

目 次

CONTENTS

- | | | |
|----|-------------------------------------|---|
| 1 | <巻頭言>
学問の府としての大学のあるべき姿 | |
| 2 | PCB 汚染容器処理技術の開発と基本設計 | Development and basic engineering for removing technology of PCB from electric devices |
| 10 | 分子生物学的手法を用いた水処理装置の微生物診断技術 | Molecular biological techniques for the analysis of microbial communities in biological water treatment plant |
| 16 | 鉄バクテリアを用いた地下水の浄水処理 | Ground Water Treatment System Using Iron Bacteria |
| 25 | サントリー(株)根川ビール工場向け
自然水製造設備納入実績紹介 | Natural Water Production System for a Suntory's Brewery |
| 34 | 阪神水道企業団 尼崎事業所 脱水機設備運転状況 | HANSHIN WATER SUPPLY AUTHORITY AMAGASAKI WATER TREATMENT PLANT Dehydrator facility operation condition |
| 40 | 流動解析をもちいた圧力式ろ過器の改良 | Improvement of pressure type filter through flow analysis |
| 46 | コンパクトな膜処理システム
"FM モジュールシステム" の紹介 | Introduction of a compact membrane module "FM module" |
| 55 | リバースジェットスクラバ DynaWave® | Reverse Jet Scrubber DynaWave® |
| 59 | 食肉センター排水の窒素、りん除去 | Removal of Nitrogen and Phosphor from Meat Processing Wastewater |
| 65 | 一製品紹介—
廃蛍光灯リサイクル処理システム | The recycling facility of used fluorescent lamp |
| 70 | 一製品紹介—
縦型湿式電気集塵機 PAN WEP | Introduction of new vertical type wet electrostatic precipitator |
| 75 | 環境分析センターの取り組み | Extension of Eco Analytical Laboratory |
| 81 | TECHNICAL NOTE
浮上濃縮技術 | |

学問の府としての大学のあるべき姿



京都大学大学院工学研究科

機械工学専攻教授

工学博士 小 森 悟

Satoru Komori

構造改革や少子化問題が叫ばれる中で大学に対する社会的批判が強まり、独立行政法人化をも含めた大学改革や大学の統廃合が目前に迫っている。教育科学評論の中に「これまでの大学は基礎研究を重視するあまり教育や実用的研究を疎んじてきたため社会の用をなしていない。研究よりも人材育成のための教育の重視，社会に役立つ産学協同の推進，民間的经营原理の導入が必要である。」がある。この種の批評は，学問の府とあらんとする大学に対しては，真に的を得たものであろうか？

一例として私の専門分野である流体力学の国際的一流専門誌である J. Fluid Mech. における2000年の発表論文を覗いて見ると日本人による論文発表数は全体の3%にも満たない。これに対して米国人の発表数は40%にも達する。この現象が他の分野においても同様とするならば，その意味するところは，日本の基礎研究者の絶対数が少ないか，日本の大学は基礎研究を軽視し研究業績の正当な評価なしに狭い教授会の中で国外にも目を向けない狭い教授人事をおこなってきたため研究はおろか教育までダメになったかのどちらかである。学問の府としての大学教育とは教科書で教えるものではなく，基礎研究に打ち込んできた者がその経験と迫力をもって講義をし，研究の実践を通しておこなうべきものであり研究業績とは切り離せない。この視点が現在の教育科学評論に欠けている。

産学協同も重視すべきではあるが類似の産学連携センターを各大学に設置するだけではなく大学の存在意義を十分考えた上で基礎研究を通しておこなうべきではないだろうか。民間や政府からの巨額資金提供による目先の技術開発請負で特許取得のみに走るようでは学問の府としての大学の存在価値はない。ましてや，秘書，技官，助手すら満足に持たない状態で欧米と異なり管理運営業務まで引き受けている日本の教授，助教授に基礎研究の実用化までを担当する余裕はない。今後の産学協同のあり方は，民間から若手研究者を大学に派遣することにより，大学での基礎研究を実用化につなげることで，応用的価値の高い基礎研究のネタを大学に持ち込むことではないだろうか。大企業が大学の研究が役立たないと批判するのは，大学がもっと優れた基礎研究をおこなうべきとの批判ならともかく目先の実用的研究に対する要求であれば的はずれである。このような的はずれの批判に対しては，大学に比べてはるかに多くの優秀な人材を抱える大企業で有効な人材活用ができていのかとの反論が出よう。基礎研究の遂行で最も大切なのは，特殊な場合を除き巨額研究費の確保よりも，適度な融通の利く研究費，十分な人材（頭脳），管理運営業務から解放された十分な思考時間の確保である。

さらに，大学の重要な使命である人材育成の面において，いま最も問題なのは学生の研究意欲低下である。これは学生のみの問題ではなく改悪を重ねてきた大学教育システムの問題でもある。大学入試を共通一次試験導入以前の5科目入試に単純一本化すること，学部での座学教育では各分野の基礎専門科目を必修として容赦ない留年退学制度を含めた徹底教育，大学院では企業に出てからでは体験できない魅力ある基礎研究を通じた生きた教育，の実施に重点をおくことが必要である。

欧米と違い博士学位も持たない人達の政策に踊らされた大学ではなく，真に学問の府を目指す大学がいくつか存在しなければ世界最高水準の大学はおろか日本の大学全体の没落につながりかねない。

PCB 汚染容器処理技術の開発と基本設計

Development and basic engineering for removing technology of PCB from electric devices



資源再生事業室
矢田 貝 直 幸
Naoyuki Yatagai
加 藤 治
Osamu Kato
浄 弘 明 彦
Akihiko Jogu

当社は、高濃度 PCB 汚染コンデンサ・トランスを処理するため、部材ごとの最適洗浄性を把握して、最も除染が困難とされるコンデンサ素子を含むすべての部材を基準値以下に除染できるプロセスを確立した。本プロセスは、容器解体／溶剤洗浄／真空加熱／溶剤再生、および排ガス処理で構成され、これに基づき、年間処理量125トンの PCB に相当する容器処理プラント（50 kVA のコンデンサ20台／日の処理規模に相当）の基本設計を、作業環境保全、安全対策も反映して完了した。

In order to remove high concentration PCB from capacitors and transformers, Shinko Pantec, Co., Ltd., has established the process by confirming the suitable method to remove PCB from individual materials. Performance of this process fulfilled the regulation values for all materials including element contained in capacitor, which was the most difficult material to be cleaned. The developed process is consisting of dismantle of electric devices, solvent extraction, heating and drying under vacuum, solvent distillation and gas treatment. Based on this process, basic engineering for the plant of which annual capacity is 125 tons PCB (equivalent to 20 sets/d of 50 kVA capacitor) has been completed, on which safety and protection ideas for the working environment and plant site are reflected.

Key Words :

高濃度汚染コンデンサ
高濃度汚染トランス
溶 剤 洗 浄
真 空 加 熱 乾 燥

Capacitor containing PCB of high concentration
Transformer containing PCB of high concentration
Solvent extraction
Heating and drying under vacuum

ま え が き

1998年より開発を開始した PCB 汚染容器処理技術は、1999年3月旧通産省技術評価委員会より技術認定¹⁾を受けた。その後、当社技術研究所内にパイロットプラントを建設し、低濃度汚染トランスの洗浄基本条件²⁾を確立した。

引き続き、高濃度汚染容器処理プロセスの開発をおこない、下記の除染プロセスを開発した。

- 1) 有機塩素系溶剤（主にパークロロエチレン、以下 PCE と記す）による洗浄プロセス
 - 2) 環境負荷を軽減できる炭化水素系溶剤（主にノルマルパラフィン系溶剤）による洗浄プロセス
 - 3) 前記の洗浄プロセスに加えて、絶縁紙、木などの含浸性部材を真空加熱乾燥するプロセス
- これらの処理技術は、解体、洗浄、真空加熱、排ガス処理、および溶剤再生の各実験により、最適操

作変数を把握して、一貫プロセスとして開発された。

1. 容器処理プロセス

第1図にPCB汚染容器処理プロセスのブロックフローを、第2図にプラントレイアウトを示す。処理プロセスは、抜油・解体の前処理工程、除染工程、洗浄溶剤を蒸留する再生工程、排ガスの処理工程、および出荷の最終確認をおこなう検定・出荷工程で構成される。

1.1 前処理工程

1) 受入・検査

コンデンサ、トランスなどの汚染容器の受入時に、PCB漏れなど外観が検査され、銘板記載事項が調査される。続いて、移送ラインに移され、寸法測定、重量測定、X線による内部構造透視の検査を受ける。

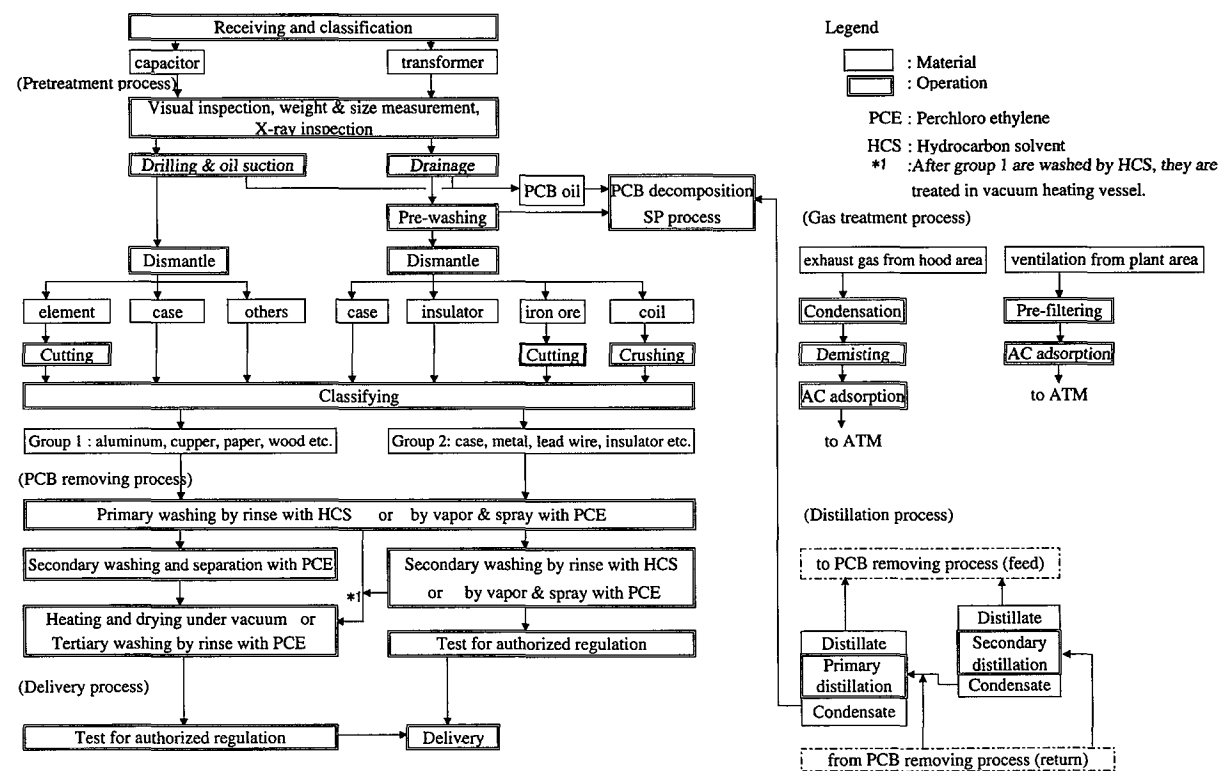
2) 抜油・予備洗浄

コンデンサ、トランスの外観を写真1に、構造を第3図に示す。コンデンサは、穿孔によるPCB飛散を防止するため、真空吸引された抜油針で穿孔され、PCBが回収される。一方、トランスは絶縁油の取り替え用に設けられたドレン口を利用

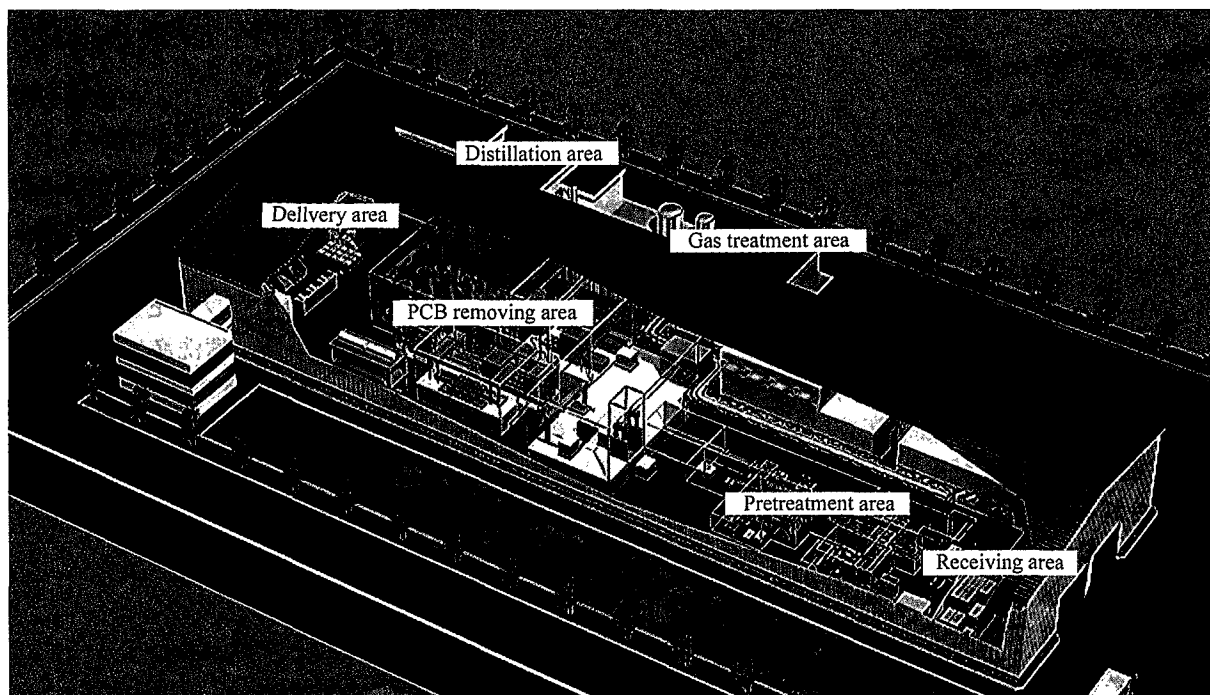
してPCBが油抜きされた後、絶縁油で予備洗浄される。これは、蒸気圧がPCBより低い絶縁油を使って洗浄することにより、PCBの蒸発を抑えて、以降の解体作業を容易にするためである。なお、当社が開発したナトリウム分散体による脱塩素化プロセス（SPプロセス）³⁾では、高濃度PCBを絶縁油で希釈後、無害化処理するため、絶縁油による予備洗浄は、SPプロセスに影響を与えない。コンデンサは、予備洗浄によるPCBの除去効果が低いため予備洗浄されず、抜油後にそのまま次の解体工程へ送られる。

3) 解体

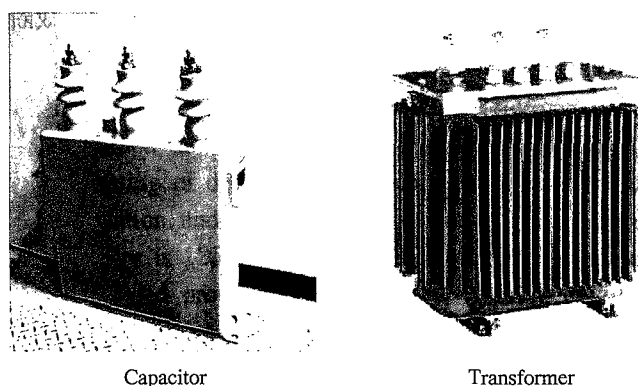
洗浄効果をあげるため、内部部材は所定寸法まで分解される。コンデンサは遠隔操作により、蓋部の切断、蓋から碍子の取り外し、碍子からリード線・小物の取り外し、素子の取り出しがおこなわれる。その後、素子は素体絶縁紙、バンドが取り外され、1個ずつに分解される。トランスは、内部コアの取り出し、ボルト取り付け部品と木枠の取り外し、コア解体によるコイルの破碎、鉄心の分解がおこなわれる。解体された部材は、裁断



第1図 PCB汚染容器処理プロセスのブロックフロー
Fig. 1 Block flow diagram of PCB removing process



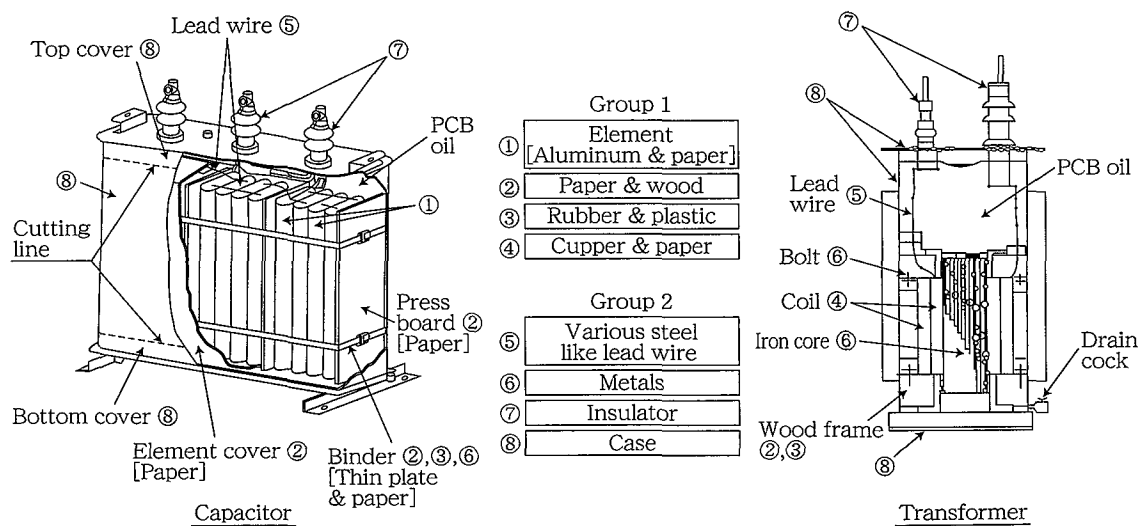
第2図 PCB汚染容器処理プラントレイアウト
Fig. 2 Layout of PCB removing plant



Capacitor

Transformer

写真1 コンデンサ・トランスの外観
Photo 1 Capacitor and transformer



第3図 コンデンサ・トランス構造図
Fig. 3 Structure of capacitor and transformer

素子、紙・木屑、ゴム・プラスチック、破碎コイルの銅・紙からなるグループ（以下グループ1とする）と容器、碍子、鉄心などの金属類、リード線のような複雑金属のグループ（以下グループ2とする）に大きく分類される。ただし、部材ごとに最適洗浄方法を適用するため、分解後の各部材は専用籠に装填される。

上記の解体装置は作動空間が広く、多様な形状やサイズの汚染容器に対応でき、また、発熱が少なく火花、切り粉の出ない構造となっている。

1.2 除染工程

部材の種類に適した、また洗浄工程でのPCB濃度に適した洗浄方法が、段階的に採用される。洗浄剤は炭化水素系溶剤、または、PCEが用いられる。炭化水素系溶剤の特徴は、PCEに比べて洗浄能力は劣るが、PRTR（化学物質管理促進法）、化審法（化学物質の審査および製造等の規制に関する法律）などの法規に該当しないことである。一方、PCEの特徴は、比重が1.6程度で、紙・木や金属との比重差を利用して、コンデンサの素子やトランスのコイルを紙・木と金属（アルミ・銅）に分離できることである。このため、基準検定用に分離する必要がなく、回収・再利用も容易となる。

1) グループ1の洗浄

炭化水素系溶剤を用いる場合、グループ1の部材は浸漬洗浄を繰り返し、脱液後、真空加熱乾燥にて最終処理される。第4図に示す真空加熱装置は、ヒータと真空ポンプを調整して、温度と圧力

が制御される。排ガス温度は、タール・木酢液の発生が少ない200-250℃に設定され、真空圧は、PCBの常圧最高沸点450℃に対して、炭化水素の蒸気圧と蒸気温度の沸点換算ノモグラフより指示される蒸気圧400 Pa以下の領域で運転される。この温度条件下では、紙が炭化することはない。

PCEを用いる場合は、溶剂量を少なくするため、一次洗浄では蒸気・スプレイ洗浄が適用され、二次洗浄では浸漬・分離洗浄が、三次処理では真空加熱乾燥、あるいは浸漬洗浄が適用される。

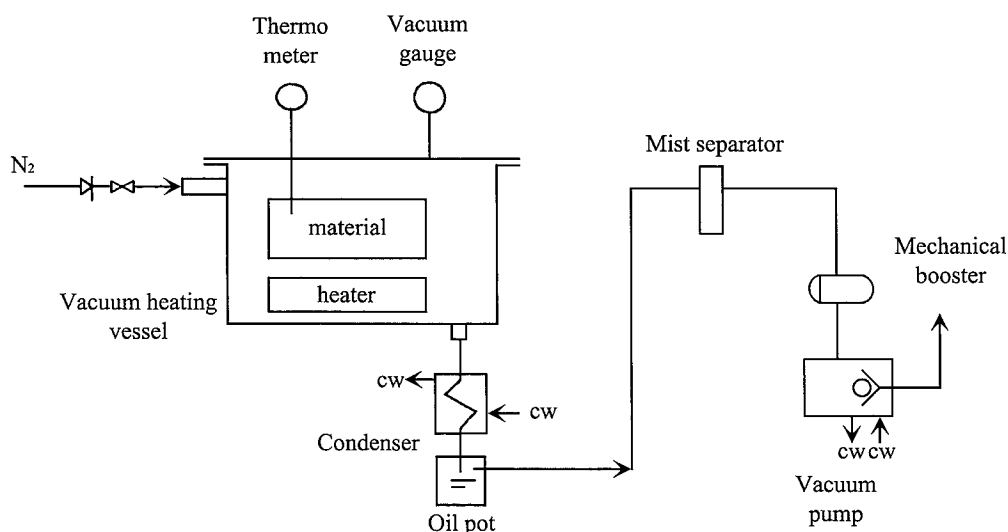
2) グループ2の洗浄

炭化水素系溶剤を用いる場合、グループ2の部材は、一次、二次ともに、超音波を用いて常圧、または、7000 Pa程度の真空状態で浸漬洗浄される。PCEを用いる場合は、一次、二次洗浄ともに蒸気・スプレイ洗浄である。

二次洗浄で洗浄を実質的に終了させるため、金属部材と碍子は、自主管理分析（拭き取り試験、または部材採取試験）により基準値到達が確認される。二次洗浄されたすべての部材は、三次洗浄槽に入れられる。ここで、判定浸漬洗浄をおこない、洗浄液を採取して公定法により分析する。ただし、リード線のような複雑金属部品に対しては、二次洗浄後に、真空加熱乾燥処理される。なお、PCEを用いた二次洗浄は、超音波洗浄である。

1.3 溶剤再生工程

高濃度のPCBが付着した容器や部材を除染する場合、洗浄の早い段階では、純度の低い溶剤が用い



第4図 真空加熱装置のフロー図
Fig. 4 Flow chart of vacuum heating vessel

られ、最終洗浄段階では、純度の高い溶剤が用いられる。再生溶剤の濃度に応じて、たとえば、炭化水素系溶剤を使用する場合は、2段階の再生工程で構成される。再生溶剤のPCB濃度は、一次蒸留塔が10 ppm-20 ppm程度であり、二次蒸留塔が0.1 ppm程度である。いずれも溶剤は精留塔で再生する。

溶剤再生に必要なエネルギー低減と設備・部材の再汚染の可能性を低くするため、第1図の蒸留再生工程のブロックフローに示すように、二次蒸留塔の底部缶出液を一次蒸留塔供給液に加えている。

PCEの場合も同様に、PCB濃度によって3段階の再生工程で構成されるが、三次の精留を除いて、一次、二次は単蒸留で溶剤を再生する。

1. 4 排ガス処理工程

汚染容器の受入以降、出荷基準に到達するまで、汚染容器とその内部部材は、遮蔽室で処理される。また、作業員のPCB汚染を防止するため、遮蔽室は排風機で排気されて、負圧に管理される。

第1図のブロックフローに示すように、前処理工程、除染工程、および溶剤再生工程から排出されるPCBと溶剤を含んだ排ガスは、凝縮器、デミスタで、PCBと溶剤が凝縮・分離され、その後2塔式の吸脱着機能をもつ活性炭槽を経て排気される。分離、および吸脱着されたPCBと溶剤は溶剤再生工程に送られる。

一方、工場内の換気はフィルタで除塵後、活性炭吸着槽を通して排気される。

1. 5 検定・出荷工程

真空加熱処理、または浸漬洗浄で最終処理したグループ1の部材とグループ2の複雑金属部品については、部材採取試験、および溶出試験による公定法で検定がおこなわれる。複雑金属部品を除くグループ2の部材については、三次処理の洗浄液試験による公定法で検定がおこなわれる。基準値に到達した金属類は、再利用される。碍子、紙は一般産業廃棄物として処分される。

2. 容器処理プロセスの物質収支

年間処理量125トンのPCBに相当する、標準的な容器処理プラントの物質収支を第1表に示す。処理能力は50 kVA相当のコンデンサで20台/日であり、稼働日数は年間300日としている。処理プロセスは、炭化水素系溶剤、またはPCEを使用して、グループ1の部材とグループ2の複雑金属部品については、溶剤洗浄後、真空加熱乾燥を適用している。なお、PCEの場合は、洗浄のみでも最終処理できる。複雑金属部品を除くグループ2の部材は、溶剤の種類によらず、洗浄のみで除染される。

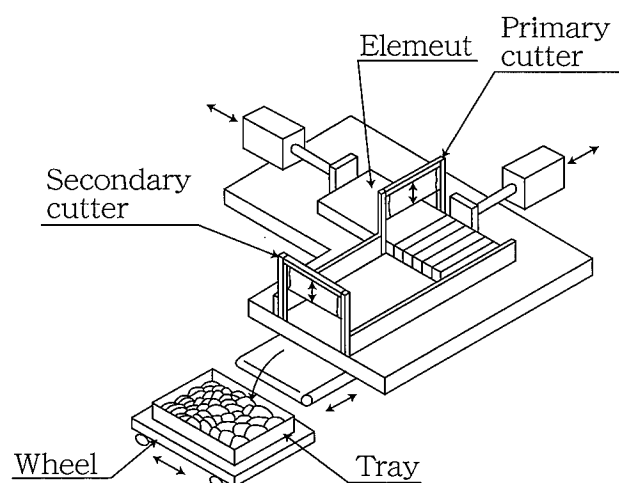
抜油PCBと溶剤を含んだ高濃度PCBは、洗浄用絶縁油とともに、PCBの無害化工程（SPプロセス）に送られる。PCEを使用する場合は、アルミの分離が可能で、年間40トン近くが回収・再利用される。各種排ガスは作業環境基準値以下に処理されて、排出される。

第1表 物質収支
Table 1 Material balance

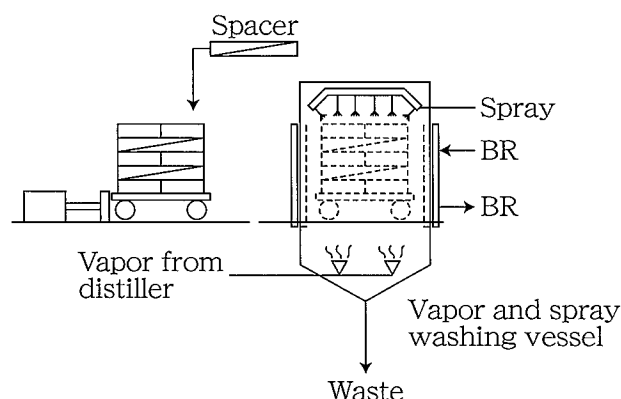
Item	kg/d (Nm ³ /d)	Remarks
Input		
Capacitor	953	50kVA 20 sets
Solvent	30	new feed
Insulation oil	100	cleaning oil for pan, gutter
N ₂ -seal gas	(2 500)	tank seal
-vacuum vessel	(800)	ventilation & cooling
Fuel oil	5 100	heat source for distillation
Output		
Suction oil PCB	167	from dismantle area
Removal PCB	252	from washing area
Solvent	30	loss (to SP process)
Insulation oil	100	loss (to SP process)
Iron (case etc.)	143	for recycle use
Insulator	10	waste
Copper	19	for recycle use
Aluminum	133	for recycle use
Paper	229	waste
N ₂ -seal gas	(2 500)	(PCB contents) <100 µg/Nm ³
-vacuum vessel	(800)	<100 µg/Nm ³
Process exhaust gas	(360×10 ³)	<100 µg/Nm ³
Fuel exhaust gas	(70×10 ³)	N.D
Ventilation	(2 880 ×10 ³)	<100 µg/Nm ³

第 2 表 主要機器仕様
Table 2 Specification of major equipment

Process	Operation time (hour)	Equipment
Oil suction, drainage	4	Vacuum drill
Cutting of element	4	Primary and secondary motorized cutters
For case, insulator & metals		
Primary rinse washing	2-6	Washing vessel with ultrasonic wave generator and vacuum system, 18 m ³ ×1set
Secondary rinse washing	2-6	Washing vessel with ultrasonic wave generator and vacuum system, 18 m ³ ×1set
Rinse washing for authorized regulation	4-8	Washing vessel, 11 m ³ ×1set
For paper, aluminum		
Primary rinse washing	6	Washing vessel with dewatering device 2.2 m ³ ×6 sets
Heating and drying under vacuum	12	Horizontal and cylindrical vessel, 5 m ³ ×1set



第 5 図 コンデンサ素子裁断の概念図
Fig. 5 Conceptual drawing for cutting of capacitor element



第 6 図 蒸気洗浄の概念図
Fig. 6 Conceptual drawing for vapor washing

3. 主要設備の機器仕様と運転概要

前記コンデンサ処理を、炭化水素系溶剤を用いておこなった場合の機器仕様を第 2 表に示す。前処理工程の各单位操作は 4 時間程度で、8 時間の常昼勤務で対応する。最も時間を要する処理は、グループ 1（紙、アルミ）の洗浄で、溶剤洗浄に 6 時間、真空加熱乾燥に 12 時間程度、公定分析に 15-20 時間を要する。

炭化水素系溶剤と PCE を用いた場合のそれぞれの運転概要について、以下に詳述する。

3.1 容器解体

コンデンサは、切断機で缶体が切断され、プレス、カッターなどでさらに小物部品に分解される。缶体は、反転装置で残油が流下回収され、その後、底板に穴が開けられ、素子は穴を通して押し出されて、

カッター、マニピュレータなどで 1 個ずつに分解される。缶体は端子蓋と同様に底部の外周が切断され、取り外される。

3.2 素子の裁断

コンデンサ素子は 2 段階で裁断される。第 5 図に素子裁断の処理概念図を示す。一次裁断では、一定の幅で素子が送られ、ロール状からスライス状に、2 次裁断では更に、短冊状に裁断される。

3.3 グループ 1（紙、アルミ）の洗浄

炭化水素系溶剤を用いた場合、裁断された素子は脱液機能付きの洗浄槽で攪拌・浸漬洗浄された後、真空加熱乾燥処理される。装置は、250℃、2.7-6.7 Pa で運転され、5 時間保持される。保持の間、装置は窒素ガスで数回置換される。

PCE を使用する場合、裁断された素子は、底部

第 3 表 PCB 除染処理の結果

Table 3 Result of removing treatment for PCB

Solvent	Hydrocarbon solvent				
Treatment					
Primary	Rinse washing				
Secondary	Not applied		Rinse washing		
Tertiary	Heating and drying under vacuum			Not applied ^{*1}	
Material	paper	aluminum	lead wire	insulator	case
Residual PCB	<0.0005	0.001	0.01	0.06	0.03
unit	mg/lit.	mg/kg	mg/kg	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$
Regulation	0.003	0.01	0.01	0.1	0.1

Solvent	Perchloro ethylene				
Treatment					
Primary	Vapor and spray washing				
Secondary	Rinse and separation		Rinse	Vapor and spray washing	
Tertiary	Heating and drying under vacuum			Not applied ^{*1}	
	(Rinse washing) ^{*2}				
Material	paper	aluminum	lead wire	insulator	case
Residual PCB	<0.0005	0.004	0.003	0.02	0.02
unit	mg/lit.	mg/kg	mg/kg	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$
Regulation	0.003	0.01	0.01	0.1	0.1

Notes *1 : Rinse examination for authorized regulation was conducted as tertiary treatment. Test result was less than 0.06 mg/kg and has passed the regulation value (0.5 mg/kg).

*2 : When element was rinsed by PCE in the tertiary treatment, residual PCB in the aluminum was 0.002 mg/kg and that in the paper was less than 0.0005 mg/lit.

が網目状のトレイに装填され、このトレイが複数段に積層されて、蒸気洗浄される。第 6 図に蒸気洗浄の処理概念図を示す。蒸気洗浄槽は、下部に蒸気供給口が、上部および側面にはスプレイノズルが設けられている。装置内を常圧に保持するため、側面上部には冷却装置が取り付けられ、蒸気を凝縮させる。素子は蒸気洗浄された後、前記のノズルから常温の溶剤をスプレイされ、冷却・洗浄される。二次処理では、低速回転する攪拌機で紙とアルミが洗浄・分離される。真空加熱で三次処理する場合、保持温度は210℃で、他の条件は炭化水素系溶剤の場合と同じである。PCEによる三次処理では、紙とアルミが別々の洗浄槽で、数回攪拌洗浄される。

3.4 グループ 2 (金属部材、碍子) の洗浄

金属部材および碍子は、被洗浄性の差によりケース、碍子類 (以下ケース類とする) と蓋、端子、リード線類 (以下蓋類とする) の 2 種類に分類され、お

のこの洗浄槽に装填される。

炭化水素系溶剤を用いる場合、ケース類と蓋類は、同じ洗浄槽を使って、別々に一次洗浄される。つまり、ケース類は常圧下で、蓋類は真空状態で超音波洗浄される。二次洗浄は、一次洗浄と同様の手段で、専用の二次洗浄槽を用いておこなわれる。

PCE の場合は、ケース類と蓋類は同時に、同じ蒸気洗浄槽でスプレイと蒸気による一次洗浄がおこなわれる。続いて、ケース類は、専用の二次洗浄槽に送られ、再度、スプレイ洗浄と蒸気洗浄がおこなわれる。蓋類の二次洗浄は、超音波浸漬洗浄である。なお、リード線などの複雑金属部品は、さらに真空加熱処理される。

3.5 除染処理の結果

第 3 表に部材ごとの除染結果を示す。各部材とも除染基準を達成しており、特に、除染が困難と思われる素子は、紙が定量限界以下で、アルミ箔は PCE

PCB および PCB 汚染物 ⁴⁾	当社の実施状況
低濃度 PCB 汚染油 (250 000 kL)	: SP プロセスにて処理検証済み
低濃度 PCB 汚染トランス (400万台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理検証済み
電気機器 (23万台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理可能 (検証予定)
高濃度 PCB 汚染コンデンサ・トランス (107 000台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理検証済み
感熱紙 (768トン)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理可能 (検証予定)
熱媒 (5 334トン)	: SP プロセスにて処理検証済み

の場合は基準値の2/5で、炭化水素系溶剤の場合は1/10であり、いずれも、基準値を満たした。

なお、PCEを用いて、三次処理を真空加熱乾燥せずに浸漬洗浄した場合は、紙が定量限界以下で、アルミ箔は基準値の1/5であった。

4. 作業環境保全と安全対策

プロセス開発にあわせて、その信頼性や作業の安全性を検討し、PCBに特有の対策を基本設計に反映した。

4.1 PCB 曝露対策

作業者が曝露しないように、工場内のPCB濃度は作業環境基準値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の1/10以下に管理維持される。このほか、次の各点に留意している。

- 1) 負圧に管理された遮蔽室内で汚染物を取り扱う。
- 2) 解体や移送中に滴下するPCBや溶剤は、装置下部に設けられたパンに回収される。パンは絶縁油で洗浄され、洗浄廃液はSPプロセスへ送られて無害化処理される。
- 3) 洗浄溶剤は密閉系とし、サンプリングなど開放系となる場所では局所排気をおこなう。
- 4) 建屋の換気は独立の一過式とし、工場内を清浄

に保つ。

4.2 安全対策

PCBや溶剤の漏洩に対しては、2重の流出防止堤、および不浸透性床を設けて、流出を防止する。また、PCBや溶剤は屋内で取り扱い、雨などによる流出も防止する。

むすび

2001年7月、PCB特別措置法が施行され、2015年までの処理が義務付けられた。当社は保有するSPプロセスと本報で述べた汚染容器処理技術をあわせて、上記のPCBおよびPCB汚染物⁴⁾の一貫処理システムを供給できるようになった。

[参考文献]

- 1) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB処理技術ガイドブック、(1999)、資料 5.1-2、(その10)、(その11)
- 2) 加藤治ほか：神鋼パンテック技報、Vol.44 No.2 (2001)、p.2
- 3) 川井隆夫ほか：神鋼パンテック技報、Vol.42 No.1 (1998)、p.34
- 4) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB処理技術ガイドブック、(1999)、p.8

連絡先

浄 弘 明 彦 資源再生事業室
チーフマネージャ

T E L 078 - 992 - 6525
F A X 078 - 992 - 6504
E-mail a.jogu@pantec.co.jp

矢田貝 直 幸

T E L 078 - 992 - 6525
F A X 078 - 992 - 6504
E-mail n.yatagai@pantec.co.jp

資源再生事業室
技術担当課長

分子生物学的手法を用いた水処理装置の 微生物診断技術

Molecular biological techniques for the analysis of
microbial communities in biological water treatment plant



(技)第2研究開発部第5研究室
赤 司 昭
Akira Akashi

活性汚泥処理方式を初めとする生物学的水処理装置は古くから多用されてきた。しかしながら、それらに参与する微生物に関する知見はほとんどないのが現状である。その理由として従来の培養を介する分析方法では、培養できない微生物が多く存在するため、処理に係わる微生物の全貌を解析できないことが挙げられる。しかし、最近の分子生物学的手法の発達により、培養を介さずに環境や処理装置内の微生物集団を解析することが可能になった。本稿では、FISH法、DGGE法等の分子生物学的手法に基づいた水処理装置内の微生物集団の解析手法について紹介すると共に、嫌気性廃水処理装置内の微生物集団の解析例について紹介する。

Biological water treatment processes such as activated sludge have been widely used. But our understanding of those microorganisms is limited, since many environmental bacteria cannot be cultivated by conventional techniques. Recent molecular biological techniques provided us new approaches to understand the dynamics of microbial communities in environment or biological water treatment plants. Fluorescent *in situ* hybridization (FISH) provides us a powerful tool to detect the target bacteria in microbial communities. By using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP), we can analyse the diversity microbial community. These novel techniques would offer us useful information for the optimization of process operation and the development of high performance equipments.

