LLOYD BV etc.	ABS LLOYD BV etc.	ABS LLOYD BV etc.	ABS LLOYD BV etc.	Ministry of Transport HK NKKK	Fire House (Autonomy ministry)	Ministry of Public Welfare	Ministry of International Trade and Industry
Applicant	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer & shipper	Manufacturer & shipper		Manufacturer

の危険物に該当するものを常に掲載しておくことは極めて難しい。従って、若干の包括的名称（他に品名が明示されているものは省く）を設けることで、相当数の化学物質が掲載されている。

IMDG CODE でも同様の手法をとっており、13章に液体危険物 (Type 1, 2), 常温液化ガス (Type 5), 低温液化ガス (Type 7) の品名が掲載されている。

その表では最低必要仕様が決められており、コンテナに関する技術要件は条項の中で詳細に規定されている。

2 49 CFR

CFRは米国連邦法の総称で50編 (Title) からなり、輸送に関する法律は Title 49 の Transportation におさめられている。この規則は米国運輸省 (US-DOT) が管轄している。米国内にタンクコンテナを運ぶ場合は、この CFRの規定に合致していなければならない。

(同規定は1990.12.21付米国官報で改正が公布されている) 本規則でも危険物の分類は、基本的に国連勧告の分類を取り入れている。IMDG CODE と同じように、Part 72 Subpart B に危険物一覧表が記載されている。

また、容器規則としては、Subpart A からKまで各種ごとに規定があり、Subpart H がタンクコンテナに該当する、ポータブルタンクである。さらにこれを型式で分けると、Spec. 51, 52, 53, 56, 57, 60 および IM-101 と M-102 のタンクがあり、それぞれの型式ごとに技術要件が規定されている。

タンクコンテナではこの Spec. 51, 60, IM 101, IM 102 が規定が適用される。

特に Spec. 51 に該当するタンクは ASME CODE に従って設計、製作する必要がある。すなわち ASME「U」スタンプを取得しなければならず、ASME の認定工場を有していなければ Spec. 51 のタンクコンテナは製作できない。

3 ADR/RID

ADRは欧州危険物道路輸送協約のことで、RIDは欧州危険物鉄道輸送規定である。協約の目的は、道路車両や鉄道車両に危険物が積載されて、欧州各国国境を通過する際の危険物に対する適切な包装と安全輸送を確実にするための規則である。

本規定の危険物の分類は国連危険物輸送専門委員会の勧告を基礎としており、クラス1からクラス9までの13種類に分けられている。この規則の特長は制限物質群と非制限物質群に大別していることである。この制限物質群は付属表Aの Part II に記載されている物質だけが、特別要件を満たす条件下でのみ運送が認められる。

非制限物質群は分類の規則の中に輸送禁止の注記があるものを除いて当該規則に従って輸送することができる。

また、分類中に記載されていない物質でも、分類における一般性状に合致するものは、その要求される要件下で輸送しなければならない。非制限物質群の危険性状を示しているが、特定物質欄および上記いずれにも載っていない物質は本協約に束縛されずに運送することができる。

4 AAR

AARは米国鉄道協会の略称である。鉄道輸送における

タンク車に対する取り決めの中で、タンクコンテナの規則がAAR-600に規定されている。

本規則では、ISO 1496/III の規格、49 CFR の規則の Spec. 51, 60 型および IM 101 型、IMDG CODE の Type 1 および Type 5, ANSI MH 5.1.3 Mに基づいて製作されたタンクコンテナのみ認めている。また、証明書を発行する検査機関として、ABS, LR, BV, NB, NKKなど10の検査機関が認められている。

AARでは、上記の準拠すべき規定の中に IM 102 および IMO Type 2 については明記されていないが、現実には IM 101 および IMO Type 1 の要件を満たし、かつ AARの規定に基づき検査し、公認検査機関の証明があれば米国内の鉄道輸送は可能である。この規則の特長は、型式承認試験で貨車による衝突試験が義務づけられていることである。

5.5 CTC

カナダ輸送協会の略称で、個々の条項は多少異なるところがあるが、内容はAAR-600とよく似た規則であり、本規則でも貨車による衝突テストが義務づけられている。

6 危険物のタンクコンテナによる国内輸送適用法規

6.1 船舶安全法・危険物船舶運送および貯蔵規則

「船舶安全法」は日本における船舶の安全取締りに関する法律で、第28条に基づく危険物の海上輸送に関する省令が「危険物船舶運送及び貯蔵規則」(以下「危規則」)である。

危規則は、日本国籍の船舶で危険物を運ぶ場合または日本の領海を船舶で危険物を運ぶ場合にこの規則を守らなくてはならない。なお、日本の領海内にある外国船舶、日本の領域外にある日本船舶にあっても本規則が適用される。

危規則によれば、タンクコンテナは大型金属容器に相当する。この大型金属容器は450 Lt を起える金属容器で中型容器 (250 Lt を超え 3 000 Lt 以下のフレキシブルコンテナ) 以外のもので、IMDG CODE などの国際規則を取入れて作成されている。

危規則第2編第1節の2「コンテナによる危険物の運送」によれば、構造要件として、危険物の運送に対して十分耐えられる構造および強度が要求されており、IMDG CODE に規定されているポータブルタンクの IMO Type 1, Type 2 の規準が大型金属容器に取り入れられている。大型金属に収納して運送できる危険物は、告示別表第9-3に掲げられており、基本的な容器構造要件 (タンクタイプ, 最小試験圧力, 安全装置の種類, 底部開口の閉鎖装置の種類, タンクのシェル 最小板厚) が示されている。この表はIMDG CODE の危険物一覧表を取り入れたものである。

コンテナの検査は地方運輸局長または運輸大臣の認定した公益法人 (「認定法人」と呼ばれ、財団法人日本船舶用品検査協会が認定されている) または、外国のタンクコンテナであればIMDG CODE を採択している政府の検査に合格したものであることが条件となっている。大型金属容器の検査、技術基準は、上記協会が作成し、運輸大臣の認定を受けた付属書「危険物及び包装 (大型金属容器) 検査試験基準」および「技術基準」によらなければならない。

6.2 消防法

消防法では、危険性を有する物質の内、特に火災を発生しやすい発火性または引火性の物質を「危険物」と定義し、品名を指定し、火災予防の見地からこれらの物質の貯蔵、取扱などに関する保安規制を行っている。消防法上の危険物は、それ自体が発火し易い、または引火し易い物質だけでなく、他の物質と混在することによって燃焼を促進させる物質も含まれるが、一般的には次のような危険性をもった物質である。

- (1) 火災発生の危険性が大きい。
- (2) 火災拡大の危険が大きい。
- (3) 火災の際、消火が困難。

「消防法」は9章から成る法律と11章から成る政令および省令、告示が法として定められている。その他に多数の行政通達が出されており、技術上の基準や運用を補足している。従って、実際のタンクコンテナの設計や運用に当たってはこれらの通達も重要な規則の一部として扱う必要がある。

「消防法」でのタンクコンテナの位置づけは、消防法第3章の「危険物」の中で規定されている製造所、貯蔵所、取扱所の内、車両に固定されたタンクに危険物を貯蔵し、または取り扱う施設として「移動式タンク貯蔵所」が規定されている。タンクコンテナはこの移動タンク貯蔵所の一つとして扱われ、これらの技術上の基準は「危険物の規制に関する政令」の第3章15条1項に移動タンク貯蔵所として、タンクの構造、付属品、表示など一般的な要件が規定されている。

さらに同2項の中には「移動タンク貯蔵所の内移動貯蔵タンクを積み替えるための構造を有するもの」として積載式移動タンク貯蔵所が定義され、第15条1項の基準の特例が定められている。すなわち、箱状の枠に収納されるタンクコンテナのことで、通常の間仕切り取付、防波板取付、および付属品損傷防止装置取付の規定が除外されている。

さらに、国際輸送用タンクコンテナについては、国際コンテナの実状にあわせて従来の20000Lt以下の制限を超えた容量のタンクが認められている。但し、道路運送車両の保安基準により、コンテナ重量と積載物の重量の合計は24Ton以下の制限があるので、容量だけでなく、重量の面も併せて考慮しなければならない。

6.3 毒物および劇物取締法

この法律は、毒物および劇物の製造、取り扱いを保健衛生上の見地から、必要な取り締まりを行うのを目的としている。

この法律、関連法規の構成、内容は営業および販売に必要な登録や責任者に関するものがほとんどで、タンクコンテナについては特に具体的な記述はない。

なお、毒物および劇物の運搬容器に関する技術基準が厚生省薬務局長通達の形で出されている。すなわち、

1. 毒物および劇物の運搬容器に関する基準について
「基準その1」、「基準その2」(薬発第511号 S63.6.15)
2. 毒物および劇物の運搬容器に関する基準について
「基準その3」(薬発第255号 H3.3.6)

タンクコンテナについての技術要件は上記基準「その2」に消防法政令15条1項とほとんど同じ構成、内容で規定されている。

6.4 高圧ガス取締法

高圧ガス取締法では、高圧ガスの製造、販売、貯蔵、移動、取扱、消費及び容器の製造と取扱を規制している。特にタンクコンテナに関係のある規則に次の省令がある。

- (1) 一般高圧ガス保安規則
- (2) 液化石油ガス保安規則
- (3) 容器保安規則

高圧ガスの取扱、運送に関しては、上記(1)、(2)の2つの省令で、車両に固定した容器による移動およびその他の移動の2つの移動方法に分類し、高圧ガスの移動の場合の保安上必要な措置ならびに、積載方法、移動方法の技術基準が規定されている。

また、タンクコンテナの容器および付属品に関しては、容器保安規則その技術基準が規定されている。従って高圧ガスをタンクコンテナで輸送する場合は、上記規則に基づいた検査に合格した容器証明が必要である。

高圧ガスを充てんする容器を製造する者は、通産大臣の認定を必要とする。(正式には認定ではなく、届出制であるが、届出の際、事業内容、製造設備、設計基準、製造技術、保証体制等を記載した書類を必要とし、その内容が基準要件を満たしていないと、届出が受理されないで実際上は認定と考えられる)

また高圧ガスを充填する容器は容器保安規則に従って設計、製作し、高圧ガス保安協会の検査に合格し、容器証明を受けなければならない。

すなわち、高圧ガス認定工場で製造され、容器証明のある容器でないと高圧ガスは充填できない。

なお、一般高圧ガス保安規則の中で、国際輸送用タンクコンテナには防波板取付に関する規定が除外されている。

む す び

以上、タンクコンテナの製作、運用に当たっての適用法規、規則について、概要説明を行ったが、さらに技術要件や運用に際しての具体的内容などについては次の機会に説明する。

略称	略語説明
CSC:	International Convention for Safe Containers
UIC:	International Union of Railways
CCC:	Customs Convention on Containers
IMDG:	International Maritime Dangerous Goods
CFR:	Code of Federal Regulations
ADR:	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
RID:	Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail
AAR:	Association of American Railroads
CTC:	Canadian Transport Commission
ABS:	American Bureau of Shipping
LR:	Lloyd's Register of Shipping
BV:	Bureau Veritas
NB:	National Board
HK:	日本舶用品検定協会
NKKK:	日本海事検定協会

SVミキサーの新用途とシステム

New Applications and Systems of SV MIXER



(化)技術部 設計第2課
和田 雅之
Masayuki Wada

SV MIXER has been widely used as mixing and drying equipment for powder, and is expanding its applications.

This paper describes some test results for new applications, some actual uses for reaction/concentration/drying process, and an outline of such applications as extraction/drying and filtering/drying processes.

Weighing/mixing/pneumatic conveying and drying/pneumatic conveying/weighing systems including SV MIXER are also described.

まえがき

SVミキサーは、逆円錐形容器内に自公転するスクリューを持ち、粉粒体に三次元的な対流運動を与える構造で、主として粉粒体の混合機として用いられてきたが、ここ数年、その独自の混合機構を有効に利用して、ファインケミカル、医薬品、合成樹脂、農薬、染料・顔料、窯業、食品などの広範囲において真空乾燥機として数多く使用されている。

粉粒体混合機としてのSVミキサーの機構、混合特性およびそのスケールアップについてはすでに述べた¹⁾²⁾

また、SVミキサーの応用としての真空乾燥操作³⁾や新しい用途として、PET樹脂チップの結晶化・乾燥およびPPS樹脂の熱処理についてはすでに報告した⁴⁾。

本稿では、SVミキサーの最近の用途の中から、液体状有機化合物の反応・濃縮・乾燥を1台で処理した例をとりあげ、実験結果と実機への適用について紹介する。

また、抽出・乾燥、汙過・乾燥等をSVミキサー1台で処理した例についても概要を紹介する。

SVミキサーを中心とした粉粒体の真空乾燥システム、混合システム、液体から粉体への反応・汙過・乾燥システム等の中から、その一例として計量・混合・空気輸送システムと乾燥・空気輸送・計量システムの適用例についても紹介する。

1. SVミキサーの特長

いままでに報告されたSVミキサーの特長をまとめる。

SVミキサーは、容器固定形混合機の一つで、第1図のような粉粒体に三次元的な対流運動を与える独自の混合機構とその構造により次のような優れた特長をもっている。

1) マイルドな混合状態が得られる。

スクリューはゆるやかに自公転するため、粉粒体粒子を破壊することがほとんどなく、柔らかい結晶の混合・乾燥にも適している。

2) 伝熱効率がよい。

原料全体を対流混合させながら伝熱面近くの原料を強制的に攪拌するため、伝熱効率がよく、均一な乾燥が容易に達成できる。

3) 消費動力が少ない。

容器内の原料を全部同時に機械的に攪拌しないため、

消費動力が少ない。

4) 減圧操作により比較的低温で乾燥できる。

熱的に敏感かつ不安定な原料に対して、比較的低温で乾燥することができる。

5) 原料の仕込み・排出が容易である。

容器固定式のため原料の仕込み・排出が容易であり、自動化することができる。また、容器形状が逆円錐形であり、スクリュー翼による攪拌によってブリッジングを起こすことなく、容易に排出できる。

6) クローズドシステムで操作することができる。

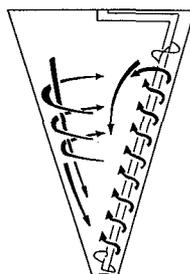
危険な溶剤の回収に適するとともに、外部からの異物混入によるコンタミを防止することができる。

7) 自動化が容易である。

容器固定形であるため、機器へのアクセス、計装化が容易であり、操作性がよく、自動化が容易である。

8) 容器内に軸受がない。

スクリュー軸にかかる荷重はすべて公転軸アーム部にて受持ち、軸下端は荷重的にまったくフリーの状態となっている。なかでも、Vタイプは容器底部に付属物はまったく無く、容器直下への排出も可能である。Rタイプには、ラジアルローケータ(R/L)が付属するが、これは容量増加に伴い長くなったスクリュー軸の軸端振れ止めである。ラジアルローケータは、従来の軸受に比べその接触部における発熱が非常に少なく、操作上のトラブルが少ない。熱に過敏な粉粒体に対しては、さらに安全をみて水冷式タイプも用意されている。従来、スクリュー軸端がまったくフリーのVタイプは、2000ℓ以下が標準であったが、かさ比重、流動性等の粉粒体の諸物性および攪拌動力によって、混合機として8000ℓ、乾燥機



第1図 SVミキサーの混合原理
Fig. 1 Mixing principle of SV MIXER

として5000ℓまで対応した実績がある。

2. 有機化合物の反応・濃縮・乾燥

液体状有機化合物の反応から乾燥粉化の工程は、従来、反応機、脱水機、乾燥機の3台で行われ、つぎのような問題点があった。

- 1) 反応機、脱水機、乾燥機と3台必要であり、インシヤルコスト、ランニングコストとも高つく。
- 2) 各装置のつなぎにおいて、多くの人力、手間がかかることがある。
- 3) 各装置のつなぎにおいて、異物混入の恐れがある。

そこで、真空乾燥型SVミキサー1台で、大気圧下での反応後、引き続いて真空下で濃縮・乾燥を行い、乾燥粉を得ることを目的としてテストを行った。

次にその概要を述べる。

2.1 テストの方法

テスト装置は、100ℓSVミキサー真空乾燥ユニットを使用し、反応・濃縮・乾燥状態の確認、スケールアップデータの測定を行った。テスト装置の概略フローを第2図に示す。また、テストユニットの各機器の仕様を第1表に示す。

1) 反応工程

SVミキサーに反応媒体として水を仕込み、原料粉体である弱酸性有機化合物を溶解させながら外套にスチームを供給し加温する。次に弱アルカリ性の原料液体を投入し、約95℃に保持することによって中和反応を進める。

2) 濃縮・乾燥工程

反応終了後、外套にスチームを供給し、加熱しながら容器内を真空引きすることにより、真空下で濃縮・乾燥を行い内容物を粉化させ、水分0.1%以下とする。

2.2 テストの結果

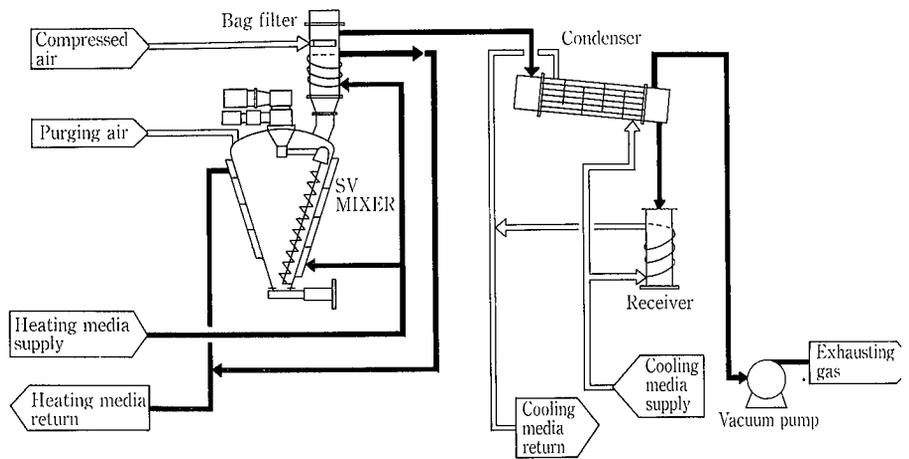
テスト結果を第3図に示す。

水への原料粉体・液体の溶解により内容物は高粘度化し均一な混合・加熱状態が持続され、良好な反応物を得ることができた。

その後の真空下での加熱で、内容物からの脱気、水分蒸発が行われ、高粘度液体状から泥状となり、やがて湿粉から乾粉へと状態が変化していった。泥状から湿粉状に至る過程において、内容物がねばねばした状態となり徐々に造粒され、撹拌トルクが増大した。これはこの過程で内容物の固・液・気系構造が造粒物が生じやすい状態となり、加熱、撹拌によって促進されたためと考えられる。

さらに乾燥がすすむにつれ造粒物が徐々に崩壊し、粉状となり、撹拌トルクは減少した。結果として水分が約60%から40%の間が撹拌トルク最大となった。

水分約1%まで恒率乾燥が続き、つぎに減率乾燥域を経



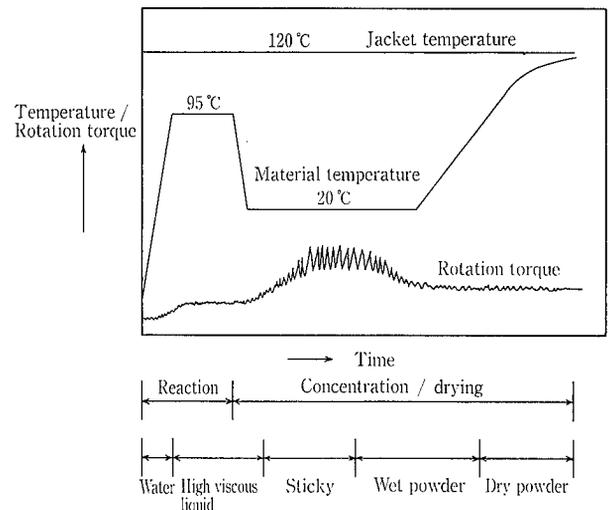
第2図 SVミキサー真空乾燥ユニット概略フロー

Fig. 2 Schematic flow of SV MIXER vacuum drying unit

第1表 SVミキサー真空乾燥ユニット機器仕様

Table 1 Equipment specification of SV MIXER vacuum drying unit

Equipment name	Equipment specification
SV MIXER	Effective volume : 100 ℓ Motor rated output : Screw : 1.5 kW Arm : 0.2 kW Rotation speed : Screw : 36~144 rpm Arm : 1~4 rpm Heat transfer area : 0.9 m ²
Bag filter	Cloth area : 0.4 m ²
Condenser	Type : Shell and tube
Vacuum pump	Type : Water-ring vacuum pump Pumping speed : 850 ℓ/min



第3図 反応・濃縮・乾燥曲線

Fig. 3 Reaction, concentration and drying curve

て目標の水分0.1%以下の良好な乾粉を得ることができた。

恒率および減率乾燥期間の平均総括伝熱係数 U_{av} は各々約130 kcal/m²・hr・°C, 10 kcal/m²・hr・°Cであった。

なお、水分約10%から1%までの間、粉の飛散が多くバグフィルタの逆洗（払い落とし）を行う必要があった。

各所要時間は、仕込・昇温・反応：約3時間、濃縮・乾燥：約7時間であった。

2. 3 実機への適用

テスト結果より実機へのスケールアップを行った。

自転攪拌動力のスケールアップは、当社の次スケールアップ式を使った。²⁾

$$P_s = K_2 \cdot (V/V_0)^m \cdot (Q/Q_0)^n \cdot P_{s0}$$

ここに

- P_s : 自転攪拌動力 (kw)
- V : 装置有効容量 (ℓ)
- Q : スクリュー搬送量 (m³/h)
- 添字0: テスト機の値
- K_2 : スケールアップ係数
- m, n : 実験係数

テスト機の自転攪拌動力 P_{s0} は、造粒現象発生過程での攪拌トルク増大時の最大値を採用した。

実機の仕様の概要を次に示す。

- 称容量 : 3 000 ℓ
- 自転モータ : 18.5 kW
- 公転モータ : 1.5 kW
- 自転回転数 : 59 rpm
- 公転回転数 : 1.3 rpm

実機では、仕込・昇温・反応: 約4時間、濃縮・乾燥: 約17時間でオーバーロードすることなく水分0.1%以下の良好な粉体を得ることができた。

3. その他新しい用途の概要

その他のSVミキサーの新しい用途のうち、固液相処理装置としての適用例の概要を次に示す。

3. 1 抽出・乾燥

反応・晶析・脱水後の湿粉をSVミキサーに仕込み、抽剤を加えて攪拌・混合を行った後静置し上澄液を抜き取り、引き続いて真空乾燥を行う。危険な溶剤をクローズドシステムで取り扱うことができ、スラリー状からの乾燥が容易に行い乾粉を効率よく得ることができる。

3. 2 汙過・乾燥

反応後の比較的粒径の大きな固体を含む固液混合物をそのままSVミキサーに仕込み、缶底に設けられた金網によって汙過し、引き続いて真空乾燥を行う。汙過面積を大きくとることができないが、汙過性のよい粉粒体においては、固液分離機を省くことができるうえ、湿粉のハンドリング工程が減ることによる異物混入防止の点においてもメリットがある。

