目次

CONTENTS

=特別講演会抄録= 1 流れ学的観点からみた撹拌操作と羽根の開発

〈新製品〉

- 高効率撹拌翼『フルゾーン』の開発 (特許,商標出願中)
- 12 新しい多孔質ガラス『IMMISA-Ⅱ』 -細孔径1~2nmの微細孔を有する-
- 18 地震荷重を受ける脚支持大型反応器の 三次元構造解析
- 22 ロバテル遠心分離機
- 26 グラスの腐食機構
- 31 ^{*} 栽培漁業における水質改善の実証試験 -- 各種沪材構成と沪過精度の関係--
- 38 オゾン処理による中水道の実績紹介
- 42 冷却塔の耐震試験
- 47 社内ニュース

New Impeller Development, and Mixing Technology from a View Point of Fluid Dynamics (Strömungslehre)

The Development of Highly Efficient Mixing Impeller "FULLZONE"

New Porous Glass "IMMISA-II" —pore size ranging from 1 to 2 nm —

3--DStructural Analysis of Large Vertical Vessel with Leg Subjected to Earthquake Loading

ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centrifuge

The Corrosion Mechanism of Glass

Improvement of Water Quality on "Aquaculture" —Water Quality Under Several Filtrations —

Introduction of "Recycling System of Treated Effluent at Kobe City"

Anti-earthquake Tests of Cooling Tower

TOPICS



(写真説明)

PANBICシステムは高濃度有機廃水を、空気を必要としないパクテリア(嫌気性菌) が有機物を有効にメタン(CH₄)と炭酸ガス(CO₂)に分解する、嫌気的な極めて省 エネルギー型の処理システムです。

PANBIC system is an energy-saving biological treatment system for high concentration wastewater in which decomposition of organic matter into methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) is carried out effectively by anaerobic organisms.

——特別講演会抄録——

流れ学的観点からみた撹拌操作と羽根の開発

New Impeller Development and Mixing Technology from a View Point of Fluid Dynamics (Strömungslehre)



 講師:九州大学工学部化学機械工学科 教授 工学博士 村 上 泰 弘
 Prof. Yasuhiro Murakami, Dr. Eng.
 Chemical Engineering, Kyushu University



A genealogy of impellers has been constructed with various conventional and new impellers classified into radial flow type, axial flow type, and mixed flow type. The genealogy suggests some possible directions in new impeller development. Recent studies on mixing fluid dynamics have also been reviewed about impeller flow, droplet dispersion, numerical analysis, and chemical reaction in turbulence. However fluid-dynamic behavior of impellers is not fully understood enough to predict suitable design in new impeller development. At present the development still requires experimental decision of impeller design by the trial-and-error method.

まえがき

1990年8月31日,村上教授を当社にお迎えしてご講演い ただいた。村上教授は現在,化学工学会九州支部長(平成 元年,2年度)および高分子学会反応工学研究会のアセス メントシリーズレポート(12)リアクティブプロセッシング の主査をつとめられ,この分野の第一人者として研究,教 育に尽力されている。今回は永年研究を続けられておられ る撹拌装置の開発に関連して「流れ学的観点からみた撹拌 操作と羽根の開発」の演題にてご講演いただいた。本報は そのご講演内容の抄録である。

1. 放射流, 軸流に基づく羽根の系譜から何が読 めるか

搅拌羽根の仮想の元祖として周方向,軸方向に均等回転 要素を持つ円柱を考える。この円柱の切断方法と切断要素 の加工段階に応じて,現在コマーシャル化されている基本 羽根を系譜的にまとめると第1図のようになる。加工の方 法としては水平型切断,垂直型切断,らせん型切断があ る。水平切断は放射流形式の原型である。垂直切断は槽内 の上から下まで羽根自体の物理的性能によって軸流的な性 能を出すと同時に放射流的な要素も持つ。らせん切断も比



Vol. 35 No. 1 (1991/3)







第4図 羽根の面積比率 Fig. 4 Solidity ratio

較的軸流の要素が大きい。ここでは 系譜図の 各羽根に加 え,これらを組み合わせる既存の多様な羽根を概観し,低 中粘度の撹拌について推論できることを次の5項にまとめ る。

1) 大型パドルの有効性

上記の垂直切断の注目すべき特性は大型パドルの有効性 を示唆する。さらに他形式の問題点からその有効性を補足 する。

放射流および軸流形式の典型的なフローパターンを第2 図に示す。放射流形式では羽根の上下A, Bに二つの循環 流が形成され, 軸流形式ではA, Bを順に通過する単一の 大きな循環流が形成される。昭和40年代中頃のある講演会 で大阪大学の伊藤教授が試算しておられたと記憶するが, 領域Aでの濃度が平衡値の1%に近づく時間を混合時間 t_M とすると, 放射流では t_M が平均循環時間V/Q04.6倍に なるのに対し, 軸流では1.2倍となり軸流が有利である。 しかし実装置では軸流羽根といえども放射流と軸流が混在 し, 槽内全体を効率的に循環するフローパターンの実現は 容易ではない。

小型のパドル系の羽根では、吐出が間次的に停止し流体 が羽根を通り抜けるパスフローの問題がある。長瀬ら¹⁾ に よればパドル羽根の場合,第3図でパスフロー状態b, eの 時間は全体の25%程度になる。小さな羽根が回転して周り の流体を吸引,吐出する時,流れの大きな縮流と拡大があ り大きな圧損が生じる。流体工学的にも小さな羽根では吸 い込みと吐出に無理を生じ,パスフロー発生の恐れが示唆 される。このことからも大型の羽根が有効と考えられる。 2) Solidity ratio の重視

Mixing Equipment 社の第4図に示す solidity ratio は top view solidiity ratio(TVSR)が槽内の循環流に対し



- (a) Discharge pattern, TD
 - (b) Cross pass pattern, TP; ×mark indicates disappearance of a particle from the impeller
 - (c) Asymmetric discharge pattern, UD
 - (d) Mustration of weak discharge pattern, WD (e) Mustration of weak cross-pass pattern, WP

第3図 吐出とパスフローの形態1)

Fig. 3 Various patterns of discharge flow and cross pass flow

て重要であることを示唆する。放射流および軸流的な流 の共存する垂直切断系で今後は演者の見解では side viu solidity ratio (SVSR), すなわち, 垂直断面で羽根の占 る割合および形状が重要視されてくると考えている。 3) Trailing vortex による分散機能

撹拌では循環作用による全体の均一化機能に加えて液 分散,気泡微細化、ミクロ混合などの分散機能も必要で る。循環機能と分散機能の比率を評価し良好なバランス 実現するには、羽根の回転によって生じる trailing vort の挙動を明らかにする必要がある。この問題については 章で解説する。

4) 大型多段羽根と変曲羽根の可能性

新しい撹拌羽根の開発方向の一つに上下大型羽根の組合わせ法を工夫する方向があり、上下の羽根の適当な間と適切な交差配置により槽内全体に行きわたるフローパーンを形成する方法が考えられる。高嶋ら³によれば変羽根の吐出流量は直角羽根に比べて約22%程度増大し(5図)加えて吐出が一様になる。全体の循環には下段を曲羽根とする多段羽根が推奨される。また混合に要する ネルギー(動力P×混合時間θ)を小さくするには羽根

神鋼パンテツク技報

Vol. 35 No. 1 (1991/



Fig. 5 Effect of blade angle on discharge flow³⁾



in a double-impeller tank, H=2D, n=150rpm²⁾

距離を小さくする方がよい²⁾。 第6図に示すように羽根間 距離が大きい時は多数の循環流路ができ,槽上部より注入 したトレーサーが槽下部に達するまでにより多くの時間を 必要とする。第7図に示すように混合エネルギーP・θ は全 流路の循環時間Tにほぼ比例するので、循環流路数の増加 は混合効率の低下をもたらす恐れが強い。

5) 耐付着性への考慮

※ 撹拌羽根の評価として耐付着性が実用的に重要な場合が ある。付着性物質に対しては循環流を増やし流速を増加さ せてセルフクリーニング的効果を出す方法と、付着する面 積を絶対的に少なくするため羽根外枠のみで構成し撹拌軸 を除く方法がある。 後者の実績は I. E. M. Technoglass 社(イタリア)のゲート(第1図参照)にみられる。この タイプは動力が他の羽根に比べて少ないが、循環流が少く 槽内全体にわたる循環流を形成できない点が問題で、改良 の余地がある。先に述べた side view solidity ratio と関 連させた耐付着性の検討が今後の課題である。

羽根近傍の渦(Trailing vortex)の挙動研究か ら何が読めるか

2.1 渦の流動機構

撹拌槽内の羽根近傍の流動を詳細に検討した例を引用し ながら標記の問題を 説明する。 槽内で 羽根を 回転させる と, 羽根先端の背面に 複雑な渦が 形成される。 この渦は trailing vortex と呼ばれ,第8回に示す羽根内部の流れ を撮影した竹田ら4)によって最初に見いだされた。次いで 高島ら3の研究により羽根近傍の渦と循環の関係が論じ られ、吐出流の挙動を説明するのに 第9図 に示すような vortex model が提案された。

長瀬ら5)はパドル羽根での渦度の伝達に着目し、2次循 環流Qについて

 $Np \propto (d/D) \cdot Nq^2$

の関係を示した。この関係は渦度と変動流れの関係および Reynolds 応力方程式による羽根面での消散を考慮した次 の関係から導かれる。



- との関係 Fig. 7 Relationship between circulation
- time T and energy consumption $P \cdot \theta$, n=150 rpm



第8図 羽根内の流れ4) Fig. 8 Flow pattren between blades4)





第9図 撹拌翼間の渦のモデル化

Fig. 9 Vortex model in the impeller region³⁾

 $\tau \propto \rho \cdot (Q/d^2)^2$ $Q \propto Nq \cdot d^3 \cdot n$ $P \propto (\tau \cdot d^2) \cdot d \cdot n$

また吐出流が羽根の外で消散する動力は

$$P \propto \rho \cdot Q \cdot (n \cdot d)^2$$

を得られる。両者の寄与比率をf1 として簡単化すると

 $Np=f_1 \cdot Nq+(1-f_1) \cdot Nq^2 \propto Nq^x$

Vol. 35 No. 1 (1991/3)



第10図 羽根上下面での流れ Fig. 10 Flow patterns in the lower and upper parts of the impeller



となる。 $f_1 \ge 0.2 \sim 0.5$ で設定してxを求めると x=1.16~ 1.38 が得られ, 佐野らの Np=a·Nq^{1.34} に一致する (ター ビン a=6.6, パドル a=4.3)。また長瀬ら⁶ は軸流型 (プ ロペラ) についても trailing vortex が生じるがこれは, 第 10 図 に示すように 羽根上下面の速度差によるものであ るとしている。この結果は 第 11 図 に示す傾斜パドル翼の Tatterson¹⁸) らの形態とは異なる挙動を示している。さら に長瀬ら^{7,8} はパドル型の trailing vortex につき, 渦部 周辺速度は羽根先端速度(Vtip)と同程度(平均1.1×Vtip), 渦径は平均値として 0.26×羽根幅, 渦吐出流は全体の 4.2 %, 動力伝達の12~15 %を分担していることを明らかにし た。

このように,羽根近傍の渦に着目した流れの解明は進ん でいるが,実用的な撹拌羽根の開発という観点ではまだ課 題が多い。比較的進展が認められる液滴化の研究を次に説 明し具体的な課題に触れる。

 2.2 渦の挙動を羽根の高機能化に結びつけるには 一液滴化の例—

撹拌槽内の乱流状態と液滴化を最も端的に結びつけた例

4

として, 望月, 高島ら⁹⁾ のヘリカル流モデル, すなわち,



Where do the impellers shed the vortices from ?





羽根の上下端付近に循環をもつ渦が発生するとしたモデル に基づく研究例がある。従来,同一系統の羽根だと十分に 発達した乱流に対してはウェーバー数でよくまとまるが, 羽根の幾何形状が変わると完全には合わないことが知られ ている。望月らは,槽内流体に投入されるエネルギーとへ リカル流によって生じる循環との積を用いて,幾何形状が 異なる羽根についても平均液滴径が精度よく相関できる普 遍的な整理法を提案した。斉藤ら¹⁰⁾は,液滴化が羽根近辺 の特性値(変動速度のRMS値,液滴系のオーダの相対変 動速度差のRMS値など)で決まることを示し,相対変動 速度差のRMS値については山本¹¹⁾らの推算式が使えるこ とを示した。

今後の課題として,羽根形状と trailing vortex の因果 関係を定量化すること,その関係を上記の研究に結び付け ること,羽根の分散効率を評価し開発の方向を示すことが 望まれる。特に流出端を持つ渦の挙動に関連し,いろいろ な羽根の場合,どこに、どの程度の強さの trailing vortex が流出するのかを明らかにする必要がある。演者の推定す る例を含め第12図にこれを示した。

3. 旋回乱流系フローパターンの 推算問題から何 を読むか

撹拌槽内の乱流数値シミュレーションについては、 Placeck ら¹²⁾ による等方性乱流を仮定した2方程式モデ $\nu(\mathbf{k}-\varepsilon = \tau, \tau)$ による解析例がある。しかし、旋回乱流

神鋼パンテツク技報

に等方性を仮定しても実測値と一致しないことはよく知ら れている。従って、 $\mathbf{k}-\varepsilon$ モデルに 基づく渦粘性の 等方性 の仮定に代えて、Lilley 6^{13} の異方性の考慮

$$\nu_{r\theta} = \mathbf{l}_{r\theta} \left[\mathbf{r} \frac{\partial}{\partial r} (\bar{w}/r) + (\bar{u}/r)^2 \right]^{1/2}$$

を適用した小林ら¹⁴⁾の研究に注目したい。しかし撹拌槽内 の流動数値シミュレーションに乱流モデルを適用すること は、解くべき現象が極めて複雑であることや、等方性の仮 定が使えないことから、乱流モデルの撹拌流動系への適用 には限界がある。一方、流れになんら仮定を施さない直接 計算(direct simulation)およびそれに近いLES(large eddy simulation)を用いてフローパターンを求める問題 に対して、現状ではスーパーコンピュータをもってしても メモリサイズおよび演算速度が小さいため、実際の羽根の 開発に計算結果を反映させることは困難である。現状では、 基本的な羽根の構成(これは理論計算からは出てこない) を既往の研究結果をよく調べ、深い洞察力による独創的発 想と実験により定め、数値計算は羽根の最適な相対位置な どを決定するときの指針として活用されるべきである。

4. 反応と乱流混合

化学装置(反応機)内では、乱流流動と化学反応を伴う 現象が混在しており、これらの現象を解明することは装置 の最適設計・操作を行う上で重要である。しかし実際は、 さきに述べたように反応機内部の高レイノルズ数流動に関 する解析もほとんど進んでいないことから、ここでは、実 際問題への適用を踏まえた基礎研究の紹介を行うことによ り、現実の問題解決への足がかりとしたい。

乱流研究については特に壁面の拘束を受ける壁面剪断乱 流が重要であるが、Bossinesq (約100年前), Prandtl の 混合距離理論 (Mixing Length Theory), Taylor, von Karman, Deissler, van Driest らの理論的扱い(乱流境 界層,流速分布の相関法,流体摩擦係数など)に始まり, 乱流現象の偶然性(ランダム性)に着目した乱流現象への 統計理論の導入(統計量からの乱流渦の定量化など)の時 代を経て約20年前, Kline ら(1967)による乱流の組織的 渦構造の発見による, 乱流構造研究の時代に入る。

ランダ ムと考えられていた乱流中のこの秩序の発見は特筆すべき ものであった。これは可視化実験の成果である。これら乱 流構造にはインジェクション, スイープ, ストリーク,バー スティングなどさまざまな現象がある。化学工学上重要な 気液界面を通してのスカラー量(熱・物質)の輸送機構, 特にバースト現象による上昇渦の自由表面更新現象はガス 吸収理論の流れとの関連を解明するポイントとして注目さ

れている15),16)。

また,反応を伴う乱流現象では,速度定数 k,平均濃度 C,濃度変動 c により反応速度 R が次式で表される。

$$R = k(\overline{C}_{A}\overline{C}_{B} + \overline{CACB})$$

濃度変動の相関項 GAGB が乱流混合の反応に及ぼす効果と なる。しかし、乱流場で二成分物質の瞬間濃度を同時測定 することに成功した例はなかった。この分野における先駆 的研究¹⁰が実際問題を解決する手段になることを望む。当 研究室ではこの分野で、先駆的研究が小森助教授を中心に 行われている。

むすび

実際に使われている羽根の系譜を調べた。これらの羽根 を放射流タイプ,軸流タイプ,および放射流と軸流が混在 するタイプの三つに分類することにより,羽根が進化して いく過程を明らかにした。これらの羽根についての流体工 学的研究はある程度進展しており,これからの羽根の開発 に流体工学に基づく理論的,数値的手法を適用することが 期待される。

しかしながら,現状での羽根の開発をこれらの手法に頼 るには不十分で,実際的には実験に基づく試行錯誤法を併 用する必要があろう。工学研究者は,研究結果を新しい羽 根の開発にもっと結びつけていく必要がある。研究の精密 化は基本的に優れた羽根にのみ有効である。

〔参考文献〕

- 1) Nagase, Y., et al.: J. of Chem. Eng. J., 21, 503 (1988)
- 2) Komori, S., Murakami, Y.: A. I. Ch. E. J., 34, 6 (1988)
- 3) Takasima, I., et al.: J. of Chem. Eng. J., 4, 66 (1971)
- 4) 竹田邦彦ら: 化学工学, 30, 544 (1966)
- 5) 長瀬洋一: 化学工学, 38, 519 (1974)
- 6) 長瀬洋一ら: 化工第52年年会, N-109 (1987)
- 7) 長瀬洋一ら:化工第53年年会, K-109 (1988)
- 8) 長瀬洋一: 化工第54年年会, I-114-(1989)
- 9) 望月雅文6:化学工学論文集,**10**,49(1984)
- 10) Saito, S., et al.: J. of Chem. Eng. J. 10, 325 (1977), 13, 67 (1980)
- 11) Yamamoto, K., et al.: J. of Chem. Eng. J., 6, 495 (1973)
- 12) Placek, J., et al, : A. I. Ch. E. J., 31, 113 (1985)
- 13) Lilley, D. G., et al.: Int. J. Heat Transfer, **14**, 573 (1971)
- 14) 小林俊雄ら: 生産研究, **38**, No. 1, 38 (1986) 15) Komori, S., Murakami, Y., et al.: J. Fluid Mech. **203**, 103
- (1989)
- 16) Komori, S., Murakami, Y., et al.: A. I. Ch. E. J., 36, 957 (1990)
- 17) Komori, S., Murakami, Y., et al.: Physics of Fluids A, 1, 349 (1989)
- 18) Tatterson, G. B., et al : Chem. Eng. Sci., 35, 1369 (1980)

<新製品>

高効率撹拌翼『フルゾーン』の開発 (特許, 商標出願中)

The Development of Highly Efficient Mixing Impeller "FULLZONE"



九州大学工学部化学機械工学科 村 上 泰 弘 教授 Prof. Yasuhiro Murakami

In response to the increasing technical demand for high efficiency and versatile applications in mixing operations, Shinko Pantec has developed the advanced mixing impeller "FULLZONE". FULLZONE can work with higher efficiency than conventional impellers when used in such operations as blending of low to high viscosity liquid from 0.001 to 30 Pa·s, suspension of concentrated solid particles with relatively large settling velocity, liquid-liquid dispersion with large density difference or with large viscosity ratio, and jacket heat transfer. FULLZONE has been brought to market since January 1991 with expectation of improving various mixing processes.