Key Words :

生物学的水処理
分子生物学的手法

Biological water treatment
Molecular biological technique polymerase chain
reaction (PCR), denaturing gradient gel electropho-
resis (DGGE), fluorescent *in situ* hybridization
(FISH)

まえがき

活性汚泥を初めとする廃水処理や鉄バクテリアを用いた上水からの鉄除去等、生物学的用・廃水処理は、運転費用が安価であり運転方法さえ適切であれば優れた性能を発揮することから、古くから頻用されてきた。また、産業界で最も利用されている微生物利用は廃水処理であると言われているように、微生物を利用した用・廃水処理は我々の生活に深く関わっている。しかし、それらに係わる微生物に関する知見は、他の産業、例えば、醸造や医薬品製造などで利用される微生物に比べ貧弱と言わざるを得ない。

その理由は主に2つの理由に起因すると考えられる。まず、醸造や医薬品製造等に利用される微生物は、純粋培養されたものであるのに対し、廃水処理では種々の微生物から構成される集団を利用する点である。つまり、前者では、ある特定の優れた機能を持つ微生物を利用するため、その微生物の代謝や遺伝学に関する詳細な研究が進められ、変異や遺伝子操作等により種々の改良が進められてきた。一方、用・廃水処理では、多種多様な微生物の作用によりその性能が得られるため、一般的には、特定の微生物に着目しても、その微生物の機能が、処理性能を反映しているとは言い難い。第2に、今までは、この微生物集団を解析する適切な手法がなかった点である。従来の微生物の検出方法として、ある栄養素を含んだ寒天培地にサンプルを塗布し、そこに生育したコロニーの数で対象とするサンプルに生息する微生物の数を推定する方法（培養法）が広く採用されてきた。しかし、培養可能な微生物は、実際に環

境や廃水処理装置内に存在する微生物のせいぜい10%程度と言われており、²⁾ 残りの90%以上の微生物は、³⁾ 生きているが培養できない（Viable but nonculturable: VNC）ことになる。したがって、培養可能な微生物だけを対象とした研究では、用・廃水処理装置の性能（処理水質）と微生物の関係を正しく把握することは不可能である。

最近、分子生物学的手法の発達により、培養操作をおこなうことなく微生物集団を解析することが可能になった。本稿では、分子生物学的手法を用いた水処理装置内の微生物集団の解析方法について概説する。

1. 細菌数の測定

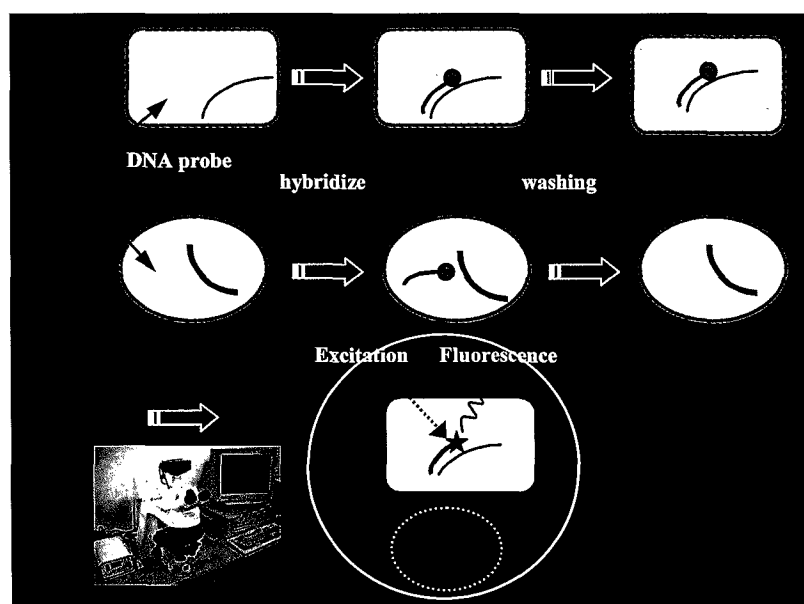
1.1 全菌数の測定

培養に依存しない微生物の計数法として、顕微鏡下で直接計数する方法がある。すなわち、微生物細胞内のDNAやタンパク質と親和性のあるDAPI（4',6-diamidine-2-phenylindole）、あるいは、FITC（Fluorescein-isothiocyanate）などの蛍光色素で染色し、蛍光顕微鏡で観察する方法である。本方法は、分散性の良いサンプルの場合正確に菌数を測定することができるが、活性汚泥のようにフロックを形成している場合には、超音波処理等の前処理を行い分散する必要がある。

1.2 特定細菌の計数

1.2.1 蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法（FISH 法）

蛍光色素を用いた方法では、全細菌数の計測は可能であるが、目的とする特定の細菌との区別はできない。特に、硝化・脱窒やメタン発酵のように特殊



第1図 FISH法の原理
Fig. 1 Principle of FISH

な機能を有する細菌が、全細菌の中にどれだけ存在するか調べたい場合には、FISH 法 (fluorescent *in situ* hybridization 法) により解析可能である。第 1 図に示すように、FISH 法は、蛍光標識した DNA プローブと細菌の標的遺伝子を反応 (hybridize)⁴⁾ させ、目的とする細菌だけを検出する方法である。一般的には、細菌の標的遺伝子として 16SrRNA が多用される。16SrRNA 分子には、細菌の科、属、種レベルで共通の配列が存在するので、^{5), 6)} 目的とする細菌に応じた DNA プローブを使用することにより、特定の細菌だけを検出できる。また、16SrRNA の細胞内の量と細菌の活性は関連するので、⁷⁾ 個々の細菌の蛍光強度からそれぞれの細菌の相対活性を把握することも可能である。

本法は、単に目的とする細菌を計数できるだけでなく、グラニュール汚泥のように、立体構造をもつ微生物群集内における特定細菌の分布を目視的に観察できる等の利点がある。逆に、16SrRNA の量が少ない、つまり、活性の低い細菌は蛍光強度が弱い⁸⁾ ため検出は困難である。また、目的とする細菌以外の細菌との DNA プローブの非特異的結合、自家蛍光等の問題がある。さらには、DNA プローブが設計されている細菌しか検出できない欠点もある。

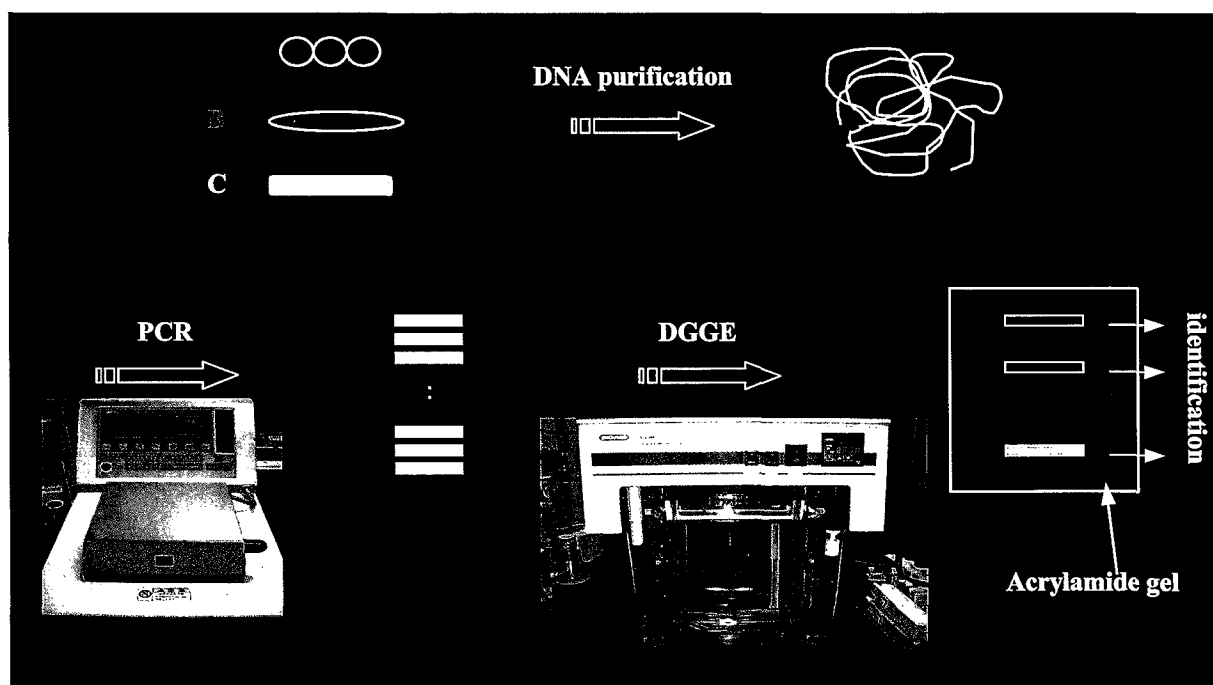
FISH 法の適応例として活性汚泥のアンモニア酸化細菌を解析した例がある。アンモニア負荷が高い集積培養系では、アンモニア酸化細菌の検出と計数

は可能であったが、都市下水処理場や河川のようにアンモニア負荷の低い場合は検出が困難であった。⁸⁾ 感度を上げる方法として、Yamaguchi らにより HNPP/Fast Red TR-FISH 法が開発された。⁹⁾ 本法を用いることにより、従来の FISH 法に比べ約 10 倍の蛍光強度を得ることができ、今までは検出困難であった河川水中の細菌群集構造の解析が可能になった。¹⁰⁾ その他にも、嫌気性废水处理装置のグラニュール汚泥の古細菌 (メタン生成菌) と真性細菌 (酸生成菌) の分布状態の解析、^{11), 12)} バルキングの原因となる活性汚泥中の糸状性細菌の検出例など種々の細菌の検出に利用されている。^{13), 14)}

2. 細菌の多様性の解析

2.1 変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法 (DGGE 法)

前述のように、生物学的水処理装置内には、多種多様な細菌種が存在する。これらの細菌の多様性を解析する手法として DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)¹⁵⁾ 法がある。一般的には、細菌の 16SrRNA 遺伝子の特定領域 (variable region と呼ばれる領域で、その配列は細菌種毎に異なる) を PCR (Polymerase Chain Reaction) で増幅した後、ポリアクリルアミドゲルを支持体とするゲル中で電気泳動し、16SrRNA の塩基配列の違いで分離する方法である (第 2 図)。2 本鎖 DNA (PCR 産物に 2 本鎖 DNA) に比べ、部分的に 1 本鎖に解離した DNA はポリアクリルアミドゲル中で移動度が遅



第 2 図 DGGE 法の原理
Fig. 2 Principle of DGGE

くなる。また、2本鎖DNAの解離は、温度、変性剤濃度と塩基配列が関係する。したがって、変性剤（尿素とホルムアミドの混合物）が濃度勾配を形成して存在するポリアクリルアミドゲル中で電気泳動をすると、同じ長さのPCR産物でもその塩基配列の違いによりDNAの解離度が異なり、分離することができる。DGGEにより分画したバンドの1本1本は異なる微生物に由来するので、バンドのパターンから生息する微生物の多様性を把握することができる。さらに、電気泳動により分画したDNAバンドをゲルから抽出して再度PCRにより増幅後、その遺伝子配列を調べ、データベースからその菌種を推定することも可能である。

PCRにより増幅する対象を16SrRNA遺伝子(DNA)とするか16SrRNAそのものとするかで得られた結果の解釈が若干異なる(第3図)。16SrRNA遺伝子(DNA)をターゲットとしてPCRを行い、DGGE解析した場合、存在する細菌種の多様性を知ることができる。一方、16SrRNAをターゲットにしてPCR、厳密にはRT-PCR(Reverse Transcriptase-PCR)、を行いDGGE解析した場合細菌種の多様性の他に、各細菌の活性を調べることも可能である¹⁶⁾。

本法は、種レベルで処理装置内の細菌の多様性や活性を把握できる点で極めて有用な技術であるが、いくつかの問題点も指摘されている。まず、微生物からの核酸(DNA, RNA)の抽出効率である。つまり、処理装置内には、多種多様の微生物が存在し、それぞれの微生物の殻(細胞壁)の固さもまちまちである。したがって、核酸の抽出方法によっては、壊れやすい微生物の核酸が優先的に抽出される恐れがある。次に、PCR反応時のバイアスやキメラ生成の問題も指摘されている。また、DGGE自体も使用するポリアクリルアミドゲルの濃度や変性剤の

濃度勾配の違いにより解像度が大きく変わることを我々は経験している。

DGGE法は、未知の微生物群集の多様性を比較簡単に解析できるため、様々な処理装置の微生物を対象に多くの研究が行われてきた。コンポスト化過程における微生物種の変遷^{18), 19)}やバイオレメディエーション実施時の細菌群集構造解析²⁰⁾あるいは、嫌気消化槽グラニュール汚泥の酸生成菌やメタン菌の多様性解析²¹⁾等枚挙にいとまがない。

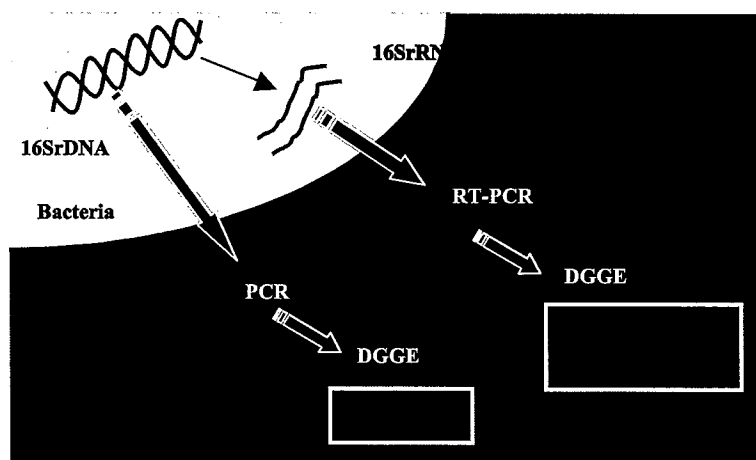
2.2 その他の手法

DGGEの他に細菌種の多様性の解析に多用される手法として、T-RFLP(Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism)がある。これは、5'末端を蛍光標識したプライマーを用いて行ったPCR産物を適当な制限酵素で切断した後、蛍光物質で標識されたDNA断片をDNAシーケンサー等で分画する方法である。そのDNA断片の位置から細菌種を比較することが可能であり、また、断片の数から細菌種の多様性を解析することができる。本法もDGGE法と同じく微生物からの核酸の抽出とPCR増幅を伴うため、それらに係わる問題点が指摘されている。本法の適応例として、下水処理場の活性汚泥の解析等がある²³⁾。

3. DGGE法によるフタル酸処理UASBの嫌気性微生物群の解析例

3.1 背景

フタル酸化合物は、プラスチック製品の可塑剤として多用されており、世界で年間1~2億トン生産されている。従来、フタル酸化合物を含む廃水は、活性汚泥で処理されてきたが、近年嫌気性廃水処理を適応する例が多くなってきている。しかし、フタル酸化合物の分解に係わる嫌気性細菌に関する知見は全くない。以下に、フタル酸化合物処理装置の安定かつ高効率な運転管理を行うための知見を得るこ



第3図 DGGE法による微生物の多様性と活性の解析

Fig. 3 Analysis of microbial diversity and activity by DGGE

とを目的として実施した微生物集団の解析例について紹介する。

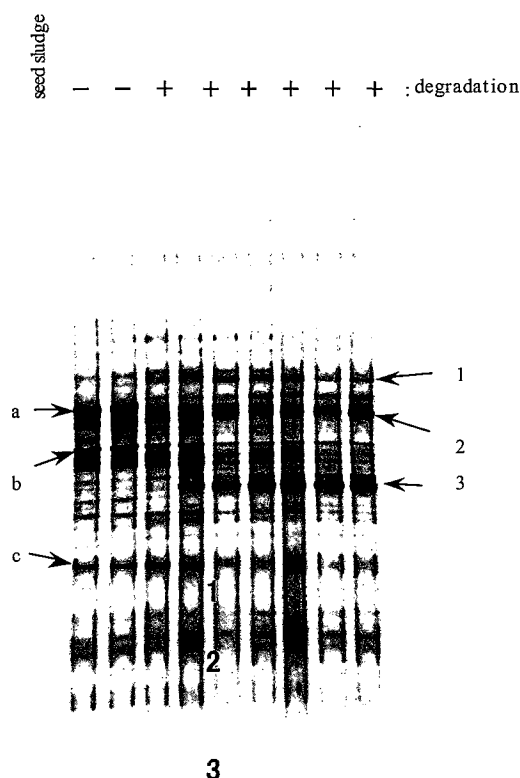
3.2 実験方法

フタル酸化合物の分解に關与する微生物の解析が容易に行えるようフタル酸化合物を唯一の炭素源とする廃水で装置を立ち上げた。種汚泥として、ビール工場のグラニュール汚泥を使用した。フタル酸濃度の測定は、HPLCにより測定した。グラニュール汚泥は適宜サンプリングし、核酸を抽出した。その核酸の16SrRNAの特定領域をPCRにより増幅した後、DGGE解析に供した。また、DGGEパターン解析の結果、種汚泥及びフタル酸未分解時には觀察されず、分解時に特異的に出現したDNAバンドをフタル酸化合物の分解に關与する微生物と推定した。

3.3 結果

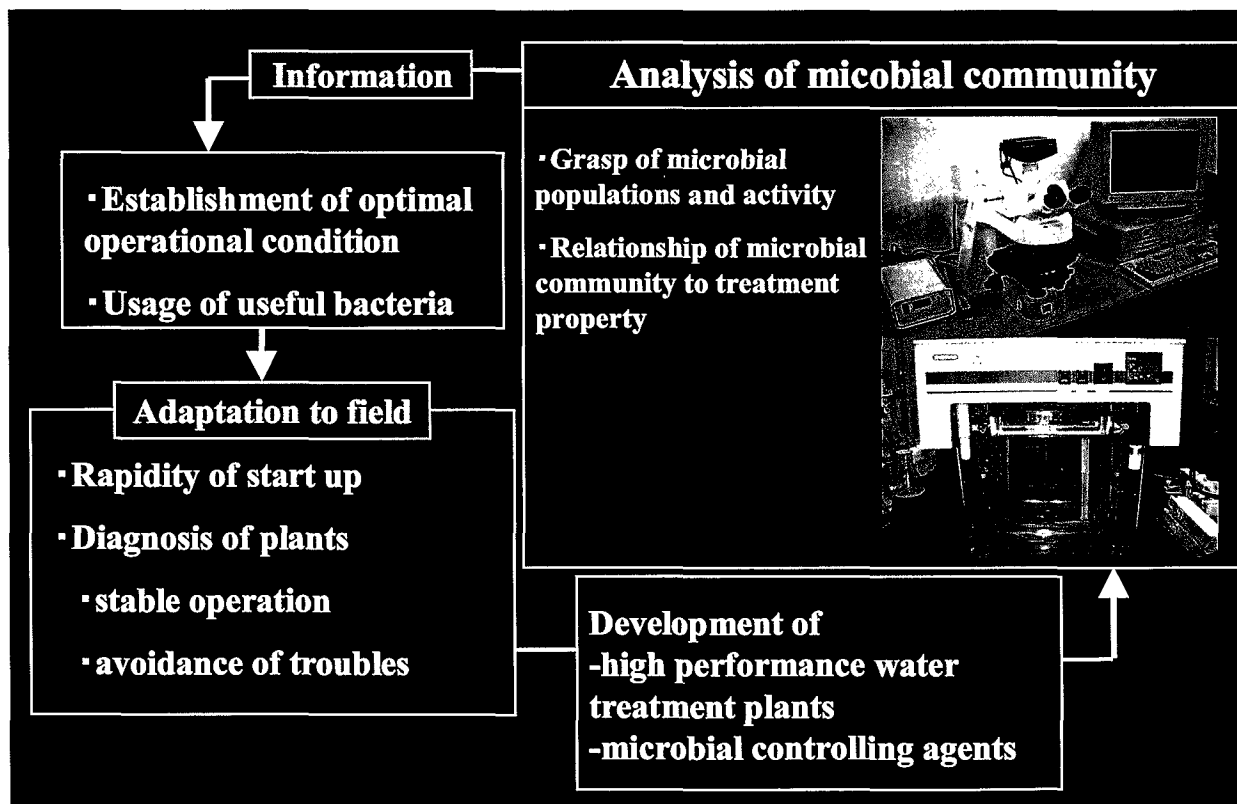
投入したグラニュール汚泥にフタル酸化合物の分解活性が出現するまでに約2ヶ月という長期間を要した。これは、ビール工場というフタル酸化合物との接触がない装置のグラニュール汚泥を種汚泥として用いたためだと思われる。

第4図に処理過程の様々な時期に採取したグラニュール汚泥に存在する真性細菌（酸生成菌、フタル酸化合物分解菌も含まれる）の多様性をDGGE法で解



第4図 DGGE法によるフタル酸化合物処理装置内の細菌群の解析

Fig. 4 DGGE analysis of microbial community in phthalic acids-degrading anaerobic granular sludge



第5図 分子生物学的手法による水処理装置内の微生物の解析と応用

Fig. 5 Molecular biological techniques for analysis of microbial communities and their applications

析した結果を示す。それぞれのバンドは、基本的には一つ一つの細菌種に対応している。したがって、バンドパターンを比較することにより、処理過程での細菌種の変遷、ひいては、フタル酸分解活性を持つ細菌を特定することが可能となる。なお、本実験は、16SrRNA をターゲットとした RT-PCR 産物を DGGE により解析した。したがって、出現したバンドの濃度が濃い細菌種は、活性が高い（つまり、活発に活動している）ことを意味する。

種汚泥やフタル酸化合物の分解活性が見られないときに a, b, c の 3 本のバンド（細菌）は、時間が経過するに従い消滅、あるいは、濃度（活性）は低くなった。一方、1～3 の 3 本のバンド（細菌）は、種汚泥やフタル酸化合物の分解がない汚泥には存在せず、分解活性が見られる汚泥にのみ見られた。従って、これら 3 本のバンド（細菌）がフタル酸化合物の分解に関与していると考えられる。

以上のように、DGGE 法を用いることにより、比較的短時間で目的とする微生物を推定することができる。今後は得られた情報を基に、運転管理の最適化や高効率処理装置の開発に結びつけるような研究に発展させていきたい。

む す び

分子生物学的手法の適応により、今までブラックボックスであった生物学的水処理装置内の微生物に解明の手が及ぶようになった（第 5 図）。しかし、今まで発表された論文等を眺めてみると、「ある手法を用いて処理装置内の微生物群集の解析が可能であった」止まりで、装置の処理性能との関連づけを行った研究は少ないように思われる。我々水処理に係わるものにとっての最大の関心事は、微生物の状態で装置の処理性能との関連づけであり、今後はこの研究をいかに実施し、運転管理や装置開発に適応

するかが重要になると思われる。さらには、運転管理に携わる現場の方々にとっては、リアルタイムな、あるいは、装置の状態の予測が可能なデータの入手が最も重要であると思われる。これらの点も考慮しながら今後の研究開発を進めていきたいと考える。

[参考文献]

- 1) 金川貴博：バイオサイエンスとインダストリー, 59 (2001), p.731
- 2) Amman,R.I. et al.: Microbiol. Rev.,59 (1995), p.143
- 3) Colwell,R.R., et al.: Bio/Technol.,3 (1985), p.817
- 4) Ammann,R.I et al.: Appl. Environ. Microbiol.,58 (1992) p.3007
- 5) Gutell, R.R., et al.: Microbiol. Rev., 58 (1994), p.10
- 6) Van de Peer et al.: Nucl. Acids Res., 24 (1996), p.3381
- 7) Wagner, R.: Arch. Microbiol., 161 (1994), p.100
- 8) 小沼晋他：環境工学論文集：36 (1999), p.19
- 9) Yamaguchi, N. et al.: Appl. Environ. Microbiol., 62 (1996), p.275
- 10) 山口進康他：用水と廃水, 39 (1997), p.12
- 11) 荒木信夫他：環境工学論文集, 36 (1999), p.11
- 12) Markel, W., et al.: Wat. Res., 33 (1999), p.2392
- 13) Wagner, M.et al.: System. Appl. Microbiol., 17 (1994), p.405
- 14) Kanagawa, T. et al.,: Appl. Environ. Microbiol., 66 (2001), p.5043
- 15) Muyzer, G et al.: Appl. Environ. Microbiol., 59 (1993), p.695
- 16) Duineveld, B. M et al.,: Appl. Environ. Microbiol., 67 (2001), p.172
- 17) 石井浩介他：Microbes Environments, 15 (2000), p.59
- 18) Aoshima, M. et al.,: J. Biosci. Bioeng., 91 (2001), p.456
- 19) Pedro, M. S., et al.,: J. Biosci. Bioeng., 91 (2001), p.159
- 20) 谷桂津治他：環境技術, 30 (2001), p.27
- 21) Wu, J-H., et al.,: Microbiology, 147 (2001), p.373
- 22) Liu, W., et al.,: Appl. Environ. Microbiol., 63 (1997), p.4516
- 23) Hiraishi, A. et al.,: J. Biosci. Bioeng., 90 (2000), p.148

連絡先

赤 司 昭 技術開発本部
(医学博士) 第 2 研究開発部
第 5 研究室
主任研究員
T E L 078 - 992 - 6525
F A X 078 - 992 - 6504
E-mail a.akashi@pantec.co.jp

鉄バクテリアを用いた地下水の浄水処理

Ground Water Treatment System Using Iron Bacteria



(環)環境本部技術部第6グループ
中 町 眞 美

Mami Nakamachi

(環)環境本部技術部第2グループ

藤 井 督 大

Tokuhiro Fujii

(環)環境本部第2営業部第3営業課

石 丸 豊

Yutaka Ishimaru

大阪府交野市、奈良県斑鳩町での地下水を対象とした浄水処理実証実験結果について報告する。

地下水中の溶存鉄や溶存マンガンさらにアンモニア性窒素を鉄バクテリアや硝化菌といった生物を利用した自然ろ過方式にて良好に除去出来ることを実証した。さらに、この自然ろ過法の後段に他の処理方式を付加することで、交野市での高濃度鉄、斑鳩町での有機物に対応可能となり、水道法における水質基準を満足する水質を安定して得ることが出来た。

この方式では、薬品使用量を極限まで低下させることが出来るため、「より自然でおいしい水」を得ることが出来るとともに、維持管理性が容易であることや薬品費や発生汚泥が少ないことなど運転上のメリットが大きいことが特長である。

Soluble iron and manganese in ground water, and ammonia nitrogen were favorably removed with natural filtration utilizing iron bacteria and nitrifying bacteria in demonstration tests. By adding a process to the rear of the natural filtration, fresh water satisfying the Waterworks Law can be obtained; for example, rapid sand filtration to remove high strength iron contents in Katano City, Osaka, and a biological activated carbon process to remove organic matters in the case of Ikaruga Cho, Nara. The combined system features easy maintenance, minimizing chemical costs and sludge generation.

Key Words :

浄 水

Drinking water

地 下 水

Ground water

生 物 ろ 過

Biological filtration

自 然 ろ 過

Natural filtration

鉄 バ ク テ リ ア

Iron bacteria

硝 化 菌

Nitrifying bacteria

鉄

Iron

マ ン ガ ン

Manganese

アンモニア性窒素

Ammonia nitrogen

トリハロメタン生成能

Trihalomethane formation potential

まえがき

地下水は生活排水の影響を受けることが少なく、また、雨水などが地下に浸透する際に土壌の微生物の浄化作用を受けるので清浄な水質であることが多い。加えて、年間の水質の変動が少なく、水温も夏季・冬季に渡り一定値を示す傾向が強い。このような利点から、地下水は水道水源としてよく利用されている。

しかし、地域によっては地殻を構成する岩石層から溶出した鉄やマンガンなどが含まれる場合がある。一般的にこれらの物質の除去は、溶存鉄や溶存マンガンに対し、酸化剤として次亜塩素酸ナトリウムを注入したり、曝気により空気酸化して不溶性物質とした後、凝集剤などで凝集沈澱・ろ過する方法が広く採用されてきた。この方法は、溶存物質を除去するために大量の薬品を使用しなければならず、本来のおいしい地下水の味を損ない、薬品使用量が多いために発生する汚泥量も多くなるという短所もある。

一方、鉄が多い地下水には鉄バクテリアが含まれる場合が多いことは古くから知られていた。

近年、この鉄バクテリアを利用し無薬注で除鉄・除マンガン処理することにより、建設費、運転費の削減を達成した実績も増えてきた。

当社においては、1993年に上水道としては、わが国で初めて建設された京都府城陽市における鉄バクテリア利用ろ過施設（以下、自然ろ過施設）を始めとして、奈良県三宅町、広島県海田町に納入実績を有す。

本稿では、この自然ろ過施設での処理状況や運転状況、さらに他の施設を付加した浄水処理について、大阪府交野市、奈良県斑鳩町でおこなった実証実験

結果を報告する。

1. 交野市での実証実験について

現在、交野市の私市浄水場では、原水である地下水を次亜塩素酸ナトリウムで酸化し、凝集剤のPACにより凝集沈澱処理後、マンガン砂ろ過でろ過して浄水としている。一方、「より安全でおいしい水」を求める市民の水道水質への高い関心・要望に応えるべく、将来の浄水方法の変更計画を視野に入れ、現在の凝集沈澱・急速ろ過方式に加え、生物を利用した処理方式の検討をおこなっている。

その一環として、現在の地下水をもちいて、処理性能の確認、運転が長期安定して可能であることおよび本方式を導入する場合の設計・維持管理に必要な諸元を得ることを目的として1999年7月から私市浄水場にて鉄バクテリアによる実証実験を開始した。

1.1 交野市の原水性状

原水である地下水水質を第1表に示した。鉄が5 mg/L程度と高濃度に含有されている。マンガンおよびアンモニア性窒素も高く、加えて溶性ケイ酸が高いため曝気により凝集沈澱ろ過が困難なコロイダル鉄を生成することが判る。また、この地下水を生物処理するにあたり、鉄バクテリアによる鉄・マンガンの酸化だけでなく、硝化菌によるアンモニア性窒素の硝化が必要である。一方、過マンガン酸カリウム消費量は低く、有機物については汚染の少ない良質な地下水である。

鉄バクテリアや硝化菌は好気性菌であるので、溶存酸素（以下、DO）を必要とする。そこで、DO供給のための曝気により生成するコロイダル鉄の、自然ろ過処理での除去状態を確認する必要がある。

1.2 実験方式と実験装置仕様

原水には鉄が高濃度に含まれるので、自然ろ過処

第1表 原水分析結果（交野市）

Table 1 Result of raw water quality (Katano city)

Item	Raw water quality	Item	Raw water quality
Temperature (°C)	19.7 (17.3 ~ 22.0)	Total iron (mg/L)	5.19 (2.37 ~ 23.8)
pH (—)	6.5 (6.5 ~ 6.6)	Total manganese (mg/L)	0.372 (0.300 ~ 0.410)
Turbidity (unit)	16.2 (2.4 ~ 72.0)	Potassium permanganate consumption (mg/L)	2.1 (<1.0 ~ 3.1)
SS (mg/L)	10 (5 ~ 25)	Soluble Silicic acid (mg/L)	55.3 (53.7 ~ 56.3)
Color (unit)	57 (12 ~ 140)	Alkalinity (CaCO ₃ , mg/L)	76.1 (74.5 ~ 78.4)
Ammonia nitrogen (mg/L)	0.66 (0.48 ~ 0.83)	Aluminium (mg/L)	<0.01
Nitrite nitrogen (mg/L)	<0.005	Dissolved oxygen (mg/L)	<1.0
Nitrate nitrogen (mg/L)	<0.02	ATU-BOD (mg/L)	<2.0

理だけでは十分な鉄の除去は難しいと思われる。そこで、自然ろ過槽と急速ろ過槽の二段ろ過方式で実験をおこなった。

実験フローを第1図に装置諸元を第2表に示した。

地下水を原水調整槽に受入れ、ここで生物処理に必要なDOを供給する。鉄バクテリアや硝化菌が生息し、十分な処理能力を発揮するためにはこのDOの調整が重要である。

原水調整槽から自然ろ過槽に導かれた水は、アンスラサイト層と珪砂層で生物酸化処理を受けるとともに物理的にろ過される。この自然ろ過水に、少量のPACと次亜塩素酸ナトリウムを注入し、マンガ

ン砂を用いた急速ろ過槽でろ過し浄水を得る。なお、自然ろ過槽は2系列設置し、ろ過速度などの比較検討をおこなった。

洗浄方式は、補助洗浄には表面洗浄をおこなうが、通常水中で行われる表面洗浄ではなく、この表面洗浄工程に入る前に水抜き工程を設け、いったんろ過槽内の水位を下げ、ろ層表面を暴露させて行うダイレクト表洗方式である。

1.3 自然ろ過処理の実験結果

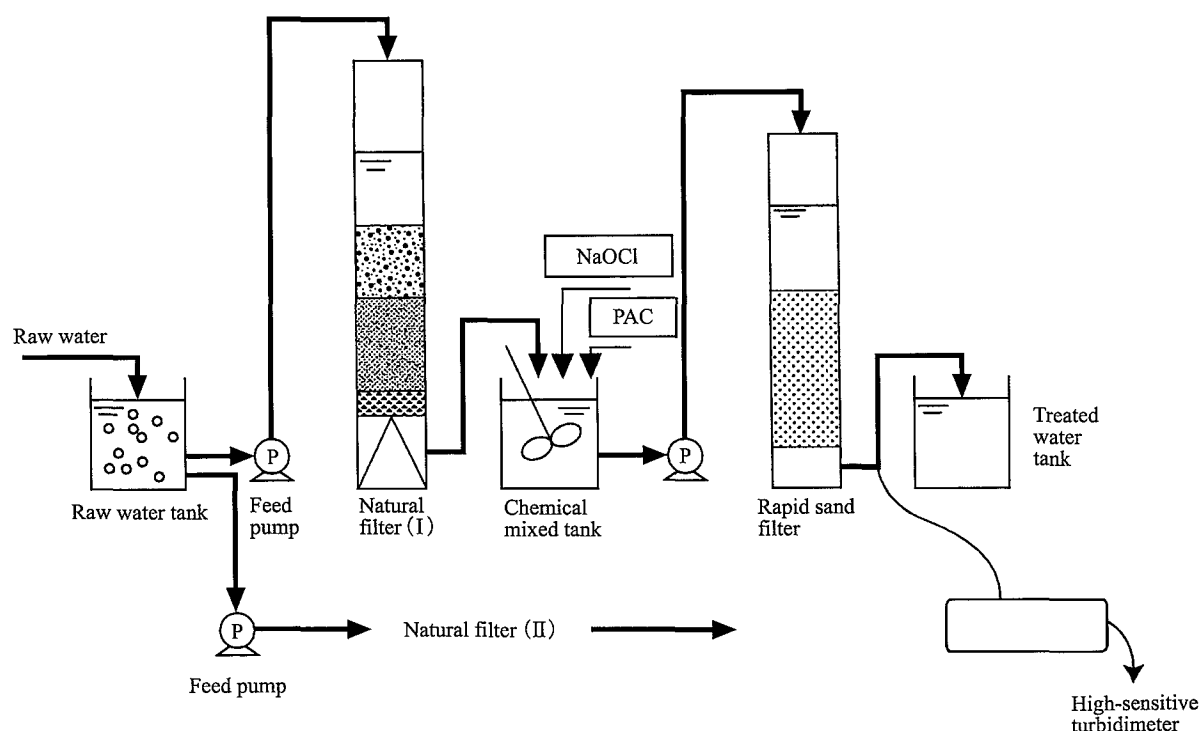
1.3.1 ろ過速度とろ過抵抗

ろ過速度は、65 m/dと130 m/dを基本に実験をおこなった。

第2表 実験装置の諸元 (交野市)

Table 2 Specification of pilot filter (Katano city)

	Natural filter			Rapid sand filter		
Filtration rate	130 m/d, 65 m/d			240 m/d		
Size of filter	200 mm ϕ $\times$ 3 500 mm ϕ (PVC)			100 mm ϕ $\times$ 3 000 mmH (PVC)		
Media	Anthracite	1.5 mm	300 mmH	manganese media	0.6 mm	600 mmH
	Sand	0.6 mm	400 mmH			
	Gravel	2 ~ 4 mm	50 mmH			
		4 ~ 7 mm	50 mmH			
		7 ~ 14 mm	100 mmH			
Underdrain	Leopold underdrain	300 mmH		Disc type strainer	200 mmH	



第1図 実験フロー (交野市)

Fig. 1 Schematic diagram of pilot plant (Katano city)