4. SVミキサーシステムの紹介

システム化への対応の一例として、SVミキサーを中心とした、混合システムと乾燥システムの一例を紹介する。

4. 1 SVミキサー混合システム

第4図にSVミキサー計量・混合・空気輸送システムの概略フローを示す。

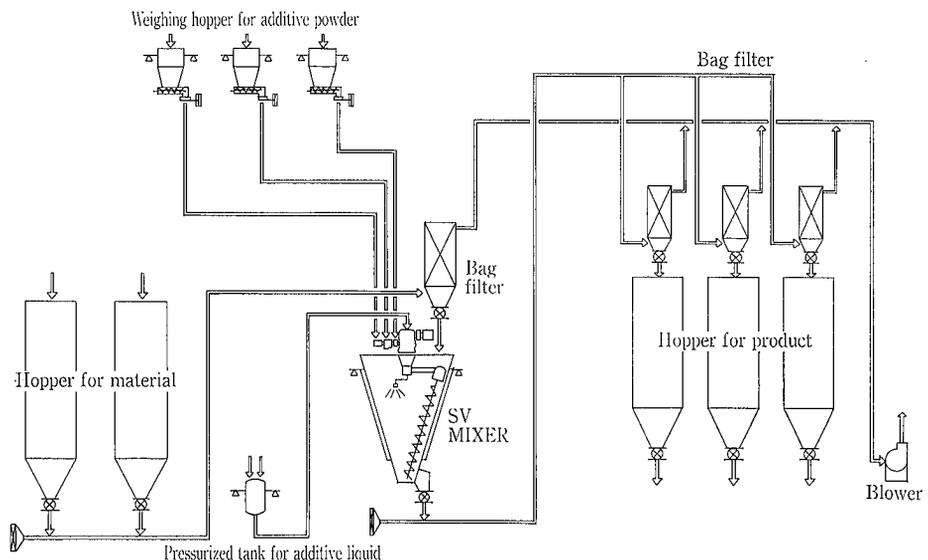
本システムは、樹脂系原料粉体に各種の添加物(粉体、液体)を計量投入後、混合する自動化システムであり、多品種製品での計量精度の向上・安定化、自動化による省人化・運転管理が目的である。

本プロセスの概要を次に示す。

- 1) 大型サイロに貯蔵された樹脂系原料粉体を吸引式空気輸送によりSVミキサーに仕込む。原料仕込量は、SVミキサーに取り付けられたロードセルにより重量で制御され、あらかじめ設定された所定重量だけ仕込まれた時点で空気輸送が停止する。
- 2) SVミキサーに仕込まれた原料重量値に応じた各添加物の仕込量がコンピュータにより演算され、自動的に各添加物の計量設定値が入力される。各添加物は、それぞれ別個の計量ホッパー・計量システムをもち、順次計量設定値に応じた重量だけSVミキサーに仕込まれる。
- 3) すべての原料、添加物がSVミキサーに仕込まれたのち、SVミキサーによってあらかじめ設定された時間だけ混合操作が行われる。超微量成分の混合が必要な場合には、高速剪断型混合機PSミキサーによって予備混合後のものを添加する場合もある。
- 4) SVミキサーにて混合された製品は、ブリッジングを起こすことなく自動排出され、次工程へ空気輸送される。

本プロセスにおける留意点は、次のとおりである。

- 1) 空気輸送
 - 粉粒体の空気輸送には、低濃度吸引(負圧)輸送、低濃度圧力(正圧)輸送、高濃度圧力(正圧)輸送の各方式が一般的によく使われ、下記条件によって輸送方式の選定、空気輸送設計(輸送用機器の仕様決定)が行なわれる。
 - (1) 被輸送物の安全性、付着性、流動性等の諸物性
 - (2) 単位時間当りの輸送量及びバッチ当りの輸送時間



第4図 計量・混合・空気輸送システム
Fig. 4 Weighing/mixing/pneumatic conveying system

(3) 輸送距離（水平，垂直，
曲がり個数）

(4) 輸送形態（フロー）等
混合物の空気輸送においては，
空気輸送中において分級
してしまうことがあるので注
意が必要で，あらかじめテス
トを行うこともある。

また，連続して安定した空
気輸送を行うために，

(1) 被輸送物の輸送ライン
への供給量

(2) 輸送ラインの圧力

(3) バグフィルタの差圧等
の制御・監視システムも非常
に重要である。

2) 計量精度

計量精度は，粉粒体のかさ比
重，付着性，流動性等の諸物
性，供給装置の選定，要求計
量時間によって大きく左右される。一般的に，付着性が少
なく，流動性のよい粉粒体で，供給装置の供給流量安定性
のよいものほど計量精度がよく，計量時間も短くてすむ。

供給装置には一般的に，横型および立型スクリーフィー
ダ，テーブルフィーダ，ロータリフィーダ等がよく使われ，
その選定，運転制御がポイントとなる。

4. 2 SVミキサー乾燥システム

第5図にSVミキサー乾燥・空気輸送・計量システムの概略フローを示す。

本プロセスの概要を次に示す。

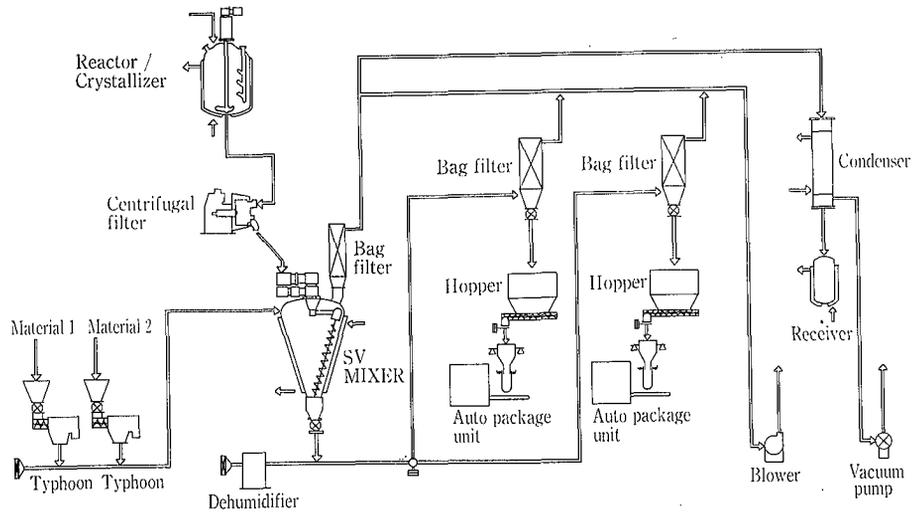
1) 反応・晶析缶にて反応・晶析，遠心分離後湿結晶をS
Vミキサーに仕込み，SVミキサーで真空乾燥・溶剤回
収する。

2) 乾燥後の粉体に，保証ふるい機タイフーンによって粒
度調整，異物除去された別粉体を空気輸送によりさらに
加え，混合する。

3) 乾燥・混合された粉体を空気輸送後，計量・袋詰する。
危険な溶剤を取り扱う乾燥工程がクロードシステムで
あること，乾燥後同一機器で混合ができること，および比
較的低温での真空乾燥のため内容物に熱的な悪影響を及ぼ
さないことが特長である。

乾燥後に造粒物が生じる場合や粒度調整の必要性に応じ
てSVミキサーの後工程に粉碎機や篩機をいれるケース，
ロット調整のために，後工程にさらに大容量の混合型SV
ミキサーを設け，そこへ空気輸送するケースなどとする場
合もある。

本プロセスにおける留意点は，前述混合システムと同様
であるが，乾燥前の粉体のハンドリング，乾燥によって物
性変化を伴う粉体の空気輸送・計量袋詰等の各種操作にお



第5図 乾燥・空気輸送・計量システム

Fig. 5 Drying/pneumatic conveying/weighing system

ける粉体のハンドリングが，混合システムのような乾燥粉
体と異なり困難な場合が多く，ハンドリング技術がシステ
ムの成否を左右する。

5. その他のシステム

高速剪断型混合・造粒・乾燥機PSミキサー，湿式超微
粉碎機コポール・ミル，汎用乾燥機ハイロフドライヤー及
びフィルタ・ドライヤー，ユニカル・ドライヤ・ブレンダー
（CDB），保証ふるい機タイフーン等の当社粉体機器
を含む乾燥，混合，粉碎等各種システムについても，ユー
ザニーズに応じて対応している。

む す び

本稿では，SVミキサーの新用途の一例として，SVミ
キサー1台による有機化合物の反応・濃縮・乾燥につい
て，テスト結果と実機への適用について述べた。また，S
Vミキサーを中心とした混合システム，乾燥システムの例
を紹介した。SVミキサーは今後さらに，その独自の混
合機構を有効に利用して，固液相処理装置として用途を拡
げていけるものと確信している。ユーザ各位のご要望に応
えて，さらに用途開発を進めていきたいと考えている。ま
た，長年にわたって蓄積された粉体ハンドリング技術に，
攪拌槽をはじめとする種々の化学プロセス機器の設計・製
作ノウハウを生かし，粉粒体プラントの設計，機器の製作
などを行い，ユーザ各位のご要望に応えたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 神鋼ファウダラー・ニュース Vol. 25, No. 3 (1981/9), p. 1
- 2) 神鋼ファウダラー・ニュース Vol. 27, No. 2 (1983/5), p. 31
- 3) 神鋼ファウダラー技報 Vol. 27, No. 3 (1983/10), p. 15
- 4) 神鋼ファウダラー技報 Vol. 31, No. 1 (1987/3), p. 17

グラスライニング製反応器の疲労評価

Fatigue Evaluation of Glass-Lined Reactors



(化)技術部 技術課
榎本 正
Tedashi Enomoto
鳥生 眞 吾
Shingo Toriu

One of the most frequent causes of machinery fracture stems from fatigue phenomena, repeated stress produces the initiation of crack, followed by its growth, resulting in fatigue fracture. It is important for fatigue evaluation to estimate the life of fracture and prevent the fracture.

In the case of pressure vessels, repeated thermal stress under cyclic operation may cause fatigue fracture in structural discontinuity.

This paper describes the thermal stress and fatigue evaluation in accordance with CODE JIS B 8250, and the influence of operating condition and manufacturing condition on fatigue strength of glass lined equipment.

まえがき

機械構造物の破壊は疲労に起因するものが多く、応力が繰返し負荷されれば亀裂が発生し、それが進展すると疲労破壊につながる。疲労による破損の防止や破損寿命の予測は機械構造物において重要である。

圧力容器は、稼働中に加熱、冷却による熱サイクル、すなわち繰り返し熱応力を受ける。熱応力による疲労が問題となるのはシーラ、ダイヤフラムおよびノズル付根等の構造不連続部であるが、当該部位の応力算定には法規の簡易計算式が適用できない場合が多く有限要素法 (FEM) による解析が有力な手段となる。

本稿では外套付グラスライニング製反応器 (以下GL機器という) を対象として、JIS B 8250による熱応力を含めた疲労評価を行い、運転条件や製造施工条件が疲労寿命にどのように影響するかをのべる。

1. 解析例

本例は当社の標準型10 M³および3 M³GL機器 (第1図) の運転荷重条件下で発生する応力を定常温度状態で算定したものである。温度条件は加熱時と冷却時の2ケースが考えられるが、一般に本体温度と外套温度の温度差はスチームによる加熱のケースの方が大きいため、本稿では加熱時の解析を行う。

GL機器においては使用条件が厳しい場合にはシーラ、ダイヤフラムカラーに疲労亀裂が発生することがある。これらGL本体への直接溶接取付部の破損は補修が困難であるため、再焼成を余儀なくされる。一方、ダイヤフラム接合部 (第1図、A部) も疲労強度上弱い箇所であるが、溶接補修が可能であるためここではシーラとダイヤフラムカラーの疲労評価を行う。

解析手法は、まず外套にスチームを送入したときの熱伝導解析を行い温度分布を求める。次にその温度分布による熱荷重と缶内圧による荷重を重ね合わせた条件下で応力解析を行い、その結果を用いて評価を行う。

1.1 熱伝導解析

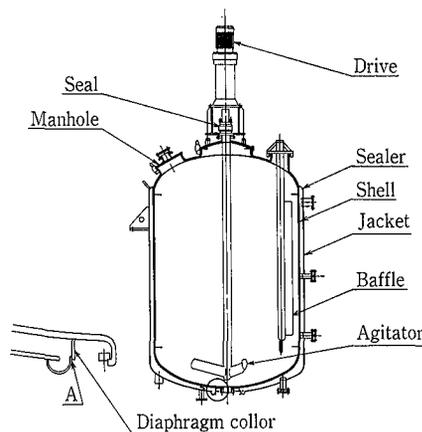
解析モデルは第2図に示すとおり軸対称モデルである。本体および外套は腐れ代をそれぞれ1 mm 除いた板厚で、また、GL層は1.5 mmの厚みでモデル化した。解析に用いた境界条件および物性定数は第1表および第2表に示す。ここでは缶体内容物温度293 °K、外套スチーム温度423 °Kの温度差 $\Delta T = 130$ °Kでの使用条件とする。

上記条件下で算出された温度分布コンタを第3図に示す。この図は外套部に送入されたスチームにより本体及び外套が加熱され、定常状態に達したときの温度分布を示したものである。

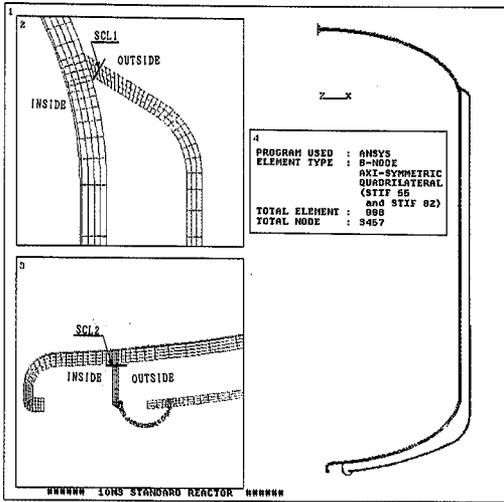
1.2 応力解析

応力解析は熱伝導解析により求められた各節点の温度を用いて熱膨張により発生する熱応力を求めるもので、外套圧の476 kPaもこのとき同時に作用している。

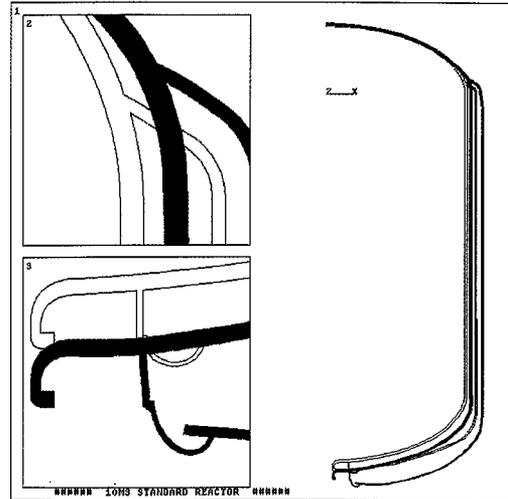
第4図に熱応力および外套圧を負荷させたときの変形図



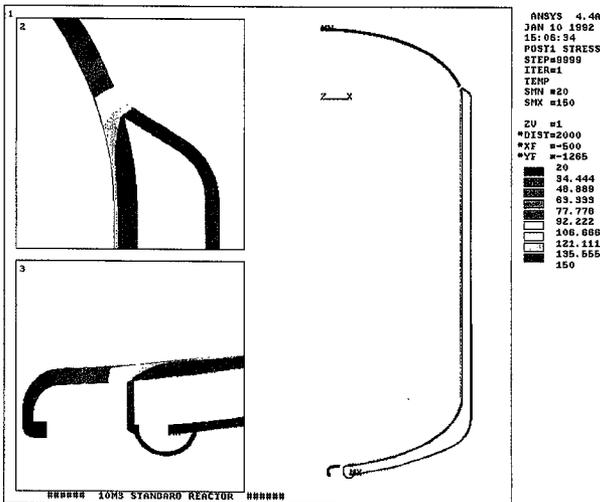
第1図 GL製反応器
Fig. 1 Glass-lined reactor



第2図 解析モデル
Fig. 2 An analytical model



第4図 変形図
Fig. 4 Drawing of deformation



第3図 温度分布コンタ
Fig. 3 Temperature distribution contour

第1表 解析に用いた境界条件
Table 1 Boundary conditions for analysis

	Bulk temperature	Heat transfer coef.	Pressure
Vessel	$T_p = 293 \text{ }^\circ\text{K}$	$h_p = 841 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$P_p = \text{ATM}$
Jacket	$T_j = 423 \text{ }^\circ\text{K}$	$h_j = 11\,600 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$P_j = 476 \text{ kPa}$
Outside	$T_o = 293 \text{ }^\circ\text{K}$	$h_o = 11.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$P_o = \text{ATM}$

第2表 構造部材の物性定数
Table 2 Physical constants of construction material

	Carbon steel	GL
Young's modulus	$192 \times 10^3 \text{ MPa}$	$78.4 \times 10^3 \text{ MPa}$
Poisson's ratio	0.3	0.24
Thermal conductivity	$53.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$872 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Coefficient of liner expansion	$10.9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$6.56 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

を示す。ここで、変形前の形状は白ぬきで、変形後の形状は紺色で示し、変形量は実際よりも拡大して示している。

1. 3 評価方法

本体取付部材すなわちシーラ及びダイヤフラムカラー付根は構造不連続部であり、繰返し応力による影響を最も受け易い。この2点の評価はJIS B 8250圧力容器の構造(特定規格)4.11「応力解析による設計」及び4.12「疲労解析による設計」に従って行う。

2. 評価

2. 1 応力評価 (JIS B 8250 4.11)

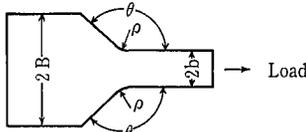
JIS B 8250では一次+二次応力強さ($SI = P_L + P_b + Q$)の設計限界は、Shake-down限界を基準として定めているため、 $2 \cdot \sigma_y$ となる。また、設計応力強さ S_m は $2/3 \sigma_y$ と規定されているため、一次+二次応力の設計応力強さは弾性計算において $3 \cdot S_m$ となる²⁾。すなわち、疲労評価を

行う以前に評価部位の応力強さが $3 \cdot S_m$ 以下であることが必要である。

本体取付部材すなわちシーラ及びダイヤフラムカラーの評価ライン SCL (Stress Consideration Line) を第2図に示すとおり各々SCL1・SCL2とし、評価ライン内面および外面での応力強さを求める。応力強さは最大剪断応力説に基づいた主応力差の絶対値の最大値である。FEM解析の結果はピーク応力Fを含んであり、応力評価では応力の線形化によりピーク応力Fを除いた一次+二次応力強さを算出する。

第3表に示す各々の評価ラインでの一次+二次応力強さは 10 M^3 , 3 M^3 共に $3 \cdot S_m$ 以下であり、安全基準を満たしている。

ここに、
 σ_y : 降伏応力 [MPa]
 P_L : 一次局部膜応力 [MPa]
 P_b : 一次曲げ応力 [MPa]
 Q : 二次応力(膜応力+曲げ応力) [MPa]



第5図 フィレット形状
Fig. 5 Form of fillet

第3表 応力評価 (温度差 $\Delta T=130^\circ\text{K}$, 外套圧 476 kPa)

Table 3 Stress evaluation (Temp. difference: $\Delta T=130^\circ\text{K}$ steam press.: $P_j=476$ kPa)

L. C.	S. C. L.	I/O	SI (MPa)	$3 \cdot S_m$ (MPa)
10 M ³	1	Inside	208	<
		Outside	271	<
	2	Inside	231	<
		Outside	152	<
3 M ³	1	Inside	157	<
		Outside	215	<
	2	Inside	332	<
		Outside	225	<

382

F : ピーク応力 [MPa]
S_m : 設計応力強さ [MPa]

2.2 疲労評価 (J I S B 8250 4.12)

疲労評価は切欠き効果を考慮した繰返し応力強さの振幅 Salt を求め、設計疲労曲線 (S/N 線図) により許容繰返し回数 N を求める。

ここで用いる切欠き効果は理論的に求められる応力集中係数 (α) で評価する。すなわち、シーラ付根及びダイヤフラムカラー付根の形状を溶接肉盛を考慮し、第5図に示す「両側にフィレットを持つ帯板」にモデル化する。この形状の応力集中係数は次の示す式で表される³⁾。

$$\alpha_\theta = 1 + \frac{1 - \exp[-0.9\sqrt{B/b} \cdot 2(\pi - \theta)]}{1 - \exp[-0.9\sqrt{B/b} \cdot 2\pi]} \cdot (\alpha_{\theta=\pi/2} - 1) \quad (1)$$

$$\alpha_{\theta=\pi/2} = 1 + \left[\frac{1}{2.8 \cdot B/b - 2} \cdot \frac{h}{\rho} \right]^{0.65} \quad (2)$$

ここで ρ は溶接施工ごとに異なる値となるが、安全をみて 1 mm とする。

第4表と第5表に 10 M³標準缶と 3 M³標準缶の疲労評価を示す。表より、温度差 $\Delta T=130^\circ\text{K}$ で使用した場合、疲労強度の低い部位は 10 M³ 缶ではシーラ付根内面 (SCL 1) でその許容繰返し回数は 11 100 回で、また、3 M³ 缶ではダイヤフラムカラー付根内面 (SCL 2) で 7 080 回である。これは一日 2 バッチで年間 300 日運転した場合、10 M³ 缶で約 18.5 年、3 M³ 缶で約 11.8 年の疲労寿命となる。

第4表 疲労評価 (10 M³標準缶)

Table 4 Fatigue evaluation (10 M³ standard reactor)

Temperature difference	S. C. L.	I/O	SI (MPa)	α	Salt* (MPa)	N
$\Delta T=130^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	208	2.19	246	11 100
		Outside	271	1.50	220	15 800
	2 (Diaphragm)	Inside	231	1.80	225	15 000
		Outside	152	1.80	148	66 300
$\Delta T=115^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	132	2.19	156	54 000
		Outside	177	1.50	144	74 200
	2 (Diaphragm)	Inside	222	1.80	216	16 600
		Outside	164	1.80	160	48 100
$\Delta T=107.5^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	102	2.19	121	160 000
		Outside	147	1.50	119	169 000
	2 (Diaphragm)	Inside	215	1.80	209	18 100
		Outside	166	1.80	161	46 700
$\Delta T=100^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	77	2.19	91	743 000
		Outside	123	1.50	100	425 000
	2 (Diaphragm)	Inside	205	1.80	200	20 400
		Outside	164	1.80	160	48 400

*Salt = $1/2 \times \alpha \times r \times SI$ E ; Young's modulus of design curve
r = E/E' E' ; Young's modulus of construction material

第5表 疲労評価 (3 M³標準缶)

Table 5 Fatigue evaluation (3 M³ standard reactor)

Temperature difference	S. C. L.	I/O	SI (MPa)	α	Salt* (MPa)	N
$\Delta T=130^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	157	2.04	173	35 500
		Outside	215	1.50	174	34 200
	2 (Diaphragm)	Inside	332	1.61	289	7 080
		Outside	225	1.61	196	22 000
$\Delta T=115^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	99	2.04	110	266 000
		Outside	148	1.50	120	163 000
	2 (Diaphragm)	Inside	306	1.61	266	8 840
		Outside	228	1.61	198	21 000
$\Delta T=107.5^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	77	2.04	85	1 000 000
		Outside	127	1.50	103	362 000
	2 (Diaphragm)	Inside	291	1.61	253	10 200
		Outside	224	1.61	195	22 200
$\Delta T=100^\circ\text{K}$	1 (Sealer)	Inside	58	2.04	64	1 000 000
		Outside	108	1.50	87	977 000
	2 (Diaphragm)	Inside	274	1.61	239	12 300
		Outside	218	1.61	190	24 500

