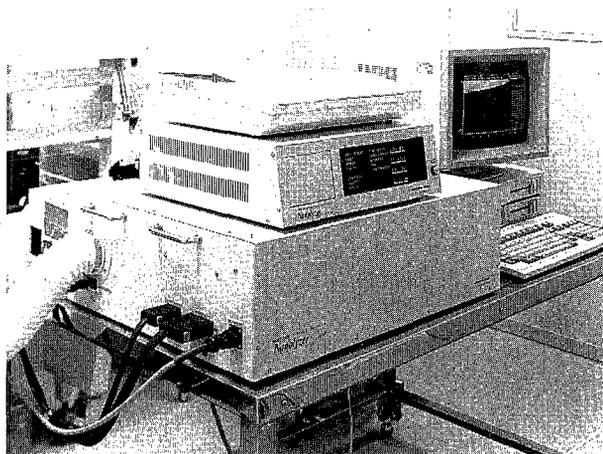


目次  
CONTENTS

- 〔特別講演抄録〕流れの可視化..... 1  
Flow Visualization
- 〔特別講演抄録〕最近の溶射技術およびセラミックス接合技術..... 3  
Recent Thermal Spraying and Ceramics Bonding Technology
- レーザー光散乱法による超微粒子計測装置..... 8  
Nano-Size Particle Analyzer (Nanolyzer)
- 流動層型バイオリアクター.....14  
Fluidized Bed Bioreactor with Urethane Foam
- SVミキサーの新用途.....17  
New Applications of SV Mixer
- 電気ヒータ付国際大型タンクコンテナの開発.....21  
Development of International Large Container with Electrical Heater
- 少量多品種プロセスのバッチ制御と銘柄管理.....25  
Batch Process Control and Recipe Management for the Process with  
Small-volume Multi-product
- 大型高効率ベルトプレス脱水機.....29  
High Efficient Large Beltpress Dehydrator
- 中国大慶向け廃水処理設備.....36  
Wastewater Treatment Facility for an Ethylene Complex, Daqing, China
- 生物膜汚過(BCF)による研磨排水処理.....40  
Grinding Wastewater Treatment by BCF
- 冷却塔の海外工事実績紹介.....45  
Field Works of Cooling Towers in Overseas Project
- 社内ニュース.....50  
TOPICS



<表紙写真説明>

本装置は半導体製造工程で洗浄水として使用される超純水中の微粒子をオンライン、リアルタイムに計測出来るレーザー光散乱法による超微粒子計測装置(Nanolyzer)である。

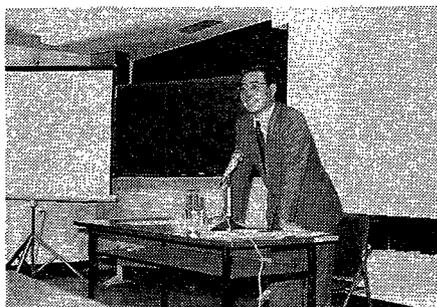
本装置の特長は光源としてアルゴンレーザーを使用し、特殊検出セルにおける液中粒子からの散乱光を最新の粒子認識ソフトで解析し従来計測出来なかった  $0.1 \mu\text{m}$  の測定領域をさらに越えた  $0.067 \mu\text{m}$  の粒子まで計測出来るように分解能を高めたところにある。本装置は興和㈱と共同開発したものである。

The picture shows an innovative particle analyzer "Nanolyzer" using Ar-laser scattering method which, operating on-line and real-time, can measure the particle in the ultrapure water utilized mainly at semiconductor production factory.

"Nanolyzer" has several functions as follows analysing the scattering light strength of particle in the ultrapure water at special detector cell by newly recognition software program and recognizing  $0.067 \mu\text{m}$  particle smaller than  $0.1 \mu\text{m}$  particle which has never been performed to detect by conventional instruments. "Nanolyzer" has been developed by cooperative work with Kowa Co., Ltd.

# ＝ 流れの可視化 ＝

## Flow Visualization



講師 神戸大学工学部 機械工学科教授  
木村雄吉  
Takeyoshi Kimura  
Professor of Mechanical  
Engineering, Kobe University  
抄録 (化)技術部 技術第1課  
竹中 努  
Tsutomu Takenaka

One of the methods for solving fluid flow phenomena is by basic equation and boundary condition. However, there are very few strict solutions in hydrodynamics. Another method is by experimental approaches, especially flow visualization has advantage that the entire flows can be solved. Recently, not only the qualitative analysis but also the quantitative analysis of the flow was made possible through the flow visualization. One of the biggest subjects in the future is to visualize the pressure for fluid flow.

1986年7月10日本社大会議室にて、多数の出席者のもとに、特別講演会を開催した。

本講演会は、計測学会の会長である木村雄吉 神戸大学教授をお招きし、首記演題にてご講演頂いた。本稿は、そのご講演内容を要約したものである。

### まえがき

私たちの身の廻りには多くの流れが存在する。風の流れ・川の流れ・海の流れなどである。また鳥が飛んだり魚が泳いでいるのも流れである。つまり鳥が飛んでいるのと鳥が静止していて周辺の場が動いているのは同じことである。これを「ガリレイ変換」という。そして人間はこれらの流れをいろいろな方法で解明しようとしてきた。

### 1. 基礎方程式

流れ場の解明方法の一つは基礎方程式を境界条件を与えて解くことである。基礎方程式には

#### (1) 連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho \mathbf{v} = 0$$

#### (2) 運動方程式

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} P + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$$

#### (3) 状態方程式

$$\frac{P}{\rho} = gRT$$

の3つがあり、これで一般の流れを解くには必要かつ十分である。この中の未知数は速度・密度・圧力の3項のみである。(動粘性係数はわかっており、温度は他の状態量がわかればよい。)すなわち境界条件を与えて速度・密度・圧力を解けば流体力学は解けたといえる。しかしこの式には非線形偏微分方程式を含んでおり、一般解がないので、流体力学にたずさわっている人は流れをモデル化して解こうとする(例えば流れには粘性がないと仮定する・流れが

完全な平行流れハーゲン・ポアズイユ流れと仮定する・壁面だけを考えるなど)が、それでも流体力学において厳密解といえるものは極めてわずかしかない。しかも境界層方程式で境界層全てが解けるわけではない。解けるのは平板の真平らな所だけである。極論すれば、流体の基礎方程式で実際の流れは解けない。このため実験的手段によって未知の物理量を測定して、流れを解明しなければならない。

### 2. 実験的方法

実験的方法の中で、ピトー管とか圧力計などで一点を測る局所計測は、その精度・容易さ・じん速さにおいて非常に発達しているが、流体力学の目的である流れ場全体を解くには不向きである。例えば部屋全体の流れを解くにはピトー管を部屋の中で3次元にトラバースしなければならない。これでは時間のむだである。

そこで可視化実験が出てきた。最初は流れを定性的に見るためであったが、最近では可視化実験から定量的なデータを得ようとしている。コンピューターおよび画像処理技術によってその精度は非常によくなっている。しかしまだ精度においては局所計測には劣るが、今後有望な実験的方法である。

### 3. 可視化の対象

#### 1) 速度

可視化の対象はほとんどが速度である。速度の可視化はトレーサー法が主に用いられる。「流線(Stream line)：ある瞬間に流体内に一つの線を考えて、その線上で流体の速度がすべてその線の方向を向いている場合にその線を流線と呼ぶ」「粒子径路(Particle path)：流体粒子の実際の通路であり、流線と粒子径路は一致しない」「流脈(Streak line)」「タイムライン(Time line)」を観測する。

写真1は円柱まわりの流れを水素気泡法によって可視化したものである。この写真は流線を表しているが、画像処理によって速度場および圧力分布を知ることができる。

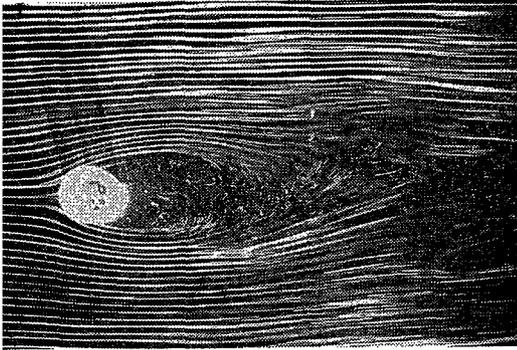


写真 1 水素気泡法による円柱のまわりの流れの可視化  
Photo. 1 Flow visualization around a column by hydrogen bubble method

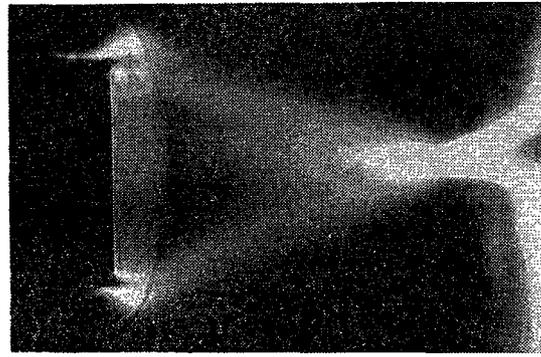
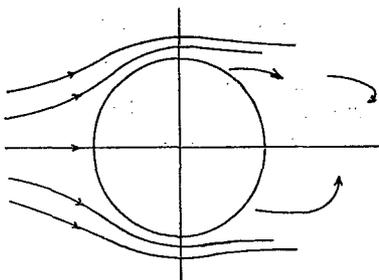
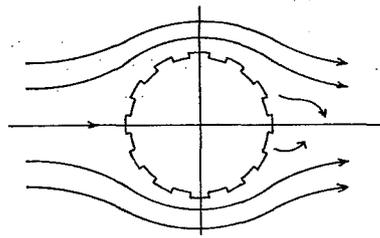


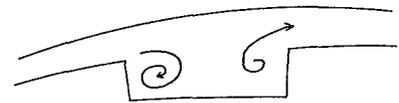
写真 2 放電法による楔模型まわりの衝撃波の可視化  
Photo. 2 Shock wave visualization around a wedge-shaped model by electric discharge method



第 1 図 なめらかな円柱のまわりの流れ  
Fig. 1 Flow around flat column



第 2 図 ディンプル付円柱まわりの流れ  
Fig. 2 Flow around column with dimple



第 3 図 ディンプル内の流れ  
Fig. 3 Flow in dimple

#### 密度

密度は速度に次いで多い対象である。シュリーレン法などの光学的方法による可視化がある。

写真 2 は放電法によって可視化した楔模型まわりの衝撃波である。写真は楔を正面から見たもので、流れの方向から衝撃波断面を撮影している。

#### 境界形状

物体後のウェーク等流れの形状の可視化である。写真 1 は円柱背後にウェーク形状が観察される。

#### 温度

感温液晶法・サーモグラフ法などの手法があるが、可視化の例は極めて少ない。

#### 圧力

流体力学では重要なパラメーターであり、特にエンジンリングにおいては物体が流体から受ける力または、物体が流体に及ぼす力（力は圧力を物体まわりに積分したもの）が重要であるが、圧力の可視化はまだほとんど行われていない。

#### 可視化の応用例

第 1 図はトレーサとして色素を用いて可視化実験を行ったものを図示した。なめらかな円柱の場合、円柱の後方で流れは円柱からはく離し、後流といううずをもった速度の遅い領域ができる。この後流部をウェークというが、ウェークが大きいほど流体抗力が大きくなる。

第 2 図は円柱にディンプルを付けたものであるが、この場合ははく離点が後にくる。ウェークも非常に小さくなり

流体抗力が小さくなる。ゴルフボールのディンプルは流体抗力を弱めて、より遠くへ飛ばすために工夫されたものである。かりにこのディンプルがないと飛距離は $\frac{1}{2}$ 以下になることは、実験的にも計算上からも証明できる。

第 3 図はディンプル内流れの可視化である。（実験は円柱に 2 次元の溝を掘ったものである。）ディンプル内で渦を巻き、外側の流れと後ろ側で合流している。ディンプル内で渦を巻くような形状のディンプルを作ると抵抗は小さくなる。

以前は表面がザラザラだと乱流ができてはく離が小さくなり、抵抗が小さくなると考えられていたが、現在では、はく離泡ができて抵抗が小さくなることがわかってきた。

#### むすび

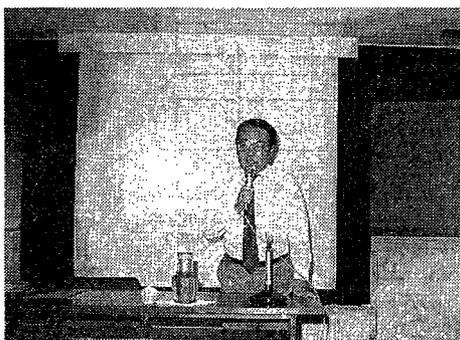
流れの可視化というのは重要であり、ただ単に画像を定性的に見るだけでも価値があるが、最近では画像処理することによって定量化したデータが得られ、流れの解明のための主要な手段となりつつある。

現在可視化における最大の課題の一つは圧力の可視化である。また高速気流の場合、慣性力が大きいとトレーサが主流にフォローしないため密度以外の可視化はまだ達成されていない。

非定常流れは乱流も含め、これからの問題である。また 3 次元流れは定性的に見るには楽であるが、データ化するには非常に困難である。これらの可視化は今後の重要な課題である。

# 最近の溶射技術およびセラミックス接合技術

## Recent Thermal Spraying and Ceramics Bonding Technology



講師：大阪大学溶接工学研究所助教授  
大森 明  
Akira Ōmori  
Associated Professor of  
Welding Research Institute  
Osaka University  
抄録：(化)技術部 製品開発課  
沢田 雅光  
Masamitsu Sawada

Characteristic coatings are given on various materials by thermal spraying which is noticed as functional coating method. For example,  $TiO_2$  coating by plasma spraying increases its electrical conductivity, and WC-Co coating by low pressure spraying improves its mechanical properties, Thermal spraying is well known as most easiest bonding technics for ceramics and metals.

On the other hand, other bonding technics such as metalized bonding, solid state reaction bonding are extensively studied. But these bonding methods have the problem of how to apply them to the structural substances.

This article shows the outline of thermal spraying and bonding of ceramics which is very important in applying new ceramics to structural substances.

1986年7月25日、当社において、大阪大学溶接工学研究所大森明助教授より、首記演題でご講演頂いた。

ご講演内容は、新素材として注目されているセラミックスを構造材料として使用する上で、重要な技術である溶射と、接合に関するもので、本稿は、そのご講演内容を要約したものである。

### まえがき

今日、電子、宇宙、原子力などの先端工業の発展に伴い、各種金属材料の使用環境がますます厳しくなり、特に優れた耐熱性、耐摩耗性、耐腐食性を有するセラミックスの用途が拡大され、構造用材料としても、期待されている。

しかしながら、セラミックス自身の加工性の悪さ、熱衝撃に弱いなどの欠点を有すること、その上、新しい金属材料の立遅れなどから、2種以上の素材を複合して、新しい機能をもたらず複合材料の開発が、重要な課題となってきた。

例えば、材料表面にある物理的、化学的処理を施して、全く異なった材料機能を表面に与える複合化表面処理技術としての溶射や、セラミックス-金属の接合技術が注目されている。

以下、これらのことについて紹介する。

### 1. セラミックスと金属の接合法の分類

セラミックスと金属の接合法を分類して第1図に示す。

古くから最も広く用いられている方法として、セラミックス・金属より融点の低いインサート材を用いる、ろう付法がある。現在、インサート材を用いず、セラミックスと金属とを直接固体状態で接合する、固体接合法が注目され、使用されている。他に、セラミ

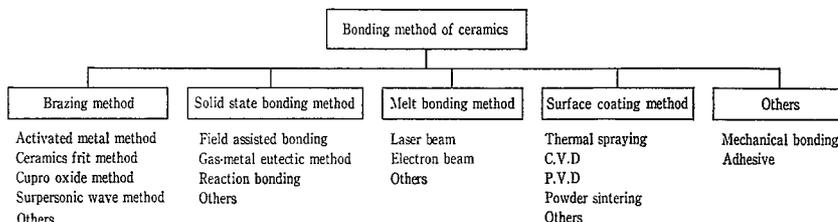
ックス同士の接合に、レーザービームを用いる融接法、溶射、粉末焼結法などの表面被覆法が存在する。

### 2. 溶射技術

溶射とは、粉末、線、棒状の固体(溶射材料)に何らかの方法で熱を与え、溶融し液体微粒子状にして、ある素材材料に高速で吹き付け、その表面に皮膜を形成させる技術である。第2図に溶射施工の概略を示す。

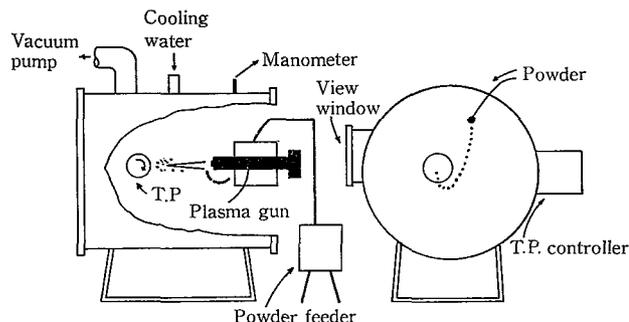
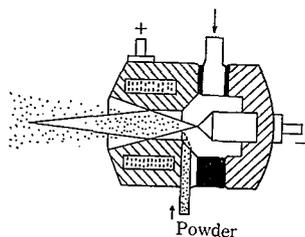
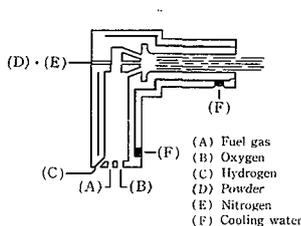
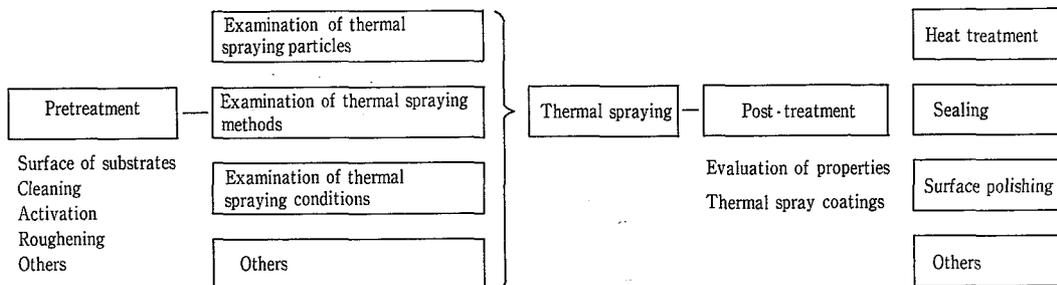
家庭で使う霧吹き、塗料の吹き付けとよく似た現象を利用している。しかし、溶射では液体にして吹き付ける溶射材料の融点が非常に高い(特にセラミックスでは2000℃以上のものがある。)ため、アセチレンなどの燃焼熱あるいはアーク、プラズマなどの電気エネルギーを用いて、何千、何万度という高温を発生させる高エネルギー源が必要であり、更にセラミックス溶射材に、有効に熱を与えるため各種方法が工夫され使用されている。第3図にその数例を示す。

溶射は高エネルギー溶射微粒子を材料表面に、高速度で撃突させ、新しい機能をもつように表面皮膜層を形成させ



第1図 各種セラミックス接合法  
Fig. 1 Various ceramics bonding methods

第2図 溶射の施工  
Fig. 2 Application of thermal spraying



第3図 主な溶射方法  
Fig. 3 Schematic diagram of thermal spraying methods

ため、皮膜性質の安定性、信頼性などが重要となり、新しい溶射工学を確立し、学問として体系化させ、展開させることが緊急課題となっている。

### 1 溶射技術の特長

溶射技術は、他の表面被覆技術と比較して、以下の特長を有する。

- 1) 表面改質 被覆に用いられる 溶射としては、熔融可能な、アルミナ・ジルコニアなどのセラミックス・金属・合金などあらゆる材料が改質の目的に応じて使用可能である。
- 2) 改質される相手(素材)としては形状が複雑で、また大型の製品・部品に対して施工可能である。
- 3) 素材が溶射中比較的低い温度(約 200 °C)に保持されるため、素材自身の組織・物性の維持が可能である。
- 4) 溶射は大気中で可能であるが、目的によっては低真空あるいは不活性ガス雰囲気でも施工できる。

### 2 セラミックス溶射現象

#### 1) セラミックス溶射皮膜構造

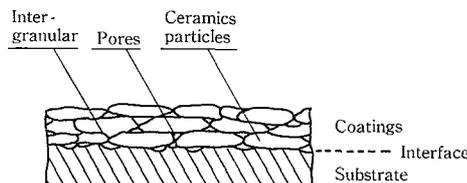
焼結セラミックス自身の構造は多結晶体であり、複雑な複合体である。その組織は、主として粒界・結晶粒・気孔からなる。

セラミックス溶射皮膜構造は、溶射方法、セラミックスの種類などによって、多少の相違が認められるが、第4図の模式図に示すごとく、セラミックス粒子の扁平化され積層構造を有しており、組織はセラミックス結晶粒、粒子間(粒子間), 気孔からなっている。

これら皮膜の気孔量(特に素材まで達する貫通気孔量)、セラミックス結晶粒の構造、物性および粒界での粒子間結合力がセラミックス溶射皮膜の特性、すなわち、耐腐食性、耐摩耗性、耐熱性および機能特性などを支配する。

#### 2) セラミックス溶射皮膜の物性変化

溶射方法、装置および溶射条件の違いにより、セラミッ



第4図 セラミックス溶射皮膜構成図  
Fig. 4 Thermal spray coating structure

クス、サーメット、金属溶射材に与えられる溶射環境(温度・スピード・溶射雰囲気など)が大いに異なり、同じセラミックスを溶射材として用いても、形成されるセラミックス溶射皮膜構造が大きく変化し、その皮膜特性に大きな影響を与える。それゆえに、この溶射後における皮膜構造を明確にする必要があり、セラミックス溶射現象として特に重要である。

WC-12% Co サーメットについて、溶射方法、溶射条件による皮膜の構造および物性の変化を検討した。

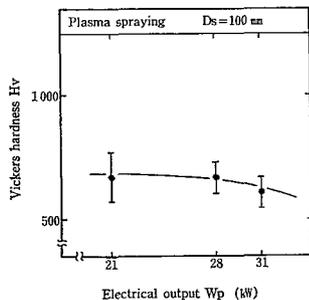
第5図は、大気中プラズマ溶射法で、プラズマ出力とビッカース硬度の関係を、第6図は、高エネルギーガス炎溶射法で、燃料ガス圧とビッカース硬度の関係を、それぞれ調べた結果である。

両図より、大気中プラズマ溶射法は高エネルギーガス炎溶射に比べ、皮膜の硬度が低く、かつプラズマ出力を上げても硬度が低下する傾向にあることがわかる。

さらにこれらの皮膜をX線回折したところ、大気中プラズマ溶射法によって形成された皮膜は、Wが支配的であることもわかった。

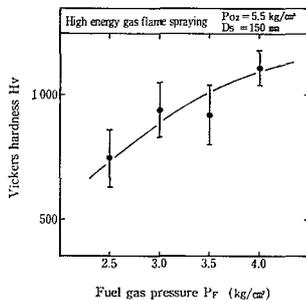
この原因はプラズマ中の超高温下で酸素との反応によりWCが分解したためである。

また、この他にセラミックスでも同様の現象がみられる。一般に熱に対し安定といわれている酸化物セラミックスに TiO<sub>2</sub> がある。この TiO<sub>2</sub> でさえ、プラズマ溶射によ



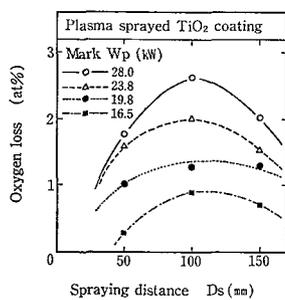
第5図 WC-12% Co 皮膜の硬さとプラズマ出力の関係

Fig. 5 Effect of  $W_p$  or the vickers hardness of WC-12% Co coatings



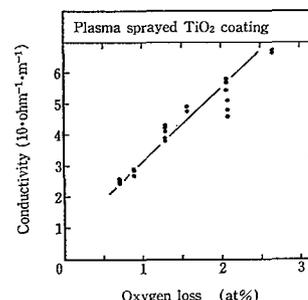
第6図 WC-12% Co 皮膜の硬さと燃料ガス圧の関係

Fig. 6 Effect of  $P_f$  on the vickers hardness of WC-12% Co coatings



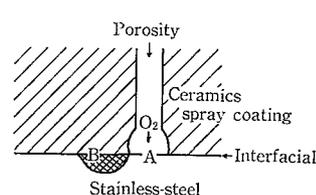
第7図 TiO<sub>2</sub> 溶射皮膜の酸素欠損と溶射条件の関係

Fig. 7 Spraying distance and oxygen loss of coating vs. different electrical output



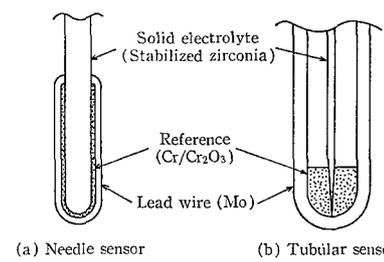
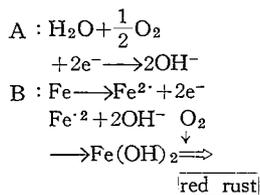
第8図 TiO<sub>2</sub> 溶射皮膜の酸素欠損と電気伝導度の関係

Fig. 8 Relation between oxygen loss and electrical conductivity of coating



第9図 腐食の生成機構

Fig. 9 Corrosion mechanism



第10図 酸素濃度測定素子の模式図

Fig. 10 Oxygen concentration sensor

って形成された皮膜は、溶射前の TiO<sub>2</sub> 粉末と比べ、大きな構造、物性の変化が認められる。それは、白黄色粉末が黒色皮膜になること、電気絶縁体から半導体に変わることなどで示される。

この皮膜を分析すると、皮膜表面に配向が現われており、これは酸素の高温解離によって生じた、非化学量論的 TiO<sub>2</sub> 八面体の生成によるものと思われる。

第7図は、TiO<sub>2</sub> をプラズマ溶射した時の、酸素の解離量を調べたものであり、溶射距離 100 mm にピークがある。距離が100 mm 以下になると、TiO<sub>2</sub> 粉末が十分熱解離する余裕がないため、酸素の解離量が減り、逆に 100 mm 以上になると、大気中の酸素によって、一旦還元された TiO<sub>2</sub> が再度酸化されるため、酸素の解離量としては減少した形になっているものと考えられる。

酸素の解離量と電気伝導性は、第8図より直線的であることが確認できる。TiO<sub>2</sub> のプラズマ溶射皮膜は n 型半導体を示す。

### 3) セラミックス溶射皮膜の大気中腐食挙動

素材にステンレス鋼を使った場合、セラミックス溶射皮膜中に気孔、特に素材まで達する貫通気孔が存在し、大気中湿潤環境下において、皮膜表面での赤錆の発生、ふくれなどの腐食が発生する。この腐食の発生機構を第9図に示す。

防食を目的として、一般的にフェノール系、シリコン系等の樹脂で封孔処理が行われる。最近では真空中で溶射することによって、貫通気孔を無くす試みもなされている。

### 2.3 セラミックス溶射による機能性コーティング

セラミックス溶射皮膜により、表面改質を行う目的として、耐摩耗性、耐食性、電気絶縁性などの機能を与えている。現在セラミックス溶射は、T.B.C(Thermal Barrier Coat-

ing)として、ジェットおよびロケットエンジン、タービンブレード、MHD発電の絶縁壁に、耐摩耗用途として、ガイドローラー、シャフトなどへと、広く普及している。新しいところでは、固体電解質の機能を生かした酸素濃度測定用ニードルセンサーがある(第10図(a))。従来は、チューブラーセンサー(第10図(b))が製鋼用として使われていた。当図中1のごとく高エネルギー溶射によって形成されたもので、性能面などで従来型に比べ、損色ないものとなっている。

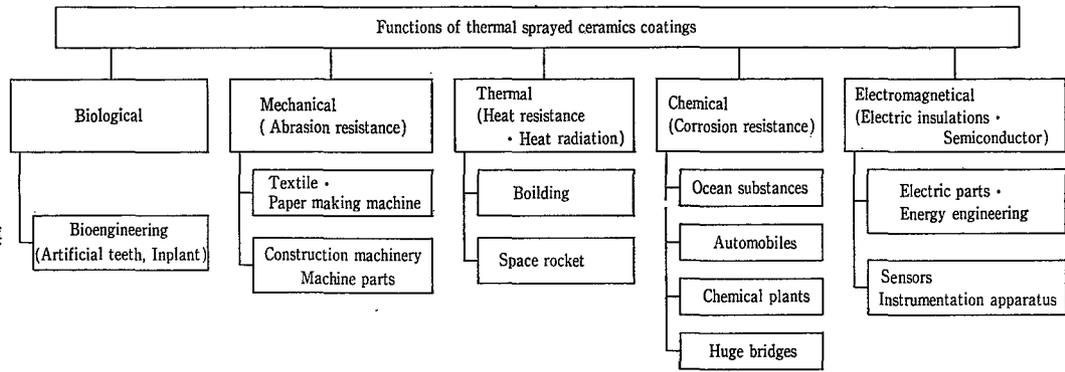
更にファイナセラミックスにより達成されている高機能を目的として、セラミック溶射の研究、開発が進められている。溶射技術の動きとして、プラズマジェットの高出力化、皮膜性状の把握、ロボット溶射、ファイン溶射、低真空を含めた雰囲気溶射、プラスチック上へのセラミック溶射、燃料電池への ZrO<sub>2</sub> 溶射等々、非常に多岐にわたっている。

最後に、第11図でセラミック溶射の機能と、その適用分野を示す。

### 3. セラミックスのろう付法

セラミックスを金属またはセラミックスに接合する時、古くから用いられている最も一般的な方法として、ろう付の原理、すなわち液体金属、あるいはガラスなどの酸化物を、ろうとしてセラミックスと金属の間にインサートして用いる、ろう付法が工業界に広く用いられ発展してきた。この方法は後述する固体接合法と異なり、素材間の接触表面が、液体(ろう)でぬれることにより、非常に良い気密性のある接合を達成する。しかし、セラミックスは一般の金属ろう付用ろうに対して、本質的にぬれ性が劣る。

それゆえに、セラミックス表面をメタライジング処理を



11 図  
セラミックス溶射皮膜  
の機能と適用分野  
fig. 11  
Applications of thermal sprayed ceramics coatings

るとか、Tiなどの活性金属をろうりに添加して、ろうのぬれ性を容易にするなどの方法がとられている。

### 1 活性金属法

液体金属は酸化物固体（セラミックス）より大きい表面エネルギーを有しているため、界面エネルギーが高く、ぬれが悪くセラミックス表面を広がらない。ところが、ある元素を添加することにより界面エネルギーを減少させ、ぬれ性を向上させることが可能である。

第12図はアルミナ表面に存在する液体ニッケルに、Ti, Cr, Sn, Inなどの金属を添加した時の界面エネルギーの変化を示している。

この方法によるセラミックス-金属の接合として、Cu-Ni合金の使用、チタン水素化物とAg-Cu, Au-Cu合金の併用がある。さらにZr, Ta, Nbなどの水素化物の使用が報告されている。

この方法は、酸素に対して活性な高融点金属(Ti, Zr, Ta, Nbなど)とセラミックスとの界面での反応を利用する方法で、比較的低融点の合金をつくるCu, Ag, Niなどの金属との合金を用いて、真空中とか、Arなどの不活性雰囲気中で行われている。

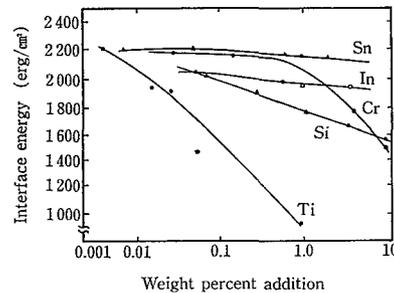
Ti-Ni-Ag合金を用いたアルミナとニッケルとの接合過程は、次のように説明されている。Ti-Ni-Ag合金が溶融されると、Tiがアルミナ界面で選択的に吸着され、アルミナに含まれているSiO<sub>2</sub>と反応し、チタン酸化物が形成され、互に拡散反応して接合が生じる。