まえが 충

近年、撹拌機の性能に対する要求は高度化・多様化して おり、広範な撹拌条件に対応できる撹拌機が求められてい る。特に、バッチプロセスでは、次のように多様かつ高度 な撹拌混合条件を満たす撹拌機が望まれている。

- ・均一混合:広い粘度範囲での良好な混合 液量と粘度の大きな変化への対応
- ・伝熱性能:低動力撹拌時の良好な伝熱能力
- ・固液撹拌:比較的沈降速度の大きな粒子の分散 高濃度スラリーの均一混合
 - 低剪断での均一浮遊

・液液分散:シャープな液滴径分布

低剪断と増粘液中への軽液分散の両立 これらの条件を個々に満たす撹拌機の選定はさほど難し くないが、多項目を同時に満足させる仕様選定は経験豊富 な撹拌技術者にとっても容易ではない。当社はこのたび、 上記のような高機能化、多目的化、高効率化の要求を満た す撹拌翼の開発を行い、極めて広い粘度範囲において効率 良く撹拌を行う撹拌翼『フルゾーン』を開発して販売を開 始した。次に『フルゾーン』の特長を紹介する。

1. フルゾーンの形状

第1図に示すとおり、フルゾーンは上下にそれぞれ異な る機能を持つ特殊ワイドパドルを2段、立体的に組み合わ せた形状となっている。次に示すとおり、この形状は、流 体数値解析と系統的な撹拌混合実験によって性能確認を行 い最適化した結果として得られた。

1.1 基本形状

6

搅拌翼について次の目標を設定し,その基本形状を検討 した。

- ・広い粘度範囲での効率よい均一混合
- ・タービンなど低粘度用翼やダブルヘリカルリボンなど高 粘度用翼の適用しにくい中粘度領域での混合効率の向上
- ・槽内全体に及ぶ大きな一つの循環流の形成を通じての効 率よい混合の達成

その結果、ワイドパドル翼を基本形状に選び、混合効率を 向上させるため2段翼を採用した。さらに次の3因子の混 合への影響を検討し形状寸法を決定した。













- (1) 上段翼と下段翼の交差角度: α
- (2) 上段翼と下段翼の翼間隔:L
- (3) 上段翼と下段翼の吐出力バランス
- 1.2 検討手法
- 1.2.1 数值実験(流体数值解析)

数値実験は,流動の数値解析とその解析結果を利用する 混合のシミュレーションからなる。まず撹拌槽内の3次元 流速分布を解析で求めた。次に,その結果を用いて液面か ら投入した拡散物質の濃度分布の経時変化をシミュレーシ ョンで求めた。この数値実験の適用は,流体数値解析結果 の信頼性が高い層流域に限定した²⁾³⁾。

1. 2. 2 混合実験

混合時間の測定には、ヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナト リウムで還元脱色する脱色法を利用した。ヨード溶液およ びチオ硫酸ナトリウム溶液は撹拌液と同じ粘度に調製した ものを用いた。またチオ硫酸ナトリウム溶液の過剰量は20 %とした。混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。 本実験では、槽径 0.2 m、槽高0.4 m、容量 10 ℓ t および槽 径0.4 m、槽高 0.8 m、容量 80 ℓ t の大小 2 種の撹拌槽を使 用した。

1.3 形状因子の検討

1. 3. 1 上段翼と下段翼の交差角度:α

上段翼と下段翼の交差角度の違いが撹拌槽内の流動と混 合過程に及ぼす影響を数値実験法により評価した。計算条 件を次に示す。なお,交差角度αは,下段翼を基準とし上 段翼の方向を翼回転方向に測定する。

計算条件

共通 槽径D=0.2 m, 翼スパンd=0.12 m(d/D=0.6), 液深H=0.2 m(H/D=1.0), 翼間隔L=0.02 m 回転数2.08¹/s, バッフルなし 粘度5 Pa·s, 密度1 400 kg/m³, Re=8.4

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

神鋼パンテツク技報

計算①:上段翼と下段翼を同一平面配置(α=0°) 計算②:上段翼と下段翼を45°クロス配置(α=45°)

第2図に流速分布および混合過程を示す。 $\alpha=0^{\circ}$ の時, 上段翼および下段翼から吐出された流体は翼間において互いに衝突し, 撹拌槽上部と下部との間の円滑な流体輸送を 阻害する。一方, $\alpha=45^{\circ}$ の時, 槽上部から下部への流体輸 送が盛んである。これに対応する混合過程の相違は次のと おりとなる。 $\alpha=0^{\circ}$ では投入後30秒経過しても下段翼部ま で拡散物質は輸送されないのに対して, $\alpha=45^{\circ}$ では投入後 30秒で槽底部にまで拡散物質が輸送される。単にワイドパ ドルを同一平面内に配置するよりも, 45° にクロス配置す る方が, 上段翼と下段翼との流れがつながり, 速やかな混 合が行われる。本手法を用いて種々の交差角度 α を検討し た結果, $\alpha=45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ が適切な角度範囲として見出され た。

1. 3. 2 上段翼と下段翼の翼間隔:L

上下翼交差角度 α=45° において, 適切な上下翼間隔を 同様の方法で検討した。計算条件を次に示す。

計算条件

共通:上段翼および下段翼を45°クロス配置 他は1.3.1と同様 計算①:L=0.1D 計算②:L=0.2D

計算③:L=0.3D

第3図に流速分布を示す。上下翼間隔が0.1Dから0.3D まで増加するにしたがい,上段翼の吐出流が下段翼の回転 域に侵入する度合が減少し,0.3Dではほとんど侵入する ことなく下段翼の吐出流に押し返されている。先に第2図 で説明したように,効率よい混合を実現するには上下翼の





lower paddles on flow pattern



Retreated impeller

Paddle impeller

第4図 後退翼と平羽根翼の吐出流の比較

Fig. 4 Comparison of a retreated-blade and flat-blade impellers in discharging flow

流れを接続することが重要である。同じ理由から, 翼間隔 Lとしては, 第3図中 L=0.1D が最も好ましいと判断し た。

こうして α =45°, L=0.1D に組み合わせた 2 段ワイド パドルを用いると、粘度 2 Pa・s 以上の層流域では槽内全 体が良好に混合された。しかし 2 Pa・s 以下の層流から乱 流へ遷移する状態では、上下翼の流れのつながりが不安定 になり、混合がやや遅れ気味になる傾向が見られた。そこ で、上段翼の先端を下方に延長する板状のフィンにより上 下翼の流れのつながりを安定化し、速やかな混合を実現し た。このフィンの追加によって、遷移域や乱流域において 良好な均一混合性を得ることができるばかりでなく、層流 域においても一層良好な混合が可能になった。

1.3.3 上段翼と下段翼の吐出力バランス

多段翼で効率よい撹拌混合を行うには各翼の吐出力バラ ンスが重要である。当社でも従来より最下段の撹拌翼の吐 出力を強めることで効率のよい撹拌混合を達成してきた。 本開発では,層流域と乱流域での吐出力バランスを検討し, 下段翼に後退翼を採用して槽下部の吐出力を強化し粘度対 応性と動力効率の向上を図った。パドル翼と後退翼周囲の 半径方向吐出流速解析結果を第4図に示す²⁾³⁾。後退翼で は翼全周にわたり液体が吐出されており,また最大吐出流 速もパドル翼のそれに比べ約30%大きい。

1. 4 決定形状

上段にフィン付のワイドパドル,下段に後退させたワイドパドルを採用し,両翼の配置を混合に関して最適化した





結果が第1図に示すフルゾーンの形状である。

中高粘度域での混合効率向上に対してこれらの工夫がも たらす効果を確認するため以下の数値実験を行った。直角 に配置した2段ワイドパドルほこの粘度域でヘリカルリポ ンに比較しうる良い混合効率を持つ。この2段ワイドパド ルをフルゾーンと比較した。Re=11.7の層流状態で流速ベ クトル分布と拡散物質の液面および槽底での濃度応答曲線 をこの2種の翼について求め、その差異を第5図に示す。 2段のワイドパドルでは180秒経過しても2点での濃度に 若干の差が残り混合が終わってない。これに対しフルゾー ンでは約90秒で2点での濃度が一致し混合が終わる。フル ゾーンを形成する工夫は直角配置の2段ワイドパドルの混 合時間を半分以下に短縮する効果を持つ。

2. フルゾーンの撹拌性能

2.1 混合特性

フルゾーンの混合性能を、当社の標準的な低中粘度翼で あるフアウドラー翼、および、代表的な高粘度翼であるダ ブルヘリカルリボン翼と比較し、写真1~5(p.11)に示す。 0.001から40Pa・sまでの各粘度毎に撹拌動力をほぼ同一 にして脱色の速さを比べた。フルゾーンでは、写真の全粘 度域で混合不良部の発生がなく、しかもフアウドラー翼や リボン翼に比べ効率良い混合が行われている。

上記撹拌翼の混合時間を $\mathbf{n} \cdot \theta_{M}$ -Re 線図で整理し第6図 に示す。さらに、後述の Zlokarnik のデータから中粘度 用の翼であるアンカーと格子翼を選び、それらのデータも 記入して比較した。フルゾーンは、 層流域に近い Re=25 から完全乱流域である Re=10⁵ 以上という広い Re 数範囲 で、従来から広く用いられてきた撹拌翼よりも小さな $\mathbf{n} \cdot \theta_{M}$ であり、優れた混合性能を示す。

また,第7図は,各種撹拌翼について撹拌動力と混合時間の無次元相関を行った Zlokarnik¹⁾の結果にフルゾーン





 $f_{\text{e}}^{\text{10}3}$ $f_{\text{e}}^{\text{10}3}$ $f_{\text{e}}^{\text{10}3}$



の実験結果を追加し,混合効率を比較した結果である。この相関ではプロットが下方にあるほど混合効率がよい。つまり,同じ撹拌槽で同じ液体を所定の時間で混合する場合,下方にプロットされた撹拌翼ほど撹拌動力が小さく動力効率がよい。Zlokarnikは,従来から広く用いられている撹拌翼を研究した結果,液粘度(Re数)に応じて最適な撹拌 翼が4種類(I~Ⅳ)あることを示した。フルゾーンは, 各粘度(Re数)域で最適とされた撹拌翼よりも図の全ての 領域で下方にプロットされ,広い粘度範囲で優れた混合性 能を持つ。

2. 2 伝熱特性

熱移動と物質移動の相似性を利用して, 槽壁面で測定された物質移動係数の分布から局所伝熱係数の分布を推定することができる⁴⁾。フルゾーンとフアウドラー翼の局所伝熱係数分布を推定し, 等動力の条件下で比較した結果を第 8 図に示す。フルゾーンは槽内全域で比較的高い伝熱係数 を示し, 1 段のフアウドラー翼よりも約40%高い平均伝熱 係数となる。

2.3 異相系撹拌特性

2. 3. 1 固液系搅拌

固液系撹拌の特性評価のためイオン交換樹脂の懸濁実験 を行った。粒子濃度をかさ体積で30%とし、フルゾーンと ファウドラー翼について撹拌動力を数段階に変化させて粒 子の浮遊状態を観察比較した。各動力における浮遊状態を 写真6(p.11)に示す。また、液面近傍での粒子濃度を動

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

1.2 Liquid surface erage Average 1.0 FULLZONE Pfaudler 0.8 Ξ 0.6 H/D 0.4 0 : 2 000 4 000 6 000 h [W/mªK]







カに対してプロットした結果を第9図に示す。フルゾーン はファウドラー翼の半分以下の動力で粒子の均一浮遊が可 能であり,固液撹拌においても優れた性能を持つ。 2.3.2 液液系撹拌

液液系撹拌の特性評価のためにも類似の実験を行った。 20 vol%の白灯油(密度790 kg/m³)と水を撹拌槽に満た し、上記2種の撹拌翼について撹拌動力を数段階に変化さ せて液滴の分散状態を観察比較した。液面近傍での白灯油 濃度を動力に対してプロットした結果を第10図に示す。フ ルゾーンはフアウドラー翼の約60%の動力で均一分散が可 能であり、液液分散においても優れた性能を持つ。

神鋼パンテツク技報





2. 4 動力特性

フルゾーンの広範な粘度対応性には2枚の平板バッ フルとの組合せが適している。2枚バッフル時の撹拌 動力線図を 第11図 に示す。層流域では Np・Re 値が約 200 となり, 永田⁵⁾ の動力式から予想される値 186 と 概略一致する。乱流域では動力数が約5 になる。

3. フルゾーンの特長と適用分野

フルゾーンの特長

形状

- ワイドバドル2段の立体的配置
- 上段翼フィンと下段翼後退

性能

- (1)広い粘度域で効率よい均一混合が可能
- 100 Pa・s の高粘度まで混合可能。特に 0.001
 Pa・s~30 Pa・s では従来翼より混合が期待できる。
- (2)優れた伝熱性能
- (3)少ない動力で粒子の均一浮遊が可能
- (4)高効率(省エネルギー)
- 適用分野
 - (1)多目的バッチ撹拌槽
 - 広い粘度範囲での操作が必要な場合 高濃度スラリーの撹拌を行う場合
 - (2)低剪断(低回転)で均一混合が必要な撹拌槽 晶析 乳化重合 懸濁重合 バイオリアクター など

従来翼に対するフルゾーンの包括的な位置付け

当社は、グラスライニング製およびステンレス製を通じ、 多様な形式の撹拌機を提供している。それらの製品ととも にフルゾーンもその特長を十分に活かせる使い方を推進し たいと考えている。この観点から従来翼に対するフルゾー ンの位置付けを包括的に評価した。参考までにその概要を 第1表に示す。

フルゾーンの採用を推奨したい状況として,適用粘度, 固液および液液分散,伝熱などで撹拌負荷の厳しい場合, 過剰撹拌の防止と均一性との両立が必要な場合,多目的の 撹拌を行う場合でかつ能力的に信頼性の高い撹拌が必要な 場合などが考えられる。

むすび

新型撹拌翼『フルゾーン』について,その開発過程およ びテストで確認した撹拌性能をいくつか紹介した。ここに



第11図 フルゾーン撹拌動力線図

Fig. 11 Power number curve for FULLZONE

第1表 従来翼とフルゾーンとの包括的な比較

 Table 1
 Comprehensive comparison of various impellers including FULLZONE

Impellers	Propeller	Pfaudler impeller	Paddle	Turbine	Multiple impellers	FULLZONE	Anchor	Helical ribbon
Viscosity High Range Meadium Low	× × O	× O ©	х 40	× ∆ O	. O ©	0 0	 0 0	
Gas-Liquid Solid-Liquid		0 ©	∆ 0	© ∆	0 0	∆ ⊚	× A	××
Mixing Viscous . Time Nonviscous	× 0	×	× O	× O	× O	0 ©		©
Shaft torque Capital cost	ø	Ø	Ø	0	0	Δ	Δ	×
Cleaning Maintenance	0	0	0	0	Δ	Δ	Ö	×

 \odot : Excellent, \bigcirc : Good, \triangle : Permissible, \times : Not suitable

紹介したフルゾーンの性能がユーザ各位の撹拌プロセスの 改善,改良の検討材料になれば幸いである。また当社では, 今回の開発で用いた流体数値解析の精度を一層高めるた め,最新型のレーザードップラー流速計を技術開発センタ ーに導入した。今後,撹拌槽内流動を解析と測定の両面か ら捉え,高度化する撹拌技術に対応し,撹拌槽の最適設計 を目指したい。

本開発に当りお力添え頂いた久留米工業高等専門学校工 業化学科 藤 道治助教授に感謝の意を表します。

〔参考文献〕

1) Zlokarnik, N.: Chemie. Ing. Techn., 39, (1967)

2) 菊池ら:化学工学会第23回秋期大会 T 307 (1990)

3) 高田ら:神鋼パンテツク技報 Vol. 34, No. 3 (1990)

4) 村上ら: 九大工学集報, 第43巻, 第6号(1970)

5) Nagata, S.: "Mixing Principles & Applications", Kodansha (1975)

記号説明

5	ÄЛ	347	
b	:	撹拌翼幅	[m]
D	;	搅拌槽径	[m]
d	:	撹拌翼スパン	[m]
Η	:	液深	[m]
h	:	境膜伝熱係数	[W/m²K]
Np	:	撹拌動力数	[-]
n	;	搅拌翼回転数	[1/s]
Ρ	;	搅拌動力	[W]
Pv	:	単位容積当りの撹拌動力	$[kW/m^3]$
Re	:	撹拌レイノルズ数= $\rho nd^2/\mu$	[-]
Vr	:	半径方向流速	[m/s]
θ_{M}	:	混合時間	[s]
ρ	:	搅拌液密度	$[kg/m^3]$
μ	:	搅拌液粘度	[Pa·s]



Vol. 35 No. 1 (1991/3)

)

神鋼パンテツク技報



New Porous Glass "IMMISA-I"

----pore size ranging from 1 to 2 nm----



A new porous glass "IMMISA-II" has been developed by the Sol-Gel method. Porous glass, one of chemical functional glass, has been attracting great attention as a separation membrane, filter, absorbent, carrier for catalyst and enzyme, and so on. The pore size of IMMISA-II is in the range of 1 to 2 nm, which could not be found in other inorganic porous-materials such as zeolite, porous ceramic, activated carbon, intercalation compound and porous glass synthesized by the phase-separation in alkali borosilicate glass.

This paper describes the properties of IMMISA-II such as pore characteristics and alkaliresistance under the comparison with other inorganic porous-materials.

まえがき

ゼオライト,活性炭,シリカゲルなどの無機多孔体は, 従来,各種吸着剤, 沪過剤,クロマトグラフィー用充填剤, イオン交換体,触媒あるいは酵素担体などとして工業的に 広く使用されている。これらは,多孔体の細孔表面を利用 するものであり,表面積が大きいこと,さらに,種々の対 象分子に適応し得る大きさの細孔を有することが求められ る。近年,化学的機能性ニューガラスとして注目されてい る多孔質ガラスは,精密な細孔制御が可能な多孔材料の一 つである。

多孔質ガラスは、主にガラスの分相現象を利用して製造 され、製造条件により細孔制御が可能なうえに、耐熱性、 耐薬品性に優れ、成形性が良いなどの特長を持つ。当社で は、多孔質ガラス膜モジュールを開発し、有機膜では困難 な有機溶剤の限外沪過への応用を試みるなど化学的機能性 ニューガラスの開発研究を進めてきた¹⁾。

本稿では、まず機能性無機多孔体の開発状況をまとめ、 さらに、従来の分相法では得られなかった微細孔を有する 多孔質ガラス『IMMISA-』』の開発結果を紹介する。

1. 無機多孔体について

第1図に多孔質ガラスなどの無機多孔体の細孔径を示した。細孔径の分類は、Dubinin の分類に従い、ミクロ細孔(直径:約4nm以下,1nm;1ナノメータ=10⁻⁹m=10Å)、メゾ細孔(直径:4~200 nm)およびマクロ細孔(直径:約200 nm以上)とした²⁾。

多孔体は,比表面積,細孔容積(空隙率),平均細孔径, 細孔径分布,細孔の形状などがその性能を左右する重要な 要素である。単なる吸着剤,乾燥剤として用いる場合は, これらの要素の中で比表面積が大きいことが要求され,活 性炭やシリカゲルが適する。また,ある物質を形状選択的 に吸着分離する場合は,比表面積が大きいことと同時に細 孔径分布が狭いこと,さらに分離対象分子と同程度の大き さの細孔径を持つことが要求される。この典型がゼオライ トによる"分子ふるい作用"である。

そこで,分子の大きさのレベルで識別が可能な細孔,す なわち,ミクロ細孔領域の細孔径分布をある程度人工的に 制御し製造することが可能な無機多孔体にづいて最近のト ピックスを次に述べる。

1.1 ゼオライト

ゼオライトは、天然にも多く存在し、"沸騰する石"という意味を持つ。結晶性アルミノケイ酸塩の一種で、代表的な合成ゼオライトにA型、X型、Y型、モルデナイト、 エリオナイト、ZSM-5 (Zeolite of Socony Mobil) な どがある。A型、X型、およびY型ゼオライトの細孔構造 を第2図に示した³³。太線で示した部分が細孔入口で、そ の奥の空洞が三次元的に連結している。

第3図にそれぞれのゼオライトの有効入口細孔径と各種 分子の大きさの関係を示す⁴⁾。第2,3図から明らかなよ うに、ゼオライトは結晶構造が決まれば一義的に細孔径が 決まるため分子径の大きさにより極めて精密に分子をふる い分ける能力を持つ(分子ふるい作用)。例えば、約0.5 nmの入口細孔径を有する CaA 型ゼオライトは、入口細 孔径よりも小さい分子(直鎖状の n- パラフィン)だけを 通し、それよりも大きい分子(分岐状のイソパラフィン)は 通さないので幾何異性体の吸着分離ができる⁵⁾(第4図)。

しかし、このような分子ふるいは、0.3~0.8 nm の範囲



第1図 無機多孔体とその細孔径

Fig. 1 Pore size of various inorganic porous-materials.