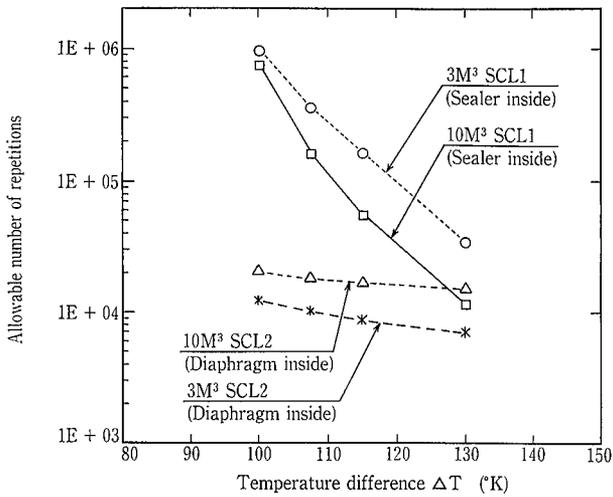
*Salt = $1/2 \times \alpha \times r \times SI$ E ; Young's modulus of design curve
r = E/E' E' ; Young's modulus of construction material

3. 運転条件と疲労寿命

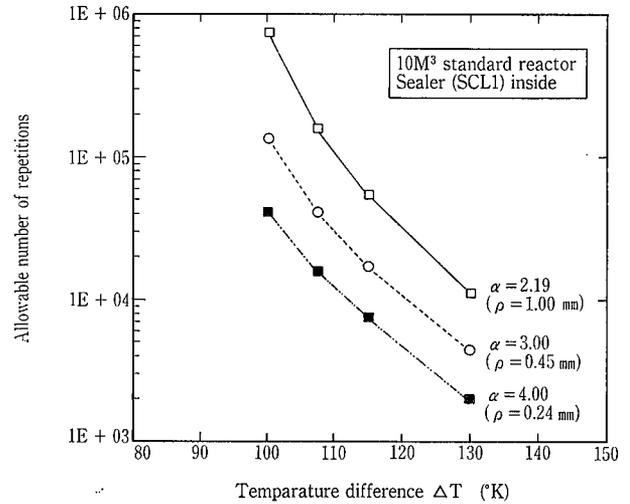
GL 機器は設計温度、設計圧力の範囲内でプロセスに応じた様々な運転条件で使用されているため、個々の機器について疲労寿命は異なる値となり、疲労強度上の危険部位も異なってくる。

第6図に 10 M³および 3 M³標準缶におけるスチームと缶内内容物との温度差 ΔT と許容繰返し回数 N の関係を示す。この図から分かることは次のとおりである。

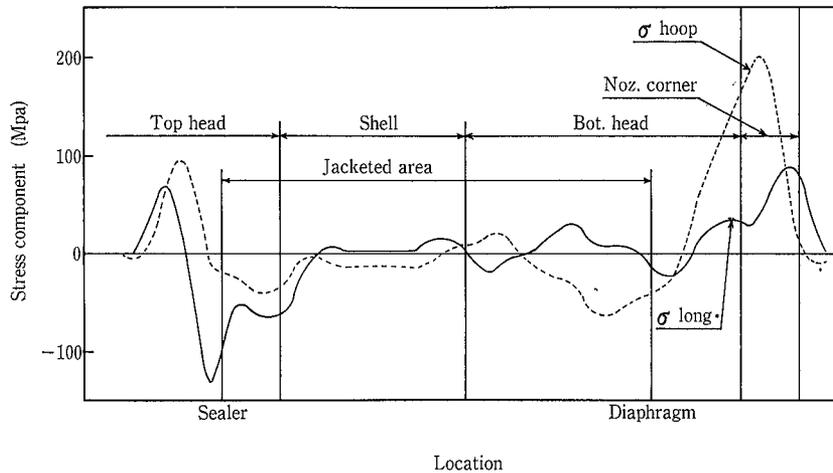
- (1) 3 M³ 缶ではダイヤフラム部の疲労寿命が支配的であるが、その温度差依存性は小さい。
- (2) 10 M³ 缶では温度差 $\Delta T=130^\circ\text{K}$ を境にして疲労支配部位が異なっている。すなわち、 $\Delta T < 130^\circ\text{K}$ ではダイヤフラム部の疲労強度が缶全体を支配し、 $\Delta T > 130^\circ\text{K}$ ではシーラ部の疲労強度が支配的となる。



第6図 温度差 (ΔT) と許容繰返し回数との関係
Fig. 6 Temperature difference vs. number of repetitions



第7図 温度差 (ΔT) と許容繰返し回数との関係
Fig. 7 Temperature difference vs. number of repetitions



第8図 GL境界面母材応力成分値
Fig. 8 Stress distribution along the shell

(3) ダイアフラムカラー付根よりもシーラ付根の方が ΔT の依存性が高く、熱応力の影響を受け易い。

よって温度差 ΔT が 100°K での使用条件ではダイアフラム部が最も許容繰返し回数が低くなり、温度差 ΔT が 130°K の使用条件ではシーラ部が最も低くなる場合がある。また、年間運転バッチ数が異なれば疲労寿命年数も当然異なってくる。

4. 溶接施工条件と疲労寿命

シーラなどの溶接部は構造不連続部で応力が最も集中しやすい部位であり、溶接施工条件によって溶接部の形状が変わり、応力集中係数に影響を及ぼす。応力集中係数が大きくなると許容繰返し回数は減少するため、溶接施工条件は疲労評価を行う際に重要な因子となる。

そこで第7図に 10M^3 標準缶のシーラ付根部内面における許容繰返し回数と温度差の関係を形状係数 (α) をパラメータとして示す。 α は(1)式および(2)式で算出した値であり、溶接止端部の半径 ρ (第5図参照) によって変化する。

図中 $\alpha=4.00$ は J I S B 8250 に示されている隅肉溶接に採用される疲労強度減少係数である。当該部の溶接止端部の形状を製造上コントロールすることは実際上困難な問題である。当社標準作業形状においては経験上 $\alpha=1.80 \sim 2.19$ の範囲であり、今回の計算例のような加熱使用の場合の疲労寿命は温度差 $\Delta T=130^{\circ}\text{K}$ であっても10000回程度を確保している。

5. GLの評価

前章までに記述した解析結果はシーラ、ダイアフラムカラーについての疲労評価である。前述したような熱応力が発生した場合、缶本体GL部がどのような影響を受けるかを検討する必要がある。GLの破損はGL機器本体ならびにプロセス全体に重大な影響を及ぼすことは言うまでもない。

GLは脆性材料であるため剥離は母材の降伏によるひずみの増加に起因する。よって、GLの評価はGL境界面の母材金属が降伏応力以下であることが基準となる。第8図

は10 M³ 標準缶のスチーム送入による熱応力とスチーム圧による応力を重ね合わせた場合のGL境界面母材の応力成分値をプロットしたものである。この図からシエラ、ダイヤフラム取付部の応力は比較的小さい。最大応力を示すのは底ノズルコーナー部で周方向の引張り応力が約200 MPaであることがわかる。第9図は底ノズル近傍における周方向応力のコンター図を示す。

母材は S S 400 材を使用しており、降伏応力は約 235 MPa である。よって、GL境界面の母材の応力成分値は降伏応力を超えない。また、降伏応力以下であれば疲労破壊が生じるまでの繰返し回数は十分大きく、よってGLの破損は考えられない。なお、3 M³缶についても同等のレベルである。

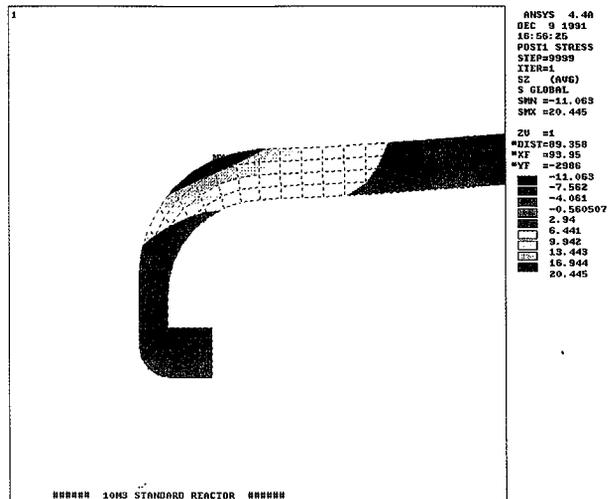
GL機器は耐熱衝撃性を考慮した場合、缶内と外套の許容温度差は $\Delta T = 150^{\circ}\text{K}$ 近傍までとされている⁴⁾。しかし、そのような過酷な条件では疲労寿命が極端に短くなるため注意を要する。

む す び

熱応力による疲労評価を行うには機器の幾何学的形状、運転条件、溶接施工条件などを正確に捕らえる必要がある。手計算により算出することは困難である。また、構造不連続部の熱応力は簡易計算式が適用できない場合が多く、測定も困難であるため、FEM解析により熱応力を算出し、疲労評価を行った。

GL機器の許容繰返し回数は機器の運転条件、すなわち内容物温度と加熱媒体のスチーム温度との温度差 ΔT および、溶接部の応力集中係数に対する依存度が高い。GL機器の疲労破壊を防止するには熱応力を考慮した運転条件で使用する必要がある。

また、疲労評価は個々の機器で異なった結果となるため、一品一葉の計算が必要となる。ただし、過去の運転経験等から疲労解析が不要である場合は免除することができ



第9図 周方向応力コンター
Fig. 9 Hoop stress contour

る。新機種の場合は使用条件、形状を正確にとらえ、また、どのケースがもっとも厳しいかをとらえる必要がある。

本稿はGL機器を加熱するケースで疲労評価を行ったが、運転条件によっては冷却するケースのほうが厳しい場合もある。疲労による寿命を予測するには設計荷重ではなく運転荷重で各境界条件を決定し、圧力荷重と温度荷重を重ね合わせた応力状態で評価を行うため、個々の機器においてそれぞれ最もきびしいケースが異なってくる。

〔参考文献〕

- 1) 河本實ほか：金属の疲れと設計 コロナ社 (1972)
- 2) 松下昭武：压力容器の解析による設計 圧力技術の現状と将来、日本高圧力技術協会 (1989) p. 111
- 3) 西田正考：応力集中 森北出版 (1973)
- 4) 神鋼パンテックカタログ：GLASSLINED REACTOR CATALOG NO. 114E

生物膜汚過BCFによる磁気ディスク 研磨排水の処理

Treatment of Polishing Wastewater from Magnetic Disk Manufacturing Process by BCF



(環)生産部 工事課 船川 和夫
Kazuo Funakawa
(環)水処理部 営業第4課 真島 一雄
Kazuo Mashima

With the recent proliferation of computers, the demand for magnetic disks has been growing. A pilot scale test conducted since 1986 proved that our 2-stage Biological Contact Filter (BCF) was effective for the polishing wastewater from disk manufacturing plants. A commercial plant which applied the system has been operating successfully at a BOD removal ratio of more than 95%, realizing easy maintenance and minimum space and energy.

ま え が き

近年、コンピュータなどのOA機器の普及に伴い、磁気ディスクの需要が急激に増大している。この磁気ディスク製造工程より排出される研磨排水は、高濃度のSS、ヘキサン抽出物質、BOD₅、COD_{Mn}で代表される有機物などの汚濁物質が含まれており、公共水域へ放流するためには、適切な処理を行う必要がある。当社では、研磨排水に対して各種の処理試験を実施し、その処理方式を確立すると共に、処理設備の中核をなす生物処理に関して、省スペース・省エネルギーで維持管理の容易な、生物膜汚過BCF（バイオコンタクトフィルター）による2段階処理方式が効果的であることを確認した。次にはその概要およびA社に納入した実績の運転結果を紹介する。

1. 研磨排水の処理

1.1 研磨排水の性状

磁気ディスクは、アルミニウム合金の円板上に酸化鉄の粉末をコーティングしたものであるが、磁気ディスク研磨排水は、このアルミニウム合金の円板表面の研削・研磨の工程から排出される。

ディスク研磨工程は、大略第1図に示すとおり、研削・研磨工程と後段の水洗工程からなる。研削・研磨工程の排水中には、被削物であるアルミの粉末、研磨液中に含まれる界面活性剤、PVAなどの各種有機物およびSiCなどの

砥粒が含まれる。また次の水洗工程では、これらの成分が希釈された形で排出されると考えられる。

第1表に研磨排水の水質を示す。研磨排水は、各工場の製造工程、研磨液の種類および水洗水の量などにより、その濃度は異なると考えられる。一般的にBOD濃度に対して、SS、COD濃度が比較的高く、ヘキサン抽出物濃度もBOD濃度の10~25%に達する。

1.2 研磨排水の処理方法

研磨排水の一般的な処理方法を第2図に示す。研磨排水は、SS、ヘキサン抽出物質が、BOD濃度に対して非常に高いため、直接生物処理を行うのは不適切であり、一次処理として凝集処理（沈殿又は加圧浮上）を行っているのが一般的である。この凝集処理水に対して二次処理として、BOD除去のため生物処理を行い、更にCOD除去など水質の向上を要求される場合には、三次処理として活性炭吸着処理を行う必要がある。第2表に処理試験による各処理工程における処理水質を示す。

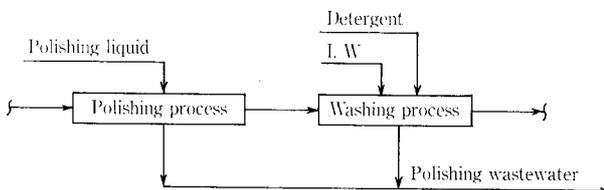
1.2.1 凝集処理テスト

硫酸バンドと高分子助剤による凝集処理により、SSはそのほとんどが除去され、ヘキサン抽出物質については、30 mg/l以下に処理される。またBODの除去率は50~70%、CODの除去率は70~80%であった。沈殿と加圧浮上処理を比較した場合処理水質にはほとんど差はなかった。

第1表 研磨排水の水質

Table 1 Quality of polishing wastewater

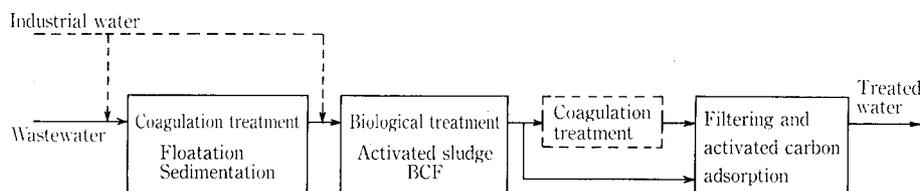
Quality	Company		
	A	B	C
PH	7.5~9.5	8~9	8~9.5
BOD ₅	mg/l 1 500~2 500	800~1 500	10 000~20 000
COD _{Mn}	mg/l 2 000~3 000	1 200~2 000	15 000~25 000
SS	mg/l 2 500~3 500	500~1 200	17 000~30 000
Hexane ext. matter	mg/l 300~ 500	300~ 400	3 000~ 4 000



第1図 アルミディスク研磨工程
Fig. 1 Aluminium polishing process.

第2図 研磨排水の処理フローのブロックダイアグラム

Fig. 2 Diagram of polishing wastewater treatment process.



第 2 表 各処理工程に於ける処理水質

Table 2 Treated quality in each treatment process.

Quality	Treatment process	Polishing wastewater	Coagulation treatment	Biological treatment	
				* AS	BCF
pH	-	7.5~9.5	6.0~7.0	6.0~7.0	6.0~7.0
BOD ₅	mg/ℓ	1 500~2 500	500~1 000	10~50	10~50
COD _{Mn}	mg/ℓ	2 000~3 000	400~800	50~150	50~150
SS	mg/ℓ	2 500~3 500	20~50	30~40	5~10
Hexane ext. matter	mg/ℓ	300~500	10~30	≤5	≤5

* AS; Activated sludge

第 3 表 建設当初と増設時の処理水量 (設計値)

Table 3 Flow rate of initial installation and extension (Design bases).

flow rate	m ³ /d	Initial installation ('87)		Extension ('90)	
		Ave.	Max.	Ave.	Max.
		240	360	360	540

従って加圧浮上処理の方が浮上速度を大きく取れるので、設備がコンパクトになると考えられる。

1. 2. 2 生物処理テスト

研磨排水の BCF によるパイロットテスト¹⁾については、既に本誌において紹介されているので、実験結果の概要および活性汚泥処理試験との比較を述べる。

(1) 処理水質としては、活

性汚泥処理も BCF も第 2 表に示すように到達濃度としてはほぼ同一の結果であったが、BCF の方が汙過機能を有しているため、SS の除去性能が優れていた。

(2) 酸素溶解効率に関しては、BCF の方が、活性汚泥処理のディフューザーによる散気方式と比較すると約 2 倍であり、ブローヤによる送気量が約 1/2 となり省エネルギー型である。

(3) BCF の 2 段階処理を行うことにより、活性汚泥処理の約 3 倍の BOD 負荷を取れる。従って BCF の場合、沈殿槽の必要もないので、装置がコンパクト化でき、省スペース型である。

1. 2. 3 三次処理テスト

三次処理として BCF 処理水に対して、活性炭吸着試験を行った。結果は、入口 COD 濃度を 100 mg/ℓ、出口処理水 COD 濃度を 10 mg/ℓ とした場合、等温吸着線から、活性炭の平衡吸着率として 7~8% が得られることがわかった。

2. 実装置の紹介

2. 1 BCF 導入の経緯

A 社においては、本設備導入以前はアルミディスク研磨排水を凝集沈殿処理をして放流していたが、総合排水として放流される水質の向上を計るため、この凝集沈殿処理水に対して生物処理設備の検討を行うことになり、BCF と活性汚泥処理との比較を行った結果、

第 4 表 原水及び処理水の水質 I ('87・設計値)

Table 4 Quality of wastewater and treated water I ('87・Design bases).

Quality	Wastewater	Treated water
pH	6~7.5	5.8~8.6
SS	30	< 20
BOD ₅	Max. 600(300~600)	< 50
Hexane ext. matter	10	< 6

第 5 表 原水及び処理水の水質 II ('90・設計値)

Table 5 Quality of wastewater and treated water II ('90 Design bases).

Quality	Wastewater	Treated water
pH	6~7.5	5.8~8.6
SS	100	< 20
BOD ₅	Ave. 800(500~1 500)	< 50
Hexane ext. matter	Ave. 30(20~50)	< 6

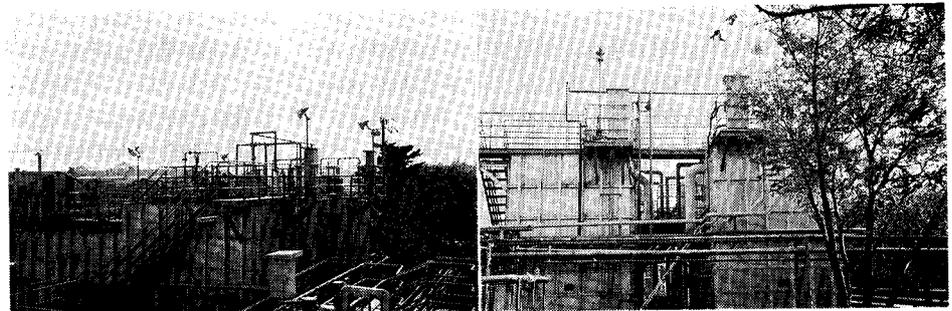


写真 1 BCF 全景
Photo. 1 Overall view of BCF

- (1) 高負荷処理が可能であり、沈殿槽が不用であり、設置スペースが少なくよい。
- (2) 酸素溶解効率が高いため、省エネルギー型である。
- (3) 逆洗などの操作は全て自動化されているため、維持管理が容易である。

以上の理由により BCF の導入が決定された。

2. 2 処理設備の概要

2. 2. 1 設計基準

第 3~5 表に建設当初と増設時の設計処理水量および原水・処理水水質を示す。ここで原水というのは、凝集沈殿一次処理水を示す。(以下原水と呼ぶ。)

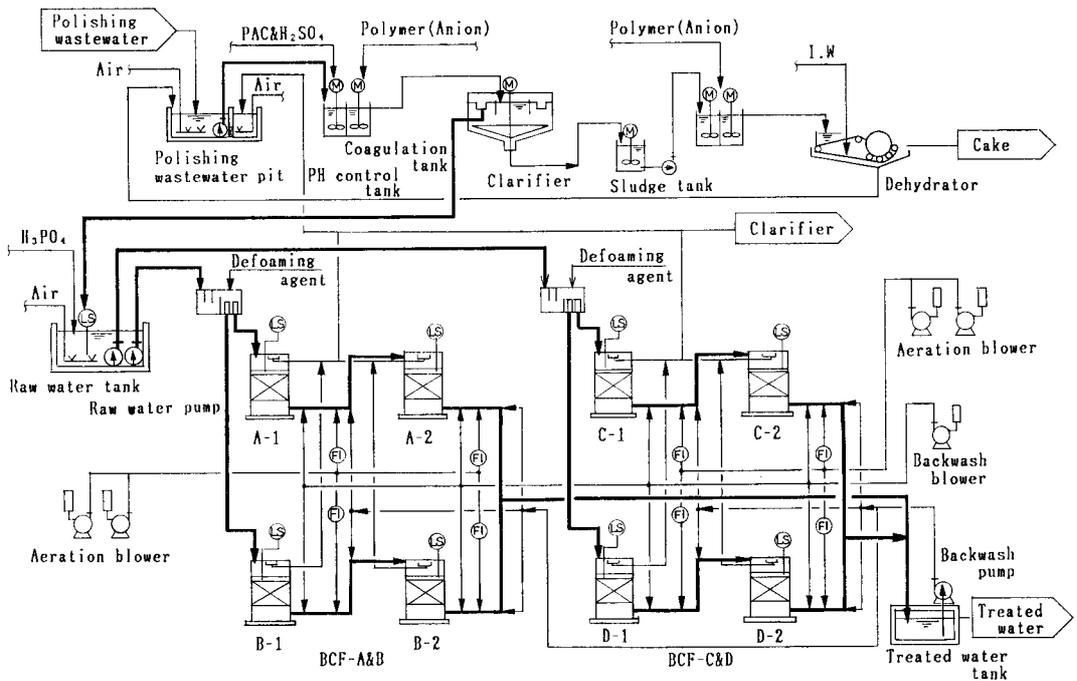
BCF の BOD 負荷は、パイロットテスト¹⁾の結果に基づき 1 段目の BOD 負荷を 3.5 kg-BOD/m³・d とし、1 段目における BOD 除去率を 75% と想定して、2 段目の BOD 負荷を 1.0 kg-BOD/m³・d とした。

建設当初原水 BOD 濃度を 600 mg/ℓ と設定したが、その後の工場の増産に伴う、BOD 濃度・水量の増加に対応するため増設を行った。増設の規模としては、BOD 量で比較すると建設当初の 144 kg-BOD/d に対して、増設時は 288 kg-BOD/d となり 2 倍となる。

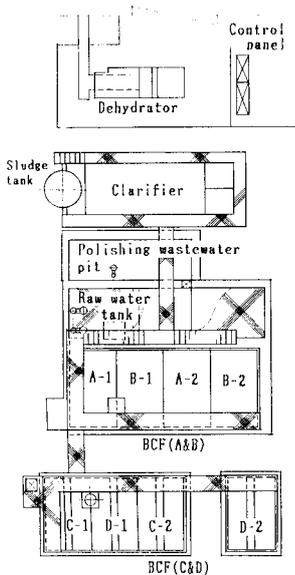
写真 1 に BCF の全景を示す。

2. 2. 2 プロセス説明

研磨排水処理設備全体のフローチャートを第 3 図に示す。研磨排水は、研磨排水ピットに流入し、ポンプアップ



第3図
研磨排水設備フローチャート
Fig. 3
Flowchart of the polishing wastewater treatment plant.