ろ過継続によりろ過水頭は上昇するが、有効ろ過水頭が1700 mmにおいて、ろ過速度が65 m/日では2～3日間、ろ過速度が130 m/日では1～1.5日間のろ過継続が可能であり、速度が2倍になるとろ過継続時間は1/2倍となった。ろ過抵抗の主な因子は、溶存鉄の流入による鉄バクテリアの増殖と空気酸化された水酸化鉄であると推測される。

このように、ろ過表層への鉄の析出が多く、ろ過抵抗が上昇しやすいため、安定した運転を継続するためには、適切な洗浄を行い増殖した鉄バクテリアと水酸化鉄を系外に完全に排出することが重要である。

1. 3. 2 鉄バクテリア

本地下水に存在する鉄バクテリアを調査した結果、優占種は *Leptothrix sp.* (レプトスリックス属) であり、*Gallionella ferruginea* (ガリオネラ フェルギネア) もわずかながら検出された。レプトスリックス属は鉄とマンガンを酸化できる種類であるので、両項目の除去が可能であると推測される。

1. 3. 3 自然ろ過処理性能

自然ろ過処理水質は、ろ過速度が65 m/日と130 m/日での差異は認められず、いずれの速度においてもマンガンは0.001 mg/L 以下、アンモニア性窒素は0.01 mg/L 以下であり、完全に除去されている。鉄は、91 %除去されているものの0.4 mg/L 程度残留し、水道法による水質基準値を満足しなかった。

鉄については、原水および処理水の存在状態を調査した。測定には、砂ろ過を想定した孔径7 μm のろ紙と0.45 μm フィルターを使用し、0.45 μm ろ過水を溶存性、7 μm ろ過水と0.45 μm ろ過水の差をコロイダル状態、全鉄と7 μm ろ過水の差を懸濁状態と仮

定した。結果を第2図に示したように、原水は約70 %が溶存性の状態でありコロイダルは数%しか存在していない。DO調整により溶存性が30 %程度に減少しコロイダルは15 %程度に増加、懸濁状態が55 %で主体になった。生物処理後の自然ろ過水は、いずれの状態の鉄も減少しているがその割合は溶存性が35 %、コロイダルが60 %、懸濁状態が5 %とコロイダル鉄が主体になっている。

次に各物質の自然ろ過槽内における除去状態の調査をおこなった。原水、自然ろ過槽に流入後のろ材と接触する前のアンスラサイト上部、アンスラサイト層内の上部、アンスラサイト層と珪砂層の間、珪砂層の下部および処理水を採取した。

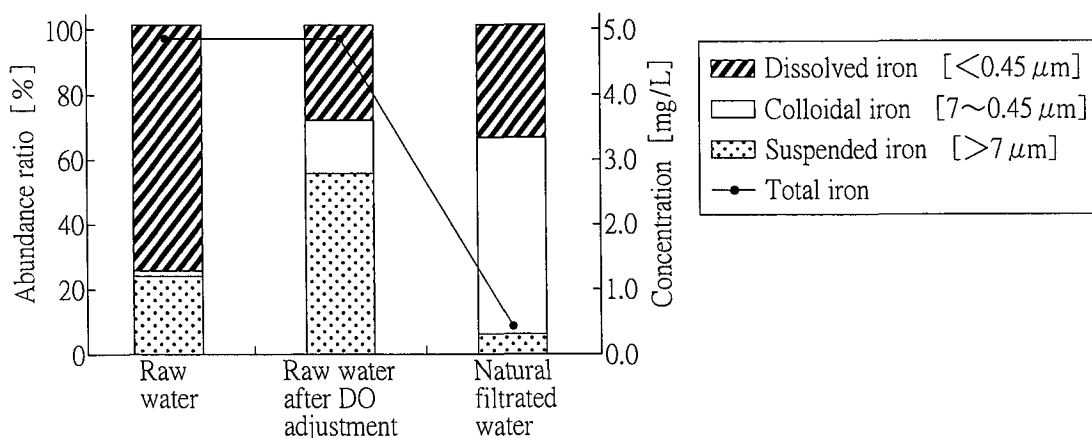
結果を第3図に示したように、鉄はアンスラサイトの表層部で除去され、その後はほとんど処理されていない。マンガンはアンスラサイト層と珪砂層の全層で段階的に低下している。アンモニア性窒素も全層で処理されているが、アンスラサイト層での低下が比較的大きい傾向を示した。鉄が表層部でしか除去されないことから、鉄を処理する生物は表層部に生息し、マンガンやアンモニア性窒素を処理する生物は全層に生息しているものと推測される。

1. 4 急速ろ過処理の実験結果

1. 4. 1 ろ過速度とろ過抵抗

残留する少量の鉄を除去するため、酸化剤として次亜塩素酸ナトリウム、凝集剤としてPACを注入したのち急速ろ過をおこなった。次亜塩素酸ナトリウムは、ろ過水の残留塩素が0.5 mg/Lであることを目安とした場合は0.6 mg/L程度の注入となり、PACは5 mg/L程度注入した。

ろ過速度は、240 m/日で、有効ろ過水頭が



第2図 鉄の存在する形態

Fig. 2 type of Iron of each step

1 600 mm においては、1 ～1.5日間のろ過継続が可能であった。

1. 4. 2 急速ろ過処理性能

自然ろ過水ではコロイダル鉄が主体であったが、最終処理水である急速ろ過処理水の鉄濃度は、0.006 mg/l まで低下し99.9 %の良好な除去率を得た。

1. 5 結果まとめ

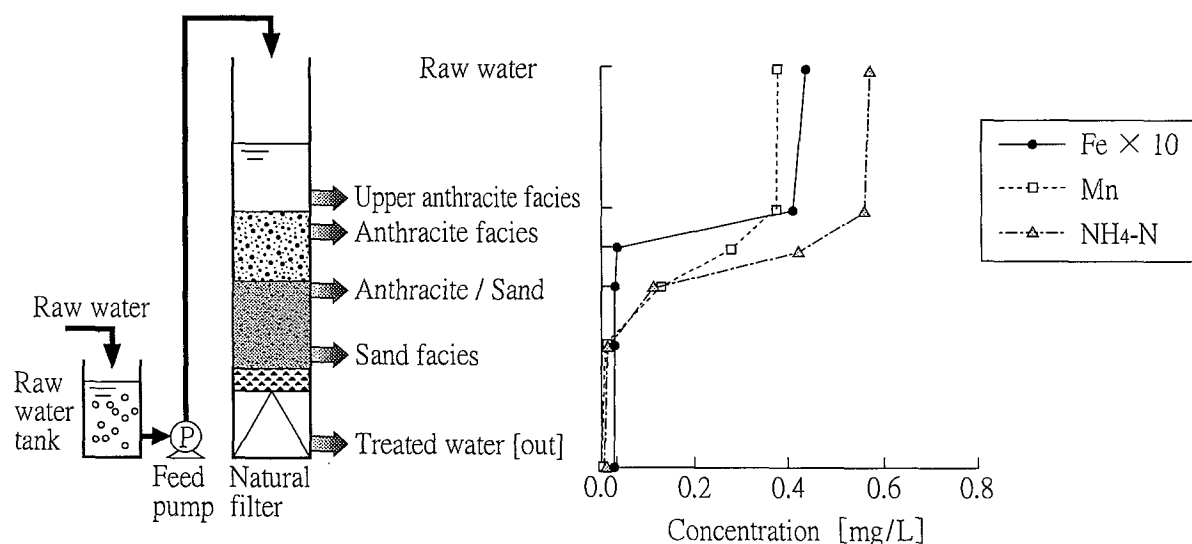
地下水中の鉄、マンガンおよびアンモニア性窒素の除去を目的として、「自然ろ過」+「急速ろ過」の二段処理方式での実験をおこなってきた。

結果を第4図に示したように、自然ろ過での処理性能の確認を行うことを主体として、種々の知見を得、マンガンとアンモニア性窒素は完全に除去出来ることが判った。原水中の高濃度の鉄に対しては、

自然ろ過では90 %以上の除去率を有するものの、水質基準値を満足することは出来なかった。

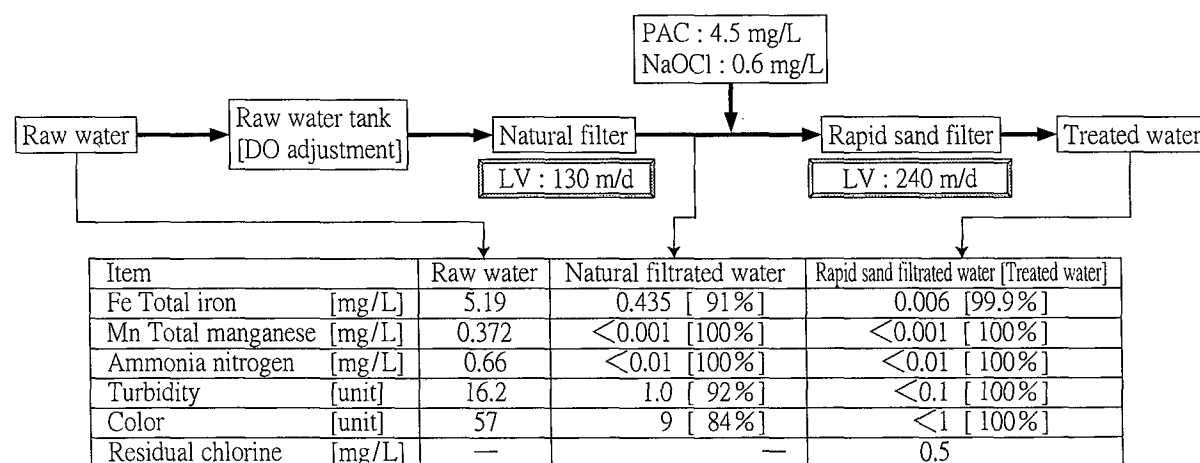
自然ろ過が万が一ダメージを受けた場合の安全性も考慮し、自然ろ過水に少量の次亜塩素酸ナトリウムとPACを注入しマンガン砂を使用した急速ろ過をおこなうことで鉄はさらに除去され、安定して水質基準を十分に満足する水質を得ることが出来た。

このような、鉄バクテリアや硝化菌といった生物を利用することで、凝集剤は5 mg/L 程度の注入になり、次亜塩素酸ナトリウムは鉄やマンガンの酸化剤としてはほとんど不要で、消毒用として僅かの注入量となった。薬品使用量を大幅に削減出来ると共に、地下水本来の特長である、「より自然でおいしい水」を得ることが出来た。



第3図 自然ろ過槽内での除去状態

Fig. 3 Minimizing chemicals in natural filter



第4図 実験結果 (交野市)

Fig. 4 Result of pilot plant (Katano city)

2. 斑鳩町での実証実験について

現在、斑鳩町の第1浄水場では、原水である地下水を曝気し、硫化水素の飛散と一部の溶存鉄を空気酸化した後、次亜塩素酸ナトリウムで酸化し、PACにより凝集沈澱処理後、マンガン砂ろ過でろ過して浄水としている。

この原水に適応する、より安全で安定した無薬注の浄水処理方式を検討することを目的として、回収率、消毒剤の注入量および消耗品の交換頻度等の知見を得るために、2000年2月から2001年4月までの約14ヶ月間、第1浄水場にて鉄バクテリアによる実証実験をおこなった。

2.1 斑鳩町の原水性状

原水である地下水の水質を第3表に示した。鉄、マンガンおよびアンモニア性窒素、さらに過マンガン酸カリウム消費量や E_{260} といった有機物質が高く、トリハロメタン生成能が高い値を示している。トリハロメタン生成能の各成分比はクロロホルム生成能が19%、ブロモジクロロメタン生成能が29%、ジ

ブロモクロロメタン生成能が37%、ブロモホルム生成能が15%で、ブロム系トリハロメタンの生成能が高い割合である。

その他の特徴としては、硫化水素が検出されている。溶性ケイ酸は、その濃度から曝気によるコロイダル鉄の生成はないと思われる。

2.2 実験方式と実験装置仕様

原水の性状から、原水調整槽で曝気によるDO供給と硫化水素の除去をおこなった後、自然ろ過槽で鉄バクテリアによる鉄とマンガンの酸化および硝化菌によるアンモニア性窒素の硝化によりこれらの物質を除去し、後段の生物活性炭ろ過槽で有機物質の低減をおこなう実験方式とした。

装置諸元を第4表に示した。なお、自然ろ過槽は2系列設置し、ろ過速度の影響などの比較検討をおこなった。

2.3 自然ろ過処理の実験結果

2.3.1 ろ過速度とろ過抵抗

ろ過速度は、70 m/日と130 m/日を基本に実験を

第3表 原水分析結果（斑鳩町）

Table 3 Result of raw water quality (Ikaruga cho)

Item	Raw water quality	Item	Raw water quality
Temperature (°C)	20.2 (15.0 ~ 26.3)	Total iron (mg/L)	1.08 (0.68 ~ 2.1)
pH (—)	7.5 (6.9 ~ 7.8)	Total manganese (mg/L)	0.345 (0.240 ~ 0.559)
Turbidity (unit)	3.3 (2.5 ~ 4.5)	Potassium permanganate consumption (mg/L)	4.7 (3.0 ~ 5.7)
Color (unit)	22 (16 ~ 26)	Soluble silicic acid (mg/L)	36.1 (35.3 ~ 36.8)
Ammonia nitrogen (mg/L)	1.23 (0.97 ~ 1.90)	Alkalinity (CaCO ₃ , mg/L)	131 (125 ~ 134)
Nitrite nitrogen (mg/L)	<0.005	Aluminium (mg/L)	<0.01
Nitrate nitrogen (mg/L)	<0.02	Hydrogen sulfide (mg/L)	0.040 (0.028 ~ 0.052)
THM-FP (mg/L)	0.080 (0.060 ~ 0.098)	Dissolved oxygen (mg/L)	<1.0
E_{260} (—)	0.049 (0.041 ~ 0.055)	ATU-BOD (mg/L)	<2.0

第4表 実験装置の諸元（斑鳩町）

Table 4 Specification of pilot filter (Ikaruga cho)

	Natural filter	Biological activated carbon filter
Filtration rate	70 m/d, 130 m/d	133 ~ 255 m/d
Size of filter	200 mmφ × 3 500 mmH (PVC)	100 mmφ × 5 000 mmH (PVC)
Media	Anthracite 1.5 mm 300 mmH Sand 0.6 mm 400 mmH Gravel 2 ~ 4 mm 50 mmH 4 ~ 7 mm 50 mmH 7 ~ 14 mm 100 mmH	Granular Activated Carbon 0.6 mm 1 500 mmH Mean diameter : 1.06 mm Effective size : 0.67 mm Uniformity coefficient : 1.76
Underdrain	Leopold underdrain 300 mmH	Disc type strainer 200 mmH

おこなった。なお、生物を利用した処理法であるので、馴養のため低いろ過速度から実験を開始し徐々に上昇させた。

70 m/日のろ過速度で1回/3日の頻度で洗浄を実施した時の、洗浄後から、ろ過継続に伴い上昇するろ過水頭は平均400 mmAq程度で、最大700 mmAqであった。130 m/日で1回/2日の頻度で洗浄を実施した時は、最大700 mmAq程度の上昇であった。

2.3.2 鉄バクテリア

本地下水に存在する鉄バクテリアを調査した結果、*Leptothrix* sp. (レプトスリックス属) と *Siderococcus* sp. (シデロコックス属) が検出された。

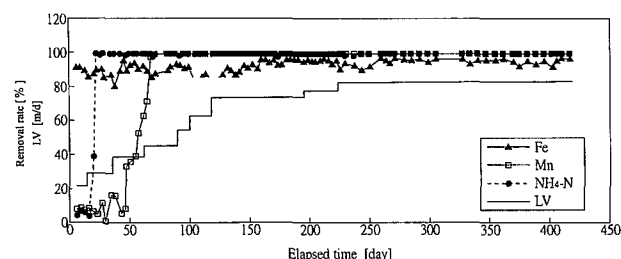
2.3.3 自然ろ過処理性能

ろ過速度が70 m/日における、実験開始からの鉄、マンガンおよびアンモニア性窒素の自然ろ過による除去状態を第5図に示した。

鉄は実験開始初期から良好に除去され、続いてアンモニア性窒素、マンガンの順に除去能力を発揮した。鉄は90 %程度の除去率を、マンガンとアンモニア性窒素は馴養後はほぼ完全な除去状態を実験期間中継続した。

130 m/日での除去状態も同等であり、このろ過速度の範囲では処理性能への影響は認められなかった。

硫化水素は曝気により70 %程度除去され、さらに自然ろ過処理水では0.005 mg/L以下に除去された。鉄は自然ろ過水では水質基準値の0.3 mg/L以下であるが0.07 mg/L程度残留するため、鉄に起因する色度と濁度が水質基準値を超える場合があった。また、過マンガン酸カリウム消費量やトリハロメタン生成能、有機性色度などの有機物質については自然ろ過処理では低減することが出来なかった。



第5図 自然ろ過処理状態
Fig. 5 The removal of chemicals and LV

2.4 生物活性炭ろ過処理の実験結果

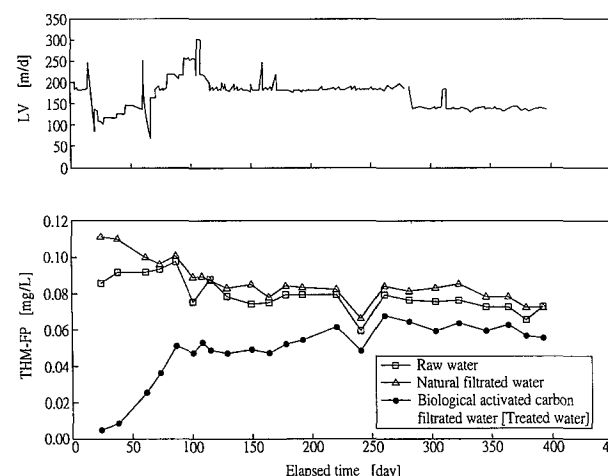
2.4.1 ろ過速度とろ過抵抗

ろ過速度は、実験装置フロー上、前段の自然ろ過のろ過速度で制限される。当初、自然ろ過の2系3の処理水を混合し生物活性炭ろ過原水としていたが実験開始後20日目頃に70 m/日のろ過速度を基本とする自然ろ過槽の処理水だけを原水とした。自然ろ過の馴養に伴い、生物活性炭ろ過速度を上昇させ、133~255 m/日を基本に実験をおこなった。1回/3日の洗浄頻度において、洗浄後からろ過継続に伴うろ過水頭の上昇はほとんど認められなかった。これは、前段の自然ろ過槽で鉄やマンガンが除去され、生物活性炭ろ過槽への流入物質が溶存性の有機物質が主体になったためと思われる。

2.4.2 生物活性炭ろ過処理性能

本実験フローでは薬品を極力使用せず、消毒用として次亜塩素酸ナトリウムだけを注入する。酸化剤としての次亜塩素酸ナトリウムは使用しないので、ろ過槽の流入水に遊離塩素が含まれず、活性炭はろ過水に伴い表面に生物膜を形成し生物活性炭となる。それにより、①活性炭による吸着効果 ②活性炭内に繁殖する微生物による生物処理効果 ③活性炭の生物再生効果が期待される。

トリハロメタン生成能の除去状態とろ過速度を第6図に示した。トリハロメタン生成能は自然ろ過処理水が原水より高い値になっている。これは、生物処理によりトリハロメタン前駆物質である有機物質が低分子化されトリハロメタンの生成が促進されたためと推測される。



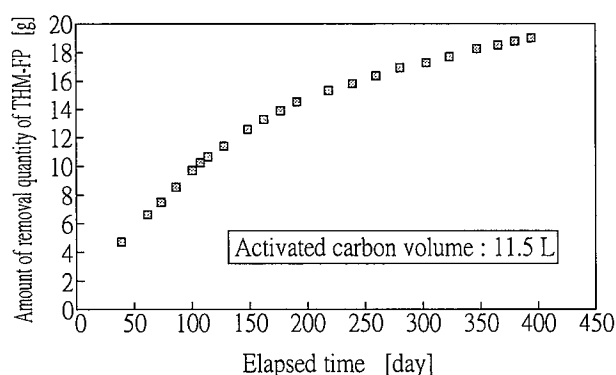
第6図 トリハロメタン生成能の除去状態とろ過速度
Fig. 6 The removal of THM-FP and LV of the biological activated carbon filter.

生物活性炭ろ過処理水は、実験開始時は低い値であるが、徐々に上昇し、90日経過後くらいから実験終了時までにはほぼ一定値を示した。実験開始時は活性炭の物理的な吸着効果による除去が主体であるが、この物理吸着効果は低下が早く処理水質は徐々に上昇していく。しかし、約3ヶ月後には生物活性炭の除去効果が発揮されるようになり、ほぼ一定の処理水質を示したものと考えられる。

通水日数とトリハロメタン生成能の積算除去量の関係を第7図に示した。生物活性炭の効果により実験期間中は良好な除去を得、活性炭を長期間使用出来ることが実証できた。しかし、積算除去量のカー

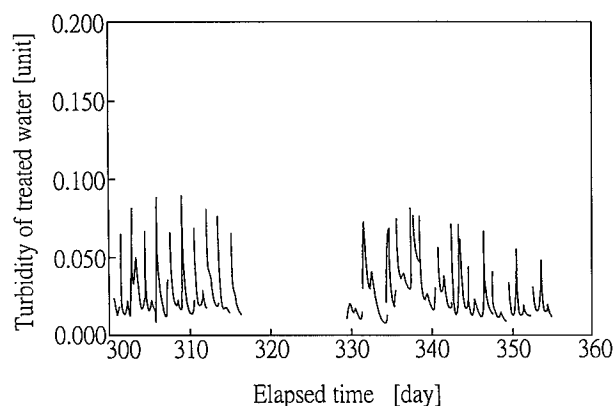
ブはろ過日数に伴い横這いになる傾向を示し、トリハロメタン生成能除去能力が低下していることを現している。活性炭の破過が近づいていると思われる。

この実験フローは自然ろ過処理、生物活性炭処理とも生物を利用したものであり、また凝集剤などの薬品を使用していないため、過剰な生物のリークやろ過層内の濁質の捕捉状態が危惧されるので、生物活性炭処理水の濁度をモニターし確認した。その結果を第8図に示したように、濁度は概ね0.05度以下で常に0.1度以下を示し、クリプトスポリジウム暫定指針に示される数値を満足したので、適切な洗浄



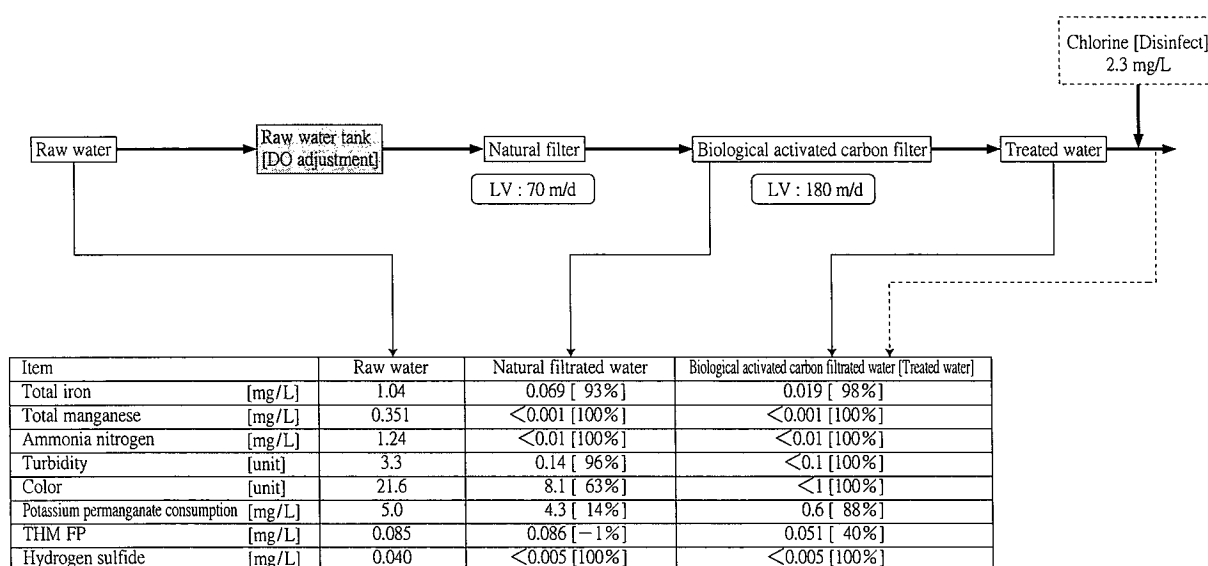
第7図 自然ろ過水に対するトリハロメタン生成能の積算除去率

Fig. 7 Amount of removal quantity of THM-FP biological activated carbon filtration rapid sand filtration



第8図 処理水濁度の経日変化

Fig. 8 Time course for turbidity



第9図 実験結果 (斑鳩町)

Fig. 9 Result of pilot plant (Ikaruga cho)

を実施すれば問題がないことが判った。

2.5 結果まとめ

「自然ろ過」+「生物活性炭ろ過」の二段処理方式での実験をおこなってきた。

結果を第9図に示したように、自然ろ過でマンガンとアンモニア性窒素は完全に除去され、鉄は93%の除去を得、水質基準を満足した。このわずかに残留する鉄により濁度と色度は水質基準を満足出来ず、過マンガン酸カリウム消費量やトリハロメタン生成能、有機性色度は除去できなかった。

自然ろ過水をさらに生物活性炭処理することで、鉄は98%除去され、濁度と色度も完全に除去された。過マンガン酸カリウム消費量は88%の除去率を得、トリハロメタン生成能は40%の除去率を得た。

このように生物を利用することで、消毒剤以外の薬品を使用せずに環境にやさしく、より安全で、安定して水質基準を十分に満足する「より自然でおいしい水」を得ることが出来た。

む す び

鉄バクテリアを利用した、薬品を極力使用しない生物利用型の本処理法は、原水の条件さえそろえばまさしく理想的な「自然ろ過」処理である。維持管理が容易であり、発生汚泥の低減や建設費・用地スペースの削減および運転費の削減などメリットも多い。

本稿では、鉄、マンガンを除去する鉄バクテリアとアンモニア性窒素を除去する硝化菌が自然ろ過槽内で同時に生息し、これらの除去が一つのろ過槽で可能であることを実証した。

また、高濃度の鉄や有機物質に対しても、この自然ろ過に急速ろ過や生物活性炭ろ過を付加して、二段処理とすることで処理可能であることを実証し、より多様な原水への対応が可能であることを確認した。

これらにより、今後ますます本処理法の普及が期待されるところである。

[参考文献]

- 1) 小島貞男：用水と廃水（生物をつかった除鉄・除マンガン処理），Vol.14, No.6, (1972), p.59
- 2) 八木正一：用水と廃水（緩速ろ過維持管理上の問題点），Vol.11, No.4, (1969), p.11
- 3) 田村太喜男他：水道協会雑誌（鉄バクテリアを利用した生物ろ過法による地下水中の除鉄・除マンガンの開発），第68巻，第6号，(1999)，p.2
- 4) 三浦正紀他：水道協会雑誌（上向流式鉄バクテリア法による地下水の除鉄前処理システムー上向流連続移動床砂ろ過装置を利用した鉄バクテリア除鉄法の実施設への適用ー），第65巻，第6号，(1996)，p.22
- 5) 高尾清治他：用水と廃水（鉄バクテリアによる除鉄・除マンガン装置の機能性と小型装置の開発），Vol.42 No.2, (2000), p.5
- 6) 加藤善盛他：環境技術（鉄バクテリア利用法による地下水の鉄，マンガン処理），Vol.21, No.2, (1992) p.147

連絡先

中 町 眞 美 環境装置事業部
 環境本部
 技術部
 第6グループ
T E L 078 - 992 - 6532
F A X 078 - 992 - 6503
E-mail m.nakamachi@pantec.co.jp

阪神水道企業団 尼崎事業所

脱水機設備運転状況

HANSHIN WATER SUPPLY AUTHORITY
AMAGASAKI WATER TREATMENT PLANT Dehydrator
facility operation condition



(環)環境本部技術部第3グループ
石 原 純
Jun Ishihara

阪神水道企業団尼崎事業所の設備更新に際し、当社では電気浸透式加圧脱水機および造粒乾燥機を主とした脱水機設備を納入し、2001年4月より運転を開始した。脱水ケーキ含水率は約55 %、乾燥ケーキ含水率は約25 %と安定した性能を発揮している。

With replacement of facility of the AMAGASAKI WATER TREATMENT PLANT, HANSHIN WATER SUPPLY AUTHORITY introduces dehydrator facility based on electroosmosis style pressure dehydrator and granulation drier, and it has been operating since April, 2001. The performance that it stabilized dehydrated cake water content about 55 % and stabilized dried cake water content with about 25 % is demonstrated.

Key Words :

電 気 浸 透 脱 水
造 粒 乾 燥
有 効 利 用

The electroosmosis dehydration.
The granulation drying.
The effective utilization

ま え が き

近年、浄水場にて発生する脱水ケーキの有効利用について模索が始まっている。また、河川の水質変動および高度浄水処理の採用により脱水効率が低下することが多い。阪神水道企業団では尼崎事業所の更新にともない、排水処理設備検討部会を1997年に発足し、約2年間の検討の結果、電気浸透式加圧脱水機の導入を決定した。同時に造粒機構付きの間接加熱形乾燥機を導入し、脱水ケーキの有効利用を実施することとなった。本報では、当社にて納入した電気浸透式加圧脱水機および造粒機構付き間接加熱形乾燥機の運転状況について報告する。

1. 電気浸透式加圧脱水機導入の経緯

阪神水道企業団は阪神間の各都市に日量1 289 900 m³の水道用水を供給している。

尼崎事業所は、1942年に全国に先駆けて浄水処理を開始した浄水場で、効率型沈澱池の導入や、天乾燥池を用いたスラッジ処理など、浄水技術に偉大な足跡を残した。しかし、1997年の阪神・淡路大震災で設備全体に被害を受け、設備耐震性向上を進めるために設備全体の整備をおこなうことになった。その際、排水処理設備の更新に際して、スラッジ状の変動に柔軟に対応できること、脱水性能がよ設備がコンパクトになることなどの理由から電気

透式加圧脱水機を導入するに至った。

同時に環境に配慮し、従来産業廃棄物であった発生ケーキを有価物化し、農園芸土に有効利用するために、造粒機構付き乾燥機を導入するに至った。

2. 設備概要

2.1 浄水場の構成

尼崎浄水場は環境に配慮した設備構成となっている。

まず、浄水場で使用する電力の一部を浄水場内で発電し、発電時に発生する排熱を有効利用するガスコージェネレーションシステムを採用している。発電量は場内使用電力量の増減に対応し、必要な電力を発電している。

また、ガスエンジンの排気熱を利用した排熱ボイラーにて蒸気を発生させ、乾燥機にて脱水ケーキを乾燥させることで農園芸用土として再利用するとともにスラッジの加温をおこない、脱水効率の向上による設備のコンパクト化を推し進めている。

2.2 排水処理設備の構成

第1図に設備のフローを、第1表に設備仕様を示す。

排水処理設備は

- ① 脱水機
- ② スラッジ打込ポンプ
- ③ スラッジ貯留槽
- ④ 受水槽
- ⑤ コア洗浄ポンプ
- ⑥ ろ布洗浄ポンプ
- ⑦ 空気圧縮機
- ⑧ 空気槽
- ⑨ ケーキコンベヤ
- ⑩ 脱水ケーキホッパ
- ⑪ ろ液移送ポンプ
- ⑫ 乾燥機
- ⑬ 混練機

⑭ ケーキコンベヤ

⑮ 換気設備（送風機・排風機・エアヒータ）

⑯ ウォータースクラバ

⑰ 乾燥ケーキホッパ

から構成される。

2.3 設備のフロー

濃縮槽で自然沈降濃縮されたスラッジはスラッジ貯留槽に貯留され、加温設備により昇温される。脱水機が起動すると、打込工程に入り、スラッジ打込ポンプで、スラッジは脱水機へ打ち込まれる。この際の打ち込み圧力は0.5 MPaである。打込工程が終了すると、スラッジ打込ポンプは停止し、圧搾工程に移る。

必要に応じて通電開始時間を設定し、ろ室内に直流電気を印加することで、脱水効率が向上する。圧搾工程終了後、脱水機内の洗浄をおこない、脱水ケーキを機外に排出する。排出された脱水ケーキはケーキコンベヤで脱水ケーキホッパへ送られる。1日の脱水処理が終了すると、ろ布を洗浄し、脱水機は停止する。

打込工程時間、圧搾工程時間および通電開始時間は外部タイマーにて設定され、スラッジ濃度に応じて変更することで効率のよい脱水が可能となる。

脱水ケーキホッパに貯留した脱水ケーキは、切出装置にて定量供給され、混練機へ投入される。

混練機にて均一に練られた脱水ケーキは乾燥機に投入される。

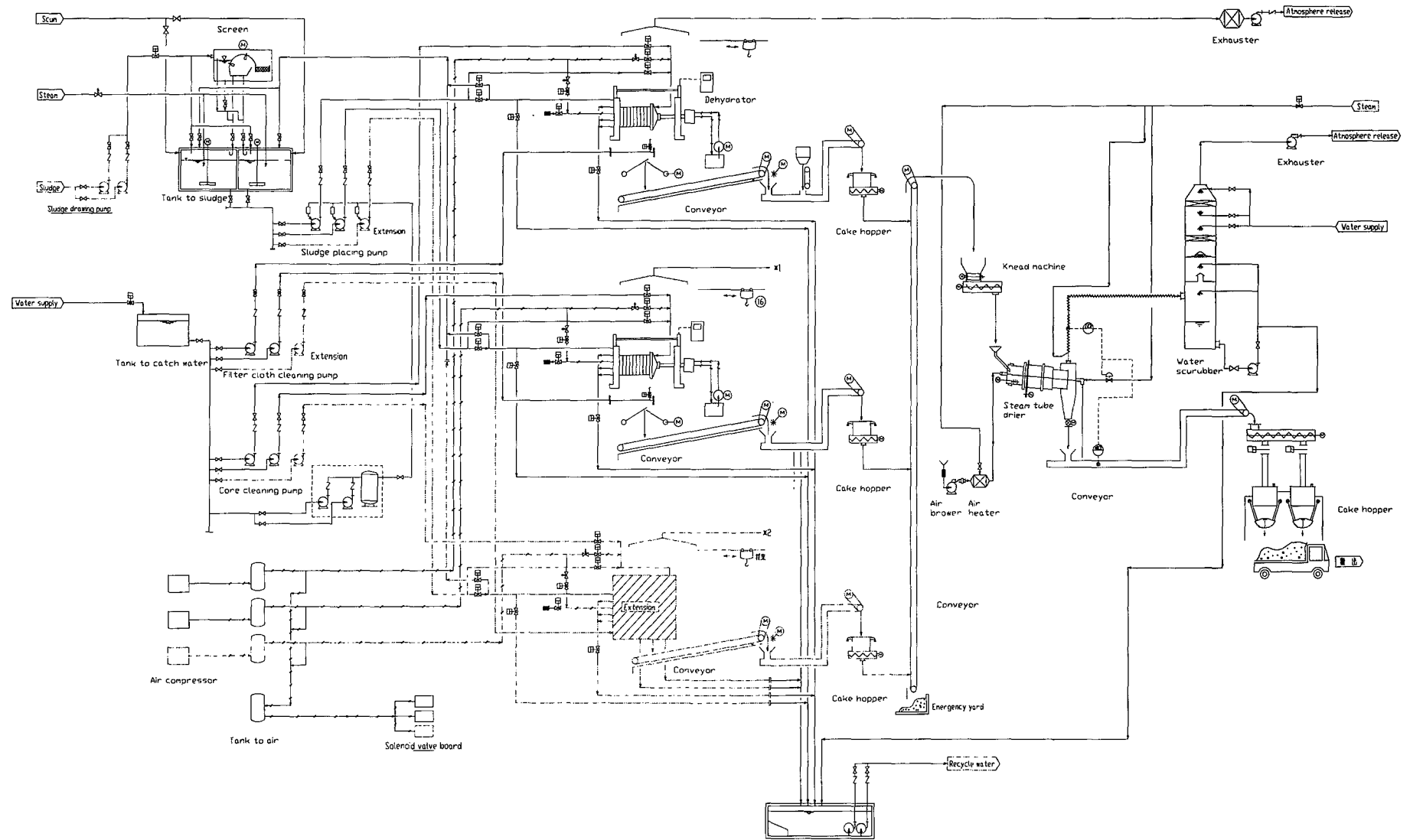
乾燥機が一定速度で回転することで、脱水ケーキは直径約5 mm程度の粒径に造粒される。

乾燥機内部は、排熱ボイラーから供給される蒸気が密封された配管からの放熱で約100℃に加熱されており、脱水ケーキ中の水分を蒸発させる。安定した含水率の乾燥ケーキを得るために乾燥機出口温度を一定に保つ制御をおこなっている。

乾燥した脱水ケーキはケーキコンベヤにて移送さ

第1表 設備の基本条件
Table 1 Design conditions

Treatment capacity	186 500 m ³ /d (Before the extension) 373 000 m ³ /d (After the extension)
Solid generation	7.77 t/d (Before the extension) 15.55 t/d (Before the extension)
Operation time	7.5 h/d×5 d/week (Dehydrater) 24 h/d×7 d/week (Drier)
Sludge concentration	6.1 % (Normal)
Cake moisture concent	60 % (Dehydrated cake) 35 % (Drying cake)