Ion

第7図

exchange

層間架橋多孔体の合成の

Fig. 7 Preparation process of intercalation compound⁷)

Polytechnic Institute) と呼ばれる 大孔径ゼオライトが開発された⁶。第 5図に細孔構造を示す。これは、結晶 性アルミノリン酸塩・AlPO₄ (アル ポ)系ゼオライトのひとつである AlPO₄-5 をひとまわり大きくしたも ので、細孔構造から推定される細孔径

は 1.2~1.3 nm である。これが現在,ゼオライトでは最大 の細孔径であり,これ以上のものはまだ得られていない。

1.2 層間架橋多孔体

モンモリロナイトなどの層間化合物は、シートを積み重 ねたような構造である(第6図)ⁿ。シート状のケイ酸塩層 間には電荷不足を補って Na⁺ や K⁺ などの交換性陽イオ ンが含まれる。第7図に示すように、この陽イオンを多核 金属水酸化イオンなどでイオン交換し加熱脱水するとケイ 酸塩層間に微細な酸化物が形成される。これが支柱となっ て二次元的(平面的)なミクロ細孔を有する種々の多孔体 が得られるⁿ。

多核金属イオンを用いる従来の方法では 0.7~0.9 nm の 細孔しか形成し得なかった。最近,シリカゾルにチタンを 少量添加し,正に帯電したシリカチタニアゾルを調製して 層間が4.0 nm 程度の多孔体が調製されている⁷⁰(第8図)。 しかし,層間距離は 4.0 nm と大きいが,図のようにゾル 粒子は二層以上で取り込まれており,ゾルとゾルの隙間が 細孔になるため,実際の細孔径は 1.0 nm 以下であると考 えられている。



第8図 SiO₂-TiO₂ ゾル架橋多孔体の構造モデル⁷) Fig. 8 Idealized structure of SiO₂-TiO₂ sol-pillared porous materials⁷)

層間架橋多孔体は,支柱酸化物のサイズを調節すること によりゼオライトでは困難とされる 1.0 nm 以上の細孔径 の制御が可能であると思われる。しかし,安定な支柱酸化 物に変わる適切な前駆体の探索が必要であり,今後の研究 が望まれる。

Thermal

dehydration

また,これまでに述べたゼオライトや層間架橋多孔体は, 粉末状でしか合成し得ないため,単独では成形性が悪く, 工業化に際して大きな制約を受ける。





Fig. 11 Preparation process of SiO₂-ZrO₂ porous glass by the phase-separation method¹⁰⁾

1.3 活性炭

活性炭は、1×10⁶ m²/kg 以上にも達する広い表面積と 高い吸着能を持つ。また、ハニカム(蜂の巣)状、繊維状 などの種々の形状のものが製造可能である。これらの特長 を生かして家庭用脱臭剤から工業的規模の吸着剤まで広く 利用されている。当社でも活性炭吸着法による廃水の高度 処理プロセスに利用している。

活性炭は、木材やヤシ殻などの植物質あるいは石炭、石 油などの鉱物質を乾燥、炭化した後賦活して得られる。細 孔は、賦活方法に依存し、賦活過程で炭素系成分が除去さ れることにより非晶部に形成される。

近年,ゼオライトと同様に分子ふるい作用を示す活性炭 "モレキュラーシーブカーボン(MSC)"の開発が進めら れている⁸⁾。 第9図に細孔モデルをゼオライトと比較して 示した。ベンゼンなどの平板状分子は侵入しやすいが,球 状分子は侵入し難く, 0.5~0.6 nm の間隔のスリット状の ミクロ細孔を有すると考えられる。

しかし、活性炭の細孔は、一般には**第10図**に示したよう にミクロ細孔からマクロ細孔にわたる3分散の広い細孔径 分布を示し⁹, 細孔径の精密制御はまだなされていない。

1. 4 多孔質ガラス

多孔質ガラスは,一旦溶融したガラスを微粒化しこれを 焼結して製造する方法と,ガラスの分相現象を巧みに利用 して製造する方法がある。

ガラスの分相とは、適当な組成のガラスを溶融した後、 773~873 K で熱処理を行うと系の自由エネルギー変化が 低下する方向に組成変動が進み、ついには組成比の異なる 二相に分離することである。ガラスはこの二相が網目状に 絡み合った構造を持つようになり、これを酸処理すると酸 に可溶な相だけが溶け出し、無数の連続した細孔を持つ多 孔質ガラスが得られる。これは、1940年頃米国のコーニン グ社で開発されたバイコールガラスの製造過程で見いださ



第10図 活性炭の細孔径分布⁹⁾ Fig. 10 Pore size distribution of activated carbon⁹⁾

れたものである。

分相が著しいホウケイ酸ガラス (Na₂O-B₂O₃-SiO₂) は その 代 表 的 な も の で, (B₂O₃-Na₂O) に富む酸可溶相と (SiO₂)に 富む相とに分相し、酸処理により98 % SiO₂ 質の多孔質ガラスが得られる。また、シラ スを主原料とする多孔質ガラスでは、71 % SiO₂ • 15 % B₂O₃ • 7 % Al₂O₃ で, 細孔径

の大きな多孔質ガラスが得られる。これらの方法により, 数~数千 nmの範囲で均一な細孔径を有する多孔質ガラス が調製可能である。

→方、SiO₂ に ZrO₂ を固溶させると、耐アルカリ性が 改善されることが知られている。しかし、分相過程でZrO₂ がB₂O₃-R₂O 相に移り、SiO₂相に残らないためSiO₂-ZrO₂ 系骨格から成る 多孔質ガラスは 得られてい なかった。 最 近、ガラス組成にアルカリ土類金属酸化物を多量に添化す ると ZrO₂ が SiO₂ 相に残ることが 見いだされ、SiO₂-B₂O₃-CaO-Al₂O₃ に ZrO₂ を加えたホウケイ酸ガラスを 分相することにより多孔質ガラスの骨格中に ZrO₂ を最高 15 wt% 程度残すことができることが報告されている¹⁰⁾。 第11図にその製造過程を示した。これにより耐アルカリ性 が向上し多孔質ガラスの用途が広がった。

最近,広く注目されているゾルゲル法は,金属の有機または無機化合物を溶液とし溶液中で化合物の加水分解・重縮合反応を進ませてゾルをゲルとして固化し,ゲルの加熱によってガラスを作製する方法である¹¹⁾。溶液から多孔質のゲルが作られるため,ゲル中の気孔はゲルのガラス化が進んでもなお残っていることがある(第12図)。これを利用して多孔質ガラスを調製する試みも行われている。

以上述べてきたように無機多孔体はそれぞれに優れた特 長を有するが,多孔質ガラスを他の無機多孔体と比較する と,一般に次のような特長が挙げられる。

- (1) 細孔径の制御範囲が広い。
- (2) 均一な細孔径分布である。
- (3) 耐酸性,耐アルカリ性が高い。
- (4) 膜,管,板,棒などの成形が可能である。

2. 新規な多孔質ガラス『IMMISA-II』

2.1 背景

分相法による多孔質ガラスの細孔は,原料ガラスの組成, 分相処理条件によって著しく影響される。また,分相後の



新設に



酸処理条件によっては,酸可溶相中に 20~30 % 含まれる SiO₂ が細孔内に微細な コロイド粒子として折出して二次 細孔を形成する。大きい細孔領域は,分相に基づく細孔の 大きさにより,小さい細孔領域は二次細孔を形成するコロ イド状シリカの充填度により制御する。多孔質ガラスは他 の無機多孔体に比べて制御可能な細孔領域が広いが,小さ い細孔の下限は,SiO₂ 粒子の最密充填構造が限界である ため、4 nm であり,それ以下の細孔径を有する多孔質ガ ラスは理論的に得難い。したがって,ゼオライトの上限よ り大きく,分相法による多孔質ガラスの下限より小さい1 ~4 nm の細孔領域で,均一な細孔を有する実用的な無機 多孔体は得られていないのが現状である。

分相法による多孔質ガラスの組成は,一旦ガラスの溶融 過程を経るためガラス化が可能な組成に限られ,さらに分 相によってガラス骨格に残り得る組成に限定される。これ に対し、ゾルゲル法は比較的低温でガラスを合成できるの で、ガラス組成を自由に選ぶことができる。また既に述べ たように乾燥ゲルは本質的に多孔質であるので、分相法で は合成できない組成の多孔質ガラスがゾルゲル法により得 られる可能性がある。

ゾルゲル法では、ゲルの細孔構造はゲル化条件,乾燥あるいは熱処理条件,触媒の種類や量に大きく影響される¹²⁾。 一般的には、塩酸などの酸触媒よりもアンモニアなどの塩 基触媒を用いた方が、また、ゲル化温度の高い方がより大きな細孔を持つ乾燥ゲルが得られる。また、溶媒の種類を 変えても細孔径が変化する。乾燥ゲルの段階で2~8 nmの 細孔が存在するが、これをガラス化するため高温で熱処理 すると焼結が進み、2 nm程度の微細孔を持つゲルでは973 Kで無孔化する¹³⁾。これらの条件を調節して細孔制御する 試みがなされているが、細孔径の精密な制御方法はまだ十 分確立されているとは言い難い。

2.2 特長

- 今回開発した『IMMISA-』』の特長は次のとおりである。
- (1) 平均細孔径が**1~2 nm** 付近である。
- (2) 均一な細孔径分布を有する。
- (3) 細孔径はほぼ一定のままで比表面積,細孔容積を制 御できる。
- (4) SiO₂-ZrO₂ 組成で, 耐酸性, 耐アルカリ性に優れる。

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

第13図 多孔質ガラス『IMMISA-J』の 合成 Fig. 13 Preparation process of porous

glass ''IMMISA-II''

(5) 用途に適した成分設計ができる。

(6) 均質性が高い。

無機素材 (ガラス) であるため,

(7) 耐熱性が良い。

(8) 耐薬品性,とくに耐有機溶媒性が良い。

これらの特長の中でもとくに(1)~(4)を満たす多孔性素材 はこれまで国内外にも例がない。『IMMISA-II』は、ゼオ ライトと分相法による多孔質ガラスの間を埋める新しい領 域の細孔径を有しており、従来から多孔質ガラスが利用さ れている分野はもちろんのこと、新しい分離機能材料とし て今後多方面への適用が可能である。

2.3 製法

第13図に製造方法のフローチャートを簡単に示す¹⁴。本 製法は、ゾルゲル法を応用した特殊な方法によって、2.1 で述べた問題点を解決したものである。すなわち、ゾルの ゲル化条件、加熱条件などの製造条件に強く依存した従来 のゾルゲル法とは異なり、本製法は、再現性良く細孔径が 制御された多孔質ガラスを製造し得ることを特長としてい る。

3. 『IMMISA-』』の特性

3.1 細孔特性

多孔質ガラス『IMMISA-』」の比表面積,細孔容積およ び細孔径分布を窒素吸着測定から求めた。77 Kにおける窒 素ガスの吸着等温線から,多分子層吸着を仮定したBET 法により比表面積を算出した。細孔容積と細孔径分布は, 同じ吸着等温線から,圧変化による吸着量変化を毛細管凝 縮量と多分子層吸着膜の厚みの増減とによるものと考え て,円筒モデルを仮定した Cranston-Inkley 法で算出し た¹⁵⁾。なお,窒素吸着測定の直前に,試料は前処理として 423 K で加熱脱気した。

第14図に細孔径分布の代表例を示す。平均細孔半径は, 0.7~0.9 nm 付近であった。また,図より細孔半径は約0.5 ~1.5 nm の狭い範囲で分布しておりシャープな細孔径分 布を持つことがわかる。

第15,16図に有機高分子の添加量に対する比表面積および細孔容積の変化をそれぞれ示した。有機高分子の添加量











Fig. 16 Dependency of pore volume for the dosage of polymer



Sample	Alkali durability factor —
$IMMISA- I (ZrO_2-SiO_2)$	10~15
Porous glass (SiO ₂)	1
Slide glass (SiO ₂ -Na ₂ O)	~5

Condition: 1N NaOH, 353K, 140h

が増えるのに伴い比表面積,細孔容積ともに増加した。このとき細孔径はほとんど変わらなかった。

添加した有機高分子が加熱除去され、細孔が形成すると 考えられる。したがって、有機高分子の添加量を変えるこ とにより、細孔径はほぼ一定のままで比表面積と細孔容積 を制御することが可能であることがわかった。

3.2 X線回折

X線回折により,得られた多孔質ガラス内に結晶核が存在するか否かを調べた。測定は次の条件で行った。

X 線: Cu Kα フィルター: Ni 電 圧: 40 KV 電 流: 30 mA 走査速度: 2 deg/min 時 定数: 1 sec

測 定 範 囲:5< 20 <60 deg

第17図にX線回折パターンを示す。2 θ =15~35°の緩や かなベースラインの山は非晶質シリカに起因するもので、 他には鋭い X 線回折ピークは 見られなかった。 したがっ て、多孔質ガラスはX線的アモルファスであることがわか った。 ZrO_2 の含有量が高いにもかかわらずアモルファス なガラスができていることは注目に値する。

3.3 耐アルカリ性

多孔質ガラス『IMMISA-』』の耐アルカリ性を調べた。 比較のために、分相法により作製した SiO₂ 多孔質ガラス (平均細孔径:4.0 nm) および非多孔性の ソーダ石灰ガラ ス (スライドガラス) についても同一条件で測定した。

JIS規格に準じた耐食性試験は、通常、表面を滑らか

にしたガラス片を用いて行い,試験前後の腐食による重量 減少量を耐食性雰囲気に曝した表面積で割り付けて腐食速 度を求める。多孔質ガラスの場合は,BET法から求めた 表面積と実際に耐食性雰囲気に曝した表面積が一致してい るとは限らず,これを正確に求めることは困難である。し たがって,『IMMISA-II』と分相法により作製した SiO₂ 多孔質ガラスは比表面積がほぼ同じ約 2.5×10⁵ m²/kg の ものを用い,耐アルカリ性は重量減少率から評価した。

各試料は、 $250 \sim 425 \mu m$ の大きさに揃えた粉末約 5×10^{-3} kg をエチルアルコールで洗浄し 398K で減圧乾燥後、秤量した。ごれをテフロン製の密封容器内で140時間、353K で 1N NaOH 水溶液に含浸し、試験後、同様な減圧乾燥を十分に行った後、秤量し重量減少率を求めた。

第1表に試験結果をまとめた。結果は、SiO₂多孔質ガ ラスに対する相対値で表し、値が大きい程耐アルカリ性が 大きいことを示す。SiO₂多孔質ガラスは数時間で全部溶 解し、アルカリに対する耐久性は全く認められなかった。 それに対して、『IMMISA-II』は、SiO₂多孔質ガラスの10 ~15倍の優れた耐アルカリ性を示し、非多孔性のスライド ガラスよりも耐アルカリ性は良好であった。これはZrO₂ の効果によるものと考えられる。

ZrO₂ による耐アルカリ性の向上については種々の説が 提案されているが、ガラス表面が内部より Zr に富む組成 になり保護膜が形成されるためと考えられている¹⁶⁾。多孔 質ガラスの場合は、これを否定する報告もあり¹⁷⁾、その機 構については不明であるが、得られた SiO₂-ZrO₂ 多孔質 ガラスは耐アルカリ性に優れることが確かめられた。

神鋼パンテック技報



写 真 1 IMMISA-I の粒状試料の外観 Photo. 1 Appearance of the specimen of IMMISA-I

3.4 外観

粒径を1mm程度に揃えた多孔質ガラス『IMMISA-』』の外観を写真1に示した。

4. 用途

多孔質ガラス『IMMISA-Ⅱ』の特長を活かした次のよう な用途が考えられる。

- (1) 分離·吸着剤
 - ・高温ガスの分離・回収
 - ・水溶液, 有機溶媒中のイオンの分離
 - ・低分子量のタンパク質,異性体の分離
- (2) イオン交換体
 - ・放射性廃棄物イオンの除去
 - ・高温復水の脱塩
- (3) クロマトグラフィー用充填剤
- (4) 酵素あるいは触媒担体
 - ・光触媒、金属触媒などの形状選択的な担体
- (5) 徐放性殺菌剤,芳香剤など
- 5. **今後の予**定

ゾルゲル法は、ガラスの分野に限らず幅広い分野で新素 材を創製する可能性を秘めた優れたプロセスである。しか し、成形品を作るという点に関しては、ゲルの乾燥工程に おける収縮率の制御や割れの発生防止など、解決すべき技 術的課題がある。今後、『IMMISA-II』の用途の拡大に当 たっては粒状状態での使用だけでなく、膜、管といった成 形技術の研究開発を進め広い範囲で用いられるようにする 必要がある。

また、本稿ではとくに細孔特性に着目して、無機多孔体ならびに多孔質ガラス『IMMISA-』』について述べたが、 表面の化学的特性もまた多孔体の重要な性質である。 多孔質ガラスは、その表面に反応性に富む官能基(シラ ノール基)を有しており、これを利用した種々の化学的修 飾は従来から盛んに行われている。

『IMMISA-』』においてもこれらの研究成果を踏まえ, 素材自身の持つ機能や用途範囲を明確化した上で,表面修 飾により新たな機能を付加し,より高度な機能性材料を開 発していくべく研究開発を進める。

また,将来は,素材のみの販売だけでなく,素材を使っ た分離精製機器あるいは分離プラントの可能性などへも発 展させる予定である。

むすび

多孔質ガラスを中心に他の無機多孔体との比較において,今回新たに開発した『IMMISA-Ⅱ』の特長を紹介した。 『IMMISA-Ⅱ』は、これまでの無機多孔体にない細孔特性 を有する新規な多孔質素材である。

新規な多孔質ガラス『IMMISA-I』の開発により,これ まで当社で扱ってきた分相法による多孔質ガラスと併せて 細孔径 1~3000 nm の広い範囲で細孔径を制御した多孔質 ガラスが揃ったことになる。すでに,これらの試料を化学, バイオ,半導体分野などに提供し,用途を探索している。

最後に,多孔質ガラスに関する技術指導をしていただい た,通商産業省・工業技術院・大阪工業技術試験所・ガラ ス・セラミック材料部・機能性ガラス研究室の田中博史室長 ならびに矢澤哲夫主任研究官に深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 原龍雄: 神鋼フアウドラー技報 '多孔性ガラス膜による有機 溶剤の限外沪過' Vol. 32, No. 3, (1988) p. 13
- 2) M. M. Dubinin: Advan. in 'Colloid and Interface Sience', Vol. 2, (1968) p. 217, Elsevier
- 3) 触媒学会編: C1ケミストリー, (1984) p. 115, 講談社
- 4) 八嶋建明ほか:化学, Vol. 36, (1981) p. 281
- 5) 加藤忠蔵:化学と工業, Vol. 21, No. 10, (1968) p. 79
- 6) M. E. Davis et al.: Nature, Vol. 331, (1988) p. 698
- 7)山中昭司:第92回ニューセラミックス懇話会研究会資料 (1990)
- 8) 江口良友: 表面, Vol. 10, (1972) p. 521
- 9) 炭素材料学会編:活性炭-基礎と応用,(1975) p. 48, 講談社
- 10) 江口清久ほか:窯業協会年会講演予稿集,(1986)3117
- 11) 作花済夫: ゾルゲル法の科学, (1988) p. 11, アグネ承風社
- 12) 山根正之ほか: ゾルゲル法の技術的課題とその対策, (1990) p. 81, アイピーシー
- 13) 山根正之ほか:窯業協会誌, Vol. 87, No. 8, (1979) p. 56
- 14) 三宅明子ほか:日本セラミックス協会第3回秋期シンポジウム講演予稿集,(1990) 3C04
- 15) 近藤連一ほか:多孔材料,(1973) p. 49, 技報堂出版
- 16) 牧島亮男:機能性ガラス入門, (1984) p. 93, アグネ
- 17) 野上正行: 窯業協会誌, Vol. 93, No. 4, (1985) p. 39

地震荷重を受ける脚支持大型反応器の

三次元構造解析

3-D Structural Analysis of Large Vertical Vessel with Leg Subjected to Earthquake Loading



Recently the technique of applying Finite Element Method to predict structural behavior has become widespread. Therefore, by using this method and hardware systems, i. e. Engineering Work Station, we can obtain more realistic result.