### 2 セラミックスフリット法

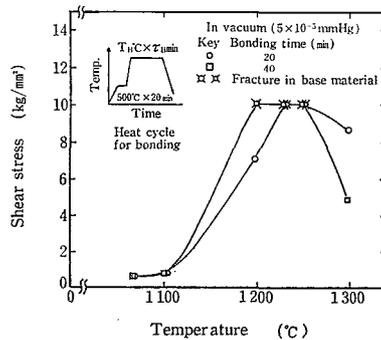
本法はインサート材としてセラミックス、金属接合素材より低融点の酸化物混合系を用いる方法で、代表的酸化物系として、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO-SiO<sub>2</sub>が用いられている。前者はセラミックスと耐熱性金属を1200°C以上で、後者は鉄系合金あるいは耐熱性金属とセラミックスを1140°C以上で接合を行うのに用いられる。

比較的低融点(1100°C以下)のB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-ZnO系も使用されている。さらに低融点の酸化物系としてガラスが用いられて、ハーメチックシールに使用されている。具体的には、有機バインダーにより、10μmまでの酸化物混合粉末をペースト状にして、セラミックスと金属の間に挿入し、酸化物混合系の融点より50°C高温で、水素などの雰囲気ガス中で行われる。

さらに、透光性アルミナとNbまたはTaとの封着が、水晶質ガラス(CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)などの酸化物混



第12図  
アルミナ表面に存在する液体ニッケルおよび鉄の界面張力に及ぼす添加元素の影響  
Fig. 12  
Influence of added elements related to interface energy of liquid nickel and iron on aluminum surface



第13図  
酸化第一銅法によるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>継手強度の接合温度依存性  
Fig. 13  
Shear stress of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and bonding temperature by cuprous oxide method

合系を用いて行われている。

本法の接合機構として、アルミナ側ではアルミナが溶融酸化物中へ溶解し遷移層を形成する。金属側では金属酸化物が溶融酸化物と遷移層を形成し接合が生じていると考えられている。

### 3.3 酸化第一銅法

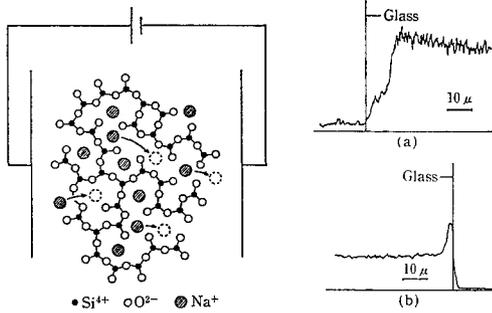
酸化第一銅(Cu<sub>2</sub>O)粉末(粒径2~5μm)をインサート材とするセラミックス(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, ZrO<sub>2</sub>)同士および、金属との接合法である。溶融銅は大気または、酸素雰囲気中で酸化銅となって、アルミナなどの酸化物セラミックスと反応してぬれる。

真空中、Cu<sub>2</sub>O粉末をアルミナの間に挿入し、接合時間、20分、40分で接合温度を変化した場合の結果を第13図に示す。

本接合はアルミナ界面でのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とCuOとの反応によるCuAlO<sub>2</sub>の生成、接合部でのCu<sub>2</sub>OのCuへの解離反応により生じている。

### 4. 固体接合法

この方法はセラミックスと金属を固体状態で直接接合す



第14図 電圧印加によるガラス中 Na<sup>+</sup> 移動の模式図 (左図) と電圧印加後のガラスのアノード側 (a)、カソード側 (b) の Na の分布状態 (右図)  
**Fig. 14** Left side: Movement of Na<sup>+</sup> in glass by field assisted bonding  
 Right side: Na in glass near anode(a), and cathode(b) after field assisted bonding

る方法で、電圧印加接合法、ガス-金属共晶接合法、反応接合法に分類される。

#### 4.1 電圧印加接合法

イオン導電性固体と金属あるいは半導体とを、固体状態で加熱し、電圧印加により直接接合する方法で D.I. Pomerantz により開発された。ガラスと金属の接合の場合、ガラスが高温に加熱(固体)された時に電圧が印加されると、Na イオンがカソード側に移動し集積する。一方、アノード側の接合金属と接したガラス部分に、Na 欠陥層が第14図に示すごとく生成する。その結果、ガラス-金属界面で分極が生じ、静電的な圧力が生じ、金属のガラスへの拡散により接合すると考えられている。接合条件として温度300~600 °C、電圧200~2000 Vが採用されている。接合物に外部から加圧を付加することにより、低温、低電圧の接合が可能である。

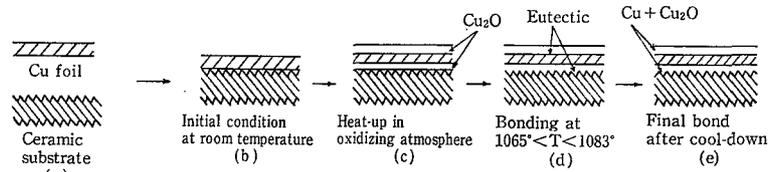
#### 4.2 ガス-金属共晶接合法

ガスと金属の共晶を利用する直接接合法で、少しの酸化雰囲気中で、銅箔をセラミックスに接合するのに主として採用される。酸素と銅の共晶温度(1065 °C)以上で、銅の融点より低い固体状態で、酸素-銅の共晶を利用して接合を行う。その接合過程を第15図に示す。

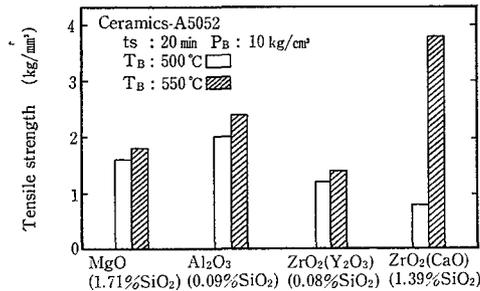
この方法の適用可能な金属は Cu の他に、Fe, Ni, Co, Ag, Cr などである。さらに酸素のかわりに P, S に対しても適用可能である。

#### 4.3 反応接合法

この接合はセラミックスと金属の直接固体反応を界面で



第15図 ガス-金属共晶法による銅とセラミックスの接合過程の模式図  
**Fig. 15** Copper and ceramics bonding process by gas-metal eutectic method



第16図 Al-Mg 合金と各種酸化物セラミックスとの加圧固体反応接合結果  
**Fig. 16** Pressed solid states reaction bonding results of Al-Mg alloy and various oxidized ceramics

行わせる方法で、外部から加圧を与えず金属を変形させずに行う方法と、加圧を与え金属を変形させて行う方法(加圧固体反応接合法)に分けられる。

前者の場合、接合に長時間必要で、貴金属、遷移金属とその種類によって接合機構は異なる。

後者の場合、使用した金属の酸化物とセラミックス素材との反応による幅広い中間層の形成が認められるが、前者の貴金属では明確な中間層がなく、その接合機構は明らかでない。

第16図に Al-Mg 合金(A 5052)と各種酸化物セラミックスの加圧固体反応接合結果を示す。加圧の効果が認められ、短時間で接合が可能である。非酸化物セラミックス(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>など)と金属の固体反応接合についても報告されている。

#### むすび

セラミックスの溶射技術および接合技術について説明したが、この種の技術に共通した問題としては、接合体の高精度な評価試験法が確立されていないことである。特に実用化されて久しい溶射技術においては、溶射工学として学問体系化するためにも、高精度な評価試験法の早期確立を達成する必要がある。

# レーザー光散乱法による超微粒子計測装置

## Nano-Size Particle Analyzer (Nanolyzer)

技術開発本部

佐々木 隆  
Takashi Sasaki  
有田 若彦  
Wakohiko Arita

An innovative particle analyzer "Nanolyzer" has been developed by cooperative work of Shinko-Pfaudler Co., Ltd and Kowa Co., Ltd. Measuring principle of "Nanolyzer" applied to detect particles is 90° scattering method using Ar-laser.

It has been proved that "Nanolyzer" can recognize a 0.067 μm polystyrene latex standard particle in the ultrapure water and measuring datas by "Nanolyzer" are resulted in good correlation with data by SEM test.

In addition, it is also operated on-line and real-time to control the quality of ultrapure water utilized mainly at semiconductor production factories.

These functions have never been attained by conventional instrument but should be indispensable for semiconductor industry in the near future (MEGABIT ERA).

半導体工業で使用される超純水に含まれる微粒子を計測する超微粒子計測装置(Nanolyzer)を興和(株)と共同開発した。

本装置は、アルゴンレーザーによる90°散乱法を測定原理としたものであり、オンラインでリアルタイムに計測できるものである。従来計測できなかった 0.067 μm ポリスチレンラテックス標準粒子の測定が可能であることを確認した。超純水中の実際の微粒子の計測においても、電子顕微鏡による検鏡値とよく相関していることが確認できた。従ってメカビット時代対応の超純水の水質保証、さらには超純水製造装置の集中監視やシステムコントロールに大いに役立つものであると考える。以下その内容について報告する。

### ま え が き

半導体工業では、IC、LSIの製造工程においてその洗浄用水として超純水が使用されている。半導体メモリーが高度化し、その集積度が年々増大するとともに超純水の要求水質も非常に高度になってきている。現在半導体メモリーの主流は256 KビットDRAMであるが、すでに一部で1メガビットの半導体メモリーの生産も開始されている。1985年以降は米国半導体不況の影響を受け、日本のIC業界も相当にきびしい不況に見舞われているが、一方では将来の1メガビット、4メガビット時代への対応を迫られておりIC製造技術の研究開発が盛んに行われている現状である。このため1メガビット、4メガビット用の超純水に対する水質は非常に高度なものが要求されることになる。しかしこの様な高度な超純水をいかに保証して安定的に供給するかが重要な課題である。要求される高度な超純水を製造することは言うまでもなく重要であるが、その水質を立証するつまり計測することも極めて重要である。いくつかある水質項目の中でも、微粒子計測はSEM(走査型電子顕微鏡)検鏡では多大な時間と労力を要し、リアルタイムな対応が難しく、測定技術として問題がある。このような状況からオンライン型超微粒子カウンターの開発が急がれていた。ここに紹介する超微粒子計測装置は、アルゴンレーザーによる90°側方散乱法を採用したメガビ

ット時代に要求されるもので超純水に含まれる微粒子をオンライン、リアルタイムに計測でき、その水質保証並びに超純水製造装置の監視と制御の可能性を有するものである。

### 1. 超純水製造システム

半導体工業における超純水製造システムは、一般に第1図に示すような前処理システム、一次純水システム、二次純水システムから成っている。

#### 1.1 前処理システム

前処理システムは、原水により異なるが通常凝集砂ろプロセスから成り、原水中に存在する懸濁物質あるいはコロイド物質を分離除去するものである。

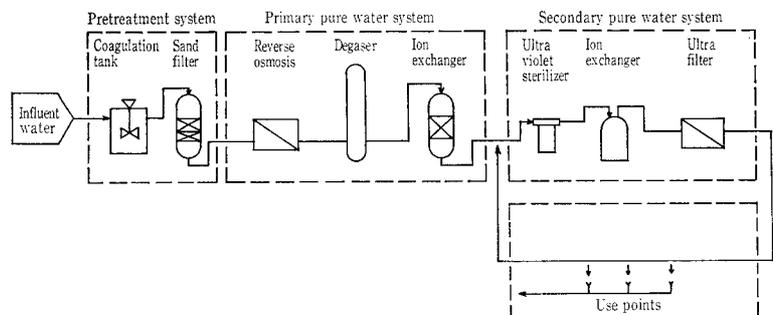
#### 1.2 一次純水システム

一次純水システムは、逆浸透装置、脱気装置、イオン交換装置から成り、電解質、微粒子、有機物等の不純物をほとんど除去することを目的とする。3つの装置の組合せは原水水質と要求水質によりやや異なる。イオン交換装置も単床塔、混床塔の組合せがケースバイケースで使い分けられる。

#### 1.3 二次純水システム

二次純水システムは、UV殺菌装置、非再生型イオン交換装置、限外ろ過装置から成っているのが一般的である。一次純水システムで除去し得なかった極微量の不純物を除去し、限りなく理論純水に近づけることを目的としている。

しかし1メガビット、4メガビット対応の超純水となる



第1図 超純水製造システム例

Fig. 1 An example of ultrapure water manufacturing system

と、微粒子、TOC等の要求水質がさらにきびしくなり各装置の組合せ・構造・材質・配管システム等について各社検討している段階である。また低圧逆浸透装置の組込み、あるいは熱水殺菌法等新しいプロセスの採用等も進められている。

## 2. 超純水の要求水質と集積度

一般に超純水の水質基準として、比抵抗、微粒子、有機物(TOC)、生菌等の項目に対して一定の基準が設けられている。ICの集積度が增大するにつれ、超純水の要求水質も非常にきびしくなっているが、集積度に対する要求水質の変遷を第1表に示す。これらの水質項目の中で、微粒子は、ICチップ製造歩留りに大きな影響を与えると言われており、重要な因子である。すなわちパターン寸法の $\frac{1}{10}$ 以上の粒径を持った微粒子が多いとICの回路欠陥が生じ不良品発生の確率が高いとされている。

1メガビットICメモリはすでに量産されており、4メガビットあるいは16メガビット時代対応の超純水製造システムが要求されるのもそう遠くないと思われる。したがって当社ではメガビット時代に照準を合せいろいろな角度から研究開発を進めている。

## 3. 微粒子計測技術

超純水中の微粒子を計測する技術には直検法と間接法がある。

### 3.1 直検法

この方法は一定孔径を持ったフィルターで一定量の超純水を濾過し、フィルター上に捕捉された超純水中の微粒子を顕微鏡で計数し、個/mlに換算する方法で従来は光学顕微鏡で計測していた。しかしメガビット時代に入り0.1 $\mu\text{m}$ 以下の粒子の計測が必要となり、光学顕微鏡では計測できず、必然的に電子顕微鏡での計測が必要になってきたが電子顕微鏡での計測は非常に難しく種々の問題がある。

精度にかかわる大きな要因として、ブランクの取り方、サンプル量、視野数と倍率が考えられるが、当社は下記の方法を基準としている。後述する超微粒子計測装置の評価においても本電子顕微鏡法との比較で行った。

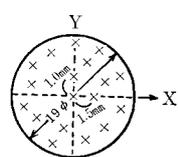
#### 1) ブランク(B)

一般に1箱100枚入のニュークリポア製のフィルターを無作為抽出し、超純水を濾過したフィルターと同じ動作、行程を行った後検鏡し粒径区分ごとに粒子数を求める。

#### 2) サンプル量(S)

0.05 $\mu\text{m}$ のニュークリポア製フィルターで濾過する超純水量は10000ml以上

#### 3) 視野数(F)



20000倍の倍率で200視野以上とする。200視野の位置は次の通りとする。

有効径19 $\phi$ mmのフィルターを中心より

X軸左右へ1.5mmのピッチで13ヶ所

第1表 超純水の要求水質

Table 1 Demanded levels for ultrapure water

Year	Integration degree	Pattern scale $\mu$	Particle diameter $\mu$	Particle number particle/ml	Microbe particle/ml	Total organic carbon ppb
	64 K	3	0.2	$\leq 100$	$\leq 1$	500
80	256 K	2	0.2	30	0.3	50
84	1 M	1	0.1	30	0.01	10
88	4 M	0.7~0.8	0.07~0.08	30	0.01	5
?	16 M	0.5	0.05	30	—	—

第2表 液中微粒子測定装置代表例

Table 2 Examples of liquid particle measurement instrument

Method	Front scattering light	Side scattering light	Isolating light	Supersonic wave	Electric resistance
Name of equipment	PMS Laser liquid particle spectrometer Model LLFS-X	HIAC/ROYCO PC320-CMB 60	HIAC/ROYCO PA-720/PC 320	Micro Pure MCM 1100/1150	Coulter Counter Model ZM
Measurable particle diameter	0.4~20 $\mu\text{m}$	0.5~25 $\mu\text{m}$	2~2500 $\mu\text{m}$	0.8~400 $\mu\text{m}$	0.3~800 $\mu\text{m}$
Maximum measurable particle concentration	5000 particle/ml	3000 particle/ml	3100 particle/ml	—	—
Feed volume	12~26 ml/min	100 ml/min	40 ml/min	Fluidized liquid	Batch
Channel number	15	6	6/12	6	—
Recognition of air bidder	Bad	Bad	Bad	$\leq 50 \mu\text{m}$ good	Bad
Manufacturer	Particle Measuring System Co, Ltd.	Particle Scientific Co, Ltd.	Particle Scientific Co, Ltd.	Micropure System Co, Ltd.	Coulter Electronics Co, Ltd.

Y軸上下へ1.0mmのピッチで19ヶ所

合せて195ヶ所、さらに5ヶ所を無作為に抽出し合計200ヶ所とする。

#### 4) コーティング

コーティングはPt-Pdのイオンコーティングとし、フィルターの着脱も含め0.1 $\mu\text{m}$ 粒子10個/ $\text{ft}^3$ 以下のクリーンベンチ内で行う。

#### 5) 粒径区分

検鏡での粒子は次の4つの粒径区分で計数する。

0.05 $\mu\text{m}$ 以上~0.1 $\mu\text{m}$ 未満

0.1 $\mu\text{m}$ 以上 0.15 $\mu\text{m}$ 未満

0.15 $\mu\text{m}$ 以上 0.2 $\mu\text{m}$ 未満

0.2 $\mu\text{m}$ 以上

以上の基準より超純水中の微粒子の計数値は、粒径区分ごとの計算式にて算出する。

$$\text{粒子数(個/ml)} = \frac{X - B}{S} \times \frac{A}{F \times a}$$

X: 濾過サンプルの検鏡粒子数(個) B: (個)

A: フィルターの有効面積( $\text{cm}^2$ ) S: (ml)

a: 検鏡時の1視野当りの面積( $\text{cm}^2$ ) F: (-)

### 3.2 間接法

本法には第2表に示すように種々の方法があるが、現在超純水分野で実施されている方法として、レーザー散乱法、電気抵抗法、超音波法が一般的である。特に最近では要求可測粒径が小さくなっているためレーザー散乱法が注目されている。

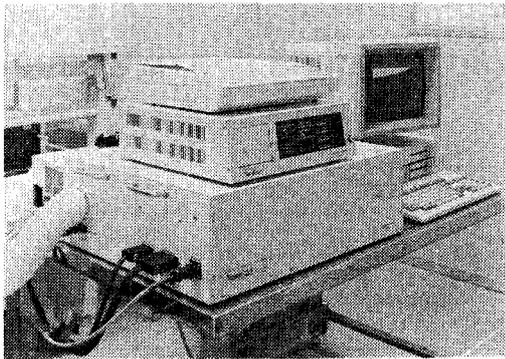


写真 1 超微粒子計測装置

Photo. 1 The instrument of the ultra small particle measurement

#### 1) レーザー散乱法

レーザー散乱法には前方散乱法と側方散乱法の2方法がある。前方散乱法は入射方向と同方向の散乱光を利用する方法であり、一般的に $2\sim 3^\circ$ の低角度で計測される。高感度化の可能性は高いが、迷光の影響がさけられず実際の感度は低い。一方、側方散乱法は入射方向に対して $90^\circ$ の散乱光を利用するのが一般的であり、感度はあまり高くないが迷光が少なくS/N比が高いので最近特に盛んである。

#### 2) 電気抵抗法

本法はアパチャ(細孔)の両側に電極を設け、電解液を通して両極間に電流を流す。電解液中に懸濁した粒子がアパチャを通過する際、粒子体積に相当する電解液が置換され両電極間の電気抵抗に変化が生ずる。抵抗変化が電圧パルスに変換され、そのパルス強さは粒子体積に比例する。これを増幅検出し粒子数と大きさを測定する方法である。この方法はアパチャ径が小さいため、閉塞の心配があり定期的な洗浄が必要である。

#### 3) 超音波法

本法は、配管の外側に取付けられた圧電素子より超音波をパルス状に発振させて、液中の微粒子に当て反射してくるパルスを同一の圧電素子で検出し、その信号の数と強さから粒子数と大きさを求める方法である。前記2法に比べ可測限界粒径が大きいという難点がある。

### 4. レーザー散乱法による超微粒子計測装置

従来インライン形式といわれる微粒子カウンターは商品化されているが、その方式はパッチ方式による微粒子評価ではないが、単に超純水製造装置から純水をサンプリングして測定する方法である。このたび開発した超微粒子計測装置は、本装置から読み出される粒子情報を、超純水製造装置の水質管理にトータルシステムとして役立たせるといったオンライン式の開発思想に基づいて開発されたものである。

#### 4.1 仕様

仕様の概要を第3表に外観を写真1に示す。

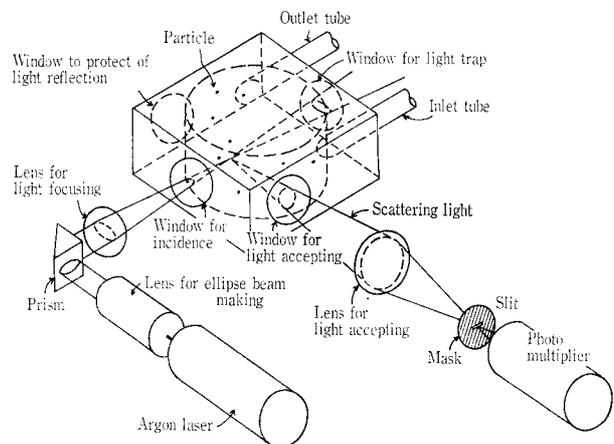
#### 4.2 測定原理

測定原理を第2図に示す。円筒状の空洞部を有するテフロン製測定セルに超純水を流し、円筒部の中心と円筒壁面との中間点に楕円レーザー光束を集光させる。照射レーザー光束の焦点に受光光学系によって限定される粒子検出領域を設定する。超純水中の微粒子は、この検出領域を受光光学系の光軸方向に通過する。検出領域からは超純水の

第3表 Nanolyzer の仕様

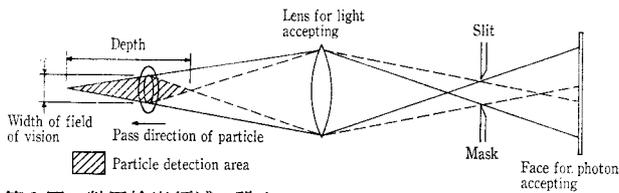
Table 3 Specification of Nanolyzer

Principle of measurement	: Argon laser $90^\circ$ scattering
Method of measurement	: Continuous inline measurement
Measurable particle diameter	: More than $0.07 \mu\text{m}$
Measurable particle concentration	: Less than $6 \times 10^4$ particles/cm <sup>3</sup>
Flow volume	: Less than 3000 mL/min
Indication time	: 5 ~ 10 min interval
Indication output	
Particle diameter	: 4 figures digital indication
	(1) $0.07 \sim 0.1 \mu\text{m}$
	(2) $0.1 \sim 0.15 \mu\text{m}$
	(3) $0.15 \sim 0.2 \mu\text{m}$
	(4) more than $0.2 \mu\text{m}$
Indication of condition	: Over flow of count number
	Abnormality of laser power
	Life of laser
	Impossibility of measurement
Print output	: Self-contained parallel interface
Exterior output	: RS 422 interface
Water pressure	: Less than $5 \text{ kg/cm}^2$
Measurement water temperature	: $0 \sim 45^\circ\text{C}$
Treatment water temperature	: $0 \sim 90^\circ\text{C}$
Setting condition temperature	: $0 \sim 45^\circ\text{C}$
	Humidity : Less than 90 %
	Vibration : Non
Power supply	: AC $100 \text{ V} \pm 10 \text{ V}$ (50/60 Hz)
Electric power consumption	: Max 1.5 kVA
Materials	Tube : PFA $6\phi \times 8\phi$ tube
	Measurement cell : PTFE, quartz
Scale of equipment (H×W×D)	
Detector	: $220 \text{ mm} \times 685 \text{ mm} \times 515 \text{ mm}$
Power supply	: $160 \text{ mm} \times 460 \text{ mm} \times 175 \text{ mm}$
Analyzer	: $135 \text{ mm} \times 420 \text{ mm} \times 380 \text{ mm}$

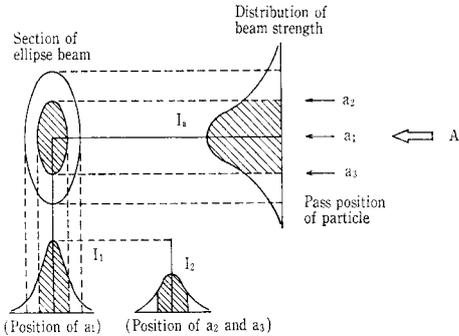


第2図 測定原理

Fig. 2 Principle of measurement



第3図 粒子検出領域の設定  
Fig. 3 Establishment of particle detection area



第4図 粒子の通過位置と光束強度  
Fig. 4 Pass position of particle and beam strength

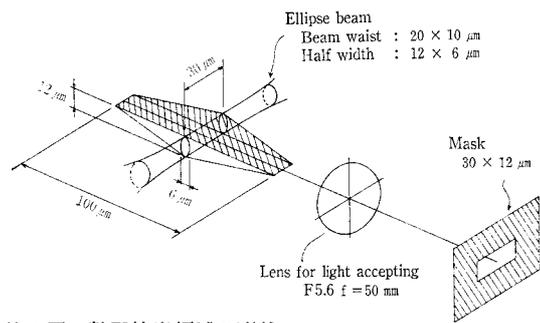
水分子等からの散乱光とともに、通過粒子からの散乱光が返ってくる。これらの散乱光は、光電子増倍管で検出され光電子パルス数として計数され時系列データとして保存される。この時系列データを解析することにより通過粒子の数と各粒子の散乱強度から粒子径を算出する。

#### 4.3 粒子検出領域の設定

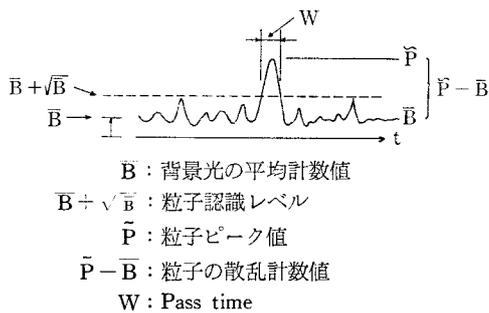
楕円光束と粒子検出領域との関係は第3図に示す通りである。受光側のマスクで限定される粒子検出領域(斜線部)を粒子が通過する方向は受光光学系の光軸方向であり、限定される粒子検出領域の視野幅は、楕円光束の半値全幅となるように選び、楕円光束の向きは粒子の通過方向に垂直な断面が大きくなるように選んでいる。このような配置の効果を第4図で説明する。粒子が検出領域にA方向から $a_1, a_2, a_3$ の位置で入ってくると、粒子が受けるレーザー光束の強度は $I_1(a_1$ の位置に対する)、 $I_2(a_2, a_3$ の位置に対する)のように変化するが、光束の中心で受ける最大強度は $I_a$ の斜線部の範囲、すなわち強度が50%以上の範囲に限定できる、これは粒子からの散乱強度をもとに粒子径を算出する方式では粒径分解能に直接影響する重要な効果で従来方式では得られなかった効果である。

#### 4.4 粒子認識条件

第5図に示すような粒子検出領域を粒子が楕円光束の入射光軸に対して垂直に通過した場合、時系列データは第6図のようになり粒子認識条件はつぎの様に設定する。粒子が楕円光束を通り抜ける粒子通過幅は、粒子認識レベル( $B + \sqrt{B}$ )以上の散乱強度をもつ粒子の散乱計数値の時間幅(W)によって定義する。今 $0.067 \mu\text{m}$ の粒子が楕円光束のビームウエスト $5 \mu\text{m}$ を通過速度 $20 \text{ mm/s}$ で通過した場合、その通過時間は、 $\frac{5 \mu\text{m}}{20 \text{ mm/s}} = 250 \mu\text{sec}$ となる。一方光電子増倍管がその散乱光を $100 \mu\text{sec}$ のサンプリングタイムで捕えたとすると粒子が通過するまで $\frac{250 \mu\text{sec}}{100 \mu\text{sec}} = 2.5$ 回サンプリングされることになる。したがって粒子の通過時間幅は $W = 2.5$ サンプルとなる。このように粒子



第5図 粒子検出領域の形状  
Fig. 5 Shape of particle detection area



第6図 粒子認識条件  
Fig. 6 Condition of particle recognition

認識条件は、一定粒子認識レベル( $B + \sqrt{B}$ )を越える散乱強度を持ち、しかも粒子通過幅(W)が一定値以上を満足したものを粒子として認識し、その時の粒子ピーク値から背景光の平均係数値を引いた値( $\tilde{P} - B$ )より粒子径を算出する。以上の粒子認識条件で粒子とノイズとを完全に弁別し精度の高い微粒子計測が可能になるのである。

#### 4.5 一粒子からの散乱強度と光電子パルス

液体中に分散した微粒子の粒径を決定する場合の理論的裏づけはMieによってその基礎が与えられている。すなわち1個の微粒子からの散乱光線の幅射力 $I_\theta$ は入射光線の幅射力 $I_0$ とMieの散乱関数 $i_\theta$ の間に次の関係が成り立つ。

$$I_\theta = KI_0 \times i_\theta$$

$i_\theta$ : 粒子の形、大きさ、屈折率入射光の波長に依存している関数

K: 入射光の波長、装置の幾何学的定数によって決まる定数

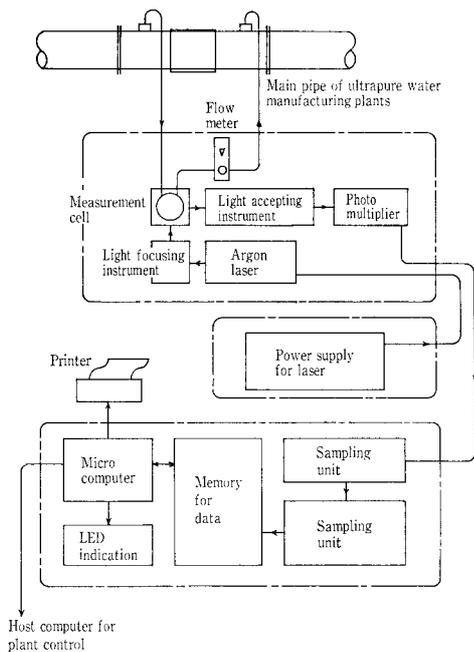
したがって粒子がビームの中心を通過する場合、 $I_\theta$ は $i_\theta$ に比例するので $I_0$ を実測し、 $i_\theta$ より粒子径を算出する。

簡単のため屈折率が1.595のポリスチレンラテックス標準粒子に円光束のレーザービームを入射した場合を考える。

今波長 $\lambda = 488 \text{ nm}$ 、出力 $10 \text{ mW}$ のアルゴンレーザー光源からの光束を $20 \mu\text{m}$ に収束させ、長さ $30 \mu\text{m}$ の測定体積を形成する。この時焦点におけるレーザー強度 $I_0$ は

$$I_0 = \frac{10 \text{ mW}}{(10 \mu\text{m})^2 \pi} = 31.85 \text{ W/mm}^2 \quad \text{となる。}$$

いま垂直偏向した単位強度の入射光に対する $90^\circ$ 側方散乱強度 $\hat{I}_s$ は



第7図 装置設置例

Fig. 7 An example of setting up equipment

$$D_p = 0.212 \mu\text{m} \rightarrow \hat{I}_s = 1.115 \times 10^{-14}$$

$$= 0.091 \mu\text{m} \rightarrow = 2.565 \times 10^{-16}$$

$$= 0.067 \mu\text{m} \rightarrow = 4.417 \times 10^{-17}$$

ただし

$$\text{相対屈折率} = \frac{\text{粒子の屈折率}(1.595)}{\text{水の屈折率}(1.333)} = 1.19$$

受光距離 = 100 mm

と計算され受光系を  $f = 50 \text{ mm}$   $F = 5.6$  露光倍率 3.2 の等倍光学系を用いた場合

有効  $F$  値  $= 5.6 \times \sqrt{3.2} = 10$  故に有効径  $= 5 \text{ mm}$

であるので、1 粒子からの散乱光の受光ワット数  $W_s$  は

$$W_s = I_0 \times \hat{I}_s \times \pi \left(\frac{5}{2}\right)^2 = 5.063 \times 10^2 \hat{I}_s \text{ (W)} \text{ となる}$$

これを光子数で換算すると

$$h\nu = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{S} \times 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{488 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 4.071 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

故に

$$W_s = \frac{5.063 \times 10^2}{4.071 \times 10^{-19}} \times \hat{I}_s = 1.244 \times 10^{21} \text{ photons/s}$$