第4図
研磨排水処理設備配置図
Fig. 4
Layout of the polishing wastewater treatment plant.

され pH 調整槽に流入し、PAC が注入され、硫酸にて pH 調整された後、凝集槽にて高分子助剤が注入され、凝集反応が行われる。凝集反応が終了した排水はクラリファイヤーに流入し凝集した SS が沈殿分離される。沈殿分離されたスラッジは、脱水機により脱水され脱水ケーキとして場外に搬出される。上澄水は、BCF の原水として原水槽に流入する。原水は、原水ポンプにより、BCF 各槽 (A~D 系列) に並列・均等に流入する。BCF においては、槽内に充填された多孔質汙材に付着した微生物により、原水が汙層内を下降する間に、BOD 成分は吸着・酸化分解され、SS は汙層を通過する。酸化分解に必要な空気は、槽内底部よりブローヤーによって供給される。本装置は 2 段処理方式なので、BCF 1 段目処理水についても、同様な処理が再度行われる。汙層内で増殖した汚泥および汙層内に捕捉された SS は、第 6 表に示すような逆洗工程に

第 6 表 逆洗工程表

Table 6 Time chart of backwash.

	Normal operation	Periodical backwash				Normal operation
		Draw off	Air backwash	Air and water backwash	Water backwash	
Feed pump	■					■
Process air blower	■	■	■	■	■	■
Backwash blower			■	■		
Backwash pump				■	■	
Interval	T 1		T 2			T 1
Time (min)		3	5	2	3	3

より逆洗され、逆洗排水は各槽上部に設置された越流トラフより流出し、研磨排水ピットに流入し研磨排水と合流して再度凝集沈殿処理が行われる。処理水は 2 段目 BCF より流出し処理水槽にて他排水と合流し総合排水として放流される。第 4 図に研磨排水処理設備の全体配置図を示す。

2. 2. 3 運転結果および考察

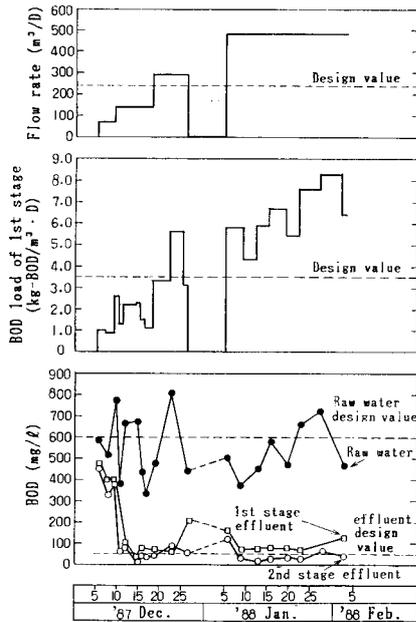
第 5 図に建設当初の初期運転結果および第 6 図に増設時の初期運転結果を示す。

(1) 順養運転

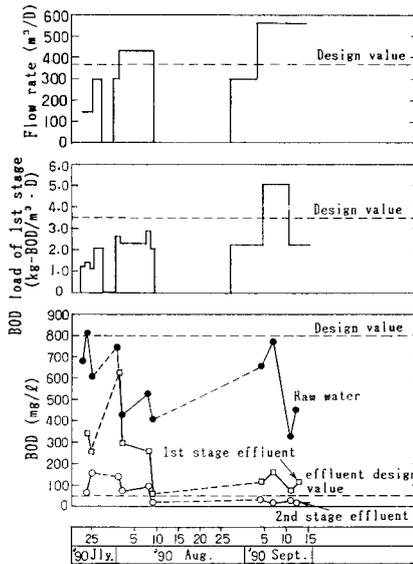
建設当初および増設時ともに、下水汚泥を 1 段目 200 mg/l、2 段目 100 mg/l の濃度になるように投入し、1 段目の BOD 負荷を 1.0~2.0 kg-BOD/m³・d で順養運転を行った。双方とも 10 日~15 日で 2 段目処理水 BOD 濃度が 50 mg/l 以下となり順養運転を完了した。その後双方ともに装置停止期間があったが、通水後約 1 日で処理は回復した。

(2) BOD 除去性能

運転当初の負荷運転においては、1 段目の BOD 負荷平均 5.5 kg-BOD/m³・d (設計負荷の約 150%) にもかか



第5図 初期運転結果 I (BCF-A&B)
Fig. 5 Start-up operation data I (BCF-A&B)



第6図 初期運転結果 II (BCF-C&D)
Fig. 6 Start-up operation data II (BCF-C&D)

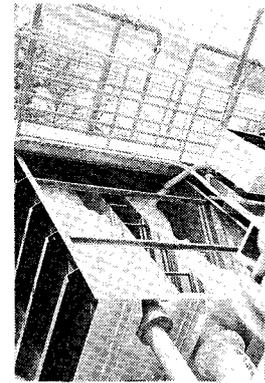


写真2
1段階BCF
Photo. 2
1st stage of
BCF

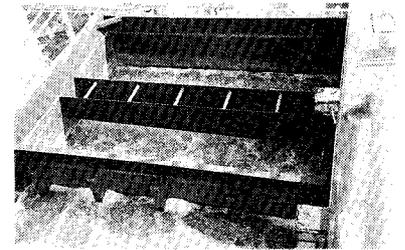


写真3 2段階BCF
Photo. 3 2nd stage of BCF

わらず、処理水BOD濃度は15~40 mg/lであった。この時のBCF槽内の溶存酸素濃度は、1段階目3~4 mg/l、2段階目5~6 mg/lであった。増設時の負荷運転は、1段階目BOD負荷は設計値のほぼ3.5 kg-BOD/m³・dにて運転され、処理水BOD濃度は、平均20 mg/lであった。

BOD除去率の面からみると、建設当初および増設時ともに、パイロットテスト¹⁾結果と同様BOD除去率として95%以上が保持できた。

酸素溶解効率も、BCF槽内溶存酸素濃度、除去BOD量および吹込空気量より判断すると12%以上が得られていると想定される。

(3) 2段階処理の効果

BCF流入原水は、研磨排水の濃度および凝集沈殿の処理状況によって、BOD濃度の変動が非常に激しく、1段階目BCF処理水BOD濃度は、それに伴って変動するがその変動幅はかなり小さくなり、2段階目BCFのBOD負荷は比較的安定している。従って2段階目BCFの処理水BOD濃度は、原水の変動の影響をほとんど受けずに安定的な運転が行えた。

高いBOD負荷で、高いBOD除去率を安定的に得るのに2段階処理方式は非常に効果的であった。

(4) CODの除去

BCFによるCODの除去率は、パイロットテスト¹⁾と同様70~80%であり、処理水中には50~150 mg/lのCOD成分が残存した。

これは研磨液中に含まれる各種有機物質の中に生物分解不可能な物質が、分解されずに処理水中に残存しているためと考えられる。

(5) SSの除去性能

パイロットテスト¹⁾において確認された結果と同様、BCF 2段階目出口においては、流入原水のSS濃度および処理水のBOD濃度には関係なく、常に5~10 mg/l

第7表 各処理工程のABS濃度

Table 7 ABS concentration of each process.

	Raw water	1st stage effluent	2nd stage effluent
ABS concentration mg/l	1.0	0.3	0.2

と高い除去性能を示した。

(6) 逆洗について

逆洗は、パイロットテスト¹⁾の結果に基づき1段階目—1日1回、2段階目—2日に1回のタイマーによる自動逆洗とした。ただし水位上昇時にはレベルスイッチにより自動逆洗が行えるようにした。

建設当初の運転において、原水中に含まれる界面活性剤による発泡により、汙層内にその泡がロックされ水位の上昇があったが、消泡剤の定量注入により回復した。原水中にABSとして1.0 mg/l以上存在すると発泡が激しくなることがわかった。第7表にBCF各処理工程におけるABS濃度を示す。ABSは1段階目BCFにおいてほとんど分解されていることがわかる。BCF 1段階目および2段階目の状態を写真2、3に示す。

むすび

BCF実装置による磁気ディスク研磨排水の処理において1段階目BOD負荷3.5 kg-BOD/m³・dで、BOD除去率95%以上、処理水BOD濃度平均20 mg/lが得られ、パイロットテスト¹⁾の結果すなわち省エネルギー・省スペース・維持管理の容易さが実証された。今後の展望として同業種・同排水へのBCFの適用が期待される。

また今後の課題として、処理水中に残存するCOD成分の除去において、活性炭吸着以外の効果的な三次処理方法の探索が必要である。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ―技報 vol. 31, No. 1 (1987/3)

UF 膜を組合せた高負荷 PANBIC-F システムの洗毛廃液処理への適用

Application of High Rate PANBIC-F System to Wool Scouring Wastewater in Combination with Membrane Filter



(環)水処理部 計画第4課
石川卓男
Takao Ishikawa
(環)水処理部 計画第3課
吉川信
Makoto Yoshikawa

A high rate fixed-bed PANBIC-F system combined with membrane filter was commercially delivered to treat wool scouring wastewater, which is one of the most difficult wastewaters because of oil content and the high concentration of organic matters. Treatability and economics, and reduction of excess sludge generation were taken into first consideration in designing the plant. Based on the result of a 30-month field test, the plant was provided with a high rate PANBIC-F system, UF and filter press. The PANBIC-F system is effective in thermophilic, anaerobic digestion of the organic matters. The UF which removes SS including biomass from the AB reactor contributed to the reduction of sludge generation. The combination of the two confirmed the reduction of sludge generation, meeting the required water quality for discharge. The filter press helped the reduction of cake volume by lowering the water content in the excess sludge.

まえがき

日本毛織(株)一宮工場殿に'89年11月に納入した洗毛廃液処理施設は、高温固定床式嫌気処理設備(PANBIC-F システム)と膜装置を組合せた処理システムである。嫌気処理+膜処理の組合せの処理システムに関する研究・開発が盛んな昨今であるが、当処理施設は膜処理を組合せた嫌気処理システムとして世界に類をみない商業プラントである。この誌面においては設備納入前の処理テストから得られた知見を中心に、納入後の実装置での運転データ等についても併せて紹介する。

1. 処理施設導入の背景

一宮工場殿では第1図に示す製造工程により毛糸、毛織物が製造されているが、処理対象の廃液は洗毛工程からの排出液である。この排出液(洗毛廃液)には原毛に含まれる羊の汗質(スイント)、ふん尿、グリース(羊脂)及び土砂類が含まれる。従って洗毛廃液の性状は

- (1) 高い有機物濃度
- (2) 高SS濃度
- (3) 高T-N濃度

を有し、アルカリ性を示す乳濁状廃液である。従来の処理方法は土砂、固形物等の分離除去、グリースの回収等の前処理の後、焼却処理されるのが一般的であった。

洗毛廃液は腐敗し易く、排出温度が高いこと等の理由から、同社旧中山工場殿においては省エネルギー、搬出固形物の減少を目的として高温下における嫌気処理(従来の懸濁方式)が実施されていた経緯がある。(1959年、当時の工業技術院醱酵研究所殿との共同研究で「メタン醱酵法による洗毛廃液処理施設(醱酵槽容量 300 m³)」を設置し1972年まで運転された。)

一方、一宮工場殿においては洗毛廃液は濃縮(膜+蒸発器)後、焼却処分されていたが、設備の老朽化により更新時期を迎えていた。新規の処理システムの導入にあたって

は、洗毛廃液を効率的にかつ経済的に処理し、発生する余剰汚泥を極力少なくすることが課題として与えられた。当社と日本毛織(株)殿は本課題に対し約2.5年間のベンチテスト、パイロットテストおよびフィジビリティ・スタディーの結果、UF膜装置を組合せた高温固定床式嫌気処理システムを決定するに至った。

2. テストの概要と方法

2.1 目的

処理テストの目的は洗毛廃液の最適処理プロセスを見いだすことであり、そのためには主に次に示す項目を把握する必要があった。

- (1) 液温の違いによる除去性能、ガス発生量
- (2) UF膜装置による嫌気リアクター(以下ABリアクターと略)処理液の分離性能
- (3) 汚泥発生量

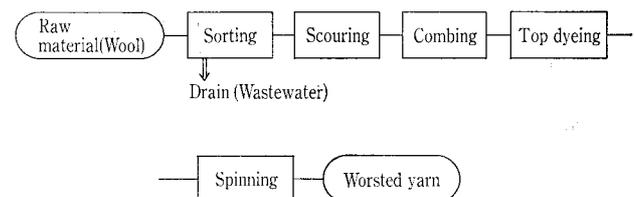
2.2 パイロットテスト装置

処理テストのフローを第2図に、パイロットテスト装置の主要機器の仕様を第1表に示す。

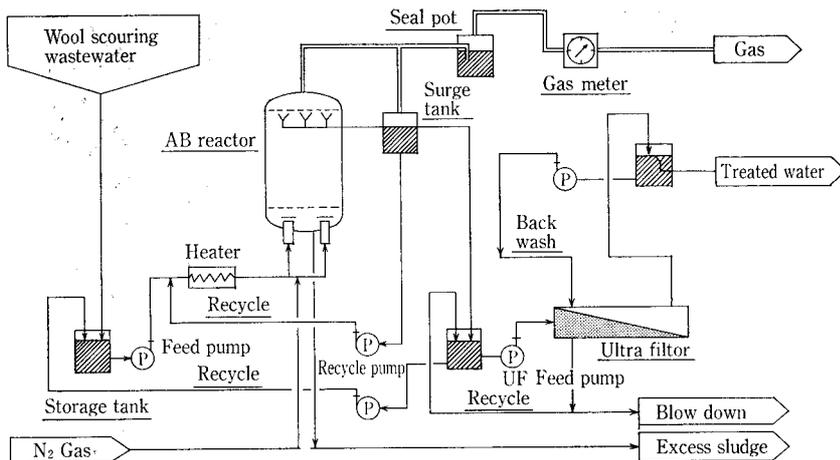
2.3 テスト方法

2.3.1 ABリアクターの運転方法

洗毛廃液は原水ポンプにより連続的に通水した。ABリアクター内液温は、電気ヒーター及びテープヒーターにより温度コントロールを行った。中温、高温の液温は各々、



第1図 梳毛糸の製造工程
Fig. 1 Process for worsted yarn



第2図 パイロットテストの処理フロー
Fig. 2 Schematic diagram for the pilot plant

第1表 パイロットテスト装置の主要機器の仕様
Table 1 Specification for the main equipment of the pilot plant

Item	Specification	Remarks
AB reactor	V=4.53 m ³ 1 410 φmm×3 250 Wφmm×3 910 Hmm	Fixed bed type
Surge tank	V=29 ℓ 250 φmm× 600 Wφmm×1 000 Hmm	
Feed pump	2~40 ℓ/h	
Recycle pump	1 500 ℓ/h	
Gas meter	4~1 200 ℓ/h	
Ultra filter	Effective membrane area 3.1 m ² (Hollow fiber 1.4 φmm) 89 φmm×1 126 Hmm Cut off molecular weight 13 000	PAN follow fiber type

37°C, 53°C に設定した。余剰汚泥はABリアクター内SS濃度がほぼ一定になるよう排出した。発生ガスは湿式ガスメータで計測した。

2.3.2 UF膜の運転方法

UF膜の運転はバッチ運転とし、UF一過方式とUFリターン方式の二方式について設定量のUF処理水が得られるまで運転を行った。UF一過方式では濃縮液を系外に排出し、UFリターン方式では濃縮液を洗毛廃液と混合して、ABリアクターの原水とした。(第3図)

UF膜への流入圧力は2.0~2.2 kg/cm²Gとし、温度コントロールは必要に応じて行った。逆洗はUF汚液で行い、逆洗頻度は30秒/15分とした。UF膜の運転終了時には3分間程度、工業用水で水洗した。

2.3.3 分析方法

水質分析はJIS K0102に拠り、揮発性有機酸VFAはガスクロマトグラフィーにより、メタン生成細菌の補酵素F₄₂₀は蛍光分光計でアルカリ煮沸法²⁾にて計測した。

3. テスト結果

3.1 洗毛廃液の性状

洗毛廃液の水質を第2表に示す。これはテスト期間中の各水質の平均値である。T-TOD, T-BODは各々のJIS分析法で測定したものであり、S-TOD, S-BODは洗毛廃液を遠心分離した後、上澄水を分析したものである。図には示していないが、一時期SS濃度が高くなった時期を除いて総じて大きな変動はなかった。

3.2 結果

3.2.1 液温の違いによる除去性能

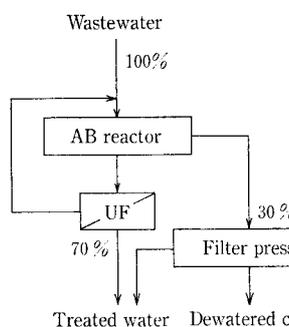
第4図はABリアクターの液温を中温、高温に保った場

第2表 洗毛廃液の水質
Table 2 Properties of wool scouring wastewater

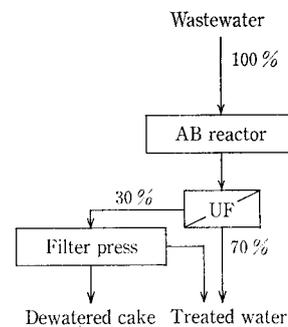
Item	Concentration
pH	(-) 7.4
SS (mg/ℓ)	30 500
VSS (mg/ℓ)	18 000
T-TOD (mg/ℓ)	102 400
S-TOD* (mg/ℓ)	68 400
T-BOD (mg/ℓ)	27 900
S-BOD* (mg/ℓ)	20 800
COD (mg/ℓ)	15 800
Hex. ext. (mg/ℓ)	15 000

* Values of supernatant separated by a centrifuge

① UFM with recycle



② UFM of one through



第3図 UF濃縮液のリターン方式と一過方式
Fig. 3 Schematic diagram of UFM with recycle and UFM of one through

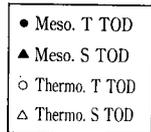
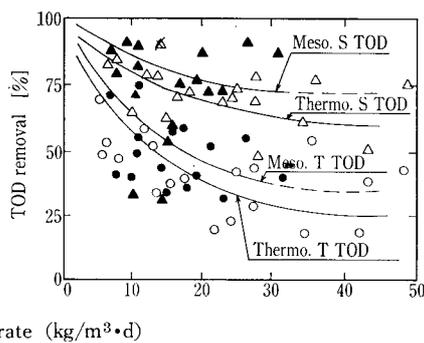
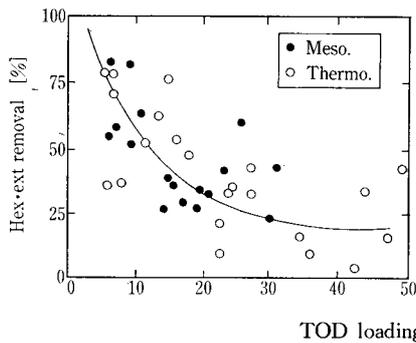
合のTODとヘキサン抽出物(以下Hex. ext.)の除去率を示したものである。中温と高温における除去率を比較するとTODについては若干中温が高温を上まわり、Hex. ext.についてはほぼ同等の結果であった。

第5図は中温と高温におけるVFA濃度を示したものであるが、同一TOD負荷において高温の方がVFAの蓄積が少ないことが認められた。したがって高温の方が高い負荷をとり得る可能性を示した。しかしながら、これらのVFA濃度は嫌気処理の阻害レベルではない³⁾。

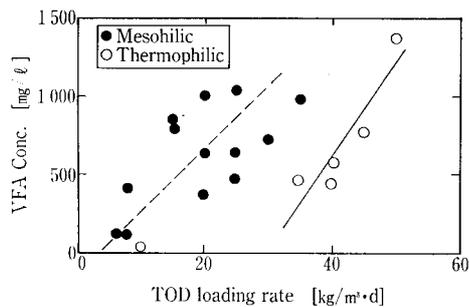
ABリアクター処理液のSS濃度は8 000~30 000 mg/ℓの変動幅があったためT-TOD, Hext. ext.の除去率はSS濃度に大きく左右されたが、SSを除去したS-TODは比較的変動幅が少ないことが第4図からわかる。また負荷増大に伴う除去率の低下は、S-TODの方がT-TODよりも緩やかな低下傾向を示している。このことはABリアクターのSS(洗毛廃液に由来するものや嫌気余剰汚泥)を除去することで高い除去率を確保できることを示唆している。

3.2.2 ガス発生率

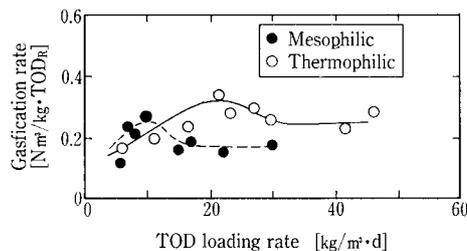
発生ガス中のメタン濃度は中温、高温とも約80%と比較的高濃度であったが、これは元々、洗毛廃液自体に強いpH緩衝力を有しており、処理水pHが弱アルカリのため発生した炭酸ガスが溶解しやすい状況にあったものと考えられる。



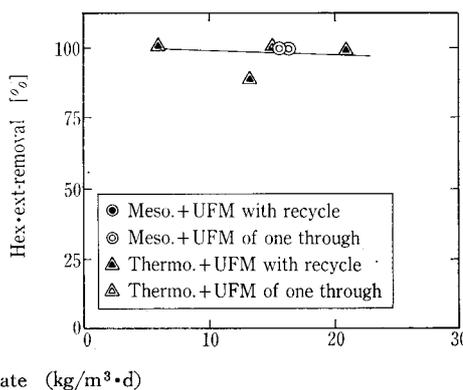
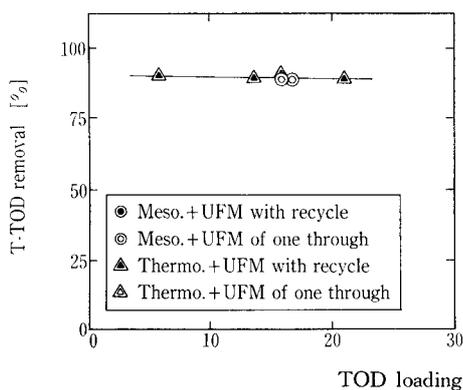
第4図 液温の違いによる TOD 負荷と TOD, Hex. ext. 除去率の関係
Fig. 4 TOD and Hex. ext. removal by anaerobic digestion as a function of the TOD loading rate at different temperatures



第5図 TOD負荷とABリアクター処理液のVFA濃度の関係
Fig. 5 Changes in VFA concentration with TOD loading rate during mesophilic (37°C) and thermophilic (53°C) digestion