This paper describes our stress analysis example that is 3-D structural model under earthquake load. A unique approach in this analysis is to model a 1/2-symmetrical portion of the structure.

More over, we showed the two other cases of analysis. One is a vessel with lug for support, the other is a model of 1/4-symmetrical portion of cylinder with inner jacket wall. And we examined the influence on local stress that occured by the difference of these cases. These results shows that our modeling presents a safe design.

まえがき

近年,応力解析を要求される業務が増えており,当社でも 効率よく作業ができるようにEWS (Engineering Work Station)を使用しそれに対応している¹⁾。

EWSの特長はいまさら説明するまでもないが、手近かなところに置いて、難しい手続きなしでいつでもすぐ利用することができる点にあると思われる。

このように, EWSを使って有限要素法による解析(以下FEM解析という)を容易にできる環境ができあがる と,必要のないものまでFEM解析をしてしまうこともあ るし,また,要求されることもある。しかし,解析業務の 推進および応力解析技術の浸透のためにはそれも必要と思 われ,積極的に取り組んでいるのが現状である。

本稿では,種々の解析事例の中から,特に三次元モデル を用いたものを選定し,その概要を紹介する。

1. 耐震設計該当機器の解析事例紹介

当社で取り扱っている反応器の中には「高圧ガス取締法 の特定設備検査規則」²⁾ に定める耐震設計の対象となる機 器がある。通常,通商産業省告示515号に定める「高圧ガ ス設備等耐震設計基準」³⁾ による強度計算を行い,耐震強 度を確認する。しかし,その反応器が,「特定設備検査規 則」に該当する特殊な設計による特定設備である場合,前 述の強度計算に加えてFEM解析により細部にわたる検討 を行う場合もある。ここでは,脚支持構造物のFEM解析 による耐震設計事例を示し,さらに少し別角度からみた追 加解析もあわせて紹介する。

1.1 解析モデル

当社で取り扱っている内部ジャケット付反応器4)の概略 図を第1図に示す。解析計算上複雑な構造は次に述べるよ うなモデル化をすることにより,計算の効率化を計ってい る。すなわち,反応器部は胴板および上下鏡板で構成され るものとし,内部ジャケット構造はモデルから除外した。 また,構造物の対称性から全体のモデルは½モデルとした。 さらに,反応器の上部に設置されるリフラックスコンデン サの重量は,上鏡に相当重量として考慮することとし,モ

デルから除外した。

FEM解析のモデル図(要素図)を第2図に示す。この モデルでは脚と下部鏡板との間のサポートラグは省略して いる。応力を評価する部位は要素数の関係から一つの脚取 付部分に絞り,計算精度を上げるためその部位の要素のメ ッシュサイズは小さくしている。解析に用いたプログラム 名,要素タイプなどは次に示すとおりである。

- ・プログラム名:ANSYS
- ・要素タイプ :4節点3次元四辺形シェル要素
- ·要素数 :3074
- 節点数 : 3194

計算実行に際して、次の仮定をおいた。

- 内容物の重量は反応器の胴板および鏡板の比重を修 正することにより考慮する。
- (2) 地震係数は0.39とし,水平方向加速度として0.39G を用いる。



神鋼パンテック技報

第1図 内部ジャケット付反応器 Fig. 1 Reactor with inner jacket

Vol. 35 No. 1 (1991/3)



第1,2表の値を重ね合わせて, 各部の主応力, 応力強 さを求め,第3表に示した。算出式は次のとおりである。

$$S_{1} = \sigma_{r}$$

$$S_{2} = \frac{1}{2} (\sigma_{L} + \sigma_{t}) + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{L} - \sigma_{t})^{2} + 4\tau_{tL}^{2}}$$

$$S_{3} = \frac{1}{2} (\sigma_{L} + \sigma_{t}) - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{L} - \sigma_{t})^{2} + 4\tau_{tL}^{2}}$$

$$SI = MAX(|S_{1} - S_{2}|, |S_{2} - S_{3}|, |S_{3} - S_{1}|)$$

以上のように求めた応力強さの許容限界は, JIS B 8250 圧力容器の構造(特定規格)によると,『一次膜応力 と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さに対する許容値は

第3表 重ね合わせ応力 第 1 表 応力成分値(地震荷重) 第2表 応力成分値(圧力荷重) Table 1 Component of stress under load Table 2 Component of stress under load Table 3 Added stress of earthquake kg/mm² kg/mm² kg/mm² of pressure Location SI σ_{r} τtL Location τ_{tL} Location S1 S 2 S 8 σ_t σ_L σ_{r} $\sigma_{
m t}$ $\sigma_{\rm L}$ 2.08 0.14 10.01 6.69 10.15 0.00 1.97 0.44 0.51 0.14 8.03 4.61 A A B C A 2. 17 2. 29 BC 7.98 в 0.00 5.49 5.49 2.60 2.25 0.48 0.00 0.00 4.521.06 Õ D 0.00 -7.46 7.89 0.49 13.78 10.20 0.25 -0.14 6.34 6.48 0.14 11.16 Ď 0.00 9.91 9.36 -0.85 Đ 0.00 1.14 -2.27 0.19 0.00 11. 16 6.98

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

大図を示した。

した。

は赤色で示した。また,第4図はこの時に胴板に発生する

応力を応力強さコンタ図で表した一例である。この図は本 体胴板の外表面の応力強さを示しており、脚取付部にごく 一部、応力値の高い部位が見受けられる。図中左にその拡

つぎに脚の取付部について,第5図に示す位置(A~D) における応力の検討を行った。この検討に際し,本章で求 めた地震荷重による応力に加え,本体内部の設計圧力によ

る応力も別途解析を行って考慮した。その結果、地震荷重

による応力を第1表に,圧力荷重による応力を第2表に示

神鋼パンテツク技報

*



ELEMENTS



 $1.5 \times k \times Sm$ とする。』とある。ここで、Smは設計応力強 さであり、 k は同規格、表4.2.2 に示される割増係数であ る。本解析で用いた材料に対しては次のとおりである。

 $1.5 \times k \times Sm = 30.8 \text{ kg/mm}^2$

したがって、解析結果は許容限界を超えないことが確認さ れた。

サポートラグを考慮した解析 2.

前章で行った解析は、計算機の能力、解析時間などの理 由からサポートラグを取り除くというモデル化を行ったも のである。当然、このモデル化を行うに当たっては本来の 構造のものと比べて安全設計となることが前提である。定 性的にはこの考えが正しいことは理解できるが、定量的な 裏付けの必要もあって、ここでは第6、7図に示すモデル を用いて比較検討を行った。

2.1 解析モデル

第1章で解析を行ったモデルにサポートラグを追加し, 同一条件で解析を実施した。ただし、圧力荷重は考慮しな い条件での比較検討とした。また、本サポートラグ付の解 析では、メッシュサイズを小さくした評価部位が最大応力 の発生する位置となるように、前章解析に対して荷重の向 きは反対向きとした (第6図参照)。解析モデル図 (要素 図)を第7図に示した。要素数,節点数は次のとおりであ る。

・要素数:3270

· • 節点数: 3304



- サポートラグ付 Fig. 8 Contours of stress intensity
- 第4表 応力強さの比較(地震荷重のみ) Table 4 Stress intensity under load of earthquake

Location	without support lug	with support]
A	2. 47	6. 16
B	2. 93	8. 50
C	8. 21	1. 16
D	10. 53	1. 92

ke

2. 2 解析結果

本体胴板に発生する応力を前章と同様に応力強さ: 図として第8図に示す。また、脚取付部の各位置() 参照)における応力強さを第4表にまとめて示す。こ 果, サポートラグを考慮した場合, 応力強さの最大1 ポートラグを 考慮しない場合 と比較して 約20 %減少 いることがわかった。すなわち,第1章の解析はそれ 安全側の検討を行っていたことになる。

内部ジャケット部材に及ぼす影響

今まで紹介してきた解析は前述したごとく,内部: ット構造は考慮されていない。そこで、より厳密なを 行うためには既存のモデルに内部ジャケットを追加了 とであるが、現実的にはこれ以上要素数を増やすここ 析時間などの理由から不可能であり、別途それを検討 るモデルを考えた。

3.1 解析モデル

内部ジャケットに及ぼす影響を検討するためのモジ して,二重円筒の間を仕切板でつないだ 1/4 円周モジ 考え,これを第9図に示した。本モデルは図中右下(図に示したように当社の内部ジャケット構造をうま。 している。境界条件としては各終端部に対称境界条件 えている。ただし,上端は連続の条件を与えた。チ 用の荷重として図中矢印で示した集中荷重を与えた。 の 大きさは 前章の 解析で 得られた(脚取付部の) 5000 kg を与えた。



第9図 解析モデル形状(要素図)

Fig. 9 1/4-symmetrical finite element model of a 3-D cylindrical structure

第5表	円筒モデルによる比較(応力強さ)
Table 5	Comparision for cylindrical structure

Single cylinder	Outside	17. 33
Double aulinder	Outside of shell	4. 25
Double cyllider	Inside of inner jacket	17. 33 1 4. 25 jacket 2. 80

3.2 解析結果

Ą

集中荷重が作用したときの応力強さのコンタ図を第10, 11図に示す。第10図は円筒外部からみた外面(本体胴板に 相当)の応力値で,第11図は円筒内部から見た内面(内部 ジャケット板に相当)の応力値である。これに加え,一重 円筒のモデルの解析も行い,その結果を一覧表にして第5 表に示す。第1,2章での条件が本章の解析条件と同一に ならないため発生する応力値は異なるが,内部ジャケット を有する構造は前章で求めた応力を緩和する方向にあるこ とがいえる。さらに本体胴板に比べ内部ジャケット板に生 じる応力はさらに低いことが確認された。

むすび

今回,高圧ガス設備の耐震設計該当機器について行った 解析を基にして,通常は理論だけ考えてあえて解析を行わ ないような内容についても,少し時間をさいて検証した結 果を紹介してきた。今回の結果はたまたま予想したとおり のものであったが,なかには解析をして初めて分かったと



第10図 応力強さコンタ図(外面) Fig. 10 Contours of stress intensity (Outside surface)



第11図 応力強さコンタ図(内面) Fig. 11 Contours of stress intensity (Inside surface)

いうケースも少なくない。したがって,解析しようとして いる問題の工学的な内容をしっかりつかみ,簡単な検証を 試みながら問題を解決していくべきであろう。

〔参考文献〕

kg/mm²

- 1) 神鋼フアウドラー技報, Vol. 33, No. 2, (1989) p. 18
- 2)監修:通商産業省立地公害局保安課,高圧ガス取締法令例規 集,新日本法規
- 3) 高圧ガス設備等耐震設計指針, 高圧ガス保安協会
- 4) 神鋼フアウドラー技報, Vol. 32, No. 3, (1988) p. 23

ロ バ テ ル 遠 心 分 離 機

ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centrifuge



(化)技術部 製品開発課
 田 村 俊 彦
 Toshihiko Tamura

The industries of our country have a tendency to aim at making the high-value added materials much finer. Consequently it is required that the process adapts itself to G. M. P. standards to make it possible to produce higher purity materials.

ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centrifuges are designed for clean rooms and to process multiple products for the fine chemical, pharmaceutical and food industries in conformity to G. M. P. standards.

Total weight and installation time are reduced thanks to its frame including two lateral compartments to be ballasted directly at job-site.

And its fully opening hinged G. M. P. casing which completely exposes the basket enables us to clean it quickly.

まえがき

わが国の産業界は、一般に高付加価値物質を対象とする ファイン化の傾向にあり、これに伴い製品の高純度化を可 能とするため、プロセスの GMP (Good Manufacturing Practice) への対応が要請されている。

当社は、従来遠心抽出機の分野で既に販売提携関係にあるフランスのロバテル社と、このたび新たに遠心分離機の 分野においても販売提携を結び、GMP対応の遠心分離機の販売を開始した。

本稿では、このロバテル遠心分離機の概要を紹介する。

1. 遠心分離機の種類

遠心分離機は,遠心力を利用して主として固一液または 液一液からなる系を,成分ごとに分離することを目的とす る。

遠心分離機の分類を第1図に示す。遠心分離機を大別す ると、バスケットに小孔を有し沪過によりスラリーを固体 ケーキと液体とに分離する遠心沪過機(遠心脱水機)と無 孔バスケットにて固体または密度の大きい液体を沈降濃縮 し、液体または密度の小さい液体とに分離する遠心沈降機 とに分けられる。遠心沪過機は、第2図¹⁾に示すように、 バスケット回転軸の方向により、さらに垂直軸式と水平軸 式とに分類される。

遠心沪過機は主として固一液系の分離に、遠心沈降機は

Cylindrical type

Conical type

主として液一液系の分離または低濃度の固一液系の分離に 適しているが,洗浄工程を含むサイクルには遠心沪過機が 適している。

遠心分離機は、原液の供給方法が間欠であるか連続であ るかにより,さらにバッチ式と連続式に分離されるが,遠 心沪過機はバッチ式,遠心沈降機は連続式であることが一 般的である。

2. 機構

ロバテル遠心分離機は、バッチ式全自動水平軸式遠心沪 過機に分類される。一般的なサイクル例を第3回に示す。 工程は、給液一沪過一洗浄一脱水一排出からなり、プログ





Fig. 1 Classification of centrifuges

第1図 遠心分離機の分類

Centrifugal dehydrator

Centrifugal decanter

Top discharge

Bottom discharge

Peeler centrifuge

Pusher centrifuge

Vertical axis

Horizontal axis

Centrifuge



discharging mechanism

ラマブルコントローラにより自動運転を行う。沪材には沪 布または金属メッシュを用い,バスケットとの間に沪液通 路としてのメタルサポートを介して装着する。

2.1 給液工程(第3図I)

回転中のバスケットに給液管より原料を給液する。この 時ケーキを均一形成するため、濃度と圧力を一定にして供 給する。バスケット内に設置したフィーラ(満液検出装置) により、満液状態を検知し給液を停止する。

2. 2 沪過工程(第3図])

洗浄工程での洗浄効果の向上のため母液を沪過し,沪液 を排液口より本体外へ排出する。沪過工程はあらかじめ設 定した時間が経過した後終了する。

2.3 洗浄工程(第3図])

洗浄管より洗浄液を供給し,ケーキ中に残存している母 液の除去を行う。あらかじめ設定した洗浄時間経過後洗浄 を終了する。

2. 4 脱水工程(第3図Ⅱ)

洗浄液の付着したケーキを脱水する。あらかじめ設定し た脱水時間経過後脱水を終了する。

2.5 排出工程

排出は,第4図に示すスクレーパ(一方向運動)または ナイフ(二方向運動)によりケーキを掻き取り、シュート またはスクリューコンベアによりケーキを機外へ排出す る。このときバスケット回転数を落とさずに高速回転状態 で行う。近接スイッチにより、スクレーパ、ナイフとバス ケット、フレームとの相互位置を検出し、排出を終える。 なお、ケーキ掻き取りの際のスクレーパ、ナイフおよびケ ーキ排出の際のシュート、スクリューコンベアの選択は、 ケーキ性状により決める。

2.6 安全機構

上記工程を 安全に 全自動運転を するため, 回転検出装置, フィーラ(満液検出装置), 振動検出装置, ベアリン グ温度検出装置, セーフティ・ドアロック, 非常用ブレー キを標準装備としている。

3. 水平軸式遠心分離機の特長

水平軸式遠心分離機は、垂直軸式遠心分離機を横にして

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

Solid Solid

Filtrate

Slurry

第5図 垂直軸式遠心分離機概念図 Fig. 5 Schematic view of vertical axis centrifuges

掻き取り装置を取り付けた構造となっている。19世紀末に ロバテル社が開発した装置であり,ピーラ型と呼ばれてい る。

Washing liquid

水平軸式遠心分離機 と 垂直軸式遠心分離機 を 比較する と,回転数の 違いにより 遠心効果は 水平軸式の方が 大き く,従って低含水率のケーキを得ることができる。

第5図²⁾ に示すように,垂直軸式遠心分離機により形成 されるケーキは,遠心力の方向と重力の方向が異なるため に,通常下部ほど厚くなる。このため給液工程では,バス ケット上部に隙間を生じ,仕込容量が同じバスケットサイ ズの水平軸式遠心分離機より少なくなる。また,このケー キ厚みの不均一性により洗浄工程では,ケーキ厚みの薄い ところを洗浄液がショートパスし,ケーキ厚みの厚い部分 が十分洗浄できないという欠点を有する。

一方,水平軸式遠心分離機は,遠心力の方向と重力の方 向が一致しており,ケーキがバスケットに均一に形成され, 仕込容量の減少,洗浄の不均一性などの問題を生じない。

全自動垂直軸式遠心分離機の主流である底部排出型は, 排出口がバスケットの下部に位置しているため,給液工程 において給液された原液,もしくは洗浄工程において供給 された洗浄液が下部排出口に飛散・蓄積し,排出時の製品 を汚染することがある。また,下部に排出することから同 ーフロアへの排出ができず,給液タンク,遠心分離機,排



写 真 1 ロバテル遠心分離機 EHBF 型 Photo. 1 ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centriguge EHBF type



写真2 ロバテル遠心分離機 EHBL 型 Photo.2 ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centriguge EHBL type



第6図 ロバテル遠心分離機 EHBL 型の構造断面図

Fig. 6 Structual cross section of ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centrifuges EHBL type

出後の乾燥工程が上下関係になり, プラントとして背丈が 高いものとなる。

また,垂直軸式上部排出型は,掻き取り後のケーキを吸 引方式で排出することにより自動化を計っているが,プロ ワ,バグフィルタなどの付帯設備が必要となる。

一方,水平軸式遠心分離機においては,第6図に示すように,排出口であるシュート,スクリューコンベアが給液管と逆向きに配置しており,原液・洗浄液の飛散によるケーキの汚染がまったくなく,付帯設備なしに同一フロアへの排出が可能なため,レイアウト上の制約が少ない。

サイクル時間に関しては,垂直軸式遠心分離機の場合, 軸からバスケットに動力を伝えるリブの回転を横切りなが ら排出を行うため,排出時の回転数が極端に低く,排出に 時間を要する。また,このための加減速にさらに時間を要 することからサイクル時間が長くなる。

一方,水平軸式遠心分離機は,原則としてバスケットの 回転数を落とすことなく排出工程に入ることができるた



写 真 3 ロバテル速心分離機 EHBL 型 Photo. 3 ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centriguge EHBL type

め,サイクル時間が短縮され,垂直軸式遠心分 離機に比べ時間当りの処理量が増大する。

4. ロバテル遠心分離機の特長

ロバテル 遠心分離機に は, EHBF 型 (写真 1 参照) と EHBL 型 (写真 2 参照)の 2 種類の 機種がある。

EHBF 型は, 従来型の水平軸式遠心分離機であり, バ スケット径が1550,1760,2100mmの大容量対応機種で ある。振動に対する防振用のコンクリート土台が本体下部 に必要な,一般的な水平軸式遠心分離機である。