第1図 設備フロー
Fig. 1 Facility flow

れ、乾燥ケーキホッパに貯留される。

乾燥ケーキは有価物として場外へ搬出され、農園芸用土の間隙材に再利用される。

2. 4 電気浸透式加圧脱水機

脱水機は、電気浸透式加圧脱水機でろ板寸法1500mm×1500mmであり、1台あたり80室である。ろ過面積は288.8m²で、ろ室容積は3.61m³である。

ろ室内に直流電圧印加設備を設けたフィルタープレス型脱水機である。写真1に、脱水機の外観を示す。

2. 5 乾燥機

乾燥機は、間接加熱形スチームチューブドライヤーで、外径1.3mの円筒状乾燥機である。長さは7mで乾燥機自体の自転により、内部のケーキが転動効果により整形される。また、粒径を均一化するための解砕機がケーキ投入部に設置されている。写真2に、乾燥機の外観を示す。

2. 6 ガスコージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムは、商用電力不足分をおぎなう形で発電をおこなう。浄水場内の必要負荷に応じて、発電量を自動的に制御するシステムとなっている。発電用エンジンは、天然ガスを使用することで、排気ガスによる大気汚染を防ぐ配慮がなされている。ガスエンジンは2台設置されており、発電量は最大1000kWである。

天然ガスの燃焼エネルギーを有効利用するために、エンジンの排気熱を利用した排熱ボイラーが設置されており、ボイラーにて発生した蒸気は、浄水場内の空調用や乾燥機およびスラッジ加温の熱源として利用している。

2. 7 スラッジ加温設備

本設備は、電気浸透効果とともに、スラッジ温度を上昇させることで、脱水効率を向上させ、脱水機のコンパクト化を図っている。排熱ボイラーで発生した蒸気を、スラッジ貯留槽内に注入し、スラッジ貯留槽内のスラッジ温度を上昇させる。1時間あたり約1℃の温度上昇が可能となり、常時40℃以上のスラッジを処理することができる。

また、クリプトスポリジウムが発生した場合、排水処理設備にて回収された浮上懸濁物を80℃まで昇温殺菌することが可能となっている。

3. 運 転 結 果

3. 1 脱水機運転結果

3. 1. 1 スラッジ濃度による変化

第2図にスラッジ濃度とろ過速度の関係を示す。

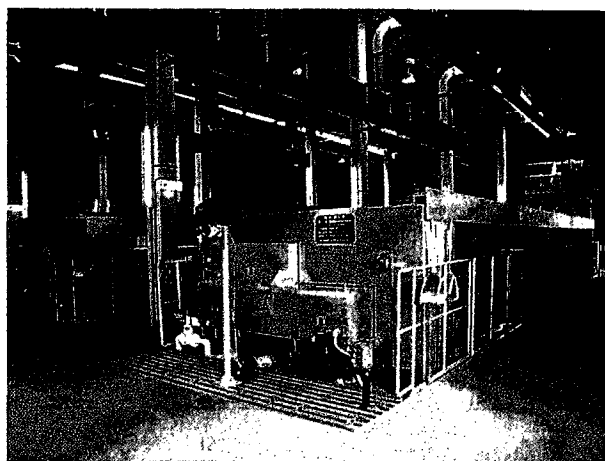


写真1 電気浸透式加圧脱水機外観

Photo 1 Pressurized Electroosmotic Dehydrator appearance

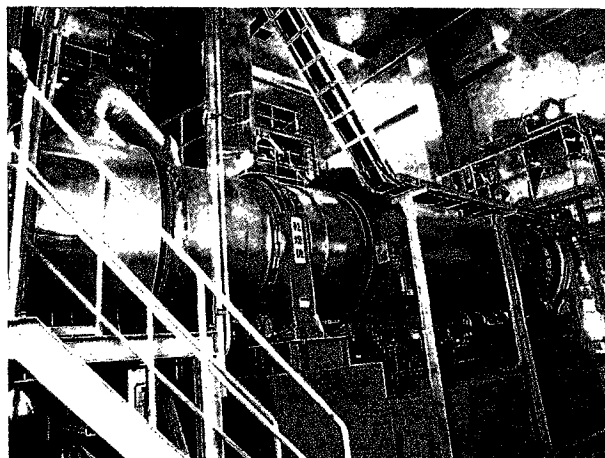
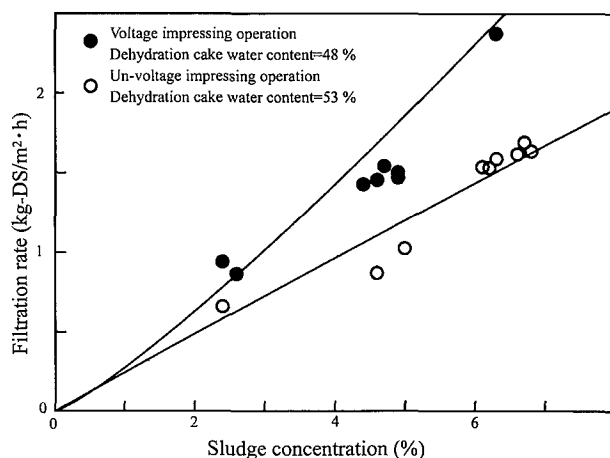


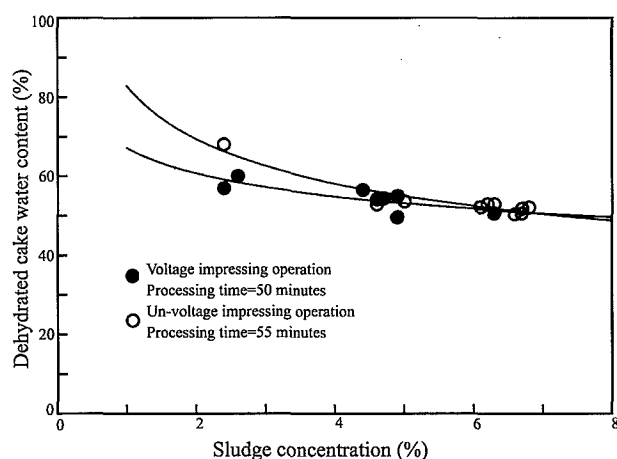
写真2 乾燥機外観

Photo 2 Drier appearance

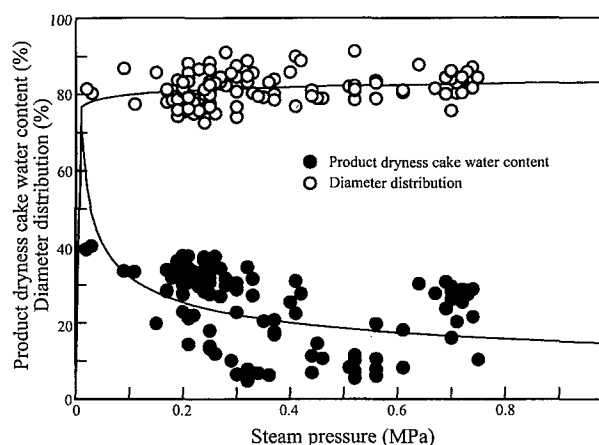


第2図 スラッジ濃度とろ過速度の関係

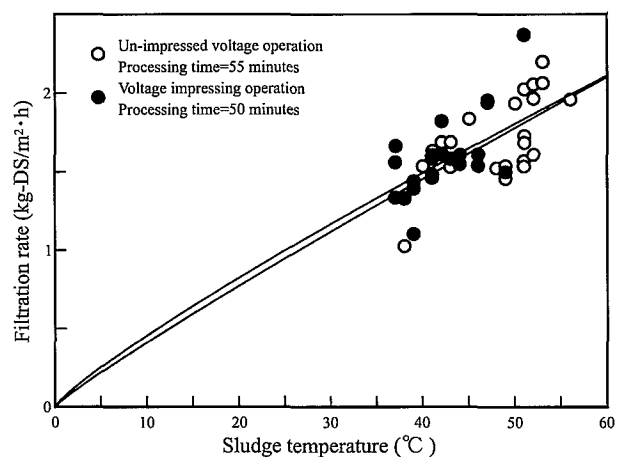
Fig. 2 Relationship between sludge concentration and filtration rate



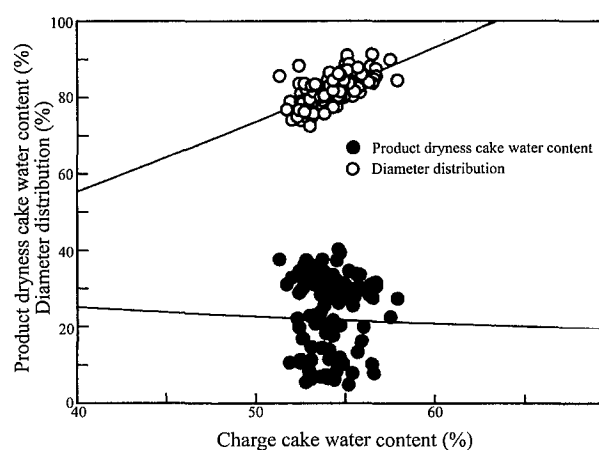
第3図 スラッジ濃度と脱水ケーキ含水率の関係
Fig. 3 Relationship between sludge concentration and dehydrated cake water content



第5図 蒸気圧力と製品の関係
Fig. 5 Relationship between steam pressure and product



第4図 スラッジ温度とろ過速度の関係
Fig. 4 Relationship between sludge temperature and filtration rate



第6図 投入ケーキ含水率と製品の関係
Fig. 6 Relationship between charge cake water content and product

濃度の上昇とともにろ過速度は上昇し、スラッジ濃度約6%において、ろ過速度 $2.37 \text{ kg-DS/m}^2 \cdot \text{h}$ が得られた。また、スラッジ濃度にかかわらず、電気浸透効果によりケーキ含水率が約5%低下するにも関わらず、ろ過速度が約10%向上することがわかる。

第3図にスラッジ濃度と脱水ケーキ含水率の関係を示す。電気浸透効果により、スラッジ濃度に関係なくケーキ含水率が約5%低下することがわかる。なお、低濃度時の性能確認が十分におこなうことができなかったため、今後継続して性能確認をおこなう予定である。

3. 1. 2 スラッジ温度による変化

第4図に電気浸透脱水における、スラッジ温度とろ過速度の関係を示す。

スラッジ温度の上昇とともに、ろ過速度が上昇し、スラッジ温度約35℃と比較すると、スラッジ温度

を50℃とすることで約50%ろ過速度が上昇することがわかる。

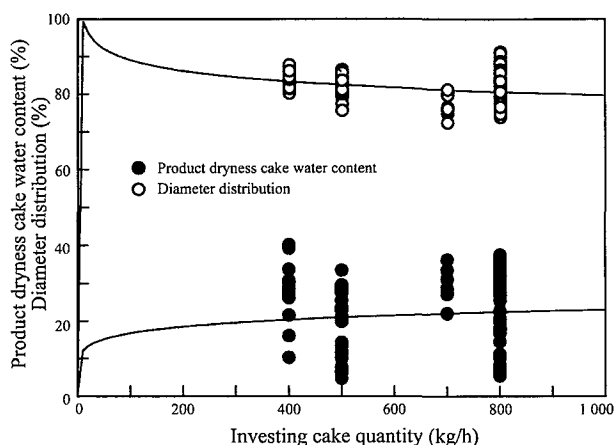
3. 2 乾燥機運転結果

乾燥機の性能を変化させる要因として、供給蒸気量、投入ケーキ量、そして投入ケーキ含水率がある。

3. 2. 1 供給蒸気量による変化

コージェネレーションシステムより供給される蒸気量は、発電機の負荷変動により変化する。期間中の発電機負荷率の最大値は100%、最小値は30%であった。このことは、乾燥機に投入される蒸気の力が変動することを意味する。

第5図に、供給蒸気圧力に対する製品含水率および粒径加積の変化を示す。粒径分布は供給蒸気量による変動が少ないが、製品含水率は供給蒸気量による変動が明確にあらわれ、供給蒸気量が0.2 MPa下回ると製品含水率が35%を上回ることがわかる。



第7図 投入ケーキ量と製品の関係
Fig. 7 Relationship between investing cake quantity and product

3. 2. 2 投入ケーキ含水率による変化

第6図に、投入ケーキ含水率に対する製品含水率および粒径加積の変化を示す。製品含水率は投入ケーキ含水率による変動が少ないが、粒径分布は投入ケーキ含水率による変動が明確にあらわれ、投入ケーキ含水率が50%を下回ると粒径分布が80%を下回ることがわかる。

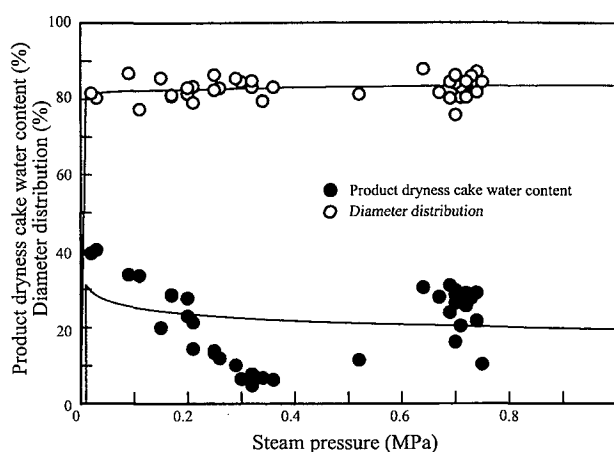
3. 2. 3 投入ケーキ量による変化

第7図に、投入ケーキ量に対する製品含水率及び粒径加積の変化を示す。投入ケーキ量と製品含水率および粒径加積には明確な相関性がないことがわかる。そこで、第8、9図に投入ケーキ量別の供給蒸気量による製品の変化を示す。供給蒸気量により、投入ケーキ最適量が変化することがわかる。前述のとおり、発電機負荷率は変動することを考慮すると、投入ケーキ最適量は400 kg/h であるといえる。

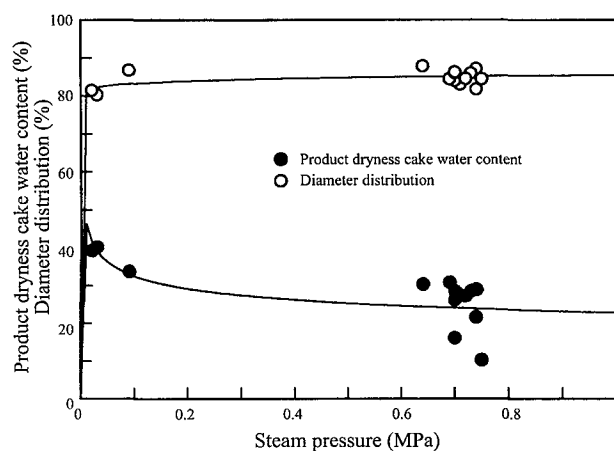
むすび

本脱水機設備は、2001年4月より処理を開始して以来、大きなトラブルもなく順調に安定した運転をおこなっている。この運転結果より、次のことが確認できた。

1) 電気浸透効果およびスラッジ加温効果により、



第8図 投入ケーキ量=500 kg/h における蒸気圧力と製品の関係
Fig. 8 Relationship between steam pressure and product at the =500 kg/h cake quantity



第9図 投入ケーキ量=400 kg/h における蒸気圧力と製品の関係
Fig. 9 Relationship between steam pressure and product at the =400 kg/h charge cake quantity

スラッジ濃度の変動にもかかわらず、脱水ケーキ含水率50%から60%の安定した処理が可能である。
2) 乾燥機出口温度制御と投入ケーキ量を制御することで、供給蒸気量の変動にかかわらず、安定した製品を得ることができる。

連絡先

石 原 純 環境装置事業部
環境本部
技術部
第3グループ
TEL 078 - 232 - 8102
FAX 078 - 232 - 8057
E-mail j.isihara@pantec.co.jp

流動解析をもちいた圧力式ろ過器の改良

Improvement of pressure type filter through flow analysis



(環)生産本部設計部官需第1グループ
正 木 洋 一

Yoichi Masaki

(環)生産本部設計部機器グループ
室 井 治

Osamu Muroi

(環)生産本部工務部官需第1グループ
松 本 好 一

Koichi Matsumoto

圧力式ろ過器において、槽内の流路長さが短くろ過速度が大きい場合、ろ材の流動、盛上がりが発生し、処理性能が低下する。この問題解決のために、当社では流動解析をもちいて、原水流入管形状の最適化をおこなった。流動解析は、ろ過器槽内解析と原水流入管の均等分散解析の2段階でおこなった。その結果、多孔式流入管をもちいることによりろ材の流動、盛上がりが抑制された。これは、実装置におけるろ過速度30 m/hでの運転で証明された。

Filter media migrate and build-up in a pressure type filter with short flow length and high filtration velocity, causing low treatability. To solve this problem, numerical flow analysis was conducted for improvement of inlet pipes. The analysis included two stages; for flow inside the tank and flow distribution of inlet pipe. Porous pipes could inhibit migration and build-up of media. This was proved with the full-scale filter unit at filtration velocity of 30 m/h.

Key Words :

ろ 過 器
ろ 材 流 動
数 値 解 析
多 孔 流 入 管

Filter
Migration of filter media
Numerical analysis
Porous inlet pipe

ま え が き

水処理設備において原水中の浮遊物、懸濁粒子の除去のためにろ過操作がもちいられるが、その中でも100 m/日以上ろ過速度で砂などの粒状ろ材層を通過させる急速ろ過法が最も多用されている。急速ろ過装置には、池内に自由水面を持ち流入側と流出側との水頭差を利用する重力式ろ過器、密閉構造であり外殻に内圧がかかる圧力式ろ過器がある。圧力式ろ過器には、たて型と横型がある。たて型ろ過器には、ろ材厚さを厚くできること、設置面積が小さ

いなどの利点があり、横型ろ過器にはたて型ろ過器に比べて装置高さが低くなること、ろ過面積が大きくとれるといった利点がある。一般的にたて型ろ過器が多くもちいられるが、装置の高さ制限がある場合や処理量を多くしたい場合には横型ろ過器がもたれている。

圧力式ろ過器において原水流量が増加すると、ろ過器内壁から中央部分にかけて大きな循環流が生じろ材表面速度が大きくなるため、ろ材が流動し、中央に盛り上がる現象が発生する。ろ材の盛り上が

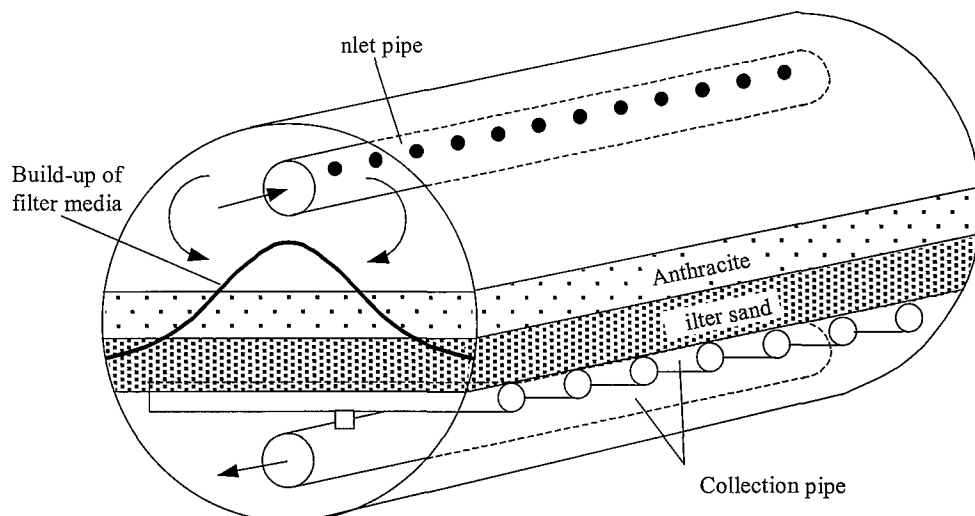
が起これると、原水はろ材厚さの薄い部分を集中的に流れるため、全体として処理性能の低下を招く。この問題を解決するには、槽内ろ材の流動をおこす流れを抑制して、槽内により均一な下向流を形成する原水流入管形状にする必要がある。今回、原水流入管の形状決定のため流動解析を実施し、実機テストと合わせて良好な結果を得ることができたので報告する。

1. 砂ろ過器ろ材流動と流動解析

これまで当社は、たて型と横型を合わせて数多くの圧力式ろ過器を納入してきた。しかし、横型ろ過器においてろ過速度が大きい場合、ろ材の流動が起これり、中央部に山脈状に盛り上がる現象が発生した。この解決には原水流入管形状を改良し、槽内での循環流を抑制し、均一下向流を形成する必要がある。

ここで実機テストでは、装置規模が大きいこと、既に装置が稼動中であること、高額のコストを要することなどの理由で試行回数が限られてくる。これに対して流動解析では、モデル形状変化や条件設定をコンピュータ上で比較的容易におこなうことができるので、製品の構造設計には非常に有効である。そこで今回、原水流入管改良の方向付け、形状決定に際して流動解析を実施した。

本報では、例としてφ3 200mm 横型ろ過器について報告するが、この他にφ2 400mm 横型ろ過器についても同様の方法で解析をおこなった。φ3 200mm 横型ろ過器の概略図を第1図に示す。原水は上部原水流入管より流入、各噴孔から吐出し、ろ材を上から下へ通過してえられた処理水は下部集水管より流出する。ろ材はアンスラサイト、ろ砂の2層式である。



第1図 φ3 200mm 横型ろ過器概略図

Fig. 1 Model of the φ3 200mm horizontal filter equipment

2. 流動解析手法

今回、流れ場は3次元非圧縮性乱流として定常解析をおこなった。解析手法として、流動解析で最も多くもちいられている有限差分法をもちいた。乱流モデルにはk-εモデルをもちいた。使用した数式は以下のとおりである。

質量保存式

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

運動量保存式

$$\frac{\partial p U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i p U_i}{\partial x_i} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_i} - p u_i u_j \right] \quad (2)$$

乱流エネルギーと粘性消散率の輸送方程式

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_s + G_r - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right]$$

$$+ C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_s + G_r) (1 + C_3 R_f) \quad (4)$$

$$- C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k}$$

レイノルズ応力項は次式(5)、(6)のとおりである。

$$u_i u_j = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - \mu_t \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \quad (5)$$

$$\mu_t = C_t \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

ただし各記号の意味は次式(7)~(10)のとおりである。

$$G_s = \mu_t \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

$$G_r = g_i \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$R_f = \frac{G_r}{G_s + G_r} \quad (9)$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.0, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \\ C_3 = 0, \sigma_t = 0.9, C_t = 0.09 \quad (10)$$

式中の大文字は時間平均項を示す。ただし、各記号の意味は以下のとおりである。

- ρ : 流体密度 [kg/m³]
- μ : 粘性係数 [Pa·s]
- β : 体積膨張率 [1/°C]
- g_i : 重力加速度 [m/s²]
- k : 乱流エネルギー [m²/s²]
- P : 圧力 [Pa]
- T : 流体温度 [°C]
- U_i : 時間平均流速 [m/s]
- u_i : 瞬間流速 [m/s]
- x_i : 座標位置 [m]
- σ_{ij} : 応力テンソル [—]
- ε : 粘性消散率 [m²/s³]
- μ_t : 渦粘性係数 [Pa·s]

以上の方程式を汎用熱流体解析コードをもちいて連立させて解き、流速分布をもとめた。解析は、槽内断面流れ把握のための槽内解析と、流入管長手方向の噴出吐出量均等性把握のための均等分散解析の2段階でおこなった。

3. 槽内解析

3.1 槽内解析モデル

槽内解析モデル(改良前)を第2図に示す。解析領域はろ過器断面の1/4、奥行き方向は噴孔間隔の2倍(P90×2=180 mm)とした。槽内壁は壁面粘性条件、中央断面は対称条件とし、奥行き両端面はすべり条件とした。流入条件として原水流入管噴孔に速度を与え、ろ材下側を自由流出条件とした。

ろ材について、ろ過抵抗としてアンスラサイト、ろ砂それぞれのろ材抵抗と等しい圧力損失効果のあるパネルを設けた。流入管モデルの概略図を第3図

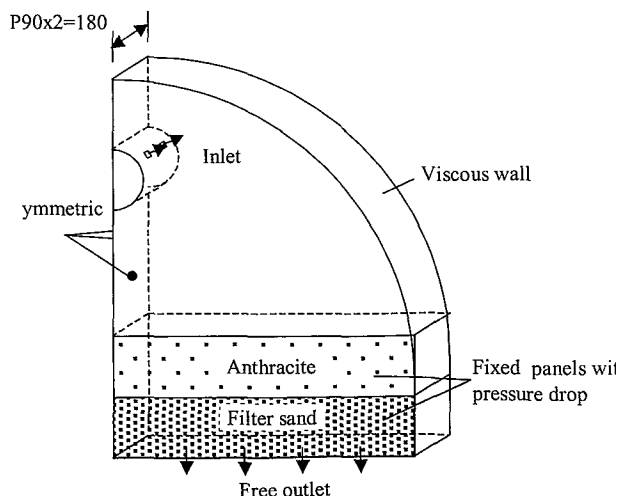
に示す。①改良前モデルでは、φ30穴の吐出角度が120°で配置されている。流入管改良案のうち代表的な2例を次の②③に示す。②多孔式モデルは、真下を除いた周方向11穴である。噴孔径は後述の均等分散解析により決定した。③は改良前モデルの流入管まわりを整流板で囲ったもので、開口率は横と下でことなる。長手方向の噴孔ピッチ、噴孔数は等しい。すべて原水流量は等しく、LV=30 m/hである。

3.2 槽内解析結果

①改良前および②多孔式の場合の流速ベクトル、流速分布図をそれぞれ第4図(a)、(b)に示す。①改良前では、噴流が内壁に衝突し、沿う流れが強く、槽内に大きな循環流が発生していることがわかる。この循環流がろ材流動をおこしていると思われる。これに対し②多孔式の場合には、槽内壁に沿う流れは弱く循環流もほとんど発生しておらず、槽内には均一な下向流が形成されている。また槽内全体の流速も改良前と比べて大きく低下している。

ろ材流動有無の可能性は、ろ材表面流れのせん断方向(半径方向)速度で評価できる。第5図に、ろ材表面におけるせん断方向速度の最大値を示す。①改良前と比較して②多孔式、③整流板式ではろ材表面速度が1/5程度に抑制されている。

実機を用いた予備実験によると、①改良前モデルでLV=10 m/hのときにはろ材流動がおこらなかった。この結果より、流入管改良案の解析結果が①改良前モデルでLV=10 m/hの解析結果よりもろ材表面速度が小さければろ材流動がおこらないといえる。ここで示した②、③のすべての改良案では、LV=10 m/hよりも小さい値が得られており、こ



第2図 槽内解析モデル
Fig. 2 Analysis model of inside of tank

らの流入管改良案によりろ材流動，盛り上がり抑制が可能であると考えられる。

4. 均等分散解析

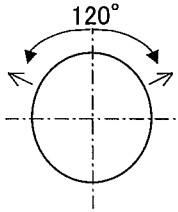
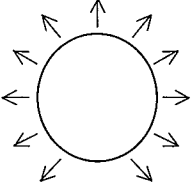
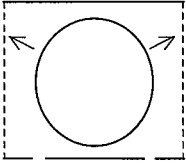
4.1 均等分散解析モデル

前述の多孔式流入管では，噴孔数が多く総噴孔面積が大きくなるので吐出量の長手方向における均等性が失われる。噴孔数は，周方向11穴で統一し，噴孔径を長手方向に段階的に変化させた。均等分散解析モデルを第6図に示す。原水が流入管周方向に均

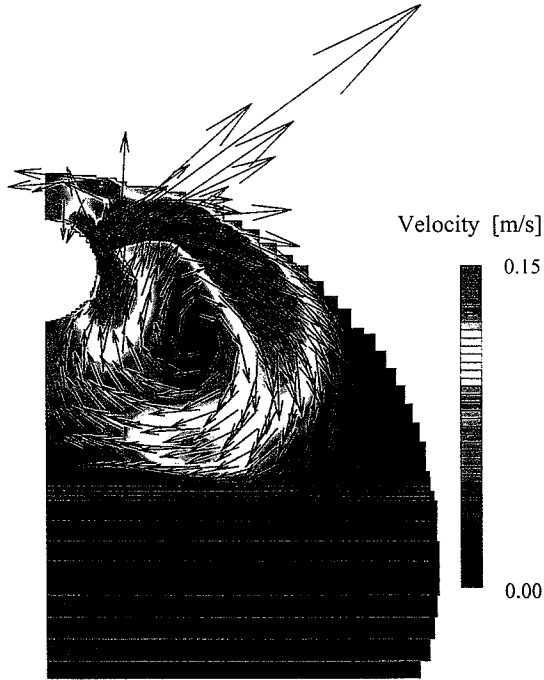
等に吐出しているとし，長手方向に対して1列の噴孔のみ計算対象とした。つまり，吐出量は全流入量の1/11となる。

4.2 均等分散解析結果

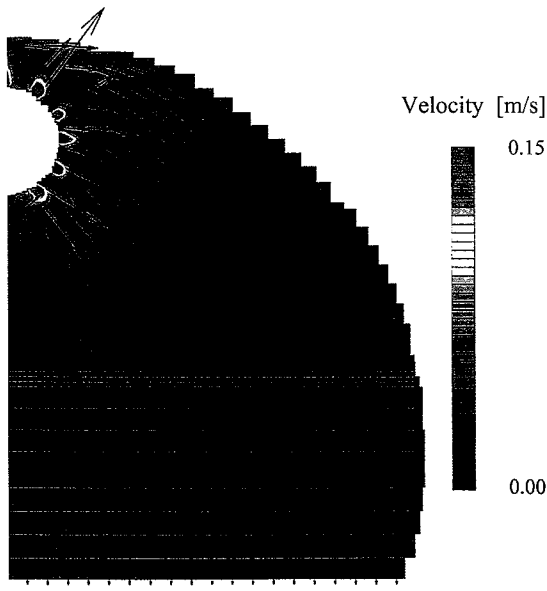
噴孔径を長手方向に変化させて最適な流入管形状を決定した。解析結果のうち最も均等性が得られたものを第7図に示す。図は長手断面の流速分布を示している。またこのときの噴孔断面平均速度，噴孔吐出流量を第8図に示す。この流入管では，流入側

①	②	③
		
Conventional pipe	Porous pipe	Conventional pipe in baffle
Orifice diameter = 30mm	Analysis of flow distribution in inlet pipe	Open area ratio (side) = 10~20% (bottom) = 1 ~ 10%
LV=30 m/h	LV=30 m/h	LV=30 m/h

第3図 流入管モデル
Fig. 3 Models of Inlet pipe



第4図 (a) 解析結果 (①改良前モデル)
Fig. 4 (a) Flow analysis- ①Conventional pipe



第4図 (b) 解析結果 (②多孔モデル)
Fig. 4 (b) Flow analysis- ②Porous pipe

から管先側にいくにしたがって、噴孔径を4段階で小さくなるように変化させた。第8図において流速を見ると、管先側にいくにつれて噴出速度が大きくなっており、流速についての均等性はえられていない。一方流量を見ると、流入側端を除いてほぼ均等性がえられている。均一な下向流を形成し、ろ材盛り上がり抑制するには、流量の均等性がより重要と考えられるため、流量が最も均等であったこの形状を最適と判断した。

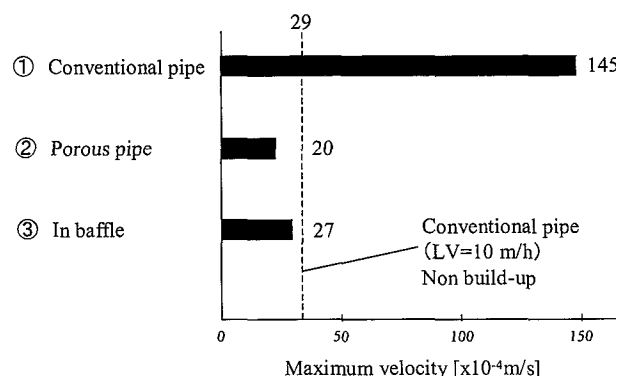
5. 実機通水テスト結果

φ3 200^{mm} 横型ろ過器について、本報で示した2つの原水流入管改良案を実機で通水テストをおこなった。その結果、多孔式ではろ材流動はほとんどなく、ろ材面は平坦であった。整流板式では、ろ材面はほぼ平坦ではあったが、部分的な凹凸が見られた。以上より、最もろ材流動の抑制効果が見られた多孔式を最終改良案とした。

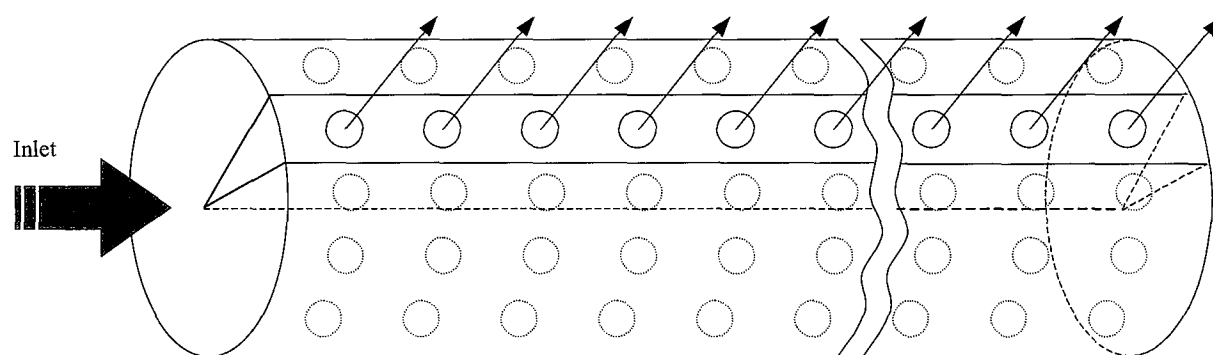
なお本報では記述しなかったが、φ2 400^{mm} 横型ろ過器についても本報と同様の解析をおこない、多

孔式流入管を採用した。

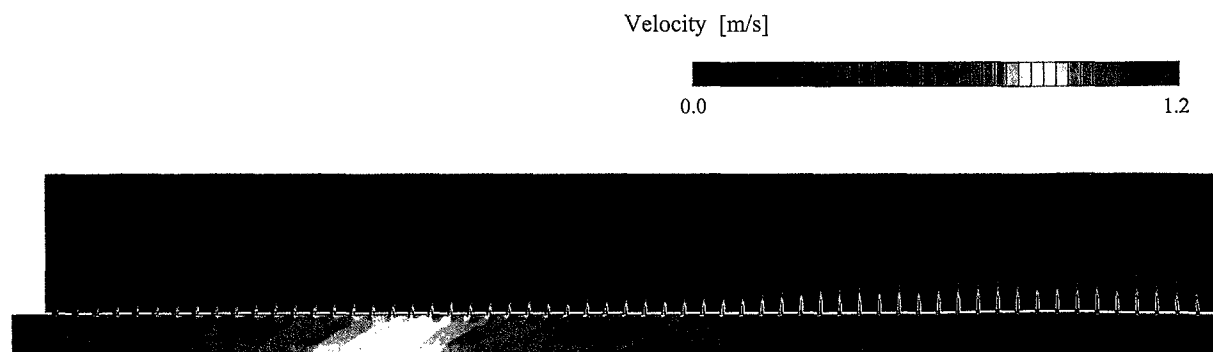
現在、問題は解決されLV=30 m/h という高いろ過速度においても順調に稼働している。またろ過器の差圧の上昇がゆるやかになり、それにともない、逆洗間隔も長くなった。



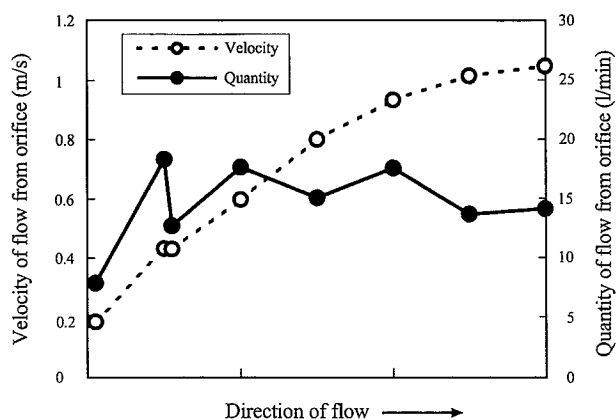
第5図 ろ材表面速度最大値
Fig. 5 Maximum velocity of flow on surface of filter media.



