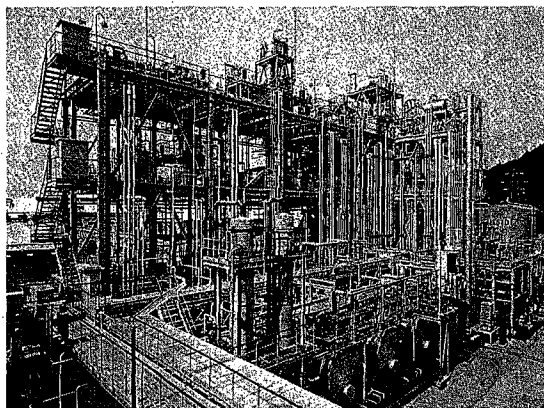


目 次

・創立30周年「記念講演会」抄録 ＝機能性分離膜の現状と将来の展望＝	1
・化工機事業部30年のあゆみ	7
・最近の焼成技術	13
・表面処理と特性	17
・攪拌技術	22
・攪拌翼の振動	29
・圧力容器の熱応力解析 ＜G L製ノズルの熱応力解析と本体フランジの熱応力評価＞	34
・間欠空気揚水筒による貯水池の水質改善	39
・間欠ばっ気型接触酸化装置	45
・ビッカー社製プレート式熱交換器の概要（第二報）	50
・社内ニュース	56

CONTENTS

・ The Present Status and Future Prospects of Membrane Separation Processes	1
・ 30 Years' Progress of Process Equipment Division	7
・ Recent Firing Techniques	13
・ Characteristic of Surface Treated Metal and Glass	17
・ Mixing Technology	22
・ Vibration of Agitator	29
・ Thermal Stress Analysis of Pressure Vessels ＜Thermal Stress Analysis of Glass-lined Nozzle and the Stress Evaluation of Main Flange＞	34
・ Improvement of Impounded Water Results Achieved by Use of Aero-Hydraulic Guns (AHG)	39
・ Intermittent Aeration Type Biological Contactor	45
・ Presentation of Vicarb Plate Heat Exchanger (II)	50
・ TOPICS	56



＜表紙写真説明＞

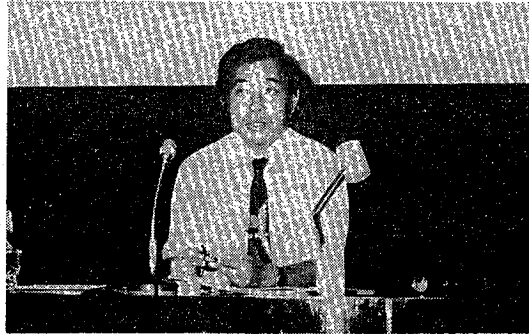
新潟県西頸城郡のデナック佛殿に納入したモノクロール酢酸プラント。モノクロール酢酸は農医薬、染料などのファインケミカル製品の重要な中間原料である。この装置の能力は年間20,000トン、現在半数は輸出されているが、将来は日本の需要をすべて満たすことになるという。

The photo shows the monochloroacetic acid plant that we supplied to Denak Co., Ltd in Nishi Kubiki-gun, Niigata Prefecture. Monochloroacetic acid is one of the important intermediate materials for fine or special chemical products such as agricultural and pharmaceutical chemicals, dyestuff, etc. The plant consists of many glasteel equipment and piping, and the capacity of this plant is 20,000tons per year. Half of the products are exported, and it is estimated that the products are expected to meet all the demands in Japan in the future.

創立30周年「記念講演会」抄録

二 機能性分離膜の現状と将来の展望 二

The Present Status and Future Prospects of Membrane Separation Processes



横浜国立大学工学部教授

大 矢 晴 彦
Prof. Dr.

Haruhiko Ohya

抄録 技術開発本部

近 藤 哲 治
Tetsuzi Kondo

This paper summarizes the lecture delivered by prof. Dr. H. Ohya of Yokohama National University at the 30th anniversary of our foundation. In this article, he gives an outline of membrane separation processes. Especially, history, principle, market, membrane structure, and problems are described. In addition, as one example of future membrane separation processes, C. E. L. S.S. (Closed Ecological Life Support System) is also described.

1984年9月4日、東京商工会議所にて、多数のユーザー各位を迎えて当社創立30周年記念講演会を開催致しました。膜工学の世界的権威であります横浜国立大学工学部大矢晴彦教授により、首記演題にてご講演いただきました。本文はこれをご講演内容をまとめたものです。

1. ま え が き

一般にテクノロジーのブレークスルーが起こって、それが工業的に広く使われるようになるまでの平均的年数は、17～19年と言われている。それが最も短期間であったものは、IC(Integrated circuit)で、5～7年で実用化に入っている。それに対して逆浸透法のブレークスルーが起こったのは、1960年であり、今年で24年経過しているが、逆浸透法のテイクオフが実際に起きたのは、1970年を少し過ぎたあたりだから、ブレークスルーから実用化までのステップでは、順調な方ではないかと思われる。食塩製造に用いられている電気透析法に関しても、その期間は22年程であるから、膜法にも大体この原則が適用されると考えられる。

2. 膜 分 離 法

2.1. 膜現象(膜と選択透過性)

膜は薄くて二次元的な広がりを持っている。例えば家庭でなじみ深いアルミ箔、サランラップ、タバコの包み紙のようなものがある。また英語では、Film と Membrane とがある。Film は、膜が単に「ある」という感じであり、日本語では「箔」に近いものである。

そのような箔も、それで物を包むと状況が変わってくる。例えば鮎をアルミホイルで包んでオーブンで焼くと、湿気が保たれてうまく焼きあがる。つまり、ホイルで包むことによって、内と外とを「分ける」という仕事をすることになる。基本的には、膜は単純に存在すると Film

に近いのだが、「包む」という動作によって空間を二つの部分に「分ける」ことにより、Membrane が始まるといえる。サランラップの中のもの、湿気を失わないとか、臭いが外に漏れないなどの機能がある。つまり何も通さないのだが、厳密に言えば、ある程度は通している。例えば、昔余剰米をプラスチックフィルムに包んで、琵琶湖の底に貯蔵するアイデアがあった。しかし、プラスチックフィルムは(ポリエチレンの厚手のものでも)、水が中を通りお米が腐ることになるため採用されなかった。つまり膜材質がどんなものであっても、何かが通る。例えば、水や電気や電子やイオンなどが通る。その通り方が、ある物は通り、ある物は通らないというように差があり、このような現象を膜透過とよんでいる。

その場合に、膜透過の速度が違うものは、「分離」に使え、る事になる。これが基本的な膜分離プロセスが成り立つゆえんである。このように、選択的に通るものを、選択透過とよんでいる。選択透過性を示すものの中に、大別して二つの見方がある。例えば、砂糖水溶液を膜で包む場合に、水が通る膜と砂糖の通る膜とがある。砂糖が通る場合を透析現象、溶媒である水の方が通る場合を浸透現象とよんでいる。

2.2. 膜分離法

選択透過性という特殊な膜の現象を使って、膜分離法が成立する。ただ問題は、「移動が起きる」ためには、駆動力(driving force)が必要となる。わかりやすく言えば、エネルギーを使うということになる。例えば、蒸留塔を考えると、蒸留塔は下部で熱を与え、上部で熱を奪うものだが、アルコール混合液を入れると、熱エネルギーを与えた結果として、下部からは水が、上部からはアルコールが出てくることになる。つまり、熱というエネルギーによ

第1表 駆動エネルギーと浸透現象および透析現象

Table 1 Driving forces vs. osmosis and dialysis¹⁾

Driving Force	Energy	Osmosis	Dialysis
Pressure Difference Centrifugal Force	Dynamic	Reverse Osmosis (Ultrafiltration, Microfiltration) Gas Osmosis	Piezo Dialysis Gas Diffusion (Permeate)
Potential Difference	Electric	Electro Osmosis	Electrodialysis
Concentration Difference	Chemical	Osmosis	Dialysis
Temperature Difference	Thermo- dynamic	Thermo Osmosis	Thermo Dialysis
Chemical Reaction	Chemical Photochemical	Chemical Osmosis Photo Osmosis	Chemical Dialysis Photo Dialysis

って分離がなされたことになる。一般的に、エネルギーを与えると物が分かれる。それは何故かという、世の中の自然現象は通常、混乱側へずれるためである。このような現象をエントロピー増大現象とよんでいる。つまり混乱が増えるとエントロピーは増える。それを元通りの秩序に戻す(エントロピーを減らす)ためには、必ずエネルギーが必要となる。水と砂糖の混ざった液はエントロピーが増大しているので、それらを分離するにはエネルギーが必要なのである。

膜分離に使用されるエネルギーの形態については、第1表に示す。この表は、膜現象と駆動エネルギーとをマトリックスとして表わしたものである。例えば力学的エネルギー(通常は圧力差を用いるが、遠心力でも可)を使う浸透現象が逆浸透法であり、塩分の方を透過させるものが圧透析法となる。さらに電気エネルギーを使うものに、電気浸透や電気透析がある。また化学反応の持つエネルギーを使う化学透析や化学浸透もあるが、これらは生体膜の中で起こっている現象である。例えば、人間の胃の中では、食物が分解されて体の細胞の中に栄養素としてとりこまれるが、その時には化学反応を使っている。それが工業的に使えるようになるかどうかは、非常に興味のあるところである。現在の所、実用化されているのは、逆浸透法(限外濾過法、精密濾過法を含む)、電気透析法、透析法くらいである。

2.3. 膜分離法の歴史²⁾

最初に現象として発見されたのは、1748年に Nollét がぶどう酒の入ったびんに、動物の皮でふたをして水の中に浸漬した所、水がびんの中に入ってしまった事から始まる。恐らくアルコールを分離しようとしたのだろうが、逆に水の方が通ったので浸透現象ということになる。それから Fick が拡散の法則を、Graham が透析の研究を、さらに van't Hoff が浸透圧の研究を行なった。Zsigmondy が1900年代の初めに精密濾過膜を、また Donnan により分配法則が、さらに1930年代には、Meyer らにより膜電位の研究がなされた。これらの研究は特に、バイオチップなどの生体膜関連で重要な基礎理論といえる。また1944年に Kolff が血液透析の最初の実験をしている。さらに1950～1960年にかけて Loeb や Sourirajan が逆浸透膜

のブレークスルーを成し遂げている。

2.4. 膜分離技術の市場

膜市場の規模については、第2表に示す。1970年には、全体で500万\$であったと推定されており、第2表の右端の数字は1981年のデータであるが、およそ5億\$くらいであり、年間成長率は約60%となる。同様の率で成長していると仮定すれば、本年度の市場規模は10数億\$と推定される。

2.5. 膜構造と機能

膜構造と機能について第3表に示す。膜は大別すると、膜に電荷のあるものと、ないものとに分けられる。孔が多いと「ふるい分け」で分離され、孔のない均質な膜では、膜中へ先ず溶

け込み、ホール(Hole)とよばれる部分を拡散して行くことにより分離される。一番均質でほとんど何も通さないのはサラップのような膜であり、さらに逆浸透膜、透析膜、限外濾過膜、精密濾過膜がある。それに対して荷電膜で一番均質な膜は、ソーダ電解に使う膜であり、これはいわゆる「ドナン排除」を利用している膜である。

膜分離法が現在のスケールにまで成長した最大の技術的ブレークスルーは、1960年に Loeb と Sourirajan により発明された「非対称膜」である。この膜構造は、1 μ 以下の厚さのスキン層とよばれる緻密な部分と、それを支持するためのポーラスな部分とから成っている。分離機能に関しては、スキン層のみあれば良いのだが、1 μ 以下という極度に薄いものを人間が取扱うのは、むずかしいため、支持層がついている。

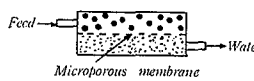
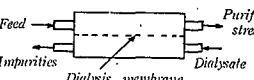
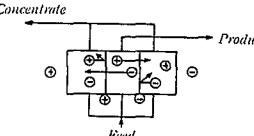
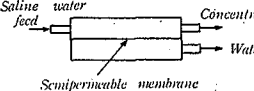
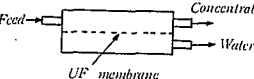
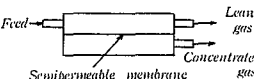
その他、特徴のある膜構造を持つ膜としては、Nuclepore膜がある。これは膜を作る物質に放射線を照射すると、放射線の当たった部分がラジカルになり、後でその部分を溶かし出すという方法で製膜する。均一な孔が得られるため精密濾過膜としてよく使用されている。実用的なものは、ポリカーボネート膜であるが、無機膜もこうして作ることは可能と考える。

最新流行のものとしては複合膜があげられる。複合膜の製膜方法は大きく3通りある。1番最初の方法は、支持層をあらかじめ作っておき、後で別に作成したスキン層を貼り合わせるものであった。この方法で製膜したものは、実際に使用すると、接着部分がはがれてしまうというトラブルが続出したため、2番目に界面重合法という方法が考え出された。その方法では、水溶性モノマーを下部に、親油性モノマーを上部に入れて接触させると、界面の部分で膜ができるが、ある一定の厚さまで成長すると、もはやモノマーが通れなくなり、ある厚さに決まってしまうことになる。この種のものは2種類あり、スキン層と支持層の間にゲル層があるNS-100やPA-300と、ゲル層がないNS-200やPECなどである。3番目にプラズマ重合膜があげられる。これは、多孔質の支持体の上でプラズマ重合させ製膜したものである。

その他、髪の毛くらいの太さの中空糸膜がある。これは内側が多孔質で外側にスキン層が形成されているものであ

第2表 世界の膜分離技術の市場規模

Table 2 Market size of membrane processes in the world³⁾

Process/Concept	Materials Passed	Driving Force	Material Retained	Market Size ^a (\$ million/yr)
 Microfiltration	Water and Dissolved species	Pressure Difference typically 10 psi	Suspended Material (silica, bacteria, etc.). Variable particle-size cutoffs	150
 Dialysis	Ions and Low-molecular-weight organics (urea, etc.)	Concentration Difference	Dissolved and Suspended Material with molecular weight > 1000	200
 Electrodialysis	Ions	Voltage, typically 1 to 2V/cell pair	All Nonionic and Macro-molecular species	35
 Reverse Osmosis	Water	Pressure Difference, typically 100 to 800 psi	Virtually all Suspended and Dissolved Material	100
 Ultrafiltration	Water and Salts	Pressure Difference, typically 10 to 100 psi	Biologicals, Colloids, and Macromolecules. Variable molecular weight cutoffs	50
 Gas Separation	Gases and Vapors	Pressure Difference, 1 to 100 atm	Membrane-impermeable Gases and Vapors	10-15

^a Use of membranes in electrodes is estimated at \$ 10 million and in controlled-release devices at more than \$ 100 million annually. Source: H. K. Lonsdale

第3表 各種の膜の構造と機能

Table 3 Structure and function of membranes⁴⁾

	Structure	Usage	Mechanism
Uncharged Membrane	Porous	Microfiltration	Sieve Filtration
	Non Porous	Barrier (for wrapping)	Solution and Diffusion
Charged Membrane	Porous	Ultrafiltration	Affinity with membrane materials and solvents or solutes
	Non Porous	Dialysis	Sieve Filtration + Donnan Exclusion
		Reverse Osmosis	Donnan Exclusion
		Mosaic Membrane (for Piezo Dialysis)	
		Ion Exchange Membrane	
		Diaphragm for Electrolysis	

る。

2.6. モジュール

膜は薄く破れる可能性があるため、取扱いが容易な格好に仕上げる必要があり、その工夫されたものをモジュールとよんでいる。膜をモジュール化する場合、もう一つ重要な事柄を考慮する必要がある。例えば海水から真水を得る事が、逆浸透法の本来の目的であるが、海水から真水を取ると膜面上に塩が残る。この塩を放っておくと、塩の濃度に比例して浸透圧が上昇し、そのうち水が通らなくなるということになる。そこで膜面上にたまった塩を、本流の方へ戻す事が必要になり、そのための工夫がモジュールに組み込まれることになる。通常それは拡散という現象により戻すのだが、水中での拡散係数は非常に遅いため、攪拌により速度を速める事が必要となる。ただ傷つきやすい膜のことだから、攪拌するのにも一工夫が必要となる。

一番考えやすいモジュールとしては、薄層流型がある。これは、膜と膜の間を薄くし速いスピードで液を流すものである。こうすると膜の上面に生じる速度勾配が、膜面にたまったものを取り除いてくれることになる。この種類に属するモジュールが最も多く出回っている。例えば逆浸透用モジュールとして代表的な、スパイラル型（別名のり巻き型）や、DDS社の円板型平膜モジュール、あるいは、ローヌプーラン社の平膜モジュール、さらに電気透析法で用いられるモジュールも薄層流型である。

次に、流路が円管状のモジュールとして、チューブラー型がある。これはチューブの中を乱流状態にさせ、その乱流のかきまぜ作用を利用して、膜面にたまったものを除去しようとするものである。特にチューブの内径が1 mmφ 前後の細いものを、キャピラリー型とよんで区別している。

最後に少し変わったモジュールとして中空糸型とよばれるものがある。これは髪の毛くらいの太さの中空糸の外側から内側へ水を透過させるものであるから、膜面上へのたまりが、大きな問題となる。但し他のモジュール型式と比較すると、単位体積当りの膜面積が最大であり、コンパクトにまとまっていることが、大きな特徴である。

3. 膜分離技術

3.1. 精密ろ過法

人工的に最初に使われた膜は、セルロイドから作られたニトロセルロースを材料としたコロジオン膜である。性能があまり良くなく、実験室レベルでの使用に限られていた。その後、Zsigmondy が酢酸セルロースとニトロセルロースを混ぜたものから膜を作り、Sartorius 社から発売されるようになった。第二次世界大戦後、米国がこの技術を基にして細菌兵器対策のため、水中の細菌分析用に精密ろ過膜を開発し、現在 Millipore 社がその技術を受け継いでいる。このように精密ろ過膜は水中の細菌の分析には、なくてはならないものとなっている。その他新しい精密ろ過膜として、Nuclepore 膜や Celgard 膜のように、製法に特徴を持つものや、Gore-Tex 膜のように、水ははじくが蒸気は通すという性質を利用して、レインコートに応用される膜も出現した。いずれにせよ精密ろ過膜は、ふるい効果によって分けるものであり、最近では滅菌ろ過法として食品工業や製薬工業で使われている。

3.2. 透析法

1861年 Graham は、人工膜を使って種々の水溶液の膜透過実験を行ない、膜を透過したものをクリスタロイド、透過しなかったものをコロイドと区別した。その後この透析プロセスは、濃度差だけで物の移動をさせるため、非常に速度の遅いプロセスであり工業化は進まなかった。しかし最近医療用の分野での血液透析として脚光を浴びている。モジュールの型式も以前は、薄層流型（コイル型）が主流であったが、現在はホロファイバー型（中空糸型）へ移行しつつある。現在は、使い捨てで使用するため、市場も巨大なものとなっており、1981年の日本国内だけでも数百億円といわれている。しかし繰り返し使用可能なものになれば、市場は急激に縮小することになる。その他、米国では人工透析の使用基準が厳しく、年齢制限などがあるため、日本でもやがてそのような規制がなされれば、市場に大きな影響がでるであろう。それで人工透析は、もはや成長が止まったと考えられ、今後はもう少し違ったものを透過させるような透析膜が開発されるであろう。

3.3. 電気透析法

電気透析の特許は既に1800年代に現われるのだが、工業的に使える膜がなかったため、1950年に至るまで実用化は進まなかった。しかし第二次世界大戦中に開発されたイオン交換樹脂を、膜にしようとのアイデアが1950年に実り、実用化への道が開けた。原理的には、アニオン交換膜とカチオン交換膜を交互にならべて、通電すると液中のイオンが移動し、その途中で交換膜の特性により選択分離がなされ、濃度の濃い液と薄い液とができるものである。米国では薄い液の方に注目し、脱塩装置として使用されたが、日本では濃い液の方に注目し、製塩装置として採用されている。現在国内では、年間100万 ton くらいの食塩を製造しているが、食塩の消費量が急に増えるわけではないので、この用途は頭打ちとなり、淡水化の方へ向かわざるを得ないのだが、国内ではかん水が多くないため、さらに別の用途へ向かう必要がある。実際には、電気透析法の今後の市場は、食品工業分野が有望と思われる。例えば人工母乳製造プラントでは、牛乳中の灰分を除去するのに広く使われて

いる。その他、アニオン交換膜だけを使った電気透析装置により、オレンジジュースからクエン酸を除去することも可能である。

3.4. 逆浸透法

逆浸透法は最初海水淡水化を目標として登場したものである。1952年に原理としての提案があり、1960年には膜があらわれ、1970年代からは実用化に入り、急速に成長している。しかしながら当初の目標であった海水淡水化ではなく、きれいな水を造るプラント（特に電子工業用の超純水製造プラント）で広く使用されている。

最初にこの分野で逆浸透法を採用したのは、Texas Instruments 社であり、それ以前の複雑なプロセスが大幅に簡略化され、逆浸透装置と仕上げのプロセスだけで良いという結果になり、当然の結果として、超純水製造コストも大幅な低下を見ることとなった。現在では、半導体製造業の設備投資額の数%が超純水製造プラントに向けられていると推定されている。それに対して中近東での海水淡水化は、今はMSF（多段フラッシュ法）が主流である。技術的には、ほとんど同時期の発明にもかかわらず、MSFが実用化の面で先行しているのは、MSFの方は機械の組み合せ技術であり（ハード型）、逆浸透法の方は Chemistry が絡むことや、膜そのものの取扱いがむずかしいため、ソフト面の開発に時間が必要となったためである。しかし近年逆浸透法による大型プラントが採用されており、今年は46,000m³/日のプラントが運転を開始した。このような大型海水淡水化プラントが逆浸透法で順調に稼動するならば、今後海水淡水化プラントは、なだれを打ってMSFから逆浸透法へ移行すると考える。中近東での逆浸透法の市場は、現在1,000万m³/日の造水量であるが、それが全て逆浸透法に置き替わると仮定し、膜の寿命を3～5年とすれば、リプレースによる市場規模は、約1,000～2,000億円/年と計算される。よって次の市場としては、海水淡水化であろう。

3.5. 限外ろ過法

限外ろ過法は実験室規模では古くから使われていた。しかし工業的に使われるようになったのは、MIT（マサチューセッツ工科大学）の Michaels 教授の研究に端を発し、彼が独立して Amicon 社を創設してからである。しかし実用化の段階で、分離された高分子物質が膜面に付着しゲル層を形成するため性能が低下するという大問題が起これ、その解決方法の開発に10年くらい要している。その手法としては、膜に付着させない方法と、付着したものを除去する方法の2通りがある。前者の例としては、コロイド物質が帯びている電荷に反発することを狙った荷電膜があり、後者の例では、ボール洗浄のような物理的除去法や、薬品を使って化学的に洗浄する方法がある。そのため耐薬品性の強い膜や、耐熱性のすぐれた膜などの開発もなされ、現在実用化に至っている。

3.6. ガス分離

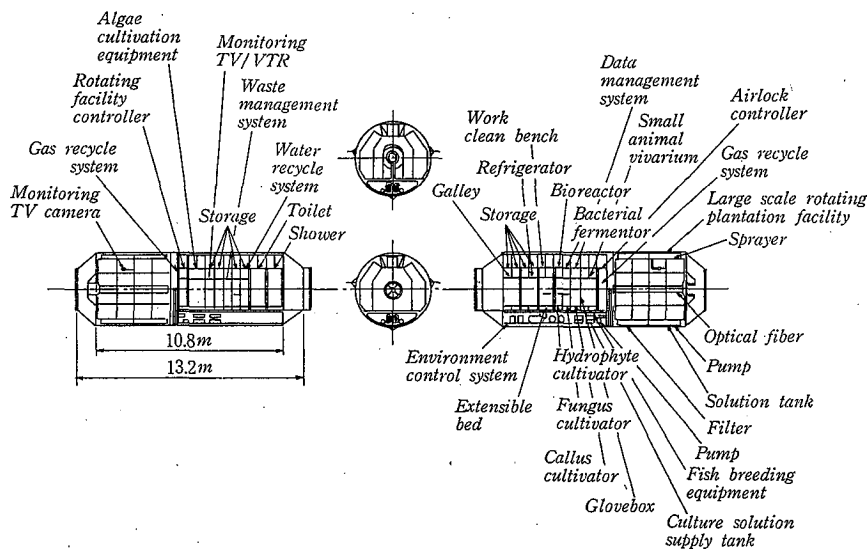
Monsant 社の Prism-separator とよばれる H₂ 分離膜があらわれ、ガス分離膜も急速に進んでいる。今後の用途としては、石油の三次回収用の超臨界圧抽出法に使用される CO₂ ガスを純化させることに膜分離を適用することが考えられている。これもうまく行けば巨大な市場になる

うかと考える。日本では O_2 富化膜の研究が進んでおり、将来の一つの市場と考えられる。

4. 将来の膜分離応用プロセス

4.1. 将来の膜分離技術

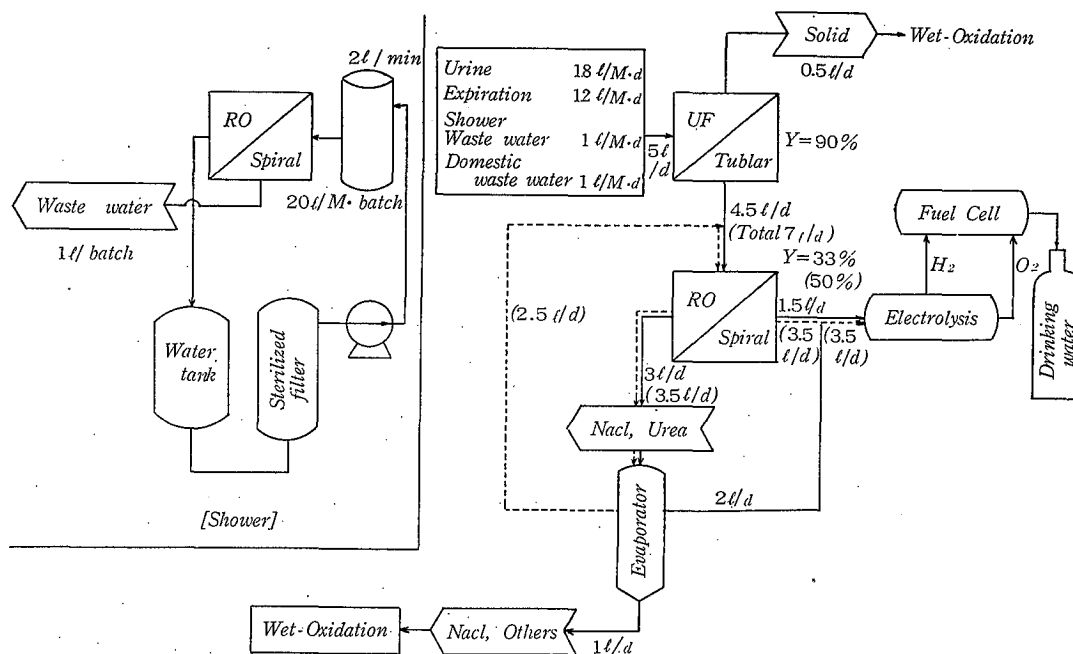
逆浸透膜に関しては、超薄膜化が進み膜材質の選択の幅が広がり、新しい用途が開けてくると考えられる。特に有機物水溶液の分離回収の分野での発展が期待される。通産省の来年度の大規模プロジェクトのアクアルネサンスの中で膜が主役と考えられており、これに適切な膜も今後必ず開発されるものと確信している。さらにパーペーパーレションなどの熱と膜の絡んだプロセスが実用化に入ってくると思われる。変わった膜として液体膜とよばれるものがあるが、現在は希土類の分離用として盛んに研究されており、マンガンノジュールの最終処理に利用しようと考えている。



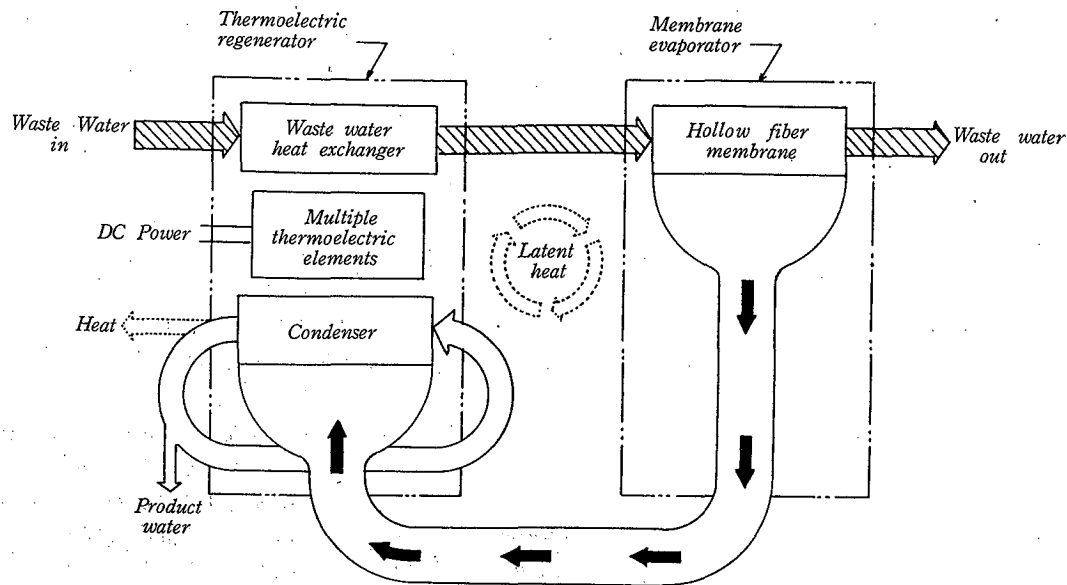
第1図 C. E. L. S. S. モジュール概観
Fig. 1 General view of C. E. L. S. S. module

4.2. CELSS

21世紀の有人宇宙活動を経済的にこなすため、スペース・ステーション内で、食糧生産、水再生処理・代謝ガス処理、排泄物処理などを組み合わせた閉鎖環境内における完全リサイクルシステムの研究開発が行なわれようとしている。ここで御紹介する CELSS (Closed Ecological Life Support System の略称)は、米国の NASA に対して日本側のプロポーザルとして提出しているものである。第1図を見れば、CELSS モジュールの概要が理解される。このモジュールは、 $4m^2 \times 10m^2$ の大きさの一つの宇宙船であり、内部は人工的に $0.1G \sim 0.3G$ の重力場が作られる。Plantation Facility は $50m^2$ の耕作面積を有し、太陽光から熱電素子により電気エネルギーを作り、それを使って人間の排泄物から肥料を回収し藻を栽培するシステムである。その藻は CO_2 を O_2 に戻すガスリサイクルの役割を果たし、さらに直接人間の食糧ともなり、また小動物のえさとして間接的に人間の食糧とすることもできる。第2図には、CELSS の一つのリサイクルシステムである水再生システムのフローを示す。まずシャワー用水は逆浸透法で循環処理され、濃縮水は廃水処理システムへ送られ、そこで尿等の汚水と共に限外汚過処理、さらに逆浸透処理の後、電気分解を施しガス状の H_2 と O_2 を燃焼させ飲料水を得ようとするシステムである。塩分の方はどのように処理するのが良いのか検討中であるが、一応いまの所蒸留操作の後、湿式酸化法による廃棄物処理システムの方へ送ることを考えている。



第2図 水再生システムフローチャート (日本側提案)
Fig. 2 Flow chart of water reuse system (by Japan)



第3図 水再生システムフローチャート (NASA 提案)
Fig. 3 Flow chart of water reuse system (by NASA)

第3図は、NASA 側から提案されている水再生システムである。この提案では、サーモ・パーバレーション (Thermo-Pervaporation) が中心となってシステムが構成されている。まず汚水が系内で回収される熱エネルギーにより加温され、Membrane Evaporatorの部分で多孔質膜を介して真空吸引され、水が蒸気となって膜を透過するものである。

普通の蒸発と異なり、膜を介して蒸発するため細菌やウイルス類が全く通らず、きれいな水が得られる。さらに蒸気はコンプレッサーにより再圧縮され、コンデンサー部分で凝縮することになり、その時の凝縮熱は熱交換器で原液を加温することに使われるものである。この技術はコンタミがないという利点を有しており、注射用水や医療用水への応用が期待される。

5. む す び

膜分離法全般にわたり、原理及び歴史的背景から現在の問題点まで概観した。さらに将来の動向についても若干言及したが、本文が膜研究開発に携わっておられる方々の御参考になれば望外の喜びであり、益々膜分離技術の発展を期待するものである。

〔参考文献〕

- 1) 大矢晴彦：化学工学，vol. 42 (1978)，P. 480.
- 2) H. K. Lonsdale：J. Membrane Sci.，vol. 10(1982)，P. 81.
- 3) J. L. Fox：C&E News，Nov. 8(1982)，P. 7.
- 4) 木村尚史：物質の分離と分析，上，大木・田中編，現代化学 11，(1979)，岩波書店

化工機事業部30年のあゆみ

30 Years' Progress of Process Equipment Division

昭和29～39年（1954～1964）

米国ファウドラ社との技術提携により、神鋼製鋼所の琺瑯部から独立し、神鋼ファウドラ（株）となった昭和29年はデフレに終始した年であった。その頃の、化学工業界の動向は経済自立政策に基づく基幹産業の設備近代化、産業構造の高度化の必要性が叫ばれ、有機合成化学工業の振興が焦眉の課題であったため、合成樹脂、合成ゴム、合成繊維、医薬品、農薬など各種工業の育成策が次々ととられた。

昭和30年、米国ファウドラ社の技術指導によって進められた東洋一を誇る大型1号焼成炉が完成した。そして、その年、当社グラスチール機器の高品質、高耐食性が、食品、医薬、化学工業界に認められ、製薬会社より大量のグラスチール機器を受注することができた。（写真1）

この年は、第一次合成樹脂工業育成5カ年計画が決定され、また、東京で開催された第1回国際見本市に、当社グラスチール機器を出品したこともあって、翌年昭和31年には大量のグラスチール製塩化ビニル重合機を受注した。また、ビール的大幅な生産増加も行われ、ビールタンクにグラスチールが採用され、大型ビールタンク125基を受注した。（写真2）

化学工業界においては、この頃から本格的な石油化学時代に突入する。塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、合成ゴム、合成繊維などの生産量が伸び、各種ビタミン、新農薬、合成調味料などが開発され、技術革新が次々と行われ、昭和31年後半からは、いわゆる、高度成長の時代に入る。この分野に、当社の高品質で高耐食性のグラスチール機器ばかりでなく、ステンレス、ステンレスクラッド、チタン、タンタルなど耐食金属機器が反応機、重合機、反応塔、貯槽として、数多く採用された。（写真3）

昭和34年にはソ連から初めてグラスチール機器約100基の大量受注に成功した。翌昭和35年にはモスクワ日本産業見本市にグラスチール機器を出品し、その後、昭和44年まで毎年大量のグラスチール機器を受注し、10年間で約6,000基を輸出した。

繊維工業界ではナイロンに次いで、ポリエステル繊維が

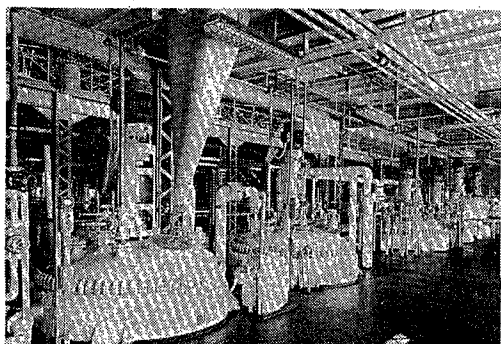


写真1 製薬会社で活躍する当社のグラスチール製反応機

Photo 1 Glasteel reactors working successfully in the Pharmaceutical plant

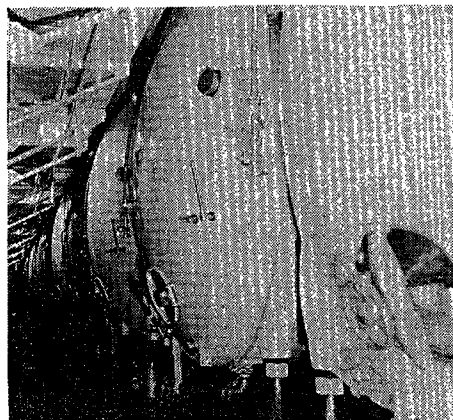


写真2 36,000ℓ
グラスチール製
ビールタンク

Photo 2
36,000ℓ
Glasteel
beer tanks

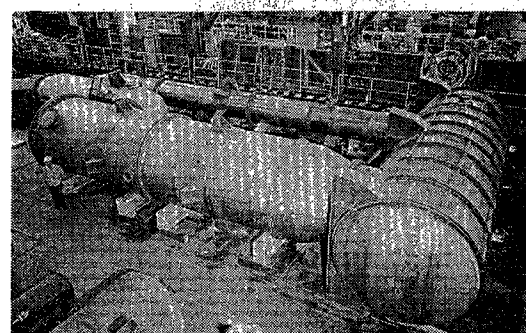


写真3 チタン製反応塔

Photo 3 Titanium column

昭和33年に本格的に販売され、昭和36年には夢の繊維として脚光をあびたポリプロピレン繊維が登場した、それに伴って当社も国内および海外からも多くのポリプロピレン重合機を受注した。

国内では、ビール、清酒の需要が伸び、ビール、清酒業界各社は活発な生産活動に入った。昭和36年、当社はグラスチール製大型ビールタンク700基を一括受注した。一方清酒の方は、昭和37～38年に、当社の18,000ℓクラスの貯酒タンクが数多く採用された。（写真4）

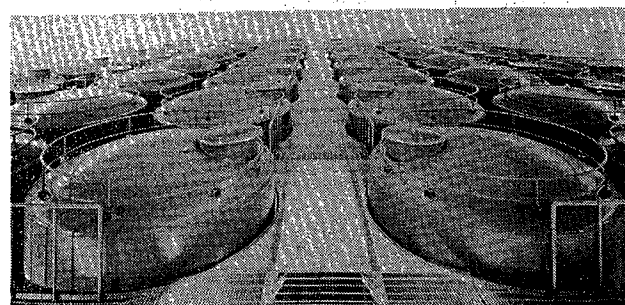


写真4 18,000ℓグラスチール製酒タンク

Photo 4 18,000ℓ Glasteel SAKE tanks

昭和38年米国A・Oスミス社と技術提携し、スミス式薄膜蒸留装置の製造、販売を開始した。

昭和39年、当社は、下部挿入攪拌機付重合機を開発した。これは重合機、反応機のスケールアップのニーズに応

えるべく、効果的な攪拌、伝熱及び、保守・保全の省力化を図ったもので、この種の重合機は各種合成樹脂製造用として、その後、数多く採用された。(写真5)