光電子増倍管の量子効率  $\lambda = 488 \text{ nm}$  の波長で 17 % であるので、光電子パルス数は

$$P_e = 2.114 \times 10^{20} \hat{I}_s \text{ pulses/s}$$

したがって、各粒子に対する光電子パルス数は

$$D_p = 0.212 \mu\text{m} \rightarrow P_e = 2.357 \times 10^6$$

$$= 0.091 \mu\text{m} \rightarrow = 5.422 \times 10^4$$

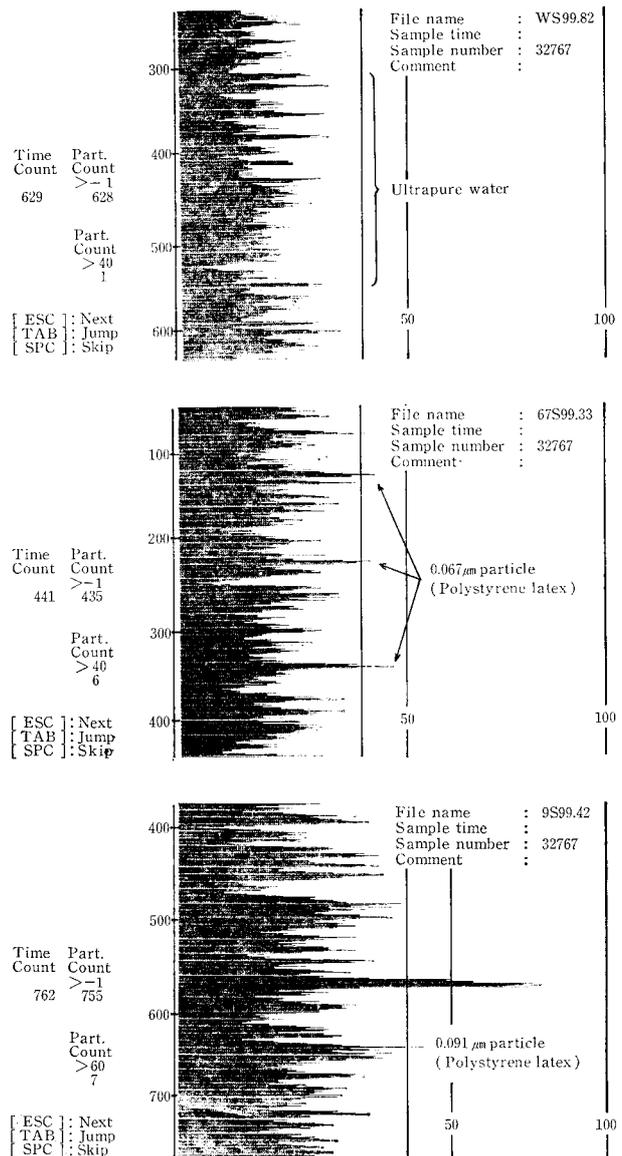
$$= 0.067 \mu\text{m} \rightarrow = 9.337 \times 10^3$$

となる。

一方測定体積内の水分子からの散乱光強度は同体積内の光子数  $N$  が

$$N = \frac{6 \times 10^{23} \text{ 個/mol}}{18 \text{ g} \cdot \text{1cm}^3/\text{g}} \times [\pi \times (0.001)^2 \times 0.003]$$

$$= 3.1 \times 10^{14} \text{ 個}$$



第8図 ポリスチレンラテックス粒子の測定結果

Fig. 8 Results of polystyrene latex particle measurement

であり水分子を  $2\text{\AA}$  の球と仮定して散乱強度を求めると

$$\hat{I}_s = 3.5 \times 10^{-33}$$

となるので

$$N \times \hat{I}_s = 1.1 \times 10^{-18}$$

したがって水からの散乱は

$$W_s = 6.876 \times 10^{-16} W = 1.689 \times 10^3 \text{ photons/s}$$

$$P_e = 2.87 \times 10^2 \text{ pulses/s}$$

となる。一方光電子増倍管が散乱光を捕えるサンプリングタイムを  $100 \mu\text{s}$  に設定すると

$$D_p = 0.212 \mu\text{m} \rightarrow P_e = 235 \text{ pulse}$$

$$= 0.091 \mu\text{m} \rightarrow = 5.4 \text{ pulse}$$

$$= 0.067 \mu\text{m} \rightarrow = 1.0 \text{ pulse}$$

となり  $0.067 \mu\text{m}$  の粒子 1 個の散乱パルスが計測可能になる。

しかし、 $0.067 \mu\text{m}$  粒子をもっと明確に 1 個 1 個を計測するためには水分からの散乱強度を下げ S/N 比を大きく

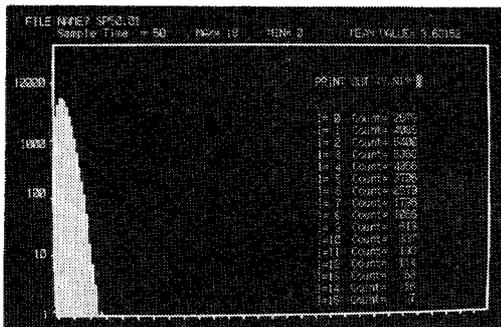


写真 2 散乱光強度分布 (超純水の場合)  
Photo. 2 Distribution of scattering light strength  
(in case of ultrapure water)

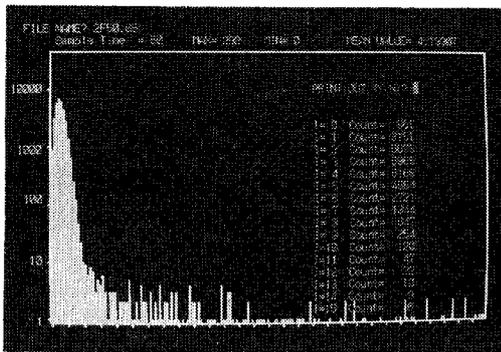


写真 3 散乱光強度分布 (粒子混入の場合)  
Photo. 3 Distribution of scattering light strength  
(in case of particle mixing in the ultrapure water)

する必要があります。そのために今回はレーザービームを円光束ではなく測定視野内の水分子が少なくなるように楕円光束を採用しさらにマスクにより特殊な粒子認識領域を設定して少しでも Background を小さくした。

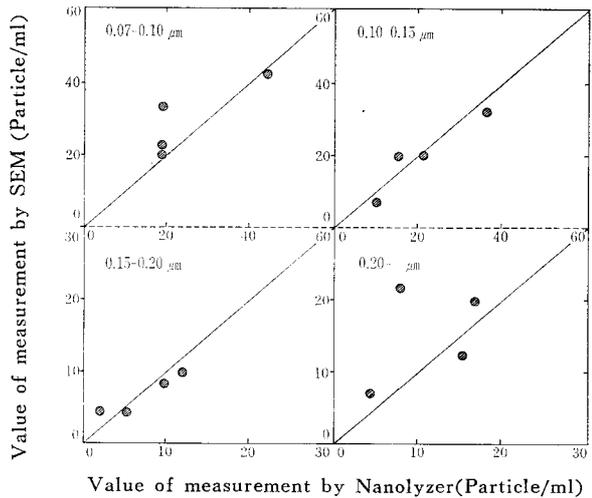
## 5. 超純水プロセスでの設置例と測定例

### 5.1 設置例

本装置はオンライン超微粒子カウンターとして超純水製造装置のユースポイントに設置するだけでなく、第7図に示すように二次純水配管に取付けて常時水質監視を行うことができる。それゆえ二次純水配管への取付けを考慮して、検出部を解析部から切離して配管近くに検出部を配置する一方、解析部は操作しやすい位置に設置できるように配慮している。また超純水装置を管理制御する場合は、解析部から制御用ホストコンピュータへデータ転送し、ホストコンピュータにて超純水装置を制御することも可能であり運転操作員がマニュアルで運転管理ができるようアラームガイダンスを出すことも可能である。

### 5.2 測定例

当社内超純水プラントに設置し、ポリスチレンラテックス標準粒子を混入した場合並びに超純水のみを測定した場合の測定例を示す。第8図に示すように標準粒子の  $0.091 \mu\text{m}$ ,  $0.067 \mu\text{m}$  が明らかに計測されていることがわかる。超純水のみを測定の場合、粒子の混入している粒子数密度が非常に希薄なため、粒子が全くない場合と粒子が計測された場合で散乱光分布が異なる。写真2のように粒子が計測されない場合は、その散乱光分布は水分子ならびに非常に微



第9図 Nanolyzer による超純水測定例  
Fig. 9 An example of ultrapure water measurement by Nanolyzer

細な粒子のみによる散乱になる。これを Background として背景光と呼ぶ。そして粒子が計測された場合は、背景光のみの分布に粒子からの散乱光が加わり写真3に示すような散乱光分布となる。これを時系列データとして記憶解析して4.4節に述べたように粒子認識条件にて粒子数と粒子径を算出し4つの粒径区分にて表示する。本装置で計測された結果とこの測定と同時並行して行われた戸過による計測結果、つまり  $0.05 \mu\text{m}$  のニュークリポア製フィルターにて超純水を戸過し、フィルター上に捕捉された粒子のSEM検鏡結果と比較したものを第9図に示す。この結果、両者は4つの粒径区分ともよく一致しており本装置の性能が立証されていることがわかる。現在当社内のフィールドテストにとどまらずエンドユーザにてフィールドテストを続行し本装置の評価とともに歩留り向上へのシステムの応用を検討している。

## むすび

以上半導体工業のメガビット時代に対応できる超純水用超微粒子計測装置(Nanolyzer)について紹介した。半導体製造技術はもちろんのこと超純水製造技術も極限をきわめる微細領域に入りつつあり、本装置のような計測、分析技術は非常に重要な役割をになうようになってきた。本装置の開発を機会に他の計測装置の開発にも力を入れてゆく所存である。

またこの様な微粒子計測は半導体分野のみならず化学、薬品、新素材、バイオ関連の分野のサブミクロン粒子の品質管理にも要求される技術であり、この様な分野における微粒子計測にも今後注力していきたい。最後に共同開発者の興和(株)の関係各位に深謝する。

### 〔参考文献〕

- 1) 化学工学, Vol. 49, No. 2, 1985
- 2) 配管技術, '86, 2
- 3) 測定技術, '86, 増刊号
- 4) 水処理技術, Vol. 27, No. 4, 1986
- 5) 日東技報, Vol. 23, No. 1, 1985

# 流動層型バイオリアクター

## Fluidized Bed Bioreactor with Urethane Foam

技術開発本部

小林 哲 男  
Tetsuo Kobayashi

A behavior of a new fluidized bed bioreactor for effective cultivation of fungi, adhered on the urethane foam particles, has been investigated. This new culture method enabled that fungi were cultivated on urethane foam's surface with little leakage cells into the broth and oxygen transfer rate was significantly accelerated. As a result, higher productivity of penicillin was achieved by *P. chrysogenum* than by the conventional method. The 160 liters pilot plant has been installed for confirming the application to industrial fermentation.

流動層型バイオリアクターは、理化学研究所化学工学研究室と共同で研究開発された新しいバイオリアクターである。このたび、160 l の流動層型バイオリアクターを主体とする、プロトタイプのパイロットプラントを完成させた。

本稿では、流動層型バイオリアクターの概要説明、および、パイロットプラントの紹介を行う。

### まえがき

バイオリアクターは、微生物、動・植物細胞、あるいはそれらの細胞から単離した酵素などの種々の生体触媒を用いて、原料を目的生産物質に変換させる反応器である。

このような生物変換をつかさどるバイオリアクターは、近年、生体触媒機能を効率良く発揮させ、生産性の向上、操作の安定性が求められ、さらに目的生産物質と生体触媒の分離機能を付加することが要求されてきている。すなわち、高分子、セラミックス、金属またはそれらの複合材料を素材として成形した膜、発泡体、多孔質管など多孔質材料を装置の主要部分に組み込み、一つの装置内で生物反応と生産物の分離を同時に、あるいは交互に行うことを目的とした分離型反応器<sup>1)</sup>が求められている。

ここでは、これらの要求にこたえるべく研究開発された発泡体を用いた流動層型バイオリアクターの研究内容として、ペニシリン生産を例としたシェーカ・フラスコ培養実験および、流動層型バイオリアクターを用いた培養実験の概要報告、ならびにパイロットプラントの紹介を行う。

### 1. 発泡体を用いた流動層型バイオリアクター

カビや放線菌を深部培養すると菌糸が絡み合って球体を形成するペレット増殖と、菌糸が一様に絡み合ってパルプ状ないしは糊状となり、培養液の粘度が著しく高くなるバルビー増殖の2つの増殖形態が見られる。ペレット増殖した場合には、栄養物質や酸素がペレット内部まで十分に供給されず、またバルビー増殖すると、液混合が悪くなり栄養物質や溶存酸素濃度が不均一となりやすく発酵生産に影響を及ぼす。また、攪拌所要動力が著しく高く、生産物質と菌体の分離に多大な設備や運転費用がかかったり、また、pHや溶存酸素濃度測定用センサー表面が菌糸によって被覆され、正しい計測・制御が困難となる恐れがある。このように、菌体への栄養物質や酸素の物質移動過程がカビや放線菌を用いた発酵生産では重要な課題となっている<sup>2)</sup>。

そこで、このようなカビ類の培養に対して「発泡体を用

いた新しい培養法」を試みた。すなわち、発泡体を添加して培養することにより菌糸を発泡体表層に生物膜の形態で増殖させる方法を採用し、その結果、発酵生産過程や生産物質の分離過程に多くの利点があることを見いだした<sup>3)</sup>。

#### 1.1 シェーカ・フラスコによる予備実験

ペニシリン生産菌 (*P. chrysogenum*, JCM 2056 Q 176) を例としたシェーカ・フラスコを用いた振盪回分培養の予備実験で以下の項目を検討した<sup>4)5)</sup>。

発泡体は人工土壌用のウレタンフォーム (日東電気工業 (株) 製) を使用し、培養液量は100 ml (フラスコは300 ml 容を使用)、振盪回転数は250 rpm、温度は24 °C とし、基本培地組成として第1表に示したものをを用いた。総括酸素物質移動容量係数  $k_{La}$  は亜硫酸ソーダ法により求めた。

##### 1) 発泡体の大きさと添加量の関係

発泡体の大きさ(2.5~10 mm の立方体に切断加工)にかかわらず培養液1 l あたり比表面積が約3000 cm<sup>2</sup> 以上となるように発泡体添加量を調整すれば、カビが培養液中で増殖せずに発泡体表層に十分付着して増殖することがわかった。

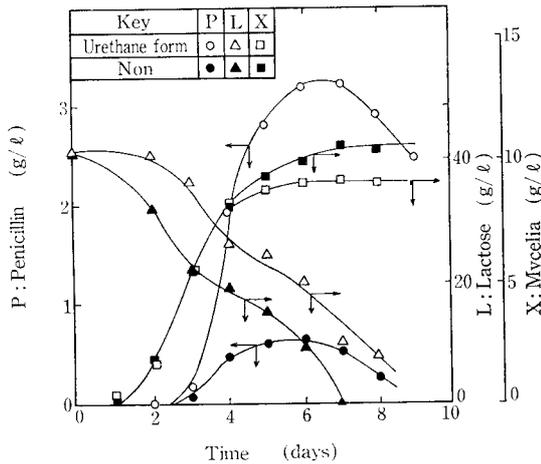
##### 2) ペニシリン生産量と操作条件の関係

ペニシリン生産量は総括酸素物質移動容量係数  $k_{La}$  で関係づけられ、 $k_{La}$  が100 hr<sup>-1</sup> 以上となる発泡体の添加条件を与えれば、酸素の物質移動過程がペニシリン生産に律速とならず最大生産量を得ることがわかった。この条件下での培養結果と発泡体を添加しない従来の培養結果との比較を第1図に示す。発泡体を添加しない場合よりペニシリン生産量は5~6倍と生産性の向上がみられた。

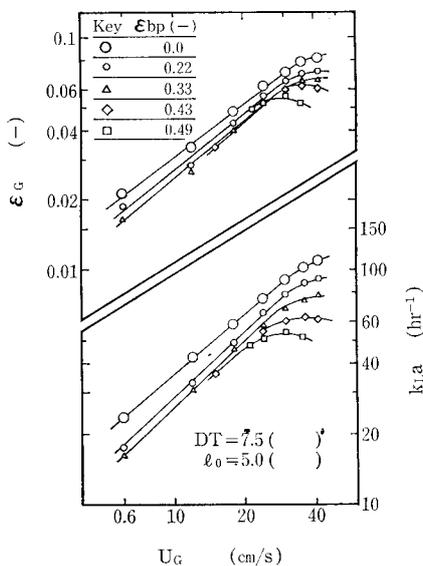
##### 3) 培地組成、胞子植菌濃度の影響

培地組成中のラクトース/コーンステープリカーの比率が60/30~80/40 g/l の範囲で基本培地組成のときの約2.5倍のペニシリン生産量を示した。この値は従来の培養法と比較して約15倍である。また、胞子植菌濃度を変えると発

Lactose	40 g	第1表 基本培地組成 Table 1 Composition of culture medium
Corn-steep-liquor	20 g	
NaNO <sub>3</sub>	3 g	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5 g	
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.25 g	
Distilled water	1.0 l	
Initial pH	3.9[-]	



第1図 回分培養結果  
Fig. 1 Result of batch culture



第2図  $\epsilon_G$ ,  $k_{La}$  と  $U_G$  の関係  
Fig. 2 Relationship of  $\epsilon_G$ ,  $k_{La}$  and  $U_G$

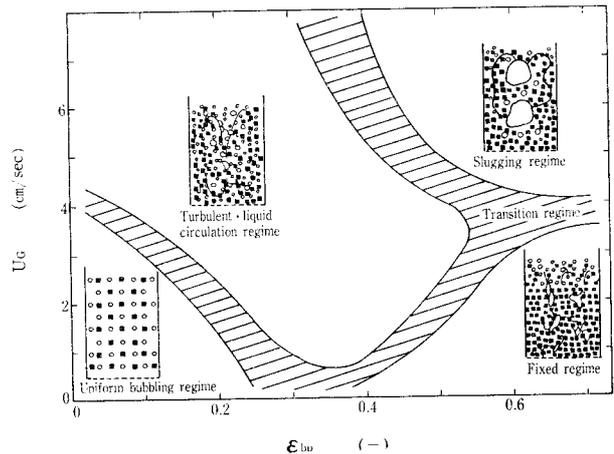
泡体表面の生物膜の厚みも変化し、培地組成比率および添加泡体の比表面積と密接な関係があることがわかった。

### 1. 2 流動層型バイオリアクターによる実験

前述した検討項目に加え、培養液量が0.8 l, 8 l, 150 l (150 l容の装置はアクリル製)の流動層型バイオリアクターの実験装置を製作し以下の項目について検討した<sup>6)</sup>。ここでは泡体の添加量として、泡体ホールドアップ  $\epsilon_{bp}$  を操作因子として用いた。 $k_{La}$  は  $N_2$  ガスパーシ法より求めた。培養実験はシェーカ・フラスコの場合と同じ基本培地組成を用いて実施した。

#### 1) 泡体添加量が $k_{La}$ 及び流動状態に及ぼす効果

第2図に泡体添加系と無添加系における空塔線速度  $U_G$  に対する  $k_{La}$  とガスホールドアップ  $\epsilon_G$  の関係の一例を示す。泡体の添加量、すなわち泡体ホールドアップ  $\epsilon_{bp}$  が小さい場合は無添加系と等しい傾きで  $U_G$  の増加と共に  $k_{La}$ ,  $\epsilon_G$  は増大するが、 $\epsilon_{bp}$  が大きい場合には  $U_G$  の増加につれて  $k_{La}$ ,  $\epsilon_G$  も増大するが、その傾きは次第に減少しつつある極大値を示す傾向となった。これは槽内の流動化



第3図 発泡体流動様式、 $U_G$  と  $\epsilon_{bp}$  の関係  
Fig. 3 Patterns of fluidized urethane foam, relationship of  $U_G$  and  $\epsilon_{bp}$

状態に左右されると考えられる。第3図に槽内の流動化状態の一例を示す。 $U_G$ ,  $\epsilon_{bp}$  が共に小さい場合は均一気泡流動の挙動を示し、 $U_G$ ,  $\epsilon_{bp}$  の増加にしたがって攪乱・液循環流動が支配的となり、さらに  $\epsilon_{bp}$  を増加させると大気泡が発生するスラギング流動、または、発泡体が流動しない停滞領域が形成される。発泡体を用いた流動層型バイオリアクターにおいては、発泡体が培養液中で十分に流動混合され、気・液・固3異相間の物質移動が促進されることが重要となる。物質移動が効果的に作用する領域はスラギング流動領域に近い攪乱・液循環流動領域であった。さらに、酸素の供給条件によってペニシリン生産量が変動することに着目し、流動層内の  $k_{La}$  に影響を及ぼす3つの効果について評価した。すなわち、泡体ホールドアップ  $\epsilon_{bp}$ 、漏出菌体濃度  $X_L$ 、添加消泡剤濃度  $C_A$  が泡体を添加しない系(気泡塔)の基準  $k_{La}$  に及ぼす効果を検討した。これらの効果は相乗的に作用することがわかり、これらの効果によって得られた  $k_{La}$  を  $k_{La}(\epsilon_{bp}, X_L, C_A)$  と表示して評価した。

#### 2) ペニシリン生産に関する操作因子

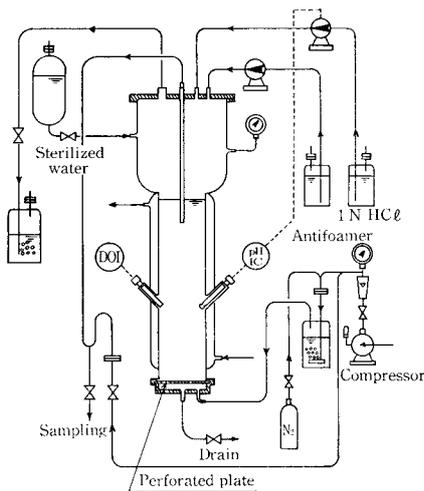
発泡体の大きさ、添加量および通気線速度を種々変化した回分培養実験を行った。実験装置のフローシートを第4図に示す。ペニシリン生産、ラクトース消費経過はシェーカ・フラスコ培養の場合とほぼ等しく培養開始後6日前後で最大ペニシリン生産量に達した。ペニシリン生産量と前述した  $k_{La}(\epsilon_{bp}, X_L, C_A)$  に対して整理すると第5図に示すように一本の相関線を得た。

以上の実験結果より、発泡体を用いた流動層型バイオリアクターによるペニシリン生産量は  $\epsilon_{bp}$ ,  $X_L$ ,  $C_A$  の効果を考慮して導入された  $k_{La}(\epsilon_{bp}, X_L, C_A)$  を操作因子として評価できることがわかった。

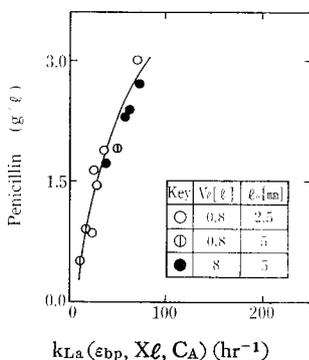
現在、これらの知見に基づき半連続培養操作による研究開発をすすめている。

### 2. 流動層型バイオリアクターのパイロットプラント

今度、完成させたパイロットプラントは、理化学研究所化学工学研究室で考案された「発泡体を用いた新しい培養



第4図  
フローシート  
Fig. 4  
Flow sheet



第5図 ペニシリン生産濃度と  
 $k_{La}$  ( $\epsilon_{bp}$ ,  $Xl$ ,  $CA$ ) の関係  
Fig. 5 Concentration of penicillin production and  
 $k_{La}$  ( $\epsilon_{bp}$ ,  $Xl$ ,  $CA$ )

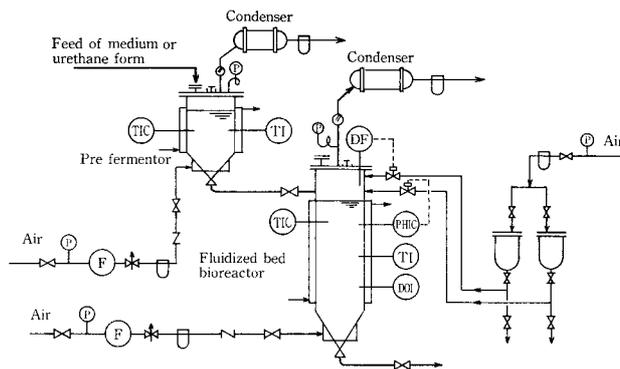
法」に基づき、前述の研究開発で得た知見をベースとして設計され、稼動液量 160 ℓ の流動層型バイオリアクターを主体とした実験装置である。

### 2. 1 パイロットプラントの構成

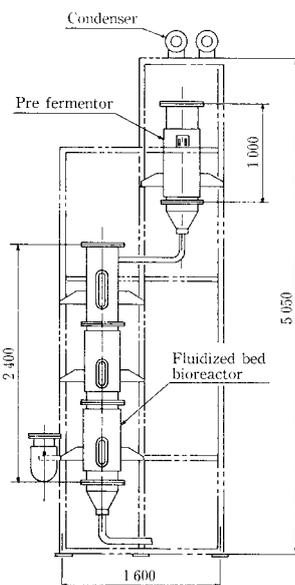
装置の構成は、発泡体の流動混合が均一となるような散気装置を有する流動層型バイオリアクター本体と発泡体、培地などの供給を行う前培養槽、消泡剤タンク、酸タンク、サンプリング装置、コンデンサー、無菌フィルター、流量計などで構成され、流動層型バイオリアクターには、pH、DO、温度測定センサーおよび泡検知器が設けられている。第6図にパイロット装置のフローシート、及び、第7図に組立略図を示す。このパイロットプラントは、半連続培養操作が可能となるように設計されており、主要部分は独立して蒸気殺菌することができる。

### 2. 2 流動層型バイオリアクターの特長

流動層型バイオリアクターは、発泡体を担体として発泡体表面に細胞を高密度に付着培養させ、効率的な流動状態を与え栄養物質や酸素などの物質移動過程を促進させることによって高い生産効率を得、細胞と有用な目的生産物質のクルードな分離を一つの装置内で可能とする分離型バイオリアクターの特長を有するものである。また、培養特性に応じて、発泡体に付着した細胞を利用した連続培養操作による効率的な発酵生産が可能なプロセスを設計することができる。用途として、微生物、特に、カビや放線菌などの糸状菌、または、動・植物細胞などを高密度培養し、各種の抗生物質、酵素、蛋白質、多糖類、生理活性物質、動・



第6図 パイロットプラントのフローシート  
Fig. 6 Flow sheet of pilot plant



第7図 パイロットプラントの概略組立図  
Fig. 7 Outline of pilot plant

植物ホルモンなどの有用物質の生産に有用と考える。

### むすび

本稿では、発泡体を用いた流動層型バイオリアクターに関し、研究内容の概要、および、これらの成果として製作したパイロットプラントの紹介をした。現在、このパイロットプラントによる実用化実験をすすめている。当社では、これらの結果を踏まえ、ユーザ各位のご希望にこたえるべく各種細胞の培養、発酵生産に適用できるよう努力する所存である。最後に、本研究開発にご指導頂いた理化学研究所 化学工学研究室 遠藤勲主任研究員、長棟輝行研究員および関係各位の皆様に感謝の意を表する次第である。

#### 【参考文献】

- 1) 遠藤 勲他編著：生物反応プロセスシステムハンドブック、(1985)、サイエンスフォーラム社
- 2) 遠藤 勲：化学工学協会第51年会、大阪、講演要旨集【研究講演】(1986)、p. 376.
- 3) 遠藤 勲ほか：化学工学、Vol. 49、(1985)、p. 293.
- 4) 加藤尚樹ほか：化学工学協会第51年会講演要旨集、大阪、(1986)、p. 379.
- 5) 西村 実ほか：化学工学協会第51年会講演要旨集、大阪、(1986)、p. 380.
- 6) 小林哲男ほか：化学工学協会第51年会講演要旨集、大阪、(1986)、p. 381.

# SVミキサーの new 用途

## New Applications of SV Mixer

(化)技術部 技術第2課  
石井 和 広  
Kazuhiro Ishii

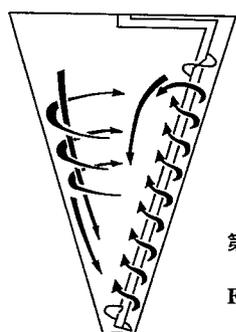
PET resin chips were crystallized and dried in the SV mixer by heating under vacuum. The chips were effectively dried up to under 30 ppm of moisture content without any powdering or blocking of chips. To shorten the drying time, we considered using the heat of stirring by increasing the screw rotating speed.

On the other hand, PPS resin powder was heat-processed in the SV mixer and the mixing characteristic etc. at high temperature were studied. To cope with high-temperature conditions over 250 °C, we tried circulating and cooling the lubricant oil in the driving mechanism.

PET(ポリエチレンテレフタレート)樹脂チップをSVミキサーにて真空下で加熱することにより、結晶化および乾燥を行った。チップの粉化やブロッキングを起こすことなく、効率よく30 ppm以下に乾燥することができた。テスト結果をスケールアップするに際し、乾燥時間を短縮するため、スクリューの攪拌熱を利用することも検討した。またPPS(ポリフェニレンサルファイド)樹脂の熱処理をSVミキサーにて行い、高温下での混合特性等を調べた。このテストのために、250 °C以上の高温下での使用に耐えるよう、駆動部の潤滑オイルを循環・冷却する方法を試みた。

### まえがき

SVミキサーは、コンカルスクリューミキサーと呼ばれる容器固定形混合機一種で、これまで医薬、農薬、顔料、染料、合成樹脂、窯業、食品などの広範囲の粉粒体の混合機として使用されてきた。また、ここ数年、ファインケミカル分野を中心に真空乾燥機としても広く使用されるようになり、棚段乾燥機、コンカルドライヤー、リボンブレンダー等にとって替わりつつある。さらに最近の傾向として、SVミキサーはその独自の混合機構を有効に利用して、プラスチック樹脂の乾燥、熱処理、あるいは医薬品の混合・混練・造粒・乾燥、さらには晶析・汙過・乾燥等へと新しい用途が



第1図 SVミキサーの混合原理

Fig. 1 Mixing principle of SV mixer

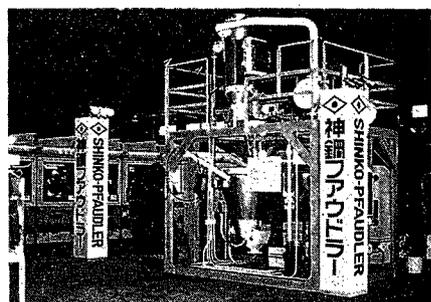


写真1 SVミキサー真空乾燥ユニット  
Photo. 1 SV mixer vacuum drying unit

拡がりつつある。

粉粒体混合機としてのSVミキサーの機構、混合特性及びそのスケールアップについてはすでに述べた<sup>1),2)</sup>。また、SVミキサーの応用としての真空乾燥操作についても、既に報告した<sup>3)</sup>。本稿では、SVミキサーの新しい用途の中から、PET樹脂チップの結晶化・乾燥及びPPS樹脂の熱処理他をとり上げ、実験結果と実機への適用をあわせて紹介する。

### 1. SVミキサーの特長

SVミキサーの特長について説明する。SVミキサーは第1図のように、逆円錐形容器内に自公転するスクリューを持ち、粉粒体に三次元的な対流運動を与える構造になっている。その独自の混合機構により、次のような優れた特長をもっている。

1) マイルドな混合状態が得られる。

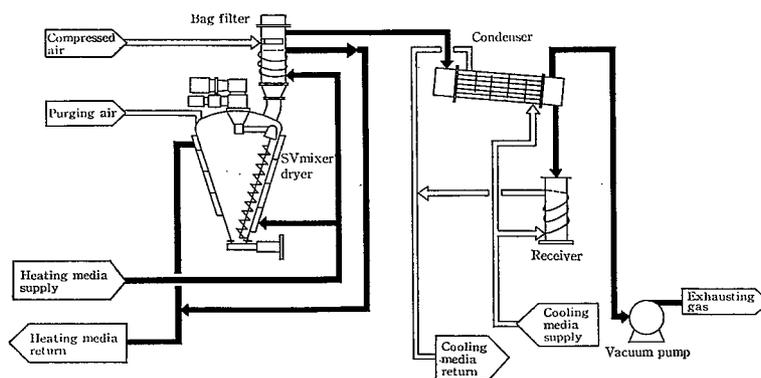
容器内には軸受がなく、スクリューはゆるやかに自公転するため、粉粒体粒子を局部的にも破壊するような箇所がなく、柔らかい結晶の混合に適している。

2) 伝熱効率が良い。

粉粒体層全体を対流混合させながら、伝熱面近くの粉粒体を強制的に攪拌するため、伝熱効率が良い。

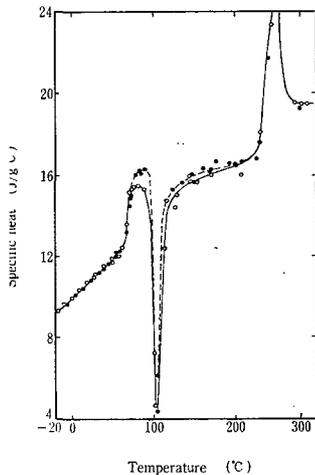
3) 消費動力が少ない。

容器内の粉粒体を全部同時に機械的に攪拌しないため、消費動力が極めて少ない。

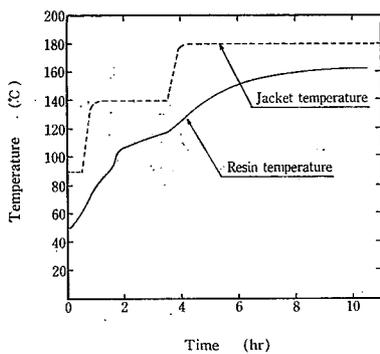


第2図 SVミキサー真空乾燥ユニット概略フロー

Fig. 2 Schematic flow of SV mixer vacuum drying unit



第3図  
PET樹脂の温度  
—比熱曲線  
Fig. 3  
Curves of specific  
heat as a function  
of increasing  
temperature for  
quenched PET  
resin.