第6図 均等分散解析モデル
Fig. 6 Analysis model of dispersibility



第7図 長手方向流速分布
Fig. 7 Flow distribution in axial direction



第8図 長手方向均等分散性
Fig. 8 Dispersibility in axial direction

むすび

圧力式砂ろ過器のろ材流動抑制を目的とし、流動解析をもちいて原水流入管形状の最適化をおこなった。流動解析では、ろ過器内の流れを把握するための槽内解析と原水流入管形状の最適化を目的とした均等分散解析をおこなった。その結果、噴孔数を増やして噴出速度を抑え、噴孔径を長手方向に変化させて流量の均等性をえた多孔式流入管をもちいることによってろ材流動、盛上がりが抑制された。

圧力式ろ過器のろ材流動抑制技術を開発し、流動解析を用いた圧力式ろ過器の設計手法を確立した。今回考案した多孔式流入管をもちいることによって、 $LV=30 \text{ m/h}$ という高負荷における安定した処理が可能となった。

連絡先

正 木 洋 一 環境装置事業部
 生産本部
 設計部
 官需第1グループ
 TEL 078 - 232 - 8118
 FAX 078 - 232 - 8508
 E-mail y.masaki@pantec.co.jp

コンパクトな膜処理システム “FM モジュールシステム” の紹介

Introduction of a compact membrane module "FM module"



(技)第2研究開発部第4研究室
島田 光重
Mitsushige Shimada
松田 勉
Tsutomu Matsuda

当社は ROCHEM-UF Systeme 社（ドイツ）が製造するユニークな平膜モジュール“FM モジュール”の独占販売契約を締結した。FM モジュールは UF 膜から RO 膜まで処理目的に応じて膜種を選定できる。また封筒状平膜を多層に積層した構造となっているため、原水性状にあわせて膜間流路幅の変更が可能である。このような構造を有するため従来の膜モジュールに較べて耐 SS 性に優れており、前処理の大幅な簡略化を可能としたコンパクトかつメンテナンスが容易なシステムにすることができる。そのため省スペースを必要とする船舶の排水処理や SS 分が比較的多い排水処理に多くの実績を有する。さらに、FM モジュールと活性汚泥処理とを組み合わせた膜活性汚泥処理システムは、平膜でありながら逆圧洗浄が可能であることから、高濃度有機排水の高負荷活性汚泥処理が可能である。また外置型であるため、洗浄、メンテナンス性に優れる利点も有する。

Shinko Pantec has contracted exclusive distribution agreement of FM module with ROCHEM-UF systeme GmbH in Germany. FM module consists of flat sheet membrane cushions such like an envelope and the membrane type can be selected among from various UF to RO membranes to meet a treatment specification. The module is built by putting membrane cushion upon lower one physically so that the flow path (clearance between membrane cushions) can be adjusted for a various wastewater characteristics. This structure makes it possible to have more flexibility against water containing suspended solid compared with that of another conventional membrane module. Because of this, it is possible to eliminate pre-treatment facility such as sand filter and therefore this system can be built compact and maintenance reducing facility. There are many commercial facilities in the world, which require a small footprint and maintenance free such as gray water treatment in ship and wastewater containing suspended solid in a various industrial fields. Furthermore, back washing procedure from permeate side is available in spite of flat sheet membrane, so that an application of FM module to membrane bioreactor system which treats high concentration of organic wastewater is possible. The module also has great advantage both in maintenance and chemical cleaning since membrane module is set outside from a bioreactor.

Key Words :

膜 分 離
平 膜
船舶雑排水処理
排水処理
膜活性汚泥法

Membrane separation (filtration)
Flat sheet membrane
Gray water, Black water
Waste water treatment
Membrane bioreactor

まえがき

膜分離技術は、従来の分離技術よりも精密な分離性能、簡単な処理フロー、低いエネルギーコスト等の優れた特長を有しているため、浄水処理、用水処理、排水処理の他、さまざまな分離プロセスへ適用されている。しかし従来からの膜分離法では、膜モジュール内の閉塞やファウリングを防止しながら安定運転をおこなうために、凝集沈殿や砂ろ過に代表されるような大がかりな前処理を必要とするシステムが多く、必ずしも競争力があるシステムになっていない例が多い。

当社では、このような膜分離技術の問題を克服する ROCHEM-UF Systeme 社（ドイツ）が開発した平膜モジュール“FM モジュール”の販売提携契約を締結した。FM モジュールは封筒状平膜を多層に積層したユニークな構造となっている。処理目的に応じて限外ろ過（UF）膜から逆浸透（RO）膜に至る膜種を選定可能であると同時に、原水性状にあわせて膜間流路幅の変更も可能である。そのため、耐SS性に優れるという利点を持ち、しかも従来の膜分離装置に較べて前処理を大幅に簡略化できるため、コンパクトかつメンテナンスが容易なシステムにすることができる。

本稿では、FM モジュールの構造、FM モジュールシステムの概要と特長ならびにその適用性について解説する。

1. FM モジュールの構造

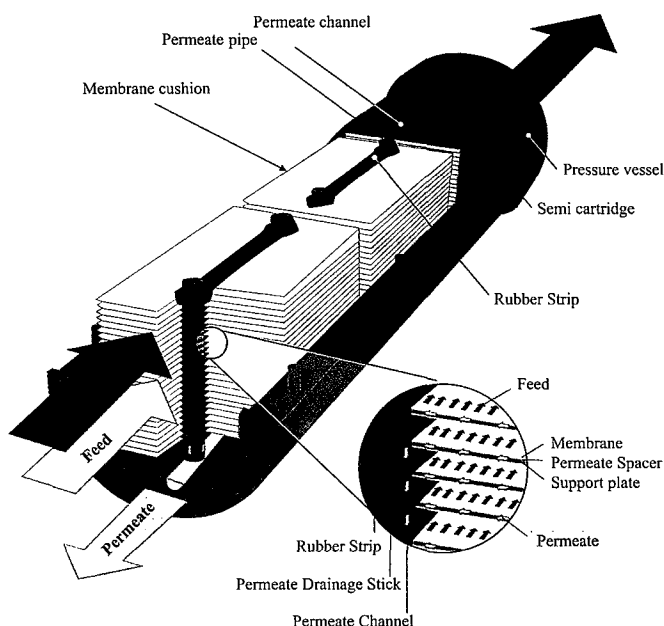
FM モジュールの構造図を第1図に、外観写真を写真1にそれぞれ示す。本モジュールは、標準的に5個あるいは10個のメンブレンカセットが直列に接続され、圧力容器内に収納されている。メンブレンカセットは、メンブレンクッションがスペーサーゴムと透過管を介して上下に重ねられ、2つの半割シェルの中に収められる。メンブレンクッションは、2枚のメンブレン、2枚の処理水スペーサー、および、1枚の支持板からなり、全周はシールされている。シールには超音波溶着が用いられている。各部の詳細について下記に示す。

1) メンブレンクッション（メンブレン、処理水スペーサー、支持板）

メンブレンクッションの構造図を第2図に示す。ABS樹脂製支持板の両面に、ポリエチレン製処理水スペーサー、平膜を各1枚ずつ重ね合わせ、外周部をシールしている。メンブレンクッションは100 mm×200 mmの矩形をしており、処理水流路用にφ10 mm 穴が2カ所設けられている。1枚あたり0.032 m²のろ過面積を有する。

2) スペーサーゴム

原水流路幅の確保とシール機能の2つの役割を果たす。スペーサーゴムの厚さは1.4 mm～3.0 mmで可変可能である。処理内容・原水性状により厚みを変更して原水流路幅を変更する。形状は、



第1図 FM モジュール構造図
Fig. 1 Schematic diagrams of FM module

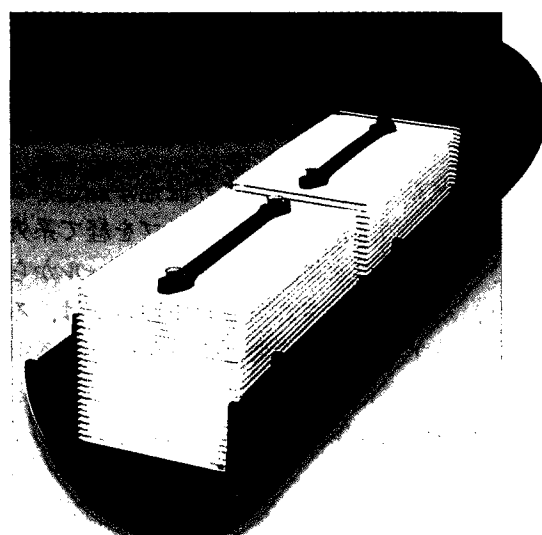


写真1 FM モジュール外観写真
Photo 1 Photograph of FM module

デッドスペースを小さくするため、メンブレンクッションの長手方向に2本の透過管間を結ぶ長細い形状となっている。これにより、逆圧洗浄時の膜の膨らみも抑制している。

3) 半割シェル

φ150×215 LのABS樹脂製で軽量化・再利用化が図られており、モジュール交換等のメンテナンス性が考慮されている。また、メンブレンカセット間、および、半割シェルはボルト・ナットのみで組み立てられており、容易に分解が可能な構造となっている。

4) 圧力容器

高圧処理用にはSUS304製、低圧処理用にはポリエチレン製を使用している。

原水はモジュール入口から流入し、モジュール内に充填される。濃縮水は、全量ろ過の場合は間欠的に、クロスフローろ過の場合は連続的に、モジュール入口と反対側にあるモジュール出口から排出される。メンブレンを通過して得られる処理水は、各処理水スパーサーから2本の透過管（処理水流路機構も兼ねている）に集められ、半割シェル内に設けられている処理流路を通過しモジュール外へ排出される。

2. FM モジュールシステムの概要

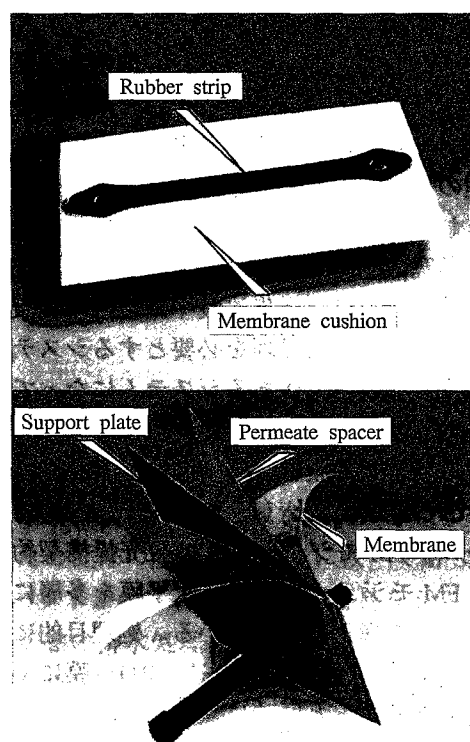
FM モジュールシステムの標準的なフローシート例を第3図に示す。クロスフロー方式と全量ろ過方式をシステム化している。

1) クロスフロー方式

本方式は、各種排水等固形分濃度が高くファウリングを起こしやすい原水に対して採用される。UF膜、NF（ナノろ過）膜、RO膜のそれぞれが用いられる。クロスフローによる膜面でのせん断力により、ファウリングが抑制され安定した透過流束が得られる。原水は供給ポンプにより定量送液され、FMモジュールを含む循環系に送液され、循環系内で循環ポンプにより流速が加速される。濃縮水は、循環系から背圧バルブを経て系外に排出される。処理水は、各FMモジュールから集められ、系外に排出される。背圧バルブは、ろ過圧力を維持すると共に、処理水量を調整する機能を持つ。原水供給量と処理水量を設定することにより、一定の回収率が得られる。

2) 全量ろ過方式

本方式は、表流水ろ過のような固形分濃度の低い原水に対して採用される。主にUF膜が用いられ、回収率が高く、エネルギーコストが低い特長



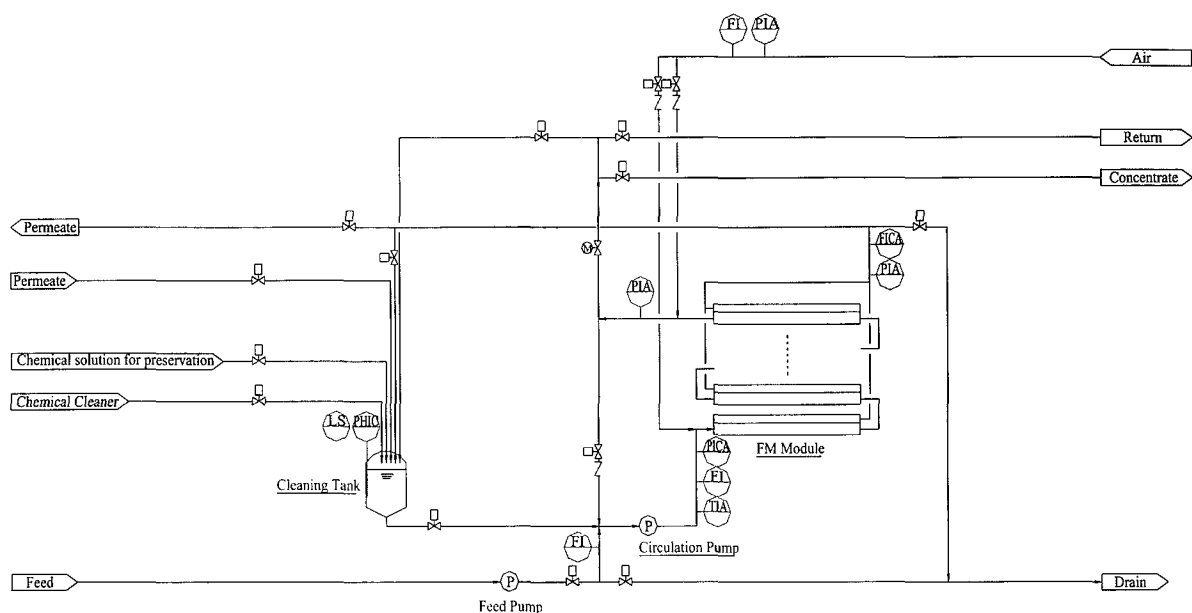
第2図 メンブレンクッション
Fig. 2 Membrane cushion

を持つ。原水は供給ポンプによりFMモジュールに定量送液され、供給量と同量の処理水がFMモジュールから排出される。処理を継続するにつれモジュール内の濃縮率が上昇し、膜間差圧が上昇するため、濃縮水を間欠的に濃縮水出口バルブから排出する。本フローには、膜の物理的洗浄方として空気洗浄機構と逆圧水洗浄機構を有している。膜面への付着物に対して両洗浄を実施することにより処理能力を維持できる。

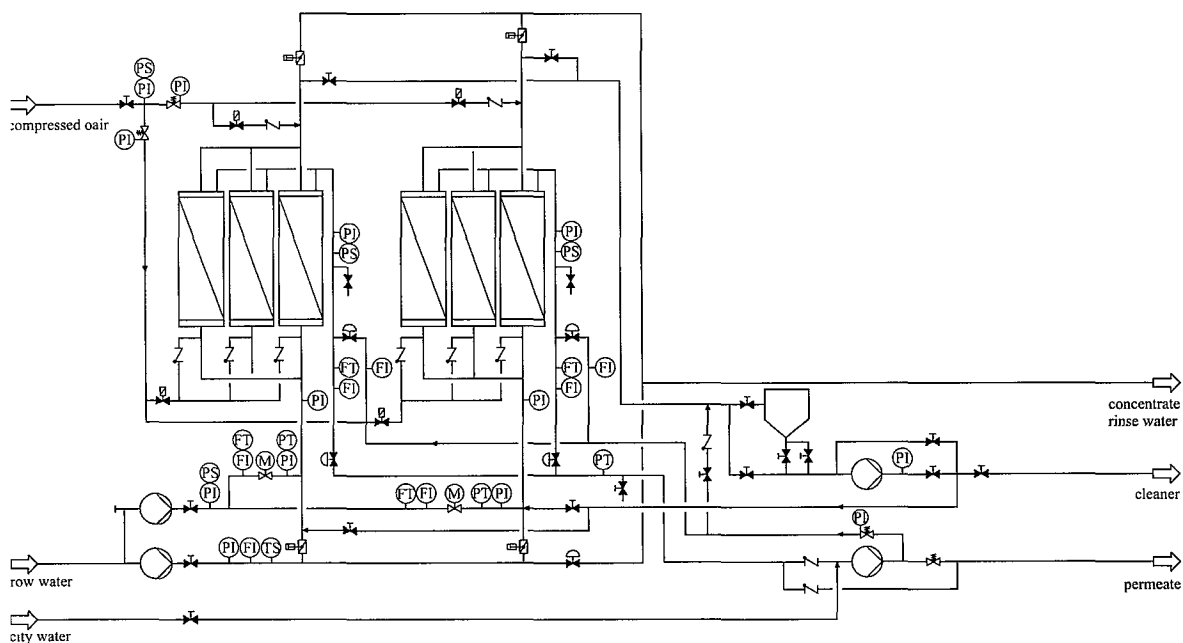
3. FM モジュールシステムの特長

1) シンプルな処理プロセス

UF膜からRO膜まで、前段ではストレーナによる前処理以外は不要である。特にRO膜では従来必要としていた凝集沈殿、さらに、砂ろ過あるいはMF（精密ろ過）膜処理といった前処理不要であり、プロセスがシンプルかつコンパクトである。第4図に、代表的な処理プロセスとしてRO膜を用いた排水処理フロー図を従来法と比して示し、さらにUF膜を用いた活性汚泥処理フロー図を示す。図より、FMモジュールはRO処理においては前処理の大幅な簡略化が可能である。さらにUF膜による膜活性汚泥法ではモジュール外置型であるため、膜のメンテナンス（洗浄



(a) Cross flow type



(b) Dead end type

第3図 FMモジュールシステムフローシート
Fig. 3 Flow diagram of FM module system

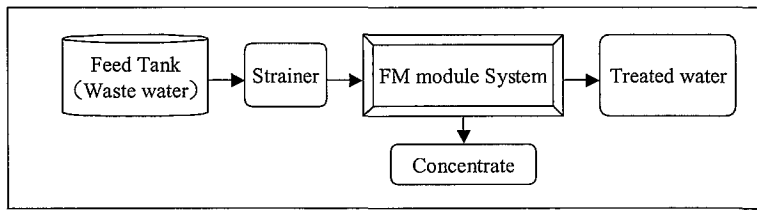
交換等)が極めて容易になっている。

2) 省スペース

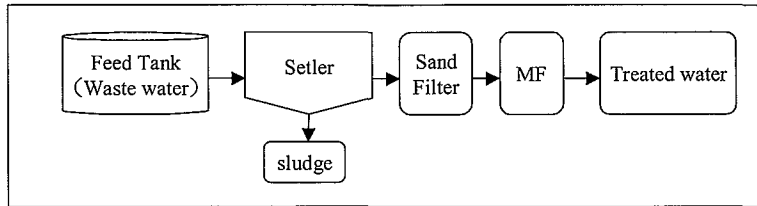
膜モジュール、ポンプ、制御盤等を設置スペースに合わせて合理的に配置できるため、設置スペースが制限されている場合にも柔軟に対応できる。船舶排水処理に適用したときの外観写真、分散配置例をそれぞれ、写真2、第5図に示す。

3) 可変流路幅による閉塞防止

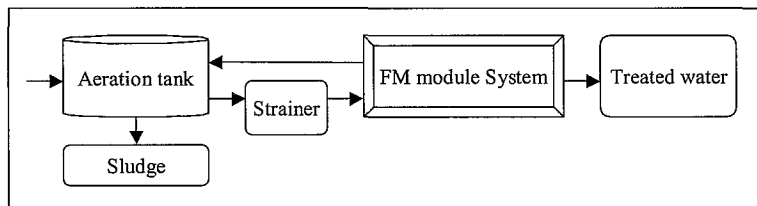
原水流路幅は、スパーサーゴムの厚みを変えることにより、高濁質な原水に対しては広く (3.0 mm)、低濁質な原水に対しては狭く (1.4 mm) とすることで、原水性状に柔軟に対応し、閉塞・ファウリングを防止する。



(a)-(1) Waste water treatment



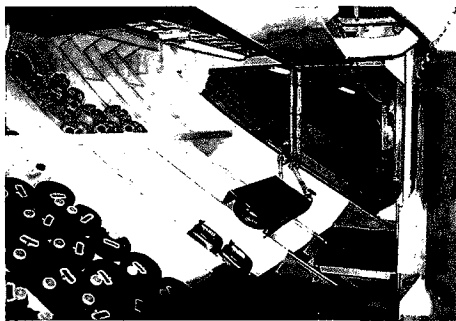
(a)-(2) Conventional technology



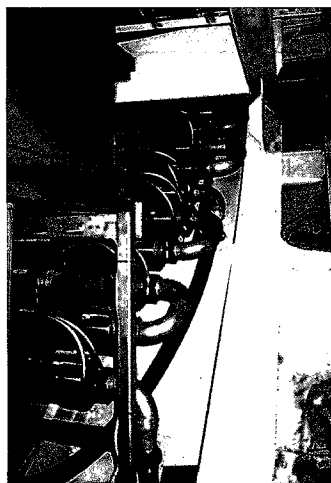
(b) Activated sludge process

第4図 FM モジュールシステムプロセス
ロードイアグラム

Fig. 4 Process flow diagram of FM mod
system

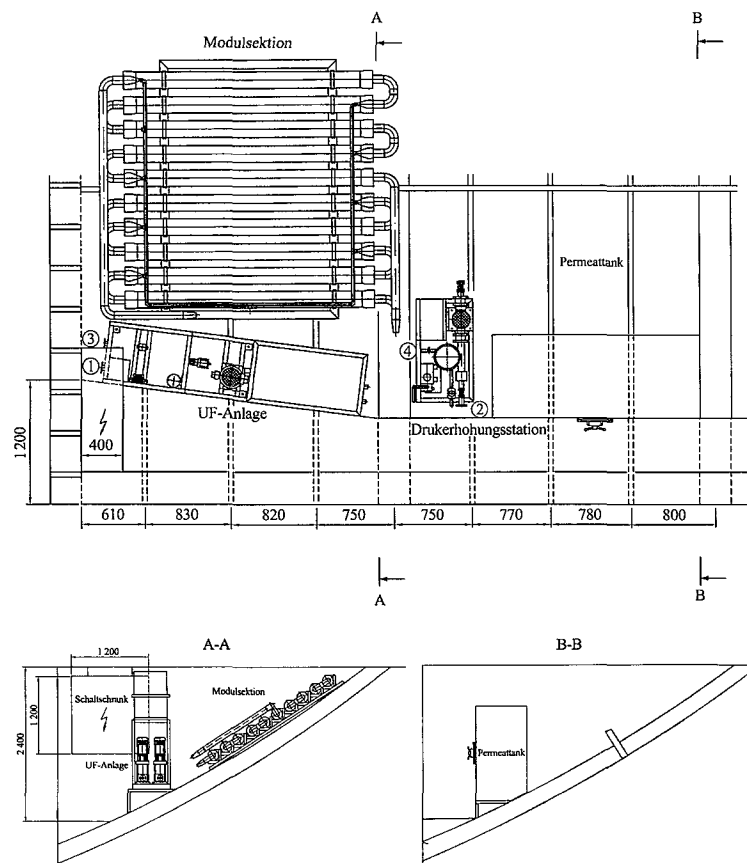


(a) Before installation



(b) After installation

写真 2 FM モジュール船内設置写真
Photo 2 Photograph of FM module sys-
tem in ship



第5図 FM モジュール配置図

Fig. 5 Layout of FM module system in ship

4) 自動運転, 容易な維持管理

システムは洗浄工程を含めて全自動化が可能であり, 複雑な操作, 工数が不要である

5) 交換・分解が容易なカセット構造

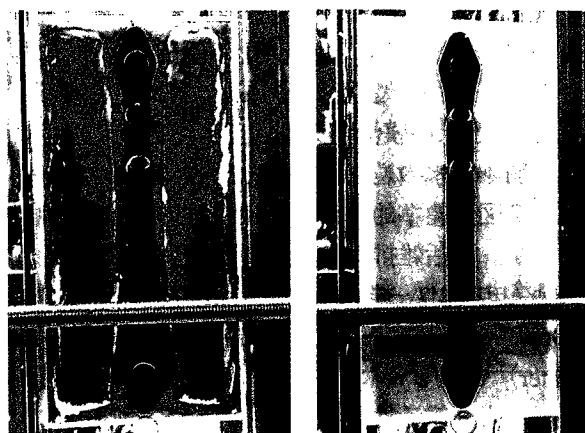
モジュール固定用の U バンドを外し, 新しいモジュールを設置することにより交換できる。また, モジュール内は, ボルト・ナットで組み立てられている $\phi 150 \text{ mm} \times 215 \text{ mm}$ のカセットに分解でき, 取り扱いが容易である。

6) 処理内容に応じて膜種選択可能

処理内容, 原水性状に合わせて, UF 膜, NF 膜, RO 膜が装着可能である。

7) 多様な膜洗浄方法

薬品洗浄, エアスクラビング洗浄 (気水洗浄), 逆圧水洗浄の 3 方法を組み合わせ, 効果的な洗浄効果を得ることができる。薬品洗浄は, 膜モジュール内に洗浄薬品を充填させ, ファウリング物質を化学的に溶解させ除去する方法である。エアスクラビング洗浄は, 原水中に空気を送り込み, 気水による物理的せん断力により膜面の付着物を除去する方法である。エアスクラビング洗浄の実施前と実施後の膜面の様子を写真 3 に示す。逆圧水洗浄は処理水側から水を送り, ファウリング物質, 付着物を除去する方法である。なお, 逆圧水には



(a) Before cleaning

(b) After cleaning

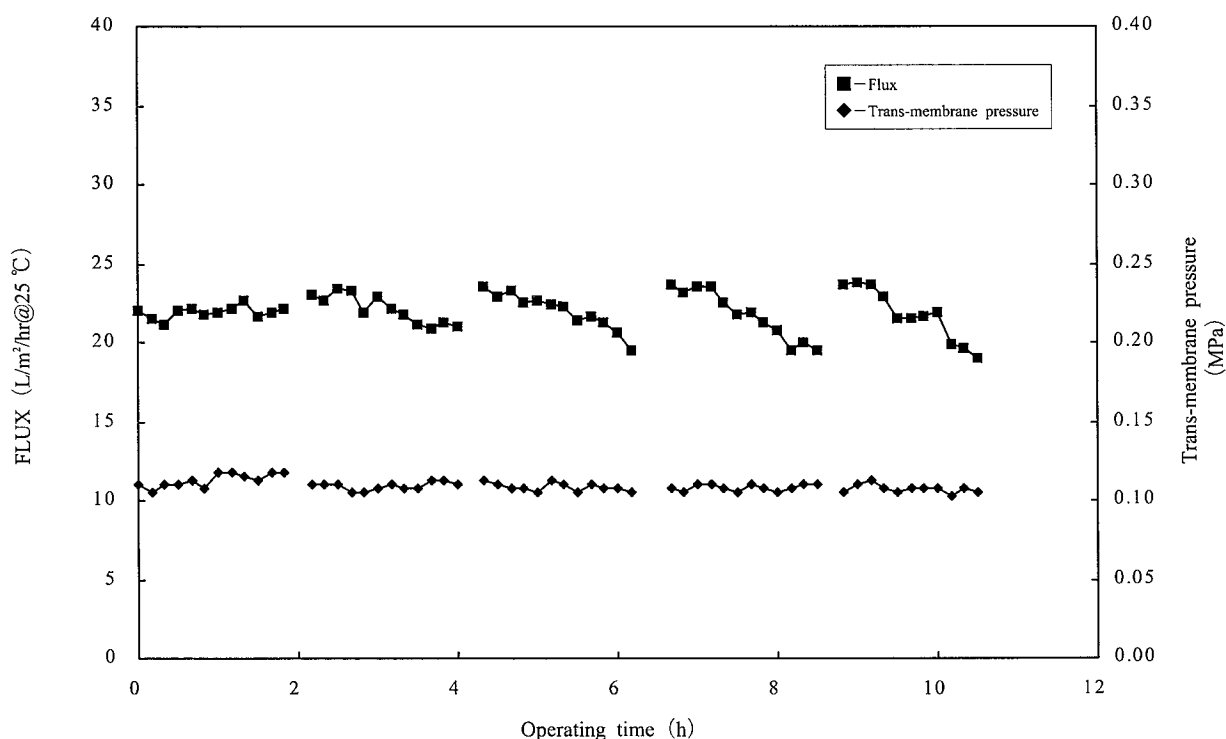
写真 3 エアスクラビング洗浄効果

Photo 3 Photograph of membrane before and after air Scrubbing cleaning procedure

処理水を利用する。逆圧水洗浄を組み込んだ処理データの一例を第 6 図に示す。第 6 図では, 透過流束の低下を定期的な逆圧水洗浄によって防止している様子が明瞭に示されている。

4. FM モジュールシステム仕様

FM モジュールシステムの仕様を第 1 表に示す。



第 6 図 運転データ (逆圧水洗浄を 1 回 / 3 時間実施)

Fig. 6 Operation data (with back pressure cleaning) one time per 3 hours

5. 処理性能

FM モジュールシステムによる船舶雑排水 (gray water) の RO 膜処理とし尿を含む生活雑排水 (Black water) の膜活性汚泥処理実績を下記に示す。

1) 船舶雑排水の逆浸透膜 (RO) 処理

第 7 図に標準的な船舶の生活雑排水処理フローを示す。生活雑排水は、厨房排水、洗濯排水、手洗い・シャワー排水などの比較的低 BOD 排水 (Gray Water) とし尿等の高 BOD 排水 (Black Water) との 2 つに分けられ、それぞれ、RO 膜処理、膜分離活性汚泥処理を用いて、海洋廃棄のみならず中水再利用が可能な水質まで処理することが可能である。ここでは、RO 膜処理が適用さ

れている Gray Water 処理に関する運転状況を示す。

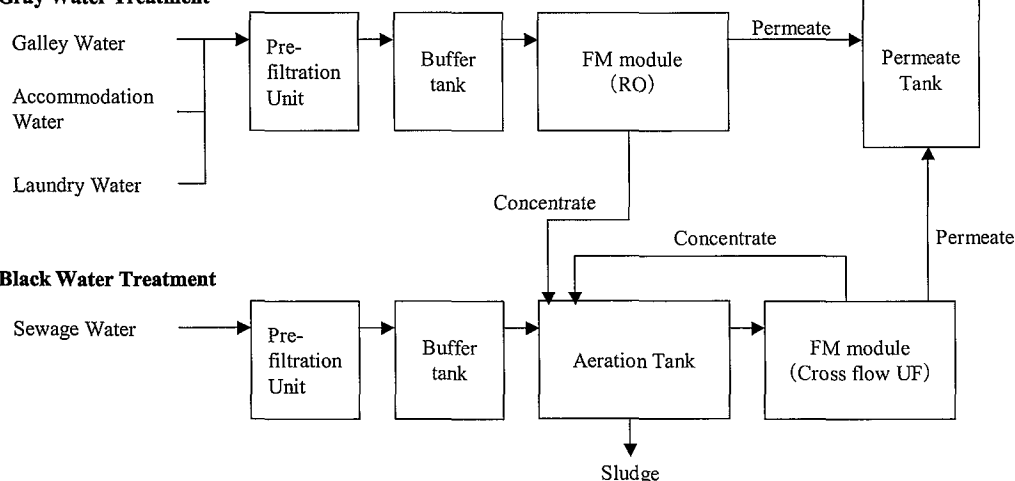
処理原水である Gray Water は、まず、前処理ユニットで膜処理に詰まりなどの悪影響をおよぼす粒子の大きい固形物や毛髪・繊維類を除去した後、バッファータンクに貯留される。前処理ユニットには自動洗浄機能付きのストレーナーを用いて、バッファータンクに貯留されている Gray Water は FM モジュール RO 処理システムに送液、処理水と濃縮水が得られる。処理水は海洋廃棄、あるいは中水再利用され、濃縮水は Black Water とともに活性汚泥処理に送られる。処理水回収率 80~90 %、原水水質、処理水水質はそれぞれ 8, 9 図に示すとおりで安定した処理水が得ら

第 1 表 FM モジュールシステム標準仕様

Table 1 Standard specification of FM module system

(1) Type	Cross flow UF	Dead end UF	RO
(2) Membrane	UF (Material: polyacrylonitrile, MWCO: 200 000) UF (Material: polyacrylonitrile, MWCO: 50 000) UF (Material: polyethersulfone, MWCO: 4 000)		RO (Material: polyamide, NaCl rejection: 99 %)
(3) Clearance between membranes	① 3.0 mm (Standard for Activated sludge process) ② 1.8 mm (Standard for UF treatment) ③ 1.4 mm (Standard for RO treatment)		
(4) Membrane area of membrane module	① 3.5 m ² , 7 m ² (in case clearance between membranes is 3.0 mm) ② 4.5 m ² , 9 m ² (in case clearance between membranes is 1.8 mm) ③ 5 m ² , 10 m ² (in case clearance between membranes is 1.4 mm)		
(5) Standard Specification	RC-UF 5 (50 m ²) RC-UF10 (100 m ²) RC-UF20 (200 m ²) RC-UF30 (300 m ²) RC-UF40 (400 m ²) RC-UF50 (500 m ²)	RD-UF 5 (50 m ²) RD-UF10 (100 m ²) RD-UF20 (200 m ²) RD-UF30 (300 m ²) RD-UF40 (400 m ²) RD-UF50 (500 m ²)	LPRO10 (100 m ²) LPRO20 (200 m ²) LPRO30 (300 m ²) LPRO40 (400 m ²)

Gray Water Treatment



第 7 図 船舶雑排水処理プロセスフローダイアグラム

Fig. 7 Process flow diagram of ship's waste water treatment

ている。

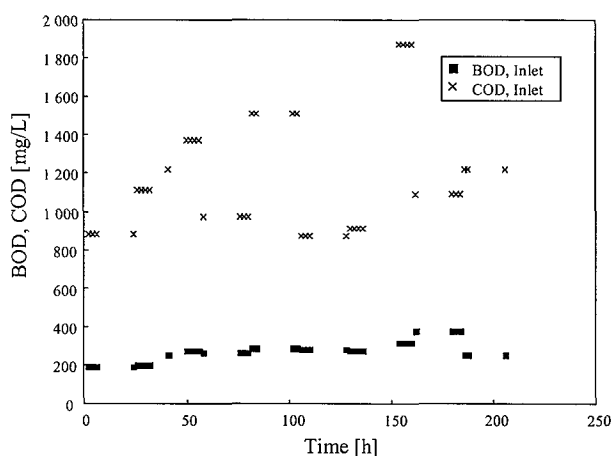
2) 船舶のし尿を含む生活雑排水 (Black Water) の膜活性汚泥処理

前述の Black Water 等の高 BOD 排水 (MLSS 10 000 ppm 以上) に対しては、活性汚泥処理による BOD 低減と、FM モジュールクロスフロー UF 膜処理システムによる固形分除去とを組み合わせた膜活性汚泥処理 (第 4 図(b)) を適用して

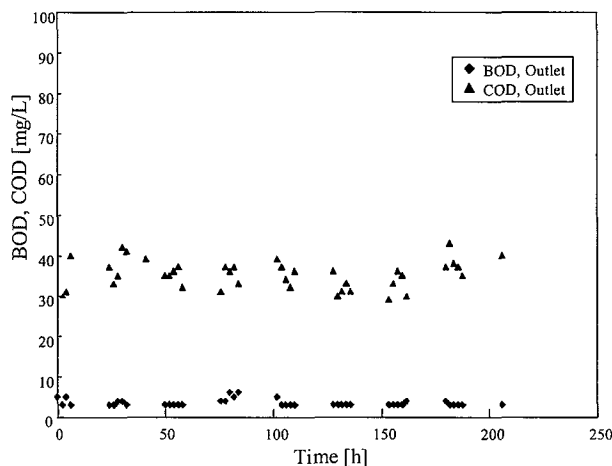
いる。活性汚泥処理に膜分離プロセスを結合することにより、活性汚泥処理の負荷を上げることができ、処理システムをコンパクトにできる。また、外置型になるため、膜のメンテナンス、膜洗浄が極めて容易である。第 2 表に本処理システムの運転データ例および水質データ例を示す。

6. 適用分野と実績

第 3 表に FM モジュールシステムの適用分野の一



第 8 図 原水 BOD, COD
Fig. 8 BOD, COD Inlet



第 9 図 処理水 BOD, COD
Fig. 9 BOD, COD Outlet

第 2 表 FM モジュールシステムを用いた膜活性汚泥処理データ

Table 2 Operation data of membrane bioreactor with FM module system

Application	Artificial Wastewater		Municipal Wastewater	
Number of modules	2		6	
Molecular weight cut off	50 000		200 000	
Capacity [m ³ /d]	6		24	
Feed Pressure [MPa]	0.3		0.3	
	feed	permeate	feed	permeate
BOD [ppm]	500- 800	5-20	100- 200	5-10
TOC [ppm]	285- 410	10-40	300- 700	10-25
COD [ppm]	850-1 200	20-60	1 000-2 000	20-40

第 3 表 FM モジュールシステム適用分野

Table 3 Application of FM module system

Field	Application
Ship	Gray water treatment Black water treatment
Industrial waste water treatment	Separation of sludge in activated sludge process BOD and COD reduction Reuse of waste water Reuse of filter backwashing effluents Oil separation
Municipal water	Surface water purification Sludge concentration

第 4 表 FM モジュール実績例
Table 4 List of commercial facilities

Application	Install year	Type of membrane	Capacity [m ³ /d]	Membrane Area
Sewage Water	1995	UF	240	100
Sewage Water	1996	UF	480	200
Process Water	1997	UF	1 080	600
Paper Mill Waste Water	1997	UF	480	200
River Water	1998	UF	960	400
Filter Backwashing Effluent	1999	UF	3 000	1 600
Oil from Leachate	1999	UF	480	400
Desalination	1999	RO	240	420
Gray Water	2000	RO	600	1 920
Laundry Water	2000	RO	120	100
Pig Slurry	2000	RO	60	100
Swage Waste	2000	UF	30	50
Gray Water	2001	RO	650	2 400
Black Water	2001	UF	300	218

Another 40 commercial sites except for above list.