EHBL 型は,従来の遠心分離機と異なり,GMP 対応 のまったく新しい遠心分離機である。バスケット径が730, 1050,1320 mm の中容量対応機種であり,本体内にウェ イトを内蔵するため防振用のコンクリート土台を必要とし ない。また,これにより装置重心が振動源である回転軸中 心と一致し,従来型と比較して装置重量を軽量化しながら 振動に対する安定性を向上させている³⁾。

従来の遠心分離機は、バスケットが本体内に収納され洗 浄性,作業性に問題を有していたが、EHBL型は、前面 の扉がバスケットケーシングを兼ねているので、写真3の ように、扉の開放によりバスケット全面が露出し、特に従 来洗浄の十分行えなかったバスケットとケーシングの間、 バスケット後部の軸受周辺部の洗浄、メンテナンスが容易

神鋼パンテツク技報

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

第1表 標準仕様・寸法表 Table.1 Specifications and dimensions

Tune		Basket		Maximun rotational	Centrifugal	Average motor	Machine	Total	Over	rall dime	nsions
туре	Diameter [mm]	Width (mm)	Volume	frequency [r.p.m.]	[G]	power (kW)	(t)	(t)	L [mm]	W [mm]	H. (mm)
EHBL 732/733	730	350	72	2 100	1 800	15	4.1	5.3	1 900	1 500	1 800
EHBL 1052/1053	1 050	610	220	1 550	1 400	30	5.9	8.1	2 800	1 800	2 400
EHBL 1322/1323	1 320	720	440	1 200	1 060	45	9.1	12.5	3 500	2 300	2 500
EHBF 1552	1 550	820	710	900	700	55	9.0	27.0	3 400	2 200	2 100
EHBF 1762	1 760	980	1 040	925	850	75	17.0	40.0	4 100	2 600	2 400
EHBF 2102	2 100	980	1 500	850	850	110	23. 0	60.0	4 200	4 200	3 200

EHBF type 2

EHBL type 3









に行え,多品種少量生産が可能である。

また,装置前面のバスケット部分のみを壁面を介してク リーンルーム内に設置することが可能であり,クリーンル ーム内に電動機,油圧ユニットなどの機械的部分を設置す ることなく遠心分離を行え,医薬品などの品質管理の徹底 を義務づけられたものに対応可能である(第7図参照)。

5. 標準仕様

標準仕様, 寸法表を第1表に示す。

接液部材質は SUS316L を標準とし,ハステロイなどの耐食金属製,フッ素樹脂,ゴムライニングなども可能である。

モータは, EHBF 型は流体継手付き非防爆仕様, EHBL 型はインバータ付き防爆仕様を標準としている。

なお, モータ, 電気計装品に関しては, 弊社にて国産品の 装備を行う。

6. 用途

用途例を次に示す。

化学関係: 硫安, 芒硝, 石膏, 顔料, AS樹脂, ABS樹脂, 各種化学生産物など



第7図 ロバテル遠心分離機 EHBL 型適用例

Fig. 7 Application example of ROBATEL Horizontal Axis Peeler Centrifuge EHBL type

製薬関係:ビタミン剤,抗生物質,各種医薬品, 農薬など

食品関係:澱粉,食塩,化学調味料など その他:電解加工液など

び

むす

今後とも, 医薬品, 食品, ファインケミカルから各種化 学製品に至るまで, GMP適用範囲が拡大することが予想 され, 本遠心分離機に対するニーズもますます増加するも のと考えている。

本稿が,ユーザ各位が遠心分離機を選定される際のご参 考になれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) Centrifugation : Technologie : Les techniques de l'ingenieur (1989)
- 2) Centrifugation: Généralités Théorie: Les techniques

de l'ingenieur (1989)

3)特開昭59—80348

The Corrosion Mechanism of Glass

(化)技術部 製品開発課 E Katumi Yamazoe

Glass-lined equipment is widely used in chemical industrial field because of corrosion resistance. There are many components in glass used in glass-lined equipment, and the corrosion mechanism is very complicated. So, the experimental method is needed for designing high corrosion resistant glass and glass-lined vessel. But it is important to study basical mechanism of glass corrosion from the point of view of research, development and applications.

This paper describes the relations between glass corrosion and various conditions (structure, components, solusions, and temperature).

まえがき

当社は設立以来, グラスライニング機器を製造販売して きた。ガラスの持つ洗浄性の良さ, 耐食性の良さを生かし ながら, 機械的強度を鉄鋼で持たせることを特長としてい るため, 主に化学工業機器, 酒タンクなどの醸造用機器に 用いられてきた。特に化学反応機に関しては酸性溶液に耐 食性のある金属材料が少なく, グラスライニング機器が盛 んに用いられている。グラスライニングはガラスと金属母 材との複合材料で, 耐食性以外にもライニングするのに必 要な特性を備えていなければならない。そのため, ガラス 中の成分は10種類以上にも及ぶ。本報では当社の経験をも とに, 複雑な組成をしたグラスライニング用ガラスの腐食 機構について基本的な立場から考察した。

2. ガラスの構造と耐食性

2.1 ガラスの構造

グラスライニングで使用されるガラスは珪素(Si)を主体とした酸化物の非晶質の集合体である。第1図はガラスの構造をわかりやすく2次元的に示した模式図である¹⁾。 ガラスは第1図に示されているように珪素と酸素の結合(SiO₂)による網目構造が骨格となっており、その中に網目修飾イオンと呼ばれるアルカリ(Naなど)、アルカリ土類金属(Caなど)などの陽イオンが不規則に分布している。ガラスは通常原料を溶融したものを急冷して作られる。 ガラスの構造は液体の構造をしているといわれている。立体的に表示するとSiO₂の基本構造は第2図のように珪素 原子を中心に4個の酸素原子を頂点にもつ正四面体構造を して、それが互いに頂点を共有して結ばれている³⁾。正四面 体は頂点のある立体図形の中で頂点が一番少ない。一般に 頂点が蝶番のように結合していると考えると、それが少な いほど自由度がでる。ガラスは第2図に示されている θ が 種々に変化することにより全体として不規則構造となる。 ちなみに、結晶体の場合は θ は一定である。SiO₂を主体 とするガラス状物質は θ が変化するゆえ、四面体の間に大 小さまざまなイオンを取り込みやすい²⁾。また、ガラスは 結晶体の通常の固体と異なり、はっきりした融点がない。

液体状態の不規則構造を持ったまま固体状態になるため,

このように SiO₂ を主体としたガラスはこの自由度の大 きい構造により、いろいろな元素を添加してもよく溶けあ った液体と同様、均質である。これらの添加元素を、適当 に選択することにより耐食性を高めたり、熱膨張を調整し ていろいろな母材にライニングしたり、電気的な性質を変 化させたりすることが可能になる。

2.2 珪酸塩ガラスの耐食性

SiO₂ を主体とした ガラス(珪酸塩ガラス)には 上述し た性質の他に,通常構造材として使用される金属材料には ない酸性溶液に対する安定性という重要な性質がある。こ





神鋼パンテツク技報



第1図 ガラスの構造の2次元モデル Fig. 1 Two-dimensional model of glass structure



O*: Nonbridging oxyzen

第3図 架橋酸素と非架橋酸素

Fig. 3 Bridging oxyzen and nonbridging oxyzen



Fig. 4 Y vs. corrosion resistance

れは SiO₂ が酸性酸化物であること, pH9 以下の領域では イオンに解離しにくい性質を持っているからである。イオ ンに 解離しにくいことは 溶解しにくいこと であり, SiO₂ は酸性側で非常に安定である。これが珪酸塩ガラスが耐酸 性にすぐれている理由である。

グラスライニングは金属母材とガラスを高温で焼き付け たものとの複合材であるため、安定した製品にするには、 お互いの熱膨張特性を合わす必要がある。例えば鉄鋼の熱 膨張は SiO₂ だけのガラス (石英ガラス)の20倍も大きく、 通常の方法ではライニングはできない。

グラスライニング用ガラスには通常熱膨張を母材と合わ せるためアルカリ金属イオンを添加している。熱膨張を大 きくすることは、一般に構造の弱体化を意味し、純粋な SiO₂よりも耐食性が落ちてくることが予想される。この ため、耐食性とライニング性の両方のバランスを考え、グ ラスライニングのガラスの成分設計を行う必要がある。

次に珪酸塩 ガラスの 耐食性を ガラスの 構造より考察す る¹⁾。Si イオンのみに 連結している 酸素を 架橋酸素 と呼 び,その他のイオンと連結している酸素を非架橋酸素と呼 ぶことにする。第3図にその模式図を示す。Si 原子周りの 架橋酸素数を平均Y個とし,酸素,珪素の原子数の比O/Si をRとし,Si 原子1個当りの非架橋酸素数をXとすると, 次の関係が得られる。

X+Y=4 X+1/2Y=R ゆえに X=2R-4

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

第1表 Z/r^2 の値 Table 1 Value of Z/r^2

$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $								
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Ior	Z/r^2		Ion	Z/r^2		Ion	Z/r²
$\begin{bmatrix} \mathbf{g} \\ \mathbf{g} $	Ikalne metals	+ 1.9 a+ 0.7 0.4 b+ 0.3	Ikali earth metals	Be ²⁺ Mg ²⁺ Ca ²⁺ Sr ²⁺	21 2.7 1.4 1.0	Others	Al ³⁺ Ti ⁴⁺ Zr ⁴⁺ Fe ³⁺	11 7.1 5.4 7.6

Y = 8 - 2R

このYの値は ガラスの 網目構造に対して 重要な 指標となる。すなわち,Y>3の時修飾イオンが導入されてもガラ スの網目構造が連続して存在する条件である。

Y=3の時,修飾酸化物1モルに対して,SiO₂2 モル の組成であるからSiO₂が約65 モル%以下のガラスでは溶 液中のイオン (例えば水素イオン)の攻撃を受けると,網 目の連続していない部分が容易に破壊され,ガラスの構造 のバランスが崩れて溶解していくことになる。耐酸性のよ いガラスは大略Y>3の条件を満足していると考えられ る。第4図に当社の複数の珪酸塩ガラスのYの値と耐食性 の関係を示す。Y値が大きくなるにつれて耐酸性はよくな る傾向が見られる。データのばらつきの原因としては,Y 値が同じでも修飾イオンの種類,量により耐食性がかわる ためであり成分設計の難しさを示している。

ガラスの構造より耐食性を考察する場合,各イオンの結 合の強さが問題となる。結合の強さは静電気的なものが主 体であると仮定すると、イオン表面の単位面積あたりの電 荷量が一つのバラメータになる。イオンの半径をr,イオ ンの荷電量を Z とすると Z/r²の大きさを比較することに より,結合の強さを類推することができる。第1表に各イ オンの Z/r²の値を示す。これよりガラスの結合を弱める イオンはアルカリ金属イオンであることがわかる。事実, ガラスの耐食性は含まれるアルカリ金属イオンの量が多い ほど悪くなる。但し、耐食性は複雑な組成のガラスにおい ては構造上のバランスより決定 されるため、単純ではな い。グラスライニング用ガラスにはアルカリ金属イオンが 含まれているが、これらを導入しなければいけない理由は 次のとおりである。

- (1) 鉄鋼母材と熱膨張率を合わせる必要がある。効果が 大きく調整しやすいのがアルカリ金属イオンである。
- (2) 結合力の強いイオンを導入するとお互いに引き合って結晶化しやすく、非晶質ガラスと結晶が混在し、不均質なものになりやすい。
- (3) 焼成温度を調整する。

(4) 耐アルカリ性を良くする。

このように SiO₂ の量とアルカリ金属イオンの量が決定されると残りの10~20% で各種イオンを導入して性質を変化させる。

これらのイオンには例えば次の性質を付与させる。

- (1) 耐食性
 - (2) 結晶化防止
 - (3) ライニング性

神鋼パンテツク技報



第5図 各 pH での耐食性

Fig. 5 Corrosion resistance in various pH solusions

3. 各種薬液による耐食性

ガラスの各種薬液に対する耐食性を考える場合,表面の 電位を考察するとわかりやすい。ガラスのような酸化物の 表面は,溶液中では帯電しており,各 pH 値によって+に 帯電したり,一に帯電したりする。電位が0の時を等電点 と呼び,この点がイオンの攻撃を受けない耐食性の最もよ い点である。珪酸の場合,等電点は pH2 前後である。第 5 図は当社のグラスライニングの各 pH における年間腐食 率が 0.1 mm/y になる温度を表わしたグラフであり, pH2 前後のあたりが最も耐食性があることがわかる。また,鉄 の酸化物は pH7 前後に等電点があり,酸よりもアルカリ 側に強い。

ガラスは無機系の物質であり、一般にイオン化し難い有 機系の内容液には耐食性が優れる。また、ガラスは絶縁体 で、金属のように電食などを考える必要はなく、腐食に対 しては表面から溶解していく減肉だけを調べればよい。グ ラスライニングで腐食について考慮する必要のある基本的 な条件は次の場合である。

- (1) 100 度以上の温度条件
- (2) 100 度以下の場合でアルカリ水溶液,フッソイオンの含まれるもの。

これらの条件下ではあらかじめ耐食性を確認しておく必 要がある。

3.1 酸による腐食

グラスライニングの酸に対する腐食機構は次のように考 えられている³⁾。



(1)式はガラス中のイオン交換反応であり, Mがアルカリ 金属イオンのように結合力の弱い場合には速く反応すると 考えられているため, ガラスの成分設計が重要な因子とな る。

(2)式はガラス中の Si4+ の溶液中への溶解過程であり,

V/S	mm/y	´ 第 2 表 Table 2	V/Sと腐食量 V/S vs. corrosion rate
ŝ	0. 25		
45	0. 25		a a
22	0. 25	Condition	
5.5	0. 22	20 % H	Cl 140 °C
1	0.13	24 hr	
		-	

この速度は溶液中の Si4+ の濃度によって律速される。

SiO2 の量の多い高耐酸ガラスでは非架橋酸素が少なく (1)式に示されるようなイオン交換反応が起き難く(2)式のよ うな自己縮合反応は抑制されるため,腐食速度は小さい。 1)基礎式

ここで(2)式によるガラスの腐食速度式を定量化してみる と次のようになる。

$$dW_{si}/dt = k \cdot S(Ca_{si} - W_{si}/V)$$
(3)

ここに、 Wsi: : 溶液中の Si の量

t :時間

Casi:酸中の Si⁴⁺の飽和濃度

dwsi/dt: 腐食速度

S :ガラスの表面積

- V :溶液量
- k : 定数(溶液の種類, 濃度, 温度, ガラ スの種類により異なる)
- Wsi=W·Xsiとして(3)式を解くと
 - W:ガラス全体の腐食量
 - X_{s1}:酸中に溶解したガラスの成分の内 SiO₂の重量分率

 $W = Ca_{si} \cdot V / X_{si} [1 - exp\{(-S/V) \cdot k \cdot t\}]$ (4)

この式より ガラスの 腐食量は, ガラスの種類, 溶液の種 類,温度などのプロセス操作条件だけでなく,液量/表面 積などの容器の 大きさ,形状にも関係していることが解 る。(4)式の指数項は V/S の項が大きい時影響が少ないこ とを意味し,容器が大きくなれば考慮の必要はなくなる。 これらは実験室規模の小容器で実験した結果が,実験条件 によっては大容量の実機にそのまま適用できないことを意 味している。第2表に種々の V/S で実験した時に計算さ れた年間腐食率を示す。これより,ガラスより溶出してき たシリカの影響がほとんど無視できるのは,1日間のテス トで,V/S>20の条件である。グラスライニングの腐食 を事前にテストする時は上記のことを十分に考慮しておく 必要がある⁴。

2)温度の影響

グラスライニングの酸に対する腐食速度は溶解反応が律 速過程とすれば,温度の影響は次のアレニウスの式によ る。

 $dW/dt = A \cdot exp(B/T)$ (5)

ここに、 dW/dt:ガラスの腐食速度
 A, B:定数
 , T:絶対温度

Vol. 35 No. 1 (1991/3)



第6図 HCl 水溶液に対する耐食性

Fig. 6 Corrosion resistance in HCl aqueous solusion



Fig. 7 Comparison of corrosion resistance

in HCl and CH3COOH aqueous solusions

Bは活性化エネルギーに対応するもので腐食機構が同じ 溶解過程のみで起こるものとすれば,珪酸塩ガラスであれ ば種類が異っても同一酸溶液の場合一定の値をとると考え られる。

また,同一酸であり,同一のBをとれば異なる濃度でも 腐食機構が同一であることを示している。第6図は塩酸で の温度の影響を片対数グラフで表わしたもので濃度にかか わらず傾きが一定である(すなわちBが同じ)。これはグ ラスライニングに使われる高耐食性ガラスの酸による腐食 機構は比較的単純であることを示している。

3)溶液の種類の影響

酸中のガラスの腐食速度が溶解反応速度に律速されると すれば、この溶解を促進する因子は水素イオンと考えられ る。 pH の測れるごく薄い酸ではどの酸でも同じ量腐食さ れる。しかし、10 %以上の酸では通常の意味での pH は測 れない。濃度が高くなると溶媒である水の減少により水素 イオンの活動度が変化するため、 pH のように一律には論 じられないからである。第7 図に強酸の代表である塩酸と 弱酸の代表である酢酸の腐食量が 0.1 mm/y の時の腐食曲 線を示す。塩酸は6 モル濃度 (20 wt%) の時最も腐食が激 しく、濃度の増加とともに腐食率は減少していく。これら は他の強酸(硝酸、硫酸)でも同じ傾向を示す。6 モル濃 度以上では水が少なくなりイオンに解離しにくくなるため である。弱酸ではもともとイオンに解離しにくいため、濃 度の増加とともに腐食量は減少していく。



弗8因 純水に対する
mg性 Fig. 8 Corrosion resistance in pure water

このように酸による腐食は一般に水素イオンと深くかかわっていて,強酸,弱酸の差以外,種類による差は比較的少ない。例外は燐酸とフッ酸であり,陰イオン (PO4-, F-)が珪酸の骨格を破壊するといわれている。特にフッ酸はガラスのエッチングに用いられるため,たとえ常温で ppm の単位でも注意する必要がある。

3.2 水による腐食

水による腐食はガラス中のアルカリ成分の溶出によるア ルカリ液の腐食であると考えられる。ガラスは水に対して は負に帯電していて,溶出したアルカリイオンは表面近く に集まる。したがって,ガラス表面近くはアルカリ性とな り,腐食が促進される。液量が同じであれば表面積の大き なテストピース程腐食量が大きい傾向がみられること,テ ストピース程腐食量が大きい傾向がみられること,テ ストピースを互いに接触させて実験すると非接触のものと 比べて腐食量が大きくなる(ガラス表面の pH の上昇)事 実より,アルカリの溶出が腐食を加速していることが示さ れる。第8 図は純水の温度による腐食率を表わしたもので ある。高温度になると腐食が急速に進行する。ガラスから の溶出するイオンの種類にも関係してくるので成分設計が 重要である。水による腐食機構はごく表面層の解明が必要 で,不明な点が多いのが現状である。

3.3 アルカリの腐食機構

珪酸塩ガラスは、アルカリ溶液によって大きい腐食を受 けることがよく知られている。これはアルカリ溶液中の水 酸イオンによりガラスの骨格である Si-O-Si 結合が切断 されて非架橋 SiO 群が増大し、構造が こわされて 溶液中 に SiO₂ が溶出してくるためと考えられている。ガラスの 骨格を破壊する陰イオンとしては他にフッ素イオンがよく 知られている。しかし、この場合にアルカリ溶液によるガ ラスの腐食が水酸イオンのみによっているならば、アルカ リ溶液中の陽イオンに関係なく、水酸イオンの濃度のみに よって腐食量が決まるはずである。ところが第9図に示す ようにアンモニアと苛性ソーダでは同じ pH でも腐食量は 異なる。これは水のところでも述べたように、ガラスの表 面は負に帯電していることより表面に陽イオンを吸着しや すく、溶液中およびガラスの成分から溶出した陽イオンの 影響が顕著に出てくるためである。これらの成分には腐食 を促進するもの,抑制するものがあり,その機構は非常に 複雑である。水の場合と同様に温度の上昇とともに急激に 腐食する傾向がある。第9図はガラス表面への吸着性がナ トリウムイオンとアンモニウムイオンとで異なることを示