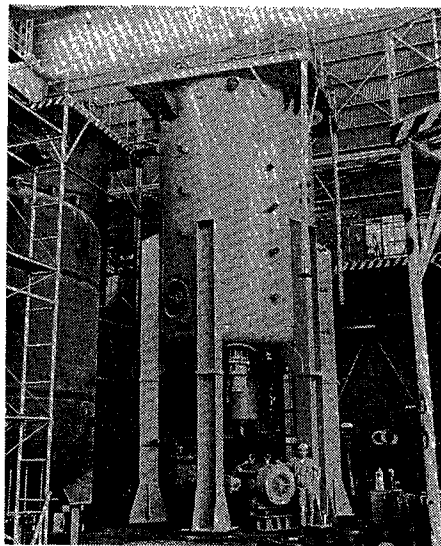


写真5
50,000ℓ グラス
チール製下部挿
入攪拌機付重合
機
Photo 5
50,000ℓ
Glasteel
polymerizer
with bottom
entering agitator

昭和40～49年(1965～1974)

創立10周年を迎えた昭和39年は、東京オリンピック、新幹線開通の年で、その翌年の昭和40年は、不況色が強まり、倒産企業が続出し、国内景気は極度に沈滞していたが、当社はこの年、ソ連から約2,000基のグラスチール機器の受注に成功し、国内の受注不振をカバーすることができた。

昭和41年には政府の財政積極策もあって、景気は順調に回復していった。昭和42年には、エチレン新增設基準が年産10万トンから一挙に30万トン規模に引き上げられ、エチレンセンター会社を中心に、一斉に30万トンを目指して、誘導品、副原料を含む体制を整え、大型設備が次々に増設されていった。当社はこうした状況の中で石油化学業界へは各種合成樹脂用大型重合機、グラスチール機器を、合成繊維業界へは、ナイロン、ポリエステル、アクリルニトリル用重合機、大型ユニカル・ドライヤー・ブレンダーを、毎年150～200基製作、納入した。(写真6)

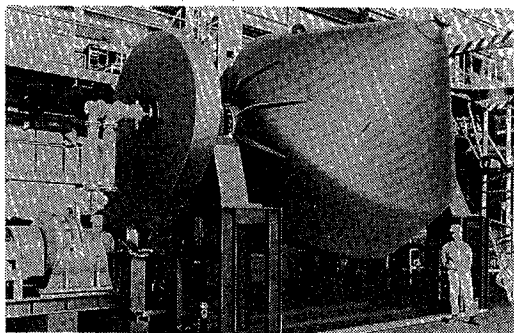


写真6 29,000ℓステンレスクラッド鋼製
ユニカルドライヤー・ブレンダー
Photo 6 29,000ℓ Stainless clad steel
conical dryer blender

昭和41年、当社は、ポリエチレン用として、我国最大のステンレス・クラッド鋼製80,000ℓ重合機を製作している。

塗料業界においても油性塗料から合成樹脂塗料を中心に生産量が大幅に伸び、この年に西独のカンツラー社より技術導入した電磁誘導加熱反応装置は、アルキッド樹脂を中心とした塗料製造プラントに数多く採用された。

昭和42年、当社の重合機製造技術が評価され、石油学会より技術進歩賞を受賞した。

当社は、創立当初から反応機、重合機の専門メーカーを目ざして攪拌技術に着目し、研究を重ねてきた。幾多の研究実験と多様な製作経験を通じて、大型化のニーズに対応するべくスケールアップ技術を確立した。その後も引き続き、ガス吸収、伝熱、高粘度攪拌など幅広い範囲にわたって研鑽を続けており、特に重合機、反応機の攪拌については、ユーザーより第一人者としての評価を得ている。

この昭和42年、テレビは一家に一台時代が到来した。石油化学製品を素材とする洗濯機、掃除機、冷蔵庫などの家電製品や雑貨、包装類が一般家庭に浸透し、また、マイカーの普及なども重なって、素材としてのプラスチックの特性が改めて注目され、その使用量は飛躍的に増大した。

昭和45年における我国化学工業界は、相次ぐ新技術の採用と設備の大型化によって、米国に次ぐ世界第2位の地位を占めるまでに至った。この間、拡大したのは、汎用プラスチック、合成ゴム、合成繊維、化学肥料、苛性ソーダ、メタノール、硫酸など、大量生産、大量販売の大型製品が主体であった。

この昭和45年を岐点として、従来の石油化学を中心とする高度成長の基調は変わり、いわゆる構造不況に入る。昭和46年、公害防止規制が強化され、当社は廃液熱分解装置を、米国ブレンコ社より技術導入し、昭和48年にはメッキのクロードシステム化のためのメッキ液回収装置、空気洗浄装置「エアー・ワッシャー」の開発を行い、環境汚染防止のニーズに対応した。

昭和46年8月のニクソン・ショック、円の切り上げ、47年には13年ぶりの塩ビ不況カルテルに続く生産調整、輸出カルテルが実施された。化学工業界においては、大型製品

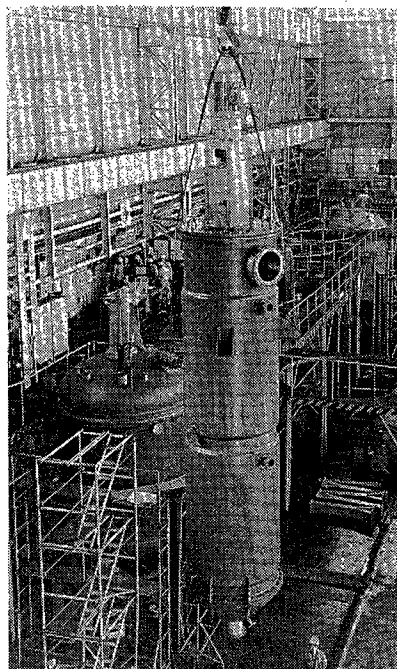


写真7
ステンレスクラッド製 15m² 薄膜
蒸留装置
Photo 7
15m² stainless
clad steel wiped
film evaporator

の行き詰り、原料面から、石油化学における未利用留分の規模が活用可能な経済単位になってきたことなどで、昭和45年不況を契機に多くの化学工業各社は一斉にファインケミカル分野への進出を始めた。医薬、農薬、塗料、接着剤、香料、触媒、エンジニアリング・プラスチックの各分野で新製品の開発、新会社の設立が行われた。

ファインケミカルの分野においても、当社のグラスチール、ステンレス、チタン、カーボン、ニッケル材による各種プロセス機器が採用され、とりわけ当社の薄膜式蒸留装置は、精製、濃縮、脱色、脱臭、脱ガスなどの操作を必要とする食品、医薬品、化学工業のプロセスに幅広く採用された。(写真7)昭和45年から54年にいたる10年間でみると約200基の薄膜蒸留装置を納入している。この間、グラスチール製薄膜蒸留装置を開発し、10m²クラスのものを西独、BASF社へ納入している。

昭和45年頃から我国化学工業界は、国際化時代を迎える。技術水準の向上、設備の大型化による国際競争力、より有利な資源立地への指向、発展途上国の要請などを背景に、対外直接投資が急速に増大して、技術輸出、プラント輸出が全世界的に拡大していった。

当社も、印度、台湾、韓国、中国、チエコ、ルーマニア、ポーランド、メキシコなどに、ポリプロピレン、ポリエチレン、塩化ビニールを中心とする合成樹脂や合成ゴムの各種重合機を活発に輸出した。(写真8)

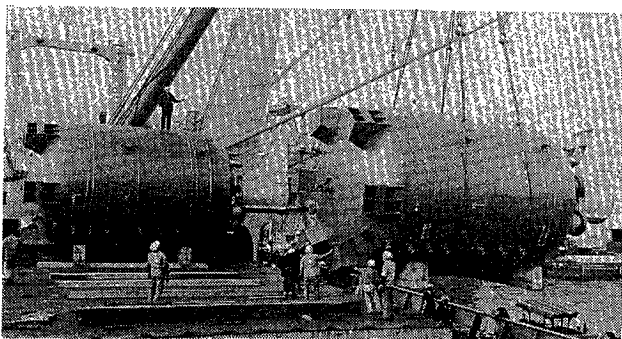


写真8 メキシコ向け120,000ℓステンレスクラッド鋼製重合機
Photo 8 120,000ℓ Stainless clad steel polymerizer for Mexico

また、昭和49年には、国際的物流合理化を見越し、化学製品、食品など、液体、液化ガス専用タンクコンテナの技術導入を行い、製造を開始した。以来現在までに約300台の受注を得た。(写真9)

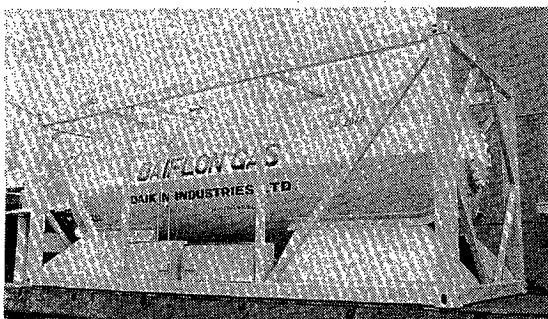


写真9 液化ガス用タンクコンテナ
IMO-V型
Photo 9 Type IMO-V Tank container for liquefied gas

昭和50～59年(1975～1984)

昭和48年の第一次石油ショック、49年春の総需要抑制政策などによって、いわゆる世界的同時不況、減速経済時代に入る。

作業の合理化やメンテナンスの省力化も一段と強まっていく中で、当社もアフターサービスを充実させるため、昭和50年、神鋼ファウドラ・サービス(株)を設立し、納入機器の保守、点検などのアフターサービスの強化、巡回サービスの実施、メンテナンス・セミナーの開催などを行い当社のサービス体制を整えた。

昭和50年、当社は特にステンレス鋼の表面仕上法として、米国エレクトログロー社より電解研磨技術を導入し、重合機、反応機および各種部品に施工した。

昭和51年に大型重合機、反応機専用最新設備を整えた新大型工場を播磨に建設した。建設後、プラントエンジニアリング会社がソ連、ポーランド、韓国、ブラジル、イランなど大型の石油化学プラントを成約したのに伴い、当社の大型重合機の受注が数多く決まり、新工場「播磨工場」がその威力を発揮した。(写真10)

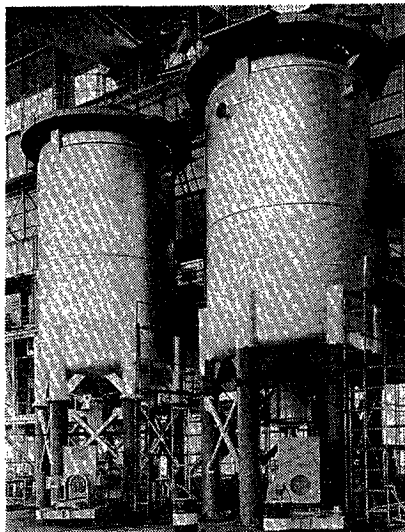


写真10 160,000ℓステンレスクラッド鋼製重合機
Photo 10 160,000ℓ stainless clad steel polymerizers

昭和50年に本社工場がASME「U」スタンプを取得したのに続いて、昭和52年この播磨工場も同スタンプを取得し、名実共に当社の品質保証体制が世界的に認められたことになり、国内、国外共に当社製品に対する大きな信頼を得ることとなった。これを物語るものとして、昭和56年当社は世界最高度の製作仕様と品質管理を要求する米国エクソン社から大型重合機6台の受注に成功し、同社テキサス州ベイタウン工場に納入した。

昭和52年に当社は、より高品質、高耐食性をもつ、ニューグラス#3100、メゾンデシリートの採用、グランドシール、メカニカルシールのイージー・メンテナンス化、スタンダード品のストック生産システムなどを盛り込んだ、グラスチール機器のニュー・スタンダードについての化工機セミナーを全国的に実施した。そして、昭和58年に

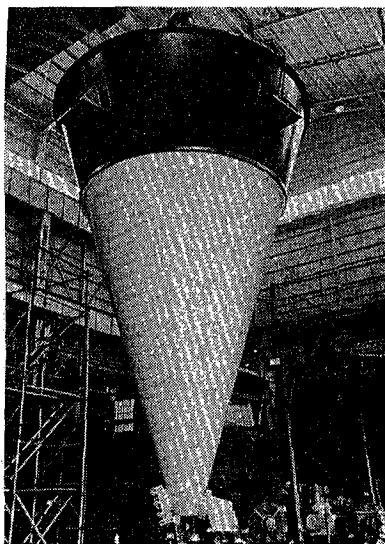


写真 11 20,000ℓステンレス製「SV
ミキサー」

Photo 11 20,000ℓ stainless steel powder
mixer "SV MIXER"

は、より高耐食で、衝撃に強い結晶化ガラス「ヌーセライト8000」や -200°C に耐える極低温用ガラスを発表した。

ここ10年間の粉体工業の発展にはめざましいものがあり、エンジニアリング・セラミック、新金属、磁性材料など新素材が続々と登場している。食品業界、一般化学工業界においても、こうした粉粒体関連の素材の混合、分級、粉碎、造粒、乾燥のニーズが高まっている。

当社も粉粒体処理分野に進出するべく、昭和55年にはオランダ、フリーコ社との円錐混合機の技術提携を行い、製造販売を開始した。引き続き、強制攪拌型保証ふり分け機の技術導入、昭和56年にはスエコ社の振動ふるい機、振動ミルの輸入販売、昭和58年にはスイスのフリーマ社の超微粉碎機「コボール・ミル」の輸入販売を開始、粉体関連機器の製品群を整え、新分野の受注拡大を図った。(写真11, 12) また、ステンレス、ジルコニウムなどの高耐食金

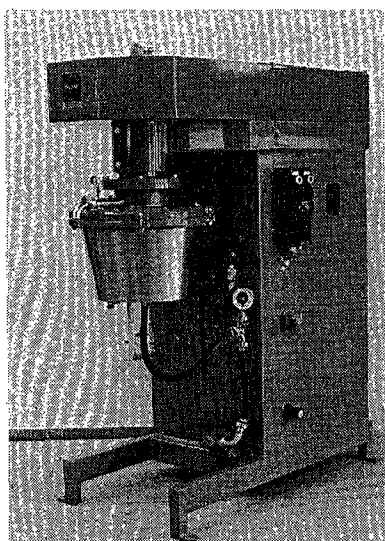


写真 12 超微粉碎機「コボール・ミル」
Photo 12 Submicron-grinding mill
"COBALL-MILL"

属の溶接技術を生かし、昭和57年に原子力機器工場を本社工場内に建設し、原子力関連機器の製造を開始するとともに、当社固有の電解研磨技術を生かし、放射性金属廃棄物を対象とする電解除染システムの技術開発を進めた。

当社は化学工業界、医薬品、食品業界に数多くのプロセス機器(攪拌、混合、反応、乾燥、蒸留、蒸発、分離など)を納入してきたが、その経験と技術の効果的な組み合わせによって、プラントのエンジニアリングおよび建設を行なっている。その始まりは昭和36年からであり、昭和50年以後はファインケミカルにおけるより精密な化学反応、高温の反応、高真空の蒸留などを伴うスペシャルティケミカル分野で多くの実績をもつにいたっている。(写真13)

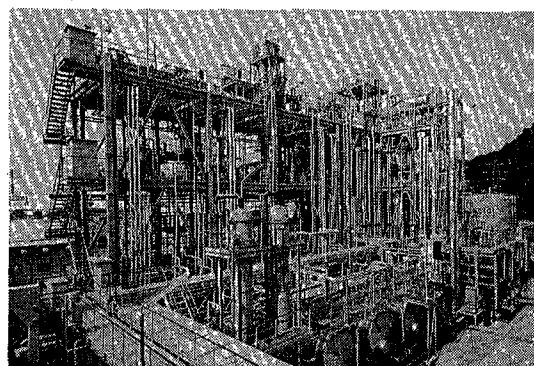


写真 13 モノクロール酢酸プラント
Photo 13 Monochloroacetic acid plant

現在注目を集めているバイオケミカル分野は、有望な未来産業の一つとして、石油業界、医薬品業界、食品業界の各企業がこぞって研究開発を進めているが、当社も従来から手がけている発酵槽の製作技術、昭和59年の発酵プロセスコントロールシステム、パイロットプラントの開発などを足がかりに、バイオケミカルへの進出の第一歩を踏み出した。(写真14)

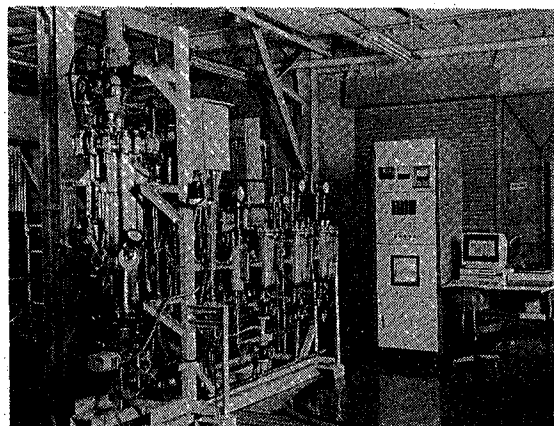


写真 14 100ℓ発酵プロセスパイロットプラント
Photo 14 100ℓ Fermentation pilot plant

現在、21世紀に向って、新エネルギー、新素材、バイオ、エレクトロニクスなどが中心になって技術革新が胎動しており、当社もこの30年の技術の蓄積をもとに、さらに新技術開発に挑戦し、こうしたハイテク時代に則した専門メーカーとしての役割を果たしていきたいと願っている。

最近の焼成技術

Recent Firing Techniques

化工機事業部 生産技術室

桑 原 晴 彦
Haruhiko Kuwahara

On the occasion of the 30th anniversary of the founding our company,
this is to introduce our glass firing techniques.

創立30周年にあたり、当社のグラスライニングの焼成技術の一端を紹介する。

1. 超大型タンクの焼成技術

通常のグラスライニング(以下GLと呼ぶ)は世界最大の電気炉および1980年に新設した同型の電気炉により焼成されるが、これを超える超大型のタンクはこの両炉をドッキングして、一つの炉にすることによって焼成される。その焼成可能な大きさは第1表に示す通り4mφ×20mLである。

炉材はいずれもセラミックファイバーを使用しているため、レンガ炉と比べ蓄熱が不要であり、昇温スピードが早く小さなタイムラグで正確な温度コントロールができ、均一な焼成が可能なりえ、省エネルギー型焼成炉でもある。

1.1. 炉のドッキング

第1図でわかるように、新設炉は移動可能な構造で、前後に移動できるようになっており、超大型タンクを焼成する時のみ炉をドッキングさせ一つの炉とする。

第1表 炉の能力

Table 1 Furnace capacity

項 目	電 気 炉	新 設 炉	電気炉 新設炉	合体
D (mm)	4,000	4,000		4,000
HまたはL (mm)	10,500	10,500		20,000
W (ton)	25	25		25
V (m ³)	130	130		250

1.2. ハンドリング

超大型のタンクであるため、缶体の運搬等、ハンドリングが困難であり、小廻りがきかないので前後を別々に製缶、成型し、GL前に一体化させる方法をとる。

1.3. 焼 成

1.3.1. 吊り方法

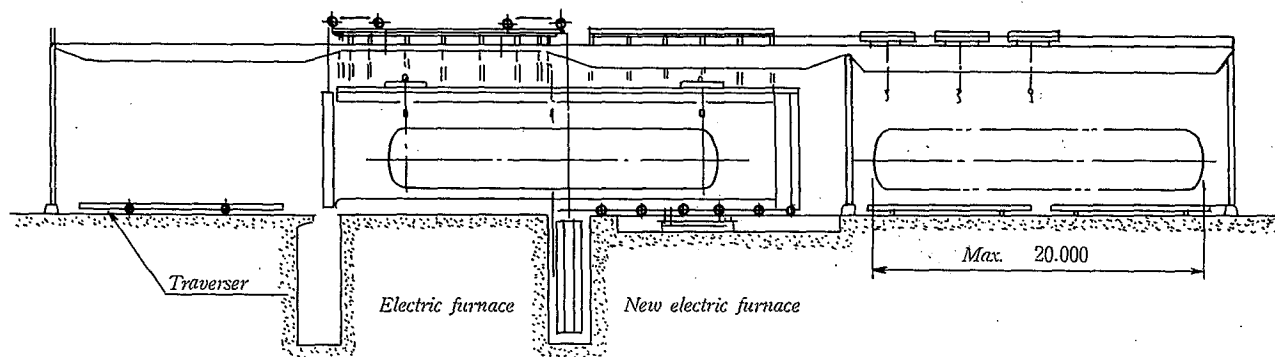
第1図のように変形に対して比較的強度のある鏡のナックルR部に落下防止用の治具を付け、焼成用チェーンをかけ、炉に装入する。吊治具はすべて耐熱鋼を使用しなければならない。炉に装入後、タンクは宙吊りの状態で焼成することになる。

1.3.2 加圧焼成

長尺物を水平で焼成するため、タンクにタワミが生じると共に真円度が大きく変形するおそれがある。特に貯蔵用タンクのように常圧使用のものは板厚も薄く、この傾向は著しい。タワミの防止については後述する。

真円度の変形はタンク内を加圧して焼成することによって防止する。即ち、内面は全面GLされているため歪防止用治具は取付けられない。したがってタンク内を加圧することにより缶壁を支えるユニークな方法を採用している。

まずタンクに付いている各ノズル、マンホールを盲にし、密閉状態すると共に第2図に示すような加圧装置をセットする。この装置は密閉されたタン



第1図 炉の合体

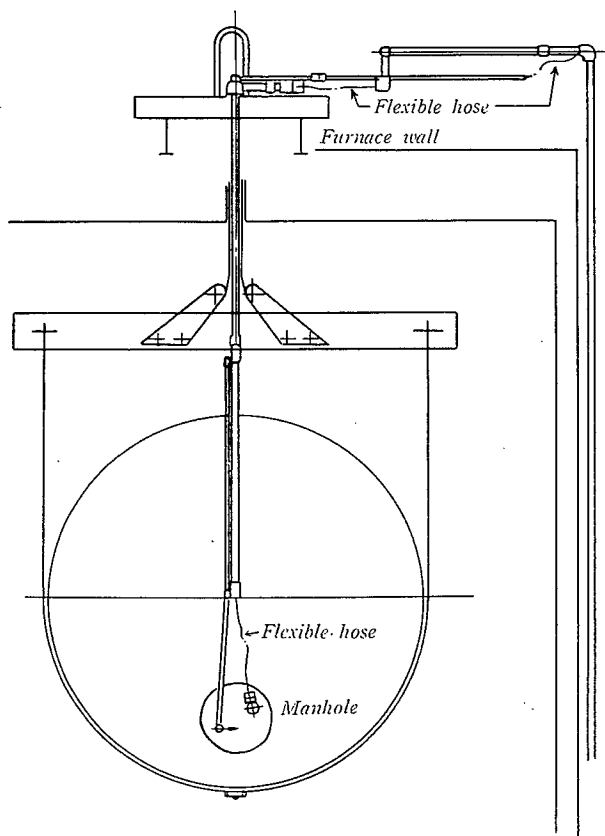
Fig. 1 Two furnace connect

クが加熱されることによって高くなる内圧を調整する排気用パイプと内圧監視用パイプがある。炉にも同様の配管がされており、タンクを炉に装入後それぞれを接続し、缶内圧力、炉内温度との関係等につき集中コントロールできるようになっている。

密閉状態のタンクを炉に挿入し加熱を開始すると、ボイル・シャルルの法則に従ってタンクの内圧が上昇し、加圧状態になる。タンク内圧と真円度の関係は第3図に示すように、焼成中一定の内圧以上に保持すれば、完全に近い真円度で焼成することができる。ただし、真円度を保持するために必要以上の高い内圧をかけることはタンク全体の歪量を増すことになり好ましくない。従って真円度を保つためには必要最少限の内圧に止めることが肝要であり、最適な内圧はタンクの直径及び使用板厚によって決まり、当社では実験的にこの値を確かめ決定している。またタンクを加圧しながら焼成することはノズル、マンホールの開口部を800°Cを超える温度で完全にシールすることが必要であり非常に困難な問題であるが、これらについても独自の方法を開発し、最大600mmφのマンホールを持つ3.5mφ×19mLの超大型タンクをK社、S社向けに数百本製作し納入した実績がある。写真1は超大型タンクの焼成状況を示したものである。

1.3.3. タワミの防止

タンク内への加圧焼成は真円度を保つためには大きな効果を発揮するが、第4図に示すようにタワミの防止にはあまり効果のないことがわかる。



第2図 加圧装置
Fig. 2 Pressure system

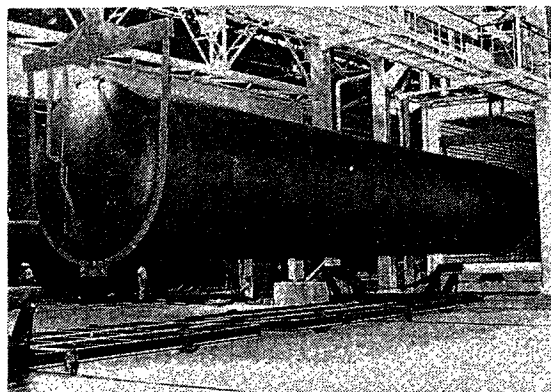
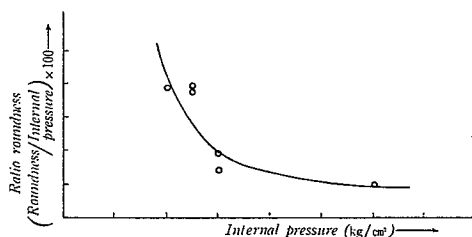


写真1 8号炉で焼成された大型タンク
Photo.1 Large beer tank fired at No.8 furnace

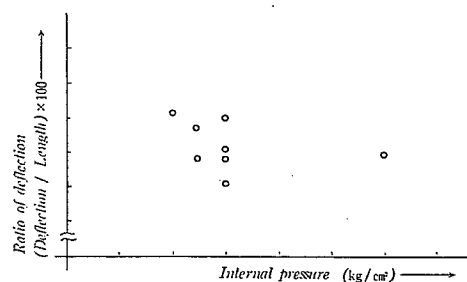
また、中央部に支持を増やした3点支持法もあるが3点のレベル調整が困難であるし、たとえ常温でレベル調整をしたとしても温度上昇時の熱膨張等により、このレベルはくずれしまい、部分的に大きな荷重がかかることにもなり危険である。

そこでタワミについては焼成毎に吊位置を180°変えることで許容値内になるよう焼成する。第5図に焼成温度とタワミの変化量の一例を示す。

焼成回数が増加すると焼成1回当りのタワミ量が急激に減少していくが、これは焼成回数が増加するほど焼成温度を下げているためであり、焼成による歪量の温度による存度の大きさがわかる。



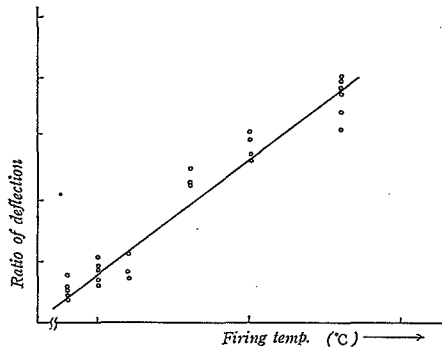
第3図
内圧と真円の関係
Fig. 3
Relation of internal pressure and roundness



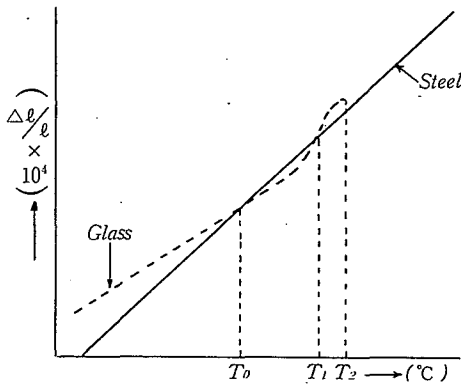
第4図
内圧とタワミの関係
Fig. 4
Relation of internal pressure and deflection

2. 特殊焼成技術

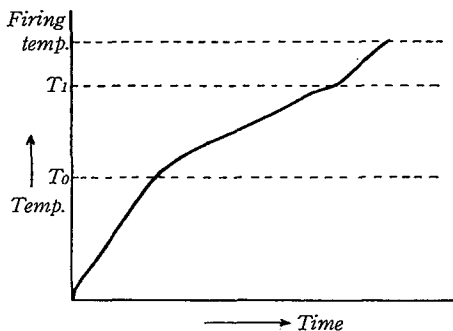
第6図は鋼とガラスの熱膨張曲線である。T₀以下はガラスの圧縮領域である。GL製品が加熱されT₀を超すとガラスの引張領域となる。この時点で製品の板厚差、付属部品、焼成用治具の取付および温度の不均一な上昇によりアンバランスな応力がかかり、ガラスにクラックが発生することになる。さらに温度が上昇しT₂(軟化点)を超すとガラスは流動し始め、クラック部を覆うことになる。この



第5図
焼成温度とタワミの関係
Fig. 5
Relation of firing temp. and deflection



第6図
ガラスと鋼の熱膨張曲線
Fig. 6
Thermal expansion curve of glass and steel



第7図
昇温カーブ
Fig. 7
Firing temperature

状態をヘヤーラインと呼び、冷却後肉眼で筋として見えるものである。焼成が完了し冷却が開始されると上記の逆の現象になり、極端な熱応力の差がある場合、引張領域でガラスにクラックが残ることになる。但し通常の空冷ではガラスはこの引張り応力に耐えるためクラックは発生しない。

このような熱応力のアンバランスをなくし、ヘヤーライン、クラックの発生を防止する焼成方法が特殊焼成技術である。即ち、第7図のように引張領域になる T_0 まで普通の焼成を行い、その後軟化点以上になりガラスが流動する温度 (T_1) の間を、昇温による不均一な応力のかからない理論的な焼成を行うことで、ガラスに不均一な応力が発生するのを防止する。また、冷却にあたって不均一な応力が残らないよう注意することが必要である。均一な加熱、冷却を行うことは缶体の変形防止にも効果がある。

しかし T_0 — T_1 間を理想的な焼成を行うためには設備的

にも、時間的にも特殊な技術を要し、非常なコストアップになる。ヘヤーラインはGLの厚み、特殊焼成技術以外の施工技術によってもカバーできるため、通常の缶体は経済性を考え、従来通りの焼成方法で十分である。したがって、この特殊焼成技術の適用は次のような場合に大きなメリットがある。

1. 特殊な形状であるため、これまでGLの施工が不可能であった機器
2. 使用条件が非常に厳しい機器
3. GLの厚みを極端に薄くして、なおかつ耐食性を高いレベルで保持しなければならない機器

これらの機器に適用することで、特別の使用条件をクリアし、省エネルギーなど時代の要請にも応えうることも可能となった。

例えば次にあげる各種機器に特殊焼成技術を適用し、製作を可能としている。

2.1. GL製WFE

GL製のWFEは、

- 1) GL後の真円度、真直度およびフランジ面の平行度を高精度に保つ
- 2) グラス厚みを可能な限り薄く均一化し、ガラス面をノーピンホールに仕上げる

ことが必要となり、上記条件を満足させるために特殊焼成技術で行う。

2.2. GL製半割コイルジャケット

半割コイルジャケット付GL製反応機は特殊焼成技術が絶対条件となる。即ち胴部にある半割コイル部は二重壁になっているため、通常の焼成ではその部分が不均一な温度上昇となり、局部的な熱応力が発生してGL施工が非常に困難である。また胴部の変形が大きく、満足するGL製品が得られない。

特殊焼成技術を採用することにより上記問題点を解消し、GLを完全なものとしている。

当社では50M³の反応機まで製作可能であり、1977年より製造して、本体板厚の減少、省エネルギーといった点で好評を得ている。(写真2)

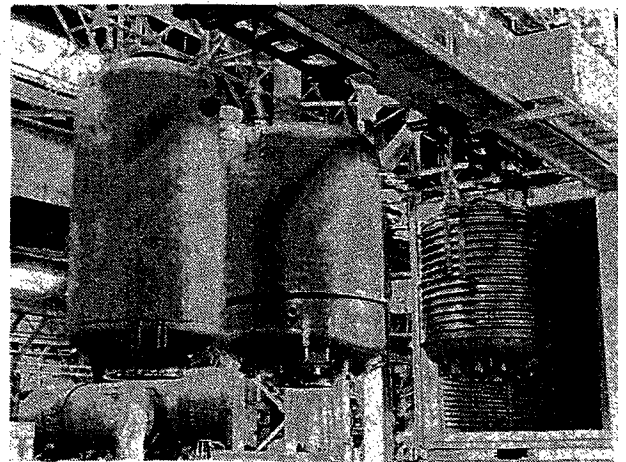
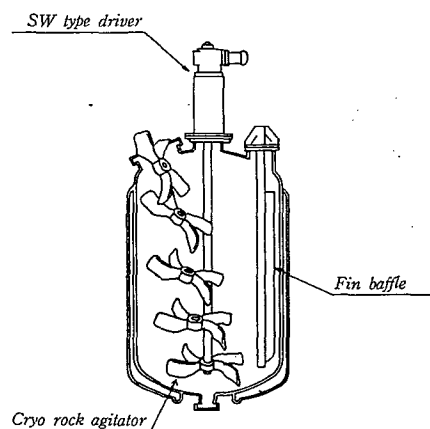


写真2 GL製半割コイルジャケット (右端)

Photo. 2 Half pipe coil jacketed reactor (Right side)



第8図
クライオロック
アジテーター
Fig. 8
Cryo rock
agitator

2.3. グラスの表面処理 (特許)

ガラスの表面処理とはガラス表面のNaイオンをAgイオンと置換し、大幅に耐食性を向上させる方法であり、またこの表面処理はガラス面へのポリマー付着の防止、洗浄の向上に大いに寄与している。

この表面処理も特殊焼成技術を行うことで、はじめて可能になり、開発されて以来100基以上の反応機に施工し、ポリマーの付着防止に効果を発揮している。

2.4. トリーターロール

トリーターロールはコロナ放電を利用したフィルム処理に使用されるもので、当社の特徴である耐食機器以外に使用される製品である。

このGL製ロールは電気的特性を有すると共にロールに曲りがなく、かつガラス厚みが均一であることが条件となる。したがって満足するロールを製作するためには特殊焼成技術が大いに役立っている。

1. 部分補修技術

攪拌翼軸頭部や、翼部のGL剥離、ピンホールはコンパクトな炉を利用し、局部的なGL施工を行うことができる。但し翼の付根は形状が複雑で熱応力の分布も均一にならないため現時点ではむづかしい。

1. インサートパイプ (特許)

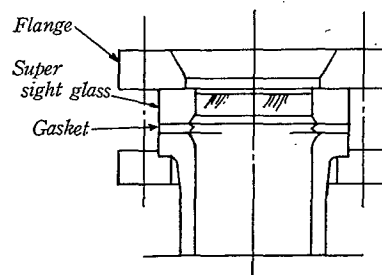
当社のインサートパイプは、パイプ両端のフランジ面付近をGL施工した後、インサートを行っており、インサート焼成中のフランジ部分に特別の工夫をしてフランジ面まで同時にライニングが行える構造であり、またフランジ面の密着強度が優れているので、通常のGL製品と同等の強度がある。この施工法を採用したパイプは4年の使用実績があり、現在まで順調に使用されている。

1. 接合技術

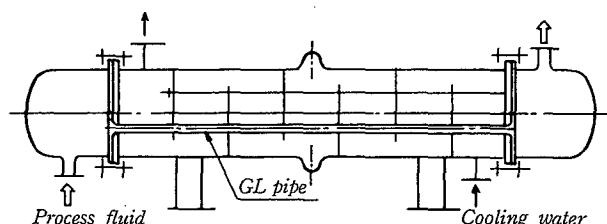
5.1. クライオロックアジテーター (特許)

GL攪拌翼はインペラーを標準としており、ほとんどのものは軸と翼とは一体である。

クライオロックアジテーターは軸と翼を別々にGL加工したものを第8図のように、翼のみを缶体内に入れ冷しばわで組み立てるものである。翼の形状は特殊な4枚タービン翼となっており、全面GL施工となっている。このような特殊な構造の攪拌翼をGLで製作するためには高度の焼成技術と共に、ガラスの機械加工技術が大変重要となる。



第9図
スーパーサイト
ガラス
Fig. 9
Super site
glass



第10図 多管式熱交換器
Fig. 10 Multitubular heat exchanger

5.2. 新型視窓 (スーパーサイトガラス)

新型視窓 (スーパーサイトガラス) は、強化されていないガラスをGL製リングに溶融はめ込みし、視ガラス全体に均一で高い圧縮応力を与えた完全強化ガラスである。

主な特徴として

- 1) 視ガラス全体に均一な圧縮応力が加えられていることで、耐圧、耐衝撃性が強い
 - 2) 従来の視ガラスは初期クラックが入ると、瞬時に全面破壊につながるが、このタイプは初期クラックが発生しても表面のみで、全面破壊に至り難い
 - 3) ボルト締付荷重は外輪のGLリングに作用するため、フランジの片締めによる破損が少ない
- 等がある。なお、組立図を第9図に示す

5.3. GL製多管式熱交換器

内面GLの多管式熱交換器は第10図に示すように、GLされたパイプを管板に取付けた後、管板および管板パイプ接合部をGL施工したものである。したがってプロセス流体に対し耐食、耐付着性が優れている。

6. むすび

以上当社の焼成技術を総花的に記載しただけに止まるが、30年にわたる焼成技術の蓄積とマイコンを使用し製造設備のメカトロ化を果たした新設炉で、今まで製作が困難であったGL機器を容易に製作可能とし、ユーザーのあらゆるニーズに応える「技術の神鋼ファウドラ」の一端を紹介した。

表面処理と特性

Characteristic of Surface Treated Metal and Glass

化工機事業部 製品開発室
高橋 治 司
Haruji Takahashi

This paper outlines the fundamental characteristics such as physical properties, chemical composition and mechanical properties of electropolished stainless steel surfaces.
It also, introduces corrosion resistance and physical properties of a silver ion exchanged glass surface.