例を、第 4 表に実設備として稼働中の実績の一例を示す。FM モジュールは膜種を選定できることや、耐 SS 性にすぐれていることから、様々な排水処理に適用されていることがわかる。従来の膜処理装置では、多様で大がかりな前処理を必要としていたが、FM モジュールを用いることでプロセスの簡略化、コンパクト化を可能とした。本システムは、コンパクトさと設置スペースへの柔軟性、また、維持管理の容易さから船舶排水処理に多くの実績がある。本処理プロセスについては、MARPOL 条約に沿って、Gray Water と処理後の Black Water を対象に、国際海事機関の決議 MEPC.2(IV) の基準によって

Lloyd's Register の型式認証を取得している。

む す び

FM モジュールシステムは、膜種やモジュールの流路幅を原水性状や処理目的に応じて選択できたため、処理内容・原水性状に柔軟に対応できる。た、前処理プロセスが簡略化できるため各種排水処理への適用が期待され、システムのコンパクト化図ることができる。

FM モジュールは上記で説明した利点を有するため、様々な排水処理の場面で適用されていくもの期待される。今後は運転データを蓄積して詳細な用報告をおこなう予定である。

連 絡 先

島 田 光 重 技術開発本部
第 2 研究開発部
第 4 研究室

TEL 078 - 992 - 6525
FAX 078 - 992 - 6504
E-mail m.shimada@pantec.co.jp

リバースジェットスクラバ DynaWave®

Reverse Jet Scrubber DynaWave®



(気)大気環境部第1エンジニアリンググループ
道 場 研 二
Kenji Michiba

当社は Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc. (以下, Monsanto 社) が所有しているリバースジェットスクラバ DynaWave を国内販売することとした。同装置は, ガス急冷, ガス吸収および集塵という三つの機能を備えた多機能型スクラバである。特長は, 易メンテナンス性, 省スペースおよび運転操作が簡単といった点があり, 化学プラント工場からの排ガス処理および焼却炉排ガス処理などへの適用が推奨される。

We have begun to sell the reverse jet scrubber "DynaWave" in Japan, that Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc. owns. DynaWave is a multi-function scrubber of gas quenching, gas absorption and dust collection. The advantages of DynaWave are easy maintenance, narrow foot-print area and simple operation and DynaWave is recommended to be applied for the treatment of the exhausted gas from a chemical plant facility, an incinerator and so on.

Key Words :

ス	ク	ラ	バ	scrubber
ガ	ス	急	冷	gas quenching
ガ	ス	吸	収	gas absorption
集			塵	dust collection

ま え が き

Monsanto 社では, 本装置を既に化学工場を主に140基以上の納入実績を所有している。

当社では, Monsanto 社より一部の機器を購入し, トータルのエンジニアリングをおこなうことで, 本装置の国内販売を実施する。

本技術の最大の特長は, ガス急冷, ガス吸収および集塵が同時に可能ということである。従来技術であれば, ガス急冷, ガス吸収および集塵をおこなうためには次のようなシステム (湿式システムに限定) が必要となる。

- ・急冷塔+イオンスクラバ (湿式電気集塵機)
- ・急冷塔+ベンチュリスクラバ
- ・急冷塔+ベンチュリスクラバ+洗浄塔
- ・急冷塔+漏れ棚塔 等

※上記は, ダスト量, 粒径および有害ガス量により選定が異なる。

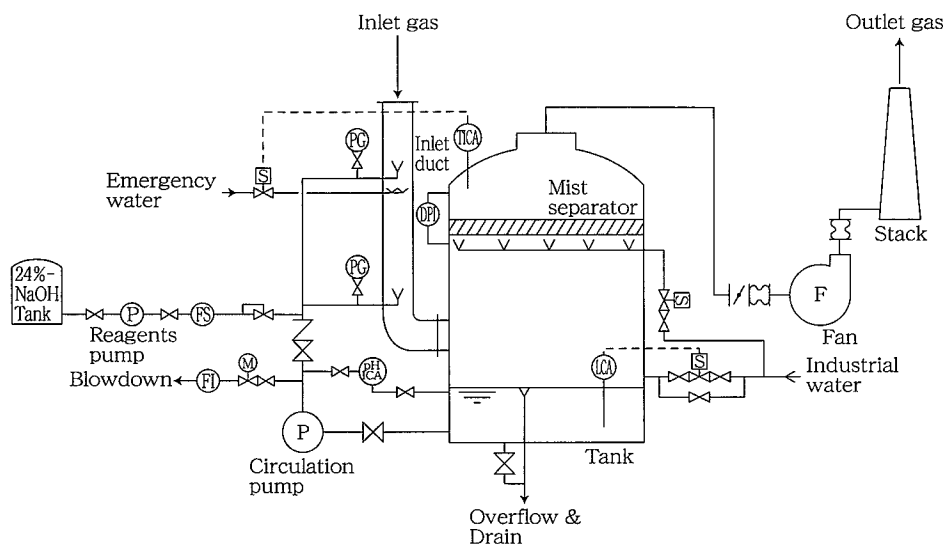
上記の如く三つの機能を有するためには通常二基以上の装置が必要となる。したがって, 設置スペースが大きい, およびメンテナンス項目が多いといった欠点を持っている。

しかし, 本稿で解説する DynaWave はこれらの欠点を解消することができる。

1. DynaWave の概略

原理は, 気液二層流の中で鉛直流特有の接触領域であるフロスゾーンを用いていることである。速い風速の下降流ガスに対して, 多量の液をガス流れに対して強い力で旋回させながら逆噴射させている。強い力で逆噴射させることでせん断力を生じさせ, そのせん断力でガスを分散させ, 気液接触効率および熱伝達効率を高めている。したがって, ガス急冷, ガス吸収および集塵が可能である。各機能に関しては後述する。

第1図に一般的なフロー (二段スプレ) を示す。



第1図 装置フロー
Fig. 1 Flow sheet

入口ダクトより導入された排ガスに対して、ダクト内で特殊スプレノズルを用い循環水をガス流れに対して逆噴射させている。この部分において、ガス急冷、ガス吸収および集塵をおこなっている。

入口ダクトを通過したガスは後段のタンクに設置されたミストセパレータにて同伴されるミストを除去した後、排気される。タンク内の液は、タンクに設置されたレベルセンサから液面を検知し、必要に応じ工水を補給する。また、循環水中のpH値もガス吸収の性能に大きな影響をおよぼす因子であるため、常にpHセンサを用いて検知し、必要に応じ薬液を注入している。

さらに、高温度のガスを取り扱うため、何らかのトラブルによりノズルからの液噴射が停止した際の装置の保護が必要となる。この対策として、タンク内に温度センサを設置し、温度異常を検出した際には、緊急水を噴射するシステムとしている。

2. DynaWave の特長

2.1 多機能

前述した各機能に関して、下記にそれぞれ記述する。

2.1.1 ガス急冷

ガス急冷のメカニズムを記述する。スプレノズルから噴射された水が高温のガスと接触することにより水が蒸発する。その際、蒸発に必要な潜熱をガスから奪い取るためにガスが冷却される。この現象を瞬時に実施することが急冷である。

急冷後の温度は、入口ガス温度および水分量によって決定される。つまり、水が蒸発し、ガスの湿度が飽和に達した時点でガス温度は水の温度と等しくな

る。この温度を断熱飽和温度という。

また、この断熱飽和温度以下にガス温度を下げる操作をガス冷却といい、スプレノズルから噴射される循環水の温度を冷却することでガス冷却は可能となる。本装置ではタンク下部の水をポンプにて循環使用しているが、その循環配管中に熱交換器を設置することにより達成される。

本装置では最大1200℃の高温ガスを急冷することが可能である。

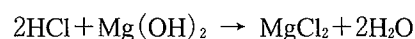
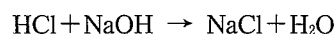
2.1.2 ガス吸収

入口ダクト部の気液接触にて、ガス側の有害ガスを液側へ吸収させる。吸収された有害ガス成分は液中に含まれる薬品により、中和および酸化される。本装置での処理可能有害成分は以下の通りである

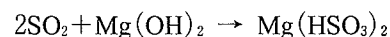
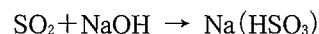
HCl, HF, HBr, Cl₂, F₂, Br₂, SO₂, H₂S, NH₃ 等

参考としてHClおよびSO₂に対する反応の一例を下記に示す。

HCl

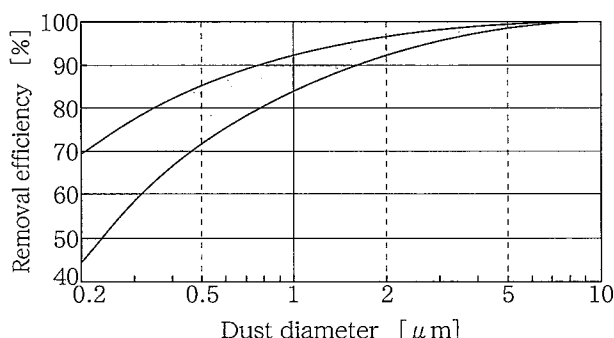


SO₂



第 1 表 HCl および SO₂ に対する除去性能
Table 1 Removal efficiency for HCl and SO₂

Reagents	HCl removal efficiency [%]		SO ₂ removal efficiency [%]	
	1 stage of spray	2 stages of sprays	1 stage of spray	2 stages of sprays
Caustic : NaOH	95.0	99.9	90.0	99.5
Milk of lime : Ca(OH) ₂	92.0	99.5	85.0	98.5
Limestone : CaCO ₃	90.0	99.0	70.0	92.5



第 2 図 ダストに対する除去性能
Fig. 2 Removal efficiency for dust

また、HCl および SO₂ の除去性能を第 1 表に示す。ただし、スプレノズルの段数により性能が異なるため、段数が一段時と二段時での除去性能を示す。

2. 1. 3 集 塵

前述したフロスゾーンと呼ばれる非常に激しい気液接触現象が入口ダクト部にて起こるため、ガス中に含まれるダストも液側へ取り込むことが可能となる。

各ダスト粒径に対する除去性能を第 2 図に示す。なお、この図は、スプレ段数が二段での除去性能である。

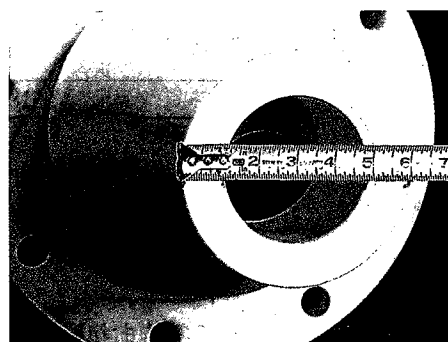
2. 2 特殊スプレノズルの採用

吐出口径が 50 mm 以上と非常に大きい吐出穴とすることによってノズル部での詰まりをなくしている。したがって、循環水中の SS 濃度は最大 20 % と高く計画することが出来るため、他の湿式処理装置に比べ、排水量が非常に少なくなる、つまり給水量が少なくなるといった利点がある。

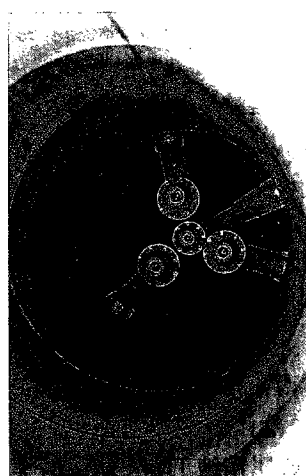
この大きな吐出口径がフロスゾーンを形成する上で最も重要な因子となる。一般的なスプレノズルでは、液を分散し気液接触効率を高めているが、上述したようにこの特殊スプレノズルにて吐出された液が速い速度の下降流のガスと接触し、そのせん断力によりガスを分散させている。

写真 1、2 にそれぞれスプレノズル単体写真および入口ダクトに設置済みのスプレノズル写真を示す。

材質は、テフロンおよび炭化ケイ素の二種類があ



写 真 1 スプレノズル単体 (inch)
Photo 1 Spray nozzle



写 真 2 ダクト内設置済みスプレノズル
Photo 2 Spray nozzles in inlet barrel

り、耐摩耗性および耐食性に非常に優れている。寿命は半永久的である。

スプレノズルの段数に応じて、吸収性能および集塵性能が異なり、通常は一段または二段での仕様となる。

装置圧力損失はどの機能を優先させるのか、またどの程度除去率を望むのかによって異なるが、一段当たり 2.5~4.0 kPa である。

2. 3 低メンテナンス構造

前述したように、本装置と競合する排ガス処理設備は、二基以上の装置を組み合わせる必要があるため、メンテナンス項目も多くなるという欠点があっ

第2表 ランニングコスト比較
Table 2 Comparison of running cost

	DynaWave		Quenching tower+Venturi scrubber+Packed tower	
	Amount of consumption	Annual cost [yen/y]	Amount of consumption	Annual cost [yen/y]
Electricity a unit cost : 15 yen/kWh	196 kW	7 644 000	206 kW	8 034 000
Industrial water a unit cost : 20 yen/t	11 t/h	572 000	21.4 t/h	1 112 800
Drainage a unit cost : 100 yen/t	0.3 t/h	78 000	10.6 t/h	2 756 000
24 %-NaOH a unit cost : 25 yen/kg	383 kg/h	24 895 000	383 kg/h	24 895 000
Total		33 189 000 yen/y		36 797 800 yen/y

たが、本装置は、第1図を見れば明らかなように非常にシンプルな構造であるため、通常のメンテナンス項目としては、モーター機器（ファンとポンプ）および計装機器のみとなる。

前述したようにスプレノズル部での詰まりは発生しないため、ノズルはノーメンテナンスとなる。

2.4 省スペース

本装置は一基にて多機能を有するため、非常に省スペースとなる。

2.5 簡易な運転操作

循環ポンプおよびファンを起動させるのみであるため、運転操作は非常に簡単となる。

3. DynaWave 適用分野

DynaWave は、圧力損失が高いという欠点がある。したがって、各機能個々に対してのみの処理も可能であるが、本装置の最大の特長である三つの機能すべてを生かす適用において、イニシャルおよびランニングコストでメリットが得られる。

Monsanto 社の納入実績では、硫酸製造を主とした化学プラント工場および金属精錬工場での納入実績が多い。当社としても、化学プラント工場からの排ガスおよび焼却炉排ガスへの適用を検討している。

4. DynaWave 適用例

焼却炉排ガスへの適用を例にランニングコスト比較結果を以下に示す。

発 生 源 家屋スクラップ廃材の焼却炉排

ガス

風 量	32 000 m ³ /h-wet
温 度	650 ℃
水 分 量	9.2 Vol%
ダスト濃度	入口 1 g/m ³ _{N-dry} 出口 0.05 g/m ³ _{N-dry}
HCl 濃 度	入口 1 000 ppm 出口 5 ppm
SO ₂ 濃 度	入口 60 ppm 出口 5 ppm
運 転 時 間	2 600 h/y

上記仕様に対して、当装置では二段スプレにて処理が可能であるが、他の処理方法では、急冷塔+インチュリスクラバ+充填塔が必要となる。これらのランニングコスト比較を第2表に示す。

なお、前述したように入口ダクト部にてガス温度は瞬時に急冷されるため、焼却炉排ガス処理に適用してもダイオキシン類が再合成されることはない。

む す び

当装置は、前述したように三つの機能が要求される場合は、イニシャルコストおよびランニングコストを含めたトータルのメリットが得られる。

化学工場排ガスおよび焼却炉排ガスに限らず、本装置に適する排ガス条件の検討を継続すると共に、さらなる努力を重ねていく所存である。

連 絡 先

道 場 研 二 気熱装置事業部
大気環境部
第1エンジニアリンググループ
T E L 078 - 232 - 8134
F A X 078 - 232 - 8067
E-mail k.michiba@pantec.co.jp

食肉センター排水の窒素，りんの除去

Removal of Nitrogen and Phosphor from Meat Processing Wastewater



(環)環境本部技術部第1グループ
武 田 勉
Tsutomu Takeda

(株)北海道畜産公社 十勝事業所では，排水を下水道放流していたが，河川放流する必要に迫られ，窒素やりんの除去が必要となった。このため処理方式は凝集加圧浮上に加え，間欠曝気式活性汚泥法（既設改造）および硝化液循環活性汚泥法（新設）が採用され，2001年3月より稼働している。処理状況は良好で放流基準値を十分満足する水質となっている。

The nitrogen and phosphor contained in the wastewater had to be removed when a meat processing plant in Hokkaido was required to change its wastewater discharge to a river instead of conventional sewer.

The discharge limit has been satisfactorily cleared with the retrofit to intermittent aeration type activated sludge system and by adding a combination of coagulation plus pressurized floatation system and a nitrifying-liquid circulating activated sludge system since the start of operation in March 2001.

Key Words :

食 肉 セ ン タ ー	Meat treatment center
河 川 放 流	Discharge into the river
脱 窒	Denitrification
脱 り ん	Dephosphorization

ま え が き

(株)北海道畜産公社の十勝事業所は，1977年度総合食肉流通体系整備促進事業の採択を受け，酪農畜産の主要生産地である十勝地域に国内有数の処理能力を有する施設として十勝総合食肉流通センターを建設した。当初の処理方式は，短時間で浄化処理が可能な電解式污水处理施設を設置し，下水道区域外の施設の特例として帯広市の終末処理場へ放流することで現在に至った。

その後，十勝管内の肉畜の生産増加から処理工場

の増設と河川放流を目標とした標準活性汚泥処理方式を採用した污水处理施設の増設をおこなってきたが，食肉センターを取り巻く社会環境の変化に加え区域外下水道使用者に対する規制から，2000年度に既存の電解式污水处理施設から加圧浮上＋生物処理方式を採用した污水处理施設への大幅な改修を実施し，2001年3月から河川放流を開始した。

ここでは，施設ならびに運転経過を含めた概要紹介をおこなう。

1. 十勝総合食肉流通センターの紹介

1.1 十勝事業所概要

住 所 帯広市西24条北2丁目1番地の1

敷 地 面 積 129 276 m²

本館建物面積 12 348 m²

施 設 能 力

家畜処理能力 大動物300頭 小動物500頭

加 工 能 力 大動物130頭 小動物200頭

枝肉保管能力 大動物695頭 小動物610頭

製品保管能力 チルド160トン 冷 凍100トン

製品凍結能力 10トン

1.2 污水处理施設の概要

十勝事業所には、フローに示すとおり既設（処理水量：360 m³/日）と新設（処理水量1 440 m³/日）がある。既設については当初処理水量450 m³/日であったが、河川放流に当たり窒素除去に対応するため、加圧浮上処理後の標準活性汚泥法を曝気と曝気停止を一定時間交互におこなう間欠曝気活性汚泥法に変更したことにより360 m³/日となった。また、新設については、これまでの既設の運転データから、水温が冬期でも15℃を下回らず、加圧浮上処理水中のBOD/N比が3倍を下回らないことより、窒素除去に最も効果的な硝化液循環活性汚泥方式を採用した。りんの除去に関しても既設の運転データから薬品添加は不要と考えられたが、初期運転立ち上げ時および水質悪化の非常時を想定し、生物処理後に凝集剤の添加が可能な設備とした。これは硝化槽へのアルカリ度補給用のアルカリ剤添加設備と同様に河川放流に対する水質確保の重要性を考慮したものである。

1.2.1 基本条件

1) 処理対象汚水

合 計 水 量 1 800m³/日(最大)

排 水 時 間 8時間

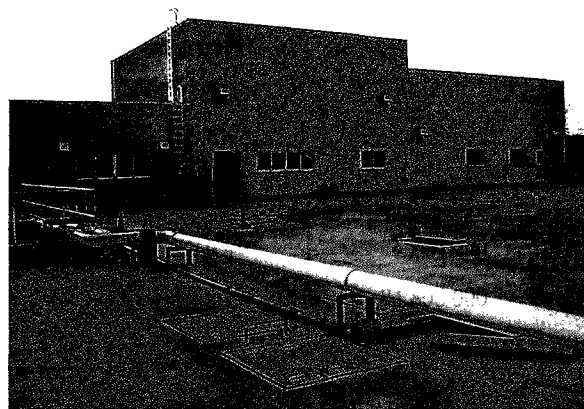
水 処 理 時 間 24時間

汚泥処理時間 6時間

第 1 表 計画水質

Table 1 Water Quality

	Waste Water	Treated Water
pH		5.8～8.6
BOD	1 500 mg/L	20 mg/L
SS	1 300 mg/L	40 mg/L
N-hex. Extract	500 mg/L	30 mg/L
T-N	210 mg/L	20 mg/L
T-P	70 mg/L	5 mg/L
Coliform Count		3 000 PCS/mL



写 真 1 新施設外観

Photo 1 Outside View of Newly Added Plant

2) 処理方式

第 1 図に污水处理フローを示す。

360 m³/日系既設 凝集加圧浮上処理＋間欠曝式活性汚泥法

1 440 m³/日系新設 凝集加圧浮上処理＋硝化液循環活性汚泥法

3) 計画水質

第 1 表に示す。

1.3 主要設備の概要

1.3.1 新設処理設備（2001年3月納入設備）

新設処理設備を写真1に示す。

1) 分配槽（1槽）

実 容 量：20 m³

2) 原水槽（1槽）

実 容 量：102 m³

3) 調整槽（2槽）

実 容 量：1 152 m³

4) 凝集混和槽（1槽）

実 容 量：5.8 m³

5) 浮上槽（1槽）

実 容 量：41.5 m³

浮上面積：17.0 m²

主要機器：加圧水槽

1

浮上槽および加圧水槽をそれぞれ写真2に示す

6) 脱窒槽（2槽×2系列＝4槽）

実 容 量：1 780 m³

主要機器：脱窒槽攪拌装置（水中エアレータ）

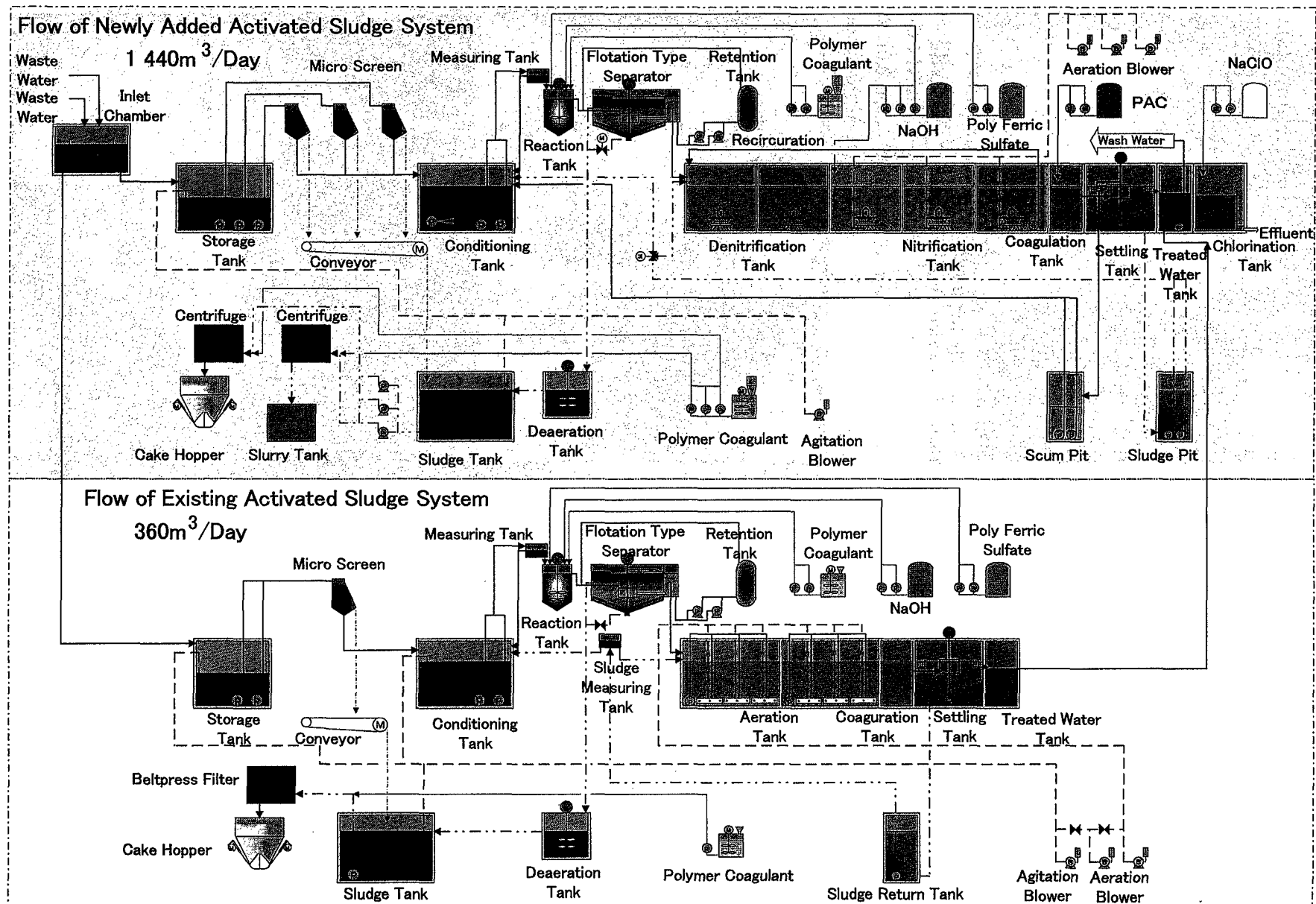
4

7) 硝化槽（2槽×2系列＝6槽）

実 容 量：2 806 m³

主要機器：硝化槽ばっ気攪拌装置
（水中エアレータ）

6



第1図 フローシート
Fig. 1 Flow Diagram

硝化液循環ポンプ 4 台
曝気ブロワ 3 台

8) 再凝集槽 (1 槽)

実容量: 21.1 m^3

9) 沈殿槽 (2 槽)

実容量: 381 m^3

水面積: 127 m^2

10) 処理水槽 (1 槽)

実容量: 16.2 m^3

11) 消毒槽 (1 槽)

実容量: 21.6 m^3

12) 汚泥処理設備

主要機器: 脱水機 (遠心脱水機)

2 台

ケーキホッパ

1 基

脱水機を写真 3 に示す。

13) 薬品注入設備

主要機器: ポリ鉄注入設備

1 式

苛性ソーダ注入設備

1 式

高分子凝集剤注入設備

1 式

PAC 注入設備

1 式

次亜塩素酸ソーダ注入設備

1 式

1.3.2 既設処理設備 (1988年3月納入設備)

既設処理設備を写真 4 に示す。

1) 原水槽 (1 槽)

実容量: 34 m^3

2) 調整槽 (1 槽)

実容量: 545 m^3

3) 凝集混和槽 (1 槽)

実容量: 3.4 m^3

4) 浮上槽 (1 槽)

実容量: 9.0 m^3

浮上面積: 6.0 m^2

主要機器: 加圧水槽

1 基

5) 曝気槽 (2 槽)

実容量: $1\,000 \text{ m}^3$

主要機器: 曝気装置 (SP ジェット)

10 基

循環ポンプ

2 台

6) 再凝集槽 (1 槽)

実容量: 35 m^3

7) 沈殿槽 (1 槽)

実容量: 200 m^3

水面積: 49 m^2

8) 処理水槽 (1 槽)

実容量: 15 m^3

9) 汚泥処理設備

主要機器: 脱水機 (ベルトプレス型脱水機)

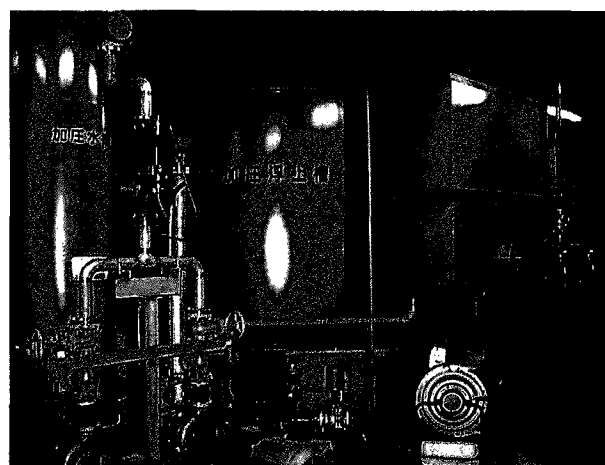


写真 2 加圧水槽および浮上槽

Photo 2 Retention Tank and Floatation Type Separator



写真 3 脱水機

Photo 3 Centrifuge

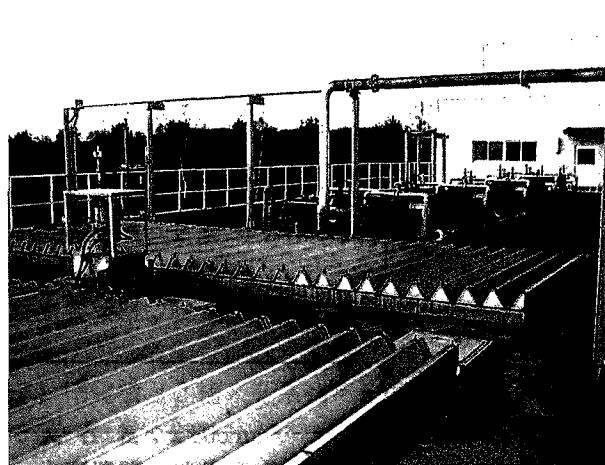


写真 4 既設外観

Photo 4 Outside View of Existing Plant

(写真5) 1台
ケーキホッパ 1基

10) 薬品注入設備

主要機器：ポリ鉄注入設備 1式
苛性ソーダ注入設備 1式
高分子凝集剤注入設備 1式
脱水助剤（アニオン）注入設備 1式
脱水助剤（カチオン）注入設備 1式

2. 運転状況

本件での処理状況の把握を開始（2001/6～2001/10）し、その運転は第2図および第2表に示すとおり、水量と原水濃度の大きな変動があるものの放流基準を十分に満足する結果（処理水水質平均値 BOD 1.8 mg/L, SS1.3 mg/L, ノルマルヘキサン抽出物質0.6 mg/L, T-N4.1 mg/L, T-P1.7 mg/L, COD 6.5 mg/L）が得られた。

データ採取期間の加圧浮上槽水質分析値の平均値は第3表に示すとおりである。また、この期間の生物処理槽の運転状況は、次に示すとおりである。

ORP（脱窒槽）：+50～-230 mV

DO（脱窒槽）：0.09～0.35 mg/L

DO（硝化槽）：0.33～4.85 mg/L

pH（硝化槽）：6.60～7.14

MLSS（脱窒槽・硝化槽）：4 500～5 500 mg/L

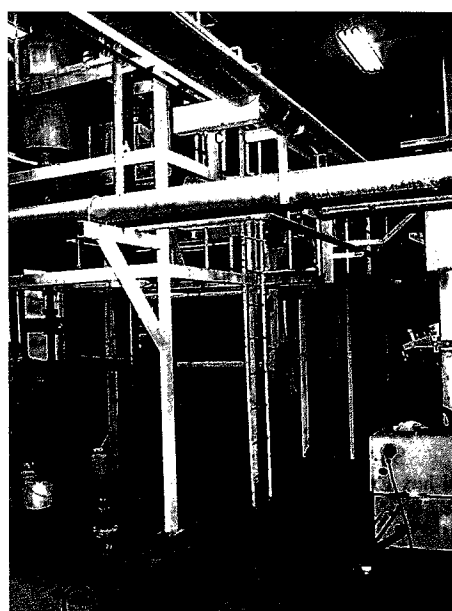


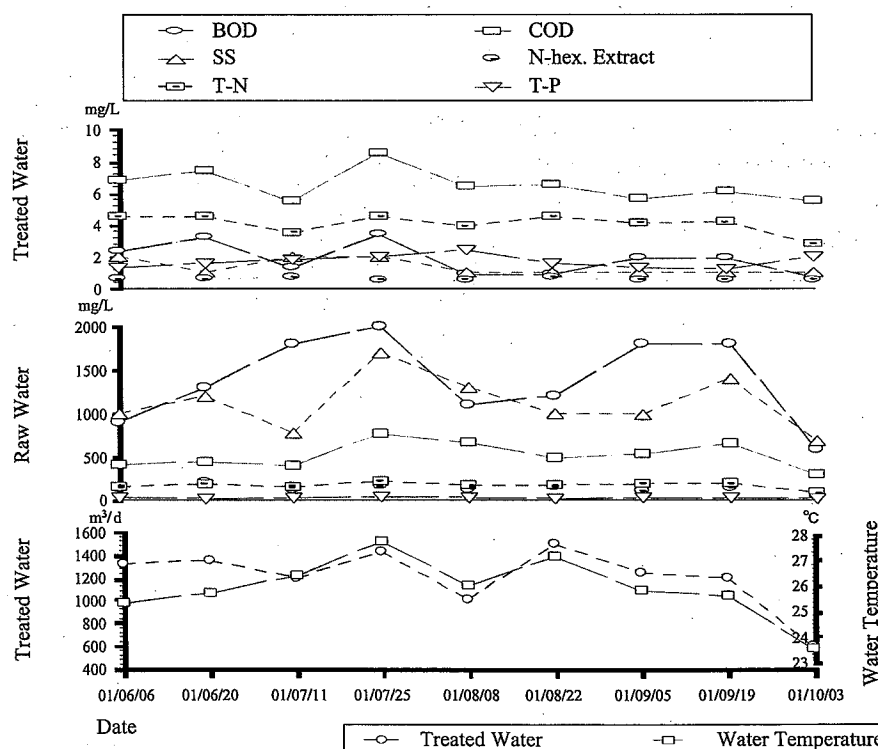
写真5 ベルトプレス脱水機
Photo 5 Beltpress Filter

汚泥返送率：約100 %

硝化液循環率：約300 %

水温：23.5～27.7 °C

処理水の水質確保とその安定性は、生物処理槽流入水の負荷が均一となるような加圧浮上処理設備の運転管理に加え、脱窒槽への硝化液のDO持ち込み



第2図 運転結果
Fig. 2 Operating Data

第 2 表 水質分析値
Table 2 Water Quality

		Units	6/6	6/20	7/11	7/25	8/8	8/22	9/5	9/19	10/3
Treated Water		m ³ /d	1 317	1 346	1 196	1 420	1 003	1 490	1 235	1 193	596
Water Temperature		℃	25.3	25.7	26.4	27.7	26	27.1	25.8	25.6	23.5
Raw Water	BOD	mg/L	900	1 300	1 800	2 000	1 100	1 200	1 800	1 800	580
	COD	mg/L	410	440	400	760	660	480	530	650	290
	SS	mg/L	1 000	1 200	780	1 700	1 300	1 000	990	1 400	690
	N-hex.Extract	mg/L	140	210	130	170	130	160	110	150	53
	T-N	mg/L	150	180	150	220	170	170	180	190	84
	T-P	mg/L	24	22	32	35	27	17	23	26	14
Treated Water	pH		7.6	7.4	7.4	7.5	7.5	7.4	7.6	7.5	7.4
	BOD	mg/L	2.3	3.2	1.3	3.4	0.9	0.9	1.9	1.9	0.7
	COD	mg/L	6.8	7.4	5.5	8.5	6.4	6.5	5.6	6.1	5.5
	SS	mg/L	2	1	2	2	1	1	1	1	1
	N-hex.Extract	mg/L	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5
	T-N	mg/L	4.5	4.5	3.5	4.5	3.9	4.5	4.1	4.2	2.8
	T-P	mg/L	1.3	1.6	1.8	2	2.4	1.6	1.3	1.2	2
Removal Ratio	BOD	%	99.7	99.8	99.9	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	COD	%	98.3	98.3	98.6	98.9	99	98.6	98.9	99.1	98.1
	SS	%	99.8	99.9	99.7	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	N-hex.Extract	%	99.6	99.7	99.5	99.7	99.6	99.6	99.5	99.7	99.1
	T-N	%	97	97.5	97.7	98	97.7	97.4	97.7	97.8	96.7
	T-P	%	94.6	92.7	94.4	94.3	91.1	90.6	94.3	95.4	85.7

第 3 表 加圧浮上装置の水質分析値
Table 3 Water Quality Analysis of Floatation Equipment

	Units	Influent	Effluent	Removal Ratio %
BOD	mg/L	1 387	421	73
COD	mg/L	513	131	73
SS	mg/L	1 118	101	91
N-hex. Extract	mg/L	139	11	92
T-N	mg/L	166	75	54
T-P	mg/L	24	6	75

防止および汚泥の管理を適切におこなうことが必要である。現在の運転状況はこれらが十分に配慮されており、安定した水質が確保できている。なお、今後も継続してデータ採取をおこない 1 年間の傾向を把握する予定である。

む す び

本稿では、食肉センターにおける排水処理での凝集加圧浮上＋硝化液循環活性汚泥方式の事例を紹介した。今回は、浮遊法による窒素除去について紹介

したが、当社では窒素除去用には担体を用いたパビオデニや膜分離活性汚泥方式のパビオメムを有している。また他に汚泥の発生量を抑えるエステプロセスを有しており、食肉センターの様々なニーズに当社が貢献できればと考える。

最後に、本稿執筆に当たりご協力を戴きました北海道畜産公社の関係各位に深く感謝の意を表します。

連 絡 先

武 田 勉 環境装置事業部
環境本部
技術部
第 1 グループ
T E L 03 - 3459 - 5940
F A X 03 - 3437 - 3256
E-mail t.takeda@pantec.co.jp

<製品紹介>

廃蛍光灯リサイクル処理システム

The recycling facility of used fluorescent lamp



K-プロジェクト室
田 中 英 美
Hidemi Tanaka

当社では、2001年に播磨製作所内に廃蛍光灯リサイクル処理設備を建設し、兵庫県より事業許可を受け、試運転実施後12月に本格的に事業を開始した。現在、順調に稼働して受託処理量も増加しつつある。ここにその内容を紹介する。

The recycling facility of used fluorescent lamp was installed at Shinko Pantec's Harima plant in 2001. After business permission issued from Hyogo prefecture and completion of the facility commissioning, the commercial operation was started in December, 2001.

At present the amount of the fluorescent lamps from the customers are increasing and the facility operation is in good condition as we expected.

The brief explanation of the recycling business and the facility itself is shown below.