Vol. 35 No. 1 (1991/3)





している。このようにアルカリによる腐食はイオンの性質 に依存する。吸着イオンが腐食を抑制していると考えると 逆に吸着しやすい 陽イオンを ガラスに 導入する ことによ り,アルカリに対する腐食を抑制することができる。これ らの陽イオンは珪素イオンとの化学反応性を考慮すること により数種のイオンに限定される。このうちで、ジルコニ ウムイオンがよくしられている。グラスライニング用ガラ スには通常数%のこれらの陽イオンが含まれており、アル カリに対する腐食を抑制している。これらのイオンは多量 に含まれるとガラス中に結晶が析出し、不均一構造となり、 ライニングするのに支障をきたしたり、耐食性が悪くなっ たりするのでアルカリ性を上げるにも限界がある。

ー般にはガラスはアルカリ性溶液中では使用すべきでは ない。特に温度が重要であり、 pH10 以上のアルカリ性の 溶液では50~60°C 以下の温度で使用すべきである。

4. ミクロ的考察

以上の考察はガラスが均一なものとして扱ってきた。し かし、現実のガラスはミクロ的にみて均質ではない。グラ スライニングのガラスは溶融したものを急冷固化してガラ ス化し、これを粉砕して原料とする。それを再加熱して粉 どうしを融着する。ガラスの表面は内部と異なる組成をし ていて、一般に空気中の水分を吸着し、水分子で覆われて いる。微粉砕すればする程,表面積が増し,全体として水 分をはじめとする種々の物質が吸着しやすくなる。粉砕の 方法には水中で粉砕する湿式法と乾燥したガラスを粉砕す る乾式法とがある。第3表は湿式法と乾式法で腐食量がど の程度異なるかを示したものである。高濃度の酸ほど差が 大きいことがわかる。高濃度の酸はガラスに対する腐食性 は少ない。何故なら水分が少なく,水素イオンが少ないた めである。水をとりこんだガラスはごく表層部では水を放 出する。表層部の酸の濃度が下がりより腐食されるように なる。これは、均一に見えるライニングガラスにも目に見 えない粒界が存在することを顕在化した一例である。この ガラスの粒界部は 内部と 組成の 異なることが 予想される が、非常に微量であるため、現状では分析が極めて困難な

第	3	表	乾式法と湿	式沒	による腐	食率	の比較
Ta	ble	3	Comparison	of	corrosion	rate	betwee

dry spray and wet spray [mm/y]

Condition	Dry spray	Wet spray
36 %HCl 160 °C	0.06	0. 19
60 %H ₂ SO ₄ 140 °C	0. 03	0.05
20 %HCl 140 °C	0. 22	0. 23

レベルのものである。粒界部の存在はオングストロームの 領域での化学反応を律速していると思われる。

グラスライニングは耐食以外にも樹脂製造反応機に付着 防止の目的で広く利用されている。これは、表面の Si-OH 基が樹脂との結合を疎外している結果であって、ごく 表層部の化学的な問題である。付着の問題も腐食と同様表 面化学の領域でほとんどわかっていないのが現状である。

むすび

グラスライニングの腐食機構について,ある程度の考察 を行った。一般の化学反応機の内溶液は種々の化学薬品の 混合物である。次の項目の内容液に関してはグラスライニ ング製機器の使用に注意する必要がある。

- ガラスのビーカーテストでビーカーを腐食させるような内溶液
- (2) フッ素イオンの含まれる内溶液
- (3) 50°C 以上のアルカリ性溶液
- (4) 100°C 以上の内溶液

化学反応機では気相部と液相部がある。気相部の内容物 が完全に気体の状態であればガラスに対する腐食性はない が、ほとんどの場合凝縮して液相状態になっている。温度 の高い高濃度の酸を使用する場合、気相凝縮相がより腐食 しやすい濃度の酸になったり、水であったりするので、こ の点は注意が必要である。

当社では耐食性確認のため、きね型サンプルを用意して おり、その結果を判定するサービスを行っている。これは 提供されたサンプルを客先でテストして頂き、テスト後の サンプルを返送頂いて、グラスライニング使用の可否を判 定するものである。

同時に弊社提供のデータシートに試験条件を記入して頂き、判定の参考にしている。これらのデータはコンピュー タのデータベースにインプットされていて、客先の問い合 わせに迅速に対応できるようになっている。

今後ともこれらのデータを蓄積してより精度の高い判定 を行っていきたいと思っている。

〔参考文献〕

- 1) 成瀬省: ガラス工学 共立出版(1958)
- D. G. Holloway, 大井喜久夫訳: ガラスの物理 共立出版 (1977)
- 3) 土橋正二:ガラス表面の物理化学 講談社(1979)
- 4) 沢田雅光:神鋼フアウドラー技報 Vol. 26 No. 3 (1982)

栽培漁業における水質改善の実証試験

――各種沪材構成と沪過精度の関係――

Improvement of Water Quality on "Aquaculture"

------Water Quality Under Several Filtrations---



In recent years, "Aquaculture" has been growing interested in fishery industry. Because deep-sea fishing industry is regulated by several international laws. The key for success in "Aquaculture" is commercial payability, which depends on quality

of the producting water.

This is our main concern, that we establish effective water usage system.

There has not been enough studies produced suitable or economical use of water quality for "Aquaculture", even though the relationship between the inhabitable environment of life cycle and water is very important.

Based on the information given, and our past experiences with other "Aquaculture" facilities, we, along with Oyster Research Institute, have studied the effects of water quality needed to raise abalone in their earlier stage.

まえがき

近年,遠洋漁業に各種の国際規制が設定され,捕る漁業 から作り育てる漁業いわゆる "栽培漁業"に対する関心が 高まってきた。

栽培漁業の成功の可否は,採算性に重要なポイントがあ り,いかに効率的なシステムをつくるかが,その課題であ る。しかし,栽培漁業で使用される飼育海水の要求処理水 質については,栽培魚種の生息環境,餌料との関係が深い にもかかわらず,未研究の状況にある。

一方,当社は長年培かってきた沪過ハード技術を海水用 沪過池に生かして,過去多数の納入実績を誇っている。

このような背景の中にあって,栽培漁業で使用される飼 育海水の要求処理水質を中心に,生物側からのソフト技術 を得るべく,「(財)かき研究所」と共同研究を行った。

本報文では,各種沪材構成と沪過精度の関係および各種 沪過処理水のアワビの種苗生産への影響を中心に報告す る。

1. 目的

自然海水を沪過してかけ流すシステムにおいて,自然海 水の懸濁粒子を,その大きさによって選択的に除去する沪 過を施した場合に,システム内に生ずる動植物の遷移状況 を観察する基礎研究に基づき,最適沪過技術の開発・実用 化を計ることを目的とする。

実験場所と期間

 (1) 実験場所 財団法人 かき研究所 舞根実験室 実験棟内 宮城県本吉郡唐桑町東舞根211

(2) 実験期間 1986年7月1日~1988年3月31日

3. 研究分担

(1) (財)かき研究所

所定の精度の沪過処理水をかけ流して維持した種苗水槽 の生物相の追跡,および沪過カラムの維持管理

(2) 神鋼パンテツク㈱

沪過カラムの製作および処理水のモニタリング

4. 実験装置

使用した沪過カラムは,内径 285 mm が 2本,240 mm が 1本,194 mm が 2本の計 5本で,高さ 2000 mm の塩 化ビニール製不透明カラムである。沪層高さは,沪層高さ /沪材有効径 (L/D)が 1000 近くになるように沪材によ り600 mm または800 mm とした。集水部は径 10 mm の 孔を 15 mm ピッチであけた 多孔板上に60と80メッシュの サランを取り付けたものとし,空洗および水洗は多孔板を 通じて行った。

主要な配管設備は、原水流入管と逆洗排水流出管を共用 としカラムの上蓋より100 mm 下げた位置に、空洗前の水 抜管を沪床面上200 mm の位置に、処理水管と空洗用空気 吹込管はカラム下部の集水部に設けた。

なお,カラム内面には,エポキシ系接着剤を用いて沪材 をコーティングし,小口径カラムの影響を排除すべく配慮 した。

本実験において,5本のカラムに充填した,沪材の種類, 有効径(E.S.)および均等係数(U.C.)沪層高さ(L) などの沪過諸元は,第1表に,沪過カラムの概略構造図 は,第1図に示す。

また, RUN2において, 5本のカラムのうち C2およびC3の2本は, 重力式定量沪過方式および重力式定圧沪 過方式へそれぞれ改造した。

その主な改造点は、C2カラムは同一の内径を有する長 さ900 mm のカラムを既設カラムに取り付け、上部を開放 にも、沪過水立ち上がり管を沪床面まで下げて重力式定量 沪過に改造した。C3カラムは、沪過水立ち上がり管をC2 カラムの改造点と同様に沪床面まで下げ、上部を開放にし て、沪床より320 mm にて定圧沪過ができるように改造し た。洗浄については改造前と同じである。

改造後のカラムの構造図を,第2図に示す。

5. 実験方法

取水管は、写真1に示すように、実験施設に面した海中 に布設した。取水ポイントは、陸より約7m離れた水面下 2mに設け、取水ポンプにて汲み上げ、直接5本の沪過カ ラムに通水した。(写真2)

沪過水は動植物プランクトンの遷移状況を観察するため.



第1図 カラム組立構造図 Fig.1 Filter column assembly



写真 1 取水管 Photo. 1 Intake piping



写真2 実験施設 Photo.2 Test unit



Gravity system constant velocity filtration



第 1 表 テストカラム諸元 Table 1 Test criteria

able	I	1 es	st cr	iteria	

Run	Item	Dia. of	Filtration	Filter media	Depth of	LV	Filtration	Backwashin	gAir blowing	L/D	Operation	Remark
No.	umn No.	mm	area m ²	(UC)	nayer mm	m/h	rate ℓ/h	^{₩1} (LV) ℓ/h	^{#1} (LV) ℓ/h	270	technique	Tunun
eria	C1	285	0. 064	Sand 0. 6 (1. 4)	600	6	380	3 000 (0. 7)	3 840 (1. 0)	1 000	Pressure- system	
	C2	285	0. 064	Sand 0.5 (1.4)	600	6	380	2 500 (0. 59)	3 840 (1. 0)	1 200	Pressure- system	
l 1 test crit	Сз	240	0. 045	Sand 0. 8 (1. 4)	800	10	450	3 000 (1. 1)	2 700 (1. 0)	1 000	Pressure- system	
RUN	C4	194	0. 030	Anthracite 0.8 (1.2)	800	15	440	950 (0. 53)	1 800 (1. 0)	1 000	Pressure- system	
	C5	194	0. 030	Anthracite 1.4 (1.2)	800	20	590	1 500 (0. 83)	1 800 (1. 0)	571	Pressure- system	Low L/D
teria	C1	285	0. 064	Garnet 0. 28 (1. 36)	635	5	320	3 000 (0. 78)	3 840 (1. 0)	2 268	Pressure- system (Fine filter media)	High L/D
RUN 3 test criteria RUN 2 test crit	C2	285	0. 064	Sand 0.5 (1.4)	610	5	320	3 000 (0. 78)	3 840 (1. 0)	1 220	Gravity- system (Constant velocity)	
	C3	240	0. 045	Sand 0. 6 (1. 4)	655	2 ~ 8	90~360	3 000 (1. 11)	2 700 (1. 0)	1 092	Gravity- system (Constant pressure) 320 mm	
	C2	285	0. 064	Sand 0. 6 (1. 4)	Single bed 600	6	380	3 000 (0. 78)	3 840 (1. 0)	1 000	Pressure- system	
	C3	240	0. 045	Sand 0.5 Garnet 0.28 (1.4)	Mixed bed 800	6	270	1 600 (0. 6)	2 700 (1. 0)	2 050	Pressure- system	
	C4	194	0. 030	Sand 0. 8 (1. 4)	Single bed 800	10	300	2 000 (1. 1)	1 800 (1. 0)	1 000	Pressure- system	
ſF	Remark) *1 Der	mention o	LV are m/r	nin.							

神鋼パンテツク技報

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

Gravity system constant pressure filtration



C3 Filter column





写真3 種苗水槽 Photo.3 Rearing tank

写真3に示すように、その沪過水の一部をカラムごとに透明塩ビ製の30ℓ種苗水槽に貯留したのち、オーバーフローにて再び海へ戻した。

逆洗用水は、かき研究所実験棟の既設圧力沪過器(10 m^3/h)の沪過水をミクロンフィルター(10 μ)とメンプレンフィルター(2.5 μ)で二次沪過した後、30 μ ミューラーガーゼで沪過した海水を500 ℓ 水槽に貯留し使用した。逆洗方法は各カラムに設けた水抜管にて、沪床面上200 mmの位置まで水位を下げた後、プロワーで空気洗浄を行い、その後に逆洗ポンプにて、水洗浄を行った。逆洗作業は各カラムごとに行い、頻度は原則として1回/日とした。

第3図は、実験におけるフローシートを示す。

6. 分析方法

粒子径および粒子数の測定には、米国パーチクルデータ 社製のエルゾール・パーチクルカウンター(80XY-2型) 精密粒度分布分析装置を用いた。分析時の機器設定値は次 のとおりである。

オリフィスサイズ 120 μ

- ボルメトリックセクション 1000 μ**ε**
- サンプルの固定方法については, 種々検討した結果サン

FI-2 Backwashed water flow meterT-1∼5 Rearing tankFI-3 Blower flow meterT-6Backwash water tankPGPressure gauge



第4図 沪過速度と沪層通過粒子数の変化

Fig. 4 Change of particle numbers vs. change of LV

プリング水にホルマリン原液を10%加える方法にて行った。さらに、サンプル水は冷暗所に保管運搬し、速やかに分析に供した。

実験結果と考察

7.1 沪過諸元と沪過水質

沪材の種類,沪材粒径,および沪過速度の沪過処理水質 に与える影響を確認するため,予想通過粒径ごとに沪材の 種類および沪材粒径を想定し,C1~C5カラムにて種々の 沪過試験を行った。各カラムの代表する沪過諸元は第1表 のとおりである。

また,短期間ではあるが沪過速度を当初設定値の2倍に した場合の沪過処理水質の変化についても試験した。この 結果については,沪過速度の変化による沪過処理水質とし て**第4**図に示した。



第5図 各カラムの沪過通過粒子

Fig. 5 Comparison of filter layer passage particle

これらの試験により得られた結果を,**第5**図にまとめた。 このとき,沪過処理水の粒子径の測定はパーティクルカ ウンターで行ったが,設定オリフィスサイズによる制限要 因として80µ以上の粒子を含む場合には前処理を必要とし た。本件では30µのミューラーガーゼで沪過をしてその前 処理とした。ただし,この場合には30µのミューラーガー ゼで得られた物質は検鏡して確認をした。

第5図(a)は,第1表(RUN1)の沪過諸元における各 カラムの沪層通過粒子径を示している。第5図(b)は同様に 沪層通過個数を,第5図(c)は沪層通過粒子体積を示してい る。

これらの結果を, **第2表**にまとめて示したが,一般的に 栽培漁業分野にて使用されている有効径0.5~0.6 mm の砂 を用いた重力式の沪過ではその沪過精度は20 μ 程度といえ る。

これは、上水処理、下水処理では¹⁾、 直接沪過の場合で 5~7µの除去粒子径、凝集沪過の場合には1~3µとの一般 的な値からすれば、1桁沪過精度が悪化している。この原 因としては、除去対象物質が生物であることに起因してい るものと考えられる。さらには、淡水に比べ比重の重い、 浸透圧の高い海水が沪過対象原水であることもこの結果の 一要因と考えられる。

またアンスラサイトの場合,同一粒径の砂と比較し沪過 精度が悪いという結果が得られた。これは下水処理などで もいわれ²⁾,アンスラサイトの表面の形状が大きく関与し ているためと考えられる。アンスラサイトは比重が小さい ため沪材間の衝突エネルギーが小さくなり²⁾,洗浄面から も砂に比べ劣るといわざるをえない。

7.2 沪過方式と沪過水質

沪過方式の沪過処理水質へ与える影響を調べるため、C1 ~C3 カラムにて種々の沪過試験を行った。各カラムの沪

第2表	代表的な沪過諸元と沪過精度
Table 2	Typical filter criteria and removal particle dia

Filter media	Dia. of filter media E. S.	Filtration rate m/h	Removal particle dia.
Sand	0.5, 0.6	6	20 µ
Sand	0.8	10	$40 \ \mu$
Anthracite	0.8	15	$80 \ \mu$
Anthracite	1.4	20	80 µ

過諸元および沪過方式は**,第1表(RUN2**)のとおりで ある。

これらの試験により得られた結果を,第6図にまとめた。 第6図(a)は,第1表(RUN2)の沪過方式および沪過 諸元における各カラムの沪層通過粒子径を示している。第 6図(b)は同様に沪層通過個数を,第6図(c)は沪層通過粒子 体積を示している。

C2カラムとC3カラムの相違は定量か定圧かという点で ある。定圧方式の場合の実際の沪過速度は平均5m/hで, 定量方式の場合とほぼ同じであった。また, C1カラムの 沪材は有効径0.28のガーネットを使用していることから, その除去率はC2カラムおよびC3カラムより良くなるもの と考えられた。しかし,測定結果を除去率で評価すると, C3>C2>C1という結果になった。この結果から,沪過 方式の沪過水質を評価した場合,その沪過精度は次のとお りである。

重力式定圧 > 重力式定量 > 圧力式

7.3 最適種苗生産用水と沪過諸元の検討

C2~4カラムを第1表(RUN3)に示す沪過諸元のも とで沪過した後,二次沪過装置で沪過した水と,既設圧力 沪過器処理水および原海水を簡易沪過器(ディスクフィル ター)で 粗沪過した 各処理水を,種苗水槽に かけて流し



No.	media	ES mm	LV m/h	Type
C1 C2 C3	Garnet Sand Sand	0. 28 0. 5 0. 6	5 5 2~8	Pressure-system Gravity(Constant velocity) Gravity(Constant pressure)
町の図	タカラトの	行屠通调粉:	Ζ.	