第4図  
PET樹脂結晶化・  
乾燥曲線  
Fig. 4  
Crystallizing and  
drying curve for  
PET resin

4) 排出が容易である。

容器形状が逆円錐形であるため、粉粒体の排出が容易である。

5) 操作性が良い。

容器固定形であるため、機器へのアクセス、計装化が容易であり、操作性が良い。

## 2. テスト装置の概要

テストに使用したSVミキサー真空乾燥ユニット(写真1)の概略フローを第2図に示す。本ユニットは真空乾燥形SVミキサー、バグフィルター、コンデンサー、受液槽、真空ポンプから構成される。SVミキサーに投入された粉粒体は、真空下または大気圧下において、外套より加熱されながら、スクリュウの自公転により混合・攪拌される。

粉粒体中の湿分は蒸気となり、コンデンサー内で冷却・凝縮され、受液槽にて凝縮液として回収される。発生蒸気とともに、同伴される粉粒体はバグフィルターにより捕集される。各機器の仕様を第1表に示す。

## 3. PET樹脂チップの結晶化・乾燥

PET樹脂は繊維、包装用フィルム、磁気テープのベースフィルム、食品用ボトル等に広く利用されているプラスチック樹脂である。第3図<sup>4)</sup>のようにPET樹脂は温度とともに60~80°Cでガラス転移点を通過し、約100°Cで結晶化し、220~270°Cにて熔融する。ここで紹介するテストでは、真空下でPET樹脂チップを常温から約160°Cまで加熱して結晶化・乾燥し、水分を約30 ppm以

第1表 SVミキサー真空乾燥ユニット機器仕様

Table 1 Equipment specification of SV mixer vacuum drying unit

Equipment name	Equipment specification
SV mixer	Effective volume : 100 ℓ Motor rated output : Screw : 1.5 kW Arm : 0.2 kW Rotation speed : Screw : 35~140 rpm Arm : 1~4 rpm Heat transfer area : 0.9 m <sup>2</sup>
Bag filter	Cloth area : 0.5 m <sup>2</sup>
Condenser	Type : Shell and tube
Vacuum pump	Type : Oil sealed rotary vacuum pump Pumping speed : 800 ℓ/min

下まで減少させた。以下にその概要を述べる。

### 3.1 テストの目的

数種類のPET樹脂チップについて、結晶化および乾燥を行い、主に下記の点を調べた。

- (1) 結晶化および乾燥時間
- (2) 最終水分値
- (3) チップの粉化状況
- (4) チップのベタツキによる、缶壁付着およびブロッキングの状況

### 3.2 テスト方法

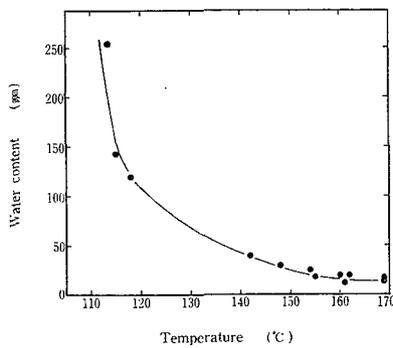
テスト装置は前述のSVミキサー真空乾燥ユニットを使用した。SVミキサー内のチップは真空下で外套より熱媒オイルにより加熱され、結晶化・乾燥した。また、外套温度、チップ温度、真空度等は連続的に自動記録した。なおチップは適宜サンプリングし、水分気化装置にかけた後、電量滴定式カールフィッシャー水分計にて分析した。サンプリング及び水分測定に当たっては、大気中の水分の影響を受けないよう、十分に配慮した。

### 3.3 テスト結果

テスト結果の一例を第4図に示す。なお、その時のテスト条件を下記に示す。

試料	: PET樹脂
見かけ比重	: 約 0.8
含水率	: 1 wt % 以下
形状	: チップ状
仕込量	: 約 80 kg
スクリュウ回転速度	
自 転	: 約 140 rpm
公 転	: 約 4 rpm
外套温度	
結 晶 化	: 90~140 °C
乾 燥	: 180 °C
真空度	: 1~10 torr

初期の結晶化段階においてはチップ中の水分が約1 wt % 以下と高いため、テストでは、上記のように外套温度を90~140°Cと比較的低温に維持して過水分解による品質の劣化を避けた。結晶化完了後は、乾燥速度を上げるため、外套温度を180°Cまで上げた。



第5図  
PET樹脂チップ温度と水分  
Fig. 5  
Relationship between  
PET resin chip  
temperature  
and water content

品温が約90 °Cで、チップにベタツキが出てきて、流動性が悪くなった。その間、軽い壁付着が生じたが、チップのベタツキがなくなるとともに、はく離した。

品温が約100 °Cで、チップのベタツキは消え、流動性は回復した。100 °C 前後で、結晶化（白濁）が起った。第4図からわかるように、ベタツキの生ずる90 °C 前後で昇温カーブの傾きは、いったん小さくなり、流動性が回復し、結晶化が始まる100 °C 前後で傾きが大きくなった。これは、品温約100 °C 前後で、チップの流動性が大きく変化し、伝熱が良くなったことと、第3図に示されたように、PET樹脂の比熱が同温度付近で変化し、熱容量が小さくなったためと考えられる。

結晶化完了後は、外套温度の上昇とともに、ゆるやかに温度上昇を続け、乾燥を終了した。乾燥チップの水分値については、サンプリングの難しさにより、若干データのばらつきはあるが、テストをくり返すことにより、真空度1~10 torr 以下では、チップ温度との間に第5図のような関係を得た。その結果、チップ温度160 °C で水分値は約30 ppm 以下となった。また、結晶化及び乾燥に要する時間はそれぞれ、

結晶化

結晶化時間：約 3 hr

外套温度：約 140 °C

乾燥

乾燥時間：約 6 hr

外套温度：約 180 °C

であった。

テスト中のチップの状況および乾燥チップを目視にて観察したところ、

- (1) 缶壁への付着はほとんど起らない。
- (2) ブロックの生成は見られない。
- (3) チップの粉化はほとんど発生しない。

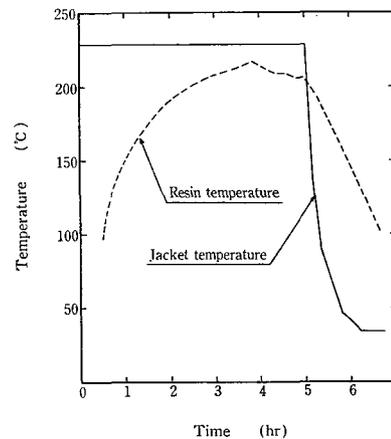
ことがわかった。

### 3. 4 実機への適用

以上のテスト結果をもとに、実機へスケールアップを行った。スケールアップに際しては、次の2点を考慮した。

#### 1) スクリュー攪拌力のアップ

テスト結果より、PET樹脂の結晶化・乾燥においては、チップの昇温がほぼ律速となっていることがわかった。結晶化・乾燥時間を短縮するためには、チップへの伝熱量をいかに大きくすることができるかがポイントとなる。ま



第6図  
PPS樹脂の昇降温  
曲線  
Fig. 6  
Ascending and  
descending temperature  
curve of PPS resin

た、SVミキサーの場合、伝熱面積を増やすために、内部に加熱コイル等を設置することは、構造上非常に難しい。したがって、伝熱量をアップする方法としては、スクリーンの攪拌速度を上げることにより、Uを増大させ、攪拌熱を利用することを考えた。

#### 2) 結晶化装置と乾燥装置の分離

結晶化と乾燥では、温度条件、真空条件が異なるので、ユーティリティを節減するために、それぞれ別々の専用装置とした。

## 4. PPS樹脂の熱処理

PPS樹脂は結晶性の熱可塑性樹脂であり、高い耐熱性、耐薬品性、電気的特性を兼ね備えたエンジニアリングプラスチックである。用途的には、電気・電子部品、自動車部品、精密機器、化学機器、OA機器、家電部品と多岐にわたっており、ここ数年急速に需要が伸びてきている。PPS樹脂の製造プロセスで、重合後、精製工程から得られた粉末ポリマーを熱処理し、さらに重合度を上げる工程がある<sup>5)</sup>。この熱処理機として、SVミキサーの適用を検討した。

### 4. 1 テスト目的

SVミキサーの適用を考えるに当たって、熱処理機として次の特性をテストにて調べた。

#### 1) 昇温・降温特性

熱処理機としての、処理能力を検討するためには、昇温、熱処理、降温のそれぞれに要する時間を調べる必要がある。熱処理時間は製品のグレード等により異なるため、ここでは昇温、降温特性を調べた。

#### 2) 混合特性

PPS樹脂粉体は、高温では非常に流動性が悪くなる傾向がある。熱処理中に混合不良があると、局部的に固化したり、品質にばらつきがでるため、操作温度範囲内で、混合不良やデッドゾーンが発生しないかチェックした。

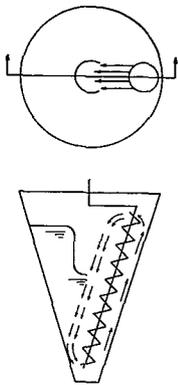
#### 3) 付着性・排出性

高温で処理するため、缶壁およびスクリーンへの付着状況を確認し、排出性を調べた。

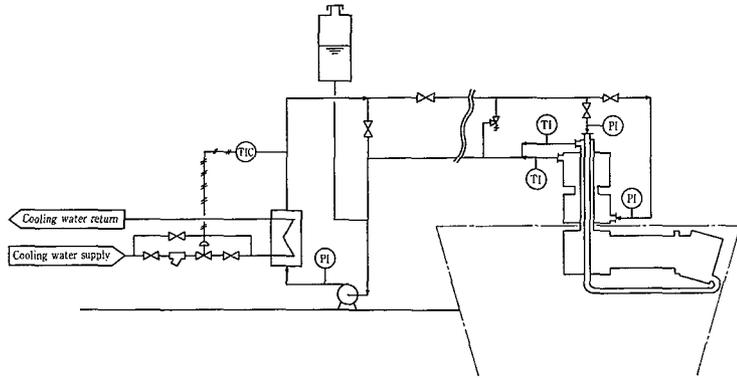
### 4. 2 テスト方法およびテスト結果

テスト装置は、同様に前述のテストユニットを使用した。昇温および降温曲線の一例を第6図に示す。テスト条件は以下のとおりである。

試料：PPS樹脂  
見かけ比重：約 0.4



第7図  
ショートパス現象時のフローパターン  
Fig. 7  
Flow pattern in case of  
"Short-pass phenomena"



第8図 潤滑オイル循環冷却システム概略フロー  
Fig. 8 Schematic flow of circulating and cooling system for lubricant oil

形状：微粉体  
仕込量：約 40 kg  
スクリー回転速度  
自 転：100 rpm  
公 転：1~3 rpm  
外套温度  
昇温時：約 230 °C  
降温時：約 40 °C

）総括伝熱係数

昇温時のデータより総括伝熱係数Uは、次のようになっ  
。

$$U \approx 15 \text{ kcal/h}$$

）混合特性

外套温度を 230 °C に設定し、品温を約 220 °C まで上  
させて、混合特性を目視で観察した結果、次のことがわ  
った。

品温の上昇に伴って、やや流動性が悪化したが、混合  
性には大きな影響はなく、全操作温度範囲にわたって、  
ほぼ良好な混合状態が観察された。

粉体層は十分に混合されており、缶壁とスクリーの一  
リアランス部にも、デッドゾーンは見られなかった。

降温冷却時、公転回数を下げていくと、第7図のよう  
な粉体層の局所的なショートパス現象が観察された。公  
転回数を上げていくと、この現象は無くなった。これは  
粉体層全体の流動性が悪くなっているなかで、スクリー  
の公転速度を下げることににより、スクリーによっ  
てくり返し直接攪拌される一部の粉体のみが、攪拌によ  
る空気層を巻き込んで流動性が良くなり、空まわりのよ  
うな状態になるためと考えられる。したがって、逆に公  
転速度を上げることににより、スクリーによって直接攪  
拌される粉体が更新されていくスピードが上昇し、粉体  
層内で極端な不均一状態が無くなるためと考えられる。

）付着性・排出性

排出性は非常に良く、スクリーを自公転させた状態で  
125の排出口より、約 1.6 t/h の速度で排出できた。排  
後、スクリー翼および缶壁下部に非常に薄い (1 mm  
下) 付着層が観察された。

3 実機への適用

実機へのスケールアップは次の点を考慮して行った。

1) 公転軸・減速機オイルの外部冷却

実機では、外套加熱温度は 250 °C 以上となるため、缶  
内にある公転軸、缶体上部にある減速機の耐熱性が問題と  
なる。そこで、第8図に示すように、オイル温度を約 100  
°C 以下にコントロールするよう、外部より強制循環・冷  
却する方法を採用することにした。

2) 攪拌速度のアップ

昇温および降温速度を上げるため、スクリーの攪拌速  
度を上げた。

3) 公転速度の可変速化

上述のような、局所的なショートパス現象を避けるため  
公転速度をアップできるよう可変速とした。

5. その他の用途

その他の新しい用途としては、医薬品の製剤プロセスの  
中の打錠の前工程で、

- (1) 原料粉体の混合
- (2) 真空下でのバインダー液注入による混練・造粒
- (3) 真空乾燥を1台のSVミキサーで処理しているケー  
スがある。

また最近では、固液反応・常圧乾燥・真空乾燥、汎過・  
真空乾燥、さらには晶析・汎過・真空乾燥等の用途も拡が  
ってきている。

むすび

本稿では、SVミキサーの新用途の一例として、PET  
樹脂の乾燥、PPS樹脂の熱処理等について、それぞれの  
テスト結果と実機への適用について述べた。SVミキサー  
は今後さらに、その独自の混合機構を有効に利用して、固  
相あるいは固液相処理装置として、用途を拡げていけるも  
のと思われる。当社では、本稿で紹介した様々な操作が可  
能なテスト装置を保有しており、今後とも、ユーザ各位の  
御要望に応じて、さらに用途開発を進めていきたいと考  
えている。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ-ニュース Vol. 25, No. 3(1981/9), p. 1
- 2) 神鋼ファウドラ-ニュース Vol. 27, No. 2(1983/5), p. 31
- 3) 神鋼ファウドラ-技報 Vol. 27, No. 3(1983/10), p. 15
- 4) F.W. Billmeyer, Jr: Textbook of Polymer Science (1984),  
p. 243, A Wiley-Interscience Publication
- 5) 伊保内ら: エンジニアリングプラスチック (1985), p.122,  
化学工業日報社

# 電気ヒータ付国際大型タンクコンテナの開発

## Development of International Large Container with Electrical Heater

(化)技術部 製品開発課  
榎本 正  
Tadashi Enomoto

On designing of tank container with electrical heater which has no agitating unit, heat balance shall be taken between heat loss from tank container and heating value of electrical heater to hold the temperature of contents (liquid) at specified temperature within very small allowance.

The temperature distribution of contents in tank container is influenced by the location of electrical heater and the position of temperature control. We have obtained the design standard of tank container with electrical heater.

当社は、液体物質の一定温度輸送の目的に供される、電気ヒータ付国際大型タンクコンテナを開発した。本コンテナは、被輸送液体の温度むらが多く、また局部加熱がないという長所を持っている。

### ま え が き

国際大型タンクコンテナによる液体化成品の輸送において、被輸送液体の凝固防止の目的で、電気ヒータ付コンテナ(以下ヒータ付タンクコンテナと略称)が使用されている。

コンテナ・ヤードおよびコンテナ船には、電源が用意されており、この目的に供される。さらに、陸上輸送時間が長く、断熱材のみでの温度保持が十分でない場合には、コンテナ・シャーシに発電設備を設けることもある。

近年、被輸送液体の品質保持の目的から、非常に厳しい温度管理が望まれる場合が多い。例えば、タンク内被輸送液体全体を数°Cの温度幅に保持し、さらに、ヒータの局部加熱による被輸送液体の品質劣化を防止するため、タンク壁内面の温度制御さえも要求される。

このような厳しい仕様を満足させるため、実験機による

種々のテストを実施した。その結果、電気ヒータの選定方法、タンク壁への施行方法および温度制御方法等のノウハウを得ることができた。今回、このような実験データを基にし、「電気ヒータ付20フィート級タンクコンテナ」を開発、受注した。本機は局部加熱がなく、さらに被輸送液体を数°Cの温度幅で制御可能である。

本稿では、ヒータ付タンクコンテナの設計指針ならびに、実験機によるテスト結果を紹介する。

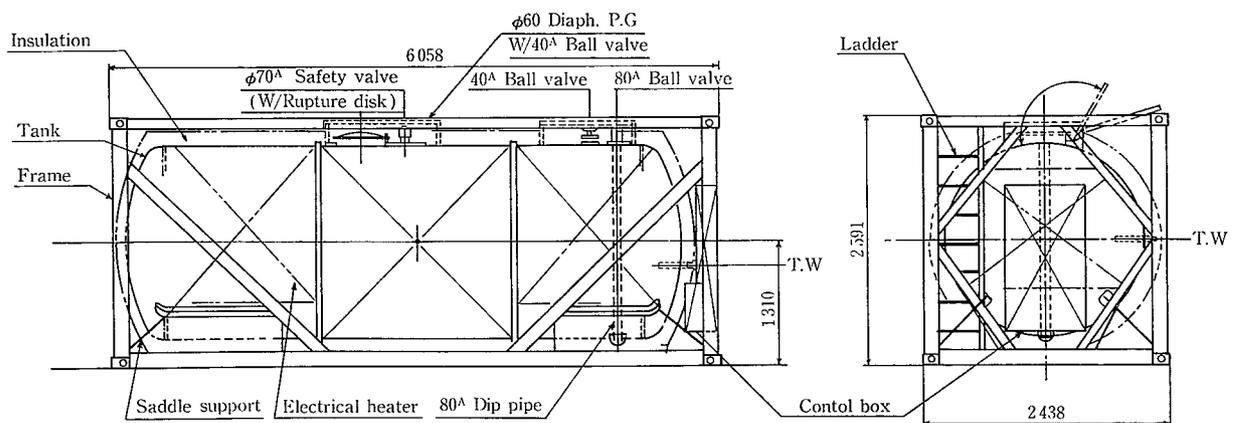
### 1. ヒータ付タンクコンテナ

ヒータ付タンクコンテナは、タンク壁外面に設置された電気ヒータを制御し、被輸送液体の温度管理を行う国際大型タンクコンテナを意味する。本コンテナには、当然、断熱材および外装が施行されている(第1図)

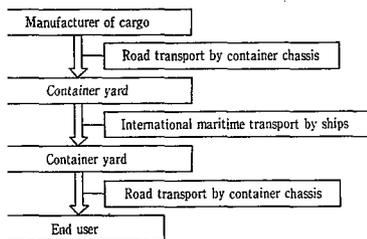
本章では、ヒータ付タンクコンテナの設計上の重要項目について解説する。

#### 1.1 輸送形態と伝熱特性

一般に、容器内の液体を均一に加熱するためには、攪拌機等による強制対流を行う。タンクコンテナは攪拌装置を

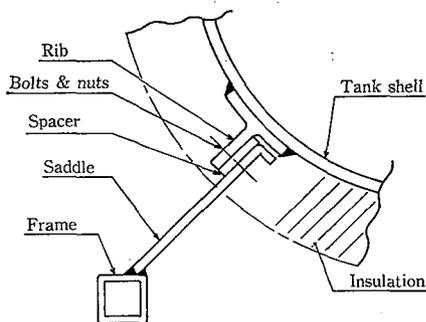


第1図 電気ヒータ付国際大型タンクコンテナ  
Fig. 1 Internationall large container with electrical heater



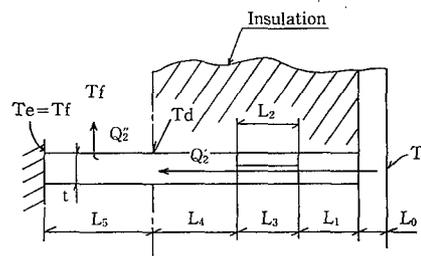
2 図 タンクコンテナ輸送形態

Fig. 2 Transportation forms of tank containers



第3 図 支持構造(サドルサポート)

Fig. 3 Saddle-supports



第4 図 サドルサポートのモデル化

Fig. 4 Model of saddle-supports

さないため、熱源である電気ヒータと被輸送液体との熱垂は、タンク壁を介しての自然対流熱伝達が支配的となり、この場合、当然のことながら、液レベルの上部が熱下部が冷いという、上下方向での温度差が発生し易くなる。したがって、これに対して十分に配慮された設計が要となる。

次に、第2図に示す各輸送過程におけるタンク内被輸送体の流動状況について考察する。

#### 1) 陸上トラック輸送時

走行時の揺れ、発進、停止時に生じる慣性力により、タンク内被輸送液体は流動し、攪拌され、温度は均一化され傾向にある。また、一般的に他の輸送過程に比較し所要時間が短いため、最も良好な条件といえる。

#### 2) 海上船舶輸送時

外洋でのローリング、ピッチングによる流動、攪拌が期されるが、陸上トラック輸送時ほどの効果はないと想定される。また、内海を運行時には大きな揺動はなく、被輸送体の流動は自然対流によるものと想定される。

#### 3) コンテナ・ヤード静置時

コンテナ・ヤードへの搬入、コンテナ船への積み込みの間にタイムラグがあり、静置時間として2日間程度を考慮する必要がある。この場合、被輸送液体の流動は自然対流起因するもののみとなる。すなわち、液の上下方向での温度差が最も発生し易い状況である。

いずれにしても、ヒータ付タンクコンテナの設計に際し、タンク内の流動は自然対流を基に考え、タンク内液体温度差が最小限となるよう、種々の配慮が必要である。この点で、反応機にみられるような、強制対流熱伝達が行われる場合とは、異質の難しさがある。

### 2 電気式ヒータ

種々の型式の電気式ヒータが市販されており、このなか目的に合致したものを選択する。ヒータ選定の要点は下となる。

1) 輸送容器という特殊性、すなわち耐振動性を有しており、さらに、ヒータの缶体への取付方法も上記を考慮する。

2) 各種ヒータの発熱特性をよく検討する必要がある。すなわち、ヒータ自体の発熱温度が高いものは、シビアな温度制御には不向きである。

### 1. 3 温度センサ

温度制御用センサとして、一般に、3線式測温抵抗体を使用される。これは、熱電対等他の温度センサに比較し、高い精度が得られることによる。

また、輸送過程での被輸送液体温度の連続記録が必要な場合には、ガス圧膨張型温度記録計を用意している。この記録計は31日間の連続記録が可能である。

### 1. 4 温度コントローラ

ヒータ付タンクコンテナの制御系の各構成要素中、温度コントローラの耐振・耐衝撃性が最も低く、輸送時の振動及び過酷なハンドリングによる衝撃に耐える選定が必要である。

### 1. 5 電源電圧

現在世界各国で使用されている電圧は200 V級と400 V級に大分される。アメリカ大陸の国々は200 V級、豪州、ニュージーランドは400 V級、ヨーロッパ大陸の国々は200 V級と400 V級が混在している。したがって、広範囲の輸送に供するためには、200 V級400 V級いずれの電源電圧にも使用可能なよう、ヒータ系および制御系を考慮する必要がある。

## 2 ヒータ付タンクコンテナの設計

本章では、ヒータ取付容量を決定するための、放熱量計算方法について述べる。

### 2. 1 断熱材を通しての放熱量

#### 1) 総括伝熱係数 U

$$U = \frac{1}{\delta/\lambda + 1/\alpha_0} \quad (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}) \quad (1)$$

$\delta$  : 断熱材の厚み (m)

$\lambda$  : 熱伝導係数 (kcal/m·h·°C)

$\alpha_0$  : 外面熱伝達係数 (kcal/m<sup>2</sup>·h·°C)

通常  $\alpha$  は 30 ~ 50 kcal/m<sup>2</sup>·h·°C の値が採用される。

#### 2) 放熱量 Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{kcal/h}) \quad (2)$$

A : 断熱外面表面積 (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  : 温度差 (°C)

### 2. 2 タンク支持構造物からの放熱量

タンクコンテナはタンク部とフレーム部より構成され

(第1図参照),これを結合するための支持構造物がある。この支持構造物を通しての,外部への放熱量はかなり大きい。特に,上記構造物が溶接構造で結合されている場合には,当該部分からの放熱量は,2.1節の断熱材を通しての放熱量の数倍の値をとる。

当社製コンテナの支持構造は,第3図に示すように,ボルト取付形式であり,さらに,断熱スペーサを有しているため,放熱量が小さい。

### 2.2.1 モデル化

第4図に示すように,支持構造物のモデル化を行い,下記の仮定をおく。

- 1) 断熱層内では,支持構造物表面からの伝熱は小さいため無視できる。
- 2) サドル終端部は断熱されている。

### 2.2.2 記号の説明

$Q'_2$ : 断熱層内熱伝導量	(kcal/h)
$Q''_2$ : 外サドル表面よりの熱伝達量	(kcal/h)
$T_o$ : タンク内壁温度 (= 液温度)	(°C)
$T_d$ : 断熱境界部の温度	(°C)
$T_e$ : サドル先端部の温度 (= $T_f$ )	(°C)
$T_f$ : 外気温度	(°C)
$L_o$ : タンク胴板厚	(m)
$L_1$ : リブ部伝熱長さ	(m)
$L_2$ : ボルト	(m)
$L_3$ : スペーサ	(m)
$L_4$ : サドル	(m)
$L_5$ : サドル放熱長さ	(m)
$t$ : の板厚	(m)
$B$ : の幅	(m)

### 2.2.3 伝熱基礎式

断熱境界部の温度  $T_d$  が未知数である。これを断熱層内熱伝導量  $Q'_2$  と断熱層外熱伝達量  $Q''_2$  が等しいとして解く。

#### 1) 断熱層内熱伝導量 $Q'_2$

総括伝熱係数は

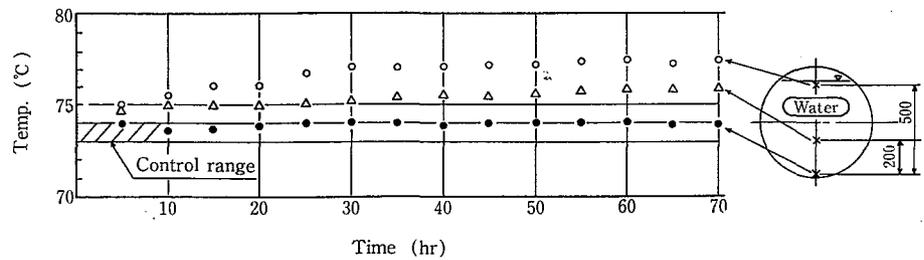
$$U = 1 / \left[ \frac{L_o}{\lambda_o} + \frac{L_1}{k_1 \lambda_1} + 1 / \left( \frac{k_2 \lambda_2}{L_2} + \frac{k_3 \lambda_3}{L_3} \right) + \frac{L_4}{\lambda_4} \right] \quad (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}) \quad (3)$$

$\lambda_o$ : タンク材熱伝導係数	(kcal/m·h·°C)
$\lambda_1$ : リブ材	(kcal/m·h·°C)
$\lambda_2$ : ボルト材	(kcal/m·h·°C)
$\lambda_3$ : スペーサ材	(kcal/m·h·°C)
$\lambda_4$ : サドル材	(kcal/m·h·°C)
$k_1$ : 修正係数	(-)
$k_2$ : 〃	(-)
$k_3$ : 〃	(-)

伝熱量は

$$Q'_2 = U \cdot t \cdot B (T_o - T_d) \quad (\text{kcal/h}) \quad (4)$$

#### 2) 保温外サドル表面よりの熱伝達量 $Q''_2$



第5図 液温度分布 (ヒータ等ピッチで取付)  
Fig. 5 Temperature distribution of liquid (Heater is installed with same pitch)

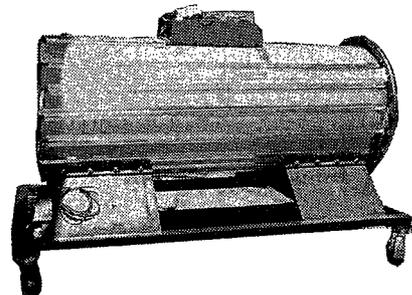


写真1 1/4スケール実験機  
Photo. 1 1/4 Scale testing equipment

サドル表面の平均温度は

$$T_m = \frac{\tanh m}{m} (T_d - T_f) + T_f \quad (\text{°C}) \quad (5)$$

ここで  $m$  は

$$m = L_5 \sqrt{\frac{2\alpha}{t\lambda_4}} \quad (-) \quad (6)$$

$\alpha$  : 熱伝達係数 (kcal/m<sup>2</sup>·h·°C)

熱伝達量は

$$Q''_2 = 2\alpha \cdot B \cdot L_5 (T_m - T_f) \\ = 2\alpha \cdot B \cdot L_5 \frac{\tanh m}{m} (T_d - T_f) \quad (\text{kcal/h}) \quad (7)$$

#### 3) 未知数 $T_d$ の算出

$Q'_2 = Q''_2$  より

$$T_d = \frac{\beta T_o + \gamma T_f}{\beta + \gamma} \quad (\text{°C}) \quad (8)$$

ここで

$$\beta = U \cdot t$$

$$\gamma = 2\alpha \cdot L_5 \frac{\tanh m}{m}$$

支持構造物からの放熱量は(4)式あるいは(7)式により計算できる。これを  $Q_2$  とする。

### 2.3 その他の部分からの放熱量

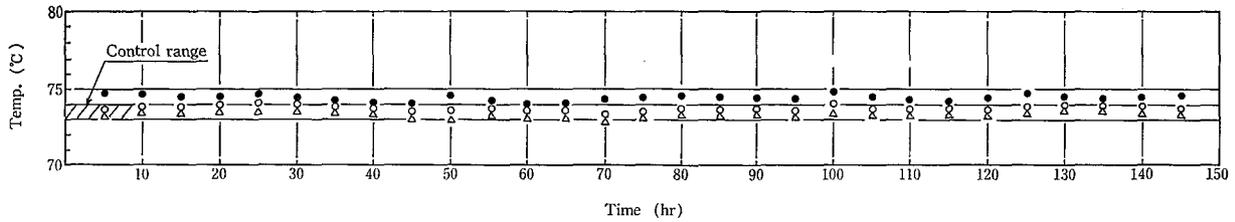
液注排出弁, 安全弁およびマンホールなどタンク付属機器は, ハンドリング時のダメージ防止と放熱防止の目的で蓋付カバーが取付られている。本体分からの放熱量は2.1節と同様に算出できる。

この放熱量を  $Q_3$  とする。

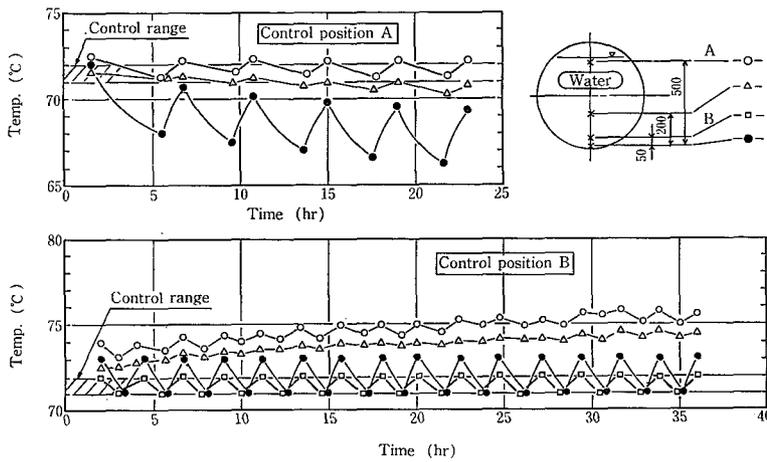
## 3. 実験機によるテスト結果

### 3.1 実験装置

写真1に示す実験機の仕様を次に示す。



第6図 液温度分布 (ヒータ改良取付)  
Fig. 6 Temperature distribution of liquid (Heater is installed with irregular pitch)



第7図 液温度分布 (制御位置の影響)  
Fig. 7 Temperature distribution of liquid (Effect of control position)

- (1) 寸 法 : ID600 × L1 500
- (2) 容 量 : 424 ℓ
- (3) タンク材質 : SUS 304
- (4) 断 熱 材 : グラスウール '100
- (5) 外 装 : 亜鉛引鉄板
- (6) ヒ ー タ : 全長約 25 m

### 3. 2 ヒータ取付方法が液温度分布に与える影響

1.1 節に示したように、攪拌装置を有さないタンクコンテナは、液上下方向に温度差が発生し易い傾向にある。この傾向は、ヒータの取付方法を考慮することにより、改善できる。次にその実験例を示す。

第5図は、ヒータをタンクの壁胴部に等ピッチで取付けた場合の、液温度の経時変化を示す。時間の経過にしたがい、液上下方向の温度差が広がり、70 時間後には3.5 °C の差が生じた。

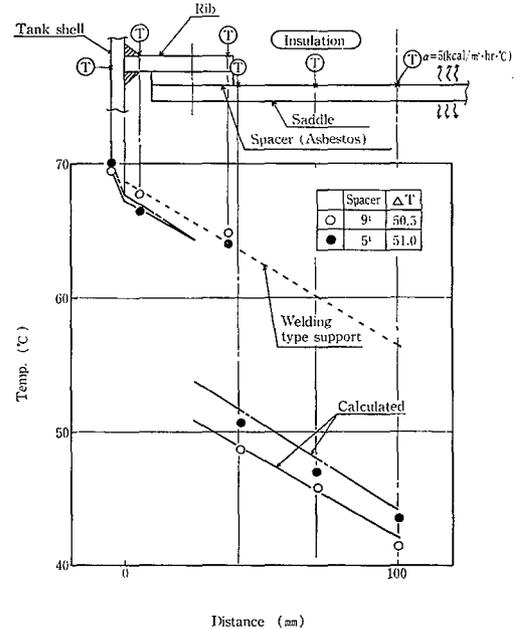
第6図は、ヒータ取付方法を改善した場合の実験結果である。145 時間後においても、液上下方向の温度差は1.5 °C 以内に収まっている。

このように、タンクコンテナがコンテナヤードに静置された場合、あるいは穏やかな海上輸送時におけるように、タンク内被輸送液体が、ヒータの加熱による自然対流しか期待できない場合、ヒータの取付方法如何で温度むらが発生する。上記データは実験機における結果であり、実機への適用はスケールファクタを考慮する必要がある。

### 3. 3 温度制御位置が液温度分布に与える影響

第7図は、液温度を基準にヒータを ON-OFF 制御した場合の、液温度の経時変化を示す。

上部液体温度を制御した場合、下部液体温度が制御幅を



第8図 サドルサポート部の温度分布  
Fig. 8 Temperature distribution of saddle support

離れ下降し、下部液体温度を制御した場合、上部液体温度が制御幅を離れ上昇する。

このように、液温による制御は難しい。

### 3. 4 支持構造物からの放熱

第8図は支持構造物の温度分布を示す。図中の計算値は2.2節に示した諸式を用いて計算した。

実験値と計算値は1 °C 以内の精度でよく一致している。タンク側取付ラグと支持用サドル間には、大きな温度ギャップが生じており、スペーサの存在により、大きな断熱効果があることを示している。

図中、支持構造物が溶接一体構造となった場合の温度分布との比較においても、当社支持構造の断熱性能の優秀さがわかる。

### むすび

今後、輸送物質の多様化が進み、電気ヒータ付タンクコンテナに対する需要はさらに増大するものと想定される。今回開始した電気ヒータ付タンクコンテナは、被輸送液体の温度制御巾±1 °C という極限を追求したものである。従来型ヒータ付コンテナでは輸送不可能であった、シビアな温度制御を要する液体物質輸送に供されれば幸いである。

#### 〔参考文献〕

- 1) 一色尚次：伝熱工学（昭和44年）森北出版

# 少量多品種プロセスのバッチ制御と銘柄管理

## Batch Process Control and Recipe Management for the Process with Small-volume Multi-product

(化)プラント部 プラント設計課  
吉 国 一 紘  
Kazuhiko Yoshikuni

Especially in the area of the fine chemical industry, "Flexible Automation" is one of the most important technological key factors in order to optimize production in compliance with the market demands and customer's specific requirements.