本稿は電解研磨表面の物性、化学成分、機械的性質等の基礎特性を概略する。

また銀イオン交換したガラス表面の耐食性、物性をも紹介する。

まえがき

当社では石油化学工業、医薬品工業、食品工業等の金属製反応機、貯槽、並びに配管類の内外面に表面処理を施工している。表面処理の目的は 1)美観の向上 2)均一な不働態化皮膜の形成による耐食性の向上 3)内容物の付着性防止 または内容物の除去洗浄性の向上等であり、商品価値を高めることにある。採用している表面処理方法として (1)バフ研磨 (2)酸洗研磨 (3)電解研磨等がある。一方ガラススチール機器のガラス面の耐水性向上並びに合成樹脂等の製造時、内容物ポリマーのガラス面付着防止を目的に特殊表面処理を行なっている。処理方法として、ガラス中のアルカリイオンを Ag イオンで置換する、いわゆるイオン交換処理方法を自社で開発し、ガラススチール機器に採用している。今回はこれらの表面処理の中から、当社の特長であるステンレス鋼の電解研磨並びにガラスの表面処理（イオン交換処理）を取り上げる。ステンレス鋼の電解研磨¹⁾ ガラスの表面処理²⁾ については本誌でも過去に記述したが、近年の調査結果や明らかになりつつある表面組成の変化等を追加した。ここでは処理方法の特長、原理、性能および適用機器等について簡単に紹介する。

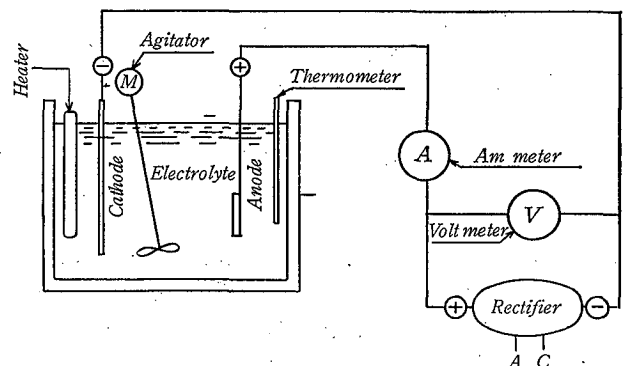
1. ステンレス鋼の電解研磨

1.1. 特長

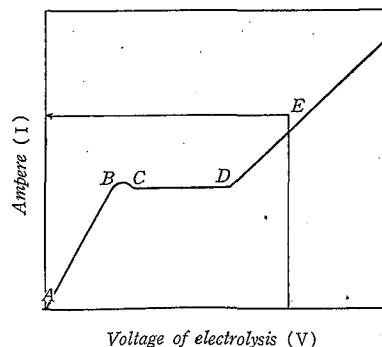
ベルト研磨、バフ研磨等の機械研磨は金属の被研磨面を切削または塑性変形させ平滑化や光沢化をはかるのに対して、電解研磨は電解液中で被研磨面を電気化学的方法により、平滑化と光沢化を同時に得る方法である。したがって電解研磨の主な長所としては 1)細かな凹凸を除く能力がすぐれている 2)複雑な形状のものでも比較的容易に研磨できる 3)研磨面に加工歪が生じない 4)研磨面に均一な酸化皮膜が生じやすいため耐食性の向上が期待できる 5)形状によっては量産化も比較的容易である 等を挙げることができる。これに対して短所としては 1)設備費がかかる 2)熱処理、加工形状によって研磨に難易の差が生ずる 3)圧延傷、打ち傷、条痕等は研磨されにくい 4)ブローホール、非金属介在物、微小ワレ等は研磨によって顕在化する 5)ピットが生じやすい 等が挙げられる。

1.2. 原理

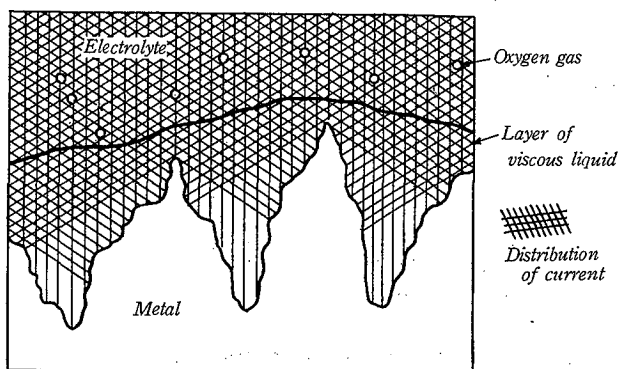
電解研磨は金属面の凹凸を平滑にする平滑化と光沢化が並行して生起するといわれるが、その機構の理論化はまだ確立されていない³⁾⁴⁾。しかし現象として次の事が観察される。一般に第1図の回路において、電圧を漸次上昇させてゆくと、しだいに陽極からは酸素ガスがまた陰極からは水素ガスが発生する。これにともなう電流にも変化がみられ第2図のような曲線が得られる。この曲線は被研磨物や電解液の違いによって変化するので電解特性曲線と呼ばれる。この曲線のABでは電圧の上昇とともに金属の溶出がおり、CDでは金属の溶出と不働態化がくりかえされており、DEでは酸素の発生の増加とあいまって金属の溶出がおこる領域である。これらの領域の中で電解研磨が適しているのはCDであるが、一般に右の方へずれてCDE域まで研磨が可能である。また電解研磨において金



第1図 電解研磨の電気回路
Fig. 1 Circuit of electropolishing



第2図
電解特性曲線
Fig. 2
Characteristic curve of electrolysis,



第3図 電解研磨の機構
Fig. 3 Mechanism of electropolishing

属表面の平滑化の機構については諸説があるが、次の説が有力である⁵⁾。第3図に示すように陽極面(被研磨物)は電解開始まもなく溶解した金属イオンを多量に含む粘性の大きな液層でおおわれる。金属表面の凹部は凸部に比べて溶出金属イオンの粘性液から電解液中への拡散速度が遅くなり、流れる電流も小さい。そのため凹部より凸部の溶解速度は速くなり、しだいに金属表面は平滑化するといわれる。

1.3. 性能

1.3.1. 研磨面の金属組成変化

ステンレス鋼の表面には100Å以下のきわめて薄い不動態化皮膜が存在する。Fe-18Cr-8Ni鋼の場合不動態化が定常状態に達している時はこの不動態化皮膜⁶⁾中のFe, Cr, Niの存在形態は次のようにいわれている。Feは Fe_2O_3 あるいは $\alpha\text{-}\gamma\text{-FeOOH}$ などのFeと同じ酸化状態(Fe^{3+})にあり、Crは Cr_2O_3 のCrと同じ酸化状態(Cr^{3+})にあり、Niは $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 中のNiと同じ状態(Ni^{2+})にある。かつ不動態化皮膜が酸化物と水酸化物からなる多層皮膜、あるいはMOOHで表わされるオキシ酸化物の単層皮膜であるとされている。また鳥岡、丹羽⁷⁾はSUS304ステンレス鋼をエメリー研磨した後、硫酸-リン酸-グリセリンよりなる電解液を用いて電解を行ない研磨面の表面状態を電子回折により調べて、非晶質酸化皮膜を確認し、その酸化膜は鉄に対してCr含有量の多い $\gamma\text{-(FeCr)}_2\text{O}_3$ であると推定している。すなわち合金中の鉄はより多く電解液中に溶解し、表面は鉄含有量が少なく、逆にクロムやニッケル量が多くなり耐食性をもつにいたるとしている。一方当社でもオージェ電子分光法とイオンスパッタ法を併用し厚さ方向の組成分布を測定し、SUS316材等で電解研磨面の皮膜中のCr濃度が増加している事を確認している。

1.3.2. 研磨面の残留応力

バフ研磨等の機械的研磨方法は金属表面に塑性変形を加えることによって、所期の目的を達するため、表面に残留応力が発生する。そこで当社ではオーステナイト系ステンレス鋼SUS304に種々の表面処理を行ないその表面の残留応力をX線応力測定法により測定した。X線応力測定法の原理はBRAGGの回折条件に基づくものでX線回折により結晶面間隔を測定し、それが無応力状態とどの程度変化しているかにより表面に存在する応力(表面から10μ程度の深さまで存在する応力の平均値)を求めるものである。

第1表 X線による残留応力測定

Table 1 Results of measured residual stress by X Ray

Surface treatment	Residual stress (kg/mm ²)	
	Parallel in line with buffing	At 90° to buffing
#150	29.6	-40.6
#150+A C ¹⁾	9.6	-43.7
#150+E P ²⁾	-10.5	-19.5
#320	11.8	-39.1
#320+A C	-6.8	-63.5
#320+E P	-7.5	-22.5

(NOTES) 1) Pickling 2) Electro polishing

測定結果を第1表に示す。

#150および#320バフの場合、バフ目に平行な方向で引張の残留応力を示し、バフの砥粒が小さくなるにしたがいその値は小さくなる傾向を示す。またバフ研磨したものをさらに酸洗あるいは電解研磨すると表面層が無応力状態で除去されるために残留応力は減少する。特に電解研磨は表面層を厚く除去するために表面は全て圧縮応力になっている。これらの残留圧縮応力は応力腐食割れや、疲れ強さ等に良い影響を与える大きな因子である。

1.3.3. 研磨面のぬれ性

固体表面にある原子や分子は原子価力あるいは分子価力が飽和していないから内部の原子や分子に比べて余分のエネルギーをもっている。それゆえ固体表面に液体が接触するとエネルギーを少しでも小さくするような現象がおこる。この現象が「ぬれ」といわれる。当社では電解研磨面が各種液媒体に対してどのようなぬれ性を持っているかを調査した。

ぬれ性は接触角測定器を用いて、研磨表面に純水、グリセリンおよびスチレンモノマー等を接触させた場合の接触角を第2表に示す。SUS304とSUS316とではSUS304の方が大きな接触角を示す傾向にあるが、いずれの鋼種もバフ研磨に比べて電解研磨の接触角は小さくなる。これらのことが研磨表面にポリマーが付着する度合や付着物の除去洗浄に影響を与えるものと考えられる。

第2表 接触角測定結果(測定時の温度28°C)

Table 2 Result of measured contact angle (28°C)

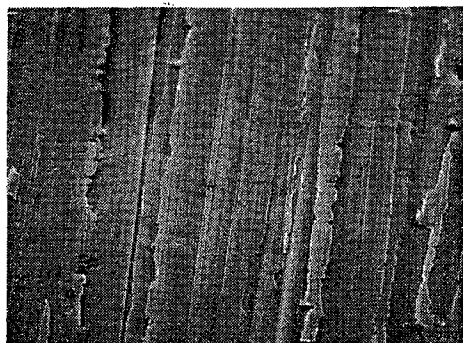
(Unit=Degree)

Surface treatment	Contact angle							
	SUS 304				SUS 316			
	Rmax (μ)	Pure water	Glycerine	Styrene monomer	Rmax (μ)	Pure water	Glycerine	Styrene monomer
#150	3.8	115.5	104.5	33.3	3.3	109.5	105.5	32.2
#150+E P	2.0	74.1	68.2	11.0	1.9	48.3	46.0	15.5
#320	1.8	112.2	102.8	43.3	1.3	90.0	91.5	34.7
#320+E P	1.0	80.2	75.7	16.5	0.9	55.0	52.5	13.0
#400	0.9	91.6	93.8	32.5	0.8	79.0	78.1	27.3
#400+E P	0.8	80.6	63.7	13.2	0.8	67.0	61.7	12.8
GL	0.9	7.0	15.0	Unable to measure ¹⁾	—	—	—	—

(NOTES) 1) Unable to measure because solvents diffused too quickly on surface of glass.

1.3.4. 研磨前後の表面状況

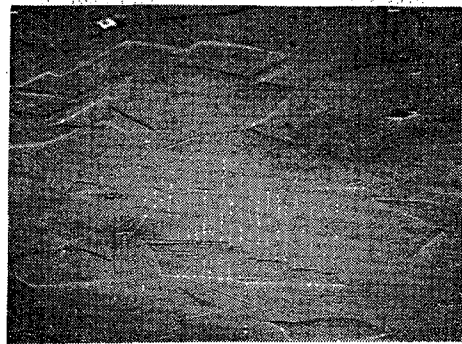
電解研磨は機械研磨に比べて金属表面の大きな凹凸を除去する効率に劣る。したがって要求される表面仕上を得る



×1000(SEM)

写真1
#320機械研磨面

Photo.1
#320 Mechanical
polished surface



×1000(SEM)

写真2
電解研磨面

Photo.2
Electropolished
surface

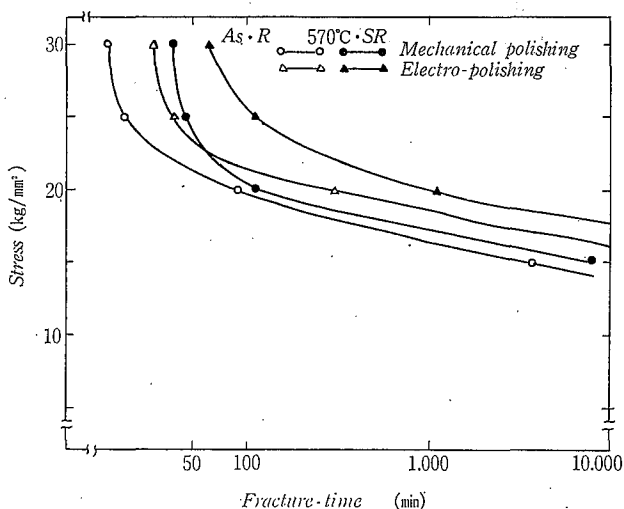
ために電解研磨前に機械研磨で大きな凹凸を調整することが普通である。この凹凸を調整した機械研磨面と、これに所定の電解条件を施した時の表面状況を走査型電子顕微鏡で観察した結果の一例を写真1, 2に示す。両者の表面状況に違いがあることがわかる。電解研磨面には機械研磨の砥粒による条痕は残っているが、ミクロの凹凸が除去されている。

1.4. 耐食性

電解研磨表面が耐食性に与える影響について当社の試験結果をもとに示す。

1.4.1. 応力腐食割れ

機械研磨ならびに電解研磨を施したSUS304の試料を、42%塩化マグネシウム溶液中に浸漬し、154°Cの沸騰条件下で比較テストを行なった結果を第4図に示す。電解研磨を施した試料は破壊までの所要時間が機械研磨試料の約4



第4図 SUS304材における負荷応力-破断時間曲線
(測定値は3~5点の平均)

Fig. 4. Curve of stress-fracture time

倍長くなる。このことは 1)電解研磨を施した表面層はクロムおよびニッケルの濃縮が機械研磨表面層に比べて高い 2)電解研磨表面層の皮膜は機械研磨の皮膜より緻密である 等のことが考えられる。

1.4.2. 付着性

金属表面に関するポリマー付着の研究は古くから行われている。たとえば塩化ビニールポリマーが重合機内面に付着する場合の要因として次の事項が挙げられる。1)重合機の材質や表面状況 2)モノマーや触媒の種類 3)攪拌条件等である。現在のところ、金属の材質については、系統的な整理は十分に行われていないが、ポリマー付着の少ない金属として銀、黄銅、モネル、クロム、ニッケル等があり、逆に付着しやすいものとして、軟鋼、プラチナ、マグネシウム等がある⁹⁾。また表面状態も重要な因子であり、特に平滑度の影響が大きいことも知られている。当社で実施したポリ塩化ビニールの懸濁重合の場合SUS304に関する付着テストでは電解研磨は機械研磨仕上よりも付着量が少なく、また皮膜除去が容易であった。一方実用面ではこれ迄100台以上の納入でこの事実が認められている。重合機でのポリマー付着の最大原因は重合機内表面で重合が起ることであり、1)壁がモノマーで濡れる 2)壁面で重合が開始する過程から成り立っている。またステンレス鋼はガラスに比べて表面が親油状であるため攪拌が強すぎてモノマー滴表面の保護コロイド膜が破壊されたり、逆に攪拌が弱すぎてモノマーが層分離を起こすことによって、壁がモノマーと直接接触しやすい状態になることは好ましくないといわれる⁹⁾。

一方当社では、機械研磨ならびに電解研磨面に対する純水、グリセリンの濡れ性を接触角測定器で測定し、電解研磨面の方が機械研磨面より親水性であることを前記のように把握した。それゆえポリ塩化ビニール懸濁重合において、皮膜除去の容易性の点で、電解研磨の方が機械研磨より優れている一因と考えている。

1.5. 適用機器類

昭和50年より当社製品に電解研磨仕上を適用している主な機器としては、反応機器、醗酵タンク、注射液攪拌槽、配管等がある。使用目的としては、1)缶内洗浄効果の向上 2)機械研磨時混入する不純物の除去 3)菌の滞留減少等が主である。一方近年原子力関連の機器類の内面または外面に汚染除去、性能向上の目的で電解研磨仕上げが要求されだしてきている。

2. ガラス表面のイオン交換処理

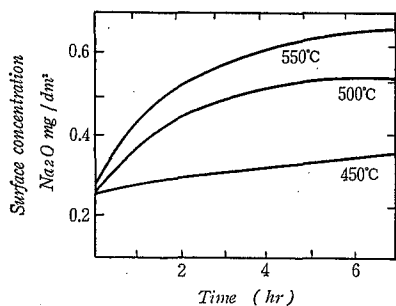
2.1. 特長

ガラスにイオン交換性があることは古くから知られている。当社ではガラスライニング用ガラスの中に含有されているナトリウム(Na^+)イオンを銀(Ag^+)イオンで置換する方法を開発し採用している。イオン交換処理を施工したガラス面の特長は 1)耐水性が著しく向上 2)ポリマー付着防止の効果が向上 3)機械的ならびに熱的特性は変化しない等であり、短所としてはイオン交換層が薄いことである。

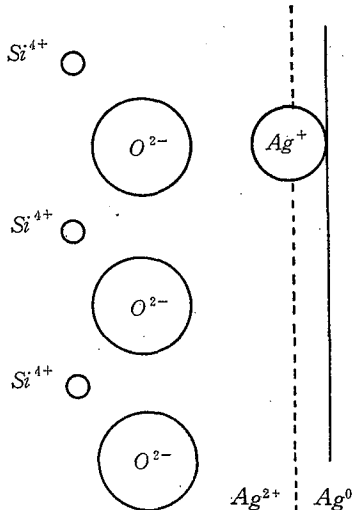
2.2. 原理

通常のケイ酸塩ガラスを構成している正負イオンの結合を考えると各イオンのイオンポテンシャル¹⁰⁾から O^{2-} に対

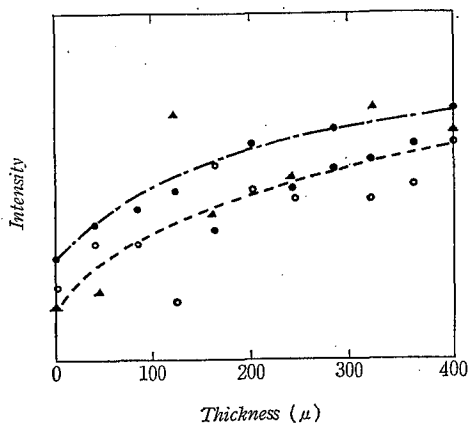
する陽イオンの結合エネルギーは Si^{4+} の 10.0, Ca^{2+} の 2.0 に対して, Na^+ は 1.0 と小さく, ガラス中の網目形成イオンおよび 2 価以上の陽イオンは構造中で一定の位置に固定されているが, Na^+ だけは O^{2-} との結合が弱くガラスが固化した状態においても熱振動によって一つの空孔から他の空孔へと容易に移動を行なっている。そのためガラスを高温で Ag の塩類と接しておくでガラス中に Ag が拡散して着色することが知られている。Ag の塩類と粘土とを混ぜた泥漿状ペーストをガラス表面に塗布し, 高温熱処理してガラス表面を着色する方法に利用されている。この現象は次式に示す交換現象であり Ag イオンはガラス構造を大きく変えることなく, Na イオンと容易に置換することが認められている。 $\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Ag}^+(\text{S}) = \text{Na}^+(\text{S}) + \text{Ag}^+(\text{g})$ (g: ガラス, s: 溶融塩) そしてこの Ag イオンが Na イオンと容易に交換できるのは, Na^+ の配位数 6, イオン半径 $0.97\text{\AA}$ に対して Ag^+ の配位数 6, イオン半径 $0.97\text{\AA}$ と電荷ならびにイオン半径が等しく, かつ配位数が等しいことによっている。当社のライニングガラス組成にはイオン交換促進成分が含まれており, また金属イオンとガラス中のアルカリイオンとの交換は温度が高いほど活発に進み, 200°C 以上ではガラス内部のアルカリイオンは熱運動がはげしく第 5 図¹¹⁾のようにガラス表面に移動し Ag イオンとの置換が容易に行われる。一方この Ag-Na イオン交換においてガラス中へ入った Ag イオンは O^{2-} の場の影響で電子分布密度に変化がおこる。その結果次式のようにガラス表面とその反対側のガラス内部では電子密度に偏差が生ずる。 $\text{Ag}^+ \rightarrow \frac{1}{2}\text{Ag}^{2+} + \frac{1}{2}\text{Ag}^0$ すなわち第 6 図のようにガラス表面では Ag イオンの左半分は O^{2-} の影響を受け, あたかも Ag^{2+} のようになり右半分はあたかも中性



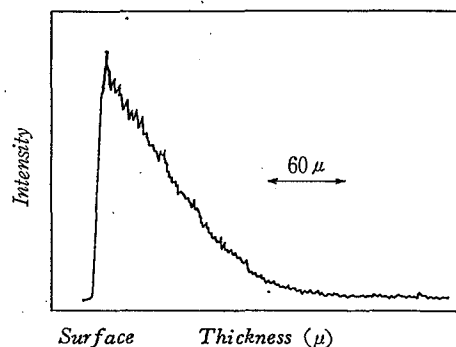
第 5 図
加熱処理温度・時間と
ガラス表面の Na_2O 濃度
Fig. 5
Relation of Na_2O
concentration and heat
treatment Temp-Time
of glass



第 6 図
ガラス表面における Ag^+ の
分極
Fig. 6
 Ag^+ polarization on surface
treated glass



第 7 図
処理後のガラス
表面層の Na の
点分析
Fig. 7
Result of
EPMA (Na)



第 8 図
処理後のガラス
表面の Ag の線
分析
Fig. 8
Result of
EPMA (Ag)

の Ag 原子のようになる。すなわち Na イオンとイオン交換した Ag イオンはガラス表面では Ag 金属としての働きを示すと考えられる。一方イオン交換技術としては Ag の塩類で Ag 含有量が高く, イオン交換量の多いものを選び, これに脱アルカリ作用のある酸化クロムと水とを加えてペースト状とする。これをガラス表面に塗布し乾燥後, 高温で処理する方法を採用している。

2.3. 性能

ガラス表面の Ag-Na イオン交換を確認するために EPMA による表面層の Na 点分析と Ag の線分析を行なった結果を第 7, 8 図に示す。イオン交換前の Na の点分析結果はかなりばらついているが処理後の表面層の脱アルカリの状況を知ることができる。一方 Ag の拡散状態は Na 分布と対照的に表面が密で内部に向かって減少しており, これらの図からこの処理による Ag-Na イオンの相互置換の様子を知ることができる。

2.4. 耐食性

ガラス表面を Ag-Na イオン交換処理したガラス表面の

第 3 表 表面処理前後のガラスの耐食性(単位: mm/Yr)

Table 3 Corrosion resistance of treated and not treated glass surfaces. (Unit:mm/Yr)

Specimen Condition	Glass A		Glass B	
	Not treated	treated	Not treated	treated
H_2O , B. P (V. P)	0.091	0.011	0.396	0.012
20% HCl , B. P (V. P)	0.109	0.068	0.193	0.074
20% HNO_3 , B. P (V. P)	0.023	0.010	—	—
30% H_2SO_4 , B. P (L. P)	0.069	0.052	—	—
70% H_3PO_4 , B. P (L. P)	0.268	0.186	—	—
1N NaOH , 80°C (L. P)	0.336	0.343	0.726	0.719

第4表 重合液組成および重合条件

Table 4 Composition and conditions of PVC polymerization

Polymerization condition	VC: Water (Ratio)	Speed of addition (BPO)/VC (%)	Speed of addition (PVA)/VC (%)	Temperature (°C)	Time (Hr)	agitation speed. (r.p.m)
I	1:1	0.5	2.5	55~60	7	約 400
II	1:1.5	0.5	2.0	〃	〃	〃
III	1:1.6	0.5	0.5	〃	〃	〃

Remark PVA: Degree of polymerization 2,000 saponification value 88

第5表 表面処理グラスライニングの付着試験結果

Table 5 Result of adhesion test of treated glass with PVC

Condition of polymerization	Type of lining glass	Polymerization cycle	Test result,
I	Glass B Glass B-1(Treated)	10	効果あり, Glass B, 気液界面に厚く強く付着 Glass B-1, 部分的に付着 除去容易
II	〃	14	効果あり, Glass B, 気液界面に広く固く付着 Glass B-1, は付着せず
III	〃	12	効果あり, Glass B, 気液界面に広く強く付着 Glass B-1, はほとんど付着せず
III	Glass A Glass A-1(Treated)	23	効果あり, Glass A は重合11回より付着傾向, 界面付近ブロック状, 液面下膜状付着 Glass A-1, 部分的に膜状付着, 両者付着力差大
III	Glass A Glass B-1(Treated)	28	効果あり, Glass A, 重合11回より付着, 界面 付近ブロック状, 液面下膜状付着大 Glass B-1, 重合24回より部分的付着, 付着力小
III	Glass A Glass A-1(Treated) Glass B-1(Treated)	23	効果あり, Glass A, 重合12回より付着, 液面 全面にわたってブロック状, 膜状付着, 付着力 大, 付着順序 Glass A>Glass A-1≥Glass B-1

耐食性を知ることは, ガラス表面に均一な Ag イオンが形成されているか否かを確認するために重要である。そこで処理条件を変えた各種試料について耐水テストを行なった。その結果は試料ごとに程度の差はあるがいずれも処理前に比べて相当の改善がみられ, 処理効果の有効性が確認できた。また純水以外の各種の酸およびアルカリについてもテストを行なった。第3表はこれらのうち重合機用ガラスA, Bについて処理前後の耐食性比較を示したものである。この表から耐水性の著しい改善以外に耐酸性にも若干の効果があることを知ることができる。しかし耐アルカリ性には全く効果がないこともわかる。

2.5. 付着防止性

イオン交換処理がポリマー付着防止に有効であるか否かを確認するために, 当社では公知の処方をもとに, ポリ塩化ビニールの懸濁重合テストを行なった。重合には市販のVCモノマー, 蒸留水, BPO(過酸化ベンゾイル), PVA(ポリビニルアルコール)を用い第4表に示す重合液組成と重合条件のもとで実験室規模でテストを行なった。第5表に表面処理ガラスの付着テスト結果を示す。ガラスのイオン交換処理はこのようなテスト条件下ではポリマー付着防止に有効であることがわかった。このことは前記のPVCポリマー重合においてポリマー付着の少ない金属と

して銀が有効であることとよく一致している。

2.6. その他の特性

イオン交換処理後のガラスに関する耐食性, ポリマー付着性, 以外の機械的ならびに熱的特性がどのように変化するかを処理前後の試料について, 1)落下球による衝撃強度 2)高降伏点鋼をベースメタルとしての引張強度および曲げ強度 3)捩り強度 4)耐熱衝撃強度等のテストを行ったが, 処理前後の差はみだすことはできなかった。

2.7. 適用機器類

約10年前よりPVCの懸濁ならびに乳化重合機, またはABSの乳化重合機のガラス面に表面処理を実施してから今日まで重合機, 攪拌翼等に処理しユーザー各位に提供させていただいている。一方近年はステンレス製重合機や冷却管にもグラスライニングし, さらにイオン交換処理を施し, ポリマー付着防止ならびにスケール除去洗浄の向上を目的に使用していただくケースが増加してきている。

3. むすび

本稿において, 金属製重合機器類の表面処理技術の中から, 電解研磨と, グラスライニング機器の

ガラス表面のイオン交換処理について, 主として性能ならびにポリマー付着防止等を述べてみた。当社では物体表面に関する分析機器の発達にともない両者のデータを補充してゆくとともに, 新しい表面処理の検討を進めている。

ユーザー各位が重合機類の表面処理について選定される際の参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 19 No. 1
- 2) 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 20 No. 3, 4
- 3) 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 17 No. 3
- 4) 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 17 No. 4
- 5) 永山: 日本金属学会会報12 (1973)
- 6) 河原: 電気学会論文誌97巻11号 昭和52-11
- 7) J. EDMADS: J. ELECTRODEP. TECK SOC, 28 (1952)
- 8) 杉本ほか: 日本金属学会誌 Vol. 38 (1973)
- 9) 島岡, 丹羽: 日本金属学会誌 Vol. 17 (1963)
- 10) 安井ほか: 化学工学第7回 秋季要旨集 (1973)
- 11) 北村: ポリマー付着について (信越化学工業)
- 12) F.G. Smith: Physical Geochemistry, Addison-wesley (1963)
- 13) G. Korányi: Surface Properties of Silicate Glass P81 Akadémiai Kiadó Budapest (1963)

攪拌技術

Mixing Technology

化工機事業部 技術部 化工機設計課
岡本 幸道
Yukimichi Okamoto

Although a mixing vessel is a rather simple equipment, it is used for a variety of operations. So, the mixing technology could be defined as an engineering method of various chemical processes using mixing vessels.

In this paper, the mixing technology is outlined through its classification into three categories, that is, flow and basic characteristics, operational characteristics, and application to chemical processes. Some of our researches on mixing operations are also represented.

攪拌槽は比較的簡単な装置であるが、それを用いる操作は多様にわたる。それ故、攪拌技術を、攪拌槽を用いる化学プロセスの工学手法であると考えることができよう。

本稿では、攪拌技術を流動および基礎特性、操作特性、そして化学プロセスへの応用技術の3種に分類して概説する。また、攪拌に関する当社の研究内容の一部を紹介させていただく。

1. 攪拌技術の位置付け

攪拌槽の計画から設計、製作、運転に至るまでの工程は複雑であり、数多くの技術が介在する。攪拌技術は、この間の前半において主要な役割をはたす技術であり、製作される装置に必要な機能と性能を判断し、それを実現するための基本的な設計を行う段階に対応する技術である。

今、第1表に示す反応系において、製品Dを得ることが目的である槽型の連続反応器を考える。この反応器に必要な機能は、液Aを水相に分散する液液接触、ガスBを水相に分散する気液接触、反応熱除去の伝熱、そして円滑な連続操作を可能とする混合の4機能である。各機能に必要な性能値は反応速度、各物性、物質収支、熱収支により決定される。この段階がプロセス計画と呼ばれる。

続いて、これらの要求性能を実現しうる攪拌槽の形状と攪拌仕様を決定する。液液接触、気液接触に対しては物質移動の容量係数 k_La を、伝熱に対しては伝熱係数と伝熱面積の積 UA を、混合に対しては液液系の分離防止限界、ガス吹抜防止限界、供給液の滞留時間と循環時間の比 $\theta_{resid}/\theta_{cir}$ を目安として攪拌槽の主要な寸法と攪拌仕様を決定する。この段階が基本設計と呼ばれる。

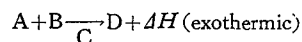
上記の説明の中で、プロセス計画と基本設計は無関係に見えるが、プロセスの効率という要請がある以上、プロセス計画の段階で攪拌槽の能力とプロセスの効率の関係が未検討で放置されることはありえない。むしろ、具体性のあるプロセスを計画し、その技術評価を行うためには、反応系と攪拌槽の能力に関する広範な知識が必要になる。もちろん、既設のプロセスを解析し、改良の可能性を検討する場合にも、同様のことがいえる。

このように、攪拌技術を「攪拌槽を使用するプロセスの工学手法」として位置付けるなら、攪拌技術が攪拌槽のユーザーにとっても有用な知識であることがおわかりいただけるでしょう。

第1表 反応系の一例

Table 1 An example of chemical reaction system

Reaction



A: reactant (organic liquid, slightly soluble to water)

B: reactant (gas)

C: catalyst (soluble in water, insoluble to liquid A)

D: product (soluble in water, insoluble to liquid A)

Note

- Reaction in water phase.
- Continuous vessel type reactor, under constant temperature and pressure.

2. 攪拌技術の分類と現状

第2表に攪拌技術の分類を示す。ここでは機械力学的な動荷重や振動の特性を除外し、化学プロセスとしての機能に関係する技術を分類している。本表に示す通り、攪拌技術は、流動および基礎特性、操作特性、そして化学プロセスへの応用技術の3項から成る。流動特性と操作特性は、本来、不可分であり、操作特性は流動特性の一断面を反映する特性と考えてよい。この2項目をさらに細分化した項目は個々の特性であり、それぞれが装置形状、物性、処理量に依存する。応用技術は、これを展開する一般的なステップに分けて示す。このステップの前半はほとんどの化学装置に共通する。テスト・データの解析以降では、流動特性や操作特性の知見を駆使して、より適した装置をめざすことになる。つまり、流動特性や操作特性に関する知見は道具であり、応用技術はこの道具を使いこなす方法にあたる。以下、主要な項目について説明する。

2.1. 流動および基礎特性

攪拌槽内の流動は層流と乱流に分けられ、この間に遷移域がある。すべての攪拌特性はこれらの各領域に応じて表示されるべきであるが、現状では遷移域の扱いが明確でない場合が多い。

流動および基礎特性の中では動力特性が最も重要である。これは、設備動力を決定するという本来の目的のためではなく、動力特性が流動状態を反映する鋭敏な指標となるためである。攪拌動力に関しては永田ら^{1,3)}の著名な動力式がある。この式の利点は、理論的背景の緻密さ、適用

第2表 攪拌技術の分類
Table 2 Classification of mixing technology

Mixing Technology		
1. Flow and Basic Characteristics	2. Operational Characteristics	3. Application to Processes
i) <u>Flow Pattern</u> • laminar and turbulent • circulation	i) <u>Mixing</u> • mixing time • residence time distribution	i) <u>Analysis to Operations</u> (see left)
ii) <u>Power</u> • power number,	ii) <u>Heat Transfer</u> • jacket	ii) <u>Decision of Required Performance</u>
iii) <u>Pumping</u> • flow number	iii) <u>Solid Suspension</u> • coil or internals	• property data
iv) <u>Shear</u> • equivalent shear rate (laminar) • turbulent shear head	• off-bottom • uniform suspension • fluidization • mass transfer	• reaction kinetics • mass balance • heat balance • transfer rate • test data
v) <u>Baffle Effect</u>	iv) <u>Liquid Dispersion</u> • uniform dispersion • droplet size • mass transfer, $k_L a$	iii) <u>Basic Design</u> • mixing vessel • utilities
vi) <u>Others</u>	v) <u>Gas Dispersion</u> • flooding point • aspiration point • gas hold-up • mass transfer, $k_L a$ • power decrease	iv) <u>Evaluation of Efficiencies</u> v) <u>Design Check</u>
	vi) <u>Others</u>	

範囲の広さ、および豊富なデータにある。使用上の注意としては層流域で翼と槽またはバブルとのクリアランスに留意すること、乱流域で翼枚数、バブル効果、液深、翼位置の影響に関する適切な補正を考慮することの2点である。

吐出特性に関しては種々のデータが発表されているが、これを統一して表現することは難しいようである。

剪断特性については幾つかの定義がある。よく用いられる特性は、層流時に非ニュートン流体での動力を算出する際の装置定数として規定される平均剪断速度と、乱流時に翼近傍の攪拌状態を表現する乱流剪断速度頭である。後者は過剰攪拌を防止する必要がある操作、例えば、担持触媒やラテックスの攪拌で有効な指標となる。

2.2. 操作特性

混合時間それ自体が重要である操作は希であり、例えば粘度比がきわめて大きい2液の混合のような特殊な操作に限られる。むしろ混合時間の相対的な変化によって操作や装置の問題点を評価する場合が多い。乱流時の混合時間の推定には山本²⁾の研究が役立つ。

伝熱特性に関しては、その実用面での必要度から、多く

の報告があり、永田・西川³⁾の一連の研究は適用範囲が広い。

固液系の攪拌では、浮遊化限界 (off-bottom)、均一化限界、流動化限界の各特性が重要である。浮遊化限界は堆積した粒子がなくなる状態を、均一化限界は槽内の粒子濃度がほぼ一樣になる状態を表し、前者は回分操作での、後者は連続操作での攪拌条件選定の目安となる。流動化限界は翼が完全に埋没するような沈降粒子層がやや膨張し流動化する状態を表す。これらはいずれも沈降性のスラリーに関する特性であるが、浮上性のスラリーについても同様の特性があると考えてよい。

相互に不溶の液液系攪拌についても固液系と類似の特性がある。軽液重液の分離防止限界と均一化限界である。固液系では浮遊化限界と均一化限界が攪拌速度で2倍程度異なる場合があるのに対し、液液系では分離防止限界と均一化限界の攪拌速度に10%程度の差しかなく、事実上は同じと見なせる。

固液系、液液系の上記の特性については、永田ら³⁾、大山ら⁴⁾、Tweitering⁵⁾、Skellandら⁶⁾の報告を参照されたい。

気液系攪拌にはガス吹込と液面からの吸引による2方式があり、通常はガス吹込が用いられるが、プロセスによっては液面からの吸引に頼る場合もある。それぞれの操作下限は吹抜限界と吸引限界にあたる。この操作はほとんどの場合にガス吸収を目的とするため、実際の攪拌条件はガス吸収速度に関する性能値 $k_L a$ を基準として決定することが望ましい。ガス吹込の $k_L a$ については通気線速と攪拌動力による相関式⁷⁾が、液面からの吸引による $k_L a$ については吸引限界を基準とする相関式⁸⁾がある。

なお、固液系、液液系でも溶解速度や抽出速度が主要な因子となる場合は、気液系と同様 $k_L a$ を基準に考える必要がある。

以上で攪拌槽の主要な特性を説明し終えたが、公表された報告のみを頼りにこれらの特性を算出する際、障害となる問題は少なくない。例えば、装置形状や物性の影響が表示されていないとか、流動上遷移域に入っても推定可能かどうか、さらには、必要な特性に関する報告自体がないという事態もありうる。このような場合に有効な方法は、その特性を支配する現象と流動状態の関係を考えることである。この関係から求める特性の相関式が直ちに規定できる場合もあり、あるいは、類似の現象において他の特性と攪拌条件の関係が明確にされているなら、それを利用することも可能である。実際、混合時間、伝熱係数および溶解、抽出、ガス吸収などの物質移動に関する操作特性の相関式は上記の観点から一般化されたものが多い。このような方法はテスト・データの解析にも有効である。

2.3. プロセスへの応用

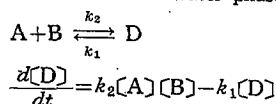
前章に示した反応例を再び扱うことにし、ここでは実機での反応実績がないという前提をとる。既に反応プロセスを各操作に分解する手順は前章に示した。