Key Words :

廃 棄 物 処 理
蛍 光 灯
水 銀 回 収

Industrial waste treatment
Fluorescent lamp
Mercury recovery

ま え が き

消費するだけの時代から、ゴミを出さない時代へと変化していくなかで、家電製品での法制化の第一歩として、2001年4月1日より“特定家庭用機器再商品化法”いわゆる家電リサイクル法が施行され、現在、対象の4品目が指定されている。さらに、7月には経済産業省の産業構造審議会での品目別・業種別廃棄物処理・リサイクルガイドラインの見直しにおいても新たに携帯電話、蛍光管など7品目の製品について、今後リサイクルが望まれるものとして掲げられた。現在、一般廃棄物としてそのまま埋め立て処分されている蛍光灯の回収、リサイクルが増

大することが予想される。

蛍光灯は、現在、年間約4億本程度生産されており、そのうち、リサイクルされているのは、まだ1割以下とみられている。蛍光灯には、40W1本当たり5～10mgのごく微量ながら金属水銀が封入されており、これをこのまま埋め立て処分することは環境を破壊することになる。

また、蛍光灯にはその他、ガラス、金属、希土類元素など、有用な物質で構成されていることから、これらを回収・分別し、リサイクルすることが、資源面からも望まれているところである。

1. 蛍光灯の構造

第1図に蛍光灯の構造を示す。両端の口金部に電極となる金属などが配置されて、中央部は内面に蛍光物質を塗布したガラス管で構成されている。内部は、空気を抜いたあと、2～4 hPaの圧力のアルゴンガスと微量の水銀が封入されている。

2. 蛍光灯の発光原理

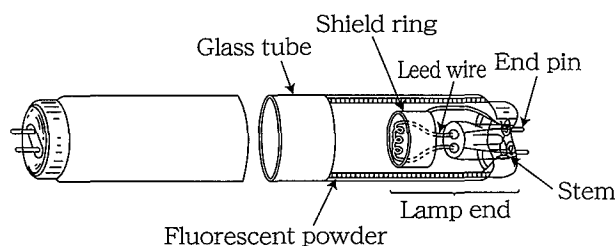
第2図に発光原理の模式図を示す。電流を流すと電極が加熱され、塗布された電子放射物質より熱電子が放出され両端の電極間に放電が起こる。飛び出した電子がガラス管内で蒸気化した水銀原子と衝突して目にみえない紫外線（253.7 nm）を発生させる。この紫外線が蛍光物質に照射されると可視光に変わり蛍光灯となる。蛍光物質の種類により色の種類の異なる蛍光灯ができ、大きくは次の2種に分類される。

- 1) 普通形：主な蛍光体はハロリン酸カルシウム
- 2) 三波長形：イットリウム，ユーロピウム，テルビウム，ランタンなどの希土類元素を含む蛍光体でメーカーや品種によっ

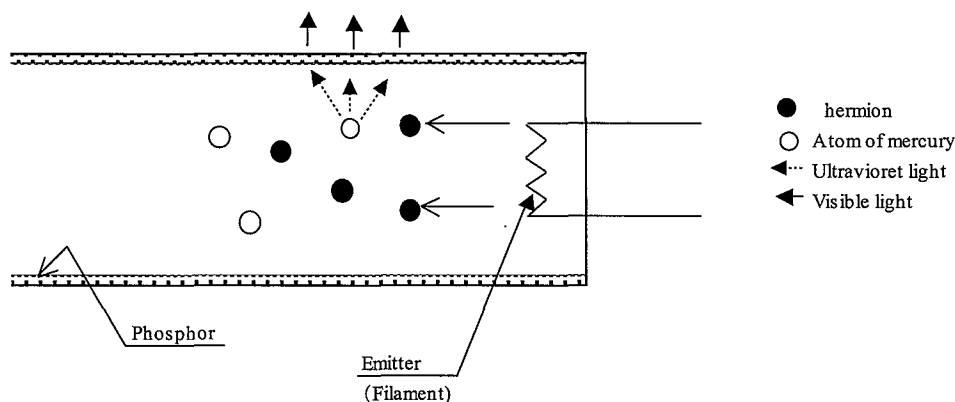
て配合や種類の異なる蛍光体のものが生産されている。

3. 当社の廃蛍光灯処理システム

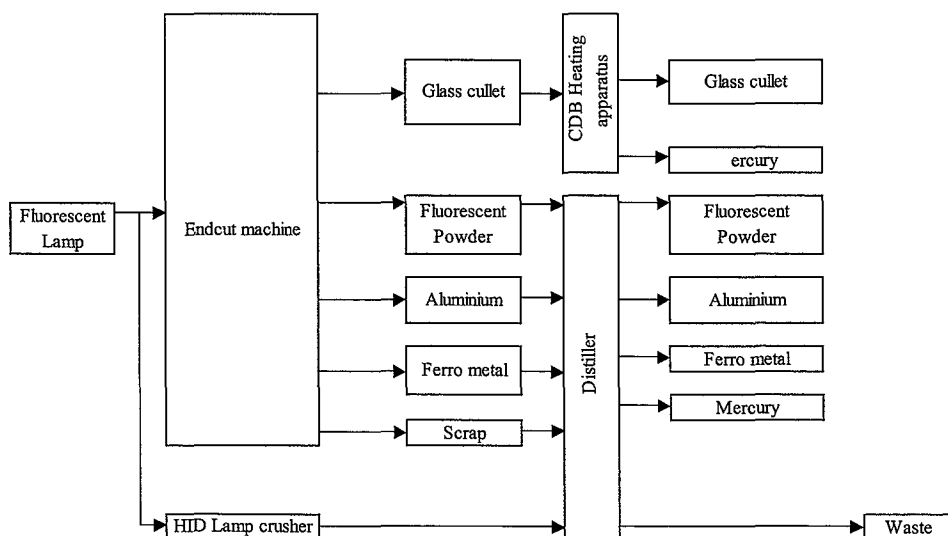
第3図に当社廃蛍光灯の処理フローを示す。処理はすべて乾式操作であり、各設備のガス、粉塵発生部では局所排気装置を設けることによって、作業環境を良好に保つように設計している。排出水銀ガス濃度は、カーボンフィルタを設置することにより、 0.05 mg/m^3 以下にしている。



第1図 蛍光灯の構造
Fig. 1 Construction of fluorescent lamp



第2図 蛍光灯の発光原理
Fig. 2 Principle of fluorescent lamp



第3図 廃蛍光灯処理フロー
Fig. 3 Flowsheet of used fluorescent lamp treatment

4. 主要設備

4. 1 エンドカットマシン

受け入れた蛍光灯を最初に処理する設備であり、直管形蛍光灯を自動的に破碎，分別する機能を有しそれぞれ処理品を自動的に取り出せるようになっていている。機器は仕切られたフードの中に設置しており，フードは吸引ファンによって常時負圧に保ち，発生するガス，粉塵が作業場に漏れ出すことが無いよう設計されている。第4図に機内の処理工程を示し，写真1に外観を示す。まず，蛍光灯の両端を切断し，口金部分とガラス管部分にした後，口金部分はアルミニウム，口金ガラス，電極などの金属に分離回収する。ガラス管部分からは蛍光粉をエアブローにより回収する。なお，蛍光粉は白色粉と三波長粉をそれぞれ識別し，別々に回収している。

処理対象：直管形蛍光灯

長 さ：600 mm (20 W)～2 400 mm (110 W)

ガラス管直径：φ 16～φ 38

処 理 量：2 000～5 000本/h

4. 2 CDB 加熱機

エンドカットマシンで蛍光粉を除去したクリーンガラスカレットは，微量に付着した水銀を CDB 加熱機で高温，真空雰囲気中でさらに蒸発除去する。第5図にシステムフローを示す。

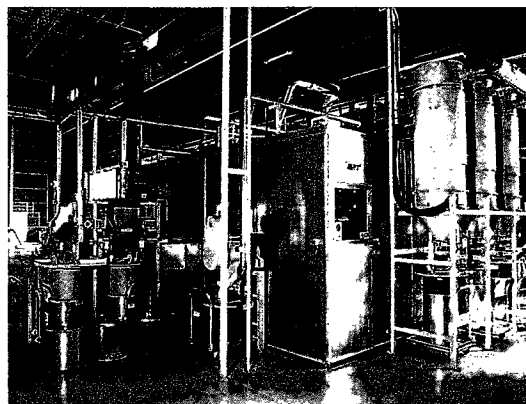


写真 1 エンドカットマシン

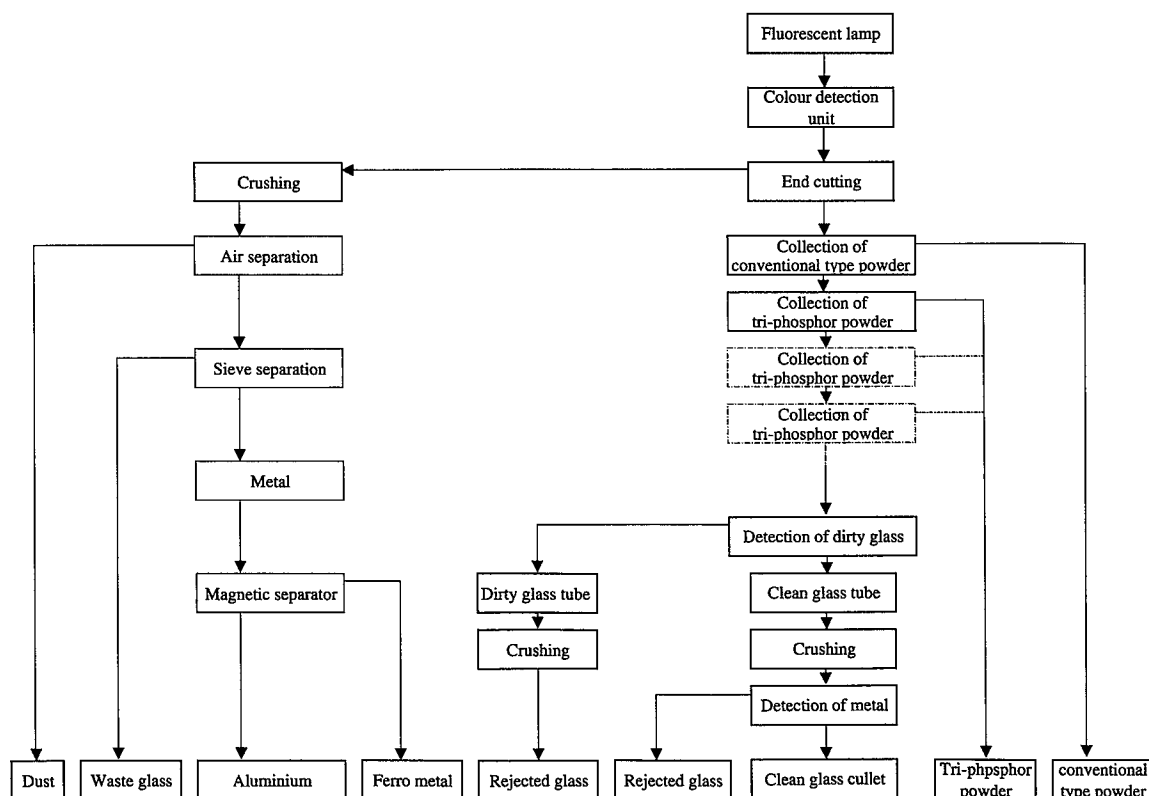
Photo 1 Endcut machine

4. 3 蛍光灯破碎機

曲管（サークライン），HID 水銀灯，破損した蛍光灯などを破碎，減容処理する装置である。第6図に外形図を示す。オペレータが被処理物を上部のホッパーから手で投入し，下部のコンテナが満杯になれば次行程の蒸留装置へ送る。

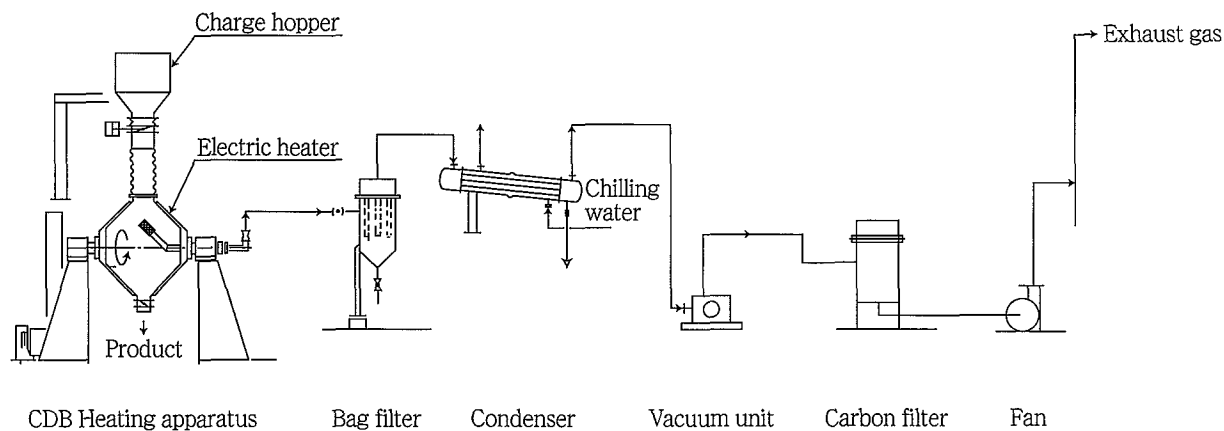
4. 4 蒸留装置

写真2に外観を示す。エンドカットマシンより取り出した分別品，並びに蛍光灯破碎機で減容した破碎品は，それぞれ専用の容器で捕集するので，これらを容器のまま蒸留機内に格納し，高温，真空状態

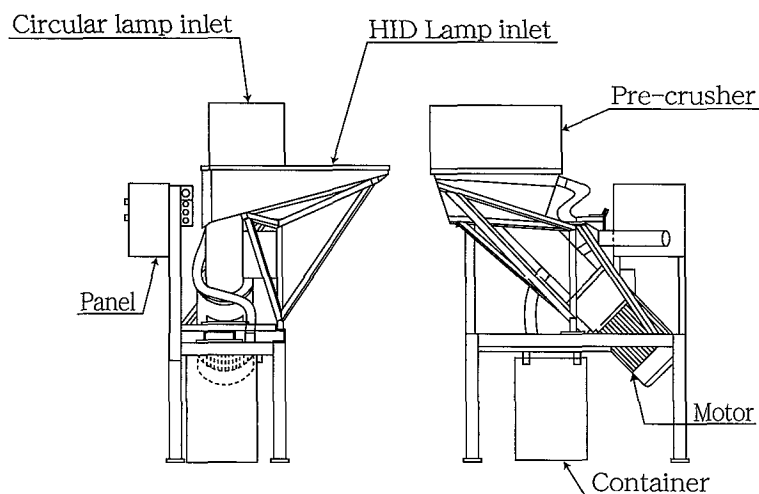


第4図 エンドカットマシン フロー図

Fig. 4 Schematic flow diagram of endcutmachine



第5図 CDB 加熱機フローシート
Fig. 5 Flow sheet of CDB Heating apparatus



第6図 蛍光灯破砕機
Fig. 6 HID Lamp crusher

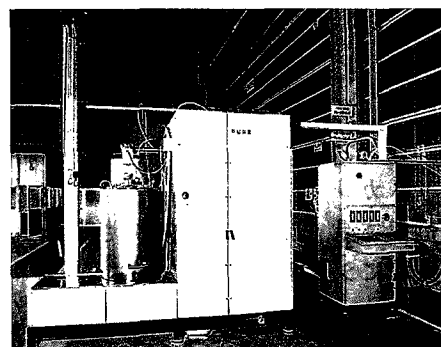


写真 2 蒸留装置
Photo 2 Distiller

で水銀を蒸発させ、機内で凝縮・捕集する設備である。また、二次燃焼炉を設けているため、有機物も酸化分解させることが可能な設計となっている。処理品の仕込み、取り出し以外は処理温度、処理時間を入力するだけで全自動運転が出来るようプログラムされた装置である。

5. 再生と還元

受け入れした廃蛍光灯を分別、脱水銀処理した各種有用物のリサイクル用途として

1) ガラスカレット

グラスウール、エコ煉瓦、路盤材、蛍光灯用ガラスなどの原料

2) アルミニウムなどの金属

マテリアルリサイクル

3) 蛍光粉

蛍光灯原料へリサイクル

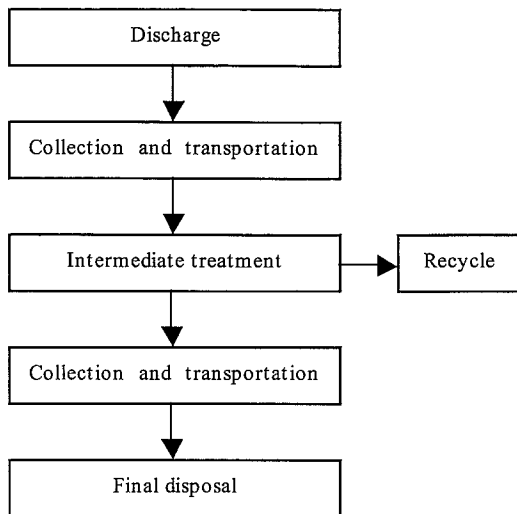
4) 水銀

蛍光灯原料へリサイクル

などへのリサイクルを考えているが、今後ニーズに合わせてさらに開拓していく予定である。

6. 廃蛍光灯の受け入れから最終処分まで

当社で処理する蛍光灯は事業所、工場などから排出される廃蛍光灯であり、いわゆる産業廃棄物である。したがって“廃棄物の処理および清掃に関する法律”略して廃棄物処理法にのっとり適正に処理している。排出事業者は、産業廃棄物の処理を委託



第7図 産業廃棄物の流れ³⁾
Fig. 7 Flow of Industrial waste management

ようとするれば、運搬業者と処分業者のそれぞれと書面による委託契約を結ばなければならない。

排出事業者は廃棄物の名称、数量、運搬業者名、処分業社名などを記載した“廃棄物管理票”（マニフェスト）を発行する。このマニフェストは廃棄物

の流れを排出者が自ら把握するためのもので、不適正な処理による環境汚染や不法投棄を未然に防止するためのものである。中間処理業者も中間処理によって排出する廃棄物についてはマニフェスト（二次マニフェスト）を発行し、最終処分を委託する。廃棄物処理業、収集運搬業には、管轄する都道府県知事の許可証が必要である。

第7図に産業廃棄物の流れを示す。この中で、当社は中間処理を受託して、リサイクルするものと、どうしてもリサイクルに不適なものを最終処分にまわすという過程を受け持っている。

む す び

当社の廃蛍光灯のリサイクル事業は、まだ緒に付いたばかりであり、今後、廃蛍光灯の適正処理化とリサイクルの機運が高まって、受託処理量が増えることを期待している。また、リサイクル品のさらなる用途開発にも力を入れていきたいと考えている。

[参考文献]

- 1) MITSUBISHI/OSRAM ランプカタログ
- 2) National ランプカタログ
- 3) 産業廃棄物ガイドブック（全国産業廃棄物連合会）

連 絡 先

田 中 英 美 K-プロジェクト室

TEL 0794 - 36 - 2548
FAX 0794 - 36 - 2585
E-mail h.tanaka@pantec.co.jp

<製品紹介>

縦型湿式電気集塵機 PAN WEP

Introduction of new vertical type wet
electrostatic precipitator



(気)大気環境部第1エンジニアリンググループ
川 除 禎 平
Sadahira Kawayoke

当社では集塵装置としてガス流れが水平流の湿式電気集塵機「イオンスクラバー」を保有しているが、このたび新しいタイプの湿式縦型電気集塵機「PAN WEP」の販売を開始した。この装置は縦型でガス流れは下降流方式を採用している。また荷電部はスパイラル付のパイプ型放電極と円筒型集塵極を採用している。これらの構造により従来より高性能でかつメンテナンス性の優れた装置となっている。

本項ではこの縦型湿式電気集塵機「PAN WEP」について紹介する。

Shinko Pantec Co.,Ltd. owns Air Pollution Control Equipment called "Ionizing Wet Scrubber", that is of horizontal flow type. We have recently started marketing the new type, wet electrostatic precipitator called "PAN WEP".

It is of vertical type and down flow type in gas flow path, and adopts the pipes with spirals as discharging electrodes and the cylinders as particulate-collecting-electrodes.

This structure makes PAN WEP more excellent in properties and easier in maintenance than the conventional wet electrostatic percipitator.

Key Words :

電 気 集 塵 機
湿 式 電 気 集 塵 機
排 気 ガ ス 処 理
コ ロ ナ 放 電

Electrostatic precipitator
Wet electrostatic precipitater
Air pollution control
Corona discharge

ま え が き

環境対策は年々厳しくなる方向にある。最近では臭気対策について物質毎の濃度規制から混合臭気の臭気指数規制に変わったのをはじめダイオキシン排出濃度規制も制定された。

ばいじん規制についても環境対策の先進地である欧米を見習いより高度なPM2.5規制が検討されている。

また昨今では、企業イメージのアップ、地域住民の環境意識の向上にともない、法規制の強化を待たずにより高度処理機能を持った環境装置に改善をおこなう企業が増えつつある。

当社では、各規制に対応すべく、簡易的な溜水式集塵装置から高度処理を目的とした電気集塵機に至るまで一連の装置を取りあつかい、ユーザーニーズに合わせた最適な組み合わせを提案してきた。

このたび荷電極に放電線ではなくスパイラル付の放電パイプを利用した縦型湿式電気集塵機「PAN WEP」の販売を開始したので下記に紹介する。

1. 電気集塵機の基本事項

1.1 電気集塵機の原理

電気集塵機の基本原理について一般的な平板形の例を基に示す。(第1, 2図)

電気集塵機は、直流電源装置、絶縁支持された放電極および接地された集塵極で構成されている。集塵極は滑らかな面を有しており、放電極には直流電源装置により直流電圧が印加されている。この電圧を上げてくゆくと臨界値(コロナ開始電圧 V_c)で放電極上にコロナ放電が発生する。放電線近傍では正イオンと負イオンが共存しているが正イオンは直ちに放電極に中和され、負イオンは集塵極へ向かい流れはじめる。更に電圧を上げると火花放電(電圧 V_s)が発生しそれ以上の電圧を印加出来なくなる。

コロナ放電が発生している電極間を微粒子が通過すると、微粒子は負イオンの衝突により荷電される。荷電され電荷を持った微粒子は、電極間で発生している電界により集塵極方向へのクーロン力を受け集塵される。クーロン力は次式で表される。

$$F = qE \quad (\text{N})$$

F : クーロン力 (N)

q : 粒子の帯電量 (C)

E : 電界強度 (V/m)

集塵電極に到達した微粒子は電荷を電極に与え中性となるが、そこではファンデルワールス力によって電極に付着した状態となる。

また、電気集塵機の集塵性能は電界強度に依存するため、火花放電発生直前の電圧での運転が望ましい。

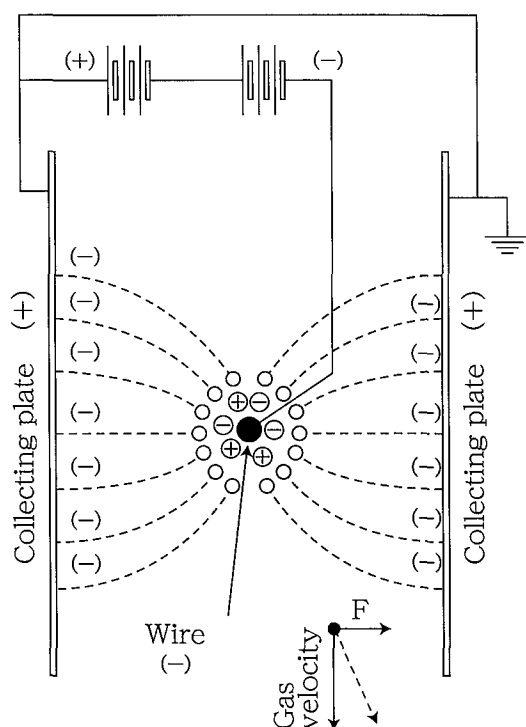
1.2 電気集塵機の特長

電気集塵機の特長をつぎに示す。

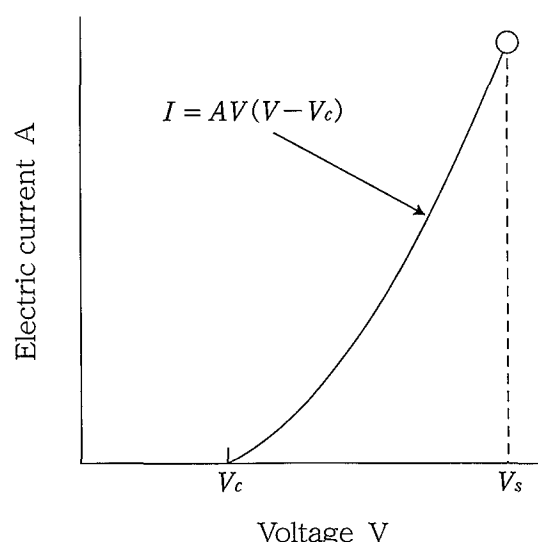
- 1) あらゆる種類の固体および液体の微粒子を高効率に集塵することができる。
 - 2) 装置の圧力損失が低い(100~300 Pa)、運転費が安価に抑えられる。
 - 3) 構造が簡単で可動部分が少なく保守点検が容易であるため、保守費用が安価である。
- 一方次のような短所もある。

- 1) ガス流速が遅く処理時間が長い(ため装置が大型)となる。
- 2) 爆発性ガスや可燃性ダストには使用が困難である。すなわち、集塵空間で発生する火花放電によりこれらの気体や粉体に引火し、爆発や火災を起こす危険性がある。
- 3) 乾式電気集塵機の場合、集塵性能が粒子の見かけ電気抵抗率に支配される。

粒子の電気抵抗率が約 $5 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 以上の場合には集塵されたダスト層内で絶縁破壊を引き起こす逆電離現象という異常現象が発生し、集塵性能



第1図 平板形集じん極による集じん原理
Fig. 1 Collection theory



第2図 コロナ放電の特性
Fig. 2 Characteristic of corona discharge

が著しく低下する。

逆に $10^2 \Omega \cdot m$ 以下になると粒子は集塵極盤上を跳躍するのみで捕集されない。

4) 乾式電気集塵機の場合には、集塵極に堆積した粒子層を払い落とす際の槌打ち時に粒子の一部が処理ガスに同伴され排出されてしまう。

5) 粘性粒子や固着性粒子の集塵には適応できない。

1. 3 電気集塵機の種類

電気集塵機を大別すると以下のように分類される。

1) 乾式と湿式

処理対象粒子が乾燥した固体微粒子であり、これを乾燥状態のまま捕集するものを乾式という。これに対し電気集塵機上流部ダクトで処理ガス中に水を噴霧したり、集塵室内に水を噴霧する事により飽和状態のガスを処理し、集塵極表面に水膜を作り集塵極上に捕集した粒子を水とともに洗い流す方式のものを湿式という。湿式電気集塵機は逆電離現象や再飛散が発生しないため集塵性能が極めて高い。しかしながら排水が出る欠点がある。

2) 垂直流と水平流

処理ガスが装置に対し水平に流れるものを水平流、垂直に流れるものを垂直流と呼ぶ。

垂直流の中には、ガス入口が装置の上部に位置している下降流方式とガス入口が装置の下部に位置している上昇流方式がある。

3) 平板型・円筒型と角型の集塵極

集塵極の形状により円筒型、角型および平板型がある。集塵極板上の電界強度を考えると放電極から集塵極までの距離が一定している円筒型が有利であるが、装置の構造上一般的には複数枚の平板集塵極を平行に配置し、その間に放電線を設置した平板型が主流である。角形は円筒型の欠点である集塵極配置の際に発生するデッドスペースを改善した方式で集塵極はハニカム状配置となっている。しかしながら平板型と同様に集塵極板上の電界が一様でない欠点がある。

放電極と集塵極の距離は、電圧にもよるが30～150 mm の範囲が一般的に採用されている。

4) 放電極の形状

放電極はシャープな形状ほどコロナ放電が発生し易いが、装置の大型化にともなう引張強度、通ガスによる振動および腐食環境に曝露されていることを考慮に入れ様々な形状が提案されている。丸形や角形断面が一般的であるが、鉄条網のような形状の他に放電板を採用しコロナが発生しやすいように端部に針を取り付けた形状もある。

2. PAN WEP 紹介

2. 1 装置仕様

このたび当社が販売開始した湿式縦型電気集塵機は、下降流方式で円筒型集塵極を採用し、放電極は放電線ではなくスパイラル付パイプを採用している装置の構成および集塵原理を下記に示す。

1) 前噴霧装置

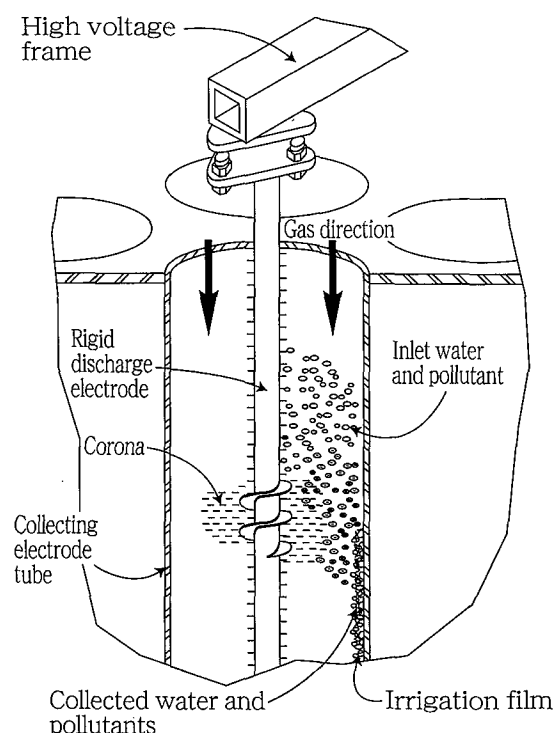
集塵部での水膜形成をおこなうため、処理ガス中に水滴を噴霧する装置である。ダクト内に設置されたミスト発生ノズルと、コロナ放電に悪影響を及ぼす大粒のミスト粒子を除去するためのミストセパレータにより構成されている。噴霧水量は $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ の処理ガスに対し、 1000 L/h 以下あり、ガス条件により噴霧量を決定している。

2) 整流板

ガス入口コーン部分に整流板を複数枚設置し、ガスの整流をおこなう。ガス量と装置サイズを基準に形状を決定し、圧力損失は50 Pa 以下となるように選定されている。

3) 放電極 (第3図)

当該装置では、放電極に放電線ではなくスパイラル付の放電パイプを使用している。放電極は上部の高圧フレームにボルトで固定する構造のため



第3図 集塵部概要
Fig. 3 Outline of collection area

高圧部の構造が非常にシンプルであり、高圧フレームのクリープ変形による放電極の微調整も短時間で済む利点がある。

4) 集 塵 極 (第3図)

集塵極は円筒形であり処理ガス量および除去率により本数を決定する。

処理対象ガス中に含まれていたミストや前噴霧装置で加えられた水滴は固体粒子に比べ捕集されやすい傾向にあるため、優先的に捕集された水滴により集塵極上部に水膜が形成される。水膜はガス流れおよび重力により集塵極の出口側へ流れながら集塵極に捕集された粒子を洗い流す。

5) 内部洗浄装置

荷電部に堆積した粒子を定期的に洗浄するため洗浄水配管が装置内部に設置されており、1日に3～4回、各数分間の洗浄を実施する。洗浄工程においても直流電源装置は荷電した状態であるため、粒子の捕集を継続する事が出来る。

6) 工 事 工 期

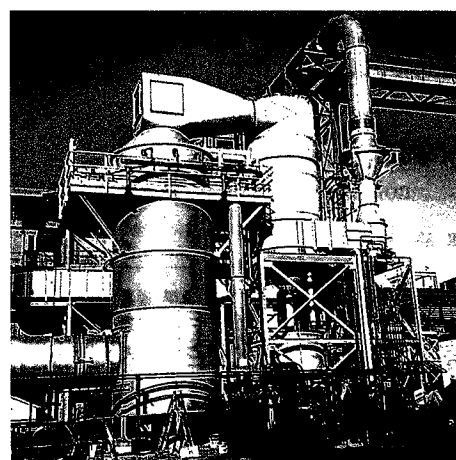
装置本体は、ガス入口コーン・放電極・集塵極およびボトム部に大きく分割されており、ユニッ

ト毎に工場内で製作される。また放電極も工場内で仮設置し現地搬入出来るため現地では調整のみとなる。これにより現地工事が短期間でおこなえる。

2.2 適 用 分 野

米国では煤じん規制以外に各種重金属毎に排出規制が設けられている。この規制をクリアするために当該装置は開発され、産業廃棄物焼却炉排ガスはもとより合板乾燥工程排ガスおよびフューム除去等の処理に採用されている。当該装置を用いた実施例について納入実績および装置外形を第1表・写真1に、また重金属のみについて採取した除去率を第2表に示す。

また、煤じん濃度は経験的に入口負荷 $2 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$ 以下が経済的でありそれ以上の濃度の場合には前処理装置を設置する方法が安価となる。



写 真 1 PANWEP 実装置外観
Photo 1 Outside view of PANWEP

第 1 表 納入実績 (抜粋)

Table 1 List of installations (extract)

Application	Gas vol. m^3/min	Concentration		Effic. %
		Inlet $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	Outlet $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	
Hazardous Waste Soil Remediation	280	1 387	34	97.5
Liquid Incinerator	800	306	10	96.7
Fluid Bed Combustor Pharmaceutical Waste	1 840	1 172	20	98.2
Fluid Bed Combustor Sewage Sludge	630	523	34	93.4

第 2 表 処理ガス中の金属粒子別除去率

Table 2 Summary of metals emission and removal efficiency data

Run No.	Concentration, $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ dry					Removal efficiency, %				
	As	Cd	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Cr	Pb	Ni
1-IN	2.97×10^{-2}	2.97	7.99×10^{-2}	0.457	3.88×10^{-2}	97.8	98.3	97.2	98.6	(96.6)
1-OUT	6.62×10^{-4}	5.02×10^{-2}	2.24×10^{-3}	6.39×10^{-3}	1.32×10^{-3}					
2-IN	1.74×10^{-2}	4.79	5.48×10^{-2}	0.171	1.03×10^{-2}	97.4	99.7	96.3	97.5	(87.2)
2-OUT	4.57×10^{-4}	1.64×10^{-2}	2.03×10^{-3}	4.34×10^{-3}	1.32×10^{-3}					
3-IN	1.32×10^{-2}	0.434	5.71×10^{-2}	0.103	1.12×10^{-2}	98.4	97.9	97.1	98.0	(94.9)
3-OUT	2.17×10^{-4}	8.90×10^{-3}	1.64×10^{-3}	2.05×10^{-3}	5.71×10^{-4}					

Note : at the Ni, outlet concentration are less than the MDL

2.3 テスト機仕様

装置選定をおこなう場合には、通常はユーザー殿より頂いた条件を基に、過去の経験と照らし合わせ装置選定をおこなう。しかしながら設置場所の制約等の理由で限界設計をおこなう場合にはパイロットテストが必要となる。

テスト機の装置概要を下記に、装置外形を写真2に示す。

テスト機仕様

処理ガス量	10～60 m ³ /min
処理ガス温度	100℃未満
設置面積	2.85 mW×6.9 mL×9.0 mH (+メンテナンスエリア)
電気容量	200 V級 30 A
補給水量	300 L/h 以下

むすび

法規制、自主規制を問わず煤じん規制は今後ますます厳しくなると推測される。当該装置はこれらの規制を充分満足できるものとする。

当社の装置がよりよい環境づくりに少しでもお役に立てれば幸いです。

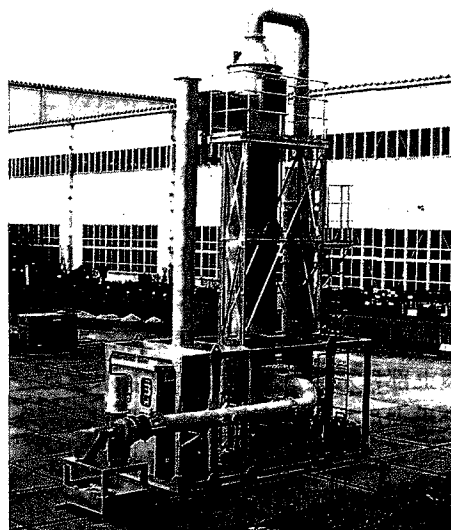


写真 2 テスト機全景

Photo 2 Outside view of pilot plant

[参考文献]

- 1) 檜山和成：化学装置（最新の集じん技術），11月号（2001），p.107
- 2) 浅野和利俊：静電気学会誌（静電気応用技術入門），14，1（1990），p.76
- 3) 通商産業省環境立地局監修：公害防止の技術と法規（大気編），（社）産業環境管理協会

連絡先

川 除 禎 平 気熱装置事業部
 大気環境部
第1エンジニアリンググループ
T E L 078 - 232 - 8134
F A X 078 - 232 - 8067
E-mail s.kawayoke@pantec.co.jp

環境分析センターの取り組み

Extension of Eco Analytical Laboratory



環境分析センター

刈谷 英明

Hideaki Kariya

芦原 奈々子

Nanako Ashihara

服部 孝弘

Takahiro Hattori

石田 典子

Noriko Ishida

近年の環境問題の拡がりに伴って、当社環境分析センターにおいては微量分析に対する精度管理への要求が高まるとともに、測定の対象が廃棄物の分野に拡がってきている。

今回は、計量法改正に対応した当社のダイオキシン類分析の精度管理への取組みおよび当社のPCB処理技術に対応した精度の高いPCB分析技術、また電子工場で使用される有機薬品のイオンクロマトグラフィー分析について紹介する。

Eco Analytical Laboratory of Shinko Pantec has expanded its analytical business to the field of waste management with the recent extension of environmental problems, strengthening accuracy management for microanalysis for all analytical works. This report describes 1) the improvement in quality assurance and control for dioxins by setting a check list to meet the new requirement for analytical accuracy, 2) the PCB analysis required for our company's specific PCB cleaning and decomposition technologies, and 3) TMAH analysis with ion chromatography, using a column suitable for amine.