サンプル名

	Raw water treated under a plankton net cloth	Mesh opening of plankton net cloth µm	
•	RW-1 RW-2 RW-3	20 30 40	
÷	RW-4 RW-5	80 100	

Fig. 6 Comparison of filter layer passage particle

て,種苗板に繁殖したプラン

クトンの相違を観察した。

なお, 各沪過処理水の検鏡 結果を右に示す。

また,種苗水槽を設置して 19日後に各水槽内の種苗板上 のプランクトンを検鏡した結 果は次頁に示す。

これらの結果から, 沪過精 度の最も高い C3カラムの沪 過諸元では,写真4に示すよ うに,ほぼ純粋培養に近い状 態で,アワビの餌料となる舟 形ケイソウ (ニッチャ,ナビ キュラ)が飼育できた。既設 圧力沪過器処理水の種苗水槽 では、写真5に示すように、 舟形ケイソウは少なく, コシ ノディスカスなどの大型の植 物性プランクトンが多い。こ の原因は既設圧力沪過器処理 水には, コペポーダやデトリ タスが多いことと,その反面 舟形ケイソウが少ないためと 考えられる。

µ 66∆ ∽⊏ 数减少 C2 **V**. **P** х Ą Δ Δ × × D Δ \triangle \triangle Δ $\overline{C2+30 \mu}$ A. P V. P ューラー _____ガーゼ ----..... D ∆60 µ コペ A.P x △線虫 $\triangle 60 \mu$ △線虫 C3 V. P Δ XX \triangle X × \mathbf{D} \bigtriangleup X \times × C3+30 μ ミューラ A. P V. P ガーゼ Ď △線虫 $\triangle 60 \mu$ A. P $\triangle 200 \,\mu$ Δ Δ コペ C4V. P Δ \bigcirc $\stackrel{\triangle}{\bigcirc}$ \triangle D Δ \triangle A. P V. P $C4 + 30 \mu$ ミューラー ____ガーゼ

 $2\,\mathrm{hr}$

A. P V. P 既 設 圧力沪過器 . P D A. P:動物性プランクトン V. P: 植物性 1 D :デトリタス

D

時間

種類

A. P

0.3 hr

X

×:無 △:少し ○:普通

*1 C3のSS量を1とした場合の比較 *2 24 hr 経過後逆洗実施

100 ℓ 採水後 20 μ ミューラーガーゼで回収した SSをホルマリンで固定し、検鏡した。

C2カラムの種苗水槽内では,植物性プランクトンのうち アワビの餌となるプランクトンと、餌にならないプランク トンが混存している。このことから、二次沪過を施してい ない種苗生産設備では,種苗水槽にコペポーダが流入する ため, ニッチャやナビキュラなどの餌が, より少なくなる ものと考えられる。

C2カラムとC4カラムの種苗水槽では、ほぼ同様な検鏡

結果が得られた。

◎:多い

7.4 海水沪過の特長

RUN1~3を通じて得られた海水の沪過の特長をまと めると,次のとおりである。

○成虫

(1) 原海水懸濁物質中に多くの海洋性プランクトンを含 むため沪過精度が悪化する。

沪過水の 検鏡 結 果

7 hr

 $\triangle 60 \mu$

152 hr

 $O100 \mu$

0

Δ

х

 \triangle

 $\triangle 60 \mu$

Х

X

× ×

O100

 Δ

Δ

Х

 \triangle

 $\frac{\triangle}{\bigcirc 100\,\mu}$

 -200μ

624 hr

 $\bigcirc 100 \ \mu$

Ο

Δ

 $\triangle 60 \mu$

Х

×

〇成虫

200-300 µ

Δ

 \triangle

○成虫 ○500 µ

線虫

×2

26 hr

 $\Delta 60 \mu$

24 hr

 $\triangle 60 \mu$

S S 量*1

4

1

18

カ			検	鏡	į	結	果			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
ラ		植物	性プランクト	・ン		動物性プラ	ランクトン	,		⇒	
ム No.	₽ ፲a 承 14	ニッチャ 数µ×100µ	ナビキュラ 数µ×100µ	その他 の種類	原生類	線 虫 類 幼生10~15µ ×100µ 成虫(数ミリ)	二枚貝 40~80µ	コペカ 幼生 40~ 100µ1	ドーダ 成虫 100~ I,500µ	部	Щ.
C2	砂 0.6; LV6m/h +30μミューラーガーゼ	0	O	0	〇 繊毛虫類	0	×	×	×	ニッチャ,ナビキ ュラを含む植物性 プランクトンを多 く含んでいる。	良
C3	砂0.5, ガーネット0.28 の混層 ; LV6 m/h +30 µミューラーガーゼ	Ô	0	×	○ 繊毛虫類	0	×	×	×	ニッチャがほぼ純 粋培養できた。	優
C4	砂0.8;LV10m/h +30 μミューラーガーゼ	0	O	0	○ 繊毛虫類	0	×	×	×	C2と同じ	良
•	既設圧力沪過器	Δ	Δ	◎ コシノデ ィスカス 30 ~ 100µ	Δ	Δ	0	0		ケイソウはコペに 食べられたようだ。	劣
	粗沪過のみ	0	Δ	Ô	Δ	Δ	0	Ô	O	有機性SSも多く ケイソウも少ない。	劣

種苗水槽内波板に付着した生物の検鏡結果

◎ 多い

* ナビキュラ,ニッチャはアワビ幼生の餌料として最良なケイソウである。 * C2~C4の線虫は,幼生のうちに沪過器を通過したと考えられる。

○ 普通

△ 少ない

× 無い



写真 4 C3カラム+二次沪過装置沪過水検鏡写真 倍率100 Photo. 4 C3 Column+30 µ plankton net cloth

各種河過理論からすれば、物理的ふるい作用と生物 学的な吸着作用による除去が主に起っているものと考 えられるが、海水に含まれる動物性プランクトンの沪 層通過は、河過時に起こっている。

又, 沪過の経過により沪過精度が良くなる傾向が見 られたことは, 流入懸濁物質が粘着性に富むため, 沪 材に付着し,見掛けの間隙を小さくしたためと考えら れる。

海水沪過においては、特に沪過初期には上水道・下 水道にていわれる直接沪過による粒径カットよりも、 はるかに 大きな粒径の プランクトンが 沪層を 通過す る。また、植物性プランクトンに比べ遊泳能力の優れ ているチグリオプスなどの動物性プランクトンは、植 物性プランクトンが 50 μ 程度であるのに比べて 100 μ 程度の大きさのものまで通過する。

このため 特に沪過精度を 高める 必要が ある場合に は、二次沪過装置を設けるか、特殊な沪材構成にする 必要がある。動物性プランクトンの除去に関する詳細 については、次報にて述べる。



写真5 既設圧力沪過器沪過水検鏡写真 倍率100 Photo.5 Existing pressure filter

(2) 流入懸濁物質は、粘着性に富む動植物プランクトン など生物に起因する物質が多いため、沪材洗浄法には 特に配慮が必要となる。

デトリタスは、粘着性を有するため、動植物性プラ ンクトンと同様、沪過時において沪材に付着する。ま た、逆洗時は微細な懸濁物質を凝集させ、細かなマッ ドボールを、形成させる働きをする。細かなマッドボ ール化したデトリタスは、逆洗時排出しにくくなる。 これらの流入懸濁物質は粘着性に富むため、沪材に付 着し、沪過精度を向上させる傾向も有する。

その他, ほふく性または固着性の動物性プランクト ンは, 沪過時において沪材に付着するため, 水逆洗だ けで剥離させることがむずかしく, ある程度は沪層内 に生息することになる。このため特に動物性プランク トンが問題になることが予想される場合には, 特殊な 洗浄方法を検討する必要がある。特に集水装置より下 部に位置する砂利層はこれらの生物の格好の生息場所 となるため, 避けなければならない。 (3) 海水沪過の場合,流入懸濁物の多寡に係わらず,沪 過損失水頭がつき難い。

内湾の場合,海水中の懸濁成分は取水点での時化な どによる土砂の巻き上げがない限り,無機性の懸濁物 質は少なく,動植物性プランクトンなど生物に起因す るものがその大半を占めている。このため,沪過時に 顕著な特長は,動植物性プランクトンなど生物に起因 する懸濁物質が多少多くとも,損失水頭はそれ程上昇 しないことである。

この現象は、海水の有する凝集性に起因するものと 考えられる。つまり原海水に含まれる懸濁物質は沪材 表層により除去された後、逆洗により、海水の有する 凝集性と相まって粒子状になる。しかし、通常の表層 沪過と異なる点は、表層で除去された懸濁物質が以上 のような理由から粒子状になっているため、除去され た表層にて粒子が積み重ねられ、次の段階では沪過に 寄与する点である。海水沪過池の沪層のメンテナンス 時には、表層上に沪材ではない茶渴色の懸濁物質が、

ポーラスに積層しているのをよく見掛けることによっ てもうなづける。このときの圧力損失は,ほとんどつ いていない。

8. まとめ

アワビの種苗生産用水に関して,最適な沪過諸元を解明 するため実験を行ってきた。

その中でアワビの稚貝の餌料となる一次ケイソウの発生 と繁殖および沪過諸元について確認できたが、時間的な制 約から二次ケイソウとアワビの成育度との関係についての 確認はできなかった。しかし、この実験をとおして、海水 を沪過する場合の原水と処理水水質と沪過諸元との関係に ついて多くの知見が得られた。

第3表に,アワビの飼育段階別の供給用水と沪過諸元を まとめた。

第	3	表	アワビ生産用水の沪過諸元	
Та	ble	3	Filter criteria for abalone farming wate	r

Item Developmental	Filter bed	Filter media	Filtration rate	Operation technique
Juvenile rearing	Mixed bed	Sand : 0. 5		Gravity or
(~13)	600	Garnet : 0. 28	< 6	pressure system
Young abalone (13~30)	Single bed 600	0. 6	5~10	do.
Through culture	Single bed 600	0. 6 0. 8	$\stackrel{\displaystyle <25}{\displaystyle <20}$	do.

本表では各飼育段階別に沪過諸元を述べているが,飼育 段階別に異なる 沪過装置を 設置するケースは ほとんどな く,最も使用水量の多いグレードの処理水が得られる沪過 装置を計画して,よりグレードの高い処理水は,二次沪過 によって得ることが現実的であろう。

むすび

本研究は、(財)かき研究所との共同実験として行われ, 共同実験を遂行していく過程では、水処理という工学から 見た"栽培漁業",また生物を扱う側から見た水処理,こ の間における意見の相違も多々あり、われわれが得た知見 も本稿では表現できない種類のものが多い。これらの交流 を通じて得られた経験を、"栽培漁業"の今後の発展に寄 与できれば幸いである。

最後に,本報告を投稿するに当たって,快諾して頂いた (財)かき研究所の関哲夫所長に感謝するとともに,本研 究を遂行するに当たってご協力頂いた(財)かき研究所の 所員の方々に感謝する。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼フアウドラー・ニュース Vol. 19, No. 3 (1975) 「下水三次処理システムにおける高速沪過」
- 2) 羽島修, 神鋼フアウドラー・ニュース Vol. 24, No. 1 (1980) 「自動サイフォン・フィルターの下水三次処理向け適用実験」

オゾン処理による中水道の実績紹介

Introduction of "Recycling System of Treated Effluent at Kobe City"



(環)環境装置部 計画第2課
 平 井 孝 明
 Takaaki Hirai

It has become neccesary to reclaim treated effluent of sewage treatment plant, because of water shortage. At Kobe City, a model system which reclaim treated effluent of sewage treatment plant, Recycling System of Treated Effluent, has accomplished recently. Ozone treatment is used in the system in order to make recycle water.

This paper is the introduction about Recycling System of Treated Effluent at Kobe City, mainly about Recycle Center in which recycle water is made of treated effluent of sewage treatment plant.

まえがき

水は、人間の生命、生活に欠かすことができない資源で あると同時に、経済・産業・文化など各般の活動を支える 重要かつ基本的な資源である。しかし、近年、工業の発展 や生活環境の変化に伴い、水需要は増加の傾向をたどり、 国土庁の推定(ウォータープラン2000)では、西暦2000年 までに日本の水需要量は、全体で219億 m³ 増(現在の25 %増)、うち都市用水(生活用水・工業用水)は、124 億 m³ 増(現在の40 %増)という大幅な増加が見込まれてい る。さらに近年では、新規ダムなどによる水資源開発の困 難化に伴い、渇水の多発化および長期化などの問題が起こ っている。こうした中、水資源の有効利用を目的とした 「下水処理水循環利用モデル事業」が創設され、神戸市に おいても、昭和61年度より、新しい試みとして、海上都市六 甲アイランドにおいて水リサイクルモデル事業を実施し、 当社が、水リサイクルセンター機械設備を納入している。

本稿においては,水リサイクルセンター機械設備を中心 に,水リサイクルモデル事業の概要を説明する。

1. 概要

1.1 事業概要

六甲アイランドは,船舶の大型化,物流システムの多様 化に対応する近代的な港湾施設と国際化に対応する住宅, 業務,商業,教育,レクリェーション機能を備えた複合都 市を目ざし,神戸港の東部に建設が進められている海上都



写 真 1 水リサイクルセンター外観 **Photo. 1** Recycle center 滝の水は再生水を利用しています。

市で,総面積 580 ha,計画人口 3 万人である。

六甲アイランド水リサイクルモデル事業は,島中央部の 131 ha の都市機能用地に 建設される 業務, 商業ビルなど の水洗便所用水として2700 m³/d,緑地など散水用水とし て1500 m³/d 合計4200 m³/d の再生水を供給するもので ある。

再生水の原水としては,東灘処理場の下水2次処理水を 砂沪過したものを利用している。

原水は、東灘処理場より連絡送水管を径て、東部スラッ ジセンターに送られ、東部スラッジセンターより、水リサ イクルセンターに送水される。水リサイクルセンターにお いて原水は、オゾン処理され、再生水となり、島内に供給 される。(第1図参照)

1.2 水リサイクルセンター(写真1)概要

1. 2. 1 設計条件

1) 計画水量	
全体計画	4 200 m³/d
第1期	$2100{ m m^3/d}$



第1図 位置図 Fig.1 Layout

Vol. 35 No. 1 (1991/3)



(2) 供用開始

1990年3月29日

- (3) 水質
- **第1表**に示す。
- (4) 設計負荷条件

東灘処理場より送られてくる原水は、工場排水などの 影響により、若干色度が高いため、負荷条件を設定する にあたり、約2年間、島内にある汚泥焼却施設・東部ス ラッジセンター内にテストプラントを設け、実験を行

い,設計負荷条件を次のように定めた。 オゾン注入率 25 mg/ℓ

接触時間	10分
塩素注入率	$5 \mathrm{mg}/\ell$

1. 2. 2 フローシート

水リサイクルセンター機械設備のフローシートを**第2**図 に示す。東灘処理場よりスラッジセンターを経て送られて きた原水は,原水槽に一時貯留され,原水ポンプによりオ ゾン反応塔へ送られる。オゾン反応塔において,オゾン発 生機により生成されたオゾンと接触し,酸化分解され,フ ミン酸などの色度分が除去される。オゾン処理された原水 (オゾン処理水)は,塩素注入され再生水となり,配水池 に至る。配水池に貯留された再生水は,配水ポンプにより 六甲アイランド各所に供給される。また,オゾン反応塔よ り排出される排オゾンは,一部未反応のオゾンが残留して いるため,消泡塔,排オゾン処理塔にて無害化され,大気 解放される。

- 1. 2. 3 設備仕様
 - (1) 原水設備

スラッジセンターより送られてくる原水を受け入れ, 一時貯留した後,ストレーナーにてSS分を除去し,オ ゾン反応塔へ送水する設備である。

主要機器仕様

原水ポンプ(写真2)

第1表 水質 Table 1 Water quality

Item	Influent (Raw water)	Effluent [Recycle water]
Degree of color	100	max. 10
Coliform $(cells/m\ell)$		N. D.
Residual chlorine (mg/ℓ)		Detectable
Water appearance		not unpleasant
Odor	1	not unpleasant
pН		5.8~8.6
COD (mg/ <i>ℓ</i>)	35	max. 10
BOD (mg/ℓ)		max. 10
Degree of turbidity	15	max. 10

型 式:横軸渦巻ポンプ

仕 様: $100 \text{ mm}_{\phi} \times 1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 20 \text{ m} \times 11 \text{ kW}$

- 数 量:3台(第1期2台)
- オートストレーナー(写真3)
- 型 式:自動逆洗式
- 仕 様: $1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.1 \text{ kW}$
- 数 量:2台(第1期1台)
- (2) オゾン処理設備

オゾンを発生させ,原水をオゾン処理し,排オゾンを

無害化する設備。 主要機器仕様

- オゾン発生機(写真4)
 - 型 式:無声放電式
 - 任 様:2.5 kg-O₃/hr
 - 数 量:2台(第1期1台)
- ブロワー(写真5)
- 型 式:容積型回転式
 - 仕 様: $50 \text{ mm}\phi \times 2.6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.0 \text{ kg/cm}^2$ × 3.7 kW
- 数 量:3台(第1期2台)





写真3 オートストレーナー Photo.3 Strainer



写真4 オゾン発生機 Photo.4 Ozone generator



Photo. 2 Raw water feed pump

写真5 ブロワー Photo.5 Blower

空冷チラー

消泡塔

排オゾン塔

型 式:空冷式冷凍機

数量:2台(第1期1台) オゾン反応塔散気装置(写真6) 型式:定置式散気筒形 数量:2基(第1期1基)

型 式:スプレー式円筒竪形 仕 様:800 mm $\phi \times 3500$ mmH

数 量:2塔(第1期1塔)

数 量:2塔(第1期1塔)

型 式:円筒竪形

仕 様: 36 000 kcal/h×(7.5 kW+0.2 kW)×2



写真6 オゾン反応塔散気装置 Photo.6 Diffuser (which supply ozone)



写真7 滅菌設備 Photo.7 Disinfection system



写真 8 配水設備 Photo. 8 Recycle water supply system

(4) 配水設備(**写真8**)

水リサイクルセンターで生成された再生水を,六甲ア イランド各所に,所定の圧力を保ちながら供給する設備。

- 1号・2号配水ポンプ
 - 型 式:横軸多段タービンポンプ
 - $ft = \car{k} : 100 mmϕ × 1.2 mm³/min × 37 m × 15 kW$
 - 数 量:2台
- 3号・4号配水ポンプ
- 型 式:横軸渦巻ポンプ
- 仕 様: $125 \operatorname{mm}_{\phi} \times 2.4 \operatorname{m}^3/\operatorname{mim} \times 37 \operatorname{m} \times 30 \operatorname{kW}$
- 備 考:回転数制御
- 数 量:2台(第1期1台)
- 2. 運転状況
- 2.1 水質

東灘処理場より送られてくる原水は, BOD, CODな

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

オゾン処理された水を滅菌する設備。原水槽において もスライムなどの発生が予想されるため,次亜塩素酸ナ

(3) 滅菌設備(写真7)

- トリウムを注入できる構造となっている。
- 次亜塩貯留槽
 - 型 式:FRP製円筒形
 - 仕 様:1200 mm \$\phi \times 1400 mm H (有効容量1 m³)

仕 様:1000 mm $\phi \times 2080$ mmH, 処理剤 270 kg

- 数 量:1槽
- 次亜塩注入ポンプ
 - 型 式:ダイヤフラム式
 - 仕 様: $0.051 \ \ell/\min \times 4 \ kg/cm^2 \times 0.02 \ kW$
 - 数 量:3台(第1期2台)



第3図 色度除去率とオゾン注入率の関係 Fig. 3 Relationship between color removal rate and ozone feeding rate

ど色度以外の水質については,比較的安定しており,若干 のオゾン注入にて十分水質をクリアできるため、おもに、 色度除去を目的とした運転を行っている。

第3図は、試運転時に得られたオゾン注入率と色度除去 率との関係で、オゾン注入率25 mg/eで約90 %の色度が除 去可能である。ただし,原水の色度は,変動が激しく,一 定注入率にてオゾンを注入することは、不経済、または、 水質の悪化を招く可能性があり、実際の運転には適さない ため,オゾン反応塔より排出される排オゾン濃度と色度除 去率との関係(第4図)を求め,排オゾン濃度を一定とし た運転を行っている。現況の再生水の水質は、色度4~9 度(平均7度)、濁度3~7度(平均5度)と良好である。 2.2 利用状況

下水処理水循環利用モデル事業として,全国で6番目の 供用開始である 六甲 アイランド 水リサイクル モデル事業 は、1990年3月29日に供給を開始し、現在、学校の水洗用 水や、ラグビー場および周辺緑地の散水用水として再生水 を供給している。供給量は, 500~800 m³/d とまだ少ない が、今後、業務ビル、商業ビル、ホテルなどの建設に伴 い,再生水の使用量が増加していく予定である。

2.3 運営状況

六甲アイランド水リサイクルモデル事業に対し, 神戸市 は,施行について 必要な事項を 定めた「実施要綱」,再生



第4図 色度除去率と排オゾン濃度の関係

Fig. 4 Relationship between color removal rate and exhaust ozone concentration

水の給水,料金その 他の供給条件を 定めた「供給規定」, および,再生水の誤使用,誤接続などの防止対策を含め, 再生水を利用するにあたり、再生水給水設備の安全かつ適 正な管理運用を図るために必要な事項を定めた「再生水給 水設備の設置 および 管理基準 (案) などを定め、モデル 事業が円滑に推進して行くよう努めている。

当社納入の水リサイクルセンター機械設備を含め、六甲 アイランド水リサイクルモデル事業の管理運営は、財団法 人神戸市下水道公社が行っており、順調に稼動中である。 す; 7×

す

1988年度における全国の下水の処理水量は、約94億m³ で,そのうち,処理場外で再利用している水量は,約0.7 億m³と1%にも満たない。 今後,下水の処理水は,豊富 な水資源としてますます需要が高まっていくものと思われ る。

当社も下水処理水の再利用設備を通じて,新しい街づく りの一端を担うことができるものと期待している。

おわりに、本稿を執筆するにあたり、多大な協力と助言 を頂いた、神戸市下水道局設備課、並びに、(財)神戸市 下水道公社の関係各位に深謝致します。

〔参考文献〕

1) 荒木浩二: 六甲アイランドにおける下水処理水の再利用 工 業用水 No. 384 p. 29-32 1990.