ビーカースケールでの実験により反応速度上の特性が解明され、この反応が原料A、Bの2次の合成反応と製品Dの1次の分解反応から成る平衡反応であったとする。A、Bの水相への飽和溶解度 $[A]^*$ 、 $[B]^*$ 、反応速度定数 k_1 、

第3表 反応プロセスの解析

Table 3 Rate analysis of reaction process

1. Reaction rate in water phase



2. Mass transfer rate

$$\frac{d[A]}{dt} = \phi_w k_L a_{LL}([A]^* - [A])$$

$$\frac{d[B]}{dt} = \phi_w k_L a_{GL}([B]^* - [B])$$

3. Operational characteristics

$k_L a_{LL} = \text{func.}$ (agitating conditions, related properties, ratio of feed rates A and water)
 $k_L a_{GL} = \text{func.}$ (agitating conditions, related properties, feed rate of gas B)

4. Overall reaction rate

Mass balance equations to be solved

$$\frac{d[A]}{dt} = \phi_w k_L a_{LL}([A]^* - [A]) - k_2[A][B] + k_1[D]$$

$$-\frac{[A]}{\theta_{resid}} = 0$$

$$\frac{d[B]}{dt} = \phi_w k_L a_{GL}([B]^* - [B]) - k_2[A][B] + k_1[D]$$

$$-\frac{[B]}{\theta_{resid}} = 0$$

$$\frac{d[D]}{dt} = k_2[A][B] - k_1[D] - \frac{[D]}{\theta_{resid}} = 0$$

Solution

$[D] = \text{func.} ([A]^*, [B]^*, k_1, k_2, \theta_{resid}, \phi_w k_L a_{LL}, \phi_w k_L a_{GL})$

5. Heat balance

$$Q = \frac{V \phi_w [D]}{\theta_{resid}} \cdot \Delta H + \text{Feed enthalpy} - \text{Effluence enthalpy}$$

$$= UA \Delta T$$

6. Performance required

θ_{resid} , $k_L a_{LL}$, $k_L a_{GL}$, UA : decided above

Note: 1) Prevent liquid A from emulsification, upper limit of $k_L a_{LL}$ is given

2) Uniform dispersion of liquid A

3) No flooding of gas B

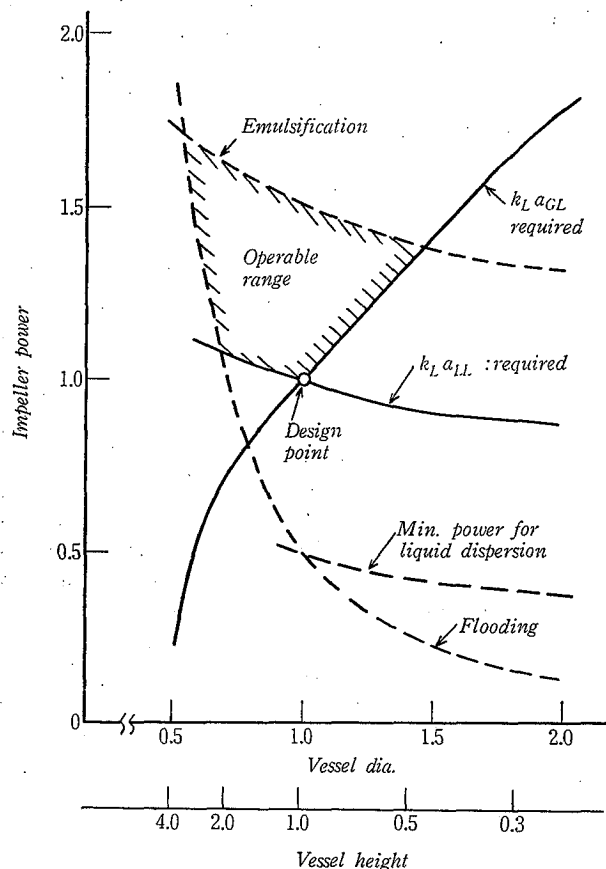
4) No short passing of water phase feed

7. Nomenclature

A: heat transfer area, k : reaction rate constant, k_{La} : capacity coefficient of mass transfer, ΔH : reaction heat, Q : heat, t : time, ΔT : temperature difference, U : heat transfer coefficient, V : effective reactor volume, ϕ_w : volume fraction of water phase, θ_{resid} : mean residence time, $[]$: concentration, $[]^*$: solubility, GL : gas-liquid, LL : liquid-liquid

k_2 の温度特性から収率を考慮した反応温度と圧力が設定される。

次に、反応条件が規定されたとすれば、反応速度と生産量から物質収支が組み同時に反応容積が決まる。連続操作の定常反応系ではAの溶解速度とBの吸収速度は反応速度に等しいから、反応条件におけるA、Bの水相濃度 $[A]$ 、 $[B]$ と飽和溶解度の差から、液液分散におけるAの溶解操作の $k_L a_{LL}$ とガス分散におけるBの吸収操作の $k_L a_{GL}$ が決まる。これらの装置性能は、攪拌条件だけでなく、溶解では液Aの存在比、ガス吸収ではガスBの供給量にも依存する。したがって、実際の操作条件は液AやガスBの循環利用に対する経済評価をも含めて決定される。



第1図 分散の可能操作域と設計点

Fig. 1 Operable range and design point for dispersions

第3表は上記の関係を反応工学の手法によって表現した例である。この解析の流れは、滞留時間 θ_{resid} の反応器がある運転条件で反応させれば、生産量(製品濃度 $[D]$)がどれだけになるかを求める方向で解かれているが、実際には所定の反応を遂行するのに必要な反応容積(θ_{resid})、装置性能($k_L a_{LL}$, $k_L a_{GL}$, UA)および供給速度の相互関係を表す。この解析により上記の反応の律速因子が、反応、溶解、ガス吸収、伝熱のいずれであるかを判断でき、その判断に応じた運転条件の決定と各要求性能値の決定が可能になる。さらにベンチ・テストとの照合、計画プロセスの操作性や経済性の評価を通じて反応プロセスの仕様——反応容積、供給量、各要求性能値——が固められる。

次いで反応器の基本設計が行われる。要求仕様から各操作の難易を判断し、攪拌槽の形式を絞る。例えば、通気量が多く比較的高いガス吸収性能の要求に着目してタービン翼と板バフルの組み合わせとす。槽径と槽高の比を変えて各分散性能と攪拌動力の関係を求めると、第1図のような操作可能域と設計点を得る。各分散性能の推定誤差、他の要求性能、操作の柔軟性、製作上の検討などを考慮して、必要なら、槽径と槽高、攪拌動力の選定値を変更する。こうして決められた製作仕様案について、再度、各操作特性を求め操作上の問題がないことを確認する。さらに反応器まわりを含むプロセス全体の効率を評価し、改善の余地の有無を確認する。

以上がプロセスへの応用の概略である。現実の反応は必ずしも上記の例のように解析できるわけではない。先の例

で本当に必要なことは、第1図のような操作可能域が存在するというイメージを描くことであり、この操作可能域の中の操作により適した設計点を定める上で重要な因子が何であるかを判断することである。それが判断できれば、本当に必要な情報を適切な実験によって確認することも可能である。要はポイントとなる操作について、設計しようとする装置が必要かつ十分な機能を持つことを確かめればよいのである。もちろん、この間、絶えず推定という作業が入るので、推定誤差を正當に評価し、その範囲内の性能変動に対応可能な柔軟性を持たせることも必要になる。

なお、先の例を詳細に検討すれば、プロセス計画と反応器の設計を切り離して扱うことが不合理であることに気付かれるはずである。これは、第3表で総括の反応速度を扱った式が装置性能項を含む点によって端的に示される。つまり、装置性能が決まらなければ運転条件が決定できないということになる。見方を変えれば、反応条件、運転条件、装置条件は同時に決定されるはずであり、かつ、無限の組み合わせの中から選定されるはずである。真に合理的な決定のためには、この決定過程に評価の導入が必要になる。このような手法による決定が最適化設計と呼ばれる。

3. 当社研究内容の紹介

本章では流動および基礎特性と操作特性に関する実験研究の内容を主として紹介する。

3.1. 流動および基礎特性

1) 高粘度翼のクリアランス

高粘度液の撹拌では翼と壁のクリアランスの小さな翼を使用することが多い。第2図はヘリカル・リボン翼とスクリー翼について動力定数($N_p \cdot Re$)とクリアランスの関係を調べた結果である。クリアランスがある値以下になると動力定数の増加がなくなる。永田ら³⁾の伝熱実験の結果も比較してあるが、スクレーパーの有無による差異から伝熱についても同じ傾向があると考えられる。

2) 遷移域の撹拌

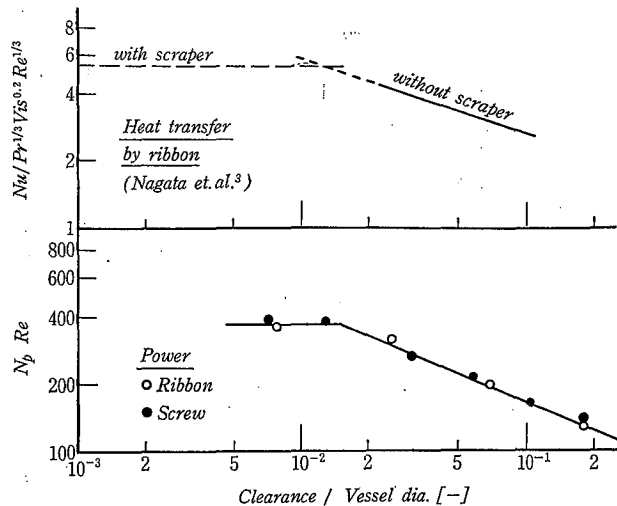
層流用あるいは乱流用の翼が遷移域での撹拌に対しどの程度有効であるかを判断する材料として、それぞれの翼の混合時間特性を目安とする方法がある。第3図はリボン翼、ループ翼(ゲート翼の変形)、ファウドラ翼について、動力数 N_p と混合時間 $n\theta$ を測定した結果である。 $n\theta$ が急激に変化する Re 域での操作は難しいと考えた方がよい。本図の中ではゲート翼の一種であるループ翼が遷移域での撹拌に比較的適する。

3) 乱流翼の動力・吐出特性比較

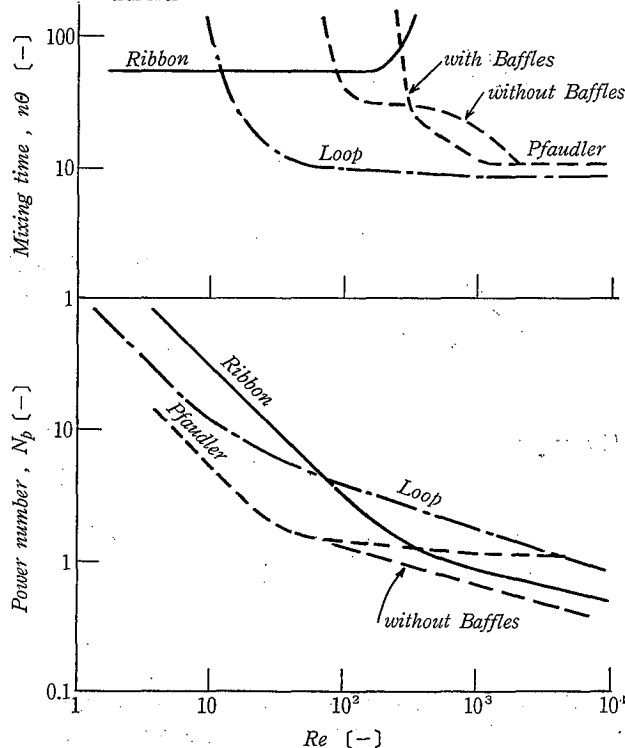
乱流撹拌には多様な撹拌翼が用いられる。これらの翼を使いわけると基本になる特性は動力数と吐出流量係数の比 N_p/N_q である。第4図は種々の乱流翼について N_p/N_q の相互関係を調べた結果である。傾斜翼や後退翼は撹拌動力を吐出循環動力として利用する効率を高めるのに有効である。ただし、これが実際の操作の動力効率向上に結びつくかは、既報⁹⁾に示したように別途検討を要する。

4) バッフル効果と多段翼の動力推定

乱流撹拌での流動はバッフルの存在に対し敏感である。バッフル自体に流れを制御する機能があり操作によっては過剰なバッフルが有害になることもある。バッフルの過剰



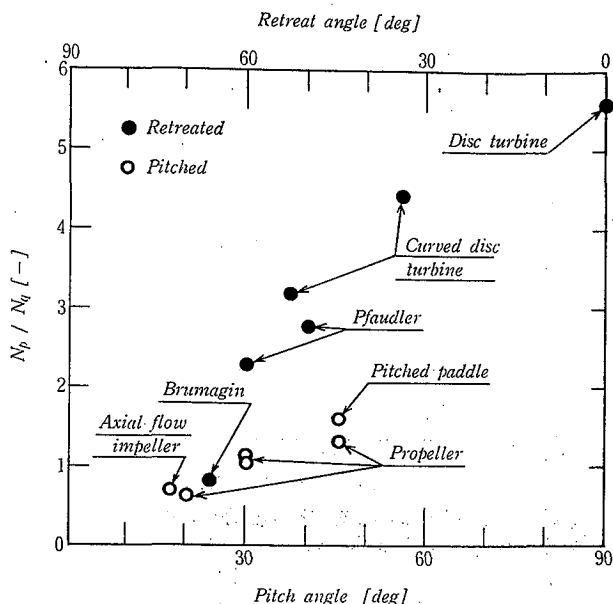
第2図 動力および伝熱に対する翼と壁のクリアランスの影響
Fig. 2 Effects of impeller-wall clearance on power and heat transfer



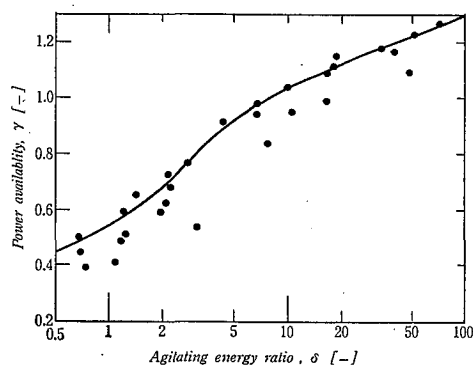
第3図 遷移域の動力数と混合時間
Fig. 3 Power number and mixing time in transition region

を判断する目安として、動力と液深の関係を調べる方法がある。液深の増加による顕著な動力増大が認められる間はバッフルを追加して差し支えないが、動力増大傾向が極端に弱まる時点でのバッフル追加は混合に悪影響を及ぼす。

上記の方法は間接的に液面近辺の撹拌流動の強さを判断していることになる。当社の多段翼の動力推算式はこの考え方を応用したものである。多段翼撹拌での補助翼の動力はその翼が単独で消費する動力とは大幅に異なる場合が多い。両者の動力の比を動力有効度 γ とする。次に、着目する補助翼による撹拌流動の強さと主翼による撹拌流動の強さとの比を δ とすると、第5図に示すように、 γ と δ の間に強い相関がある。この相関関係を図の曲線で近似すれば δ から γ が推定できる。 δ は個々の翼の動力と液深の関係



第4図 各種乱流翼の N_p/N_q
Fig. 4 N_p/N_q of various turbulent impellers



第5図
補助翼の動力有効度と攪拌流動の強さの比との相関
Fig. 5
Correlation of power availability and agitating energy ratio

によって決まるので、個々の翼の動力特性がわかりさえすれば、多段翼攪拌での動力が実用的な精度で推定できる。詳細は既報¹⁰⁾を参照されたい。

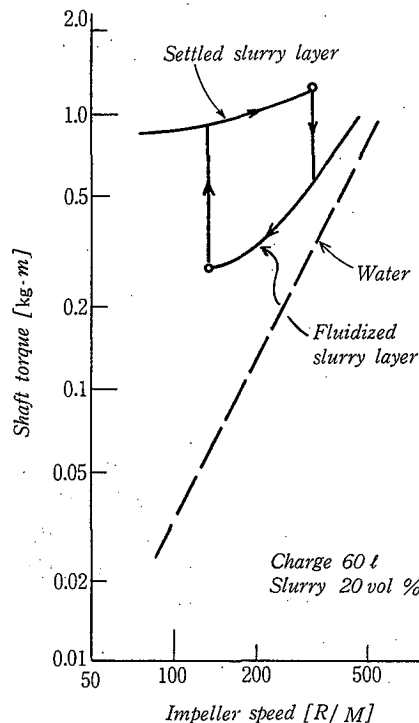
3.2. 操作特性

1) 伝熱

伝熱は最も一般的な操作であり、攪拌伝熱の能力推定を必要とする場合が少なくない。一方、この推定には非常に煩雑な手順がある。装置形状の影響をより適確に評価しようとするれば、それに応じて算出過程がより複雑になる。これを円滑に運ぶために汎用の攪拌伝熱プログラムを作成した。このプログラムは通常の縦型円筒槽であれば当社で製作したほとんどの攪拌槽に適用可能であり、ジャケット、コイル、伝熱管パツフルの総括伝熱係数が計算できる。現在このプログラムは電算機での試用段階に入っている。その出力例を第4表に示す。

2) 固液系

スラリーの流動状態はその濃度と粒径によって大幅に変化する。通常の懸濁攪拌の概念は、粒子の自由沈降が生じ得る比較的低濃度スラリーの低い範囲を対象とする。微粉の高濃度スラリーでは擬塑性流体としての挙動が見られる。この場合の扱いは層流域や遷移域での攪拌に準じる。一方粒径が比較的大きい高濃度スラリーは、攪拌速度を増すに



第6図
高濃度スラリーの流動化トルク
Fig. 6
Fluidization torque of high-concentration slurry

伴ない、沈降粒子層、流動層、そして流体としての挙動を示す。第6図は、流動化の前後での攪拌速度と攪拌トルクの関係を実験した結果であり、明瞭なヒステリシスが認められる。流動化という現象については、液体の攪拌と粉体の攪拌¹¹⁾を重ね合わせることで定量的な説明が可能になるが、ヒステリシスの下限を予想することは難しいようである。

自由沈降が生じる通常の懸濁系で留意すべき点は連続操作である。特に、沈降速度が5cm/sec以上の粒子を均一に懸濁することは事実上困難であり、粒子の滞留時間が液のそれと異なる、すなわち、容積効率が異なると考えた方がよい。この問題に関する定量的な扱いは一部既報¹²⁾に報告した。この場合の容積効率は、攪拌機の懸濁能力に強く依存すると同時に、抜き出し位置にも依存する。

3) 液液系

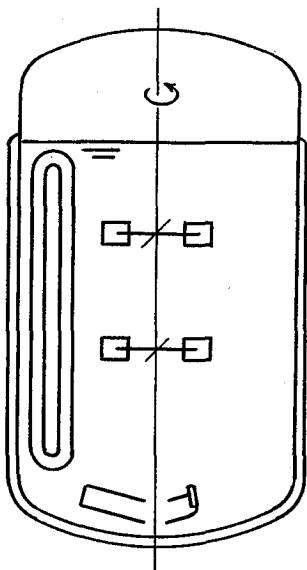
相互に不溶な液体を混合する場合、少なくとも軽液が液表面に分離層を形成する事態を防止することが望ましい。第7図は種々の形状の攪拌機についてこの条件を調べたものであり、縦軸の混合度が0.95に達した時、軽液分離層が消滅する。軽液分離防止の動力低減にはトルクの大きい翼や多段翼が有効である。なお、軽液分離防止条件のスケールアップ基準は、動力と流速の複合形となる。これは、モデル解析によって導出することが可能であり、また、運転結果もそれを裏付けている。単位液量当りの動力を基準とする従来のスケールアップ基準は、軽液分離の防止という観点ではやや安全側にある。

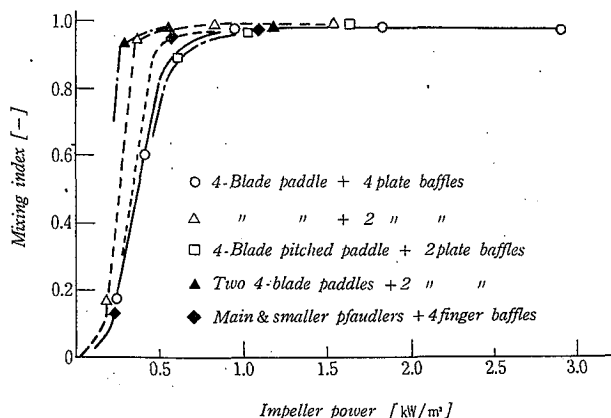
4) 気液系

通気攪拌にも実用操作域という概念が成立する。攪拌強度上のその下限は吹抜点であり、上限はガス・ホールドアップの飽和状態として現われる。吹抜点は通気時の動力低下特性およびガス吸収性能線図に現われ、通気係数、フル

第 4 表 伝熱計算プログラムの出力

Table 4 Output of heat transfer computation

OVER ALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF AGITATED VESSEL				DATE 1985. 1. 30		
〈E. or O. No.〉		EXAMPLE		〈VESSEL〉		
〈SKELTON〉				I. D. : 4.65 [m]		
LIQUID DEPTH : 6.7 [m]						
BAFFLE WIDTH, w/D : .13 [—]						
WALL THICKNESS : SUS 304. 003 + SM 50 B. 05 [m]						
		〈JACKET〉				
		TYPE : SPIRAL BAFFLE				
		AREA : 100 [m ²]				
		JACKET I. D. : 4.85 [m]				
		BAFFLE PITCH : .5 [m]				
		BAFFLE-WALL GAP : .002 [m]				
		FLOW PATHS : 1 [WAYS]				
		〈INTERNAL COIL〉				
		TYPE : VERTICAL BAFFLE				
		AREA : 149 [m ²]				
		TUBE O. D. : .2163 [m]				
		TUBE THICK. : SUS304 ; .0082 [m]				
		No. OF COILS : 10				
		FLOW PATHS : 2 [WAYS]				
		TUBE LENGTH : 22 [m/coil]				
〈FLOW RATE〉						
JACKET SIDE :		200	[m ³ /hr]			
COIL SIDE :		350	[m ³ /hr]			
〈AGITATOR〉						
ROTATING SPEED :		60	[RPM]			
TYPE :		FLAT PF.	TURBINE			
SPAN [m] :		2.6	2			
No. OF BLADES :		3	6			
BLADE WIDTH [m] :		.4	.4			
PITCH [deg] :		90	45			
RETREAT [deg] :		50	0			
IMP. HEIGHT [m] :		.4	3.2			
			5.2			
〈FLUID PROPERTIES〉						
	TEMP. [°C]	PHASE [—]	DENS. [kg/m ³]	VIS. [cP]	SPEC. HEAT [kcal/kg·°C]	HEAT CONDUCT. [kcal/m·hr·°C]
TANK :	80	LIQ.	650	.5	.6	.15
JACKET :	35	LIQ.	994	.696	.997	.533
COIL :	35	LIQ.	994	.696	.997	.533
〈RESULTS〉						
		JACKET SIDE	COIL SIDE			
TANK LIQUID FILM :		h _{ji} =1010	h _{co} =1450		[kcal/m ² ·hr·°C]	
TANK LIQUID SCALE :		h _{jis} =—	h _{cos} =—		[kcal/m ² ·hr·°C]	
TANK or TUBE WALL:		h _{jw} =740	h _{cw} =1710		[kcal/m ² ·hr·°C]	
H. T. MEDIA SCALE :		h _{jos} =2500	h _{cis} =2500		[kcal/m ² ·hr·°C]	
H. T. MEDIA FILM :		h _{jo} =2390	h _{ci} =3660		[kcal/m ² ·hr·°C]	
OVER-ALL U :		U _j =317	U _c =494		[kcal/m ² ·hr·°C]	
FLUID VELOCITY :		V _j =.895	V _c =1.55		[m/sec].	
PRESSURE LOSS :		ΔP _j =.241	ΔP _c =.458		[Kg/cm ²]	



第7図 各種の攪拌機による液液分散
Fig. 7 Liquid-Liquid dispersion by several agitator systems

イド数、動力低下率によって表現される。そして、ガス吸収性能が攪拌動力 P_V [kW/m³] と通気線速 u_{gas} [cm/sec] によって

$$k_L a \propto P_V^\alpha u_{gas}^\beta \quad \alpha, \beta = \text{const.}$$

と単純に表示しうるのは実用操作域の内部のみである。詳細は既報¹³⁾を参照されたい。

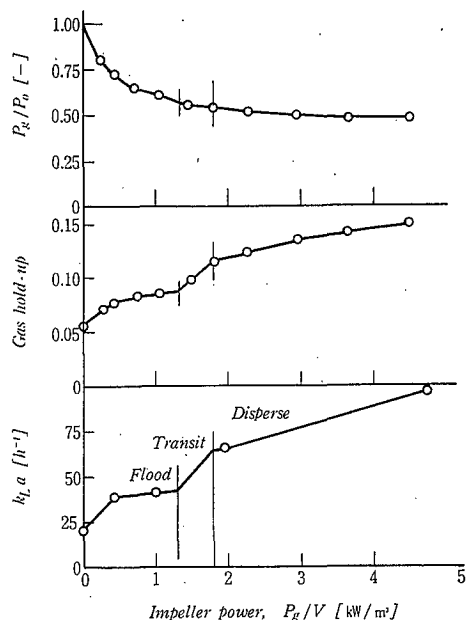
中粘度域(100~1,000 cP)での通気攪拌はその取り扱いが比較的難しい。吹抜を防止する攪拌動力が増大すると同時に、ガス・ホールドアップが飽和する程に攪拌してもガス吸収性能の大幅な増大は望めない。第8図にその様子を示す。本図は200~250 cPの液を通気攪拌し、動力低下特性(P_g/P_o)、ガス・ホールドアップ、 $k_L a$ を測定した結果である。1.8 kW/m³以下の動力では局所的な吹抜がある。一方、ガス・ホールドアップが飽和に漸近する5 kW/m³の攪拌でも $k_L a$ は1.8 kW/m³時の1.5倍でしかない。

4. む す び

以上、攪拌技術の位置付け、分類と現状、研究内容の紹介を説明し、前半ではプロセスとして捕えることの重要性、後半では装置としての特性を主として取り上げた。

攪拌槽は0.05 kW/m³から10 kW/m³の動力を液に伝え混合を促進する比較的単純な装置である。大半の操作は難しく考えずとも無難にこなすことができる。しかし、その操作の難易を判断し適正に使うことは、また別の問題である。そして、そのためにこそ攪拌技術があると考ええる。現実の攪拌操作には二つの典型がある。一つは、標準的な装置を使ってプロセスを組む方向であり、他方は、特殊な専用の装置を使ってプロセスを組む方向である。当社の攪拌技術は、主に後者の要請から発展してきた背景を持つが、むしろ、標準的な装置をプロセスに応じて柔軟に使い分けることに技術の利用価値がある。この意味でプロセスとして捕えることの重要性を指摘させていただいた。

装置の特性、すなわち、流動特性や操作特性は攪拌槽を選定する際の重要な目安になる。この方面の情報は、今後ますます細分化することが予想される。一方、現状の操作特性に関する知見は、多くの場合、装置形状や物性への依存性が充分には表現されてない。ユーザー各位が必要な操作特性を算出される際に悩まれるのもこの点であろうと思われる。先に、操作特性は流動特性を反映する一断面であ



第8図
200~250 cPの
粘度でのガス分
散
Fig. 8
Gas dispersion
at the viscosity
200—250cP

ると説明した。この観点に立てば、すべての操作特性は流動特性によって表現されるはずであり、装置形状や物性の影響も包括して表現されるはずである。現在まで、多くの方々が上記の方向での体系化を試みられている。攪拌を真の意味で制御するために、我々もこのような体系化を前進させたいと考えている。

攪拌技術は化学工学の一分野であり、机上で個々のプロセスに適用すれば不確実さが生じることは避け得ない。工学的な技術の進歩によってのみこの不確実さを除くことは難しい。その不確実さを評価し適切な対策を講じることが要求される。これもまた実用的な技術である。現実の問題に直面された時、不確実さへの対応ということも忘れないでいただきたい。

引用文献

- 1) 永田進治: 新化学工学講座, 攪拌機の所要動力, (1957), 日刊工業新聞社
- 2) 山本一夫: 学位論文, 攪拌槽内の流動状態に関する研究, (1961), 京都大学
- 3) S. Nagata: Mixing, (1975), Kōdansha, p. 1, 85, 99, 249, 341
- 4) 大山・遠藤: 化学工学, 20巻(1956), p. 666
- 5) T. N. Tweeking: Chem. Eng. Sci., Vol. 8 (1958), p. 244
- 6) A. H. P. Skelland et. al.: IEC Process Des. Dev., Vol. 17 (1978), p. 56, 473
- 7) M. Nishikawa et. al.: J. Chem. Eng. Japan, Vol. 14 (1981), p. 219
- 8) L. L. Van Dierendonck et. al.: Chem. React. Symp., (1968), Pergamon, p. 205 (This literature is quoted in detail by Nagata³⁾)
- 9) 岡本: 神鋼ファウドラ-技報, 28巻, 3号(1984), p. 13
- 10) 平井: 神鋼ファウドラ-ニュース, 24巻, 1号(1980), p. 1
- 11) 平井: 神鋼ファウドラ-技報, 27巻, 2号(1983), p. 25
- 12) 平井: 同上, 26巻, 1号(1983), p. 7
- 13) 岡本: 同上, 26巻, 3号(1982), p. 8

攪拌翼の振動

Vibration of Agitator

化工機事業部 技術部 設計企画課
榎 本 正
Tadashi Enomoto

The vibration of agitators and baffles which are the main parts of reactors, give various kinds of damages to the reactors.

This paper describes the factors of vibrations occurring on these agitators and baffles and the examples of resonance phenomena etc., and discusses the singularities of vibration in liquid.

攪拌槽の主要部分を構成する攪拌翼およびバッフルの振動は、攪拌槽各部に種々のダメージを与える。本稿では、攪拌機およびバッフルの振動発生に關与する要因について説明し、また、共振現象等の異常振動の測定例から、液中における振動の特異性を解説した。

1. ま え が き

攪拌機は攪拌槽の主要部分を構成し、攪拌翼とバッフルの組合せにより種々の攪拌操作が可能である。

攪拌翼の取付は、下記2形態が大部分を占める。

- 1) 攪拌槽の上部より攪拌翼を槽内に取付けた形態（以下上部攪拌という）
- 2) 攪拌槽の下部より攪拌翼を槽内に取付けた形態（以下下部攪拌という）

取付形態の大部分をしめる上部攪拌翼は、軸受部から翼までの距離が長いオーバーハング型であり、一般的に振動の発生しやすい形態である。それに反し、下部攪拌翼は缶体の底鏡部ノズルより軸を挿入し、先端に攪拌翼を取付けた形態で、軸受部からのオーバーハングが短いため、軸振れの問題が発生することは少ない。

もし、攪拌翼の振動が過大である場合には、下記の不具合が生じる。

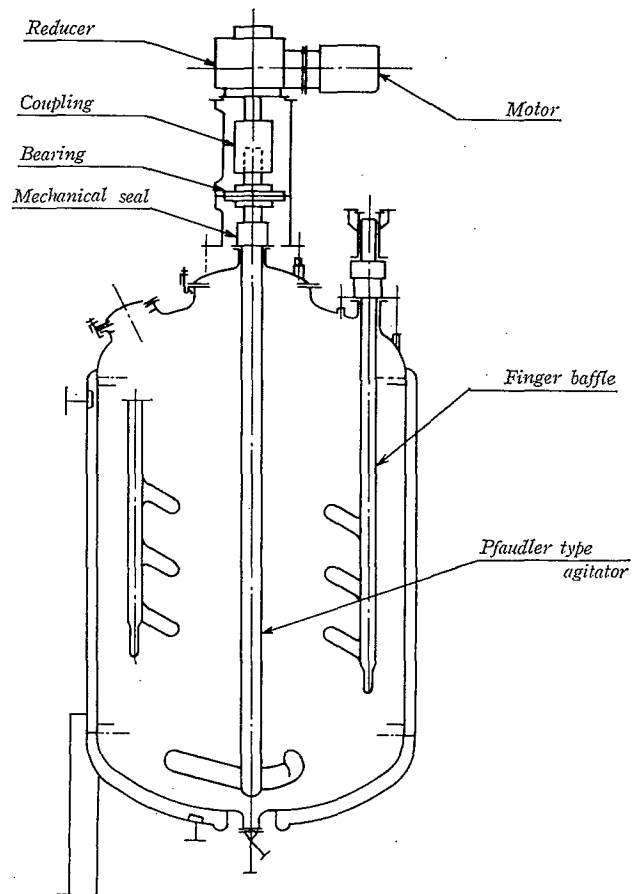
- i) メカニカルシールよりの油洩れおよび損傷
- ii) 軸受部の損傷
- iii) 減速機架台部および缶体全体の振動
- iv) 攪拌軸の疲労破壊

攪拌という操作上、多少の振動は避けられないが、共振現象等の異常な振動を防止するよう、細心の注意をはらっている。しかし、最近では攪拌翼およびバッフルの形状は多種、多様化しており、振動の予知が難しい場合がある。

なお、攪拌機の振動に関しては、既報「グラスライニング製大型攪拌翼の軸振れについて」¹⁾に述べているので参照願いたい。

2. 攪拌翼の振動発生要因

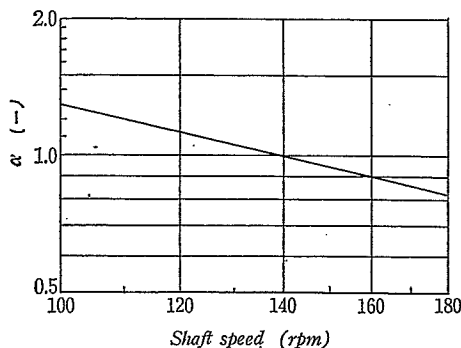
第1図に当社の標準的なグラスライニング製反応機を示す。周知のように、攪拌翼は、缶上部の軸受で、ラジアルならびにスラスト方向の荷重を支持される構造である。また、缶内には種々の目的の攪拌操作を行うためのバッフル



第1図 標準型反応機
Fig. 1 Standard type reactor

が設置されている。この攪拌操作に欠くことのできないバッフルの存在が、攪拌翼の振動の1つの要因となる。

攪拌翼を液中で運転する時、攪拌される液体はバッフルに衝突し、不規則な流れを繰り返す、その流体力が主として攪拌翼に作用し、励振力となる。当社では、この変動す



第2図
変動横荷重係数
α
Fig. 2
Fluctuating
lateral load
coefficient α

るラジアル方向の流体力を攪拌翼に作用する変動横荷重と称し、従来よりの実験データの蓄積から、攪拌トルクへ一義的に関係付けて数式化し、振動検討および攪拌軸強度の基礎データとして用いている。以下、変動横荷重および、これを支配する各要因について簡単に説明を加える。

2.1. 変動横荷重

いま、攪拌翼スパンを d とし、翼枚数を n 、所要攪拌トルクを T とおく。1枚の翼に作用する流体の抗力を、スパン d の翼先端の接線方向に作用する一つの抗力 R_i で代表させることにすれば、

$$T = \sum_{i=1}^n R_i \frac{d}{2} \quad (1)$$

いま R_i の平均値を R とおけば、

$$T = n \cdot R \cdot \frac{d}{2} \quad (2)$$

一方、 R_i の平均値成分を R_{im} 、変動成分を ΔR_i とおけば、変動横荷重 F_d は

$$F_d = \left| \sum_{i=1}^n \vec{R}_i \right| = \left| \sum_{i=1}^n \vec{R}_{im} + \sum_{i=1}^n \vec{\Delta R}_i \right| \quad (3)$$

しかるに

$$\sum_{i=1}^n \vec{R}_{im} = 0 \quad (4)$$

ゆえに

$$F_d = \left| \sum_{i=1}^n \vec{\Delta R}_i \right| \quad (5)$$

攪拌トルク T と変動横荷重 F_d の上記のような関係から、

$$\alpha = \frac{F_d}{R} = \frac{F_d}{2T/nd} \quad (6)$$

$$F_d = \alpha \cdot \frac{2T}{nd} \quad (7)$$

ここで

α: 横荷重係数

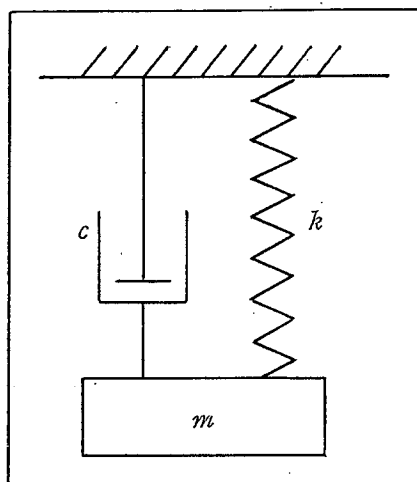
横荷重係数 α は攪拌翼の種類、パッフル条件および、回転数に依存する。第2図に、回転数と横荷重係数の関係を示した。また、横荷重係数は、まだ、解析によって算出するに至っておらず、実験的手段によらざるを得ないのが現状である。

2.2. その他の要因

2.1. に示した、攪拌翼に作用する変動横荷重は攪拌操作上必然的に発生する強制的な外力であるが、それ以外に、振動源として作用するファクターは以下のとおりである。

i) 攪拌翼の不釣合量

一般に回転体には静的不釣合(重力)と動的な不釣合(遠



第3図
攪拌翼のモデル化
Fig. 3
Model of
agitator

心力)が存在する。本来は、攪拌翼の振動を極小におさえるためには動バランスの大小を問題にすべきであるが、我々が取扱う回転数範囲は通常10~200 rpmであるため、遠心力の大きさは流体力に比較して小さい。したがって、攪拌翼の不釣合に関しては、静バランスをとることで十分である。

ii) 形状のアンバランス

製造公差として発生する各々の翼長、取付角度等の相違は、振動上の問題となることは少ない。

3. 攪拌翼の振動

3.1. 固有振動数

攪拌翼の振動問題を論ずる場合に、現象として現れている振動が何らかの強制振動源との共振現象であるか、あるいは、通常のランダムな流体力による強制振動であるかを明確にすることが大切である。このためには、攪拌翼の固有振動数を知る必要がある。

一般に、攪拌翼の振動を粘性減衰力が作用する一自由度系の振動とみなすと、系の固有振動数は次式で表わされる。²⁾

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sqrt{1-\zeta^2} \quad \text{Hz} \quad (8)$$

ここで

k : バネ定数 kg/cm
 m : 質量 $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$
 ζ : 粘性減衰係数比 $-$