The batch process in this field is complicated and difficult to control, because it requires complex sequential control combined with continuous control, alternative repeats between steady and transient state, adaptive control according to time dependent process characteristics, flexible operational modes, and control parameter modification according to recipe, etc. This paper describes batch process for paints using "distributed process control system CENTUM" recently supplied by Shinko-Pfaudler Co., Ltd.

### まえがき

少量・多品種生産のさまざまな分野に適用されているバッチプロセスは、フィードバック制御と組合わせた複雑なシーケンス、過渡状態と定常状態の頻繁な繰り返し、バッチの進行に伴うプロセス特性の変化、モード変更や手動介入、銘柄切換に伴うパラメーターの再設定等によって特長づけられ、制御対象として連続プロセスより難しい場合が多い。

このようなプロセス全体を総合的に自動化しようとする上記の特長に加えて

- (1) 複雑な配管網を経由するライン選択・移送
- (2) 設備全体を対象としたシーケンスの処理
- (3) 装置間での多段処理に伴うインターロック、協調、待合わせ管理（スケジューリング）
- (4) プロセス技術の進歩や設備の多用化に対して、銘柄管理も単に成分やパラメーターの変更のみでなくシーケンス順序の切り換えが必要

等、一層困難なテーマの解決が求められている。

以上のようなプロセスにおいては、リレーシーケンスや調節計の組合わせによる従来の制御方式では、総合的に自動化を行うことが困難であった。そこでこのような少量多品種生産のプロセスには、コンピュータを搭載した最新の分散形制御システムが最適である。

このたび塗料メーカーに納入した塗料製造設備（反応設備と溶解設備からなる）では、横河電機(株)製分散形制御システム CENTUM を採用し、総合的な自動化を行った。

以下にこのシステムについて説明する。

### 1. 装置概要

#### 1.1 反応設備

第1図の通り反応槽1基、滴下槽1基から構成される。処理フローは下記のとおりである。

##### 1) 滴下槽

- ① 仕込→② 加熱・脱水→③ 触媒仕込→④ 反応槽への滴下

##### 2) 反応槽

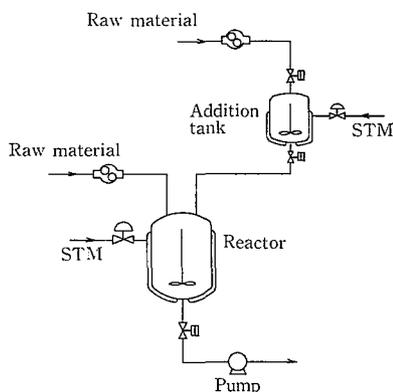
- ① 仕込→② 反応（滴下；加熱，脱水，冷却）→③ 希釈→④ 払出し

#### 1.2 溶解設備

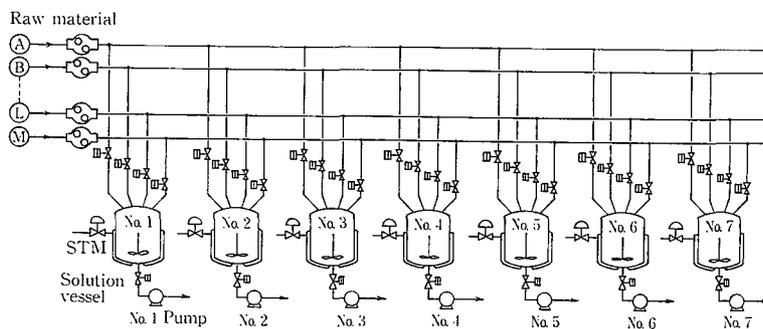
第2図のとおり溶解槽7基から構成されており、原料ライン（13ライン）は各槽共通で銘柄ごとに原料を選択して供給するようになっている。処理フローは下記のとおりである。① 仕込→② 昇温ブレンディング→③ 払い出し

反応設備の制御については、1工程に要する時間は1～3日間であり、各工程でのシーケンス容量は非常に大きくなる。また銘柄数が15種以上あり銘柄ごとにシーケンス内容、パラメータ（各設定値、昇温パターン等）が異なる。

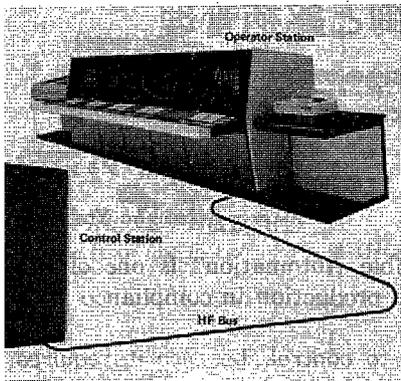
溶解槽は1工程に要する時間は2～5時間であり、反応槽に比べてシーケンス容量は少ないが、原料ラインの相互インターロックが必要であり、また銘柄数も300種あり処理量としては膨大なものとなる。これらの問題があるた



第1図 反応槽  
Fig. 1 Reactor



第2図 溶解槽  
Fig. 2 Solution vessel



1 センタム  
1 CENTUM

来は手動またはごく一部のみの自動運転しか行われなかった。しかし今回は分散形制御システムの導入に一部の手動仕込みを除きほとんどすべて自動運転をとが可能となった。

### 制御システム

#### 制御システム概要

形制御システム CENTUM は、操作監視ステーション COPSV、オペレータズコンソール COPCV、カラドコピーユニット、プリンター、(メッセージ用、グ用各1台)、フィールドコントロールステーション CD2 より構成されている。(写真1、第3図参照) 視ステーション COPSV は表示、操作、記録の機能、プロセスの広がりを集約し、適切な情報・操作の流を実現するマンマシン・インターフェイスである。ールドごとに配置された制御ステーションのデータ、キー操作により CRT 画面上にプロセス変数、設制御パラメータ、警報状態などの情報を種々の文字ーンで表示しプロセスの操作、監視を行う。また操印字、警報印字、ロギング印字などを行うための印も備えている。

ステーション CFCD2 は DDC 制御、シーケンス演算処理を行うものであり、今回は CPU、制御用ード、通信カード等を2重化した高信頼性システムしている。

#### ディスプレイパネル

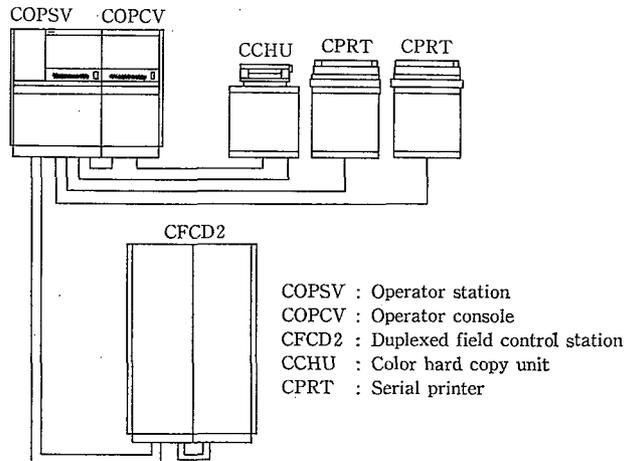
TUM では CRT 表示画面とし、下記の画面がすべての操作、監視はこれらの画面で行うことができ

- アラーム・サマリ・パネル
- オーバービューパネル
- 制御パネル
- 調整パネル
- グラフィックパネル
- トレンド・グループ・パネル
- オペガイド・メッセージ・パネル

#### 銘柄管理システム

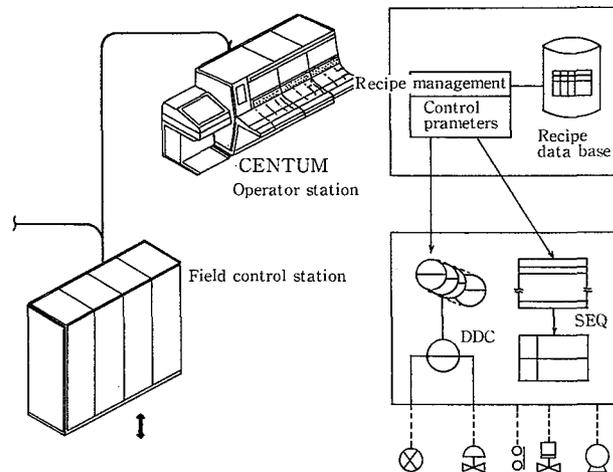
##### 銘柄管理概要

な銘柄管理システムでは大量の処方データ(原料量、仕込量、温度のプログラム設定、圧力設定、反応



第3図 操作監視ステーションの構成  
Fig. 3 Operator station configuration

Medium and small scale system



第4図 システム構成  
Fig. 4 System configuration

時間、シーケンス用フラグ等)をファイルに登録しておき、銘柄指定に基づいて対応する処方データを取り出し、シーケンスを実行する。総合工程管理機能を標準化し、多様なアプリケーションに適用するにはこれらのデータのファイル化とダウンロード方式、制御ステーション側での解釈・実行機能がポイントとなる。

##### 1) ファイル機能(オペレータズ・ステーション)

処方データ、組合わせロジックのパラメータは、標準化された形式でデータと設定先アドレスを銘柄管理ファイルに収納する。銘柄管理ファイルは文字列・数値・ビットデータ等の形式でデータを保持し、メンテナンスも容易な構造になっている。

##### 2) ダウンロード機能(オペレータズ・ステーション)

多様なアプリケーションに適用するためにはダウンロードに必要な情報をファイル化し、ダウンロード機能は単純化された解釈ルーチンとなっている。

##### 3) ダウンロードデータの解釈と実行(制御ステーション)

処方データ、組合わせロジックのパラメータは制御ステーション側に用意したバッファに受信し、シーケンス・テーブルが解釈し実行する。

86.7.14 17:49  
R-015C 溶解口種データ 85.03.12

品名	数量	単位	溶解口	種別	データ	備考
1 C-R	0	0	21	OCT-PB	19.0	1 41 947-01 24
2 C-A	20	1	22	OCT-ZH	20.0	1 42 947-02 25
3 C-P	0	0	23	TSP	0.0	0 0 43 947-03 26
4 C-S	40	0	24		0	0 0 44 947-04 27
5 E-ASOL	0	0	25		0	0 0 45 947-05 28
6 XYLOL	60	1	26		0	0 0 46 947-06 29
7 SH1000	0	0	27		0	0 0 47 947-07 30
8 SS-100	80	0	28		0	0 0 48 947-08 31
9	0	0	29		0	0 0 49 947-09 32
10	0	0	30	CASE NO.	0	0 0 50 947-10 33
11 HSK	100	1	31	T502 SV1	20.0	1 0 51 947-11 34
12 PGSK	0	0	32	T503 SV2	40.0	0 0 52 0 35
13 T250	200	1	33		0	0 0 53 0 36
14 TI160	0	0	34		0	0 0 54 0 37
15 TI149	0	0	35		0	0 0 55 0 38
16 CH4001	0	0	36		0	0 0 56 DPG F 39
17 EP1007	0	0	37		0	0 0 57 DPG G 40
18 PVF-F	0	0	38		0	0 0 58 DPG H
19 AP-SOL	0	0	39		0	0 0 59
20 AG-40	0	0	40		0	0 0 60

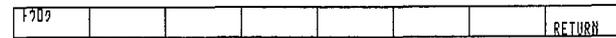


写真 2 品種データ画面  
Photo.2 Recipe date display

86.7.14 17:20  
R-017C 溶解実行データ 85.03.05

品名	数量	単位	溶解口	種別	データ	備考
1 C-R	10	1	21	OCT-PB	30.0	1 41 947-01 100
2 C-A	20	1	22	OCT-ZH	21.0	0 0 42 947-02 101
3 C-P	30	1	23	TSP	22.0	0 0 43 947-03 102
4 C-S	40	1	24		0	0 0 44 947-04 103
5 E-ASOL	5	0	25		0	0 0 45 947-05 104
6 XYLOL	6	0	26		0	0 0 46 947-06 105
7 SH1000	7	0	27		0	0 0 47 947-07 106
8 SS-100	8	0	28		0	0 0 48 947-08 107
9	0	0	29		0	0 0 49 947-09 108
10	0	0	30	CASE NO.	0	0 0 50 947-10 109
11 NSK	30	1	31	T503 SV1	50.0	1 0 51 947-11 0
12 PGSK	11	0	32	T503 SV2	55.0	0 0 52 0 0
13 T250	12	0	33		0	0 0 53 0 0
14 TI160	13	0	34		0	0 0 54 0 0
15 TI149	14	0	35		0	0 0 55 0 0
16 CH4001	15	0	36		0	0 0 56 DPG F 0
17 EP1007	16	0	37		0	0 0 57 DPG G 0
18 PVF-F	17	0	38		0	0 0 58 DPG H 0
19 AP-SOL	18	0	39		0	0 0 59 0
20 AG-40	19	0	40		0	0 0 60 0

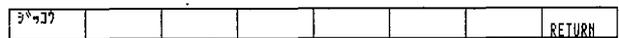
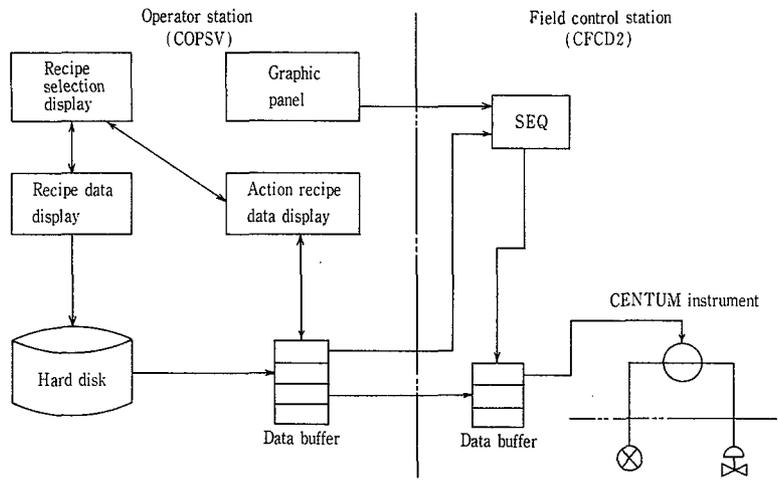


写真 4 実行データ画面  
Photo.4 Recipe date detail display

86.7.14 17:15  
溶解口種一覧

溶解槽	今回品種	次回品種
1 R-015C	0	0
2 R-017C	41	0
3 R-021C	81	0
4 R-022C	130	0
5 R-023C	0	0
6 R-024C	0	0
7 R-025C	0	0

写真 3 品種一覧画面  
Photo.3 Recipe selection display



第 5 図 銘柄管理画面と操作  
Fig.5 Recipe selection display hierarchy

今回のシステムは反応槽では60 データ×15 銘柄, 溶解槽では60 データ×300 銘柄のボリュームを持たせている。(第 4 図)

### 3.2 銘柄管理画面

今回のシステムでは反応槽, 溶解槽それぞれ品種データ画面, 品種一覧画面, 実行データ画面を作り, これらの画面より各槽の銘柄設定, データ設定を行うことができるようにした。

#### 1) 品種データ画面 (写真 2)

固定ディスクのデータ設定, 変更を行う画面で, 1 画面で1 銘柄分 (60データ) のデータを扱う。

#### 2) 品種一覧画面 (写真 3)

各槽の銘柄の設定, 表示を行う。

#### 3) 実行データ画面 (写真 4)

品種一覧画面で設定した銘柄のデータの表示を行う。また, 今回運転データを変更することができる。

### 3.3 操作およびデータ移行

1) 品種一覧画面の品種欄に銘柄を設定することにより, 設定された銘柄データは固定ディスクから COPSV 内のデータバッファに伝送される。

2) 実行データ画面のデータ確認または, データ変更を行い実行指令をすることにより下記のようなデータ伝送が行われる。

#### ・ DDC データ (設定値等)

COPSV データバッファ → CFCD 2 データバッファ

#### ・ SEQ データ

COPSV データバッファ → CFCD 2 SEQ エレメント

3) グラフィック画面よりスタート指令をすることにより, 設定された銘柄に対応するシーケンスが働く。また, シーケンスからの要求により CFCD 2 データバッファのデータが内部計器に伝送される。(第 5 図参照)

## 従来計装と分散制御システムとの比較

バッチプロセスに対し従来計装と分散制御システムを採用した場合の運転方式を比較した場合、右記のような違いがある。

右記の手動操作の内容は主要な操作のみであり、実際はこのほかにも細かな操作が必要であり、また他缶とのインターロックを考慮して操作しなければならない。

しかし分散形システムを使用した例で半自動運転の場合、オペレータが各工程のスタート指令を行うことにより、すべての作業が自動的に行われ、工程終了時にブザーおよびCRT表示によりその内容をオペレータに知らせる。これによりオペレータが次工程に進めて良いことを確認の上、工程のスタート指令をかけた次工程を進めることができる。また、各工程間の確認操作を要さない場合は、全自動運転をすることもできる。全自動運転は、銘柄指定をし、スタート指令をするだけで、すべての運転が自動的に進行することが可能であり、工程切替時ブザー、CRT表示によりその内容をオペレータに知らせることができる。このほか自動運転の場合インターロックについては、すべてプログラム上でとられるため、人間による確認操作が極めてなくなり、またキーボードにより入力データが間違った場合でも、受け付けることができるため、誤操作、誤設定等の可能性を少なくすることができる。

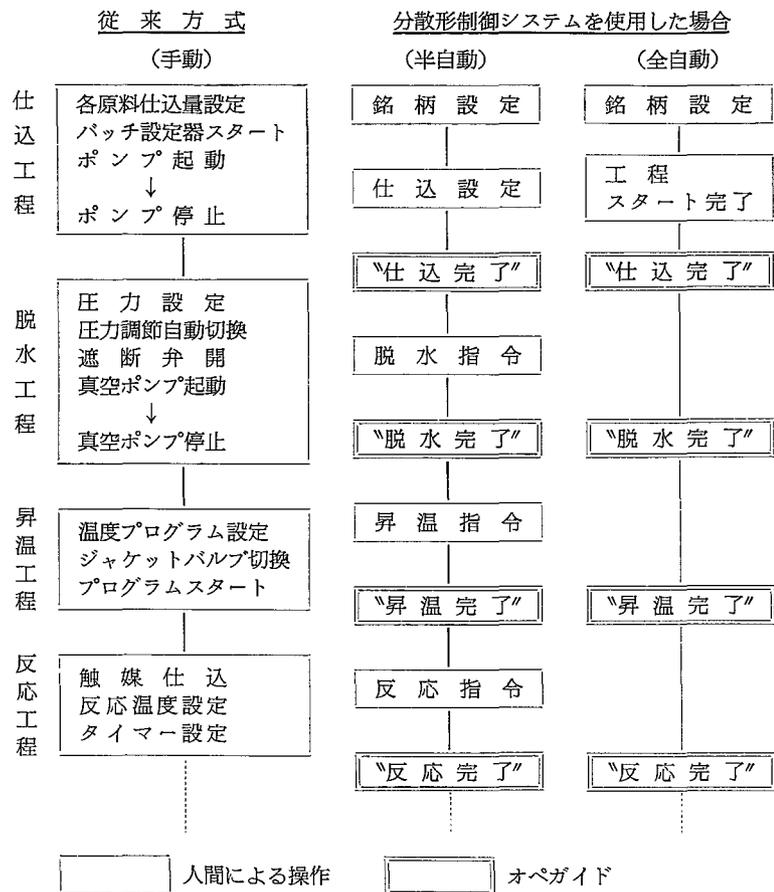
### バッチ報

今回のシステムでは、反応槽、溶解槽合わせて8様式のバッチ報を持たせた。ロットNo.、手動仕込量等を印字させるためにバッチ報用の画面を設け、この画面により手動もデータをキーインできるようにした。以下に印字データを示す。

- 1) 銘柄名 (2) ロットNo. (3) 生産量 (4) 反応温度 (5) 粘度 (6) 仕込量 (自動, 手動) (7) 反応時間 (8) ドラム数量 (9) その他

これによりロットごとの品質管理を容易にできるようになった。

## 運転例



## むすび

多品種、少量生産のプロセスで分散形制御システムを採用したことにより、次のようなメリットがある。

- (1) 生産時間の短縮
- (2) 大幅な省力化
- (3) 品質向上
- (4) 誤操作防止

これらのほかバッチプロセスにおいては、技術進歩および需要の変化に応じ完成後も銘柄が次々と増えることが多いが、フレキシビリティに富む分散形制御システムでは、これらの対応も非常に容易である。

### 〔参考文献〕

- 1) Yokokawa CENTUM technical information TI34B2L1-01E

# 大型高効率ベルトプレス脱水機

## High Efficient Large Belt Press Dehydrator

(環)技術部 計画第1課

大原 茂 明

Shigeaki Ohhara

In these days, high efficient belt press dehydrators have been attracting public attention because of their much improved efficiency in dewatering, and possibility toward cost-down of treatment system including overall sludge treatment. Introduced hereunder is such a kind of large belt press dehydrator, which Shinko-Pfaunder has delivered to a sewage treatment plant, showing favorable performance at present.

近年、汚泥処理全体を含めた処理コストの低減化、および難脱水性汚泥に対して高効率ベルトプレス脱水機が注目を集めている。当社ではこのほど、某市下水処理場に大型ベルトプレス脱水装置を納入し、良好な結果を得て現在順調に稼動している。ここにその概要を紹介する。

### まえがき

下水汚泥の発生量は、急激に増加する傾向にあり、汚泥を高脱水処理し、含水率の低減を図ることは脱水ケーキの減容化、焼却エネルギーの節減等、省エネルギー面で重要なことである。当社では長年にわたる水処理総合プラントメーカーとしての経験を生かし、1967年にDTT, MRP脱水機を手はじめに、各種の脱水機を開発し、これまでに下水、し尿、産業廃水などの分野に数多くの実績もっている。しかし、分流式の下水処理場より発生する一部汚泥は有機成分が高く、濃度の低いいわゆる難脱水性汚泥であり、従来型のベルトプレス脱水機では対応が困難である。そこで、当社は豊富な経験をもとに新機構のベルトプレス脱水機を開発し、汙布幅 3000 mm のテスト機により、約4カ月にわたる試験を重ね、さらに改良を加え、新たに難脱水性汚泥を高効率に脱水できる大型ベルトプレス脱水機を開発した。本稿では、当社の最近の実績例として、某市下水処理場に納入した大型ベルトプレス脱水装置と、その運転結果の概要を紹介する。(写真1)

## 1. 設備の概要

### 1.1 対象汚泥

当処理場より発生する汚泥は、最初沈殿池からの生汚泥及び最終沈殿池からの余剰汚泥である。供給汚泥は、消化後洗浄された消化洗浄汚泥と、浮上濃縮汚泥(以下フロス汚泥と呼ぶ)である。また性能試験として消化未洗浄汚泥単独も行った。従来は真空汙過機で汚泥脱水されていたが、ケーキ減容化のため、この度ベルト脱水機に取替えられた。汚泥の発生から脱水装置までの、汚泥処理経路を第1図に示す。

### 1.2 設計条件

汙過速度	100 kgDS/m <sup>2</sup> ・h
処理対象汚泥	消化汚泥
処理汚泥性状	TS 約1.5 %
	VTS/TS 約 67 %

薬品注入率	高分子凝集剤 2 % (対DS重量比)
	以下
	塩化第二鉄 10 % (対DS重量比)
	以下

脱水ケーキ含水率	76 % (重量比) 以下
汙液濃度	TS 500 mg/l 以下
運転方法	連動

### 1.3 主要装置の機能

汚泥脱水設備の処理フローを第2図に示す。以下に各設備の概要を説明する。

#### 1.3.1 汚泥貯留・供給装置

消化槽より各ポンプで圧送された汚泥は汚泥貯留槽に入

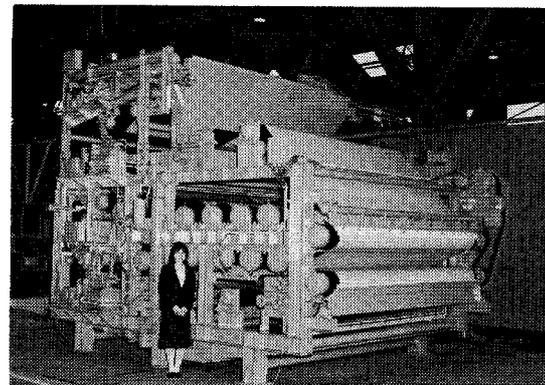
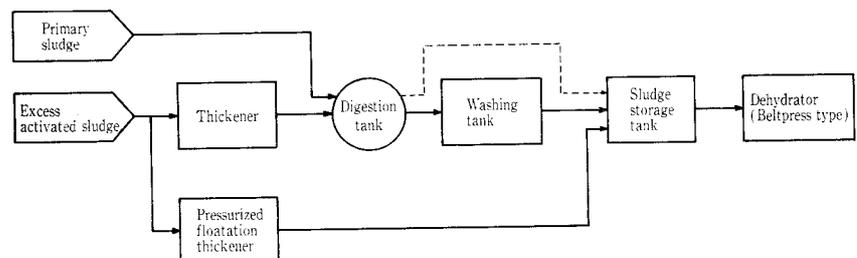


写真1 ベルトプレス脱水機全景

Photo.1 Belt press dehydrator



第1図 汚泥処理経路

Fig.1 Sludge treatment process

り、汚泥貯留槽攪拌機で攪拌し、均一に混合する。混合された汚泥は給泥ポンプにより凝集混和槽へ圧送する。なお、給泥量は電磁流量計で確認し、インバータ制御で任意に設定する。

### 1. 3. 2 高分子凝集剤溶解・供給装置 (写真2)

高分子凝集剤 (高カチオン系) はアルミニウム製コンテナで受入れ、貯留しコンテナ重量計で自動計量し、監視盤にその残量を表示する。コンテナより定量供給機のホッパーを経て、定量フィーダで一定量供給する。それに定量の溶解水を比例供給し、混合させて高分子凝集剤溶解槽に貯留する。高分子凝集剤溶解槽は3槽に仕切られており、供給された凝集剤と溶解水は十分に攪拌され、常に一定濃度の溶解液が貯留される。高分子凝集剤供給ポンプは、脱水機の運転に連動し、供給量は供給汚泥の固形物量に対し比例注入される。

### 1. 3. 3 塩化第二鉄供給装置

タンクローリで受入れた塩化第二鉄は、脱水棟地下にある既設塩化第二鉄貯槽に貯留される。貯留量は液面計で検出し、監視盤に表示される。貯留した塩化第二鉄は塩鉄供給ポンプで脱水機へ圧送する。なお供給量は脱水機に連動しておけば、供給汚泥の固形物量に対し比例注入される。

### 1. 3. 4 汚泥脱水装置

凝集混和槽で凝集された汚泥は、均一供給装置にて前濃縮機に送られ重力濃縮後、脱水機で重力脱水、加圧脱水、漸圧脱水、さらに圧搾脱水され、含水率76%以下の脱水ケーキとなる。

#### 1) 凝集混和槽

本槽に供給された汚泥は、高分子凝集剤を注入し接触混合させる。攪拌機はインバータ制御で、可変速となっており、凝集条件に合わせて攪拌強度を調整し、最適な粗大フロックを形成させ均一供給機へ移送する。

#### 2) 均一供給機

凝集した汚泥を前濃縮汙布面上に均一に供給する。汚泥が均一でないと汙布のしわ、蛇行の原因となり、また脱水性能も不安定となる。

### 3) 前濃縮機

重力脱水を行う。脱水機本体汙布とは別の駆動装置を有し、予備脱水として最適な汙布速度に設定できるようインバータ制御による可変式となっている。凝集の悪い汚泥が汙布面に多量に堆積されると汚泥供給過多となり、一時的に給泥が自動停止する。汚泥供給過多が解除されると、自動復帰し運転が再開される。運転中は常に汙布がローラの中央に位置するよう汙布蛇行修正が行われ、万一汙布異常蛇行、汙布破断がおこると全機自動停止となる。予備脱水された汚泥は塩化第二鉄を注入し、攪拌羽根で混和し脱水機へ供給する。

### 4) 脱水機

当社従来型ベルトプレスを、さらに改良し、難脱水性用とした。超大型ローラによる圧力漸増圧方式を採用し、水切り部に工夫を加え、脱水部の長さを最大限に長くとり、また汙布張力を最大10 kg/cmとした高圧脱水装置である。脱水工程を第3図に示す。重力脱水部、対向ローラによる加圧脱水部、ローラ漸増圧脱水部、圧搾脱水部の順序で脱水が行われる。汙布速度はインバータ制御であり、汚泥状態等に合せて最適な速度に設定ができる。なお速度の