淪 刧 塔 耐 ന

Anti-earthquake Tests of Cooling Tower



水 沢 Mituru Mizusawa

The author outlines an eathquake, and describes an analysis of vibration and a method for analyzing a response to an earthquake, all being a major consideration in dynamic analysis for cooling towers. The author further ascertains how the cooling tower responds to an earthquake by attempting a comparison between the anti-earthquake experiment and the theoretical analysis of the cooling tower. The results indicate that the analyzed values are found to be reasonable, and promising for optimum anti-earthquake design of cooling towers in the future.

まえがき

近年,都市再開発の活性化に伴い,地域冷暖房設備 (District Heating and Cooling 以下DHC)の設置例が 急増しており、適用される冷却塔も年々大型化している。 またビル屋上に設置される例がほとんどである。

このような場合,耐震構造設計基準として水平震度1.0 G (980 cm/sec²) が採用されている。

一方冷却塔の耐震設計に関しては、従来静的解析での対 応が主であり,動的解析はなされておらず,地震に対する 応答については不明な点が多かった。今回、DHC用冷却 塔の合理的な構造設計の一助として、株式会社神戸製鋼所 技術開発本部振動音響室の協力を得て,振動台による耐震 試験を行ったので、その概要について報告する。

地震と振動特性 1.

42

1.1 マグニチュードと震度

一般に地震の規模を表すのに「マグニチュード」と「震 度」が使用される。

「マグニチュード」とは、地震エネルギーを表わす尺度 であり、地震規模を等級づけるものである。これを計測量 より求める場合「震央距離から 100 km 地点でのウッドア ンダーソン型地震計が記録する最大振幅(ミクロン単位)

の常用対数値により定義される。(Gutenberg-Richter マ グニチュード)

実際にはちょうど 100 km のところに地震計があるとは 限らず、距離により適当な補正式を使っている。わが国で は次式による。

 $M = \log A + 1.73 \log \bigtriangleup - 0.83$

M:マグニチュード A:観測点最大振幅(ミクロン) △:震央からの距離(km)

一方「震度」とは、地震発生時に、ある地点での地震の 強さを人体の感覚や物体の揺れ方などを目安に階級別に表 したものであり,第1図に示すように震央からの距離に従 い,震度は小さくなる。

わが国では,第1表に示す気象庁の震度階表が用いられ ており,震度0(無感)から震度7(激震)までの8段階 に分けられている。

1.2 震度と加速度

ここに,

建築物の耐震設計を行う場合、地震の強さを表わすため の物理量を通常加速度で定義し、ガル(gal) あるいは cm/ sec² という単位を用いる。

また、地震による加速度と重力加速度の比を震度という (震度階による震度とは異なる)。例えば建築基準法で設計



神鋼パンテツク技報

Vol. 35 No. 1 (1991/3)



Fig. 2 Examples of seismic waves

震度 0.2G という場合,

 $980 \text{ cm/sec}^2 \times 0.2 = 196 \text{ cm/sec}^2$

という加速度を用いて,地震による外力検討を行う。 1.3 地震波と日本における震度期待値

1.3.1 地震波

実際に建物に到達する地震波は,種々の周期を持つ正弦 波の重ね合わせであり,地震の規模,震央距離,地盤の種 類によって異なる。第2図に地震波の時刻暦例を示す。ま たこの地震波のパワースペクトル分布(周波数ごとの加速 度分布)を第3図に示す。同図の地震例では,地盤卓越周 波数が5Hz以下であり,地震の大部分が同様の傾向を示す。

1.3.2 震度期待值

日本における各地の地震数,再来年数から,特定の年数 が再来年数となるような震度階の分布を求めて,各地の震 度期待値として統計値が得られる。これを最高震度期待値 の分布としてまとめたものを第4図に示す。¹⁾同図は75年 間に一度発生すると予想される例であり,東京350 gal,大 版 300 gal,東海 500 gal を示している。これらの値が耐震 設計の地盤震度の目安として使用される。

2. 振動解析

2.1 固有振動解析

- 一般に多質点系の振動方程式は、マトリックス表現を用いて次の形をとる。

 $(m) {\dot{x}} + [c] {\dot{x}} + [k] {x} = {p}$

ここに、[m]:質量マトリックス
{x}:加速度ベクトル
[c]:減衰マトリックス
{x}:速度ベクトル
[k]:剛性マトリックス
{x}:変位ベクトル
{p}:外力ベクトル

上式で $\{p\} = \{0\}, \{c\} = \{0\}$ のときは、振動中外力も加わらず、振動エネルギーの減衰もない状態を示し非減衰自由振動と呼ばれている。この時上式は、



[cm/sec³] Power spectrum 50.00 45.00 35.00 25.00 15.00 5.00 0 20.04.0 6.0 8.0 F [Hz] Tokachioki





第4図 最高震度期待値の分布(単位 gal) (再来年数75年間の場合)

Fig. 4 Distribution of meizoseismic expectation (units: gal) (at intervals of 75 years)

となり, 上式の微分方程式の一般解を,

 $\{x\}=\{u\}\,e^{{\rm i}\,{\scriptscriptstyle\omega}\,t}$

ここに, {u} :基準モード形状ベクトル eⁱ^{wt}:複素共役関数(=sin wt+i cos wt)

とおいて、上式に代入し、

 $\{[k] - \omega^2 \cdot [m]\} \cdot \{u\} = \{0\}$

が得られる。ここで {u} ≠0 ならば,上式は,

 $[k] - \omega^2 \cdot [m] = [0]$

となり一質点系の場合 $\omega = \sqrt{k/m}$ で固有振動数が求められる。[k], [m] が n×n のマトリックスならば、 ω^2 に関して n 次の多項式となり n 個の ω および {u} が存在する。振動問題では、 ω_n を固有振動数、{u} を固有ベクトルと呼ぶ。また、n×n のような多質点系の場合は ω 、{u} をマトリックスの固有値問題として数値解析により計算機を用いて求める。

2.2 応答解析

一質点系において,正弦波加振状態の運動方程式は,

 $\mathbf{m} \cdot \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{c} \cdot \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{k} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{f}(\mathbf{t})$

上式の変位応答値は、 x_{st} を外力による静的変位、 $\omega_n = \sqrt{k/m}$, $2h\omega_n = c/m$ とすれば、

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

神鋼パンテツク技報



Single-mass

model

7777777777777777 第5図 1 質点系変位応答倍率曲線 Fig. 5 Magnification factor (Single-mass model)





- :加振振動数 ω
- :基準変位 \mathbf{X}_{st}
- :固有振動数(= $\sqrt{k/m}$) ωn

: 応答変位 х

となり,第5図に示す応答倍率曲線が示される。これは, 固有振動数ω πを持つ系に,ωなる振動数で外力(加振力) を加えた時の変位応答倍率を示す値である。

多質点系の場合, 2.1 項のように, n 次の固有振動数 $(\omega_n), n$ 個の固有ベクトル(固有モード形状変位)を持ち, 各モードの重ね合せにより、多質点系の変位応答倍率が求 められる。第6図に2質点系の例を示す。

また,重ね合せの際,各モードの影響度を,固有変位べ クトル({u})と、質量マトリックス({m})により次の式 より求める。

$$\beta_{j} = \frac{\sum_{r=1}^{n} m_{r} \cdot j u_{r}}{\sum_{r=1}^{n} m_{r} \cdot (j u_{r})^{2}}$$

ここに、 r =1~n 質点数
m_r = 質量
ju_r = j 次モード形状値

一方、地震のように、時々刻々外力(この場合加速度) が変化する応答を求める場合、前述の運動方程式を「微分 方程式の初期値問題をステップバイステップで解く」とい う数値解析問題に置き換え、次の手順で求めることができ る。





 $m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = f(t)$

において,時刻 tから △t 秒後の状態を

 $x(t+\triangle t)=x(t)$ +x(t)×∆t

 $\dot{\mathbf{x}}(\mathbf{t}+\Delta\mathbf{t})=\dot{\mathbf{x}}(\mathbf{t})$ $+\ddot{\mathbf{x}}(t) \times \Delta t$

 $\ddot{x}(t+\Delta t)=f(t)/m+(c/m\cdot\dot{x}+k/m\cdot x)$ の関係により求める。

多質点系の場合は、それぞれのモード形状({u}), 系数(β_i)を介して,各時間ごとの応答の重ね合せ(ド重畳)により求めることができる。

このような解析を、モーダルアナリシス (modal an sis) と呼んでいる。

1/2モデル冷却塔振動試験 3.

3.1 耐震試験装置

耐震試験装置を第7図に示す。加振装置は(株)神戸 所研究所の, 10 ton 油圧加振台によった。写真1に実 況を示す。

3.2 供試試験体

当社標準鋼製冷却塔(4F4a2 モデル)の1/2縮小モ を使用した。縮小モデル設計に当っては、部材断面を 1/2 とし、固有振動数、固有モード形状を、実機と相 せて,振動解析を行い設計した。

3.3 実験方法

第8図に加速度センサー,主要骨組材の歪ゲージ取 置を示す。使用地震波は、エルセントローNS波を使 加振方向を冷却塔の短辺、長辺方向のそれぞれについ った。

また、地震波加振試験に先立ち、正弦波スウィープ による固有振動数、固有モード形状の確認を行った。 表および写真2に計測装置を示す。

3. 4 実験結果

3. 4.1 固有振動数及び固有モード形状

加振台の振動数を順次変化させ、その時の応答加速 固有振動数を求める試験をスウィープ試験と呼ぶ。ま

Vol. 35 No. 1 (199.









また,モード形状図の比較では実験値と良く一致した。 4.2 応答加速度と応答応力の比較

実験に使用した地震波のディジタルデータを用い, FE Mによるモーダル時刻歴解析結果を**第15図**に示す。

同図は,第10,11図の実験値によく追随しており,解 析値は供試試験体の振動性状をよく表していると考えられ る。







第13図 短辺方向固有振動数,固有モード形状(解) Fig. 13 Natural frequencies and natural modes in transverse direction (Analysed values)



第14図 長辺方向固有振動数,固有モード形状(解) Fig. 14 Natural frequencies and natural modes in longitudinal direction (Analysed values)

一方,入力地震波の加振力(最大加速度)を変化さき 場合の実験値との比較を第16図に示す。同図は、時刻歴 果の最大応答値と入力地震波の最大加速度との関係を示 たものである。

同図から本実験加速度範囲では線形性を保っており, 造体としては弾性域であることが確認された。また, 所応答値との比較では,部材接合条件が剛接合とピン接合 中間に位置すると考えられ,剛接合による解析値が安全 であることが確認された。

むすび

従来不明な点が多かった冷却塔の地震応答について, 験と解析により,その振動性状を知ることができた。

今後は本研究結果を基に、より合理的な冷却塔の構造 計を目指す所存である。

本研究を行うにあたり,株式会社神戸製鋼所技術開系 部振動音響室,頭井洋主任研究員の指導および適切な^B をいただき,深く感謝します。

〔参考文献〕

1)河角広:わが国における地震危険分布,東大地震研29,1 ;建築雑誌,昭和26年4月

Vol. 35 No. 1 (1991,



無薬注,高脱水を実証---

電気浸透式加圧脱水機^Nスーパーフィルトロン["] Electro-osmosis dehydrator "Super Filtron" proves efficient dehydration without any dosage

昭和52年に水濁法で浄水場排水が規制されて以来,汚泥 処理のための脱水機の導入が進んだ。当時から数えて,は や10数年が経過。リプレイス期を前にメーカの新技術も目 立ってきた。脱水の前濃縮にセラミックス沪過を利用する 方法,電極を利用する技術などが新顔といったところだが, いずにしても汚泥発生量の減容化・資源化も狭い敷地内で の効率的な脱水,処理の低コスト化などに事業体側の関心 が集まっている。

神鋼パンテックの電気浸透式加圧脱水機「スーパーフィ ルトロン」は加圧脱水機の沪室に電極板を配したニューフ エイスの一つ。無薬注,4 kg/cm² 程度の圧搾,最大70ポ ルトという低電圧機構で,そのまま含水率60%以下に絞り 込む性能を発揮する。

一般に粒子表面には荷電電位があり, ゼーダ電位と呼ば れる。たとえば, 浄水汚泥の粒子はマイナスの電荷, 粒子 に接する水はプラスの電荷でお互いつりあう。そのため機 械力だけでは脱水に限界がある。ところで, 濃縮汚泥をあ る電場に置くと, 汚泥粒子は陽極に移動する。この現象は 電気泳動現象と呼ばれる。「スーパーフィルトロン」の加 圧の初期段階では電気泳動でマイナス側沪布面での汚泥粒 子の圧密が阻害されるため沪過・脱水が進む。

さらに脱水がすすみ汚泥粒子の移動が拘束されると、今 度は水分だけが液電荷と反対のマイナス側の移動、電気的 つりあいを保持しようとする。この現象は電気浸透現象と 呼ばれる。脱水工程が極限に達した時にこの作用が効果を 発揮。わずかな気圧で含水率60%以下の効率を発揮するこ とができる。

神鋼パンテツクでは3年前に第1号機を発表。すでに, 住都公団のコミプラ,東北電力の洗釜排水処理,民間企業 の製造工程向けに実績をあげている。最近では今年3月に 日本工業用水協会の推薦でこの脱水機が日刊工業新聞社長 賞を受賞。1月に米国ロサンゼルス市で開催された国際水



Super Filtron

Vol. 35 No. 1 (1991/3)

質汚濁研究協会 (IAWPRC) 主催の汚泥処理国際会議で論 文発表の栄に 浴するとともに, 機関紙 『Water Quality International No. 2 1990』にも,注目される技術として 紹介された。同社では,上下水プラントの汚泥脱水の決め 手として,「スーパーフィルトロン」の普及を進めていく 方針。 ('90.12.17 日本水道新聞)

直径が1~2nm-多孔質ガラス開発

Newly developped polous glass having pore size of $1 \sim 2 \text{ nm}$

神鋼パンテツクはゾル・ゲル法を利用して,表面に直径 1~2 nm (1 nm は100万分の 1 mm)の細孔があるシリカ ージルコニア系多孔質ガラスを開発した。細孔分布が均一 で,体積に対する細孔の数(気孔率)も10~80%の間で任 意に設定できるほか,耐アルカリ性にも優れている。92年 には製品化を予定しており,従来,難しかったチトクロム Cやインシュリンの単体分離も可能になるという。細孔直 径1~2 nm の多孔質ガラスはこれまでどこにもなかった。

新しい多孔質ガラスは、特殊なシリカージルコニア系ガ ラス原料を溶液中で反応させるゾル・ゲル法を応用して開 発。このため①細孔直径は1~2nmで任意に設定できる② 細孔分布が均一③気孔率も調整できる④耐アルカリ性が高 い一などの特徴があるほか、600°C前後の低温で製造でき る。

液体や気体を分離する方法としては従来,分相法でつく った多孔質ガラスやゼオライトを使用する方法があった が,分相法多孔質ガラスでは7nmまでしか細孔がつくれ ず,ゼオライトでは1nm未満の超微細なガラスしか分離 できなかった。

同社は金属の表面にガラスを焼き付けるグラスライニン グ技術を持つことから,通産省工業技術院大阪工業技術試 験所の指導を受けてニューガラスの開発に取り組んでいた。 ('90.12.24 日刊工業新聞)



多孔質ガラス「IMMISA-II」 Porous glass ''IMMISA-II''

神鋼パンテツク技報

広粘度域で効率混合—新形翼採用の撹拌槽 Agitating vessel with new type agitator for

mixing liquids of wide range in viscosity 神鋼パンテツクは,幅広い粘度領域で高効率の混合を実 現する撹拌槽を開発した。二枚の新形状撹拌翼を組み合わ せ,槽内部全体に効率良く対流を起こすことができる。従 来翼に比べ消費電力は半分以下ですむのが特長。これまで 同一の撹拌翼では無理とされていた1~10万センチポイズ の広い粘度域で使用が可能で,多目的混合プロセス向けに 拡販する方針。初年度販売目標は10台,1億円で,4~5 年後に年間40台,同10億円の販売を目指す。

この撹拌槽は、同社が新たに開発した撹拌翼「フルゾーン」(商品名)を採用することで、従来同一撹拌翼では難しいとされていた広い粘度領域での高効率の混合(撹拌)を可能にした。

また, 撹拌効率が高く消費電力は従来の半分以下と経済 的。撹拌翼, 撹拌槽本体の材質はステンレス鋼(SUS) 製のほか耐食性, 非付着性に優れたグラスライニング(G L)製と用途に応じて選択できる。フルゾーンの製作可能 容量は, GLタイプが60 m³, SUSタイプが155 m³。と くに, 製品の多品種化, 生産の合理化の進む化学, 医薬, 食品分野での多目的混合プロセスに威力を発揮する。

('91.1.31 化学工業日報)

地域冷暖房用の冷却塔納入一 新宿新都心向け,世界最大規模

World largest scale cooling tower of district air conditioning has delivered in shinjuku new metropolitan area

神鋼パンテツクは13日,東京都新宿区の東京ガス新宿地 域冷暖房センターに,処理能力が世界最大規模の地域冷暖 房用冷却塔を納入したと発表した。 同センターの屋上部分に設置されたこの冷却塔は、既に稼働しており、大口径のファンを回して冷房後の水を再て 冷水に変える。処理能力は49 000 冷凍トンで東京都新庁台 など新宿新都心の16の高層ビル(延べ約1560 000 m²) に 冷温熱を供給していく。さらに付近のビル増設にあわせ、 2 年後には同59 000 冷凍トンに能力を増強する。

同社は地域冷暖房用冷却塔の最大手で,花博会場(処理 能力6000 冷凍トン)や神戸ハーバーランド(同12000) 凍トン)にも設備を納めている。今後の地域冷暖房の需要 増に伴い,今年度15億円,来年度20億円の受注を見込ん いる。 ('91.2.14 神戸新聞)

展 示 会 Exhibition

空調,産業用フェア

Exhibition for Air-conditioning uses an industorial cooling

空調,産業用フェアは,2月27日,28日の2日間,北; 州市小倉北区の西部ガス(株)燃焼技術センターで開催; れた。

このフェアは西部ガスの主催により,ビル空調から地 冷暖房,コージェネレーション,更には溶解炉,熱処理 などの産業分野の機器およびシステムメーカの参加によ 盛大に行われた。

当社は気熱装置事業部の地域冷暖房用冷却塔のパネル 示を中心に出展し、その特長ある技術と環境保全のニー. にあった製品に注目を集めた。

当社の出展パネル

- •新宿新都心地区地域冷暖房用重層式冷却塔(鋼製) 49 000 R T
- ・重層式冷却塔説明パネル



神鋼パンテツク技報