一般に、物体の液体中の固有振動数は空気中における値より低下する。その原因は下記2点である。

1) 見かけ上の質量増加

液体中で物体が振動する場合には、物体に近接する液体も共に振動させなくてはならないため、運動エネルギーを余分に必要とし、見かけ上質量が増加したかのごとき現象を示す。この見かけの質量に関しては、円板に対する Lamb および Mac-Lachlan の式³⁾が知られている。

$$m = m_0 \sqrt{1+\epsilon} \quad \text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm} \quad (9)$$

$$\epsilon = k(\rho_w/\rho_m)(a/h)$$

ここで

m : みかけの質量 $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$
 m_0 : 非減衰系での質量 $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$
 ρ_w : 流体の密度 kg/cm^3

第 1 表 粘性減衰係数比

Table 1 Ratio of viscous damping coefficient ζ

Test condition	ζ	$\sqrt{1-\zeta^2}$
in air	0.00266	0.99999
in water	0.01554	0.99976

第 2 表 グラスライニング製攪拌翼の固有振動数

Table 2 Natural Freq. of GL agitator

		Natural Freq. (c/min)	Nc/Nc ₀
in air	Calculating value Nc ₀	185.0	100%
	Measured value Nc ₁	171.5	93
in water	Liquid volume 2,000ℓt Nc ₂	147.0	79
	〃 4,000 〃 Nc ₃	143.5	78
	〃 8,000 〃 Nc ₄	140.2	76
	〃 12,000 〃 Nc ₅	138.0	75

ρ_m : 板の密度 kg/cm³

a : 板の半径 cm

h : 板の厚さ cm

k : 振動モードによる係数

したがって、a、h、およびk値を攪拌翼の代表値に当てはめれば、攪拌機系に適用できると考えられる。

2) 粘性減衰係数比 ζ

(8)式に示すように、液体中の固有振動数低下の要因の一つとして、粘性減衰係数比 ζ の影響がある。第1表は板状物体を使用しての粘性減衰係数比の測定結果である。表より、気中、液中とも $\zeta \ll 1$, $\sqrt{1-\zeta^2} \doteq 1$ となり

$$f_d \doteq \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (10)$$

すなわち粘性減衰の影響は無視できる。

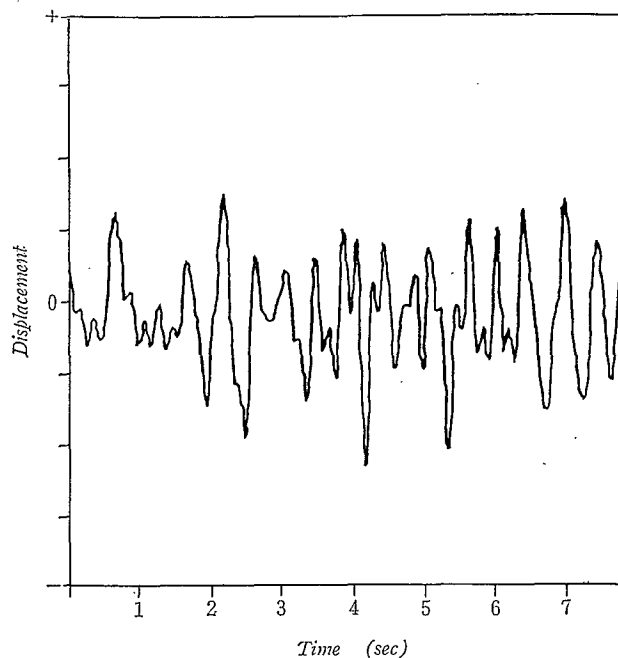
以上より、液中の攪拌翼の固有振動数の減少は、見かけの質量の影響が大きいと考えられる。第2表は、グラスライニング製攪拌翼の気中および液中における固有振動数の測定結果である。表より、液量の増加にしたがい、固有振動数が減少することがわかる。

3.2. 攪拌翼の振動波形

攪拌翼の振動は大別して、はりとしての横振動とねじり振動の2種の振動パターンが存在する。一般的にはねじりの固有振動数は横振動の固有振動数より高いため、問題となるのは横振動であることが多い。以下攪拌翼の横振動の基本的振動波形について説明する。

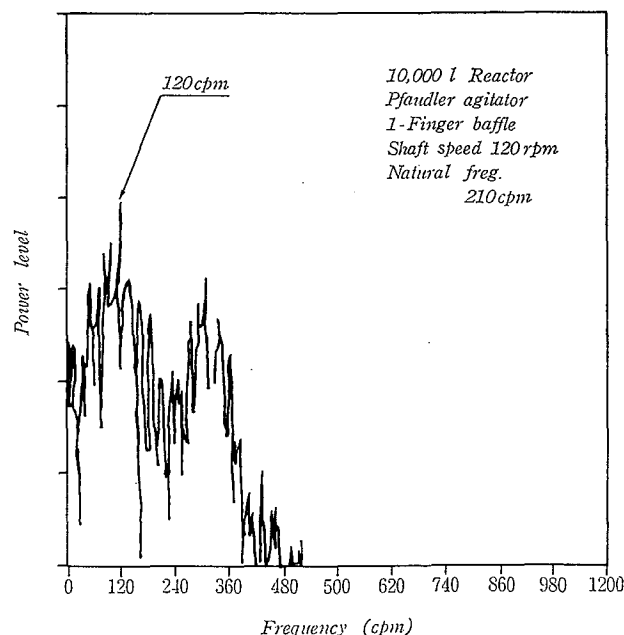
3.2.1. 定常振動波形

第4図は10,000ℓ、ファウドラー、フィンガーバッフル1本付反応機での攪拌翼の振動測定波形である。また、第5図はその周波数分析結果である。なお、この攪拌翼の液中の固有振動数は210 cpmである。この場合の卓越した周波数成分は回転数成分120 cpmであり、固有振動数成分210 cpmは特に顕著には現われていない。このように、攪拌翼の定常振動はランダムに振幅が変化し、卓越周波数成分は回転数成分であることが多い。上記は非常に一般的な振動パターンを示したがバッフル条件等によっては以下



第4図 攪拌翼の振動波形

Fig 4 Oscillation of the agitator



第5図 攪拌翼の振動の周波数分析

Fig. 5 Spectrum analysis of oscillation of the agitator

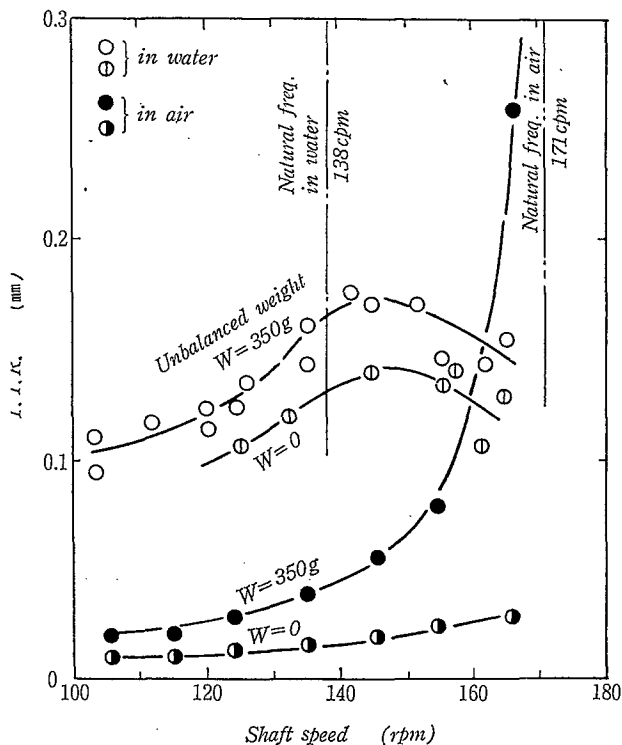
の周波数成分が顕著に現われる可能性がある。

i) 固有振動数成分

ii) 翼枚数×バッフル本数（バッフルが攪拌翼近傍にあるとき）

3.2.2. 共振

回転数成分、回転数×バッフル本数等の強制振動周波数成分が攪拌翼の固有振動数と一致した場合には共振現象が発生する。空気中に置かれた回転軸等では、系の横振動の固有振動数が軸の回転数に一致した場合には激しい振動を生じることが知られている。



第6図 攪拌翼の共振曲線
Fig. 6 Resonance curve of agitator

しかしながら、攪拌翼は液中で使用されているため、もし共振現象を生じて、空気中におけるほど振幅は増大しない。第6図にその1例を示す。ただし、第2表に示したように、液中と気中では固有振動数が異なる。

1. 減液運転

3.2.2. 項で述べた共振現象の他の異常振動として、減液運転時の振動がある。減液運転とは下記の条件をいう。

- 1) 排液運転
攪拌翼を回転しながら完全排水するとき。
- 2) 注液運転
攪拌翼を空転しながら槽内へ液を注入するとき。
- 3) 小液量での運転

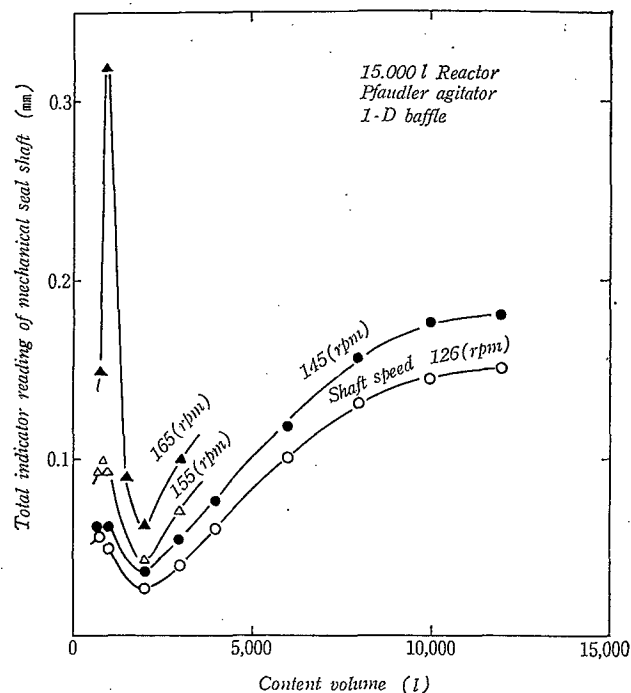
液量が少なく、攪拌翼が水面から見え隠れする状態になると、攪拌翼が水面を叩き、衝撃的な力が発生し、大きな振動が発生する。

第7図は、15,000ℓ攪拌槽での実験例である。横軸に液量(ℓ)、縦軸に軸封部の上部で測定した軸振れ値を示した。液量の減少につれて軸振れが減少するが、液抜き途中(約1,000ℓ)に上記の現象が生じ軸振れが急激に増加する。図からわかるように、回転数が高いほどこの傾向が顕著に現われている。

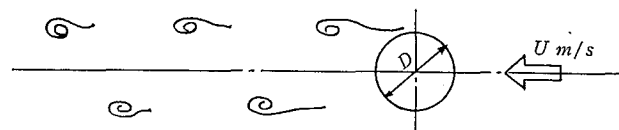
したがって、減液運転は避けるべきであり、これを怠ると攪拌軸あるいはメカニカルシールの破損等の事故に発展するため注意を要する。

5. バッフルの振動

攪拌槽において、攪拌翼と共に主要因子を構成するバッフルの振動についても簡単に紹介する。バッフルが流体から受ける励振力を大別すると



第7図 減液運転時の異常振動
Fig. 7 Extraordinary vibration at the low level content volume



第8図 カルマン渦
Fig. 8 Kármán vortex

- 1) 周期的な流出渦に伴う励振力(カルマン渦)
 - 2) 流れの変動に伴う周期的な励振力(回転数×攪拌翼枚数)
- となる。

また、攪拌翼の固有振動数で述べたと同様に、バッフルの固有振動数も液中における見かけの質量の影響で、気中における値より低下し、バッフルの形状からもわかるように2方向の固有振動数を持っている。

5.1. カルマン渦との共振

レイノルズ数 Re が $300 < Re < 3 \times 10^5$ の範囲では一様な流れに置かれた柱状物体の後流には周期的に交番渦が流出し⁴⁾、これは、カルマン渦と呼ばれている(第8図)。渦の発生周波数は次式で表わされる。

$$f_v = S_t \cdot U / D \quad (\text{Hz})$$

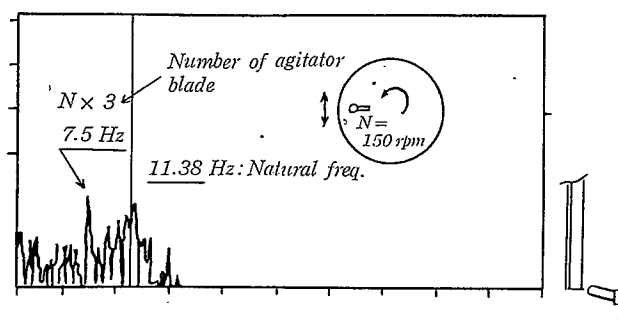
ここで S_t : ストロハル数 $[-]$

U : 一様流の流速 m/s

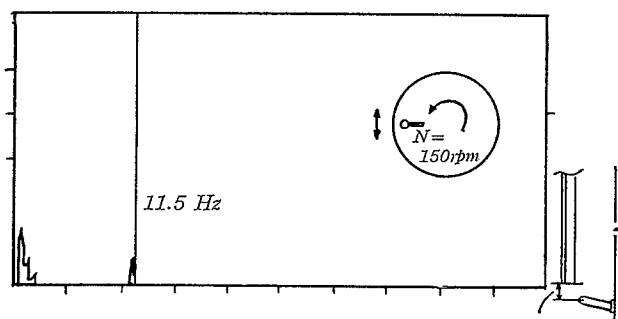
D : 代表長さ(円柱の直径) m

このカルマン渦の周期的変動力が流れの直角方向に作用し、この周波数と物体の固有振動数が一致した場合には共振現象を生じることが知られている。この現象は、缶の半径方向の振動に顕著に現われる。

周知のように、カルマン渦は流れの方向に対称な物体から発生し易い。一方、バッフルは、第1図に示すように非対称形状が多いため、軸方向に一樣なカルマン渦は発生しにくいと考えられる。



a) 攪拌翼とバッフルが接近した場合
Near the agitator



b) 攪拌翼とバッフルが離れた場合
Far from the agitator

第9図 バッフルの振動の周波数分析

Fig. 9 Spectrum analysis of oscillation of the baffle

5.2. 攪拌軸回転数×翼枚数との共振

バッフルを翼が通過する周波数は（攪拌軸回転数×翼枚数）として現われるがこの傾向は、バッフル効果が大きい

ほど強くなる。すなわち、バッフル角度が大きく、また翼とバッフルが接近するほどバッフルが受ける励振力は大きくなる。したがって、この振動は缶の周方向に顕著に現われる。その一例を第9図に示す。

第9図a)は、攪拌翼とバッフルが接近した場合でありb)は、離れた場合のバッフルの振動の周波数分析結果である。

a)図では、バッフルの（周方向）固有振動数成分（約11.4Hz）に加えて、攪拌翼がバッフルを通過する周波数成分（ $150 \times 3/60 = 7.5\text{Hz}$ ）が卓越した周波数成分として現われているが、b)図では、固有振動数のみが現われている。したがって、特別な理由によって攪拌翼とバッフルを接近させる必要がある場合には、攪拌翼がバッフルを通過する周波数成分との共振を生じないように設計時に注意を要する。

6. むすび

以上、攪拌槽の主要メンバーである攪拌翼の振動問題について、当社の長年の実験データを基に記述した。攪拌翼におけるような、流体に起因する振動問題は、まだ未知の分野が多く、種々の手法を用いて流れ場の解析が試みられているが、その解明は実験的手段によらざるを得ないのが現状である。

反応機メーカーとして、この振動問題は機器保全の面からも重要なテーマであり、今後とも研究を続けていく所存である。

参考文献

- 1) ファウドラ・ニュース Vol. 10, No. 4, (1965), p. 1
- 2) 巨理：機械振動(1975), 丸善, p. 82(1977)
- 3) 機械工学便覧, 改訂第6版, (1977), 日本機械学会編 p. 8-49
- 4) 田島：日本機械学会論文集(C編), 48巻, 425号(1982)

圧力容器の熱応力解析

＜GL製ノズルの熱応力解析と本体フランジの熱応力評価＞

Thermal Stress Analysis of Pressure Vessels

＜Thermal Stress Analysis of Glass-lined Nozzle and the Stress Evaluation of Main Flange＞

化工機事業部 製品開発室

松井 保
Tamotsu Matsui

This paper describes the transient thermal stress analysis using Finite Element Method of glass-lined outlet nozzle and the stress evaluation for main flange of autoclave built in accordance with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. VIII Div. 2.

有限要素法を用いたグラスライニング製反応機の液出しノズルの非定常熱応力解析、および ASME Code Sec. VIII Div. 2 に基づくオートクレープの本体フランジの熱応力評価を紹介する。

1. ま え が き

圧力容器を設計するにあたって、圧力荷重だけが支配的であるならば法規に従った形状で設計する範囲において、膜部の板厚計算で代表される法規計算で十分に安全性が保証される。しかし、加熱、冷却過程を含み、その仕様が厳しくなるにつれて、熱応力の検討が必要となる。

また、グラスライニング（GL）製反応機の場合は熱によるGL破壊の問題があり、許容温度条件を定めるうえで熱応力を求めることは重要である。

一般に熱応力が問題となるのは、シーラー、ダイアフラム、ノズル等とシェルとの接合部といった構造不連続部であり、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、GL製反応機の液出し用底ノズルにおける、加熱時の応力を求める非定常解析と、オートクレープの本体フランジに対する、ASME Code（ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. VIII Div. 2）に従った熱応力評価について述べる。

2. 熱応力解析の手順

解析手順の概略フローを第1図に示す。設計仕様から熱荷重条件を検討し、考慮すべき領域と荷重条件を設定してFEM解析モデルを作成し温度分布解析を行い、次に、温度分布解析の結果に基づき熱応力を求め評価するのが概略手順である。従って、熱応力解析ではそのベースとなる温度条件をいかに適切に求めるかが重要になる。

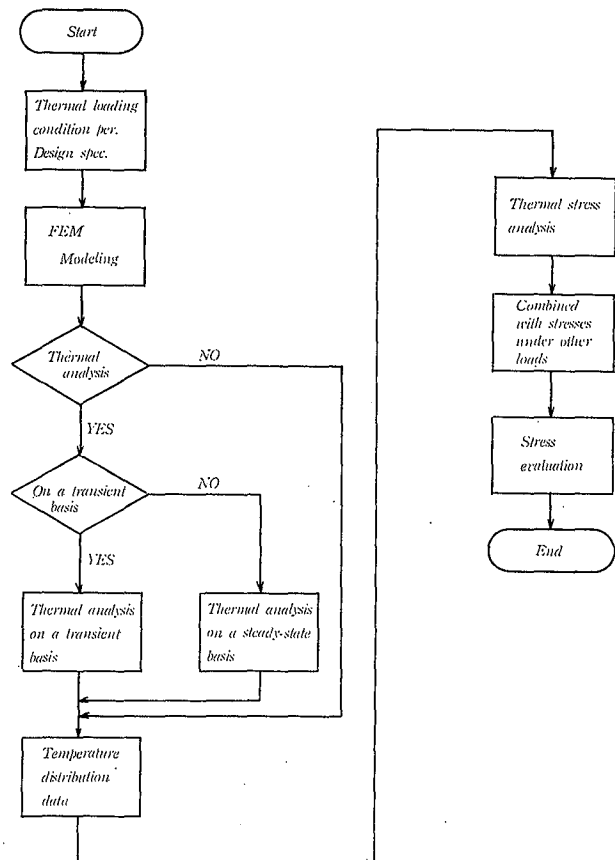
温度分布解析は定常解析と非定常解析に大別され、対象条件によって選別される。

一般に圧力容器では、熱応力を生じさせる温度条件として主として下記の項目が考えられる。

- 1) 板厚方向の温度勾配
- 2) シェルに沿った方向の温度勾配
- 3) 接合部材間の熱膨張差

どの条件が支配的になるかを、使用条件（加熱、冷却の温度時間曲線）および圧力容器の形状、構造、材料等から

あらかじめ判断し、定常温度分布解析あるいはマクロ的な温度条件の設定で十分に安全性が評価できる場合には労力のかかる非定常温度分布解析の必要はない。しかし、より厳密な評価が必要な場合には非定常解析を行い、時間パラメータの温度分布を求めて評価すべき部材の熱応力が最大になると予想される温度条件を選択し、そのデータに基づいて熱応力を算定しなければならない。



第1図 解析手順のフローチャート

Fig. 1 Analysis procedure flowchart

3. GL製反応機の液出し用底ノズルの熱応力解析

本例は、ジャケット付GL製反応機（第2図）の液出し用底ノズル周辺において、第3図で示す運転条件のうち加

熱時の過渡状態(a)に発生する熱応力を非定常温度分布解析に基づいて算定したものである。

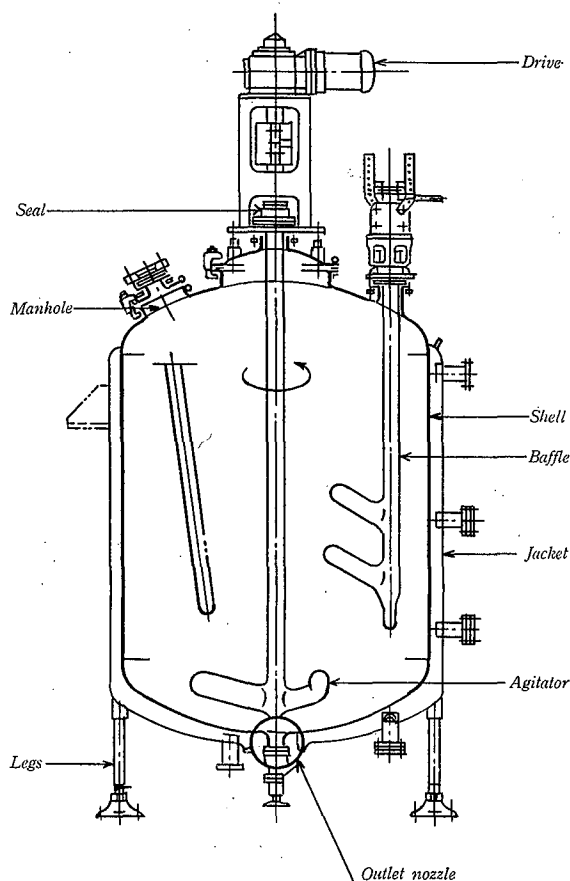
3. 1 非定常温度分布解析

第4図に解析モデルの形状、大きさおよびメッシュ分割を示す。着眼点のノズルコーナー部は比較的細かく分割し、他の部分は粗い分割を行った。また内面の薄い一層はグラスライニング層である。第5図は、解析条件を示す。斜線で示す領域がジャケット部で、スチームが送入される部分である。スチーム温度と大気温度は、それぞれ170°Cと20°C一定と設定した。また、内容物温度は加熱されて時間とともに上昇するわけであるが、今回は過渡状態での熱応力算定が主眼であること、および安全側の計算値を与えるという点で40°C一定とした。解析で用いた各境

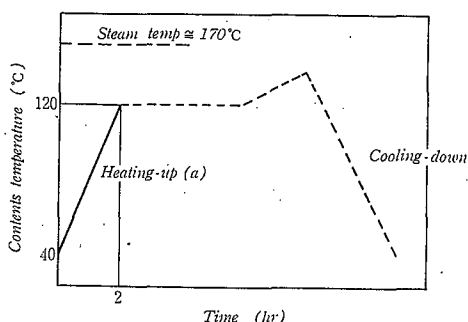
膜係数は図中に示す。

このような設定条件で求めた温度分布から、熱応力が最大となる温度条件を求めることができる。第6図は、温度分布の計算結果の評価ライン位置を示すものであり、ライン1はノズルコーナー部の板厚方向の温度勾配を、またラインA-Dはシェルに沿った方向の温度勾配を検討するために選定した位置である。ライン1およびラインA-Dにおける温度分布時間履歴線図を、それぞれ第7、8図に示す。これらの線図から、次のことがわかる。

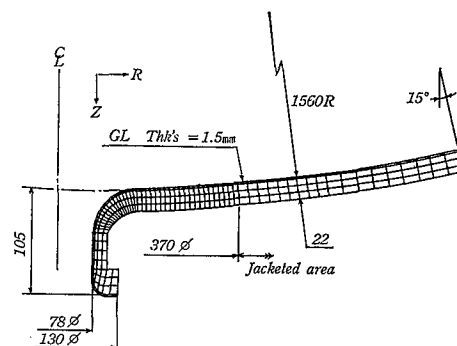
- 1) シェルに沿った方向の温度勾配は、約2.2分後に最大となり、ノズルコーナー部とジャケット境界面の平均温度差で約90°Cとなる
- 2) シェル板厚方向の温度勾配は、ノズルコーナー部にいてほとんどゼロである



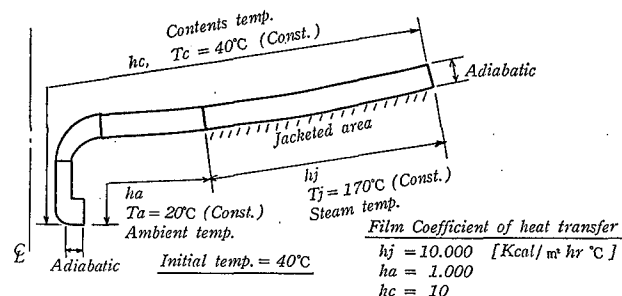
第2図 GL製反応機
Fig. 2 Glass-lined reactor



第3図 運転条件
Fig. 3 Operating condition

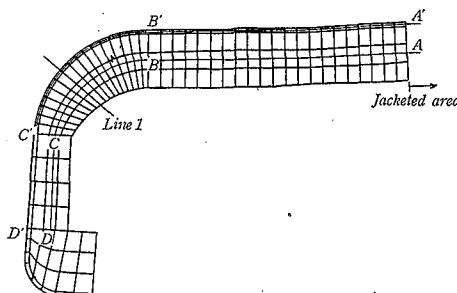


第4図 解析モデルの形状と大きさ
Fig. 4 Geometry of an analytical model

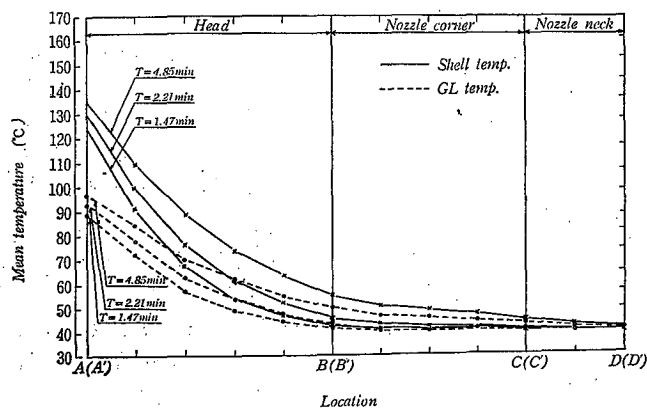


Program used	MARC ¹⁾
Element type	8-node axi-symmetric quadrilateral (Element 42)
Total elements	263
Total nodes	928

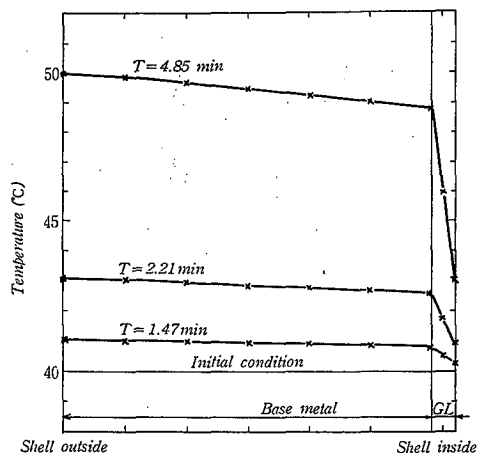
第5図 温度分布解析の境界条件
Fig. 5 Thermal boundary conditions



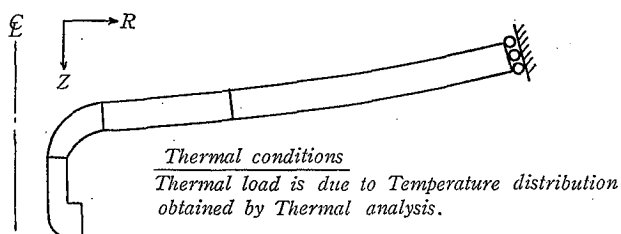
第6図 温度分布の評価ライン
Fig. 6 Temperature evaluation line



第7図 加熱時におけるシエルに沿った平均温度の時間履歴線図
Fig. 7 Time-mean temp. curve of shell when heated



第8図 ライン1における温度分布の時間履歴線図(加熱時)
Fig. 8 Time-temp. distribution curve in Line 1 (when heated)



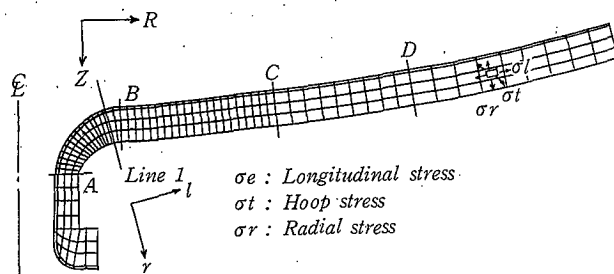
第9図 熱応力解析の境界条件

Fig. 9 Boundary conditions for thermal stress analysis

従って、熱応力を生じさせる要因としては、シエルに沿った方向の温度勾配による曲げが支配的であると考えられる。

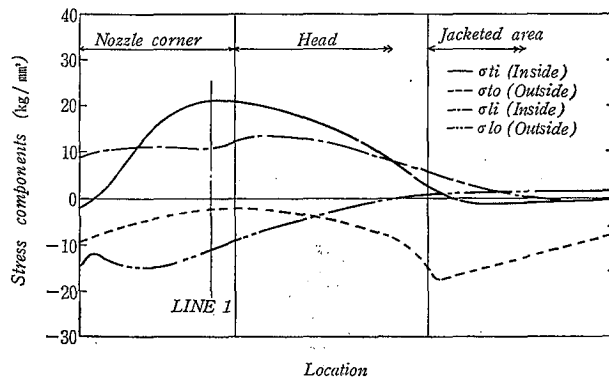
3. 2 熱応力(歪)解析

温度分布解析の結果より、加熱時の過渡状態においてノズルコーナー部に生じる熱応力が最大となるのは、約2.2分後の温度条件であると想定できる。(ただし、より厳密な最大条件を求めるには、さらにブーミング解析の必要がある。)従って、熱応力解析は約2.2分後の温度算定値を用い

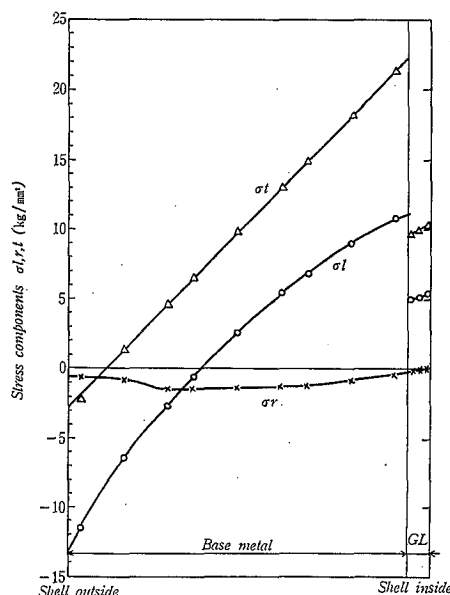


第10図 応力評価ライン

Fig. 10 Stress classification line



第11図 加熱時(170°C スチーム)2.21 min後の応力分布図
Fig. 11 Stress distribution along the shell when heated (After 2.21min.)



第12図 ライン1における応力分布図(加熱2.2min後)

Fig. 12 Stress distribution in LINE 1 (After 2.2min at heating-up)

て行った。第9図は、境界条件を、第10図は応力評価ラインを示す。計算値は、第10図に示すZ-R座標系(全体座標系)で求まるが、各位置での応力値を比較するには、 l_r 座標系(局所座標系)に変換する必要がある。第11図および第12図の計算値は、 l_r 座標系に変換した値であり、 σ_l は長手方向、 σ_t は周方向、 σ_r は板厚(半径)方向の応力成分値である。第11図は、シエルに沿った方向に各応力成分値をプロットしたもので、この図から最大応力はノズルコーナー部の内面に生じ、周方向の引張り応力であることが

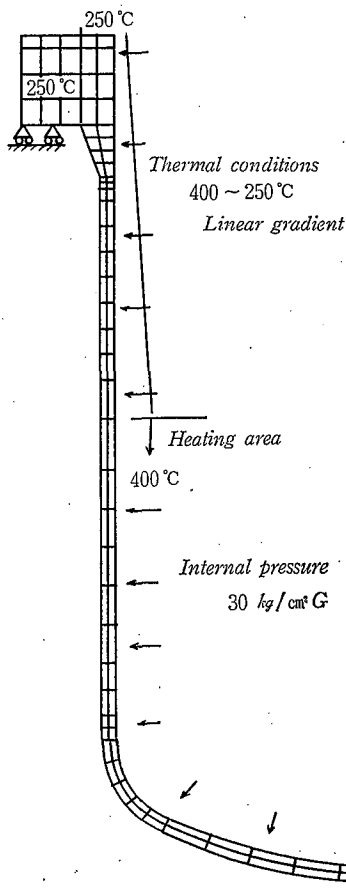
わかる。この最大応力の発生する位置をライン1(第10図に示す)とする。第12図は、ライン1における応力分布を示す。今回のFEM解析での計算値はガウス積分点で求められているので、内外面の値は外挿によって求めなければならない。この結果、ジェル(母材)における最大熱応力はGL境界面に生じ約22 kg/mm²、GL層では約10 kg/mm²でともに周方向の引張り応力となる。

一般に応力によってGLが破損するのは、母材が降伏し、それによってGLに多大な力が作用して応力(歪)が許容値を越える場合と、母材の降伏以前にGLに生じる応力(歪)が、許容値を越える場合が考えられる。どちらになるかはGLの残留圧縮応力(歪)による。計算結果によれば、母材の応力値(22 kg/mm²)は許容値内にあり降伏は生じない。また当社の実験値ではGLの残留圧縮応力は約20 kg/mm²であり、GLに生じる応力は10-20=-10(kg/mm²)と圧縮になり許容値内にいることがわかる。従って、他の荷重因子との組み合わせがない限り、今回の熱条件下ではGL破損は生じないと考えられる。

4. オートクレーブの熱応力評価

ASME Codeに基づく熱応力評価の一例として、オートクレーブに内圧荷重と定常熱荷重が作用する場合の本体フランジの応力評価を紹介する。

解析モデルと荷重条件を第13図に示す。熱荷重はシエルフランジ部に250~400°Cの線形分布として与えた。第14図の応力評価ラインは、ASME Codeに従って応力分類を行う断面位置を示すものである。FEMを用いて計算した結果は合計応力で出てくるので、ASME Codeを適用するためには合計応力を一次、二次、ピーク応力に分類



第13図
境界条件および荷重条件
Fig. 13
Boundary and loading condition for stress analysis

しなければならないし、評価断面を正しく選択することが必要である。応力分類は、応力の生じる位置、原因、応力のタイプによって、一般一次膜応力 P_m 、局部一次膜応力 P_L 、局部一次膜+曲げ応力 P_L+P_b 、一次+二次応力 P_L+P_b+Q 、合計応力(ピークを含む) P_L+P_b+Q+F に分類され、それぞれ ASME Code で規定された応力制限値に基づいて評価される。実際には、評価断面の選定は、等応力線図あるいは応力分布図を用いて行っている。

第15図および第16図は、熱応力と内圧応力の分布図であり、これらの図より評価断面としては、熱応力が最大となる SCL1 と内圧応力が最大となる SCL2 を選択すればよいと考えられる。これらの位置は、第14図で示すように構造不連続部であり二次応力の増大が予想される領域である。SCL1 と SCL2 に生じる応力は、ASME Code によると、その分布における非線形成分(ピーク成分)を除いて二次応力として分類される。従って、一次+二次応力 $P_L+P_b+Q \leq 3 S_m$ が安全性の判定基準となる。

S_m は設計応力強さ(Design Stress Intensity Value)と呼ばれ、材料の降伏応力の%または引張強さの $1/3$ のいずれか小さいほうの値を選んで規定される。

一次+二次応力 P_L+P_b+Q は、考慮している荷重サイクルにおける応力強さ(Stress Intensity)の変動範囲、 S_n として下式で定義される。

$$S_n = \text{Max}\{(S_{12})_R, (S_{23})_R, (S_{31})_R\}$$

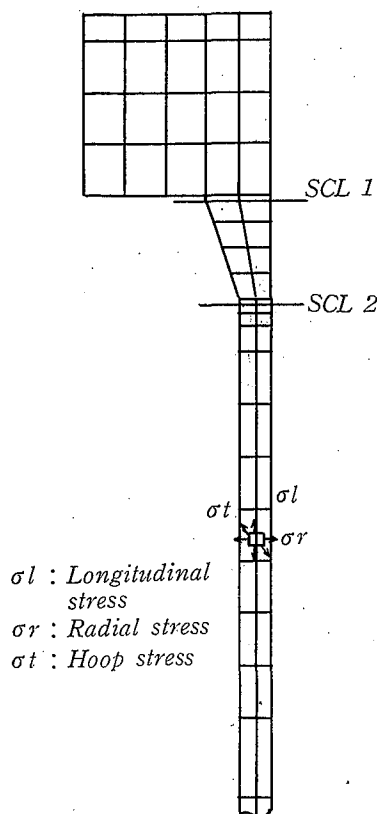
$$(S_{ij})_R = (S_{ij})_{\text{max}} - (S_{ij})_{\text{min}}$$

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

ここで、 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = 主応力



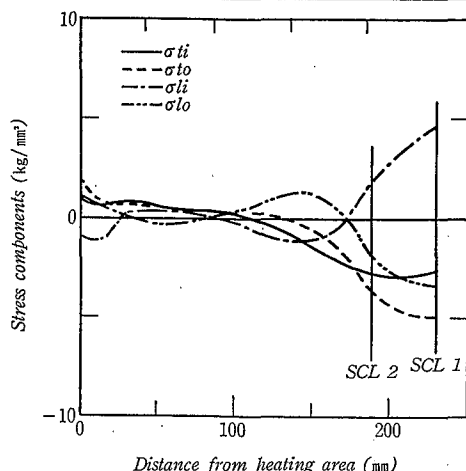
第14図
応力評価ライン(SCL)の位置
Fig. 14
Stress classification line

第1表 一次+二次応力の評価例

Table 1 Example of primary-plus-secondary stress evaluation
Loading condition: pressure+thermal load

Unit: kg/mm²

Stress components	Loading combination	Location of stress evaluation SCL1	
		Inside	Outside
Long. S1	Pressure	1.67	.52
	Weight	0.00	0.00
	Thermal	3.88	-4.64
	Total	5.55	-4.12
Radial Sr	Pressure	-.26	-.12
	Weight	0.00	0.00
	Thermal	.05	-1.73
	Total	-.21	-1.85
Circum. St	Pressure	2.88	2.20
	Weight	0.00	0.00
	Thermal	-2.83	-5.53
	Total	.05	-3.33
Shear Taur1	Pressure	-.01	.26
	Weight	0.00	0.00
	Thermal	-.09	-1.21
	Total	-.10	-.95
Principal stresses			
S1	Total	5.55	-1.50
S2	Total	-.21	-4.47
S3	Total	.05	-3.33
Stress intensities			
S=PL+Pb+Q	Total	5.76	2.96
Allowable stress(39m)=27.00			
Ratio of stress intensity to allowable stress [S/3Sm]			
		.21	.11



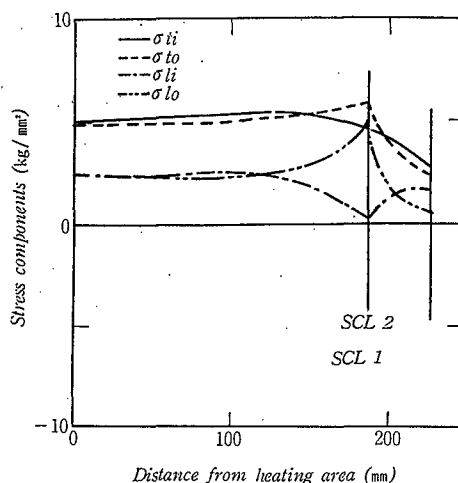
第15図 熱応力分布図
Fig. 15 Thermal stress distribution

また、ピーク成分を除く二次曲げ応力は、第17図に示すように実際の分布と同じ正味曲げモーメントをもった相当線形応力分布によって求めることができる。

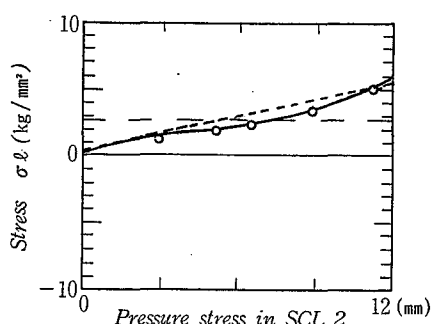
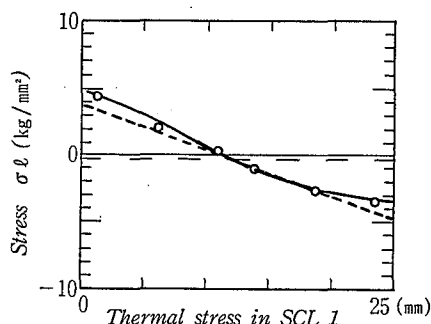
このようにして評価を行なった結果の一例を第1表に示す。

5. むすび

以上GL製反応機の底ノズルとオートクレーブを例にとって、熱応力解析および応力評価の概要について紹介した。一般に圧力荷重に対しては、剛性の増加（例えば、板厚の増加、リブ構造）が歪（応力）の減少に効果的といえるが、熱応力は変位制御型の応力であるので剛性の増加は逆効果であることが多く、また板厚の増加は温度勾配の増大にもつながることになりいまいに安全側とはいえない。熱応力に対しては、フレキシビリティに富んだ構造



第16図 内圧応力分布図
Fig. 16 Pressure stress distribution



第17図 応力分類線図の例
Fig. 17 Examples of stress classification

（シーラー、ダイヤフラム、伸縮継手、等）が効果的であるが、圧力荷重に対しては逆に歪が増大する。従って、熱応力が支配的になるものに対しては、全荷重の組合せで考慮し、バランスのとれた構造設計が必要である。

従来の手計算や実績、実験値に基づく検討では、十分対処できなかったものについても、現在では有限要素法（FEM）をはじめとする有力な解析手法が開発されているので、より安全に、より経済的に圧力容器の設計を行うことができる。当社においても、コンピュータ・グラフィック・システムの充実によって、FEM解析につきものであったデータ作成と後処理といった時間のかかる作業が簡略化され、比較的容易にまた安価に処理できるようになってきており、見積設計およびオーダー設計において今後の活用が期待される。

〔参考文献〕

- 1) MARC-CDC General Purpose Finite Element Analysis Program; User Manual
- 2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. VIII Div. 2
- 3) 安藤良夫・岡林邦夫著「原子力プラントの構造設計」東京大学出版会
- 4) W. C. Kroenke; Classification of Finite Element Stress according to ASME Sec. III Stress Categories
- 5) 神鋼ファウドラ（株）報告書（未発表）

間欠空気揚水筒による貯水池の水質改善

Improvement of Impounded Water Results Achieved by Use of Aero-Hydraulic Guns (AHG)

環境装置事業部 技術部技術課

石丸 豊
Yutaka Ishimaru

Today, the Aero-Hydraulic Gun for eutrophication control of an impounding reservoir has attracted attention.