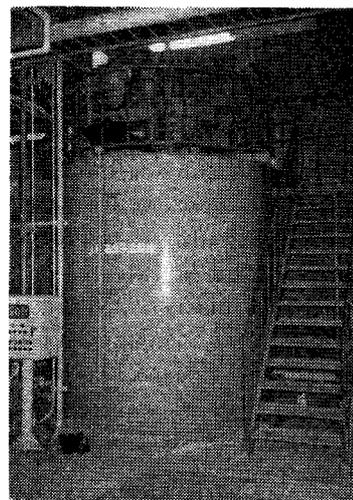
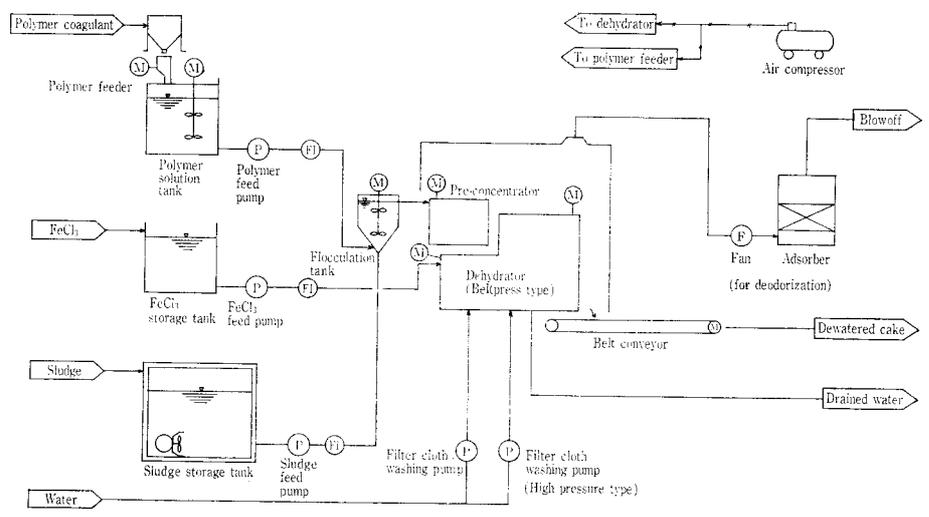


写真2  
高分子溶解設備  
Photo. 2  
Polymer dissolving unit



第2図 脱水設備処理フロー  
Fig. 2 Sludge dewatering system flow

設定は脱水機側盤から行いが設定値は監視盤にも表示され常時監視ができる。汙布張力は0~10 kg/cm<sup>2</sup>の任意の値に設定可能で、左右均一機構により常に平均に張られている。前濃縮機と同様運転中は常に汙布がローラの中央に位置するよう汙布蛇行修正が行われ、万一汙布異常蛇行、汙布破断がおこると全機自動停止となる。現在稼動中のベルトプレス脱水機を写真3に示す。

### 1. 3. 5 汙布洗浄装置

前濃縮機および脱水機には、ケーキ剥離した汙布を、特殊スプレーノズル(水圧 6 kg/cm<sup>2</sup>)で常に洗浄するための洗浄水装置と、脱水機には汙布の汚れ具合によって任意に運転できる高圧洗浄装置(水圧 20 kg/cm<sup>2</sup>)を設けている。また脱水終了時の、停止工程中に高圧洗浄が自動運転される回路を組み込んでいる。

### 1. 3. 6 空気供給装置

脱水機、高分子凝集剤定量供給機及び自動弁へ操作用空気を供給する。

### 1. 3. 7 脱水ケーキ搬送装置

脱水されたケーキを、ケーキヤードに搬送する。

### 1. 3. 8 脱臭装置(写真4)

脱水機本体は全面アクリルカバーで覆い、発生する臭気をダクトを通じて脱臭ファンで吸引し、脱臭塔へ送気する。脱臭塔は酸性ガス、塩基性ガス及び中性ガス用の各吸着剤を充填した脱臭塔で、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、トリメチルアミン等を臭気強度2以下に吸着除去し、建屋外部へ排出する。

## 1. 4 主要装置諸元

### 1. 4. 1 汚泥貯留、供給装置

#### 1) 汚泥貯留槽(既存槽)

形式 鉄筋コンクリート造角形槽

数量 1槽

#### 2) 汚泥貯留槽攪拌機

形式 水中プロペラ式

能力 500 mmφ×39.6 m<sup>3</sup>/min

電動機 7.0 kW×400 V×60 Hz

数量 1台

### 3) 給泥ポンプ

形式 一軸ネジポンプ

口径 125 mm

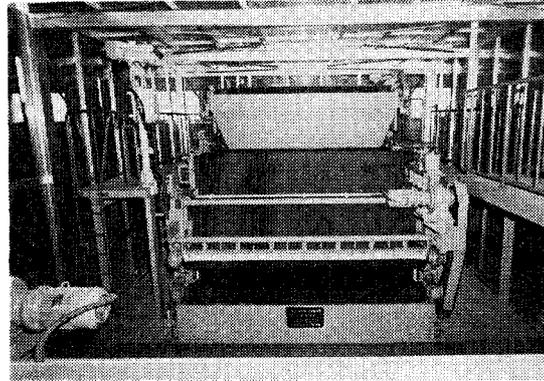


写真3 稼動中のベルトプレス脱水機

Photo.3 Beltpress dehydrator (in operation)

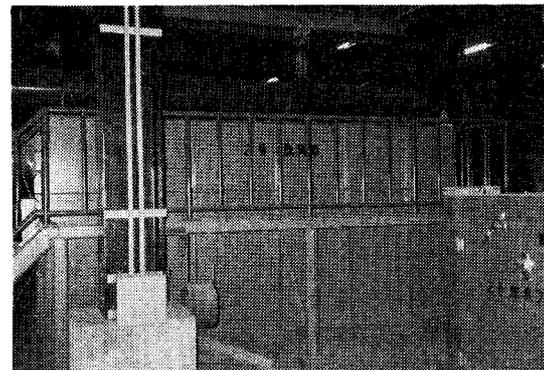
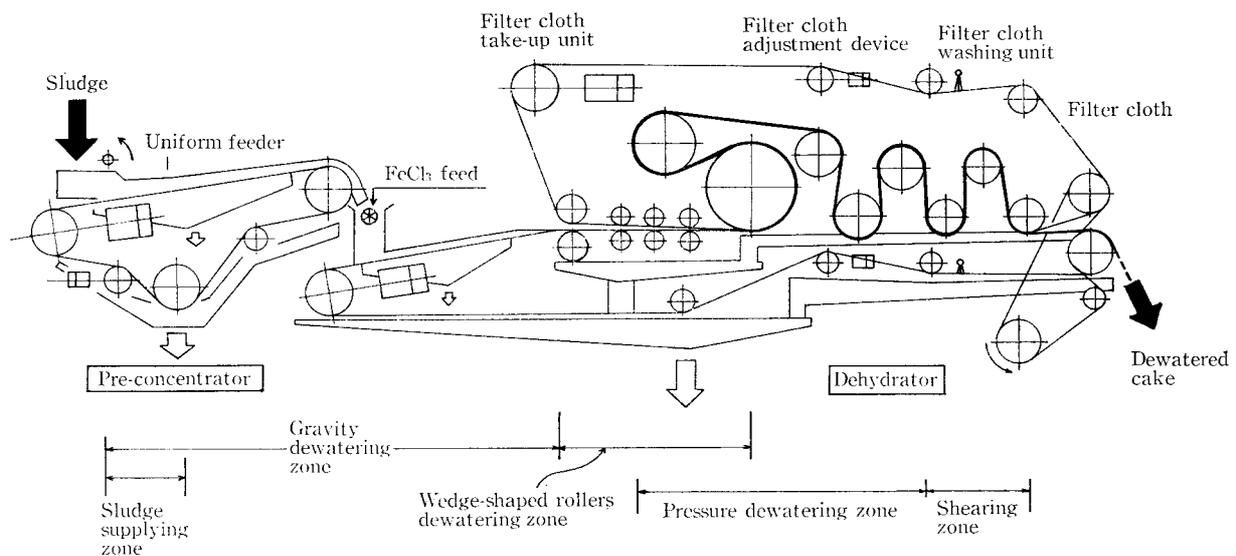


写真4 脱臭装置

Photo.4 Deodorizer



第3図 脱水工程

Fig. 3 Dewatering process

- 能力 30 m<sup>3</sup>/h×25 mAq  
 電動機 11 kW×400 V×60 Hz (回転数制御)  
 数量 3台
- 1. 4. 2 高分子凝集剤溶解供給装置**
- 1) 高分子コンテナ  
 形式 両口形アルミ合金製コンテナ  
 寸法 1300 mm□×1600 mm<sup>H</sup>  
 容量 1.0 m<sup>3</sup>  
 数量 4台  
 付属品 高分子コンテナ重量計
- 2) 高分子凝集剤定量供給機  
 形式 容積形定量供給機  
 能力 0.5~2.0 l/min  
 電動機 0.4 kW×400 V×60 Hz  
 数量 2台
- 3) 高分子凝集剤溶解槽  
 形式 鋼板製円筒縦形  
 寸法 2650 mmφ×2850 mm<sup>H</sup>  
 容量 14 m<sup>3</sup>  
 攪拌機 電動縦形パドル式  
 500 mmφ×300 rpm  
 3.7 kW×400 V×60 Hz  
 数量 2台
- 4) 高分子凝集剤供給ポンプ  
 形式 一軸ネジポンプ  
 口径 50 mm  
 能力 30 m<sup>3</sup>/h×35 mAq  
 電動機 1.5 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 1. 4. 3 塩化第二鉄供給装置**
- 1) 塩化第二鉄貯槽 (既存槽)  
 形式 鋼板製角形内面ゴムライニング  
 数量 4基
- 2) 塩化第二鉄供給ポンプ  
 形式 ダイヤフラム形ストローク制御定量形  
 口径 25 mm  
 能力 250 l/h×4.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 電動機 0.75 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 1. 4. 4 汚泥脱水装置**
- 1) 脱水機  
 形式 前濃縮機付ベルトプレス脱水機  
 本体寸法 4220 mm<sup>W</sup>×5740 mm<sup>L</sup>×2600 mm<sup>H</sup>  
 汙布寸法 幅3000 mm (有効)  
 汙布速度 0.3~3 m/min  
 駆動装置 汙布駆動用  
 回転数 0~3.6 rpm  
 電動機 3.7 kW×400 V×60 Hz (インバータ制御)  
 塩化第二鉄後添加混和用  
 回転数 0~54.5 rpm  
 電動機 0.4 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 2) 前濃縮機  
 寸法 4220 mm<sup>W</sup>×3100 mm<sup>L</sup>×2038 mm<sup>H</sup>  
 汙布寸法 幅3000 mm (有効)  
 汙布速度 0.5~5 m/min  
 駆動装置 汙布駆動用  
 回転数 0~9.6 rpm  
 電動機 0.75 kW×400 V×60 Hz  
 汚泥供給用  
 回転数 0~20.6 rpm  
 電動機 0.2 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 3) No.1 凝集混和槽  
 形式 鋼板製円筒縦形  
 寸法 740 mmφ×2400 mm<sup>H</sup>  
 容量 0.32 m<sup>3</sup>~0.45 m<sup>3</sup>  
 攪拌機 パドル式3枚2段形  
 36~106 rpm  
 0.4 kW×400 V×60 Hz (インバータ制御)  
 数量 3台
- 4) No.2 凝集混和槽  
 形式 鋼板製円筒縦形  
 寸法 950 mmφ×2200 mm<sup>H</sup>  
 容量 0.66~0.87 m<sup>3</sup>  
 攪拌機 パドル式3枚2段形  
 36~106 rpm  
 0.4 kW×400 V×60 Hz (インバータ制御)  
 数量 3台
- 1. 4. 5 汙布洗浄装置**
- 1) 洗浄水ポンプ  
 形式 片吸込多段渦巻ポンプ  
 口径 100/80 mmφ  
 能力 35 m<sup>3</sup>/h×80 mAq  
 電動機 15 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 2) 高圧洗浄水ポンプ  
 形式 片吸込多段渦巻ポンプ  
 口径 65/50 mmφ  
 能力 30 m<sup>3</sup>/h×210 mAq  
 電動機 37 kW×400 V×60 Hz  
 数量 3台
- 1. 4. 6 空気供給装置**
- 1) 空気圧縮機  
 形式 圧力開閉式パッケージ形  
 能力 840 l/min×9.5 kg/cm<sup>2</sup>  
 電動機 7.5 kW×400 V×60 Hz  
 数量 2台  
 付属品 空気タンク 770 l
- 2) 除湿機  
 形式 冷凍式  
 能力 1000 l/min×7.0 kg/cm<sup>2</sup>

電動機 0.4 kW × 200 V(单相) × 60 Hz

数量 1台

1. 4. 7 脱水ケーキ搬送装置

脱水ケーキコンベア

形式 3ローラーゴムベルト式

ベルト幅 600 mm

機長 約37.0 m

ベルト速度 21 m/min

電動機 3.7 kW × 400 V × 60 Hz

数量 4台

1. 4. 8 脱臭装置

1) 脱臭塔

形式 カートリッジ式乾式吸着塔

寸法 1790 mm<sup>W</sup> × 4560 mm<sup>L</sup> × 2140 mm<sup>H</sup>

能力 110 m<sup>3</sup>/min

処理臭 臭気強度2以下

数量 1基

2) 脱臭ファン

形式 片吸込ターボファン

口径 400 mmφ

能力 110 m<sup>3</sup>/min × 250 mmAq

電動機 11 kW × 400 V × 60 Hz

数量 1台

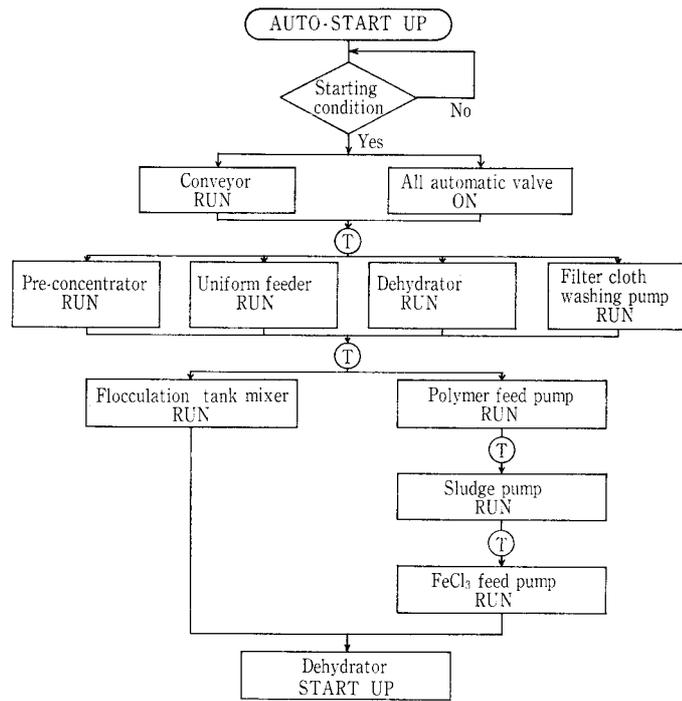
1. 5 運転操作

脱水機の運転操作はコントロール盤での全機器連動運転と、現場操作盤での単独手動運転が行える。連動運転には、運転開始、一時停止、洗浄及び運転停止が行える。第4、5図に運転開始と運転停止の概略ブロックフローを示す。また監視盤では、脱水設備の運転状態、ITVによる供給汚泥の凝集状態及び故障発生時の機器の表示が集中して監視できるようになっている。

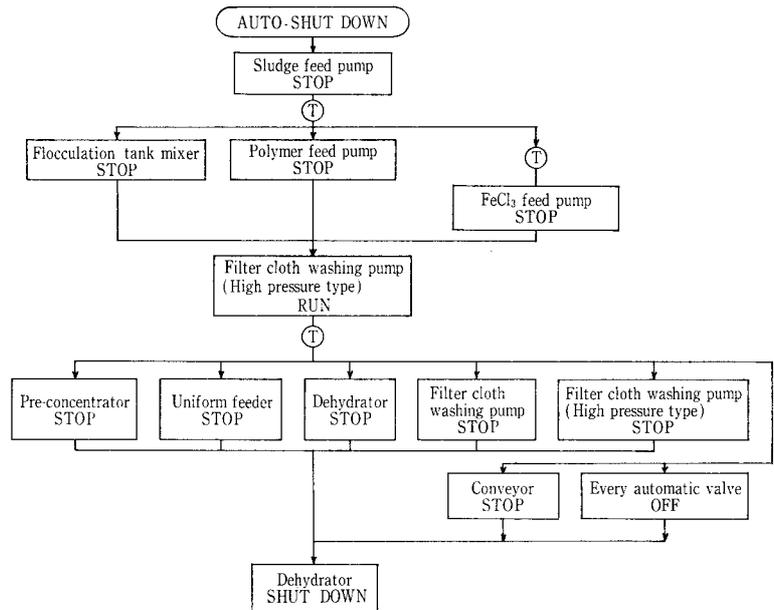
2. 運転結果

試運転時の脱水供給汚泥は、消化未洗浄汚泥と、消化洗浄汚泥の単独及び消化洗浄汚泥とフロス汚泥1対1の混合汚泥である。その性状を第1表に示す。

運転結果は良好であり、設計条件のケーキ含水率76%以下を十分に満足するものであった。



第4図 連動運転開始フロー  
Fig. 4 Sequence of automatic start up



第5図 連動運転停止フロー  
Fig. 5 Sequence of automatic shut down

第1表 脱水機供給汚泥  
Table 1 Properties of feed sludges

Sludge type	TS %	VTS %	SS %	VSS %	pH	Electric conductivity μS/cm, 25 °C	M Alkalinity mg/ℓ as CaCO <sub>3</sub>
Anaerobically digested sludge (unwashed)	1.38	63.84	1.12	63.75	7.5	7590	3560
Anaerobically digested sludge	2.02	63.86	1.78	76.40	8.1	3550	2400
Anaerobically digested sludge + Froth sludge	2.99	68.22	2.63	67.30	6.9	4070	2860

第 2 表 脱水性能

Table 2 Performance of beltpress

Sludge type	Coagulant dosing rate		Operating condition		Cake-liquid concentration %	Capacity kgDS/m·h
	Polymer %	FeCl <sub>3</sub> %	Filter cloth speed m/min	Filter cloth tension* kg/cm		
Anaerobically digested sludge (unwashed)	1.21~1.33	9.80~10.41	0.8	5.0	74.5~74.7	98.0~127.4
Anaerobically digested sludge	0.70	10.0	0.5~1.0	5.0	73.8~74.7	101.0~151.3
Anaerobically digested sludge+ Froth sludge	0.78~1.27	9.80~10.75	0.75~1.0	5.0	74.7~76.2	82.7~123.0

\*Final roller pressure 0.48 kg/cm<sup>2</sup>

第 3 表 汚泥の脱水難易性状

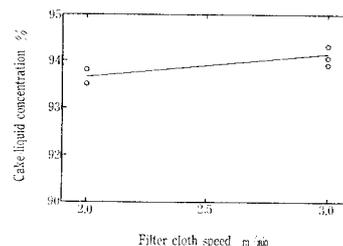
Table 3 Sludge dewaterability

Sludge type	S S %	C <sub>m</sub> %	F <sub>s</sub> +V <sub>SL</sub> %	D <sub>w</sub>	Calculated value	
					Cake-liquid concentration %	Dehydrator capacity kgDS/m·h
Anaerobically digested sludge (unwashed)	1.22	1.80	40.38	0.73	77.58	70.84
Anaerobically digested sludge	1.78	2.73	28.07	0.77	77.32	73.53

第 4 表 汚泥脱水性の難易を示す判定基準

Table 4 Judgement for sludge dewaterability

D <sub>w</sub>	Sludge dewaterability	Cake solid contents %	Dehydrator capacity kgDS/m·h
D <sub>w</sub> < 0.5	Very difficult	< 20	< 50
0.5 ≤ D <sub>w</sub> < 1	Difficult	20~25	50~100
1 ≤ D <sub>w</sub> < 2	Easy	25~30	100~150
2 ≤ D <sub>w</sub>	Very easy	> 30	> 150

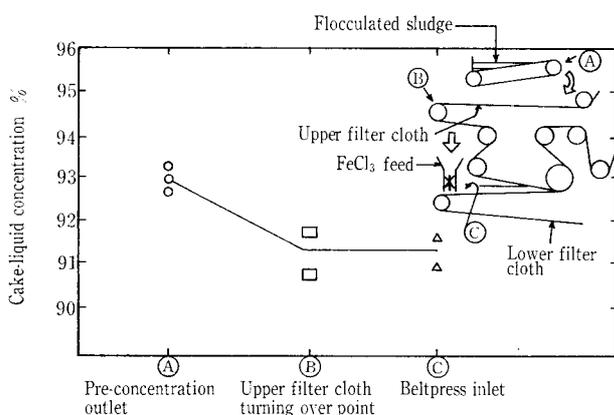


Operating condition

- 1) Filter cloth tension 3.0 kg/cm
- 2) Polymer consumption 0.61~0.7 % DS

第 6 図 前濃縮汙布速度とケース含水率

Fig. 6 Relationship between pre-concentrator filter cloth speed and cake-liquid concentration



第 7 図 重力脱水部ケーキ含水率の変化

Fig. 7 Dewatering efficiency of gravity dewatering zone

各汚泥とも塩化第二鉄の注入率および最終ローラー面圧によって脱水性能は異なるが、汙過速度 100 kgDS/m·h 塩化第二鉄の注入率 10 % 前後とした場合の脱水性能を第 2 表に示す。

### 2. 1 前濃縮装置

汙布速度と濃縮ケーキ含水率の関係を第 6 図に示す。汙布速度を変えてもケーキ含水率はさほど変化しない。前濃縮後、ケーキが反転し、上汙布上に落下し、上汙布上を通過するとき、さらに水切が行われ、反転効果が大きな影響をおよぼす。その効果を第 7 図に示す。

### 2. 2 汚泥性状と脱水性

大宮らは、都市下水汚泥を対象に高分子凝集剤単独の条件で汚泥成分による脱水性の難易を示す判定基準を提唱し

ている。その脱水性判別式を用いて、消化未洗浄汚泥及び消化洗浄汚泥の脱水性を検討した結果を第 3 表に、汚泥脱水性の難易を示す判定基準を第 4 表に示す<sup>1)</sup>。

脱水性判別式

$$D_w = C_m(F_s + V_{SL}) \times 10^{-2}$$

$$\text{ケーキ固形物濃度} = 24.04 D_w^{0.223}$$

$$\text{固形物処理量}(\text{kgDS}/\text{m}\cdot\text{h}) = 88.32 D_w^{0.701}$$

ここに

C<sub>m</sub> : 24時間沈殿させた濃縮汚泥の S S 濃度 (%)

F<sub>s</sub> : 濃縮汚泥 S S 中の灰分 (%)

V<sub>SL</sub> : 粗浮遊物強熱減量 (%)

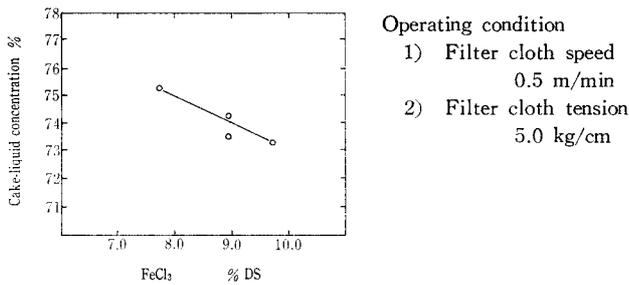
両汚泥とも D<sub>w</sub> 値は 0.5 ≤ D<sub>w</sub> < 1 の範囲にあり、難脱水性汚泥であることがわかる。

なお、高分子凝集剤単独処理の予測(第 3 表……の計算値でのケーキ含水率および固形物処理量)に比べ、今回の対象汚泥では、ケーキ含水率 76 % 以下および固形物処理量 100 kg/m·h 以上が達成できた。

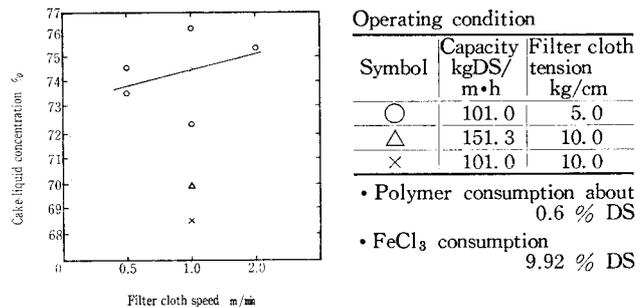
### 2. 3 薬品注入率

#### 2. 3. 1 高分子凝集剤

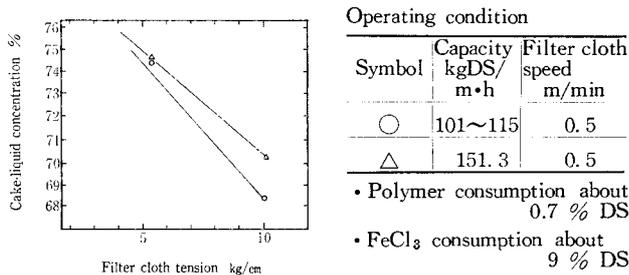
ハンドテストで高カチオン系凝集剤(シンコーフロック SC-680)が、各汚泥に対し対応幅があり、また凝集性およびフロック強度とも優れていた。注入率については、カラムテストでの汙液量および C S T (Capillary suction time) 値から判断して、最適注入率を決め、試運転を行い、重力脱水部での水切状態及び含水率より決定した。いずれの汚泥に対しても、最適添加率があり、過度の添加は凝集不良のみならず、ケーキ剥離性を悪くし、また脱水汙液の水質悪化の原因ともなる。各汚泥における試運転での最



第8図 塩化第二鉄注入率とケーキ含水率（消化洗浄汚泥）  
Fig. 8 Relationship between  $\text{FeCl}_3$  dosing rate and cake-liquid concentration (Feed sludge: Anaerobically digested)



第9図 濾布速度とケーキ含水率（消化洗浄汚泥）  
Fig. 9 Relationship between filter cloth speed and cake-liquid concentration (Feed sludge: Anaerobically digested)



第10図 濾布張力とケーキ含水率（消化洗浄汚泥）  
Fig. 10 Relationship between filter cloth tension and cake-liquid concentration (Feed sludge: Anaerobically digested)

適添加率は消化未洗浄汚泥で1.3%（対固形物当り）消化洗浄汚泥では0.7%（同），消化洗浄汚泥+フロス汚泥では0.8%（同）であった。

### 2.3.2 塩化第二鉄

塩化第二鉄添加による脱水ケーキ含水率の変化を第8図に示す。いずれの汚泥に対しても注入率を高くすればするほど水切れがよく、ケーキ含水率も低くなり、ケーキ剥離性も良好となる。経済性を考えた場合、いずれの汚泥に対しても添加率8%（対固形物当り）程度で設計条件を十分に満足するものであった。

### 2.4 濾布速度

1.2項の設計条件での濾過速度で濾布速度は0.7 m/min付近が最適であった。濾布速度とケーキ含水率の関係を第9図に示す。濾布速度を遅くすると、濾過速度は減少し、これに伴ってケーキ含水率が低くなる。しかし汚泥濃度が高く、ケーキ厚みが10 mmを超えると濾布速度を遅くしてもケーキ含水率は逆に高くなる場合がある。これはケーキ内部の水分が外部に出にくいことからである。

### 2.5 濾布張力

1.2項の設計条件での濾過速度で、濾布張力5 kg/cm付近が最適であった。濾布張力とケーキ含水率の関係を第10図に示す。濾布張力を高くすればするほどケーキ含水率は低下する。しかし濾布張力を上げすぎると、サイドリークの原因ともなり、また濾布の寿命に影響を及ぼす。

ここに濾布張力とローラー面圧およびローラー半径の関係を表わすと

$$P = T/R \text{ となる。}$$

$$P = \text{ローラー面圧 (kg/cm}^2\text{)}$$

$$T = \text{濾布張力 (kg/cm)}$$

$$R = \text{ローラー半径 (cm)}$$

### 2.6 最大濾過速度

供給汚泥性状および濃度等により差はあるが、試運転結果での各汚泥に対する最大濾過速度は下記のようなのである。

#### 1) 消化未洗浄汚泥

濾布速度0.8 m/min, 高分子凝集剤注入率1.34%, 塩化第二鉄注入率8.34%, 濾布張力5 kg/cmにおいて120 kg/m·hの濾過速度であった。その時のケーキ含水率は76.1%となった。

#### 2) 消化洗浄汚泥

濾布速度0.75 m/min 高分子凝集剤注入率0.7%, 塩化第二鉄注入率8.70%, 濾布張力5 kg/cmにおいて172.5 kg/m·hの濾過速度であった。その時のケーキ含水率は74.4%となった。

#### 3) 消化洗浄汚泥+フロス汚泥

濾布速度0.75 m/min, 高分子凝集剤注入率0.79%, 塩化第二鉄注入率9.80%, 濾布張力8.2 kg/cmにおいて163.8 kg/m·hの濾過速度であった。その時のケーキ含水率は76.3%となった。

### むすび

以上ベルトプレス脱水設備の概要および試運転結果を紹介したが、ケーキ含水率、濾過速度とも良好な結果を得ることができ、現在順調に運転中である。おわりに本装置の設計、据付、試運転に際し多大な協力と助言をいただいた下水道局ご担当各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

#### 〔参考文献〕

- 1) 大宮一夫, 東欽一郎: 第17回下水道研究発表会講演集(1980) p. 633



流基準は国務院がナショナル・ミニマムを制定し、省、自治区、直轄人民政府が地域特性に合った放流基準値を決めることになっている。第1図に中国の環境保護の行政機構を示す。

### 1. 2 放流水質基準

大慶エチレンコンビナートの総合廃水処理設備は、水質汚濁防止改善法が施行される前に建設が決定されたものであり、更に高度処理の要求を含んだものであった。

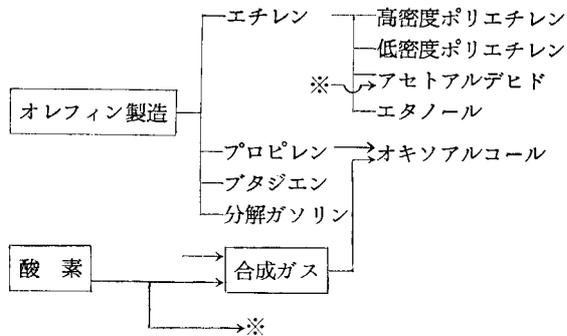
この背景には、中国東北部を流れる松花江周辺の住民パワーによる飲料水、農業用水、水産用水の水源汚濁防止の要求があったと言われており、中国でも環境保全が重要な社会問題となってきた事を伺わせている。

第1表に示す北京市や西安市の放流基準の一例と比べると、大慶エチレンコンビナートの後述される処理水要求値がいかに厳しいものであるかがわかる。

### 2. コンビナート生産設備概要

大慶石油化学プラントの概略は次の生産装置から成っている。

一期工事対象 (1986年7月完成)



二期工事対象装置 (1988年完成予定)

- ・低密度ポリエチレン
- ・酢酸プラント
- ・アクリルニトリル

- ・ニトリルファイバー
- ・芳香族抽出装置

ここで述べる廃水処理設備は、以上の生産装置から関連して発生する汚水を処理するものである。

### 3. 廃水処理設備概要

第2図に廃水処理設備のフローシートを示す。次に計画諸元を記述する。

#### 3. 1 計画水量および計画水質

・計画処理水量 24 000 m<sup>3</sup>/d

原水水質		処理水水質
pH	6~9	6~9
BOD	500 mg/l	<10 mg/l
COD <sub>Cr</sub>	<1 000 mg/l	
Acetaldehyde	150 mg/l	<0.05 mg/l
Butanol	40 mg/l	
Phenol	50 mg/l	<0.01 mg/l
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	100 mg/l	
2-Ethylhexyl alcohol	30 mg/l	
Octaldehyde	15 mg/l	
Sodium acetate	300 mg/l	
Sodium butyrate	70 mg/l	
Methanol	10 mg/l	
Monoethanolamine	30 mg/l	