第6図 TOD負荷とガス発生比率の関係
Fig. 6 Gasification rate for changes in the TOD loading rate during mesophilic (37°C) and thermophilic (53°C) digestion



第7図 UF膜処理組合せにおける TOD 負荷と TOD, Hex. ext. 除去率の関係
Fig. 7 TOD and Hex. ext. removal by the combination of UFM as function of the TOD loading rate at different temperatures

TOD負荷に対しての除去TOD量あたりのガス発生量を第6図に示す。これから高温の方が中温よりも高負荷において高いガス発生率であることを示している。ガス発生率のピークは中温、高温、各々 TOD 10 kg/m³·d, 20 kg/m³·d にあった。両液温とも低負荷においてガス発生率は低い、これは種汚泥(小麦でんぷん廃水中の中温嫌気処理設備からの菌体)が洗毛廃液に対して十分馴化されていなかったと推察される。

一方高負荷において両液温ともガス発生率が一定であるのは十分に馴養された結果であると考えられる。

3. 2. 3 UF膜によるABリアクター処理液の分離性能
ABリアクター処理液は高濃度SSを含むため、油分、SS、CODMn等の濃度も高く、放流先の水質基準値を満足させることが出来ないため後処理としてのSS分離装置は不可欠である。SS分離装置として沈殿分離、浮上分離、膜分離等のテストを実施し比較検討した結果 (1)処理水質が良好である(2)排出濃度が高く維持できる(脱水性向上)

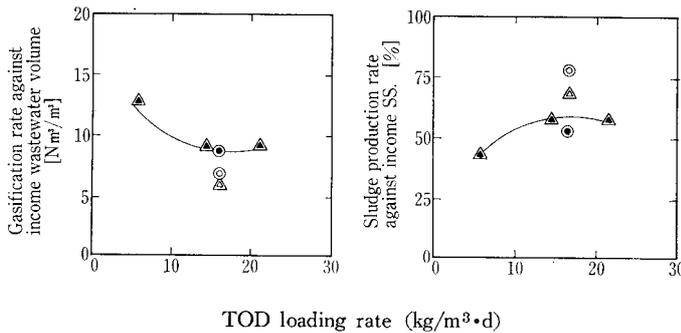
(3)回収SSをABリアクターに返送可能(処理効率向上)
(4)安定した自動運転可能等のメリットがあるUF膜分離方式を採用した。調査した処理方式は中温、高温においてのUF膜リターン方式およびUF膜一過方式を組合せた次の4方式である。

- (A) 中温処理+UF膜リターン方式
- (B) 中温処理+UF膜一過方式
- (C) 高温処理+UF膜リターン方式
- (D) 高温処理+UF膜一過方式

第7図はTOD負荷に対するT-TOD, Hex. ext.の除去率を示したものである。なお除去率の算出方法は以下に示す式である。

・流入 洗毛廃液 各項目絶対量 (kg/d)
・流出 UF汚液 各項目絶対量 (kg/d)
+脱水汚液中に含まれる各項目絶対量(kg/d)

$$\text{除去率} = \left(1 - \frac{\text{流出 (kg/d)}}{\text{流入 (kg/d)}}\right) \times 100(\%)$$



第8図 TOD負荷とUF膜組合せにおけるガス発生倍率、汚泥発生比率の関係
Fig. 8 Gas production and sludge diminution under the combination of UF membrane against TOD loading rate

第3表 UF膜の透過性能
Table 3 Permeability of UFM at different operating conditions

Liquid	Permeability* ($\ell/m^2 \cdot h$)	
	Liquid temp 40 °C	Liquid temp 47 °C
Raw wastewater	26.1 ± 1.73	38.9 ± 4.25
Digested liquid at 15 kg TOD/m ³ ·d	32.1 ± 2.24	42.7 ± 4.73

* Inlet pressure 2.0~2.2 kg/cm²G
 Outlet pressure 1.5~0.6 kg/cm²G

第4表 各サンプルの蛍光強度 (F₄₂₀濃度)
Table 4 F₄₂₀ concentration

Sample	F ₄₂₀ conc. ($\times 10^{-6}$ mol quinine sulfate/ ℓ)
Raw wastewater	1.68
Process C	4.76
Process D	2.06

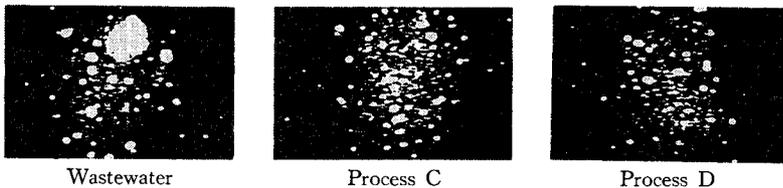


写真1 各サンプルの蛍光顕微鏡写真 (VTRから)
Photo. 1 Fluorescence photocopies of sludge. Dilution of samples, wastewater and process (D); $\times 100$, process (C); $\times 500$.

C方式以外についてはTOD負荷15 kg/m³·dに限定したが、第7図から各方式の違いによる除去率の明らかな差異は認められなかった。C方式についてみるとTOD 5 kg/m³·d~20 kg/m³·dにおいてT-TOD除去率が90~89%、Hex. ext. 除去率が99~98%とほぼ一定した除去率が得られている。このことはUF膜が、SSのみならず溶解している高分子量の有機物や嫌気性菌を主体としたバクテリアをも分離していることを示すものである。

3. 2. 4 汚泥の減量化

第8図は前述4方式におけるガス発生比率と汚泥発生比率を示したものである。ガス発生比率(流入量に対してのガス発生倍率)は、C方式はTOD 5 kg/m³·d~15 kg/m³·dにおいて低下傾向を示すが、15 kg/m³·d以上においては、ほぼ一定の値であった。TOD 15 kg/m³·dにおいて濃縮液リターン方式の方が一過式よりも約20%多くガス発生しており、このことは菌体濃度上昇により有機物の分解が促進されるため、汚泥の減量化に寄与できることを示唆している。実際、汚泥発生比率(流入SS量に対しての余剰SS量の比率)は一過式よりもリターン方式の方が約20%低いことが実証された。(第8図)

3. 2. 5 UF膜の透過性能

第3表はUF膜の透過性能を示したものである。Flux量は温度、SS濃度等に大きく依存するが、ABリアクター処理液(SS濃度3~4%)は洗毛廃液(SS濃度3%)に比べて明らかにFlux量が改善されており、有機物が低分子化されていることを裏づけている。

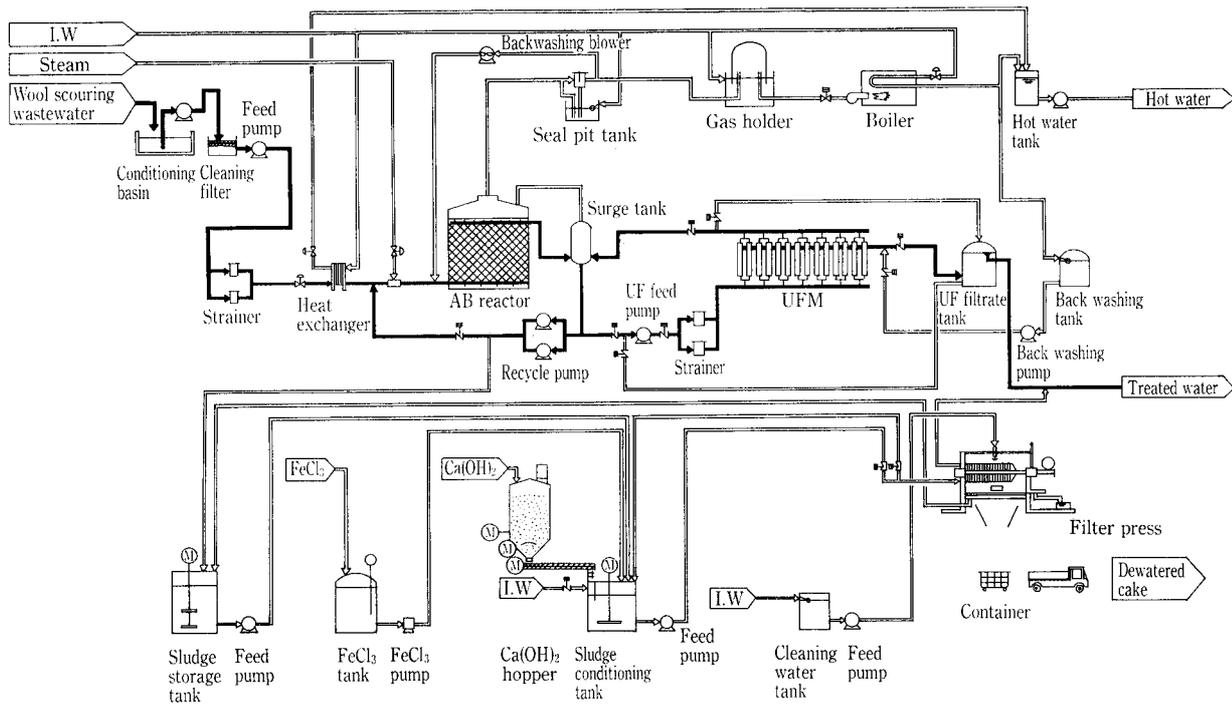
3. 2. 6 メタン生成細菌の分析

メタン生成細菌に由来する補酵素F₄₂₀を測定することによりメタン生成細菌を間接的に計測した。その結果を第4表と写真1に示す。注目すべきことは洗毛廃液の貯留槽において、すでにメタン生成細菌が存在していることである。第4表から、濃縮液リターン方式のF₄₂₀濃度が一過方式のその2~3倍あることが明らかとなり、濃縮液リターン方式は菌体を高濃度に維持できることを示している。

3. 2. 7 最適処理プロセス

以上の結果から

- (1) PANBIC-F システムの後処理としてUF膜を設置することにより放流水質を満足することが出来る。
- (2) UF膜の濃縮液をABリアクターに戻すことにより菌体濃度を高く維持でき、余剰汚泥を減量化することが出来る。このことはガス発生比率のデータからも裏づけられた。
- (3) UF膜を組合せたPANBIC-Fシステムの除去率は、濃縮液リターン方式、一過方式とも同等であった。これは、後処理がUF膜により行われているためである。
- (4) 中温リターン方式と高温リターン方式のガス発生倍率、汚泥発生量とも同等であった。等が明らかとなったが、中温処理は
 - (a) ウールグリースが固化し粘性が上がる(ウールグリースの融点40°C)ため、メタンガスの泡がなかなか消えない。



第9図 洗毛廃液処理施設フローシート
Fig. 9 Schematic diagram of the wool scouring wastewater treatment

第5表 設計条件
Table 5 Design conditions

Flow rate 70 m³/d
Flow time 24 h/d

Item	Raw waste-water	Treated water	
		UF filtrate	Filter press filtrate
Temp. (°C)	75	Max. 53	Max. 47
pH (-)	7.4	9.0	12~13
SS (mg/ℓ)	30 500	10	300
COD (mg/ℓ)	15 800	4 000	1 000
BOD (mg/ℓ)	27 900	4 000	1 000
Hex. ext (mg/ℓ)	15 000	80	50
TOD (mg/ℓ)	102 400	---	---

第6表 設備仕様
Table 6 Specification for the plant

Item	Specification	Unit
AB reactor	V=500 m ³ 8 800 φmm × 8 240 W/mm × 9 200 H/mm	1
Surge tank	V=8 m ³ 1 500 φmm × 9 200 H/mm	1
Heat exchanger	A=1.6 m ² 320 W/mm × 650 H/mm × 1 200 H/mm	1
UFM unit	26 modules Effective area: 80.6 m ² 4 500 W/mm × 500 H/mm × 2 100 H/mm	1
Ca(OH) ₂ hopper	V=25 m ³ 2 900 φmm × 5 300 H/mm	1
Filter press	A=99 m ² 1 600 W/mm × 8 020 H/mm × 2 880 H/mm	1
Gas holder	V=20 m ³ 3 400 φmm × 7 700 H/mm	1
Sludge storage tank	V=21 m ³ 2 900 φmm × 3 700 H/mm	1
Sludge conditioning tank	V=8.8 m ³ 2 400 φmm × 2 250 H/mm	1
FeCl ₃ tank	V=10 m ³ 2 330 φmm × 3 100 H/mm	1
Feed pump	2.9 m ³ /h × 28 mAq × 2.2 kW	1
Recycle pump	85 m ³ /h × 10 mAq × 5.5 kW	2
UF feed pump	240 m ³ /h × 21 mAq × 30 kW	1
UF back washing pump	9.3 m ³ /h × 24 mAq × 2.2 kW	1

(b) スカムが頻繁に発生する。

(c) 休日後の立上がりが高温よりも悪い。

等のデータに表われない高温処理との差があった。

以上から、洗毛廃液の最適処理プロセスとして（高温 PANBIC-F システム + UF 膜リターン）方式を採用した。

4. 実装置の概要

納入した洗毛廃液処理施設のフローシートを第9図に示す。洗毛廃液はクリーンフィルター、ストレーナーにより毛くず等が取除かれ、熱交換器（冷却）を経由してABリアクターに投入される。嫌気分解されたABリアクター処理液はサージタンクを経由してUF膜に供給される。UF膜装置でABリアクター処理液は透過水と濃縮液に分離される。透過水は脱水汚液とともに系外へ処理水として放流されるが、多くの他工程排水と混合された後、下水道放流される。一方、濃縮液はサージタンクに返送された後、リサイクル液として再度嫌気分解される。余剰汚泥はリサイ

クルラインから一定量排出され、薬注された後フィルタープレスにて脱水処理される。ABリアクターからの発生ガスはガスホルダーに貯留された後、温水ボイラーで燃焼され工場内の温水としてエネルギー回収される。

設計条件、設備仕様を各々、第5、6表に示す。

主要な設計条件は次の通りである。

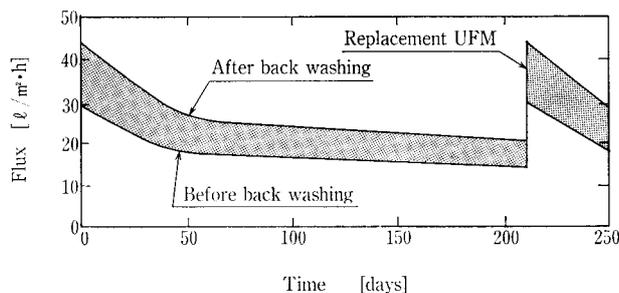
(1) ABリアクター

- ・ TOD負荷 15 kg/m³・d
- ・ BOD負荷 4.1 kg/m³・d
- ・ リアクター容量 500 m³（滞留日数7.1日）
- ・ 液温 53 °C
- ・ ガス発生量 630 Nm³/d (CH₄ 80%)
- ・ 余剰汚泥量 流入SS量の80% (1 708 kg/d (21.8 m³/d × 7.83 wt%))

第7表 実運転での水質

Table 7 Quality of wastewater and treated water (actual plant)
Q=50 m³/d (TOD 10.1 kg/m³·d)

Item	Raw wastewater	UF filtrate
pH	(-) 8.1	8.4
SS (mg/ℓ)	23 200	---
COD (mg/ℓ)	14 200	2 290
BOD (mg/ℓ)	17 300	2 000
Hex. ext. (mg/ℓ)	13 000	80
TOD (mg/ℓ)	95 500	11 800



第10図 UF膜のFlux量の経時変化
Fig. 10 Change in flux of UFM with time

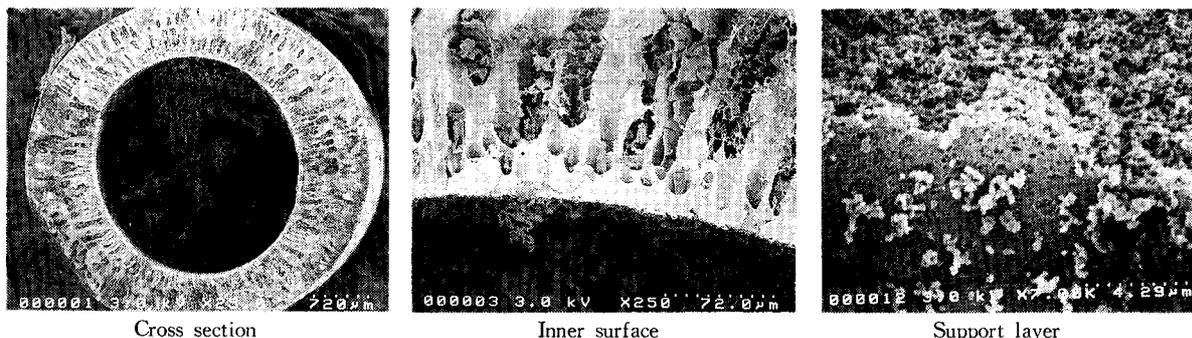


写真2 UF膜の汚染
Photo. 2 Fouling of UFM after 210 days of operation.

- ・除去率(絶対量換算, 予想)(流入……洗毛廃液, 流出……UF滲液, 脱水滲液)
 - TOD : 90%
 - BOD : 89%
 - COD : 80%
 - Hex. ext. : 99%
- (2) UF膜
 - ・流入圧力 2.0 kg/cm² ~ Max. 2.2 kg/cm²G
 - ・流入温度 53°C
 - ・FLUX. 30 ℓ/m²h
 - ・線速度 2 m/sec
 - ・逆洗頻度 15 sec/30 min
 - ・運転時間 20 h/d
- (3) 脱水機(フィルタープレス)
 - ・FeCl₃ 注入率 対DS 20%
 - ・Ca(OH)₂ 〃 〃 43%
 - ・ケーキ含水率 50% (目標値)
 - ・滲過速度 2.6 kg/m²h
 - ・運転時間 8 h/d

5. 実装置の運転

現在において実装置は、順調に運転されているが(一例、第7表)、当初から順調に推移したわけではなかった。

発泡やUF膜の汚染、劣化による透過水量の低下等パイロットテスト結果から推測出来ない事由によるトラブルがいくつか発生したが、諸対策を講じた結果、現在の運転に至っている。ここでは後者のUF膜の透過量の低下について述べる。第10図はUF膜のFlux量の経時変化を示したものであるが、定期的な逆洗(温水)にもかかわらず第10図に示すFlux量の低下が認められた。また薬品でUF膜

を洗浄しても顕著な回復は認められなかった。写真2にUF膜の汚染状況を示すが、中空糸の内面は、鉄のスケール(硫化鉄が主体と考えられる)、グリース状物質、バクテリア等で詰りが生じていた。一方、外面は比較的汚染は少なかったが、鉄スケールが付着していた。

これらのUF膜の透過能力を妨害する汚染に対し、種々テストを重ねた結果、薬品の種類とともに適切な薬品濃度に設定し、定期的な薬品洗浄をすることにより所定のFlux量を確保することが出来た。

むすび

当洗毛廃液処理施設は、おそらく世界ではじめての膜を組合せた嫌気処理システムの商業プラントだと思われる。現在に至るまでには、いくつかのトラブルを乗り越える必要があったが、鋭意、客先と対策にとり組み、所期の目的を達することができた。この洗毛廃液の膜処理を含めたテストの結果は、第6回国際嫌気シンポジウム(サンパウロ、1991年5月)に発表⁴⁾したことを付記する。

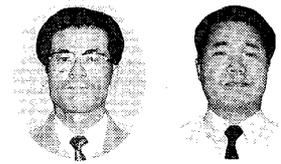
最後に共同実験、施設導入および対策等に御尽力いただいた日本毛織(株)殿本社の田辺課長殿、弓達主任殿、中山殿、一宮工場の澤田課長殿をはじめとして関係各位に深謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) 日本毛織(株)資料
- 2) 磯田: "メタン菌活性蛍光計測法", 用水と廃水, p. 949~953, vol. 30, No. 10, (1988)
- 3) 宝月, 高村: "有機性固形物含有廃水の二相嫌気処理", 醱酵工学会誌, p. 263~269, vol. 67, (1989)
- 4) A. Hogetsu, T. Ishikawa, M. Yoshikawa, T. Tanabe, S. Yudate and J. Sawada: "HIGH RATE ANAEROBIC DIGESTION OF WOOL SCOURING WASTEWATER IN A DIGESTER COMBINED WITH MEMBRANE FILTER (1991)"

開放型サイフォン・フィルターの製品紹介

Introduction of "Open Siphon Filters."



(環)環境装置部 計画第2課

岡 靖

Yasushi Oka

藤井 督 大

Tokuhiro Fujii

This paper is the introduction about the structure and the feature of "Open Siphon Filter" which is installed in many purification plant, and the feature of Granular Activated Carbon Filter and Aerobic Biological Filter which are advanced equipments of "Open Siphon Filter".