This paper presents the improvement of water quality achieved by use of AHG that Shinko-Pfaudler has installed at Kamogawa dam in Hyogo Prefecture.

近年、富栄養化のために水質の悪化した貯水池の水質改善装置として間欠空気揚水筒が注目を集めている。

本稿では、このほど当社が間欠空気揚水筒を設置した兵庫県鴨川ダムにおける水質改善結果について報告する。

1. ま え が き

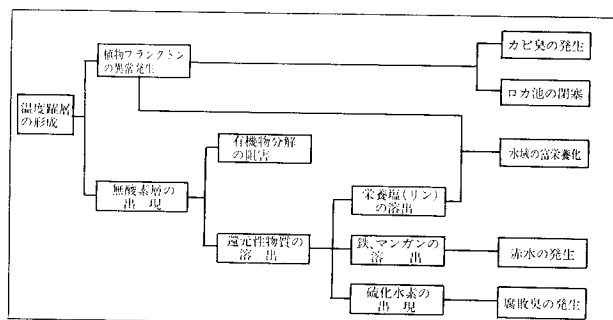
一般に貯水池では、夏期になると水域に温度躍層が発生し、上下の水の対流・混合が妨げられると、貯水が停滞し表層では植物プランクトンが大量増殖する。また底層では、表層から沈殿してくる植物プランクトンが分解のために酸素を消費することから還元状態となり、鉄、マンガン、アンモニア性窒素などとともに栄養塩が溶出してくる。これが貯水池の循環期になると、自然対流により水域全体に拡散する。これらの現象のくり返しにより貯水池は、急速に富栄養化し水質悪化による諸問題が発生することになる。

(第1図参照)

そこで、これら貯水池・湖沼等の閉鎖性水域の水質改善装置として最近、間欠空気揚水筒が注目を集めている。

同装置は、小さなエネルギーで水域全体に対流混合を起し、成層期の温度躍層を破壊または、形成を防止し有害物質の溶出を抑制する一方、水面近くの受光層に繁殖する植物プランクトンを受光層下の中・底層部へ送り込むことで大量増殖を抑えることができる画期的なものであり、既に各地の貯水池などで採用され、大きな成果をあげつつある。

そこで本稿では、このたび農業用水を主とした多目的ダムである兵庫県鴨川ダムに設置した間欠空気揚水筒による水質改善結果について報告する。



第1図 貯水池における水質悪化のメカニズム

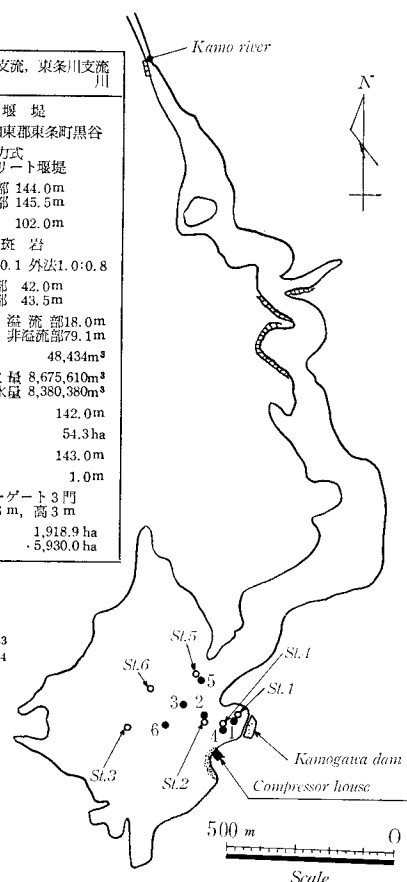
Fig. 1 Mechanism of impounded water pollution

2. 鴨川ダムの概要

鴨川ダムは、兵庫県加東郡東条町と社町の一部に位置し東条湖とも呼ばれ、清水東条湖県立自然公園の中核として県民の憩いの場として親しまれている。ダム建設は、加古川左岸の旧11カ町村の農業用水供給の目的のため農林省(当時)を施工主体とした国営事業であり昭和26年、有効貯水量8,380,380m³直線重力式コンクリート堰堤の鴨川ダムが完成した。さらに計画用水量確保のために、東条町松沢に安政池(貯水量558,630m³)、小野市船木に船木池(貯水量1,615,970m³)の補助貯水池が新設され導水路で結ば

河川名	加古川支流、東条川支流 鴨川
ダムの名称	鴨川堰堤
位 置	兵庫県加東郡東条町黒谷
型 式	{直線重力式 {コンクリート堰堤
堰頂標高	{非溢流部 144.0m {溢流部 145.5m
基礎地盤標高	102.0m
基礎地盤地質	石英斑岩
内・外法	内法1.0:0.1 外法1.0:0.8
堰 高	{非溢流部 42.0m {溢流部 43.5m
堰 長	{全長 溢流部18.0m {97.1m 非溢流部79.1m
堰 体 積	48,434m ³
貯 水 量	{総貯水量 8,675,610m ³ {有効貯水量 8,380,380m ³
計画水位標高	142.0m
満水地積	54.3ha
計画洪水標高	143.0m
余裕高	1.0m
余水吐構造	{テンダーゲート3門 {出6m、高3m
流域地積	{直接 1,918.9ha {間接 5,930.0ha

- 1~3 AHG NOV. 1983
- 4~6 AHG AUG. 1984
- St. 1~St. 3 Sample site 1983
- St. 4~St. 6 Sample site 1984



第2図 鴨川ダムの概要

Fig. 2 Outline of Kamogawa dam

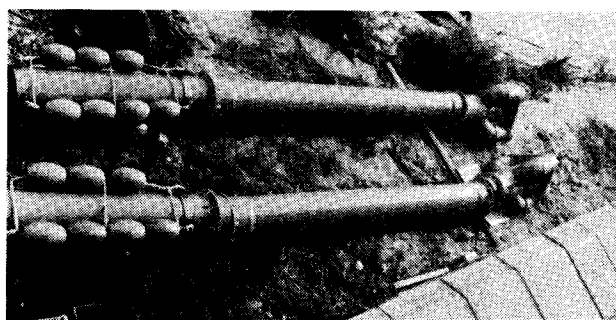
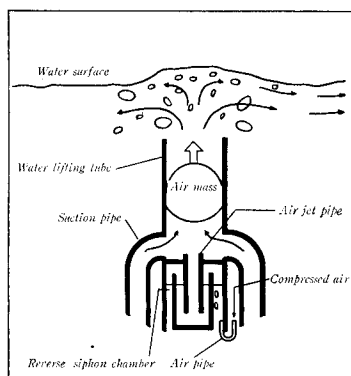


写真 1 間欠空気揚水筒
Photo. 1 Aero-Hydraulic Gun



第 3 図 間欠空気揚水筒の動作説明
Fig. 3 Operation principle of Aero-Hydraulic Gun (AHG)

動作説明

1. 逆サイホン室にコンプレッサーで圧縮空気を送る。
2. 圧縮空気が逆サイホン室内の水面を押し下げる。
3. 水面が噴気管下端に達すると、逆サイホン室の空気が一気に揚水筒内に噴出する。
4. 空気塊が、揚水筒内を上昇するピストン作用で吸水孔から底層の水を一気に吸上げる。
5. 噴き上げられた水と空気は、水面にぶつかり、水平方向に拡散する。

れている。また今日では、農業用水のみならず近隣の小野市、社町、滝野町の上水道の水源としても重要な貯水池である。しかしここ数年、植物プランクトンによると思われる異臭味の発生や水質の悪化により船木池を水源とする浄水場においても一時期、活性炭処理を余儀なくされていた。(第 2 図参照)

3. 間欠空気揚水筒装置の概要

3.1. 間欠空気揚水筒の動作原理

間欠空気揚水筒（以下揚水筒と略す）は、1961年に英国の J. G. Bryan によって考案されたが、わが国においてもその後種々の改良が加えられ、現在20数カ所に揚水筒が設置されている。

揚水筒の特長は、極めて小さな動力で、多大の効果を発揮することにある。すなわち、本体下部の空気室に、コンプレッサーから圧縮空気を送り、逆サイホン作用により、揚水筒内に、ピストン状の空気塊を間欠的に上昇させる。これをくり返すことから、強固な温度躍層も破壊され、水域全体に大きな対流、混合を起すことができる。(第 3 図参照)

3.2. 装置の主要諸元

納入した装置の仕様、設置位置は、第 1 表、第 2 図のとおりである。

コンプレッサーは、揚水筒 3 基に 1 台の割合で設置し、騒音、省エネの点からパッケージ型スクリーコンプレッサーを採用した。また送気ホースは、湖面を観光用の遊覧船が航行するため特殊潜水ホースを使用し貯水池内の揚水筒に連結した。

第 1 表 間欠空気揚水筒設備仕様

Table 1 Specification of Aero-Hydraulic Gun Equipment (AHG)

Designation	Specification	Q'ty	Delivery date
AHG	Dimension : $\phi 420 \times 9050\ell$	3 (No. 1, 2, 3)	NOV. 1983
	Material : PVC	3 (No. 4, 5, 6)	AUG. 1984
Compressor	Type : packaged screw Capacity : $1.2 \text{ m}^3/\text{min.}$ Press. : $8.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ Motor : 9 kW	1 (No. 1)	NOV. 1983
		1 (No. 2)	AUG. 1984
Compressor house	Reinforced concrete structure Dimension : $3,000\text{mm} \times 4,000\text{mm}$ Area : 12m^2	1	NOV. 1983

第 2 表 調査水質項目と分析方法

Table 2 Item of water quality and method of analysis

調査水質項目	分析 方 法
1) 水 温	ガラス製棒状温度計
2) pH	ガラス電極法
3) 溶存酸素	ウインクラー・アジ化ナトリウム変法
4) 電気伝導率	電気伝導度計
5) 溶解性鉄	原子吸光法
6) 溶解性マンガン	原子吸光法
7) アンモニア性窒素	インドフェノール法
8) 全窒素	紫外吸光光度法
9) COD	酸性過マンガン酸カリウム法

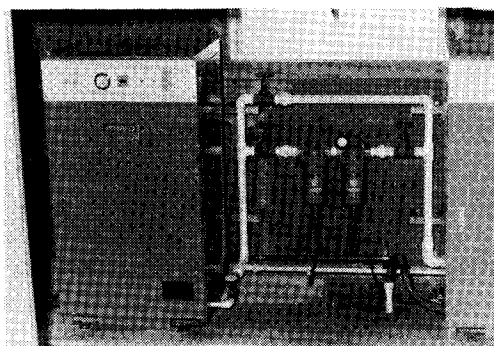


写真 2 パッケージ型スクリーコンプレッサー
Photo. 2 Packaged screw compressor

4. 水 質 調 査

揚水筒設置による効果測定および影響範囲の確認のため設置前後の水質調査を行なった。

4.1. 調査地点 (第 2 図参照)

St. 1~3: 1983年度調査地点

St. 4~6: 1984年度調査地点

4.2. 調査時期

1983年度 (揚水筒 3 基設置 No. 1, No. 2, No. 3)

第 1 回 1983年 9 月 19 日 (揚水筒運転前)

第 2 回 1983年 11 月 8 日 (揚水筒運転後 1 週間)

第 3 回 1983年 12 月 13 日 (揚水筒運転後 1 カ月)

1984年度 (揚水筒 3 基増設 No. 4, No. 5, No. 6)

第 1 回 1984年 7 月 30 日 (揚水筒 3 基運転)

第2回 1984年9月7日（揚水筒6
基運転後1カ月）

4.3. 調査水質項目と分析方法

第2表のとおりである。

5. 調査結果と考察

5.1. 水温

第4図に示すように1983年度の結果において揚水筒設置前の9月には、はっきりとした温度躍層の存在が確認できる。しかし揚水筒運転後1週間目において躍層は、水深15~20mに移行するとともに、温度差は緩和され1カ月後には躍層はなくなった。この時点で揚水筒の効果は、断言できなかったが、第5図に示すように1984年度の結果において前回の同時期に見られたような強大な温度躍層はなく湖底までかなり水温が高く、しかも緩やかな温度勾配が、各調査地点で得られている。このことから揚水筒の効果は顕著かつ広範囲にわたっているといえる。

5.2. pH

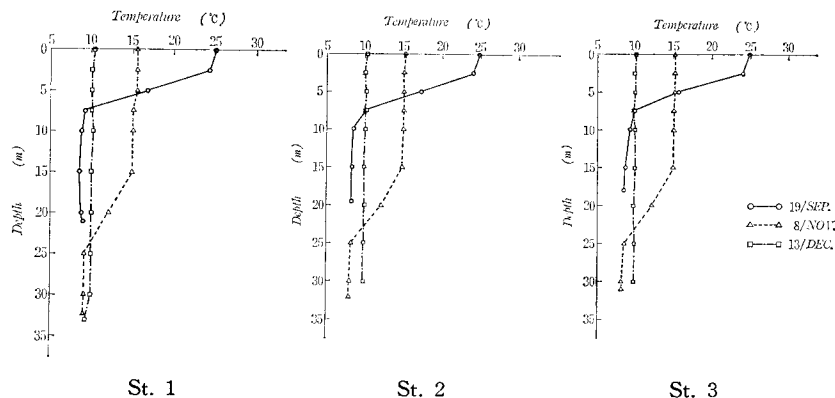
pH については、第7図に示すように1984年度揚水筒(No. 4, 5, 6)運転前にもかなり高い躍層が形成されており、昨年度の揚水筒の効果は継続していない。しかし揚水筒運転後には、ほぼ中性(pH=7)に抑えられ前年度の運転後と同じような結果(第6図)が得られている。理由として表層のpHは、一般に植物プランクトンの炭酸同化作用により上昇するが、揚水筒により底層のpHの低い水塊が表層へ移動し、一時的にpHが低下するものの、長期間には、さらにそれを上回る植物プランクトンの増殖が行なわれていると思われる。また揚水筒によって底層から上昇する栄養塩もこの増殖を助長したと考えられる。

5.3. 溶存酸素

溶存酸素は、その推移およびグラフ形状が、水温の場合とよく似た傾向を示すことが判る。(第8図、第9図)

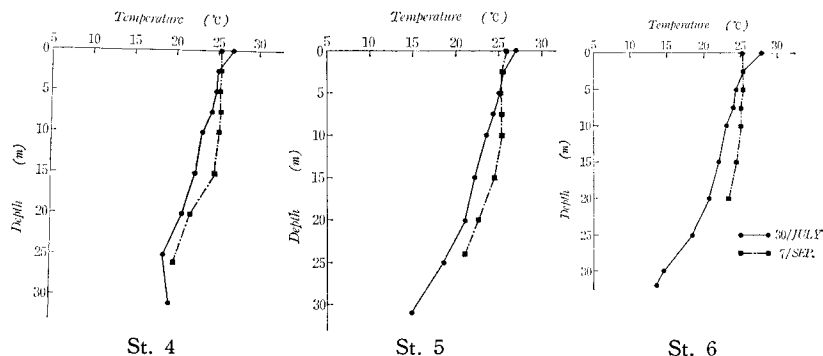
ここでも揚水筒設置効果は顕著であるが、第9図において1984年度の揚水筒増設後1カ月目の溶存酸素が、増設前より全体的に低下している。この原因としては、表層近くで大量に発生していたと思われる植物プランクトンが、揚水筒の増設により一段と水域全体に混合攪拌され、その分解に酸素が消費されたためと考えられる。

湖底付近においては、運転後も上層に比して酸素量が少ないが、これは湖



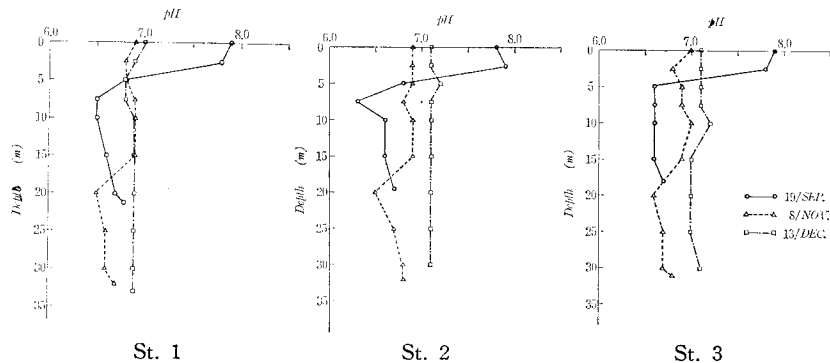
第4図 1983年度水温変化

Fig. 4 Reservoir Time-Depth Temperature variation, 1983



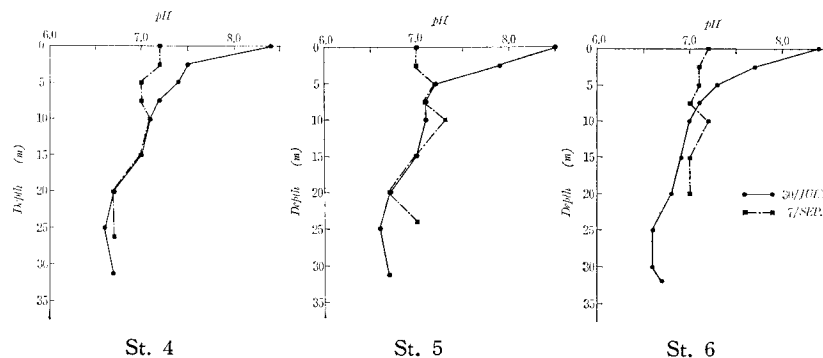
第5図 1984年度水温変化

Fig. 5 Reservoir Time-Depth Temperature variation, 1984



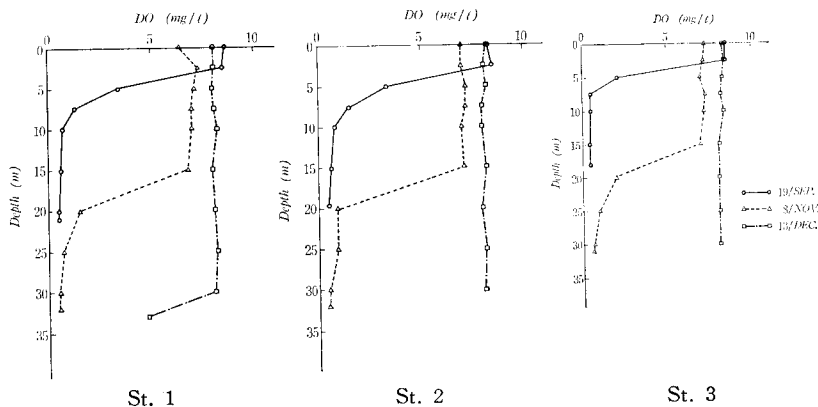
第6図 1983年度 pH 変化

Fig. 6 Reservoir Time-Depth pH variation, 1983

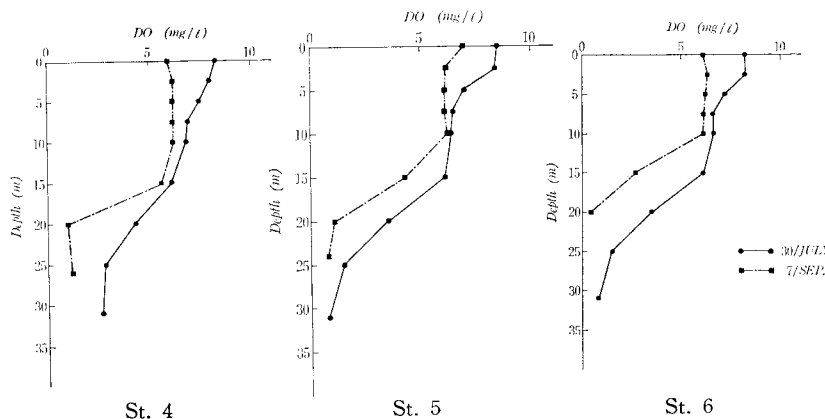


第7図 1984年度 pH 変化

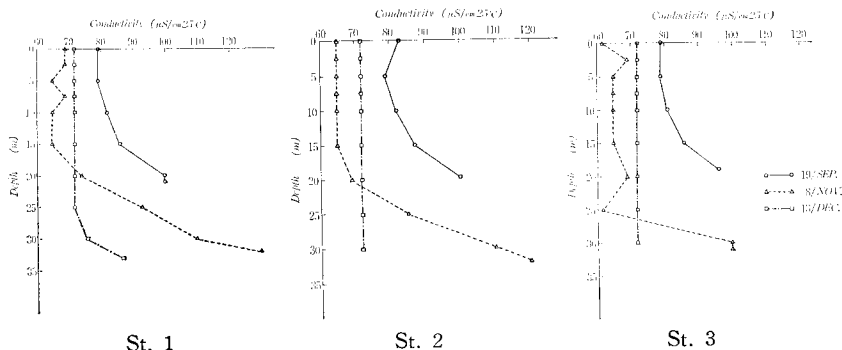
Fig. 7 Reservoir Time-Depth pH variation, 1984



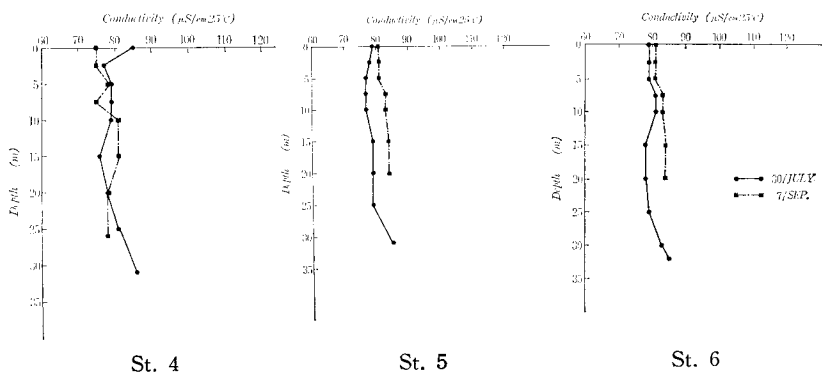
第8図 1983年度溶存酸素量の変化
Fig. 8 Reservoir Time-Depth DO variation, 1983



第9図 1984年度溶存酸素量の変化
Fig. 9 Reservoir Time-Depth DO variation, 1984



第10図 1983年度電気伝導率の変化
Fig. 10 Reservoir Time-Depth Conductivity variation, 1983



第11図 1984年度電気伝導率の変化
Fig. 11 Reservoir Time-Depth Conductivity variation, 1984

底に沈でんする還元性物質が依然循環により供給される酸素を相当消費しているためと考えられる。

5.4. 電気伝導率

第11図に示すように伝導率は、上下層にわたりほぼ一定の数値が得られており、広範囲にわたって水の循環が行なわれ、かつ底層への酸素供給によりイオン性物質の溶出量が減少したのと考えられる。

5.5. 溶解性鉄

第12図に示すように、湖底での溶解性鉄は、揚水筒の運転後かなり低下し1984年度の増設後も多少の増加はあるものの1mg/l以下に抑えられている。これも5.4項と同じく底層への酸素供給により溶解性鉄が酸化されるためである。このような酸化、溶出抑制効果は以下の溶解性マンガン、アンモニア性窒素、CODについても認められる。

5.6. 溶解性マンガン

第13図に示すように、溶解性鉄とはほぼ同様の変化が認められた。特に溶解性マンガンは、浄水処理においても除去しにくい物質の1つであり水源での低下は、本貯水池を水源とする浄水場にとって有益である。

5.7. アンモニア性窒素

第14図に示すように、1983年度に比べかなり低い値に抑えられ改善されている。アンモニア性窒素は、浄水処理の経済性に大きく関与する。すなわちその存在により多量の塩素が消費されるためである。またその結果トリハロメタン生成を助長するといった問題をもっており水源における低下は、その抜本的対策といってもよい。

本貯水池を水源とする浄水場における塩素消費量が例年より2~30%減少したとの報告を聞いている。

5.8. 全窒素

全窒素は、窒素ガスを除く窒素化合

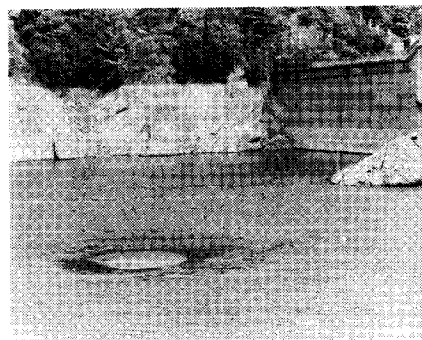
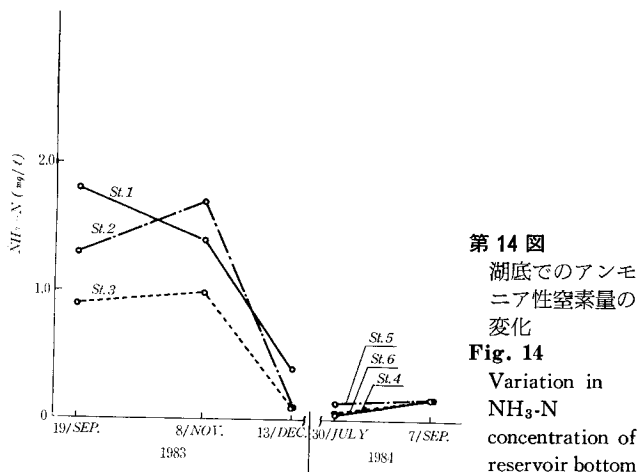
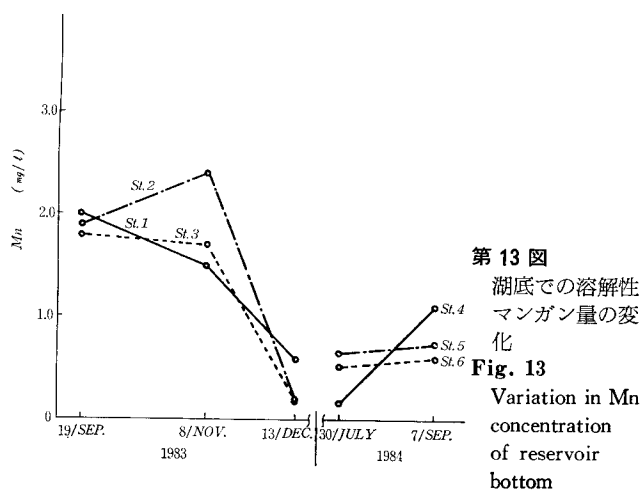
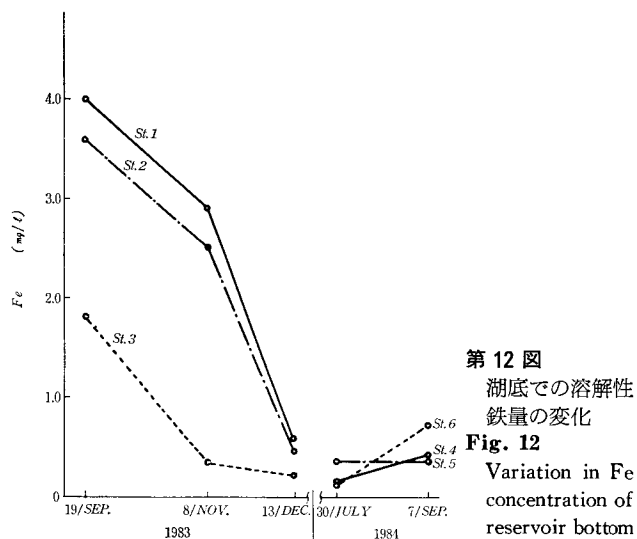
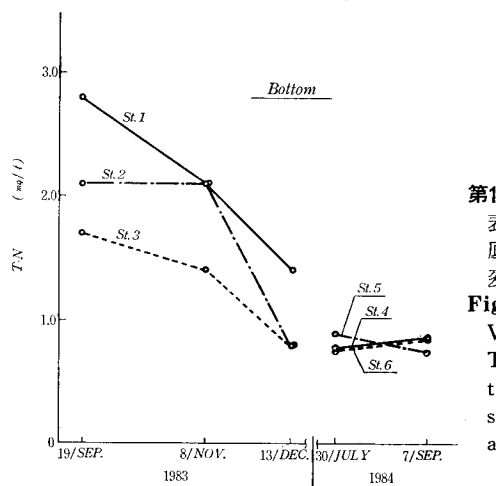
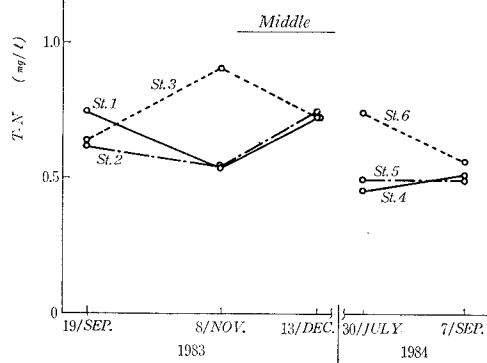
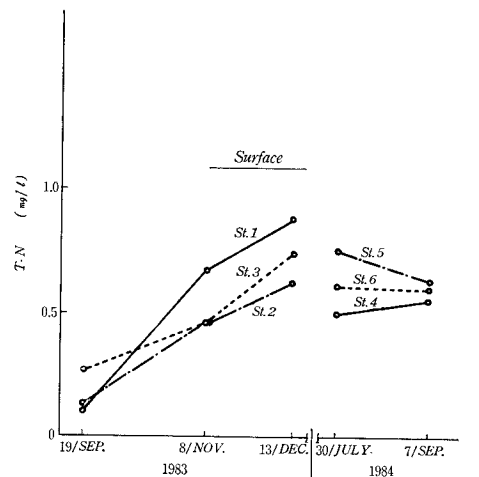


写真3 揚水筒の運転状況
Photo. 3 Operating conditions of AHG



物の総量であり、この数値からそのまま水質を判定することは難しいが、一般的には、この量が少ない方が水質は良好と考えられる。第15図に示すように、揚水筒運転前から湖底の全窒素量はかなり低下しているが、表層では逆に増加している。

この原因としては、生物の残骸を含む窒素化合物が、揚水筒によって底層から表層へ移動したか、栄養塩が上昇



第15図
表層・中層・湖底の全窒素量の変化
Fig. 15
Variation in T-N concentration of reservoir surface, middle and bottom

し、植物プランクトンの生産性が高まったことが考えられる。

5.9. COD

CODの変化は、第16図のごとく大きな変化はないが、湖底では低下しており底層まで酸素が供給され、好気的狀態に変化したことを裏づけている。

5.10. 植物プランクトン

今回、生物類の調査は実施していないが、鴨川ダムの補助貯水池である船木池を水源とする小野市の水道部が行なっている分析をもとにその植物プランクトン(*Synedra*)の

第 3 表 農業用水水質基準

Table 3 Water quality standards for agricultural irrigations

項 目	水質基準値	項 目	水質基準値
pH	6.0~7.5	ヒ素	0.05ppm 以下
C O D	6 ppm 以下	銅	0.02ppm 以下
S S	100 ppm 以下	亜鉛	0.5 ppm 以下
全窒素	1 ppm 以下	電気伝導率	300 μ S/cm 25°C 以下
溶存酸素	5 ppm 以上		

変化を第17図に示す。揚水筒の設置による *Syredra* の発生数は著しく減少している。1982年および1983年に実施した臭気除去のための粉末活性炭の注入は1984年は行なっていない。

5. 11. 農業用水水質基準との対比

揚水筒運転前は、表層の pH、底層の全窒素などで農林水産省の農業用水水質基準（第3表）を満たしていなかったが、運転後には底層まではほぼ基準値を満足する。底層部の溶存酸素がまだ基準値に達していないが、引き続き揚水筒の運転を行なうことにより徐々に上昇するものと考えられる。

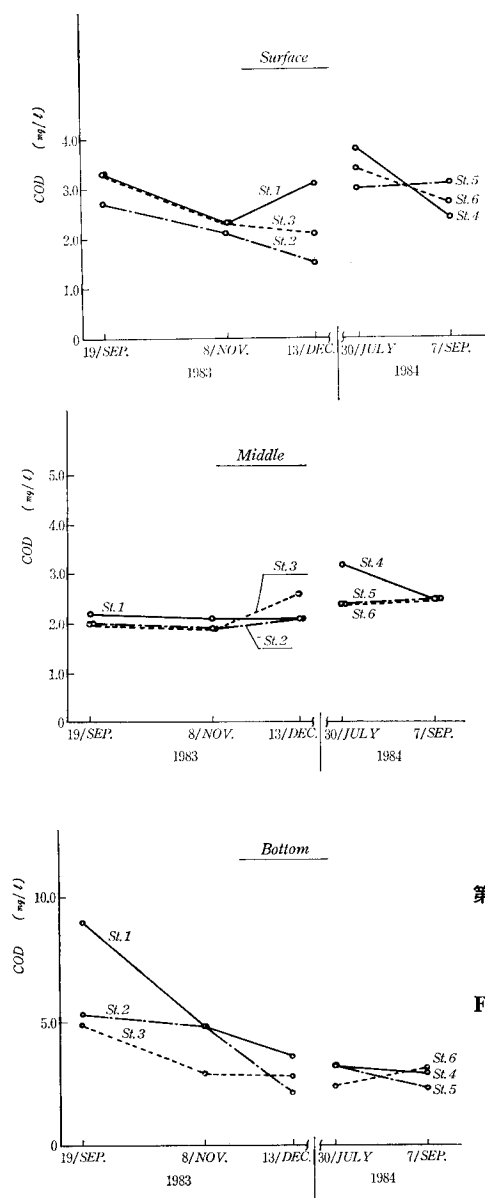
6. む す び

以上、揚水筒の運転による貯水池の水質改善の一例を紹介したが、今後は物理的、生物学的な観点のデータの蓄積も行ない貯水池におけるより効果的な揚水筒設置指針の確立をはかりたいと考える。

終りに、本装置の建設、運転に際し多大な協力をいただいた東播土地改良区の関係各位、ならびに本報の作成にあたり資料提供、助言いただいた小野市、社町、滝野町の各水道関係者およびシステム科学コンサルタンツ㈱の諸氏に対し、深く感謝の意を表する次第である。

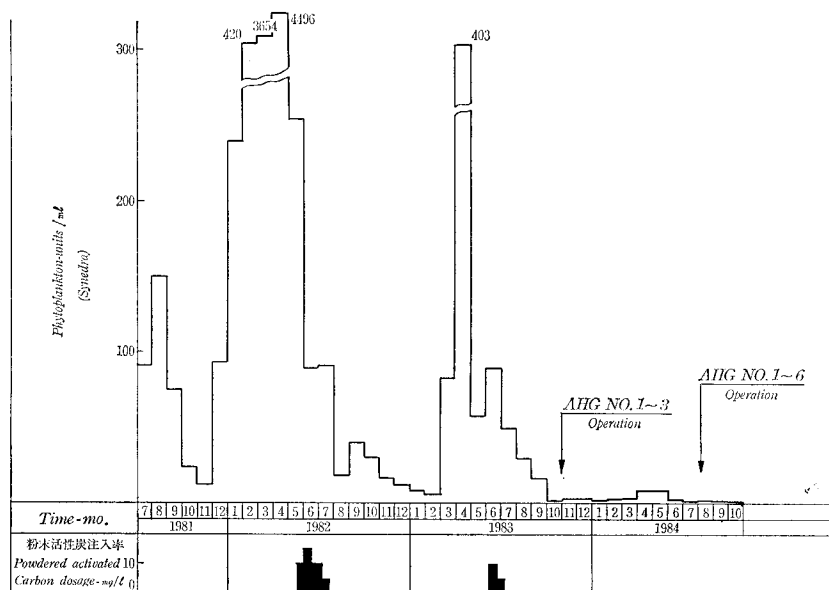
〔参考文献〕

佐藤晃一：水道協会雑誌「間欠式空気揚水筒による貯水の水質改善」, 第567号 (1981) P 13—23



第 16 図
表層・中層・湖底の COD の変化

Fig. 16
Variation in COD concentration of reservoir surface, middle and bottom



第 17 図 船木池における植物プランクトンの変化

Fig. 17 Variation in Phytoplankton concentration in Funakiike reservoir.