第1表 放流水質基準値

Table 1 Effluent quality standards

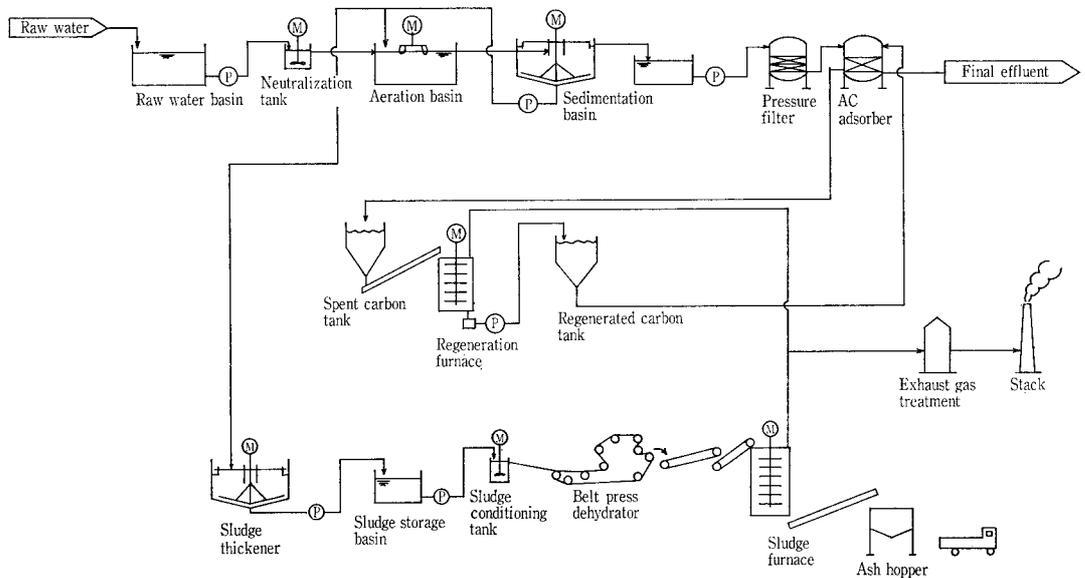
City name	Beijing	Xian
Type of industry	Peper and pulp manufacture	Fiber manufacture
BOD	< 60 mg/l	< 60 mg/l
COD <sub>Cr</sub>	<300 mg/l	<100 mg/l
SS	<500 mg/l	<300 mg/l
pH	6~9	6~9

第2図

廃水処理設備フローシート

Fig. 2

Flow diagram of wastewater treatment plant



原水水质		処理水水质
Dimethyl formamide	10 mg/ℓ	
Organochlorine compounds	15 mg/ℓ	
SS	100~500 mg/ℓ	<5 mg/ℓ
Oil	10 mg/ℓ	<2 mg/ℓ
S <sup>2-</sup>	5 mg/ℓ	
CN <sup>-</sup>	2 mg/ℓ	

### 3. 2 主要設備諸元

- (1) 建設敷地面積 140 m×350 m
- (2) 原水槽容量 23 880 m<sup>3</sup>/1 系列×2 系列  
=47 760 m<sup>3</sup>
- (3) 中和槽 90 m<sup>3</sup>
- (4) 曝気槽容量 1 875 m<sup>3</sup>×4 槽×系2列
- (5) 曝気機 75 kW エアレーター×8 基
- (6) 沈殿槽 40 mφ×3.5 mH×2 系列
- (7) 圧力濾過器 5 mφ×5 mH×5 基
- (8) 活性炭吸着塔 5 mφ×4.4 mH×4 基×3 系列
- (9) 再生炉設備  
立形多段炉 2.8 mφ×6 段  
処理能力  
最大 7.2 ton AC/d  
平均 4.8 ton AC/d  
計画吸着量 0.05 kg COD<sub>Mn</sub>/kg AC
- (10) 焼却炉  
立形多段炉 5.1 mφ×6 段  
処理能力  
最大 400 kg DS/d
- (11) 脱水機  
高圧ベルトプレス×2 基  
処理能力  
250 kg DS/h  
ケーキ水分 80 %

## 4. 各主要機器の説明

### 4. 1 汚水の生物化学処理

流入総合廃水はまず二槽の密閉コンクリート製の原水槽で均一化される。その後、中和槽で硫酸にて pH 制御され曝気槽内で pH が 6~8 となるように調節される。曝気槽はステップエアレーション方式であり、各二系列共に四槽より構成される。通常 MLSS 4 000 mg/ℓ, BOD 負荷 0.2 kg BOD/kg. MLSS. d で運転される。また寒期低温時の運転に備え、槽はスラブ張とし、蒸気の吹込装置が設置されている。曝気機の酸素供給量は、各系列最終槽に設けられた水位調節装置により、または曝気機ブレードの枚数の増減で 60~100 % の範囲で調節できる。曝気槽より流出した活性汚泥混合液は、二つの円形沈殿槽にて固液分離が行われる。槽内には、中心駆動のトラス構造汚泥掻寄機が設置され、槽下部に沈殿した汚泥は、槽中心部に設けられた集泥ピットに集められる。沈殿槽の上澄水 (BOD<30 mg/ℓ, COD<sub>Cr</sub><50 mg/ℓ) はポンプで次の圧力濾過器へ圧送される。(写真 1)

### 4. 2 圧力濾過処理

圧力濾過処理は三次処理のための予備処理として、廃水中の SS を除去することを目的とする。濾材はアンフラサイトと濾砂の二層から成っている。濾過と逆洗は、タイマーシーケンスコントロールにより、全自動操作される。また入口と出口の差圧が 0.8 kg/cm<sup>2</sup> になった時点で自動逆洗に入っているようになっている。逆洗廃水は曝気槽へ返送され、濾過処理水はポンプで三次処理装置 (活性炭吸着塔) へ圧送される。

### 4. 3 廃水の三次処理設備

活性炭吸着装置は 4 塔シリーズで 3 系列、計 12 塔から成り、LV≤20 m/h 以下、SV≤2/h で設計されている。各塔は順々に定期的に逆洗を行い、塔内に残留する SS 分を洗浄除去する。活性炭吸着処理水は BOD 10 mg/ℓ 以下、COD<sub>Cr</sub> 40 mg/ℓ 以下が得られ、バッテリー外へ圧送される。

吸着塔内の活性炭は、生物化学処理では除去困難な有機物を吸着し、平衡状態に達した (計画 COD<sub>Mn</sub> 吸着量は 5 %) 時点で、老廃炭は再生炉に送られ、再生後循環使用される。再生炉は 6 段内熱式立形多段炉で、設計処理能力 7.2 ton/d, 再生温度約 950 °C である。再生炉排ガスはサイクロン集塵器で除塵された後、脱臭炉で脱臭され大気へ排出される。再生炉、脱臭炉の点火は半自動で行われ、手動で消火される。その他緊急遮断、炉内の圧力及び温度調節はすべて自動操作される。

### 4. 4 汚泥処理

沈殿槽の集泥ピットより引き抜かれた汚泥は直径 12 m の円形濃縮槽に入り濃縮される。濃縮槽の上澄水は曝気槽へ返送され生物化学処理される。濃縮槽の下部に沈殿した濃度 3 % の汚泥はポンプで汚泥貯槽へ送られ、均一化される。そして、凝集調整槽へ送られここで塩化第二鉄、凝集助剤を加えてフロックを形成したのち、高圧ベルト式脱気機に入り、含水率 80 % のケーキに脱水されて焼却炉へ送られる。バッテリー外の汚泥も水分 80 % の状態で搬入され、同一焼却炉に送られ焼却される。

焼却炉は 6 段立形多段炉で、焼却温度約 800 °C、灰分はフライトコンベアで灰ホッパーに送られ調湿後搬出される。焼却炉排ガスは、脱臭炉で 800 °C の高温下で酸化された後湿式サイクロンスクラバーで除塵され、再生炉排ガスと共に大気へ排出される。排出ガス温度は 300~400 °C となる。焼却炉への負荷を安定させるためにバッテリーからの汚泥は、汚泥計量装置で計測され定量供給される。焼却炉、脱臭炉の点火は半自動で行われ、消火の時は全て手動で行われる。その他緊急遮断、炉内の圧力及び温度調節はすべて自動操作される。

### 4. 5 設備の計測と監視

バッテリー内には流量、圧力、液位、温度等の指示、記録、警報調節等の機器が設置される。また設備の正常運転

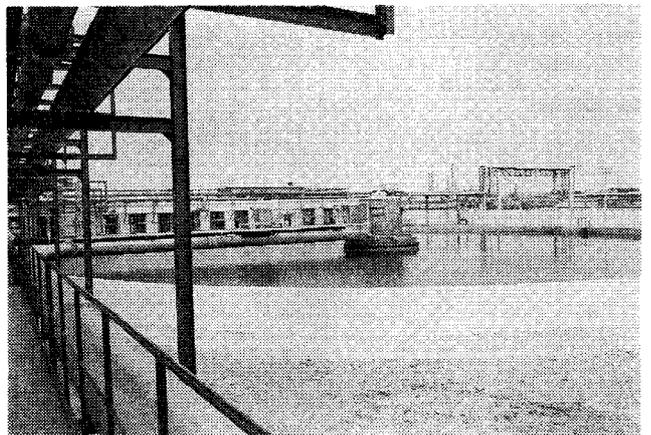


写真 1 沈殿池

Photo. 1 Sedimentation basin

を保証するために pH, DO, TOC, MLSS, 汚泥の界面高さが中央監視でできるようになっている。(写真2)

## 5. 寒期低温に対する設計上の配慮事項

設計上困難な問題の一つに寒期低温対策があった。据付場所は北緯46度で冬期の外気温は最大 $-40^{\circ}\text{C}$ まで下ることがある。設計温度は冬期の平均外気温 $-25.1^{\circ}\text{C}$ で対策することとなった。このような温度条件のもとで装置が故障なく稼動するにはどのような材料を選定するか、また設計上どのような配慮を講ずるかなどの問題があった。

本廃水処理で扱う廃水は $0^{\circ}\text{C}$ 以下になれば凍結して、流体として扱えなくなる。したがって配管材料、容器材料についてはブラインなどの冷媒を扱う考え方ではなく、凍結させないと言う基本的な考えの上で、各設備に以下のような配慮、対策を行った。

### 5.1 水槽類

- 1) 原水槽：生蒸気吹き込及びスラブ張り密閉構造として放熱損失の低減を計った。
- 2) 油槽：蒸気コイル加熱を行った。
- 3) 曝気槽：生蒸気吹き込及びスラブ張り密閉構造とし、有圧換気扇による新鮮空気の供給。有圧換気扇は蒸気コイル加熱とした。
- 4) 沈殿槽・濃縮槽：Vノッチ板流出堰近傍に蒸気管付設及び水面からの熱放散を防ぐため沈殿槽はスチロール板を浮かべ、濃縮槽は全面カバーを行った。
- 5) 中間槽・汙過水槽・逆洗排水槽、汚泥貯槽等：いずれも生蒸気吹き込及びスラブ張り密閉構造とし、放熱損失の低減を計った。

### 5.2 機器類

機器類は原則として建屋内配置とし、寒期 $5^{\circ}\text{C}$ 以上を保つよう暖房を行うものとした。

- 1) 曝気機・汚泥掻寄機：保温室を設け蒸気暖房を行った。
- 2) ポンプ・ブローア：ポンプ室を2カ所設け、ポンプ・ブローアを集中配置し蒸気暖房を行った。
- 3) 汙過器・活性炭吸着塔：建屋内設置とし蒸気暖房を行った。
- 4) 脱水機・焼却炉・活性炭再生炉：建屋内設置とし蒸気暖房を行った。

### 5.3 配管・弁類

- 1) 配管：建屋内配管は蒸気暖房とし、建屋外配管はスチームトレースまたは保温施工、屋外の薬品配管はスチームトレースでは高温での腐食が考えられるため、電気トレースとした。埋設配管は凍土(2 m)より深く埋設し、高低関係から凍土内に埋設される場合は、クボタパーマネントパイプを使いスチームトレースとし全般的に常に流れがあるように考慮した。どうしても停滞する部分は

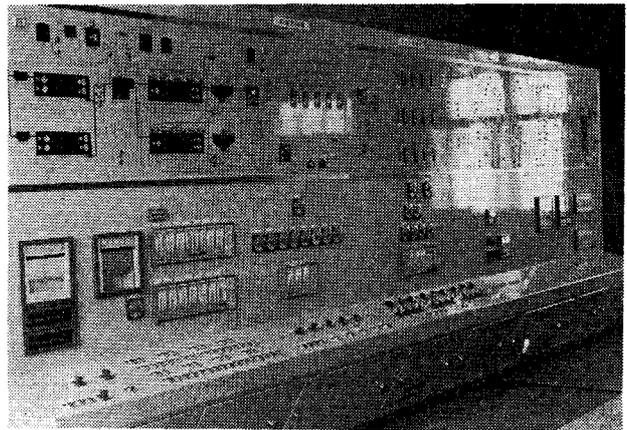


写真2 中央監視板

Photo. 2 Center graphic panel

スチームトレースをするかドレンができるようにした。窒素ガス配管は低温用材料を採用した。

- 2) 弁類：弁類の低温対策、凍結防止策は基本的に配管と同じ考えで行った。

### 5.4 屋外鉄骨架構類

屋外鉄骨架構類は応力がかかった状態で $-40^{\circ}\text{C}$ の温度にさらされる。したがって材料の選定方法としては

- (1) 低温衝撃試験を行い、その時の吸収エネルギーより使用限界温度を決める。
- (2) SM 41 B 材を使用する。
- (3) 使用応力をその材料の最小引張応力の $\frac{1}{6}$ 以下とする。

以上の三つの方法が考えられたが本設備では(3)の方法を選択した。

### 5.5 電気・計装類

- 1) モータ：モータは建屋内設置としたが、輸送・保管時を考慮して耐寒処理を施し、プラスチック部品をステンレス部品とした。
  - 2) 屋外盤：保温箱を設け蒸気コイル加熱を行った。
- 以上簡単に低温に対する対策を述べた。これら対策に使用した蒸気は極力回収に努めた。

### むすび

以上中国大慶向け廃水処理設備について概要を紹介した。設計負荷の状態では1988年以降と予想されるが、十分その機能を発揮してくれるものと確信している。おわりに契約から基本設計打合せ、開梱検査、現地工事、試運転まで8年間の長き年月を要したが、その間中国側各関係者の方々及び日本の関係企業の皆様方の多大の尽力と協力に深く感謝の意を表する次第である。

# 生物膜汚過(BCF)による研摩排水処理

## Grinding Wastewater Treatment by BCF

(環)技術部 製品開発課  
 野 中 信 一  
 Shinichi Nonaka  
 佐 藤 栄 祐  
 Eisuke Sato  
 山 本 勝 年  
 Katsutoshi Yamamoto

Biological Contact Filter (BCF) is a kind of submerged biological filter system and it can remove biological oxygen demand and suspended solids simultaneously.

Its major advantages of higher biomass concentration fixed on the filter media and higher oxygen dissolving efficiency enable higher load operation, less space requirement and lower energy consumption and promote process stability compared with conventional treatment system.

This paper describes our achievement of BCF application to grinding wastewater treatment.

### まえがき

生物膜汚過法は、本誌で既に紹介したように、生物膜法の中の浸漬汚過法に属し、BOD除去と同時に汚過機能も併せ持つため、最終沈殿池を必要としない、酸素溶解効率が高く省エネルギー型であること、充填媒体の比表面積が大きいことにより菌体保持量が多く高負荷がとれる、さらに洗浄を自動化することができるので維持管理が容易である等の多くの長を有する処理法である<sup>1)</sup>。

今般、研摩排水を処理するに当り省スペース、省エネルギー、維持管理の容易さなどの要求に答えるため生物膜汚過法による実験を行った。この実験によって得られた知見を報告する。

### 1. 実験概要

#### 1.1 実験期間

1986年4～9月

#### 1.2 実験装置仕様

##### (1) 生物膜汚過槽 (透明PVC製)

寸 法: 300 mmφ×1 800 mmH

有効容量: 130 ℓ

数 量: 2槽

##### (2) 充填粒子媒体

種 類: グラセミックN

粒 径: 4～7 mm

充 填 量: 71 ℓ/槽

##### (3) ポンプ・ブローア類

原水ポンプ: ローラーポンプ

栄養塩ポンプ: ペローズポンプ

ブローア: ダイヤフラム式  
エアーポンプ

#### 1.3 実験方法

実験装置のフローを第1図に示す。研摩排水は、主として研摩工程から排出される研摩液を汚濁源とし、比較的BOD濃度が高く生物処理を必要とし、被削物の研摩屑をSS分として含む排水である。このSS分を凝集沈殿で除去した一次処理水(以下原水と呼ぶ)を原水ポンプでまず1段目の生物膜汚過槽に供給する。1段目処理水は、自然流下で2段目に流入し処理される。栄養塩は、BOD:N:Pの割合を100:5:1として直接1段目の生物膜汚過槽

に注入した。

汚過の洗浄は、気-気・水-水の工程で1段目を1回/日、2段目を1回/2日の割合で手動で行った。洗浄水は工場用水を使用した。

本実験の特長は、生物膜汚過法の2段処理方式にあり、期間中を通じて1段目の生物膜汚過槽でのBOD負荷を段階的に増大して生物処理の特性とSS除去性能を求めた。

サンプリングは各槽洗浄前とし、水質分析はJIS-K 0102によって行った。

処理目標値を第1表に示す。

#### 1.4 酸素溶解効率

BCFの総括酸素移動係数 $K_{La}(1/h)$ を別途実規模の実験設備で測定し、従来型の旋回流式単純曝気、セラミックディフューザーによる全面曝気の曝気方式と比較した。

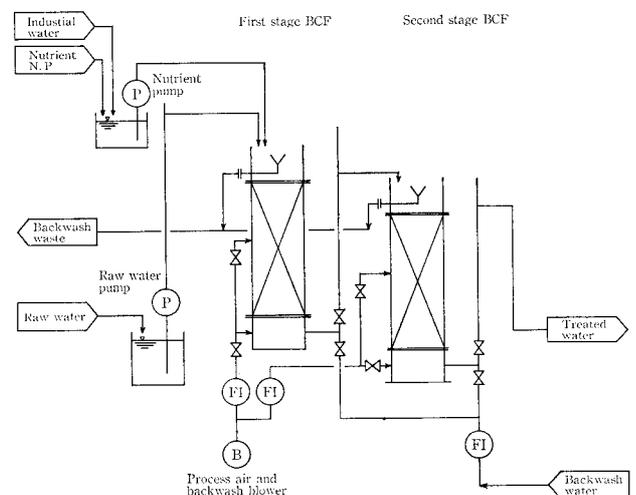
	Raw water	Treated water
BOD mg/ℓ	500	<20
SS mg/ℓ	30	<10
Hexane ext. matter mg/ℓ	10	<5

第1表

処理目標値

Table 1

Test plant effluent characteristics



第1図 実験装置フローチャート

Fig. 1 Flow chart of the test plant

第 2 表 実験条件と結果

Table 2 Test conditions and test results

Run No.		1	2	3	4	5	6
Test objective		Acclimation	Load test	Load test	Load test	Load test (pH controlled)	Load test (pH controlled)
BOD load of first stage	kg/m <sup>3</sup> ·d	0.5	2.0	3.5	5.0	3.5	5.0
Hydraulic loading	m/h	0.05	0.19	0.31	0.37	0.31	0.37
Water temperature	°C	10.8	17.0	22.0	24.5	28.0	26.5
pH	Raw water	6.9	6.7	7.1	7.2	6.8	6.6
	1st stage effluent	5.7	5.7	6.0	5.8	6.4	6.0
	2nd stage effluent	5.8	6.3	6.2	6.2	6.3	5.9
BOD mg/ℓ	Raw water	400	387	470	573	481	558
	1st stage effluent	35.0	83.4	130	203	60.0	112
	2nd stage effluent	15.6	19.5	17.0	108	5.4	22.5
COD mg/ℓ	Raw water	217	338	366	516	414	444
	1st stage effluent	75.4	110	144	277	53.0	125
	2nd stage effluent	53.8	66.5	47.3	146	29.4	74.4
SS mg/ℓ	Raw water	8.5	11.5	9.5	6.5	52.5	37.2
	1st stage effluent	5.5	7.0	8.0	15.0	10.0	15.2
	2nd stage effluent	4.5	5.0	5.5	5.0	3.2	6.4

一般に供給空気量と  $K_LaV$  の関係は次式で表わされる。

$$K_LaV = aG^3 \cdot H^7 \quad (1)$$

- $K_L$ : 酸素移動係数 (m/h)
- $a$ : 単位容積当り気液接触面積 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)
- $V$ : 槽容量 (m<sup>3</sup>)
- $G$ : 供給空気量 (m<sup>3</sup>/h)
- $H$ : 水深 (m)
- $\alpha, \beta, \gamma$ : 係数 (—)

第 2 図に各曝気方法について  $G$  と  $K_LaV$  の関係を示す測定結果によると BCF は、全面曝気と同等以上の性能を有している。なお各実験とも  $H = 4$  m で行った。供給酸素量に対する溶解酸素量の割合、酸素溶解効率は 12 ~ 15 % であった。測定方法は(社)土木学会編、衛生工学実験指導書による。

## 2. 処理結果と考察

### 2.1 実験条件と結果

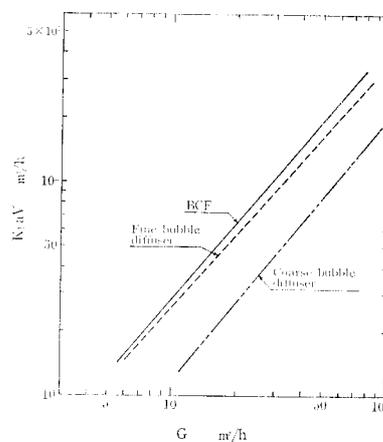
第 2 表に実験条件と結果を示す。

### 2.2 馴養について

馴養は各段の汚泥濃度が 20 mg/ℓ となるよう汚泥を調整して、2 日間空曝気を行い、3 日目から 1 段目、2 段目とも BOD 負荷が 0.5 kg/m<sup>3</sup>·d となるよう原水を分注供給した。約 10 日間で BOD 除去率が 89 % までになり、約 2 週間で BOD 除去率が 96 % になったので馴養は完了したものと判断し負荷実験に入った。馴養はわずかな種汚泥の投入で、短期間で完了した。

### 2.3 BOD 除去性能

- 1) BOD 負荷と BOD 除去率, BOD 除去速度  
BCF における BOD 除去性能は, BOD 負荷と BOD



第 2 図  
通気量  $G$  と  $K_LaV$  の  
関係  
Fig. 2  
Supplied air  $G$  vs.  
 $K_LaV$

除去率および BOD 除去速度によって表すことができ、BOD 負荷, BOD 除去率, BOD 除去速度はそれぞれ以下の式で示される。

$$\text{BOD 負荷} = Q_i \times L_i \times 10^{-3} / V_M \quad (2)$$

$$\text{BOD 除去率} = \frac{L_i - L_o}{L_i} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{BOD 除去速度} = Q_i \times (L_i - L_o) \times 10^{-3} / V_M \quad (4)$$

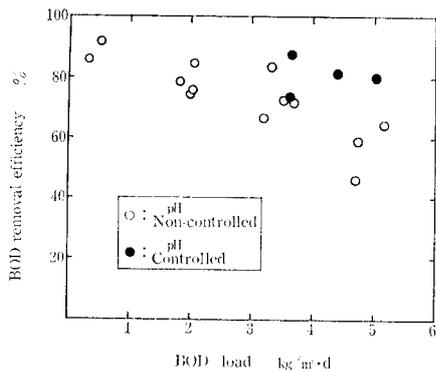
$Q_i$ : 流入原水量 (m<sup>3</sup>/d)

$L_i, L_o$ : 流入原水, 処理水 BOD 濃度 (mg/ℓ)

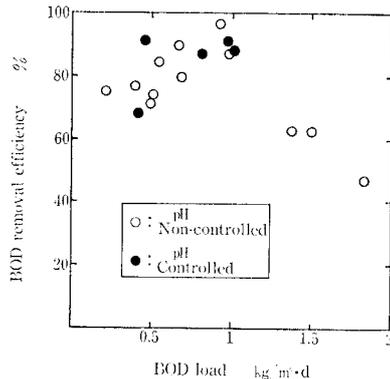
$V_M$ : 充填汚材容量 (m<sup>3</sup>)

第 3 図, 第 4 図にそれぞれ BCF 1 段目, 2 段目における BOD 負荷と BOD 除去率の関係を示す。

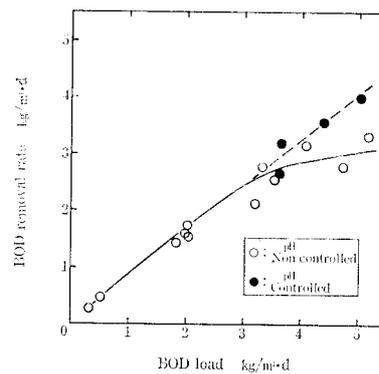
BOD 負荷と BOD 除去率の関係を見た場合, 1 段目は第 3 図からわかるように負荷が高くなると除去率は低くな



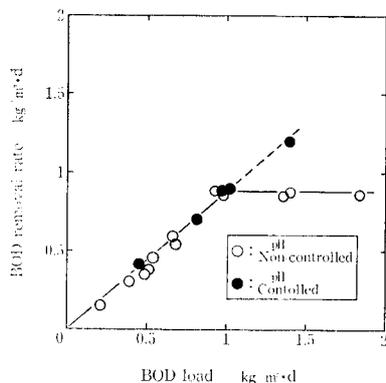
第3図 BOD負荷とBOD除去率(1段階)  
Fig. 3 Organic load vs. organic removal efficiency (First stage)



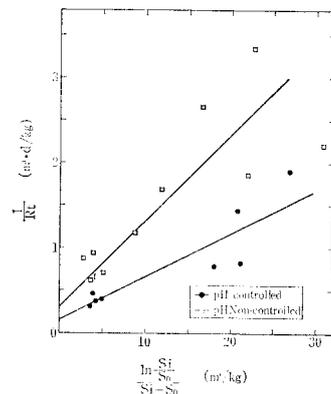
第4図 BOD負荷とBOD除去率(2段階)  
Fig. 4 Organic load vs. organic removal efficiency (Second stage)



第5図 BOD負荷とBOD除去速度(1段階)  
Fig. 5 Organic load vs. organic removal rate (First stage)



第6図 BOD負荷とBOD除去速度(2段階)  
Fig. 6 Organic load vs. organic removal rate (Second stage)



第7図 BCFの生物処理曲線  
Fig. 7 Characteristic curve of biological reaction of BCF

っている。2段階目は第4図に示すように負荷が1 kg/m<sup>3</sup>·dまでは負荷が高くなるほど除去率も高くなる。これは2段階目では、流入水のBOD濃度が1段階目の処理性能によって変動し、最終処理水質が一定とすれば、流入水濃度が低い方が除去率として低く表われるためである。しかし負荷が1 kg/m<sup>3</sup>·d以上になると1段階目と同様負荷増大と共に除去率も低下する。これを第5図、第6図に示すようにBOD負荷とBOD除去速度の関係で表すと、流入水の濃度にあまり影響されることなくBOD除去性能を把握することができる。

第5図に示すように、1段階目のBOD除去速度は、BOD負荷4 kg/m<sup>3</sup>·dまでは直線的に増大するが、4 kg/m<sup>3</sup>·d以上になると勾配が緩やかになる。このことは4 kg/m<sup>3</sup>·dまでが効率の良い生物処理の限界であることを示している。第6図の2段階目の場合も同じように、BOD負荷1 kg/m<sup>3</sup>·dが効率の良い生物処理の限界値といえる。しかしこのことは、後述するように硫酸イオンの存在に起因するpH低下の影響による処理効率の低下ということを含んでおり、pH調整を行うことによって、図中に点線で示したように1段階目、2段階目とも効率の良い生物処理の限界負荷をさらに高くできることがわかった。

## 2) BOD除去反応

BOD除去反応を表わす式には Monod 型反応式や、0次型反応式及び一次型反応式等多くの式があるが、BOD

除去特性を評価する上では装置内の流れ特性を含めたものの検討が必要である。生物膜法では流れ特性は押し出し流れとして取扱うのが妥当であると言われるが、BCFも押し出し流れに近いことが各層高さでのBOD測定結果から判明している。実験データを整理した結果、BCFは押し出し流れの Monod 型反応式で表わすことができた。

押し出し流れの Monod 型反応式は、Kornegay, B. H や平田<sup>2)</sup>らの式を参考にして(5)式を導びいた。

$$\frac{1}{R_t} = \frac{K_m}{k'} \cdot \frac{\ln(S_i/S_0)}{S_i - S_0} + \frac{1}{k'} \quad (5)$$

$K_m$  : Monod 飽和定数 (kg/m<sup>3</sup>)

$S_i, S_0$  : 流入及び流出 BOD 濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

$R_t$  : 単位沓材容量当り BOD 除去速度 (kg/m<sup>3</sup>·d)

$k'$  : 単位沓材容量当り最大 BOD 除去速度 (kg/m<sup>3</sup>·d)

実験データで得られた  $R_t, S_i, S_0$  より

$$\frac{1}{R_t} \text{ と } \ln(S_i/S_0)/(S_i - S_0)$$

とをプロットすると結果は第7図に示すような直線となり、縦軸の切片は  $1/k'$  に等しく、横軸との交点は  $-1/K_m$  に等しい。この結果より本排水での  $k', K_m$  は pH を調整した場合と、しない場合それぞれ次の様であった。

$$\text{pH 調整しない場合 } k' = 3.34 \quad K_m = 0.33$$

$$\text{pH 調整した場合 } k' = 6.67 \quad K_m = 0.33$$

この  $k'$  の値より pH を調整した方が pH を調整しない場合に比べ約 2.0 倍の最大 BOD 除去速度が得られることがわかった。

## 2.4 SS除去性能

第8図に実験期間を通じてのSSの除去結果を示す。原水SSは通常20 mg/l以下であるが高時には80 mg/lほどになることがある。しかし処理水は原水の変動に関係なく常に10mg/l以下平均5 mg/lの水質が得られている。

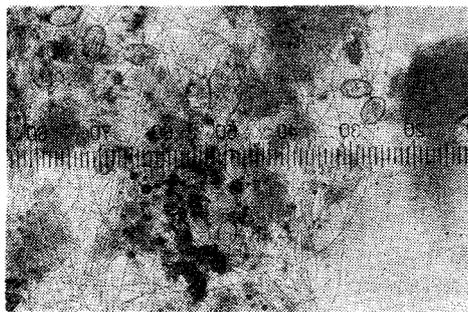


写真 1 1 段階微生物相  
Photo. 1 Microphotograph of microorganism (First stage)



写真 2 2 段階微生物相  
Photo. 2 Microphotograph of microorganism (Second stage)

## 2. 5 2 段階処理の効果について

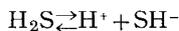
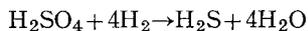
前述のように本実験の目的は、BCFによる2段階処理方式の評価であった。第3表に本排水をほぼ同じ負荷で処理した場合の1段階処理方式と2段階処理方式の処理水水質の違いを示す。1段階処理と2段階処理の処理

水水質を比較するとBOD、CODとも2段階処理の方が明らかに良好な結果が得られた。本排水のように比較的BOD濃度が高い排水をBOD濃度の低い処理水としたとき、つまり除去率を高く処理するときは負荷を低くして1段階で処理を行うよりは、前段の負荷を高く、後段を低くした2段階処理が効果的であると言える。これはBCFは微生物の種類が比較的多いのが特長の1つであるが、写真1,2に示すように2段階処理ではさらに水質に適応した微生物相が形成されるため効率的な処理が行なわれることも原因の1つと考えられる。

ただし、SSだけに限って言えば処理水質の目標達成には1段階処理で充分可能であった。

## 2. 6 pH調整の効果

本排水中には $SO_4^{2-}$ が多量に含まれ、硫酸塩還元菌による次の反応により硫化水素が生成される。このためpHが低下し、1段階処理水pHは5付近にまでなることがある。



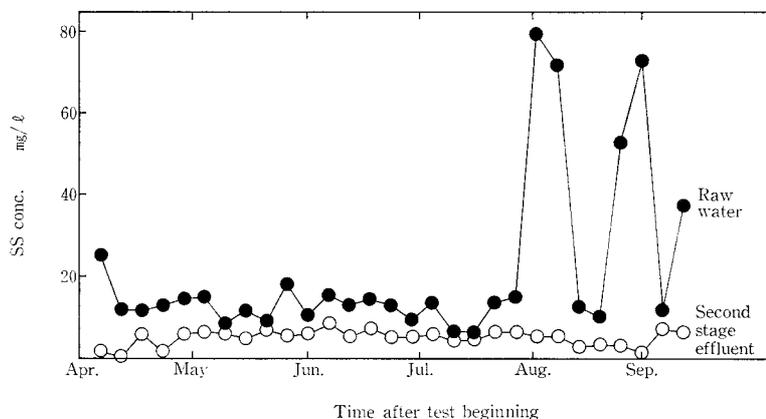
そこでpH調整による処理効果を確認するため、 $Na_2CO_3$ を注入し1段階pHを約6.5に調整して処理を行い、pH未調整の場合と比較した。第4表に結果を示す。BODの除去性能で比較するとBOD負荷 $3.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ の場合全