まえがき

急速汙過装置として開放型サイフォン・フィルター(写真1)は、1973年に天理市豊井浄水場殿に納入して以来、着実に実績を増やし、その規模も大きくなってきた。

本文は、この標準的な開放型サイフォン・フィルターと、その応用例の紹介である。

開放型サイフォン・フィルターは、過去の蓄積された汙過理論や技術に最新の技術を加味させた自動汙過装置であり、多くの利点を持った経済的な設備である。汙過機構は従来からの安定した重力式汙過機構を、開放型の状態でそのままに採用することにより安全性と確実性を高めている。操作方法は簡便な電気制御を用い、サイフォン管により汙過、洗浄の行程切替えを行う。

汙過池は処理水量に応じて、1池から数10池までを任意に組み合わせることができ、流出渠の上部に共通の逆洗貯槽を保有し全体を一躯体にまとめ、設備のコンパクト化により効率を高めると同時に、汙過・洗浄の機能的な働きを持たせている。

1. 標準的砂汙過池の構造と作動原理

1.1 構造

開放型サイフォン・フィルターの基本的な構造は、原水渠、汙過室、流出渠、逆洗貯槽より成る。汙過室及びそれに付随する集水室は各池独立しているが、その他の原水渠、流出渠、逆洗貯槽及び捨水渠、排水渠は全池に共通させる。

第1図において汙過室は1列(大規模では2列)に並び、原水渠から流入した原水を汙過する。汙過室には精選した汙砂を充填し、その下に支持床を敷く。集水装置は有孔ブロックを用い、汙過及び逆洗時の集配水の均等化を計る。

隣接する集水室と捨水室、流出渠の上には逆洗貯槽を設け、各汙過池の逆洗に供する。また、原水渠の下部を排水渠に利用する。

1.2 作動原理

1) 汙過(第2図)

原水は、まず原水渠に導き整流させながら各汙過池に均等に分配させ、ガリットから汙過室内全面に流入させる。

汙層で汙過された汙過水は、集水装置(有孔ブロック)を経て、各池それぞれの集水室に集めたのち、汙過水サイフォン管で流出渠に移す。流出渠の末端には堰を設け、流出渠の水位をほぼ一定に維持させる。従って、汙過継続による汙過抵抗の上昇分は、汙過室内一次側の水位上昇となって現われる(自然平衡型)。汙過室内水位がHWLに達するか、または一定の時間汙過を継続した時点で洗浄行程に移る。

2) 洗浄(第3図)

原水サイフォン管(または原水弁)を閉じ、汙過室内水位をトラフの位置まで下げてから、汙過水サイフォン管を停止させる。(規模、池数の少ない場合は本行程を省くことがある)

洗浄はまず排水弁を開き、表洗ポンプの起動により表洗を行う。引き続き逆洗貯槽より逆洗サイフォン管を作動させ、有孔ブロックにより均等に逆洗水を噴出させ、汙層を逆洗させる。表洗と逆洗は一部ラップさせ、洗浄効果を高めるが、それぞれの洗浄行程は、タイマーにより設定する。

逆洗が終了すれば、原水を流入させながら、捨水サイフォン管を働かせ、一定時間捨水を行ったのち汙過水サイフォン管に切替え、再び汙過を開始する。(汙過水の水質により捨水行程は省くことも可能である)

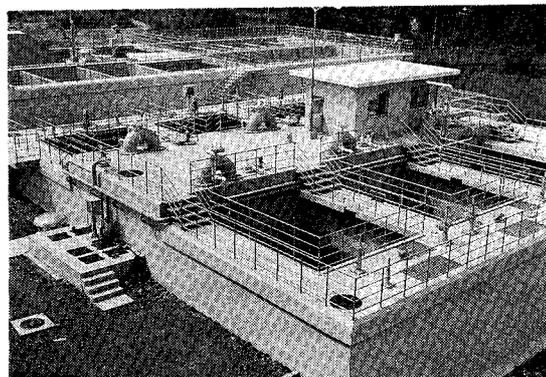
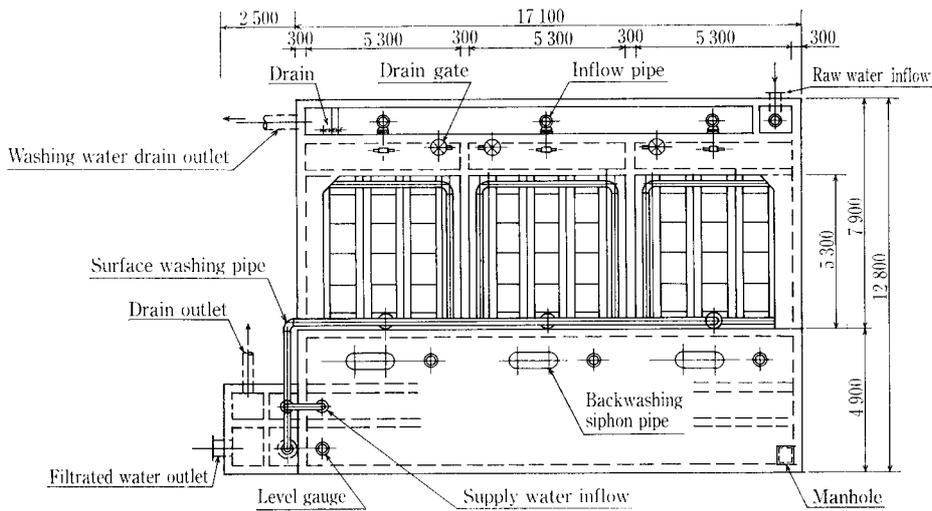
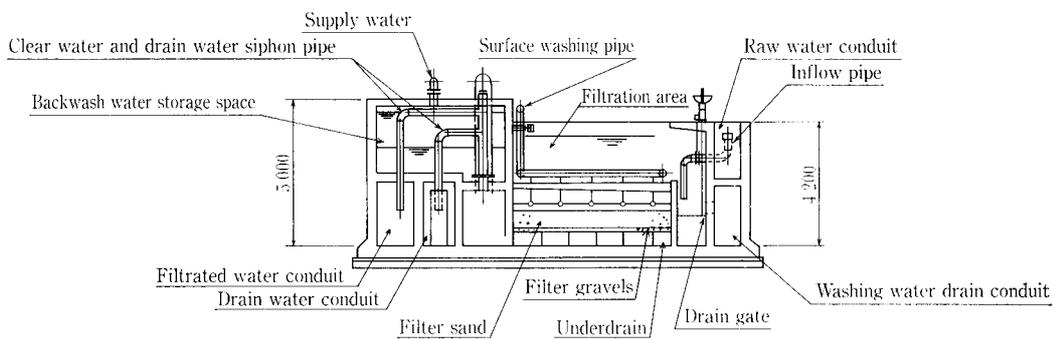


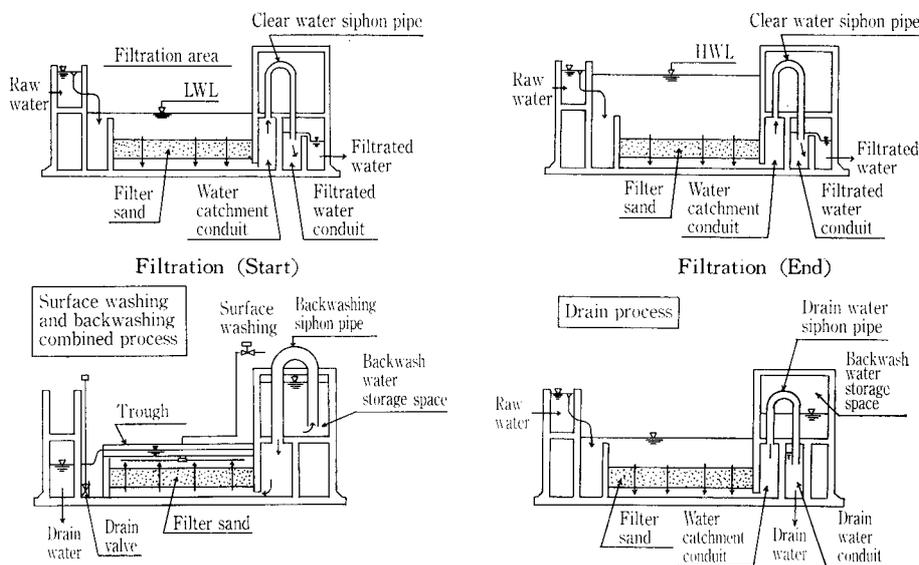
写真1 急速砂汙過池(開放型サイフォン・フィルター)の例
Photo. 1 Rapid sand filter "Open siphon filter"



Outline
 Total treating capacity 10 000 m³/day
 Quantity 3 unit
 Filtration rate 120 m/day (5 m/hr)
 Inside diameter 5 300 mm × 5 300 mm/unit
 Filtered area 28.09 m²/unit
 Filter media Standard municipal Filter sand



第1図 急速砂濾過池（開放型サイフォン・フィルター）の例
Fig. 1 Rapid sand filter "Open siphon filter"



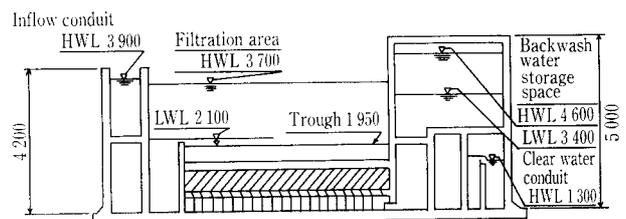
第2図 濾過（サイフォン・フィルター）
Fig. 2 Filtration (Siphon filter)

第3図 洗浄（サイフォン・フィルター）
Fig. 3 Backwashing (Siphon filter)

2. 標準仕様

第4図に示すように、濾過池の槽高は、原水渠側で4 200 mm、逆洗貯槽側で5 000 mmである。

原水渠への流入水位は、濾過池底盤面を基準位置とすると3 900 mmであり、濾過池側の流出渠水位は1 300 mmである。従って、濾過池全体への流入から流出までの水位差は2 600 mmとなり、従来型の重力式濾過池の3 000～4 000 mmよりかなり小さくてすむ。



第4図 濾過池の槽高（サイフォン・フィルター）
Fig. 4 Water level

汙過室内には、次の材料・機器を設置する。

- 汙 材： 水道用基準汙砂
- 層 高 600 mm
- 有効径 0.50~0.60 mm
- 支 持 床： 砂 利
- 層高（4層） 200 mm
- 下部集水機構： 有孔ブロック
- 集水トラフ： FRP製
- 表 洗 装 置： 固定式または回転式

汙過速度は、浄水設備として用いる場合、120~150 m/日の範囲であるが、一般の用途では最大180 m/日まで可能である。また、汙過継続による汙過抵抗の増加分は最大1600 mm水柱であり、汙過抵抗がこの値に達するか、または一定時間汙過を経過した時点を汙過終点とする。

次に、洗浄は表洗と逆洗を併用し、行程として表洗、表逆洗、逆洗および捨水の4行程に分ける。次にそれぞれの洗浄条件を示す。

- 表 洗——ポンプにより送水する。
- 水量 0.15~0.20 m³/min/m² } 固定式の場合
- 水圧 15~20 m水柱
- 時間 4~6分間

- 逆 洗——逆洗貯槽から逆洗サイフォン管で自然流下によって送水する。
- 水量 平均0.6 m³/min/m²
- 水圧（噴出部にて）
- 通常3~4.2 m水柱
- 時間 通常 5分間~最大7分間

ただし、表逆洗を一部ラップさせる。

- 捨 水——捨水サイフォン管を起動させる。
- 水量（汙速） 120~150 m/日
- 時間 0~15分間（省くこともある。）

各池の汙過水量は、原水渠から均等に分配し水理的に汙過するので常に定量であり、汙過流量の調節器はいっさい不要である。他方、逆洗流量は水温変動や汙材の負荷状況により、適時調節できるよう流量調節器を設けている。

なお、逆洗貯槽の容量は、逆洗時間を通常5分間、最大7分間として決定する。

3. 標準的砂汙過池の特長

開放型サイフォン・フィルターには次の数多くの利点があり、他の一般的な汙過装置として適用することにより、その優位性を発揮する。

1) 汙過機構は安全性が高い。

汙過室は開放型であり、汙過・洗浄時の監視が容易である。

汙過室内の構成は、標準の汙砂・支持床からなり、集水機構は流量均等性のすぐれている有孔ブロックを用いている。これらの機構は、従来から最も多く採用されてきた重力式汙過池と同じ機構であり、汙過水の安全性が高い。また、汙過水の流出位置は汙層上面より高い位置にあるので、汙過抵抗が上昇しても汙層内部に負圧が発生することがなく汙過の安定性がよい。

2) 槽高が低い。

汙過室の槽高は4.2 mと低く、しかも流入水位は3.9 mである。これは、同一敷地内に沈澱池と汙過池を併設する

場合、同じG.L.上に設置したままで沈澱池から汙過池へ自然流下で流すことができる。

また、汙過池への流入と流出の水位差はわずか2.6 mであり、他の汙過池に比べて小さい。これは、浄水場全体の設備計画に、極めて有利である。

3) 洗浄効果が高い。

独自の逆洗貯槽を同じ躯体に一体化して保有させているので、常に一定量の逆洗用水を確保でき、これを各汙過池の逆洗に利用させる。従って、他の汙過池の通水状態に影響させることがまったくなく、常に確実な逆洗が行える。さらに、表洗を併用するので、汙層内部まで均一に洗浄される。

また、この開放型サイフォン・フィルターには、捨水行程が組み入れられており、必要な時間捨水を行い汙過水が安定な状態になってから、汙過工程に切替えられる。

4) 運転水量を自由に換えられる。

逆洗水は、自己の保有する逆洗貯槽から供給されるので、運転水量は汙過池の定格能力より少ない場合でも全く支障ない。

また、建設の初期年度の汙過水量が少ない場合でも同様に適応性がある。

5) 汙過設備全体がコンパクトである。

汙過池の池数は、全体の処理水量から最も合理的な池数を任意に選定できる。1池あたりの汙過面積は特に制限はないが、一般には150 m²程度まで可能であり、特に大規模浄水場でも池数を多く増やす必要がない。しかも、これらの汙過池全体と逆洗貯槽を一体構造にまとめており、他方、管廊や逆洗ポンプ室が不要となるので、汙過設備全体がコンパクトになる。従って、汙過室に対する付帯部分の比率は極めて小さくなり、他の一般の汙過池よりも全体のスペースは小さくできる。

6) 設備費・動力費が安い。

汙過池全体の土木構造物がコンパクトにまとまり、池数も経済的に選定できる。また、一般型の汙過池のような各種自動弁や汙過水流量計、逆洗ポンプさらには高架水槽も不要となり、これらの設備費が安くなる。

動力費についても、表洗ポンプ以外は大きな動力設備がなく、特に動力費の大きい逆洗ポンプが必要でない点が有利である。

4. 活性炭汙過池としての実施例

前述の標準的砂汙過池としての開放型サイフォン・フィルターは、汙過材を変え、また若干その構造を変更することにより砂汙過池以外にも適用できる。

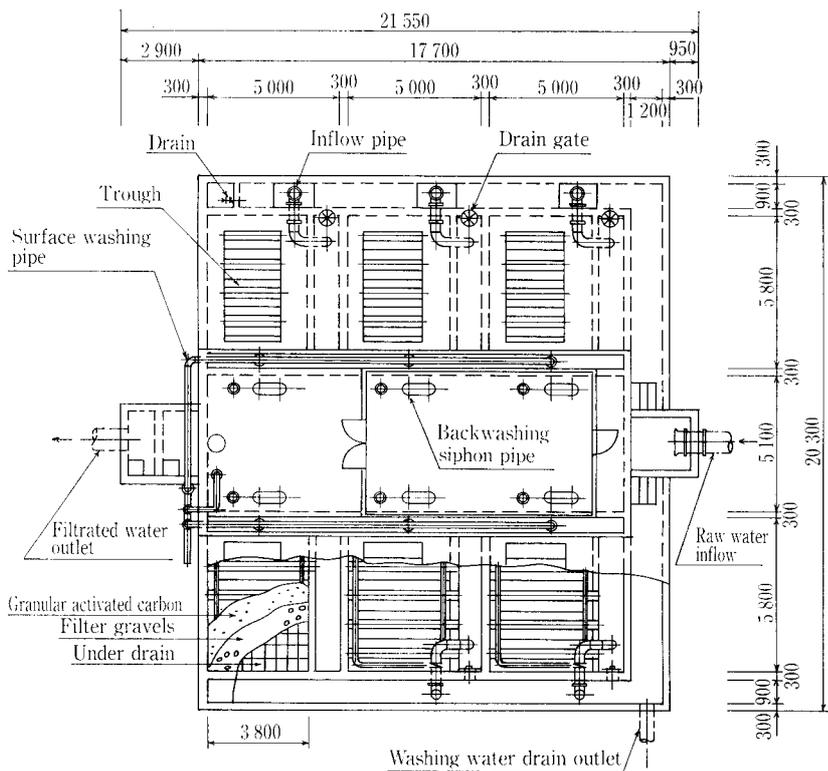
その中でも、活性炭汙過池としての実績は、最近特に高度浄水処理との関連もあって件数が多くなっている。

次に活性炭汙過池の納入例を図示すると共に、活性炭汙過池として使用する場合の特長を述べる。（第5図）

なお、活性炭汙過池を上水道施設として使用する場合、当然のことながら活性炭の層厚等の基本的仕様は、水道施設設計指針及び高度浄水施設技術資料（活性炭処理施設）などの諸基準に準拠したものとなる。

特 長

- (1) 上向流または下向流、どの方式でも採用可能である。
- (2) 洗浄方式は、表面洗浄方式+水洗浄方式であり、さ



Outline

Total treating capacity	31 800 m ³ /day
Quantity	6 unit
Filtration rate	240 m/day (6 units)
Inside diameter	3 800 mm × 5 800 mm/unit
Filtered area	22.04 m ² /unit
Filter media	Granular activated carbon

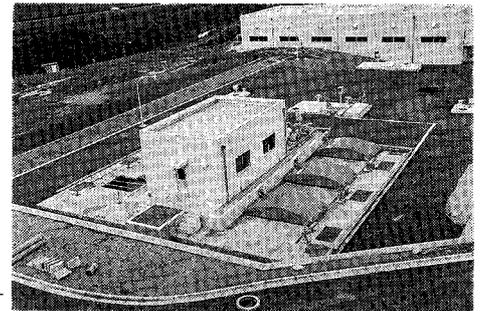
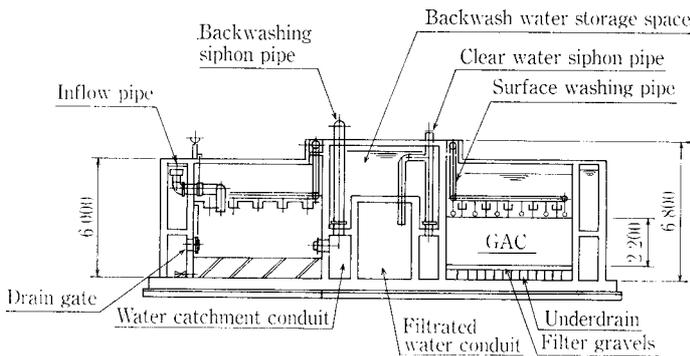


写真 2 活性炭濾過池
Photo. 2 Granular activated carbon filter



第 5 図 活性炭濾過池の例
Fig. 5 Granular activated carbon filter

らに効果的な空気洗浄方式も採用可能である。

(3) その他、標準的砂濾過池が有する長所はそのままここでも発揮されている。

以上の特色ある活性炭濾過池ではあるが、実際に採用する場合の注意事項を次に示す。

下向流式、自然平衡形の活性炭濾過池を計画する場合に、原水流入部水位と処理水流出部水位との差を濾層が、常に負圧となることがないように、かつ、濾過池全体の寸法は低くなるように計画することが得策となる。

活性炭層の層高は、一般的に 1.5 m 以上と厚く、また通水速度 (LV, SV) も砂濾過に比べて高速となるため、通水時の損失水頭が極端に大きくなることもある。活性炭濾過池の設計においては、この初期損失水頭をできる限り小さく抑えることにより、既定の上限損失水頭に達するまでの濾過時間を長くすることができる。

宗像地区水道企業団殿に納入した活性炭濾過池の例では、前段の砂濾過池と後段の浄水池の水位の関係、及び建

設予定地レベルの点より制約され、初期損失水頭が重要な問題となった。この設計時における活性炭濾過池内の初期損失水頭は、次の式により推定した。

(1) 活性炭層による通水損失

$$h = \frac{200\mu v}{\rho_F g \phi^2 D^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \dots \dots \text{レバの式}$$

この式の適用範囲は $Re < 10$ となっており、本事例の場合の Re を確認すると

$$Re = \frac{\rho_F D v}{\mu}$$

Re ; レイノルズ数

ρ_F ; 水の密度 [kg/m³] = 10³

D ; 濾材粒径 [m] = 1.0×10^{-3}

v ; 濾過速度 [m/s] $240 \text{ m/d} = 2.78 \times 10^{-3}$

μ ; 水の粘性係数 [kg/m.s] = 10^{-3}

$$Re = \frac{10^3 \times 1.0 \times 10^{-3} \times 2.78 \times 10^{-3}}{10^{-3}}$$

$$= 2.78 < 10 \dots \dots \text{適用可}$$

従って、

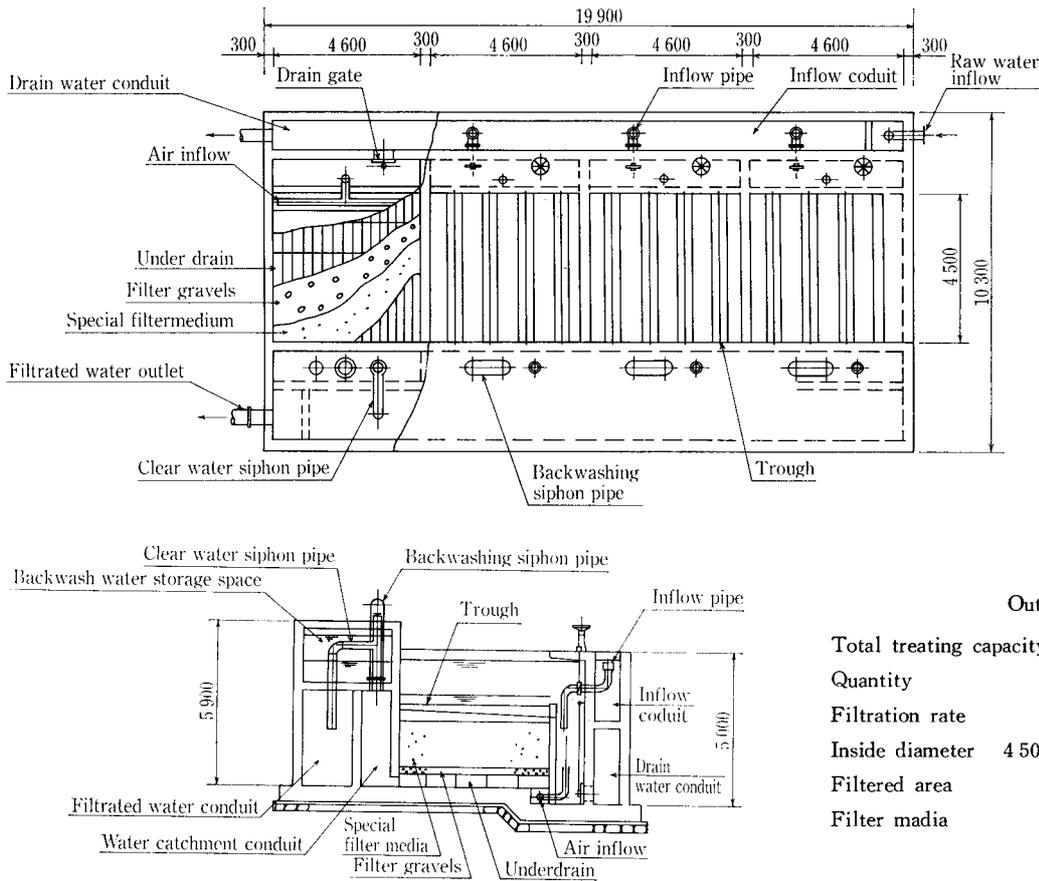
$$h = \frac{200\mu L v}{\rho_F g \phi^2 D^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

h ; 濾層の損失水頭 [m]

L ; 濾層の厚さ [m] = 2.2 m

ϕ ; 濾材の形状係数 = 0.5

ϵ ; 空隙率 = 0.55



Outline

Total treating capacity	15 000 m ³ /day
Quantity	4 unit
Filtration rate	181 m/day
Inside diameter	4 500 mm × 4 600 mm/unit
Filtered area	20.7 m ² /unit
Filter media	Special filter media (Porous type)

第6図 生物接触濾過装置の例
Fig. 6 Aerobic biological filter

濾過室内のLWLと濾過水流出渠の水位差を+15.110 - (+14.400)=0.71 mとした。

(試運転時における実測値では、約560 mmとなっており、活性炭の均等係数に配慮した効果がでているものと考えられる)

この例のように、開放型サイフォン・フィルターの構造にすると濾過水渠の堰板のレベルを調整することにより、初期損失水頭が大きい場合でも、濾層内に負圧を発生させることなく、しかも、濾過池入口、出口における総損失水頭を小さく設計することが可能となる。

5. 生物処理施設(生物接触濾過池)としての実施例

生物接触濾過池は、充填材として多孔質性のセラミックや合成樹脂などを使用し、微生物を付着繁殖させ原水を接触濾過することにより、アンモニア性窒素や溶存マンガン等を生物処理するもので、今後の処理法として発展が望まれるものである。

本装置の規模が小さい場合は構造を鋼板製とするが、大規模となると躯体を鉄筋コンクリートとした開放型サイフォン・フィルターの構造が有利となる。(第6図)