間欠ばっ気型接触酸化装置

Intermittent Aeration Type Biological Contactor

技術開発本部

村 越 英 彦
Hidehiko Murakoshi

Recently we have developed the intermittent aeration type biological contactor jointly with Kaiyo Industry CO., Ltd.

This equipment is capable of efficiently removing ammonia, odor, algae, etc. and is suitable for treating contaminated raw water for water supply system.

The intermittent aeration type has been proved to be more energy efficient with better treatment effect than does the continuous aeration type of biological contactor.

This paper introduces the outline of the equipment and treatment result of test plant.

このたび、当社は海洋工業㈱と共同で間欠ばっ気型接触酸化装置を開発した。本装置はアンモニア、臭気、藻類等をよく除去しており、汚濁した上水道の原水対策に適している。又、間欠式は連続式より省エネ型であり、処理効果もすぐれていることがわかった。

本稿では、装置の概要と処理実験を行なった結果の概要を紹介する。

1. ま え が き

最近おいしい水造りがよく話題になっている。これは水道水に異臭味の発生が頻繁に認められるようになったことや、有機塩素化合物の検出が認められ、その毒性が問題となったため、上水道の水源対策や浄水施設の処理フローの改善が叫ばれるようになってきた。

わが国では、これまで河川や湖沼から清浄な水を安易に得ることができたが、工業の発展と人口の都市集中化が進んだところでは水質汚濁や富栄養化が著しく進行し、そのため湖沼では藻類が繁殖し、これが水の味を変質させたり、有機塩素化合物の前駆物質を生成させる原因となっている。

また上水道源水中にアンモニアが増加するため、この処理に塩素をより多く使用し、いやな臭いを出し味を落す。そこで極力塩素を減らすことが要求されている。

悪化した原水対策には従来の薬品沈殿法に加えて活性炭がよく採用されるが、経済性に問題がある。一方浄水処理は大量の水処理であり、省資源、省エネルギー性が求められる。

薬品を使用せずに自然の浄化作用を利用した生物処理が脚光をあびるにいたっている。上水道における生物処理はアンモニア、藻類、臭気を除去対象指標としているが、なかでもハニカム法が優れていると言われる。今回、ハニカム法の特長をさらに発展させた間欠ばっ気型接触酸化装置を開発した。その概要説明と、湖沼の水について実験を行った結果を報告する。

2. 装置の概要

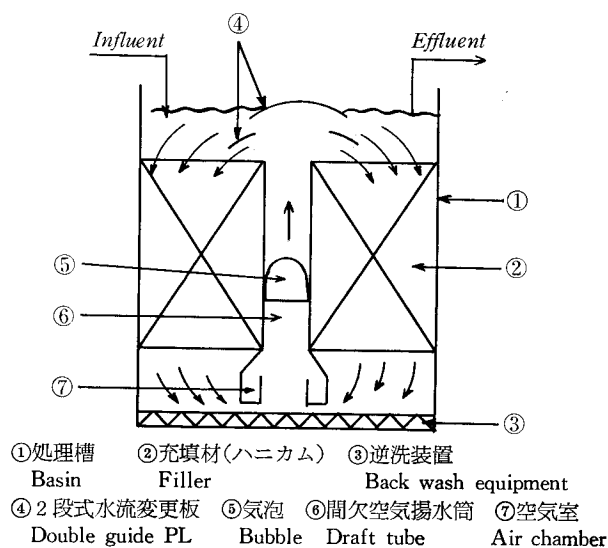
2.1 原理

間欠ばっ気型接触酸化装置の原理は河川の浄化作用に着

目し、長大な川の流れによる処理の効果をコンパクト化したものである。ハチの巣状に集めた多数のチューブ（ハニカム）内面に生物膜を形成し、これに原水を繰り返し接触させて浄化させる方法である。原水中の有機物質や藻類は十分な酸素供給のもとで、このチューブ壁面に付着した微生物群と接触通過する際に吸着、酸化、分解される。

2.2 装置の構成

本装置は第1図に示すように、処理槽、ばっ気機（間欠空気揚水筒）、充填材（ハニカム）より構成される。水槽内にハニカムを水没させて設置し、中心部に間欠空気揚水筒と水槽下部に空気逆洗装置を設備したものである。この間欠空気揚水筒は円筒下部より間欠的に空気泡を噴出させて槽底の水を揚水して表面に拡散させ、慣性力を働かせて脈動しながら順次槽内を循環させる。2段式水流変更板は円筒内を空気泡と共に上昇した水をハニカム表面に均等分散させる働きをしている。原水への酸素供給は、空気吹込み後さらにこの2段水流変更板に衝突し、飛散と表面拡散により空気を巻き込んで、効率よく行われる。ブロワーの風



第1図 間欠ばっ気型接触酸化装置

Fig. 1 Intermittent aeration type biological contactor

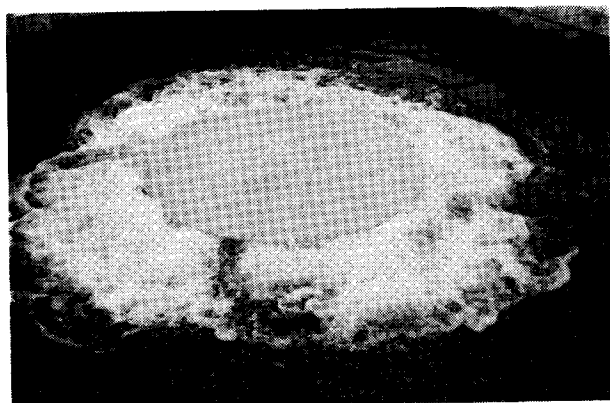


写真 1 運転状況
Photo. 1 Operating conditions

量を制御することにより、間欠ばっ気の間隔、槽内水の循環量（ハニカム内下向流速）を決めることができる。ハニカムは一定容積当り接触面積が大きくとれ、循環時における接触抵抗が少ない特色がある。なお、写真 1 に運転の状況を示した。

2.3 連続式処理との比較

連続式処理は原水へ連続してばっ気することにより、酸素供給と循環を行わせる方式である。これに対し間欠ばっ気は次のような相違点がある。

(1) 従来の連続式処理に比べて、同一ばっ気風量に対し揚水量が多くその分ハニカム内の下向流速が速くなり処理効果が優れている。また同一風量に対し揚水量が多いことは省エネルギーとなる。

第 1 表 実験装置の仕様

Table 1 Pilot plant design specification

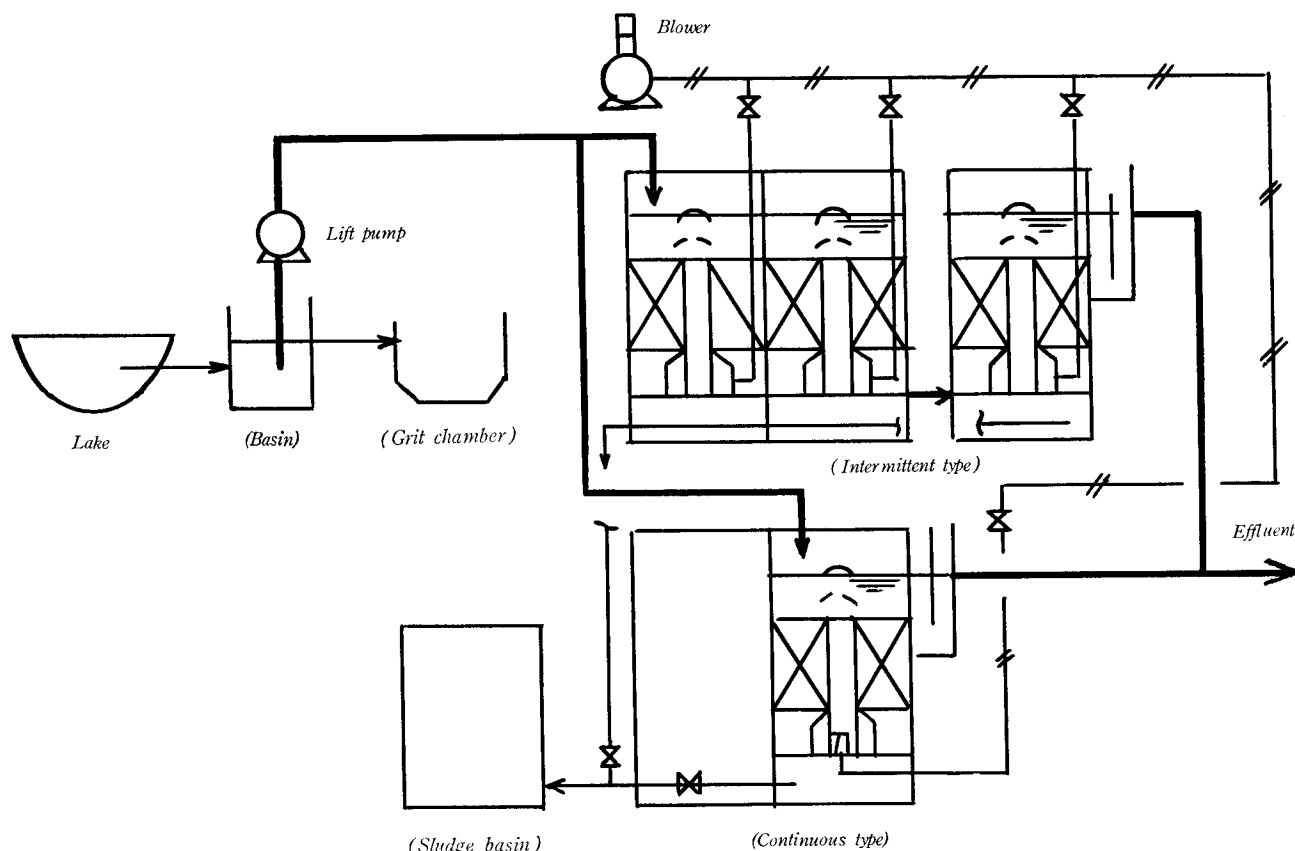
処理方式	間欠式処理	連続式処理
処理槽	3 槽	1 槽
槽構造	1m□×4m ^H SS製	同左
槽容積	4m ³ ×3槽	4m ³ ×1槽
充填材	ハニカム 13m/mセル	同左
充填容量	2.5m ³ ×3槽	2.5m ³ ×1槽
ばっ気装置	筒径 200mmφ×2750mm	同左
ブローワー	0.4m ³ /分×0.75 kW×0.45 kg/cm ²	

(2) 従来の連続式処理はハニカム内の循環流速が不均一となり易く、ハニカム全体での処理が困難である。一方本処理装置は 2 段式水流変更板により均等分散が得られるためハニカム全体で有効に処理ができる。

(3) 従来の連続式処理は、水の浄化の度合によりハニカムの壁面に付着した生物膜が肥大化し、目詰り閉塞を起すため逆洗装置を取り付け定期的に空気を送り強制的に逆洗剥離が必要であるが、本処理装置ではハニカム内を循環する脈動効果が適度なショックとなり生物膜の剥離を促進させるため逆洗の頻度が少なく、目詰りが起りにくい利点がある。

3. 実験装置の概要

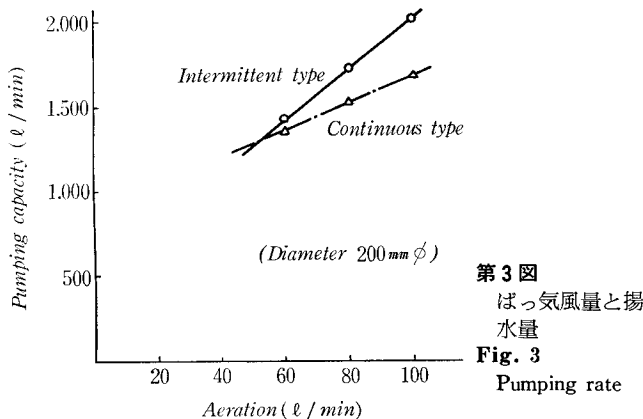
実験装置のプロシットを第 2 図に示す。本実験ではハニカム接触酸化槽を 4 槽使い、3 槽を間欠式処理、1 槽を連



第 2 図 実験装置のプロシット
Fig. 2 Flow diagram of pilot plant

第2表 実験条件
Table 2 Operating parameters

	項 目
処 理 水 量	3.5m ³ /h
ば っ 気 風 量	3.6m ³ /h, 槽
水 量 負 荷 (ハニカム当り)	0.47~1.4m ³ /m ³ , h
滞 留 時 間	1~3 h



第3図
ばっ気風量と揚水量
Fig. 3
Pumping rate

続式処理の2種を行った。原水は湖沼から取水し原水ポンプにより、ポンプアップしそれぞれの処理槽へ供給される。間欠式処理では第1槽の処理水が第2槽、第3槽と順次処理され流出する。連続式は第1槽の処理で流出する。第1表に実験装置の仕様を示す。槽容積、使用した充填材、揚水筒(ばっ気筒)の形状は全て同一とし、空気の噴出の方法を間欠式と連続式に相違させた。ブローから送られた空気はばっ気機を通じて水中に酸素を供給すると共に槽内水の循環の動力となる。

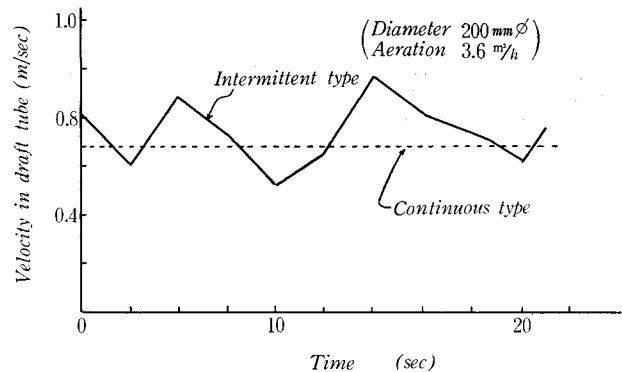
4. 実験条件と方法

実験は、間欠式と連続式の比較のため、ばっ気機性能と、アンモニア性窒素の処理効果を調べ、次いで第2表に示す実験条件で比較的長期間にわたり、間欠式の処理効果を調べた。本実験の場合、原水中の溶存酸素濃度は飽和状態にあるので、撹拌に必要な空気量として3.6m³/hに設定した。実験中の分析項目はアンモニア性窒素、臭気濃度、藻類とし、採水条件は原水および間欠式での各槽の処理水を同時に行なった。又、連続式と間欠式の比較はアンモニア性窒素のみとし、原水および間欠式第1槽と連続式槽の処理水にて行なった。分析法は上水試験方法に基いて行なった。逆洗排泥は、間欠式と連続式の比較実験では同一条件で行った。

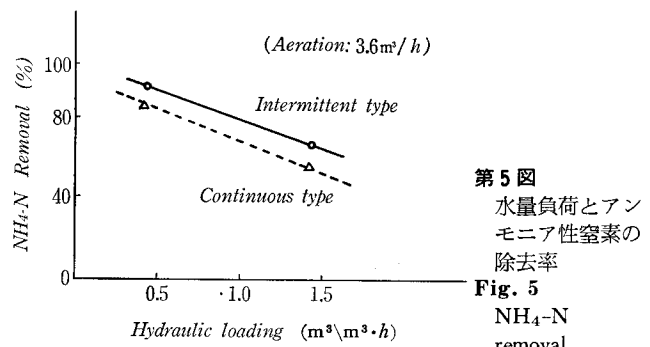
5. 実験の結果と考察

5.1 ばっ気機性能の比較

間欠式ばっ気機と連続式ばっ気機の性能比較するため揚水筒内の流速を測定し、揚水量を求めた。第3図にばっ気風量と揚水量の関係を示す。これから分かるようにばっ気風量が一定以上になると間欠式の揚水量が多くなり、連続式より揚水効率が優れている。次に第4図に揚水筒内の流速分布を示す。間欠式は一定のサイクルで流速に変化があり、脈動効果が見られるが、連続式では一定の流速である。連続式に比べ揚水量が多いことは間欠式が省エネ型で



第4図 ばっ気筒内流速変化
Fig. 4 Velocity curve in draft tube



第5図
水量負荷とアンモニア性窒素の除去率
Fig. 5
NH₄-N removal

ある事を示す。また、脈動効果は処理における生物膜の剥離を促進させる役割をはたすことになる。

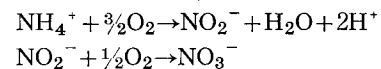
次に間欠式と連続式の処理効果を比較した。第5図に水量負荷とアンモニア性窒素除去の関係を示す。結果は間欠式が優れている。このことは同一ばっ気風量に対し揚水量が多く、充填材を流れる下向流速が速くなり、生物膜と接触する回数が多くなるため、除去率が良くなっている。

5.2 間欠式の処理効果

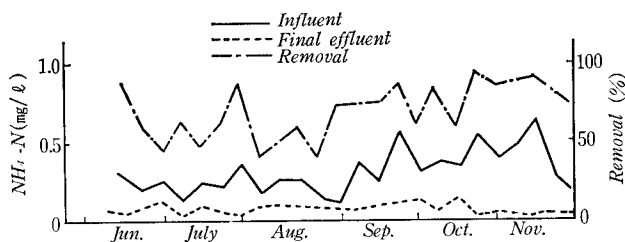
第6, 8, 12図に水質の経日変化を示す。実験は6月から11月まで行った。水温は原水および第1槽から第3槽までの処理水共ほとんど変わらず、6月から10月まで20°C以上あり11月に入り平均して10°Cまで低下した。実験に当り新しい充填材を使用したため、通水後1か月程生物膜の付着形成を待った。生物膜は次第に形成され処理効果が表われた。実験期間中の原水アンモニア性窒素の濃度は0.65から0.07 mg/ℓ、平均して0.29 mg/ℓであり、第1槽処理水は平均0.12 mg/ℓ、第2槽は0.09 mg/ℓ、第3槽は0.07 mg/ℓであった。原水の臭気濃度は299から22まで、平均して84であり、処理水は第1槽は30、第2槽19、第3槽15であった。藻類は原水の個体数が4,000個から108,500個までであり、処理水は第1槽が200個から19,900個、第2槽が190個から8,500個第3槽が70個から7,500個までであった。

5.3 アンモニア性窒素の除去

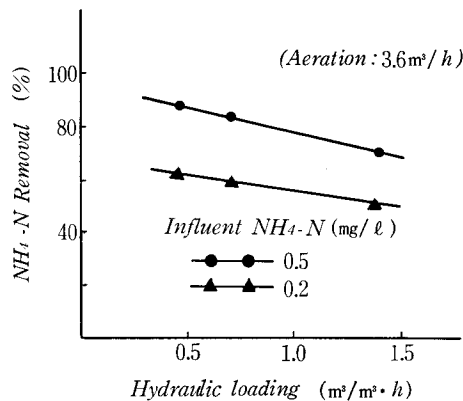
生物膜処理はアンモニア性窒素をよく硝化することが知られている。



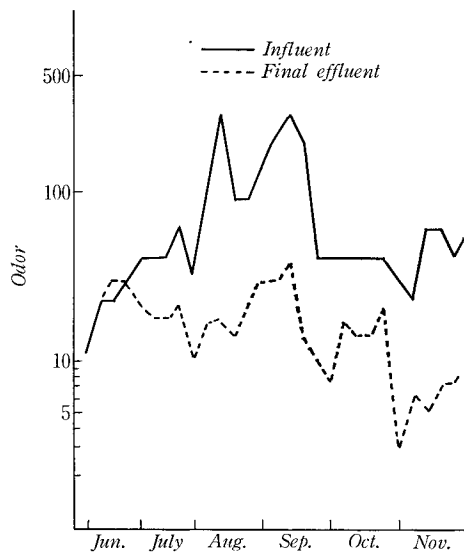
アンモニア性窒素の硝化にはpH、水量負荷(滞留時間)、必要空気量(充填物の下向流速に影響)に関係するが、本実験では第6図に示す通り原水のアンモニア性窒素の濃度



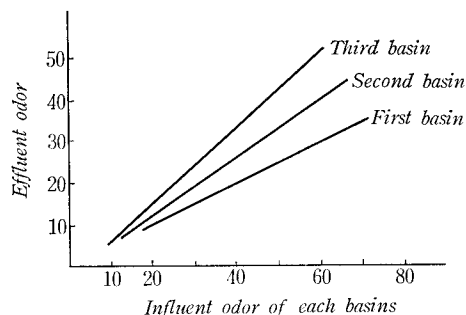
第6図 アンモニア性窒素
Fig. 6 $\text{NH}_4\text{-N}$ observations



第7図
アンモニア性窒
素除去率
Fig. 7
 $\text{NH}_4\text{-N}$
Removal vs.
hydraulic
loading



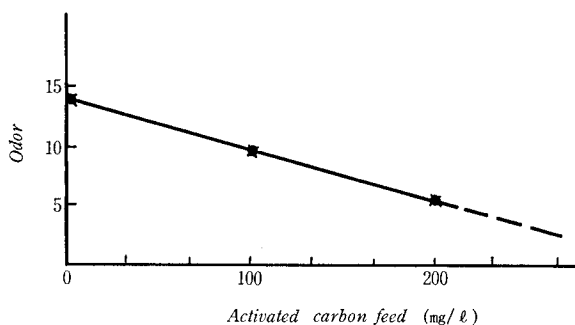
第8図
臭気濃度
Fig. 8
Odor
observations



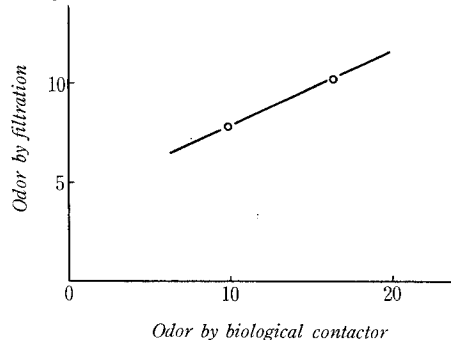
第9図
各槽処理水の臭
気濃度
Fig. 9
Odor of each
basins

は大きく変動したが第3槽処理水の平均除去率は73.4%と良好であった。

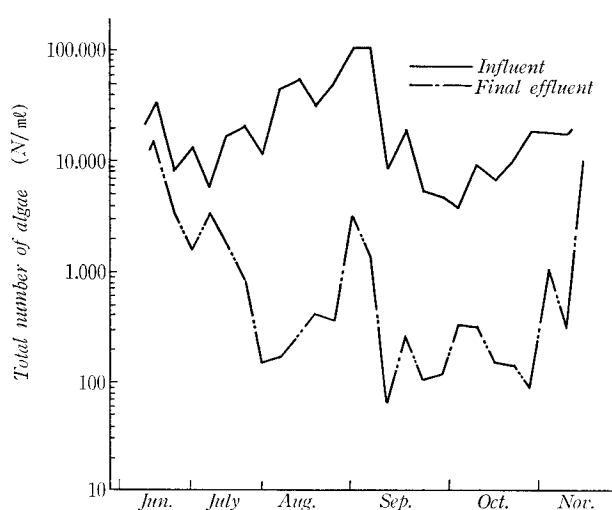
第7図に水量負荷とアンモニア性窒素除去率の関係を示す。原水濃度が0.5mg/l, 0.2mg/lの場合についての関係を示した。この図から分るようにアンモニア性窒素の除去



第10図 活性炭注入量と臭気濃度
Fig. 10 Activated carbon feed vs. odor



第11図
凝集沈殿汚過に
よる臭気除去効
果
Fig. 11
Removal
efficiency of
odor by
Filtration

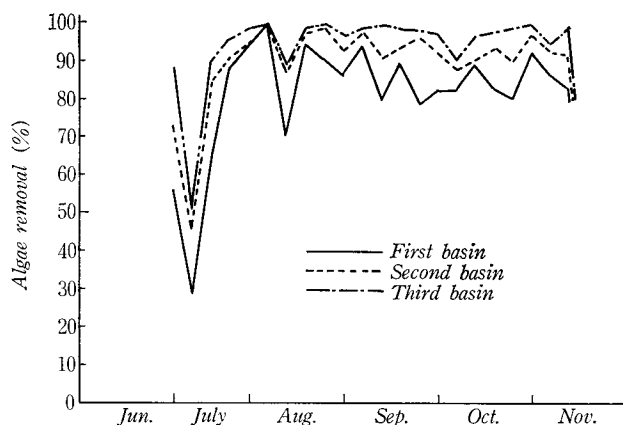


第12図 藻類の総数
Fig. 12 Total number of algae

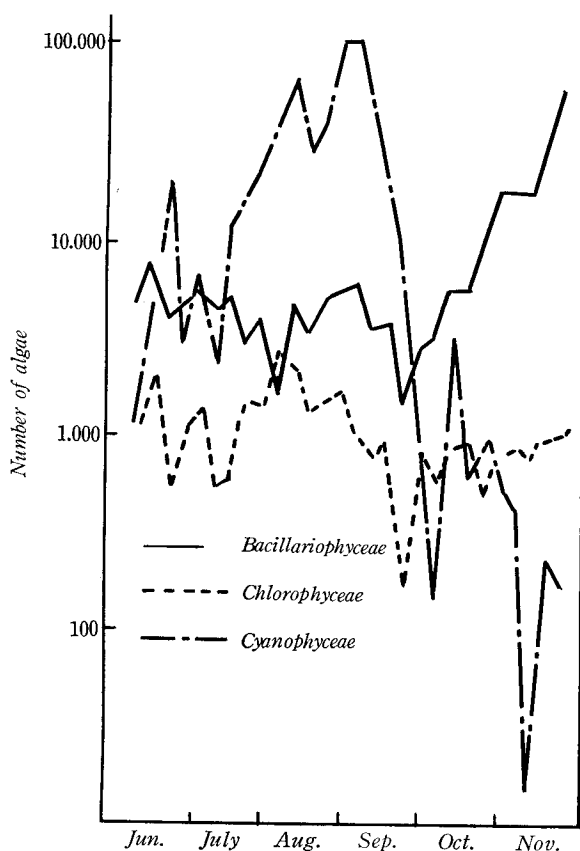
率は水量負荷と原水濃度によって大きく影響される。水量負荷が小さくなる程、又同じ負荷条件でも原水濃度が高い程、除去率は向上するので、目標とする処理水に合せて負荷の設定が必要となる。

5.4 臭気の除去

実験期間中の臭気濃度は第8図に示したが、第9図は間欠式処理槽の流入と流出水(処理水)ごとに臭気濃度を示した。原水臭気濃度が60の時は、第1槽、第2槽、第3槽の処理水はそれぞれ平均して30, 20, 15となり、臭気物質が良く除去されることがわかる。一般的に臭気濃度を低下させるために活性炭がよく用いられるが、一例としてジャーテストによる活性炭注入と臭気濃度の関係を第10図に示す。これから分るように臭気濃度を低下させるためには、活性炭の注入量が増大し、経済的に限度がある。そこで活性炭を削減するために間欠式接触酸化処理に期待がもたれる。第11図は間欠式処理水を凝集沈殿汚過(今回ジャーテス



第13図 藻類の除去率
Fig. 13 Algae removal



第14図 原水中の種類別藻類数
Fig. 14 Number of algae in influent

トによる処理に替えた) 後の臭気濃度を示した。原水の臭気濃度を低減させるには、第9、11図の関係を使い、原水の臭気濃度と処理水(凝集沈殿処理後)の目標臭気濃度に合せて間欠式処理の負荷を決めることができる。本実験では原水臭気濃度が50の場合、間欠式処理の第3槽で約10程度まで低減させ、凝集沈殿処理工程で、7から8程度まで低下させることが可能である。

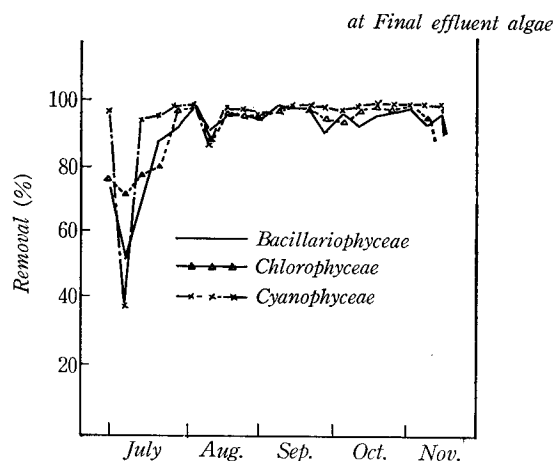
5.5 藻類の除去

藻類を含む原水は浄水工程において砂処理継続時間を短縮するだけでなく、水に臭味を付ける原因となる。実験期

第3表 藻類総数の除去率

Table 3 Total number of algae removed

処理水槽	7月~11月(%)	(平均)	8月~10月(%)
第1槽	27.4~99.6	(78.6)	83.2~89.8
第2槽	45.2~99.6	(86.7)	91.0~95.3
第3槽	50.0~99.6	(91.5)	96.2~96.9



第15図 種類別藻類の除去率
Fig. 15 Algae removal

間中の藻類総数は第12図に示した通りである。藻類は季節や環境によってその繁殖する種類は異なるが、期間中、原水の藻類総数は大きな変動をしていない。第13図、第3表に各槽ごとの除去率を示す。除去効果は夏期水温の高い時期に高い除去率を示しており、実験期間の平均でも第1槽、第2槽、第3槽の除去率は70%以上、80%以上、85%以上の良好な値を示している。次に第14図に原水中の代表的な藻類について種類別個体数を示す。期間中平均して、藍藻類と珪藻類が圧倒的に多く、緑藻類が非常に少ない。季節的には夏から秋にかけて藍藻類は *Microcystis* と秋から冬にかけて珪藻類は *Cyclotella* の異常発生が見られた。またこのような原水に対して、第15図に種類別藻類の除去率を示した。これらの結果を見ると、一般的にかび臭の源と言われている藍藻類の除去効果が最も優れ、期間平均して第3槽での除去率は96%以上と高い値を示している。それに比べ珪藻、緑藻は若干劣っているが全般的に高い除去率を示している。この様に間欠式処理は優れた藻類の除去効果を発揮するので、浄水処理工程における前処理設備に有効である。

6. むすび

水道水源の水質汚濁に対しては貯水池のばっ気、浄水場では薬注、オゾン、活性炭処理等水質改善に大きな努力がはらわれているが、水道水の安全性を確保しながら経済的にも安く、取り扱い易い浄水設備が望まれる。生物膜処理においてもハニカム法、回転円板法、流動床法等があるが、このたびの間欠ばっ気型接触酸化装置の実験結果ではアンモニア、臭気、藻類共よく除去されていた。本装置は従来のハニカム法をさらに発展させたものと確信しており、今後のおいしい水造りに役立つものと期待している。

ビッカーブ社製プレート式熱交換器の概要 (第二報)

Presentation of Vicarb Plate Heat Exchanger (II)

冷却塔生産部 技術課

岩崎 昭彦

Akihiko Iwasaki

八木 健

Takeshi Yagi

Shinko-Pfaunder has started marketing of plate heat exchanger manufactured by world-famous vicarb of France.

The first installment was description of the subjects of theory, structure and descriptive account of the product.

This paper of the second installment describes the subjects of installation dismantling and assembly of plate heat exchanger.

当社はこのたび世界的な製造実績を誇るフランス・ビッカーブ社製プレート式熱交換器の販売を開始しました。第一報ではプレート式熱交換器の性能に関する基本理論、構造の説明をしました。本稿では第二報としてプレート式熱交換器の据付・分解・組立水圧試験方法を詳説します。

1. ま え が き

プレート式熱交換器は波状のリブをもつ伝熱プレートをガスケットを介して重ね合わせ、プレート間交互に流体を通して熱交換を行うもので、その構造上の取扱いの容易さ、熱交換性のよさおよび経済性の点等大きな利点があり広範囲に使用され、ビッカーブ社はこの分野で世界有数の実績を誇っています。本稿はこのビッカーブ社プレート式熱交換器の据付・分解・組立・水圧試験方法について説明します。

2. 概要—手順—符号説明

2.1. フレーム (各部名称は第1報参照下さい)

2.1.1. 構成部品

- ・固定フレームと移動フレームは強固な厚鋼板製であります。
- ・上部ガイドバーは固定フレームとガイドバーサポート上にあり、プレートを支持し、かつ洗浄と再組立の際プレートの移動が容易に行えるように配慮されています。

ートの移動が容易に行えるように配慮されています。

- ・下部ガイドバーはプレートを定位置に保持します。上部ガイドバーと下部ガイドバーはプレートを正確に配列します。

- ・タイロッドはPHEの全周に等間隔に付いており、固定フレームと移動フレーム間のプレートを締付けます。油圧ジャッキを利用することにより、迅速にPHEの組立が可能です。

2.1.2. 符号説明

接続ノズル部には文字と数字が各1文字マーキングしてあり、Fは固定フレーム用、Mは移動フレーム用であります。(第2図)

2.2. プレート及びガスケットのマーキング (第3図)

2.2.1. 重ね方の手順

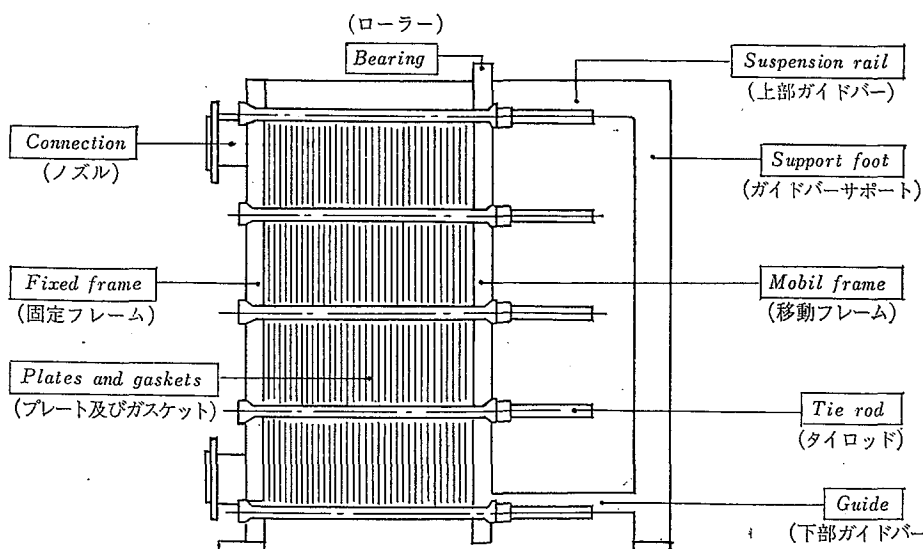
- ・まず固定フレームにガスケット付きのプレートを取付けします。
- ・プレートの上下には、NとSがマーキングされています。
- ・プレートは固定フレームから移動フレームの順序でプレート上部裏面にナンバリングされています。
- ・通常第1番目のプレートはNを上にして取付け、次のプレートはSを上、その次はNという順となります。

2.2.2. ガスケットの配置

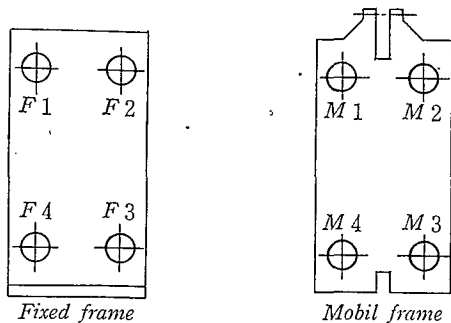
・最初のプレートには、4つの区画のある、特殊ガスケットを取付けますが、これはプレートの4つの開口部を隔離し、且つ固定フレームとそのプレートとの水封を目的としています。この空間には流体は流れません。

・最初のプレート以外には標準ガスケットを使用します。ガスケットには裏表順次プレートの配列番号順にのり付けします。

・通常、下記の規則に従って下さい。



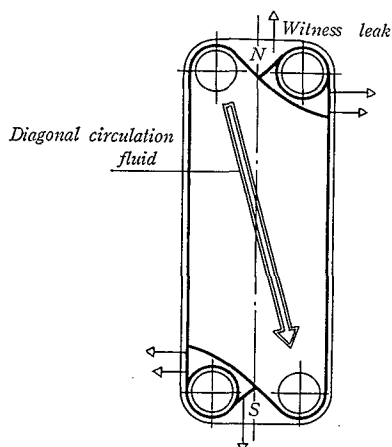
第1図 フレーム
Fig. 1 Frame



固定フレームの前面から見た場合の記号位置
Marking seen by an observer in front of the exchanger facing the fixed frame

移動フレームの後側から見た場合の記号位置
Marking seen by an observer behind the exchanger facing the mobil frame

第2図
Fig. 2



注) ガasketにマーキングしてあるN, SをプレートのN, Sとを合わせることに。
Note: marks N and S indicated on the gasket correspond to the marks N and S of the plate.