Key Words :

ダイオキシン類

Dioxins

P C B

Polychlorinated biphenyl

水酸化テトラメチルアンモニウム

Tetramethylammonium hydroxide

まえがき

環境問題が大きく取りあげられてきたこの時期、ダイオキシン類や環境ホルモン等の極微量有害化学物質、またPRTR法に係る有機化学物質の測定等の需要は増加し、その社会的影響から測定における精度管理に対する要求事項も厳しくなっている。

当社においても環境分析センター設立より2年半を経過したが、この間に従来当社が主力としてきた一般水質分析の需要も伸び、開設当初より開始したダイオキシン類、PCB等の微量有機物質の測定も順調に立ち上がってきた。

現在当センターでは、これまでの水質分析を主とし、さらに上記微量分析など社内需要は勿論、社外

からの依頼分析にも対応しており、当初からの目標である「正確で迅速な結果の提供」をおこなうべく、試料受付から報告書の提出までの一連の業務をおこなっている。

また、昨年3月には、水道法第20条第3項の規定による水質検査機関として指定を受けるべく申請をおこない、7月に民間機関では県下で2社目の指定を受けることができた。

この指定を始めとして、最近では分析の信頼性確保のためには、ISO/IEC 17025（試験所認定制度）の取得、計量法改正による特定計量証明（ダイオキシン類の計量証明）事業所としての登録等数々の資格認定が要求されており、当センターでも目下これ

に対応するべく準備を進めている。

また、半導体関連で使用される水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) やモノエタノールアミン、当社の開発関連による土壌のダイオキシン類、油中の PCB、廃棄物関連の埋め立てに関する溶出試験等これまでの一般環境分析とは少し異なった廃棄物関連の分析依頼件数が増加してきている。

今後も社内需要への対応を重視しながら、社外からの分析依頼にも対応すべくさらに体制を強化していく予定である。

以下に当分析センターでの上記依頼に対する取り組み状況を紹介する。

1. ダイオキシン類の分析

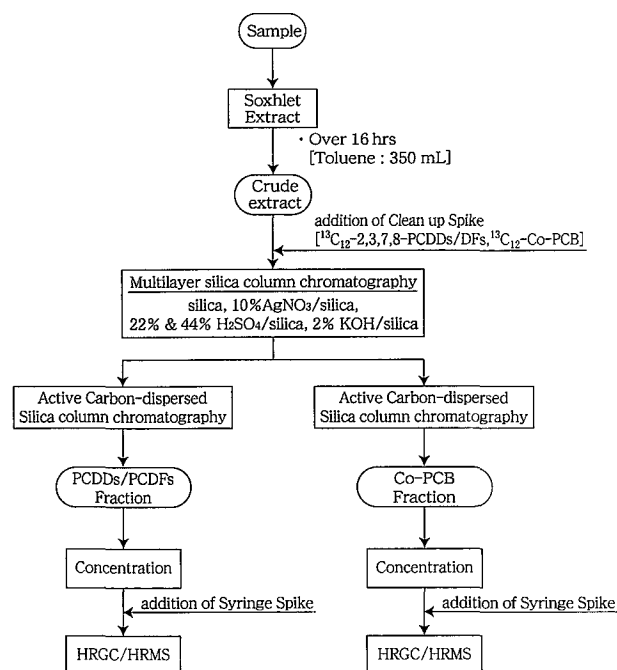
PCDDs (Polychlorodibenzo-p-dioxins), PCDFs (Polychlorodibenzofurans) の分析は極微量分析 (ppb~ppt, ppq オーダ) のために、試料中の夾雑物の影響を除くため煩雑な抽出・前処理をおこない、高感度の測定が可能なガスクロマトグラフ二重収束型質量分析計 (HRGC/HRMS) で測定する必要がある。さらに、厳しい精度管理も要求されている。ここでは、当社でおこなっているダイオキシン類の分析方法とその精度管理について述べる。

1.1 ダイオキシン類の分析方法

1.1.1 前処理方法

当社では現在、水、土壌、底質、灰、環境大気、排ガス、絶縁油等のダイオキシン類分析をおこなっている。

ダイオキシン類の抽出は、試料ごとに抽出方法が異なるが基本的には、各種有機溶剤を用いて抽出をおこなう。抽出した溶液にはダイオキシン類の他に様々な夾雑物 (硫黄成分、多環芳香族炭化水素、鎖状炭化水素、フェノール類、脂肪族炭化水素、タンパク質、農薬等) が含まれる。これらの有機物はダイオキシン類測定の際に妨害成分となるため除去する必要があり、銅処理、濃硫酸処理、多層シリカゲルカラムクロマトグラフィー等の操作で除去される。この前処理操作をおこなった溶液は、ダイオキシン類の他にジフェニルエーテル類、PCBzs (Polychlorobenzenes), PCNs (Polychloronaphthalenes), PCBs (Polychlorinated biphenyls) 等が含まれるため、さらにアルミナカラムクロマトグラフや活性炭シリカゲルクロマトグラフ、HPLC 等を使用してダイオキシン類のみを分離する。分離した溶液は20~100 μ L まで濃縮し、HRGC/HRMS 測定用試料とする (第1図)。



第1図 ダイオキシン類分析の前処理
Fig. 1 Pretreatment for analysis of DXNs

1.1.2 測定方法

ダイオキシン類の測定は、ダイオキシン類の各成分の挙動の違いにより3種類以上のキャピラリーカラムを使用しておこなう。測定時間は一試料当たりおよそ120分程度かかり、測定時には十分な質量数分解能 ($M/\Delta M > 10,000$) と十分な感度 (TeCDD (Tetrachlorodibenzo-p-dioxin) で0.1 pg が定量可能) が得られる様に HRGC/HRMS の調整をおこなう必要がある。この時、十分に夾雑物が除去されていない場合は、再度前処理操作を繰り返す。解析には PCDDs/PCDFs は210成分、PCBs は209成分のピークを確認して定性、定量をおこなう。

1.2 精度管理

ダイオキシン類の分析結果は、ある種工業製品として見なされる。よって工業製品同様、品質保証 (QA) / 品質管理 (QC) ・精度管理が必要になってくる。各分析機関は、この QA/QC の精度管理を自主的におこなう必要がある。当社は次のことに注意を払い分析をおこなっている。

1) 人為的ミス

分析自体にミスが無いことを確認可能とするために、「いつ」・「誰が」・「どこで」・「何のために」・「何を」・「どのように」おこなったかを記録し、保管した記録から関係するすべての情報をトレースできるような管理体制を整える。

2) 分析時の作業環境

分析時の室内環境（温度、湿度、清浄度）が適正な条件となるように管理し記録する。また、分析に使用する機器は、適正な性能を維持できるように管理している。

3) 分析に使用する器具・試薬および材料

分析に使用する器具、試薬および材料はダイオキシン類が含まれていないものを使用する。また、標準試薬は使用記録を作成し、ロット、使用量、保管場所を管理している。

4) 前処理の回収率

前処理におけるダイオキシン類の回収率が50～120 %の範囲になる様に前処理条件を管理する。この範囲を外れた時、前処理操作を抽出した溶液から再度おこなう。

5) コンタミネーション

試料間にコンタミネーションが無いこと、ブランク値が低いことを確認する。分析試料数の10 %以上の割合で、通常の試料の前処理と同様の操作で、空試験をおこなう。

6) ダイオキシン類分析精度

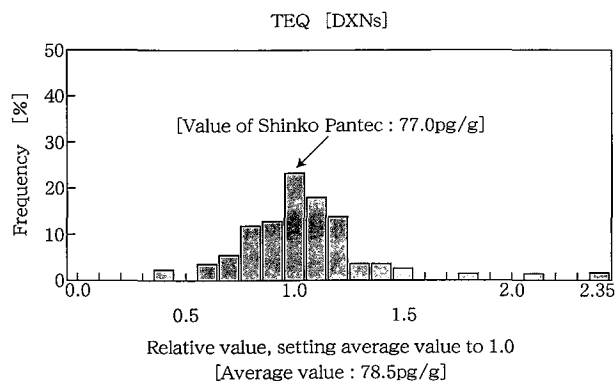
ダイオキシン類分析の精度（繰り返し性）を見るために、同一試料を独立して計り取り前処理、測定をおこない同様の値であることを確認する。この操作を分析試料数の10 %以上の割合でおこなう。

1.3 環境省統一精度管理調査

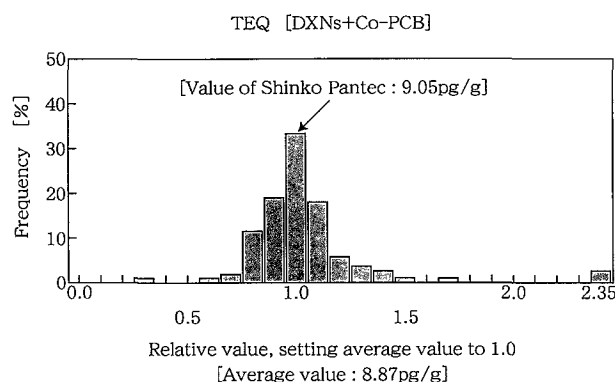
分析機関の分析技術の向上を図る目的で、環境省は各分析機関における分析値のばらつきの程度を調査している。また、各分析法についての得失を明らかにして、分析手法、分析技術の改善を図ることを目的として平成10年度から「統一精度管理調査」を実施している。当社は平成11年（土壌）、平成12年（底質）の2回この調査に参加した。このときのヒストグラムを第2、3図に示した。このヒストグラムは分析機関全体の分析値平均を1.0としたときのばらつきの割合を示したものである。平成11年度の平均値は78.5 pg/g であり当社は77.0 pg/g、平成12年度の平均値は8.87 pg/g であり当社は9.05 pg/g の値を示した。この結果からみて、当社のダイオキシン類に関する分析精度は維持され平均的レベルにあると言える。

2. Total PCB の分析

PCB (Polychlorinated biphenyl) は、絶縁油などとして使用する目的で製造されたものであるが、ダイオキシンやフランと同等の毒性を持つ異性体も存



第2図 各社測定結果の比較（土壌試料）
Fig. 2 Comparison of accuracy of analysis (Soil Sample)



第3図 各社の測定結果の比較（底質試料）
Fig. 3 Comparison of accuracy of analysis (Bottom sediment Sample)

在することが確認され、現在では使用禁止となっている。これまで使用されてきた PCB は、ほとんど処理されないまま保管されている。

当社では、PCB 汚染物の洗浄技術および PCB 分解技術を保有しており、当センターでは、これらの業務を進める上で必要となる PCB 分析をおこなっている。当センターに持ち込まれる試料の形態は様々なものがあり、以下のものが挙げられる。

- (1) 油 : 分解試験の試料、排気を吸収させた油など
- (2) 拭き取り : 洗浄試験における容器内面等をふき取った脱脂綿
- (3) 部材 : 洗浄試験の試料
- (4) 溶剤 : 洗浄試験に使用した溶剤
- (5) ガス : 分解試験等で装置から排出されるガス、実験室内の大気など
- (6) 水 : 実験室の排水、環境水（実験とは無関係のもの）など
- (7) 土壌 : PCB 汚染土壌の分解処理実験の試料

2. 1 分析方法

分析方法は、試料ごとに厚生省告示第192号（油、拭き取り、部材など）、JISK0093（水）、作業環境測定法（ガス）などに準拠しておこなっている。

2. 1. 1 前処理方法

例として、油試料の前処理の概略フローを第4図に示す。

拭き取り、部材試料はヘキサンで超音波洗浄し、そのヘキサンを濃縮した後、このフローに従って前処理する。

溶剤試料は、ヘキサンで希釈するだけで測定するが、溶剤の影響がクロマトグラムに残る場合は、その影響がないように前処理をして定量している。

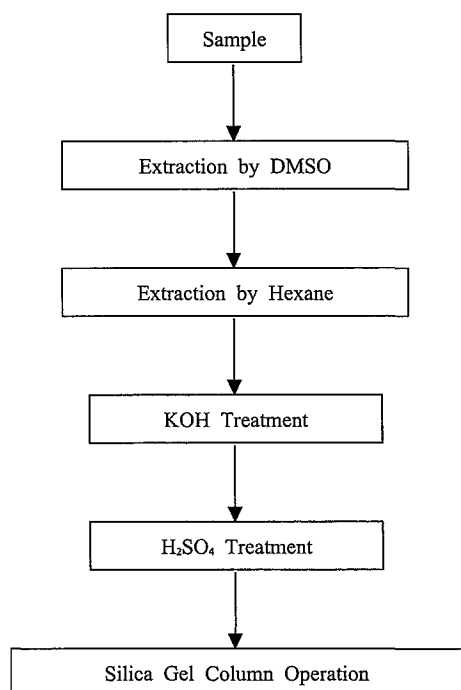
土壌は環境基準の判定方法として、水に溶出させて分析する方法が定められているが、汚染土壌分解実験のデータとしての必要性を考慮し、含有量を測

定するための前処理もおこなっている。

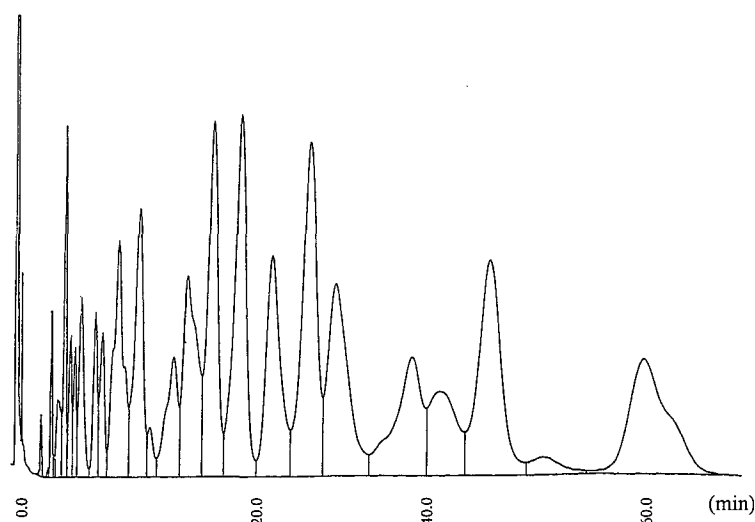
PCB分析のための前処理においては、器具の汚染に対する注意をしなければならず、低濃度用と高濃度用の器具を分けることやブランク試験を頻繁におこなうことなどの工夫が必要である。

2. 1. 2 測定法

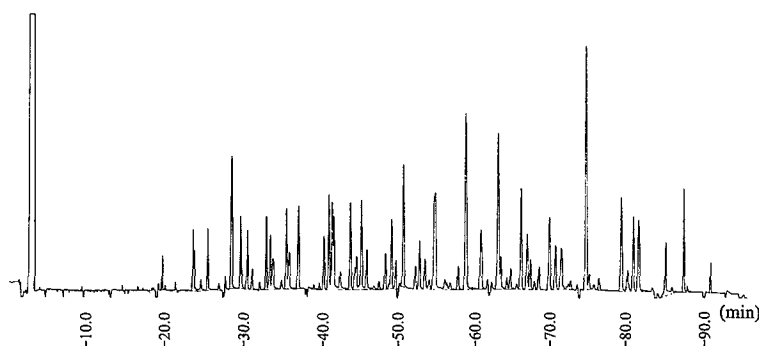
測定、解析はGC/ECD（Gas Chromatograph/Electron Capture Detector、島津製作所製GC14B/CR7A）を使用し、測定条件、解析条件は「キャピラリーカラム・ECD-ガスクロマトグラフィーによるポリ塩素化ビフェニル（PCBs）の数値化法」¹⁾に基づいている。GCのカラムはキャピラリーカラムを使用しているが、パックドカラムに比べてより多くのピークに分離されて現れるため、分解前後でどの成分が分解されにくいかなというような検討がしやすいといえる。クロマトグラムの違いを第5、



第4図 PCB分析の前処理
Fig. 4 Pretreatment for Analysis of PCBs



第5図 パックドカラム使用時のクロマトグラム
Fig. 5 Chromatogram with Packed Column



第6図 キャピラリーカラム使用時のクロマトグラム
Fig. 6 Chromatogram with Capillary Column

6図に示す。

2.2 その他

また、分解処理済み油中 PCB の分析はガスクロマトグラフ二重収束型質量分析計 (HRGC/HRMS) で測定するよう定められており、当センターでも測定をおこなっている。

HRGC/HRMS は、前処理が確実にできていないと感度低下が起こって正確に定量できなくなるため注意が必要である。また、現状の公定法では回収率を測定するよう定められてはいないが、成分により十分な回収率が得られないものもあり、今後も前処理方法、定量方法のさらなる検討が必要である。

今後、環境ホルモンとしての PCB 分析依頼も増えるものと考えられ、より精度よく分析するための検討を続けていく必要がある。

3. TMAH の分析

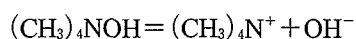
吸収剤や洗浄液などに使用されるアミン系薬品、特に半導体表面処理、ポリレジスト用現像液に用いられる水酸化テトラメチルアンモニウム (以下、TMAH) 測定の検討をおこなった。アミン類は最近ではイオンクロマトグラフィーでの測定が一般的になってきており、当社でもイオンクロマトグラフィーを用いた分析法を検討した。

3.1 分析方法

イオンクロマトグラフィーはイオン交換樹脂により試料溶液中の種々の陰イオンまたは陽イオンを分

離し、電気伝導度・紫外吸光度などから定性定量をおこなう分析方法である。装置の構造は送液部・分離部・検出部からなり、ろ過や希釈などの簡易な前処理で多成分を同時に測定できることが特徴で、JIS (用水試験方法、排水試験方法) や上水試験方法などの公定法に広く採用されている。通常、塩素イオン、硫酸イオンといった陰イオン分析に多く使用されており、他にアンモニウムイオンや金属イオンなどの陽イオン測定もおこなわれる。当社では、現在フッ素、塩素、臭化物、硝酸、リン酸、硫酸、亜硫酸の各陰イオンと蟻酸の測定にイオンクロマト法を利用している。

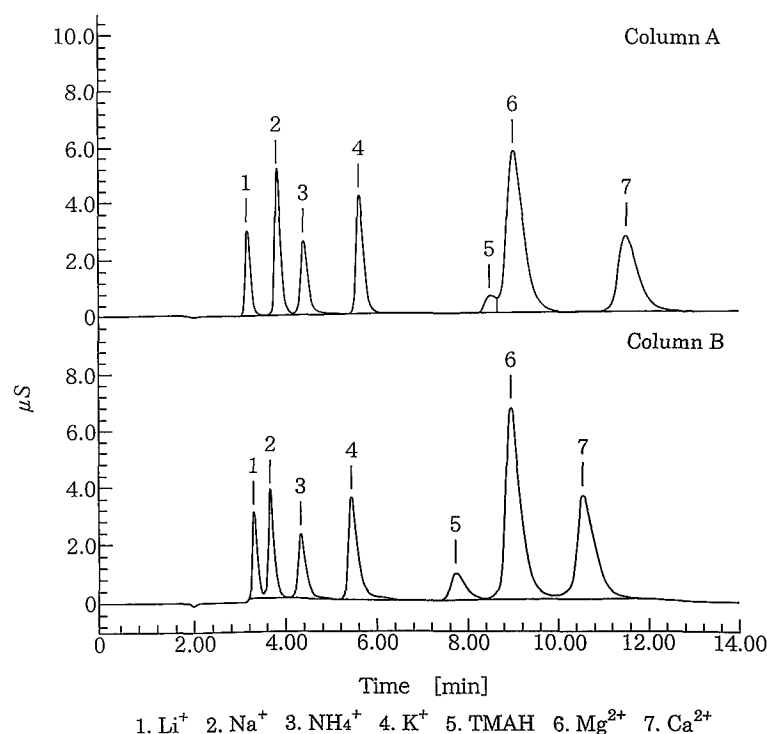
TMAH は、 $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ の構造を持ち、次のように解離する。



この $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$ をイオンクロマトグラフィーの陽イオン分析で検出する。

3.2 分析条件

ナトリウムイオン・カルシウムイオンなどに一般によく用いられる従来の分析条件 (カラム A) によるクロマトグラムは、第7図の上に示すように、TMAH とマグネシウムイオンのピークが重なり、定量可能な分離がえられない。これは分離カラムの劣化が原因と思われる。新しいカラムで分析をおこ



第7図 2種類のカラムによる TMAH 測定クロマトグラムの比較

Fig. 7 TMAH measurement chromatogram in different columns

なっても、劣化しはじめると試料測定が正確におこなえない可能性があるため、カラムの種類を検討しなおすこととした。

アミン類に適している新しいタイプのカラム（以下、カラム B とする）を使用したときのクロマトグラムを第 7 図の下に示す。

この 2 つのクロマトグラムを比較すると、カラム A で分析しているものよりもカラム B で分析したクロマトグラムの方が TMAH と他の陽イオンの分離が良くなり、TMAH のピーク形状もシャープで感度が良くなっていることが分かる。

カラム B を使用して 0.5 mg/L から 10.0 mg/L の範囲で検量線作成データを取り、グラフ化したものを第 8 図に示す。第 8 図より直線性および再現性があることが確認されたため、このカラムで分析することに決定した。また、下限値は 0.1 mg/L まで測定可能であることを確認した。

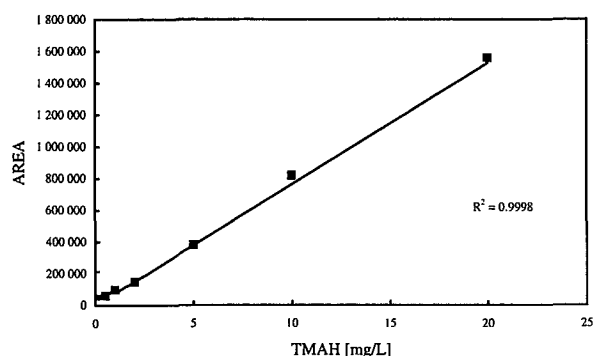
3.3 今後の対応

先の上水試験方法改正（2001 年度）によって、ナトリウムなど陽イオン分析においてイオンクロマトグラフィーが設定され、陽イオンの分野でも今後イオンクロマトグラフィーに対する注目が高まってくることが予想される。

当社では、2001 年度中にイオンクロマト計を増設し、イオンクロマトグラフィーで測定可能な物質の測定検討を重ねて種々の要求に対応していけるよう取り組んでいく。

むすび

環境分析センターの近況について紹介した。今後とも信頼性の確保に努めるとともに、廃棄物のリサ



第 8 図 TMAH 検量線

Fig. 8 The TMAH Calibration Curve

イクルや環境リスク対策に対応し、更に研鑽を重ね豊かな環境づくりに貢献できるよう努力する所存である。

[参考文献]

- 1) 高菅卓三ら：ダイオキシンおよび関連化合物質の HRGC/HRMS による超微量分離定量分析における最適条件化の検討，環境化学，Vol.2, No.3 (1992)，p.599
- 2) 厚生省水道環境部水道整備課：水道原水および浄水中のダイオキシン類調査マニュアル（1999）
- 3) 環境庁企画調整局環境研究技術課：平成11年度環境測定分析統一精度管理調査結果—ダイオキシン類—（2000）
- 4) 環境省環境管理局総務課環境管理技術室：平成12年度環境測定分析統一精度管理調査結果—ダイオキシン類—（2001）
- 5) 宮田秀明ら：キャピラリーカラム・ECD—ガスクロマトグラフィーによるポリ塩素化ビフェニル（PCBs）の数値化法，Vol.4, No.4 (1994)，p.819

連絡先

荻谷 英明 環境分析センター

TEL 078 - 992 - 6517
FAX 078 - 992 - 6536
E-mail h.kariya@pantec.co.jp



浮上濃縮技術

平井孝明 環境装置事業部
環境本部
技術部
第4グループ
グループ長
工学博士

まえがき

浮上分離法は懸濁粒子に気泡を付着させて見掛けの比重を液相のものより小さくすることにより分離濃縮する方法で、産業排水や下水の処理法として広く活用されている。

浮上濃縮法については、実験的なものが多く、理論的なものは非常に少ない。特に、下水処理汚泥の浮上濃縮に関しては、実験的な研究がほとんどで浮上濃縮機構が十分解明されているとは言えない。これは、浮上濃縮過程においては、気相・固相・液相の三相間の相対運動や多数の因子が複雑に相互作用するため、特定の因子の作用範囲または影響範囲を実験的に求め難いためである。こうした問題に対処するため当社では、浮上濃縮機構に関与する因子を理論的考察のもとモデル化し、数値シミュレーションをおこなうことにより、複雑に相互作用する因子のうち真に浮上濃縮性能に影響を与える因子等について検討をおこなっている。本編ではそれらについて概説する。

1. モデル化^{1)~3) 他}

濃縮機構を固相（湿潤状態での汚泥）、気相（気泡）、および液相の三相から構成される混合流体の運動であるとし、作用する力として、汚泥粒子（固相）の水中重量、汚泥粒子の接触による有効応力、汚泥粒子にはさまれている気泡の変形分による有効応力の代替的伝達分、気相による浮力、間隙水が固相に対して相対運動するときに固相に作用する流体

粘性力、間隙水が気相に対して相対運動するときに気相に作用する流体粘性力、気相が固相に対して相対運動するときに固相に作用する応力の総和がゼロになる、とした考え方をもとに連続の式および運動方程式を求め、それらをもとにモデル式を導くと以下の式となる。

$$V_s = \varepsilon_s \int_0^w \frac{1}{\varepsilon_s \rho_{sw}} \frac{RT}{P_a + P_o} g(t') dw - \frac{K}{\mu} (\varepsilon_s + \varepsilon_g) [\varepsilon_s \rho_{sw} \frac{\partial P_s}{\partial w} + \beta \varepsilon_s (\rho_{sw} - \rho_l) g + (1 - \gamma) \varepsilon_g (\rho_g - \rho_l) g] \quad (1)$$

$$\frac{1}{\rho_{sw}} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} + \varepsilon_s^2 \frac{\partial}{\partial w} \left(\frac{V_s}{\varepsilon_s} \right) = 0 \quad (2)$$

ここで、 V : 体積速度、 ε : 体積分率、 w : 質量、 t, t' : 時間、添字 s, l, g : それぞれ固相、液相、気相を示す。

モデル式(1)、(2)式を差分化し、数値計算をおこなうことにより、浮上濃縮機構に複雑に相互作用する各因子がそれぞれにおよぼす影響について解析が可能となる。浮上濃縮機構に作用する因子をまとめて整理すると、次のようになる。

(1) 固定（既知）値として扱ってよい因子

動粘性係数	: μ	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]
気体定数	: R	[$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]
重力加速度	: g	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
大気圧	: P_{ao}	[Pa]
表面張力 (大気圧下)	: P_{so}	[Pa]

(2) 操作因子

固形物負荷	: L_s	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$]
気固比	: A/S	[$\text{kgAir} \cdot \text{kgSS}^{-1}$]

(3) 汚泥性状に係る因子

1) 汚泥の性状に起因する因子

透水係数	: K	[m^{-2}]
有効応力	: P_s	[Pa]
応力の伝達率	: β, γ	[—]
ガス発生 (消費)速度	: $g(t')$	[$\text{kgAir} \cdot \text{kgSS}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

2) 汚泥物性

汚泥湿潤密度	: ρ_{sw}	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
汚泥乾燥密度	: ρ_{sd}	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
汚泥の湿潤時 と乾燥時の体積比	: α	[—]

(4) フロス搔取因子

フロスの搔取 の時間間隔	: T_f	[s]
フロス厚	: H	[m]

2. 計算結果

他の因子を一定としてある特定の因子のみが変化した場合における濃縮固形物（フロスと称す）濃度（ C_s ）との関係を以下に示す。

1) 操作因子^{4), 5)}

第1, 2図に示す。

2) 汚泥性状に係る因子

汚泥の性状に起因する因子を第3～6図に示す。汚泥物性⁵⁾を第3～7図に示す。

3) フロス搔取因子⁶⁾

第8, 9図に示す。

3. ま と め

フロス濃度に影響を与える因子としては、操作因子（固形物負荷、気固比）および汚泥の物性等が挙げられる。固形物負荷を大きくすると濃度は低下するが概ね50～60 $\text{kg/m}^2/\text{d}$ 以上となると実測値計算値共濃度の低下率は低くなる。また、気固比を大きくすると濃度は増加するが、気固比0.04 kg/kg 以上に

なると濃度の増加率は小さくなり、ほぼ横バイとなる。

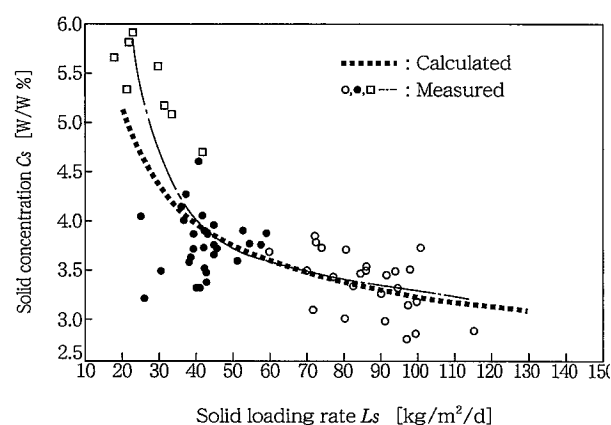
第7図は、汚泥の物性を代表してSVIにて示したもので、SVIもフロス濃度に大きく関与していることが解る。なお、SVIと汚泥物性には、以下の関係⁷⁾がある。

$$\rho_{sw} = 10.39 - 0.028(SVI) \quad (3)$$

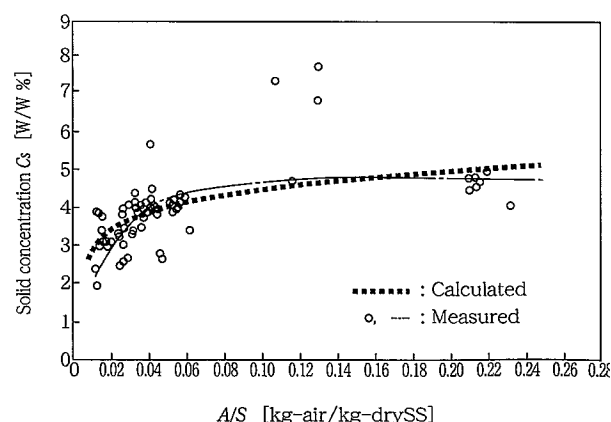
$$\alpha = 15.46 + 0.0223(SVI) \quad (4)$$

$$\rho_{sw} - \rho_1 = \frac{1}{\alpha}(\rho_{sd} - \rho_1) \quad (5)$$

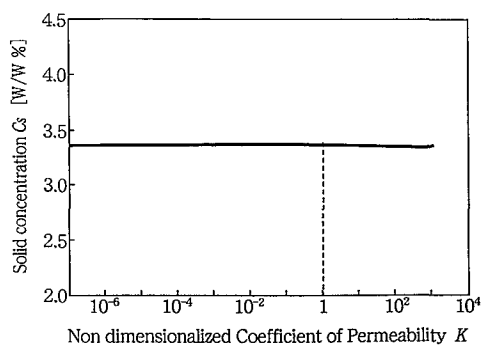
第10図は、フロスの鉛直方向の固相分率を示したもので、計算結果では上方に従い圧密が進行し、固相分率が増加しているのに対し、実測値では上部において低下している。これは、フロスの搔取りによ



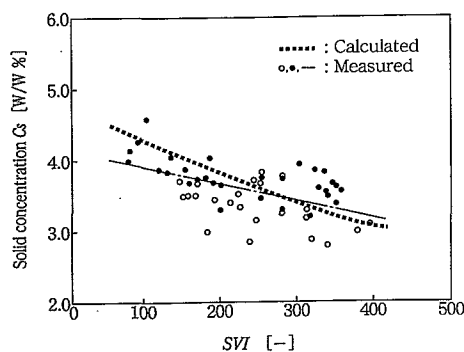
第1図 固形物負荷とフロス濃度との関係
Fig. 1 Relationship between L_s and C_s



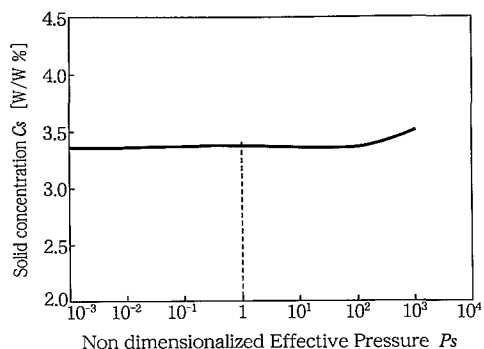
第2図 気固比とフロス濃度との関係
Fig. 2 Relationship between A/S and C_s



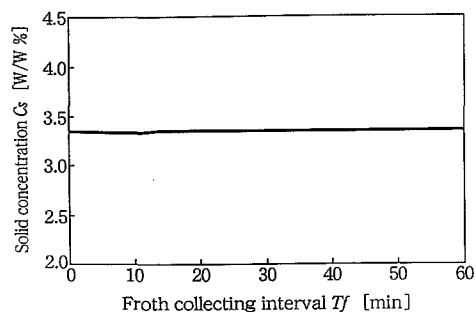
第3図 透水係数とフロス濃度との関係
Fig. 3 Relationship between K and C_s



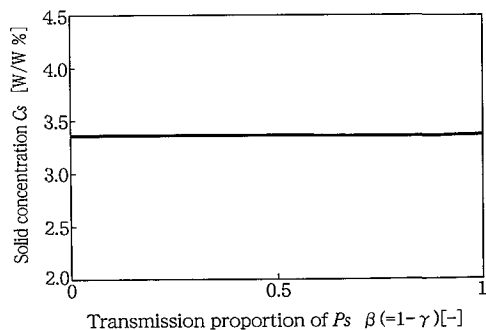
第7図 SVIとフロス濃度との関係
Fig. 7 Relationship between SVI and C_s



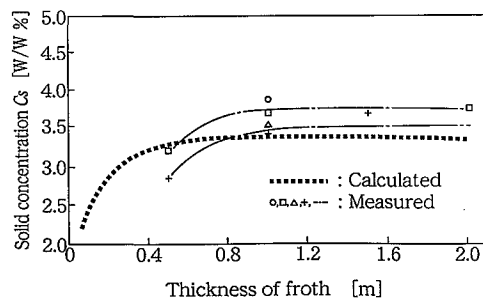
第4図 有効応力とフロス濃度との関係
Fig. 4 Relationship between P_s and C_s



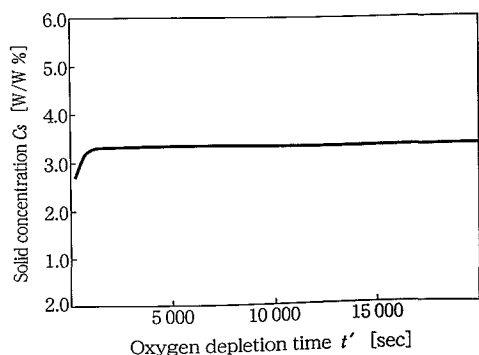
第8図 掻取時間間隔とフロス濃度との関係
Fig. 8 Relationship between T_f and C_s



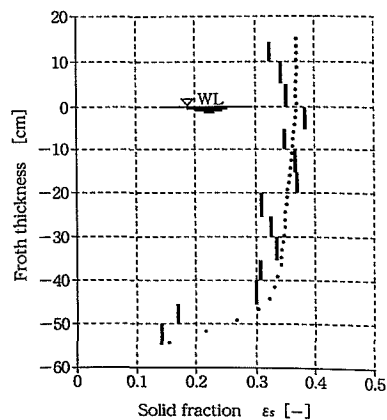
第5図 応力伝達率とフロス濃度との関係
Fig. 5 Relationship between $\beta(=1-\gamma)$ and C_s



第9図 フロス厚とフロス濃度との関係
Fig. 9 Relationship between thickness of froth and C_s



第6図 酸素消費速度とフロス濃度との関係
Fig. 6 Relationship between t' and C_s



第10図 固相分率のフロス鉛直分布
Fig. 10 Vertical distribution of solid fraction

る攪乱によるものと考えられる。固相分率の低下は、最終的にはフロスの濃度の低下となるため、実設備ではフロスの掻取り方法（装置の掻取り効率）および掻取間隔についてもフロス濃度に影響を与える因子となる。また第9図が示す様に、計算結果ではフロス厚が概ね0.4 mで圧密が完了するのに対し、実装置では0.8~1.0 mを要している。このことも、フロスの掻取りによる攪乱の影響と考えられる。

む す び

シミュレーションをおこなうことにより、実験では求め難い特定因子の影響範囲等を明確にすることができ、さらに、浮上濃縮設備についての改善点の模索および構成装置等の定量的な性能評価をおこなうことができる。

当社では、実績データおよびシミュレーションによる計算結果をもとに、浮上濃縮設備のさらなる高性能化および高効率化に取り組んでいる。

[参考文献]

- 1) 楠田哲也, 平井孝明: 下水道協会誌論文集 (浮上濃縮のモデル化とシミュレーション), No.18, Vol.1, No.419, (1997), p.76
- 2) 楠田哲也, 平井孝明: 下水道協会誌論文集 (浮上濃縮汚泥濃度の予測と向上に関する研究), No.18, Vol.1, No.419, (1997), p.89
- 3) 楠田哲也, 張 満良, 平井孝明: 下水道協会誌論文集 (フロス内気泡の形状から見た浮力の有効性), No.28, No.334, (1979), p.54
- 4) EPA: Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal (1979)
- 5) 建設省都市局下水道部, 日本下水道事業団: 汚泥処理手法の改善に関する調査報告書, (1983), p.43
- 6) 日本下水道事業団技術開発部編: 効率的な汚泥濃縮法の評価に関する第3次報告書-浮上濃縮法について- (1994)
- 7) 楠田哲也, 張 満良, 平井孝明: 下水道協会誌論文集 (下水余剰汚泥浮上濃縮時の濃度予測指標に関する実験的研究), No.1, Vol.27, No.316, (1990), p.88