次に本方式の特長を述べる。

特長

- (1) 他の生物処理方式(ハニコム方式、回転円板方式)に比べて接触除去効率がよく、設備がコンパクトになり建設費が安い。
- (2) 原水中に酸素が不足する場合には、空気を吹き込み容易に酸素を補給できる。

$$h = \frac{200 \times 10^{-3} \times 2.2 \times 2.78 \times 10^{-3}}{10^3 \times 9.8 \times 0.5^2 \times (1.0 \times 10^{-3})^2} \times \frac{(1-0.55)^2}{0.55^3} = 0.607 \text{ [m]} \rightarrow 610 \text{ mm}$$

(2) 支持砂利層による通水損失

砂利層の構成は、最下層が粒径12~20 mm, 第2層7~12 mm, 第3層4~7 mm, 最上部2~4 mmを各々50 mm厚さ敷き、計200 mmの標準的値としている。損失水頭の式は上記レバの式によるが、損失水頭については、粒径が濾材に比べて大きく、損失は粒径の二乗に反比例する。また、層厚も小さいため無視できる。

(3) 集水装置(レオポルド・ブロック)による損失水頭

$$hc = \frac{1}{2g} \left(\frac{v}{c\beta} \right)^2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{2.78 \times 10^{-3}}{0.65 \times 0.014} \right)^2 = 0.0047 \text{ [m]} \rightarrow \text{無視可能}$$

C; 流量係数 = 0.65
β; 集水装置の開孔比 = 1.46 %

以上のように通水時の圧力損失水頭は、活性炭層による損失が大部分を占めることになるが、この推定計算により

- (3) 汙過型式のため他の方式と比べて、運転維持費が少なく管理が容易となる。
- (4) 汙材に比表面積の大きい粒子媒体を用いることで、多量の微生物を付着保持でき、その結果、負荷変動に対し高い安定性を示し、他の生物処理法と比べて良好な処理水が得られる。

6. 下部集水装置 A/W 式レオポルドブロックについて

前述した砂汙過池、活性炭汙過池及び生物接触汙過池等すべて下部集水装置には、当社製の A/W 式レオポルドブロックが採用されている。

A/W 式レオポルドブロックは、アメリカ・レオポルド社の基本技術を基に、当社が技術提携をしたのを機会に、当社の蓄積した技術と経験を加えて、わが国の実状に合った急速汙過池の集水装置として完成させたものである。

従来から、市場に有孔ブロックとして多数採用されているものに比べて、主なる改良点としては、汙過・洗浄の均等性の向上、通水時の損失水頭の低下、材質の改善、運搬取扱いの容易性、現場据え付けの簡易化、さらには、大きな特長である空気と水の併用洗浄が可能となった点である。

6.1 A/W 式レオポルドブロックの構造

A/W 式レオポルドブロックは、送水室と分散室に区分された二段構造となっており、その均圧効果により汙過室全面にわたって逆洗時の噴出流量の均等性を大きく向上させている。自動逆洗型ブロックは、特に逆洗ポンプを用いず装置内部の洗浄用水で逆洗する自動汙過池に適用しやすくするため、損失水頭を極めて小さくさせている。

自動逆洗型の 1 ブロック 本体寸法は、270 mm^W × 370 mm^H × 940 mm^L である。(第 7 図)

送水室の断面は、逆洗時の水や空気の流速を低くおさえるため十分な大きさになっている。送水室と分散室の間には傾斜した支切壁があり、水オリフィスと 2 段の空気オリフィスによって連通しており、さらに、ブロックの上部表面には小さい間隔であけられた多数の噴出オリフィスがある。

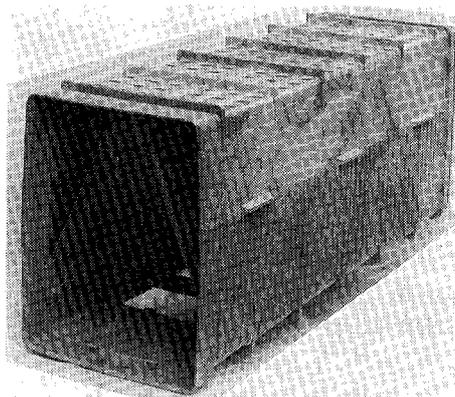


写真 3 A/W 式レオポルドブロック
Photo. 3 Type A/W Leopold block

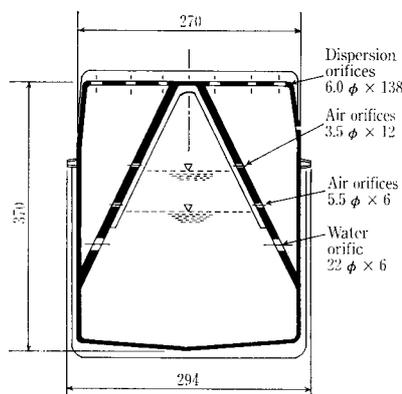
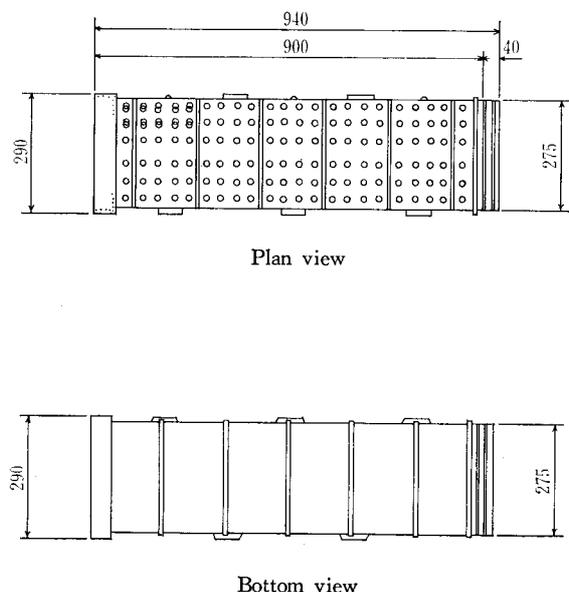
り、空気・水が全面から均等に噴出する。特に、空気は送水室の上部形状が三角形状になっており、ここに空気層が形成されて空気洗浄時の均等分配が可能となる。また、上端には小孔径の空気吹き用オリフィスがあり、汙過時の空気留りを防いでいる。

A/W 式レオポルドブロックは、耐水性にすぐれ完全な耐摩耗性を有する低圧ポリエチレン製であり、平滑な表面と精密なオリフィス孔を持っている。各ブロックは、汙過池の長さに応じて必要数が接合される。接合は作業の容易なメカニカルジョイントで行い、各接合個所は 2° 以下の屈曲が生じて、空気や水の洩れは完全に防止される。

6.2 設計強度

取付けられた集水装置は、逆洗時 0.3 kg/cm²、または最大逆洗流速での圧力の 2 倍以上の内部圧力に基づいて設計してある。荷重条件は、0.7 kg/cm² 以上で行っており、空気洗浄の初期及び後期に起る動圧に対しても十分な安全係数を加味している。また、船積み、運搬、据え付け時に対する強度は全く問題ない。

A/W 式レオポルドブロックの製品特性は次の通りである。



第 7 図 A/W 式レオポルドブロック寸法図
Fig. 7 Air/Water filter underdrain (Leopold block)

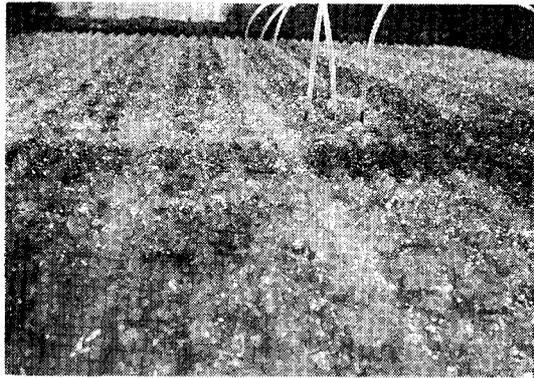


写真 4 水逆洗の均等性
Photo. 4 Water backwash only



写真 5 空気と水の同時逆洗
Photo. 5 Air and water backwash

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| (1) ブロック上面での耐圧力 | |
| 集中荷重 | 230~450 kg |
| 等分布荷重 | 1.8~2.5 kg/cm ² |
| (2) 抗張力 | 2.8 kg/cm ² |
| (3) 衝撃強度 (アイゾット試験) | 4.2 kg-cm/cm |
| (4) 曲げ強度 | 6 300~7 700 kg/cm ² |
| (5) 溶解試験 (試験方法は J I S K 6762 による) | |
| 濁度 | 0.5 度以下 |
| 色度 | 1 度以下 |
| 過マンガン酸カリウム消費量 | 1.1 mg/l |
| 残留塩素の減量 | 0.1 mg/l 以下 |
| 臭い及び味 | 異状なし |

6. 3 A/W式レオポルドブロックの洗浄効果

写真 4 は水逆洗による状態を示し、写真 5 は空気・水の同時洗浄状態を示す。

A/W 式レオポルドブロックは、特殊断面構造により送水室の上部に空気層が構成され、空気流速の大小(0.3~1.4 m/min 一般には 0.8~1.2 m/min) に拘らず、均等な空気単独洗浄あるいは空気・水の同時洗浄が行える。

一般の空気洗浄装置としてのストレーナーや多孔管方式などでは、噴出口の間隔が大きくなり、そのため「デッドスペース」が生じ、汚材の汚染が進行したり、噴出時の圧力変化により空気爆破が発生し、支持床の乱れを起こす原因ともなる。

A/W 式レオポルドブロックは、送水室から分散室へは空気調節オリフィスで空気量と圧力を調整した上、ブロック上部の全面に設けられた多数の噴出オリフィスから空気を均等に噴出させるので、「デッドスペース」や「空気爆

破」は起こらず、安定した空気洗浄ができる。また、上面の噴出オリフィスは二重形状をしており、たとえ噴出オリフィスの真上に砂利が乗った場合でも、閉塞されることなく両サイドより水、空気は噴出する構造となっている。

空気洗浄方式は、表面洗浄方式と比べて活性炭汚過池や生物接触汚過池、その他三次処理用の複層、深層汚過池等に採用した場合、空気の強力な汚材攪拌力により、粘着性のある汚材付着汚泥であっても確実に剥離粉碎され、汚層深部まで効果的に洗浄が行える。また、汚層内への空気の流入は、腐敗や嫌気状の雰囲気改善できる等のメリットも大きい。

1990年版の「水道施設設計指針・解説」では、活性炭汚過処理および生物接触汚過処理の項はもちろんのこと、急速汚過池(砂汚過池)の項目にも、洗浄方式として正式に空気洗浄方式が記載されたこともあり、今後は、ますます本方式が数多く採用されるものと考えられる。

む す び

上水道におけるテーマは、水の安全性とよりおいしい水の供給となっている。このため、高度処理施設の導入が検討され、一部すでに実施されている状況である。

開放型サイフォン・フィルターは、時代の要請に合致したユニークな汚過装置である。汚過、洗浄機能の効率化と安定化、設備全体のコンパクト化、付属機器の簡略化による設備費の低廉化など幾多のすぐれた点を発揮させ、数千 m³/日 の小規模から数十万 m³/日 の大規模まで砂汚過池として浄水設備の中に採用され、また活性炭処理、生物処理としての汚過装置としても、今後は多く採用されるものと考えられる。

バグ フィルター

Bag Filter



(気)生産部 技術第1課
川 潤 啓 司
Keiji Kawabuchi

Bag Filters have recently been received particular attention, since the problems of global atmospheric protection, dioxine and so on are highlighted.

Shinko Pantec, having so far handled Ion Scrubbers and Air Washers as wet type dust collectors, has recently commenced the sale of Bag Filters, dry type dust collectors, too.

Thus the dust collectors are available in two types, wet and dry, and now we can offer either type, depending upon the applications.

This paper attempts to describe the outline of Bag Filters.

まえがき

集塵は、各種産業の生産性の合理化、作業環境の改善に欠かせないものである。集塵装置の中で、バグフィルターは取扱いも簡単で、適切な運転条件下で集塵効率も高いため、最も普及している。また、地球環境保全の問題、ダイオキシンの問題などで最近特に注目されている。

当社は、このたび乾式集塵機であるバグフィルターの販売を開始した。湿式集塵機としては従来よりイオンスクラパー、エア・ワッシャーを保有しており、これにより、乾式及び湿式の両タイプの集塵機が揃い、用途に応じた提供が可能となった。

本稿では、このバグフィルターの概要とミスト除去を目的とするパイプフィルターの概要を紹介する。

1. バグフィルターの捕集機構¹⁾

バグフィルターは、袋状に作った汙布の表面で気体のダストを分離捕集する装置である。汙布による粒子(ダスト)の初期捕集機構は、織布と不織布では若干異なる。織布では、織組織の目開きにダスト粒子が付着し架橋することによってダスト層が形成される。このようにして形成された1次ダスト層は曲折した多数の細孔を持ち、この細孔により微細な粒子の捕集が行われ集塵効率上昇する。不織布では、繊維(棒状)に粒子が付着しダスト層が成長していくが、汙布内部へ粒子が侵入していく内部汙過の傾向がある。従って、いずれも初期には、粒子に対して慣性衝突、拡散、さえぎりの捕集作用が働くと考えられている。

2. 装置の概要

装置の吸入口より入った含塵ガスは、まずバフフルプレートにより各汙布に理想的に分散される。バフフルプレートは衝突型集塵機として働くため、粗いダストはここでホッパー内に直接落下する。ケーシング部に至った含塵ガスは汙布の外表面または内面で汙過され、清浄ガスとなり機外へ排出される。捕集されたダストは定期的に払い落としを受け、下部のスクリーコンベア、ロータリーバルブにより機外へ排出される。

2.1 装置の種類

当社のバグフィルターは、SMD, SK, S J P T, S

J Pの4機種を備えており、用途に応じた使用が可能である。それぞれの装置の概要を次に説明する。

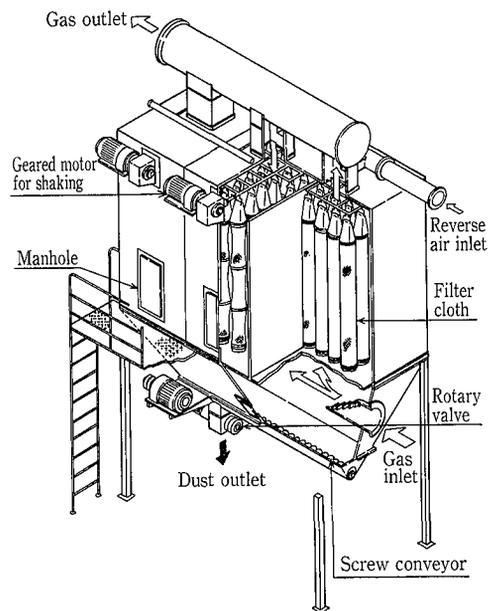
2.1.1 SMD型

SMD型は第1図に示されるように、2室以上の多室構造となっており、自動制御により運転中に順次ダストの払い落としを行う構造となっている。ダストの払い落としは、逆洗とシェーキングを併用して行うため、短時間で完全な払い落としが可能であり、高含塵ガスに適しており、また、湿分の多いダストや剝離性の悪いダストも完全に払い落とすことが可能である。

2.1.2 SK型

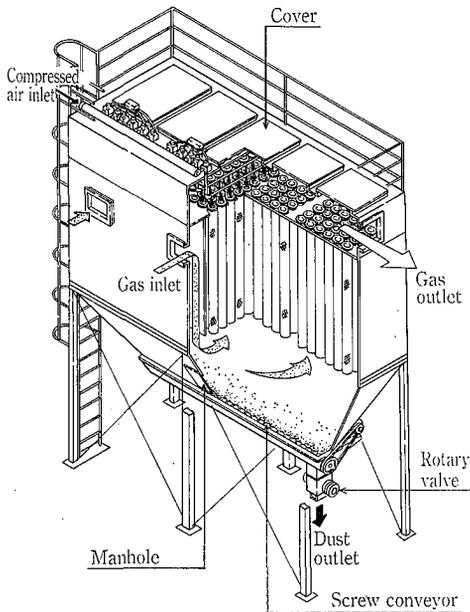
SK型は、SMD型とほぼ同じ構造であるが、自動制御による排気・逆洗ダンパーの開閉により逆洗を与え、汙布付着ダストの払い落としを行う構造となっている。

含塵量の低いガスや、剝離性のよいダストの捕集に適し



第1図 SMD型の構造図

Fig. 1 Construction diagram of SMD type



第2図 SJPT型の構造図
Fig. 2 Construction diagram of SJPT type

ている。また、構造が簡単で、ランニングコストも低いため、大容量タイプとして適している。

2. 1. 3 SJPT型

SJPT型は、第2図に示されるような構造であり、天井部のカバーを開けて濾布交換ができるトップインサートタイプとなっており、ケーシング内部でのメンテナンス作業が不要となっている。濾過布としてフェルト（不織布）を使用しており、濾布付着ダストによる濾過と、濾布自体の濾過の相乗効果により、粗いダストから微粒子ダストまで高い集塵効率を得られる。ダストの払い落しは、電子制御によるコンプレッサエアを使用したパルスジェット方式を採用している。濾過速度は1.5~3.0 m/minで、連続運転での風量変動もない。

2. 1. 4 SJP型

SJP型は、SJPT型とほぼ同じ構造であるが、濾布交換はケーシング内部より行うため、装置上のスペースは必要とない。ダストの払い落しは、パルスジェット方式を採用している。

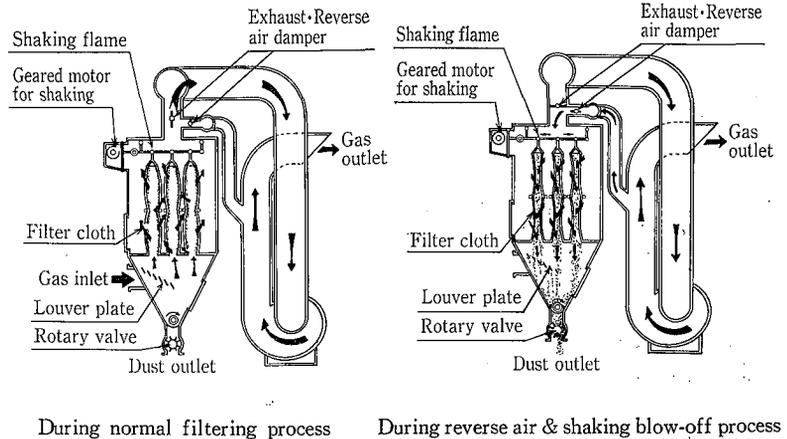
2. 2 払い落とし方法

2. 2. 1 逆洗・シェーキング併用法

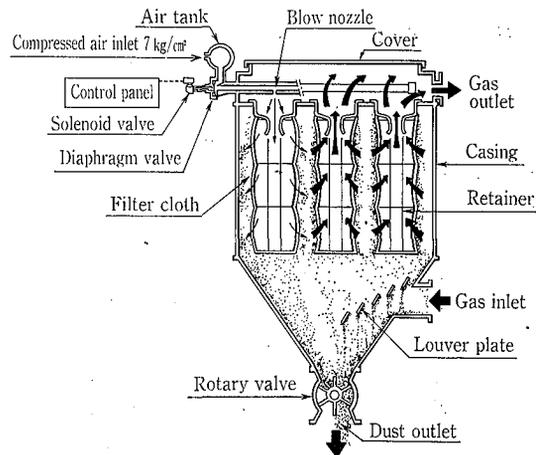
第3図に示されるように、逆洗は、排気ダンパーを閉にして濾過を停止させ、逆圧ダンパーを開き、逆圧気流を流入させることにより付着ダストに離脱作用を与える。逆洗と同時にギヤードモータによるクランク機構により、濾布上部に横振動を与え付着ダストの払い落しを完全に行う。

2. 2. 2 ジェットパルス

SJPT型とSJP型に採用されている方法で、第4図に示されるように、各濾布の上部に設けられた噴出ノズルよりコンプレッサエア（7 kg/cm²）を1分程度の周期で瞬時（0.1秒程度）濾布内部へ噴射させると、ベンチュリー効果により噴射コンプレッサエアの数倍の2次空気を導入させ、濾布外面の付着ダストの払い落しを完全に行う。濾布1列毎に順次連続に行い、1列当りの払い落とし時



第3図 SMD型の作動図
Fig. 3 Construction and operating diagram of SMD type



第4図 SJPT型の作動図
Fig. 4 Construction and operating diagram of SJPT type

間は0.1秒以内で、濾過停止時間が少なく圧力損失の変動もごくわずかである。

2. 3 型式別の分類

第1表に各型式別の濾布の種類、運転条件、特長などの一覧を示す。

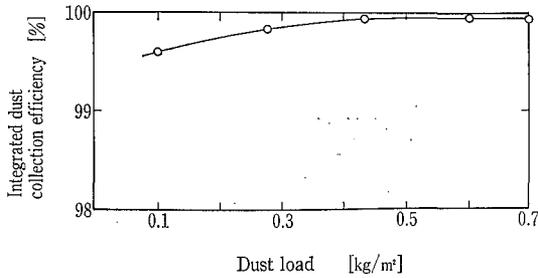
3. 特長

3. 1 集塵効率

集塵効率は新しい濾布に対しては理論的考察は可能であるが、実用的には堆積粉体層による濾過が支配的になり、解析は難しい。

ダストが堆積するにつれて、濾過層は厚くなり、集塵効率は高くなる。第5図に亜鉛華を使用した場合の集塵効率を示す。

本装置では、一般的に99.9%以上の集塵効率であり、捕集粒子も0.1 μmの微粒子まで可能である。また、人口濃度に関係なく、出口は0.05 g/m³の保証が可能である。



第5図 ダスト負荷と集塵効率の関係
Fig. 5 Relationship between dust load and dust collection efficiency

3. 2 圧力損失

濾過理論によると²⁾, 圧力損失は次の式で示される。

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_o + \Delta P_d \\ &= K \frac{\mu \cdot u}{g_c} + \alpha \cdot m \frac{\mu \cdot u}{g_c} \\ &= (K + \alpha \cdot m) \frac{\mu \cdot u}{g_c} \end{aligned}$$

ΔP : 濾布及び堆積粉塵による全濾過抵抗 (mmAq=kg/m²)

K: 濾布の抵抗係数 (1/m)

μ : 気体の静粘性係数 (kg/m²·sec)

u: 見掛け濾過速度 (m/sec)

α : 堆積ダストの比抵抗 (m/kg)

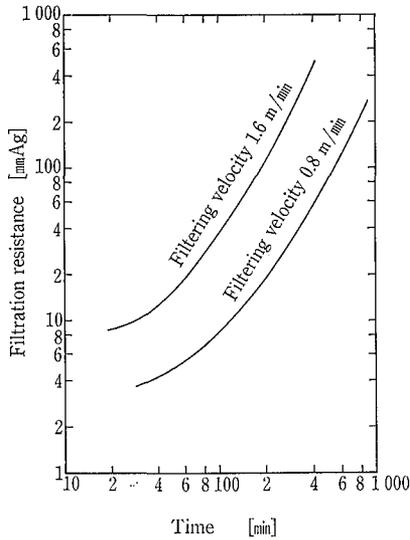
m: ダスト負荷 (kg/m²)

g_c : 重力換算係数 (kg·m/kg·sec²)