第3図
Fig. 3

・第4図⑤は4隅のうちNE（北東）, SW（南西）の欠けたタイプで、プレートA（偶数番）の上に取り付けます。

・第5図は4隅のうちNW（北西）, SE（南東）の欠けたタイプで、プレートB（奇数番）の上に取り付けます。

2.2.3. 特殊プレート

・標準プレートには4つの開口部があります。盲穴をもつプレートは全て特殊プレートとして次の記号にて表します。

(例) 4F : 4個所盲穴のタイプ

2FN : 北側2個所盲穴のタイプ

1FNW: 北西1個所盲穴のタイプ

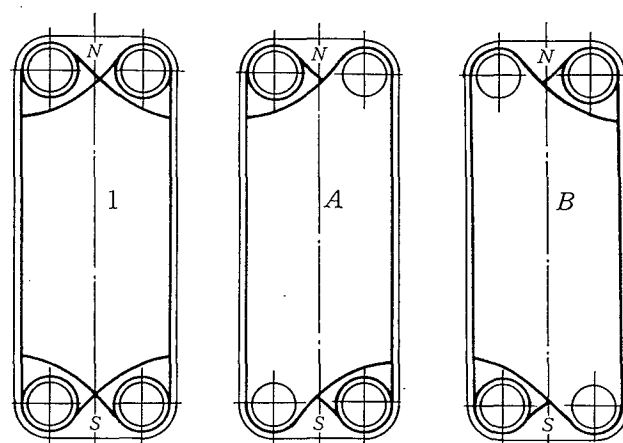
2FNFSW : 北側2個所+南西1個所盲穴のタイプ

(注) 特殊プレートは通常奇数番に使用します。

・プレートは補強を施す場合と施さない場合があります。補強プレートは高圧用です。補強方法は（ガasketの付かない）ガasket溝にプレートと同材質の補強材を溶接して行ないます。

・補強プレートの名称の意味は次のようになります。

プレート 4F Cr : 4個所盲穴+補強材付



first plate
4 corner portal
(第1番目のプレート, 4角に開口部有)

even plate
standard
(偶数番目の標準プレート)

odd plate
standard
(奇数番目の標準プレート)

第4図 ㉔
Fig. 4 ㉔

第4図 ㉕
Fig. 4 ㉕

第5図
Fig. 5

(注) 補強材のないプレートは偶数用、奇数用共に全く同じ形状ですが、補強プレートは偶数用、奇数用で、異なった形状のプレートになります。

3. フレームの組立

・上部ガイドバーと下部ガイドバーを使って固定フレームとガイドバーサポートを組立てます。

・移動フレームはプーリーを付けない状態で、上部ガイドバーと下部ガイドバーの間に、わずかに傾けてはめ込みます。

・移動フレームに取合用の開口部のある場合、最終のプレートと移動フレームの間には、円形の終端ガasketをシールのために正確に取り付けます。

・ベアリングプーリー軸部を上部ガイドバーにマウントし、レール上で軽く移動出来る事を確認します。(第6, 7, 8, 9図)

4. ガasketの接着

正規のプレート及び予備用プレート共ガasketを接着した状態で出荷しますが、ガasketを接着しない状態でも出荷します。この場合にはユーザーにて、下記の手順で接着して下さい。

4.1. 準備

・接着する前に、2.2.項に述べた各種ガasketの取付け方法に関するリコメンドに準拠して下さい。

・ガasket用溝は完全に洗浄し乾燥させます。

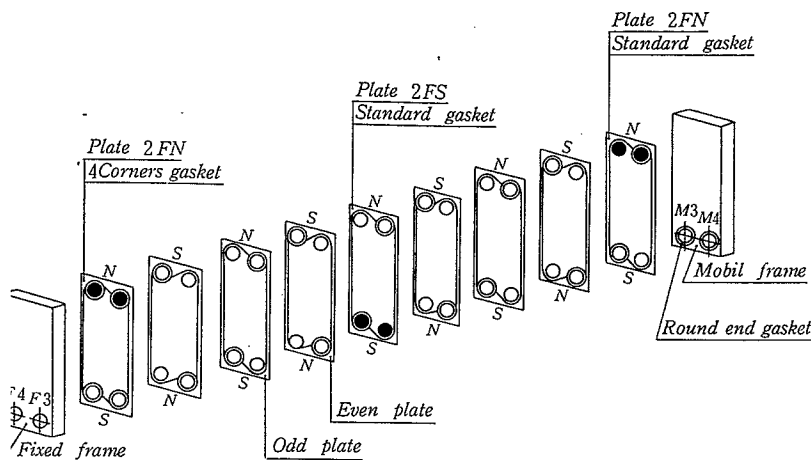
・ガasketの接着表面をまず、紙ヤスリまたは空気式グラインダーにより荒仕上げします。この作業は接着すべきガasket面のみに施します。尚、石綿製ガasketの場合には、荒仕上げ施工はさけて下さい。

4.2. 接着

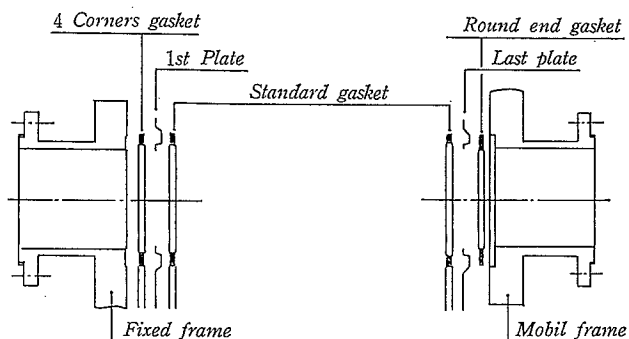
・円形の絹ブラシを使ってのり付けします。接着剤は1~2種類あり、接着剤と同封の説明書を参考して下さい。

・ガasket溝と荒仕上げしたガasketにのり付けして下さい。接着剤は一様に伸ばしのり付けします。

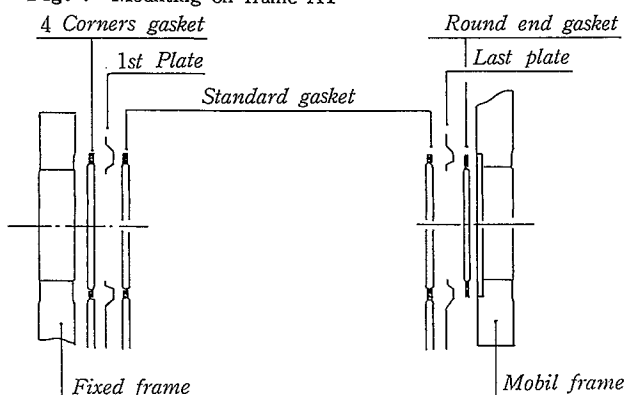
・接着剤を5~10分間放置乾燥の後、プレートにガasket



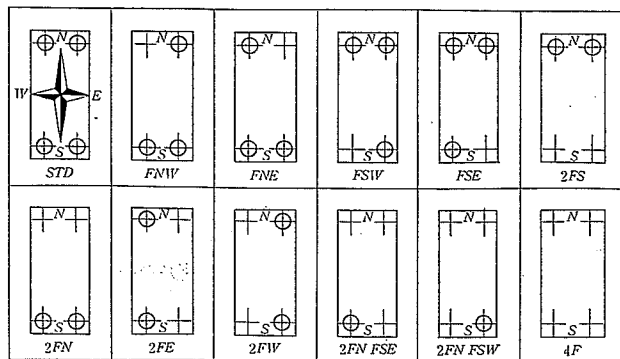
第6図 配列原則
Fig. 6 Principle of mounting



第7図 AT型フレームへの取付方
Fig. 7 Mounting on frame AT



第8図 ST型フレームへの取付方
Fig. 8 Mounting on frame ST



第9図 特殊プレートの名称
Fig. 9 Plates

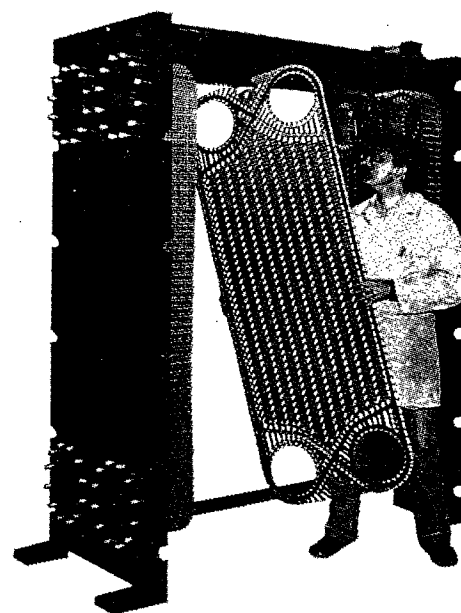


写真1 プレートの取付け
Photo. 1 Assembly of plates

ットを取付けます。万一直線部分が長すぎる場合は、ガasketをガasket溝に充分圧入して下さい。ガasket溝とガasket間に異物がないことを確かめて、ガasketの位置決めをします。良好な接着性を持たすために、丸味のあるハンマーで軽打します。

5. プレートの組立

5.1. プレートの配置

・完全な機能を持つ熱交となり、且つ充分な気密を保つ熱交となるためには正確なプレートの取付が肝要であります。

・第10図は上部ガイドバーへのプレートの正確な取付け方法を示しています。

5.2. フレームへの組込

5.2.1. 組立て手順

これには3つの作業を行ないます。(第10図参照)

- (1) 図示の如く、プレートを後側及び斜横に傾けてレールにはめ込みます。
- (2) レールによる支持点を中心に回転させます。ただしこの時点でもプレートは下部が後側に傾いた状態です。
- (3) 下部ガイドバーにはめ込むために、プレート下部を前方へ回転させます。

5.2.2. プレートの位置決め方法

・良好な並びにするためには、正確なプレートの組付けが肝要であります。

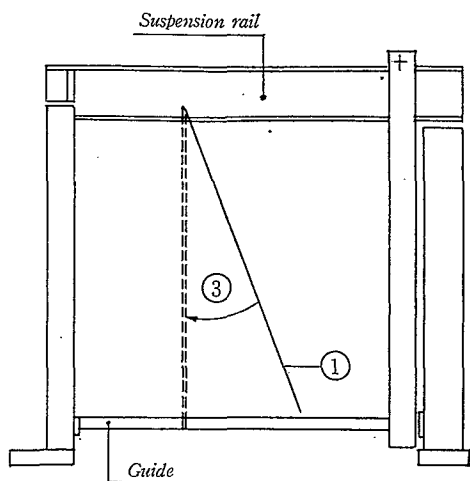
・第11図はレール上のプレートの正確な配置を示します。

・第12, 13図は悪い例であり、これはプレートの不ぞろいの原因になります。

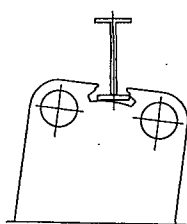
6. PHEの締付け順序

6.1. マニュアルによる場合

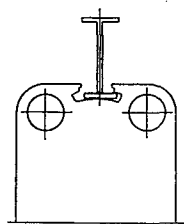
・プレートは各々1枚ずつ固定フレームに相対して取付けます。又プレートは各々レール上を手で動かし、その前



第11図
Fig.11



第12図
Fig.12



第13図
Fig.13

のプレートと重ね合わせます。

・そして最後に移動フレームをプレートに接触させます。そして4本のタイロッドで締付をします。ただしタイロッドの締付けは上部から下部へと行ないます。

・図面に示す締付寸法は、連続的に各々のタイロッドを締付けることにより得ることができます。

・最小締付寸法を越すことはさけて下さい。

・ガスケットの弾力性を保持させるために、新しいガスケットでの最小締付け寸法にすることをお奨めします。この寸法においてプレートはたがいに接触します。熱交の全周に均一の締付寸法を得たのちに、残りのタイロッドを取付け、固定します。

6.2. ポンプ圧利用の場合

6.2.1. 工具

・迅速かつ正確にタイロッドをゆるめたり締付けたりするために、ポンプ圧によるジャッキ方式を採用しています。第14図を参照下さい。

・タイロッドの取扱いは手で行なうか、移動クレーン又はホイスト等の可搬装置と治具を使って行ないます。

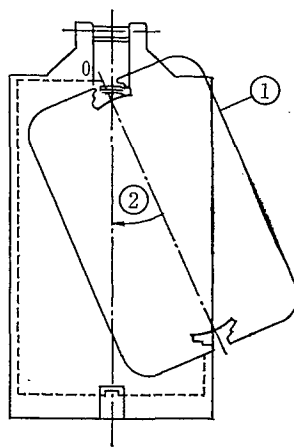
6.2.2. 分解

・分解を始める前に締付寸法（固定フレームと移動フレーム間の寸法）を注意して測定しておきます。

・4本の長いタイロッド（O）についている六角ナット（J）をラチェットを用いてゆるめます。（タイロッド番号2-2'、及び6-6'、計4個）

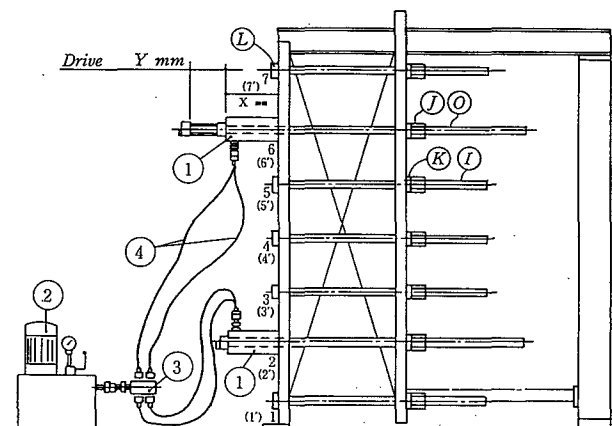
・ナット（J）を手動でジャッキ長さに相当する寸法 X mmだけゆるめます。（第14図）

・この4本のタイロッド（O）を固定フレーム方向に X mmだけ押し出します。このときサポートワッシャー（K）



1. 図示の如く上部ガイドバーへプレート①の状態ではめ込む。
2. 点0を支点として、矢印②の方向にプレートを回転させる。
3. 矢印③の方向に回転させる。
- 1 Put the plate in position 1 on suspension rail as shown
- 2 Rotate the plate following the arrow 2 around point 0.
- 3 Rotation following the arrow 3

第10図
Fig. 10



1	Spanner
4	4 Flexible
3	1 Distribution block with self tight connection
2	1 Pump
1	4 Single acting jack strength
Rep	Nb Designation

第14図
Fig. 14

は移動フレームの穴に入った状態にしておきます。

・第14図の図示の如くナット（L）をゆるめながらゆっくりとタイロッドと一緒にジャッキ4個を（Y-5）mmだけ伸ばしていきます。

・4つのジャッキにそれが止まりきるまで圧をかけると、この加圧により5mm余計に締めつけた状態になります。

・ジャッキに圧力をかけたまま、計6本のタイロッド（1と1'、4と4'、7と7'）を外します。この分解の間に押え金具（品番P）も外します。

・タイロッド（3と3'、5と5'）のナット（品番J）をスパナで（Y-5）mmゆるめます。

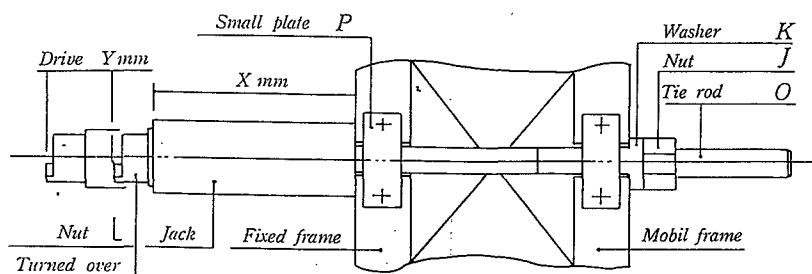
・ジャッキにかかっている圧を止めると（Y-5）mmだけゆるみます。

・再び熱交の分解が終るまで作業を継続します。

・ここにYはジャッキの移動有効長さ（100～150mm）を表わします。

6.2.3. クランプの要領

・各プレートを、手でガイドバー上を移動させ、前方の



第 15 図
Fig. 15

プレートに密着させながら固定フレーム方向に取付けていきます。

・移動フレームは最後のプレートに接触して押し付けます。

・4本の長尺タイロッド(O)と押え金具(P)を定位位置にはめ込みます。この4本のタイロッドは固定フレームから約500mm突出した状態にセットします。

・ワッシャー(K)の突出部を移動フレームの穴にはめ込み、ナット(J)を回します。

・タイロッド(O)に4個のジャッキを取付けます。

・第14図に示す様にナット(L)をジャッキロッドに合わせて取付けます。

・固定フレームと移動フレームの平行度をチェックしながら、1m当り、 $\pm 1\text{ mm}$ の許容値を満足するようナット(J)をワッシャー(K)に接触するまで回します。

・ポンプを稼働させ締付寸法Y mmを確保するまでジャッキに圧をかけます。

・ジャッキは圧のかかった状態にしておきます。

・そして残りのタイロッド(I)、ナット(L)、ワッシャー(K)、ナット(J)を取付け、その(L)、(K)の突出部はフレームの穴に入った状態にあることを確かめます。

・ジャッキ圧をさげつつジャッキ面長さがY mmになるまでスパナによりナット(J)を締付けます。

・分解前にチェック済の締付け寸法と最小締付寸法(図面及び銘板に指示)との間になるまで再びジャッキを加圧します。

・最小締付寸法以内の締付を厳守して下さい。

・最後に残りのタイロッドをスパナにより締付け且つ移動フレームと固定フレームの平行度をチェックします。もしわずかでも平行度に狂いがあればナット(J)を締付けて調整します。許容値は1m当り $\pm 0.5\text{ mm}$ です。

・ジャッキをはずし固定フレームの穴にナット(L)を固定させます。

・4本の長尺タイロッド用ナット(J)をわずかに締付けます。

7. 水圧試験

(a) 組立仕上り後銘板に示す圧力にて水圧試験を実施します。通常新しいプレート熱交においては2液別々に試験します。(一方は試験圧力、他方は大気圧にて)

(註) 時には2種類の水圧試験を行なう必要があります。

例えば2液同時に試験圧又は設計圧をかける場合など。

(b) 水圧試験によりガスケットの締付け不良を発見することが可能です。ガスケットからの漏れは目視、または

リークゲージを通して見い出せます。ガスケットからの漏れは漏れが予想される個所にカラーチェックを適用することにより容易に発見が可能です。2液の混合は開口穴のガスケットが2重巻きとなっているので起りません。

(c) 他方が大気開放の場合は、一液側のみの水圧試験により、不備のプレートを発見することが可能です。

プレート中の1つのピンホールでさえ他液側への漏れの原因となります。

PHEを分解してプレート溝に湿ったこん跡があれば、その流路を形成している2枚のプレートのうちどちらかに欠陥があります。

8. 始動

スタートアップはまず取り扱い易い流体、例えば低圧流体であるとか、低温度の流体であるとかから徐々に行います。ウォーターハンマーは永久歪みの原因となり、プレートを使用困難にしたり、全く使用不可能にします。急激な起動及び停止は避けて下さい。緊急時対策として調整バルブを装備して下さい。

9. PHEの据付け

・ビッカーブ社PHEは仮組、圧力試験実施後出荷します。

・フレームに付いている据付穴を使って熱交を所定の位置に設置します。接続の際は配管の芯ずれによる歪み、膨張の影響、振動等に留意しなければなりません。万一のために各種ジョイントの取付をお奨めします。

10. 保守

10.1. PHEの分解

分解過程は組立手順の逆の過程となり容易です。

10.2. 化学洗浄

この方法によりPHEを分解せずに洗浄することが可能です。PHEの開口部に洗浄装置を設置し、そしてそれぞれの流路に適する洗浄液を循環させます。プレート材料、プレート接続部及びガスケットが洗浄液に充分耐え得ることを確認して下さい。

10.3. 機械洗浄

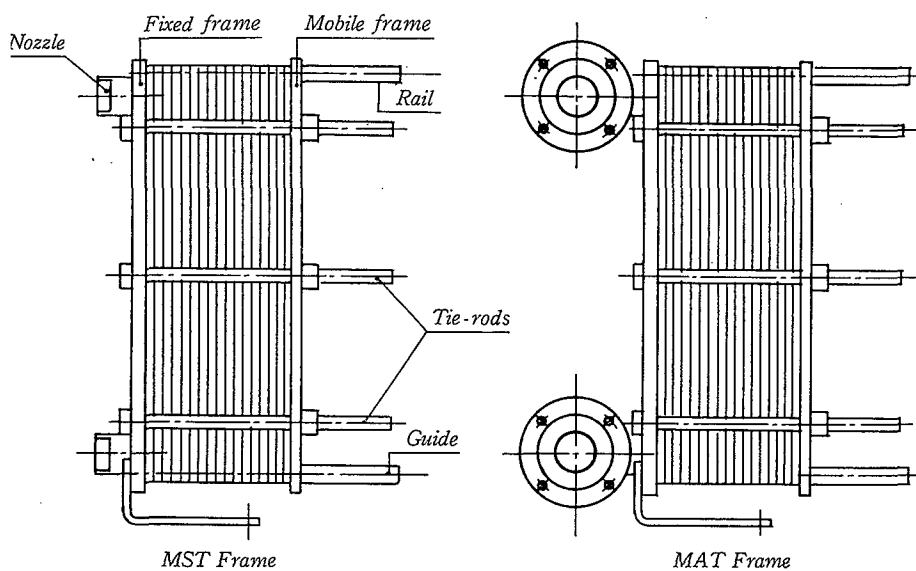
締付状態にあるPHEからタイロッドを外し、移動フレームを移動させ、ブラシ洗浄または高圧水洗浄が出来る様に各々のプレートを移動します。洗浄の際、プレートの変形を避けるために平板を使ってプレートをサポートしておく必要があります。プレートの腐蝕原因になる金属製ブラシの使用は避けて下さい。またガスケットを損傷させない様留意して下さい。ガスケットはフレームを締付ける前に良好であることを確認しておきます。

10.4. ガスケットの交換

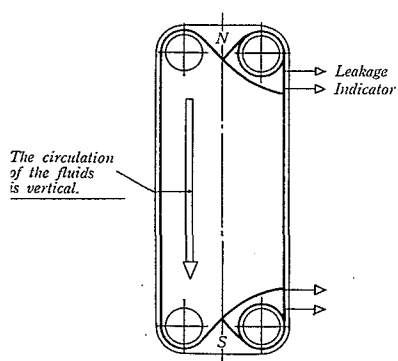
PHEからプレートを取外し、ガスケットをプレートから外します。もしガスケットの取外しが困難な場合はバーナーを使ってガスケット溝を裏側から熱すれば容易に取外すことができます。

10.5. プレートの交換

・交換すべきプレートの番号(偶数番か奇数番)とガスケットの取付位置をあらかじめ確認しておきます。肉厚及び材質が同一のもので、ガスケットが正しく付いた新しいプレートに交換します。



第16図
Fig. 16



註記) ガasketにマーキングしてあるN, SとプレートのN, Sとを合わせることに。

Note: the marks N and S indicated on the gasket correspond to the marks N and S of the plate

第17図
Fig. 17

10.6. プレートの追加

プレート枚数またはプレートのナンバリングは伝熱面積またはパス数の変更の際に変更します。ビッカー社及び当社はそれらの変更に伴う諸問題解決のため技術的サポートを行いません。

11. 予備品の貯蔵

11.1. プレート

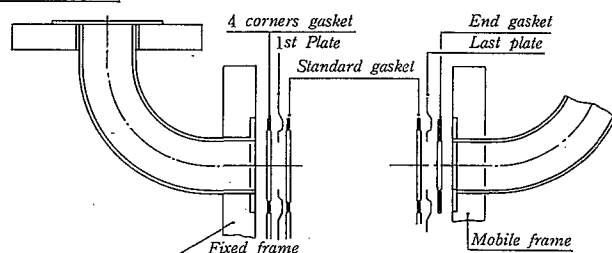
予備プレートは梱包のまま貯蔵しておくか、または変形しないような場所に吊しておきます。

11.2. ガasket

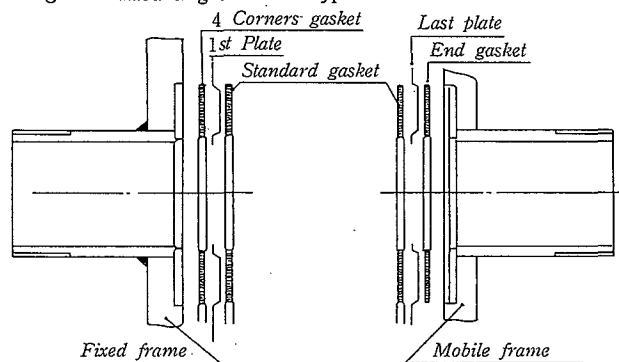
ガasketは気温 $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の間で、日光の入らない場所に貯蔵して下さい。もし貯蔵温度が 0°C 以下の場合にはガasketの使用前に 0°C 以上に加熱して下さい。ガasketはフラットな状態で貯蔵し、もしそれが出来ない場合は、ひび割れの原因とならない様、2つ折りで貯蔵して下さい。出来れば当初の梱包の状態のままで貯蔵して下さい。

11.3. 接着剤

接着剤は不測の事態に備え永久保存の効く様にしておく事が不可欠です。接着剤説明書には最長貯蔵期間(約6ヶ月)とか周囲状況(通常、暑い場所を避けること)等明示しています。接着剤及び硬化剤は最小必要量のみ貯蔵して



第18図 MAT型フレームへの組込み
Fig. 18 Mounting on frame type MAT



第19図 MST型フレームへの組込み
Fig. 19 Mounting on frame type MST

おいて下さい。

12. 型番: V4, V7, V13の場合の取扱い方法

(a) 組立、分解及び保守方法はV28~V260の場合と全く同様であります。

(b) V4~V13のフレーム(MST型フレームとMAT型フレーム)を第16図に示します。

(c) V4~V13のプレート及びガasketを第17図に示します。

(d) V4~V13のガasket取付要領を第18, 19図に示します。

13. むすび

以上当社販売品であるビッカー社製プレート式熱交換器の据付・分解・組立・水圧試験方法等について述べてきました。第一報ではプレート式熱交換器の性能に関する基本理論および構造の概要について述べておりご参照下さい。当社では別にビッカー工業用プレート式熱交換器のカタログを用意しておりますのでご用命下さい。

1. 京都市向け加圧浮上式汚泥濃縮設備が完成 “Floating Type Separater” ordered from Kyoto city

当社は、昨秋京都市から同市南区にある鳥羽処理場拡張工事の汚泥濃縮設備（その2）工事一式を7億5,500万円で受注し工事を進めていたが、このほど完成した。

同処理場は、現在処理能力750,000トンで西日本最大の規模であるが、さらに増設が予定されている。

完成した設備は、通産省指導による昭和59年第10回優秀公害防止装置として（社）日本産業機械工業会会長賞を受賞した加圧浮上濃縮設備を中心に、脱臭設備（同昭和57年受賞）、弁および配管設備、ダクト設備、電気計装設備など一式。設備の主体となる加圧浮上濃縮設備は、当社が独自に開発した走行式スクロールタイプのもので、これまで神戸市、岡山市など公共下水処理場向けをはじめコミプラ向けなど全国各地に約30か所の納入実績をもち、いずれも順調に稼働している。特に今回完成した処理設備は、加圧浮上槽が、4.5m幅×15.8m長さの長方形のもの5槽で、処理固形物量28～35tDS/日を処理するものである。即ち、余剰汚泥の処理量は約6,400m³/日で、汚泥濃度平均0.55%を3.5%以上に濃縮する。

これは汚泥量を1/5の量に減量するとともに、固形物回収率95%以上となり、非常に効率の高い汚泥濃縮設備である。

また、加圧浮上濃縮設備の特長は

- (1) 従来の重力式濃縮（シクナー）に比べ、汚泥が約2倍に濃縮されるため汚泥量が半減し、消化槽での消化効率、脱水工程でのランニングコストが大幅減少する。
- (2) シンプルでユニークな掻取り機構である。
フロス層を乱すことなく、安定して高濃縮汚泥の得られる渦巻状のユニークな機構の掻取り装置である。
- (3) 空気溶解度の高いジェット噴射機構である。
浮上濃縮のポイントの1つである空気溶解機構には新しいジェット噴射法を開発し、80%以上の溶解度が簡単に得られる。
- (4) フロスコントロールのできる界面制御装置である。
自動運転にとって不可欠のフロス層のコントロールも、当社独自の界面制御装置によって容易になり、しかも安定した運転が可能である。

などとなっている。

これらのことから、当社としては、今後より一層全国公共下水処理場を対象に、拡販に注力する方針である。

2. リフォーナイトシステム実証プラントを建設 “Rephonite System” Demonstration Plant constructed

当社は、生物処理だけで窒素とリンを同時に除去できる新しい処理方式によるリフォーナイトシステムの大規模実

証プラントを、大和ハウス工業㈱が兵庫県三木市に造成中の松が丘ネオポリス内に設置する。

汚水処理施設三系列のうち一系列のばっ気槽を改良するもので、今年4月から'86年3月までのデータを収集する。

当社は、すでに'81年秋から'84年3月までパイロットプラントで実験済のため、今回の実証プラントと並行して商談を進めることにしており、'85年度中には2～3件の受注を予定している。

最近、湖や河川などの富栄養化問題から、汚水処理の段階で窒素やリンの除去を義務づけるケースが増加してきている。窒素とリンを除去するためには、従来の一次、二次処理に新たに脱窒槽や凝集沈殿槽などの三次処理施設を付加する必要がある。この方式は原水を嫌気槽→脱窒槽→好気槽という順に流す直列式のシステムである。

これに対し今回のリフォーナイトシステムは、二次処理中のばっ気槽を3つに仕切り、ここに好気性槽、嫌気槽、脱窒槽を設けることによって従来よりも高い効果をあげている。原水の流れは嫌気槽と脱窒槽に分流し、再び好気性槽で一緒になる並列式となっている。このため脱窒槽での窒素を窒素ガスとして除去する機能と、嫌気槽と好気槽での好気——嫌気条件によるリンの過剰摂取機能とを一段と高めることが可能である。

これによって、薬剤を使わずに生物処理だけで窒素とリンを同時に低濃度まで除去できるのをはじめ、溶存酸素濃度制御、返送汚泥制御、循環液制御により負荷変動に対しても安定した処理水質が得られる。建設費は、三次処理施設に比べ、設計段階からリフォーナイトシステムを採用すれば1/2となる。既存設備の改良だと新しく三次処理施設を建設するのに比べ1/4で済む。ランニングコストも60～70%程度で、一方スペースは1/2～1/4となる。松が丘ネオポリスは完成時には、22,300人が住む住宅街になる予定で、今回の1日1,500トン能力の処理施設一系列のほか、同規模の施設二系列を順次建設していく計画となっている。

（日刊工業新聞 '85年1月11日）

3. 農村モデル集落排水処理施設に回転円板接触方式で初受注

First “Envirodisc” for farm village

当社は、農林水産省が農業集落総合整備モデル事業の一環として建設を進めている鳥取県東郷町埴見地区集落排水処理工事のプロジェクトに地元建設業者の高野組と共同で回転円板式生物接触酸化処理装置「エンバイロディスク」を初受注した。

「エンバイロディスク」は、ポリエチレン製の表面積を大きくとった微生物付着セルを回転させることにより高効率の排水処理ができる。特にばっ気が不要で、返送汚泥の必要がないため運転動力費も安く高度なメンテナンス技術、保全管理もいらない取り扱いやすい装置となっている。

これにより水中のBOD（生物学的酸素要求量）を200

ppm から 20ppm まで下げられ、小規模排水処理に優れた効果を発揮する。

今回、受注した東郷町埴見地区の受注規模は処理対象人口220人、1日処理水量59.4m³で工期は3月下旬に完成する予定。これにより当社では、全国各地の中小規模農業集落でも、水洗方式のトイレなど、積極的な排水処理事業の導入が活発化するものと、積極的な受注活動をはかる予定となっている。
(日本工業新聞 '85年1月11日)

4. 展示会出品

Exhibitions

4.1. '84ケミカルエンジニアリングショー

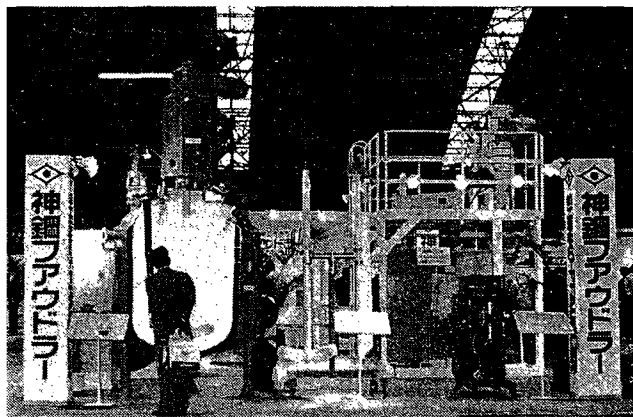
Chemical Engineering Show '84

“化学工業のあすを拓く”をテーマに大阪市で隔年に開催される'84ケミカルエンジニアリングショーが、'84年10月3日(水)から6日(土)まで4日間にわたって大阪国際見本市港会場8号館と屋外会場で開催された。

今回第2回目のケミカルエンジニアリングショーは'84大阪国際環境保全機器展、'84下水道設備事業展、'84廃棄物処理と省エネルギー機器展、'84物流システムショーおよび'84ファクトリーオートメーション展などとともに同時開催され、会期中の入場者数は、約5万6,000名におよんだ。

当社は、このケミカルエンジニアリングショーに化工機事業部から次の出品物を出品展示したが、新製品であるクライオロックアジテータとコボール・ミルが脚光をあびた。

出品物：グラスチール製反応機



人気を集めた「クライオロックアジテータ」
Popular new product
“CRYOLOCK AGITATOR”

(結晶化ガラス「ヌーセライト8000」ライニング)

クライオロックアジテータ (新製品)

極低温用グラスライニング製機器

グラスチール製10M²多管式熱交換器 (新製品)

グラスチール製メゾンデpH

超微粉碎機「コボール・ミル」(新製品)

100ℓSVミキサー真空乾燥装置

VTR「ニュー・ヌーセライト8000」上映

「攪拌槽内の流動と混合」

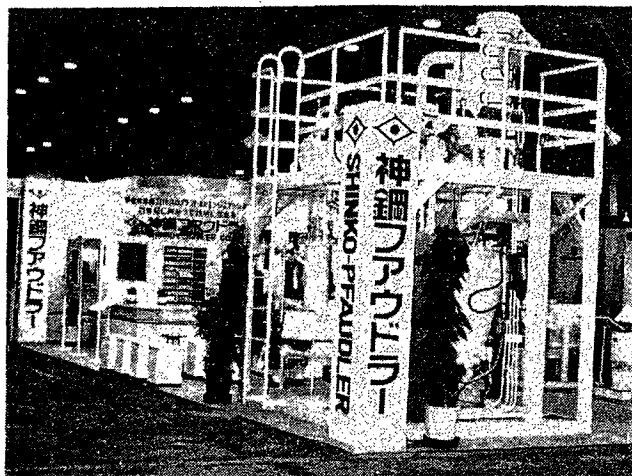
「コボール・ミル」

4.2. 第18回水道用品展示会

18th Water Supply Equip. Exhibition

(社)日本水道工業団体連合会主催による第18回水道用品展示会が、'84年10月11日および12日の両日、釧路市民文化会館前専用駐車場において開催された。





この展示会は、昭和59年度日本水道協会第53回全国総会の開催と同時開催されたもので、同総会には全国各地の地方自治体より水道管理者など約2,500名が出席した。

当社は、同展示会に開放型サイフォン・フィルター（模型）、間欠式空気揚水塔（模型による実演）、レオポルドブロックの模型と実物その他全国各地に納入の浄水処理施設の写真パネルを出品展示した。

4.3. '84粉体工業展 Powdertec Japan '84

（社）日本粉体工業技術協会、（社）化学工学協会、（社）日本能率協会などの主催による'84粉体工業展が、'84年10月15日より19日まで5日間、東京・晴海国際見本市会場において開催された。

同展示会は、各種粉粒体に関する機器・装置・プラント材料およびその計測技術の進歩と普及をはかり、粉体工業の総合的な発展に寄与することを目的に2年に1回開催されている。

新製品として出品した。超微粉砕機「コボール・ミル」が好評を博した。

なお、出品物は次のとおり。

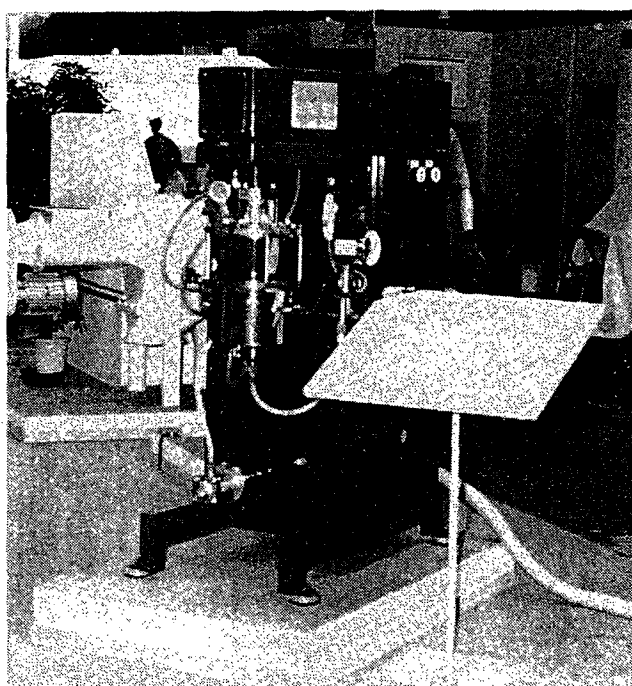
出品物：超微粉砕機「コボール・ミル」（新製品）

100ℓSVミキサー真空乾燥装置

18"スエコ丸型振動ミル

強制攪拌型保証ふるい分け機「タイフーンⅠ」

VTR「コボール・ミル」上映



脚光をあびた新製品「コボール・ミル」
New product in the limelight "COBALL-MILL"