第3表 2段階処理の効果

Table 3 Effects of two-stage system

	One-stage system			Two-stage system		
	Raw water	Effluent	Removal efficiency %	Raw water	2nd stage Effluent	Removal efficiency %
BOD load $\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$	1.82			*1.77		
Hydraulic loading $\text{m}^3/\text{h}$	0.19			0.31		
BOD $\text{mg}/\ell$	389	83.4	78.6	470	17.0	96.4
COD $\text{mg}/\ell$	338	110	67.5	366	47.3	87.1
SS $\text{mg}/\ell$	11.5	7.0	39.1	9.5	5.5	42.1

\*Overall



第8図 経過時間とSS濃度

Fig. 8 Effluent suspended solids concentration profiles

体除去率で大きな差は見られないが、BOD負荷を $5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ にすると、1段階及び2段階の除去率はそれぞれ64.6%、46.8% (全体81.2%) に対してpH調整時はそれぞれ80%、80% (全体96%) と明らかにpH調整の効果が見られた。

## 2. 7 汚泥発生量

汚泥発生量は次式で表わされる。

$$\Delta SS = Q_w \cdot S_w + Q_o \cdot S_o \quad (7)$$

または

$$\Delta SS = \Delta X + \alpha Q_i \cdot S_i \quad (8)$$

(7)式と(8)式より

$$\Delta X = Q_w \cdot S_w + Q_o \cdot S_o - \alpha Q_i \cdot S_i \quad (9)$$

- $\Delta SS$  : 汚泥発生量 (kg/d)
- $Q_i$  : 流入水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- $Q_o$  : 流出水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- $Q_w$  : 逆洗排水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- $\Delta X$  : 生物増殖汚泥量 (kg/d)
- $S_i$  : 流入水SS濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $S_o$  : 流出水SS濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $S_w$  : 逆洗排水SS濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $\alpha$  : 流入水SS中の無機質の割合 (—)

それぞれの項目を測定し $\Delta X$ を求めた。その結果除去

第 4 表 pH 調整の効果  
Table 4 Effects of pH control

		BOD load 3.5 kg/m <sup>3</sup> ·d			BOD load 5 kg/m <sup>3</sup> ·d		
		Raw water	1st stage effluent	2nd stage effluent	Raw water	1st stage effluent	2nd stage effluent
pH Non-controlled	pH	7.08	5.98	6.16	7.2	5.82	6.2
	BOD mg/ℓ	470	130	17	573	203	108
	BOD removal efficiency %	—	72.3	86.9 *(96.4)	—	64.6	46.8 *(81.2)
pH Controlled	pH	6.81	6.41	6.3	6.61	6.02	5.87
	BOD mg/ℓ	481	60	5.4	558	112	22.5
	BOD removal efficiency %	—	87.5	91.0 *(98.9)	—	79.9	79.9 *(96.0)

\*: Overall removal efficiency

BOD量当りの比率で表わすと、1段目17.8%、2段目11.9%と非常に小さい値が得られた。これに流入無機質SS量を加えても、1段目25.2%、2段目17.7%と汚泥発生率は低かった。これはBCFが他の生物膜法と同様に多くの種類の微生物相からなる食物連鎖によるものと言える。

## 2.8 逆洗

定期的な逆洗によって余剰汚泥及び捕捉SSを排出し、汙床の閉塞を防止する事が従来の生物膜法と違ったBCFの特長である。

今回の実験での逆洗頻度は、1段目を1回/日、2段目は1回/2日として計画した。

SS捕捉能力を汙材単位容積当り1.5kgとしてRUN2の実験条件時の流入SS量と増殖汚泥量から逆洗頻度を計算すると1段目は1回/4.5日、2段目は1回/15日となる。また時間経過と圧力損失の上昇は実測で24時間経過後1段目は80mm、2段目は数mmであった。これらのことから逆洗は頻繁に行う必要はないと言えるが、汚泥の新陳代謝を計り活性をあげるため計画通り行った。

## むすび

以上BCFによる研摩排水の処理実験結果について述べた。本研摩排水の処理にBCFを適用した場合2段処理方式が効果的で、1段目BOD負荷が4kg/m<sup>3</sup>·dで2段目BOD負荷はほぼ1kg/m<sup>3</sup>·dとなり処理水は目標値の20mg/ℓ以下となった。さらにpHを調整することによって、1段目のBOD負荷を5kg/m<sup>3</sup>·dまで上げて目標値を達成できることがわかった。その他BOD除去反応式のk', K<sub>m</sub>値、汚泥発生量などの値も得られた。

今後の課題としては硫酸塩還元菌の役割を解明する事が残された。

今回の実験結果を踏まえて実装置を建設し、現在順調に稼動中である。

〔注記〕

本稿において記述した一部については、生物膜法研究シンポジウム(1986年11月28日)において報告した。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ―技報 Vol. 29, No. 3 (1985)
- 2) 保坂幸尚, 平田彰: 生物膜法による生物処理特性, 第20回水質汚濁学会講演集, p. 231(社)日本水質汚濁研究協会(1986)

# 冷却塔の海外工事実績紹介

## Field Works of Cooling Towers in Overseas Project

(冷)生産部 工務課工事グループ  
Field service group, Cooling  
tower production department

The conservation and re-use of cooling water are necessary in various industries which require enormous volume of water in their own manufacturing processes. To serve in water conservation program, we have been manufacturing and selling cooling towers for almost 25 years since 1962.

During the past years we have delivered more than 4 000 cells of cooling towers and some hundreds cells of which were delivered to more than 40 countries including Latin American, East European, Oceanian and African countries, not to mention Asian countries.

This report describes some examples of large capacity cooling towers in overseas projects in a view of field works together with a sample of full turn-key job handled by us recently in Sumatra, Indonesia.

### まえがき

多くの用水型産業やその他の用水設備において、大量の工業用水の冷却再循環使用がその定常のシステムとなり、当社が1962年以来、冷却塔の製造販売を始めて25年を迎えようとしている。(写真1)

この間4 000セル以上の納入実績を踏まえ、その内400セル近くは海外の40カ国以上へ納めてきており、その足跡はアジア諸国はもとより、中南米、東ヨーロッパ、オセアニア、アフリカおよび中近東に及んでいる。

ここで近年の大型冷却塔の海外工事のいくつかの例と、インドネシアにおけるフルターンキー契約の例を工事上の観点から紹介する。

### 1. 近年の海外工事例

#### 1.1 ASEAN Bintulu Fertilizer Sdn. Bhd/Malaysia 向け冷却塔(写真2)

##### 1) 主要諸元

容量: 24 600 m<sup>3</sup>/h, 8セル×1基  
冷却条件: HWT 42 °C-CWT 32 °C-WBT 29 °C  
ファン: 8 530 mmφ  
モータ: 160 kW/セル  
納入完了: 1984年2月

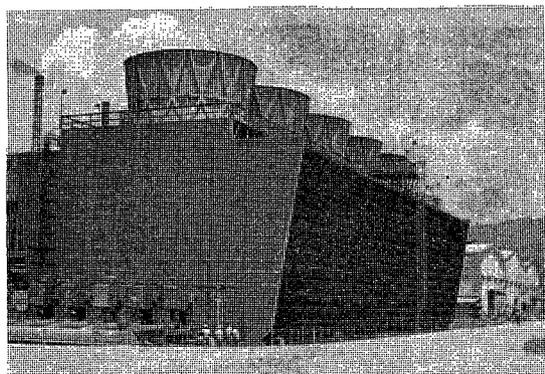


写真1 大型クロスフロー型木製冷却塔フィリピンニッケル鉱山、ニッケル精錬所向け 17 000 m<sup>3</sup>/h 1973年建設完

Photo.1 Cross-flow wooden structure cooling tower in mining plant in Philippines.

Capacity: 17 000 m<sup>3</sup>/h constructed in 1973

##### 2) 概況

プラントはK製鋼所によるエンジニアリングであったが、建設工事のサブ・コントラクターはほとんどが韓国のH建設がたずさわっており、冷却塔もその例外ではなかった。従って当社のS/V(スーパーバイザー)もマレーシアの地で韓国のH建設を技術指導することが大きな責務の一つとなった。

亜熱帯雨林に拓かれた地での工事進捗が比較的オンスケジュールで運ぶことができたのもS/Vの適切な指導に加えて、韓国パワーによるところが大きかった。

韓国の急速な近代化には目をみはらされるが、海外請負工事においても、近年の豊富な経験に裏打ちされた自負と自信は一面では既に日本人をしのぐのではないかと思われ、認識を新たにするものがあった。

今後、このようなバイタリティあふれるワーカーをいかに活用できるかが、海外工事での器量の優劣に直結するのではないかと思われたプロジェクトであった。

#### 1.2 淡水化プラント/Saudi Arabia 向け冷却塔(写真3)

##### 1) 主要諸元

容量: 11 200 m<sup>3</sup>/h 8セル×1基  
冷却条件: HWT 36 °C-CWT 30 °C-WBT 26.5 °C

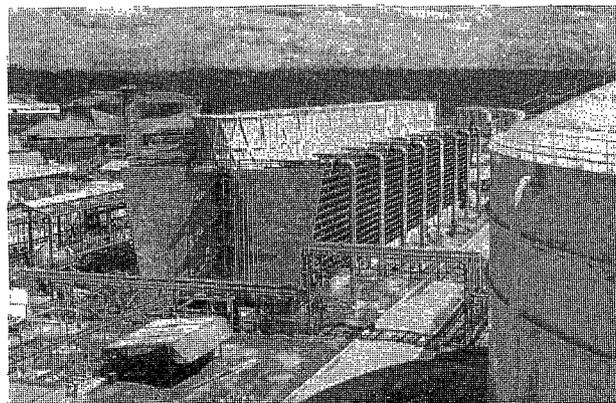


写真2 大型クロスフロー型木製冷却塔マレーシア肥料プラント向け 24 600 m<sup>3</sup>/h 1985年建設完

Photo.2 Cross-flow wooden structure cooling tower in fertilizer plant in Malaysia.

Capacity: 24 600 m<sup>3</sup>/h constructed in 1985

ファン：6100 mmφ  
 モーター：75 kW/セル  
 納入完了：1980年3月

概況

このプロジェクトは日量20万トンの淡水化造水プラントであり、サウジアラビア農業水利省の発注により日本のK&SおよびS社がエンジニアリングを行い、英国のM&P社コンサルタントとして介在していた。工事施工はトルコE&S社が受けもっていた。

コンサルタントが英国であるため、全ての規格にBS(British Standard)が適用されており、冷却塔の主構造である木材の防腐処理法ひとつをとってもBSとJISの相違を十分理解し、適切に処理されることが要求された。

少漠、熱射、加えて戒律の厳しい回教国における工事は、従事する者にとって極めて過酷な環境であり、健全な身体と強固な精神が要求される。緑豊かで多くの娯楽と目のある日本で、育まれた価値観では計りかねることが多いが、それが回教国での生活と言える。

当地のラマダン(断食・7~8月)の時期は当然のことながら、工事進捗は極端に落ちる。これらの状況の中でも当

社のS/Vは中近東各国、回教国での多くの経験を生かし多くの第三国のワーカーも含めた現地ワーカーに適切な技術指導を行い工事をとどこおりなく完遂してきた。

1.3 Mae Moh power project #4~#7/Thailand 向け冷却塔(写真4, 5)

1) 主要諸元

容量：15840 m<sup>3</sup>/h×4 units, 5セル×4 units  
 冷却条件：HWT 39.4 °C-CWT28.5 °C-WBT 23.5 °C  
 ファン：8530 mmφ  
 モーター：150 kW/セル  
 納入完了：1985年7月

2) 概況

タイ国北部ランパン近郊で採取されリグナイト(褐炭)を原料とする1ユニット15万kWのパワープラントに納入されたものである。当社はユニット4~7まで足かけ4年をかけ納めてきた。今後の計画としては1ユニット30万kWとなりユニット8~9が予定されている。

タイ電力庁の発注ではあるがコンサルタントとしてMMC(Swiss・E社とMC社の合弁会社)が当たっていた。

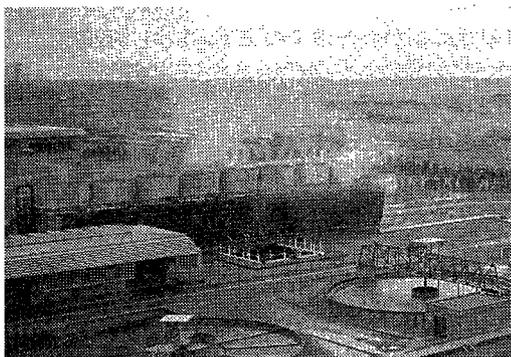
冷却塔と大型送水設備一式は当社の供給範囲として受注し、ターンキーでのギャランティーが課せられていた。

建設工事はEGAT(タイ電力庁)の社員にて遂行され、ワーカーとなる社員のほとんどは現地採用であったが、エンジニアは本社より派遣されていた。従って現地の業務組織は非常にライン的であり、組織を理解し、ラインのキーマンと密接なコミュニケーションを計ることがS/V業務をスムーズに運ぶこつであった。長期にかかわる現地工事は筆舌に尽し難い苦勞も多かったが、非常に親日的な雰囲気の中で、全てのコミッシングを完了することができた。

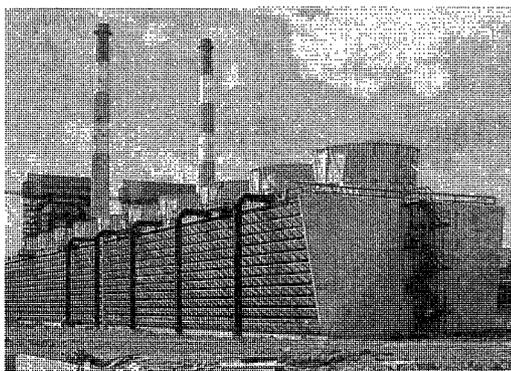
1.4 NCZ社/Zambia 向け冷却塔リハビリテーション

1) 主要諸元

容量：3400 m<sup>3</sup>/h, 2セル×1基  
 冷却条件：HWT 36 °C-CWT 28 °C-WBT 22 °C  
 ファン：6700 mmφ  
 モーター：55 kW/セル  
 工事完了：1986年4月



真 3 大型クロスフロー型木製冷却塔サウジアラビア淡水化プラント向け 11200 m<sup>3</sup>/h 1981年建設完  
 oto.3 Cross-flow wooden structure cooling tower demineralization plant in Saudiarabia.  
 Capacity: 11200 m<sup>3</sup>/h constructed in 1981



真 4 大型クロスフロー型木製冷却塔タイ火力発電所向け 15840 m<sup>3</sup>/h×4ユニット 1985年建設完  
 oto.4 Cross-flow wooden structure cooling tower in power plant in Thailand.  
 Capacity: 4 unit×15840 m<sup>3</sup>/h constructed in 1985

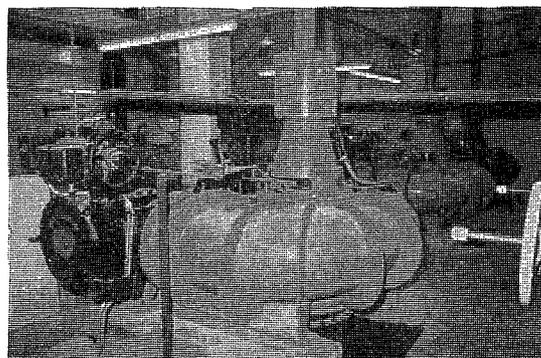
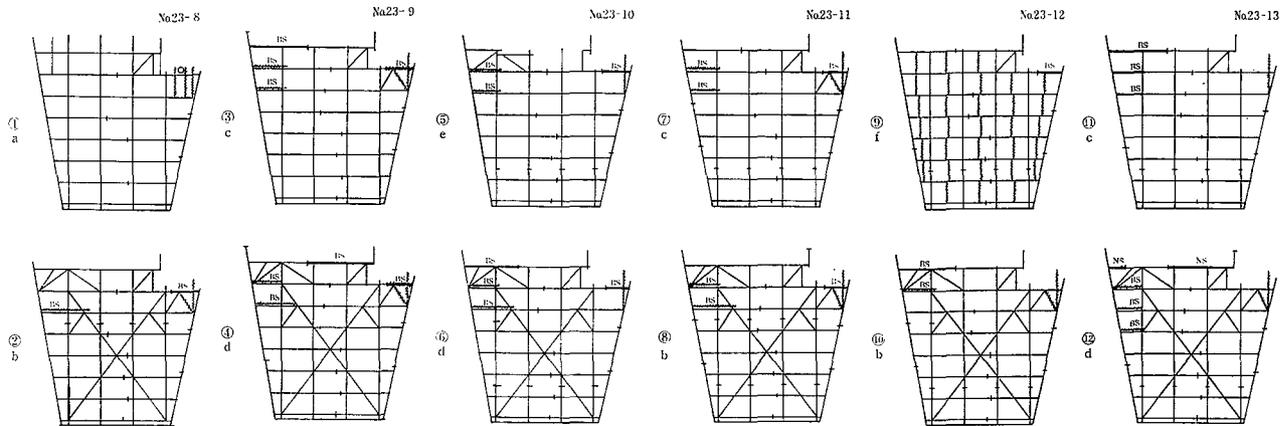


写真 5 大型送水ポンプタイ火力発電所向け 8100 m<sup>3</sup>/h×2基×4ユニット 1985年据付完  
 Photo.5 Water supply pump in power plant in Thailand. Capacity: 4 unit×8100 m<sup>3</sup>/h



第1図 塔体修理報告の一部  
Fig.1 Apart of final report for cooling tower structure rehabilitation

2) 概況

これは1968年に納入した冷却塔を18年後の1986年にリハビリテーション工事を行ったものである。K社のエンジニアリングのもと当社が受注したが、当時の図面、仕様等の周到な図書管理のほかに経験ある修理技術の対応が要求される業務であった。当社では修理計画の作成援助を行い、立案された計画に従い必要な部材の供給とS/Vの派遣を行った。

当社のS/Vは物心ともに日本より支援し難いアフリカの奥地で陽気な黒人ワーカーを指導し、日本での経験ある修理技術を臨機応変に駆使し、18年を経過した冷却塔をみごとによみがえらせ、初期のリハビリテーション計画を完遂した。

参考までに塔体の修理報告書の一部を第1図に掲載する。

今後共、予想されるこのような海外でのリハビリテーション工事のあり方に更に経験を深めた一例であった。

2. フルターンキー契約の一例

2.1 Pertamina aroma project/Indonesia 向け冷却塔

1) 主要諸元

- 容 量：9214 m<sup>3</sup>/h 3セル×1基
- 冷却条件：HWT 45.1 °C-32 °C-28 °C
- ファン：8530 mmφ
- モーター：185 kW/セル
- 納入完了：1984年12月

2) 概況

当プロジェクトはインドネシア共和国の石油公社プルタミナの発注により当社は附帯設備の薬注設備と共にフルターンキーで一括受注し、冷却塔の現地建設工事もランプサム（請負）契約したものである。

エンジニアリングはアメリカK社と西ドイツのT社のジョイントベンチャーで統括され、当社との契約交渉はアメリカで行われた。

本契約の概要は次のとおりである。

2.1.1 契約体系

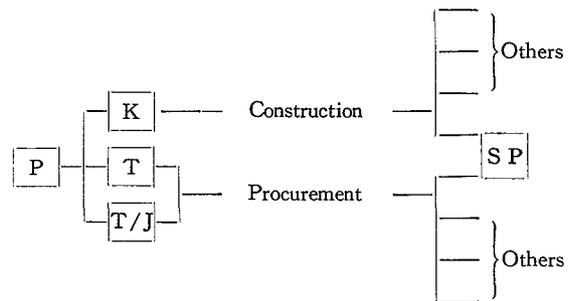
第2図に見るように調達西ドイツのT社が主となっているため、ヨーロッパ各国が参入しており、一方建設の方はアメリカT社の現地法人が主となっているため、世界各国が参入していた。

2.1.2 現地体制

顧客の現地体制は第3図に表すように担当部門がありそれぞれのマネージャー、チーフエンジニアおよびオフィサーは米、英、独、仏、加、メキシコ、インドネシア、日本等、さまざまな人種、国籍の人々であった。従ってコミュニケーションは全て英語で統一され、英語の習熟は必要不可欠な条件であった。

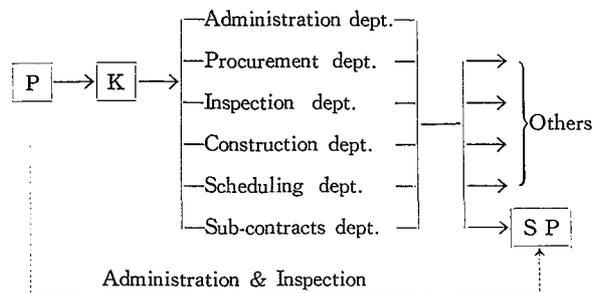
2.1.3 海外工事請負体制

当社は現地のサイトオフィスと本社との間に第4図に表



- P : Pertamina/Indonesia
- K : K Corporation/U. S. A
- T : T GmbH/W. Germany
- T/J : Joint vecher of T GmbH and Japanese trading companies
- S P : Shinko-Pfandler

第2図 契約体系  
Fig.2 Contract route



第3図 現地体制  
Fig.3 Client's field formation

ような役割分担とリレーションシップを設定し、サイ  
オフィスの各員には表記のような役割分担を行った。  
のようなりレーションシップを設定するまでには、現  
況の掌握のための出張や、社内検討のほか、現地法人  
契約内容の調整や吟味が十分必要であったことは言う  
もない。

#### 4 現地法人との契約

工程  
ず現地法人P.T社の能力を掌握し、その能力によ  
り最適化し得る工程を協議の上作成した。第5図に見るよう  
な工程表は基本的なバーチャート式によるが、出来高のS  
曲線を重複記入したものとした。

契約  
各々の折衝と細部のとりまとめの合意を得て、契約書の  
作成と相互の調印を行った。  
また支払条件は互いに重要な案件となるが、当件につ

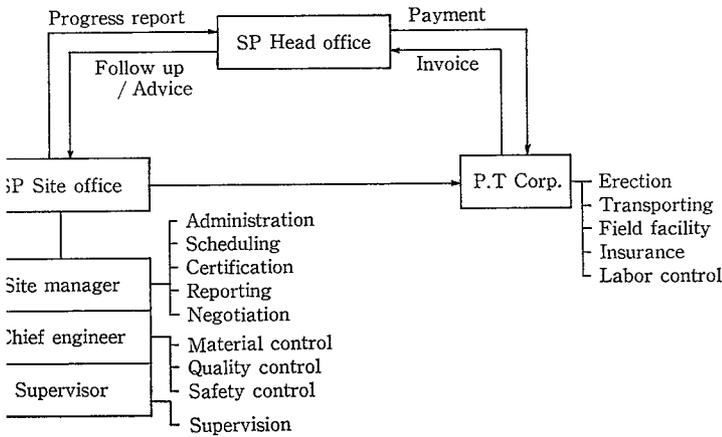


図 4 現地工事請負体制  
4 Formation & relationship for construction contract

いては先方現地法人の強い要求を取り入れ、Down pay  
ment (前払)を含む出来高払いと、一部を完成後払いと  
したうえ、全て海外口座振込とすることで合意となった。  
当社の受注条件も同様なものであったことから、スライド  
して問題のない内容であったと考えている。

#### 3) Progress report

出来高払の証となるものは、書式の決められた現地から  
のレポートであり、現地法人にて作成の上、Site office  
にて確認、承認されたものが Invoice (請求書)と共に本  
社へ送付された。本社はこの出来高証明により支払手続を  
行った。

#### 2.1.5 工事完成

現地工事において何んら問題もなく、完成に至ることは  
極めてまれであることは関係者がよく理解されているところ  
である。

現地で発生する問題の多くは Site office で解決されて  
ゆくが、本社へ指示を求めた援助を要請  
する事項も発生する。それらの解決のため  
には本社において一貫した流れを掌握し  
組織へ反映してゆく Receiver 兼 Coor  
dinator の存在が必要であった。

Site office と本社のコンビネーション  
により、晴れて工事完成の暁には第6図に  
表すような "Construction completion  
certificate" により証明、確認され、更に  
Site manager はあらかじめ提出した帰国  
許可申請に対し第7図のような帰国了解と  
共に感謝の意がこめられたエンジニアリ  
ング会社の手紙を頂き、帰社の途についた。

その後、時を改め、試運転を完了し、フル  
ターンキー契約をとどこおりなく完了した。

Description	July, '84			August, '84			September, '84			October, '84			November, '84			Des	Remarks
	10	20	31	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	16	20		
Preparation work																	
1 Temporary facility (Site office tools supply)																	
2 Transport to site																	
3 Unpacking & assorting																	
Construction																	
1 Anchor bolt check & foundation check																	
2 Framing work																	
3 Tower top portion assembly																	
4 Casing work																	
5 Interior work																	
6 Fan assembly & piping																	
7 Odd affairs																	
Construction completion certificate.																	
Projected (%)				12.0		36.0			40.0		12.0						
Actual (%)				Sub total 14.0		Sub total 36.6			Sub total 37.9		Sub total 11.5						

Notes: This is shown actual progress achieved by 16th of November 1984.

図 5 工程表  
Fig. 5 Time schedule

**SHINKO-PFAUDLER COMPANY, LTD.**

BRANCH OFFICE: TOKYO, OSAKA, NAGOYA, HAKATA, SAPPORO

478, 1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, CHUOKU  
KOBE, JAPAN

CABLE ADDRESS: PFAUDLER KOBE  
TEL: 8522-049  
TEL: KOBE 231-8800  
231-7888  
231-1984

Date : 17th. November. 1984  
I/No. : SP/ /10

TO :

Construction Completion Certificate

We hereby request you to issue Construction Completion certificate relative to the following cooling tower.

Your P. O. No. : 6368-U98-101  
Item No. : 2210 U  
Our O. No. : 83-70-025, 84-76-202  
Item : Three-cell Cooling Water Tower  
Model : 6716L-3-03 (R)  
Project :

SHINKO-PFAUDLER CO. LTD.

\_\_\_\_\_  
Erection Supervision

We certify completion of the above construction work.

Date : 17th November 1984  
Signature : *[Signature]*

第6図 工事完成証明  
Fig. 6 Construction completion certificate

むすび

日本の製造業においては諸般の情勢より国際化著しい今日であるが、当社の冷却塔部門では創業以来国際的交流と経験を深め、技量と人材の育成を計ってきた。

Plaju, 17th November 1984

R.T. Shinko Pfaudler Co. Ltd.  
Site Office

Att : Mr.

Agreement : 6368-U98-101  
Ref : - -JV/SP-09L  
Subject : Departure of Mr.

Dear sir,

With reference to your letter ref. SP/ - -JV/13 dated 17th November 1984. We confirm our agreement to your departure from the Project following the issuance of our Construction Completion Certificate under separate cover.

We should like to take this opportunity to thank you for your cooperation and contribution in bringing the construction of your element of the Project to a satisfactory conclusion.

Yours faithfully,  
*[Signature]*  
Sr. Resident Construction Manager

RIF/mm.

第7図 帰国許可  
Fig. 7 Departure agreement

現地工事は一つの納入業務の流れの中で最下流に位置する訳であるが、それ故全ての集約と結果がそこに現れると表現しても過言ではない。スムーズに工事を完成し、コミッションを終えることは、現地出張員の責務であり誇りでもある。

数例の冷却塔海外工事を紹介させて頂いたが、何んらかのご参考に具して頂ければ幸甚である。

## 社 内 ニ ュ ー ス TOPICS

### 0.07ミクロンの微粒子計測—4メガLSI工程に対応—神鋼ファウドラが新装置

**New micro-particle analyzer applicable for 4 gabit LSI production has been developed, which capable for detecting 0.07  $\mu\text{m}$  microparticles.**

当社は光学機器、医薬品メーカーの興和と共同で、超純に含まれる最小0.07ミクロンまでの微粒子をオンラインリアルタイムに計数できる「超微粒子計測装置」を完成し

4メガビットクラスまでの超LSI（大規模集積回路）の製造工程で使われる洗浄水の水質管理、あるいは超純水装置自体の集中監視や制御にも最適であり、12月4日から東京で開かれる「セミコン・ジャパン'86」へ出展、早々からの本格販売を目指している。価格は約800万で年間50台の販売を見込んでいる。

従来0.1ミクロン程度の微粒子測定は電子顕微鏡で長時間かけて行っていたが、同装置では短波長アルゴンレーザーによる90度散乱法を採用。超純水中の微粒子をオンラインで連続的に計測し、0.07—0.1ミクロン、0.1—0.15ミクロン、0.15—0.2ミクロン、0.2ミクロン以上と4つの粒径分で、それぞれの粒子数をデジタル表示するもの。

（日刊工業新聞 '86年11月25日）

### 生酒用に濾過装置開発—清酒のたんぱく質75%除去

**The ultrafiltration equipment for non-pasteurized sake has been developed which removes 75% protein in the sake.**

当社はダイセル化学工業と共同で清酒中のたんぱく質、糖類を除去して生酒をつくる濾過装置を開発した。加熱菌の処理をしなくて済むのでより良質の清酒づくりに役立つとみている。

この装置にはダイセル化学製の特殊な濾過膜（ポリエーテルサルホン製中空糸モジュールの限外濾過膜）を使用。他に当社が独自開発した特殊表面処理技術などを組み合わせた。たんぱく質、酵素類の除去率が75%以上あるの生酒に「火入れ」処理をしなくても常温流通できる。このほか①膜の材質が食品衛生上問題なく、清酒に影響ない ②装置から鉄イオン溶出がほとんどない。③処理ストが安価 ④保守管理が容易——などの特長を持っている。

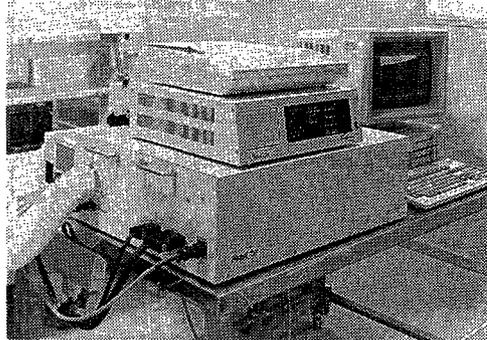
この濾過装置は生酒製造だけでなく良質のワインづくりに有用物質回収・不要物質除去などの用途にも使えたと述べている。装置の規模は1時間当たり400リットルと800リットルの2機種あり、価格は400リットルのもので2500万円程度を予定している。

（日経産業新聞 '86年11月28日）

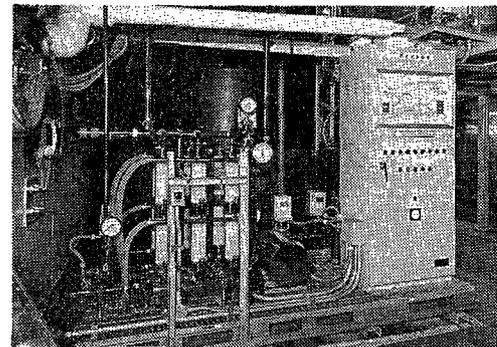
### セミコン・ジャパン'86出展

#### Exhibitions for SEMICON JAPAN '86

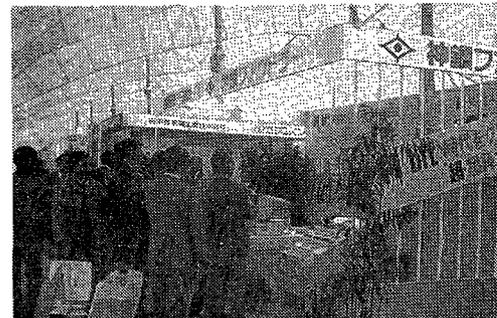
半導体製造装置・資材の展示会である「セミコン・ジャ



超微粒子計測装置  
Microparticle analyzer



生酒用濾過装置  
The ultrafiltration equipment for non-pasteurized sake



セミコン・ジャパン '86出展  
Exhibitions for SEMICON JAPAN '86

パン'86」が12月4日から6日まで3日間、東京・晴海で開催され、当社は初めて出展した。同展は今回で10回目を迎え、半導体関連企業868社が出展し、会期中51,000人の入場者があった。

当社は、新製品「超微粒子計測装置」、「超純水加熱装置」、「電解研磨パイプ」を2小間に出展した。今回、特に注目を浴びたのは、興和(株)と共同開発した超純水に残存する微粒子をアルゴンレーザーを使って計測する「超純水計測装置」。同種の計測装置としては、はじめて0.07ミクロンの超微粒子まで計測することができる画期的なものとして、連日多数の入場者が当社の小間を訪れた。