第1項は濾布のみによる抵抗を示し, 第2項は濾布堆積ダストの抵抗を示す。第1項のKは濾布の材料, 織り方により多少の差はあるが, だいたい10⁷程度で, $\alpha \cdot m$ は実験的に求められる係数で10⁸ないし10⁹位である。通常のバッグフィルターに使用されている濾布と見掛け濾過速度の範囲では, 濾布自体の抵抗はほとんど無視することができ, 全濾過抵抗はダスト層における抵抗に等しいと見なすことができる。

第1表 バッグフィルターの分類
Table 1 Classification of Bag Filter

Type	Blow-off system	Filter cloth		Filtering side	Filtering velocity (m/min)	Gas temperature (°C)	Features & Application
		Type of fabric	Material				
SMD	Reverse air flow & shaking combination type	Woven fabric	Synthetic fiber	Inner side	0.6~1.3	~190 (Heat resistant nylon)	<ul style="list-style-type: none"> A wide range of applications from very sticky dust to high dust laden gas Blow-off is completely achieved by means of both reverse air flow and shaking off mechanisms
SK	Reverse air flow type	Woven fabric	Synthetic fiber	Inner side	0.6~1.2	~190 (Heat resistant nylon)	<ul style="list-style-type: none"> Suitable for easily removable dust and low dust laden gas in large capacity operations Simple construction
			Glass fiber		0.3~1	~250	
SJPT SJP	Pulse jet type	Felt (Nonwoven fabric)	Synthetic fiber	Outer side	1~3	~190 (Heat resistant nylon)	<ul style="list-style-type: none"> Applicable for very sticky dust and wide range of particle size and quantity of dust laden gas High filtering velocity and minimized space for installation
			Glass fiber		0.5~1.2	~250		Applicable for gas of high temperature from coal firing boiler, wastes incinerator, etc



第6図 濾過経過時間と濾過抵抗の関係

Fig. 6 Relationship between filtration time and filtration resistance

$$\Delta P = \Delta P_d = \alpha \cdot m \frac{\mu \cdot u}{g_c}$$

本装置の圧力損失は, 濾布の種類, 付着ダストの種類, ダスト払い落しの周期, 通過ガスの速度等により異なるが, 80~200 mmAq 程度となっている。

第6図にセメントダスト量が5g/m³のガスを濾過した場合の, 濾過時間と濾過抵抗 ΔP との関係を示す。

4. 濾布の種類及び特性

バッグフィルターとしては, 低い濾過抵抗で使用することがあらゆる点で望ましいが, ダスト特性や使用条件により, それぞれに適した濾布を選定する必要がある。処理されるダスト及びガス組成に耐えること, 払い落としに際して離脱性の良いこと, ダストとの摩耗に強いこと, 処理ガス温度に充分耐えること, 集塵効率の良好なこと, 濾材自体の強度が優れていることが選定の基準となる。第2表に濾布の種類及びその特性を示す。

5. 標準仕様

SMD型, S J P T型の標準仕様を第3表に示す。

第 2 表 汙過布の種類及びその特性

Table 2 Types and characteristics of filter cloth

	Polyamide-base fiber			Polyester-base fiber	Polyolefin-base fiber	Polyfluoroethylene base fiber	Inorganic fiber
	Nylon 6	Nylon 66	Heat resistant nylon	Tetron	Pylene	Teflon	Glass
Specific gravity	1.14	1.14	1.38	1.38	0.91	2.1~2.2	2.55
Max. wkg. temp.	100 °C	120 °C	204 °C	120 °C	90 °C	250 °C	250 °C
Resistance to ware	◎	◎	○~◎	◎	○	△	×
Resistance to dry heat	△	○	◎	○	△	◎	◎
Resistance to wet heat	△	○	○~◎	△	△	◎	◎
Resistance to inorganic acid	○	○	○	◎	◎	◎	○
Resistance to organic acid	△	△	△	◎	◎	◎	△
Resistance to alkali	◎	◎	◎	○	◎	◎	△
Resistance to oxidizer	△	△	△	◎	◎	◎	△
Resistance to solvent	△	△	△	○	◎	◎	△
Types of raw thread	S F	F	S F	S F	S F	F	S F

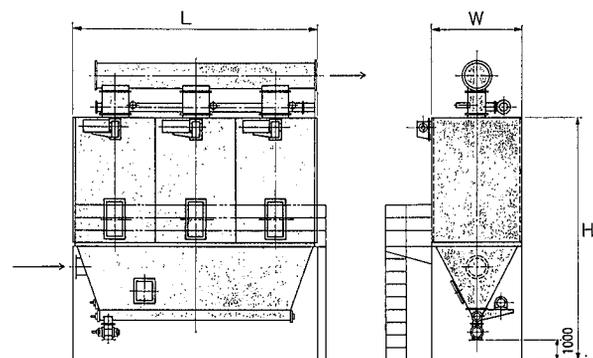
◎ Good ○ Relatively good △ Normal × Bad

第 3 表 SMD, SJPT 型の標準仕様

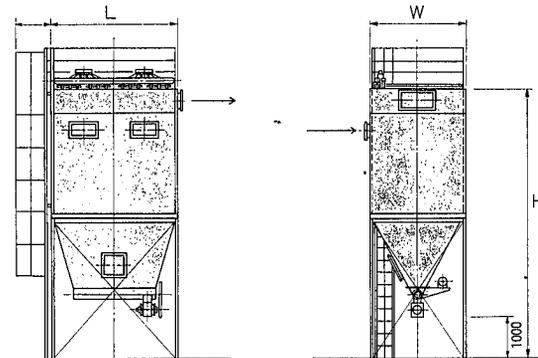
Table 3 Standard specifications of SMD and SJPT type

Model	SD5	SD10	SD15	SD20	SD25	SD27	
Filtering area (m ²)	106	177	320	592	977	1 140	
No. of chambers	2	3	4	6	7		
Dimensions of filter cloth (mm)	φ 145 × 3 270L						
No. of filter cloth (P)	72	120	216	400	660	770	
Approximate dimensions (mm)	L	2 290	3 436	5 719	9 145	13 718	16 004
	W	2 030	2 220	2 030	2 220	2 410	2 410
	H	7 136	6 936	6 786	6 936	7 136	7 136

Model	ST5	ST10	ST14	ST55	ST60	ST64	
Filtering area (m ²)	58	202	347	72	251	431	
Dimensions of filter cloth (mm)	φ 142 × 2 440L			φ 142 × 3 000L			
No. of filter cloth (P)	54	189	324	54	189	324	
Required compressed air (N ₂ lit/min)	126	441	756	171	599	1 026	
Approximate dimensions (mm)	L	1 600	5 300	8 900	1 600	5 300	8 900
	W	2 400					
	H	6 350	6 700	6 750	6 900	7 250	7 300



[SMD Type]



[SJPT Type]

6. 適用分野

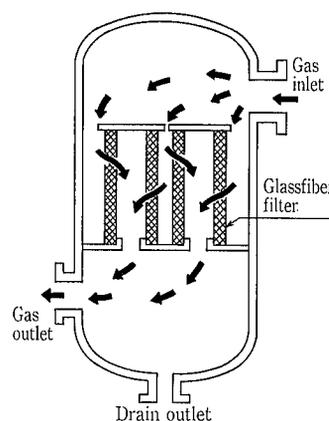
現在、バグフィルターは製造プロセス用、環境保全用としてあらゆる分野に使用されている。主な適用分野は次のような分野である。

- (1) 鉄鋼, 非鉄金属
- (2) 機械, 鋳造
- (3) セメント, 鉱石, 石炭, ガラス, カーボン等
- (4) 肥料
- (5) 樹脂, 薬品, 化学
- (6) 製紙, 合板, 木材
- (7) 食品, 飼料, 穀類
- (8) 都市ゴミ, し尿処理プラント
- (9) 電力, ガス

7. パイプフィルター

ミストとは蒸気の凝縮や液体の噴霧などにより形成される粒子径0.01 μm~10 μm程度の範囲の粒子で、このミストがプロセスに混入してトラブルを起したり、大気汚染の原因となっており、その除去は重要な課題となっている。

パイプフィルターは、これらのミストを効果的に除去す



第 7 図
パイプフィルターの構造図
Fig. 7
Construction diagram of Pipe Filter

るために開発された装置で、独自の高性能ガラス繊維深層フィルターを使い、あらゆる分野に適用できるようにしたものである。

7.1 構造, 原理

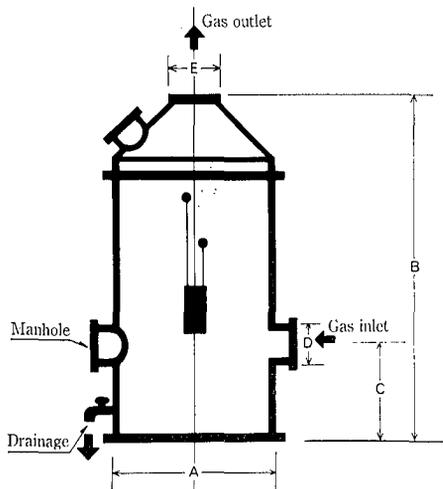
7.1.1 構造

第 7 図に示すように、ミストを含むガスは円筒状のエレ

第 4 表 パイプフィルターの標準仕様
Table 4 Standard specification of Pipe Filter

Type	Treatment capacity [m ³ /min]	Approximate dimensions [mm]				
		A	B	C	D	E
GF-10	10	φ600	3 700	500	φ200	φ200
GF-48	50	1 250	4 600	700	400	400
GF-112	110	2 200	4 000	800	600	600
GF-216	210	2 600	5 300	900	800	800

Large-sized types (~2 000 m³/min) are also standardized



メントのガラス繊維層を通り、放射状に外面から内面へ向かって沝過され、沝過されたガスは上部（または下部）へ抜ける。捕集されたミスト及び固体粒子はガラス繊維層を伝い落下し、ドレンとして排出される。ガラス繊維層に捕集された固体粒子（ダスト）の内、可溶性ダストは溶解して滴下し、不溶性ダストの内 1 μm 程度のものは凝集液と共にガラス繊維層を通じて流れ落ちる。これにより、ガラス繊維層自体にセルフクリーニング作用が働き目詰まりを防いでいる。

7. 1. 2 原理

パイプフィルターの捕集効果には、気体中にガラス繊維があることから、主に慣性衝突効果、拡散効果、さえぎり効果の 3 つの効果働く。(第 8 図)

1) 慣性衝突効果

液体が繊維に近づくと、その経路が曲げられ、粒子は流速及び質量が大きいかほどその慣性力により、障害物である繊維に衝突捕集される。

2) 拡散効果

粒子の質量が無視でき、流速が低いほど、粒子は慣性の影響を受けることなくブラウン運動をするので、流体の流線に沿った均質な運動は行わず、不規則に移動し、障害物である繊維に付着捕集される。

3) さえぎり（接触）効果

慣性、拡散の影響に左右されない範囲においては、粒子の中心は流体の流線と共に移動し、その中心が繊維表面から粒子半径以内に近づけば、繊維に接触捕集される。

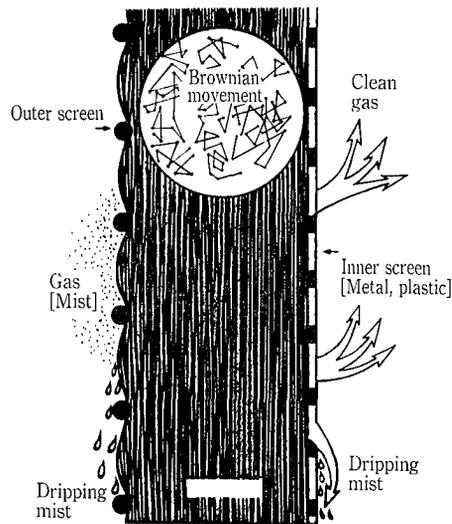
7. 2 特長

1) 捕集効率

ガラス繊維径、厚み、充填密度、沝過速度、沝過対象物によって異なるが、ガス中の各種ミスト及びガム状物質などを除去する場合は、95~100%の効率を得られる。

2) 圧力損失

標準設計の圧力損失は 50~250 mmAq になるよう設計される。ガラス繊維層に捕集されたミストは、凝集して、セルフクリーニング作用が働き自動的に流下排出されるため、目詰まりによる圧力損失の上昇は少なく、運転は安定している。



第 8 図
ミスト捕集の原理
Fig. 8
Principle of trapping mist

3) 耐熱・耐薬品性、寿命

フィルターはガラス繊維のみで構成されており、耐熱性に優れ、強アルカリ、フッ化水素以外の薬品に対し安定しており、腐食ガスを含むミスト除去に対して長い寿命を維持する。不溶性ダストが混在する場合は、前処理でダストを除去する必要があるが、1 μm 程度の微細なダストは廃液と共に滴下する。また、フィルターの取り替えは容易である。

7. 3 標準仕様

第 4 表に標準仕様を示す。

7. 4 適用分野

- ・化学工場で発生する各種酸ミストの除去・回収
- ・圧縮ガスの精製
- ・塩化ビニール加工工場の排気処理
- ・ゴム加工工場の排気処理
- ・合板工場の排気処理
- ・金属加工、機械工場の排気処理
- ・酸洗工場の排気処理 等

む す び

以上、当社のバグフィルターの種類、構造、特長を紹介した。今後とも、環境保全に対するニーズがますます増加すると考えられ、本稿が、ユーザ各位がバグフィルターを選定される際のご参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 日本粉体工業協会編：バグフィルターハンドブック，(1977)，産業技術センター
- 2) 井伊谷鋼一編著：集塵装置(新版)，(1971)，日刊工業新聞社

省エネの高効率攪拌翼——

重合リアクターにも自信

Energy saving Fullzone Agitator also demonstrates efficient performance in polymerizing reactor

化学工業の最先端で活躍する総合テクノロジー。神鋼パンテックは、高度化する化学反応プロセスに対応した化学製造関連機器装置の開発に力を入れている。化学プロセスには不可欠な耐食ライニングであるグラスライニング（GL）製装置では、多様化する使用用途に応じた耐食性、耐摩耗性、耐アルカリ性などの向上を図った各種ライニングガラスをラインアップする一方、高効率攪拌翼、内部ジャケット式リアクターなどを開発、化学工業の発展を支えるプラントエンジニアリングの分野で大きく貢献している。

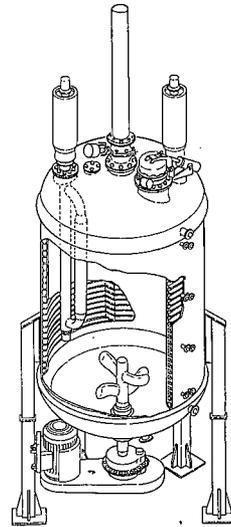
同社は、さまざまな角度から生産効率の向上、高品質生産を実現するケミカルプロセス装置の開発に取り組んでいる。その代表格の一つが高効率攪拌翼「フルゾーン」。2枚の大型パドル翼（平板状の翼）を上下に立体的に組み合わせた独特な形状をした攪拌翼で、1センチポイズから10万センチポイズまでの極めて広範囲な粘度領域で効率よく均一に混合する。回転の低速化が図れ、従来翼に比べ半分以下の消費電力ですみ、しかも局所せん断による内容物の過剰分散、結晶破壊、乳化破壊などを防止する。ステンレス鋼製のほかGL製もあり、用途に合わせた選択が可能。

また耐食金属製重合装置（リアクター）は、同社の主力製品として見逃せない。熱伝導効率に優れた内部ジャケットを採用、電解研磨、攪拌技術など同社の技術をフルに活用した塩化ビニル重合プロセス向けリアクターは、平成2年度化学工学会・技術賞を受賞した。さらに10万ポイズの超高粘度物質の脱揮、脱溶剤を可能にした高粘度液用薄膜蒸発機「エクセバ」をはじめとする各種分離精製機器、GMP対応遠心分離機、粉体関連装置など豊富な品揃えを行っている。

このほかには、多様化する耐食ライニングに対応するため、「耐摩耗性結晶化ガラス8500」（耐摩耗性3倍、耐衝撃性7倍、熱伝導率20%向上）や「耐アルカリ性ガラス4300」、「耐付着性ガラスAg処理」などライニングガラスを開発した。

同社は現在、神戸市西区に「技術研究所」を建設しているほか、播磨工場での生産体制の強化拡充を進めている。これをテコに、これまで構築してきた研究開発力、生産技術力にさらに磨きをかけ、化学工業の発展を担う化工機メーカーとしての地位をより強固なものにする。

（'91.11.02 化学工業日報）



内部ジャケット式の高効率重合反応装置の立体構造図
Perspective view of inner jacketed high efficient polymerizing reactor

タイに大型冷却塔設備——

納入価格は約10億円

Sales amount of large scale cooling tower facilities for Thailand totaled 1 billion yen

プラント機器メーカー、神鋼パンテックは、タイ国電力庁のマエモ発電所に世界最大級の大型冷却塔設備を納入した。

今回、納入したタービンコンデンサー用の冷却塔設備は、冷却水量毎時32760立方メートルの能力をもつ冷却塔2基をはじめ、循環水用ポンプ、配管などのほか現地施工指導を含むもので、納入価格は約10億円。

マエモ発電所は、タイ国北部のランバン郊外にある世界最大規模の石炭火力発電所。据え付け工事は6月に終了、試験運転が終わる今月上旬にも引き渡す予定。

同社は、工業用冷却塔のトップメーカーで、国内外にすでに約5000基を納入している。今後、タイ、インドネシアなど東南アジア、中近東への受注拡大に力を入れていく方針。

（'91.11.7 日本工業新聞）

電気浸透式の加圧脱水機浄水場向け販売攻勢

——テストヤードも設置

Targetting on municipal water purification plant, test machine was installed on our factory site to meet customer's demand

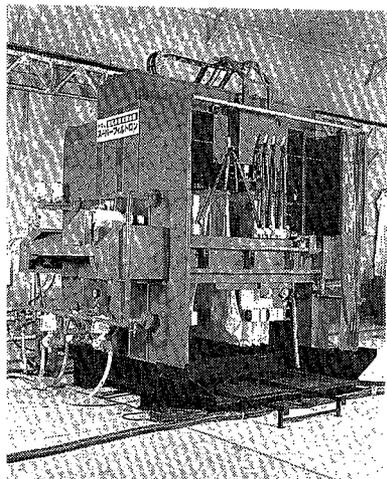
神鋼パンテックは電気浸透式の加圧脱水機の本格的な普及活動に乗り出す。フィルタプレスタイプの加圧脱水操作と電極板による電気浸透操作を組み合わせたシステムで、無薬注で含水率60%以下の脱水ケーキを得られる。これまで、東レ・千葉工場や兵庫県阪神水道企業団・甲山浄水場など4件の納入実績を有し、良好に稼働している。これを受けて、汚泥脱水テスト機を本社工場（神戸市中央区）内にあるテストヤードに設置、実証試験を実施できる体制を確立した。汚泥脱水のほか、固液分離やケーキ洗浄などといった生産プロセスへの適用も期待できるとして積極的な受注攻勢をかける考えだ。

同社が開発した電気浸透式の加圧脱水装置は商品名「スーパーフィルトロン」でフィルタプレスの汚室に電極板を設けたもの。通常のフィルタプレスによる加圧脱水処理に加え、直流電流を印加し陰極側にしみ出る電気浸透現象を組み合わせた。これは汚泥が有するゼータ電位（界面導電位）を利用して毛細管中を移動させるもの。従来のフィルタプレスやベルトプレスでは取り切れなかった毛細管状態中の水を、直接引き抜けることから、 20 kg/cm^2 といった高圧圧搾力を必要とせず、コンパクトで低コストな脱水システムを実現できる。同社では当面、更新期を迎えた浄水施設分野をターゲットに据えて年間5台を目標に営業展開を図る。

すでに、東レ・千葉工場向け（1m角、24室）、東北電力・新仙台火力発電所（1m角、20室）、住宅都市整備公団・平塚高村団地（1m角、14室）、阪神水道企業団・甲山浄水場（1.5m角、70室×2基）の4件の実績を有する。

同社・本社工場にテストヤードを設け、ユーザー試験を実施している。小型機（600mm角、4室）と中型機（1m角、4室）の2タイプで、約 4 kg/cm^2 程度の圧搾力で約40V（汚過面積 1 m^2 あたり10A）の直流電流を使用する。無薬注で、ケーキは60%以下の脱水能力を有する。

（'91.12.12 化学工業日報）



電気浸透式加圧脱水機
Compressive Electro-
Osmotic Dehydrator

タンクコンテナ

高品質で実績豊富大型タイプ投入も

High quality and abundant experience in versatile use, our tank containers are widely employed in Japan larger type will soon be released

神鋼パンテックは、タンクコンテナ（TC）事業に注力する。来春には播磨工場（兵庫県加古郡播磨町）にTC製造専用ラインを新設、生産の効率化、品質向上を図る一方、ISO（国際標準化機構）の規格に基づくあらゆる内容物、用途に対応したTCの品揃えを強化する。TCは液体、液化ガスの効率的な陸海一貫輸送手段として今後もさらに需要の拡大が期待されている。同社は国内最大手のTCメーカーで、豊富なラインアップで不可欠な国内外関係基準法規に合致した設計からメンテナンスにいたるトータルテクニカルサービスにも高い実績をもち、意欲的な事業展開を推進している。

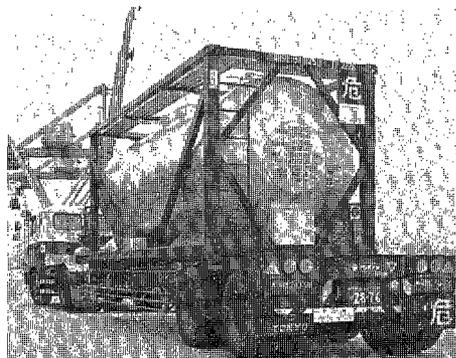
同社は現在、「IMOタイプⅠ」（高危険物用・下部排出型/上部排出型）を主力に「同タイプⅡ」（低危険物用）、「同タイプⅤ」（常温液化ガス用）や加熱装置を備えたTC、特殊（耐食）ライニングTCといった幅広い用途、内容物に適応したタンクコンテナを生産している。74年にドイツのWEW社と技術提携、化学プラント、機器製造で培った製造、耐食ライニング技術を活かしTCの生産を開始、国内最大手メーカーとして揺るぎない地位を築いている。納入実績もこれまでに900台を超える。

最大の長は、バラエティに富む品揃えに加え、設計を含めTC運用に必要なノウハウが充実していること。とくにTC関連の法規、規格に精通していることには定評がある。CSCなど一般海上コンテナ関係法規からIMDG CODE, 49CFR, FRA, AAR, CTCや国内危険物運輸関係といった法規、規格を使用用途に応じて迅速かつ的確に取得する万全な体制にある。また定期点検、メンテナンスなどのサービス体制も充実している。

生産体制では、来春の完成を目指して播磨工場内に専用ラインを建設しており、さらに高品質のTCを効率よく生産する体制が確立することになる。また、来年をめどに新たに最大容量24000ℓのビーム型TCも上市する計画で大容量化にも対応する考え。

タンクコンテナは、船舶、トラック、鉄道と異なる輸送手段に簡単に乗せ替えて目的地まで運ぶ、最も合理的な液体物流容器。国際間流通ではすでに定着、国内でも82年に大型TC（最大容量20000ℓ）が解禁され急速に活用され始めている。

（'91.12.21 化学工業日報）



タンクコンテナ
Tank container